

工學小叢書

電機工程概論

陳章 著

商務印書館發行

工學小叢書

電機工程概論

陳章著

商務印書館發行



國立北平圖書館藏

電機工程概論

目次

第一章	緒言	一
第二章	發電機	一四
第三章	電動機	三九
第四章	變壓器	五六
第五章	發電廠	六七
第六章	輸電	七九
第七章	電光	九五
第八章	電瓶	一一〇

448
380

100074

第九章	電機鐵道	一一九
第十章	電報及電話	一三六
第十一章	無線電	一五五
第十二章	電化工業	一七八

電機工程概論

第一章 緒言

人類對於電之智識，由來甚久。四千餘年前，吾國黃帝已有指南車之製造，此當係對於磁性之利用。厥後希臘人知羊毛與琥珀相摩擦，能攝引紙屑一類之輕微物體，此則確為靜電現象之一種認識矣。然自此以後，電學之進展甚緩，直至一六〇〇年，英國吉爾培脫（William Gilbert）著述“*De Magnete*”一書，其中闡明磁電學理甚多；吉氏證明摩擦生電，不僅琥珀與羊毛為然，他如呢、絹、貓皮、象牙、玻璃、火漆、樹膠等物，經互相摩擦後，皆有吸引紙屑之力；如此之性質，即定名曰電。西文電字“*electricity*”，在希臘語意為琥珀；蓋因電之現象，首由摩擦琥珀發現也。

晚近電機工程偉大之發展，實肇端於一八三一年法拉第（Michael Faraday）代那模（*dynamos*）之發明。法氏所創製之代那模，係一枚電磁鐵，在其磁場內置有一個能旋轉之銅盤，銅盤之周

線及其軸上，各有簧片緊貼之，此二個簧片，各與測電表 (galvanometer) 之一端相接；當銅盤受外力旋轉時，測電表之指針立即表示有電流經過。由此雛形之代，那模，經百年間不斷之改進，乃成今日壯偉之直流發電機與交流發電機；若工廠內鑄鑄之機械，飛馳大陸之電機車，照耀黑夜如同白晝之電燈，皆仰給於是。神奇之電力將世界之面目完全改換一過，然則法氏之功績可謂大矣！

電力之偉大果已甚堪驚異，然猶未盡電之能事也。電能藉一線之連絡，雖千里遙隔，不難瞬息立至，故昔人已有藉電以通信之理想。迨一八三二年摩斯 (Samuel F. B. Morse) 教授，始實現此種理想，於一八四四年摩氏得美國國會之核准，資助美金三萬圓，得完成華盛頓與鮑爾的摩二城間之電線。達一八七五年美人倍爾 (Alexander Graham Bell) 發明電話，一八九五年意大利馬可尼 (Guglielmo Marconi) 氏發明無線電報，最近又有電視 (television) 之發明，藉電通信之術益精進不已，千里之隔，如同一室，誠非昔人所能夢想及也。

人類以物質文明之進步，乃能操縱自然界，役使身外之能力，以爲己用。上古之世，畢生經營之一切事業，悉賴於個人之體力，有限極矣。其後逐漸進步，乃能驅策牛馬，以駕車輛，以作耕耘；更進而

利用風力，或由風車收取以磨粉，或用風帆收取以行舟，視個人之體力，已進步多多矣，及至瓦特發明汽機，利用數千年蘊藏於煤內之能力，於是人類操縱自然之偉績，即闢一新紀元。影響所及，歐陸之工業，猛進如飛，不久更進而使用電力，遂將世界比作斗室，千里近如咫尺，人類操縱自然之巧妙，亦神乎其技矣。近世所謂文化之邦者，其人羣社會之福利，迥莫不有賴於電力，電光所照，則居室、工廠、商店、街衢，照耀如同白日，且美麗有加，家庭電化，則電扇、電鈴、電爐、電灶，便利舒適，而尤能增加工作之效率；以言工業，則開礦、鍊鋼、絲紗、粉紙、造肥，及大小各工廠之動力，均可以應用電力，以言交通，則電報、電話，及電機鐵道莫不因電而神其功用；而娛樂方面，則無線電話、有聲電影，均為古人所夢想不到之幻術；將來電視發展，則人羣間聲息互通之靈便真確，更將倍徙往昔，是以電力者，實為人類操縱自然之至寶。自其涉世以來，應用之廣，與日俱進，無往而不利，殆將取各種其他「能力」(energy)之地位，一代之矣。

然則電力何以有如許偉大之奇蹟乎？彼機械的能力，與化學的能力，歷史較久，何以反被排擠乎？其故可由各方面論之：首論輸送方面，機械力藉調帶鍊帶而輸送，距離甚為有限；是以工業稍進，

即失其地位。至於電力及化學的能力，皆可送至無限距離而致用。故至今兩者並用，視境地之不同而異其取捨。或有宜於輸送化學能力者，則自煤礦將煤運至發力廠，在用戶中心，附近發力致用。或有宜於輸送電力者，則在煤礦附近，開設發電廠，將所發之電力，遠送至用戶中心以致用。兩法均頗便利，殊難判其上下，然當致用之處，欲由此變為所需之光能或機械力者，則電力遠勝於化學能力。欲將煤塊中儲藏之化學能力，變為光或機械力，必難於繁複之設備，與熟練之技師。故時至今日，除普通燃燒取熱，與大發力廠及機車輪船等外，已不用直接化學能力，而進用電力。蓋電力之轉變，特一舉手之勞耳。不觀乎電鈕一按，萬盞電燈，隨之輝照，則電力已隨手開始變為光力矣；電鑰一轉，則電動機隨之而轉，電車隨之而行，電力已開始變為機械力而應用矣。故其使用之便利，蓋遠非化學的能力所可及也。且電力之功用，能將極大的力量，凝集於一事一物，因此能為他方所弗勝者。譬如從前藉化學的方法，能將生鐵自鐵礦中鍊出，而鉛及鈣，則以其化合力較大，竟不能用同樣方法析出之。然一至電熔爐中，則不但鉛及鈣可以隨意精鍊，即化合力更大之鉀及鈉，亦不難游離析出。又如從前用氫氣火焰，可以發生極高之熱度，鎔鐵如融蠟，堅如石英，亦使軟化，即最難鎔之鉛，亦可

化爲液體，然倘用電弧，則不僅融解軟化而已，竟可或使蒸發，或使昇華，莫不隨心所欲。是以自人類利用電力以來，其魄力即愈益偉大。昔時所認爲不可能之事，均一一先後實現，且發展爲盛大之工業，蓬勃日進無已。然則電力之功用，誠廣大矣。然吾人亦不可不知其缺點之所在。電力最大之缺點，厥在其不能儲藏。因其不能儲藏，遂有種種問題，不能解決，現世雖有蓄電池，然其量甚小，殊不足以勝大任，譬如蒸汽發力廠，賴有煤棧，儲煤應急，可以不虞外界斷給之恐慌。設有一二個月煤船不到，仍不致停止發力，此化學能力佳勝之所在也。反之，電力不能儲藏，故水力發電廠，每於洪水暴發之時，發電過多，亦不能收藏；一至冬季，上流冰凍，水源枯竭，即不啻束手待斃。倘於洪水暴發之際，能收藏其所發過剩之電力，豈不大妙。是以電力之售價，不單視生產而定，亦須視消耗之情形而異。譬如售煤，則以產煤之多少，與供求之相需，而有一定之市價。彼一星期用煤一百噸者，不問其爲七日共用一百噸，抑爲一日即用一百噸，而其他六日咸不用煤，其每噸之價，必無歧異。然電力則大不然，如一日用電二百四十基羅瓦特 (kilowatt hour) 者，若每小時用十基羅瓦特，則其價甚廉。蓋發電廠祇須爲此用戶，置十基羅瓦特之發電設備爲之工作二十四小時可矣。若此用戶在一小時內驟用

二百四十基羅瓦特，而其他二十三小時不用，則發電廠勢必為彼置二百四十基羅瓦特之發電設備，為之工作一小時，而擱置二十三小時，故電力之售價，不得不貴，其所以有此差異者，厥在電力之不能儲藏，只能隨發隨用也。雖然，世界甚大，需力繁夥，自朝至暮，隨時需力，倘一一仰給於電，則全日間雖此作彼息，而總發電廠之給電，或不甚變動，近世發電廠之力求經濟，即在努力設法使用電數量之均勻，（參閱第五章）於是電價低廉，而民生愈裕矣。

古時人羣操縱自然界之能力，至為薄弱，生活亦最簡單。人生所需之事物，悉須出諸己力，是以無須交通。今日則不然，生產與消耗，均有所謂分工與合作。一地所需之物，須集世界各處之製品供給之。夫集合世界各處之製品而供給一處，必賴有十分便利而可靠之交通，是不可不歸功於汽船及鐵道。然文明更進，則貿易有無，不僅限於物品而已，所謂「能力」也者，亦將由一處發生，傳送各地，隨需要而取用之。是必賴於能力之輸送，須十分便利而可靠，則惟有電力可以解決此問題矣。發力之經濟，與製造物品之經濟相彷彿，均以大宗製造為成本低廉之方法。今日美國已有集合全國發電廠於一總廠之趨勢，亦無非欲求其售價之愈益低廉耳。同時為欲集中發電之故，輸送分配之

組織，亦愈益演進，至今已完有完善之低壓系統，居家用戶，可以隨處取用電力。是以綜計其工廠以外之用電總量，已達一千七百萬匹馬力，而廠中工人之使用電力，為平均每人四匹半馬力。以此力量為社會工作，其出產之數益與質地，自非尋常可比。更加以衣食住行之舒適安樂，人民之能力，自能倍增。是以電機工程師，不啻使人類具超人能力之方法也。其貢獻於人羣福利，豈淺鮮哉！

電之重要，既如上述，是以電機工程師不可不認識其地位，而修練其應具之學問與素養。夫工之為業，常人必以為偏重於勞力；昔時所謂工匠，誠不需有何等學識，但憑若干之經驗，訓練其四肢，得相當之技巧，復繼以耐勞之體力，即可稱為能事；然自輓近工業革命以來，機械之製造日精，無處不思利用深遠之科學原理，需要體力之處日益少，需要心智之處日益多。即如鍛鐵（俗稱打鐵）一事，向之認為最勞體力之工作；今則有蒸汽鎚（steam hammer）空氣鎚（pneumatic hammer）及電力鎚（electric hammer）司鍛鐵之工人，祇一舉手之勞，換開汽門或閉電鑰，即由偉大之汽力或電力，推鎚下擊，其力之猛，非人力可及也。且近代自動控管（automatic control）已有漸行普遍於一切機械之趨勢，工人勞力之機會漸少，而需要心智之管理工作漸多，是故近代之工人不僅須

有耐勞之體力，且須有清晰之頭腦，對於機械工作之理，須有相當之認識，方能掌管此等靈巧複雜之機械，而克盡厥職也。然此不過在工作時司呆板控管之職之工人而已；至於是等精巧機械之製造，尤必須先有精密之計劃，以決定構件之式樣、度量及質料，與夫製造之步驟、應用之工具等，至於工廠建立之際，關於機械之選擇與排列，原料之供應，出品之產生，一切工作大計在效率、安全、經濟種種方面，務須面面顧到，擔任此等工作之人，尤須有高深之學識，豐富之經驗，與夫靈敏之頭腦，方能勝任愉快，此等人即所謂工程師也。工程師之於工廠，恰如將帥之於軍隊，軍隊之克敵，繫於將帥之指揮者定，工廠之成敗，亦恃工程師之得人耳。

電之爲物，視之無形，聽之無聲，嗅之無味，而傳導迅速，能力偉大，真可盡神出鬼沒之能事矣。無充足學識之輩，使入電機廠中，觀壯偉之電機，繁複之電鑰板，祇有瞠目結舌，驚嘆神奇，而不能有所作爲也。近代電機工程日益發達，良好之電機工程師之需要日殷；據經驗所知，電機工程師及其他一切擔任工程師職務者，皆以曾受工程教育（engineering education）爲佳。但工程教育之目的，不過授以工程師所需要之基本學識，使之對於工程學術得窺見其門徑，而復訓練其心身，使具有

研究進取之能力及習慣而已，非遂謂能定造工程師也。學習電機工程及其他工程學者，設無相當之天賦才能，及自工程學校畢業後長時間之實地經驗，則亦無良好成就之希望也。爲工程師者，需要之天賦才能，據研究工程教育者言，實有重大之關係；大抵在中學時代學績居上中以下者，大多不能有成就良好工程師之希望，而天性愛好算學及理化學者，對於研究工程學術，自有較大之可能；大抵幼時善算學之頭腦，與玩弄工具之技巧，爲將來爲工程師之必要條件；而此二條件非人人所具也。然則孰宜爲工程師？孰不宜爲工程師？在擇業之際，不可不詳自審察也。據經驗所知，良好之電機工程師宜有左列之性格：

- (一) 對於算學及理化學有特具之興趣與天才。
- (二) 具有善於分析之腦力，對於事物能有精細之觀察與判斷。
- (三) 有好奇心，對於事物喜歡窮究其源由。
- (四) 對於複雜而無生命之機械有愛好之癖。
- (五) 富於想像力，能懸想不在目前，或尚未造成之機械之情況，及憶想磁電之各種關係。

(六)富創造力，能有自出心裁之思想及動作。

(七)身體康健，無廢疾。

(八)有喜動之天性，但同時富有忍耐力。

(九)有愛好整潔之習慣。

(十)樂羣而有為領袖之才能。

所謂電機工程師包含至廣，就其所司工程之種類而言，則有發電、輸電、電車、電照、電報、電話、電機製造、日用電氣等別。就其所任職務而言，則設計電機及各種電氣器械者，稱曰設計工程師；(Designing Engineer) 籌劃製造電機之大計，若步驟、方法、及應用之工具、材料等者，稱曰製造工程師；(Manufacturing Engineer) 擔任發電廠之建立、輸送綫之架設，以及電車電燈一切設施者，稱曰建設工程師；(Constructing Engineer) 專事銷售電機，及一切電氣器械，對於顧客作種種勸告與指導，並幫助顧客解決一切難題者，稱曰銷售工程師；(Sales Engineer) 指揮及監督各種電機及電氣器械之運用者，稱曰運用工程師；(Operating Engineer) 經營工廠或其他電氣工業者，稱曰管理工

程師 (Adminstrating Engineer) 研究各種電機及電氣器械之改良與創造者，稱曰研究工程師 (Researching Engineer) 由職務之不同，而電機工程師應具之才能，亦因事而異矣。例如設計工程師及研究工程師，須有特別精湛之學識；製造工程師，建設工程師，及運用工程師須有佳良之體魄；銷售工程師須善詞令，能交際；管理工程師須諳科學管理法，及心理學，經濟學等是也。

電機工程固為電機工程師所專攻之學識，然生於今日之世界，殆無往而不與電機工程相接觸，蓋在在均需要關於電機工程之常識者也。吾國革命軍事既已告終，正建設開始之時，將來電機工程之種種設施，方興而未艾也。故不為今日之國民則已，否則對於電之智識，不可無相當之明瞭。雖然，今之電機工程學，包含至廣，若本書所列之發電機、電動機、發電廠、輸電學、暨電照、電機鐵道、電報、電話、無線電學諸章，各可擴為巨帙，猶不能稱為詳盡；今本書之目的，不過略述各門電機工程之要義，俾學者藉知此種工程學之大意，而喚起進步研究之興趣。至於艱深之數學及繁複之學理，當力求避免，俾會習初等物理學者，即不難明其大旨也。

電機工程學可分為電力工程學，及電信工程學兩門。電力工程學包括電力之發生，電力之輸

送，及電力之應用。故本書發電機、發電廠、輸電學、變壓器、電動機、電照學、電機鐵道諸章，實在電力工程學範圍之內。電信工程學包括藉電之作用以通信之種種學術；故本書電報學、電話學、無線電學、電視諸章，實在電信工程學範圍之內。電力工程學所論，皆為強大之電流之作用，故又有強流電工學之稱。反之，電信工程學所論皆為微弱之電流之作用，故又有弱流電工學之稱。但是等分門別類之目的，無非便於學者研究而已，在實際上仍不能有絕對分明之界限也。

電流現象之闡明，實肇端於電池之發明。但近世工業上，及日用上需要之大量電流，則已不復仰給於電池，而概由發電機供給之。發電機有直流與交流二種，此二種發電機之構造大意，及使用方法，將於第二章內續述之。尚有數種變交流電為直流電之器械，若電動發電機組，同期變流機，及汞弧整流器，在發電設備中佔有重要之位置，第二章內亦將略述其梗概。電動機為變電力為機械力之一種機械，軌近工業界及交通界漸有放棄汽機，而採用電動機為動力機械之趨勢，良以電動機之優點甚多，非汽機所能及也。本書第三章將述各種電動機之構造，性質之異同，使用方法之概要，及選擇電動機時應注意各點，凡關於電動機之緊要智識，類已備述矣。又有一種所謂變壓器者，

與近代交流電之非常發展，實有莫大之關係，將於第四章內論其要義，第五章所論爲發電廠之設備大意，及其工作概況。第六章所述爲輸送電力之學理，及現代所廣用之電力輸送之方法及制度。第七章內歷述電力光照之方法，及近代各種電燈之原理與構造。第八章內述各種原電池及蓄電池之理論及應用。第九章內列舉現代電機鐵道之各種制度及其優劣之點，對於市街電動車亦將加以簡明之解釋。第十章及第十一章則爲現行之電報、電話、無線電報、無線電話之各種廣用之制度，作一簡明之敘述。凡過於繁瑣艱深之學理，及並不廣用之制度，則概行從略。電視爲最近發明之一種學術，尙未脫離試驗時期，而進於實用時期，但將來之希望，則甚爲偉大。本書第十一章內，將略述此種學術之大意。第十二章內對於電鍍、電鍍、電氣鍊銅、鍊鋁、漂白粉之製造，及電氣熔爐、電弧焊接術，各有簡要之敘述。本書所包括之範圍，既若是其廣，自不能臻於詳盡。但對於各門電機工程之大意，亦已各具眉目。讀者手此一卷，對於電機工程學，或能得一清晰之鳥瞰，則作者之願望也。

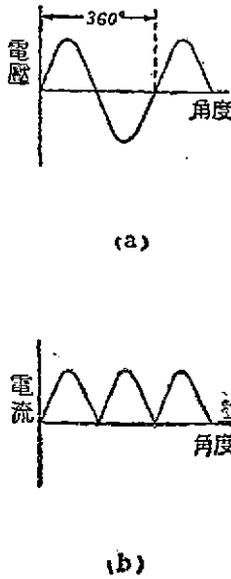
第二章 發電機

工業上及日用上需要之大量電流，皆得之於發電機 (Generator) 發電機者乃使機械力變成電力之機械也；其發出之電流依發電機構造上之不同而分為兩種：曰直流 (direct current) 曰交流 (alternating current) 發出直流之發電機稱曰直流發電機 (direct current generator) 發出交流之發電機稱曰交流發電機 (alternating current generator) 直流電與交流電在現今之工程界並皆採用，二者各有所長，各有所短。直流電與交流電在種種方面之比較，將於本書第五章討論之；茲先述直流發電機與交流發電機之構造及使用法之梗概如左：

直流發電機之構造 直流發電機在構造上可分為兩大部分：即勵磁部分與發電部分是也。屬於勵磁部分者為磁極 (magnetic poles) 磁極靴 (pole shoes) 磁場電路線圈 (field circuit coil) 及機軛 (yoke) 屬於發電部分者為電樞 (armature) 電樞線圈 (armature coil) 整流環 (commutator) 及炭刷 (carbon brushes)

磁極之數視發電機之工率及旋轉速度而定。在近代之發電機至少有四枚，皆爲鑄鐵薄片所成。其一端以鐵釘附於機軛，其他端皆附有磁極靴。磁場電路線圈則纏繞於磁極。其電流或取給於發電機本體或取給於其他電源。因而造成適當強度之磁流，經過磁極，磁極靴，空隙 (air gap)，電樞鐵心，機軛，而成一個磁路。電樞鐵心爲極薄鋼截片 (steel laminations) 所組成，另以鋼心結構固緊之。截片與截片之間加漆以爲絕緣。此種截片之邊緣凹凸如齒輪，其凸處稱曰齒 (tooth) 其凹處稱曰槽 (slot) 中間復有氣孔 (ventilating ducts) 爲放散積熱之用。電樞線圈纏繞於電樞，當電樞受外界機械之力而旋轉時，此線圈即與磁流相割，而發生感應電流。電樞線圈既爲電流發生之所，其纏繞於電樞之方法甚關緊要；其法大別爲二：曰疊式捲繞法 (lap winding) 曰波式捲繞法 (wave winding)。在發電機之採用疊式捲繞法者，其電路之數等於磁極之數；因此炭刷之數亦等於磁極之數。譬如發電機之有四個磁極者，即有四個炭刷是也。在發電機之採用波式捲繞法者，無論有幾個磁極，其電路之數常爲二；因此祇需二個炭刷已足。大概發電機之電壓不高，而電流甚大者，適用疊式捲繞法，反之發電機之電壓頗高，而電流不大者，適用波式捲繞法。

當線圈隨電樞而在磁場內旋轉之時，其內所生之感應電動力，在每旋轉三百六十電角度（electrical degrees）之中，實二易其向。（註：在二磁極之發電機每一旋轉即三百六十幾何角度，等於三百六十電角度；在四磁極之發電機每三百六十幾何角度，等於七百二十電角度；在六磁極之發電機每三百六十幾何角度，等於一〇八〇電角度；以此類推。）今如第一圖（a）所示為電樞線

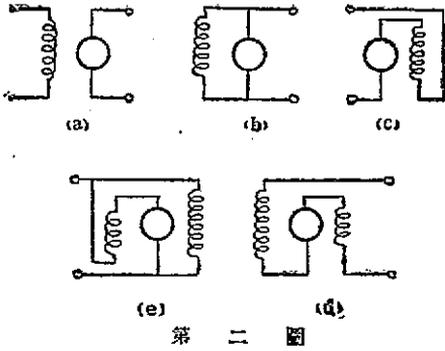


第一圖

圈內之感應電動力與旋轉電角度之關係。欲由此變向之電動力得到單向之電流，須有賴於整流環（commutator）整流環為許多銅片所組成，每一銅

片稱曰一截片（segment）截片與截片之間嵌以雲母（mica）以使絕緣。每片之一端，皆有導線與電樞線圈相連繫。整流環之面有炭刷緊貼之，電流由此以達外路（external circuit）成為單向如第一圖（b）之所示也。整流之理簡言之：即使線圈內電動力換向之際，換一個炭刷相接觸，使各炭

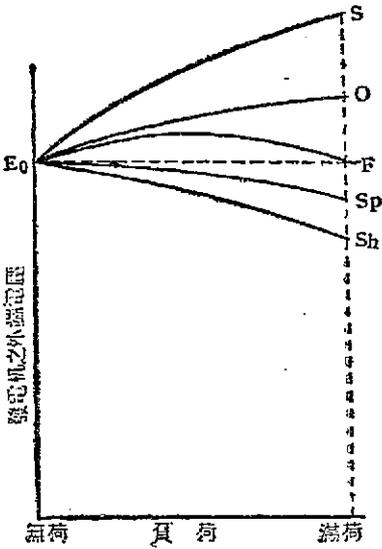
刷所接觸之整流環截片，及連繫之線圈，常有同一方向之電動力也。電流經過電樞線圈，整流環，炭刷，外路，以及磁場電路線圈，（假定勵磁電流係發電機本體供給者）為一電路。近代之直流發電機更有整流磁極（commutating pole）之設置，以消除整流環上火花之發生，而使整流作用得臻完善焉。



第二圖

直流發電機可依其磁場來源之不同而分為數類：其藉永久磁鐵（permanent magnet）為磁場之來源者，稱曰久磁發電機（magneto）其磁場之來源為電磁鐵（electromagnet）而勵磁之電流來自蓄電池，或他具發電機者，稱曰他勵發電機（separately excited generator）如第二圖（a）為他勵發電機之圖解。其勵磁電流來自發電機本體者，稱曰自勵發電機（self excited generator）而自勵發電機又有並聯（shunt excited）串聯（series excited）複聯（compound excited）之別。

如第二圖(b)所示之並聯發電機，其磁場電路與電樞電路接成並列關係。(c)所示之串聯發電機，其磁場電路與電樞電路接成串列關係。至於復聯發電機之磁場線路有二，其一與電樞線路接成串列關係，其一與電樞電路接成並列關係，複聯之中又有長並聯 (long shunt) 及短並聯 (short shunt) 之別。圖中(d)為短並聯之接法，(e)為長並聯之接法。



直流發電機之特性曲線 直流發電機之外端電壓 (terminal voltage) 在載負荷 (load) 時，與不載負荷時往往相異。其外端電壓隨負荷之輕重而升降之狀況，則視勵磁方法之不同而相異。表示外端電壓與負荷間之關係之曲線，稱曰直流發電機之特性曲線 (characteristic curves of D. C. generators) 如第三圖

E_0 爲發電機無負荷時之外端電壓。曲線 Sp 表示他勵發電機之外端電壓隨負荷之輕重而變動之狀況。在他勵發電機勵磁電流不隨負荷而變動，但電樞電阻之降落電壓 (armature resistance drop) 則隨負荷電流之增大而亦增大。且勵磁電流雖常保不變，而實際上之磁流則受電樞反應 (armature reaction) 而減小，故負荷愈重，則他勵發電機之外端電壓降落愈大，恰如 Sp 曲線所示之狀況也。至於並聯發電機則除電樞電阻降落之增大，及電樞反應外，其勵磁電流亦隨外端電壓之降落而減小。故並聯發電機之外端電壓之因負荷增大而降落，較之他勵發電機之外端電壓降落更爲迅速，恰如圖中 Sb 曲線所表示之狀況也。在串聯發電機其勵磁電流隨負荷而直接增加，故其外端電壓反隨負荷之增加而上升也。(如圖中所示之曲線 S) 複聯發電機有兩個勵磁線路，已如上文所述。故倘複聯發電機在滿負荷之時，其因串聯勵磁電流所增大之量，適足抵消外端電壓降落之量，則其外端電壓即等於無負荷時之外端電壓 E_0 矣。如此之複聯發電機，稱曰平複聯發電機 (flat compound generator) 如圖中之曲線 F，即表示平複聯發電機之外端電壓隨負荷之輕重而升降之狀況也。若複聯發電機之串聯勵磁電流在滿荷時所增益電壓之量，超過外端電壓降

低之量，則其在滿負荷時之外端電壓，必高出於無負荷時之外端電壓。如此之發電機，通常稱曰過量複聯發電機 (over-compound generator) 如圖中 O 曲線，即表示過複聯發電機之外端電壓，隨負荷而變異之狀況也。

直流發電機之電壓調整 (voltage regulation) 電壓調整也者，為電機工程界常用之名詞，以表示發電機由滿荷時到無荷時，所升騰之外端電壓，(或由無負荷時到滿負荷時所降落之外端電壓) 對於滿負荷時之外端電壓之百分數也。可以方程式表之如左：

$$\text{電壓調整} = \frac{\text{無荷電壓} - \text{滿荷電壓}}{\text{滿荷電壓}} \times 100\%$$

試舉一例以明之。有一具並聯發電機，其無荷時之電壓為二五五伏 (volts)，其滿荷時之電壓為二五〇伏，則：

$$\text{電壓調整} = \frac{255 - 250}{250} \times 100 = 2\%$$

直流發電機之耗損 (losses) 及效率 (efficiency) 直流電機工率之耗損可列舉如左：

甲、銅耗 (copper losses)] 磁場線圈銅耗 (field copper loss)

一、電樞線圈銅耗 (armature copper loss)

三、調整磁極線圈銅耗 (commutating pole loss)

乙、雜耗 (stray losses)

(a) 鐵耗 (iron losses)

四、磁滯耗 (hysteresis loss)

(b) 機械耗 (mechanical losses)

六、風耗 (windage loss)

七、軸承磨擦耗 (bearing friction loss)

八、炭刷磨擦耗 (brush friction loss)

直流發電機之效率可以下式計算之

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出之功率 (power output)}}{\text{輸入之功率 (power input)}} = \frac{\text{輸出之功率}}{\text{輸出之功率} + \text{機內之總耗}}$$

直流發電機之並列運用法 並列運用法者將二個或多個之發電機發出之電流匯集於共同

之匯電桿 (Bus Bar) 以供給共同之負荷之謂也。如第二圖所示。爲兩具並聯發電機並列運用之情況。如 S_1 及 S_2 兩個電鑰搭上，則發電機 2 與發電機 1 卽與公共之匯電桿 B 相連矣。二機所載負荷之多寡，可增減二機之磁場電路之電阻以調節之。設或發電機 1 所載之負荷驟增，而發電機 2 所載之負荷驟減，則發電機 1 所聯接之原動機 (Prime mover) 之速度必低降，而發電機 1 之外端電壓亦爲之降落。此時發電機 2 之速度必增，其外端電壓必升，終使發電機 2 輸出之電流增加，以分載發電機 1 過剩之負荷，而卒保原有之平衡。故並聯發電機之並列運用，吾人稱曰平穩的 (Steady)。

若發電機 2 及發電機 1 與公共之匯電桿相連接。此際倘發電機 1 之負荷驟增，其串聯勵磁電流隨之而亦增，以致其外端電壓亦愈益增高，使所載之負荷更加增大，終使盡奪發電機 2 所載之負荷，而使之變爲電動機而已。(註：直流發電機可變成電動機請參閱本書第三章) 故複聯發電機之並列運用，是不平穩的 (unstable) 但亦不難稍施改良，使其並列運用成爲平穩，其法用金屬導體將二機之串聯勵磁電路，接成並列關係 (in parallel) 因此二機之串聯勵磁電流，卽共增共減，任何一機之外端電壓偶然之增加，不致使該機勵磁電流單獨增大，而不平穩之弊乃可免矣。

