

電 工 學

上 編

道 流

毛啓泰 王天一 譯

中國科學圖書儀器公司印行

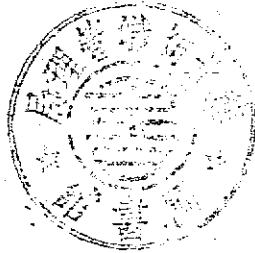
電 工 學

上 編

直 流

毛啓爽 王天一 譯

62392



~~62354~~

中國科學院圖書儀器公司印行

上 海

A COURSE IN
ELECTRICAL ENGINEERING

VOLUME I

DIRECT CURRENTS

BY

CHESTER L. DAWES

總序

電工技術發展迄今，用途日廣，供獻日宏，不但與其他工程發生密切之連繫，而各種工程亦莫不賴電機工程之合作而相得益彰。於是對於電工學識之探討乃日感需要。目前關於一般電工之書籍雖有多種，然欲求其包羅範圍較廣，講解詳盡而透切，合乎大學教科書之用者，莫若陶威斯著之「電工學」。

本書包括上下兩編：上編述直流電，下編述交流電。自電與磁之基本原理始，循序漸進，以至電路問題之解釋，若干實用上所常見之直流與交流電機之構造與原理，以及傳輸與佈電設備等，逐步作詳盡之論述。斯書不但為電工學生作研究高深電工問題之基礎，尤適合於非專攻電工而讀電工學為輔科之學子，及服務工廠利用工作餘暇充實電工學識之人員之用。

其讀電工學作為輔科之學子，恆希望於一冊教科書中，求得電工學各部門之學識，較之翻閱數種參考書，而僅得零碎片段之知識者，事半而功倍。其藉工餘之暇以補充電工學識之人員，既無多暇閱讀參考書籍，且與教師接觸之機會較少，更需要一種包羅廣博而無複雜數學分析之課本。

陶氏斯書之作，既以上述兩種讀者為對象，故在解釋方面，力避深奧，寧多用事理之剖析，而避免數學之表達。陶氏認為『在電機工程之任何一課程中，即或專為電工學生而設計者，若對每一問題，作匆促而不透切之解釋，僅使學者記憶若干公式，若干強記易而久憶難之公式，使其對於該問題之真諦，僅得似是而非之印象，則學者所得至微。在本書內，著者努力以數條基本定律為根據，

從而解釋與分析每一種現象，不以僅敘述若干事實，或寫出若干公式爲畢事。因此，可發展讀者之理解力，訓練其由事理之剖析，理解事物，對於他日遇有實際工程問題之覓取解答，未始非一助也。』

又陶氏於本書內『對若干問題之解釋，皆以其對於一般工程應用之最後關係，爲其目標，尤以比較抽象的問題爲然。讀者能將若干理論，應用於實際問題，其對於該項理論之瞭解，自必更形透切，而興趣亦必倍增。』(以上引用陶氏原序二段)

斯書初版之際，因其本非爲高級電工學生而設，故未採用微積分，書內所包括之數學，僅簡單之方程式而已。自經十數年之風行，陶氏應讀者之請求，與教師之建議，深覺有加入比較高深材料與採用微積分之必要。其加入微積分之部份，爲電路內瞬變狀態下之電流，電壓與電量之變化情形，與表示電與磁之關係之公式之來源等，此等部份，用微積分較易表現。但對於未修微積分者，可以略去，並無困難，在原書中多用小一號字刊行，譯本亦照此例。

余先後於杭州，國立浙江大學(彼時所用者爲本書之再版本)及上海，中國工業專科學校，上海工業專門學校，採用斯書爲教科書凡數年之久。覺斯書包羅宏富，講解透闢，實爲電工學之基本教材，久有譯爲中文，公諸同好之必要。幸經王天一先生之敦促與合作，並得中國科學圖書儀器公司總經理楊允中先生之贊助與鼓勵，自民國三十年夏，開始逐譯，於卅二年冬全部脫稿，經製圖，修改與數度校對，今始正式付梓。

陶氏是書之編著，以避免深奧之解釋，與繁複之數學，並期由事理之剖析以理解事物，爲其一貫精神。譯者將此數點亦予以深切之注意，行文方法縱有不同，原著之精神，仍努力保持之。除上述數點外，陶氏頗注重能量之觀念，以能量不滅爲根據，由能量之轉換而解釋若干現象，且往往以淺顯之比喻譬擬之，此亦譯者認爲值得

推崇而介紹於讀者之前者。

本書在譯印之過程中，在製圖，編排，審核譯名，以及種種方面，多承楊允中先生予以極有價值之指導，與極可寶貴之助力。關於譯名方面，又承裘次豐，楊寄凡，以及電工叢書編譯委員會諸先生之指示；在排印時，承中國科學社科學畫報編輯部章志良先生作精密之校對；使本書之印行，克底於成，譯者於此謹誌其衷心之感謝。

毛啓爽

民國卅三年七月於上海

上編分序

陶威斯著『電工學』之上編，於一九二〇年初版，一九二七年再版，一九三七年三版。內容包括電與磁之基本原理，電路問題與磁路問題，原電池與蓄電池，直流發電機與電動機，而殿以直流佈電制度。其『磁與磁鐵』及『電磁』二章，本列於卷首者，三版後改移於第六及第七章。其『自感量與互感量』亦自第八章『磁路』內分出，列為第九章。

三版改編後，雖於必要之處加入微積分及較深材料，而對於注重事理之剖析，與夫理論之應用兩點，仍保持一貫之精神。為實用所需，除專闢『電工儀器及電之量法』一章外，凡屬有關實驗室之試驗方法，亦分別列入各章內。又為便利物理之剖析起見，書內用圖以說明之處甚多，上編之十五章內，共用插圖 436 幅。

書內所列公式，皆屬極簡單而極需用者。為使讀者熟練公式之應用及變化起見，各章內皆有例題，而正文後，更分別問題及習題。計上編共列例題 133 則，問題 508 則，習題 715 則。讀者於每讀一章後，能自答其問題，選擇不同性質之習題以例題為例演算之，則對於理論之瞭解，及公式之應用，助益甚多。

此編雖僅述直流電部份，然其關於電與磁之基本定律，實為瞭解交流電路與電機之鎖鑰。尤其電感在電流變動電路內所起之反應，電容在電壓變動電路內之充電與放電，與交流電路及電機關係至深。在直流電機方面，其電能之產生，電樞之反應，電動機之致動等，其理論亦往往應用於交流電機。即換向作用，於數種交流電動機內亦引用之。直流電之知識為交流電之根基，讀者慎毋以為直流

電機之應用範圍較狹而忽略之。

本編第一至第五章，第八及第九章皆係王天一先生所譯，啓爽酌予校閱，第六及第七二章爲啓爽與王天一先生所合譯，餘者由啓爽補充之。其選圖，譯圖及製圖準備之繁瑣而精密之工作，皆王天一先生之力也。

毛啓爽

卅三年七月於上海

凡 例

- 一、本書章節之劃分，悉依原著。惟每章內各節，以及插圖，公式與例題，皆各章自行編號，前冠以該章之號數，以便讀者之尋檢，與原著全書通貫編號者不同。例如，第 2—12 節，第 2.8 圖，第 2.10 式，例題 2.5 等，皆屬於第二章，餘類推。
- 二、本書正文外，附有問題及習題，亦各章劃分，自行編號，前冠以該章之號數，如問題 3.15，習題 4.8 等。其習題之附有插圖者，該圖之號數與習題同，而殿以 A 字，以示與正文內插圖之區別。例如習題 5.15 之插圖為圖 5.15 A。在該題內尚提及第 5.15 圖(甲)，此係指正文第五章內之插圖，(見第 145 頁內)。
- 三、本書之譯名，關於電學及電機工程之普通名詞，大部採用教育部公布，國立編譯館編訂之「物理學名詞」(民國廿三年一月公布)，及「電機工程名詞—普通門」(民國廿六年三月公布)。其未經審定之名詞，多經楊允中，裘次豐，楊寄凡，以及電工叢書編譯委員會諸先生之指正或確定，予以採用者。倘有未盡妥善之處，尚祈海內專家，賜予匡正。
- 四、關於“Line”一字，本書譯為線，或線路。“Wire”一字譯為導線，或線。因導線皆用純金屬或其合金製成，故「線」字有「金」傍，以免與磁力線，特性曲線之「線」字或其他非金屬線相混淆。尤其 Line 與 Wire 連用時，例如 line wire 譯為「線路導線」或 three wire line 譯為「三線線路」便覺便利。
- 五、“Coil”向譯為「線圈」，顧名思義，甚不妥當，因既由導線繞成，宜用「線」字。再查「圈」字似僅包括一圈，「卷」字可包括多數連續捲成之圈，故本書 Coil 譯為「線卷」。民三十年國立編

譯館電訊名詞審查委員會亦有此決定。“Winding”向譯「繞組」或「線捲」，惟既為一組線卷所構成，故改譯為「線卷組」，在行文內，與其他名詞合用時如 Armature winding，則譯為電樞卷組。有時原著內之“Winding”僅指一個線卷者，則仍稱線卷。

- 六. “Switch”本用以司電路之啓閉及轉換，譯為「司路器」，允稱確當，但為通俗起見，本書仍用「開關」二字。
- 七. 凡專門名詞及重要字句均在字下加一曲線~~~~~以資醒目。
- 八. 本書插圖，製版較早，關於譯名之續經修改者，因圖已製成，不及修正，致有與正文內所指之名詞不符合者。如圖內之「電鑰」應作「開關」，「線圈」應作「線卷」，導線之「線」應作「線」等，除有數圖，須改正之處較多者，已附註於圖註下外，其他皆姑暫存，俟再版時再行修正，讀者應予注意。

目 錄

	頁數
第一章 電阻	
導言	1
1—1. 電流之本質	2
1—2. 電阻	3
1—3. 導體與絕緣體	4
1—4. 電阻之單位	5
1—5. 電阻與導體幾何圖形 之關係	5
1—6. 電阻係數	6
1—7. 體積電阻係數	6
1—8. 電導	8
1—9. 變值截面積之電阻	9
1—10. 電阻之串聯	11
1—11. 電阻之並聯	11
1—12. 圓密爾	13
1—13. 圓密爾呎	14
1—14. 圓密爾吋	15
1—15. 銅之電阻係數	16
1—16. 鋁之電阻係數	17
1—17. 電阻係數之規範	17
1—18. 電阻器之材料及合金	18
1—19. 電阻之溫度係數	19
1—20. 推測的零電阻	22
1—21. 美國銀規	23
1—22. 美國銀規之近似值	23
1—23. 紋纜	25

1—24. 導體	25
----------	----

第二章 歐姆定律及電路

2—1. 電之絕對制單位	27
2—2. 電之實用制單位	28
2—3. 絕對電位	30
2—4. 電之流動之本質	31
2—5. 電位差	33
2—6. 電壓及電流之量度	34
2—7. 歐姆定律	35
2—8. 串聯電路	37
2—9. 並聯電路	37
2—10. 並聯電路中電流之分 配	36
2—11. 串並聯電路	40
2—12. 電功率	41
2—13. 電能	43
2—14. 熱與能	45
2—15. 熱單位	46
2—16. 供給兩處密集負載饋 電線路之壓降	47
2—17. 供給兩處密集負載饋 電線路之壓降	48
2—18. 饋電線之估計	49
2—19. 饋電線之電功率損失	51

第三章 電池之電勢—— 克希荷夫定律

—1.	電池之電勢及電阻	53	4-6.	丹聶爾電池	90
3-2.	電池之電阻及電流	55	4-7.	重力電池	90
3-3.	電池輸出之最大電功 率	56	4-8.	愛迪生—勒蘭德電池	91
3-4.	電池之電能輸入	57	4-9.	勒克蘭社電池	92
3-5.	電池相串聯	60	4-10.	乾電池	93
3-6.	相等電池相並聯	60	4-11.	衛斯吞標準電池	95
3-7.	電池之串並聯組合	62	蓄電池組:		
3-8.	電池之組合法	63	4-12.	蓄電池	97
3-9.	電勢及電池俱不相等 之電池相並聯	64	4-13.	鉛—鉛—酸蓄電池	97
3-10.	不等電池組並聯時電 流之分配	66	4-14.	普隆特極板	99
3-11.	克希荷夫定律	68	4-15.	福耳極板	101
3-12.	克希荷夫定律之應用	71	4-16.	愛克沙特鐵鎳電池	102
3-13.	解答電網絡問題之步 驟	73	4-17.	固定蓄電池組	103
3-14.	電流之假定方向	75	4-18.	容器	103
3-15.	克希荷夫定律之進一 步應用	75	4-19.	間隔物	104
3-16.	克希荷夫定律對於電 車鐵道之應用	77	4-20.	電解液	105
3-17.	克希荷夫定律在電力 制度中之應用	79	4-21.	比重	107
3-18.	等效之三角形及星形 網目	81	4-22.	溫度	108
第四章 原電池與蓄電池			4-23.	蓄電池之裝拆	108
4-1.	電池之原理	85	4-24.	便攜蓄電池組	110
4-2.	定義	86	4-25.	定額	111
4-3.	原電池	87	4-26.	充電	112
4-4.	內電阻	88	4-27.	電池組之裝置	116
4-5.	極化作用	88	4-28.	蓄電池之容量與重量	116
			愛迪生—鐵鎳蓄電池:		
			4-29.	極板	117
			4-30.	電化原理	118
			4-31.	組合法	119
			4-32.	放電與充電特性曲線	120
			4-33.	電解液	121
			4-34.	優點	121
			4-35.	用途	122
			4-36.	蓄電池之效率	122

- 4-37. 電解————— 124
 4-38. 法拉第電解定律—— 126
 4-39. 電鍍————— 127

第五章 電工儀器及電之量度

- 5-1. 直流儀器之原理—— 129
 5-2. 達松靈爾電流計—— 130
 5-3. 電流計分流器—— 133
 5-4. 古式之指示儀器—— 139
 5-5. 衛斯喬式儀器—— 139
 5-6. 安培計—— 141
 5-7. 伏特計—— 145
 5-8. 倍加器或擴展線卷—— 146
 5-9. 熱線儀器—— 146
 5-10. 真空熱偶—— 147

電阻之量度：

- 5-11. 伏特計安培計法—— 148
 5-12. 伏特計法—— 150
 5-13. 高電阻計—— 151
 5-14. 惠司登電橋—— 154
 5-15. 十進式及軌盤式電橋—— 156
 5-16. 平衡電橋之方法—— 157
 5-17. 滑線電橋—— 159
 5-18. 德爾文電橋—— 160

電纜試驗：

- 5-19. 參電迴線—— 163
 5-20. 伏萊迴線—— 164
 5-21. 絕緣檢驗—— 166
 5-22. 保護線—— 169

電位計：

- 5-23. 電位計—— 170
 5-24. 李茲及勞斯勒浦式低

電阻電位計—— 172

5-25. 其他電位計方法—— 173

5-26. 用電位計量度電壓—— 177

5-27. 用電位計量度電流—— 178

瓦特計及瓦特小時計：

5-28. 電功率之量度—— 180

5-29. 瓦特計—— 181

5-30. 瓦特小時計—— 182

5-31. 調準瓦特計之方法—— 184

5-32. 他式瓦特計—— 186

第六章 磁與磁鐵

6-1. 概說—— 188

6-2. 磁性物料—— 188

6-3. 天然磁鐵—— 189

6-4. 永久磁鐵—— 189

6-5. 磁極與磁場—— 189

6-6. 割裂磁鐵之效應—— 191

6-7. 磁極—— 192

6-8. 磁極間之機械力—— 192

6-9. 韋伯與歐文氏學說—— 193

6-10. 磁化線，磁力線與感應線—— 195

6-11. 磁力線—— 197

6-12. 磁場強度—— 198

6-13. 磁通密度—— 199

6-14. 羅盤針—— 200

6-15. 磁圖—— 202

6-16. 磁感應—— 203

6-17. 磁場定律—— 204

6-18. 平行磁化表面間之力—— 204

6-19. 永久磁鐵之材料—— 206

6-20. 永久磁鐵之形式—— 208

6-21.	疊片磁鐵	209
6-22.	磁化法	209
6-23.	人工陳老法	210
6-24.	磁屏蔽	210
6-25.	地磁	211

第七章 電磁

7-1.	導體周圍之磁場	213
7-2.	磁場方向與電流方向之關係	213
7-3.	兩平行導體間之磁場	215
7-4.	畢奧特—薩伐爾定律與電流之磁場強度	216
7-5.	單匝線卷之磁場	217
7-6.	螺管線卷	219
7-7.	長空心螺管線卷內之磁場強度	220
7-8.	商用螺管線卷與電磁鐵	221
7-9.	起重磁鐵	224
7-10.	磁性分離器	225
7-11.	軌上磁性軌	225
7-12.	電機之磁路	226

第八章 磁路

8-1.	磁路	230
8-2.	磁之單位	231
8-3.	磁路之磁阻	233
8-4.	磁化曲線	235
8-5.	磁導係數	236
8-6.	磁路之定律	237
8-7.	每厘米磁通勢與磁場強度	238

8-8.	稜算法	240
8-9.	安培匝數之確定	241
8-10.	一簡單空氣隙之安培匝數	242
8-11.	磁化曲線之用途	243
8-12.	電機內磁之計算	244
8-13.	磁滯	247
8-14.	磁滯損失	248
8-15.	磁芯損失	250

磁鐵合金:

8-16.	「披莫合金」	252
8-17.	「哈普立克」	254

磁通之量度

8-18.	衝擊電流計	255
8-19.	標準螺管線卷	256
8-20.	電流計之校準	256
8-21.	軋鐵法	260
8-22.	環鐵法	261
8-23.	古普塞爾磁導計	263

第九章 自感量與互感量

9-1.	應電勢	266
9-2.	磁通電流遲滯與自感量	268
9-3.	自感應電勢	271
9-4.	自感應電勢之計算	272
9-5.	變基磁阻之自感量	273
9-6.	有感電路內電流之上昇	274
9-7.	有感電路內電流之變衰	277
9-8.	磁場之能量	280
9-9.	磁能與熱能	281

9-10.	磁場能量之利用	283
9-11.	互感量	284
9-12.	自感與互感之關係	286
9-13.	儲蓄之能量	289
9-14.	自感及互感之量度	290
9-15.	電感與慣性	291
9-16.	感應線卷	292

第十章 靜電與電容

10-1.	靜電與動電	293
10-2.	靜電荷	294
10-3.	靜電感應	295
10-4.	單位電荷及庫倫定律	296
10-5.	介質電場或靜電場	297
10-6.	帶電的球體	298
10-7.	電容	301
10-8.	電介體	303
10-9.	比容量或介質常數	304
10-10.	容電器相並聯之等效電容	305
10-11.	容電器相串聯之等效電容	306
10-12.	平行板間之場強度	308
10-13.	容電器儲蓄之能量	309
10-14.	電容之計算	311
10-15.	平行板容電器之電容	311
10-16.	同軸圓柱體容電器之電容	313
10-17.	同心球體容電器之電容	316
10-18.	容電器經電阻充電之電流	316
10-19.	容電器經電阻放電之	

	電流	319
10-20.	空氣之電離 電量	320
	電容之量度:	
10-21.	衝擊法	322
10-22.	電橋法	324
10-23.	電纜全部斷路之尋找	324

第十一章 發電機

11-1.	產生之電勢	326
11-2.	應電勢之方向	329
11-3.	旋轉線卷產生之電勢	329
11-4.	電樞	332
11-5.	環式線卷組	332
11-6.	鼓式線卷組	334
11-7.	摺卷組	335
11-8.	換向器節距	337
11-9.	複合線卷	339
11-10.	經過電樞之電流路徑	340
11-11.	複卷組	344
11-12.	摺卷組中之均壓聯接	347
11-13.	波卷組	348
11-14.	波卷組之換向器節距	351
11-15.	波卷組之電刷數	353
11-16.	波卷組之電流路徑	354
11-17.	兩種卷組之比較	355

電機之構造:

11-18.	機殼或軀	357
11-19.	極芯與極掌	358
11-20.	電樞之結構	359
11-21.	換向器之結構	362
11-22.	場卷	362
11-23.	電刷	363

第十二章 發電機之特性

12-1.	電樞中之電勢	364
12-2.	飽和曲線	367
12-3.	磁滯	369
12-4.	飽和曲線之測定	369
12-5.	場電阻線	371
12-6.	發電機之種類	372
12-7.	分激發電機	372
12-8.	臨界的場電阻	373
12-9.	達立失敗之原因	374
12-10.	電樞反應	375
12-11.	多極發電機中之電樞 反應	379
12-12.	多極發電機中交磁與 去磁安匝	382
12-13.	補償電樞反應	383
12-14.	換向	385
12-15.	自感應電勢	388
12-16.	換向器之電花	390
12-17.	換向磁極	394
12-18.	分激發電機之特性曲 線	397
12-19.	發電機之調整	401
12-20.	總特性曲線	401
12-21.	由飽和曲線求分激特 性曲線	403
12-22.	複激發電機	407
12-23.	速率之影響	411
12-24.	由飽和曲線求複激特 性曲線	411
12-25.	求串激安匝之方法	413
12-26.	換向磁極之複激效應	415
12-27.	串激發電機	416
12-28.	串激昇壓機	419

12-29.	速率變動對於特性曲 線之影響	419
自動調節電壓器:		
12-30.	提利爾調壓器	420
12-31.	直接作用調壓器	422
特種發電機:		
12-32.	單向發電機	423
12-33.	第三刷發電機	424
12-34.	分路磁極發電機	426
12-35.	弧根發電機	428

第十三章 電動機

13-1.	電動機之原理	432
13-2.	載流導線所受之力	433
13-3.	佛萊敏氏左手定則	434
13-4.	轉矩	435
13-5.	電動機所產生之轉矩	436
13-6.	反電動勢	440
13-7.	反電勢與機械功率	443
13-8.	電樞反應及電刷位置	444
13-9.	分激電動機	446
13-10.	串激電動機	449
13-11.	複激電動機	453
電動機之啓動箱:		
13-12.	三線端啓動箱	454
13-13.	四線端啓動箱	457
13-14.	串激電動機用啓動箱	459
13-15.	控制器	460
13-16.	自控啓動箱	460
13-17.	溫度控制保護設備	461
13-18.	磁控槍弧器	462
速率之控制:		
13-19.	樞電阻控制法	463

13-20.	複電壓控制法	464
13-21.	華德—黎翁那德制	465
13-22.	場控制法	465
13-23.	林肯電動機	466
13-24.	鐵道用電動機之串並 聯控制法	466
13-25.	複單位制控制法	467
13-26.	動力與再生制動法	469
13-27.	電動機試驗——普隆 納勃	471
13-28.	速率之量度	474
13-29.	電動發電機	475

第十四章 損失;效率與

運用

14-1.	電機之功率損失	477
14-2.	效率	482
14-3.	電動機及發電機之效 率	482
14-4.	雜散功率之量度	484
14-5.	在不同場電流時之雜 散功率	486
14-6.	雜散功率作磁通及速 率之函數	489
14-7.	在定量磁通時之雜散 功率曲線	490
14-8.	互鎖試驗法——卡普 法	492
14-9.	定額與發熱	494
14-10.	用電阻法量度溫度	496
14-11.	分激發電機之並聯使 用	499
14-12.	分激發電機並聯接法	500

14-13.	複激發電機之並聯使 用	501
14-14.	斷路器	504

第十五章 電之傳輸及

分佈

15-1.	佈電制	506
15-2.	導線之電壓與重量	507
15-3.	導線之粗細	508
恒壓佈電:		
15-4.	佈電用之電壓	509
15-5.	分佈之負載	509
15-6.	饋電制	510
25-7.	串並聯制	511

愛迪生三線制:

15-8.	愛迪生三線制之優點	511
15-9.	平衡與不平衡之負載	512
15-10.	中線斷路之影響	513
15-11.	電壓之不平衡	514

構成三線制之方法:

15-12.	變發電機法	515
15-13.	蓄電池法	516
15-14.	平衡機組法	516
15-15.	三線發電機	519
15-16.	饋電線與總線	520
15-17.	饋電線可載之最大電 功率	521
15-18.	電車鐵道之佈電制	524
15-19.	通地電流之電解作用	525
蓄電池制:		
15-20.	發電廠之蓄電池組	526
15-21.	電阻控制法	528
15-22.	反電勢電池	529

15—23. 末端電池控制法	529
15—24. 調節用蓄電池	530
15—25. 串聯佈電制	531

附 錄

附錄一——單位之關係	535
附錄二——電之各種單位間之關係	536
附錄三——比重	536
附錄四——實體標準銅線表	537
附錄五——標準銅線製同心裸線表	538
附錄六——導線可容許之載流量表	539
附錄七——金屬及合金之電的性質	540
附錄八——鉛包電纜之載流量表	541
附錄九——實體分層線卷每方吋匝數表	542
附錄十——希臘字母	543

問 題

第一章 電阻—1.1至1.20	544
第二章 歐姆定律及電路— ——2.1至2.18	545
第三章 電池之電勢—克 希荷夫定律— ——3.1至3.22	546
第四章 原電池與蓄電池— ——4.1至4.62	548
第五章 電工機器及電之量	

度—5.1至5.47	552
第六章 磁與磁鐵— ——6.1至6.30	555
第七章 電磁—7.1至7.18	557
第八章 磁路—8.1至8.26	558
第九章 自感量與互感量— ——9.1至9.24	560
第十章 暫電與電容— ——10.1至10.35	561
第十一章 發電機— ——11.1至11.31	564
第十二章 發電機之特性— ——12.1至12.58	566
第十三章 電動機— ——13.1至13.50	569
第十四章 損失；效率與運用— ——14.1至14.30	572
第十五章 電之傳輸及分佈— ——15.1至15.37	574

習 題

第一章 電阻—1.1至1.72	577
第二章 歐姆定律及電路— ——2.1至2.78	582
第三章 電池之電勢—克 希荷夫定律— ——3.1至3.66	590
第四章 原電池與蓄電池— ——4.1至4.42	598
第五章 電工機器及電之量 度—5.1至5.65	602
第六章 磁與磁鐵— ——6.1至6.25	613

電 工 學

上 編 直 流

第 一 章

電 阻

導言——電之爲用大矣哉！處今日之世界，電幾佔個人與社會生活之最重要部分，不可一日或缺。今日之都市中，舉凡光、熱、運輸、給水、動力等生活要素，俱非電能之供給不爲功。卽如汽車一項，苟無電能爲之發火、啓動及照明，則無從行駛。電之所以如此有用而重要者，原因實有多端，要在電能可以極便捷之方式，極高超之效率，轉變而爲光能、熱能、機械能或化學能也。

發電所之設置，可因地而制宜。於水力強大之處，則水能取之不盡；於煤礦豐富之區，則燃料無虞匱乏；於航道之沿岸，則燃料之運輸，冷水之供給，均無困難。

若電車鐵道也，人烟稠密之區也，工廠及工業中心也，凡需電孔殷之所，電能莫不可以經濟合算之方式，作遠程之輸送。

至若電能之應用，又可因事而制宜，用途之廣，罄竹難書。因電與光之轉變，而一按開關之頃，舉室通明，光徹大地。舉如電鑽之使用，電梯、電車之行駛，既藉電能爲原動，而新式工廠中，各式笨重機器之策動，亦因電之易於控制，而樂於採用電氣機。況在購買電能爲原動力時，毋需原動機之設置，更無因燃燒燃料所生之灰、烟、惡氣乎！

集聚電能，則生高熱，可利用於電花塞、弧光燈、焊接及電爐。與磁鐵相連合，則電能可資電鈴、替續器、電話機及曳引磁鐵之運用。

是以欲期於電之各種運用，俱得順利完成，則對於電在電路中流動之各定律，電與磁之關係，發電方法及電化效應，不可不有透澈之瞭解也。

1-1. 電流之本質——近代關於電之學說，其已經若干學者實驗而證實者，為電子學說 (Electron theory)。根據其說，所有物質之原子，皆由一帶陽電之原子核 (Nucleus)，圍以有高旋轉速度之陰電荷所組成。每一陰電荷即曰電子 (Electron)；所有物質之電子，俱屬相同。若以電位差施於導體之兩端，其中一部份電子可自由從一原子移動至他原子，形成電子之流動，是為電流 (Current)。故電流云者，可認為係由電子之運動而生，故稱為動電 (Dynamic electricity)。

電子既係陰電荷 (Negative charge)，電子流動之方向，係與

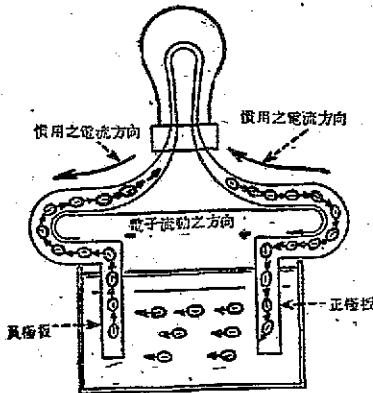


圖 1.1 電子之運動及慣用之電流方向

慣用之電流方向相反。如第 1.1 圖，以白熾燈 (Incandescent lamp) 接於電池之兩極，因電子為陰電荷，為電池之負極板所斥，為正極板所引，則電子應由負極板出發，經過白熾燈之燈絲而回入電池之正極板。但依慣例，電流在電池外電路之方向，則為自正極板至負極板如圖所示者。表面上此二者似不吻合，

實則所根據之理論不同，並無衝突之處。在非導體或絕緣體中，⁽¹⁾電子與原子核，結合甚密，欲自一原子中取出一電子，至為不易。故如與導體相較，雖以一較高之電位差(Potential difference)，施於其兩端，僅能自原子中移出極少之電子，而得極小之電流。

1-2. 電阻 —— 電路中電流之強弱，不僅視施於電路上之電勢，且須視電路本身之性質而定。例如以一銅線接於一電池之兩端，必有電流通過此銅線。然如電池之任何一接頭，或電路中任何一處接觸不良，即或電勢不變，電流亦為之減少。而在接觸不良之點，且有熱能散逸。倘截斷銅線，插接一小白熾燈，燈絲可以發熱而呈白熾，同時電路中之電流亦必減少。以上述二情形而論，特別在電路中插入較劣傳導介質之點，必有熱能發出。且在較劣介質插入以後，即電勢不變，電流亦為之減少。

一電路欲阻止電流通過，同時使電能變換為熱能之性質，謂之電阻(Resistance)。

電阻亦可依據第 1-1 節之電子學說加以解釋。電子在導體中運動，必須經過導體之分子或原子，即須與其他電子及原子核相碰撞。碰撞之結果乃生熱，是即電流經過電阻所以發熱之由來也。再者，由於此種碰撞，電子之速度因而減低，必需一較高之位差，始可以維持一定量之電流。

電阻在電路中之效應，與力學中摩擦力之效應相彷彿。例如電車以等速度沿一平直之軌道而前進，而摩擦力則欲阻止車之運動。用於使車運動之功率，為摩擦力所消耗，變而為熱。至水管水道之中，亦有摩擦力，欲阻止水之流過，勢必需消耗水能之一部分，以克服此摩擦。水能之損失，可由水位之損失證之。所損失之水能，大部

(1) 世界上無絕對絕緣之物質，普通所謂絕緣者，係指在某一電位差下所生之電流，較之在同等情形下所生於導體內者甚為微弱也。

為水所吸收，苟經精密之測量，可測得水溫微有增加。

下章將說明電流通過電阻時，電能之損失係與電阻之數量及電流之平方成正比。電流值等於外施電勢除以電阻（歐姆定律，見第 2—7 節）。用公式表之，即電流 $I = E/R$ 。

1—3. 導體與絕緣體——在第 1—1 節中已述及，在某數種物質中，電子甚易自一原子移動至他原子，此種物質稱為導體 (Conductor)。他方面，另有數種物質，欲從其原子內移去一電子，至為不易，此種物質稱為絕緣體 (Insulator)。雖然，所有物質對於電流俱有電阻，即俱非完全導體，而所謂絕緣體者，亦非俱無導電性。惟以一般情形言，導體與絕緣體，頗有顯著之區別存乎其間。金屬及碳為良導體；大部有機性及玻璃狀物質為絕緣體，例如橡膠，油，玻璃及石英等。（在極高溫度，玻璃狀物質亦能導電，則近於電解意義。涅恩斯特燈 (Nernst lamp) 之製成，即根據瓷在白熾溫度下能導電之理。）以電解意義言，電解質具有變易不定之導電性。

尋常金屬中，銀為最良導體，而銅次之（見附錄七）。其他金屬及合金之導電性亦各不同。油，玻璃，絲，紙，硬橡膠 (Ebonite)，棉紗，纖維板 (Fiber)，石蠟，橡膠等可認為非導體或良絕緣體。木質之乾燥或曾浸於油內者，為良絕緣體，但含有水分之木質則為部份導體。

導體與絕緣體二者間之顯著區別，觀下列對比，可資說明。

銅在 20°C 時，每邊為一厘米之正立方體（以下簡稱厘米正立方

(1) 萊頓 (Leyden) 地方之卡墨林-奧納斯 (Kamerlingh-Onnes) 教授，曾於 1914 年製成一電路，其中電流可以在外施電勢移去以後，維持強度不減至五小時之久。其法係以液體氮保持 -270°C 之低溫，而以一捷通的鉛製線圈置於其中，用磁感應法產生電流，然後移去感應電源。液體氮為現在已知之溫度最低者，蓋距絕對零度 (-273°C) 不遠矣。此實驗證明鉛之電阻，在此極低溫度下，幾等於零。

體)之電阻為 1.7241×10^{-6} 歐, 但同樣情形同樣大小硬橡膠之電阻約為 10^{16} 歐, 即硬橡膠與銅二者電阻係數之比約為 6×10^{21} 。同樣, 每厘米正立方體之玻璃之電阻為 10^{14} 歐, 與銅相較, 亦復甚高。

1-4. 電阻之單位——電阻之實用單位為歐姆 (Ohm)⁽¹⁾, 簡稱歐; 即以一伏特 (Volt) 之電位差施於其兩端, 能容許一安培 (Ampere) 電流通過之電阻也 (參見第 2-2 節第四項)。

當一安培之電流通過一歐姆之電阻歷時一秒鐘時, 此電阻所生之熱能量為一焦耳。

絕緣體之電阻, 往往高達數百萬歐。若用歐為絕緣體之電阻單位, 似嫌太小。在此情形, 則用兆歐 (Megohm) 為單位, 一兆歐等於 1,000,000 (即 10^6) 歐。(西文名所冠之 Meg 意即兆也)。

另一方面, 匯流排 (Bus-bars) 及小塊金屬之電阻, 往往甚小, 用歐又嫌太大, 亦復不便。此時則用微歐 (Microhm) 為單位, 一微歐等於百萬分之一歐 ($1/1,000,000$ 即 10^{-6})。(西文名所冠之 Micro 意即一百萬分之一也)。

1-5. 電阻與導體幾何圖形之關係——任何物體之電阻, 須視該物體之幾何圖形及電流之方向而定。例如, 第 1.2 圖中所示之長方體形, 係兩個物料相同, 每邊同為一厘米之正立方體所組成。若電流 I_2 係自 A 邊流至與 A 邊相對之 B 邊, I_1 必須順次流過此二立方體。假定每一立方體相對二邊間之電阻為 2 微歐; 電流經過所遇者為二立方體之串聯電阻, 其總值為 4 微歐。

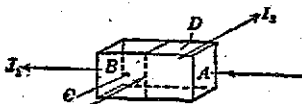


圖 1.2 電阻與電流之方向

(1) 此單位之命名, 係紀念喬治·西蒙·歐姆氏 (George Simon Ohm, 1787—1854) 者, 氏為德國數學家, 約在 1827 年間, 發明今所謂歐姆定律 (Ohm's Law) 之原理。氏對於其他電學基本定律之發明, 厥功亦不可沒。

由是可知：如截面積為定值，則導體之電阻，係與其長度成正比。

次之，若另有電流 I_2 等於 I_1 ，然其流動方向則與 I_1 垂直而自 C 邊流至 D 邊（圖 1.2）。此時 I_2 所分佈之截面積，為一單立方體截面積之二倍，但電流所經過之途徑，則與經過一個立方體者相等。且因經過每一立方體者，僅為電流之一半，每立方體間之電壓降 (Voltage drop)，亦為電流 I_1 在單個立方體中所生壓降之半。故電流 I_2 經過 C 與 D 兩面間，在每立方體內所遇之電阻僅為單個立方體之電阻之半，即 1 微歐。故知如長度不變，導體之電阻與其截面積成反比。

且 C 與 D 兩面間之電阻僅為 A 與 B 兩面間之電阻之四分之一。此可以證明任何導體之電阻不僅與其幾何圖形有關，且與電流之方向有關。在尋常電路內，電流途徑長度大而截面積小，故電流方向顯而易見。然有數種情形，例如電流在絕緣體中之流動（第 1—9 節），則電流方向之判定，易滋錯誤。

1—6. 電阻係數——在第 1—5 節中曾述，如導體之截面積不變，其電阻與其長度成正比；如長度不變，則與其截面積成反比。歸納言之，一有均勻截面之物體之電阻，係與其長度成正比，與其截面積成反比；長度須沿電流方向量之，截面積則與電流方向相垂直。

$$\text{即} \quad R = \rho \frac{L}{A} \quad (1.1)$$

式中 R 為電阻之歐數， L 為沿電流方向之長度， A 為與電流方向垂直之截面積， ρ 為一種物料之常量稱為電阻係數 (Resistivity 或 Specific resistance)。

若一物料之長度 L 為 1 厘米，截面積 A 為 1 平方厘米，此物

料之形必為每邊 1 厘米之立方體，則

$$R = \rho \frac{1}{1 \times 1}$$

或

$$R = \rho。$$

ρ 即此物料之電阻係數。故電阻係數云者，即單位截面積及單位長度之物料之電阻也。在此情形， ρ 係以每厘米正立方體計者。 ρ 之值亦可以每英寸正立方體或其他單位計之，當於以後討論之。銅之電阻係數，在 $20^\circ C$ 時每厘米正立方體為 1.7241 微歐，或 1/580,000 歐。因一正立方體任何兩面間之電阻皆相同，故一正立方體顯為電阻係數之完全固定之單位。關於各種物料之電阻係數可參閱附錄七。已知一厘米正立方體之電阻係數值，任何線狀，條狀物之電阻俱可用第 1.1 式，立即算出。

【例題 1.1】 試求兩黃銅圓棒 A 及 B (圖 1.3) 之電阻值。黃銅之電阻係數為每厘米正立方體 11.4 微歐。A 棒長 100 厘米，截面為圓形，面積為 4 平方厘米；B 棒長 50 厘米，截面亦為圓形，面積為 8 平方厘米。



圖 1.3 體積相同而電阻不同之銅棒

【解】 A 棒 $R = 11.4 \times \frac{100}{4} = 285$ 微歐， (答)

B 棒 $R = 11.4 \times \frac{50}{8} = 71.25$ 微歐。 (答)

二銅棒之體積雖同，然 A 棒之電阻四倍於 B 棒之值，因 A 棒沿電流方向之長度兩倍於 B 棒者，而其垂直於電流方向之截面積僅為 B 棒之半也。

【例題 1.2】 試求長 3,000 英尺，直徑為 0.460 英寸之 0000 號退火銅 (Annealed copper) 線之電阻，設銅之電阻係數為每厘米正立方體 ($20^\circ C$) 1.724 微歐。(見第 1—15 節)

【解】 $3,000$ 呎 $= 3,000 \times 12 \times 2.54 = 91,400$ 厘米。

截面積 $= \frac{\pi}{4} (0.460 \times 2.54)^2 = 1.07$ 平方厘米。

$$R = \rho \frac{L}{A} = (0.000001724) \times \left(\frac{21,400}{1.07} \right) = 0.1472 \text{ 歐。 (答)}$$

1—7. 體積電阻係數 (Volume resistivity)。—— 物體之體積為

$$V = LA;$$

式中 L 為其長度, A 為其均勻的截面積。故第 1.1 式可以寫成

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L^2}{V} = \rho \frac{V}{A^2} \quad (1.2)$$

即體積為定值之導體之電阻與其長度之平方成正比; 體積為定值之導體之電阻與其截面積之平方成反比。

【例題 1.3】 一電線長 1 仟米, 直徑為 11.7 毫米(mm.), 電阻為 0.031 歐。如將此線拉長, 使其直徑為 5.0 毫米, 求其電阻。

【解】 線之原來截面積 $A_1 = \frac{\pi}{4} 11.7^2 = 107.5$ 平方毫米,

線之最後截面積 $A_2 = \frac{\pi}{4} 5.0^2 = 19.64$ 平方毫米。

應用第 1.2 式, $R_1 = \rho \frac{V}{(107.5)^2} = 0.031$ 歐,

$$R_2 = \rho \frac{V}{(19.64)^2}$$

此線被拉長, 但其體積并無變化, 電阻係數 ρ 為不變常量。

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2}{0.031} = \frac{\rho \frac{V}{(19.64)^2}}{\rho \frac{V}{(107.5)^2}}$$

$$R_2 = 0.031 \frac{(107.5)^2}{(19.64)^2} = 0.031 \frac{11,560}{386} = 0.93 \text{ 歐。 (答)}$$

1—8. 電導——電導 (Conductance) 為電阻之反數。凡一電路或一物料能容許電流通過之性質, 謂之電導。電導之單位為歐姆之反 (Reciprocal ohm) 或即姆歐。讀作莫 (Mho)。通常以 g 或 G 代表之。

$$g = \frac{1}{R} \quad (1.3)$$

且
$$g = \gamma \frac{A}{L} \quad (1.4)$$

式中 γ 爲物料之電導係數 (Specific conductance 或 Conductivity), A 爲其均勻的截面積, L 爲其長度。故電導係數者, 卽單位截面積及單位長度之物料之電導也。其單位爲每厘米正立方體之莫數。

銅在 20°C 之電導係數爲每厘米正立方體 580,000 莫。

【例題 1.4】一鋁質匯流排, 厚 0.5 吋, 寬 4 吋, 長 20 呎, 試求其在 20°C 之電導。

【解】鋁之電導係數爲銅之電導係數之百分之六十一。銅之電導係數在 20°C 係每厘米正立方體 580,000 莫。

鋁之電導係數 = $0.61 \times 580,000 = 354,000$ 莫/厘米正立方體。

匯流排之截面積 $A = 0.5 \times 4 \times 2.54 \times 2.54 = 12.9$ 平方厘米。

長度 $L = 20 \times 12 \times 2.54 = 610$ 厘米。

電導 $g = 354,000 \times \frac{12.9}{610} = 7,490$ 莫。 (答)

1-9. 變值截面積之電阻 —— 有時一電阻途徑之截面積並不始終相等, 但係隨其長度而變更者。良好之例, 可於一圓柱體形電纜 (Cable) 之中心導體與其外壁間絕緣物中漏流 (Leakage current) 之途徑觀之。第 1.4 圖卽示一圓柱體形電纜之截面積, R_1 爲導體之半徑, R_2 爲絕緣外圍之半徑, σ 爲絕緣物之電阻係數, l 爲電纜之長度以厘米計。自導體至外壁漏流所遇之實在電阻值, 可用積分法求之。(絕緣外面所以能有電的接觸者, 往往由於電纜用鉛質包皮或電纜被浸入水中所致)。今先檢討距電纜中心 r 厘米處之

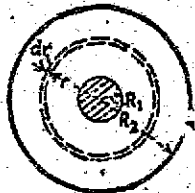


圖 1.4 在電纜絕緣物中之電流路徑

一環，其厚度極小，設為 dr 厘米。

此環沿電流方向之長度即為 dr 厘米，而其垂直於電流方向之截面積則為 $2\pi rl$ 平方厘米。由第 1.1 式，知此環之電阻為

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi rl} \text{ 歐。}$$

總電阻為

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi l} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi l} [\log_e r] \frac{R_2}{R_1} \\ &= \frac{\rho}{2\pi l} \log_e \frac{R_2}{R_1} \text{ 歐。} \end{aligned} \quad (1.5)$$

R_2 與 R_1 以比例式出現於第 1.5 式中，故其單位無關宏旨，僅須所用之單位相同足矣。所應注意者， l 居第 1.5 式之分母地位，表示電阻與長度成反比，蓋漏流在絕緣中之方向係與電纜長度相垂直也。

【例題 1.5】在一圓柱形橡膠絕緣電纜中，導體為美規 (A. W. G.) 六號實心銅線，直徑為 0.162 吋，絕緣壁厚 $\frac{1}{4}$ 吋。橡膠之電阻係數為每厘米立方體 10^{13} 歐。求(甲)1,000 呎長電纜之絕緣電阻 (Insulation resistance)，以兆歐表之；(乙)2,100 呎長度之絕緣電阻。(1 兆歐 = 1,000,000 歐，見第 1—4 節。)

【解】(甲)電纜長度為 $1,000 \times 12 = 12,000$ 吋。

$$R_1 = \frac{0.162}{2} = 0.081 \text{ 吋，}$$

$$R_2 = 0.081 + 0.250 = 0.331 \text{ 吋。}$$

$$\rho \text{ (每吋正立方體)} = 10^{13} \frac{2.54}{(2.54)^3} \approx 8.94 \times 10^{13} \text{ 歐。}$$

故依第 1.5 式，

$$R = \frac{8.94 \times 10^{13}}{2\pi \times 12,000} 2.303 \log_{10} \frac{0.331}{0.081}$$

$$= 1.203 \times 10^9 \log_{10} 4.09$$

$$= 1.203 \times 10^9 \times 0.6117 = 7.36 \times 10^8 \text{ 歐}$$

$$= 7.36 \times 10^2 \text{ 或 } 736 \text{ 兆歐。} \quad (\text{答})$$

(乙) 絕緣中漏流之方向既係與電綫長度相垂直，電流通徑之面積必與電綫長度成反比。故 2,100 呎長度之絕緣電阻為

$$R = 736 \frac{1,000}{2,100} = 350 \text{ 兆歐。} \quad (\text{答})$$

1—10. 電阻之串聯——所有電阻或其他電之裝置，一端與他端首尾銜接，則成串聯電路 (Series circuit)，如第 1.5 圖所示。

在此種組合中，同一電流通過電路每一部份，而總線路電壓 (Line voltage) 則分配於電路之各部。若以數電阻 R_1, R_2, R_3 等相串聯如第 1.5 圖所示，即首尾相銜接者，則此組合之總電阻為

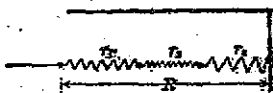


圖 1.5 串聯之電阻

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (1.6)$$

即：一串聯電路之總電阻，為各個電阻之和。

【例題 1.6】四電阻 R_1, R_2, R_3, R_4 相串聯。各電阻之值為 $R_1 = 24.2$ 歐； $R_2 = 36.4$ 歐； $R_3 = 18.5$ 歐； $R_4 = 42.9$ 歐。求一單純電阻之值，係為此四串聯電阻之等值。

【解】依第 1.6 式，

$$R = 24.2 + 36.4 + 18.5 + 42.9 = 122.0 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

1—11. 電阻之並聯——組成一並聯電路 (Parallel circuit) 中之各部分，其一端接於一公共點而成為全組合中之一端，其另一端接於另一公共點而成為全組合中之另一端，形成若干電流支路 (Branch)。在此情形下，此並聯組合之每一支路俱跨接於同一電壓，而總電流則分配於各支路間。第 1.6 圖示三電阻並聯之電路。

以一電阻與另一電阻相並聯，則多一可用的電流通徑，即減少電流所遇之電阻，故以若干電阻相並聯，其總等效電阻 (Equivalent resistance)，必常小於任一電阻之值。

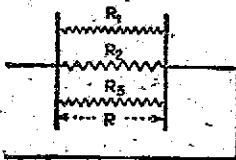
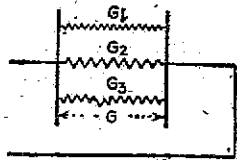


圖 1.6 (甲) 並聯之電阻



(乙) 並聯之電導

並聯各電阻，如均以電導表之，其總等效電導，可直接求得。如第 1.6 圖 (甲) 所示，三電阻 R_1, R_2, R_3 相並聯。其電導即為 G_1, G_2, G_3 ，其間 $G_1 = 1/R_1, G_2 = 1/R_2, G_3 = 1/R_3$ (第 1.6 圖 (乙))。總等效電導 (Equivalent conductance) 為

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1.7)$$

設 R 為總等效電阻， $G = 1/R$ ，第 1.7 式可以寫作

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1.8)$$

是以：在一並聯電路中，等效電阻之反數，等於各個電阻之反數之和。

以二電阻 R_1 及 R_2 相並聯，其等效電阻 R ，可用下法求出：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2} \quad (I)$$

取第 (I) 式之反數，得

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.9)$$

以三電阻 R_1, R_2 及 R_3 相並聯，其等效電阻 R 可用下法求出：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 R_3 + R_3 R_1 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3} \quad (II)$$

取第 (II) 式之反數，得

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (1.10)$$

【例題 1.7】一電路含四並聯支路，其各個電阻為 3, 4, 6, 8 歐。求此電路

之等效電阻。

$$\begin{aligned} \text{【解】 } \frac{1}{R} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = 0.333 + 0.250 + 0.167 + 0.125 \\ &= 0.875 \text{ 莫。} \end{aligned}$$

$$R = \frac{1}{0.875} = 1.142 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

1—12. 圓密爾——在英美各種線規表中，圓密爾 (Circular mil) 為導線之截面積之標準單位。

英文中之 Milli, 中文譯為「毫」, 其意俱為一千分之一; 例如, 1 毫伏 (Millivolt) = 一千分之一伏特 (0.001 伏) 一密爾 (Mil) 為一英寸之一千分之一 (0.001 吋)。一平方密爾為每邊長一密爾之正方形之面積, 如第 1.7 圖

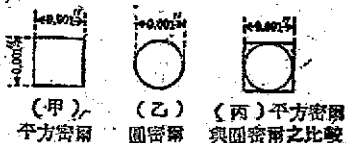


圖 1.7 平方密爾與圓密爾

(甲) 所示者。一平方密爾之面積相當於 $0.001 \times 0.001 = 0.000001$ 方吋。

一圓密爾為一直徑等於 1 密爾之圓之面積, 見第 1.7 圖(乙), 英文中通常簡寫 C.M. 或 Cir. mil. 從第 1.7 圖(丙), 可見一圓密爾較一平方密爾之面積為小。

$$\text{一圓密爾之面積} = (\pi/4)(0.001)^2 = 0.0000007854 \text{ 方吋。}$$

圓密爾係量度導線與電纜截面積之單位, 猶之方呎用為量度較大面積之單位, 如地板, 土地等。用圓密爾為量度圓面積之單位, 則計算圓之面積時, 可直接由其直徑之平方算出, 毋需計入 π 一數, 計算簡便, 乃其優點。

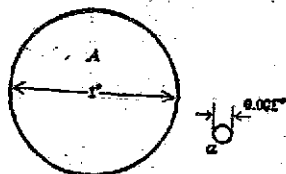


圖 1.8 截面積以圓密爾表示

如第 1.8 圖, A 代表一直徑為 1 吋之導線之截面積。今需求其

截面積而以圓密爾表示之。

$$A \text{ 之面積} = \frac{\pi}{4} (1)^2 \text{ 方吋,}$$

$$\text{一圓密爾 } a \text{ 之面積} = \frac{\pi}{4} (0.001)^2 \text{ 方吋,}$$

$$\frac{A}{a} \text{ 之比顯即面積 } A \text{ 之圓密爾數。}$$

故

$$\frac{A}{a} = \frac{\frac{\pi}{4} (1)^2}{\frac{\pi}{4} (0.001)^2} = 1,000,000 \text{ 圓密爾。}$$

圓密爾與直徑之關係，可以下列通則表之：

$$\text{圓密爾數} = \frac{D_1^2}{(0.001)^2} = 1,000,000 (D_1)^2 = D^2 \quad (1.11)$$

式中 D_1 為線直徑之時數； D 為線直徑之密爾數。

凡上所述，可以歸納而得下列二定則：

如一實心導線之直徑為已知量，先化直徑為密爾數，然後平方之，則得該線截面積之圓密爾數。

如一實心導線截面積之圓密爾數為已知量，開方之，則得該線直徑之密爾數，除以 1,000，得直徑之時數。

【例題 1.8】美規 00 號銅線之直徑為 0.3648 吋。求其圓密爾數。

【解】 0.3648 吋 = 364.8 密爾，

$$(364.8)^2 = 133,100 \text{ 圓密爾。} \quad (\text{答})$$

【例題 1.9】某線之截面積為 52,640 圓密爾。求其直徑。

【解】 $\sqrt{52,640} = 229.4 \text{ 密爾} = 0.2294 \text{ 吋} \quad (\text{答})$

1-13. 圓密爾呎 —— 在呎磅單位制(英國制)中，電阻係數另一便利的單位，為每圓密爾呎 (Circular-mil-foot) 之電阻量。此即截面積為一圓密爾，長度為一呎之導線之電阻，如第 1.9 圖所

示者。

一圓密爾吋之銅，在 20°C 時，其
 電阻爲 10.37 歐。(在實際應用上，此電
 阻值常可當作 10 歐。) 已知此電阻係數，任何長度與面積之導線之
 電阻即可引用第 1.1 式求得。

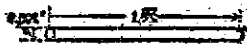


圖 1.9 圓密爾吋

【例題 1.10】 求—750,000 圓密爾銅電纜之電阻，其長度爲 2,500 呎。

【解】 若此電纜之截面積爲 1 圓密爾，其電阻將爲 $2,500 \times 10.37 = 25,900$
 歐。今其截面積爲 750,000 圓密爾，故，

$$R = \frac{25,900}{750,000} = 0.0346 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

或直接引用第 1.1 式，

$$R = 10.37 \frac{2,500}{750,000} = 0.0346 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

引用第 1.1 式時， L 須以呎計， A 須以圓密爾計。

1—14. 圓密爾吋——圓密爾吋 (Circular-mil-inch) 亦爲電阻
 係數之極便利的單位，尤以用在線卷 (Coils) 與卷組 (Windings)
 時爲然。此種線卷往往運用至一溫度，使電阻係數增至約爲每圓
 密爾吋 12 歐，或每圓密爾吋 1 歐。(在 60°C 之溫度即得此電阻係
 數)。由是銅導體之電阻係數可以下式表之。

$$R = l \frac{1}{\text{圓密爾數}}$$

該式中之 l 以吋計，即，

在 60°C 左右銅導體之電阻等於長度之時數除以截面積之圓
 密爾數。

【例題 1.11】 某一圓柱形電磁鐵之線卷，其內直徑爲 6 吋，外直徑爲 9 吋，
 長度爲 4 吋，以十四號雙層紗包線 (D.C.C. Wire) 繞 1,000 匝，線之截面積
 爲 4,110 圓密爾。設此線之電阻爲每圓密爾吋 1 歐，求該線卷之電阻。

【解】 每匝之平均長度爲 $\pi \frac{9+6}{2} = \pi 7.5 = 23.6$ 吋，

銅線之總長度 $1,000 \times 23.6 = 23,600$ 吋。

$$\text{電阻 } R = \frac{23,600}{4,110} = 5.74 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

1—15. 銅之電阻係數——銅之電導係數之標準，初皆根據墨仙生 (Matthiessen) 氏，於 1862 年就其所認為之純銅，作精密量度所得之結果定之。墨氏測得銅之電阻係數在 0°C 為每厘米正立方體 1.594 微歐。鑒於墨氏所用銅之品質，不甚可靠，美國標準局 (Bureau of Standards) 曾就商用銅作多次之量度。該局建議銅之電阻係數標準，在 20°C 時應為每米克 0.15328 歐，此值後復於 1913 年 9 月 1 至 6 日國際電工技術委員會 (International Electrotechnical Commission) 在柏林開會時，予以承認。由是即稱為國際軔煉銅標準 (International Annealed Copper Standard)，各國俱採用為軔煉銅之電阻係數。按米克標準為一質量電阻係數 (Mass resistivity)，等於長 1 米重 1 克之均勻的軔煉銅線之電阻。銅之密度之國際標準，在 20°C 時為每厘米正立方體 8.89 克，相當每立方吋 0.3212 磅。國際軔煉銅標準在 20°C 之電阻係數，如以不同單位表之，有如下列：

0.1538 歐 (米克)

875.20 歐 (哩磅)

1.7241 微歐 (厘米正立方體)

0.67879 微歐 (吋正立方體)

10.371 歐 (圓密爾呎)

0.017241 歐 (米平方毫米)

商用軔銅之電導係數約為國際標準值之 98%，硬抽銅 (Hard drawn copper) 之電導係數為國際標準值之 96% 至 97%。

(1) 見美國標準局 1914 年刊行之「銅線表」第 31 號單行本。 ("Copper Wire Tables" Cir. 31, Bureau of Standard, 1914.)

1—16. 鋁之電阻係數——鋁對商用導體之應用；其重要僅次於銅（見第 1—24 節）。其體積電導係數為銅之 61%，其質量電導係數則為銅之 200.7%。易言之，以等量及等長比較，鋁之電導約為銅之電導之兩倍。下列者乃以不同單位，表示在 20°C 時鋁之電阻係數。

0.0764 歐 (米克)

436. 歐 (哩磅)

2.828 微歐(厘米正立方體)

1.113 微歐(吋正立方體)

17.01 歐 (圓密爾呎)

鋁之密度為每立方厘米 2.70 克或每立方吋 0.0975 磅。

1—17. 電阻係數之規範——商用銅之電導係數，以往係以第 1—15 節中所示國際軟銅標準電導係數之百分數規定及表示之。其值約為百分之九十八。

美國電機工程師學會 (American Institute of Electrical Engineers 簡稱 A.I.E.E.) 近於其標準書中建議銅之電阻係數⁽¹⁾在 20°C 或 68°F 時，不得大於每磅哩 891.58 歐。

此值倘化作其他單位之相當量，則如下列者：

891.58 歐 (磅哩)等於

0.15614 歐 (米克)

1.75614 微歐(厘米正立方體)

0.69150 微歐(吋正立方體)

10.565 歐 (圓密爾呎)

【例題 1.12】美規 000 號銅棒，直徑為 10.40 毫米，今量度其相距 106.8

(1) 美國電機工程師學會標準書，第 61 號「軟銅線或軟銅線之規範」，1927 年 12 月 16 日採用。

厘米兩點間之電阻，得 0.0002193 歐。求(甲)此銅每厘米正立方體之電阻係數。(乙)問是否適合 A. I. E. E. 標準？(丙)此銅每哩歐之重量。

【解】(甲)由第 1.1 式，

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

$$= 0.0002193 \frac{(\pi/4)(1.040)^2}{106.8} = 1.746 \times 10^{-6} \text{ 歐(厘米正立方體)}.$$

(乙)此值之電阻係數小於 A. I. E. E. 之規範。

(丙)由第 1.2 式， $V = \rho \frac{L^2}{R}$ ，故一厘米正立方體銅之體積為

$$V_1 = \rho \frac{l^2}{R} = 1 \text{ 立方厘米}$$

一哩等於 $2.54 \times 12 \times 5,280 = 161,000$ 厘米。故一哩歐此銅之體積為

$$V_2 = \rho \frac{(161,000)^2}{1} \text{ 立方厘米}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\rho \frac{(161,000)^2}{1}}{\rho \frac{l^2}{R}}$$

$$\therefore V_2 = 1 \frac{(161,000)^2}{1/1.746 \times 10^{-6}} = (161)^2 (1.746) = 45,200 \text{ 立方厘米}$$

已知每厘米正立方體之銅重 8.89 克，1 仟克等於 2.20 磅，故一哩歐之銅重 $45,200 \times 8.89 \times 10^{-3} \times 2.20 = 884$ 磅。

(答)

此值較 A. I. E. E. 標準略小，因此種銅之電阻係數較小也。

1-13. 電阻器之材料及合金——電阻元件(Resistor)係供插入電阻於一電路中之用，其所用材料之品質，視其用途而定。其用於電爐，電灶，或電烘器等發熱器具中者，必須有應付高溫度之特性，應具有高值電阻係數，高熔點，並能抵抗高溫時之氧化作用。其用於電機磁場用變阻器(Rheostat)及控制器者，不若用於發熱器具中者之運用於高溫度，其腐蝕及剝落之機會甚少，而以長久壽命及過載容量(Overload capacity)為首要。其用於量電儀器中者，如安培計用分流器(見第 5-3 節)或伏特計用倍加器(見第 5-8

節)，雖應用時之溫度不甚高，但電阻之溫度係數必需極小，俾儀器上之記錄，不致因溫度而有顯著之變化。

最初採用之電阻元件合金，一種為德銀 (German silver)，或稱銀銀 (Nickel silver)，由不同比例之銅，銀及鋅所合成。此合金通常以銀之成分為類別：如百分之十八合金即含銀量百分之十八，其電阻係數約為銅之電阻係數之十八倍；百分之三十合金約為廿八倍。德銀之電阻溫度係數甚高。錳銅 (Manganin) 為銅與錳之合金，含銅 65%，亞鐵化錳 30%，銀 5%。其電阻溫度係數甚低，故儀器用之倍加器及分流器等多用之。鐵銀合金之電阻係數甚高，然其抵抗腐蝕之能力則不若鎳銀合金遠甚。銅銀合金之電阻係數為銅之電阻係數之十倍以至三十倍，故用作電阻元件材料，甚為普遍。鎳銀合金，例如『鎳銀』 (Nichrome) 之電阻係數達銅之電阻係數之六十以至七十倍，故電阻元件材料之特需高電阻係數者多用之；再者其熔點亦甚高，且能抵抗高溫度時之氧化作用，故宜於以銀之形式用於各種電熱裝置如家用電器及電爐等。鐵銀及鎳鐵亦有用作電阻元件者，如鎳鐵柵 (Castiron grid) 常用為啓動電阻及控制電阻。附錄七示各種常用金屬及電阻元件合金之電的性質。

1—19. 電阻之溫度係數——銅及其他非合金質金屬之電阻往往隨溫度有顯著的增加。導體運用之溫度既係隨電流而變動，與環境溫度 (Ambient temperature) 又復有關。例如電機在運用時之溫度，必然高於周圍介質之溫度，因此機之溫度，可藉量度其電阻求之。且若干電的裝置，如電銀電纜，白熾燈之燈絲，電阻器之導銀等，其溫度俱係在運用時有增加者。故電阻與溫度間關係之確定，實甚重要。

電阻與溫度之關係，可以下式表之。

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (1.12)$$

式中 R_t 為在溫度 $t^{\circ}\text{C}$ 時之電阻, R_0 為在 0°C 時之電阻, α 為 0°C 時之電阻溫度係數 (Temperature coefficient of resistance)。銅之 α 值為 0.00427, 大多非合金質金屬之 α 值亦相近似 (鉛之 α 值為 0.0039)。其意蓋即溫度每較 0°C 增加攝氏一度, 銅之電阻即須增加 0.427%。例如一線卷在 0°C 之電阻為 100 歐, 倘溫度增加一度, 線卷電阻將增加

$$100 \times 0.00427 \text{ 歐或 } 0.427 \text{ 歐。}$$

在 40°C , 增加之電阻為 $40 \times 0.427 = 17.08$ 歐, 故線卷在 40°C 時之電阻值將為 $100 + 17.08 = 117.08$ 歐。

如已知之電阻, 係在 0°C 以外之任何溫度者, 應先求出在 0°C 之電阻如下列第 (1.13) 式所示者, 然後用第 1.12 式算出在其他溫度時之電阻。

$$R_0 = \frac{R_t}{1 + \alpha t} \quad (1.13)$$

【例題 1.13】一電磁鐵線卷之電阻在 20°C 時為 30 歐。求其在 80°C 時之電阻。

【解】 在 0°C 時之電阻

$$R_0 = \frac{30}{1 + (0.00427 \times 20)} = \frac{30}{1.085} = 27.65 \text{ 歐。}$$

在 80°C 時之電阻

$$R_{80} = 27.65 [1 + (0.00427 \times 80)] = 37.11 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

此種反求在 0°C 時電阻之步驟, 頗為不便, 但此為基本算法, 且易記憶。不過在任何初溫度之溫度係數亦可用下法決定之。

設 R_1 及 R_2 各為在溫度 t_1 及 t_2 時之電阻。則

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1), \quad (I)$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2). \quad (II)$$

以第 I 式及第 II 式合併解之, 得

$$R_2 = R_1 \frac{(1 + \alpha t_2)}{(1 + \alpha t_1)} = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)] \quad (III)$$

式中 α_1 為在初溫度 t_1 時之溫度係數。解第 III 式求 α_1 。

$$\frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} - 1 = \alpha_1 (t_2 - t_1)。$$

解之，得

$$\alpha_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + t_1} \quad (1.14)$$

如銅之 α 值為 0.00427, $1/\alpha = 234.5$,

則 $\alpha_1 = \frac{1}{234.5 + t_1}$, 亦易記憶。

例如, $\alpha_{40} = 1/274.5 = 0.00364$ (見下表)。

下表列舉在不同初溫度下之溫度係數。應用此表，溫度係數習題即簡單化。

銅在不同初溫度下之溫度係數

[從公式 $1/(234.5 + t)$, 見第 1.14 式]

初溫度(攝氏溫度)	每升高 1°C 電阻增加的成分
0	.00427
5	.00418
10	.00409
15	.00401
20	.00393
25	.00385
30	.00378
35	.00371
40	.00364
45	.00358
50	.00352

【例題 1.14】用溫度係數表，重算例題 1.13。

【解】查上表，銅在初溫度 20°C 時之溫度係數為 0.00393 。溫度升高 $=80^{\circ}-20^{\circ}=60^{\circ}$ 。

故在 80°C 時之電阻為 $R_{80}=R_{20}[1+\alpha_{20}(80-20)]$ 。

即 $R_{80}=30(1+0.00393\times 60)=37.07$ 歐。 (答)

1—20. 推測的零電阻——以常遇的溫度（攝氏度數）為橫坐標，以在此種溫度銅之電阻為縱坐標，作一圖，所得之曲線，實際上

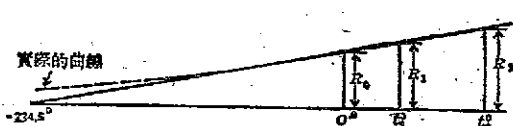


圖 1.10 電阻隨溫度而變化之情形

為一直線，表示電阻與溫度成正比。若延長此線，則將與零電阻線相

交於 $t = -234.5^{\circ}\text{C}$ 處，如第 1.10 圖所示者。其意義即謂在常遇的溫度限度內，銅似若在 -234.5°C 時，其電阻即降低為零者。（實際上此曲線在特低溫度時，即離開直線形，如第 1.10 圖之虛線所示者。）此亦決定溫度與電阻關係之便利方法也。故 -234.5°C 為推測的零電阻 (Inferred zero resistance) 之溫度。

根據相似三角形之定律 (第 1.10 圖)，

$$\frac{R_0}{234.5^{\circ}} = \frac{R_1}{234.5^{\circ} + t_1}, \quad (1.15)$$

$$\frac{R_1}{234.5^{\circ} + t_1} = \frac{R_2}{234.5^{\circ} + t_2}. \quad (1.16)$$

應用第 1.16 式以解第 1—19 節之例題，

$$\frac{30}{234.5^{\circ} + 20^{\circ}} = \frac{R_{80}}{234.5^{\circ} + 80^{\circ}}$$

$$R_{80} = 30 \frac{234.5^{\circ} + 80^{\circ}}{234.5^{\circ} + 20^{\circ}} = 30 \frac{314.5^{\circ}}{254.5^{\circ}} = 37.07 \text{ 歐。 (答)}$$

1-21. 美國線規——在美國線規(American Wire Gauge 簡稱美規A.W.G.,以前稱白郎與夏普線規Brown & Sharp Gage)表中,接連的兩號數之直徑間,有一固定比率;易言之,各順次號數之直徑,成一幾何級數。第0000號線之直徑定為0.4600吋(1.168厘米),第36號線之直徑定為0.0050吋(0.0127厘米)。第0000號與第36號間共有三十八個號數。故某號線之直徑對於較大一號線之直徑之比必為

$$\sqrt[39]{\frac{0.4600}{0.0050}} = \sqrt[39]{92} = 1.123$$

此比率1.123之六乘方為2.005,故某號線對於較大六號線之直徑之比約為2。

因截面積與直徑之平方成比例。1.123之平方為1.261,故某號線之截面積,對於相差一號之線之直徑之比應為1.261或1/1.261。1.261之平方為1.590,故某號線之截面積,對於相差兩號之線之截面積之比,約為1.60或1/1.60。由此類推,1.26之三乘方為2.005,故每相差三個號數之二線之截面積之比,約為一倍,或為一半。而每相差10個號數之二線之截面積之比,約為1.26¹⁰即10倍或1/10。

實心銅線美國線規表見附錄四。另有絞纜(Stranded cable)之線規表見附錄五。

1-22. 美國線規之近似值——10號線之直徑為0.102吋(即0.259厘米),截面積為10,400圓密爾。取近似值直徑可視作0.10吋(0.254厘米),截面積可視作10,000圓密爾。

且因1,000呎長第10號銅線之重量為31.4(10 π)磅,在25°C時,其電阻為1.02歐,故可定求近似值之定則如下:—

- (1) 第10號線之直徑為0.1吋,每1,000呎之電阻為一歐。
- (2) 線規號每增加三數,線之電阻增加一倍。

(3) 線規號每增加一數，線之電阻即增加至 $\sqrt[3]{2}=1.26$ ，或約計 1.4 倍；每增加二數，線之電阻即增加至 $(1.26)^2=1.6$ 倍。

(4) 以某號線之電阻乘或除以 10，即得相差十號之線之電阻。

(5) 1,000 呎長 10 號銅線之重量為 31.4 磅，1,000 呎 2 號銅線之重量為 200 磅。重量與電阻成反比。

應用此數定則可求任何線規數之重量或電阻，異常簡便，毋需查閱線規表。

【例題 1.15】求 1,000 呎第 0000 號銅線之電阻及重量。

【解】1,000 呎長銅線之電阻隨線規號數依下列關係而減少。

線規號 10 7 4 1 000

電 阻 1 0.5 0.25 0.125 0.0625 (定則 1 及 2)

0000 號線之電阻 = $0.0625 / 1.26 = 0.050$ 歐 (定則 3) (答)

1,000 呎 2 號線之重量 = 200 磅，

1,000 呎 00 號線之重量 = 400 磅，

1,000 呎 0000 號線之重量 = $400 \times 1.6 = 640$ 磅。(定則 5, 2, 及 3) (答)

上例倘用定則 4 求解，更為迅速。

1,000 呎 10 號線之電阻 = 1 歐，

1,000 呎 0 號線之電阻 = 0.1 歐，(定則 4)

1,000 呎 0000 號線之電阻 = 0.050 歐。(定則 2)

【例題 1.16】求 1,800 呎 34 號銅線之電阻及重量。

【解】1,000 呎 10 號線之電阻 = 1 歐，(定則 1)

1,000 呎 20 號線之電阻 = 10 歐，(定則 4)

1,000 呎 30 號線之電阻 = 100 歐，(定則 4)

1,000 呎 33 號線之電阻 = 200 歐，(定則 2)

1,000 呎 34 號線之電阻 = 250 歐。(定則 3)

$1.8 \times 250 = 450$ 歐。

(答)

1,000 呎 10 號線之重量 = 31.4 磅，(定則 5)

1,000 呎 20 號線之重量 = 3.14 磅, (定則 4 及 5)

1,000 呎 30 號線之重量 = 0.814 磅, (定則 4 及 6)

1,000 呎 33 號線之重量 = 0.157 磅, (定則 2 及 6)

1,000 呎 34 號線之重量 = $0.157 / 1.25 = 0.126$ 磅, (定則 3 及 5)

$1.8 \times 0.126 = 0.227$ 磅。 (答)

1—23. 絞纜——實心銅線之截面積大於第 0000 號者, 實際上極少應用, 蓋剛性(Rigidity)太大, 不易彎曲也。故如需用截面積較大之銅線, 輒以數根截面積較小之線, 絞成纜狀, 俾得柔順性(Flexibility)。即截面積較小之銅線, 為適合某數種用途起見, 亦往往絞製, 使有較大之柔順性。(燈用線繩及便攜裝置之線繩 Cord, 俱為優良之例。)

此種絞纜之製法如下:

六根線適可圍繞一根中心線。每加一層, 再加六根線, 可填滿此層。如第一層有六根線, 第二層有十二根線, 第三層即有十八根線, 餘類推, 如第 1.11 圖所示。故標準電纜所含絞線之數目為 1—7—19—37—61—91—127—。有時為求更大之柔順性, 可以數根絞成一股, 再以數股互絞之。

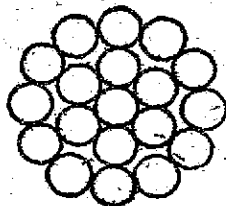


圖 1.11 十九根絞線電纜

線之粗於第 0000 號者, 不以線規號數命名, 而以其圓密爾數命名。其大小係以自 250,000 圓密爾起, 每隔一號, 加 50,000 圓密爾為標準。附錄五示銅線絞纜之性質。絞纜最外一層之直徑, 顯然較大於一根截面積相等之實心圓柱形導體之直徑。

1—24. 導體——銀之導電性雖較銅為佳, 然以其價昂, 用作導體者極為有限。惟在需要一種精緻而具有特高導電性之材料時, 偶或用之; 如瓦特小時計之電刷中, 以及其轉換器中亦間或用之。銅

之電導係數既高，價又適中，用作導體，較之其他材料，最為普遍。而其延性(Ductility)之佳，抗張強度(Tensile strength)之高，不易擦壞，不受空氣之腐蝕，便於銲接，俱為銅之優點，為他種材料所不及者。

鉛之電導係數僅為銅之電導係數之百分之六十一，然就同長同重而比較，則其電導係數為銅之兩倍。鉛較銅為軟，抗張強度較低，不易銲接。暴露空氣之中，不受影響。就定值之電導而論，所需之鉛較銅之直徑為大，倘再加絕緣套，則形式更大，故其用途因此受有限制。然因其質量之輕，及直徑之大，(因電暈現象關係，見第10—20節)對於高壓輸電線，俱成優點，故應用最多。低電壓匯流排間有採用之者，因其輻射面較之同電導值之銅質者為大也。

鐵與鋼之電阻，約為同截面積及同長之銅之電阻之九倍。在需用絕緣套時，亦以形式過大，不便採用。尤其線之架於電桿上者，因其重量過大，採用幾不可能。但此類材料用在變阻器之電阻元件及電力鐵道之第三軌，極為合宜。鐵與鋼在應用時，通常皆鍍鋅，或加其他保護外套，以防氧化。銅包鋼線(Copper clad steel 或 Copper weld steel) 係以一鋼線，外塗以或包以一層之銅，經熔接或銲接至鋼者。採用此種導線，則鋼之高抗張強度及銅之高電導係數，可以兼而有之。且銅更能保護鋼，以防腐蝕。其主要用途，為輸電線路(Transmission line)之導體，因在桿距甚大，即每段線路甚長時，需有較高之抗張強度也。輸電線路之架空接址線亦用之。

第二章

歐姆定律及電路

第一章內已述及電為極小量電荷稱為電子者所組成，倘迫使電子循同一方向進行，即成電流。電在電路內流動，與水在水管中流動，頗多相似之處。蓋電之動作，適似一不可壓縮之液體之動作，亦復遭受壓力降低等等，有如以下各節所述者。

2-1. 電之絕對制單位——電之單位，可分為靜電制 (Electrostatic system) 與電磁制 (Electromagnetic system) 兩大基本制度。靜電制單位，係以庫倫氏實驗定律 (Coulomb's experimental law) 為根據 (見第 10—4 節)。此定律謂，置於真空中相距 r 厘米之兩靜電荷 Q_1 及 Q_2 間，互相作用之力為 $Q_1 Q_2 / r^2$ 達因。其他電量之單位，如電流與電勢等，俱可由此簡單關係導出。靜電單位，用於由容電器之幾何圖形計算其電容量 (見第 10—15 節)。又關於電子現象之計算，亦往往用之，因電子本身為微小之電荷也。英文靜電制單位之名稱，往往冠以 Stat 字樣，例如靜電伏特為 statvolt，靜電法拉為 statfarad 等。

厘米秒克 (c.g.s.) 電磁制，或曰絕對制 (Absolute system) 之單位，係以兩磁極間互相作用之力之定律為根據 (見第 6—8 節)。電流之單位，係應用畢奧特-薩伐爾定律 (見第 7—4 節) 而導出者。此定律指示導體中之電流與該電流作用於一單位磁極之力之關係，其詳情當於第七章內論之。根據第 7.6 式，如將一載有電流 I 電磁安之導體，彎成半徑 1 厘米，長 1 厘米之圓弧，置一單位

磁極於圓弧之心，則作用於磁極上之力為

$$f = I' \text{ 達因。} \quad (2.1)$$

(注意弧兩端之引入線，係為輻射的，如第 2.1 圖，俾電流通過其中

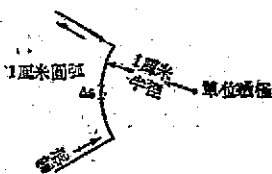


圖 2.1 電流之絕對求法

時，對於磁極，毫無影響)。若調準電流，使單位磁極所受之力為 1 達因，則此電流即為 1 厘米克秒制，或絕對制安培，簡稱電磁安 (G.g.s. or absolute ampere, abampere)。此單位制中之其他單位，皆可由上述電流單位演變

而得。例如，電量 (Electric quantity, Q)，等於電流與時間之乘積之類。此厘米克秒電磁制單位，通用於電磁學計算中 (見第八章)。此制亦為實用制單位之基礎 (第 2-2 節)。英文電磁制單位名稱，往往冠以 *ab*，或 *abs* 字樣，例如電磁安培為 Abampere，電磁伏特為 Abvolt 等。

2-2. 電之實用制單位——絕對電磁制所用之單位，恆小於實際上所用者。例如一電磁伏特僅為一實用伏特之 $1/100,000,000$ ，或 10^{-8} 。實用單位制 (Practical system of unit) 單位值之大小，為實用方面所常遇到之數值，仍溯源於絕對制者，所不同者，僅在一定之比率而已。例如，一實用安培等於一電磁安培之十分之一，一實用歐姆為一電磁歐姆之 10^9 倍，一實用亨利 (Henry) 等於一電磁亨利 (Abhenry) 之 10^9 倍等。

(1) 電流——電流之實用單位為安培 (Ampere)，簡稱安，其值

(1) 安培，安特利，馬利 (Ampere, Andre, Marie, 1775—1836) 為法國科學家。幼年對數學及科學即有濃厚之興趣。1801 年在包爾格 (Bourg) 物理及化學教授，1804 年在里昂 (Lyons) 萊錫 (Lycee) 大學之理化教授。1809 年改任依庫爾工專 (Ecole Polytechnic) 之數學教授，嗣又改任法國學院 (College de France) 教職。氏最大

等於電磁安之十分之一，已見第 2—1 節。然用實驗量度電流作用於一單位磁極之力，而後決定此電流之值，至為困難。故必另用較切實際之法，其所獲結果，仍期其與上述基本原則相符合。在 1894 年國際電工技術委員會決定安培之界說如下：

電流之單位，應為所謂『國際安培』(International ampere)，其值為厘米克秒電磁制電流單位之十分之一，而在實際上相當於某恒定之電流值，當其流過一根據標準規範磨製成之硝酸銀溶液時，每秒鐘能澱積 0.001118 克之銀。

應予注意者，安培為電量流動之速度，其單位為每秒若干庫，與水力學中水流之速度，每秒若干立方呎者相似。

(2) 電量—電量之實用單位為庫侖⁽¹⁾ (Coulomb)，簡稱庫。此即一安之電流通過導體時，一秒鐘內所運輸之電量。電量與水力學中之水量相似，若干庫之電量，猶之若干立方呎或若干加侖之水量。從電量之定義，可見若不用安培為電流之單位，亦可用每秒庫侖數表示之。

(3) 電位差及電動勢 (Electromotive force)—電位差之實用單位為伏特⁽²⁾ (Volt)，簡稱伏。兩點間電位差之伏特數，即欲移動一單位電量(即一庫)，自一點至另一點所需之功之焦耳 (Joule)

貢獻，為確立電與磁之關係，其所成就者，遠較奧斯特氏為完備。氏所啓發之數學理論，不獨就其觀察所得電流與磁場之關係，予以充分解釋；且預示若干新的關係，為後世所遵循。

(1) 庫侖，查理士·安 (Coulomb, Charles, A, 1736—1806) 為法國哲學家。初從事於軍事工程，嗣乃對於科學，發生興趣。氏因對力學及電學之研究，名乃漸彰。其精確扭秤之製造，及其對於磁極間與電荷間互施引拒力定律之規定，當為氏一生最有價值之貢獻。

(2) 伏爾達，亞歷山德羅 (Volta, Alessandro, 1745—1827) 為義大利之物理學家，乃電學之前輩也。1774 年任考恩 (Como) 高等學校之物理學教授，1779 年在巴維亞

數。電位差與電動勢(簡稱電勢)均有產生電流之趨向,其單位同爲伏特。凡施於一歐電阻之兩端而能產生一安電流之電位差,卽爲一伏特。

近代對於『國際伏特』(International volt)所定之標準界說,爲一標準衛斯吞電池(Weston standard cell)之電壓之 $1/1.01830$; (參看第4—11節)。

電位差可以機械學中之壓力比喻之。水管兩端之水壓差致生水流,堤壩後之水壓能使水流過開洞或任何縫隙。鍋爐中之蒸汽壓力能使蒸汽流過汽管,活戶等。同理,電之壓力或電位差能使電流流過導體。

(4) 電阻—電阻之單位爲歐姆,簡稱歐。此卽受有一伏之電位差,而能容許一安電流通過之電阻值,已見第1—4節。『國際歐姆』(International ohm)之專門界說,爲在冰之熔點時,一個質量爲14.4521克,長度爲106.300厘米,具有恆定截面積之汞柱之電阻。

2—3. 絕對電位 —— 一物體在厘米克秒制單位之絕對電位(Absolute potential),爲載送一厘米克秒制單位電荷,自無窮遠至此物體所需之功之爾格(Erg)數。然決定一物體之絕對電位,實不可能。例如大地之絕對電位,雖其近似值至今亦無從確定。然爲便利起見,假定大地爲零電位,而一物體之電位,則與大地之電位

(Pavia)任同一職務。氏在電學方面,最早之著名貢獻,爲其在1775年所發明之起電盤(Electrophons)。1782年氏應用容電器接於驗電器(Electroscope)之兩端,使驗電器之靈敏度大爲增加。雖然,氏之最偉大之貢獻,當推其在1799年時發明之電堆(Galvanic pile)。氏表現兩不同金屬,若皆與電解液相接觸,則有電勢存在,此現象實爲各種電池之基礎。氏亦爲辨別金屬傳導與電解傳導之第一人,因氏所供獻之法,價值之高,曾獲得各種獎章及其他榮譽。

比較之。

絕對電位，僅偶或用之，通常所欲知者，厥唯兩點間之電位差。在厘米克秒制單位中，兩點間之電位差，為欲輸送一厘米克秒制單位之電荷，自一點至他點所需之功之爾格數。其實用制單位之界說，已見第 2-2 節第(3)段，不再贅述。

2-4. 電之流動之本質 —— 電路中電之流動與水管系統中水之流動，相似之點頗多。例如第 2.2 圖中，水進入機械策動之離心抽水機(Centrifugal pump)，其壓力較 h_0 線所表示之零點壓力高 h_1 單位(以汞柱之高度表示之)。由於抽水機葉片之作用，經過抽水機之水之壓力即由 h_1 增高至 h_2 ，其淨增加為 $h_2-h_1=H_1$ 。水乃沿水管 F_1 而流至水動機(Hydraulic motor) W 。水管 F_1 中因有摩擦損失，故在水動機一端之壓力較 h_2 略低。換言之，壓力 h_2-h_3 即用以克服水管 F_1 中之摩擦阻力者。水管各點之壓力，均勻地降低，如 ab 線所示。

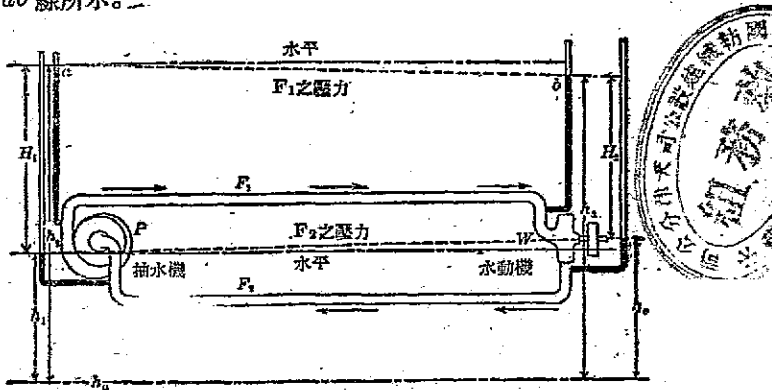


圖2.2 經過水動機及給水系統之水流

在第 2.3 圖中，電流進入機械策動之發電機 G 之負端，而發電機將電流之電位由 v_1 提高至 v_2 。 v_1 及 v_2 俱係假定大地為零電位而

量得者(各種電壓係用伏特計 v_1, v_2 等量度者);發電機提高此部份電路之電位自 v_1 至 v_2 , 使電壓之淨增加為 $v_2 - v_1 = V_1$ 。電流於是沿出線 (Outgoing wire) L_1 達電動機 M 之正端。因導線中電阻之存在, 致電位由發電機端之 v_2 降落至電動機端之 v_3 , 與水壓經水管 F 而降落者相似。克服出線 L_1 之電阻所需之電壓為 $v_2 - v_3$ 。沿線路各點之實在電壓以 $a'b'$ 線表示之, 其距大地電位基準線之距離即與各點之電壓成正比。電壓之降落, 亦為均勻的。

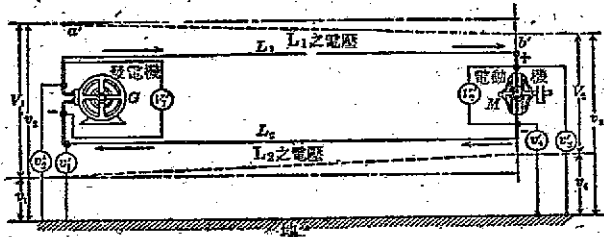


圖2.3 經過電動機及饋電系統之電流

在第 2.2 圖中, 水進入水動機 W_1 , 須克服旋轉葉片之反壓力, 故水壓又由 h_3 降落至 h_4 , 其淨降落 $H_2 = h_3 - h_4$, 壓力 h_4 又必須較大於 h_1 , 俾水可經由水管 F_2 流返抽水機。壓力 $h_4 - h_1$ 為克服水管 F_2 中摩擦阻力之用。尤須注意者, 水動機兩端之淨壓力 H_2 , 較之抽水機兩端之淨壓力為小, 其差額即克服水管 F_1 及 F_2 之摩擦力所需壓力之總和也。

同理, 電流經過電動機後, 其電位, 亦自 v_3 降落至 v_4 , 此電壓之淨降落為 V_2 。其大部份係用以克服電動機之反電勢。且 v_4 必須大於 v_1 , 庶電流能沿回線 (Return wire) L_2 , 流回發電機之負端。亦須注意者, 電動機兩端之淨電位差 V_2 , 較之發電機兩端之電位差 V_1 為小, 其差額即由於出線及回線上電阻所致之電位降也。

故電位差, 相當於電流之壓力, 能致使電流在電路中流動者;

電流即每秒流動之電量。電位差可以存在而無電流產生。猶之鍋爐中可以有極高蒸汽壓力而無蒸汽流動，蓋所有活門均關閉也。同理，發電機之兩端(第 2.4 圖)，可以有極高之電位差存在，但因開關(Switch)未關合，以致無電流流動。

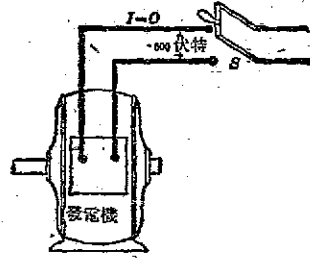


圖 2.4. 有電位差存在而無電流之情形

2-5. 電位差——兩點之間電流能否流動，須視兩點間有無電位差而定，已如第 2.2 圖所示，更可證之於第 2.5 圖。

一大蓄水池與一水櫃間，以一水管相接。二者之水位相同。二者各有壓力，但

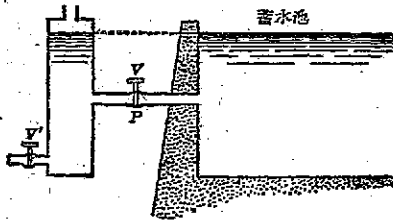


圖 2.5 在同一水位之水櫃及蓄水池

無壓力差存在。在此等情形之下，雖開啓活門，管中無水流動。然若開啓活門 V' ，使水櫃之水位低落，則與蓄水池間即有壓力差存在，水乃由蓄水池流向水櫃。

第 2.6 圖示二組電池 A_1 及 A_2 ，其電勢各為 2 伏。 A_1 正端 a 之電位較其負端高出 +2 伏； A_2 正端 b 之電位亦較其負端高出 +2 伏。兩電池之負端間，用一銅線相接，並無電流通過。此表示兩負端係在同一電位，銅線兩端間無電位差存在。是以 a 及 b 兩點之電位

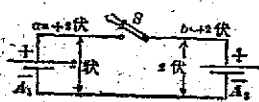


圖 2.6 電勢相等之兩電池

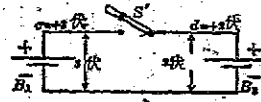


圖 2.7 電勢不相等之兩電池

亦必同為+2伏。今若關合開關 S ，因 ab 間無電位差存在，故無電流通過。此與第2.5圖中水櫃與蓄水池在同一水位之情形相似。

第2.7圖中電池 B_1 之電勢為3伏，故其正端 c 之電位較其負端高3伏。電池 B_2 之電勢為2伏，故其正端 d 之電位較其負端高出2伏。電池之兩負端相接，其電位相等。假定此電位為零，則 c 點之電位較 d 點之電位高 $3-2=1$ 伏。今若關合開關 S' ，因 c 點電位高於 d 點，即有電流自 c 流至 d 。此與第2.5圖中水櫃水位低於蓄水池者相似。

2-6. 電壓及電流之量度——電壓或電位差通常以伏特計量度之。絕對電位實際上極少應用，電位差則為常用者。今欲量兩

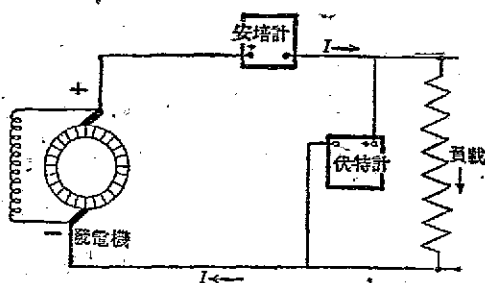


圖2.8 連接伏特計及安培計之正確方法

導線間之電位差，伏特計必須跨接於兩線端或接於兩線之間。第2.8圖示一分激發電機經由電阻極微可以從略之導線，輸送電能至一電阻負載(Load)

之情形。伏特計所量者為負載端間之電位差，若除去安培計之極小電位降，則所量得者即發電機兩端間之電位差。

電流之量度，通常以安培計為之。電流既係每秒鐘經過線路之電量，安培計之接法，必須使所量電流能通過之。其法係切斷線路中之一線，以安培計插接於其間。猶之量水流時，以水表插於水管中者相似。既作此聯接，則經過線路之電流，可由安培計量度之。第2.8圖示與發電機相串聯之安培計，所量者為發電機輸出之電流。嚴格言之，安培計所量者，為負載及伏特計二電流之合量。但伏特

計之電流，往往極小，可略而不計，故安培計之讀數，即可視作負載電流(Load current)。

安培計絕對不能與線路相並聯。

安培計之電阻極小。縱使跨接於低電壓，其所載電流，往往數十倍於其額定值。輕則指針彎折，重則儀器燒毀。例如定額為 10 安之儀器，其電阻約為 0.005 歐。其跨接之電壓雖僅 10 伏，但其所載電流即為 $10/0.005$ 或 2,000 安。此強電流非將儀器燒毀不可。

2-7. 歐姆定律——歐姆定律(Ohm's law) 述，就穩定之電流而言，電路中電流之大小，與作用於該電路內之總電勢成正比，與電路內之總電阻成反比。若電流 I 以安培計，電勢 E 以伏特計，電阻 R 以歐姆計，則此定律可以下式表之：

$$I = \frac{E}{R} \quad (2.1)$$

換言之，電路中電流之安培數，等於電路中總電勢之伏特數，除以電路中總電阻之歐姆數。電壓可以英文字母 V 或 E 表之，通常 V 指端電壓(Terminal voltage)， E 指電勢或應電勢(Induced Emf)。

【例題 2.1】分激式電動機中，場線卷之電阻為 30 歐。如以之接於 115 伏之電源，求場電路之電流。

$$\begin{aligned} \text{【解】} \quad I &= \frac{E}{R} = \frac{115}{30} \\ &= 3.83 \text{ 安, (答)} \end{aligned}$$

【例題 2.2】第 2.9 圖示一簡單串聯電路，包括電勢各為 6 伏及 10 伏之二組電池，與 2 歐及 6 歐之兩電阻。若略去電池組本身之電阻不計，求電路中之電流。

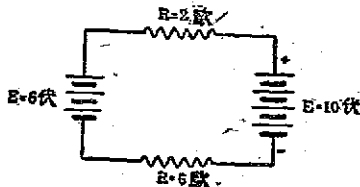


圖 2.9 有二電勢及二電阻之電路中之電流

(1) 安培之符號為 a 或安，伏特之符號為 v 或伏。希臘字母 Ω (阿米加)，則用為歐姆之符號，中文簡稱為歐。

【解】由第 2.9 圖可見 6 伏電池組使電流循時針方向流動，10 伏電池組則產生反時針方向之電流。此二電池之電勢相反，其淨電勢為 $10 - 6 = 4$ 伏，恰反時針方向而作用。其總電阻為 $6 + 2 = 8$ 歐。依歐姆定律，其電流為

$$I = \frac{10 - 6}{2 + 6} = \frac{4}{8} = 0.5 \text{ 安, 逆時針方向而流動。} \quad (\text{答})$$

第 2.1 式可轉變為下式：

$$E = IR_0 \quad (2.2)$$

意即若電路中任何部份之電流為穩定的，且此部份內並無其他電勢之源，則該部份之電壓等於電流之安數，與電阻歐數之乘積。

【例題 2.3】某分激發電機內場線卷電阻為 48 歐，其變阻器之電阻為 22

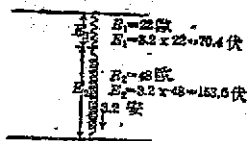


圖 2.10 分激發電機場卷及其變阻器之電位降

歐(參看第 2.10 圖)。若場電流為 3.2 安，求場卷兩端之電壓，變阻器端之電壓，及發電機之端電壓。

【解】 $E_1 =$ 變阻器端之電壓 $= IR_1$

$$= 3.2 \times 22 = 70.4 \text{ 伏,} \quad (\text{答})$$

$$E_2 = \text{場卷端之電壓} = IR_2$$

$$= 3.2 \times 48 = 153.6 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$E = E_1 + E_2 = \text{發電機之端電壓} = 224.0 \text{ 伏,} \quad (\text{答})$$

$$\text{又} \quad E = I(R_1 + R_2) = 3.2 \times 70 = 224.0 \text{ 伏。} \quad (\text{核})$$

再者，若解第 2.1 式求其電阻，則

$$R = \frac{E}{I} \quad (2.3)$$

意即若電路中或電路任何一部之電流為穩定的，且該電路中或該部份中無其他電勢之源，則該電路或該部份之電阻，等於其電壓除以電流。此式在量度電阻方面，甚為有用(見第 5—11 節)。

【例題 2.4】發電機場線卷兩端間之電壓為 220 伏，場電流為 4 安，求場電路之電阻。

$$\text{【解】} \quad R = \frac{E}{I} = \frac{220}{4} = 55 \text{ 歐,} \quad (\text{答})$$

2-8. 串聯電路——在第 1—10 節曾述及，若以數電阻相串聯，其總電阻為各單獨電阻之和。即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (2.4)$$

其電流為

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} \quad (2.5)$$

【例題 2.5】50 歐之替續器 (Delay)，與一 30 歐之電阻管，及一 5 歐之小領示燈 (Pilot lamp) 相串聯。施於電路之電壓為 115 伏，求此替續器電阻中之電流。

【解】
$$I = \frac{115}{50 + 30 + 5} = \frac{115}{85} = 1.35 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

2-9. 並聯電路——在第 1—11 節內曾述及，並聯電路中等效電阻，與其各部份電阻之關係，可以化

電阻為電導而證明之。此關係亦可由歐姆定律證明於後。如第 2.11 圖之電路，三個電阻 R_1 、 R_2 及 R_3 並聯接於電壓 E 。設 I_1 為電阻 R_1 之電流， I_2 為電阻 R_2 之電流， I_3 為電阻 R_3 之電流，依第 (2.1) 式，

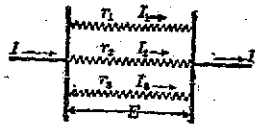


圖 2.11 並聯電路

$$I_1 = \frac{E}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2}, \quad I_3 = \frac{E}{R_3}。$$

其總電流為此三電流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)。$$

令其等效電阻為 R ，庶幾

$$I = \frac{E}{R}。$$

則

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}。 \quad (2.6)$$

換言之，一並聯電路之等效電阻之反數，等於各個電阻之反數之和。若電路中僅含兩個並聯電阻，則

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.7)$$

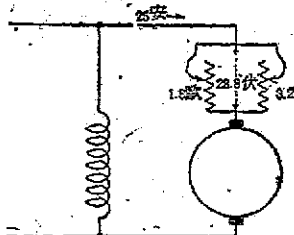


圖 2.12 並聯之電阻器與電動機
極相串聯

【例題 2.6】兩電阻器相並聯後，再與一電動機之電極相串聯（第 2.12 圖）。調準此兩電阻器，使其一之電阻為 3.2 歐，另一之電阻為 1.8 歐。（甲）求與電極串聯之電阻；（乙）若電極之電流為 25 安，求二電阻之壓降。

【解】（甲）用第 2.6 式，

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3.2} + \frac{1}{1.8}$$

$$= 0.312 + 0.556 = 0.868 \text{ 莫,}$$

$$R = \frac{1}{0.868} = 1.152 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

或用第 2.7 式，

$$R = \frac{3.2 \times 1.8}{3.2 + 1.8} = 1.152 \text{ 歐。} \quad (\text{核})$$

$$(\text{乙}) \quad E = 25 \times 1.152 = 28.8 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

【例題 2.7】今有四電阻，其值各為 4, 6, 8 及 10 歐，並聯接於 10 伏電源，求電路內之電流。

$$\text{【解】} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{10} = 0.642 \text{ 莫,}$$

$$I = E \times \frac{1}{R} = 10 \times 0.642 = 6.42 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

式用第 1.10 式解之，得

$$R = \frac{4 \times 6 \times 8 \times 10}{4 \times 6 \times 8 + 6 \times 8 \times 10 + 8 \times 10 \times 4 + 10 \times 4 \times 6} = 1.56 \text{ 歐,}$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{1.56} = 6.42 \text{ 安。} \quad (\text{核})$$

2-10. 並聯電路中電流之分配——在第 2.13 圖中，兩電阻 R_1 ,

及 R_2 並聯接於電壓 E 。於是

$$I_1 = \frac{E}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2},$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E/R_1}{E/R_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

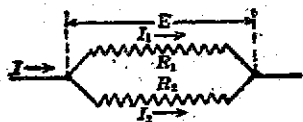


圖 2.13 在並聯電路內兩支路間電流之分配

換言之，在有兩支路之並聯電路內，
其各支路之電流 與其電阻成反比。

然荷任何支路中，有另一電源存在，此關係即不存在。例如一分激電動機轉動之時，電動機樞本身亦產生一電勢，其電流在樞及場卷間之分配，並不依據上式。若 $I = I_1 + I_2$ 總電流，則

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (2.8)$$

【例題 2.8】有電流 12 安，分配於兩並聯支路間，一支路有電阻 8 歐，另一支路有電阻 12 歐。求通過各支路之電流。

【解】令 I_1 為 8 歐支路之電流， I_2 為 12 歐支路之電流，則依第 2.8 式，

$$I_1 = 12 \times \frac{12}{12+8} = 12 \times \frac{12}{20} = 7.2 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$I_2 = 12 \times \frac{8}{12+8} = 12 \times \frac{8}{20} = 4.8 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

其各支路之端電壓為：

$$7.2 \times 8 = 4.8 \times 12 = 57.6 \text{ 伏。}$$

若一電路包括三個電阻 R_1, R_2, R_3 相並聯，其電流之求法如下。

令總電流為 $I = I_1 + I_2 + I_3$ ，令 R 為等效電阻，即兩交點間之電阻(第 2.14 圖)。

令 E 為兩交點間之電壓降，則

$$E = IR,$$

又因
故

$$E = I_1 R_1, \\ IR = I_1 R_1, \quad \frac{I}{I_1} = \frac{R_1}{R}.$$

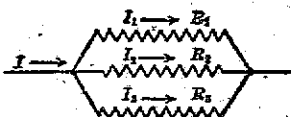


圖 2.14 在並聯電路內三支路間電流之分配

同理,

$$\frac{I}{I_2} = \frac{R_2}{R}, \quad \frac{I}{I_3} = \frac{R_3}{R}。$$

應用第 1.10 式代入上列三式, 得

$$I_1 = I \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (2.9)$$

$$I_2 = I \frac{R_3 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (2.10)$$

$$I_3 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (2.11)$$

(若注意各註字之循環次序, 以上三式更易記憶。)

【例題 2.9】有電流 25 安, 流過以 2.5, 4.0, 及 6.0 歐三電阻相並聯之電路, 求電流在此三電阻中之分配。

【解】令 R 爲此並聯組合之等效電阻, 依第 2.6 式,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2.5} + \frac{1}{4.0} + \frac{1}{6.0} = 0.817 \text{ 莫,}$$

$$R = 1.225 \text{ 歐。}$$

$$I_1 = \frac{IR}{R_1} = \frac{25 \times 1.225}{2.5} = 12.25 \text{ 安,}$$

$$I_2 = \frac{IR}{R_2} = \frac{25 \times 1.225}{4.0} = 7.65 \text{ 安,}$$

$$I_3 = \frac{IR}{R_3} = \frac{25 \times 1.225}{6.0} = 5.10 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$\text{總電流} = I_1 + I_2 + I_3 = 25.00 \text{ 安。} \quad (\text{核})$$

或應用第 2.9, 2.10 及 2.11 式, 得

$$I_1 = 25 \frac{4 \times 6}{2.5 \times 4 + 4 \times 6 + 6 \times 2.5} = \frac{24}{10 + 24 + 15} = 12.25 \text{ 安,}$$

$$I_2 = 25 \frac{6 \times 2.5}{10 + 24 + 15} = 7.65 \text{ 安,}$$

$$I_3 = 25 \frac{4 \times 2.5}{10 + 14 + 15} = 5.10 \text{ 安。} \quad (\text{核})$$

3-11. 串並聯電路——電路可包括數組並聯組合, 與其他電阻或其他組合相串聯, 是爲串並聯電路 (Series-parallel cir-

cuit), 如第2.15圖所示。在此種情形, 每組並聯電阻, 可先以其單個的等效電阻代之, 然後以整個電路視作串聯電路解之。

【例題 2.10】求(甲)第2.15圖所示電路中之總電流, (乙)電路每部份之端電壓及(丙)各電阻之電流。

【解】 10 歐及 12 歐兩電阻, 可以其等效電阻 R_2 代之,

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{12} = 0.1833 \text{ 莫}, R_2 = 5.45 \text{ 歐}.$$

三個電阻相串聯之一組, 可以電阻 R_3 代之,

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{20} + \frac{1}{25} = 0.1567 \text{ 莫}, R_3 = 6.38 \text{ 歐}.$$

$$(甲) \quad I = \text{總電流} = \frac{110}{5 + 5.45 + 6.38} = \frac{110}{16.83} = 6.54 \text{ 安} \quad (\text{答})$$

$$(乙) \quad E_1 = IR_1 = 6.54 \times 5.0 = 32.7 \text{ 伏},$$

$$E_2 = IR_2 = 6.54 \times 5.45 = 35.6 \text{ 伏},$$

$$E_3 = IR_3 = 6.54 \times 6.38 = 41.7 \text{ 伏}. \quad (\text{答})$$

$$(丙) \quad 10 \text{ 歐電阻之電流} = \frac{35.6}{10} = 3.56 \text{ 安},$$

$$12 \text{ 歐電阻之電流} = \frac{35.6}{12} = 2.97 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

$$15 \text{ 歐電阻之電流} = \frac{41.7}{15} = 2.78 \text{ 安},$$

$$20 \text{ 歐電阻之電流} = \frac{41.7}{20} = 2.09 \text{ 安},$$

$$25 \text{ 歐電阻之電流} = \frac{41.7}{25} = 1.67 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

$$\text{總電流} = 3.56 + 2.97 = 2.78 + 2.09 + 1.67 = 6.54 \text{ 安}. \quad (\text{核})$$

2-12. 電功率——電功率 (Electric power) 之單位為瓦特

(1) 瓦特. 傑姆士 (Watt, James, 1736—1819) 為蘇格蘭工程師, 為現代冷煤蒸汽機之發明人。其父為一小商人, 經商失敗, 故瓦特早年不得不自謀生計。初從事於數學儀器之製造, 繼於格拉斯哥 (Glasgow) 大學, 獲得一職。乃得修理紐門 (New-

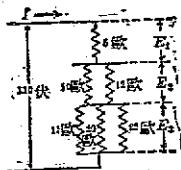


圖 2.15 串並聯電路

(Watt), 簡稱瓦。其基本界說為每秒 10^7 爾格或 1 焦耳之功率。載一庫之電量, 通過一伏電位差所作之功為一焦。如每秒載一庫之電量, 通過一伏電位差, 其電功率為每秒一焦, 即一瓦。每秒載運一庫之電量, 即一安之電流。故一瓦特者, 為一安電流, 沿電壓方向, 流過一伏電位差所發生之電功率也。因此瓦特數等於安培數與伏特數之乘積。電功率之公式為

$$P = EI \text{ 瓦。} \quad (2.12)$$

在僅有電阻之電路內, $E = IR$, 則第 2.12 式可書作

$$P = I^2 R. \quad (2.13)$$

以 E/R 代第 2.13 式中之 R , 得

$$P = \frac{E^2}{R}. \quad (2.14)$$

以上三式, 均有用途。已知電壓及電流之值, 可用第 2.12 式; 已知電流及電阻之值, 可用第 2.13 式; 已知電壓及電阻之值, 可用第 2.14 式。在 2.14 式, 僅能用於僅含電阻之部份, E 即 R 端之電壓。若電路中有電勢之源, 如蓄電池或發生電勢之電樞之類, 則不能應用。

【例題 2.11】 150 標度伏特計之電阻為 12,000 歐。將此儀器接入 125 伏之電路中, 求其所消耗之電功率。

【解】 已知量為電壓及電阻, 用第 2.14 式最為方便。

$$P = \frac{125^2}{12,000} = 1.3 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

comen's) 汽機之機會, 其蒸汽係在該機之工作汽筒 (Cylinder) 中冷卻者。瓦氏發現在汽筒外另置冷卻器之利, 因於 1765 年根據此理製成其第一架蒸汽機。氏於工業改造, 發明至多, 迄今獨有採用者。諸如冷卻器, 空氣唧筒, 蒸汽套汽筒 (Steam-jacketed cylinder), 雙作用式汽筒 (Double-acting cylinder), 蒸汽至汽筒之早截汽節汽閥 (Throttle valve), 及靜心整速器等。而引擎圖示器 (Engine indicator) 之發明, 對於蒸汽機之演進上有莫大之供獻。就商用言, 氏之發明, 俱為成功者。

用第 2.12 式可資校核。

$$I = \frac{125}{12,000} = 0.0104 \text{ 安,}$$

$$P = 125 \times 0.0104 = 1.3 \text{ 瓦。} \quad (\text{核})$$

【例題 2.12】調準發電機之場變阻器，直至場電流為 4.7 安，此時變阻器之電阻為 12.8 歐。求變阻器所消耗為熱之電功率。

【解】已知量為電流及電阻，用第 2.13 式最為簡便。

$$P = 4.7^2 \times 12.8 = 288 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

商用之電功率，用瓦特為單位，往往嫌其過小，故在述及大量電功率時，多用仟瓦特 (Kilowatt) 即 1,000 瓦，簡稱仟瓦。又有時需用機械馬力 (Horsepower)，將其化為電功率，或化電功率之瓦特數為機械馬力。此二者之關係如下：

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦} = 0.746 \text{ 仟瓦} \quad (2.15)$$

$$1 \text{ 馬力} = 3/4 \text{ 仟瓦 (極近似值)} \quad (2.16)$$

【例題 2.13】某電動機在 550 伏電壓下，取用 28 安電流，其效率為 89% 求其輸出之馬力。

$$\begin{aligned} \text{【解】} \quad \text{功率輸入} &= 550 \times 28 = 15,400 \text{ 瓦,} \\ \text{功率輸出} &= 15,400 \times 0.89 = 13,700 \text{ 瓦。} \end{aligned}$$

$$\text{機械功率輸出} = 13,700 \div 746 = 18.37 \text{ 馬力。} \quad (\text{答})$$

2-13. 電能——功率為作功之速率或消耗能量之速率，反之能為功率與時間之乘積。依此，電能 (Electrical energy) 為電功率與時間之乘積。功或能之基本厘米克秒制單位為爾格 (Erg)，或達因-厘米，即運用一達因之力，沿力之方向經過一厘米距離所作之功。在實際應用方面，爾格之單位太小，其實用單位為瓦特-秒 (Watt-second)，即焦耳 (Joule)。一焦等於 10,000,000，即 10^7 爾

(1) 焦耳，傑姆士·普利司考特 (Joule, James, Prescott, 1818—1889) 為英國物理學家，以對熱功當量之深遠研究，而名重一時。氏為從電流之量的決定之第一

格。

因此電能之公式爲

$$W = EIt \text{ 瓦特-秒, 或焦,}$$

式中 t 爲時間之秒數, E 爲電壓之伏特數, I 爲電流之安培數。

瓦特-秒之單位, 在商用方面, 仍嫌其過小, 並用較大之單位稱爲仟瓦小時 (Kilowatt-hour)。一仟瓦小時等於 $1,000 \times 60 \times 60$ 即 3.6×10^6 瓦特-秒, 或焦。

功率與能(或功)之區別, 甚屬重要, 學者必須明辨而盡稔之。功率爲作功之率, 猶之速度爲運動之率。在另一方面, 能爲作功之總和, 等於功率與作功時間之乘積, 猶之距離爲速度, 或運動之率與運動時間之乘積也。火車以每小時 40 哩之速度進行, 並不能說明進行之距離爲若干。同理, 謂 50 仟瓦之功率, 並不能說明包含電能之多少。如云「電之售價爲每仟瓦幾角幾分」殊不正確。正確之說法, 應爲「每仟瓦小時售價爲幾角幾分」。試舉例以說明之。

如電能之售價爲每仟瓦小時一角, 則洋二角可購電若干仟瓦? 此問題無從置答, 因未說明用電之時間也。然若假定用電一小時, 則

$$\text{費洋二角可用 } \frac{2\text{角}}{1\text{角}} = 2 \text{ 仟瓦小時,}$$

每小時可用之電功率爲 2 仟瓦。

如用電半小時, 則每小時可用電 4 仟瓦。若用電 0.001 小時, 則電功率爲 $2/0.001 = 2,000$ 仟瓦。

故費洋 2 角, 可購任何仟瓦數目, 視供給電能時間之長短爲定。同理, 馬力亦爲作功之速率, 等於每分鐘作功 33,000 呎磅之率, 并非 33,000 呎磅。某電動機產生 1/8 馬力, 若容許其於 8 分鐘內完成工作, 則所作之功爲 33,000 呎磅。如言作功而提及馬力時, 其功之單位應爲馬力小時。

入, 其值係從一定量電流在一小時內, 所分解水之重量決定之。又關於機械能在變換爲熱能時, 常可得一熱能之正確當量之定律, 亦爲氏所宣示, 且以實驗證明之者。故若英制熱單位 (B.T.U.) 之絕對值, 及其電能當量之決定, 皆氏之功也。

例題【2.14】某電動機產生 2 馬力，工作 5 小時，求其做功之瓦特秒數。

【解】所作之功 = $2 \times 5 = 10$ 馬力小時

$$= 10 \times 746 = 7,460 \text{ 瓦特小時}$$

$$= 7,460 \times 3,600 = 2.69 \times 10^7 \text{ 瓦特秒。} \quad (\text{答})$$

2-14. 熱與能——熱能可變換為機械能及電能，為已知之事實。反之，電能與機械能亦可變換為熱能。能量變換之完全循環，可以一現代蒸汽發電廠說明之。能量入廠，係為煤中之化學能。煤之各成份與空氣化合，化學能即變為熱能。熱能之一部份，輸送至鍋爐而產生蒸汽。蒸汽在汽筒中膨脹，或經過汽輪機之葉片，將熱能之一部變換為機械能。汽機推動發電機，變換一部份機械能為電能。一小部電能又在輸電線，匯流排，變壓器及輸電系統 (Transmission system) 中損失，散逸為熱能。其餘大部份電能，則用以策動電氣機，供給電燈，推進電車，亦可作化學工程之應用。最終，所用能量又以熱能之形式出現，或變為他種形式之能。

下表顯示一現代高效率之蒸汽發電廠中，應用過熱器 (superheaters)，冷凝器，及大壩機器，在最佳之運用情形下，其最初存在於煤內每 100 單位熱能變換之過程。

能量變換之效率

	能之形式	效率百分數	變換後之熱單位數
煤	化學的	—	100.0
鍋爐	熱的	85	85.0
汽輪機	機械的	30	25.5
發電機	電的	96	24.5
輸電線(至用電點)	電的	80	19.6
配電站變壓器	電的	98	19.2
大電氣機(平均)	機械的	85	16.3
小電氣機(平均)	機械的	65	12.5
電燈	光的	3.5	0.67

第 2.16 圖示—現代典型的發電輸電及用電制度中，能量（圖中以電功率代表之）流動之過程。由鍋爐下喂煤器 (Stoker) 輸入煤之化學能，以每秒 94,860 英制熱單位，合 100,000 仟瓦之率而輸入。經各部機械之變換，最終達用電點，圖中以電動機代表之。功率損失及功率之變換，由該圖上端之流線表示之。此制度為一典型的高效率制度，其所示之效率，係在極有利之運用情形下獲得者。為簡便起見，其若干細節，例如開關，變壓器，匯流排俱已略去。

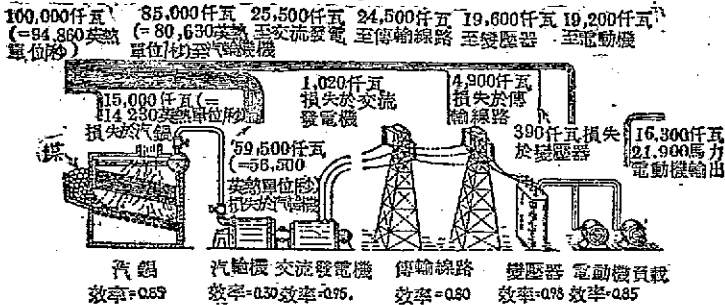


圖 2.16 在典型的發電與供電制度中功能之變換——化學能，熱能，機械能與電能

應予注意者，在多數之現代蒸汽發電廠中，即或在最有利之運用情形下，汽鍋機僅將其所收入熱能之百分之三十，變為機械能，仍屬浪費。此種制度之總效率並不甚高，自煤至電重機僅為百分之 19.2。電動機，電燈及其他電器之效率，使此總效率減低至更小之值。

2-15. 熱單位——英國制熱能之單位，稱英制熱單位 (British thermal unit)，簡書 B.T.U.，使一磅之水溫度昇華氏一度所需之熱，為一英制熱單位，合 778 呎磅之機械能。(此值稱為熱功當量，Mechanical equivalent of heat)。

厘米克秒制熱能之單位為克卡 (Gram-calorie)，即使一克之

水溫度升高攝氏一度所需之熱。一克卡合 4.2 瓦特秒之機械能或電能。

根據焦耳定律，若 I 為一電路中電流之安培數， R 為電阻之歐姆數， t 為作用時間之秒數，則該電路中發生之熱量為

$$W = \frac{1}{4.2} I^2 R t = 0.24 I^2 R t \text{ 克卡。} \quad (2.17)$$

【例題 2.15】 某有 10 馬力輸出之抽水機，使每分鐘有 400 加侖之水，週流於一冷卻系統中，求因此抽水機之作用，水所升高之華氏度數。

【解】 $10 \text{ 馬力} = 10 \times 33,000 = 330,000 \text{ 呎磅/分}$ ，

$$\frac{330,000}{778} = 424 \text{ 英制熱單位/分。}$$

$$400 \text{ 加侖} = 400 \times 8.34 = 3,336 \text{ 磅}$$

$$\frac{424}{3,336} = 0.13^\circ F. \quad (\text{答})$$

【例題 2.16】 某白熾燈自 110 伏電源取入 0.5 安電流，若將此燈浸於容水 2,000 立方厘米之水槽中，略去輻射熱不計，求每分鐘水所能升高之攝氏度數。

【解】 $W = 0.24 \times 0.5 \times 110 \times 60 = 792 \text{ 克卡/分鐘}$ ，

$$\frac{792}{2,000} = 0.396^\circ C. \quad (\text{答})$$

2-16. 供給一處密集負載饋電線路之電壓降——第 2.17 圖示。

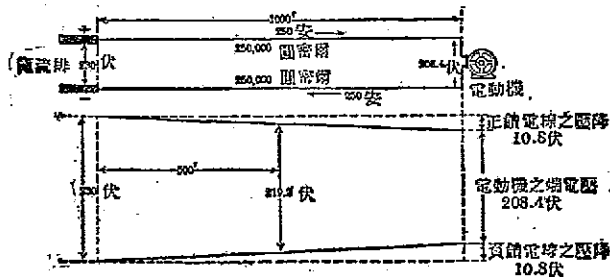


圖 2.17 供給一個負載之饋電線上之電壓降

一供給一電動機負載之饋電線路 (Feeder)，包括正線及負線在內。饋電線路係接於恆定電壓為 230 伏之匯流排。全線長 1,000 呎，由兩根 250,000 圓密爾導線組成。饋電線路端最大負載為 250 安。今欲求電動機兩端之電壓及傳輸效率。

在第 2—4 節內已述及，電壓須損失一部以供給饋電線之電阻壓降，電動機端電壓必小於匯流排端者。

查附錄五，2,500,000 圓密爾導線每 1,000 呎之電阻為 0.0431 歐。其正線與負線之總電阻為 $0.0431 \times 2 = 0.0862$ 歐。兩根線之總壓降為 $250 \times 0.0862 = 21.6$ 伏，故電動機端之電壓為 $230 - 21.6 = 208.4$ 伏。

第 2.17 圖又示沿饋電線路電壓漸降之情形。發送端電壓為 230 伏，沿饋電線路均勻地降低，直至每線降落 10.8 伏為止，兩線共降 21.6 伏。在距發送端 500 呎處，每線降 5.4 伏，兩線共降 10.8 伏，兩線間之電位差為 $230 - 10.8 = 219.2$ 伏，如圖所示。

輸入饋電線路之電功率為 230×250 瓦，由饋電線路輸至電動機之電功率為 208.4×250 瓦，故

$$\text{傳輸效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{208.4 \times 250}{230 \times 250} = \frac{208.4}{230} = 90.6\%$$

倘有一處密集負載饋電線路上之傳輸效率，等於負載端電壓與發送端電壓之比。

2-17. 供給兩處密集負載饋電線路之電壓降——第 2.18 圖示一 300,000 圓密爾之饋電線，供給 200 安電流至距匯流排 800 呎處之一負載，又供給 150 安於更遠 400 呎處之另一負載。若匯流排電壓保持為 240 伏不變，求各負載處之端電壓，線路總損失，及傳輸效率。

查附錄五，300,000 圓密爾電線每 1,000 呎之電阻為 0.0360

歐，兩根800呎長

此纜之總電阻爲

$$2 \times 0.8 \times 0.0360$$

$$= 0.0576 \text{ 歐。在}$$

200 安負載處之

端電壓爲 240

$$- 350 \times 0.0576$$

$$= 219.8 \text{ 伏。在}$$

800 呎一段饋電線上，所載電流爲 $200 + 150 = 350$ 安，故其壓降爲

$$350 \times 0.0576 \text{ 伏。}$$

同理，兩根 400 呎電纜之總電阻爲 $2 \times 0.4 \times 0.0360 = 0.0288$

歐，但該段僅載 150 安電流，其壓降爲 $150 \times 0.0288 = 4.3$ 伏，故在

150 安負載處之端電壓比 219.8 伏低 4.3 伏，即 215.5 伏。第 2.18 圖

亦示沿線各點電壓分佈之情形。

從匯流排至 200 安負載處之線路損失爲 $350^2 \times 0.0576 = 7,060$

瓦(用第 2.13 式)。同理由 200 安負載至 150 安負載間線路之損失

爲 $150^2 \times 0.0288 = 649$ 瓦。二者之和爲線路總損失，即 7,709 瓦。

饋電線路之輸入爲 240×350 瓦，但其輸出比輸入少 7,709 瓦

故傳輸效率爲

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{240 \times 350 - 7,709}{240 \times 350} = \frac{76,290}{84,000} = 90.8\%。$$

2-18. 饋電線之估計——第 1-13 節曾述及，一圓密爾呎銅線之電阻爲 10.37 歐。今假定其爲 10 歐。在若干應用方面，足夠正確。再假定饋電線之電流密度爲每 1,000 圓密爾 1 安，即每圓密爾 0.001 安。此值可稱爲正常電流密度。(匯流排及大饋電線在運用時之電流密度，與此值極相近似)。

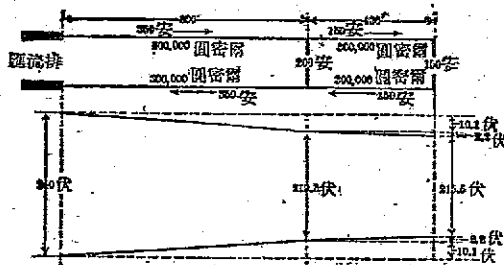


圖 2.18 供給兩個負載之饋電線上之電壓降

載有 0.001 安電流之一圓密爾呎饋電線之壓降，將為 $0.001 \times 10 = 0.01$ 伏。另一根一圓密爾呎電線，如載有 0.001 安電流，其壓降亦為 0.01 伏。倘此線與前者鄰近放置，其兩端之壓降，仍為 0.01 伏。同理，無論若干根電線，如各有一圓密爾呎之截面積，一呎之長度，載電流 0.001 安，其壓降皆為 0.01 伏。此若干根短線，可以分置，亦可絞合為一根電纜。

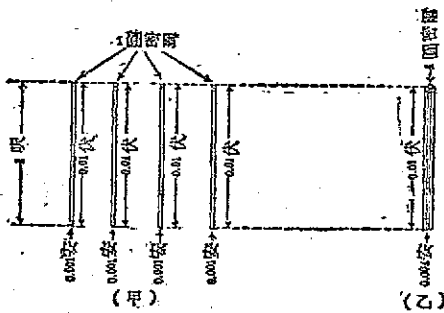


圖 2.19 在一圓密爾呎導體上之電壓降

第 2.19 圖 (甲)

示四根互相隔絕之導線，各為一圓密爾呎，各載 0.001 安電流，每線兩端之電壓各為 0.01 伏。第 2.19 圖 (乙) 示同樣四根導線相絞合。每線載

0.001 安電流，其總

電流為 0.004 安。但四根既相絞合，其總截面增大 4 倍，總電阻僅為 $10/4$ 或 2.5 歐。故此組合兩端之電壓降仍為 0.01 伏。若再以任何數目載有 0.001 安電流之圓密爾呎導體與此組合並聯，其電壓降始終為 0.01 伏。

根據以上事實，可推得下列規則：

在電阻係數為每圓密爾呎 10 歐之銅導體內，若其電流密度為每圓密爾 0.001 安，其電壓降為每呎 0.01 伏。若電流密度非每圓密爾 0.001 安，則其電壓降與電流密度成正比。

【例題 2.17】 某電動機距發電廠 800 呎，自 230 伏匯流排取用 500 安電流。求饋電線之大小，俾電壓降不致超過 20 伏。

【解】 依正常電流密度，電纜之截面積必須為 $500 \times 1,000$ 即 500,000 圓

密爾，其總壓降為 $0.01 \times 800 \times 2 = 16$ 伏。因可容許之電壓降為 20 伏，故可用截面較小之電纜，其截面可為

$$500,000 \times \frac{16}{20} = 400,000 \text{ 圓密爾。} \quad (\text{答})$$

用此電纜則電流密度為 500/400 或每 1,000 圓密爾 1.25 安。

上述關係，又可從下列觀點求出。每單位長度導體之電壓降可稱為導體之電壓梯度 (Voltage gradient)，即第 2.17 圖中電壓分佈曲線之斜度。合併第 1.1 式及第 2.1 式，可求得電壓梯度與電流密度之關係。因

$$E = IR = I_0 \frac{L}{A},$$

$$\frac{E}{L} = \rho' \left(\frac{I}{A} \right).$$

故電壓梯度等於電流密度與電阻係數之乘積。就銅線而言，其電阻係數為每圓密爾呎 10 歐，故每呎之電壓梯度，等於電流密度每圓密爾安培數之 10 倍。

在例題 2.17 中，該電纜之電壓梯度為

$$VG = \frac{20}{2 \times 100} = 0.125 \text{ 伏/呎。}$$

其電流密度之每圓密爾安培數為此值之十分之一，即每圓密爾 0.00125 安。現所載電流為 500 安故電纜之截面積應為

$$A = 500 \div 0.00125 = 400,000 \text{ 圓密爾。} \quad (\text{核})$$

此密度之值，較正常密度，不無稍高，但尚非不可用者。

2-19. 饋電線之電功率損失——第 2-18 節所述之方法，亦可用以求銅線之電功率損失。在正常電流密度時，電功率損失為

$$P' = (0.001)^2 \times 10 = 0.00001 = 10^{-5} \text{ 瓦/圓密爾呎。}$$

若 $C.M.$ 為導體截面之圓密爾數， l 為其長度之呎數，則在正常電流密度時，線路之總電功率損失為

$$P_0 = 0.00001 \times C.M. \times l \text{ 瓦。}$$

若導體所載電流密度非正常值，則其實在電功率損失 P ，與實

在電流密度及正常密度之比之平方成正例。

$$P = P_0 D^2 \text{ 瓦。}$$

式中之 D 為實在與正常密度之比，亦即實在密度之每 1,000 圓密爾若干安培數。

【例題 2.18】 試求例題 2.17 中電纜之電功率損失。

【解】 在正常電流密度時，

$$P_0 = 0.00001 \times 400,000 \times 2 \times 800 = 6,400 \text{ 瓦。}$$

但實在密度為每圓密爾 0.00125 安，即 D 為 1.25，故

$$P = 6,400 \times 1.25^2 = 10,000 \text{ 瓦} = 10 \text{ 仟瓦。} \quad (\text{答})$$

若由已知之電壓降及電流值解之，結果亦同。 $E = 20$ 伏， $I = 500$ 安，故

$$P = 20 \times 500 = 10,000 \text{ 瓦} = 10 \text{ 仟瓦。} \quad (\text{核})$$

用上述方法，可解答許多問題，便利而迅速。在多數運用情形之下，其結果在大體上殊為準確。

前述關係亦可用下法推演之。從第 2.13 式及第 1.2 式，若 V 為導體之體積，則其電功率損失為

$$P = I^2 R = I^2 \rho \frac{V}{A^2} = \left(\frac{I}{A} \right)^2 \rho V. \quad (2.18)$$

或用第 1.2 式，及第 2.14 式，

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{E^2}{\rho L^2/V} = \left(\frac{E}{L} \right)^2 \frac{V}{\rho}. \quad (2.19)$$

由以上二式，故知每單位體積之電功率損失為

$$\frac{P}{V} = \rho \left(\frac{I}{A} \right)^2 = \frac{1}{\rho} \left(\frac{E}{L} \right)^2. \quad (2.20)$$

以銅導體而言， $\rho = 10$ ， $(I/A) = 0.001$ (正常密度)， $E/L = 0.01$ 伏，故在正常密度時，每單位體積之電功率損失為

$$P = 10 \times (0.001)^2 = \frac{1}{10} \times (0.01)^2 = 10^{-5} \text{ 瓦/圓密爾呎。}$$

用以上三式，亦可求在任何電流密度時之電功率損失，如第 2.17 例題中

$$P = \left(\frac{500}{400,000} \right)^2 \times 10 \times (1,600 \times 400,000) = 10 \text{ 仟瓦。}$$

其每單位體積之損失為 1.56×10^{-5} 瓦/圓密爾呎，尚不過大。

第三章

電池之電勢—克希荷夫定律

3-1. 電池之電勢及電阻——在第 3.1 圖中，以一伏特計跨接於一電池組之兩端，不閉合開關 S ，伏特計指示某一電壓，稱為 E 。今若閉合開關 S ，容許電流 I 通過，伏特計將指示另一電壓 V ，其值小於 E 。

電壓 E 係在電池不供給電流時量得者，為電池之斷路電壓 (Open-Circuit voltage)，即其內電壓 (Internal voltage) 或其電勢。電壓 V 係在有電流 I 通過時量得者，稱為電池在某電流值時之端電壓 (Terminal voltage)。

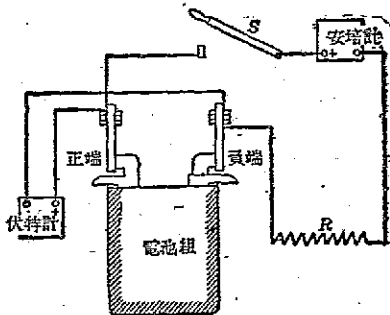


圖 3.1 量度電池極電阻之接線法

斷路電壓與有電流輸出時之端電壓之差額，即電流流經電池內之電阻所致之壓降。每一電池俱有內電阻 (Internal Resistance)，其大部份在電解液內，另一部份則在極板及端鈕上。接通外部電路，即生電流，流經外部電阻，發生壓降，亦同樣經內部電阻而發生壓降。

若 I 為流經電池內外兩部之電流， r 為其內電阻，依上段所述，其斷路電壓 E 及端電壓 V 之差額，即等於 Ir 壓降，故

$$E - V = Ir,$$

$$r = \frac{E - V}{I} \quad (3.1)$$

$$E = V + Ir \quad (3.2)$$

是以，電池之內電阻，等於其斷路電壓與通路時端電壓之差，除以電流。且電池組之內電勢，等於其通路端電壓，與其內電阻壓降之和。

【例題 3.1】某蓄電池之斷路電壓為 2.20 伏。有電流 12 安通過時，其通路端電壓為 1.98 伏。求該電池之內電阻。

【解】 $E - V = 2.20 - 1.98 = 0.22$ 伏，

$r = 0.22 \div 12 = 0.0183$ 歐。 (答)

在作此種性質之量度時，須知縱在斷路情形，亦必須跨接一伏特計以量其電壓。平常所用伏特計之電阻不高，必微有電流通過，此電流亦召致電池內部之壓降。尤以電池之有小容量者為顯著，例如衛斯吞電池接於伏特計，僅伏特計本身之電流，即可使通路電壓降低至其斷路電壓值之半，或且尤低。此時所量得者，並非真正斷路電壓。是以尋常伏特計，不能用以量度此種電池之電勢，須用有高電阻者，或用電位計（見 5—23 節）。

且在電池輸出電流時，因壓降係發生於電池本身之內部，欲

直接量其內電壓，殊不可能。就其對於外電路之效應而言，第 3.2 圖顯示此種情形。圖中電池 B 係置於一個封之盒中，電阻 r 可視為自其內部取出，接於電池之外，但仍在封固之盒內。此際電池可認為無電阻，所有電阻皆為 r 所替代。由盒內經兩絕緣之端鈕接至 a, b 兩端。在其不供給電流時，此接伏特計於 a, b 兩端，若伏特計之電流甚小，可以略而不計，則伏特計之讀數即為

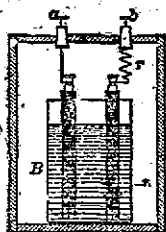


圖 3.2 電池之內電阻

電池之電勢 E 。然若有電流 I 通過，因電阻 r 之壓降，其端電壓即自 E 降落至 V 。在此等情形下，欲在電流通過之際量度 E ，係不可能，蓋伏特計僅能接於 a, b 兩端，非包括電阻 r 之壓降不可。

電壓 E 及電阻 r 二值，鮮有固定者，不無與電流之大小有關。而溫度，電解液比重之變化，極化作用等，均足以影響之。（見第 4—5 節）。

3-2. 電池之電阻與電流——如第 3-1 節所示，電池組之內電阻，恆限制其供給於外電路之電流。在第 3.1 圖中，閉合開關 S ，電池之電勢，即作用於電池之內電阻 r 及外電阻 R 所組成之電路內，該電路之總電阻，即 r 與 R 之和，依歐姆定律，其電流為

$$I = \frac{E}{r+R}, \quad (3.3)$$

電池內之電功率損失為

$$P = I^2 r. \quad (3.4)$$

今若加捷路 (Short-circuit) 於電池， R 之值為零， $I = E/r$ 。在此種情形，電池所產生之電能，俱在電池內消耗，轉變為熱能。

【例題 3.2】電池之電勢為 2.2 伏，其內電阻為 0.03 歐。今以該電池與一外電阻 0.10 歐相接。求電流值及在此運用情形下電池之效率。

$$\text{【解】} \quad I = \frac{2.20}{0.03+0.10} = 16.9 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

電池內損失之電功率為

$$P = 16.9^2 \times 0.03 = 8.57 \text{ 瓦。}$$

其輸出之電功率為

$$P' = 16.9^2 \times 0.10 = 28.6 \text{ 瓦。}$$

電池所產生之總電功率為此二者之和，或等於 E 與 I 之積，

$$P_0 = 16.9 \times 2.20 = 37.2 \text{ 瓦。}$$

故

$$\text{效率} = \frac{28.6}{37.2} = 76.9\%。 \quad (\text{答})$$

以上所述為歐姆定律之又一例證，即一電路中之電流，等於作用於電路中之總電勢，除以電路內之總電阻之謂也（見第2—7節）。

3-3. 電池輸出之最大電功率——假定電池組之電勢 E 及內電阻 r 為定值，其外電阻為可變的。當其輸出電流為 i 時，其供給於外電路之電功率為 $vi = i^2R$ ， v 為電池之端電壓，即等於 $E - ir$ 。故電功率輸出 P 為 v 及 i 兩變量之乘積。若減少 R ，使 i 增加，但另一變量 v 即減少， i 及 v 之積是否增大，殊未可必。今欲此二變量之積在某種 R 之值時為最大，其條件可自下式求之。

$$P = i^2R = \frac{E^2R}{(r+R)^2} \quad (3.5)$$

應用微分法，求得在 $r=R$ 時， P 為最大。換言之，當外電阻與電池之內電阻相等時，其取自電池之電功率為最大。

在此情形時， $iR = ir$ ，內電勢 E 等於 ir 或 iR 之二倍。是以當電池輸出最大之電功率時，其端電壓為內電勢之半，其內阻之壓降亦佔電勢之半。

又當 $r=R$ 時，其內電阻損失之電功率 i^2r ，亦等於輸至外電路之電功率 i^2R 。是以，當電池輸出最大之電功率時，電池所產生之電功率之半，損失於電池內部。此際電池之效率為百分之五十。

當 R 之值為零時，電流為最大。此際端電壓為零，輸至外電路之電功率亦為零。電池之電能俱在內部損失，效率為零。在另一方面， R 之值等於 r 時，其電功率輸出為最大，但電流並非最大。電池所產生電能之半為內電阻損失，效率為百分之五十。

通常使電池在輸出最大電功率之情形而運用，殊不經濟，其效率既低，且電池受熱過甚。即或有運用於此情形者，亦必為時甚暫。例如汽車之啓動用電池組，在初啓動之際，其所供給之電流，往往使端電壓近於其電勢之半，其電功率輸出去最大量不遠。

【例題 3.3】某電池之電勢為 1.2 伏，其內阻為 0.8 歐。求(1)此電池在輸出最大電功率時之電流值；(2)此際之電功率；(3)外電阻值；(4)外電阻為 1.0 歐時之電流及電功率；(5)外電阻為 0.6 歐時之電流及電功率；(6)電池所能輸出之最大電流；及(7)此際之電路電功率。

【解】(1)在電功率輸出為最大時，其端電壓為電勢之半，即 0.6 伏。

$$\text{電流 } I = \frac{1.2 - 0.60}{0.8} = 0.75 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$(2) \quad \text{最大之 } P = 0.75 \times 0.60 = 0.45 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

$$(3) \quad \text{外電阻 } R = \frac{0.60}{0.75} = r = 0.80 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

(4) 若外電阻 $R = 1.0$ 歐，

$$i = \frac{1.2}{0.8 + 1.0} = \frac{1.2}{1.8} = 0.667 \text{ 安， } v = 0.667 \times 1 = 0.667 \text{ 伏。}$$

$$p = vi = 0.667 \times 0.667 = 0.444 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

(5) 若外電阻 $R = 0.6$ 歐，

$$i = \frac{1.2}{0.8 + 0.6} = \frac{1.2}{1.4} = 0.857 \text{ 安， } v = 0.857 \times 0.6 = 0.514 \text{ 伏。}$$

$$p = vi = 0.514 \times 0.857 = 0.440 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

$$(6) \quad R = 0, \quad i = \frac{1.2}{0.8} = 1.5 \text{ 安(最大電流)。} \quad (\text{答})$$

$$(7) \quad R = 0, \quad v = 0, \quad p = 0. \quad (\text{答})$$

當 $v = E/2$ 時， v 與 i 之乘積為最大。在上例第(4)部中， v 較大於第(1)部內之 0.6 伏，但 i 之值較(1)更小，其乘積小於(1)內者。但在第(5)部內，其 i 之值大於(1)內者，但其 v 之值較(1)更小，其乘積亦小於(1)內者。惟有在(1)之情形， v 與 i 之乘積為最大。在(4)及(5)內， p 未嘗不可以 $i^2 R$ 解之，但不能說明何以 vi 乘積之為最大。

3-4. 電池之電能輸入——如以一電阻接於電池之兩端，即有電流自電池之正端流出，經過外電路，再經其負端返回電池。由於電流通過電池之內阻，故電池之端電壓小於其路電壓。此際電池為一能量之源，供給電能於負載，其作用與一發電機同。

今若迫使電流進入電池之正端，自其負端流出，則此電池不復供給電能，反接受電能。此電能必須由其他電源供應之，例如另一電池，或用一發電機，更為普遍。第 3.3 圖示一電勢為 2 伏之電池，以伏特計跨接於其兩端。當無電流時，即開關 S 未閉合時，伏特計

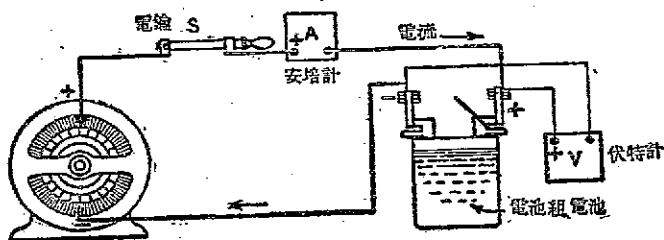


圖 3.3 以發電機充電入電池

指示 2 伏。設有一電源，例如一直流發電機，其端電壓被調準至適為 2 伏。發電機之負極與電池之負端相接，發電機之正極經開關 S 及一安培計接於電池之正端。開關初為不閉者。今閉合開關，使發電機之正極與電池之正端相通，此際並無電流。伏特計之讀數仍為 2 伏，安培計之讀數仍為零。電池既不輸出電能，亦無電能輸入，所有情形與飄浮時無異。此際電池可稱為「浮接」(Floating)。

然若將發電機之電壓略予提高，安培計即指示電流自發電機之正極流入電池之正端，其方向適與電池供給電能時者相反。伏特計之讀數不復為 2 伏，但較 2 伏略高。

此種發電機與電池之組合，可以力學上相似之情形解說之。第

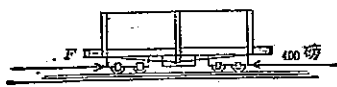


圖 3.4 啓動一車所需之力

3.4 圖示一車停在軌道上。克服車在軌道上之靜態摩擦，需施力 400 磅，今在車之一端施力

F ，在 F 能移動此車以前，其值至少必須等於 400 磅。在 F 適等於 400 磅時，車仍不能移動，猶發電機電壓適等於電池電壓時，並無

電流入電池也。然 F 若超過 400 磅，車即可移動，產生此移動之有效力，等於 F 超過 400 磅之值。如 F 為 450 磅，其中 400 磅係用以克服因靜態摩擦而致之反動力，所餘 50 磅，則為使車移動之有效力（靜態摩擦往往大於動態摩擦）。

就電池言，在發電機電壓未超過 2 伏時，並無電流發生。若發電機之電壓增高至 2.4 伏，其中 2 伏係用以抵消電池之電壓，所餘 0.4 伏，則為使電流入電池之有效電壓。若電池之電阻為 0.1 歐，則電流為 $0.4/0.1 = 4$ 安，假定引線等之電阻可略而不計。

設 E 為電池之電勢， r 為其電阻， V 為有電流入電池正端時之端電壓，則

$$I = \frac{V - E}{r}, \quad (3.6)$$

$$E = V - Ir. \quad (3.7)$$

換言之，電池之電勢較其端電壓所小之值，等於電池本身內電阻之壓降。

以上二式可與第 3.1 及 3.2 式比較觀之。

在上述情形時，電池係接受電能者，如蓄電池被充電之類。

【例題 3.4】 一包括三只電池之蓄電池組，其電勢為 5.80 伏，其內電阻為 0.072 歐。蓄電池正在充電時之電流為 12 安。求 (甲) 電池組之端電壓；(乙) 電池組內損失於熱之電功率；(丙) 每秒鐘所蓄之電能。

【解】 (甲) 端電壓至少必須等於在電流未流入電池以前之反電勢，加上必須克服之內電阻壓降，即

$$V = 5.80 + 12 \times 0.072 = 5.80 + 0.864 = 6.664 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$(乙) \quad \text{電功率損失, } P = 12^2 \times 0.072 = 10.368 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

(丙) 所蓄電能，必須以電流逆反電勢方向流動所生之電能代表之。故每秒鐘所蓄電能為

$$W = 5.80 \times 12 = 69.6 \text{ 焦, 或瓦秒。} \quad (\text{答})$$

3-5. 電池相串聯——英文中之“Cell”係指獨只電池，譯為電池。而“Battery”一字，指包有數只電池之組合，譯為電池組。但為便利計，若一單純電池自成一組，不與他者有關連，英文亦稱“Battery”，意即指此電池“Cell”。故在中文方面譯“Battery”一字有時亦簡稱電池。若以電池相串聯，以各個電勢相加得此電池組之總電勢，以各個之電阻相加，得此電池組之總電阻，

若各個電池之電勢為 E_1, E_2, E_3, E_4 等，其電阻各為 r_1, r_2, r_3, r_4 等，其串聯組合之總電勢及總電阻各為

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots, \quad (3.8)$$

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots \quad (3.9)$$

第 3.8 式係假定所有電池串聯時，均為自一電池之負端接至次一電池之正端，俾其電勢得以相加者。若任何電池之接法，適使其電勢與其他電池之電勢相反，則在第 3.8 式內，該反接電池之電勢，必須前置一負號。

若以一外電阻 R 與此串聯電池組相接，依歐姆定律，電流應為

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots + R} \quad (3.10)$$

【例題 3.5】四只乾電池，其電勢各為 1.30, 1.30, 1.35, 及 1.40 伏；其電阻各為 0.3, 0.4, 0.2 及 0.1 歐。今以之串聯與一容積器相接。若容積器之電阻為 10 歐，求容積器中之電流。

$$\text{【解】} \quad I = \frac{1.30 + 1.30 + 1.35 + 1.40}{0.3 + 0.4 + 0.2 + 0.1 + 10} = \frac{5.35}{11.0} = 0.486 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

一電池組包括 n 個相等電池串聯時，其電勢為一個電池電勢之 n 倍，然其電流容量 I 與一只電池相同。

3-6. 相等電池相並聯——電池如須並聯使用，其各電池之電勢應相等。電勢不等之電池相並聯，現象特殊，當於第 3-9 節論之。

第 3.5 圖示一包括有六只電池之電池組，其各個電勢為 2.0 伏，電阻各為 0.2 歐。此整個電池組之電勢，並不較任一電池之電勢為大，乃顯而易見者。但電流有六條路徑可循。故就某區定之外電流而言，每一電池之壓降，必為所有電流僅通過一電池時之壓降之六分之一。今知一電池之內阻為 0.2 歐，則整個電池組之內阻必等於 $0.2/6$ 即 0.033 歐。

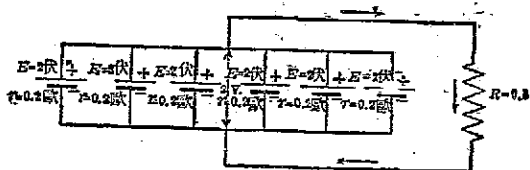


圖 3.5 相等電池之並聯

【例題 3.6】若以一外電阻 0.3 歐，與第 3.5 圖之並聯組合相接，求其電流值。

【解】電池組之電阻為 $0.2/6 = 0.033$ 歐，故電流為

$$I = \frac{2.0}{0.033 + 0.3} = \frac{2.0}{0.333} = 6 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

若各電池之電勢均相等，而其電阻不等，各為 r_1, r_2, r_3, r_4 等，則電池組之等效電阻，可認為各電阻係自相並聯者而計算之，即

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} + \dots \quad (3.11)$$

【例題 3.7】某電池組包括四只電池並聯，其電勢同為 2.0 伏，其電阻各為 0.30, 0.25, 0.22, 0.20 歐。若接一外電阻 0.50 歐於電池組之兩端，求(甲)總電流值；(乙)電池組之端電壓；(丙)各電池之電流。

【解】 $\frac{1}{r} = \frac{1}{0.30} + \frac{1}{0.25} + \frac{1}{0.22} + \frac{1}{0.20} = 16.87 \text{ 莫。}$

$$r = \frac{1}{16.87} = 0.0593 \text{ 歐。}$$

(甲) 總電流 $I = \frac{2.0}{0.0593 + 0.50} = \frac{2.0}{0.5593} = 3.576 \text{ 安。} \quad (\text{答})$

(乙) 端電壓 $V = IR = 3.576 \times 0.50 = 1.788$ 伏。 (答)

$V = E - Ir = 2.0 - 3.576 \times 0.0593 = 1.788$ 伏。 (核)

(丙) 各電池之電流可用第 3.1 式解之，得

$$I = \frac{E - V}{r} \quad (3.12)$$

$$I_1 = \frac{2.0 - 1.788}{0.30} = \frac{0.212}{0.30} = 0.707 \text{ 安,}$$

$$I_2 = \frac{0.212}{0.25} = 0.848 \text{ 安,}$$

$$I_3 = \frac{0.212}{0.22} = 0.964 \text{ 安,}$$

$$I_4 = \frac{0.212}{0.20} = 1.060 \text{ 安。 (答)}$$

總電流 $= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 3.579$ 安。 (核)

易言之，任何電池之電流，等於其電勢與端電壓之差，除以該電池之內電阻，此即第 3.12 式所表示者。

所有電池之電勢及端電壓均相等，各個電池之電流與電阻之乘積亦必相等。在上述例題中，此乘積皆等於 0.212 伏。

並聯電池組之端電壓必須相等；因所有正極均接為一端，所有負極亦均接為一端也。是以，若所有電池之電勢均相等，並聯電池組之總電勢等於每電池之電勢，端電壓亦必相等。其等效電阻可用並聯電阻之公式求之。各電池之電流，係與該電池之電阻成反比。

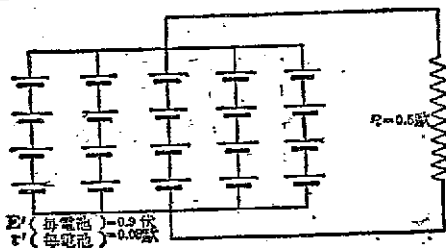


圖 3.6 電池之串並聯組合

電池組之電流容量，等於各電池電流容量之和。

3-7. 電池之串並聯組合——成列之串聯電池組，更可互相並聯。第 3.6 圖示

五列串聯電池組相並聯，每列有四只電池串聯。

設每列之串聯電池只數為 m ， E' 為每電池之電勢，其每列之電勢必為

$$E = mE' \quad (3.13)$$

若每只電池之電阻為 r' ，每列之總電阻必為

$$r_1 = mr' \quad (3.14)$$

設相並聯之列數為 n ，則全組合之電勢仍為 mE' ，但電阻為

$$r = \frac{r_1}{n} = \frac{m}{n} r' \quad (3.15)$$

若以一外電阻 R 接於此電池組，則其電流為

$$I = \frac{mE'}{\frac{m}{n} r' + R} \quad (3.16)$$

【例題 3-8】 在第 3-6 圖中，若每電池之電勢為 0.9 伏，電阻為 0.08 歐，外電阻為 0.5 歐，求其電流值。

$$\text{【解】} \quad I = \frac{4 \times 0.9}{\frac{4}{5} \times 0.08 + 0.5} = \frac{3.6}{0.504} = 6.4 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

3-8. 電池之組合法——研究電池之組合法，首須計及其所需之電壓。電池之排列，必須使能獲得所需之電壓，其他問題，在所不計。然如端電壓並未規定，則組合法可根據下列各原則決定之。

(甲) 欲最合於經濟者，須使電池組之電阻愈小為愈佳，惟有應用多數電池之並聯組合。此法可使電池之壽命加長，但電池之最初成本必致加昂。

(乙) 欲求最大電流流過一定值之外電阻者，須使電池之內阻 (mr'/n) 等於其外電阻。此法至不經濟，因僅電池所產生電能之半，可用於外電路，其另一半則完全損失於電池之內部。此際電池組所交付於外電阻之電功率為最大(見第 3-3 節)。

(丙) 欲在斷續運用時求其作用迅速者，如用於電鈴及替續器等，在可能範圍內，電池應相串聯。

【例題 3.9】 在例題 3.8 中，問電池應如何排列，始能得最大之電功率？

【解】 電池組之總電阻 $\frac{m}{n} \times 0.08$ 必須等於其外電阻，即

$$\frac{m}{n} \times 0.08 = 0.50,$$

但 $mn = 20, \quad n = \frac{20}{m}.$

故 $\frac{m}{(20/m)} \times 0.08 = 0.50,$

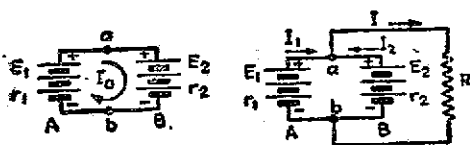
$$\therefore m^2 = \frac{20 \times 0.50}{0.08} = 125,$$

$$m = 11\frac{1}{2}.$$

(答)

最佳之組合法，係使 10 只電池串聯成列。兩列相並聯。若以 11 只電池串聯，而與另一串聯之 9 只電池列並聯，則運用時週期美滿。

3-9. 電勢及電阻俱不相等之電池相並聯——若電勢及電阻俱不相等之兩電池組相並聯，可以一等效之電池組代之。其電勢等於在外負載為零時兩電池組並聯之共同端電壓，其內阻等於兩電池組相並聯時之聯合電阻。此項關係可證明之如下：



(甲)無負載

(乙)有負載

圖 3.7 不等電池組之並聯

第 3.7 圖 (甲)

示兩電池組相並聯，其電勢各為 E_1 及 E_2 伏，內阻各為 r_1 及 r_2 歐，外負載為零。今假定 E_1 大

於 E_2 ，其迴流於兩電池組間之環流 (Circulating current) 為

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} \text{ 安。}$$

其共同端電壓爲

$$\begin{aligned} V &= E_1 - I_0 r_1 = E_1 - \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} r_1 \\ &= E_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2} + E_2 \frac{r_1}{r_1 + r_2} \text{ 伏。} \end{aligned} \quad (I)$$

今若接一外電阻 R 於第 3.7 圖(甲)之電池組之兩端，如第 3.7 圖(乙)所示。若電池組 A 之電流爲 I_1 ， B 之電流爲 I_2 ，電阻 R 之電流爲 I 。此際之共同端電壓爲

$$V_{ab} = E_1 - I_1 r_1 = E_2 - I_2 r_2 \text{ 伏。}$$

因得

$$I_1 = \frac{E_1 - E_2 + I_2 r_2}{r_1} \text{ 安。} \quad (II)$$

負載電流爲

$$I = \frac{V_{ab}}{R} = \frac{E_1 - I_1 r_1}{R} \text{ 安。} \quad (III)$$

但

$$I = I_1 + I_2 \quad (IV)$$

解聯立方程式(II)，(III)及(IV)，得

$$I = \frac{E_1 \frac{r_2}{r_1 + r_2} + E_2 \frac{r_1}{r_1 + r_2}}{R + \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} \text{ 安。} \quad (3.17)$$

第(3.17)式之分子卽第(I)式，其分母則爲外電阻及電池組並聯之等效電阻之和，是以兩不相等電池相並聯，其電勢卽取其並聯而在外負載爲零時之端電壓，而其內電阻卽並聯時之等效電阻。

【例題 3.10】 在第 3.7 圖(乙)中，電池組 A 及 B 之電勢各爲 12 及 10 伏，電阻各爲 0.5 及 0.3 歐。外電阻爲 1.156 歐。求外電阻中之電流。

【解】 環流 $I_0 = \frac{12 - 10}{0.5 + 0.3} = 2.5 \text{ 安。}$

與之相應之端電壓為

$$V_{ab} = 12 - (2.5 \times 0.5) = 10.75 = 10 + (2.5 \times 0.5) \text{ 伏。}$$

兩電池組並聯之等效電阻為

$$r = \frac{0.5 \times 0.3}{0.5 + 0.3} = 0.1875 \text{ 歐。}$$

$$\text{外電流 } I = \frac{10.75}{1.156 + 0.1875} = 8.00 \text{ 安。}$$

倘直接用第 3.17 式亦可得同樣結果。

3-10. 不等電池組並聯時電流之分配——以電勢及電阻均不相等之電池相並聯，如用第 3.17 式，必須先知其外電阻之值，然後始能求其輸出之電流值。若負載電流為已知，而不知負載電阻值時，可用下述二方法求各電池組中電流之分配。電流在並聯電池組中之分配，係根據下述二原則者。

為簡便起見，今仍以兩組電池為例（第 3.8 圖及第 3.9 圖）。最

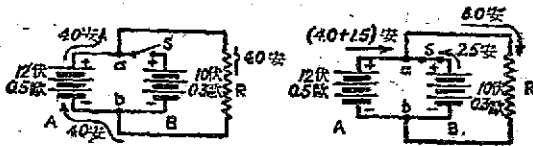


圖 3.8 不等電池組之並聯——浮電法

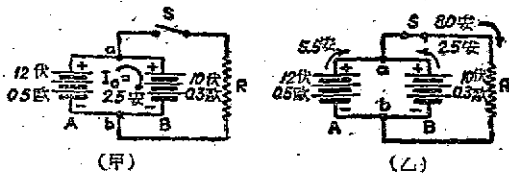


圖 3.9 不等電池組之並聯——環流法

初自必有一初電流在兩電池組之任一或二者中流過，俾使兩電池組之端電壓趨於相等，此電流與外部負載電流無直接關係。

即至端電壓已

達相等後，兩電池組之作用，即與電勢相等而電阻不等之兩電池組並聯無異。此時負載電流所超過初電流之值，即依各電池內阻之反比，而分配於兩電池組內。每一組電池輸出之總電流，為初電流與所增分配額之和，各電池組所增之分配額，視其內阻而定。

解決此類問題，通常有二方法。一為浮接電池法(Floating-battery method)。在此法中，假定初電流係由電勢較大之電池組供給者。該電池供給此初電流後，其端電壓，適於第二電池組之電勢相等。此際第二電池組既不供給電流，亦不取入電流，其作用僅等於「浮接」。第二法為環流法(Circulating current method)。假定外電阻為斷路的，兩電池組所生之環流，先使其端電壓趨於相等，此種環流即為初電流。(此二方法，對於較繁複問題之解析，如直流或交流發電機及變壓器並聯時負載分配之決定，至為有用)。

【例題 3.11】兩電池組 A 與 B 相並聯(第 3.8 圖)，其電勢各為 12 伏及 10 伏，內阻各為 0.5 及 0.3 歐。一外電阻接於此組合之兩端，得 8 安電流。求(甲)各電池供給之電流；(乙)共同端電壓 V_{ab} ；(丙)外電阻 R 之值；(丁)各電池所產生及其供給於負載之電功率。

【解】[1]浮接電池法——應用此法，先開啓與電池組 B 相串聯之開關 S ，使電勢較小之電池組支路暫為斷路的，如第 3.8 圖(甲)所示。電勢較高之電池組須供給一電流，俾使電池組 A 之端電壓等於電池組 B 之電勢。此際初電流為

$$\frac{12-10}{0.5} = 4 \text{ 安,}$$

由電池組 A 供給，於是其端電壓亦為 10 伏，乃可關合開關 S ，不致使全組合之電流有所變化。至於負載電流超出 4 安之數，乃依與內阻成反比之方式而分配於兩組電池間。因外電流為 8 安，其較 4 安超出之電流為 $8-4=4$ 安。

(甲)其分配於 A 組及 B 組電池之電流各為

$$I_A' = \frac{0.3}{0.8} \times 4 = 1.5 \text{ 安; } I_B' = \frac{0.5}{0.8} \times 4 = 2.5 \text{ 安。}$$

電池組 A 及 B 所供給之總電流各為

$$I_A = 4.0 + 1.5 = 5.5 \text{ 安; } I_B = 0 + 2.5 = 2.5 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$(乙) \quad V_{ab} = 12 - 5.5 \times 0.5 = 10 - 2.5 \times 0.3 = 9.25 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$(丙) \quad R = \frac{9.25}{8} = 1.156 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

$$(丁) \quad P_{A'} = 12 \times 5.5 = 66 \text{ 瓦}, \quad P_A = 9.25 \times 5.5 = 50.88 \text{ 瓦}.$$

$$P_{B'} = 10 \times 2.5 = 25 \text{ 瓦}, \quad P_B = 9.25 \times 2.5 = 23.13 \text{ 瓦}. \quad (\text{答})$$

[II] 環流法——先假定外電路係斷路的，如第 3.9 圖(甲)所示，開啓開關 S 即得。此時之環流為兩電池組電勢之差除以電阻之和，即

$$I_0 = \frac{12 - 10}{0.5 + 0.3} = 2.5 \text{ 安}.$$

因 A 之電勢高於 B ，故此環流自 A 電池組之正端流出而流入 B 電池組之正端。此電流在 A 電池組方面為正的，在 B 電池組方面為負的。此兩電池組之端電壓乃趨於相等，即同為

$$V' = 12 - 2.5 \times 0.5 = 10 + 2.5 \times 0.3 = 10.75 \text{ 伏}.$$

(甲)端電壓既已相等，任何增加之電流，即依電池組之電阻作反比之分配。在計算環流時，負載電流為零，故接上負載後，電流增加 8 安。其分配於兩組電池之值各為

$$I_{A'} = \frac{0.3}{0.8} \times 8 = 3 \text{ 安}, \quad I_{B'} = \frac{0.5}{0.8} \times 8 = 5 \text{ 安}.$$

電池組 A 已供給電流 +2.5 安，故其輸出之總電流

$$I_A = 3 + 2.5 = 5.5 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

電池組 B 已輸入電流 2.5 安，但輸出為 5 安，故其淨輸出電流為

$$I_B = 5 - 2.5 = 2.5 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

用此法所求得之電流值與用浮接法者結果相同。其(乙)，(丙)，(丁)，等部之解法與上法完全相同。

3-11. 克希荷夫定律——若干一般認為難解之電網絡 (Network) 問題，應用克希荷夫⁽¹⁾定律 (Kirchhoff's Law)，甚易解出。

(1) 克希荷夫，葛司泰夫，洛勃特 (Kirchhoff, Gustav, Robert, 1824—1887)，為德國之物理學家，生於和立斯堡 (Konigsberg)，即受教育於該地。1850 年任布雷斯勞 (Breslau) 之物理學特聘教授，1854 年任同職於海特爾堡 (Heidelberg)，繼於 1875 年遷至柏林。氏於電學，貢獻極多。除世所共知之克希荷夫定律為氏所制定外，復解出許多難題，如薄片及曲線之電傳導，兩感應球體之電分佈，感應電流及磁分佈之定律等。氏於輻射及光帶分析方面，亦有著名之貢獻。

在實用方面，所有繁複電路之解析，亦往往應用克希荷夫定律。

克希荷夫定律有二條，一係關於電流者，一係關於電壓者。

(I) 在任何電網絡中，其相過於任何一點之電流之代數和為零。

(II) 在任何完全通路中，所有電勢及電阻壓降之代數和為零。

第一定律，意至顯明，意謂凡自其交點 (Junction) 他流之總電流，恆等於流向該點之總

電流。此可以第 3.10 圖說明之，在圖內有四電流 I_1, I_2, I_3, I_4 過於一交點 O 。前三者係流向該點者，可採取正號，蓋彼等意欲增加 O 點之電量

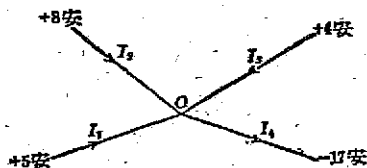


圖 3.10 克希荷夫第一定律之說明

也。電流 I_4 係自該點他流者，因其欲減少 O 點之電量，故前置一負號。因 O 點為電流出入所經之轉輸點，既不能蓄積電量，亦不能損失電量，故 $I_1 + I_2 + I_3 = I_4$ ，即

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \quad (3.18)$$

若 I_1 為 5 安， I_2 為 8 安， I_4 為 17 安，則

$$5 + 8 + I_3 - 17 = 0,$$

解得 I_3 為 +4 安，其正號表示其係流向 O 點者。

第二定律實即由歐姆定律蛻變而成者，其原理亦甚顯明。僅須擇電路中之某點為起點，循電路繼續進行，迄返至該起點為止，此時所達之電位必仍為該起點之電位。故電路中如有任何電源，其電勢必須等於全電路中各電阻之壓降。每一電壓前須置適當之正負號。此定律可以下列說明之。

今有兩電池組(第 3.11 圖)，其電勢各為 10 及 6 伏，其電阻各為 1 及 2 歐。若將其作相反之串聯(即正極與正極相接)，再接於一

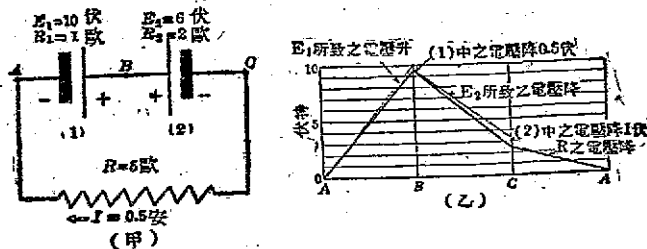


圖 3.11 電路中電位之變遷——克希荷夫第二定律

外電阻5歐。因兩電池組之作用相反，此組合之淨電勢為 $10-6=4$ 伏，其電流為

$$I = \frac{10-6}{1+2+5} = \frac{4}{8} = 0.5 \text{ 安。}$$

今取 A 點為零電位或曰參考電位 (Reference potential)。由 A 點向 B 點進行，因電池組(1)之電勢，致有 10 伏之壓昇；但在此段電路中，由於 0.5 安電流經過其 1 歐之內阻，致又有 0.5 伏之壓降。故 B 點之淨電位高於 A 點 9.5 伏，如第 3.11 圖(乙)之電位曲線所示。由 B 點再向 C 點進行，由電池組(2)之正極至其負極，故有 6 伏之壓降，加以 0.5 安電流經其 2 歐之內阻，又有 1 伏之壓降。故由 B 至 C 之總壓降為 7 伏，C 點之淨電位為 $9.5-7=2.5$ 伏。由 C 點回至 A 點，因 0.5 安電流，流經 5 歐電阻，發生 2.5 伏之壓降。故在重達 A 點時，其電位仍回至零。

故一電路中所有電勢，各前置以適當之正負號，其總和必等於所有 IR 壓降。在第 3.11 圖中，其電勢及壓降如下：

電 勢	IR 壓降
電池組(1) = +10 伏，	電池組(1)內 = $-0.5 \times 1 = -0.5$ 伏，
電池組(2) = -6 伏，	電池組(2)內 = $-0.5 \times 2 = -1.0$ 伏，
	5 歐電阻 = $-0.5 \times 5 = -2.5$ 伏，
總和 = +4 伏。	總和 = -4.0 伏。

第三章 電池之電勢——克希荷夫定律

$$+4 + (-4) = 0。$$

應用克希荷夫第二定律，亦可直接求出電流之值。始於 A 點，假定其電位爲零或參考電位，則

$$+10 - I - 6 - 2I - 5I = 0$$

$$8I = +4, \quad I = 0.5 \text{ 安。}$$

3-12 克希荷夫定律之應用——應用克希荷夫定律以解析某一問題時，所最感困難而易滋錯誤者，爲代數正負號之選擇。然苟能確遵下列二定則，則困難立解。在沿電路進行時，

電位係昇高者，其前應置正號。電位係降低者，其前應置負號。

例如經由一電池之負端至其正端。電位係昇高的，此電壓前應置正號。反之，由電池之正端行至其負端，電位係降低的，此電壓前應置負號。此種電壓均屬電源之電勢，故前置之符號與電流方向無關。

電阻之壓降，如係沿電流方向循跡者，其電壓係降低的，與順水流方向水位之降落相似。在沿電路進行時，無論所遇爲電池之內電阻或外電阻，凡電壓降沿電流方向而循跡者，其前應置負號。如所循跡之電阻壓降，與電流方向相反者，則電壓沿進行方向而昇高，此與逆水流進行時水位之上昇相似。是以電壓降逆電流方向而循跡者，其前應置正號。

要之，電阻兩端電壓所應前置之符號，僅視電流方向而定，與電路中任何電源之電勢極性無關。

以上所述，可以第 3.12 圖所示之電路說明之。電勢各爲 E_1, E_2, E_3 之三電池組，分別接入有電阻 R_1, R_2, R_3, R_4 之網絡中，如圖所示。各電流之方向，先假定如圖中箭頭所示。

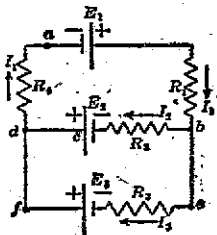


圖 3.12 克希荷夫定律之應用

再假定各電池組之內電阻甚小，與外電阻較，可以略而不計。

今由 a 點出發，就完全通路 $abcd a$ ，應用克希荷夫第二定律，可寫出下列方程式：

$$+E_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 - I_1 R_4 = 0. \quad (I)$$

再由 f 點出發，就完全通路 $febcdf$ ，得

$$-E_3 + I_3 R_3 - I_2 R_2 + E_2 = 0. \quad (II)$$

電路中共有三個未知數，必須三個方程式始敷應用。以上所得，僅有二式。若應用克希荷夫第二定律於 $febadf$ 通路，未嘗不可得第三方程式。然以第 (I) 式與第 (II) 式相合併，其結果必與第三方程式同。由此可知非有適合網絡之另一條件，不足以求其解答。此另一條件必須應用克希荷夫第一定律於某一交點得之。例如在 b 點，

$$+I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (III)$$

因根據假定， I_1 係流向 b 點，而 I_2 及 I_3 係自 b 點他流者。

已得三方程式，則解出三電流值，自屬可能。

應用克希荷夫定律於任何電網絡時，下述者為求得解答之必須條件：

(I) 應用克希荷夫第一定律於充分數目之交點；俾每一未知電流值，至少被列入式中一次。

(II) 應用克希荷夫第二定律至充分次數，俾網絡中每一支路至少被包括一次。

【例題 3.12】第 3.13 圖所示，係完全與第 3.12 圖相似之網絡，惟電勢及電阻之值，俱已示出。假定電池之內電阻，可以從略。

【解】就 $obcda$ 通路應用第二定律，

$$+4 - 0.5 I_1 - 3 I_2 + 2 - I_1 = 0,$$

$$1.5 I_1 + 3 I_2 = 6. \quad (I)$$

同理，就 $fbcdf$ 通路，應用第二定律，

$$-3 + I_3 - 3I_2 + 2 = 0,$$

$$3I_2 - I_3 = -1. \quad (II)$$

再就交點 b ，應用第一定律，

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (III)$$

以(III)式之 I_1 代入(I)式，得

$$4.5I_2 + 1.5I_3 = 0.$$

以之與第(II)式相合併，得

$$-6I_3 = -15,$$

$$I_3 = 2.5 \text{ 安。}$$

以 I_3 之值代入第(II)式，得

$$I_2 = 0.5 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

由第(III)式得 $I_1 = I_2 + I_3 = 3.0 \text{ 安。} \quad (\text{答})$

上述解法中，未用 $abefda$ 路徑，今可應用第二定律於此路徑。以資核對。

$$+4 - 0.5I_1 - I_3 + 3 - I_1 = 7 - 1.5 \times 3 - 2.5 = 0. \quad (\text{核})$$

3-13. 解答電網絡問題之步驟——應用克希荷夫定律以解答電網絡問題，係依下列有系統之步驟，必易於核對，且錯誤之可能性亦可減少。

(I) 作一清晰之電網絡簡路圖。分別在各部註以相當之字母或符號，寫出所有已知量於圖上。

(II) 以箭頭示出電網絡內每一支路所假定之電流方向，各支路上電流以 I_1, I_2, I_3 等名之。(若應用克希荷夫第一定律於某數交點，可合併數電流，俾能減少未知電流量之數目，將於第3-15節內解釋之)。

(III) 根據假定之電流方向，注意各部份電壓之性質，如電勢或電壓降之類，再默識各部份兩端電壓之高低。

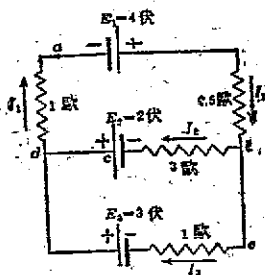


圖3.13 克希荷夫定律之應用

(IV) 未知量之數目既已決定，必須應用克希荷夫第一及第二定律排出數目之獨立方程式。每一方程式必須能含有其他方程式所未涉及之要素。確實注意每項之符號。

在排方程式時，應用第一定律所得關於電流之方程式數目，應較所有交點數目少一個。應用第二定律所得關於電壓之方程式數目，應等於未知量數目減去已有之電流方程式數目。若電流業已合併，則未知量數目省去幾個，電流方程式亦省去幾個。

(V) 用代數方法解各方程式，求出未知量。再用一未用過之方程式，以求得之值代入，以資核對。

【例題 3.13】如第 3.14 圖所示之電路，求電池組 A, C, E 中之電流方向及其數值。

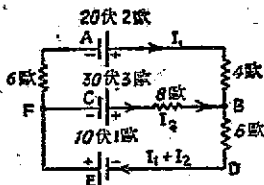


圖 3.14 解電網路問題之步驟

【解】在圖內箭頭所示為假定之電流方向。交點祇有兩個，F 及 B，故可排一個電流方程式。若將電池組 E 中之電流名為 I_3 ，則在 F 或 B 點 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ ，即 $I_3 = I_1 + I_2$ 。現即以 $I_1 + I_2$ 代替 I_3 寫於圖上，即可省去一未知量，故毋需電流方程式。僅有二未知量 I_1 及 I_2 ，若排出兩個電壓方程式，即可數用。

循 ABCFA 通路，以 A 為起點，

$$+20 - 2I_1 - 4I_1 + 8I_2 - 30 + 3I_2 - 6I_1 = 0,$$

$$-10 = 12I_1 - 11I_2. \quad (I)$$

循 FCBDEF 通路，以 F 為起點，

$$30 - 3I_2 - 8I_2 - 5(I_1 + I_2) + 10 - (I_1 + I_2) = 0,$$

$$40 = 6I_1 + 17I_2. \quad (II)$$

解(I)及(II)式得

電池組 A 之電流 $= I_1 = 1$ 安，

電池組 C 之電流 $= I_2 = 2$ 安，

電池組 B 之電流 $= I_2 = I_1 + I_2 = 3$ 安。 (答)

所得各電流值均為正，故前所假定之方向無誤。

又循 $ABDEFA$ 通路，以 A 為起點，得另一方程式

$$20 - 2I_1 - 4I_1 - 5(I_1 + I_2) + 10 - (I_1 + I_2) - 6I_1 = 0,$$

若以 I_1 及 I_2 之值代入，得

$$30 = 18I_1 + 6I_2 = 18 \times 1 + 6 \times 2 = 30. \quad (\text{核})$$

故 I_1 及 I_2 之答案無誤。

3-14. 電流之假定方向——應用克希荷夫定律以解電網絡問題時，關於各支路電流方向之適當假定，往往成為問題，因電流可假定其流向任一方向也。即或假定之方向與實際方向不合，在方程式解出後，其電流答案前將有一負號。但若電流既已假定為某一方向，在解析之過程中，此假定之方向應始終不變。

【例題 3.14】今若假定例題 3.12 中三電流之方向，均流向 d 點，如第 3.15 圖所示，試解該題。

【解】循 $abcd$ 通路，以 a 為起點，

$$+4 + 0.5I_1 - 3I_2 + 2 + I_1 = 0,$$

$$1.5I_1 - 3I_2 + 6 = 0. \quad (I)$$

循 $fedcdf$ 通路，以 f 為起點，

$$-3 + I_3 - 3I_2 + 2 = 0,$$

$$I_3 - 3I_2 - 1 = 0. \quad (II)$$

再應用第一定律於交點 d ，得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \quad (III)$$

解以上三式，得

$$I_1 = -3 \text{ 安}, I_2 = 0.5 \text{ 安}, I_3 = 2.5 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

I_1 之答案前有負號，表示實際方向與適所假定者相反。 I_2 及 I_3 前之正號，表示假定方向與實際方向相符合。

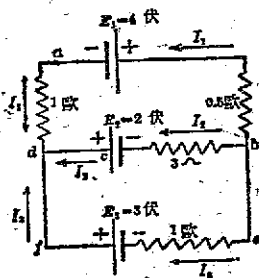


圖 3.15 假定電流之方向

3-15. 克希荷夫定律之進一步應用——第 3-12 節曾述及，

克希荷夫第一定律必須應用於充分數目之交點，俾每一電流至少被列入式中一次。第二定律必須應用至電網絡之每一支路至少一次。用此兩條規則，能使排出之方程式數目，等於未知量之數目。此事實可從第 3—12 節及第 3—14 節之例題證明之。

然若依據第一定律，直接合併各電流於電路圖上，能減少未知電流之數目，即減少方程式之數目。此點已於第 3—13 節及例題 3.13 中約略涉及，下列例題可作更進一步之例證。

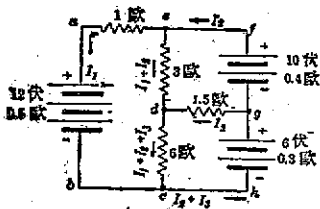


圖 3.16 電網絡

【例題 3.15】求第 3.16 圖所示電網絡中所有電流值及 ed 與 do 間之電壓。其中電池組之電阻，並未略去。

【解】本題之未知電流共有六個，然若在 d 與 e 兩交點上併合數電流，未知電流可減為三個。先應用克希荷夫第二定律於 $abodea$ 通路，

$$\begin{aligned} -12 + 0.5I_1 + 6(I_1 + I_2 + I_3) + 3(I_1 + I_2) + I_1 &= 0, \\ 10.5I_1 + 9I_2 + 6I_3 &= 12. \end{aligned} \quad (I)$$

再循 $efgde$ 通路，

$$\begin{aligned} -10 + 0.4I_2 - 1.5I_3 + 3(I_1 + I_2) &= 0, \\ 3I_1 + 3.4I_2 - 1.5I_3 &= 10. \end{aligned} \quad (II)$$

循 $odghc$ 通路，

$$\begin{aligned} +6(I_1 + I_2 + I_3) + 1.5I_3 - 6 + 0.3(I_2 + I_3) &= 0, \\ 6I_1 + 6.3I_2 + 7.8I_3 &= 6. \end{aligned} \quad (III)$$

解(I), (II), (III)三個方程式，先在(I)與(II)間消去 I_1 ，次在(II)及(III)間亦消去 I_3 ，得

$$\begin{aligned} 22.5I_1 + 22.6I_2 &= 52, \\ 82.4I_1 + 85.97I_2 &= 87. \end{aligned}$$

解此二式，得

$$I_1 = -1.244 \text{ 安}, I_2 = +3.540 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

以此代入(II)式得

$$I_3 = -1.126 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

故 I_1 及 I_3 之實際流動方向與所假定者相反。

$$\text{由 } e \text{ 至 } d \text{ 之電流} = I_1 + I_2 = +2.296 \text{ 安,} \quad (\text{答})$$

$$\text{由 } d \text{ 至 } c \text{ 之電流} = I_1 + I_2 + I_3 = +1.17 \text{ 安,} \quad (\text{答})$$

$$\text{由 } c \text{ 至 } h \text{ 至 } g \text{ 之電流} = I_2 + I_3 = +2.414 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$ed \text{ 間之電壓} = +2.296 \times 3 = 6.89 \text{ 伏,} \quad (\text{答})$$

$$dc \text{ 間之電壓} = +1.17 \times 6 = 7.02 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$ce \text{ 間之電壓} = 12 - (-1.244) \times 1.5 = 13.9 \text{ 伏。} \quad (\text{核})$$

若再應用第二定律於 $abchgfeu$ 通路,此通路在排出 (I), (II), (III) 三方程式時並未用過,故可再度校核解得之答案。

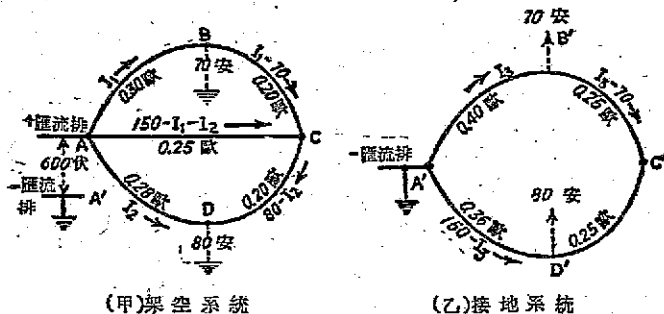
$$\begin{aligned} & -12 + (-1.244) \times 0.5 + 6 - 2.414 \times 0.3 + 10 - 3.540 \times 0.4 + (-1.244) \\ & = +16 - 16 = 0. \end{aligned} \quad (\text{核})$$

3-16. 克希荷夫定律對於電車鐵道之應用——凡電能之經由配電站用饋電線饋送於負載者,如電車鐵道(Electric railway), 傳輸制度諸問題等,皆可應用克希荷夫定律解之。實際上因電車鐵道之負載,漲落甚大,位置無定,不能成爲一固定之問題,故直接應用克希荷夫定律,常不可能。但在電力(Power)及電燈(Lighting)制度中,饋電線之大小及排列法,大率係根據運用之策略而決定者,如在各處所需之電壓等等。姑不論所用者爲何種計算方法,而此等制度中電壓與電流之關係,莫不以克希荷夫定律爲依據。若取一種代表制度爲例,應用克希荷夫定律,則對於影響運用情形之各因素,必可有深切之了解。

下述例題即說明此定律於一簡單電車鐵道制之應用。

【例題 3.16】第 3.17 圖示一簡單電車鐵道制,包括一環形架空線及一饋電線,如圖(甲)所示。爲簡單起見,軌道與接地回路另行表示如圖(乙)。

A' 與 A 相應，餘類推。配電站 A 滙流排之電位，保持其高於地電位 600 伏。架空電線之電阻如下： A 至 B 為 0.30 歐， B 至 C 為 0.20 歐， C 至 D 為 0.20 歐， D 至 A 為 0.28 歐。軌道及接地回路之電阻如下： A' 至 B' 為 0.40 歐， B' 至 C' 為 0.25 歐， C' 至 D' 為 0.25 歐， D' 至 A' 為 0.36 歐。饋電線由 A 接至 C ，電阻為 0.25 歐。一車在 BB' 處取用電流 70 安；另一車在 DD' 處取用電流 80 安。求(甲)架空線上每段及饋電線上之電流；(乙)各車及饋電點之電壓。



(甲) 架空系統

(乙) 接地系統

圖 3.17 電車制度

【解】設自 A 至 B 之電流為 I_1 ， A 至 D 之電流為 I_2 。總電流為 150 安。故饋電線之電流為 $150 - I_1 - I_2$ 。應用第 3—15 節之原理， B 與 C 、 B 與 C 與 D 間之電流，均可用 I_1 及 I_2 間接表示，如圖所示。

(甲) 就 $ABCA$ 通路，應用克希荷夫第二定律，

$$\begin{aligned} -0.30I_1 - 0.20(I_1 - 70) + 0.25(150 - I_1 - I_2) &= 0, \\ -0.75I_1 - 0.25I_2 + 51.5 &= 0. \end{aligned} \quad (I)$$

就 $ACDA$ 通路，應用同律，

$$\begin{aligned} -0.25(150 - I_1 - I_2) - 0.20(80 - I_2) + 0.28I_2 &= 0, \\ 0.25I_1 + 0.73I_2 - 53.5 &= 0. \end{aligned} \quad (II)$$

以 3 乘(II)式，與(I)式相加，得

$$1.94I_2 = 109,$$

$$I_2 = 56.2 \text{ 安}.$$

(答)

以 I_2 之值代入(II)式，得

$$0.25I_1 = 12.5,$$

$$I_1 = 50.0 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$B \text{ 至 } C \text{ 之電流} = 50.0 - 70.0 = -20.0 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

故實際上電流係自 C 向 B 流。

$$C \text{ 至 } D \text{ 之電流} = 80 - 56.2 = 23.8 \text{ 安。}$$

$$\text{饋電線 } AC \text{ 之電流} = 150 - 50 - 56.2 = 43.8 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

以上答案，若應用克希荷夫定律於 $ABCD A$ 通路，可資核對。

(乙) B 點電壓，(高於配電站負滙流非電壓之值)為

$$600 - 50 \times 0.30 = 585 \text{ 伏。}$$

依同理， C 點之電壓為

$$600 - 43.8 \times 0.25 = 588.5 \text{ 伏。}$$

D 點之電壓為

$$600 - 56.2 \times 0.28 = 584.2 \text{ 伏。}$$

欲求兩車及 CC' 間之電壓，先須求軌道及接地回路各段之壓降。就

(乙)之接地回路，即 $A'B'C'D'A'$ ，應用克希荷夫第二定律，

$$-0.40I_3 - 0.50(I_3 - 70) + 0.36(150 - I_3) = 0,$$

$$1.26I_3 = 89, \quad I_3 = 70.7 \text{ 安。}$$

$$A' \text{ 至 } D' \text{ 之電流} = 150 - 70.7 = 79.3 \text{ 安。}$$

$$A' \text{ 至 } B' \text{ 間之壓降} = 70.7 \times 0.40 = 28.3 \text{ 伏。}$$

$$A' \text{ 至 } D' \text{ 間之壓降} = 79.3 \times 0.36 = 28.6 \text{ 伏。}$$

其由 B' 至 C' 及由 D' 至 C' 之壓降，約各為 0.2 伏，可以略而不計。

$$BB' \text{ 處電車之電壓} = 585.0 - 28.3 = 556.7 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$DD' \text{ 處電車之電壓} = 584.2 - 28.6 = 555.6 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

由 C 點至地間之電壓實際上為 588.5 伏。 (答)

此問題所異於以前諸例題者，一則此題內之電流為已知量而非電壓。再即架空系中之電流僅依其本身各電阻而分配，與接地系無關。同理，接地系中之電流，亦僅依其本身電阻而分配，與架空系無關。

8-17. 克希荷夫定律在電力制度中之應用——下列例題，係

說明克希荷夫定律在電力制度中之應用。此制大體與第 3-16 節所述之電車鐵道制相同，惟此制之出線系與回線系完全相對稱。因此，出線系與回線系上相應各部之電流亦同，解析即較簡易。爲例證起見，以下列舉兩種解法，以第二法爲較簡。

【例題 3.17】 第 3.18 圖示一在 A 點之配電站，藉環形饋電系供電於兩

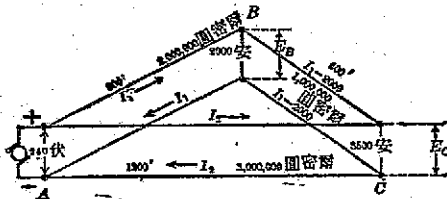


圖 3.18 環形饋電制

用電中心 B 及 C。於 A, B 兩點間，敷設兩根平行之 800 呎，1,000,000 圓密爾饋電線；A 與 C 間之距離爲 1,200 呎，平行敷設三根 1,000,000 圓密爾饋電線；B 與 C

間，接有一根長 600 呎，1,000,000 圓密爾之近接線(Tie-wire)。今 B 點之負載爲 2,000 安，C 點之負載爲 3,500 安。求(甲)饋電線之電流；(乙)各配電中心之電壓。

【解】 假定每圓密爾兩呎饋電線電阻爲 10 歐。出線與回線之電阻相同。

$$AB \text{ 間每線之電阻} = \frac{800 \times 10}{2 \times 1,000,000} = 0.004 \text{ 歐,}$$

$$BC \text{ 間每線之電阻} = \frac{600 \times 10}{1,000,000} = 0.006 \text{ 歐,}$$

$$AC \text{ 間每線之電阻} = \frac{1,200 \times 10}{3 \times 1,000,000} = 0.004 \text{ 歐.}$$

應用克希荷夫第二定律，由 A 經 B 及 C，自正線出，經負線返，得

$$240 - 0.004I_1 - 0.006(I_1 - 2,000) - E_B$$

$$- 0.006(I_1 - 2,000) - 0.004I_1 = 0,$$

$$240 - 0.020I_1 + 24 = E_C.$$

(I)

同理，直接由 A 至 C，得

$$240 - 0.004I_2 - E_C - 0.004I_2 = 0,$$

$$240 - 0.008I_2 = E_C.$$

(II)

以(I)及(II)式相合併，

$$0.020I_1 - 0.008I_2 = 24. \quad (III)$$

應用克希荷夫第一定律於交點 C，得

$$\begin{aligned} I_1 - 2,000 + I_2 &= 3,500, \\ I_1 + I_2 &= 5,500. \end{aligned} \quad (IV)$$

以(IV)式與(III)式相合併，得

$$\begin{aligned} 0.020(5,500 - I_2) - 0.008I_2 &= 24, \\ -0.028I_2 &= 110 - 24 = 86, \\ I_2 &= 3,070 \text{ 安}, \end{aligned} \quad (\text{答})$$

$$I_1 = 5,500 - I_2 = 2,430 \text{ 安}. \quad (\text{答})$$

從第(II)式，

$$E_G = 240 - 3,070 \times 0.008 = 215.44 \text{ 伏}. \quad (\text{答})$$

$$E_B = 240 - 2,430 \times 0.008 = 220.56 \text{ 伏}. \quad (\text{答})$$

本題之解答，亦可不用 A, B, C 各點之電壓。取一電路，自 A 點之正滙流排，沿正饋電線至 B 及 C，然後沿 3,000,000 圓密爾饋電線之正導線回至 A，可得下式，

$$-0.004I_1 - 0.006(I_1 - 2,000) + 0.004I_2 = 0,$$

$$0.010I_1 - 0.004I_2 = 12.$$

此式與上列(III)式相同，惟各項均為(III)式之半。再在 C 點之電流為

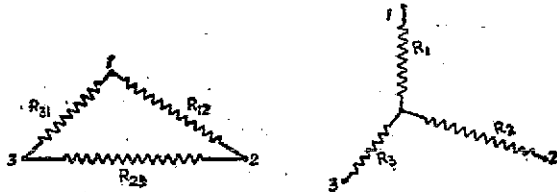
$$I_1 + I_2 = 5,500 \text{ 安}.$$

此即第 IV 式，解此兩式，所得結果與上法相同。

此題與前節所述電車軌道問題性質相似，除電壓及電阻外，負載電流亦為已知量。

3-18. 等效之三角形及星形(或 Y 形)網目——應用克希荷夫定律時，如所解者為一含有極多支路之電網絡，所需聯立方程式數必極多，解析不無繁瑣。然若將三角形網目(Delta mesh)逐漸代以星形網目(Star mesh)，或將星形網目，代以三角形網目，往往可將繁複之網絡化為簡單者。以網絡之三低接頭而論，任何三角形

網目，如所包括僅為無源電阻 (Passive resistance)，可以一等效之三端星形，即 Y 形網目代之；反之亦然。



(甲) (乙)
圖 3.19 等效之三角形及星形網目

(I) 以星形代三角形——第 3.19 圖(甲)示一含有三電阻 R_{12} , R_{23} , R_{31} 之三角形制，分別接於 1, 2, 3 三端間。今就該三接頭端而言，欲求一星形制，俾可代替此三角形制。圖(乙)示此星形網目，包括電阻 R_1, R_2, R_3 亦接於 1, 2, 3 端。其求法如下：

在圖(乙)中，1 與 2 端間之電阻為 $R_1 + R_2$ ；但在圖(甲)中，1, 2 兩端間之電阻為 R_{23} 與 R_{31} 相串聯再與 R_{12} 相並聯。故

$$R_1 + R_2 = \frac{R_{12}(R_{23} + R_{31})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad (I)$$

其 2 與 3 端間及 3 與 1 端間之電阻，亦可以同法求之。

$$R_2 + R_3 = \frac{R_{23}(R_{31} + R_{12})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad (II)$$

$$R_3 + R_1 = \frac{R_{31}(R_{12} + R_{23})}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad (III)$$

解(I), (II), (III)三聯立方程式可得三未知量，為

$$R_1 = \frac{R_{31}R_{12}}{\Sigma R_n} \quad (3.19)$$

$$R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{\Sigma R_n} \quad (3.20)$$

$$R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{\Sigma R_n} \quad (3.21)$$

$$\Sigma R_n = R_{12} + R_{23} + R_{31}$$

(II) 以三角代星形——從星形化為三角形，僅須解第 3.19, 3.20 及 3.21 式得之。令

$$\Sigma R_0 = R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1$$

再以第 3.19 式乘第 3.20 式，以第 3.20 式乘第 3.21 式，以第 3.21 式乘第 3.19 式相加得

$$\Sigma R_0 = \frac{R_{12}R_{23}R_{31}(R_{12} + R_{23} + R_{31})}{(R_{12} + R_{23} + R_{31})^2},$$

$$R_{12} = \frac{\Sigma R_0(R_{12} + R_{23} + R_{31})}{R_{23}R_{31}} = \frac{(\Sigma R_0)(\Sigma R_n)}{R_{23}R_{31}} \quad (IV)$$

再從第 3.21 式得

$$R_{23}R_{31} = R_3(\Sigma R_n) \quad (V)$$

以(V)式代入(IV)式得

$$R_{12} = \frac{\Sigma R_0}{R_3} \quad (3.22)$$

同法得

$$R_{23} = \frac{\Sigma R_0}{R_1} \quad (3.23)$$

$$R_{31} = \frac{\Sigma R_0}{R_2} \quad (3.24)$$

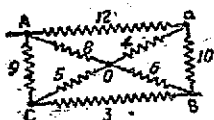
【例題 3.18】第 3.20 圖(甲)示一電阻網絡 AB，其各電阻皆註明於該圖，求在 A 與 B 點間該網絡之等效電阻。

【解】此題之解法，為化三角形網目 AOC 及 aOB 為其等效星形制，用第 3.19, 3.20 及 3.21 式求出如下，可於圖(乙)及圖(丙)中見之，在圖(乙)中，

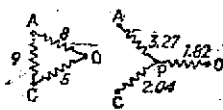
$$\Delta P = \frac{8 \times 9}{22} = 3.27, \quad OP = \frac{8 \times 5}{22} = 1.82, \quad CP = \frac{5 \times 9}{22} = 2.04.$$

在圖(丙)中，

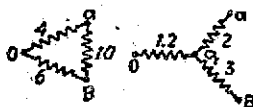
$$Oq = \frac{4 \times 6}{20} = 1.20, \quad aq = \frac{4 \times 10}{20} = 2.00, \quad Bq = \frac{10 \times 6}{20} = 3.00.$$



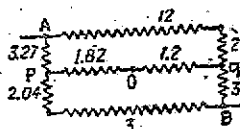
(甲)



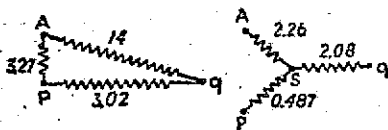
(乙)



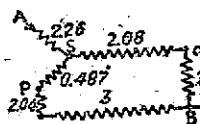
(丙)



(丁)



(戊)



(己)

圖 3.20 複雜電網絡之化簡法

以圖(乙)及圖(丙)之星形制各代替其相應之三角形制，網絡之構造已簡化如圖(丁)所示者。若再將三角形 AqP 化成星形，如圖(戊)所示者，則更簡單

$$AS = \frac{3.27 \times 14}{20.29} = 2.26, \quad qS = \frac{3.02 \times 14}{20.29} = 2.08, \quad PS = \frac{3.27 \times 3.02}{20.29} = 0.487.$$

以圖(戊)之星形代替 AqP 三角形，整個網絡之結構即如圖(己)所示。此時該網絡僅為一串並聯電路，其總電阻為

$$R = 2.26 + \frac{(3.0 + 2.08)(0.487 + 2.04 + 3.0)}{3.0 + 2.08 + 0.487 + 2.04 + 3.0} = 2.26 + 2.65 = 4.91 \text{ 歐。 (答)}$$

第四章

原電池與蓄電池

4-1. 電池之原理 —— 設取二銅片或二銅板浸入稀硫酸溶液中(第 4.1 圖(甲))，接於一伏特計之兩端，伏特計上並無任何顯著之偏轉 (Deflection)。此表示兩銅片間並無任何顯著之電位差存在。然若將銅片之一代以鋅片，伏特計即有偏轉，約指 1 伏，可見該銅鋅兩片間有電位差存在。又銅片必須接於伏特計之正端，鋅片接於其負端，否則伏特計之偏轉即反。故就外電路而言，銅為正性，鋅為負性。

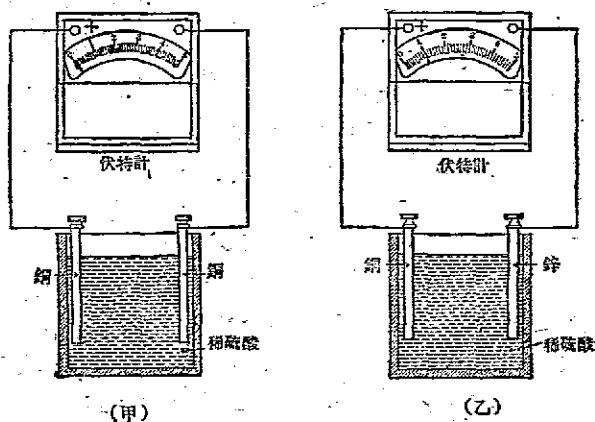


圖 4.1 簡單之原電池

此實驗亦可用其他金屬重複試之。例和鐵或鉛可用以代銅，與鋅片間亦有電位差存在。惟其電位差與銅鋅間之電位差不同。代替

鋅之金屬亦有多種，與銅間亦可有不同之電位差存在。

且非僅硫酸可用為溶液者。其他酸類，如鹽酸，及銻酸，甚至各種鹽類，如氯化鈉，氯化銨，硫酸銅，硫酸鋅等之溶液，亦可採用。欲求在兩金屬板間有電位差存在，必須適合下列二條件：

