

增 訂 本

機 械 學

劉 仙 洲 著

商 務 印 書 館 發 行

機 械 學

劉仙洲著



商務印書館發行

中華民國十九年九月六日
中華民國二十一年十月
中華民國二十四年六月
國難後增訂第三版

機械學 一冊

(6473.2)

每冊定價大洋壹元
外埠酌加運費

作者 劉仙洲

發行者兼印刷者 商務印書館
上海河南路

發行所 商務印書館
上海及各埠

版權翻印必究

(本書校對者胡達聰)

增訂八版序

是書自民國十年十月出版後，已印至七版，且就銷售之情形察之，知每年有逐漸增加之勢。吾國中等工業教育之日見擴充，可以想見，惟書之內容，每覺有增刪之必要。因忙於課務，迄未如願。前接商務印書館來函，知第八版又將付印，遂急加以增訂。計刪去者，有「飛輪」及「磨阻」兩章。因「飛輪」一章，對於中等工業學生不甚適宜。「磨阻」一章，又屬於應用力學範圍。本書他章，並未加以應用也。增加者有「螺旋」，「摩擦輪」，「輪系」及「直線運動，平行運動與間歇運動」等四章。其餘各章，除「均衡法」一章未加改變外，亦均有增益。全書字數約增原書五分之二。插圖增加九十六幅，用為中等工業學校各科機械學之課本，似較原版更為適宜也。

劉仙洲，二十三，十，十，於國立清華大學工學院。

原 序

自歐戰告終，列強爭欲恢復其富力，因之國際間經濟之競爭，益形激烈。吾國人數衆多，天產饒富，尤爲經濟競爭之場。憂國之士，恐利權常此外溢，國將不國，必將聯袂而起，自興實業以爲抵制。故自今而後，吾國自辦之實業將有長足之進步，可無疑也。惟是各種實業，宜推工業爲最先，而工業之興，尤以人才爲最要。是工業教育之宜擴充，不待言矣。察吾國之工業教育，如大學之工科，及各省之工業專門，所授課程概用洋文，而各省之甲乙種工校，及其他關於工業之班次，則多苦於無書可採。當教授時，或由教師臨時繙譯，或使學生勉強筆記，至程度之適與不適，教材之宜與不宜，均無暇計及，其有礙於工業教育前途者甚鉅。鄙人於民國七年暑後，承母校校長王國光先生之招，使教授留法高工預備班，並兼直隸甲種工校課程。所有機械學、蒸汽機等科，徧詢坊間，無用中文出版者。若用洋文課本，學生又多感困難。遂搜集各書從事輯譯。凡一年有半而成。是編其蒸汽機、內燃機等，則須俟本年暑後方能脫稿。倘梓行以後，能於吾國工業教育前途少有裨益，則固鄙人所深望者也。

九，二，十，於保定育德中學校。

例 言

1. 是書程度,可供中等工業學校各科課本之用.
2. 全書約十萬言,共分十三章,插圖二百一十六幅,如每週教授兩小時,至少可供一學年之用.
3. 書中內容,多與拙編「機械原理」一書(商務印書館出版)互相銜接,教師講授時,如參考該書,必多補益.
4. 書中名詞較原版多有改訂,大體依照拙編「英漢機械工程名詞」一書(清華大學工學院出版).
5. 是書所搜集之材料,多出於下列數書:

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| (1) Elements of Mechanism. | Schwamb and Others. |
| (2) Mechanism. | R. M. Keown. |
| (3) The Theory of Machines. | R. F. McKay. |
| (4) Mechanism. | S. Dunkerley. |
| (5) Applied Mechanics. | D. A. Low. |
| (6) Applied Mechanics for Engineers. | J. Duncan. |
| (7) Practical Mechanics. | S. H. Wells. |
| (8) Statics and Dynamics. | S. L. Loney. |

編者附識

目 錄

第一章 緒 論

1. 運動	1
2. 動路	1
3. 動向	1
4. 速	1
5. 變位	2
6. 速率	2
7. 速率之單位	3
8. 用直線代表速率	3
9. 速率之合併與分解	3
10. 速率之平行四邊形律	4
11. 速率之三角形律	5
12. 速率之多邊形律	6
13. 一速率分解爲互相垂直二方向之二速率	7
14. 加速率	7
15. 等加速率運動公式	8
16. 角變位	10

17.	角速率	10
18.	角速率之單位.....	11
19.	一迴轉運動物體之角速率與其速率之關係.....	12
20.	同一迴轉物體上各點之速率	13
21.	質量與重量	13
22.	<u>牛敦氏</u> 運動第一定律	14
23.	運動量	14
24.	<u>牛敦氏</u> 運動第二定律	14
25.	<u>牛敦氏</u> 運動第三定律	15
26.	力之絕對單位.....	15
27.	力之重力單位.....	16
28.	重力單位與絕對單位之關係	16
29.	用直線代表力.....	17
30.	力之平行四邊形律	17
31.	力之三角形律.....	18
32.	力之多邊形律.....	19
33.	用畫法求多力結果力之法	20
34.	用算法求多力結果力之法	21
35.	向心加速率	22
36.	向心力與離心力	24
37.	工作.....	24
38.	工作之單位	24

39. 工率.....	25
40. 工率之單位.....	25
41. 能力.....	26
42. 能力之單位.....	26
43. 動能力.....	26
44. 位能力.....	27
習題.....	28

第二章 簡單機械

45. 機械.....	30
46. 原動部與從動部.....	30
47. 機架.....	30
48. 作力與抵力.....	30
49. 力比.....	31
50. 速比.....	31
51. 工作之定理.....	31
52. 機械效率.....	32
53. 槓桿.....	33
54. 滑車.....	34
55. 差動滑車.....	43
56. 輪軸.....	44
57. 螺旋起重機.....	47

58. 螺旋桿與螺旋輪	48
59. Morrie 氏起重機	50
60. 絞盤	52
習題	55

第三章 螺旋

61. 斜面	60
62. 螺旋線	61
63. 螺旋線之形狀	62
64. 單線與複線	63
65. 螺旋之導程與螺節	65
66. 每吋之線數	65
67. 右螺旋線與左螺旋線	66
68. 螺旋或螺旋母之速率對於迴轉柄上一點之速率 之關係	67
69. 複式螺旋或差動螺旋	68
習題	69

第四章 皮帶與皮帶輪

70. 皮帶之應用	72
71. 皮帶輪迴轉之方向	72
72. 皮帶輪迴轉之速率與其直徑之關係	73

73. 皮帶之厚度與滑動對於皮帶輪迴轉速率之關係.....	76
74. 上皮帶與退皮帶	77
75. 兩個交叉軸之皮帶	78
76. 不平行不交叉之兩軸之皮帶	79
77. 惰輪或側輪	79
78. 皮帶輪輪緣之形狀	80
79. 塔輪或階級輪.....	82
80. 變速圓錐	82
81. 定輪與遊輪	83
82. 皮帶上之牽力.....	84
83. 皮帶所傳達之馬力	85
84. 鋼帶.....	88
85. 皮帶之應力	88
習題.....	89

第五章 繩 輪

86. 繩輪上所用之繩	91
87. 繩在繩輪上纏繞之方法.....	91
88. 美國制與英國制利弊之比較	92
89. 繩輪周緣之形狀	93
90. 鋼絲繩之應用.....	94

91. 鋼絲繩之製法.....	94
-----------------	----

第六章 鏈 輪

92. 鏈輪之應用與其特點.....	96
93. 鏈之分類.....	97
94. 起重鏈.....	97
95. 運搬鏈.....	98
96. 傳達動力鏈.....	99
97. 塊狀鏈.....	99
98. 轉子鏈.....	100
99. 無聲鏈.....	100

第七章 摩 擦 輪

100. 摩擦輪與其特點.....	104
101. 摩擦輪需要之壓力.....	105
102. 摩擦輪所傳達之馬力.....	106
103. 兩圓柱形摩擦輪,外面接觸.....	106
104. 兩圓柱形摩擦輪,內面接觸.....	103
105. 兩截錐形摩擦輪,外面接觸.....	108
106. 兩截錐形摩擦輪,內面接觸.....	109
107. 平盤與轉子.....	109
103. 凹槽摩擦輪.....	110

習題	111
----------	-----

第八章 齒 輪

109 齒輪之應用	112
110. 齒輪各部之名稱	113
111 周節	114
112. 徑節與節數	114
113. 周節與節數之關係	115
114. 周節與模數之關係	115
115. 一對齒輪之速比	116
116. 作用角與作用弧	117
117. 接觸線	118
118. 傾斜角或壓力角	119
119. 直接傳動角速率之比	119
120. 齒輪之基本定律	120
121. 輪齒曲線	123
122. 圓之漸開線	123
123. 漸開線之畫法	123
124. 擺線,內擺線與外擺線	124
125. 擺線之畫法	125
126. 內外擺線之畫法	126
127. 漸開線齒合於齒輪基本定律之證明	127

128.	擺線齒合於齒輪基本定律之證明	128
129.	互換漸開線齒輪	129
130.	互換擺線齒輪	130
131.	階級輪	130
132.	扭轉齒輪	132
133.	人字齒輪或鯁骨輪	133
134.	針輪	133
135.	斜齒輪理論上之研究	135
136.	斜齒輪之速比	136
137.	螺旋桿與螺旋輪	137
138.	螺旋桿與螺旋輪之速比	138
	習題	138

第九章 輪 系

139.	輪系之定義	140
140.	輪系之值或齒系之速比	141
141.	單式輪系之值	141
142.	單式輪系用中輪之益	143
143.	複式輪系之值	145
144.	用複式輪系之益	146
145.	銑床上之輪系	147
146.	原動輪與從動輪在同心軸上	149

147. 時鐘上之輪系	150
148. 汽車上之輪系	151
習題	158

第十章 凸 輪

149. 凸輪之定義及其應用	155
150. 凸輪各部之名稱	156
151. 凸輪周緣之形狀對於側面壓力與傳動速率之 關係	156
152. 凸輪周緣之製定法	157
153. 確定運動凸輪	163
154. 圓柱形凸輪	163
155. 壓穿機上之凸輪	164
156. 煤氣機與油機上之凸輪	165
習題	166

第十一章 調 速 器

157. 調速器之功用	169
158. 調速器約束發動機所發作力之方法	169
159. 調速器所利用之力	170
160. 迴轉擺	171
161. 瓦特調速器	172

162.	荷重調速器	173
163.	Porter 調速器	174
164.	調速器上部兩桿連於中軸之方法	176
165.	彈簧約束式調速器	177
166.	自動調速器或軸裝調速器	178
167.	離心力軸裝調速器	180
168.	惰力軸裝調速器	180
	習題	182

第十二章 均衡法

169.	均衡之必要	183
170.	重量相當量	183
171.	用一迴轉物體使與別一迴轉物體均衡	184
172.	用一迴轉物體使與在[一平面內之多數迴轉物體 均]衡	184
173.	不均衡之車輪對於路上之壓力	185
174.	用兩個迴轉物體使與一迴轉物體均衡	185
175.	用一迴轉物體不能使在別一平面內之一迴轉物 體完全均衡	186
176.	離心力可由一平面移於別一平面	187
177.	多數迴轉物體不在一平面內之均衡法	188
178.	應加物體之重量或位置之求法	190

179.	直線運動各部之均衡法	192
180.	發動機完全均衡必要之條件.....	193
181.	用圓周運動物體使直線運動物體所生之震盪力 變換方向.....	193
182.	連桿重量之分配法.....	195
183.	均衡實例.....	196
	習題	197

第十三章 直線運動, 平行運動與間歇運動

184.	直線運動機構	199
185.	Peaucellier's 直線運動機構	199
186.	Scott-Russell's 直線運動機構	200
187.	Watt's 直線運動機構.....	202
188.	Robert's 近似直線運動機構.....	202
189.	由平行四邊形所得之平行運動	202
190.	通用畫圖機	204
191.	Watt's 直線運動機構與一平行四邊形機構之合 併	205
192.	Thompson 工作指示器上之直線運動.....	206
193.	Richard's 工作指示器上之直線運動機構.....	207
194.	閘輪	208
195.	多閘輪	209

196	Weston 閘輪	210
197	雙動閘輪.....	211
198	可逆閘	211
199	確定運動接合器	212
200	摩擦力接合器	213
	習題	214

機 械 學

第 一 章

緒 論

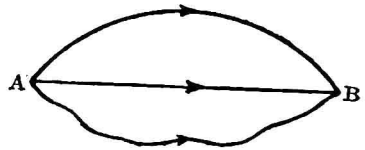
1. 運動 (Motion). 當甲物體對於乙物體有距離或方向之變更時,則稱甲物體對於乙物體發生運動.

2. 動路 (Path of Motion). 當一物體發生運動後連此物體繼續各位置所成之線,謂之此物體之動路.

3. 動向 (Direction of Motion). 如一物體沿一直線之動路運動,則此物體之動向即係沿其動路之直線.又向此線某一端之運動,若假定為正向,並用一(+)號表之,則向此線他一端之運動即應為負向,並用一(-)號表之.如一物體沿一圓周或一任意之曲線動路運動,則此物體在任一時刻之動向,恆係沿此物體所至之點之切線.

4. 速 (Speed). 一物體沿其動路運動,快慢之程度謂之此物體之速.在相等時間內(各相等時間,無論短至若何程度)所行動路之長短均相等時謂之等速運動 (Uniform Speed). 否則謂之變速運動 (Variable Speed).

5. 變位 (Displacement). 一物體在一定時間內, 由 A 點至 B 點, 無論沿何動路, 則 A, B 兩點間之直線距離, 謂之此物體在此時間內之變位. 如第1圖設某物體在一定時間內由 A 點移至 B 點, 無論其動路為直線為弧線, 或為任意之曲線, 則 A, B 兩點間之直線距離, 謂之此物體之變位.



第 1 圖

變位係一種有向量, 不但有大小之關係, 且有方向之關係.

6. 速率 (Velocity). 一物體之變位對於時間之變化率, 謂之此物體之速率. 在相等時間內 (無論短至若何程度), 其變位之變化皆相等者, 謂之等速率 (Uniform Velocity). 否則謂之變速率 (Variable Velocity). 如係等速率, 則速率之大小, 可用變位之大小對於發生此變位所用之時間之比表之. 設 v 代表速率, s 代表變位, t 代表發生此變位所用之時間,

$$\text{則} \quad v = \frac{s}{t}$$

如係變速率, 則各時刻 (Instant) 之速率, 均彼此不同, 故上式只能表示在 t 時間內之平均速率 (Average Velocity).

$$\text{即平均速率} \quad v_a = \frac{s}{t}$$

但若就任一時刻言, 倘所取之一段時間, 在此時刻之前後愈短, 則所得之平均速率, 必愈近於此時刻之速率. 故倘使

所取之一段時間小至極限 dt , 在此時間內之變位爲 ds , 則在此時刻之速率

$$v = \frac{ds}{dt}$$

又無論等速率或變速率, 吾人稱一運動物體在某時刻之速率, 均可認爲係表示此物體在此時刻沿其動向運動快慢之程度. 亦卽在此時刻, 變位對於時間之變化率也. 例如稱某汽車在某時刻之速率爲每點鐘 30 哩. 非謂過去之一點鐘內, 適行 30 哩, 亦非謂將來之一點鐘內, 將行 30 哩. 乃謂假設此車在此時刻之運動快慢之程度不變, 則一點鐘之時間內, 當能行 30 哩也.

7. 速率之單位 (Unit of Velocity). 速率包含時間與距離兩種關係. 故速率之單位, 亦由時間之單位與距離之單位而定. 如每秒若干呎, 每秒若干呎, 每點鐘若干哩, 等等.

8. 用直線代表速率. 因速率係一種有向量. 故用圖示法, 可用直線代表. 以長短代表大小. 以方向代表動向. 以箭頭表示所向之一端.

9. 速率之合併與分解 (Composition and Resolution of Velocities). 如一運動物體, 同時有二速率或數速率, 有時因研究或計算上之便利, 常求得一速率, 此一速率對於該物體之效果, 與原有之二速率或數速率相同, 是謂速率之合併. 如一運動物體, 有一速率, 有時因研究或計算上之便利, 常分爲

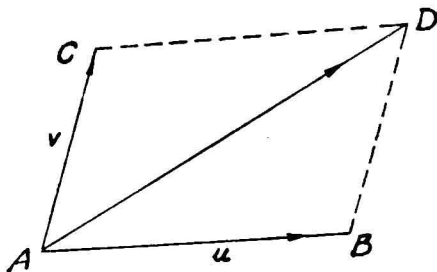
二速率或數速率,此二速率或數速率對於該物體之效果,與原有之一速率相同,是謂之速率之分解。

10. 速率之平行四邊形律 (Parallelogram of Velocities).

如一運動物體,同時有二速率,其大小與方向,可用一平行四邊形之二鄰邊代表之,則其結果速率之大小與方向,必可以此平行四邊形之對角線代表之。其起始點即此二鄰邊之交點。

如第2圖,設一物體同時所有之二速率為 AB 與 AC 二直線所代表,並設其大小為 u 與 v 。

完成平行四邊形 $BACD$ 。



第 2 圖

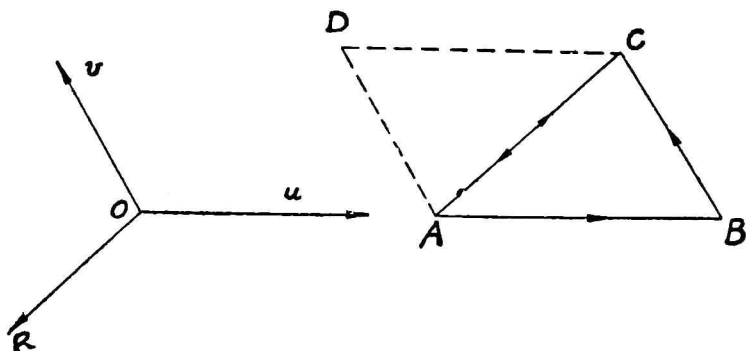
假想物體按速率 u 沿 AB 線運動,同時更假想 AB 線按速率 v 向右上方運動,使其 A 端畫出一 AC 直線。在單位時間以內,物體必沿 AB 線移動一段距離 AB ,而 AB 線則同時移動至 CD 。故在單位時間以後,物體即由 A 移動至 D 。

因物體同時所有之二速率,其大小與方向皆不變,故物體實際上由 A 至 D 之結果速率,其大小與方向亦必不變,即 AD 為單位時間內物體實際之動路也。

故 AD 直線即代表物體結果速率之大小與方向,對於物體言,與由 AB 及 AC 所代表之二速率相當。

11. 速率之三角形律 (Triangle of Velocities). 如一物體同時有二速率, 其大小與方向, 可順序以一三角形之 AB 與 BC 兩邊代表之, 則其結果速率之大小與方向, 必可以第三邊 AC 代表之.