直流發電機之應用 普通供給電力 (power) 及電照 (lighting) 用之直流發電機，多係平複聯發電機，或微過量複聯發電機 (slightly overcompound generator) 而電壓或為一二五伏，或為二五〇伏。電壓調整通常在 2% 之內。若同時須供給電力及電照者，則以三線制 (three wire system) 為便。如此則兩外線間電壓為二五〇伏，可供電動機之用；外線與中間和線 (neutral wire) 間電壓為一二五伏，可供電燈之用。供給電車用之直流發電機，亦為複聯式，其電壓在市內電車為五五〇伏，至六〇〇伏；鄰城交流之鐵道 (interurban railways) 適用一二〇〇伏；幹綫電氣化之鐵道 (trunk line electrification) 則適用一五〇〇以至三〇〇〇伏。(按：電車用之直流電普通多由同期變流機供給之，請參閱本章後文可也。) 至於電解工業 (electrolytic works) 所需用之直流發電機，須供給甚低之電壓，而頗大之電流，故其勵磁方法以他勵法為宜。電弧熔爐 (arc furnace) 及其他用途，凡發電機不免短路 (short circuit) 之慮者，皆以並聯勵磁法最為合宜。

交流發電機 (alternator) 當直流發電機之電樞線圈在磁場內旋轉之時，與磁流相割，線圈

之內乃發生感應電動力。此項電動力在每旋轉三六〇電角度中，實二易其向，已如上文所述；在直
流發電機有整流環之設備，故能由此變向之電動力，得到單向之電流。倘若吾人不用整流環，則由
此變向之電動力所得到者，定為變向之電流無疑矣。設以圖表示電流與旋轉電角度間之關係，其
形狀當與前第一圖所示電動力之圖相同。如此之電流即稱曰交流（alternating current）考交流
及交流電壓之圖，適與三角學中正弦波（sine wave）相合，此點在計算交流電時，甚關重要也。

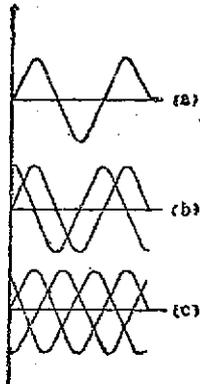
交流發電機構造之原理，實與直流發電機同；不過無整流環之設備。且又有不同者，在直流發
電機其磁極靜止，其電樞轉動；而在近代之交流發電機，則其電樞皆係靜止，而其磁極却是轉動。電
樞與磁極間之運動，原係相對，無論此靜彼動，或彼靜此動，結果皆能使電樞線圈與磁流相割，而發
生感應電動力也。交流發電機之必須使電樞靜止，而使磁極旋轉者，其故有二：

一、近代之交流發電機所發之電壓甚高，倘轉動的是電樞，則電流之傳出必經過匝電環（slip
ring）此事使絕緣非常困難。倘轉動的是磁極，則勵磁電壓通常在二五〇伏以內，故勵磁電流經過
匝電環，絕緣上並無困難也。

二、倘電樞是轉動，則捲繞線圈之地位甚屬有限，往往須作甚深之鋸齒狀，方足以位置線圈。倘由磁極擔任旋轉，俾電樞得以靜止，則線圈之位置即無困難矣。

週率 (frequency) 相位 (phase) 如第四圖所示為交流電流之曲線，自圖中 a 點至 b 點稱曰一週 (cycle) 交流電每一秒鐘時間內所有週數，稱曰週率。大凡交流電之週率愈高，則各種器械設備之重量愈減，故設備之價格亦愈低。用於電照之交流電，週率愈高，則光線之閃動愈微。現代各國工程界對於週率已有規定，吾國所採者，為每秒鐘五十週 (50 cycles per second)。

如第四圖 (a) 所示之交流，通常稱曰單相電流 (single phase current) 如果吾人在電樞上置備兩個同樣之線圈，相距九十度電角，則其發出之電流，當如第四圖 (b) 之所示；如此之交流，稱



第四圖

曰二相電流 (two phase current) 如果吾人在電樞上置備三個同樣之線圈，其相距互為一二〇度電角，則其發出之電流，當如第四圖 (c) 之所示；如此之交流電，稱曰三相電流 (three phase current) 現代工業界最廣用

之交流發電機，爲三相交流發電機，其最大之原因有二：

一、同樣之電樞若用三相線圈，其發電之量，較之用單相線圈或二相線圈爲大。

二、以三相三線電路 (three phase three wire circuit) 輸送電力，較之以二相四線電路 (two phase four wire circuit) 輸送電力爲經濟。

交流發電機之構造 交流發電機之構造視其原動機而相異，可大別爲三類：(一) 引擎式

交流發電機 (engine type alternator) 其速度自每分鐘七五旋轉 (75 r. p.m.) 至每分鐘一五〇旋轉 (150 r. p.m.) (二) 水輪式交流發電機 (water wheel type alternator) 其速度自每分鐘一

五〇旋轉至每分鐘七五〇旋轉 (三) 汽輪交流發電機 (turbo alternator) 其速度自每分鐘七五

〇旋轉至每分鐘三六〇〇旋轉。在引擎式交流發電機及水輪式交流發電機，其旋轉子 (rotor) 皆爲凸極 (salient pole) 在低速度之發電機，其磁極皆以螺梢 (bolts) 堅附於鑄鐵輻輪之周緣。在中

速度之發電機，磁極所受之離心力較大，故其一端須作鳩尾狀 (dove tailed) 而嵌入輻輪 (spider) 之槽內，以梢釘 (key) 固定之。在高速之發電機，如汽輪交流發電機，離心力益大，則其旋轉子皆

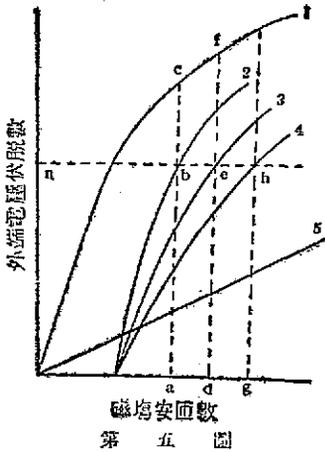
爲非凸磁極 (non-salient pole) 此種旋轉子又可分爲二類：曰平行槽式 (Parallel slot type) 及輻射槽式 (radial slot type) 汽輪交流發電機之機軛 (armature yoke) 普通爲一整塊，在較大之機，亦有分作數部分者。電樞鐵心截片 (armature core lamination) 爲導磁率 (permeability) 甚高，而磁滯耗甚小之材料所成。兩面塗漆，以減渦流，而以鳩尾狀堅嵌於機軛之內緣。是項截片分成數組，以間隔物 (spacer) 隔開，俾中間有通風溝 (air ducts) 所以便於散去積熱也。電樞線圈固定務堅，因偶然發生短流之際，牽引之磁力極大也。汽輪交流發電機之旋轉子，既爲非凸磁極，其製法或與軸 (shaft) 鍛成整塊，或爲許多鋼盤 (steel discs) 與軸以貫穿螺梢集合而成。磁場線圈爲銅條所成，橫臥於旋轉子之槽內，每層隔有雲母，使之絕緣。

通風散熱之法，在交流發電機極爲重要，而尤以汽輪發電機爲繁複，蓋其軸較長，而散熱面積則小也。通風之法，無非於機內設置通風溝，而用風扇驅風入內而已。風扇或附於旋轉子之兩端，或另以電動機驅動之，依設置通風溝方法之不同，而有輻射通風法 (multi-radial system) 及周圍通風法 (circumferential system) 之別。被風扇驅入機內之空氣，以潔淨爲貴，故有預以噴水洗滌其

所雜之塵埃細屑者。

交流發電機之勵磁電流，通常得於直流發電機，此特置之直流發電機，通常稱曰勵磁機。此勵磁機或即附於交流發電機之軸端，與交流發電機受同一原動機之驅動，或另備他具原動機，或電動機以驅動之。

交流發電機之特性曲線 如第五圖為一具大型交流發電機之特性曲線。曲線1表示此交



第五圖

流發電機不載負荷時之外端電壓，隨勵磁電流而變動之狀況。此線在磁鐵未達飽和以前為直線，在已達飽和之後，乃呈曲線 (no load saturation curve)。曲線2、3、4所示皆交流發電機滿荷時之外端電壓，與勵磁電流之關係。其中曲線2所示之負荷，為○%工率因數之滯流 (lagging current)。曲線3所示之負荷，為八○%工率因數之滯流。而曲線4

所示，則為一〇〇%工率因數之負荷也。又圖中之直線5稱曰短路電流線(short circuit current line)當交流發電機接成短路之際，其外端電壓等於零，電路內祇有交流發電機自身之同期阻抗(synchronous impedance)而已。

交流發電機之電壓調整 交流發電機之電壓調整，隨負荷之工率因數而異。如第五圖之橫行虛線N，表示正常電壓此線與2、3、4、三曲線相交於h、e、b、三點。由此三點各繪垂直之虛線，與曲線1相交於l、f、c、三點，與圖之橫軸(axes of abscissa)相交於g、d、a、三點。於是電壓調整即可計算如左：

$$\begin{aligned}
 0\% \text{ 工率因數滯流負荷} & \dots\dots\dots \text{電壓調整} \parallel \frac{hl}{gl} \times 100\% \\
 80\% \text{ 工率因數滯流負荷} & \dots\dots\dots \text{電壓調整} \parallel \frac{ef}{df} \times 100\% \\
 100\% \text{ 工率因數之負荷} & \dots\dots\dots \text{電壓調整} \parallel \frac{bc}{ac} \times 100\%
 \end{aligned}$$

供電照用之直流發電機之電壓調整，不得超過2%，已如上文所述。而工率因數80%時交流

發電機之電壓調整，則可達42%之巨。夫欲其電壓調整佳好，必須使同期電抗 (synchronous reactance) 甚小，但同期電抗若小，則短路電流必大矣。如此對於發電機本體之危險頗大，故現代電機工程界寧願犧牲佳好之電壓調整，而獲發電機本體之安全，且輔以電壓調整器，實用上並無不滿意處也。

註1 電壓調整器共有三種：(一)振動式電壓調整器 (vibrating type regulator) (二)變阻器式電壓調整器 (rheostat type regulator) (三)直接電壓調整器 (directacting type regulator) 其第一種與第三種調整電壓之法，係增減勵磁機之磁場線圈之電阻，使勵磁機之電壓隨而增減，於是交流發電機之勵磁電流發生變動，而間接影響於交流發電機之電壓也。其第二種調整電壓之法，並不變動勵磁機之電壓，而却增益或減小勵磁電路之電阻，以使勵磁電流變動，而影響於交流發電機之外端電壓也。

耗損及效率 交流發電機之耗損與上文所述直流發電機之耗損，大同而小異。例如風耗一項，在速度不高之直流發電機，為量甚微，而在高速度之汽輪交流發電機，則為量頗巨。炭刷磨擦耗

(Brush friction loss) 在交流發電機，僅勵磁電流所經之炭刷與傳電環間，有其少量，故甚微小。交流發電機之鐵耗，比之直流發電機之鐵耗稍大。其銅耗則僅限於電樞與磁場線圈，蓋交流發電機無調整磁極 (commutating pole) 也。而電樞線圈銅導體內之渦流耗，則為量殊大，故通常電樞線圈銅條，亦多分成截片，以制限其渦流也。

交流發電機之效率之計算法，與直流發電機之效率之計算法，大體相同，不過其輸出之功率，當乘以功率因數 (power factor) 耳。例如有一座雙相交流發電機，其每相位輸出之電流為八三安，電壓為二四〇〇伏，其功率因數為八〇%，則其：

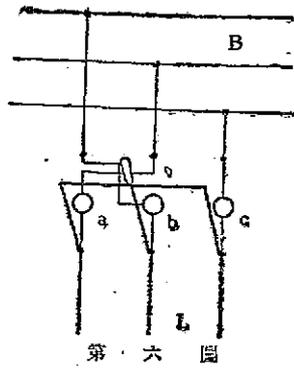
$$\text{輸出之功率} = 2 \times 2400 \times 83 \times 0.8 = 320000 \text{ 瓦特} = 320 \text{ 基羅瓦特}$$

假定機內之總耗為三〇基羅瓦特，則：

$$\text{效率} = \frac{320}{320 + 30} \times 100 = 91.4 \%$$

交流發電機之並列運用法 (parallel operation of alternators) 兩具或兩具以上之交流發電機，如欲並列運用，須在符合五個條件之際，方可相接，其條件為：(一) 電壓相等，(二) 週率相同，(三)

相位互合(四)極性互合(五)相序(Phase sequence)相同。欲知條件是否全合可以接成並列與否？可藉同期燈(synchronizing lamps)或同期表(synchro-scope)以明之。如第六圖為同期燈之接法之一種。圖中B為匯電桿，此桿已與他具交流發電機相接。今L為由將行加入之交流發電機而來之三電線。如果電鎗S搭上，則此發電機即與匯電桿相接。



矣。當此發電機與匯電桿上之電流成同期(synchronism)之時，a燈及b燈明亮，而c燈黑暗。若未成同期，則此三燈由明而暗，由暗而明，閃動不已。愈近同期，則閃動愈緩；待其閃動甚慢，而a b二燈明亮，c燈黑暗之際，即可搭上電鎗矣。將行加入之交流發電機之速度，為太高或太低，亦可由其燈明暗之

順序而知之也。若用同期表，則未達同期之時，表面上之指針疾轉不已；愈近同期，則轉動愈緩也。

如在並列運用中之二機內，甲機之速度忽減，以致甲乙二機之週率互相差異，即有電流周流於甲乙二機之間。此種電流對於甲機為電動機電流，對於乙機為發電機電流，故甲機為之增速，乙

機爲之降速，而重復於同期也。

如欲變動並列運用中之發電機之負荷之分配，在直流發電機祇須減其勵磁電流，而在交流發電機必須調節其原動機之調速器，(Governor)使原動機之速度有所變更始可也。

電動發電機組 (motor generator set) 發電機有與電動機相聯，而受電動機之驅動者；如此之組合，稱曰電動發電機組。此種組合之目的有三：

- 一、由直流變爲電壓較高或較低之直流。
- 二、由交流變爲直流。(或由直流變爲交流)
- 三、由交流變爲週率較高或較低之交流。

屬於第一種目的者爲直流電平衡機 (balancer) 及升壓機 (booster) 屬於第二種目的者，又可分为二類：曰感應電動發電機 (induction motor generator) 曰同期電動發電機 (synchronous motor generator) (按關於感應電動機及同期電動機，請讀者參閱本書第三章) 有數種情形，宜於用直流電，而不宜用交流電者，倘若祇有交流電之供應，則可賴電動發電機以變交流電爲適

用之直流電。例如市街電車，停頓甚多，速度變動不已，故最宜用直流電。又如電離 (electrolysis) 所需之電流，及蓄電池充電時需用之電流，皆非直流不可也。就二類比較之，大凡需要電流為量甚大，而長時間應用，中間停頓者，宜採用同期電動發電機；反之若需要之電流為量不大，而中間停頓頗多者，則宜採用感應電動發電機；而其感應電動機多屬鼠籠式 (squirrel cage type)。

屬於第三種目的者為週率變換機 (frequency changer) 此係一座交流發電機與一座交流電動機直接相聯而成，其交流電動機多屬同期式，但亦有感應式者。

同期變流機 (synchronous converter) 同期電動發電機之同期電動機，如係電樞旋轉式 (rotating armature type) 而非磁極旋轉式 (rotating field type) 則此電動機之電樞，與彼所聯之直流發電機之電樞，竟係同樣之物。且二者在同一之軸上旋轉，故吾人如將其一個省去，而以交流電機之匯電環，與直流電機之整流環，連繫於同一之電樞上，則交流自匯電環輸入時，直流即可自整流環輸出矣。如此構造之變流器械，即稱曰同期變流機，亦稱迴轉變流器 (rotary converter) 考同期變流機之電樞線圈內，有電動機電流，亦有發電機電流；此二者之一部分互相抵消，故實際

上周行之電流特小，因此銅耗亦大減矣。

同期變流機之單相交流電壓，對於直流電壓理論上之比 (theoretical ratio) 有如下表，蓋因構造之相異而不相同也：

單相雙匯電環 (single phase, two collector rings)	○·七〇七
三相三匯電環 (three phase, three collector rings)	○·六二二
二相四匯電環 (two phase, four collector rings)	○·七〇七
六相六匯電環 (對徑式) (six phase, six collector rings—diametrical)	○·七〇七
六相六匯電環 (雙三角式) (six phase six collector rings—double delta)	○·六二二

同期變流機之電流比，可由其電壓比計算而得。蓋如工率因數為「1」，則在理論上直流電壓與直流電流相乘之積，當適等於交流電壓與交流電流相乘之積也。(各相位之合量) 但實際上因機內之耗，而前者較後者略小，如工率因數不為「1」，則更須以工率因數除其結果。

同期變流機之電壓變動法 欲使同期變流機之直流電壓得以自由變動，其法有四：

一、在變流機之軸上添裝一具小型交流發電機，其電樞線圈與變流機之電樞線圈成串列關係，此小電機之電壓，與變流機之電壓，或相加或相減，似使直流電壓隨而變動。

二、設一感應調整器 (induction regulator) 以變動輸入匯電環之交流電壓，間接使直流電壓隨以變動。(按關於感應調整器請閱者參看本書第四章)

三、設一直流升壓機以直接加減直流電壓。

四、用自動複聯法 (automatic compounding)

同期變流機之起動及應用 同期變流機起動之法共有三種：

一、在磁極面上槽內設有鼠籠式之線圈，而以電壓較低之交流電流輸入匯電環，此變流機即以感應電動之作用而起動矣。(按感應電動之作用見本書第三章)

二、特備一具感應電動機以驅動之。

三、若有其他直流電源，則可以直流自整流環輸入，使此變流機以直流並聯電動機之作用而起動。

同期變流機與電動發電機，皆有以交流變為直流，或以直流變為交流之功用。在幾經改良之後，今日之同期變流機，已非電動發電機組所能競爭。凡須以交流電變為直流電之處，大多採用同期變流機矣。然亦有數種情形為同期變流所不能適應，而必須用電動發電機組者，可列舉如左：

一、在極長之輸送綫 (transmission line) 之尾端電阻甚大者。

二、電壓調整甚劣，直流電壓必須另行調整者。

三、週率及調整過惡，不能適用同期機械者。

汞弧整流器 (mercury arc rectifier) 變交流電為直流電之器械，為數甚多，今日電機工程界所最廣用者，當推上述之同期變流機。但近年自汞弧整流器異軍突起，大有浸淫然駕而上之之勢；識者謂諸種變交流電為直流電之器械中，當推汞弧整流器之希望最為偉大，誠非虛語。考汞弧整流器較同期變流機優勝之點計有：(一) 其全部機件均極輕便，因此機房之地板無需特別載重之力，更不必若何堅固以禦震動，故機房之建築費異常節省。(二) 其工作時之效率，甚為優越，常在九五%左右，而最佳時竟達九九·六%，實為從來變流機所不及。(三) 工作之時靜默無聲，正與變

壓器相彷彿，因此鬧市中尤稱適宜。(四)至於其工作時之穩健，更與變流機大異，凡同期電動機之種種不穩狀態，均所弗具。譬如外界忽生短路，電壓驟降，則仍能安然如故，不傷毫髮。設負荷驟然激增，則亦能處之泰然，工作如常。其耐受過量負荷之持久力，雖較同期變流機略遜，然其暫時之勝任力，實遠過之。況其起動及停止之手續，異常簡便，並列運用之時，又無同期之必要，故其看管及維護之費用，又屬十分廉省。凡此種種，均足以使其優越儕輩，而有莫大之希望也。

第二章 電動機

直流電動機 普通之直流發電機倘以電流自其整流環輸入，則其電樞即在磁場內旋轉不已，電力蓋可藉此而變爲機械力矣。夫直流發電機所以能作電動機用者，其理亦至易明。凡曾讀初等物理學者，均能知當導體在磁場之內而有電流通過其中時，此導體即受有旋力 (Torque)。此旋力之方向欲使此導體旋轉，而切割磁流，以生感應電動力 (Induced E. M. F.)。此感應電動力之方向乃欲使導體內之電流停止也。在直流發電機受原動機驅動時，其電樞線圈有電流通過，即發生此種反動之旋力，原動機之旋力即與此反動旋力及機內之磨阻力成爲平衡也。今在電動機當有電流輸入電樞線圈時，即發生旋力，而使電樞旋轉不已；同時因電樞在磁場內旋轉而發生感應電動力，此種電動力其方向既與電流之方向相反，故稱反電動力 (Back E. M. F.) 也。吾人試以發電機作用與電動機作用相比，則可得一甚有趣味之比較。蓋在發電機受原動機之旋力之驅動，因而發生電壓以供應用，同時機內發生反動旋力，以與外來之旋力相平衡，在電動機則受外來電壓，使

電流輸入機內，因而發生旋力以供應用，同時機內發生反電動力，以與外來之電壓相平衡也。

直流電動機之外來電壓 E_a ，反電動力 E_b ，電流 I_a ，及機內電阻 R_a 間之關係，可以下式表示之：

$$E_a = E_b + I_a R_a$$

或
$$I_a = \frac{E_a - E_b}{R_a} \dots\dots\dots (公式一)$$

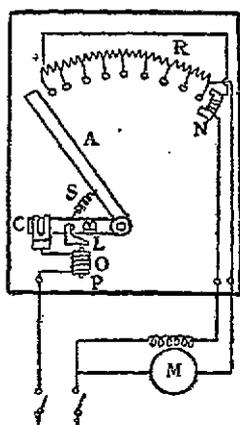
直流電動機之旋力 直流電動機之旋力可以左式計之：

$$T = K \phi I_a \dots\dots\dots (公式二)$$

此式內 T 為電動機之旋力， K 為一個常數，(constant) ϕ 為每磁極之磁流， I_a 為電樞電流。由此式可知旋力與電流及磁流實成正比。直流電動機之負荷與電流之關係，可設例以明之：假定一具直流電動機驅動一具銼床，(turning lathe 俗稱車床) 當銼刀所逢之阻力增大時，電動機之速度必為之稍減，夫反電動力 E_b 與電動機旋轉之速度實成正比，故速度既降，反電動力亦必稍減。按(公式一) R_a 為不變之數，故 E_b 變小即 I_a 隨而變大，換言之，輸入電動機之電流為之增大是也。但 I_a 既增大，按(公式二) 電動機之旋力 T 亦隨而增大，此增大之旋力，即與銼刀所逢之增大之阻力復成平衡也。

直流電動機之開動器 反電動力 E_b 既與電動機旋轉之速度成正比例，則當電動機由靜止

而開動之時， E_b 當然等於零矣。故電動機開動之時，若即以正常之電壓加之，其輸入機內之電流依公式一計之，當為 $\frac{E_a}{R_a}$ ，如此驟然輸入之大量電流，通常約數十倍於滿負荷電流（full load current），必致將線圈燒毀矣。故直流電動機開動之時，必須用開動器（Motor starter）以限止輸入之電流。如第七圖所示，為起動器之一種。如欲使圖中之電動機M開動，可徐徐移A柄向右，則電流得電阻R



第七圖

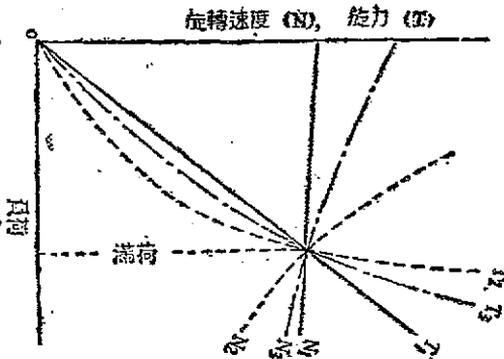
之限止，不至驟達大量，電動機速度漸增，反電動力隨而增長，A柄逐漸右移，電阻R逐步減去，待A柄移至極端，乃為磁鐵N所攝住，電阻R則完全除去矣。此磁鐵N稱曰無壓釋放器（no voltage release）蓋當吾人將電動機停止之時，電流中斷，此磁鐵即失其磁性，而任A柄因彈簧S之力，而退回原處也。設此無壓釋放器之目的，在使下次開動之時，A柄必在原位，而得以徐徐移向右端，使電阻R逐步減去也。假使無此設備，則停止電動機之時，若忘

將A柄移於原位，下次開動時，電動機未達相當速度，電流無電阻R之限止，必驟達大量以致損毀電動機之線圈也。又圖中B柄與A柄以彈簧S相連，而藉鈎片(arm) L得與C常相接觸，以使負荷電流得以通過。O爲一個筒狀線圈(solenoid)其中有柱塞若P，若負荷太重，負荷電流爲量過巨，對於電動機線圈有損毀之虞時，此柱塞即自動的向上頂起，(因筒狀線圈磁力達一定之數)使鈎片L鬆放，B柄乃以彈簧之力而躍起，與C相離，電流爲之中斷，使電動機得以保全矣。如此之設備稱曰過負荷釋放器(overload release)

上述之開動器使用之時，將A柄向右移動如太速，仍不免危險，故此種開動器若遇不熟嫻，或粗魯之管理者，尙有不安。近時乃有自動開動器(automatic starter)之製，管理者僅須一舉手之勞，將電鎗搭上，此開動器乃能自動的將電阻加入於電路中，然後逐漸減去也。自動開動器之種類頗多，本書限於篇幅不及備述矣。讀者如欲研究請參閱“Gray: Principles & Practices of Electrical Engineering” (書中可也)

直流電動機之特性曲線 直流電動機之特性曲線，乃表示其速度及旋力與負荷間之關係

之曲線也。直流電動機亦因勵磁方法之不同，而有並聯電動機 (shunt motor) 串聯電動機 (series motor) 複聯電動機 (compound motor) 等別，與直流發



第八圖

無限，甚至全機毀損也。故使用串聯電動機時須注意常使載有負荷，切勿使有脫離負荷之機會。圖

至滿負荷減落甚微，故並聯電動機對於驅動恆速之機械 (constant speed machinery) 最為適宜也。T₁ 線表示並聯電動機之旋力與負荷之關係，旋力與負荷成爲正比例，故 T₁ 爲直線 (straight line)。N₁ 表示串聯電動機之速度與負荷間之關係，當負荷減小之時，串聯電動機速度之增加甚銳，倘若與其所驅動之機械以皮帶 (belt) 相連，而此皮帶忽斷，則電動機之速度必驟然增加，至於

中 T_2 線表示串聯電動機之旋力與負荷之關係，串聯電動機之旋力之增加，實與負荷電流之二次方(I_a^2)成正比，故凡開動時負荷甚大之機械，最宜以串聯電動機驅動之也。 N_2 及 T_2 表示複聯電動機之速度及旋力，其發生開動旋力所需之電流較之並聯電動機為小，而失去負荷之時，則不致達危險之高速度，故凡開動時負荷較重之機械，可以複聯電動機驅動之也。

直流電動機之速度調節法 (speed regulation) 反電動力 E_b ，既與電動機之速度 N ，及每磁極之磁流 ϕ 成正比，吾人可以左式表之：

$$E_b = K' \phi N.$$

此式內 K' 為一個常數，今以此式 E_b 之價值代入(公式一)，則可化成左式：

$$N = \frac{I_a}{K} \cdot \frac{E_a - I_a R_a}{\phi} \dots \dots \dots \text{(公式三)}$$

由此可推知 E_a 愈大則 N 愈大， ϕ 愈大則 N 愈小，故調節直流電動機之速度實有二法：(一)置電阻於負荷電路，以增減外來之電壓 E_a ，如此之調節法稱曰電樞控制法 (armature control) M_a 。

Shod)(1)置電阻於磁場電路，以增減磁流 ϕ ，如此之調節法稱曰磁場控制法。(Field control method)以二者比較之，則第一法在減速度時電動機之效率甚低，而第二法則減速度時效率無損，故實以第二法為優。凡速度常須增減之機械，最宜以磁場控制之並聯電動機驅動之，用他式之電動機皆不能如其滿意也。

若速度之調節其差甚大，則簡單之磁場控制法亦不能滿意，須用他種特殊方法矣。其一種方法曰多電壓制，(multi-voltage system)通常用由三線直流發電機所發出之三線電壓，例如兩外線間電壓為二二〇伏，外線與中性線間為一一〇伏，則當速度最低時，可以二二〇伏加於磁場電路線圈，而以一〇伏加於電樞線圈；速度欲漸增，可漸以電阻抑落磁場電路之電壓，速度若欲更高，乃改以一一〇伏加於磁場電路，如此之調節法，可得速度四對一之比。又有華特李哇那制(Ward Leonard System)者，每一電動機特設一具發電機以供其電流，如欲調節電動機之速度，祇須變動發電機之勵磁，以使發電機發出之電壓有所增減，故甚方便也。

直流電動機之耗損及效率 直流電動機之耗損，與直流發電機相同，其效率計算之法亦然。

但在小型之電動機，亦有以輪掣動力計 (brake dynamometer) 測量電動機之輪掣馬力 (brake horse power) 同時計算輸入電動機之電工率 (electrical power input) 而計算其效率者也。

同期電動機 (synchronous motor) 吾人如以交流電流輸入交流發電機之電樞，而以直流電流勵其磁場，則電樞即受有旋力。此項旋力之方向，隨電流方向之變換而亦變換，故結果不能發生旋轉。但若電樞已有旋轉速度，而其速度為每秒鐘 $2f - p$ 旋轉，(f 為交流電之週率， p 為磁極之數) 則當電樞內電流變向之際，其所逢之磁極，亦適易其極性，故所受之旋力，仍保守單一之方向，因是即能使旋轉不息。每秒鐘 $2f - p$ 旋轉，即等於每分鐘 $\frac{120f}{p}$ 旋轉，如此之速度，稱曰同期速度 (synchronous speed)。交流發電機如先用他種方法，使之達到同期速度，然後以交流電流輸入電樞線圈，即生電動機作用；此種電動機，稱曰同期電動機。其構造與交流發電機，無大差異。

使同期電動機達同期速度之法，可列舉如左：

(一) 同期電動機之勵磁機，通常與電動機處於同軸，若有其他直流電源，則可以直流電輸入勵磁機，使之變為電動機，而驅動同期電動機，達於同期速度。

(二)若此同期電動機與直流發電機相聯，而有其他直流電源可用，則可藉直流發電機之電動作用，而達於同期速度。

(三)另設感應電動機（見後）以驅動之，達同期速度。

(四)於旋體 (rotor 即磁極) 上，設有鼠籠式線圈，當起動時，暫勿令直流電輸入磁極線圈，而僅以交流電輸入電樞線圈，則磁極即以感應電動之作用而旋轉，待其速度已達同期速度相近，然後以直流電輸入磁極線圈，則此電動機即以同期速度而旋轉矣。