(I) 此二片必為不同之金屬。

(II) 此二片必須浸於某種電解質，如酸類，鹼類或鹽類之溶液中。

今如接一電阻 AB 於第 4.1 圖(乙)所示電池之兩端間(第 4.2

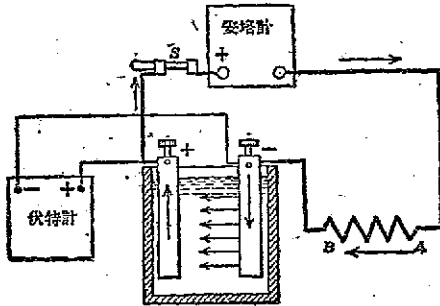


圖 4.2- 單電池內電流之方向

圖)，即有電流自電池之銅端流出，經過電阻 AB ，由鋅端返回電池。在電池之內，電流係自鋅端經溶液回至銅端，如第 4.2 圖所示。電流在電池內，既係由鋅至銅，

鋅可稱為電化的正性，銅係電化的負性。故就外電路而論，銅對於鋅為正性；若就兩金屬片及溶液而言，鋅對於銅為電化的正性。

4—2. 定義——電池之金屬片或金屬板，稱為電極或極(Electrode)，電流所由進入溶液之電極(如第 4.2 圖之鋅)，稱為陽極(Anode)。但對外電路言，則為負極。電流所經由離去溶液之電極(如第 4.2 圖之銅)，稱為陰極(Cathode)。但對外電路言，則為正極。

電池中所用之溶液，稱為電解液(Electrolyte)。

自電池逐漸取用電流，則鋅板之重量逐漸減輕。此種現象不僅

在銅鋅組合內，任何電池，有電流流出，至少其中一個極板之重量，必須減輕。能量係以化學能之方式儲於電池內。由於電極板逐漸消耗於電解液內，即一個極板逐漸氧化或變換為其他化合物。電池始有電能輸出。在電化之過程中，電池內全部可用之化學能，漸漸隨化學變化而減少。換言之，經電化手續，其化學能逐漸變換而為電能。故

電池或電池組者，乃變換化學能為電能之一種設置也。

此種電池或電池組，可分為兩大類，即原電池 (Primary cell) 與副電池 (Secondary cell)，後者又稱蓄電池 (Storage battery)。

原電池之電解液，及其消耗於溶液中之電極，經過相當時期必須予以補充。

副電池之電解液及電極，雖亦在電化過程中消失，然可以反向電流輸入時所起之電化作用，使之還原。其化學能與電能之變換為可逆的。

4-3. 原電池 —— 第 4-1 節雖云可有多種金屬與溶液之組合，能產生電勢，組成電池。但在商業上可付諸應用者僅為有限之幾種。一良好之電池，必須具備下述諸條件：

(1) 電池之內，須無局部作用 (Local action)，即在電池不供給電流時，不將物料虛耗。縱有消耗，亦須極微。

(2) 電池之電勢，須能藉適中之電流，輸出相當之電能。

(3) 電池之材料，不應常須換新，且其價須不昂。

(4) 電池之內電阻及極化 (Polarization) 作用 (見第 4-5 節) 須不甚大。否則即不能勝任過久時間之電流供給。

第 4.1 圖 (乙) 所示之電池，在不供給電流時，其銅與鋅，亦被消耗。其極化作用甚為可觀，且僅能供給微弱之電流，故不合實用。

僅是實原理之說明而已。

4-4. 內電阻——在第三章內曾述及，每一電池或電池組皆有內電阻 (Internal resistance)。當電池供給電流時，此種電阻恆將電流及端電壓抑低。此內阻存在於電極板本身，電解液本身，以及電極與電解液之接觸面間。與用粗導線以減低其電阻之原理相似，電池之內阻，亦可加大電池之尺寸以減低之。電池內電流所經路徑之截面積，以愈大為愈佳，意即電極與電解液須有甚大之接觸面積。且電極板之橫截面積亦須較大，俾電流縱穿極板至其端鈕時，亦可遭遇較小之電阻。用較大較厚之極板，不但可減低其電阻，且增加其載流量。事實上，欲將極板本身電阻減至極微，俾其電壓降可以略而不計，並非難事。除增加電解液及電極板之截面積外，更可縮短兩電極板間之距離，以期減低電池之內阻。因縮短距離，則電流在電池內所經行之路徑亦縮短，其內阻自連帶地減低。

加大電池之尺寸，並不能增高其電勢。電勢之高低，僅視兩電

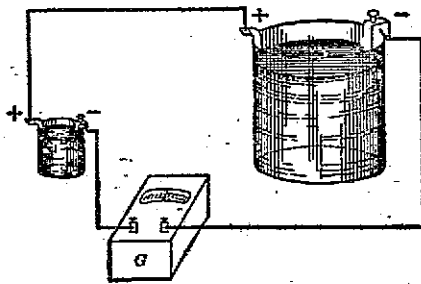


圖 4.3 電勢相等而大小不同之兩電池

極及電解液之材料為定。第 4.3 圖示兩電池，其製成之材料相同，但大小各異。今以兩電池串聯反接，即正極與正極相接，負極與負極相接。若插接一安培計於一引線中，其讀數為零。可見並無電流自大電池

流入小電池，故此二電池之電勢必相等。

4-5. 極化作用——設作一試驗，以求電池供給電流時，其端電壓漸降之情形。例如第 4.2 圖所示，取伏特計，安培計及一外電

阻與一乾電池相接，其電壓之變化，將如以下所述：如第4.4圖所示。

當電池之外電路未接通時，伏特計所指示者為其電勢 E 。今閉合開關 S ，即有電流流動，端電壓立即降低，其降低之值為 AB ，約

等於電池內阻所致之壓降，如第三章所討論者。

經較長之時間，即或外電阻之值保持不變，端電壓仍繼續降落，如第4.4圖所示之 BB' 部份。

此種壓降，幾全因極化作用而致者。

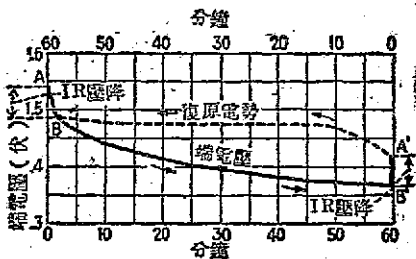


圖 4.4 乾電池之放電及復原特性曲線

設在降達 B' 之際，將外電阻撤去，端電壓立即升高。升高之值，即圖中 $B'A'$ 之距離，與電池之內阻壓降相等。再經相當時間，如第4.4圖上標度所代表者，電池之電勢即可逐漸恢復，實因附着於正極板（即陰極）上之氫氣泡逐漸逸出之故。

在電池供給電流時，其在正極板上，有氫氣泡之形成，幾籠罩其全部，於是生極化作用。此種氫氣泡有下列兩種效應：

- (1) 使正極板與電解液間接觸面之電阻，有多量之增加。
- (2) 氫氣與正極板相作用，產生一電勢，與電池之固有電勢相反。

此兩種效應，可以解釋何以若干電池供給電流稍久，其電流即自行減少。

極化作用之補救法——上述氫氣泡可用機械方法移去之，例如刷去氣泡或攪亂電解液之類。然此方法，在商用情形下，無法實施。若使極板面略呈粗糙，氣泡附着於其突出點，逸出較易。

(1) 取自「電機工程師標準手冊」第六版，第24章，第2379頁。

以化學方法移去氫氣泡，較合實用，其法係以氧化劑如鉻酸或二氧化錳之類，與正極板接觸，氫即與此等化合物之氧化合成水(H_2O)。在重鉻酸鹽電池(Bichromate cell)，勒克蘭社電池及乾電池中，俱用此法。

4—6. 丹聶爾電池——丹聶爾電池 (Daniel cell) 為一雙液電

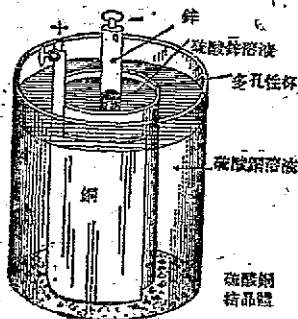


圖 4.5 丹聶爾電池

池(第 4.5 圖)，以銅與鋅為電極。容器為一玻璃缸，內貯硫酸銅溶液，缸底置有硫酸銅之結晶體。以一多孔性杯(porous cup)置於此溶液中，杯內貯硫酸鋅溶液，或硫酸鋅與硫酸混合之溶液。其負極板為鋅，浸於杯內之電解液中。正極板用銅，浸於硫酸銅溶液中，環繞杯之四週。多孔性杯之作用，在分隔二種溶液，使不

相混。又因銅在硫酸銅溶液內，故無極化作用。此種電池係為連續通路之應用而設計者。如接於斷路上，其二電極板即漸耗蝕。電池若在不用時，必須取出電極，多孔性杯亦須洗淨。此電池之電勢為 1.1 伏。

4—7. 重力電池——重力電池 (Gravity cell) 與丹聶爾電池

大體相仿，所不同者，其分隔二電解液之方法，在此式電池內，不賴多孔性杯，而係利用其不同之比重者。第 4.6 圖示此種電池。正極亦為銅，由數薄片相釘合者與硫酸銅結晶體同置於缸底。再以硫酸銅溶液注入缸中，至離缸口數吋為止。縛一絕緣銅線於銅極，穿過溶液引至缸頂，作引線(Lead)之用。缸底之硫

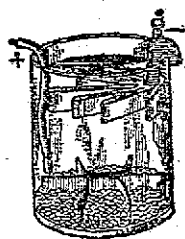


圖 4.6 重力電池

酸銅結晶體，不可稍缺。

負極板爲鋅，以厚塊鑄成鴉爪形，懸於缸頂，四週置硫酸鋅溶液。此二溶液之比重不同，自相分隔。硫酸銅溶液較重，常沉於缸之下部，硫酸鋅溶液浮於其上。在注入溶液時，切宜謹慎，勿使硫酸銅溶液與鋅相接觸，否則，銅將澱積於鋅極上。苟因不慎，鋅板上已積有銅，即須將銅刮去。電池當使用時，鋅漸溶解於溶液成硫酸鋅，硫酸銅溶液中之銅，逐漸自溶液中還原，澱積於銅極板上。故鋅極之重量漸減，銅極之重量漸增，是以在電池製成之初，鋅極須爲厚塊，銅極僅用薄片。

電池中之硫酸鋅溶液，因毛細孔作用，常沿壁上吸至缸頂，而形成結晶體之澱積。爲防止此種上吸起見，缸口必須塗蠟。又爲防止蒸發起見，電解液面上，須撒一層油質。在補充電池時，應增補金屬鋅及硫酸銅結晶體，而移去一部份金屬銅塊及硫酸鋅溶液。

重力電池亦僅合於通路之用，故爲得良好之結果起見，其所接入之電路，必須常通。否則，其硫酸銅與硫酸鋅溶液，漸相混雜。此種電池曾在鐵道信號制，警號制，電話交換所等各種通路工作中，有廣大之用途，惟近來已多爲蓄電池所替代。此電池之電勢，視其溶液之濃度而異，大概爲 1.09 伏，與丹遜爾電池所差無幾。

4-8. 愛迪生⁽¹⁾—勒蘭德電池——第 4.7 圖所示爲愛迪生—勒蘭

(1) 湯姆斯·愛·愛迪生(Thomas A. Edison, 1847—1931)，屬麻省之美國大發明家也。幼年在火車上售賣新聞紙，因常須探訪重要新聞，作敏捷之報道，故於電報術亦甚熟諳。嗣以所設於貨車中之化學實驗室，不戒於火，焚及車輛，致遭驅逐。兵復研究，並重作法拉第之實驗，於電報學大感興趣，曾發明證券示價機(Stock Ticker)。於 1869 年，兵發明雙工電報術(Duplex Telegraphy)。乃自設小廠，從事電氣器械及證券示價機之製造及改良，且發明碳質電話話筒。1877 年，發明留聲機。1879 年發明白熾燈，此爲兵一生最偉大之發明。嗣後改良發電機，發明佈電方法，包括以兵名爲名之三線制。1889 年發明活動電影。又發明以兵名爲名之原電池及蓄電池。兵從事工作，

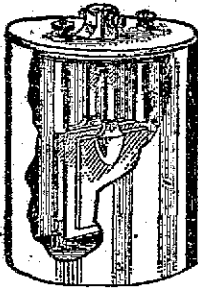


圖 4.7 愛迪生-勒蘭
德電池，或愛
迪生原電池

德電池 (Edison-Lalande cell)，目前仍有延用之者。正極板(即陰極)為氧化銅，懸於作為負極板(即陽極)用之兩塊鋅板間。所有極板均用螺栓(Bolt)裝於一瓷蓋上，螺栓不但用為極板之接線柱(Binding post)，且兼作支柱之用。

所用電解液為苛性鈉(NaOH)溶液，其成分為苛性鈉一份與水三份之比。電解液面上覆以一層礦物油，以防止苛性鈉與空氣起作用。若有氫氣泡形成於正極，氧化銅即放出其中之氧與氫化合，以阻止任何極化作用之發生。此式電池有供給大電流之本領。其電勢約為 0.95 伏，在供給正常電流時，其端電壓降至 0.75 伏。電池內極化作用極少，甚至於無，故於通路及斷路作用均能勝任。其唯一缺點，即其電勢太低。近來因乾電池及蓄電池之使用便利，品質高超，愛迪生-勒蘭德電池幾無使用之者。

4-9. 勒克蘭社電池——勒克蘭社電池 (Le Clanche cell) 大概為各種原電池中之最為人所熟悉者，因目前用途極廣之乾電池，即係由此電池蛻變而成者。其正極板(即陰極)為鑄型之碳質，負極板(即陽極)為汞齊之鋅 (Amalgamated zinc)。電解液為氯化銨 (NH_4Cl)，俗稱鹼砂 (Sal ammoniac)，因其極化作用甚速，故僅合於斷路之用。其電勢約為 1.4 至 1.5 伏，但因其內阻壓降及極化作用，在應用時，其端電壓僅能視作 1.0 伏。減少極化作用最普遍之方法，係以二氧化錳與碳極緊密接觸，二氧化錳放出其氧之一

永無倦容，而理想豐富，尤為其特徵。終氏之生得專利權千種以上，其之實驗室及工廠，分設於曼羅公園 (Menlo Park)，西橘城 (West Orange) 及新澤賽 (New Jersey) 諸地。

部，與氫化合成水。

在勒克蘭電池之一式中，以一細鋅條置於碳與二氧化錳合成之空心圓柱體中。其稍加改良之一式，用多孔性圓杯，如第 4.8 圖所示。此式中碳杯內滲貯二氧化錳，以鋅板曲成圓柱形，圍繞碳杯，二者以橡膠圈相隔。

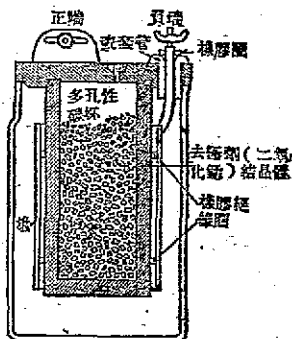


圖 4.8 多孔杯式勒克蘭電池

溶液中所含氯化銨與水須為 5 英兩與 1 品脫 (pint) 之比。溶液過濃，則鋅與碳上均有氯化鋅之結晶體。為防止溶液之沿壁上吸起見，電池之蓋，須曾浸於石臘中者，碳杯之口亦須塗臘。

此種電池構造簡單，且不含傷害性之酸類及鹼類，故在斷路工作，如門鈴，電話，斷路電報工作中，一度應用甚廣。迨乾電池問世，其形式更為便利，今日替代應用此電池之大部矣。

4-10. 乾電池——乾電池 (Dry cell) 實係勒克蘭電池之一種，惟其電解液保留於富有吸收性之物質內，全部電池固封於一容器中，以防其蒸發。此電池因其重量甚輕，便於攜帶，實際上已取其種原電池而代之。按乾電池之名，並不符其實，蓋決無乾燥之電池能供給電流者。且乾電池用罄之原因，往往由於內部乾燥所致。

第 4.9 圖示一乾電池之截面圖。其負極板為曲成圓柱形之鋅片，兼作此電池容器之用。負接線柱銜接於鋅片頂邊上。鋅杯內襯不導電物質如吸水紙或燒石膏 (Plaster of paris) 之類。正極板為一碳棒，位於鋅杯之中軸，其四週圍以焦煤，碳屑等之混合物。碳

棒之形式視各製造廠家而異，棒頂裝有正接銀柱。用爲去極化劑 (Depolarizer) 之二氧化錳粉，與研細之焦煤粉相混合，塞緊於

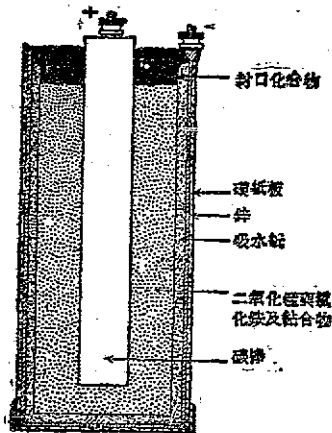


圖 4.9 乾電池之剖面圖

碳棒與鋅杯內所襯不導電物質之間，填滿電池，直至距杯口約一吋爲止。加入氯化銨及少量硫酸銨後，卽可以臘或某種煤膠或稱焦油化合物 (Tar compound) 者封固之。鋅片外緣往往塗漆。整個電池常套以適當之卡紙圓套。

乾電池在製成之初，其電勢約爲 1.5 伏至 1.6 伏。倘擱置不用，亦逐漸降落至 1.4 伏左右。若電勢過低於 1.5 伏，卽爲開始衰敗之徵象。電池經十二至十八個

月以後，卽從未用過，亦等於無用。內阻在製成之初爲 0.1 歐，然擱置過久，可漸增至數倍之譜。極化作用之影響，較內阻爲大。內阻之高低，除表示電池之健全情形外，殊無關重要。例如測試乾電池之健全與否，往往以一安培計捷接之。若電池在良好情形下，其捷路電流 (Short-circuit current) 之瞬間值爲 $1.5/0.1$ 卽 15 安。其甫製成者，在此情形時，此值可達 25 安。乾電池在供給較大電流時，其端電壓近於 1 伏。

因電池內之電化作用，將鋅逐漸用去，因此使電解液漏出，或蒸發，電池遂致無用。若加入新溶液，雖可暫延其壽命，然結果輒難美滿。

乾電池之應用甚廣，人所共知。其應用之範圍，限於須供給輕量斷續電流之處，然亦能供給在 0.1 安以下之極小連續電流。諸如門

鈴，電鈴，氣機 (Gas engine) 之發火 (Ignition)，手電筒 (Flash lamps)，電蟬 (Buzzer)，電話，電報器械之類，其用途之廣，不勝枚舉。在直流無線電接收機中之甲，乙，丙電池組，亦多用之。

4-11. 衛斯吞標準電池——在實際工作中，產生精確標準之電流，電壓及電阻之方法，至為重要。如已知此三者中之二，第三值立可依歐姆定律求出，至為顯明。製造或產生電阻標準並非難事，因此等標準，僅須為片狀或其他形狀之金屬，加以謹慎之裝置及校準即可。此種標準，實際上且為永久性的，其電阻值可永久保持不變。

電壓及電流則不然，其產生及維護，俱較一電阻標準為難。但二者之中，以產生及維護一種電壓標準，較切實際。此種電壓標準可由一標準電池 (Standard cell) 之電勢供給之。一電池之電勢，須視其中所用材料，所含雜質，電解液之濃度，溫度，極化作用之效應等而定。故欲選擇適當之電池材料，求其在不同時間，不同地點，俱能產生同一電勢，而有高度標準性，自屬不易。克拉克電池 (Clark cell) 被認為一種標準電池者，雖其電勢常隨溫度有相當之變動，且此種變動又較溫度之變動為落後，然在商用方面，尚可認為滿意。其正極為汞，其負極為鋅，其電解液為硫酸汞與硫酸鋅溶液。

在衛斯吞電池 (Weston cell) 中，用鎘 (Cadmium) 替代克拉克電池中之鋅極。其未裝置時之情形如第 4.10 圖所示。其正極用汞，置於一 H 形管一脚之底部，其上為硫酸汞糊。以下部擴大，外裹棉花之瓷管壓於此敷物上，使固定於其位置。瓷管上端直延伸至管頂，備通氣之用。在 H 形另一脚之底，為鎘汞齊製成之負極，為另一包棉瓷管緊壓於其位置。電解液為硫酸鎘。兩極之引線均穿

過管底。電池頂部用橡木塞，石蠟及蠟固封之。全部電池裝於一金屬盒中，接線柱在其頂端。

此種電池製成之形式有二種，即正常電池 (Normal cell) 與未飽和電池 (Unsaturated cell)。在正常電池中，溶液中置硫酸鎘結晶體，故常

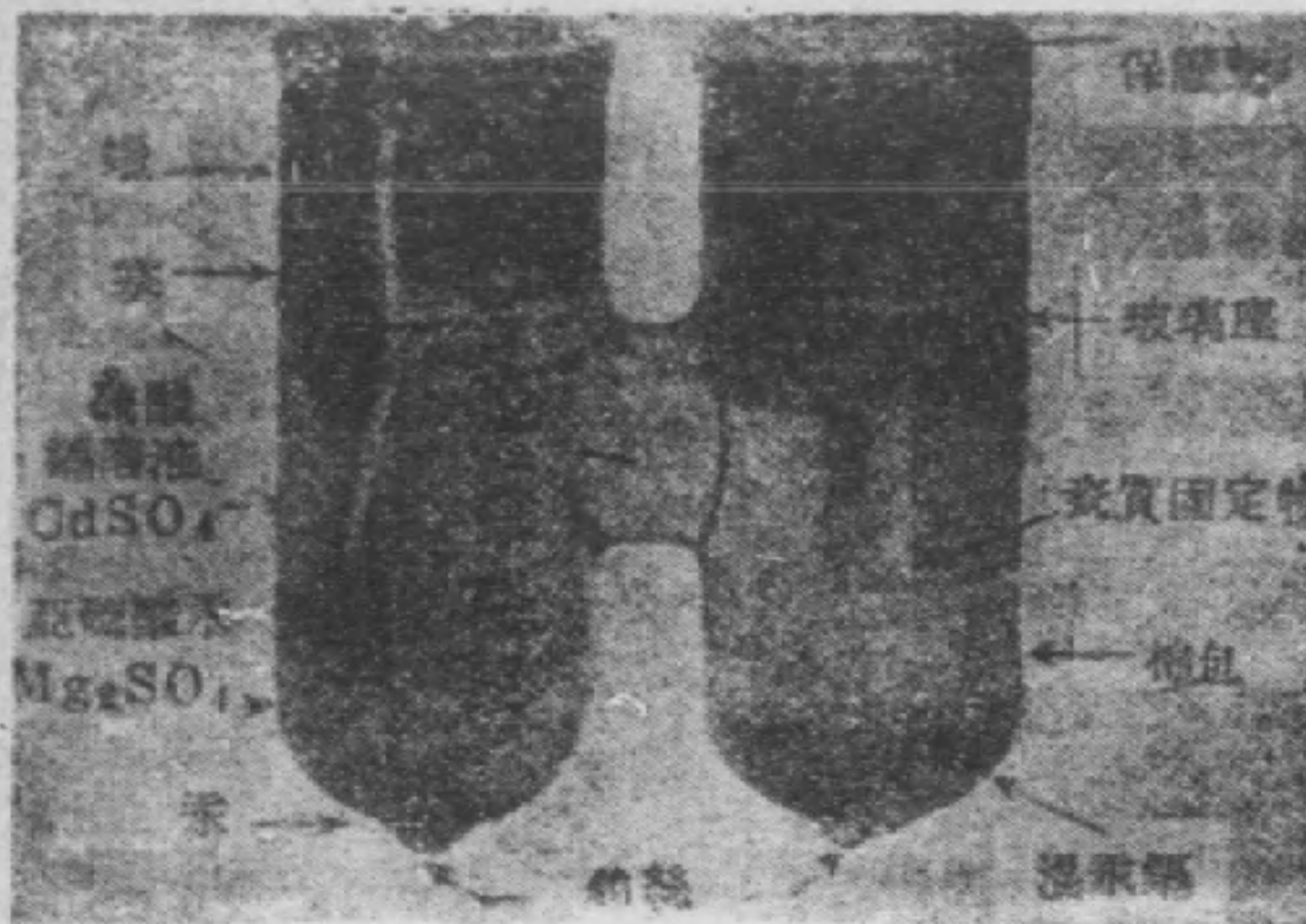


圖 4.10 衛斯吞標準電池

飽和。其電勢略受溫度之影響，但可予以精確之校準。此種電池可以複製，其各個電池之電勢相差僅在十萬分之幾以內。

在未飽和電池內，其溶液係在 4°C

時呈飽和狀態，適無結晶存在於其內，故其濃度即在其他溫度亦復固定。此種電池，實際上可認為無溫度係數，然不能如正常電池之可予以準確之複製，在製成此種電池時，應附一證明書，指出其電勢，其值大率為 1.0186 伏。在實際應用方面，幾全用此未飽和式電池。

任何電池之電勢與其端電壓之差，等於其內阻所致之壓降。衛斯吞電池之內阻約為 200 歐，故若有些微電流自電池流出，其端電壓必與電勢甚為懸殊。故此電池在應用時，以保持其不供給任何顯著之電流為原則，有若用於所謂模真道夫法中者（見第 5—23 節）。即或偶爾供給電流，其值亦須保持不超過 0.0001 安。若電流稍大於此，電勢即降。但在電路再斷時，電勢可緩緩恢復原值。

蓄電池組

4-12. 蓄電池——蓄電池(或稱副電池)之原理，與原電池相同，惟其復蘇之方法不同。原電池在放電後，其用罄之材料，須加以補充。但蓄電池放電後，僅須送入一反方向電流，即可使其材料還原。因此，電池中因放電而致之電化產物，必須保留於電池中。故任何電池，在運用時有使其中一部材料化為氣泡而逸出，雖反向電流亦無從使其還原者，皆不宜作蓄電池之用。例如勒克蘭社電池須放出氫(即阿摩尼亞氣)，不能用為蓄電池。丹聶爾及重力電池俱為可逆性電池，按理似可用作蓄電池，但因有效材料進入溶液中，不能在充入電流時全部還原，其壽命自不能長久。通用之蓄電池僅有鉛-鉛-酸式(Lead-Lead-Acid Type)及銀-鐵-鹼式(Nickel-Iron-Alkaline type)

)兩種。此二式中之有效材料，俱不離去電極。

4-13. 鉛-鉛-酸電池——鉛板蓄電池之基本原理，可以下述簡單實驗說明之。第4.11圖示兩平坦鉛片，浸於貯有稀硫酸溶液(比重約為1.200)之杯中，與一白熾燈或一電阻串聯，接至115伏直流電

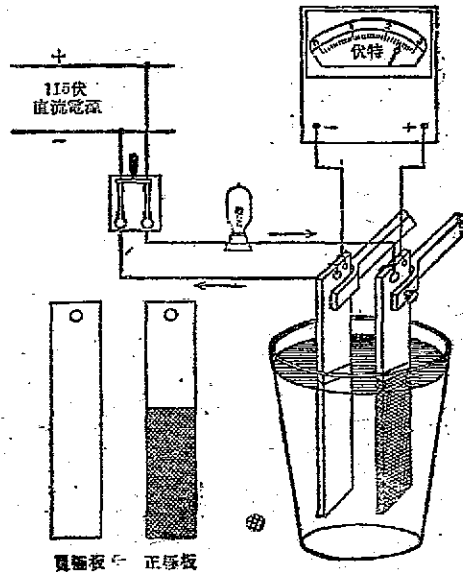


圖 4.11 基本鉛蓄電池極板之形成

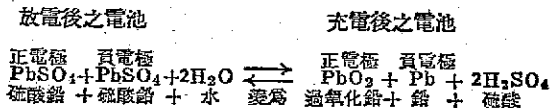
源，或另一電池組。當電流經過此電池時，每一電極板上皆有氣泡放出，自其中一塊放出者較自另一塊放出者為多。短時間後，可發現一電極板轉變為深棕色，另一板表面上似無變化，但細心觀察，可見其金屬鉛已開始由固體變為鉛絨(Spongy lead)。

如第 4.11 圖所示，電流流入電池(即被充電，charge)，接於電池兩端之伏特計約指示 2.5 伏。今拉開開關，使電流中斷，伏特計之讀數將降為 2.05 伏。此際電池已能供給些微電流，此電流足夠在極短時間內運用一電蟬。但此電池所能輸出之電能，極為有限，甚至加一伏特計所取用之電流，亦足於短時間內使之耗盡。電池放電(discharge)之際，電壓漸降至約為 1.75 伏，嗣即急降為零，電池已大致耗盡。此時電極板上之深棕色，逐漸變淡，與其原有顏色相像。稍停須臾，電池略有還原，可再作極短時間之放電。

上述實驗中之深棕色鉛板為正極板(Positive plate)或陰極；其一部變為鉛絨之鉛板為負極板(Negative plate)或陽極。氣泡多自負極板逸出，為自由氫氣，其自正極板逸出者為氧。電流流入此電池時，正極板之鉛即漸變為過氧化鉛(Lead peroxide, PbO_2)，負極板上無化學變化，僅由固體鉛變為鉛絨，較普通金屬鉛柔而多孔。電池放電之際，正極板之過氧化鉛及負極板之鉛絨，均變為硫酸鉛(Lead sulphate, $PbSO_4$)，蓋兩電極板恆有變為電化的同量之傾向也。

蓄電池之電解原理與原電池同。當兩鉛板均變為硫酸鉛，即變為電化的同量時，二者間即無電位差存在。當充電時，正極板變為過氧化鉛，負極板變為鉛絨，二者性質不同，其間乃有電位差存在。此電勢約為 2.05 伏，其較充電時之端電壓 2.50 伏所低之 0.45 伏，係用於克服內阻及極化效應者。上述簡單實驗說明鉛板蓄電池運用之基本原理。

鉛板蓄電池中之化學作用如下：



自左向右讀係充電時之化學反應。自右向左讀係放電時之化學反應。在電池充電時，電解液之唯一變化，即水變為硫酸，其電解液中水漸少而硫酸漸多，故比重漸增。放電時硫酸變為水，電解液中硫酸漸少而水漸多，故比重漸低。在充電時，自由氫氣自負極板逸出，氧自正極板逸出。因氫具有爆炸性，故蓄電池充電之際，切忌以火焰接近之。

4-14. 普隆特極板——上節實驗中所述之平坦鉛板，其電流量必甚小。除非為擴展其極板面積計，用特大之體積，否則殊難於較長時間內，供給足敷商業應用之電流，故此簡單結構(第 4.11 圖)殊不合商用。再者，若將其充電過量，其正極板上之深色過氧化鉛，即分裂成片，墜落杯底。故商用之電池中，必須設法使極板上有有效材料之剝落，減少至最低限度。

製造合於商用之蓄電池，其每極板與酸液相接觸之面積，須使其大，極板上能變換為過氧化鉛之鉛量，須使其多。欲達此目的，可採用下述兩種方法，即普隆特法 (Plante process)，與福耳法 (Faure process)。在普隆特法中，使電流先循一方向流入電池，然後任其放電。正極板表面之過氧化鉛與內部之鉛起局部作用，俱變為硫酸鉛，下次再充電時，過氧化鉛逐漸加多。如是充放若干次，不但表面之鉛形成有效材料，並逐漸推進於極板之內部。其備作正極板用之鉛板，在形成時，所蘊蓄之鉛，一部變為過氧化鉛。其備作負極板用之鉛板，初亦以同法使過氧化鉛形成於上，經數次充放後，再以反向電流充入，使其還原為鉛絨。此法雖較緩，然在形成之

過程中，若加某種酸類於硫酸溶液，可促其加速形成。第 4.12 圖所

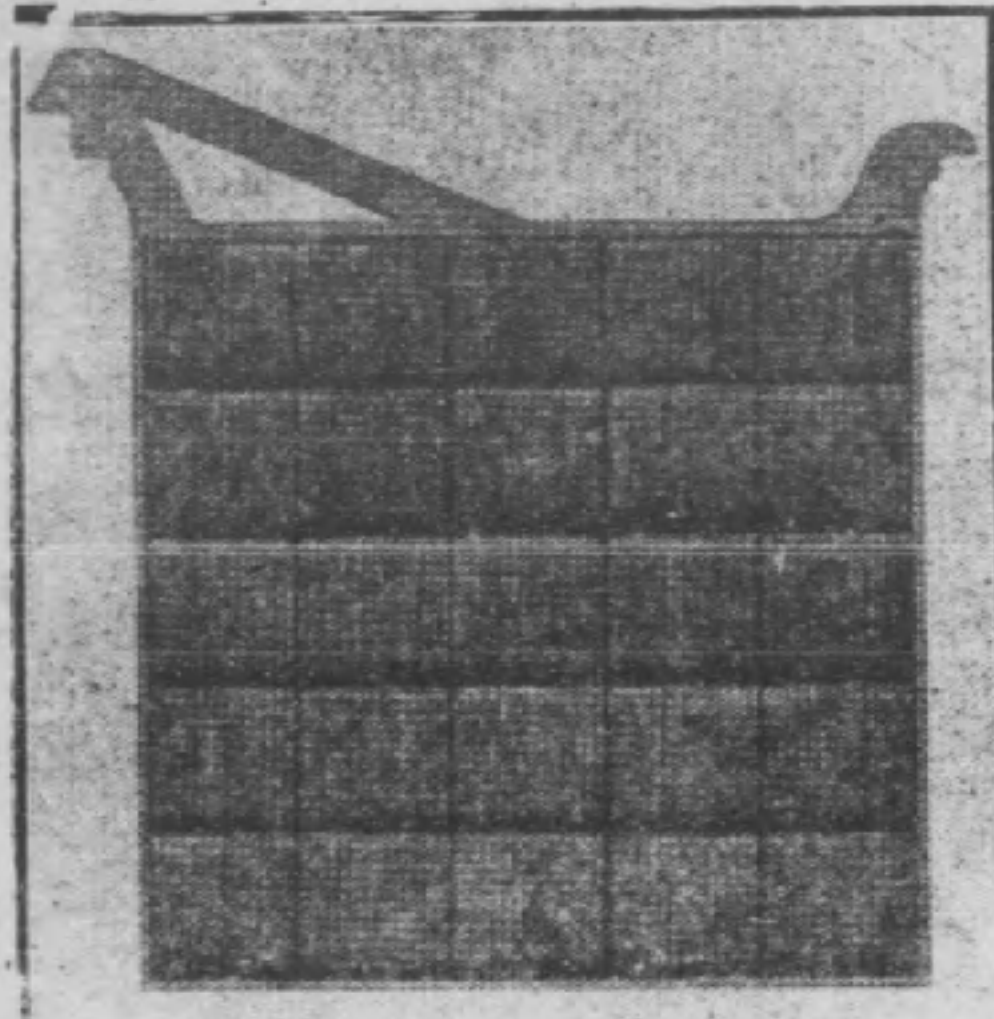


圖 4.12 高爾德有槽極板——普隆特法

示高爾德極板(Gould plate)，即係用此法製成者。將厚鉛板通過旋轉鋼輪之下，在其表面刻成無數凹凸之槽與楞以增加其表面面積。但極板之機械強度，未免減弱。故其上有一部份不令受鋼輪之作用，俾成爲極板之脊，以支持極板。若是方可有相當強度，免被彎曲。其上之有效材料，再用普隆特法形

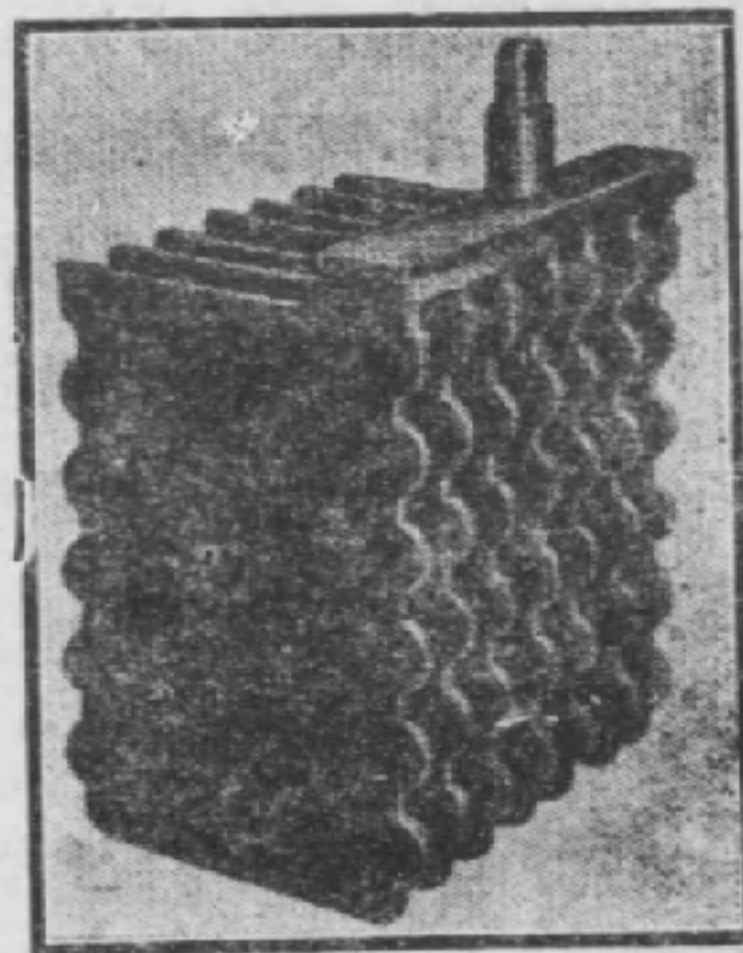
成之。

普隆特極板之另一種，爲如第 4.13 圖所示之愛克沙特-曼徹

斯特式 (Exide-manchester type)。以鉛錫合金製成極板，上鑿若干圓孔，將表面有縐紋之純鉛條捲成圓鈕形，緊嵌於極板之圓孔中。因過氧化鉛較其原來純鉛之體積爲大，故極板形成以後，螺旋鈕膨脹，嵌於板中，更形緊密。柵板本身並不受若何作用，僅用作機械的支架及電的傳導物而已。此式極板之優點，在於其剛性及機械強度。柵板既僅作螺旋鉛鈕

之支架，則極板可用至所有鉛鈕均變爲有效材料，不致發生裂痕。

普隆特正極板之設



(甲)



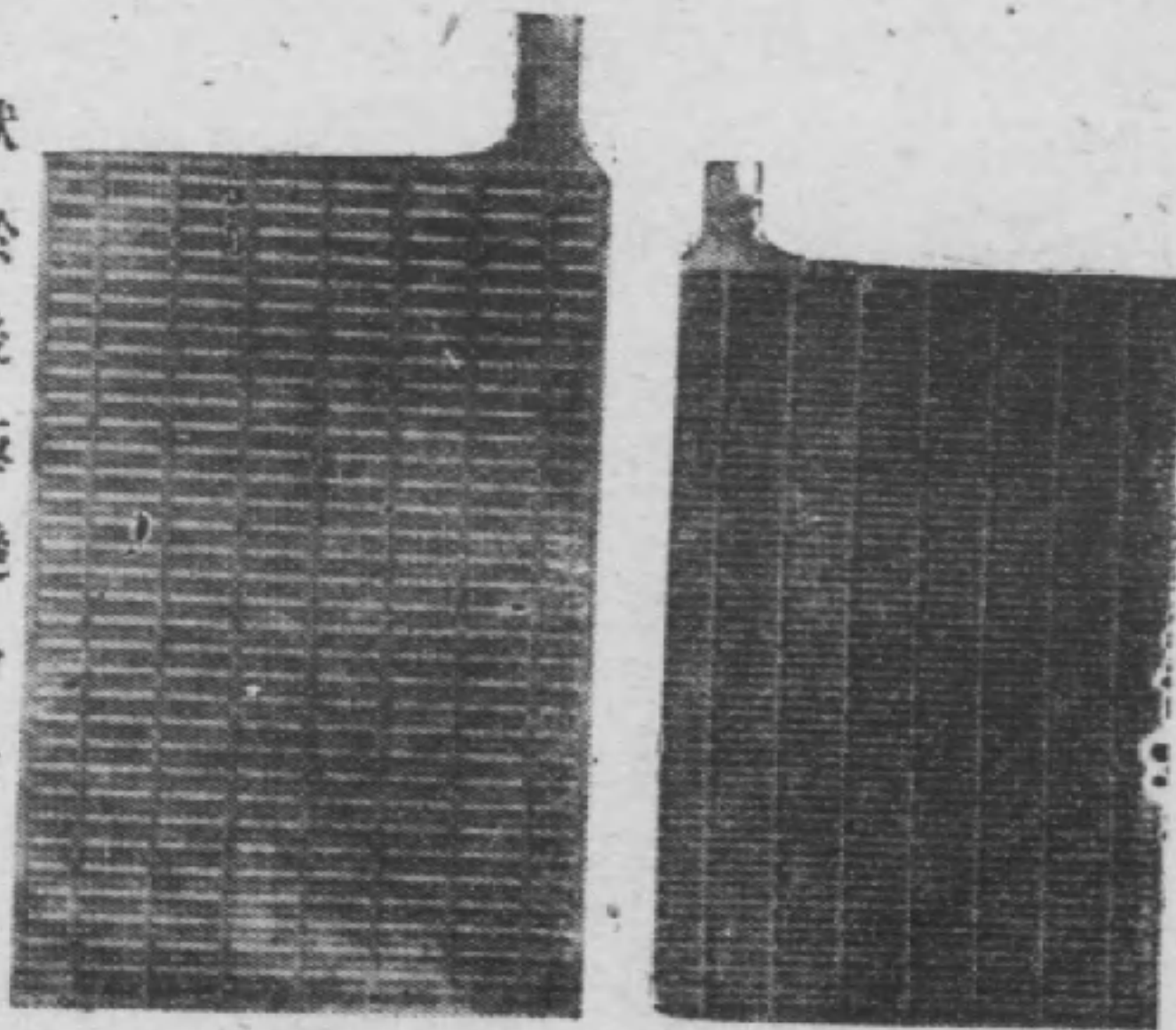
(乙)

圖 4.13 曼徹斯特正極板組及嵌鈕

計，須使其能勝任 1,800 至 2,400 次完全充放循環。且當實際應用時，在充放之循環中，該蓄電池板亦經歷形成手續，其有效材料漸增。故正極板必逐漸脫落其有效材料一部，俾留餘地，以安置新生者，呈新陳代謝之象。因此電池缸底與極板底部之間，亦留充分空隙，以容納脫落之過氧化鉛，使不致與板底相接觸，而釀成極板間之捷路。

普隆特負極板，須能在其容量未降落至其最初容量之百分之八十以前，能任 2,500 至 3,000 次完全充放循環。負極板容量之損失，由於鉛消失其絨狀體，並非由於機械性之剝落。現僅一二廠家，猶用普隆特式負極板，但多數廠家，雖正極板用普隆特式，其負極板則採用福耳式，如下節所述者。

4-15. 福耳極板——福耳極板又名塗漿極板(Pasted plate)，用鉛錫合金之柵形，或方格形板，將漿狀之氧化鉛混合物塗於其框內。組成電池後充入電流，其正負極板上之漿，即分別變換為過氧化鉛及鉛絨。第 4.14 圖(甲)示一塗漿式極板之柵，圖(乙)示柵內已塗滿有效材料之極板之圖形。



(甲)正極板之柵

(乙)柵內已塗漿狀材料

圖 4.14 福耳式塗漿極板

塗漿極板之主要優點，為其容量較高，尤以短時期放電為甚。且就某一放電率而言，其體積，價值及重量均較小。故在需要簡便

而輕巧蓄電池之場所，極為有用，如小電車蓄電池組，汽車之發火與啓動用蓄電池(Starting battery)等。

扁平塗漿式正極板，亦因剝落或氣泡之侵蝕，致失去有效材料。一塗漿式極板，須在其容量降至最初容量之百分之八十以前，能任300至400次完全充放循環。在其壽命之初段，正極板逐漸形成而容量增加，約至最初容量之120%。在運用時，有效材料雖漸脫落，但內部繼續形成以補充之，故此額外容量仍可於其壽命之前半部中得之。直至所有蘊蓄之有效材料業已用罄，如再有侵蝕而致剝落，則容量減低甚為可觀。此時剝落及容量之消失，俱極迅速，實際上極板已達其有用壽命之終點矣。

在高放電率時，塗漿極板每單位面積之安培數，甚大於普隆特板。然普隆特板較為堅實，其壽命亦較長。

任何電池組中之負極板，必比其正極板多一片，其目的在使正

極板兩面均起化學變化。當充電時，正極板之有效材料，變為過氧化鉛，體積膨脹。若僅有一面對負極板，則僅有一面膨脹，另一面則否，極板必致彎曲。故每一正極板夾於兩負極板之間，俾其兩面之膨脹相等。

4-16. 愛克沙特鐵鎧電池
——為推進各種電車所用之蓄電池，需要兼有塗漿極板之優點，與普隆特板之堅實結構與長久壽命，往往採用愛克沙特鐵鎧式極板(Exide-ironclad

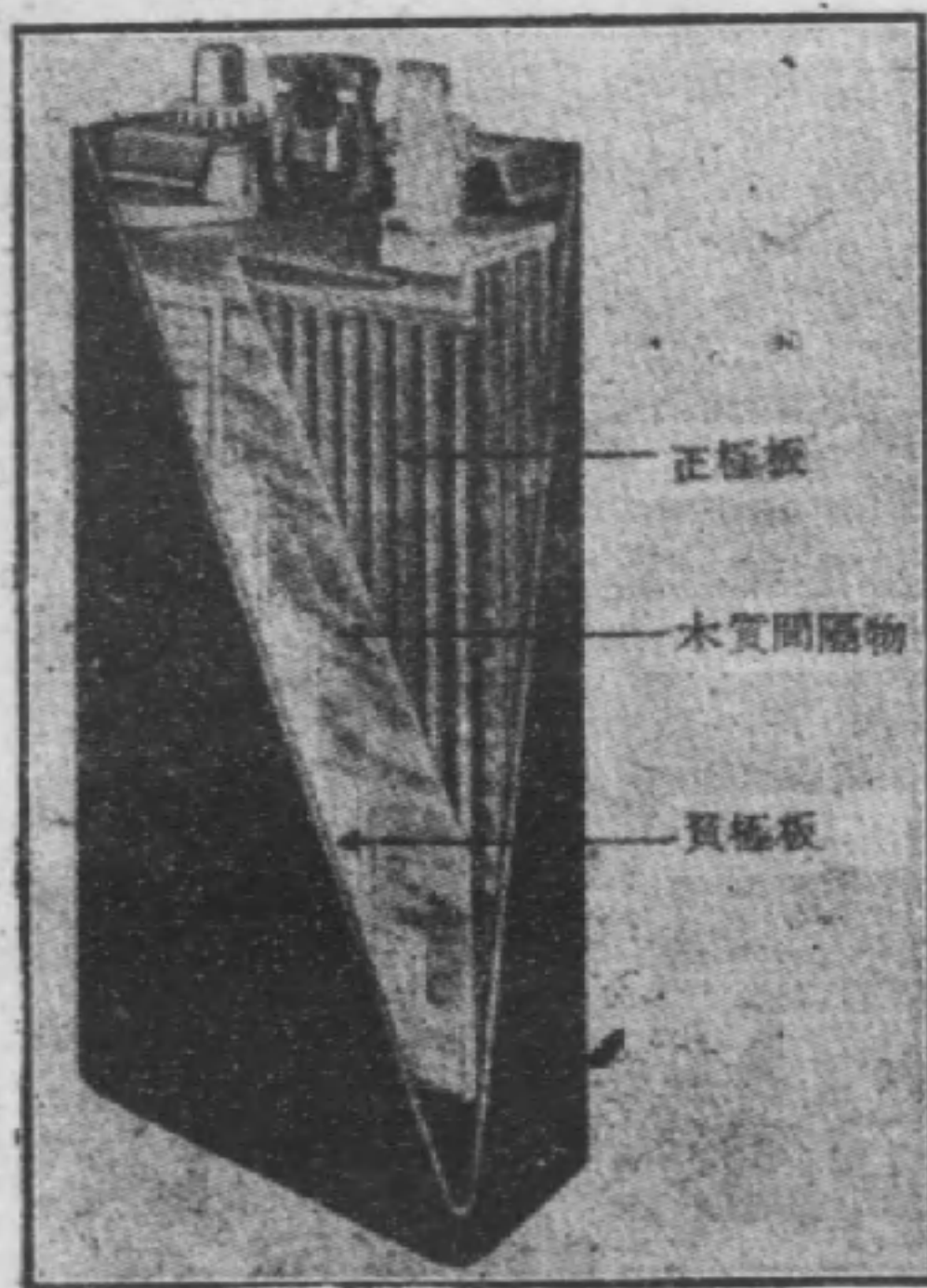


圖 4.15 愛克沙特鐵鎧式電池之剖面圖

plates)。其正極板爲一鉛錫合金製成之方框，中嵌若干直貫而刻有橫縫之硬橡膠管。每管中心置一不規則形狀之鉛錫合金細棒，有如鉛筆之芯。用爲有效材料之過氧化鉛，則壓入管中，填滿棒芯與管壁間之隙。管上之橫縫極小，故過氧化鉛不致漏出，正極板之剝落，可完全避免。此種電池之負極板仍用塗漿式，不過較厚。其價雖較昂，但其壽命則二三倍於普通塗漿式者，且能忍受較粗率之使用。第 4.15 圖示此式電池，該圖示截去外殼之一部，顯示其組合情形。

4—17. 固定蓄電池組——蓄電池組，依其用途，可成爲固定蓄電池組 (Stationary battery) 與便攜蓄電池組 (Portable battery) 兩種。

固定蓄電池組，視其用途，選用普隆特式或塗漿式極板。若用於連續的充放循環，或某種調節任務，需要連續的充放，但其充放率不過大時，可採用普隆特極板。若爲緊急事務而裝置，如因發電設備臨時發生障礙，須以蓄電池在短時期內擔任極大過載，以渡過難關時，則宜用塗漿極板。就所佔同樣地位而言，塗漿極板在同樣 1 小時率內輸出之電量，爲普隆特式之兩倍。在更高之放電率時，且更超過之。反之，在同一放電率時，用塗漿極板之電池組，所佔地位較小。固定蓄電池組多用於人烟稠密之區，市廛之內，尺土寸金，佔地極宜節省。故上述諸點，殊值得考慮者。

4—18. 容器——固定蓄電池組之容器，可用玻璃缸或纏鉛之開口木箱。玻璃缸用於有普隆特極板而容量在 600 安培小時 (Ampere-hour) 以下之電池，或容量在 1,000 安培小時以下而用塗漿極板之電池。大於此等容量，電池之體積過大，不能用玻璃缸，因非惟成本昂貴，且不能獲得必需之機械強度也。

用玻璃爲容器，可爲開口式或封閉式者(見第 4.21 圖及第 4.22

圖)。在開口式中，極板皆懸於突出之耳柄 (Lugs) 上，此耳柄則擱於缸邊(第 4.21 圖)。在封閉式中，極板則以其接線柱及連接用短條 (Strap) 懸於缸蓋，缸蓋與缸口間以化合物密封之。

木箱之構造，須堅固耐用(第 4.16 圖)。木箱內壁襯以鉛皮，其鉛皮之接縫處，應直接以不氧化之火焰，將鉛「熔接」之 (Lead burning)，絕對不能用銲接法 (soldering) (意即燒鉛使熔，俟其

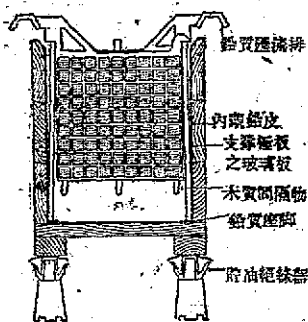


圖 4.16 鉛酸木箱蓄電池

冷凝，不能用銲錫)。木箱外部亦須以防酸之油漆，如土瀝青 (Asphaltum) 之類漆之。若偶爾在木箱外部塗以亞麻仁油 (Linseed oil)，可防止酸類對於木質之分解。

在襯鉛木箱中，極板亦懸於突出之耳柄上，此耳柄擱於 $3/8$ 吋厚之玻璃板邊緣上，板係豎立箱底，引伸至箱口(第 4.16 圖)。

所有同極之極板均熔接於一粗厚鉛條或匯流排上，其載電流之引線，則熔接於或栓接於鉛條上。極板與缸底或箱底間，必須留有寬大之空隙，俾容納自極板脫落之材料，不致釀成捷路。其開口式固定蓄電池，亦應備一玻璃蓋，以減少水份之蒸發，並阻止在充電冒氣時酸液之噴濺。

4-19. 間隔物——所有蓄電池中，除少數特殊組合內，其極板間留有寬大之空間外，無論開口式或封閉式，俱須於鄰板間夾以某種機械的間隔物 (Separator)，用以防止鄰板相接觸，使不致發生捷路。間隔物自必為絕緣物質，且以完整之薄片或薄膜為最適宜。

三十餘年來，蓄電池之標準間隔物，俱用刻有縱槽之木片。其凸出之楞可以刻出，或用木條或硬橡膠條釘於木片上。既可作為支

撐之架，且可供給兩鄰板間必需之距離（第 4.17 圖）。在裝置時，其光滑面緊靠負極板，其有縱楞之一面對正極板。

用作間隔物之木質中，凡有害於電解液之成分，必須以化學方法移去之。倘不令此木片乾燥，則於標準比重之電解液中，在正常溫度之下，其壽命甚長。乾燥則易生裂痕，溫度高則為酸所侵蝕。



圖 4.17 木質間隔物

橡膠質釘條，以其強度較大，且不為正極板在充電時所放出之氧所影響，故較木條為佳。又有數種蓄電池中，在間隔木片與正極板之間，再插一鑿孔之硬橡膠薄片，以保護木片，可確保木片之最長壽命。此薄片且可阻止正極板上有效材料之脫落。然對於電之傳導而言，此橡膠薄片未免插入相當內阻，視鑿孔之多少及大小而異。是以因延長木片之壽命，不得不犧牲電池在高放率時所具之優點。

最近美國蓄電池公司(Electric Storage Battery Company)發明一種橡膠質間隔物，上有極細小孔，製成片狀，或如間隔木片之刻有縱槽。此間隔物具有木質間隔物之優點，而對於電池之作用，無過分妨礙。其機械強度極大，且不受熱或電解液濃度之影響。其商名為「米泊爾」(Mipor)。

4-20. 電解液——電解液所用硫酸之化學成分，須極純淨。在充電已足時，在用普隆特板之電池內，其比重應為 1.210；在用塗漿板之電池內不得大於 1.300。電解液之製成，可以濃硫酸（比重為 1.840），依下列比率，將酸傾入水中調製之。

若以水傾入酸中，則當水酸混合之際，有多量之熱放出，因酸之比熱低，其溫度昇高甚速，以致產生大量蒸汽。其結果則酸液四

濺，容器破裂，駟致傷人，不可不慎予避免。必須注酸入水，切勿注水入酸。

硫酸一份與水之份數之配合表

比 重	體 積	重 量
1.200	4.3	2.4
1.210	4.0	2.2
1.240	3.4	1.9
1.280	2.75	1.5

溶液之比重，可用比重計(Hydrometer)量度之。比重計包括一帶重之玻璃泡及一刻度之玻璃桿。浮於所欲量之電解液中，如第

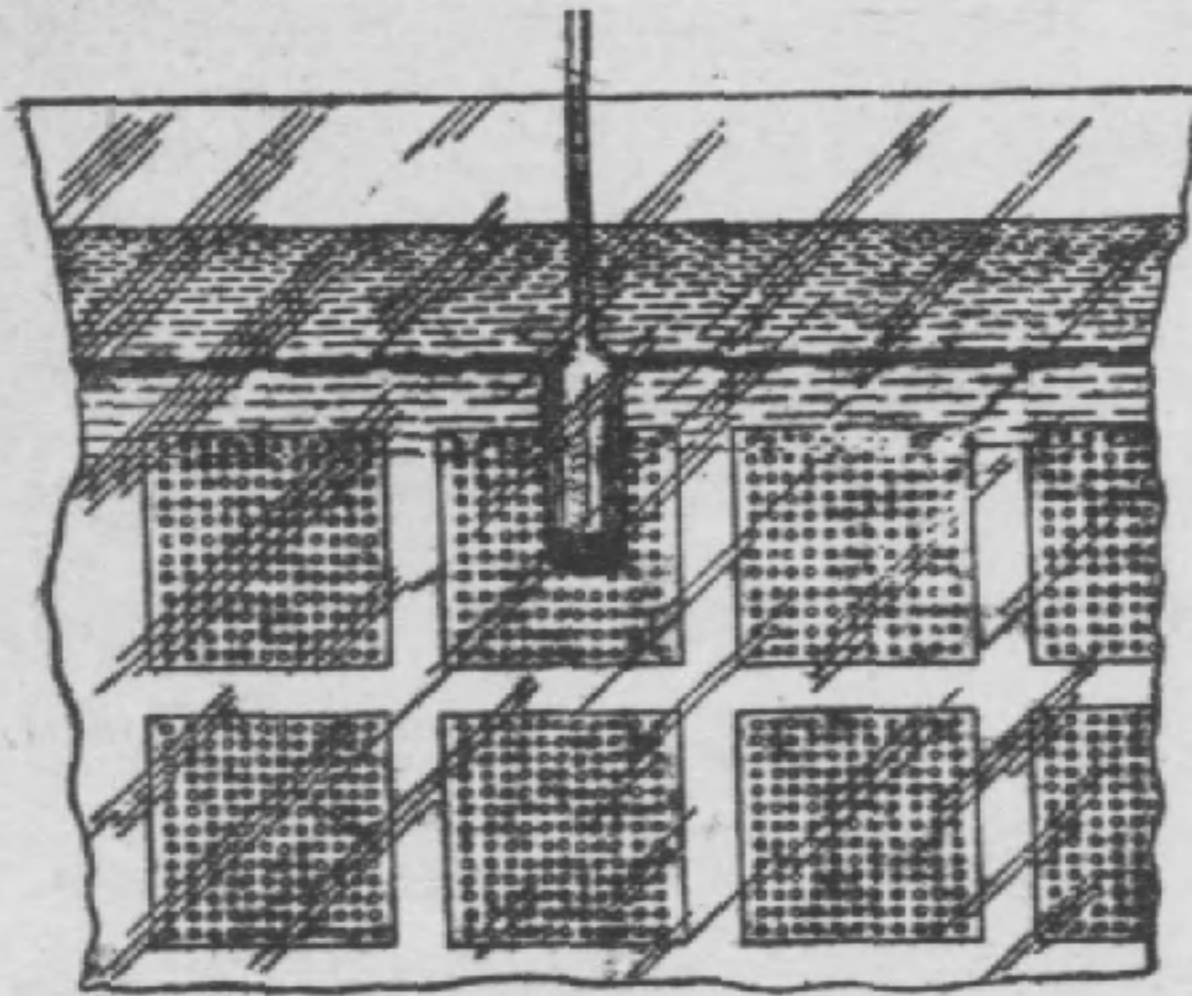


圖 4.18 固定蓄電池比重之量度

4.18 圖所示，溶液之比重，在玻璃桿與液面交截處之刻度讀出。此種比重計，宜用於開口式固定蓄電池，可令其常浮於某一代表電池，稱為領示電池(Pilot cell)之內，(見第 4.18 圖)。

車輛用或啓動用

蓄電池內之液量較少，設計亦異；再則封閉式之固定蓄電池，俱不能

用上述比重計。欲量此等電池之比重，可用唧管比重計(Syringe hydrometer)(第 4.19

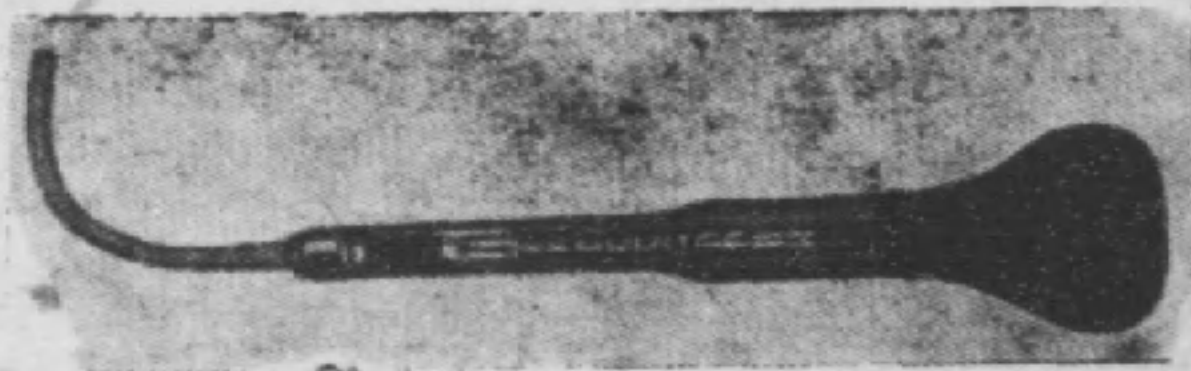


圖 4.19 唧管比重計

圖)。唧管內置比重計，在量比重時，自電池內吸出充分之液體入唧

管，比重計在管中浮起，可隔玻璃管讀出其比重值。比重計上小於 1.225 之讀數，概以黑色，且註明危險字樣。若一塗漿極板電池組，尤其啓動用者，其比重已至此範圍，即表示其放電已逾量，應即予充電。

第 4.20 圖示在恆定正常電流率下，充放電過程中，一電池比重之變化。電解液之比重，實為蓄電池充電狀況之正確指示。此種變化，至關重要。

4-21. 比重——蓄電池在充電時，正極板處有氧放出，將其氧化為過氧化鉛。硫酸根離子 (SO_4)，自負極放出，留剩鉛絨於其上。放至正極板之氧係取自水中之氧離子，水中剩餘之氫離子與負極板放出之硫酸根離子化合而成硫酸。故電解液在充電時，水漸減少，硫酸加多，其濃度漸增。例如比重可自放電已罄時之 1.160 昇高至充電已足時之 1.210，如第 4.20 圖所示。圖上 α 點稱為冒氣點 (Gassing point)，因在此點，極板上材料之變化，已近完成，其由水分解而出之氧及氫，不復為化學作用所吸收，而迅速逸出為氣泡。電解液中有氣泡存在，其比重略略變輕。在充電停止以後，其藏

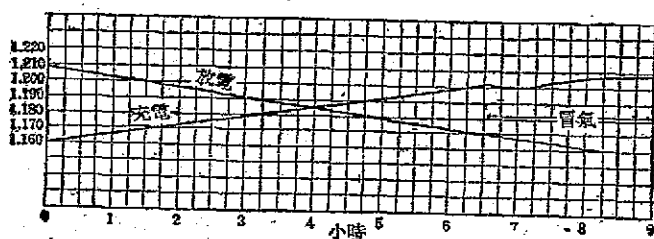


圖 4.20 固定蓄電池中比重之變化

於極板毛細孔內之濃硫酸液，逐漸外散至溶液內。且浮於溶液內之氣泡，逐漸逸出，故比重繼續有短時間之昇高。第 4.20 圖之放電曲線與充電曲線相似。在蓄電池停止放電以後，比重仍繼續減低。因

其藏於極板毛細孔內之稀硫酸液，亦逐漸外散至溶液內，使其濃度減低也。

在充電及放電時期中，蓄電池所放出之氫與氧，原係自水分解而出，故氣體逸出後，電池所失者為水。通常在補充電解液時，僅注入水即可。然酸亦隨氣泡噴出，但為量至微，鮮能覺察。除非的確發現容器有滲漏現象，致電解液有所損失，否則毋庸加入硫酸。至於因電解液之蒸發以致比重升高，按理須加入蒸餾水以為補充。如應用本地給水，而疑慮其或含有傷害極板之雜質時，可將水樣加以分析而確定之。如不能確定，仍宜取用蒸餾水為尚。

4—23. 溫度——下表列舉電解液之凝固點與其比重之關係。由此可見在比重升高時，凝固點降低甚多。荷蓄電池組充電已足，決無在通常溫度範圍內凍結之虞。

比 重	凝固點，華氏度數
1.180	-6°
1.200	-16°
1.240	-51°
1.280	-90°

在較高溫度下，酸液向極板上毛細孔內之滲透率，即有增加，故蓄電池之溫度如升高，其輸出定額亦有顯著之增高。在 70°F 以上，溫度每增高一度，其輸出定額可增加百分之 0.5 至 1.0。

4—23. 蓄電池之裝拆——封固式蓄電池組，在裝運時，已貯有電解液，故隨時可用。但在裝成以後，須施以一次「刷新充電」(Freshening charge)。開口式固定蓄電池在裝運時，其容器，極板，電解液等，俱分別包裝者。在到達後，須將間隔物取出，立即置於潮濕之處。卸置於貯沙之承盤上；如第 4.21 圖所示。處理極板時，尤其置入缸中之際，極須謹慎，間隔物亦應謹慎插入於極板間

(第 4.21 圖)。又因極板暴露於空氣之故，其有效材料，必多少變為鉛鹽，在已裝就後，應先移去此種鉛鹽。移去之法，將電池施以一次初充電 (Initial charge)，其充電率及時間，常須達過量充電 (Overcharge) 之境，應遵照製造者之建議施行之。

極板上如充電不足，其未變為有效材料之硫酸鉛，即漸變為不活動之結晶體，一種非導體，且在充電時，不能還原為有效材料，此謂之硬化 (Sulphation)。極板經硬化後，

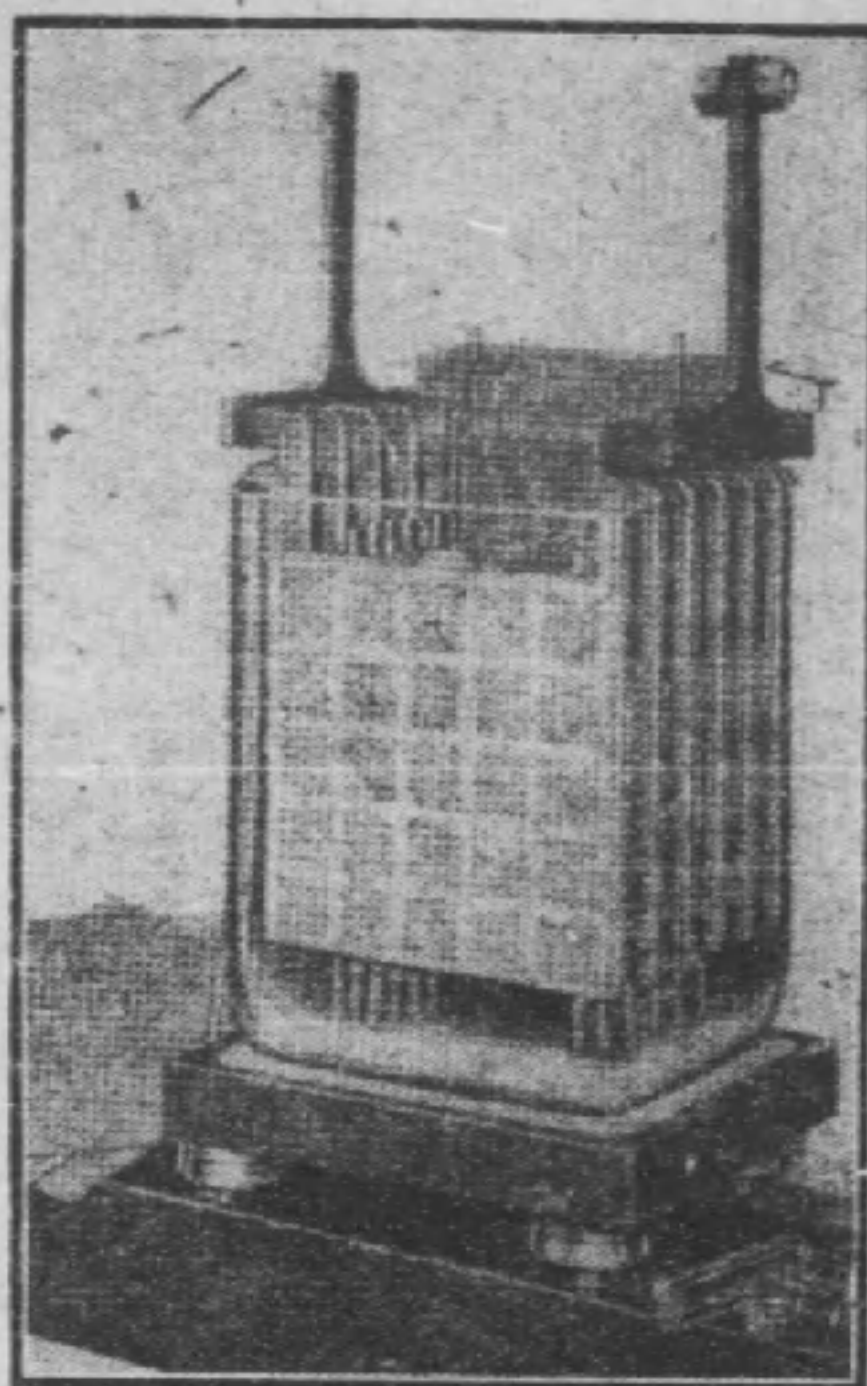


圖 4.21 在玻璃承盤上之開口式電池

即發現白點，其容量減低。

為防止硬化起見，苟蓄電池裝就後，不常應用者，應時時予以注意，保證其時常充足。苟電池須擱置不用，而擱置時間不長者，可用濕儲法 (Wet storage)。擱置之初，先充電使足，以後每隔若干時日，予以補充

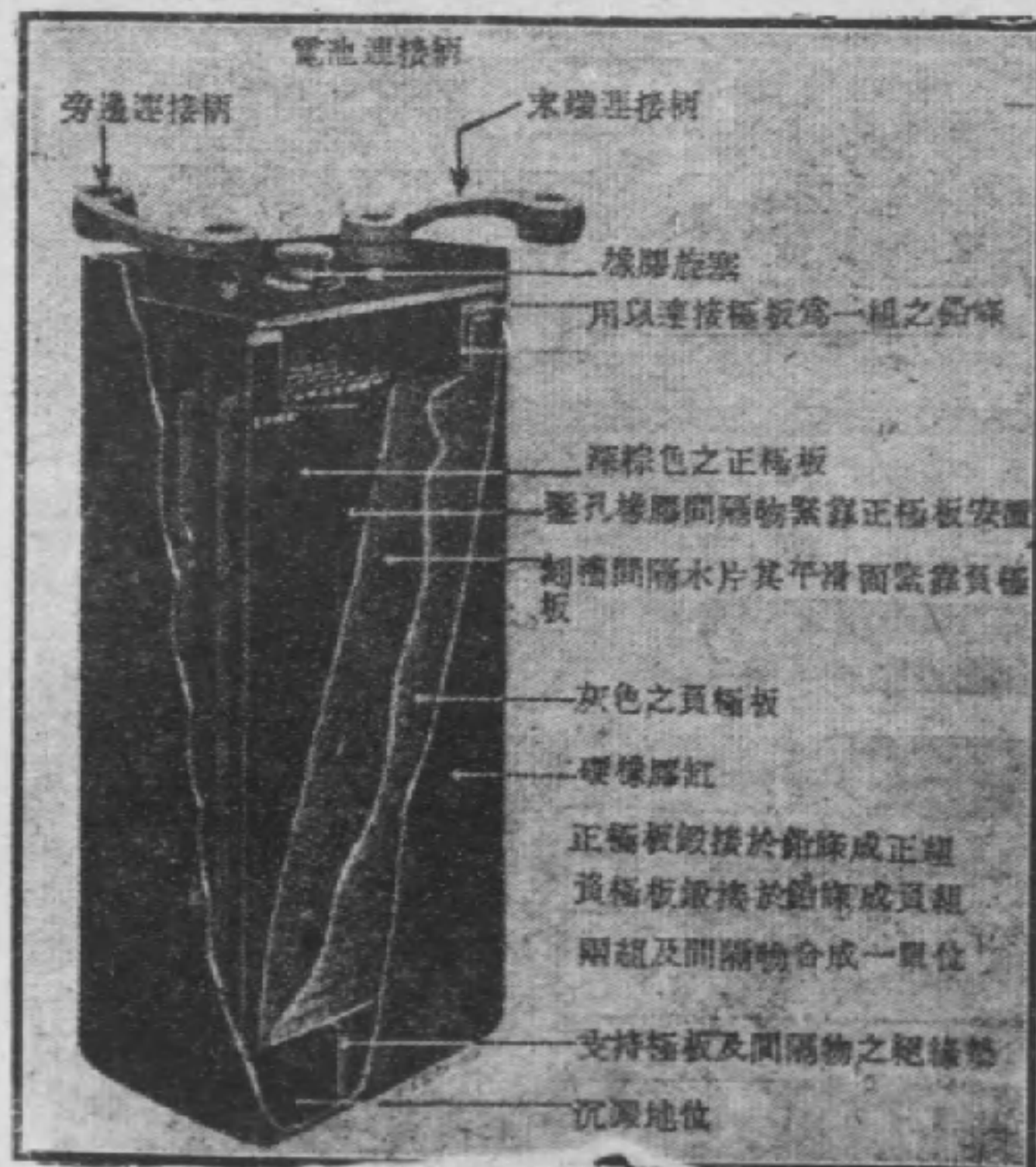


圖 4.22 愛克沙特蓄電池之剖視圖

充電一次，以補充其漏去之電。若擱置之時間甚長，而不能按時予以補充充電時，在擱置之初，先充電使足，然後吸出其電解液。注滿清水於電池內，任其滲透約十二至十五小時，再將水吸出。此電池即可無限期擱置，無虞極板之受傷矣。上述方法，為乾儲法 (Dry storage)。在恢復應用之時，應先抽出間隔物檢驗之，如發現有扭曲或破裂者，應更換完整者，然後注入所需比重之電解液，施以一次初充電。

4-24. 便攜蓄電池組——為推進車輛，啓動汽車任務而設計之蓄電池，須以最小之重量與體積，獲得最高之放電率。凡便攜蓄電池，甚至某種固定蓄電池，其重量與體積，甚關重要。故正負極板，均採用塗漿式者，極板製成宜薄，以薄木片間隔之，然後緊密裝置於一硬橡膠缸或他種容器中，與第 4.15 圖所示之鐵鎳式電池無異。缸覆以蓋，頂部以土瀝青化合物固封之。缸頂開有小洞，以便注水以補充其電解液。洞覆以帽，帽上開一小孔，使氣體外逸。此種電池之放電率，可以甚高，足能勝任啓動汽車之工作。再者，就其重量與大小相較，此電池之放電率甚高。又其電解液之體積以小為佳，即須用較濃之電解液。且在充放時，其比重變動之範圍甚大。在充電已足時，其比重可高達 1.280 至 1.300，在放電已罄時，其比重可降至 1.100 左右。

各個電池，緊密排列於一電池箱中，形成一組。以鉛連接桿將各電池之正極，與其相鄰之負極相接，此桿或用鉛熔接於電池之接線柱，或用鉛螺止 (Nut, 俗稱螺絲帽) 嵌緊之。每組所須串聯之電池數目，視需要之電壓而定。

便攜蓄電池在裝運時，大率已裝就，並已充電，或已貯電解液，在到達後，即可應用。然仍以予以一次初充電為宜。

愛克沙特鐵鎳式電池，堅牢耐用，故電動車輛中特多用之。

因車輛用蓄電池內所能容納之電解液有限，加以冒氣，使電解液面降落甚速，故須時時加水以補充之，大概以每星期一次為佳。

4-35. 定額 —— 蓄電池之輸出定額 (Rating)，視其放電率 (Discharge rate) 而異。所有蓄電池幾均有一根據八小時放電率之正常定額 (Normal rating)，設某有普隆特極板之蓄電池，能連續供給 40 安電流至八小時之久，此電池稱為具有 $40 \times 8 = 320$ 安培小時之定額。其正常充電率 (Charging rate) 亦應為 40 安。假設某蓄電池組適能供給 40 安電流至 8 小時之久，然却不能供給 64 安電流至 5 小時之久。在此放電率時，所可輸出之電量，僅為前者之 88%；即僅能供給 56.4 安 (非 64 安) 電流至 5 小時之久。換言之，在 8 小時放電率時，其定額為 320 安培小時，但在 5 小時放電率時，其定額僅為 $56.4 \times 5 = 282$ 安培小時，即 320 之 88%。56.4 安為其 5 小時放電率。

下表示在不同放電率時之容量與在 8 小時放電率時定額之百分比。

放電率	小 時				分 鐘	
	8	5	3	1	20	6
普隆特極板	100	88	75	55.8	87	19.5
塗漿極板	100	93	83	68	41	25.5

由上表可見，放電率愈高，則所可放出之電量愈低。蓋電量放出之多寡，視極板上有效材料所起之電化作用而異。在高放電率時，電化作用皆發生於極板之表面，並無充分時間，容許電液滲透極板之內部，使內部之有效材料，亦起電化作用。且極板之毛細孔，轉瞬即為硫酸鉛所蒙蔽，更不能容許溶液之滲透。其內部有效材料，無接觸電解液之機會，故所放電量較小。若放電已達終點，稍停

片刻，仍可放出小量電流，蓋極板表面之有材料固已用盡，但電液仍可稍稍滲透至內部也。在低放電率時，電解液頗有充分時間滲透極板之毛細孔，其電化作用，由表面推進至內部。放電率愈低，則滲透愈深，故其容量愈大。蓄電池亦可於極短時期內，放出極大之電流。例如一啓動用蓄電池組之 8 小時放電率僅為 10 安，但在任啓動工作時，能供給 450 安之多。

4—26. 充電——充電入蓄電池時，可遵守下述之規則：電池組充電率之安培數，可使等於已經放出之安培小時數。例如電池組已放出 200 安培小時，即可用 200 安之充電率充之。但在其接受充電後，適所放出電量已漸補充，以後可將充電率遞減。要之，充電電流，應調節至不使發生激烈之冒氣爲度。

冒氣實表示能量之浪費。因冒氣之際，大部電能僅用以分解水爲氫氧二氣，並未變爲有用之化學能，反使電池組發熱。又冒氣時，將酸滴以霧狀而噴濺，其極板上之有效材料，亦因氣泡之激動而脫落。凡此種種，皆足以減低電池之容量，從而促短其壽命，極宜避免之。

蓄電池在充電將足時，任何充電率，均足引起冒氣。但若減低充電電流，使冒氣不甚激烈，亦尚無礙。此電流值稱爲完成率 (Finishing rate)。

電池組充電時可用恆流充電法 (Constant current method) 用適中之恆值電流充入電池，經較長之時間使之充足，以不傷害電池爲度，甚至可延長至 16 小時之久。蓄電池可經串聯電阻接於電源，隨時調節電阻，可得恆定電流。若以低壓電池組接於 110 伏電源而充電，亦可收恆流充電之效。第 4.23 圖示一 6 伏啓動用電池組自 110 伏電源充電。電池組之電勢與電源之 110 伏電壓較，相差懸殊，故電流幾全由電燈排 (Lamp bank) 之電阻或其他類似之串

聯電阻決定之。在充電之過程中，雖電池之電勢漸昇，但與電源之電勢較，實為一極小百分數，且所串聯之電阻為定值，故電流亦保持恆定。當充電將足之時，應減低電流至其完成率。

在電池組未接通電源之初，必須確知

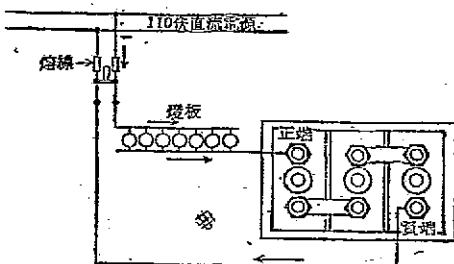


圖 4.23 啟動用蓄電池自 110 伏電源充電

所供給者為直流電，並須認明其何端為正。苟對極性有所懷疑，又無一伏特計可用，可將此電源線路兩端，浸入一杯略帶酸性之水或鹽水中，在負線上，必有氣泡形成。

另一充電法為恆壓充電法 (Constant potential method)，以電池與恆壓電源相接，當充電之初，兩者間電壓之差甚大，其初充率甚大，可數倍於其完成率。即至充電漸足，蓄電池之電勢漸昇，而電源電壓未變，故充電電流自動減低。至將近充足時，其電流已降至小於其完成率，故甚為安全，毋需刻刻加以注意與調節。用此法，電量之大部份，於最初數小時充入。若電路中無串聯電阻，其外施電壓約為每電池 2.3 伏。分路磁極發電機（見第 12—34 節）極合於此種充電任務。

若用每電池 2.3 伏，而不用串聯電阻，其初充時之電流，往往嫌其過大，似宜接入一串聯電阻以限制之。若是其所需電壓約為每電池 2.5 或 2.6 伏，若不提高電壓，其後部充電電流，或又過小，則非調節電阻不可。

在若干場所，例如配電站內，控制油開關 (Oil switch) 用蓄電池，採「浮接法」(Floating method)。以電池繼續接於匯流排上，

電池組輔助匯流排以擔任負載，負載高則蓄電池分任一部負載；在負載減低時，蓄電池自匯流排充入電流。通常此種裝置包括 60 只電池，匯流排則保持 129 伏之平均電壓，即每電池 2.15 伏，在此電壓下，電池可保持其充足狀態。

浮接之蓄電池組在某次長期放電以後，需要再充電時，或在施以週期的均衡充電 (Equalizing charge) 時，常須將匯流排電壓，略予提高，其限度視所接負載之特性而定。

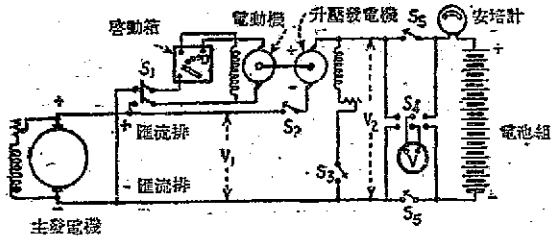


圖 4.24 升壓法使蓄電池充電

若上述提高匯流排電壓之法，不易實踐，可用一串聯昇壓機 (Series booster)，以提高充電電壓至適當之值，俾能輸送所需之電流至電池組內。通常所用昇壓機為一低壓別激分捲發電機，由一分激電動機策動之。第 4.24 圖示一昇壓機制之接線圖：昇壓機之負端接至正匯流排，可提高匯流排電壓自 V_1 至 V_2 。調準昇壓機之場激電流，可變更所提高之電壓，而調準充電電流至所需之值。如圖，先開合開關 S_1 ，啓動電動機。然後開合開關 S_2 及 S_3 ，調準昇壓機之場電流直至電壓 V_2 適等於電池組之電勢。此情形可藉一雙極雙投開關 (D.P.D.T.S.w.) S_4 ，將伏特計接至兩邊察驗之。於是開合開關 S_5 ，此為單極雙投式 (P.S.D.T.S.w.)，再調準昇壓機之場電流，以得所需之充電電流。

例如裝配能供給 129 伏之浮接電池組，每電池之電壓約為 2.15

伏，故需 60 只電池。假定蓄電池之定額為 320 安培小時。充電電流即為 $\frac{320}{8}$ 或 40 安（正常 8 小時放電率）。每電池之電壓，在充電時應升高至約 2.5 伏。故所需之總電壓為 $2.5 \times 60 = 150$ 伏。在此 150 伏中，匯流排能供給 129 伏。其餘 21 伏則由昇壓機供給，故昇壓機之輸出定額應為

$$\frac{21 \times 40}{1,000} = 0.84 \text{ 仟瓦。}$$

其利用以使蓄電池組充電之總電功率為

$$\frac{150 \times 40}{1,000} = 6.0 \text{ 仟瓦。}$$

蓄電池在充電時，其端電壓漸昇，如第 4.25 圖所示。在正常 8

小時率下，充電之初，端電壓約為 2.18 伏。緩緩升至約 2.4 伏，嗣即迅速升至 2.6 伏，此最初上升發生於冒氣之際，表示電池充電將足。唯此電壓昇，故在恆壓充電法中，其充電電流即自行減低，在充電末期，充電率已減低後，電壓上升，即不再如此之速，因電池本身之 IR 位降較小也。

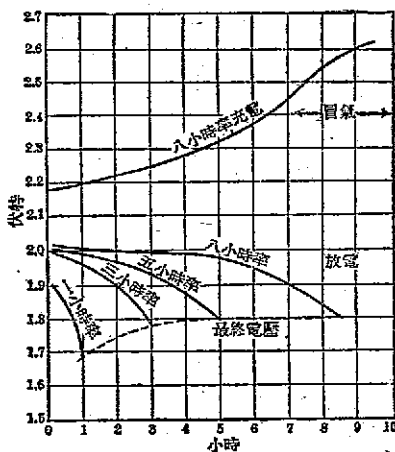


圖 4.25 鉛蓄電池充電及放電時之電壓曲線

第 4.25 圖之充電特性

曲線係溫度約在 $70^{\circ}F$ ($21^{\circ}C$) 之情形。最後之電壓，隨溫度而異。在溫度為 $30^{\circ}F$ ($-1^{\circ}C$) 至 $110^{\circ}F$ ($43^{\circ}C$) 之範圍內，其電壓可為 2.75 至 2.45 伏。若不注意電解液之溫度，電池之最後電壓即不能

視爲判斷充電情形之準繩。⁽¹⁾

第 4.25 圖亦示在不同放電率時，電壓降低之情形。在 8 小時放電率時，在最初之 5 小時內，蓄電池之電壓實際上幾無甚變動。在大部份時間內，其變化亦不甚大。苟應用此種電池組以供電於白熾燈，此優點益形顯著。

4—27. 電池組之裝置——蓄電池組應裝在乾燥，通風之房間內。封閉式玻璃缸電池可直接置於塗有土瀝青漆之木架上，毋需單獨之電池室。開口式玻璃缸裝於貯沙之玻璃承盤上，再將此盤置於塗土瀝青之木架上(第 4.21 圖)。較大之電池箱，應裝於絕緣墩上，高出地面約 6 吋之譜。裝置此種電池房間之地板，亦應用抗酸物質。平坦之水泥地面，較優於方磚或玻璃磚，因在方磚之拼合處，難免細縫，致酸液之滲透也。若用木質地板，其表面須塗土瀝青漆。室內通風須完備，俾可吹去充電時由電池內噴出之氣體及酸沫。其放出之氣體有氫，故絕對禁止以火燄攜入電池室中，開關亦不得裝於室內。不但開關觸點間之電弧易致爆炸，且空氣中之酸沫，亦可侵蝕開關上之銅質。引線須用鉛包銅線及鉛耳柄，或用塗有避酸漆之銅匯流排。

4—28. 鉛蓄電池之容量與重量——鉛蓄電池之容量與其極板重量及其整個電池重量間之關係，可於下表內見之。

下表所示者，爲美國蓄電池公司製各種代表作蓄電池之數字。該公司出品之 H 式愛克沙特電池，用於中央電廠之備用任務(Standby service)。其 G 式氯化物式，用於電廠中任高峯負載調節激磁匯流排任務，亦用於電話交換所及孤立之發電所等。其

(1) 關於鉛蓄電池組特性曲線之詳細討論，可閱吳德李立起著「蓄電池之充電」(J. Lester Woodbridge, "Storage Battery Charging") 載「美國電工學會會刊」(Trans. A.I.E.E.) 1935 年，第 54 卷，第 516 頁。

MV 式愛克沙特鐵鎳 電池，用於電車，機車，工業用運貨車及拖車，以及遊艇中之照明等。H 式之最大者包括 150 只電池，每電池 169 極板，1 小時率之電功率為 3,460 仟瓦，其稍小者，每組有 3,420 仟瓦。G 式之最大者有 282 只電池，每電池 85 極板，1 小時率之仟瓦數為 1,700。

美國蓄電池公司製造各種代表作蓄電池之仟瓦

容量與重量之關係

極板之大小	H	G	MV
電池之極板數	81	41	13
極板之類別	<u>愛克沙特式</u>	<u>氯化物式</u>	<u>愛克沙特鐵鎳式</u>
電池中極板重量之磅數	2,102	886	28.5
電池重量之磅數 ⁽¹⁾	3,660	1,864	42.75
每電池之仟瓦數			
1 小時率	10.80	2.80	0.235
4 小時率	4.14	1.23	0.0895
8 小時率	2.41	0.772	0.0541
每磅極板之仟瓦數			
1 小時率	0.00513	0.00315	0.00825
4 小時率	0.00197	0.00138	0.00314
8 小時率	0.00115	0.000971	0.00190
每磅電池之仟瓦數			
1 小時率	0.0029	0.00150	0.00549
4 小時率	0.001096	0.000659	0.00209
8 小時率	0.000638	0.000414	0.00127

(1) H 式及 G 式電池中必須之絕緣支架，及 MV 式電池中之承盤之重量，均未計入。支架約為電池重量之 2%，承盤為 10%。

愛迪生鎳-鐵-鹼蓄電池

4-39. 極板——鎳-鐵-鹼蓄電池為愛迪生氏於 1901 年所

發明。其時因機車，拖車，運貨車等之推進問題，以及鐵道客車之照明問題，皆需要一種輕便耐用之蓄電池，於是愛迪生蓄電池乃應運而生。美國商業上所用之鎳—鐵—鹼電池，僅有愛迪生式一種，因其極板與容器之構造，俱用鋼，具有輕便及耐久之優點。

其正極板係一鎳鋼柵狀板，內嵌若干鎳鋼管，管中貯正極之有效材料。貯入管中者為鎳之水化物 (Nickel hydrate)，但經形成手續 (Forming process)，即變為鎳之氧化物。管上鑿孔，俾電解液能浸入管中，與有效材料相接觸。為增加其電導起見，以極薄純金屬鎳片，與有效材料交替塞入管內。管之內直徑分 $3/16$ 及 $1/4$ 吋兩種 (0.476 及 0.635 厘米)，長約 4 吋 (10.16 厘米)，而以八只無縫鋼環，以均勻距離緊箍於管外，以增加其機械強度。

負極板之構造，大體與正極板相若，惟所用有效材料為研細之鐵之氧化物，貯於鑿孔之長方形鎳鋼袋內。不用鋼管。正極板與負極板均示於第 4.26 圖上。

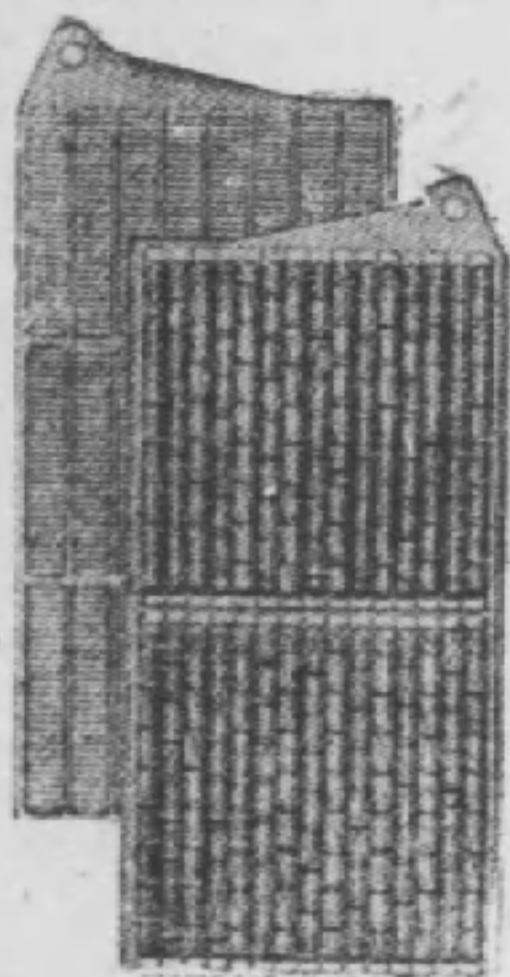
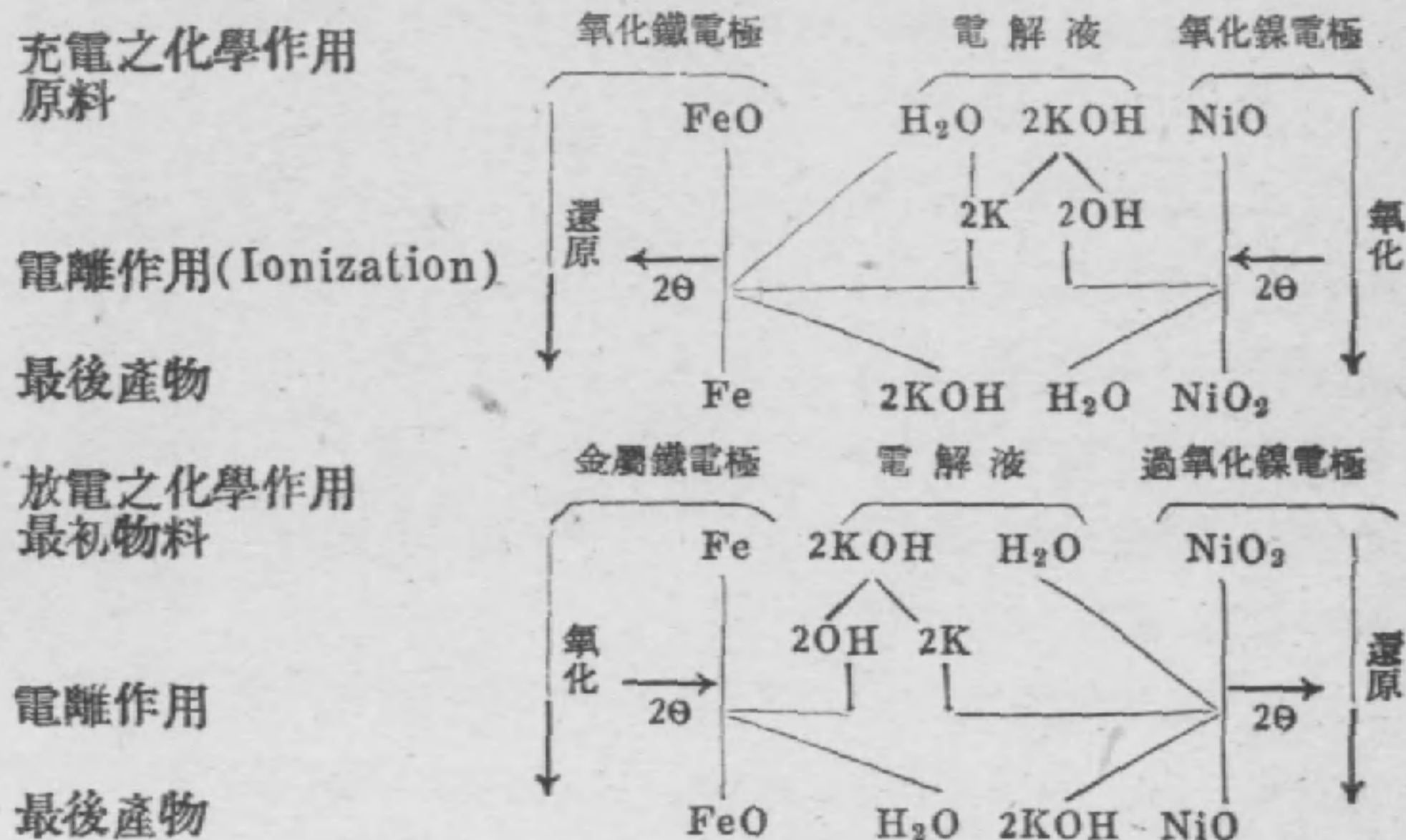


圖4.26 愛迪生蓄電池
之正負極板

4—30. 電化原理——愛迪生電池所用之電解液，並非酸類，係百分之二十一之氫氧化鉀溶液，略加少許氫氧化鋰。此鹼性電解液，不但不侵蝕電池中之鋼管，鋼袋，柵狀板，容器等，且保護之。電池中所起之電化作用極為複雜，但以下列化學方程式示其變化之程序。

在任何情形之下，電解液不致使有效材料剝落，或被溶解。且因僅有極少之氫氧化鉀及氫氧化鋰為過氧化鎳電極所吸收，故電解液之成分，在整個充放過程中，可認為無甚變動，其電導及比重實際上亦極恆定。此可於下列化學作用圖中見之。充電時，正極板之有效材料由氧化鐵 (FeO) 還原為鐵，負極板之有效材料由氧化鎳 (NiO) 氧化為過氧化鎳

(NiO₂)。放電時，其化學作用逆轉，正極板被氧化為氧化鐵，負極板還原為氧化鎳。在充放過程中，無論何時，溶液始終為 2KOH + 2H₂O，化學成分及濃度，俱無變更。故除非水之蒸發，否則，電解液之比重，決無如鉛酸電池在充放過程中之有變化也。



4-31. 組合法 —— 以一鋼質連接桿穿過各柵狀板頂上之眼內，乃將正負極板分別連成正負極組。在桿上每相鄰兩極板之間，置鋼質墊環，以獲致適當之極板距離。在連接桿兩端各緊裝一封鎖墊環及一螺止，以夾緊貫穿其上之極板組。正負極板，交互插合，組成完全之單位，其鄰近之正極板與負極板間，則用豎立之硬橡膠柵及栓間隔之。

已組合之單位，如第 4.27 圖所示者。置入一鍍面之鎳鐵容器中。覆以鋼蓋，煨接於容器上。再以一串硬橡膠及軟橡膠墊環，置與極柱及蓋間，以相絕緣，兼作不透氣不漏液襯墊之用。注液孔突出池蓋外，其上裝一帽，以一銜質夾簧附裝於帽，使



圖4.27 愛迪生蓄電池極板之組合

其開則洞開，閉則緊閉。帽下懸一硬橡膠活門，在帽關閉時，因其重力而下垂，掩蓋孔口，以阻止外部空氣之內侵，並減少水份之蒸發，但可容許內部氣體之外逸。

極柱之上端刻有螺旋。稍下則呈圓錐形，俾可適合鄰近電池間或鄰近電池組間連接桿之唧套。唧套係由鍍銀成，鑽有圓眼以適合極柱之圓錐形，一端鈎於粗銅連接鏈環上。所有唧套鏈環，螺止俱鍍銀。若干電池裝在一木槽內，形成一電池組(第 4.28 圖)。

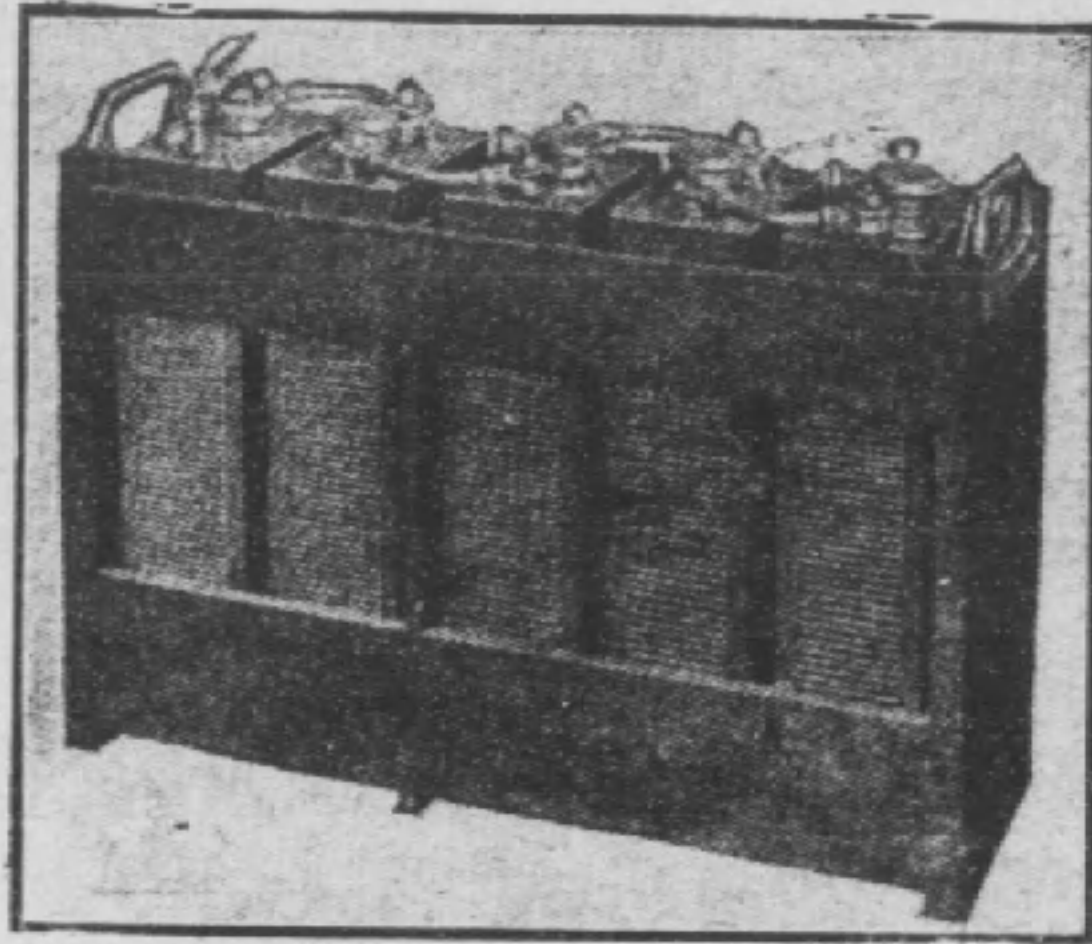


圖 4.28 五只愛迪生蓄電池裝於一木槽內

4-32. 放電與充電特

性曲線——在 'A, B, C, N' 諸式愛迪生電池中，其額定容量係以正常 5 小時放電率及電壓降至每電池 1 伏為依據；在 G 及 L 二式係依據正常 3½ 小時放電率，至電壓降為每電池 1 伏為止。第 4.29 圖

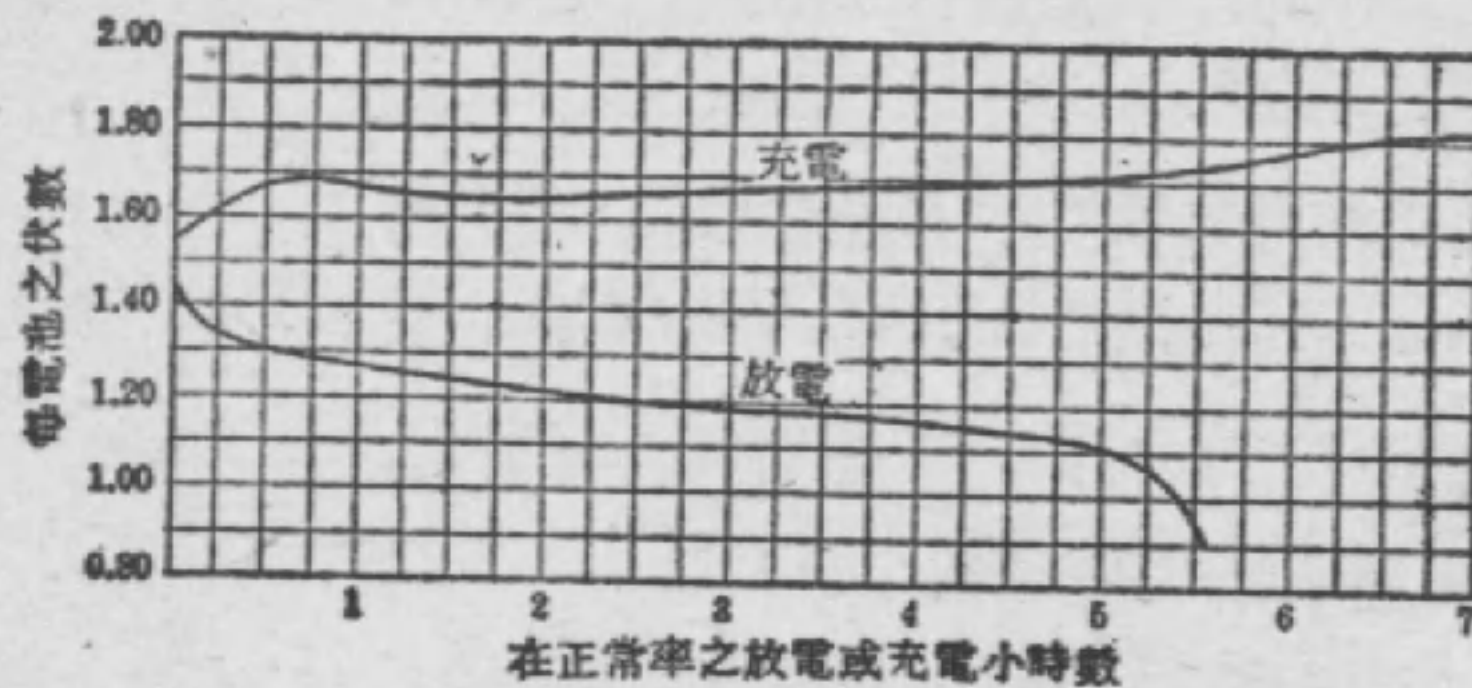


圖 4.29 愛迪生蓄電池在充電與放電過程中之電壓變化

示愛迪生電池之正常放電與充電曲線。在此等放電率時，平均放電電壓約為每電池 1.2 伏。設放電率異於正常率，則電壓亦高於或低於此平均值，如第 4.30 圖所示。圖上所示特性曲線係根據未放電

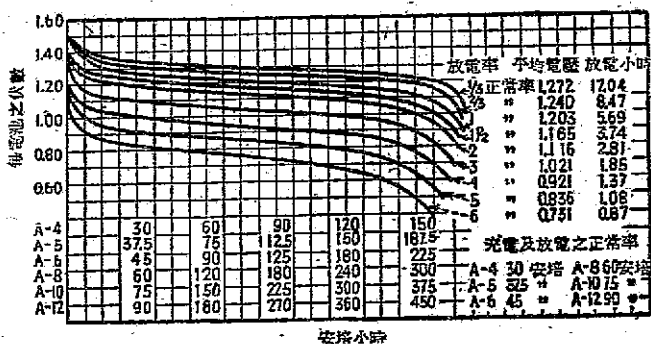


圖 4.30 A 式愛迪生蓄電池經正常充電後在不同放電率下之特性曲線

時先予以一次正常充電之結果。在 A, B, C, N 諸式電池中，充電時間為 7 小時，在 G 及 L 二式中為 4 小時。電解液之比重，在充放過程中，僅有些微之變化，故不足以據為判斷電池充足與否之情形。苟用恆流充電，電池已達充足狀況，可由半小時內電壓不再升高之情形判斷之。至於其任何時間之充電狀況，可用一安培小時計或一充電試驗叉 (Charge test fork)，就一領示電池在某放電率下所指示之電壓值測知之。

4-33. 電解液——愛迪生電池與其他電池相似，其電解液中之水，在充電時被分解為氫與氧，以致液面日漸低落。氣泡恆將溶液噴出為沫。惟大氣泡撞及注液帽上之活門，即行破裂，其所噴射之沫重返電池，僅有小部份逸至空中。通常僅用蒸餾水，補充溶液之消耗，故溶液之強度日減。日積月累，溶液之比重降落甚多，視電池之使用環境而異。若降至在 60°F 時為 1.160，則應以正常比重之新電解液替換之。若液面適在極板頂上之適當位置，並將溫度之影響加以校正，電池中之正常比重，應在 1.195 與 1.215 之間。

4-34. 優點——鐵-鎳-鎘電池所具優點甚多，使其擔任指定

之任務，能勝任愉快。其所用材料，構造方法，及其所依據之電化原理，皆為優點之成因。因各部皆用鋼，故能製造精細，並能忍受商用工作中所遇之振動或碰撞。其構成極板之管，袋及柵狀板皆以鋼製成，其極板可確實保持其有效材料，不令脫落，且無扭曲之弊。

愛迪生電池不但構造堅固，其每瓦特小時容量之重量之輕，與夫能忍受電的方面粗率使用，亦其優點。可以過量充電，過分放電，偶然撻接，以反方向電流充電，或無限期的任其擱置於放電狀態下，俱無損害。因電池中無酸類，故不致有酸霧浮漾空中，亦不致如鉛極蓄電池內之有硬化，沉澱，端鈕被侵蝕等弊。其承盤構造及電池接法俱甚簡單。在其整個生命史中，間隔物亦不受侵蝕或凝固之傷害，毋需更換新者。且在較長時期之使用，亦甚可靠。

4—35. 用途——愛迪生電池應用之範圍甚廣。電池式街車，工業運貨車，拖車，鑛用及工業機車等之推進，鐵道客車之照明及氣溫調節；複單位制車輛之控制；各式鐵道號誌之推進，如機車電路，發光標誌，公路交叉號誌，及聯鎖（Interlocking）制度等；船舶之供電及照明；礦用安全電燈，備用電燈電源及孤立發電所；以及電鐘，火警制及其他任務等，皆用愛迪生蓄電池。然目前所製造之各式，不適於低電壓汽車啓動之用，故不能取鉛極蓄電池而代之，下表示各式各種大小之愛迪生蓄電池之重量與容量。

4—36. 蓄電池之效率——蓄電池之瓦時效率（Watt-hour efficiency）為其瓦特小時輸出與瓦特小時輸入之比，此即表示其電能之效率。其放出之安培小時與充入之安培小時之比，謂之安時效率（Ampere-hour efficiency），此表示其電量之效率。

【例題 4.1】某已充足之蓄電池，以 38 安之平均率放電 6 小時，其平均電壓為 1.95 伏。今再以 40 安之平均率使之充電 6 小時，其平均電壓為 2.3 伏，則電池恢復其原有充足狀態。求電池之效率。

愛迪生電池之重量與容量

電池式	定 額 ⁽²⁾		重量 ⁽³⁾ 每電池磅數	
	安培小時 容 量	正 常 率 安 培 數	標 準 式	商 用 式
N2	11.25	2.25	1.9	
B1, B1H ⁽¹⁾	18.75	3.75	5.3	6.7
B2, B2H	37.50	7.50	6.0	7.2
B4, B4H	75	15	9.5	10.9
B6, B6H	112.50	22.50	13.0	15.2
A 4, A 4H	150	30	16.5	19.3
A 5, A 5H	188	37.50	19.6	22.5
A 6, A 6H	225	45	22.4	25.5
A 7, A 7H	263	52.50	25.8	28.6
A 8, A 8H	300	60	31.2	35.9
A10, A10H	375	75	38.1	43.8
A12, A12H	450	90	47.3	53.5
A14, A14H	525	105	56.6	60.8
A16, A16H	600	120	62.9	68.0
C 4	225	45	24.3	
C 5	281	56.25	29.3	
C 6	338	67.50	34.4	
C 7	394	78.75	39.3	
C 8	450	90	45.5	
C10	563	112.50	61.3	
C12	675	135	71.0	
L20	12.50	3.75	1.9	
L30	18.75	5.625	2.6	
L40	25	7.50	3.2	
G 4, G 4H	100	30	12.5	14.6
G 6, G 6H	150	45	16.1	18.5
G 7, G 7H	175	52.50	20.8	23.0
G 9, G 9H	225	67.50	22.6	25.7
G11, G11H	275	82.50	29.0	33.4
G14, G14H	350	105	36.9	42.4
G18, G18H	450	135	49.5	56.0

註(1) H字表示高式電池。此式電池之特性與標準式者相同，但構造略高，俾可容納較多電解液，用於不便時常清理之裝置。

註(2)表中所列定額，在A, B, C, N諸式中，係根據5小時放電率者，在G及L兩式為3½小時放電率，其每電池之平均電壓為1.2伏，最後電壓為1.0伏。

註(3)表中所列重量包括承盤及連接器在內。

【解】 瓦特小時輸出 = $38 \times 1.95 \times 6 = 445$ ，
 瓦特小時輸入 = $40 \times 2.30 \times 6 = 552$ ，
 瓦時效率 = $445 \div 552 = 80.7\%$ 。 (答)

放出之安培小時 = $38 \times 6 = 228$ ，

充入之安培小時 = $40 \times 6 = 240$ ，

安時效率 = $228 \div 240 = 95\%$ 。 (答)

通常電池之效率皆指瓦時效率而言，因安時效率不足表示其中能量轉變之情形也。

蓄電池組之安時效率，表示充入之電量有一部份未能放出。其瓦時效率，表示有一部份之電能，損失於充放循環中，故輸出之電能較低。此損失之電能，由於在充放時其內阻所致之 IR 損失，極化損失，及充電時冒氣所損失。其效率視充電率與放電率而異，亦與溫度有關。一電池若依 8 小時率充電，而依 3 小時率放電，其效率表面似為 60%。然此值不足以表示其真正效率。因電池在依 3 小時率放電 3 小時後，似若放電已罄者，實則其酸液並未有充分時間，容許其滲漏極板之內部，其蘊藏之有效材料並未全變為硫酸鉛，其所充入之能量，並未用罄。苟於放電 3 小時後，稍停片刻，仍可再輸出小量電能，足證此說之不謬矣。

蓄電池之安時效率約為 95% 之譜。普通大小固定式蓄電池之瓦時效率，在 8 小時之充電率與放電率時，每次充放循環約為 75%，較大蓄電池之瓦時效率，在同樣情形下約為 85%。設一蓄電池組僅作『浮接』之用，充放循環之時間僅為數分鐘或數秒鐘，其瓦時效率可高至 95% 或 96%。

在選擇電池組時，效率為應加考慮之一因素。而購置成本及維護費用，實佔其總費用之大部，應予重視。至若其他因素，如重量，堅固耐久性，電壓調整率，及過載容量等，亦應考慮及之。

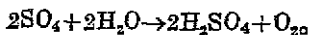
4-37. 電解——純水為不良之電導體，實際上可認為一絕緣

體。但以少許之酸、鹼或鹽加入水中，其溶液即變為一良導體。以電流通過此溶液，可令溶液中物質之分子，或水本身之分子，分解為簡單物質，出現於正負電極上。在此等情形，電流使溶液分解之現象稱為電解 (Electrolysis)。其變成導體之溶液稱為電解液。

若以電流通過略帶酸性之水中，用不活躍物質如鉑為電極，在負極上有氫放出，在正極上有氧放出。其所放出氫之體積為所放氧之體積之二倍。是水被分解為其所由組成之二原素。

電解學說係根據電離作用者。溶液中之酸、鹼、鹽分離為離子 (Ions)，例如鹽酸 (HCl)，分離為一個正的 H 離子及一個負的 Cl 離子，硫酸銅分離為正的 Cu 離子及負的 SO₄ 離子。依電子學說，負離子有逾量之電子，正離子感電子之缺乏。在兩極間未施電位差時，離子係漂流於溶液中。當以電位差施於兩極時。正離子乃移至負電極 (在此情形又稱陰極)，因稱陰向離子 (Cation)。負離子移至正電極 (在此情形又稱陽極)，故稱陽向離子 (Anion)。負離子放出其電荷於正極，正離子放出電荷於負極，遂組成電流。電解液中電流之傳導，係由於電荷被離子帶至電極，實乃一種對流作用。因之，電解性傳導與平常金屬傳導之區別，在於所包括物質之轉變，且隨化學變化俱來者。

第 4.31 圖示二銅塊浸於硫酸銅溶液中，使電流自一極板流至另一極板所起之化學作用。正的銅 (Cu) 離子移動至陰極，凝積為銅。負的硫酸根 (SO₄) 離子，移動至陽極，與水之氫離子合成硫酸，氧分子即在陽極上放出。其化學變化如下：



利用此作用，可以電解法煉銅。將欲煉之

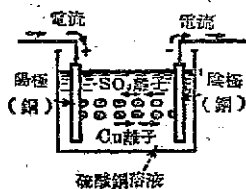


圖 4.31 銅在硫酸銅溶液中
之電解作用

銅塊用作陽極，另一薄銅片用作陰極。銅由陽極進入溶液，其純銅澱積於陰極上。所有雜質沉澱池底，稱為陽極泥(Anode mud)。從此種泥滓中，尚可提煉金，銀或其他金屬，不無相當價值。

電解並不限於溶於水之溶液，熔化之鹽亦可受電解。例如電解食鹽(NaCl)之熔液。在陰極上得鈉(Na)，在陽極上得氯(Cl)，在 900°C 至 $1,000^{\circ}\text{C}$ 之溫度時，電解氧化鋁之熔鹽，可得金屬鋁。

4-38. 法拉第電解定律——法拉第氏(Faraday)從事實驗之結果，證明兩條關於電解之基本定律。第一定律述，電解產物之重量，與通過電解液之電量成正比。即

$$\text{重量 } W = sq = eit \quad (4.1)$$

式中 e 為一常量，稱為此物質之電化當量 (Electrochemical equivalent), q 為電量之庫倫數， i 為電流之安培數， t 為時間之秒數。

第二定律述，用定值之電量，電解產物之重量，與其電化當量成正比。例如氫之原子量為 1.008，一庫電量可解放 0.0104 毫克之氫。此 0.0104 之值，即氫之電化當量。下表示少數元素之電化當量。

電化當量，每庫之毫克數

鋁	0.09316	鎳	0.3041
氫	0.009104	氧	0.08291
鎳 (3 原子價)	0.1797	鉀	0.40516
(6 原子價)	0.0898	銀	1.118
鈷	0.3054	鈉	0.2382
銅 (1 原子價)	0.6558	錫	0.3075
(2 原子價)	0.3294	鎘	0.3180
金 (1 原子價)	2.0436	鉛	1.0737
(3 原子價)	0.6812		

【例題 4.2】以 25 安電流，通過一電解電池，為時 8 小時。電池內含銅電極及硫酸銅溶液，與第 4.32 圖所示者相似。求澱積於陰極上銅之仟克數。

【解】在硫酸銅中，銅之原子價為 2，其電化當量為 0.3294。

$$t = 8 \text{ 小時} = 8 \times 3,600 = 28,800 \text{ 秒。}$$

$$w = 0.3294 \times 10^{-6} \times 25 \times 28,800 = 0.237 \text{ 仟克。} \quad (\text{答})$$

4-39. 電鍍——電鍍 (Electroplating) 實係第 4—37 節及第 4—38 節電解原理之應用，將一種金屬薄膜塗於其他金屬上者。近來各種底層金屬 (Base metal) 往往須鍍以保護性之薄膜，例如鍍銅，鍍銀，鍍鎳，鍍鉻等。電鍍已成為化學工業之一重要部門。

假定有一碳刷須鍍銅，將刷上須鍍銅之部份浸於硫酸銅溶液中，如第 4.32 圖所示。以一銅片亦浸於此溶液中。接至一直流發電機或其他直流電源之正端，碳刷接於此電源之負端。在此情形下，電流將溶液中之銅帶至碳刷，即澱積於其上。其自溶液離去之銅為自銅片進入溶液之銅所替代，溶液本身並無變化。每平方吋電鍍面積所需之電流，約為 0.02 安。

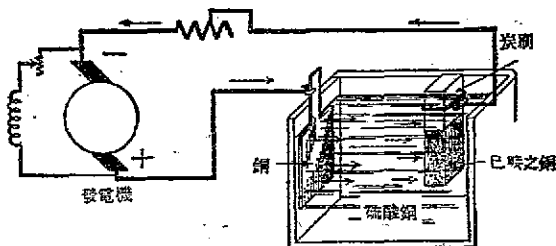


圖 4.32 鍍銅浴

陽極所用金屬，不必與所須澱積之金屬相同，亦可用其他金屬。此陽極金屬進入溶液，溶液變為混合的。設以碳為陽極，在溶液中將有酸組成。

(1) 參考『美國電機工程師標準手冊』第六版，第 23 章，第 136 至 130 節。

上述電鍍浴 (Electroplating bath) 中唯一反電勢為溶液中之 IR 位降。若將兩電極，稍稍移近，可減低此位降，惟太近則濺積不能均勻。每秒所鍍之金屬量，與電流成比例。又因電鍍浴之本質與電池相同，當然為一種低壓裝置。如屬必要，可將數只電鍍浴串聯。電鍍時大概用低壓高流發電機。

於溶液中常略加酸類以防止雜質之濺積。用氰化銅溶液，較用硫酸銅為佳。如電鍍浴及電極應用適當，凡金，銀，鎳，鋅，皆可電鍍。

重力電池可視作電鍍之一例，其電源則得自電池本身。電流在溶液中由鋅至銅，鋅被帶入溶液而成硫酸鋅，銅自硫酸銅溶液中離出而濺積於正電極上。

電鑄術 (Electrotyping) 為電鍍之另一例。一蠟質原板上構成所須複製之字樣或物體，蠟板表面上塗一薄層石墨 (Graphite)，俾能導電，用作陰極，置於電鍍浴中，銅即鍍於其表面上。近來多用鑄型金屬 (Type metal) 俾可得必須之機械強度。

第五章

電工儀器及電之量度

5-1. 直流儀器之原理——以一線卷通以電流，則線卷有旋轉之趨勢。直流電儀器之運用大率根據是理。此旋轉作用，即電動機之基本原理，第十三章內當詳論之，茲略述如下：

以載有電流之導體，置於磁場內，該導體恆欲移動，以期與磁場方向及電流方向互成直角。此為一基本定律，例如第5.1圖所示，為置於 N 及 S 兩極面間磁場中之線卷 C 之俯視圖。電流經線卷左邊之導體 a ，向外流出。經右面之導體 b ，向內流入。結果導體 a 發生一力 f_1 ，有向上運動之勢。導體 b 發生一力 f_2 ，欲向下運動，遂生一力偶(Couple)，欲使線卷順時針方向(Clockwise direction)而

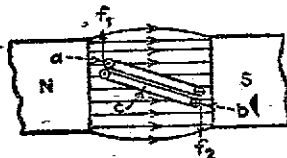


圖 5.1 載有電流線卷之旋轉力矩

旋轉。此旋轉力矩，可根據磁極間引斥作用(第六章及第七章)而解釋如下：

線卷中之電流，產生一磁場，穿過線卷，其 N 及 S 極則在線卷之相反兩面(第 5.2 圖)。設將此線卷置於磁場中，線卷即欲循一方向而旋轉，庶幾線卷之安匝數可增強其所處磁場之強度，而整個組合之總磁通，可為最大量

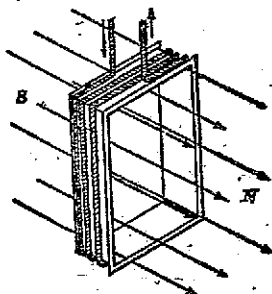
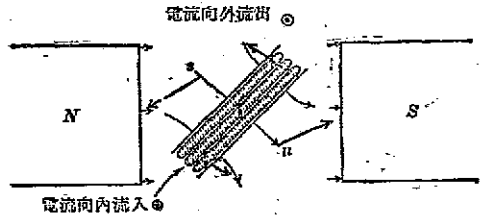


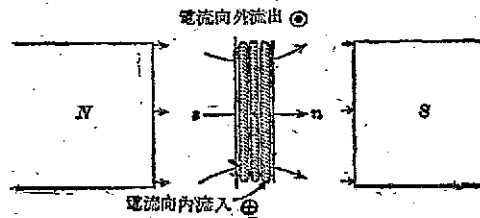
圖 5.2 一載有電流線卷所生之磁場

(見第 6—17 節)。線卷之 N 極，被引至磁場之 S 極，其 S 極，被引至磁場之 N 極。

此種線卷之旋轉趨向，可於第 5.3 圖(甲)內見之，圖中之線卷，欲循箭頭方向而旋轉。設支持線卷於其中軸，任令其自由旋轉，可達第 5.3 圖(乙)之位置。此際，線卷已自動處置其本身，庶其磁通可與所處主要磁場之磁通，沿同一方向而作用。且異性極已儘可能相接近，而同性極則儘可能相離遠。



(甲)線卷在磁場中旋轉之趨勢



(乙)線卷之最後位置

圖 5.3 一儀器線卷之旋轉力矩

5-2. 達松法爾電流計 —— 電流計為一種檢察或量度小電流之靈敏儀器。達松發爾電流計 (D'Arsonval galvanometer) 為電流計中最通用之一種，係根據線卷在磁場中旋轉之作用而製成者。因其構造簡單，幾全取其他各種而代之。其結構亦較堅強，且不甚受雜散磁場 (Stray magnetic field) 之影響。第 5.4 圖示其結

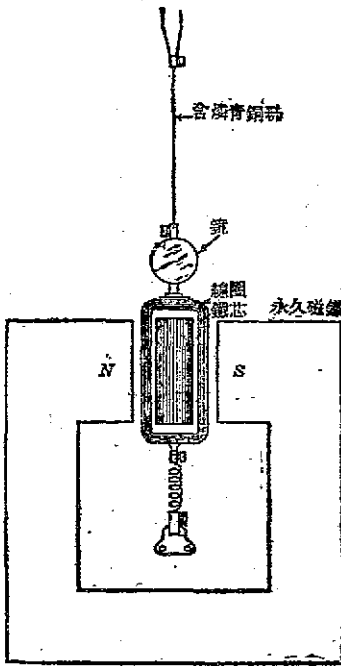


圖 5.4 達松愛爾電流計之原理

線卷之偏轉度，可與電流值成正比，故可得均勻的標度(scale)。

第 5.4 圖示線卷懸於合磷青銅質懸絲上。線卷之任何旋轉可使懸絲發生扭力，此扭力用以反抗線卷之旋轉，故稱為還原力 (Restoring force)。此還原力之力矩，與線卷電流所生之力矩相等時，電流計即自動取一穩定之偏轉度。在各種實用電流計中，此偏轉度係與電

構。一以極細導線繞成之線卷，懸於一永久磁鐵之兩極間，懸繫用絲通常為合磷青銅(Phosphor bronze) 之扁條。繞製線卷時，用或不用捲線框(Bobbin) 皆可。框大率為纖維質或鉛質，鉛框之優點，以後將討論之。磁鐵之兩極，通常為圓筒形。另一圓筒軟鐵芯置於兩極間，與磁極成同軸(第 5.5 圖)。極面及鐵芯之所以用圓筒形，其故有二。第一，空氣路徑之長度可以減少，使與線卷相連繫之磁通加多，因此增加電流計之靈敏度。第二，極面與鐵芯間之磁通，可因此成輻射形。在此輻射形磁場(Radial field)內，

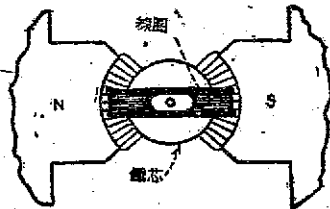


圖 5.5 圓筒形鐵芯與極面間所生之輻射形磁場

流成正比。此含磷青銅懸絲，又可資為載送電流至錄卷之一根引入錄。另一引入錄，則用一極柔軟之螺旋形絲，繞於錄卷之底部，如第 5.4 圖所示。

讀取電流計之偏轉度，普通有二法。以一平面鏡裝於錄卷組合上，而以一標度尺及一望遠鏡裝於距電流計約 0.5 米之處。標度在鏡面之反映，可於望遠鏡中窺之（第 5.6 圖）。鏡面旋轉之時，標度在鏡面之反射，隨之旋轉。偏轉之度數，係用望遠鏡中之叉絲 (Cross-hair) 決定之。

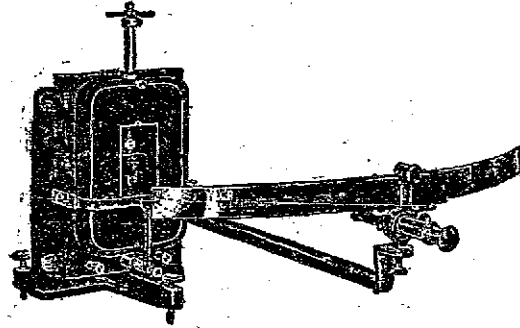


圖 5.6 以望遠鏡與標度尺求電流計之讀數

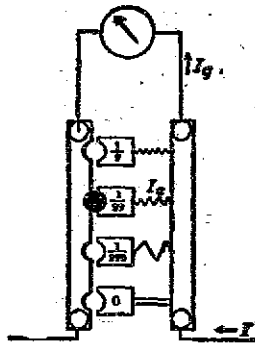
另一方法，係裝一凹鏡於電流計之旋轉系統上。一燈絲置於距鏡相當距離之處，其像則聚焦於一片毛玻璃上。毛玻璃片綉有刻成厘米數之標度尺，鏡面偏轉之時，此一光注，即掃射於標度尺上。

阻尼 (Damping)——當一自由懸盪之電流計錄卷，開始擺動以後，即繼續擺動，歷久不停，除非以某種方法抑制之或阻尼之。塞松登爾電流計所用最有效之阻尼方法，係用電動力阻尼法 (Electrodynamic damping)。設錄卷係繞於鉛框者，鉛框在磁場中轉動，可感應電流於框上。電流之方向適相當於加一負載於轉動之錄卷，如以負載之加於發電機者然。其作用適與錄卷之作用相反。而

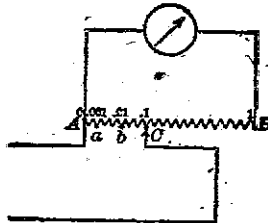
阻止其擺動。他若綴合捷路銅圈於主線卷上，或於電流計外接一分流電阻（見第 5-3 節之愛亦頓分流器），或運用捷路法，其所得結果亦同。

5-3. 電流計分流器——設電流計係用以檢察小電流者，如用於零示法（Null method），以檢察電橋之是否平衡者。當調節之際，往往有一較大電流通過電流計，結果使儀器有劇烈之偏轉而致損傷。在某種其他量度時，電流計所需量度之電流或甚大，致使其偏轉，遠超出標度以外。

在此等情形下，可用一分流器（Shunt）以減少電流計之靈敏度。分流器為一電阻，與電流計相並聯，用以分去電流計電流之一定部份。分流器大概有兩種。一種



(甲)電流計分流器



(乙)愛亦頓分流器

圖 5.7 各式電流計分流器

如第 5.7, 圖(甲)所示，包括三四個分置之電阻，每次可插接一個於電流計之兩端。各電阻值已經適當調準，庶每一分路電阻之電流與電流計電流之比，為十之倍數。例如電流計所欲量度者為外部電流之十分之一，可用最上層之電阻（第 5.7 圖(甲)），此電阻插接以後，外電流之十分之九，即為此電阻分去。

各電阻值可用下法求出：令

R_g = 電流計之電阻。

I_g = 電流計在滿標度時之電流。

I = 電路電流，

I_s = 分路電流，

R_s = 分路電阻。

若全部電流通過電流計，其值將為 I 。今欲減少電流計之電流至此值之十分之一，即

$$\frac{I_g}{I} = \frac{1}{10} \quad (I)$$

$$I_s = I - I_g \quad (II)$$

但分路電流及電流計電流各與其電阻值成反比。故，

$$\frac{R_g}{R_s} = \frac{I_s}{I_g} = \frac{I - I_g}{I_g} \quad (III)$$

由第(I)式， $I_g = I/10$ ，代入第(III)式

$$\begin{aligned} \frac{R_g}{R_s} &= \frac{I - I/10}{I/10} = 9, \\ R_s &= \frac{1}{9} R_g. \end{aligned} \quad (5.1)$$

如欲減至百分之一，則

$$\begin{aligned} \frac{R_g}{R_s} &= \frac{I - I/100}{I/100} = 99, \\ R_s &= \frac{1}{99} R_g. \end{aligned} \quad (5.2)$$

【例題 5.1】電流計之電阻為 600 歐。求所需用之分路電阻值，俾可減少其偏轉度至 10:1 及 100:1

【解】 $R_1 = 600 \div 9 = 66.7$ 歐。 (答)

$R_2 = 600 \div 99 = 6.06$ 歐。 (答)

愛亦頓分流器 (Ayrton Shunt) —— 第 5.7 圖(乙)示一愛亦頓分流器。一永久電阻 AB 接於電流計之兩端。外部電路之一端 A ，永久接於此電阻之一端，另一線路端為可移動的，能接於沿 AB

之任何點。就某定值線路電流而論，當 C 端在 B 點時，偏轉度為最大。設 C 端移至 a 點，而 Aa 之電阻為總電阻 AB 之 $1/1,000$ ，電流計之偏轉度為最大之 $1/1,000$ 。設將 C 端移至 b 點，而 Ab 之電阻為總電阻之 $1/100$ ，電流計偏轉度將為最大之 $1/100$ ，餘類推。茲證明之如下：

設 I 為線路電流， I_g 為電流計之電流， R_g 為電流計之電阻， R_s 為分流器之總電阻。又 R_a 為自 A 點至接觸器 C 間之電阻， C 可與各點如 a 及 b 等相接觸。

從第 5.7 圖(乙)

$$\frac{I_g}{I - I_g} = \frac{\frac{AC}{AB} R_s}{\frac{CB}{AB} R_s + R_g} = \frac{\overline{AC} R_s}{\overline{CB} R_s + \overline{AB} R_g}$$

$$\text{即 } I_g(\overline{CB} R_s + \overline{AB} R_g) = I \overline{AC} R_s,$$

$$\text{故 } I_g = I \left(\frac{AC}{AB} \right) \frac{R_s}{R_s + R_g} \quad (5.3)$$

由第 5.3 式可知，就任何定值線路電流 I 而論，電流計之電流 I_g ，以及電流計之偏轉度將與變亦頓分流器之配置部份 AC/AB 成正比，因在任一電流計與分流器組合中，其 $R_s/(R_s + R_g) = k$ ，為一常數也。

又配置接觸器 C 於分流器之 B 點，而 $AC/AB = 1$ ，

$$I_{1g} = I_1 \frac{R_s}{R_s + R_g} = k I_1 \quad (5.4)$$

此即在某一定值線路電流 I_1 時，電流計電流之最大值。如移去分流器，全部線路電流即須經過電流計。故分流器之存在，不獨減少電流計之最大電流值，且減低其靈敏度，其減低之比率為 $R_s/(R_s + R_g) = k$ 。

為使電流計之靈敏度不致減低過甚， R_s 應較大於 R_g 。 R_s 與 R_g 之比，大率為 8 至 10 之譜，甚至可以更大(見例題 5.2)。

設分流器在任何配置情形時，例如在 C 點， I_g' 為電流計之電流。則就某定值線路電流而論，從第 5.3 及第 5.4 式，

$$\frac{I_{1g}}{I_g'} = \frac{I \frac{R_s}{R_s + R_g}}{1 \left(\frac{AC}{AB} \right) \frac{R_s}{R_s + R_g}} = \frac{AB}{AC} = \frac{R_s}{R_2}$$

$$\text{或} \quad I_{1g} = I_g' \frac{R_s}{R_2} \quad (5.5)$$

$R_s/R_2 = M$, M 為分流器之倍率 (Multiplying power)。若即將 C 配置至倍率為 1 時之電流計電流, 等於將 C 配置於他處時之電流計電流, 乘以 R_s/R_2 。例如 C 配置在 0.1 時, $R_2 = R_s/10$, 其倍率等於 10。如 C 配置於 $b = 0.01$ 時, $R_2/R_s = 100$, 倍率等於 100。第 5.5 式示愛亦頓分流器之一般本質, 因其倍率不與電流計之電阻相涉, 故此分流器幾可用於任何電流計上。實際上, 苟分流器之總電阻, 約為電流計電阻之 10 倍時, 其結果為最佳。

平常線路電流 (Line current) 並非定值, 而變化於一廣闊之範圍內。欲求線路電流, 而以電流計之偏轉度或電流, 及分流器之倍率表出, 則愛亦頓分流器極為有用。

第 5.3 式可易成下式

$$I = I_g \left(\frac{AB}{AC} \right) \frac{R_s + R_g}{R_s} = I_g \left(\frac{AB}{AC} \right) K = I_g \frac{R_s}{R_2} K = I_g M K \quad (5.6)$$

式中 $K = 1/k$ 。

$(R_s + R_g)/R_s = K$ 在任一電流計與分流器組合中, 係一常數。接觸點 C 在 B 點時, 電流計電流對於某定值線路電流為最大, 線路電流 $I_1 = KI_g$ 。

從第 5.6 式, 若就任何定值之電流計電流 I_g , 而比較任何二線路電流 I_1 及 I_2 , 其比為

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_g M_1 K}{I_g M_2 K} = \frac{M_1}{M_2} \quad (5.7)$$

式中 M_1 及 M_2 為分流器之倍率。分流器上常註有 AC/AB 之比值, 如 0.001, 及 0.01 等, 故倍率即等於此標號之反數, 如 1,000, 及 100 等。

兩不同之線路電流值, 如用電流計電流表出之, 可用下法決定:

電流計偏轉度 D , 與其電流成正比。故相當於偏轉度 D_1 及 D_2 之電流計電流 I_{1g} 及 I_{2g} 各為

$$I_{1g} = sD_1, \quad I_{2g} = sD_2, \quad (I) \text{ 及 } (II)$$

式中 s 為一常數。

由第 5.6 式知各相應之線路電流值為

$$I_1 = KM_1 I_{10}, I_2 = KM_2 I_{20} \quad (III) \text{ 及 } (IV)$$

合併 (I), (II), (III), (IV), 諸式,

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{M_1 I_{10}}{M_2 I_{20}} = \frac{M_1 D_1}{M_2 D_2} \quad (5.8)$$

例如, 設分流器配置在 0.1 時, I' 為線路電流, I'_0 為電流計電流; 又設分流器配置在 0.01 時, I'' 為線路電流, I''_0 為電流計電流。因之, 從第 5.6 式,

$$I' = I'_0 \frac{R_s}{0.1 R_s} K = 10 K I'_0, \quad (V)$$

$$I'' = I''_0 \frac{R_s}{0.01 R_s} K = 100 K I''_0. \quad (VI)$$

以第 (VI) 式除第 (V) 式, 得

$$\frac{I'}{I''} = \frac{10 I'_0}{100 I''_0} = \frac{10 D'}{100 D''} \quad (5.9)$$

式中 D' 及 D'' 為電流計之偏轉度, 係與產生此偏轉之電流成正比, 10 及 100 為分流器在 0.1 及 0.01 時之倍率。

第 5.9 式與電流計及分流器之電阻無關, 僅包括電流計之偏轉度及分流器之部份配置。此關係可於例題 5.2 中見之。

【例題 5.2】一電流計之電阻為 800 歐, 與一 10,000 歐之靈敏型分流器合用。分流器上註以自 0.0001 至 1 之十進標號。電流計之靈敏度係以 8×10^{-8} 安之電流, 得 50 厘米之滿標度 (Full scale) 偏轉。偏轉度係與電流成比例。求: (1) 在線路電流為 2.4×10^{-5} 安時, 分流器所應有之配置, 及其相應之偏轉度; (2) 分流器配置於最大靈敏度時, 能致生 0.5 厘米偏轉度之線路電流; (3) 因分流器存在而電流計所減少之靈敏度。

設將分流器配置於 0.0001 時, 有電流通過某一電阻, 電流計之偏轉為 18.5 厘米。如以另一電阻替代之, 而分流器配置於 0.1 時, 其偏轉為 5.2 厘米。求: (4) 二電阻之比值; (5) 每一線路電流之絕對值。

【解】(1) 由第 (I) 及 (II) 式,

$$8 \times 10^{-8} = s \times 50$$

$$s = \frac{8}{50} \times 10^{-8} = 1.6 \times 10^{-9}$$

試先假定線路電流之 $1/1000$ 流入電流計，則電流計電流為 2.4×10^{-4} 安，小於滿標度偏轉之 8×10^{-3} 安，故分流器可配置於 $0.001 (= AC/AB)$ 。

(答)

又從第 5.3 式

$$I_D = 2.4 \times 10^{-3} (0.001) \frac{10,000}{10,800} = 2.22 \times 10^{-8} \text{ 安。}$$

從(I)及(II)式

$$2.22 \times 10^{-8} = 1.6 \times 10^{-9} D,$$

$$D = \frac{2.22 \times 10^{-8}}{1.6 \times 10^{-9}} = 13.9 \text{ 厘米。} \quad (\text{答})$$

(2)相當於 0.5 厘米偏轉之電流計電流為

$$I_D = \frac{0.5}{50} \times 8 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-5} \text{ 安。}$$

在最大靈敏度， $M=1$ ，故由第 5.3 式，

$$I = 8 \times 10^{-5} \left(\frac{10,500}{10,000} \right) = 8.64 \times 10^{-5} \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

(3)從第 5.4 式，

$$k = \frac{10,000}{10,800} = 0.926. \quad (\text{答})$$

(4) $M_1 = 10,000$ ， $M_2 = 10$ ，故從第 5.8 式，

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{10,000 \times 18.5}{10 \times 5.2} = 3,560. \quad (\text{答})$$

(5)從(I)及(II)式，

$$I_{1D} = 1.6 \times 10^{-3} \times 18.5 = 29.6 \times 10^{-3} \text{ 安，}$$

$$I_{2D} = 1.6 \times 10^{-3} \times 5.2 = 8.32 \times 10^{-3} \text{ 安。}$$

再由(III)及(IV)式知

$$I_1 = 1.06 \times 10,000 \times 29.6 \times 10^{-3} = 3.20 \times 10^{-1} \text{ 安，}$$

$$I_2 = 1.06 \times 10 \times 8.32 \times 10^{-3} = 8.99 \times 10^{-3} \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{32,000 \times 10^{-1}}{8.99 \times 10^{-1}} = 3,560. \quad (\text{答})$$

垂亦應分流器具有下述之優點：在所需之靈敏限度以內，無論

電流計之電阻為若干，此分流器可應用於任何電流計。再者，作為分路而跨接於線路之定值電阻，可供給斷路衝擊量度 (Ballistic measurement) 時恆定之阻尼 (見第 10—21 節)。

5—4. 古式之指示儀器——一般量度電流與電壓之儀器，須求其堅固而便攜，同時必須具有極高之精確程度。電流計本身顯然不能適合此種需要。在電工學術之初期，各種便攜式與配電板 (Switch-board) 儀器之運用，端賴一螺線管 (Solenoid) 對鐵棒所施之引力而定。引力之大小，隨螺管中之電流為轉移。故設用某種方法，例如重力或彈簧之類，以控制鐵棒之運動，則附裝於鐵棒上之指針，即可指示電流

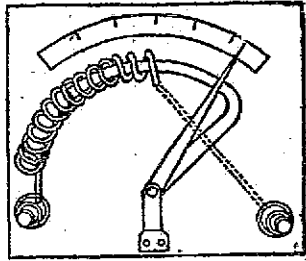


圖 5.3 古式之活棒安培計

之安培數。第 5.8 圖示此種典型的儀器。惟其構製粗率，形式簡陋，自不能準確。且鐵芯中之磁滯現象，亦易滋差誤。同一電流值，在遞減至此值時之讀數，較在遞加達此值時之讀數為高。再因鐵棒之重量，在裝置其可動部份時，難免無摩擦之存在。欲減少摩擦之差誤，至可略而不計，雖非不可能，然亦至困難。又儀器上無阻尼設備，倘電流稍有漲落，其讀數之漲落甚劇。更有進者，雜散磁場對於鐵棒之作用，亦可致成差誤。凡此種種困難，俱可由衛斯吞式儀器克服之。

5—5. 衛斯吞式儀器——衛斯吞式儀器 (Weston-type instrument) 通用於直流電流及電壓之量度。此種儀器係根據達松發種電流計之原理，構成便攜式，上裝指針及標度，以指示移動線卷之偏轉度。同樣儀器可用作安培計或伏特計。用作安培計時，除去量度極小電流外，須附裝一分流器，以分去所量電流之大部份。用

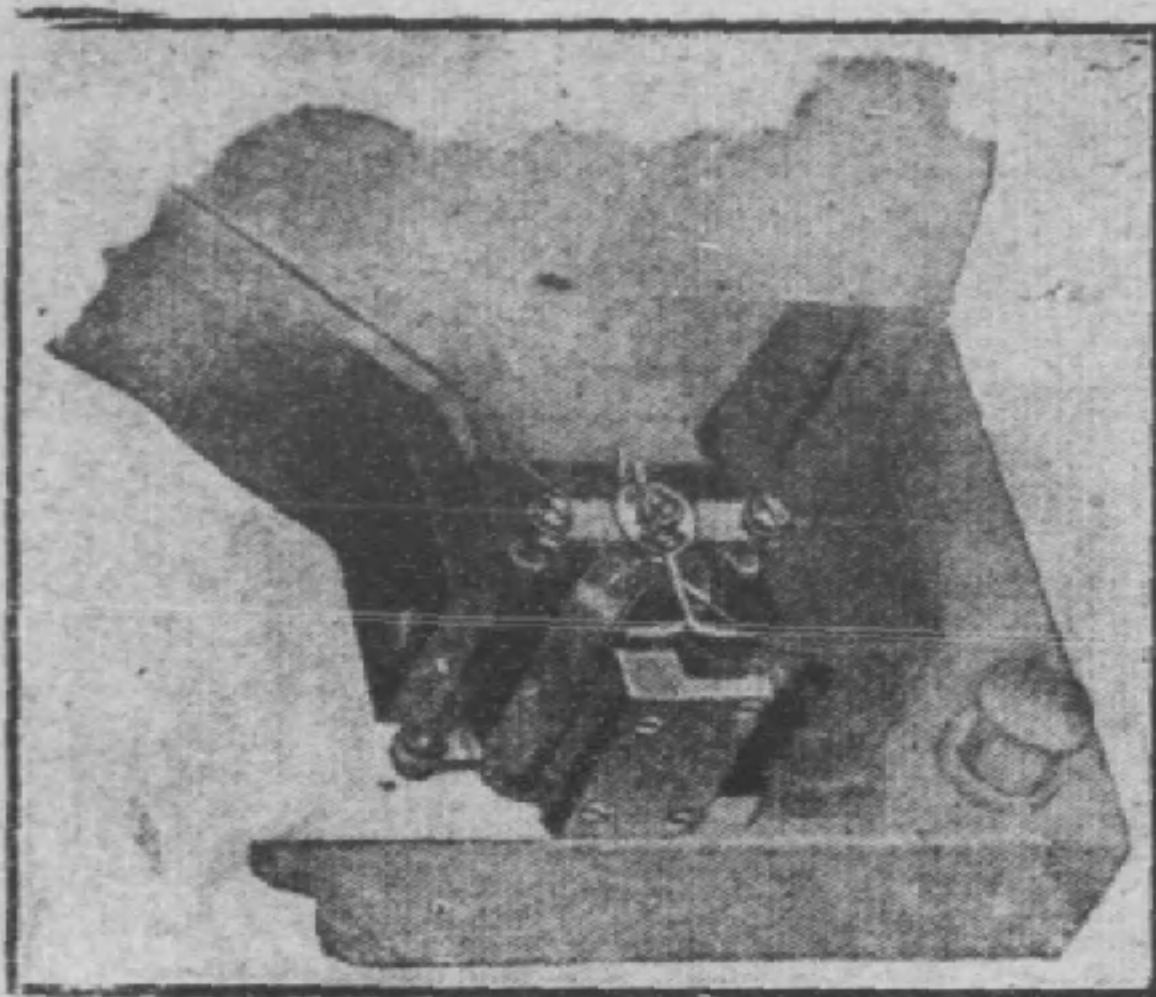


圖 5.9 韋斯吞式儀器之運動

鐵芯而以一銅片固著之。空氣隙之長度，較之達松發爾電流計者甚短。移動錄卷係由極細絲包銅線繞於鋁框上。鋁框除用以支持錄卷外，又可資儀器阻尼之用。此阻尼係因鋁框割切磁場感應電流而生者。

此種儀器之錄卷，在其頂端及底端各裝一硬性鋼之支樞(Pivot)，令其旋轉於杯狀之寶石上，通常用青玉質(Sapphire)。此種支撐法，可使錄卷旋轉時，極少摩擦，且使儀器得以便攜。達松發爾電流計中，錄卷由一細絲懸掛，不能便攜者。電流之引入及引出錄卷，係用兩扁平螺簧為之。一在頂上，一在底下。此二螺簧同時又為控制錄卷運動之用。錄卷之任何旋轉，即遭受此二螺簧之反抗力。上下二螺簧之旋繞方向適相反，故溫度變化之影響，致使螺簧旋鬆或扭緊者，可互相抵消，不令

作伏特計時，須以一電阻與移動錄卷相串聯，俾接至線路上，不致取入過量電流。

此種儀器之主要部份，示於第 5.9 圖。與達松發爾電流計相似，亦需一永久磁鐵，為馬蹄形，以兩軟鐵塊裝於兩磁極。磁極間置圓筒狀

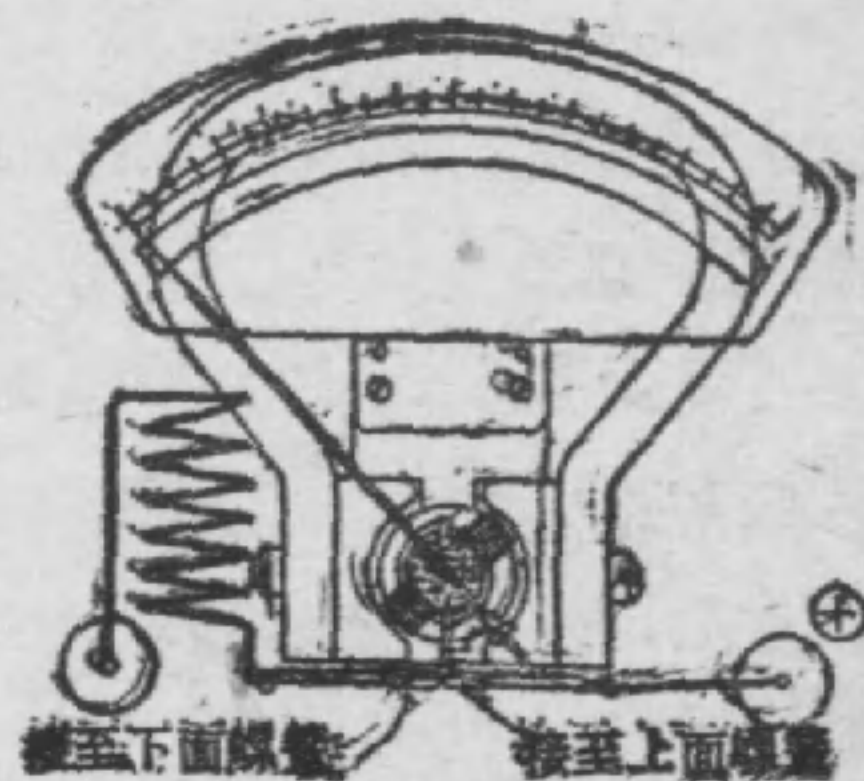


圖 5.10 一只典型的韋斯吞直流毫伏計

任何旋轉，即遭受此二螺簧之反抗力。上下二螺簧之旋繞方向適相反，故溫度變化之影響，致使螺簧旋鬆或扭緊者，可互相抵消，不令

指針之零位 (Zero position), 有所變更。以一極輕巧之鉛質指針, 裝於移動組合上, 用以指示錄卷之偏轉度。此指針以一衡重體 (Counterweight) 精確平衡之, 庶幾全部移動組合, 縱儀器不在水平位置時, 亦可嚴密保持其零位。指針移動於一標度尺上, 尺則刻有伏特數或安培數, 視其用途而定。又因磁場為輻射的, 移動錄卷之偏轉幾與錄卷中之電流值成正比, 故標度尺上乃有極均勻之刻度, 此乃極合需要者也。一衛斯吞儀器內部之聯接, 如第 5.10 圖所示。

另有一種構造相同, 而螺簧較弱之儀器, 常用作便攜式電流計。其靈敏度雖不若懸繫式者之佳, 然對於某種工作, 已足勝任, 而其堅固性及便攜性, 使之極為有用。此種電流計見第 5.11 圖。



圖 5.11 衛斯吞式便攜電流計及錄安培計

5-6. 安培計 —— 衛斯吞便攜儀器之移動組合, 約在錄卷電

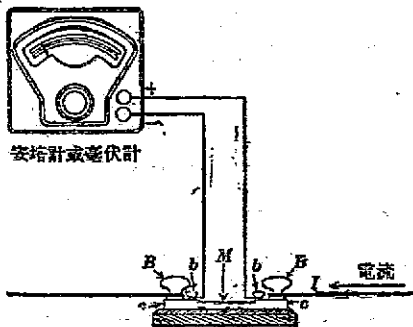


圖 5.12 安培計及外接分流器

流為 0.01 至 0.05 安時, 得滿標度之偏轉, 視應用之情形而定。若儀器之移動組合, 係為用作安培計而設計者, 錄卷之繞製, 必欲使電阻為極小, 庶幾儀器兩端之壓降甚低。若是則安培計接入電路中後, 可不

致插入若何顯著之電阻。故錄卷導線之截面積, 以愈大為愈佳, 而

錄卷之匝數，則欲其少。如依此法繞製，約 0.02 至 0.05 安，即可得滿標度偏轉。欲量度大於此之電流，可用一分流器，從移動錄卷中分去一部份電流。分流器為一低值電阻，通常以錳銅片 M 鉚於較重之銅塊 cc 上製成，如第 5.12 圖所示。將兩組螺釘式接錄柱附裝於銅塊上。其較重之翼式螺止 (Wing-nut) BB ，係用以負載主電流通過分流器者；小柱 bb 係用以聯接安培計之引入錄者。用銅塊之

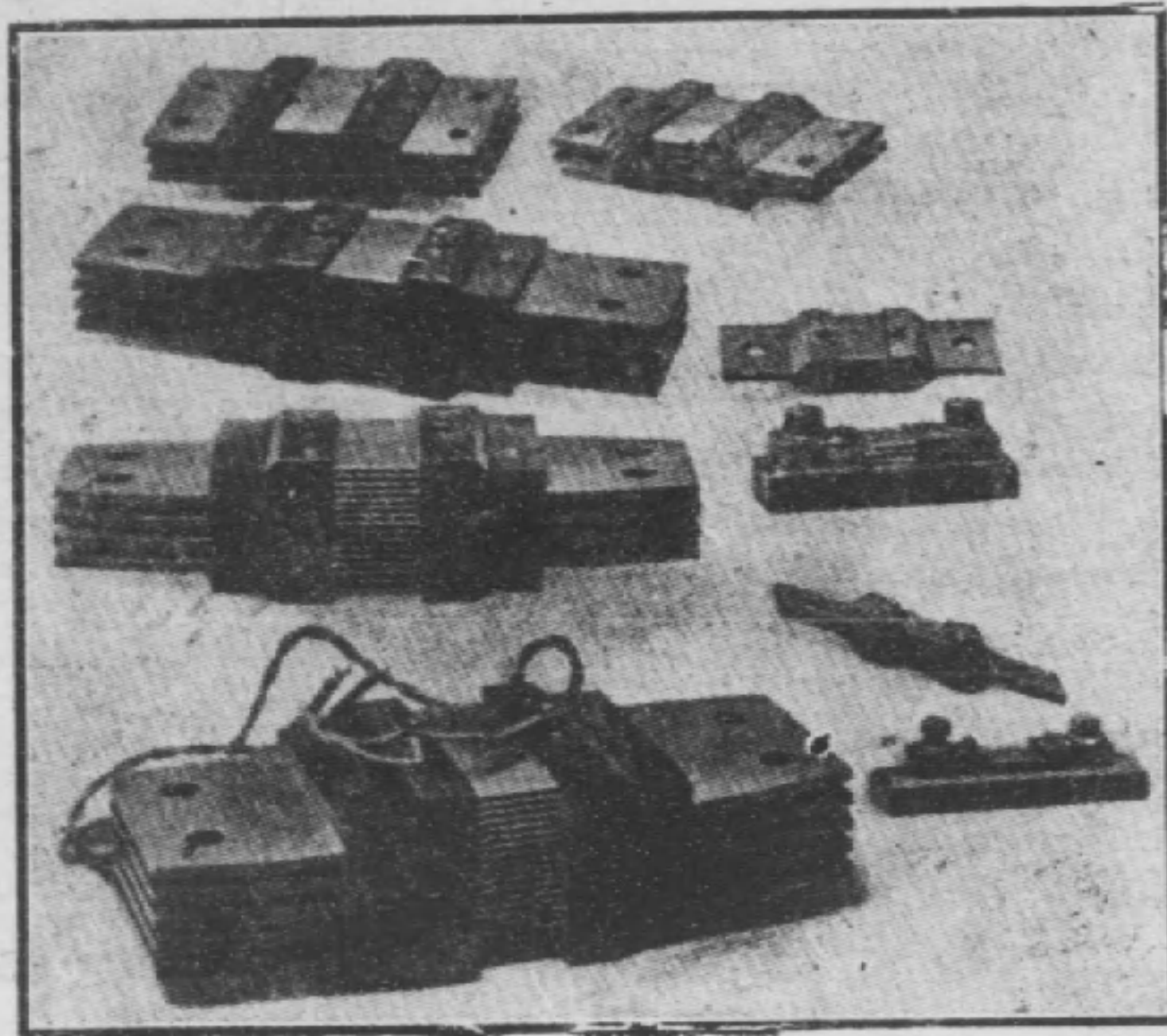


圖 5.13 安培計分流器(一號自 25 至 200 安，九號自 4500 至 6,000 安)

用意有二：因銅塊為極良之導熱體，故能散去錳銅片所發之熱。又因其電阻甚低，可使該銅塊各點之電位，無甚差異。第 5.13 圖示一組具有各種電流定額之分流器，其接至匯流排之粗銅接頭，應予注意。

依上述裝置，此安培計實用作伏特計，以量度分流器兩端之電壓者。若 I_{sh} 為分流器電流， R_{sh} 為分流器電阻，則其電壓降為

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

設 R_{sh} 為恆定的，則分流器之壓降與其電流成比例，而儀器讀數可

與分流器電流成比例，故可刻成安培數；且安培計亦常加註為毫伏計 (Millivoltmeter) 者。在滿標度偏轉時，分流器之壓降，約為 50 毫伏。儀器本身取入之電流常在 0.02 至 0.05 安之間，如與主電流相較，可以從略。故在大多數情形，線路電流即等於分流器電流。

安培計及其分流器，可視為一種分枝電路 (Divided circuit)。如第 5.14 圖， R_{sh} 及 I_{sh} 為分流器之電阻及電流， R_m 及 I_m 為儀器之電阻及電流。根據分枝電路之定律，

$$\frac{I_{sh}}{I_m} = \frac{R_m}{R_{sh}},$$

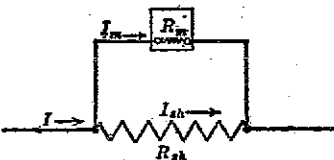


圖 5.14 電流在安培計與分流器間之分配

即電流在儀器與分流器間之分配，係各與其電阻成反比。

【例題 5.3】設一儀器之電阻為 4 歐，分流器之電阻為 0.0005 歐，線路電流為 90 安，求通過儀器之電流。

【解】線路電流與分流器電流相差極微，可認為相等者。則

$$\frac{90}{I_m} = \frac{4}{0.0005},$$

$$I_m = 0.01125 \text{ 安。}$$

(答)

為準確計，電流之分配於儀器與分流器，須有固定之比率。即分流器與儀器之兩電阻，須始終不變，或二者須以同樣比率而變化。但分流器之運用溫度恆高於儀器之溫度，故分流器應以其電阻不隨溫度有顯著變化之金屬，如錳銅之類 (第 1—18 節) 製成之。儀器電路之電阻，亦應保持不變。聯接分流器至儀器之引線之電阻，亦須恆定，且聯接分流器至儀器，必須仍用最初校準儀器時所用之引線。鉤套與接線柱之接觸點，必須保持清潔，無氧化物及其他污穢。一可調節之低值電阻 (如第 5.10 圖之螺簧)，亦裝於儀器內。儀器與分流器間電流之分配，即可變動此電阻而調節之。

以一安培計與各種外接分流器之組合，可使該儀器得數種標度或量度範圍（簡稱量限，Range）。假定某儀器在儀器電流為 0.02 安時，得滿標度之偏轉。儀器電阻為 2.5 歐，分流器電阻為 0.0005 歐。儀器兩端電壓為 $0.02 \times 2.5 = 0.05$ 伏，即 50 毫伏。以分流器電阻，除此電壓，則

$$\text{分流器電流} = I = \frac{0.05}{0.0005} = 100 \text{ 安。}$$

故儀器係在總路電流為 100 安時，得滿標度之偏轉。

設上述分流器，以一電阻為 0.005 歐者代替之，10 安電流即可得 50 毫伏之壓降，故此時之安培計應有 10 安之標度。苟分流器之電阻，選用得當，同一儀器可用於由 1 安以至 5,000 安之範圍內，皆產生滿標度之偏轉，例如第 5.13 圖中之若干分流器，可裝配於同一儀器，得各種不同數目之標度。

標度較小之儀器，如 50 安以下，且僅需一種標度者，分流器通常置於儀器之內。在 50 至 100 安之範圍內，可隨意用內接或外接之分流器。在 100 安以上者，因分流器之體積較大，熱損失較多，以接在外面為宜。

安培計與伏特計，可以下述事實辨別之。除有外接分流器者外，安培計之接線柱通常較為粗大，且以裸金屬製成。毫伏計及伏特計之接線柱，構造較為輕小，柱外多裹以硬橡膠，以資絕緣。然因毫伏計與伏特計之接線柱式樣，往往相同，必須慎予注意，切勿將毫伏計，誤認為一伏特計而應用之。縱以甚低電壓接於毫伏計上，亦能致劇烈之損傷。

任何儀器接於電路中時，其對電路所致之擾亂，以愈小為愈佳。安培計之分流器，因須串聯至總路中，其電阻愈低愈妥，庶幾接入電路後，不致插入若干電阻。為防止鉅額電流侵入安培計起見，

在不採取讀數時，應設法予以短路。

5-7. 伏特計——伏特計 (Voltmeter) 之構造，如僅就其動作而論，與安培計殊無區別 (見第 5.9 圖)。伏特計內轉動線卷之繞製，較之安培計，匝數加多，而線徑甚細，俾得較大電阻。雖然，主要之區別，仍在儀器接於電路之方法。伏特計係跨接於線路之兩端，以量度其電壓者，故其本身以取入最小之電流為宜。然其轉動線卷之電阻甚低，如以之直接跨接於電路，必致取入大量電流，以致燒燬。故必須用一高值電阻與線卷相串聯，以限制其電流，如第 5.15 圖所

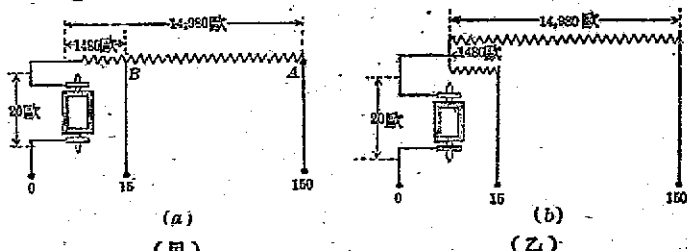


圖 5.15 連接電阻於伏特計之方法

示。根據歐姆定律，儀器電流係與其端電壓成正比，故儀器標度可刻成伏特數。其所需之串聯電阻，甚易求得。設儀器係在線卷電流為 0.01 安時，得滿標度偏轉，線卷電阻為 20 歐。今若須儀器之滿標度指示 150 伏，則儀器電路之總電阻必須為

$$R = \frac{V}{I} = \frac{150}{0.01} = 15,000 \text{ 歐。}$$

儀器已有 20 歐之電阻，故需另加 14,980 歐 (第 5.15 圖 (甲))。若同一儀器之滿標度，欲其指示 15 伏，可從 14,980 歐之電阻上分接一點 B，使 OB 之電阻 (第 5.15 圖 (甲)) 為 $(15/0.01) - 20 = 1,480$ 歐，此分接頭 (Tap) 可通至註有 15 伏之接線柱上。另一方法，如第 5.15 圖 (乙) 所示，可獲得同樣之結果。即另以一 1,480 歐之電阻，從註有 15 伏之接線柱接至電阻與線卷之接頭上。後一方法較優，

因各電阻可分別校準，且一電阻之損壞與修理，不致影響另一電阻也。

5-8. 倍加器或擴展線卷——具有內接電阻之伏特計，可以用外接電阻與儀器相串聯，而擴展其量限。

【例題 5.4】某 150 伏標度伏特計之電阻為 17,000 歐。求所需串聯之外接電阻，俾可擴展其量限至：(甲)300 伏；(乙)600 伏。

【解】(甲)欲使在 300 伏時得滿標度偏轉，伏特計之電流，必須等於在 150 伏時得滿標度偏轉所需之電流。依此，儀器在 300 伏時之總電阻必須為在 150 伏時之兩倍。故總電阻應為 $17,000 \times 2 = 34,000$ 歐，而所需之外接電阻為

$$34,000 - 17,000 = 17,000 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

(乙)在 600 伏時之總電阻為 $17,000 \times 4 = 68,000$ 歐，外接電阻應為

$$68,000 - 17,000 = 51,000 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

此種用途之外接電阻稱為倍加器 (Multipliers)，有時稱為擴展線卷 (Extension coil)。通常置於一多孔盒內，線端則引接至接線柱上。倍加器之倍率，係註於接線柱之附近。

倍加器之電阻 R_s ，儀器之電阻 R_m 及倍率 M 之關係，可以下式表示之：

$$M = \frac{R_s + R_m}{R_m} \quad (5.10)$$

【例題 5.5】例題 5.4 內(乙)部份中倍加器之倍率為若干？

$$\text{【解】} \quad M = \frac{51,000 + 17,000}{17,000} = 4 \quad (\text{答})$$

5-9. 熱線儀器——前述各種儀器之作用，俱係根據電流及磁場所生之運動而製作者。茲另有一種儀器，依電流之發熱效應而設計者，即熱線儀器 (Hot-wire instrument) 是也。第 5.16 圖示此種儀器之構造。AB 為鉛銀合金細絲，以電流通過之，一線 CF 附

著於 AB 上之 C 點，一絲線 EH 附著 CF 於 E 點。此絲線繞經滑輪 W ，藉彈簧 H 之力而拉緊。電流經 AB 所發出熱量，使 AB 伸脹，減少 CF 線上之張力，使彈簧 H 得以將絲線拉向左方。絲線拖動滑輪 W ，遂使指針 P 在標度尺上移動。

若用此式儀器作安培計，除非電流極小，必須接一分流器。若用作伏特計，則應以一高值電阻與 AB 相串聯。

此種儀器係「不擺」(Dead beat) 式者，其動作極為遲鈍，須

緩緩達其最終之偏轉度。其對於漲落電流之量度，甚為有利，因指針隨電流之漲落而緩緩擺動，可得較準確之讀數也。熱線儀器用以量度直流，亦可量度交流電流或電壓，此乃其又一優點。此種儀器又可藉為一種換算儀器 (Transfer instrument)，用以量出交流電流，而以等值直流電流表出之。其對於高頻率交流電之量度，尤為有用。因苟無分流器之設置，其讀數可不隨頻率而變化。是以

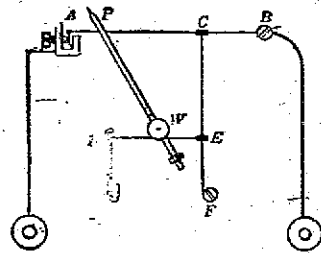


圖 5.16 哈特曼及白期熱線式儀器之原理

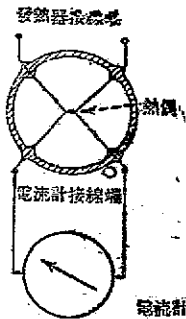


圖 5.17 真空熱偶及電流計

此種儀器常用於射頻 (Radio frequency) 電路中電流之量度。然此儀器常受溫度之影響，如時期過久，其刻度即不甚可靠。故如用於精確量度時，在應用之前，應重加校核。

5-10. 真空熱偶——真空熱偶 (Vacuum thermocouple) 與一電流計，或一種靈敏的偏轉儀器合用，可資電流之量度，蓋亦根據電流之發熱效應者。以所欲量度之電流，通過一小電阻器或發熱器，使之發熱。再以一極小熱

偶接合 (Thermal junction), 與之作熱的接觸, 見第 5.17 圖。熱偶接合及其聯接線俱封於一抽空之小玻璃泡內, 以減少其熱量之散逸。熱偶接合兩端接至一電流計或其他靈敏之達松發爾式儀器。發熱器電路之電流提高熱偶接合之溫度, 使生熱電勢 (Thermal emf), 遂使指示儀器有所偏轉。偏轉度與電流之平方成正比例。因發熱器電路之電感及電容的效應幾等於零, 此種儀器極合射電頻率之用。發熱器電路甚為精緻, 其定額亦僅限於極小電流, 量度大電流時, 需用一分流器。熱偶儀器較上述之熱線儀器, 甚為精確, 亦較靈敏。(瓦特計及瓦時計將於第 5-29 節及第 5-30 節內述之)。

電 之 量 度

電 阻 之 量 度

5-11. 伏特計安培計法——電路之任何部份, 若不含具有電勢之電源, 依歐姆定律, 其電阻為

$$R = V/I,$$

式中 V 為電路中此部份兩端間之電壓, I 為通過該部份之電流穩

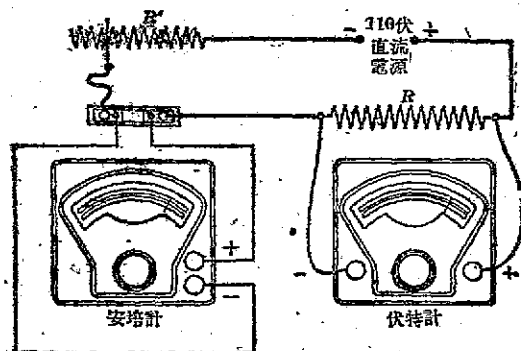


圖 5.13 量度電阻之伏特計安培計法

定值。顯然，電壓 V 可以一伏特計量度之，電流 I 可以一安培計量度之，電阻 R 即可算出。

今欲求第 5.18 圖所示電路內電阻 R 之值。電源為 110 伏。因 R 之值甚低，若直接接於 110 伏，必取入極大電流，故必須插入另一電阻 R' ，與 R 相串聯，以限制其電流。然伏特計仍接在電阻 R 之兩端，因所求者，僅為電路中此部份之電阻也。

【例題 5.6】如第 5.18 圖所示，當安培計上讀出 24 安，伏特計之讀數為 19 伏，求電阻 R 之值。

【解】
$$R = \frac{19}{24} = 0.792 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

設欲求 R' 之值，可將伏特計兩端自 R 移至 R' 上，此際伏特計之讀數為 91 伏，安培計之讀數仍為 24 安。故

$$R' = \frac{91}{24} = 3.79 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

除去接觸電阻之方法—在量度甚低之電阻時，一伏特計若直接跨接於其兩端，其接線處之接觸電阻 (Contact resistance) 或許甚大，可引入相當之差誤，甚至超過所量電阻之值。為減免此種差誤計，電流經端鈕 BB (第 5.19 圖)，而導入所量之電阻，其伏特計之兩端，必須接在 BB 以內，即所量得之電阻，並不包括 BB 在內。因伏特

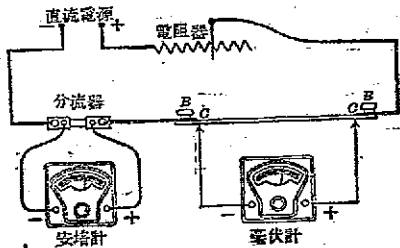


圖 5.19 量度金屬棒之電阻

計僅取用極小量之電流，故可用尖端觸點 CC 。且伏特計之電阻甚高，僅須觸點 CC 之接觸電阻與儀器電阻較，可以略而不計，即不致再有差誤，此固易於辦到者。此種觸點 CC 既小而尖，其所應接觸於

量度樣品之處，可準確地加以決定。

【例題 5.7】 當第 5.19 圖中安培計讀出 50 安時，毫伏計指示 40 毫伏。接點點 CC 相距 23 吋，求此棒每吋長度之電阻值。

【解】 23 吋長度之電阻為

$$R = \frac{0.040}{50} = 0.00080 \text{ 歐。}$$

故每吋長度之電阻為

$$R_1 = \frac{0.00080}{23} = .0000348 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

5-12. 伏特計法——電阻之量度，亦可以一伏特計單獨為之，惟所量之電阻須可與伏特計本身之電阻相彷彿。設如第 5.20 圖 (甲) 所示，欲量出電阻 R 之值。先將伏特計跨接於電源，得一讀數 V_1 。再變換接法，使電阻 R 與伏特計串聯接至電源，另得一讀數 V_2 。

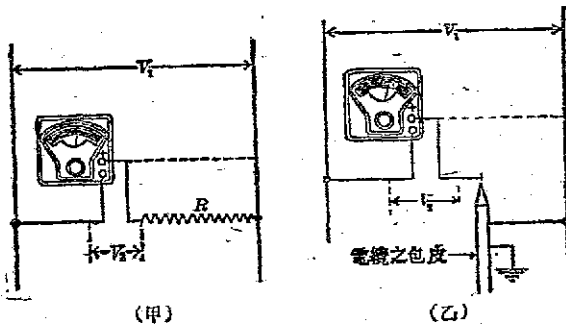


圖 5.20 用伏特計法作電阻之量度

V_1 為電路之總電壓， V_2 係儀器兩端間之電壓，故未知電阻 R 之端電壓係 $V_1 - V_2$ 。伏特計係與 R 相串聯，流過此二者之電流必同，若伏特計本身之電阻為 R_0 ，則可知各部之電壓為

$$V_2 = iR_0,$$

$$V_1 - V_2 = iR_0.$$

以上兩式相除，解得 R 為

$$R = R_0 \frac{V_1 - V_2}{V_2} \quad (5.11)$$

倘屬必要，可以另一伏特計讀取電壓 V_1 。若是，可使電壓 V_1 之值，擴展至與 R 串聯之伏特計之量限以上，而增加量度之靈敏度。

此種量度電阻之方法，在量絕緣電阻，如發電機線卷或電器內等者，最為有用。此種電阻值極大，通常以兆歐(1,000,000 歐)表示之。從第 5.11 式可見， R_0 之值愈大，用此法所可量度之電阻值亦愈大。故有特製之 150—標度伏特計，其電阻為 0.1 兆歐 (100,000 歐)，專供此種用途。其靈敏度可達用平常 150 標度伏特計之六倍。

第 5.20 圖(乙)示用伏特計量度電纜之絕緣電阻。自包皮(Sheath)上引出之接地線，模仿在實際裝置時，電纜鉛包皮與地之接觸(通常係接於水管或其他通地系統者)。依理，如供電系統之一邊，在尋常情形，亦係通地者，此一邊必已接至包皮。(依理論言之，自通地導線至包皮間，不必再接一線，不過仍宜接線，以保證其確實)。

設供電系統之一邊，已經接地。若在電源不通地之一邊與通地之包皮相接，則必致引起短路。設電纜係孤立的，意即捲於捲軸上者，其包皮與地相絕緣，第 5.20 圖(乙)中之接地線可以拆去。

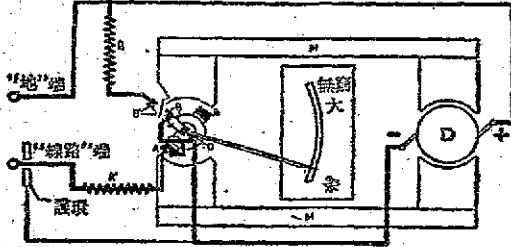
【例題 5.8】 一具 100,000 歐伏特計跨接於直流線路上，其讀數為 120 伏。於是將此伏特計之一端接至鉛包電纜 (Lead-covered cable) 之芯上，其包皮則接至電源之另一邊。現在伏特計之讀數為 10 伏。求電纜之絕緣電阻。

$$\text{【解】} \quad X = 0.1 \frac{120 - 10}{10} = 0.1 \times 11 = 1.1 \text{ 兆歐。} \quad (\text{答})$$

5—13. 高電阻計——高電阻計 (Megger) 係歐姆計 (Ohmmeter) 之一種，用以量度電阻，而所量之電阻值，直接指示於標度上者。在各種歐姆計儀器中，其指示須與電壓絕無關係。高電阻計包

括兩重要部份，一為直流久磁發電機 (Magneto)，通常為手搖式者用以供給量度時所需之電流。一為儀器之運動組合，以指示所量之電阻值。

第 5.21 圖 (甲) 示此種儀器之接線圖。MM 為兩條形永久磁

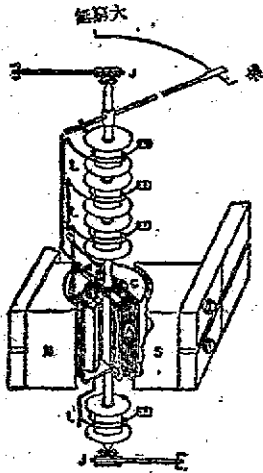


(甲)磁路及電路接法

圖 5.21 高電阻計之結構

鐵。發電機之電樞 D ，及其兩極塊，係架於磁鐵右方之一對磁極間。其移動組合及另一對極塊，架於兩磁鐵左

方之一對磁極間。發電機之電樞，以手搖轉動之，藉若干齒輪之組合，以提高其旋轉速率。其用於平常之絕緣試驗者，500 伏電壓最為普通。如同時須施以高壓試驗，可用 2,500 伏額定電壓之儀器。



(乙)移動組合

儀器部份包括兩線卷 A 及 B ，裝於同一移動組合 (見第 5.21 圖 (乙))；線卷 A 稱為電流卷 (Current coil)，相當於衛斯吞儀器中之轉動線卷 (第 5.9 圖)。一端接至發電機之負電刷，一端與電阻 R' 串聯而接至線路端鈕

(Line terminal)。在外部以一電阻自線路端鈕接至地端鈕 (Earth terminal)，則線卷 A 、電阻 R' 及所量之電阻俱串聯接而

至電樞兩刷上。

線卷 B 稱為電壓線卷 (Potential coil)，與一適當之電阻 R 相串聯而接至電樞兩刷上。線卷 B 較狹於線卷 A ，在移動時有時適套於 C 字形鐵芯 C 之一部份，如第 5.21 圖(乙)所示之模樣。

移動組合 (第 5.21 圖(乙))，裝於一彈簧所支持之寶石軸承 (Bearing)，可自由依其軸而旋轉，並無如衛斯看儀器中所用彈簧之還原力。電流藉柔順的導電質膠帶 LLL 引入線卷，此種膠帶之張力，可以略而不計。故發電機在不運用時，指針『浮於』(float over) 標度上，此際指針可停於任何位置。

若線路端鈕與地端鈕間係斷路的，或以一幾等於無限大之電阻接於其間，則無電流通過線卷 A ，惟有線卷 B 控制移動組合之動作。線卷 B 即佔據磁芯 C 缺口處之位置。指針指示 “Inf”，即無窮大。苟以電阻接於此兩端鈕間，乃有電流通過線卷 A ，其所生之轉矩 (Torque) 將線卷自無窮大位置，拉入一強度逐漸增加之磁場，直至 A, B 兩線卷之轉矩相平衡為止。其標度可用電阻值標刻，使此儀器成為直接指示者。任何電壓之變化，對於線卷 A 及 B ，產生同一比率之影響，故移動組合之位置，可不隨電壓之大小而變動。儀器之兩端縱被捷接，但因電阻 R' 為一鎮定電阻 (Ballast resistance)，限制流入線卷 A 之電流，故亦無傷。

為獲得較佳之標度分配，及使儀器無定向 (astatic)，即不受雜散磁場之影響起見，在移動組合上，加裝一補償線卷 (Compensating coil，見第 5.21 圖(乙))。該線卷與磁極之一尖相作用。並與線卷 B 相串聯，且繞製該線卷與 B 成立無定向之關係。

線路中尚有保護線 (Guard wire，見第 5.21 圖(甲))，與第 5.33 圖中之保護線之功用相同。兩線端間或儀器本身之任何漏流，可經此線流至發電機之負極，不致經過線卷 A ，而使儀器之指示受有影

響。通常又另備一端鈕，俾可將此保護線接至所量之絕緣物之保護線上。

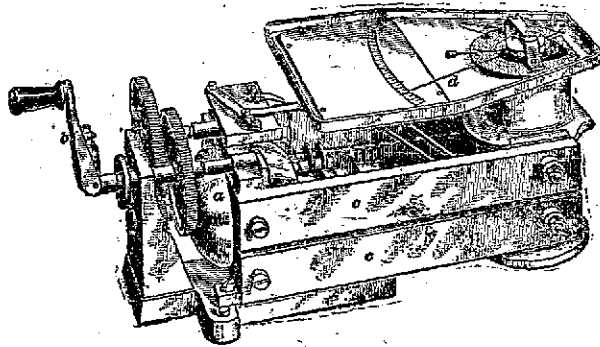


圖 5.22 高電阻計試驗機

設某種器具，有較大之電容 (Capacity)，如用高電阻計量度其電阻，則電阻 R' 與此電容相串聯。電壓之漲落，其對於電阻 R' 之電流之影響，較之對於僅接純電阻 R 者為大，線卷 A 及 B 之電流變化亦異。因此，有數種高電阻計上常裝有一齧合器 (Clutch)，在電樞達某一高速度以後，此齧合器即退移。縱使轉動速度超過此值，而電樞速度以至電勢仍保持恆定。其因電容所致之困難，乃得以避免。

高電阻計所量度之電阻範圍極大。用於量度絕緣電阻時，可量至數千兆歐。然亦有為量度僅數歐之電阻而設計者，如輸電塔塔基或地線至地間之電阻等。高電阻計對於量絕緣電阻，應用極廣，例如電機線卷至機架間，電纜，絕緣體及軸承襯 (Bushings) 等之絕緣電阻等。第 5.22 圖示一種高電阻計之外觀。

5-14. 惠斯登電橋——惠斯登電橋 (Wheatstone bridge)，與上述各種電阻量法不同。在此量法中，以未知的電阻與已知的電

阻相平衡。第 5.23 圖示此電橋最簡單之式樣。以三只已知之電阻 M, N, P 與未知電阻接成一菱形四邊形。將電池組 B 接於兩對角點 o 及 c ，而將一電流計接於其他兩對角點 b 及 a 。 M 及 N 兩臂大率僅含十進數值之電阻，如 1, 10, 100 及 1,000 歐。 P 臂係可調準的，其電阻之整數，可由一歐調節至 11,000 歐，或可更高。

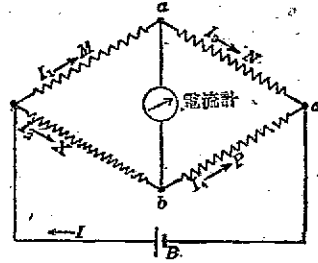


圖 5.23 基本惠斯登電橋

在量某一電阻時，先將 M 及 N 各配置於某一定之電阻值，大率為十進的。於是調準 P 臂，使電流計上無偏轉，即無電流通過電流計，故 a 及 b 兩點必在同一電位。因此壓降 $oa = ob$ ，且因電流計內無電流，即 $I_1 = I_3$ ， $I_2 = I_4$ 。

$$I_1 M = I_2 X \quad (I)$$

再因壓降 $ac = bc$ ，即

$$I_3 N = I_4 P, \text{ 或 } I_1 N = I_2 P \quad (II)$$

以第 (II) 式除第 (I) 式

$$\frac{I_1 M}{I_1 N} = \frac{I_2 X}{I_2 P}, \text{ 或 } \frac{M}{N} = \frac{X}{P},$$

$$X = \frac{M}{N} P \quad (5.12)$$

此即惠斯登電橋之公式。 M 及 N 稱為比率臂 (Ratio arm)， P 稱為平衡臂或變阻臂 (Balance or Rheostat arm)。將電池組與電流計互易其位置，對於第 5.12 式之關係，殊無影響。

實際應用之各式惠斯登電橋之原理，與第 5.23 圖所示者，並無區別。所不同者，電橋內 M, N, P 諸臂之幾何的位置，及如何將各臂之電阻線卷劃入與劃出電路之方法耳。

最初之電橋，大都係插塞式 (Plug type)，插塞之作用，在將不用之各電阻元件，予以捷接。然此種插塞上常易聚集氧化物及污穢，故須時加刷淨，俾接觸電阻不致過大。再者，應用插塞以求平衡，既不便利，抑且費時。故插塞式者，多為十進佈置之軌盤式 (Dial type) 所替代。

5-15. 十進式及軌盤式電橋 —— 第 5.24 圖示十進式電橋

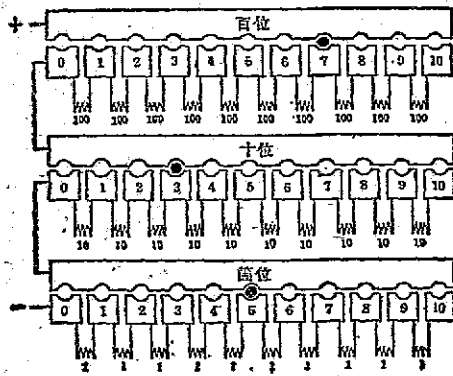


圖 5.24 十進式電橋中變阻器之佈置

(Decade bridge);

由圖可見電阻元件之十進佈置法。各元件係以相等之電阻分組排列之。第一組包括十個 1—歐電阻，次組包括十個 10—歐電阻，再次組包括十個 100—歐電阻，餘類推。每組稱為「十進

組」(Decade) 每十進組僅需一只插塞。此種佈置之優點，在於所有插塞俱試插用，不易遺失或沾污，讀數之差誤可能度較小；所用插塞，為數既少，其插置是否緊貼，亦易看出；且獲得平衡自較迅速。如欲得任何數值之電阻，雖每十進組備有十只電阻卷，實際上九只即已敷用。

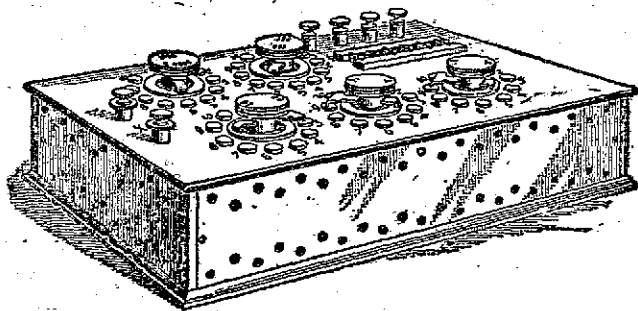
上述十進之原理，現已加擴充，而應用於一種更較便捷之電橋，稱為軌盤式電橋 (Dial bridge)。此電橋中不用插塞，而代以一軌盤，形式與變阻器所用以選擇所需之電阻者相似。此式電橋使用便利，用途極廣。不過軌盤與接觸，亦須保持清潔，不令沾有污穢及氧化物，第 5.25 圖 (甲) 示一李茲及勞斯勒浦式 (Leeds & North-

rup) 五軌盤式斯登電橋, 第 5.25 圖(乙)示其接線圖。

5-16. 平衡電橋之方法——用電橋時, 僅能採取一種有系統之步驟, 可節省時間不少。今假設量度某一未知電阻值。將電池組及電流計分別接至 Ba 及 Ga 旋鈕上, 未知電阻則接至 X (第 5.25 圖)。電流計須接一分流器, 以防電橋在去平衡極遠之際, 偏轉過甚。比率臂 M 及 N 須先配置於一對一之比率, 以各為 1,000 歐為較宜。

電流計接上分流器, 所有 P 臂之軌盤俱置在 0 點 ($P=0$), 先按電池組鍵 (Key), 次按電流計鍵, 可見電流計向左偏轉。現可開始旋動千歐組軌盤之接觸器 (Contactor), 在每一觸點上, 須先按電池組鍵, 次按電流計鍵。在觸點 1 上時, 電流計反向右偏轉。

由以上觀察之結果, 可測知三種事實。第一, 未知值小於 1,000 歐; 第二, 電流計向左偏轉, 表示 P 之電阻值太小; 第三, 向右偏轉, 表示 P 之值太大。於是將千歐組之軌盤旋回至零點, 而旋動百歐組之軌盤接觸器至接觸點 1, 發現電流計仍向右偏轉, 表示 P 之 100 歐值, 仍嫌太大。然後再在十歐組軌盤上試之, 嗣再試及個歐組軌盤。在個歐組之觸點 1 上時, 電流計之情形與前不同, 即向左



(甲)電橋之五軌盤式者
圖 5.25 李茲及勞斯勒滑軌盤式惠斯登電橋

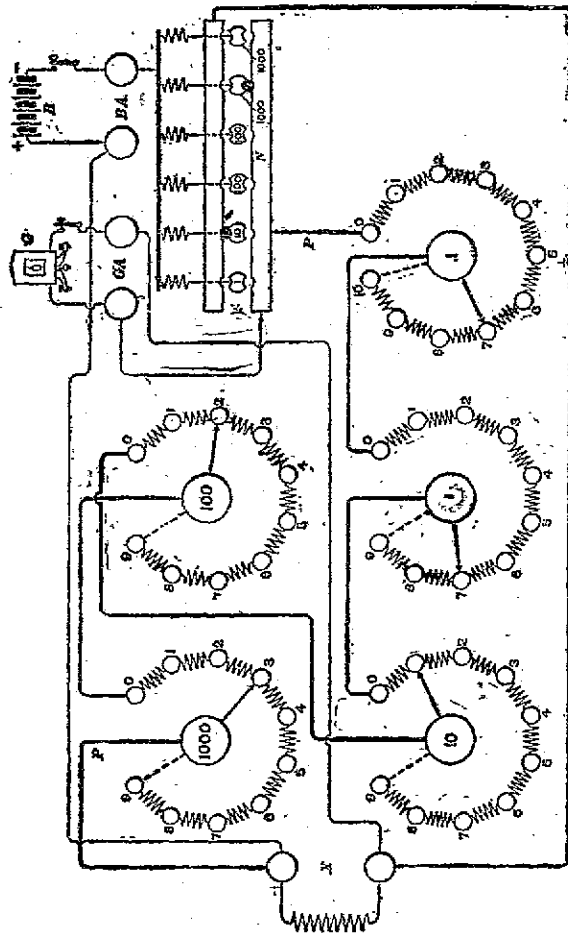


圖 5.25 (21) 五軌盤式電橋之接線圖

偏轉。繼續旋轉，可見電流計並不向右偏轉，直至接觸器選達 3 歐為止。故現在之電阻值僅限於 2 歐與 3 歐之間。倘欲得更精確之量度，必須變換比率臂。 M 可使等於 1 歐， N 仍令留於 1,000 歐， F 之

軌盤則配置於 2,000 歐。經過逐次嘗試，每次俱減少電流計分流器之效應，可在 P 臂為 2,761 歐時獲得平衡。則

$$X = \frac{M}{N} P = \frac{1}{1,000} \times 2,761 = 2.761 \text{ 歐。}$$

在求平衡時，必須先按電池組鍵，而後按電流計鍵，俾電橋之電流得以達到定值，否則任何自感電勢可引入相當之差誤。

5-17. 滑線電橋——滑線電橋 (Slide-wire bridge) 係一種簡單化之惠斯登電橋，其平衡係藉一滑觸器 (Slider) 在一根錳銀或錳錫電阻線上移動得之。

第 5.26 圖示典型的滑線電橋。電阻線共長 100 厘米，係

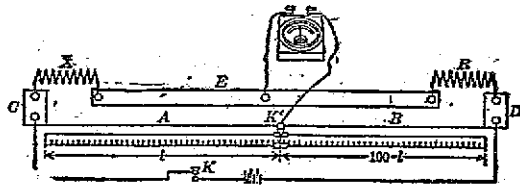


圖 5.26 滑線式電橋

拉緊於相距 100 厘米之兩重鉤塊 CD 間。其線置一米突尺。一接觸鍵 K' 可沿尺移動，在按下 K' 之後，即有一刀口與線相接觸，此外又有一粗銅條 E ，一已知電阻 R 及未知電阻 X 。 R 接於 D 及 E 之間， X 接於 C 及 E 間。 R 及 X 之位置，可以互相調換。

電流計接於 K' 鍵及 E 之間，電池組兩端接於 C, D 間。沿線移動 K' 鍵，至電流計無偏轉時，即得平衡。

令 l 為平衡時自尺之左端至 K' 距離之厘米數，則 $100-l$ 為自 K' 至尺之右端之距離。令 r 為滑觸線每單位長度之電阻，則 l 長度之電阻為 lr ，其餘部份線之電阻等於 $(100-l)r$ 。

依惠斯登電橋定律

$$\frac{X}{lr} = \frac{R}{(100-l)r} \quad (5.18)$$

約去 r , 第 5.13 式變為

$$\frac{X}{l} = \frac{R}{100-l} \quad (5.14)$$

此式又可寫成

$$\frac{X}{R} = \frac{l}{100-l} \quad (5.15)$$

意即在獲得平衡時, 滑觸線分為兩部份, 其長度之比等於 X 與 R 之比。

滑線電橋, 不若線卷式電阻電橋之準確。因滑觸線之電阻, 或不均勻; C 與 D 兩觸點之銲接, 每引入電阻, 雖其所致差誤, 可加校正, 而線之長度, 難以確定。再則滑觸線上之讀數, 每不若用電阻線卷時可得精確之調準。

【例題 5.9】如第 5.26 圖, 假定 R 等於 10 歐, 在 K' 鍵位於距尺之左端 74.6 厘米時, 得平衡。求未知電阻之值。

【解】由第 5.14 式,

$$X = 10 \times \frac{74.6}{100-74.6} = 10 \times \frac{74.6}{25.4} = 29.38 \text{ 歐。} \quad (\text{答})$$

5-18. 愷爾文電橋——應用惠斯登電橋量度極低電阻時, 量度樣品與電橋端鈕間之接觸電阻, 或較量度品本身之電阻為大, 以致量得之電阻值, 對於量度品毫無價值。愷爾文電橋 (Kelvin bridge) 之作, 即所以減少接觸電阻之效應者。 M 及 N 係兩比率臂, 與一般電橋之比率臂相似。 M 及 N 之值可為極大, 使 a, h, d 諸點之接觸電阻, 與之相較, 可以略而不計。

設 X 為未知電阻, 如第 5.27 圖中, 即為兩刀口觸點 ab 間銅棒之電阻。 P 臂即 c 與 d 兩點間之電阻, 即變阻臂。此臂之電阻, 必須甚低, 且為可調準的 (第 5.28 圖)。 X 與 P 間之接觸電阻, 即係 bec 聯接線之電阻, 此可為 X 與 P 兩臂總電阻之太部份, 甚至

可以超過 P 臂或量度品之電阻值。此接觸電阻若不除去，在量度時，必引入甚大之差誤，而使量得之未知電阻數值，全無價值。欲除去此接觸電阻，

可將電流計接至二輔助電阻 m 及 n 之接續點，非若尋常惠斯登電橋中之接至 P 者。 m 臂之另一端接至 b 點， n 臂之另一端接至 c 點 (第 5.27

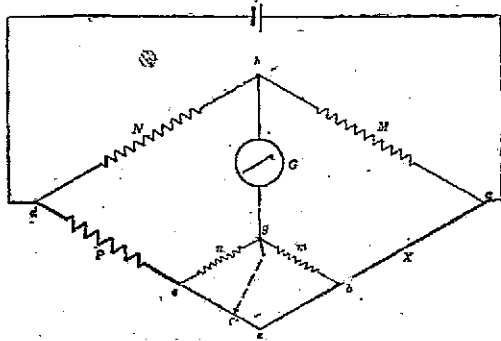


圖 5.27 雙橋式電橋之線路圖

圖)。設能讀準 m 或與 n ，俾 $m/n = M/N$ ，接觸電阻即可除去，而 $X = M/N$ 之關係，與尋常電橋相同。

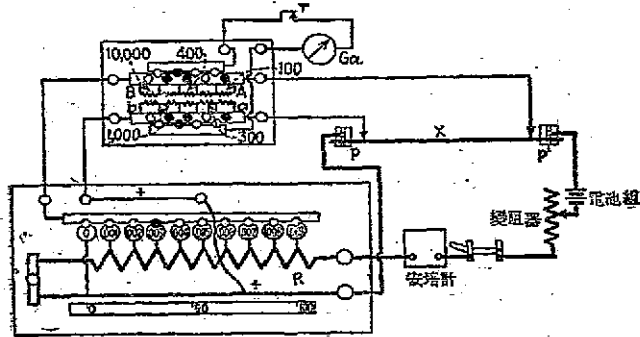


圖 5.28 雙橋式電橋之實際接法

為求得充分之靈敏度起見，其供給於電橋之電流，必須在 15 安至 150 安之間，視電橋設計時所根據之電阻範圍而定。

在 $m/n = M/N$ 時, $X/P = M/N$ 之關係, 可引用克希荷夫氏定律證明之如下。

假定電橋業已平衡。e 與 c 間必有某點 e' , 其電位與 m, n 及電流計之接續點 g 之電位相同。故若聯接 g 及 e' (如虛線所示) 以後, 對於電橋, 毫無影響。

g 及 e' 既已聯接, 即組成兩個並聯電路, 一係 m 及 be' 相並聯。一係 n 及 ce' 相並聯。故電橋上自 a 至 e' 臂之電阻係 $X + \frac{m(be')}{m+be'}$, 自 d 至 e' 之電阻係 $P + \frac{n(ce')}{n+ce'}$ 。

故應用等常惠斯登電橋之關係,

$$\frac{M}{N} = \frac{X + \frac{m(be')}{m+be'}}{P + \frac{n(ce')}{n+ce'}} \quad (I)$$

且因 $\frac{M}{N} = \frac{m}{n}$ 。

m, n, be' 及 ce' 四電阻又組成一小型惠斯登電橋, 此電橋且因 g 及 e' 在同電位而已平衡。

$$\frac{m}{be'} = \frac{n}{ce'}, \quad m(ce)' = n(be') \quad (III)$$

將第(III)式化成

$$\frac{m}{m+be'} = \frac{n}{n+ce'} \quad (IV)$$

以第(IV)式及第(III)式依次代入第(I)式, 得

$$\frac{M}{N} = \frac{X + \frac{n(be')}{n+ce'}}{P + \frac{n(ce')}{n+ce'}} = \frac{X + \frac{m(ce')}{n+ce'}}{P + \frac{n(ce')}{n+ce'}} \quad (V)$$