如第 3 圖, 倘物體 O 同時有二速率 u 與 v , 其大小與方向,



第 3 圖

可順序以一三角形之 AB , BC 兩邊代表之, 則其結果速率之大小與方向, 必可以第三邊 AC 代表之.

完成 $ABCD$ 平行四邊形.

因 AD 與 BC 平行相等, 故 BC 所代表之速率 v 亦可為 AD 所代表.

但按速率之平行四邊形律, AB , AD 所代表之二速率, 其結果速率為 AC 所代表, 故 AB , BC 所代表之二速率, 其結果速率亦必為 AC 所代表也.

又由速率之三角形律推之, 倘一物體同時有三速率, 其

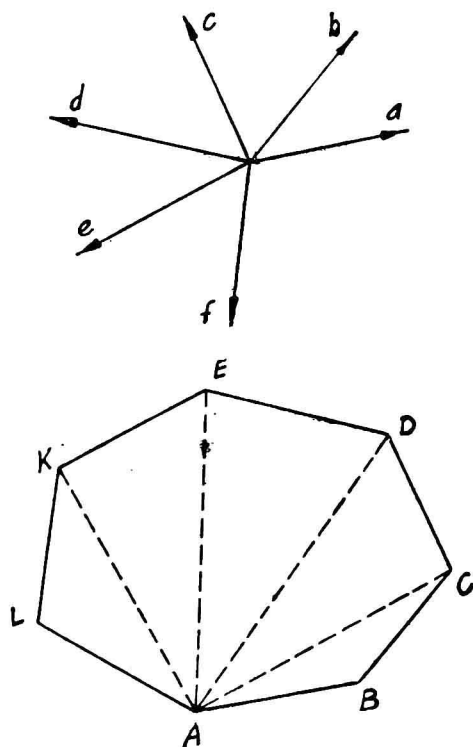
大小與方向，可順序以一三角形之三邊 AB , BC 及 CA 所代表，則此物體必歸於靜止。

12. 速率之多邊形律 (Polygon of Velocities). 如一物體同時有三個以上之速率，其大小與方向，可順序以一多邊形之 AB , BC , CD , DE , EK , KL 等邊代表之，則其結果速率之大小與方向，必可以末邊 AL 代表之。

如第 4 圖，設物體 O 同時有六種速率 a, b, c, d, e, f ，其大小與方向可順序以一多邊形之 AB, BC, CD, DE, EK 及 KL 等邊所代表，則其結果速率之大小與方向，即可為末邊 AL 所代表。

連 AC, AD, AE, AK 等線。

按速率之三角形律， AB, BC 所代表之二速率，可為 AC 所代表。 AC, CD 所代表之二速率，可為 AD 所代表。 AD, DE 所代表之二速率，可為 AE 所代表。……由此類推， AL 一



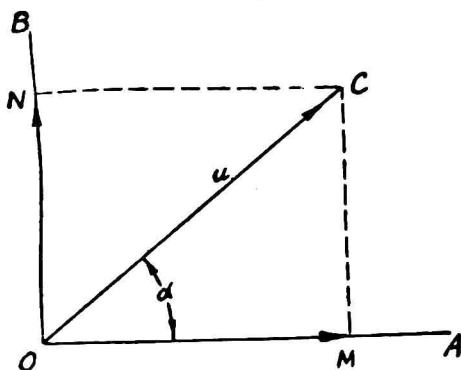
第 4 圖

邊之長短與方向，即可代表六速率結果速率之大小與方向。

如 L 點與 A 點合而為一，即代表各速率之各邊恰完成一多邊形，則結果速率等於零，即物體仍歸靜止。

13. 一速率分解為互相垂直二方向之二速率。如第 5 圖，設 OC 代表一速率 u ，今欲將此速率分解為二：一沿 OA 之方向，一沿與 OA 垂直之方向。

畫 CM 與 OA 垂直， CN 與 OA 平行。據速率之平行四邊形律， OC 必代表 OM 與 ON 所代表



第 5 圖

之二速率之結果速率。故 OM 與 ON 即代表所欲求之二分速率。

若用算法，設 $\angle AOC = \alpha$ ，

$$\text{則} \quad OM = OC \cos \alpha = u \cos \alpha.$$

$$ON = OC \sin \alpha = u \sin \alpha.$$

14. 加速率 (Acceleration). 一物體之速率對於時間之變化率，謂之此物體之加速率。在相等時間內（無論短至若何程度），其速率之變化皆相等者，謂之等加速率 (Uniform Acceleration)。否則謂之變加速率 (Variable Acceleration)。

如係等加速率，則加速率之大小，可用變化之速率之大小對於發生此變化所用之時間之比表之。設 v 代表變化之速率， t 代表發生此變化所用之時間， f 代表加速率，

則
$$f = \frac{v}{t}.$$

如係變加速率，上式只能表示在 t 時間內之平均加速率。

即 平均加速率 $f_a = \frac{v}{t}.$

但若就任一時刻言，倘所取之一段時間，在此時刻之前後愈短，則所得之平均加速率，必愈近於此時刻之加速率。故倘使所取之一段時間小至極限 dt ，在此時間內變化之速率為 dv ，則在此時刻之加速率

$$f = \frac{dv}{dt}$$

又按(3)式，
$$v = \frac{ds}{dt},$$

故
$$f = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}.$$

15. 等加速率運動公式. 如一等加速率運動物體，其初速率為 v_0 ，等加速率為 f ， t 秒鐘以後之速率為 v ， t 秒鐘內所行之距離為 s ，則得下列三公式：

(1)
$$v = v_0 + ft,$$

(2)
$$s = v_0 t + \frac{1}{2} ft^2,$$

$$(3) \quad v^2 = v_0^2 + 2fs.$$

證明. (1) 因物體之初速率爲 v_0 , 等加速率爲 f ,

則 1 秒鐘以後之速率必爲 $v_0 + f$,

2 秒鐘以後之速率必爲 $v_0 + 2f$,

3 秒鐘以後之速率必爲 $v_0 + 3f$,

由此類推則 t 秒鐘以後之速率必爲 $v_0 + ft$.

即
$$v = v_0 + ft.$$

(2) 因初速率爲 v_0 , t 秒鐘以後之速率爲 v , 又因加速率係等量, 故 t 秒鐘以內, 每秒鐘之平均速率必爲 $\frac{v_0 + v}{2}$, 在 t 秒鐘以內, 物體所行之距離, 必等於每秒鐘之平均速率乘秒數.

故 所行之距離 $s = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right)t = \left(\frac{v_0 + v_0 + ft}{2}\right)t$

$$= v_0 t + \frac{1}{2}ft^2.$$

(3) 將(1)式兩邊自乘, 得

$$v^2 = (v_0 + ft)^2 = v_0^2 + 2v_0 ft + f^2 t^2 = v_0^2 + 2f(v_0 t + \frac{1}{2}ft^2).$$

$$= v_0^2 + 2fs.$$

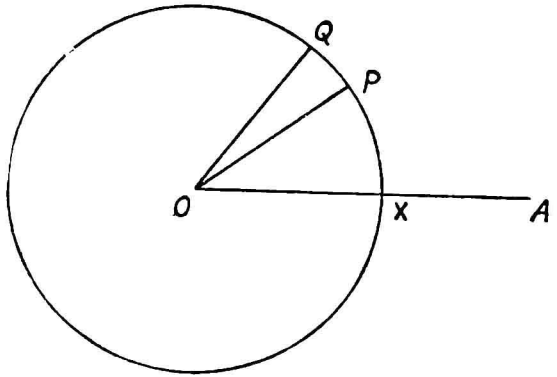
如物體由靜止起始, 則初速率 v_0 爲零, 故以上三式變爲

$$(4) \quad v = ft,$$

$$(5) \quad s = \frac{1}{2}ft^2,$$

$$(6) \quad v^2 = 2fs,$$

16. 角變位 (Angular Displacement). 如第6圖, 設 O 為一定點, OA 為一定直線, P 點在包含 OA 線之平面內繞 O 為圓周運動. 則在一定時間內, OP 所迴轉之角度, 謂之 P 點之角變位.



第6圖

17. 角速率 (Angular Velocity). 一迴轉運動物體之角變位對於時間之變化率, 謂之此物體之角速率. 在相等之時間內 (無論短至若何程度), 其角變位之大小皆相等者, 謂之等角速率 (Uniform Angular Velocity). 否則謂之變角速率 (Variable Angular Velocity).

與速率之性質相同, 如係等角速率, 則角速率之大小, 可用角變位之大小對於發生此角變位所用之時間之比表之. 如 θ 代表角變位, t 代表發生此角變位所用之時間, ω 代表角速率,

則
$$\omega = \frac{\theta}{t}.$$

若係變角速率, 則在 t 時間內之平均角速率

$$\omega_a = \frac{\theta}{t}$$

若在某時刻之前後所取之一段時間 dt 小至極限, 此一段時間內之角變位為 $d\theta$,

則此時刻之角速率
$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

18. 角速率之單位. 在研究理論問題時, 角速率多以每秒鐘若干半徑角為單位. 在任意之一圓周上, 量一段弧線使等於半徑之長, 則此段弧線在圓心所對之角, 謂之半徑角 (Radian).

因全圓周之長包含半徑之 2π 倍. 故 360° 與 2π 半徑角相當. 或一半徑角等於 $360^\circ \div 2\pi = 57.29^\circ = 57^\circ 17' 42''$ (約).

如同一之角度用度數表之為 d , 用半徑角數表之為 θ ,

則
$$\frac{\theta}{d} = \frac{2\pi}{360} = \frac{\pi}{180}$$

或
$$\frac{\theta}{\pi} = \frac{d}{180}$$

在研究工程問題時, 一軸或一輪迴轉之角速率, 則多以每分鐘迴轉若干次計之. (Number of Revolutions Per Minute), 簡寫為 *R. P. M.*

因迴轉一週時, 軸上或輪上之任一點, 均迴轉 2π 半徑角. 故如一軸或一輪每分鐘迴轉 N 次, 其角速率為每分鐘 $N \cdot R. P. M.$ 或每秒鐘 $\frac{2\pi N}{60}$ 半徑角.

又由上述之結果, 可知同一軸上或同一輪上, 各點之速率均相等. 因在同一時間內, 各點所經過之角度皆相等也.

19. 一迴轉運動物體之角速率與其速率之關係. 一迴轉運動物體沿一圓周為等角速率運動, 則此物體之角速率恆等於圓周之半徑除物體之速率, 或物體之速率恆等於角速率與半徑之乘積.

設

v = 物體之速率.

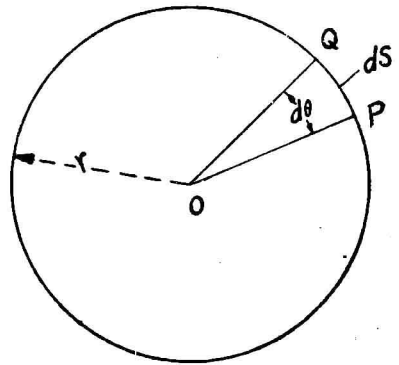
ω = 物體之角速率.

r = 圓周之半徑.

則

$$\omega = \frac{v}{r} \text{ 或 } v = \omega r$$

如第7圖, 設 P 代表迴轉運動物體, O 代表迴轉中心. r 代表圓周之半徑. 設物體在極短之一段時間 dt 內, 由 P 點行至 Q 點, 經過之角度為 $d\theta$, 徑過之距離為 ds , 均按小至極限論.



第 7 圖

則按半徑角之定義言,

得
$$\frac{ds}{r} = d\theta,$$

或
$$ds = r d\theta.$$

兩邊各用 dt 除之, 得

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt},$$

但
$$\frac{ds}{dt} = v, \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega,$$

故
$$v = \omega r, \text{ 或 } \omega = \frac{v}{r},$$

20. 同一迴轉物體上各點之速率。同一迴轉物體上各點之速率與各點距迴轉中心之半徑成正比。

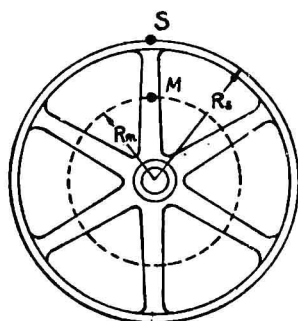
如第8圖，設輪上 S 點距迴轉中心之半徑為 R_s ， M 點距迴轉中心之半徑為 R_m ，

輪之角速率為 ω ，

根據前段之理得

S 點之速率 $v_s = \omega R_s$ ，

M 點之速率 $v_m = \omega R_m$ ，



第 8 圖

故
$$\frac{S \text{ 點之速率}}{M \text{ 點之速率}} = \frac{v_s}{v_m} = \frac{\omega R_s}{\omega R_m} = \frac{R_s}{R_m}.$$

21. 質量與重量 (Mass and Weight). 一物體之質量者，乃該物體內所含物質之數量也。一物體內所含物質之數量，非增之或減之，則其量恆不變。一物體之重量者，乃地球對於該物體之吸力也。據萬有引力定律，兩物體互相吸引之力，與其間距離之自乘成反比。故一物體之重量，常因距地心之遠近而微有差異。如同一物體，在兩極權之則較重，在赤道權之則較輕；在地面權之則較重，在高山權之則較輕。不過其差甚微，實際上多不計及耳。

22. 牛敦氏 (Newton) 運動第一定律. 凡物體若不受外力所迫,則靜者恆靜,動者恆沿一直線為等速率運動.此為牛敦氏運動第一定律.

23. 運動量 (Momentum). 運動之物體,若欲使之歸於靜止,有須用較大之力者,有只用較小之力者,可知物體運動,其大小之量有不同也.此種運動大小之量,謂之運動量.

又一物體運動量之大小,(a)與物體質量之大小有關,(b)與物體運動之速率有關,即與物體之質量及速率均成正比.

如 m 代表質量, v 代表速率,

則運動量 $\propto mv = kmv$. (式中 k 係一常數.)

若規定運動量之單位時,以單位質量(一磅或一克).具有單位速率(每秒一呎或每秒一浬)之運動量,為運動量之單位,即 m 為 1, v 為 1 時,運動量之大小亦命為 1, k 之數值亦變為 1.

故 運動量 $= mv$.

24. 牛敦氏運動第二定律. 因一物體之運動量,等於物體之質量與其速率之乘積.然一定之物體其質量不變故倘物體之運動量有變更,必由其速率之變更而起.但依運動第一定律,物體倘不受外力,其動靜之態度恆不變.即其速率不能變更.故物體之運動量如有變更,必係曾受有外力之故.

且受外力大者，其運動量之變更必大；受外力小者，其運動量之變更必小。故牛敦氏運動第二定律，規定如下：

物體之運動量對於時間之變化率，恆與所受之外力成正比。其變化發生之方向，恆與所受外力之方向相同。

25. 牛敦氏運動第三定律。每一原動力必有一大小相等方向相反之反動力。

26. 力之絕對單位 (Absolute Unit of Force)。根據運動第二定律，可得一種量力之單位。

設 m 代表一物體之質量，加一外力 P 於其上，發生加速率 f 。

按第二定律，

$P \propto$ 運動量對於時間之變化率，

$\propto mv$ 對於時間之變化率，

$\propto m \times v$ 對於時間之變化率，(因 m 係一定)

但 v 對於時間之變化率為物體之加速率 f 。

$\therefore P \propto mf = kmf$ 。 (式中 k 係一常數。)

若規定力之單位時，以單位質量在外力方向發生單位加速率時所受之外力為力之單位，則上式 P 、 m 及 f 均位 1， k 亦等於 1。

故得 $P = mf$

如以一呎為長度之單位，一磅為質量之單位，則加力於

一磅質量之物體上,能使每秒發生每秒一呎之加速率時,則此力之大小,謂之一磅度(Poundal).

如以一厘爲長度之單位,一克爲質量之單位,則加力於一克質量之物體上,能使每秒發生每秒一厘之加速率時,則此力之大小,謂之一達因(Dyne).

27. 力之重力單位(Gravitation Units of Force). 凡宇宙間之各物體,皆有彼此互相吸引之力.地球與地面上各物體,當然亦包含於此定律之中.惟地球對於地面上各物體之吸引力,普通稱之曰重力.或單稱之曰重.地球對於地面上一磅之質量所生之吸引力,稱之曰一磅之重.地球對於地面上一克之質量所生之吸引力,稱之曰一克之重.故一磅之重與一克之重,亦可用之爲量力之單位,謂之重力單位.

28. 重力單位與絕對單位之關係. 按力之絕對單位,加力於一磅之質量,每秒鐘能使發生每秒一呎之加速率時,則此力之大小,謂之一磅度.今地球對於地面上一磅質量之物質所生之吸引力,每秒鐘能使發生每秒32.2呎之加速率,故地球對於地面上一磅質所有之吸引力,其大小等於32.2磅度.但地球對於地面上一磅質量所生之吸引力,稱之曰一磅之重.故一磅之重等於32.2磅度.同理一克之重等於981達因.