同期電動機之特性 同期電動機較之他種電動機，有不同之特性數點，可列舉如左：

(一)同期電動機對於電流相位之變動，影響最為銳敏，倘所受電流係由引擎驅動之交流發電機而來，其電流之週率變動尤為顯著。倘此外來之搏動之週率，與電動機旋體自身之搏動週率相近，則結果即使旋體速度擺動不已，如此之擺動，通常稱曰逐獵 (hunting) 上文所述為起動目的而在磁極上所加之鼠籠式線圈，兼有掣止此種擺動之效，故又稱止擺線圈 (damper windings or amortisseur winding)。

(二) 同期電動機所載之負荷，如超過一定之量，則速度忽減，卒至停止，此一定之負荷，稱曰最大負荷。(maximum output) 大概通常同期電動機之最大負荷，約二倍於其規定之正常負荷。(normal load)

(三) 同期電動機在過勵(over-excited)之時，其負荷係滲流(leading current) 故同期電動機可用以改善電廠全部負荷之工率因數也。(按：發電機之負荷若淨為電阻，則工率因數為一〇〇%，若負荷中有一部分為感抗，則工率因數即不足一〇〇%；感抗所取之電流為滯流(lagging current) 若同量之滯流與滲流相合，則結果却得一〇〇%之工率因數也。此理甚繁，本編不及詳論，讀者請參閱交流電教本)

三相感應電動機(three phase induction motor) 三相感應電動機為交流電動機中之最廣用者，其靜體(stator) 與交流發電機之靜體(即電樞) 完全同樣，其旋體則普通為許多銅條編成之圓筒，銅條之兩端各以環相連合，形狀頗類鼠籠，故如此之電動機，每稱曰鼠籠式(squirrel cage type) 鼠籠式旋體之構造，甚為簡單，實為此類電動機之一大優點。

三相感應電動機之原理，可簡單釋明之如下：當三相交流電在靜體內周流之時，其所發生之磁場實旋轉不已，其每一旋轉之時間，適等於交流電一周波所需之時間，故其速度實即同期速度也。此時若旋體未起旋轉，而磁場則旋轉不已，則二者之間已起相對之運動，換言之，旋體之導體實不斷的與磁流相割，因此旋體內必發生感應電動力，此感應電動力即使感應電流周流於旋轉子內。夫此旋體既載有電流，而又處於磁場之內，自必受有旋力矣；此旋力依左手定則，(left hand rule) 實欲使旋體隨磁場而旋轉也。旋體旋轉之速度，必較磁場旋轉之速度略下，其相差之量，稱曰退移，(slip) 可以百分數表之，計算退移之式如左：

$$\text{退移} = \frac{\text{同期速度} - \text{旋轉子速度}}{\text{同期速度}} \times 100\%$$

感應電動機之旋力 T ，與退移 S 成正比，當負荷增加之時，旋體之速度必為之略減，因此退移增加，而旋力隨亦增大，適與負荷又成平衡也。但同時旋體內之電流，滯退亦加甚，故負荷之增加，如達一定之量，因旋體電流滯退過甚，致退移所增之旋力，不足抵償滯退所減之旋力，此時稱曰感

應電動機之敗落點 (break down point)

感應電動機之開動 鼠籠式感應電動機在開動時，其旋體尙未開始旋轉，如卽以正常之電壓加之，則輸入機內之電流，約五倍於滿負荷電流，而發生之旋力，則祇一倍半於滿負荷之旋力。吾人如能設法以適量之電阻，在開動時加入於旋體電路內，則可藉等於滿負荷之電流，而得等於滿負荷之旋力。有一種感應電動機，設有匯電環三枚，與其旋體線圈相接，而又與變阻器 (rheostat) 相連，藉此可將電阻在開動時加入於旋體電路中，而待電動機已達相當速度時，則將此電阻除去，此種電動機，通常稱曰有捲旋體式感應電動機 (wound rotor induction motor) 對於開動時負荷較重之場合，頗爲適用也。

小型之鼠籠式感應電動機 (五匹馬力以下) 在開動時卽以應用之電壓 (normal voltage) 加之，其所取電流非巨，故尙不致擾動他部電路。至於較大之電動機，則開動時概宜用自變壓器 (auto-transformer) 見第四章，減低其電壓，通常以自變壓器與電鎗 (switches) 過負荷釋放器，及無壓釋放器合裝成爲一器，稱曰自開動器 (auto-starter) 或稱開動抵消器 (starting compensator)

以供鼠籠感應電動機開動之用，甚為便利也。

感應電動機之速度調節法 感應電動機速度調節之法，共有左列數種：

(一)變退移法 吾人如以電阻加入於旋體電路內，則旋體電流為之稍減，因此旋力減小，以致速度變低，而退移稍增，於是旋力復增，以保持原有之平衡，不過速度則比前稍低矣。如此之調節速度法，於有捲旋體式感應電動機，行之頗便，但效率則低，而速度調整 (speed regulation) 亦復不佳。又有一法，亦能變感應電動機之退移，而調節其速度，其法為凡欲減低感應電動機之速度之時，可以反電動力加入於旋體電路中，而不以電阻加入，此法無減低效率及速度調整不佳之弊。

(二)變週率法 在數種特殊情形之下，例如以電力驅動之軍艦等，其電動機為發電機惟一之負荷，則可變動發電機所發電流之週率，以調節電動機之速度也。

(三)變極數法 感應電動機之磁極之數，如用特殊之接法，可用電輪以變動之，則亦能藉以調節其速度也。

(四)連合電動機法 (speed control by concatenation) 此法需兩具以上之電動機，其旋體

互相接合，至少其一具電動機係有捲旋體式，如欲調節速度，則可變其一具電動機之速率，因而變動輸入他具電動機之電流之速率也。

單相電動機 (single phase motors) 上述之同期電動機及感應電動機，皆為三相交流電動機，至於適用單相交流電之電動機，則普通有下述三種：

(一)單相串聯電動機 (single phase series motor) 假如以交流輸入通常之直流串聯電動機，則因磁場電流即為電樞電流，故電流變向之際，磁流亦易其向，是以旋力之方向會無變化；且電樞電流與磁流既同其相位，則所生之旋力，較之用直流電時，亦相彷彿；故直流串聯電動機在構造略加改變，即可適用交流電；如此之電動機，稱曰單相串聯電動機。其特性與直流串聯電動機極為相似，而其特點為對於直流電及交流電並皆適用，故在電機鐵道及暑天祛熱之電扇，（按電扇應用下述之單相感應電動機者亦甚多）頗有應用之者。

(二)單相感應電動機 (single phase induction motor) 普通之三相感應電動機，若在應用時斷開其一相位之電路，即變為單相之感應電動機矣。單相感應電動機不能自行開動，故必須

設法分裂 (split) 其相位，方能開動。通常單相電動機之工率，祇及重量相等之三相感應電動機之半，且其工率因數較低，效率亦較惡。

(二) 推拒電動機 (repulsion motor) 假如吾人將一個普通直流電樞，置於單相磁場之內，而接其炭刷成爲短路，即成爲一具簡單之推拒電動機矣。推拒電動機之特性，與串聯電動機頗爲相似，其開動旋力亦大。市上所售者種類頗多，其構造雖殊，而原理則一也。

電動機選擇須知 電動機輸出之馬力主要之限制，在於因負荷增大而電樞銅耗增加，以致發出多量之熱，使機身溫度增高也。是以如能充分散熱，使溫度不致高越安全溫度以上，則輸出之馬力，即可增大矣。故通常之電動機，皆係開啟式 (open type) 但在數種用途，不免有殘屑破片隨空氣飛入機內，則必須以鐵絲網，或多孔鐵片以障之，如此之電動機，稱曰半閉式 (semi-enclosed type) 其輸出之馬力，較爲減小，尙有數種用途，如戶外工作等，必須將全機完全障蔽者，是稱曰全閉式 (totally-enclosed type) 此其輸出之馬力，不得不限至較小之量矣。機內備有扇翼以收通風散熱之效，而增加應用之馬力也。

電動機之溫度增高，既由漸而來，故若於短時間內使之載較大之負荷，亦屬無妨。例如有一具電動機，若繼續長時間之運用，其馬力不得超過十匹，但若在半小時內使載二十四匹馬力之負荷，則亦不致發生損害也。

選擇電動機時，當視其用途之不同，而定其應選之種類，各種電動機所適合之用途大概如左：

(一) 直流並聯電動機之速度調整甚佳，開動旋力不佳，而用磁場調節法，調其速度甚為便利，例如機器廠之總軸 (line shaft) 速度恆定，故以並聯電動機驅動之，最為合宜。

(二) 直流串聯電動機之開動旋力甚大，速度隨負荷變動甚銳，如驟然脫去負荷，則速度狂增，甚為危險，故對於開動時負荷甚重，而負荷無脫去之虞之用途，最為適合；例如電車，及起重機，以串聯電動機驅動之最宜。

(三) 直流複聯電動機之特性，處於並聯及串聯之間，例如往復唧筒 (reciprocating pump) 以複聯電動機驅動之，頗為適宜。

(四) 同期電動機在無論如何之負荷時，其速度恆定不變，但起動時不能載有負荷，且必須以

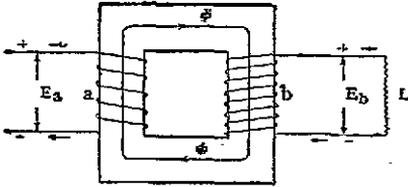
直流通勵其磁場，故僅適於大型之電動機，而開動時可暫卸負荷者，如大型之恆速電扇、唧筒、及壓氣機 (air compressor) 可受其驅動。又全廠負荷之工率因數太低時，採用同期電動機，而過勵其磁場，可使工率因數改善，頗為有利也。

(五) 鼠籠式感應電動機為甚可滿意之恆速電動機，但其開動旋力不大，用以驅動機器廠之總軸等，頗為適合。鼠籠式電動機又有一特具之優點，為不具滑動接觸部分 (sliding contact) 如匯電環、整流環等物，故在殘屑飛舞之處，如水泥麵粉紗絲製造廠等最為適用；他種電動機具有匯電環或整流環者，易為殘屑所傷也。凡須調節速度之處，例如工具機器 (machine tools) 之直接驅動等，宜採用有捲旋體式感應電動機，但其成績不及直流並聯電動機之佳，而起重機之驅動，雖亦可用有捲旋體式電動機，但亦不如直流串聯電動機之滿意也。

(六) 單相電動機價值較昂，效率亦較三相電動機為遜，故僅適於少數小型之電動機，而其地無便利之三相交流電之供給者。

第四章 變壓器

變壓器之理論



第九圖

變壓器（俗稱方棚）之構造為一個磁鐵，其上捲繞兩個或兩個以上之線

圈；如其中一個線圈與外界交流電源相接，則磁鐵內即有交流之磁流；此項磁流當然亦為其他之線圈所圍繞，故其他之線圈內即受感應而發生交流之感應電壓；且不僅其他之線圈為然，即在與外界電源相通之線圈本體內，亦發生感應電動力，此電動力與外界之電壓方向相反，故稱反電動力，與前章所述電動機內之反電動力蓋有同一之意義也。今如第九圖所示為變壓器之簡單圖解， ϕ 為磁鐵內之磁流， a 、 b 為兩線圈， a 線圈與外界電源相接， b 線圈與負荷 L 相接。今兩線圈所束既為同一之磁流，則其每匝之感應電動力當然相同，故兩線圈之總感應電動力，與其圈數實成比例；假令 E 為電動力， N 為線圈之圈數，則

$$E_a \cdot I_b = N_a : N_b$$

實際上 a 線圈內之感應電動力，與外來之電壓非常接近，故吾人即謂外來之電壓與 b 線圈之電壓之比等於 a b 兩線圈圈數之比，亦無不可也。

a 線圈與電源相接，故係受取能力者，是稱曰原線圈 (primary winding) b 線圈與負荷相接，故係放出能力者，是稱曰副線圈 (secondary winding) 當副線圈未與負荷相接時，副線圈內並無電流，同時原線圈內電流亦甚微，僅以供給器內之種種耗損及勵磁之電力而已，如此無負荷時之電流，即稱曰變壓器之勵磁電流 (exciting current) 當副線圈載有負荷之時，副線圈內即有負荷電流，依蘭茲氏定律 (Lenz's Law) 負荷電流所生之磁流，與磁流 ϕ 相反向，因此磁流 ϕ 爲之減少，原線圈內反電動力既與磁流成正比，則自亦隨而減少，反電動力既減，外界之電壓乃能使較大之電流輸入原線圈內矣，此電流隨負荷而增加之情形也。實際上原線圈之反電動力，自變壓器無負荷時至滿負荷時，其所減之量僅百分之一，至百分之二之微，故變壓器之磁流，在實際上並無顯著之變動，不過副線圈之電流增減，則原線圈內之電流隨而增減，故如吾人不計微小之勵磁電流，

則原線圈之安圈數 (ampere turns) 常等於副線圈之安圈數即：

$$N_a I_a = N_b I_b \quad \text{或} \quad \frac{I_a}{I_b} = \frac{N_b}{N_a}$$

此式與能力不減之律亦相符合，蓋若不計變壓器內之耗損，則原線圈之電力當然等於副線圈之電力，即：

$$E_a I_a = E_b I_b, \quad \text{故} \quad \frac{I_a}{I_b} = \frac{E_b}{E_a} = \frac{N_b}{N_a}$$

變壓器之目的，在將一個交流電路內之電力，輸於其他一個週率相同之交流電路內，其目的在求電壓之變更，如副線圈之電壓較原線圈之電壓為高，此變壓器即稱曰變高變壓器 (step-up transformer)。如副線圈之電壓較原線圈之電壓為低，此變壓器即稱曰變低變壓器 (step-down transformer)。變壓器無轉動部分，故掌管甚便易；其線圈可浸於油內，因此在極高之電壓，亦不難絕緣，變壓器之價值較之他種電機為廉，而效率則特高，故在電機工程界內為一具極有用之器械。交流電得有今日之盛行者，其能藉變壓器以任意升降其電壓，實為一大原因也。

變壓器之電壓調整及效率 變壓器之電壓調整，可以左式表之：

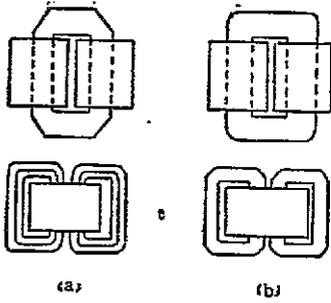
$$\text{電壓調整率} = \frac{V_a(\frac{N_s}{N_p}) - V_b}{V_b} \times 100\%$$

此式內之 V_b 爲副線圈在載核定負荷 (rated load) 時之電壓，而 $V_a(\frac{N_s}{N_p})$ 則等於副線圈在無負荷時之電壓。考爲原線圈所束之磁流，雖大部份亦爲副線圈所束，然亦有極小部份之磁流則不經磁鐵而取道於空中，以完成其磁路，如此之現象稱曰磁漏 (magnetic leakage)。凡磁漏愈大，則電壓調整愈劣，磁漏愈小，則電壓調整愈佳也。

變壓器之耗損祇原線圈及副線圈之銅耗及磁鐵之鐵耗而已，且其量皆非巨，鐵耗在各種負荷時恆定不變，可以斷路試驗法 (open circuit test) 測定之，原線圈及副線圈之銅耗，可由兩線圈之電阻計算而得，兩線圈之當量電阻 (equivalent resistance) 不難以短路試驗法 (short circuit test) 測知之。(按讀者如欲知斷路試驗法及短路試驗法之詳請參閱“Lawrence: Principles of Alternating Current Machinery”一書) 由如此求得之耗損，即可藉左式計算變壓之效率：

$$\text{效率} = \frac{V_b I_b (\text{P.F.})}{V_b I_b (\text{P.F.}) + I_a^2 R_a + I_p^2 R_p} \times 100\%$$

此式內 P_r 為負荷之工率因數， R_a 及 R_b 為原副兩線圈之電阻， V 及 I 則為電壓與電流也。通常變壓器之耗損不過一至三%而已，故其效率常能高達九七至九九%，但變壓器應用之時，其原線圈終日終夜與電源相接，而其副線圈所接之負荷則一日夜二十四小時內變易無定，欲計算其全日效率，當以二十四小時內之電力總輸出量，與同時間內之電力總輸入量相比而得；例如鐵耗在無負荷時與載負荷時相同，而銅耗則隨負荷之平方而增減者也。



鐵心式 (core type) 與鐵殼式 (shell type) 變壓器在構造上可大別為兩大類：曰鐵心式曰鐵殼式。如第十圖 (a) 為一種鐵心式，(b) 為一種鐵殼式，圖中以白色部分代表磁鐵，以繪有斜條之部分代表線圈。在鐵心式係線圈圍繞磁鐵，而鐵殼式則以磁鐵圍繞線圈，因此構造上之不同，此二種式樣之變壓器之性質，頗有不同之處，茲列舉其緊要之點如左：

- 一、鐵殼式線圈之平均周圍較鐵心式爲長。
- 二、鐵殼式磁路之平均周圍較鐵心式爲短。
- 三、鐵殼式需鐵較多，而銅耗較小，鐵心式則反是。
- 四、鐵殼式之線圈箍繫較鐵心式爲牢固。
- 五、鐵殼式修理費用較大。

三相變壓器亦有鐵心式與鐵殼式兩種，其三個磁路之相位，互距各爲一百二十電角度，因此二相位磁流之合量，適與第三相位之磁流同量而反向，故凡二相位之磁流共經之磁路，其截面可與單一相位所經之磁路之截面面積相同；如此辦法用鐵極爲經濟。三相變壓器之價值較用三具單相變壓器爲低廉，其佔地亦較省，但在大型之變壓器，究以採用三具單相變壓器較爲便利也。

電力變壓器 (power transformer) 與配佈變壓器 (distribution transformer) 電力變壓器者大量變壓器也，無間日夜常載有大量電流，故在計劃時，須注意將其銅耗限至可能範圍內之最小限度。至於配佈變壓器則雖常與電源相接，但其負荷變易不定，載輕負荷之時頗多，故在計劃時

須限制其鐵耗。又配佈變壓器之電壓調整須佳，因其負荷中如電燈一項，其效率因電壓些微之降落而減低甚銳也。至於電力變壓器之電壓調整，宜劣不宜佳，因電壓調整不佳，即其漏磁甚大，如此可在大量過量負荷，或發生短路之時，能予原線圈方面以一層保障也。

電力變壓器與配佈變壓器之構造，屬於鐵殼式及鐵心式者皆有之，但電力變壓器以鐵殼式者較為普通，而配佈變壓器則以鐵心式者較為普通，則以支配銅耗與鐵耗之關係而然也。

變壓器散熱法 大抵變壓器之電壓量與其磁鐵之截面成正比例，其電流量與線圈銅導體之截面成正比例，故變壓器之工率量必與長闊高之一量之四次方為比例；但天然散熱之率則僅與長闊高之一量之二次方為比例，故變壓器愈大，其散熱問題愈為嚴重。（因器內耗損之工率與長闊高之一量之四次方為比例，而此項耗損皆化為熱也）普通變壓器散熱之法共有左列五種：

(一) 自然散熱法 在極小之變壓器（如供給儀器之變壓器）僅恃器面與空氣接觸處之對流，輻射以散熱。

(11) 鼓風散熱法 (air blast transformer) 鼓風散熱之變壓器，在線圈及磁鐵間設有通風

溝，空氣由外界自變壓器之底部鼓入，由兩旁及器之上部逸出；鼓入之空氣務須清潔，不得雜有細屑，以免塵塞通風溝。鼓風散熱法之優點，為無油質着火爆裂之虞，但必須特置鼓風扇，又須在器內特設通風溝，為其不便之處。

(三)油浸自冷變壓器 (oil-immersed self-cooled transformer) 採用此種散熱法之變壓器，最為普通，其線圈及磁鐵皆浸於上品絕緣良好之油內，器內亦設通油溝，藉油受熱之自然對流作用，而流向灼熱之線圈，以祛散線圈之熱。盛油之箱亦往往有特殊之設備，以散油之熱度；其一法為將箱壁灣曲作波狀，藉增散熱之面積，但最有效之方法，則為裝散熱器 (radiator) 或散熱管於箱壁。

(四)油浸水冷變壓器 (oil-immersed water-cooled transformer) 大型之變壓器須更有助油散熱之設施，其一法為設盤旋之銅管於油箱內，管內有冷水周流，油內之熱即被管內之水所收取而帶出箱外，此項水管須完全浸沒油內，且銜接甚密，不可少有漏水，而冬日須防其冰凍而漲裂也。

(五)迫油散熱法 (forced oil cooling) 此法係以唧筒逼油入變壓器，經過線圈受取其熱而

復出，油管之外淋以冷水以祛油熱，此法設備繁複，用者頗少。

變壓器所用之油須有絕緣及散熱二種功用，故以不含有害雜質，不易受熱分解發生膏渣，通感強度 (dielectric strength) 甚高，而又易於傳熱為貴。油內如雜有少量之水分或塵埃，其通感強度減落甚銳；淨油之油共有二種，一種為壓濾機，一種為離心力淨油器。

儀器變壓器 (instrument transformer) 儀器變壓器為一種供給量電表及繼電器之小型變壓器，其目的在使廠內管理者無與高壓線接觸之危險，而使電表便於絕緣，且可毋須有甚大之電流量也。儀器變壓器共有二種曰變位器 (potential transformer) 曰變流器 (current transformer) (通常變位器副線圈之電壓約一百十五伏，變流器副線圈之電流約五安。

變位器用於伏脫表、瓦特表、瓦時表、工率因數表、週率表、同期表、及各種保護繼電器、運用繼電器；一具變位器在電流量可及範圍以內，能供給多具儀器之用。使用變位器時，須注意切勿使其副線圈兩端接成短路，否則即有巨量之電流而將線圈燒毀。變流器用於安倍表、瓦特表、瓦時表、工率因數表、各種繼電器、及斷流器等；一具變流器就量所及，亦能供給多具儀器之用。使用變流器時，須

特別注意切勿任副線圈之兩端斷路，在取去量電表時，務先將次線圈兩端接成短路，否則兩端斷路後即發生高電壓，對於使用者之生命甚危險也。

自變壓器 (auto-transformer) 自變壓器之構造與普通變壓器大致相同，不過其線圈只有一個，此線圈之全部作為原線圈，其線圈之一部分作為副線圈，如此利用銅導體甚為經濟。自變壓器祇用於電動機之開動等，不便供普通之用途，因其原線圈與副線圈不相絕緣，危險殊多也。

恆流變壓器 (constant current transformer) 恆流變壓器之目的，在供給恆定不變之電流於串聯電路，其最大之應用，厥為串聯道路電燈。此種變壓器構造上特殊之點，在其副線圈能上下移動。二線圈間發生互相推拒之電磁力，與重錘之重力成為平衡，今若負荷中有電燈一枚成為短路，則電流增大，因此線圈間之推拒力增進，使副線圈上升少許，二線圈間之距離為之略增，因此漏磁隨而增量，副線圈之電壓乃略降，卒使負荷電流恢復原狀而止也。

感應電壓調整器 (induction voltage regulator) 感應電壓調整器亦係一種變壓器，不過其原線圈能轉動，以使副線圈之電壓隨原線圈之位置而變更也。其普通之應用為調節饋綫之電

壓，及輸入同期變流機之電壓之類。大多其線圈之旋轉，係用電動機驅動之，且加以接觸電壓表 (contact voltmeter) 等設備，能完全自動的調整電壓，使常保一定之量也。

變壓器接連法 (transformer connections) 變壓器互相接連之法甚多，實無底止。在單相變

壓器，除副線圈之兩端外，往往更由副線圈之中央接出一線，此中央之線與任何一端間之電壓，為兩端間之電壓之半數，故如此即可在一具變壓器上得到二種副線圈電壓。至於三相變壓器之接法，則最重要者共有六種：(一)三角三角接法；(delta-delta connection) (二)三角二又接法；(delta-star connection) 或三又三角接法；(star-delta connection) (三)三又三又接法；(star-star connection) (四)二又接法；(open delta connection) (五)丁字接法；(scott connection or T connection) (六)自變壓器接法。此外尚有由二相位，及三相位以種種方法接成六相位等法，此處不及詳述，讀者如欲研究，參閱專籍可也。

第五章 發電廠

發電廠之種類 發電廠可就其所採用之原動機而分爲三類：(一)蒸汽發電廠，(二)水力發電廠，(三)內燃機發電廠。此三種原動機之選擇，當視發電廠之環境而定。大抵蒸汽發電廠之位置，可設於與負荷之中心鄰近之處，而水力發電廠之位置，則往往與負荷相距甚遠，故必賴高壓輸送綫以輸送其電力。水力發電廠需壩堰 (dams) 溝渠 (channels) 及各種控制器械之設備，故其設備費用高出於蒸汽發電廠，但日常運用時，則以不需燃料，故其運用費特省，且近世工業發達，燃料之需要日殷，地球上之煤礦及石油礦頗有竭蹶之虞，則開辦水力發電廠，誠爲最有遠見之舉矣。且水力發電廠無烟氣之穢，其清潔雅觀決非採用他種原動機之發電廠所可比擬；但川流漲落，恆隨時季而異，欲求四季常有可靠充足之水力供應，有時亦成問題；况水力發電廠與負荷之中心常有遠隔之距離，如此之長途輸送綫，不特平添一宗耗費，且常易發生故障，而致電力之供應中斷；凡此種種，在選擇水力與水力之時，亦當考慮者也。

內燃機之優點，為開動敏速，效率較高，佔地較省，運用費較低，且較蒸汽發電廠為安全。其缺點為燃料昂貴，及載過量負荷之可能微小。在需要少量發電之處，而有石油或煤氣之便利供給者，頗可採用內燃機為原動也。

蒸汽原動機又有往復冷機 (reciprocating steam engine) 與汽輪機 (steam turbine) 或譯稱透平二種，就二者比較之，則汽輪機較之往復汽機實有下列之優點：(一) 設備費較廉，(二) 運用及管理費較省，(三) 佔地及機座皆較經濟，(四) 凝汽不染油污，(五) 震動減除，(六) 旋轉速度均勻，(七) 效率較高；現代大型之發電機皆用汽輪機驅動，而已不用歷史較久之往復汽機矣。

水力原動機亦有衝擊水輪 (impulse wheel) 反動水輪 (reaction wheel) 及推進水輪 (propeller wheel) 三種。大抵衝擊水輪適宜於極高之水頭 (hydraulic head) 其效率可達八八%；反動水輪適宜於中等之水頭，其效率可高達九四%；推進水輪應用尚新，最適於極低之水頭，其效率比反動水輪略低。

內燃機有油引擎 (oil engine) 與氣引擎 (gas engine) 之別。油引擎中尤以狄塞爾引擎

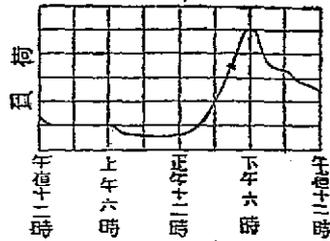
(Diesel engine) 爲著，狄塞爾引擎效率之高，爲諸種熱力發動機之冠，且在載輕負荷時，效率不甚減低，惜其燃料爲柴油，不若煤之普及而廉，且在馬力較大之引擎，佔地亦不甚省。近年柴油供給便利之處，此種原動機發達至速，尤以小量發電爲多。氣引擎僅在有現成氣體燃料之處常應用之，如煉鐵廠之鼓風爐氣 (blast furnace gas) 及煉焦廠之焦煤爐氣 (coke oven gas) 皆可供氣引擎之燃料也。

中央發電廠 各工廠及各城市所需之電力，若由各工廠及各城市各備發電機以供給之，殊不經濟，若合併成一個大規模之發電廠，以供給各個之負荷，則利益甚多；如此之大規模發電廠，稱曰中央發電廠。(central station) 考中央發電廠之優點，可列舉如下：(一) 電力之配佈較爲經濟，(二) 因各處負荷性狀之不同，中央發電廠之負荷可獲較佳之負荷因數及工率因數。(見後)(三) 購置燃料應用物品及機器備件等，因大宗之買賣，可獲較優之交易。(四) 因管理之集中，故一大電廠之各種雜費，比許多小電廠之雜費爲省。(五) 因有大量之發電能力，故能供給較大之用戶。(六) 因集中節省，提高效率，故發出之電，成本較廉。

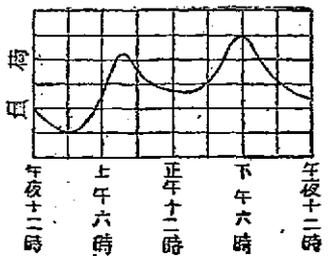
現代之中央發電廠所發電流，悉爲交流，蓋電力之輸送，以高壓爲經濟（參閱第七章輸電）而直流發電機因整流之困難，不適於發高壓電流，且直流電又不若交流電之可藉變壓器以將電壓任意變高或變低者。但在他方面，直流電之優點亦多，可列舉如下：（一）長距離交流輸電線之阻抗甚大，遠出於普通電阻之上，因此有效電壓之損害，交流者大而直流者小；（二）交流電依正弦波形而變動，故其最大電壓較實際有效電壓高一·四倍，故交流器械之絕緣費用較直流者爲大；（三）交流路線內有共振（resonance）與突波（surge）之現象，足以發生危險，故交流器械必又有特別之保護安全器；（四）交流電線密佈之區，電話、電報甚受其騷擾，而直流則否；（五）交流電又有通感耗損、電花、及皮膚反應（見第七章）等缺點，皆爲直流所無；（六）運駛電車、電化工業，及需要大量發動旋力之電動機等，皆需要直流電，故異日若有高壓直流發電機，或直流變壓器之發明，以保持高傳電之利而去交流之害，則電機工程界將起一大革命矣。

負荷曲線 (load curve) 與負荷因數 (load factor) 發電廠之負荷在日夜間變易無常，以此負荷與時間之關係繪成曲線，即稱曰負荷曲線。如第十一圖 (a) 爲電光負荷曲線之一例，當

下午六時前後，暮色蒼茫之際，各處電燈齊明，故負荷最大，其後因一部分地方停止工作，電燈熄滅



(a)



(b)