將第(V)式化簡, 以第(II)式代入, 得

$$\frac{X(n+ce') + m(ce')}{m} = \frac{P(n+ce') + n(ce')}{n} \quad (VI)$$

將第(VI)式之兩邊皆除以 ce' 而變化之, 得

$$\frac{X(n+ce') + m(ce') - n(ce')}{m(ce')} = \frac{P(n+ce') + n(ce') - n(ce')}{n(ce')},$$

$$\frac{X(n+ce')}{m(ce')} = \frac{P(n+ce')}{n(ce')},$$

故
$$\frac{X}{P} = \frac{m}{n} = \frac{M}{N} \quad \text{Q.E.D.} \quad (5.16)$$

第 5.28 圖示李衣及勞斯勒浦公司此種電橋之實際佈置。其上所註字樣與第 5.27 圖內相應。在第 5.28 圖中， $A = a = 300$ 歐， $B = b = 10,000$ 歐。 $R = 0.003$ 歐加滑觸線之讀數。

電 纜 試 驗

5-19. 繆雷迴線——繆雷迴線 (Murray loop) 為滑線電橋之一種，提供一種尋檢電纜及電線中通地 (Ground) 之簡便方法。第 5.29 圖示一電纜 AB ，因絕緣不佳，在 O 點通地。 CB 為另一電纜，係 AB 之回路導體 (Return conductor)，不通地亦無障礙 (Fault)。此二電纜在其遠端 B 點相接而成迴路， B 點或為某配電站，或電話交換所之類。

此際將滑觸線接於電纜之出發端 (Home end)，如圖所示。由圖上可見電池組與電流計之位置，與第 5.26 圖所示者不同，已經互換。其用意在使地電流不致擾及電流計之讀數。且若障礙處至地間之電阻甚高，可增加電池組 B 之電勢，直至有充分電流通過此電阻，足以使此電橋發生作用為止。苟導體未曾斷裂，則障礙處通地之電阻，對於量度之結果，並無影響。苟已斷裂，兩頭均已通地，則導體之電阻因以增加，使尋檢之結果不準。

自尋檢處至障礙處之距離 X (第 5.29 圖)，可用下式求得，

$$\frac{X}{l} = \frac{L + (L - X)}{L} \quad (5.17)$$

式中 L 為電纜一根之全長。該式表示滑線分成兩段，其比率等於電纜在障礙處一邊之總長與電纜在另一邊之總長之比率。

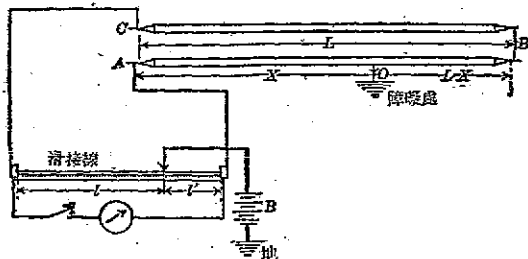


圖 5.29 變電迴線試驗

解第 5.17 式以求 X ,

$$X = \frac{2Ll'}{l+l'} \quad (5.18)$$

此係假定兩導體上每單位長度之電阻，係相等而均勻者。在 B 點所用以聯接兩電纜之跨接線 (Jumper)，須聯接良好，無接觸電阻，否則任何接觸電阻，足以引入顯著之差誤。亦可用電橋匣之比率臂及變阻臂，替代滑觸線。

【例題 5.10】 一根電纜長 2,000 呎，有二導體。其中之一在兩站間之某點通地。今用長 100 厘米之滑線電橋接成如第 5.29 圖之變電迴線試驗之，得平衡於 85 厘米點。求障礙處至檢驗站之距離。

【解】 應用第 5.18 式： $L=2,000$, $l=85$, $l'=15$, $l+l'=100$ 。

$$X = \frac{4000 \times 15}{100} = 600 \text{ 呎。} \quad (\text{答})$$

5-20. 伐萊迴線——伐萊迴線 (Varley loop) 亦係用以尋檢電纜之障礙處者。其原理與變電迴線相似，亦需一電橋匣。第 5.30 圖示其接線法。 M 及 N 為電橋之比率臂， P 為變阻臂。電池組及電流計之位置，必須如圖所示，俾避免地電流對於電流計之擾亂。先將開關 S 關合於 a 點，利用 P 臂以得平衡。假定導體之電阻係均

勻的， r 為每呎長度之電阻。須注意此處 P 及 X 二者組成電橋之一臂。

$$\frac{M}{N} = \frac{r(L+L-X)}{P+rX} \quad (5.19)$$

在未求得 X 以前，必須知 r 之值。求 r 時，將開關 S 關合於 b 點，此際電纜之兩導體完全串聯，形成電橋之第四臂。於是作一次簡單

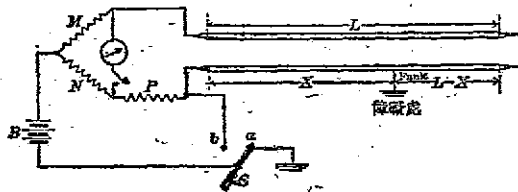


圖 5.30 伐萊迴線試驗

之電橋量度，以求此迴線之總電阻。設此電阻為 R ，則每呎電纜導體之電阻為

$$r = \frac{R}{2L}。$$

(倘已知此電纜每呎長度之電阻值或總電阻，即毋需作此量度)。

以 r 之值代入第 5.19 式，

$$\frac{M}{N} = \frac{(R/2L)(2L-X)}{P+RX/2L}。$$

解上式求 X ，得

$$X = \frac{2L}{R} \left(\frac{NR-MP}{M+N} \right)。 \quad (5.20)$$

用上式可求得至障礙處距離之呎數。亦常有將 5.20 式書成下式者，

$$R_a = \frac{NR-MP}{M+N} \quad (5.21)$$

此式中 R_a 並非距離，而係沿通地導體至障礙處之電阻。

在第 5.20 式中，若 $M=N$ ，可得較 5.20 式更簡單之公式如下：

$$X = \frac{L}{R}(R - P) \quad (5.22)$$

【例題 5.11】用伏萊迴線以尋檢某電纜之障礙處，如第 5.20 圖所示。每一導體長 2,800 呎。開關在 a 點時， $M=10$ ， $N=1,000$ ，於 P 為 137 歐時始得平衡。於是將開關投向 b 點， $M=10$ ， $N=1,000$ ，在 P 為 221 歐時又得平衡。求障礙處至尋檢站之距離。

【解】 $R = 221 \times \frac{10}{1,000} = 2.21$ 歐。

依第 5.20 式，至障礙處距離之呎數為

$$X = \frac{2 \times 2,800}{2.21} \left(\frac{1,000 \times 2.21 - 10 \times 137}{1,000} \right) = 2,100 \text{ 呎。 (答)}$$

5—21. 絕緣檢驗——實用方面，在製造廠內，及裝置以後，一電纜之絕緣電阻，均有量度之必要。低值之絕緣電阻，表示絕緣品質甚劣。裝置以後，如發現低值絕緣電阻，表示使用未當或裝置有誤。第 5—12 節所述之伏特計法，固極多應用，但有時絕緣電阻過高，即用一高電阻伏特計，仍不能充分靈敏。

作此種量度，宜用一靈敏電流計。通常且需一電壓較高之電源，約自 100 至 500 伏。此種電壓供給，用乾電池，氯化銻電池，及試管電池組 (Test-tube batteries)，雖可滿意，然亦可以直流電源供給之。第 5.31 圖示簡單之接線圖。

此處所用方法係替代法 (Method of substitution)。先接一已知電阻——通常為 0.1 兆歐——於電路中，注意電流計之偏轉度。再以未知電阻 X 代替之，注意此際電流計之偏轉度。因在此兩種情形，電流俱與電路之電阻成反比，未知電阻即可藉比例求得。且僅需比較電流計之偏轉度，毋需讀出其電流值。設 D_1 為接 0.1 兆歐時之偏轉度， D_2 為接入未知電阻時之偏轉度。

$$\frac{X}{0.1} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$X = 0.1 \frac{D_1}{D_2} \quad (5.23)$$

在尋常情形，直接比較電流計之偏轉度，往往不能獲得準確之結果，因未知電阻可為數百兆歐，而巳知電阻或僅為 0.1 兆歐。苟若是，則偏轉度 D_2 小於 D_1 數百或數千倍，使 D_2 不能讀出。

欲免此弊，可用如第 5-3 節所述之愛亦頓分流器。當電路中僅含 0.1 兆歐時，因電流計之靈敏度關係，若不加分流器，其讀數或超出標度以外。

故此際分流器係調準至某一低值，如 0.0001。設分流器之讀數為 S_1 ，電流計之偏轉度為 D_1 ，分流器之倍率為 $M_1 = 1/S_1$ 。現可將電纜接入電路，調準分流器，俾得一合理的偏轉度。設此偏轉度為 D_2 ，分流器讀數為 S_2 ，其相應的倍率為 $M_2 = 1/S_2$ 。

在此兩種情形下，電路中電流之比率為

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{M_1 D_1}{M_2 D_2} \quad (5.24)$$

從第(5.23)式，得未知電阻之值為

$$X = 0.1 \frac{I_1}{I_2} = 0.1 \frac{M_1 D_1}{M_2 D_2} \quad (5.25)$$

在實際運用時，並不將 0.1 兆歐電阻拆出，代以電纜。用如第 5.31 圖所示之裝置，先用虛線所示之短線，將電纜芯與包皮捷接，注意電流計之偏轉度。嗣後移去此線，即將電纜接入

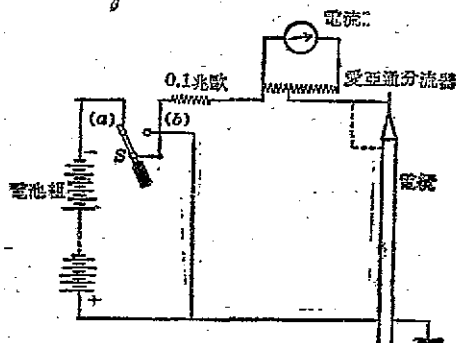


圖 5.31 電纜接接電阻之量度

電路。0.1 兆歐之電阻，仍令接在電路中，以防護電流計，免為意外之捷接電流所損。0.1 兆歐與電纜之絕緣電阻較，實可略而不計，故雖相串聯，毋需加以改正。

電路中常設一開關式電鍵 S 。如第 5.31 圖，在 (a) 之位置，電路接通至電纜。若投至 (b) 處，電纜所受之靜電充電，即通過電流計而放電。

在開關投向 (a) 處之初，即有一衝流 (Rush current)，使電纜受靜電充電 (見第 10—7 節)。因絕緣之吸收 (Absorption) 本質，致電纜充電，略需時間。此充電電流，須經相當時間，始漸減少。第 5.32 圖示電流計偏轉度與時間之關係。又因等待電流計偏轉度之穩定，頗覺不便，故一般採用一分鐘末之偏轉度以為決定絕緣電阻之暫定值。

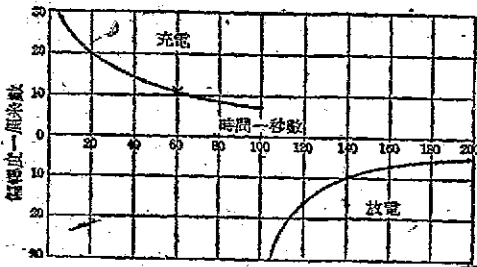


圖 5.32 電纜之充電與放電曲線

在開關投向 (b) 時，電纜中之靜電荷，即以相反方向衝出而通過電流計。亦因吸收之故，電纜亦需相當時間，始完全放電，此亦可於第 5.32 圖中見之。

在從事絕緣電阻之量度時，儀器本身必須慎予絕緣。支柱須用硬橡膠質者，且如屬可能，須使引線穿過空中，勿置於地上。再因絕緣電阻在不同溫度時有甚大之變化，量度時之溫度，必須慎予量度而述明之。

【例題 5.12】 具有如第 5.32 圖所示絕緣特性之電纜，以上節所述方法，

量度其絕緣電阻。在電路僅有 0.1 兆歐之電阻時，偏轉度為 20 厘米，分流器讀 0.0001。在獲得如第 5.32 圖之曲線時，分流器讀 0.1。電纜計長 2,200 呎。求其總及每哩之絕緣電阻。

【解】 $M_1 = 1/0.0001 = 10,000, M_2 = 1/0.1 = 10。$

$D_2 = 11$ 厘米(由第 5.32 圖之曲線上讀出)。

總絕緣電阻 = $\frac{10,000 \times 10}{10 \times 11} \times 0.1 = 182$ 兆歐。 (答)

每哩之絕緣電阻，小於 2,200 呎長度之電阻。因漏流路徑係並聯的，其電阻當亦係並聯的。漏流與電纜之長度成正比，漏流路徑之電阻與電纜長度成反比。故每哩之絕緣電阻為

$R = \frac{2,200}{5,280} \times 182 = 75.6$ 兆歐。 (答)

5—22. 保護線——在量度電纜或其他絕緣物之絕緣電阻時，常須慎防末端漏電(End leakage)。濕氣，有時與灰塵混合，可在纜芯與包皮間所曝露之絕緣表面上，構成電阻較低之漏流途徑。此種導電途徑與絕緣相並聯，故結果所量得之絕緣電阻，大為低落。

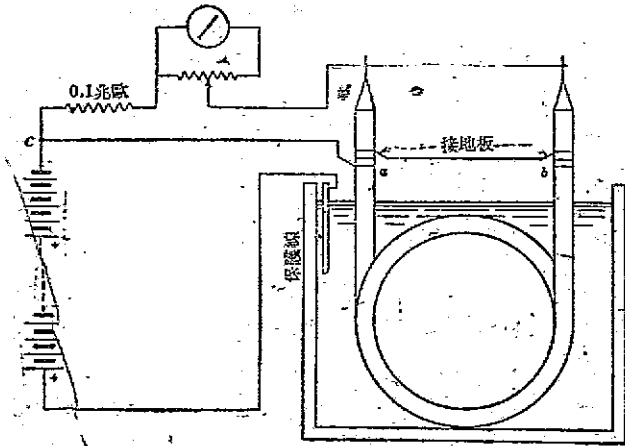


圖 5.33 用保護線作浸於水中電纜之表面漏流之旁路
圖中保護線之「線」應作「線」，又接地板與保護線之位置應對調。

防止此種末端漏電之方法，通常採用一火燄，烘乾電纜之末端，以不使絕緣物燒焦為度，然後以熱石臘注於其上。

苟電纜兩端，俱易接近，可用保護線將此末端漏流分出，使不經電流計。僅就量度而論，末端漏電之效應，可以除去。第 5.33 圖顯示此種方法。以數匝裸線在 a 及 b 點，緊裹於電纜之包皮（即接地處）與纜芯間之絕緣上。此數匝線直接接至電池組之 C 端，此端亦接至電流計者。試就第 5.33 圖觀之，可見任何漏流，必可導回電池組之負端，不必經過電流計。易言之，漏流到達 a 及 b 點時，其回至電池組之途徑，有兩條可資選擇，一係經過低電阻線 aC ，一係經過其餘之絕緣部份及電流計而至電池組。實際上，所有漏流必通過 aC 線，而不影響電流計之偏轉度無疑。

電 位 計

5-23. 電位計——電位計 (Potentiometer) 係一種用以準確地量度電壓之儀器。其所以能標準化者，胥有賴於衛斯吞標準電池 (第 4-11 節)。其原理如下：

在第 5.34 圖(甲)中，假定一標準電池 B 之電勢適為 1 伏整。設另有一蓄電池經一變阻器 R 而供給電流至一導線 AB 。將此線分成 15 段，每段含電阻一歐， AB 之總電阻為 15 歐。標準電池之負端接至蓄電池之負端 A ，標準電池之正端則經一電鍵及一電流計，接至第十只 1-歐電阻 C 。設 0.1 安之電流經過此線 AB ，則在該線上每段之壓降為 0.1 伏， AC 兩端間之壓降為 1.0 伏。此時若按電鍵，必無電流通過電流計，因標準電池之 1 伏電勢適與此 1 伏壓降相反也。然若 AB 之電流並非 0.1 安，則自 A 至 C 之壓降，或大於或小於 1 伏，勢必有電流通過標準電池之電路矣。若電流小於 0.1 安，電流計向一方面偏轉；若大於 0.1 安，即向反方面偏轉。

今欲調準 AB 之電流，至能使電流計無偏轉度，並非難事。此際 A B 之電流必適為 0.1 安， AB 中每一段之壓降必為 0.1 伏。故 AB 錄上可用伏特數標註，如圖所示。

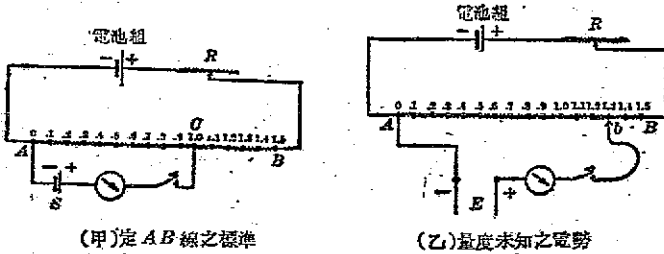
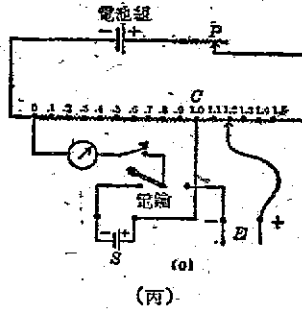


圖5.34 簡單電位計

今設量度某一未知電勢 E ，但已知其值係小於 1.5 伏。 E 之負端接至 AB 錄之 A 端(第 5.34 圖，乙)。 E 之正端則經過電鍵及電流計而接至一活動觸點 b 。假定 AB 之電流已調準至適為 0.1 安。現可沿 AB 移動 b 點直至電流計偏轉度為零為止。此際電勢 E 適與 AB 錄上之壓降相平衡。又因 AB 本已用伏特數標註，故 E 之值可在 AB 錄上直接讀出。此種量度電壓之方法，稱為模真道夫法 (Poggendorf method)，且為電位計之基本原理。



第 5.34 圖之(甲)及(乙)兩種接法，可用一單極雙投開關 S.-P.-D.-T. Sw.)，合併為一，如圖(丙)所示。開關在左手位置時，即接成圖(甲)之電路，係將標準電池接入電路，作校準之用。開關在右手位置時，係使未知電勢與 AB 錄接觸，因而決定其電勢值。

5-24. 李茲及勞斯勒浦式低電阻電位計——第5.35圖示一李茲及勞斯勒浦式低阻電位計。其與第5.34圖所示之簡單電位計，相似之點甚多。

一具2伏電池組接至+BA及-BA兩端鈕上。電位計之工作電流，係以兩個可調準變阻器(圖中標明『精』及『中』)及三個定值電阻(圖中標明『粗』)控制之。此三定值電阻均可用插塞1,2,4使成捷路。其電流經過分流之軌盤B，(標準電池之一端，接於該軌盤上)，再經分成15段，每段為5歐，0.1伏之軌盤D，及螺旋滑觸線H與H'之分流電阻，此處相當於0.1伏之電阻為5歐，故工作電流為 $0.1/5 \approx 1/50$ 或0.02安。

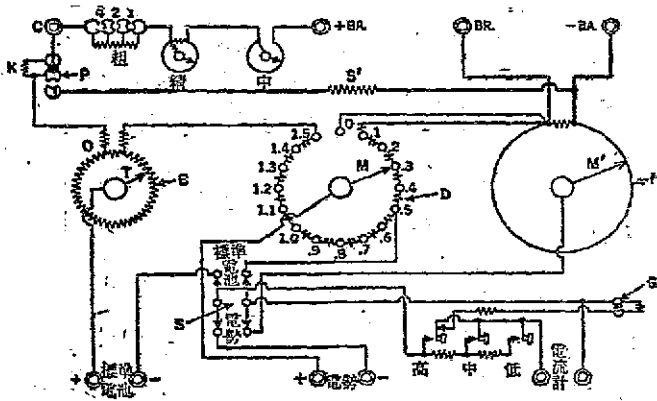


圖 5.35 李茲及勞斯勒浦式低阻電位計之接線圖

自標準電池有一線接至0.5伏之觸點。自此0.5伏觸點至1.5伏觸點間之電阻，相當於1伏。一未飽和標準電池之電勢較1伏略大，但不同電池間稍有上落，大概為1.0186伏。為顧及此超過1伏之電勢起見，故有串聯電阻之軌盤B及其並聯電阻之設計。此軌盤之刻度亦用伏特數，接觸器T即置於相當於標準電池電勢之實

際值之處。

滑線軌盤及其分流電阻之綜合值為 5.5 歐，故在調準時，其兩端壓降為 0.11 伏。滑線由 11 匝電阻線捲繞於大理石圓筒上製成，每匝代表 0.01 伏，全線分為 1,100 小段。

M 及 M' 為可移動的觸點，調準之以與未知電勢相平衡。 M 在 15 個觸點上移動，每移過一觸點，相當於 0.1 伏， M' 在滑線上移動。一雙極雙投開關（與第 5.35 圖（丙）之單極雙投開關之作用同），係用以誤換電流計之聯接，由標準電池換接至未知電勢。電流計備有三鍵，曰“高”，“中”，“低”。首按“低”鍵，插接一高電阻與電流計串聯，以防不平衡過甚時之偏轉過度，繼用“中”鍵，插接一較低電阻。按“高”鍵時並不插入任何電阻，故僅在從事最後平衡時始可按之。

利用一插塞 G ，可變換電流計之串聯電阻，使更近電流計阻尼所需之電阻值。接線柱 BE ，僅在量度降壓線之電阻以檢驗此儀器時始用之。

變換插塞 P 時，插入一電阻 S' ，可自電流計中，分去十分之九之電流。此時電阻 K 自動接入電路，使電流計電路之總

電阻，即電池組供給之總電流，保持不變。採用此種佈置，可使電流之讀數，減至以前數值之十分之一。

第 5.36 圖示此種電位計之外表。

5—25. 其他電位計方法——在簡單式（第 5.34 圖）與李茲及勞斯勒浦式（第 5.35 圖）兩種電位計中，其電路之刻度部份內，並無接觸點介於工作電流之路徑內，不致因接觸電阻而引起差誤，乃

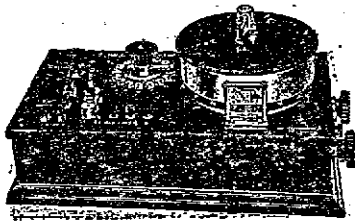


圖 5.36 無附件之李茲及勞斯勒浦電位計

此等儀器之優點。又在電勢與標準電池之接觸處，雖有接觸電阻，但在達到平衡時，並無電流通過，故亦不足為害。然在此種電位計中，不能有兩個以上之軌盤或滑線讀數。例如在李茲及勞斯勒浦式中，1伏之十分之一數，得之於裝有接觸器 M 之軌盤，而較小之分數，如1伏之百分之一，千分之一，及萬分之一數，必須在裝有接觸器 M' 之單純滑觸線上求之。若欲得兩位以上之有效數字，所有百分之一，千分之一數等等，均須於滑觸線上得之，不能分別求之於各別之軌盤。雖然，欲佈置一電位計，使每一種分數，分別於各別軌盤上讀出，亦屬可能。不過，無論其軌盤在何位置，其電流須保持不變，是則此種電位計中，須保持有恆定之電阻。欲用各別之軌盤，獲得兩位以上之有效數字，並同時保持定值之電位計電阻，普通有兩種方法，即湯姆生一代萊法 (Thomson-Varley method) 與吳爾孚法 (Wolff method) 是也。

湯姆生一代萊法可用第 5.37 圖說明之。此處所有 1 伏之十分之一數，百分之一數，千分之一數及萬分之一數，皆從各別之電阻元件或軌盤上讀出，各分為十個或較多之等份。如第 5.37 圖所示，1 伏之十分之一，百分之一，千分之一數，係得之於各別之軌

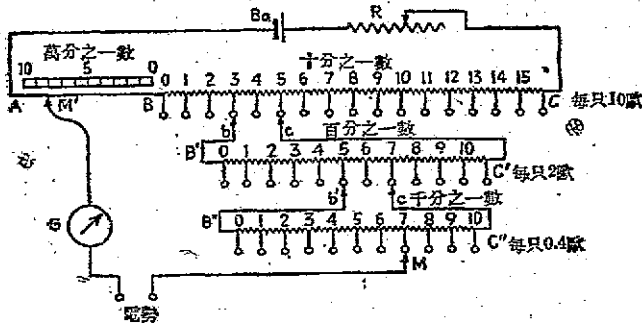


圖 5.37 湯姆生一代萊滑線之原理

盤，1 伏之萬分之一數，則得之於一滑觸線。無論軌盤在何位置，整個電位計電路 AC 之電阻，必須保持恆定，假定相當於十分之一伏之電阻為 10 歐。電阻 BC 包括十六個 10 歐電阻，兩互相緊縛之接觸器 b 及 c ，始終跨接於 BC 之兩只 10-歐單位間。 b 與 c 間接有電阻排 $B'C'$ ，包括有十一只 2-歐電阻。另有兩互相緊縛之接觸器 b' 及 c' ，始終跨接於 $B'C'$ 之兩只 2-歐單位。 b' 及 c' 間又接有電阻排 $B''C''$ ，包括有十只 0.4 歐電阻。一接觸臂 M ，在軌盤 $B''C''$ 之觸點上移動。凡此電阻，俱佈置成圓形軌盤。 $B''C''$ 之總電阻為 4 歐，因跨接於 $B'C'$ 上兩只 2-歐單位之兩端，故接觸器 $b'c'$ 間之等效電阻為 2 歐。此即接觸器 $b'c'$ 跨於 $B'C'$ 任何兩觸點間之等效電阻，亦等於 $B'C'$ 本身每只單位之電阻。故以 $B''C''$ 電阻排，跨接於 $B'C'$ 電阻排上任何兩只單位而言，其效應相當於自 $B'C'$ 本身之總電阻內，減去 2 歐，或移去一個電阻單位。但 $B'C'$ 排上，本有十一只 2 歐電阻單位，因 $B''C''$ 排之跨接，故 $B'C'$ 間之電阻，僅為 20 歐，且始終保持為 20 歐。

同理，此總等效電阻為 20 歐之電阻排 $B'C'$ ，藉接觸器 bc ，始終跨接於電阻排 BC 之兩只電阻單位，使接觸器間之等效電阻等於 10 歐。故接觸器 bc 之跨接效應，相當於自 BC 本身之總電阻內，減去 10 歐，或移去一個電阻單位。但 BC 本有十六只 10 歐電阻單位，故其總等效電阻減為 150 歐，相當於 15 個單位。無論接觸器在何位置，此值恆定不變。在 0.01 安之正常電流時， BC 兩端之總電壓為 1.5 伏， $B'C'$ 兩端之總電壓為 0.1 伏， $B''C''$ 兩端間則為 0.01 伏。另有滑觸線 AB ，其電阻為 0.1 歐，其總電壓為 0.001 伏，裝有接觸臂 M' 。故十分之一伏係在軌盤 BC 之 b 觸點上讀出；百分之一伏在軌盤 $B'C'$ 之 b' 點讀出；千分之一伏在軌盤 $B''C''$ 之 M 臂上讀出。而萬分之一伏，則在滑觸線 AB 之 M' 臂上讀出。如第

5.37 圖所示各軌盤之位置，其讀數應為 0.3578 伏。無論各接觸器在何位置， A, C 兩點間之電阻，始終保持為 150.1 歐。

除去 M 及 M' 以外，其他接觸電阻俱能引起差誤。故此式電位計之本身電阻必須稍高，俾此種接觸電阻，可以略而不計。苟若是，儀器之靈敏度，未免因以減低。此式電位計之另一缺點，即接觸處電易為氧化物及灰塵所沾污，須時時擦淨之。

吳爾孚法之原理，可用第 5.38 圖說明之。此式電位計之總電阻為 15,000 歐（實係 14,999.9 歐），其工作電流為 0.0001 安，故為一高電阻電位計。軌盤 E 包含十四只 1,000—歐電阻線卷，軌盤 A 包含九只 100 歐線卷。軌盤 B, C, D 俱為雙組，有雙極軌盤電鍵

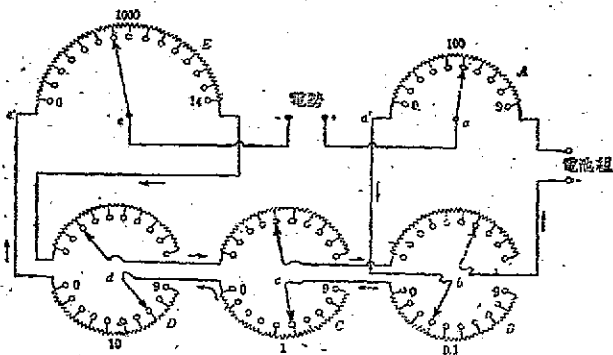


圖 5.38 吳爾孚電位計之原理

(Double dial switch)，其目的在保持電池組電路內之電阻為定值。軌盤 D 每半邊有九只 10—歐線卷，軌盤 C 每半邊有九只 1 歐線卷，軌盤 D 每半邊有九只 0.1 歐線卷。圖中箭頭所示電流之路徑，係自電池組之正極，經軌盤 A 之全部，軌盤 B, C, D ，下半部未被軌盤鍵 b, c, d 所劃出之各部份，軌盤 E 之全部，及軌盤 B, C, D 上半部未被軌盤鍵 b, c, d 所劃出之各部份，而回至電池組之負極。

試就第 5.38 圖觀之；每一雙極軌盤鍵之上端，在軌盤上半部所劃出之電阻，恆等於其下端在軌盤下半部所接入之電阻。故無論軌盤鍵在何位置，電池組電路之電阻恆保持不變。但任何軌盤鍵之移動，俱可變更 a' 與 e' 間之電阻，遂產生 ae 間電位之變化。

如第 5.38 圖所示各軌盤之位置，其讀數應為 0.65753 伏。

5—26. 用電位計量度電壓——電位計之設計，本係限於 1.6 伏以下電壓之量度。若欲量較大於此之電位，須用一伏特匣 (Volt box)。一伏特匣為一極高之電阻，其上備有適當之分接頭。此可以第 5.39 圖中之電阻 AD 說明之。假定 AD 有 10,000 歐之電阻， AB 有 100 歐之電阻；設無電流在 B 點自此線離去， AB 兩端之壓降適為 AD 端壓降之 $1/100$ 。因電位計之應用，係根據電流之互消，故可從 AB 接引線至電位計。當平衡之際，並無電流離去 AB ，因此，電位計所量得之電壓，為 AD 兩端電壓之 $1/100$ 。如欲校準一伏特計 V ，須將此伏特計與 AD 相聯。設伏特計之讀數為 119.0 伏，而電位計之讀數為 1.8，則 AD 端之電壓確數為 118.4 伏 伏特計須加以 -0.6 伏之改正。

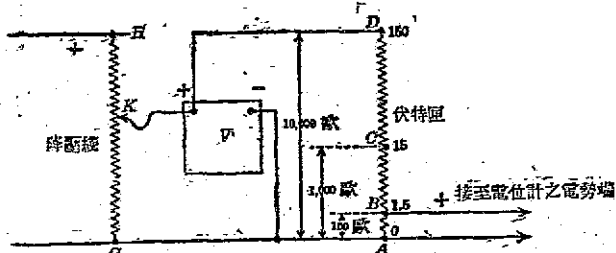


圖 5.39 伏特匣及降壓線之連接法

同理，自 1.5 伏至 15 伏之電壓。可接於電阻為 1,000 歐之 AC 兩端，此際之倍率為 10。

降壓線 (Drop wire)—— GH 係一電阻線，直接跨接於線路

者。伏特計之一端及伏特匣之一端，俱接至此線之 G 端。伏特計及伏特匣之另一端，則接至一可移動的觸點 K 。利用 K 在 GH 上之滑動，可得任何所需之電壓。作此用途之 GH 線稱為降壓線。此種降壓線，對於伏特匣之應用，並非必需，但此處所以用之者，僅為調準電壓之便利而已。

5—27. 用電位計量度電流——上節已經說明，電位計係為量度電壓而設計者。然如應用歐姆定律，亦可用電位計決定某電路中之電流值。設有一未知電流 I 通過已知電阻 R ，如能量出 R 兩端之壓降 E ，則電流 I 立可算出。因此部份之電壓及電阻均為已知值，故

$$I = \frac{E}{R}。$$

第 5.40 圖示從事此種量度之方法。此處係求通過安培計之準確電流值，俾可決定安培計或有之差誤者。安培計與一標準電阻及

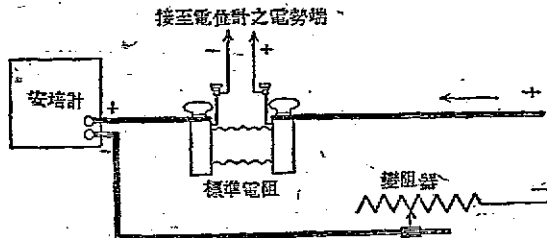


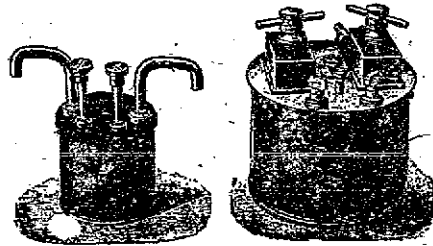
圖 5.40 用電位計以校準安培計

用以控制電流之變阻器相串聯。通例，標準電阻上俱裝有四個端鈕，兩大鈕供電流出入之用，兩小鈕係為量電壓之用（見第 5.41 圖）。此兩電位計接線柱，接至電位計，以量度標準電阻兩端間之電壓，但應注意極性之是否確實。

標準電阻通常可以校準至單純十位數值，例如 10.1, 0.1, 0.01 歐

者。其所可負載之額定電流，須能產生 1.0 伏之壓降。即 1 歐能載 1 安，0.001 歐能載 1,000 安，如是類推。為保持電阻之冷却起見，往往浸於油中。第 5.41

圖(甲)之式樣，係置於裝有水套 (Water jacket) 及電動機策動攪動器 (Stirrer) 之油槽中者。第 5.41 圖(乙)之式樣，係備較大電流千安以上之



(甲)0.01歐 (乙)美統之0,001歐電阻

圖 5.41 標準電阻

用者。水套及攪動器等，俱裝於此元件本身以內。

電位計之量度，既已知其僅限於 1.5 伏，故易選擇適當之標準電阻。一具有 100 安量限之安培計，必需 $1.5 \div 10 = 0.015$ 歐，但可用 0.01 歐者。同理，一 15 安標度之儀器將需用 $1.5 \div 15 = 0.1$ 歐者。

在校準安培計時，至少須取其標度上之十點以至十五點，加以校正，然後繪製成改正曲線 (Correction curve)，如第 5.42 圖所

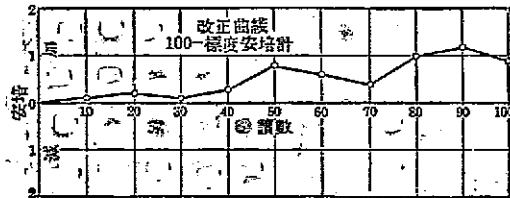


圖 5.42 安培計之校準曲線

示。以儀器之讀數為橫坐標，其與各點相應的改正值為縱坐標，繪為各點，再以直線連接相鄰之二點，即得改正曲線。由改正曲線上，可讀出在任何標度上之標度差誤。第 5.42 圖所示，例如在儀器讀

數為50安時，其準確之電流值應為 $50 + 0.8 = 50.8$ 安。

瓦特計及瓦特小時計

5—28. 電功率之量度——直流電功率通常用一伏特計及一安培計量度之。因此種電功率等於伏特數與安培之乘積 ($P = EI$)，僅須以此二值相乘，即得電功率之瓦特數。然在量度電功率時，有數點應予注意者。

假定所量者為白熾燈之電功率。設伏特計之接法，如第 5.43 圖(甲)中虛線所示，伏特計所取入之電流，亦在安培計量度以內。易言之，伏特計成為與電燈相並聯之負載。伏特計電流雖為值甚小，然因燈所取用之電流，亦復不大，故前者可引入一個可感知之

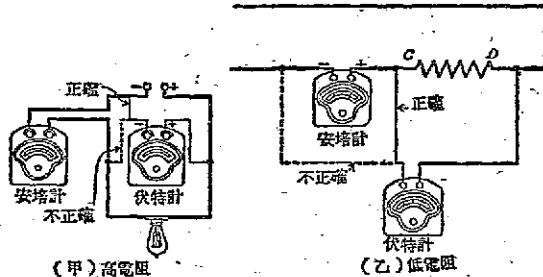


圖 5.43 量度電功率時連接伏特計及安培計之正確及不正確方法

差誤。即伏特計取用之電功率，亦包括於量度值中。除去此差誤之法有三。可從伏特計之電阻算出其電功率，再予以適當之改正。亦可在採取安培計讀數時，將伏特計暫時拆斷，惟須確定此拆斷不致變更燈端電壓。或將伏特計引線接如第 5.43 圖(甲)實線所示，使伏特計電流不通過安培計。如用末法，伏特計之讀數並非真正之燈端電壓，實際上已超過，所超過者等於安培計之壓降。但因燈之電阻高，安培計之電阻低，此些微差誤，常可略而不計。

雖然，若所量者，係一低值電阻（第 5.43 圖（乙）），電阻兩端之壓降甚低。此時如將伏特計接在安培計外面（虛線所示），則安培計之壓降，與電阻之壓降相倣，亦被包括於伏特計讀數以內，必引入顯著之差誤。此際伏特計必須接在安培計以內（實線所示），雖伏特計電流，被包括於安培計讀數以內，但低電阻內之電流，甚大於伏特計之電流，後者與前者相較可以略而不計，故不致引入顯著之差誤。

【例題 5.13】 設欲量一 40 瓦鎢絲燈取用之電功率。量度儀器用一具有 0.15 歐電阻之 0.5 安標度安培計，及一具有 16,000 歐電阻之 150 一標度伏特計。當伏特計接於安培計裏面時，伏特計讀 120 伏，安培計讀 0.35 安。求燈所用之實在電功率 (True power)，及略去伏特計損失時之視在電功率 (Apparent power)。

【解】 視在電功率 = $120 \times 0.35 = 42$ 瓦。 (答)

伏特計取用之電功率 = $(120)^2 / 16,000 = 0.9$ 瓦。

燈所取用之實在電功率 = $42 - 0.9 = 41.1$ 瓦。 (答)

在此情形，伏特計所引入之差誤，約居 2%。

如將伏特計接在安培計之外面，

安培計之讀數 = $0.35 - \frac{120}{16,000} = 0.3425$ 安。

伏特計之讀數 = $120 + (0.15 \times 0.3425) = 120.05$ 伏。

視在電功率 = $0.3425 \times 120.05 = 41.12$ 瓦。

此際之差誤僅為 0.05%，大可略而不計。

5-29. 瓦特計——瓦特計 (Wattmeter) 為一種直接量度電功率之儀器。如第 5.44 圖所示，內含靜定線卷 FF 及一轉動線卷 M ， M 在 FF 所產生之磁場內自由轉動。線卷 FF 係以極少匝數之粗線繞成，能載電路之全部電流。線卷 M 係由極細之線繞成，電流係經兩個控制彈簧輸入線卷，與電流輸入衝斯吞儀器之移動線卷之方法相同。靜定線卷係與負載相串聯，與安培計之接法相同。轉動

錄卷係與一高電阻串聯而跨接於線路上，與尋常伏特計錄卷之接法相同。

錄卷 FF 之磁場，係與電流成正比，錄卷 M 之電流，係與電壓

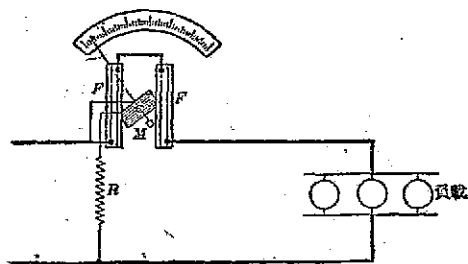


圖 5.44 能指示之瓦特計

成正比。故轉矩係與電流及電壓二者成正比，即與電路之電功率成正比。

然此比率亦須視 M 對於 FF 之角度位置而定。當刻註標度時，此角的關係

已經計及。

然因用安培計與伏特計所得之準確度較高，故量度直流電功率，極少用瓦特計者。且因受雜散磁場之影響，必須兼採反向讀數，電流及電壓俱反接後之讀數，然後採取二者之平均值，瓦特計幾全部用於交流電功率之量度。關於瓦特計之詳細說明，見第二卷第四章。

5-30. 瓦特小時計——瓦特小時計 (Watt-hour meter) 簡稱瓦時計，為量度電能之儀器。電能者為電功率與時間之乘積，故瓦時計對於此二者，均須顧及。今之售電者，俱以能量為根據，此種儀器之準確度，對於金錢之出入關係甚鉅。是以對其機構及校準方法之瞭解，亦至重要。

瓦時計在原理上，相當於一只小電動機，其瞬間速度，與通過其中之電功率成正比，其在某一時期內之總轉數，係與該時期內之總能量或瓦特小時數成正比。

如第 5.45 圖所示，饋電線跨係接於此計左邊之二端鈕上。上首

端鈕係接至串聯之二錄卷 FF' 。 FF' 由粗錄繞成，俾能負載所經過之最大電流，但以不超過此計之額定電流為度。從 FF' 上接出之錄，則經此計右邊之上首端鈕，而接至負載。錄卷 FF' 接成彼此相助，以供給電樞旋轉之磁場。線路上另一錄係直接穿過瓦時計而接至負載。另有一分流電路，自上首線路之左邊接出，經過電樞，及歷於小換向器 C 上之銀刷 B ，再經錄卷 F' 及電阻 R 而至下首線路。在數種瓦時計中，有省去此電阻 R 者。

因負載電流經過 FF' ，且在其電路中並無鐵質，故此二錄卷所生之磁場，係

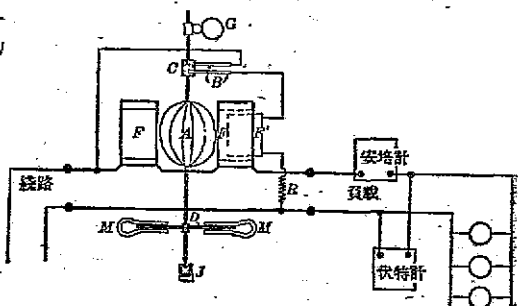


圖 5.45 瓦時計之接法

與負載電流成正比。又因有電阻串聯之電樞，係直接跨接於線路者，故樞電流係與線路電壓 (Line voltage) 成正比。但電樞之反電勢，若與線路電壓相較，可以不計。倘再略去 FF' 之壓降不計，則作用於電樞之轉矩，即與負載電流及線路電壓之乘積成正比。換言之，即與經瓦時計輸入負載之電功率成正比。

又苟欲瓦時計紀錄準確，必須有一與角速度成正比之滯速轉矩 (Retarding torque)，作用於轉動之元件上。為適應此需要起見，在電樞軸上附裝一鋁質圓盤。此盤旋轉於兩個永久磁鐵之磁極間。當此圓盤割切此二磁鐵所生之磁場時，即有渦流感應於盤上，因以滯緩其運動。此種渦流值既係與盤之角速度成正比，且係作用於一固定強度之磁場內，其滯速效應，亦與角速度成正比。因此，準

(1) 見勞斯著「量電學」(Laws. F.A. "Electrical Measurement")

確紀錄之條件，乃得完成。

在最精緻之結構中，亦不能將旋轉元件之摩擦完全除去。當負載值近於瓦時計之額定負載時，摩擦效應，實可略而不計。但因摩擦轉矩為恆定的，在負載較輕時，即可產生較重大之影響。而瓦時計又大部時間在輕載下工作者，此種因摩擦所致之差誤非設法避免不可。其與電樞串聯之錄卷 F' ，即係為此而設者。 F' 之磁場，使與 FF 之磁場，作用於同一方向，故能輔助電樞之旋轉。且因其接於分流電路中，同時又係跨接於定值之電壓，故能繼續作用而產生實為定值之轉矩，以抵償摩擦所致之效應。此錄卷 F' 為可移動的，可調準其位置，俾適足補償摩擦所致之效應。

為減少摩擦力及被磨損起見，瓦時計之旋轉元件，以愈輕為愈佳。

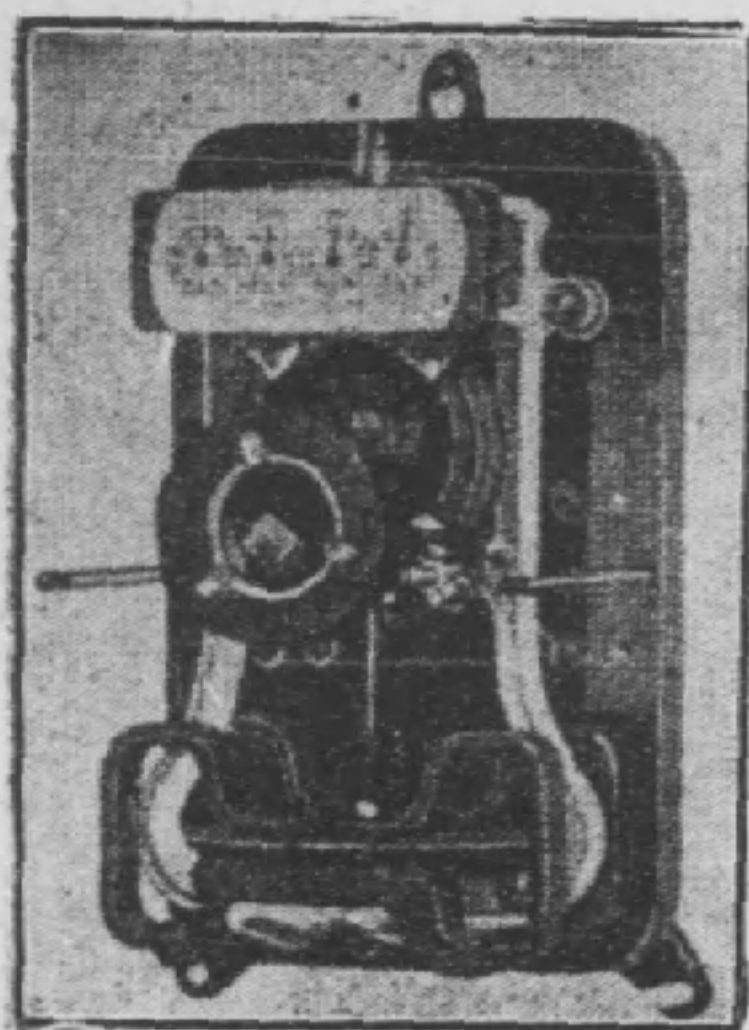


圖 5.46 湯姆生瓦特小時計

此元件之支持，係藉一硬性鋼質支樞，在一寶石軸承 J 上旋轉，在小儀器內，軸承用青玉，在大型者內用鑽石。寶石軸承支持於一彈簧上。使用過久，支樞變鈍，寶石粗糙，因以增加摩擦，使瓦時計行率緩慢，非將 F' 錄卷再予調準不可。旋動元件推動計數盤之方法，係藉螺旋桿與齒輪 (Worm and gear) 之組合為之。

第5.46圖示湯姆生瓦時計之內部

結構。其摩擦補償錄卷，在儀器前面，甚易窺見之。

5—31. 調準瓦時計之方法——在最初調準時，瓦時計雖甚準確。但經相當時日，由於種種原因，準確度漸減。例如換向器變為凹凸不平，寶石漸呈粗糙，支樞被磨損，以及滯速用磁鐵強度之變更等等，皆足致瓦時計之不準。售電者對於用戶之取價，皆根據此瓦

時計之紀錄，故保持其準確狀態，實深重要。因往往一甚小之差誤，日積月累，對於電力公司或用戶，可有重大之金錢損失，尤以大型瓦時計為甚。

欲調準瓦時計，可接一負載如第 5.45 圖所示。負載取入之電功率，以已經校準之伏特計及安培計量度之。圓盤 D 之旋轉次數，係以某一定時期為準。以停錶 (Stop watch) 計此時期，數其轉數。在大多數之瓦時計中，瓦特小時與盤之轉數之關係，可以下式表之。

$$W \times H = K \times N. \quad (5.26)$$

式中 W 為瓦特數， H 為小時數， N 為盤之轉數， K 為瓦時計之常數，或曰瓦時常數，其值大率註於盤上。

由此式可見，以瓦時常數乘盤之轉數，得瓦時計所紀錄之瓦特小時數。其齒輪比 (Gear ratio)，及鐘錶機構可計數盤之紀錄工作。

在校驗一瓦時計時，時間大率以秒計，第 5.26 式乃變為

$$\frac{W \times t}{3,600} = K \times N. \quad (5.27)$$

式中 t 為時間之秒數。

當校驗之際，伏特計及安培計之讀數，每隔相當時間讀取一次，同時數出盤之轉數。大概行駛一分鐘，已可得優良結果。

令由伏特計及安培計讀數所得之平均瓦特數為 W_1 。在同時期內，瓦時計所指示之平均瓦特數，根據第 5.27 式，為

$$W = \frac{K \times N \times 3,600}{t}. \quad (5.28)$$

瓦時計之準確度百分數為 $100W/W_1$ 。

【例題 5.14】今欲檢驗一 10 安瓦時計。其瓦時常數為 0.4，其盤在 53.6 秒內旋 40 轉。在同時間內之平均伏特數及安培數，各為 116 伏及 9.4 安。求

在此負載時瓦時計之準確度百分數。

【解】

$$\text{平均標準瓦特數} = W_1 = 118 \times 9.4 = 1,090.$$

$$\text{平均瓦時計瓦特數} = W = \frac{0.4 \times 40 \times 3600}{53.6} = 1,074.$$

$$\text{準確度百分數} = \frac{100 \times 1,074}{1,090} = 98.5\% \quad (\text{答})$$

意即瓦時計慢 1.5%，其速度須略加快。若用已校準之指示儀器及精密之調準方法，瓦時計之準確度，可達 0.5% 以內。

調準之步驟有二。先以約近滿負載接上，再移動滯速用磁鐵。若瓦時計行駛過慢，可將磁鐵移向盤心，俾減少滯緩電流之效應。若瓦時計行駛過速，可將磁鐵自盤心移遠。若瓦時計已在將近滿負載時校準，而發現在輕載時仍有差誤，則必係摩擦力為祟。輕載時之校準，可接以等於定額 5—10% 之負載，再移動摩擦補償錄卷為之。若瓦時計行駛過慢，可將錄卷 F' 移近電樞；若行駛過速，則將 F' 自電樞移遠。校準 F' 之位置，對於滿載校準，略有影響，故須再作一次滿載校驗，然後再作一次輕載校驗，以保證其無誤。

5-32. 他式瓦時計——三錄瓦時計 (Three-wire watt-hour meter) 係為紀錄三錄制中之電能而設計者。其構造如第 5.47 圖

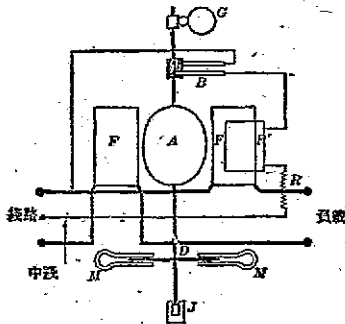


圖 5.47 三錄瓦特小時計之簡圖

所示，除去 FF' 兩錄卷係接在線路之相反兩邊外，其他與第 5.45 圖所示者無異。故電樞所在旋轉之磁場，係由正導線通至中錄之電流，及負導線通至中錄之電流，聯合產生。無論兩邊負載之平衡與否，其轉矩恆與三錄制之電功率成正比。電樞電路，可接於一外錄與中錄

間，如圖所示。亦可接於兩外線間，倘接於兩外線，則由中線接至瓦時計之引線可以省去。若用接至中線之接法，除非每外線與中線間之電壓相等，否則其紀錄必不能準確。惟此種差誤，大率甚小。

上述之瓦時計，不能置於載大電流之匯流排附近。因瓦時計之磁場強度及滯速磁鐵之強度，必受匯流排之雜散磁場之影響也。為避免雜散磁場之效應起見，可採用一種無定向式 (Astatic type) 瓦時計。其軸上有兩電樞，每電樞各在串聯於負載之數匝或一匝線卷所生之磁場內旋轉。此二磁場所作用之方向，係相反的。若任何雜散磁場欲加強一電樞所在旋轉之磁場，同時必等量地削弱另一電樞所在旋轉之磁場，其綜合效應為零。滯速磁鐵亦有二組，其位置之方法，亦使任何磁場欲加強一組之強度時，必同時等量地削弱他組之強度。此種磁鐵且裝於鐵匣內，以資進一步之保護。

第六章

磁 與 磁 鐵

6—1. 概說——在各種電器電機內，幾無不應用磁(Magnetism)與磁鐵(Magnet)者。欲求對於各種電器電機，有明確之概念，則對於磁及磁鐵之基本原理，實應有深切之瞭解。

磁鐵可分為永久磁鐵(Permanent magnet)及電磁鐵(Electromagnet)兩大類。永久磁鐵有永久保持其磁性之性質，毋需電流之激發。大概以硬鋼或其合金，以及他種元素如鈷，鎳等之合金製成。電磁鐵之磁性實賴電流之磁化作用，普通以軟鐵及軟鋼製成，極易響應於電流之磁化效應之變動。本章僅論及永久磁鐵，電磁鐵將於第七章及第八章內論之。

6—2. 磁性物料——鐵(或鋼)及其合金，在磁的方面，優於其他單純金屬。鈷及鎳雖具有磁性，而遠遜於鐵，液體之氧亦可為磁極所吸引。最近發明之數種合金，以鐵，鈷，鎳及其他金屬如鎳等製成者，具有極佳之磁性，其數種鐵鎳之合金亦然。「坡莫合金」(Permalloy) (見第 8—16 節)，由百分之八十之鎳及百分之二十之鐵所組成，在低磁通密度時，有甚高之磁導率，但在高磁通密度時，則遜於優質之鐵。「哈普立克」(Hipernik) (見第 8—17 節)，有甚低之磁滯損失，而「庫普立克」(Coupernik)，則具有定值之磁導率。「坡明發爾」(Permin var) (見第 8—16 節)，為鐵鎳鈷之合金，兼有上述二者之優點，至若「亞爾立古」(Alnico) (見第 6—19 節)，為一種鐵鎳鎳鈷之合金，有甚佳之永久磁性。

上述物質之具有磁化性者，稱爲順磁質 (Paramagnetic substance)。反之，若干他種物質之磁化性，猶遜於真空，其極微之磁化效應，殊難檢察。此類物質稱爲反磁質 (Diamagnetic substance)。鉍 (Bismuth) 爲已知物質中之最反磁的，其磁導率爲0.9998。

6—3. 天然磁鐵——磁之現象之發現，爲時已久。古人有發現某種礦石能吸引小鐵塊者，尤以產於小亞細亞 (Asia Minor) 之麥格里錫亞 (Magnesia) 地方者爲著，因名此類神秘之礦石爲“Magnet”，我國譯之曰磁鐵。將磁鐵自由懸盪，能指南北之特性，直至第十或十二世紀，始被發現。航海家用以指示方向，乃名之曰『引導石』(Lodestone)，中文譯意爲磁石。此種天然磁鐵實乃鐵鱗之一種，鑄學家熟知之爲磁鐵鱗 (Magnetite)，其化學成分爲四氧化三鐵 (Fe_3O_4)。以鐵屑近之，則被引而羣集於兩個或較多區域。因此知磁鐵鱗必具有兩個或較多之磁性集中區域，此即磁極 (Magnetic pole) 也。

6—4. 永久磁鐵——永久磁鐵大率爲人造磁鐵 (Artificial magnet)。硬性鋼，與另一磁鐵相磨擦，或以電流激發之，則得相當之磁性，且能永保而不失。此種鋼質磁鐵，稱之爲永久磁鐵。若以軟性鋼或鐵，以同法激發之，亦可磁化，惟電流停止，僅能保留極小部份之磁性而已。

故在製造永久磁鐵時，以用硬性鋼(或其合金)爲宜。而在需要磁性能緊隨磁化力而變動時，則非軟性之鐵及鋼莫屬。

6—5. 磁極與磁場——當一鐵塊或其他磁的物質被磁化後，其磁性顯由該物體之某一區域出發，而由另一區域返歸者。該物體上顯示磁性出發或返歸之區域，似爲其磁性集中之區域，通常稱之爲磁極。例如在第 6.1 圖中之條形磁鐵，其磁性顯由左端發出，而由

右端返歸。其顯示磁性所由發出之區域，謂之磁鐵之北極或N極 (North pole)。其顯示磁性返歸之區域，謂之磁鐵之南極或S極 (South pole)。實際上磁性之呈現，並不限於磁鐵之末端，磁性線固可由表面上任何部份發出或返歸也。廣義言之，在磁鐵上，凡磁性線所由發出，或磁性線經由返歸之任何表面，謂之磁極。其兩個磁極可由自由懸盪時，所指示之方向判之。其指北方之磁極為指北極 (North-seeking pole)，但俗稱北極；其指南方者為指南極 (South-seeking pole)，俗稱南極。

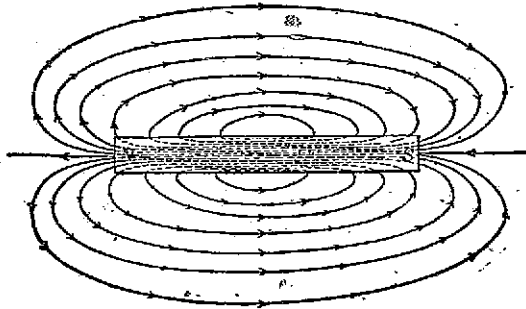


圖 6.1 一條形磁鐵周圍之磁場

磁性之存在，恆以線狀示之，如第 6.1 圖所示者。其對於小鐵片所施之力之方向，即沿此線之方向。力之大小，則以在垂直於此等線之面積上，所有線之密度成比例。若以實驗證明之，確可證明此等磁性線，皆由北極發出而經南極返歸，如第 6.1 圖者。此類磁性線可假定其經行於磁鐵內部，由南極以至北極，每線皆成一閉口之環，是之謂感應線 (Lines of induction) (見第 6—10 節)。

在通常形狀之磁鐵內，如第 6.1 圖所示者，其位於兩極正中之平面，謂之中性區 (Neutral zone)，或磁鐵赤道 (Equator)。其感應線所經之全部路徑，謂之磁路 (Magnetic circuit)。因每一

或應線為連續的，故在一簡單之磁鐵上，北極或南極決不能單獨存在。且所有北極之強度，亦必等於所有南極之強度。

若將一磁鐵置於另一磁鐵之均勻磁場內，任其自由移動，例如置於地球之磁場內，則該磁鐵僅旋轉至與此磁場之方向排成一線之位置，而並無前後移動之徵象，此點足可證明兩極強度相等之說矣。

磁鐵之效應，可由磁鐵本身擴展至甚遠之區域，可以磁鐵對於在該區域內之鐵片或載電流導體所施之力證明之。凡磁鐵效應所達之區域，構成該磁鐵之磁場 (Magnetic field)。磁場內有磁力線存在，其磁場在某點之強度，可以在該點力線之密度表之（見第 6—11 節）。

6—6. 割裂磁鐵之效應——磁鐵若被割裂，則每一斷塊仍有南極與北極存在，其北極之強度，與南極相等。第 6.2 圖(甲)中之條形磁鐵(Bar magnet)，在其中點被切開，其割裂後之現象，即如第 6.2 圖(乙)所示。在包括其原有北極一段之割裂處，有南極發現，而在包括原有南極一段之割裂處，則有北極發現。

在第 6.2 圖(丙)中，此磁鐵在兩處被割裂，相等而相反之南極與北極，仍發現於每一斷塊上。如注意感應線仍能由一斷

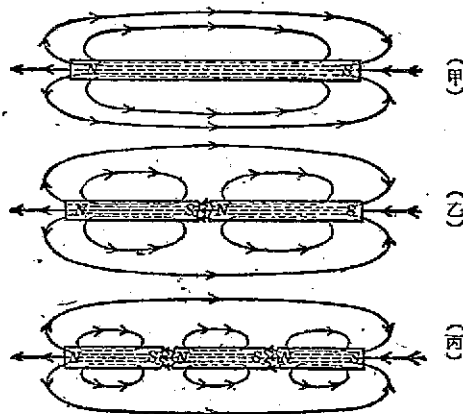


圖 6.2 割裂一條形磁鐵之效應

塊延伸以入鄰近另一斷塊，則對此現象自易明瞭。不過鄰近斷塊間之感應線，並不一定相同，是以每一斷塊之南北二極強度，並不一定與其他斷塊之南北二極強度相等也。

在實驗方面，此種現象，可取一已磁化之硬鋼縫針，折為數段以表現之。散佈鐵屑於其上，可用以觀察結果之磁場（見第6—15節）。

6—7. 庶極——其不在磁鐵之兩端，而在其中部所生之磁極，謂之庶極 (Consequent poles)。庶極之形成，或由於磁鐵上某一部份，為一北極或一南極所磨擦，或由於數只激發線卷，以相反方向，安置於一鐵棒上所致。因一磁棒若由數只磁鐵組成，而兩北極或兩南極，適在此棒之同一部份存在，乃產生庶極，有如第 6.3 圖所示者。其由庶極所生之磁場，可於第 6.13 圖中覽之。不過該圖係以兩條形磁鐵鄰近安置，而兩極間有甚小之空隙者。有庶極之磁場，蓋亦類是。鐵條與鋼條，其常與起重磁鐵相接觸者，每易產生庶極（見第 7—9 節）。

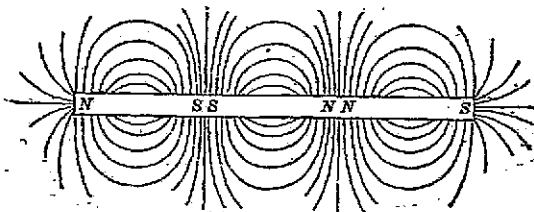


圖 6.3 庶 極

6—8. 磁極間之機械力——取一自由懸盪之北極，持近另一北極，則被排斥，若易一南極，則被吸引。兩南極相近，亦互相排斥。此排斥與吸引之趨勢，皆為相互的。因此知同極相斥，異極相引。

庫倫氏排斥與吸引定律——庫倫氏以一鈺秤 (Torsional balance, 作實驗以證明下述定律：若磁極之尺寸，甚小於兩磁極

間之距離，則兩定磁極間相互排斥或吸引之力，與此兩極間之距離之平方成反比，與各極之強度成正比。

因此一假單位磁極 (Unit pole)。可以下列界說定之：單位磁極爲一磁極，在空氣中，作用於相距一厘米而強度與之相同另一磁極之力爲一達因。如單位磁極爲同性，則爲斥力，異性則爲引力。如無特別申明，通常恆假定單位磁極爲北極。

磁極強度，以單位磁極爲衡量。如某磁極之強度爲 m ，即以 m 個單位磁極合置，其效應適與此磁極相當。

若 m 及 m' 爲兩磁極之強度 (以單位磁極計之)， r 爲兩極相距之厘米數，如第 6.4 圖所示，則在空氣中，兩磁極相互作用之力爲

$$f = \frac{mm'}{r^2} \text{ 達因。} \quad (6.1)$$

此力或爲斥力或爲引力，視兩極之相同或相異而定。

【例題 6.1】有兩北極，其強度一爲 500 單位，一爲 150 單位，置於空氣中，相距 4 吋，求兩極間互斥之力，以克計。

【解】距離 $r = 4 \times 2.54 = 10.16$ 厘米，

$$\text{斥力 } f = \frac{500 \times 150}{10.16^2} = 726 \text{ 達因}$$

$$= 726 \div 981 = 740 \text{ 克。} \quad (\text{答})$$

若磁極之尺寸，不甚小於兩極間之距離，則第 6.1 式不能普遍應用，惟可將磁極分爲若干甚小之面積，而由每一面積之作用決定之，其距離則以各個面積中心之距離爲準繩。

6—9. 韋伯與歐文氏學說——最近數十年間，對物質原子與分子之智識，雖有長足之進展，而對於磁性物質所以能磁化之原理，

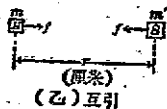


圖 6.4. 磁極間之互斥與互引

尙鮮新的發展。以鐵爲例，何以鐵分子之構造奇特，使鐵易於得磁，遠勝於其他物質。再如某種鐵鎳合金之磁性，較構成此合金之任一金屬爲優。此種事實使磁化原理，更爲深奧。

韋伯氏(Weber)所首創之磁分子學說(Molecular theory of magnetism)，經歐文氏(Ewing)加以闡發，可用以解釋若干



(甲)



(乙)

圖 6.5 磁鐵之韋伯—歐文學說

磁的現象，如割裂一磁鐵則產生新的南北極，與磁滯(Hysteresis)，磁飽和(Magnetic saturation)以及其他現象等。實際上近世物理學，並未能將此舊學說，予以若何之改進。⁽¹⁾

韋伯歐文學說假定磁鐵之每一分子，皆爲一小磁鐵，具有南北二極，如第 6.5 圖(甲)所示。此種分子本身並不受磁滯及磁飽和等影響。在通常狀態下，此種磁分子，俱係任意排列，絕無秩序，各個鄰近之南北極適相中和，故對外不發生任何磁之效應。若施以磁化力(Magnetizing force)，則此小磁鐵，即趨於有秩序之排列，各個之軸均相平行，而各個之北極一致指向與磁化力相符合之方向，如第 6.5 圖(乙)所示。

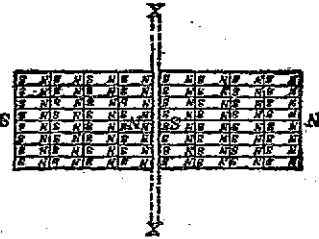


圖 6.6 韋伯—歐文學說與磁鐵之割裂

例如以一磁鐵，沿 X X 割切之，新的南極與北極乃現(見第 6.6

(1) 關於此問題之詳細討論，可參閱 Karl K Darrow 作，"Contemporary Advance in Physics XIII; Ferromagnetism"，見 Bell system Tech. Jour. 1927 年四月號第 295 頁。

圖),此二新極,在磁鐵未被割裂以前,固互相中和者也。以一永久磁鐵研為細粒,每粒仍呈現條形磁鐵之磁性,具南北二極。此等事實,足可證明上述學說之不謬。

至於對磁滯及磁飽和之解說,當另論之。(見第8—4節及8—13節)。

6—10. 磁化線,磁力線與感應線——在一永久條形磁鐵內,磁之關係,一若甚為簡單者,由第6.1圖表示,似僅有感應線通過條形磁鐵形成閉合之環而已。然而若干簡單現象,即使應用韋伯歐文學說,仍不能予以解釋。例如磁力線何以有由磁鐵之兩端發出者,何以有由他部發出者?在欲解釋磁之現象時,歐文氏建議下列理論,雖仍有未盡妥善之處,然究未有更合理之解釋,可資應用也。

磁鐵可視為由無數極細之絲所組成,而由於磁分子之排列,有若干磁化力存在於每一細絲內,如第6.7圖甲所示。於是有一北極發生於絲之一端,南極於他端。根據實驗之證明,一個磁化之鋼縫針,其磁極完全產生於兩尖端。既有潛在之磁力,存在於每一細絲,於是有磁化線(Lines of magnetization)穿過磁鐵內,由南極以達北極,如第6.7圖(乙)。此種磁化線完全潛在於磁鐵內,苟無自由磁極在其末端,換言之,即苟每一細絲自相閉合有如在鐵環內者,則此磁化線即形成感應線。

磁力線(Magnetic lines of force)恆由北極發出,而止於南極,並非閉合之線。如在第6.7圖(乙)中,其實線表示磁力線。第6.7圖(丙)表示一條形磁鐵內部及其附近磁力線分佈之概況。磁鐵內之感應線,為其磁化線與磁力線之矢量之差。因磁化線不離開磁鐵本身,故在磁鐵外部之感應線數與其磁力線數相等。然以細絲而言,既有磁極產生於兩端,則應有磁力線脫離磁極。惟細絲之橫截面太小,其穿過細絲之磁力線數,微少至可以不計,實際上可認為

無此等力線穿過細絲本身。則磁性細絲內之感應線數，即等於其磁化線數，外部之感應線數等於其磁力線數。

一個條形磁鐵，由無數細絲所組成，如第 6.7 圖(丙)，有甚多之磁力線離開其北極，穿過磁鐵本身，與磁化線相反，因此減少磁鐵內部之感應線數。是以磁極之形成於磁鐵之末端也，實乃一種反磁化力 (Counter magnetizing force) 之源，有使此磁鐵去磁 (Demagnetization) 之趨勢。

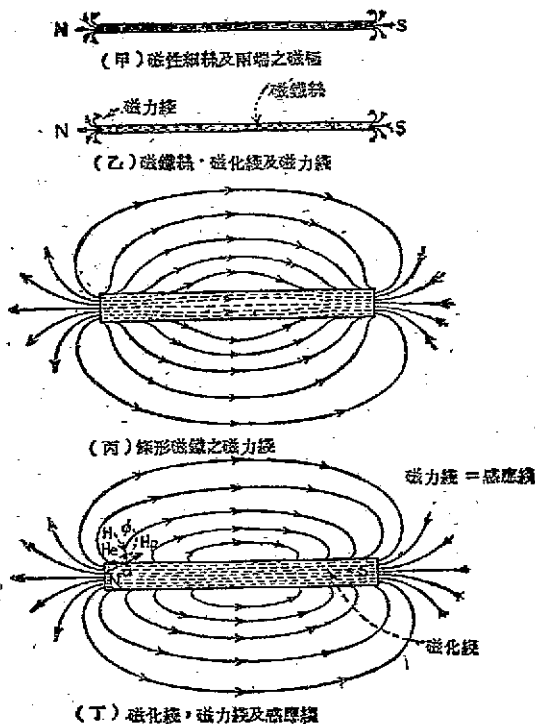


圖 6.7 在條形磁鐵內之永久磁性

用此學說，可解釋第 6.7 圖(丁)中條形磁鐵大部份之感應線

何以由其旁邊出發。在任何點 a 之力 H ，為由末端北極所施之力 H_p 及其內部產生磁化線之磁化力 H_c 之綜合。(南極亦施力於 a 點，不過 a 點距北極近，距南極遠，其所受南極之力，可以不計)。 H_p 及 H_c 之合力，產生在 a 點之感應線中，並決定其方向。其總感應線如第 6.1 圖及第 6.2 圖(甲)所表示者。磁力線本身，並非閉合的，由北極發端而止於南極與磁化線在磁鐵內之方向相反。

在一甚長之條形磁鐵內，感應線之半數，存在於截面之中部(即中性面)，經兩端而脫離磁鐵，其另一半則由旁邊脫離。根據實驗之提示，若磁鐵之面積與其長度較，愈大則愈難使之永久磁化。即或用最佳之磁性物料，欲使一短塊得永久磁性，殊非易事。

總括言之，磁化線潛在於磁鐵內，由南極發端，經磁鐵本身，以達北極。其磁力線由北極發端，經外部空間，亦經過磁鐵本身，均止於南極。感應線則為連續的閉合之線，由北極發端，經磁鐵外部至南極，再經磁鐵內部，由南極返至北極。以上三者之區別，學者應瞭然於心也。⁽¹⁾

6—11. 磁力線——由第 6—10 節所述，知在空氣中磁力線與感應線恆同。置一單純北極於一磁鐵之磁場內，則發現下述效應：

- (1) 該北極被迫沿磁場中力線之方向而移動，以達南極。
- (2) 磁力線最密之所在，該北極被迫之力亦愈大。此迫力與在該點處，垂直於磁力線方向之平面內，每單位面積之力線數成比例。

因此，磁力線之密度，可用以表示磁場內任何點之力。力之方向，即在該點磁力線之方向。力之大小，則以該點每單位面積(指垂直於磁力線方向者)之線數計算之。

(1) 關於此問題之詳細討論，可參閱 Pender 著 "Principle of Electrical Engineering" 第 56 頁，第 43 節。

6—12, 磁場強度——置於磁場內一磁極所受之力, 已知其與所在點磁力線之密度成比例。故單位之磁場強度 (Field intensity), 即能以一達因之力, 施於一單位磁極之磁場之強度。磁場強度, 恆以每單位磁極所受之力之達因數計之, 其符號為 H 。在空氣內, 有一根磁力線, 垂直的穿過一平方厘米之面積, 即代表一個單位磁場強度。

最近由國際之同意, 採用奧斯忒 (Oersted, 或簡書為奧) 為磁場強度之單位, 用以紀念丹麥物理學家奧斯忒氏。

置一 m 個單位之磁極, 於一強度為 H 奧之磁場內, 其所受之力為

$$f = mH \text{ 達因。} \quad (6.2)$$

此磁極必須強度甚小, 庶幾置於一磁場內, 不致擾亂該磁場。

【例題 6.2】一個 25 單位之小磁極, 置於一磁場內之某點, 被 200 達因之力所作用, 求該點之磁場強度。

【解】 $H = 200 \div 25 = 8$ 達因/單位磁極, 或 8 奧斯忒。 (答)

因此知在垂直於磁力線之面積內, 其磁力線之密度為 8 線/平方厘米。

【例題 6.3】在兩平行之磁極面間, 每極面積為 8 厘米見方, 在空氣中其磁通量總數為 200,000 線, 作均勻的分佈。若置一 100 單位之磁極於其中, 則所受之力為若干克?

【解】磁通密度 = $200,000 \div (8 \times 8) = 3,125$ 線/平方厘米。

因在空氣內, 磁通密度與磁場強度相等, 故 $H = 3,125$ 奧, 而

$$f = mH = 100 \times 3,125 = 312,500 \text{ 達因}$$

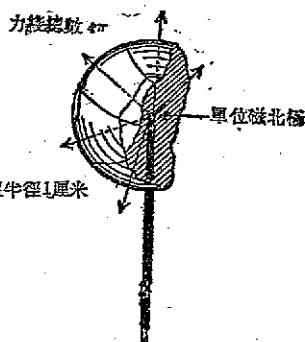
$$= 312,500 / 981 = 319 \text{ 克。}$$

(答)

(1) 漢斯·克立斯坦·奧斯忒 (Oested Hans Christian 1771—1851)——丹麥之物理學家也。初習醫, 1806 年任哥本哈根 (Copenhagen) 大學物理教授。1829 年任該城工業專門學校董事長, 1850 年榮任樞密院參事。1819 年發現磁鐵有移動至與電流方向相垂直之位置。其特著工作, 為確立電與磁之關係。

6-13. 磁通密度——磁通密度 (Flux density) 者，即垂直於感應線之方向，每單位面積內感應線數之謂也。在自由空間，磁通密度與磁場強度，在數值方面相等。但在磁性物質內，此二者迥不相同，不可互相混淆。磁通密度之厘米克秒制單位為皋斯⁽¹⁾ (Gauss)，或簡書為皋。在實用方面，有時亦以每平方厘米線數或每方吋線數計之，其符號為 B 。

依定義言，在空氣中，一個單位磁極，所施於相距一厘米，另一單位磁極之力，為一達因。故以一半徑為一厘米之球體，以一單位磁極置於其中心，則在球面面積球體半徑一厘米上之磁場強度，必為一單位，可以該球面上，每一平方厘米有一根力線表之，如 6.8 圖所示者。



因半徑為一厘米之球面面積 圖 6.8 自一單位北極發出之磁力線
為 4π 平方厘米，故一單位磁極，必有 4π 或 12.57 根磁力線發出。⁽²⁾

(1) 卡爾·佛利特立區·皋斯 (Gauss Karl Friedrich 1777—1855) 為德籍數學
家及天文學家。由 1807 年直至歿時，任哥亭根 (Göttingen) 天文台理事。皋氏對於地
磁之研究，極感興趣。曾與韋伯氏連合發明各種測量地磁之新儀器，同式儀器至今猶有
採用者。1833 年因韋伯氏之助，得在哥亭根創設一地磁測量台，完全不用鐵質。皋氏於
此曾對地磁作無數有價值之研究及觀測。氏對數學及磁學之著作極豐，其貢獻於磁
學識者極偉。

(2) 磁通量 (Magnetic Flux) 顯非以線的狀態，脫離磁極，實係佔據整個磁場，
作均勻之分佈者。其分佈狀態，可以磁力管 (Tube of Force, 由法拉第 Faraday 首
先建議者) 表之，每管之軸與磁場內力之方向相符合。以單位磁極言，應有 4π 或 12.57
根磁力管，第 6.8 圖內之線，不過表示每管之軸耳。用磁力管之觀念，可解釋何以磁力
線可有小數，如 0.57 者。在一單位半徑之球面上，有 12 根磁力管，每管之面積為一平
方厘米，其餘 0.57 管，則破裂 0.57 平方厘米之面積。在空氣或真空內，感應管 (Tube
of Induction) 與磁力管相符合。

第 6.8 圖表示球面之一部份，其半徑為一厘米，每平方厘米之球面面積，有一線穿過，每線皆由單位磁北極發出。因此，強度為 m 個單位之磁極，其發出之磁力線數為 $4\pi m$ 。此所以 4π 一項，常見於磁之公式也。

【例題 6.4】一強度為 400 單位之磁極，置於半徑為 3 厘米之球體中心，求球面面積上之磁通密度。若將一強度為 10 單位之磁極，置於該球面上，則所受之力為若干？

【解】自球體中心磁極發出之力線總數 = $400 \times 4\pi = 5,027$ 線。

球面之面積 = $4\pi r^2 = 4\pi \times 9 = 113.1$ 平方厘米，

磁通密度 = $5,027 \div 113.1 = 44.4$ 奧斯。

施於球面上 10 單位磁極之力 = $44.4 \times 10 = 444$ 達因。(答)

為核對起見，應用平方反比之定律(第 6-3 節，第 6.1 式)，

$$f = \frac{mm'}{r^2} = \frac{400 \times 10}{3^2} = 444 \text{ 達因。} \quad (\text{核})$$

6-14. 羅盤針——羅盤(Compass)構造之主體，為一永久磁化之鋼針或小條，經精密校準而平衡支持於一尖銳支點上。其指北之端曰北極，或指北極，其指南之端曰南極，或指南極。針之北極，通常塗以藍色，或加以顯著之標誌。除少數用於講授方面之表演者外，一般羅盤針皆置於不透氣之盒內，以防損壞。航海用羅盤傾裝於雙環架上，庶得保持水平。在鋼甲船艦上，常須置重磁球於羅盤

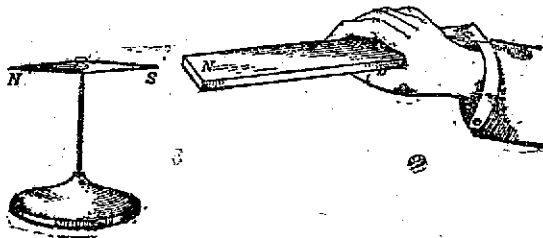


圖 6.9 羅盤針與條形磁鐵

附近，俾中和因船艦本身所致之磁性效應，使不致受其影響。

據根同極相斥，異極相引之定律，利用羅盤針，可判斷磁鐵之極性。羅盤針之南極，指向磁鐵之北極，如第 6.9 圖所示。依同理，羅盤針之北極，指向磁鐵之南極。羅盤針之用途甚廣，凡電動機與發電機各磁極之極性，均可以之決定，即如激發錄卷之接法，正確與否，亦可以之校驗。

再者，羅盤針恆有使其本身沿其所在磁場方向而位置之趨勢。針之北極，指向磁力線之方向，第 6.10 圖可資說明。置一小羅盤針於一磁體附近各點，就其所指方向，畫一箭頭與之

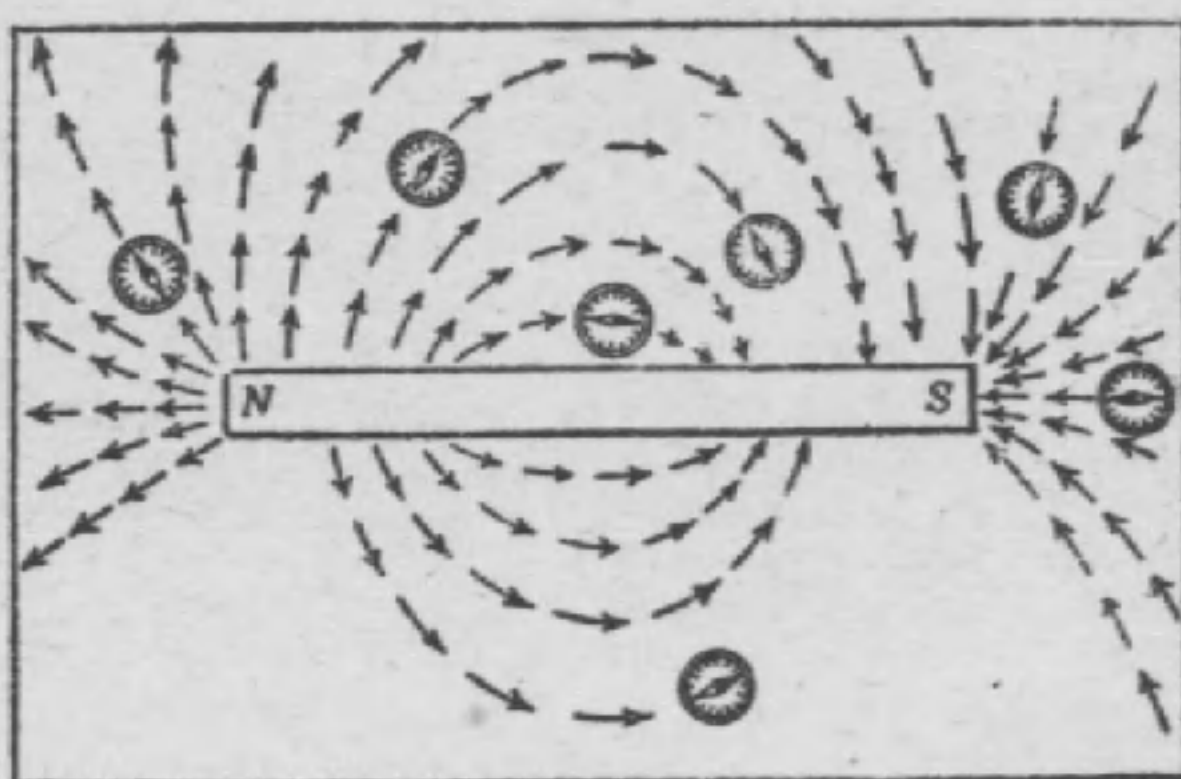


圖 6.10 用羅盤針探索條形磁鐵附近之磁場

同向，則磁體附近之磁場形像，可以逐漸描出。然用此法以描繪磁場時，地磁對於羅盤之影響，亦須計及。

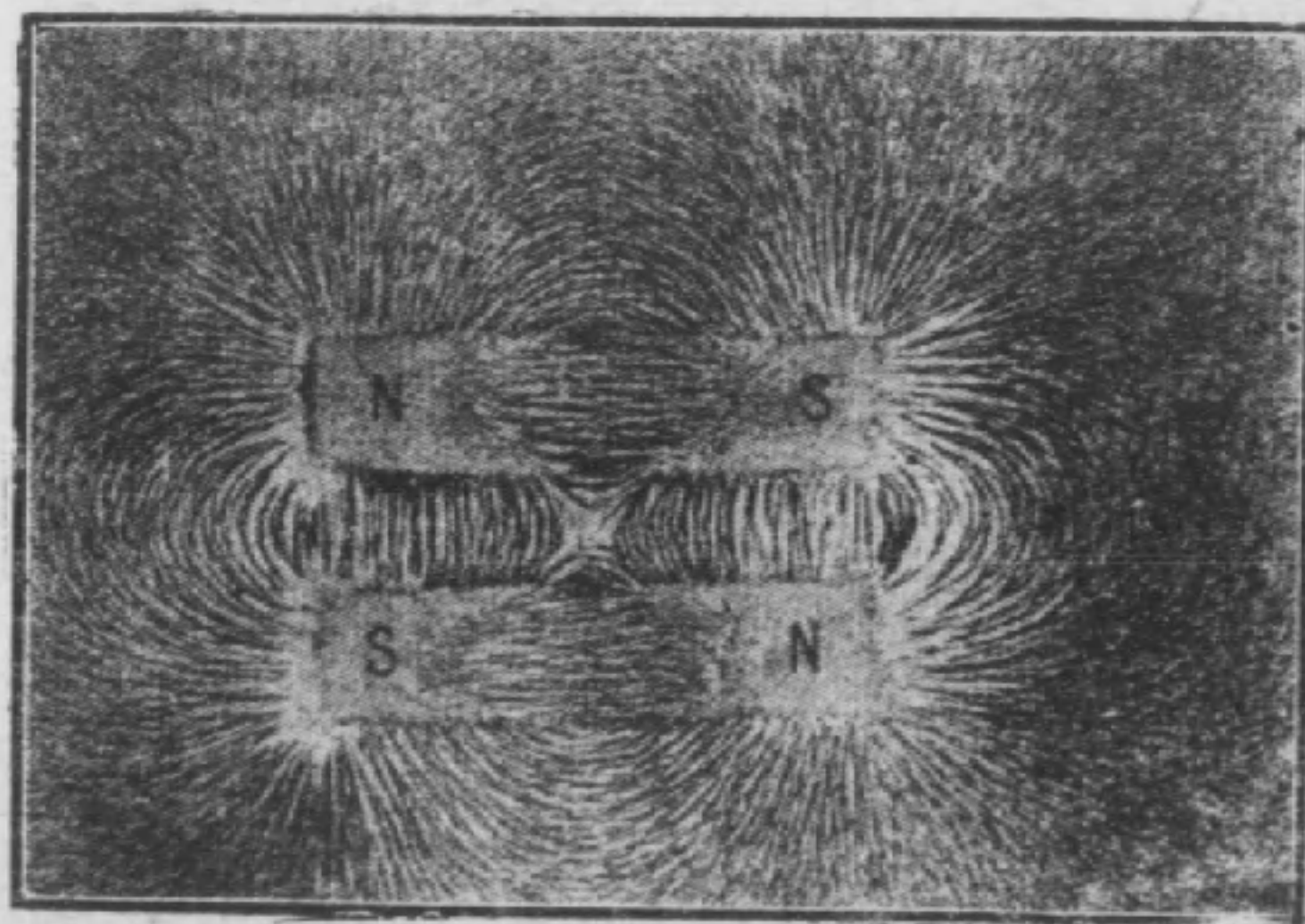


圖 6.11 異極相鄰之磁圖

6—15. 磁圖——在一磁鐵上置一紙卡，而以鐵屑散佈其上，即可得一磁圖(Magnetic figure)。鐵屑均各自安排，使與該點磁力線之方向同向，故所成之圖殊足以詳示磁場之性質。將兩根條形磁鐵

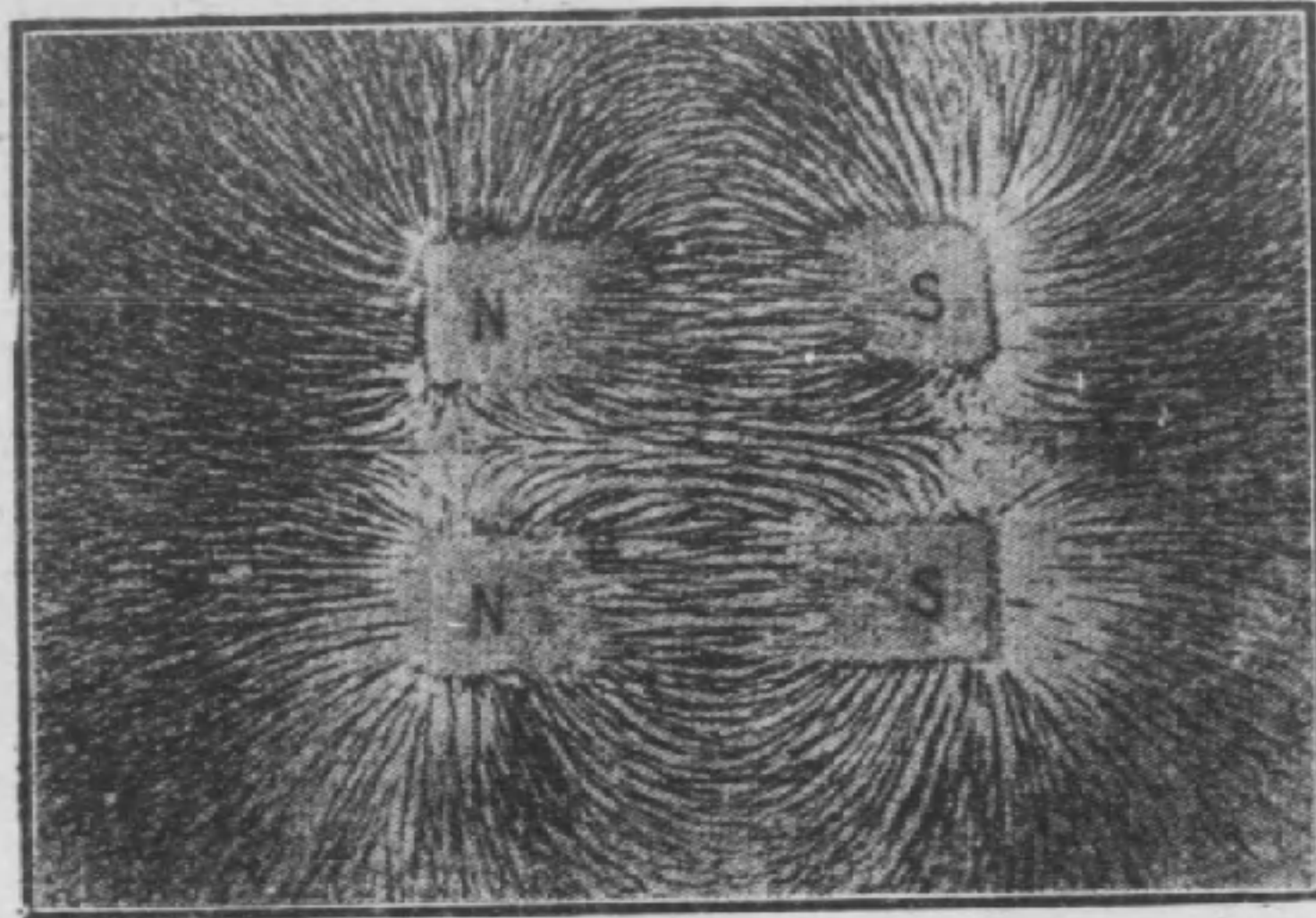


圖 6.12 同極相鄰之磁圖

鐵平行安置，以其異極相鄰，所成磁場如第 6.11 圖。若將此二磁鐵，位置不動，但以其同極相鄰，則所成磁場，有如第 6.12 圖。就第

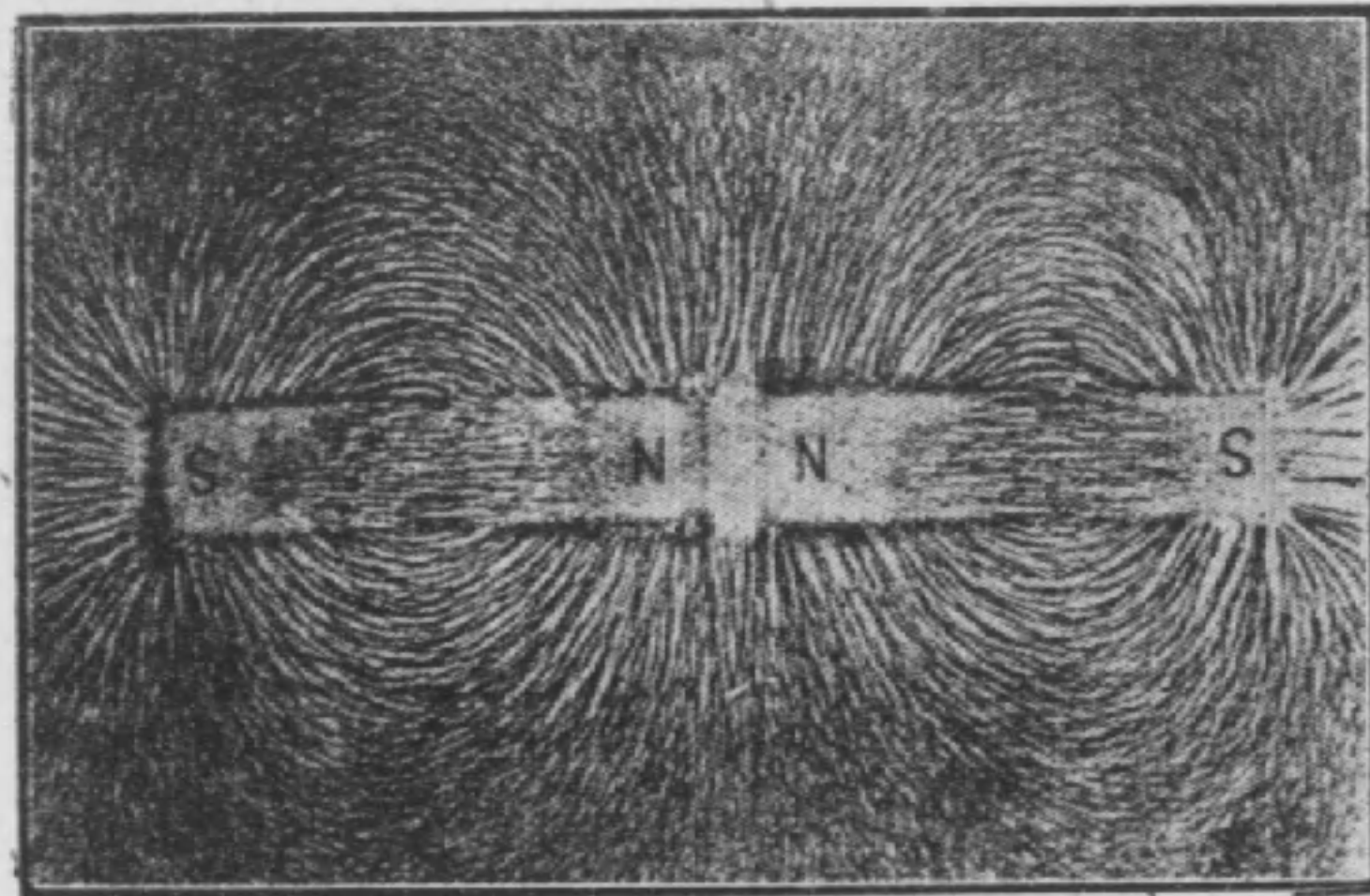


圖 6.13 相同北極相鄰之磁圖

6.11 圖觀之，所有力線，有如若干韌性帶，緊張於兩相鄰之異極之間，似若欲將此兩極拉近者。但就第 6.12 圖觀之，兩鄰極間之力

線，極似欲彼此互相推遠者，蓋示此兩極間有斥力存在也。第 6.13 圖則示以其兩北極相鄰之二磁鐵置於一直線上所成之磁場。

6—16. 磁感應——取一磁鐵，持近一未經磁化之軟鐵，則後者亦被磁化，此之謂感應得磁(Magnetized by induction)，倘持近者為磁鐵之北極，則軟鐵上最近磁鐵之端，即感應而生南極。倘持近者為磁鐵之南極，則感應而生北極，如第 6.14 圖(甲)。

其南極所以能感應而生北極，北極感應而生南極之理，可於第 6.14 圖(乙)內瞻之。因鐵較空氣易使感應線穿過，故自磁鐵北極所發出之磁力線，乃集中於軟鐵內。其感應線進入軟鐵之端，必為與磁鐵北極最近之端，其路最短，於是該端有南極形成。且感應線係連續的，進入軟鐵後，必離去軟鐵，其所經由離去之端，當為距磁鐵北極最遠之端。因感應線自該端離去，故有北極形成。

磁鐵上之感北極(Inducing N-pole)吸引軟鐵之應南極(Induced S-pole)，而排斥其應北極。但應南極距感北極較近，故就二鐵而論，係磁鐵吸引軟鐵。

又有可注意者，即往往以一較弱北極持近一強北極，二者之間，雖預期其相排斥，而結果竟相吸引。此一現象對於磁極之引斥定律，並無衝突。乃因較弱之北極上受強北極之感應，而生應南極，其強度超過原有北極之強度，故仍被吸引。據是理，若緊握羅盤針

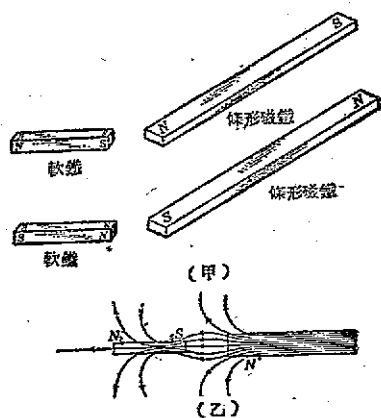


圖 6.14 感應磁極

之一端，以近一甚強之磁鐵，若該端原有極性與所近磁鐵一端之極性相同，結果該端得相反之極性，因此可使羅盤針之極性逆轉。

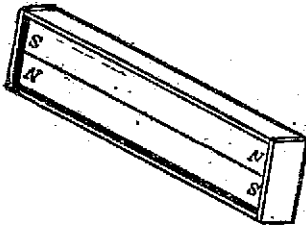


圖 6.15 安置條形磁鐵之適當方法

同理，兩條形磁鐵，如須置於一盒中，相鄰之端，必須為異極，如第 6.15 圖所示者。此較之以同極相鄰者，易於久保其磁性。蹄形磁鐵 (Horse-shoe magnet) 在不應用時，須以一軟鐵質之衝鐵 (Keeper) 跨置於兩極之間，亦所以防磁性之

消失者。

6-17. 磁場定律——任何磁場恆欲適合其自身，以獲得最大之磁通量。此一定律，更可資為磁鐵吸錫之解釋。因鐵具有較空氣能令感應線通過之本能，故鐵被引近磁鐵，使感應線利用之為回路之一部，此可於第 6.19 圖中之蹄形磁鐵見之。圖中所示小塊衝鐵 (Armature) 為磁鐵之兩極所引近，則經過空氣之磁通路徑因而縮短，感應線之數目，因以增加，迨衝鐵與兩極相面相接觸，磁通量為最大。

6-18. 平行磁化表面間之力——試就具有相等之面積，而以 d 厘米空氣隙相間隔之兩平行面異性磁極觀之 (見第 6.16 圖)。其每磁極面之面積為 A 平方厘米，而磁性均勻分佈於極面上，令每極面上每平方厘米之單位磁極數為 σ 。若空氣隙之長度甚小於磁極之長及闊，則兩極間之磁力線，除在磁極邊緣之極少數者外，餘

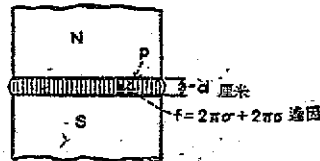


圖 6.16 平行磁化表面間之引力

皆直而平行，且均勻分佈。若每單位磁極有 4π 磁力線發出，則空氣隙內之磁通密度為每平方厘米 $4\pi\sigma$ 線，即 $4\pi\sigma$ 皋斯。（見第 6—13 節）。

若以一單位磁極置於空氣隙內，因磁場強度為 H ，故所受之力為 H 達因（見第 6—12 節）。再因磁通密度為 $4\pi\sigma$ 線/平方厘米， H 必等於 $4\pi\sigma$ 奧斯特，或 $4\pi\sigma$ 達因/單位磁極。由於空氣隙內各處之磁場強度為均勻的，故所受之力，不因此單位磁極所佔之位置而異（在邊緣者除外）。力之半即 $2\pi\sigma$ 達因，由於北極之排斥，其另一半之 $2\pi\sigma$ 達因，則由於南極之吸引。

今設想置此單位磁極於北極之表面上，則南極以 $2\pi\sigma$ 達因吸引之。因北極上每平方厘米有 σ 個單位磁極，故此北極每平方厘米所受之引力為 $2\pi\sigma^2$ 達因，而南極所施於北極之總力為

$$f = 2\pi\sigma^2 A \quad \text{達因。} \quad (6.3)$$

因磁通密度 $B = H = 4\pi\sigma$ （以數值論），

$$f = 2\pi\sigma^2 A = \frac{B^2 A}{8\pi} \quad \text{達因。} \quad (6.4)$$

在該式內之 B 以皋斯，即每平方厘米之線數計者。因 981 達因等於一克，若 B 以每平方厘米之仟線計，則此力為

$$f = \frac{B^2 A}{24.64} \quad \text{仟克。} \quad (6.5)$$

若 B 以每平方吋之線數計， A 以方吋計，則

$$f = \frac{B^2 A}{72,130,000} \quad \text{磅。} \quad (6.6)$$

【例題 6.5】一螺管線卷之鐵芯，其直徑為 2 吋，而有磁通量 200,000 線均勻的穿過芯之末端，至一面積與之相等之銜鐵，問芯與銜鐵間之引力為若干？

【解】 $A = \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 3.14$ 方吋，

$$B = \frac{200,000}{3.14} = 63,800 \text{ 線/方吋。}$$

$$f = \frac{63,800^2 \times 3.14}{72,130,000} = 177 \text{ 磅。} \quad (\text{答})$$

在條形磁鐵中心處之空氣隙內，其磁通密度為 $4\pi\sigma$ ，實根據由磁鐵末端之每極有 $4\pi m$ 線發出之事實。假定磁極之截面積為 1 平方厘米，則 $m = \sigma$ ，在磁鐵末端每極發出之磁力線總數為 $4\pi m = 4\pi\sigma$ ，所有之力線，皆穿過磁極之中心區域。因此在磁鐵中心區甚短之橫斷空氣隙內，其磁通密度必為 $B = 4\pi\sigma$ 線/平方厘米無疑。

6—19. 永久磁鐵之材料——苟熟稔永久磁性與磁滯之關係（見第 8—13 節），則用作永久磁鐵材料之磁性，自易明瞭。一優良之永久磁鐵，不但在單獨放置時，保持其磁性而勿失，且在與空氣隙，極塊 (Pole piece) 及其他磁路部份相連合時，亦能保持之。在一鐵片被磁化遠超過其飽和點後，將磁化力減低為零，其所餘之剩磁 (Residual magnetism)，謂之頑磁性 (Remanence)。鉗鉗鋼合金之剩磁，見第 6.17 圖之縱坐標 oa 。欲使其磁性完全消失，必須施以相反之磁化力，謂之矯頑磁力 (Coercive force)，如第 6.17 圖之橫坐標 ob ，此矯頑磁力又常稱為留磁性 (Retentivity)，以永久

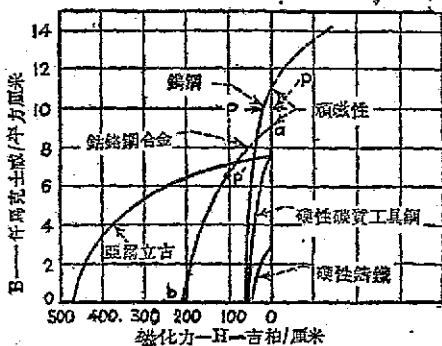


圖 6.17 永久磁鐵材料之特性曲線

磁鐵言，其頑磁性及矯頑磁力，皆須甚高。

在磁性材料所構成之磁路內，即在一閉合之磁路內，如有空氣隙及非磁性物質存在，則頑磁性即表示其在移去磁化力後所存在之磁通密度。

不過在利用任何磁鐵之磁通時，皆不免有一空氣隙。因此必須有一種磁化力，使磁通得以穿過空氣隙，其效應相當於一種去磁力，加諸磁鐵之身。鎢鋼之此種去磁力，見第 6.17 圖之 Pp ，故在有空氣隙時，鎢鋼運用於其磁化曲線之 P 點上。所應注意者，用此類材料，略增其空氣隙，即等於增加其去磁力，使其磁通密度減低甚多。若有甚長之空氣隙，則磁鐵之磁性幾近全失。是以鎢鋼宜用於有最短空氣隙之磁鐵，而不得以大量之軟鐵介入於其磁路內。

鎢鎳鋼合金之特性，其頑磁性雖遜於鎢鋼，但其矯頑磁力則較強。在一般之運用情形時，如在第 6.17 圖中之 p' 點，則磁鐵異常穩定。且此合金極宜用於有長空氣隙之磁路內，蓋增其去磁力，僅微減其磁通密度而已。

最近美國奇異電器公司 (G. E. Co., 即 General Electric Company) 發明一種鎢、鐵、鎳、鈷製成之合金，商名「亞爾立克」⁽¹⁾ 其矯頑磁力，2½ 倍於鎢鎳鋼，其特性曲線亦見第 6.17 圖。另一磁性合金由鎢鎳合成者，名「亞爾立克」(Alnic)，其甚高之矯頑磁力，使之在永久磁鐵之應用上，有極高之價值。

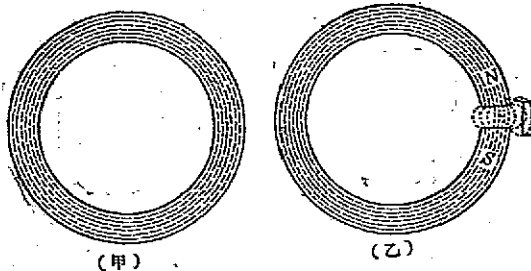
在第 6.17 圖中之 $Oabo$ 面積 (由鎢鎳鋼所示者)，與此磁性物質每單位體積之能量成比例 (見第 8—14 節)，而此面積實為判別永久磁鐵材料之最佳標範。

在第 6.17 圖中，亦顯示硬性鎢鋼及碳質工具鋼之特性，兩者皆遠遜於鎢鋼及鎢鎳鋼合金。⁽²⁾

(1) R. F. Edgar 作 "Permanent Magnet", 載 Gen. Elec. Review 1935 年十一月號第 466 頁。

(2) 詳細之討論，見 J. Ferdinand Kayser 作 "Cobalt Steels for Permanent Magnets" 載 "Engineers" 雜誌，1923 年 Jan. 19 及 1923 年 Jan. 26 兩期，又 John Walter Esterline 著 "Permanent Magnets" 由 Esterline Company, Indianapolis, Ind. 出版。

6—20. 永久磁鐵之形式——簡單之條形磁鐵，殊不合用，良以用同量材料製成其他形式之磁鐵，其效力遠過之，而構造更可堅固也。第 6.18 圖(甲)示一閉口之環形磁鐵，所有磁通均包含於環內，無效應達於環外，故亦不合用。然若在環上開一空氣隙，如第 6.18 圖(乙)者，則環之磁通，可資利用，兩磁極間之磁場甚強。小型之環形磁鐵多用於量電儀器內。



閉合之環

圓形儀器用磁鐵之磁場

圖 6.18 環形磁鐵

蹄形磁鐵(見第 6.19 圖)，用途甚廣，其故有二。因兩磁極距離甚近，有較強之磁場存在於其間。加以其本身之磁路甚長，其由磁

極所生之去磁效應(見第 6—10 節)，因以減低。若磁鐵之作用，在吸引銜鐵者，則兩極同樣有效。第 5.9 圖中之蹄形磁鐵，係用於銜剪吞儀器者，亦可用於久磁發電機(Magneto 見第 6.23 圖)內。

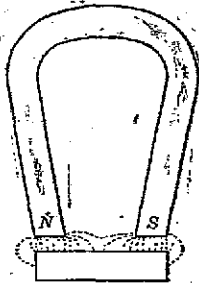


圖 6.19 蹄形磁鐵吸引一軟鐵銜鐵

第 6.20 圖示直條之鉛鋼永久磁鐵，應用於量電儀器者(見第 6—19 節)，此種排列方式，僅能用於以矯頑磁力甚高之材料所製成之磁鐵。(其理由可參看第 6—19 節及 6.17 圖)

第 6.21 圖示一種具有極短空氣隙之蹄形磁鐵，用以阻尼瓦時計中之電樞者，(見第 5—30 節)。小型之蹄形磁鐵亦用於電話接收器，即所謂電話聽筒者 (Telephone receiver)。

6—21. 疊片磁鐵——薄片鋼質磁鐵之磁性，較之同量厚片，遠為強大。因當鋼在淬煉 (quenching) 時，薄片之硬化，較厚片為均勻。因此用同量之材料，由薄片 (Laminations) 疊成之磁鐵(見第 6.22 圖)，較用整塊製成者，其強度遠勝，而更能永保其磁性。

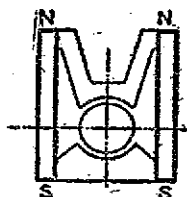


圖 6.20 直條鋼磁鐵應用於電話儀器



圖 6.12 典型的瓦時計用磁鐵

第 6.23 圖示普通電話機 (Telephone set) 及內燃機發火設備所用久磁發電機中之疊片磁鐵 (Laminated magnet)，成



圖 6.22 疊片條形磁鐵

U 形。

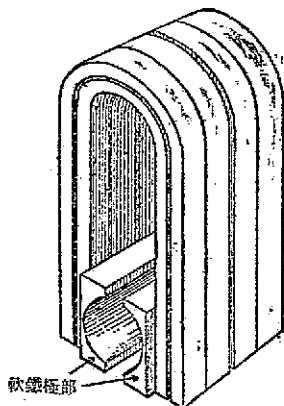


圖 6.23 用於久磁發電機之合組蹄形磁鐵

6—22. 磁化法——以一磁鐵與另一鐵或鋼塊相磨擦，則被磁化。其任何一點之極性，與接觸於該點之磁極相反。若以鐵塊之一端，與感磁鐵之北極相磨擦，則他端應與磁極之南極相磨擦。不過在商用方面，此法甚不經濟，故鮮有採用者。另一法係以欲磁化之物體，置於一電磁鐵之兩強磁極之間(見第 6.24 圖)。在被磁化後，即自電磁鐵移去，應即以

衝鐵置於被磁化之磁極上。

通常磁化瓦時計內磁鐵之法，係以多數磁鐵，架於能載強電流

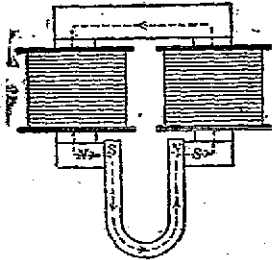


圖 6.24 以電磁鐵使一蹄形磁鐵磁化

之銅導體上，如第 6.25 圖所示者，該圖內僅示一個磁鐵，以強電流通過銅導體，則其磁化力線之方向（如虛線所示者），穿過磁鐵，使之得磁。此法甚為便利，且同時可使甚多之磁鐵得磁。若插一磁鐵於適當激發錄卷（Exciting coil）之中軸，而以強電流通過此錄卷，亦為磁化之一法。以低電阻導線捲於磁鐵之周圍，與蓄電池相串聯，將開

關關合片刻，則有甚大之電流通過錄卷，其關合之時間，以不傷害蓄電池為度。雖電流持續之時間甚暫，而電流甚強，足可使磁鐵得甚強之磁性。

6—23. 人工陳老法——以永久磁鐵，施以淬煉，使其物理組織變化，則其磁性亦隨之變化，或許經數星期始達穩定狀態。用於電學儀器內之永久磁鐵，皆以能保持其磁性而不變為尚，故應於短時期內，施以人工陳老法（Artificial aging），使之達穩定狀態，而不失磁。

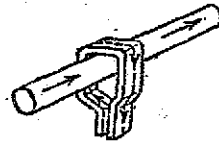


圖 6.25 用簡單載流導線之磁化法

人工陳老之法甚多，有浸磁鐵於 120°C 之油類中一小時者，有施以 100°C 之熱度，持續至 24 至 40 小時者。在淬製時，常使之受機械之震動。有若干製造廠家，施以暫微之去磁力，然後輪流磁化之與使之去磁。此法雖足減低其剩磁百分之二十，但能使之保持永久磁性於不衰。

6—24. 磁屏蔽——世界上無對磁通有絕緣效應之物質，以玻

斷，紙，木，銅或其他非磁性物質，置於一磁場內，並不能使磁場或鐵之吸引力，有何顯著之變化，可見磁通仍可穿過也。在作電與磁之量度時，電流計及電學儀器，往往受地球磁場，及其他因發電機，荷電導體所生雜散磁場之影響，非加以屏蔽(Shield)不可。磁通既不能加以隔斷，屏蔽之方，惟有單一鐵殼於儀器之周圍，如第 6.26 圖所示者，俾雜散磁通經鐵殼穿過若旁路，不致作用於儀器之靈敏部份。殼之開口愈小，則屏蔽愈有效。或以三個至四個鐵

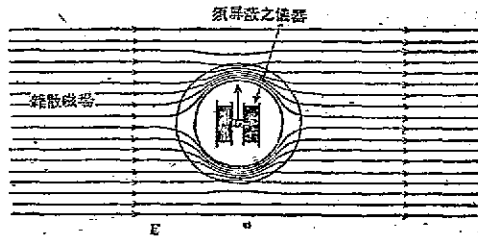


圖 6.26 磁屏蔽

殼，內外套置。中間隔以空氣隙，其屏蔽作用，較諸用相等厚度之單鐵殼，更為完美。惟因結構雜複，故僅用於屏蔽極靈敏之電流計。

雖然，採用此種屏蔽，因仍有小部之磁通，穿過空間，究難得絕對完美之屏蔽。不過此殼足可減少雜散磁場至最低程度，可以略而不計。

6—25. 地磁——地球之磁場(簡稱地磁 Earth magnetism), 似若由一置於地球中龐大條形磁鐵所產生者，其兩極與地理上之兩極相距非遙。地球之磁北極(相當於普通磁鐵之南極)，位於鮑錫亞飛立克斯(Boothia Felix)地方，距地理之北極約 1,000 哩。若懸羅盤針於此地帶，則該針即直立。地球磁南極之精確所在地，迄未測定，然由實驗觀察，似有兩處可能。因磁之極與地理之極不相符合，且地面有磁性物質存在，故羅盤針之能指真正之北方者，在地面上不過數處而已。其羅盤針所指南北方向，較真正南北方向偏差之角，謂之該地之磁偏角 (Magnetic declination)，地磁圖所

示者，即地球各處磁偏角之情形，在紐約，此值約爲偏西 9 度。在南京，上海，約爲偏西 2 度半。即在同一地點，此值亦復年年變動，曰歲磁變 (Annual variation)。此種長期磁變，應保存精密之紀錄，便天文、航海及測量方面之量度結果，得隨時加以改正。羅盤針位置既年年變動，但每日亦有變動，是爲日磁變 (Daily variation)。

一自由懸盪而平衡支持之羅盤針，如僅在地磁之影響下，並不採與地面相平行之位置，而與水平保持相當之角度。此角稱爲針之磁傾角 (Dip of the needle)。在紐約其值約爲北傾 70 度，在南京，上海約爲北傾 46 度。傾角亦具有與偏角相同之磁變。地球之磁場強度(總值，非水平值)，在紐約約爲 0.61 厘米克秒制單位，在南京，上海約爲 0.47 厘米克秒制單位，此值亦復隨時微有變動。

第七章

電磁

7-1. 導體周圍之磁場——電與磁間，久有人猜測其必有相當關係者，直至 1819 年奧斯特氏始確定之。

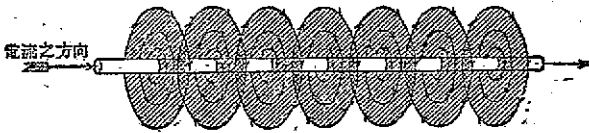


圖 7.1 一直導體周圍之磁場

以一羅盤針持近一載有電流之導體，則該針偏轉，足證其有磁場存在，而磁針常佔垂直於電流方向之位置。若以針持近導體之上部，其所指方向，適與持近導體下部者相反。若加以精密之考察，假定鄰近無其他磁場，則此磁場內之磁力線，常成一圓圈如第 7.1 圖，7.2 圖及 7.3 圖所示者。此種圓

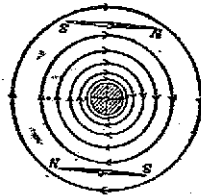


圖 7.2 圍繞一圓柱形導體之磁力線——電流向內

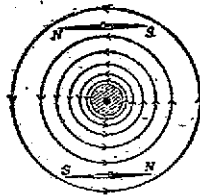


圖 7.3 圍繞一圓柱形導體之磁力線——電流向外

圈之圓心在導體之軸上，其平面則與導體相垂直。此點可解釋何以羅盤針在導體上偏轉之方向，較在其下者相反，分見第 7.2 圖及第 7.3 圖。若將導體內之電流反向，則羅盤針偏轉之方向亦反，足證磁

場方向，實以電流方向為依歸。⁽¹⁾

第 7.4 圖示一實驗，用以證明電流與磁場中心軸之關係者，以一載有電流之導體，垂直穿過一水平安放之硬紙卡，以鐵屑散佈於

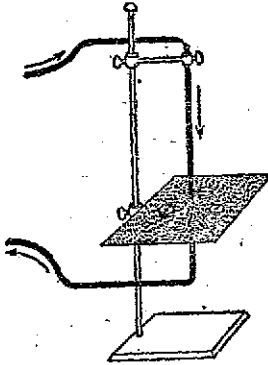


圖 7.4 圍繞導體之磁場之探索

紙上，則鐵屑排成若干同心圓。(欲清晰觀察此現象，所需電流約為 100 安。)若將四個或再多之羅盤針排列於紙上，如該圖所示者，則由每針之偏轉可確定磁力線之方向，並證實磁通皆為以導體為中心之圓圈。

7-2. 磁場方向與電流方向之關係——一個載有電流之導體，其周圍之磁場方向，與所載電流之方向，有一定之關係，可藉下述二簡單定則記憶之。

手定則一握導體於右手，伸直拇指指電流之方向，則四指皆指磁場中力線之方向(見第 7.5 圖。)

螺旋定則一電流方向與所生磁場方向之關係，可以右旋螺旋定之，若欲使一右旋螺旋沿電流之方向前進，則須沿磁力線之方向旋轉之。

第二定則，最為通用而易於記憶。不過用此定則，常得磁力線為螺旋形之印象，應予校正。因實際上磁力線

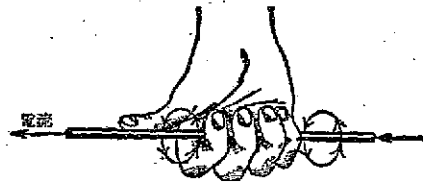


圖 7.5 右手定則之表演

(1) 在以上各圖內，小圓示導體之該面。圓內畫一叉如 ⊗，代表箭之羽毛端，表示電流背讀者流入紙中。圓內加一點如 ⊙ 代表箭之尖端，表示電流由紙中向讀者流出。

皆在垂直於導體之平面內也。

7-3. 兩平行導體間之磁場——若兩平行導體皆載電流，而方向相同，則兩導體有互相吸引之趨勢。觀第 7.6 圖，其理甚顯。因每導體所載電流方向相同，依螺旋定則，每導體周圍之磁力線之方向亦同，而綜合磁場似若一韌性帶包圍此二導體，欲將其拉近者。此點亦可以第 6—17 節之定律解釋之，因磁場恆有適合其本身，使所獲得之磁力線數為最大之趨勢。故兩導體互相拉近，使磁力線所經之路 *abcd* 為最短。但每導體之磁場仍為圓形，而總磁場不再為圓，見第 7.6 圖。

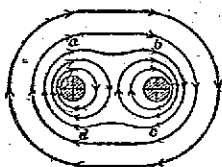


圖 7.6 兩平行導體周圍之磁場——電流方向相同

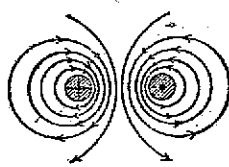


圖 7.7 兩平行導體周圍之磁場——電流方向相反

第 7.7 圖示載有異向電流兩導體之磁場。磁力線仍為圓，但不復為同心圓，不復以導體為軸心。在導體間之磁力線被擠緊，而兩導體有互相排斥，使相遠離之趨勢。若兩導體相離，則磁通所經之面積擴大，此點亦與磁場之定律相符合。

由上所述，可得下列二規則：

載有同向電流之導體，欲相引近；載有異向電流之導體，欲相趨遠。

所有電路，恆欲佔一位置，使其電流相平行而方向相同。

此種效應，於近代強力輸電制度中，甚為顯著。匯流排常由其夾頭中扭曲，變壓器 (Transformer) 線卷或被拉離其原位，變壓器或被短路時所生之過量電流所毀，皆導體間磁場相互之力為之。

也。

7-4. 畢奧特—薩伐爾特定律與電流之磁場強度——畢奧特—薩伐爾特定律，規定電流與其所生磁場之關係。應用此定律，可

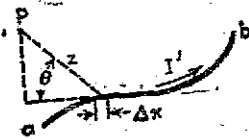


圖 7.8 畢奧特—薩伐爾特定律

計算電流與磁場間相互作用之力。在第 7.8 圖中，若 I' 為 ab 導體上之電流，以電磁制安計之，(abampere 簡書為電磁安，等於 10 實用安培，) 則其甚短之一段 Δx 所產生於 P 點之磁場強度為

$$\Delta H = \frac{I' \Delta x}{z^2} \sin \theta \quad \text{奧斯特。} \quad (7.1)$$

該式內之 z 為由 P 點至 Δx 之距離，以厘米計， θ 為 P 點至 Δx 之連接線與導體 Δx 所成之角。此磁場強度，即表示在 P 點一個單位磁極所受之力，以達因計者。

依(7.1)式之關係，可求出在距離一無限長導線 h 厘米(垂直距離)處 P 點，因該導線所載 I' 電磁安電流所生之磁場強度為

$$H = \frac{2I'}{h} \quad \text{奧斯特。} \quad (7.2)$$

上式可以下法證明之。在第 7.9 圖內，假定導線所載電流為 I' 電磁安，令以自 P 點所畫垂直線 h 與導線之交點為原點。則由第 7.1 式

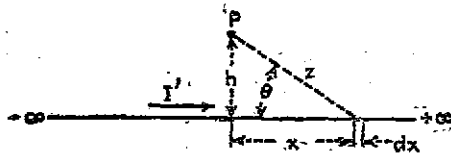


圖 7.9 一簡單導體內電流所產生之磁場強度

可知，在距原點正之距離 x 點之 dx 一段導線，其產生於 P 點之磁場強度為

$$df_P = \frac{I' dx}{z^2} \sin \theta. \quad (7)$$

(1) 東恩·拔普的斯特，畢奧特(Jean-Baptiste, Biot, 1774—1862)，為法籍物理學家，與拉普萊斯(La Place)同事研究。費立克斯·薩伐爾特(Savari, Felix, 1791—1841)為法國物理學家兼體育家。

欲求全線之磁場強度，應以該式對 x 積分之， z 及 $\sin \theta$ 皆化為 x 之函數如下：

$$z^2 = x^2 + h^2, \quad \sin \theta = \frac{h}{\sqrt{x^2 + h^2}}$$

若積分之極限，不用 $-\infty$ 至 $+\infty$ ，改用由 0 至 $+\infty$ ，可免積分手續之麻煩，不過其得數須乘以 2。

$$f = 2I'h \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + h^2)^{3/2}} = 2I'h \left[\frac{x}{h^2 \sqrt{x^2 + h^2}} \right]_0^{\infty} \quad (II)$$

第(II)式中分子，分母皆為 ∞ 時，不能求得其值，各以 x 除之，

$$f = \frac{2I'}{h} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{x^2}}} \right]_0^{\infty} \quad (III)$$

$$f = \frac{2I'}{h} \text{ 奧斯特。} \quad \text{Q.E.D.}$$

一個無限長導線，與一根長度為至 P 點距離之 30 至 40 倍之導線較，其所生磁場強度之區別甚小，可以不計。此磁場之方向與紙面相垂直。

若以在 P 點之一單位磁極，繞導線環行一匝，沿以 h 為半徑之圓週環行，則所作之功為

$$w = \left(\frac{2I'}{h} \right) 2\pi h = 4\pi I' \text{ 爾格。} \quad (7.3)$$

故此功與環行之半徑無關。由定義，第 7.3 式內之 w ，為載有 I' 電磁安電流之長導線之磁通勢(第 8-2 節)。

【例題 7.1】 60 安之電流，通過一直長導線，求：(甲) 在垂直距離 10 厘米處 P 點之磁場強度；(乙) 以一單位磁極繞該線環行一週所需之功；(丙) 在 P 點一個 60 單位磁極所受之力。

【解】 電流 $I' = 60$ 安 = 6 電磁安，

應用第(7.2)式， $H = \frac{2I'}{h} = \frac{2 \times 6}{10} = 1.2$ 奧斯特。 (答)

應用第(7.3)式， $w = 4\pi I' = 4\pi \times 6 = 75.4$ 爾格。 (答)

$f = mH = 60 \times 1.2 = 72$ 達因。 (答)

7-5. 單匝線卷之磁場——若以載流之導線，屈成環形，其所

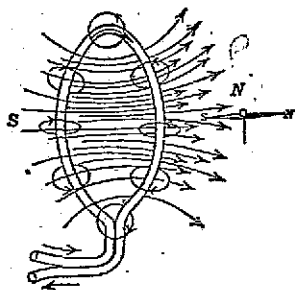


圖 7.10 單匝線卷所產生之磁場

生磁場，如第 7.10 圖。此磁場有北極及南極，具有與短條形磁鐵相同之性質。以一羅盤針置於此磁場內，則針之北極所指方向，與磁力線之方向同。

在與單匝線卷平面相垂直之線上之某點，其磁場強度亦可以畢奧特-薩伐爾特定律求之。第 7.11 圖示一個半徑為 R 厘米之單匝線卷，載有電流 I' 電磁安。在

圓心所畫垂直線 OP 之長為 h 厘米。試在圓上取甚短之圓弧，所對之角為 $d\theta$ ，其長度為 $Rd\theta$ 厘米。由此弧至 P 連接一線 Z ，與 OP 成一 β 角。因 $Rd\theta$ 弧所生之磁場強度，在 P 點為

$$df' = \frac{RId\theta}{Z^2} \quad (I)$$

其力之方向，與 Z 線相垂直，由矢量 Pa 表之。此矢量可分析為水平部份 Pc 及垂直向下部份 Pb 。若取整個圓週之影響，則其水平部份，完全抵消；僅有垂直部份，可將第 (I) 式乘以 $\sin \beta$ 或 R/Z 得之。故在 P 點之總力為

$$f = \int_0^{2\pi} \frac{2\pi R^2 I'}{Z^3} d\theta = \frac{2\pi R^2 I'}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \text{ 奧斯特。} \quad (7.4)$$

欲求在圓心 O 點之磁場強度，令 $h=0$ ，則

$$f_0 = \frac{2\pi I'}{R} \text{ 奧斯特。} \quad (7.5)$$

若線卷由 n 個閉合之環所構成，而此線卷之厚度甚小於其半徑，則

$$f_0 = \frac{2\pi n I'}{R} \text{ 奧斯特。} \quad (7.6)$$

在第 7.5 式中，若 I' 為一電磁安， R 為一厘米，則在線卷中心之磁場強度為 2π 奧斯特，此即安培之定義。（見第 2-1 節）。

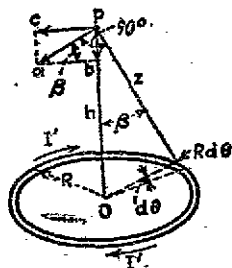


圖 7.11 單匝線卷所產生之磁場強度

【例題 7.2】 20 安培之電流，流經 25 匝之圓線卷，其半徑為 12 厘米，其厚度甚小於其半徑。求：(甲)在與其平面相垂直之線上，距線卷中心 16 厘米處，一單位磁極所受之力；(乙)施於圓心處一單位磁極之力。

【解】 (甲) 電流 $I = 20$ 安 = 2 電磁安，

由第 7.4 式，並加入 n 一項，則。

$$f = \frac{2\pi \times 12^2 \times 2 \times 25}{(12^2 + 16^2)^{3/2}} = 5.66 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

(乙)由第 7.6 式，

$$f_0 = \frac{2\pi \times 25 \times 2}{12} = 26.2 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

7-6. 螺管線卷——以一導線，依某軸捲成螺旋形長筒者，則成螺管線卷(Solenoid, 簡稱螺管)。所有電磁鐵之作用，皆由螺管線卷而生，故對其性質之研究，實甚重要。以電流通過此線卷，則其磁場如第 7.12 圖所示。此線卷可認為由若干如第 7.10 圖之單匝圓線卷所組成者。在實用方面，有捲為數層，如第 7.15 圖所示者。

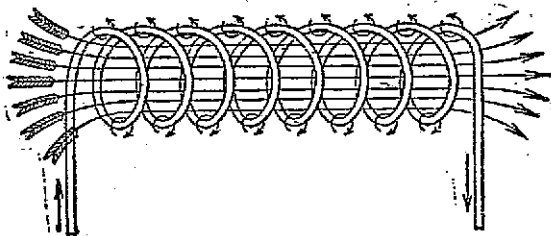


圖 7.12 螺管線卷所產生之磁場

線卷內磁通方向，與其電流方向之關係，亦可以手定則或螺旋定則定之。握線卷於右手，伸直拇指，若四指指電流之方向，則拇指即指線卷內磁力線之方向。另一簡單方法，見第 7.13 圖，該圖內 N 字及 S 字箭頭之方向，即電流之方向。面對線卷之末端，若該端為北極，即 N 極，其電流方向應為逆時針的 (Counter-clockwise)，

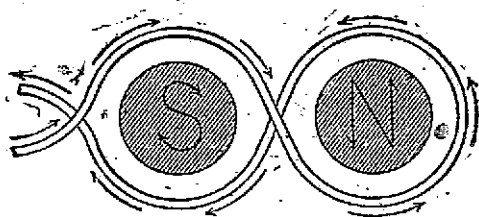


圖 7.13 激發電流方向與磁極之關係

如 *N* 字箭頭所示者。反之，若該端為南極，即 *S* 極，其電流方向為順時針的，(Clockwise) 如 *S* 字之箭頭所示者。

7-7. 長空心螺管線卷為之磁場強度——若長空心螺管線卷之尺寸及電流為已知，其穿過中心區之磁通，可以準確計算。故此項具有均勻截面積之長空心螺管，常用為計算磁通之標準。先求得一無限長螺管中心之磁場強度，然後取一長度約為其半徑 40 倍之長螺管，其中心之磁場強度，與無限長者，約略相同。

試觀察第 7.14 圖中之螺管線卷，每厘米長度有 n 匝，其平均半徑為 R 厘米，其電流為 I 電安。假定其為無限長者，並取圓圈之中心為原點。

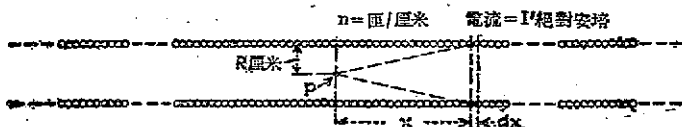


圖 7.14 在長螺管線卷中心之磁場強度

先在此線卷上距原點 x 厘米正之距離處，取厚度為 dx 之一段，其匝數為 ndx ，其厘米克秒單位之安培匝數為 $nI'dx$ 。此段線卷所產生於 P 點之磁場效應，完全與一單匝線卷所產生於其圓面之垂直線上之 P 點者相同。由第 7.4 式，則此段線卷所產生於 P 點之磁場強度為

$$\alpha A_p = \frac{2\pi R^2 I' n dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \text{ 奧斯特。} \quad (I)$$

整個線卷所產生於 P 點之總磁場強度，可將第 (I) 式對 x 積分得之，取極限由 0 至 $+\infty$ ，再乘以 2，以免取 $-\infty$ 至 $+\infty$ 時計算時之麻煩。以分子分母均除以 x ，然後以極限代入，有如第 7-4 節之算法，得

$$H_p = 4\pi n I' \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R}{x}\right)^2 + 1}} \right]_0^{\infty} = 4\pi n I' \text{ 奧斯特。} \quad (7.7)$$

若電流以 1 安培計之，則

$$H_p = 0.4\pi n I \text{ 奧斯特。} \quad (7.8)$$

若認線卷並非無限長，而長度 40 倍於其半徑，即 R/x 之比為 1/20，則

$$H_p = 4\pi n I' \left[\frac{1}{\sqrt{1/400 + 1}} \right] = 4\pi n I' \times 0.9987。$$

由此式所算得之磁場強度，與認為無限長時所算得之結果較，相差不過百分之一強。(用上述之螺管線卷作磁之量度，將於第 8—19 節見之)。

7—8. 商用螺管線卷與電磁鐵——以數匝線卷捲於一鐵芯上，通以電流，則成電磁鐵。其電磁作用，使鐵芯內產生磁通，與產生於空心線卷內者同。不過因鐵之磁導率大，故一定值之安培匝數所產生於鐵芯內之磁通，多於在空心線卷內者。

在實用方面，若断路器(Circuit breaker)之解扣(tripping)，(見第 14—14 節)，電動機自控啓動器(Automatic starter)接膏之推動(見第 13—16 節)，調壓器(Voltage regulator)之動作(見第 12—30 節，第 12—31 節)，電弧燈(Arc lamp)之饋電，及其他器具，無不利用電磁鐵者。有用候鐵活棒(Plunger)，有用軟鐵或軟鋼銜鐵，以獲得所需之曳引力。

用途最廣

之電磁鐵為螺管及活棒式者，其動作情形，如第 7.15 圖所示。螺管線卷所生之磁場使活棒上產

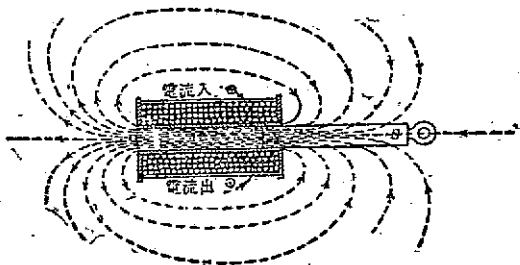


圖 7.15 簡單之螺管與活棒

生磁極，其近錄卷一端之磁極性，恆使其被迫沿磁力線而運動（見第6—11節），於是活棒被引入螺管內，至活棒之中心與螺管之中心相吻合為止，此即平衡之位置。

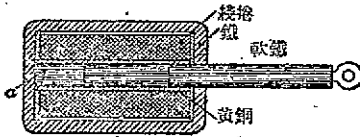


圖 7.16 有止樁之鐵鑄式螺管與活棒

第 7.16 圖，示一種常用於曳引工作之鐵鑄螺管 (Iron-clad solenoid)。此種鐵鑄，可增加均勻曳引力之範圍，並使近衝程之末段時，活棒所受之引力，得有顯著之增加。若加一止樁 (Stop)，則成一活樁式電磁鐵 (Plunger electromagnet)。螺管之磁性，亦因以變更，最大引力，發生於近止樁處。第 7.17 圖表示恩德爾歇爾氏 (C.R. Underhill) 所作螺管錄卷試驗之結果。此線 (a) 顯示如第 7.15 圖中單純螺管施於活棒之引力；此線 (b) 示一鐵鑄螺管無止樁裝置者之引力；此線 (c) 則顯示止樁對於引力之影響。由圖可知在應用鐵鑄及止樁時，皆使甚大引力，發生於衝程之末段。若將活棒末端製成圓錐形（見第 7.18 圖），則更大引力可於大部份之衝程內產生。因在第 7.17 圖中，通用之鐵鑄及

第 7.16 圖，示一種常用於曳引工作之鐵鑄螺管 (Iron-clad solenoid)。此種鐵鑄，可增加均勻曳引力之範圍，並使近衝程之末段時，活棒所受之引力，得有顯著之增加。若加一止樁 (Stop)，則成一活樁式電磁鐵 (Plunger electromagnet)。螺管之磁性，亦因以變更，最大引力，發生於近止樁處。第 7.17 圖表示恩德爾歇爾氏 (C.R. Underhill) 所作螺管錄卷試驗之結果。此線 (a) 顯示如第 7.15 圖中單純螺管施於活棒之引力；此線 (b) 示一鐵鑄螺管無止樁裝置者之引力；此線 (c) 則顯示止樁對於引力之影響。由圖可知在應用鐵鑄及止樁時，皆使甚大引力，發生於衝程之末段。若將活棒末端製成圓錐形（見第 7.18 圖），則更大引力可於大部份之衝程內產生。因在第 7.17 圖中，通用之鐵鑄及

種鐵鑄，可增加均勻曳引力之範圍，並使近衝程之末段時，活棒所受之引力，得有顯著之增加。若加一止樁 (Stop)，則成一活樁式電磁鐵 (Plunger electromagnet)。螺管之磁性，亦因以變更，最大引力，發生於近止樁處。第 7.17 圖表示恩德爾歇爾氏 (C.R. Underhill) 所作螺管錄卷試驗之結果。此線 (a) 顯示如第 7.15 圖中單純螺管施於活棒之引力；此線 (b) 示一鐵鑄螺管無止樁裝置者之引力；此線 (c) 則顯示止樁對於引力之影響。由圖可知在應用鐵鑄及止樁時，皆使甚大引力，發生於衝程之末段。若將活棒末端製成圓錐形（見第 7.18 圖），則更大引力可於大部份之衝程內產生。因在第 7.17 圖中，通用之鐵鑄及

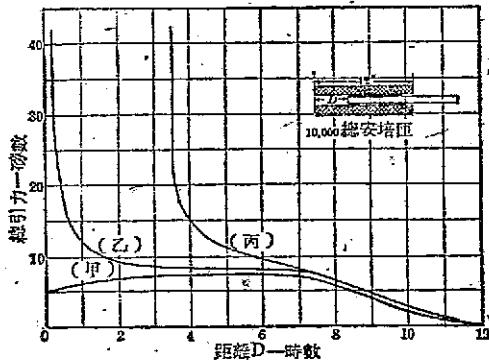


圖 7.17 螺管對於活棒之引力

於衝程之末段。若將活棒末端製成圓錐形（見第 7.18 圖），則更大引力可於大部份之衝程內產生。因在第 7.17 圖中，通用之鐵鑄及

(1)讀者可參閱電工工程準手冊第五節。“Standard Handbook for Electrical Engineers” Sec. 5.

止椿，除在衝程之末段外，對於引力並無若何效應。

活棒式電磁鐵之重要用途，在升降機 (Elevator) 及起重機 (Crane) 中之制動設備 (Braking, 俗稱煞車)。當升降用電動機之電源被移去，或因斷線及其他意外，致使電源中斷時，急須施以制動，停止其轉動。其制動之法，可於西屋電器製造公司 (Westinghouse Electric & Manufacturing Co.) 之磁性軛內 (Magnetic brake) 見之，(見第 7.19 圖)。由一棒推動一彈簧，使兩個軛掌 (Brake shoe) 壓於軛鼓 (Brake drum) 上，得制動效應，如圖所示，螺管及活棒在軛之上方。另有一種裝置，以螺管與活棒組合裝於軛之右方之匣內。若激發螺管線卷，則活棒運動，並將此運動傳達於軛，於是軛掌被推離軛鼓，同時將彈簧 *ss* 壓緊。若電源中斷，則螺管失磁，活棒下降，因彈簧之作用，而制動復施。因活棒之衝程甚短，其引力甚為可靠，故最適合於此等用途。在上述之磁性軛內，可採用如第 7.18 圖所示之圓錐形活棒者。

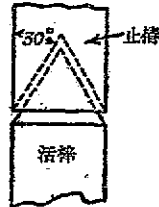


圖 7.18 錐形活棒與止椿

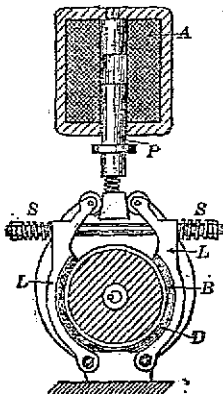


圖 7.19 磁性軛 (西屋電器公司製)

之上方。另有一種裝置，以螺管與活棒組合裝於軛之右方之匣內。若激發螺管線卷，則活棒運動，並將此運動傳達於軛，於是軛掌被推離軛鼓，同時將彈簧 *ss* 壓緊。若電源中斷，則螺管失磁，活棒下降，因彈簧之作用，而制動復施。因活棒之衝程甚短，其引力甚為可靠，故最適合於此等用途。在上述之磁性軛內，可採用如第 7.18 圖所示之圓錐形活棒者。

螺管與活棒間之動作原理，可以下述例題說明之。

【例題 7.3】 假定在螺管線卷 (見第 7.15 圖) 中心處之磁場強度為 2,000 奧斯特，活棒之一端在線卷之中心，其橫截面積為 6 平方厘米，應磁極強度為 1,920 單位。他端在磁場之外，求活棒所受之引力，以仟克計。

【解】 因磁場強度為 2,000 奧斯特，則該磁場施於活棒一端每單位磁極之力為 2,000 達因，故總力為

$$f = \frac{2,000 \times 1,020}{981 \times 1,000} = 3.92 \text{ 仟克。}$$

(答)

7-9. 起重磁鐵——起重磁鐵 (Lifting magnet), 常用於舉起各種形式之鐵或鋼。因不需要各種鏈條或繩索之屬懸繩重荷, 故

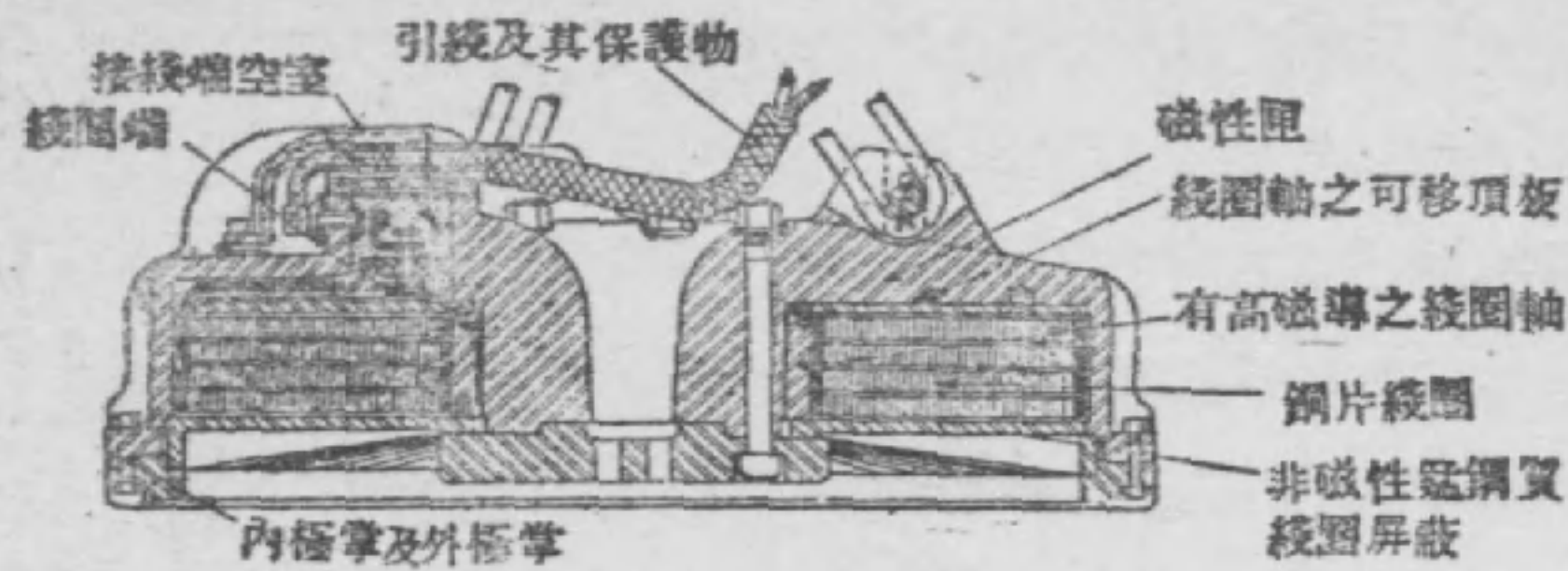


圖 7.20 克特費爾—韓姆爾起重磁鐵之橫截面

(圖中綫應作線, 綫圈應作線卷)

可節省人力及時間。在滾壓工廠內揀拾鋼球, 用起重磁鐵, 甚為便



圖 7.21 克特費爾—韓姆爾起重磁鐵
吊起重鐵塊之情形

捷, 不過熾熱之球, 失其磁性, 不能以磁鐵揀拾之。起重磁鐵, 亦應用於裝卸整損鐵軌, 而不致紊亂, 尤其欲處理大批細碎鐵塊如廢鐵之類者。其供獻於人力之節省者甚大, 否則非以人手逐塊揀拾不可矣。第 7.20 圖示一具克特費爾—韓姆爾 (Cutler-Hammer) 起重磁鐵之橫截面, 其實際工作情形見第 7.21 圖。

此類起重磁鐵多懸繫於繩索或鏈條, 由電動機或他種機器曳引之, 得以舉高。故舉重工作, 實由電動機或他種機器任

之，起重磁鐵，不過用為持握之工具而已。其持重力之公式見第 6—18 節。

7—10. 磁性分離器——電磁之另一用途，可於第 7.22 圖中之磁性分離器(Magnetic separator)中見之。此器可由礫，石及礫中採取鐵或銅，或由鑄製之砂中採取鋼球，或由金工廠之廢棄物中採取碎鐵等等。以此種物質傾注於以每秒運動 100 呎之無端運輸帶上，此帶轉過一磁性滑輪(Pulley)。其非磁性物質，經滑輪而瀉入一漏斗中，但磁性物質為滑輪所吸引，直至離開滑輪之引力範圍時，始墜落於另一漏斗中。以一同軸線卷捲於滑輪外圍，經匯流環(Slip-ring)導入電流，使之磁化。

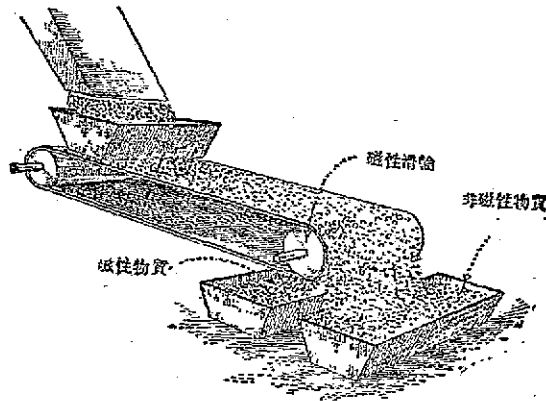


圖 7.22 磁性分離器

7—11. 軌上磁性軛——在電車鐵道制度中，久已有軌上磁性軛(Magnetic track brake)之採用，尤適於坡處甚大之處。美國奇異公司所製造之一種磁性軛，如第 7.23 圖所示。該圖中示一簡單電磁鐵，有兩個側片 A，及一鐵芯(Core) B 夾於其中，以長螺絲合釘之。此軛為捲於鐵芯 B 外之長螺絲線卷 C 所激發，使之磁化。其

軛掌 D 爲硬質不易磨損之鋼所製成，磁化後成相對之二磁極，可

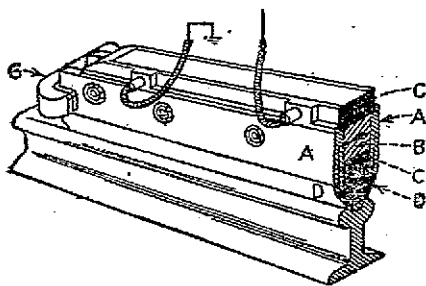


圖 7.23 軌上磁性軛

此導片又用以傳達制動力於車身。若線卷 C 被激發，則軛被吸引至鐵軌，而其磁性即供給所需之黏著力。其制動作用，可以調準激發線卷之串聯變阻器，而加以調節。若激發電流被中斷，則彈簧即將軛身拉回原位，離開軌面。

軌上磁性軛可供較大之制動面，較用輪上軛爲有效，尤以在甚滑之軌道爲最。因軛與軌間之力，由磁性所產生者，故當制動時，車輪上之重量，並未如用機械制動方法時之被減輕。再則車輪不致被壓扁，亦屬此種磁性軛之優點。

7-13. 電機之磁路
——電磁鐵最廣大之應用，莫若發電機及電動機內之磁路。最古而最簡之磁路，可以愛迪生雙極發

由側片中拆卸之或換裝一付，並無困難。圖中示軛掌正落於軌上時，磁通之路徑。

此種軛繫於彈簧上，其掌離開軌面約 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{8}$ 吋。整個軛身則沿導片 G 而滑動，

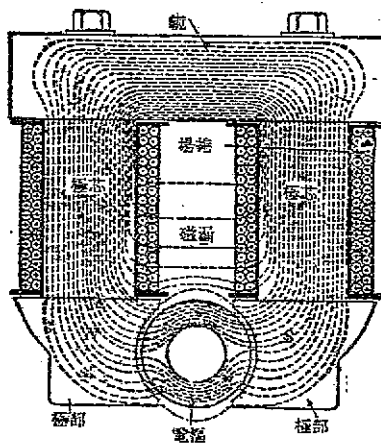


圖 7.24 愛迪生雙極發電機之場卷及其磁路

電機 (Edison bipolar generator) 爲例，如第 7.24 圖所示者。此種磁路，其橫截面甚小於其全長度，因而有甚多之磁漏 (Magnetic leakage)，磁通之經過電樞者 (Armature)，爲之減少，甚不經濟。再者，因磁通恆欲循最短之路徑，致使磁通擁擠於電樞之上半部，而換向感受困難。

新式雙極發電機之磁路，有如第 7.25 圖，其磁路各部皆相對稱，磁通平均分配於電樞之兩邊。在極掌 (Pole shoe) 之空氣隙較長，可以減少磁漏至最低限度。且磁通由極芯 (Pole core) 經過軛 (Yoke) 時，亦兩面均分，故軛之面積，僅需等於極芯之半。雙極式者，多用於小型直流發電機。

第 7.26 圖示一有八極之多極發電機之複雜磁路。其南極與北極，錯綜排列，磁極之磁通，經軛及電樞時，皆兩面均分，故軛之截面積僅需爲極芯之半。此圖與第 7.25 圖中之激發線卷皆置於近電樞處，可以減低磁漏，此點非愛迪生雙極發電機所可及者。第 7.27 圖示與

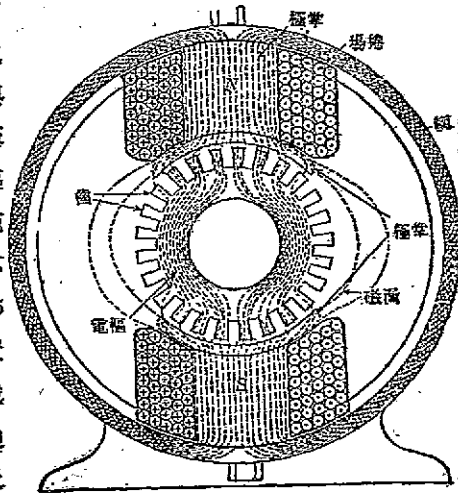


圖 7.25 新式雙極發電機之場卷與磁路

第 7.26 圖相同之發電機，不過以激發線卷置於軛上，其位置卽失當。磁通勢固仍作用於磁路者，惟因距電樞較遠，經軛之外部空間及極間空隙，亦有磁通，乃生大量之漏磁，其穿過電樞者，不過總磁

通之一部份而已。

磁漏雖不減低電機之功率效率，然而足以增加電機之重量及

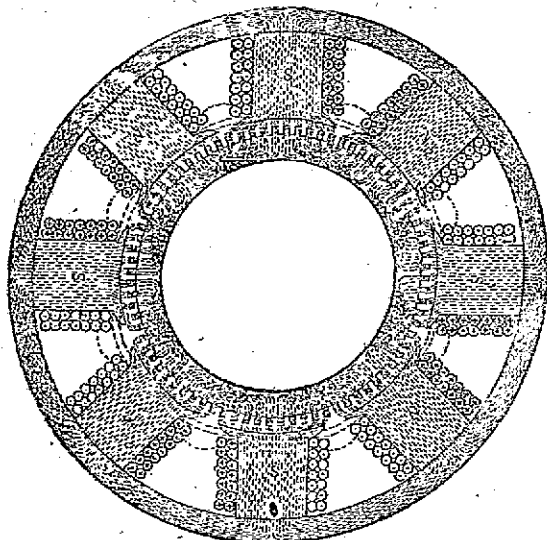


圖 7.26 多極發電機之磁路

價格。因穩定不變之磁通，代表儲蓄之功能，並不使功率有所損失，故亦毋需功率以維持之。在磁通已達穩定值後，其輸入於激發線卷

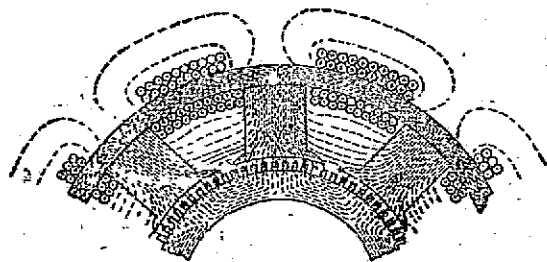


圖 7.27 位置失當之激發線卷所產生之漏磁

之功率，僅用以補償線卷本身之銅損失即 I^2R 損失。若磁滲已達穩定狀態，則並不損失任何功率，自不影響電機之效率。

不過漏磁通(Leakage flux)與有用磁通，皆經過軛與極芯。若僅有有用磁通穿過，其橫截面積必小於漏磁通亦同時穿過者。更有進者，因極芯之面積廣大，其外圍之線卷，所用銅線亦須加長。苟欲保持線卷之銅損失為原值，則銅線必須加粗，不得不用較多量之銅。是以磁滲雖不減低功率效率，然使電機加重，線卷所用銅線加長，製造之成本，勢必隨之增加。

第八章

磁路

8—1. 磁路——凡磁通所穿過之路徑，謂之磁路 (Magnetic circuit)，與電流所流經之電路相倣。其一般性格及特性，皆已於第六章及第七章內，詳論之矣。至於磁通與安培匝及磁路內性質之關係，尙未論及。苟磁路內之磁阻，與其連繫之安培匝爲已知，可應用類似由電阻及電壓以求電流之方法，而求其磁通。是則磁路與電路固相類似者，然二者亦有不同之點三，使作磁之計算時，不及作電之計算之準確。

電流皆認爲被約束於一固定之路徑內，如一根導線之類者。其周圍之空氣及絕緣支持物等，具有極高之電阻。其由導線漏出之電流，較之導線本身所載電流，微弱至可以不計。然以磁通言，即無若是之絕緣體。空氣即爲一優良之磁導體，是以無法約束磁通於固定之路徑內。即或在設計甚佳之電機內，其總磁通之百分之十五以至二十，常由空氣中漏過，而不能加以利用。此種漏磁之存在，可以一羅盤針檢察之，其強度足可使數呎外之錶，爲之磁化。

磁通之路徑，亦有異於電流路徑者。蓋磁通路徑，往往甚短而截面大，其幾何圖形亦甚複雜。於是在作磁之計算時，不得不作相當之路計，足以使所得結果，有顯著之差誤。以一具電機內之空氣隙而言，其電樞之齒及槽，與磁極面間之磁路部份，即異常複雜。惟有求其最近似而最可能之磁通分佈狀態，爲計算之根據而已。(見第 7.26 圖)。

在一般應用時，電路內導體之電阻，雖常因溫度變化，而有極小百分數之變動，但實際上可認為定量；即或欲計及溫度之效應，亦無困難。但磁路內之磁阻，則非定量，其變動之範圍極大。其值視該物質前此磁化之過程而異。若鐵內之磁通密度，係由低變高者，則其磁阻可增高 50 倍左右。

由上所述，可見作磁之計算時，不能獲得如作電之計算時同樣之準確度。然而學者苟明乎磁之關係，再加以相當之路計，其計算之結果，雖不十分準確，要亦足敷某種應用所需矣。

8-2. 磁之單位——茲將磁之單位及其定義分述於後：

(1) 安培匝——以線卷與磁路相連繫之匝數，乘以流經該匝數之電流安培數，則得作用於該磁^m之安培匝數 (Ampere-turns, 符號為 IN , 可簡稱安匝)。例如 10 安培之電流，通過 150 匝之線卷得 1,500 安匝。若以 15 安培電流，通過 100 匝之線卷，其結果亦同。

(2) 磁通勢——磁通勢 (Magnetomotive force, 簡書 $M.M.F.$) 有驅使磁通穿過一磁路之趨勢，一若電動勢之驅使電流通過電路者然。磁通勢與作用於該磁路內之安匝數成比例，在數值上僅差一因數 $0.4\pi = 1.257$ ，換言之， $F = 0.4\pi IN = 1.257IN$, F 為磁通勢之符號。

在厘米克秒單位制中，一磁路內之磁通勢，係移動一單位磁北極，經該磁路運行一週所需之功。

磁通勢之單位為「吉柏」(Gilbert, 簡稱為吉)，係以安匝數乘 1.257 得之。

(1) 威廉吉柏 (Gilbert, William, 1544—1603) 為英國依麗莎白女皇朝時傑出之科學人才。吉氏給為表演地球為一大磁鐵之第一人。其重要工作，為關於磁之論著，包括數年有系統之試驗與研究，實為對電與磁最早而最有價值之貢獻。

(3) 磁阻——磁阻(Reluctance, 符號為 \mathcal{R})為阻止磁通穿過一磁路之性質,與電阻之阻止電流通過一電路者然。每一厘米立方體空氣之磁阻為一個單位磁阻,但迄今未為之命名。

(4) 磁導——磁阻之倒數為磁導(Permeance, 符號為 \mathcal{P}),為一磁路能容許磁通穿過之性質,與電路內之電導相做。磁導為磁阻之反數,即 $\mathcal{P} = 1/\mathcal{R}$ 。

(5) 磁導係數——一種物質之磁導係數(Permeability, 符號為 μ),為施以同樣磁通勢時,穿過該物質之磁通(或感應線數),與將該物質代以真空時,其穿過同一空間之磁通(或感應線數)之比。真空之磁導係數,視為單位的。其他物質除鋼,鐵,鎳,液體氧及某種氧化鐵外,其磁導係數皆為一。商用鋼鐵之磁導係數,由 50 以至 2,000,某種真空煉製之鐵,其磁導係數且過之(見「坡莫合金」,第 8—16 節)。

【例題 8.1】以一環形螺管,繞於如第 6.18 圖之鐵芯上,其磁通為 4,000 線,若抽去鐵芯,則空氣內之磁通僅為 20 線,問鐵之磁導係數為若干?

【解】因抽去鐵芯,並不變更其安匝數,或其磁路之幾何圖形,故

$$\mu = \frac{4,000}{20} = 200. \quad (\text{答})$$

(6) 磁通——凡穿過磁路內之感應線總數,謂之磁通(Flux, 符號為 Φ),與電路內之電流相做。磁通之厘米克秒制單位為「馬克斯威爾」(Maxwell, 簡稱為馬),但亦常用感應線數,或選用線數。

(1) 詹姆士·克萊克·馬克斯威爾(Maxwell, James Clerk, 1831—1879)為一卓越之英籍物理學家,其生平皆盡學於自然科學之研究,於自然哲學界中居最高之位置。氏雖於力學及熱學,有驚人之供獻,而其工作之大部,則在電與磁之範圍內。氏將所有電與磁之現象,皆歸納於介質內之應力,而以數學方程式表示之。氏更演譯之電磁理論,遠在赫斯氏(Hertz)於 1888 年用實驗證明以前,已預示有電磁波(Electromagnetic Wave),即射電波(Radio Wave)之存在。氏在 1873 年間畫之電與磁(Electricity and Magnetism)一卷,實為傑出之科學論著,迄今為學者奉為研究電磁學之圭臬,而稱道不衰焉。

國際電工技術委員會，於 1935 年六月，在希佛林根—不魯塞爾開會時（見第 2—2 節附註），主張採用米仟克秒制單位，(MKS Unit) 而以「韋伯」⁽¹⁾ (Weber, 或簡稱爲韋) 爲磁通之實用單位，一韋伯等於 10^8 馬克斯威爾。

(7) 磁感應，或磁通密度⁽²⁾——磁通密度（符號爲 B ），爲在垂直於磁通之平面內，每單位面積之感應線數。其厘米克秒制單位爲皋斯，相當於每平方厘米一線之密度，有時以每方吋線數，每平方厘米線數，或每平方米韋伯數表之。

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (8.1)$$

8-3. 磁路之磁阻 —— 一厘米立方體之真空或空氣之磁阻爲一單位磁阻。今於第 8.1 圖(甲)中，磁極面 a 與 b 間之磁路部份，爲長 3 厘米及截面積爲一平方厘米之空氣路徑，相當於三個厘米立方體相串聯。因總磁通必須順序穿過此三個立方體，則其總磁阻必爲三個單位無疑。故磁阻與磁通路徑之長度成正比。

在另一方面，苟此路徑之長度爲一厘米，而截面積爲三平方厘米，有如第 8.1 圖(乙)者，則總磁通可分作三路，穿過三個厘米立方體，其所遇之總磁阻，必爲一厘米立方體之三分之一，即 $\frac{1}{3}$ 單位。故磁阻與磁通路徑之截面積成反比。

更有進者，若此路徑以磁導係數爲 μ 之鐵代替空氣，苟兩磁極

(1) 威爾赫姆·愛德華·韋伯 (Weber, Wilhelm-Edward, 1804—1891) 爲德國物理學家，其大半生皆任哥亭根之物理教授。氏指示電量，可依長度，質量及時間，而予以絕對之界說，有如其同事皋斯 (Gauss) 氏對於磁量之指示者。氏亦曾作磁之研究，且發明一種電磁電報術。

(2) 已見第 6-13 節及其附註。

(3) 磁極面間之真正磁通路徑，並不若第 8.1 圖(甲)之均勻，在磁極之邊緣處，其磁通擴散，如第 6.18 圖(甲)，及第 6.19 圖所示者。

面間之磁通勢保持原值，則其磁通將 μ 倍於穿過空氣內者，蓋鐵之磁阻較低也。

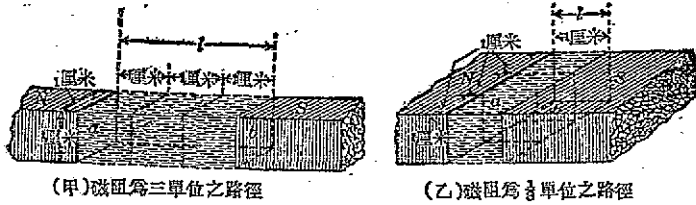


圖 8.1 簡單磁道路徑之磁阻

是以，一磁路任何部份之磁阻，與其長度成正比，與其截面積成反比，而與材料之磁導係數亦成反比。因在空氣中，一厘米長度及截面為一平方厘米之磁路之磁阻為一單位，故其比例常數為一。若 l_1 為該磁路部份之長度以厘米計， A_1 為該部份之截面積，以平方厘米計，而 μ_1 為該部份之磁導係數，則其磁阻為

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_1 A_1} \quad (8.2)$$

若一磁路內有四部份相串聯，如第 8.2 圖者，其總磁阻為

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \frac{l_2}{\mu_2 A_2} + \frac{l_3}{\mu_3 A_3} + \frac{l_4}{\mu_4 A_4} \quad (8.3)$$

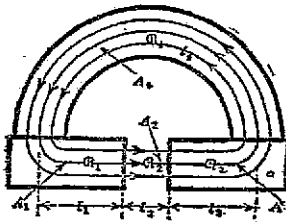


圖 8.2 串聯之磁阻

若數磁阻相並聯，則以其各部之磁導相加得總磁導，與並聯電路內之以電導相加而得總電導者同。若 $\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \mathcal{P}_3, \mathcal{P}_4$ 為各部磁路之磁導，則總磁導為

$$\mathcal{P} = \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2 + \mathcal{P}_3 + \mathcal{P}_4$$

欲求其等效磁阻，與求等效電

阻同，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \quad (8.4)$$

8-4. 磁化曲線——前曾述及，如鐵等之磁性物質，其磁導係數，並非定值，恆隨其磁通密度，及磁化過程而異。

因其磁導係數之變動，故除極小範圍外，其磁通密度不能與作用於磁路內之磁通勢，或安匝數，成比例。當鐵近飽和狀態時，其磁通密度之增加率，反因磁通勢之增加而降低。

鐵或鋼中磁通與磁通勢之關係，不能以簡單方式表出，必須用曲線顯示之，是為磁化曲線 (Magnetization curve)。

磁化曲線，係用磁通密度為縱坐標，每單位長度之磁通勢為橫坐標，描繪而成者，所表示者為每單位立方體之磁性。描繪曲線時，似以用每平方厘米之線數或奧斯數為縱坐標，用每厘米吉柏數為橫坐標，較為合理。但在電機工程方面，多用英制單位，故通常皆以每方吋線數為縱坐標，而以每吋安匝數為橫坐標。

第 8.3 圖
示某種品質之
鋼之磁化曲
線，其橫坐標
為磁化力 H ，
以每厘米吉柏
計，其縱坐標
為其相應之磁
通密度，以奧
斯計。

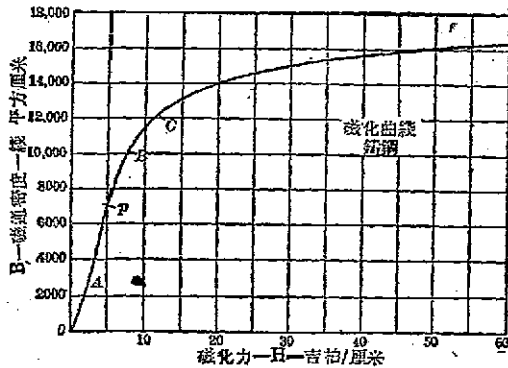


圖 8.3 鋼之磁化曲線

該曲線上，由 O 點至 A 點，微向上游。依韋伯氏理論解釋之，當初磁化時，其構成鋼塊之磁分子，皆任意排列。欲使此磁分子

(1) H 為磁場強度之符號，以奧斯特計 (見第 6-12 節)，在數值上與每厘米吉柏數相等，將於第 8-7 節內解釋之。

依磁通勢之方向而排列，非施以甚大之磁化力不可。

由 A 點至 B 點，該曲線實際上與一直線無異。過 B 點後，當磁通勢作等量之增加時，其磁通密度，增加漸緩，鋼漸近飽和 (Saturation)。在 C 點時，曲線之彎曲最著，為 μ 線之彎點 (Knee of curve)。過 C 點後，雖磁通勢增加甚多，而磁通密度增加甚微。依韋伯氏學說，所有磁分子之排列，幾完全與磁通勢之方向相平行。若再增加其磁化力，亦不能得更佳之排列。在此情形下，鋼已飽和。如第 8.3 圖之曲線，係由零點感應起，隨磁化力之增加而描繪者，稱為正常飽和或感應 μ 線 (Normal saturation or Induction curve)。第 8.7 圖，示各種商用鋼鐵之正常飽和曲線。

8-5. 磁導係數 —— 磁導係數為磁性物質內磁通與空氣內磁通之比，其磁路內之磁通勢及磁路之任何圖形，皆相同者 (見第 8-2 節之 5)。磁化曲線顯示一厘米立方體鋼內之磁通，與所施於該

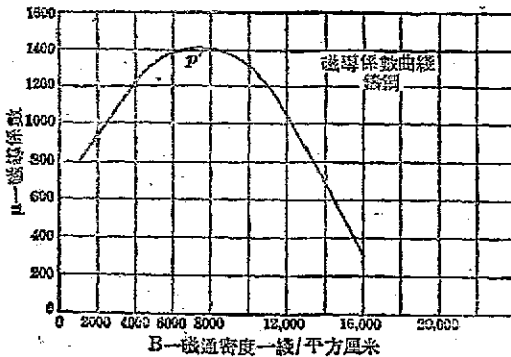


圖 8.4 鋼之磁導係數曲線

立方體兩對面間之磁通勢之關係。若移去鋼，仍以同量之磁通勢，施於一厘米立方體之空氣，因在空氣內之磁通，在數值上

與所施於一厘米立方體兩對面間之磁通勢相等，故此磁通亦等於 H (見第 6-13 節)。由磁導係數之定義，知

$$\mu = \frac{B}{H}。$$

以磁化曲線上每一縱坐標 B ，除以相應的橫坐標 H ，則得在該點之磁導係數。用此法求得鑄鋼之磁導係數，作為磁通密度之函數而作圖，得曲線如第 8.4 圖所示者。

由該圖內可見磁導係數變數之範圍甚大。磁導係數之曲線，由低值開始，此部份相當於第 8.3 圖之 OA 部份。以後逐漸增加至 p 點之最大值，過此則因漸近飽和狀態，而磁導係數漸低，其最後之值約為最大值之 $1/5$ 。

鐵及鋼之磁導係數，視其品質，其磁通密度，及前此磁化之過程而異。再若減少鐵內之雜質，如硫，磷，磷之屬，則其磁導係數可增大。

8—6. 磁路之定律——磁路內磁通勢，磁通，與磁阻之關係，與電路內電動勢，電流及電阻之關係，完全相同。以公式表之，

$$\Phi = \frac{F}{\mathcal{R}} \quad (8.5)$$

是以磁通與所施於磁路之磁通勢成正比，與此磁路之磁阻成反比。

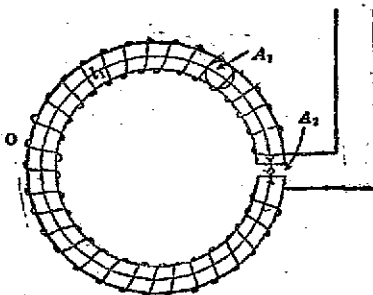
因 $F = 0.4\pi IN$ (第 8.2 節)，而 $\mathcal{R} = l/\mu A$ (第 8—3 節)，則

$$\Phi = \frac{0.4\pi NI}{l/\mu A} \quad (8.6)$$

若磁路由數部份串聯而成，每部份各有磁阻 $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \dots$ 等，及磁通勢 F_1, F_2, \dots 等，則依第 8.6 式，

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{F_1 + F_2 + F_3 + \dots}{\frac{l_1}{A_1\mu_1} + \frac{l_2}{A_2\mu_2} + \frac{l_3}{A_3\mu_3} + \dots} \\ &= \frac{0.4\pi(N_1I_1 + N_2I_2 + N_3I_3 + \dots)}{\frac{l_1}{A_1\mu_1} + \frac{l_2}{A_2\mu_2} + \frac{l_3}{A_3\mu_3} + \dots} \quad (8.7) \end{aligned}$$

【例題 8.2】以導線 250 匝繞於如第 8.5 圖之環形電磁鐵上，通以 1.5 安



$$l_1 = 18 \text{ 吋} = 45.7 \text{ 厘米}$$

$$l_2 = 3/16 \text{ 吋} = 0.476 \text{ 厘米}$$

$$A_1 = A_2 = 0.2 \text{ 方吋} = 1.29 \text{ 平方厘米}$$

圖 8.5 環形電磁鐵

由第 8.7 式，

$$\Phi = \frac{471}{\frac{45.7}{1.29 \times 800} + \frac{0.476}{1.29}} = \frac{471}{0.0443 + 0.369} = 1,140 \text{ 線(或馬)}.$$

(答)

$$B = \frac{1140}{1.29} = 884 \text{ 線/平方厘米(或韋斯)},$$

$$= 884 \times 2.54^2 = 5,700 \text{ 線/方吋}. \quad (\text{答})$$

之電流，假設鐵之磁導係數為 800，略去擴散作用不計，求環內之磁通及磁通密度。

$$\text{【解】 } F = .4\pi NI = .4\pi \times 250 \times 1.5$$

$$= 471 \text{ 吉柏}.$$

$$l_1 = 18 \text{ 吋} = 18 \times 2.54$$

$$= 45.7 \text{ 厘米},$$

$$l_2 = 3/16 \text{ 吋} = 3/16 \times 2.54$$

$$= 0.476 \text{ 厘米},$$

$$A_1 = A_2 = 0.2 \text{ 方吋} = 0.2$$

$$\times 2.54^2 = 1.29 \text{ 平方厘米}.$$

8—7. 每厘米磁通勢與磁場強度——在空氣中，其每厘米若干吉柏之磁通勢，在數值上，與每單位磁極若干達因，或若干奧斯特之磁場強度相等。此關係可依下述理由證明之。

第 8.6 圖，顯示在空氣中，相距 l 厘米 AB 與 CD 兩平行面間之均勻磁場。此場可由一電磁鐵之兩極而產生，或產生於一長螺管之中心(見第 7.14 圖)。其垂直於紙面之磁場面積為 A 平方厘米，其 AB 與 CD 兩面間之磁通勢為 F 吉柏，因在空氣內，則依第 8.6 式， AB 與 CD

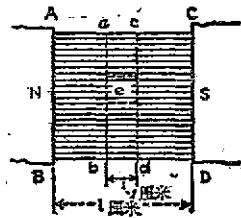


圖 8.6 磁場強度與磁通勢

兩平面間之磁通爲

$$\Phi = \frac{F}{(l/A)}. \quad (I)$$

先在磁場內，取垂直於磁通方向之另二平面 ab 及 cd ，令其距離爲 1 厘米，則此兩平面間之磁通勢爲 F/l ，而其磁阻爲 $(1/A)$ ，故其磁通爲

$$\Phi = \frac{F/l}{1/A}, \quad (II)$$

與 (I) 式所示者相同。

再就 ab 與 cd 間之一厘米立方體而論，其兩對面間之磁通勢爲 F/l ，此立方體之磁阻爲一個單位，故其兩對面間之磁通爲 $(F/l) \div 1$ 卽 B 線每平方厘米。

凡任何兩點間之磁通勢，卽移動一單位北極自一點至他點所需之功能。依定義，移動一單位磁極自 ab 面至 cd 面所需之功爲 F/l 爾格。因磁場爲均勻的，故在任何處一單位磁極所受之力皆同。功爲力與距離之乘積，故此磁通勢（卽功），除以 ab 與 cd 兩面間之距離一厘米，卽得一單位北極在場內所受之力。是以在場內任何處該單位磁極所受之力，爲 F/l 達因，卽其磁場強度爲 F/l 奧斯特。但 F/l 爲每厘米長度之磁通勢，或均勻磁場內之磁勢梯度 (M.M.F. gradient)。因此知在空氣內之磁場強度，在數值上與每厘米長度之磁通勢相等。

雖然，磁場強度爲每單位磁極所受之達因之力，而每厘米之磁通勢，則爲沿磁場方向移動一單位磁極一厘米所作之功。二者爲迥不相同之兩種物理量。不過在空氣內，在數值方面，二者却相等而已。

茲有可注意者，因 AB 與 CD 兩平面間之磁場強度爲均勻的，故在此區域內任何處之磁場強度同等於 F/l 奧斯特。

【例題 8.3】若第 8.6 圖兩磁極面間之距離為 10 厘米，而此均勻磁場之截面積為 8×5 厘米，與紙面相垂直。 AB 與 CD 兩平面間之磁通勢為 4,800 吉柏。求：(1) 移動一單位北極自 CD 至 AB 間所需之功；(2) 磁通路徑之磁阻；(3) 總磁通；(4) 磁通密度以皋斯計；(5) 每厘米長度之磁通勢；(6) 垂直於磁場一厘米立方體之截面上之磁通，立方體之表面，或與磁場相平行，或相垂直；(7) 磁場強度以奧斯特計。

【解】(1) 因兩點間之磁通勢，為移動一單位北極自一點至他點所需之功，故答案即 4,800 爾格。

$$(2) \mathcal{R} = 10 / (8 \times 5) = .25 \text{ 厘米克秒制磁阻單位。}$$

$$(3) \Phi = 4800 / .25 = 19,200 \text{ 線。}$$

$$(4) B = 19,200 / (8 \times 5) = 480 \text{ 皋斯。}$$

$$(5) \text{每厘米磁通勢} = 4800 / 10 = 480 \text{ 吉柏。}$$

$$(6) \text{因每厘米立方體之磁阻為 1, 故在此立方體截面上之磁通為} \\ 480 / 1 = 480 \text{ 線, 即其磁通密度 } B.$$

(7) 因每厘米長度之磁通勢為 480 吉柏，故移動一單位北極一厘米距離所需之功為 480 爾格，又因此場為均勻的，其所受之力為定量，應為 $480 / 1 = 480$ 達因（力 = 功 / 距離）。磁場強度 $H = 480$ 奧斯特，即達因 / 單位磁極。

由上可見(1)之皋斯數，(5)之每厘米吉柏數，及(7)之磁場強度之奧斯特數，在數值上皆相等。

8-8. 廢算法——匠鐵質之磁導係數為變量，隨磁通密度而變動。若在磁之問題中 所求者為磁通密度，則非俟求得結果後，不能確知其磁導係數。但不知其磁導係數，即無從計算其磁通密度，二者實互為因果。是問題之解釋，不能如例題 8.2 之簡單，因在該題內，磁導係數已假定其為 800 者。苟磁導係數能以磁通密度之簡單函數表之，則此類問題亦可直接解答。惟實際上此二者之關係並不簡單，是以直接計算，殊不可能，惟有以湊算法 (Method of trial and error) 應付之矣，請觀下列之例題。

【例題 8.4】若第 8—6 節第 8.5 圖之鐵環，係以鑄鋼製成，其磁導係數曲綫見第 8.4 圖。若縮短其空氣隙至 $\frac{1}{16}$ 吋，求其磁通及磁通密度。

【解】先假定其磁導係數為 900 試之，

$$R_{l1} = \frac{18.13 \times 2.54}{1.29 \times 900} = 0.0397。$$

$$R_{l2} = \frac{1}{16} \times \frac{2.54}{1.29} = 0.123。$$

$$\Phi = \frac{471}{0.0397 + 0.123} = 2,890 \text{ 線。}$$

$$B = \frac{2,890}{1.29} = 2,240 \text{ 高斯。}$$

但由第 8.4 圖，在磁通密度為 2,240 高斯時，其磁導係數為 960，故必須另行假定一磁導係數試之。今假定其為 970。

$$R_{l1} = \frac{18.13 \times 2.54}{1.29 \times 970} = 0.0368。$$

$$\Phi = \frac{471}{0.0368 + 0.123} = 2,950 \text{ 線。}$$

$$B = \frac{2,950}{1.29} = 2,270 \text{ 高斯。}$$

在此新磁通密度時，其磁導係數為 960，與適所假定之 970 甚為相近，故可採用此結果。

但在實用方面所應付之問題，其磁通或磁通密度皆為已知，所求者為所需之安匝數，故問題得以簡單化矣。

8—9. 安培匝數之確定——在第 2—18 節中，每單位長度導體之電壓降，僅與電流密度及導體之電阻係數有關。依同法，每單位長度之磁通勢僅與磁通密度及磁導係數有關，可證既如下：

由第 8.6 式，

$$\Phi = \frac{F}{l/\mu A}。$$

又若 B 為均勻之磁通密度， A 為其路徑之截面積， $\Phi = BA$ ，故

$$\frac{F}{l/\mu A} = BA, \quad \text{即} \quad \frac{F}{l} = \frac{B}{\mu}。 \quad (I)$$

以 l 乘 (I) 式之兩邊，則

$$F = \frac{Bl}{\mu} \quad (8.8)$$

第 8.8 式顯示磁通勢等於磁通密度與其路徑之長度相乘之積，除以該物質之磁導係數。欲求每單位長度之磁通勢，則指定其磁通密度及磁導係數即可。今不用磁導係數與磁通密度之曲線。以每單位長度之安匝為橫坐標，其相應的磁通密度為縱坐標，描繪為磁化曲線，可直接由磁通密度尋出所需之磁通勢，可免求磁導係數及用 0.4π 計算之麻煩。第 8.7 圖顯示各種商用品質鋼鐵之磁化曲線。

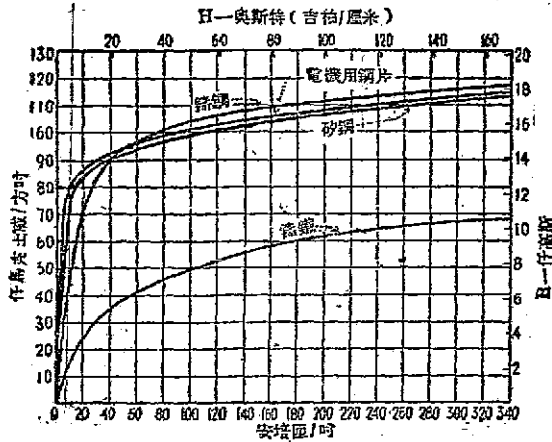


圖 8.7 鐵與鋼之磁化曲線

若磁通及其所經路徑之截面積為已知。可直接應用此類曲線，以尋求產生此磁通所需之安匝數，殊為便捷。

8—10—簡單空氣隙之安培匝數——今有面積為 A 平方厘米，相距 l 厘米之兩平行面間之空氣隙，欲求於其中產生均勻磁通 Φ 所需之安培匝數 NI 。

由第 8.5 式，令 $\mu=1$ ， B 為磁通密度，則其磁通為

$$\Phi = BA = \frac{0.4\pi NI}{(l/A)},$$

$$NI = \frac{1}{0.4\pi} Bl = 0.796Bl, \text{ 約爲 } 0.8Bl. \quad (8.9)$$

是以，一空氣隙之安培匝數視磁通密度及空氣隙之有效長度為轉移。(第 8.9 式可與第 8.8 式比較觀之)

因電機內之尺寸，常以吋為單位，而磁通密度常以每方吋之線數計，故第 8.9 式可化成以吋為單位者。令 B' 為磁通密度，以每方吋之線數計， l' 為空氣隙之有效長度，以吋計，則

$$B' = (2.54)^2 B, \quad l' = \frac{l}{2.54},$$

$$\text{是以,} \quad NI = 0.796 \frac{B'l'}{2.54} = 0.313 B'l'. \quad (8.10)$$

【例題 8.5】某電機之空氣隙，若計及其齒及槽之影響，其有效長度為 0.25 厘米，其磁極面之面積為 400 平方厘米。若總磁通為 2,400,000 馬，求產生此磁通所需之安培匝數。

$$\text{【解】} \quad B = \frac{2,400,000}{400} = 6,000 \text{ 韋斯。}$$

由第 8.9 式，

$$NI = 0.796 \times 6,000 \times 0.25 = 1,194 \text{ 安匝。} \quad (\text{答})$$

若用吋為單位，則

$$A' = \frac{400}{2.54^2} = 62.0 \text{ 方吋，}$$

$$B' = \frac{2,400,000}{62.0} = 38,700 \text{ 線/方吋，}$$

$$l' = \frac{0.25}{2.54} = 0.0984 \text{ 吋。}$$

由第 8.10 式，

$$NI = .313 \times 38,700 \times 0.0984 = 1,192 \text{ 安匝。} \quad (\text{核})$$

8-11. 磁化曲線之用途——第 8.7 圖示各種品質磁用鋼鐵之磁化曲線，其坐標兼用英制及厘米克秒制單位。為說明此類曲線之

用途起見，今舉例以明之。

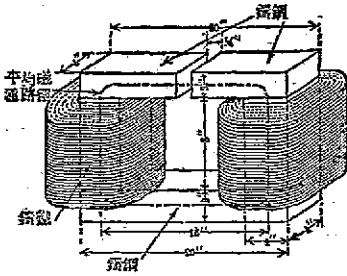


圖 8.3 典型的電磁鐵

【例題 6.6】 在第 8.3 圖之電磁鐵中，求產生磁通 750,000 線於空氣隙內所需之安匝數。其磁芯為錳鐵，軛部及極面為鑄鋼。略去邊緣之擴散及磁滲不計。

【解】 其軛部之磁通密度為

$$B_1 = \frac{750,000}{8 \times 4} = 62,500 \text{ 線/方吋。}$$

由第 8.7 圖鑄鋼之曲線，尋出與此磁通密度相應之每吋安匝數為 18。其磁路之平均長度，約為 16 吋，

$$I_1 N_1 = 18 \times 16 = 288 \text{ 安匝。}$$

即欲產生 750,000 線於軛部，所需之安匝為 288。

在極芯之磁通密度為

$$B_2 = \frac{750,000}{4 \times 4} = 46,900 \text{ 線/方吋。}$$

由同圖內，鑄鐵之曲線上尋出，每吋之安匝數為 86。

因有兩段極芯，略去其轉角處四分之一圓弧不計，其總長度為 16 吋，

$$I_2 N_2 = 86 \times 16 = 1,376 \text{ 安匝。}$$

其極面與軛部之情形完全相同，不過其長度較短 0.25 吋而已。此微小之差數，若略去不計，亦不致引起顯著之差誤，故兩磁極面之

$$I_3 N_3 = 288 \text{ 安匝。}$$

以空氣隙言，

$$I_4 N_4 = 0.313 \times 62,500 \times 0.25 = 4,900 \text{ 安匝。}$$

因各部皆相串聯，故總安匝為

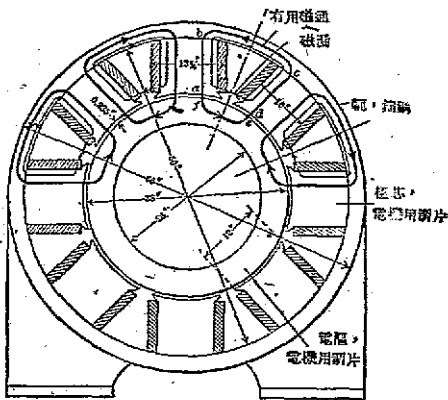
$$IN = 288 + 1,376 + 288 + 4,900 = 6,852。 \quad (\text{答})$$

8-12. 電機內磁之計算——電機內磁路之情形，已於第 7-12 節內論列之矣。因電樞之齒，通氣槽及邊緣擴散 (Fringing) 作用

等，使空氣隙呈不規則狀態，加以磁極間之磁漏等，使計算激發用之安培匝，較為複雜。

不過，若對於磁漏及磁通路徑之幾何圖形，作相當之略計，其磁通與安匝之計算未嘗不能得合理之準確度。本節內列舉一例題，以說明計算發電機內磁極安匝數之步驟。至於有關計算之規則，學者可於電機設計專門書籍內參考之。

【例題 8.7】如第 8.9 圖所示之電機內，欲於每極至電樞間之空氣隙內，產生磁通 7,500,000 線，求每極所需之安培匝數。在計入電樞齒，邊緣擴散作用後，空氣隙之有效長度為 0.235 吋。假定磁漏係數 (Leakage coefficient, 即極芯磁通與電樞磁通之比) 為 1.15。



電樞疊片及極面之槽距長度 = 14 吋

圖 8.9 八極，每分鐘 400 轉，250 伏，直流發電機之磁路

其各磁極之磁通路徑包括磁漏在內，已顯示於該圖。其路徑之長度，殊易於決定。今取磁通路徑 $abcd$ 。

ab 之長度 = $\frac{60-38}{2} \times 0.235 = 10.8$ 吋 (略計)， bc 約為軛部平均圓周之八分之一，減去 5 吋，因軛之平均直徑為 $\frac{1}{2}(60+60) = 60$ 吋，故 $bc = \frac{\pi \times 60}{8} - 5 = 24.7 - 5 = 19.7$ 吋。又電樞之平均直徑為 $\frac{1}{2}(26+38) = 32$ 吋，故 $cd = \frac{\pi \times 32}{8} = 12.6$ 吋 (近似值)。

其磁通密度如下：

極芯之磁通 = $7,500,000 \times 1.15 = 8,625,000$ ，因計入磁漏，則極芯之磁通

等於電樞磁通之 1.15 倍也。極芯之磁通密度 $= \frac{8,630,000}{16 \times 10} = 54,000$ 線/方吋。

但除去一疊片表面之氧化物，則其實在包括鋼質之截面積，應小於其外表上之截面積，其實際上之磁通密度，應大於此值，假定加百分之十，則其實際磁通密度為 $54,000 \times 1.10 = 59,400$ 線/方吋。

因磁通自磁極向軛部分成兩路，故軛部之磁通密度應為 $\frac{8,630,000}{2} \times \frac{1}{16 \times 3} = 90,000$ 線/方吋。

依同理，磁通自磁極入電樞亦分兩路，故電樞內之磁通密度應為 $\frac{7,500,000}{2} \times \frac{1}{16 \times 6} = 39,000$ 線/方吋。此值必須增加百分之二十五，以計入其通氣槽空隙，及疊片間之空隙。電樞內之實際磁通密度當為 $39,000 \times 1.25 = 48,800$ 線/方吋。

空氣隙之磁通密度為 $\frac{750,000}{16 \times 12} = 39,000$ 線/方吋。

上列各要素，既已求出，可應用第 8.7 圖之磁化曲線，直接求出其各部所需之安匝。例如欲在電樞用片鋼內產生 59,400 線/方吋之磁通密度，所需之每吋安匝數為 4，則極芯部份 ab 之

$$I_1 N_1 = 4 \times 10.8 = 43.2 \text{ 安匝。}$$

磁路部份	材 料	磁 通 (線)	有 效 面 積 (方吋)	實際磁 通密度 (線/方吋)	每 吋 安 匝 數	長 度 (吋)	安匝數
極 芯 ab	電樞用片鋼	8,630,000	160/1.1	59,400	4.0	10.8	43
軛 bc	鑄 鋼	1,315,000	48	90,000	40.0	19.7	788
極 芯 cd	電樞用片鋼	8,630,000	160/1.1	59,400	4.0	10.8	43
空氣隙 de	空 氣	7,500,000	192	39,000	12,200	0.235	2,870
電 樞 ef	電樞用片鋼	7,500,000	96/1.25	48,800	3.0	12.6	38
空氣隙 fa	空 氣	7,500,000	192	39,000	12,200	0.235	2,870
兩磁極所需之總安匝數							6,652
每磁極所需之安匝數							3,326

其他各部之安匝數，算法皆與此相同。

又空氣隙之磁通密度為 39,000 線/方吋，依第 8.9 式，其所需之每吋安匝數為 $0.318 \times 39,000 = 12,200$ 。

茲將各部之長度，截面積，磁通密度及安匝等，逐條依計算之次序，列表如前。

因每極之磁路，為兩支路相並聯，應用與並聯電路相似之理論，則每支路所需之安匝匝，即總磁路所需者。又因每一磁路皆穿過兩個鄰近之磁極，每極皆有激發安匝，故將總安匝除以二，得每極之安匝數，如上表所列者。

8-13. 磁滯——若施於一鐵塊每厘米之磁通勢（即磁化力）由零增加時，其磁通密度與磁化力之關係，與 Oa 線相似（見第 8.3 圖）。此曲線稱為正常飽和曲線，已於第 8-4 節內論之矣。

今若減低其磁化力，則磁通密度並不沿 aO 線（第 8.10 圖）而減低，其減低較緩，僅沿 ab 線。達 b 點時，其磁化力為零，而其磁感應（即磁通密度）並不為零。其由 Ob 所表示之磁通密度，即所謂剩磁，謂之頑磁性。若欲其磁通密度為零，必須施以反向之磁化力，以抵消之。當負的磁化力達 Oc 時，磁通密度始降為零，此磁化力稱為矯頑磁力。（上述之磁性，在述及永久磁鐵時，亦曾論及，見第 6-19 節）。

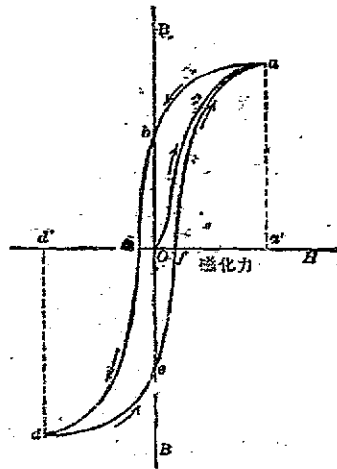


圖 8.10 磁滯迴線

若將此磁化力向負的方向增加至 d' ，使 $Od' = Oa'$ 時，則其磁通密度亦達負的最大值 $d'd$ ，該

值與 $a'a$ 相等。今將此負的磁化力減低達 e 點，其磁化力復爲零時，得負的頑磁性 $Oe=Ob$ 。故當施以正的矯頑磁化力 $Of=Oc$ ，始足抵消之，使磁通密度復爲零。當正的磁化力再達 Oa' 時，其磁通密度亦重返原值 a 。將磁化力經一次正負的變化，此磁化曲線，適成一閉口之迴線 (Loop)。

由此可知磁感應之變化，恆較所施磁化力之變化爲落後。例如在 b 點時，其磁化力已爲零，而磁感應尚未達零，直俟施以反向磁化力至 e 點時始爲零。此種磁感應較磁化力變化滯緩之現象，謂之磁滯。經一次磁化循環所得之磁化曲線，如第 8.10 圖所示之 $abcdefa$ 迴線，謂之磁滯迴線 (Hysteresis loop)。

若不施以一種磁化力，則鐵不能回復至先前之磁化情形。例如在第 8.10 圖中，必須有一磁化力 Oe ，始能使鐵達 e 點之零感應情形。(但 e 點之磁化情形與在 O 點者不同)。依韋伯學說 (第 6—9 節) 解釋之，由於磁分子間之摩擦，致使磁化力變化時，磁感應之變化，爲之滯緩，故必消耗相當功能以克制之。是每經一次磁化循環，必有相當之功能損失。

若依數種最大磁通密度值，取數迴線，即得如第 8.11 圖所示之三個迴線，其最高點 a, a_1 ，及 a_2 ，皆在正常飽和曲線 Oa_2 上。

8—14. 磁滯損失——磁滯損失 (Hysteresis loss) 與磁滯迴線 (第 8.10 圖及第 8.11 圖) 之面積成比例。依圖之比例尺，求出迴線之面積，乘以 4π ，即得每次循環之磁滯損失，以爾格計。

此關係可證明如下：以繞於截面爲 1 平方厘米鐵芯上之線卷，接於電壓 V ，其電流 i ，不獨爲電阻所限制，且用於克制反電動勢 $Nd\Phi/dt=NdB/dt$ ， Φ 爲鐵芯內之磁通以馬計，因其截面積爲 1 平方厘米， Φ 即等於磁通密度 B (見第 9.2 式)， V 及 i 皆以厘米克秒制單位計之。

依克希荷夫氏第二定律，電壓 V 必等於電阻之壓降及克制反電

動勢之電壓 ($N dB/dt$) 之和, 即

$$V = iR + N \frac{dB}{dt} \text{ 電磁制伏特,} \quad (I)$$

$$\text{電功率爲 } Vi = i^2R + Ni \frac{dB}{dt} \text{ 爾格/秒。} \quad (II)$$

Vi 爲總電功率輸入, i^2R 爲線卷內電阻 R 所損失, 散逸爲熱。其 $Ni dB/dt$ 一項爲電功率 P_m , 爲儲蓄功能於磁場內之用。因總電能等於電功率依時間而積分之結果, 故儲蓄之能量爲

$$W = \int P_m dt = \int Ni \frac{dB}{dt} dt \quad (III)$$

今 n 爲每厘米長度線卷之匝數, 其每厘米長度之磁通勢約爲 $H = 4\pi ni$ 。

以第(III)式化成每厘米長度之公式, 則

$$W_h = \int ni \frac{dB}{dt} dt = \frac{1}{4\pi} \int H dB \quad (8.11)$$

其 $\int H dB$, 即表示磁滯迴線之面積。

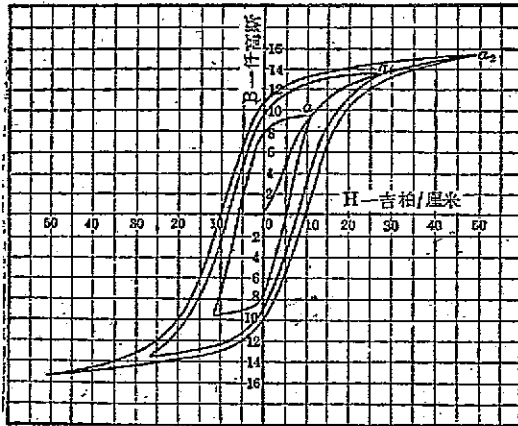


圖 8.11 在三種最大磁通密度值之磁滯迴線

例如, 令第 8.11 圖中最小迴線之面積爲 A 方吋, 其橫坐標每吋代表 10 吉柏/厘米, 縱坐標每吋代表 4 仟奧斯, 則每週循環每立

方厘米之磁滯損失爲

$$W_h = \frac{A \times 10 \times 4000}{4\pi} \text{ 爾格。} \quad (8.12)$$

除以 10^7 , 即得損失之能量之焦耳, 即瓦特秒數。

每立方厘米, 每週循環之磁滯損失, 視磁性物質及最大磁通密度而異。在相當限度內, 可依史坦麥茲定律 (Steinmetz law), 將磁滯損失表示如下:

$$W_h = \eta B^{1.6} \quad (8.13)$$

W_h 爲磁滯損失, 爲每立方厘米每週若干爾格, η 爲一常量, 視各種物質而異, B 爲最大之磁通密度, 以皋斯計。

下表列舉各種磁性物質 η 之值。

硬鑄鋼 Hard cast Steel	0.025	片 鐵 Sheet Iron	0.004
鍛 鋼 Forged Steel	0.020	矽 鋼 Silicon Steel	0.001
鑄 鋼 Cast Steel	0.013	矽片鋼 Silicon Sheet Steel	0.0009

【例題 8.8】一種片鐵磁芯之淨體積爲 40 立方厘米, 其最大之磁通密度爲 8,000 皋斯, 問其每週循環之磁滯損失爲若干?