如以 w 代表一物體之重力,或簡稱之曰物體之重(以磅或克爲單位)

m 代表此物體之質量(亦以磅或克爲單位)

g 代表地心吸力所生之加速率

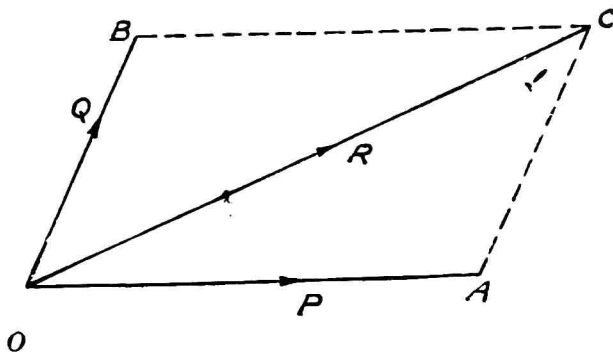
則 w (磅或克) = mg (磅度或達因)

或 $m = \frac{w}{g}$

29. 用直線代表力. 力之性質有三.(一)大小,(二)方向,(三)施力點. 與速率之性質相同. 故用圖示法,亦可用直線代表. 以線之長短,代表力之大小. 以線之方向,代表力之方向,以線之起始點,代表力之施力點.

30. 力之平行四邊形律 (Parallelogram of Forces). 如二力加於物體之一點,其大小與方向,可以一平行四邊形之二鄰邊代表之,則其結果力之大小與方向,必可以此平行四邊形之對角線代表之,且其施力點即在此二鄰邊之交點.

如第9圖,倘 P, Q 二力加於物體之一點 O , 其大小與方向,可用一平行四邊形之二鄰邊代表之則其結果力 R 之大小與方向必可用對角線 OC 代表之. 其施力點即在 OA, OB 兩鄰

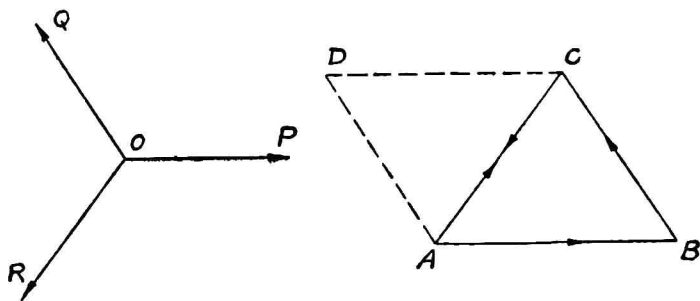


第9圖

邊之交點 O .

31. 力之三角形律 (Triangle of Forces). 如三力加於物體之點, 其大小與方向, 可順序以一三角形之三邊代表之, 則此三力必屬平衡. (Equilibrium 即互相抵消之意).

如第 10 圖, 設 PQR 三力, 加於物體之一點 O , 倘其大小與



第 10 圖

方向, 可順序以一三角形之三邊 AB , BC 及 CA 代表之, 則三力必屬平衡.

完成 $ABCD$ 平行四邊形.

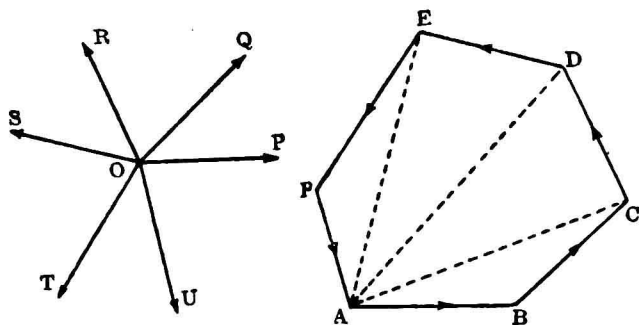
因 AD , BC 二邊平行相等, 故二邊可代表同大之力. 據力之平行四邊形律, AB , AD 二邊所代表之二力, 其結果力必可由 AC 代表. 即 AB , BC 二邊所代表之二力之結果力, 必可由 AC 代表.

故 AB , BC , CA 所代表之三力, 可視為等於 AC , CA 所代表之二力. 但 AC , CA 所代表之二力大小相等, 方向相反. 故互相抵消而歸於平衡. 即 PQR 三力對於物體為平衡也.

又與速率之三角形律比照觀之，可知如二力加於物體之一點，其大小與方向，可順序以一三角形之 AB, BC 二邊代表之，則其結果力之大小與方向，必可以第三邊 AC 代表之。

32. 力之多邊形律 (Polygon of Forces). 如多力加於物體之一點，其大小與方向，可順序以一多邊形之各邊代表之，則此多力必屬平衡。

如第11圖，設 $PQRSTU$ 六力，加於物體之一點 O ，其大小



第 11 圖

與方向，可順序以一多邊形之 AB, BC, CD, DE, EF 及 FA 代表之，則六力必屬平衡。

連 AC, AD, AE 三線。

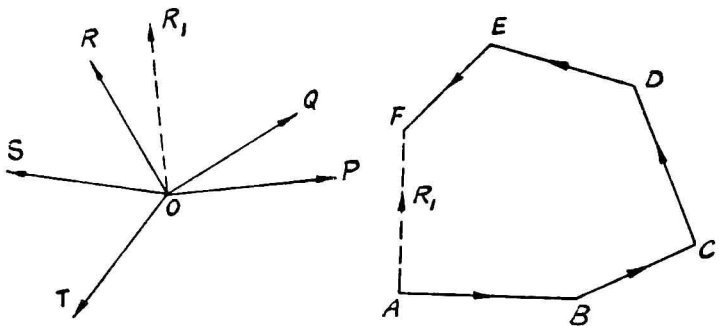
據力之三角形律， AB, BC 所代表之二力，其結果力必為 AC 所代表。 AC, CD 所代表之二力，其結果力必為 AD 所代表。 AD, DE 所代表之二力，其結果力必為 AE 所代表。 AE, EF 二力之結果力，其結果力必為 AF 所代表。

是六力之結果力，變為 AF , FA 所代表之二力。

但 AF , FA 所代表之二力，大小相等，方向相反，故相消而適得平衡。

33. 用畫法求多力結果力之法。 就力之多邊形律，可推得一種用畫法求多力結果力之法，即就多力之大小與方向順序畫一多邊形。若最後一邊之末端與起始合而為一，則多力必屬平衡，即結果力為零；若不合而為一，則最後一邊之末端與起始點間之距離，必代表結果力之大小，連首末兩點直線所沿之方向，即為結果力之方向。

如第 12 圖，設 $PQRST$ 五力，加於物體之一點 O ，畫一多邊



第 12 圖

形之五邊 AB , BC , CD , DE , EF ，順序代表五力之大小與方向。

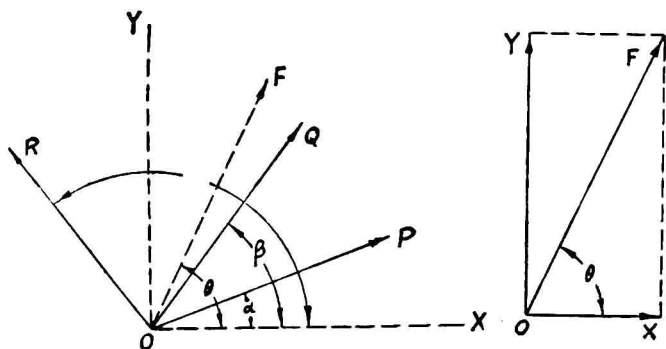
用前段同一證法，可證連首末兩點直線之一邊，可代表五力結果力之大小與方向。

再從 O 點起，畫 OR_1 線，與 AF 線相等平行，則 OR_1 即代表所

求之結果力。

34. 用算法求多力結果力之法。多力在一平面內加於物體之一點，其結果力之大小與方向，更可用算法求之。

如第 13 圖，設 P, Q, R 等力，在一平面內，加於物體之一點 O 。



第 13 圖

經過 O 點畫互成正角之二標準線 OX 與 OY 。

設 P, Q, R 等力之方向對於 OX 所成之角度為 α, β, γ ，等等。

則 P 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $P \cos \alpha$ 與 $P \sin \alpha$ (與速率分解同)。

Q 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $Q \cos \beta$ 與 $Q \sin \beta$ ，

R 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $R \cos \gamma$ 與 $R \sin \gamma$ ，

三力沿 OX 方向之總分力 $X = P \cos \alpha + Q \cos \beta + R \cos \gamma$ ，

三力沿 OY 方向之總分力 $Y = P \sin \alpha + Q \sin \beta + R \sin \gamma$ ，

故 結果力之大小 $F = \sqrt{X^2 + Y^2}$,

結果力之方向 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$.

經過 O 點畫一線 OF , 使其方向對於 OX 成 θ 度, 使其長短代表 F , 則 OF 即代表結果力之大小與方向.

如 X 或 Y 等於零, 則表示各力沿 OX 或 OY 之總分力為零. 若 X 與 Y 均等於零, 則物體必歸於平衡.

反之言之, 若多力在一平面內加於物體之一點, 適得平衡, 則多力沿互相垂直兩方向之總分力必各等於零.

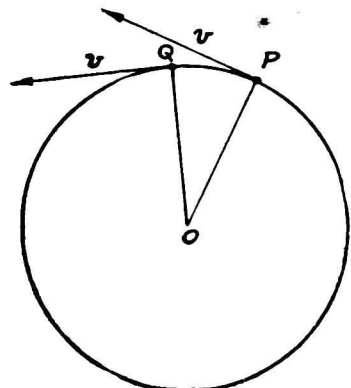
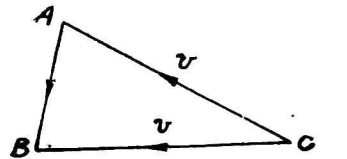
35. 向心加速率. 一物體沿一圓周為等角速率運動時, 則此物體恆有一種向心加速率, 其值等於圓之半徑除物體之速率之自乘積.

設 v 代表物體之速率, r 為圓之半徑, f_c 為向心加速率,

則
$$f_c = \frac{v^2}{r}.$$

如第 14 圖, 設 P 為物體在某時刻所占之地位, Q 為物體在 dt 時間後所占之地位, O 為物體迴轉之中心.

當物體在 P 點時, 其速率之方向必沿 P 點之切線. 當物體在 Q 點時, 其速率之方向必沿



第 14 圖

Q 點之切線。

畫 CA 線, 使代表 v , 並與 OP 之方向垂直。畫 CB 線, 使代表 v , 並與 OQ 之方向垂直。連 AB 二點, 則物體由 P 點行至 Q 點所變之速率, 必為 AB 所代表。(因 CA 與 AB 兩速率之結果速率為 CB) 設等於 dv 。

如 FOQ 角小至極限時, 則 PQ 弦線與 PQ 弧線, 可假設為相等, 即 POQ 與 ABC 可假設為相似三角形。

$$\text{故} \quad \frac{AB}{PQ} = \frac{CA}{OP},$$

即 $\frac{dv}{v dx} = \frac{v}{r}$, (凡有等角速率運動之物體, 其各時刻速率之大小及速之大小均相等, 只方向變更)

$$\text{或} \quad \frac{dv}{dt} = \frac{v^2}{r}.$$

但 $\frac{dv}{dt}$ 為速率對於時間之變化率, 即等於加速率。

又當 POQ 角小至極限時, 則 dv 之方向, 可視為與 v 垂直。即物體無論在何處, 其加速率恆與其速率垂直, 或無論在何時刻, 恆向圓之中心。

$$\text{故} \quad \text{向心加速率 } f_o = \frac{v^2}{r}$$

$$\text{又因} \quad v = \omega r$$

$$\text{故} \quad \text{向心加速率 } f_o = \frac{(\omega r)^2}{r} = \omega^2 r$$

36. 向心力與離心力 (Centripetal Force and Centrifugal Force). 因力等於質量與加速率之相乘積如物體之重量為 W , 據前段之理, 則物體向圓心方向之力必等於 $\frac{W}{g} \times \frac{v^2}{r}$ 或 $\frac{W}{g} \omega^2 r$. 此力謂之向心力. 物體所以不離圓周飛去者以此. 又物體所以沿圓周運動而不至中心者, 必有與此向心力大小相等方向相反之力焉. 此力謂之離心力, 其值亦為

$$\frac{Wv^2}{gr} \quad \text{或} \quad \frac{W}{g} \omega^2 r.$$

37. 工作 (Work). 加力於物體上, 如物體因之而移動時, 則稱此力在該物體上顯有工作. 工作之大小, 等於力之大小乘物體在施力線上所行之距離.

如 P 代表力, S 代表物體在施力線上所行之距離, W 代表工作,

$$\text{則} \quad W = PS$$

如物體運動之方向與力之方向不同, 而成 α 度之角度,

$$\text{則} \quad W = P \cos \alpha S$$

= 力 \times 所行距離在力之方向之分解部 (Component).

或 = 力在施力線上之分解部 \times 物體所行之距離.

38. 工作之單位 (Unit of Work). 工作之單位, 亦分絕對與重力二種. 以一達因之力加於物體上, 使該物體在施力線上移動一呎所作之工, 謂之一愛格 (Erg). 以一磅度之力加於物體上, 使該物體在施力線上移動一呎所作之工, 謂之一

呎磅度 (Foot Poundal). 此為工作之絕對單位. 工作之重力單位, 係以一克之重力加於物體上, 使該物體在施力線上移動一厘所作之工, 謂之一克厘 (Gram Centimeter). 或以一磅之重力加於物體上, 使該物體在施力線上移動一呎所作之工, 謂之一呎磅 (Foot Pound). 今再列表如下:

工作之單位	{	絕對單位	{	(1) 愛格
				(2) 呎磅度
	{	重力單位	{	(1) 克厘
				(2) 呎磅

在絕對單位中, 因愛格為量太小, 實際運算上每多不便. 又定朱爾 (Joule) 為工作之單位. 每一朱爾等於 10,000,000 愛格.

39. 工率 (Power). 工作對於時間之變化率, 謂之工率. 在同一之時間內能成之工作多者, 謂之工率大. 能成之工作少者, 謂之工率小. 如物重 80 磅, 升高 100 呎. 無論為時之久暫, 所需之工作, 恆為 $80 \times 100 = 8000$ 呎磅. 然若一人能於 20 秒鐘升起之, 一人能於 10 秒鐘升起之, 則前者之工率為每秒鐘 $\frac{8000}{20} = 400$ 呎磅. 後者之工率為每秒鐘 $\frac{8000}{10} = 800$ 呎磅. 故後者之工率為前者之二倍, 即能於同一時間內作二倍之工作也.

40 工率之單位 (Unit of Power). 工率之單位有二. 一

曰馬力(Horse Power),即每秒鐘能成550呎磅或每分鐘能成33000呎磅之工作之謂。二曰瓦特(Watt),即每秒鐘能成一朱爾之工作。又因瓦特之量有時嫌其太小,用每秒鐘能成1000朱爾之工作爲工率之單位,謂之千瓦特(Kilowatt)。

又每745.7瓦特,普通用746瓦特均等於一馬力,即0.746千瓦特與一馬力相當。

又在法國制普通多以每秒鐘能成75呎米之工作爲一馬力。其量稍小,約等於英國制一馬力之百分之98.63。

41. 能力(Energy)。凡利用之即能發生工作者,統謂之能力。普通稱某物體之能力者,即此物體所蘊蓄能作工之能力也。其重要之種類有二:(一)動能力(Kinetic Energy), (二)位能力(Potential Energy)。

42. 能力之單位。能力之大小,以能發生工作之多少計之。故能力之單位與工作之單位相同。

43. 動能力。凡物體因運動之故所具之能力,謂之動能力。如瀑布飛彈,倘遇阻力當前,皆能發出一種能力而表現相當之工作。而此種能力即因其運動之故。故謂之動能力。

如一物體之重量爲 W (磅或克),質量爲 m (磅或克)每秒鐘之速率爲 v (呎或厘)。

則物體所含之動能力 $= \frac{1}{2}mv^2$ (呎磅度或愛格)。

或 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{Wv^2}{g}$ (呎磅或克厘)。

證. 設在物體運動反對之方向, 加一等量之力 $-P$, (磅度或達因), 使此物體生負號之加速率 $-f$. (呎或裡). 而漸歸於靜止.

則
$$-P = -mf, \text{ 或 } P = mf.$$

又設物體靜止以前所行之距離為 S (呎或裡), 據等加速率運動第三式, 得

$$0 = v^2 + 2(-f)S,$$

或
$$S = \frac{v^2}{2f}.$$

又因物體所蓄之動能力, 必等於物體靜止以前所能發出之工作, 即等於 PS ,

故物體所蓄之動能力 $= PS = P \times \frac{v^2}{2f} = mf \times \frac{v^2}{2f} = \frac{1}{2}mv^2$ (呎磅度或愛格)

又因
$$m = \frac{W}{g},$$

故物體所蓄之動能力 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{Wv^2}{g}$. (呎磅或克裡)

44. 位能力. 凡物體因位置之故所具之能力, 謂之位能力. 如蓄水於閘, 置石於塔, 一旦使之下行, 皆能發生一種能力. 若與阻力相遇, 即能表現相當之工作. 而此種能力, 即因其位置之故. 故謂之位能力.

設一物體之重量為 W (磅或克), 質量為 m (磅或克), 距某標準平面之垂直距離為 h (呎或裡).

則物體對某標準平面所含之位能力 $= mgh$ 呎磅度或愛格。
或 $= Wh$ 呎磅或克裡。

證。因物體之重量為 W (磅或克), 距某標準平面之垂直距離為 h (呎或裡), 則 h 高之位置降至標準平面所能作之工作, 必為 Wh (呎磅或克裡)。即所蓄之位能力為 Wh (呎磅或克裡) 也。

又因 W (磅或克) $= mg$ (磅度或達因),

故物體所蓄之位能力又等於 mgh (呎磅度或愛格)

習 題

1. 試述下列數名詞之定義: (一) 速, (二) 變位, (三) 速率, (四) 加速率, (五) 角速率, (六) 質量, (七) 重量, (八) 運動量。

2. 如某運動物體之初速率為 v_0 , 等加速率為 f , t 秒鐘以後之速率為 v , t 秒鐘內所行之距離為 s , 試證:

$$(1) \quad v = v_0 + ft,$$

$$(2) \quad s = v_0 t + \frac{1}{2} ft^2,$$

$$(3) \quad v^2 = v_0^2 + 2fs.$$

3. 將每點鐘 60 哩 (英里) 之速率變為每秒鐘若干呎。每分鐘 轉 80 次之角速率變為每秒鐘若干半徑角。

4. 直徑 6 呎之輪, 其圓周上一點之速率為每分鐘 4200 呎, 同距輪心 2 呎之一點, 其速率為何?

5. 一皮輪每分鐘 轉 400 次, 輪輻上某點之速率為每分鐘 4000 呎, 同此點距輪心之距離為何?