第十一圖

少許，迨深夜商店閉戶，居民就寢，電照負荷乃大見減低。第十一圖(b)為市街電車負荷之一例，上午八時左右，學生赴學校，工人赴工廠，各機關職員赴辦事處之時，及下午六時

前後，工人及職員工畢返家之時，市街電車之負荷最大。凡此二圖之曲線上，表示負荷最大之處，其形頗似山嶽之高峯，故通常稱曰高峯負荷(Peak Load)。此項曲線之下所包涵之面積，實足以代表所發出之電能力。假使以全日之時間，除全日之負荷曲線下所包涵之總面積，則其所得之商數，即為全日之平均負荷(Average Load)求曲線下所包涵之面積之法，共有多種，其最簡便而準確之法，

爲用測面積器 (Planimeter) 直接測量之也。

若以一星期內之負荷曲線，擇其負荷最高之一點，是即稱曰一星期內之高峯負荷。若以一星期之時間，除一星期內負荷曲線下所包涵之面積，則所得之商數，即爲一星期內之平均負荷。依此類推，又可求得一日內，一月內，一年內之高峯負荷，與平均負荷也。平均負荷與高峯負荷之比，即稱曰負荷因數，以式表之當如左：

$$\text{負荷因數} = \frac{\text{平均負荷}}{\text{高峯負荷}} \times 100\%$$

一日內之平均負荷與高峯負荷之比，謂之每日負荷因數；一星期內平均負荷與高峯負荷之比，謂之每星期之負荷因數；又每月負荷因數，每年負荷因數，以此類推。

負荷因數之意義，在表示機械停攔之程度。發電廠之設備，必須有應付高峯負荷之能力，若負荷因數甚大（近於一〇〇%）則可知平均負荷與高峯負荷甚相接近，發電廠之機械，常近於全部應用，其停攔甚少。若負荷因數甚小，可知高峯負荷超出平均負荷甚遠，大部分時間僅應用少數之發電機械，其餘皆致停攔。夫發電廠之設備，無論應用與否，其資本須付利息則一也，故機械停攔

不用，經濟上損失至大。發電廠之目的，咸欲努力將其負荷因數提高；如第十一圖(a)所示之電光負荷曲線之每日負荷因數，約為三五%；(b)所示之市街電車負荷曲線之每日負荷因數，約五二%；若一個發電廠供給數種不同之負荷，如能支配得宜，其負荷因數可提高至八〇%以上也。

電鑰板 (switch board) 電鑰板為發電廠管理器械之所在也，可分為左列三種。

(一) 直接控制電鑰板 (direct control board) 所有之器械皆載於電鑰板上，管理者直接至板前司啓閉等工作。

(二) 人力遙控板 (manual remote control board) 斷流器及電鑰等器械不裝於電鑰板上，而以連桿 (connecting rod) 鏈帶或曲柄 (bell crank) 等與板上之控管柄相連接，管理者但將電鑰板上之控制柄扳動，即能遙司啓閉等工作矣。

(三) 電力遙管板 (electrical remote control board) 斷流器等設於離電鑰板較遠之處，而以電力司啓閉等工作，管理者但藉電鑰板上特設之控制電鑰，已可遙管一切器械矣。

遙控電鑰板之勝於直接控制電鑰板者，蓋有以下各點：(一) 電鑰板上無高電壓之存在，故管

理者甚爲安全；(二)電鑰板及其上之器械，可不受斷流器等跳離時之震動；(三)可不染由油浸斷流器而來之油污；(四)節省電鑰板上之地位；(五)各具斷流器之控制得以集中。

電鑰板之質料共有三種：(一)石板 (slate)；(二)大理石 (marble)；(三)鋼。石板之價值不昂，其絕緣尚佳，約能任六〇〇伏至一二〇〇伏以下之電壓。大理石價值頗昂，但美觀而絕緣甚佳，能任三千伏左右。鋼質電鑰板最適於電力遙控板，蓋鋼板不能容高電壓之存在，而其價甚廉，牢固特甚，無破裂之虞，且其重量約僅及他種電鑰板之五分之一。此種電鑰板底部附有小輪，甚便於拖出修理，故通常稱曰車式電鑰板 (truck type switch board)。

電鑰 (switches) 及斷流器 (circuit breakers) 電鑰爲將電路閉接及斷開之器具也。最簡單之電鑰，爲廣用於低壓電路（若電燈或小量電力之電路）之刀片鑰 (knife switch) 俗名閘刀開關。此外發電廠內所用之電鑰種類尙多，殊不克一一於此處備述之也。

斷流器之目的，在電路內發生過量負荷，短路，或其他種不良現象時，將電路斷絕，以免損害之發生。最簡單之斷流器，實爲熔綫 (fuse) 熔綫之綫狀者，俗稱保險鉛絲，其質爲鉛錫等之合金，亦有作

長方條形者，其應用於保護電路，歷史最久，遇過量電流，溫度升騰即熔化而將電路斷開。今日小量之電路，尚多採用之。炭接斷流器 (carbon circuit breaker) 多用於直流電路，而低電壓之交流電路間亦有採用之者。除金屬正接頭外，尚設有金屬副接頭，及炭接頭。當電路內發生過量電流時，特設之筒狀線圈內之柱塞即受磁力而將電路斷開。此際正接頭先行斷離，副接頭繼之，而炭接頭則最後斷離。蓋斷流之際，有電火發生，若金屬接頭最後跳離，則必被燒灼毀損甚速。至於炭接頭則灼損甚微，且炭接頭耗蝕過甚時，亦便於換新也。

交流電路之斷流，通常必須在油內行之，使其斷流時所生之電火被油所平滅，而各相位間復可藉油以得充分之絕緣，且斷流時所發生之熱度亦可藉油以導散。如此之斷流器即係交流電工程上廣用之油浸斷流器 (oil circuit breaker) 也。油浸斷流器俗稱油開關，有戶外與戶內兩種，高壓斷流器通常皆置戶外，低壓斷流器則多置戶內。其盛油之箱有立方形與圓筒形兩種，在小量之斷流器可用方形油箱，在大量之斷流器則當斷流之際，器內往往發生壓力，甚至達每英方寸一百五十磅之高，故當用圓筒形之油箱，始可免受損害也。

分站 (substation) 發電廠內各種重要設備上文已述其大要，至於電力之輸送，將於下章論述之。發電廠於總廠之外，往往在他處設有分站。分站之設備，有各種電輸器械，變壓器，避雷器（見輸電章內），或視分站之目的，而備有同期電機，變流機等。此種分站或築屋以貯其器械，或並不築屋，器械皆置露天。大抵高壓之變壓器等，不妨置之露天，場所既寬，器械相隔可較裕。如而同期電動機及同期變流機等，則務必置於屋內。設置分站之目的頗多，多分站內之設備亦視目的而異，其重要者可舉述如左：

(一) 由發電廠輸出之電流，電壓務須甚高，故由發電機發出之電流，須先以變高變壓器將電壓變高，然後由輸送綫輸出；此變高變壓器設備，通常置於發電廠戶外，亦稱一分站。

(二) 輸送綫之高電壓，不適於應用，故輸送綫達目的地，即備有變低變壓器，將電壓變低，然後配佈於各用戶；此變低變壓器，與附屬之電鎗及避雷器等，通常亦組成一分站；在電鎗不甚高者，每築屋以貯其器械。（俗稱此等貯變壓器之屋曰方棚間）

(三) 大工廠用電量頗大者，每特設一分站以供給之，此種分站内之設備，為電輸器械，及變低

變壓器等。

(四) 有時在高壓輸送綫旁，設有分站，置備變壓器，將電壓變為略低，以副輸送綫 (secondary transmission line) 輸送少量電力，供給一部分之用戶者，例如總輸送綫之電壓為十一萬伏，則副輸送綫之電壓或為四萬四千伏也。

(五) 在極長之輸送綫之末端，其電壓每隨負荷而變動，負荷大則電壓降，負荷小則電壓升，且因電感及電容之關係，其工率因數亦往往變動不已。為矯正其工率因數起見，每於輸送綫之末端設有同期電容機 (synchronous condenser)。同期電容機無非為一具同期電動機，但並不載有負荷，其磁場過勵之時，所取之電流係超越的，其磁場低勵之時，所取之電流係滯退的。同期電容機必置於屋內，其所受電壓不能過高，故分站內須備有變低變壓器。

(六) 在電機鐵道或其他種需要直流電之處設有分站，內置同期變流機，或汞弧矯流器，以變交流電為直流電。

分站控制法 控制分站之法共有四種：

(一)人力控制法 在小量之分站，其電鑰及斷流器等器械，皆以人力直接控制之。

(二)半自動控制法 此係最普通之分站控制法，其所有器械皆由電力或機械力遙控之，但須有人員在分站內之電鑰板前司控制之職。

(三)自動控制法 自動分站邇來頗盛行於電機鐵道，備有電壓表，當電壓跌落至若干程度時，電壓表之指針即搭上一個繼電器之電路，因而他具繼電器等器械一一開始工作，分站內之同期變流機即被開動而供給電流，此乃電車行近此分站區域內之景象也。當電車駛出此分站之區域外時，分站內之器械即又開始工作，自動的將同期變流機停止。

(四)遠地控制法 (supervisory control) 尚有數種分站，以巧妙之設備，可由遠地之電廠內之人員如意控制之，且電廠內之人員藉信號之傳遞，能詳知遠地分站內器械之情況也。例如當此人員欲將遠地分站內之一具電機開動時，其第一步手續舉行後，即可得由分站自動邇來之信號，得悉分站內之電機是否已入適當狀態之中，然後可繼續發出第二步手續，以至電機完全開動，其設計之奇妙，誠有匪夷所思者矣。

第六章 輸電

輸送電流，賴有電線，或用架空線，或用地底電纜。前者費用較省，故廣用之。然有時不能適用，如橫越大江之類，則採用地底電纜。其價雖貴，亦有長處。尤如城市之中，高壓線之配佈，若用架空線，則易生危險，故多用電纜。是以關於輸電之研究，可分爲架空線，與地下電纜兩門。二者之原理相同，所異者，不過其實際之設施耳。故本章將詳論架空線，最後略述地下電纜之大意，以供比較。現世盛用交流電，卽以其運輸便利之故，是以現世輸電之設備，什九皆係交流，鮮有用直流者。然直流亦有優勝之點，不得一概抹煞。關於電線之選擇，與電壓之決定，將於下節述之。輸電所用週率，大概以二五週用於電力，以五〇或六〇週用於電燈。我國現已決定五〇週爲標準週率矣。當電力輸達用電之區，分配至各個用戶處，常用一百十或二百廿伏之電壓。然用於電燈，二百廿伏較一百十伏爲遜。以其燈泡壽命較短也。然前者有高壓之利，故亦爲電廠所採用。本章所述，就近世輸電之方法而論，故首論交流電之輸送法，最後附述直流電輸送之方法，與將來之希望。

輸電之經濟原則 輸電必有損失，蓋電流在電線中流過，遇電阻即耗損一部分之電力，假令 I 代表電流安數， R 代表電阻歐數，則電力耗損 (W) 之價值，當如左式：

$$W = I^2 R \quad (\text{瓦特})$$

而經如許電流 I 所傳送之電工率 (P)，可用左式表之：

$$P = VI$$

此式內 V 為電壓伏數。由此可知輸送大量電力，欲減少耗損，不當使電流增大，而當使電壓增高。蓋增加電流 (I)，則電力 (VI) 固得增加，而耗損 $I^2 R$ 增加尤大。反之，增加電壓 (V)，則損失並不增加，而電力則隨電壓以俱增。是以輸送電力，電壓愈高，則耗損愈小。故近世輸電之設計，競用高壓。交流電賴有變壓器，可將電壓儘量提高，因此應用甚廣。現代標準之輸電電壓，已達二十二萬伏，徒以絕緣之困難，與電花之損失，(下文論述) 故一時不能再高。直流電壓，因無提高之法，遂視交流為遜。不過近世汞弧整流器 (見第二章) 之進步，一日千里，已能將直流電壓提高至數萬伏，則以後之應用，方與未艾也。

雖如上述，電壓愈高，耗損愈小，但同時高壓之設備，較低壓爲貴，電壓愈高，一切設備費用，隨之俱增。故採用高壓，未必到處皆然。大概距離愈長，則耗損與電壓降落俱極重要，故電壓當愈高。所送之電力爲量愈大，則當使電壓愈高，恰如上文所論。至於一切高壓設備之費用，亦俱當顧及，然後方可決定一最合理之電壓也。

電壓既經決定，次當選擇所用電線之粗細。蓋電線愈粗，則電阻愈小，宜乎其耗損電力必小，似合經濟之道。然同時電線愈粗，價格愈昂，且也，粗線量重，故一切電桿磁瓶等，均將隨之加大，設備之費用，於是亦大。是以有凱爾文定律 (Kelvin's Law) 者，其說如下：『凡電線粗細之最合經濟者，其常年電力耗損所合之價值，適當與電線原價之常年利息與折舊相等。』此理亦可用微積分方法證明之，頗爲簡潔明瞭，讀者如欲研究，請參閱專論輸電學之書籍可也。總之，選擇一最經濟之電線，其問題至爲繁複，即欲用凱爾文定律以解決一切，亦決不如此簡單。蓋最經濟者，尙未必卽爲最妥善者，環境如何，將來之發展如何，視察便利否，拆換搬運便利否，均爲研究輸電之大問題，不容忽視者也。

輸送線通論 輸電設備之幹部，即爲輸送綫。包括傳電之電綫，架綫之電桿，及一切附屬物件等。關於電綫粗細之選擇，已於上文論及。關於質料方面，再須有審慎之考慮。普通在城市內所見者，均爲無包皮之銅綫，（俗稱赤膊綫）或係單根，或係絞綫。誠然，銅之所以廣用爲電綫原料者，以其傳電電阻最小，而堅韌耐用故也。加以近世鍊銅術進步，價值亦不甚昂貴，故他種金屬，均不敵焉。然與之競爭最烈者，爲鋁及鋁之合金。鋁質甚輕，其電阻雖較大，然可用較粗之電綫，則其電阻即可減小，而重量尙比銅綫爲輕也。且近世鍊鋁方法進步，鋁價十分低廉。尤足與銅競爭者。如沿海等處，空氣中多雜能腐蝕銅質之鹽類，却不能腐蝕鋁質，故鋁綫之應用，已有與銅綫並駕齊驅之勢矣。然鋁質之堅韌不如銅，故或有加鋼心者，成效較著。當歐戰之時，世界銅質缺乏，而德國海口被封鎖，尤有尋覓他種代用品之急需，乃曾試驗用鋼，則結果不佳。蓋鋼之電阻甚高，重量又大，遇空氣中腐蝕性物質，即易敗壞，雖經鍍鋅保護，仍難周密，故未見盛用。

架設電綫者，不可不注意冰雪二事。在寒冷之區，尤爲重要。冰雪之季，電綫上常載有冰雪，厚持竟可達三四寸。每尺電綫，即平添一兩倍之重量。若用鋁綫，則直徑較大，其接受冰雪之面積尤大，負

重更逾銅線。加以寒風猛吹，因而斷裂者，常有所聞。故在計劃輸送線之初，於線內之拉力，務必審慎計算，而決定之。蓋電線兩端，架於電桿之上，中間勢必略略下墜。倘拉之甚急，固可漸漸使成平線，然拉之之力，極須偉大。線內拉力，既已甚大，再加冰雪之負載，大風之吹迫，不難因而裂斷。故普通在懸線時，常預定線之中部，下墜若干（此種下墜若干之專名曰弛度 *sag*）則其中拉力，即不過大。由此再加風雪，仍能勝任。然此種預定之拉力，亦隨氣候而異。蓋倘於夏天懸線，以爲拉力適當，一臨冬季，電線受冷而縮，其內拉力，隨即增加。故懸線者，常有溫度與拉力（或弛度）對照之圖表，隨時參考，庶無錯誤也。除拉力外，對於電桿間之距離，亦屬非常重要。兩電桿間之距離，謂之間距（*span*）。大凡間距愈大，則電線之下墜亦愈大。下墜既大，必將用較高之電桿，以使之離地勿過近。如是者，電桿之費用，不免增大，但同時間距既大，全程電桿之數，即可減少，是亦一種撙節之道。有時跨渡大河，架越山谷，則在勢不得不用極長之間距。於是即當用高大之鋼塔，世界間距之偉大者，如橫渡美國聖勞倫斯河之電線，其間距長凡四千八百呎，而兩岸鋼塔，則高達三百五十呎，塔底面積，占三千六千方呎，誠大觀也。間距之長短，與電桿之高低，每視境地及電壓而異。電壓高者，如通過郊野之高壓線，每

用較長之間距，與較高之電桿，城市之中，電壓甚低，則間距即短，電桿亦矮。然畢竟以何者最適宜，雖可用理論計算之，然仍不能不利用經驗以參酌也。

電桿之材料，亦視境地及電壓而異。城市之中，電壓不高，則木質之桿已可，價格即亦較廉。在郊野之高壓電線，則其高度，非木桿所及，於是多用鋼塔。近時水泥電桿，試用者頗衆，以其價廉耐用也。然重量過大，運輸不便，故尚未盛用。茲將此三種材料之應用，分述如下：普通由深林採伐而得之樹木，倘即用之於電桿，不耐久用，每於根部近地面一段，發生腐蝕，木梢頂端，亦屢易敗壞，壽命不過六七年耳，故必用化學的方法，特加保護。泡製之法，現有多種，盛用者，一曰高壓法（或名貝色爾法 Bethel System）用大桶瀝青（pitch）或克列蘇脫（creosote）一類之防腐劑，木材置此桶內，再用極大壓力，將防腐劑壓入木材內部，經如此泡製之木桿壽命，可達二十二年。一曰低壓法，則不用壓力，將木材浸於防腐劑中久之，然後取出，如此之木桿壽命，可達十七年。一曰塗飾法，則最為普通，價格最廉，且極便利。法將瀝青柏油一類之防腐劑，周密塗佈於木材之外，亦可耐用十餘年。然近世水泥之使用法日進，是以頗有採用鋼骨水泥為電桿材料者，將來之希望，或將駕於木材之上也。較小

之鋼骨水泥電桿，於材料廠內，大批澆製，然後運往綫路應用，則成本較廉，而運費較大。較大之電桿，過於笨重，不宜搬運，故盛用隨地澆製之法。每於植立電桿之處，先立木型，扶之使正，支以木材，或支線，然後放置鋼骨，倒入混合之三合土。迨其堅硬後，除去支架木型，即可從事架懸電線矣。在選擇電桿材料時，所當注意者，廉價與耐用，均極重要，故近來鋼鐵電桿，亦頗盛用，用以替代木材，蓋取其耐用也。而尤以所謂貝次電桿 (Bates Pole) 者，價格非常低廉，廣被採用。至於架懸高大之高壓電桿，則非用鋼塔不可。近世傾向於提高電壓，增長間距，故所用鋼塔，尤須高而且大。頂端懸架電線，除架設支桿，(俗稱扁担) 須留適當地位，以使電線相距勿太近外，大都不甚廣大。而底面則因須載負全塔重量，故甚為廣闊，上小下大，儼然塔形，故稱鋼塔也。鋼塔之壽命，可使甚長，塗漆或鍍鋅均佳，惟塗漆者，每三四年須重漆一次，在離高壓線附近之部位，髹漆工作，甚為危險，最好凡高壓線鋼塔之頂端，均用鍍鋅，則一經應用，即不必重加修理，下方各部，則不妨用漆，以省費用也。

電桿頂端，釘設支桿，用以架線者，是也。線與支桿之間，須用物絕緣，即所謂瓷瓶者是也。瓷瓶之功用，主要在絕緣，其次在支持電線。可分兩種，曰懸垂式，曰針式。針式瓷瓶，中心有一鐵針，可以插入支

桿頂上，瓷面構成一槽，電線即嵌放其中，用線繫牢。其絕緣之功能，恃乎裙狀之瓷翼，電壓愈高，則瓷翼愈須廣大。過大，則成本太貴，不如用懸垂式。懸垂式，係集合一串瓷瓶所成，頂端有環，可以懸於支撐。每瓶下端，有一鈎，鈎上可懸垂第二瓶，瓶數之多少，視電壓而定。最下一瓶之鈎上，即懸電線。此式之佳處，不僅絕緣力較大，且能前後擺動，故兩面電線拉力不等時，瓷瓶能依拉力較大之方向而行，至拉力平衡而止。在針式則只能恃鐵針之彎曲，以勻拉力，較懸垂式略次矣。

輸電綫之現象 交流電之輸送，現象複雜，決非直流電可比。欲研究各種現象，當先明瞭輸送線自身之特性。蓋交流電現象之變化，悉視輸送綫特性之不同而異焉。輸送綫之特性，一曰電阻 (resistance)，此蓋導體所共有者也。在經濟範圍以內，及適宜情形之下，當選用電阻較小之電綫，則電阻壓降可小，而同時電阻耗損亦小。在直流輸送綫，則電綫愈粗，電阻愈小。於交流電則不然，蓋在交流電中，因電感之作用，常有使電綫中心不能傳電之傾向，電流恆欲依電綫之外廓而流通。此種現象，謂之皮膚反應 (skin effect)。皮膚反應，隨週率及電綫之截面面積而增加，其結果不啻增加電綫之電阻。故電綫愈粗，此種反應愈大，與直流大不相同也。輸送綫特性之二曰感抗 (inductive

reactance) 由電感而發生之電抗是也。蓋當電流於導線內流通，線旁即因感應而發生磁場，磁場之作用，乃欲使線內之電流，維持原狀。故倘係直流，則線內電流，原欲恆久維持常態，即不受磁場之影響。若為交流，則線內電流，常欲變向，而線旁磁場，常欲維持原狀，於是即有電抗之現象，有阻止電流之作用，因其自電感而生，故稱感抗。感抗之結果，並不增加電力之直接耗損，但使電流之變向，不能與電壓之變向同時發生，電學中有專名指此種變向發生之先後，謂之相位之差 (phase difference)。故感抗之結果，用專名述之，則為「使電流之相位滯退 (lagging) 於電壓之相位之後。」在此種情形之下，電線內所送之電力，即不等於電壓乘電流之積，而等於電壓乘電流，再乘相位角之餘弦，以式表之當如左：

$$P = VI \cos \theta$$

此式內 P 為輸送之電工率， V 為電壓， I 為電流，而 $\cos \theta$ 則相位角之餘弦也。觀乎此，可知倘欲輸送若干電工率而已決定用若干電壓，則苟無電抗，電流可以較小，因有電抗，電流即有增大之必要。電流增大，耗損 (I^2R) 即隨之俱增，故感抗之結果，間接亦能增加耗損。且也，線內電壓之降落，將

不僅爲爲電流(I)乘電阻(R)之積，乃爲電流乘阻抗之積，所謂阻抗者，乃電阻(R)與電抗(X)之合量(阻抗之價值 $\sqrt{R^2 + X^2}$)。夫電流因感抗而必須增加，已如上述，同時電壓之降落，又因感抗而增，是故感抗對於電壓降落，實有二重關係，不可不注意也。輸送線特性之三日儲電容量(簡稱電容)蓋輸送綫與地面平行，綫與地間，隔有空氣，恰如電容器之兩片金屬，中間隔以空氣，或其他通感物也。當交流電通過電線時，卽有電流在綫與地面間通過，此種電流，稱曰充電電流。此種電流之相位，常較電壓超越九十度(電角度)。此種超越之電流，有專名稱曰逆流(Leakage current)。其作用適與感抗相反，故輸電線內電感與電容兩者之作用，常欲相消。不過普通電容之作用甚小，尤如較短之輸送線，電容之量，幾不足計算。故輸送綫之特性中，感抗甚著，具有增惡電力耗損，與電壓降落之勢，此種傾向，必當設法矯正之，庶足以改善效率。其法卽加設電容器，以發生逆流，使感抗之影響被抵消而減少。(請參閱第三章同期電動機之特性一節，及第四章分站一節內關於同期電容機之一段。)

輸電所用之電壓，以愈高爲愈善，已見上文。然當電壓提高至一定程度，電線之外表，卽發生一

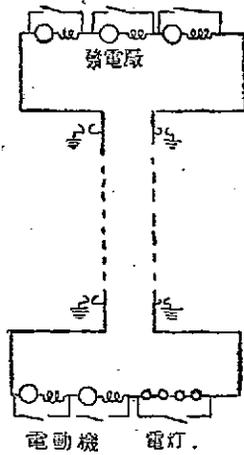
種光彩，名曰電花 (corona)。所謂一定程度者，即電壓之高度，等於破裂電壓也。用綫輸送電力，每有來往兩線，或數綫。倘來往各綫，相距甚近，則電壓達破裂時，兩線間即生電火，有電流破空衝過。然普通裝置高壓綫者，每使各線間距離甚遠，電壓雖過破裂電壓，而電流不能衝過，無從發生電火。於是綫之外表，即發生電花。電花發生之際，綫之表面，浮現光彩，而電力亦同時因此耗損。其耗損之量，隨週率之大小，與電壓超過破裂電壓之程度而俱大。然倘將電綫加粗，則破裂電壓可以提高。是以欲提高電壓，而避免電花，則不得不用較粗之電綫。而較粗之電綫，費用浩大。故畢竟以何種電壓為最妥善，仍屬經濟問題，不可拘泥於一端也。電花雖是一種電力之耗損，然利用之，亦可作為輸電綫之一種保護作用。蓋輸送綫上之危險，可分外來與內生兩種。外來者如閃電之類，內生者如電路驟開及走電透地之類。凡此種種，要不外由極高之電壓，發生種種損害而已。此種電壓，往往超越於破裂電壓以上。故設使預定輸電電壓，使約等於破裂電壓，則一切絕緣設備，均足以勝任此等電壓。於是在破裂電壓以下之各種電壓，均可勝任愉快，而一遇電壓驟昇，超過破裂電壓時，未有損害，先生電花。電力即由電花走散，更不易使電壓愈益昇高。故近年來之趨勢，將電壓儘量提高，使接近破裂

電壓，由是對於輸送綫之安全，又多一層保障矣。不過閃電之來，有時甚驟，而震發之電力，為量甚巨，不可全賴電花為保障。為輸送綫及所連各器械之安全計，必當有特別之設備，即所謂避雷器（*lightning arresters*）者是也。避雷器可分為數種，其構造各異。應用最久者，為角隙式避雷器。角形中間，為一空隙，一端接輸送綫，一端通大地。在普通情形之下，因電阻甚高，角隙之電壓，即為綫與地間之電壓，不足以逼電流通過，故線內電力，無從走透入地。一至閃電電壓，波及角隙，以其電壓之高，即能衝破空隙，構成電弧。隙間空氣，呈電離作用，電阻大降，閃電電力，即趁此衝透入地。直至電力消失已多，電壓降落，不足繼續衝破空隙，於是電弧停止，避雷器回復如舊。藉此綫內高壓，可由避雷器遁入地中，不致趨入各種器械，發生破壞。然用此種避雷器，線內電力，每隨同閃電電力，由空隙遁入地中，損失殊大。故近世有各種卷式（*valve type*）避雷器，如鉛池避雷器，自卷避雷器，氣化膜避雷器等，均較角隙式為佳。其原理無非在普通情形之下，則電力無從走透入地，而一有過高之電壓，避雷器即造成一個遁地之電路，將此份外電力消散，而其佳勝之點，則在電力之供給應用者，並不因此損失。

此外輸送線上，又須懸置地線，張懸於電線之上，接通地下，以鋼鐵爲之。既可以保護雷擊，又可減電線中之拉力。不用地線，則電桿上每間若干距離，須裝避雷桿，以導雷電入地。至於因雷電或電路驟斷或電流忽大而發生之過高電壓等，均足以發生一種振盪，屬於所謂瞬變現象者，其原理及因故，異常繁複，讀者請參閱專論此種問題之著作可也。

直流輸電制 當初最早之輸電方法，實係直流而非交流。至一九〇二年，塞萊氏用其塞萊串聯輸電法（見後），將直流電藉二萬七千伏之電壓，自聖毛立同輸送至勞生納，於是羣衆之心理，無不以爲將來長距離之輸電，必將有賴於高壓之直流電者矣。孰知其後各種交流輸送制，依次迭興，加以變壓器之能將電壓隨意升高或降低，效率極高，於是直流制只得退避三舍。自後交流電逐漸進步，電壓日益提高，電流日益增大，輸電之距離亦愈展遙遠。至今已達二百二十萬伏之電壓，及三百英里之距離，不可謂不偉大矣。不過此種高壓輸電法，需費浩大，只宜用於極長之距離，送極大之電力，方爲合算。而距離既長，送力又大，再欲藉交流以圖發展，卽有二種困難，而此種困難，均爲交流輸送所特著者，是以交流電發達至目前情形之下，不得回顧直流電之種種長處。於是直流電

逐有復興之機會矣。直流發電機之電壓，以整流環整流困難之關係，不能甚高。故欲在輸電上達到高壓之利益，必不能恃一機之電壓，而必賴他種方法以達到之，則所謂塞萊制 (Thury System) 者是也。塞萊制可藉第十二圖說明之。圖中 G 為直流發電機，設每機電壓為五千伏，則三機串聯即可得一萬五千伏。倘需要更高之電壓，可再加發電機，均用串聯之方法，互相聯接。此種制度，特異之點，



第十二圖

即在全制各部，均用串聯法聯接。故又稱直流通串聯法。發電機固屬串聯發電機，用電之電燈也。電動機也均用串聯法接入電路。各機之傍均加短路電鑰一具，在發電機不發電時，將此電鑰搭閉，則電流即不經過此機。在用電之電燈或電動機亦然。因此在普通輸電制，須調節電壓，使其不變，而塞萊制則須調節電流之恆量。是以除用各種調節電流器具外，必用串聯發電機以發電，串聯電動機以發力。以串聯電燈以發光。蓋是等機械，皆適於恆量電流也。如是組合之塞萊制，對於輸送直流電，實為至善。數大發電廠，如欲聯絡

以通有無，則塞萊制實爲最良之策。惟全系中設有一燈燈絲燒斷，則全系電路斷開。即使裝有自動器械，使燈絲燒斷之處，即以短路接通，然此種阻擾，已甚可厭。此外佳勝之點固多，弊端亦殊不少。將來最完善之直流輸電制，仍將賴於發電電壓之升高。最近汞弧矯流器（見第二章）之進步，實爲直流電應用上光明之路，日後直流電之進步，大概將循此光明之路而前進，不復於電磁感應上再求發展矣。