【解】 $W_h = 0.004 \times 8,000^{1.6}$

$$\log 8,000 = 3.9031$$

$$1.6 \times \log 8,000 = 6.2449$$

$$\log 1,757,000 = 6.2449$$

$$W_h = 0.004 \times 1,757,000 = 7,028 \text{ 爾格/週—立方厘米。}$$

$$\text{總損失} = W = 7,028 \times 40 = 281,000 \text{ 爾格/週。}$$

$$\text{或 } 281,000 \times 10^{-7} = 0.0281 \text{ 焦耳/週。} \quad (\text{答})$$

因用磁滯延線之面積及第 8.13 式所求得之磁滯損失, 爲每週若干爾格, 故每秒之爾格損失, 等於每週之爾格損失, 乘以每秒之循環數 (即其頻率, Frequency), 是以磁滯損失與頻率成正比。

8-15. 磁芯損失——在受有變量磁通或交變磁通之磁芯內,

附表 各種商用品質磁芯材料在 10,000 奧斯時之磁質
亞利根士鋼鐵公司 (Allegheny Steel Company)

磁 芯 材 料	(1) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(2) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(3) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(4) $B_r \times H_r$	(5) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(6) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(7) P_r 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(8) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)	(9) 磁化率 (在 10,000 奧斯時)
全環冷壓鋼片, 或鋼板	—	8,500	5.5	46,700	21,400	7.56	0.4	11	7.96
熱壓, 軟鋼片	—	9,400	0.86	7,220	3,840	1.25	0.4	11	1.65
亞利根士“電機”磁片鋼	0.5	—	—	—	2,750	0.958	0.356	18	1.30*
亞利根士“電機”磁片鋼	2.5	8,100	0.68	5,510	2,830	0.913	0.132	40	1.01*
亞利根士“電機”磁片鋼	3.25	7,300	0.65	4,740	2,030	0.733	0.128	48	0.82*
亞利根士“電機”磁片鋼	3.8	—	—	—	1,890	0.683	0.128	56	0.76*
亞利根士“電機”磁片鋼	4.25	8,100	0.4	3,240	1,815	0.658	0.114	60	0.72*
亞利根士“電機”磁片鋼	3.60	8,100	0.4	3,240	1,475	0.532	0.128	51	0.66*
亞利根士“電機”磁片鋼	3.60	8,100	0.4	3,240	1,305	0.472	0.128	51	0.60*
純鐵	—	8,600	0.2	1,720	600	0.207	0.60	7.64	0.807
真正磁化, 百分之四砂鐵合金	—	5,200	0.15	780	500	0.179	0.12	55	0.299
「哈斯立式」	—	7,300	0.05	365	200	0.072	0.13	45	0.202
「坡莫合金」, 含鋼百分之七十八	—	5,500	0.05	275	200	0.063	0.28	25	0.343

(註) 在 (9) 行內之數值, 附有 * 符號者, 為磁路保證之值, 大要時為 (6) 行與 (7) 行之和。
U.S.S. 29 號片鋼之厚度, 為 0.01 吋 (2.54 公厘), 磁路之長度, 為 0.0356 呎。

不獨有磁滯損失，且有渦流損失(Eddy-current loss 見第 14—1 節，第 479 頁)。渦流損失，可用分片法，使其減少。此種損失，視分片(Laminations)之厚度之平方而異，亦隨頻率及磁通密度之平方而變動(見本書下編第 8—8 節)。在變壓器內，其額定輸出大都與芯之損失有關，故低值磁芯損失，極為重要(本書下編第七章)。具有低磁芯損失(Core loss)之矽鋼，最合變壓器之用。加百分之四之矽於鋼內，可使磁滯損失減低甚多，再因矽可增加鋼之電阻係數，亦可減低渦流損失，此點可於上表內察驗之。

欲將各種品質鐵與鋼之磁芯損失，作普遍之比較，因定 10 仟皋斯為最大磁通密度之標準，60 週/秒為頻率之標準。上表將各種磁芯材料及研究所內較優產品之各種重要性質，作有系統之排列，以資比較。

磁鐵合金 (Ferromagnetic Alloys)

某種鐵鎳合金，若配合適當，且加以熱煉手續，其所得磁之性質，可遠勝於鐵所固有者，尤以在低磁通密度時為最。最普通之合金，為「坡莫合金」，「坡明發爾」，「哈普立克」，及「庫普立克」(見第 6—2 節)。

8—16. 坡莫合金——「坡莫合金」為鐵鎳合金，在低值磁通密度時，具有甚佳之磁性，其成份包括 78.2% 之鎳，及 21.4% 之鐵，餘為雜質。通常「坡莫合金」之最高磁導係數，約為 87,000，而特製之樣品，可得更高之值。此種磁導係數，已高於任何鐵，鋼，及其合金所可求得者。此最高之磁導係數，發生於 5,000 皋斯之磁通密度，即相當於 0.045 吉柏/厘米之磁化力，此亦低於鐵，鋼，或其合金產生最高磁導係數時所需之磁化力。但「坡莫合金」甚易飽和，即地磁場，頗足使之飽和，故在測試時，應特別謹慎。

爲比較起見，第 8.12 圖示「坡莫合金」及「亞爾姆古鐵」(Armcoiron) 之磁化曲線，後者幾與純鐵無異。由該圖可見，在低值之 H 時，「坡莫合金」之磁性，遠勝於「亞爾姆古鐵」。

「坡莫合金」在達最大之磁通密度 5,000 高斯時，其磁滯迴線之面積，爲鐵在同一情形時迴線面積之六分之一，故磁滯損失，亦低於純鐵約六分之一。

「坡莫合金」之磁性，甚易受熱煉之影響，故必須慎重配製，而應製成薄條。若受磁的或機械的突擊，則甚不穩定，或竟有損其高磁導係數之特性。其主要用途，在電訊工程中，爲加電感

(loading) 於海底電纜 (Submarine cable) 之用，以「坡莫合金」之粉或屑，和以黏着物，再以高壓力壓緊之，可用爲高頻率變壓器之磁芯。其每一細粒，皆相絕緣，渦流損失，實際上乃減至最低，與零相近。⁽¹⁾

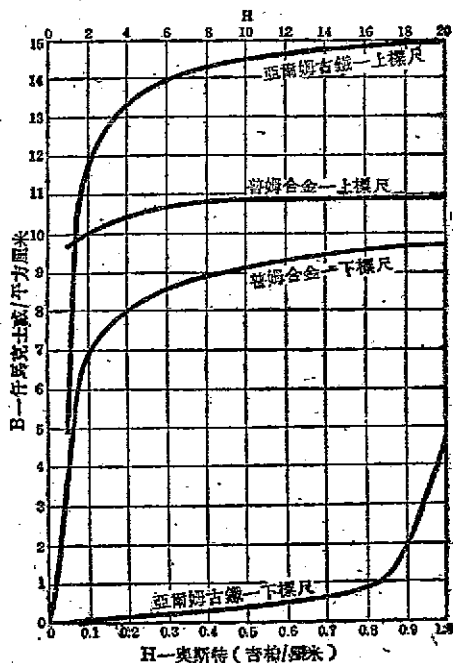


圖 8.12 「坡莫合金」及「亞爾姆古鐵」之磁化曲線
圖中之「坡莫合金」應作「坡莫合金」

(1) 關於「坡莫合金」之詳情，可參考 Arnold, H. D. 及 Elman G. W. 著 "Permalloy, an alloy of Remarkable Magnetic Properties" 見 Jour.

「坡明發爾」為一種鐵鈷鎳之合金，在甚大之磁通密度範圍內，具有恒定之磁導係數，因此磁滯迴線之面積必為極小，而磁滯損失亦甚小。但其磁導係數，則不甚高，尚不及「亞爾姆古鐵」之磁導係數之半。

8-17. 哈普立克——「哈普立克」為一種精製之 40% 至 60% 鐵鎳合金。在此種合金內，即萬分之幾之雜質，亦足影響其磁導係數至百分之幾百，故當製造時，縱極細微之雜質，亦必清除之。第 8.13 圖示「哈普立克」之磁化曲線及兩種磁滯迴線。由該圖可見其磁導係數可高達 57,000 左右，在特殊情形下，或且超過之。為比較起見，矽鋼之磁滯迴線，亦示於該圖，可見「哈普立克」之迴線面積，甚小於矽鋼者，該圖內所標明之磁滯損失，以每週循環兩格計之。

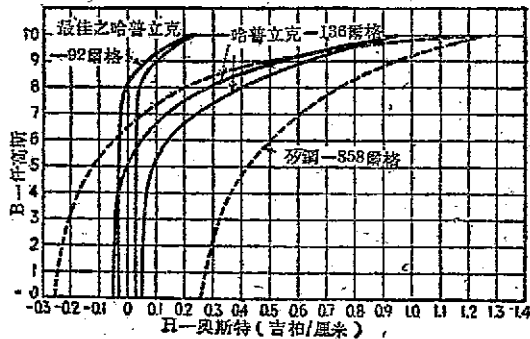


圖 8.13 「哈普立克」及矽鋼之磁滯迴線

Franklin Inst. 1923 年五月號，由 Bell system Tech. Jour. 轉載者，及 Kennelly, A. E. 著 "The Reluctivity of the Recently Discovered Magnetic Metal Alloys" 見 Jour. Franklin, Inst. 1924 年五月號。

(1) 見 Yensen T. D. 著 "Permeability of Hipernik Reaches 167,000" 見 "Electrical Jour" 1931 年六月號。

「哈普立克」爲製電流互感器磁芯之用(見本書下編第八章)。以「哈普立克」製成長條，捲成鐘錶之簧形，用作磁芯，使不經斧鑿，則廢棄者極少。

「庫普立克」之成份，與「哈普立克」同，不過所經加熱手續不同，亦能於較大之磁通密度範圍內，得恆值之磁導係數。

磁 通 之 量 度

磁通量亦可以儀器插入於其磁路內以量度之；有若量度電路內之電流，電壓及電功率者然。通常量度磁通之法有二：間接的以一衝擊電流計(Ballistic galvanometer)之偏轉，或一伏特計之讀數量之；直接的則應用古普塞爾式磁導計(Koepsel permeameter)。第一法應用錄卷內磁通變動而產生應電勢之原理；其第二法則根據衛斯登式儀器之原理，苟其轉動錄卷內之電流，保持恆值，其偏轉與磁通成比例。在第一法中，若磁通爲交變的，其應電勢亦爲交流的，則用交流伏特計。若錄卷之匝數爲已知，則量度其應電勢，可因而求出其磁通(見本書下編第八章)。

8—18. 衝擊電流計——在第 10—21 節內，將述及一個電流計之衝擊程，與放過該電流計之電量 Q 成比例，但須於錄卷開始移動以前，放電已全部進行。

若以一錄卷與電流計相串聯(第 8.14 圖)，將該錄卷

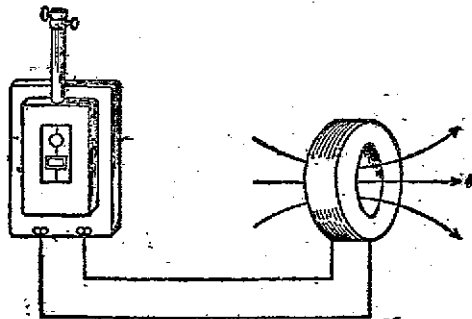


圖 8.14 用衝擊電流計量度磁通

之磁通連繫，任意變動，則有電流流過，於是電量放過電流計。若磁通變動任意量 $\Delta\Phi$ ，則放過電流計之電量為

$$Q = N \frac{\Delta\Phi}{R} \quad (8.14)$$

該式內之 N 為線卷之匝數， R 為線卷及電流計之總電阻。因電流計之偏轉與 Q 成比例，若此電路內之 R 保持不變，則偏轉亦必與磁通之變動量成比例，故可用衝擊電流計以量度磁通。若 Φ_1 為最初之磁通， Φ_2 為最後之磁通， D 為電流計之偏轉度，則磁通之變動為

$$\Phi_1 - \Phi_2 = KD \quad (8.15)$$

8-19. 標準螺管線卷——欲求第 8.14 式之常數 K ，必先有已知之磁通量。此磁通與第二線卷相連繫，今使之作定量之變動，或由零升起，或由該量降低至零皆可。同時讀取與該線卷串聯電流計之偏轉，則可求得該電流計之常數 K 。

第 7-7 節內所論之長螺管，可用以獲得已知之磁通量。若螺管之長度與半徑之比甚大，則在該螺管中心之磁場強度實際上等於 $0.4\pi nI$ ，（ n 為每厘米長線卷之匝數， I 為電流以安計）。在空氣

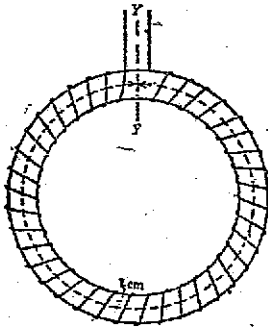


圖 8.15 環形螺管線卷

中，磁通密度在數值方面，等於磁場強度，故穿過其中心截面積之磁通為 $0.4\pi nIA$ 馬克斯威爾， A 為螺管之截面積以平方厘米計。由該螺管之尺寸，可以計算其磁通，故得已知之磁通量。

此長螺管之性質，可推及於如第 8.15 圖之環形螺管，其截面積為圓的，其內芯為不導電及非磁性物質，如木之類。令其截面積為 A 平方厘米，其

平均圓週為 l 厘米(見第 8.15 圖)。在每厘米之平均圓周上, 均勻的捲繞 n 匝, 而以 I 安電流通過之, 其總磁通勢 F 為 $0.4\pi n l I$ 。若其截面之直徑, 甚短於其環之內直徑, 則其磁阻為 l/A , 而磁通為

$$\Phi = \frac{F}{\mathcal{R}} = \frac{0.4\pi n l I}{l/A} = 0.4\pi n I A \text{ 馬。} \quad (8.16)$$

由該式可見磁通之多寡, 與螺管之長度無關。其平均磁通密度為

$$B = \frac{\Phi}{A} = 0.4\pi n I \text{ 皋斯。} \quad (8.17)$$

是以磁通密度等於每厘米之磁通勢, 亦與長度無關。

第 8.16 式可化為

$$\Phi = \frac{0.4\pi n I}{(l/A)}。$$

其 l/A 為每厘米螺管長度之磁阻, 而 $0.4\pi n I$ 為每厘米長度之磁通勢。是以在此種螺管內, 可認為每厘米長度之磁通勢, 皆用以產生磁通於該單位長度內者。

若以第 8.15 圖之環形螺管, 在 YY 平面處切開, 而拉直之, 則得如第 7.14 圖或第 8.16 圖之長螺管。此長螺管(第 8.16 圖)之長度亦為 l 厘米, 每厘米長度亦有 n 匝。如圖所示, 其磁通在螺管內, 由右至左, 脫離左末端, 向外擴散至一無窮大之面積上, 而再收縮回至右末端。若在外部之磁阻為零, 則其磁通勢係全部用以克服內部之磁阻, 與在環形螺管(第 8.15 圖)內同, 故其管內之磁通, 亦可用第 8.16 式求之。蓋純依理論而言, 此磁通既向外擴散至無窮大之面積上, 除在近螺管末端之有限面積內, 有相當之磁阻 \mathcal{R} 外, 其他部份之磁阻為極小。

不過, 若螺管本身之磁阻 (l/A) , 較大於其兩末端之磁阻 $2\mathcal{R}$, 則其總磁通勢可認為係全部用於克服本身之磁阻。因此近螺管中心處之磁通為

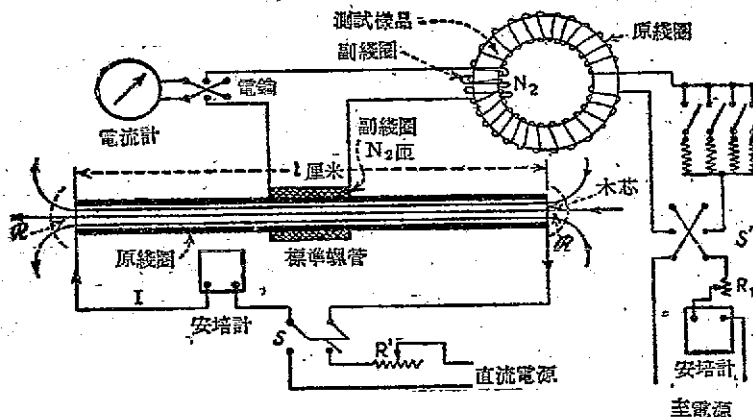


圖 8.16 標準螺管與環形測試樣品及電流計
(圖中原繞圈應作主線圈，副繞圈應作副線圈，電錶應作開關。)

$$\Phi = \frac{0.4\pi n_1 I}{l/A} = 0.4\pi n_1 I A \text{ 馬。}$$

與第 8.16 式所示者相同。故在此種螺管內，無論其為環形，抑為直長者，其中心之磁通等於每厘米之磁通勢，乘以其截面積之平方厘米數。捲繞此種直徑及每厘米匝數為已知之螺管，固輕而易舉者。若長度大於其直徑 10 倍，用第 8.16 式所得之差誤，在百分之五以內，若大 20 倍，則差誤僅千分之一而已。其略去兩末端磁阻 $2R$ 所得之差誤，與假定有限長度之螺管為無限長者（見第 7—7 節），所得之差誤相同。

8—20. 電流計之校準——以一個環形試驗用樣品，連接如第 8.16 圖，可用以校準電流計。其螺管之主線卷 (Primary coil) 內之電流，由穩定之直流電源供給之，以變阻器 R' 控制其大小，於安培計內讀出之。以已知 n_2 匝數之副線卷 (Secondary coil)，捲繞於近螺管中心處，與試驗樣品之副線卷及電流計相串聯。此兩個副線卷常接於電路內，以保持第 8.14 式中之電阻 R 為恆值。以一換向

開關(Reversing switch)接於電流計電路內,在校準時開啓該開關,而閉合開關 S ,使螺管被激發,不致使電流計有所偏轉。閉合該開關,在安培計內讀取電流之值,然後開啓 S ,讀取電流計之衝擊程 D_1 ,應重複數次,以資核對。

當開關 S 由閉合而開啓時,其磁通量之變動為 $\Delta\Phi$, 即 $0.4\pi nIA$, 其放過電流計之電量(第 8.14 式)為

$$Q_1 = \frac{n_2 \Delta\Phi}{R} = n_2 \frac{0.4\pi nIA}{R} \quad (8.18)$$

若試驗樣品內之磁通變動為 $\Delta\Phi_2$, 或由 Φ_2 變至 Φ_1 , 由第 8.14 式,其電量為

$$Q_2 = N_2 \frac{\Delta\Phi_2}{R} = N_2 \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{R} \quad (8.19)$$

N_2 為試驗樣品副線卷之匝數。

以第 8.18 式除第 8.19 式,得

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2(\Phi_2 - \Phi_1)}{0.4\pi n n_2 IA}$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \left(\frac{0.4\pi n n_2 IA}{N_2} \right)$$

因電流計之偏轉,與其電量 Q_1 及 Q_2 成比例(第 8.14 式),故

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{D_2}{D_1} \left(\frac{0.4\pi n n_2 IA}{N_2} \right)$$

$$= \left(\frac{0.4\pi n n_2 IA}{D_1 N_2} \right) D_2 = K D_2 \quad (8.20)$$

第 8.15 式內之電流計常數 K 即第 8.20 式內左面括弧內之數值,即

$$K = \frac{0.4\pi n n_2 IA}{D_1 N_2} \quad (8.21)$$

其 n 為標準螺管主線卷每厘米之匝數; n_2 為標準螺管副線卷之匝數; N_2 為試驗樣品副線卷之總匝數; A 為標準螺管之截面積,以平方厘米計; I 為標準螺管主路之電流; D_1 為當標準螺管主路被中斷時電流計之偏轉。

【例題 8.9】某空心螺管之長度為 48 吋,其內直徑為 1.75 吋,主線卷有 860 匝,副線卷有 2,000 匝。試驗樣品之副線卷有 40 匝。當電流計與兩副線卷相串聯(如第 8.16 圖),在螺管主線卷內之電流達 3.82 安之穩定值後,突將電

路中斷，其電流計之衝擊的偏轉為 12.4 厘米。求：(甲)標準螺管內之磁通密度，以奧斯計；(乙)標準螺管之總磁通，(丙)電流計常數；(丁)當電流計衝擊的偏轉為 8.9 厘米時試驗樣品內磁通之變動。

【解】 標準螺管內每厘米長度之匝數為

$$n = \frac{960}{48 \times 2.54} = 7.88。$$

標準螺管之截面積為 $A = \frac{\pi}{4} \times (1.75 \times 2.54)^2 = 15.5$ 平方厘米。

(甲)由第 8.16 式， $B = 0.4\pi \times 7.88 \times 3.82 = 37.8$ 奧斯。 (答)

(乙) $\Phi = BA = 37.8 \times 15.5 = 586$ 馬。 (答)

(丙)用第 8.21 式

$$K = \frac{0.4\pi \times 7.88 \times 2,000 \times 15.5 \times 3.82}{12.4 \times 10} = 2,360。 (答)$$

(丁) $\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi = KD_2 = 2,360 \times 8.9 = 21,000$ 馬。 (答)

8-21. 軛鐵法——由霍浦金生氏(Hopkinson)始創之軛鐵法(Yoke method)，即分段鐵條法(Divided-Bar method)，以直徑為 $\frac{1}{2}$ 吋至 $\frac{3}{4}$ 吋 (0.64 至 1.27 厘米)，長約 20 吋 (50.8 厘米) 之圓棒為試驗樣品。此棒分成 AB 兩段，在 e 點相接觸，見第 8.17 圖甲。

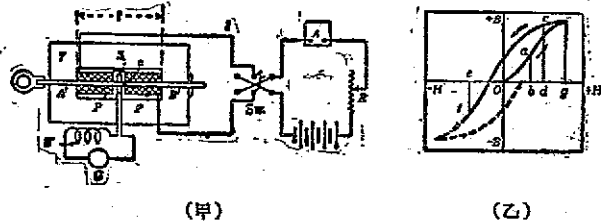


圖 8.17 軛鐵法

此兩端必須精確磨琢，成平滑之表面，俾有緊密之面的接觸，以利磁通之穿過。其二末端則緊嵌於一厚重之軛鐵內，後者之磁阻甚小，與棒之磁阻較，可以略去不計。棒之有效長度為 l 厘米，此即軛鐵兩內面間之距離。其兩段棒上激發線卷 PP 共有 N 匝。其磁通，

可藉另一副錄卷 S 量度之。棒 A 穿過錄卷 S ，並以彈簧相連，若抽出棒 A ，則 S 即跳出軛鐵以外。

電流計與一標準螺管之副錄卷 S' ，及此副錄卷 S 相串聯，(見第 8.17 圖，甲)。激發錄卷之電流，由一電池組或任何穩定電源供給之，經一變阻器 R ，安培計 A 及換向開關 Sw 。或以一降壓錄代替變阻器，調節較易。其每厘米長度之磁通勢為

$$H = \frac{0.4\pi NI}{l}$$

欲定其正常感應曲線上之 a 點，則增加電流至磁通勢為 ob ，見第 8.17 圖(乙)。將棒之 A 端抽出，使 S 跳出，讀取電流計上之衝擊程。因當 S 跳出時，與錄卷 S 相連繫之磁通忽變為零，則電流計上之偏轉，與曲線之縱坐標 ba 成比例。欲求磁滯曲線上之 c 點，將激發增加至 og 處，然後退至 od 。再以棒之 A 端抽出，而讀取與 cd 成比例之電流計偏轉。欲求磁滯迴線上之 f 點，則增加激發至 og ，減低至零，將換向開關投向他方，再增加負的激發至 e 點。再將端之 A 端抽出，而讀取電流計之偏轉，則與縱坐標 ef 成比例。

電流計，則以第 8—20 節所述之方法校準之。其磁通既易求出，則由棒之截面積 A ，亦易求得其磁通密度 B 。

用此法量度時，由於自棒至軛間之磁漏， AB 兩段間不完美之磁的接觸，以及軛鐵內之磁滯等，致結果常略有差誤。

8—22. 環鐵法——由勞蘭德氏(Rowland)所計劃之量度磁通之環鐵法(Ring method)，係應用一種閉合磁路之樣品，其常用之式樣為一圓環，(如第 8.16 圖及第 8.18 圖，甲)。但如不便製成環形時，亦可用正方形者。例如一正方形鐵芯，可用 Γ 形分片，交互疊成，若疊置得當，則因接觸處所引起之差誤可減至極小。用環鐵法之電路聯接(見第 8.16 圖及第 8.18 圖甲)。與用軛鐵法之聯接(見第

3.17 圖(甲)相同，其主要不同之點，在於如何磁化一週之循環而已。

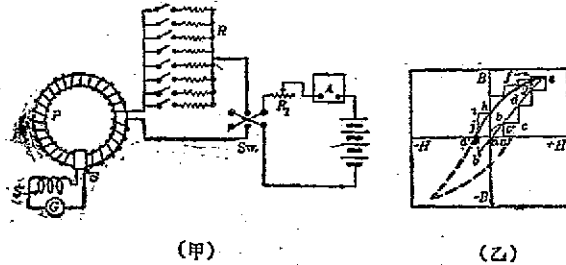


圖 3.18 量度磁通之環鐵法

其主線卷 P 均勻的捲繞於環上，若樣品成正方形，則捲繞於正方形之四邊。其總磁通勢，以樣品之平均磁路長度除之，得 H 之值。其副線卷 S 亦繞於樣品上，如第 8.16 圖及第 8.18 圖(甲)所示之情形。此實驗之成功與否，有賴於電流能否急速的變動一定量。為達到此目的起見，用若干電阻 R 相並聯，每一電阻經過一開關(見第 8.18 圖，甲)，似較串聯之滑觸法為佳。其輔助電阻 R_1 ，為調準各種最大電流之用。若用一串聯電阻，分接出若干接頭，以若干開關分別捷接其一段電阻，亦可作變動電流之用。

因此樣品為閉合的磁路，最初必有相當之剩磁存在，非減低至最小值不可，可將雙投開關反向閉合，同時調節 R_1 及 R ，將電流緩減至零，若是則鐵沿磁滯迴線之下降部份而反磁化。苟調節得宜，可將剩磁減至最小量。

在讀取其正常飽和曲線時，每次必須將雙投開關反向閉合一次。例如欲求在 8.18 圖(乙)中正常飽和曲線之 b 點，即求 Φ_1 之磁通。若將磁化力調準至 a 點，而中斷其電路，因剩磁之故，磁通之變動並非 $ab = \Phi_1$ ，而實為 bc' 。但若將開關反向閉合，則其磁通由正

的 Φ_1 變至負的 Φ_1 ，即總變動為 $2\Phi_1$ ，其 $\alpha\alpha' = \alpha\alpha'$ 。求曲線上之任何點，皆先調節至所需之磁化力，將開關反投，而觀測電流計之偏轉，其偏轉度與所求磁通之二倍成比例。

其正常曲線及磁滯迴線之讀取，皆可用逐步增加法。當閉合 K_1 之一開關（第 8.18 圖，甲），將磁化力由 0 增至 a 點時（第 8.18 圖，乙），使磁通量變動 ab ，可由電流計之衝擊的偏轉度求之。再閉合第二開關，使 H 增加至 bc ，磁通增加至 cd 之量，此增加之量，可由閉合開關時電流計之偏轉度讀出。由此逐步增加至 e 點，則在 e 點之總磁通為 $ba + cd + \dots$ 等。電流計每次所量出者，為每次變動磁化力時磁通之增加量，或減少量。在讀取磁滯迴線時，可開啓一開關，使磁化力減少 ef ，由電流計量得磁通之減少量 fg 。當達頑磁性 oh 時，則將開關反投，而閉合一單投開關（第 8.18 圖，甲），則磁化力被減少 hi ，而磁通減少 ij 。若是逐步變換，經一次完全磁滯之循環。

因在任何點之磁通，為逐次磁通增加量之和，故一次之錯，足以影響全部紀錄。苟於讀取正式記錄以前，先作一二次磁化循環之練習，以資熟練，則計甚得也。

用環鐵法，較用軛鐵法，雖可得較準確之結果，而操縱不易，且難得形式便利之樣品。再者一次之錯，如電流計之記錄讀取不準，或無意中誤開一開關之類，皆足使全部記錄歸於無效也。

8-23. 古普塞爾磁導計——在前述兩種量磁法中，其量度皆為間接的，手續較繁，而計算亦難。古普塞爾磁導計則為一直接指示之儀器，在儀器上可直接讀出某種樣品之磁通密度，有若由安培計直接讀取電流之便捷。其磁通勢亦可由一安培計讀取之。此儀器係根據衛斯吞安培計（第 5-4 節）之原理，即一載有電流之線卷在磁場內，恆有佔一與磁場相垂直之位置之趨勢。在普通衛斯吞儀器

內，其磁通為定量，故其偏轉與動卷內之電流成比例。在古普塞爾磁導計內，其動卷內之電流為定量，其偏轉度自與空氣隙內之磁通成比例。

此儀器(第 8.19 圖)包括兩個厚重之軟鐵軛 JJ ，一個轉動於甚短空氣隙內之線卷 M ，兩個補償線卷 CC ，及一個激發線卷 S 。被試驗之樣品，為一鐵棒 P ，以鐵夾 KK 及螺栓 $S'S'$ 裝於軛鐵內。此棒可圓可方，通常適用一 6 毫米見方或 6 毫米 (0.235 吋) 直徑者。

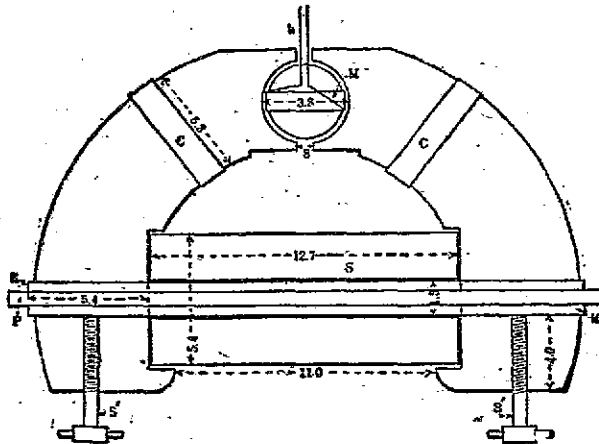


圖 8.19 古普塞爾磁導計之略圖

若轉動線卷 M 內之電流為 $0.005/A$ ， A 為試驗樣品之截面積，以平方厘米計，則此儀器可直接指示所量之磁通密度。其動卷內之電流由三四個乾電池串聯，經一適當之變阻器，調準至 4 伏電壓之電源供給之。一經調準後，其電流須保持不變。其激發線卷 S 每厘米繞有 79.6 匝 (即 $100/0.4\pi$)，若 I 為激發電流之安數，則每厘米之磁通勢為 $H = 0.4\pi (100/0.4\pi) I = 100 I$ 吉柏，故每厘米之磁通勢，可以安培計之讀數乘以 100 得之。可用同一安培計，讀取動卷之電

流及激發電流，不過須以插塞變換不同之分流器於安培計耳。

即或試驗樣品未裝配時，若激發線卷內有電流，其磁通勢足使軀鐵內產生甚大之磁通，儀器乃有偏轉。欲取消此不必要之偏轉，可於軀之近空氣隙處，捲繞兩匝抵償線卷 cc ，與 S 相串聯而磁通勢相反。調節此兩線卷使在正常狀態時，偏轉為零。地磁磁場，亦足使線卷偏轉，故儀器必須安放於磁之子午線之平面內。

此種儀器，雖動作簡單，便於使用，而常有些微之差誤，尤以在高磁通密度時為甚。因假定鐵棒之磁通之通過空氣隙者，與所產生者，必有一定之比率。但此比率，偶或變動百分之二左右，視磁通之密度而定。再因空氣隙之磁阻及磁漏等原因， H 之差誤最大可達百分之十。每儀器大都皆附有改正曲線，以期減免此類差誤。但在一般情形之下，其差誤不致過大，對於比較磁鐵材料之磁性，及檢驗其不均勻性等，殊為有用。

第九章

自感量與互感量

在前數章中述及一電路中之電流係由電源，如電路中之發電機或電池組，及電阻所決定。凡電流在穩定狀態 (Steady state) 下者，確僅由此二因素決定電流之大小。然設電流有所變動，致使附屬於此電路之磁場有所變動。磁場之變動可在電路本身有電勢之感應，而此感應電勢對於電流值之決定亦有效力。此種電勢僅存在在電流變動之際，若電流穩定即不復存在。

一電路如遇有電流之變化而在此電路本身有電勢之感應，此電路即稱為含有自感量 (Self-inductance)，或通稱電感量 (Inductance)。決定電路中電感量之效應之方法見以下各節。

設一電路與另一電路相關連，致一電路中電流之變化使與另一電路某數匝連繫之磁通有所變化，此二電路係稱為含有互感量 (Mutual inductance)，互感量亦將於以下諸節中討論之。

電感量之效應實際上即係應電勢 (Induced electromotive force) 之效應，電機器械如發電機電動機及變壓器等之運用，基本依賴應電勢之作用，故對於應電勢原理之了解，至為重要。

9-1. 應電勢——設以一絕緣線卷之兩端接至一電流計第 9.1 圖，(甲)，用條形磁鐵之插入或其他方法，使此線卷周圍有磁場產生，此電流計將有暫時的偏轉，然後歸於停止。此一現象表示在線卷中已有電勢之暫時感應。當通過線卷之磁通停止變化，此電勢亦即停止。如加以研究，可發現此應電勢之方向係如圖中所示，且若

此電勢能容許產生一電流，其方向適使此電流有將該磁鐵推出線卷之趨勢，亦即反對此磁鐵進入線卷之意。

今設將磁鐵自線卷中抽出(第9.1圖,乙),電流計將再度偏轉,亦如適間之為暫時的,惟偏轉之方向適與之相反。現在若此電勢亦產生一電流,則其方向使此電流有阻止該磁鐵自線卷中退出之趨勢。在上述之任一情況下,其應電勢皆為暫時的,即至穿過線卷內之磁通無變化時,電勢乃止。

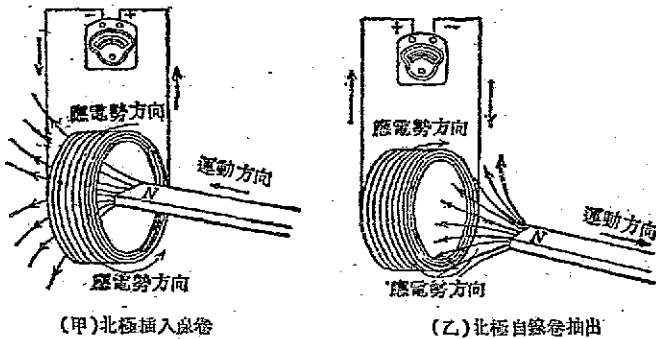


圖9.1 感應電動勢

若預予量度,可測知此應電勢之值,隨(1)線卷之匝數,及(2)與線卷相連繫之磁通之變動率而異。

若 N 為線卷之匝數, Φ 為在 t 秒時間內,該線卷所連繫之磁通之總變動量,則其平均應電勢為

$$e = -N \frac{\Phi}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (9.1)$$

該式內之 10^{-8} ,係用以將電勢化為實用單位伏特,其負號則表示應電勢,與其所由產生之效應相反。

Φ/t 為磁通之變動率,故應電勢可認為與匝數及磁通變動率成比例。

【例題 9.1】今有 1,500,000 線之磁通，與 350 匝線卷相連繫。若穿過線卷之磁通在 0.2 秒內，以均勻率降低為零，問當此際，其應電勢為若干？

$$\text{【解】} \quad e = 350 \times \frac{1,500,000 \times 10^{-8}}{0.2} = 26.26 \text{ 伏} \quad (\text{答})$$

若磁通之變動率並不均勻，在每一剎那其變動率皆不同，則應電勢仍可由每一瞬間之磁通變動率 $\frac{d\Phi}{dt}$ 求之。例如在變壓器內，其磁通則隨時間作正弦律之變動。在此情形之下，其應電勢為

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ 伏} \quad (9.2)$$

在第 9.1 例題中，其磁通之瞬間變動率，為 $\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1,500,000}{0.2} = 7.5 \times 10^6$ 馬/秒。

感應而生之電流，恆與促使發生此感應之效應相反，實為各種電機所由運用之主因，應牢記之。此原則為楞次氏所首創，闡發為楞次定律 (Lenz's law) 如下：

在所有電磁感應中，其應電勢恆有一方向，使所產生之電流，與促使產生此感應之效應相反。

此定律亦係基於能量不滅定律而闡發者。將磁棒插入線卷，或自線卷中抽出，皆需用機械功能，以克制線卷之反抗，因而產生應電勢，此機械能即化為電能。若變動電路內之電流而生應電勢，則此應電勢亦因磁通變動而產生者，其理由與插入或抽出磁棒者同。

9-2. 磁通電流連繫與自感量——電流經過一導體，則有磁通產生於導體之四週，此磁通完全環繞此導體，而導體中之電流亦完全環繞其磁通。第 9.2 圖內之各圖，即表示此種電流與磁通互相環繞之情形。

在第 9.2 圖 (甲) 中，一單匝線卷載有電流，其所生磁通如所示之小環，而電流亦貫穿各環。在圖 (乙) 中，表示電流經過一以薄片

所曲成之圓筒。其磁通環繞圓筒各部，而筒上之電流亦環繞磁通。圖(丙)示一圓圈導體，與穿過磁芯之磁通，互相鏈接之情形。另一極佳之例如圖(丁)，該圖示一舉重磁鐵磁路內之磁通，與其激發線卷相連繫。

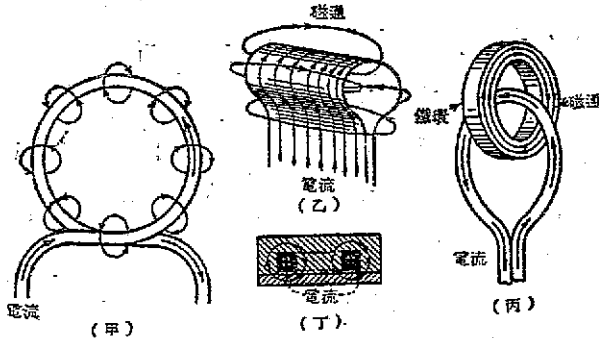


圖9.2 磁通電流相連繫之示範

此數圖足以表示一電流及其所產生之磁通恆互相環繞若鏈。此二者謂之互相連繫(Link each other)。

以線卷之匝數乘以與此匝數相連繫之磁力線數，謂之該線卷之磁通連繫(Flux linkage)。若磁通之單位為馬，則磁通連繫可以厘米克秒制單位表之。

【例題9.2】某螺管有800匝，5安電流經此管則產生2,500,000線之磁通，問其厘米克秒制單位之磁通連繫為若干？

【解】 $800 \times 2,500,000 = 20 \times 10^8$ (厘米克秒制單位) (答)

若磁路內之磁阻不變，則每單位電流之磁通連繫數，謂之該磁路之自感量或電感，其符號為 L ，蓋含連繫(Linkage)之意。其單位為亨利(Henry，簡稱爲亨)。

(1) 約瑟夫亨利(Henry, Joseph 1797—1878)一卓越之英籍物理學家也。幼就讀於阿爾班學院(Albany Academy)，習醫。由是對科學發生興趣，於1825年發

由上述定義，若 Φ 為磁通之馬數， I 為電流之安數，則

$$L = \frac{N\Phi}{I \times 10^8} \text{ 亨。} \quad (9.3)$$

在上式內， 10^8 係用以化厘米克秒制單位為實用單位。

【例題 9.3】在例題 9.2 之磁路中，求其電感。若其匝數增加至 1200 匝，求其電感。

【解】(甲) $L_1 = \frac{20 \times 10^8}{5 \times 10^8} = 4.0 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$

(乙) 若線卷為 1200 匝，而電流仍為 5 安，其磁通為

$$\frac{1200}{800} \times 2,500,000 = 3,750,000 \text{ 馬。}$$

其新磁通連繫為 $3,750,000 \times 1,200 = 4.5 \times 10^9$,

$$L_2 = \frac{4.5 \times 10^9}{5 \times 10^8} = 9.0 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$$

在史密松室物運表(Smithsonian Physical Table)內所列自感量之定義，係以下述關係為依據：

任何電路內之自感量，為一單位電流變化率所產生於該電路內之應電勢。

由第 9.2 式，一若自感量基本為磁通之函數，更易誤解為與線卷之匝數成正比者，實則此皆大謬不然。在磁阻不變之磁路內，磁通與激發電流及匝數成比例，即 $\Phi = 0.4\pi NI/\mathcal{R}$ ，其 \mathcal{R} 為磁路之磁阻，則

$$L = \frac{0.4\pi N^2 I}{\mathcal{R} 10^8} \text{ 亨。} \quad (9.4)$$

再因 $\mathcal{R} = l/\mu A$,

選任為該學院之自然哲學及數學講座。利用其粗率之工具及僅有之餘暇，從事於電磁儀器之改良，並發表關於電磁學之論文。1832 年被選任為普魯斯香(Princeton)大學自然哲學講座。1846 年升任華盛頓史密松室(Smithsonian)學院秘書兼董事。氏對科學之最重要貢獻，當推磁及電流關係與夫電流及應電勢關係之確立。

$$L = \frac{0.4\pi N^2 I \mu A}{l \times 10^7} \text{ 亨。} \quad (9.5)$$

是以自感量胥視磁路之幾何性質，線卷匝數及其磁導係數而定。

由第 9.4 及 9.5 式更可見，若磁阻為定值，則自感量與線卷匝數之平方成比例。在第 9.3 式內，雖僅列 N 一次方，但該式內未計及產生此磁通之電流與磁通之關係，不可據以為斷判自感與匝數之關係也。由例題 9.2 及 9.3，可證明此說之不誤。

$$L_2 = \left(\frac{1200}{800}\right)^2 L_1 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 \times 4 = 9 \text{ 亨。}$$

9-3. 自感應電勢——設將一線卷與一電池組連接，閉合開關 S (第 9.3 圖)，即有電流流入。此電流產生磁通與線卷連繫。磁通如有增加，必可在線卷中感應一電勢，其量視線卷中之匝數及磁通增加之速率而定。根據楞次定律，並研究第 9.1 圖 (甲)，感應之電勢必採之方向，須可以反對與線卷相連繫之磁通之增加者，故必須反對電流之任何增加。如第 9.3

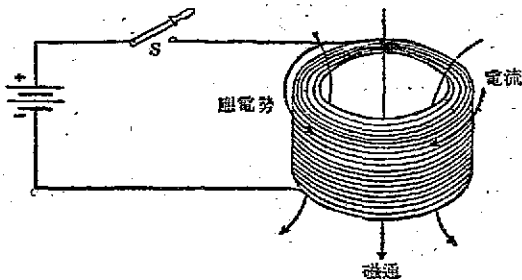
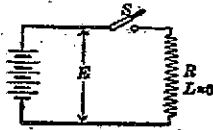


圖 9.3 自感應電勢與電流之關係

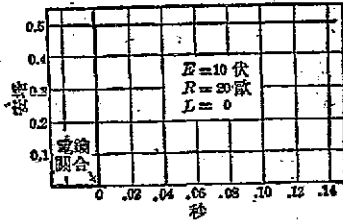
圖中，自上俯視線卷中電流之方向係順時針的，磁通之方向係向下的，應電勢之方向則是逆時針的，即與電流之方向相反。故此電流即不能立即增達其最大值，反被其自己所致生之電勢所阻滯。此種與其所由產生之電流，作用於同一電路中之電勢，稱為自感應電勢 (Emf. of self-induction)。

第 9.4 圖示一僅含電阻之電路中，電流上升之情形，外施電勢為 10 伏，電阻為 20 歐。當開關 S 關合以後，電流立即升至其最大值或曰歐姆定律值 0.5 安。

然在有感電路 (Inductive circuit) 中，電流須逐漸升達其



(甲)



(乙)

圖 9.4 無感電路內電流之升高

歐姆定律值如第 9.6 圖 (乙) 所示。電流雖可在短時間內升達與此相差無幾之值，然欲真正升達此值，則需無限長之時間。有感電路中電流與時間之關係將於第 9—6 節中論之。

9—4. 自感應電勢之計算——自第 9.1 式，一線卷中因與之相連繫之磁通之變化而感應之電勢為

$$e = -N \frac{\Phi}{t} 10^{-8} \text{ 伏}, \quad (9.6)$$

式中 N 為線卷之匝數， Φ/t 為磁通之變動率。

從第 9.3 式，

$$L = \frac{N \Phi}{I} 10^{-8} \text{ 或 } N \Phi 10^{-8} = LI.$$

又自感應電勢係與電流之變動相反，故自感應電勢之值可以寫作

$$e = -\frac{N \Phi 10^{-8}}{t} = -L \frac{I}{t}. \quad (9.7)$$

設電流之變動率因時而異，必須用電流對時間之微分係數 $\frac{di}{dt}$ 。從第 9.2 式， $e = -N \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8}$ 伏，從第 9.3 式， $N \Phi 10^{-8} =$

Li 。乘以 -1 並求其微分。

$$-N \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} = -L \frac{di}{dt} = e \text{ 伏,}$$

$$e = -L \frac{di}{dt} \text{ 伏。} \quad (9.8)$$

式中 L 為自感量之亨數。

故自感應電勢為電感與電流變動率之乘積。負號表示此電勢之方向係與電流變動之方向相反。

若電感隨磁通而變動，第 9.8 式可以寫作

$$e = -\frac{d}{dt}(Li) = -\left(L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}\right) \text{ 伏。} \quad (9.9)$$

新加之項係由於因電感變動而致之應電勢。

【例題 9.4】某發電機場電路中之電感為 6 亨。設在 0.05 秒內將 12 安之場電流予以截止，求場電路中之平均應電勢。

$$\text{【解】} \quad e = -6 \frac{12}{0.05} = -1,440 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

9-5. 變磁路之自感量——如磁路中之磁阻並不恆定，則電感量等於匝數及磁通變動率之乘積除以電流之變動率及 10^8 。此關係用下列方法演出。今設 L 為一變動的自感量，在任何瞬間應電勢為

$$-L \frac{di}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (9.10)$$

求 L 得

$$L = N \frac{d\Phi}{di} 10^{-8} \text{ 亨。} \quad (9.11)$$

上列關係可用第 9.5 圖說明之。一含 500 匝之電路與一磁路相連繫。電路接通至 200 伏電源後，電流自零上升如第 9.5 圖(甲)中曲線 I 所示。然電流之增加使鐵變為飽和狀態，如(乙)中磁路之飽和曲線所示。故當(甲)中電流之值逐漸增大，磁通之增加率，對電流之增加率而論，即為逐漸減少。在 P 點(第 9.5 圖，甲)時，相當於 0.0055 秒，磁通係以每秒 2×10^7 馬之速率增加，

在同時之電流增加率為每秒 200 安。此種增加率可以在曲線上就該點時間作切線決定之。

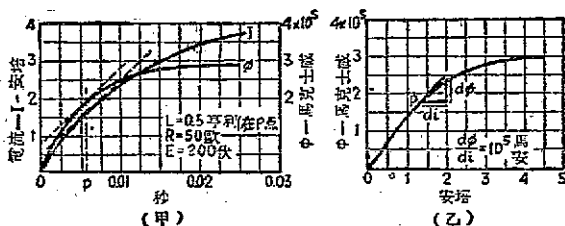


圖 9.5 磁通電流關係變更時之電感

【例題 9.5】 求在 P 瞬間，自感量之值。

【解】 由第 9.10 式，
$$L = \frac{(N \frac{d\Phi}{dt})}{\frac{di}{dt}} \times 10^{-8} \text{ 亨}$$

是以
$$L = 500 \frac{2 \times 10^7}{200 \times 10^8} = 0.5 \text{ 亨} \quad (\text{答})$$

在圖(乙)中，顯示此磁路之飽和曲線，其 P 點相當於圖(甲)之 P 點。在該點，磁通對於電流之變動率 ($d\Phi/di$) 為每安 10⁵ 馬，係由圖(乙)在 P 點之切線求得者。由第 9.11 式得

$$L = 500 \times 10^5 \times 10^{-8} = 0.5 \text{ 亨} \quad (\text{核})$$

9-6. 有感電路內電流之上升——在第 9.6 圖中，一電路包括一電阻 R 歐與電感 L 亨相串聯。電感本身假定為無電阻，其實在

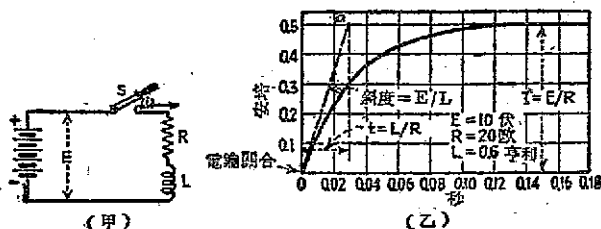


圖 9.6 有感電路內電流之升高

之電阻甚小，已歸納於 R 內。當關合開關 S ，突使一電壓 E 施於該電路。設視關合開關 S 之瞬時為零，則其電流 i 之安數，將為時間 t 之秒數之函數。

此外施電壓，不獨供給電路內之電阻壓降，且須克制自感應電勢， $-L(di/dt)$ 。其克制應電勢之電壓為 $-(-Ldi/dt)$ ，故

$$E = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (9.12)$$

此式為一次微分方程式，故不難以積分解之。先以 dt 乘 9.12 式之兩邊，移項得

$$(E - Ri)dt = Ldi, \\ \frac{di}{E - Ri} = \frac{1}{L} dt.$$

積分之，得

$$-\frac{1}{R} \log_e (E - Ri) = \frac{1}{L} t + K,$$

其 e 為自然對數之基數，即 2.718， K 為一積分常數。

$$\log_e (E - Ri) = -\frac{R}{L} t - KR.$$

當 $t=0$ 時， $i=0$ 。此關係固無異議者，蓋若不然，在 $t=0$ 時，電流即達某一定值，則此電流之變動率將為無限大，而自感應電勢，亦將為無限大矣。是以，

$$K = -\frac{1}{R} \log_e E,$$

$$\log_e (E - Ri) - \log_e E = \log_e \frac{(E - Ri)}{E} = -R \frac{t}{L}.$$

化為指數式，

$$\frac{E - Ri}{E} = e^{-\frac{Rt}{L}},$$

$$\text{由是得,} \quad i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right). \quad (9.13)$$

此為一指數方程式，用圖表之如第 9.6 圖(乙)。圖中所指之電

路， $E=10$ 伏， $R=20$ 歐， $L=0.6$ 亨。

電流之增加率在最初甚大，由是逐漸減小，直至 $t=\infty$ 時始減為零。自理論上言之，電流引經無限長時間不能升達其歐姆定律值。實際上，在較短時間內，幾已升達此值。

在任何 t 時之電流變動率，

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{R} \frac{d}{dt} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) = \frac{E}{L} e^{-\frac{Rt}{L}} \text{ 安/秒。} \quad (9.14)$$

在 $t=0$ 時，

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{L} \text{ 安/秒。} \quad (9.15)$$

即謂在閉合開關 S 之瞬間，電流開始以每秒 E/L 安之速率增加。

自原點 O 所作此曲線之切線，其斜度必為 E/L ，如第 9.6 圖(乙)中 oa 線所示。且如自第 9.12 式直接求之，亦可得在 $t=0$ 時， $i=0$ ，及 $di/dt=E/L$ ，此即在閉合開關之瞬間，電流之增加率。

電流既係逐漸升達其歐姆定律值，而在理論上又永不能晉達此值，故晉達甚或接近此值所需之時間，決不能視為電流增加率之準度。因此取時間 L/R 為準度。此種電感之亨數與電阻之歐數之比 L/R ，謂之電路之時間常數 (Time constant)，係等於電流晉達其歐姆定律值之 63.2% 所需之時間之秒數。以 L/R 值替代第 9.13 式之 t 得

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \left(\frac{L}{R} \right)} \right) \text{ 安。}$$

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - \frac{1}{2.718} \right) = 0.632 \frac{E}{R} \text{ 安。} \quad (9.16)$$

意即在 L/R 秒之時間內，電流可達其最後值 (或曰歐姆定律值) 之 63.2%。此關係可自第 9.6 圖(乙)中見之，其時間常數為 $0.6/20=0.03$ 秒。

又可注意者，若電流以其最初增加率 E/L 繼續增加，其升達歐姆定律值所需之時間即為 L/R 秒。亦即

$$i = \frac{E}{L} t = \frac{E}{R} \cdot \frac{L}{R} = \frac{E}{R} \text{ 安。}$$

由第 9.6 圖(乙)之切線 oa ，可見在 0.5 安處，此切線交接 0.03 秒之縱坐標。

【例題 9.6】某蓄積器之電阻為 400 歐，電感為 0.4 亨，今將此蓄積器突接至 120 伏上，求 (1) 電流之方程式；(2) 電流開始增加之速率；(3) 在 0.0005 秒時之電流值；(4) 電路之時間常數；(5) 相當於 (4) 之時間之電流值。

【解】(1) 代入第 9.13 式，

$$i = \frac{120}{400} \left(1 - e^{-\frac{400t}{0.4}} \right) = 0.3(1 - e^{-1,000t})。 \quad (\text{答})$$

(2) $t=0$ 時，

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{L} = \frac{120}{0.4} = 300 \text{ 安/秒。} \quad (\text{答})$$

(3) $i = 0.3(1 - e^{-1,000 \times 0.0005})$

$$= 0.3(1 - e^{-0.5}) = 0.3\left(1 - \frac{1}{\sqrt{e}}\right) = 0.1179 \text{ 安。} (\text{答})$$

(4) 時間常數 $T = \frac{L}{R} = \frac{0.4}{400} = 0.001 \text{ 秒。} \quad (\text{答})$

(5) $i = 0.3\left(1 - \frac{1}{e}\right) = 0.3(1 - 0.368) = 0.1896 \text{ 安。} \quad (\text{答})$

此種因自感應而使電路中電流之上升，有所遲緩之現象，應熟諳之。例如蓄積器，解扣線卷 (Trip coil 斷路器用) 等中之時滯 (Time lag)，俱因感應而生者。又當一電路被捷接時，在剛發生捷路以後，斷路器或蓄積器控制之開關未及開啓，必有相當之時間延緩。在斷路器之類未開啓以前，電感實為控制衝入捷路電流之一重要因素。

9-7. 有感電路內電流之變衰 —— 設將一載有電流之有感電

路予以捷接，電流並不如在無感電路中之立即停止，仍繼續流過，但在被捷接相當時間以後，始歸於零。自理論上言之，亦惟經無限長時間後方歸於零。此種在外施電壓已經停止以後而存在之電流，亦係由於自感應電勢而生者。因電流而有磁通與線卷相連繫，電流減少，磁通亦復減少，磁通之減少使線卷內感應一電勢。猶之第 9.1 圖(乙)因抽出磁棒減少磁通而感應電勢者同。其電流欲阻止磁通之退出，故在此情形下之自感應電勢，亦欲阻止電流以及磁通之減少。此電勢隨電流以及磁通之減少率之遞減而遞減。

第 9.7 圖(甲)示一可以安全捷接之電阻與電感之電路。開關 S 之裝置係可以捷接串聯之電阻 R 及電感 L 。正當捷接之瞬間，通過 R 及 L 之電流為 I_0 安。另插入一捲線與電池組串聯，俾可保護後者不受捷接之影響。此際電阻與電感間之電流，可用第 9.12 式，

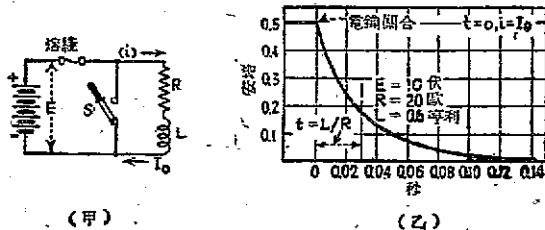


圖 9.7 有感電路內電流之退落

令 $E=0$ 求出，並以之作爲一種時間之函數。此電路亦係一基本的簡單電路，其電勢即自感應電勢， $-L di/dt$ ，施於電阻 R 。故根據歐姆定律，

$$iR = -L \frac{di}{dt}, \quad (9.17)$$

負號表示自感應電勢係與產生此電勢之效應相反(楞次定律)。將此式求積分：

$$\frac{di}{i} = -\frac{R}{L} dt,$$

$$\log_e i = -\frac{Rt}{L} + K.$$

式中 K 為積分常數，

當 $t=0$, $i=I_0$ 。故

$$\log_e I_0 = K,$$

$$\log_e \frac{i}{I_0} = -\frac{Rt}{L}.$$

化為指數方程式並求 i ，

$$i = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}. \quad (9.18)$$

第 9.18 式係一變衰的非數方程式。理論上，電流僅有在無限長時間後始衰為零，實際上在極短時間內即衰減至零。第 9.7 圖(乙)示此方程式之曲線，所代表之電路在未接以前 $E=10$ 伏， R 為 20 歐， L 為 0.6 亨，數值與第 9.6 圖(乙)之電路相同。

本電路之時間常數 $T=L/R$ ，今亦採為電流變衰率之準度。例如在 $t=T=L/R$ 時，

$$i = \frac{I_0}{e} = 0.368 I_0. \quad (9.19)$$

【例題 9.7】設如第 9.7 圖(甲)之電路，其常數值如(乙)所示，電流在開關 S 關合時為 $I_0=0.5$ 安。求：(甲) $t=0.01$ 秒時之電流值；(乙)電路之時間常數；(丙)相當於(乙)之時間之電流值。

【解】(甲)應用第 9.19 式，

$$i = 0.5 e^{\frac{-20 \times 0.01}{0.6}} = \frac{0.5}{2.718^{0.333}} = \frac{0.5}{1.396} = 0.358 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$(乙) \quad T = \frac{L}{R} = \frac{0.6}{20} = 0.03 \text{ 秒。} \quad (\text{答})$$

$$(丙) \quad \xi = I_0 e^{-1} = I_0 / e = 0.368 I_0 = 0.184 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

9-8. 磁場之能量——磁場在建立時，必須有能量之消耗。然欲維持一恆定之磁場，單就磁場本身而論，並不再需能量之消耗。其供給於電磁鐵之激發線卷之能量，係由於銅中之 I^2R 損失，並不與磁場本身之能量有關。磁場之能量係儲為位能，與舉重時所蓄之位能相似。將重物舉高，必須作功，但已舉高後，則毋需功能以維持之矣。若 W 為物體之重量以磅計， h 為所舉之高度以呎計，則舉此重物所作之功為 Wh 呎磅，此功能即蓄於重物，隨時可得而利用之。

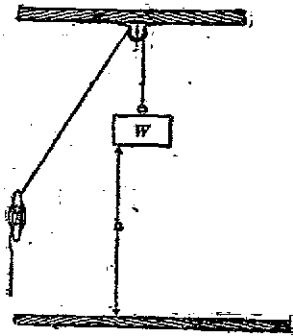


圖 9.8 被懸重物之功能

同理，磁場所蓄之能量，亦可以不同方式發洩之，如在開啓開關時所生之電弧(arc)之類。在交流電路內，所有此種能量可鑒還於電路。

若 L 為電路之電感以亨計， I 為最後之電流以安計，則此際磁場所蓄之能量之焦數，或瓦秒數為

$$W = \frac{1}{2} LI^2. \quad (9.20)^*$$

第 9.20 式可依下述步驟演繹之。試就電路內所載之電流之言，如第 9.6 圖(甲)，其直迄 t 秒時之能量輸入為 $\int_0^t E i dt$ ，除一部 $\int_0^t i^2 R dt$ 為電阻消耗，散逸為熱外，餘者皆儲於磁路內。此能量可以下列方法求出之。蓋若一電路之電流逆電勢而流，則可發生機械功率，如電動機之類，或為該電路之一部所儲蓄，如使蓄電池充電之類。在有感電路中，電流逆反電勢 $e = -L(di/dt)$ 而流，故其能

*第 9.20 式與運動物體所蓄能量之公式相似。若一物體之質量為 M ，以速度 V 而運動，其動能為 $\frac{1}{2} MV^2$ 。再如一旋轉物體，其轉動慣量為 I ，其有速度為 ω ，其動能為 $\frac{1}{2} I \omega^2$ 。

量爲所儲蓄。

其功率之瞬間值爲 $ie = i(L di/dt)$ ，而能量爲

$$W = \int_0^T ie dt = L \int_0^I i di = \frac{1}{2} LI^2. \quad (9.20)$$

(當 $t=T$ 時， i 達其穩定值 I)。

第 9.20 式表示磁場之能量與電流之平方成比例，是以在中斷有高感之電路前，苟有適當之電阻，將其電流減低一半，則發洩於開關接觸點之電弧之電能，可減至四分之一，較不用串聯電阻者爲安全。故當中斷電機之場電路時，應注意及之。

【例題 9.8】某電路內有電感 4 亨，電流爲 10 安。問磁場之能量爲若干？設將此電流在 0.2 秒內予以中斷，求磁場在此時間內所發洩之功率之平均值。

【解】 $W = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^2 = 200$ 瓦·秒或焦。 (答)

$$P = \frac{200}{0.2} = 1,000 \text{ 瓦} = 1 \text{ 仟瓦。} \quad (答)$$

9—9. 磁能與熱能——設如第 9.6 圖(甲)之電路已有電流存在，而開啓開關 S ，則在開關之接觸點上，卽有可觀之電弧出現。此電弧，較之含有同值電流及電壓，然僅有電阻之電路(如第 9.4 圖，甲)在其開關接觸點上所出現者，遠爲鉅大。此種開關接觸點上出現之電弧，可歸原於自感量之兩種效應。

當開啓開關之時，電流被迫迅速降低。電流之降低致生自感應電勢， $-L di/dt$ ，企圖阻止電流降低。此種感應電勢甚高，力能在開關接觸點間展開並維持此電弧至相當長久。電弧燒燬開關之接觸點，使後者易於損壞。

如再就能量之觀點，將此現象加以考察，更易明瞭。儲蓄於磁場之能量爲 $\frac{1}{2}LI^2$ 焦。當電流等於零時，儲蓄於磁場之能量亦必變爲零，但根據能量不滅定律，此能量必須出現於其他場所。故在此等情形，卽變爲出現於開關接觸點之電弧之熱能。

此種感應電勢及由中斷有感電路而生之電弧，就人體傷害及器

械損壞之觀點言之，均甚危險。例如交流發電機通常均用分激磁場，在停用發電機時，必須開啓此磁場電路。由是所致之自感應電勢，往往頗大，則可以擊穿其絕緣。

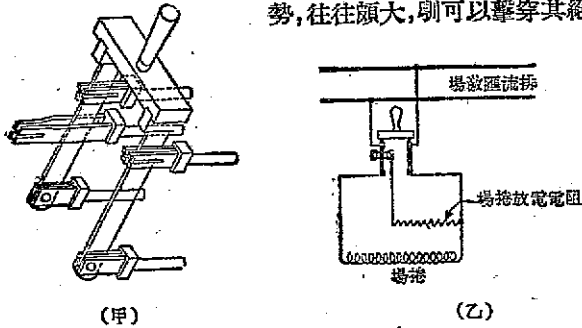


圖 9.9 場捲放電開關及其接線圖

爲保護磁場及避免擊穿起見，通常均用一場放電開關 (Field-discharge switch) (第 9.9 圖)。正當開啓開關之瞬間，使一場放電電阻與磁場及線路暫時並聯。磁場能量之一部份遂發洩於此電阻，而不於開關接觸點之電弧上出現。

對於開啓有感電路之開關，即使電壓甚低，亦須謹慎避免。蓋非僅有電弧燒損之危險，且易遭致極高應電勢之傷害。

又在用壓降法，即伏特計與安培計法，以量度有感電路內之電

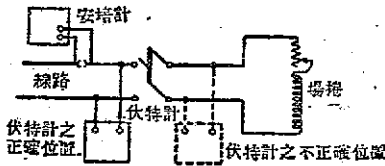


圖 9.10 有感電路內伏特計之正確位置

阻時，其伏特計決不可接於開關之有負載之一面，如第 9.10 圖虛線所示之位置。因當開啓開關時，其高應電勢立可將伏特計燒毀。其正確之接法，應接於

開關之電源之一面，如圖中實線所示，蓋電源部分之電壓始終保持其正常之值也。

9-10. 磁場能量之利用——磁場內儲蓄之能量，若善於利用，可得其佳之效果，如汽車中之發火設備 (Ignition system)，即其例也。其發火設備之線路，如第 9.11 圖所示。發火卷組 (Ignition coil) 有主線卷及副線卷，前者僅為數匝粗線所繞成，後者為較多匝數之細線所繞成，二者同繞於一疊片鐵芯上。其主卷經一斷續器 (Interrupter) 之接觸點，與一電池組相接。其斷續器之接觸點，由一旋轉之偏突輪 (Cam)，司其離合，偏突輪突出之齒數，與汽車之汽缸數相等。其接觸點所關合之時間，適足使鐵芯內之磁通，建

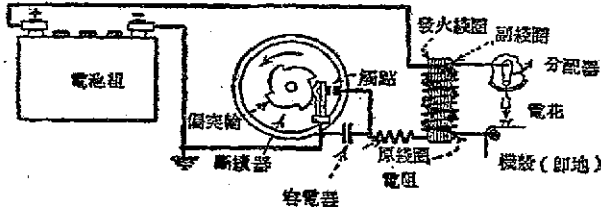


圖 9.11 汽車之發火設備

圖中原線圈應作主線卷，副線圈應作副線卷，發火線圈應作發火線卷，立至相當之值。嗣後接觸點驟離，使副卷內產生一高應電勢， $(e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt})$ ，此電勢使一發火電花跳過電花塞 (Spark plug) 之隙間 (Gap)。其逐漸儲蓄於磁場內之能量，一旦儘量發洩，可使電花塞之隙間產生高熱，而燃著汽缸內之汽體。其跨接於斷續器接觸點間之容電器，用以遏止電弧，否則，當接觸點相離，磁場內所蓄能量之一部，必使接觸點間發生電弧而燒毀之矣。用容電器後，則此能量轉儲於容電器內，當接觸點再合時，始放出之。與主卷相串聯之電阻，具有甚高之溫度係數。苟因不慎，在停車時，未將發火設備之電路中斷，而斷續器之接觸點又恰巧關合，則電流繼續流經主卷，使此電阻發熱，提高其電阻，則流過之電流不致過大，線卷亦不致受熱太甚。

此種離合發火制(Make-and-break ignition system)亦用於內燃機中。在汽缸帽(Cylinder head)內,有兩接觸點,與一低壓電源(常用6伏之乾電池)及一發火錄卷相串聯。此發火錄卷,與上述之主錄卷相似,以數匝繞於疊片之鐵芯上。其接觸點,亦以一偏突輪機構,司其離合。觸點合,則磁場建立於錄卷內,而鐵芯內儲有能量。觸點離,則此能量使觸點間發生一甚熱之電花,於是燃著汽缸內爆炸性之混合物。

9—11. 互感量——在第 9.12 圖,有二錄卷 A 與 B,錄卷 A 經一開關 S,接於電池,錄卷 B 則接於一電流計,並不接於任何電源。兩錄卷鄰近安置,其軸相符合。若閉合開關 S,使電流流入 A

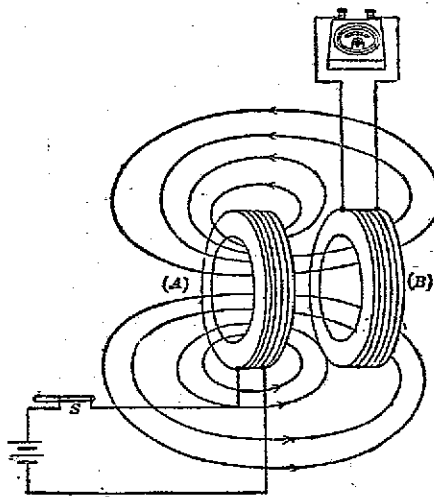


圖 9.12 兩錄卷間之互感

卷,而建立一磁場與 A 相連繫。其磁通之一部,亦穿過 B 卷,與之相連繫。苟開啓開關 S,以中斷錄卷 A 之電流,或以其他方式變更其值,則同時使錄卷 B 之磁通有所變動,而感應一電勢於其內,此電勢可由電流計之偏轉檢察之。當關合 S 時,電流計有暫時之偏轉,表示錄卷 B 內有一應電勢,但瞬即

消滅。而當開啓 S 時,其電流計亦有偏轉,惟其方向與前者相反,表示此際之應電勢,與關合開關時所產生者相反。AB 兩錄卷既具有如此之關係,以致 A 卷內之磁通變動,能感應一電勢於 B 卷內

者，此二者之間，稱為有互感量(Mutual inductance)存在。其感應電勢，謂之互感應電勢(Emf. of mutual induction)，其平均值根據第 9.6 式應為

$$e_2 = N_2 \frac{\Phi_2}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏,}$$

式中 N_2 為線卷 B 之匝數， Φ_2 為在 t 時間內，線卷 A 使線卷 B 所變動之磁通。

即或兩線卷安置極近，線卷 A 之磁通 Φ_1 ，亦不能全部與 B 相連繫，僅有 Φ_1 之 K 部份連繫於 B ， K 常小於一，即

$$e_2 = N_2 \frac{K \Phi_1}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (9.21)$$

K 謂之 AB 兩電路間之耦合係數(Coefficient of coupling)。又因 N_2 及 K 僅視線卷之幾何圖形而異，而 Φ_1 可認為與 A 線卷中之電流 I_1 成比例，則 9.21 式可改書為

$$e_2 = M \frac{I_1}{t} \text{ 伏。} \quad (9.22)$$

式中常數 M ，謂之 AB 兩線卷間之互感量或互感係數，亦以亨計。

若以瞬間值為根據，則 $e_2 = M \frac{di}{dt}$ 。

由第 9.21 及第 9.22 式，得

$$M = \frac{KN_2 \Phi_1}{I_1} \times 10^{-8} \text{。} \quad (9.23)$$

故兩電路間謂為有互感者，即一電路中之電流變動，可以感應一電勢於其他電路內是也。

在史密松寧物理表內，互感之量的定義如下：

兩電路間之互感量，為一電路內電流之每一單位變化率所產生於另一電路內之電勢。

【例題 9.9】 在第 9.12 圖中之線卷 A 有 400 匝，線卷 B 有 600 匝。若 A 有 5 安電流，則產生磁通 500,000 線與 A 相連繫，其中之 200,000 線與 B

相連繫。問 B 之電路不通時， A 之自感為若干？又兩線卷間之互感為若干？

【解】 $L_1 = \frac{N_1 \Phi_1}{I_1} = \frac{400 \times 500,000}{5} \times 10^{-8} = 0.4$ 亨。 (答)

若 A 之電流於 1 秒鐘內，增至 5 安，則與 B 相連繫之磁通變動 200,000 線，故

$$e_2 = N_2 \frac{\Phi_2}{t} = 600 \times 200,000 \times 10^{-8} = 1.2 \text{ 伏。}$$

但 $e_2 = M \frac{I_1}{t}$,

$$1.2 = M \times 5,$$

$$M = 0.24 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$$

或直接應用第 9.23 式，得

$$M = \frac{0.4 \times 600 \times 500,000}{5} \times 10^{-8} = 0.24 \text{ 亨。} \quad (\text{核})$$

若 M 為 B 對於 A 之互感，則亦必為 A 對於 B 之互感。若線卷 B 內之電流變動率為 I_2/t 安/秒，則 A 內之應電勢為

$$e_1 = M \frac{I_2}{t} \text{ 伏。} \quad (9.24)$$

兩電路間之互感，可以一鐵芯連繫此二電路而增大之。如取第 9.12 圖中同樣之二線卷，而以一鐵芯插入，如第 9.13 圖，其耦合係數 K 可與 1 極為相近，所有與 A 相連繫之磁通，幾全部與 B 相連繫。

9-13. 自感與互感之關係——若 K 為兩電路間之耦合係數，其自感各為 L_1 及 L_2 ，則其互感必為

$$M = K \sqrt{L_1 L_2} \quad (9.25)$$

此可以下法證明之。

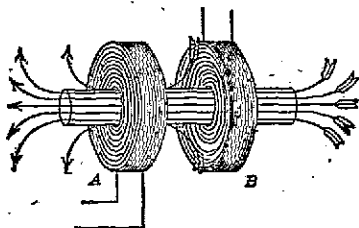


圖 9.13 鐵芯對於互感之效應

在第 9.14 圖內，兩線卷 A 及 B 互相鄰近安置於同一磁路上，A 有 N_1 匝，B 有 N_2 匝。假定磁路之磁阻為 \mathcal{R} 厘米克秒制單位，且為恆值不變。令電流 i_1 單獨流經線卷 A，則 A 內之磁通為

$$\Phi_1 = \frac{0.4\pi N_1 i_1}{\mathcal{R}} \text{ 馬,} \quad (I)$$

而與 B 相連繫之磁通為

$$\Phi_2 = K \Phi_1 = K \frac{0.4\pi N_1 i_1}{\mathcal{R}} \text{ 馬.} \quad (II)$$

若線卷 A 內之電流變動率為 di/dt ，其在線卷 B 內感應之電勢為

$$e_2 = KN_2 \frac{d\Phi_1}{dt} 10^{-8} = KN_2 \frac{0.4\pi N_1}{\mathcal{R}} \frac{di}{dt} \times 10^{-8} \text{ 伏.} \quad (III)$$

由第 9.22 式，

$$M = K \frac{0.4\pi N_1 N_2}{\mathcal{R}} 10^{-8} \text{ 亨.} \quad (9.26)$$

再由第 9.3 及第 9.4 式

$$L_1 = \frac{N_1 \Phi_1}{i_1} 10^{-8} = \frac{0.4\pi N_1^2 i_1}{\mathcal{R} i_1} 10^{-8} = \frac{0.4\pi N_1^2}{\mathcal{R}} 10^{-8} \text{ 亨.} \quad (IV)$$

同理若僅有電流 i_2 流於線卷 B 中，則

$$L_2 = \frac{N_2 \Phi_2}{i_2} 10^{-8} = \frac{0.4\pi N_2^2 i_2}{\mathcal{R} i_2} 10^{-8} = \frac{0.4\pi N_2^2}{\mathcal{R}} 10^{-8} \text{ 亨.} \quad (V)$$

以 (IV) 式及 (V) 式相乘，求其積之平方根，

$$\sqrt{L_1 L_2} = \frac{0.4\pi N_1 N_2}{\mathcal{R}} 10^{-8} \text{ 亨.} \quad (VI)$$

以 (VI) 式與第 9.26 式相較，故得

$$M = K \sqrt{L_1 L_2}.$$

若兩線卷串聯互助 (Series aiding)，則其總電感為

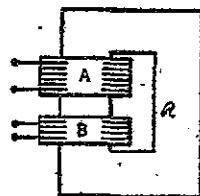


圖 9.14 在磁芯上之自感及互感線卷

$$L = L_1 + L_2 + 2M。 \quad (9.27)$$

若串聯互消 (Series opposing), 則其總電感爲

$$L = L_1 + L_2 - 2M。 \quad (9.28)$$

因兩線卷相串聯, 其電流皆爲 i , 當此電流以 di/dt 之變動率而變動時, 則每一線卷中之總應電勢, 爲其本身自感所生之應電勢, 及其與他線卷間之互感所生之應電勢之和。再因此二線卷謂爲串聯互助者, 係其由互感所生之應電勢, 與由自感而生者方向相同之意, 故

$$\begin{aligned} e &= -(L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}) - (L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt}) \\ &= -(L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt}。 \end{aligned}$$

同理若二線卷爲串聯相消, 則互感應電勢與其自感所生者相反, 故

$$\begin{aligned} e &= -(L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}) - (L_2 \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt}) \\ &= -(L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt}。 \end{aligned}$$

由此可證明第 9.27 及第 9.28 式之不誤矣。

【例題 9.10】兩線卷 A 及 B 各有 800 及 1,200 匝, 與一磁路相連繫, 其磁阻爲 0.0015 厘米克秒制單位, 其耦合係數爲 0.8。以 0.5 安之電流, 流經此相串聯之二線卷。求: (甲) 各卷之自感; (乙) 兩線卷間之互感; (丙) 在串聯互助時之總電感; 及 (丁) 串聯互消時之總電感。

$$\text{【解】(甲) } \Phi_1 = \frac{0.4\pi \times 800 \times 0.5}{0.0015} = 335,000 \text{ 馬,}$$

$$L_1 = \frac{N_1 \Phi_1}{i_1} \times 10^{-8} = \frac{800 \times 335,000}{0.5} \times 10^{-8} = 5.36 \text{ 亨。 (答)}$$

$$\Phi_2 = \frac{0.4\pi \times 1,200 \times 0.5}{0.0015} = 502,000 \text{ 馬,}$$

$$L_2 = \frac{N_2 \Phi_2}{i_2} \times 10^{-8} = \frac{1,200 \times 502,000}{0.5} \times 10^{-8} = 12.05 \text{ 亨(答)}$$

(乙)依第 9.23 式,

$$M = 0.8 \frac{1,200 \times 335,000}{0.5} \times 10^{-8} = 6.44 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$$

依第 9.25 式,

$$M = K_M \sqrt{L_1 L_2} = 0.8 \sqrt{5.36 \times 12.05} = 6.44 \text{ 亨。} \quad (\text{核})$$

(丙)依第 9.27 式,

$$L = 5.36 + 12.05 + 2 \times 6.44 = 30.29 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$$

(丁)依第 9.28 式,

$$L = 5.36 + 12.05 - 2 \times 6.44 = 4.53 \text{ 亨。} \quad (\text{答})$$

9-13. 儲蓄之能量——若電流 i_1 流經自感為 L_1 之線卷 A, i_2 流經自感為 L_2 之線卷 B, 兩線卷間之互感為 M , 則其所儲蓄之總能量為

$$W = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 \pm M I_1 I_2 \text{ 焦。} \quad (9.29)$$

此關係可用第 9-8 節之證法證明之。先假定兩線卷內均無電流, 先於 0 至 T_1 之時間內增加線卷 A 之電流自 0 至 I_1 , 則該卷內感應一電勢 $L_1 \frac{di_1}{dt}$ 與 i_1 相作用。B 卷內雖因互感亦感應一電勢, 但因該卷內無電流, 不產生功能。故此際儲蓄於兩線卷間磁場內之能量為

$$W_1 = \int_0^{T_1} L_1 \frac{di_1}{dt} i_1 dt = \int_0^{I_1} L_1 i_1 di_1 = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 \quad (I)$$

繼於 0 至 T_2 之時間內, 增加 B 卷之電流自 0 至 I_2 , 則該卷內感應一電勢 $L_2 \frac{di_2}{dt}$ 與 i_2 相作用。同時 A 卷內亦被互感而感應

一電勢 $M \frac{di_1}{dt}$ 與該卷內已有之電流 I_1 相作用。二者均產生功能，於是後加於兩線卷間磁場內之能量為

$$W_2 = \int_0^{T_2} L_2 \frac{di_2}{dt} i_2 dt + \int_0^{T_2} M \frac{di_2}{dt} I_1 dt$$

$$= \int_0^{I_2} L_2 i_2 di_2 + \int_0^{I_2} M I_1 di_2 = \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M I_1 I_2 \quad (\text{II})$$

因兩線卷為串聯互助的，故用正號，而該磁場所儲蓄之總能量為

$$W = W_1 + W_2 = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M I_1 I_2 \quad (\text{III})$$

若假定先通 B 卷之電流，繼通 A 卷之電流，其所得結果亦同。

反之，若兩線卷之位置為互消的，則取用第 (II) 式中之負號，第 (III) 式之 $M I_1 I_2$ 前亦用負號，毋庸再證。

9-14. 自感及互感之量度——線卷之自感，以用一阻抗電橋 (Impedance bridge) 量度之為最便捷 (見本書下篇第 5-20 節)。在此種電橋上，量度互感，亦至便利，但尚有專為量度互感而設計之各式電橋可用，可參看勞斯著量電學 (Laws, F. A. "Electrical Measurement") 一書。

其量度 L_1 與 L_2 間互感 M 最簡便之方法如下：先用一阻抗電橋，分別量得 L_1 及 L_2 ，然後以 L_1 及 L_2 相串聯，而量度其總電感 L ，由第 9.27 及第 9.28 式，則

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M \text{ 亨。} \quad (\text{I})$$

若為接法為串聯互助，則

$$M = \frac{L - (L_1 + L_2)}{2} \text{ 亨。} \quad (9.30)$$

若為串聯互消，則

$$M = \frac{(L_1 + L_2) - L}{2} \text{ 亨。} \quad (9.31)$$

或可先以二線卷作串聯互助接法，量得其總電感 L' ，再易以串聯互消接法，量得其總電感 L'' 。

$$L' = L_1 + L_2 + 2M \text{ 亨，} \quad (II)$$

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M \text{ 亨。} \quad (III)$$

以(II)減(III)，得

$$M = \frac{L' - L''}{4} \text{。} \quad (9.32)$$

9—15. 電感與慣性——電路中之電感可與力學中之慣性相譬喻。一物體之慣性，反對該物體速率之變動。物體在靜止時，慣性反對該物體之獲得速率，物體在運動時，慣性又反對使此物體靜止。飛輪即為機械慣性之良好例證，能抵抗加速度而其慣性能反對速率之變動。故各種機械，如來復式蒸汽機 (Reciprocating steam engine) 及內燃機 (Internal combustion engine) 等，裝置飛輪之作用，即在使其角速度得以穩定。又速度為 v 質量為 M 之運動物體所儲蓄之能量為 $\frac{1}{2} Mv^2$ 。若角速為 ω 以每秒弧度計，而轉動慣量為 I 之旋轉物體所儲蓄之能量為 $\frac{1}{2} I\omega^2$ 。慣性即反對任何改變此種儲蓄之能量之企圖者。

同理，電路中之電感，在電流穩定之際，並無何種效應。然電流若有任何變動，即有反對之作用。對於電路中電流之增加固須反對，電流之減少亦須反對。故通常電感用於電路或電器如整流器 (Rectifier) 中，旨在穩定電流。儲蓄於磁場中之能量為 $\frac{1}{2} LI^2$ 焦。電感亦係反對任何改變此種能量之企圖者。

9-16. 感應錄卷——第 9.15 圖示——感應錄卷 (Induction

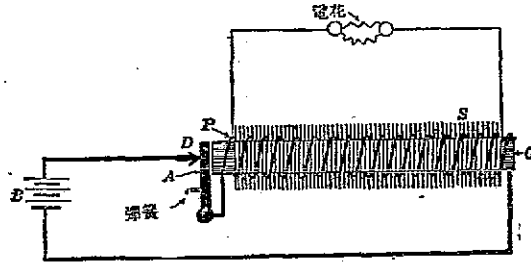


圖 9.15 感 應 錄 卷

coil), 實為利用互感之原理而構製者。此錄卷包括疊片鐵芯, 上繞主錄卷及副錄卷, 主卷 P 係由較少匝數之粗錄繞於鐵芯 C , 經由一銜鐵 A 及接觸點 D 而接至一電池組 B 。電流之通過主卷, 使鐵芯 C 受磁化, 銜鐵 A 遂被吸至鐵芯一邊而與 D 分離, 因此使主卷電路中斷, 鐵芯內之磁通遂降落而幾等於零。此時 A 又藉附於其旁之彈簧之拉力返原至原處, 再將電路接通, 如是周而復始, 鐵芯 C 中之磁通亦因此輪流地建立與毀滅。

副卷係由多匝之細錄繞置於同一鐵芯上。主卷與副卷, 完全互相絕緣, 但因同繞於一鐵芯上之故, 二者間之互感量極大。鐵芯因主路電流之斷續而致之磁通變化, 使副卷內感應一高交流電勢。此項感應電勢可認為由於主副二卷間存在之互感而致成者。此種感應錄卷應用甚廣。現在最普通者, 如用以獲得汽車用無線電機中乙電池組所需之 90 伏之類之電壓, 利用感應錄卷可使蓄電池組供給之 6 伏電壓, 在副卷上化為較高之交流電壓, 再用一合宜的真空管, 將此電壓整流為所需之直流電壓。

第十章

靜電與電容

本書以上各章，所討論者俱為電流或電之流動，然電流亦可為靜態的，或靜止者。雖在靜止狀態，電對於其周圍介質，亦具重要之效應。例如絕緣物之設計與應用，尤其用於高壓者，即根據各種靜電定律而定。輸電線之設計及運用，雷電之成因及防護方法，亦與此數定律有關。本章之目的，係就有關靜電狀態之各定律，加以研討，並決定其對於各種用電制度之效應。

10—1. 靜電與動電——本書第1—1節所討論者，係動態之電 (Dynamic electricity)，以及其與導體內原子間電子運動之關係。靜態之電 (Static electricity) 則不然，雖電子在原子間已作初步之移動，然其所表現者，則與完全靜止者無異。今試考察原子本身內之情形，在每原子內，當其電子之總負電荷，適等於其原子核或質子 (proton) 之淨正電荷時，此原子稱為不帶電 (uncharged) 或中和狀態 (Neutral state)。若移出一個或更多的電子，此原子謂之帶正電 (positively charged)。若此移出之電子，併入其他中和物體，則此物體謂之帶負電 (negatively charged)。

在動電電路中，外施電位差使某一羣原子之電子，移達另一原子羣，由是而得電流。其所讓出之地位，立即為新的電子所填補。此新的電子，係來自前鄰之原子羣，而受同一位差之作用者。故任何單原子仍始終保有同數之電子。然設電路並未接通，電子即由電路

之正性邊陲引出，移達其負性邊陲。因電路被中斷，故正性邊陲所引出之電子，即無機會為來自鄰近原子羣之電子所填補。

若上述電子之位移，係在電位穩定之電源下完成者，此正負電荷將呈穩定狀態。例如第 10.1 圖，其相互絕緣之平行導電板 A 及 B，係接於一電池組或感應起電機 (Influence machine) 之正負

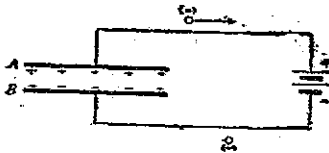


圖 10.1 電容器板間電子之位移

兩極，此外施電壓，從 A 板上引出一部份自由電子而移至 B 板上。A 板乃帶正電，B 板帶負電。在此情形下，板上之電荷，稱為靜態電或靜電。

由此觀之，動電與靜電在本質上完全相同。謂動電者，在導體中相鄰原子羣間有電子之運動也。謂靜電者，自由電子由正板移位至負板，而藉電場 (Electric field) 常保持此狀態也。位移之結果，在負板上，產生一單純負電荷，在正板上，產生一單純正電荷。

正負板間電荷之位移 (第 10.1 圖)，常存在於應用高電壓時，尤以應用於感應起電機類似之電源為甚。在高電壓下，產生小量電荷之現象，有時可引起靜電與動電本質不同之印像。

10-2. 靜電荷——將一靜電感應起電機之兩端，接至兩相互絕緣的長形導體 (第 10.2 圖)，接至正端之導體，將被充以正電，接至負端之導體被充以同量之負電。此種電荷分佈於每一導體之全部面積上，但

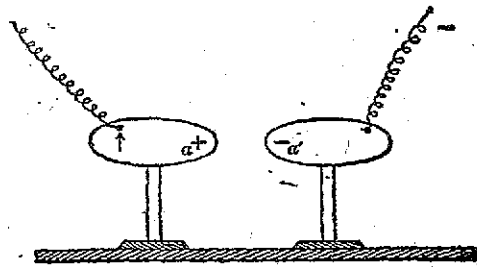


圖 10.2 互相絕緣的導體上之靜電荷

因正負電荷互相吸引，致在此二導體相鄰近之兩端，其電荷密度為最大。

若將接於感應起電機之二線中斷，此二電荷最初並不受其影響。久之，其電荷經由絕緣支柱逐漸漏去。

苟此二導體能自由運動，則必相互移近。若以一線連接之，則在二導體相接觸之瞬間，可見有一電花發生，表示有一瞬間電流，自一導體流至另一導體，此皆緣於異性電荷互相吸引而生者。

10-3. 靜電感應——設將一帶正電荷 a 之導電物體 A (第 10.3 圖, 甲), 取近一完全隔離而本不帶電之導電物體 B , 可發現在 B 上鄰近 A 之一端, 有負電荷 b 發生。 B 既本不帶電, 且完全與外界絕緣, B 上決無電荷漏出, 亦無電荷自外界進入, 其總電荷必仍等於零。因此, 在 B 上離 A 較遠之一端, 必有正電荷 b' 出現, 與電荷 b 相等。此二電荷 b 及 b' , 既相等而相反, B 上之總電荷自仍為零。所可注意者, 負性應電荷 (Induced charge) b 盡可能以與正性感電荷 (Inducing charge) a 相接近, 而正性應電荷 b' 則盡可能與正性感電荷 a 相遠離。此無他, 蓋同性電荷相斥, 而異性電荷相引也。

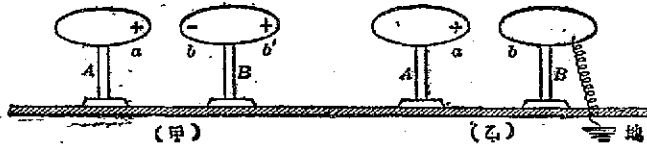


圖 10.3 靜電感應

電荷 a 及 b 為束縛電荷 (Bound charges), 電荷 b' 為自由電荷 (Free charge)。若將 B 接地 (見第 10.3 圖, 乙), 電荷 b' 即逸至地中, 以達與 A 相隔最遠之地位, 而 a 及 b 仍分別停留於 A 及 B 上。

反之，若 a 為負電荷， b 即為正性，而 b' 為負性電荷。上述試驗，可說明下列之靜電定律：

異性電荷互相吸引，同性電荷互相排斥。

正電荷可感應而生負電荷於相鄰物體之近端。

負電荷可感應而生正電荷於相鄰物體之近端。

靜電感應 (Electrostatic induction)，頗與一磁北極可感應一磁南極之磁感應相似(見第 6—16 節)。

10—4. 單位電荷及庫倫定律——靜電學中基本關係所應用之單位，係靜電制單位 (Electrostatic units, 或簡書為 e.s.u.)。自此制之單位，甚易轉換為實用制之單位(見附錄二)。

一靜電制單位電荷，為一電荷置於真空中，與另一相等之同電荷相距一厘米，可產生一達因之斥力。此單位電荷又名為靜電制庫倫 (Stat coulomb, 或簡稱靜電庫)。

庫倫定律 (Coulomb's law) 為庫倫氏於 1785 至 1789 年間，就帶電之球體作試驗所證明下述之定律。

在空氣中二帶電物體互相作用之力，與此二電荷之乘積成正比，而與其間距離之平方成反比。



圖 10.4 靜電荷間之力

如第 10.4 圖所示， q 及 q' 為二靜電荷，其值以靜電制單位計之， r 為二電荷相距之厘米數，則其

互相作用之力為

$$f = \frac{qq'}{r^2} \text{ 達因。} \quad (10.1)$$

設此二電荷係在一介質常數為 K 之介質中，則第 10.1 式，變為

$$f = \frac{qq'}{Kr^2} \text{ 達因。} \quad (10.2)$$

此處係假定電荷密集於一點者。

【例題 10.1】空氣中兩小球體，其球心相距 14 厘米，一帶 2 正靜電庫，一帶 5 負靜電庫，求兩球體間互相作用之力以達因計。

【解】由第 10.1 式

$$f = \frac{2 \times 5}{14^2} = \frac{-10}{196} = 0.0510 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

10—5. 介質電場或靜電場——在第六章中，曾述及一磁鐵附近之介質，顯示受有應力之情況，且在此磁場內之任何南極及北極，皆為力所作用。同理，一電荷附近之介質，亦復顯現一種受有應力之情況，對於任何置於其中之正或負電荷，亦有力之作用。若電荷為充分的大量，應力可極大，能使介質生機械性的破裂，而弧絡放電 (Arc discharge) 隨之 (見第 10—8 節)，此足可證實應力情況之存在矣。

在一電荷附近凡應力情況所存在之區域，謂之介質電場或靜電場 (Dielectric or electrostatic field)。與磁場相似，靜電場中應力之情況，亦可以力線表示之。若在該場內，在與其方向相垂直之每平方厘米截面積上，有一根力線存在，則其對於一單位電荷，可施一達因之力。

因此知，自每單位正電荷發出之力線為 4π 根 (參看第 6—13 節)，而自 q 單位正電荷發出之力線數，必為 $4\pi q$ 。

此種介質電場內力線之性質，頗與磁場內磁力線之性質相似 (並非感應線)，茲分述如下：

1. 每根力線發端於一正電荷而終止於一負電荷。
2. 若置一單位正電荷於正電極之表面上，此電荷將被迫沿力線之方向移動，以達負電極。其在各點所受之迫力之達因數，等於該點處與力線方向垂直之每平方厘米面積上之力線數。

3. 介質電場恆欲處置其自身，以獲得最多之力線數。

此種力線所表顯者，頗與韌性橡皮帶相似，一若互相排斥者。

兩不規則形狀電極間之介質電場，如第 10.5 圖所示。所可注意者，每線皆發端於一正電荷，而終止於一負電荷，此等力線並非閉合之環。各線視之若韌性帶，恆欲自行收縮，使該電場所受之介質阻力 (Dielectric reluctance) 減至最低。力線自身之分佈與電流之流線 (Stream line) 或磁力線自身之分佈，完全相同。

一介質力線 (Dielectric lines of force) 之方向，在脫離或進入一導體表面之處，

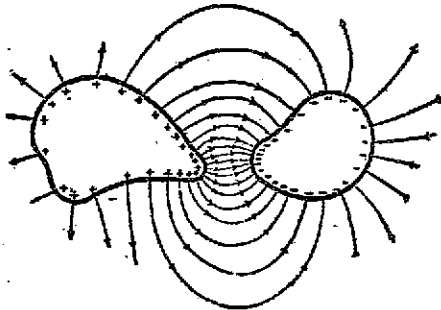


圖 10.5 帶電電極間之靜電場

必垂直於該表面。否則，該力線應有一與導體表面相切之部份，必致沿其表面有一電位差，而產生一電流。然既為靜電狀態，即不應有電流之流動，則電力線不應

有與導體表面相切之部份。是以每線在其脫離或進入表面之處，必垂直於該表面，其理自明，

又可注意者，介質電力線，密集於曲率半徑最小之區域。在此等區域，靜電應力最大。故設計絕緣物時，務須儘可能避免尖銳點及過小之曲率半徑，俾靜電應力，不致密集過甚。

電通量 (Dielectric flux) 即介質力線總數，以符號 Ψ 表之。

10-6. 帶電的球體 —— 第 10.6 圖示在空氣中孤立的帶電球體，所有電荷必皆位於球之表面上。因各個電荷，俱互相排斥，故彼

此之間隔，力求其遠，遂皆佔球體表面之位置。

設相等之負電荷，俱已移遠，或存在於球體外一同心球形殼上。根據對稱原理，所有正電荷必均勻分佈於球表面上。同理，介質電力線，必俱輻射的而均勻的，自球體表面出發。倘將此等線向內延長，必會於球心。對於球體外空間任何點而論，此種電荷產生之效應，一若該電荷係集中於球心者。

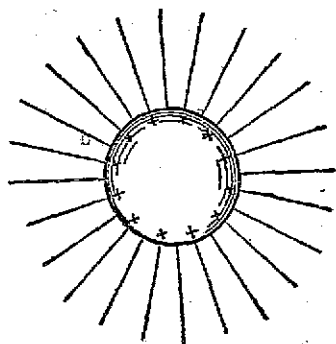


圖10.6 孤立的帶電球體

若球體表面上共有電荷 q 單位，根據上節，自球體發出之力線應為 $4\pi q$ 根。設球體之半徑為 r 厘米，其球面積為 $4\pi r^2$ 平方厘米，故球體表面上之電通量密度 (Dielectric flux density) 為 q/r^2 線/平方厘米。是以空氣中半徑為 r 厘米之球體，若帶 q 靜電庫之電荷，其對於在其表面上一單位電荷所施之力為 q/r^2 達因。此值與假定全部電荷密集於球心，而由第 10.1 式所計算者相同。

【例題 10.2】空氣中兩球體 A 及 B (第 10.7 圖)，其半徑分別為 1 及 $\frac{1}{2}$ 厘米，球心相距 24 厘米。設第一球帶正電 20 靜電單位，第二球帶負電 20 靜

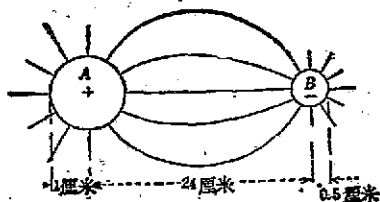


圖 10.7 在空氣中之帶電球體

電單位。求：(1) 自每一球發出介質電力線數；(2) 每一球體因其本身電荷所致之電通量密度；(3) 每球體表面上最大之力；(4) 在連接兩球心之直線上，距 A 球中心 10 厘米處之介質電場強度；(5) 兩球體間之引力。

【解】(1) $\Psi = 4\pi \times 20 = 251$ 線, 自或向每一球體。 (答)

$$(2) D_A = \frac{4\pi 20}{4\pi} = 20 \text{ 線/平方厘米,} \quad (\text{答})$$

$$D_B = \frac{4\pi 20}{4\pi(0.5)^2} = 80 \text{ 線/平方厘米。} \quad (\text{答})$$

(3) 若每一球體為孤立的, 每一球表面上之力即可由(2)求得, 但若球體並非孤立的, 一球上之電荷可施力於他球之表面。此力以在球面上最近他球之處為最大, 因力係與距離之平方成反比者。

今設以一正電荷, 置於 B 球之表面, 則該正電荷受 A 之排斥, 亦受 B 之吸引。沿連接兩球心之直線, 球體 A 所施於球體 B 表面上一正電荷之力之方向, 係向 B 球中心, 蓋 A 上正電荷, 排斥 B 上每一單位正電荷也。而 B 上已有之負電荷, 欲吸引在其表面上之每一單位正電荷, 故對此單位正電荷所施之力, 亦向 B 之球心者, 是以在該點二力作用之方向相同。同理, 在球體 A 表面上最近 B 球之處, 為 A 及 B 兩球上電荷所作用之力, 其方向亦同。故每一球體表面上之力, 以在連接兩球心之線與球面相交之點為最大。球體 A 所施於 B 球表面單位電荷之力為 $20 \div (24 - 5)^2$, 球體 B 所施於 A 球表面單位電荷之力為 $20 \div (24 - 1)^2$, 故

$$f_A = 20 + \frac{20}{23^2} = 20.04 \text{ 達因,} \quad (\text{答})$$

$$f_B = 80 + \frac{20}{(23.5)^2} = 80.04 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

(4) 因任何點之電場強度, 以施於該點上單位電荷之力計之, 故在連接兩球心之線上, 距 A 球心 10 厘米處之場強度為

$$f = \frac{20}{10^2} + \frac{20}{14^2} = 0.802 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

$$(5) \text{ 由第 10.1 式, } \quad = \frac{20 \times 20}{24^2} = 0.695 \text{ 達因。} \quad (\text{答})$$

由是可知, 以一孤立的球體而言, 其電場內某點之電通密度, 與該點距球心之距離之平方成反比。

當兩球體間之距離, 甚小於其半徑時, 電荷之中心, 即不復在球心。此即接近效應 (Proximity effect) 為之, 即因電荷互相吸

引之作用，令電荷之中心，作彼此相向之移近也。

10—7. 電容——兩導體隔以電介體 (Dielectric)，組成一容電器 (Condenser)。施電位差於容電器之兩板上，即有電荷儲於此容電器上。容電器能儲電之性質，謂之電容 (Capacitance)。其所以能儲電之機構，已於本章首節內論之，並以第 10.1 圖說明之矣。

一容電器接於一電路中所發生之現象，可以第 10.8 圖說明之。圖中示二導電板接至一電池組之兩端，板間以電介體分隔之，電路中並有一單極雙投開關 S 及一電流計 G 。當開關 S 被投向左方時，電流計上有瞬間之偏轉，嗣即回至零

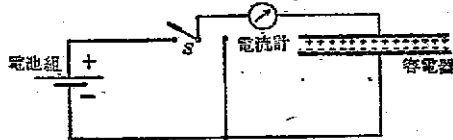


圖 10.8 容電器之充電與放電

點。此顯示當開關向左閉合時，會有電荷通過電流計，但此電流幾立即停止者，其通過之時間雖短，然已足敷使容電器充電之需。在容電器充電已足後，因其電勢達與電池組之電勢相等而相反之境，且容電器電勢，係與進入容電器電流之方向相反，故可視為一種反電勢。荷在充足以後，仍有電流通過容電器，必係通過絕緣物之漏流。若開啓開關 S 片刻，再關合之，除非絕緣物有所漏洩，否則電流計上決不再有偏轉。

用電池組使容電器充電，頗與用蓄水池 R 使水櫃 T 充水之情形相似 (見第 10.9 圖)。當開啓活戶 V 時，即有水衝入連接 R 與 T 之水管，並繼續以遞減之速率通過，直至水櫃 T 之水位 H 等於蓄水池 R 之水位為止。若水櫃並不漏水，則在兩水位已經相等以後，水管中不再有水。同理，容電器取入電流，以其電位差達與電池組之位差相等時為止，嗣後即不再有電流。且若水櫃不漏，即

將活戶 V 閉而復啓，亦不再有水流過連接管中。

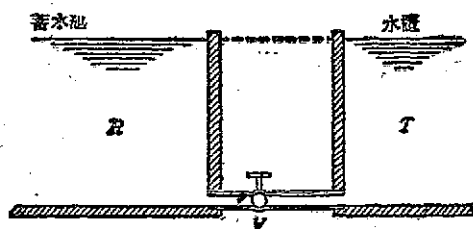


圖 10.9 蓄水池與通連之水櫃

爲證明電量確已儲於容電器中起見，可將開關 S 改向右方(第10.8圖)使容電器以電流計爲捷路。此際電流計亦有一瞬間之偏

轉，惟其方向，係與在充電時之偏轉方向相反，表示有電流經正極板流出。嗣後電流計不再有任何偏轉，表示容電器變爲完全放電，且若容電器並無漏洩，則放電時之衝擊偏轉度(Ballistic deflection)，必與充電時之衝擊偏轉度同，因所放出之電量即等於充入之電量。

若增加電池組之電壓，充電與放電時之電流計偏轉度亦將增加。因供給容電器之電荷，與其端電壓成正比，正如水櫃中所得之水量，與其水位 H 成正比。電壓與容電器電荷之關係，可用下式表之：

$$Q = CE. \quad (10.3)$$

即一容電器中之電荷，等於其電壓與一常數 C 之乘積。此常數稱爲容電器之電容量(Capacity，或簡稱電容)。電容之實用單位爲⁽¹⁾法拉特(Farad，簡稱法拉)。在第 10.3 式中，若 C 以法拉計， E 以

(1) 米契爾·法拉第 (Faraday, Michael, 1791—1867) 英國化學家及物理學家也，出身寒微，爲鐵匠之子，直至 1813 年精習藝於訂書作。嗣受知於亨弗利達維爵士 (Sir Humphry Davy)，被聘爲英國皇家學會實驗室助理員。1825 年升任指導，1833 年被任爲富勒里安化學教授，以終其身。氏雖在化學上頗多重要發現，其卓越成就仍在電學園地。氏爲使載電導線及磁鐵間，相互起繼續旋轉(即電動機作用)之第一人，而使電路藉磁及另一電路中之電流而產生感應電流者。(此即受電機作用及互感應)亦爲氏所首創。他如電解之基本定律，磁對於極化光之效應，反磁性等俱爲氏所發現。氏之論文對於靜電現象之瞭解，供獻至宏，如相等及相反的電荷定律及法拉力管等是也。

伏特計，則 Q 必為庫倫數或安培秒。

在實用方面，用法拉特為單位，嫌其過大。以地球視作一孤立的球體，其電容猶小於千分之一法拉。一個電容為一法拉之容電器，其形體之大，遠非實用所許可。通常所用之電容單位為微法拉或微微法拉 (Microfarad, 簡書 μf)，其值等於百萬分之一法拉。

在無線電訊電路中，其電容極小，用微法拉為單位，猶嫌過大，則用微微法拉 (Micromicrofarad, 簡書 $\mu\mu f$)，等於 10^{-12} 法拉。

變換第 10.3 式，可寫作下列二式：

$$C = \frac{Q}{E} \quad (10.4)$$

$$E = \frac{Q}{C} \quad (10.5)$$

為說明上列關係之用法起見，試觀察下列例題：

【例題 10.3】某容電器之電容為 200 微法拉，接至 600 伏電源上。設保持電流常為 0.1 安，求使此容電器滿量充電所需之時間。

【解】在滿量充電時，容電器充入之電量為 $Q = 0.0002 \times 600 = 0.12$ 庫倫

$$0.12 = 0.1 t, \quad t = 1.2 \text{ 秒。} \quad (\text{答})$$

10-8. 電介體——就靜電現象而論，插入於兩導體間之介質，稱為電介體，其電介性質 (Dielectric property) 可由其介質電力線與電壓之關係定之。在另一方面，就動電現象而論，此同一物質稱為絕緣體，其絕緣性質則與電流及電壓之關係有關。例如就空氣而言，並非一特佳電介體，其介質強度僅為每吋約 75,000 伏，但空氣為最佳絕緣體之一種。

橡膠薄片能忍受高至每吋 450,000 伏之電壓，但所容許通過之漏流，則較空氣所容許通過者為多。易言之，與空氣較，橡膠為較佳之電介體，但為較劣之絕緣體。

第 10-5 節曾言及介質電場與電路及磁路相似之處，在於介

質電力線之分佈，與電流之流線及磁力線之分佈同。然電導體中無論有多少電流通過，苟能保其冷卻，則並不受有任何機械性之損傷。磁導體中無論有若干磁力線存在，亦不受任何損傷。電介體則不然，其每單位截面積，僅能容許有限數目之電力線通過，始不致破裂(breakdown)。若電力線密度超過此限度，即發生破裂，而動電性之電弧隨之，於是將電介體燒毀。關於固體及液體介質破裂之機構，雖已展開多種合理之學說，然迄今仍無確切之解說。

一物體能抵抗介質破裂之本領，稱爲此物體之介質強度 (Dielectric strength)。將此物體置於兩圓邊之扁平電極間，其每單位厚度所能忍受而不致破裂之電壓伏特數，用以表示其介質強度。例如空氣之介質強度爲每毫米 3,000 伏，橡膠及塗漆細葛 (Varnished cambric) 之介質強度甚高於空氣，橡膠之平均值約爲每毫米 16,000 伏，或每吋 400,000 伏，塗漆細葛約爲橡膠強度之二倍。

施於一電介體兩面，每單位厚度之伏特數，稱爲電壓梯度 (Voltage gradient)。例如以 24,000 伏之電壓，施於 30 密爾厚絕緣物之兩面，其所受電壓梯度爲每密爾 800 伏。

凡絕緣物之絕緣性質與電介性質，讀者均須加以深切之注意。

10—9. 比容量或介質常數———並行板電容器(第10.10圖 a) 用空氣爲電介體，量得其電容爲 C_1 。設以一片玻璃或硬橡膠插入

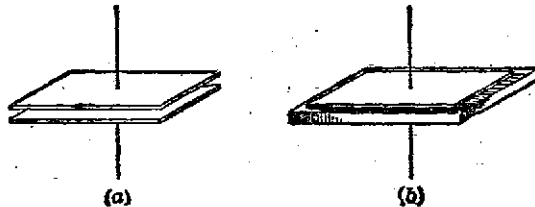


圖 10.10 平行極板電容器

板間，適填滿其空間（如第 10.10 圖 b），再量度其電容為 C_2 ，可發現此值大於前值。此際容電之增加，自必為玻璃或橡膠之介入所致。

此比值 $C_2/C_1 = K$ ，稱為此電容器板間物質之比容量 (Specific inductive capacity)，或介質常數 (Dielectric constants)，有時可稱為比較電通導性 (Relative permittivity)。空氣之比容量假定為一，猶之假定空氣之磁導係數為一也。

下表係幾種常用電介體之介質常數⁽²⁾

名稱	西文名	介質常數	名稱	西文名	介質常數
電木	Bakelite	4.5 至 5.5	紙	Paper	2.0 至 2.6
硬橡膠	Ebonite	2.8	石臘	Paraffin	2.1 至 2.5
纖維板	Fiber	2.5 至 5.0	瓷器	Porcelain	5.7 至 6.8
玻璃	Glass	5.4 至 9.9	橡膠	Rubber	2.0 至 3.5
雲母	Mica	2.5 至 6.6	水	Water	81
油	oil	2.2 至 4.7	木	Wood	2.5 至 7.7

10—10. 容電器相並聯之等效電容 —— 今欲求若干容電器相

並聯之電容，其各個電容為 $C_1, C_2,$

C_3 ，容電器之佈置如第 10.11 圖所

示。若各容電器之公共端電壓為

E ，其總電荷為 Q ，則

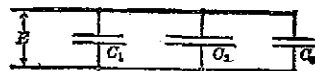


圖 10.11 容電器相並聯

$$Q = CE.$$

而 $Q_1 = C_1E, \quad Q_2 = C_2E, \quad Q_3 = C_3E.$

(1) 所謂電通導性者，即某介質容許電通量通過之性質，猶之磁導性之容許磁通量，即磁力線，通過之性質。所謂比較者，係與空氣比較而言者。

(2) 關於各物質介質常數更詳確之記錄，可參看“Standard Handbook”標準電工手冊第六版，第四部，第 450 節。

$$\begin{aligned} \text{其總電荷爲} \quad Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = CE, \\ CE &= C_1E + C_2E + C_3E, \end{aligned}$$

$$\text{故} \quad C = C_1 + C_2 + C_3. \quad (10.6)$$

易言之，若將數容電器相並聯，其總電容等於各低電容之和。此與電路中電導之並聯相譬喻。

【例題 10.4】有三容電器，其電容各為 5, 10, 12 微法拉，今並聯接至 600 伏電源。求：(甲)能替代此三容電器之單只容電器；(乙)每只容電器上之電荷。

$$\text{【解】 (甲)} \quad C = 5 + 10 + 12 = 27 \text{ 微法拉。} \quad (\text{答})$$

$$\text{(乙)} \quad Q_1 = 5 \times 600 = 3,000 \text{ 微庫倫,}$$

$$Q_2 = 10 \times 600 = 6,000 \text{ 微庫倫,}$$

$$Q_3 = 12 \times 600 = 7,200 \text{ 微庫倫,} \quad (\text{答})$$

$$\text{總電荷} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 16,200 = 27 \times 600 \text{ 微庫倫。} \quad (\text{核})$$

10—11. 容電器相串聯之等效電容——第 10.12 圖示三只容電器，其電容各為 C_1, C_2, C_3 ，串聯接至電壓 E 上，今欲求其等效之單只容電器之電容。令 E_1, E_2, E_3 各為容電器 C_1, C_2, C_3 兩極間之位差。

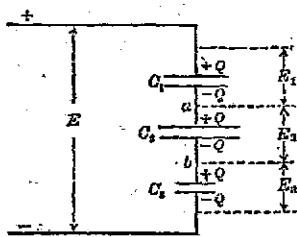


圖 10.12 容電器相串聯

在電壓已施於此組合以後， C_1 之正極板上即有 Q 單位之正電荷，根據靜電感應定律，其負極板上必有 Q 單位之負電荷。

今試考察 a 點附近區域，包括有 C_1 之負極板， C_2 之正極板，及二者之連接線。假定所有容電器具有完美之絕緣，此組合與其他外在電位相隔離，即無任何電荷，可經絕緣物流入該區。在電壓 E 未施以前， a 區中並無電荷存在，則在電壓既施以後，該區之淨電荷，必仍為零。因此， C_1 之負極板

上既有 Q 單位之負電荷，在 a 區內必有 Q 單位之正電荷出現，該區之淨電荷，始得保持為零。此 Q 單位之正電荷，必存在於 C_2 之正板上，蓋正電荷為 C_1 正板上之正電荷所排斥，乃達 C_2 之正板上。正如第 10.3 圖(甲)中之電荷 b' ，常佔據導體末端之位置，俾儘量與正性感電荷 a 相遠離也。同理，可推求 C_2 與 C_3 間 b 區之情形。是以此三容電器各得同值之電荷 Q 。(此與電阻之串聯相似，各電阻間如無漏流，必載同值之電流)。

今再考察電壓 E_1, E_2, E_3 ，由第 10.5 式，

$$E_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad E_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad E_3 = \frac{Q}{C_3}。$$

此三容電器端電壓之總和，必等於總線路電壓。

$$E_1 + E_2 + E_3 = E,$$

$$E = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}。$$

其等效容電器必具有等效電容 C ，施以電壓 E ，而儲蓄同量之電荷 Q ，依定義 $E = Q/C$ ，故

$$\begin{aligned} \frac{Q}{C} &= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}, \\ \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}。 \end{aligned} \quad (10.7)$$

易言之，數只容電器串聯後，其等效電容之反數，等於各個容電器電容之反數之和。

假定容電器本身不漏電，以串聯容電器接於直流電源，則每一容電器之端電壓，係與其電容成反比。苟有漏電，縱漏流極微，亦有電流通過此串聯組合，卒使各容電器所受之電位，依歐姆定律而分配。設 I 為漏流， R_1, R_2, R_3 各為三容電器之歐姆電阻，(漏電阻)，則

$$E_1 = IR_1, \quad E_2 = IR_2, \quad E_3 = IR_3。$$

【例題 10-5】第 10—10 節內三容電器之電容，各為 5, 10, 12 微法拉，串聯接至 600 伏電源。求：(甲)此組合之等效電容；(乙)每只容電器上之電荷；(丙)假定不漏電時每只容電器之位差。

$$\text{【解】 (甲)} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{12} = 0.383,$$

$$C = \frac{1}{0.383} = 2.61 \text{ 微法拉。} \quad (\text{答})$$

$$\text{(乙)} \quad Q = 2.61 \times 600 = 1,566 \text{ 微庫倫。} \quad (\text{答})$$

$$\text{(丙)} \quad E_1 = \frac{1,566 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-6}} = 313 \text{ 伏,}$$

$$E_2 = \frac{1,566 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = 156.6 \text{ 伏,}$$

$$E_3 = \frac{1,566 \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-6}} = 130.5 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

$$\text{總電壓} = E_1 + E_2 + E_3 = 600 \text{ 伏。} \quad (\text{核})$$

10—12. 平行板間之場強度——各種靜電現象，例如容電器中儲蓄之電能等，須視充電的平行板間之電場強度而定。

試就兩並行導電板觀之，其面積各為 A 平方厘米，其間距離甚小於板之尺寸，其邊緣效應(Edge effect, 見第 10.15 圖甲)，可以略而不計。若介質為空氣，置 Q 正靜電庫於一板， Q 負靜電庫於他板。此二電荷將完全留駐於相鄰兩面上。每單位面積之電荷為 $\sigma = Q/A$ 。又因 4π 根力線自每一單位正電荷發出，而終止於每一單位負電荷，兩板間每平方厘米計有 $4\pi\sigma$ 根力線。根據定義，場強度 D 即等於所施於單位電荷之力，即 $4\pi\sigma$ 達因。

用第 6—17 節，求一磁化表面附近之力之方法，亦可將上述關係求出。關於單位電荷之力之定律，與關於單位磁極之力之定律相類似，故適在一個每平方厘米帶有 σ 單位電荷之板外之力為 $2\pi\sigma$ 達因。在此帶電板附近之電場，與板相垂直(第 10—5 節)，並均勻分佈。苟此場始終保持均勻，則距此板任何距離之力，必為 $2\pi\sigma$

達因。故在此各帶正負電之二平行板間，各點之場強度，仍為均勻的，每板必施 $2\pi\sigma$ 達因之力於兩板間區域中之任何單位電荷，兩板所施之總力為 $4\pi\sigma$ 達因，即場強度為

$$D = 4\pi\sigma \text{ 達因/單位電荷。} \quad (10.8)$$

若負極板上有一單位電荷，正極板對此電荷作用之力為 $2\pi\sigma$ 達因，作用於負板每平方厘米之力為 $2\pi\sigma^2$ 達因，施於整個負板之力為

$$f = 2\pi\sigma^2 A \text{ 達因。} \quad (10.9)$$

此可與第 6.3 式比較之。

10—13. 容電器儲蓄之能量——容電器既儲蓄電量，而在正負板間有電位差存在，則容電器必儲蓄能量無疑。能量之存在，可由捷接容電器時所發生之電花證明之。

欲求其儲蓄之能量，先求在容電器充電時所作之功。第 10.13 圖示，兩平行導電板 A' 及 B' 間，僅有甚小距離之間隔。 B' 上置正 q 靜電庫， A' 上置負 q 靜電庫之電荷。因此二電荷距離甚近，故將其分開，毋需定量之功。若 σ 為每板上之電荷密度，以每平方厘米靜電庫計， A 為每板之面積，以平方厘米計，則兩板間之力為 $2\pi\sigma^2 A$ ，（見第 10.9 式）。若電荷不變，板間

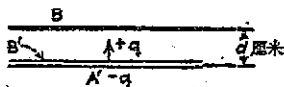


圖 10.13 使一平行板容電器充電

之電場為均勻的，此力亦不變。今將 B' 板循與 B 板面垂直之方向，自 A' 移開，直至距 A' 板 d 厘米之位置 B 為止，仍與 A' 相平行。此時分開 $+q$ 及 $-q$ 兩電荷所需之功為力與距離之乘積，即

$$W = 2\pi\sigma^2 A d \text{ 爾格。} \quad (I)$$

在第 10—15 節內，將求得平行板容電器之電容為

$$C = \frac{A}{4\pi d} \quad (II)$$

以(II)式之 d 代入(I)式,且以 $q = \sigma A$ 代入,得

$$W = \frac{q^2}{2C} \text{ 爾格} \quad (10.10)$$

如所用皆為實用單位,則所求得之功以焦耳計之。

若將容電器再充電,即再將另一板 B' 自 A' 移至 B ,攜來另一電荷 $+q_1$ 至 B 板上。此際有二力須予克服,一即因分開 $+q_1$ 及 $-q_1$ 而生者,等於 $2\pi\sigma_1^2 A$ 或 $2\pi(q_1/A)^2 A$,一即因 $+q$ 與 $-q$ 所產生之場強度,等於 $4\pi\sigma q_1$ 或 $4\pi(q/A)q_1$ 。其克制前一力所需之功為 $2\pi q_1^2 d/A$,其克制後一力所需之功為 $4\pi q q_1 d/A$,故總功為

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{4\pi q q_1 d}{A} + \frac{2\pi q_1^2 d}{A}$$

以 $C = A/4\pi d$ 代入,得

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{qq_1}{C} + \frac{q_1^2}{2C} = \frac{1}{2C} (q + q_1)^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \text{ 爾格} \quad (10.11)$$

式中 $Q = q + q_1$,如再增加 q_2, q_3 ,可依同樣步驟推算。

求功能時,若用微積分法更易。在第 10.13 圖中,移動 q 單位電荷經過位差 dv 所作之功為

$$dw = qdv。$$

$$\text{故總功爲} \quad W = \int_0^V qdv = C \int_0^V vdv = \frac{1}{2} CV^2 \text{ 爾格} \quad (10.12)$$

又因 $Q = CV$,故上二式可改書為

$$W = \frac{1}{2} QV \text{ 爾格} \quad (10.13)$$

倘 Q, C 及 E 各用庫倫, 法拉特及伏特表示,

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \text{ 焦耳} \quad (10.14)$$

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \text{ 焦耳} \quad (10.15)$$

$$W = \frac{1}{2} QV \text{ 焦耳} \quad (10.16)$$

此處應注意者,第 10.15 式之形式與磁場中儲蓄能量之公式(見第 9.20 式)相似。儲蓄於介質電場中之能量與電壓之平方成

正比，儲蓄於磁場中之能量與電流之平方成正比。

【例題 10.6】 求第 10.5 例題內，儲蓄於每一串聯容電器之能量及總能量。

$$W_1 = \frac{1}{2} \frac{(1,566 \times 10^{-6})^2}{5 \times 10^{-6}} = 0.2453 \text{ 焦耳}, \quad (\text{答})$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{(1,566 \times 10^{-6})^2}{10 \times 10^{-6}} = 0.1226 \text{ 焦耳}, \quad (\text{答})$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \frac{(1,566 \times 10^{-6})^2}{12 \times 10^{-6}} = 0.1020 \text{ 焦耳}, \quad (\text{答})$$

$$\text{總能量 } W = W_1 + W_2 + W_3 = 0.4699 \text{ 焦耳}. \quad (\text{答})$$

若應用第 10.16 式，

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 1,566 \times 10^{-6} \times 313 = 0.245 \text{ 焦耳}. \quad (\text{核})$$

應用第 10.15 式，

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times 313^2 = 0.245 \text{ 焦耳}. \quad (\text{核})$$

10-14. 電容之計算——容電器之幾何圖形，苟非十分複雜，則應用解析法或圖解法，俱能算出其電容。其計算之結果，為靜電單位制數值，苟除以 9×10^9 ，即得實用單位數值，即法拉特數。計算之方法，先求載送一單位電荷自一電極經過電場至另一電極所需之功，依據定義，此即兩極間之電位差。再由第 10.4 式，求電荷與電位差之比，此即電容。

至於在全部為一導體所包圍之區域中，如其中並無電荷存在，則不能有力之存在。苟有力存在於此區域，必有力線存在，此力線必發源於一正電荷而終止於一負電荷。今也全部空間，係包圍於一種性質之電荷中，則力線存在，殊不可能。且在一力線之兩端間，必有電位差。此又係不可能者，因此際圍繞該區域之導體係在同一電位也。倘非同一電位，即有電流，此與假定之靜電狀態相矛盾。在計算同軸圓柱體或同心球體之電容時，一部係根據此事實者。

10-15. 平行板容電器之電容——平行板式者為容電器中最

簡單之一種，應用亦廣，其幾何圖形最簡單。若板間距離甚小於其面積，而可使邊緣效應略去不計，則其電容至易算出。

在簡單兩板電器中(第 10.14 圖)，每板之面積為 A 平方厘米，板間距離為 d 厘米，電介體之介質常數為 K 。上板置正電荷



$$C = \frac{KA}{4\pi d \times 9 \times 10^9}$$

+ Q 靜電庫，下板置電荷 $-Q$ 靜電荷，每板之電荷密度為每平方厘米 Q/A 靜電庫。

如板間為空氣介質，則由第 10—

12 節知板間之場強度為每單位電荷

圖 10.14 平行板電器之電容

$4\pi\sigma$ 達因，此電場為均勻的。如用介質

常數為 K 之電介體，則場強度為

$$D = f = \frac{4\pi\sigma}{K} \text{ 達因/單位電荷。}$$

因場為均勻的，板間區域各處之力皆同。載送一單位正電荷自負電板至正電板所需之功能為

$$W = fd = \frac{4\pi\sigma d}{K} = V, \quad (1)$$

式中 V 為板間電位差。代入 $\sigma = Q/A$ ，且因 $C = Q/V$ ，故

$$C = \frac{KA}{4\pi d} \text{ 靜電法拉特。} \quad (10.17)$$

若化成微法拉，則除以 9×10^{11} 再乘以 10^6 ，即

$$C = \frac{KA}{4\pi d \times 9 \times 10^5} \text{ 微法拉。} \quad (10.18)$$

此種簡單板狀電器之總電容，不能準確算出，其理由如下：

所有力線不盡拘束於板間之區域內，有若干力線可從正電板之背面通至負電板之背面，如第 10.15 圖(甲)所示者，結果使實在電容較適所算出者為大。欲免此種差誤，可使一組之板數，比另一組之板數多一片(見第 10.15 圖乙)。在此種情形，除最外層之二板以

外,其他各板兩面之面積均包括於第 10.17 式內之'A'項內。至於最外層二板之電荷性質相同,電位亦同,彼此間不致有力線連繫,故僅計及其一面之面積即足。但另一差誤,由於力線之邊緣擴散,除非板面積甚大於板間距離,始可免除之。

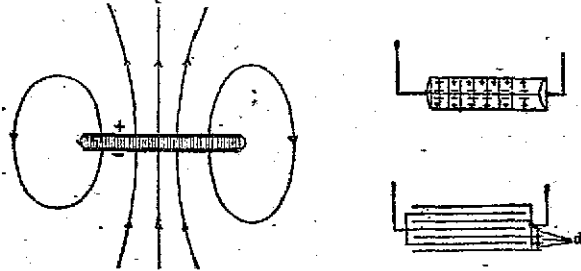


圖 10.15 (甲)平行板電容器之漏洩靜電力線 (乙)多板電容器

【例題 10.7】今欲構造一總電容為 8 微法拉之平行板電容器,板用錫箔片,長闊為 6×8 吋,厚 1 密爾,介體為紙片,長闊 7×9 吋,厚 2 密爾,介質常數為 3,求所需紙片數及錫箔片數,與容電器之總尺寸。

【解】 板之面積 = $6 \times 8 \times 2.54^2 = 309.6$ 厘米²,
板間距離 = $0.002 \times 2.54 = 0.00508$ 厘米,

$$\text{每兩板間之電容} = \frac{3 \times 309.6}{4\pi \times 0.00508 \times 9 \times 10^5} = 0.01616 \text{ 微法拉。}$$

$$\text{故需用組數} = \frac{8}{0.01616} = 495 \text{ 組,}$$

意即需用錫箔 496 片,紙 495 片。 (答)

$$\text{錫箔之厚度} = 496 \times 0.001 = 0.496 \text{ 吋,}$$

$$\text{紙片之厚度} = 495 \times 0.002 = 0.990 \text{ 吋。}$$

其總厚度為 1.486 吋,即容電器之總尺寸為 7×9×1.49 吋。 (答)

除此以外尚需外加絕緣物及保護外套。

10-16: 同軸圓柱體容電器之電容 —— 同軸圓柱體容電器係常用者,如單導體電纜之類,尤其有鉛包皮 (Lead sheath) 之地下

電纜，可為例證。此種電纜之電容，不難計算。然在計算之先，首須求一無限長帶電導絲所施於單位電荷之力。

如第 10.16 圖所示，空氣中有一細長直絲，自負的無窮遠，延伸至正的無



圖 10.16 無限長帶電導絲所生之力

窮遠，每厘米長度帶有 q 靜電庫。今須求此絲上所分佈之電荷，施於距絲垂直距離 h 厘米 P 點處之力。令垂直

線與絲之交點為原點，今在距 o 點 x 厘米處取一極小長度 dx ，其所帶電荷為 qdx 靜電庫。根據庫倫定律，此電荷對於 P 點處一單位電荷所施之力為 $f = qdx/Z^2$ 達因。然每在原點一邊之電荷所施力之平行部份（指與絲相平行之部份），可為在原點他邊同一位置之電荷所施力之平行部份所平衡，此絲全部電荷所施之總合力必沿垂直線 h 之方向，故僅就 f 力之沿 h 部份 f_1 研究之。

$f_1 = f \cos\theta = f \frac{h}{Z}$ ，且 $Z^2 = x^2 + h^2$ 。設合力為 f_0 ，將以上各式合併積分之，取由 0 至 ∞ 為極限，再乘以 2 ，故

$$f_0 = 2qh \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + h^2)^{3/2}} = 2qh \left[\frac{x}{h^2 \sqrt{x^2 + h^2}} \right]_0^{\infty}$$

分子分母各除以 x ，再將極限值代入，得

$$f_0 = \frac{2q}{h} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + h^2/x^2}} \right]_0^{\infty} = \frac{2q}{h} \text{ 達因。} \quad (10.19)$$

若介質常數為 K ，則此力為

$$f = \frac{2q}{Kh} \text{ 達因。} \quad (10.20)$$

第 10.19 式可與第 7.2 式比較觀之，後者表示一直長導絲內電流所施之力。

由於電荷之對稱性，同軸圓柱體（第 10.17 圖）間之介質電力場，必為輻射的，且如向內延長，可相交於軸線。故就內置圓柱體之外圍而言，其電荷之效應，一若電荷係集中於軸上者，亦可應用第 10.20 式。

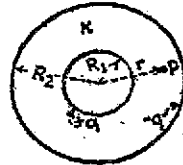


圖 10.17 同軸圓柱體電容器

今試考察兩同軸圓柱體(第 10.17 圖), 外圓柱體之半徑為 R_2 厘米, 內圓柱體之半徑為 R_1 厘米。中間絕緣物之介質常數為 K 。內圓柱體上之電荷為每厘米長度 $+q$ 靜電庫, 外圓柱體上之電荷為每厘米長度 $-q$ 靜電庫。圓柱體之長度可認為無限大, 實際上如長度甚大於其半徑時, 其電荷之效應, 與認為其無限長者無甚區別。今置一單位電荷於介質中距其軸 r 厘米處之 P 點上, 由第 10.20 式, 因內圓柱體而生之力為 $2q/Kr$ 達因。但外圓柱體之電荷對於 P 點不能有力之作用, 因 P 點係在為外圓柱體所包圍之區域內也, 其兩端雖微露, 但俱在無窮遠處, 不生任何影響。載送一單位電荷自內圓柱體之表面至外圓柱體所需之功, 亦即其間之電位差, 為

$$W = V = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2q}{Kr} dr = \frac{2q}{K} \log_e r \Big|_{R_1}^{R_2} \text{ 爾格。}$$

以限值代入, 且引用代數公式 $\log_e R_2 - \log_e R_1 = \log_e (R_2/R_1)$, 得

$$V = \frac{2q}{K} \log_e \frac{R_2}{R_1} \text{ 靜電伏特。}$$

又因每厘米之電容 C_S , 等於 q/V , q 為每厘米之靜電庫倫數,

$$C_S = \frac{K}{2 \log_e (R_2/R_1)} \text{ 靜電法拉。} \quad (10.21)$$

$$\text{或} \quad C_S = \frac{K}{4.606 \log_{10}(R_2/R_1)} \text{ 靜電法拉。} \quad (10.22)$$

以 1 微法拉代替 9×10^5 靜電法拉, 並化厘米數為哩數, 第 10.22 式變為

$$C = \frac{0.0888K}{\log_{10}(R_2/R_1)} \text{ 微法拉/哩。} \quad (10.23)$$

此式極便地下電纜之應用。

【例題 10.3】 一長 1,200 呎, 美規 4 號, 單導體, 橡膠絕緣地下電纜之絕緣壁厚 $5/32$ 吋。導體直徑為 204.3 密爾。電纜之電容量為 0.105 微法拉。求橡膠之介質常數。

$$\text{【解】、} \quad R_1 = 0.2043/2 = 0.1022 \text{ 吋,}$$

$$R_2 = 0.2043/2 + 5/32 = 0.2586 \text{ 吋。}$$

每哩長度之電容為

$$C = \frac{5,280}{1,200} \times 0.105 = 0.462 \text{ 微法拉。}$$

應用第 10.23 式, 得

$$K = \frac{0.462 \log_{10} \frac{0.258E}{0.1022}}{0.0388} = \frac{0.462 \times 0.4031}{0.0388} = 4.8. \quad (\text{答})$$

10-17. 同心球體容電器之電容 —— 同心球體容電器如第

10.18 圖所示, 其電容之算法如下:

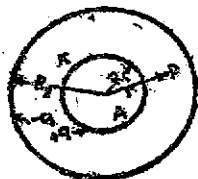


圖 10.18 同心球體容電器

今內球體之半徑為 R_1 厘米, 外球體之半徑為 R_2 厘米。絕緣物之介質常數為 K 。內圓球 A 上置正電荷 $+Q$ 靜電庫倫, 外圓球 B 上置負電荷 $-Q$ 靜電庫倫。兩球間之電位差, 以載送一單位電荷自 A 球至 B 球所需之功定之。內球之電荷, 施力於介質中距球心 r 厘米處任何點 P , 其值為 Q/Kr^2 達因 (見第 10.2 式)。因 P 點為外球所包圍, 故外球之電荷, 施於 P 點之力為零 (第 10-14 節), 是以 A 及 B 兩球間之電位差為

$$\begin{aligned} \text{解} -V &= \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q dr}{K r^2} = -\left. \frac{Q}{K r} \right|_{R_1}^{R_2} \\ &= -\frac{Q}{K} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right). \end{aligned}$$

而電容為 Q/V , 故

$$C = \frac{K}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} = K \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1} \text{ 靜電法拉。} \quad (10.24)$$

又可予注意者, 若 R_2 為無窮大, 此電容變為

$$C = KR_1 \text{ 靜電法拉。} \quad (10.25)$$

易言之, 一孤立的球體在空氣內 ($K=1$), 其電容之靜電法拉數, 等於其半徑之厘米數。地球可視為一孤立的球體, 其電容約為 720 微拉法。

10-18. 容電器經電阻充電之電流 —— 設將一電容及一電阻相串聯, 突接至一電壓 E (見第 10.19 圖), 即有電流通過電阻而使容電器充電。容電器之端電壓, 須隔相當時間, 始等於線



圖 10.19 經電阻使容電器充電

路電壓。依理論言，所需之時間為無限長，但實際大率甚短。充電電流 (Charging current) 可定為時間之函數。

在任何瞬間，容電器之端電壓為 q/C 伏。當開關 S 閉合以後，電壓 E 不但須供給電阻之壓降，且須克服容電器之反電勢 q/C ，即

$$E = iR + \frac{q}{C} \quad (I)$$

電量 $q = \int idt$ ，代入 (I) 式，得

$$E = iR + \frac{1}{C} \int idt \quad (II)$$

依 t 求其微分，
$$0 = R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} \quad (III)$$

移項並積分之，
$$\frac{di}{i} = -\frac{dt}{CR} \quad (IV)$$

$$\log_e i = -\frac{t}{CR} + K \quad (V)$$

式中 K 為積分常數。

當時間 t 為零，容電器中之電量 q 必為零，因在此容電器不能備蓄任何電荷也。 $t=0$ ， $q=0$ ，因而其端電壓 q/C 亦為零，線路電壓 E 即等於 $I_0 R$ ，其 I_0 為初電流。是以 $t=0$ ， $i=I_0=E/R$ ，由 (V) 式，

$$K = \log_e \frac{E}{R}$$

$$\log_e i - \log_e \frac{E}{R} = -\frac{t}{CR} \quad (VI)$$

用指數形式表之，

$$\frac{i}{E/R} = e^{-\frac{t}{CR}} \quad (VII)$$

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{CR}} \quad (10.26)$$

第 10.26 式為指數的衰減函數，其初值在 $t=0$ 時為 $I_0=E/R$ 。理論上在 $t=\infty$ 時， $i=0$ ，實際上在較短時間內即達此值。第 10.20 圖為描繪此函數之曲線，係用 $E=200$ 伏， $R=2,000$ 歐， $C=0.00004$

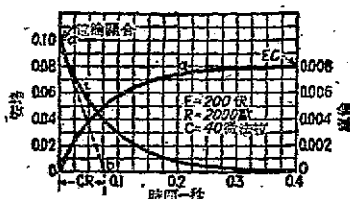


圖 10.20 容電器經電阻而充電之特性曲線

法拉 = 40 微法拉(見後列
例題)。

此電路之時間常數為
 $T = CR$ 秒。(10.27)

將 T 替代第 10.26 式之 t ,
得

$$i = \frac{E}{R} \epsilon^{-\frac{CR}{CR}} = \frac{E}{R} \frac{1}{2.718} = 0.368 \frac{E}{R} \text{ 安。} \quad (10.28)$$

易言之,在時間等於 CR 之時間常數,電流降落至其初值之
36.8%。

在閉合開關後,電流之變化率為

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{R} \left(-\frac{1}{CR} \right) \epsilon^{-\frac{t}{CR}} = -\frac{E}{CR^2} \epsilon^{-\frac{t}{CR}} \text{ 安/秒。} \quad (10.29)$$

當 $t=0$, $\frac{di}{dt} = -\frac{E}{CR^2}$, 荷電流繼續依此率而減低,其到達零
值所需之時間等於時間常數 CR 。例如,電流以 $-E/CR^2$ 之均勻率
而減低,經 CR 時間後,其電流之總變化為 $-E/R$, 在數值上適與
初電流相等,故結果電流為零。(見第 10.20 圖之 ab 線)。

在任何瞬間容電器之電量,可將第 10.26 式積分得之,即

$$q = \int i dt = \frac{E}{R} \int \epsilon^{-\frac{t}{CR}} dt = \frac{E}{R} \left(-CR \epsilon^{-\frac{t}{CR}} + K' \right) \quad (I)$$

式中 K' 為積分常數。當 $t=0$ 時, $q=0$, $K' = (E/R)CR = EC$, 代入
(I) 式,

$$q = EC \left(1 - \epsilon^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (10.30)$$

第 10.30 式與有感電路內電流上升之公式(第 9.13 式)相似。其曲
線亦描繪於第 10.20 圖中。

在一未充電之容電器中，反電勢為零，如不經電阻而直接至一定值電壓，在接通之初，其電流必為無窮大。不過此種情形之電流，所持續之時間為零。然實際電路及容電器，決難避免電阻，故能限制電流，使不致達無窮大之值，惟其值確可甚高耳。

【例題 10.9】一 40 微法拉之電容，與 $2,000$ 歐電阻相串聯，接至 200 伏電源。求：(1) 其初電流；(2) 電流為時間函數之方程式；(3) 電量為時間函數之方程式；(4) 時間常數；(5) 時間等於(4)值時之電流；(6) 時間為 0.04 秒時之電量；(7) 儲蓄於容電器之能量。

【解】(1) 在 $t=0$ 時， $i=I_0$ ，即

$$I_0 = \frac{200}{2,000} = 0.1 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

(2) 代入第 10.26 式，

$$i = 0.1 e^{-\frac{t}{40 \times 10^{-6} \times 2000}} = 0.1 e^{-\frac{t}{0.08}} \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

(3) $CE = 200 \times 40 \times 10^{-6}$ ，代入第 10.30 式，

$$q = 0.008 \left(1 - e^{-\frac{t}{0.08}}\right) \text{ 庫。} \quad (\text{答})$$

(4) $T = CE = 0.08$ 秒。 (答)

(5) $i = 0.1 e^{-1} = 0.368 \times 0.1 = 0.0368$ 安。 (答)

$$\begin{aligned} (6) \quad q &= 0.008 \left(1 - e^{-\frac{0.04}{0.08}}\right) = 0.008 \left(1 - e^{-\frac{1}{2}}\right) \quad (\text{答}) \\ &= 0.008 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2.718}}\right) = 0.00315 \text{ 庫。} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

$$(7) \quad W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{0.00315^2}{40 \times 10^{-6}} = 0.124 \text{ 焦。} \quad (\text{答})$$

10-19. 容電器經電阻放電之電流 — 第 10.21 圖示一容電

器 C ，先在開關向上閉合時，經電阻而充電至端電壓 E 。嗣將開關下投，中斷充電電路，使容電器為電阻 R 所捷接。在開關下投之瞬間，其端電壓仍為 E 。苟有漏電或在容電器未充足以前，

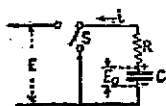


圖 10.21 容電器經電阻而放電

開關即已下投， E_0 與 E 或有區別。今也，容電器成爲一種電勢由 q/C 而遞減之電源，並供給電流於電阻 R ，電流之方向與充電時相反。依歐姆定律

$$-iR = \frac{q}{C}, \text{ 即 } -iR = \frac{1}{C} \int idt. \quad (I)$$

微分之，並重加排列，

$$-R \frac{di}{dt} = \frac{i}{C}, \quad \frac{di}{i} = -\frac{dt}{CR}. \quad (II)$$

求其積分，

$$\log_e i = -\frac{t}{CR} + K_0, \quad (III)$$

式中 K_0 爲積分常數。

當 $t=0$ 時， $i = -I_0 = -E_0/R$ ，故 $K_0 = \log_e (-I_0)$ 。是以

$$\log_e \frac{i}{-I_0} = -\frac{t}{CR}, \quad (IV)$$

以指數形式表示，解得

$$i = -\frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{CR}} \text{ 安。} \quad (10.31)$$

第 10.31 式與第 10.26 式形式完全相同，惟電流係負值。當 $E_0 = E$ ，第 10.31 式變爲第 10.26 式之負式，第 10.22 圖示上列例題中容電器及電阻之放電特性曲線。

10-20. 空氣之電離；電

暈——當固體電介體遭受過高之介質應力時，電介體即破裂，而動電性之電弧隨之，可將此物體燒毀或破裂（第 10-8 節）。雖迄今對於破裂之確實機構仍未知悉，然電介體中必先有一處之分子，因處於高電壓梯度下，使其電子脫離原子核之吸引，自原子中拉出，而

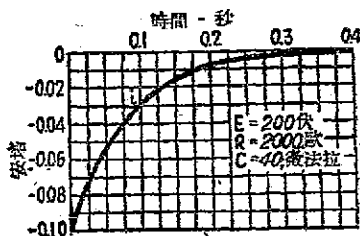


圖 10.22 容電器經電阻而放電之特性曲線

其組織乃因之破裂。

以言氣體電介體，例如空氣之屬，介體破裂之機構較易明瞭。氣體之分子構造較若干他種物質之分子構造簡單；且因氣體分子為可移動的，並不因破裂而損壞，縱已遭受破裂應力以後，仍可收集而分析之。一氣體原子含一正原子核及一個或數個電子繞核而運轉，例如氫含一電子，氦原子內有二電子。

在介質電場中，一氣體之電子恆被吸引至其正電極，正性原子核或離子，被吸引至負極，恆欲將電子與原子核分開。然原子核堅持其原子之介質力 (Dielectric force) 甚強，必須有異常高強之電壓梯度，始可藉其效應而分開之。

氣體電介體中常有少數自由離子或電子，在電場之作用下，可使離子及電子加速運動，尤以電子為甚。當向電極移動時，此自由電子，與適阻礙其路徑之中和原子相碰撞，結果可自其原子中撞出其他電子，遂產生更多之自由離子及電子，此作用係累積的。當電壓梯度達充分高值時(在 760 毫米壓力及 25°C 溫度之空氣中，約為每厘米 30,000 伏，合每平方厘米 100 靜電力線)，離子所得速度亦成充分高值，藉碰撞而產生離子，較之同時從場中收回離子，更為迅速。此際之氣體稱為電離的 (Ionized)，電離之氣體能導電，然仍具有極高之電阻，此種經由電離的氣體之電流傳導，係一種對流現象，與電解時之導電情形 (第 4—37 節) 相似。因此電離的氣體之介質強度，幾等於零。設所用電源，有雄厚之電功率為之後盾，此氣體之破裂，立即發生，動電性的電弧乃隨之。

設用與第 10.23 圖所示之佈置，可使氣體成局部之電離，而不致完全破裂。在該圖內上端之電極係尖形，如針之類，另一電極係一平板。在施以電位差後，針端與板間即有介質電力線存在。因針端尖銳，致使其附近力線密度極大。在板之面積較大，其附近力線

密度較小。故針端附近之空氣先被電離，電離之區域最先擴展至

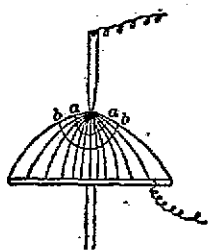


圖10.23 針端與平板間
之介質電力線

aa 線。在 aa 線以外，介質電場並無充分之強度，以容許更多之電離，故空氣之其餘部份，仍阻止任何重電性之電流通過。若將電壓予以提高，可將電離擴展至 bb 線，而仍無完全破裂之現象。然如電壓增至充分高值，足以使未電離之區域，亦起破裂，乃有動電性之電弧隨之發生。

在導體表面之電離的空氣，恆成小簇，或如飄帶狀，發出一種藍紅色之光，黑暗中甚易窺見。此種電離的空氣稱為電暈 (Corona)，因與日暈相似也。電暈發生時並有一種嘶嘶聲，且可嗅得臭氧之氣味。如有濕氣存在，可得亞硝酸。此種現象，為應用電學方法，自空氣中製造硝酸之張本。在高壓儀器及輸電線上，亦有電暈形成。

電 容 之 量 度

10—21. 衝擊法 —— 普通量度電容之方法有二：一係直流量法，又稱衝擊法 (Ballistic method)；一係交流量法，又稱電橋法 (Bridge method)。

直流量法中，應用一衝擊電流計。設一普通電流計之轉動錄卷能具有相當之慣性及適當阻尼裝置者，當有電流突然通過此錄卷，因其所產生之衝動而致之最大衝程，係與經過電流計之總電量成正比。此處係假定全部電荷在錄卷開始移動以前，即已通過錄卷者 (見第 8—18 節)。令 D 為電流計最大衝程之厘米數， Q 為電量， K 為電流計常數，則

$$Q = KD. \quad (10.32)$$

量度時，先將儀器聯接如第 10.24 圖。電池組 B 供給儀器所需之電流。量度手續可於容電器之充電時或放電時完成之，亦可兼用充電及放電以資核對。苟容電器有漏電，以用放電量法為宜。

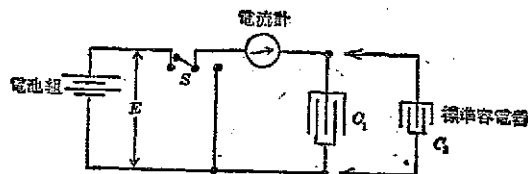


圖 10.24 量度電容之衝擊法

當將開關向左閉合時，容電器 C_1 經由電流計而充電，此時可讀電流計之最大衝程，應重複數次，以資核對。電流計應立即回至零點，倘仍留有穩定的偏轉度，表示容電器漏電。同理若將開關 S 向右閉合，使容電器放電，亦讀得一衝程值。設 D_1 為在 C_1 接至電源時電流計之偏轉度， Q_1 為充入 C_1 之電量， E 為 C_1 之端電壓，則

$$Q_1 = KD_1.$$

因 $Q_1 = C_1 E$ ，式中 C_1 為未知之電容，故

$$C_1 E = KD_1. \quad (I)$$

今再將標準電容 C_2 代替未知電容，另得一組讀數 D_2 ，即

$$C_2 E = KD_2. \quad (II)$$

以第 (II) 式除第 (I) 式，

$$\frac{C_1 E}{C_2 E} = \frac{KD_1}{KD_2},$$

$$C_1 = C_2 \frac{D_1}{D_2}. \quad (10.33)$$

又此種量法，須用愛亦頓分流器，俾可擴大儀器所可量度之範圍。在應用時，對於分流器之倍率，須加以適當的調準。又如裝置一單極或雙極雙投開關，俾 C_1 及 C_2 可易於換接，亦較便利。

10—32. 電橋法——在電橋量法中，用兩只容電器組成惠斯登電橋之兩鄰臂，另以兩只電阻組成其他兩臂(第 10.25 圖，甲)。電源以用交流電為宜，或用一感應錄卷之副卷，或用一配以電鍵之電源

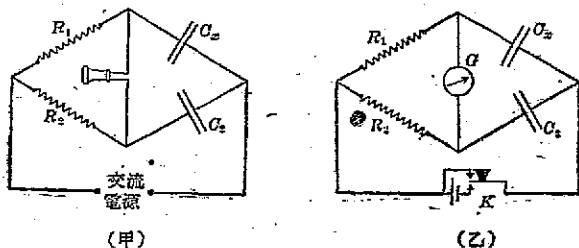


圖 10.25 量度電容之電橋法

池組，使全部電容充電或放電，如第 10.25 圖(乙)所示。檢流器可用電話聽筒，惟圖(乙)中仍用電流計。 C_x 為未知電容， C_2 為可調準的或不可調準的標準電容， R_1 及 R_2 為已知電阻，如 C_2 為不可調準的，則電阻之一必須為可調準的。

接就以後，可調準 C_2 或電阻之一，直至聽筒中靜寂無聲為止，表示已達平衡狀態，此際，

$$\frac{C_x}{C_2} = \frac{R_2}{R_1},$$

$$C_x = C_2 \frac{R_2}{R_1}. \quad (10.34)$$

如用一電池組，須用一雙觸電鍵(Double contact key) K ，可隨按隨放，直至電橋平衡為止。按下電鍵時，電流計隨全組之充電而偏轉；放起電鍵時，電流計隨全組之放電而偏轉。當電流計在充放循環時，均無偏轉，電橋即達平衡，亦可應用第 10.34 式。

在上述量法中，亦假定容電器之漏洩為極微者。

10—33. 電纜全部斷路之尋檢——在第五章中，曾述及電纜之通地障礙，可用適當的電阻量法，如穆雷迴線及伐萊迴線之類，而

加以尋檢。設電纜全部斷路，而斷頭處仍有絕緣，並未通地，即不能用迴線法尋檢之。此時可用電容量度法，以求出至障礙處之距離。其接法如第 10.26 圖。先用衝擊量法量出至中斷處長度 x 之電容 C_1 。如有同式而長度為 l 之完好電纜與之並行，可將此二電纜在其遠端相接成迴路，再量出其綜合電容，此即完好電纜 l 長度之電容與損壞電纜未損部份 $l-x$ 之電容之和，即 C_2 為 $l+l-x=2l-x$ 長度電纜之電容。

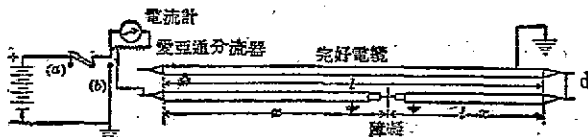


圖 10.26 電纜中斷處之尋檢

假定二電纜每呎長度之電容同為 C ，則

$$C_1 = xC = KD_1, \quad (I)$$

依同理 $C_2 = (2l-x)c = KD_2$ (II)

式內 K 為電流計常數， D_1, D_2 各為相應於 C_1 及 C_2 之電流計偏轉度。

$$\frac{x}{2l-x} = \frac{D_1}{D_2},$$

$$x = l \frac{2D_1}{D_1 + D_2}. \quad (10.35)$$

此式內並無每單位長度之電容，或總電容存在，故毋需標準電器以資電流計之校準。若用愛亦頓分流器，則依分流器之調配，將電流計之偏轉度加以調準，其不同長度電纜之電容，仍與校準後之偏轉度成比例。

第十一章

發電機

發電機為一種變換機械能為電能之機器。其功能之變換藉電樞表面之導體與一磁場之連合作用完成之。由電樞導體與磁場間之相互運動，使導體內產生應電勢。若電樞供給電流於外界，即供給電能。

在直流發電機內，其磁場為靜止的，電樞為轉動的。交流發電機則用靜止的電樞與轉動的磁場。無論其電樞旋轉，抑或磁場旋轉，其使電樞與磁場間有相互運動則同。其電樞或磁場均可以機工方式策動之，故促使電能之發生者，機械能為之也。

11—1. 產生之電勢——在第九章內曾述及，若變動與一線卷相連繫之磁通，則該線卷內被感應一電勢。其磁通之變動，則以電樞與磁場間之相互運動完成之。

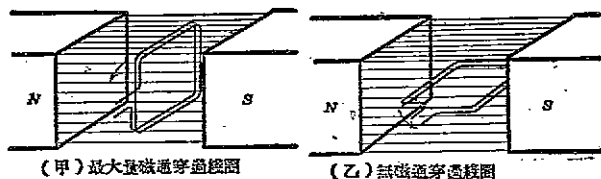


圖 11.1 在磁場內旋轉之單個線卷

第 11.1 圖示一線卷旋轉於一北極及一南極所產生之均勻磁場內。在該圖(甲)中，線卷與磁力線相垂直，且可能之最大磁通與線卷相連繫，命此磁通為 Φ 。

設此線卷逆時針方向旋轉四分之一週，達圖(乙)之位置。此時線卷與磁場相平行，無磁通與之連繫。故當其旋轉四分之一週，線卷連繫之磁通由最大值 Φ 降低為零。在此期間，其所生之平均應電勢為

$$e = N \frac{\Phi}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏 (見第 9.1 式)}。$$

式內 N 為線卷之匝數， t 為旋四分之一週所需之時間。若旋轉速率為每秒 S 轉，則 $t = 1/4S$ ，故在旋四分之一週期間之平均應電勢為

$$e = 4NS\Phi \times 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (11.1)$$

由此式可見，發電機之應電勢，與電樞上線卷之匝數，旋轉速率之每秒轉數，及電樞之磁通連繫成比例。

由此種線卷旋轉而生之總電勢，亦可認為線卷每邊割切磁力線而生之電勢之和。產生電勢之源為一單匝線卷每邊之導體，而非其整個線卷。此兩線卷邊 (Coil side)，以末端聯接線 (End connection) 將其串聯，形成一匝線卷，是以每卷之電勢，必為各邊電勢之和。此一解說與因線卷之磁通連繫變動而產生電勢之解說，並無衝突。總之，無論其電勢係由磁通連繫之變動而產生，抑由導體割切磁力線而產生，其結果總電勢則同。

今有一導體 ab (第 11.2 圖)，沿兩軌道 cd 與 ef 而滑動，兩軌相距 ab 厘米。此兩軌在一端接於一伏特計。另有一均勻磁場，以每平方厘米 B 線之密度，穿過導體與軌道之平面。

令此導體 ab ，平行地以均勻速度 v 移動至 $a'b'$ 。當其移動時，伏特計顯示有一電壓，此

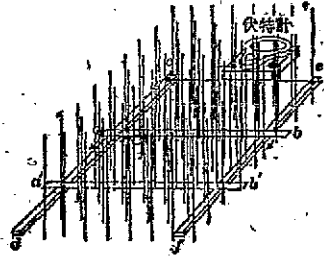


圖 11.2 導體割切均勻磁場

電壓之產生，可溯源於下述任一原因：

(1) 導體 ab 移動至 $a'b'$ ，其由軌道， ab ，及 ce 所形成導電迴路之磁通連繫隨之增加。此種磁通連繫之變動，乃產生感應電勢於 ab 。

(2) 因導體移動而割切磁力線，乃產生電勢於 ab 。

依同理，第 11.1 圖中錄卷內電勢之產生，亦可以磁通連繫之變動，或導體割切磁力線解釋之。其割切磁力線之兩錄卷邊，以末端聯接錄相接，聯接錄並不割切磁力線，故適成串聯之迴路，而兩邊之電勢可以相加。

若 B 為磁場之磁通密度，以皋斯計， l 為導體之有效長度以厘米計（即導體在磁場範圍內之部份能割切磁力線者）， v 為導體割切磁力線之速度，以每秒若干厘米計， B, l, v 三者互相垂直，則因割切磁力線所產生之電勢為

$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (11.2)$$

上述兩種產生電勢之原因，所得結果相同，更可以下述實例說明之。

【例題 11.1】如第 11.2 圖所示， ab 之距離為 30 厘米， $aa' = bb' = 20$ 厘米，磁場之磁通密度為 100 皋斯，導體 ab 於 0.1 秒內以均勻速度移動至 $a'b'$ ，求 ce 間之電勢之伏數。

【解】用磁通連繫之變動求之，則與該迴路連繫磁通之變化為

$$\Phi = 30 \times 20 \times 100 = 60,000 \text{ 線。}$$

在 0.1 秒時完成此變化，則由第 9.1 式，可知

$$e = 1 \times \frac{60,000}{0.1} \times 10^{-8} = 0.006 \text{ 伏，} \quad (\text{答})$$

若用導體割切磁力線法求之，則

$$v = \frac{20}{0.1} = 200 \text{ 厘米/秒，} l = 30 \text{ 厘米，}$$

應用第 11.2 式，

$$e = 100 \times 200 \times 30 \times 10^{-8} = 0.006 \text{ 伏。}$$

(核)

11-2. 應電勢之
方向 —— 磁通之方
向, 導體運動之方
向, 與 應 電 勢 之 方 向 間,
必 存 有 一 定 之 關 係。
此 關 係 可 用 佛 萊 敏 右
手 定 則 (Fleming's
right - hand rule)
決 定 之。此 定 則 應 用
右 手 之 三 指, 有 如 下
述:

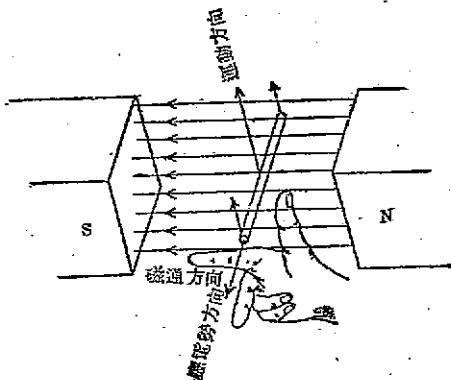


圖 11.3 佛萊敏右手定則——拇指指運動方向, 食
指指磁力線, 中指指應電勢方向

將右手伸出, 以食指, 拇指, 及中指互相成直角(第11.3圖), 若
食指指磁力線之方向, 拇指指導體運動之方向; 則中指即指應電勢
之方向。

11-3. 旋轉線卷產生之電勢——第 11.4 圖示一個單匝線卷,
以均勻速率, 旋轉於均勻之磁場內。當線卷達不同之位置時, 其電
勢亦隨之變化。在位置 1 時, 其有用導線之運動方向, 皆與磁力線

平行, 並不割切任何磁力線,
其電勢為零。當達位置 2, 如虛

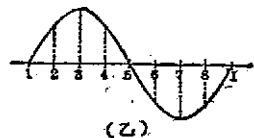
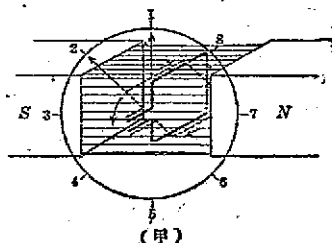


圖 11.4 以等速旋轉於均勻磁場內之線卷所產生之應電勢

線所示, 其導線斜割磁力線, 所產生之電勢如第 11.4 圖(乙)中之

2 點 所示者。當達位置 3，其導線垂直地以可能的最大速率割切磁力線，產生之電勢亦為最大。在位置 4 時，因割切率又減低，電勢亦低。在位置 5 之情形與在位置 1 者同，並不割切磁力線，亦無電勢產生。過位置 6，線卷之每邊皆在與位置 1 至 5 相反之磁極下割切磁力線，其電勢之方向亦反。此反向電勢漸增，至位置 7 時為最大。嗣又逐漸減低，迨返回位置 1 時為止，以後重複此變化之循環。是以此應電勢為交變的，其值之變化，沿一正弦曲線，如圖(乙)所示。

此交流電勢，可經兩匯流環(Slip-ring, 見第 11.5 圖)與外電路相通。每環為完整的，與他環及轉軸皆相絕緣。以一金屬或碳質電刷壓於每一環上，使電流得由線卷導至外

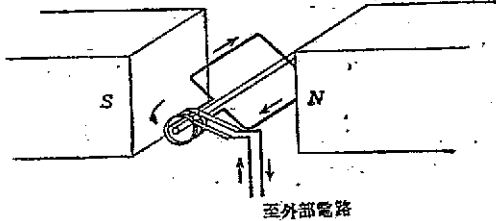
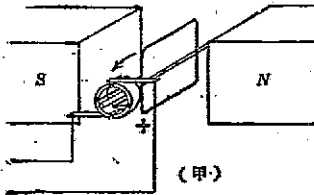


圖 11.5 自旋轉線卷經匯流環取出電流

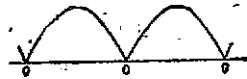
電路。

若需用直流(Direct current)，即流經外電路電流之方向，須保持不變，則不能用此項匯流環。因線卷內之電勢為交變的，故其電流亦為交變(Alternating current)，在其未流入外電路以前，非經換向(Commutation)

手續不可。換向之法，見第 11.6 圖。今僅以一環替代第 11.5 圖



(甲)



(乙)

圖 11.6 換向器之整流作用

之兩環。將此環對劈為二，分兩瓣或兩截片(Segment)，互相絕緣，以線卷之每一末端，接於每一截片，兩刷亦分壓於兩截片上。

試考察第 11.6 圖(甲)，可見每一導體由一磁極移至鄰近相反磁極之下時，電刷與兩截片之聯接亦隨之變換。當線卷內之電勢反方向時，其與外電路之聯接亦反，故外電路之電流方向不變。當電刷經過截片與截片之接縫處時，線卷之位置適與磁場相垂直，即在所謂中性面上(Neutral plane)。當時線卷內無電勢，如第 11.4 圖中之位置 1 與位置 5 者，在第 11.6 圖(乙)中，其中性點以 0—0—0 註明。以第 11.6 圖(乙)與第 11.4 圖(乙)相較，可見電勢波之負半週被換向為正，兩刷之極性，保持不變。

雖然，此電勢每週經一度換向，兩度經過零值，為脈動的(Pulsating)，而非連續的(Continuous)，仍不合商用。再則以同樣機器之重量言，單線卷電機之輸出甚小。若用兩個線卷，及四個換向器截片，可減輕電勢波之脈動程度，如第 11.7 圖(乙)所示者。該圖(甲)示一種斷路式線卷組(Open-circuit winding)，由每一截片出發，經所有線卷，不能回至原截片，故曰斷路的。用此種線卷組，其每卷之電勢，不能全部利用。如第 11.7 圖(乙)所示，當一線卷在 a, a, a 處與刷脫離時，該刷即跳至另一線卷，因此虛線所示之電勢部份，不能加以

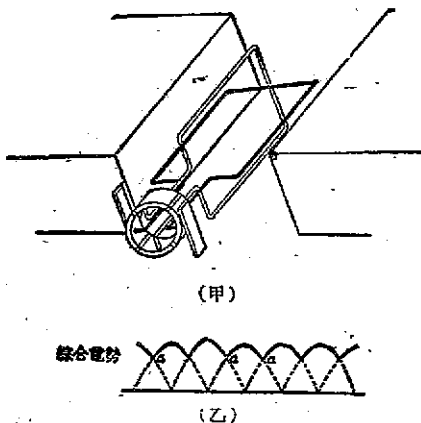


圖 11.7 兩線卷及四換向器截片對於電勢波形之效應

利用。

11—4. 電樞——在一發電機內，必須有足數之導體，以割切磁力線。此項導體由一電樞供給之。電樞必須經慎重之設計，使其輸出甚大，而所佔重量及所費成本為最小。

商用之電樞，必有一鐵芯，不獨可負載割切磁場之導體，且形成磁路之一部份。苟無鐵芯，則磁場太弱，所得輸出太小。電樞由裝置於轉軸上之鐵片組成（見第 11—20 節），旋轉於磁極所產生之磁場內。磁極內面與電樞表面成同心圓，其間之空氣隙甚短，其用意在於減少磁路之磁阻。

導體置於電樞面之槽（Slot）內，槽可以保持導體於其位置，齒部則使空氣隙變短。因發電機之輸出，與有用之銅量成比例，故設計者恆殫思竭慮，務使多量之銅導體能置於槽內。再則導體相連接時，必使電勢為相加的，務將全部電勢付於刷上。除在小型機外，電樞皆附有通風槽（Ventilating ducts）。

欲使導體與外界之連接，在適當時間調換，俾傳導至外電路之電流，成為直流，必須用換向器（Commutator）。此換向器由若干截片拼合而成，截片數目必須甚多，俾電勢之脈動程度，不致過分顯明（參看第 11.9 圖），而鄰近間之電壓不致過高，以免閃絡（Flash over）之發生。

苟不欲選擇最佳而最經濟之電樞則已，如欲選擇，則對於電樞之構造，繞線卷之方法，應細心研討。不獨此也，充實關於電樞組合之全部知識，對於電機之運用理論與特性之瞭解，皆裨益甚多。

11—5. 環式線卷組——最古之發電機內，採用環式線卷組，或簡稱環卷組（Gramme-ring Winding），其電的連接及一般構造皆甚簡單。其樞芯（Armature core）為一鐵環，或中空之圓筒，以絕緣之導線，作螺旋式捲繞於環上（見第 11.8 圖）。每隔若干匝，即

接出一線端，與換向器截片相接。若無電壓限制，則同一線卷組，可用於有任何磁極數之電機，此為其優點。在另一方面言，因磁通幾全部穿過鐵環，其在環內面之導體，不能割切磁通，不產生電勢，僅作聯接之用而已。其導體之有用部份甚少，故需較多量之銅。且在小型機內，並無適足之地位，以安置無效導體，此為其最大缺點。更有進者，在環卷組中，不能用預先繞成之線卷，使捲繞之成本昂貴。

在環卷組內兩刷間之總電勢為在該兩刷間所有線卷之電勢之和。當一線卷經過刷下，他卷立即替補，得換向效果。第 11.9 圖示

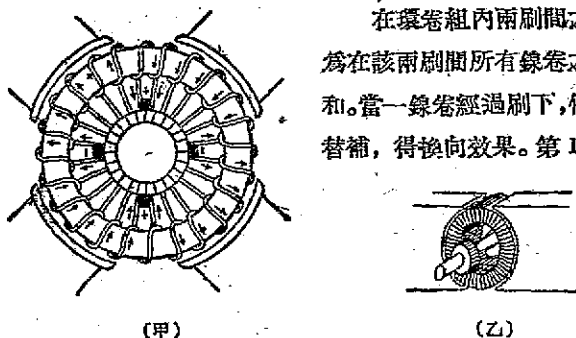


圖 11.8 環式線卷組

兩刷間有四個線卷串聯之電勢，其每線卷之電勢，皆分別描繪為正弦波形。因各個線卷所佔位置不同，故其電勢並不同時為零，亦不同時為最大值。在任何瞬間之總電勢，為在該瞬間各線卷之電勢之和。其綜合電勢可與第 11.7 圖所示者相比較。在第 11.7 圖內，其綜合電勢，係取自各線卷電勢之一部，而非其和。故環卷組之各線卷，除在經過換向之甚短時期外，在其餘所有時間內，各線卷對於總電勢，皆有所供獻。

由第 11.9 圖可見以四個線卷所得之綜合電勢，比較平滑，雖



圖 11.9 在兩電刷間四個串聯線卷之總電勢
圖中後圖應作線卷

仍有脈動，但其波紋(ripple)却不甚顯明。環卷組爲一種通路式卷組(Closed-coil winding)，因由任一導體出發，依次經過所有錄卷，仍回至原導體也。

此式卷組，雖不用於近代電機內，但其錄卷不相重疊，其電的及磁的效應較易察驗。在量的方面，此等效應，與近代電機內之鼓式卷組(見下節)完全相同。故實用上雖無價值，而在理論方面，常藉爲研究電機運用特性之助。

11-6. 鼓式錄卷組——採用鼓式錄卷組，簡稱鼓卷組(Drum winding)，可以克服環卷組之各種限制。此式卷組之導體皆在電樞表面上，在其前後均以末端聯接錄，或稱錄卷末端(Coil end)者聯接之(第 11.10 圖中之 ad 及 bc 皆爲錄卷末端)。除錄卷末端以外，其餘所有導體皆能割切磁力線而產生電勢。

每錄卷之兩邊，相隔約一個極距(pole-pitch，即兩鄰距中心之跨距)。當一邊在 N 極下時，他邊適在 S 極下，以同方向旋轉，故此二邊所生之電勢相反(第 11.10 圖)，由聯接方法，可知二邊之電勢係相加的。

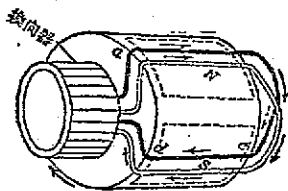


圖 11.10. 兩個錄卷置於四極鼓式繞製之電樞上
圖中粗線之右角上應有一 b 字

在環卷組電機，及較舊式之鼓卷組電機內，其電樞表面爲光滑的，其面上導錄以突出之小釘固定之，再用紮線紮緊，使不致受離心作用而滑脫。此種光滑面電樞，已爲『鐵鑿式』者所替代。電樞面刻有凹入之槽，備鋪置導體之用。每槽皆襯以絕緣物，將導體鋪入，以纖維片或他種非導體之門或楔(Wedge)，封閉槽口，使導體不致離位。在小型機內，可用紮線紮緊之。此式優於光滑面者，且可得甚短之空氣隙，但因錄卷皆爲鐵所包圍，具有甚

高之自感，使換向難得美滿。再因樞齒所致之磁通脈動，使磁極掌內面及樞之齒部，皆有能量損失。

11-7. 擺卷組——直流機電樞，皆用形成之線卷 (Formed coil) 製成(見第 11.11 圖)。此種線卷，先在捲型機上繞成，將所有匝數，以布條或雲母條紮緊，然後在一種機械上曲成定型，其末端裸露以便焊接於換向器截片上。其線卷之跨距 (Span)，稱為線卷節距 (Coil pitch)，應等於極距。俾線卷之一邊在 N 極下時，他邊適在 S 極下相稱之位置。

若線卷之跨距，小於極距，謂之部份節距線卷 (Fractional pitch winding)，既可節省末端聯接線之銅，又可得較佳之換向成績。直流電機內之線卷節距最低者為全極距之十分之九，太小則電勢減低太甚。

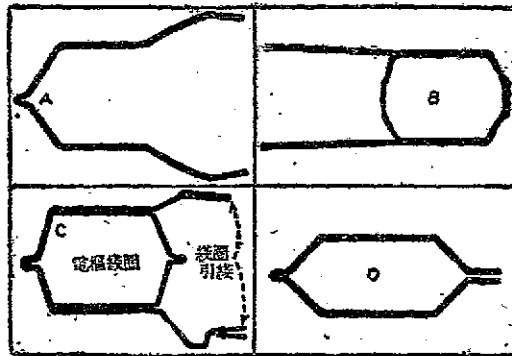


圖 11.11 繞成之線卷
圖中裝面應作線卷，裝字應作樂字

每槽內大率置兩個線卷邊，其一在頂層，另一在底層。當聯接時，若線卷之一邊在一槽之頂層，他邊必在另一槽之底層，可使末端易於聯接。當線卷繞成後，可將末端彎曲成特殊之形式，以適應由底層穿入頂層之需要。

在單式摺卷組(Lap winding)內，其錄卷之一端接於換向器之一截片，經其兩邊，他端接至鄰片，由鄰片再推進至次一錄卷。

於研究及設計卷組時，其形成錄卷一邊之每一組導線，皆以絕

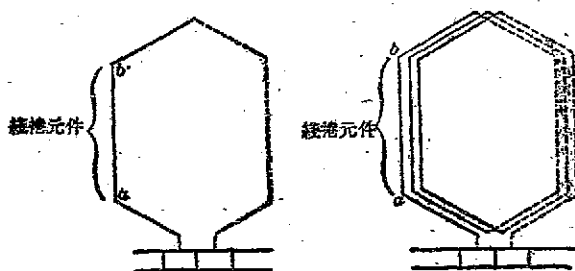


圖 11.12 單線卷代表三匝之電樞錄卷
(圖中繞捲應作錄卷)

緣物紮束為一單位，謂之錄卷元件 (Winding element)，如第 11.12 圖所示者。縱或每一元件包括數根導線，在聯接時，仍以一個導體視之。錄卷元件之數目，恆為錄卷數目之二倍。在電樞背面，即滑輪端，錄卷兩邊相隔之元件數目，謂之後節距 (Back-pitch)，以 y_b 表之，如第 11.10 圖中之 bc 。在電樞之前面，即換向器端，錄卷兩邊相隔之元件數目，謂之前節距 (Front-pitch)，以 y_f 表之。前節距可大於或小於後節距，但不能相等。若前節距較大，則卷組為後退的 (retrogressive)，在換向器端觀之，卷組係逆時針方向推進者。若前節距較小，則卷組為前進的 (progressive)，在換向器端觀之，該卷組係順時針方向推進者。例如第 11.13 圖及 11.14 圖中，元件 1 在電樞背面與元件 10 相接，後節距 $y_b = 9$ 。在電樞前面，元件 10 繞回至元件 3，前節距 $y_f = 7$ ，此卷組為前進的。

目前大多數之卷組皆為雙層的，以後僅研究雙層卷組 (Two-layer winding)。其在一槽之頂層之元件，皆註以單數，在底層者，註以雙數 (參看第 11.13 圖)。若一錄卷之一邊在一槽之頂層，其他

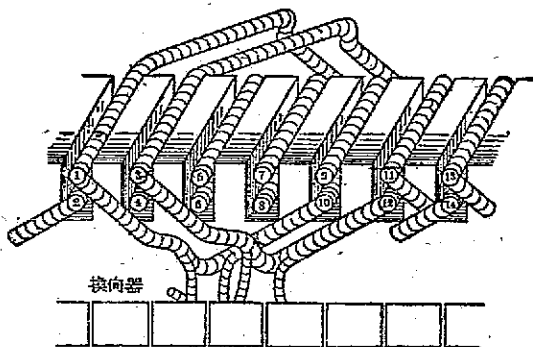


圖 11.13 單式摺卷組，其後節距為9，前節距為7

邊必在另一槽之底層，是以 y_b 及 y_f 皆應為奇數。苟均為偶數，則兩邊均在底層或頂層。是以前節距與後節距之差應為 2，即

$$y_b = y_f \pm 2. \quad (11.3)$$

而平均節距 (Average pitch) 為

$$y = \frac{y_b + y_f}{2} \quad (11.4)$$

在第 11.3 式中，其加號表示線卷組為前進的，即在換向器端觀之，線卷組順時針方向推進者。其減號表示卷組為後退的，即在換向器端觀之，卷組逆時針方向推進者。

11-8. 換向器節距——每一線卷必有一個換向器截片，若 Z' 為電樞表面線卷元件之總數， N 為線卷數，則截片數 N_c 為

$$N_c = N = \frac{Z'}{2}. \quad (11.5)$$

由第 11.13 圖及第 11.14 圖可見，該卷組每繞一匝，即推進一個換向器截片。其換向器節距 (Commutator pitch) $y_c = 1$ 。

在設計一卷組時，每線卷之兩邊在相反之鄰極下，俾其電勢得以相加。其平均節距應約等於每極下之元件數。

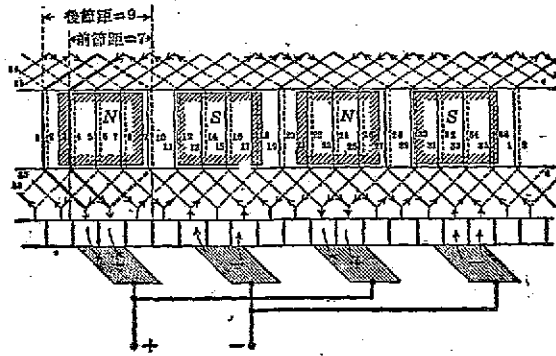


圖 11.14 四極摺卷組之展開

在捲繞摺卷組時，應符合之基本條件有三：

- (1) 其線卷節距必須使每線卷之兩邊在相鄰之異極下。
- (2) 此卷組必須包括每一導體(或元件)一次，但僅能一次。
- (3) 此卷組必須為重入的 (Reentrant)，卻須自身為閉合的。

【例題 11.2】 假定某四極電機有 18 槽，每槽有兩元件，試設計一雙層卷組。

【解】 線卷元件總數為 $18 \times 2 = 36$ ，其平均節距應為 $36 \div 4 = 9$ ，取後節距為 9，

$$y_b = 9, y_f = 9 - 2 = 7. \quad (\text{答})$$

由第一元件出發，此卷組依下表所列次序而推進：

1-10-3-12-5-14-7-16-9-18-11-20-13-22-15-24-17
 -26-19-28-21-30-23-32-25-34-27-36-29-2-31-4-33-6
 -35-8-1。

此為繞線表 (Winding table)，可用以校驗繞法之是否無誤。試將該表加以檢察，是否每一元件被包括一次而僅一次，是否某元件出發後，仍回至該元件。以電樞面剖開而展平，即得如 11.14 圖所示之展開圖。其電刷適在接於元件 1 及元件 9 之截片上。該兩元

件適居於兩鄰極之中央。換言之，電刷正與不產生電勢之兩導體相接。

11—9. 複合線卷——在高額輸出之電機內，常須以多數線卷元件，置於同一槽內，大概為四個，六個，或八個，每有採用多於八個者，其理由可分述如下：

為避免截片間之閃絡起見，每兩鄰片間之平均電壓不能高於 15 伏，故換向器截片數，不能過少。其數目由刷間電壓定之，至少應有一低限數目。再者，截片太少，則電勢之波紋起伏，或可致惡果（參看第 11.7 圖，乙）。在許多電機內，用一定數目之換向器截片，若每槽僅有兩個元件，必須有甚多之槽。於是槽之尺寸縮小，其空間因數 (Space factor, 即銅截面與槽截面之比) 減低，且齒根太狹，而齒薄弱。若以兩個以上元件置於一槽內，則槽數減少，槽可放寬，並可節省繞線之成本。

以兩個，三個或四個獨立線卷，紮束為一個線卷，如第 11.11 圖中之 B 者，謂之複合線卷 (Multiple Coil)，或更確定地名曰雙合線卷 (Double coil)，三合線卷 (Triple coil) 等。此種線卷可視作一個單位，置於適當之槽內。試檢視第 11.30 圖 (甲) 之電樞，顯示有四根導體在每槽之頂層，接至換向器截片，此為四合線卷 (Quadruplex coil)。

用複合線卷時，其元件之計數與聯接，與用每槽兩元件者，並無任何差異。不過在選擇線卷節距時，稍受限制而已。

假定一個六極電機有 72 槽，每槽有 6 元件，其電樞表面之元件總數為 $Z=72 \times 6=432$ ，其平均節距應為 $432 \div 6=72$ 。今取 $y_b=71, y_f=69$ ，則由元件 1 在後面接至元件 72 (第 11.15 圖)，在前面回至元件 3，再推進至 74。因元件 72 與 74 不同在一槽內，則 1 與 72, 3 與 74 兩線卷之跨距不同。在左面之 1, 3, 5 三元件，可以

紮爲一束，而 72, 74, 76 則不能紮爲一束，此可於第 11.15 圖中驗之。若有任意數目之線卷之一邊同置於一槽內，此若干線卷之另一邊必須同在另一槽內，庶幾若干線卷可紮爲一束，安置於兩槽內。

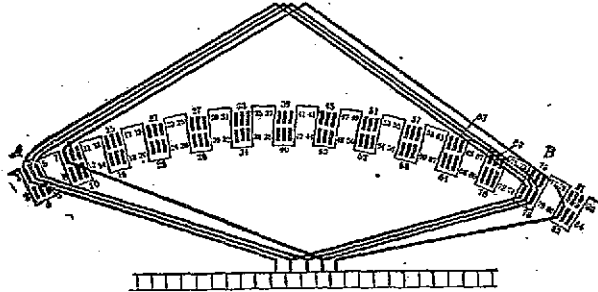


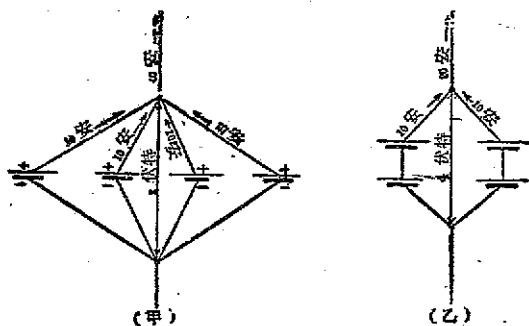
圖 11.15 聯接三合線卷之方法

今再取 $y_b = 73, y_r = 71$ ，則在 A 槽極左邊頂層之元件 1，與在 B 槽內極左邊底層之元件 74 相接。在 A 槽中部頂層之元件 3，與在 B 槽中部底層之元件 76 相接。在 A 槽極右邊頂層之元件 5，與在 B 槽極右邊底層之元件 78 相接。此三線卷之跨距相等，大小式樣皆同，可以紮束爲一三合線卷，置於 A, B 兩槽內。是以欲使三個相鄰線卷之三邊居於同槽之頂層，其他三邊居於另一槽之底層，其後節距必須比每槽內元件數之倍數多一個。例如在上述之例內，每槽內置 6 個元件，72 爲 6 之倍數，故後節距應爲 73。

若干單獨線卷，紮爲一束而置於同一槽內者，謂之複合線卷。其各個線卷雖相紮束，但並不接於同一截片上，而分接於若干截片。如第 11.15 圖所示之三合線卷，每單位分接至三個截片，其用意在於減低截片間之電壓。

11-10. 經過電樞之電流路徑——今有四只電池，每電池之電勢定額爲 2 伏，電流定額爲 10 安，電功率定額爲 20 瓦。若將四電

池完全串聯，此電池組之電勢定額為 8 伏，總功率定額為 80 瓦。但此組合中，僅有一條電流路徑。苟將此電池接成第 11.16 圖(乙)之式樣，以每兩只電池串聯，再相並聯，於是有兩條電流路徑，每條之電勢定額為 4 伏，電流定額為 20 安，電功率定額為 $4 \times 20 = 80$ 瓦，今以四只電池全相並聯，如圖(甲)，則得四條電流路徑，其電勢定額為 2 伏，電流定額為 40 安，其電功率定額仍為 $2 \times 40 = 80$ 瓦。



並聯 串並聯
圖 11.16 電池組之連接

令 Z 為一電池組中之等壓電池數， e 及 i 各為每電池之電勢及電流定額， P' 為經過電池組之電流路徑數，則此電池組之電勢，電流及電功率定額各為

$$E = \frac{Ze}{P'} \quad (11.6)$$

$$I = P'i \quad (11.7)$$

$$P = EI = Zei \quad (11.8)$$

故知，若所有電池皆連合供給外電路之電流，則其電功率之定額，與電池組之聯接方法無關。

上述電池組內電池之關係，亦可應用於電樞中之導體或感應體(Inductor)。每一感應體為電勢之源，在正常電機中，其電勢皆

等。此類感應體可以不同之方式相聯接，使得兩條，四條，或更多條之電流路徑。在一般電樞卷組中，至少必有兩條電流路徑。若 e 及 i 各為每一感應體之電勢及電流定額，則可用第 11.6 式及第 11.7 式求電樞之總電勢及電流定額。且更有一點與電池組相似者，苟所有感應體皆連合供給電流於外電路，則電樞之電功率定額，殊與聯接感應體之方式無關。

在尋求電樞內之電流路徑時，先由一線端出發，例如負端，向樞卷組內尋索所有之可能路徑，俾得返其正端。

導體之佈置，以在環卷組內最為簡單，第 11.17 圖示一四極電樞之環卷組。

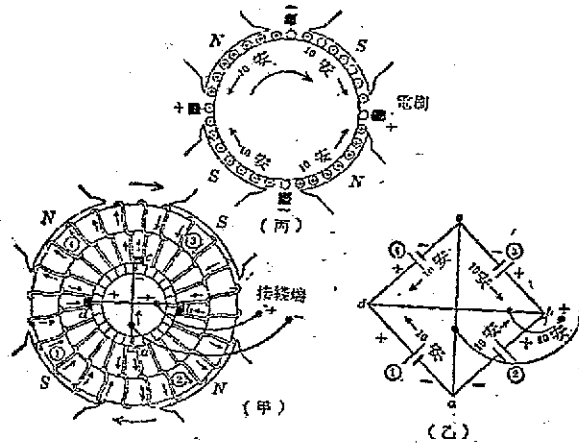


圖 11.17 四極電樞卷組之四條電流路徑

今由負端出發，其一路經電刷 a ，在 (1) 處之卷組部份及電刷 b ，以達正端。其第二條路徑，經電刷 a ，在 (2) 處之卷組部份，電刷 b ，同至正端。其第三條路徑，經電刷 c ，在 (3) 處之卷組部份，電刷 b ，同至正端。其第四條路徑，經電刷 c ，在 (4) 處之卷組部份，電刷

d ，回達正端。是以在正端與負端間，有四條各別之路徑，全相並聯。

假定每路有 10 安電流，刷間電壓為 20 伏，則此卷組可視作四個電池組相並聯。如第 11.17 圖(乙)所示者，每組於 20 伏之電壓下，供給 10 安電流。電池(1)相當於第一路徑，電池(2)相當於第二路徑，餘類推。其每電池之正負兩端，各相結合，故此組合於 20 伏電壓下，供給 40 安電流。依同理，此環卷組之每條路徑供給 10 安，則每刷有 20 安，每端有 40 安通過，兩刷間之電壓為 20 伏。

鼓式卷組之末端聯接線互相交叉，在電樞表面上，迴環曲折，故其電流路徑不若在環式卷組內之易尋，第 11.18 圖示一個 18 槽摺卷組之圖

形展開圖(第 11.14 圖為平面展開圖)。為簡單化起見，其中兩條路徑，以粗線畫出，其一由 a 刷至 b 刷，另一由 c 刷至 d 刷。若循細線尋索，則又得兩條路徑，其一在 c, b 兩刷間，另一在 c, d 兩刷間，共得四條路徑。

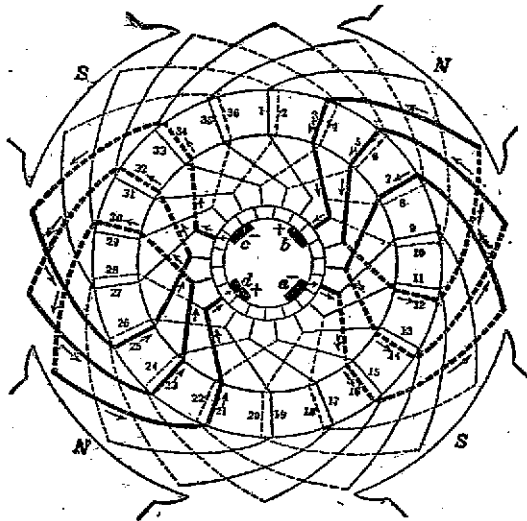


圖 11.18 摺卷組中之四條並聯路徑(粗線示其中之兩條)

是以在單式(Simplex)摺卷組中，電樞之電流路徑數與磁極

之數目相等。

11—11. 複卷組——第 11.19 圖示一個四極 36 槽之線卷組，該圖內每隔一槽置有導線，每槽置有兩個線卷邊(或曰線卷元件)。其後節距 $y_b=17$ ，在電樞背面，元件 1 與元件 18 相接，在電樞前面，由元件 18 回至元件 5，其前節距 $y_f=13$ 。一線卷由某元件出發，並

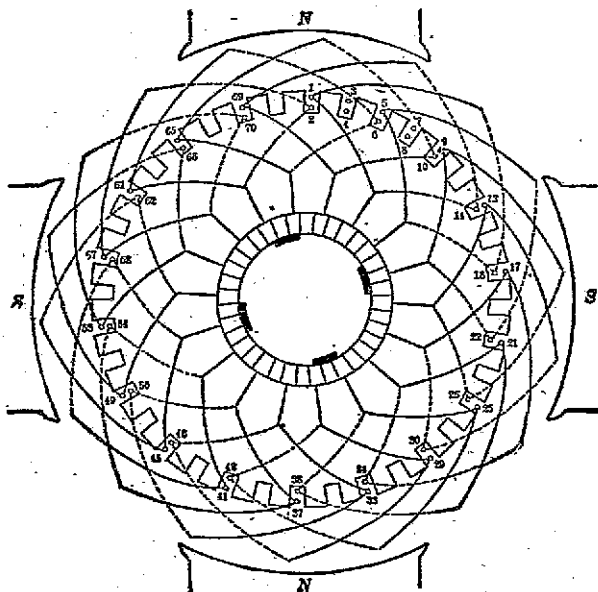


圖 11.19 雙進雙重複卷組(僅示一個卷組)

不同至與該元件相差 2 數之元件，而同至與該元件相差 4 數之元件。依式，由元件 5 在電樞背面接至 22，在前面回至 9。第 3, 4, 7, 8 等元件並不與此卷組相接。再者，換向器截片每隔一片始被利用。此卷組本身為閉合的，換言之，即每經電樞一週，此卷組回至所由出發之元件，一若僅有 18 槽電樞上之單式卷組(第 11.18 圖)者然。

因此卷組僅利用電樞上之隔一槽及換向器上之隔一個截片，

其空槽內可以安置與之完全相同之另一卷組，此第二卷組之前節距與後節距，與前一卷組同，而接於前所未接之空槽片上。此第二卷組即自相閉合，亦即為重入的。

此兩卷組各自獨立，在電樞上互相絕緣，不過在換向器上，因電刷可跨接數槽片，乃作電的聯接。此種情形可以第 11.20 圖 (甲) 中之環卷組驗之。其一卷組用實線示出，另一卷組用虛線顯示。第 11.20 圖及 11.21 圖 (甲) 中之兩卷組，皆在電刷上互相並聯，故其電流路徑為單卷組中路徑之二倍。因每一卷組自相閉合，故此種卷組為雙進的 (Doubly reentrant)。用此種卷組時，其電刷之闊，至少應等於兩個換向器槽片之闊。

有兩個卷組相並聯之複卷組，謂之雙重卷組 (Duplex winding)，故上述者為雙進雙重卷組。在一電樞上可置三個或更多之此種卷組，於是成三重卷組 (Triplex winding)，四重卷組 (Quadruplex winding) 等。此種重複之卷組謂之複式卷組 (Multiplex winding)。其卷組重複之數目，即該卷組之重複度 (Multiplicity)。

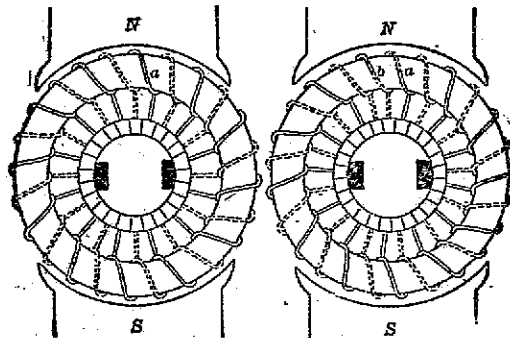


圖 11.20 (甲) 雙進雙重環卷組 (乙) 單進雙重環卷組

今 m = 複卷組之重複度，則複摺卷組內之電流路徑數為

$$p' = mp_0 \quad (11.9)$$

其 p 為單摺卷組之電流路徑數。

其前節距與後節距之關係如下：

$$y_b = y_f \pm 2m \quad (11.10)$$

此式可與第 11.3 式比較之，在該式內， $m=1$ 。

若第 11.19 圖電樞之 p 數及線卷數為奇數，例如 35 或 37 個線卷及換向器截片，則每一卷組經過電樞一週後，不能自相閉合，而回至所由出發元件左面或右面兩個元件（即一槽）之處。若每槽有四元件，則可回至所由出發之槽內，但回至所由出發元件相差 2 數之元件。是以此卷組經電樞一週不能自行閉合，須再經一週始相閉合，此可於第 11.20 圖（乙）中見之。其第一次繞成之卷組由 a 出發，用實線顯示，經電樞一週後，不回至 a ，而回至與 a 相差一邊之 b 。第二卷組由 b 出發，經電樞一週乃回至 a 。此卷組須經電樞二週，經過所有元件，始相閉合，故為單進的（Singly reentrant）。圖中之複卷組謂之單進雙重卷組。與雙進雙重卷組，在電的方面完全相同。其不同之點，可於第 11.21 圖中見之。

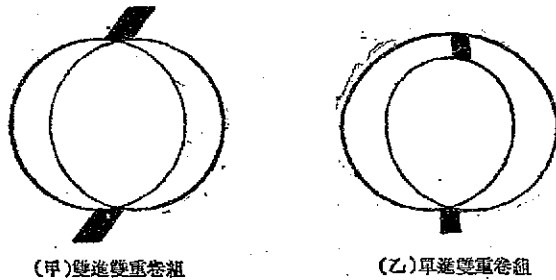


圖 11.21 雙重線卷組之簡單化形式

由上所述，可見雙重摺卷組之換向器節距為 2，三重摺卷組為 3，餘類推。

11—12. 摺卷組中之均壓聯接 —— 在摺卷組中有數條電流路徑，經電刷而並聯。若數電池組相並聯，而各組電壓不等，即或不供給電流於外電路，亦有電流週流於其間。因此有固定之損失，而電池發熱。

在電樞內亦有同樣情形存在。由於軸承之磨損，或機械裝置之不準確，使在電樞周圍之空氣隙，微有差異，則不同電流路徑之電勢，亦必微有差異，足以使電流週流於電樞之各部。雖發電機不供給電流於外電路，此局部電流必經電刷，使其載流逾量。欲免電刷載此額外電流，則電樞上應具相等電壓之處，必須以厚銅條聯接之，是為均壓聯接線，或簡稱均壓線 (Equalizer)。若是則局部電流，經此導線由電樞之一點，以達他點，不經電刷。

雖然，均壓聯接之作用，固有別於電刷者，經電刷之局部電流為直流，其經過電樞各路所致之 IR 壓降，使各路得同一電位。但經均壓線之電流為交流，此電流產生磁通勢，與磁極相作用，使各路之應電勢達均等之境。因此並不若電流經過電刷時，引起發熱效應。

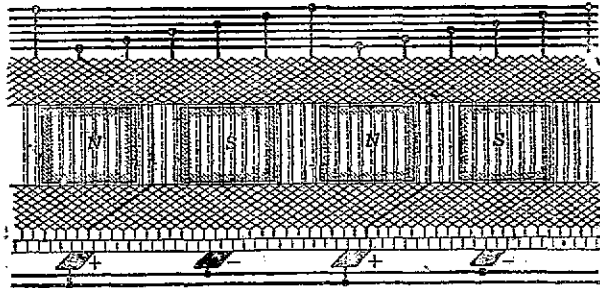


圖 11.22 單式摺卷組與均壓連接線

(1) 參考 Morce AD 作「均壓聯接在摺卷組中作用之理論」(Theory of the Action of Equalizer Connections in Lap Winding) 載 "Electrical Journal" 1926 年十二月號第 624 頁。

在置備均壓連接時，發電機內之線卷數，必須為磁極之倍數，而每極下之線卷數，又必須可以 2 或 3 除盡。例如在一部八極發電機中，每極下有 12 槽，每槽有二線卷邊。共 96 槽，192 線卷邊，每極下之線卷邊數為 24。令 $y_b = 25$ ， $y_f = 23$ ，其卷組之一部，如第 11.22 圖所示。在該圖中，每第四只線卷（即每隔三只線卷），接於一



圖 11.23 直流電樞與均壓連接線

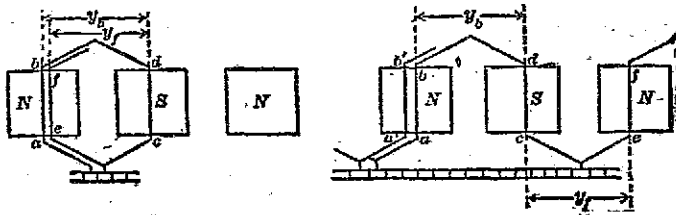
根均壓線。其接於同一均壓線之各線卷必須在同性磁極下，佔同樣的相互位置，可參看圖中以粗線顯示之兩個半只線卷。蓋惟有此類線卷內，在同一瞬間，必須產生相等之電勢也。由第 11.22 圖，更可見其在兩正刷下之二截片，適為一根均壓線所連接。

依理，每一線卷皆應接於均壓線，但事實上不能置備太

多，不得不每隔三個或四個線卷連接一次，在實用方面，其結果已夠美滿。此所以每極之線卷數，必須為 2, 3 或 4 之倍數也。第 11.23 圖示一個備有均壓連接大型直流電樞之背面。

11—13. 波卷組——在前數節內已述及，在摺卷組中，每極下之一線卷邊，直接與在鄰極下約佔相同位置之一線卷邊相接，再由此回至原極下與原邊相隔兩數或 2 數以上之另一線卷邊。如第 11.24 圖(甲)所示，線卷 ab 在 N 極下與相鄰 S 極下約佔相同位置之線卷邊 cd 相接，由 cd 回至原極下與 ab 相鄰之另一線卷邊 ef 。苟經 cd 後，不回至原 N 極下，而推進至次一 N 極下，以卷組所產生電勢之大小及方向言，固與前者無甚軒輊。於是此卷組，順序經

過每一N極及S極，經電樞一週始回至原極下與 ab 相鄰之線卷邊 $a'b'$ ，有如圖(乙)所示者。若卷組依上述方式，由一極接至他極，順序推進者，謂之波卷組(Wave winding)。與在摺卷組中相似，其在電樞背面，兩線卷邊之跨距，以線卷元件數計之，謂之後節距，即第 11.24 圖(乙)中之 y_b 。同樣，在電樞前面接向器端之跨距，以線卷元件數計之，謂之前節距，如第 11.24 圖(乙)中之 y_f ，此可與第 11.24 圖(甲)對照觀之。在摺卷組中， y_b 及 y_f 皆須為奇數，俾線卷之一邊在一槽之頂層，則他邊在另一槽之底層。波卷組之製法亦然。不過有與摺卷組不同者，在波卷組中 y_b 與 y_f 可以相等。