6. 一發動機每分鐘之迴轉數為150次,其曲柄軸針之速率為每分鐘2400呎.問曲柄之長(即假為機軸中心至曲柄軸針之中心之距離)為若干呎?

7. 一賽跑汽車,其車輪之直徑為36吋,如此車每點跑100哩,問車每分鐘之迴轉數若干?又倘依此速率前進,車輪上距輪心12吋之一點,其速率為每分鐘若干呎?

8. 力之單位有幾?試詳述之.

9. 今有某力 F ,加於10克之質量上,每秒鐘發生之等加速率為每秒5呎,問 F 力之大小.

10. 今有某力 F ,加於20磅之質量上,每秒鐘發生之等加速率為每秒2呎,問 F 力之大小.

11. 今有某力 F ,加於250磅之質量上,共歷10秒鐘,此物體之速率由每秒8呎變為每秒24呎,問 F 力之大小.

12. 試述工作之定義及其單位.今有一人,由地面升至2800呎之山頂,倘此人體重150磅.問所作之工作幾何?

13. 試述工率之定義及其單位.用100馬力之發動機,由150呎之井中向上排水,(即假定將水提高之垂直距離為150呎),倘機力完全用於有效工作,問每點鐘能吸水若干磅?

14. 用200馬力之發動機,由140呎之井中向上排水,倘機力十分之二消耗於摩阻力,問每點鐘能排水若干立方呎?(每立方呎水假定重62.3磅.)

15. 今有瀑布一處,上下水位之差為12呎,每分鐘之流量為80立方呎.問可利用之能力每分鐘有若干呎磅?又如用一水輪,其機械效率為百分之八十五(即消耗於無用者為百分之十五),問此水輪之馬力數幾何?

16. 如運動物體之重量為 W ,速率為 V ,地心吸力之加速率為 g ,試證此物體之動能力為 $\frac{W}{2g}V^2$.重100磅之鐵彈,按每秒鐘200呎之速率由鐵門射出,問所含之動能力幾何?

第 二 章

簡 單 機 械

45 機械 (Machine). 機械者,兩個以上之物體之組合體,動其一部,則他部因之發生一定之相對運動,吾人得利用之使一種天然能力或機械力發生一定之效果或工作者也。

46. 原動部與從動部 (Driver and Follower). 當一機械發生運動時,其起始運動之一部,謂之原動部.其最後運動之一部,謂之從動部.有時凡互相連結之兩部,當發生運動時,先動者即謂之原動部.後動者即謂之從動部.

47. 機架 (Frame). 一機械上不動之部分,除一二較小之部分如軸承 (Bearing) 導路 (Guide) 等,有時別予以特別名稱外,其餘統稱之曰機架.所以支持並約束運動各部者也.

48. 作力與抵抗力 (Effort and Resistance). 無論何種機械,當工作時,均須於原動部繼續加以相當之力,其從動部方能發生一定之效果或工作.又從動部所發生之效果或工作,普通多可認為係戰勝一種抵抗力.在原動部所加之力,謂之作

力在從動部所戰勝之抵力，有時稱之曰重力 (Weight)，有時稱之曰載荷 (Load)。普通則通稱之曰抵力。

49. 力比 (Force Ratio)。或機械之利 (Mechanical Advantage)。任一機械，當起始運動以後，其抵力對於作力之比，謂之該機械之力比。如 W 代表抵力， P 代表作力，

$$\text{則} \quad \text{力比} = \frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P}.$$

普通機械，力比多大於一，即抵力多大於作力。然機械之目的若係增加運動之速率時，則適與之相反。

50. 速比 (Velocity Ratio)。任一機械當起始運動以後，在同一時間內，作力施力點所行之距離對於抵力施力點所行之距離之比，謂之速比。如 D_1 代表一定時間內作力施力點所行之距離， D_2 代表在同一時間內抵力施力點所行之距離。

$$\text{則} \quad \text{速比} = \frac{\text{作力施力點所行之距離}}{\text{抵力施力點所行之距離}} = \frac{D_1}{D_2}.$$

51. 工作之定理 (Principle of Work)。倘機械本身之重不計，且相對運動各部亦假定為絕對光滑，無摩阻力以消耗工作時，則其力比恆與其速比相等。

$$\text{即} \quad \frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{\text{作力施力點所行之距離}}{\text{抵力施力點所行之距離}}$$

$$\text{或} \quad \frac{W}{P} = \frac{D_1}{D_2}.$$

即作力 \times 作力施力點所行之距離 = 抵力 \times 抵力施力點所行之距離, 但作力 \times 作力施力點所行之距離為作力所作之工作, 或稱之曰加入機械之工作, 抵力 \times 抵力施力點所行之距離, 為抵力所作之工作, 或稱之曰由機械得出之工作。

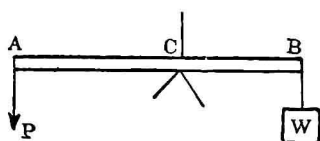
故無論用何種機械, 倘其本身之重不計, 且相對運動各部亦假定為無摩阻力時, 則加入機械之工作恆等於由機械得出之工作, 此謂之工作之定理。

如某機械之力比大於一, 是作力小於抵力, 然在同一時間內, 作力施力點所行之距離必大於抵力施力點所行之距離, 且二者恆依同一之比例焉。即無論用何種機械, 得之於力者, 必失之於速, 得之於速者, 必失之於力。蓋工作與能力相當, 固不能無因而增多也。機械之應用, 不過借各部結構之關係, 或變更力之大小, 或變更速率之高低, 或變更運動之種類, 以適於吾人之應用而已。

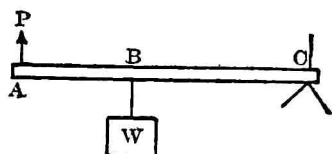
52. 機械效率 (Efficiency of a Machine). 無論何種機械, 抵力所作之工作對於作力所作之工作之比, 謂之此機械之效率。易言之, 即由機械得出之工作對於加入機械之工作之比也。就前段觀之, 倘不計機械本身之重與各部之摩阻力, 則二者之比恆等於一, 即機械效率等於 100%。惟實際上摩阻力之消耗決不能免, 即由機械得出之工作, 恆小於加入機械之工作, 機械效率恆小於一, 或恆小於 100% 也。

53. 槓桿 (Lever). 凡堅固之桿, 具有一定點, 其餘各部均可繞此定點而轉動者, 皆謂之槓桿, 機械中最簡單者也. 所具之定點名曰支點 (Fulcrum). 如用為機械時, 加力之點曰作力點, 生力之點曰抵力點. 又就桿之形狀分為兩種: (甲) 直槓桿. (乙) 曲槓桿.

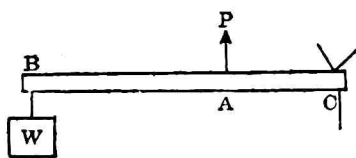
直槓桿. 直槓桿共分三類: 支點在作力點抵力點之間者, 為第一類槓桿, 如第 15 圖. 抵力點在支點作力點之間者, 為第二類槓桿, 如第 16 圖. 作力點在支點抵力點之間者, 為第三類槓桿, 如第 17 圖.



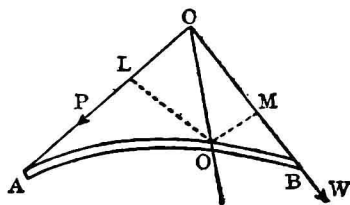
第 15 圖



第 16 圖



第 17 圖



第 18 圖

在三類槓桿中, 如作力為 P , 抵力為 W , 作力施力線距支點之垂直距離為 AC , 抵力施力點距支點之垂直距離為 BC , 倘槓桿本身之重置之不計, 作力與抵力適達平衡,

則

$$P \times AC = W \times BC.$$

曲槓桿. 如第18圖. 設 AOB 為一曲槓桿, O 為支點, A 為作力施力點, B 為抵力施力點, OL 為作力 P 施力線距支點之垂直距離, OM 為抵力, W 施力線距支點之垂直距離, 倘槓桿本身之重置之不計, 作力與抵力適達平衡.

$$\text{則} \quad P \times OL = W \times OM$$

54. 滑車 (Pulley). 滑車亦簡單機械之一種. 具有一金類或木製之輪, 中貫以軸, 輪可依之迴轉. 輪之周圍, 有一槽以受繩索, 軸之兩端則置於一架.

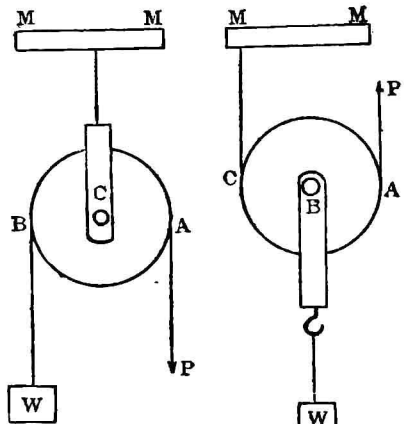
就同時工作之數目論, 滑車可分為兩種: (甲) 單體滑車, 只有一輪者是; (乙) 合併滑車, 有兩輪以上合於一處者是.

單體滑車. 單體滑車, 又分定滑車與動滑車兩種: 繩索移動, 軸架不移動者, 謂之定滑車, 如第19圖. 繩索移動, 軸架亦隨之移動者, 謂之動滑車, 如第20圖.

在兩圖之上, P 為所加之作力, W 為所起之重, MM 為固定之橫樑.

定滑車可視為第一類槓桿之變體, C 相當支點, A 相當作力點, B 相當抵力點. 按槓桿之定理計之, 倘摩擦阻力置之不計,

$$\text{則} \quad P \times AC = W \times BC$$



第 19 圖

第 20 圖

因 AC 與 BC 相等, (均為滑車之半徑),

故
$$W = P.$$

或 力比 = $\frac{W}{P} = 1.$

即所加之力須與所起之重相等, 故用定滑車起重, 但可變更運動之方向, 不能變更力之大小。

又就第19圖觀之, 在同一時間內, 作力點所行之距離, 必等於據力點所行之距離, 故速比亦等於一。

動滑車可視為第二類槓桿之變體, C 相當支點, A 相當作力點, B 相當抵力點, 按槓桿之理計之, 倘摩阻力與滑車本身之重量均置之不計,

則
$$P \times AC = W \times BC$$

但 AC 為滑車之直徑, BC 為滑車之半徑,

即
$$AC = 2BC,$$

故
$$P = \frac{W}{2}.$$

或 力比 = $\frac{W}{P} = 2.$

如將滑車本身之重計算在內, 設其重為 w , 則

$$P \times AC = (W + w) \times BC,$$

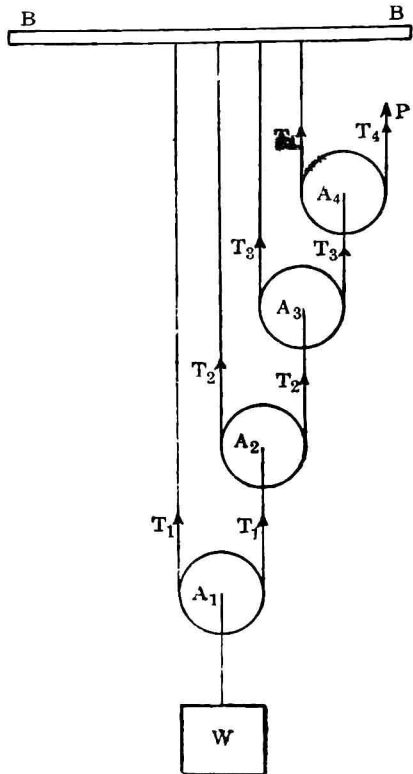
故
$$P = \frac{W + w}{2}.$$

又就第20圖觀之, 使 W 上升一呎, 則 CM , AP 二部須各縮

短一呎，即 P 點須上升二呎，是在同一時間內，作力點所行之距離等於抵力點所行距離之二倍。故其速比，亦等於二。但理論上作力所作之工作仍等於抵力所作之工作。

合併滑車 合併滑車共分三類。其分類之標準，原無一定之理由，不過就普通之習慣分之，期與他書一致而已。

第一類合併滑車 如第 21 圖， BB 為木製或鋼鐵製之橫樑。 A_1, A_2, A_3, A_4 為四動滑車。每滑車各有一繩通過之。各繩之左端，繫於 BB 樑上，右端則繫於上一滑車之軸上。至最上 A_4 滑車之右端，則施以作力 P 。最下 A_1 滑車之軸上，則繫重 W 。今假設 T_1, T_2, T_3, T_4 為各繩上之牽力，滑車與繩之重及摩阻力均略去不計，則其力比可求之如下：



第 21 圖

$$\begin{aligned} \therefore 2T_1 &= W, & \therefore T_1 &= \frac{1}{2}W. \\ \therefore 2T_2 &= T_1, & \therefore T_2 &= \frac{1}{2}T_1 = \frac{1}{2^2}W. \end{aligned}$$

$$\therefore 2T_3 = T_2, \quad \therefore T_3 = \frac{1}{2}T_2 = \frac{1}{2^3}W.$$

$$\therefore 2T_4 = T_3, \quad \therefore T_4 = \frac{1}{2}T_3 = \frac{1}{2^4}W.$$

但 $T_4 =$ 所加之作力 P ,

由此類推,假設有 n 個滑車合併一處,

則 作力 $P = \frac{1}{2^n}W$,

故 力比 = $\frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P} = 2^n$.

即用一倍之力可起 2^n 倍之重也。

如將各滑車之重計算在內,設其重爲 w_1, w_2, w_3, w_4 , 則 P 與 W 之關係可求之如下:

$$\therefore 2T_1 = W + w_1, \quad \therefore T_1 = \frac{W}{2} + \frac{w_1}{2}.$$

$$\therefore 2T_2 = T_1 + w_2, \quad \therefore T_2 = \frac{W}{2^2} + \frac{w_1}{2^2} + \frac{w_2}{2}.$$

$$\therefore 2T_3 = T_2 + w_3, \quad \therefore T_3 = \frac{W}{2^3} + \frac{w_1}{2^3} + \frac{w_2}{2^2} + \frac{w_3}{2}.$$

$$\therefore 2T_4 = T_3 + w_4, \quad \therefore T_4 = \frac{W}{2^4} + \frac{w_1}{2^4} + \frac{w_2}{2^3} + \frac{w_3}{2^2} + \frac{w_4}{2}.$$

即
$$P = \frac{W}{2^n} + \frac{w_1}{2^n} + \frac{w_2}{2^{n-1}} + \frac{w_3}{2^2} + \frac{w_4}{2}.$$

依此類推,如有 n 個滑車,

則
$$P = \frac{W}{2^n} + \frac{w_1}{2^n} + \frac{w_2}{2^{n-1}} + \frac{w_3}{2^{n-2}} + \dots + \frac{w_n}{2}.$$

如各滑車之重均相等,並以 w 代表每個之重量,

即

$$w_1 = w_2 = w_3 = \dots = w.$$

則

$$P = \frac{W}{2^n} + \frac{w}{2^n} + \frac{w}{2^{n-1}} + \frac{w}{2^{n-2}} + \dots + \frac{w}{2}.$$

或

$$2^n P = W + w(1 + 2 + 2^2 + 2^3 + \dots + 2^{n-1})$$

$$= W + w(2^n - 1) \text{ (按等比級數公式).}$$

第一類合併滑車之速比,可求之如下:

在同一時間內,如作力 P 所行之距離為 D_1 , 抵力 W 所行之距離為 D_2 , 按動滑車定理計之,

則

$$A_1 \text{ 滑車所行之距離} = D_2,$$

$$A_2 \text{ 滑車所行之距離} = 2D_2,$$

$$A_3 \text{ 滑車所行之距離} = 2^2 D_2,$$

$$A_4 \text{ 滑車所行之距離} = 2^3 D_2,$$

$$\text{作力 } P \text{ 所行之距離} = 2^4 D_2,$$

但

$$\text{作力 } P \text{ 所行之距離} = D_1,$$

故

$$2^4 D_2 = D_1$$

由此類推,倘有 n 個滑車合併一處,

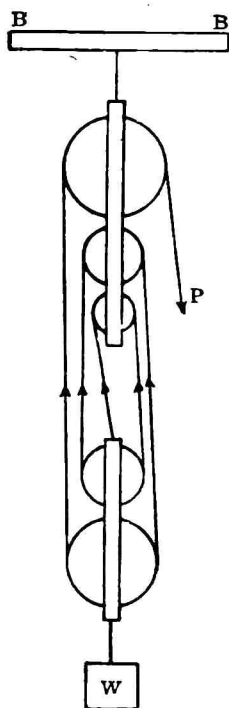
則

$$2^n D_2 = D_1.$$

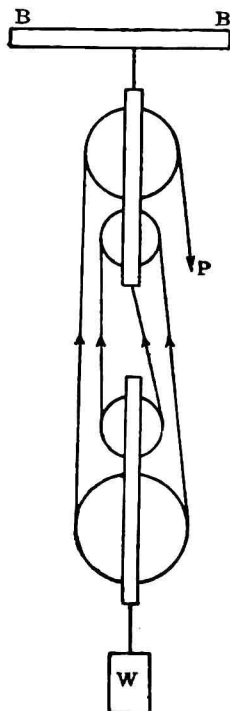
或

$$\text{速比} = \frac{\text{作力所行之距離}}{\text{抵力所行之距離}} = \frac{D_1}{D_2} = 2^n.$$

第二類合併滑車。如第 22 第 23 兩圖, BB 為固定之橫樑, 將數滑車分置於上下二架上, 而以一繩繞之。上面之架, 固定於 BB 。下面之架, 則可上下移動。懸重 W 於下架之底端。加力



第 22 圖



第 23 圖

P 於繩之一端，彼端則固定於架上。如上下兩部滑車數相等，則繩端須繫於上面架上（如第 22 圖）。如上部滑車數多一，則繩端須繫於下面架上（如第 23 圖）。

倘不計滑車之重與摩阻力，其力比可求之如下：

就第 22 圖觀之，可知抵力 W 為下面四繩所繫定，故 W 必等於四繩所受牽力之和。又因四繩原係一繩，故每繩之牽力各等於 P ，抵力 W 必等於 $4P$ 。

$$\text{即力比} = \frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P} = \frac{4P}{P} = 4.$$