地下電纜 地下電纜之設備，不及架空電線之簡便。且以費用高昂，只於架空線不適用時採用之。在通都大邑，或以格於禁律，或以有礙觀瞻，每須捨架空線而用地下電纜者。而電纜之置地下者，對於雷電風雪，當然不受若何困難，此其佳勝之點也。是以即有不宜全部採用地下電纜者，倘於其通過都市之一段，獨設爲地下電纜，而於其他各段，仍用架空線，則對於上述之閃電等高壓振盪之危險，可以多一層保障。蓋地下電纜之外，包有鉛管，電纜與鉛管，成爲電容器，電容甚巨，頗能容儲突然發生之高壓電力也。在跨越江河，架空線之難於設置者，非用地下電纜不可。地下電纜，用諸交流者，在構造上可分兩種：一爲單股電纜，一爲三股電纜。單股電纜，中心爲導電銅線，其外爲絕緣體，

間以防潮絕緣紙。最外圍包以鉛皮，既以防濕氣侵入，又以防機械的損傷也。三股電纜，所以用於三相輸電制者也。三股電纜之絕緣，不如單股電纜之易，故高壓三相交流制，必須用三個單股電纜，其費較昂。若電壓在六萬二千伏以下，即可用三股電纜，費用略省矣。然交流電纜之成本，終較直流者爲貴。蓋交流之絕緣，較直流爲難，故同樣之電纜，在直流即可施以較高之電壓，即獲較佳之效率。然則在應用高壓於電纜一事觀之，又有促進高壓直流之必要矣。

第七章 電光

光源之種類 普通物體之發光，不外有兩種情形，卽（一）白熾（incandescence）及（二）燐照（luminescence）是也。白熾爲物體在高温度時之發光。溫度愈高，光愈強。大抵白熾物體發出之光，約與其絕對溫度（absolute temperature）之八次方至十次方成比例。故白熾物體之溫度，僅上升少許，其光即大增；溫度愈高，其光愈近於白。如物體燃燒之發光，及油燈、蠟燭之火焰，以至維爾斯巴赤式煤氣燈帽（Welsbach Gas Mantle），皆白熾光之例也。燐照爲物體在較低溫度時之發光。白熾之發光，須隨發熱而來；其能之耗於熱者爲量至大。燐照之發光則否。昆蟲中若螢，及海產動物中數種，皆能發極經濟之光，此實爲最有興趣最堪研究之燐照也。近年電學昌明，電光法發達至速。電光法有多種，若白熾電燈（incandescent lamp）及弧光電燈（arc lamp），皆屬白熾光；而穆爾式管（Moore Tube）、氖氣管（neon tube）及錄弧燈（mercury arc lamp），則可稱爲燐照光。

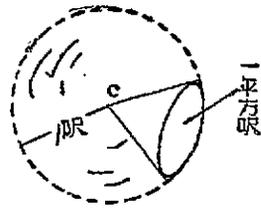
有數種光學名詞，若燭光（candle power）、流明（lumen）、分布曲線（distribution curve）等，

乃電光學上所常用者，在述電光學之大意以前，不可不略作解釋。

燭光 燭光為比較光源強弱之一種度量。如稱一個電燈泡有十六支燭光，即謂若以此電燈泡代替十六支標準燭 (standard candle)，則其照耀之地之亮度，會無少變也。亮度 (intensity of illumination) 可用亮度計測定之 (第十三圖) 可用光學儀器測量之。

標準燭之製造頗難，其大小及燃燒之情形，皆須合一定之標準。即如周圍空氣之狀態稍變，亦足以增減其光度之強弱。故現今各國之標準局 (Bureau of Standards) 已廢標準燭不用，而以特製之白熾燈泡代之。此種特製之燈泡，能在規定之電壓下，發射標準光度之光，歷久不變也。

流明 燃燭所生之光，其各方向不同。燃標準燭時，僅在其火焰之水平面上，可得一支燭光之光，在其他方向，則皆不足一支燭光也。此不僅於燭為然，他種光源，莫不皆有此種現象。故以燭光作各種光源強弱之度量，只能比較其一方之光而已，未能測知其實際之強弱也。吾人可假想由一個光源所發之光，實為許多光流 (ray of light) 所成。如第十三圖所示，為一圓球，其半徑為一英尺。於其中心處，置一支燭光之標準燭 C。又假定此標準燭能使各方向光照相同，則此圓球面上一方



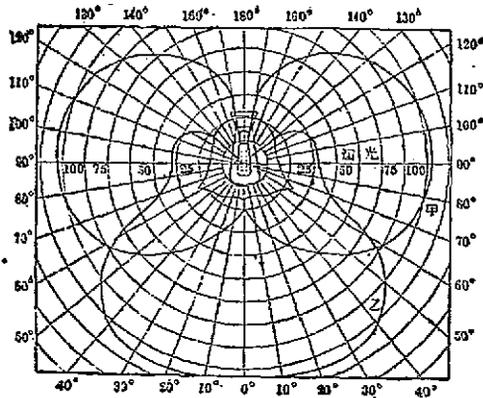
第十三圖

一英尺之面積內所經過之光線總數量即稱曰一流明 (Lumen)。此圓球之總面積既為4π方英尺，故一支燭光之標準燭，若各向之光照相同時，其所發射之光線總量，當然為4π流明也。

往時炭絲電燈盛行之時，炭絲之形式一律，其各方向光照之配佈，各燈亦均一律。故用燭光以計其光照強弱，殊無不妥，近年來電燈之種類日繁，各種式樣之燈所發出之光照，於各方向之配佈，皆不相同。若用燭光量法，已無意味。故宜採用陸門，以比較各燈所發之光線總量也。

一面積上所受之光照濃度，普通以一呎燭光 (foot-candle) 為單位。一呎燭光者，與一支燭光之光源隔有一呎距離之面積上所受之光照濃度也。故一呎燭光即等於每平方英尺一陸門。

光之配佈 (light distribution) 由一個光源發出之光，其各方向之強度大抵相異。如白熾電燈及弧光電燈所發出之光，在橫平面內之配佈，各方向頗見平均。但在縱平面內，則其配佈殊不均。如第十四圖所示，為一個白熾電燈發出之光，在縱平面內之配佈曲線 (distribution curve) 圖。



第十四圖

中甲曲線為未用反射罩 (reflector) 時之配佈之狀態。其向上之光，因燈絲之形狀及燈座 (socket) 障蔽之關係，故甚微弱。其向下之光，亦不如向側之光之強遠甚。乙曲線為已用反射罩後光照配佈之狀態，較之未用反射罩前，大相差異，其向下之光增強多多矣。

在研究一種燈光對於某種目的是否適宜之時，此種配佈曲線甚有價值也。

炭絲電燈 (carbon filament lamp) 炭絲電燈為最先發明之白熾電燈。蓋白熾電燈之燈絲須有二種性質，方能適用：(一)能耐受高熱而不損，並在高溫度時有相當之機械的強度 (mechanical strength)。(二)電阻甚高，不須過長之燈絲，已有適當之電阻。昔時僅由植物纖維製成之炭絲有此性質，以此種炭絲曲作馬蹄形，封於玻璃泡內，抽去泡內之空氣，即成

炭絲電燈。

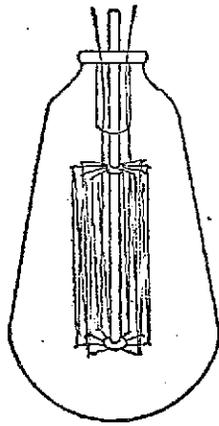
燈泡內之空氣必須抽去者，原因有二：(一)空氣能與炭絲起氧化作用(oxidation)而使之毀損。(二)抽成之真空不易傳熱，故藉此可保持炭絲之高溫度。

凡導體載電流時，因導體之電阻而耗去之電力，與電流之平方與電阻相乘之積實成正比例。假如燈絲之電阻為 R 歐(ohm)，其電流為 I 安(ampere)，則電力之消耗為 I^2R 瓦特(watt)。考炭絲電燈之效率不甚佳，每平均橫射燭光(mean horizontal candle power)約需電力三瓦特。炭絲電燈之壽命普通約可用七百小時至一千小時。炭絲在高溫度時壽命甚促，故普通炭絲電燈之燈絲溫度不能甚高也。

鈿絲電燈(tantalum lamp) 其後試用鈿為燈絲。其耐受高溫度之性質甚佳，效率亦較炭絲電燈為優，每平均橫射燭光祇須電力二瓦特。同時燈之壽命可達六百小時。但鈿絲電燈有一種特別之性質，即不能適用交流電也。待鎢絲電燈發明，鈿絲電燈乃歸消滅。

鎢絲電燈(tungsten lamps) 鎢絲電阻甚高，且能耐受高溫度，故甚適於白熾電燈之用。往

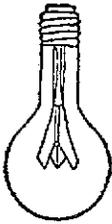
時未諳由模 (die) 抽錫成絲之法，必須以粉狀之錫雜植物纖維，共抽成絲。其後加熱，使植物纖維化盡，乃剩性質極鬆之錫絲。以此種燈絲製成之白熾電燈，為墨世特甲式燈 (Mazda - A Lamp)，固未臻完美也。其後一九一一年抽製錫絲之法臻於完善，製成之錫絲能耐約攝氏二千一百五十度之高熱，以此種燈絲製成之燈泡，稱曰墨世特乙式燈 (Mazda - B Lamp)，此即普通所見之電燈泡也。如第十五圖所示為一枚墨世特乙式燈泡尚未封閉之狀。上下曲折之錫絲鉤於金屬之絲承 (supporter) 上，而此許多絲承皆附於中央之玻



第十五圖

璃柱上，有金屬之導線兩根與燈絲相連，電流即由此出入也。此種燈泡內之空氣，皆用器械抽去，使成真空。通常墨世特乙式燈泡之效率，約每平均橫射燭光需電力一·二瓦特。在一五〇瓦特

以上之大型燈泡，其效率可高達每燭光〇·九瓦特。且此種燈泡壽命甚長，可達一千小時以上也。白熾物體之發光，隨溫度之增高而增大甚速，故製造燈泡者爭欲設法，使其燈絲之溫度得以



提高。考墨世特乙式燈泡之燈絲之溫度所受之限止，實為燈絲之蒸發。燈絲之蒸發有不良影響：(一)燈絲物質因蒸發耗失，致效率減低，而卒至燈絲燒斷。(二)氯化之錫凝集泡內，使泡面暗黑，以致燈絲所發之光被其吸收。欲減免燈絲之蒸發，其法不外將惰性之氣體 (Inert Gases) 如氮 (Nitrogen) 或氬 (Argon) 充入泡內。蓋凡物體之蒸發，視其周圍之氣壓而大異。例如水之沸點在氣壓高出每英方吋十四·七磅時，升至攝氏百度以上也。燈泡內既充有惰性之氣體，燈絲之溫自可提高，因而得較佳之效率。但同時熱度向外傳導必大見增加，是誠一大缺憾也。充有惰性氣體之鎢絲電燈，通常稱曰墨世特丙式燈 (Mazda - O Lamp)，或稱充氣燈 (gas filled lamp)。如第十六圖 (a)



(b) 所示，為全燈之形態，(b) 則其燈絲之狀。此種燈泡之燈絲，屈曲作細螺旋狀，蓋所以減少對流 (convection) 而使熱度之逃逸不致過速也。充氣燈俗有半電泡之稱，其效率甚高，每平均橫射燭光所需電力，約自〇·八五瓦特至〇·六瓦特。燈泡之燭光愈大，則每燭光所需之電力愈少。充氣燈之燈泡玻璃若用淡青

第十六圖

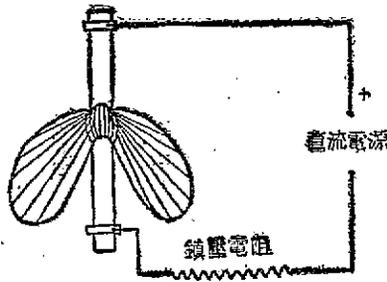
色，則所發之光與日光甚為近似也。

在日常應用之時，電燈所受之電壓，常在變動。電壓增大之影響，為增加燈絲之熱度，因而提高燈之效率，但壽命則促。炭絲電燈之電阻隨熱度之增加而減小。當電阻減小，則電流益見增大，故炭絲電燈對於電壓之變動應響甚銳。錫絲之電阻則隨熱度之增高而增大，當電阻增大，則電流為之抑小，故各錫絲電燈對於電壓之變動影響皆不銳敏。但錫絲電燈當燈路電鎗初閉之際，燈絲熱度尚與室內溫度相等，其電阻尚未增大，故電流在電鎗初閉之際特大，有時甚至有燒斷保護電路之融綫 (fuse) 之事也。

炭弧電燈 (carbon arc lamp) 炭弧電燈為最先成功之電力燃照方法，其主要部分為二枚炭棒，與電路接成串列關係。在電燈不燃之時，炭棒之端互相接觸。此二枚炭棒有饋給機關 (feeding mechanism) 司其伸縮。當燃燈之際，電流經過炭棒接觸之處，即生大熱，使炭質氣化。而是項炭氣 (carbon vapor) 即能導電。同時饋給機關之電磁鐵得電流而發生磁力，即將一枚炭棒攝起少許，使二枚炭棒之間隔有距離，但電流仍能藉炭氣而傳導。設或距離太大，則電流必減，饋給機關之電

磁鐵攝力亦變弱，使一枚炭棒退落少許，以縮短間隔之距離。故炭棒之間，賴有饋給機關，常得保持適當之距離。炭棒之端逐漸蝕耗，饋給機關能自動的將炭棒逐漸送下也。

如第十七圖所示為應用直流電之炭弧電燈之圖解，其陽電極之一端陷作凹入之形，是即稱



第十七圖

曰陷口 (crater)。陰電極之一端則作凸出之形，二極之間為炭弧之所在。炭弧燈之發光，其大部分實得於陽電極之陷口，而非得於炭弧。故所發之光，以向下方為最濃；如第十四圖之配佈曲線之所示也。其陽電極之消耗，較陰電極之消耗為速。至於用交流電之炭弧電燈，則兩電極端之形狀相同，其消耗之程度亦相若，且兩極端之發光亦相同，故所發之光並不以下方為最濃。在應用時，宜用反射罩以增其向下之光也。

炭弧之電阻與其截面之面積成反比例。倘若炭弧電燈與電路直接相連，則偶或電流微增之時，炭弧截面之面積隨之而增，炭弧之電阻因而減小，使電流益

見增加。如此因果相乘，足以釀成短流。欲免除如此之不穩定情形，可於電路內加入一個鎮壓電阻 (ballast)。但此鎮壓電阻耗廢電力頗大，在用交流電之炭弧燈，可用電抗 (reactance) 以作鎮壓，則耗廢電力甚微，不過使工率因數降低耳。炭弧電燈之熱度殊高，故其效率甚佳。

金屬弧光燈 (metallic - electrode lamp) 金屬弧光燈之陽極為銅製之實心圓柱，其陰極為氯化鐵 (iron oxide) 所製，而雜有氯化鈦 (titanium oxide) 以獲白色之光，往往又雜他種成分，以使電極合乎需要之性質。當直流通過此種弧光燈時，陰極之成分化成氣體，而被陽極所攝。大部分之燈光乃由輝亮之弧所發，而非得於陽極，此與炭弧電燈不同之處也。且用此種弧光燈時宜注意勿誤其極性，因若令銅柱作陰極，則銅之氣體所發之光乃為綠色，而非白色也。且此種弧光燈不適於交流電，其故有二：(一) 銅之氣體發綠色之光，故電流只能有一個方向，始可得白色之光。(二) 銅極易於傳熱，故極之熱度不甚高，電流稍斷，光亮即不能維持也。

金屬弧光燈之效率頗高，四·四安之金屬弧光燈，每平均橫射燭光需電力〇·七瓦特，六·六安之燈，每平均橫射燭光需電力〇·四五瓦特。此種電燈發出之光皎白而強烈，載於燈柱上，頗為

美觀也。

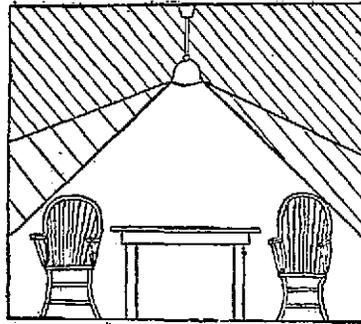
汞弧電燈(mercury arc lamp) 汞弧電燈爲一長管，內盛金屬之汞，管內氣壓極低，發出之光悉來自汞弧，作藍綠之色。汞弧光缺少紅色光線之成分，故在汞弧燈光下，人面相視有若鬼臉。但實際上紅色之光最傷目，而無補於視物之清晰，故繪圖室或其他賴目力注視之處，用汞弧光於生理上最爲合宜。通常在用汞弧燈處，加置錫絲燈數枚，即可免不快之鬼臉色矣。

汞弧之熱度約攝氏二百度至三百度，其效率頗高，每平均橫射燭光約需電力○·七五瓦特。汞弧燈亦有用高氣壓及高熱度者，則其管壁之質以石英(quartz)代玻璃，其由石英管透出之光，含有紫外線(ultra-violet ray)可供殺菌消毒也。

馬爾管(Moore tube)及氖管(neon tube) 馬爾管之光得自發照之氣體，其溫度亦不甚高。通常馬爾管有達二百尺之長者，管內抽去空氣，以高電壓之放電而發生發照，其光之色彩，視氣體之性質而定。例如用二氯化炭(carbon dioxide)氣時，其光作白色，與日光頗似。馬爾管之效率每燭光約需電力二·五瓦特。

氣管係自馬爾管改進而來，其製爲一玻管，抽成極高之真空，乃盛以低壓之氙氣。在高電壓之下，有約七密安 (milli-ampere) 至八密安之電流，使氙氣發生非常悅目橙紅色之光亮。是等光管多用於廣告及點綴建築物之四周。若用直流電，須備感應圈 (induction coil)；若用交流電，則須備變高變壓器 (step up transformer) 以獲相當之電壓也。

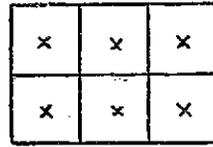
室內光照法 (interior illumination) 室內光照之法，爲一種專門技術，有時非富有經驗之技師，不能草滿意之計劃。然其大意亦有可得而言者。室內光照用之電燈，通常限於鎢絲白熾電燈。室內光照之目的，在供給適量之光，以便於寫讀及其他工作，而須避免不快之耀目之光。一個清潔之燈泡大抵已能供給適量之光線及配佈，不過其顯露之燈絲，有時頗覺耀眼不適耳。而燈之設置尤以美觀爲貴。普通寫讀時所需之光照濃度，約三呎燭光至四呎燭光已可，而繪圖或其他精細之工作，則約需八呎燭光。此類之光照，乃爲離地三十英寸之平面內所需要也。在辦公室或繪圖室內之光照，大多以全自高處之光源而來爲宜，亦有單獨之書桌需要特殊之光照者，可以桌燈供給之。在較小之室內於室頂中央設置一具電燈，而用反射罩以配佈其光線如第十八圖所示之狀。



第十八圖

明之乳白反射罩，使一部分燈光能由罩內透出，此法稱曰半間接制 (semi-indirect system)；其效率較高，凡採用是等間接法者，室頂必須常保潔白。

工廠內之光照關係非常重大，不可不特別注意。蓋光照之費用為全廠支出之極小部分，而佳好之光照實能增加出品之量，提高出品之質，及減少意外事之發生。世之工廠吝惜光照小費者，其



第十九圖

已可足夠。在較大之室中央設置一具電燈，每燻不足，故必須多設數燈。其法可將全室劃分若干方格，如第十九圖之狀，而在每方格之中央設置一燈也。

亦有採用間接光照法者 (indirect

lighting) 者，以倒置之反射罩，將光源完全隱藏，而使光線射於室頂，然後由室頂反射及於全室。此法效率極低，且光源完全隱藏，對於一部分人，引起不滿意之感覺。故通常採用半透

懸賞不可及也！

道路光照法 (street illumination) 道路之光照與室內之光照目的完全不同。在室內光照以供給適當強度之光線，以便於清晰辨視各物件之細態為目的。至於道路光照，則不必供給細辨物件之光亮，祇須行人能認清道上人物已足，故其所致之光照濃度，故較室內光照為遜。但道路光照有一不利之點，即在室內若室頂、牆壁及紙張衣被之屬，多色淡而善於反射光線。而在道路上，則路面、階沿、道旁樹木，皆色暗而不善反射光線。兩旁建築物反射之光線亦屬有限，且燈光之射於虛空者皆歸耗失，故向上之光線可謂完全喪失也。

昔時以為佳好之道路光照當模倣日間之光亮，故努力於光照配佈之勻整。但其後發見在道路微弱之光照內，吾人藉以辨認物件者，實為物件之憧憧黑影，而決非其光亮清晰之面目。而在昔時用多數密置之路燈，以獲均勻之光照者，此等黑影完全消滅，反使辨物困難也。近時更發見汽車常經之柏油路面，經車胎長時間磨擦，變為非常光滑，路燈之光射於路面，宛如月光之照河面。如此現象，稱曰鏡面反射 (specular reflection) 欲得鏡面反射，亦以設置較強之路燈，而排列較稀為宜。

在鬧市街道除路燈之光外，尚有店舖之窗飾及廣告燈之光照輔助之，故光耀如同白晝。此等街道之光照與室內光照實達同一之程度，而與普通街道之光照實不相同矣。

自汽車盛行之後道路光照關係益見重大。在道路曲折之處，其設置路燈之地點須妥為選定。務使駕車者之目不受燈光之眩耀，而由對方前來之物體須易於辨認也。又路燈設置之美觀甚關重要，誠為一種特殊之藝術也。

汎照法 (Flood lighting) 汎照法為新近盛行之一種美觀的電照法，係用許多照射燈 (projector) 處於適當之位置以照射建築物或其他目的物。自強烈之充氣電燈之製造成功後，汎照之法發達至速。受汎照之建築物等視之至為悅目，且能顯出建築上富有藝術之雕刻等，實為他種光照法所不及也。

第八章 電瓶

電瓶之分類 電瓶之功用，在以化學能 (chemical energy) 變成電能 (electric energy)。其主要部分為質料不同之金屬兩枚，稱曰電極 (electrode)，浸於一種電解質之溶液內。此兩電極發生電位差 (difference in electrical potential)。試以導體連之，即有電流生於兩者之間。經過若干時間後，此電極與電解液不堪復用，此名曰電池耗竭 (exhaustion)。在耗竭之後，若必將電極及電解液換新者，此種電瓶名曰原電瓶 (primary cell)。若可不將電極及電解液換新，而祇須用適當方法，將電流輸入瓶內，發生化學作用，使電極及電解液恢復原狀者，此種電瓶名曰次電瓶 (secondary cell)，亦稱蓄電池 (storage battery)。

原電瓶之原理及種類 最簡單原電瓶之陰極，通用鋅片。其陽極或為銅片，或為碳柱。假定其電解液為稀硫酸，則鋅片對於電解液內之 SO_4 游子攝引力比銅片或碳柱為大。當兩電極與 SO_4 游子化合，即載有負電荷，而與液內之 SO_4 游子相拒。待達平衡之際，鋅片所載負電荷較大，故其電位較低。

設此時以導體連兩電極，即有電流自銅或碳至鋅，而電位差略減，因此鋅片又能多攝 SO_4 游子，銅或碳柱則攝引 H 游子，導體內之電流乃得以維持不斷。 SO_4 游子與鋅相合成爲硫酸鋅，即失其功用。這鋅片或稀硫酸用完，此原電瓶即耗竭矣。 H 游子在碳柱或銅片電極成爲氫氣氣泡，集於電極表面，能增加電瓶之內電阻，並使電位差減小，此種現象名曰成極作用 (polarization) 頗爲可厭。欲消滅之，可以適當之氯化劑置於碳柱或銅極之四周。鋅之不純者含有雜質，此與鋅片自身，在電解液中當然亦能發生電池作用，此名曰局部作用 (local action)。其消除之法，可以鋅片清洗後，浸入稀硫酸內，提出，乘溼塗以汞，此法名曰汞和 (amalgamation)。

丹亞兒電瓶 (Daniell cell) 爲電報上所常用者。其電極爲銅片及鋅片，電解質爲稀硫酸。用硫酸銅溶液消除成極作用。常以鋅極與稀硫酸共置於質地疏鬆多孔之瓷筒（亦稱素燒瓷筒）內。外爲玻璃筒，盛硫酸銅溶液。銅極即置於其中。其斷路電壓 (open circuit voltage) 約 1.1 弗打。其內電阻約二歐。凡電瓶之電動力視兩電極與電解液之質料而定，與電極之大小、形狀、排列法，俱無關係。內電阻則與兩極間之距離成正比例，與兩極之面積成反比例。

勒克蘭瑟電瓶 (Leclanché cell) 以碳柱及鋅片為兩極，以氫化銻 (ammonium chloride) 為電解質，而以二氯化錳 (manganese dioxide) 消除成極作用。常以碳柱置於質地疏鬆多孔之瓷筒內。筒內實以二氯化錳及炭末。筒外為氫化銻溶液。鋅片即置於其中。其斷路電壓約一·五弗打。其內電阻約一·五歐。

乾電瓶 (dry cell) 為變相之勒克蘭瑟電瓶。其構造係用鋅質圓筒，以易於吸水之紙貼襯其內。筒之中央置碳柱。以二氯化錳及碳末實其四周。以氫化銻溶液充滿筒內。面上蓋以木屑。復以瀝青密封之。在鋅筒外裹以硬紙即成。

愛迪生拉隆德電瓶 (Edison Lalande cell) 之陽極為氯化銅 (cupric oxide) 片，陰極為鋅片。二者之間，以瓷質相隔，盛於鋼質筒內。電解液為氫氯化鉀 (caustic potash) 溶液。電解液面上置油一層，以阻空氣之侵入。此種電池構造甚固，其斷路電壓約〇·九五弗打。其內電阻甚低，祇〇·〇二歐。

電瓶之連接 假定 E_0 為電池之斷路電壓， R_0 為電池之內電阻， R 為外路電阻，則電瓶一個之電流為：

$$I = \frac{E_0}{R + R_0}$$

若以同樣之電瓶 N 個，依直列法相聯接，則其電流爲：

$$I = \frac{NE_0}{R + NR_0}$$

若以同樣之電池 N 個依並列法排列，則其電流爲：

$$I = \frac{NE_0}{R + \frac{R_0}{N}}$$

鉛極蓄電池之原理 鉛極蓄電池 (lead storage battery) 之兩極，一用二氯化鉛 (lead peroxide) 所製成，一用金屬之鉛所成。共置於硫酸溶液內。二氯化鉛之電位高於鉛板之電位，其間之作用可略說明之。硫酸與鉛板發生化學作用如下：



氫游子旋即與二氯化鉛起化學作用，使之還原爲二氯化鉛：



由是而生之一氯化鉛與硫酸化合成硫酸鉛 (lead sulphate) :



上列諸變化亦可以下列方程式表示之：



可知當蓄電池放電之際，耗去溶液內硫酸而生水，或溶液之比重漸減，同時陰陽兩極之二氯化鉛與鉛，皆變成硫酸鉛。

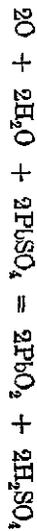
當電流自外返向輸入時，其作用全與放電時相反，蓋電解液內之氫游子被陰極之硫酸鉛所引，使之還原而成金屬鉛：



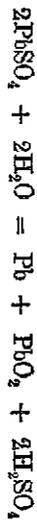
而電解液內之 SO_4 游子，則被陽極硫酸鉛所引，而在彼處游離，與水起化學作用，成為硫酸及氧：



氯與其處之硫酸鉛化合，乃化生二氯化鉛及硫酸：



上列諸變化可以下列方程式表示之：



故當蓄電池充電之際，耗去溶液內之水而生硫酸，故溶液之比重漸增，同時陰陽兩極復成金屬之鉛及二氯化鉛。

鉛極蓄電池之構造 鉛極蓄電池之兩極板普通有二種：一名普蘭忒板 (Plante plate) 一名膏製板 (pasted plate)。普蘭忒板之有效材料 (active materials) 爲二氯化鉛及金屬之鉛，係由直接電化作用製成者。膏製板之有效材料係將一氯化鉛製成膏狀，而塗嵌於板槽之內，然後以電化作用使成二氯化鉛及金屬鉛。此二種鉛板各有優點，大抵普蘭忒板較膏製板略重，價亦昂，但耐用，且在充電及放電時，板上之有效材料不易失落。故在不須搬動之蓄電池，用普蘭忒板者較廣，而在汽車或其他車輛上，則多用膏製板也。

鉛極蓄電池充電滿足時，其二氯化鉛板顏色略如椰子粉，質頗硬，而金屬鉛板則呈褐色而質甚鬆，易刮落。放電而生之硫酸鉛體積較大，故放電時，兩極有效材料必膨漲也。

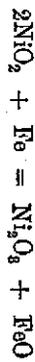
充電與放電 充電與放電之程度，就硫酸之比重測之，最為確當。大凡汽車開動及燃燈用之蓄電池，其硫酸比重，在充電滿足時，可達一·三〇〇，在放電終止時，可達一·一五〇；如此比重之相距，通常名曰一五〇點 (Point)。動力用之蓄電池，比重之相距較小，約一二五點。在不常搬動之蓄電池，比重之相距祇五〇點；即比重在充電滿足時為一·二一〇，在放電終止時為一·一六〇是也。在電解液可十分充裕時，其比重之相距，有祇為二五點者。

充電時須注意者，為輸入之電流不得過巨，若電流過大，則鉛板不及將輸入之電力，盡行吸收，其過剩之電力必將電解液內之水分分解，成為氫氣、氧氣，作氣泡而逃逸。如此之現象稱曰出氣 (Gassing)。出氣能損害板面之有效材料，故不可不慎為防止。大抵在充電開始時，極板吸收能力較速；而在充電終止時，極板吸收能力甚緩，此時最易發生出氣，故在充電終止時，輸入之電流務必甚小，如此之充電率，稱曰終止率 (finishing rate)。