(甲)摺卷組 (乙)波卷組

圖 11.24 摺卷組與波卷組

例如某波卷組之後節距為 23，前節距為 19，其平均節距為

$$y = \frac{23 + 19}{2} = 21,$$

但前後節距均可為 21。無論如何，其平均節距必為

$$y = \frac{y_b + y_f}{2} \tag{11.11}$$

若在接向器觀之，苟此卷組，繞經電樞一週後，回至出發點左其之槽內，如第 11.24 圖(乙)之 $a'b'$ 者，則此卷組為後退的；若回至出發點右鄰之槽內，則為前進的。

在繞製波卷組時，其節距與槽數及線卷數較受限制，不若摺卷組之自由，其理由可解說如下：在單式波卷組中，繞經電樞一週後，

此卷組必須回至所由出發元件之左或右，而相隔兩個元件，意即元件 ab 與 $a'b'$ 相隔兩個元件。

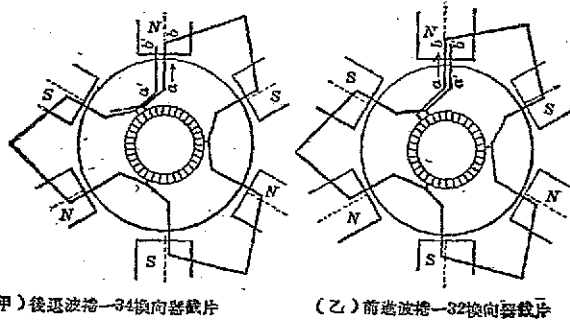


圖 11.25 波 卷 組

若 p 為磁極數， y 為平均節距，線卷邊總數 Z 若等於 py 之積，則繞製波卷組時，甫經電樞一週，即自相閉合，因此自相捷接，殊非所應有者。但應於將各槽內所有元件皆繞完後，始相閉合。故每繞一週，必須回至前一槽或後一槽。是以 py 之積，不應等於 Z ，應大於 Z 或小於 Z 。在單波卷組內，其差數應為 2。即

$$py = Z \pm 2, \text{ 或 } y = \frac{Z \pm 2}{p} \quad (11.12)$$

若用正號則回至前一槽，用負號 回至後一槽。

試舉一例，假定一四極電樞有 63 槽，每槽有四併線卷邊，其元件總數為 252。取平均節距為 63，前後節距均為 63，與摺卷組相似，一線卷可包括數線卷相繫束，如第 11.26 圖。由元件 1 出發，其推進之次序如下：

$$1-64-127-190-(253 \text{ 即 } 1)。$$

換言之，甫經電樞一週，即自行閉合，成為捷路，此卷組無法繞成。故用 252 個元件，無論如何，不能製成一個四極單波卷組。

令 N_c 為換向器截片數，即等於線卷數，

$$N_c = \frac{Z}{2}, \quad Z = 2N_c.$$

再令 p_1 為磁極之對數， p 為磁極數， $p = 2p_1$ 代入第 11.12 式，得

$$y = \frac{2N_c \pm 2}{2p_1},$$

$$N_c = p_1 y \pm 1. \quad (11.13)$$

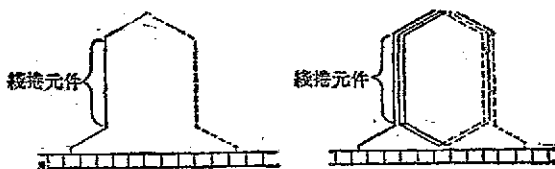


圖 11.26 單線卷代表三匝波卷
圖中繞捲線作線卷

若 p_1 及 y 皆為奇數，其積亦為奇數，加一或減一，則 N_c 必為偶數。是以波卷組之平均節距若為奇數，而具有 6, 10, 或 14 磁極，即 3 對, 5 對或 7 對磁極，則換向器截片及線卷數皆應為偶數。若平均節距為偶數，則換向器截片數及線卷總數皆應為奇數。

反之，若 p_1 為偶數，相當於 2 對, 4 對或 6 對磁極，則 $p_1 y$ 之積常為偶數，而 N_c 應為奇數。第 11.13 式之應用，可以第 11.25 圖說明之。該圖示 6 個磁極，其平均節距為 11，應用第 11.13 式，則 $N_c = 11 \times 3 + 1 = 34$ ，或 $N_c = 11 \times 3 - 1 = 32$ ，均為偶數。圖(甲)顯示 34 截片之接法，卷組為後退的。圖(乙)顯示 32 截片之接法，其卷組為前進的。

11—14. 波卷組之換向器節距——試考察第 11.25 圖，可見波卷組之換向器節距，異於摺卷組者。在該圖(甲)及(乙)中，其換向器節距 $y_c = 11$ 片。其 y_c 不能等於截片總數除以磁極之對數，否則，甫經電樞一週，必自相閉合。以第 11.25 圖為例，其截片數除以磁極對數等於 $11 \frac{1}{3}$ 或 $10 \frac{2}{3}$ 。此數值與實際節距 11 之差，表示該

波卷組之“縮縮”(Creepage)，但此實為繞製波卷組所應備之條件。

上述者為繞製波卷組之另一限制，表示何以 252 元件或 126 線卷，不能用以製成波卷組。在四極波卷組中，其線卷數應為奇數。苟略去一線卷(即略去 2 元件)，成 250 元件，可依下列次序捲繞：

1—64—127—190—3—66—129—192—5—等。

此卷組每經電樞一週，即前進兩個元件。因省去一線卷，使換向器截片數由 126 減至 125，變為奇數。苟電樞疊片之刻槽為標準的，有 126 槽，不能更改。以之繞製摺卷組，固無問題，但必須略去一卷，始能製成波卷組。此略去之線卷仍照常置於槽內，與其他線卷無異。不過其線端並不接於換向器截片，以絕緣物包裹之，並與卷組之他部相絕緣。此線卷僅用以填空，實乃虛設線卷(Dummy coil)。若是則卷組對換向器，微呈縮縮，如第 11.27 圖所示者，此之謂強制線卷組(Forced winding)。

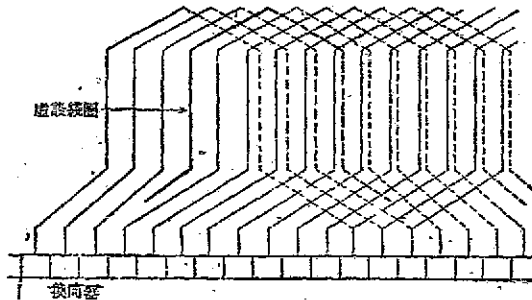


圖 11.27 「虛設」線卷及強制線卷組之「縮縮」

若波卷組中每線卷不僅包括一匝，則取出其線卷端，如第 11.11 圖及第 11.26 圖所示者。若線卷係預先捲成者，其末端應張開，如

第 11.11 圖中之 A 及 G 。若用於摺卷組，其末端應緊靠，以便接於鄰近之截片上。

11—15. 波卷組之電刷數——第 11.28 圖示一部六極電機，44 截片波卷組之一部，僅經電樞一週。此卷組由正刷 a 出發，在經電樞一週後，即回至此刷，由第 11.13 式，取其正號，則平均節距為

$$y = \frac{44+1}{3} = 15$$

此數亦等於卷組經一對磁極時，所跨越之截片數。故其與截片之連接，係由截片 1 出發，順序經 1—16—31—2—17 等，見第 11.28 圖。此卷組每經電樞一週即回至出發點前之一片，故知所取節距之不誤。

設圖內有三組正刷及三組負刷，與摺卷組所用者相同。但須予注意者，其三正刷 a, b, c 為卷組所直接聯接，且聯接此三刷之導線，皆在兩鄰極之間，即在同性面上，並未割切磁力線。在該瞬間，固皆為無電勢之導線，或無勢導體 (Dead conductor)。

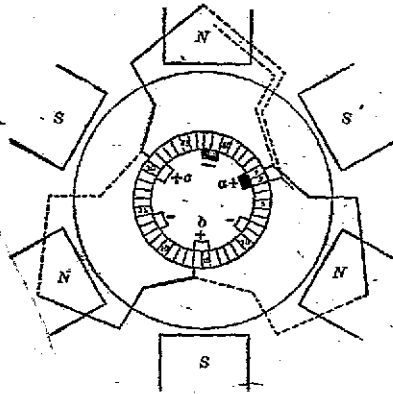


圖 11.28 波卷組——三正刷為線卷本身所聯接

縱或移去 b, c 兩刷，電流仍藉此等無勢導體而流通，經 a 刷逸外電路。同理，亦可移去兩組負刷，不致引起困難。不過在可能範圍內，仍以用六組為宜。因僅用兩組電刷，其每組刷之面積，必須三倍於用六組時每組之面積，其換向器截片亦須伸長三倍之譜。

在波卷組內，雖常需用與磁極數相等之電刷組數，但無論磁極

爲若干，僅兩組已足。

在某種情形之下，僅須採用兩組電刷。其最佳之例，莫若電車中之電動機，因爲電車車底地位所限，此類電動機內，甚難裝置四刷或六刷。在電動機外殼上，開一小洞，以手伸入，可把握在換向器上之兩刷，自較把握多數刷子容易。

11—16. 波卷組之電流路徑——在單波卷組中，無論有若干磁極，僅有兩條電流路徑。第 11.29 圖示一個四極，17 槽之單波卷

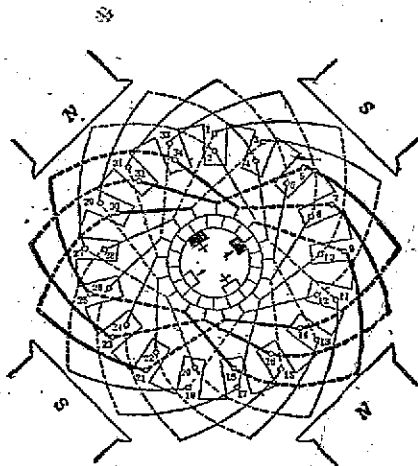


圖11.29 17槽四極，單式波卷組，其後節距爲9，前節距爲7(粗線示一條電流路徑)

關於磁極數，單波卷組有兩條電流路徑，雙重波卷組有四條，餘類推。

今試就各式卷組，比較其電樞之電壓與電流。以一六極發電機爲根據，若繞成單摺卷組，令其電勢爲300伏，電樞每端電流爲120安。若導體總數不變，改繞爲他式卷組，其電勢及電流，如下表所示：

組，每槽內有兩個線卷邊。其一條路徑用粗線畫出，粗線約佔全卷組之半，另一半構成另一路徑（其爲電刷所接之線卷未計入內）。波卷組與摺卷組相似，可爲雙重的，三重的，或任何重複度之複式卷組。

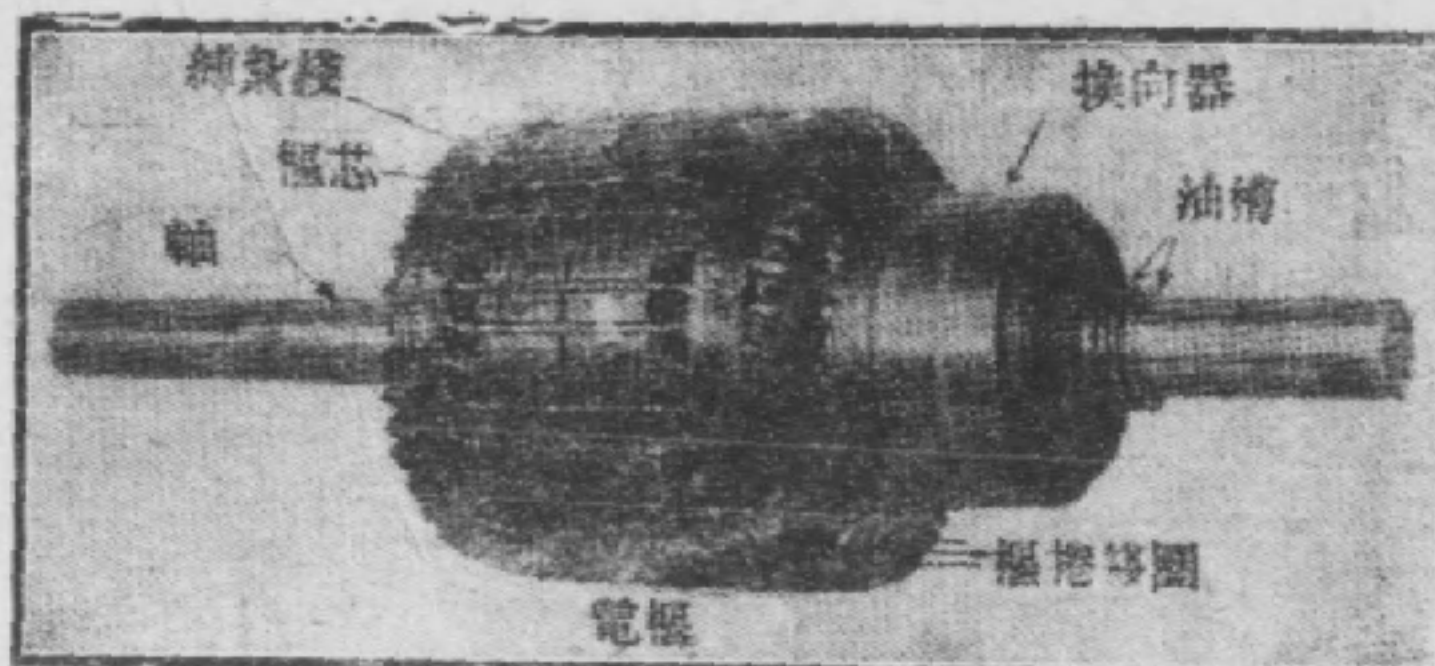
其經過電樞之電流路徑，僅與線卷組之重複度有關，而無

卷組式樣	電路路數	電壓(伏)	電流(安)	仟瓦輸出
單摺卷組	6	300	120	36
雙重摺卷組	12	150	240	36
三重摺卷組	18	100	360	36
單波卷組	2	900	40	36
雙重波卷組	4	450	80	36
三重波卷組	6	300	120	36

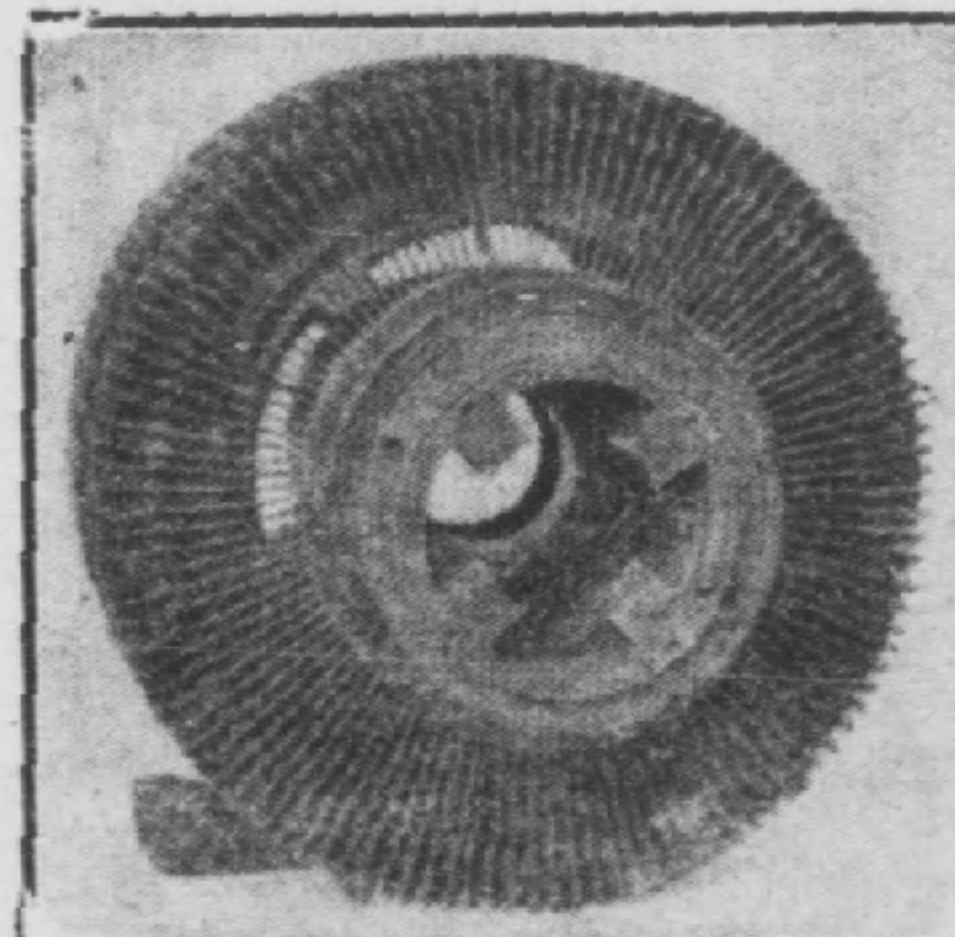
由上表可見，在此特務之電機中，其用三重波卷組與用單摺卷組之結果相同。又須注意者，電機之功率輸出，不受捲繞方法之影響。

此種關係甚為重要，因常須變換發電機極卷組之繞法，使由一種電壓定額改換為另一種定額，而不改變其輸出也。若是，僅須在換向器上之聯接，加以更改即可。

11-17. 兩種卷組之比較——以一定數目之磁極及電樞導體，繞成波卷組，可得較高之電壓，此為其優點。故波卷組用於小型電機，尤宜於600伏電路內應用者。因苟用摺卷組，則非用甚多之細線不可，其繞製



(甲) 波卷組電樞



(乙) 電樞之末端，顯示鐵軛及換向器
圖11.30 西屋電器製造公司直流發電機

之成本乃鉅，而槽內之空位，不能善加利用。

又在波卷組內每條電流路徑，皆由處於所有 N 極及 S 極下之導體串聯者，每路之總電勢，即此等導體電勢之和。苟因空氣隙之不均勻，或磁路強度之不等，致有磁之不平衡狀態時，其各路導體所受之影響皆同，無偏重偏輕之弊。故不致引起各路電壓之不平衡，不致產生局部電流，亦毋需均壓聯接。

至於僅需兩個電刷，宜於電車內電動機之用，已詳第 11—15 節。

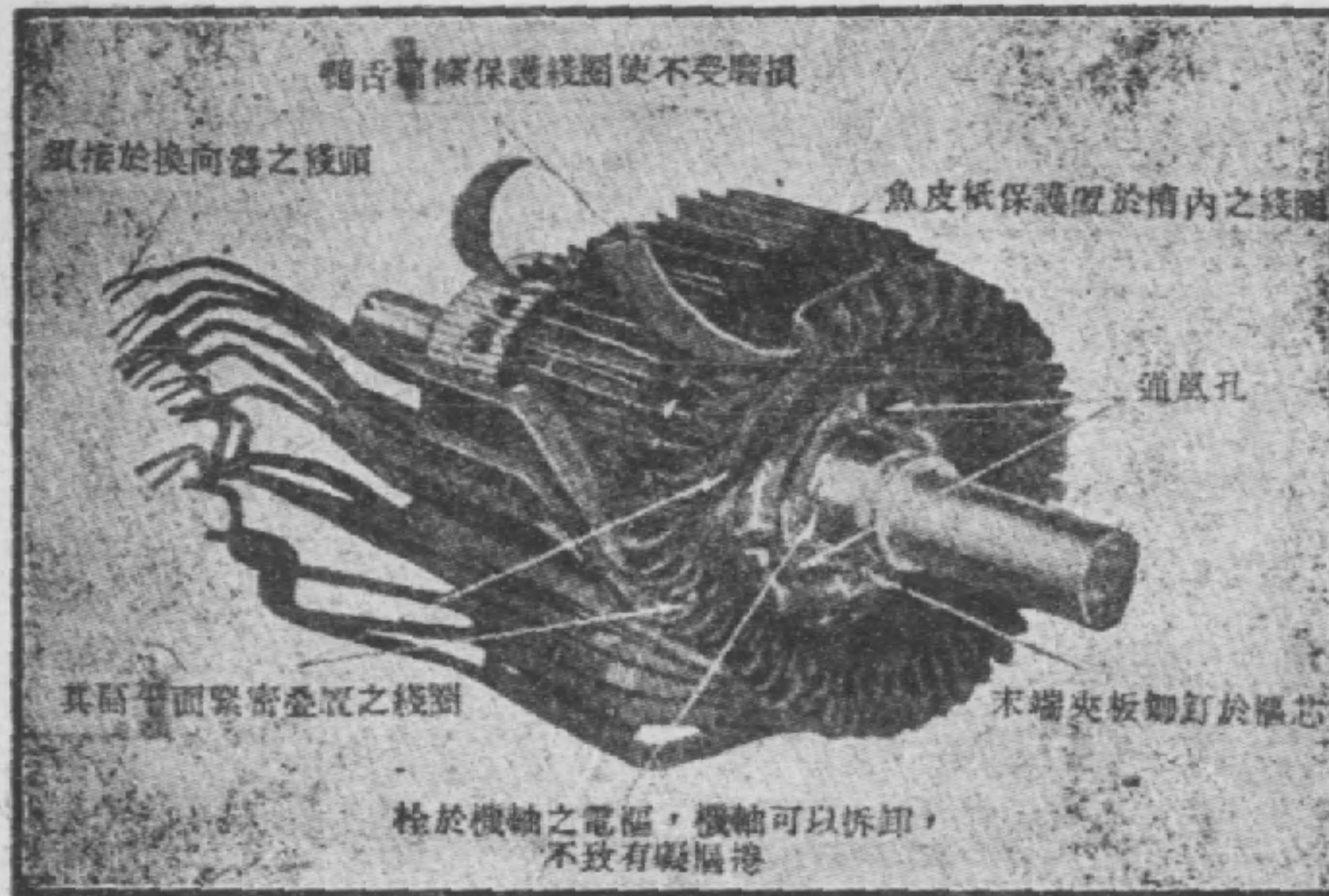


圖 11.31 一部份繞成之電樞

苟需用大量電流，以摺卷組為較宜，因其電流路徑較多也。因每路 200 安為實際載流量之限制，若需用甚大量之電流輸出，非有少數之電流路徑不可。由其引擎策動之大型多極發電機，皆採用摺卷組。

第 11.30 圖(甲)示一個 25 匹馬力電機全部電樞之側面，在電樞之一邊，其末端聯接與在他端者，方向相反，此表示其為波卷組。

圖(乙)示一個繞成之電樞，其轉軸已經拆除。其電樞之輻及其接於換向器之方式，甚易窺見。

第 11.31 圖示一正在捲繞之電樞，其末端聯接線兩層間隔之扁條槽內鋪置之魚皮紙，及疊置線卷之方法，可加以注意。

電機之構造

11-18. 機殼或軛——電機之機殼(Frame)或軛(Yoke)之作
用有二，一則用以支持全部機件，一則用為磁路之一部（見第 7.24, 7.25 及 7.26 圖），在小型機內，重量不關緊要，軛皆以鑄鐵製成。支脚亦為軛之一部，用以支撐全機者。除甚小型之電

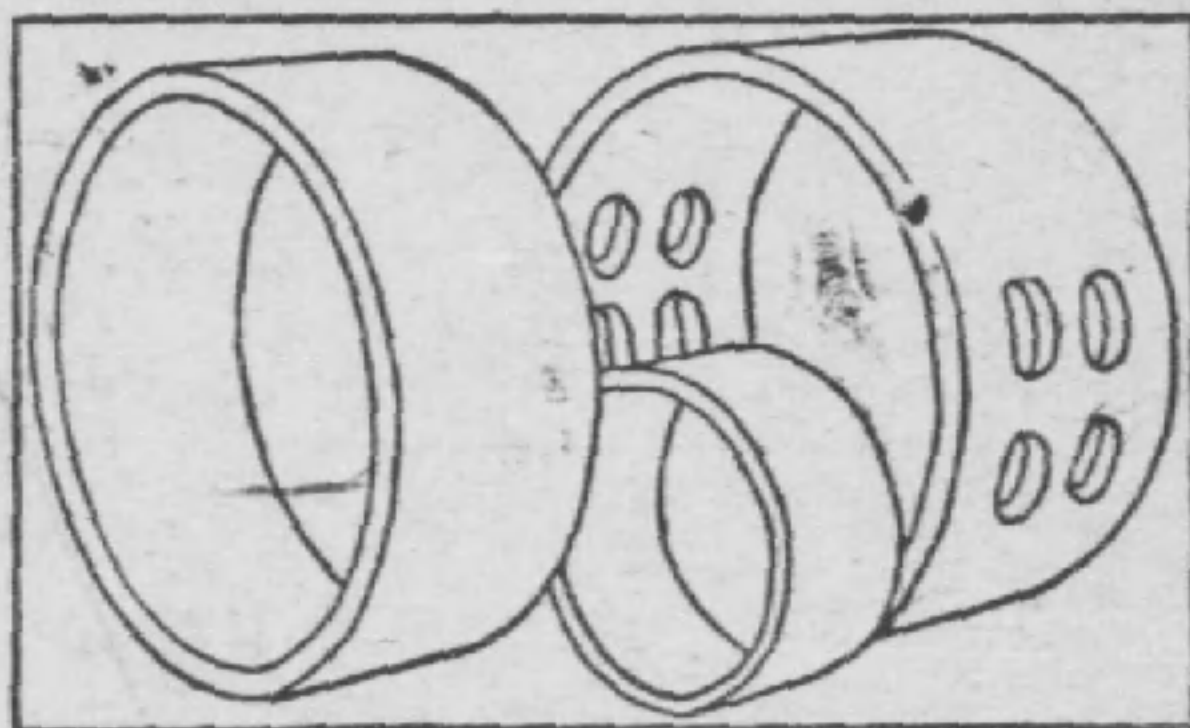


圖 11.32 機殼環——西屋電器製造公司 SK 式電動機

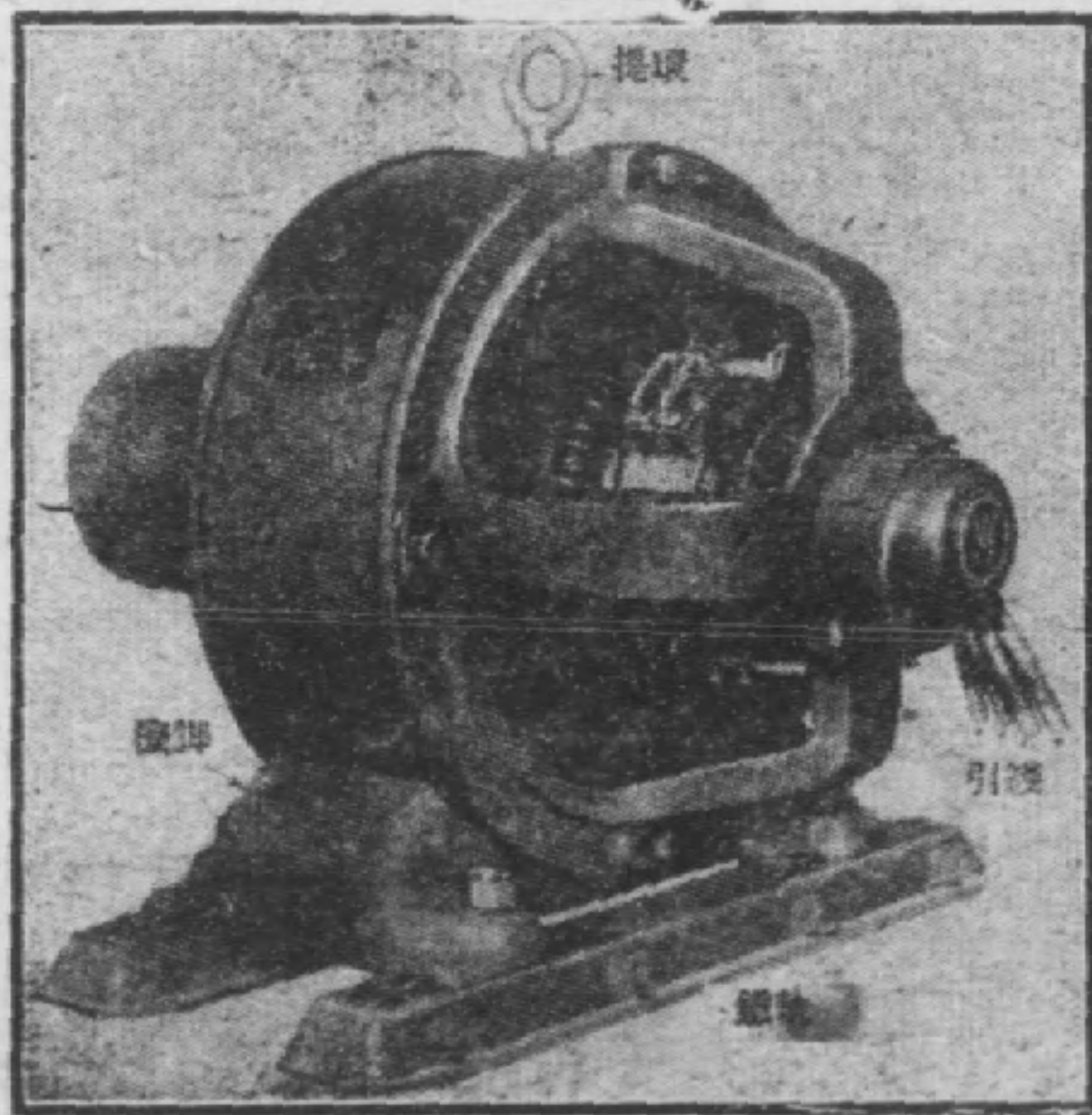


圖 11.3 鐵轆、支脚、機殼、引線、西屋電器製造公司電動機

機外，近代之軛，皆以鋼板於筒形心棒(mandrel)上捲壓而成，然後在其底部煨接之（見第 11.32 圖及第 11.34 圖）。甚大型之機軛，則以曲捲機(Bender)形成之。此種結構，既可製成堅固之機軛，且具有均勻的磁之特性，再則鋼之磁導係數亦較高。

在西屋電器公司製造之 SK 式電機中，用以裝置前面支架之末端外環，則以煨接鋼質之間隔棒，支持於機軛（第 11.33 圖）。其支脚亦以鋼板製成，煨接於機軛及末端外環。在大型電機內，其磁

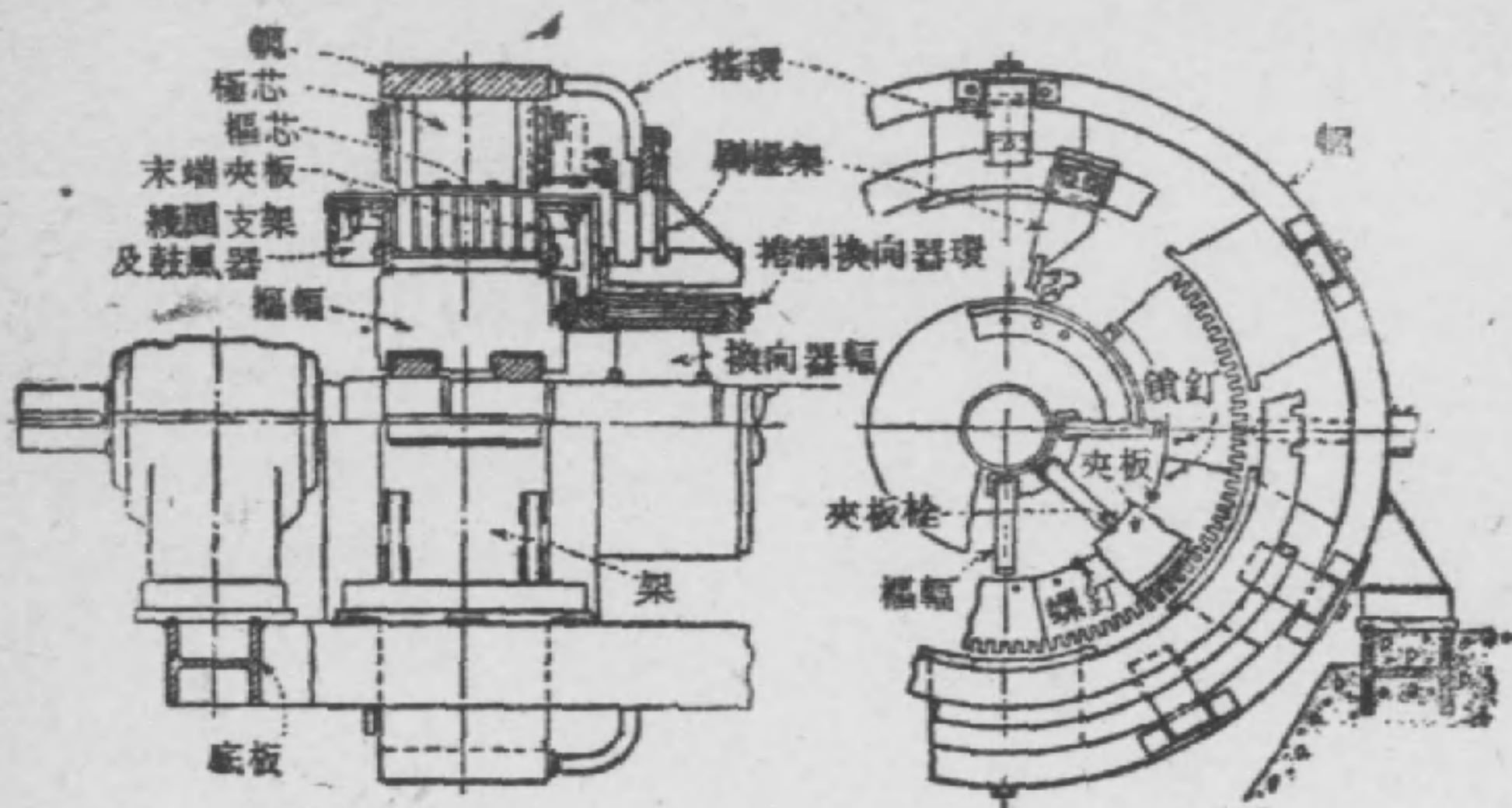


圖 11.34 直流電機之結構

極架，支脚及底板皆以鋼依標準法製成，見第 11.34 圖及第 11.35 圖。在此類電機內，其支持磁極之軛，係由兩個半環合成，以螺門釘合之，使機殼便於裝拆，便於取出電樞，皆所以便利運輸也。

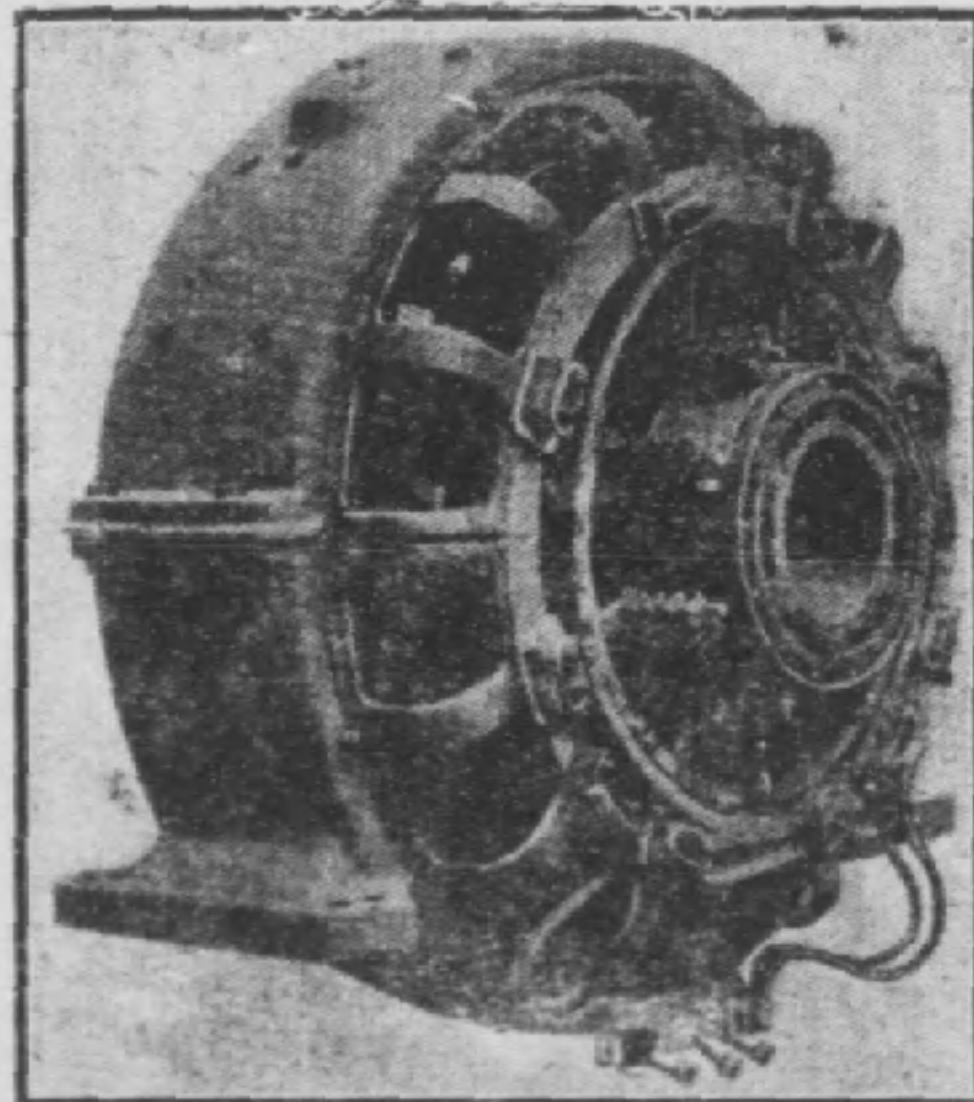


圖 11.35 大型直流發電機。示刷架及換向器

11—19. 極芯與極掌——過去雖慣用鑄鐵或煨鐵為製造磁極之原料，但在最近之設計，大率以軋材片鋼 (Annealed sheet-steel) 疊片製成極芯，用水壓力將其壓合。整個磁極連同線卷，以螺栓釘於軛上，此栓穿過軛鐵直入極芯（見第 11.38 圖）。有以鳩尾榫 (Dove-tail) 接合於軛者。極芯之下部為極

掌(Pole-shoe),面積大於極芯,其用意在於減低空氣隙之磁通密度,並改進空氣隙內磁通之分佈狀態。極掌亦為疊片,釘於極芯上,但大都與極芯連成一片,由片鋼鑿成者。為減低電樞反應所引起於空氣隙內磁通分佈之畸變起見(參看第12—10節及第12—11節),每片僅鑿有一尖(tip,見第11.36圖),在拼合時,以缺左尖者與缺右尖者交互疊置,則在極尖部份鐵之截面積為極芯之半,使極尖易於飽和,可輔助換向作用。

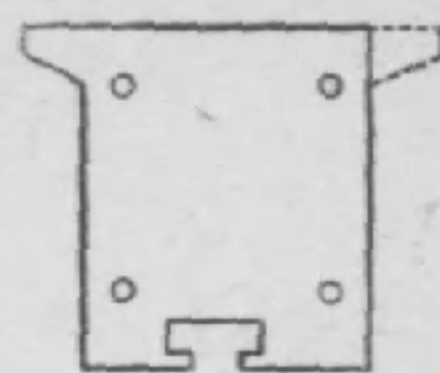


圖11.36 極芯之分片

用疊片製成極芯之優點,厥唯減少極芯內之渦流損失,若用整塊極芯;至少其極掌須為疊片製成者。

11—20. 電樞之結構——電樞以鑿成之片鋼圓片拼成(每片約厚14至25密爾)。其槽亦以鑿錘鑿成,或在鑿槽機上鑿之。在小型電動機內,此等鑿片(Stamping),直接以榫栓於(Keyed to)機軸上。每隔2吋至3吋厚度,即插入一分隔片,構成通風槽見第11.30圖,甲)。所有疊片夾於兩末端夾板(End plates)中(見第11.34

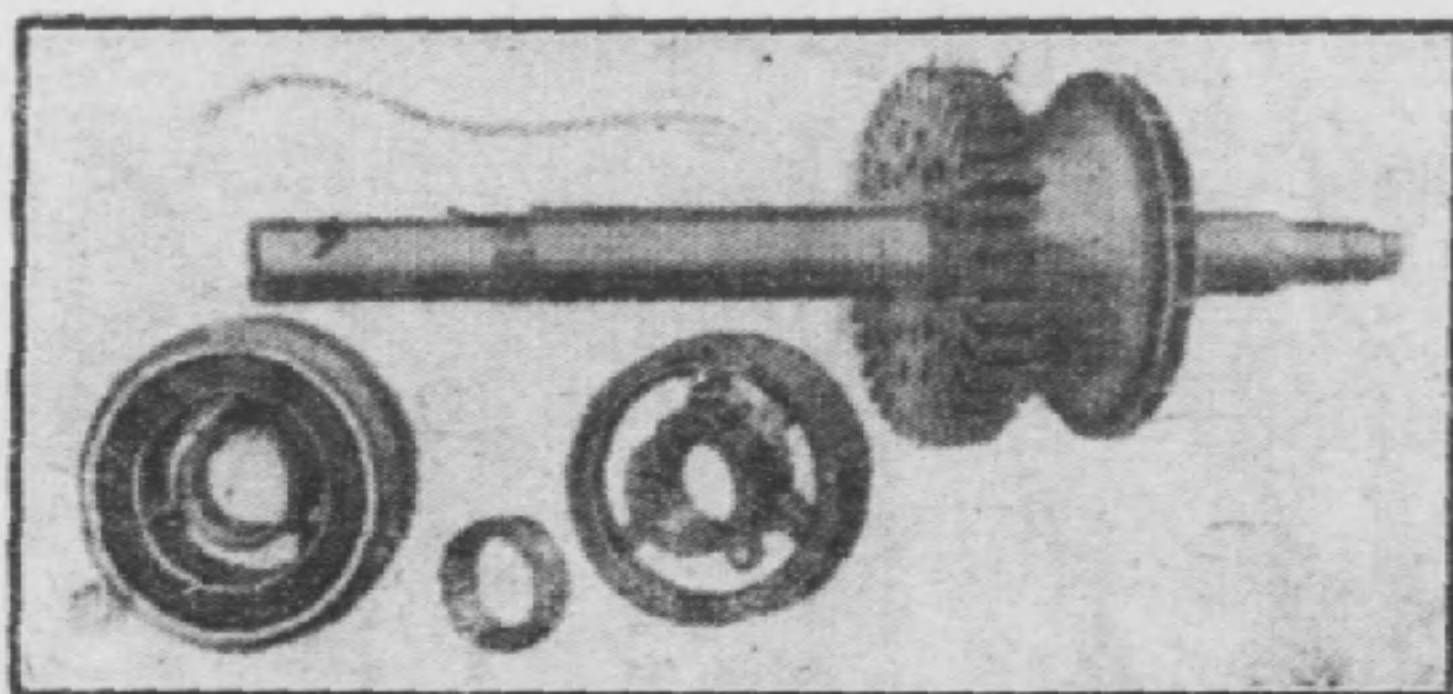


圖11.37 小型電動機之電樞結構

圖及第11.38圖),夾板則藉螺止夾於轉軸上,或以長螺栓栓於疊片。每疊片上刻有若干小孔,以

便空氣得沿軸吹過電樞,再經通風槽輻射的吹出。在電樞之一端,常裝一鼓風器以助通風(Ventilation)。

在中型電機內,疊片裝合以後,以門栓於電樞輻(Spider),鐵輻再栓於轉軸上。因此,可以減少鋼之分量,而無損於磁通之通

過，且可使空氣得以自由吹過電樞之中心，再藉離心作用，使其吹過通氣槽。其疊片大率以夾板夾緊，以一長螺栓釘牢。此夾板同時可作支持線卷突出部份之用。

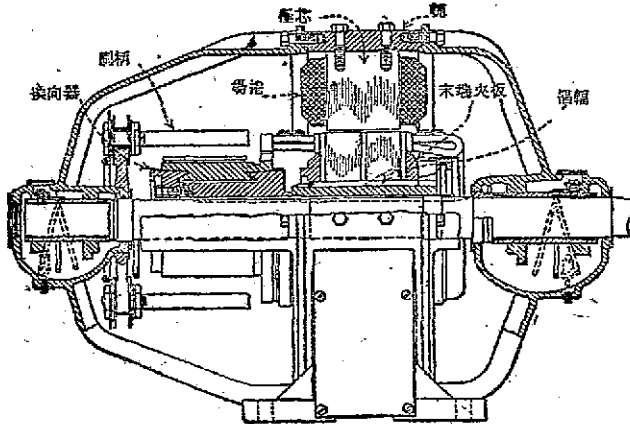


圖 11.38 新型發電機之截面圖

若電樞直徑大於 30 吋，而仍鑿成一個整片，殊不合算，故將每片分為若干部份，與第 11.34 圖所示者相似。其各分片之接縫處，每隔一層則疊蓋之。此種分片或以鳩尾榫栓於電樞輻上，或夾於夾板間以長螺栓釘牢，而夾板則栓於輻上（第 11.34 圖）。在第 11.34 圖典型化依結構中，其輻質則煅接於殼（Hub）環，其煅接處如粗線所示者。

其槽皆為平行壁之開口槽（Open-slot，見第 7.25 圖），導線置於槽內後，以紮線紮束之。在大型電機內，皆用硬纖維片（Fibre）或木質楔子（Wedge）嵌於槽口，以穩固槽內之導線，使不致因離心作用而飛出槽外。每槽皆須予以極佳之絕緣，以免通地，而節省修理費用。普通皆以一層硬物如魚皮紙，纖維片或紙板之類，置於槽

內，此層再以塗漆之細葛或紗布 (Muslin) 襯之，然後始鋪置導線。第 11.39 圖 (甲) 顯示一槽內三合線卷之排列，其槽口以木楔蓋緊。第 11.39 圖 (乙) 顯示一槽內有兩個線卷邊，每邊有 12 匝，亦以木楔蓋緊。圖 (丙) 顯示信託電器工程公司 (Reliance Electric

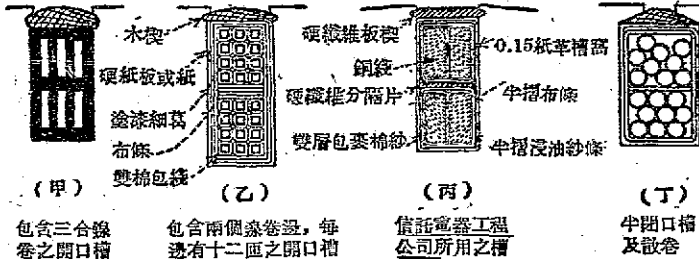


圖 11.39 槽之式樣

& Engineering Company) 所採用槽之式樣，用硬纖維楔子及硬纖維分隔物。

導線本身，通常皆包以棉紗絕緣物，或為單紗包線 (S. C. C. Wire) 或為雙紗包線 (D. C. C. Wire)，或為紗包與漆包的。一線卷之包括數匝者，其導線皆以棉紗帶紮為一束，兩個或更多之此種線卷再紮束之形成複合線卷 (見第 11.11 圖及第 11-9 節)。

有若干廠家用雲母為線卷之絕緣物者，在線卷已形成後，每單獨之線卷以雲母條包裹之。以一種特製之雲母片裹於線卷在槽內之部份，再以棉紗帶包裹之，然後浸於一種浸漬劑 (Impregnated compound) 內，取出烘乾，如是浸而復烘者四次，線卷始能置於槽內。

欲減低因齒部與槽部所致之空氣隙磁通之不均勻情形，可用半閉口槽 (Semi-closed slot, 見第 11.39 圖, 丁)。因槽口之闊度有限，整個線卷邊不能納入槽內，故不得不分次以單根導線穿入槽內，然後在其末端紮束之，此謂之散捲 (Mush winding)。其繞製

成本較大，故不能普遍用於直流電機內。

11—21. 換向器之結構 —— 換向器由若干硬抽銅或墜錘銅 (Drop-forged copper) 之楔形截片構成，每兩鄰片間，以雲母薄片絕緣之。此等截片拼合後，夾於兩凸緣夾環 (Clamping flange) 間，將截片向內壓緊。此兩夾環再以穿心螺栓或有帽螺釘釘合之。在夾環與截片間，襯以雲母墊圈或環，以免夾環將截片掙路 (見第 11.40 圖之各部份)。此式換向器亦可於第 11.38 圖內見之。

由電樞卷組接出之線端，可焊於截片末端縱長之縫內 (見第 11.30 及 第 11.38 圖)。其截片末端有豎起之叉者，亦為焊接線端之用 (見第 11.30 圖，乙及 11.40 圖)。

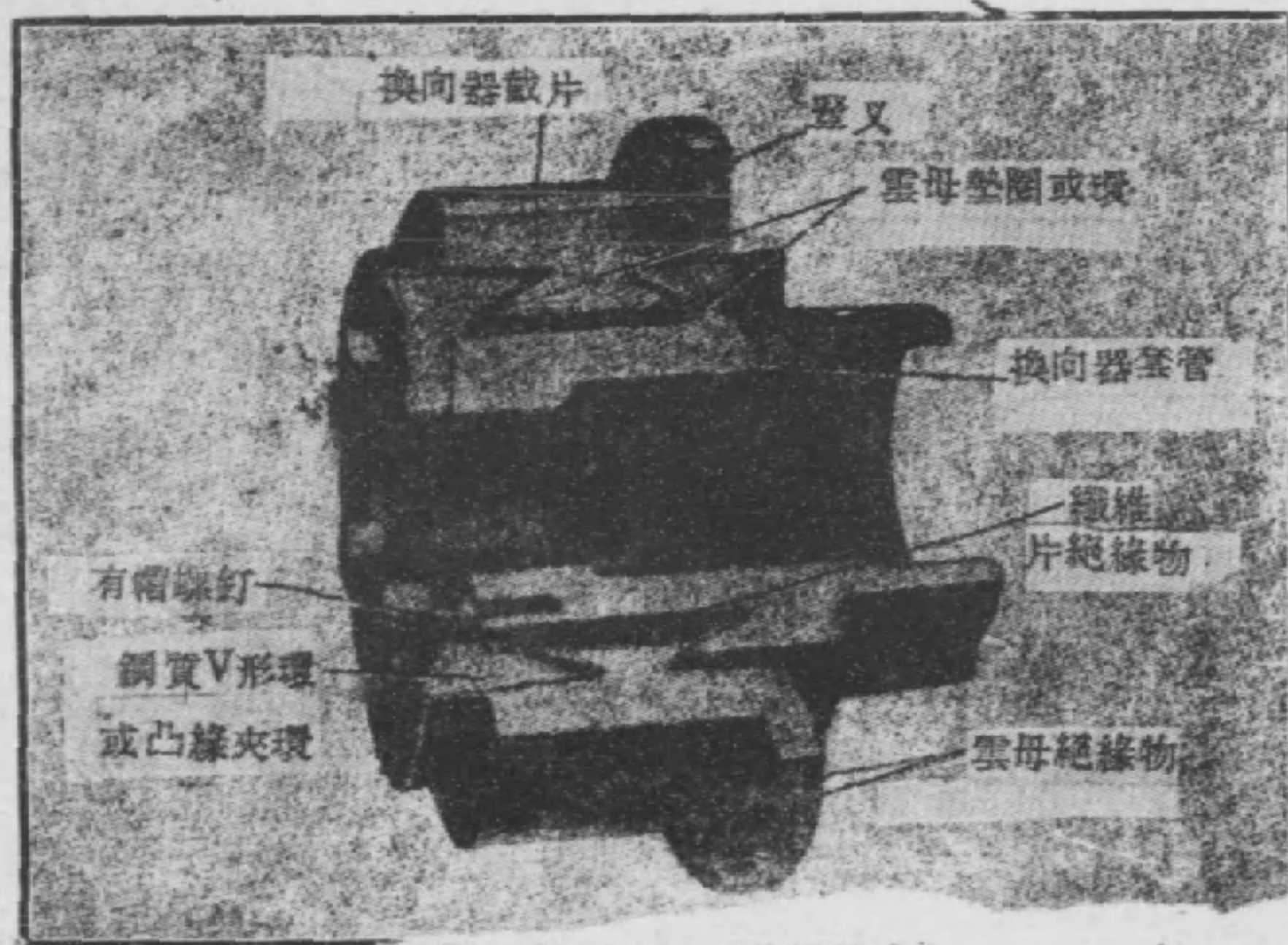


圖 11.40 換向器之結構

11—22. 場卷組 —— 場卷組或場激線卷組 (Field winding)，皆用雙紗包線繞成。線卷先在真空內烘乾，再以絕緣化合物浸漬之。其外層棉紗絕緣，常以布條或紗繩保護之。大型電機所用之線卷，其各層間留有空隙，為通風之用。有製造廠家以兩塊 U- 形硬

紙板(Fuller board),置於極芯周圍,其分激場卷(Shunt winding),在相當之張力下,直接捲繞於此板外。亦有以分激場卷繞於金屬捲線軸(spool)上(見第 11.41 圖),此種線軸甚易自極芯抽去。串激線卷(Series winding)大率以裸銅扁條,扁平的繞成,與分激場卷間,隔以空隙,以助通風。

11-23. 電刷 —— 電刷之作用在將電流經換向器,導至外電

路。通常以碳質製之,但在低電壓電機內,亦有用銅網或專利之金屬與碳化合物者。電刷握於

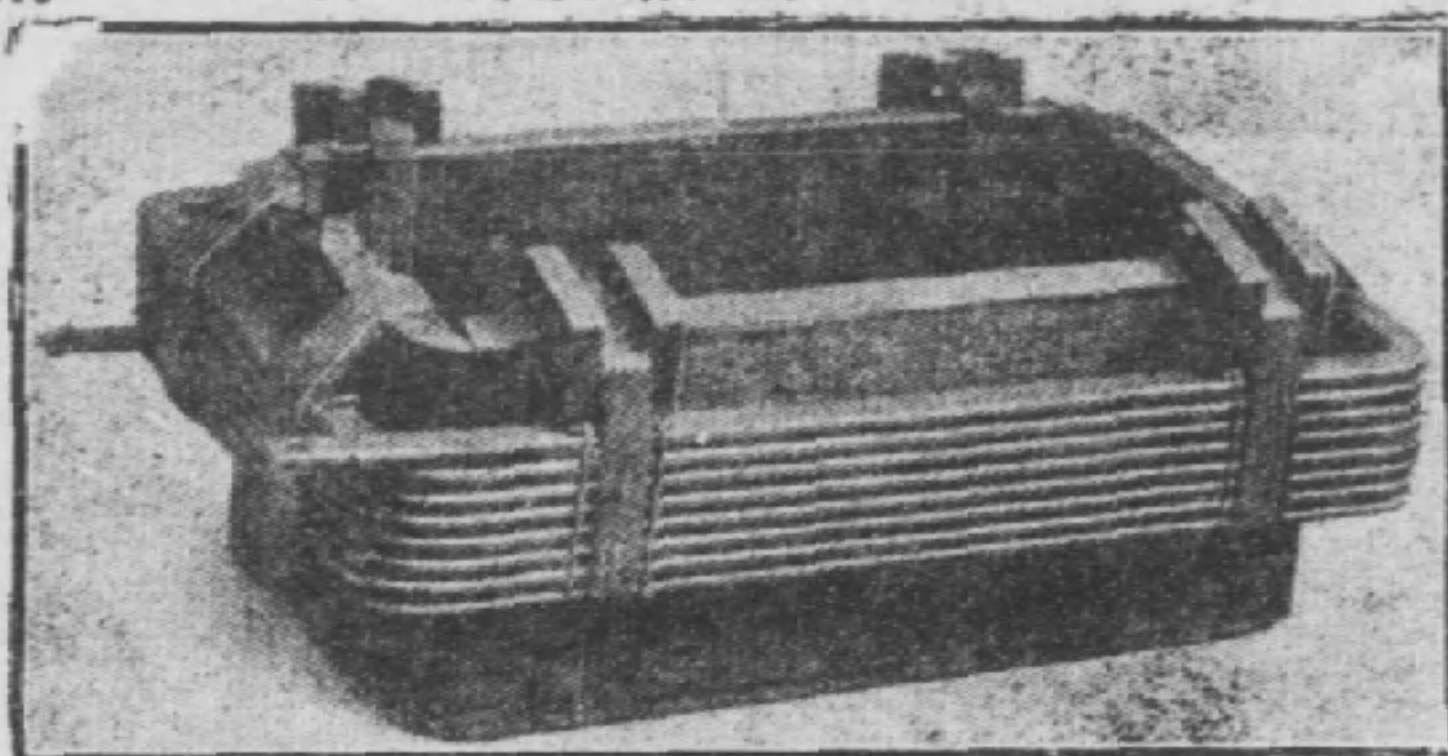


圖 11.41 分激場卷及扁平之串激場卷

刷握內(Brush holder),刷握則裝於附着於搖臂(Rocker arm)之刷柄(Brush stud)上,使電刷得以固定於換向器上適當之位置。其刷柄與搖臂間以絕緣墊圈絕緣之。電刷賴一彈簧之助,得壓

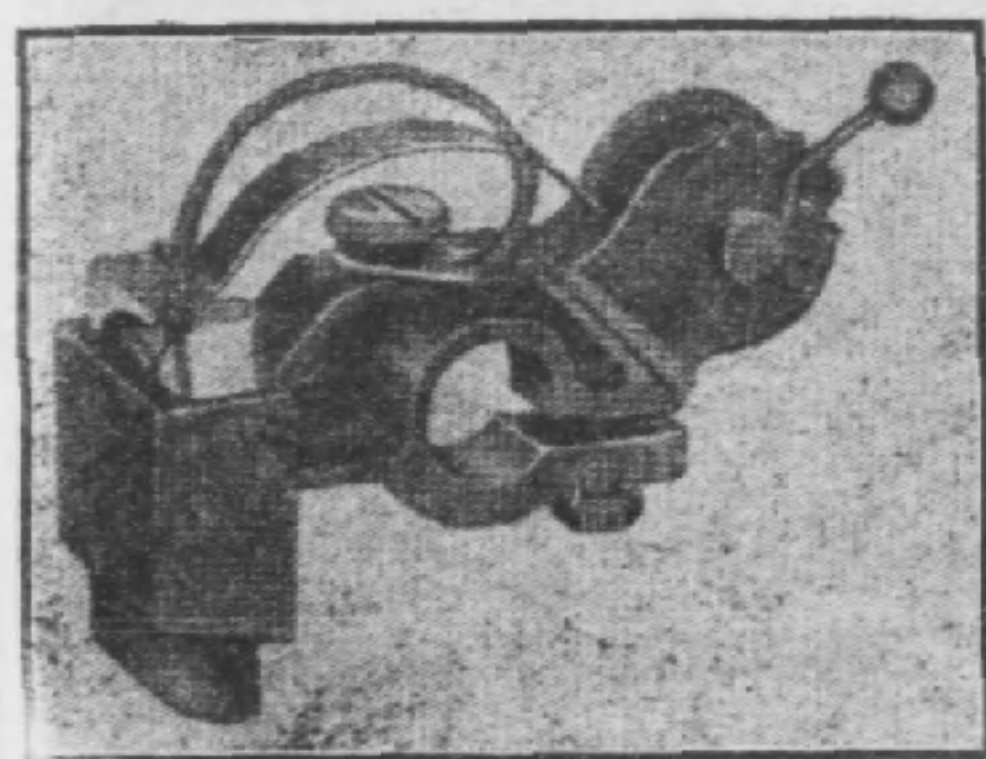


圖 11.42 電刷及刷握

緊於換向器上,其壓力應為每方吋 1 磅或 2 磅。電刷面大率依旋轉方向,向後傾斜,以便得較嚴密之接觸。為減低刷之電阻起見,刷之頂部,可鍍以銅,此銅面則焊接於以銅線編織之豚尾(Pig-tail),再與刷握相接。刷在刷握內,可以自由滑

動,俾能隨換向器面之凸凹而上下滑動。第 11.42 圖顯示刷及刷握。若干刷握裝於一搖環上,此搖環裝於機殼,亦可前後移動。

第十二章

發電機之特性

12-1. 電樞中之電勢——第十一章之首，已論及求單線卷與雙線卷發電機內，平均電勢之方法。又曾指出，一簡單導體在垂直割切磁力線時，其產生之應電勢為 $e = Blv \times 10^{-8}$ 伏(第 11.2 式)。電樞為磁路之一部份，並攜帶導體穿過磁場，使應電勢產生於該導體內。電樞上之線卷捲繞法，適使某組導體串聯於電刷間，而其應電勢為相加的。於是電刷間之應電勢，可由每極之磁通量，旋轉速率，電樞導線數及電流路徑數求之。

在簡單之發電機內(第 11.1 及第 11.4 圖)，僅有一單線卷旋轉於磁場內，其電勢隨時間作正弦率之變化。但此種情形，不能求之於商用發電機內。實際上磁場並非均勻的，直接在極下者，其磁通密度為最大，在兩極之間，則分佈狀態，至不一律。在某數點時，其密度為零(見第 12.2 圖)。且發電機內，皆用通路線卷式卷組，其串

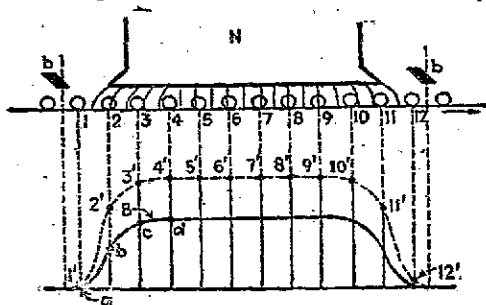


圖 12.1 刷間導線感應之電勢

聯之導體，皆分佈於電樞面上，並非集中於某一處者。

試就第 12.1 圖觀之，該圖顯示在 N 極下電樞之一部，正自左

向右旋轉，其由 N 極入電樞之磁通，亦可察見。在下方之曲線 B ，表示沿電樞面之磁通密度。其在某點之縱坐標，即該點之密度，以每平方厘米線數計之。此曲線所被覆之面積，乘以電樞之有效長度，得該極之總磁通。如該圖所示，介於兩鄰極之中途，磁通為零。在極下者，因空氣隙為均勻的，其磁通密度亦為均勻的。

該圖又顯示電樞面上，有 12 根導線（自 1, 2, ... 以至 12），正在 bb 兩鄰刷之間。依樞卷組繞法，知此 12 根導線，係於 bb 間全相串聯者（參看第 11.18 圖），故其總電勢必為此 12 根導線之電勢之和。在任何瞬間，每導線之電勢為

$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ 伏。}$$

若速率不變，此應電勢與該導線所處磁場內之磁通密度成比例。例如導線 2 正處於密度由縱坐標 b 所代表之磁場內，其應電勢必為縱坐標 b 與一比例常數相乘之積，由縱坐標 $2'$ 表示之。依同理，在導線 3 內之應電勢，為縱坐標 c 與同一比例常數相乘之積，由縱坐標 $3'$ 表示之。導線 1 在極間之空隙，該處之磁通密度由縱坐標 a 表示，其值低，其應電勢亦由縱坐標 $1'$ 表示之。若經 $1'$ 至 $12'$ 連成一曲線，該曲線必與曲線 B 相似，其各點之縱坐標，等於曲線 B 之縱坐標，乘以一比例常數。兩電刷間之總電勢，為由 $1'$ 至 $12'$ 間各縱坐標之和，即等於該曲線之平均縱坐標，乘以縱坐標之數目，在此例中即為 12。

此電勢曲線（第 12.1 圖）之縱坐標，表示在某一瞬間， bb 兩刷間各導線之電勢。因各導線皆為動的，此縱坐標，亦可表示某一導線在 bb 間連續各位置 1, 2, ... 等所產生之應電勢。刷間之總電勢，為每導線之平均電勢，乘其間之導線數。更有進者，此曲線又表示一單導線應電勢隨時間而變化之情形，因其割切磁力線之速率為不變的，故此曲線亦與磁通密度之曲線同型。

在第 12.2 圖內，有兩個 N 極及一個 S 極。爲易於明瞭起見，將電樞表面作平面的展開，其磁通密度曲線畫於其下方。其正的縱坐標爲 N 極下之磁通，穿入電樞者，其負的縱坐標，爲脫離電樞而穿入 S 極之磁通。以正的曲線部份所被覆之面積，乘以磁極之沿軸長度，得穿出 N 極之總磁通。依同理，以負的曲線部份所被覆之面積，乘以磁極之沿軸長度，得穿入 S 極之總磁通。其最大之密度，由縱坐標 B_{max} 表示之。

曲線之每一正的部分及負的部分所被覆之面積，可以一面積與之相等之長方形代之，如第 12.2 圖中之虛線所示者。此長方形之高，爲在全部極距下之平均磁通密度，以每平方厘米線數計之。

今欲求一單導體，在順序經過磁極時所產生之平均電勢。令 Φ 爲由 N 極達 S 極之總磁通，以馬計， l 爲導體之有效長度，以厘米

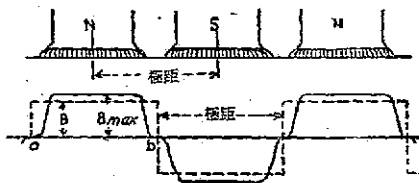


圖 12.2 直流發電機在零載時之磁通分佈

計， s 爲電樞之旋轉速率以每秒轉數計，而 P 爲磁極數。

當導體行經一距離 ab ，即等於一個極距時，依第 11.2 式，其平均電

勢爲

$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ 伏。}$$

式內之 B 爲每極距內之平均磁通密度， v 爲割切磁力線之速率，以每秒厘米計。若 t 爲導體行經一個極距所需之時間，則

$$\bar{\Phi} = \frac{ab}{t}$$

因 $Bl(ab)$ 爲 a 點與 b 點間，導體所割切之總磁通，即等於每極之磁通 Φ 馬克斯威耳，是以

$$e = \frac{Bl(ab)}{t} \times 10^{-8} = \frac{\Phi}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏,}$$

但時間

$$t = \frac{1}{sP}.$$

故每導體之平均電勢為

$$e = \frac{\Phi}{1/sP} \times 10^{-8} = \Phi sP \times 10^{-8} \text{ 伏.}$$

若電樞面上有 Z 根此種導體，且有 P' 條電流路徑，則兩刷間之串聯導體數為 Z/P' 。由第 11.6 式，知兩刷間之總電勢為

$$E = \frac{Ze}{P'} = \frac{\Phi sPZ}{P'} \text{ 伏.} \quad (12.1)$$

【例題 12.1】某 900 轉/分，六極發電機。有單式摺卷組，電樞面有 300 根導線，其磁極為 10 吋見方，平均磁通密度為 50,000 線/方吋。問兩刷間之電勢為若干？

【解】

$$\Phi = 10 \times 10 \times 50,000 = 5 \times 10^6 \text{ 線,}$$

$$s = 900/60 = 15 \text{ 轉/秒,}$$

$$P = 6, P' = 6 \text{ (見第 343 頁),}$$

$$E = \frac{5,000,000 \times 15 \times 6 \times 300}{6 \times 10^8} = 225 \text{ 伏.} \quad (\text{答})$$

12-2. 飽和曲線——第 12.1 式可改書如下：

$$E = \left(\frac{PZ}{60P'10^8} \right) \Phi S \text{ 伏.} \quad (12.2)$$

式內之 S 為速率以每分轉數計者。在括弧內之一項，在每一電機中，係為定值，故可以常數 K 代表之，得

$$E = K \Phi S \text{ 伏.} \quad (12.3)$$

是以一個電機內之應電勢，與磁通及旋轉速率成正比。若速率不變，則應電勢與磁通成正比。

磁通係由磁極上之激發安匝所產生者，因場卷之匝數為固定

的，則磁通隨場電流(Field current)為轉移，而磁通為場電流之函數。且因磁路之磁導係數並非定值，則磁通不能與場電流成正比。

第12.3圖顯示每極磁通與場安匝之關係。因磁路內有剩磁，其磁通並不由零值起，其最初值比零略大。在前一段，此線實際上近似一直線，因磁路內磁阻之大部份，皆由空氣隙所供給者。至

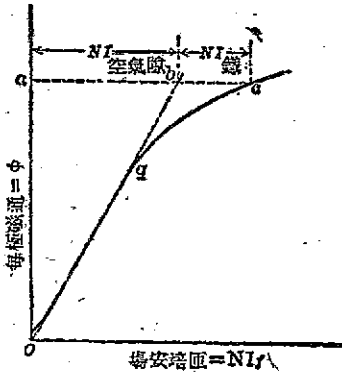


圖 12.3 飽和曲線

q 點，鐵開始飽和，此線即與直線相離。

其克制空氣隙磁阻及鐵質磁阻，所需之安匝，可約略分析之。

假定欲求在 c 點處，克制空氣隙磁阻所需之安匝，及其用於鐵質部份者。由原點，畫

ob 線與曲線相切，再畫水平線 ac，與 ob 相交於 b 點。若略去在低飽和狀態時，鐵之磁阻不計，則 ob 為空氣隙之磁化曲線，故用以克制空氣隙磁阻之場安匝為 ab，而用於鐵質部份者為 bc。

由第 12.3 式知，若速率保持不變，應電勢與磁通成正比。若以應電勢為縱坐標，場電流為橫坐標，描繪曲線，得與第 12.3 圖相似之曲線，即第 12.4 圖所示者。其縱坐標與第 12.3 圖之縱坐標相差一比例常數 K_s 。在第 12.4 圖中，有二曲線，其一相當於每分 1200 轉之速率，另一曲線相當於每分 900 轉之速率。此兩曲線亦相似，在同一坐標處，下

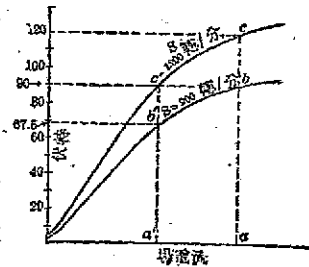


圖 12.4 在兩種不同速率時之飽和曲線

曲線之縱坐標與上一曲線之縱坐標之比，為 900/1200。在縱坐標 ac 處，

$$\frac{ab}{ac} = \frac{900}{1200}$$

依同理在縱坐標 $a'c'$ 處，

$$\frac{a'b'}{a'e'} = \frac{900}{1200}$$

是以若在一種速率之飽和曲線為已知，則在他種速率之飽和曲線，不難比例得之。

12-3. 磁滯——飽和曲線 oab (第 12.5 圖, 甲) 係在增加場電流時求得者。若達 b 點後，將場電流減低，則電勢並不沿 ba 下降，但沿另一曲線 bed 而下降。在減低場電流至某值時，所得之應電勢，較增高場電流至該值時所得者為高，此實磁滯為之也。

第 12.5 圖 (乙)，亦顯示此種效應。當 oab 升至 b 點，下降回至 c 點，在 c 點後增加場電流，則由 c 上升至 a 點，終與 oab 相合。

是以在某定值之場電流時，可有數種磁通之值，視場電流是否增加至該值，抑或減低至該值而定。因發電機及電動機，在運用時，多少皆受磁滯之影響，故此種磁路之特性，必須熟諳之。

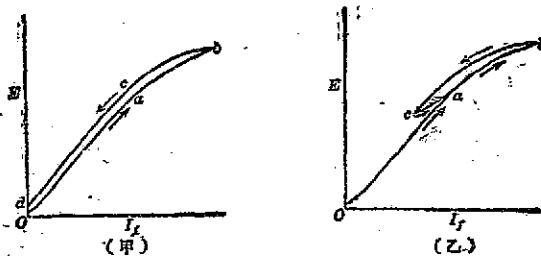


圖 12.5 磁滯迴線

12-4. 飽和曲線之測定——飽和曲線 (Saturation curve) 對

於發電機及電動機之運用特性，有甚重要之關係。例如第 12.3，第 12.4 及第 12.5 圖顯示一具電機所可運用之電壓限度。是以熟悉飽和曲線之性質，殊有助於電機運用特性之探索也。

在實地測定飽和曲線時，以直流電源經一安培計及變阻器接於場卷，再以一高電阻伏特計跨接於電樞之兩端，如第 12.6 圖。由安培計讀出場電流，用作橫坐標，由伏特計量得電樞之應電勢，用作縱坐標。因伏特計之電阻甚高，其取自電樞之電流甚小，而此電流在電樞內所致之電壓降，可以不計，其端電壓與應電勢實際相同。在測定時，必須每次量度其速率，而記錄之（第 13—28 節）。不過速率不能保持絕對不變，若有變動，應將電勢依第 12—2 節所述之方法，由所量得之速率，加以校準。

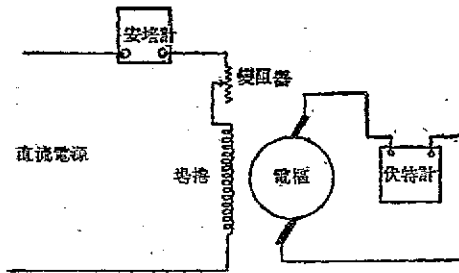


圖 12.6 測驗飽和曲線之接線圖

作縱坐標。因伏特計之電阻甚高，其取自電樞之電流甚小，而此電流在電樞內所致之電壓降，可以不計，其端電壓與應電勢實際相同。在測定時，必須每次量度其速率，

而記錄之（第 13—28 節）。不過速率不能保持絕對不變，若有變動，應將電勢依第 12—2 節所述之方法，由所量得之速率，加以校準。

當測定分激發電機之飽和曲線時，欲得適足之高值電阻，以減低場電流至低值，或甚困難。可用一降壓線，如第 12.7 圖之接法。使電流減至甚低，而不必用過高之電阻。或用一常用之三線端式場

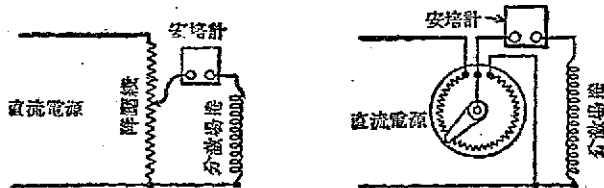


圖 12.7 用降壓線以調準場電流

變阻器亦可(亦見第 12.7 圖)。

又在實地測定飽和曲線時,其場電流應循一個方向調節,如增則續增,減則續減,不可既增又減,以免引起磁滯現象(第 12.5 圖)。

其場電流應由另一電源供給之,不能取自發電機本身,其理由有二:若發電機激發其自身之磁場,則場電流及應電勢即互為因果。若調準電流,以變動應電勢,則後者又使前者隨之變動,而永不能調準場電流至某一定值。再者,若場電流通過電樞,則生壓降,於是伏特計所指示者,非真正應電勢,雖差誤不大,但亦不能忽視,

12-5. 場電阻線——根據歐姆定律,在簡單電路內,若電阻為定值,其電流與電壓成正比。若以電壓對電流描繪曲線,則得一經過原點之直線(第 12.8 圖)。例如某電機之場電路內,電阻為 50 歐,施以 100 伏之電壓,得電流 2 安,75 伏得電流 1.5 安,50 伏得電流 1 安,此關係由第 12.8 圖內之直線 II 顯示之。直線 I 表示場電阻(Field resistance)為 80 歐,由該線可查出 80 伏電壓得 1 安,40 伏電壓得 0.5 安等。直線 III 表示場電阻為 40 歐之同樣關係,此類直線稱為場電阻線(Field resistance line)。

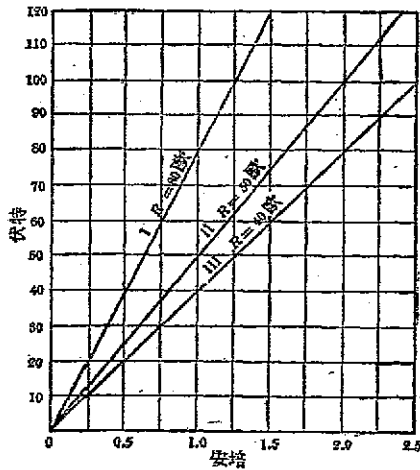


圖 12.8 場電阻曲線

須予注意者,電阻愈高,則其電阻線之斜度亦愈大。因該線與

橫坐標軸所做成之角之正切，為電壓與電流之比，故該線之斜度，即等於場電阻之歐數。

12—6. 發電機之種類——直流發電機概成三類，分激(Shunt)，串激(Series)，與複激(Compound)是也。在分激式中，其場電路跨接於發電機電樞之兩端，大率經一場變阻器(第 12.9 圖)。分激

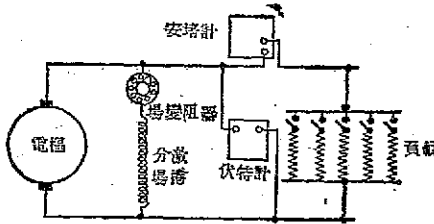


圖 12.9 分激發電機之联接

場卷之電阻，必須甚高，使發電機不致有過多之電流，流入場電路內。複激式與分激式相似，但每極上多一激發線卷，與電樞或負載相串聯

(第 12.47 圖)。在串激式中，其磁極僅有甚少匝數之線卷所激發，場卷與電樞及負載相串聯(見第 12—27 節)。

12—7. 分激發電機——第 12.10 圖示一分激發電機(Shunt generator)之飽和曲線，及分激場電阻線，畫於同一圖內者。分激場卷，跨接於電樞端，其場電阻線之縱坐標必表示電機之端電壓無疑。該圖內場電阻線所代表之場電阻為 24 歐，故在 120 伏時，場電流為 5 安，在 60 伏時為 2.5 安，餘類推。

當發電機由靜止而初動時，其電壓為零，以後電壓逐漸建立，其程序如次。當發電機達額定之速率時，因磁極之剩磁，使電樞內感應一小電勢 oa ，如圖所示，約為 4 伏。因場卷跨接於兩電刷，故該電路內亦有 4 伏電壓。由 a 點畫水平線與場電阻線相交於 b 點，則 $ab = ob'$ ，即此時之場電流，約為 0.2 安。當此電流通過場卷，則磁通加多，電勢亦增。由飽和曲線求之，在 b 畫一垂直線，交飽和曲線於 c 點，則 $b'c$ 為此時之應電勢，約為 8 伏。再將 c 點投射至場電阻上得 d 點，此 8 伏電壓，使場電流增至 od' ，約為 0.33 安。此電

流再使樞電勢升高至 $d'e$ ，約為 12 伏，於是場電流再增加。由此可知每次產生之場電流，皆使電樞內產生一比前次更高之電勢，而再增加其場電流。如此繼長續增，直至飽和曲線與場電阻線之交點 f 為止，電勢即趨穩定，不能再增。

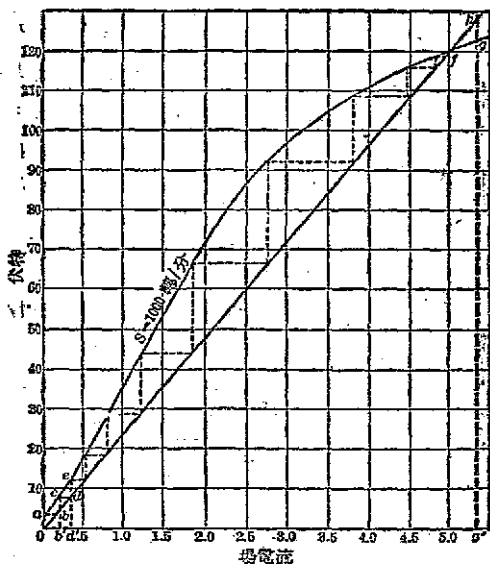


圖 12.10. 分激發電機電壓建立之程序

今在場電阻線上取一 h 點，在 f 點之上。此點所代表之場電流為 og' 約為 5.3 安。欲產生此場電流，在場電路之兩端，必須有一電壓 $g'h$ ，約為 128 伏。但 5.3 安之場電流，僅足使電樞產生一電勢 $g'g$ ，不過 122 伏。122 伏不足以產生 5.3 安之場電流，即發電機本身不能供給適足之場電流，使得 128 伏之電勢，故發電機之電勢，決不能建立至 h 點。

苟非為鐵之飽和所限，則發電機之電勢，將建立至無限高值。

12-8. 臨界的場電阻——若將場電阻增加至 60 歐，則上節所

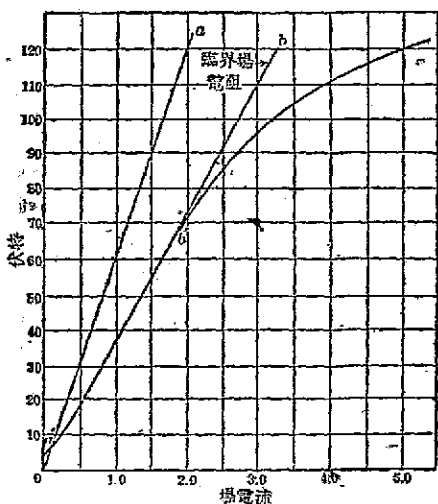


圖 12.11 臨界的場電阻

並電機內之場電阻線將為 oa (第 12.11 圖)。此線與飽和曲線相交於 a' 點，相當於 6 伏電壓。由上節之解釋，可知電勢決不能建立至 6 伏以上。若將場電阻節減，至電阻線為 ob ，與飽和曲線相切，此電機方開始建立，至 b' 點為止。 ob 線，即與飽和曲線相切之場電阻線，其所

代表之電阻，謂之臨界的場電阻 (Critical field resistance)。在此特例內，其值為 $120 \div 3.25 = 36.9$ 歐。若場電阻大於臨界值，則發電機不能建立。

12-9. 建立失敗之原因——若分激發電機不能建立，其可能之原因，及檢察方法如下：

(1) 分激場卷或許接錯，致使在啓動時，初電流經過場卷，不但不能增強磁通，反將剩磁抵消，則發電機永無建立之望。檢察之法，將場電路中斷，若電壓稍高，表示場卷接錯，剩磁抵消，應將場卷兩端對調。若開閉場電路之開關而伏特計記錄無變化，則場卷並未接錯，或可假定場電路有中斷之處。

(2) 場電阻或許大於臨界值，荷無其他原因，則減低場電阻後，應能建立。

(3) 電刷與換向器接觸不佳，使換向器與電刷間之電阻增高。

因此時場電路為發電機之唯一負載，不良之電刷接觸，其效應相當於插入一高值電阻於場電路內。其電阻或許如第 12.11 圖之 oa 線所代表者，則發電機不能建立至任何電壓。低電流密度足使電刷之接觸電阻變大(第 12.31 圖)，以較高壓力加於每一電刷試之。

(4) 電機因久開未用或因受震，已失剩磁。若樞電路無中斷之處，而伏特計確知其良好，則無剩磁之現象，可由伏特計之無記錄測知之。補救之方，先將分激場電路，暫接於另一電源，使得剩磁，此之謂閃激其磁場 (Flashing the field)。若發電機內有串激場卷，可用一低壓電源，如蓄電池之類，或竟用乾電池，接於串激場卷，即足以產生適量之剩磁，使電機逐漸建立。或許須連試一兩次，方可得正確之極性。

12-10. 電樞反應——今試觀察一個二極發電機，假定電樞內無電流，其磁通係完全由激發安匝所產生者，由 N 極穿過空氣隙而入 S 極，如第 12.12 圖 (甲) 所示。其分佈狀態，依極軸 (即 N 極與 S 極之中分線) 相對稱。其中性面，即垂直於磁通方向之平面，與此組合的幾何中性面相符合。產生此磁通之磁通勢，其大小及方向，由該圖右首之矢量 F 表示之，此即場磁通勢 (Field m.m.f.)，該矢量與中性面成直角。

又假定場卷內無電流，無磁極之磁場。若電樞內載有電流，其方向與實際任負載時所載電流之方向相同，如第 12.12 圖 (乙)。在每一極下，所有導線之電流方向皆同。在電樞左方者，電流背讀者流入書中 (此可以佛萊敏右手定則校驗之)，以各導線之磁通勢相合併，用螺旋定則，知其所產生之磁通，在電樞內由上向下，經空氣隙及磁極之一部，如圖所示者。在電樞右方導線所載之電流，向讀者流出，以其磁通勢相合併，亦產生一經電樞向下之磁通。是以在電樞左方導線之磁通勢，會同在右方之磁通勢，皆使磁通經電樞

向下，其方向與極軸相垂直。其產生此磁通之磁通勢，即極磁通勢 (Armature m.m.f.)，由該圖右首之矢量 F_A 表之，

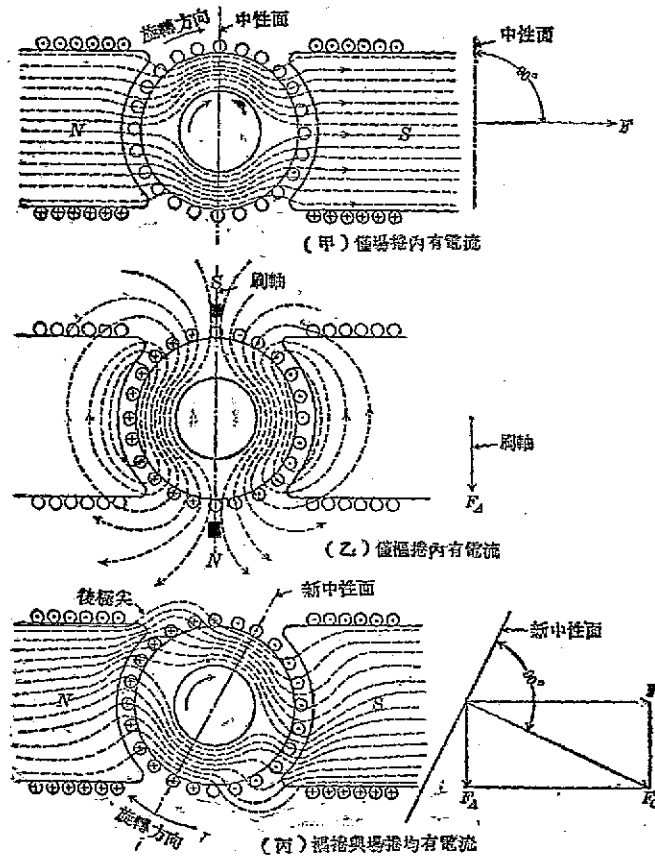


圖 12.12 電樞反應對於發電機磁場之影響

此兩部磁通，若同時存在，有如發電機實際任載之情形者，則其磁場，可想像為前二者之綜合，如第 12.12 圖(丙)所示。電樞之

磁通勢，使圖(甲)中之對稱磁場，在 N 極之上方極尖及 S 極之下方極尖被擠緊。因發電機順時針方向而旋轉，故磁通在兩極之後極尖 (Trailing pole tip) 加強，反之在兩極之前極尖 (Leading pole tip) 減弱。此即電樞反應 (Armature reaction) 之結果。

是以電樞電流將磁場沿發電機旋轉之方向而扭轉。但此乃就磁場分佈之情形而言，並非電樞扭轉，即機械的將磁場連帶扭轉之謂，應勿誤解及之。

在第 12.12 圖(丙)之右首，將電樞反應，皆以矢量表之。其場磁通勢 F 與樞磁通勢 F_A 相合併，得綜合磁通勢 F_c ，向下而向右，與圖(丙)中綜合磁通之方向相符合。在第十一章內曾顯示，電刷應在適當之位置，使捷接正在換向之線卷(實際上電刷應更向前移，以後當再解釋)。因磁通分佈被扭轉，中性軸隨之移轉，故電刷必亦向

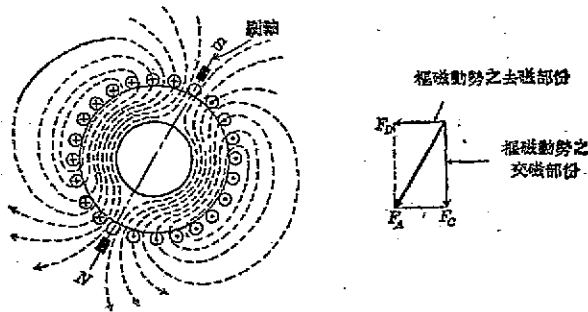


圖 12.13 電樞之磁場與刷軸之關係
圖中磁動勢應作磁通勢

前移轉，庶幾在兩刷間，位於電樞左方之導線，仍載背讀者流入之電流，在右方者，仍載向讀者流出之電流，其結果將如第 12.13 圖所示。但電樞內之磁場，隨電刷而移轉，其軸恆在刷軸上，故 F_A 偏左向下而非垂直向下。 F_A 可分析為兩部份，一為 F_D 與極軸相平行，一為 F_C 與極軸相垂直。因此三種磁通勢在電樞各部之幾何分

佈情形不同(見第 12.20 圖),欲使 F_A 確等於 F_G 及 F_D 之矢量和,每量必須以一係數乘之。

須應注意者, F_D 與主磁場 F 直接相反(見第 12.15 圖),有減低總磁通之趨勢,謂之電樞反應之去磁部份 (Demagnetizing component)。 F_G 與 F 相垂直,有將磁場扭轉之趨勢,謂之電樞反應之交磁部份 (Cross-magnetizing component)。

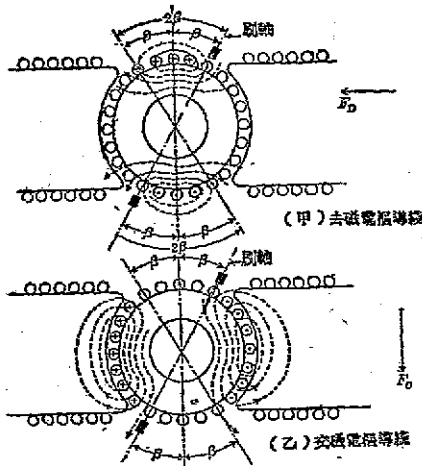


圖 12.14 電樞反應之去磁與交磁部分

其產生此兩種效應之導線確數,如第 12.14 圖所示。在圖(甲)中,電刷移前 β 角度,達新的中性面。在電樞之上部與下部,其包括於中性面左右共 2β 角度內之導線,其所載電流之方向,依螺旋規則,可知其產生一穿過電樞由右向左之磁通。此類導線之磁通勢即 F_D ,常與主磁場相反,此類導線為去

磁電樞導線 (Demagnetizing armature conductors)。

圖(乙)示未包括於電刷左右 2β 角度內之導線,其磁通勢 F_G 。所產生之磁通,係與主磁場相垂直者。此類導線,為交磁電樞導線 (Cross-magnetizing armature conductors)。

以去磁及交磁之導線數,乘其所載電流之安數,得安培導線數 (Ampère-conductors)。再除以二,得去磁或交磁之安培匝數 (Ampere-turns)。

【例題 12.2】某四極發電機有極面導線 288 根，繞成摺卷組。其極電流為 120 安，電刷移前 15° 機械角度，問去磁及交磁安匝各為若干？

【解】電刷移前 15° ，二倍之得 30° 。因有四刷，故去磁導線所佔之角度為 120° 。換言之，即導線之三分之一，96 根，為去磁導線。

因用摺卷組其電流路徑為 4，每路電流為 $120 \div 4 = 30$ 安。

$$\text{去磁安培導線} = 96 \times 30 = 2,880,$$

$$\text{去磁安匝} = 2,880 \div 2 = 1,440. \quad (\text{答})$$

交磁導線為總導線之三分之二，即 192 根，故

$$\text{交磁安匝} = 192 \times 30 \div 2 = 2,880. \quad (\text{答})$$

第 12.15 圖顯示磁通勢之矢量圖。 F 為場磁通勢， F_A 為沿刷軸之樞磁通勢， F_0 為二者之綜合量。因 F_A 有去磁部份，故 F_0 較 F 小。 F_A 分析為互相垂直之二部，一為去磁部份 F_D ，一為交磁部份 F_C 。但 F_C 與 F_D 皆為分佈的線卷所產生者，而 F 則為密集的線卷所產生者，此三者之空間分佈各異其形。是以每一磁通勢，必須乘一係數，以校正其分佈異形之效應，然後始可求其矢量之和或差。

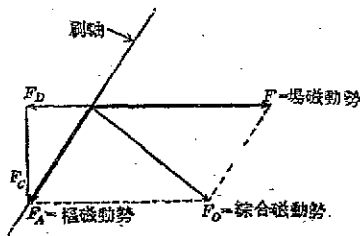


圖 12.15 場磁通勢與樞磁通勢之合量

12-11. 多極發電機中之電樞反應 —— 多極發電機中之電樞反應，與適所討論之二極發電機中者相似。在肉眼觀之，其作用或微有差異。第 12.16 圖顯示一多極發電機中之電樞導線與磁極，其電樞已展為平面。

圖(甲)顯示相間的 N 極與 S 極，及其穿入及穿出電樞之磁通。假定樞導線內無電流，其磁通依極軸作對稱的分佈，如圖(乙)。在極掌下之磁通，實際上為定值，但因擴散作用，其在邊緣，漸減弱

爲零。於兩鄰極間，由零而反向。其磁通爲零之所在即其中性面。在無負載時，適居鄰極間空隙之中途。

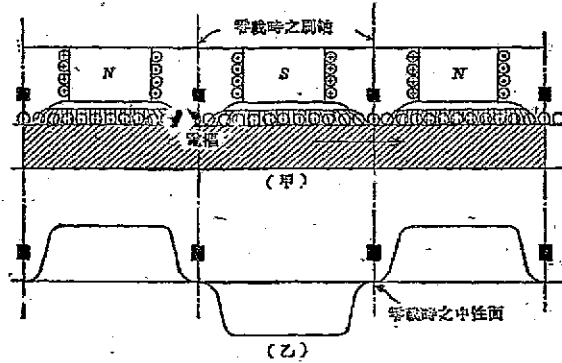


圖 12.16 多極發電機中之場磁通密度

在第 12.17 圖(甲)中，樞卷組內有電流，而場卷則無。其電樞導線產生與第 12.12 圖(乙)相似之磁場。沿電樞面之磁通勢，並不一律，其在極掌中心之下者爲零，漸漸增加，至極隙空隙之中央爲最大。在 qr 與 st 線間之導線，可認爲構成一扁平線卷，其在左方

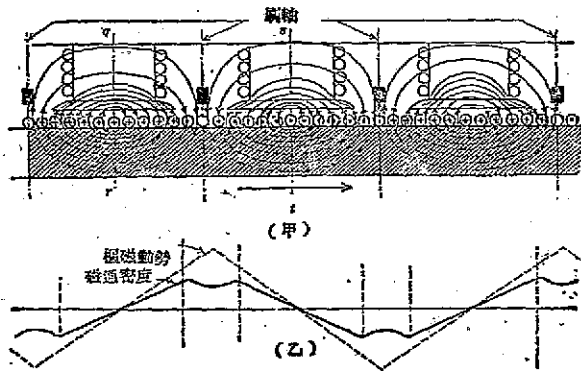


圖 12.17 多極發電機中電樞反應所致之磁通密度

之導線，載流入書中之電流，在右方者載向讀者流出之電流。在 qr 與 st 之中央，所有導線之磁通勢皆集中於斯，故磁通勢為最大。但在極軸左方之每一安培導線，在他方必有相對稱之安培導線，其導線之分佈狀態相同，且載有同向而相等之電流，故在極掌中央之極軸處，其淨磁通勢為零。其在空氣隙間之磁通勢分佈，如圖 (乙) 之虛線所示。其使磁通穿入電樞之磁通勢為正，反之為負。苟空氣隙之磁阻，各處一律，則磁通密度曲線必與磁通勢曲線相同。但因極際空間之磁阻較高，故磁通密度曲線，不能與磁通勢曲線全同，在極際空間者，微微凹進，如第 12.17 圖 (乙) 之實線。

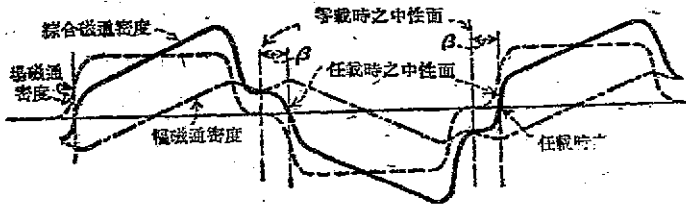


圖 12.18 場與樞之綜合磁通密度

假定各部鐵之磁導係數為恒值，則在每點之磁通密度，可由第 12.16 圖及第 12.17 圖兩曲線相加，得如第 12.18 圖之曲線。由圖可見，其在後極尖之磁通加強，與在兩極發電機內者相似。其中性面順旋轉方向移前 β 角度。欲使電刷常在中性面上，刷亦須前移 β 角度。其任載時中性帶之闊度為零，致使換向

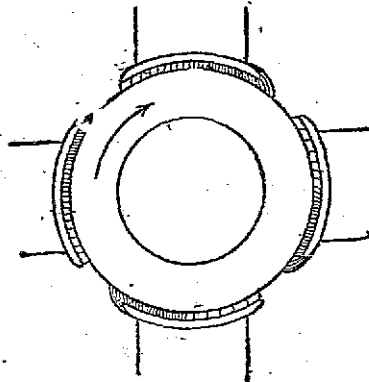


圖 12.19 四極發電機中磁場分佈之略圖

手續，難臻完美之境。第 12.19 圖顯示在四極發電機中，磁通擁擠於每極後極尖之情形。

13—13. 多極發電機中交磁與去磁安匝數 —— 在第 12.18 圖中，可見在有負載時，其中性面前移 β 角度。多極發電機與二極機相似，為獲得完美之換向起見，電刷前移之角度，至少必須等於此角（但欲補償自感電勢，電刷之前移，常須大於此角，見第 12—14 節第 390 頁）。但電刷前移後，不免將若干交磁安匝，變換為去磁安匝，亦與二極發電機相似。

試就第 12.20 圖觀之。該圖所示與第 12.16 及第 12.17 圖之電樞相同，不過其電刷較無負載之中性面已移前 β 角度。 $abcd$ 四導線，在極際空間者，包括於 2β 角度內。在左之 $b'a'$ 導線及在右之 $d'e'f'e'$ 四導線，亦在極際空間內者。因 ab 導線之電流向內流， $a'b'$ 之電流向外流，為便於解析起見，此數導線，可聯成線卷，如實線所示者。同樣，導線 cd 與 $c'd'$ ， ef 與 $e'f'$ 皆可聯成線卷。 aa' 及 bb' 兩卷與 N 極之磁路相連繫，其磁通勢 F_D 向上作用，其安匝直接與 N 極之安匝相反。 cc' 及 dd' 兩卷，與 S 極之磁路相連繫，其磁通勢向下作用，其安匝 F_D' 直接與 S 極之安匝相反。依同理， ee' 與 ff' 兩卷之磁通勢與第二 N 極直接相反。是以，與在二極發電機中相似，其在 2β （兩倍電刷前移角度）角度內皆為去磁導線。

在第 12.20 圖下部，其電樞之去磁磁通勢，以沿電樞之距離為橫坐標，描繪為曲線，有如實線所示者。

在第 12.20 圖中，其不包括於 2β 角度內之導線，皆以虛線相聯。除去 2β 角度內之去磁導線，此類導線之位置及電流，與第 12.17 圖內者完全相同。其下部之虛線，示此類導線之磁通勢。在極掌之中央，其磁通勢為零，而穿過極際空間者為最大。是以其磁通勢所產生之磁通，與穿過樞芯者相交，必為交磁安匝無疑，此點亦

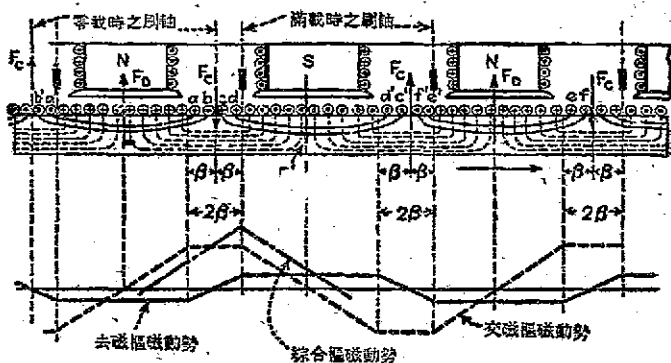


圖12.20 多極發電機中去磁與交磁安匝
圖中磁動勢應作磁通勢

與第 12.17 圖相做。不過在該圖內，電刷在零載時之中性面上耳，在每一極隙空間，其交磁樞磁通勢以 F_c 表之。

是以，凡在二極發電機中，其用以分析去磁及交磁安匝之定則，皆可應用於多極機內。

若將去磁與交磁樞磁通勢相合併，其綜合樞磁通勢圖將與第 12.17 圖相同，不過在第 12.20 圖整個的隨電刷向右移動 β 角度耳。其圖中之高峯，仍與電刷位置相符合。為簡單化起見，其綜合樞磁通勢，在第 12.20 圖中，僅以點劃虛線，繪出其一段，

12-13. 補償電樞反應——因電樞之交磁效應，電刷必須隨負載狀況而移轉，因電刷之移轉，乃生去磁效應。苟能減低電樞反應，則去磁效應亦減。是以減低電樞反應之方法，在不複雜而不過費之原則下，殊有採用之必要。樞磁通勢所生磁通之磁路，與場磁通勢所生磁通之磁路，雖有一部份相同，如空氣隙者，但並不全同。欲減低電樞反應，可設法插入磁阻於樞磁通之磁路內，而不致過分影響場磁通之磁路。

在用疊片極芯之電機內，可用僅有一尖之疊片，如第 11.36 圖

所示者。以缺左尖者與缺右尖者，交互疊置，在極尖處鐵之截面積僅為極芯部份之半，其極尖易於飽和，其磁導係數乃減，可使磁通不致擁擠於後極尖。實際上，樞磁通經一極尖及極芯，再由他極尖出，其磁路常在高飽和狀態下。但主要磁通，則平行經兩極尖，其磁路所受影響較輕。

另一有趣方法，為採用楞德爾磁極 (Lundall pole)，如第 12.21 圖所示，在極芯及極面，刻有縱長之槽。此類槽對於橫穿極芯之樞磁通，有甚高之磁阻，但對主磁通，則無影響。不過樞磁通，可經槽後之鐵質，繞道而行，並不完全穿過長槽，其作用不甚有效，故

鮮有採用者。

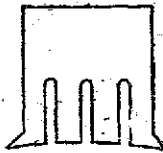


圖 12.21 極等內之縱槽，用以減低電樞反應。

因電樞之磁通勢與磁極之磁通勢，所佔位置不同，故可以一反磁通勢以抵消樞磁通勢，而不致影響主要磁場，此即湯姆生—雷恩方法

(Thompson-Ryan method) 所根據之原理也。欲使其作用更為有效，此抵消用之反磁通

勢應與樞磁通勢，在電樞上之每點皆相等而相反。可以第 12.22 圖說明之。該圖示若干導線鋪置於接近電樞之極面之槽內，每導線所載電流，與處於相對地位之電樞導線所載者，方向相反。此補償線卷組 (Compensating winding) 與樞卷組相串聯，庶幾兩者之磁通勢，在任何負載狀態下，皆相等而相反。用此線卷組可容許採用較短之空氣隙，其場卷用銅及場卷損失，均連帶減低。此法多用於交流串激電動機中，蓋在此等機內，電樞反應為害甚烈也 (見下編第十章)。

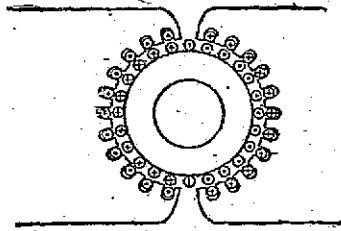


圖 12.22 用極面導線補償電樞反應

此補償卷組，亦用於滾壓廠內之發電機與電動機。此類電機，常被運用於異常嚴重之負載情形，例如旋轉方向急速調換，及在短時期內常有甚高負載之類。

此法亦用於立奇惠電機中(Ridgeway dynamo)，見第 12.23 圖。每一補償卷組有三個線卷，舖置於極面之槽內，與極卷組相串聯。以小丁形磁極，插於兩主磁極，插於兩主極間，丁字極周

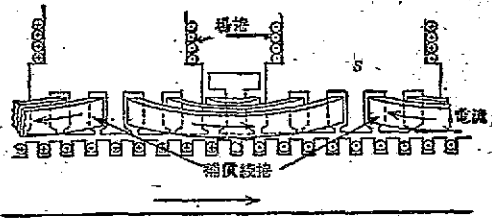


圖 12.23 用極面卷組補償電樞反應

圍之線卷，大率較他部線卷多數匝。丁字形磁極之樞樑，為主極之漏磁所飽和，但對補償用磁通，則並未飽和。

增加空氣隙長度，即增加樞磁通之磁阻，亦可減低電樞反應。但主要磁通之磁阻，亦為之增加。欲保持發電機之電壓，其場安匝必須加強，是以此樞之場與樞安匝之比亦增，惟有此場與樞安匝之比，為判別電樞反應之要件。不過有長空氣隙之電機，必有較大之場安匝，足以增加場卷用銅及其損失。但新式電機內多採用換向磁極(見第 12—16 節)，比較可得美滿之結果。

12—14. 換向——前章已述及在直流發電機中，每一線卷之應電勢，皆為交流的，欲使其流至外電路之電流為直流，必須經一換向器。第 12.24 圖表示一個電樞線卷自接近電刷以至離開電刷時，電流之變換情形。該圖係假定理想的換向情形，能以實現者。易言之，自換向器流出之電流，平均分佈於電刷上，而每一線卷中電流亦均勻的自正的最大值變換至負的最大值，此之謂直線率換向(Linear commutation)。

假定有電流 20 安，流過每一路徑，使 40 安經每一電刷流出電樞。當在第 1, 2, 3 位置時，每一線卷載有 20 安電流，此即某一線卷在連續的各位置時所載之電流。因每刷蓋覆四個換向器截片，而電流之分配為均勻的，故必有 10 安電流自每截片流入刷中。當一線卷由第 3 位置移至第 4 位置時，即失去 10 安電流，該電流自第 3 截片流入電刷，於是在第 4 位置時，僅載 10 安電流。

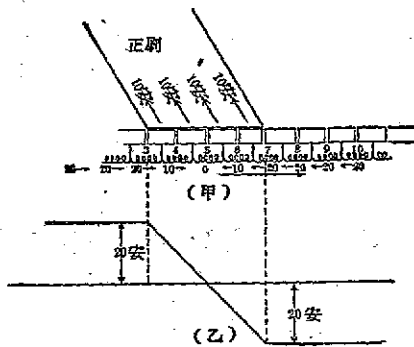


圖 12.24 正經換向之線卷內之電流情形(理想情形)

在未達第 5 位置以前，該線卷又放棄 10 安電流，於是達第 5 位置時，所載電流為零。達第 6 位置時，電流自另一電樞路徑流入刷中，經該線卷之電流乃反向。在第 7 位置時，其電流又達 20 安，由是經第 8, 9, 10 諸位置，皆保持 2

安之電流。

換向手續，包括下列二部：

(1) 任何線卷中之電流，由正的最大值反向以達相等之負值。其反向也，必須於一截片經電刷下之甚短時間內完成之。

(2) 所有電樞路徑供給之電流，必須在電刷相遇處，而傳導至外電路。

第一部手續，可於第 12.24 圖(乙)內見之。線卷之電流，直至與電刷相接觸時為止，皆為 20 安，以後以均勻率反向達負 20 安。此即所謂理想的換向情形(Ideal commutation)。

實際之換向情形，難期其達理想之境，其原因有二：

當線卷達第 4,5,6 位置時，即為電刷所捷接。此捷路內，僅包括線卷之電阻及截片與電刷間之接觸電阻而已。後者佔總電阻之大部份，故總值甚低。在此數位置時，荷線卷內有應電勢存在，則必有大量電流產生。在第 12.25 圖中，假定線卷 4 及 5 被電刷捷路時，因應電勢而各產生 15 安及 5 安之電流者。

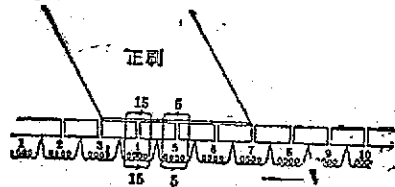


圖 12.25 經電刷之捷路電流

若以第 12.25 圖所示之電流，附加於第 12.24 圖(甲)上，則得如第 12.26 圖(甲)所示之電流分佈狀態。有 45 安電流進入電刷，5 安自該刷流出，故電刷上所負載之電流為 50 安而非 40 安。且有一截片竟載 20 安電流，兩倍於在理想情形時(第 12.24 圖)所載者。此足以促使在電刷之跟部過分發熱，並產生甚烈之電花。

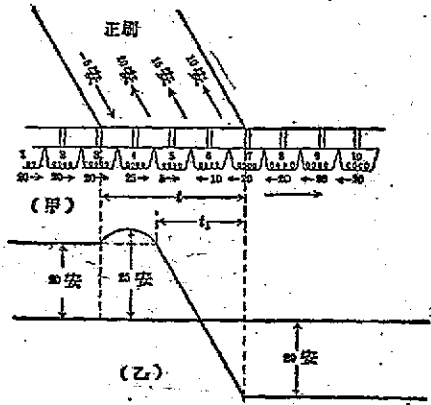


圖 12.26 電刷在中性面太後時線卷內電流之變化

第 12.26 圖(乙)，顯示線卷在上述新的情形時，其電流之變化情形。電流並不均勻的自 20 安下降，反先升至 25 安，然後始漸降。由此可見自 +20 安反向至 -20 安所需之時間，由 t 縮短至 t_1 ，使換向更為困難。若電刷在中性面太後則線卷正在換向之際，有

應電勢存在，於是發生此種情形。

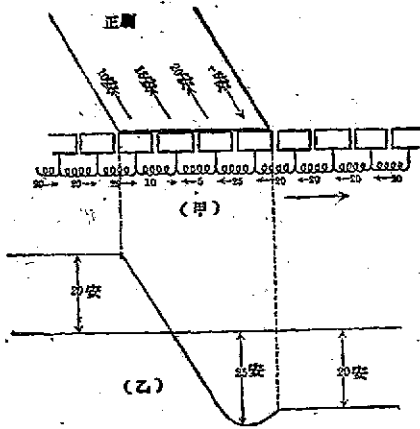


圖 12.27 電刷太移前時之換向情形

反之，若電刷位於中性軸太前之位置，則捷路電流產生於電刷之趾部，使電流分佈之狀態，如第 12.27 圖所示者。此情形使甚烈電花，產生於電刷之趾部。

若電刷太闊，則在其趾部及跟部之線卷，皆將有應電勢存在。此等線卷被刷所捷路，得

如第 12.28 圖所示之換向曲線。將電刷移前或移後，皆不能將此惡劣情形予以改善，補救之方，惟有改狹電刷之闊度而已。

12-15. 自感應電勢——第

12.29 圖顯示一個電樞線卷，正進入換向區(Commutation zone)之情形。其槽內導線為鐵質所包圍，使有一甚佳之磁路，因線卷內

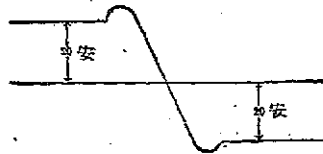


圖 12.28 電刷太闊之換向情形

有電流，以致有大量磁通，與線卷相連繫。磁通之大部份，包圍或連繫於槽內之線卷邊，經樞鐵，槽齒，而跨越槽之開口處。當線卷正進

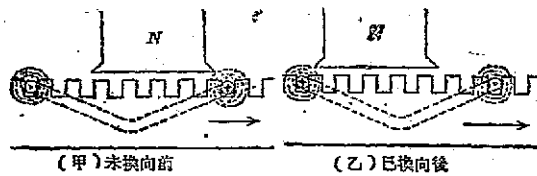


圖 12.29 正經換向之線卷內，磁通之變化

入換向區時，其磁通之方向，穿過線卷向上（第 12.29 圖，甲）。因其磁路內磁阻之大部份，皆在空氣內，其磁通可認為與電流成比例。故當此線卷穿過換向區時，其磁通必隨電流之變化而變化。

令 Φ_1 為與線卷相連繫之磁通。第 12.29 圖（乙）示線卷出換向區時之情形，其所載電流與第 12.29 圖（甲）內相同，不過方向已反。其連繫之磁通，仍為 Φ_1 ，但方向亦反。是以在一個截片經電刷之甚短時間 t 秒內，即經過換向區之時間內，該線卷所連繫之磁通，由 $+\Phi_1$ 變化至 $-\Phi_1$ ，總變化為 $2\Phi_1$ 線。因線卷之磁通連繫有所變化，是以有自感應電勢之產生。依第 9.2 式，知此電勢為

$$e = -N \frac{d\Phi_1}{dt} \times 10^{-8} \text{ 伏。}$$

假定換向為理想的，其磁通變化如第 12.30 圖所示者，則依第 9.1 式應電勢應為

$$e = -N \frac{2\Phi_1}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏。}$$

其 N 為線卷之匝數。

換言之，即線卷有電流，使生磁通與線卷本身相連繫，故線卷有自感量，而電流變化時，即生自感應電勢。根據楞次定律，此電勢常欲保持其在未換向以前之電流，其方向如第 12.30 圖所示者。不過當



圖 12.30 正經換向之線卷內，自感之應電勢

自感應電勢產生時，此線卷適為電刷所捷路。此電勢作用於低阻電路內，除非設法將其抵消，否則，必有大量捷路電流經過電刷與截片。若電刷之位置，適使換向之線卷在幾何的中性面上，不割切任何磁力線，並無因旋轉而生之應電勢時，此自感電勢，即足使電刷與換向器間，有甚烈之電花。

在發電機中，苟不用換向磁極以抵消自感電勢，必須將電刷循旋轉方向移至中性面前，俾被捷路之線卷邊，處於一種磁場內，其極性應該線卷出換向區後所遇之磁場極性相同（見第12.18圖）。於是預先割切反向磁通而生之應電勢，與自感電勢相反。苟電刷之位置適當，則預先割切反向磁力線所產生之應電勢，適足抵消自感電勢，使線卷內之淨電勢為零，免產生電花。不過因在磁極邊緣之擴散作用，其磁通分佈，至不均勻，事實上甚難覓一確當之電刷位置，使自感應電勢，全被抵消，故電花仍不能免。

此移刷之效應，可由另一觀點解釋之。正在換向線卷內之自感量，其作用與電之情性相同，恆欲延遲電流之反向。電刷移前，使線卷預先割切其在換向後所應割之磁力線，而預先產生反向之應電勢，相當於提早其換向手續，足以抵消其情性，而助電流之反向。

在發電機中，為達完美之換向起見，其電刷應移至中性軸前。

在實際運用時，電機之負載變換，樞電流亦變，故電刷位置之移動，亦必隨之改換，以期適應新環境。負載加重，則移轉之角度應加大。近代之發電機與電動機內，多改用換向磁極（見第12—17節），以免移刷之麻煩。讀者苟先對電樞反應，換向過程，及電刷位置，有清晰之觀念，則換向磁極之理，不難探索得之。

12—16. 換向器之電花——因中性軸被移前，致線卷內所產生之應電勢，及因換向而生之自感應電勢，其值甚小，約由十分之幾伏至4或5伏之譜。然其作用於一低電阻之電路內，足以產生甚大之電流。線卷本身之電阻甚低，其電路內電阻之大部份，皆為電刷與換向器間之接觸電阻。若接觸電阻太低，則捷路電流將使電刷上產生甚烈之電花。但在另一方面言，欲傳導電流至外電路，而不致有太大之接觸損失，則接觸電阻，以愈低為愈佳。

銅刷之接觸電阻雖低，但其捷路電流過大，殊不合宜，故僅用

於低壓及大電流之電機內。有用銅絲網，捲壓成長方形截面者。且也，銅刷易將換向器磨損，此其另一劣點。欲免此弊，可用銅與石墨合組之刷，即銅筋碳刷，其電阻既不高，亦不致磨損換向器之表面。

碳刷之接觸電阻，高於銅刷。可以限制短路電流，使換向成績完美。碳刷內多少必含有石墨，收潤滑換向器之效。非常堅硬之碳刷，反有損於換向器。至於電刷品質之選擇，視電機之運用情形而定。

電流之由換向器通過至電刷，大率以電弧之形式，而非純粹之傳導。苟詳細觀察，則發現無數之小電弧，存在於電刷及換向器間。其電刷與換向器間之壓降，並不與電流成比例，而實為恆量，約每刷一伏。因電弧之作用，故正刷上常發現銅屑，蓋電弧由換向器跳至正刷，攜帶銅屑以去也。其負刷之壓降，大於正刷，因對電刷言，銅之電位各異也。樞電阻包括電刷在內，大概隨電流之增加而趨於下降。

此種關係，可於第 12.31 圖內見之，該圖示正刷及負刷與銅環間之接觸電阻隨電流而變化之情形。此類事實，皆可資電弧理論之說明。

電弧理論，更可由「高雲母面」(High mica) 之現象證明之。

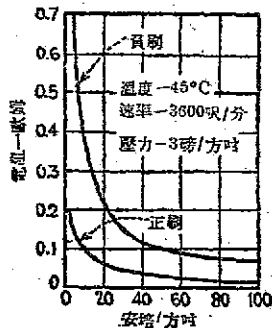
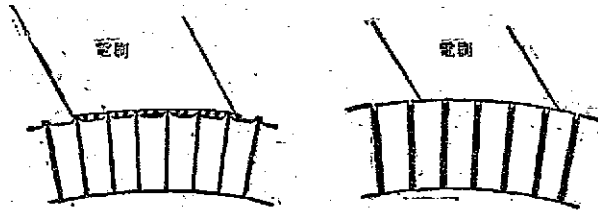


圖12.31 碳刷之接觸電阻特性曲線

(1) 可參攷 Hessler, Victor P. 著 "The Effect of Various Operating Conditions upon Electrical Brush Wear and Contact Drop", 載 Iowa Eng. Exp. Sta. Bull. 122, Iowa 州立大學。負刷曲線取自該文之第 60 圖，正刷曲線由該文第 50 圖之記錄而繪成者。

一電機經長久之使用後，常發現截片間之雲母絕緣，突出換向器之表面，而銅面凹進，如第 12.32 圖(甲)所示者。昔有以爲雲母較銅堅硬，使銅被磨耗較易者。此言似若有理，但略加思考，即知其荒謬不經。縱雲母較硬於銅，此二者亦必同時磨耗。雲母既已突出，電刷豈能仍與銅相接觸？必俟雲母被磨平後，刷始再與銅相磨擦。銅豈能單獨被磨耗，而獨留雲母之突出？



(甲) 高雲母面之換向器

(乙) 低雲母面之換向器

圖 12.32 電刷在換向上

高雲母面之合理解說，可於拉梅氏(B.G. Lamme)在美國電機工程學會所宣讀之論文內尋之。銅並非若所想像之被磨耗者，而實隨換向器與電刷間之小電弧(第 12.32 圖, 甲)飛去者。今以兩部相同電機，於同時期內不停旋轉，一機之換向器與電刷間有電流，他機則無。高雲母面終發現於有電流之換向器上，其不載電流之機上，決無高雲母面現象。由此觀之，銅決非爲刷所磨損者明矣。

若用硬質電刷，將雲母磨損，可免高雲母現象。琥珀色雲母(Amber mica)較柔於白雲母，似較宜於截片間絕緣之用。近來製造廠家，常將雲母面低於截片面，如第 12.32 圖(乙)所示者，俾銅漸飛去後，雲母不致突出。不過細銅屑，碳屑或灰塵，易積於截片面之溝槽內，致將截片掙接，此乃其劣點。

(1) 見 Lamme, B.G. 著 "Physical Limitations in D.C. Commutating Machinery", 載 A.I.E.E. Trans. 第 34 卷, 第二部, 1915 年, 第 1739 頁。

電弧之發生，使換向器逐漸凹陷。因換向器面凸凹不平，使電刷與換向器間，不能接觸緊密，於是發生更大之電弧。凹陷愈深，或雲母愈高，則電弧之發生亦愈烈。是以，凡足以致使電花產生之原因，將使換向器面，益形崎嶇，而電花愈烈，其作用為累積的。苟換向器上電花過烈，不加校正，則換向器立即被毀，不堪再用。

電刷應慎予裝置於換向器上，刷面當用砂紙將其磨光，如第12.33圖之形式。換向器面之碳屑，必須用油布揩拭，不可用殘紗 (Waste)。微有不平之換向器面，可以細砂紙，將其磨光，切忌用剛石粉 (Emery)。因剛石粉細粒，可以導電，若陷入截片間之溝內，足使截片被掙接。若換向器為電刷刻成細痕，或發生其他不規則狀態，應在車床上車平之。

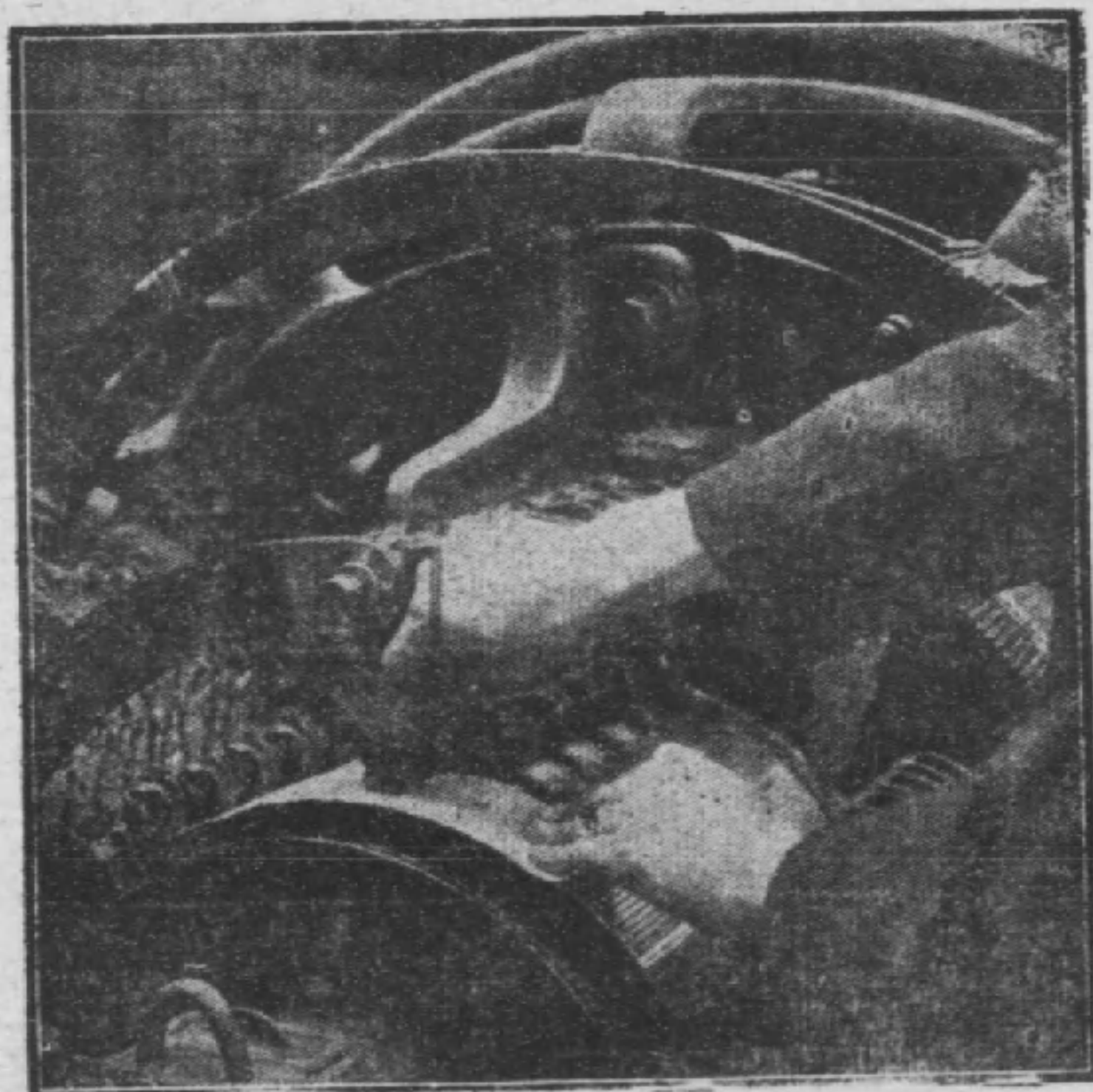


圖12.33 裝置電刷之正確方法

其他障礙，如雲母太鬆，或截片太鬆等，不能不認為相當嚴重。

可將換向器夾環之螺栓旋緊，以清除上述諸障礙，

12-17.換向磁極——第 12.34 圖示一個發電機中之幾何中性面，及其任載時之中性面。此圖係由第 12.18 圖得來者。若電刷仍置於零載中性面上，則在該處有電樞反應所生之磁通密度 B_2 ，線卷割切此磁通，生應電勢，使換向器上生過烈之電花。縱將電刷移至任載時之中性面上，其換向仍不美滿，電花仍不能免。蓋此際因

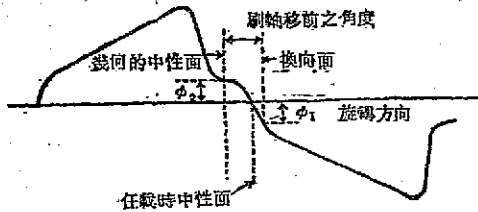


圖 12.34 電刷移前至適當之換向面上
圖中 Φ_1 應作 B_1 Φ_2 應作 B_2

電流反向所生之自感應電勢，使線卷內生甚大之捷路電流也。故電刷必須再向前移，使正在換向之線卷，預先割切次一極之磁通

密度 B_1 ，產生一反向電勢，以抵消自感電勢（已見第 390 頁）。此時之電刷，適在次一極之邊緣處。若將電刷向任一方面微微移動，足使磁通分佈有顯著之變化，而換向成績仍不甚佳。事實上因磁通分佈曲線之斜度過峻，即使電刷在最佳之位置上，而每刷後極尖或在太強之磁場內，而前極尖在過弱之磁場內，換向仍難期美滿。

荷在零載中性面處，置一與 B_2 相等而相反之磁通密度，則雖有電樞反應，而在該處之磁通密度可為零。荷在該處，再置一與 B_1 相等而方向相同之

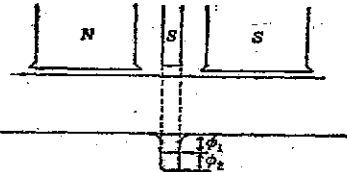


圖 12.35 換向磁極單獨所產生之磁通
圖中 Φ_1 及 Φ_2 應作 B_1 及 B_2

磁通密度，則線卷之自感電勢可被抵消，換向可臻美滿之境，毋需移動電刷。故換向磁極 (Commutating pole)，又稱極際磁極

(Interpole) 之任務，端在產生上述所需之磁通密度 於幾何的中性面處。

換向磁極為一狹長磁極，位於主極之間，使相當之磁通，穿過電樞，俾換向得以美滿。例如在第 12.34 圖中，換向磁極先須產生一等於 B_2 之磁通密度，以抵消在中性面上由

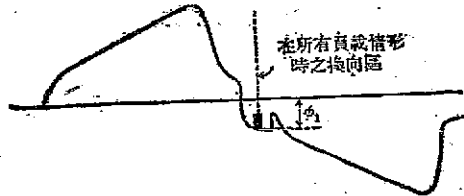


圖 12.36 任載時，主極磁通與換向極磁通之合量
圖中 Φ_1 應作 B_1

電樞反應所生之磁通密度。再須產生一等於 B_1 之磁通密度，以抵消正在換向線卷內之自感電勢。其總磁通密度等於 $B_1 + B_2$ ，而與 B_1 方向相同，如第 12.35 圖所示者。如圖，此極應為 S 極。第 12.36 圖係將第 12.34 圖及第 12.35 圖合併者，顯示空氣隙之磁通分佈。

因電樞反應與自感電勢皆與樞電流成比例，故抵消此作用所需之磁通密度，

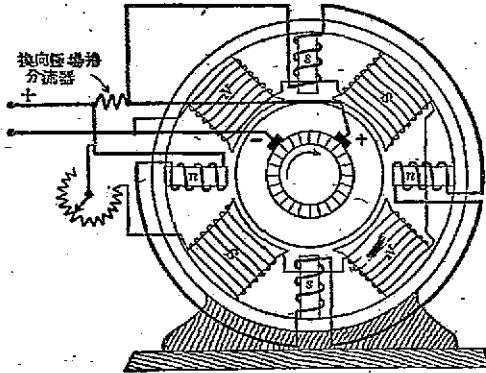


圖 12.37 分激磁場與換向極卷之聯接法

由換向磁極所產生者，亦應與樞電流成比例。故換向磁極之線卷，以數匝之粗線繞成，且與電樞相串聯，如第 12.37 圖所示。換向極與電樞間之

空氣隙甚大，庶幾在任何負載時，其產生之磁通，皆與樞電流成比

例。

所應注意者，在發電機中，循旋轉方向，其磁極之順序，應為 $NsSn$ ，大寫字為主極，小寫字為換向磁極。第 12.38 圖示一個換向磁極及其場卷，自機上拆下者。

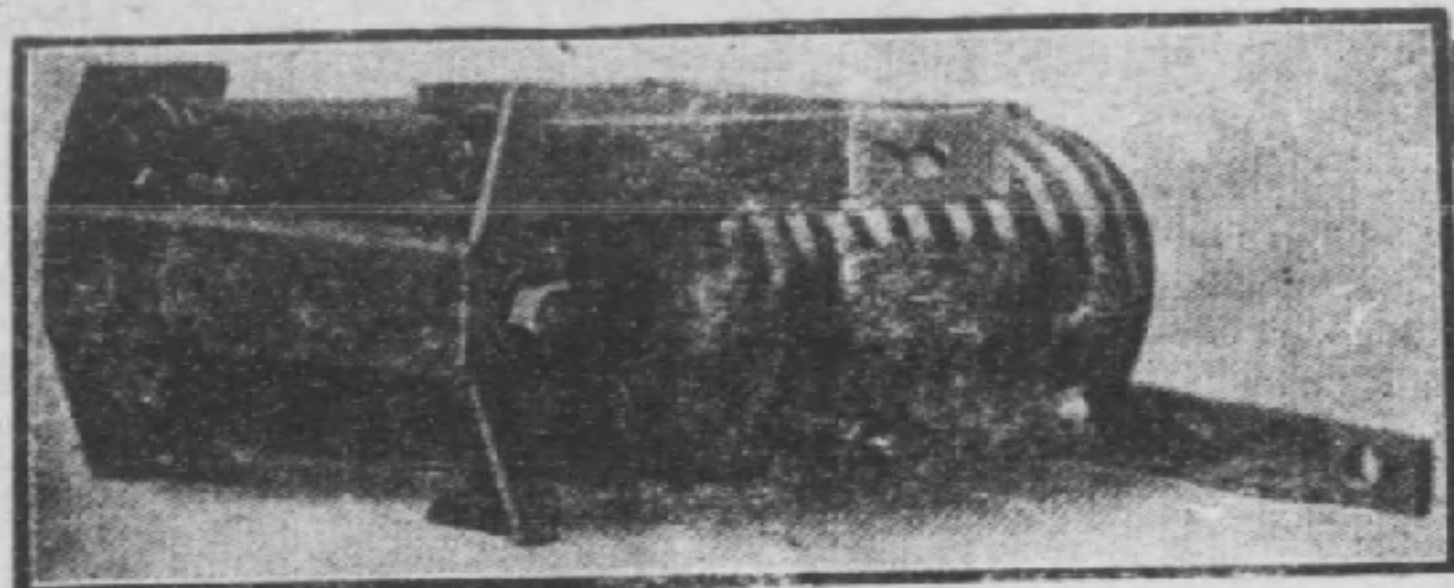


圖 12.38 換向磁極及其線卷

在四極發電機中，可僅用兩個換向極，因依樞卷組之繞法，若一線卷之一邊在 N 極下時，他邊必在 S 極下。苟每對主極用一個換向磁極，則每極之強度，應為用兩個換向磁極時每極強度之二倍（見第 12.39 圖）。在波卷組中，無論其主極為若干，苟換向磁極



圖 12.39 電機之機殼與磁極，顯示換向磁極之排列方法（信託電器工程公司製）

有適足之強度，則一個磁極，即可應付。不過依慣例，換向磁極數，皆等於主磁極數。

在設計換向磁極時，其產生之磁通，大率皆強於實際所需者。在昔常用分流電阻與換向磁極線卷相並聯。調節此電阻，以變更換向磁極線卷內之電流，而得適量之

磁通。但近來已廢置此分流電阻，改用分磁脛，跨於換向極與機軸間，以分去一部份磁通。

用換向極後，足以增加主極間之漏磁。因此凡主極極弧(Pole arc)之長，本為極距之0.70者，則改小至極距之0.65或更小，同時將換向磁極亦改狹，皆所以增加漏磁所遇之磁阻(參看第12.37圖及第12.39圖)。但換向極在稍有過載時，即被飽和。是以應將空氣隙放長，庶幾確保其磁通常與樞電流成比例。

換向磁極與前第12—13節所述補償線卷組之功用不同，學者不可加以混淆。兩者雖均與樞卷組相串聯，其磁通勢雖均作用於主極間之中央，但換向磁極之磁通，僅為美滿之換向而設，供給所需之磁通，其作用僅限於換向區內，而補償卷組則為抵消空氣隙內之全部電樞反應而設，其作用係遍佈於電樞面者。其磁通勢較大，設備費亦較鉅。不過若自感電勢已被抵消，則補償卷組(即湯姆生—雷恩磁極)在換向區之磁通，必大於抵消電樞反應所需者。在常運用於非常惡劣情形之某種發電機與電動機內，二者併用，則毋需移動電刷，結果至佳。

12—18. 分激發電機之特性曲線 —— 若一分激發電機在已建立後，使任負載，則其端電壓即漸降低，負載愈重則降低愈甚。某種用途，如供電於白熾燈之類，需要穩定之電壓，但亦有其他場所，需要變動之電壓者。苟明悉一種發電機之端電壓，隨其所供給電流而變化之梗概，則該機是否合於某種用途，可得以判斷。

凡一發電機中之端電壓，與其所供給電流之關係，謂之該發電機之特性(Characteristics)，以圖表之，為特性曲線。其表示端電壓與負載電流之關係者，謂之外部特性曲線(External characteristics)。其表示電樞之應電勢與樞電流之關係者，謂之內部，或總特性曲線(Internal or total characteristics)。分激特

性曲線一名詞(Shunt characteristics), 除特別申明外, 通常指分激發電機之外部特性曲線。

在測定一發電機之端電壓與電流之關係時, 可用如第 12.9 圖之接線法。以一伏特計跨接於發電機之兩端, 以指示其端電壓。將一安培計接於線路上, 以量度負載電流。在場電路內, 亦常接一安培計, 以便觀測負載變化時場電流之變化。

在開始試驗時, 先以額定負載施於發電機, 然後調節場電流, 使得額定之電壓。應將發電機在此情形下, 繼續運用至 20 分鐘以上, 使其各部皆受熱。然後移去負載, 於伏特計上, 讀取零載電壓。再逐步增加負載, 保持變阻器之電阻及旋轉速率不變, 分別讀取其端電壓及負載電流, 以所記錄之電壓及電流, 描繪為曲線, 即得如第 12.40 圖所示之分激曲線。在小型發電機內, 荷負載過重, 達曲線之某點, 此曲線開始急速下降(見第 12.40 圖), 此為發電機之崩潰點(Break-down point), 此發電機開始崩潰, 不堪勝任。若

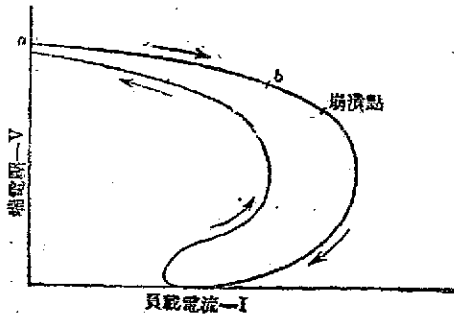


圖 12.40 分激發電機之特性曲線

若再加重其負載, 則其電壓頃刻降低為零。過某點後, 如第 12.40 圖中崩潰點下彎曲處, 則減低外電阻以期增加其負載電流者, 反使電流降低。縱負載端被捷接, 如圖中之曲線之底部, 在近乎捷接時, 電流仍呈低落現象。在已加捷接後, 電機所供給之電流, 僅為由於剩磁所產生者, 不致過大。蓋此際場電路亦被捷接, 場卷內無電流也。

若移去外電路之捷接, 將其電阻增加, 因鐵之磁滯作用, 而電

壓循另一曲線上升，最後達略低於出發點之電壓。蓋當增加負載時，其電壓降低，鐵係沿磁滯循環之一面而磁化，例如在第 12.5 圖 (甲) 中之曲線 c 所示者。當電壓重行上升時，其鐵質係沿磁化循環之另一面而磁化，如該圖中之曲線 a 。以同一場電流而論，其循曲線 a 較循曲線 c 產生較少之磁通，故亦感應較低之電勢。再因低值端電壓，使場電流更小，此所以回升曲線部份在下降曲線部份之下也。

在實際應用時，發電機僅運用於其特性曲線之 ab 部份 (第 12.40 圖)。第 12.41 圖顯示一具 100 仟瓦，230 伏發電機特性曲線之一部。其額定電流為 $100,000 \div 230 =$

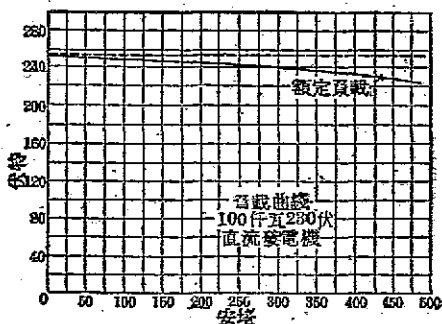


圖 12.41 典型的分激特性曲線

435 安。其場電阻調準至適當之值，使該機供給 435 安電流時，有 230 伏之端電壓。

一個分激發電機在任負載時，其電壓所以低落之原因有三：

(1) 因樞電阻所致之壓降，使其端電壓低於其應電勢。若 I_a 是樞電流， R_a 為其樞電阻， E 為其應電勢，則其端電壓為

$$V = E - I_a R_a \quad (12.4)$$

(2) 電樞反應之去磁作用，使磁場變弱，因而減低其應電勢。

(3) 由於 (1)，(2) 兩原因，而端電壓降低，使場電流減少，更為以減低其應電勢。

上述三種因素，可於第 12.42 圖內見之。

【例題 12.3】某分激發電機之應電勢為 600 伏，其樞電阻為 0.1 歐，問當

電樞供給 200 安培時，其端電壓為若干？

【解】 $V = 600 - 200 \times 0.1 = 580$ 伏。

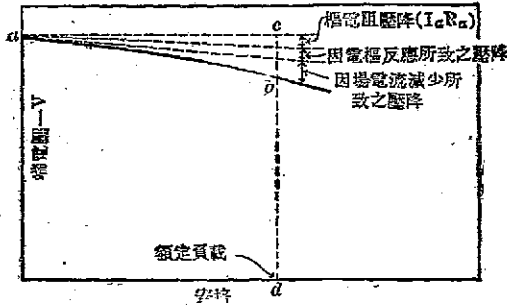


圖 12.42 分激發電機中之電壓降

(答)

因上述三種原因，係累積的，以負載加諸電機，其端電壓似若將降低為零者。蓋端電壓降低，使磁場變弱（第三原因）。

較弱之磁場，產生較低之應電勢，使端電壓更低（第一，二兩原因），而更減低其場電流。三者互為因果，苟非鐵呈相當飽和狀態，則負載甫施，電壓瞬降為零。苟端電壓降低 10%，使磁通亦減少 10%，則此電機決不能擔負任何負載。所幸場電流減低時，其應電勢不致作比例的降低。例如其端電壓低落 10%，因磁滯及飽和，其磁通或僅減少百分之一至二，是以運用於高飽和點之發電機，較諸運用於低飽和情形者，常善於維持其電壓。

此點可於第 12.43 圖說明之。該圖（甲）示一具 230 伏發電機在

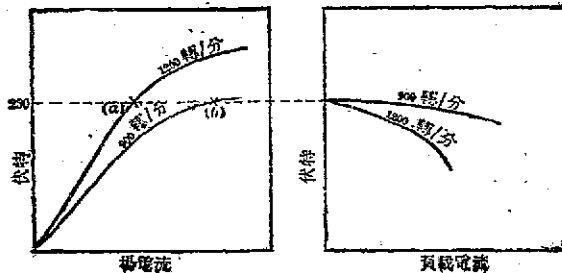


圖 12.43 速率與分激特性曲線之關係

900 轉/分及 1,200 轉/分之兩飽和曲線。若在每種速率之零載電壓均為 230 伏，則此發電機將運用於 1,200 轉/分曲線之 (a) 點，及 900 轉/分曲線之 (b) 點。因 (b) 點較 (a) 點所呈現之飽和狀態甚高，故在 900 轉/分時，較在 1,200 轉/分時，該機善於保持其電壓，如圖 (乙) 所示者 (飽和之效應，將再於第 12—21 節內論之)。

12—19. 發電機之調整——發電機在負載時，能維持其電壓之本領，為判斷其是否適合於某種用途之準則。所謂調整者 (Regulation)，在量的方面，表示由零載至滿載時，其端電壓之變化。

依美國電機工程學會之標準，其對調整之定義如下：

一個直流發電機之調整，通常皆由其在零載時，與在滿載時之電壓之值定之，但有時亦可對於中間負載情形而言。直流發電機之調整，乃指負載逐漸變換時，電壓之變動，而與負載驟變時所致之較大之電壓跌落無關。

在測定特性曲線時，尚有數點，應予注意。此發電機必須於額定速率試驗之，但可容許其策動機器 (Prime mover) 潛在之速率降低之限度。除非另行規定，負載應由重減輕，而於低負載時測試其調整。在自激 (Self-excited) 發電機中，其場電路內之電阻，應保持不變，又此電機應已達穩定之溫度。

如第 12.41 圖之特性曲線所示，其發電機之調整，為由零載時之 250 伏，及在滿載時之 230 伏。

12—20. 總特性曲線——分派特性曲線表示端電壓與負載電流之關係，而總特性曲線，則表示應電壓與樞電流之關係，亦常用為研究之張本者。

樞電流所異於負載電流者，由於場電路所取之電流。若 I 為負載電流， I_f 為場電流，則樞電流 I_a 為

$$I_a = I + I_f \quad (12.5)$$

若 V 為端電壓， R_a 為樞電阻，包括刷之電阻及刷與換向器間

之接觸電阻在內，則其感應電壓(不計及電樞反應)，為

$$E = V + I_a R_a \quad (12.6)$$

總特性曲線由 E 及 I_a 繪成。亦可由分激特性曲線推求之。其步驟如下：

令 qr (第 12.44 圖) 為分激特性曲線，以繪第 12.10 圖及第 12.11 圖之方法畫場電阻線 oa 。因橫坐標係以樞電流之尺寸為依據，而場電流甚小，故場電阻線之外表，幾近於垂直。由 OY 軸至 Oa 線上各點之水平距離，為在每一端電壓時之場電流。以此距離水平地加於分激曲線上，例如在分激曲線上之 c 點， $c'd'$ 為場電流， $c'e$ 為負載電流，取 cd 等於 $c'd'$ ，加於 cc' 得 $c'd$ 為樞電流，於是得 qe 曲線上之 e 點。由此類推，得曲線 qe 。

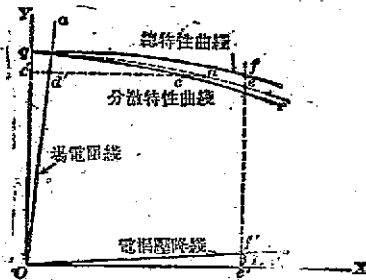


圖 12.44 分激發電機之總特性曲線

再畫樞電阻線 Ob ，假定刷之接觸電阻為恆值，在 Ob 線上每點之縱坐標，為在不同樞電流時之壓降， Ob 即樞電壓降線。以其各點之縱坐標加於 qe 曲線，例如在樞電流為 Oe' 時，樞電阻壓降為 $e'f = (Oe')R_a$ ，取 $ef = e'f$ ，

垂直地加於 qe 曲線，得 $e'f$ 為感應電壓，由此得總特性曲線 af 。

以樞電流與感應電壓相乘，得電樞產生之電功率。由於下述兩種原因，此電功率不能全部有用：

- (1) 其電功率之一部，損失於電樞本身，為樞銅之 $I_a^2 R_a$ 損失。
- (2) 電樞輸出之一部，損失於分激場卷內，使其發熱。

【例題 12.4】某 20 仟瓦，220 伏分激發電機之樞電阻為 0.07 歐，其分激場電阻為 200 歐。問在供給其額定輸出時，電樞所產生之電功率為若干？

【解】 額定電流, $I = 20,000 \div 220 = 90.9$ 安,
 場電流, $I_f = 220 \div 200 = 1.1$ 安,
 樞電流, $I_a = 90.9 + 1.1 = 92$ 安,
 感應電壓, $E = 220 + 92 \times .07 = 226.4$ 伏。
 電樞產生之功率, $P = 226.4 \times 92 = 20,830$ 瓦 = 20.83 仟瓦。(答)

若以電功率損失相加, 結果亦同

場電路損失, $P_f = 220^2 \div 200 = 242$ 瓦
 樞電路損失, $P_a = 92^2 \times .07 = 592$ 瓦
 電樞產生之功率

$$P = 20,000 + 242 + 592 = 20,834 \text{ 瓦} = 20.83 \text{ 仟瓦} \quad (\text{核})$$

當電流經過發電機之電樞時, 因其電動機作用, 而產生一反轉矩(Counter-torque 見第 13—3 及 13—5 節), 欲推動電樞向反方向旋轉。故策動機器, 如電動機, 汽輪機或水輪機之類, 必須克制此反轉矩。是以反轉矩為發電機之一種反應, 迫使其策動機器產生能量, 以策動此發電機。

12—21. 由飽和曲線求分激特性曲線 —— 在第 12—18 節 (第 400 頁) 內曾指出, 分激特性曲線與磁之飽和程度有關, 視該發電機所運用於飽和曲線之部份而定。其由飽和曲線及場電阻線, 以求分激特性曲線之方法如下:

(甲) 略去電樞反應者 —— 先假定電樞反應甚微, 可以略去不計。在有換向磁極之發電機中, 其電刷仍在中性面上, 可符合此條件。第 12.45 圖顯示在某恆定之速率時, 分激發電機之飽和曲線, 其虛線為增加場電流時所繪者, 實線為減少時所繪者。其場電阻線為 oa , 若略去場電流經過電樞所致之壓降不計, 則該電機可循虛線建立至 a 點。將 a 點投射至右面縱軸上得 a' 點, 即在樞電流為零時 (略去甚微之場電流不計) 之端電壓。在施以負載後, 其電樞反應既

已略而不論，則僅有兩種效應，使電壓降低，一為樞電阻之壓降 ($I_a R_a$)，二為端電壓降低所致之場電流之減少。

當發電機已達穩定狀態後，必須適合下述之二條件。其應電勢必須位於飽和曲線下降部份 abo 上，如任取一點 b ，因場電路之兩端直接跨接於電樞兩端，故其相當之端電壓位於場電阻線 oa 上，如 c 點者。再者 b 及 c 兩點之橫坐標必同。蓋用以產生 b 點之應電勢之場電流，實為 c 點之端電壓所產生者也。更有進者，因應電勢與端電壓之差，為樞電阻之壓降，故 bc 即等於 $I_a R_a$ 。換言之，在 b

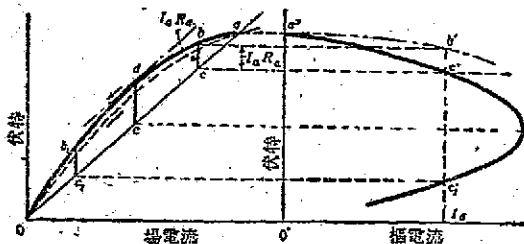


圖 12.45 分激特性曲線與飽和曲線之關係——無電樞反應
圖中「樞電流」三字旁應加一“c”字

點之應電勢 E 為在 c 點之端電壓，與 bc 之 $I_a R_a$ 壓降之和 (見第 12.6 式)。是以若 c 點表示某一端電壓，則以 R_a 除 bc ，即得樞電流 I_a ，以此值畫於右圖之橫坐標軸上為 c'' 。再將 c 點水平的投射於右圖，與自 c'' 點所畫之縱線相交於 c' 點， $c''c'$ 為端電壓， c' 點必在分激曲線上，又 $c'b'$ 為其相稱之應電勢，故 b' 在總特性曲線上。由飽和曲線上之各點，可應用此法，而得總特性曲線。若欲求分激曲線，可由 I_a 減去場電流，得負載電流，或用如第 12.44 圖之方法在圖上相減，或以數值相減亦可。

試考察第 12.45 圖，可見在飽和曲線與場電阻線間，除 bc 線外，尚有 b_1c_1 一線，其長與 bc 相同，亦可置於兩線間。在同一樞電流時，可有兩種端電壓。因場電流不同，其負載電流微有不同。以 c_1 投射於右圖得 c_1' ， $c''c_1'$ 即相當於同一樞電流之第二端電壓，在分激曲線之下部。

平行於場電阻線，畫一線與飽和曲線相切於 d 點，由此可求出最大之樞電流。在 d 點處飽和曲線與場電阻線間之垂直距離 de ，為最大樞電流之壓降，除以樞電阻，得最大樞電流之值，即分激曲線上之 e' 點。

在恆值之樞電阻，其距離 bc ， de 等皆與樞電流成比例。在飽和曲線與場電阻線間，畫若干垂直線，用比例尺可求出相當於各線之樞電流，減去場電流作為橫坐標，再以其相應之端電壓，畫為縱坐標，即可畫成分激曲線。

惟在第 12—16 節(第 391 頁)曾指出，樞電阻並非恆值，為樞電流之函數。若假定其為恆值，其引致之差誤，自屬可觀。且也，飽和曲線之縱坐標，甚有賴於鐵之磁化過程，每次決不重複。飽和曲線與場電阻線，苟有些微差誤，使其差數之差誤百分數更大。是以用此法所求得之曲線，不若用試驗方法所求得者之準確。不過此法在量的方面言，殊有價值。例如第 12.45 圖中，若其速率加快，而欲保持零載電壓不變，必須增加其場電阻，飽和曲線與場電阻線均向左移，其 bc ， de 等距離必縮短。是以在某端電壓時，其樞電流亦小，於是得下降較速之曲線(見第 12.43 圖)。

(乙)計及電樞反應者—在第 12.46 圖中，令 $abfo$ 為飽和曲線之下降部份，以場安匝為橫坐標者。 oa 為場電阻線，亦以場安匝為橫坐標，而非用場電流者。取任一端電壓 dd'' ， d 點必在場電阻線上。若無電樞反應之去磁安匝，則相當於場安匝 od'' 之應電勢，必在飽和曲線上，垂直的在 d 點之上，與第 12.45 圖中 b 點在 c 點之上者相同。不過在任載時，電樞反應使磁路之總安匝被減少 $d''c'$ 之量，等於電樞之去磁安匝(見第 12—10 節第 378 頁)，故作用於磁場之淨安匝為 oc'' ，其相當之應電勢為 $c''b$ 。

因端電壓等於應電勢減 $I_a R_a$ 。壓降之條件，必須適合之。由 d

點畫 dc 與 $d''c''$ 相平行而相等，則 bc 即等於電樞之 $I_a R_a$ 壓降。故 bcd 三角形之一頂點 b 在飽和曲線上，其另一頂點 d 必在場電阻線上，而 cd 與橫坐標相平行。欲定 bcd 之一邊 bc ，即 $I_a R_a$ 壓降，可用(甲)段內所述之方法，由指定之樞電流計算之。其另一邊 cd ，即每極之去磁安匝，可用第 12—10 節所述方法計算之。既知 bc 與 cd ，可決定直角三角形 bcd 。然後以此三角形置於飽和曲線與場電阻線間，適使 cd 與橫軸平行， b 點在飽和曲線上，而 d 點在場電阻線上。其縱坐標 $d''d$ 為相當於該樞電流之端電壓。欲求負載電流，可用(甲)段內所述之方法。以 d 點水平的投射於右圖，與 I_a 之縱坐標相連於 c' 點，得端電壓， c' 點在分激曲線上。

若飽和曲線，係根據場電流而描繪者，僅須將去磁安匝，除以分激場卷每極之匝數 N_f 。去磁安匝，亦可化成與場電流相同之坐

標尺寸。

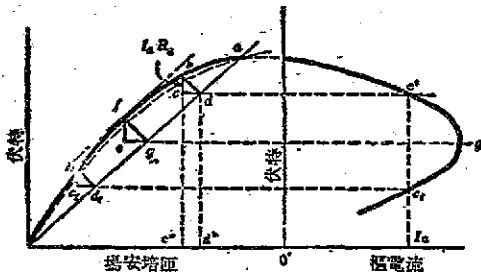


圖 12.46 分激特性曲線與飽和曲線之關係——計及電樞反應

其他樞電流值，可用下法計算之。假定樞電阻為恆值，則 bc 與 d 三角形之 bc 與 cd 兩邊，皆與樞電流成比例。故所有各樞電流之

三角形，必皆相似，其相應之各邊，互相平行，其斜邊亦必平行而成比例。例如求相當於端電壓 g 之樞電流，由 g 畫 fg 與 bd 相平行，與飽和曲線相交於 f 點。可將 fg 及 bd 相比，而求得 fg 之樞電流，然後可畫 feg 三角形。以 g 點水平的投射於右圖得 g' 點，該點在分激特性曲線上。此例中之 f 點，適為平行於場電阻線之線，與

飽和曲線相切之點，即相當於最大之樞電流值。用此法之差誤，與(甲)段內方法所得者相同，蓋樞電阻並非恆值，而其飽和曲線隨鐵之磁化過程而異也。不獨此也，因極尖之飽和，樞磁場與主磁場磁路之不同等原因，欲求去磁安匝之準確效應，至為不易。

13—22. 複激發電機——分激發電機之電壓，因負載增加而降低，不適於需用恆定電壓之場所。尤其在給光制中，電壓之些微變

動，足使白熾燈之燭光有具體之變動。若在極芯上，加繞數匝之線卷，與樞卷組或負載相串聯(見第 12.47 圖)，當發電機供給電流時，其磁通勢與分激場安匝相助。負載增加時，則串激

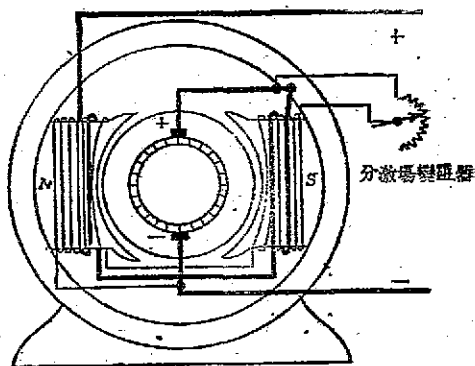


圖 12.47 複激發電機之接線法(短並聯式)

卷組內電流亦增，可增加電樞內之磁通，使其應電勢亦增。苟串激安匝配置適宜，適足抵消因電樞反應及樞電阻所致之壓降，則可維持端電壓為恆值不變，其分激場電流亦不致降低。於是電壓降低之三種原因，即電樞反應， $I_a R_a$ 壓降，及場電流降低，大致可被串激安匝所全部抵消。

分激場卷組可直接跨接於電樞之兩端，在串激場卷組之內，是為內並聯式(Short-Shunt 或稱短並聯式)，見第 12.48 圖(甲)。或以分激場卷組跨接於發電機之兩端，在串激場卷組之外，是為外並聯式(Long-Shunt, 或稱長並聯式)，見第 12.48 圖(乙)。其運用特性，固不因其接法不同，而有所軒輊。

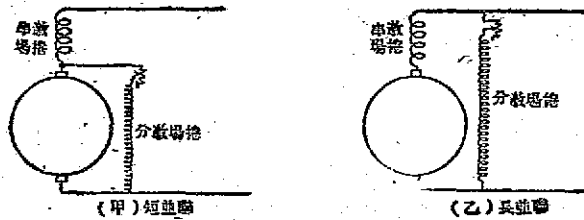


圖 12.48 複激發電機

若串激場卷組之效應，係使在零載與滿載，產生相同之電壓者，是為平複激式 (Flat-compound，見第 12.40 圖之特性曲線)。實際上，在零載至滿載間之各種電流值時，鮮有能維持同一電壓者。其變化之趨勢，係先昇而後降，至滿載時，得與零載電壓相等之電壓。其所以如此者，鐵之飽和為之也。蓋串激安匝在滿載時所增之磁通，並不與在輕載時所增加者成比例，其在輕載時所增加之百分比較大。若滿載電壓高於零載電壓，則此機為過複激式 (Over-compound)。反之，若滿載電壓低於零載電壓，則為欠複激式 (Under-compound)。發電機鮮有採用欠複激式者。

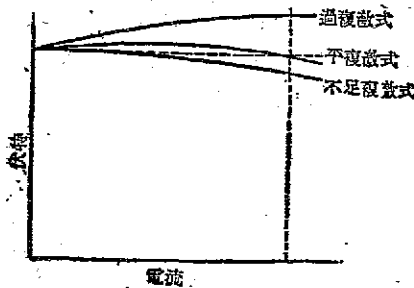


圖 12.49 複激發電機之特性曲線

平複激式多用於孤立之供電站，如大旅館及大廈等，其佈電之導線，由其所載電流及其安全載流量而定，故在發電機與負載間之電壓降甚微。因此，發電機僅需用平複激式者，其負

載端電壓，不致因負載之增減，而有所變動。

若發電機距負載端有相當之距離，則用過複激式。因負載增加

時，其線路之壓降亦增，其負載端電壓減低。若發電機之電壓，能隨負載而增加，適足以補償線路之壓降，則其負載端電壓，可以維持不變。

【例題 12.5】 就第 12.50 圖觀之，一負載距發電機 4,000 呎，由 500,000 回密爾之饋電線聯絡之。發電機之零載電壓為 500 伏。今欲自零載至最大負載電流 300 安，保持負載端電壓，恒為 500 伏，問該發電機之特性曲線應若何？

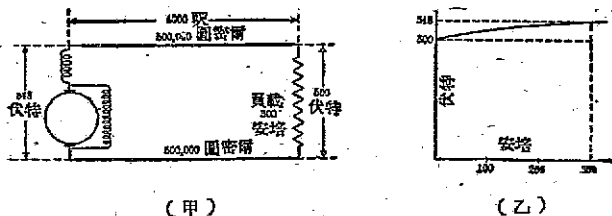


圖 12.50 過複激發電機保持恒壓於饋電線之末端

【解】 若饋電線依其正常電流密度而運用，其所載電流應為 500 安，即每回密爾 0.001 安(見第 2—18 節)，其電壓降為每呎 0.01 伏，總電壓降為 80 伏。

但在實際運用情形時，其電壓降為

$$(300 \div 500) \times 80 = 48 \text{ 伏。}$$

則發電機之電壓應由零載時之 500 伏，昇至 548 伏，見第 12.50 圖(乙)。

複激發電機之場激，通常皆微帶過複激性。可用一低電阻與串激場卷組相並聯，以分去一部份串激電流，而調節其複激程度，如第 12.51 圖所示，此電阻謂之分流器(Diverter)。

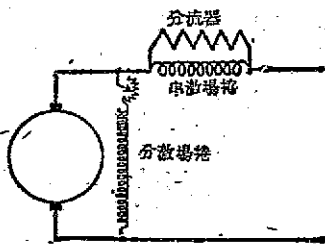


圖 12.51 串激場卷組之分流器

若複激發電機，係用以供電於三線佈電制者，則該機應有兩個串激場卷組，在電樞之每一邊有

一場卷組相串聯。每極上有兩個串激場卷，一卷接於發電機之正端，他卷接於負端(可參看第 14.18 圖)。

在複激發電機中，若 V 為端電壓， I_s 為串激電流， I_a 為樞電流， R_s 及 R_a 各為串激場卷及電樞之電阻，則其應電勢為

$$E = V + I_s R_s + I_a R_a \quad (12.7)$$

其用分流器者，則 R_s 為串激場卷組與分流器之並聯等效電阻， I_s 為其總電流。在長並聯式發電機中， I_s 即等於 I_a 。

【例題 12.6】 在短並聯複激發電機中，當其供給 150 安電流時，其端電壓為 230 伏(第 12.51 圖)。其分激場電流為 2.5 安，樞電阻為 0.0032 歐，串激卷組電阻為 0.015 歐，分流器電阻為 0.030 歐。求電樞之應電勢，其產生之總電功率，與此電功率之分配。

【解】 串激卷組與分流器之總電流為 150 安

$$\text{串激場電流 } I_s = 150 \times \frac{0.030}{0.030 + 0.015} = 100 \text{ 安。}$$

$$\text{分流器電流 } I_d = 150 \times \frac{0.015}{0.030 + 0.015} = 50 \text{ 安。}$$

串激卷組與分流器之並聯等效電阻為

$$R^s = \frac{0.030 \times 0.015}{0.030 + 0.015} = 0.010 \text{ 歐。}$$

串激卷組與分流器之電壓降為

$$E' = 150 \times 0.010 = 1.50 \text{ 伏。}$$

$$\text{樞電流為 } I_a = 150 + 2.5 = 152.5 \text{ 安。}$$

$$\text{應電勢為 } E = 230 + 152.5 \times 0.0032 + 1.5 = 236.4 \text{ 伏。} \quad (\text{答})$$

產生之總電功率為

$$P_a = 236.4 \times 152.5 = 36,050 \text{ 瓦} = 36.05 \text{ 仟瓦。} \quad (\text{答})$$

$$\text{電樞之損失 } P_a = 152.5^2 \times 0.0032 = 744 \text{ 瓦。}$$

$$\text{串激卷組損失 } P_s = 100^2 \times 0.015 = 150 \text{ 瓦。}$$

$$\text{分流器損失 } P_d = 50^2 + 0.030 = 75 \text{ 瓦。}$$

$$\text{分激卷組損失 } P_{sh} = (230 + 1.5) \times 2.5 = 570 \text{ 瓦。}$$

電功率輸出 $P = 230 \times 150 = 34,500$ 瓦,

加之,得總電功率 $P_c = 36,048$ 瓦。 (核)

12-23. 速率之影響——第 12.52 圖顯示一具 230 伏發電機, 在 900 轉/分所得之飽和直線, 調節其分激場變阻器, 適使其零載電壓為 230 伏, 其所需之分激安匝如 oa 所示。以負載加於發電機, 則增加其串激安匝, 其增加之安匝, 在圖中以 ab 表之。荷略去其電樞反應, 則其應電勢亦增加, 如圖中 cd 所表示者。

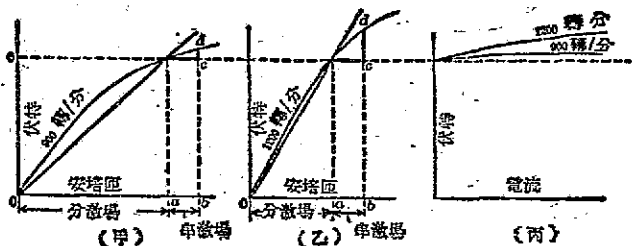


圖 12.52 速率對於複激特性曲線之影響

試將此發電機旋轉至每分 1,200 轉之速率 (第 12.52 圖, 乙), 令其負載電壓仍為 230 伏, 因其速率較高, 故所需之分激安匝 oa 小於圖(甲)所示者。但串激安匝僅依負載而變化, 故與圖(甲)所示之增加量相同。再因發電機運用於低飽和狀態, 其電壓之增加量 cd 則大於圖(甲)者。是以, 在較高速率之機內, 其特性曲線上昇較大, 如圖(丙)所示者。可見在複激發電機內, 速率之影響, 適與在分激發電機內相反 (參看第 12.43 圖), 此蓋鐵之飽和, 常與磁通變化相反之故也。

12-24. 由飽和曲線求複激特性曲線——複激特性曲線, 可由飽和曲線及場電阻線求之, 與求分激特性曲線相似。第 12.53 圖示一發電機之飽和直線, 以場安匝為橫坐標描繪而成者。其場電阻線為 oa 。假定發電機為長並聯式者, 其樞電流與串激場電流同。在零

載時，其分激場電流經電樞及串激卷組，所致之壓降甚小，可以從略。但實際上，此壓降已為電流經串激卷組時所致之激發安匝所補償，故零載電壓為 $o'a'$ 。

取任何端電壓值 bb'' ， b 點在場電阻線上，其相應之場安匝為 ob'' 。令 bc 等於每極之串激安匝 $N_s I_a$ ，其 I_a 為樞電流， N_s 為串激卷組匝數。每極之總安匝，為分激安匝 ob'' 及串激安匝 $b''c'' = bc$ 之和，即 oc'' 。荷無去磁安匝，則應電勢可於飽和曲線上，相當於 c'' 點之縱坐標求之。若 $c''d''$ 等於每極之去磁安匝，由 oc'' 減去此量，即得每極之淨安匝 od'' ，是以前應電勢等於 $d''e$ ， e 在飽和曲線上。再因端電壓 bb'' 等於應電勢內減去 $I_a(R_a + R_s)$ 之壓降， $d''d = b''b$ ，故 ed 等於 $I_a(R_a + R_s)$ 壓降， R_s 為串激卷組之電阻。

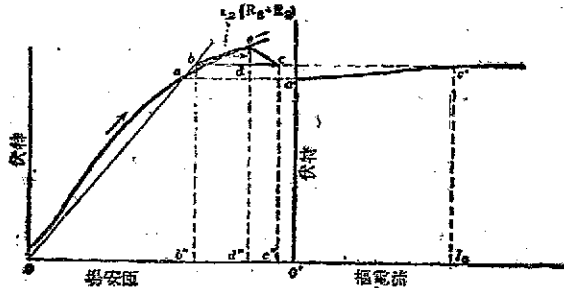


圖 12.53 飽和曲線與複激特性曲線之關係

在畫此曲線時，先假定任一樞電流值 I_a ，令 $bc = N_s I_a$ ， $ed = I_a N_a \div P' (N_a$ 為每極去磁匝數， P' 為電流路徑數)， $ed = I_a (R_a + R_s)$ 。由此可畫三角形 bec ，置於飽和曲線與場電阻線間，使 bc 與橫軸相平行， e 點在飽和曲線上，而 b 點在場電阻線上。將 b 點水平投射於右圖，與由 I_a 處所畫之縱坐標線相交於 c' 點，該點即在複激曲線上。若以負載電流為橫坐標，則自 I_a 中用圖解法或以

數值加減法，減去分激電流即得。分激電流值($ab'' \div N$)，可由飽和曲線上求之(見第 12—20 節第 402 頁)。

欲求曲線上之另一點 c_1' ，如第 12.54 圖者，該圖為第 12.53 圖之放大。假定 c_1' 相當於 $\frac{1}{2}I_a = I_c'$ ，則畫一三角形 $b_1e_1c_1$ 與三角形 bec 相似，每邊為 bec 三角形每邊之半。以 $b_1e_1c_1$ 置於飽和曲線與場電阻線間，使 $b_1d_1c_1$ 與橫坐標軸相平行， e_1 在飽和曲線上， b_1 在場電阻線上。於是將 b_1 點水平投射於右圖，得相當於 I_c' 之 c_1' 點，亦在複激曲線上。

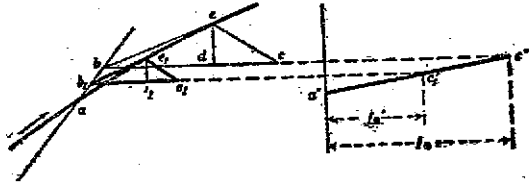


圖 12.54 由飽和曲線求複激特性曲線

若負載電流係增加的，則 ae_1e 曲線應為飽和曲線之上昇部份。反之，若負載電流係由高值降低者，則 ae_1e 曲線，應為飽和曲線之下降部份。

若 ae_1e 部份之飽和曲線，有相當曲度，則 $a'e_1'e_1'$ 特性曲線亦不能成直線(見第 12.49 圖及第 12.50 圖，乙)。若 I_a 為平複激式發電機之定額電流，則第 12.53 圖及第 12.54 圖中之 a 點與 b 點相符合。

12—25. 求串激安匝之方法——電樞特性——以一分激發電機，常可以實驗決定該機每極所需要之串激安匝，俾得平複激性，或任何需要之複激程度。

決定之法，先調準分激場電流至 I_1 ，使零載端電壓適達所需之值。加負載於該機，則端電壓下降，再調節場變阻器，使端電壓重達

所需之值。令此際之場電流為 I_2 ，則所需增加之場安匝為

$$(I_2 - I_1)N_{sh},$$

其 N_{sh} 為分激卷組匝數，或以每極計，或以總匝數計。

令 I 為該機之額定電流， N_s 為達到所需複激程度應加之串激匝數，則

$$N_s I = N_{sh} (I_2 - I_1) \text{ 安匝,}$$

$$N_s = N_{sh} \frac{I_2 - I_1}{I} \text{ 匝。} \quad (12.8)$$

上式可用於短並聯式者，因在此種接法中，串激場電流，即等於負載電流也。若該機為長並聯式者，則安培計應接於樞電路中， I_a 為樞電流即串激場電流，可用以替代 (12.8) 式中之 I ，以求 N_s 。因分激場電流大率甚小，故上述二者所得結果，鮮有超出樞電流之 3% 者。但發電機內磁路之磁滯，或許超過此分激電流之影響。

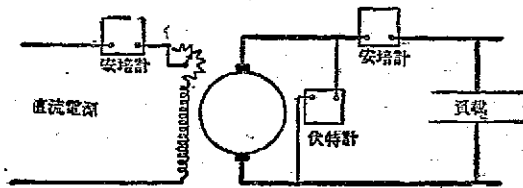


圖 12.55 求電樞特性曲線之聯接法

平複激發電機中之串激卷組匝數，亦可藉電樞特性曲線求之。發電機最好用他激式者 (Separately-excited)。以不同之負載，加諸發電機，調準激發電流為定值，如第 12.55 圖所示之聯接法。讀取場及樞電流，描繪為曲線，即得電樞特性曲線 (Armature characteristics)，如第 12.56 圖。因鐵之飽和作用，故場電流之增加，較速於樞電流。

若 oa 為發電機之額定負載電流， ao 為保持恆值端電壓所需

之場電流，而 bc 即為所需增加之分激場電流， $N_{sk}(bc)$ 為所需之分激安匝。假定為短並聯式者，則以電樞兩端之電壓而言，欲達到平復激程度時，其所需之串激匝數為

$$N_s = N_{sk} \frac{bc}{oa} \quad (12.9)$$

但由於串激場電阻之壓降，其發電機端之電壓，略低於上式所求得平復激程度之電樞端電壓。若串激場電阻為已知，可先算出達平復激程度時，電樞端之電壓，加串激場路壓降，得發電機端電壓。然後將第 12.56 圖之場電流 ac 變換為 ac' (不在第 12.56 圖中)，以達到上述目的。於是可算得所需之串激卷組匝數

$$N_s = N_{sk} \frac{bc'}{oa} \quad (12.10)$$

在第 12.9 式及第 12.10 式中，因分激場電流所致之電樞壓降，皆略去未計。

若發電機為長並聯式，則以 oa 代表滿載時之樞電流，第 12.9 式及第 12.10 式仍可應用。

12-26. 換向磁極之復激效應——換向磁極之磁通，皆穿過電樞(第 12.36 圖及第 12.37 圖)，且其值與樞電流成比例。若換向極之磁通，依接於刷心下換向器截片之導線，而兩邊平分，則其復激效應可以不計。不過實際上電刷不能常置於此理想之位置耳。

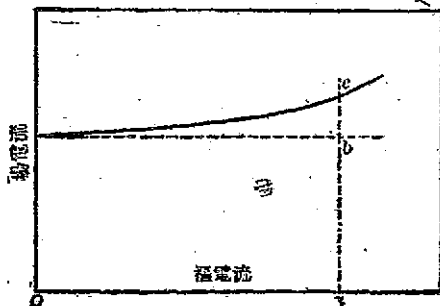


圖 12.56 電樞特性曲線

當調準電刷位

置，以期得美滿之換向成績時，其位置或常使與電刷相接之線卷之一邊，在換向極之邊緣，而非確在換向極之中軸處者，如第 12.57 圖 (甲) 及 (乙) 所示。例如在圖 (甲) 之情形，電刷在換向極中軸之後，則其磁通之 abc 部份，有助於兩刷間 S 極之磁通，而 $a'b'c'$ 部份有助於 N 極之磁通。其 abd 小面積部份，與 N 極之磁通相反，應自 N 極磁通中減去之。同理應自 S 極磁通中減去 $a'b'd'$ 部份。因 abc 部份大於 abd ， $a'b'c'$ 部份大於 $a'b'd'$ ，結果使刷間之磁通增強，其效應使發電機得過複激性。

反之，若電刷移至換向磁極中軸之前，如第 12.57 圖 (乙)，則 abc 部份，與 N 極磁通相反，應自 N 極磁通中減去之，同理，應自 S 極磁通中，減去 $a'b'c'$ 部份。其 bed 及 $b'c'd'$ 兩部小面積，則分別加於 S 極及 N 極之磁通。其效應適使發電機為差激的 (Differential compound)。

此種特性，殊非所宜，故在調準電刷位置時，應注意及之。由上所述，可見換向磁極對於發電機之效應，與串激場卷同。此種複激效應，對發電機之運用，或常有不利。

12—27. 串激發電機——在串激發電機中，其場卷組與電樞及外電路相串聯，用甚少匝數之粗線繞成，其導線截面積較大，適足載滿載之電流。

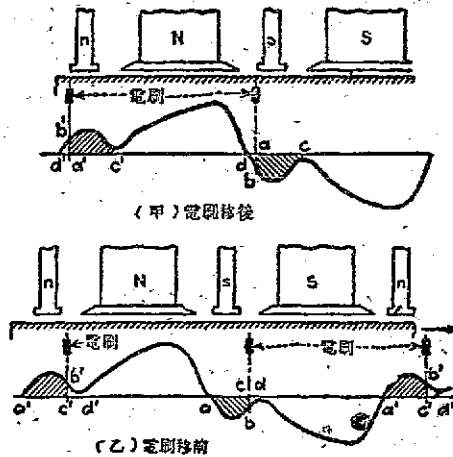


圖 12.57 換向磁極之複激效應

串激發電機大率用於需要恆值電流之處，與分激機之用於恆值電壓者不同。第 12.58 圖示一個串激發電機之飽和曲線及其特性曲線。其飽和曲線與分激機者，殊無差異，而在低飽和狀態時，其外部特性曲線與其飽和曲線之形態相似。由於電樞電流經電樞及串激卷組所致之壓降 $I_a(R_a + R_s)$ ，及電樞反應，使其端電壓低於應電勢，但因串激安匝隨負載而增加，故端電壓仍呈升高之象。但高達一最高值後，則電樞之反應過甚，使其曲線急峻下降，而端電壓速降為零。串激發電機通常多為高電樞反應而設計者。

串激發電機之建立如下：若串激卷之接法，適使由剩磁所產生之電流，與剩磁相助，而外部電阻小於 oa 線所代表之值，則該發電機能逐漸建立。 oa 線為臨界的外電阻線 (Critical external-resistance line)。若外部電阻小於臨界值，有如分激發電機 (第 12-8 節) 內所討論者，則電阻線在 oa 之右方，如

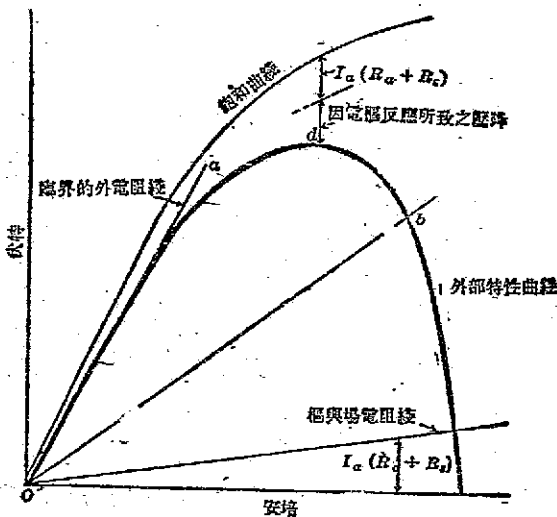


圖 12.58 串激發電機之特性曲線

圖中之 ob 線，交特性曲線於 b 點。惟該發電機不能運用於 oa 線所代表之外電阻，或任何電阻，其線與特性曲線交於 d 點之左方者。因電阻大於臨界值，則其電阻線即離開特性曲線而不相交，結果負載電流降低為零，若設計此發電機使運用於特性曲線之 bc 部份，即得恆值電流之特性，其電流可不受外電阻之影響。若將外電阻線沿曲線之 bc 弧上下移動，可見其電壓雖變，而電流實際上無甚變動。苟欲得極接近之電流調整，可以一變阻器與串激卷組相並聯，再以螺管活棒之裝置，控制其電阻，可收自動調節之效。於是發電機所供給之電流，輒略可保持恆值。

串激發電機多用於串聯電弧給光制，布魯許電弧發電機 (Brush arc generator) 及湯姆生—赫斯登發電機 (Thomson-Houston generator)，即其例也。此二式發電機皆有斷路線卷式之樞卷組(見第 11—3 節)，因其換向器上之電壓達 2,000 至 3,000 伏，於相鄰兩截片間，皆留有甚闊之空隙。在布魯許發電機中，採用兩個以至三個換向器相串聯，藉以減少每換向器上之電壓，並使電壓之脈動，較為平滑(參看第 11.7 圖)。在布魯許機中，每換向器，僅有四個截片⁽¹⁾。

在歐洲電能常以直流方式而輸送，電壓高至 50,000 伏，採用壽雷制 (Thury system)。以數具串激發電機相串聯，庶可得此高壓，其輸送之電流為恆值，但電壓隨負載而增高。每一發電機有兩個換向器，各據電樞之一端，每換向器之電壓，可達 5,000 伏。以並聯變阻器，接於場電路，以資調節。其電能則用以供電於線路上各處之電動機。

(1) 其詳細敘述見 S.P. Thompson 著“Dynamic Electric Machinery”卷一。

(2) 見“電機工程標準手冊”第六版，第 14 節。

12—28. 串激昇壓機——串激發電機常用於直流饋電制中，為升壓機 (Booster)。若饋電線某一段之電壓降低過甚，可裝一升壓機，於高峯負載時利用之以提高負載端之電壓，似較用粗銅線為合算。升壓機為運用於飽和曲線之直線部份之串激發電機，其電壓約與經過該機之電流成正比。因饋電線之壓降，亦與線路電流成正比。苟將升壓機串接於線路內 (第 12.59 圖，甲)，經適當之調節，可使其端電壓適

等於饋電線之壓降 (第 12.59 圖，乙)，則負載端電壓可維持不變。如圖所示，串激升壓機直接由一分激電動機策動之，該電動機則自匯流排取得電能。若由於某種原因，此策動之功率被移去，

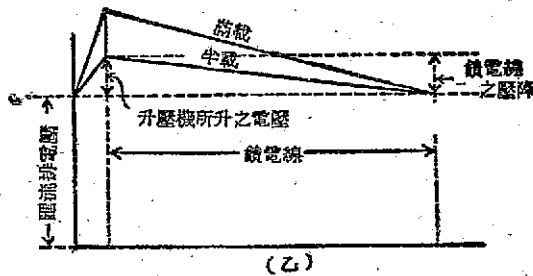
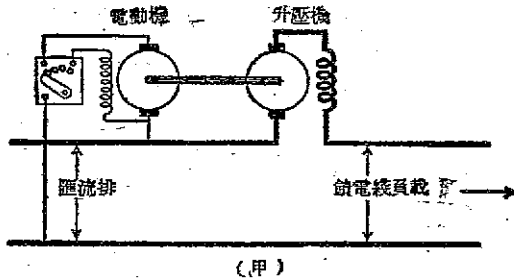


圖 12.59 串激昇壓機

則此升壓機即行駛若一電動機。因其無機械負載，此串激電動機以無限高之速率而旋轉，將有飛去之虞。是以，此種升壓機，不能以皮帶拖動之。應有一種保安設備，防其飛去。

12—29. 速率變更對於特性曲線之影響——當測試一發電機時，求其特性或調整，皆假定速率保持於規定之值而不變者。苟因

策動機器或電動機速率之降低，而發電機之電壓亦降低時，不能歸罪於發電機。

但策動機器，因負載增加，難免速率之不降低，故發電機之調整，應將速率降低之影響一併計入。在言及發電機之調整時，必須規定由何種機器策動之者。但對發電機之特性，其因速率變動之影響，亦須時加校正（見第 12—18 節）。

自動調節電壓器

前曾論及發電機之電壓，常隨負載及速率等而變動。若用一自動調壓器，(Automatic voltage regulator)，雖負載漲落甚速，亦可保持電壓不變。而在增加負載時，並可使發電機之電壓，與之俱增，以補償饋電線之壓降。此調壓器多接於發電機或其激磁機之場電路內，藉線路電壓之變動而調準其場電流。

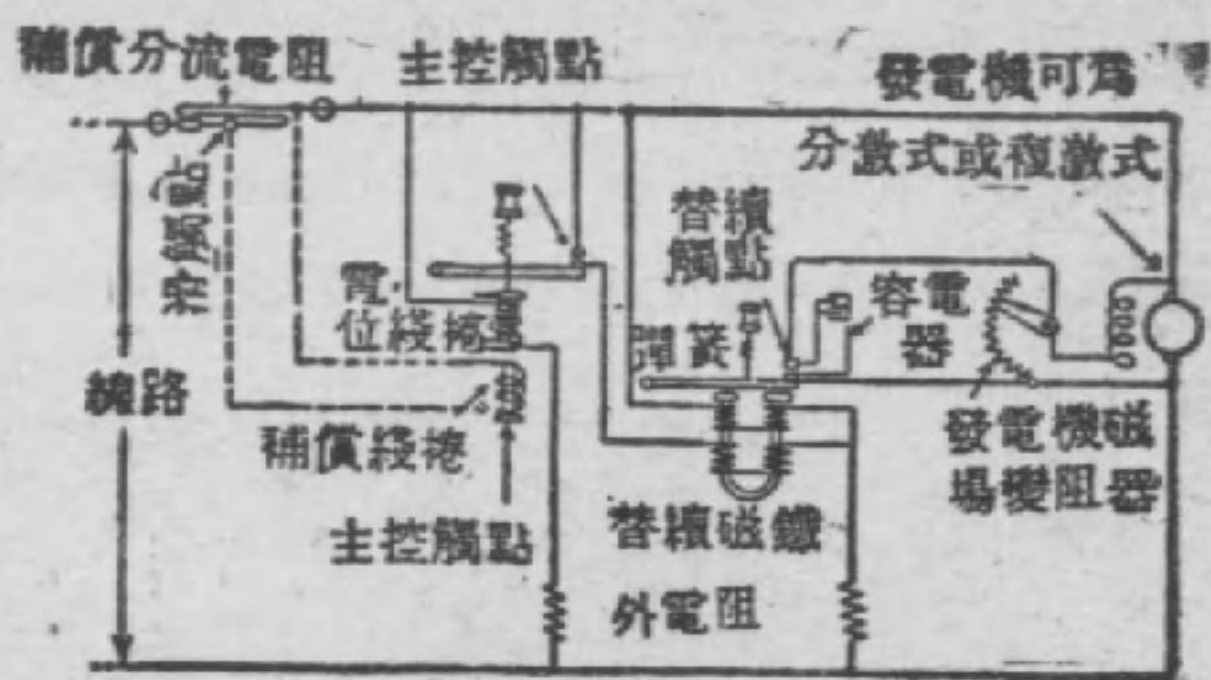
12—30. 提利爾調壓器——在提利爾調壓器 (Tirril regulator) 中，其電壓之調節，係藉其一對接觸器 (Relay) 之觸點 (Contacts)，以捷接分激場變阻器，其捷接時間之久暫，視所需之調節範圍而定。今先調準場卷變阻器，使拆去調壓器後，發電機電壓比額定值低百分之三十五。待接入調壓器後，變阻器被捷接，而電壓即行升高。

此調壓器之接法，如第 12.60 圖所示。其發電機之場變阻器之捷接，由一 U 形差激接觸磁鐵 (Relay magnet) 控制之。磁鐵有兩線卷，其一經限流電阻跨接於線路上，另一卷經主控觸點 (Main contacts)，亦跨接於線路上。

主控磁鐵 (Main-control magnet) 可將主控觸點分離，或相

(1) 詳論見 W. B. Konvenhoven 作 "A Solution for an Acceptance-Test Problem" 載 Electric World 第 11 卷, 1918 年, 第 138 頁。

接合。在正常狀態時，此觸點為一彈簧所拉，保持其接合。假定電壓上升，則主控磁鐵之電壓線卷 (Potential winding) 內之電流亦增，加強其磁性，將主控觸點分開。於是將替續磁鐵之一個線卷斷路，取消其差激作用。其替觸續點 (Relayed contacts) 乃為彈簧所拉開，移去場變阻器端之捷路，使發電機之電壓減低。反之，電壓低落時，則主控觸點先合，使替續磁鐵去磁，將其觸點亦合，而將場變阻器捷接。兩磁鐵皆不停振動，變阻器之捷路，啓閉甚速，故電壓雖有變動之傾向，而實際上電壓並不隨場電阻而增減，故結果發電機之電壓，變動甚微。



(甲) 圖中電位應作電壓，線卷應作三卷



(乙)

圖 12.60 提利爾電壓調整器

通常有一容電器，跨接於替續器之觸點間，用以避免電花之發生。因此種觸點，僅能載甚小之電流，若發電機為他激式者，則此觸點應接於其激磁機 (Exciter) 之場電路內。調節激磁機之電壓，即間接調節發電機之電壓。

主控磁鐵或有用兩個線卷者，其補償線卷 (Compensating winding) 跨接於一補償分流電阻 (Compensating resistance

shunt), 而與電壓線卷生差激作用。使電壓已昇過預定之值時, 主控磁鐵始吸動其觸點。其差激程度, 可以滑動觸點在分流電阻上變更之, 結果使電壓有上昇之特性, 而補償線路之壓降。

12-31: 直接作用調壓器——奇異電器公司所製造之 *GDD* 式者為直接作用調壓器 (Direct-acting regulator), 其變阻器為調壓器之一部。變阻器以石墨片疊成, 每片在中央, 以金屬物支

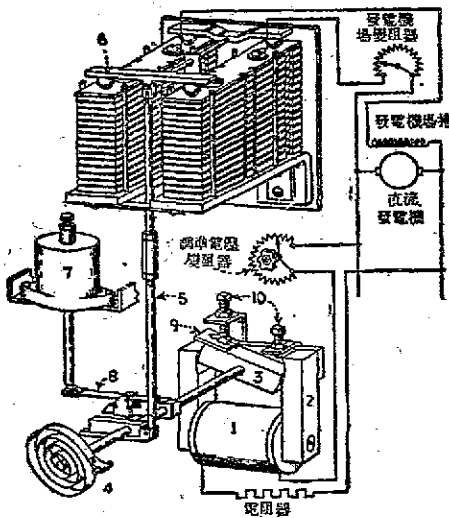


圖12.61 *GDD-2* 式發電機調壓器之簡圖及接線圖

撐之, 各片之後端, 以一絕緣物分隔之, 而前端之分隔物則為銀鈕。若所有各片, 均向前傾, 則所有銀鈕將各片接接, 於是變阻器之電阻, 被調節至最小。若皆向後傾, 則電流必須經過每片及中央支撐物, 變阻器之電阻為最大。變阻器所調節之電阻, 視前傾或後傾之片數而異。

此調壓器之簡圖, 如第 12.61 圖所示。一個 *U* 形磁芯 2 為線卷 1 所激發, 線卷 1 則跨接於發電機端, 與一電阻器及調節電壓之變阻器相串聯。一個鐵質扭轉銜鐵 (Torque armature) 3, 恆欲於磁極 2 間作平行之排列, 但為彈簧 4 所阻。此扭轉組合推動一可調節鏈桿 (Link) 5, 後者再經均衡棒 (Equalizing bar) 6, 作用於變阻器之疊片上。為避免震動起見, 用一緩衝壺 (Dash-pot) 7, 經一葉

簧 8 與扭軸相接，作槓桿之用。當電壓急速變化之際，此葉簧 8 可容許此機構瞬息間作急速之運動。片 9 與螺釘 10 為調節扭轉銜鐵之用。

此調壓器在正常狀態時係靜止的。若發電機電壓降低於預定之值時，線卷 1 內之電流亦減。彈簧 4 即克制銜鐵 3 之扭轉轉矩，使其軸順時針方向而旋轉，鏈桿 5 向下拉。於是若干石墨片被壓而前傾，減少場路內之電阻。發電機之電壓乃昇，至扭轉銜鐵之轉矩與彈簧之退阻轉矩相平衡為止。反之，若電壓升高，超過預定之值時，則其動作與上述者相反。

特種發電機

12-32. 單向發電機 —— 在普通直流發電機中，電樞內所產生者，為交流電勢，經換向手續或整流手續改為直流。但在單向發電機 (Unipolar or Monopolar generator)⁽¹⁾ 中，所產生者為單向的電勢，並不需用換向器。

單向發電機，應用法拉第圓盤電機 (Faraday's disc dynamo) 之原理 (見第 12.62 圖，甲)。當一圓盤在磁鐵之兩極間旋轉時，在盤之中心與邊緣間，產生一電勢。以一刷位於盤之中央，一刷位於盤邊，可自盤邊取出電流。但如第 12.62 圖 (甲) 所示之圓盤，不合實用，因電勢僅產生於盤之一部，且縱在外電路被中斷時，電流仍可經盤之他部流返也。若用一環形磁極 (見第 12.62 圖，乙)，則沿圓盤之每一半徑，皆產生一電勢，電流自能利用圓盤本身為其回路。

第 12.62 圖 (丙)，示一商用單向發電機之透視圖，揭去其外殼四分之一，可窺見其內部。電刷 bb 處於一極，為負的， a 則為正刷。

外殼上開一孔，以備裝置 a 刷。此種發電機有時用一旋轉圓

(1) 詳細敘述，可參閱“電機工程標準手冊”第六版，第 3 段，第 213 節。

筒，而圓盤為靜止的，此之謂軸心式(Axial type)。

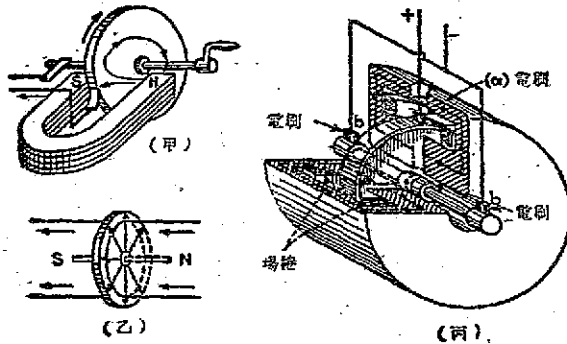


圖 12.62 單向發電機

單向發電機縱在高速率時，其所產生電勢甚低。如欲得商用電壓之值，必須以數盤相串聯，此為其最大之缺點。第12.62圖(丙)之發電機，其電樞直徑約為20吋，以每分3,000轉之速率而旋轉，所得電壓僅為40伏左右。又在高速率時，欲將電流自圓盤經電刷引出，困難殊大，此為另一缺點。此種發電機，可用於高速汽輪發電機，俾在低電壓時，供給較高電流。但因繞線式發電機設計完備，運用自如，故單向發電機之應用，甚為有限。

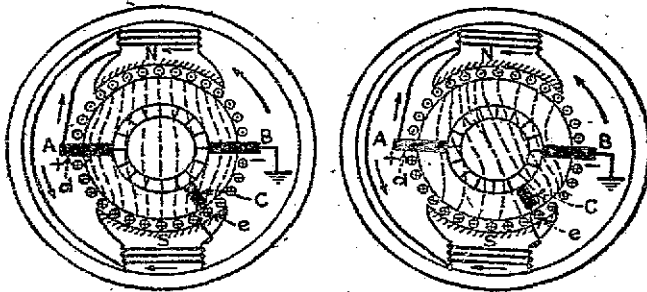
12-33. 第三刷發電機——在某種小發電機中，尤其用於速率常變動之處，如汽車用發電機之類，常利用電樞反應，以調節其電流輸出。苟用普通之分激或複激發電機於汽車中，使蓄電池充電，則在低速率時，發電機之負載輕；在高速率時，產生高電壓，充電電流亦大，而發電機之負載必致太重。

調節汽車發電機電流最普通而簡便之法，莫若用第三刷發電機(Third-brush generator)。在正負二主刷間，置一第三刷，將

(1) 見 C.L.Laws 著“Industrial Electricity”第一部，第 305 頁，McGraw Hill Book Company, Inc. 出版。

分激場卷跨接於第三刷與一主刷間，如第 12.63 圖所示者。在該圖中， A 為正刷， B 為負刷，通常此刷經車身及機器之架而接地。

第三刷 C ，置於距主刷 B 60° 之位置，係逆時針方向而量者。分激場卷接於 C 刷及正刷 A 間。第 12.63 圖(甲)顯示在輕載時，穿過電樞之磁通，其電樞反應甚微。在 d 與 e 間所有導線，割切 A 刷與 C 刷間之磁通，其應電勢相串聯，即分激零組之端電壓。



(甲) 輕載情形

(乙) 相當負載情形

圖 12.63 第三刷發電機之磁場

若他種因素不變，則其速率增加，發電機因產生高電勢而供給之電流乃增，此電流將磁場循旋轉方向而扭轉，如第 12.63 圖(乙)所示者(又可參看第 12.12 圖丙)。結果使 de 間之磁通變弱，而 B C 兩刷間之磁通加強。於是 de 間導線所割切之磁力線減少。因 de 間所產生之電勢與所割切之磁通成比例，故速率增加之影響，一部份為電樞反應所抵消，發電機之場電流無甚增加，而發電機所供給之電流亦無甚增加。就第 12.63 圖觀之，若將第三刷 C 順旋轉方向而前移，可增加發電機之電流。反之，若逆其旋轉方向而後移，則減少其電流。

此種發電機用於汽車內使蓄電池充電時，在發電機與電池組間，必須接一斷流器(Cut-out relay)。庶幾在發電機電壓高於電

池組時，電路始能接通，電流始能充入蓄電池內。若速率過低，發電機電壓低於電池組，則此斷流器可阻止電流反流入發電機內。

12-34. 分路磁極發電機 —— 分路磁極發電機 (Diverter-pole generator) 為一複激發電機，由一磁之分路，分去電樞內磁通之一部，用以控制其電壓。其所得特性，有數點優於通用之複激式者，尤宜於蓄電池充電之用。其在零載及滿載時，磁通之分佈情形，如第 12.64 圖 (甲)，(乙) 所示。以小磁極 D 置於兩主極間之中央，每一分路磁極以一磁橋 B 與主極相連。在每一磁橋上，開一縱長槽 S' ，以限制在該處磁橋之截面，使在 S' 處之鐵質，易於飽和。以串激線卷繞於分磁極上，適使其極性與所連之主極相同。

當零載時，如第 12.64 圖 (甲) 所示，其分路磁極無激發，主極磁通有一部經軛鐵岔入分磁路，再經磁橋 (Magnetic bridge) 而返，其分去磁通之多寡，視磁橋之飽和情形而定。磁橋內長槽之效

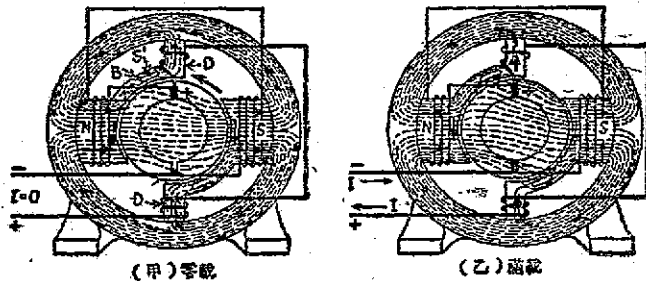


圖 12.64 分路磁極發電機中之磁通分佈

應，又可由磁勢 (Magnetic potential) 之觀念研究之。因經過磁橋之飽和部份 S' 所致之磁勢降，提高主極面與電樞間之磁勢，迫使更多磁通經磁橋本身，穿入電樞內。

(1) 見 Smith, E.D. 作 "The Diverter-Pole Generator", 載 A.I.E.E. Trans. 第 47 卷, 1928 年十月號第 1412 頁。

第 12.64 圖(乙) 示滿載時之磁通分佈情形。其上方之分路磁極，受串激安匝之激發，使磁通向下，與所分主極之磁通相反。於是迫使適間所欲分去之主極磁通，穿入磁橋再穿入電樞。電樞內之磁通乃加多，其應電勢亦增，用以補償電樞反應及電樞之壓降。此點亦可以磁勢之觀點解釋之，蓋串激安匝足以提高磁橋與電樞間之磁勢差，使更多磁通穿入電樞也。