由此類推，倘下面架上之繩數為 n ，

$$\text{則力比} = \frac{W}{P} = \frac{nP}{P} = n.$$

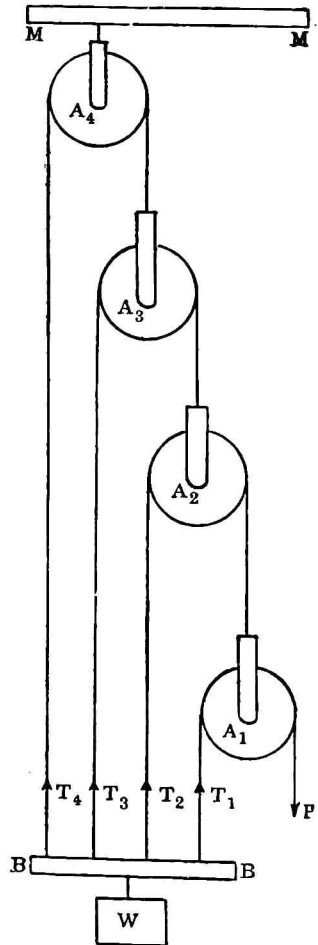
即用一倍之力，可起 n 倍之重也。

如將下面之架及下面滑車之重計算在內，設其重為 w ，則作力 P 與抵力 W 之關係必為

$$nP = W + w, \text{ 或 } P = \frac{W + w}{n}$$

又就第 22 圖觀之，倘抵力 W 上升一呎，則四段繩須各縮短一呎，即作力 W 須下降四呎。由此類推，如下面架上之繩數為 n ，則 W 上升一呎， P 須下降 n 呎，即速比亦等於 n 也。

第三類合併滑車 如第 24 圖， BB 為木製或鋼鐵製之橫樑，可上下移動。 A_1, A_2, A_3 為三動滑車， A_4 為一定滑車。每滑車各有一繩繞過之各繩之一端，繫於 BB 樑上，他端



第 24 圖

則繫於下一滑車之軸上。至最下 A_1 滑車繩之他端，則施以作力 P 。最上 A_4 滑車，則連於固定之 MM 樑上， BB 樑下懸重 W 。如各滑車及 BB 橫樑之 W 與摩阻力均不計，其力比可求之如下：

設 T_1, T_2, T_3, T_4 代表各繩上所受之牽力，

則

$$T_1 = P.$$

$$T_2 = 2T_1 = 2P.$$

$$T_3 = 2T_2 = 2^2P.$$

$$T_4 = 2T_3 = 2^3P.$$

因 W 爲四繩所繫，

故

$$\begin{aligned} W &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \\ &= P + 2P + 2^2P + 2^3P = P(1 + 2 + 2^2 + 2^3) \\ &= P\left(\frac{2^4 - 1}{2 - 1}\right) \text{ (按等比級數定理).} \end{aligned}$$

由此類推，設有 n 個滑車合併一處，

則

$$W = P\left(\frac{2^n - 1}{2 - 1}\right) = P(2^n - 1).$$

或

$$\text{力比} = \frac{W}{P} = 2^n - 1.$$

如將動滑車之重量計算在內，設其重爲 w_1, w_2, w_3 ，則作力 P 與抵力 W 之關係如下：

$$T_1 = P,$$

$$T_2 = 2T_1 + w_1 = 2P + w_1,$$

$$T_3 = 2T_2 + w_2 = 2^2P + 2w_1 + w_2,$$

$$T_4 = 2T_3 + w_3 = 2^3P + 2^2w_1 + 2w_2 + w_3,$$

故
$$W = T_4 + T_3 + T_2 + T_1 = (2^3 + 2^2 + 2 + 1)P + (2^2 + 2 + 1)w_1$$

$$+ (2 + 1)w_2 + w_3,$$

$$= \left(\frac{2^4 - 1}{2 - 1}\right)P + \left(\frac{2^3 - 1}{2 - 1}\right)w_1 + \left(\frac{2^2 - 1}{2 - 1}\right)w_2 + w_3,$$

$$= (2^4 - 1)P + (2^3 - 1)w_1 + (2^2 - 1)w_2 + (2 - 1)w_3,$$

由此類推,如有 n 個滑車,按第三類合併法合併之。

則
$$W = (2^n - 1)P + (2^{n-1} - 1)w_1 + (2^{n-2} - 1)w_2 + (2^{n-3} - 1)w_3$$

$$+ \dots + (2 - 1)w_{n-1}.$$

如各滑車之重均相等,並以 w 代表每個之重量,

則
$$W = (2^n - 1)P + w[2^{n-1} + 2^{n-2} + 2^{n-3} + \dots + 2 - (n - 1)]$$

$$= (2^n - 1)P + w[2^{n-1} + 2^{n-2} + 2^{n-3} + \dots + 2 + 1 - n]$$

$$= (2^n - 1)P + w(2^n - n - 1).$$

第三類合併滑車之速比,可求之如下:

如 W 上升 D_2 呎,則 A_3 滑車下降之距離 = D_2 呎。

∴ A_3 滑車下降之距離 = D_2 呎,

BB 橫樑上升之距離 = D_2 呎,

∴ A_2 滑車下降之距離 = $2D_2 + D_2 = 3D_2 = (2^2 - 1)D_2$ 呎。

∴ A_2 滑車下降之距離 = $3D_2$ 呎,

BB 橫樑上升之距離 = D_2 呎,

∴ A_1 滑車下降之距離 = $2 \times 3D_2 + D_2 = 7D_2 = (2^3 - 1)D_2$ 呎。

∴ A_1 滑車下降之距離 = $7D_2$ 呎,

BB 橫樑上升之距離 = D_2 呎.

∴ 作力 P 下降之距離 = $2 \times 7D_2 + D_2 = 15D_2 = (2^4 - 1)D_2$ 呎.

如作力 P 所行之距離為 D_1 ,

則 $(2^4 - 1)D_2 = D_1$.

由此類推, 設有 n 個滑車合併一處,

則 $(2^n - 1)D_2 = D_1$,

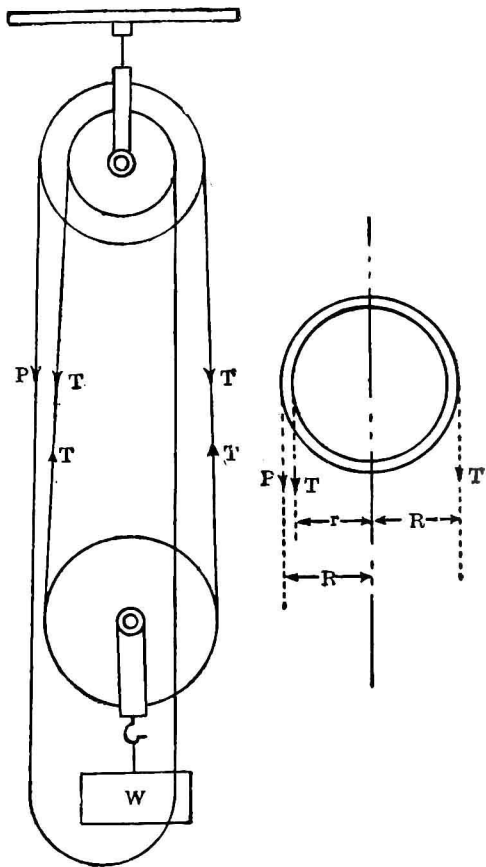
故速比

$$= \frac{\text{作力所行之距離}}{\text{抵力所行之距離}}$$

$$= \frac{D_1}{D_2} = 2^n - 1.$$

55. 差動滑車 (Differential Pulley Block).

差動滑車由相連同軸直徑不同之二定滑車, 及一動滑車而成. 又有連續鍊條一, 其經過各滑車之狀況, 如第 25 圖所示. 自 P 點起, 先經過定滑車之大者, 次繞動滑車, 然後經過定滑車



第 25 圖

中之小者，復下行與 P 點遇。定滑車之周圍具若干齒狀突起，與鍊條之環相銜接，使鍊條不致滑出。加力 P 於鍊條 P 點，繫重 W 於動滑車之下。如 R 爲大定滑車直徑， r 爲小定滑車之直徑， T 爲經過動滑車二部鍊條上之牽力，則其力比可求之如下：

因 W 爲 TT 二牽力所繫，故 $2T = W$ 。

又就各力繞定滑車軸之力率計之。

則 $P \times R + T \times r = T \times R$ 。

或 $P = \frac{T(R-r)}{R} = \frac{W}{2} \times \frac{R-r}{R} = \frac{W(R-r)}{2R}$ 。

故 力比 = $\frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P} = \frac{2R}{R-r}$ 。

就上式觀之，可知 R 與 r 相差愈小，則力比必愈大。

差動滑車之速比，可求之如下：

如定滑車旋轉一週，作力 P 下降距離 $= 2\pi R$ 。

鍊條在大定滑車纏繞之部分 $= 2\pi R$ 。

鍊條從小定滑車撤下之部分 $= 2\pi r$ 。

鍊條經過動滑車之部分，必縮短 $2\pi(R-r)$ 。

按動滑車定理，如經過動滑車之部縮短 $2\pi(R-r)$ ，則 W 必上

升 $\frac{1}{2} \times 2\pi(R-r) = \pi(R-r)$ 。

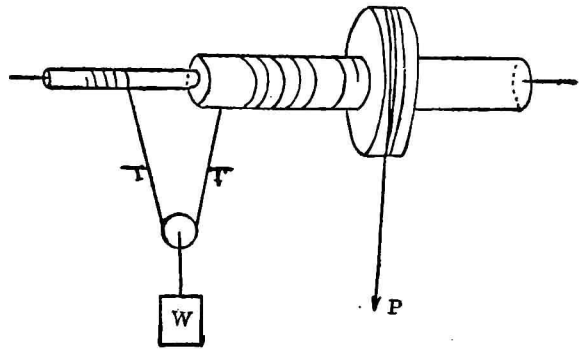
故 速比 = $\frac{P \text{ 所行之距離}}{W \text{ 所行之距離}} = \frac{2\pi P}{\pi(R-r)} = \frac{2R}{R-r}$ 。

56. 輪軸 (Wheel and Axle). 輪軸共分兩種：(一) 單式輪

軸；(二)複式輪軸。

單式輪軸 單式輪軸，由一輪與一軸構成，如第26圖。AB爲軸部，CD爲輪部，軸部之兩端，各具樞紐，軸可依之旋轉。又輪部與軸部各有一繩繞之，繩之一端，固定於輪軸，彼端在輪部者，爲施力處。

在軸部者爲繁重處，因二繩纏繞之方向適反，故作力下降，抵力即行上升。單式輪軸之力比，



第 26 圖

可求之如下：

設 R 爲輪部半徑， r 爲軸部半徑。

據力率定理，作力 P 繞軸心之力率，必與抵力 W 繞心之力相等。

即
$$P \times R = W \times r. \text{ 故力比} = \frac{W}{P} = \frac{R}{r}.$$

其速比可求之如下：

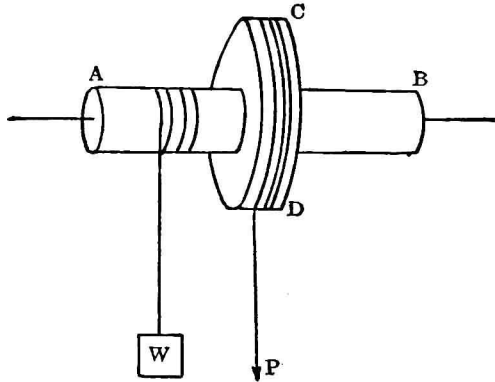
倘輪軸旋轉一週。

則
$$\text{作力 } P \text{ 下降之距離} = 2\pi R.$$

$$\text{抵力 } W \text{ 上升之距離} = 2\pi r.$$

故
$$\text{速比} = \frac{\text{作力 } P \text{ 下降之距離}}{\text{抵力 } W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R}{2\pi r} = \frac{R}{r}.$$

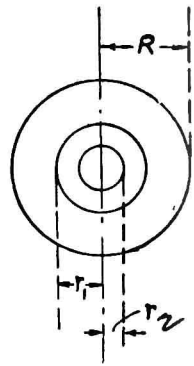
複式輪軸 複式輪軸一名差動輪軸(Differential Wheel and Axle),其構造如第27圖所示,與單式輪軸無大差異.惟軸部



第 27 圖

分粗細兩段,輪部與軸部各具繩索一,輪部繩索,一端固定於輪上,一端施力,軸部繩索,一端固定於粗軸,纏繞數週,下行經過繫重之動滑車,復上行,纏繞於細軸,其終點遂亦固定於其上.惟繩索在粗細二軸上纏繞之方向適反,故輪部旋轉時懸重之繩索,一部向上纏繞,一部向下撤退,二者差數之半,即為懸重上升之距離.

如 R 為輪部半徑, r_1 為粗軸半徑, r_2 為細軸半徑, P 為所加之作力, W 為所懸之重, T 為軸部繩索之牽力,則力比可求之如下:



第 28 圖

就第28圖觀之,倘不計繩索之斜度.

則 $2T = W.$

或 $T = \frac{W}{2}.$

又據力率定理,

$$P \times R + T \times r_2 = T \times r_1,$$

或 $P = \frac{T(r_1 - r_2)}{R}.$

將 T 之數值代入此式,

得 $P = \frac{W}{2} \times \frac{r_1 - r_2}{R} = \frac{W(r_1 - r_2)}{2R}.$

故 力比 $= \frac{W}{P} = \frac{2R}{r_1 - r_2}.$

複式輪軸之速比,可求之如下:

倘不計繩索之斜度,如輪軸向作力方向旋轉一週.

P 下行之距離 $= 2\pi R.$

軸部繩索向粗軸纏繞之部分 $= 2\pi r_1.$

軸部繩索從細軸撤下之部分 $= 2\pi r_2.$

軸部繩索縮短之部分 $= 2\pi(r_1 - r_2).$

懸重 W 上升之距離 $= \frac{1}{2} \times 2\pi(r_1 - r_2).$
 $= \pi(r_1 - r_2).$

故 速比 $= \frac{P \text{ 下行之距離}}{W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R}{\pi(r_1 - r_2)} = \frac{2R}{r_1 - r_2}.$

57. 螺旋起重機(Screw Jack). 螺旋起重機之構造,如第 29 圖所示. AB 為垂直之螺旋,其下部通過具有陰螺旋之三

足架 C , 其上部固定於一輪 D . 輪之周圍, 有小槽以通繩索, 繩索之一端, 固定於輪上, 彼一端為加力處. 又輪上復有木盤 E , 擬起之重, 即置於其上. 如輪之半徑為 R , 螺旋之螺節為 p , 所加之力為 P , 所起之重為 W , 則速比可求之如下: (螺節者乃沿螺旋之方向, 自一螺旋線之任一點, 至次一螺旋線相對之點之直線距離)

如 D 輪旋轉一週.

P 所行之距離 $= 2\pi R$.

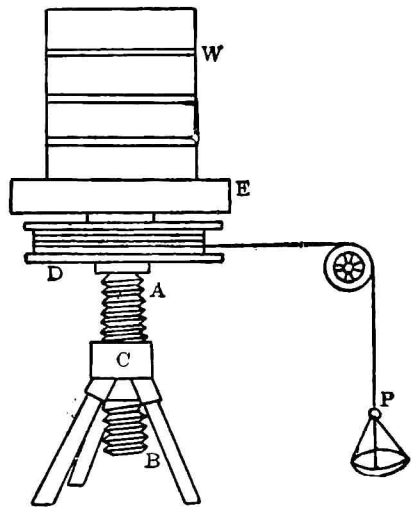
W 上升之距離 $= p$.

故

$$\text{速比} = \frac{P \text{ 所行之距離}}{W \text{ 所行之距離}} = \frac{2\pi R}{p}$$

據工作之定理, 其力比理論上當與其速比相等, 即力比亦等於 $\frac{2\pi R}{p}$ 也. 其直接證明, 非明斜面與螺旋定理, 不易明瞭, 故從略.

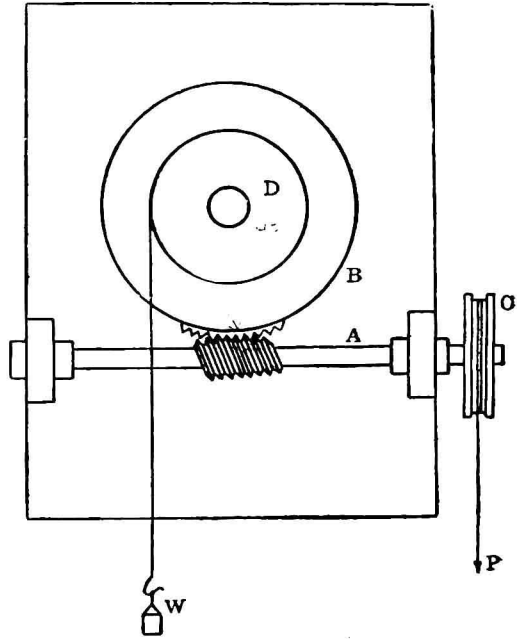
58. 螺旋桿與螺旋輪 (Worm and Worm Wheel). 此機之構造, 如第 30 圖所示. A 為螺旋桿, B 為螺旋輪, C 與 D 為二鍊



第 29 圖

輪, C 輪固定於螺旋桿, 其繩索之一端, 爲加力處. D 輪固定於螺旋輪, 其繩索之一端, 爲懸重處. 如加力於 C 輪之繩索, C 輪旋轉, A, B, C 三部皆隨之旋轉, 重遂因之升起.