蓄電池之充電共有二法一爲定流充電法 (constant current charge) 一爲定壓充電法 (constant voltage charge)。若用定流充電法，則輸入之電流始終不超過終止率之數，當然不致發生出氣，但用此法充電甚爲緩慢，約需十六小時，方能滿足。若用定壓充電法，則充電開始時用較大之電流，逐漸減小，至充電終止時，則用終止率電流，用此法充電，時間較省，約五小時，甚至不足五小時，已可滿足矣。

放電切不可過度，若放電過度，則極板上之硫酸鉛變爲不傳電之物質，而不受電力之分解極，即毀損，此種現象名曰硫酸鉛惡化 (sulphation)。若蓄電池放電後不即充電，擱置過久，其極板亦易發生硫酸鉛惡化，故蓄電池放電後最好即行充電。硫酸鉛惡化尙微之時，可以過量充電救治之。鉛極蓄電池內硫酸溶液之水，若因蒸發而減小，可添加清潔之水。硫酸則不因蒸發而減少。

愛迪生蓄電池 (Edison storage battery) 之極板，一爲二氯化鎳所製，一爲鐵製，共置於氫氟化鉀溶液內。二氯化鎳極板之電位高出於鐵極板之電位。當放電位之際，二氯化鎳漸還原，而鐵板則氟化。其作用如下列方程式所示：



當充電之時，其作用適反向而行，卒使兩極板恢復原狀，如下列方程式所示



愛迪生蓄電池之電解液為二一%之氫氯化鉀溶液。愛迪生蓄電池不似鉛極蓄電池有硫酸鉛惡化之弊，故放電無限制，僅以不堪應用而停止也。愛迪生蓄電池通常充電以七小時為率，放電以五小時為率。放電率不妨較五小時稍速，但勿使溫度超過攝氏四十五度，以免減短電池之壽命。充電率則不得少於七小時，因充電過緩則鐵極之還原將不完全也。

愛迪生電池之優點，為其較鉛極電池為輕，且較堅固，充電或放電後，擱置多時，亦無毀損極板之處，而沉澱之發生殊鮮，故可密封。其電解液為氫氯化鉀溶液，不發生腐蝕性氣體，故無論置於何處，皆屬穩妥，即與鐵器共置一處，鐵器亦不銹壞也。愛迪生蓄電池之劣點為價值較昂，及效率較低。

第九章 電機鐵道

電機車爲繼汽機車而起之一種近代交通利器。汽機車之發動賴於汽機，而電機車之發動則賴於電動機，電機鐵道之學術，如關於路線之規劃，軌道之鋪設，屬於土木工程學；如關於機車之配置，客車貨車之構造，制動機件及其他種種，屬於機械工程學；此皆不在本書範圍之內，故特從略。至於電力之發生，電力之輸送，則本書第二章發電機，第五章發電廠，第六章輸電，第四章變壓器，已備述其大意，毋庸再贅；而各種電機車所用之電動機，若直流串聯電動機，單相交流電動機，三相感應電動機之原理，在第三章內亦已論其大略。今本章範圍內，將先就各種電機鐵道之制度作一比較，次論電機鐵道與汽機鐵道之利弊，及市街電動車之梗概。

電機鐵道之制度 當今電機鐵道所用制度可分五種：

(一) 直流電 (direct current)

(二) 單相交流電 (single phase alternating current)

(三)三相交流電 (three phase alternating current)

(四)三相單相交流電合制 (combined three phase and single phase alternating current)

(五)單相交流及直流合制 (combined single phase alternating current and direct current)

茲將各制分論如下：

(一)直流電 此制應用最早，現在各國城市所用街車鄰城相通之路 (interurban line) 及一大部分之長途電機鐵道幹線 (trunk line) 均用此制。在短距離之路線，廠中所發電力，亦係直流，欲將電力運至車內，無需他項機械。但在長途鐵路，則大不然。蓋在本書輸電一章內業經論及，欲輸送電力自一地至他處，電壓愈高，電線可愈細，材料愈省，則經濟愈高。直流電因限於發電機之構造，電壓不能過高。而交流電則因有變壓器，可將發電機所發低壓電流變成高壓，藉電線傳至遠處。然後在應用近處之分站（見第五章）中，先經變壓器由高壓復變至低壓，再經變流器或汞弧變流器變交流為直流。然後傳至高架線通至機車，而列車因以進退。

直流電之能如是廣遍，乃因機車或街車所用之直流串聯電動機之運用特性之適宜於行車，

其最重要之點有二：一則因直流串聯電動機之旋轉速度易於變化。凡列車所經過之長途中，軌道情形，乘客多少，時間速度，種種均有不同。是以車之速度（即電動機之旋轉速度）允宜變化，以適合臨時環境。欲應付此需要，各種電動機中，以直流串聯電動機最為合宜。其二則因串聯電動機之省電。從各種電動機比較言之，欲發出同量之旋力，串聯電動機用電最少，最為經濟。以此二故，此種電動機，在電機鐵路界中位置甚形強固，非並聯電動機及三相感應電動機所能望其項背，因後二者速度不易起變化，而用電較費也。

直流電制所用加於機車上之電壓，最普通自五百至三千伏脫。然近來試驗結果，已趨於增高電壓，即高至七千伏成績亦佳，其取電方法，大都用高架電線（trolley wire）以路軌為電流歸路，或用第三軌（third rail）以代高架電線。此種第三軌，係鋪置於離軌條尺許之地，機車上裝有相當機件，行動時相遇，因以取電。此法無高架電線之繁瑣，但不無危險，雖有防止之法，社會上皆視為畏途，因是未見十分盛行。

（二）單相交流電 此制總廠所發電力為單相交流。電壓則在廠內經變壓器自低而高，傳至

沿路，再在分站，經變壓器，由高壓降至低壓；然後傳至高架電線，送至機車。機車內所裝電動機，為單相交流電動機。加於機車上之電壓，自三千五百至二萬五千伏脫。此制需用電壓較高，為避免危險計，是以城市中街車鮮有用之者。單相串聯電動機與相感應電動機之性質請參閱第三章電動機可也。

(三)三相交流電 此制所有各種設施與前相同；惟此制機車所用電動機傳電之線，總廠發電機，均為三相。傳電之線因係三相，須用三線，二線高架空中，一線借一軌應用。此制應用之處甚少，美國除大北鐵路 (Great Northern Railway) 之一段外，尚無他路。全世界三相電動機用於鐵路者，約合三十萬匹馬力，大部均在意大利。

(四)三相單相交流電合制 此制總廠所發電力及傳電均係單相，與第二制根本無異，惟電機車上則裝有三相感應電動機。電力自高架線通至機車，先經變相機 (Phase converter) 自單相變至三相，然後應用於電動機；此制未見盛行。

(五)單相交流及直流電合制 此制為最近所發明，總廠傳出電力係高壓單相交流，至分站

電壓變低，然後通至機車。機車上裝有變流機，自交流變至直流。乃將直流通至所裝直流電動機，以運行全車。

以上各制，咸有利弊。有宜於此路，不宜於彼路者。全恃主持工程者，將局部情形，細行研究，將各制妥爲比較，然後擇其最經濟最合宜之一制，庶乎其可。若以總廠發電輸電而言，各制均無不同。但爲經濟起見，所發所輸電力，皆以三相交流爲宜。輸電有宜用單相者，以比三相少線，但三相輸電工程上效率較高，故單相未見其特佳處。至於以分站之繁複言之，則各制大不相同。要以直流電制最爲昂貴。因分站中變流機及附屬機件價甚昂貴，且須用人開關照顧，雖有自動分站 (automatic station) 可以應用，而免去用人之費，但開辦費益爲累增。三相及單相交流電制分站之中，祇有靜止之變壓器，開辦費及維持費節省匪細。三相單相交流合制分站費用與三相相同；交流直流合制分站自陸地移至機中，雖省去雇用人看守分站，而機車中機件太形複雜，重量亦加，不能稱爲十分利益也。

直流串聯電動機最合於鐵路之用，已如前述，且其價格以每匹馬力計，亦較低廉。但近來單相

交流電動機進步殊速，除其價格仍稍昂外，各種利益漸有與直流電制頡頏之勢。

直流與單相交流在電機鐵路上究以何者爲宜，久爲電機工程界爭論之點，如美國之二大電機製造公司，奇異公司 (General Electric Co.) 及西屋公司 (Westinghouse Co.) 前者主張以直流爲佳，其所經營各鐵路均爲直流；後者對於單相交流電動機研究最深，故主張單相交流爲最合宜，其所經營者又多單相交流制。目今趨勢以全路經濟方面計之，單相交流確較合算，然直流亦有其優點，一時尙不能棄去。歐洲各國制度各殊，然一國之中都屬一律。美國地大路多，且路係商辦，紛歧特甚，在此發達之初，欲求統一制度，尙非其時。然制度紛歧之害，久爲交通界所公認，則統一各制，勢不能免，但非一時所能致耳。

三相交流電制因電動機不甚適用，且需高架線，二、工程上構造大爲複雜，通行甚尠，美國全國止大北鐵道一段，意大利以地勢關係多用此制，他國則未聞有採行者，則此制之勢將淘汰，不言而喻矣。

電機鐵道與汽機鐵道之比較 汽機鐵道爲交通之利器，通行世界已百餘年，其促進人羣文

化，增加民衆幸福，久爲公認之事實。孰知其通行百年之後，竟有人昌言其不合於交通，宜以電機鐵道代之者，誠非始料所及也。願爲此說者，並非厭故喜新之流，彼實有工程上及經濟上之原理與事實，爲其立說之根據。雖兩種鐵道之比較，久爲汽機界及電機界聚訟之點，然電機之利益，不勝枚舉，萬非汽機所能及；事實昭明，讀者觀下列所述，自能瞭然矣。

(一)用煤節省 電機鐵道較勝於汽機鐵道之第一要點，卽爲用煤之節省。汽機鐵道每一列車須帶機車及煤水車，包含一全部之發力設備，而電機鐵道機車祇置有變電力爲機械力之機械，而各列車所用電力，皆得自一大發力廠；易言之，在電機鐵道設一大發力廠，將電力傳送至機車，因以行車；汽機鐵道分設小發力廠，散在每列車之前，此兩者之異點也。夫在商業上大規模之公司必比無數小公司爲經濟，在工程上此理亦同。故一大發力廠所用之煤量，較之發同量之數小廠合計實大爲節省。據專家估計，在總廠用一磅之煤，傳力於電機車，其效力與汽機車用二磅之煤相等。卽用電機車拖同樣之列車，較用汽機車省煤一半也。且近來各國水力發電發展甚速，將水力所發之電用高壓傳至機車，如是不特不用煤，抑且應用天然水力，化無用爲有用，此則電機鐵道之特長，非

汽機鐵道所可及也。

此外尚有電機鐵道省煤之附因，即電機鐵道可免停車時用煤之消耗是也。凡汽機車停於站上或路中，為準備隨時開駛計，須繼續燒煤，使汽鍋汽壓保持原度。此種耗失，亦屬匪細。此外如汽車自冷汽鍋燒至開車汽壓，需用鉅大之煤量，不若電機車停止時，將電鑰斷開，即無電力通至車中，若欲開行，電鑰閉合，車即行動矣。

又若地處寒帶，如美國之極北各省，嚴冬之際溫度往往低至攝氏零下四五十度。因此汽機不能生火，乃為常見之事。且即能開車，以汽鍋與空氣溫度之懸殊，射熱損失甚大，因是用煤愈費。至若電機鐵道，則一年四季皆無困難，且屆嚴冬因電動機散熱之易，其力量反可增加。（參閱第三章電動機）例如平日該機車能帶列車六十輛，至嚴寒時或能帶列車七十輛八十輛不等。

電機鐵道除上述節省用煤各利益外，尚有所謂發電制動（regenerative braking）之作用，藉此又可省煤。蓋發電機與電動機構造原理本無大異，二者可以互通，本書第二章已詳論之。在電機車平常行動時為電動機，因電流自高架線送至機內，車以行動。而在車行至斜坡，自高而下之時，有

地心吸力令車轉動而下，該機不特可無須電流供給，且同時變為發電機，送電流回高架線，以助他車之行動，而省總廠之用煤量矣。在車之本身，機車發電則下行之動能已被吸收，車行自緩，無須用機械制動機 (mechanical brake) 也。

(二) 速度增高 電機鐵道平均行車速度可較汽機鐵道為高。例如美國汽機鐵道平均行車速度，客車為每小時四十英里，電機鐵道平均行車速度，客車為每小時四十五至五十英里，遇需要時可增至每小時六十英里以上，不致發生危險。其故有三：(一) 電動機旋轉均勻，無汽機往復運動之不平衡情形。(二) 電動機之加速度 (acceleration) 較汽機為高，故電機車較汽機車在同樣之停頓時間，平均速度可高。(三) 車在斜坡上行時，汽機車速度限於汽鍋水量，速度減小，而電機車之電動機，則可載暫時過量負荷 (temporary overload) 車行速度較汽機車為高。

(三) 行車安全 電機鐵道行車比汽機鐵道為安全，觀下所述自明：

如站上人員在車行以後，得知二車將撞，可開斷站上電鑰，兩車電流均斷，即行停車，而不至相撞。但在汽機列車行後，縱使站員得知將撞，亦無挽救之法，惟有聽其相撞矣。

電機車行車時無絲毫煙燼散揚空中，非若汽機車前往往濃煙密布，司機者對於號誌視線模糊，每因之釀禍。即於列車本身以外言之，汽機車燃餘灰燼着房屋易致火患，如於冬日經過大森林，則煙燼飛揚，釀成林火，損失往往巨萬，電機鐵道無此害也。

在汽機鐵道，車入隧道，煙灰瀰漫其中，與乘客呼吸有礙，車旁號誌易致誤認。惟電機鐵道無此害處，至若地下鐵道 (tube way)，非用電機車決不能行車也。

電機車行動均勻，不易有出軌或脫鈎之險。車上不燒煤，不致起火。司機者不須照料機械，可注全神於車前路旁之號誌及轉彎等等，行車意外之事可以大減。下行斜坡時，機車應用發電制動法，車之因制動機發熱，或折斷車輪而生之意外，幾可盡除也。

(四) 乘客舒適 電機鐵道乘客之舒適，非汽機鐵道可比，其可得而言者：(一) 電機車不發煤煙，乘客常得呼吸清新空氣，衣物潔淨，猶其餘事。(二) 車之行動均勻，少有震動。車行較速，如同一之距離，電機列車較汽機列車可先到多時，減少乘客行旅之苦。(三) 車中取暖可用電爐，潔淨且合宜，燈光可全用電，光亮而無危險。

(五)增進運輸 因電機車無煤水車之累，故其牽挽力(tractive effort)比同重量之汽機車爲強，是以可多拖列車數輛。且因牽挽力大，加速度亦增，於是在雙線路兩車相距之時間可短，因以增加行車之次數。車行愈多，則愈經濟；故電機鐵道可增進收入也。

(六)行車維持費低廉 電機車罕須修理或灑掃，大約祇須行一千至二千英里後始稽察一次。不若汽機車於每次行程之後，均須將汽鍋汽機細爲查視。而車上煤屑油水尤宜勤灑掃，且汽機車常易損壞，修理動費鉅款也。

汽機鐵路行車時沿路須有供煤供水之設備，費用浩大，而電機鐵道無之。據專家估計，行車維持費以常年計算，電機鐵道僅及同長汽機鐵道之三分之一云。

(七)增高鐵道附近地價 汽機鐵道行車時，塵煙密佈，車聲笛聲震耳。因其有礙附近地域之安靜，故其地價爲之減低。若能將鐵道電化，煤煙盡去，笛聲亦止，地價即隨之而高。且電機鐵道所需站地，不如汽機鐵道之廣大，如能電化，則路局公衆俱蒙其利。其最著之例，爲美國紐約城三十年前，通紐約各鐵道，皆爲汽機鐵道，每日列車進出數百次。自電化後，昔時塵煙蔽天之區，今皆爲繁盛街

市，其不動產價格之漲進，何啻數百倍。反之如芝加哥，爲美國各鐵道銜接之樞紐，每日往來列車，有千三百次之多。刻尙無一路電化者，是以該城塵埃污穢，終年暗昧，車站佔地，及萬數千畝。假如鐵道電化，其不動產價格之增進，有不可思議者。現芝城人民，早明此意，已着手電化，徒以開辦費巨，一時不能完全實現耳。

(八) 提高發電廠負荷因數 電機鐵道日夜行車，但終以日間爲多，故與電光負荷適相參差。是以發電廠如同時供給電光負荷及電機車負荷，其負荷因數即得提高，電力之成本因此可減低矣。(其說見第五章發電廠)

電機鐵道之有益於路局及公衆，旣言之詳矣。然自亦有其短處，即其開辦費遠過於汽機鐵道。其故由於：(一) 電機鐵道創辦時，總電廠之容量，須布置充足，不若汽機鐵道之機車，可以陸續增購。(二) 電機鐵道尙需種種輸電工程，沿路分站裝置變壓器，變流機種種附件，不若汽機鐵道將發力廠及動力機械，合在機車之上。(三) 汽機已有百餘年之歷史，故計劃家製造家對於汽機車之計劃及製造，經驗宏富，製造便利，有標準式樣可憑，價格自易低廉。電機鐵道發明不久，正在試驗改良時

期，新車之製造或與舊者原理不同，結構互異，製造無標準可循，價格自然昂貴。然此為暫時之現象，一俟電機車製造益精，式樣有標準，價格即能低廉矣。

在工程方面言之，電機鐵路亦不無缺點。蓋電機鐵道電力之供給，恃總廠及輸電線，若總廠或輸電線忽生阻礙或停頓，則所有列車立即停止，直至電力復通而後已。不若汽機車發生困難，僅及局部，全路受影響無若是之劇。但近年電廠設備周全，往往用數廠供給一電網，電力停頓之例絕罕，故此點可無須過慮也。其次則電機列車速度太大，或行程過長後，電動機盡力與動，發熱太速，易肇焚如，機車損壞損失不貲。而在汽機列車，遇此情形，車自停止，無損傷之弊。然設使駕駛者知量機之力以行車，則此患殊無發生之可能，故亦無庸過慮也。

總上言之，電機鐵道之最大利益為安全，車務增進，開行經濟節省煤斤，最合於山區及長途之貨運。其弊為開辦費之大。依本路之情形較量收入與支出之盈絀，而定一路之宜用汽機車或電機車，是鐵道工程師之所有事也。

市街電動車 自電動機發明後，其應用於行駛車輛，獲最大之成功者，實為市街電動車。蒸汽

機固爲交通學術上之一大發明，但對於繁盛市街上多數市民之代步，仍不能有所解決。蓋汽機車行駛時，煙燻飛揚，機聲札札，於城市決不適宜。且汽機車之加速度不大，是以停車後重復開行，需時頗久，方能得相當之速度。故若欲在市街中頻頻停車，亦爲不可能之事。此等困難，自電機車出，卽一皆被解決。電動街車，誠爲最理想之城市交通利器也。邇來頗有人試以石油自動車（俗稱公共汽車）用於市街交通者，但與電動車競爭之下，終覺電動車較爲優勝。其原因可列述如下：（一）石油自動車之引擎不免發出可厭之聲響，而電動車開行時則聲響甚微。（二）石油自動車開行時，其引擎不斷的排出廢氣，致市街之空氣穢濁。（三）石油自動車用往復運動之引擎，故車身不免受震動；電動車無往復運動之部分，其電動機以勻整之旋力加於車軸之上，故車身不受震動。（四）石油自動車之引擎之速度調節，不若電動車之電動機之速度調節之便易而佳好。（五）電動車較石油自動車爲經濟，故車資得以低廉。（六）石油自動車較易損壞，其修理較忙，在街道不良處行車尤甚。

市街電動車所用電壓以五五〇伏之直流爲最普通。因在街道中停頓甚多，故必須有極大之

加速度，使每次開車後，在短時間內，即獲相當之速度；是以市街電動車所用之電動機，概為直流串聯電動機。其速度司機人可藉控制器 (controller) 以自由控制之。控制器之作用，無非將電阻加入於電路中，或自電路中減去，以調節電動機之速度而已。通常電動車備有二具或二具之倍數（即四具六具或八具等）之電動機，故其速度之增減，可用串列並列控制法 (series parallel method) 所謂串列並列控制法者，即謂在低速度時，將一具電動機接成串列關係；在高速度時，將二具電動機接成並列關係也。自發電廠輸至電動車之電壓，既恆定無變，則二具電動機接成串列關係時，每具電動機所受之電壓，當然祇及接成並列關係時之半數。大多市街電動車之兩端月台上，各備控制器一具，俾兩個方向內均可開駛。在停車時，電動機之電路斷開；換言之，即其電路內有無限大之電阻。開車時，司機人轉動控制器之手柄，電動機即接成串列關係，而電路內置有電阻。其後欲速度增加，更轉動其手柄，電路內之電阻乃被逐漸減去，待電阻減盡，而速度更欲提高時，電動機即接成並列關係，而復有電阻加入電路之內。當電動機接成並列關係，而電路內電阻減盡時，電動車即達最高速度矣。通常電動車之控制器，尚備有倒車之裝置，將手柄自停車之地位反向旋轉，則電動機

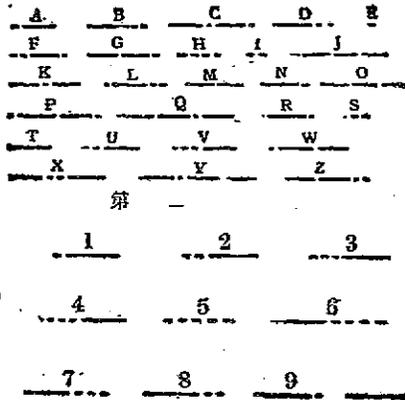
之兩極即被互調，使旋力之方向隨而倒反。此種裝置，雖亦能使電動車倒向而行，但其最大之目的，却在制動。蓋電動車每抵停站前，其速度已減低，故普通用手力制動器 (hand brake) 即可使車如意停止。但在進行中間，若急欲停止，則手力制動器即不能發生效力。此時惟有退轉控制器之手柄，使電動機受有反向之旋力，因而停止也。

普通市街電動車，皆行於鋼軌上，此鋼軌即借作電流之歸路，故如此之電動車，只須一根高架電線已足。另有一種無軌電動車 (trackless trolley bus) 者，不用鋼軌，其車輪包以橡皮車胎，一如石油自動車之狀，即共需二根高架電線矣。無軌電動車之設備費，祇及有軌電動車之百分之六十，至七十之間，在發達迅速之城市，欲推廣電動車之行駛區域時，大可採用之也。

第十章 電報及電話

甲 電報

電報者，乃藉電流以傳送信號於遠隔之地之術也。由此信號，即可譯成文字，故遠隔之地，即可藉電報以通訊。電報術之種類頗為繁多，其信號可大別為目見信號（*visible signal*）與耳聞信號（*audible signal*）二種。目見信號之中，又有暫時（*transient*）與永久（*permanent*）之別。暫時之信號，即為無紀錄之信號，例如有一種指針制（*needle system*）其收報機表面有一指針，在不通信時，其指針直指中央不動，當通訊時，指針向左右指動不已。規定向左一指，代表西文。字母，向右一指，代表 *t* 字母；向右一指，向左二指，又向右一指，代表 *x* 字母；其餘字母與此相仿，亦各有所規定也。永久之信號即為有記錄之信號，信號之記錄亦有多種，例如有一種許氏印字電報（*Hughes' type-printer*）者，竟與打字機相像，假如發報處將 *a* 字鍵按下，收報處即印出 *a* 字於紙上也。但此制用者甚少，最普通之信號記錄，為點與劃（*dots and dashes*）所組成。在歐美以點劃代表字母，是稱曰電碼。



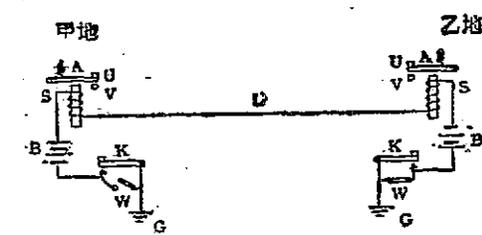
第二十一圖

電報術之種類既頗繁多，若一一詳論之，雖巨帙而不能盡，今本書當擇其最普通者，述其大意焉。

(Telegraphic code) 歐美之電碼最普通者，共有二種：曰摩斯電碼 (Morse code) 曰大陸電碼 (continental code) 摩斯電碼盛行於北美合衆國，及加拿大；大陸電碼則盛行於上述二處以外之世界各國，如國際間之海底電報，亦用大陸電碼，如第二十圖。即大陸電碼也。至於吾國文字，非字母所拼成，故每字定以一號數，發報時祇須發其號數，則即可查明其爲代替何字矣。如第二十一圖，爲以點劃代表數字之電碼也。

單工電報 (simplex telegraphy) 單工電報制係藉一根電線，甲地可與乙地通信，乙地亦可與甲地通報，但乙地必待甲地之通報完畢後，方可開始與甲地通報，蓋二地不能同時互相通報也。

如第二十二圖爲單工電報之圖解，甲地與乙地之設備完全相同，L爲二地相連之電線，所以只須



第二十二圖

同時失其磁性，其槓桿即被彈簧所拉起，與上方之障礙U相接觸。然後甲地之發報員即以手捺電

一根電線者，因其他一線，已借大地代替之。大地遼闊深厚，故其電阻甚小，但電報機與地相通，務須用鐵管深埋潮濕之地，電流方可通行無阻，圖中G即爲與地相接之處。B爲電源，（電源有用原電池者，但以蓄電池爲普通，在大電報局則多以發電機供給電流。）K爲電鍵，S爲音響器。solenoid（當二地不相通報之際，圖中之電鍵W皆行搭閉，使電路閉合，電流自甲地之電源B，經電鍵W，大地G，至乙地經電鍵W，音響器S，經電線L，復回甲地，經音響器而完成一個電路。音響器爲一個電磁鐵，當受電流之觸磁，即將槓桿A吸引向下，此槓桿之上下各有障礙，若U及V。槓桿被磁鐵所吸，即與下方之障礙V相接觸。今若甲地欲與乙地通報，可先將甲地之電鍵W開斷，則電流爲之中斷，甲乙二地之音響器

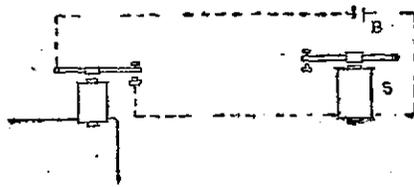
鍵K，依欲發之電碼，而捺之放之不已。當電鍵被捺之際，電路爲之閉合，甲乙兩地之音響器皆受勵磁，而攝引其槓桿向下。當電鍵被放之際，電路爲之斷開，甲乙兩地之音響器皆失磁性，而任槓桿被彈簧提起。如此槓桿忽上忽下，與障礙D及V撞擊，而卽作聲不已。乙地之收報員耳聽槓桿撞擊之聲，卽可知甲地發來之報爲何字矣。甲地發報員將電鍵一捺一放，音響器之槓桿卽一上一下，共發聲二響。此二響間時間之相距，卽等於電鍵被捺時間之長短。若電鍵被捺不久卽釋放，則二響間相距甚暫，若電鍵被捺稍久，然後釋放，則二響間相距卽較久矣。二響間相距甚短，卽可代表電碼中之一點，二響間相距較長，則可代表電碼中之一劃。一次捺放與下次捺放間所隔之時間，卽可代表點劃間之空隔(space)。凡此種種，皆可以一點之時間爲單位，其標準如左：

- (一) 一劃之時間，等於一點之時間之三倍。
- (二) 每一字母之點劃間之空隔，等於一點之時間。
- (三) 一字(word)之各字母(letter)間之空隔，等於一點之時間之三倍。
- (四) 字與字間之空隔，等於一點之時間之六倍。

甲地發報員發報已畢，乃將甲地之電鎗W重行搭閉，俾電流得以流通，而便於乙地之向甲地發報也。甲地發報之時，甲乙兩地之音響器同時工作，故不僅乙地之收報員能聽得發來之信號，即甲地發報員亦能聽得自己所發之信號，藉此可察出其中有否錯誤，且甲乙二地間之電線偶或中斷，則發報員亦能立時察知也。

單工電報有閉合電路制 (closed circuit system) 與斷開電路制 (open circuit system) 二種，如上文所述之一種，二地不相通報時，電路常閉，故屬閉合電路制，此制盛行於北美合衆國。另有一種斷開電路制，二地不相通報時，其電路常閉，則盛行於歐洲大陸也。

繼電器之應用 (use of relays) 音響器之槓桿與障礙相擊，發聲務須清越易辨，故此槓桿須有相當之重量，而甲乙兩地若相距頗遠，其間當有長途之電線，致電路內之電阻頗高，故電流之量必甚微小，欲使此微弱之電流，以勵音響器之磁鐵，以攝引笨重之槓桿，殊為不可能之事。故長途電報常設有繼電器以補救之。繼電器亦為一個電磁鐵，但其所攝引之槓桿重量頗小，故輕而易舉；此槓桿被攝，即搭閉一個局部電路 (local circuit) 而音響器即置局部電路內也。如第二十三圖所示



第三十二圖

爲應用繼電器之圖解，B 爲繼電器，B 爲局部電路內特備之電源，S 爲音響器。當繼電器將局部電路搭閉時，音響器即受局部電路內較爲強大之電流之勵磁，而發清越之聲。通常音響器約需一五〇至五〇〇安匝 (ampere-turns) 之磁力，而單工電報繼電器則需七〇至二五〇安匝也。

重發器 (repeater) 假使繼電器之電阻爲二五〇歐姆 (ohm) 而用柏郎沙普九號電線 (Brown & Sharpe, No. 9 wire) 而假定電線之絕緣電阻爲每英里半兆歐 (half megohm per mile) 則依普通電池之能力，電線之長度殊不宜超過六三二英里。設吾人改用柏郎沙普六號電線，則電線之截面已增一倍，但其長度依計算之結果，仍不宜超過八六六英里；可

知橫貫大陸之長途電線，決不能用一根連貫之電線矣。如此之長途電線可分作數段，每段長約三百英里至六百英里，在二段相接之處，各置一具重發器。此重發器實與繼電器爲同物，不過吾人若設置繼電器於二段銜接之處，則祇能在一個方向內通信；欲求雙方可以互相通報，當用重發器組。