其主要用途，為使蓄電池充電。當運用時，既無分激機中電壓隨負載增加而下降之弊，亦無複激機中因飽和作用而特性曲線呈上拱之現象。蓋

當負載增加時，所加之串極磁通，並未加於主極而使之飽和，而實使主極之磁通，被分去者較少，而穿入電樞者加多，故得直線式之特性。如

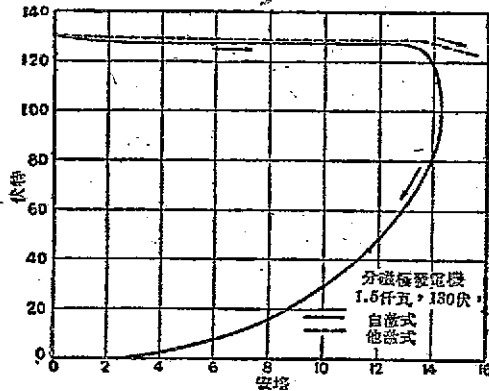


圖 12.65 分路磁極發電機之任務特性曲線

第 12.65 圖所示

之特性曲線，其一部份係平的，與平複激式之特性亦異，該段曲線甚為有用。即或不慎而驟使之若電動機，其串激之磁通受磁橋中緊縮部份之影響，使磁通不能由分路磁極穿入主極，不致使主極內之磁通反而向消去其剩磁，故無飛去之虞。且也，分路磁極之磁通，穿入電樞內，受各極本身之飽和影響。若此諸極沿刷軸而作用，對於樞電勢之影響甚微。更有進者，此分路磁極具有換向磁極之效用，其極性能改善發電機之換向成績。

12—35. 弧焊發電機——近來電焊之用於鋼鐵製造，日以推廣。而電弧之發生實緣於正電極與負電極間之離子流，故直流電弧之維持，實易於交流電弧，且較宜於若干種焊接之用。因此弧焊發電機(Arc-welding generator)之特性，亦必須適合於維持電弧之特種需要。

第一，此發電機必須能在斷續的斷路與捷路之變化下運用。在電弧未熄以前，發電機電路係斷路的，至電弧已熄，或熔化之金屬撻接弧端時，發電機幾被撻接。第二，其伏安特性，須能維持穩定之電弧。電弧之長度，電流及電壓，隨時作急速之變化，而變化之來，往往甚驟，故發電機須能繼續運用於瞬變狀態之下。

第 12.66 圖中之曲線 *A*，為一常用分激發電機之特性曲線。此曲線表示電流之變化甚大時，其電壓之變化甚小。且分激機之特性，在捷路時，其情形甚不穩定（參看第 12.40 圖），殊不適於電弧之用。蓋電弧之運用，須電壓隨電流之增加而逐步下降，更須有恆定之捷路電流也。試觀圖中 *B* 及 *C* 兩曲線，在每曲線上，其零載電壓為 90 伏，甚高於所需以維持電弧之電壓，45 伏。其捷路電流固定而適中，其電流隨電壓而變化，甚為和緩，使用者易於控制弧電流。因此電弧得以穩定，此兩曲線，殊宜於弧焊之用。

不過須知 *B* 及 *C* 為穩定狀態時之特性曲線，其與每一電流值相應之電壓，係在已達穩定狀態後所讀取者。

但由於電弧之瞬變狀態(Transient state)，實際上發電機不能確遵曲線 *B* 及 *C* 而運用。試考察一常用之分激發電機，其負載特性，由樞電阻壓降，電樞反應，及場電流之變化決定之（見第 12—18 節第 399 頁）。但欲磁場起變化，必須相當時間，電樞反應所致之磁通變化，不能因負載之驟變而立即隨之。是以，在達新電流值之一刹那，其端電壓必非相應於穩定狀態時之值。在弧焊發電機中亦

然。例如負載急速變化時，其相當於曲線 B 之瞬變(或動盪)狀態，或許為曲線 B' ，而 B' 本身非適合於電弧者。

再者，磁路中之磁通變化，使鐵及場電路中感應電流。根據楞次定律，此等感應電流與產生此電流之磁通變化，趨勢相反。當負載變化時，此感應電流使磁通之變化，更形滯緩，而使瞬變狀態曲線與穩定狀態曲線，相差更巨。

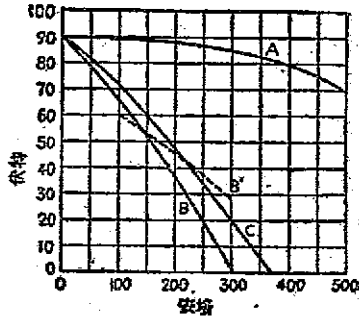


圖 12.66 分激發電機與弧發電機之特性曲線。A，通用之分激發電機；B，弧發電機之穩定狀態；B'，弧發電機之瞬變或動盪狀態；C，弧發電機供給大電流時之穩定狀態。

在弧發電機中，此種困難，可以採用疊片於磁路內以克服之，蓋疊片可減少鐵內之感應電流也。並常用一電感或電抗器(Reactor)與負載相串聯，此電感即用以反抗電流之變化者。實則當電流變動時，其自感應電勢恆沿一種方向而作用，足以使瞬變曲線 B' 接近穩定曲線 B 。

但磁通變化時，場電路亦受感應，使場電流亦有瞬變現象。克制之方，可在與負載相聯之電感器上，加一副線卷，接於場電路內。此線卷之繞法，適使其電流，與場卷本身之應電流相反。於是將場卷內電流之變動，實際上予以抵消。

有數種特製之弧發電機，係為欲獲得所需之瞬變及穩定特性而設計者。查異公司之 WD 式⁽¹⁾，即其一也。在該機內，毋需電感

(1) 見 Hornby, F.B. 著 "Control of Transients in Welding Generators" 載 Trans. A.I.E.E. 第 53 卷, 1934 年, 第 1598 頁。並載 Elec. Eng. 1934 年十二月號第 1598 頁及 1935 年四月號, 第 441 頁。

或電抗器以穩定電弧。

發電機之簡圖及接線法，如第 12.67 圖所示。該機內有四個主極，其二 N 極相鄰，二 S 極亦相鄰，實際上僅有兩個主極，不過每極剖分為二耳。其電刷 A, B 位於幾何的中性面上，有兩個換向磁極，亦沿此軸而作用。令 Φ_m 為沿垂直軸一對 N, S 極之磁通， Φ 為沿水平軸另一對 N, S 極之磁通， Φ_m 與 Φ 相垂直。其樞磁通勢 R 沿刷軸而作用，可分析為 R_c 及 R_m 兩部， R_c 與 Φ 相反， R_m 與 Φ_m 方向相同。由圖可見電樞反應，使磁通 Φ 減少，使 Φ_m 增強。不過其沿垂直軸之二極，因其形狀之特殊，易於飽和，故所加之樞磁通勢 R_m 部份，對於 Φ_m 之效應甚微。

此機又為一第三刷式者，主極上之分激場卷皆相串聯，接於 A 刷及第三刷 E 間， E 刷位於兩極間之中央。其分激場電路之電壓，由上方 N 極下之導線供給之。因其磁通 Φ_m 實際上為不變的，故在任何負載時，分激場之電壓亦為不變的。

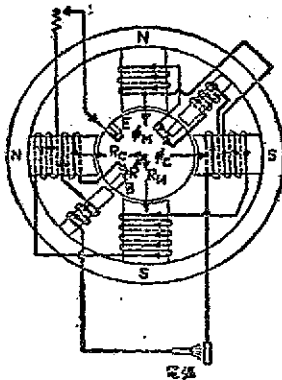


圖 12.67 弧殺發電機之簡圖(奇異電機公司製)

其沿水平軸之一對 N, S 極，運用於低飽和狀態。當負載增加時，電樞反應之 R 部份，甚易使 Φ 減弱，或且使之反向。但發電機之端電壓，為 A, B 兩刷間之電壓，由 A 與 B 間所有串聯之導線供給之，包括垂直極下與水平極下之導線。端電壓與 Φ_m 及 Φ 之綜合量成比例。因 Φ_m 不變， Φ 則隨負載之增加而變弱，故端電壓內有一部份不變，其另一部份則隨負載之增加而急速降低。例如在零載時，由 Φ_m 及 Φ 所生之電

勢各為 45 伏，其端電壓為 90 伏。但在將近半載時， Φ_m 所生之電勢，或僅為 5 伏，其端電壓乃為 50 伏。於是其特性曲線與第 12.66 圖中之 B, C 兩曲線相彷彿。

在此式發電機內，雖 Φ_m 不變，而其垂直極之場卷，由於漏磁通及樞磁通之連繫，使整個分激場電路內有相當之電感，可減低致生磁通滯後之應電流。其水平磁極對樞磁通，有較低之磁阻，此足以增加樞電路之電感。此種樞與場之電感，即足以維持電弧於穩定之境，而毋需外接電感或電抗器。

為獲得各種弧燈需要之特性曲線起見，(如第 12.66 圖之 B 及 C 曲線所示者)，機內備有串激場卷，其線卷上備有分接線端，可多接或少接若干匝，以資調節串激之安匝，視需要而定。其串激安匝與分激安匝相反。此種機內亦具有換向磁極，以串聯線卷激發之。

第十三章

電動機

在第十二章內曾述及，發電機為變換機械能為電能之機器。反之，其變換電能為機械能之機器，為電動機。同一機器，可用作發電機，亦可用作電動機。

13-1. 電動機之原理——以一載有電流之導線，置於一磁場內，則導線被一種力所推動。其理由可說明如下：第 13.1 圖(甲)顯示一個均勻之磁場，場中有一導線，不載電流。在圖(乙)中，將 N 及 S 極間之磁場移去，以電流通入導線，其方向背讀者流入書中，環繞該導線，亦有一磁場，可依螺旋規則定其方向如圖。

今將此二磁場合併如圖(丙)。在導線上方磁極之場與導線電流所生之場，方向相同，在導線下方者，二者方向相反。使磁力線被擠緊於導線之上方，而將導線下方之磁通密度減少。於是有一種力施於導線，將其向下推動，如圖(丙)中之箭頭所示者。

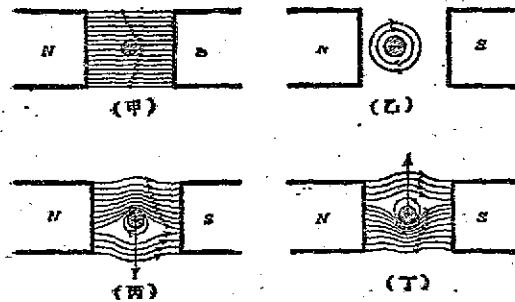


圖 13.1 在一磁場內載流導線所受之力

此種現象，可想像係因磁力線被擠緊於導線上方而產生者。磁力線可視作一種受拉力之韌性帶，恆有自縮至長度為最短之傾向。今磁力線既被擠緊於上方，則當其縮短時，必將導線向下推動無疑。

苟將電流之方向反轉，則磁力線被擠緊於導線之下方，則有將導線向上推動之趨勢，如圖(丁)所示者。

電動機之旋轉，即根據上述之原理。導線運動之方向，恆與磁力線方向相垂直。

13-2. 載流導線所受之力——載流導線在磁場中被推動之力，與磁場之強度，所載電流之大小，及導線在磁場內之長度成正比。導線之長，係指在磁力線範圍內與磁力線相垂直之長度，可謂之有效長度(Active length)。若 B 為磁場之磁通密度，以每平方厘米線數計，即韋斯數， l 為導線之有效長度以厘米計， I 為導線所載之電流，以安培計，則導線所受之力為

$$F = Bl \frac{I}{10} \text{ 達因。} \quad (13.1)$$

在第 13.1 式內，電流必須與磁力線相垂直，否則該式內之右項，應以二者間所成之角之正弦乘之。

上述關係可證明如下：

在第 7-5 節內，由第 7.5 式知，半徑為 R 厘米之一單匝圓圈導線，若所載電流為 I' 電磁制安培，則在其中心之單位磁極所受之力為

$$f_0 = \frac{2\pi I'}{R} \text{ 達因。} \quad (I)$$

其每厘米圓圈長度所施之力為

$$f_1 = \frac{2\pi I'}{R(2\pi R)} = \frac{I'}{R^2} \text{ 達因。} \quad (II)$$

此線卷必為一相等而相反之力所作用。每單位磁極所發出之磁通為 Φ 為，則在半徑為 R 厘米之球面上，其磁通密度為

$$B = \frac{4\pi}{4\pi R^2} = \frac{1}{R^2} \text{ 韋斯。} \quad (III)$$

此亦即單位磁極所生於圓周上之磁通密度。以第(III)式之 R^2 代入第(II)式,得

$$f_1 = BI' \text{ 達因。}$$

其施於 l 厘米長度之力爲

$$F = BI'l = BI \frac{l}{10} \text{ 達因。} \quad (\text{證})$$

其 l 以安培計者。磁通密度爲 B ,長度 l 及力 F 之方向皆爲互相垂直者。

【例題 13.1】一個 20 匝之長方形扁平線卷,其平面與磁場相平行(見第 13.6 圖),其磁通密度爲每平方厘米 3,000 線。線卷之滑軸長度爲 8 吋,其所載電流爲 30 安,求所施於此線卷每邊之力之磅數。

【解】 $B = 3,000$ 韋斯, $I = 30$ 安,

$$l = 8 \times 2.54 = 20.32 \text{ 厘米}$$

$$F = 3,000 \times 20.32 \times 30 / 10 = 182,900 \text{ 達因。}$$

因有 20 匝,

$$F_1 = F_2 = 20 \times 182,900 = 3,658,000 \text{ 達因}$$

$$= 3,658,000 \div 981 = 3,730 \text{ 克} = 3.73 \text{ 斤克。}$$

$$F_1 = 3.73 \times 2.204 = 8.22 \text{ 磅。} \quad (\text{答})$$

13-3. 伊萊敏氏左手定則——在發電機中,磁場方向,導線在該磁場內運動方向及應電勢方向間之關係,由佛萊敏氏右手定則決定之,已如第 11.3 圖所示。在一電動機中,其磁場方向,在該場中電流方向及載此電流導線之運動方向間之關係,可依佛萊敏氏左手定則(Fleming's Left-Hand Rule)求之,其定則如下:

將左手伸出,以拇指,食指,中指互相垂直。以食指指磁場或磁通之方向,中指指導線上電流之方向,則拇指必指導線所欲移動之方向。此可於第 13.2 圖內觀之。

決定此關係之另一簡便方法,應用磁力線之自縮以推動導線

之解說。先畫出主要磁場及導線本身之磁場，如第 13.3 圖(甲)，則磁力線必擁擠於導線之右方，於是知導線之運動方向趨左。

第 13.3 圖(乙)示在一發電機中之同樣情形，此導線向右移動。在發電機內，導線既載電流，必為磁場所推動。故外施之力，必須克制磁場所施之力，始可保持該導線

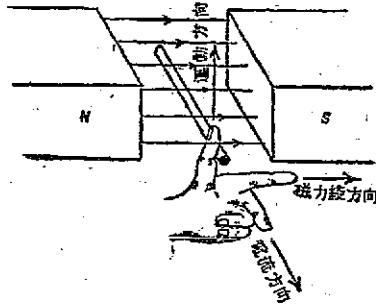


圖 13.2 佛萊明左手定則

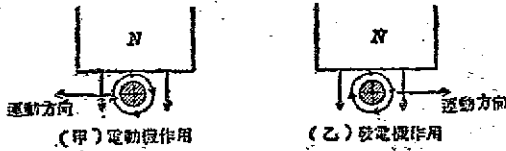


圖 13.3 電動機與發電機作用

依所須之方向而移動。如圖因電動機作用，導線有趨左之勢，故外

施之力必須向右。此外施之力，由發電機之策動機器供給之。

13-4 轉矩——若一圓鼓，如電樞，飛輪 (Flywheel) 之類，依其中心軸而旋轉，則必有一正切之力推動之。此力或由機器本身所產生，如在一電動機或蒸汽機內者；或由策動機器供給之，如滑輪，轉軸，發電機，或街車之致動齒輪推動車輪之類 (見第 13.4 圖)。此推動力之總效應，不但由此力之大小決定，且與其桿臂 (arm) 有關。所謂桿臂者，係指推動力所施之點，至其

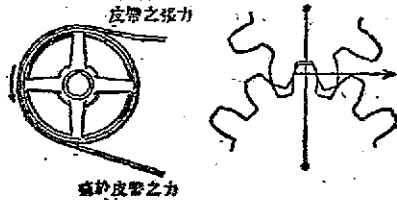


圖 13.4 皮帶及齒輪所生之轉矩

不但由此力之大小決定，且與其桿臂 (arm) 有關。所謂桿臂者，係指推動力所施之點，至其

中心軸之垂直距離，即沿徑距離(radial distance)而言，例如由滑輪或齒輪之中心至施力之線間之沿徑距離是也。

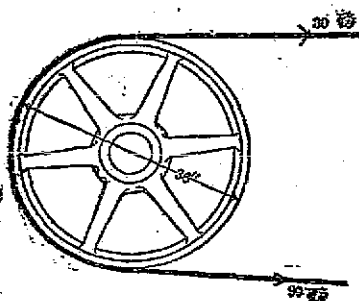


圖 13.5 皮帶所施於滑輪之轉矩

此力與其中軸之垂直距離之積，謂之旋轉力矩，簡稱轉矩(Torque)。

轉矩者實乃一種能致旋轉之力偶(Couple)也，其值以力及距離之單位表之。在呎磅制中，轉矩以若干磅呎表之(磅呎與表示功之呎磅不同)。

在厘米克秒制中，轉矩之單位為達因-厘米(甚小之單位)，在米尺制中，則用仟克-米。

【例題13.2】一皮帶拖動一只36吋之滑輪，如第13.5圖。在拉緊一面之拉力為90磅，在較鬆一面之拉力為30磅，求施於滑輪之轉矩。

【解】因兩面之拉力不等，而方向相反，故其淨拉力為

$$90 - 30 = 60 \text{ 磅。}$$

其力施於距滑輪中心18吋或1.5呎之處，故其轉矩為

$$T = 60 \times 1.5 = 90 \text{ 磅呎} \quad (\text{答})$$

13-5. 電動機所產生之轉矩——在第13.6圖(甲)中，顯示一個長方形單匝線卷，在一磁場內，其平面與磁場方向相平行。電流自線卷之左面流入，由其右邊流出。其左邊被力 F_1 向下推動，而右邊則為力 F_2 向上推動。因兩邊之電流相等，且處於強度相同之磁場內， $F_1 = F_2$ ，此兩力會同產生一轉矩，使線卷逆時針方向而旋轉。如圖(甲)所示，其施力之線與線卷軸之垂直距離為最大，此線卷所得之轉矩亦為最大。

當線卷達圖(乙)所示之位置，其平面與磁場相垂直，其兩邊各

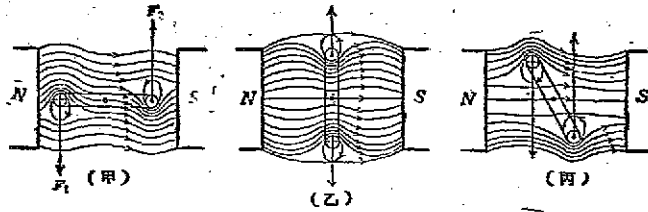


圖 13.6 一線卷在不同位置所生之轉矩

受一力，將其向上下拉開。此時由施力之線至線卷軸之垂直距離為零，其轉矩亦為零。該線卷不能旋轉。

荷線卷達圖(乙)之位置時，即將其電流之方向變換，同時此線卷賴旋轉慣性或其他原因，繼續旋達圖(丙)之位置，則該線卷又得一轉矩，維持其逆時針方向之旋轉。

是以欲使線卷內產生一連續的轉矩，而循一方向不停旋轉，則每當其經過中性面，或零轉矩之平面時，其電流必須換向一

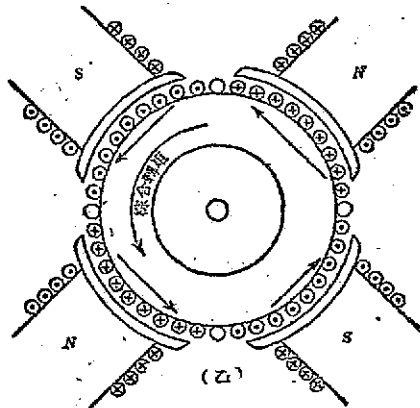
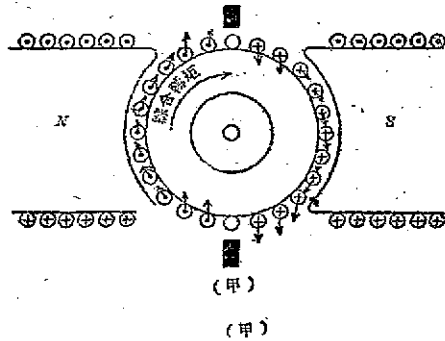


圖 13.7 電動機內電樞上每一部份導線所生之轉矩

次。若所取給之電源為直流，則需用一換向器。在發電機中，換向器將電樞內之交流，改換為直流，輸至外電路。在電動機中，換向器則將外電路之直流，改換為交流，輸入於電樞。

不過，如第 13.6 圖之簡單線卷，因有死點(Dead Center, 即不動之位置)，且其轉矩為脈動的，故不合實用。苟用兩個線卷，置於不同之位置，可免此弊，但其轉矩，仍不無脈動性。

苟以多數線卷，繞於電樞上，如發電機內者，則當一線卷達死點時，他線卷在磁極下仍受有相當之轉矩。因此，電樞同時受有若干方向相同之轉矩，保持其繼續旋轉。如第 13.7 圖(甲)，為一只兩極電動機電樞所生轉矩之情形，圖(乙)為四極電動機內之情形。其每一區域內導線所生轉矩之方向，皆以箭頭示於該區內。

在任何瞬間，除有一二線卷，正經換向手續，不供給轉矩外，其他有效導線，皆供給同向之轉矩。其電樞所受之轉矩，為各導線之轉矩之綜合量。因任何瞬間供給轉矩之導線數皆同，其電流及磁場強度不變，則其電樞之轉矩亦保持恆定。

根據第 13.1 式，則電樞之總轉矩為

$$T = K_t' Z I_a \Phi \quad (13.2)$$

在該式內 K_t' = 一常數，包括磁極數，電樞內之電流路徑數及取用之單位等等，

Z = 在電樞表面之導線數，

I_a = 流入電樞之電流，以安培計，

Φ = 由 N 極穿入電樞之磁通，以馬計，

第(13.2)式可由下法，推釋得之。

由第 13.1 式知，若 I 為電樞導線之電流以安計，則所施於該導線之力為 $f = BI/10$ 達因。若 B_{av} 為在每一極距內之平均磁通密度，則所施於 Z 根導線之總力為 $B_{av} Z I/10$ 達因。相當於此力之轉矩為

$$T = \left(\frac{d}{2}\right) (Z B_{av} l \frac{I}{10}) \text{ 達因-厘米。} \quad (I)$$

其中之 d 為電樞之直徑，以厘米計。

由每一 N 極穿入電樞之磁通為

$$\Phi = B_{av} l \left(\frac{\pi d}{P}\right) \text{ 馬，} \quad (II)$$

P 為磁極之總數。

以(II)式中之 B_{av} 代入(I)式，令 $I_a = I p'$ ， p' 為電流路徑之數目，則

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{d}{2}\right) Z \left(\frac{\Phi P}{\pi l d}\right) l \frac{I_a}{10 p'} \\ &= \frac{P}{20 \pi p'} Z I_a \Phi = K_t' Z I_a \Phi \text{ 達因-厘米。} \quad (證) \end{aligned}$$

此式中之 K_t' 為一比例常數，包括 $P/(20 \pi p')$ 。

將上式除以 $445,000 \times 2.54 \times 12$ ，即得轉矩之磅呎數。

$$T = 0.117 \frac{P}{p'} Z I_a \Phi \times 10^{-8} \text{ 磅呎。} \quad (13.3)$$

因此，在某一電動機內，其導線總數為固定的，其轉矩必為

$$T = K_t J_a \Phi \quad (13.4)$$

其 K_t 為另一常數。

是以在某一電動機內，其轉矩與樞電流及磁場之強度成比例。

此為在電動機任載時，負載變則轉矩變，而電流隨之變動之重要關鍵，不可不熟知之也。

【例題 13.3】 當某電動機自線路上取用 50 安電流，產生 60 磅呎之轉矩。若其磁場強度減低至原值之百分之七十五，而電流增至 80 安，問所產生之新轉矩為若干？

【解】 若電流不變，則因磁場變弱，所生之新轉矩為

$$0.75 \times 60 = 45 \text{ 磅呎。}$$

再因電流增強，其最後之轉矩應有

$$45 \times (80/50) = 72 \text{ 磅呎。} \quad (\text{答})$$

所應記憶者，上式所示之轉矩為全部轉矩，即電樞所產生之

內生轉矩 (Internal torque)。因有一部份消耗於克制阻力及空氣阻力，並供給鐵之損失等，其在滑輪端所可取用之轉矩，必小於此者。

13-6. 反電動勢 —— 一具 10 匹馬力，110 伏普通電動機內之樞電阻約為 0.05 歐，若直接與 110 伏電源相接，依歐姆定律，其電流將為

$$I = 110 \div 0.05 = 2,200 \text{ 安。}$$

此電流不獨過大，且不合理，蓋該機之額定電流僅為 50 安而已。是以當電動機在運用時，其樞電流決非僅由樞電阻所可決定者。

電動機之電樞，在各方面皆與發電機之電樞相同，其載電流而兼產生轉矩之導線，亦割切磁力線，則必產生一種電勢。

試考察第 13.8 圖，其電樞上之導線，正向下移動，其所載電流應由左向右。因其向下割切磁力線所生之應電勢，依右手定則，可知其方向為由右向左，與所載電流之方向適相反。

在電樞上任何導線所產生之應電勢，皆可以同法求出，與其電流相反，即反對穿入電樞之電流，此應電勢謂之反電動勢 (Counter or Back electromotive force)。因反電勢與電流相反，即與線路

電壓相反，故樞電路內之淨電勢，為線路電壓及反電勢之差，而線路電壓必須克制此反電勢，始能輸送電流至電樞內。令 E 為反電勢， V 為線路電壓， R_a 為樞電阻，則樞電流為

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} \quad (13.5)$$

此式可移項變為

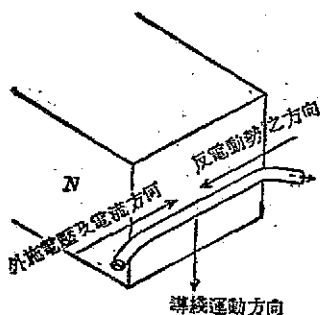


圖 13.8 電流方向與電動機樞電樞導線所生電勢之關係

$$E = V - I_a R_a \quad (13.6)$$

此可與第 12.6 式，發電機之公式比較觀之。

在發電機內，應電勢為端電壓與樞電阻壓降之和，在電動機內，應電勢為端電壓與樞電阻壓降之差。欲電流可自電動機之正端流入電樞，其應電勢非小於端電壓不可。

【例題 13.4】 在 10 匹馬力之電動機內，若端電壓為 110 伏，樞電流為 90 安，樞電阻為 0.05 歐，問其反電勢為若干？

【解】 $E = 110 - 90 \times 0.05 = 105.5$ 伏。 (答)

此反電勢之存在，可以一實驗表演之。以一電燈排 (Lamp bank) 與電動機之電樞相串聯，如第 13.9 圖。先閉合開關 S_1 ，接通場電路，再閉合 S_2 。在初接通之際，燈甚明亮，達其滿燭光。至電樞旋轉漸速，燈光即漸暗。可見電樞已旋轉後，其反電勢與線路電壓相反，使施於電燈之淨電壓漸低。在電樞已達其額定

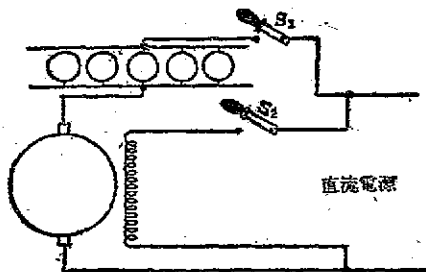


圖 13.9 反電勢之表演

速率，燈光最暗。苟開啓開關 S_2 ，中斷其場電路，磁通為零，其應電勢亦為零，則燈又漸亮，達其滿燭光。(實際應用時，無論何時，其場電路決不可輕易中斷，以免肇禍)。

第 12.1 式之用於求發電機內應電勢者，亦可用於電動機求反電勢，即

$$E = \frac{\Phi SPZ}{P' 10^8} \text{ 伏。}$$

其 Φ 為由一 N 極穿入電樞之磁通， S 為電樞之速率，以每秒轉數率， P 為磁極數目， Z 為電樞面之導線數，而 P' 為電樞內之電流路

徑數。

因 Z, P, P' 及 10^{-8} 皆為常數，可包括於一新常數 K_1 內，故反電勢

$$E = K_1 \Phi S,$$

此與第 12.3 式相同， S 為每分轉數。

以 K 代替 $1/K_1$ ，可由上式求旋轉速率，得

$$S = K \frac{E}{\Phi}. \quad (13.7)$$

故電動機之速率，與其反電勢成正比，與磁場之磁通成反比。

以第 13.6 式之 E 代入第 13.7 式，則速率為

$$S = K \frac{V - I_a R_a}{\Phi}. \quad (13.8)$$

此式所示之關係，為負載變動時，求其速率變動之重要關鍵。

【例題 13.5】 在某電動機中，其樞電阻為 0.1 歐。若接於 110 伏電源，則取用 20 安電流，其速率為 1200 轉/分。若其磁通增百分之十，而由同一電源取用 50 安電流，則其速率為若干？

【解】 應用第 13.8 式，

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{K \frac{110 - 50 \times 0.1}{\Phi_2}}{K \frac{110 - 20 \times 0.1}{\Phi_1}} = \frac{105 \Phi_1}{108 \Phi_2}.$$

因 $S_1 = 1,200$ ，故 $S_2 = 1,200 \times \frac{105}{108} \frac{\Phi_1}{\Phi_2}.$

但 $\Phi_2 = 1.10 \Phi_1,$

故 $S_2 = 1,200 \times \frac{105}{108} \times \frac{1}{1.10} = 1,060 \text{ 轉/分。} \quad (\text{答})$

由第 13.8 式，可見磁場增強時，其速率變緩。但電動機之轉矩與磁通成正比，磁通強則轉矩大，一若電動機之速率將變高者。但電動機有其慣量，故不能立刻有顯著之增高。同時因磁通強，則反

電勢加大。再因外施電壓不變，則 $V - E$ 之差數變小，而樞電流減低。且樞電阻甚小，因而較小之反電勢變動，足以召致甚大之樞電流變動，故樞電流減低甚多，而轉矩亦銳減。於是旋轉速率乃降低至新的情形，使電樞所生轉矩適足以應付負載所需者。此新速率，即第 13.8 式所示者。

例如 V 為端電壓，其樞電阻壓降 $I_a R_a$ 為 $0.1V$ ，其反電勢為 $0.9V$ ，則樞電流為

$$I_a = \frac{V(1-0.9)}{R_a} = \frac{0.1V}{R_a}$$

若磁通突增百分之五，暫假定其速率未變，其應電勢 $E' = 1.05E$ ，新電流為

$$I_a' = \frac{V(1-0.9 \times 1.05)}{R_a} = \frac{0.055V}{R_a} = 0.55I_a$$

其磁通增加百分之五，電流則減少百分之四十五。若 T 為其原來轉矩，則暫時之新轉矩將為

$$T' = 1.05 \times 0.55T = 0.58T$$

是以，若速率不變，其轉矩將減低百分之四十二。故速率必須減低，直至所取用之電流，與增加後之磁通所產生之電磁的轉矩 (Electromagnetic torque)，足以與負載及摩擦力之轉矩相平衡時為止。上述轉矩之變化係暫時的，係在不穩定狀態下發生者。即至電動機調節其速率，達最後穩定之值，其轉矩乃為負載所需之值。

13-7. 反電勢與機械功率——令輸入於電樞之功率為 VI_a 瓦，其一部 P_a 消耗於樞電阻 R_a ，使電樞發熱，此即

$$P_a = I_a^2 R_a$$

由能量不滅定律觀之，所餘者必發為機械功率 P_m ，即

$$P_m = VI_a - I_a^2 R_a = (V - I_a R_a) I_a$$

但 $V - I_a R_a$ 即電樞之反電勢，故一電動機電樞內所產生之機械功

率爲樞電流與反電勢相乘之積。因此功率之一部又消耗於克制摩擦及供給鐵之損失等，故在滑輪上所得之機械功率，必較小於上述者。

【例題 13.6】 求例題 13.4 中電動機電樞所產生之機械功率。

【解】 其反電勢爲 105.5 伏，樞電流爲 90 安，故電樞內部所產生之機械功率爲

$$P_m = 105.5 \times 90 = 9,495 \text{ 伏} = 12.73 \text{ 馬力。} \quad (\text{答})$$

13-8. 電樞反應及電刷位置——第 13.10 圖示一電動機之電樞，其所載電流方向，適使之順時針方向而旋轉。其左面爲 N 極，右面爲 S 極。因電樞內之磁通勢 F_A 而產生一磁通，經電樞由下向上，與極軸相垂直。圖(乙)示樞磁通勢 F_A 及場磁通勢 F ，其大小及方向，分別表明。以此二者依矢量相加，得綜合磁通勢 F_0 。由 F_0 所生之磁通，必已偏轉，如圖(丙)所示。須予注意者，此磁通(1)在每極之前極尖處增強，呈擁擠之象，(2)磁場之中性面逆旋轉方向而向後移，與發電機內不同。故在一電動機內，負載重則電刷應向後移，與發電機內之前移者不同。若非因自感應電勢之效應(第 12—14 節)，其刷軸應與此中性面相符合。但爲獲得美滿之換向成績起見，此自感應電勢，必須以另一電勢抵消之，故電刷應更向後移，移至負載中性面之後，如圖(丙)所示。是以無論在發電機內，抑在電動機內，其電刷必須移過負載中性面，在發電機內則趨前，在電動機內則退後。此所謂前者，乃依旋轉方向爲根據而言也。

因電刷之後移，於是電樞對於磁場有去磁作用，如第 13.10 圖(丁)所示者，其 F_A' 卽 F_A 之去磁部份。是以加重電動機之負載，其樞電流取用較多，而磁場爲之變弱，其速率有增高之趨勢。有時一電動機用甚短之空氣隙（足以致生甚大之電樞反應），則負載加重後，該機旋轉加快，有飛去之虞。

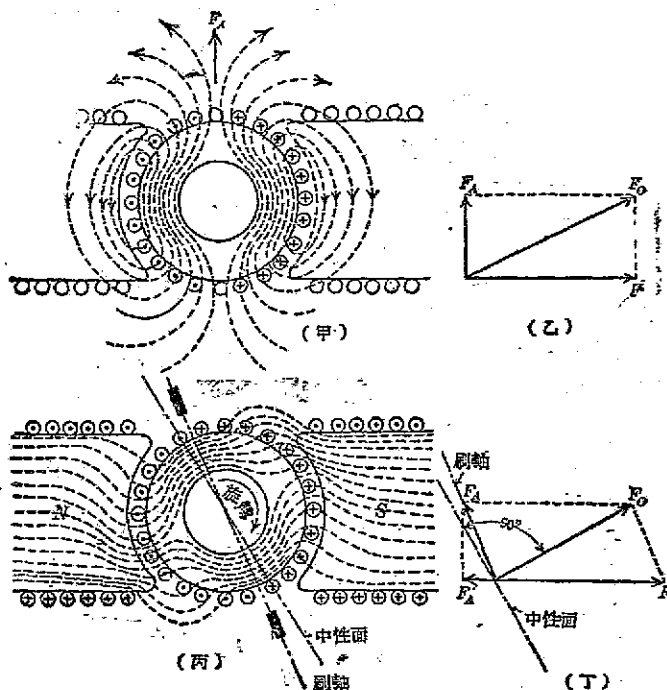


圖 13.10 電動機內之電樞反應

第 13.11 圖示一電動機之電樞導線，載有電流，並順序在 N 及 S 極下移動。其電流方向，適使之由左向右移動，其樞磁通勢 F_A ，在第一極際空間為向上的。苟欲裝置一換向磁極，則在該處應為一 N 極，迫使磁通由上穿下入電樞內，俾與樞磁通勢相反。同理，在第二極與第三極間，應置一 S 極，與樞磁通勢相反。故在一電動機內，順其旋轉方向，其磁極之次序，應為 $NnSs$ ，大寫字為主極，小寫字為換向極，此亦與發電機內之次序不同(可參看第 12—17 節)。

苟一電動機由於某種原因，發生過烈之電花，其換向磁極之

極性，應以一小磁針仔細檢察之。蓋電花之發生，或由於換向極之次序有誤也。

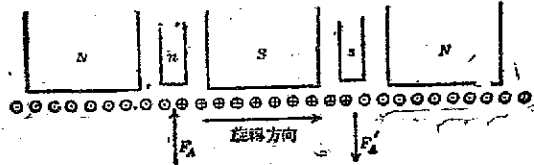


圖 13.11 電動機內換向磁極與主極之關係

13—9. 分激電動機——分激電動機(Shunt Motor)之接法，與分激發電機相似。其場電路與樞電路相並聯而跨接於線路上，其場電路內往往串聯一場變阻器，以資調節。

在零載時，分激電動機有一定之速率。此時樞電流甚小，其反電勢較外施電壓所差甚微。因在旋轉時，必須有甚小之轉矩以克制摩擦力。故此甚小之電位差，可維持一樞電流，而供給所需之轉矩。

若所策動機器之負載增加，而電動機之外施轉矩須增加時，則電動機內應有一較大之內生轉矩以應付之。以負載施於電動機，該機立即緩慢。在分激電動機中之磁通為恆值，速率慢，則反電勢降低，使較多之電流，流入電樞內。此種變化繼續發生，直至所增之電流，足以產生適足之轉矩以應負載之需要。故在穩定平衡狀態之下，其負載變動之反應，常促使其輸入之功率隨之變動，以適應之。

任何電動機之是否合於某種任務，視下列二因素而定。一為負載變動時轉矩之變化，一即速率之變化。

在分激電動機內，因其磁通為恆值，其內生(即電磁的)轉矩與樞電流成正比。如在第 13.12 圖中，當樞電流為 30 安培，其轉矩為 40 磅呎，若樞電流增至 60 安培，其轉矩即增至 80 磅呎。其電

流倍增，則轉矩亦倍之。

電動機之速率，依第 13.8 式之關係而變化，即

$$S = K \frac{V - I_a R_a}{\Phi}$$

在分激機內，其 K ， V ， R_a 及 Φ ，皆實際不變，其唯一變量為 I_a 。負載增則 I_a 增大，使該式之分子變小。因其分母不變，故其速率亦降，如第 13.13 圖所示者。因 $I_a R_a$ 通常為 V 之百分之二至六，故其速率所減低之百分比亦同。因此，分激電動機之速率，雖

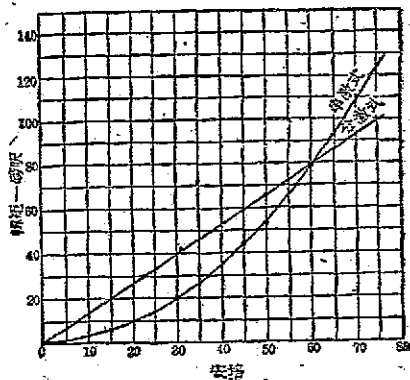


圖 13.12 分激與串激電動機中轉矩—電流特性曲線之比較（電磁的即內生轉矩）

隨負載之增加而微降，但仍可認為係一種恆定速率之機器。

但因電樞反應之去磁部份，使磁通因負載之增加而微低，則速率公式內之分子分母均行減低，更可維持速率於不變。有時電樞反應過大，速率反隨負載而增加。

速率之變化，可以速率調整率 (Speed Regulation) 表示之。依美國電機工程學會之標準規則，其定義如下：

在一種恆速之直流電動機中，其速率調整率者，為在該機已任額定之負載至規定之時間後，在此最後之溫度情形時，其零載速率與滿載速率之差對滿載速率之比。

例如由第 13.13 圖，其速率調整率為

$$\frac{ca - ba}{ba} = \frac{cb}{ba}$$

【例題 13.7】某電動機之速率由空載時之 1,100 轉/分，降至在滿載時之 1,050 轉/分，問其速率調整率為若干？

【解】 速率調整率 = $\frac{1,100 - 1,050}{1,050} = 0.0476$ ，或 4.76%。 (答)

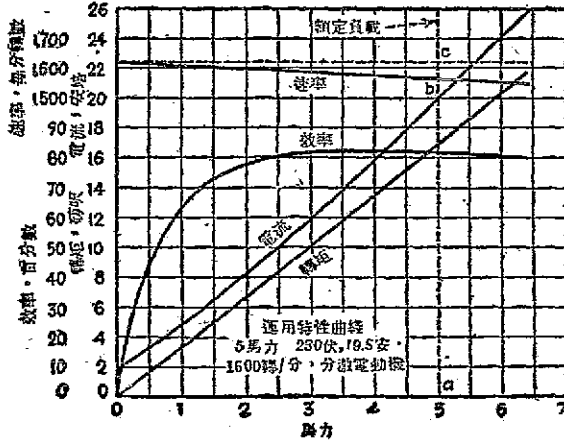


圖 13.13 典型的分激電動機特性曲線

第 13.13 圖示一分激電動機之三種重要特性，即轉矩，效率，電流，與速率，每項皆對輸出之馬力，描繪為曲線。機器本身之損失，對效率之影響，當於下一章內討論之。由圖可見其零載速率確為一定，荷場電路不斷，雖撤去負載，亦不致飛去。

分激電動機用於需要速率不變之處，如金工場，紡織場及鼓風機之類。且電動機之速率能任意調節自如者，亦莫若分激式者，故亦用於速率需要控制或調節之處。在速率已被調節至所需之值後，在不同之負載情形下，該機即保持此速率不變。例如用於策動金工場之車床，裝大小不同之車模時，需要不同之速率，不過在已裝就某種車模，速率已調節至所需之值後，其速率即實質上保持不變。

有以為分激電動機之啓動轉矩 (Starting torque) 甚低者，此

觀念實屬謬誤。苟啓動轉矩不大，其咎在啓動箱(Starting box)，而非電動機之罪。因通常之啓動箱，皆為在輕載時啓動而設計者。轉矩既與樞電流成比例，在啓動時，因無反電勢，故於樞電路內，往往串聯一電阻以限制其電流。此啓動用電阻(Starting resistance)，如能容許較大之樞電流，則啓動轉矩自可甚大。通常之啓動箱，在其第一接觸點上，可容許滿載電流之125%通過之，但若維持此電流甚久，俾使電動機在任載情形下得其速率，則箱內發熱過甚。是以在啓動時，未嘗不能產生滿載之轉矩，或且超過之，達其150%之值，胥視啓動箱之能否容許該值電流安全通過為定耳。

當欲在任載情形下，啓動一電動機時，應採用一種控制器(Controller)，而不用啓動箱。蓋在控制器內，其電阻係為滿載電流，甚至過載電流而設計者。

在新式之分激機內，大都用較短之空氣隙，可使分激安匝與分激場之損失減低。但空氣隙短，則電樞反應大，雖可用換向磁極以改善其換向成績，但在重載時，其過高之樞磁通勢，消去其場磁通勢過多，則電樞有飛去之虞。補救之方，於每極上加繞數匝之串激線卷，以助其分激線卷。此種電動機，雖可認為一種複激式者，但因其串激匝數甚少，其所有特性亦皆根據分激場，故仍視為分激者。

13—10. 串激電動機——在串激電動機(Series Motor)內，其場卷與電樞相串聯，如第13.14圖所示。其場卷由少數匝數之粗線繞成，其截面積必須甚大，俾能容許滿載樞電流，得以安全通過。

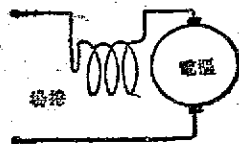


圖13.14 串激電動機之接線法

串激電動機內之磁通 Φ ，胥賴樞電流而定。若機內之鐵質，皆運用於適中之飽和狀態，其磁通約與樞電流成正比。由第13.4式之轉矩公式，

$$T = K_t I_a \Phi,$$

若假定 Φ 與 I_a 成正比, 則

$$T = K_t' I_a^2, \quad (13.9)$$

其 K_t' 爲另一常數。由該式可見轉矩與電流之平方成正比, 此可證之於第 13.12 圖之曲線。當電流爲 30 安培時, 其轉矩爲 20 磅呎, 而在 60 安培時, 則爲 80 磅呎, 即電流增加至二倍, 其轉矩增加至四倍。在電流超出 60 安後, 其轉矩增加更速。故此種特性, 使之適合欲轉矩大量增加而電流僅微增之需要。在實際上, 因鐵之飽和及電樞反應, 均限制磁通增加, 使轉矩不能隨電流作平方率之增加。

以第 13.8 式應用於串激電動機, 則

$$S = K \frac{V - I_a(R_a + R_s)}{\Phi}. \quad (13.10)$$

其 K 爲一常數, V 爲端電壓, I_a 爲樞電流, R_a 爲樞電阻, 包括電刷在內, R_s 爲串激卷組電阻, Φ 爲由一 N 極穿入電樞之磁通。以 R_a 與 R_s 相加, 得電動機與線路相串聯之總電阻。該式內之 Φ 及 I_a 均隨負載而變。

當負壓增加時, 其樞及場之壓降加大, 與電流成正比, 其反電勢不得不減低, 即第 13.10 式之分子變小, 此足以減低速率。在串激機內, 其反電勢減低約百分之三至八, 苟其磁通如分激機內之不變, 則速率減低之百分比, 亦不過此數。但串激機內之磁通, 隨電流約作正比之變化, 故電流加大, 則第 13.10 式內之分母亦加大, 於是速率減低, 超過分子所致之百分數, 即較分激機之減低爲速。

增加負載轉矩時, 該機內之反應如下: 當負載甫增之一刹那, 其速率必立刻稍緩, 至少爲暫時的, 蓋此際電流及磁通未及變化而負載所需之轉矩超過原有者也。於是反電勢亦低, 使其與端電壓之

差變大，而容許較多之電流，流入樞卷組及場卷組，其所產生電磁的轉矩亦增。其速率及電流，各自調節，直至電磁的轉矩適與負載轉矩及摩擦損失之轉矩相等，而達平衡狀態為止。

當負載變輕，其電樞即加速，至少為暫時的。在此一刹那，電流與磁通，均未及變動，故速率略增，其反電勢隨之。於是電流及磁通乃減低，而電磁的轉矩亦減。電流與速率二者，又各自調節，使達新的平衡為止。

苟將負載移去，其電流及磁通皆甚小，必致速率加快。此時電樞之速率必甚高，其離心作用足以將其摧毀，肇致巨禍。故串激電動機絕對不能在零載情形下使用之，極宜謹慎。

第 13.15 圖示一具 5 匹馬力串激電動機之特性曲線，皆以馬力為橫坐標而描繪者。其轉矩曲線向上凹，其理由已如上述。其速率之變化，與電流之變化相反，在高值電流時速率低，而在低值電流時速率高。甚低電流值時，其速率過高而危險，不能求得其特性。

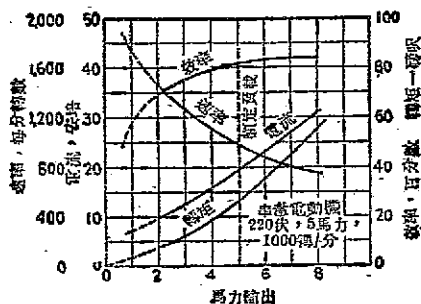


圖 13.15 典型的串激電動機特性曲線

其效率起初增加甚速，在約近半載時達最大值，嗣即下降。因在輕載時，其摩擦及鐵之損失，大於其負載，而負載漸增，此類損失之影響漸小。場與樞電阻之銅損失，與電流之平方成正比，此類損失隨負載而增加甚速。在鐵與機械損失等於銅損失時，其效率為最大。以上各種特性，可與分激電動機之各種特性比較觀

之。

串激電動機，用於需要甚高旋動轉矩之處，如街車、電動機車及升降機之類。除其有甚大啓動轉矩之特點外，其速率減低之特性，使其極合乎曳引之用。例如用一分激電動機以策動電車，當上坡時，分激機仍保持其在平地行駛時之速率，則該機必自電源方面取用過量電流，即需過量之電功率輸入。但用串激機，則當上坡時，電車自動緩駛，以低速率而產生高轉矩，不致取用過量電流，其電功率輸入仍可不變，殊合經濟。

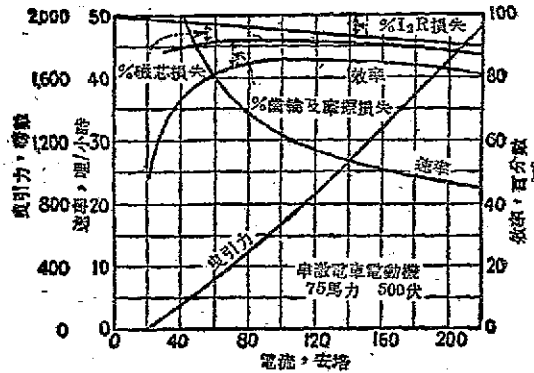


圖 13.16 75 馬力鐵道用電動機之特性曲線

今擬繪鐵道用電動機之特性曲線，以在軌道上之輸出為橫坐標。一具奇異公司製 500 伏，75 馬力之鐵道用電動機之此種特性曲線，如第 13.16 圖所示。該圖內所描繪者為曳引力 (Tractive effort) 而非轉矩，為車之速率以每小時若干哩計，而非電樞之旋轉速率。此二特性與轉矩及旋轉速率之每分鐘數，各差一比例常數，由齒輪之齒數比及車輪之直徑定之。因車輪與軌道間之摩擦，致損失轉矩之一部，其曳引力微有別於轉矩，但大致仍與電動機之本身特性曲線相同，可與第 13.15 圖相對照。第 13.17 圖顯示一奇

異公司製鐵道用電動機，在軸端及懸繫端之透視圖。其為裝拆電刷所開之手孔(Hand hole)，可於其遠端見之。

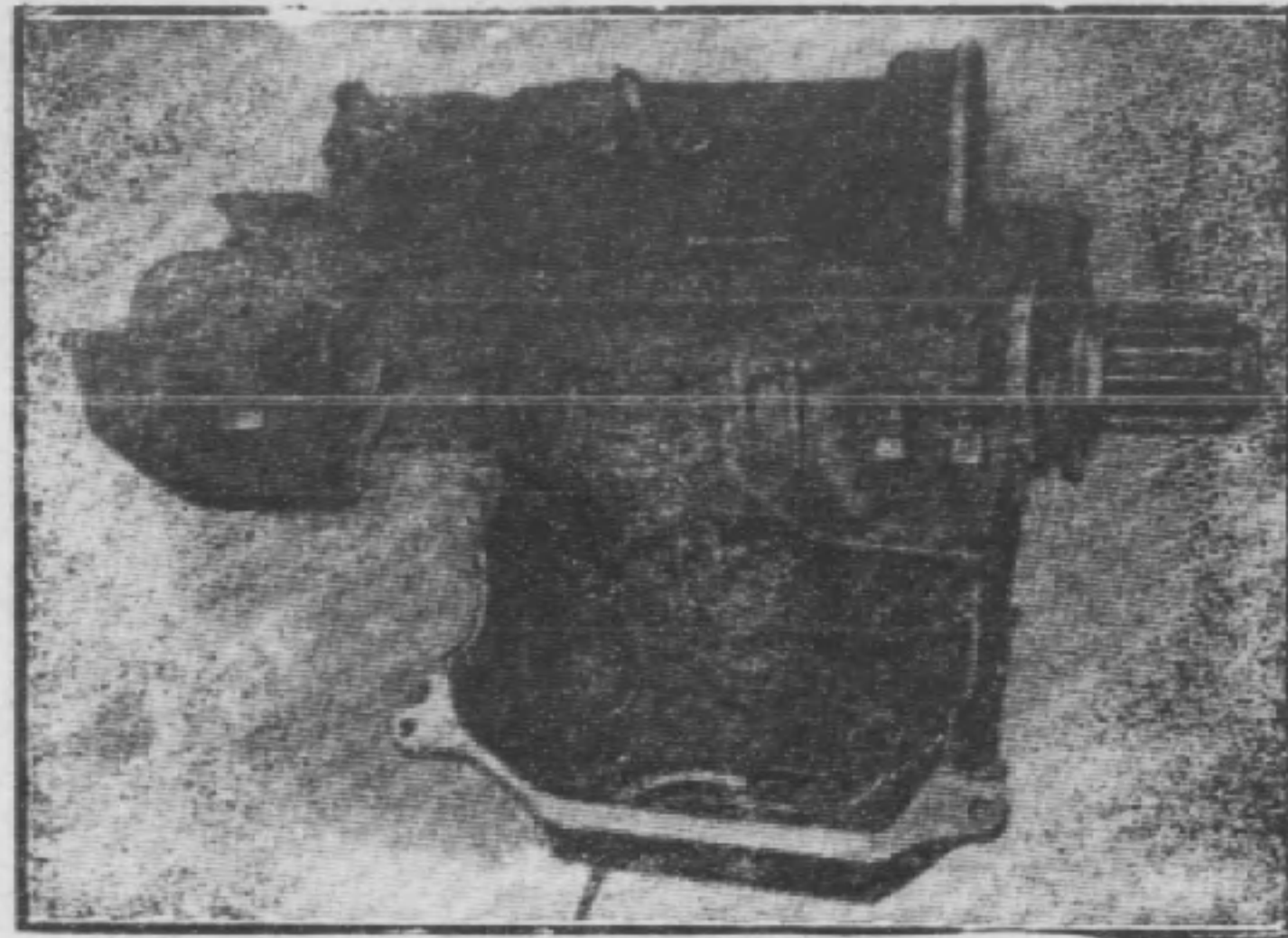


圖 13.17 鐵道用電動機

13—11. 複激電動機 —— 以一串激場卷加於分激電動機之每極上，則成複激電動機 (Compound motor)，與複激發電機相似。其串激場卷所生之磁通，可與分激磁通相助，成互助複激式，或助激式 (Cumulative compound)；亦可與分激磁通相反，成差捲複激式或差激式 (Differential compound)。

助激式電動機兼有分激式與串激式二者之利。加重其負載時，則串激磁通加增，使在某電流值之轉矩，大於分激式所產生者。在另一方面，磁通增加，使其速率之減低較分激機為速。其特性曲線：如第 13.18 圖所示。圖中所示者，為內生轉矩，即電樞所生電磁的轉矩，助激電動機在負載突增時，可產生甚大之轉矩，且在零載時，有一定之速率，縱移去負載，無飛去之虞。

助激電動機宜用於策動某種機器，尤其突然施以重載之處，如擊孔機，滾壓機之類。在需要甚大啓動轉矩，而串激機不合用之處，如起重機，升降機等，皆可用之。在升降機內，當電動機已達正

常速率時，可將串激卷組捷接之。

在差激電動機中，因串激磁通與分激者相反，故在負載增加時，其磁通減低。由速率公式可見，若串激安匝配合適當，可使速率維持不變，或可使速率增加。其速率若隨負載而增加，則其轉矩之增加率即低，低於分激式者。此類電動機宜用於需要速率絕對不變之處，但分激電動機之速率調整率已甚佳，合乎一般應用，故鮮有用差激式者。且也，如串激磁通過強，則其速率不能穩定。若串激磁通將分激磁通抵消太多，淨磁通甚弱，電動機有飛去之虞。在啓動差激電動機時，往往須將串激卷組加以捷接。因甚大之啓動電流，經過串激卷組，其安匝足以全部消去分激安匝，或且過之，使淨磁通反向，則旋轉之方向亦反。第

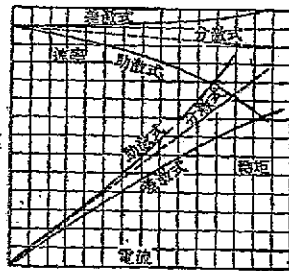


圖13.18 分激與串激電動機之電磁轉矩及速率特性曲線

13.18 圖亦示差激式之特性曲線。

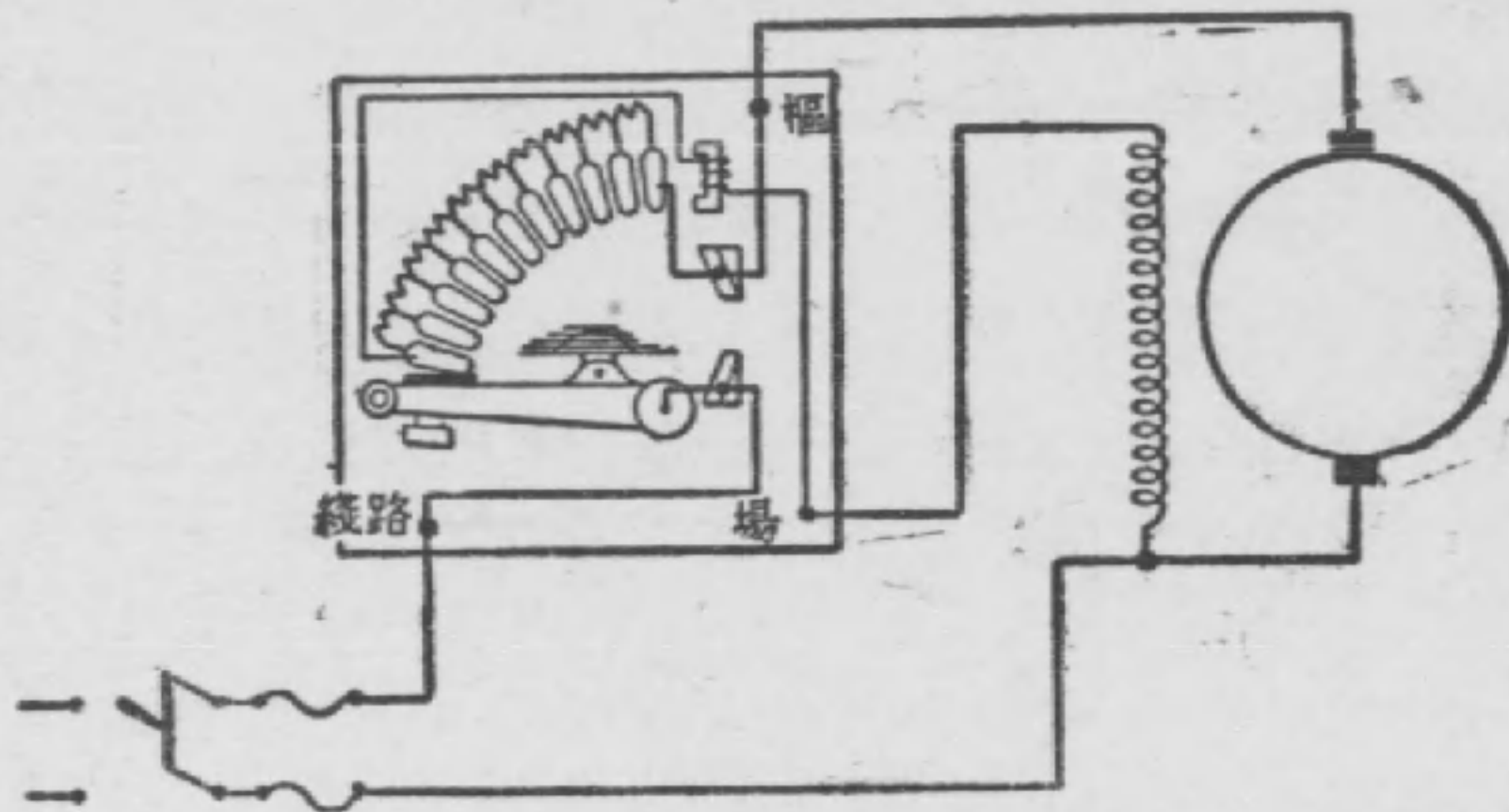
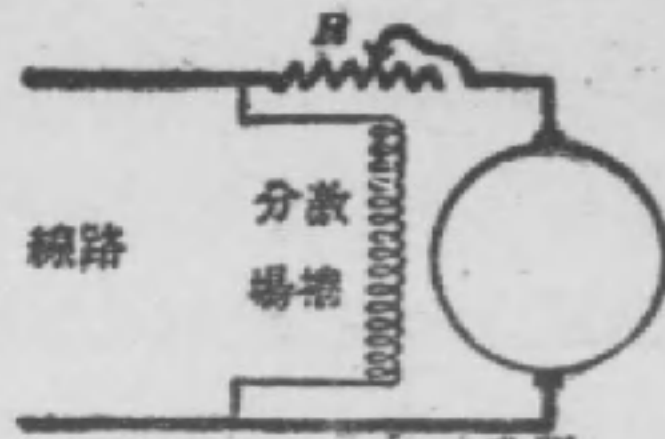
欲逆轉任何電動機之旋轉方向，須反轉其樞電流，或其場電流之方向。若將此二者同時反轉，則旋轉方向不變。是則以電動機之旋轉方向而言，可不計何線路之為正抑為負也。

電動機之啓動箱

13-13. 三線端啓動箱 —— 在第 13-6 節曾述及，若以一 10 馬力，110 伏電動機，直接跨接於 110 伏電源，在啓動時，其電流達 2,200 安之多，故必須串聯一電阻以限制之，蓋此際電樞內無反電勢也。及至電動機旋轉漸速，反電勢漸大，可逐漸減少此電阻。

第 13.19 圖顯示用一電阻 R ，以啓動電動機之方法。此電阻與

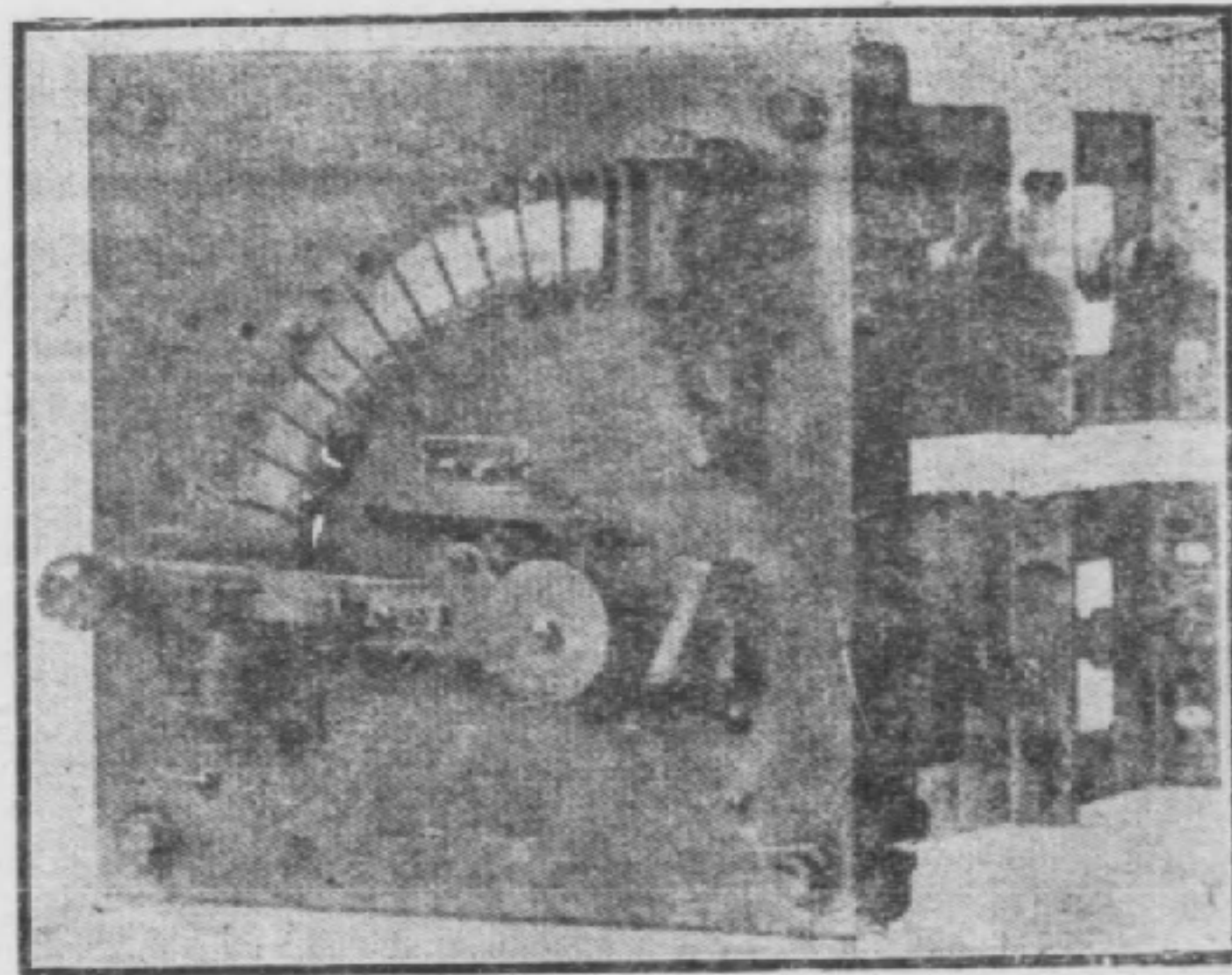
電樞相串聯，其場電路仍跨接於線路，在電阻 R 之外。若以場卷跨接於電樞端，而在電阻 R 之內，則當啓動時，場電路兩端無電壓，縱有亦甚低，不能產生足敷啓動用之



(甲)

轉矩。

第 13.20 圖示一個三線端啓動箱 (Three-point starting box)，其接法根本與第 13.19 圖所示者無異。外線路之一，直接與電樞之一端相接，並與場卷



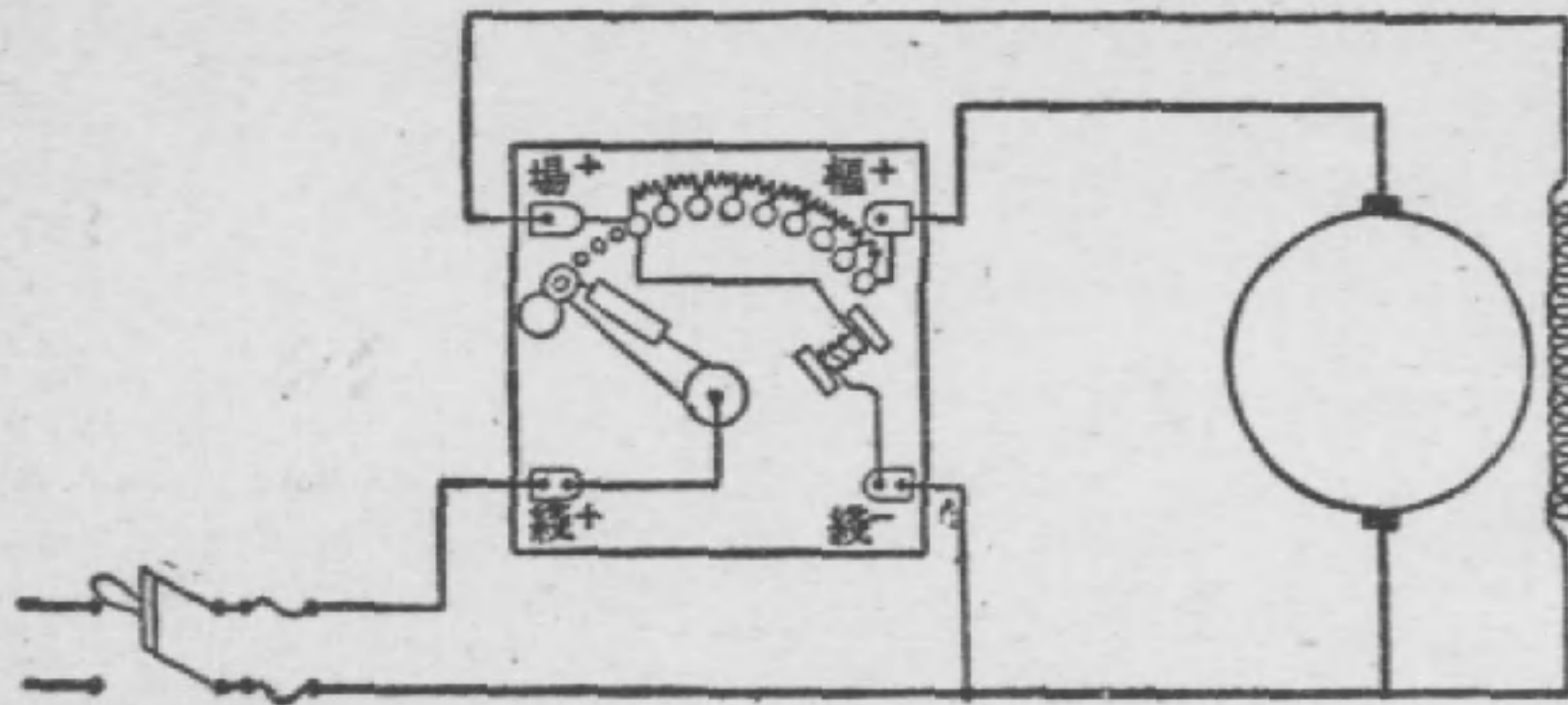
(乙)

圖 13.20 三線端啓動箱

組之一端相並聯，其聯接並不經過啓動箱。另一外線路接於啓動箱上之一線端，該端通至啓動臂 (Starting arm)，而啓動臂則在箱面之滑點上滑動。其啓動用電阻分作若干節，每節接至箱面上

之一觸點。在啓動時，可旋轉啓動臂，由第一觸點至最末之觸點。電樞之另一端接於箱面上註有“電樞 (Arm)”之錄端，此即啓動電阻之末端。分激場卷組之另一端，接於箱面上註有“場 (Field)”之錄端，經把握磁鐵 (Holding magnet)，而接於啓動電阻之第一觸點。

當啓動臂與第一觸點相接觸時，其分激場卷直接跨接於線路上，而電樞與全部啓動電阻相串聯，以限制其電流。已啓動後，速率漸增，則旋轉啓動臂至以次之觸點，以減少所串聯之電阻。旋至末一觸點，所有啓動電阻已移去，電樞直接與外線相接。爲保證接觸



(甲)



(乙)

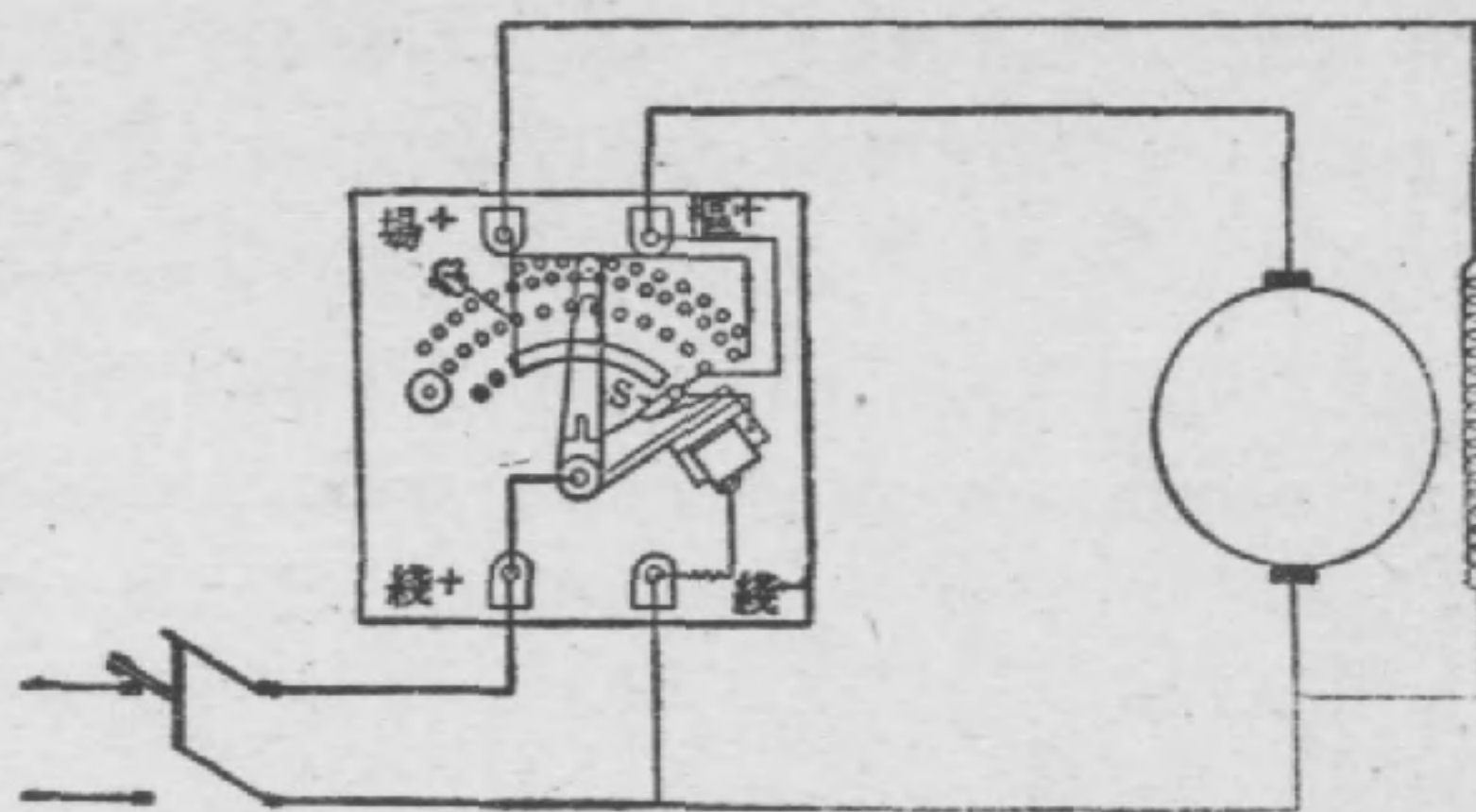
圖13.21 四線端啓動箱

之嚴密起見，其“線路”及“電樞”錄端間，以附裝於啓動臂上之疊片或銅刷相聯絡，如圖所示。但此時之場電流，則經串聯電阻，而串聯電阻甚小於場電阻，故對場電流無甚影響。啓動臂上繫一彈簧，恆欲將臂拖還原位。但臂上又裝有軟鐵銜鐵，在達“行駛”位置時，該銜鐵爲把握磁鐵所吸，以抗彈簧之拉

力，於是將啓動臂保持於該位置。苟由於某種原因，致線路上無電壓，把握磁鐵即失磁，則啓動臂即被彈簧拉回原位。如不將啓動臂拉回，機停不久後，若電壓復原，則靜止之電樞，又直接跨接於線路，其電流又必太大矣。

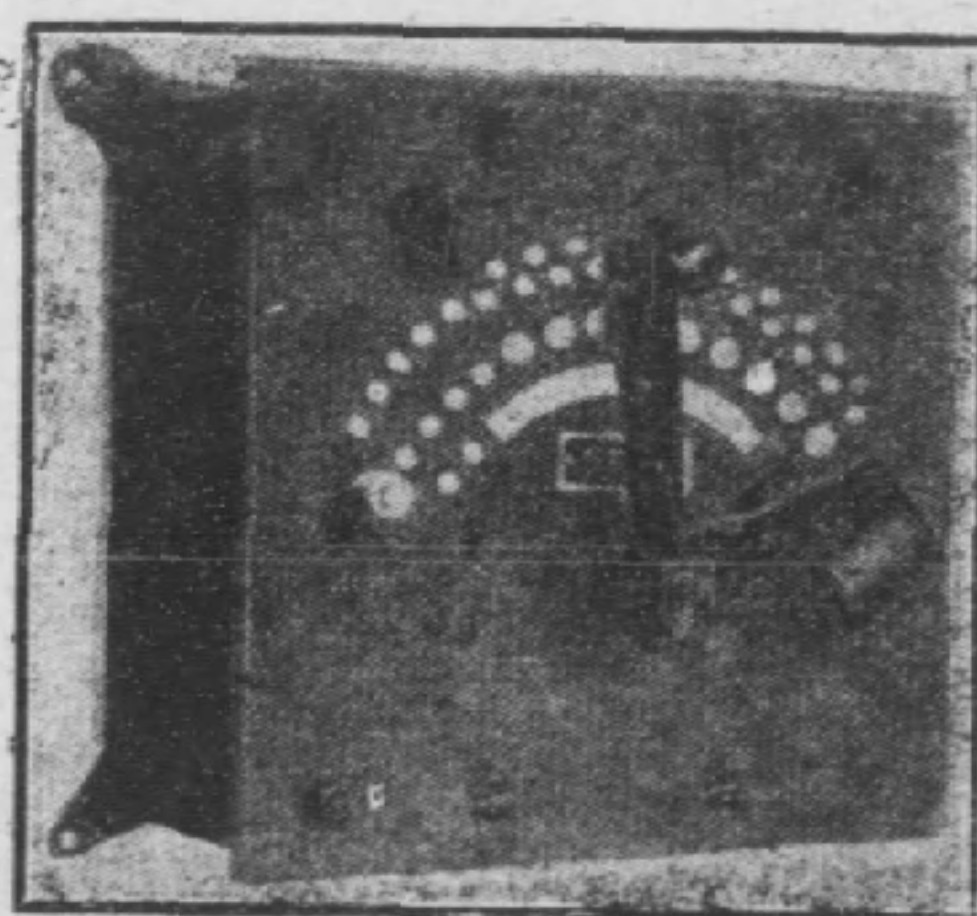
以把握磁鐵之激發線卷與場電路相串聯，苟因不慎而場電路被中斷時，把握磁鐵失磁，啓動臂亦被彈回，使電動機不致飛去。

13-13. 四線端啓動箱——在調節場電流以變更速率之處，用



(甲)

三線端啓動箱，未盡妥善，因其把握磁鐵之線卷，係與場電路相串聯。此類電動機之速率，可變動之範圍約為五與一，則其場電流所變動之範圍亦同。在較高值場電流時，把握磁鐵之磁性過強，而在低值場電流時，其磁性太弱，或不能吸住啓動臂以抗彈簧。欲免此弊，惟有採用四線端啓動箱 (Four-point



(乙)

圖 13.22 啓動及速率調節混合箱
(西屋公司製)

starting box)。該箱之結構與第 13.20 圖相倣，惟其把握磁鐵之線卷，有較高之電阻，且直接跨接於線路上，見第 13.21 圖。其框與場之公共端，亦經箱面上之一線端，註有“負線”字樣，而接於線路。若線路電壓被移去，則把握磁鐵立刻失磁，使啓動臂被彈回，而調節場電阻時，亦不致影響該磁鐵之磁性。

有時將場變阻器亦裝於啓動箱內，如第 13.22 圖，其場電阻接於上排各觸點間。此箱乃有二臂，其短臂在下排觸點上滑動，用以變更樞電路之串聯電阻。其長臂在上排觸點間滑動，用以調節場電路內之串聯電阻，其短臂為長臂所推動。在啓動時期，其場電阻為一個在金屬扇片上滑動之觸指 S 所捷路。當啓動電阻全被割出後，其短臂為把握磁鐵吸住，而捷接之觸指 S 亦為此臂推向右方，移去場電阻之捷路。其長臂不繫彈簧，可向反方向移動，以插入電阻於場電路內。若線路電壓突告中斷，把握磁鐵失磁，短臂被彈回，同

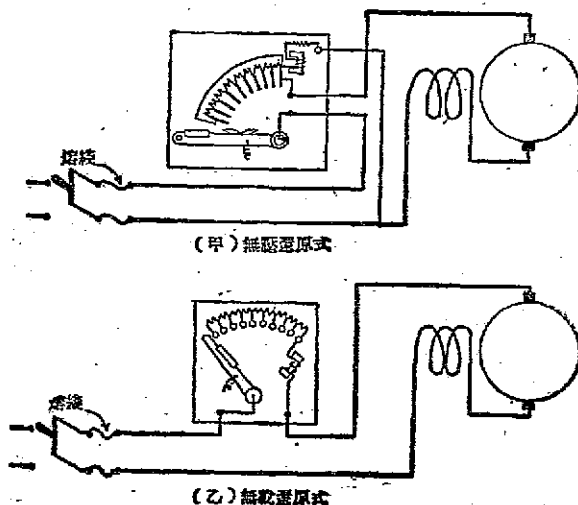


圖 13.23 串激電動機之啓動箱

時長臂亦被推回原位。

在停機時，應開啓線路開關，而不應拉回啓動臂。在分激電動機中，開啓開關，不致引起顯著之電弧，因電樞之反電勢約與線路電壓相埒，其在開關端之淨電壓甚微。其蘊蓄於磁場內之能量，可漸散逸於電樞內，不致在開關端發爲電弧。反之，拉回啓動臂，其場電路在最後一觸點處被中斷，因樞電路亦被中斷，其所生之自感應電勢，即出現於觸點與啓動臂間，成極烈之電弧，將觸點燒焦。此弧可用如第 13.22 圖中之觸指 S 以熄滅之。

13—14. 串激電動機用啓動

箱——串激電機用啓動箱內，因無分激場電路之聯接，故較簡單。通用者，視其把握磁鐵之接法，可分爲兩種。一種以把握線卷 (Holding coil) 跨接於線路，當線路電壓中斷時，即將啓動臂釋放者，爲無壓還原式 (No-voltage release type) 見第 13.23 圖 (甲)。另一種之把握線卷，以少數匝數繞成，與電動機樞相串聯，當線路電流減至極小，低於規定之值，則該線卷失磁，而將啓動臂釋放，此爲無載還原式 (No-load release type)，見第 13.23 圖 (乙)。在前式箱中，其把握磁鐵，又稱無壓釋放磁鐵 (No-voltage release magnet)。在後式箱中，則稱無

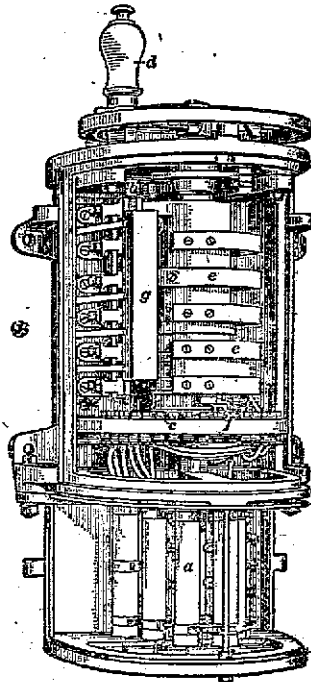


圖 13.24 鼓式控制器

載釋放磁鐵 (No-load release magnet)。因串激電動機，在零載或輕載時，有飛去之虞，故用無載還原式啓動箱，俾當負載減至極輕時，線路即自動中斷，以策安全。

13—15. 控制器——凡電動機之停與啓動，皆由一司機者控制之，如用於電車，升降機，起重機等者，則用控制器 (Controller) 以代替啓動箱。因在此類場所，電動機常連續地被啓動，停止及反向，不稍間歇，故控制器之結構，應較普通之啓動箱爲牢固。一個典型的控制器如第 13.24 圖所示。此類控制器常有一外電阻，由器內之觸指變更之，或割入若干電阻，或割去其一部。分激場電路之變阻器，亦可附裝於控制器內。控制器亦常備有“反向”設備，使電動機可循任一方向而旋轉，如第 13.24 圖所示者，該器內兼有分激場用變阻器及反向裝置。

13—16. 自控啓動箱——在實際用途方面，常採用自控啓動箱 (Automatic starter)，其結果較用手控啓動箱爲佳。用自控啓動箱，可自動依次插入若干電阻，其變更之快慢常係一律，故不致有因電阻減少太快，而使保險絲燒斷，斷路器跳開之弊。再者，在若干場所，其電動機非連續的應用，而係間歇的應用者。因僅一揞按鈕 (Push button) 之勢，即可隨意啓動或停機，故在毋需動能之時，司機者可停阻電動機，而省電能之消費。在大型電動機中，尤其用於需要急速動作之處，如滾壓機之類，非用自控啓動箱不可，否則必難得美滿成績也。

第 13.25 圖示一具典型的自控啓動箱，其整個機構裝於一絕緣箱底上，該圖示接線圖，內有螺管活棒裝置。當螺管被激發，拖動活棒，使若干對觸點，循序相接觸，而其接觸亦有定時。其每對觸點接觸與次一對接觸相隔之時間，由一定時機構 (Time mechanism) 控制之。該機構由若干齒輪組成，其速率由一逃逸輪 (Escape

ment) 調整之。故螺管可使每對觸點作定時之接觸，其時間為擒縱輪所決定。在左首有一溫度控制過載替續器 (Temperature-overload relay)，使電動機不致久任逾量之負載。在其頂部，有一弧道 (Arc shute)，用以拘束並速熄滅直流電弧。

今就其線路圖觀之，當按下“啓動”鈕時，其螺管被激發，將接觸桿 (Contact member) 拖向右方。其極左之一對觸點首先接觸。

將分激場卷接於線路，並將電樞，串激場卷，及換向極卷，經啓動電阻 R_2, R_3, R_4 亦接於線路。此數電阻，乃循序依定時機構所控制之時間，陸續為各

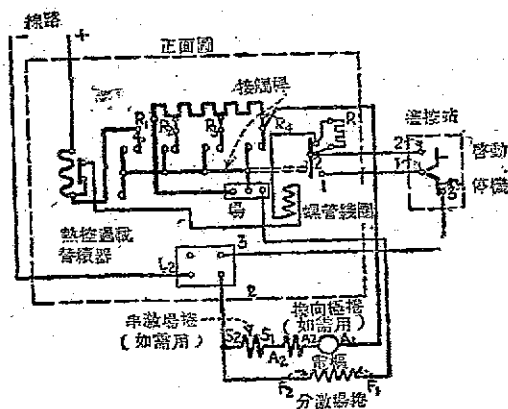


圖 13.25 定時延性自控啓動箱 (奇異電器公司出品)

觸點所連接。在所有觸點已接合後，乃移去螺管之串聯電阻 R 兩端間之捷路，以限制其電流，使螺管不致過熱。但其電流仍足維持接觸桿於其位置，使各個點不致分離。

當按“停機”鈕時，則螺管之電路中斷，於是失磁，乃任各觸點還原，將電動機之電路中斷，電動機乃停。

13-17. 溫度控制保護設備——自控啓動箱及控制器，常裝有過載設備，如保險絲，斷路器，溫度控制過載替續器 (見第 13.25 圖) 之類。此等裝置，可在 (1) 啓動失敗 (2) 過載自停或 (3) 連續過載諸情形下，保護電動機。在西屋電器製造公司之熱控保護電動機中

(Thermoguard motor), 有一小熱控替續器 (Thermostat), 裝置於電動機之線卷組內, 其啓動箱之控制電路即與此替續器之觸點相串聯。在正常狀態時, 熱控替續器之觸點, 爲接合的, 當溫度升至某點, 足以使電動機受傷時, 其觸點相離, 於是中斷其控制電路, 而將電動機自線路拆除。

苟電動機忽停, 足以擾及生產工作時, 可用一燈與熱控替續器相串聯。當有過熱現象發生時, 此燈先明亮以示警, 或用一電鈴亦可。在正常情形時, 其電鈴爲觸點所捷路, 即至觸點相離, 電鈴大鳴, 以資警告。

13—18. 磁控熄弧器——控制器及斷路器, 亦常備有磁控熄弧器 (Magnetic blowout), 其作用在將斷路所生之電弧拉長, 使之易於熄滅。並將電弧自觸點間之空間移去, 以免載流之金屬面被燒焦。其熄滅電弧之原理如下: 以發生電弧之觸點, 置於一磁鐵之兩極間。如第 13.26 圖所示, 爲一斷路器, 當觸刷與銅塊相離時, 則產生電弧。今以電弧置於一磁鐵之 N 及 S 極間, 使磁場作用於刷及

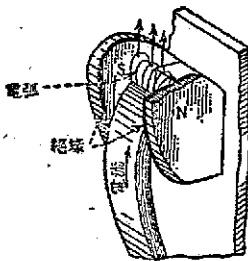


圖 13.26 磁控熄弧器

銅塊間之空隙。當刷與銅塊相離而生電弧時, 因磁場作用於此弧, 依佛萊敏氏左手定則, 可求出電弧被推動之方向。於是此弧急速被移出空隙, 如圖中所示, 弧向上拉長, 漸至被拉斷爲止, 此弧即熄滅。

其磁極之內面, 應襯以絕緣物, 使電弧不致跳至磁極上。在若干載大量電流之斷路器內, 將電弧吹入一被拘束之槽道內, 名曰弧道。電弧觸及弧道之內壁, 其熱被吸收, 急速起去電離作用 (de-ionization) 而著於熄滅。

速率之控制

由電動機之速率公式 $S = KE/\Phi$ ，可見欲控制電動機之速率，可以調節其反電勢 E 及磁通 Φ 完成之，毋需變更其內部之結構。

13—19. 樞電阻控制法——以電阻與電動機之電樞相串聯，而場電路仍跨接於總外線上，則變動此電阻，可得而控制其速率，其接法見第 13.27 圖(甲)。因電阻加大，則其壓降亦大，其反電勢必須減低，是以其速率亦緩。用此法可將速率變動於較大之範圍內，仍能供給所需之任何轉矩，蓋轉矩僅視磁通 Φ 及樞電流 I_a 為定。

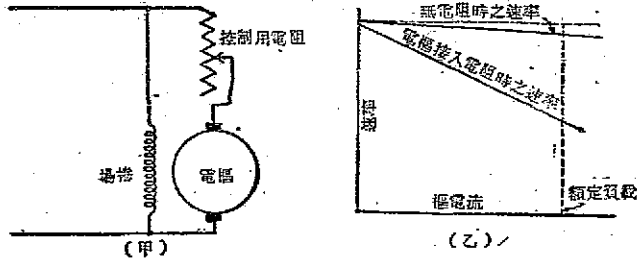


圖 13.27 速率控制及調節器——樞電阻控制法

利用此樞電阻法 (Armature-resistance method) 其樞電路內之電功率損失較大，其速率調整至劣，是乃其缺點。第 13.27 圖(乙)示一個分激電動機無串聯電阻及有串聯電阻時，速率負載曲線各異之點。接入串聯電阻後，其滿載時之速率，僅為定額之半。在零載時，其速率與無串聯電阻時，實際相同，故其速率調整率為 100%。但無串聯電阻時之調整率，不過百分之三或四耳。其樞電路內功率之半，皆為此串聯電阻所損失。

此法之另一不便之處，即所用電阻，必須有甚大之載流量，俾能載滿載甚至過載之樞電流，且必須具有能散逸甚多熱量之設備。

【例題 13.8】一具 220 伏, 7 馬力電動機之電阻為 0.25 歐。零載速率為 1,200 轉/分, 電流為 6 安。(甲)今欲在電樞取用 30 安培時, 將其速率降為 600 轉/分, 問所接串聯電阻應為若干? (乙) 該電阻損失之功率為若干? (丙) 問供給於電樞功率之百分之幾, 輸入於電樞本身? (丁) 設不計及電樞反應, 其速率調整率為若干?

【解】 $E_1 = \text{零載反電勢} = 220 - (6 \times 0.25) = 218.5 \text{ 伏。}$

$$E_2 = \text{在 600 轉/分時之反電勢} = \frac{600}{1,200} \times 218.5 = 109.3 \text{ 伏。}$$

$$R + R_a = \text{電路之總電阻} = \frac{220 - 109.3}{30} = 3.69 \text{ 歐。}$$

(甲) $R = \text{串聯電阻} = 3.69 - 0.25 = 3.44 \text{ 歐。}$ (答)

(乙) $P_1 = \text{串聯電阻之功率損失} = 30^2 \times 3.44 = 3,096 \text{ 瓦。}$ (答)

(丙) $P_2 = \text{供給於電樞之總功率} = 220 \times 30 = 6,600 \text{ 瓦,}$

$$P_3 = \text{電樞之淨功率輸入} = 6,600 - 3,096 = 3,504 \text{ 瓦。}$$

$$P_3 \text{ 與 } P_2 \text{ 之百分比} = \frac{3,504}{6,600} \times 100 = 53.1\% \quad (\text{答})$$

(丁) $\text{速率調整率} = \frac{1,200 - 600}{600} \times 100 = 100\% \quad (\text{答})$

13—20. 複電壓控制法——在複電壓控制法 (Multi-voltage method) 中, 以數種不同之電壓, 施於電動機之電樞端。此各種電壓, 由一平衡機組 (Balancer set) 供給之, 見第 13.28 圖。其分激場, 則永久跨接於一定之電壓。如圖所示, 用四錄制, 可得 60, 80, 110,

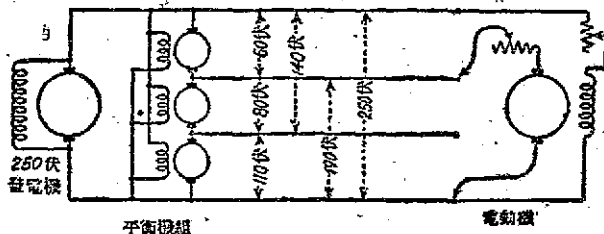


圖 13.28 複電壓速率控制法

140, 190 及 250 六種電壓。以之施於電樞，則得六種速率。至於較精細之速率調節，可以變動場電路電阻完成之。因其需用一平衡機組或類似之機件，且必須多根電線，故此法不適於一般之電動機控制。但在裝有多組直流升降機之處，用以變更啓動時之電壓，甚爲普遍。蓋變更電壓，可不用啓動電阻，其功率損失乃可節省。尤其升降機於一日之內，停而復駛，駛而復停者，不知若干次，其電能之節省，至關重要，此種電壓制之優點，更爲顯著。

13—21. 華德—黎翁那德制——在華德—黎翁那德制 (Ward-Leonard system) 中，見第 13.29 圖，一個電動機 M_1 策動一具他激式發電機 G_1 ，後者之電壓，再施於電動機 M_2 。變動此發電機之場激電流，得不同之電壓， M_2 即得不同之速率。其 M_2 之場電路，跨接於

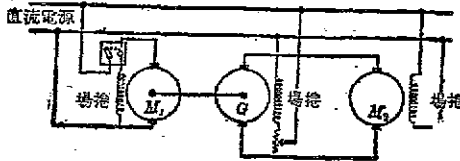


圖 13.29 華德—黎翁那德速率控制法

電源線路，與其他兩電機之場卷相並聯。此法較富伸縮性，並可得甚精細之速率調節及甚佳之速率調整率。惟整個制度之總效率甚低，尤以在輕載時爲最。縱電動機 M_2 不任負載，其他兩機亦必須開動，此乃其最大之劣點。前者多用於戰艦中砲位及舵之轉動工作，但亦此故而爲其他制度所代替。目前此法仍沿用於反向滾壓機及礦內運送任務等。

13—22 場控制法——在上述諸法中，所變動者，皆爲樞電壓，但場控制法 (Field control)，利用場變阻器，以變更其磁通 Φ ，亦可調節其速率。以電功率而言，則此法之效率甚高，且在已將速率

調節至某值後，其速率調整率甚佳，即由零載至滿載間速率變化之範圍甚小。惟因換向困難，其所可調節之範圍，至為有限。試考察第 13.30 圖， F 為在低速率時之場磁通勢， F_A 為其相應之樞磁通勢，其綜合磁通勢為 F_0 。荷減低其場之強度，以企增高其速率至兩倍，設不計及飽和情形，則新的場磁通勢為 F' ，為求換向之美滿起見，電刷更應後移，其樞磁通勢將為 $F_{A'}$ ，而綜合磁通勢將為 F_0' 。

是以中性面已後移甚多，其樞磁通勢之去磁部份乃增加。因場

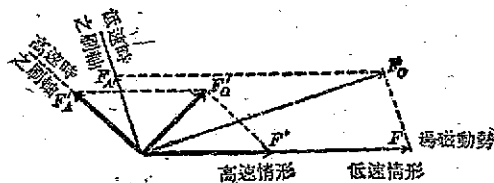


圖 13.30 弱磁場對於電刷位置之影響

磁通勢本身已甚弱，此去磁部份或與場磁通勢相抵，則主要磁場，被消去太多，電

動機有飛去之虞，至於在電刷上發生過烈之火花，尤其次焉。故欲免去因移刷所致之去磁影響起見，應採用換向磁極，庶幾其速率變動之範圍，可以擴展。在一設計得當而採用換向磁極之電動機內，其變動範圍，可達五與一之比。

13-23. 林肯電動機 —— 信用電機工程公司所製之林肯電動機 (Lincoln motor) 中，其穿入電樞之磁通，可將旋轉之電樞移進或移出以變更之。將電樞自磁極之下向外移出，則切割磁通之樞導線長度乃變短，電樞必須以較快之速率而旋轉，俾能產生所需之反電勢。此可使速率變動之範圍，達十與一之比，毋需裝置換向磁極，且其控制成績較為圓滑而調和。

12-24. 鐵道用電動機之串並聯控制法 —— 在用兩只電動機之電車中，將電動機串聯或並聯，可得兩種不同之速率。如第 12.31 圖(甲)所示，先以兩電動機相串聯，再與啓動電阻串聯，所施於每

一電動機之電壓既減半，加以電流為電阻所限制，其速率最低。嗣後，以控制器逐漸減少此電阻，至車達某速率為止。每電動機所得之電壓，為滿線路電壓之半，此為“第一行駛”位置。因外接電阻多被割出，每電動機之效率，大致與接於滿電壓時相同。再因電動機之轉矩，僅視其電流而定，故每電動機仍可產生其接於滿電壓時所可產生之轉矩。

如欲再增快其速率，則以兩電動機相並聯，

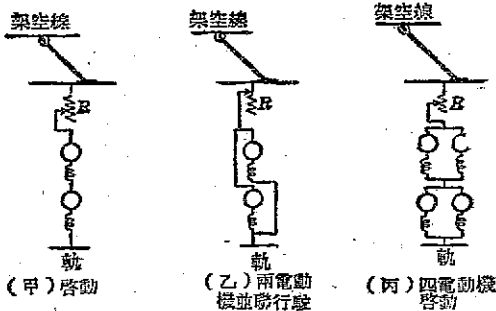


圖 13.31 串激電動機之串並聯控制法

而與啓動電阻 R 之一部份相串聯。然後再逐漸減少此電阻，以達最高之速率，此為“第二行駛”位置。此時每電動機皆直接跨接於滿線路電壓上，有如圖(乙)。

在用四只電動機之電車中，大概分為兩組，以兩只電動機相並聯為一組。在啓動時，以此二組相串聯，每組與兩只電動機中之每只相似，再與啓動電阻相串聯，見第 13.31 圖(丙)。若以兩組並聯跨接於滿電壓，則每機得滿電壓，達其滿速率行駛位置。

13—25. 複單位控制法——在較重之電車或電動機關車內，其電流太大，以安全，成本，及控制器之大小而言，則直接在司機台控制，決不可能。再者若數輛車接成一列，所有各輛車中之電動機，必須用一個控制器以控制之，且每一動作必須同時使各車響應之。

在複單位控制法(Multi-Unit control)中，所有大電流電路

之啓閉，皆由裝於車底以螺管致動之接觸器 (Contactor) 司之。若干螺管所需用之電流，再由一輔助線路司之，此之謂列車線路 (Train line)，貫通整個列車 (見第 13.32 圖)。此列車線路經一節車至他節車，由插孔及插塞之組合聯絡之，此插式連接器置於車輻耦合器 (Car coupler) 內。此列車線路之電功率，經主控制器 (Main controller) 而取給於線路，由司機者控制之。此列車線路之電流，不過 2.5 安之譜，故一較小之司機台控制器 (Platform controller)，即可敷用。再者，在啓動之際，當加速時，其啓動電阻之逐步減低，皆由自動運用之接觸器，核時循序完成之，非為司機者所控制，庶幾其加速得以均勻，免去因加速過急致斷路器跳開，或電之設備受過量電流震激之弊，此為其最大優點。

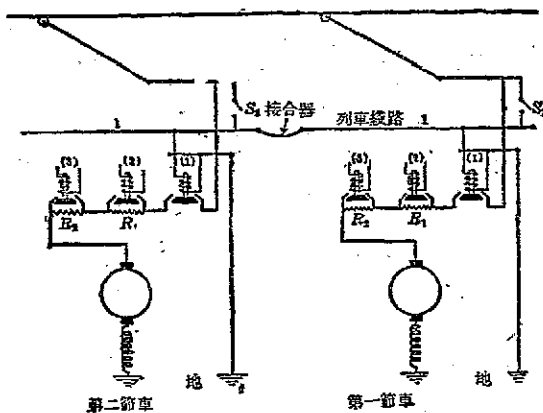


圖 13.32 複單位控制之原理
(圖中「接合器」應作「車輛耦合器」)

第 13.32 圖說明複單位制運用之原理，該圖僅示其大概，當然不能顯示全部線路之細目。每車有其滑觸輪 (Trolley)，或在第三軌上之小輪，以取給電流。列車線路經車輻耦合器之連接，貫通全列列車。此線路大概包括六根細線，使接觸器動作之螺管，接於列

車線路上。有數接觸器，直接由司機者所控制之控制器司其動作，餘者在主控器達某一位置後，即自動運用。例如，第 13.32 圖中所示之兩電動機，係分裝於兩節車內者，假定此兩節車之行止，由第一節內司機者控制之。若第一節車內之控制器將開關 S_1 閉合，則列車線路 1—1 上有電流，使每車中之替續器 (1) 得磁，兩替續器同時將電動機電路接通，經啓動電阻 R_1, R_2 而接至架空線上。當電動機速率甫增，此電流即降低，於是各節車中之替續器 (2) 自動被激發，電阻 R_1 被捷接。嗣後其他替續器依次動作，按時將各段電阻拆發，使電動機直接跨接於架空線與軌間。

整個制度共有六線，有司啓動者，有司串聯與並聯之變換者，有司變換旋轉方向者。此種控制方法之優點，已如上述。各車可集中指揮，且同時動作，其加速皆按一定之程序，不致過急或過緩，且每車皆有電動機直接推動其車輪，可得甚高之加速，即在單節車中，此法亦頗盛行。

13—26. 動力與再生制動法——苟電動機被其負載所推動，如升降機或起重機下降時之情形，每欲將其急速停止，必須有一種制動設備。常用一控制器，將場卷接於線路，而跨接一電阻於電樞之兩端。當該機被負載推動，發生發電機作用，發出電能，消耗於電阻內，因以使電樞減速至全停為止。若用串激電動機，其場卷必須經過一限制電阻，始能接於線路上。不過當電樞旋轉漸緩，所產生電勢漸小，其電阻所消耗之能量亦少，制動作用亦漸微弱，故不能立刻使電樞全停。

一個串激電動機之動力制動 (Dynamic braking) 作用，可以第 13.33 圖說明之。在圖 (甲) 中，依其接線法，電動機旋轉以舉高負載。當舉達某一位置時，利用控制器將電動機之電路中斷，如圖 (乙)，於是制動用螺管 (Brake solenoid) 失磁，使磁性剎動作 (參

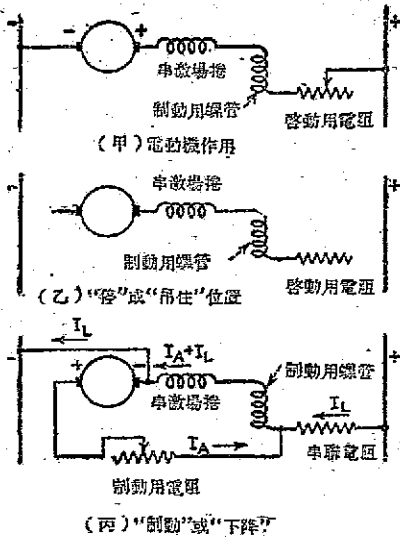


圖 13.33 動力制動法

看第7.19圖),升降機乃停,將負載停於某一地位。當負載下降時,司機者再利用控制器將接線圖改成圖(丙)之接法。一個電阻與串激場卷相串聯,適使足量之電流 I_L 流過,以激發制動線管,將磁性軛放鬆。此電流亦流過串激場卷至負線路端,但不經電樞,故無電動機作用。反之,因負載重量而下降,將電樞策動,使其逆上升時之方向而旋轉,則電樞旋轉於串激之磁場內,產生一電勢,使電流 I_A 流過制動用電阻(Braking resistance)。此時負載供給轉矩,電樞接通於外電路。因其磁場方向與上升時相同,而旋轉方向相反,應用左手及右手定則,可知其樞電流之方向,必與上升時由線路流入電樞之電流方向相同。此電流經過場卷,將原有之電流 I_L 增強,亦增高其應電勢,於是制動作用更為有效。任不同之負載,則變更制動電阻以適應之。較重之負載,有較大之轉矩,其制動效用亦較大。

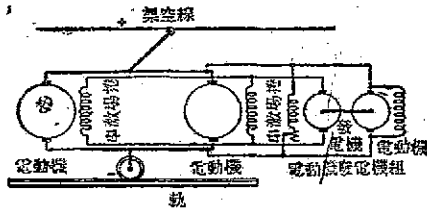


圖13.34 串激用串激電動機接成再生制動之情形

再生制動法 (Regenerative braking) 之原理，與上述者相仿，不過其電能送返至線路上，為其他負載所利用，而不虛耗於電阻耳。

串激或複激電動機，若並聯運用於恆壓制度中，殊不穩定(見第 14—16 節)。是以串激電動機之用於電車鐵道者，若以再生法制動之，其串激場恆由一電動發電機組所供給之低壓電源激發之(第 13.34 圖)。此制用於芝加哥—聖保羅與太平洋鐵路 (Chicago, Milwaukee St. Paul, & Pacific Railroad) 之電動機關車中。

13—27. 電動機試驗—普隆納製——電動機在運用時，吾人常欲試驗其任載時之效率，而所求者為在負載範圍以內之情形。例如用電動機策動他種機器，如發電機，抽水機或鼓風機之類。用安培計及伏特計，可量度電動機之電功率輸入，若再測知其效率，則不

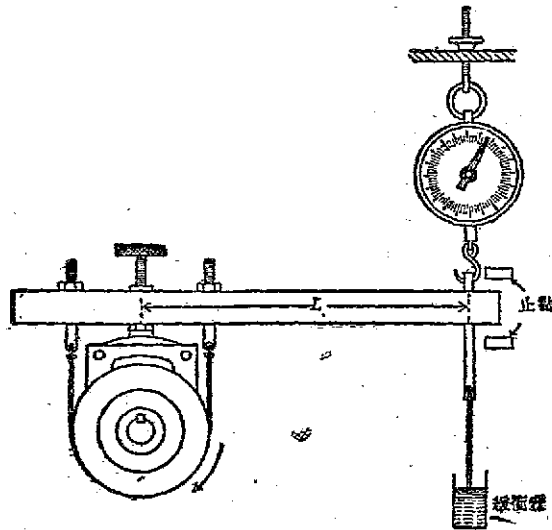


圖 13.35 典型的普隆納製

難算出其功率輸出，此即被策動機器之功率輸入。是以電動機之效率，對於測知某種機器所取用之機械功率，殊有助益。

在 50 匹馬力以下電動機之輸出，可利用普隆納軛 (Prony-brake)，以直接量度之。此種軛之形式甚多，第 13.35 圖所示者為其一種。該軛包括長度適中之木臂，一個帆布製軛帶 (Brake band)，及一手搖盤，用以施拉力於軛帶上。轉動此手搖盤，可變更軛帶與電動機滑輪間之摩擦力，即調節施於該機之負載。最好用一貯油緩衝壺 (Oil dash-pot)，以制止軛臂之震動。

懸掛軛臂之磅秤，量度軛臂所受之拉力，及臂之固有重量。減去臂重，得淨拉力，再以臂長乘之，即求出電動機在滑輪端之轉矩。

欲求軛臂之固有重量，其法有二，將軛帶放鬆，以銳邊之物如鉛筆之類，置於軛鼓 (Brake drum) 與軛架間 (Brake carriage) 作為無摩擦之支點，則磅秤即稱得臂重。另一簡易之法，先將軛鼓向磅秤方面旋轉，即停，讀取磅秤之紀錄，此時軛帶與軛鼓間之摩擦，使磅秤紀錄過高。再將軛鼓循反方向旋轉，則此同一摩擦力，使磅秤紀錄過低。以此二紀錄平均之，可求出臂之固有重量，大致不錯。

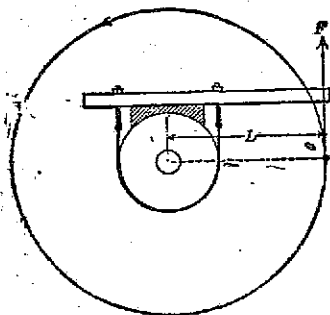


圖 13.36 軛臂所作之功

傾水於凹邊之軛盤，可助其冷卻，使軛盤不致過熱。在空氣內水之溫度，不能超過 100°C ，故軛盤之溫度亦不致超出此值。良以軛盤之熱，使水蒸發為汽，將少量之水化為蒸汽，所需之熱，甚為可觀，故些許之水，可保持軛盤不使過熱。

欲求此軛所取用之功率，可

研究第 13.36 圖。令 F 為在距離軛盤中心 L 呎處所施之淨力，以磅計。先假定軛盤為靜止的，而將軛臂，以 F 磅之力沿軛盤之周圍而旋轉。每旋一轉，此力所施行之距離為 $2\pi L$ 呎，此臂所作之功為 $2\pi LF$ 呎磅。在旋 S 轉時所作之功為 $2\pi(FL)S$ 呎磅。若 S 為旋轉速率，以每分轉數計，則其功率可化作馬力如下：

$$\text{馬力} = \frac{2\pi(FL)S}{33,000}$$

但 FL 等於轉矩 T ，故

$$\text{馬力} = \frac{2\pi TS}{33,000} = 0.00019TS \quad (13.11)$$

無論其軛盤靜止不動，以軛臂繞盤而旋轉，抑或軛臂靜止不動，以軛盤旋轉，其所作之功固同。故第 13.11 式，亦可用於第 13.35 圖及第 13.36 圖中。在此特殊之軛上，其馬力與軛盤之直徑無關，但軛臂應始終保持其水平位置。

【例題 13.9】 在一分激電動機之制動試驗中，其輸入端之伏特計及安培計各顯示 220 伏及 34 安，其速率為 910 轉/分。用 2 呎長之軛臂，其末端磅秤紀錄 26.2 磅。臂之固有重量為 +2.4 磅。求：(甲)電動機之輸出，(乙)在此負載時之效率。

【解】(甲)磅秤之淨紀錄應為 $26.2 - 2.4 = 23.8$ 磅。

其轉矩 $T = 23.8 \times 2 = 47.6$ 磅呎。

其馬力輸出 $= 0.00019 \times 47.6 \times 910 = 6.23$ 馬力。 (答)

(乙)輸出 $= 6.23 \times 746 = 6,140$ 瓦。

輸入 $= 220 \times 34 = 7,480$ 瓦。

效率 $= \frac{6,140}{7,480} \times 100 = 82.1\%$ 。 (答)

另一種軛之式樣為索軛 (Rope brake)，如第 13.37 圖所示，以一繩繞於軛盤一匝有半，其兩自由端各繫於一磅秤上。其大磅秤在繩之一端，該端因電動機之旋轉而向下拉。令 F_1 為大秤之紀

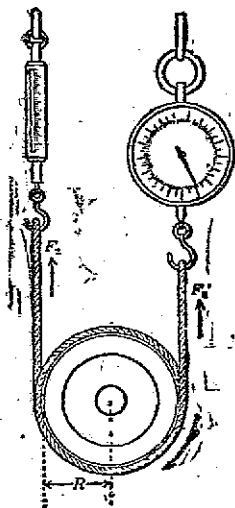


圖13.37 索軛

錄， F_2 爲小秤之紀錄，因 F_1 及 F_2 兩力，對電動機之旋轉方向而言，係相反的，故施於盤緣之淨力爲 $F_1 - F_2$ 磅，其轉矩爲

$$T = (F_1 - F_2)R \text{ 磅呎。}$$

其 R 爲軛盤之半徑，以呎計者。

【例題 13.10】 在如第 13.37 圖所示之索軛中， $F_1 = 32.4$ 磅， $F_2 = 8.2$ 磅，其軛盤之直徑爲 10 吋，若電動機之速率爲 1,400 轉/分，問電動機之馬力輸出爲若干？

$$\begin{aligned} \text{【解】 轉矩 } T &= (32.4 - 8.2) \times 5/12 \\ &= 10.08 \text{ 磅呎。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{輸出} &= 0.00019 \times 10.08 \times 1,400 \\ &= 2.68 \text{ 馬力} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

13—28. 速率之量度 —— 量度一部機

器之旋轉速率，較量度其轉矩，簡便多多。

最普通之方法，用一計速器 (Speed counter)，裝有圓錐形橡皮塞，可塞入轉軸之凹孔內，軸轉則計速器之軸隨之旋轉，其旋轉次數，紀錄於計速器上，可直接讀取之。有夫意德爾式 (Veeder type) 者，其紀錄不能返回至零，故每次所讀得之紀錄，減去上次之讀數，始得所計之轉數。

其賈羅畢速率計 (Jagabi Tachoscope)，爲計速器與停錶 (stop-watch) 之組合。將其軸塞入機器轉軸之凹孔內，計速器可以不動，但稍加壓力，則計速器與停錶同時啓動。若移去此壓力，兩者又同時停止。於是可由所紀錄之時間及轉數，計算其速率。用此器可免量度者個人之差誤。

速率計 (Tachometer) 則顯示任何時之瞬間速率。有一種機械

的速率計，其指示器由離心作用所致動，能直接指示機器之每分鐘轉數之速率。惟常用則機械難免受損，易滋錯誤，宜不時核驗校準之。

一種簡便之計速器，為一直流久磁發電機(D.C. Magneto)及一伏特計之組合，如第 13.38 圖(甲)所示。在發電機內，其磁通由

永久磁鐵供給之，其應

電勢與速率成正比。以

伏特計量度其應電勢，

將伏特計之讀數，乘以

一個常數，即得其速率，

其速率與應電勢之關係，

如第 13.38 圖(乙)所

示。由此曲線及伏特計

讀數，可尋出其速率。因

此曲線為穿過原點之直

線，僅需一組紀錄，即可

將此線準確地繪出，但

伏特計上之刻度，若經

校準，可直接刻成每分

轉數，毋需校準曲線。以一段橡皮管，將久磁發電機之軸耦合於所

量機器之軸，橫軸上附裝一段短梗，以便耦合之用，此可於第 13.38

圖(甲)內視之。

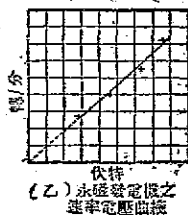
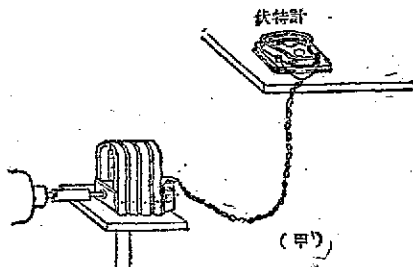


圖 13.38 用久磁發電機及伏特計以量度速率

13-29. 電動發電機 —— 美國電機工程學會對電動發電機 (Dynamotor) 之定義如下。

一個電動發電機為一種功率轉換工具，將電動機與發電機作用，合併於一磁場內，或用兩個電樞，或用一個電樞繞有兩個各別之極卷組，並備有兩個

獨立之換向器。

若機內僅有一只電樞，其兩個樞卷組不必皆置於同一槽內。其一卷組取用電流，發生電動機作用，使電樞旋轉。於是另一卷組，即割切磁通，發生發電機作用而供給外界之電能，此實為一種變換直流電功率，由一種電壓至他種電壓之設置。因電動機電流，與發電機電流，在樞卷組內方向相反，其淨樞磁通勢甚小，適足產生用以克制機械摩擦力之轉矩，故其電樞反應甚微。

因兩卷組同時以同一速率，割切同一磁場之磁通，其應電勢必與各卷組之匝數成正比。雖變更場強，亦不能使其應電勢有所變更。例如，苟將其磁場增強，則電動機樞卷組與發電機樞卷組，皆割切較強之磁通。由電動機原理，因其反電勢加高，速率乃自行降低，以維持其原有之應電勢，使樞電流不變。於是發電機樞卷組，亦以低速率割切強磁場，其應電勢亦不變。反之，若將其樞場減弱，則電樞以較高速率而旋轉，其應電勢仍不變。不過在換向器端所得之電壓，因受各樞卷組內電阻壓降之影響，二者之比，與應電勢之比，微有差別，且隨電流為轉移。

在某種汽車用供電制中，在啓動時，常將電動發電機用作電動機，以啓動汽車。既啓動後，則用作發電機，使蓄電池充電。

第十四章

失損效率與運用

14—1. 電機之功率損失——發電機取用機械能，變換為電能，而輸出於電之負載。電動機取用電能，變換為機械能，而輸出於機械的負載。當其變換也，必有若干能量，損失於電機內，發而為熱。不獨將能量虛耗，且使電機內發熱，因而不得不限制其輸出。苟發熱過甚，對於各部之絕緣，殊為有害。

無論其為發電機，抑為電動機，其各種損失之性質相同，故合論之。

(1) 銅內損失

銅內損失 (Copper loss)，即電阻損失，指電機內各部電阻所損失之功率。

(1) 電樞——樞卷組 (Armature winding) 有電阻，電流通過，自損失功率。除樞卷組之銅，損失一部份功率外，尚有電刷及換向器所致之損失，亦包括在內。令 P_c 為總功率損失，則

$$P_c = I_a^2 R_c \quad (14.1)$$

其 I_a 為樞電流， R_c 為樞電阻，在電機兩端量得者，包括電刷，換向器及二者間之接觸電阻在內。接觸電阻並非恆定，但在一般情形，可認為恆定的。苟屬必需，應依其所載電流之密度校核之（見第 12—16 節，及第 12.31 圖）。量度樞電阻之法，如第 14.1 圖所示。將電阻 R 插入線路中，以限制流入靜止電樞之電流，用壓降法（見第

5—11節),由伏特計及安培計之紀錄,可算出其電阻。當量度時,應

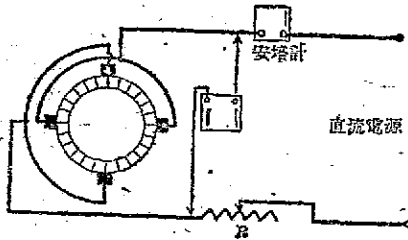


圖 14.1 測電阻之量法

將電樞變換三個或四個不同位置,然後求其平均電阻。在量度法中,通常用低電阻之伏特計,當線路被中斷時,電樞所自感之應電勢,每易使伏特計受傷。故當接

拆電路及變換電樞位置時,應拆去伏特計,以策安全。

(2) 分激場卷——分激場卷組,連同其場變阻器,跨接於發電機或電動機之端電壓 V ,取用電流 I_f ,包括場變阻器在內,其所損失之功率為

$$P_f = VI_f \quad (14.2)$$

(3) 串激場卷——若 R_s 為串激場卷組之電阻,則串激卷組之功率損失為

$$P_s = I_a^2 R_s \quad (14.3)$$

其 I_a 為串激場之電流,或與樞電流同值,或否,視電機之為長並聯式或短並聯式而定。

若串激場用分流器,則 R_s 為串激卷組與分流器並聯後之等效電阻; I_a 為串激電流與分流器電流之和。

其換向磁極所損失之功率,與串激場同,可以同法求之。

以上所列,皆為銅內損失,皆可以直接量度,或由儀器之紀錄計算,並可得十分準確之結果者。

(II) 鐵內損失

鐵內損失(Iron loss),係指各部鐵質,因磁通變動,或割切磁

通所致之功率損失。

(1) 渦流損失——因樞鐵與銅質導線,同旋轉於同一磁場內,故鐵內亦必產生應電勢。且因鐵為良導體,鐵質部份內之電流路徑較短,截面甚大,苟樞鐵為整個一塊,則必有大量電流,周流於其內部,如第 14.2 圖(甲)所示此之謂渦流(Eddy-current)。此等電流即代表功率損失,為商用電機內所必不能免者。若將樞鐵分為疊片,如第 14.2 圖(乙)之情形,其內部電流所經之路,被裂成片段,電流乃減少。疊片雖不能全部免除渦流損失,但可將其減至最

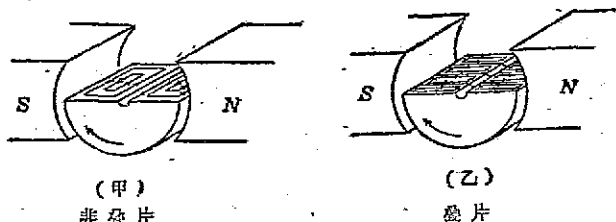


圖 14.2 樞鐵中之渦流

低之值。因疊片與磁通方向相平行,故無損於磁路,不致增加其磁阻。

因渦流與磁通及速率成比例,而功率損失與電流之平方成比例(I^2R),故渦流損失隨速率及磁通之平方而變化。

【例題 14.1】某電機在每分 800 轉,及每極有 2,000,000 線之磁通時,其渦流損失為 600 瓦。問若磁通加至每極 2,500,000 線,速率高至每分 1,200 轉,其渦流損失為若干瓦?

$$P_w = 600 \times \left(\frac{2,500,000}{2,000,000}\right)^2 \times \left(\frac{1,200}{800}\right)^2 = 2,160 \text{ 瓦} \quad (\text{答})$$

(2) 磁滯損失——在第八章內曾述及,若將鐵質經一週之磁化循環,則有能量損失,與其磁滯迴線之面積成比例(見第 8-13 節及 8-14 節)。電樞在旋過一對磁極之下,其鐵質經一次磁滯循環。試就第 14.3 圖中之一小塊樞鐵觀之,在位置(a)時,適處

N 極之下，該小塊之兩端，被感應為 N 及 S 二極。若該小塊達位置

(b)，已在 S 極之下，其所感應之磁極亦反。嗣後乃繼續被反向磁極所磁化，必致有甚大之磁滯損失。依史伊麥茲公式(第 8.13 式)，此磁滯損失，與速率成比例，並與最大磁通密度之 1.6 方成比例。用疊片僅能減低滯流損失，

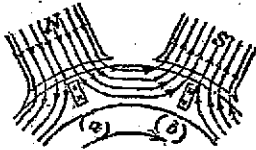


圖14.3 樞轆中磁通之反向與磁滯損失無涉。

(3) 極面損失 (Pole-face loss)——磁通成簇經過樞齒，穿入或穿出電樞，已見第 7.25 圖，此成簇磁通穿過極面，為脈變的，於是有滯流感應於極面之上，如第 14.4 圖所示者，因此有功率損失。同時因磁通之脈變，又召致磁滯損失。此二損失，皆與磁通及速率有關。因其主要部份為滯流，故極掌亦宜採用疊片(見第 11.19 節)。

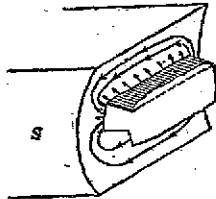


圖14.4 因樞齒之磁通簇所致之極面損失

(III) 摩擦損失

摩擦損失(Friction loss 即機械損失)，包括軸承摩擦力，電刷摩擦力，及風阻力所致之功率損失(Windage loss)，皆為速率之函數。

(IV) 無法決定之損失或雜散負載損失

凡無法決定之損失 (Indeterminable losses)，大部皆由負載電流所致之磁場扭轉而生者，包括鐵損失，因磁通橫穿導線而致

(1) 參考 "Direct-Current Rotating Machines, Generators and Motors" Table III 載 A. I. E. E. 標準卷第五號，1925 年七月印行，并參考該書第 5-350 節至第 5-368 節。

之渦流損失,及槽齒頻率損失(Tooth-frequency loss)等。尙有在換向時,捷路電流經電刷及換向器,亦召致某種損失。在美國電機工程師學會之標準中,建議此種損失為輸出之百分之一。但電動機之在 200 匹馬力, 575 轉/分,及較此猶小者,並未指定此種損失之百分數,故現可不計。此種損失因其皆為負載電流所引起之雜散損失,故亦稱為雜散負載損失(Stray-load loss)。

(V) 總 結

以上所述各種損失,可歸納之如下:

銅內損失 $\left\{ \begin{array}{l} \text{電樞的 } I_a^2 R_a, \\ \text{分激場的 } \nabla I_f, \\ \text{串激場的 } I_s^2 R_s, \end{array} \right.$

雜散功率 $\left\{ \begin{array}{l} \text{鐵內損失(包括電樞的及極面的在內):} \\ \text{渦流損失——磁通及速率之函數。} \\ \text{磁滯損失——磁通及速率之函數。} \\ \text{摩擦損失(軸承的,電刷的,風阻力)——速率} \\ \text{之函數。} \end{array} \right.$

雜散負載損失 $\left\{ \begin{array}{l} \text{鐵及導線損失——負載磁通扭轉之函數。} \\ \text{換向時捷路損失——負載電流之函數。} \end{array} \right.$

(在以下之論述中,雜散負載損失,皆從略)。

銅內損失,可得而直接量度,或從而計算。鐵內及摩擦損失,既不能直接量度,亦不易計算,且為速率或磁通,或二者之函數,故稱為雜散損失(Stray losses),其所代表之功率,謂之雜散功率(Stray power)。

雜散功率既為磁通及速率之函數,則在某電機內,苟速率及磁通不變,其雜散功率亦不變。故無論其負載若何,雜散功率可認為恆值,除非速率及磁通有所變動耳。

與銅內損失不同，此雜散功率皆以機械方式供給之。例如在電動機中，有一機械轉矩用以維持雜散功率，使在滑輪端所得轉矩，小於電樞內所產生者。在發電機內，此雜散功率，由其策動機器供給之，而非取自發電機本身者。在另一方面，所有電之損失，則均由發電機供給之者。

14-2. 效率——任何一種機器之效率 (Efficiency)，為其輸出與輸入之比。即，

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}}。$$

此可寫成下列任何一種形式：

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸出} + \text{損失}}， \quad (14.4)$$

$$\text{效率} = \frac{\text{輸入} - \text{損失}}{\text{輸入}}。 \quad (14.5)$$

是以若一機器之損失為已知，則不難由其輸入或輸出計算其效率。

在計算效率時，多用電功率，而不用機械功率。計算發電機之效率，則用第 14.4 式，因其輸出為電功率，易於量度而計算也。同理，電動機之輸入為電功率，故用第 14.5 式。

【例題 14.2】某分激電動機自 220 伏電源取用 40 安，其總損失為 1,800 瓦。求其效率。

【解】應用第 14.5 式，

$$\text{效率} = \frac{220 \times 40 - 1,800}{220 \times 40} = 0.796 \text{ 或 } 79.6\%。 \quad (\text{答})$$

14-3. 電動機及發電機之效率——電機之效率，大率甚高，可於下表內瞻之。該表示幾種典型的電動機之約重及其效率。其具有相同額定輸出之發電機，其效率實際上與發電機同。

電動機輸出 馬力	速 率 每分鐘數	電動機本身 之約重, 磅	效率, 百分數		
			負 載 情 形		
			1/2	3/4	滿載
1/2	1,140	54	64	71	74
3/4	1,725	54	66	71	73
3/4	1,140	82	70	73	76
1	1,725	80	68	74	76
2	1,725	170	71	77	79
3	1,725	180	73	78	80
5	1,750	260	74	80	83
10	1,150	500	82	85	86
25	1,150	890	84	86	87
50	850	1,640	85	88	89
100	850	2,890	87	89	90
200	850	4,410	89	91	92

荷用普隆納軌(見第 13—27 節),可同時量度電動機之輸入及輸出,則不難算出其效率。

依理論,發電機之效率,亦可同時量度其輸入及輸出,再從而計算之。其輸出固可用一安培計及一伏特計,加以量度,但無法量度其由策動機器傳遞而來之轉矩。故其輸入之機械功率,殊難測知。曩有採用扭式(或鞍架式)功率計(Torsion dynamotor),但其結果殊難滿意。以發電機懸於一鞍架(Cradle)上,如第 14.5 圖所示。其發電機軸,支持於軸承內,使整個機殼可以自由轉動。欲阻止機殼之轉動,必需要一種轉矩,此可以量度得之。此種鞍架既甚昂貴,且不易適合各種發電機之用,再者其機軸必須伸出於兩端軸承以外,此皆其不便之處。

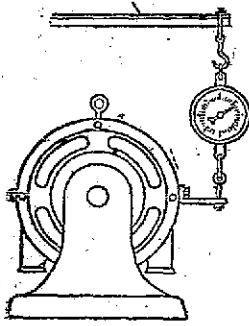


圖 14.5 磅架功率計

在直接量法中，如輸入或輸出有甚小之差誤，其所算得效率，亦有同樣百分數之差誤。再者，其量度時所需之功率，必須與其定額相等。除供給功率於所量之機器外，其輸出之功率，亦必須設法吸收。在小型機內，供給與吸收，皆無甚問題。若所試驗者，為大型電機，則供給功率固屬困難，而吸收功率又豈易事，且竟非力所能及者。

有上述諸原因，故常須量度電機之損失，再求效率，或且為必然之手續焉。

【例題 14.3】一具 250 仟瓦，230 伏複激發電機，以 230 伏電壓供給 800 安電流。其分激場電流為 12 安，其樞電阻為 0.007 歐，串激場電阻為 0.002 歐。在此負載情形下，其雜散功率為 5,500 瓦。若發電機為長並聯式，問其效率為若干？

【解】

$$\text{輸出} = 230 \times 800 = 184,000 \text{ 瓦。}$$

$$\text{分激場損失} = 230 \times 12 = 2,760 \text{ 瓦。}$$

$$\text{電樞損失} = 812^2 \times 0.007 = 4,620 \text{ 瓦。}$$

$$\text{串激場損失} = 812^2 \times 0.002 = 1,320 \text{ 瓦。}$$

$$\text{雜散損失} = 5,500 \text{ 瓦。}$$

$$\text{總損失} = 14,200 \text{ 瓦。}$$

$$\text{效率} = \frac{184,000}{184,000 + 14,200} = \frac{184,000}{198,200} = 0.928 \text{ 或 } 92.8\% \text{ (答)}$$

14—4. 雜散功率之量度——在發電機或電動機中，欲複製其雜散功率，僅須複演其磁通及速率即可。由第 13.7 式，可見僅複演其速率，俾獲與實際運用時相同之電勢 E ，則其磁通亦即實際運用時所有者，磁通乃亦可複演。

在量度雜散功率時,無論其為電動機,折為發電機,皆用之若電動機,而不任負載,如第 14.6 圖所示。其場卷經一變阻器而接於線路上。

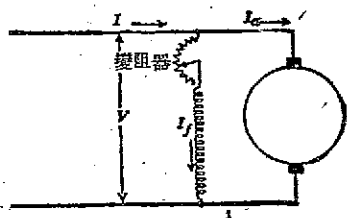


圖 14.6 電機內雜散功率之決定

若 V 為端電壓, I 為線路電流, I_a 為樞電流, I_f 為場電流,則其輸入於該電機之總功率為

$$VI = V(I_a + I_f) = VI_a + VI_f.$$

其輸入功率之分配如下:一部供給場電路之損失,一部供給電樞之損失 $I_a^2 R_a$, 餘者則為雜散功率 ($S.P.$), 其輸出為零。即,

$$VI_a + VI_f = VI_f + I_a^2 R_a + S.P.$$

$$S.P. = VI_a - I_a^2 R_a, \quad (14.6)$$

故雜散功率為輸入於電樞之功率,減去樞電阻之電功率損失。

【例題 14.4】 某分激發電機,用若一無載之電動機時,其速率為每分 1,000 轉,由 115 伏電源取用 12 安電流。其場電流為 7 安,樞電阻為 0.03 歐。問在此速率及磁通時,其雜散功率為若干?

【解】 樞電流 = $12 - 7 = 5$ 安。

$$\text{雜散損失} = 115 \times 5 - 5^2 \times 0.03 = 575 - 0.75 = 574.25 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

由此例可見樞電阻所損失之功率甚微,可以從略。

假定該機在滿載時,以每分 1000 轉之速率,能於 110 伏電壓之下,供給 100 安,其場電流仍為 7 安。今欲求在此負載時之雜散功率。

苟能於輕載量度時,複演其在滿載時之應電勢 E 及速率 S , 則所量得之雜散功率,即足代表其在滿載時所損失者。在滿載時,該機之應電勢及速率各為

$$E = 110 + (107 \times 0.03) = 113.2 \text{ 伏}, S = 1,000 \text{ 轉/分}.$$

在輕載量度時，將該機用作一不任負載之電動機，其接線法見第 14.7 圖。以一變阻器 R 及一安培計，直接接於樞電路中，以伏特計跨接於電樞之兩端。先調節電阻 R ，使 $V_1 = 113.2$ 伏，在此情形時之樞電阻壓降，可以不計。然後調節其場變阻器，使速率為 1,000 轉/分。於是此機所運用之速率與磁通，與前次任載時相同，而雜散功率將為

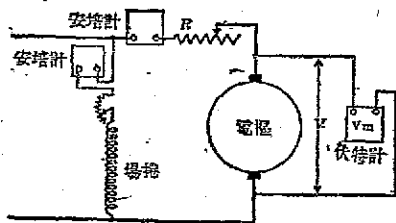


圖 14.7 量度雜散功率之接線圖

$$V_1 I_a - I_a^2 R_{a0}$$

【例題 14.6】假定以第 14.7 圖之接法，如上述之調節，其樞電流為 4.8 安， $V_1 = 113.2$ 伏（略去樞電阻之甚小壓降 $4.8 \times 0.03 = 0.144$ 伏不計）。求其雜散功率及該機之效率。

【解】 雜散功率， $S.P. = 113.2 \times 4.8 - 4.8^2 \times 0.03 = 542$ 瓦（答）

$$\text{功率輸出} = 110 \times 100 = 11,000 \text{ 瓦}$$

$$I_a^2 R_{a0} \text{ 損失} = (100 + 7)^2 \times 0.03 = 344 \text{ 瓦}$$

$$V I_f \text{ 損失} = 110 \times 7 = 770 \text{ 瓦}$$

$$S.P. \text{ 損失} = 542 \text{ 瓦}$$

$$\text{總損失} = 1,656 \text{ 瓦}$$

$$\text{效率} = \frac{11,000}{11,000 + 1,656} = 0.869 \text{ 或 } 86.9\% \quad (\text{答})$$

14-5. 在不同場電流時之雜散功率——有時需要求出在相當負載範圍內，一電機之雜散功率，因確知其各種運用情形時之雜散功率者。雜散功率，為速率及磁通兩變量之函數，故甚難以一曲線，兼表在各種情形時此三者之關係。故常以二變量中之一，保持不變，或速率或磁通皆可，而變動他者。如第 14.7 圖之接法，為便

利計,可將磁通保持不變,調節樞電路內之電阻 R ,其速率乃變。

磁通又為場電流之函數,故雜散功率亦可認為場電流及速率之函數。不過以同值場電流,激發其磁場,在輕載試驗時,電樞反應極微,其機內之磁通或大於實際任載時者。蓋在後述情形,有電樞反應故也。若假定其雜散功率相同,不免召致差誤。

故用場電流以替代磁通,而求其雜散功率時,因上述電樞反應之關係,其所量得之功率,或大於實際任載時所損失者。在任載過量時,電樞反應,將磁通之分佈狀態,有所畸變。磁通常被擠緊於一隅,雖其平均磁通密度相同,但在某一總磁通值時之損失,不免增多(可參閱第12.18圖)。因此,前所論之差誤,或可抵消一部份。再者,因磁滯關係,在某值場電流時,其磁通未必皆同,此亦可引起些許差誤。

在測試雜散功率時,可將場電流保持於某一恆值,變動其速率於實際上該機所運用之範圍內,然後換一場電流再試之。至少應在三種不同之場電流情形量度之;一為該機所可運用之最大值,一為最小值,一為適中值。於是得如第14.8圖所示之三條曲線。

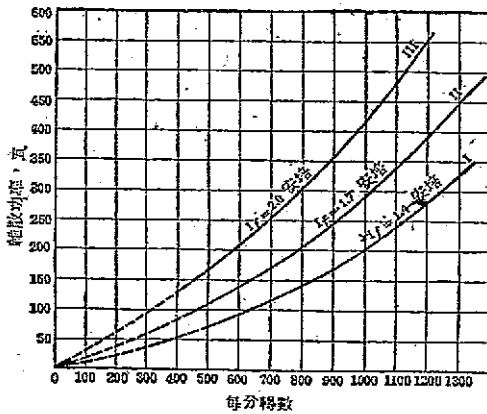


圖 14.8 典型的雜散功率曲線

【例題 14.0】 第 14.8 圖之曲線,係用上法測試一 10 仟瓦,230 伏發電機

而得者。其滿載電流為 48.5 安，樞電阻為 0.14 歐，其速率保持為 1,000 轉/分。求該機在滿載及半載時之效率。其端電壓皆為 230 伏。滿載時之場電流為 1.8 安，半載時之場電流為 1.5 安。

$$\begin{aligned} \text{【解】 在半載時, } I &= 48.5 \div 2 = 21.8 \text{ 安。} \\ I_a &= 21.8 + 1.5 = 23.3 \text{ 安。} \\ I_c^2 R_a &= 23.3^2 \times 0.14 = 76 \text{ 瓦。} \\ VI_f &= 230 \times 1.5 = 345 \text{ 瓦。} \end{aligned}$$

由第 14.8 圖，在 1,000 轉/分之縱坐標上，取自曲線 I 至曲線 II 間距離之三分之一（相當於 $I_f = 1.5$ 安），其雜散功率讀得為 230 瓦。

$$\text{總損失} = 76 + 345 + 230 = 651 \text{ 瓦。}$$

$$\text{效率} = \frac{230 \times 21.8}{230 \times 21.8 + 651} = 0.885 \text{ 或 } 88.5\% \quad (\text{答})$$

在滿載時， $I = 48.5$ 安， $I_a = 48.5 + 1.8 = 45.3$ 安。

$$I_c^2 R_a = 45.3^2 \times 0.14 = 287 \text{ 瓦。}$$

$$VI_f = 230 \times 1.8 = 414 \text{ 瓦。}$$

再由第 14.8 圖，查出相當於 $I_f = 1.8$ 安，速率為 1,000 轉/分時之雜散損失為 330 瓦。

$$\text{總損失} = 287 + 414 + 330 = 1,031 \text{ 瓦。}$$

$$\text{效率} = \frac{230 \times 48.5}{230 \times 48.5 + 1,031} = \frac{10,000}{11,031} = 0.907 \text{ 或 } 90.7\% \quad (\text{答})$$

又假定將該機用作電動機，自 230 伏電源取用 45 安，以每分 900 轉之速率而旋轉，其場電流為 1.6 安，問在此情形時之效率為若干？

$$I_a = 45 - 1.6 = 43.4 \text{ 安。}$$

$$I_c^2 R_a = 43.4^2 \times 0.14 = 264 \text{ 瓦。}$$

$$VI_f = 230 \times 1.6 = 368 \text{ 瓦。}$$

由第 14.8 圖，在 900 轉/分之縱坐標上，取自曲線 I 至曲線 II 間距離之三分之二（相當於 $I_f = 1.6$ 安），查出其雜散功率為 225 瓦。

$$\text{總損失} = 264 + 368 + 225 = 857 \text{ 瓦。}$$

$$\text{效率} = \frac{230 \times 45 - 857}{230 \times 45} = \frac{9,490}{10,350} = 0.916 \text{ 或 } 91.6\% \quad (\text{答})$$

14-6. 雜散功率作磁通及速率之函數——第14-5節曾述及, 雜散功率不能確實為場電流之函數。機內之淨磁通, 不獨視場電流為準, 且受電樞反應及磁滯之影響。然而, 雜散功率, 固可定為磁通之函數, 而不用場電流。

$$S.P. = f(\Phi, S).$$

不過用普通儀器, 量度磁通, 誠非易事。用第12.3式, 應電勢為

$$E = K \Phi S,$$

其 K 為一常數, 視樞卷組方式, 磁極數等而異, Φ 為由一 N 極穿入電樞之磁通, 而 S 為其速率。由此式求磁通, 得

$$\Phi = \frac{E}{KS}. \quad (14.7)$$

在某指定之機內, K 為定值。故雜散功率可視作 E/S 及 S 之函數, 即

$$S.P. = f\left(\frac{E}{S}, S\right). \quad (14.8)$$

若在兩種不同運用情形之下, 其 E/S 之比與 S 皆同, 略去無法決定之損失不計, 則其雜散功率亦同。此可以下列例題說明之。

【例題 14.7】一只 20 仟瓦, 220 伏分激發電機, 有樞電阻 0.096 歐。在 222 伏時供給 85 安, 其速率為 920 轉/分, 場電流為 2.24 安。(甲)問在若何輕載情形下運用時, 其雜散功率, 與上述滿載時者同?(乙)若在輕載試驗時, 其電樞自 230.4 伏, 取用 4.02 安, 其雜散功率為若干?(丙)求在所選負載情形時之效率。

【解】(甲) $E = 222 + (85 + 2.24)0.096 = 230.4$ 伏。

$$\frac{E}{S} = \frac{230.4}{920} = 0.251.$$

此機雖用作發電機, 但在求其雜散功率時, 則用作電動機, 如第 14.7 圖之接法。今調節其場變阻器, 直至其應電勢與速率之比為 0.251, 略去其在零載時之樞電阻壓降不計。再調節樞電路變阻器至速率為 920 轉/分。因變更其

輻電路之電阻，不致變更其磁通，其 E/S 之比亦不變。

(乙)由第 14.6 式，求出雜散功率為

$$S.P. = 230.1 \times 4.02 - 4.02^2 \times 0.036 = 926 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

(可參看第 14.9 圖中之 a 點)

(丙) 輸出功率 = $222 \times 85 = 18,870$ 瓦。

$$I_c^2 R_c = (85 + 2.24)^2 \times 0.096 = 730 \text{ 瓦,}$$

$$VI_f = 222 \times 2.24 = 497 \text{ 瓦,}$$

$$S.P. = 926 \text{ 瓦,}$$

$$\text{總損失} = 2,153 \text{ 瓦。}$$

$$\text{效率} = \frac{18,870}{18,870 + 2,153} = 0.898 \text{ 或 } 89.8\% \quad (\text{答})$$

因電樞反應，磁通恆被擠緊於一隅，其磁通分佈曲線有突出之峯。雖其被覆之面積，與一平頂曲線所被覆者同（參看第 12.18 圖），而其所致之雜散功率，必微大於後者。蓋雜散功率，不與磁通密度成正比，但隨磁通密度之某次乘方而變化，此方大於一次也。

14-7. 在恆量磁通時雜散功率曲線——今欲求一電機在其最大可能之運用範圍內之雜散功率，可令磁通為恆量，將雜散功率視作速率之函數而描繪為一組曲線，大概三條曲線即可敷用。

試考察第 14-6 節內例題 14.7 內所述之電機。欲求在用作發電機及電動機之各種運用範圍內之三條雜散功率曲線。其運用情形之範圍，視各種機器及用途而異。下列各值，可應用於一普通恆速之電機內。

當速率為最小，而 E 為最大時，機內有最大之磁通 Φ 。發電機在過載時之應電勢 E 為最大。假定有百分之廿五之過載，其額定電流為 91 安，再假定場電流為 3 安，則

$$E_1 = 220 + (114 + 3.0) \times 0.096 = 231.2 \text{ 伏。}$$

此電機之速率，不致低於每分 900 轉，則其最大之磁通可由下式定

之,即

$$\frac{E}{S} = \frac{231.2}{900} \text{ 約爲 } 0.26$$

若 E 爲最小,而 S 爲最大,則 Φ 爲最小,此種情形存在於過載之電動機內。假定亦有百分之廿五之過載,則

$$E_2 = 220 - 114 \times 0.096 = 209.0 \text{ 伏。}$$

假定電動機之速率,不致超過每分 1,050 轉,故最小之磁通,亦由下式定之,即

$$\frac{E}{S} = \frac{209}{1050}, \text{ 約爲 } 0.20$$

一個適中磁通之值,將由 $E/S = 0.23$ 定之。

在實測此三條曲線時,仍用如第 14.7 圖之接法,將此機用作電動機。欲求最大之磁通時,其場電路必須接於比 220 伏較高之電源。

調節其場變阻器使 $E/S = 0.26$, 然後變更速率,可描繪成一曲線。另二曲線,亦可以同法求得,不過須調節其場變阻器至 $E/S = 0.23$ 及 0.20 耳。

速率之變更,仍由樞電阻司之。其描繪之曲線如第 14.9 圖所示。

應用第 14.9 圖,可求效率,輸入等,與用第 14.8 圖

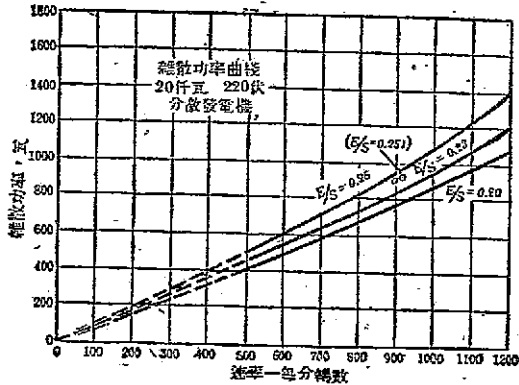


圖 14.9 雜散功率爲速率及磁通之函數

同，可參看第 14—5 節內之例題。

若將一電機不任負載，而以另一效率為已知之電動機策動之，亦可求出其雜散功率。先接通其場電路，量度供給於該電機之功率，然後中斷場電路再量度之。可由此分別求出其鐵內損失及摩擦損失。

所幸雜散功率為一電機輸入功率中之極小部份，雖所求之值內有較大之差誤，但其在效率答案內所召致之差誤，不致甚大。

14—8. 互饋試驗法——卡普法——用上述之雜散功率法 (Stray-power method) 量度損失時，被試驗之電機並不任負載，其所量得之損失，難免無誤。苟有兩部同式之電機，而以兩機俱任負載，可測得在實際運用時之損失。將一機用作電動機，策動他機若發電機，兩機之損失，可取給於線路，此即卡普法 (Kapp method)，亦即互饋試驗法 (Opposition test) 之原理。

如第 14.10 圖所示，兩同式電機，在機械方面相耦合，以一機策動他機。發電機所發出之電功率，再輸入於電動機內。其場電路

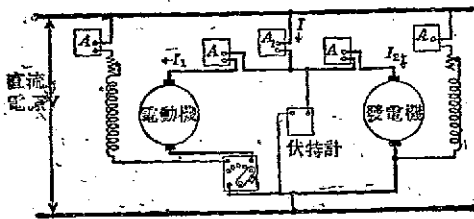


圖 14.10 卡普氏互饋試驗法用以量度電機之功率損失

皆直接與線路相接，成他激式，各以一安培計量其電流。連接兩機之線，再跨接於線路上，安培計

A_1 指示由外線

路流入此組合之電流。另有兩安培計，分別接於各機之樞電路內，相共用安培計五只。電動機之電樞經啓動箱，與發電機之樞電路相接。

此組電機之運用情形如次：電動機供給機械功率於發電機，而

發電機則以其電功率回饋於電動機。因兩機內皆有損失,使發電機所供給之功率,小於電動機所需者。此不足之數,則由外界電源補充之。

其輸入於兩電樞之總功率為 VI , I 為由外界流入之電流。此功率分配於下述四部份: 電動機之樞損失 $I_1^2 R_1$, 發電機之樞損失 $I_2^2 R_2$, 電動機及發電機之雜散功率。 R_1, R_2 各為電動機及發電機之樞電阻。

因發電機內部電勢,恆高於電動機內者,故發電機之磁場恆較強。且雜散功率隨磁通而變化,故發電機之雜散功率亦大於電動機內者。約略計之,其總雜散功率之分配,可認為與各機之應電勢成比例。

令 E_1 為電動機之應電勢, E_2 為發電機之應電勢,則

$$E_1 = V - I_1 R_1,$$

$$E_2 = V + I_2 R_2.$$

令 P_1 及 P_2 各為電動機及發電機之雜散功率,於是

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{E_1}{E_2}. \quad (14.9)$$

由總功率輸入 VI 內,減去兩機之樞損失 $I_1^2 R_1$ 及 $I_2^2 R_2$, 即得總雜散功率 $P_1 + P_2$,

$$P_1 + P_2 = VI - I_1^2 R_1 - I_2^2 R_2.$$

此法之優點,在各機均運用於任載情形之下,其所量得之損失切合實際,且可測知每機之調整率,而線路僅供給兩機之損失而已。惟必須有兩部同式機器,始可進行,是為其缺點。再則,假定雜散功率之分配,與應電勢成比例,或微有錯誤。

先利用啟動箱,以啟動電動機,於是調節發電機之電壓,使與電動機所需者相等,然後將發電機端接於電動機端,有若兩發電機

相並聯者。不過各端之正負極性，應加注意，不可誤接。加強發電機之磁場，減弱電動機之磁場，達所需之負載及速率為止。

【例題 14.8】兩同式 120 伏，7.5 馬力電動機，以如第 14.10 圖所示之方法相接。各機之樞電阻為 0.12 歐，調節其場電流，使電動機之 I_1 為 57 安，發電機之 I_2 為 45 安。在此情形時，由線路輸入之電流為 12 安，電壓為 120 伏。求各機之雜散功率。

【解】線路所供給之電功率為

$$P = 120 \times 12 = 1,440 \text{ 瓦。}$$

$$I_1^2 R_1 = 57^2 \times 0.12 = 390 \text{ 瓦，}$$

$$I_2^2 R_2 = 45^2 \times 0.12 = 243 \text{ 瓦。}$$

$$\text{總樞損失} = 633 \text{ 瓦。}$$

$$\text{總雜散功率} = 1440 - 633 = 807 \text{ 瓦。}$$

$$E_1 = 120 - 57 \times 0.12 = 113.2 \text{ 伏，}$$

$$E_2 = 120 + 45 \times 0.12 = 125.4 \text{ 伏。}$$

$$\text{(電動機)} P_1 = \frac{113.2}{113.2 + 125.4} \times 807 = 388 \text{ 瓦，}$$

$$\text{(發電機)} P_2 = \frac{125.4}{113.2 + 125.4} \times 807 = 424 \text{ 瓦。} \quad \text{(答)}$$

其雜散功率，樞損失及場損失為已知，則不難計算其效率。

14-9. 定額與發熱——凡所有功率器械，無論其為蒸汽機，內燃機，或為電機，皆有其額定之功率輸出。此定額(Rating)由製造廠家定之，此即在某種指定之情形下，該項機器所可供給之功率，既安全而效率甚高。茲分述規定各種機器之定額方法如下。

蒸汽機及汽輪機，大率皆以在最高效率時，所可任之負載規定之。此兩種汽機能勝任甚大之過載，無甚困難，通常可任百分之一百之過載，不過其效率減低耳。

因受重量及成本所限，大型煤氣機(gas engine)之定額，規定至最高可能限度，約近於其不能運用之限度。其熱效率通常高於蒸

汽機及汽輪機,故重量問題,較效率尤為重要。

電工器械,大率以其所可安全地負擔,而不致過分發熱之負載規定之。換向或亦限制直流電機之輸出額。

若電工器械之熱度過高,則樞卷組及場卷組導線之棉質絕緣物及絕緣漆,均炭化而變脆,終至通地,或在機內發生捷路。美國電機工程師學會標準規則依安全之溫度言,將電機內各種絕緣物,分類如下:

0級絕緣物——包括棉,紗,絲,紙,及類似之有機物質,既未漬於(impregnated),亦未浸於(immersed)油內者。(凡漬於油內者,其空氣已被驅出。)

A級絕緣物——包括棉紗,紙,絲及類似之有機物質,曾漬於(空氣被驅出),或浸於油內者。又以珐瑯(Enamel)漆塗於導線者,亦屬此類。

B級絕緣物——包括無機物,如雲母,石棉(Asbestos)之砌成體,且以黏性物相黏合者。

項目		溫度昇高限制,攝氏度數	
		A級絕緣物	B級絕緣物
1	樞卷組,繞場卷,及不屬於2項之線卷	55	75
2	絕緣物曝露於外之單層場卷,及裸銅線卷	45	65
3	鄰近於或接觸於絕緣物之端子及機械部份	55	75
4	換向器及匯流環	65	85
5	雜類(如刷握,電刷,極尖之類),即其溫度不足以影響絕緣物之溫度之各項,其溫度可使達最高之值,以不使受損為度。 (關於0級絕緣物之溫度昇高限制,尙未協議,有所規定。)		

美國電機工程師學會並定出關於電機內各重要部份之溫度限

(1) 參看 "Direct Current Rotating Machines, Generators, and Motors", 載 A. I. E. E. Standard 第五號, 1925 年七月印行。

制，規定如次。

有連續定額 (Continuous rating) 及短期定額 (Short-period rating) 電機內溫度昇高之限制——直流電機中各部份之溫度，當依其定額而量度時，其高過周圍冷却介質之溫度，不得超過前表所定之值。所有溫度，皆以溫度計法 (Thermometer method) 決定之。

量度溫度之法，由美國電機工程師學會標準規則第5—156條規定如下：

此法 (溫度計法) 包括用汞或酒精溫度計，電阻溫度計 (Resistance thermometer)，或熱偶 (Thermo-couple)，以量度溫度。任何一種溫度計，皆置於汞或酒精溫度計所可伸達之電機內最熱部份。

雖此法僅能測知表面溫度，而非“最熱點”之溫度，但上表所列之溫度限制，假定其已計及此點矣。

14—10. 用電阻法量度溫度——雖美國電機工程師學會，不再規定應以直流發電機或電動機內線卷電阻之變動，而測度其溫度之昇高，但此法殊有介紹之價值，使用既便，且可獲得用溫度計法所不能求得之結果。

銅線之電阻，隨溫度昇高而增加，應用此理，可求出在一線卷內之平均溫度。若 t 為環境之溫度 (Ambient temperature)，即室內溫度，則每昇高攝氏一度，銅之電阻，即增高 $1/(234.5+t)$ (見第 1—19 節)。例如環境溫度為 30°C ，則每昇攝氏一度，銅之電阻所增加之比率為 $1/264.5=0.00378$ 。

【例題 14.0】若環境溫度為攝氏 30°C ，某電機之分激場電阻由 104 歐增至 112 歐，問其溫度昇高若干度？

【解】電阻增加之比率 $= \frac{112-104}{104} = 0.077$

溫度之昇高 $= 0.077 \div 0.00378 = 20.4^{\circ}\text{C}$ (答)

欲使電機中之溫度昇達恆定之值,頗費時間,故欲準確測試發電機或電動機之溫度,應先將該機應用六小時至十八小時。惟此長時間之運用為不可能,可使該機任過載一小時左右,以促其發熱,然後再減低其負載至滿載。若是於二三小時內,可獲知其最後溫度之概況。

欲測知該機之溫度,是否與最後溫度相接近,及其接近之程度如何。當試驗時,可將溫度對時間描繪為溫度上昇曲線。一個分激場之此種曲線,如第 14.11 圖所示。此曲線與有感電路中電流之上昇曲線(見第 9.6 圖),頗相類似。在試驗之初,場卷與室內溫度相差甚微。但場卷僅發微量之熱,即足以使溫度昇高甚速。當場卷溫度與室內溫度,相差漸巨時,場卷所放出之熱量漸多,而其本身溫度之昇高乃緩。故時間較長,其溫度之昇高率漸減。當曲線達水平之際,場卷所發出之總熱量,等於其散去之總熱量,於是其溫度乃恆定。電機內其他部份溫度昇高,亦復如是。

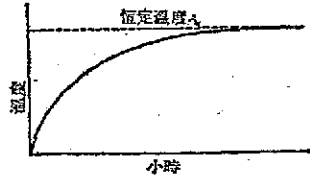


圖 14.11 電機中之溫度隨時間而升高之曲線

在量度樞電阻以求出其溫度之昇高時,有一點應慎予注意者。此試驗之目的,非為量其電阻用以計算損失,而在量出其因溫度變動時所致之電阻變動。僅需量度樞內銅質之電阻,不應將刷之電阻及接觸電阻包括在內,且每次量度時,電流經樞卷組之路徑,必須相同。在量度時,應將伏特計之錄端,插於電刷之內,置於換向器截片上,如第 14.12 圖所示。且所接之換向器截片,必須標明,庶幾每次量度時,皆接於此處,保證其電流皆經相同之路徑。

在量度多極電樞時,電流之分配於各路徑也,其電刷之接觸電阻亦為一重要之決定因素。如第 14.12 圖(乙),由刷 a 至刷 b 之電

流為 I_1 ，由刷 a 至刷 c 之電流為 I_2 ，其經刷 a 進入電樞之總電流為 I 安，即上述二者之和。其電流之如何分配於 b, c 兩刷上，一部份由

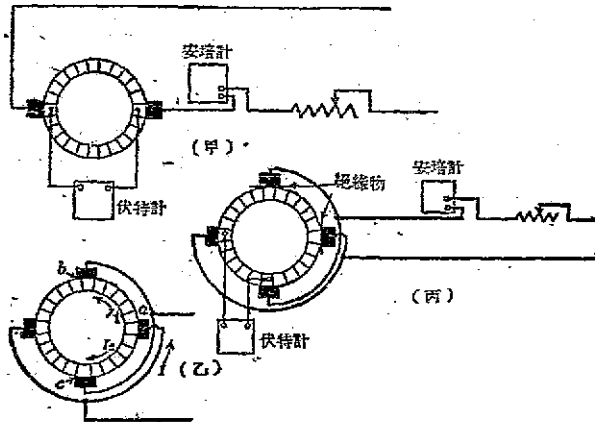


圖 14.12 量度極電阻以測知溫度之方法

各路徑之銅質電阻定之，一部份由 b, c 兩刷之接觸電阻定之。因接觸電阻為一變量，其電樞內電流之分路，隨量度時之接法而異。欲使電流保持於一定之路徑，其電刷之二，必須加以絕緣，如第 14.12 圖(丙)。其電流路徑雖不相對稱，但電流之分路，則由銅質電阻本身定之，與刷之接觸電阻無涉。

在量度分散場電阻時，其伏特計應直接跨接於場卷，而撥除場變阻器之壓降。

此法可用於量度一種錄卷之平均溫度，欲求其最熱點之溫度，應加上約 10°C 之譜。除去量度錄卷之溫度外，其軸承及換向器之溫度昇高，應以溫度計量度之。

在若干新式電機中，恆以熱偶插入於錄卷內，再接出至配電板 (Switchboard) 上之毫伏計，使電務員 (Operator) 可隨時讀取“熱點”之溫度。(參看第 13—17 節)。

14-11. 分激發電機之並聯使用——在大多數電廠內,必須用若干具較小電機以供給電功率,而不以獨只大型發電機負擔全部負載。

(1) 用許多較小機器,較用一具大型機為可靠,蓋若數機中之一發生障礙,不致使整個供電制度中斷。(2) 此若干具小型機,可隨時接入或隨時拆出,以適應負載之需要。各機皆可負載至其額定之容量,其效率乃增高。(3) 若電廠中備有數部機器,任何一具可拆出修理,無礙於服務。(4) 若負載再增,可添裝機器,與原有者相並聯,以應負載之發展。(5) 電廠之負載或超過任何大型機之容量時,則裝置一機,殊不可能。

分激發電機,因具有下垂特性曲線,尤宜於並聯之運用。在第

14.13 圖中,顯示兩發電機之特性曲線,註明一號及二號。在該圖內,一號機之特性曲線,下垂較甚。若以此兩機並聯使用,如第 14.14 圖之接法,略去其接線之壓降不計,其端電壓必同。是以在同一端電壓 V_1 時(第

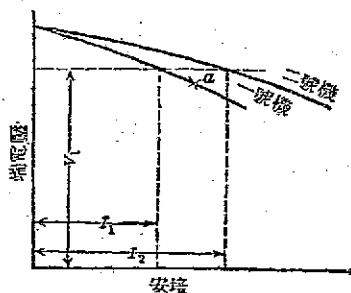


圖 14.13 分激發電機相並聯之特性曲線

14.13 圖), 一號機供給電流 I_1

安, 二號機供給 I_2 安。換言之, 其具有下垂較甚特性曲線之發電機, 恆擔負較輕之負載。

假定由於某種原因, 使一號機擔負較其份所應負者為多, 此或由於其策動機器速率之倏高, 或由於此組合之負載有暫高情形等。若在已達正常狀態後, 此電流之增加, 仍繼續存在, 則一號機將運用於其特性曲線上之 a 點, 其端電壓降低, 有使之少任負載之趨勢。再者, 當初因一號機多擔負載, 二號機必少擔負載, 其總負載始

不變。於是二號機，將運用於其特性曲線上之 b 點，其端電壓升高，使其多擔負載。故任何促使一機擔負較多於份所應負者之傾向，恆引起電壓之變動，而反對此趨勢。是以分激發電機，可認為常在穩定平衡狀態之下而運用。再者，苟整個組合之負載變動時，該兩機重行分配，或增或減，以應需要。

14—12. 分激發電機並聯接法——以分激發電機並聯使用時，其接法如第 14.14 圖。每一發電機應有其自用之安培計，但公用一伏特計。每一發電機，可經適當之插塞連絡器(Plug receptacle)，或選擇電鍵，接於伏特計，或電壓幹線 (Potential bus)。假定二

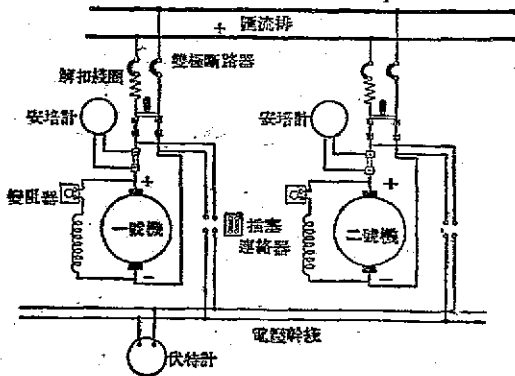


圖 14.14 分激發電機並聯運用之接線圖

號機未接入服務，僅一號機擔任負載。今欲二號機亦接入服務，啓動二號機之策動機器，將其調準至規定之速率。嗣調節其場電阻，使其

電壓等於幹線之電壓，其電壓是否相等，可於伏特計上校驗之。於是閉合斷路器及開關，將二號機亦接於線路上。此際，二號機之應電勢等於幹線電壓，故不能分擔負載，發電機僅容接於匯流排上。欲使其供給電流，其應電勢必須高於匯流排電壓。故應將二號機之場激逐漸增強，直至發電機供給其份所應負者為止。同時或須減低一號機之場激，以保匯流排電壓為恆定不變。

欲將一發電機拆出時，將該機之場激減弱，同時將他機之場激

增強,直至該機之負載為零。於是可開啓斷路器及開關,將該機完全自並聯組合中拆出。依上述步驟,接入或拆出一發電機時,可防止對於策動機器或對於供電制度之任何震激及騷動。

苟一發電機之場激被減低太多,則功率即可反輸入該機中,驅使之若電動機,而拖動其策動機器。

在任何負載情形,欲分激發電機,對負載有適當之分配,其特性曲線必須相似,而每機自零載至滿載間,其端電壓之降落,亦必須相等。如二機之定額相同,則平分其負載,如定額不同,則所分擔之負載與其定額成比例,此即所謂適當之分配。

14-13. 複激發電機之並聯使用——第 14.15 圖示兩具過複激

發電機並聯接於匯流排上,其正負各端皆依其極性,作正確之連接,每一發電機正分任其份所應擔之負載。

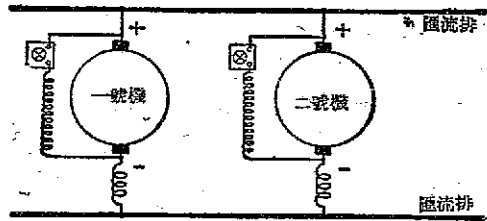


圖 14.15 複激發電機相並聯

假定由於某種原因,一號機之負載略增。其經串激場之電流亦增,加強其磁場,而提高其電勢,使之更任較多之負載。在另一方面,因整個組合之負載未變,因此二號機必少任負載。結果使其磁場減弱,連帶的更減少其負載。頃刻之間,不但所有負載均集於一號機之身,且一號機更輸入電流於二號機,驅使之若電動機。至少有一機之斷路器,立即跳開。

上述情形,亦可以第 14.16 圖中二機之特性曲線說明之。假定兩機皆運用於端電壓 V_1 , 相當於電流 I_1 及 I_2 。再假定一號機之負載略增,其電壓即欲昇至線上之某點 a , 其電壓升高,該機供給更

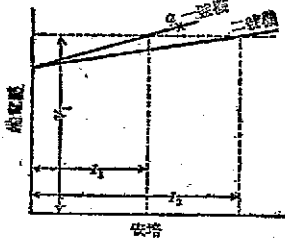


圖 14.16 複激發電機相並聯之特性曲線

圖)。在該圖中，其兩負刷經一低電阻之導線相並聯，此線謂之均壓線(Equalizer)。其作用如下：假定一號機正開始多任負載，其所增加之電流，一部經其本身之串激卷組，一部經均壓線再經他機之串激卷組。故兩機之場激同

受影響，不致使一機獨任全部負載。

欲使由零載至滿載，兩機對負載有適宜之分配，必須適應下列諸條件：

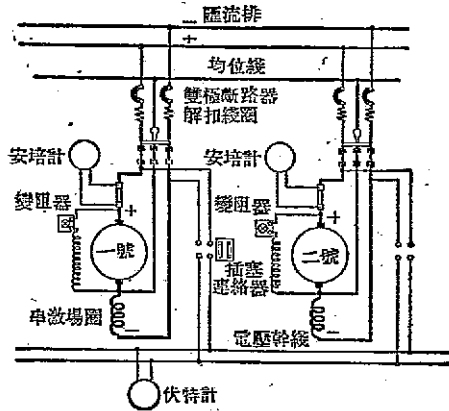
(甲) 每機電樞之電壓調整必須相同。

(乙) 其串激場電阻，必須與該發電機之定額成反比。

多之電流。此作用為累積的，於是增長增高，直至其斷路器跳開為止。

故此種過複激發電機，可認為在不穩定之平衡狀態。換言之，凡任何促使諸機不平衡運用之趨勢，恆由其所致之反應，從而推波助瀾。

惟此種發電機，可將其串激卷組相並聯，使趨於穩定（見第 14.17



(甲) 全圖

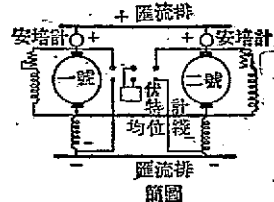


圖 14.17 複激發電機並聯運用之接線圖

(圖中均位線應作均壓線，綫圈應作線卷)

利用串激場之分流器,以變更其複激特性曲線,欲使複激發電機,適當分配其負載,常不可能。假定一號機之串激場(第14.17圖)與一分流器相並聯,若均壓線及匯流排之電阻皆甚小,可以從略,則分流器不獨分去一號機之串激電流,抑且分去二號機之串激電流。此分流器僅能使整個組合中之電壓降低,與負載之分電無補。故欲變更負載之分配,僅能串聯一低值電阻於串激卷組,而調節此電阻得之。

應予注意者,分激或複激發電機間,雖可以調節其分激場變阻器,而變更其負載之分配,但常須在所有負載情形時,其分擔之比例皆同。尤其電務員不能長期繼續侍應之處,即不能隨時立予調節者,則分激與複激發電機應具有相似之特性曲線為尚。

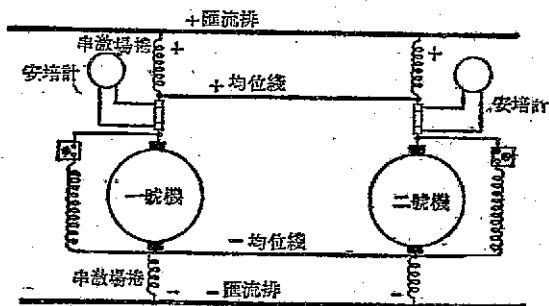


圖 14.18 需用兩條均壓線之複激發電機(其接至發電機之中線已略去)
(圖中均位線應作均壓線)

複激發電機之僅有一個串激卷組者,常用三極開關,其中一乃為連接均壓線之用,如第 14.17 圖所示者。若聯接具有二個串激卷組之三線發電機(見第 15—15 節),須用四極開關,因其有兩條均壓線也(見第 14.18 圖)。複激發電機所用以量度負載之安培計,應接於電樞端與匯流排之間(亦見第 14.18 圖)。若接入串激場電路內,因其有一部份經均壓線流去,則所指示者非發電機之電流。

接入或拆出複激發電機之步驟，與分激發電機同，即負載之調節與轉移，應利用分激場變阻器為之。

14—14. 斷路器——保護電路或電器，使不致為過載或捷路所損，在種種方面，斷路器(Circuit breaker)皆優於熔錄(Fuse，即保險絲)。斷路器富於伸縮性，其校配固易於調節，並可附加一定時機構(Time element)及低壓解扣裝置(Under-voltage trip)。且熔錄如熔斷後，須另換新者，致稽延時間，用斷路器可免此弊。再者斷路器，可用遙控法(Remote control)以開啓或關合之。

第 14.19 圖顯示一雙極，2000 安斷路器，其電流由一端鈕流



圖 14.19 雙極 2000 安培斷路器

入，經疊片式電刷及下部刷塊，解扣錄卷，另一端鈕而出。當按下把柄，關合電刷後，為扣絆鎖住。即至電流超過預計之值，錄卷之磁激加強，吸動其銜鐵，後者推動一槓桿，解去其扣絆，於是電刷為彈簧之張力所推開。疊片之刷，先脫離接觸銅塊，最後刷塊亦脫離，使主觸點不致被燒燬。其解扣機構，可以校配，使適在所預期之電流而解扣。

新式之斷路器，有已附加兩種新的特點者，即重關合動作(Reclosing action)及適應電流之上昇率而解扣是也。

斷路器在發生捷路或過載時則跳開。但稍停片刻，因局部斷路器開啓，或錄燒斷，將此障礙暫行清除。欲使供電不致受不必要之中斷，其總斷路器應立即重行關合。在解扣後，有一機構立即作

用,自動將其關上。若捷路障礙未經清除,則雖重關而不合。若障礙已經清除,則重關即合,使供電恢復常態。在障礙未被清除以前,或作兩三次之重關企圖。若障礙不及清除,則永被鎖住。僅電務員始能重關之。

利用適應電流上昇率(Rate-of-current-rise)特點之斷路器,其解扣機構與捷路電流相呼應。若障礙近乎完全捷路(Dead short circuit),其斷路器之動作甚速。I.T.E.斷路器公司所採用之方法,如第 14.20 圖所示。其底部每極之電流引入線,分岔成兩枝。其在下部或無感支路中之電流,與解扣磁鐵(Trip-magnet)之銜鐵相鏈接且推動之。其

上部支路,為鐵片所圍繞,有甚高之電感(即第 14.20 圖內之 A-A 部份)。若電流升高較緩,其兩支路之電流,與各部之電阻成反

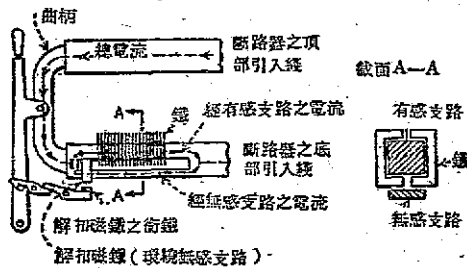


圖 14.20 電流上昇率斷路器

比,而其解扣機構,依其正常所校配之電流而動作。但障礙之性質,若使電流之升高極速,則流入有感支路之電流被阻遏,電流之大部份,被迫流入下部或解扣支路內,使其易於動作。縱在甚低之總電流值時,亦足解扣。因此,電流升高愈速,則所需以解扣之總電流值愈低。是則此斷路器,可於障礙甫發生之初,即被解扣,毋須俟至障礙呈現時矣。

第十五章

電之傳輸及分佈

15—1. 佈電制 (Power-distribution system, 即電之分佈制度)——時至今日, 發電廠 (Central station) 大率大規模以交流方式而發電, 並以交流方式將電能輸送予用戶。其所以用交流方式以傳輸電能者, 蓋交流電壓, 可利用變壓器隨意升高或降低之, 效率頗高也。以高壓輸電, 用銅既省, 且線路之損失亦低。如用直流方式傳輸電能, 可採取蠢雷制 (已見第 12—12 節), 此制用於歐陸。

用直流方式以輸電與佈電, 僅能於人口密集之區域內, 較為便利而經濟。用直流電, 可用蓄電池組, 作後備之需, 此點對於城市內之佈電極關重要。且城市內之電能消耗, 除電燈外, 多為升降機, 印刷機之類, 用直流電動機極為適合。再則直流電路內, 無電感及電容之作用, 更無電線中之渦流損失, 此皆直流電之優點。惟用電方面, 皆為低電壓, 荷電壓不能隨意升降, 則用此低電壓以傳輸電能, 其線路損失太大, 未免不甚經濟。直流發電機不能供給甚高電壓, 且變壓亦不易, 故直流電僅合乎城市區域內之應用。

第 15.1 圖顯示佈電制之大概。發電廠產生電能, 用交流方式, 以高電壓傳輸至分站 (Substation) 內。該圖示傳輸用電壓為 66 仟伏, 通用者鮮有低於 6,000 伏者。在分站内, 或以變壓器將電壓降低至 2,300 伏或 4,000 伏, 或以電動機發電機組 (Motor-generator set), 同步換流機 (Synchronous converter), 汞弧整流器 (Mercury-arc rectifier) 之類, 將其變換為 575 或 230 伏之

直流電。在第 15.1 圖中，一分站供電於 600 伏電壓之電車線路，又以 2,300 伏交流電供電於電燈制，在近用戶處，將其降為 230/115 伏三線制。該分站又經輸電線路，傳輸電能於一工廠，在該廠內將電壓降為 550 伏三相制。此種佈電制將於第二卷第十三章內詳論之。此分站由發電廠輸入大量之電能，再分配於各用戶，其在輸電系統內，有若商業系統中之經紀人或批發商。

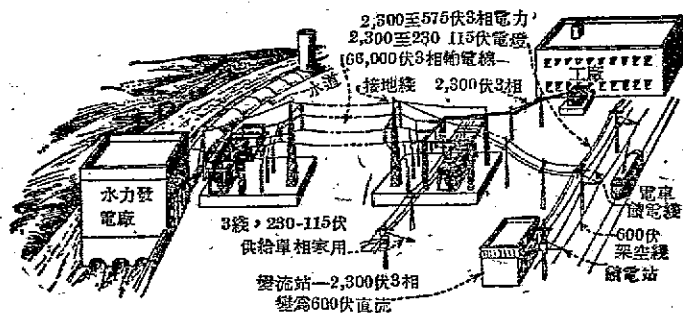


圖 15.1 典型的輸電制度

15—2. 導線之電壓與重量——若輸電額，傳輸距離，及損失為固定的，則輸電導線之重量與其電壓之平方成反比。

今欲以電壓 V_1 ，傳輸電功率 P ，其電流為 I_1 ，經電阻為 R_1 之導線，此電流為

$$I_1 = \frac{P}{V_1}。$$

其電功率損失為

$$P_1 = I_1^2 R_1。$$

假定將電壓提高至 V_2 ，其功率，距離及損失不變，則

$$I_2 = \frac{P}{V_2}。$$

其電功率損失為

$$P_2 = I_2^2 R_2 = P_1$$

故
$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \left(\frac{P/V_2}{P/V_1}\right)^2 = \frac{V_1^2}{V_2^2} \quad (15.1)$$

即導線之電阻，與電壓之平方成正比。但一定長度導線之體積及重量與其電阻成反比。

令在上述兩種電壓時，所需銅之重量各為 W_1 及 W_2 ，則

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \quad (15.2)$$

是以銅之重量與電壓之平方成反比。若輸電電壓加倍，則所用之銅，可節省至四分之一。

【例題 15.1】以 50 仟瓦電功率，用 110 伏電壓，經 400,000 圓密爾鐵線傳輸至 500 呎之距離。(甲)問其電功率損失為若干？(乙)若電壓為 220 伏，試重算之。

【解】(甲) $I_1 = \frac{50,000}{110} = 454$ 安。

若電線之截面積為 454,000 圓密爾，其損失將為 $454,000 \times 1,000 \times 10^{-5} = 4,540$ 瓦(參看第 2—19 節)，故實在損失為

$$\left(\frac{454}{400}\right)^2 \times 1,000 \times 10^{-5} \times 400,000 = 5,150 \text{ 瓦。} \quad (\text{答})$$

(乙) $I_2 = \frac{50,000}{220} = 227$ 安。

其損失為 $\left(\frac{227}{400}\right)^2 \times 1,000 \times 10^{-5} \times 400,000 = 1,290$ 瓦 (答)

在(乙)中之損失為在(甲)中損失之四分之一。故用 100,000 圓密爾之導線，可傳輸同樣電功率至同距離，而損失相同，則所用銅之重量，將為(甲)中之四分之一。

15—3. 導線之粗細——用直流以輸電與佈電，在決定所用導線之粗細時，應考慮下述四種要素：

(甲)導線必須能載所需之電流，不致過分發熱。此點對於屋內

佈線，極爲重要，否則有釀成火災之虞。導線之容許載流量可於附錄六及八內查之。

(乙)其直至負載端之電壓降，必須保持於合理之限度以內，尤以負載爲白熾燈時，更爲重要。

(丙)導線必須有適足之機械強度。若線係架於電桿上者，更爲重要。故架空線最好不用小於美規八號者。

(丁)整個制度中之經濟問題，必須予以考慮。用較粗之線，則投資之成本大，但傳輸之損失小，反之，則成本小而損失大。線之粗細之選擇，必須使電能損失之成本，與投資之利息相加爲極小。此點可參酌甲，乙，丙，三項原則，稍予調整。

恆 壓 佈 電

15—4. 佈電用之電壓——110 伏之電壓，並不過高，不致有傷人命，故較合於白熾燈之用。高於 110 伏之白熾燈，需用較長而較細之燈絲，易於燒斷。依燈絲之需要而言，電壓以低爲佳，最好低於 110 伏。但用低電壓，則佈電線上之電流大，需用多量之銅。美國用 110 至 115 伏爲燈用電壓之標準（我國建設委員會定 220 伏爲燈用電壓之標準，蓋所以節省用銅者）。電車用電壓多取 600 伏，因與低電壓較，省銅甚多，但電壓並不過高，運用時不致發生困難。爲鐵道之電力化起見，現代有用 1,200，2,400 以至 3,000 伏者，此種電壓皆爲幹線電力化而用者（指電車鐵道而言），不能用於城市內之電車制。

15—5. 分佈之負載——在一饋電線或總線 (Main) 上之負載，可集中於一二點，如饋電線之一般情形。亦可沿導線作均勻或不均勻的分佈，如電燈之分佈於總線之各點者然（見第 15.2 圖），此之謂分佈的負載 (Distributed load)。

沿總線之全長，可用有均勻截面積之導線（第 15.2 圖，甲），其總線短而壓降小者，可用此制。

若總線之截面，逐漸作均勻的收縮（第 15.2 圖，乙），則在定值之壓降時，所用銅量為最少。

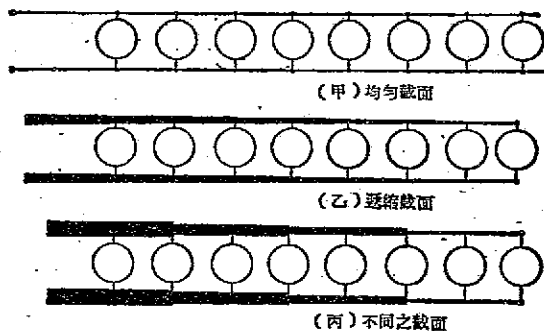


圖 15.2 佈電制中總線之銅之截面

但使導線之截面，作均勻的收縮，事實上為不可能。可沿每段距離，用同一截面之導線，次一段用較細者，再次一段用更細者，依此類推，如第 15.2 圖（丙）所示。總之，在每段中，其導線之載流密度應相同。例如第一段用 250,000 圓密爾導線，載流 200 安。假定第二段所載電流為 150 安，則需用 $150 \times 250,000 / 200 = 190,000$ 圓密爾之線，通常可用四根 0 號線代替之。

15—6. 饋電制——饋電之制度有三：欲保持各燈於同一電壓，而不用過量之銅，則常用回環制 (Return-loop system)，或稱反並聯制 (Anti-parallel system)，見第 15.3 圖（甲）。其兩饋電線接於負載兩相反之端。若是，可使此制度中之燈，皆得大致相同之電壓，但饋電線本身之電壓降殊大。

回環制之缺點，即所用饋電線過長。若將負載佈置如第 15.3 圖（乙）之形式，可免此弊，此之謂開口螺旋制 (Open-spiral

system)。如有大批電燈常被明滅，如在戲院或講演廳內者，用此式佈置，極為適宜。

此開口螺線制，可在其末端閉合之，成閉口螺線制 (Closed-spiral system)，見第 153 圖(丙)。

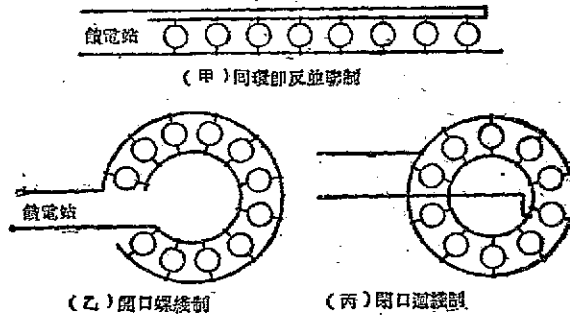


圖 15.3 饋電制度

15—7. 串並聯制——倍增佈電制之電壓，可將需用銅量減至四分之一。苟以兩只 110 伏電燈相串聯，可接於 220 伏電壓 (見第 15.4 圖)。此制中銅線之截面，將為單純 110 伏制之四分之一。不過每次開關，必有二燈同時明滅，且若一燈燈絲被燒斷，他燈必隨之熄滅，此為其最大之缺憾。且串聯之兩燈，必須有同一電壓及電流定額，否則其光度即異。再者此制不能用於 110 伏之電燈，亦顯而易見者。

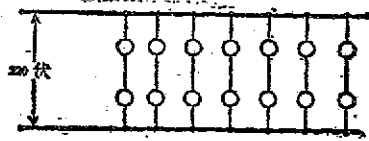


圖 15.4 串並聯制

15.4 圖，示串並聯制 (Series-parallel system) 之接法。

愛迪生三線制

15—8. 愛迪生三線制之優點——並聯串制之缺憾，可加一第

三線於兩外線或邊線(Outer wires)間,以彌補之。此第三線謂之中線(Neutral wire)。此為愛迪生氏所建議者,故名愛迪生三線制(Edison three-wire system)。

此中線可保持每燈之電壓皆為 110 伏。採用此制後,用較高電壓以省銅之優點乃彰。苟無中線,此 220 伏制將需用 110 伏制所用銅量之四分之一。若中線之截面,假定與二外線相同,則愛迪生制用銅總量,將為有同樣容量之 110 伏制之八分之三,或百分之 37.5。其節省之銅,為百分之 62.5。實際上中線之截面,可小於二外線,故所省之銅,大於百分之 62.5。

圖 15.5 愛迪生三線制平衡之負載

在平衡情形下,此制之情形,如第 15.5 圖所示,其兩外線 A 與 B 間,保持有 220 伏之電壓, A 為正, B 為負。第三線 N 與每一外線間,保持有 110 伏之電位差,故 N 對 A 線言為負的,對 B 線言為正的,即電流欲由 A 流至 N,再由 N 流至 B, N 線上無電流。苟兩邊之負載不平衡,則 N 線僅載其負載之差額。

用此制可得 110 伏及 220 伏兩種電壓, 110 伏用於電燈或電器, 220 伏可用於電動機,此為其另一優點。

15—9. 平衡與不平衡之負載——第 15.5 圖所示之情形,為三線制之兩邊負載相同者。若每一負載取用 10 安電流,則負載 a 之電流,由 A 線下流,再經負載 b,由 B 線返至電源。此與串並聯制

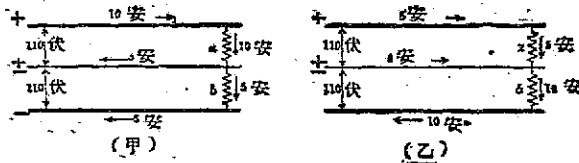


圖 15.6 不平衡三線制

相同，其負載為平衡的，中線上無電流。

第 15.6 圖(甲)示負載不平衡之情形，在正的一面，負載 a 取用 10 安，在負的一面，負載 b 取用 5 安。負載 a 之 10 安電流中，有 5 安經中線流返，其餘 5 安經負載 b 及 B 線流返。此時負載 a 所多用之 5 安，非經中線不可，故中線所載電流，為二負載之差額，即 5 安。

在第 15.6 圖(乙)中，負載 a 之電流為 5 安，負載 b 之電流為 10 安。則負載 b 額外取用之 5 安，必由電源經中線流入。可見中線上之電流，僅為兩邊負載之差額，可流出亦可流入，視何一負載較大為定。若接一安培計於中線上，須用零度居中式者 (Zero-center type)。在實用方面，兩負載大率相平衡，或近於平衡。在較大規模之制度中，其不平衡程度，不過百分之十左右，則中線電流，亦僅為邊線之百分之十。即或在小規模制度中，其不平衡程度，至多不過百分之廿五。是以中線電流，小於任一邊線所載者，故採用較細導線，亦足安全。又此中線，大率多接地。

15-10. 中線斷路之影響——在實用方面，無論如何，皆宜確保三線制之中線之通路，不可中斷。其理由可以下述例證說明之。

第 15.7 圖示一三線制，有兩個電燈負載。其在正的一面，有燈 6 盞，每盞取用 2 安，共用 12 安。在負的一面有燈 4 盞，每盞亦用 2 安，共用 8 安。每負載之電壓皆為 110 伏。前者負載之電阻 R_1 為 $110/12=9.17$ 歐，後者之電阻 R_2 為 $110/8=13.75$ 歐。

苟中線在 S 處中斷，此兩電阻仍相串聯，所載電流必同，其串聯之總電阻為 $R=R_1+R_2=22.92$ 歐。因總電壓為 220 伏，其電流

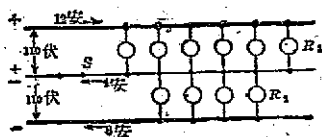


圖 15.7 中線斷路對於三線制平衡情形之影響

同為

$$I = \frac{220}{22.92} = 9.6 \text{ 安。}$$

於是在 R_1 兩端之電壓為

$$V_1 = 9.6 \times 9.17 = 88 \text{ 伏。}$$

在 R_2 兩端之電壓為

$$V_2 = 9.6 \times 13.75 = 132 \text{ 伏。}$$

是以燈數較多之負載，反在低電壓下而運用，必致減低其燭光甚多，其燈數較少之負載，反得較其額定值更高之電壓，以致在短時間內，使之燒斷。

故三線制之中線，必須接地，以確保其與電源間之通路。苟用斷路器，鮮有插接於中線者。且在屋內裝置時，中線亦決不接熔線。

15—11. 電壓之不平衡——若三線制兩面之負載不同，則兩邊之電壓，亦有相當之不平衡。

在第 15.8 圖(甲)中，每一面有 60 安之負載，每根邊線之電阻為 0.1 歐，中線電阻為 0.2 歐。施於兩邊線間之電壓為 220 伏。

在兩負載相平衡時，中線上無電流，亦無壓降。每邊線之壓降為 $60 \times 0.1 = 6$ 伏，每負載所得之電壓為 104 伏。第 15.8 圖(乙)示此制中電壓之分配圖。

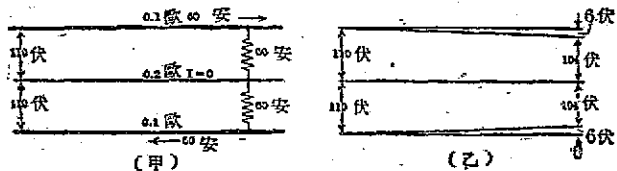


圖 15.8 有平衡負載三線制上之電壓降

假定在正的一面，負載為 100 安，負的一面為 20 安，如第 15.9 圖。其總安培數固與前述者相同。此時中線所載電流為 $100 - 20$

=80 安。

正線之壓降為 $e_1 = 100 \times 0.1 = 10$ 伏。

中線之壓降為 $e_0 = 80 \times 0.2 = 16$ 伏。

正的一面，負載端電壓 $V_1 = 110 - 10 - 16 = 84$ 伏。

負線之壓降為 $e_2 = 20 \times 0.1 = 2$ 伏。

負的一面，負載端電壓 $V_2 = 110 - 2 + 16 = 124$ 伏。

在此制中，兩邊端電壓相差 40 伏之巨。

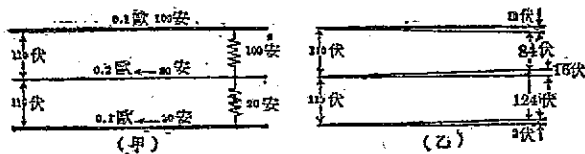


圖 15.9 負載不平衡之三線制上之電壓降

在此情形之下，其負線方面，得高於電源之電壓。其電壓之所以升高，實中線上之壓降方向為之也。

若以電動機接於三線制，恆接於兩外線之間，而不接於中線之任何一面，免致於原有制度，引起電壓之不平衡。事實上許多電力公司限制用戶使用電動機，其超過一匹馬力者，不得接於邊線與中線間。

構成三線制之方法

15-12. 雙發電機法——構成三線制之方法甚多，雙發電機法即其一也。以兩只分激發電機相串聯，如第 15.10 圖所示。一機之正端與他機之負端相聯接，並接於中線，其他兩端，分接於正負二邊線。兩機可用同一機器策動之。每機供給接於該機一面之負載，甚為簡單，不過需用兩部發電機。

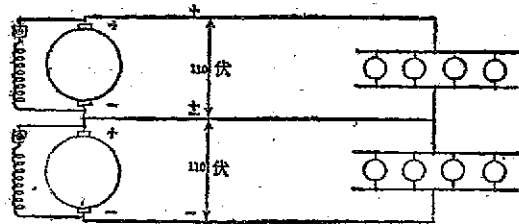


圖 15.10 以兩發電機供給三線制

15—13. 蓄電池法 —— 以一蓄電池組，浮接於兩外線間，以中線接於蓄電池之中心，如第 15.11 圖所示。若負載不平衡，則在重載一面之半組蓄電池即放電，在輕載一面者則被充電。如第

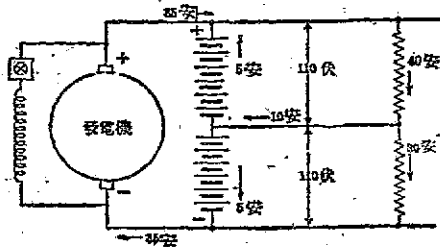


圖 15.11 用蓄電池組供給三線制之中線

15.11 圖所示，有 10 安之不平衡電流。在此情形時，中線電流中之 5 安，經上半組蓄電池回至正線，該組電池放出 5 安電流，以助發電機。中線電流中之其他 5 安，

經下半組電池，回至負線，使之充電。上半組電池放電，其電壓必降，下半組被充電，其電壓必昇，故此制之電壓為不平衡的。用此制必須具備一組蓄電池，維護需費。且兩半組電池，不易保持在同樣充電程度，此兩半組之電壓不得平衡，乃其缺點。

15—14. 平衡機組法 —— 用平衡機組 (Balancer set)，為獲得中線之一種通用方法。此組由兩部電機組成，在機械方面相耦合。在電的方面，互相串聯，接於兩邊線間，其公共端接至中線，如第 15.12 圖。若負載電流相平衡，或不平衡之程度甚輕，則兩機均運用

若電動機，若負載方面有顯著之不平衡，則一機行駛若電動機，策動他機若發電機，以供給電流差額之一部份。

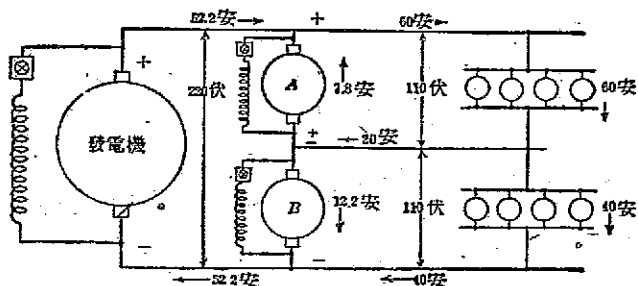


圖 15.12 用平衡機組供給三線制之中線

此機組之作用，可以水力譬喻說明之。在第 15.13 圖內，由水槽 A 供給水流，經水堰上溢出，下瀉至水槽 B，當其下瀉時，可令其作有用之功。水槽 B 之水，再下注入尾閘 C，在 D 處利用之。惟自 A 下瀉之水，其不經 D 再下瀉者，可經水車而注入尾閘。此水車以皮帶策動一部裝於 A, B 兩槽間之離心抽水機。水車既被策動，則水槽 B 中一部份之水，被抽水機抽回至 A 槽，後加利用。此水車相當於三線制中之電動機 B，而抽水機則相當於發電機 A (第 15.12 圖)。

若在第 15.13 圖中，B, C 間所需之水，多於由 A 槽溢出者，則所多之水將流經離心抽水機，而注入 B 槽。此抽水機乃被驅若水車，以策動 BC 間之水車若抽水機，將槽 C 之水，抽回 B 槽。此情形與

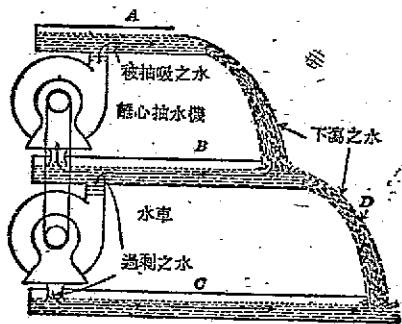


圖 15.13 平衡機組之水力譬喻

第 15.12 圖中，負邊有較重負載之情形相做。

在第 15.12 圖中，若正邊負載較重，例如有 20 安流經中線，其中之 12.2 安流入電機 B ，驅之若電動機。因電流沿 110 伏電壓而下降，故可產生功能。於是策動電機 A 若發電機，使之供給 7.8 安。換言之，即將 7.8 安電流，由中線抽返正線。其電流之分配，可用下法定之。

假定電機 A, B 均有 80% 之效率。令 I_1 為電機 A 內之發電機電流， I_2 為電機 B 內之電動機電流，則發電機之輸出，為電動機輸入之 $80\% \times 80\%$ 即 64%。假定兩機之電壓相等，（實際上微有差別），則

$$110I_2 \times 0.64 = 110I_1, \quad 70.4I_2 = 110I_1.$$

$$I_1 + I_2 = 20 \text{ 安.}$$

$$\text{故} \quad I_1 = 7.8 \text{ 安,} \quad I_2 = 12.2 \text{ 安.}$$

苟將兩電機之場卷，交互換接，即電機 B 之場卷，接於電機 A 兩端，電機 A 之場卷，接於 B 之兩端，則此二機對於負載之不平衡情形，更易響應。欲使發電機多供給電流，應令其端電壓降低，或令其應電勢升高。反之，欲使電動機多任負載，應令其端電壓升高，或其應電勢必須下降。在三線制中（第 15.12 圖），正的一面負載增加時，則電機 A 之場激被減弱，而 B 之場激被增強，此與上述之需要相反。今以發電機之場卷接於電動機端，則負的一面負載增加時，即增強其場激，而提高其應電勢，使之易於供給電流 而其端電壓不必減低過多。同理，以電動機之場卷接於發電機端，則當發電機電壓下降時，即削弱其場激，減低其反電勢，可使之多任負載。

若兩電機均用複激式，亦可得同一結果。其串激場卷之接法，使用若發電機之電機成助激式，其用若電動機之電機成差激式。若其複激程度，調節得當，此機組可分任中線之電流，不致使兩邊

之電壓，有所變動。

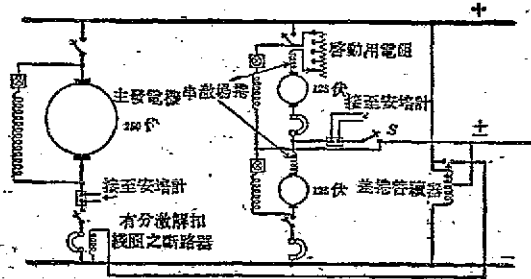


圖 15.14 用平衡機組三線制之接線圖

第 15.14 圖示平衡機組用串激場卷之標準接法。在啓動時，閉啓中線上之開關 S ，將兩機之分激場卷，串聯跨接於線路上。以串聯方式啓動此兩機。當電機已達其速率後，始關合開關 S 。若中線兩邊，電壓相差過鉅，則流經差卷繼器，匝半卷之電流，必不平衡，此者繼器乃動作，關合斷路器之解扣線卷電路。縱負載並不過大，而主發電機之電路亦被中斷保護接於外線與中線間之電器，使不致為高電壓所損。