如 C 輪之半徑爲 R_1 , D 輪之半徑爲 R_2 , 螺旋輪之齒數爲 n , 所加之作力爲 P , 所



第 30 圖

起之重爲 W , 則速比可求之如下:

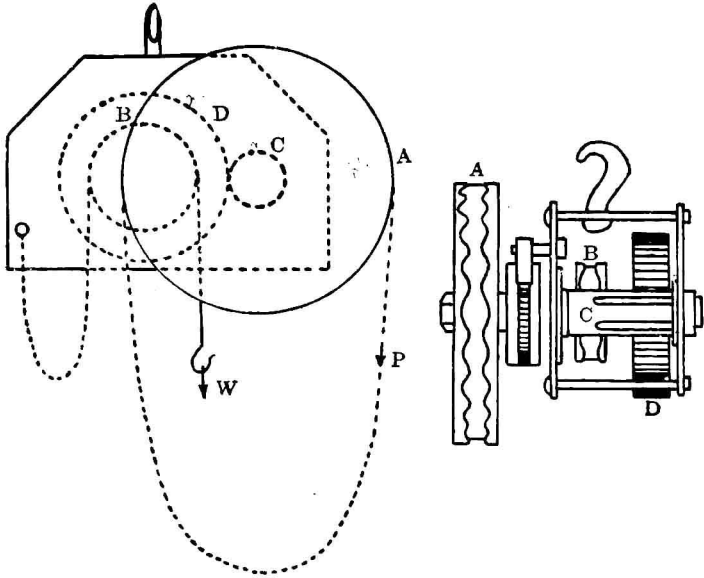
- 設 C 輪旋轉一週.
- 則 P 下降之距離 $= 2\pi R_1$.
- A 桿旋轉之數 $= 1$,
- B 輪前進之齒數 $= 1$,
- B 輪旋轉之數 $= \frac{1}{n}$.
- D 輪旋轉之數 $= \frac{1}{n}$.

$$W \text{ 上升之距離} = \frac{1}{n} \times 2\pi R_2.$$

故 速比 = $\frac{P \text{ 下降之距離}}{W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R_1}{\frac{1}{n} 2\pi R_2} = \frac{nR_1}{R_2}.$

理論上之力比，亦與此相等，然因機械本體之重與各部摩阻力，實際上之力比較此為低，不過依此為比較之標準而已。

59. Morrie 氏起重機。此機之構造，如第 31 圖所示。A 為



第 31 圖

作力輪 B 為抵力輪，C 與 D 為互相銜接之二齒輪，C 與 A 在一軸上，D 與 B 在一軸上，又 A, B 二輪周圍各有齒狀突起，與鍊環相銜，故加力於 A 輪之鍊條，B 輪鍊條上所繫之重，即因

之提起。

如 P 爲作力, W 爲繫重, R_1 爲 A 輪之半徑, R_2 爲 B 輪之半徑, n_1 爲 C 齒輪之齒數, n_2 爲 D 齒輪之齒數, 其速比可求之如下:

倘 A 輪旋轉一週,

$$P \text{ 下降之距離} = 2\pi R_1,$$

$$C \text{ 齒輪旋轉之數} = \frac{1}{1}.$$

$$D \text{ 齒輪前進之齒數} = n_1,$$

$$D \text{ 齒輪旋轉之數} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$B \text{ 輪旋轉之數} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$W \text{ 上升之距離} = \frac{n_1}{n_2} \times 2\pi R_2.$$

故 速比 = $\frac{P \text{ 下降之距離}}{W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R_1}{\frac{n_1}{n_2} \times 2\pi R_2} = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}.$

倘不計各部之重與摩阻力, 其力比可求之如下:

設輪齒上所受之推力 = F . (施力點經過二輪之節點)

$$C \text{ 齒輪節圓之半徑} = r_c,$$

$$D \text{ 齒輪節圓之半徑} = r_d,$$

按力率或槓桿定理,

$$P \times R_1 = F \times r_c \text{ 或 } F = \frac{PR_1}{r_c} \dots \dots \dots (1)$$

$$W \times R_2 = F \times r_d \text{ 或 } F = \frac{WR_2}{r_d} \dots \dots \dots (2)$$

從 (1), (2) 兩式得
$$\frac{PR_1}{r_c} = \frac{WR_2}{r_d}$$

故 力比 =
$$\frac{\text{抵抗力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P} = \frac{r_d R_1}{r_c R_2}$$

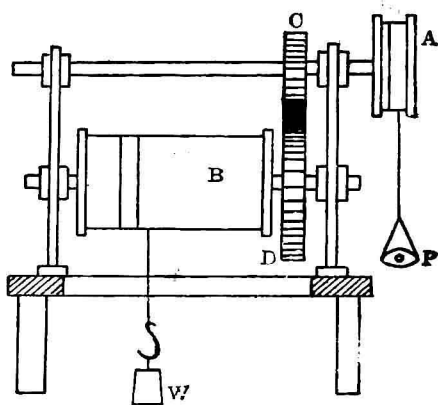
按齒輪定理,相銜接之二輪,其節圓之半徑與其齒數成正比.

即
$$\frac{r_d}{r_c} = \frac{n_2}{n_1}$$

故 力比 =
$$\frac{W}{P} = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}$$

60. 絞盤(Windlass). 絞盤分單式複式兩種.

單式絞盤 此機之構造,略如第32圖所示. *A* 爲作力輪, *B* 爲轆轤, *C* 與 *D* 爲互相銜接之二輪, *A* 與 *C* 同軸, *B* 與 *D* 同軸,加力於作力輪之繩索,所繫之重,即被升起.



第 32 圖

如作力爲 P , 懸重爲 W , 作力輪之半徑爲 R_1 , 轆轤之半徑爲 R_2 , C 齒輪之齒數爲 n_1 , D 齒輪之齒數爲 n_2 , 其速比可求之如下:

倘 A 輪旋轉一週，

作力 P 下降之距離 $= 2\pi R$ ，

C 齒輪旋轉之數 $= 1$ ，

D 齒輪前進之齒數 $= n_1$ ，

D 齒輪旋轉之數 $= \frac{n_1}{n_2}$ ，

轆轤旋轉之數 $= \frac{n_1}{n_2}$ ，

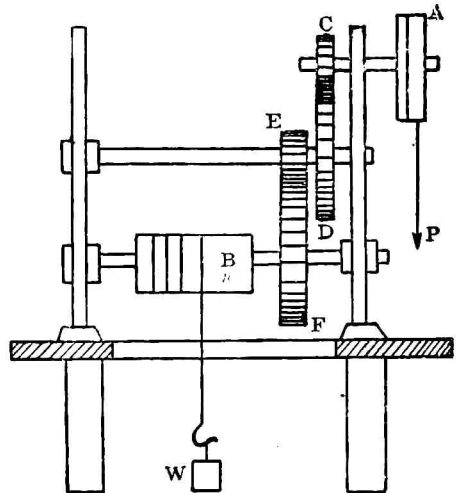
懸重 W 上升之距離 $= \frac{n_1}{n_2} \times 2\pi R_2$ 。

故速比 $= \frac{P \text{ 下降之距離}}{W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R_1}{\frac{n_1}{n_2} \times 2\pi R_2} = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}$ ，

按前節求力比之法，可求得此機之力比亦等於 $\frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}$

複式絞盤 複式絞

盤與單式者同理，惟齒輪之數為四，乃其異點。如第 33 圖， A 為作力輪， B 為轆轤， C, D, E, F 為四齒輪， C 與 A 同軸， F 與 B 同軸， DE 固定於同一軸， C 與 D 相銜接， E 與 F 相銜接，加力於作力輪之繩索，則轆轤繩索上所繫之重，即因之升起。



第 33 圖

如作力爲 P , 懸重爲 W , 作力輪之半徑爲 R_1 , 轆轤之半徑爲 R_2 , C, D, E, F 四齒輪之齒數爲 n_1, n_2, n_3, n_4 , 其速比可求之如下:

倘作力輪旋轉一週,

則作力 P 下降之距離 $= 2\pi R_1$,

C 齒輪旋轉之數 $= 1$,

D 齒輪前進之齒數 $= n_1$,

D 齒輪旋轉之數 $= \frac{n_1}{n_2}$,

E 齒輪旋轉之數 $= \frac{n_1}{n_2}$,

F 齒輪前進之齒數 $= \frac{n_1}{n_2} \times n_3$,

F 齒輪旋轉之數 $= \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4}$,

轆轤旋轉之數 $= \frac{n_1 n_3}{n_2 n_4}$,

懸重 W 上升之距離 $= \frac{n_1 n_3}{n_2 n_4} \times 2\pi R_2$

故速比 $= \frac{P \text{ 下降之距離}}{W \text{ 上升之距離}} = \frac{2\pi R_1}{\frac{n_1 n_3}{n_2 n_4} \times 2\pi R_2} = \frac{n_2 n_4 R_1}{n_1 n_3 R_2}$.

倘不計各部之重與摩阻力, 其力比可求之如下:

設 C, D 二輪, 輪齒上所受之推力 $= F_1$,

E, F 二輪, 輪齒上所受之推力 $= F_2$,

C, D, E, F 四輪節圓之半徑爲 r_1, r_2, r_3, r_4 ,

據力率或槓桿定理,

$$P \times R_1 = F_1 \times r_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$F_1 \times r_2 = F_2 \times r_3 \dots\dots\dots(2)$$

$$F_2 \times r_4 = W \times R_2 \dots\dots\dots(3)$$

從第一式得 $F_1 = \frac{PR_1}{r_1},$

從第三式得 $F_2 = \frac{WR_2}{r_4},$

將 F_1 與 F_2 之值代入第二式,得

$$\frac{PR_1 r_2}{r_1} = \frac{WR_2 r_3}{r_4}.$$

故 力比 = $\frac{W}{P} = \frac{r_2 r_4 R_1}{r_1 r_3 R_2},$

按齒輪定理,相銜之二輪,其節圓之半徑,與齒數成正比,

即

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{r_4}{r_3} = \frac{n_4}{n_3}.$$

故 力比 = $\frac{n_2 n_4 R_1}{n_1 n_3 R_2}.$

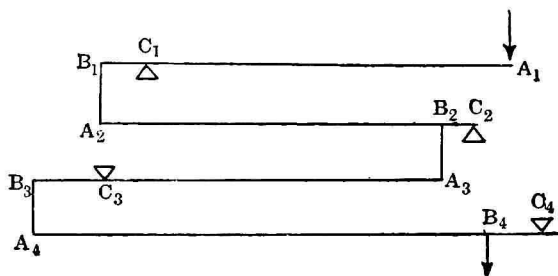
習 題

1. 直槓桿共分幾類?試詳述之. 今有一直槓桿,長7呎,一端懸重6磅,一端懸重8磅,倘槓桿之重置之不計,問此桿之支點,當在何處,全體方得平衡?又如平衡以後,兩端各再加重1磅,問此桿將向何方動轉?

2. 今有人擬藉直槓桿之作用, 移起千磅之物, 倘支點距抵力點之距離為一呎, 此人能加之作力為 50 磅, 問此桿須長若干呎? (桿重不計.)

3. 長 5 呎重 10 磅之桿, 支點位於一端, 由支點起, 1 呎之處繫重 3 磅, 3 呎之處繫重 6 磅, 如加某力於他端, 使此桿平衡靜止, 問支點上所受之壓力幾何?

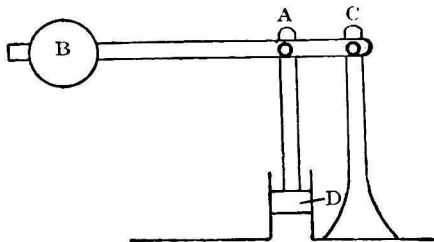
4. $A_1 B_1$, $A_2 B_2$, $A_3 B_3$, $A_4 B_4$ 係連同動作之四槓桿. C_1, C_2, C_3, C_4 為各



第 34 圖

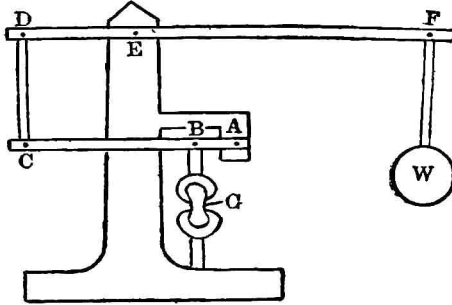
桿之支點, 各段之距離如下: $A_1 C_1$ 等於 10 呎, $B_1 C_1$ 等於 1 呎, $A_2 C_2$ 等於 10 呎, $B_2 C_2$ 等於 1 呎, $A_3 C_3$ 等於 9 呎, $B_3 C_3$ 等於 2 呎, $A_4 C_4$ 等於 14 呎, $B_4 C_4$ 等於 2 呎, 倘加 100 磅之力於 A 點, 問 B_1 點所受之壓力若干? (桿重不計.)

5. 第 35 圖, 為蒸汽鍋爐上所用之保安瓣, AC 等於 5 吋, BC 等於 25 吋, D 處之直徑等於 1 吋, 如計畫此保安瓣時, 擬使鍋爐內蒸汽壓力超過每方吋 150 磅時, 保安瓣即須自啓, 問 B 處所加之重, 應為若干磅? (桿重不計.)



第 35 圖

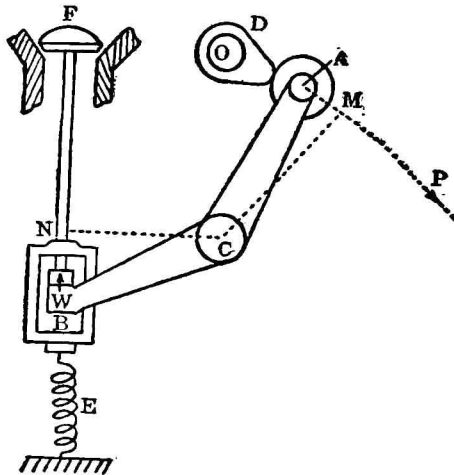
6. 第 36 圖為試驗洋灰牽力之機械, G 為標本, 其橫斷面為 1 方吋, H 為機架, 藉 ABC , DEF 二槓桿之作用, 加較小之重 W 於 F , 可生較大之力於



第 36 圖

B . 如 AB 等於 2 吋, BC 等於 8 吋, DE 等於 6 吋, EF 等於 24 吋, 倘加 40 磅之重於 F 點, 則標本適被牽斷, 問此種洋灰, 每方吋能受之最大牽力為若干磅?

7. 第 37 圖為一槓氣機之出氣瓣, ABC 為作用出氣瓣之曲槓桿, D 為



第 37 圖

凸輪 (Cam), O 為邊軸, E 為彈簧, F 為出氣瓣, CM 為 C 點對於凸輪施力線

AP 之垂直線 CN 為 C 點對於抵力 W 施力線之垂直線。倘 CM 等於 12 吋, CN 等於 10 吋, P 力等於 3 磅, 問彈簧所受之牽力為若干磅?

8. 單體滑車分幾種? 試詳述之。

9. 試求第一類合併滑車之力比 (滑車重不計), 設有五個動滑車, 按第一類合併滑車法合併之, 倘加主力 100 磅, (a) 如不計滑車之重, (b) 每滑車之重, 均為 2 磅, 問各能起重若干磅?

10. 設有重 6400 磅之物, 今欲以六個滑車按第一類合併滑車法提起之, (a) 如不計滑車之重, (b) 如每滑車均為 1 磅, 問各須用力若干磅?

11. 試求第二類合併滑車之力比與速比 (滑車重不計), 設有重 800 磅之物, 今欲以下面木架上有八線之第二類合併滑車提起之, (a) 如不計下面木架與滑車之重, (b) 如下面木架與滑車之重等於 80 磅, 問各須力若干磅?

12. 如作力為 P , 抵力為 W , 滑車數為 n , 倘不計滑車本體之重, 試證第三類合併滑車之力比等於 $2^n - 1$. 今有六個滑車, 照第三類合併滑車合併之, (a) 如不計滑車之重, (b) 如每滑車之重均為 2 磅, 倘加作力 100 磅, 問各能起重若干磅?

13. 試述差動滑車之構造, 並求其力比, 如大定滑車之半徑等於 18 吋, 小定滑車之半徑等於 17 吋, 倘加作力 100 磅, 如不計機械本體之重與摩阻力, 問能起重若干磅?

14. 詳述複式輪軸之構造, 並求其力比, 如輪部半徑等於 20 吋, 粗軸半徑等於 8 吋, 細軸半徑等於 $7\frac{1}{2}$ 吋, 如不計滑車之重與摩阻力, 倘加於作力 100 磅, 問能起重若干磅?

15. 詳述螺旋起重機之構造, 並求其速比, 如螺旋之螺節等於 $\frac{1}{4}$ 吋, 作力輪之半徑等於 6 吋, 如不計機械本體之重, 倘加作力 100 磅, 問能起重若干磅?

16. 試述螺旋桿與螺旋輪之構造, 並求其速比, 如作力輪之半徑等於 6 吋, 抵力輪之半徑等於 10 吋, 螺旋輪之齒數為 90, 如不計摩阻力與本體

之重，倘擬起重 6400 磅，問當加力若干磅？

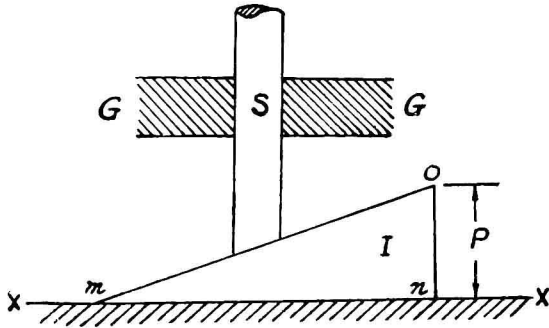
17. 試述 Morrie 氏起重機之構造，並求其理論上之力比。如作力輪之半徑為 12 吋，抵力輪之半徑為 8 吋，與作力輪同軸之齒輪，其齒數為 16，與抵力輪同軸之齒輪，其齒數為 80，如不計摩阻力，倘加作力 100 磅，問能起重若干磅？

18. 試述複式絞盤之構造，並求其理論上之力比。如前第 33 圖。A 輪之半徑為 10 吋，繞盤之半徑為 5 吋，C, D, E, F 四齒輪之齒數為 12, 30, 15, 90。如不計摩阻力，倘加作力 100 磅，問能起重若干磅？

第 三 章

螺 旋 (Screw).