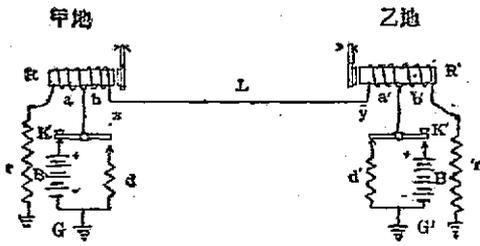
(repeater set) 通常重發器組內，包含繼電器二具，發報器 (transmitter) 二具。

記錄器 (recorder) 上文所述之單工電報制，當然爲耳聞信號。如欲將對方發來之信號，藉器械自動的記錄於紙條之上，可用記錄器。如此即變爲永久的目見信號矣。最初之記錄器乃用鋼針在紙條上刺成一點一劃之狀，此種刺成之記錄，視之甚爲勞目，故其後改用墨水記錄。記錄器有一個電磁鐵，及一個槓桿，與音響器相似；但此槓桿當被磁鐵吸引時，將紙條推迫，使與一個染有墨水之小輪接觸，紙條上即印有墨水之細劃。紙條有一個發條機械徐徐牽引前進，故槓桿推迫紙條之時間較短，則所印爲一短劃，即可代表一點；若槓桿推迫紙條之時間較長，則所印爲一長劃，即可代表一劃矣。

雙工電報 (duplex telegraphy) 前述單工電報，當甲地向乙地發報之時，乙地不能同時向甲地發報，若二地間通報擁擠之時，可改用雙工電報制，則不需另添電線，而甲乙兩地即可同時互相通報矣。考單工電報所以不能兩地同時互相通報者，因甲地向乙地通報時，電路忽開忽閉也。若能使無論何時，兩地之收報機常在電路之中，而甲地所發之信號，僅乙地之收報機接受之，甲地之收

報機不受本地發報之影響，僅甲地之收報機接受之，乙地之收報機不受本地發報之影響，則雙工電報制即完成矣。雙工電報制共有二種：曰差捲雙工電報 (differential duplex)。

曰電橋雙工電報 (bridge duplex) 今當述其一種之原理，即可藉明雙工電報之大意矣。



第二十四圖

如第二十四圖為差捲雙工電報之圖解， L 為甲乙兩地互連之電線， G 及 G' 為與大地相接之處， R 及 R' 為繼電器。此繼電器上各具兩個完全相等之線圈，若 a 與 b 及 a' 與 b' ，此兩線圈實際上係互相層疊者，但此圖中為清楚起見，特作互相鄰接之狀。兩線圈公共之一端，與鍵 K 及 K' 之槓桿相連， B 與 B' 為同樣之兩個電池， d 及 d' 則為兩個電阻體，各等於電池之內電阻 (internal resistance)。當鍵被按下之時，與電池接觸 (如甲地之狀)，當鍵被釋放之時，與電阻 d 接觸 (如乙地之狀) (無論鍵與電池或電阻體相接，電路內之總電阻

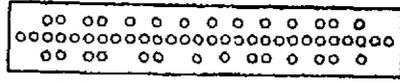
始終不變。(因電阻 d 及 d' 等於電池之內電阻) r 及 r' 亦為兩個電阻體; r 之電阻等於電線 x y 之電阻, 加由 y 至 G' 之電阻, 加由 G' 至 G 之大地電阻; r' 之電阻等於電線 x y 之電阻, 加由 x 至 G 之電阻, 加由 G 至 G' 之大地電阻。所以必須如此支配者, 其目的在使電流在繼電器 a b 兩線圈, 或 a' b' 兩線圈之公共之一端, 適均分為二個相等之電流, 其一經 a 線圈, (或 a' 線圈) 其一經 b 線圈, (或 b' 線圈) 反向而行也。 a 線圈與 b 線圈, (或 a' 線圈與 b' 線圈) 既係完全相同, 而載同量而反向之電流, 其所勵之磁力適相抵消也。

當甲乙兩地之鍵皆不被捺之際, 電路內無電動力之存在, (因電池不在電路之內) 故兩地之繼電器當然不起動作。當兩地中之一處之鍵被捺時, 其本地之繼電器之兩線圈內, 電流反向而行, 故不起動作; 但對方之繼電器之兩線圈內, 電流同向而行, 故發生磁力, 而攝引槓桿, 當兩地之鍵同時被捺之際, 兩地電池之電動力相反, 故電線 x y 及大地 G G' 皆無電流經過, 但兩地之繼電器之一個線圈, 得本地電池之電流, 故各能攝引其槓桿。凡此作用, 讀者細究第二十四圖, 即能完全明瞭; 在如此之雙工電報制, 無論對方之鍵被捺與否, 對方之繼電器, 皆能隨此方鍵之捺放而動作也。

雙工電報其需四人掌管之，甲乙兩地各有收報員及發報員各一人。特設之電阻體 r 及 r' ，稱曰假電線 (artificial line)。

上述之雙工電報制捺鍵之時，將電池加入電路；釋鍵之時，使電池退出電路；故稱單流制 (single current system) 尚有一種分極雙工電報制 (polar duplex telegraph system) 者，其設備略有不同；當捺鍵之時，乃將電池之極性反接，使電路內之電流反向，故其繼電器之作用，係基於電流之反向；如此之繼電器，稱曰分極繼電器 (polarized relay)。

自動電報 (automatic telegraphy) 大凡電報發報員發出信號之速度，當視三事而定：(一) 發報員技術之嫻熟，(二) 電線之性狀，(三) 收報機之靈捷與否。但實際上極純熟之發報員，用手發報每分鐘至多不過能發出五個字母之字四十字而已，而收報機之能力則殊不止此也。且發報員疲乏之時，尙不免發生錯誤，欲求發報迅速而無錯誤，殊非用手發報可得，及自動電報制發明後，此目的乃獲達到。盛行於英國等處之灰脫司東自動電報制 (Wheatstone automatic system) 每分鐘能發出約四百字之多。其欲發之報，先用穿孔器 (perforator) 依摩斯電碼，或大陸電碼在一個油紙



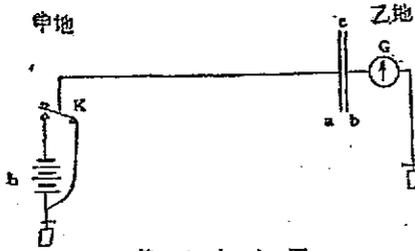
第二十五圖

條 (called paper tape) 或羊皮紙條 (parchment paper) 上鑿成孔眼，其狀如第二十五圖所示。中間一行較小之孔，稱曰導孔 (guide holes) 其孔相隔各為 0.1 英寸。凡三孔在一縱行內，代表一點；而一劃則以四孔代表之，此四孔包含兩個導孔，其餘一孔在導孔之上，一孔在右鄰導孔之下。第二十五圖中在穿孔紙條上方，已附有普通之點劃信號，以二者比較之，即可明其規例矣。

灰脫司東發報機有轉動之齒輪，及兩枚起落之細棒。當穿孔紙條在細棒端經過時，此兩細棒即能伸入紙條之孔內，(非導孔，乃導孔上方及下方較大之孔) 此兩細棒又以槓桿機關與變極器 (pole changer) 相接，即依紙條上孔眼之排列，而不斷的將電路內之電流反向，一如分極雙工電報制也。灰脫司東收報機，當然用分極繼電器，一如分極雙工電報制，而信號則以墨水記錄，一如上述之記錄器也。

海底電報 (submarine telegraphy) 海底電報距離甚長，欲用連續之電纜 (cable) 實為不能之事。蓋長途電纜電阻既巨，電流必甚微弱，故各種電磁器械若繼電器，音響器完全不能適用。且

地球之各處，電位往往不同，其原因未能明瞭，若長途電報用連續之電線或電纜，連接遠隔之兩地，則即有所謂大地電流 (earth currents) 者，周流其內。大地電流之強弱，變異無定，四季及各年俱不相同，在強烈之時，稱曰電潮 (electric storm)。電報被其擾擾不清，甚至將電線或電纜燒毀，欲避免



第二十六圖

之，共有二法：(一)可以金屬線代替大地，以供電流之返路，此法在大陸長途電報恆用之。(二)可用凝電器 (condenser) 而使電路不相連續，此法在海底電報恆用之。藉第二十六圖即可明海底報電之原理矣。圖中 G 為凝電器，當甲地將電鍵 K 閉合之時，乙地凝電器之 a 板與電池 B 之陰極相接，即得陰電荷，其 b 板上當然經感應而得陽電荷，同時使同量之陰電荷經測電表 (galvanometer) G，而走失於大地；此時測電表之指針，即見一動。當甲地之電鍵復斷開時，乙地凝電器之 a 板不復載有電荷，b 板上之陽電荷乃亦經測電表而向大地走失，此時測電表之指針又見一動。在實際使用時，測電表之指針上

每備有鏡片(mirror)以燈光射於鏡片之上，當有電流經過測電表時，鏡片攙動，由鏡片反射之光線，即左右移動。如此之測電表甚爲銳敏，用音響器時每分鐘不能傳一字者，今用此種測電表，每分鐘即能傳報自十五字至二十四字之多矣。

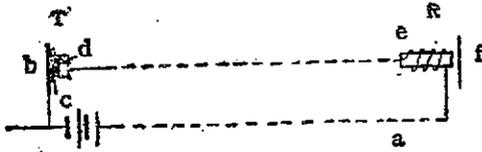
四工電報(quadruplex telegraphy) 四工電報制者，藉一根電線，自甲地發二份電報至乙地，同時乙地亦向甲地發兩份電報也。故四工電報共需職員八人，兩地各有發報員二人，及收報員二人。在通報甚爲擁擠之處，得此便利不少。四工電報之理亦不難明瞭，蓋電流之性質有二，即方向(direction)與強弱(strength)是也。假如有二具發報機，其一具係變動電流之方向，而一具係變動電流之強弱者，則在同一之線上同時發報，殊無妨礙矣。在收報方面，備有二具繼電器，一具係分極繼電器，專以收受變動電流方向之信號；其他一具係不分極繼電器(non-polarized relay)專以收受變動電流強弱之信號，亦兩無相妨也。

乙 電話

電話爲美人柏爾(Alexandrar Graham Bell)氏所發明。當時之電話用具，不甚繁複，其原理與

現時所用者，初無大異。其後應用漸廣，逐漸演進，發生種種制度，以適應種種需要。但其傳聲之原理，仍與最初發明時無異。以組織之制度言，可分為局部電池制，與中央電池制兩種。以所應需要言，可

分為市內電話、長途電話、與私用支局等。其管理之方法，或用接線生，則稱為手工接線。最新式者，用自動法，則為自動電話。凡此種種，均互有利弊，將於下文分述之。



第二十七圖

電話傳聲之原理 聲音為物質振動而成。當音波傳達耳膜，耳膜即感受振動，傳於神經，而有聲音之感覺。然音波不能及遠，故遠隔之兩地，欲相通話，必藉電流之作用。電話者，即藉電流之作用，以傳達聲音之法也。其原理可用第二十七圖說明之。T為傳話器（即話筒），所以接收講話者之音波者也。R為聽話器（即聽筒），所以將傳聲器所受之聲音，照樣發出者也。當說話者向傳聲器說話時，音波達於薄片（b），薄片前後振動，遂將b與d間之炭粒c，或壓緊，或放鬆。當炭粒被壓緊時，其電阻減小，通過之電流遂大。當放鬆時，電阻增高，電

流減小。於是電路 a b c d e 中之電流，依音波之振動，而忽大忽小。聽話器之電磁鐵 e，得忽強忽弱之勵磁作用，而發生忽強忽弱之磁力，吸引磁鐵前之薄片，f 前後振動不已，而發生音波。薄片振動之情形，視電流之變化而異，而電流之變化，悉由於傳話器薄片之振動。故聽話器所發之聲音，與傳話器所受之聲音無異，此傳聲原理之大概也。至於實際應用，則組織較繁複。蓋電流及遠，耗力必多，有經濟與否，及聲音清晰正確與否之問題。而用戶一多，管理方面，即有種種問題。當使用戶感覺便利，而電話局之經營亦稱經濟。於是各種制度應需要而生矣。

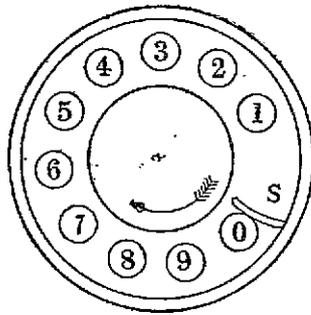
磁石制 電話之最簡單者，為磁石制，(magneto system) 或稱局部電池制 (local battery system)。用此種制度時，用戶所裝電話機上，除聽筒、話筒（常連於一柄之上，聽筒對耳，話筒則對口，係特別配就者）以外，又有乾電池及磁石發電機。當講話時，先搖轉磁石發電機，發出低週率之交流電，由電纜通至局中接線版上，即放落一種叫喚信號。每一用戶，均有一付信號及接線塞口 (answering jack)。接線生瞥見信號，先將此信號歸復原處，再將接線用之塞子 (jack)，插入塞口。於是彼即能與用戶談話，詢問對方所欲通話之號碼，即尋覓此號碼而將另一塞子插入其塞口。雙方

用戶，即可談話。談話完畢，各搖末鈴，以示談話告終。接線版上即放落終止信號。接線生見之，便可將兩處塞子各各拔出，歸之原處矣。

中央電池制 (central battery system) 中央電池制中，用戶處不裝電池及磁石機，僅有聽筒、話筒及一切附件。聽筒與話筒，連於一柄，與磁石制無異。惟用戶欲通話時，只須將話筒取下，局中接線版上，即有此戶之叫喚燈燃亮。於是接線生即以接線塞子，插入該戶之塞口，詢問所欲通話之號碼，爲之接通，其程序與磁石制並無大異，惟當接通以後，對方尙未來應答，則有通話燈一盞常亮，一至於對方來應答，談話開始，此燈復熄。當談話終止時，此燈復亮，接線生即可將塞子拔下，歸復原處。由是觀之，中央電池制，有種種佳勝之點。用戶方面，至感便利，可免搖機之煩。在接線生方面，工作亦可簡單，因此服務便能周到。同時用中央制後，耗電費用亦較節省，而用戶電話機價格亦較低廉。且中央制中，有複式接線版，可使服務尤爲敏捷，適用於大部會中，用戶衆多之處。然用戶在萬戶以上，每須分爲東、南、西、北等局，互用幹線接通，則通話者報告號碼時，須說明東某號或北某號等。倘用戶更多，則服務愈難週到。且在通都大邑之中，商業繁盛，時須通話，接線生每有應接不暇之勢，而用戶猶

僅其懈怠疏忽。在有如此情形之時，最好改裝自動電話。

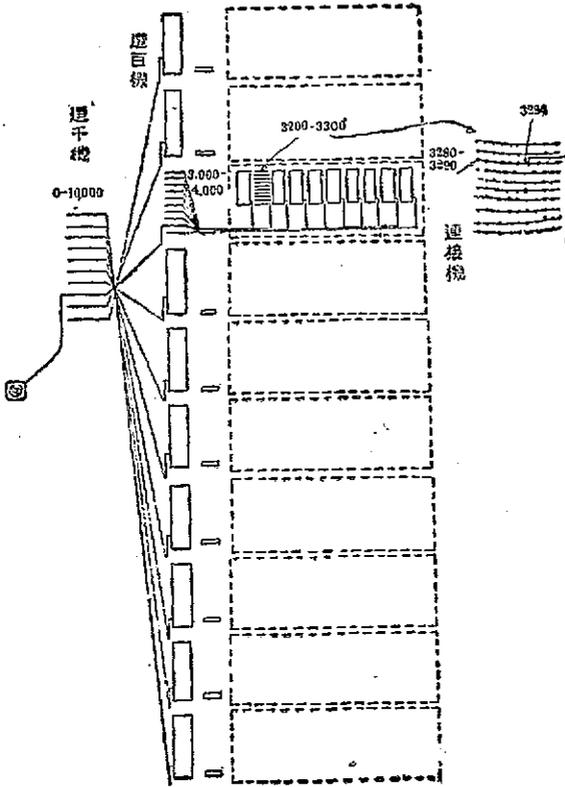
自動電話 (automatic telephony) 裝自動電話之用戶處之電話機上，有一圓規（如第二十八圖）譬如用戶欲與三二八四號談話，則先以指插入④字穴內，撥動規面，依箭頭所示之方向而



第二十八圖

旋轉，至阻止物 S 處而止。乃放手使規面藉彈簧之力，自行復位。每字背後，各有一電鈕，①字下阻止物上空白處，亦有一鈕。當③字經過②①而至 S 時，即將三個電鈕（②①及 S 前）依次各按一下。局中機器，即受到三次電流之衝激。於是用戶復插指於②字穴內，撥至 S 處而止，放手使其復位。局中接線機上，即再受到電流之衝激二次。用戶再插指於④字穴內，而如法撥動圓規，局中復受到八次電流之衝激。最後，用戶插指於④字穴內，而撥動之，局中又得四次電流之衝激。此時已將該戶與三二八四號接通，可以通話。其

於④字穴內，而撥動之，局中又得四次電流之衝激。此時已將該戶與三二八四號接通，可以通話。其



第二十九圖

爲接線機，可選
 十位與單位之
 工作。當用戶最
 先撥動③字時，
 選千機上，受到
 三次電流衝激，
 每次衝激，使其
 接線桿躍升一
 格，三次衝激，即
 使接線桿躍至
 第三格上接好。
 (選得第三千，

內有三千零一號至四千號各用戶。於是當用戶第二次再送二個衝激時，如法使選百機躍上第二格，選定第二百位。（內有三千二百零一號至三千三百號各用戶。）第三次之八個衝激，即使接線機躍上八格，接至三千二百八十一號至三千二百九十號之格上。最後一次之四個衝激，接線機平轉四格，接於三千二百八十一號至三千二百九十號間之第四格上，是為三千二百八十四號。倘該號適與他人談話，則接線機及選百機選千機，均忽然全復原位，而用戶聽筒內，聞有嗚囂之聲。則該戶當知對方正與他人談話，須稍待後再試之。是以自動電話之佳處，不僅在省去接線生，且可免除種種用戶與局中之誤會。然自動電話，機件繁複，故有二種不利之處：（一）價格昂貴，（二）管理不易。此二點，均有待學者，研究而改良之。在繁盛之都會商埠，即用中央電池制，亦已極為繁複，不亞於自動電話，則此時改用自動式，頗為合宜也。

長途電話：城市與城市，例如上海與蘇州之間，若欲互相通話，其所設之電話制，稱曰長途電話 (long telephony)。長途電話線，須經過郊野，當防雷電之險。而距離既遠，電流至易微弱，因此又需擴音器等設備。是以長途線之價格，非常昂貴。然長途通話，不若市內通話之頻繁，是以長途局倘用

市內局所行之服務方法，將高貴之長途線，等開用之，勢必入不敷出。故長途局通話方法，用登記法。用戶欲作長途談話，先由市內局轉知長途局掛號部登記掛號，各通話者，排定先後，先掛號者先通話。此人談畢，後來者繼之。如此，可使一條長途線上，常有用戶談話，連接不斷。每次談話，收費若干。於是長途線上，常有充足之收入，可以補救設備費之昂貴矣。用戶方面，雖至感不便，然亦屬不得已也。

此外電話之組織制度尚多，以限於篇幅，不克備述。即上述各制，亦僅及其大略耳。

第十一章 無線電

電爲能力之一種，而其表現方式在在相同，爲吾人所熟知者如電燈之電，收發電報電話之電，以及轉動機械之電，而無線電實亦不過電所表現方式之一種；於根本性質及原理與上述各種之電本無差異。徒因無線電之傳導，自此以達於彼方。有如雷電之射出，不藉銅線或金屬導體爲助，故稱之曰無線電。

無線電波 無線電之散射，全恃電波。電波之發射四方，與聲波光波，頗多相同之處。例如聲波之放射，向空中四處散出，凡在聽覺所及之地，皆能聞及。光波亦然。所不同者，尋常聲波與光波之發現，皆可藉吾人耳目察得之，而無線電波 (radio wave) 則非有極精巧靈敏之接收機 (receiver) 不能發覺。至於無線電波之如何發生，如何在空中傳導，尙爲科學界爭論之問題。關於解釋無線電波之學理，雖有多種，而其最重要者，厥推電磁波學理 (electromagnetic wave theory) 其說即：「凡有電流更動其量，即發出電磁波，藉以太 (ether) 之傳導，以及於四周空間。」而以太之存在，尙屬假定。

自德國學者愛因斯坦氏 (Einstein) 相對論發明以後，以太存在之假定發生動搖。然爲解釋各種電波現象，以太存在之學說，通常仍多用之。以言實用，既不求高深學理，以太存在與否之問題，暫可置之不理。吾人須知無線電之發報機，於使用時，發射出一種電磁波浪。此種電磁波浪，除波長及週率不同外，與光波相同。其速率亦爲每秒 3×10^{10} 公尺。惟其波長與光波相差甚遠。例如光波長度約爲百萬分之公分，而無線電波之長度，用於越洋大台者，大至二萬公尺。用於廣播台者，亦在二百公尺以上。最近雖漸知短波之利益，而能實用者，尙在二十或十公尺以上。換言之，光波與無線電波週率之相殊，亦正相同。（關於波長及週率之解說，讀者可參考初等物理學，茲不贅述。其相互之關係可用左式示之：

電磁波長 λ 與週率 ν 之關係

此種無線電波與光波不同者，尙有穿過各種物質能力之巨。凡石牆高屋樹林湖山無不能經過。其他金屬品之建築，如鋼橋貯油塔，高大鋼屋，稍稍吸收無線電波，但若距收發台較遠亦不妨礙。無線電交通之要素 無線電交通，自此方以達於彼方，必先在發射台有發射無線電波之機。

械，而發射此無線電波之機即爲發射機 (transmitter)，此波浪發出之後，卽向空間放射，以達於接收電台。接收電台須備有吸收電波之器械，與檢察電波之儀器。合而言之，卽爲接收機。至於發射機及接收機之種類，部分，及應用，可得而略述者，有下列各節。

發射機之種類 發射機之種類，約可分爲下列五種：

一、火花式 (spark-system)

二、弧光式 (arc system)

三、亞力山大孫氏高週率交流發電機 (Alexander's High Frequency Generator system)

四、哥德士密氏交流發電機 (Goldsmith alternator)

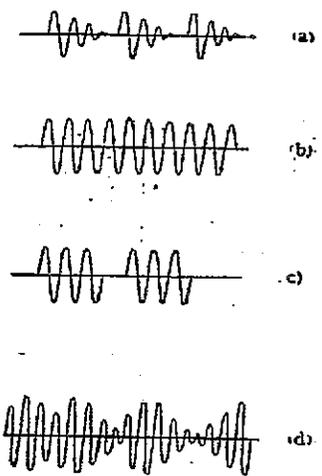
五、三極真空管 (three-electrode vacuum tube)

上述各式發射機內，以火花式之發明與應用爲最早。十五年前各電台所用發射機皆爲此式。然以效率太小，發電距離不遠，及他種弊病，已漸歸淘汰。(一九二七年華府國際無線電會議，限制於去年(一九三〇)始火花式發射機絕對禁止使用。)弧光式多用於越洋大電台之通信，電力

強大機件複雜。亞力山大孫氏高週率交流發電機及哥德士密氏交流發電機，電力均極強大。全世界應用之電台甚少。惟有第五種三極真空管，自最近數年內發達甚速。最初僅用爲檢波及放大器。厥後始發明應用爲高週率電流發電之用。應用範圍漸次擴大，而年進日盛。至今廣播電台所用之發音機，均爲三極真空管。其餘船隻海陸電台，亦漸採用此管，以代舊時火花式機器。強力真空管 (power tubes) 之製造，及短波真空管發報機，亦已漸次發達。他日越洋大台之全行改用此管指顧間耳。是以三極真空管之發明，不啻將無線電收發機根本改變。且波之由長而短，亦將無線電機大加簡單。加以此管能應用爲檢波器，放大器，有線電話，及他種應用，其重要蓋可想見。

無線電波之種類 無線電交通之成功，乃由發射電波得來，而所用無線電波，種類頗多不同。昔日商船所用無線電報，發射波浪爲減幅波 (damped waves)。例如第二十圖 (a) 所示。是種發射機於電鍵按下時，散射斷續之波羣，每羣電波，其波幅逐漸減縮，故以此名。普通每秒鐘約一千波羣。電碼之點，平均佔時十分之一秒。電碼之劃，平均佔時十分之三秒，於是每點爲一百波羣，每劃爲三百波羣。每羣電波在次羣起始之前早已消滅。減幅波電報得自火花式發射機，故又名火花式無線

電報 (spark-radio telegraphy) 是為第一種電波。第二種電波乃真空管弧光及高週率發電機所發出之等幅波或稱不減幅波 (undamped waves) 如第三十圖 (b) 所示。其波幅保持常度而不減縮。在電鑰按下時，電波連續不斷，不若減幅波



第三十圖

之斷續成羣。設其週率為五百基羅週，於是電碼每劃將佔十五萬週，每點將佔五萬週。故又稱為連續無線電報 (continuous waves or C.W. radio-telegraphy) 第三種無線電波，謂之斷續等幅波 (interrupted continuous wave or I.C.W. radio-telegraphy)。此種波式如第三

十圖 (c) 所示。電碼每劃每羣，包含一羣之斷續等幅波，故以此得名。若每秒鐘為五百羣，則電碼每劃將佔一百五十羣，每點將佔五十羣。此種波浪，頗似減幅波，所異者，其波幅並不漸次遞減耳。

無線電交通之波浪，為第四種電波，式如第三十圖 (d)。高週率電源在發射時，永久接至天線

而發射電波，特其電波振幅之大小全依言語音樂聲浪方式而變化，所謂語言調幅波（voice modulated wave）者是也。

天線 無線電發射機，既發出波浪之後，必有一媒介或中間物，使此波浪發射於空間中。在收報台檢波或擴波之先，亦必有一媒介或中間物，藉以吸收無線電波浪。此種媒介物，即為天線（antenna）。天線最初建築均在戶外天空。因之得名。天線之結構方式甚多，要皆為數根金屬線高架於空中，與其所支持之絕緣物建築，越洋強力無線電台之天線，有高至八百呎，長至數千呎者。弱小之發電台高度，亦多在數十呎以外。若專為收電之用，則天線可以較低而短。最近接收機益加精細，有以極小之線圈天線（loop antenna）以代高架之天線，能受電音至三四千哩以外。是戶外天線已非接收台所必不可缺之物矣。

發射機之要部 無線電發射機，不論其為減幅波或等幅波，其機件線路之主要部份，可分四部。（一）電能力或電工率供給（electric energy or power supply），即使用該機之能力所自，或為直流或為交流。凡該部設備或線路均屬之。（二）高週率交流電發生線路（the radio frequency

generating circuits)由此直流或低週率交流方可減為高週率交流預備為放射之用。(三)放射線路或天線線路 (the radiating or antenna circuit) 振盪能力由此發射藉電磁波以及於四方。(四)電鑰設備 (the keying system) 所以使發射波浪信號之規則以斷續或簡如一鑰或繁複合線路視發射機方式及工率而定。在無線電話發射機此電鑰設備即易而為調幅設備 (the modulating system) 使振盪電波之振幅依音樂或語言振動規則而變化。

接收機之要部 無線電接收機方式繁多而其主要之部份不出下列六部。(一)天線其用途為吸收空間電波。(二)引線 (lead-in wire) 此線為通天線入屋內所用引入極微弱之電流入接收器其阻耗愈小愈妙。(三)地線 (ground) 此線為自天線經過接收機後入地之銜接宜接在自來水管或特備金屬長管鐵板或全埋於濕泥中。四一種調合及變換波長之設備使其本體波長隨意變易隨意接收任何空中遠來電波。此器大概包含磁感應圈及變電器等。(五)檢波器 (detector) 使極高週率之電波變成低週率之電波低週率電波者乃電波之週率極低使人耳可聽。因人耳可聽之週率有限過高過低者不能聽聞。(六)電話聽筒 (telephone) 或放音器 (loud speaker) 所以使低週

率之電波，變爲低週率之機械振盪，擊入耳鼓，供人聽聞之用。

電磁波之放射與推進 商用電力，尋常均以導線傳達。此等導線大可傳導萬千基羅瓦特之工率於百數十哩之外。如大電力廠之輸送巨量工率，或小則傳導不到一瓦特之工率於數千哩之遙，如海底電纜。兩者其導線限制能力於導線本體而引導之以進行。所用週率頗低，例如海底電纜週率約爲每秒鐘十五週。強力電廠之傳導週率約二十五或六十週，長途電話線或用至每秒鐘三千週爲限。用此等週率以傳導電工率，電能率發出若干，實際上幾全數達到接收地點，雖因導線發熱而損失，但究爲少數也。但若以週率大加增高，情形大異。電能力之一部，將自導體軼出而散射空間，永不回復至本線路之內。此種電能力，謂之放射能力 (radiated energy)。其電工率，謂之放射工率 (radiated power)。自離去導線以後，電能力即在空間向各方放射。有如光波之自燈放射音樂之自樂器散射，日光之自日放射者然。實則任何導線有交流電流動其中，必有一部份能力放射於外。願於尋常週率及電路中，此能力至爲微薄，不易測驗。然設增加週率，電流不變，放射能力隨之遞增甚速，直至週率至百萬週以上，放射能力之多，可使遠處檢收之。實驗證明若電流保持原值不

變，放射能力與週率之二次方成正比例。反之若週率不變原值，而增減其電流，各人亦可以試驗證明，放射能力與電流之二次方，亦成正比例。若以公式表之

$$P_r = KI^2f^2$$

公式內 P_r 爲放射電工率單位爲瓦特， I 爲電流單位爲安培， f 爲週率單位爲每秒鐘週數。 K 爲一常數視線路方式大小而定。

無線電波既自發射天線放射以後，即向空間推進，其強度隨距離遞減，最初甚速，厥後稍緩。其現象頗似磚石之投入水面。當磚石投入水以後，浪花四濺，波浪逐漸半徑式向外張大。波之圓周愈大，波之高波（代表波之強度）於焉漸低。無線電波浪亦然。但尚有一原因，水波所無者，即無線電波漸次推進，一部份能力損失於地球表面，樹林房屋以及一切路線中之障礙物。氣候時間，海面陸地，又有影響。因其原因之複雜，故信號強度與距離究成若何之關係非一二簡單公式所能表示。此種電波強度，因距離而轉弱之現象謂之衰減現象（attenuation）。其他涉及能力放射等問題，學者可參考專論無線電學之書。