15-15. 三線發電機——三線發電機 (Three-wire generator)，或杜卜魯斯基法 (Doubrowsky method)，為獲得一中線之有效方法。在已研習交流電學及同步換流機之原理後，對此法之精奧，更易明瞭。此法之原理，大致如下：在直流發電機中，電樞所產生者為交流，此已於第 11-3 節內討論及之。用匯流環可自發電機內取出交流。以繞於鐵芯之線卷跨接於匯流環，其中點即電樞所生電壓之重心。此線卷有高值電感，對交流有甚高之阻抗 (Impedance)，但對直流，不過為甚小之電阻而已。若以中線接於此線卷之中點，其對每一電刷之電壓必同，而任何經中線流返之電流，甚易通過電感線卷，以達電樞。此發電機之接法，見第 15.15 圖 (甲)。

有時爲求得較佳之平衡起見，可用兩個，甚至三個線卷，如第 15.15 圖 (乙)。偶有將線卷裝於電櫃內者，則僅需用一匯流環，爲連接中線之用，不過發電機之重量，因以增加。

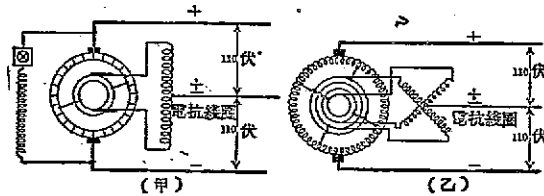


圖 15.15 三線發電機之接法 (杜卜魯斯基法)

愛迪生三線制，亦可擴充爲四線，五線，六線，以至七線制 (見第 13.28 圖)，不過線路之複雜，以及用線之多，使此種多線制，受有限制。

15—16. 饋電線與總線——在人口密集之市廛內，總線埋於地下，形成地下網絡。於網絡之若干點，所謂饋電中心 (Center) 者，以饋電線與電廠或配電站 (即分站) 之匯流排相接。欲決定其饋電中心之所在，必須對於負載之分佈狀況，及用銅量等，有精密之檢討。可由兩個或兩個以上分站供給同一饋電中心。欲使各饋電中心之電壓，易於求得，以便調節，而保持其於所需之值，須用領示線 (Pilot wire) 或電壓線 (Pressure wire)，接至配電站內之伏特計上。利用一轉盤換接器 (Dial switch)，電務員隨時可讀取任何一饋電中心之電壓。

第 15.16 圖示一根 1,000,000 圓密爾同心電纜 (Concentric cable) 之截面，其外圈及內圈導線爲愛迪生三線制中之兩外線，其用作中線之截面積較小。或用一根粗線，爲數饋線所公用。其三根領示線或電壓線，分接於饋電中心之兩外線及中線。若電務員發現在某饋電中心之電壓太低，可將該饋電線，接於較高電壓之匯流排上。

因在中途，並不接任何負載，故可容許稍大之電壓降於此等饋電線上。在實用方面，可容許下列電壓降之百分數：在饋電線上，5至10%，在佈電總線上為3%。

負載大率直接取給於佈電總線，偶有巨額負載直接取自接頭匣(Junction box)者。接頭匣為一圓形鐵匣，包含一組絕緣之匯流排，或以佈電總線或以饋電線，在匣內與之相接。佈電總線經熔線接至裝於匣內之相當端鈕上，故接頭匣為將一組饋電線分接至若干組佈電總線之簡便方法。其總線皆經熔線之保護，但饋電線

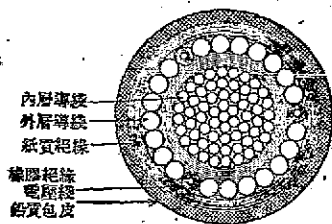


圖15.16 220伏, 1,000,000回密爾同心電線之截面

則否，僅用斷路鏈(Disconnecting link)已足。蓋任饋電線為短路電流所燒斷，俾自動清除此短路障礙，計亦良得也。

15-17. 饋電線可載之最大電功率——第3—3節內曾述及，若電池組之外阻與內阻相等，則該電池組可供給最大之電功率。此際，電池內之電壓降等於其端電壓。此定則亦可應用於一種恆壓電源，經恆定電阻而供給一集中的負載之情形。試觀一種直流饋電線路或傳輸線路，由恆壓之匯流排輸入電能，其線路電阻為固定的。今以一負載接於此線路之他端，當電流 I 增加，則在負載端之電壓 V 降低，與第2—16節所述之情形相同。其所遞交之電功率為 VI 。若 I 之增加，速於 V 之降低，則此電功率仍隨 I 而增加。當負載端電壓等於輸送端電壓之半時， VI 為最大。過此，則電壓之降低，速於 I 之增加，故電功率反因電流之增加而降低。此種關係可於15.17圖內觀之。下列例題，可資說明。

【例題 15.2】一配電站經兩根 2,500 呎長之 000 號銅質饋電線，輸送 60

行互之電功率於一負載。饋電線之電阻為每千呎 0.078 歐，匯流排電壓保持為 600 伏不變。求：(甲)其電流；(乙)負載端之電壓；(丙)傳輸之效率；(丁)所可傳輸之最大電功率，及所可供給之最大電流。

【解】(甲)饋電線路之總電阻 $R = 5 \times 0.078 = 0.39$ 歐。

令 I 為電流， V 為在負載端之電壓，則

$$VI = 60,000 \text{ 瓦}, \quad (I)$$

$$V = 600 - 0.39 I. \quad (II)$$

以(II)式中之 V 代入(I)式得

$$60,000 = (600 - 0.39 I)I,$$

$$\text{即} \quad I^2 - 1,538 I + 153,800 = 0, \quad (III)$$

$$I = \frac{1}{2}(1,538 \pm \sqrt{1,538^2 - 4 \times 153,800}) = 769 \pm 661.5$$

$$= 1,430.5 \text{ 或 } 107.5 \text{ 安。}$$

此兩值皆可滿足方程(I)及(II)之條件，不過電流太大，則效率太低，取其小值，即

$$I = 107.5 \text{ 安。} \quad (\text{答})$$

$$(乙) \quad V = 600 - (0.39 \times 107.5) = 600 - 42 = 558 \text{ 伏}, \quad (\text{答})$$

$$P = 558 \times 107.5 = 60,000 \text{ 瓦} = 60 \text{ 仟瓦。} \quad (\text{核})$$

$$(丙) \quad \text{效率, } \eta = \frac{558}{600} = 0.93 \text{ 或 } 93\% \quad (\text{答})$$

(丁) 在(I)及(III)式內，若以電功率 P 代替 60,000，得

$$P = VI = (600 - 0.39 I)I,$$

$$I^2 - 1,538 I + 2.564 P = 0, \quad (IV)$$

$$\text{解之，得} \quad I = 769 \pm \sqrt{1,538^2/4 - 2.564 P} = 769 \pm 1.6 \sqrt{230,500 - P}$$

若 P 超出 230,500 瓦，則根號內之值為負的，其方根為一虛數，而電流為一實數與虛數之和。在直流問題中，殊不可能。故所可供給之最大電功率 P 為 230,500 瓦，或 230.5 仟瓦。

在此情形時，其根號內之值為零。方程式 IV 之二根相等， I 僅有一值為 369 安。

其負載端之電壓為

$$V = 600 - (769 \times 0.39) = 600 - 300 \approx 300 \text{ 伏。}$$

由此可見電功率之半損失於線路上，其效率為 50%，此與電池組之情形相同。

欲求最大之電功率，亦可用微分法。令 V_1 為滙流排電壓， V 為負載端電壓， I 為電流， r 為總線路電阻，而 P 為負載之電功率，則

$$V = V_1 - Ir,$$

$$P = VI = V_1 I - I^2 r. \quad (V)$$

求 P 對於 I 之一次微分係數，令其等於零，可求得最大電功率之條件。

$$\frac{dP}{dI} = V_1 - 2Ir = 0,$$

$$Ir = \frac{V_1}{2},$$

$$V = V_1 - Ir = \frac{V_1}{2}. \quad (15.3)$$

若將負載端捷路，其電流為最大，故最大值電流為

$$I = \frac{600}{0.39} = 1,538 \text{ 安。 (答)}$$

此際供給於負載之電功率為零，負載端電壓亦為零。

為說明電壓與電功率之關係起見，可參證第 15.17 圖。假定不同之電流值 I ，代入 (V) 式，計算其電功率 P ，然後以 P 為縱坐標， I 為橫坐標，描成該圖所示之曲線。當電流 I 為零時，電功率 P 亦為零，其端電壓 V 為最大。若電壓 V 為零時，電功率

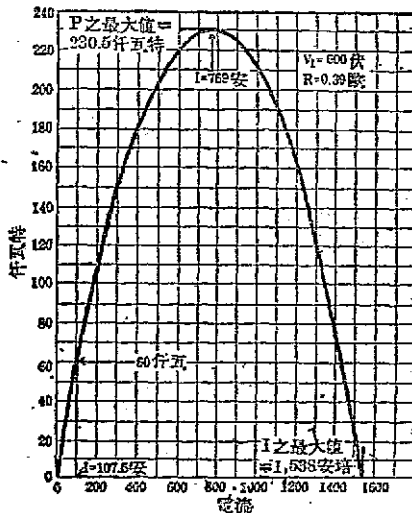
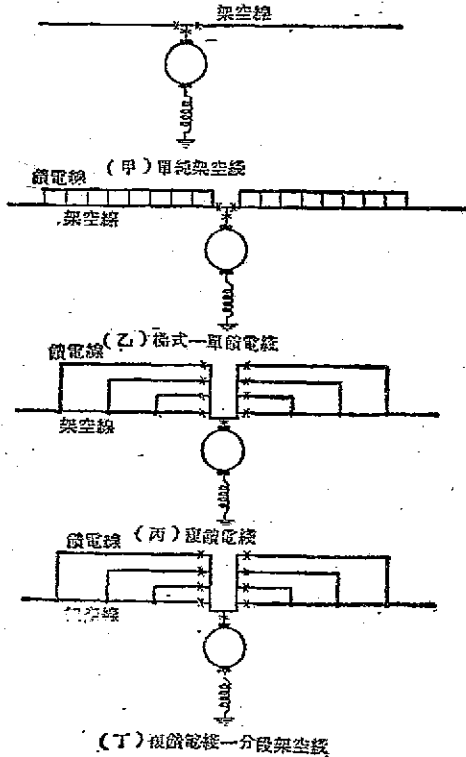


圖 15.17 饋電線路之電流與電功率之關係

亦為零，其電流 I 為最大。由圖可見，在任何指定之電功率時，除最大值外，必有兩個不同電流之值。在最大之電功率 280.5 仟瓦時，電流值為 769 安，此與適所計算者相符合。實際上傳輸之電功率，為最大值之一種小部份，其 60 仟瓦之點，在曲線之下部。又在 60 仟瓦縱坐標處，另一電流值為 1,430.5 安，在 $I=769$ 安線之右邊，此即第(III)式之另一答案。

15—18. 電車鐵道之佈電制——電車鐵道用以供電之發電機，大率為複激式，其串激場卷在負錄一邊。其負端經一開關而接地，



或接至軌上，其正端經安培計，開關，及斷路器，而饋電於架空線。

在短程交通及車務清閒之電車鐵道制中，僅用架空線，載送電流，足可勝任，如第 15.18 圖(甲)所示。惟依通常情形，架空線之截面，殊不足載送所需之電功率，而使電壓降不致超過某種程度。因線之粗細，為滑觸輪 Trolley wheel 之大小所限，不便加粗。若裝一饋電線

圖 15.18 電車制之饋電方法
(圖中線及線均應作磁)

與架空線相平行，每隔短距離，即將二線並聯一次，如第 15.18 圖 (乙) 者。此兩線可認為形成一較大截面之單線，其效果與加粗架空線同，此之謂梯式饋電 (Ladder system of feeding)。

苟車務繁忙，致需用數根饋電線時，可接成如第 15.18 圖 (丙) 之方式，結果較佳。每一饋電線以一斷路器保護之，此即複饋電線制 (Multiple feeder system)。

在上述諸制中，有一公同缺點，即架空線苟在任何點通地時，整個系統即完全通地。在城市內，尤其車務極繁之處，不容有一點通地，致使全線交通停頓之危險，故架空線分為若干段，如第 15.18 圖 (丁)。每一段與鄰段相絕緣，且分接於個別之饋電線。若一段中發生障礙，不致殃及他段。惟維持交通於不斷，須以犧牲用銅之效率得之，蓋此制中之各饋電線，不能互助，而在前述諸制中，則可收互助之效。此即有分段架空線 (Sectionalized trolley) 之複饋電線制。

在圖 (丁) 中，當滑鋼輪，由一段滾至他段，經過絕緣物時，司機者應將控制器移至“停車”位置，嗣再急速回至“滿速率”位置。苟控制器仍停在“滿速率”位置上，則當滾過絕緣物時，兩段線間縱有極小之電位差，亦可使電動機內有甚大之暫時電流通過。蓋電動機內之電壓與反電勢相差至微，二者之一如微有變動，可使其差數有甚大比例之變動。除非以電阻插入電樞內，否則樞電流必變動甚大 (見第 13.6 式)。

15—19. 通地電流之電解作用 —— 電車制大都用軌道為回路導體，使車中取用之電流，可流返電廠。此回路電流，固不僅流經鐵軌本身，且擴散至地內，尋覓最低電阻之路徑，返回發電機之負端。此最低電阻之路徑，大率包括水管，煤氣管，及地下電纜之包皮等，如第 15.19 圖所示。電流穿入，甚至經過此類導體，固與之無損。然

電流最後必脫離此導體而返，如圖中之 a 點處。當其脫離也，因發生電解作用，恆將金屬齒以俱去，終至管被侵蝕。利用下列之兩種策略，可減少電解之影響。(甲)為電流備具可能的較佳回路，此可將各段鐵軌，予以完美之接合得之。或用絕緣的粗銅負饋電線，沿鐵軌之各點，與之並聯，而接至負匯流排。第 15.19 圖示不佳之鐵軌接合，迫使電流離開鐵軌，另尋捷徑之情形。在若干城市中，其地回電路所可容許之電壓降，不得超過 10 至 15 伏。(乙)在管之接合處，偶插入絕緣套，亦可阻止電流穿入管內。

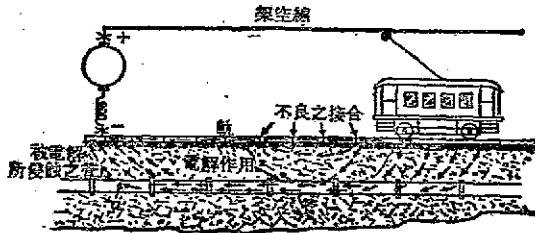


圖 15.19 迴地電流之電解作用

在測試電解作用時，通用之法，係量度鐵軌與水管間之電位差（如在自來水管開關處即可）。此電位差之大小，大致可指示由一者流入他者電流之多寡。由其電壓之方向，可測知電流所經之方向，例如，鐵軌對水管為正，則電流必由鐵軌流入管中無疑。

蓄電池制

15—20. 發電廠之蓄電池組——第 15.20 圖顯示一個發電廠之典型的負載曲線。在下午十一時至翌日上午五時之間，其負載最輕，此時僅有街燈及少數通宵營業場所之用電而已。此部份負載曲線，謂之谷部 (Valley)。

上午五時至上午七時間，因商用電機負載，電燈，或因電車已

開始行駛，用電漸增。晨間高峯 (peak)，約發生於上午八時左右，至中午十二時即銳減。

在十二時至下午一時間，又有一谷，此由於午餐時期，各種工業負載暫停之故也。晚間高峯，大率為一日中之最高者，皆發生於下午五時至六時間，持續一小時以上。嗣後即漸降至正常之晚間負載。此際之負載，幾全部為電燈。以後再續降，達夜間負載為止。

夫發電廠之各種設備，須具有適足容量，以擔任最高巔值負載 (Peak load)，乃理所必然。雖一日之中，僅於極短時間內使用之，但其設備之成本，固應依二十四小時均攤之。

一個發電廠內，或配電站中，平均負載與最大負載之比，謂之負載因數 (Load factor)。

【例題 15.3】某發電廠於一日內，供給 192,000 仟瓦小時，其巔值負載為 20,000 仟瓦，問其每日之負載因數為若干？

$$\begin{aligned} \text{【解】} \quad \text{平均負載} &= \frac{192,000}{24} = 8,000 \text{ 仟瓦} \\ \text{負載因數} &= \frac{8,000}{20,000} = 0.40 \text{ 或 } 40\% \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

高值之負載因數，顯為最所期望者。故電力公司恆歡迎任何可以填充其谷部之負載，且另行釐定其價格，以資鼓勵。庶幾電廠內所閒置之機器，可加以利用。

直流發電廠或配電站之負載曲線，可利用蓄電池組，使之平滑。在夜間或侵晨時期，令蓄電池充電，以填充谷部。在負載最重時，蓄電池即放電於負載，以削平其高峯，如第 15.20 圖所示。電廠之負載，乃得均衡，其負載因數，亦因以提高。

雖然，蓄電池組，固非僅為均衡電廠負載而裝設也。縱在極有和之負載情形下，所使用之蓄電池組，其所可充放之循環，亦至有限。而蓄電池組之維護費用，或且超過因其分擔巔值負載所節省

者。惟蓄電池組可用於孤立之電廠，因在此等場所，夜間可將全部發電機停駛，而專用蓄電池組，可以節省相當之人工。

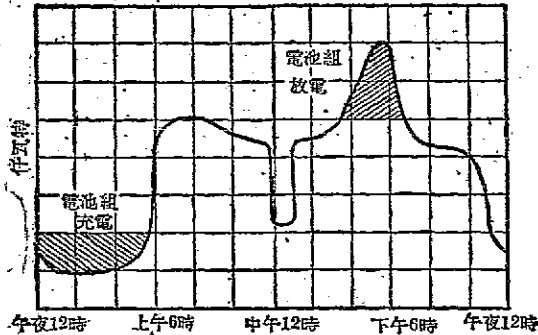


圖15.20 用蓄電池組以均衡電廠之負載

在大規模電廠內，蓄電池組可作儲備之需。將蓄電池組裝於近負載中心之處，在發電機被停或整個輸電系統發生障礙之際，蓄電池組乃出而維持服務於不斷。因此，常用塗漿式極板之蓄電池，因其具有甚高之過載容量也（參考第4—17節）。

蓄電池組對於擔任意外之負載，亦殊有價值。例如暴風雨驟至，天昏地暗，負載激增，此固未可預卜者。欲發電廠內，加開一發電機，或多添蒸汽，皆非頃刻可辦者。苟具備蓄電池組，則立即將蓄電池組接上，暫令其分擔負載之一部，俟汽機及汽輪機等加入服務時為止。苟蓄電池組原係“浮接”者，則自動分擔所增之負載，毫無困難。

15—21. 電阻控制法——欲控制發電機所可供給之負載，恆變更其場電流，因而變更其應電勢得之。惟此法不能用於控制蓄電池之電勢。控制蓄電池組所供給之負載，其法甚多。一法以蓄電池組之電壓高於整流排電壓，插入一電阻，與蓄電池組相串聯，如第15.21圖所示。調節此電阻，可控制蓄電池組供給之負載。其缺點為

電功率之損失，以及電阻壓降隨負載而變。即或負載不變，而電池放電時之電壓每自變動，必須隨時調節電阻以補償之。

【例題15.4】今欲使含有 115 只電池之蓄電池組，放電於 220 伏匯流排，並供給 100 安電流。若每只電池之電勢為 2.1 伏，內阻為 0.001 歐，問其串聯電阻應調準至若干歐？

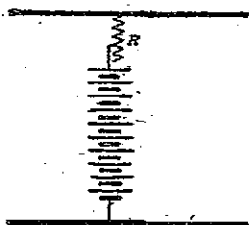


圖 15.21 用電阻控制蓄電池組之放電

【解】蓄電池組之總電勢為

$$E = 115 \times 2.1 = 242 \text{ 伏。}$$

蓄電池組之總內阻為

$$r = 115 \times 0.001 = 0.115 \text{ 歐。}$$

因匯流排電壓 V 為 220 伏，故串聯電阻應為 R ，使

$$100 = \frac{242 - 220}{0.115 + R},$$

$$100R = 22 - 11.5 = 10.5,$$

$$R = 0.105 \text{ 歐。}$$

(答)

15—22. 反電勢電池——無論其為鉛極式抑鋅基式，蓄電池皆具有一種特性，即在充電時，在各種充電率下之端電壓之變動範圍甚小。今可利用此原理，控制蓄電池組放出之電流。

以數電池接於一組蓄電池之末端，其電勢與電流方向相反。變更所接入之電池只數，可調節該組蓄電池之放電率。用類似末端電池開關 (End-cell switch) 之裝置 (見第 15—23 節)，可任意接入或割出若干只電池。此種電池，毋需儲蓄功能，僅以單純的鉛板或鋅板，置於相當之電解液內即可。其功用唯在供給一種電勢，與總電勢相反，故名反電勢電池 (Counter-emf cell)。此法之所以優於電阻控制法者，因其反電勢並不隨負載而變動也。

15—23. 末端電池控制法——用一組蓄電池，其所包括之電池

只數，適使其總電勢高於匯流排電壓，兩者間留有充分之餘地。於該組末端，接入或劃出若干只電池，可控制該組之總電勢及放電電流。

惟在變換接法時，必須保持電路不被中斷，此可由如第 15.22 圖所示之開關司之。其主要觸點經一電阻 R 接於輔助觸點。當主

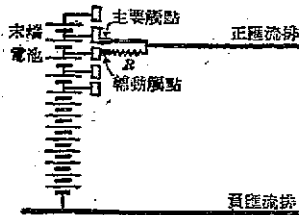


圖 15.22 蓄電池組之末端電池
控制法

要觸點由一電池端，移至次一電池端時，其輔助觸點先關合，保持電路經電阻 R 而仍通暢。苟在主要與輔助觸點間，電阻為零，則所接入或劃出之電池，當過渡時期，必全被捷路。今用一電阻，可限制其捷路電流，仍容許正常值電流之通過。第

15.22 圖所示者，為在過渡時期之情形。此種末端電池開關，大率笨笨重，常須經螺旋桿與齒輪之傳介，由電動機推動之，亦可採遙控制。

此種末端電池 (End cell)，並不經常應用，較主要電池之放電程度為輕。故在充電時，應個別予以注意。

15-24. 調節用蓄電池——蓄電池組，亦常用以均衡負載之倏忽漲落。在平均負載情形時，蓄電池組之電勢，應與匯流排之電壓相等。因此，蓄電池組並不放出任何電流，僅作「浮接」而已。

苟負載倏昇，其匯流排電壓下降，於是蓄電池放電，以輔佐發電機。反之，若負載倏降，其匯流排電壓上昇，蓄電池乃被充電。

慣常匯流排電壓之變更不多，不足以使電池組確切響應負載之漲落。而在用過激發電機，如電車鐵道所用者，負載增加或竟使蓄電池充電，亦未可必。茲有數法，可使電池組充電或放電，適得其時。若匯流排之電壓調整，差堪滿意，發電機可用欠激式者。但

欲得較精密之調整，可用如第 15.23 圖所示之方法得之，其效應在協其蓄電池組之充放。蓄電池與一由電動機策動之昇壓機相串聯，再接至匯流排，兩具炭質電阻 R_1, R_2 串聯跨接於電池兩端。昇壓機之場卷，跨接於 R_1, R_2 之公共端及電池組之中點間。若 $R_1 = R_2$ ，則昇壓機之場卷，跨接於電壓相等之兩點間，無場電流，昇壓機自無應電勢產生。負載驟增，使螺管 P 施壓力於槓桿，將左端向下拉，而壓緊 R_1 ，同時其右端向上舉，放鬆 R_2 之壓力。於是 R_1 與 R_2 相差甚多，昇壓機之場卷，亦不再接於等壓之兩點，乃有電流通過其場卷，使之產生應電勢，以助蓄電池之放電。圖中之 S 為一彈簧。

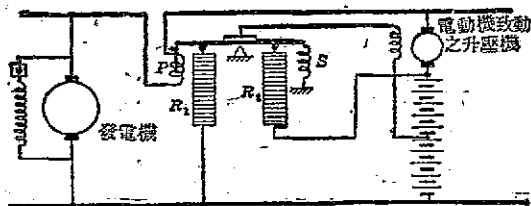


圖 15.23 用昇壓機組調節蓄電池組之放電

欲減少流過 R_1, R_2 及電池組之電流，可再用中間激磁機，以變更昇壓機之場激。此激磁機之場卷可用如第 15.23 圖之同一接法，接於 R_1, R_2 之公共端及電池組之中點，以替代昇壓機之場卷。

15-25. 串聯佈電制——在並聯佈電制中，其負載各不相涉。在任何點接入一負載，荷電壓不變，不致影響及於其他負載。在串聯佈電制中，其負載互相串聯，其經過每一負載之電流相同。荷任何一者中斷，其他負載勢均被擾，此為事實所不許者。欲移去一負載，應將該負載撻接之。

供給電功率於串聯或恆流制 (Constant current system)，可採下述二者之一。用串激發電機如布魯許電弧發電機及馮姆生一動激發電機 (已見第 12-27 節)。或以恆流變壓器 (Constant-

current transformer) 與汞弧整流器 (見下編第八章), 連合使用亦可。此二種方法, 在任何負載情形時, 均有保持恆定電流之效能。苟電路中斷, 而接入高值電阻, 因恆值電流通過之, 必生一甚高電位差。因恆流制之電燈, 恆以一薄紙片介於兩線端之間, 以資保護。若燈絲燒斷, 其施於此紙片之高電壓, 足以洞穿之, 而防止電路之中斷。

串聯佈電制之優點, 厥唯其用銅量之節省。因銅線所載之電流, 即每個單獨負載之電流也。惟因負載皆相串聯, 其電壓必高, 故此制僅能用於戶外供電, 如街燈之類。如用於戶內, 則此種高電壓, 易釀禍災。

串聯電燈制之另一優點, 在電燈本身, 用於恆流制之白熾燈, 終生可保有甚高之流明效率 (Lumen efficiency), 約在百分之九十七左右。但用於恆壓制之電燈, 在將近其額定之壽限時, 其流明效率銳降至百分之七十九, 若不更換新燈, 其流明效率, 勢將續降。因白熾燈之電功率為 I^2R , 在使用之時期內, 其燈絲不斷蒸發,

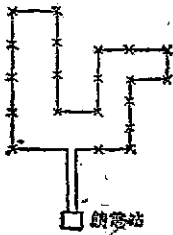


圖15.24 串聯開口
迴路

其光度。

聯接串聯負載之法有二: 在開口迴線制 (Open-loop system, 第 15.24 圖) 中, 其負載

R 乃增加。在串聯制中, 其電流既保持不變, 其電功率亦增加, 燈絲之熱度隨之增加, 約可補償玻璃內壁變黯之影響, 其光度仍可不減。但在並聯制之電燈中, 其電功率為 E^2/R , E 為電燈之端電壓。當燈絲逐漸蒸發而瘦削, 其 R 增加, 電功率乃減低。加之玻璃內壁變黯, 均足以減低

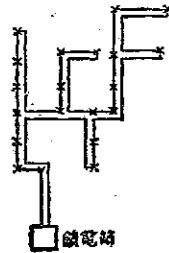


圖15.25 串聯閉合迴
路

插接於佈電線上，至為簡單，其用銅較為經濟。其電路之聯接，殊不計及出線與回線之是否相近抑相遠離者。

在平行迴線制(Parallel-loop system, 第 15.25 圖)中，其出線與回線，恆保持相近。此制所用之銅較開口迴線制為多，但便於尋檢障礙，並可避免鄰近電路所致之感應作用。

附錄一

單位之關係

長 度

1吋(Inch)	= 2.54 厘米(Centimeter)
1呎(foot)	= 30.48 厘米(Centimeter)
1哩(mile)	= 1.609 仟米(Kilometer)

面 積

1圓密爾(C.M., Circular Mil)	= 0.7854 平方密爾(Square Mil)
1圓密爾(C.M., Circular Mil)	= 0.000607 平方厘米(Square Centimeter)
1方吋(Square inch)	= 6.452 平方厘米(Square Centimeter)
1方米(Square meter)	= 10.76 方呎(Square feet)

體 積

1立方吋(Cubic inch)	= 16.39 立方厘米(C.C., Cubic Centimeter)
1立特(Liter)	= 1,000 立方厘米(C.C., Cubic Centimeter)
	= 0.2642 美制加侖(U.S. Gallon)
1加侖(Gallon)	= 231 立方吋(Cubic inch)
	= 3.785 立特(Liter)
	= 8.345 磅(Pound)

重 量

1克(Gram)	= 981 達因(Dyne)
1盎司, 英兩(Ounce)	= 28.35 克(Gram)
1仟克(Kilogram)	= 2.205 磅(Pound, lb.)
1噸(Ton)	= 2,000 磅(Pound, lb.)
1長噸(Long Ton)	= 2,240 磅(Pound, lb.)
1米制噸(Metric Ton)	= 1,000 仟克 = 2.205 磅

功

1焦耳, 瓦秒(Joule, watt-second)	= 10 ⁷ 爾格(Erg)
1克卡(Gram Calorie)	= 4.183 焦耳(Joule)
1英熱單位(British Thermal Unit, B.T.U.)	= 252.1 克卡
	= 777.5 呎磅(Foot-pound)

附 錄 二

電之各種單位間之關係

名 稱	實用單位	厘米克秒制 電磁單位*	厘米克秒制 靜電單位
電動勢 (Electromotive Force)	1伏特, 伏 (Volt)	10^8 電磁伏, 迭 (Abvolt)	$1/300$ 靜電伏 (Stat volt)
電 流 (Current)	1安培, 安 (Ampere)	$1/10$ 電磁安, 迭 (Abampere)	3×10^9 靜電安 (Stat ampere)
電量, 電荷 (Quantity)	1庫倫, 庫 (Coulomb)	$1/10$ 電磁庫, 連 (Abcoulomb)	3×10^9 靜電庫 (Stat coulomb)
電 阻 (Resistance)	1歐姆, 歐 (Ohm)	10^9 電磁歐, 邁 (abohm)	$1/(9 \times 10^{11})$ 靜電歐 (Stat ohm)
電 容 (Capacitance)	1法拉特, 法拉 (Farad)	$1/10^9$ 電磁法拉, 迭 (abfarad)	9×10^{11} 靜電法拉 (Stat farad)
電 容	1微法拉 (Microfarad)	$1/10^{15}$ 電磁法拉, 迭	9×10^5 靜電法拉
電 感 (Inductance)	1亨利, 亨 (Henry)	10^9 電磁亨, 迭 (abhenry)	$1/(9 \times 10^{11})$ 靜電亨 (Stat henry)
能 (Energy)	1焦耳 (Joule)	10^7 爾格 (erg)	10^7 爾格
功 率 (Power)	1瓦特, 瓦 (Watt)	10^7 電磁瓦, 迭 (abwatt)	10^7 靜電瓦 (Stat watt)
即每秒爾格(Ergs per Second)			

*根據民國廿六年三月教育部公佈之“電機工程名詞”(普通門).其電磁制電之單位各名稱,除附加電磁二字外,即可在實用單位名稱所用之字,加一「之」,作為符號,以資簡單化,因一併列舉如上。

附 錄 三

比 重

鋁 Aluminium	2.67	銅 Copper	8.89
鋅 Zinc	6.86	銀 Silver	10.55
錫 Tin	7.29	鉛 Lead	11.45
鐵條 Iron Bar	7.48	汞 Mercury	13.60
生鐵 Wrought Iron	7.79	金 Gold	19.36
鎳 Nickel	7.83	鉑 Platinum	20.30
鋼 Steel	7.85		

(註)每立方呎之水之重量為 62.5 磅

附 錄
附 錄 四

587

實心標準軋煉銅線表——美國線規

線規 號數	直徑 密爾	截 面 積		每千呎之歐姆數		每千呎之 磅 數	
		圓密爾	方 吋	25°C	65°C		
				(77°F)	(149°F)		
0000	460.0	212,000.0	0.166	0.0 00	0.0577	0.264	641.0
000	410.0	168,000.0	0.132	0.0630	0.0727	0.333	508.0
00	365.0	133,000.0	0.105	0.0795	0.0917	0.420	403.0
0	325.0	106,000.0	0.0829	0.100	0.116	0.528	319.0
1	289.0	83,700.0	0.0657	0.126	0.146	0.665	253.0
2	258.0	66,400.0	0.0521	0.159	0.184	0.839	201.0
3	229.0	52,600.0	0.0413	0.201	0.232	1.061	159.0
4	204.0	41,700.0	0.0328	0.253	0.292	1.355	126.0
5	182.0	33,100.0	0.0260	0.319	0.369	1.685	100.0
6	162.0	26,300.0	0.0206	0.403	0.465	2.13	79.5
7	144.0	20,900.0	0.0164	0.508	0.586	2.68	63.0
8	128.0	16,500.0	0.0130	0.641	0.739	3.38	50.0
9	114.0	13,100.0	0.0103	0.808	0.932	4.27	39.0
10	102.0	10,400.0	0.00815	1.02	1.18	5.33	31.4
11	91.0	8,230.0	0.00647	1.28	1.48	6.75	24.9
12	81.0	6,530.0	0.00513	1.62	1.87	8.35	19.8
13	72.0	5,180.0	0.00407	2.04	2.36	10.77	15.7
14	64.0	4,110.0	0.00323	2.58	2.97	13.62	12.4
15	57.0	3,260.0	0.00256	3.25	3.75	17.16	9.86
16	51.0	2,580.0	0.00203	4.09	4.73	21.6	7.82
17	45.0	2,050.0	0.00161	5.16	5.96	27.2	6.20
18	40.0	1,620.0	0.00128	6.51	7.51	34.4	4.92
19	36.0	1,290.0	0.00101	8.21	9.48	43.3	3.90
20	32.0	1,020.0	0.000802	10.4	11.9	54.9	3.09
21	28.5	810.0	0.000636	13.1	15.1	69.1	2.45
22	25.3	642.0	0.000505	16.5	19.0	87.1	1.94
23	22.6	509.0	0.000400	20.8	24.0	109.8	1.54
24	20.1	404.0	0.000317	26.2	30.2	138.3	1.22
25	17.9	320.0	0.000252	33.0	38.1	174.1	0.970
26	15.9	254.0	0.000200	41.6	48.0	220.0	0.769
27	14.2	202.0	0.000158	52.5	60.6	277.0	0.610
28	12.6	160.0	0.000126	64.2	76.4	350.0	0.484
29	11.3	127.0	0.0000995	83.4	96.3	440.0	0.384
30	10.0	101.0	0.0000789	105.0	121.0	554.0	0.304
31	8.9	79.7	0.0000626	133.0	153.0	702.0	0.241
32	8.0	63.2	0.0000496	167.0	193.0	882.0	0.191
33	7.1	50.1	0.0000394	211.0	243.0	1,114.0	0.152
34	6.3	39.8	0.0000312	266.0	307.0	1,407.0	0.120
35	5.6	31.5	0.0000248	335.0	387.0	1,769.0	0.0954
36	5.0	25.0	0.0000196	423.0	488.0	2,230.0	0.0757
37	4.5	19.8	0.0000156	533.0	616.0	2,810.0	0.0600
38	4.0	15.7	0.0000123	673.0	776.0	3,550.0	0.0476
39	3.5	12.5	0.0000098	848.0	979.0	4,430.0	0.0377
40	3.1	9.9	0.0000078	1,070.0	1,230.0	5,650.0	0.0299

*此表係自美國標準局第 31 號刊 Cir 31, U.S. Bureau of Standard

註(1)其用以計算此表之“基本電阻係數”為“國際軋煉銅標準”，即在 20°C 時為 0.15328 歐(米-歐)。在此電阻係數時之溫度係數為 $\alpha_{20} = 0.00393$ ，或 $\alpha_0 = 0.00427$ 。其密度為每立方厘米 8.89 克。

註(2)上表所列之值，僅為有標準電阻係數之軋煉銅。用此表者，欲求有其他電阻係數值之銅線之電阻時，應予以適當之校正。例如硬抽銅之電阻係數，可認為較軟抽銅高百分之 2.7。

註(3)以米行之值乘 5.28，可求出各號銅線之每哩磅數。

附 錄 五

標 準 軋 煉 銅 製 同 心 裸 纜 表

美規號數	圓密爾數	每千呎之電阻, 歐姆		每千呎 之磅數	標準同心絞合法		
		25°C = 77°F	65°C = 149°F		導線 根數	每根直徑 密爾	外直徑 密爾
	2,000,000	0.00539	0.00622	6,180	127	125.5	1,631
	1,700,000	0.00634	0.00732	5,250	127	115.7	1,504
	1,500,000	0.00719	0.00830	4,630	91	128.4	1,412
	1,200,000	0.00899	0.0104	3,710	91	114.8	1,263
	1,000,000	0.0108	0.0124	3,090	61	128.0	1,152
	900,000	0.0120	0.0138	2,780	61	121.5	1,093
	850,000	0.0127	0.0146	2,620	61	118.0	1,062
	750,000	0.0144	0.0166	2,320	61	110.9	998
	650,000	0.0166	0.0192	2,010	61	103.2	929
	600,000	0.0180	0.0207	1,850	61	99.2	893
	550,000	0.0196	0.0226	1,700	61	95.0	855
	500,000	0.0216	0.0249	1,540	37	116.2	814
	450,000	0.0240	0.0277	1,390	37	110.3	772
	400,000	0.0270	0.0311	1,240	37	104.0	728
	350,000	0.0308	0.0356	1,080	37	97.3	681
	300,000	0.0360	0.0415	926	37	90.0	630
	250,000	0.0431	0.0498	772	37	82.2	575
0000	212,000	0.0509	0.0587	653	19	105.5	528
000	168,000	0.0642	0.0741	518	19	94.0	470
00	133,000	0.0811	0.0936	411	19	83.7	418
0	106,000	0.102	0.117	326	19	74.5	373
1	83,700	0.129	0.149	258	19	66.4	332
2	66,400	0.162	0.187	205	7	97.4	292
3	52,600	0.205	0.237	163	7	86.7	260
4	41,700	0.259	0.299	129	7	77.2	232

附 錄 六

導線可容許之載流量表

英規線號	實心線 直徑密爾	截面積 圓密爾	載 流 容 量 (安 培)		
			橡膠絕緣	油布絕緣	其他絕緣
18	40.3	1,624	3	.....	6
16	50.8	2,583	6	.....	10
14	64.1	4,107	15	18	20
12	80.8	6,530	20	25	30
10	101.9	10,380	25	30	35
8	128.5	16,510	35	40	50
6	162.0	26,250	50	60	70
5	181.9	33,100	55	65	80
4	204.3	41,740	70	85	90
3	229.4	52,630	80	95	100
2	257.6	66,370	90	110	125
1	289.3	83,690	100	120	150
0	325.0	105,500	125	150	200
00	364.8	133,100	150	180	225
000	409.6	167,800	175	210	275
		200,000	200	240	300
0000	460.0	211,600	225	270	325
		250,000	250	300	350
		300,000	275	330	400
		350,000	300	360	450
		400,000	325	390	500
		500,000	400	480	600
		600,000	450	540	680
		700,000	500	600	760
		750,000	525	630	800
		800,000	550	660	840
		900,000	600	720	920
		1,000,000	650	780	1,000
		1,100,000	690	830	1,080
		1,200,000	730	880	1,150
		1,300,000	770	920	1,220
		1,400,000	810	970	1,290
		1,500,000	850	1,020	1,360
		1,600,000	890	1,070	1,430
		1,700,000	930	1,120	1,490
		1,800,000	970	1,160	1,550
		1,900,000	1,010	1,210	1,610
		2,000,000	1,050	1,260	1,670

附 錄 七

金 屬 及 合 金 之 電 的 性 質

名 稱	在 20°C 時之電阻係數		在 20°C 電阻之溫度係數	最高工作溫度約值 攝氏度數	熔點 攝氏度數	
	每厘米立方體 歐歐數	每圓密爾 歐歐數				
純 金 屬	鎢	2.828	17.02	0.0039	.....	654
	鎢	41.7	251.0	0.0036	.....	630
	鈾	110.0	663.0	0.004	.....	271
	碳	3,800至4,100	.....	(-)	.....	>3500
	碳(石墨)	720至812	.....	(-)	.....	.....
	銅(硬抽)	1.724	10.37	0.00393	260	1083
	金	2.44	14.7	0.0034	.....	1063
	電解銅	9.96	59.9	.....	.....	1530
	鑄鐵	74.4至97.8	448至588	.....	.....	.....
	鐵	20.4	123	0.00387	.....	327
	汞	94.07	566	0.0072	.....	38.9
	銀	6.93	41.7	0.0062	600	1452
	鉛	10.96	66.0	0.0030	1500	1754
	錫	1.629	9.8	0.0838	.....	961
	軟銅	15.9	95.8	0.0016	.....	1430
	硬銅	45.7	275	.....	.....	.....
	百分之四砂銅	51.15	308	.....	.....	.....
	變壓器用銅	11.09	66.8	.....	.....	.....
鎳	5.51	33.2	0.005	.....	3400	
銻	5.75	34.6	0.0037	.....	419	
合 金	黃銅	7.0	42.1	0.002	.....	940
	康銅(Cu 60, Ni 40) (Constantan)	49.0	295.0	0.000005	.....	1290
	德銀(Ni 18) (German Silver)	33.0	198.5	0.0004	.....	.....
	亞亞銀, 銅銀(Ia Ia)	49.0	283.0	0.000005	370	1230
	理想銀, 銅銀(Ideal)	50.0	296.0	0.000005	350	1099
	錳銅(Cu 84, Mn 12, Ni 4. Manganin)	44.0	265.0	0.000006	100	.....
	蒙銅(Ni-Cu) (Monel Metal)	42.0	256.0	0.0019	950	1360
	鎳鉻(FeNiCr) (Nichrome)	109.0	660.0	0.00019	650	.....
含磷青銅(Phosphor Bronze)	3.95	23.7	.....	.....	.....

附 錄 八

鉛包電纜之載流容量(安培)表

辛普萊克斯線纜公司 (Simplex Wire & Cable Company)

組 細		橡 膠 絕 緣			紙 質 絕 緣		
		溫度昇高-30°C=54°F 最高溫度-125°F			溫度昇高-37.5°C=67.5°F 最高溫度-150°F		
		單線	雙線	三線	單線	雙線	三線
美 規 安 數	10	30	26	23	34	29	26
	8	45	39	34	50	44	38
	6	60	52	45	67	58	50
	4	78	68	59	87	76	65
	2	122	106	92	136	118	102
	1	146	127	110	163	142	122
	0	169	147	127	189	165	142
	00	192	167	144	215	187	161
	000	245	213	184	274	238	206
	0000	285	248	214	319	278	239
圓 實 荷 數	250,000	320	278	240	358	311	269
	300,000	370	322	278	414	360	311
	350,000	415	361	311	464	404	348
	400,000	460	400	345	514	447	386
	500,000	550	479	412	615	535	461
	600,000	630	548	473	705	613	529
	700,000	710	618	532	794	691	596
	750,000	750	653	563	838	730	630
	800,000	790	688	593	883	770	665
	900,000	840	732	627	940	818	700
	1,000,000	900	783	675	1,005	875	755
1,250,000	1,055	916	790	1,180	1,028	885	
1,500,000	1,200	1,045	900	1,343	1,168	1,007	
1,750,000	1,340	1,165	1,005	1,500	1,305	1,126	
2,000,000	1,400	1,220	1,050	1,565	1,362	1,175	

(註)此表僅能用於平常情形,不能用於特殊情形。

附 錄 九

實體分層線卷每方吋匝數表*

阿克美製線公司(The Acme Wire Company)

美規線號	單層包紗	紗包漆包	單層絲包	絲包漆包	漆包
10	87.5	84.5	—	—	92.5
11	109	105	—	—	117
12	136	130	—	—	147
13	169	169	—	—	184
14	210	200	—	—	231
15	260	248	—	—	292
16	321	304	—	—	366
17	396	374	—	—	458
18	488	456	—	—	572
19	598	556	—	—	715
20	772	722	865	807	907
21	947	890	1,075	1,010	1,150
22	1,155	1,075	1,330	1,230	1,425
23	1,410	1,303	1,650	1,510	1,780
24	1,720	1,575	2,045	1,860	2,220
25	2,080	1,910	2,520	2,290	2,800
26	2,500	2,310	3,090	2,830	3,540
27	3,020	2,770	3,810	3,460	4,440
28	3,630	3,300	4,690	4,220	5,570
29	4,270	3,910	5,650	5,100	6,950
30	5,100	4,630	6,950	6,200	8,730
31	5,920	5,330	8,410	7,300	10,650
32	6,950	6,300	10,000	8,900	13,500
33	8,120	7,300	12,080	10,650	16,900
34	9,430	8,410	14,500	12,600	21,000
35	10,850	9,610	17,800	14,900	24,000
36	12,350	10,850	20,400	17,300	31,000
37	—	—	23,700	20,400	40,000
38	—	—	27,800	23,700	49,300

*本表錄自“電工標準手冊”第五版,第五部,第102節“Standard Handbook for Electrical Engineers” 5th Ed., McGraw Hill Book Company, Inc.

附 錄 十

希 臘 字 母

大寫字	小寫字	讀 法	通常用以代表之量
A	α	Alpha	角度;係數
B	β	Beta	磁通密度;角度;係數
Γ	γ	Gamma	電導係數(小寫字)
Δ	δ	Delta	變動;密度
E	ϵ	Epsilon	對數之基數
Z	ζ	Zeta	係數
H	η	Eta	磁滯係數;效率(小寫字)
Θ	θ	Theta	溫度; 相位角
I	ι	Iota	
K	κ	Kappa	介質常數
Λ	λ	Lambda	波長(小寫字)
M	μ	Mu	磁導係數;微(千分之一);放大因數(小寫字)
N	ν	Nu	磁阻係數
E	ξ	Xi	輸出係數
O	\omicron	Omicron	
Π	π	Pi	圓周÷直徑=3.1416
P	ρ	Rho	電阻係數(小寫字)
Σ	σ, s	Sigma	總和(大寫字);表面密度;跨導(小寫字)
T	τ	Tau	時間常數; 時間相位
Υ	υ	Upsilon	位移
Φ	ϕ, Φ	Phi	磁通; 角
X	χ	Chi	
Ψ	ψ	Psi	角速;介質電通量(靜電力線);角
Ω	ω	Omega	歐姆(大寫字);角速(小寫字);角

問 題

第一章 電 阻

1.1, 根據最近學說, 試述電流流動之機構。絕緣體內原子之結構, 與導體內者, 其不同之點何在?

1.2, 試論電阻所表顯於有電流電路內之方式。根據最近學說, 何以電阻所損失之功率, 係緣於電子之作用而生? 電阻之機械的譬喻為何?

1.3, 何種物質為最佳之導體? 何種物質為最佳之絕緣體? 試論導體與絕緣體間之界限。試就良導體與良絕緣體之電阻係數比較之。

1.4, 試述電阻之單位, 並予以界說。

1.5, 有恒定截面之均勻物質, 其電阻隨長度而變化之關係若何? 有恒定長度之均勻物質, 其電阻隨截面而變化之關係若何? 有某電阻係數之物體, 除其幾何形狀外, 尚有何要素, 足以決定其電阻?

1.6, 試述體積電阻係數之意義。若某物質之體積為固定的, 其電阻如何隨長度而變化? 如何隨截面而變化?

1.7, 何謂電導? 電導如何隨長度及截面而變化? 試述電導與電阻係數之區別。

1.8, 若一電路徑之截面, 隨其長度而變化, 則其電阻變化之情形若何? 試舉例以明之。

1.9, 若數電阻在一電路內相串聯, 則其總電阻與各個電阻之關係若何?

1.10, 若數電導在一電路內相並聯, 則其總電導與各個電導之關係若何? 根據此關係, 試推究由各個並聯之電阻以計算等效電阻之方法。

1.11, 何謂「密爾」(mil)? 何謂平方密爾? 何謂圓密爾? 二者之關係若何? 何時用圓密爾為計算截面之單位? 用圓密爾或用平方密爾或方吋之優點何在? 一個圓截面之圓密爾數, 與其直徑有何關係?

1.12, 何謂圓密爾呎? 銅之電阻係數近似值為何? 如何可以由銅線長度之呎數及截面之圓密爾數, 而計算其電阻?

1.13, 試解釋圓密爾吋。在 60°C 時, 每圓密爾吋之銅之電阻為若干? 在何種電阻計算時, 用圓密爾吋較便?

1.14 用電阻材料之用意安在? 試列舉數種常用之合金, 並述其優點及

用途。

1.15, 非合金金屬之電阻, 隨溫度而變化之情形若何? 何謂電阻之溫度係數?

1.16, 若銅之電阻, 依在平常溫度時之變化率而減低, 則在何溫度, 其電阻將為零? 如何應用此原理, 以解答關於電阻與溫度之問題?

1.17, 美國銅線規(A. W. G.) 之根據安在? 各連續的美規號數銅線之直徑, 有何關係?

1.18, 美規各號銅線之截面, 有何關係? 如何應用此種關係, 以計算任何大小銅線之重量及電阻? 第 10 號線每 1000 呎之電阻為若干? 其重量為若干? 1,000 呎 2 號線之電阻及重量各為若干?

1.19, 用粗線時, 何以必須敷細線相絞合? 實心銅線之最大號數為何? 試述在絞線之各層中之線數及絞線中之總線數。

1.20, 在金屬中何者為最佳之導體? 何者最為通用? 其故安在? 鉛與銅較, 其用作導體之利弊何在? 在何種情形之下, 用鐵及鋼為導體, 試解釋之。

第二章 歐姆定律及電路

2.1, 靜電制單位根據何種基本關係? 此制之用途何在?

2.2, 電磁的厘米克秒制, 即絕對制電的單位, 根據何種基本關係? 此制之一般用途何在? 電流之絕對單位如何界說?

2.3, 何為實用制電的單位之根據? 電流之單位, 安培, 如何界說, 俾可用實驗加以決定? 單位電量與單位電流之關係若何?

2.4, 試述電位差之基本界說。單位電位差與電流及電阻, 有何關係? 試列舉數種電位差之機械譬喻。

2.5, 國際歐如何界說?

2.6, 試略述絕對電位之意義。關於絕對電位之決定, 何以通常並不重視?

2.7, 線路上電壓降之本質若何? 試與水管內之水壓降比較之。在一直流電路內, 當負載端之電壓, 等於線路發送端之電壓時, 決不能供給電功率於負載, 試說明之。

2.8, 電位差之意義何在? 在某電路內有兩個以上之電勢存在, 但可無電位差存在於線路之兩端, 試說明之。

2.9, 用線路圖表示聯接伏特計於一電路內之正確方法。在同圖內, 試畫出一安培計之接法, 以量度負載之電流。何以一安培計, 不能跨接於有電之線路間?

2.10, 歐姆定律所提供者, 為何基本關係? 試列舉表示歐姆定律之三種方式。試述在何種條件之下, 以應用三者中之何種方式為較便。

2.11, 如何將數串聯電阻合併為一等效電阻?

2.12, 試演繹一公式, 用以計算電阻並聯後之等效電阻。在有兩支路之並聯電路中, 每支路電流與總電流之關係若何? 在三支路之並聯電路內, 其關係若何? 試演繹之。

2.13, 試述電功率之單位, 並予以界說。試將電功率, 以電流, 電壓及電阻三量表示之, 每次取用二量。何為機械功率之單位? 其與瓦及仟瓦有何關係?

2.14, 電能與電功率之區別安在, 試明辨之。試述電能之厘米克秒制單位及其實用單位, 並予以界說。電能之實用單位與電功率之實用單位, 有何關係?

2.15, 試討論儲蓄功能之方式及其散逸之方式。試述在一蒸汽策動之發電制度內能量轉變之過程。能量最終以何方式而出現? 最新發電制度中之效率約為若干?

2.16, 試述英制熱單位及克卡之定義。克卡與瓦秒有何關係?

2.17, 在負載集中於一點之饋電線路, 其發送端與接收端之電壓, 有何關係? 其輸電效率若何?

2.18, 在何種情形時, 每呎饋電線之電壓降可與總電流無關? 如何可應用此原理以解答電之問題。試表明如何可應用此方法, 以求電功率損失。

第三章 電池之電勢—克希荷夫定律

3.1, 以負載加於電池之兩端, 其對於電池之端電壓, 有何效應, 試解釋之。一電池之電勢, 與其端電壓有別, 何故? 在何種情形時, 二者相同?

3.2, 試論當一電池供給電流時, 可以從事直接量度其內部電壓之可能性。若電池之電阻為已知, 如何可以計算其內電壓?

3.3, 電池之內電阻, 由何因子而生? 此種電阻是否為定值?

3.4, 若電池之電勢及電阻為已知, 試述求其供給於外電阻之電流之方法。若將電池捷接, 將供給何種電流值?

3.5, 若一電池之電勢及電阻, 均為恒定值, 則接於何種外電阻時可供給最大之電功率? 在此情形下電池之效率為若干? 試論使電池供給最大電功率之是否得策, 並解釋之。

3.6, 在何種情形下, 一電池可接受外施之電能? 當以發電機接於電池,

而以同極相接時，若發電機之電壓與電池相等，其效應將如何？若將發電機之電壓提高，則其效應如何？試解釋『浮接』電池之意義。

3.7, 若將數電池相串聯，則此組合之綜合電勢若何？其總電阻若何？若外電阻為已知，試舉出計算電流之方法。

3.8, 在何種情形之下，以電池相並聯而運用較佳？並聯組合之綜合電勢若何？外電流與各電池所供給之電流之關係若何？電池組之總電阻與各電池之電阻之關係若何？

3.9, 以電勢相等而電阻不等之電池相並聯，其整個組合之電阻，如何求法，試解釋之。各電池所供給之電流，與其電阻，有何關係？並聯後各電池之端電壓間有何關係？

3.10, 試畫出電池之串並聯組合法。如何求出此組合之總電勢？若各電池之電阻為已知，則此組合之總電阻如何求法？若各個電池之電勢，電阻，其佈置方式及外電阻為已知，試演繹一公式以計算其電流。

3.11, 若干電池應如何佈置為最經濟？應如何佈置，俾可得最大之電功率？

3.12, 試演繹一公式，以求出電勢及電阻均不同之電池，並聯後之電勢及內電阻。

3.13, 試述『浮接電池』法及『環流』法所根據之原理，用以決定不同電池相並聯時電流之分配情形者。

3.14, 試逐步分析『浮接電池』法之步驟，表示如何決定每電池之總電流。再分析『環流』法之步驟。

3.15, 試述克希荷夫定律所開發之兩項基本原則。若數電流在一點相遇，如何可計及各電流之方向？

3.16, 一種電壓之升高應如何表示？電壓降如何表示？若由電池之負端經電池而至正端，其電壓變化之符號如何？何故？由正端至負端如何？若沿電流方向而經一電阻，則所發生者為電壓升抑電壓降？當用何符號？反之，逆電流方向而經一電阻，當用何符號？試詳解之。

3.17, 在電網絡問題內，若所假定之電流方向有誤，則此事實如何可以於結果中覺察之？

3.18, 在應用克希荷夫第一定律於電網絡問題時，關於每一電流，應遵從何定則？在應用克希荷夫第二定律時，關於電網絡內每一支路，應遵從何定則？

3.19, 克希荷夫兩條定律對於電網絡問題，可作有系統之應用，試述應用步驟之梗概。

- 3.20, 試論如何可以減少解答電網絡問題時,所成立之方程式數。
- 3.21, 試述克希荷夫定律對於電串制及其他輸電制應用之限制。此種電路,與常遇之指定電勢及電阻之電池問題,不同之點安在?
- 3.22, 試明示如何可將電網絡問題簡單化,而其解答可用下述方法,使其簡易:(甲)以三角形網目代替星形網目,(乙)以星形網目代替三角形網目。

第四章 原電池與蓄電池

- 4.1, 試述兩銅片浸於稀硫酸液中而接一伏特計所起之作用。以兩鋅片代替兩銅片則如何?以兩鉛片又如何? 總而言之,欲使兩片間有電勢存在,應符合何種條件?
- 4.2, 若用兩不同金屬為電極,試討論稀硫酸液可否以他種溶液替代?試舉出可以產生電勢之三種溶液。
- 4.3, 一金屬對另一金屬言,為電化的正性,其意義何在?若金屬 A 對金屬 B 言,為電化的正性,則置於電池內時,電流之方向若何?在外電路電流之方向若何?
- 4.4, 試述電極,陰極及陽極之界說。
- 4.5, 功能以何種方法儲於電池內?當電池供給電流時,電極上起何種變化?
- 4.6, 試辨明原電池與蓄電池之區別。
- 4.7, 試列舉一完美原電池之四種需要。
- 4.8, 試論一電池內電阻之本質。如何可以減低此內電阻?增大電池內元件之大小,對於其電流容量有何效應?對於電勢有何效應?
- 4.9, 以伏特計接於斷路電池之兩端,其所指示者為何種電壓?若突將電路接通,其最初之電壓降,緣何而生?其較最初壓降所超過之壓降,緣何而生?
- 4.10, 何謂極化作用?試舉兩種用以減少極化之方法。
- 4.11, 在接一恒定電阻負載時,電池之端電壓隨時間而變化之情形若何?移去負載後,電池如何復原?試詳論之。
- 4.12, 試述丹聶爾電池之構造,其電極物料及電解液。此種電池宜於何種工作?電池之電勢為若干?
- 4.13, 重力電池與丹聶爾電池不同之點安在?何電極需要時常補充?另一電極上起何變化?重力電池宜於何種工作?其電池電勢為若干?
- 4.14, 試述愛迪生-勒蘭德電池之構造,包括電液及電極在內。其電液與重力電池及丹聶爾電池不同之點何在?此式電池之優點何在?其電勢若何?供給電流時,其端電壓若何?

4.15, 勒克蘭社電池之正負電極及電液,用何材料?其電勢之近似值若何?如擬作商用,則每電池應擬定有若干伏端電壓?加入何種材料以減少其極化作用?此式電池適宜於何種工作?如何使舊電池還原?

4.16, 一乾電池與通用濕電池相似之點何在?乾電池真乾否?其正電極如何製成?負電極如何製成?其電液如何製成?如何置於電池中?以何材料置於碳及鋅間?其功用安在?

4.17, 新的乾電池之電勢若何?閒置長時間後則如何?新電池之內阻如何?試論時間對於內阻之效應。當被捷接時,良好乾電池供給之電流為若干?當電池供給適中之電流時,其端電壓約為若干?

4.18, 電池用完之主要原因何在?用何法可使舊電池暫時復原?試述乾電池之商業應用。

4.19, 以用途而言,衛斯吞標準電池與他種電池有何區別?標準電池之特性應如何?試述衛斯吞標準電池之結構及其元件。如何可保其持久性?飽和電池與正常電池不同之點安在?衛斯吞電池之電勢,何以不能用普通伏特計量度之?

4.20, 蓄電池放電後,用何法可使之還原?蓄電池之材料,應具備何條件,庶幾電池得發揮其功用?商用蓄電池常用之二種為何?

4.21, 試述一簡單實驗,以說明鉛蓄電池所根據之原理。試述每一鉛條上所起之變化。當實驗時,在不同之時間內,電池之電壓如何?冒出者為何種氣體,各氣體在何極板上冒出?

4.22, 鉛蓄電池之兩極板雖均為鉛,但有電勢存於其間,此點與發生電池電勢之原則,有無矛盾之處,試解釋之。何以蓄電池內不用平滑鉛板為極板,試列舉兩種原因。試略述普隆特法,並舉出用此法製成之兩種商用極板之結構。

4.23, 試述製造蓄電池極板之福耳法,即塗漿法。塗漿板與普隆特板較,其優劣之點何在?在何種商用情形之下,需用塗漿板,其故安在?塗漿板之壽命與普隆特板較如何?

4.24, 當蓄電池充電放電時,其電解液起何變化?其鉛極板起何變化?當一蓄電池放電將罄時,其材料呈現何種狀態,致使電壓將近為零?

4.25, 試略述愛克沙特-鐵式蓄電池之構造及其主要用途。

4.26, 鉛蓄電池可分別為何兩大類?在固定蓄電池中,何式極板宜於緊急任務?何式宜於調節任務?其故何在?

4.27, 固定蓄電池之兩種容器為何?何種宜於何用途?何故?如何可使攪鉛木槽不致滲漏?在設計及裝置攪鉛木槽時,應注意之點為何?

4.26, 4.27 常用之間隔物?試述木質間隔物, 鑿孔硬橡膠式者及米泊爾式(Mipor)之優點?何式宜於何種電池?在處理木質間隔物時,何點應予注意?何故?試述一種增強間隔木片之方法,用於優質之啓動用電池者。

4.29, 有普隆特板之蓄電池,其充足後之比重應若何?用塗漿板者應若何?在調製稀硫酸液時,何點應予注意?何種簡單工具可用以測知電液之比重?其用於固定蓄電池者爲何式樣?何式較宜於便攜蓄電池?

4.30, 在充電期內,電液起何變化?試述冒氣對於比重之影響。充電停止後,其比重之變化若何?試言其故。當放電時,其電液之比重起何變化?在實際應用時,如何利用其電液比重之變化?

4.31, 當接收一開口式固定蓄電池時,對於間隔木片應如何予以保護?其容器缸應如何裝置?如何將極板妥予安放?何以必須初充電一次?

4.32, 若一蓄電池任其閒置過久,其有用材料將發生若何變化?用何法可免電池因閒置而受損?苟欲將一電池拆出,作無限期的保藏,先應具何手續?

4.33, 何種便攜蓄電池之需要,致使其設計方法與固定蓄電池者不同?其極板應如何更改?間隔物如何更改?電液之比重如何更改?依裝運之方式言,便攜蓄電池與固定式者有何不同?對於其電液,應如何予以注意?

4.34, 一蓄電池之定額以何方式表示之?何謂八小時率?蓄電池以三小時率放電所取出之安時,能否與八小時率所取出者相同?何以有所區別?用三小時率放電時,蓄電池似乎已放罄,稍晏可否能再取出電流?

4.35, 依何原則決定蓄電池之充電率?何時必須減低充電電流?冒氣過久,有何防禦?完成率應若何?

4.36, 試述恒流充電法最普通之實例。在聯接一蓄電池於電源時,何點應予注意?試述一種鑒別正確電極之簡易方法。

4.37, 恒壓充電法之最大優點何在?用此法時,每電池約需電壓若干?有時何以需接一電阻?

4.38, 當將一蓄電池浮接於匯流排而欲將其充電時,如何可得較高之電壓爲充電之需?全部能量中之何部份,係由昇壓機供給者?

4.39, 在充電期內,電池之電勢起何變化?其端電壓相應的起何變化?何以電勢與端電壓不同(指充電期內)?

4.40, 蓄電池放電時,其端電壓起何變化?何故?蓄電池之電壓曲線,是否合於電燈電路之用?

4.41, 當蓄電池在應用時,何物有所損失?如何可補充之?在何種環境之下,認爲必須注入硫酸?蓄電池用水,應如何選擇?

4.42, 用何法可免蓄電池之凍結?溫度昇高對於蓄電池之定額,有何效應?

4.43, 在不同之放電率時,試就某蓄電池之每磅極板行瓦數比較之。再就每磅電池比較之。依上述因子,試取三種不同之電池比較之,並敘明每種電池所最適用之任務。

4.44, 在愛迪生蓄電池中,試述正電極之構造,負電極之構造。其電液用何溶液?用何法可使電液自由與極板之有用材料相接觸,而增加有用材料之電導?

4.45, 愛迪生蓄電池在充電與放電過程所起之化學作用中,電解液居何地位?

4.46, 愛迪生蓄電池在充電已足後,正極板之物料為何?負極板為何?此類物料在放電時變為何物?試述當充放時,其電解液有何變化。試與鉛蓄電池內電解液之變化比較之。

4.47, 試略述愛迪生蓄電池之結構及裝配極板之方法。此類電池用何容器?此類結構之優點何在?如何安放此電池?

4.48, 愛迪生蓄電池之正常定額,與鉛蓄電池不同之點何在?每電池之電壓為若干?電池之充電情形,可否由其電壓或其比重正確表示?如何決定其已否充足?

4.49, 在愛迪生蓄電池中,何以電液面漸用漸低?試論補充電液之方法。

4.50, 試列舉愛迪生蓄電池,較他式蓄電池之優點。其商業用途為何?何種因素足以限制其應用?

4.51, 蓄電池之效率,用何種方式表示?何以安時效率,非決定效率之真正準繩?

4.52, 蓄電池在三小時率所放之安時,與以八小時率充電安時之比,不足以代表其真正效率,試詳論之。試述決定蓄電池效率之因素。

4.53, 鉛蓄電池之仔五小時效率,大概若干?其安時效率如何?二者何以有別?一蓄電池之充放循環,其影響電池效率之點安在?

4.54, 試列舉數因素,足以決定蓄電池之選擇,俾合於某特殊之用途。

4.55, 以何方式,可使水成爲一良導體?試述『電解』與『電解液』之界說。水經電解成爲何物?

4.56, 試述『電解的分離』(electrolysis dissociation),『離子』,『正離子』或『陰向離子』,『負離子』或『陽向離子』之定義。試述離子游動與電流之關係。

4.57, 試分析硫酸銅之電解作用。試舉例以示電解之工業應用。

- 4.58, 試述法拉第電解之二定律。並用淺顯字句以解釋其意義。
- 4.59, 試述鍍銅於發電機用碳刷之方法。何極接於電源之正端,何極接於負端?若以銅與硫酸銅液並用,電解液是否有顯著之變化?試解釋之。
- 4.60, 若兩電極皆非銅質,可否自電解液中鍍銅?電源電壓應超越電鍍浴之何種電壓?如何將此電壓減至最低?電鍍為高壓的抑低壓的手續?
- 4.61, 試略述電鍍之手續及原理。
- 4.62, 試解釋重力電池為一種自給電流之電鍍浴。

第五章 電工儀器及電之量度

- 5.1, 以載電流之線卷置於磁場內,有何效應?根據磁場之基本定律,將此效應以兩種方式表出之。此原理之重要性何在?
- 5.2, 如何應用線卷在磁場內運動之原理於達松發爾電流計?其線卷如何懸繫?如何將電流引入及引出該線卷?何以常須用一軟鐵芯置於兩磁極間?
- 5.3, 試取電流計偏轉度之兩種方法為何?何謂電流計之阻尼?如何可達到阻尼之目的?
- 5.4, 如何保護一電流計,使不為過大電流所損?試畫出兩種分流器之接法。愛亦頓分流器之優點何在?試述愛亦頓分流器倍率之意義。
- 5.5, 古式量電儀器根據何原理?何因素使此種儀器不能準確?
- 5.6, 衛斯吞直流儀器實由達松發爾電流計之改進而成,試解釋之。其移動線卷如何支持?電流如何引入線卷?用何法以反抗線卷之運動?試論線卷之阻尼方法。何謂輻射形磁場?其對於儀器之校準,有何效應?何以線卷上彈簧及其下彈簧向反方向繞製?
- 5.7, 大概何電流值可使衛斯吞儀器有滿標度之偏轉?試述用此儀器以量度較大於此電流之方法。
- 5.8, 試略述分流器之構造。何以需用四個接線柱或端鈕?一衛斯吞儀器與分流器合併,可用作安培計,何故?
- 5.9, 電流在分流器與儀器間之分配,係根據何定律?何以儀器及分流器之電阻,必須保持恒定?分流器或儀器發熱,足以引起何種差誤?
- 5.10, 用何法可使一安培計有幾種標度?大概何時用內接分流器?何時用外接分流器?
- 5.11, 試比較安培計與伏特計之動作。伏特計與安培計不同之點何在?
- 5.12, 伏特計亦可製成數種標度,試解釋之。當將伏特計跨接於線路時,如何限制線卷內之電流?
- 5.13, 以何方式利用電流之發熱效應以量度電流?試述熱線式儀器之利

辨。

5.14, 試述真空熱偶之結構及運用方法。熱偶宜用於何種量度, 試解釋之。

5.15, 試畫出用伏特計及安培計以量度電阻之接線法。接伏特計時, 應注意何事? 在量度最低電阻時, 應用何種特殊之伏特計副點?

5.16, 試畫出僅用一伏特計以量度電阻之方法。用此法所可量度之電阻值, 大概有何大小? 何種特製伏特計較宜於此種工作? 何故? 此法特宜於量度何種電阻?

5.17, 試述高電阻計之用途及其磁路之結構。試比較此儀器之運動與衛斯吞儀器之運動, 並敘述兩主要線卷之功用及其聯接法。試述此儀器之動作, 並說明如何可以不用彈簧控制而得正確之指示。

5.18, 高電阻計內補償線卷之功用何在? 試表明保護線之接法並述其作用。何以常用一滑動离合器(Slipping Clutch)?

5.19, 以四個電阻, 其三者為已知, 再用一電流計, 及一電池, 試述如何接法, 可以量度未知之第四電阻, 並繪圖以明之。當調節至平衡情形時, 試證明比例律之存在。

5.20, 試略述平衡惠斯登電橋之步驟。

5.21, 試就使用便利之觀點, 以比較插塞式電橋及軌盤式電橋。

5.22, 滑觸線式電橋與惠斯登電橋相似之點何在? 就結構及準確性將二者比較之。

5.23, 試畫一圖, 顯示德爾文電橋之聯接法。並顯示其輔助電阻臂, 而將此臂與其他電阻臂之關係表出, 庶幾可應用惠斯登電橋公式以計算未知電阻。此電橋用於何種量度? 何故?

5.24, 試畫一接線圖, 表示用滑觸線式電橋以尋檢電線障礙之方法。此法何名? 何以電流計與電池之接法與滑觸線式電橋內者不同?

5.25, 試畫出伏萊迴線之接法。用何電阻臂以求得平衡? 在未決定障礙之所在以前, 何事必須先知? 在穆雷迴線法中是否亦須先知此事? 何法較為簡單? 何種差誤易於滋生?

5.26, 在實用方面, 何以必須明瞭電纜之絕緣電阻? 何以伏特計法不能引用? 試述量度絕緣電阻方法之原理。何以必須將 0.1 兆歐電阻接於電路內? 此法易滋生何種差誤?

5.27, 除絕緣之電阻外, 尚有何因素足以影響上述電路內之電流? 在量度絕緣電阻時, 慣例取何種效應之時間為準則? 在裝置電纜檢驗儀器時, 何事應予注意?

5.28, 在量度絕緣電阻時,有時須接一保護線,何故?試述保護線之原理,顯示末端漏流之路徑。

5.29, 電位計之量度,係根據何種電的標準量。試畫一簡略接線圖,顯示如何利用標準電池之電勢,而不使之供給電流。何以在此量度法中用消盡法?

5.30, 在求得標準電池之平衡後,如何校準電位計之電阻,而以伏特數標註之?試述用標準化之電阻,以量度未知電勢之方法,並舉例以明之。

5.31, 試比較李茲及勞斯勒電位計與一簡單電位計,顯示其略異之點,並言其故。其0.1伏分格在何處?每0.1伏元件之電阻為若干?如何應用之以求平衡?如何獲得比0.1伏再小之十進等份?此電位計之工作電流為若干?

5.32, 試述在李茲及勞斯勒電位計中,所用以補償標準電池電勢之變動之設備。如何保護其電流計?

5.33, 在工作電流之電路內,無滑觸點之電位計,有何劣點?試繪一簡圖,顯示如何用湯姆生一伐萊法以增多電位計之軌盤數?試解釋如何可以保持電位計之電阻為定值,無論其軌盤停於何位置。

5.34, 試繪出吳爾孚電位計之接法,並解釋如何求得電勢之小數位,而無論其軌盤觸點在何位置,其總電阻值可以保持不變。

5.35, 僅用電位計,通常所可量度之最大電壓為若干?試繪一接線圖,顯示用以擴大電位計量度之範圍。並繪一降壓線之線路圖,而解釋用一恒壓之電源,如何可變更量度之電壓。

5.36, 試述如何利用量度電壓之電位計以量度電流。電流之量度根據何定律?何謂標準電阻?何以用四個端鈕?標準電阻通常大概製為何值?何以其溫度應保持正常?用何法可達此目的?

5.37, 量度直流電路中之電功率,用何儀器?試解釋此類儀器本身亦取用電功率。當量度供給於高電阻之功率時,伏特計與安培計之互相位置應若何?量度供給於低電阻之功率應若何?試述一種校正儀器所取用電功率之方法。

5.38, 試述瓦特計之構造及其動作之原理。固定線卷與移動線卷之結構,有何不同?其接於電路之方法有何不同?何以此儀器之偏轉度為電功率之函數?用此類儀器於直流量度時,何事應予注意?

5.39, 瓦特計所量度者為何量?其原理根據於何種電具?試表明其場激線卷之接法,並述何因素決定其場電流。其樞電流取自何方?樞電流與何者成比例?電樞所產生之轉矩與何量成比例?

5.40, 何以瓦特計需用一滯速設備?此設備動作之原理若何?

5.41, 在何種負載時, 摩擦對於瓦時計引入最大之差誤? 試解釋之。如何可將摩擦之差誤, 實際上予以免除?

5.42, 用何法可以減少瓦時計內之摩擦? 瓦時計行駛過緩之原因何在? 過速之原因何在?

5.43, 瓦時計之記錄盤如何致動? 何以一瓦時計必須記錄準確? 試述轉盤之轉數與功能之關係。

5.44, 檢驗瓦時計時, 需用何種負載及量度用具? 如何校驗之? 校準瓦時計之速率, 所用兩種調準方法為何? 將磁鐵移近轉盤中心處則如何? 移近邊緣處則如何?

5.45, 在輕負載時, 應如何校正瓦時計之記錄數? 何以必須於輕負載時行之?

5.46, 試畫出三線瓦時計之聯接法, 並與二線瓦時計者比較之。何以二者有所區別, 試言其故。

5.47, 試述瓦時計之一種結構, 使之成為無定向式, 即在載大量電流之滙流排附近, 亦可應用。瓦時計之何種元件, 易為雜散磁場所擾。如何將此元件, 加以保護, 使不致受擾?

第六章 磁與磁鐵

6.1, 磁鐵可分為幾大類? 試舉其名, 並述二者之主要區別。

6.2, 試列舉重要磁性物質, 並與其他有磁性之物質比較之。何物可製成有優良磁之特性之合金?

6.3, 試就天然磁鐵詳論之。人造磁鐵如何製成? 為製永久磁鐵起見, 試就軟鐵與硬鋼比較之。

6.4, 何謂磁場? 試述磁力線之意義。真有此種線存在否? 試述感應線之一重要性質。試辨明北極與指北極。

6.5, 在近中性帶時將一磁鐵割裂, 有何效應? 何以有新磁極產生? 若將一長條磁鐵, 割為數段, 則效應如何?

6.6, 何謂虛極? 試述虛極與割裂磁鐵後所生磁極之區別。

6.7, 以一自由懸繫之兩極, 攜近一北極, 則有何效應? 以之攜近一兩極則如何?

6.8, 試述單位磁極之定義。磁極強度如何決定? 試述關於磁極互相引斥之力之定律。

6.9, 試論韋伯氏磁之分子學說。試應用此學說以解釋將磁鐵割裂後之現象。

6.10, 試假定一條形磁鐵由無數截面極小細絲組成, 而解釋磁化線之意義。

6.11, 在磁鐵內部及外部感應線之方向如何? 磁力線之方向如何? 在何種情形下, 磁力線與感應線完全相同?

6.12, 何謂單位磁場強度? 試述磁力線與磁場強度之關係。

6.13, 由一單位磁極所發出之磁力線數為若干? 由磁極強度為 m 之磁極所發出者為若干? 若近一截面為一平方厘米長磁棒之中心, 磁通密度為 B , 則該棒末端之磁極強度為若干?

6.14, 羅盤針由何物製成? 如何應用之以鑑定電動機及發電機之極性? 在有鋼甲之船中, 怎樣可以應用羅盤針得正確之指示? 怎樣用羅盤針以指出一磁鐵附近之磁極?

6.15, 試述決定某處磁通分佈之方法, 用鐵屑及用羅盤針。試述近磁極處磁力線之分佈與磁極互相吸引之關係。

6.16, 試述應用磁感應以生磁極之方法。感應極 (Inducing pole) 與感應磁極 (Induced pole) 間有何關係? 如何用磁感應之原理, 解釋磁極吸引軟鐵之現象? 如何可將羅盤針之極性逆轉? 試述蹄形磁鐵用銜鐵之目的。

6.17, 試述關於磁場形勢之基本定律。應用此定律, 解釋何以磁鐵能吸引軟鐵。

6.18, 有兩平行, 磁化相反, 而以均勻的狹空氣隙相隔之平面, 在每一表面上每平方厘米有 σ 單位磁極, 問空氣隙內每平方厘米有若干線? 其施於空氣隙內一單位磁極之力為若干達因?

6.19, 在第 6.18 題中, 其南極施於北極表面上每一單位北極之力為若干達因? 施於北極每平方厘米之力為若干達因? 由此二關係, 演繹求兩磁化表面間之力之公式。

6.20, 畫出永久磁鐵所運用之磁滯迴線部份。用此圖解釋關於高頂磁性及高矯頑磁力之性質。何種磁路宜於有高頂磁性? 何種宜於有高矯頑磁力? 何故?

6.21, 何種純鋼宜於製造永久磁鐵? 軟鋼宜於何種磁鐵? 試言其故。

6.22, 試論製造宜於某種任務永久磁鐵之鉕鋼。鉕鉻鋼及他種合金有何性質, 使之極宜於製造永久磁鐵? 何因素決定永久磁鐵物料之每單位體積之功能?

6.23, 在實用方面, 條形磁鐵應用之限制何在? 環形及蹄形磁鐵勝過條形磁鐵之優點何在? 何時用環形磁鐵?

6.24, 何以可用鉕鉻磁之合金於條形磁鐵以供給某種機件之磁極?

- 6.25, 疊片磁鐵所根據之原理為何?何處用疊片磁鐵?
- 6.26, 試顯示用一根條形磁鐵及用兩根磁鐵以磁化條形磁鐵之方法。試述如何應用電磁鐵以磁化磁鐵。
- 6.27, 試述用一線卷及電流之磁化法。用單根導線之磁化法。
- 6.28, 永久磁鐵之磁性,除非施以人工陳老,否則逐漸失磁,何故?試述一種人工陳老之方法。
- 6.29, 試述將靈敏儀器作磁屏蔽之方法,並解釋何以可將雜散磁場完全屏蔽?
- 6.30, 試述何以羅盤針所指者非真正北方?由羅盤針之指示,用何法以推測真正北方?何謂磁偏角(declination)及磁變?何謂羅盤針之傾角?

第七章 電 磁

- 7.1, 載有電流圓柱形導體周圍之磁場,有何本質,具何形態?電流方向,與其所生於導體周圍磁場之方向,有何關係?
- 7.2, 用何定則,可使電流方向與磁場方向之關係,便於記憶?上述關係,如何以實驗證明?
- 7.3, 在一導體內,電流自左向右流。若以羅盤針靠近導體上方,則針之北極指何方?在導體下面則指何方?
- 7.4, 試述畢奧特-薩伐爾特定律,並畫圖以說明之。
- 7.5, 試演繹一公式,由一無限長直導體內之電流,而計算其所生之磁場強度。
- 7.6, 由第7.5題之結果,再演繹一公式,用以計算攜帶一小磁極環繞導體一週所需之功。此功隨何量而變化?
- 7.7, 若兩平行導體載有同方向之電流,則彼等欲相遠離,抑相引近?試述其兩種原因。若所載電流方向相反又如何?
- 7.8, 一單環之線置於紙之平面,載有電流,若以羅盤針置環內,則有何現象?試將此環之磁性與一條形磁鐵比較之。
- 7.9, 有一載流圓環之線,試演繹一公式,用以計算在其平面之垂直線上任何點之磁場強度。
- 7.10, 由7.9題之結果,再求在環之中心處之磁場強度。以此關係與電流之基本定義比較之。
- 7.11, 試述三種方法,由已知之電流方向,而決定在螺管線卷末端之磁極性。

7.12, 試演繹一公式, 用以計算在一無限長直螺線管中心處之磁場強度。若螺管之長度甚大於其半徑, 則其結果與無限長者相較如何?

7.13, 試畫一簡圖, 顯示(甲)一簡單螺管及活棒(乙)一鐵鏈螺管及活棒(丙)附有止栓之鐵鏈螺管及活棒。用圖表示活棒所受之曳引力與其在此螺管中位置之關係, 並指出鐵鏈特點及止栓對於活棒曳引力之效應。

7.14, 以磁之基本定律, 試解釋何以螺管內有電流時, 則活棒即被曳引入管內? 試述商用螺管之用途。

7.15, 試述一 U 形螺管吸引一銜鐵之原理。試解釋電報用替鐵器及常用電鈴動作之原理。

7.16, 試畫一起重用磁鐵, 顯示其一般之結構。此等磁鐵用於何處? 何以比起重之舊法較為合算? 當用以舉起鐵或鋼時, 磁鐵本身作功否?

7.17, 試述一磁性軛之結構及其動作之原理。磁性分離器之原理及用途如何?

7.18, 舊式電機如愛迪生雙極式者, 其磁路有何缺點? 新式電機之設計, 如何補救舊式者之缺點? 多極發電機之極芯截面與軛之截面較, 大概應有何比率? 置激發安匝於磁路內時, 應遵守何定則? 在發電機之磁極間, 若有磁漏, 是否一種功率之直接損失?

第八章 磁 路

8.1, 磁路與電路相似之點何在? 其不同之三點為何? 何以磁通不能拘束於規定之路徑內? 依一般情形而論, 作磁的計算與電的計算較, 其所得之準確度如何?

8.2, 試述安匝之定義。磁通勢之定義如何? 何種磁通勢之單位較大, 吉柏抑安匝? 磁通勢可比擬於電路內之何量? 試述磁通勢與磁化力之區別。

8.3, 何謂磁阻? 可與電路內之何量相比擬? 其基本單位為何? 磁導與磁阻有何關係? 並聯之磁導, 應如何計算? 何謂磁導係數?

8.4, 磁通可與電路內之何量相比擬? 試述磁通之厘米克秒制單位之名, 實用單位之名。

8.5, 試述磁通密度之定義, 並其厘米克秒制單位之名。

8.6, 一磁路之磁阻與其長度有何關係? 與其截面及其磁導係數之關係又如何? 寫出磁阻之公式。磁阻串聯及並聯如何計算?

8.7, 在鐵及銅內, 何以必須用曲線表示磁化力與磁通之關係? 此曲線之下部如何形狀? 上部如何? 何謂飽和? 如何可以由 $B-H$ 曲線求出磁導係數之曲線?

8.8. 試證明在空氣內，每厘米之磁通勢，在數值上與磁場強度之奧斯特數相等。

8.9. 試述一簡單定律，用以決定磁通勢，磁通與磁阻三者間之關係。若有數磁阻相串聯則如何？此定律與電路中之何定律相比擬？

8.10. 在解磁之問題時，何以需用湊算法？何種問題用之，何種問題毋需用之？試舉例以明之。

8.11. 施於磁路內之磁通勢，隨何三種因素而變化？試寫出磁通勢用厘米為單位之數值公式，用吋為單位之數值公式。

8.12. 何以用磁化曲線，可使磁之計算變為簡單？依其磁化曲線，試將鑄鐵，砂鋼，電機用片鋼及鑄鋼比較之。

8.13. 試述用磁化曲線以求一磁路各部磁通勢之方法。試述求電機中每極所需安匝之步驟。

8.14. 何謂磁滯？若將施於一鐵塊之磁通勢由零增至某值，再減至零，試以其磁通密度及磁通勢描成曲線。以其上升部份與下降部份比較之。

8.15. 在 8.14 題中，當磁通勢減為零時，其磁通達何值？如何使其磁通為零？試述一磁滯迴線之經過，並述頑磁性及矯頑磁力之定義。何謂一磁化循環？

8.16. 以韋伯氏磁之分子學說，試解釋磁滯損失。磁滯損失與磁滯迴線之面積有何關係？每次循環之磁滯損失如何隨其最大磁通密度而變化？磁滯損失與頻率有何關係？

8.17. 用何法可將鐵之渦流損失減輕？試述渦流之成因。渦流損失與片厚度，頻率及磁通密度有何關係？

8.18. 何種鐵合金，在低磁通密度時顯示非常之磁性？「坡莫合金」之成份如何？有何特佳之磁之特性？以其磁性，在低及高磁通密度時，與純鐵比較之。此合金限於何種用途？

8.19. 試述「坡明發爾」(Perminvar)之成份及其特殊磁性。

8.20. 試述「哈普立克」(Hypemik)之成份。在製造此物時，何點應予注意？有何特殊可貴之性質？其主要用途何在？再述「庫普立克」(Cuper-nik)之本質與「哈普立克」比較之。

8.21. 試述一種用衝擊電流計以量度磁通之方法。衝擊程視何因素而定？試述獲得已知量磁通之方法。

8.22. 有一截面積為 A 平方厘米，平均圓週長度為 l 厘米，而沿週繞有 n 匝線卷之環形螺管，試演繹一公式以求其磁通。在何情形下，此公式可用以求直長螺管內之磁通？

8.23, 如何用標準螺管以校準衝擊電流計?試詳述求衝擊電流計常數之方法,並演繹其公式。

8.24, 試述作磁之量度之軛鐵法。其缺點何在?舉出其重要差誤之兩種來源。

8.25, 試述作磁之量度之環鐵法,而與軛鐵法比較之。列舉其優點及劣點。

8.26, 古普塞爾磁導計根據何原理而動作?測試樣品為何形式?置於何處?試述其激發線卷,並舉出補償線卷之功用。用此儀器有何優點?滋生何差誤?

第九章 自感量與互感量

9.1, 試述以一條形磁鐵以感應電勢於電路內之方法。

9.2, 若任令感應電流在線卷內流動,則此電流與感應者間有何反應?例如感應者為一條形磁鐵,自線卷中抽出,試以其感應電勢方向與將磁鐵插入線卷所感應者比較之。

9.3, 若應電勢以磁通之函數表之,應注意何種因素?以自感量表之,應注意何因素?試敘述楞次定律並解釋之。

9.4, 何謂磁通連繫?如何計算?若磁導係數為定值,則自感與磁通連繫有何關係?試述自感之定義,及其單位。

9.5, 若磁導係數為恒定,自感如何隨匝數而變化?試演繹一計算線卷自感之公式,表示自感為磁通連繫之函數。

9.6, 若變動線卷本身之電流,以變動其連繫之磁通,有自感應電勢產生否?何故?電流方向與感應電勢方向,有何關係?應電勢對於電流之上升,有何影響?

9.7, 試演繹一公式,表示自感應電勢,為電流變動率之函數。

9.8, 在磁導係數變動情形之下,述明自感之定義。

9.9, 在電阻與電感串聯之電路內,試演繹一公式,表示電流之上升為時間之函數。描出一曲線,顯示此關係。

9.10, 何謂電路之時間常數?以何二量表示之?因自感而起之電流滯緩,其實用方面之重要性何在?

9.11, 若一有感電路被捷接,何以電流仍繼續流過?試演繹一公式,表出電流之退落與時間之關係。在時間等於其時間常數之值時,其電流之值為若干?

9.12, 欲建立一磁場,則需要相當之功能;欲維持一磁場,則毋需功能,

何故？試解釋之。

9.13, 以機械的譬喻, 解釋何以有能量儲蓄於磁場內。磁場所儲蓄之能, 與激發電流有何關係？

9.14, 若產生磁場之電流, 忽被中斷, 則磁場所儲之能如何發洩？若一有感之電路被中斷則生電弧, 何故？此種電弧, 是否有害？如何可以部份的或全部的免除此害？試畫一圖表示聯接伏特計於有感電路內之正確方法。

9.15, 用接線圖, 說明如何利用磁場所蓄之功, 以使汽車機筒內發火？

9.16, 若變動一線卷內之電流, 可使與之絕緣之第二線卷內, 感應一電勢, 何故？若電流上升時, 其應電勢之方向如何？電流減低時如何？試比較之。此種應電勢由何種因素決定之？

9.17, 一線卷所生之磁通, 是否有全部穿過第二線卷之可能, 試討論之。何謂耦合係數？

9.18, 何謂互感應？何謂互感量？假定一線卷內有單位電流, 則互感視何因素而定？

9.19, 演繹一公式, 用以計算互感所生之電勢。

9.20, 試述增高兩線卷間互感之方法。演繹一公式, 表示兩線卷間之互感與各線卷自感之關係。

9.21, 以兩個有互感之線卷串聯, 其總電感應如何算法, 試證明之。

9.22, 試述用交流電橋以量度互感之方法。

9.23, 試述電感對於電流變動之效應, 並舉出其機械的譬喻。

9.24, 試述一感應線卷之構造及其運用。用何法以斷續其主電路之電流？何以必須斷續之？

第十章 靜電與電容

10.1, 依電子學說, 在何種情形下, 一原子為電的中性？何時帶正電？何時帶負電？

10.2, 以動態的電路及連帶的電之現象, 與電之靜態比較之。以動態電與靜態電比較之, 並解釋何以二者之本質各異。

10.3, 以兩互相絕緣之導體, 接於感應發電機之兩端, 則在物體之何部份, 其電荷密度為最大？若拆去接於感應機之線, 則有何變化？如何證明電荷之互相「束縛」？

10.4, 存在於第 10.3 題中兩物體之力, 為何性質？試述關於電荷及相互間之力之定律。

10.5, 以一正電荷, 移近一絕緣的而不帶電之導體物體或球體, 有何現象發生? 感應電荷(Inducing Charge)與感應電荷(Induced Charge)間有何關係? 試辨明自由電荷與束縛電荷。如何以實驗證明自由電荷與束縛電荷所表現者各異?

10.6, 試述一單位電荷之定義。敘述庫倫定律。

10.7, 一電荷在其周圍之介質內, 產生何種效應? 以此情形與一磁鐵附近之情形比較之。脫離一單位電荷之力線數為若干?

10.8, 試述規定介質力線場之分佈狀態之三種定律。以介質力線與電流及磁感應線比較之。介質力線無論其脫離或進入一帶電體, 皆與其表面相垂直? 試證明之。

10.9, 何以一孤立球體所帶之電, 皆居於球之表面, 且作均勻的分佈。但以其在外界之效應言, 則一若電荷皆集中於其中心者, 試以兩種方式證之?

10.10, 何謂容電器? 施一電壓於容電器有何效應? 以直流電源直接使容電器充電, 所需時間大概幾何? 何以經相當時間後, 電流即停?

10.11, 如何表示電荷儲備於容電器上? 容電器所儲電量, 與充電電壓有何關係? 以三種方式, 表示電量, 電壓與電容之關係。

10.12, 試述電容之定義。電容之實用單位為何? 何以常用微法拉為單位? 在何種情形下, 用微微法拉為單位?

10.13, 試辨明一種介質之電介性質及其絕緣性質之區別。並舉例以明之。

10.14, 何謂介質溫度? 以何單位表之? 以電子學說, 解釋電介體破裂之原因。

10.15, 何謂介質常數? 介質常數可與何種磁之性質相譬喻? 玻璃之介質常數大概為若干? 雲母如何? 橡膠如何?

10.16, 以容電器相並聯, 其總電容如何求法, 試證明之。

10.17, 求串聯容電器之等效電容, 並證明之。

10.18, 以數容電器相串聯, 其各個容電器之電壓間, 有何關係? 此電壓與介體之絕緣性質, 有關係否? 若容電器有漏電, 則電壓之分配, 如何決定?

10.19, 試證明兩平行帶電平面間之場強度為 $4\pi\sigma$, 其 σ 為每平面所帶電荷之密度, 以每平方厘米若干靜電單位計者, 並假定兩平面間之距離甚小於其面積。其自各平面每平方厘米脫離或進入之靜電力線數為若干?

10.20, 試證明兩平行帶電平面, 以 $2\pi\sigma^2 A$ 達因之力, 互相吸引。

10.21, 如何表明確有能量儲於容電器內? 試演繹一公式, 表示容電器所儲蓄之電能與電量之關係。儲蓄之電能, 與容電器之電壓有何關係? 寫出電能

與電量及電壓之關係之公式。

10.22, 略述計算容電器電容之步驟。苟為導電體所包圍之區域內無電荷之源, 能有靜電場存在於該區域否? 試表明之。

10.23, 試演繹一公式, 用以求平行板容電器之電容。電容視何因素而定? 變動每板之面積? 則對於容電器有何影響? 縮短兩板間之距離則如何? 以硬橡膠或玻璃代替兩板間之空氣則如何? 若該容電器僅有兩片, 則用該公式有何差誤?

10.24, 一無限長帶電直絲, 對於距離 h 厘米處之單位電荷所施之力, 與所帶之電荷 q 靜電單位, 有何關係? 演繹一公式以表明之。

10.25, 試演繹一公式, 以求同軸圓柱體之電容。其電容如何隨圓柱體之長度而變化? 隨外圓柱體之半徑而變化? 隨內圓柱體之半徑而變化? 試述此種容電器之普通用途。

10.26, 演繹一公式, 以求同心球體容電器之電容。並證明一孤立的球體之電容, 以靜電單位計, 等於其半徑之厘米數。若以地球為一孤立的球體, 則其電容約為若干後法拉?

10.27, 以一電容 C , 突接於有恒壓 E 之線路, 則其電流之理論的瞬間值為若干? 試言其故。若以電阻 R 與電容 C 相串聯, 則當合開關之一刹那, 其電流如何? 試解釋之。

10.28, 演繹一公式, 表示電阻 R 與電容 C 串聯電路內之電流 i 與時間 t 之關係。將此關係描繪為圖並討論之。

10.29, 由 10.28 題之關係, 推演容電器之電量與時間之關係, 亦描繪為圖而討論之。

10.30, 何謂電容電路內之時間常數? 試述時間常數之重要性。

10.31, 一電容 C 已充至電壓 \mathcal{E}_0 , 然後經一電阻 R 而放電, 演繹一公式表示其電流為時間之函數。描繪為圖而討論之。

10.32, 何謂氣體之電離? 如何氣體之分子被碰撞而被電離? 試述被電離空氣之性質。何謂電暈?

10.33, 量度電容之方法有幾種? 試分述之。衝擊電流計法根據何種事實? 通過電流計之電量, 與其最大之衝擊程有何關係? 此種量法應於充電時抑放電時行之? 何故? 如何校準電流計?

10.34, 試述量度電容之電橋法。與量度電阻之惠斯登電橋法比較之。其電源應如何? 用何種檢察器?

10.35, 一電纜之中斷處, 應如何尋檢? 此種量法根據何原理? 若所發生之障礙為漏地, 此法亦可應用否? 何故?

第十一章 發電機

11.1, 用何法變動發電機中任何線卷所連繫之磁通? 磁通變動時, 如何感應電勢於線卷內? 此應電勢與速率, 磁通及線卷之匝數, 有何關係?

11.2, 若電勢係認為由單根導線割切磁力線而產生者, 問其結果與認為由線卷連繫之磁通變動而感應電勢者, 有分別否? 割切磁通所產生之應電勢, 視何種要素而定?

11.3, 應電勢方向與導線運動方向及磁通方向, 有何關係? 用何簡單定則以決定其關係?

11.4, 當線卷之平面與磁通相垂直, 一旋轉線卷之應電勢如何? 當線卷之平面與磁通相平行則如何? 將線卷旋轉之方向逆轉, 於應電勢有何影響?

11.5, 如何將線卷內感應之交流電勢, 轉變為直流電勢於外電路? 在旋轉部份上增多線卷數, 於電勢之波形, 有何效應? 電勢波之波紋因何而生?

11.6, 電樞之作用何在? 何以樞芯以鐵製成? 何以極面必須與電樞成同心圓? 試述電樞刻槽之兩優點. 當設計線卷時, 何要素應予考慮?

11.7, 斷路線卷式之電樞卷組, 與通路線卷式者不同之點何在? 環式電樞卷組屬於何種?

11.8, 何以環式電樞, 盛行於早期之發電機內? 試列舉環式樞卷組之缺點. 用鼓式樞卷組如何可以彌補此缺憾?

11.9, 何要素決定一線卷在電樞表面上跨越之距離?

11.10, 何謂線卷節距? 與極距有何關係? 一線卷之兩邊, 在不同之槽內, 應佔何相互之位置? 何故? 何謂線卷元件? 能否包括一根以上之導線? 試解釋之。

11.11, 何謂前節距, 後節距, 平均節距? 線卷元件數, 與線卷數及換向器截片數, 有何關係?

11.12, 在單式摺卷組中, 每加一線卷, 則卷組前進若干換向器截片? 試述換向器節距之定義. 一個樞卷組應符合何三種條件? 何謂捲線表? 其實際價值如何?

11.13, 何以有時以二個以上之元件置於一槽內? 在何種發電機內有此必要? 對於繞線關係及導線編號方法, 有無影響? 用複合線卷之卷組, 應符合何種條件? 何故?

11.14, 何謂「電樞內之電流路徑」? 一發電機之電流, 如何為電流路徑之增加所影響? 其電壓受何影響? 其電功率輸出受何影響? 在所有單式摺卷組中, 電流之路徑有幾條?

11.15, 何謂雙重卷組?此種卷組自相閉合幾次?單造雙重卷組與雙進雙重卷組有何區別?

11.16, 若一雙重線卷組,在繞過電樞一週後,不能閉合,則其換向器切片為奇數抑或為偶數?此種卷組如何閉合?為單進抑或為雙進式者?

11.17, 在摺卷組中,若重複度為 m ,則每繞成一單卷組後,下一卷組之開端與前一卷組之開端,相隔幾個線卷元件?在一六極電機中,用單摺卷組則其電流路徑有幾條?用雙重摺卷組如何?用三重摺卷組如何?

11.18, 在電樞卷組之不同路徑內,何以電勢或有不同?均壓聯接線之用意何在?用均壓聯接時,其每極下之槽數,應如何選擇?試言其理。

11.19, 摺卷組與波卷組根本不同之點何在?用單式波卷組時,在繞經所有磁極一次後,第二次之開端與前一次之開端,相隔幾個線卷元件?若繞經所有磁極一次即相閉合則如何?

11.20, 波卷組中之前節距與後節距之定義,與摺卷組中者有分別否?其前節距能為偶數否?能為奇數否?如何繞法則卷組為前進的?如後為後退的?試解釋之。

11.21, 若一電樞之槽數為固定的,而欲將每一槽加以利用,是否常可繞成波卷組?如不能則應如何修改之?

11.22, 試述強制線卷組之意義。在何種情形下,必須用之?以摺卷組所用之形成線卷與波卷組所用者比較之。

11.23, 在有波卷組之電機內,電刷最少應有若干組?其所可用之最多數為若干組?何時用兩組電刷?何故?

11.24, 在單式波卷組中,電流路徑有幾條?其電流路徑數是否受磁極數之影響?雙重波卷組之電流路徑數為若干?三重波卷組為若干?

11.25, 何時有用波卷組之必要?何時有用摺卷組之必要?試詳述其理由。

11.26, 軛之作用為何?軛以何種材料製造?何故?成何形狀?

11.27, 極芯以何材料製成?何以需用極掌?極掌如何製成?極芯之截面,為何形狀?每種之用途如何?

11.28, 電樞為整塊的否?電樞如何製成,用何材料?何故?如何將電樞裝於機軸上?通風槽之用意何在?

11.29, 試列舉並畫出兩種槽之式樣?每種之用途如何?如何可使槽內之導線不致為離心作用所影響?

11.30, 換向器用何材料,如何併成?切片間用何絕緣物?如何聯接線卷之線端?

11.31, 電刷之作用何在?電刷大概以何材料製成?如何把握電刷?裝於電機之何部份?如何將電刷壓緊於換向器上?電刷上之「屎尾」何用?

第十二章 發電機之特性

12.1, 一單根電樞導線,在發電機之磁極下,割切磁力線時,因何基本關係而產生電勢?

12.2, 試證明在一單式摺卷組中,其任何瞬間刷間之電勢,係等於在任何二換向面間所有導線之電勢之和。由此再推證刷間電勢,等於任何導線經過兩換向面時所產生之平均電勢,與換向面間導線數相乘之積。何以電勢對時間而描繪之曲線,其形狀與沿空氣隙磁通分佈之曲線相同?

12.3, 由發電機之速率,導線數,磁極數,每極磁通數及極卷組之繞法,演繹一求其電勢之方法。

12.4, 某電樞上之導線數為固定的,則將其速率加倍,對於電勢有何效應?將磁極數加倍如何?將極卷組改繞由摺卷組變為波卷組如何?由波卷組變為摺卷組如何?

12.5, 在一發電機中,其應電勢隨何因素而變化?

12.6, 何謂發電機之飽和曲線?在該曲線上表示何量與何量之關係?飽和曲線如何受速率之影響,試解釋之。

12.7, 何以飽和曲線不從原點開始?何以其第一部份實際上為一直線?在較高之場電流時,何以應電勢增高漸緩?

12.8, 增加場電流時所得之飽和曲線,與減少場電流時所得者,是否有別,試詳論之。

12.9, 試畫一用場變阻器以求飽和曲線之接線法,再畫一用降壓線之方法。在求飽和曲線時,何以發電機必須他激,試列舉兩種原因。

12.10, 試說明歐姆定律可以圖表之。在發電機內,何二量係用此法以表出歐姆定律者?

12.11, 畫一分激發電機之接線圖。其場卷為高電阻的,抑低電阻的?何故?

12.12, 試詳細解釋一分激發電機建立之過程。何要素限制發電機所可建立之電壓?

12.13, 何謂臨界的場電阻?試列舉分激發電機不能建立之四種原因。其每種原因應如何測試?如何補救?

12.14, 極導線內電流所產生之磁通,大概為何方向?此磁通對於綜合磁通,有何效應?如何影響中性面之位置?中性面位置之變更,對於電刷位置有

何影響？

12.15, 樞磁場與刷軸有何關係？若電刷沿旋轉方向前移，其樞磁場之結果方向如何？此磁場可分析為何二種成份？每一成份對於綜合磁場有何效應？

12.16, 電樞上之何種導線產生去磁效應？何種導線產生交磁效應？

12.17, 繪一多極發電機，顯示任載時其不同樞導線之電流方向，連同各磁極在內。繪一曲線表示樞磁通勢沿電樞表面之分佈情形。並畫出此磁通勢單獨所產生之磁通。

12.18, 試繪圖表示樞磁通勢之磁通，對於沿電樞表面總磁通分佈之影響。其中性區受何影響？其電刷位置應如何變更？註出一多極發電機上之去磁及交磁安匝。

12.19, 試列舉將電樞反應實際免除或加以減輕之四種方法。並詳述每種方法之原理。

12.20, 假定電流在電刷上之分佈為均勻的，繪出理想的換向曲線。

12.21, 當一線卷被電刷所捷接時，其感應電勢產生何效應？何要素限制此線卷內之電流？此電流對於電刷上之電流分佈，有何影響。

12.22, 試繪下列各種情形之換向曲線：(甲)電刷過分移前，(乙)電刷過分移後，(丙)電刷太闊。

12.23, 何以一電樞線卷有自感？在換向期內，此自感量之效應如何？此自感應電勢，對於電刷位置與中性區之關係有何影響？

12.24, 正在換向之線卷內，其自感應電勢大概幾何？有此感應電勢甚小，則何以仍屬有害的？

12.25, 銅刷優於碳刷之優點何在？何以發電機普遍採用碳刷？

12.26, 何種事實，證明由換向器至電刷之電流，非純粹為電導的？高雲母面之原因何在？如何可以減輕之或竟免除之？試列舉兩種方法。

12.27, 電弧發生於換向器上，大概有何效應？何以電弧發生，即須立刻設法避免發生電弧之原因？何以不宜用金剛砂紙或砂布以磨平電刷或將換向器磨光？

12.28, 施負載於發電機，則在其幾何中性面之磁通有何變化？此變化對於電刷位置，有何影響？何以必須將電刷移至負載中性面之前？

12.29, 若不將電刷移前，則用何法可得完美換向所需之適當磁通量？

12.30, 何謂換向磁極？何以換向磁極必須與電樞相串聯？何以換向極下之空氣隙大概甚長？

12.31, 在一發電機內，其主極極性與換向極極性，沿旋轉方向之次序如何？在實用方面，如何調準換向磁極至適當之強度？

12.32, 繪一求分激特性曲線之接線圖。繪出分激特性曲線之形態。何以此發電機最後歸於『崩潰』?何以在連接後之回昇曲線,並不循減低負載電阻時之曲線而回昇?

12.33, 試列舉三種理由,解釋何以分激發電機任載時,其電壓下降?何以此三原因為累積的?當施以負載時,何因素阻止發電機之立刻崩潰?

12.34, 倘調準其場電流至使其零載端電壓為恒值,則發電機之速率若高於其額定速率時,對於其分激特性曲線,有何效應?

12.35, 何謂發電機之調整率?倘有甚高之調整率,則此發電機宜於担任電燈負載否?試言其故。

12.36, 端電壓與應電勢有何分別?分激發電機之樞電流與負載電流有分別否?何謂發電機之總特性曲線?如何求電樞內所產生之總電功率?

12.37, 今已知一發電機之飽和曲線,場電阻,樞電阻與電樞反應,如何求其分激特性曲線?(甲)略去電樞反應不計(乙)計及電樞之去磁效應。並顯示速率及飽和度對於分激特性曲線之影響。

12.38, 如何改良分激發電機之不利之下降特性?如何聯接添繞之場卷?其與分激安匝有何區別?

12.39, 說明長並聯與短並聯接法之分別。畫出過複激,平複激及欠複激式發電機之特性曲線。其各種發電機之用途何在?試言其理。

12.40, 發電機之複激度應如何調準?何種發電機有兩個各別之串激場卷?

12.41, 若將零載端電壓保持恒定,則速率對於複激度有何影響?

12.42, 已知一發電機之飽和曲線,分激場卷,串激場卷與電樞之電阻,電樞反應以及分激與串激場卷之匝數,試用圖解法求其複激特性曲線。

12.43, 試說明為求得某種複激度所需之串激安匝,可以實驗決定之。何謂電樞特性曲線,如何利用之?

12.44, 試解釋換向磁極對於複激特性曲線;(甲)如何有助激之效應;(乙)如何有差激之效應。

12.45, 串激發電機與分激發電機之結構,其基本不同之點何在?

12.46, 試畫出串激發電機之外部特性曲線,並說明其與飽和曲線之關係。

12.47, 串激發電機以何方式而建立?何謂臨界之外電阻?何以必須在外部特性曲線之右面部份而運用?

12.48, 試述串激發電機最普通之用途。試列舉兩種普通式樣。何以需用特製之換向器?

12.49. 何為檢電之壽雷制?用於何處?

12.50. 如何可用串激發電機以控制饋電線路末端之電壓?此種發電機運用於其特性曲線之何部份?畫出其接線圖。裝置及使用串激昇壓機時,應注意何事?

12.51. 策動機器之速率,如何影響一發電機之特性曲線?因速率降低所致之後果,是否可歸咎於發電機?如何計入此種影響?

12.52. 試述單向發電機與普通發電機之主要區別。如何可防止電樞自相連接?此式之優點何在?何處用之?其缺點何在?

12.53. 提利爾調壓器之原理為何?其主控磁鐵有何功用?其帶續磁鐵有何功用?何以此調壓器不能直接應用於有大容量之發電機?如何可用之於此類發電機?

12.54. 試述奇異公司製造之 GDD 式直接作用調壓器之構造及運用。此式調壓器之優點何在?

12.55. 畫一圖顯示第三刷發電機之聯接法,並分析其所以能供給恒定電流之作用。將第三刷移前有何效應?移後則如何?此種發電機適用於何種工作?

12.56. 畫出分路磁極發電機之略圖,並顯示其零載時之磁通關係。試分析載後所生之變化。其特性使之適宜於何種工作?

12.57. 弧激發電機所應有之三種特性為何?比較其瞬變的與穩定狀態之特性曲線。何以弧激發電機尤其需要此種比較?

12.58. 試述奇異公司製弧激發電機之構造。用何法以求其伏安特性曲線?何以此發電機毋需外接電感?

第十三章 電動機

13.1. 依所做之工作而言,電動機與發電機有何不同?以其一假之構造而言如何?

13.2. 載有電流之導線置於一磁場內,則有何效應發生?此作用如何可以磁之兩條基本定律解釋之?將電流逆轉,則效應如何?

13.3. 載流導線在磁場內所受之力,視何三種因素而定?若將磁通加倍,此力受何影響?若將電流加倍則如何?

13.4. 由載流線卷中心之磁場強度之公式,演繹一公式,以求磁場施於載流導線之力。

13.5. 試述一簡便定則,用以記憶電流方向,磁場方向及磁場施於導線力之方向之關係。除此以外,尙有其他更簡便之方法否?

- 13.6, 試述轉矩之定義。用英國制以何單位表之? 用米尺制以何單位表之?
- 13.7, 試表明載流線卷, 置於磁場內, 則生轉矩。線卷在何位置, 其轉矩為最大? 欲使此線卷繼續旋轉, 則當轉矩達零值時, 其接線應如何變更?
- 13.8, 何以在電樞上, 有設置甚多導線之必要? 電樞之轉矩與何三種因素成比例? 在任何一電機中, 其轉矩與何二種因素成比例?
- 13.9, 電動機之樞電流, 是否由樞電阻單獨決定之? 試言其理, 並舉例以解說之。
- 13.10, 何謂反電動勢? 反電動勢高於抑低於外施電壓? 此二者之差數為何?
- 13.11, 試說明電動機電樞所產生之機械功率, 等於電流與反電動勢之乘積。
- 13.12, 一電動機之速率, 根本視何二量而定?
- 13.13, 一電動機內之磁通, 受其電樞反應, 則循何方向而扭轉? 施負載於電動機, 其電刷應循何方向移過? 此電刷位置之變更, 對於場磁通之一般效應如何? 其對於速率有何影響?
- 13.14, 電動機中之主磁極與換向磁極, 沿旋轉方向而論, 其次序應如何? 與發電機中之關係比較則如何?
- 13.15, 以負載加諸電動機, 其最初之反應如何? 在分激電動機中, 此反應如何影響其反電動勢? 如何影響其流入電樞之電流?
- 13.16, 某電動機之是否合於某種用途, 應考慮其何二種特性?
- 13.17, 分激電動機之轉矩, 如何隨其負載而變動? 何故? 其速率如何隨負載而變動? 是否速率變動甚巨? 電樞反應對於速率有何影響? 何謂速率調整率?
- 13.18, 分激電動機宜於何種工作? 何故? 試討論分激電動機在重載下啓動之可能性。
- 13.19, 串聯電動機中之磁通, 如何隨負載而變動? 其對於轉矩之變動有何影響? 其速率隨負載而變動之範圍如何? 移去負載則如何? 裝置串激電動機於工業應用時, 何事應慎予注意?
- 13.20, 串激電動機適宜於担任何種工作? 何故? 何以其特宜於電車鐵道?
- 13.21, 爲一電車用電動機, 其特性曲線所表示者, 爲何數種量之關係? 試言其故。
- 13.22, 複激電動機內之線卷, 與分激及串激者, 其差異之點何在? 對於

分激場卷而言，其串激場卷繞接之方法有幾種？試舉其名。

13.23, 試論助激電動機之速率特性曲線。其轉矩特性曲線，勝過串激式者之優點何在？此式電動機最宜於何種工作？

13.24, 差激電動機之速率及轉矩特性曲線，有何本質？此式電動機通常有用途否？試解釋之。在啓動此式電動機時，何事應予注意？

13.25, 如何可將電動機之旋轉方向逆轉？將線端對調，有何效應？

13.26, 在直流電動機方面，何以必須用啓動電阻？在分激電動機中，此啓動電阻，應接於何電路？何以不能接於線路上？

13.27, 試述三線端啓動箱之構造。畫一簡圖，表示其內部之聯接法。其啓動電阻，接於場電路內，對於場流有影響否？

13.28, 在電動機之何種使用情形下，不能用三線端啓動箱？何故？試解釋用四線端啓動箱可免此困難。畫出四線端啓動箱之聯接法。以把握磁鐵與分激場卷相串聯，有何重要之優點？

13.29, 畫出附裝有場變阻器之啓動箱之接線圖。何以在啓動之際，應將此場變阻器加以捷接？如何完成之？

13.30, 停止一電動機時，應如何處理？試言其理。如將啓動臂拉回以停止一電動機，有何後果？

13.31, 畫出串激電動機啓動箱之接線圖。無載還原式較無壓還原式有何優點？

13.32, 何時用控制器？何故？除担任啓動任務外，控制器尚有何二種功用？

13.33, 自控啓動器對於中型電動機之優點有幾？試分述之。對於大型電動機如何？試述奇異公司自控啓動器使用之方法。以溫度控制過載卷線器與熔線之作用比較之。

13.34, 西屋電器製造公司所採用之熱控保護制，有何優點？試述熱控設備之動作原理。

13.35, 磁控熔弧器之原理何在？何時用之？

13.36, 欲控制電動機之速率時，僅有何種因素可以變動？在樞電阻控制法中，所變動者為何？此種控制法有何優點？再述其兩種嚴重之缺點。

13.37, 複電壓制之原理為何？如何粗略的調準其速率？如何獲得精密的調準？此制有何弊？何處宜於用之？

13.38, 在華德—黎翁那德制之速率控制法中，所變動者為何因素？此制中需用幾部機器？其主要優點為何？何處用之最廣？試述其兩種缺點。

13.39, 場控制法中所變動者為何因素？試述此法傑出之兩種優點。何者

限制其速率控制之範圍？何式電動機特宜於採用之？

13.40, 林肯電機機根據何種原理而動作？其優點何在？

13.41, 何謂電車用電動機之串並聯控制？何以需要此種控制法？試畫出用變電動機及用四電動機之電車中，在半速率及滿速率時之赫路圖。

13.42, 試列舉三種理由，解釋何以在大型電車中，以主控設備裝於司機台為不可能。如何克制此困難？再述兩種理由，何以有自動控制之必要。

13.43, 複單位控制法所根據之原理何在？何為列車鐵路？

13.44, 試敘述在啓動列車時，各接觸器閉合之程序。

13.45, 何謂動力制動法？何處用之？用此法制動，可使電動機之電壓完全靜止否？試言其故。試述將一串激電動機由行駛以至全停過程中，各種動作之順序。

13.46, 何為再生制動？何處用之？以再生制動施諸串激電動機時，需用何種輔助設備？

13.47, 在何種環境之下，有明瞭一電動機效率之必要？所常用以施負載於電動機者為何種軛？此種軛使計算轉矩及功率輸出甚為便利否？試解釋之。何種軛勢之固有重量？如何求出並加以改正？

13.48, 試敘述一簡單之索軛？此式軛需用幾個磅秤？

13.49, 一計速器 (speed counter) 及一速率計 (tachometer) 有何分別？用久磁發電機及伏特計以量度速率，所根據之原理為何？

13.50, 試述一電動發電機之定義。何要素決定其兩換向器之電壓比？試論變更速率對於電壓比之影響。

第十四章 損失, 效率與運用

14.1, 試詳論電器所損失之功能對於電器之影響。

14.2, 發電機或電動機損失之功率, 可分成三大類為何？試述第一類之損失及如何決定之方法。此種損失易於求出否？

14.3, 何種損失構成第二大類？此種損失以何方式而供給？視何因素而定？如何可減低渦流損失？何謂極掌損失？其原因何在？如何減低之？

14.4, 雜散負載功率損失之原因何在？試列舉其所包括之各種損失。

14.5, 何謂雜散功率？隨何因素而變化？與負載情形有何關係？

14.6, 由電機之損失, 如何求出電動機或發電機之效率？

14.7, 發電機之效率, 如何直接量度之？何種實際情形, 使直接量度甚為困難？量度之差誤對於結果之準確度, 有何影響。

14.8, 欲量度其雜散功率, 電機應如何運用之？應如何量度及計算？

14.9, 在雜散功率量法中,如何調準其磁通至適當之值?調準磁通是否影響及於速率?苟有影響,則如何調準速率?

14.10, 何以需用一組雜散功率曲線?何以在電機之全部運用範圍內,不能以單根曲線,示出雜散功率之變化?用場電流替代磁通,將引入何種差誤?

14.11, 用互饋法量度功率損失,較用雜散功率法,有何優點?互饋法根據何原理?

14.12, 在互饋法中,應作何假定?此假定引入差誤否?在此法中,如何啓動兩電機而加以調準?需用若干儀器?如何量度及計算?試述此法之缺點。

14.13, 大概何因素決定蒸汽機之定額?汽輪機之定額?煤氣機之定額?電機之定額?並述每項之理由。

14.14, 試說明溫度過高對於電機中絕緣物之影響。何種絕緣材料能受最高之溫度?

14.15, 美國電機工程師學會建議何種方法,用以量度電機內各部之溫度?何謂環境溫度?

14.16, 試詳述藉電阻之變動以量度電機內溫度上昇之方法。以此法與溫度計法比較之。

14.17, 作溫度試驗時,應將電機開用若干時間?如何加速其溫度之上昇?如何可知電機已漸近恒定之溫度?何以電機之溫度在初試時升高甚速,繼即漸緩?當達恒定溫度時,所發生之熱與散逸之熱,有何關係?

14.18, 當量度電阻以測知其溫度時,須如何審慎,俾不將電刷及其接觸電阻包括在內?其伏特計之引線應接於何處?

14.19, 量度多極電樞以決定其溫度時,有何種困難?如何免除此困難?用量電阻法以決定場卷之溫度時,何事應予謹慎?試述用電阻法所量得之溫度與最熱點溫度之關係。

14.20, 試舉出五種理由,解釋何以分激發電機有並聯使用之必要。其特性中之何點,使之宜於並聯使用?

14.21, 在發電機並聯使用時,試將一發電機多担其應任之負載後,所發生之反應分析之。何謂穩定的平衡?

14.22, 試述將一發電機接入與他機相並聯之步驟。苟此發電機已接入,而電壓與他機相等,何以該機不分任負載?欲使之分任負載應如何處置之?

14.23, 試述將一發電機由並聯組合拆出之步驟。當發電機正供給負載,何以不應開啓其開關?在發電機之整個使用範圍以內,常欲其分任所應担之負載,則其特性曲線應如何?

- 14.24, 試述明過複激發電機並聯使用時,常在不穩定平衡狀態之下。如何可以使之穩定?
- 14.25, 欲使兩複激發電機在其整個使用範圍以內,將所任負載作適當之分配,應符合何二種條件?
- 14.26, 何以用一分流電阻,不能使兩並聯之複激發電機,適當地分配其負載?應如何調準,使負載之分配得當?
- 14.27, 在某種複激發電機中,須用幾根均位線?其開關當用幾極?
- 14.28, 試將斷路器與熔線比較之,分述其利弊。
- 14.29, 試述重開式斷路器之動作,及其對於電工任務之優點。
- 14.30, 適應『電流上昇率』斷路器之優點何在?試述一種使斷路器得此特性之方法。

第十五章 電之傳輸及分佈

- 15.1, 何以普通直流電壓,不能用於大量電能之長距離傳輸?在何情形下,直流可利用於電燈及電力之佈電制?在此等情形下,其優點何在?
- 15.2, 試述將大量電能由甚遠之發電站,傳輸至用戶屋內之一般計劃。其傳輸用電壓在何範圍內?分佈用電壓如何?其配電站(或分站)在此制度中負何任務?
- 15.3, 導體之重量,如何隨其傳輸電壓而變化?苟其他因素不變,則將傳輸電壓加倍,其導體重量應如何?
- 15.4, 試列舉選擇導線大小之五項條件。在何情形下,發熱問題尤應注意?經濟問題如何影響及於導線粗細之選擇?試述用過粗導線之弊,用過細導線之弊。
- 15.5, 何以白熾燈常用 110 伏?用低於此值之電壓有何利弊?
- 15.6, 電車通用之電壓為若干?何以選用此值?
- 15.7, 何謂分佈的負載?何處有此種負載?在何種情形之下,沿總線之全長,可用均勻截面之導線?
- 15.8, 依理論而言,何種導線用於均勻分佈之負載,最為經濟合算?何種實際用線方法,頗與此理論的情形相近似?
- 15.9, 何以用回環制之佈電制度?其缺點安在?
- 15.10, 何種制度可以補救回環制之缺憾?試畫圖以表之,並說明如何將此制加以改良,使得更經濟有效之制度。
- 15.11, 利用兩個 110 伏負載相串聯,接於 220 伏電源,則得何利?其弊安在?

- 15.12, 串並聯制之困難,如何克服?愛迪生三線制中電壓間有何關係?
- 15.13, 若其他情形均同,苟於220伏三線制中,其中線所用銅線粗細與外線相同,則其所用銅之重量,與簡單之110伏制較如何?
- 15.14, 何謂平衡之負載?在此情形之下,其中線所載電流為若干?
- 15.15, 若三線制中正邊負載較重,則中線電流之方向如何?若負邊負載較重則如何?中線電流與外線電流有何關係?中線上應接何種安培計?商用方面所可允許之不平衡限度如何?
- 15.16, 試略述中線斷路對於有平衡負載三線制之影響,對於有不平衡負載三線制之影響。何以中線恒須通地?何以在中線上不用斷路器或熔線之類?
- 15.17, 以過重負載施於三線制之一邊,對於該邊之電壓,有何影響?對於他邊之電壓,有何影響?
- 15.18, 繪圖表出自兩分激發電機接出中線之方法。其主要之缺點何在?
- 15.19, 如何用蓄電池組以得中線?依一般情形而言,中線之電流達電池組之中心點時,如何分路?試述此法之弊。
- 15.20, 平衡機組根據何原理而運用?何因素決定何機當用作電動機,何機當用作發電機?用何二種方法,可偏重電動機與發電機之作用?
- 15.21, 三線發電機所根據之原理為何?交流電流向何處?由中線流回之電流,流向何處?何以直流能易於流回電樞?
- 15.22, 普通如何供電於人烟稠密區之直流負載?饋電線之作用何在?總線及接線匣之作用何在?屋內佈電線接於何處?如何決定在饋電點之電壓?
- 15.23, 今由恒壓滙流排,經恒值電阻線路而供電於負載,在何種情形下,負載所得之電功率為最大?在此情形時,其效率如何?何時電流為最大?當電流為最大時,其傳輸之效率如何?
- 15.24, 何式發電機用以供電於電車鐵道,最為普遍?此種發電機如何接於供電系統?
- 15.25, 在何情形下,一單根架空線,已足以供電於電車制度?若平常粗細之架空線,其截面積不足以載所輸之電流,則用何法以助之,俾能供給所需之電功率?何以不增大架空線之粗細?試述梯式饋電制度。
- 15.26, 在何種情形下,用複饋電線制?其缺點何在?如何克服之?
- 15.27, 何以由電車回返之電流,離開鐵軌而流返?何物決定其流返之路徑?電流穿入一地下管子,則在進入處有何傷害?在其脫離處有何傷害?在何處電流脫離管子?
- 15.28, 試列舉兩種方法,用以減低電解作用。用何種量度,可明瞭鐵軌

與管子間雜散電流大小之極概？

15.29, 描繪一典型的發電站負載曲線。試說明社會之生活習慣,如何影響及於此種曲線之形態。何以此種曲線不及一有同樣總仟瓦時之均勻負載曲線遠甚?何謂負載因數?高負載因數抑低負載因數為最所期望者?何故?

15.30, 蓄電池組如何可以使負載曲線,趨於平滑?何時此蓄電池組被充電?何時放電?何以於此場所蓄電池組並不通用?

15.31, 在何情形下,可用蓄電池組以担任非高峯時之負載?目前發電廠中,多用蓄電池組,其用意安在?應裝置於何處?

15.32, 欲以蓄電池組,與發電設備,會同使用,常遇何種困難?何種簡單方法,可用以控制蓄電池組之負載?此法之缺點何在?

15.33, 反電勢電池根據何種簡單原理而運用?用此法控制蓄電池組之電壓,較用電阻法,有何優點?

15.34, 何謂末端電池控制法?以何方式,將線路由一電池換接至另一電池,而不致使電路中斷,或使電池組遲被捷接?

15.35, 何謂一調節用蓄電池組?此種蓄電池組之用意安在?何以常須裝置輔助設備,俾隨負載之變更,而增加蓄電池之放電?繪出完成此目的之一簡單方法之接線圖。

15.36, 串聯佈電制與並聯制之主要區別何在?在串聯制中,欲中斷電路以移去一負載,有何影響?如何移去串聯制之一負載?

15.37, 用何種設備以供電於一串聯制?串聯制之優點何在?其用途何在?繪出兩種串聯電制之佈置,並述每種之優點。

習 題

第一章 電 阻

1.1, 今有兩導體 A 及 B , 以同材料製成, 其長度相同, 但 A 之截面為 B 之兩倍。若 A 之電阻為 12 歐, 問 B 之電阻為若干?

1.2, 今有兩圓筒形導體 C 及 D , 以同材料製成, 其長度相同, 但 C 之直徑為 D 之兩倍。若 C 之電阻為 12 歐, 問 D 之電阻為若干?

1.3, 一圓筒形導體 A 之直徑及長度, 均為另一圓筒形導體 B 之兩倍。若 B 之電阻為 0.8 歐, 問 A 之電阻為若干?

1.4, 若在 20°C 時銅之電阻為每厘米立方體 1.724 微歐, 問在同一溫度時, 每吋立方體之電阻為若干? 求每圓密爾吋之電阻。

1.5, 銅鎳合金之電阻係數為每厘米立方體 2.03 微歐, 求在同一溫度時 200 呎長, 直徑為 0.128 吋此合金之電阻。

1.6, 今有 300 米尺長, 直徑為 5.18 毫米之銅青銅合金, 其電阻在 20°C 時為 1.635 歐, 問其電阻係數如何? (以每厘米立方體之歐數及每吋立方體之歐數計。)

1.7, 鎳鉻合金之電阻係數為每厘米立方體 109 微歐, 而其溫度係數在平常溫度範圍內可略而不計。今有 8 密爾厚, 6 吋長, 14 吋寬之長方片, 問其每兩相對面間之電阻為若干微歐?

1.8, 今以鎳鉻合金條製成電阻器元件, 每件之電阻欲其為 0.3 歐。其厚度應為 10 密爾, 闊度應為 $\frac{1}{8}$ 吋, 始能載其電流, 問每條之長度應為若干?

1.9, 某商用銅之體積電阻係數在 20°C 時為 1.765 微歐-厘米, 求一 24 呎長及 $\frac{1}{2}$ 吋直徑之圓銅棒之電阻。

1.10, 求在 20°C 時, 一 30 呎長, 截面為 3 吋乘 $\frac{1}{2}$ 吋之商用銅製漚流排之電阻。今知國際標準銅之電阻係數為每厘米 1.724 微歐, 而商用銅之電阻係數為此標準之 87.8%。又每立方吋銅之重量為 0.32 磅, 問漚流排之重量為若干磅? 若干斤克?

1.11, 再算與第 1.10 題同樣大小銅漚流排之電阻及重量。銅之體積電阻係數在 20°C 時為 2.828 微歐-厘米, 密度為 2.67。

1.12, 某商用銅之電阻係數在 20°C 時為每厘米立方體 1.765 微歐, 而 400 米長圓鎳線之電阻為 3.39 歐。求此線之截面積以平方毫米計, 及其直徑

以毫米計。

1.13, 一鉛質滙流排之長度及電阻與第 1.10 題之銅質滙流排同, 求其截面。求鉛滙流排之重量與銅滙流排重量之比。

1.14, 美規 8 號銅線之截面積為 3.385 平方毫米, 其電阻係數為 1.724 微歐/厘米立方體。今欲以此線製 0.08 歐之電阻, 問其長度應為若干?

1.15, 第三軌之截面積為 7.9 方吋, 鋼之電阻係數為 22.2 微歐-厘米。略去接頭處不計, 則此軌每哩之電阻為若干?

1.16, 100 磅 (每碼) 鋼軌之截面為 9.84 方吋, 其體積電阻係數為銅在 20°C 時之 12.5 倍, 求此軌 5 哩長之電阻。

1.17, 線鎳合金之電阻係數為 109.7 微歐-厘米。求 90 呎長 $\frac{1}{2}$ 吋闊 0.08 吋厚此合金扁條之電阻。

1.18, 一種銅鎳合金線 (理想線, Ideal wire) 之電阻係數為 50 微歐-厘米。求 100 呎長, 直徑為 64 密爾此線之電阻。

1.19, 1,000 呎長美規 10 號線之電阻在 25°C 時為 1.02 歐。今以同量之銅抽成截面縮為一半之細線, 其電阻將為若干?

1.20, 一圓銅棒之直徑為 $\frac{1}{2}$ 吋, 其電阻為 0.01 歐。求: (甲) 此棒長度之呎數 (乙) 當將其抽細至直徑為原值之 $\frac{1}{3}$ 吋之電阻 (假定其體積不變, 其電阻係數亦不因抽細而變更)。

1.21, 銅之密度為 8.89, 電阻係數為每厘米立方體 1.724 微歐, 求 5 斤克銅之長度 (米) 及電阻, 其截面積為 1.31 平方毫米。

1.22, 10 米長銅棒之電阻在 20°C 時為 17 微歐。今以之抽成直徑為 1.015 毫米之線, 則該線之電阻為若干? 在 20°C 時銅之電阻係數為 1.744 微歐-厘米, 並假定其不變, 溫度亦不變。

1.23, 在 20°C 時某種銅之電阻係數為每吋立方體 0.686 微歐, 求在 20°C 時 100 磅及長度為 1,260 呎此銅之電阻及面積。

1.24, 鉛之電導係數為每厘米立方體 353,600 莫, 求在 20°C 時一 22 呎長截面為 6 吋乘 $\frac{1}{2}$ 吋之鉛滙流排之電阻及電導。又問其重量為若干磅? 若干斤克? (鉛之密度約為 2.70)。

1.25, 某種銅之電阻係數為 1.740 微歐-厘米, 問其電導係數為每厘米立方體若干莫? 每吋立方體若干莫?

1.26, 求如第 1.24 題內大小之銅質滙流排之電導及重量 (磅及斤克)。其電阻係數見第 1.25 題, 其密度為 8.89。

1.27, 若第 1.26 題中之銅滙流排與第 1.24 題之鉛滙流排之電阻相同, 則銅排之截面應為若干? 求銅排與鉛排重量之比。

1.28, 美規 8 號線之截面為 0.0130 方吋, 在 25°C 時其電阻係數為 1.770 歐-厘米。求 1,250 呎長此線之電導。

1.29, 有高抗張強度之青銅棒之電阻在 20°C 時為 5.76×10^{-4} 歐。其直徑為 0.930 厘米, 長度為 1.2 米, 求其電導係數, 以每厘米立方體之莫敵計。其電導係數為國際標準銅之百分之幾?

1.30, 美規 0 號絞橡膠絕緣電纜 (Rubber-insulated Cable) 之外直徑為 0.378 吋, 其絕緣厚度為 $\frac{1}{8}$ 吋, 橡膠之電阻係數為每厘米立方體 10^{16} 歐。求一哩長此纜之絕緣電阻。

1.31, 電流由表面 A 經半圓路徑達表面 B (見附圖 1.31A)。此路徑之內半徑為 2 厘米, 外半徑為 3 厘米, 沿軸厚度為 1.5 厘米。若其電阻係數為每厘米立方體 ρ 歐, 用積分法求 AB 兩表面間之電阻。

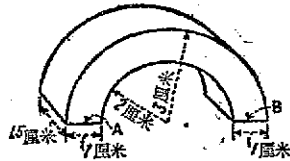


圖 1.31 A

1.32, 美規 0000 號紙質絕緣 (Paper-insulated Cable) 電纜之絕緣電阻, 在 25°C 時為每哩 100 兆歐。其導體之直徑為 0.528 吋, 絕緣厚度為 $\frac{1}{4}$ 吋, 求絕緣紙之電阻係數, 以每吋立方體歐數及以每厘米立方體歐數計。

1.33, 有一 00 號實心銅棒, 在相隔 83 吋處量得之電阻為 0.000251 歐, 其溫度為 20°C , 直徑為 0.365 吋。求 (甲) 每哩一歐之磅數 (乙) 每厘米立方體之電阻。

1.34, 20 呎長而截面為 6 吋乘半吋之滙流排, 在相隔 18 呎處及在 20°C 之溫度下, 量其電阻。若其電阻係數合乎美國電機工程學會之規範, 則所量得之最大電阻為若干?

1.35, 一電阻 6.8 歐與其他 11.2, 18 及 85 歐三電阻, 均相串聯, 問此組合之總電阻為若干?

1.36, 各為 6.5 歐之三電阻相串聯, 再與各為 4.8 歐之兩電阻相串聯, 則此組合之總電阻為若干?

1.37, 一導體由一如第 1.31 A 圖相似之直條彎成半圓形, 此條之截面為 1 厘米乘 1.5 厘米。其平行部份各為 12 厘米長 (見附圖 1.37A)。由第 1.31 題之數據, 計算 CD 兩表面間之電阻。

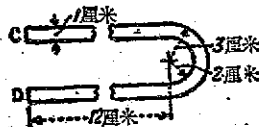


圖 1.37 A

1.38, 以 18.2 歐之電阻, 與 12.4 歐之電阻相並聯, 問此組合之等效電阻為若干?

1.39, 三電導各為 0.1, 0.2 及 0.4 莫相並聯。

求：(甲)其總電導(乙)其等效電阻，(丙)以三電阻相串聯時之電阻(丁)相當於(丙)之電導。

1.40, 求第 1.40A 圖中 A 與 B 兩端間之電阻。

1.41, 求第 1.41A 圖中 A 與 B 兩端間之電阻。

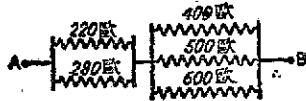


圖 1.40 A

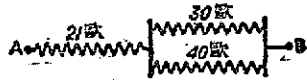


圖 1.41 A

1.42, 在第 1.42A 圖中求：(甲)ACB 支路之電阻；(乙)ADB 支路之電阻；(丙)A 與 B 兩端間之總電阻。

1.43, 以 12 歐之電阻，一個以 20 及 25 歐兩電阻之並聯組合，及一個以 10, 50 及 80 歐三電阻之並聯組合，三者相串聯，求：(甲)整個組合之總電阻；(乙)每部份之電導；(丙)總電導。

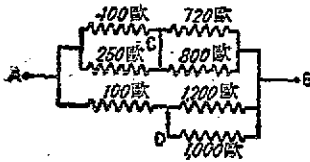


圖 1.42 A

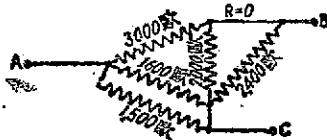


圖 1.44 A

1.44, 在第 1.44A 圖內，求：(甲)AB 兩端間之電阻；(乙)BC 兩端間之電阻；(丙)CA 兩端間之電阻。

1.45, 在第 1.44A 圖內，以 B 與 C 兩端相連接，求此公共端與 A 端間之電阻。

1.46, 一有 890 歐電阻之電流計與 90 歐分流器相接，求此組合之等效電阻。

1.47, 用每 1,000 呎有 0.0528 歐電阻之架空電專線(0000 號硬抽式者)，

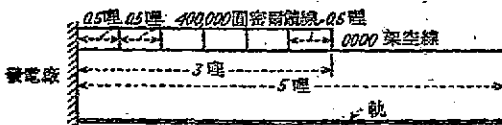


圖 1.47 A

自發電站延伸 5 哩之長。與之平行者，為每 1,000 呎有 0.270 歐之 400,000 圓密爾電線，計 3 哩長，每隔半哩與集

空線並聯一次(見第 1.47A 圖)。每軌之電阻爲每 1,000 呎 0.096 歐。求:(甲)由發電站至架空線末端之架空電路之總電阻;(乙)包括鐵軌爲回路之整個電路之總電阻(其回路限於平行之兩條鐵軌上)。

1.48, 在第 1.47 題中, 若以負饋電線自發電站饋電於鐵軌, 用每 1,000 呎有 0.0431 歐電阻之 250,000 圓密爾電纜, 延伸 3 哩之遠, 求此整個系統(包括架空線及其並聯饋電線)之總電阻。

1.49, 美規 15 號銅線之直徑爲 0.057 吋, 其圓密爾數爲若干? 美規 0 號線之截面爲 100,000 圓密爾, 求其直徑之吋數。

1.50, 求有下列各截面實心圓柱形導體之直徑: 截面各爲 168,000, 20,800, 809 及 25 圓密爾。

1.51, 一根七股美規 2 號電纜, 每股銅線之直徑爲 97.4 密爾, 求此電纜截面之圓密爾數, 並與直徑爲 258 密爾之實心美規 2 號線比較之。

1.52, 一根 19 股美規 000 號電纜, 其每股之直徑爲 94 密爾, 求其截面之圓密爾數, 並與直徑爲 410 密爾之實心美規 000 號線比較之。

1.53, 求 1,000 呎長雙根 800,000 圓密爾饋電線之總電阻。假定每圓密爾呎之電阻爲 11.0 歐, 兩線一爲出線(Outgoing wire), 一爲回線(Return wire)。

1.54, 某電話電纜用 240 對之美規 19 號銅線製成, 求 40 哩長迴路(包括一對線)之總電阻。19 號線之直徑爲 36 密爾, 銅之電阻爲每圓密爾呎 10.37 歐。

1.55, 因硬抽銅線具堅韌性, 故用之爲架空電車線。硬抽銅之電阻標準爲每圓密爾呎 10.37 歐。而硬抽銅之電阻係數約爲在同一溫度時軟銅之百分之 97.3, 求 4 哩長美規 0000 號硬抽架空電車線之電阻, 其直徑爲 460 密爾。(溫度皆爲 20°C)

1.56, 銅包鋼線以銅股包於鋼芯而成, 此種線既有適當之電阻係數, 又有高抗張強度, 且鍍錫可免鋼之生銹。美規 0000 號銅包鋼線之直徑爲 0.460 吋, 截面積爲 211,000 圓密爾。銅在 20°C 時之電阻係數爲每圓密爾呎 10.5 歐, 鋼則 7.5 倍此數。若線之截面積爲 65,000 圓密爾, 求 1,000 呎長此線之電阻, 並與同號實心銅線之電阻比較之。

1.57, 美規 00 號銅包鋼線之外直徑爲 0.365 吋, 每 1,000 呎長之電阻爲 0.197 歐(在 20°C), 若銅及鋼之電阻係數與第 1.55 題內所示者同, 求銅及鋼之截面積。

1.58, 鋼筋鋁線(Steel-reinforced aluminum cable)常用爲高壓輸電導線。一根 0000 號此電纜以六股鋁線絞於鋼芯之外, 每股鋁線及鋼芯之直徑各爲 0.1672 吋。在 20°C 時, 鋁之電阻係數爲每圓密爾呎 17.02 歐, 鋼則爲每圓

密爾呎 78 歐。(甲)若略去鋼芯之電阻不計,求 100 哩長此纜之電阻。(乙)計及鋼芯之電阻,求此纜之總電阻。

1.59, 銅在 0°C 時之電阻溫度係數為 0.00427, 某銅線繞成之線卷, 在 28°C 時有 15.7 歐之電阻。求其在 0°C 及在 42°C 時之電阻。

1.60, 5 哩長 0000 號硬抽鉛線在 20°C 時之電阻為 1.34 歐。問其在冬季最低溫度 -10°C 時之電阻為若干? 在夏季最高溫度 45°C 時為若干?

1.61, 在 25°C 時, 1,000 呎長之 250,000 圓密爾硬抽鉛線之電阻為 0.0452 歐。在同一溫度時, 鉛之電阻之溫度係數為 0.0039。求其在 0°C 及 40°C 時之電阻。

1.62, 某發電機在室內溫度為 21°C 時開始使用, 其場激線卷之電阻為 184 歐。使用 3 小時後, 復量其電阻, 得 205 歐。(甲)問 3 小時後其線卷之平均溫度為若干?(乙)其溫度升高若干?

1.63, 某發電機之樞電阻連同電刷及接觸電阻在內, 在 22°C 之室內溫度時為 0.0888 歐。求在 0°C 時及在比室內溫度高 40°C 時之電阻。

1.64, 鎢絲之電阻溫度係數, 在 0°C 時為 0.0050。某 100 瓦電燈在 2200°C 之運用溫度, 有 120 歐之熱電阻, 求其在室內溫度為 25°C 時之冷電阻。

1.65, 求銅在參考溫度為 15°C 及 32°C 時之電阻溫度係數。

1.66, 鉛在 20°C 時之電阻溫度係數為 0.0039。求:(甲)推測的零電阻;(乙)在 0°C 時之電阻溫度係數;(丙)在 28°C 者。

下列六題, 應不查美規銅線表而解之。

1.67, 求下列各號線之截面之圓密爾數, 及 1,000 呎長之電阻之近似值:(甲)美規 13 號;(乙) 16 號;(丙) 7 號。

1.68, 求下列各號線之直徑, 及 1,000 呎長之重量之近似值: 美規 13 號, 16 號及 7 號。

1.69, 求美規 00 號韌煉銅線之截面, 直徑及 1,800 呎長之電阻及其重量之近似值。

1.70, 求美規 37 號銅線之截面積, 直徑及 1,200 呎長之電阻與其重量之近似值。

1.71, 重復第 1.70 題, 但用美規 27 號線。

1.72, 求美規 0000 號架空電車線之直徑, 圓密爾數, 及 5 哩長此線之電阻與重量之近似值。

第二章 歐姆定律及電路

2.1, 以一導線曲成直徑為 2 厘米之圓, 而接於一電源, 其兩線端相距

近，線之直徑甚小於圓筒之直徑。若此電流施 12 達因之力於置在圓心處之 4 單位強度之磁極。求此電流之厘米克秒單位電阻制安數及實用安數。

2.2, 以 4 歐之電阻，跨接於端電壓為 6.08 伏之蓄電池，求其電流。

2.3, 某 50 瓦白熾燈之熱電阻為 260 歐，求其接於 115 伏直流電源時之電流。

2.4, 炭絲白熾燈之冷電阻為 340 歐而熱電阻為 250 歐，當接於 110 伏電源，求其初接通時及已達恒定之運用溫度後，該燈所取用之電流。

2.5, 某發磁器之電阻為 286 歐，而需要 0.024 安，求所需之運用電壓。

2.6, 某變阻器 (Rheostat) 之最大電阻為 2.4 歐，最小電阻為 0.64 歐，當所運之電流為 38.4 安時，求在上述兩種情形時之端電壓。

2.7, 某發電機分激場卷之電阻為 820 歐，場變阻器之電阻為 46 歐，其總電流為 1.64 安。求：(甲) 發電機之端電壓，(乙) 場卷組間之端電壓；(丙) 變阻器兩端間之電壓。(參看附圖 2.7 A)

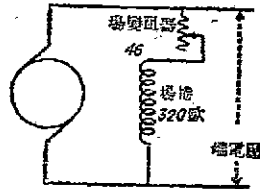


圖 2.7 A

2.8, 某放映機 (Projector) 所用白熾燈之熱電阻為 10 歐，其額定電壓為 50 伏。求：(甲) 接於 118 伏電源時所需之串聯電阻；(乙) 電阻器兩端間之電壓。

2.9, 一電烘器 (electric toaster) 自 120 伏電源取用 4.5 安電流，求其電阻。

2.10, 一電報用發報器有 260 歐電阻，通以 48 毫安電流則動作。今以之接於有 100 歐迴路電阻之電報線路之他端，求應接於發送端之電壓，俾使發報器有所動作。

2.11, 接於分激發電機場電路中之安培計指示 2.4 安。而場卷組及變阻器之電壓各為 196 伏及 44 伏。(參看圖 2.7 A) 求：(甲) 場卷組本身之電阻；(乙) 變阻器之電阻；(丙) 場電路之總電阻。

2.12, 今有 A, B, C 三導線，在其遠端相連接 (見圖 2.12 A)。以 6 伏電壓施於兩近端 a, b 間，其電流為 3 安；以 7.2 伏施於 b, c 兩端間，其電流為 3.13 安；以 6.75 伏施於 a, c 兩端間，其電流為 2.5 安。求 A, B, C 三線之電阻。

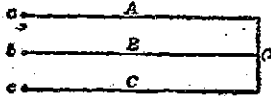


圖 2.12 A

2.13, 某 230 伏發電機分激場卷之電阻為 174 歐 (參看圖 2.7 A) (甲) 若發電機之端電壓為 230 伏，則應將其變

阻器之電阻調準至何值，俾場電路之電流為 1.2 安？(乙)求在此情形時，場卷及變阻器端之電壓。

2.14. 四電阻各為 9.4, 8.6, 7.5, 及 10.3 歐，串聯接於 115 伏直流電源。求：(甲)此組合之總電阻；(乙)其電流；(丙)各電阻兩端間之電壓。

2.15. 某電磁鐵以四個線卷串聯繞成，其電阻各為 2.4, 2.4, 1.9 及 1.9 歐，今串聯一電阻 0.40 歐，而聯接線之電阻為 0.16 歐。此電磁鐵必需 26 安之電流始能動作。求：(甲)所需之總電壓；(乙)每線卷兩端間之電壓；(丙)電阻器及聯接線之電壓降。

2.16. 某串聯燈制需要 92 只白熾燈，每燈有 7.2 歐之電阻，並需要 6.6 安電流。線路之總電阻為 92 歐，求供電於此制度之電壓。

2.17. 某電熨斗 (electric flatiron) 自 115 伏電源取用 4.8 安電流，求其電阻。

2.18. 今欲用 115 伏電源，量度發電機之樞電阻，必須接一變阻器以限制其電流。當電流為 38.6 安時，其電樞兩端間之電壓為 0.4 伏。求：(甲)電樞之電阻；(乙)串聯變阻器之電阻。

2.19. 當通過鐵軌之電流為 200 安時，在軌上相隔 16 呎所量得之電壓為 30.5 毫伏 (1 毫伏 = 0.001 伏)。假定接觸處不影響鐵軌電阻之均勻性，求此軌每哩之電阻。

2.20. 某液面為 $6 \times \frac{1}{2}$ 吋之鋁質滙流排，載 500 安電流，而在相隔 8 呎一段上之電壓降為 17 毫伏。求：(甲)此滙流排每呎之電阻。(乙)以三條此種滙流排相並聯，而載電流 3,000 安時，在相隔 40 呎一段間之電壓降。

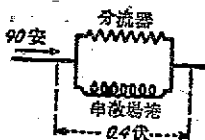


圖 2.21 A

2.21. 某發電機串激場卷之電阻，可量度其電壓降而量度之。當將電流調準至 90 安時，其電壓降為 0.60 伏。今再將分流器跨接於串激場卷 (見圖 2.21 A)，以 90 安電流通過之，則其電壓降為 0.4 伏。問串激場卷及分流器之電阻各為若干？

2.22. 某分壓器 (voltage divider) ac 之電阻為 20,000 歐，在其中點接出一線端 b 。以 15,000 歐電阻 $b'c'$ 跨接於 bc 之兩端，而以 ac 兩端接於 300 伏電源 (參看圖 2.22 A)。求：(甲) a, c 兩端間之等效電阻；(乙) ab , bc 及 $b'c'$ 之電流；(丙) bc 兩端間之電壓。

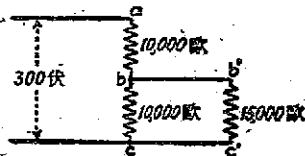


圖 2.22 A

2.23. 若以電阻 $b'c'$ 改為 20,000 歐，計算第 2.22 題。

2.24, 某直流複弧電燈(multiple-arc lamp)自 115 伏取用 6.4 安電流, 而在弧燈兩端間之電壓為 68 伏。求與弧燈串聯之額定電阻之值。

2.25, 圖 2.25 A, 示一燈排, 有 6.46 歐之總電阻, 並自 120 伏發電機經

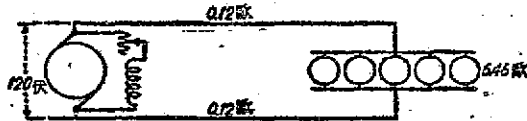


圖 2.25 A

每根有 0.12 歐之聯接線而取用電流。求:(甲)流至燈排之電流;(乙)燈排兩端間之電壓。

2.26, 若流至燈排之電流為 80 安, 而燈排之端電壓為 116 伏。由燈排至發電機間聯接線有 0.06 歐之總電阻, 求發電機之端電壓(參看圖 2.25 A)。

2.27, 某烘烘磁漆用電烘爐(electric oven)之電阻元件自 120 伏取用 30 安電流。今欲將電流減至 26 安, 求:(甲)所需串聯之電阻;(乙)此電阻端間及電烘爐之端電壓。

2.28, 今欲使用額定為 32 伏及 4 安之放映機白熾燈於 120 伏直流電源, 求所需之串聯電阻。

2.29, 以 60, 80, 及 92.4 歐三電阻相並聯。(甲)求此組合之等效電阻。(乙)若 92.4 歐電阻內之電流為 2.6 安, 求此組合之端電壓;(丙)求其他二電阻之電流。

2.30, 以四電阻 A, B, C, D 相並聯(見圖 2.30 A)。 A, B, D 之電阻各為 36, 30 及 16 歐。若流過電阻 D 之電流為

2.5 安, 則此組合之總電流為 7.9 安。求:(甲) C 之電阻值;(乙)此組合之等效電阻;(丙) A, B, C 三電阻之電流。

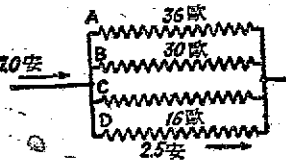


圖 2.30 A

2.31, 在與圖 2.30 A 相似之並聯組合中, 其總電流為 9.0 安, 經電阻 B 之電流為 2.58 安。若 A, B, C 之電阻各為 24, 30 及 48 歐, 求:(甲) A, C, D 三電阻之電流;(乙)未知之電阻 D 。

2.32, 某發電機之串激場卷及其分流器之電阻, 各為 0.0064 歐及 0.025 歐(參看圖 2.21 A)。今發電機供給電流 400 安, 分配於上述二者之間, 求:(甲)串激場卷之電流;(乙)分流器之電流;(丙)此組合之端電壓。

2.33, 三電阻 24, 32 及 40 歐相並聯, 以電流 42 安流經此組合。求:(甲)

經每電阻之電流；(乙)此組合之端電壓。

2.34, 某電阻為 90 歐之熱線器, 以最小之 0.05 安電流即能動作。今以之接於有 0.75 安電流之電路內, 求所需與之並聯之電阻。

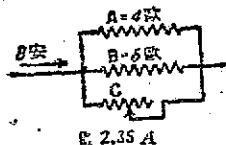


圖 2.34 A

2.35, 三電阻 A, B, C 相並聯(見圖 2.35A)。

A 之電阻為 4 歐, B 為 6 歐, C 為可調準的。有 9 安電流經此電路, 應將 C 電阻調準至何值, 則該電阻取 2 安之電流?

2.36, 以 12 歐之電阻, 串聯於 10 及 24 歐相

並聯之組合, 而以此總組合接於 100 伏電源, 求: (甲)此整個電路之等效電阻; (乙)其總電流; (丙) 12 歐電阻兩端之電壓; (丁)各電阻之電流。

2.37, 有一串並聯電路, 如圖 2.37A 所示, 跨接於 150 伏電源。求: (甲)此組合之等效電阻; (乙)其總電流; (丙) ab 及 bc 間之電壓; (丁)每電阻之電流。

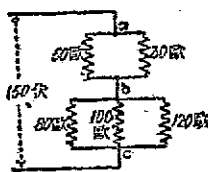


圖 2.37 A

2.38, 有 6 個熱電阻之電燈負載, 自 120 伏電源經下述導線取用電流(見圖 2.38A)。該導線由電線 1,000 呎長美規 0 號, 截面為 105,000 圓密爾之銅線, 及兩根 800 呎長美規 1 號, 截面為 63,700 圓密爾之銅線組成。每圓密爾呎之電阻用 10.8 歐, 求此組合中之電流。

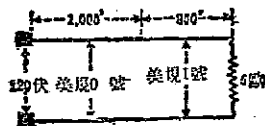


圖 2.38 A

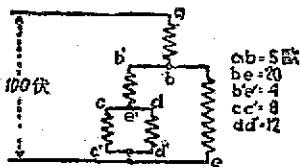


圖 2.39 A

2.39, 圖 2.39 A 示一個串並聯組合, 接於 100 伏電源。求: (甲)此整個組合之等效電阻; (乙) ab, bc, cd, da 及 bc 間之電壓; (丙)各電阻中之電流。

2.40, 若電阻 bc 改為 10 歐, 複算第 2.39 題。

2.41, 某發電機之定額為在 250 伏時 400 仟瓦。(甲)求其額定電流。(乙)若在額定負載時之效率為 0.91, 求其仟瓦及馬力輸入。

2.42, 某 25 馬力, 230 伏電動機在額定負載時之效率為 0.87。求: (甲)其馬力輸入; (乙)其仟瓦輸入; (丙)其額定之電流。

2.43, 第 2.42 題中電動機之場卷取用 2.5 安電流, 其電阻——除去磁阻

器電阻——為 68 歐。求：(甲)其整個場電路所取用之電功率，及其與全部輸入之百分比；(乙)場卷及變阻器各部所損失之電功率。

2.44, 計算圖 2.37A 中各電阻所取用之電功率。以其總和與用總電流及總電壓算得者比較之。

2.45, 圖 2.45A 示一個串並聯組合，若第一並聯組合 cj 間之電壓為 80 伏，求：(甲) bc 間之電壓；(乙) am 間之電壓；(丙)每個電阻所損失之電功率；(丁)此電路之總電功率。

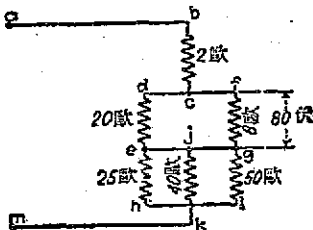


圖 2.45A

2.46, 若圖 2.45A 中電路之總電流為 12 安，求：(甲)各電阻之電流；(乙)各電阻所損失之電功率。

2.47, 在第 2.21 題中，若其總電流為(甲)90 安；(乙)180 安，求串激場卷及其分流器所損失之電功率。

2.48, 兩馬斯達 C (Mazda C) 白熾燈接於 115 伏電源，其熱電阻各為 220 及 66.2 歐，求每燈之額定瓦特。

2.49, 某 150 伏標度伏特計之電阻為 17,500 歐，求當其所接之電源為(甲)85 伏；(乙)120 伏；(丙)150 伏時，所損失之電功率。

2.50, 某電熱器之發熱元件之電阻為 32 歐，(甲)求其接於 120 伏時之額定瓦特。(乙)若該器換一新元件，在 120 伏時之定額為 500 瓦，求此新元件之電阻。

2.51, (甲)求 115 伏，60 瓦，馬斯達 C 白熾燈之額定電流及熱電阻。(乙)求 115 伏，100 瓦電燈之額定電流及熱電阻。

2.52, 某電烘爐在穩定負載時，於 96 小時內，取用 3,070 仟瓦小時之電能。求：(甲)此爐取入之平均電功率；(乙)電壓為 220 伏時之平均電流。(丙)若最初 80 仟瓦小時以每仟瓦小時 6 分付費，其超出者以每仟瓦小時 5 分付費，求其電能之總價值。

2.53, 某 230 伏，10 馬力鼓風機 (blower) 用電動機之輸出為 9.6 馬力，其效率為 83.9%。若每仟瓦小時值 3.2 分，每月開用 30 日而每日使用 24 小時，求其電能之每月費用價格。

2.54, 若每仟瓦小時值 $\frac{1}{2}$ 分，求用電熨壺 (electric kettle) 將 $\frac{1}{2}$ 夸脫 (quart) 水自 20°C 熱至 100°C 之費用。(1 夸脫 = 0.946 立特, liter)。若每日使用該壺兩次，求每月 30 日中之費用。假定略去電能損失不計。

2.55, 若每仟瓦小時值 $\frac{1}{2}$ 分，求用電熱器 (electric heater) 將 2 夸特水

自室內溫度 24°C 熱至沸點之費用，假定電熱器之效率為百分之 80。

2.56. 某水箱變阻器 (water-barrel rheostat) 容 42 加侖之水，若略去電能損失不計，以 120 伏 50 安電流經此變阻器，則經若干時間，其水之溫度始由室內溫度之 70°F 昇至 200°F ? (每加侖水之重量為 8.345 磅)。

2.57. 以 20 安流經某電熱鍋爐 (electric boiler) 內浸於水中之 14 歐電阻，若鍋爐中有 40 立特之水，略去熱之損失，則在 30 分鐘終了時，其水溫為若干度? (室內溫度為 20°C)。

2.58. 圖 2.58A 示一種降壓線，用以調節一發電機之場電流者。其 ab 線之總電阻為 16 歐，場卷電阻為 40 歐，線路電壓為 120 伏。求當觸點在由 a 至 b 距離之四分之一處；三分之一處；及四分之三處時之場電流。在每種情形時，求場電路所用電功率對於總電功率之百分比。

2.59. 若以 10 歐電阻之場變阻器與第 2.58 題之場卷相串聯，複算第 2.58 題。

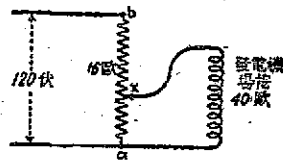


圖 2.58 A

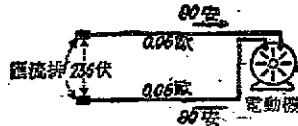


圖 2.60 A

2.60. 圖 2.60A 示一電動機經一饋電線路取用 80 安，每根饋電線之電阻為 0.06 歐，滙流排電壓為 236 伏。求：(甲) 電動機端之電壓；(乙) 輸電之效率。

2.61. 在與圖 2.60A 相似之制度中，一電動機以 0.86 之效率，供給 15 馬力，而電動機端之電壓為 230 伏。求：(甲) 滙流排電壓；(乙) 輸電之效率；(丙) 此制度之總效率。

2.62. 電能由發送端之電壓 240 伏，輸送至一電燈電力混合負載。饋電線每根之電阻為 0.12 歐。求：(甲) 當負載電流為 80 安；(乙) 60 安時，負載端之電壓及輸電之效率。

2.63. 某電車鐵道用 5 哩長之美規 0000 號硬抽架空線。以 300,000 圓磅兩饋電線與之平行至 3 哩之遙，每半哩相並聯一次 (見圖 2.63A)。軌之電阻為每哩 0.04 歐，發電站電壓為 600 伏。當電車距發電站 $3\frac{1}{2}$ 哩，而取用 110 安電流時，求：(甲) 電車處之電壓；(乙) 在電車線末端之電壓；(丙) 輸電之效率。

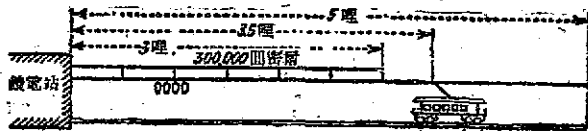


圖 2.63 A

2.64, 在第 2.63 題中, 若電車在線路之末端而方啓行, 其啓動電流為 130 安。求: (甲) 在電車處之電壓; (乙) 輸電之效率。

2.65, 今欲輸電於距發電廠 600 呎之 8 仟瓦之負載, 及另一更遠 400 呎之 4 仟瓦負載。滙流排電壓為 245 伏, 8 仟瓦負載端之電壓欲其為 220 伏, 4 仟瓦端者欲其為 218 伏。求: (甲) 由 8 仟瓦負載至 4 仟瓦者間每根饋電線之電阻; (乙) 由滙流排至 8 仟瓦負載處每線之電阻; (丙) 輸電之效率。

2.66, 某 100 仟瓦負載距 240 伏滙流排 1,800 呎, 今欲在負載為 100 仟瓦時, 其端電壓不低於 220 伏。求: (甲) 每根饋電線之電阻; (乙) 饋電線之截面之圓密爾數; (丙) 輸電效率及 (丁) 銅之重量。(取 10.8 歐為每圓密爾呎之電阻。)

2.67, 在第 2.66 題中, 求距滙流排 400 呎, 950 呎, 及 1,500 呎處沿饋電線之電壓。

2.68, 將第 2.66 題中滙流排及負載端電壓均減半, 而負載, 距離及輸電效率均不變, 複算第 2.66 題。

2.69, 兩電動機負載由 600 伏滙流排供給之, 負載 A 在 1,000 呎外, B 較 A 更遠 800 呎。今 A 取最大之電流 60 安, B 取最大之 40 安。負載 A 之端電壓應為 562 伏, 而 B 之端電壓不得小於 531 伏。求: (甲) B 與 A 間饋電線每根之電阻; (乙) A 與滙流排間每根饋電線之電阻; (丙) 輸電之效率; (丁) 各段線之美規號數。

2.70, 在與第 2.69 題相似之輸電制中, B 與 A 間用每 1,000 呎有電阻 0.508 歐之美規 7 號線。在滙流排與 A 間, 用每 1,000 呎有 0.253 歐之美規 4 號線。滙流排電壓及電流與前題同。求: (甲) 負載 A 及 B 之端電壓; (乙) 各負載之仟瓦功率; (丙) 銅所損失之功率; (丁) 輸電之效率。

2.71, 某饋電線路自直流電源供電於兩集中之負載, 如圖 2.71A 所示, 700 安負載距滙流排 800 呎, 其間每根饋電線用 1,500,000 圓密爾絞纜。再遠 500 呎有 600 安之負載, 用兩根

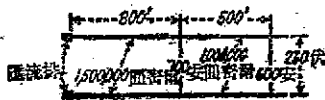


圖 2.71 A

1,000,000 圓密爾絞線爲饋電線。若 600 安負載之端電壓爲 230 伏，取 11 歐爲每圓密爾呎之電阻，求：(甲) 800 安負載之端電壓；(乙) 匯流排之電壓；(丙) 總電功率及總損失；(丁) 輸電效率；(戊) 在距匯流排 400 呎處及 1,000 呎處饋電線之電壓。

2.72, 在與圖 2.63A 相似之電車制度中，有兩電車，一距發電廠 2 哩，取用 60 安，一距廠 4 哩，取用 75 安。求每車之電壓及至電車處之輸電效率。

在下列各題中，假定每圓密爾呎之電阻爲 10 歐，其正常電流密度爲每圓密爾 0.001 安。

2.73, 以兩根 300,000 圓密爾導線組成 1,200 呎長之饋電線路，自 250 伏電源，供電於一單純負載。求：(甲) 在其正常電流密度時，饋電線之總壓降；(乙) 在此情形時之傳輸效率。

2.74, 若第 2.73 題中饋電線之壓降，限於 15 伏，求所需饋電線之粗細，並求其每安之圓密爾數及輸電之效率。

2.75, 某 400 安之負載位於距 240 伏匯流排 1,600 呎處，今欲負載端之電壓不低於 228 伏。若饋電線有正常之電流密度，求：(甲) 饋電線之圓密爾數；(乙) 總壓降；(丙) 饋電線之損失；(丁) 輸電之效率；(戊) 若欲負載端之電壓確爲 228 伏，求其饋電線之大小及輸電之效率。

2.76, 某 50 安負載，位於距 600 伏匯流排 1.5 哩處，(甲) 若饋電線載正常之電流密度，求其線之美規號數，負載端電壓，線路損失及輸電效率。(乙) 若負載端電壓不得低於 550 伏，求所需饋電線之圓密爾數，最近之美規號數，線路損失及輸電效率。

2.77, 一美規 0000 號硬抽架空電車線與一 400,000 圓密爾饋電線平行敷設 6 哩之遙，而相並聯。若此平行制度皆載正常電流密度，求：(甲) 饋電線及架空線之總壓降；(乙) 其損失之電功率。若欲維持此架空制度之壓降，不超過 50 伏，求：(丙) 其可載之最大電流密度；(丁) 其損失之總電功率。

2.78, 今欲供電於距 600 伏匯流排 3,000 呎處之 80 馬力電動機，電動機端所需之最小電壓爲 550 伏，而電動機在額定負載時之效率爲 0.80。求：(甲) 饋電線載正常電流密度時，所需饋線之粗細；(乙) 電動機端電壓確爲 550 伏時所需饋線之粗細；(丙) 在(乙)中之線路損失及輸電效率。

第三章 電池之電勢—克希荷夫氏定律

3.1, 某乾電池之斷路電勢爲 1.95 伏，當電池供給 1.2 安之電流，其端電壓降至 1.20 伏，問其內在的內電阻爲若干？

3.2, 某重力電池發出 2.4 電流時，其端電壓爲 0.96 伏，但其內電勢爲

1.07 伏，求其視在的內電阻。

3.3, 某啓動用電池組由三只鉛極蓄電池串聯組成，其斷路電壓為 6.3 伏。當其供給 90 安電流時，其端電壓降至 5.20 伏。求：(甲)其內電阻；(乙)當其供給 50 安電流時之端電壓。

3.4, 以六只乾電池組成之電池組，有 6.5 伏之斷路電壓及 4.4 歐之內電阻。若接一負載，則其端電壓降為 6.1 伏，求其供給之電流。

3.5, 有 50 只電池之蓄電池組，其斷路電壓為 102 伏，總內阻為 0.06 歐。(甲)求其所能供給之最大電流，使其端電壓不致降低於 96 伏。(乙)若其端電壓為 99 伏時，問所供給電流為若干？

3.6, 在第 3.1 題中，若外接電阻為 0.24 歐，求：(甲)其電流；(乙)電池所供給之總電功率；(丙)電池內部及外電路所損失之功率。

3.7, 在第 3.3 題中求：(甲)其外接電阻；(乙)其電池供給之總電功率；(丙)使內部發熱之電功率；(丁)外電路所損失之功率。

3.8, 某乾電池之電勢為 1.20 伏，其內電阻為 0.06 歐。(甲)問外電阻為何值則所供給電功率為最大？(乙)求其產生之總電功率，內部所損失者及供給於外電路者。

3.9, 某蓄電池組有總電勢 6.0 伏，其三只串聯電池之內電阻各為 0.006 歐。求：(甲)其所可供給於負載之最大電功率；(乙)在此情形時之電流；(丙)電池內部所損失之功率。

3.10, 若第 3.3 題中之蓄電池，以 18 安率而充電，求：(甲)所供給於電池之電功率，(乙)電池之端電壓；(丙)使電池發熱之功率；(丁)每秒所儲蓄之化學能。

3.11, 若第 3.5 題之蓄電池組以 100 安率而充電，求：(甲)所需充電之端電壓；(乙)輸送於蓄電池之電功率；(丙)電池內部損失之功率；(丁)每秒所儲蓄之化學能。

3.12, 某蓄電池組包括 118 只電池相串聯，每只之電勢為 2.10 伏，內電阻為 0.0012 歐。以 60 安率使之充電，求：(甲)所需之端電壓；(乙)供給於蓄電池組之總電功率及其內部之損失；(丙)當蓄電池自充電電源拆出，而接於 3 歐電阻時之端電壓。

3.13, 某蓄電池組有 60 只電池相串聯，每只之電勢為 2.10 伏，內電阻為 0.0008 歐。今由 240 伏匯流排以 80 安使之充電。求：(甲)在此情形時之蓄電池組之端電壓；(乙)所需與電池串聯之電阻；(丙)匯流排電壓降為 230 伏時之充電電流。

3.14, 今有電勢各為 1.35, 1.30, 及 1.28 伏之三電池串聯相助，並與外電

阻 25 歐相串聯。若電池之內電阻各為 0.08, 0.09 及 0.13 歐。求：(甲)其電流；(乙)各電池之端電壓；(丙)各電池所供給之電功率；(丁)各電池內部之損失；(戊)其供給於 25 歐電阻之功率。

3.15, 今有電勢各為 2.00, 2.06, 2.10 及 2.08 伏之四蓄電池相串聯, 其電阻各為 0.001, 0.0008, 0.0012 及 0.001 歐。若電池組供給 25 安之電流。求：(1) 其端電壓；(2) 每電池之端電壓；(3) 各電池所產生之功率；(4) 各電池之損失；(5) 其外接電阻；(6) 外電阻所得之功率。

3.16, 某蓄電池組包括 120 只串聯之電池, 每只之電勢為 2.15 伏, 內電阻為 0.0004 歐。今欲試此電池組, 以 0.812 歐之電阻跨接於該組合。求：(甲) 其電流；(乙) 電池組所供給之電功率；(丙) 其端電壓；(丁) 內部損失之功率。

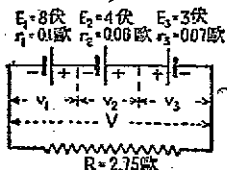


圖 3.17 A

3.17, 圖 3.17 A 示三個電池相串聯, 並與電阻 2.75 歐串聯。求：(甲) 其電流 I ；(乙) 每電池所發生之功率 P_1, P_2, P_3 ；(丙) 各電池所供給之電功率 F_1, F_2, F_3 ；(丁) 各電池之損失；(戊) 電阻兩端之電壓。

3.18, 今有五只乾電池, 其電勢各為 1.40, 1.27, 1.88, 1.82 及 1.23 伏, 其內電阻各為 0.03, 0.14, 0.12, 0.18 及 0.12 歐。電池全串聯相助, 並與一外電阻 21.4 歐相串聯。求：(甲) 其電流；(乙) 各電池損失之功率；(丙) 各電池之端電壓；(丁) 外電阻兩端之電壓。

3.19, 假使將第 3.18 題中第三只電池(即電勢為 1.88 伏, 電阻為 0.12 歐者)反接, 與其他電池串聯抵消, 核算該題。

3.20, 四只乾電池相並聯, 以共同極相接; 若每電池之電勢為 1.20 伏, 內電阻為 0.08 歐。求：(甲) 其供給於外電阻 1.98 歐之電流；(乙) 電池組之端電壓；(丙) 各電池之內部損失；(丁) 供給於外電路之功率。

3.21, 如第 3.20 題中之佈置, 求：(甲) 其所可供給之最大電功率；(乙) 在此情形時之端電壓；(丙) 外電阻之值。

3.22, 有六組電池, 以其同極相接而作並聯組合。每組之電勢為 12 伏, 內電阻為 0.6 歐, 以外電阻 23.9 歐跨接於其兩端。求：(甲) 其至外電路之電流；(乙) 其端電壓；(丙) 每電池組之內部功率損失。

3.23, 今有四只乾電池, 以共同極相接而並聯。若每電池之電勢為 1.30 伏, 而內電阻各為 0.08, 0.10, 0.09 及 0.09 歐, 求：(甲) 可以代替此電池組之單個電池之電勢及內電阻；(乙) 其供給於外電阻 0.60 歐之電流；(丙) 每電池所供給之電流。

3.24, 在第 3.23 題中, 求: (甲) 此電池組所可供給之最大電功率; (乙) 在此情形時之外電阻。

3.25, 兩電池組相並聯, 以共同極相接。今每電池組之電勢為 18 伏, 但其內電阻各為 0.8 及 1.0 歐。若以之接於外電阻, 而供給 4 安電流, 求: (甲) 每組所供給之電流; (乙) 其端電壓; (丙) 外電阻之值; (丁) 可以代替此組合之單組電池之電勢及內電阻。

3.26, 一電池組由四只電池並聯而成。每只之電勢為 2.10 伏, 其內電阻各為 0.005, 0.006, 0.001 及 0.0025 歐。求: (甲) 其等效電池之電勢及內電阻; (乙) 端電壓為 1.95 伏時之電流; (丙) 各電池之電流。

3.27, 今有 24 只電池, 以 6 只串聯成一排, 以四排相並聯。每電池之電勢及內電阻各為 1.25 伏及 0.1 歐。求: (甲) 電池組之總電勢及總內阻; (乙) 其接於外電阻 2.0 歐時之電流; (丙) 其端電壓。

3.28, 若第 3.27 題中之電池, 排成六排, 每排四只相串聯, 試重解之。

3.29, 將第 3.27 題之電池, 重加佈置, 俾能供給最大之電功率於外電阻 0.6 歐。在此情形之下, 求電阻及電池組各所損失之功率。

3.30, 某種負載, 其端電壓須不低於 6.0 伏。今有 12 只電池, 每只有電勢 2.1 伏及內電阻 0.002 歐。(甲) 既如何接法, 則可得最高之效率? (乙) 若負載電流為 100 安, 求其端電壓, 外電阻及電池組之效率。

3.31, 將第 3.30 題中之電池重加佈置, 俾供給最大之電流於負載。在此情形下, 電池組之效率為若干?

3.32, 某電報線路之迴路電阻為 50 歐, 其串聯替綫器之電阻為 80 歐。今有 40 只重力電池可用, 每只有電勢 1.1 伏, 內阻 0.55 歐。求: (甲) 電池之接法, 俾能供給最大電功率於此線路; (乙) 電池組之效率; (丙) 電報線路之效率; (丁) 供給最大電流之電池接法。

3.33, 某啓閉凡電池組之電勢及內阻各為 6.3 伏及 0.007 歐, 另一組之電勢及內阻各為 6.1 伏及 0.001 歐。今以之並聯而以同極相接, 求: (甲) 可替代此組合之單組電池之電勢及電阻; (乙) 其供給於外電阻 0.20 歐之電流; (丙) 各電池組之電流; (丁) 其端電壓。

3.34, 兩電池組 A 及 B 之電勢及內電阻各為 25 伏與 0.4 歐, 24 伏與 0.6 歐, 今以之並聯如圖 3.34A。求: (甲) 其外電流為 5 安時, 各電池所供給之電流; (乙) 其端電壓; (丙) 外電阻之值。

3.35, 如圖 3.34A 中, 以開關 S 與電池組 B 相串聯, 今以「浮接電池」法求負載電流 5 安之分配。(甲) 若拉開 S (S' 斷合), 求 A 組所供給之電流, 俾開合 S 時 B 組得以浮接; (乙) 求所餘負載電流之分配; (丙) 求各電池組之電

流，與第 3.34 題之結果比較之。

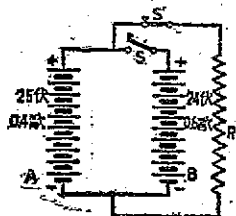


圖 3.34 A

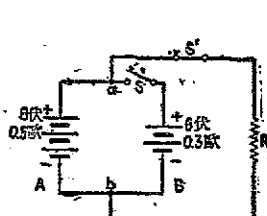


圖 3.36 A

3.36, 圖 3.36A 示兩組電池 A 及 B 相並聯, 其外電流為 10 安, 用『浮接電池』法求電流之分配。(甲) 求開關 S 未開合時, A 組所應供給之電流, 俾 B 組得以浮接; (乙) 求所餘負載電流之分配; (丙) 各電池組供給之總電流; (丁) 負載電阻 R 。

3.37, 兩蓄電池組相並聯, 其電勢及內電阻各為 120 伏及 0.04 歐, 122 伏及 0.06 歐。用『浮接電池』法求外電流為 100 安時; (甲) 各組之電流, (乙) 外電阻, (丙) 其端電壓。

3.38, 在第 3.37 題中, 求: (甲) 各電池之內部功率損失; (乙) 各電池所供給之功率; (丙) 可代替此組合之單組電池之電勢及內電阻。

3.39, 兩蓄電池組各有電勢 51 及 49 伏, 內阻 0.14 及 0.06 歐, 以同極相接而並聯, 見圖 3.39A。當 S 開合時, R

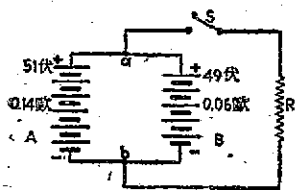


圖 3.39A

之電流為 280 安。用『環流』法求電流之分配。求: (甲) S 開啓時之環流; (乙) S 開合後, A 及 B 所供給之電流; (丙) A 及 B 所供給之總電流; (丁) ab 間之端電壓; (戊) 外電阻 R 。

3.40, 用『環流』法解第 3.34 題。求: (甲) 當 S 開合而 S' 開啓時之環流; (乙) 當 S' 開合後, R 之電流為 5 安, 求其於 A 及 B 間之分配; (丙) A 及 B 各所供給之總電流; (丁) 端電壓; (戊) 電阻 R (以此結果與第 3.34 題之結果較之)。

3.41, 用『環流』法解第 3.36 題, 而與該題所得之答案比較之。若負載電流為 12 安, 求: (甲) 各電池組所供給之總電流; (乙) 其端電壓; (丙) 各電池所產生之功率; (丁) 各電池之功率損失。

3.42, 若第 3.39 題中電池組 A 之電勢為 48 伏, B 為 50 伏, 內阻及負載電流與該題仍同, 用『環流』法, 求: (甲) 各電池組所供給之電流; (乙) 端電壓;

(丙)使各電池發熱之功率;(丁)電阻 R 。

克希荷夫定律

3.43, 兩電池組 A 及 B , 各有電勢 6.0 及 4.0 伏, 內電阻 1.2 及 1.0 歐, 以同極相接而並聯, 並與 2.5 歐電阻 R 相接 (見圖 3.43A)。求:(甲) R 之電流;(乙)各電池組之電流;(丙)公共端電壓。

3.44, 第 3.43A 圖與第 3.43A 圖相似, 惟加一第三電池組 C , 電勢為 1.5 伏, 內電阻為 0.5 歐, 與電阻 $R = 2$ 歐相串聯。求:(甲)各電池組之電流;(乙) A 及 B 電池之公共端電壓;(丙)電池 C 之端電壓。

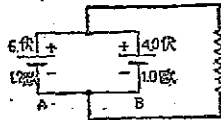


圖 3.43 A

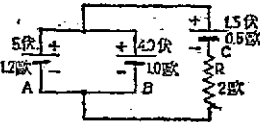


圖 3.44 A

3.45, 圖 3.45A 示一電網絡, 有三組電池 A, B, C 及三電阻 R_1, R_2, R_3 。求:(甲)電流 I_1, I_2, I_3 註以適當符號;(乙)各組電池之端電壓。

3.46, 以 C 組電池反接, 重解第 3.45 題。

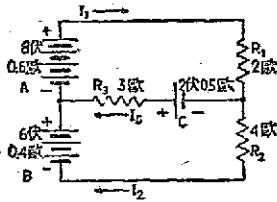


圖 3.45 A

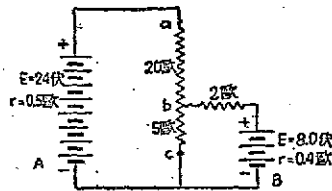


圖 3.47 A

3.47. 一電池組 A 有電勢 24 伏, 內阻 r 為 0.5 歐。以 25 歐之電阻 abc 跨接於 A 之兩端, a 接於正端。另有一電池組 B , 其正端經電阻 2 歐接於電阻 abc 之 b 端, 其負端與 A 之負端及 c 端相接。 B 之電勢及內阻各為 8.0 伏及 0.4 歐, bc 之電阻為 5 歐 (見圖 3.47A)。(甲)求電池組 A 及 B 之電流;(乙)欲電池組 B 之電流為零, b 點應在 ac 電阻之何處?即求 bc 之電阻, ac 之電阻不變。

3.48, 圖 3.43A 示三電流 I_1, I_2, I_3 , 流於公共點 a , 求 I_1, I_2, I_3 之值。

3.49, 將電池組 D 反接, 重解第 3.45 題。

3.50, 圖 3.50A 示一電網絡, 其中有三電池組, 其電勢各為 15, 80, 及 20 伏, 其電阻可以不計。求由 I_1 至 I_6 之六電流之值及其方向。

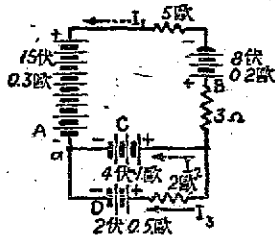


圖 3.48 A

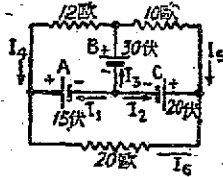


圖 3.50 A

3.51, 圖 3.51A 示一電車制度。有兩車 A 及 B 各取用 80 及 50 安電流。其架空線之一段與饋電線相並聯。匯流排電壓為 600 伏, 各部電阻及距離如圖所示, 求每車之端電壓。

3.52, 若圖 3.51A 中之 A 車在饋電線與架空線之接頭處, 其由 A 車至發電廠之軌道電阻為 0.06 歐, A 車至鐵路末端之軌道電阻亦為 0.06 歐, 重解第 3.51 題。

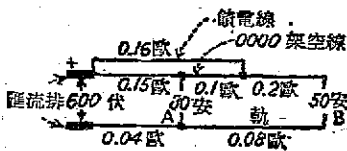


圖 3.51 A

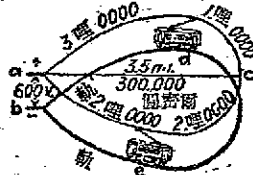


圖 3.53 A

3.53, 圖 3.53A 示一迴環電車制。用每哩電阻為 0.265 歐之 0000 號線為架空線。用每哩電阻為 0.187 歐之 300,000 閉密兩線為饋電線, 自 a 接至 c, 計長 3.5 哩。在 a 及 b 間, 架空線與軌間之電位差保持為 600 伏, 軌之電阻可以略去不計, 在距離 3 哩處有取 80 安電流之 d 車, 在迴環另一面距離 2 哩處有取 60 安之 e 車。求各車處之電壓。

3.54, 若軌之電阻為每哩 0.08 歐, 重解第 3.53 題。

3.55, 若第 3.53 題中之 e 車達 c 點, 而 d 車向 a 前進 1 哩, 略去軌之電阻不計, 重解該題。

3.56, 若軌之電阻為每哩 0.08 歐, 重解第 3.55 題。

3.57, 若 d 車取電流 70 安, e 車取 80 安, 其位置與第 3.53 題相同, 計 B

軌之電阻(每哩 0.08 歐),求各車處之電壓。

3.58, 兩配電站 A 及 B 饋電至一佈電中心 C (圖 3.58A)。 A 站匯流排電壓保持為 600 伏, B 站保持為 580 伏。 A 站用兩根 2,000 呎長之 500,000 圓密爾饋電線, B 站用兩根 1,000 呎長之 400,000 圓密爾饋電線。

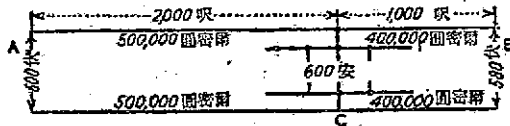


圖 3.58 A

C 處之負載為 600 安, 求: (甲) 各站所供應之電流; (乙) 各站所供應之電功率; (丙) C 處所得之功率(每圓密爾呎之電阻用 10 歐)。

3.59, 圖 3.59A 示一 240 伏佈電制。 AA' 站之電壓保持為 240 伏, 由 A 接出饋電線分至 B, C, D 。 AB 線為 1,800 呎長之 2,000,000 圓密爾饋電線,

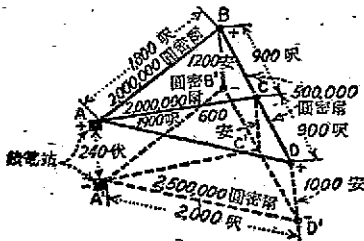


圖 3.59 A

AC 為 1,900 呎長之 2,000,000 圓密爾饋電線, AD 為 2,000 呎長之 2,500,000 圓密爾饋電線。以 900 呎長之 500,000 圓密爾近接線連接 B 及 C , 再以同樣之線連接 C 及 D 。其負邊饋電線與正邊者全同, 如虛線所示。 BB' 間有 1,200 安之負載, CC' 間有 600 安之負載, DD' 間有 1,000 安之負載。求

BB', CC' 及 DD' 處之端電壓。

等效三角形及星形網目

3.60, 圖 3.60A 示一電阻之 Y 式接法, 其電阻 AO, BO, CO 各為 12, 18 及 20 歐。求其有 ABC 三端之等效三角形網目。在每兩端間計算其電阻, 以證明此三角形網目確可代替 Y 形者。

3.61, 圖 3.61A 示一電網絡 ABC , 其數字表示各電阻之值。用等效三角形—星形制求 AB, BC 及 CA 各端間之電阻。以 10

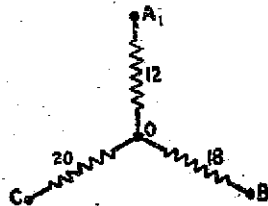


圖 3.60 A

伏電壓施於 AC 兩端間，求 de 部份內之電流。

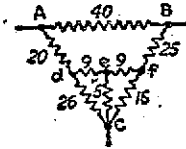


圖 3.61 A

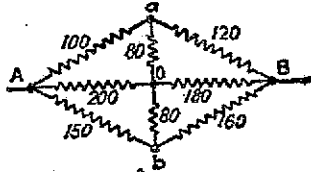


圖 3.62 A

3.62, 圖 3.62A 示一電網絡，其各電阻值如圖所示。先將 Ab, ob, Bb 組成及 Aa, oa, Ba 組成之 Y 網目化為等效三角形者。再求：(甲) AB 兩端間之等效電阻。(乙) 以 100 伏電壓施於 AB 兩端，求 AO 及 OB 之電流。

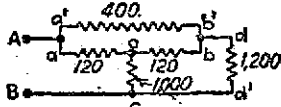


圖 3.63 A

3.63, 在圖 3.63A 中，先將 ao, bo 及 co 所組成之 Y 形網目，化成等效三角形者，求 AB 間之等效電阻。若施 20 伏之電壓於 AB ，求各電阻中之電流。

3.64, 在第三章之圖 3.20 中，若 A B 間之電壓為 10 伏，求 10 歐電阻中之電流。

3.65, 在圖 3.65A 中，以 10 伏施於 AB ，求 500 歐電阻中之電流。

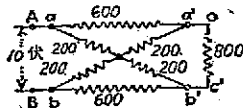


圖 3.65 A

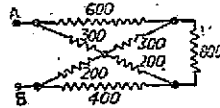


圖 3.66 A

3.66, 在圖 3.66A 中，求 AB 間之等效電阻。以 10 伏電壓施於 AB ，求 800 歐電阻中之電流。

第四章 原電池及蓄電池

4.1, 一但靈爾電池有電勢 1.08 伏，內電阻 0.25 歐。(甲) 其所能供給之最大電流為若干？若將電池改大，使其極板之面積加倍。(乙) 其新電勢為若干？(丙) 此新電池所可供給最大電流為若干？(丁) 所可供給最大功率為若干？

4.2, 兩重力電池用同樣材料，電液之濃度亦同，惟一電池之線的尺寸倍於他者，即其體積八倍於他者。此兩電池以同極相接。小電池之電勢及內阻為 1.04 伏及 0.3 歐，大電池之內阻為 0.1 歐。(甲) 問有電流若干週流於兩電池間？求：(乙) 大電池之掉路電流；(丙) 此組合所可供給於外電阻之最大電功

4.3. 某勃克蘭社電池之斷路電壓為 1.46 伏。施以 2 安負載，則端電壓立即降為 1.28 伏。少頃後降為 1.06 伏。問其實在內電阻為若干？其極化之電勢為若干？其內在的內電阻為若干？

4.4. 今用第 4.3 題之勃克蘭社電池以供電於司閘信號制，約需 0.25 安之電流，其綫路電阻為 5.4 歐。問所需最少之電池數為若干？應如何接法？用此數及 4.3 題之內阻（計及極化效應），計算綫路內之實在電流。

4.5. 假定以重力電池用於第 4.4 題之信號制。每電池之電勢為 1.08 伏，內電阻為 0.12 歐。（甲）問至少需若干電池？應如何接法？（乙）今欲自電池中取用最大之電功率，問外電阻應為若干？

4.6. 某電報制度中用四個考絨器相串聯，每考絨器需要 50 毫安，其電阻各為 120 歐，綫路電阻為 375 歐。今用第 4.5 題中之重力電池，求所需最少之電池數及其接法。

4.7. 某汽油機之發火設備需要稍高於 6 伏之電壓。（甲）問需幾只乾電池相串聯？（乙）若每電池之電勢為 1.25 伏，內電阻為 0.1 歐，問能供給若干電流，而電壓不至降至 6 伏以下？（丙）求在（乙）情形下發火線卷之電阻。

4.8. 某乾電池之斷路電壓為 1.05 伏，綫路電流為 6.0 安。（甲）求其內電阻。（乙）其電池之狀況如何？

4.9. 有六電池串聯之一組，其中五只情形良好，電勢各為 1.5 伏，內電阻各為 0.08 歐。另一只已將用罄，電勢為 0.9 伏，內電阻為 0.9 歐。（甲）若該組供給 0.10 安電流，則該電池之端電壓為若干？（乙）若將該組拆接，其供給之電流為若干？（丙）求在（乙）情形時，壞電池之端電壓及其符號。

4.10. 某手電筒用 3 枝燭光燈泡，由三只小乾電池供應之。每電池有 1.3 伏之電勢及 0.2 歐之電阻。假定每枝燭光之瓦特數為 1.2 瓦，求燈之電流及燈發出額定燭光時電池組之端電壓。

4.11. 某衛斯吞電池有電勢 1.0183 伏，用於電位計，以校準電阻 AC。在

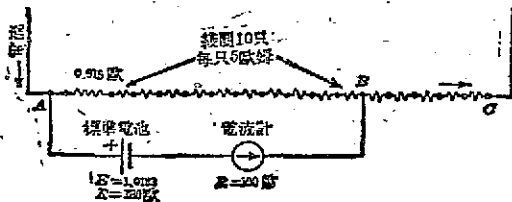


圖 4.11 A

A 及 B 間有 0.915 歐及 10 只 5 歐電阻相串聯。電池及電流計之電阻各為 180 及 100 歐。(甲)當 AB 之電流為 0.019 安時，求電流計之電流及其方向。(乙)電流為 0.0205 安時之情形。(丙)求電流計內無電流時，AC 之電流，(丁)求在(丙)情形時，每只 5 歐電阻端間之電壓。(參看圖 4.11A)

4.12, 在第 4.11 題中，(甲)若 AB 上之電流為 0.0195 安，求電流計之電流。(乙)若用有 1,000 歐電阻之伏特計以量度該題中電池之電壓，則其讀數應為若干？

4.13, 今欲將濃硫酸(比重為 1.84)一立特製成比重為 1.20 之溶液。求：(甲)所需加入之水之體積(乙)調成後溶液之總體積；(丙)溶液之總重量之仔克(用第 4-20 節之表，第 106 頁，及代數解之)。

4.14, 某缸內容 10 立特之濃硫酸(比重=1.84)，求：(甲)此硫酸之重量；(乙)用之可調成之稀硫酸(比重=1.200)之體積；(丙)所調成稀硫酸之重量。

4.15, 某蓄電池兩週充足後，其比重量得為 1.210。每電池缸內有 2.4 立特之電液。因蒸發之故，其比重高變為 1.280。(甲)欲使其比重恢復為 1.210，問需注入水若干立特？(乙)求加水前與加水後電液之重量之仔克數。

4.16, 某 640 安培小時電池組在放電後，其額示電池之電液比重為 1.165。以 8 小時率之 80 安將其充電。(甲)當比重達 1.190 時，充電停止，問其充入之安培小時為若干？(乙)欲使之充足，問尚需充入若干安培小時？

4.17, 第 4.16 題中之蓄電池組在充足時，即將其放電，直至比重變為 1.180。依理論言，則該電池尚餘有若干安培小時可用？

4.18, 某用普隆特板之蓄電池在充電後(電壓為 2.55 伏)，以 50 安率而放電，則 8 小時放罄。(甲)問若在 5 小時放罄，則可放出若干安培小時？其放電率如何？(乙)以 3 小時放罄則如何？

4.19, 若 4.18 題內所用者為塗漿式極板，試重解之。

4.20, 某 4,480 安培小時之普隆特式蓄電池，浮接於 240 伏匯流排為緊急服務之用。(甲)若已充足後，問 1 小時放罄，可放電若干安培小時？(乙)以 20 分鐘放罄，可放電若干安培小時？

4.21, 某 6 伏鉛極蓄電池，包括 3 只串聯之電池，自 120 伏電源充電，如第 4.23 圖所示。每電池之端電壓為 2.4 伏，其充電率為 15 安。(甲)問在總電功率中，百分之幾輸入於電池？(乙)求所需之串聯電阻；(丙)若每電池有內阻 0.008 歐，求電池內部損失之功率。

4.22, 若第 4.21 題中有兩組 6 伏蓄電池相串聯，複算該題。

4.23, 有 16 只電池串聯之電池組，自 115 伏電源，以 40 安率而充電。每電池之電勢為 2.3 伏，內阻為 0.007 歐。問(甲)電源所供給電能之百分之幾

入於電池？(乙)百分之幾變換為化學能？(丙)求其串聯電阻。

4.24, 若充電率為 30 安, 複算第 4.23 題。

4.25, 某 120 只串聯電池之蓄電池組之平均充電率為 80 安(8 小時率), 每電池之電壓為 2.3 伏。今欲自有恒壓之滙流排而充電, 以 0.2 歐電阻與之串聯, 使之穩定。求: (甲)滙流排之電壓。(乙)若每仟瓦小時值 3.5 分, 求用正常率充電 8 小時之電能用費。

4.26, 自 110 伏滙流排, 使 60 只電池, 110 伏電壓之蓄電池組充電, 需用一升壓機。其最大充電電流為 60 安, 在此充電率之端電壓為每電池 2.45 伏。(甲)求升壓機之電流及電壓定額。(乙)若升壓機之效率為 0.78, 電動機之效率為 0.76, 求升壓機組自滙流排所取用之功率; (丙)輸入電池之功率之百分之幾係由升壓機供應者?

4.27, 用升壓機組使 120 只串聯之鉛蓄電池組, 自 220 伏電源而充電, 充電率為 60 安, 每電池需電壓 2.5 伏。(甲)求升壓機之定額; (乙)若升壓機及電動機之效率各為 0.80 及 0.82, 求升壓機取自滙流排之功率; (丙)升壓機供應於蓄電池之功率; (丁)若每仟瓦小時值 3 分, 求以 60 安充電 8 小時之電能用費(假定蓄電池之平均端電壓在充電期內為每只 2.5 伏)。

4.28, 某 480 安培小時之普隆特板蓄電池, 有 60 只電池相串聯。在放電已罷後, 以 8 小時率使之充電。(甲)求在 5 小時末之端電壓及其取用之功率。(乙)求在 7 小時末者(查閱第 4.25 圖第 115 頁)。

4.29, 若 4.28 題之蓄電池在充足後, 以 5 小時率放電。求: (甲)在 2 小時末, 其所放出之功率; (乙)其在 5 小時末者; (丙)其在 6 小時末者。

4.30, 某普隆特板蓄電池組之 8 小時定額為 40 安。今以此率使之作 8 小時率之充電。其電壓循第 4.25 圖中之曲線而上昇。求: (甲)所輸入於蓄電池之安培小時及瓦特小時; (乙)在 4 小時末電池取入之安培小時及瓦特小時。

4.31, 第 4.30 題中之蓄電池以 8 小時率放電, 求: (甲)在 3 小時末電池放出之安培小時及瓦特小時; (乙)在 8 小時末放出之安培小時及瓦特小時。(丙)求以 3 小時率放電時, 在 3 小時末放出之安培小時及瓦特小時(其電壓下降亦循第 4.25 圖之曲線。在上兩題中, 先求平均電壓)。

4.32, 某蓄電池組有 50 只電池相串聯, 其總電阻為 0.4 歐, 自 120 伏直流電源而充電。(甲)在初充時, 每電池之電勢為 1.8 伏, 其所取電流為若干? (乙)在充電 3 小時後, 其電勢高至每電池 2.0 伏, 求其所取之電流。(丙)若電流不流入電池, 則每電池電勢為若干? 上述者為何種充電法?

4.33, 今有 120 只電池固定蓄電池, 其總容量在 4 小時率時為 497 仟瓦(甲)問其極板約重若干? (乙)其蓄電池全重若干?