61. 斜面 (Inclined Plane). 如第 38 圖, 設 I 爲一斜面. 其下面 mn 係一水平面. 置於一水平面 XX 上, 並能沿之滑動. 其



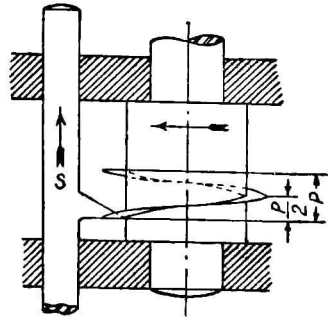
第 38 圖

上面 mo 則與水平面成一定之斜度. 其背面 no 與 mn 垂直.

S 爲一滑桿, 可沿導路 GG 上下滑動. 其下端與 I 之上面有同樣之斜度.

將 S 置於 I 之最左端, 設 I 向左一段距離 mn , 則 S 必向上移動一段距離 P .

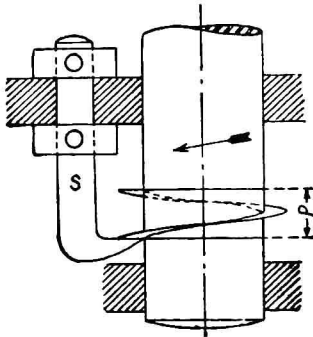
62. 螺旋線 (Screw Threads). 在第38圖之斜面 mo 上, 如覆以用柔軟物質製成之極薄狹條, 並使纏繞於一圓柱上. 圓柱之圓周適等於 mn 之長度, 則代表原來斜面之狹條必成為螺旋線形. 如第39圖所示.



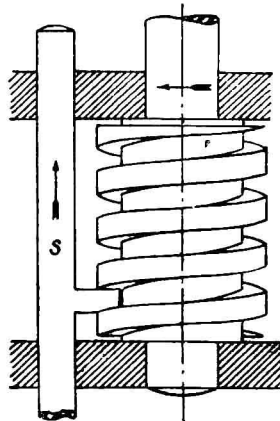
第 39 圖

設滑桿 S 橫出一尖, 止於狹條之面上, 則當圓柱按箭頭之方向迴轉時, S 必被升起. 蓋此時螺旋線形之面對於 S 之作用, 與第38圖上之斜面對於滑桿之作用, 完全相同也. 當圓柱迴轉一整周時, S 上升之距離亦為 P .

如第40圖, 設滑桿 S 固定不動, 其下部亦橫出一尖. 圓柱則於迴轉之外, 同時更能向一端運動. 圓柱之全重, 由螺旋線



第 40 圖



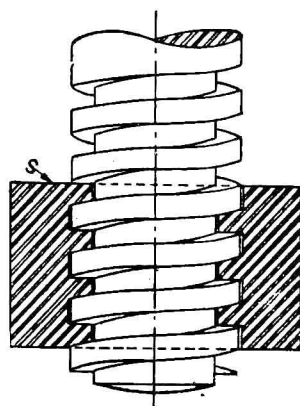
第 41 圖

狹片之底面傳達於 S 之橫尖上,此時若使圓柱沿箭頭所示之方向迴轉一周,則其本身必下行一段距離 P .

第41圖亦表示一狹條纏繞於一圓柱之上.纏繞之方法,與前相同,所異者只狹條較厚,纏繞之次數較多耳.

在實際上,係於一定直徑之金屬圓柱上切去一螺旋槽,各槽間所餘之部分,即相當前述之螺旋狹條.

經過此種工作後之圓柱,即謂之一螺旋(Screw).其突起之部,即前所稱之螺旋狹條者,謂之螺旋線(Screw Thread)



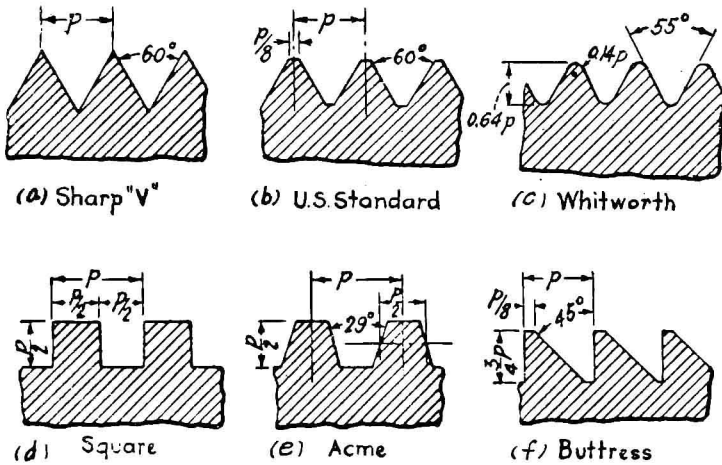
第 42 圖

此種螺旋對於其從動部之作用與第38第39兩圖所述之情形毫無差異,即螺旋若在一定之位置迴轉,滑動桿或相當滑動桿之件即因之上下移動.反之,若滑動桿在一定之位置不動,則螺旋當迴轉時,同時本身必上下移動.

又螺旋線與滑動桿接觸之處,實際上亦非只橫出之一尖,而為圓形,方形或六角形之機械,其內部切有同一大小,同一斜度,同一式樣之螺旋線孔,使恰與螺旋線相符合.備有此種螺旋線孔之機件,普通謂之螺旋母(Screw Nut).

63. 螺旋線之形狀(Forms of Screw Threads). 螺旋線之形狀,主要者如第43圖所示.圖中(a),(b),(c)三種均謂之V形

線 (V-Thread), (a) 謂之銳 V (Sharp "V") 線或滿 V 線 (Full V), (b) 謂



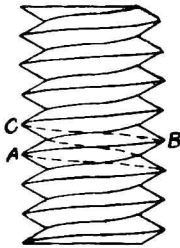
第 43 圖

之美國標準線 (U. S. Standard), (c) 謂之 Whitworth 線。此三種無論在機械上或構造上用以連結兩件或兩部於一處時多用之彼此間互相不同之點,如圖上所示。(d) 謂之方線 (Square Thread), (e) 謂之愛克母線 (Acme Thread) 或改良方線,多用以傳達動力或運動,如前述之螺旋起重機 (Screw Jack) 及齒床之導螺旋 (Lead Screw) 等愛克母線因兩邊微行傾斜,螺旋線之根部比較堅固,且易使兩半之螺旋母合併於其上,或由之取下,故應用之處更多。(f) 謂之斜方線 (Buttress Thread),所傳達之動力只向一方向時,即使所受之壓力只在垂直面上時用之。

64. 單線與複線 (Single and Multiple Threads). 以前所

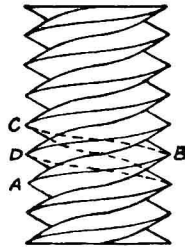
述各種螺旋線，皆係單線。即螺旋線係圓柱上所切單一連續之螺旋槽中間所留之部分所構成。如同時在圓柱上切彼此平行之兩螺旋線槽，則所留之部分即為雙線(Double Thread)。如同時在圓柱上切彼此平行之三螺旋線槽，則所留之部分即為三線(Triple Thread)。其餘依此類推。

單線雙線及三線螺旋之實在情形，如第44第45及第46三圖所示。



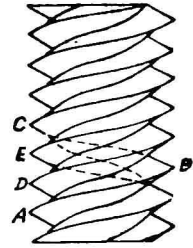
Single Thread

第 44 圖



Double Thread

第 45 圖



Triple Thread

第 46 圖

在單線螺旋，如用手指任意按線上之一點，例如按線上之A點，然後沿線迴轉一周，則手指必至一點C。即沿螺旋線迴轉一周，手指沿螺旋軸之方向前進一段距離AC。在雙線螺旋，迴轉一周後，手指亦至一C點，但此時A,C兩點之間尚隔一D點。D即為第二線或平行線上之一點。依同理，如手指沿一三線螺旋迴轉一周，由A至C，A,C兩點之間即隔D,E兩點。由此觀之，可知同係迴轉一周，在雙線螺旋，手指前進之距離，二倍於前。在三線螺旋，手指前進之距離，三倍於前。故當螺旋

線須細，而螺旋之導程（見下段）須大時，多用複線螺旋。

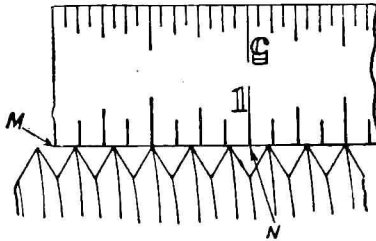
65. 螺旋之導程與螺節 (Lead and Pitch). 當螺旋線纏繞一周，線上一點沿螺旋軸之方向前進之一段距離，即前段所言之 A, C ，普通多謂之螺節 (Pitch 有譯螺距者)，但若稱之為導程 (Lead)，則較為妥善，即無論單線或複線，當螺旋線纏繞一周，線上一點沿螺旋軸之方向前進之一段距離，均謂之導程。螺節則用以表示沿螺旋軸之方向，螺旋線上之任一點至相鄰之別一螺旋線上相當之點之距離（無論單線或複線）。

在單線螺旋，導程與螺節相同。在雙線螺旋，導程為螺節之二倍。在三線螺旋，導程為螺節之三倍。

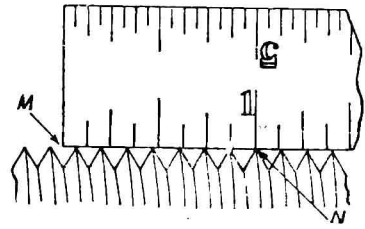
又如螺旋母固定不動，螺旋在其中迴轉一周，則螺旋前進之距離，恆等於導程之長。若螺旋只能迴轉不能向一端移動，同時使螺旋母不能迴轉，只能沿螺旋軸之方向移動，則螺旋迴轉一周，螺旋母向一邊移動之距離，亦恆等於導程之長。

66. 每吋之線數 (Threads Per Inch). 螺旋線之大小，普通多用螺旋上每吋有若干線數表之。第 47 圖表示一呎與一螺旋之一邊相接觸，尺之一端 M 點正對一螺線槽之中心，距 M 點一吋距離之 N 點，恰與另一螺線槽相對。兩槽之間共有五整線。此螺旋即稱之為每吋五線之螺旋。不計其為單線或複線也。

在第 48 圖， M 點仍正對一螺線槽， N 點則恰與一螺旋線



第 47 圖



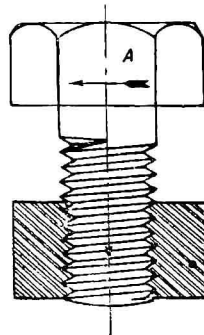
第 48 圖

之頂端相接，且兩點之間有七線，故此螺旋每吋有七個半線
即此螺旋應稱之為每吋七個半數之螺旋

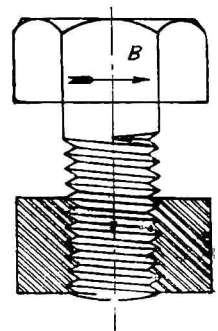
又每吋之線數，恰為螺節之反數。例如每吋八線之螺旋，
其螺節為 $1/8$ 吋。在單線螺旋，每吋之線數並為導程之反數。

至實際每吋之線數，係按螺旋之直徑變化，美國標準線
及 Whitworth 標準線，按直徑大小每吋應有之線數，可參看拙
編機械原理及經驗計畫，茲不贅述。

67. 右螺旋線與左螺旋線 (Right-hand and Left-hand
Threads). 如第 49 圖。當一人在螺旋之正面觀察，所有螺旋
線，其向下傾斜之度，
均係由右向左，此種螺
旋線，謂之右螺旋線。
如第 50 圖，如所有螺
旋線，其向下之傾斜
度，均係由左向右，則謂
之左螺旋線。



第 49 圖

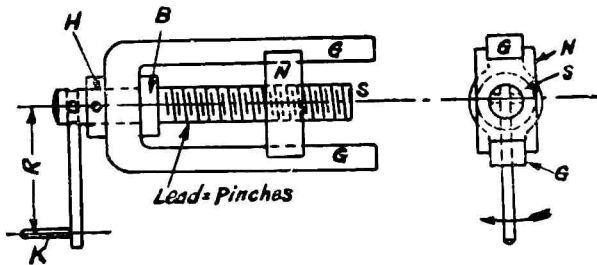


第 50 圖

又有右螺旋線之螺旋，如按箭頭 *A* 所指之方向迴轉，則必沿固定之螺旋母向下運動。若螺旋只能迴轉，不能上下，則螺旋母將被提升（假定螺旋母不能迴轉，只能上下）。有左螺旋線之螺旋，如按箭頭 *B* 所指之方向迴轉，則向下行，或將螺旋母提升。

又如一人由螺旋之上端觀察，將一右螺旋線之螺旋向右迴轉，或按表針迴轉之方向迴轉，則螺旋將漸漸遠離。若將一左螺旋線之螺旋向左迴轉，則螺旋將漸漸遠離。

68. 螺旋或螺旋母之速率對於迴轉柄上一點之速率之關係。如第 51 圖，將螺旋 *S* 裝置於軸承內，並由軸環限制



第 51 圖

之，使不能左右移動，螺旋之導程為 *P* 吋。在 *S* 上更裝置一螺旋母 *N*。此螺旋母可沿導路 *GG* 左右移動，惟不能迴轉。

將帶有 *K* 柄之曲柄，裝置於螺旋之一端。 *K* 柄中心線距螺旋軸之垂直距離為 *R* 吋。試求 *K* 柄之速率與螺旋母 *N* 之速率之關係。

將曲柄迴轉一周，螺旋當然亦迴轉一周。螺旋母沿導路

所行之距離必為 P 吋。但當曲柄迴轉一周時， K 柄之中心線必行半徑為 R 之一圓周，即所行之距離必為 $2\pi R$ 吋。

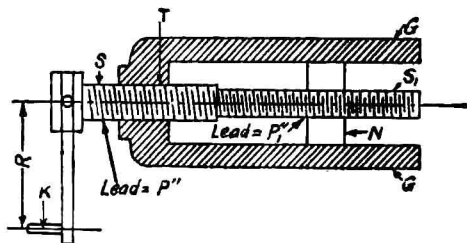
故
$$\text{速比} = \frac{2\pi R}{P}.$$

根據工作之定理，若不計摩阻力之消耗，則力比應與其速比相等。

即
$$\text{力比} = \frac{N \text{ 處所生之力}}{K \text{ 處所加之力}} = \frac{2\pi R}{P}.$$

69. 複式螺旋或差動螺旋 (Compound or Differential Screw)

第 52 圖，表示一種複式螺旋或差動螺旋，由導程相差極微之兩部組合而成。S 一部之導程等於 P 吋，裝置於架上備有螺旋母之



第 52 圖

一部 T 。S₁ 一部則另具一種螺旋線，其導程等於 P_1 吋。通過螺旋母 N ， N 可沿導路 GG 移動，惟不能迴轉。

當螺旋迴轉時，其結果係使 S 一部沿 T 移動，而螺旋母 N 則沿 S_1 移動。

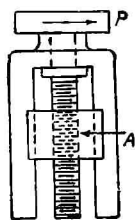
設 $P = \frac{1}{2}$ 吋， $P_1 = \frac{7}{16}$ 吋，並同為右螺旋（即具右螺旋線之螺旋，下同）。倘 K 柄向右迴轉一周，全螺旋必經過 T 部之螺旋母向右移動 $\frac{1}{2}$ 吋。此時如無 S_1 一部之螺旋線， N 亦必向右移動

$\frac{1}{3}$ 吋。但因 S_1 亦備有右螺旋線之故，同時 N 必向左移動 $\frac{7}{16}$ 吋。故結果 N 向右移動之實在距離為 $P - P_1 = \frac{1}{2} - \frac{7}{16} = \frac{1}{16}$ 吋。不用極細之線，即能得到較大之速比。

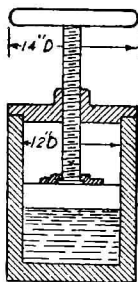
反而言之，若 $P = \frac{1}{2}$ 吋，係右螺旋； $P_1 = \frac{7}{16}$ ，係左螺旋。則當 K 柄向同一方向迴轉一周時，結果 N 向右移動之實在距離為 $P + P_1 = \frac{1}{2} + \frac{7}{16} = \frac{15}{16}$ 吋。結果約與複線螺旋同。

習 題

1. 某螺旋起重機之螺旋，係一雙線螺旋。一螺旋線之厚度為 $\frac{1}{4}$ 吋。（方線，沿螺旋軸之方向量）。如迴轉柄之長度為 20 吋，問此機之速比為何？
2. 如第 53 圖，設手輪每分鐘沿箭頭所指之方向迴轉 40 次。螺旋母 N 則於 45 秒鐘內被提升 $3\frac{3}{4}$ 吋。問螺旋之導程為何？又螺旋線係右螺旋線抑係左螺旋線？
3. 如第 54 圖，設手輪之直徑為 14 吋，活塞之直徑為 12 吋，螺旋線係雙



第 53 圖



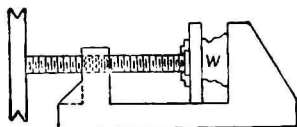
第 54 圖

線，其導程為 $\frac{1}{4}$ 吋。作力消耗於摩擦阻力之部分假定為百分之二十。倘加作力

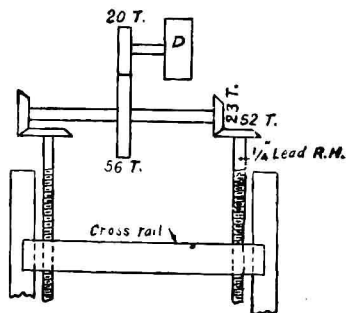
40 磅，問活塞下之水每方吋上所受之壓力為若干磅？

4. 如第 55 圖，於迴轉輪周緣之槽中，繞繩一條，其中心線距輪心之距離為 $4\frac{1}{2}$ 呎。倘在繩上所加之力為 75 磅，在 W 處所生之力為 3500 磅，作力消耗於摩阻力之部分為百分之四十五，問螺旋之導程為何？

5. 如第 56 圖，設 D 為原動輪， C 為從動橫樑，兩螺旋桿之導程均為 $1/4$ 吋，且均係右螺旋，各齒輪之齒數如圖上所示。倘 D 輪每分鐘迴轉 300 次，問 C 橫樑每分鐘上升之距離為何？

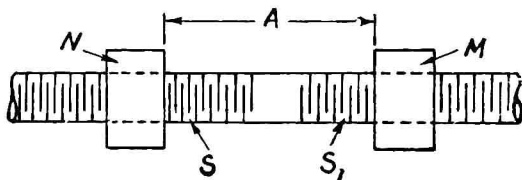


第 55 圖



第 56 圖

6. 如第 57 圖，螺旋桿固定不動。 S 一部之螺旋線，其導程為 $1/11$ 吋， S_1 一部之螺旋線，其導程為 $\frac{1}{10}$ 吋，均係右螺旋。設螺旋母 M 與 N 按同一之角速率沿同一之方向迴轉，倘擬使距離 A 減少一吋，問兩螺旋母各須迴轉若干次？



第 57 圖

7. 仍參看第 57 圖, 倘螺旋桿能在原地位迴轉. M 與 N 兩螺旋母可向左右移動, 但不能迴轉. S 一部之螺旋線, 其導程為 $1/4$ 吋, 係左螺旋; S_1 一部之螺旋線, 其導亦為 $\frac{1}{4}$ 吋, 係右螺旋. 倘擬使距離 A 增加 1 吋, 問螺旋桿須迴轉若干次?