無線電交通之障礙 無線電交通日常所遇之障礙，不外下列三種（一）他家電台之騷擾

（二）天電（三）衰落現象。請分述之如下：

隨時隨地吾人在接收機中，可聞無數電台之音訊。欲選擇某台而避免他台之干擾，各台之波長，須有一最低限度之差（美國法律限制廣播台波長至少為十基羅週之波長，以免互擾）。若波長相差太微，擾亂必甚。然若電波之銳鈍各異，或用定向發射（directional transmission）則雖波長相同，干擾可免。是在設計者知所從事耳。

無線電交通所受騷擾，要以天電（static）為最。天電之原因不一，大概由於接收台附近天空大氣電位之變化，或靜電之放電，如雷電等，間接或直接感應，及接收天線發生強迫振盪以生極不規則之煩雜聲響，或如擊石，或如蟲鳴，最無一定。天電冬日較弱，夏日為烈，溫帶較微，熱帶為強。無非因大氣中靜電狀態所致。避除天電方法殊多，而有效者少。即不能免，能將音訊與騷擾比率（signal to interference ratio）提高，接收因易，已屬佳事。近來短波發報盛行，天電騷擾大減，因天電性質近於長波，故長波接收易遭天電之擾，而短波則否。真空管放大器應用漸廣，接收天線改用線圈天線

或戶外天線之短而低者天電已不復如昔日之可畏矣。

衰落現象 (Fading) 亦爲無線電收發障礙之一，其劇烈或不如天電，而非人力所能控制，始又過之。例如於收發進行中，收發各台之電力設備，配置以及一切情形如常，而接收方面之音訊忽高忽低，有時竟低至不能聽錄，其高低變化斷續之時間或長至一二小時短至數分鐘或數秒鐘久暫至無一律。此種現象謂之衰落。衰落現象最著於波長四百米突以下各短波長。故廣播電音受影響甚烈，發報近地衰落不顯，在距離發報台一二百哩以外，其原因雖未全明，大部可歸之於空間空氣分子離子化程度 (degree of ionization of air) 及海氏層 (Heaviside Layer) 之升降。短波通訊漸加普遍，衰落現象之研究雖爲有據，其水落石出之日決非遙遠矣。

無線電通訊距離與電工率 無線電收發交通，究能達若干距離，往往爲不易斷定之問題，因各種原因之影響於距離者甚多，不易確定，其最顯著之原因足以增減無線電通信之距離者，則如發射機及接收機之種類，一年中之月季，一日中之時間，及該時之天氣，以及其他附因等。例如夜間以此接收機可接千哩以外之電音，而以此同一接收機往往日間止能收二百哩，日間交通距離之

縮短，因日光有電離空氣之作用，電波能力爲之吸收之故。夏日大氣中，天電騷擾甚劇，植物茂盛，電波能力，略被吸收，無線電交通常爲之減少距離。當雷雨交作時，交通全行阻斷。因天電在接收機聽筒中，發生繁亂雜聲。所有交通電音，全被混雜。雖用放大器，亦不克奏效。放大器固將電音放大，而天電亦同時放大，其混亂不能聞，仍如故也。在雷電交作時，不特不能接收電音，且有觸電之險。故一至雷電之時，凡有接收機者，須妥將天線直接至地。果有雷擊，電即直流下地，不致傷及機器人命。凡有接收機者，當注意之。春秋二季，天電較少，無線電通信距離，因而較遠。冬日則天電絕無，無線電音，距離既增，而音調亦更清晰。故就享受無線電廣播娛樂而言，以冬日爲最佳。

無線電交通所需要之電工率，自視距離遠近而異，而收報收音地點之天電之劇烈與否亦至有關係。世界各地有得每米突二毫伏（無線電信號強度，以每米突若干伏爲標準）之信號強度，已可接收滿意，有則雖得每米突五百毫伏之信號強度，尙不足以敵天電之騷擾。試將現代無線電交通實況舉之，最足以資借鑑。歐美間越大西洋無線電報通信應用強力低週率電台。最大電台之十二台，其發射週率均在十五至廿五基羅週之間，其天線輸進工率，自一百至五百基羅瓦特，通信

距離漸自三千至六千哩，天線之高度自一百至三百米突，天線電流自二百至六百安培，其概況如此。此等強力大電台，爲試驗其常用之波長與短波長傳導效率之比較，同時將其信號發射於短波。似覺於半週地球之長距離通信，長波不如短波之適宜。小工率自五至五十基羅瓦特，短波長高週率如二萬基羅週以上，已證明比較可靠，故目今國際間長距離之無線電交通，莫不趨向此途。

廣播無線電台情形，又稍不同。每一電台之發射工率與週率，俱爲政府所規定。廣播週率限定在五百至一千五百基羅週之間，其工率核定不准逾數個基羅瓦特以外。如純爲試驗之用，自當別論。欲聽收此等廣播電音於千哩以外，雖常有之於冬季夜間，而此等電台發射之可靠距離，不論冬夏日夜，祇及百哩。學者須知用同量工率於同時同天線，其可靠通信距離電報當比電話有數倍之多。無線電接收滿意與否似爲廣漠難有標準，而用尋常廣播收音機，接收五基羅瓦特電台之播音，其可靠距離，不能在百哩以外，則爲無線電工程界所公認之事實。美國政府當局曾將廣播電台之工率與距離之關係列成一表，是表爲經無數試驗平均之結果。表中工率爲天線輸送工率，距離爲可靠滿意交通之哩數。

工率(瓦特)	五〇	五〇〇	五〇〇〇	五〇〇〇〇
距離(哩)	一〇	三〇	一〇〇	三〇〇

上表所示極為謹飭，蓋按照該表美國大多數收音者處於最近電台百哩以外於收音將得極不利地位。實際情形固不然，但為設計着想，上列關係，在安全方面也。

短波無線電 無線電交通通行以來凡三十載，而在一九二四年以前，所用波長均在二百米突以上。其時率以為二百米突以下波長，在地面上推進，能力被吸收太巨，不適用於長途通信之用，而特劃為業餘者試驗之需，固未料其有任何實際價值也。不圖一九二四年以後復經業餘羣衆之合作，竟以之於小電工率之下，成功長距離之通訊，數年之間波長愈趨愈短，自二百米突以降，漸至一百米突左右，後又低至八十，四十，二十米突，至今則五米突之通信，已告成功。國際間長途通訊，除原有長波外均輔以短波。一九二六至一九二八年，我國國民革命軍興，軍用通信，短波無線電，屢獻奇功，今則商用短波無線電台已遍全國，短波無線電發展之迅速與重要蓋可見矣。

原短波無線電與長波無線電在學理上，本無基本懸殊。適用於長波之理論及應用大都仍適

用於短波。其差異者，短波在空間之推進，所憑藉以達彼岸者，與長波似有不同，以及收發機件，因波長太低，即週率太高，需要更精密，更周到之機件及線路之佈置耳。

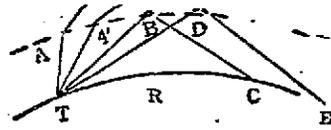
短波與長波無線電交通之比較 短波無線電在長距離短距離固定或移動業務在在有起而代長波之勢，其特長之點有下列數點？

(甲)短波收發機構造簡單 波長既短週率自高，在往時頗難措手，今則應用真空管產生極高週率之振盪電流，頗為易易。真空管發報機，本較他種發報機為簡單。若波長減短，則所用磁感圈電容器更可減小，蓋波長常與電容量及磁感量之平方根成正比例也。天線組織又較簡單，大抵用極短而少數之導線架於適中之高度，已堪應用，不若長波機所用天線長達數百呎高架於鐵塔之上，其建築所費動輒巨萬者可比。短波接收機，亦較長波接收機為簡單。以檢波管一座低週率放大管二座已足收千餘哩外之電訊，高週率放大器及其他一切複雜線路均不需用之亦未必能增高音訊，反加損失而多干擾。接收天線可張於室內地線可不必用，其便捷可知。

(乙)接收之干擾較少 接收機中欲免除干擾則利用週率之諧振現象週率與波長之關係

外。夕陽之後，千哩之內或不能聞，即聞或以微弱不能聽錄，而數千哩外反可聞其信號。由是以觀，短波通信在適當情形之下，可用極小電工率，而達極遠距離。惟欲得此種結果，須將波長、時間及地點配置得當。據一般學者意見，短波之所以能達遠者，似由於天空上層之海氏層反射。此層之組織，與其厚薄及高度，視日光情形而定。而反射之角度又與波長有關，故距離因異，是以波長時間與地點三者，實有聯帶關係在也。近三四年來，新建長距離國際通信之多趨於二十至五十基羅瓦特之短波無線電，不為無因也。

短波之推進 上文所述長波之推進係利用電波之沿地面前進之一部。該部可稱為電波之地面分力 (Ground component)。若用短波，則因週率之高，此地面分力被地面吸收能力甚速，故未及遠處已經微弱，不利於接收。是以如第三十一圖發報台 W 所發之電波，至 R 地點，已衰弱至不能辨，但電波之向天空直射之一部份，謂之天空分力 (sky component)，其能力不易損失，直擊上述之海氏層。海氏層既為半導體，有反射電波之可能（電波與光波性質類似，光波可反射，電波亦然。）從光學試驗，吾人知欲得光波之反射完善，必使此反射表面面積，與光之波長比較為大。例如尋常



第三十一圖

被鏡反射甚清，若用小鏡，狹至○·○一公分闊之鏡面，反射結果異常模糊。海氏層為反射表面，其面積非收發報機所能控制，其反射能力，當然短波較長波為佳。是以長波雖能及遠，而以反射不佳，反不如短波矣。

第三十一圖發報台T發出電波之天空分力A及A'等，因直射之結果，深進海氏層，略改速度永不返還，能力消耗於無窮。但如B則反射至C，電音至是復強。RC一段距離，地面分力早已消滅而反射之天空分力尚未能及，電音遂杳。故名為越程(skip distance)。意謂電波在該距離內，幾如越躍而過也。OE一段距離甚強。至

如電波分力D反射至E掠地面而過復入空際，作第二次之反射，如是者可數次，直至能力消耗淨盡而止。

地面分力所及最遠之距離如TR，及越程RC均與波長有關係，前者與波長同增，後者增減相反。易言之，長波長地面分力所及甚遠，越程反短。短波長地面分力所及甚近，越程反長。是以在某一波長時地面分力所及過遠越程已不存在，在此TR及OE互相籠罩之境界中，可同時接收直射(Direct)。

波及反射 (reflected) 波。此二分力所經之路程，既不同到達收報台時或爲合相 (in phase) 或不合相 (out of phase)。合相則電音甚強，不合相則電音甚弱，或竟寂然。電訊之在相近兩地，一強一弱者，莫非由此。

反射電波之現象，除上述之波長外，尙與此海氏層之高度有深切之關係。緣此海氏層之高度並無一定，隨時隨地，常有變化。在每日晝間，因日光強烈，此使空氣游子化之放射，深入空氣，海氏層離地最近。在深夜則日光已無，卽有或自月反射所得，游子化之空氣較少，海氏層離地最遠，所稱一百哩者，約爲平均高度而已。是以利用短波反射分力之通訊距離，夜間較白晝爲遠。晝夜晦明變化之交，空氣游子化之程度，忽深忽淺，海氏層遂亦忽高忽低。電訊強烈或寂杳之區域，亦游移不定，是以欲得短波交通之最高業務，非將距離時間與波長三者，妥爲配置不可。不特此也，海氏層與下層空氣之相交處亦非一絕對平面或圓球面，常爲風雲及大氣中種種現象所影響，而發生恆久而無規則之變化。間接及於接收音訊之強度。若爲近處爲直射波及反射波並及之地，尤爲顯著。此種因電波在空間推進情形而發生接收音訊強度劇烈而無規則之變化，號稱「衰落」者久爲科學家

之謎，而今於短波推進理論方得之。

無線電話及其他 無線電報以外，藉電波以交通者尚有無線電話，無線電照相，及無線電傳形。在根本原理上俱無大異。電波放射之斷續及強弱，則按言語或音樂而進行者，即成無線電話。按光之強弱屈折而進行者，即成無線電照相，及傳形。所異者多一調幅階級耳。其餘如有聲電影，長途電話之中繼器 (repeater) 等，均應用真空管，其原理與無線電報電話，均有相同之點，讀者於明瞭根基學說以後，不難觸類而旁通也。

電視 與無線電輸送，相得而益彰，在電信工程中另闢一新世界者，厥為甚器塵上之電視學。吾人於寓言野談之中常見有所謂千里眼者，能隨心所欲，遠視一切事物。昔之科學家以為此種傳說畢竟寓言野談而已，孰料其時至今日竟能成爲事實乎。最初科學家僅有設法用電力傳送照相與圖畫之幻想，積經年累月之努力，其幻想卒被實現，是爲電傳照相 (telephotography) 至今不僅電傳照相而已，卽一地之人物影像亦可立即攝取而送之遠地，是爲電視 (television)——意卽千里眼也。將來以活動戲劇廣播全球亦止差一筭之功耳，電學之神奇誠足以令人驚嘆矣。

電視與電傳照相之原理相同。所視物或所傳照相之色彩深淺須變之爲電流之或強或弱。此或強或弱之電力，或藉電話線或藉無線電波，傳諸目的地，再用方法還原爲色彩深淺之光線，使得原有物之真像。近世電視制度中之要點，首須將所傳物像，用適宜之光線照耀之。光線由物像反射達於感光電池 (photo-electric cell)。此反射於感光電池之光線，僅所傳物像之一點耳。倘以光線移動，有若吾人讀書時眼球之行動，一行復一行，依次將全頁看盡，則亦可將全圖色彩，依次反射於感光電池。是以感光電池，卽受到連續變化之反射光線。以此連續變化之光線，譯爲連續變化之電流。蓋感光電池之內壁，塗有鹼鹽類之化合物（如鉀、鈉、鎂等）是爲陰極；另有一個陽極。此種鹼鹽類之氯化物，一遇光線，卽能放射電子。光線愈強，電子愈多。是以強弱不等之光線，照於感光電池之陰極，卽使陰極面放出電子，或多或少。因此電流卽或強或弱，悉如光線之強弱。電視之成功，悉賴有此。然如此得來電流之變化，至爲微弱，須賴擴大器擴大之。所用擴大器，與無線電中之三極真空管擴大器相同。以上擴大之電流，或藉電話線，或藉無線電波，傳諸遠地。在接收物像之處，當再用擴大器擴爲適宜之強度，以之通過一種氖氣輝燈 (neon glow lamp)。此種氖氣輝燈之性質，與陰極管

(cathode tube) 相似，係一種真空管。當電流在管內陰陽兩極間通過時，即發出一種光輝。此種光輝，隨電流之強弱而變化。其變化至靈且速，一秒鐘中可有十萬次。是以強弱變化之電流，可以藉此重復譯成強弱變化之光線。最後一步手續只須倒行第一步攝取物像之手續足已。將氙氣燈所射之光線在幕上（或照相乾片上）移動，一行復一行，即可將原有物像依樣傳出。不過移動之速度，電視與電傳照相不同。人眼之視物在 $\frac{1}{16}$ 秒鐘（或 $\frac{1}{15}$ 秒鐘）內之變化不能辨其斷續與否，反言之，變化之速度達十分之一秒鐘，即足以演成連續的活動影像。此影戲之理也。故光線在幕上移動，倘能極快，在十分之一秒鐘內，演完一幅物像，則吾人對幕望去，即見有隔地之物像現於幕上，是為電視。然此種極快之傳形，須賴發送方面，極快之攝取，與接收方面，極快之映演。自氙氣燈發明以後，此題即可解決，將來不僅電視而已，倘速度進步，電視活動戲劇亦非難事也。

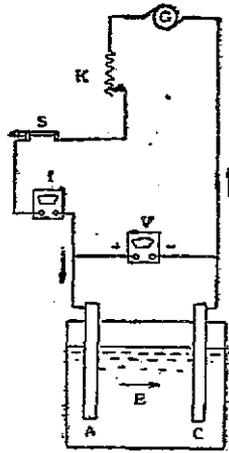
由上述電視之各要點觀之，有數事為電視中不可不注意者。一為變譯之真確。從前由光線變譯為電流之一步工作曾用硒池 (selenium cell) 為之，所得結果，不免有牽強之弊不能逼真，且攝取愈快，變化愈速牽強亦愈甚。自發明感光電池以後，此層即可無虞，此電視史中一大成功也。其次

攝取由物像反射之光線，亦當具相當之速度，現用旋轉有洞圓盤之方法，功效頗佳。在映射方面亦然則用陰極線示波器 (cathode ray oscillograph) 亦著成效。在數示擴大之中，亦使注意其勿趨牽強。最後將電流之變化譯成光線之變化，又賴有氬氣燈之成功，已如上述。惟接收處映演之速度，尤當與發送方面攝取之速度相等且須同起同止，然後所得影像方能真確。速度不宜之結果，圖像有扭歪模糊之情形。格正速度謂之整期 (synchronizing)。整期者，乃電視學中重要問題之一也。

關於電視及電傳照相之大要，已如上述。關於其詳細之組織原理，非本章所能備述。況其進步甚速，日新而月異，今日所視為新穎者，翌年即認為陳腐。故在此有限之篇幅內，勢必掛一漏萬，只能略及其大概而已。至論電視學將來之希望與應用，不遑枚舉。就我國情形而論，倘電傳照相之費用能減低，已極足以改良電政。蓋我國文字繁多，現在送發電報，以字碼拼成文字，寫譯均感不便。倘採用電傳照相法，則不惟免逐譯之煩，復可作真偽之辨，其利益豈不溥哉。

第十二章 電化工業

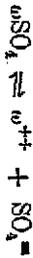
電解池及其應用 第三十二圖為電解池(electrolytic cell)之圖。A及C均為電極，其中A為



第三十二圖

陽極(anode)，C為陰極(cathode)，其浸於電解液E內，G為供給電流之發電機，其電壓約自三弗打至六弗打，S為電鍵，R為調節電流之電阻，I為測電流之安培表，V為測電壓之弗打表。今電流自陽極進電解池，自陰極出電解池，則池內

即起電解作用；假定所用之電解液為硫酸銅，而電極係銅質，則硫酸銅在溶液內分離成陽游子(cation)及陰游子(anion)可以方程式表示之如下：



陽游子 Cu^{++} 被陰極所攝，附着於陰極，而其所載之陽電荷與陰極之陰電荷即相消；同時液內之

陰游子 SO_4 被陽極所攝，其所載之陰電荷與陽極之陽電荷相消，而 SO_4 游子與陽極之銅相化合成為硫酸銅，復入電解液內。故電解作用進行時，電解液內之銅成分繼續析出，附着於陰極之上，同時陽極之銅質繼續溶入電解液內，以補償所失之銅。此類之電解池在工業上應用頗廣，今略述其重要者如下：

(1) 金屬之精鍊 (refining of metals) 為應用電解池之工業，其中以鍊銅為最著。電機工程所需之銅，品質須極純淨，若稍含雜質，導電率即大減。純銅天然出產者極少，欲藉人力提鍊，舍電解池外實無他法。鍊銅之電解池，以粗製銅作陽極，而得純銅於陰極。電解池內之硫酸銅失於陰極之成分，即取償於陽極，故能常保一定之濃度。凡陽極銅所含雜質，皆隨銅而入於電解液中，但不能積集於陰極，故雜質若金銀等質即沉於電解槽之底，而砷鐵等質則留於電解液內，若電解液內雜質積聚過多，即須換新，而沉於槽底之金銀，則為鍊銅工業之重要副產品也。

(2) 電鍍術 (electroplating) 亦為應用電解池之工業，係以被鍍物作陰極，而以電鍍材料作陽極。例如以銅器鍍鎳時，以銅器作陰極，以粗製鎳作陽極，以硫酸鎳與硫酸銨之複鹽 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 之溶液為電解液是也。普通電鍍之目的在增進美觀，及防護銹壞。常用者為鍍金、鍍銀、鍍鎳、鍍鋅及鍍銅。電鍍術雖似簡單，而欲求成績佳美，亦非易事。在技術不精者所鍍之金屬，每甚粗糙，或有皺紋如樹皮。欲鍍成堅密光滑之金屬面，須對於電解液之成分、濃度及電流之強弱，電鍍時之溫度，一一加以注意。電解液中往往有加入葡萄糖 (Glucose) 及骨膠 (Gelatin) 等物質，以改良所鍍金屬之性質者。

(三) 電鍍術 (electrotyping) 對於印刷術貢獻頗大。係先以不傳電之膏狀物質，若蠟或馬來樹膠 (Eula percha) 製成模，其面上塗石墨使能導電，乃懸於鍍銅槽內，作為陰極，另以銅片作陽極，以硫酸銅溶液作電解液。待模面已鍍有適當厚度之銅質一層後，乃自槽內取出，使銅層與模脫離，在此銅層下，更填鑄以金屬，使堅固；如此鑄成銅模，可長久保存不壞也。

食鹽之電解 食鹽在溶液內分解成陽游子陰游子，如下列方程式所示：

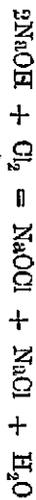


此電解液內若置碳柱二枚，作為電極，而由外界輸入電流，陰游子 Cl^- 即被陽極所攝，在陽極處

化爲氫氣泡，陽游子 Na^+ 被陰極所攝，在陰極處成爲金屬之鈉，鈉與電解液之水接觸，起化學作用，如下列方程式所示：



結果成氫氣及氫氯化鈉，由陽極逃逸之氯氣，與液內之氫氯化鈉接觸，即化合而成次亞氯酸鈉 (sodium hypochlorite) 如下列方程式所示：



次亞氯酸鈉爲漂白之良劑。

若食鹽電解時能設法使氫氣不與氫氯化鈉接觸，則可得氫氣與氫氯化鈉二物。此二者在工業上皆有大用。使氫氣與氫氯化鈉隔離之法有數種。其中以卡斯特涅刻爾涅法 (Caster-Kellner Process) 爲最舊而有效。法用一槽，分爲三室，槽底置錘，能流動於三室之間，錘之上面，在中央一室內盛淨水，在左右二室內盛食鹽溶液。水與食鹽溶液因有室壁隔開，不相混。置陰極一枚於中央室內。置陽極二枚於左右二室。氫氣由陽極逃逸，自左右二室內導出。乃壓縮成液體，盛於鐵筒內；或吸

收於石灰內成爲漂白粉。電解發生之鈉，被銻所溶，因槽之擺動，流入中央室內，與水接觸，化合成氫氯化鈉。

熔融電解質之電解 在平常溫度時爲固體之化學品，受熱熔融後，大多具有電解液之性質，其導電率與水溶液相彷彿。此種熔融電解質內，若有電流經過，亦起電解，一如水溶液之受電解然。多種金屬如鈉、鈣、鎂等，易與水起化學作用，而不能由水溶液之電解而得者，可自熔融液之電解而得之。

受高熱熔融之鹽食，在電解時，分解爲氫氣與鈉二物。氫氣自陽極逃逸，金屬之鈉則成液體，而集於陰極，但在食鹽熔融之高溫度，氫氣之性質甚活潑，易侵蝕他物，製造上之實際困難甚多。故食鹽雖係價最廉之鈉化合物，然金屬之鈉多由電解氫氯化鈉而得，因其熔融點較食鹽爲低也。（普通略含雜質之氫氯化鈉，約在攝氏三百度時熔融。）

鋁爲世界上最豐饒原質之一種，但昔時因未諳提煉之法，故認爲珍奇物品。自電解得鋁之法發明後，今日此物已成普通日用之金屬矣。考鋁之存在，多在黏土內，今日化學家尙未有由黏土提

鋁之法，然能自熔融之水礬土礦 (bauxite) 卽氟化鋁礦以電解得之。水礬土礦內之不良雜質，若鐵、矽、鎳等，必先設法除去。鍊鋁之電解池爲長約六英尺，闊約三英尺，深約三英尺之鐵箱。內襯礬層，爲陰極。陽極爲三英寸直徑之礬柱四五十根所成。箱內除置有氟化鋁 (Al_2O_3) 外，尙置有氟化鈣 (CaF_2) 及氟化鋁 (AlF_3) 等物。但受電流之分解者，祇氟化鋁一物，其他氟化鈣等，僅有溶劑之作用，不起分解也。此式電解池約需電流一萬安培，電壓五·五弗打。當電流通過池內時，有金屬之鋁自陰極析出，作液體狀留於箱底。待積聚至相當之量，乃開箱底之孔以排出之。陽極處有氟氣逸散。氟氣在高溫度時與陽極礬柱起化學作用，發生一氟化礬氣，升至池面，再與空氣接觸，經燃燒而成二氟化礬氣，散入大氣中，故陽極之耗損頗速。

電熔爐 變電能爲熱能者在目用上，有煮飪之電灶，取暖之電爐，燙衣之電熨斗等。其溫度得於電流在導體內受電阻可發生之熱，皆不甚高。至於電熔爐 (electric furnace) 則爲工業上所應用，其溫度之高，實爲他種方法所不及。人類自發明電熔爐後，昔時認爲不能熔融之物，今在此爐內非特不難使之化爲液體，且能使之化爲氣體，而數種特殊之工業，乃隨之而產生。測定電熔爐之最

高溫度，尙未有滿意之結果，大約在攝氏四千度上下。

實際應用之電熔爐，可別爲二類：曰電弧熔爐 (arc furnace)；曰電阻熔爐 (resistance furnace)。

電弧熔爐之主要部分與碳弧電燈極相似，惟其體積較大，而電弧四周有耐火牆包圍，以使熱勿散。其電壓較碳弧電燈略高，在五十弗打至一百弗打之間，電流自數十安培至數百安培不等。

電阻熔爐利用電流遇電阻發生熱之理，通常用碳塊或焦煤等爲電阻體。堆於陰陽兩極之間，電流經過其內，即受阻而生大熱。其周圍則堆置受熔之物質。普通二千馬力之電阻熔爐，約長三十英尺，在工作開始時，約需電壓二三〇弗打，電流六千安培；在工作將終時，約需電壓七十五弗打，電流二萬安培。

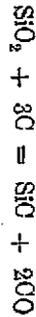
電熔爐在工業上應用處甚多，今舉其重要者如下：

(一) 碳化鈣之製造 以石灰與焦煤或無烟煤相混，置於電弧熔爐內，受熱化生碳化鈣 (calcium carbide)，其作用可以方程式表示之如下：



碳化鈣即俗稱之電石。遇水發生二碳炔(acetylene)可供燃燒發光之用。

(二)人造金剛砂 在電阻熔爐內堆置混合之砂砂(silica sand)與焦煤，或無烟煤於中央。礫心電阻體之周圍，通過電流時，發生化學作用，而得人造金剛砂(carborundum)可以方程式表示之如下。



人造金剛砂之硬度僅略次於金剛石，在工業上甚為有用。

(三)人造鋼玉砂 人造鋼玉砂(alundum)為熔融水礬土礫於電弧熔爐內而得，其硬度亦高，與人造金剛砂相仿。

(四)石墨 製造石墨(Graphite)亦用電阻熔爐，與製造人造金剛砂之熔爐相似。在礫心電阻體之周圍，堆積無烟煤粉，經二十四小時，待冷，即可取出石墨。石墨柱為電解工業及電熔爐所需，故石墨往往製成筒或圓柱以供應用。法為先以礫粉與瀝青混和，塑成所需形狀，於他爐內加熱，使瀝青化去。後堆置電阻熔爐之兩極間，以礫塊或石墨粉在其周圍填緊，通電，經適當時間後，即得緊

密之石墨柱。

(五) 二硫化碳 二硫化碳(carbon bisulphide)爲工業上之一種緊要藥品，今可以電阻熔爐大量製造之。製造二硫化碳之電阻熔爐，係以焦煤或石墨碎塊爲電阻體。將硫及碳分別加入爐內，製成之二硫化碳，成爲氣體自爐頂出。

(六) 鋼鐵 電熔爐亦可應用於鋼鐵工業，其用有四：

(甲) 直接自鐵礦煉生鐵或鋼；

(乙) 自生鐵煉鋼；

(丙) 以電熔爐煉鋼法代坩鍋煉鋼法；

(丁) 供鍛鐵或軋鐵之工作。

藉電熔爐煉得之鋼，品質絕佳，惜價略昂。目今電熔爐在煉鋼工業上雖尚未佔重要位置，但其前途未可限量也。

電弧鑲接術 電弧之溫度，高約至攝氏四千度，故用以切割及鑲接金屬，甚爲合宜。自電弧鑲

接術 (arc welding) 發明以來，機器之製造與修理，咸加便利。昔之用錐釘 (rivet) 接合者，今漸改用電弧鑲接矣。例如最近德國所造一萬噸巡洋艦名謝爾大將者，卽以鑲接法代錐釘法，藉此節省艦身重量約五百噸之巨也。行電弧鑲接術時恆以被接之物作爲陽極，因陽極之溫度高於陰極也。其陰極由工作者以缺持之，係金屬細棒一根，此棒受熱熔融，卽填於接合之處；但亦有以碳柱爲陰極，而另以金屬細棒持就電弧之熱者，大抵行鑲接時，以金屬細棒爲陰極者居多，而行切割金屬板等時，則多以碳柱爲陰極也。

行電弧鑲接術時，應用之器械，大抵爲供給電流之電動發電機組一座，（電弧之電壓約二十五弗打）；調節電流之變阻器一個，電鎗板一個，載有應用之量電表，各種控管及保護器械；鉗持陰極之缺一個。又多在電路內加入一種電抗體，名曰穩定器 (ballister)。如許器械亦有載於一座便於拖行之四輪車上，能任意拖往各處工作者，甚便利也。

中華民國二十三年五月初版

(61410)

工學叢書 電機工程概論一冊

每冊定價大洋肆角

外埠酌加運費函費

著者 陳 章

發行人 王 雲 五
上海河南路

印刷所 商務印書館
上海河南路

發行所 商務印書館
上海及各埠

版 權 所 有
翻 印 必 究

(本書校對者林韻民)

三五八一上

440

752900

(2)