4.34. 某電動運貨車(electric truck)以48只愛克沙特鐵鎳MV式13極板電池發動。求：(甲)蓄電池之仟瓦定額；(乙)其仟瓦小時定額；(丙)極板之總重量；(丁)整個蓄電池之重量；(戊)若每充電一次，車可行50哩，求每哩所需之仟瓦小時。

4.35. 某蓄電池在充足後，以25安放電10.5小時，放電期內之平均端電壓為2.02伏。然後使之充電9小時，在平均電壓2.40伏之下，每小時充電31安則充足。求其安時效率及互時效率。

4.36. 一塗漿式極板鉛蓄電池組，有60只電池相串聯，在充足後，以40安率放電8小時，即已放盡。其端電壓依8小時放電曲線而變化(第1.25圖)。於是，以42.5安率而充電8小時，即恢復原狀，其充電端電壓亦循該圖之充電曲線而變化。求此循環中之安時效率及互時效率。

4.37. 若第4.36題之蓄電池以3小時率而放電，用3小時放電曲線，重解第4.36題。

4.38. 一愛迪生蓄電池有15只串聯電池，充足後以30安率放電5小時，其平均端電壓為1.8伏。於是在平均端電壓25.5伏之下，以50.5安率充電6小時，即恢復原狀。求此循環中之安時效率及互時效率。

4.39. 某60只電池之愛迪生蓄電池組，在以45安率充電5小時後，即以50安率，放電5小時。其端電壓之變化，循第4.59圖之曲線(第120頁)而變化。(甲)固有若干瓦特小時輸入於蓄電池？(乙)若每仟瓦小時值3.5分，問充電之成本為若干？(丙)蓄電池輸出若干瓦特小時？(丁)此循環中之安時效率及互時效率為若干？

4.40. 用硫酸銅鍍浴以鍍鋅，用12安之電流，問每小時所鍍鋅之重量為若干？

4.41. 重解第4.40題，不過所鍍者為銅，用硫酸銅鍍浴為電解液。

4.42. 由電化當量表求：(甲)每安培小時自硫酸銅所鍍之銅之克數。(乙)在電解的提煉法中，以200安流過8小時，可提煉銅若干斤克？(丙)若鍍浴之電壓為12伏，則消費若干瓦特小時？

第五章 電工儀器及電之量度

5.1. 某電流計之電阻為640歐，求三個分流器之電阻值，使繞路總電流之(甲)十分之一(乙)百分之一(丙)千分之一流過電流計。

5.2. 某電流計之電阻為1,200歐，重解第5.1題。若電流計之電流為 1.2×10^{-9} 安，用歐姆定律，求在用每只分流器時之繞路總電流之值。用此值與電流計電流及分流比率，複核各分流器之電阻值。

5.3, 某愛亦頓分流器自 A 至 B 之電阻為 $10,000$ 歐(圖 5.3A), 接於有 $1,200$ 歐電阻之電流計。(甲)若分流器校配於 0.001 點 C 上(電阻 $AC = 10$ 歐), 而線路電流為 1.6×10^{-6} 安, 求電流計之電流。(乙)若分流器校配於 0.01 點 D 上(電阻 $AD = 100$ 歐), 重解(甲)。(丙)以(甲), (乙)所得之結果, 與用第 5.3 式(第 136 頁)所求得者比較之。

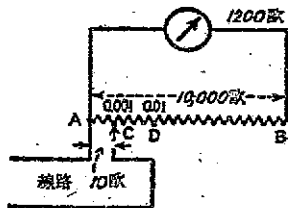


圖 5.3 A

5.4, 在第 5.3 題中, 若 2.4×10^{-7} 安之電流經電流計, 即使之有滿標度之偏轉。(甲)求分流器校配於 $0.001, 0.01$ 及 0.1 處時, 使電流計得滿標度偏轉之線路電流。(乙)因用分流器, 致使電流計之最大靈敏度減低之比率為若干?

5.5, 某愛亦頓分流器之總電阻為 $30,000$ 歐, (甲)欲使電流計之最大靈敏度不致減低百分之十以上, 則所接之電流計之最大電阻應為若干? (乙)若電流計之電阻為 $3,000$ 歐, 而有 1.4×10^{-10} 安電流通過時, 則使之有 1 厘米之偏轉, 求此時之線路電流, 其分流器校配於 0.0001 處。(丙)以分流器接於線路內, 求能得 1 厘米偏轉度之最小之線路電流。

5.6, 某 0 至 45 標度之毫伏計之電阻為 10 歐。(甲)以一分流器與之相接, 使之在 75 安時得滿標度之偏轉, 求分流器之電阻。(乙)若為 150 安之分流器, 則其電阻若何? (丙)計算在(甲)及(乙)情形時, 毫伏計電流與分流器電流之比。

5.7, 某 50 格標度毫伏計之電阻為 5.2 歐。(甲)今欲接一分流器, 使之在 100 安時得滿標度之偏轉, 求分流器之電阻。(乙)再求 150 安及 600 安分流器之電阻。(丙)求在上述每一情形時分流器之功率損失。

5.8, 某衛斯吞式儀器之電阻為 3.0 歐, 其分流器之電阻為 0.00090 歐。今以之量度 30 安電流, 求:(甲)儀器之電流;(乙)分流器之電流。(丙)當通過分流器之電流為 75 安, 則儀器有滿標度之偏轉, 求該儀器之定額之毫伏數。

5.9, 今欲用一電阻為 0.01 歐有內接分流器之 5 標度安培計, 量度不致超過 60 安之電流, 則該安培計應接一外接分流器之電阻為若干?

5.10, 某備有分流器之 25 標度安培計之電阻為 0.00020 歐。今欲擴展其量限, 則以一有 0.00010 歐電阻之分流器, 與全部儀器相並聯。若該儀器讀數為(甲) 18 安, (乙) 4 安, 則外部電流為若干?

5.11, 某 50 標度安培計之分流器電阻為 0.0012 歐。用一有電阻 0.00024 歐之錫銅條, 銲接於此分流器之端鈕間。求在此情形時安培計量度之範圍。

5.12, 某 50 格標度之安培計, 由一 50 格標度之毫伏計及外接分流器構

成。以 0.020 安電流通過此毫伏計，得滿標度之偏轉。今量度某未知電流，其毫伏計之指針越出標度以外數格，但並無再大之標度可用。若以 1.5 歐之電阻與聯接毫伏計至分流器之引線相串聯，則毫伏計在 50 毫伏標度上指示 85.0 ，求未知電流之準確之值。

5.13, 某直流伏特計移置線卷之電阻為 62.1 歐，以 0.54 伏施於此線卷，則得滿標度之偏轉。(甲)若從此儀器有 5 伏之量限，則與電阻串聯之電阻應為若干？(乙)有 150 伏之量限則為若干？(丙)求此儀器每伏之歐數。

5.14, 某 5 伏標度伏特計之電阻為 540 歐。求(甲) 150 伏量限及(乙) 300 伏量限時所需串聯之電阻。

5.15, 用惠司登電橋量度 $0-15-150$ 標度衛斯忒式伏特計之電阻(見圖

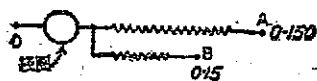


圖 5.15 A

5.15 A)。O 至 A 電阻為 $16,000$ 歐，O 至 B 電阻為 $1,600$ 歐，A 至 B 電阻為 $17,500$ 歐。求：(甲)線卷組合之電阻；(乙)試證明用上列各電阻係如圖 5.15 A 之接

法，而計如第 5.15 圖(甲)(第 145 頁)之接法。

5.16, 用圖 5.15 A 之伏特計量度某未知電壓，其偏轉直微大於 148 伏。若以 B 端接於 O 端，則得偏轉度 145 伏，求此未知之電壓。

5.17, 今欲量度 $1,200$ 伏電車制架空線與軌距之電壓，僅有一電阻為 $34,200$ 歐之 300 標度伏特計可用。(甲)求串聯電阻，俾倍率為五。(乙)此電阻應接於架空線與儀器間，抑在儀器與軌距？何故？

5.18, 某 150 標度伏特計之電阻為 $17,600$ 歐，以之量一未知電壓，則越出標度少許，若以 $2,600$ 歐電阻與之串聯，則伏特計指示 145 伏，求未知電壓之值。

5.19, 某電阻為 $40,000$ 歐之 300 標度伏特計，與其五比一之倍加器相串聯。以之量度某高壓發電機之電壓，仍患量限不足應付，乃以 $60,000$ 歐電阻與伏特計相並聯，得 25 伏讀數。求此發電機之電壓。

5.20, 以電阻 R 跨接於 250 伏電壓。用一電阻為 $15,000$ 歐之 150 標度伏特計，接於電阻中點與線路之一邊間，則伏特計指示 115.5 伏，求電阻 R 之值(參看圖 5.20 A)。

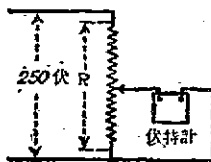


圖 5.20 A

5.21, 一電阻 ab 跨接於 300 伏直流電源，今欲量 bc 兩點間之電壓(參看

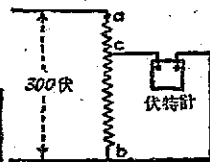


圖 5.21 A

圖 5.21A), 以一電阻為 32,000 歐之 300 標度伏特計, 先接於 ab 間, 後讀數 300 伏, 再以之接於 bc 間, 得 197.5 伏之讀數。若 ac 之電阻為 6,000 歐, bc 為 18,000 歐, 求量度之差誤之伏數及百分數。

5.22, 某有 18,000 歐電阻之 150 標度伏特計, 與一有 32,000 歐之 300 標度伏特計, 串聯跨接於 410 伏之電位差, 問各伏特計指示若干?

5.23, 今欲量度一低電阻, 其所能載最大電流而不致過熱者為 25 安。但僅有 110 伏直流電源, 則需串接一電阻, 以調準電流至 25 安。跨接於此電阻之伏特計指示 8.4 伏。(甲) 求此低電阻; (乙) 串聯電阻; (丙) 電流調準至 20 安時, 串聯電阻之電壓。

5.24, 用一安培計量度某串並聯組合之電流 (見圖 5.24A)。 R_1 固定於 25 歐, R_2 為可調準的, 其電源電壓為 120 伏。將 R_2 斷路, 跨接於 R 之伏特計指示 54 伏。(甲) 欲使伏特計指示 60 伏, 則 R_2 應調準至何值? (乙) 在此情形時, 安培計指示若干?

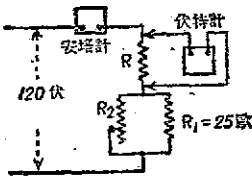


圖 5.24A

5.25, 在 20°C 時用第 5.19 圖 (第 149 頁) 之接法, 量度某銅滙流排樣品之電阻。當安培計指示 150 安, 毫伏計指示 4.38 毫伏。此滙流排之截面為 0.5 乘 2 吋, 而伏特計兩觸點間之距離為 3 呎 6 吋。(甲) 求此樣品之電阻; (乙) 其每厘米立方體之電阻; (丙) 與商用標準之電阻係數較之 (電阻標準為每厘米立方體 1.756 微歐, 在 20°C)。

5.26, 欲量 100 磅軌之電阻, 以之與 0.0001 歐電阻相串聯。(見圖

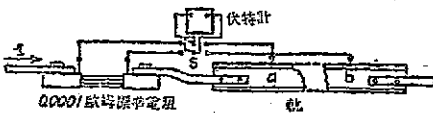


圖 5.26A

5.26A), 觸點 a 與 b 相距 11.6 呎。以毫伏計跨接於標準電阻, 指示 42.5 毫伏; 再以之轉接於 ab 間, 則指示 52.4 毫伏。求軌每呎

之電阻。

5.27, 某有 34,000 歐電阻之 300 標度伏特計, 跨接於直流電源, 指示 250 伏。以之串聯於未知電阻, 跨接於同一電源, 則指示 26 伏, 求此電阻。

5.28, 某 150 標度伏特計之電阻為 100,000 歐, 以之接於直流電源, 指示 124 伏。今以發電機之錶表接於電源之

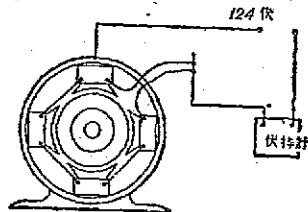


圖 5.28A

一端，其場卷之銅經此伏特計而接於電源之他端，則伏特計指示 4.5 伏。(甲)求發電機場卷與鐵殼間之絕緣電阻，以兆歐計(參看圖 5.28A)。(乙)若以同樣接法將換向器與伏特計相串聯，則伏特計指示 6.4 伏。問電樞與鐵殼間之絕緣電阻為若干兆歐?

5.29. 今欲將其高壓絕緣作精確之量度，以第 5.28 題中之特製伏特計與此絕緣物及約為 600 伏之電源相串聯，伏特計指示 4.6 伏。再以 600 伏額度伏特計跨接於電源，則指示 582 伏。求此絕緣電阻之值。

5.30. 在惠司登電橋之量度中(參看第 5.23 圖第 153 頁)，未知電阻接於 X 處，即 M 臂之一端與 P 臂間。當達平衡時 $M = 1,000$ 歐， $N = 10$ 歐， $P = 1.462$ 歐，問未知電阻之值為若干?

5.31. 今欲量某電阻，但已知其值在 4 與 5 歐之間。(甲)苟欲將此未知電阻量得四位數字，則 M 臂與 N 臂之比應如何?(乙)若所量電阻在 32 與 40 歐間；在 640 與 700 歐間；在 10,000 與 11,000 歐間，宜解(甲)項(參看第 5.23 圖)。

5.32. 某惠司登電橋與第 5.23 圖及第 5.25 圖相似，用以量度未知電阻 X。 $M = 100$ 歐， $N = 1,000$ 歐，而 $P = 34$ 歐時大致可達平衡。當 $P = 33$ 歐時，電流計確定的向右偏轉。若 $P = 34$ 歐，則電流計向右偏轉較少。(甲)問未知電阻之近似值為若干?(乙)所用之 M 與 N 比率是否為最佳者? 何故?(丙)若欲將量得四位數字，則 M 與 N 之比應如何?

5.33. 圖 5.33A 示一已平衡之惠司登電橋。(甲)求 oc 間之電阻。(乙)

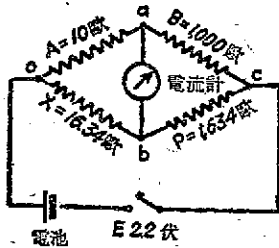


圖 5.33 A

若電池組電勢為 2.2 伏，不計其電阻，求 A, B, P, 及 X 臂之電流。

5.34. 若圖 5.33A 中之惠司登電橋失却平衡， $P = 2,000$ 歐。求 oc 之電阻；及 A, B, X, P 臂與電流計之電流。

5.35. 將圖 5.33A 中之電池組與電流計相對調，而電橋失其平衡， $P = 2,500$ 歐。求：(甲) a 與 b 間之電阻；(乙) A, B, X, P 臂及電流計之電流。

5.36. 用滑觸線電橋量度未知電阻 X (見第 5.26 圖第 159 頁)。(甲) $R = 100$ 歐時，滑觸線讀數為 28.4 厘米，則得平衡，求 X 之值。(乙)若 R 用 10 歐，則滑觸線讀數應為若干，俾得平衡?

5.37. 用 100 厘米滑觸線電橋以量度未知電阻。若以已知電阻 100 歐接於 X 處，則滑觸線之讀數 18.5 厘米，即得平衡(參看第 5.26 圖)。(甲)問未知

電阻為若干？(乙)若以 200 歐電阻插接於 X，則滑觸線讀數應為若干，方可平衡？

5.38, 用與第 5.28 圖(第 161 頁)相似之懷爾文電橋量度美規 000 號銅線樣品。 p, p' 兩觸點之距離為 28 吋。當 $A = a = 100$ 歐； $B = b = 1,600$ 歐，而 $R = 0.001452$ 歐時，則得平衡。求：(甲)銅樣品之電阻；(乙)每厘米立方體之電阻。銅線之直徑為 0.110 吋。

5.39, 用懷爾文電橋量度某 0 號絞纜之電阻(參看第 5.28 圖)。觸點 p 與 p' 間之距離為 25.2 吋。當 $R = 0.003423$ 歐， $A = a = 300$ 歐， $B = b = 10,000$ 歐時，則得平衡。求：(甲)銅線樣品每厘米立方體之電阻；(乙)其每圈密兩呎之電阻。此纜用 19 根直徑為 0.0745 吋之線絞成。

5.40, 某單線電纜總長 1,400 呎，已知其絕緣有障礙。將電纜沒於水槽內，以繼電迴線法尋檢其障礙。用 100 厘米之滑觸線電橋，當滑觸線讀數為 82.4 厘米時，則得平衡(見第 5.29 圖第 164 頁)。求障礙處至兩端之距離，並繪一接線區顯示尋檢方法。

5.41, 某單對鉛包電纜之導線 B 通地，今將此對線在遠端接成迴路，藉滑觸線電橋用繼電迴線法尋檢其障礙處。當 $l = 34.6$ 厘米，則得平衡(參看圖 5.41A)。電纜全長為 3,600 呎，內包括一對美規 10 號銅線。問自通地處至近端之距離為若干？

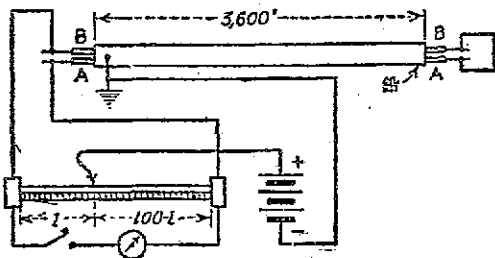


圖 5.41 A

5.42, 某已裝置之雙根美規 000 號銅線之電纜，有 2,600 呎長。今因燒毀，以致兩線相捷接，並在同一地點通地。今以另一平行電纜之單根美規 00 號線在遠端與原電纜接成迴路，以尋檢障礙點(參看圖 5.42A)。好線接於滑觸線之 0 端，壞線接於 100 厘米之末端。在 79.5 厘米處，則得平衡。問障礙處至近端之距離為若干？美規 00 號線每 1,000 呎之電阻為 0.0795 歐，000 號線每 1,000 呎之電阻為 0.0230 歐。

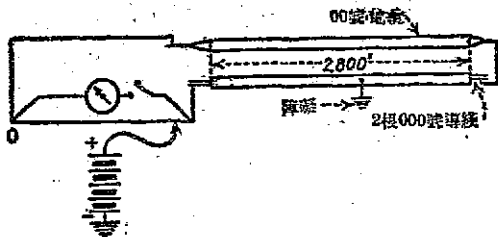


圖 5.42 A

5.43, 一2,400 呎長雙根美規 14 號線鉛包地下電纜, 在其一線上發生障礙。以其遠端接成迴路, 以伏萊迴線法檢驗之, 如第 5.30 圖(第 165 頁)所示。將開關 S 關合在 b 處, 以量度電纜之迴路電阻, 當 $M=10$, $N=1,000$, $P=1,248$ 歐時, 則得平衡。將 S 投至 a 處則當 $M=10$, $N=1,000$, $P=302$ 歐時, 亦得平衡。求:(甲)自近端至障礙處之電阻;(乙)至障礙處之距離。

5.44, 某串聯弧燈制地下電纜之迴路全長為 10,500 呎, 在某點通地。用伏萊迴線法尋檢之, 如圖 5.44A 所示。電纜內為實心美規 6 號銅線一根。當開關 S 在 b 點, $A=10$, $B=1,000$, $P=423$ 歐時則平衡。將 S 投至 a 處, P 調準至 130 歐, 而 A, B 兩臂不變, 亦得平衡。求由 b 點至障礙處之距離。

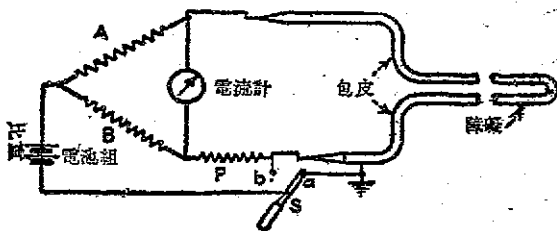


圖 5.44 A

5.45, 某電纜包括 12 號線兩根, 今知其中一根通地, 乃用伏萊迴線法尋檢之。將兩線之遠端接成迴路, 以 P 臂與 a 線相串聯, M, N 兩臂皆校配於 100 歐, 無論將 P 調節至何值(由零至無窮), 電流計皆有偏轉, 決不能達平衡。乃將 P 移接於 b 線, 當 $P=5.6$ 歐時則平衡。每根線之長度為 6,000 呎, 其電阻為每千呎 1.62 歐。問障礙在何線上? 其距離電纜之近端若干呎?

5.46, 用如第 5.31 圖(第 167 頁)之接法, 量度某單線電纜之絕緣電阻。將電纜接接, 而愛亦頓分流器校配於 0.0001, 電流計之偏轉為 24.2 厘米。并

去捷接，接入電纜，則在電纜被充電一分鐘後，電流計得 19.8 厘米之偏轉，其分流器則校配於 1.0 上。電纜之長為 1,800 呎，求：(甲)電纜之絕緣電阻；(乙)每千呎電纜之兆歐電阻；(丙)每哩之兆歐。

5.47, 在第 5.46 題中，愛亦頓分流器之電阻為 12,000 歐，電流計之電阻為 1,000 歐。電池組之電壓為 320 伏，其內電阻可不計。求：(甲)電纜被捷接時電流計及電池組之電流；(乙)以 0.1 兆歐及電纜接入時電流計及電池組之電流；(丙)由(甲)，(乙)之結果及第 5.24 式，覆核該題所求得之電纜電阻。

5.48, 用如第 5.31 圖之接法，量度 8,000 呎長，單根 6 號線實心地下電纜之絕緣電阻。導線之直徑為 0.162 吋，橡膠絕緣之厚度為 $\frac{1}{8}$ 吋。將電纜捷接，愛亦頓分流器校配於 0.0001，電流計之偏轉度為 8.2 厘米。將電纜接入，分流器校配於 0.1 則經一分鐘之電化後，電流計之偏轉度為 22.6 厘米。求：(甲)此纜之絕緣電阻；(乙)其每千呎之兆歐絕緣電阻；(丙)橡膠之電阻係數，每吋立方體之兆歐，及每厘米立方體之兆歐數。

5.49, 今欲量某電纜之絕緣電阻，用如圖 5.49 A 之接法，其電流計，0.1 兆歐電阻，電纜之絕緣及電池組均相串聯。電池組之電勢為 300 伏，電阻可以不計，電流計之電阻為 560 歐。將電纜捷接，電流計之分流器在捷接位置，閉合開關。將分流器電阻逐漸加至 12 歐，電流計之偏轉度為 24 厘米。移去電纜之捷接，電流計偏轉變為甚小。乃將分流器之電阻加至無限大，在一分鐘電化後，其偏轉度為 0.8 厘米。求：(甲)電纜捷接時電流計之電流，此時之線路電流；(乙)電纜接入後之電流計電流；(丙)電纜之絕緣電阻。

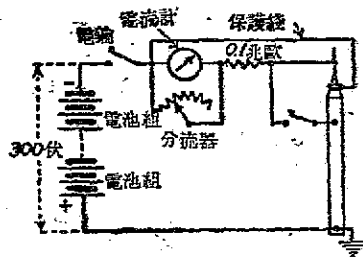


圖 5.49 A
圖中電纜應作開關

5.50, 圖 5.50A 顯示一 100 厘米滑觸線 ab ，及可調節之電阻 R ，串聯接於蓄電池 B ，其電勢為 2.10 伏，內電阻為 0.04 歐。另有一乾電池 A ，其電勢為 1.25 伏，其負端與 ab 線之 a 端，及蓄電池 B 之負端相接，其正端經一電流計 G 接至滑觸點 c 。若 ab 之電阻為 2.5 歐， R 調準至 0.96 歐時，求 c 之位置，即 ac 之距離，使電流計無偏轉度。

5.51, 一電阻 bd ，等於 25 歐，分為十等份，與滑觸線 ab 相串聯（見圖 5.51A），其他部份與上題所述相同。今欲將此組合，用作電位計，使電阻 ab 相當於 0.1 伏，其 bd 之每等份為 0 至 1, 1 至 2 等，(甲)問此電路之電流應調準至何值？(乙) R 應調準至何值？

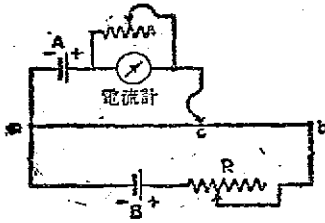


圖 5.50 A

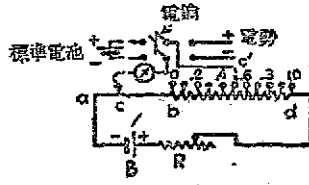


圖 5.51 A

圖中電刷應作開關

今有一標準電池，其電勢為 1.0184 伏，經開關電流計而接至 cc' 兩端點。
 (丙)求 c 及 c' 之位置，使電流計之偏轉為零。 c 之位置即 cb 之距離。
 (丁)將開關 Sw 聯合至右方，以未知電勢接於 cc' 兩點，當 c' 在 0.5 處， cb 距離為 64 厘米時，則得不平衡，求未知電勢之值。

5.52. 今用標準電池以量度某蓄電池組之端電壓。且例臂 A, B 及變阻

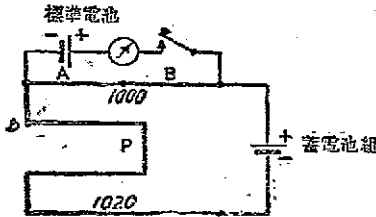


圖 5.52 A

圖中 1020 之 0 字右面應有 -a 字

置，以量度另一電池之電勢。因其不能供給過大電流，乃將負極接於 a 點，正端經電流計及開關接至 b 點。當將 P 臂調整至 842 歐，則電流計無偏轉，求此電池之電勢。

5.54. 圖 5.51A 示一高電阻電位計之一部，依湯姆生一伏萊滑鋼線

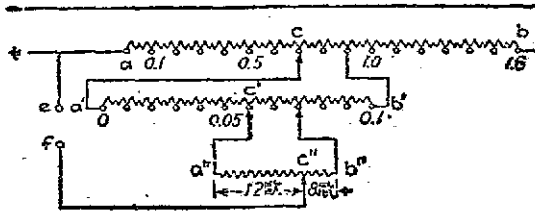


圖 5.54 A

原理而裝置者。 ab 間有 16 只 50 歐電阻，每只相當於 0.1 伏。 $a'b'$ 包括 11 只

10 歐電阻; $a''b''$ 爲 20 歐分成 10 份。(1) 求其工作電流。(2) 如圖所示之位置, 求 a 至 c 之電壓降;(3) 求 $a'b'$ 之電流;(4) 由 a' 至 c' 之電壓降;(5) $a''b''$ 之電流;(6) a'' 至 c'' 之電壓降;(7) 由 a 至 c 之總電壓降, 即 e' 間之電勢。

5.55, 在 米爾生-伏特 電位計中, 其線路圖如第 5.37 圖(第 174 頁)所示, 其電流已調準至 1 毫安之值, 使得正確之電壓, 求:(甲) BC 之電流;(乙) 電阻 $B'C'$ 之電流;(丙) $B''C''$ 之電流。其供給電流之蓄電池有電勢 2.08 伏, 其內阻及聯接線之電阻與電位計相較, 可以不計。(丁) 求電阻 R 之值, 俾使電流得調準至正確之值。

5.56, 在 米爾生 電位計中, 其線路圖如第 5.38 圖(第 176 頁)所示, 其工作電流爲 0.0001 安。此電流由兩只電勢爲 1.2 伏之乾電池串聯供給之。(甲) 求連接於乾電池與電池端 Ba 間之電阻 R 。(乙) 其軌盤位置如圖所示, 求軌盤 b 上兩移動接觸點間之電勢。

5.57, 今欲校準一 15 標度之伏特計, 將該儀器作如圖 5.57A 之接法,

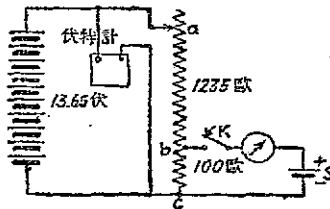


圖 5.57 A

以電阻 abc 與電池組及伏特計相並聯。在 b 點與電池組之負端間, 接一有 1.0186 伏電勢之標準電池, 與一電鍵 K , 及電流計相串聯。 bc 之電阻誤準爲 100 歐。若 ab 之電阻誤準爲 1,235 歐時, 將 K 按下, 電流計無偏轉度。此時伏特計之讀數爲 13.65 伏。因伏特計在此讀數時, 其標度應予以若何之

改正?

5.58, 若第 5.57 題中電池組之電勢, 可以變動, 求電阻所應誤準之值, 俾伏特計之正確讀數爲 15 伏。

5.59, 今欲在其 120 伏點, 校準一伏特計, 但無電位計可用。乃以伏特計與一電橋箱相並聯, 而調準電源電壓使伏特計得 120 伏之讀數。用一標準電池, 確知其電勢爲 1.0183 伏。經一電流計及電鍵, 既接於比例臂 A 及 B 間。以 100 歐電阻插入於 A B , 而 P 臂上用 11,940 歐。電按下電鍵時, 電流計無偏轉度。問在此點上, 伏特計之讀數如何校正?

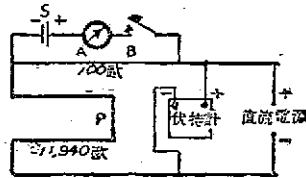


圖 5.59 A

5.60, 供給至某 25 瓦鎢絲燈之電功率, 以一安培計及一伏特計量度之。

以有 14,160 歐電阻之伏特計，跨接於燈之兩端。當安培計讀數為 0.206 安時，伏特計之讀數為 119 伏。問燈所取用之實在功率為若干？若略去儀器之功率不計，則其差誤之百分數為若干？

5.61, 若第 5.60 題中安培計之電阻為 0.6 歐，其伏特計則直接跨接於線路。倘線路電壓不變，求：(甲)伏特計之讀數；(乙)此時燈所實在取用之功率；(丙)安培計與伏特計讀數之乘積；(丁)用(丙)之結果所引入之差誤。

5.62, 欲量度一低電阻變阻器之功率，用有 0.0006 歐之安培計，及有 300 歐電阻之伏特計。當安培計之讀數為 80 安，其跨接於電阻之伏特計讀得 2.48 伏。求：(甲)電阻之正確值；(乙)功率之正確值；(丙)伏特計電流所引入之差誤百分數；(丁)將伏特計接至安培計外邊所引起之差誤百分數。

5.63, 在一直流 25 安瓦時計之試驗中，正確之平均伏特計讀數為 220 伏，正確之安培計讀數為 24.5 安。在 39.5 秒之時期內，共數得 40 轉。(甲)若儀器常數為 1.5，問在此負載時，其準確度之百分數為若干？(乙)應如何調準，俾使其近於正確之紀錄？

在已將其準確度調至 0.5% 以內後，將負載減低至 1.5 安，但電壓仍為 200 伏，則儀器在 59.7 秒內旋 4 轉(丙)問在此點儀器之準確度為若干？(丁)此時應再予如何調準，俾更準確？

5.64, 有一 10 安, 120 伏瓦時計，今欲在其額定負載及輕載時，測試其準確度。在近於額定負載時，其改正之平均伏特計讀數為 118.4 伏，而改正之平均安培計讀數為 9.85 安。其旋 30 轉所需之時間為 47.6 秒，其儀器常數為 0.5。(甲)求在此負載時其準確度之百分數，並述其調準之方法。(乙)減輕其負載，則改正之伏特計讀數為 116.8 伏，其改正之安培計讀數為 9.82 安，在 57.7 秒內旋 3 轉。求此時之準確度百分數。由上述兩情形之準確數，試論輕載線卷所應有之調準方法。

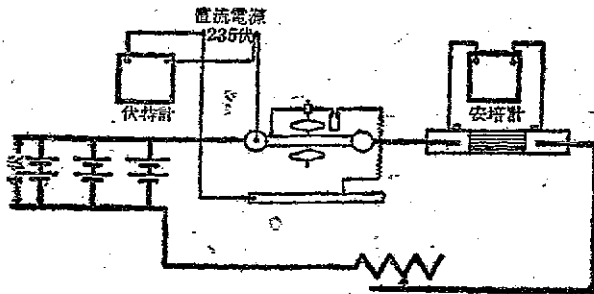


圖 5.65A

5.65, 今欲試驗一 2,000 安, 220 伏無定向瓦時計, 其電流線卷由一 4 伏蓄電池組供給電流, 其有 2,200 歐電阻之電樞電路, 則跨接於 235 伏電源, 其改正之伏特計讀數為 235 伏, 改正之安培計讀數為 2,060 安。此儀器在 45.7 秒內旋 40 轉, 儀器常數為 150。(甲) 求在此負載時儀器之準確度百分數。(乙) 作此試驗時, 需用電功率若干?(丙) 若在 235 伏之電壓供給儀器電流, 則需用電功率若干? (參看圖 5.65A)

第六章 磁與磁鐵

6.1, 一長條形磁鐵 abc (見圖 6.1A) 之 a 端為北極, c 端為南極。在其 midpoint b , 橫斷切開, 將 bc 段, 置於與原位相垂直之位置, 如圖中虛線所示之 $b'e'$ (b' 即 b , e' 即 c)。試繪出此兩磁鐵之綜合磁場, 註明其南極及北極, 以及磁場內力線之方向。

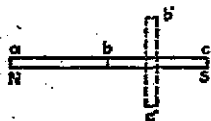


圖 6.1A

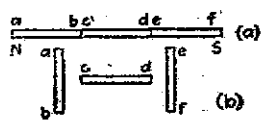


圖 6.2A

6.2, 一長條形磁鐵 af (見圖 6.2A) 之 a 端為北極, f 端為南極。今將其切成三等份, ab, cd, ef , 將此三段作如圖所示之佈置。試繪出此組合之綜合磁場, 註明其南極, 北極及磁力線之方向。

6.3, 有二磁北極, 其一之強度為 $m = 1,200$ 單位, 另一強度為 $m' = 1,500$ 單位, 在空氣中相距 15 厘米。(甲) 求此兩極間之力之達因數;(乙) 將此力以克表之;(丙) 畫出力之方向。

6.4, 某北極 m 之強度為 800 單位, 另一南極 m' 為 1,000 單位, 在空氣中相隔 5 厘米安置。求:(甲) 此兩磁極間互施之力之達因數;(乙) 其北極施於在此兩極間中途之一單位磁極之力;(丙) 南極所施於在此兩極間中途之一單位磁極之力;(丁) 所施於(乙),(丙)中之單位磁極之總力及其方向;(戊) 在兩極中途之磁場強度。

6.5, 一北極有 800 單位磁極強度, 兩南極各有 400 單位磁極強度, 佈置如圖 6.5A。其北極在一等腰直角三角形之頂點, 其兩南極在三角形之 45° 角之頂點, 距離北極各為 16 厘米。求各磁極所受之力之大小及方向。

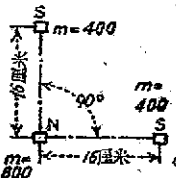


圖 6.5A

6.6, 一條形磁鐵長 20 厘米, 其兩端磁極強度各為 600 單位 (見圖 6.6 A), 求: (甲) 北極所施於 P 點處一單位北極之力之大小及方向。 aPb 為 90° , P 與南北二極之距離相等; (乙) 南極所施於 P 點處單位磁極之力之大小及方向; (丙) P 點處單位磁極所受之總力之大小及方向; (丁) P 點處之磁場強度及方向。

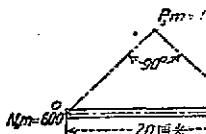


圖 6.6 A

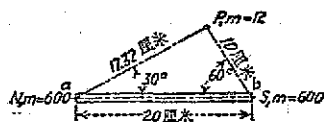


圖 6.7 A

6.7, 在圖 6.7 A 中, 有一條形磁鐵與第 6.6 題中者相同。 P 點距北極 17.32 厘米, 距南極 10 厘米, aPb 為 90° 。在 P 處有一強度為 12 單位之磁北極。求: (甲) 北極所施於 P 處磁北極之力之大小及方向; (乙) 南極所施於此磁北極之力之大小及方向; (丙) 此磁北極所受總力之大小及方向; (丁) P 處之磁場強度。

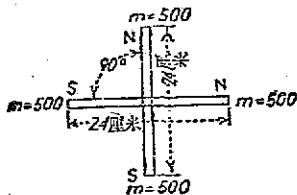


圖 6.8 A

6.8, 兩相同條形磁鐵, 各長 24 厘米, 在其中心處相穿合 (見圖 6.8 A), 其一條為固定的, 若每極之強度為 500 單位, 求此條對於其他一條之旋轉力矩, 以厘米達因計。

6.9, 有一強度為 400 單位之北極, 置於 P 處, 距某條形磁鐵之兩末端 a, b 各為 14.14 厘米, 磁鐵本身長 20 厘米, aPb 角為直角。 P 處磁北極所受之總力為 2.262 達因, 其力 F 與磁鐵相平行。求此磁鐵兩極之強度, 並註出何端為南極, 何端為北極 (見圖 6.9 A)。

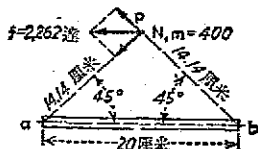


圖 6.9 A

6.10, 有一均勻磁場產生於一磁鐵之兩平行極面間, 距離為 20 厘米, 其磁場強度為 400 奧斯特。以一 12 厘米長之條形磁鐵置於磁場內, 與磁力線相平行。其北極對磁面之北極, 南極則對南極。求: (甲) 所施於條形磁鐵北極之力之大小及方向; (乙) 所施於條形磁鐵之南極者; (丙) 所施於條形磁鐵之總力; (丁) 繪出綜合磁場; (戊) 對於條形磁鐵之磁性有何變化?

6.11, 若將第 6.10 題中之條形磁鐵, 插於均勻磁場中, 與磁力線相垂直

(見圖 6.11A)。求：(甲) 施於條形磁鐵各極之力之大小及方向；(乙) 施於條形磁鐵之旋轉力矩，以厘米達因計。

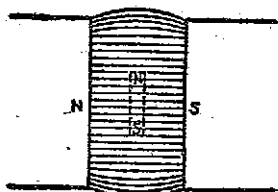


圖 6.11 A

6.12, 一長度為 16 厘米之條形磁鐵，置於一均勻磁場中，與磁力線相垂直。今知此磁鐵之南極及北極各有 100 單位強度，而其所受之旋轉力矩為 384,000 厘米達因。(甲) 求磁場之強度；(乙) 繪出綜合磁場之大概情形。

(丙) 若條形磁鐵與磁力線成 45° 之角，求其旋轉力矩。

6.13, 一長度為 20 厘米，磁極強度為 200 單位之條形磁鐵，置於一均勻磁場內，與磁力線成 45° 之角。其所受之旋轉力矩為 1,600 厘米達因，求此磁場之強度。

6.14, 某磁北極之強度為 250 單位，求：(甲) 在空氣中脫離北極之力線總數；(乙) 對於在距此磁極 8 厘米處一單位磁極所施之力；(丙) 在距此極 2 厘米處之力線之密度；(丁) 距此極 8 厘米處之力線密度。

6.15, 某磁北極之強度為 $m = 400$ 單位，南極之強度為 $m' = 600$ 單位，兩者在空氣中相距 18 厘米。(甲) 問有若干磁力線脫離或進入各磁極？(乙) 求在距北極 8 厘米處，北極之力線密度；(丙) 求在距南極 10 厘米處，南極之力線密度。(丁) 若以一單位磁北極，置於兩極之公共軸上而距北極 8 厘米，則其所受之力為若干達因？

6.16, 若以磁北極代替第 6.15 題中之磁南極，重解該題。

6.17, 在第 6.15 題中，求：(甲) 在距北極 10 厘米處，自北極到達之力線密度；(乙) 在距南極 8 厘米處，南極之力線密度；(丙) 在兩極之公共軸上而距北極 10 厘米處之磁場強度。

6.18, 以一磁北極代替第 6.15 題之南極，重解第 6.17 題。

6.19, 一長圓柱形磁化鋼棒之直徑為 2 厘米。在棒之中心處之截面上，其磁通密度為每平方厘米 2,500 馬。求：(甲) 在棒之每端之磁極強度；(乙) 脫離及進入每端之磁通之馬數。

6.20, 一長圓柱形磁棒之末端各極強度為 6,000 單位，其截面積為 1.6 平方厘米。求：(甲) 脫離或進入各極之磁力線數；(乙) 穿過磁棒中心區之磁力線總數；(丙) 穿過中心區截面上之磁通密度。

6.21, 如將第 6.20 題中之磁棒，在其中心區鋸開，求：(甲) 在破裂面上每平方厘米所產生之單位磁極數；(乙) 在此短空氣隙內之磁場強度；(丙) 其一面面對於在他極面上之一單位磁極所施之力；(丁) 兩磁極相互之引力，以

達因計及以仟克計。

6.22, 將某磁鐵鋸開後, 其在中心處兩極間相互之引力為 2,040 克。若磁鐵之直徑為 4 厘米, 求: (甲) 在裂開之極面上每平方厘米之磁力線數; (乙) 此磁鐵末端之磁極強度。

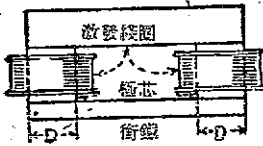


圖 6.23 A

6.23, 今欲製一磁鐵如圖 6.23A 所示之形狀, 能吸 1,000 磅之銜鐵負載。若極芯之截面為圓形, 極面為平的, 且在其整個面積上與銜鐵相接觸。在接觸之面積上之磁通密度為每方吋 20,000 線, 求極芯之直徑。

6.24, 某蹄形磁鐵之截面積為 1×4 厘米, 如圖 6.24A 所示。其每一極面與軟鐵銜鐵相接觸, 今有 10,000 磁力線自每極至銜鐵, 求在銜鐵中心處, 所應施於銜鐵之力之克數, 俾將銜鐵拔離磁鐵。

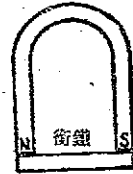


圖 6.24 A

6.25, 一小軟鐵條 ab 如圖 6.25A 所示, 長度為 4 厘米, 其一端與長條形磁鐵之北極相距 5 厘米, 且兩磁鐵在一

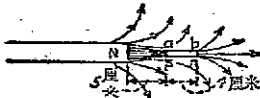


圖 6.25 A

直線上。其大磁鐵之北極強度為 400 單位, 其軟鐵所感應之南極強度為 150 單位磁極。假定軟鐵條之磁性皆集中於其末端, 而磁極皆在極面之中心處, 求此兩磁鐵間之引力之近似值(以克計)。

第七章 電 磁

7.1, 在圖 7.1A 中, 有四導體, 載有電流, 同進入一接線匣內。將一羅盤針置於導體 A 上, 則背頭者向後偏轉。若置於導體 B 旁, 則向右偏轉, 求導體 A 及 B 內電流之方向。

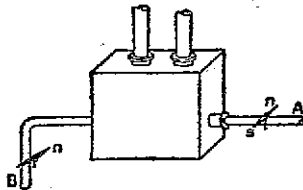


圖 7.1 A

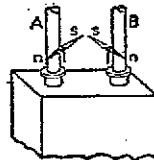


圖 7.2 A

7.2, 在圖 7.2A 中, 有二豎立的導體 A 及 B , 載有直流電, 進入兩管

內，如圖所示。以一羅盤針先後置於每一導體旁，則其偏轉亦如圖所示。試過電流經過各導體之方向。

7.3. 有 150 安之電流，流經一無限長直導體 ab ，自左向右（如圖 7.3A）。求：（甲）此導線施於距其中心 10 厘米處，一單位磁極之達因之力；（乙）將一單位磁極環繞導線運行一匝所作之功之爾格數。若運動方向自 a 向 b 視之為逆時針方向，試註明功之符號。

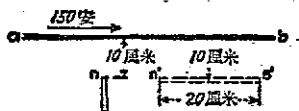


圖 7.3A

又有一狹條磁鐵 $n's'$ ，20 厘米長，其磁極強度為 10 單位，與導線 ab 相平行，距 ab 之軸 10 厘米，如圖所示之虛線。（丙）求所施於此磁鐵之旋轉力矩及其方向。（丁）若此磁鐵之位置，始終保持與導線相平行，試述其是否有環繞導線而運動之趨勢。

7.4. 有 250 安電流，流經 90° 之圓弧 ab （見圖 7.4A），其電流自 aa' 引入，經 bb' 流出。以一小磁兩極 s 置於此弧之中心，求其所受之力之大小及方向。

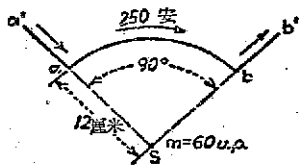


圖 7.4A

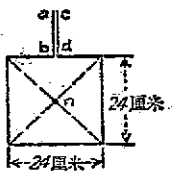


圖 7.5A

7.5. 將一導線彎曲如圖 7.5A 所示之形狀，成一正方形，每邊長 24 厘米。有電流 160 安經引線 ab 及 cd 而流經此正方形。以一有 25 單位強度之磁北極置於正方形之中心，求其所受之力之大小及方向。

7.6. 在圖 7.6A 中，有兩平行導線 A 及 B ，裝於橫担上，兩線之間隔為 72 厘米，每線載 500 安電流，其方向相反。求：（甲）在兩線附近之磁場之方向；（乙）在 A 線旁 p 點之磁場方向；（丙）在 B 線旁 p' 點之磁場方向。 p 及 p' 與 AB 兩導線同在一平面上。

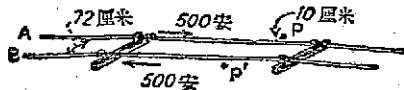


圖 7.6A

7.7. 在第 7.6 題中，求在 AB 兩導線間中央之平行線上之磁場強度，以奧斯特計。

7.8, 在第 7.6 題中, 若 p 點在 A 線之外 10 厘米, 而與 AB 兩線在同一平面上。求在此點之磁場強度, 緣於: (甲) A 線內之電流者; (乙) B 線內之電流者; (丙) A 及 B 兩導線內之電流者。

7.9, 一扁平線卷之直徑為 24 厘米, 由 10 匝細線緊密繞成, 以 20 安電流引入此線卷。求: (甲) 在與線卷平面相垂直之軸上, 在平面上部 30 厘米處之磁場強度; (乙) 所施於在線卷中心處一小磁極之力, 該磁極之強度為 18 單位。

7.10, 有兩扁平線卷 A 及 B , 各有 12 匝, A 之直徑為 20 厘米, B 為 30 厘米。以此二線卷平行安放, 其中心在與其平面之垂直線 $00'$ 上, 相距 60 厘米。若有 20 安電流經過每線卷之每匝, 其磁場均向下作用。求: (甲) 在 $00'$ 線上距 A 平面 20 厘米處 p 點之磁場強度; (乙) 在 A 卷中心之磁場強度; (丙) 在 B 卷中心之磁場強度。(參看圖 7.10A)

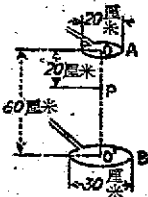


圖 7.10A

7.11, 在第 7.10 題中, 若 A, B 兩線卷置於同心之位置, 若其電流之大小及方向均不變, 求在公共中心處之磁場強度。

7.12, 在第 7.11 題中, 若 B 線卷之電流, 仍為 12 安, 則 A 卷之電流, 應調整至何值, 俾使在公共中心處之磁場強度為零? 並述 A 卷電流之方向。

7.13, 在圖 7.13A 中, 顯示一四極發電機, 其南北極相間。以直流自 A 端引入, B 端引出, 即 A 為正端。四激發線卷之線端註明 1, 2, 以至於 7, 8。問如何將此八線卷端相接, 並如何與 A 及 B 相接, 則各種之極性即與圖示相符合?

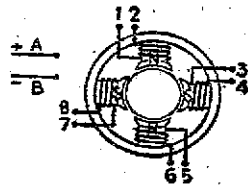


圖 7.13A

7.14, 在圖 7.14A 中, 顯示一磁路內, 有三個磁極與一線卷相連繫。其線卷之兩端 T_1

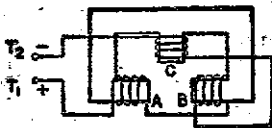


圖 7.14A

及 T_2 各為正端及負端, 試表明 A, B, C 之極性。

7.15, 某圓柱形螺管之平均直徑為 5 厘米, 長度為 100 厘米, 每厘米長度有 12 匝之 21 號單紗包線。以 2 安電流經過此線卷, 假定其為無限長, 求: (甲) 在螺管中心之磁場強度; (乙) 在螺管中心之磁通密度; (丙) 穿過中心處截面上之總磁通。

7.16, 在第 7.15 題中, 用線卷之實在長度, 而不假定為無限長者, 求: (甲) 其在中心之磁場強度; (乙) 在其軸之末端處之磁場強度。

7.17. 在第 7.15 題中, 求沿螺管軸線上: (甲) 距任一端 2 厘米處; 及 (乙) 距任一端 10 厘米處之磁場強度。

7.18. 在一與第 7.15 圖相似之螺管與活棒中, 其在活棒末端處之磁場強度為 3,000 奧斯特, 而活棒末端之強度為 480 單位磁極。活棒為圓柱形, 其直徑為 3 厘米。若活棒之他端遠在螺管以外, 求施於活棒一端之力之克數。

7.19. 在第 7.18 題中, 若將激發電流減少百分之二十, 使磁場強度及磁極強度均比例的減少, 重解該題。

7.20. 在第 7.18 題中, 若螺管加有鐵鎧, 並附有止榫, 其直徑與活棒相同。當活棒末端將近與止榫接觸時, 其間之磁通密度為 4,000 高斯, 求止榫與活棒間之引力, 以斤克計。

7.21. 一電磁鐵之兩平滑極塊相接觸, 有磁通 500,000 線自一極穿入他極。若極面為圓形, 其直徑為 5 吋。假定磁通之分佈為均勻的, 問需用力若干磅, 始可將磁極分開?

7.22. 圖 7.22A 示一簡單, 圓形舉重磁鐵之截面, 外直徑為 2.4 吋。其外圍磁極之沿徑厚度為 2.2 吋, 中心磁極之直徑為 0.95 吋。在接觸表面處之最大磁通密度若為每方吋 30,000 線, 則其吸引一扁平鐵塊之力為若干磅?

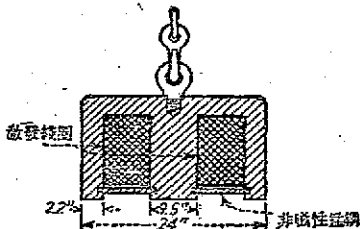


圖 7.22A

7.23. 有一與圖 7.22A 相似之舉重磁鐵, 其外圍磁極之外直徑為 36 吋, 內直徑為 33.75 吋, 中心磁極之直徑為 12.5 吋。該磁鐵能以 2,120 磅之力把握一扁平鐵塊。若其磁通分佈為均勻的, 求所需之磁通密度之每方吋線數。

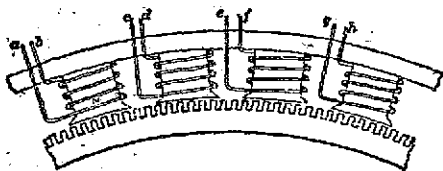


圖 7.24A

7.24. 在圖 7.24A 中, 試將鐵卷 ab, cd, ef, gh 相聯接, 俾在左端之磁極為北極, 向右順序為兩極北極南極等。並畫出磁力線之路徑。

等八章 磁路

8.1. 圖 8.1A 示一閉口環形螺管, 其芯子為非磁性物料。環之平均直徑為 3.6 厘米, 環之截面之直徑為 0.6 厘米。環上之線圈均勻繞繞 288 匝。以

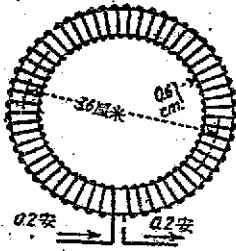


圖 8.1 A

0.2 安電流流入，方向如圖所示。求：(甲)環內磁通之方向；(乙)其平均圓週上每厘米之安匝；(丙)每厘米之吉柏數。(丁)在其平均直徑上，磁通為 0.568 馬，若以鐵作芯，則磁通為 512 馬，求鐵之磁導係數。

8.2. 圖 8.2A 示一電磁鐵，有四個激發線卷，A, B, C 及 D，各有 1,200 匝及 12 歐之電阻。(甲)若以 AB 兩線卷相串聯，連於 120 伏電源，其磁性為互助的，求其作用於磁路內之總安匝。

(乙)再以 C, D 兩線卷與 A, B 相串聯而接於 120 伏電源，仍為互助的，求此時施於磁路內之總安匝。(丙)求在(甲)及(乙)兩情形時激發線卷之總功率損失，及其比率。(丁)求其磁通勢之吉柏數。

(戊)若以 AB 串聯與串聯之 CD 線卷相並聯，接於 120 伏電源，求其激發安匝及激發損失。

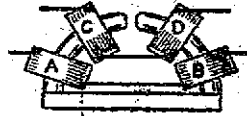


圖 8.2 A

8.3. (甲)若在第 8.2 題(乙)項中 AB 及 CD 相串聯時，將其電流調整，使其發熱情形與(甲)項者相同，則其激發安匝為若干？(乙)若第 8.2 題(乙)項之發熱調節至與該題之(戊)項相同，則激發安匝為若干？

8.4. 一激磁線卷有 14,000 匝之美規 37 號，漆包線 (enamel wire)，為 120 伏電路而設計者，共有 3,370 歐電阻。(甲)今欲以美規 34 號線(截面二倍於 37 號線)繞成同樣大小及有同樣線卷空隙因數(即線卷總截面與銅之淨截面之比)之激磁線卷，求其匝數及電阻。(乙)若接於同一電壓，求在二種情形時安匝之比。(丙)比較此二情形下線卷之發熱。(丁)以何電壓施於第二線卷，則二者之安匝相同？(戊)用何電壓於第二線卷，則發熱效應相同？

8.5. 兩線卷 A 及 B 各有 4,200 與 3,600 匝，及 30 與 25 歐之電阻，兩者置於同一磁路內。求磁路內之總安匝。(甲)若僅有 A 線卷；(乙)僅有 B 線卷；(丙)AB 兩線卷串聯相助；(丁)AB 兩線卷並聯相助。在每一情形時，線卷皆接於 120 伏電源。

8.6. 在第 8.1 題中，求：(甲)用非磁性材料時之磁通密度；(乙)用鐵芯時之磁通密度。磁通密度分別用奧斯及每方吋線數表之。

8.7. 在圖 8.7A 中，顯示有兩極塊 P 之磁路。其磁芯之截面為正方形，每邊長 10 厘米。極塊截面亦為正方形，每邊長 5 厘米。芯之平均長度為 21 厘米，空氣隙之長度 0.5 厘米。鋼芯之磁導係數為 800。求：(甲)空氣隙之磁阻；(乙)鋼芯之磁阻；(丙)總磁阻。假定極塊之磁阻可以不計，而邊緣擴散效應亦

可不計。

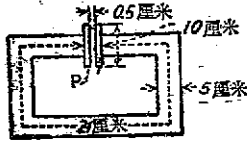


圖 8.7 A

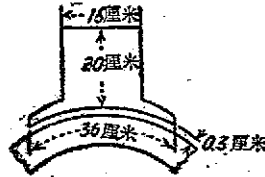


圖 8.8 A

8.8, 圖 8.8A 示一四極電機中, 磁極及電樞之一部。極芯之截面為正方形, 15 乘 15 厘米, 其有效長度為 20 厘米, 在運用磁通密度時之磁導係數為 600, 極弧之長為 36 厘米, 極面亦成正方形。空氣隙長 0.3 厘米, 而電樞表面為平滑的。求極芯及空氣隙相串聯之總磁阻及磁導。

8.9, 如圖 8.1A 所示之環形磁鐵, 由鋼製成, 其磁導係數為 1,200。今在環上橫斷割開一均勻空氣隙, 長 1 毫米。求: (甲) 此鋼環之磁阻; (乙) 空氣隙之磁阻; (丙) 整個磁路之磁阻及磁導。

8.10, 以 2,000 匝之激發線圈捲於一磁芯上, 如圖 8.10A 所示。芯之截面為 3 吋見方, 其電流為 1.2 安, 則磁通密度使其磁導係數為 1,100。求: (甲) 其磁通; (乙) 鋼中之磁通密度; (丙) 空氣隙中之磁通密度。略去其磁漏及邊緣擴散效應不計。

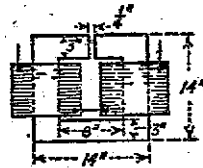


圖 8.10 A

8.11, 在如圖 8.1A 之環形磁鐵中, 求: (甲) 產生 2,266 磁力線於磁路內所需之磁通勢, 以吉柏計; (乙) 所需之安匝。

8.12, 如圖 8.1A 所示之環形螺管, 其平均直徑為 6 厘米, 環之截面直徑為 1.2 厘米。今將環橫斷割開一 1.5 毫米長之空氣隙。取 1,000 為鋼之磁導係數。求: (甲) 鋼之磁阻; (乙) 空氣隙之磁阻; (丙) 總磁阻; (丁) 以 1,600 安匝施於磁芯所產生之磁通; (戊) 鋼芯及空氣隙之磁通密度。略去磁漏及邊緣擴散效應不計。

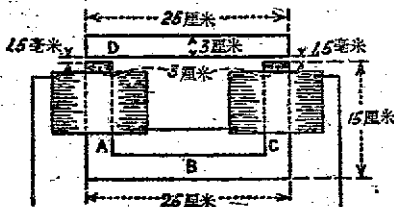


圖 8.13 A

8.13, 在如圖 8.13A 所示之磁路中, 鐵芯之截面為正方形, 每邊長 3 厘米, 每空氣隙之長度為 1.5 毫米。A, B, C 三部份之磁導係數為 1,200, 銜鐵 D 為 800。兩激磁線圈各有 1,600 匝, 而激磁電流為 0.9 安。

求：(甲) A, B, C 三部之總磁阻；(乙) 鐵塊 D 之磁阻；(丙) 兩空氣隙之磁阻；(丁) 施於磁路內之總磁通勢以吉柏計；(戊) 總磁通及磁通密度之舉斯致。略去磁滲及邊緣擴散效應不計。

8.14, 圖 8.14A 示一電磁鐵之芯, 由半圓部份 A 及兩芯, 與極塊 B, C

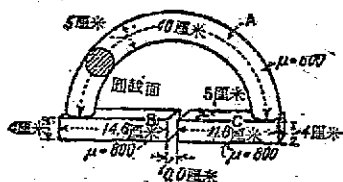


圖 8.14 A

精成, 極塊為長方塊。其各部份之尺寸及磁導係數, 如圖所示。(甲) 計算其磁路之磁阻。(乙) 以 10,000 匝線卷繞於其芯上, 求在激磁電流為 1.0 安時之磁通。略去磁滲及擴散不計。

8.15, 圖 8.15A 示一磁路, 由兩支路所組成, 每支路之尺寸及磁導

係數皆同, 且相並聯。取 600 為鐵之磁導係數, l 為每支路之磁路長度。(甲) 計算每支路之磁阻及磁路之總磁阻。(乙) 以 3,000 匝線卷繞於中芯上, 當激磁電流為 2.6 安時, 計算每空氣隙內之磁通。(丙) 計算中芯內之磁通。略去磁滲及擴散不計。

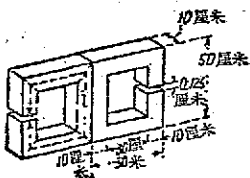


圖 8.15 A

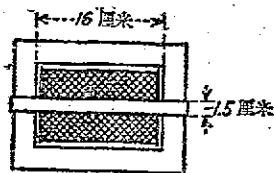


圖 8.16 A

8.16, 在一鐵磁管中 (見圖 8.16A), 其軛鐵之磁阻可以略去不計。其活棒之直徑為 1.5 厘米, 而軛之淨長度為 16 厘米。活棒之磁的特性, 如第 8.3 圖 (第 235 頁) 及第 8.4 圖 (第 236 頁) 所示。其激磁線卷有 400 匝, 內有 1.67 安之電流, 用湊算法求活棒內之磁通及磁通密度。

8.17, 在圖 8.1A 之環形磁鐵中, 其芯子為鐵鋼, 磁化曲線見第 8.4 圖。環之平均直徑為 8 厘米, 其截面直徑為 1.5 厘米。裂開之空氣隙長度為 0.6 毫米, 激磁線卷有 1,200 匝, 通以 1.09 安之電流。用湊算法, 求磁芯內之磁通及磁通密度。

8.18, 若第 8.17 題內之激磁電流減為 0.766 安, 重解該題。

8.19, 若圖 8.15A 之磁鐵, 用鐵鋼為芯, 其磁之特性, 見第 8.3 及 8.4 圖。將其激磁電流減至 2 安, 用湊算法, 求芯內之磁通密度。略去磁滲及擴

散效應不計。

8.20, 在圖 8.16A 中之活棒, 用如第 8.3 圖之磁化曲線, 求欲得下列磁通密度時, 所需之磁通勢, 以吉柏計: (甲) 5,000; (乙) 8,000; (丙) 14,000; (丁) 16,000 皋斯; (戊) 將求得之磁通勢, 皆化成安匝。

8.21, 在圖 8.21A 內示一鑄鐵棒, 其直徑為 1.25 吋, 裝置於一軛鐵間。棒在軛間之淨長為 15 吋, 軛之磁阻可以從略。用鑄鐵之磁化曲線 (第 8.7 圖, 第 242 頁) 求在棒內產生下列各磁通密度 (每方吋線數) 所需之安匝數: (甲) 30,000; (乙) 45,000; (丙) 將磁通勢以吉柏表之。

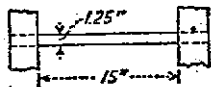


圖 8.21 A

8.22, 假定第 8.21 題中之棒, 係以鈷鋼製成, 用第 8.7 圖之磁化曲線, 求產生於棒內下列各磁通所需之安匝數: (甲) 86,000; (乙) 107,000; (丙) 180,000; (丁) 145,000 馬; (戊) 將安匝數皆化為吉柏數。

8.23, 在圖 8.7A 中之磁鐵, 其兩扁平鋼面各為 10 厘米見方, 空氣隙長度為 0.5 厘米。求產生於空氣隙內下列各磁通密度所需之安匝: (甲) 4,000; (乙) 6,000; (丙) 10,000 皋斯。(丁) 將磁通勢皆化為吉柏。略去擴散效應不計。

8.24, 在圖 8.8.4 中之電機空氣隙, 求產生下列各磁通密度於空氣隙內, 所需之安匝: (甲) 4,500; (乙) 6,400; (丙) 8,000 皋斯。(丁) 求在電樞與極面間所需之磁通勢之吉柏數。略去擴散效應不計。

8.25, 在與圖 8.8.4 相似之空氣隙中, 空氣隙長度為 0.2 吋, 極面為 12 吋見方。求產生下列各磁通密度 (每方吋線數) 於空氣隙內所需之安匝數: (甲) 0,000; (乙) 35,000; (丙) 45,000 皋斯。(丁) 計算由每極進入電樞之總磁通數。略去擴散效應不計。

8.26, 在第 8.25 題中, 若空氣隙為 0.22 吋, 極面之沿軸長度為 12 吋, 沿週長度為 14 吋, 重解該題。

8.27, 一四極發電機無槽電樞之直徑為 12 吋, 其沿軸長度為 6.75 吋。其磁極為正方形, 掩覆電樞圓週之十分之七。其空氣隙為 0.22 吋。求穿過空氣隙產生磁通 2,000,000 綫所需之安匝。

8.28, 與圖 8.1.4 相似之環形磁鐵, 由電機用片鋼疊片製成, 每片之沿徑厚度為 0.5 吋, 其平均直徑為 4 吋。橫斷之空氣隙長度為 0.075 吋。當其疊片疊至 0.5 吋之厚度, 其總截面為 0.5 乘 0.5 吋, 但因疊片表面之氧化物, 致將鋼為其總截面之 90%。用第 8.7 圖之特性曲線, 求: (甲) 產生於磁芯內 21,500 綫所需之安匝; (乙) 空氣隙內所需之安匝; (丙) 其總安匝。略去擴散不計。

8.29, 在如圖 8.10.4 之電磁鐵, 其芯為鑄鐵, 3 吋見方, 有一橫斷之空氣隙 $\frac{1}{2}$ 吋長。激磁線卷有 800 匝。用第 8.7 圖之磁化曲線, 求產生磁通 540,000

為於空氣隙內所需之激磁電流。略去磁漏及擴散不計。

8.30, 若第 8.29 題內之磁芯由鑄鋼製成, 而空氣隙之磁通為 810,000 馬, 重解該題。

8.31, 假定第 8.15 題中之磁芯為鑄鋼製成, 而欲使每一空氣隙內有磁通 1,400,000 馬通過。用第 8.7 題鑄鋼之特性曲線, 求: (甲) 使此磁通通過磁芯所需之安匝; (乙) 每空氣隙所需之安匝; (丙) 中部磁芯之總安匝; (丁) 中部磁芯之磁通密度。略去磁漏及邊緣擴散不計。

8.32, 若欲產生 1,100,000 馬之磁通於空氣隙, 重解第 8.31 題。

8.33, 圖 8.33A 示一磁路, 其芯為鑄鋼。其尺寸如圖所示, 其與紙垂直之厚度為 4 吋, 空氣隙長 0.25 吋。今有兩個激磁鐵卷相串聯, 其產生之空氣隙磁通為 1,600,000 馬。求: (甲) 使此磁通穿過每半個磁芯鋼質內所需之安匝; (乙) 空氣隙之安匝; (丙) 總安匝。

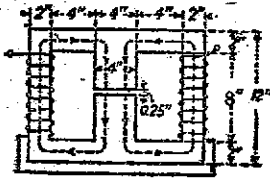


圖 8.33 A

8.35, 圖 8.35A 示一兩極發電機之磁路。其極芯為鑄鋼, 截面為 4.5 乘 4.5 吋。其電樞為片鋼, 其鐵質之沿軸淨長度為 5.2 吋。其軛環為鑄鋼, 截面為 1.75 乘 6 吋。其他條件如圖所示。用第 8.7 圖之特性曲線, 求使空氣隙之磁通密度為每方吋 40,000 線所需之場激安匝。

8.36, 若空氣隙長度為 0.1 吋, 重解第 8.35 題。

8.37, 在第 8.35 題中, 假定其磁漏因數為 1.26; 換言之, 即極芯之磁通僅有百分之八十, 穿過空氣隙進入電樞, 重解該題。

8.38, 圖 8.38A 示八極電機之一部, 圖中示兩個完全磁路及其他磁路之一部。電樞之外直徑為 36 吋, 其沿徑厚度為 4 吋, 沿軸長度為 9.5 吋。其極芯為 7.5 吋見方, 6 吋長, 以電機用片鋼製成, 其體積之百分之九十為淨鐵質。其極掌為 9.5 吋正方, 實際 1 吋厚。軛之內直徑為 50 吋, 其截面為 12 乘 2 吋。電樞亦以片鋼製成, 十分之九為淨鐵質。軛以液壓鋼製成, 假定其特性與鑄鋼同。極芯之磁通, 僅有六分之五穿入電樞, 即磁漏因數為 1.20。空氣隙之等效

8.34, 在第 8.33 題中, 若空氣隙磁通為 1,440,000 馬, 重解該題。

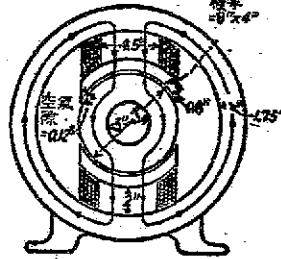


圖 8.35 A

長度為 0.2 吋。求產生每方吋 45,000 線於空氣隙內，每極所需之安匝。

8.39. 若空氣隙長 0.24 吋，重解第 8.38 題。

8.40. 若空氣隙長 0.24 吋，其產生之磁通密度為每方吋 50,000 線，重解第 8.38 題。

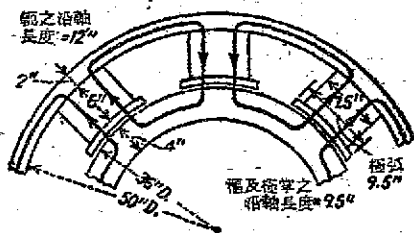


圖 8.38 A

8.41. 其磁芯以矽鋼疊片製成，體積為 6,000 立方厘米，總截面積為 144 平方厘米，其鋼之淨截面積為總截面之十分之九。今以交流磁通穿過，每秒內在正的與負的 1,280,000 馬間作 50 週之變化。用第 8—14 節所示之數字（第 250 頁），求：(甲)每週循環每立方厘米之功能損失以爾格計；(乙)每週循環之總損失；(丙)每秒之總損失；(丁)因磁滯所致之功率損失以瓦計。

8.42. 其變壓器之磁芯以矽鋼疊片製成，體積為 800 立方吋，總截面積為 16 方吋，淨鐵截面與總截面之比為 9 比 10。若交流磁通密度之最大值為每方吋 50,000 線，求：(甲)每週每立方吋之磁滯損失之爾格數；(乙)頻率為 50 週之功率損失以瓦計。

8.43. 在矽鋼疊片之變壓器磁芯中，其磁滯損失為 110 瓦，總磁通為 128,000 馬（最大值），頻率為每秒 50 週。(甲)若磁通不變，頻率為 60 週，求其損失。(乙)若頻率不變，磁通為 100,000 馬，求其損失；(丙)若頻率為 60 週，磁通為 100,000 馬，問其損失為若干？

8.44. 在第 8.43 題中，若磁通為 128,000 馬，頻率為 50 週時，其渦流損失為 20 瓦，求在該題(甲)，(乙)，(丙)三種情形時之渦流損失。

8.45. 第 8—15 節之表（第 251 頁）內，亞利根萊公司變壓器 C 級片鋼之磁滯及渦流損失，在 60 週及 10,000 卑斯時，各為每磅 0.658 及 0.114 瓦。求在：(甲)60 週，12,000 卑斯；(乙)50 週，10,000 卑斯；及(丙)50 週，12,000 卑斯時，此兩種損失。

8.46. 亞利根萊特級片鋼之渦流及磁滯損失各為 0.793 及 0.128 瓦每磅，重解第 8.45 題。

8.47. 一直空心螺管包括單層雙紗包線之主卷，及繞於主卷外近中心處之副卷。螺管長 120 厘米，每厘米之主卷有六匝，副卷有 1000 匝。其內直徑為 6.5 厘米。當主卷電流為 0.8 安，求：(甲)螺管中之磁通密度；(乙)總磁通；(丙)副卷之厘米克秒制磁通連繫。

8.48, 以一有 12 匝之副卷與第 8.47 題之副卷相串聯, 接於軛轆法中之衝擊電流計。當主卷電流由 0.3 安忽降為零時, 其衝擊偏轉度為 16 厘米。(甲) 求電流計之常數; (乙) 將主卷電流由零增至 0.4 安, 而將試驗樣品之一節拆開, 使其磁通忽降為零, 則其電流計之偏轉度為 20.5 厘米, 問樣品中之磁通值為若干? (丙) 若樣品之直徑為 1 厘米, 求其磁通密度。

8.49, 在第 8.48 題中, 將軛轆法樣品中之電流增至 1.5 安, 減至零, 再向反方向加至 0.9 安。在此點, 將樣品之半拆開, 其電流計之偏轉度為 22.4 厘米, 問相當於此值之磁通密度為若干? 畫一磁滯迴線, 表出此點及第 8.48 題中之運用點。

8.50, 一環鐵樣品之正常飽和曲線, 以環鐵法決定之。環之截面為 1 厘米見方, 其平均直徑為 10 厘米。用第 8.48 題中之電流計, 其常數如前。將環之主卷電流作一次完全變化循環, 電流計之偏轉度為 28 厘米, 求在此電流值時環內之磁通。

第九章 自感量及互感量

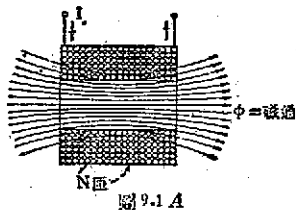


圖 9.1 A

9.1, 一線卷繞有 600 匝, 通以 5 安電流, 則有 7,000 馬之磁通與之連繫。求: (甲) 其磁通連繫以馬-匝計; (乙) 其每安之馬-匝磁通連繫, 除以 10^8 ; (丙) 此線卷之自感量, 以亨計。

9.2, 與第 9.1 題中有相同尺寸之線卷, 繞有兩倍匝數, 但用截面為半之導線, 求第 9.1 題中之(甲),(乙),(丙)三部。以此與第 9.1 題之結果較之, 而述明自感與匝數之關係。

9.3, 在如圖 9.3A 所示之環形螺管中, 其非磁性芯子之磁阻為 4.0 厘米克利制單位。繞有 400 匝線卷。若電流為 0.25 安, 求: (甲) 磁通之馬數; (乙) 馬匝連繫; (丙) 每安之馬匝連繫; (丁) 環形螺管之電感, 以亨及毫亨計。

9.4, 有一線環與圖 9.3A 相似, 但有橫斷之空氣隙 0.20 毫米。環之截面積為 0.283 方吋, 繞有 400 匝線卷, 鋼之磁導係數為 800。若電流為 0.25 安, 重解 9.3 題之(甲),(乙),(丙),(丁)四項。

9.5, 若線卷僅有 200 匝, 重解第 9.4 題。

9.6, 某活棒式曳引螺管, 以 12 號雙紗包線繞繞 3,000 匝而成。若電流為

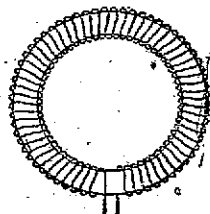


圖 9.3 A

9.6 安，其連繫之淨磁通為 50,000 馬。假定磁導係數不變，求：(甲)其厘米克秒制單位之磁通連繫；(乙)螺管之電感以亨計。

9.7, 若第 9.6 題中之螺管，以 15 號雙紗包線繞繞 6,000 匝製成 (15 號線之截面積為 12 號之半)。今接於雙倍之電壓，使電流為 1.8 安。求：(甲)其厘米克秒制單位之磁通連繫；(乙)其電感以亨計。

9.8, 一某雙極電機之場激線卷有二，每只有 1,800 匝。當場激電流為 2.8 安，其穿過空氣隙之磁通為 2,500,000 馬。其磁漏因數為 1.25。假定鐵有恒定之磁導係數，求場電路內之電感。

9.9, 在第 9.8 題中，若場激電流為 3.2 安，其空氣隙之磁通為 2,750,000 馬。磁漏因數同前，求：(甲)場電路之電感，不計及磁阻之變動；(乙)若場電路在 0.1 秒內被中斷，求其磁通之變化率；(丙)其平均自感應電勢，由磁通變化率及電流變化率分別計算之。

9.10, 在某四極發電機中，每磁極有 2,400 匝，當激發電流為 3 安，其空氣隙磁通為 3,600,000 馬。其磁漏因數為 1.25。假定磁阻不變，求：(1)其每極之磁通連繫；(2)總磁通連繫；(3)場電路之自感；(4)若其電流在 0.15 秒內中斷之，求其磁通之平均變化率；(5)其自感應電勢，由磁通變化率及電流變化率分別計算之；(6)求磁場內儲蓄之功能，以焦計。

9.11, 某電磁鐵之激發電流，產生磁通 2,400,000 線，與其 5,400 匝線卷相連繫。(甲)若在 0.2 秒內中斷其激發電流，求線卷端間感應之平均電勢。(乙)若激發電流為 1.2 安，求線卷之電感。(丙)其磁場儲蓄之功能為若干？(丁)求當電流被中斷時，放出之平均功率。

9.12, 若第 9.11 題中之電流，在 0.05 秒內被中斷，重解該題。

9.13, 某發電機之場電路有 5 亨之自感，其激發電流為 150 安。今欲其平均自感應電勢不致超過 1,000 伏。(甲)間中斷其場電路之最短時間為若干？(乙)場電路被中斷時，放出幾何功能？(丙)當中斷期內，其平均功率為若干？

9.14, 某螺管線有 400 匝線卷。其與線卷連繫之磁通及電流之關係，如第 9.5 圖(第 274 頁)所示。求當電流為：(甲)1 安；(乙)3 安時，此線卷之自感，(丙)在(甲)項情形，而電流以每秒 120 安之率而增加時，求其自感應電勢。(丁)若在(乙)項情形，而電流以每秒 30 安之率而減低時，求其自感應電勢。

9.15, 下表表示有 800 匝線卷所連繫之磁通與電流之關係：

安	0.2	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
斤馬	14	42	54	62	67	71	74	76.5	78.5

當電流：(甲)由 0 至 0.6 安；(乙)為 1.0 安；(丙)為 1.6 安時，求其電感。(丁)若電流之增加率為每秒 100 安，求在(甲)，(乙)，(丙)三情形時之自感應

電勢。(戊)求在(甲)情形時磁通隨電流之變化下。

9.16, 某電路包括 12 歐電阻與 0.48 亨電感相串聯, 突接於 120 伏電源。(甲)求其電流隨時間而變化之公式, 並描繪為圖。(乙)求其時間常數及在時間等於此值時之電流。(丙)求在時間為 0.08 秒時之電流。(丁)求當電流為 4 安及 6 安, 磁場儲蓄之功能。(戊)求在電路脫合之瞬間, 其電流之增加率。

9.17, 某交流發電機場卷組之電感為 5 亨, 總電阻為 25 歐。求:(甲)以場卷組接於 120 伏電源後, 電流之公式(並繪圖以明之);(乙)在時間等於時間常數之值時, 磁場儲蓄之功能;(丙)在(乙)情形時場電阻損失之功率;(丁)在剛接通場電路之瞬間, 其電流之增加率。

9.18, 某替磁器於其電流達 0.2528 安, 不能吸動其後鐵。今欲其在通電流後 0.0035 秒時, 使之吸動, 而 0.0035 秒適為其時間常數。求:(甲)此替磁器之電阻及電感。(乙)在將開關脫合之初, 其電流之增加率若何?

9.19, 在第 9.16 題中, 若在電流已達其歐姆定律之值後 突予捷接。求:(甲)電流為時間函數之公式;(乙)電流開始下降時之變化率;(丙)在時間等於時間常數時之電流值;(丁)在(丙)情形時, 磁場內之功能。

9.20, 若第 9.17 題中之場電流, 已達歐姆定律之值, 拆去其電源, 而與一放電電阻相串聯。求:(甲)電流之初值;(乙)跨於場卷組與變阻器之端電壓之初值;(丙)電流之公式;(丁)在 0.1 秒後電流之變化率;(戊)在(丁)情形時磁場內儲蓄之功能。

9.21, 兩線卷 A 及 B(圖 9.21A) 在電的方面相絕緣, 但安放時, 適使

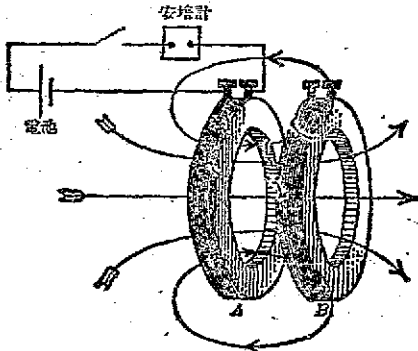


圖 9.21 A

一線卷所產生之磁通之百分之七十與第二線卷相連繫。

A 線卷有 200 匝, B 線卷有 150 匝。當 1.2 安流經線卷 A, 則有 15,000 磁力線與之相連繫。(甲)問與 B 連繫之磁力線為若干?(乙)兩電路之耦合係數為若干?(丙)若 A 線卷電流在 0.05 秒內被中斷, 則 B 線卷之感電勢為若干?(丁) A 線卷之感電勢為若干?

9.22, 若 1.5 安電流經 A 線卷內, 產生於 A 卷內之磁通, 與 B 線卷內 2.0 安電流所產生於 B 卷內者相同。(甲)將 B 線卷之電流於 0.1 秒內中斷之, 求

產生於 A 卷之電勢。(乙)此時 B 卷之應電勢爲若干?

9.23, (甲)求在 9.21 題及 9.22 題中 AB 兩線卷間之互感。(乙)求 A 之自感;(丙) B 之自感。(丁)用耦合係數及(乙)(丙)之結果,覆核(甲)之結果。

9.24, 將 A 及 B 兩線卷稍稍分開,使其耦合係數爲 0.60, 重解第 9.23 題。

9.25, 若第 9.21 題中之兩線卷 AB , 同裝於一鐵芯上,使一線卷之磁通,實際上全部與他線卷相連繫,如圖 9.25A 所示。 A 卷內 0.1 安足以產生 120,000 線於公共磁路內。(甲)問 B 卷內有若干電流,則產生同樣之磁通?(乙)求 A 卷及 B 卷之自感。

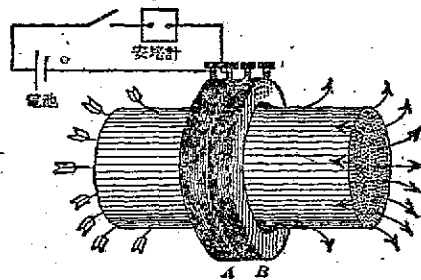


圖 9.25 A

9.26, (甲)若第 9.25 題中, A 線卷之 0.1 安, 在 0.05 秒內被中斷, 問 B 線卷內感應若干電勢?(乙) B 感應電勢若干?(丙)求 A 及 B 之自感。

9.27, 在第 9.26 題內, (甲)欲使 A 線卷內感應 10 伏, 則需以何速率中斷 A 之電流?(乙)若 B 之電流爲 0.05 安, 則應在若干時間內中斷 B 之電路?(丙)若 A, B 之電流同爲 2 安, 而會同作用於磁路內, 則磁路儲蓄之功能爲若干?

9.28, 在圖 9.25A 內, 若將 AB 兩線卷接成相助的串聯。求: (甲)整個電路內之電感;(乙)電流爲 2 安時磁路內之儲蓄功能。(丙)若將兩線卷接成串聯互消, 重解(甲),(乙)二部。

9.29, 兩線卷 A 及 B 在同一磁路內, A 卷有 400 匝, B 有 600 匝, A 線卷之 1 安電流產生 80,000 馬磁通於其內。其兩線卷之耦合係數爲 0.75。求: (甲) B 卷 1 安電流所產生之磁通;(乙)各卷之自感;(丙) AB 間之互感;(丁)以兩卷串聯相助所得之總電感, 及電流爲 2 安時磁場儲蓄之功能;(戊)以兩卷串聯相消所得之總電感, 及電流爲 2 安時, 磁場儲蓄之功能。

9.30, 兩線卷 A 及 B 在同一磁路內。 A 線卷單獨之電感, 量得爲 0.4 亨; B 線卷單獨之電感爲 0.225 亨。以兩卷串聯相助, 量得之電感爲 0.985 亨。求: (甲)兩線卷間之互感;(乙)其耦合係數。

9.31, 兩線卷 C 及 D 在同一磁路內。將其串聯相助, 量得之電感爲 1.25 亨; 以之串聯相消, 其電感爲 0.75 亨。求: (甲)其互感;(乙)若 D 之自感爲 0.4

亨,求 C 之自感;(丙)其耦合係數。

第十章 靜電與電容

10.1, 兩小圓球各帶電 20 靜電單位,其中心相距 16 厘米,一帶正電,一帶負電。求:(甲)兩球體間互相作用之力;(乙)將兩球體浸於介質常數為 2.5 之油內時,其相互作用之力。其電荷可認為集中於球心上。

10.2, 兩帶電之圓球體,其中心相距 15 厘米,各帶 30 及 40 靜電單位之正電。(甲)求在空氣中,其互相作用之力及方向。(乙)若浸於介質常數為 3.0 之油內,求其互相作用之力及方向。(丙)求由各球體出發之介質電力線數,在空氣內及在油內者。

10.3, 在空氣中一孤立之球體,直徑為 10 厘米,帶有 30 靜電庫之正電。求:(甲)由此球出發之電通量;(乙)在球面上之電通密度,以每平方厘米線數計;(丙)其施於球面一單位正電荷之力,以達因計。

10.4, 兩只直徑為 0.5 厘米之球體,在空氣中其中心相距 80 厘米。一帶 36 靜電庫之正電,一帶 30 靜電庫之負電。求:(甲)兩球體間之力;(乙)脫離或進入各球體之電通力線數;(丙)其施於兩球心中途處之力,以達因計;(丁)其施於在兩球心之連接線上,距第二球心 4 厘米處之力。

10.5, 在空氣中有兩球體,半徑各為 0.5 厘米;一帶 20 靜電庫正電,一帶 24 靜電庫負電。其間之力為 12.5 達因。求:(甲)兩球心之距離,以厘米計;(乙)自 A 球發出之力線數;(丙)進入 B 球之力線數;(丁)在連接兩球心之線上; A 球表面上之靜電場強度,及 B 球面上之場強度。

10.6, 兩球體在空氣中,其球心相距 12 厘米。一球帶有 60 靜電單位之正電,兩球間之吸引力為 12.5 達因。求:(甲)第二球體所帶之電量及其符號;(乙)施於在兩球心中途及在連接兩球心之線上之力,以達因計。

10.7, 在一球體容電器內,其內球之半徑為 4 厘米,外球體之內直徑為 10 厘米。今有 8,045 靜電力線自內球 A 出發以至外球 B ,其電介體為空氣。求:(甲)內球所帶之靜電庫;(乙)內球 A 表面上之電通密度,以每平方厘米線數計;(丙)在外球 B 之內表面上之電通密度;(丁)施於在內球表面上一單位正電荷之力。

10.8, 以一電容為 40 微法拉之容電器,接於 200 伏電源。(甲)求其所儲之電荷,以庫計。(乙)求接於 320 伏電源時,所儲之電荷。(丙)若在每一情形內,以恒值電流,充電 0.16 秒即足,求電流之值。

10.9, 某容電器之電容為 24 微法拉,(甲)問當備有 3,200 庫電荷時,其反電勢為若干?(乙)其電荷應增至若干,俾得 220 伏之反電勢?

10.10, 某有 60 微法拉電容之容電器, 以均勻率 0.001 安, 使之充電。問充電若干秒後, 則其電勢昇至 250 伏?

10.11, 某容電器以穩定電流 0.0015 安充電 20 秒, 問在何時則電勢為 600 伏? 求其電容。

10.12, 某空氣介質容電器由三片等距離平行板組成, 其兩外層板聯接為一電極, 中層之板成另一電極, 其電容為 0.00018 微法拉。當浸於油質內, 則電容為 0.000468 微法拉, 求此油質之介質常數。

10.13, 某空氣介質容電器之結構, 與第 10.12 題相似, 有 0.00016 微法拉之電容。以玻璃板置於每外層極板與中層極板間, 佔滿其空隙。其電容乃變為 0.00072 微法拉。求玻璃之介質常數?

10.14, 第 10.13 題中之容電器, 以空氣為介質, 充至 400 伏電壓, 而折去其電源。再以第 10.13 題中之玻璃板插入。(甲) 問其電荷有變化否? (乙) 在玻璃插入後, 其電壓為若干? (丙) 若再接於 400 伏電源則其電荷如何?

10.15, 一空氣介質之平行板容電器, 有電容 0.0024 微法拉, 而施以 360 伏電壓。然後以之浸於介質常數為 2.4 之油內, 電源電壓不變。(甲) 問在浸入前與浸入後之電荷為若干? (乙) 拆去電源, 將容電器自油中移出, 則其電介體復為空氣, 問此時之電壓為若干?

10.16, 某空氣平行板容電器之電容為 0.00072 微法拉。以 250 伏之電位差施於其上。拆去電源而浸入油中, 量得其電壓為 100 伏。(甲) 假定無漏電, 求油之介質常數。(乙) 再以 50 伏接上須臾, 即行拆去, 求容電器之電荷, 此時仍在油內。(丙) 然後再自油中移出, 求其電壓。

10.17, 某容電器有電容 40 微法拉, 跨接於 500 伏電壓。移去電源, 而以此容電器與其他不帶電之 A, B, C 三容電器相並聯, 各得 3,000, 5,000 及 4,000 微庫。求: (甲) A, B, C 之電容; (乙) A, B, C 之電壓。

10.18, 三容電器各有 20, 24 及 32 微法拉之電容, 並各充電至 200, 250 及 400 伏電壓。將此三者相並聯, 以共同極相接。(甲) 求此組合之總電壓。(乙) 將此三容電器分開, 而復充至初電壓之 200, 250 及 400 伏。再以之並聯, 並與一第四只容電器相並聯, 其結果電壓變為 228 伏, 求第四只容電器之電容。

10.19, 以電容各為 4, 8 及 10 微法拉之三容電器相串聯, 接於 60 伏電池組。(甲) 問何種單容電器可替代此組合? (乙) 假定無漏電, 各容電器之電荷為若干? (丙) 各容電器之電壓為若干?

10.20, 第 10.19 題內之三串聯容電器, 在充電後, 即拆開, 而以同極相接作並聯組合。(甲) 問各容電器之電荷為若干? (乙) 求此組合之總電壓。

10.21, 若將第 10.20 題中之 4 微法拉容電器反接, 重解該題。

10.22, 以四個容電器相串聯, 電容各為 16, 20, 25 及 40 微法拉, 求其等效電容。以 250 伏跨接於此組合, 求各容電器之電壓及電荷。

10.23, 若第 10.22 題中之四容電器在充電後, 以之相並聯, 其三者之同極相接, 但 16 微法拉容電器之負端接於其他之正端。求: (甲) 此組合之淨電荷; (乙) 各容電器之電荷; (丙) 此組合之電壓。

10.24, 有四容電器相串聯, 接於 200 伏電壓, 各容電器得 30, 70, 40, 60 伏, 電荷同為 8,400 微庫。(甲) 求各容電器之電容; (乙) 此組合之等效電容。(丙) 若充電後, 即拆開而相並聯, 其後三者之同極相接, 而以第一只與後三者反接, 求此新組合之電荷及各容電器之電荷。

10.25, 一平行板容電器包括兩個扁平圓板, 直徑為 80 厘米, 在空氣內相距 0.4 厘米。每板上之電荷為 800 靜電荷。求: (甲) 自每板出發之靜電力線數; (乙) 每板之力線密度; (丙) 兩板間之場強度; (丁) 將一單位電荷自一板搬至他板所作之功以爾格計; (戊) 兩板間互施之力, 以達因計。略去漏電通及邊緣擴散不計。

10.26, 在如第 10.25 題中之容電器, 其兩板間隔為 0.60 厘米, 互施之力為 2.0 達因: (甲) 求每板之電荷密度; (乙) 每板之總電荷; (丙) 兩板間之場強度; (丁) 任令兩板移近 0.20 厘米所作之功。(極板絕緣完美)

10.27, 兩並聯之容電器, 各有 1,600 及 2,400 微庫電荷, 當其接於 200 伏電源時。求每容電器儲蓄之功能及總功能。

10.28, 各有電容 20, 25, 36 及 50 微法拉之四容電器, 串聯接於 600 伏電源。(甲) 問其總功能為若干? (乙) 每容電器所蓄之功能為若干? (丙) 在充電後, 即拆開, 而相並聯, 以同極相接, 求此組合之總功能。

10.29, 某容電器充有 8,000 微庫電荷, 而儲蓄之功能為 0.8 焦, 求: (甲) 其電容; (乙) 其電壓。

10.30, 某平行板容電器之電容為 8,000 靜電法拉, 其電荷為 4,500 靜電庫倫。求其儲蓄之功能以爾格計, 以焦耳計。

10.31. 三容電器接成串並聯組合, 如圖 10.31A 所示, 跨接於電壓 E 。

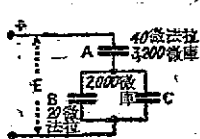


圖 10.31 A

A 之電容為 40 微法拉, B 之電容為 20 微法拉。 A 有 3,200 微庫, B 有 2,000 微庫之電荷。求: (甲) C 容電器之電荷; (乙) 線路電壓 E ; (丙) 各容電器所蓄之能量; (丁) C 之電容。

10.32, 某容電器有三極板, 其外層板互接為一極, 中層板為另一極。板之面積為 40 厘米見方, 板之間隔為 0.12 厘米。求: (甲) 此容電器之電容; (乙) 若其電壓為 300 伏時之儲

蓄功能。(丙)若板間空隙，以介質常數為 2.2 之石鹽填入，則其電容為若干？
(丁)求此時在 300 伏電壓下儲蓄之功能。

10.33. 某高壓電容器以夾層之玻璃及錫箔構成，其玻璃之介質常數為 7.2。玻璃之厚度為 $3/64$ 吋，錫箔為 2 密爾厚，面積為 4 乘 6 吋。(甲)欲製成 0.0653 微法拉之電容器，問需玻璃及錫箔各若干片？(乙)若玻璃板之尺寸為 6 乘 8 吋，問整個電容器之尺寸若何？

10.34. 今欲製一 2 微法拉之電容器，用 4 吋闊及 1 密爾厚之長條錫箔，捲於兩長條之 1.5 密爾厚之蠟紙間。若蠟紙之介質常數為 2.0，問所用錫箔及蠟紙每條之長度為若干吋？

10.35. (甲)求第 10.25 題中之電容器之電容，以微法拉計。(乙)求其接於 1,000 伏電源時，儲蓄之功能。(丙)若已充電後，將其極板移遠 0.6 厘米求其電壓及儲蓄之能量。問其所增加之能量從何而來？

10.36. 一直長導線有甚小之直徑，每厘米長度帶有 12 靜電庫倫。求：
(甲)施於一單位正電荷之力，該電荷距線軸之垂直距離為 8 厘米；(乙)將該電荷移遠 10 厘米所作之功。

10.37. 一空氣電容器包括兩個同軸圓筒，長 3 米，內筒之外直徑為 4 厘米，外筒之內直徑為 8 厘米。(甲)求此電容器之電容，以微法拉計。(乙)略去末端效應不計，問以 2,000 伏施於兩圓筒間，則電荷為若干？

10.38. 一單根導體電纜，包括一實心 4 號美規銅線。其直徑為 204 密爾，其橡膠絕緣物之內直徑為 0.454 吋，介質常數為 4.5。橡膠外為鉛質包皮， $1/16$ 吋厚。求一哩長此電纜之電容。

10.39. 一油漆細葛單導體電纜，包括美規 0 號軟銅線，外直徑為 0.373 吋。絕緣壁厚 $5/64$ 吋，外包鉛皮厚度為 $3/32$ 吋。細葛之介質常數為 4.0，求：
(甲)一哩長此電纜之電容；(乙)以 4,000 伏電壓施於內導體及包皮間時，其電荷及所儲之能量。

10.40. 在一 500,000 圓密爾單導體電纜內，導體之直徑為 0.34 吋，外裹以 $9/32$ 吋厚，介質常數為 2.8 之油紙，其外圍為 $1/4$ 吋厚之鉛包皮。(甲)求 5 哩長電纜之電容，以微法拉計。(乙)此電纜以 20,000 伏之高壓試驗之，求其電荷之庫數及儲蓄能量之焦數。

10.41. 某同心球體電容器外殼之內直徑為 16 厘米，內球之外直徑為 6 厘米，中隔空氣。求：(甲)其電容，以靜電法拉計；(乙)施以 2 靜電伏電壓時之電荷，外球為正 (1 靜電伏 = 300 伏)；(丙)施於內球表面上一單位正電荷之力；(丁)將一單位正電荷，由內球外面沿徑播至外球內面所作之功。

10.42. 某電路包括一 100 微法拉之電容器與 1,200 歐電阻相串聯，突接

於 120 伏電源。求：(甲)電流之初值；(乙)電流為時阻函數之公式；(丙)電路之時間常數；(丁)當時間為(丙)之值時之電流；(戊)電流之最初增加率。

10.43, 某 60 微法拉之容電器充以 150 伏電壓，然後經一 10,000 歐電阻而放電。求：(甲)電流之初值；(乙)電流為時阻函數之公式；(丙)電流開始減低時之變化率。

10.44, (甲)在 10.42 題中，演繹此容電器電荷 q 之公式。(乙)在時間等於時間常數時，其電荷為若干？(丙)描繪電荷一時間，及電流一時間之曲線。

10.45, 某 120 微法拉之容電器，與有 20,000 歐電阻之 150 標度伏特計串聯，突接於 120 伏電源。求：(甲)其電流之公式；(乙)當 $t=1$ 秒時，伏特計之讀數及容電器之電壓。(丙)描繪電流為時阻函數之曲線。

10.46, (甲)演繹第 10.45 題中電荷之公式；(乙)求電流開始增加時之變化率；(丙) $t=0.4$ 秒時之電荷；(丁)電荷達最終值之 99% 時，所需之時間；(戊)描繪電荷為時阻函數之曲線。

10.47, 在第 10.45 題中，其容電器充至 150 伏，於是拆去電源，而自相短接。(甲)當伏特計讀 75 伏時，容電器之電荷為若干？(乙)求電流開始減低時之變化率。(丙)求當電流達最初值之 10% 時，容電器之電荷。(丁)時間等於時間常數時，其儲蓄之能量為若干？

10.48, 在容電器之衝擊量法中(第 10.24 圖，第 323 頁)，當接於未知容電器，而電流計之變力頓分器校配於 0.1 時，其衝擊偏轉度為 24.3 厘米。當以 1 微法拉標準容電器校準電流計時，變力頓分器校配於 1.0，則衝擊偏轉度為 10.5 厘米。求：(甲)電流計之常數；(乙)未知之電容。

10.49, 在容電器之電橋量法中，如第 10.25 圖甲(第 324 頁)所示。當 $R_1=100$ 歐， $R_2=700$ 歐， $C_2=0.8$ 微法拉時，則得平衡。問未知電容 C_x 為若干微法拉？

10.50, 在檢驗電纜之障礙時，用如第 10.26 圖(第 325 頁)之儀器。先量 x 部之電容，電流之衝擊偏轉度為 8.4 厘米。在量好電纜及與以電纜相接一段之電容時，其偏轉度為 22.6 厘米。若每電纜之長度為 2,400 呎，則電纜中斷處距試驗端之距離為若干？

第十一章 發電機

11.1, 一線卷 20 厘米見方，有 60 匝，在一磁通密度為 600 高斯之磁場內，與之相垂直。此線卷在 0.1 秒內旋 $\frac{1}{2}$ 轉，於是與磁場相平行。求：(甲)穿過線卷之最大磁通；(乙)線卷旋 $\frac{1}{2}$ 轉時之平均感應電勢；(丙)線卷與磁場垂直時之感應電勢；(丁)平行時之感應電勢；(戊)若此線卷每秒旋 2.5 轉，其平均感應電勢

爲若干?

11.2, 一 25 厘米見方之線卷, 有 40 匝, 每分旋 600 轉, 在一磁通密度爲 240 高斯之均勻磁場內。求: (甲) 穿過此線卷之最大磁通; (乙) 線卷旋 $\frac{1}{4}$ 轉所需之時間; (丙) 線卷之平均感應電勢; (丁) 若磁通及速率均加倍, 則其平均感應電勢如何?

11.3, 在第 11.2 題中, 求: (甲) 線卷與磁場平行時, 每線卷邊之感應電勢及總電勢。(乙) 若線卷與磁場相垂直時, 將磁通在 0.05 秒內斷絕之, 求其平均感應電勢。(丙) 若線卷與磁場成 45° 之位置時, 將 240 高斯之磁通密度在 0.05 秒內減低爲零, 求其平均感應電勢。

11.4, 圖 11.4A 示一 80 厘米長之導體, 在直徑爲 28 厘米之電樞面上。電樞在磁通密度爲 0.400 高斯之均勻磁場內, 每秒旋 20 轉。問在如圖所示之位置時, 其感應電勢爲若干?

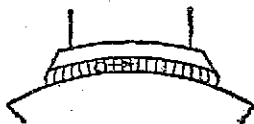


圖 11.4A

11.5, 一均勻的磁場, 有 1,200 高斯之磁通密度, 其表面適足以垂直的穿過 24 乘 8 吋之線卷, 若線卷以均勻速率, 在 0.001 秒內滑出磁場以外, 滑動方向與磁場相垂直。若線卷有 120 匝, 問感應電勢爲若干? (取 18 吋邊或 24 吋邊爲線卷之垂直邊解之)

11.6, 在第 11.4 題內, 問電樞以何速率而旋轉, 則導體之感應電勢爲 8.45 伏?

11.7, 某四極發電機之電樞有 47 槽。(甲) 問有若干線卷元件? (乙) 設計一雙層單摺卷組以後節距爲 23, 前節距爲 21。(丙) 作一繞線表。

11.8, 以 23 爲前節距, 21 爲後節距, 重解第 11.7 題。此卷組爲前進的抑後退的?

11.9, 以 21 爲後節距, 19 爲前節距重解第 11.7 題。

11.10, 某六極發電機之電樞有 65 槽, 有 65 線卷。(甲) 問有若干線卷元件? (乙) 欲捲成一前進的單摺卷組, 選出其前節距及後節距, 作一繞線表, 並畫出該卷組之一部。

11.11, 在八極發電機之電樞內, 有 112 槽, 每槽有兩個線卷邊, 用雙層單式摺卷組。(甲) 問線卷元件爲若干? (乙) 若捲成前進的摺卷組, 試選擇適當之前節距及後節距, (丙) 作一繞線表, 並畫出卷組之一部。

11.12, 某六極發電機有 74 電樞槽, 今欲製成 222 線卷, 必須用三合線卷爲雙層, 前進, 單摺卷組: (甲) 求線卷元件數; (乙) 選擇適當之前節距與後節距; (丙) 求換向器之截片數; (丁) 作一繞線表並畫出卷組之一部。

- 11.13, 用第 11.12 題之電樞槽數, 製成四合線卷, 重解該題。
- 11.14, 在一八極發電機中, 有 112 槽, 每槽有六個線卷元件。(甲)求製成單摺卷組所需適當之前節距及後節距。選擇後節距之值, 最近於平均節距並使線卷能以捲成。(乙)畫出數槽及槽內之元件和接法。(丙)問換向器之換片數為若干?
- 11.15, 某六極, 單摺卷組電樞供給總電流 420 安, 電壓 240 伏。(甲)問每電流路徑之電流為若干?(乙)每路徑電壓為若干?
- 11.16, 第 11.16 題中之電樞, 以同樣數目之線卷, 接成雙重摺卷組。求:(甲)每路徑之電流及電壓;(乙)此電機之總電流, 電壓及千瓦定額。
- 11.17, 在一六極, 500 千瓦, 120 伏電鉸用發電機中, 用雙重摺卷組, 求其每條電流路徑之電流。問每組電刷之電流為若干?
- 11.18, 在一四極, 68 槽發電機中, 用雙重, 雙進, 前進的摺卷組, 其後節距為 33, 每槽有兩個線卷元件。試作一完全繞線表並畫出其一部。
- 11.19, 若第 11.18 題之電機有 67 槽, 重解該題。如有必要, 可改更其自相閉合之次數。
- 11.20, 某四極, 72 槽之電樞, 每槽有 4 線卷元件。設計一雙重, 雙進, 前進的摺卷組, 並作一完全的繞線表。
- 11.21, 若第 11.20 題之電樞有 73 槽, 重解該題。如有必要, 可更改卷組自相閉合之次數。
- 11.22, 某四極發電機有 39 槽, 每槽有二元件, 用 $y_b = 21$, $y_f = 19$, 試畫出一波卷組。此卷組為前進的抑後退的?
- 11.23, 用 $y_b = 19$, $y_f = 19$, 重解第 11.22 題。以第(11.11)式及第(11.12)式(第 360 頁)核對之。此卷組為前進的抑後退的?
- 11.24, 某六極發電機有 85 槽, 每槽有二元件。用 $y_b = 29$, $y_f = 27$, 製成波卷組, 作一繞線表, 並畫出卷組之一部。此卷組為前進的抑後退的?
- 11.25, 今欲在一六極發電機, 每槽有二元件之電樞上, 繞成前進式之波卷組。前節距後節距均用 29, 問電樞上應有若干槽?
- 11.26, 若製成後退的波卷組, 重解第 11.25 題。
- 11.27, 在四極發電機中, 有 72 電樞槽, 欲製成波卷組, (甲)試設計一繞接方法;(乙)若採用虛設線卷, 重擇前節距與後節距;(丙)作一繞線表。
- 11.28, 在一六極發電機中, 有 83 槽, 每槽有二元件。取 $y_b = y_f = 27$, 製成一波卷組。若用一虛設線卷, 是否有製成之可能?作一繞線表。
- 11.29, (甲)在第 11.27 題中, 不用虛設線卷, 設計一雙重波卷組。(乙)其卷組自相閉合幾次?(丙)其電流及電壓定額, 與第 11.27 題比較如何?

11.30. 在一六極，250 仟瓦，250 伏發電機中，電樞有單波卷組。(甲)求其電壓，電流及仟瓦定額。(乙)若有雙重波卷組，重解(甲)項。

11.31. 某八極，500 仟瓦，250 伏發電機，繞有雙重波卷組，共有八組電刷。求：(甲)每條電流路徑之電流；(乙)每組電刷之電流；(丙)若欲此發電機有 230 伏，500 仟瓦之定額，則當用何式卷組？(丁)在(丙)項情形時，重解(甲)及(乙)兩項。

第十二章 發電機之特性

12.1. 第 12.1A 圖示一北極之磁通穿入四極發電機之電樞。直接在磁極之下，其磁通密度為 7,000 皋斯。電樞之直徑為 30 厘米，其速率為每分 1,800 轉，導體之有效沿軸長度為 18 厘米。求：(甲)在電樞表面上導體 α 之沿週速率；(乙)此導體直接在磁極下時之應電勢。

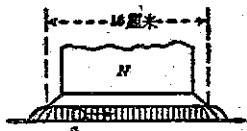


圖 12.1 A

12.2. 在第 12.1 題中，其極弧之長為 16 厘米。直接在極下而在極弧之距離內，平均磁通密度為 7,200 皋斯。但在整個極距內，平均磁通密度為 5,600 皋斯。(甲)問導體直接在磁極下時之應電勢為若干？(乙)當導體經一刷至另一刷時之應電勢為若干？(丙)若在任何一對電刷間，每條電流路徑有 98 導體，求兩刷間之應電勢。

12.3. 某四極，250 伏，12 仟瓦發電機磁極之沿軸長度為 4.5 吋，其極弧之長為 6 吋。在極面下之平均磁通密度為每方吋 45,000 線，而在極弧下之密度皆同。電樞之直徑為 11 吋，速率為每分 1,200 轉。求：(甲)一簡單導體直接在極面下時之應電勢；(乙)導體經過任何兩電刷間之應電勢。(丙)電樞有 54 槽；每槽 12 導體，用摺卷組，求任何兩電刷間之應電勢。

12.4. 四極分激發電機之極面為 8 吋見方，直接在極面下之磁通密度為每方吋 42,000 線，而在極弧下之密度皆同。電樞有 336 導線捲成波卷組。(甲)求電樞之速率為每分 800 轉，及每分 1,000 轉時，電機之應電勢。(乙)若每條路徑之電流為 25 安，求在每種速率時，電機之仟瓦定額。

12.5. 若第 12.4 題之導體，捲成單摺卷組，其導體數，速率，磁通不變，重解該題(甲)，(乙)兩項。

12.6. 在六極，550 伏發電機中，電樞之直徑為 36 吋，極面為 12 吋見方。無載時，直接在極面上之平均磁通密度為每方吋 48,800 線，而在極弧下之密度皆同。若每極下有 16 槽，用波卷組，電樞速率為每分 900 轉。求：(甲)每

導體之最大應電勢；(乙)每導體之平均應電勢；(丙)欲產生 600 伏所需每槽之導體數。

12.7, 在某八極 250 伏發電機內, 每極有 16 槽, 每槽有雙線卷, 每卷有 4 匝, 用單摺卷組。若每極之總磁通為 7,240,000 馬, 求: (甲) 產生 250 伏所需之速率; (乙) 使得 200 仟瓦定額時, 每條路徑之電流。

12.8, 下表所列為某 60 仟瓦, 240 伏, 800 轉/分直流發電機之飽和曲線之紀錄, 係在 800 轉/分之速率, 及增加場電流時所讀取者:

場電流	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	4.8
電動勢	11	44	88	126	154	176	200	224	246	264

(甲) 描繪在 800 轉/分及在 720 轉/分時之飽和曲線; (乙) 求在此二速率時之臨界的場電阻值。

12.9, 在第 12.8 題之發電機內, 有四極, 每極有分激場卷 1,280 匝。其電樞有 72 槽, 每槽有 4 導體, 捲成單摺卷組。描繪一曲線, 以場安匝為橫坐標, 以每極磁通為縱坐標。欲在 800 轉/分時產生 240 伏之電壓, 則每極之磁通應為若干馬?

12.10, (甲) 在第 12.8 題中, 求在 800 轉/分產生 240 伏電壓所需之場電阻。(乙) 在 720 轉/分產生 220 伏者。(丙) 若場電阻為 60 歐, 則在 800 轉/分之速率時, 該機建立至何電壓? 在每一情形, 畫出場電阻線。

12.11, 若第 12.8 題之發電機, 已駛至 800 轉/分之速率, 調整其場電阻適使建立至 240 伏, 問場電流之初值為若干? 應電勢之初值為若干? 試尋跡電壓建立之程序, 尋出逐次之場電流及應電勢值。

12.12, 某分激發電機在 600 轉/分之速率時, 建立至 125 伏。問速率及場電阻均加倍時, 該機建立至何電壓?

12.13, 某雙極發電機之零載磁通為每極 3,000,000 線, 而每極有 3,000 安匝。電樞表面上有 8,400 安培導線, 作均勻分佈。若其電樞自無載中性面移前 20° , (甲) 求其交磁及去磁之安培導線數; (乙) 略去交磁部份及飽和效應不計, 求每極之淨安匝及每極之淨磁通。

12.14, 某雙極發電機之表面上有 280 導線。該機供給 80 安, 使每導線有 40 安電流。若電刷前移 20° , 求其交磁及去磁安培導線數及安匝數。

12.15, 某四極發電機之電刷前移 12 機械度數; 其電樞為單摺卷組, 有 432 導線。該機供給 96 安電流, 其場電流為 2.4 安, 而每極有 600 匝場卷。求: (甲) 其去磁及交磁安匝; (乙) 每極之淨安匝 (僅計及去磁效應)。

12.16, 在某八極, 400 仟瓦 240 伏發電機中, 電樞有 160 槽, 每槽 4 導線, 用單摺卷組及 3:2 換向器截片。其分激場卷每極有 800 匝。其電流為 13

安。若電刷前移 5 個換向器截片，求：(甲)每極之去磁安匝；(乙)每極之交磁安匝；(丙)每極之淨安匝，儘計及去磁效應。

12.17, 某 12 極, 500 仟瓦, 250 伏分激發電機之電樞有 192 槽, 576 換向器截片, 1,152 導線, 捲成單摺卷組。其電樞直徑為 94.5 吋; 而極面被覆電樞表面之 70%。其電刷前移兩個換向器截片。求：(甲)該機之額定電流及每條路徑之電流；(乙)每極之去磁及交磁安匝；(丙)繪出磁極及電樞表面, 至少包括兩個極距, 顯示其去磁及交磁安匝；(丁)繪出去磁及交磁安匝之曲線, 與第 12.20 圖相似。

12.18, 若第 12.17 題之磁激, 在額定負載時, 每極有 3,600 安匝用於空氣隙內, 1,200 安匝於槽齒內。繪出沿電樞表面之綜合磁通勢分佈情形, 及綜合磁通分佈情形之大概。

12.19, 某四極, 25 仟瓦, 125 伏, 1,200 轉/分發電機之電樞, 直徑為 30 厘米, 有 64 槽, 每槽 4 線, 捲成單摺卷組, 使每槽有兩個線卷邊。換向器之直徑為 22 厘米, 有 64 截片。電刷之沿週闊度為 1 厘米。當供給額定電流時, 有 8,000 馬之等效磁通, 與每線卷邊相連繫。求：(甲)換向期之時間；(乙)線卷經換向區時, 其連繫磁通之變動及平均變動率；(丙)經換向區時每線卷之平均應電勢。

12.20, 若第 12.19 題中, 有 6,800 馬之磁通與每槽之 4 導線相連繫, 而速率減為 1,000 轉/分, 重解該題。

12.21, 某 20 仟瓦, 240 伏發電機為單摺卷組, 每槽有 16 線, 每線卷有 8 線。其換向器之直徑為 8 吋, 每刷之沿週闊度為 5/8 吋, 速率為 1,600 轉/分。當任額定負載時, 有 10,800 馬與每線卷邊相連繫。求：(甲)換向器之沿週速率；(乙)換向期之時間；(丙)未換向前每線卷所連繫之總磁通；(丁)在換向期內磁通之總變化；(戊)每線卷在換向器之自感電勢。

12.22, 若速率減低至 1,000 轉/分, 電流減至 80%, 重解第 12.21 題。

12.23, 某 150 仟瓦分激發電機之端電壓, 在滿載時為 600 伏。其每路電阻為 100 歐, 樞電阻為 0.08 歐, (甲)求其電樞內之應電勢, (乙)若該機供給電流減少, 則端電壓為 620 伏, 求此時之應電勢。

12.24, 某 100 仟瓦, 250 伏分激發電機之電樞內, 當滿載時, 有 258 伏之應電勢, 端電壓為 250 伏。其分激場卷取用 6 安電流。(甲)求樞電阻；(乙)若該機之零載電壓為 254 伏, 求其電壓調整率。(丙)何以零載電壓與滿載時之應電勢不同?

12.25, 某 250 仟瓦, 600 伏分激發電機之電樞, 在供給額定負載時, 有 628 伏之應電勢, 而場電流為 6.0 安, 其樞電阻為 0.06 歐。求：(甲)其端電壓；

(乙)產生之功率;(丙)輸出之功率;(丁)其電之效率。

12.26, 某60仟瓦, 240伏複激發電機, 用作分激式者。在800轉/分及減低場電流時, 所得之飽和曲線紀錄如下:

場電流	4.35	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
電 勢	254	249	240	225	207	185	158	120	68	12

其樞電阻為 0.035 歐, 其場電阻調準至某值, 適使在零載得 254 伏。(甲)略去電樞反應, 求出並描繪一曲線, 以負載電流為橫坐標, 以端電壓為縱坐標, 直至 200% 之額定電流。(乙)再以樞電流為橫坐標, 電樞應電勢為縱坐標, 繪一曲線。(丙)在滿載時, 端電壓為若干?(參考第 404 頁)。

12.27, 由第 12.26 題求:(甲)電樞所能供給之最大電流;(乙)在 200% 額定負載電流時之兩樞電流值;(丙)繪出其外特性曲線, 自 200% 額定電流減低至零。

12.28, 若速率為 850 轉/分, 重解第 12.26 題(甲),(乙)及第 12.27 題之(丙)部。

12.29, 若第 12.26 題中發電機, 每極有分激場卷 1,280 匝。電樞有 72 槽, 每槽 8 線, 捲成單捲電組。其電樞前移 4 機械度數。(甲)求當該機供給額定電流時, 每匝之去磁安匝。(乙)由(甲)求出並繪一曲線, 以樞電流為橫坐標, 端電壓為縱坐標。(丙)再繪一曲線, 以負載電流為橫坐標, 端電壓為縱坐標, 由零至 100% 滿載電流, 再回至零。(丁)求該機所可供給之最大負載電流。

12.30, 某 15 仟瓦, 230 伏, 1,200 轉/分複激發電機內各部之電阻如下: 電樞 0.16 歐, 串激場卷 0.04 歐, 串激場分流器 0.60 歐, 分激場卷 180 歐。為短並聯式。當在額定電壓, 供給額定電流時, 求:(甲)電樞, 串激場卷, 分流器及分激場卷之功率損失;(乙)其應電勢;(丙)電樞內產生之總功率;(丁)其電之效率。

12.31, 若該機在 235 伏供給半載電流, 重解第 12.30 題。

12.32, 某 400 仟瓦, 240 伏, 400 轉/分複激發電機各部之電阻如下: 電樞為 0.0048 歐; 串激場卷 0.0008 歐; 換向極卷 0.00003 歐; 分激場卷 12.8 歐。今接成長並聯式, 當其在額定電壓供給額定電流時, 求:(甲)各部損失之功率及總損失;(乙)產生之總功率;(丙)該機之效率。

12.33, 若該機供給額定電流時, 其端電壓為 245 伏, 重解第 12.32 題。

12.34, 某複激發電機之零載電壓為 250 伏, 經 1,000,000 呎密爾之電纜, 供應一 500 仟瓦於 800 呎之距離。今欲在負載端, 由零載至滿載, 皆維持 250 伏之電壓。問該發電機之零載及滿載電壓應各為若干? 假定每呎密爾呎之銅, 在運用溫度時, 有 11 歐之電阻。

12.35, 若第 12.34 題中負載端之電壓, 由零載至滿載, 應由 250 伏昇至 265 伏, 重解該題。

12.36, 若第 12.34 題中之發電機為長並聯式。其各部之電阻如下: 電樞 0.010 歐; 串激場卷 0.0025 歐; 分流器 0.009 歐; 換向極卷 0.0015 歐。(甲) 若該機供給 500 仟瓦功率時, 其應電勢為若干? (乙) 其電機內各部份所損失之功率及電阻之損失為若干? (丙) 該機產生之功率之百分之幾, 傳遞至負載?

12.37, 若如第 12.35 題之負載情形, 重解第 12.36 題。

12.38, 在第 12.26 及第 12.29 題中之發電機, 其串激場卷每極有 $6\frac{1}{2}$ 匝, 串激場之總電阻為 0.010 歐。發電機為長並聯式。(甲) 由 800 轉/分及增加場電流所得之飽和曲線, 求使該機得平複激特性之串激場電流。(乙) 求串激場分流器之電阻, 略去電樞反應不計。

12.39, 用第 12—23 節(第 412 頁)所述之方法, 求當樞電流等於額定電流, 而移去分流器後, 第 12.38 題中發電機之端電壓。其零載電壓為 240 伏。

12.40, 在第 12.26 及第 12.38 題中之 60 仟瓦, 240 伏發電機內, 每極有 $6\frac{1}{2}$ 匝串激場卷。其電刷前移 4 個換向器截片, 移去其串激場之分流器, 再接成長並聯式。由其飽和曲線, 計及電樞反應, 求其複激特性曲線, 自零以至 150% 額定負載電流。

12.41, 今欲在分激發電機上加串激場卷, 當施以負載時, 將分激電流自 4.0 增加至 5.7 安, 則使滿載電壓等於零載電壓。若分激場卷為每極 652 匝, 額定電流為 250 安時, 求: (甲) 每極所應加之串激匝數; (乙) 用每極 $7\frac{1}{2}$ 串激匝數時, 所需串激場與分流器電阻之比。假定樞電流與額定電流同。

12.42, 某 600 仟瓦, 600 伏複激發電機為長並聯式。今欲其電壓, 自零載之 550 伏增至滿載之 600 伏, 則拆去串激場, 以外接電流激發其分激場, 當樞電流由 10.5 安增至 17.5 安, 則可達目的。若每極有分激卷 400 匝, 串激卷 $6\frac{1}{2}$ 匝, 而串激場電阻為 0.008 歐, 求所需並聯於串激場卷之分流器電阻。

12.43, 某串激發電機供給功率於 42 只 6.6 安, 500 瓦串接弧燈。其樞電阻為 20 歐, 場電阻為 18 歐, 線路電阻為 12 歐。求: (甲) 發電機之端電壓; (乙) 電樞之應電勢。

12.44, 某 160 仟瓦負載, 距 240 伏匯流排 2,000 呎, 經 750,000 圓密爾餉電線供給之。今欲在額定負載時, 負載端電壓不致低於 230 伏。求維持此電壓所需之串激昇壓機之電流及電壓定額。假定每圓密爾呎之銅, 在餉電線之運用溫度, 有 11 歐電阻。

12.45, 若第 12.44 題之昇壓機之效率為 80%, 以一電動機策動之。電動機跨接於匯流排, 其效率亦為 80%。求此饋電制度之總效率。

第十三章 電動機

13.1, 某電動機內直接在北極下之磁通密度為 6,000 皋斯。電樞導體之有效長度為 20 厘米, 每導體載有 32 安電流。(甲) 求施於每導體之力, 以達因計, 以仟克計。(乙) 若電流向內流, 則力之方向如何?

13.2, 一扁平線卷有 25 匝, 其水平長度為 40 厘米, 垂直長度為 30 厘米 (見圖 13.2 A), 在一均勻磁場內, 其密度為 1,600 皋斯。線卷平面與磁場相垂直, 其上邊電流向讀者流出。若磁通方向為自左向右, 每匝電流為 18 安。求: (甲) 每水平線卷邊所生之力; (乙) 每垂直邊所生之力; (丙) 垂直線卷邊之垂直應力; (丁) 水平線卷邊之水平應力。

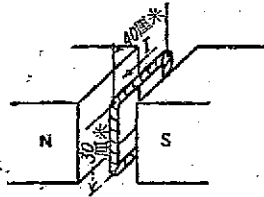


圖 13.2 A

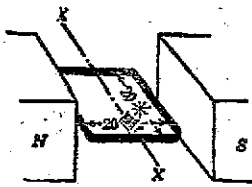


圖 13.3 A

13.3, 一扁平線卷 20 厘米見方, 有 24 匝, 置與一均勻磁場內, 其平面與磁力線方向相平行。磁通密度為 800 皋斯, 其所載電流為 12.0 安。求: (甲) 施於每一線卷邊之力, 以仟克計; (乙) 在此位置時, 線卷所受之轉矩以仟克米計, 以磅呎計。(丙) 若右面線卷邊之電流, 背讀者流入, 則線卷欲循何方向而旋轉? (丁) 若線卷依 XX 軸, 轉過 30° , 則轉矩為若干磅呎? 轉過 45°

如何? (參看圖 11.3 A)

13.4, 第 13.1 題之電動機有 4 磁極, 電樞之直徑為 32 厘米。電樞上有 36 槽, 每槽 12 導體。在任何瞬間, 常有 72 導體在一磁極下。直接在每磁極下之磁通密度為 6,000 皋斯, 且為均勻的。假定電樞反應已得補償, 且不計擴散作用, 求: (甲) 每極下所生之力以仟克計; (乙) 電樞導體所生之總力; (丙) 電樞所生之總轉矩以仟克米及磅呎計之。

13.5, 若每導體電流為 24 安, 磁通密度減至 5,000 皋斯, 重解第 13.4 題。

13.6, 一有 24 匝之線卷, 在一磁通密度為每方吋 36,000 線之磁場內, 與之相平行, 線卷邊之距離, 沿磁場方向量之為 12 吋, 而每有效導體有 18 吋長在磁場內, 與之相垂直。若電流為每導體 15 安, 求線卷所生之轉矩以仟克米計。畫出此線卷及綜合磁場及力之方向。

13.7, 若線卷平面與磁場方向成 60° 之角, 重解第 13.6 題。

13.8, 若將第 13.6 題之線卷自轉 90° , 使其 12 吋邊與磁場相垂直, 而其

18 吋邊與之相平行，重解該題。

13.9, 某四極分激電動機之磁極面為 8 吋見方，因電樞反應，其在後極尖下之磁通密度為每方吋 30,000 線，在前極尖下者為 40,000 線。假定磁通自前極尖至後極尖，作均勻的變化，略去擴散作用。電樞直徑為 14.5 吋，其表面有 336 導線，分成 4 條路徑。求當樞電流為 120 安時，該電動機之轉矩，以磅呎計。

13.10, 在第 13.9 題中，電樞速率為每分 1,000 轉，求：(甲)其反電勢；(乙)電樞內所產生之機械功率，以瓦計；(丙)其內部馬力；(丁)其內生轉矩。

13.11, 若第 13.9 題中，電樞之電流為 75 安，而用單波卷組，其磁通密度在後極尖及在前極尖下者，各為每方吋 28,000 及 40,000 線，重解該題。

13.12, 在第 13.11 題中，若電樞速率為每分 1,000 轉，重解第 13.10 題各項。

13.13, 當某分激電動機之樞電流為 75 安，而空氣隙之磁通密度為每方吋 42,000 線時，其內生轉矩為 90 磅呎。若磁通不變，而電樞取入：(甲) 40 安，(乙) 50 安，求其內生轉矩。

13.14, 若將第 13.13 題中電動機之負載移去，則電樞需要 8 安，始能維持其旋轉。(甲)求其克制損失所需之內轉矩。(乙)若零載轉矩不變，求在該題兩種樞電流時，在滑輪上所得之轉矩。

13.15, 若第 13.13 題中電動機之磁通密度為每方吋 50,000 線，樞電流為 80 安，求該機所產生之轉矩。

13.16, 當某分激電動機每極之磁通為 2,800,000 馬，樞電流為 84 安，其電磁的轉矩為 120 磅呎。今欲在 100 安之樞電流時，產生 200 磅呎之轉矩，則以該機接成互助複激式。若不計及電樞反應，問每極之磁通應增加若干？

13.17, 某分激電動機之樞電阻為 0.048 歐。以之接於 125 伏電源，則產生 118 伏之反電勢。(甲)問其電樞取用電流若干？(乙)在電動機靜止時，而以電樞接於同樣電源，則取入電流若干？(丙)若樞電流為 160 安，其反電勢為若干？

13.18, 第 13.17 題中之電動機，若自電源取入 175 安，則所生反電勢為若干？若以該機用作發電機，當電樞在 125 伏時供給 175 安，則其內電勢為若干？

13.19, 某分激電機有 0.15 歐之樞電阻，接於 240 伏匯流排。當其樞電流為 75 安，求其用作電動機時及用作發電機內之應電勢。

13.20, 某四極分激電動機之電樞表面有 480 導線，捲成單波卷組。其磁通為每極 3,070,000 線。若旋轉速率為 1,500 轉/分，其產生之反電勢為若干？

若樞電阻爲 0.2 歐，求樞電流爲 60 安時，所需之端電壓。

13.21, 若第 13.20 題中之端電壓與磁通不變，而速率降低至 1,460 轉/分，則其樞電流爲若干？

13.22, 某 4 極，15 馬力，240 伏電動機之電樞有 45 槽，每槽有 16 導線，捲成單波卷組，其樞電阻爲 0.15 歐，包括電刷在內。其磁極之沿軸長度爲 4.25 吋，極弧爲 6 吋。當速率爲 1,200 轉/分，而每極下之平均磁通密度爲每方吋 31,500 線時，求：(甲)電樞之反電勢；(乙)端電壓爲 240 伏時之電流。

13.23, 在第 13.22 題中，若速率爲 1,100 轉/分，平均磁通密度爲每方吋 32,800 線時，求其樞電流。

13.24, 某 20 馬力，250 伏分激電動機之樞電阻爲 0.16 歐。在零載時，該機在額定電壓下，取入 6.4 安，其場電流爲 2.2 安，速率爲每分 1,280 轉。略去電樞反應不計，求：(甲)場電流不變，而樞電流爲 75 安時之速率；(乙)其速率調整率。該電動機之額定電流爲 68 安。

13.25, 在第 13.24 題中，若樞電流爲 50 安，而因電樞反應使平均磁通密度爲每方吋 30,000 線。求：(甲)其速率，(乙)不計及零載電流之速率調整率；(丙)其所產生轉矩與在第 13.24 題中之情形時所產生轉矩之比。

13.26, 若第 13.24 題之電動機內，加一串激磁卷，電阻爲 0.06 歐，接成長並聯而與分激場相助。當電樞在 250 伏取額定之 68 安電流時，此複激效應，使每極之磁通增加 20%。假定磁通之增加與樞電流成比例，而不計電樞之反應。(甲)求當該機取入 6.4 安及取入 72 安時之速率，其分激電流不變。(乙)以有串激場及無串激場時之轉矩比較之。

13.27, 在零載時，第 13.24 題之電動機內，磁通密度爲每方吋 31,500 馬。今欲該機在電樞取入 75 安電流時之速率，與零載速率相等。求樞電流爲 75 安時，在第 13.24 及第 13.26 題之條件下，每極之磁通密度。

13.28, 若第 13.24 題內之電動機取 72.2 安電流，求：(甲)電樞所產生之機械功率，以仟瓦及以馬力計；(乙)其內生轉矩。

13.29, 某 60 馬力，250 伏，850 轉/分之分激電動機，在 250 伏下取 168 安。其場電流爲 2.8 安，樞電阻爲 0.072 歐。若有 12 安之線路電流時，其速率爲 850 轉/分。求：(甲)其內部產生之功率，以仟瓦及以馬力計；(乙)線路電流爲 168 安時之內生轉矩，略去電樞反應不計。

13.30, 某 100 馬力，600 伏，1,200 轉/分之分激電動機之場電阻爲 400 歐，樞電阻爲 0.22 歐。其在額定負載時之效率爲 90%。在額定負載時，求：(甲)額定之線路電流；(乙)場電流；(丙)反電勢；(丁)產生之內部功率；(戊)內生轉矩及滑輪上之轉矩。

13.31, 在第 13.30 題中, 將其電樞扼住, 使其靜止, 而以外電阻與線路之一線相串聯, 調準之使額定電流流入。求: (甲) 場電流; (乙) 樞電流; (丙) 以場與樞電流之分壓與第 13.30 題比較之, 並予以解釋。

13.32, 某 20 馬力, 250 伏串激電動機之樞電阻為 0.38 歐, 串激場電阻為 0.10 歐。當電動機取 70 安電流時, 其速率為 600 轉/分。假定飽和曲線為一直線, 而不計及電樞反應, 求: (甲) 取 80 安; (乙) 取 40 安電流時, 該機之速率。

13.33, 在第 13.32 題中, 若以 0.5 歐電阻與串激場相並聯, 求在 (甲), (乙) 兩種情形時之速率。

13.34, 在某 60 馬力, 550 伏串激電動機中。其串激場電阻為 0.10 歐, 樞電阻為 0.25 歐, 當其自線路取入額定之 92 安電流時, 其速率為 420 轉/分。假定飽和曲線為一直線, 而不計及電樞反應。求電流為: (甲) 100 安; (乙) 40 安時之速率。(丙) 在何種電流時, 其速率僅每分 1,200 轉?

13.35, 某分激電動機自 250 伏電壓, 取 90 安, 在 960 轉/分之速率時, 產生 156 磅呎之內轉矩。其場電阻為 220 歐。不計電樞之反應, 求: (甲) 其樞電阻; (乙) 在 45 安之電動機電流時, 其產生之內轉矩及速率。

13.36, 某 10 馬力, 230 伏, 1,350 轉/分分激電動機之額定電流為 97.8 安, 其場電流為 0.75 安。在額定電流及速率時, 其內生轉矩為 41.5 磅呎。求: (甲) 在 18 安及 30 安線路電流時之內轉矩; (乙) 在上述電流時之速率, 不計電樞之反應。(丙) 若其零載電流為 2.8 安, 求在 37.5 安電流時之速率調整率。(丁) 求在額定負載時, 滑輪端之轉矩。

13.37, 若第 13.36 題中電動機之磁通, 減至該題之值之 0.88, 其場電流為 0.6 安。求: (甲) 在此情形及額定電流時之內轉矩及速率; (乙) 當樞電流為 20 安, 場電流為 0.6 安時之內轉矩及速率。不計電樞反應。

13.38, 某 5 馬力, 240 伏串激電動機, 取用 15 安電流時, 則產生 40 磅呎之內轉矩。求在: (甲) 8 安; (乙) 12 安電流時, 其產生之內轉矩。假定飽和曲線為一直線, 而略去電樞反應不計。

13.39, 第 13.38 題電動機之樞電阻為 0.25 歐, 場電阻為 0.12 歐。(甲) 當在 240 伏取入 11 安電流時, 其速率為若干? (乙) 在 20 安電流時, 其產生之內部馬力為若干? (丙) 在 11 安電流時之內部馬力為若干?

13.40, 某 50 馬力, 600 伏串激鐵道用電動機內, 樞電阻為 0.4 歐, 串激場電阻為 0.25 歐。在額定電壓及 70 安電流時, 其速率為 600 轉/分。求在電流為: (甲) 90 安, (乙) 40 安時, 其速率及內轉矩。假定飽和曲線為一直線, 並略去電樞反應不計。

13.41, 若第 13.40 題中之串激電機, 用一電阻為 1.0 歐者與之並聯, 重解該題(甲)(乙)兩部。

13.42, 某電車內有兩串激電動機, 並聯使用, 取入 120 安電流, 則產生總曳引力 1,800 磅。(甲) 問車初啓動時, 兩電動機相串聯, 而取入 100 安電流, 其曳引力約為若干?(乙) 問兩電動機相並聯, 而電車之總電流為 140 安, 其曳引力約為若干? 假定飽和曲線為一直線, 而不計電樞之反應。

13.43, 某 25 馬力, 250 伏, 助激電動機在輕載時之速率為每分 1,200 轉, 其線路電流為 5.40 安。其樞電阻為 0.15 歐, 分激電阻為 220 歐, 串激電阻為 0.04 歐。其在額定負載時之線路電流為 85 安, 速率為 825 轉/分。該機為長並聯式, 假定磁通之增加, 與樞電流成正比, 求(甲)在額定負載速率時之反電動勢;(乙)額定負載磁通與零載時磁通之比;(丙)在額定負載時之內生轉矩。

13.44, 若第 13.43 題中之線路電流為 42 安。求:(甲)其反電動勢;(乙)其速率;(丙)滿載磁通與零載磁通之比;(丁)電動機之內生轉矩。

13.45, 某 20 馬力, 220 伏分激電動機之額定電流為 78 安, 其零載速率為 1,000 轉/分, 樞電阻為 0.14 歐, 分激電阻為 208 歐。今欲其啓動轉矩等於其滿載轉矩, (甲)問其啓動箱內之初步電阻應為若干?(乙)若全部啓動用電阻仍在電路內, 而其速率達零載值之百分之 25, 求其樞電流。略去在零載時樞電阻之壓降及電樞反應不計(以下諸題亦適用此假定)。

13.46, 假定第 13.45 題中之電動機速率, 已達(乙)項內所述之值, 而欲樞電流仍等於滿載時之值, 則移動啓動臂於次一觸點得之。問此時啓動箱有電阻若干在電路內?

13.47, 假定第 13.45 題中之電動機, 在啓動電阻達第 13.46 題之值後, 其速率達零載速率之半。(甲)問此時樞電流為若干?(乙)若移動啓動臂至再次一觸點, 使樞電流仍回至滿載時之值, 則此時啓動箱之電阻, 有若干仍在電路內?

13.48, 某 60 馬力, 550 伏分激電動機之樞電阻為 0.27 歐, 其場電阻為 520 歐, 其額定電流為 90 安。今欲其在啓動時產生 150% 之額定轉矩, 問其控制器內初步電阻應為若干?

13.49, 某 75 馬力, 600 伏串激電動機之樞及場電阻, 各為 0.25 及 0.12 歐, 其額定電流為 100 安。欲其在啓動時產生:(甲)額定負載之轉矩; 及(乙)額定轉矩之百分之二百時, 其啓動控制器內之初步電阻。

13.50, 某 10 馬力, 230 伏分激電動機之樞電阻為 0.35 歐。當其樞電流為 1.6 安時, 其速率為 1,040 轉/分。今欲在 40 安電流時, 將其速率減至 600

轉/分。(甲)問所插入之外電阻應為若干?(乙)在此外電阻接入後,若樞電流為 22 安,則其速率為若干?(丙)其額定總電流為 38.5 安,樞電流為 0.8 安,求在(甲)及(乙)兩部中之轉矩,對於額定負載值之百分比。(丁)在(甲)及(乙)中,線路供給於樞電路電功率之百分之幾,係輸入於電樞者,百分之幾轉變為機械功率?

13.51, 若第 13.50 題中之電動機,在 40 安電流時之速率為 300 轉/分,重解該題。

13.52, 一電動機接於第 13.28 圖(第 464 頁)之 110 伏電源,則其速率達每分 400 轉。若不計樞電阻之壓降,求在該圖所示各種樞電壓下之速率。

13.53 在華德-黎翁那德速率控制法中,其各機之效率如下: M_1 為 86%, G , 85%; M_2 , 84% (見第 13.29 圖,第 465 頁)。其電源電壓為 250 伏。當 M_2 供給 15 馬力時,線路供給之電流為若干?此組合之總效率為若干?

13.54, 在第 13.53 題中,若電動機之負載為 7.5 馬力,此時各機之效率如下: M_1 , 82.5%; G , 81%; M_2 , 80%。求該組合之總效率。

13.55, 在與第 13.35 圖(第 471 頁)相似之軛上, L 之長為 2 呎。其磅秤之讀數為 52.6 磅,軛臂之固有重量為 2.8 磅,電樞之速率為 1,240 轉/分。(甲)求該電動機所產生之馬力。(乙)若在 240 伏時有 83.0 安電流輸入,求其效率。

13.56, 若第 13.55 題中之磅秤讀數為 36 磅,速率為 1,210 轉/分,其輸入為在 240 伏時 55.3 安,其他常量同前,重解該題。

13.57, 今欲以第 13.35 圖之軛,試驗一 10 馬力, 250 伏, 1,500 轉/分激電動機。軛臂之長為 2 呎。若此試驗直做至百分之 25 之過載,則磅秤之額定磅數應為若干?

13.58, 在與第 13.37 圖相似之軛上,其軛鼓之直徑為 10 吋,電動機之速率為每分 1,400 轉。一磅秤上讀出 12.5 磅,另一磅秤上讀出 3.7 磅。求:(甲)在此負載時,電動機所產生之轉矩;(乙)馬力輸出。(丙)若其輸入為在 115 伏時 8.92 安,求其效率(參考第 474 頁)。

13.59, 計算如圖 13.59A 所示索軛所產生之馬力輸出。其軛鼓之速率為每分 1,180 轉。

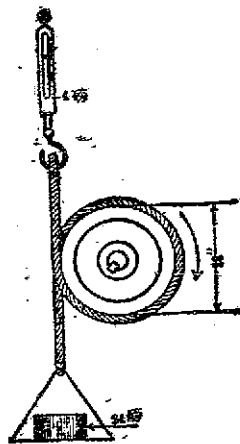


圖 13.59 A

第十四章 損失;效率及運用

14.1, 某分激發電機當有每極 1,200,000 線

之磁通，在速率為 1,000 轉/分時，其渦流損失為 420 瓦。求：(甲)磁通不變，在速率為 1,200 轉/分時之損失；(乙)磁通為每極 1,000,000 線，速率為 1,000 轉/分時之損失；(丙)磁通如(乙)而速率為 1,200 轉/分時之損失。

14.2. 第 14.1 題中發電機之磁滯損失為 640 瓦，其速率為 1,000 轉/分。求其在該題中(甲)，(乙)，(丙)三情形時之損失。

14.3. 當一 50 仟瓦，250 伏分激發電機之感應電勢為 265 伏，而速率為 1,200 轉/分時，其樞鐵內之磁滯損失為 800 瓦。求其在下列各情形時之磁滯損失：(甲)應電勢為 280 伏，速率為 1,200 轉/分；(乙)應電勢為 230 伏，速率為 1,020 轉/分；(丙)應電勢為 240 伏，速率為 1,020 轉/分。

14.4. 在第 14.3 題中，若其渦流損失為 420 瓦，求其在該題(甲)，(乙)，(丙)三情形時之渦流損失。

14.5. 某 100 仟瓦，250 伏，900 轉/分分激發電機，在 245 伏及額定速率時供給 350 安，其總損失為 9,580 瓦。求，(甲)功率輸入以馬力計；(乙)所需以推動此發電機之轉矩；(丙)其效率。

14.6. 當第 14.5 題之發電機在額定電壓及速率，供給額定電流時，其總損失為 11,090 瓦。重解該題(甲)，(乙)，(丙)三項。

14.7. 某 30 馬力，250 伏，1,200 轉/分分激電動機，在額定速率及電壓，担负額定負載時，其損失為 4,740 瓦。求：(甲)其轉矩；(乙)輸入功率之瓦數；(丙)電流；(丁)效率。

14.8. 某 15 馬力，250 伏，1,500 轉/分分激電動機之樞電阻為 0.168 歐，場電阻為 210 歐。當在額定電壓供給額定負載時，其雜散功率為 1,400 瓦。求：(甲)在額定負載時之輸入；(乙)效率；(丙)雜散功率中百分之十差誤，所引起於效率中之差誤之百分數。

(指示：可排出一二次方程式包括樞電流 I_a ，然後解 I_a 。或用湊算法亦可)

14.9. 當第 14.8 題中之電動機自線路取入 60 安，其速率仍為 1,500 轉/分，雜散功率為 1,420 瓦。求：(甲)其輸入(乙)輸出以馬力計；(丙)效率；(丁)在滑輪端之轉矩。

14.10. 某 400 仟瓦，600 伏，750 轉/分分激發電機之樞電阻為 0.038 歐，分激場電阻為 58 歐，其在額定速率及額定負載時之雜散功率為 18 仟瓦。求其：(甲)總損失；(乙)效率；(丙)所需以策動此發電機之轉矩。

14.11. 某 10 仟瓦，220 伏，1,400 轉/分分激發電機，藉輕載試驗法，將其用作電動機。當速率達額定之值，其電樞自 230.8 伏取入 2.95 安。若其樞電阻為 0.26 歐，問在此等情形下，此機之雜散功率損失為若干？

14.12. 在第 14.11 題中，當發電機在 1,400 轉/分之速率時，供給額定之

電流，其感應電勢為 230 伏，場電阻為 212 歐。求其在額定負載時之效率。

14.13, 若第 14.11 題中之發電機用作分激電動機，達 1,400 轉/分之速率。其線路電流為 40 安，應電勢為 230 伏，場電流為 2.1 安。求：(甲)其總損失；(乙)輸出以馬力計；(丙)效率；(丁)在滑輪端之轉矩。

14.14, 當一 25 馬力，250 伏，1,500 轉/分分激電動機，在零載下運用時，其線路電壓為 250 伏，電流為 6.8 安。其分激場電阻為 200 歐，而樞電阻為 0.118 歐，求該電動機在此情形時之雜散功率損失。

14.15, 今欲求第 14.5 題中分激發電機在該題所述情形時之雜散功率損失，以該機在零載下用作電動機，作如第 14.7 圖(第 486 頁)之接法。其樞電阻為 0.025 歐。(甲)若不計及樞電阻壓降，則電樞端電壓 V_1 應調準至何值，如何調準之？(乙)其場電流如何予以調準？(丙)若雜散損失為 4,500 瓦，則樞電路之安培計讀數如何？

14.16, 第 14.9 圖(第 491 頁)中之雜散功率曲線，係為某 20 仟瓦，220 伏，960 轉/分分激發電機而描繪者，其樞電阻為 0.12 歐。當該機在額定電壓及速率供給額定輸出時，其場電流為 2.44 安。求：(甲)總損失；(乙)發電機效率；(丙)施於滑輪上之策動轉矩；(丁)損失與輸入之百分比。

14.17, 第 14.16 題之發電機，在任載情形下，行駛若電動機，自 220 伏線路取入 30 安，其速率為每分 1,050 轉，場電流為 1.95 安，求：(1) E/S 之值；(2) 雜散功率；(3) 總損失；(4) 電動機輸出之馬力；(5) 其效率；(6) 外轉矩；(7) 總損失與輸入之百分比。

14.18, 若第 14.17 題之線路電流為 50 安，速率為 1,080 轉/分，重解該題。

14.19, 兩相似之 10 仟瓦，230 伏發電機，接成卡普互饋法，以量度各該機之損失。當一機用作發電機，而供給額定之 45.0 安電流時，其線路電流 I 為 10.4 安。發電機場電流為 1.8 安，電動機場電流為 1.2 安。兩機之樞電阻同為 0.26 歐。求在此情形時各機之效率。

14.20, 若第 14.19 題中發電機之樞電流為 25 安，線路電流為 6.61 安，發電機場電流為 1.6 安，電動機場電流為 1.0 安。求在此負載時各該機之雜散功率及效率。何以兩機之場電流不同？

14.21, 某 550 伏分激發電機在燈機室內，開置相當時間後，量度其樞及場電阻，該室內之溫度為 30°C 。場電阻之端電壓為 430 伏，不包括變阻器在內，其場電流為 5.2 安。其在兩個標明之換向器截片間之樞電阻為 0.18 歐。當該機在任載情形下使用 4 小時後，再作一次量度。其場電阻端電壓為 435 伏，場電流為 4.92 安，樞電阻為 0.197 歐。問樞卷組及場卷組之溫度，異高若干？此最高之溫度對於未浸漬之棉紗絕緣物安全否？

14.22, 某 10 馬力, 230 伏, 1,340 轉/分激發電機, 已開置於溫度為 23°C 之室內, 相當時間。其介於兩極明之換向器截片間之樞電阻, 量得為 0.252 歐; 其場電阻量得為 340 歐。當該機担任額定負載使用 5 小時後, 再作一次量度。其在同樣兩截片間之樞電阻為 0.281 歐, 場電阻為 371 歐。求電樞及場內溫度之昇高。

14.23, 以兩具 50 仟瓦, 250 伏分激發電機並聯使用。在零載時, 將其電壓均調準至 250 伏, 然後以之並聯。第一機若單獨使用, 其端電壓由零載時之 250 伏, 均勻的降至滿載時之 242 伏; 第二機則由零載時之 250 伏, 亦均勻的降至滿載時之 236 伏。若此組合之負載電流為 360 安, 問各機供給電流若干? 各機供給之仟瓦負載為若干?

14.24, 若第 14.23 題之負載電流為 400 安, 電解該題。

14.25, 若將第 14.23 題內第二機之場變阻器, 加以調節, 俾在額定之負載電流及 242 伏時, 兩機供給相等之電流。此項調節, 使其特性曲線, 由零載至滿載, 每點昇高 4 伏。求在負載電流為: (甲) 0 安; (乙) 200 安; (丙) 300 安時, 各機所供給之電流。

14.26, 今將一 100 仟瓦, 240 伏分激發電機, 及一 60 仟瓦, 240 伏分激發電機, 並聯使用。第一機在零載時之端電壓為 250 伏, 施以額定負載, 則端電壓均勻降低 10 伏。(甲) 苟欲兩機在任何負載, 均担負其份所應任者, 則第二機之端電壓, 由零載至滿載, 應降低若干伏? 假定特性曲線為一直線, 而各機之零載端電壓均為 250 伏。若此組合需要: (甲) 300 安; (乙) 700 安, 則各機供給電流若干? (丙) 在 (甲), (乙) 二情形時, 各機之仟瓦輸出為若干?

14.27, 兩 250 伏複激發電機, 並聯使用。其一之定額為 150 仟瓦, 另一之定額為 100 仟瓦。第一機之串激場電阻為 0.005 歐, (甲) 問第二機之串激場電阻應為若干, 則各機對負載, 作適當之分配? 若兩發電機均為過複激式, 其端電壓由零載之 240 伏, 昇至滿載之 250 伏。當此組合之負載為: (乙) 400 安及 (丙) 800 安時, 求各機所任之負載。

第十五章 電之傳輸及分佈

15.1, 電能由 250 伏匯流排, 經饋電線, 傳輸至 600 呎外。負載電流為 300 安, 其端電壓為 232 伏。求: (甲) 饋電線之電阻; (乙) 功率損失; (丙) 傳輸效率。(丁) 若效率如前, 則用 125 伏匯流排, 可傳輸功率若干?

15.2, 今用與第 15.1 題內長度相同之饋電線, 但其截面加大四倍, 自 125 伏匯流排傳輸電能。求: (甲) 在負載端電壓為 116 伏時所可傳輸之電功率; (乙) 功率損失; (丙) 傳輸效率。以 (乙) (丙) 與前題之 (乙) (丙) 比較之。

15.3, 一電動機在 224 伏之端電壓, 經 1,200 呎長之 300,000 圓密爾鎳電線取用電流 200 安。鎳電線路之迴路電阻為每呎 0.0360 歐。求:(甲)傳輸之仟瓦功率;(乙)線路發送端之電壓;(丙)功率損失;(丁)傳輸效率;(戊)銅之重量(每一千呎長之美規 10 號線, 截面為 10,400 圓密爾者, 重量為 31.4 磅)。

15.4, 在第 15.3 題中, 假定電動機端電壓為 112 伏, 而功率損失及效率均不變。求:(甲)電流;(乙)鎳電線路之迴路電阻;(丙)每 1,000 呎之電阻及其截面之圓密爾數;(丁)銅之重量;(戊)發送端電壓。

15.5, 用與 15.2 題同等重量之銅, 但兩倍其長徑之鎳電線, 以傳輸電功率。若發送端與接收端之電壓, 連帶傳輸效率, 均與該題相同, 求:(甲)鎳電線之電阻;(乙)接收端之功率。(丙)若發送端電壓提高至 250 伏, 而效率不變, 求接收端之功率。

15.6, 今欲自 125 伏匯流排, 饋電於 800 呎外之 10 馬力電動機, 而電動機端電壓在 10 馬力之滿載時, 保持為 115 伏。若電動機之效率為百分之 86 (甲)問饋電銅線之直徑, 應為若干密爾? 銅在運用溫度時, 每圓密爾呎之電阻為 11.0 歐。(乙)若銅每立方吋重 0.32 磅, 則所用銅之重量為若干? (丙)若匯流排電壓為 250 伏, 而壓降之百分率如前, 重解(甲), (乙)兩項;(丁)匯流排電壓為 625 伏, 而壓降百分率不變, 再解(甲), (乙)兩項。

15.7, 今欲自 240 伏匯流排, 傳輸 120 仟瓦, 至 1,500 呎距離之負載, 其負載端電壓不得低於 230 伏。假定銅之每圓密爾呎電阻為 10 歐。求:(甲)饋電線截面之圓密爾數;(乙)銅之重量(參考第 15.3 題)。

15.8, 若距離為 3,000 呎, 重解第 15.7 題。若功率及效率不變, 則銅之重量, 如何隨距離而變化?

15.9, 某街長 2,000 呎, 由 11 具 250 瓦, 並聯電燈照耀之, 每兩燈之間隔為 200 呎。若用美規 5 號銅線於此制度, 而在街之發送端電壓為 125 伏。求(甲)兩鄰燈間之電壓降;(乙)最後一燈之端電壓。假定每燈取用 2.0 安, 每 1,000 呎 5 號銅線有 0.20 歐之電阻。

15.10, 若第 15.9 題中之電燈, 用反並聯制供給之(見第 15.3 圖甲, 第 511 頁)。求在街之末端, 電燈之端電壓。以此制之電壓及鄰燈間之電壓差與第 15.9 題之結果比較之。

15.11, 第 15.9 題中之電燈, 以美規 5 號線聯接之(每 1,000 呎電阻為 0.320 歐)。而在中央由美規 4 號線(每 1,000 呎電阻為 0.250 歐), 自 800 呎外之接頭匯饋之, 接頭匯處之端電壓, 保持為 125 伏。(甲)求每燈之電壓;(乙)此制傳輸之效率。

15.12, 電功率自 250 伏匯流排, 傳輸於距離 800 呎之電動機, 該機正供給 50 馬力。又饋電至更遠 600 呎之另一電動機, 此機供給 20 馬力之輸出。若在滿載時 50 馬力機之效率為百分之 89, 20 馬力機之效率為百分之 86。今欲在額定負載時, 20 馬力機之端電壓不致低於 225 伏, 在 50 馬力機端者, 不致低於 235 伏。求: (甲) 所需兩段饋電線之電阻; (乙) 最近之美規號數及其截面之圓密稱; (丙) 饋電線之總重量; (丁) 傳輸之效率。

15.13, 求: (甲) 與第 15.12 題重量相同之均勻截面饋電線之粗細; (乙) 用此種饋電線時在每負載端之電壓; (丙) 傳輸之效率; (丁) 假定負載電流與前題相同, 問何種用鉛較為經濟?

15.14, 今欲自距離 500 呎之 240 伏電源, 饋電於六十盞 115 伏電燈, 用兩根美規 6 號銅線 (每 1,000 呎電阻為 0.4 歐) 饋之。其燈排成串並聯式, 每兩燈相串聯。若每燈用電流 1.0 安, 求: (甲) 電燈之端電壓; (乙) 線路之功率損失; (丙) 傳輸之效率; (丁) 若用橡膠絕緣電線, 試查核其載流量 (見附錄六)。

15.15, 若第 15.14 題中之電燈, 全相並聯, 自 120 伏電源, 取用電能, 其距離與功率損失同前, 問其用銅與該題所用者相比如何? 從附錄六查核其載流量。

15.16, 若第 15.14 題中, (甲) 用一中線, 其截面為外線之四分之一, 求用銅之重量。 (乙) 若中線之荷面為外線之半, 求用銅之重量。

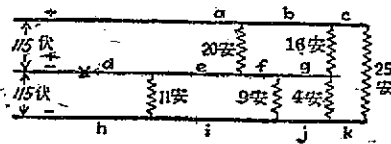


圖 15.17 A

15.17, 圖 15.17 A 示一愛迪生三線制, 及各處不同之負載。試註出由 a 至 k 各點之電流及其方向。

15.18, 若圖 15.17 A 中之中線, 在 X 處被中斷。假定各負載電阻不變, 並不計總線本身之壓降, 求此兩端之電壓。

15.19, 在第 15.19 A 圖內, 若負載 A 及 B 之電流均為 60 安, 求 A, B 兩負載之端電壓。

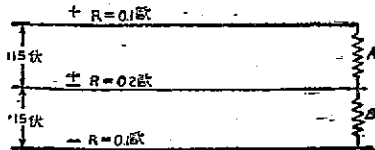


圖 15.19 A

15.20, 若 A 之負載電流為 50 安, B 為 70 安, 重解第 15.19 題。

15.21, 若 A 之負載電流為 60 安, B 為 30 安, 重解第 15.19 題。

15.22, 若圖 15.19A 中之中線被割斷, 在如第 15.21 題所述負載情形時求負載 A 及 B 之端電壓。

15.23, 在圖 15.23A 中, 示一典型的愛迪生 240—120 伏三線制。一電動機接於兩外線間, 取用 100 安。兩電燈負載 AB 及 CB 各接於外線與中線間, AB 取用 200 安, CB 取用 150 安。求電動機及 AB, C B 兩負載之端電壓。每圓密爾呎之電阻為 11 歐。

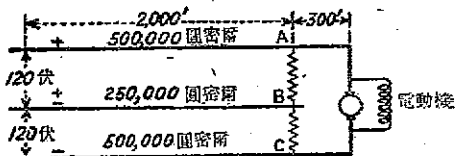


圖 15.23 A

15.24, 若電動機電流為 150 安, 負載 AB 及 CB 之電流各為 100 安及 180 安, 重解第 15.23 題。

15.25, 若第 15.23 題中之電動機, 接於中線與負邊線間, 重解該題。因電動機之電壓減半, 故必取 200 安, 始能產生如前之功率。

15.26, 圖 15.26A 示一平衡機組, 包括兩具電機 A 及 B , 各接於正線與中線間, 及負線與中線間。每機之效率為 0.85。若電流 $I_{ab} = 150$ 安, $I_{ce} = 100$ 安, 求各機內之電流。

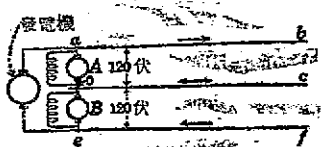


圖 15.26 A

15.27, 若 $I_{ab} = 100$ 安, $I_{ce} = 200$ 安, 重解第 15.26 題。

15.28, 若負邊之負載電流為 160

安, 而正邊無負載, 重解第 15.26 題。

15.29, 一直流負載距離直流匯流排 750 呎, 由兩根饋電線饋之。若負載電流為 400 安, 其負載端電壓為 231.8 伏; 若負載電流為 250 安, 其端電壓為 237.9 伏。求: (甲) 匯流排之電壓; (乙) 饋電線之電阻; (丙) 饋電線截面之圓密爾數。每圓密爾呎之電阻可認為 10.8 歐。

15.30, 在一 1,600 呎長, 800,000 圓密爾饋電線路之末端, 接一 150 仟瓦之負載, 在其發送端之電壓為 240 伏。若每圓密爾呎之電阻為 10.8 歐, 求: (甲) 饋電線之電阻; (乙) 其電流; (丙) 負載之電壓; (丁) 傳輸之效率; (戊) 此饋電線路所可供給於負載之理論的最大功率及最大電流。

15.31, 若第 15.30 題中之負載為 200 仟瓦, 重解該題 (乙), (丙), (丁) 三項。

15.32, 若第 15.30 題中之發送端電壓為 120 伏, 重解該題(戊)項。

15.33, 某電車正沿一坡上行, 距發電廠 8 哩, 需要 60 仟瓦, 電廠內匯流排之電壓保持為 600 伏。其 000 號硬抽架空電車線(168,000 圓密爾), 與一單根 400,000 圓密爾饋電線相並聯, 每圓密爾呎之電阻, 可認為 11 歐。其軌及地回路之總電阻為 0.5 歐。求:(甲)其電流;(乙)電車之電壓;(丙)電廠供給於線路之功率;(丁)傳輸之效率及總損失。

15.34, 若電車需用 80 仟瓦, 重解第 15.33 題。

15.35, 問第 15.33 題及第 15.34 題之電車所可取用之最大功率為若干? 若電動機之綜合電阻為 0.6 歐, 問其所可取之最大電流為若干? 描繪一曲線, 以電車之功率為縱坐標, 電流為橫坐標。

15.36, 若匯流排電壓為 750 伏, 重解第 15.33 題, 15.34 題及 15.35 題。

15.37, 一 0000 號硬抽架空電車線, 自 600 伏匯流排, 接至 5 哩外一分站。在 4 哩內, 與一 300,000 圓密爾饋電線平行, 每隔 $\frac{1}{2}$ 哩, 並聯一次(參看第 15.18 圖乙, 第 524 頁)。其架空線之電阻為每哩 0.265 歐, 300,000 圓密爾饋電線之電阻為每哩 0.190 歐, 軌及地回路之電阻為每哩 0.05 歐。求:(甲)4 哩外取用 40 安之電車之電壓,(乙)在線路末端之電壓。

15.38, 若第 15.37 題之電車, 距發電廠 4.5 哩, 而所用電流同前, 求:(甲)電車端之電壓;(乙)若電車距廠 2.5 哩, 而用 60 安, 重解該題。

15.39, 圖 15.39A 示一 6 哩長之 0000 號硬抽架空線(211,000 圓密爾),

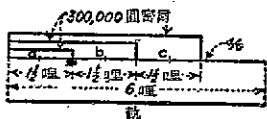


圖 15.39 A

由三根 300,000 圓密爾饋電線, 每隔 $\frac{1}{2}$ 哩饋電一次。求全長度內饋電線及架空線之綜合電阻。每圓密爾呎之電阻可認為 11 歐。

15.40, 若圖 15.39A 中有一電車, 在線路之末端, 取用 110 安。發電廠電壓為 600 伏, 軌及地回路之電阻為每哩 0.5 歐,

求電車之電壓。

15.41, 若電車距廠 2.5 哩, 取用 100 安, 求電車之電壓。

15.42, 若圖 15.39A 之電車制, 用分段架空線, 其互相絕緣各段在 a, b, c , 重解第 15.40 題及第 15.41 題。問何種饋電制用銅較為經濟?

15.43, 某電廠之巔值負載為 8,200 仟瓦, 該電廠 24 小時之輸出為 68,700 仟瓦小時。問其每日負載因數為何?

15.44, 若用一蓄電池組以助第 15.43 題內之發電廠, 在高峯時, 使其擔任 1,400 仟瓦負載歷 $\frac{1}{2}$ 小時之久。若電池組之效率為百分之 80, 而在高峯負載過後將其充電, 問此時該電廠之新負載因數為若干?

15.45, 若第 15.43 題中之巔值負載為 8,300 仟瓦, 而發電廠在 24 小時內之輸出為 82,400 仟瓦小時, 求其用與不用蓄電池組時之每日負載因數。其用蓄電池組之負載情形及其充電與第 15.44 題同。

15.46, 某蓄電池組包括 72 只電池相串聯, 每電池之電勢及電阻, 各為 2.0 伏及 0.0025 歐。今欲此電池組以 40 安率放電於 126 伏之匯流排。求: (甲) 所需之串聯電阻; (乙) 電池組內產生之功率; (丙) 電池內電阻損失之功率; (丁) 串聯電阻所損失之功率。

15.47, 若第 15.46 題中之蓄電池組, 電壓降為 1.98 伏, 但其他因素不變, 求其放電電流。若欲其放電回復至 40 安, 則串聯電阻應予調準至何值?

15.48, 若在第 15.46 題中, 用電勢為 2.16 伏之反電勢電池, 則需用幾只? 不計反電勢電池之內電阻。

15.49, 若第 15.46 題採用末端電池控制法, 則應拆去若干電池?

15.50, 某串聯電弧發電機供電於 54 只串聯的, 510 瓦 6.6 安電弧燈, 經一美規 6 號電纜, 其電阻為每千呎 0.403 歐。弧燈線路之長為 9.6 哩。(甲) 求發電機之端電壓及傳輸之效率。(乙) 若用 72 只弧燈, 其電路之長為 12 哩, 重解(甲)項。

英漢名詞索引

[A]

	頁數		頁數
A.I.E.E. (American Institute of Electrical Engineers) 美國電(機)工(程師)學會	17	Annual variation 歲歲變	212
A.W.G. (American wire gage) 美國線規	10,23	Anode 陽極	86,125
Abampere 電磁安, 達	28,216,536	Anode mud 陽極泥	126
Abhenry 電磁亨, 達	28,536	Antiparallel system 反並聯制	510
Absolute potential 絕對電位	30	Apparent power 視在功率	181
Absolute System 絕對制(即電磁制單位)	27	Arc 電弧	280
Absorption 吸收	168	Arc discharge 弧線放電	297
Abvolt 電磁伏(特), 達	28	Arc lamp 電弧燈	221
Active length 有效長度	433	Arc shut 弧道	461
Alnic 亞爾立克(磁鐵合金名)	207	Arc welding 弧焊	428
Alnico 亞爾立古(同上)	188,207	Arc welding generator 弧焊發電機	428
Alternating current 交流	330	Armed iron [亞爾姆古]鐵	253
Amalgamated zinc 汞齊之鋅	92	Armature 銜鐵, 電樞	204,227,332
Amber mica 琥珀色雲母	392	Armature characteristics 電樞特性曲線	414
Ampere 安培, 安	5,28	Armature Core [電]樞芯	332
Ampere, Andre Marie 安培(人名)	28	Armature mmf. 樞磁通勢	376,444
Ampere-conductor 安培導線數	378	Armature reaction 電樞反應	375,444
Ampere-hour 安培小時	103	Armature resistance method 樞電阻控制法	463
Amper-hour efficiency 安時效率	122	Artificial aging 人工陳老法	210
Ampere-turn 安培匝數	231	Artificial magnet 人造磁鐵	189
Anion 陽向離子	125	Asbestos 石棉	495
Annealed copper 軟煉銅	7,16	Asphaltum 土瀝青	104
Annealed sheet steel 軟煉片鋼	358	Astatic 無定向的	153,187
		Automatic starter 自控啓動器	221,460
		Automatic voltage regulator 自動調(節電)壓器	420
		Average pitch 平均節距	331

Ayrton shunt 愛亦頓分流器 134

[B]

B. T. U. (British thermal units) 英制熱單位 46

Back pitch 後節距 336

Back emf. 反電動勢 441

Bakelite 電木 305

Balance arm 平衡臂 155

Balancer set 平衡機組 464,516

Ballast resistance 鎮定電阻 153

Ballistic deflection 衝擊偏轉度 302

Ballistic galvanometer 衝擊電流計 255,322

Ballistic measurement 衝擊量度 139,322

Bar magnet 條形磁鐵 189

Basal metal 底層金屬 127

Battery 電池, 電池組 56,85

Bender 曲捲機 357

Bichromate cell 重鉻酸鹽電池 70

Binding post 接線柱 92

Biot-Savart law 畢奧特-薩伐爾定律 27,216

Biot, Jean Baptiste 畢奧特 (人名) 216

Blower 鼓風機 587

Blowout 熄弧器 462

Bobbin 線卷框 131

Bolt 螺絲 92

Booster 昇壓機 419

Bound charge 束縛電荷 295

Brake 軛 223

Brake band 軛帶 472

Brake carriage 軛架 472

Brake drum 軛鼓 223,472

Brake shoe 軛掌 223

Brake solenoid 制動(用)螺管 469

Braking 制動 223

Braking resistance 制動用電阻 470

Branch 支路 11

Breakdown point 崩潰點 398

Bridge method 電橋(量)法 322,324

Brown and Sharpe gage 白朗與夏普線規 (即美國線規) 23

Brush 電刷 363

Brush arc generator 布魯許電弧發電機 418

Brush holder 刷座 363

Brush stud 刷綫 363

Bus bar 匯流排 5,77

Bushing 軸承襯 154

Buzzer 電蜂 95

[C]

Cable 電纜 151

Cam 偏突輪 283

Capacitance 電容(量) 301

Capacity 電容(量) 154,302

Car coupler 車輛耦合器 468

Castiron grid 鑄鐵柵 19

Cast steel 鑄鋼 250

Cell 電池 56,85

Center 饋電中心 520

Central station 發電廠 506

Characteristics 特性, 特性曲線 397

Charge 電荷, 充電 93,316

Charge test fork 充電試驗叉 121

Charging current 充電電流 317

Charging rate 充電率 111

Circuit 電路 35

Circuit breaker 斷路器 221,504

Circular mil 圓密爾	13	Compensating resistance	
Circular-mil-foot 圓密爾一呎	14	shunt 補償分流電阻	421
Circular-mil-inch 圓密爾一吋	15	Compound generator 複激發	
Circulating current 環流	64	電機	372,407
Circulating current method		Compound motor 複激電動機	453
環流法	67	Concentric cable 同心電纜	520
Clamping flange 夾環	362	Condenser 電容器	301
Clark cell 克拉克電池	95	Conductance 電導	8
Clockwise direction 順時針方		Conductivity 電導係數	9
向	270	Conductor 導(電)線, 導線	4
Closed circuit 通路	54	Consequent pole 庶極	192
Closed-coil winding 通路線卷		Constantan 康銅	540
式卷組	334	Constant-current method 恆	
Closed spiral system 閉口螺		流充電法	112
線制	511	Constant-current system 恆	
Clutch 离合器	154	流(佈電)制	531
Coefficient of coupling 耦合		Constant-potential method	
係數	285	恆壓充電法	113
Coercive force 矯頑磁力	206,247	Constant-potential system	
Coil 線卷	15	恆壓(佈電)制	532
Coil end(connection) 線卷末端	334	Contact 接觸	420
Coil side 線卷邊	327	Contact member 接觸桿	461
Coil pitch 線卷節距	335	Contact point(接觸) 觸點	284
Commutating pole 換向磁		Contacting member 接觸器	157,468
極	380,394	Continuous current 連續電流	331
Commutation 換向	227,330	Continuous rating 連續定額	496
Commutation zone 換向區	388	Controller 控制器	449,460
Commutator 換向器	332	Copper-clad steel wire 銅包	
Commutator pitch 換向器節距	337	鋼線	26,581
Commutator segment 換向器		Copper-loss 銅[內]損失	229
截片	330	Cord 纜繩	25
Compass needle 羅盤針	200	Core 芯	225
Compensating coil 補償線		Core loss 鐵芯損失	252
卷	153,421	Corona 電暈	322
Compensating winding 補償		Correction curve 改正曲線	179
線卷組	384	Coulomb 庫倫, 庫	29

Goulob, Charles A 庫倫 (人名)	29
Coulomb's law 庫倫氏定律	27,192,296,
Counter-clockwise direction 逆時針方向	219
Counter emf 反電勢	440
Counter-emf cell 反電勢電池	529
Counter magnetizing force 反磁化力	196
Counter torque 反轉矩	403
Counterweight 衡重體	141
Coupernik 庫普立克 (鐵鎳合金名)	188,255
Cradle 鞍架	483
Crane 起重機	223
Creepage 綳縮	353
Critical field resistance 臨界場電阻	374
Cross-hair 叉絲	132
Cross-magnetizing ampere-turns 交磁安匝	379,382
Cross-magnetizing effect 交磁效應	378
Cumulative compound [互]助 [複]激式	453
Current 電流	2
Current coil 電流線卷	152
Cut-out relay 斷流 [替續] 器	425
Cylinder 機筒, 汽缸	284

[D]

D. C. C. wire (Double-cotton-covered wire) 雙層紗包線	15,361
D.P.D.T. switch (Double-pole double-throw switch) 雙極	

雙投開關	114
Daily variation 日磁變	212
Damping 阻尼	132
Daniel cell 但森爾電池	96
D'Arsonval galvanometer 達松發爾電流計	130
Dash-pot 緩衝器	422
Dead-beat 不滯	147
Dead center 死點	438
Dead conductor 無勢導體, 死線	353
Dead short-circuit 完全短路	505
Decade 十進 [電阻] 組	156
Decade bridge 十進電橋	156
Deflection 偏碼, 偏轉度	85,131
De-ionization 去電離	462
Delta-mesh 三角形網目	81
Demagnetizing ampere-turns 去磁安匝	379,382
Demagnetizing effect 去磁效應	378,444
Demagnetization 去磁	196
Depolarizer 去極化劑	94
Dial 軌盤	156
Dial switch 軌盤換接器	520
Dial type bridge 軌盤式電橋	156
Diamagnetic substance 反磁質	189
Dielectrics 電介質, 電介體	197,301,303
Dielectric constant 介質常數	304
Dielectric field 介質電場	297
Dielectric flux 電通量	298
Dielectric flux density 電通密度	299
Dielectric line of force 介質力線	298
Dielectric reluctance 介質阻力	298

- | | | | |
|---|---------|---------------------------------------|---------|
| Dielectric strength 介質強度 | 304 | Dynamic electricity 動態電 | 2,293 |
| Differential compound 差[卷
複]激式 | 453 | Dynamotor 電動發電機 | 475 |
| Differential relay 差卷替磁器 | 519 | [E] | |
| Dip of needle 磁傾角 | 212 | Earth magnetism 地磁 | 211 |
| Direct-acting regulator 直接
作用調壓器 | 422 | Earth terminal[接]地端鈕 | 152 |
| Direct current 直流 | 330 | Ebonite 硬橡膠 | 4,305 |
| Discharge 放電 | 98,319 | Eddy current 渦流 | 479 |
| Discharge rate 放電率 | 111 | Eddy current loss 渦流損失 | 252,479 |
| Disconnecting link 斷路鏈 | 521 | Edge effect 邊緣效應 | 308 |
| Distributed load 分佈的負載 | 509 | Edison bipolar generator 愛
迪生雙極發電機 | 227 |
| Distributing center 佈電中心 | 520 | Edison Lelande cell 愛迪生—
勒蘭德電池 | 91 |
| Diverter 分流器 | 409 | Edison, Thomas A 愛迪生(人
名) | 91 |
| Diverter-pole generator 分路
磁極發電機 | 113,426 | Edison three-wire system 愛
迪生三線制 | 512 |
| Divided-bar method 分段鐵條
法 | 260 | Efficiency 效率 | 482 |
| Divided circuit 分枝電路 | 143 | Electric boiler 電熱鍋爐 | 588 |
| Double coil 雙合線卷 | 339 | Electric elevator 電動升降機 | 223 |
| Double-contact key 雙觸電鍵 | 324 | Electric energy 電能 | 43 |
| Double-dial switch 雙桶軌盤
電鍵 | 176 | Electric field[靜]電場 | 294 |
| Doubly-reentrant duplex
winding 雙進雙重卷組 | 345 | Electric flatiron 電熨斗 | 584 |
| Dobrowsky method 杜卜魯
斯基法 | 519 | Electric heater 電熱器 | 587 |
| Dovetail 鳩尾榫 | 358 | Electric kettle 電燒壺 | 587 |
| Drop forged copper 墜錘銅 | 362 | Electric oven 電烘爐 | 585 |
| Drop wire 降壓線 | 177,372 | Electric power 電功率 | 41 |
| Drum winding 鼓式[線]卷組 | 334 | Electric quantity 電量 | 28 |
| Dry cell 乾電池 | 93 | Electric railway 電車鐵道 | 77 |
| Dry storage 乾儲法 | 110 | Electric toaster 電烘器 | 583 |
| Dummy coil 虛設線卷 | 352 | Electric truck 電動運貨車 | 602 |
| Duplex winding 雙重卷組 | 345 | Electrochemical equivalent
電化當量 | 126 |
| Dynamic braking 動力制動 | 469 | Electrodynanic damping 電
動力阻尼法 | 132 |

Electrode[電]極	86
Electrolysis 電解	125
Electrolyte 電解液	86,125
Electromagnet 電磁鐵	188
Electromagnetic system 電磁制[單位]	27
Electromagnetic torque 電磁的轉矩	443
Electromagnetic wave 電磁波	232
Electromotive force (E.M.F.) 電(動)勢	29
Electron 電子	2
Electron theory 電子學說	2
Electroplating 電鍍	127
Electroplating bath 電鍍浴	128
Electrostatic field 靜電場	297
Electrostatic induction 靜電感應	296
Electrostatic system 靜電制[單位]	2,7
Electrotyping 電鑄	128
Emery 剛石粉	393
Emf. of mutual induction 互感應電勢	285
Emf. of self induction 自感應電勢	271
Enameled wire 漆包線	495
End cell 末端電池	530
End-cell switch 末端電池開關	529
End connection 末端聯接(線)	327
End leakage 末端漏電	169
End plate [末端]夾板	359
Equalizer 均壓(聯接)線	347,502
Equalizing bar 均衡棒	422
Equalizing charge 均衡充電	114
Equivalent conductance 等效	

電導	12
Equivalent resistance 等效電阻	11
Erg 爾格	30,43
Escapement 擒縱輪	461
Exciter 激磁機	421
Exciting coil 激發線卷	210
Exide iron-clad plate 愛克沙特鐵鍍式極板	100
Exide-Manchester plate 愛克沙特—曼徹斯特式極板	100
Extension coil 擴展線卷	146
External characteristics 外部特性曲線	397

[F]

Farad 法拉[特]	302
Faraday disc dynamo 法拉第圓盤電機	423
Faraday law of electrolysis 法拉第電解定律	126
Faraday, Michael 法拉第(人名)	199
Fault 障礙	163
Faure process 福耳法	99
Feeder 饋電線路; 饋電線	43,509
Ferromagnetic alloy 磁鐵合金	252
Fiber 纖維板	4,305,360
Field control 場控制法	465
Field current 場[激]電流	368
Field discharge switch 場[卷]放電開關	282
Field intensity [磁]場強度	198
Field intensity [電]場強度	308
Field magnetomotive force 場磁通勢	444

Field resistance 場電阻	371
Field resistance line 場電阻 (曲)線	371
Field rheostat 場變阻器	18
Field winding 場卷[組]	362
Finishing rate 完成[充電]率	112
Flash lamp 手電燈	94
Flashing the field 閃激其磁場	375
Flashover 閃絡	332
Flat compound 平複激式	408
Fleming's left-hand rule 佛 萊敏左手定則	434
Fleming's right-hand rule 佛 萊敏右手定則	329
Floating 浮接	58
Floating battery method 浮接 電池法	67
Floating method 浮接充電法	113
Flux density 磁通密度	199,233
Flux linkage 磁通連繫[量]	269
Flux(magnetic)磁通[量]	232
Forced winding 強制[線]卷組	352
Forged steel 鍛鋼	250
Formed coil 形成之線卷	335
Forming process 形成手續	118
Four-point starting box 四線 端啓動箱	457
Fractional-pitch winding 部 份節距[線]卷組	335
Frame 機架, 機殼	357
Free charge 自由電荷	295
Frequency 頻率	250
Freshening charge 刷新充電	108
Friction loss 摩擦損失	480
Fringing 邊緣擴散	244,313
Front pitch 前節距	336

Full load 滿[負]載	136
Full scale 滿標度	137,141
Fuller board 襯紙板	363
Fuse 保險絲, 熔絲	504

[G]

Galvanometer 電流計	130
Gas engine [煤]氣機	95,494
Gassing 冒氣	107,112
Gassing point 冒氣點	107
Gauss 皋斯, 學	199,232
Gauss, Karl. Friedrich 皋斯 (人名)	199
Gear ratio 齒輪比	185
Generator 發電機	326,364
German silver 德銀	19,540
Gilbert 吉柏	231
Gilbert, William 吉柏(人名)	231
Gould plate 高爾德板	100
Gram-calorie 克卡	46
Gramme-ring winding 環式 [線]卷組	332
Graphite 石墨	126
Gravity cell 重力電池	90
Ground 地, 通地	163
Guard wire 保護線	153,169

[H]

Hand hole 手孔	453
Hand rule 手定則	214,219
Hard cast steel 硬鑄鋼	250
Hard drawn copper 硬抽銅	16
Henry 亨利, 亨	269
Henry, Joseph 亨利(人名)	269
High mica 高雲母面	391
Hipernik 哈普立克(磁鐵合金)	

名)	188,252
HoIding: oil 把握鎖卷	459
HoIding magnet 把握磁鐵	456
Home end 出發端	163
Horsepower 馬力	43
Horseshoe magnet 蹄形磁鐵	204,208
Hot-wire instrument 熱線式儀器	146
Hub 轆	360
Hydraulic motor 水動機	31
Hydrometer 比重計	106
Hysteresis 磁滯	194,248,369
Hysteresis loop 磁滯迴線	248
Hysteresis loss 磁滯損失	248,479

[I]

IaIa 亞亞鎳(銅鎳合金)	540
Ideal commutation 理想的換向	386
Ideal wire 理想線(銅鎳合金)	540
Ignition 發火	95,283
Ignition coil 發火線卷	283
Impedance 阻抗	519
Impedance bridge 阻抗電橋	290
Impregnated 浸漬	495
Impregnated compound 浸漬劑	361
Incandescent lamp 白熾燈	2
Indeterminable loss 無法決定之損失	480
Induced charge 感應荷	295,562
Induced emf 感應勢	35,266
Induced pole 感應極	203,556
Inducing charge 感應荷	295,562
Inducing pole 感應極	203,556
Inductance 電感[量]	266

Induction 感應	203,266
Induction curve 感應曲線	236
Induction coil 感應線卷	291
Inductive circuit 有感電路	272
Inductor 感應體	341
Inferred zero resistance 推測的零電阻	22
Influence machine 感應起電機	294
Initial charge 初充電	109
Insulation resistance 絕緣電阻	10,161
Insulator 絕緣體	4
Internal characteristics 內部特性曲線	397
Internal combustion engine 內燃機	284
Internal resistance 內電阻	53,88
Internal torque 內(生)轉矩	440
Internal voltage 內電壓	53
International ampere 國際安培	29
International annealed copper standard 國際熟煉銅標準	16
International ohm 國際歐姆	30
International volt 國際伏特	30
International Electrotechnical Commission 國際電工技術委員會	16
Interpole 極際磁極	394
Interrupter 斷線器	283
Ion 離子	125
Ioization 電離	119
Ionized 電離的	321
Iron-clad solenoid 鐵鎧螺管	222
Iron loss 鐵[內]損失	478

[J]

Jagabi tachoscope 賈篤畢速率計	474
Joule 焦爾, 倘	5,30,43
Joule, James Prescott 焦爾 (人名)	43
Jumper 跨接線	164
Junction 交點	69
Junction box 接頭匣	521

[K]

Kapp method 卡普法	492
Keeper 銜鐵	204
Kelvin bridge 韋爾文電橋	160
Key 扣鍵, 鍵	157
Keyed to 以押栓於	359
Kilowatt 仟瓦	43
Kilowatt-hour 仟瓦小時	44
Kirchhoff's law 克希荷夫定律	68
Kirchhoff, Gaster Robert 克希荷夫(人名)	68
Koepsel permeameter 吉普塞爾磁導計	255,263

[L]

Ladder system of feeding 梯式饋電	525
Laminated magnet 疊片磁鐵	209
Laminations 疊片, 分片	209,252
Lamp bank 電燈排	112,441
Lap winding 摺[式繞]卷組	336
Lead 鉛, 引線	90,142
Lead burning 用鉛焊接	104
Lead covered-cable 鉛包電纜	151,541

Lead-Lead-acid type 鉛-鉛-酸式(鉛板蓄電池)	97
Lead peroxide 過氧化鉛	98
Lead sheath 鉛包皮	313
Lead storage battery 鉛板蓄電池	97
Lead sulphate 硫酸化鉛	98
Leading pole tip 前極尖	377
Leakage coefficient 磁滲係數	245
Leakage current 漏電流	9
Leakage flux 漏磁通	229
Leclanche cell 勒克蘭社電池	92
Leeds & Northrup 李茲及勞斯勒甫(公司名)	156
Lenz law 楞次定律	268
Lifting magnet 起重磁鐵	224
Lincoln motor 林肯電動機	466
Line 線, 線路	130
Line current 線路電流	136
Line loss 線路損失	51
Line terminal 線路端鈕	152
Line voltage 線路電壓	11,183
Lineal commutation 直線率換向	385
Lines of induction 感應線	190,195
Lines of magnetization 磁化線	195
Link 鏈, 鏈桿	422
Linseed oil 胡麻子油	104
Load 負載	34,48
Load current 負載電流	35
Load factor 負載因數	527
Loading 加電感	253
Local action 局部作用	87
Lodestone 引磁石	189
Long-shunt compound 外(或	

長)並聯電激式	407
Loop 迴線	163,248,510
Lug 耳柄	104
Lundall pole 楞德爾磁極	384

[M]

M.K.S. unit 米仟克秒制單位	233
Magnet 磁鐵	188
Magnetic blowout 磁控熄弧器	462
Magnetic brake 磁性軋	223,469
Magnetic bridge 磁橋	426
Magnetic circuit 磁路	190,230
Magnetic declination 磁偏角	211
Magnetic field 磁場	191
Magnetic figure 磁圖	202
Magnetic flux 磁通[量]	232
Magnetic induction 磁感應	203
Magnetic leakage 磁漏	227,245
Magnetic lines of force 磁力線	195,197
Magnetic pole 磁極	189
Magnetic potential 磁勢	426
Magnetic saturation 磁飽和	194
Magnetic separator 磁性分離器	225
Magnetic shield 磁屏蔽	210
Magnetic track brake 軌上磁性軋	225
Magnetism 磁	188
Magnetite 磁鐵礦	189
Magnetization curve 磁化曲線	235
Magnetized by induction 感應得磁	203
Magnetizing force 磁化力	194,247
Magneto 久磁發電機	152,475

Magnetomotive force (M.M.F.) 磁通勢	231
Main 電源	509
Main contact 主接觸點	420
Main-control magnet 主控磁鐵	420
Main controller 主控制器	463
Make-and-break ignition system 離合發火制	284
Manganin 錳銅	19,540
Mass resistivity 質量電阻係數	16
Maxwell 馬克斯威爾	232
Maxwell, James Clerk 馬克斯威爾(人名)	232
Mechanical equivalent of heat 熱功當量	46
Megger 高電阻計	151
Megohm 兆歐	5
Mercury-arc rectifier 汞弧整流器	506
Method of substitution 替代法	166
Method of trial and error 換算法	240
Mho 莫,(反歐姆)	8
Mica 雲母	305
Microfarad 微法拉	303
Micro-microfarad 微微法拉	303
Micro-ohm 微歐	5
Mil 密爾	13
Millivolt 毫伏	13
Millivoltmeter 毫伏計	143
Mipor 米泊爾(間隔物名)	105
Molecular theory of magnetism 磁分子學說	194
Monel metal 蒙銅	540

Monopolar generator 單向發電機	423
Motor 電動機	432
Motor-generator set 電動機發電機組	506
Multiple-arc lamp 複弧電燈	585
Multiple coil 複合線卷	339
Multiple feeder system 複饋電制	525
Multiple unit control 複單位控制法	467
Multiplex winding 多重(線)卷組	345
Multiplier 倍加器	19,146
Multiplicity 重複度	345
Multiplying power 倍率	136
Multivoltage control 複電壓控制法	464
Murray loop 羅魯迴線	163
Mush winding 軟卷	361
Muslin 紗布	361
Mutual inductance 互感[量]	266,285
Mutual induction 互感應	266

[N]

Natural magnet 天然磁鐵	189
Negative charge 負電荷	2
Negative plate 負極板	98
Negatively charged 帶負電	293
Nernst lamp 涅恩斯特燈	4
Network 電網絡	68,71
Neutral plane 中性面	331
Neutral state 中和狀態	293
Neutral wire 中線	186,512
Neutral zone 中性區	190,197
Nichrome 鎳鉻(合金)	19,540

Nickel hydrate 鎳之水化物	118
Nickel-iron-alkaline cell 鎳鐵鹼電池	97
No-load release magnet 無載釋放磁鐵	460
No-load release type 無載還原式(啓閉箱)	459
No-voltage release magnet 無壓釋放磁鐵	459
No-voltage release type 無壓還原式(啓閉箱)	459
Normal cell 正常電池	96
Normal rating 正常定額	111
Normal saturation curve 正常飽和曲線	236
North pole 北極	190
North seeking pole 指北極	190
Nucleus 原子核	2
Null method 零示法,消盡法	133
Nut 螺止	110,359

[O]

Oersted 奧斯特	198
Oersted, Hans Christian 奧斯忒(人名)	198
Ohm 歐姆,歐	5,30
Ohm, George Simon 歐姆(人名)	5
Ohmmeter 歐姆計	151
Ohm's law 歐姆定律	53
Oil dash-pot 貯油緩衝器	472
Oil switch 油開關	113
Open-coil winding 斷路繞卷式卷組	334
Open circuit 斷路	53
Open circuit voltage 斷路[端]	

電壓	53
Open loop system 開口迴線制	532
Open slot 開口槽	360
Open spiral system 開口螺旋制	510
Operator 電務員	498
Opposition test 互鎖試驗法	492
Outer wire 外線, 送線	512
Outgoing wire 出線	32
Over compound 過(複)激式	408
Overcharge 過量充電	109
Overload 過(量負)載	18

[P]

Paper-insulated cable 紙質絕緣電纜	579
Paraffin 石臘	305
Parallel circuit 並聯電路	11, 37
Parallel loop system 平行迴線制	533
Paramagnetic substance 順磁質	189
Passive resistance 無源電阻	82
Pasted plate 塗漿極板	101
Peak load 巔值負載	527
Permalloy 坡莫合金	188, 252
Permanent magnet 永久磁鐵	188, 206
Permeability 磁導係數	232, 236
Permeameter 磁導計	253, 263
Permeance 磁導	232
Perminvar 坡明發爾(磁鐵合金名)	188, 254
Phosphor bronze 含磷青銅	131, 540
Pig tail 豚尾(係鬆線子)	363
Pilot cell 領示電池	106

Pilot lamp 領示燈	37
Pilot wire 領示線	520
Pivot 支樞	140
Plante plate 普隆特極板	99
Plante process 普隆特法	99
Plaster of paris 焦石膏	93
Platform controller 司機台控制器	468
Plug receptacle 插塞連結器	500
Plug type bridge 插塞式電橋	156
Plunger 活棒	221, 460
Plunger magnet 活棒式電磁鐵	222
Polarization 極化作用	87
Pole 磁極, 極	189
Pole arc 極弧	397
Pole core 極芯	227, 358
Pole face loss 極面損失	480
Pole piece 極塊	206
Pole pitch 極距	334
Pole shoe 極掌	227, 359
Pole tip 極尖	359
Porcelain 瓷器	305
Porous cup 多孔性杯	90
Portable battery 便攜蓄電池組	103, 110
Positive plate 正極板	98
Positively charged 帶正電	293
Potential 電位	33
Potential bus 電壓幹線	500
Potential coil (winding) 電壓線卷	153, 421
Potential difference 電位差	3, 29
Potentiometer 電位計	53, 170
Power 功率	41
Power distribution system 佈電制度	504

Power system 電力制度	77	Reference potential 參考電位	70
Pozzendorf method 橫真道夫法	96,171	Regenerative braking 再生制動	471
Practical system of unit 實用單位制	28	Regulating battery 調節用蓄電池	530
Pressure wire 電壓線	520	Regulation 調整, 調整率	401
Primary cell 原電池	87	Regulator 調節器, 調整器	420
Primary coil 主線卷	258	Relative permittivity 比較電通導性	305
Progressive winding 前進的卷組	336	Relay 替級器	37,420
Projector 放映機	583	Relay magnet 替級磁鐵	420
Prony brake 普隆納剎	472	Relayed contact 替級觸點	421
Proton 質子	293	Reluctance 磁阻	232
Proximity effect 接近效應	300	Remanence 剩磁性	206,247
Pulley 滑輪	225,336	Remote control 遙控法	504
Pulsating current 脈動電流	331	Residual magnetism 剩磁	206
Push button 按鈕	460	Resistance 電阻	3
		Resistance thermometer 電阻溫度計	496
[Q]		Resistivity 電阻係數	6
Quadruple coil 四合線卷	339	Resistor 電阻器	18
Quadruplex winding 四重卷組	345	Restoring force 還原力	131
Quenching 淬煉	209	Retarding torque 滯速轉矩	183
		Retentivity 留磁性	206
[R]		Retrogressive winding 後退的卷組	336
Radial field 輻射形磁場	131	Return conductor 回路導體	163
Radio frequency 射[電]頻	147	Return loop system 回環制	510
Range 量限	144	Return wire 回線	32
Rate-of-current-rise type [適應]電流上升率(斷路器)	505	Reversing switch 換向開關	259
Rating 定額	111,494	Rheostat 變阻器	18,583
Ratio arm 比率臂	155	Rheostat arm 變阻臂	155
Reactor 電抗器	429	Ridgeway dynamo 立奇惠電機	385
Reciprocal ohm 反歐姆(即莫)	8	Ring method 環鐵法	261
Reclosing action 重開合動作	504	Ripple 波紋	334
Rectifier 整流器	291	Rocker arm 搖臂	363
Reentrant 重入的	338		

Rope brake 索轆	473
Rubber-insulated cable 橡膠絕緣電纜	579
Rush current 衝流	168
[S]	
S.C.C. wire (Single-cotton-covered wire) 單紗包線	361
S.P.D.T. (Single-pole double-throw) switch 單極雙投開關	114, 171
Sal ammoniac 氯化銨, 鹵砂	92
Sapphire 青玉	140
Saturation 飽和	236
Saturation curve 飽和曲線	363
Savart, Felix 薩登爾特(人名)	216
Scale 標度, 標度尺	131, 141
Secondary cell 蓄電池	87
Secondary coil 副線卷	258
Sectionalized trolley 分段架空線	525
Self-excited generator 自激發電機	401
Self inductance 自感[量]	266
Self induction 自感應	271
Semi-closed slot 半開口槽	361
Separately-excited generator 他激發電機	414
Separator 隔離物	104
Series aiding 串聯互助	287
Series circuit 串聯電路	11, 37
Series booster 串聯昇壓機	114
Series generator 串激發電機	372, 416
Series motor 串激電動機	449
Series opposing 串聯互消	287

Series parallel circuit 串並聯電路	40
Series parallel system 串並聯(佈電)制	511
Series winding 串激場卷	363
Sheet iron 片鐵	250
Sheet steel 片鋼	250
Shield 屏蔽	211
Short circuit 捷路, 捷接	55
Short circuit current 捷路電流	94, 386
Short-period rating 短期定額	496
Short shunt compound 短(或內)並聯複激式	407
Shunt 分路, 分流器	18, 133
Shunt characteristics 分激特性曲線	398
Shunt generator 分激發電機	372
Shunt motor 分激電動機	446
Shunt winding 分激場卷	363
Silicon steel 矽鋼	250
Simplex winding 單式卷組	343
Singly-reentrant duplex winding 單進雙重卷組	346
Slide wire 滑觸線	159
Slide-wire bridge 滑[觸]線電橋	159
Slider 滑觸器	159
Slip ring 匯流環	330
Slot 槽	332
Smithsonian Physical table 史密宋里安物理表	270
Soldering 銲接	104
Solenoid 螺線管	139, 219, 460
Solid conductor 實心導體	14
South pole 南極	190

South seeking pole 指南極	190	cable 鋼筋鉛綫	581
Space factor 空間因數	339	Steinmetz law 史坦麥茲定律	250
Spark 電花	283	Stoker 煤煤器	46
Spark plug 電花塞	283	Stop 止椿	222
Specific inductive capacity 比容量(介質常數)	305	Storage battery 蓄電池, 蓄電 池組	86,97
Specific conductance 比電導 (電導係數)	9	Stranded cable 絞綫	23
Specific resistance 比電阻(電 阻係數)	6	Strap 短條	104
Speed counter 計速器	471	Stray load loss 雜散負載損失	481
Speed regulation 速率調整	447	Stray loss 雜散損失	481
Spider 蝠	359	Stray magnetic field 雜散磁 場	130
Spongy lead 鉛酸	98	Stray power 雜散功率	481
Spool 捲線軸	363	Stray power method 雜散功 率法	484,492
Stamping 鑿片	359	Submarine cable 海底電綫	253
Standard cell 標準電池	95	Substation 分站, 配電站	506
Standard solenoid 標準螺管 [錫卷]	261	Superheater 過熱器	45
Stand-by service 備用任務	116	Sulphation 硫化	109
Star mesh 星形網目	81	Switch 開關	33
Starting arm 啟動臂	455	Switchboard 配電板	139,498
Starting battery 啟動用電池	102,112	Syringe hydrometer 唧管比重 計	106
Starting box 啟動箱	449	Synchronous converter 同步 換流機	506
Starting resistance 啟動用電 阻	449		
Starting torque 啟動轉矩	448	[T]	
Statecoulomb 靜電庫倫	296	Tachometer 速率計	474
Statfarad 靜電法拉	27,312	Tap 分接頭	145
Statvolt 靜電伏特	27	Tar compound 焦油化合物	94
Static electricity 靜電	293	Telephone receiver 電話聽筒	209
Stationary battery 固定蓄電 池組	103	Telephone set 電話機	209
Steady state 穩定狀態	266,429	Temperature coefficient of resistance 電阻之溫度係數	20
Steel-reinforced aluminum		Temperature overload relay 溫度控制過載替換器	461

Terminal 端, 端鈕 34,53,149
 Terminal voltage 端電壓 35,53
 Test tube battery 試管電池 166
 Thermal couple 熱偶 148,496
 Thermal emf. 熱電勢 148
 Thermal instrument 熱偶儀器 147
 Thermoguard motor 熱控保
 磁電動機 462
 Thermometer method 溫度計
 法 496
 Thermostat 熱控替換器 462
 Third-brush generator 第三
 刷發電機 424
 Thomson-Ryan method 湯姆
 生一雷恩法 384
 Thomson-Huston generator
 湯姆生一赫斯登發電機 418
 Thomson-Varley method 湯
 姆生一伐萊法 174
 Three-point starting box 三
 點端啓動箱 455
 Three-wire generator 三線發
 電機 519
 Three-wire system 三線(佈電)
 制 186,512
 Three-wire watthour meter
 三線瓦時計 186
 Thury system 壽雷(佈電)制 418
 Tie wire 近接線 80
 Time constant 時間常數 276,313
 Time element 定時機構 504
 Time lag 時滯 277
 Timing mechanism 定時機構 460
 Tirrill regulator 提利爾調壓器 420
 Tooth frequency loss 槽齒(率
 類)損失 481

Torque 轉矩 153,436
 Torque armature 扭動齒鐵 422
 Torsion dynamotor 扭式(雙
 架式)功率計 483
 Total characteristics 總特性
 曲線 397
 Tractive effort 曳引力 452
 Trailing pole tip 後極尖 377
 Train line 列車線路 468
 Transfer instrument 換算儀
 器 147
 Transformer 變壓器 215
 Transient state 瞬變狀態 428
 Transmission line 傳輸線路 26,521
 Trip coil 解扣鐵卷 277
 Trip magnet 解扣磁鐵 505
 Triple coil 三合鐵卷 339
 Triplex winding 三重卷組 345
 Tripping 解扣 221
 Trolley (wire) 架空線 77,524
 Trolley wheel 滑觸輪 468
 True power 實在功率 181
 Tube of force 磁力(線)管 199
 Tube of induction 感應(線)管 199
 Two layer winding 雙層卷組 336
 Type metal 鑄型金屬 126

[U]

Uncharged 不帶電 293
 Under compound 欠(複)激式 408
 Under-voltage trip 低壓解扣 504
 Unipolar generator 單向發電
 機 423
 Unit pole 單位磁極 193
 Unsaturated cell 未飽和電池 96

[V]

Varley loop 伏萊迴線	164
Veeder type speed counter 大意德爾式計速器	474
Ventilating duct 通風槽	332,359
Ventilation 通風	359
Volt 伏特, 伏	5,29
Volt box 伏特匣	177
Volta, <u>Alexandrio</u> 伏特(人名)	29
Voltage 電壓	6
Voltage divider 分壓器	584
Voltage drop 電壓降	6
Voltage gradient 電壓梯度	304
Voltage regulator 調壓器	221,420
Voltmeter 伏特計	34,145
Volume resistivity 體積電阻 係數	

[W]

Ward-Leonard system 華德 —黎翁那德制	465
Waste 殘紗	393
Water-barrel rheostat 水箱 變阻器	588
Watt 瓦特, 瓦	42
Watt-hour 瓦特小時	44,122
Watt-hour efficiency 瓦時效 率	122
Watt-hour meter 瓦時計	182
Watt, James 瓦特(人名)	41
Wattmeter 瓦特計	181

Watt-second 瓦特秒	43
Wave winding 波[式]繞線	351
Weber 韋伯	233
Weber, Wilhelm Ednard 韋伯 (人名)	233
Weber and Ewing's theory 韋伯及 <u>歐文</u> 學說	194
Wedge 楔	334
Weston cell 德新香電池	95
Weston type instrument 德 斯香式儀器	139
Wet storage 溼儲法	109
Wheat stone bridge 惠司登電 橋	154
Winageloss 風阻力損失	480
Winding 繞卷, 繞卷組	15
Winding element 繞卷元件	336
Winding table 繞線表	338
Wing nut 翼式螺止	142
Wolff potentiometer 吳爾孚電 位計	176
Worm and gear 螺絲桿與齒輪	184,530

[Y]

Yoke 軛	227,357
Yoke method 軛鐵法	260

[Z]

Zero center type 零點居中式 (儀器)	513
Zero position 零[點]位[置]	141

電 工 學

上 編

直 流

中華民國三十三年七月初版
中華民國三十六年三月三版

版權所有 翻印必究

原 著 者	Chester L. Dawes
譯 述 者	毛 啓 爽 王 天 一
發 行 人	楊 孝 述
發 行 所 印 刷 所	中 國 科 學 器 械 公 司 上 海 中 正 中 路 649 號
分 公 司	中 國 科 學 器 械 公 司 南 京 廣 州 北 平 重 慶 漢 口

(稅5000)

科學