第 四 章

皮 帶 與 皮 帶 輪 (Belt and Belt Pulley)

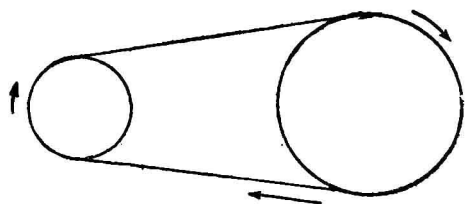
70. 皮帶之應用。發動機所發之動力，直接用以作工者較少。普通多由種種方法，傳達於其他機械乃發生工作。司此傳達之任者，有皮帶，繩索，鏈條，齒輪及摩擦輪，等等，就中尤以皮帶之應用為最廣。

動力由一軸傳達於他軸，恆用皮帶套一，皮帶輪二。一輪裝置於原動軸，一輪裝置於從動軸。裝置於原動軸者，曰原動輪；裝置於從動軸者，曰從動輪。

皮帶多由牛革製成，只用一層者，謂之單層帶 (Single Belt)；連結兩層者，謂之雙層帶 (Double Belt)；三層者，謂之三層帶 (Triple Belt)；四層者，謂之四層帶 (Quadruple Belt)。前兩種應用較為普通，後兩種應用較少。有用棉線織成一種帶狀而塗以膠質者，在氣候太濕之地帶，亦有橡皮製者。近年以來，在德國與英國更有用鋼製者。

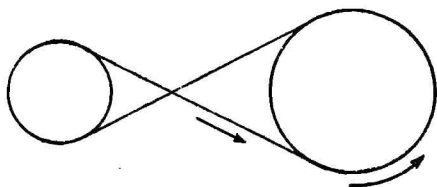
71. 皮帶輪迴轉之方向。皮帶經過兩皮帶輪之方法有

二：其一如第 58 圖所示，謂之開帶(Open Belt)，或開口皮帶。其二如第 59 圖所示，謂之合帶(Crossed Belt)，或交叉皮帶。用開帶時，兩輪迴轉之方向同。用合帶時，兩輪迴轉之方向異。



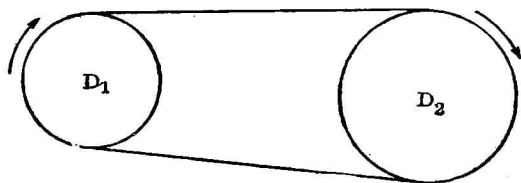
第 58 圖

又為增加皮帶對於皮帶輪所包之角度起見，兩輪迴轉之方向，就原動輪言，多使皮帶之緊邊在下，鬆邊在上。



第 59 圖

72. 皮帶輪迴轉之速率與其直徑之關係。一輪迴轉之運動，由皮帶傳達於他輪，倘不計皮帶之厚度，皮帶之伸縮及皮帶對於皮帶輪接觸面間之滑動，則皮帶上各點之速率與兩輪圓周上各點之速率，必均相等。



第 60 圖

如第 60 圖，倘 D_1 為原動輪之直徑， D_2 為從動輪之直徑， N_1

爲原動輪每分鐘之迴轉數， N_2 爲從動輪每分鐘之迴轉數，

則 每分鐘原動輪圓周上任一點之速率 $= \pi D_1 N_1$

每分鐘從動輪圓周上任一點之速率 $= \pi D_2 N_2$

但兩輪圓周上任一點之速率，均等於皮帶上任一點之速率。

故
$$\pi D_1 N_1 = \pi D_2 N_2,$$

或
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2}.$$

即兩輪迴轉之速率與其直徑成反比也。

例題. 原動輪之直徑爲42吋，每分鐘迴轉100次。從動輪之直徑爲30吋，問從動輪每分鐘迴轉之次數若干？

因
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2},$$

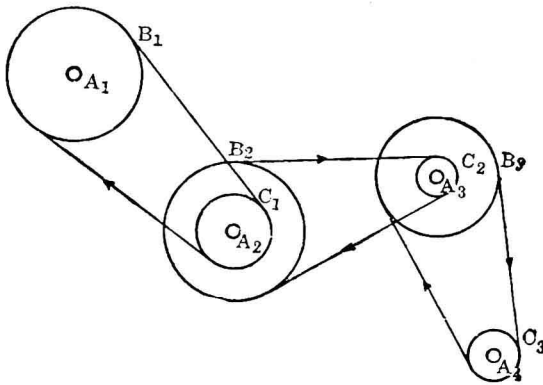
此題 $N_1 = 100$, $D_1 = 42$ 吋, $D_2 = 30$ 吋。

故
$$N_2 = N_1 \times \frac{D_1}{D_2} = 100 \times \frac{42}{30} = 140 \text{ 次}.$$

如所擬傳達之速比甚大時，或兩軸相距較遠不便直接傳達時，則宜分爲數步傳達。

如分爲數步傳達，則最末從動輪每分鐘之迴轉數，對於第一原動輪每分鐘迴轉數之比，等於各原動輪直徑連乘對於各從動輪直徑連乘之比（或上下均用半徑連乘）。

如第61圖，設 A_1 爲第一原動輪之軸， A_4 爲最末從動輪之軸， A_2, A_3 爲二中軸。 B_1, B_2, B_3 爲三皮帶之原動輪， C_1, C_2, C_3 爲



第 61 圖

三皮帶之從動輪 D_1, D_2, D_3 為各原動輪之直徑, d_1, d_2, d_3 為各從動輪之直徑, N_1, N_2, N_3 為各原動輪每分鐘之迴轉數, n_1, n_2, n_3 為各從動輪每分鐘之迴轉數。

則
$$\frac{n_1}{N_1} = \frac{D_1}{d_1} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{n_2}{N_2} = \frac{D_2}{d_2} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{n_3}{N_3} = \frac{D_3}{d_3} \dots \dots \dots (3)$$

三式兩邊各連乘, 得

$$\frac{n_1 \times n_2 \times n_3}{N_1 \times N_2 \times N_3} = \frac{D_1 \times D_2 \times D_3}{d_1 \times d_2 \times d_3}$$

但 $n_1 = N_2, n_2 = N_3,$

故
$$\frac{n_3}{N_1} = \frac{D_1 \times D_2 \times D_3}{d_1 \times d_2 \times d_3}.$$

例題. 在第 61 圖, 倘 A_1 代表一蒸汽機之機軸, A_4 代表一

機器磨石之機軸六皮帶輪之直徑，依次為 20, 12, 26, 8, 36, 6 吋。蒸汽機每分鐘之迴轉數為 120 次。如不計皮帶之厚度與滑動等，問磨石之機軸每分鐘迴轉若干次？

$$\text{用前式} \quad \frac{n_3}{N_1} = \frac{D_1 \times D_2 \times D_3}{d_1 \times d_2 \times d_3},$$

此題 $N_1 = 120$, $D_1 = 20$, $D_2 = 26$, $D_3 = 36$,

$$d_1 = 12, d_2 = 8, d_3 = 6.$$

故 $n_3 = 120 \times \frac{20 \times 26 \times 36}{12 \times 8 \times 6} = 3600$ 次。

73. 皮帶之厚度與滑動對於皮帶輪迴轉速率之關係。

如將皮帶之厚度計算在內，則兩輪圓周上任一點之速率，實小於皮帶上任一點之速率，因迴轉運動物體上各點之速率，均與其距圓心之半徑成正比，皮帶上各點之平均速率實較皮帶輪圓周上各點之速率為大也。

如第 62 圖，設皮帶輪之半徑為 R ，直徑為 D ，皮帶之厚度為 t ，則皮帶在輪上之一部，距輪

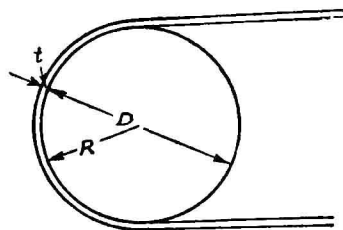
心之平均距離為 $R + \frac{t}{2}$ 。故如以

$R + \frac{t}{2}$ 為半徑，或以 $D + t$ 為直徑作

一圓，使代表一理想之皮帶輪，則

此輪圓周上任一點之速率，方與

皮帶上各點之平均速率相等。



第 62 圖

故前段之公式，若將皮帶之厚度計算在內，應改為

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1+t}{D_2+t}, \text{ 及 } \frac{n_3}{N_1} = \frac{(D_1+t) \times (D_2+t) \times (D_3+t)}{(d_1+t) \times (d_2+t) \times (d_3+t)}$$

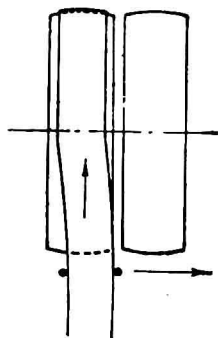
至滑動之影響，頗難得到一種理論上之公式。因滑動之程度，與製造皮帶與皮帶輪之材料，皮帶對於皮帶輪間之摩擦係數及皮帶之鬆緊度等，均有關係也。故普通多由實驗測導。又由皮帶之伸縮（皮帶傳達動力時，在緊邊恆有相當之伸長，在鬆邊恆有相當之縮短，結果使從動輪應有之速率減低），使從動輪之速率減低之影響，普通亦合併於滑動內計算之。故設一從動輪因滑動及皮帶伸縮之故，其迴轉速率減少百分之 P ，即從動輪應迴轉百次時，只迴轉 $(100-P)$ 次，則前設之公式應改為

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2} (100-P) \text{ 及 } \frac{n_3}{N_1} = \frac{D_1 \times D_2 \times D_3}{d_1 \times d_2 \times d_3} (100-P)^3.$$

74. 上皮帶與退皮帶。 欲使皮帶恆在皮帶輪上保持其地位，則其進輪之一部之中心線須在包含皮帶輪之中心，且與輪軸垂直之一平面內。因如此則進輪之一部即繼續及於輪上也。此為皮帶運動之基本定理。當兩皮帶輪在平行之兩軸上，裝置於垂直於兩軸之同一平面內，自然合於此定理。若在不平行之兩軸上，倘裝置得法，或用導輪 (Guide Pulley) 引導得宜，使合於此定理，則皮帶亦能保持其地位，繼續運動。

上皮帶及退皮帶之方法，亦係根據此理。如第 63 圖，倘擬使皮帶由左邊之輪移於右邊之輪上，則沿輪軸之方向，用力

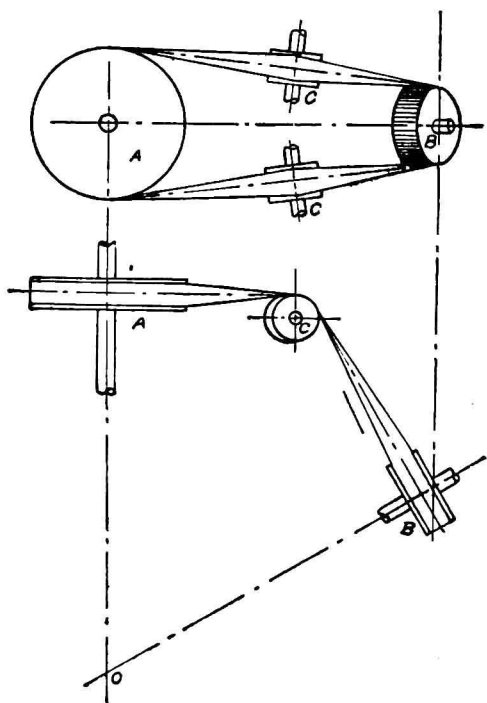
橫推皮帶進輪之一部，使其中心線離開左輪之中心平面，則繼續各部即離開左輪。故由一輪向下退皮帶時，須如此用力。同理，若將皮帶進輪之一部之中心線移至右輪之中心平面中，則繼續各部即上於右輪。故上皮帶於一輪時，須如此用力。若用力於由輪退下之一部，則無效果。



第 63 圖

75. 兩個交叉軸之皮帶 當互相交

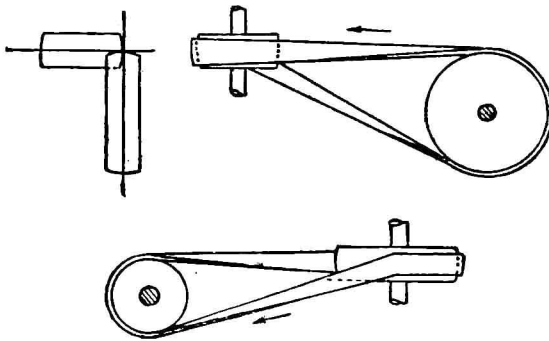
叉之兩軸由皮帶連結，則須利用導輪，務使皮帶對於皮帶輪之關係與前段所述之定理完全相合為準。如第 64 圖， A, B 兩輪係固定互相交叉之兩軸上，用兩導輪 C, C ，第一使兩導輪軸之方向對於 A, B 兩輪之切線垂直，如右邊上圖所示。第二使導輪輪面之位置與 A, B 兩輪之中心平面相切，如右邊下圖所示。如此則皮帶無



第 64 圖

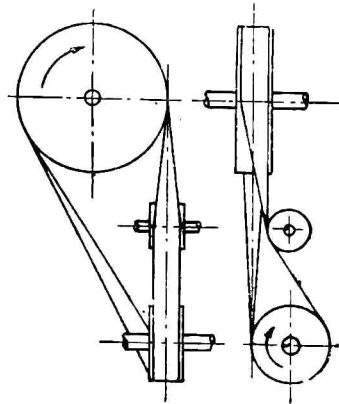
論向何方向運動,均不致脫落。

76. 不平行不交叉之兩軸之皮帶. 在此類中之最普通者,爲兩軸傾斜之角度恰爲 90° 者.若將兩輪之位置斟酌適宜,使合皮帶運動之定理,並可不用導輪。



第 65 圖

第 65 圖即表示此種裝置.最重要之點,即務使皮帶對於兩輪上輪之一部,其中心線包含於所上之輪之中心平面內,同時更與所下之輪相切.惟如此裝置,只限於在一定之方向運動.若向回運動,皮帶必致脫落.若欲向兩方向均能運動,則須用導輪使對兩方向均合於皮帶運動之定理,如第 66 圖所示。

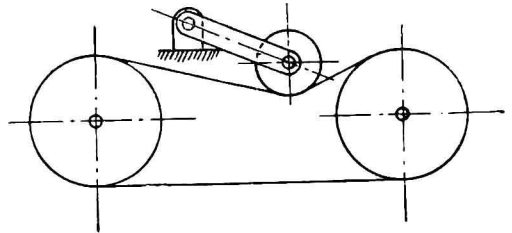


第 66 圖

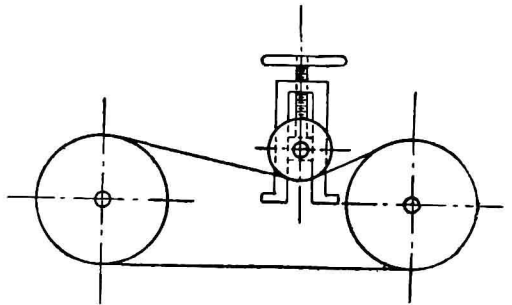
77. 惰輪 (Idlers) 或側輪. 惰

輪與導輪類似，惟作用不同。導輪之作用，係變換皮帶之方向，惰輪則在傳達動力較大之皮帶，用以調整其鬆緊度及增加皮帶對於皮帶輪所包之角度。蓋皮帶當傳達動力時，恆有相當之伸長。傳達之動力增加時，其伸長之程度愈大，不設法調整，則皮帶每致失之過鬆。調整之法普通恆於皮帶之鬆邊裝置一惰輪，其利益有二：(一)惰輪之遠近，可隨皮帶鬆緊之程度，

任意變動，或係自動，或用人力，當皮帶所傳達之動力較大時，即皮帶失之鬆時，可使其距離稍近；反之，可使其距離稍遠。(二)皮帶用久，失之過鬆時，不必另行裝置或改變其接連處。其裝置法如第 67 第 68 兩圖所示。



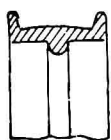
第 67 圖



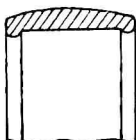
第 68 圖

78. 皮帶輪輪緣之形狀。 當皮帶運動時，速率一高，皮帶各部往往發生躍動。如無阻止方法，則皮帶往往有脫落之虞。阻止之法有三：(一)用突緣皮帶輪以約束之，如第 69 圖所示。(二)用一叉在皮帶進輪之一部約束之。(三)用周緣隆起之皮帶輪，如第 70 圖所示。

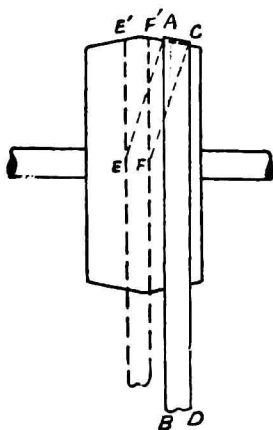
用突緣皮帶輪，皮帶之上下較難。除長期裝置，不常上下之皮帶，或鏈狀皮帶 (Chain Belt) 易於裝卸者外，頗少採用。用叉約束，又難免被摩擦所傷損。故實際上以採用周緣隆起者為最多。隆起表面，有採用兩截錐面者，有採用一彎曲面者。



第 69 圖



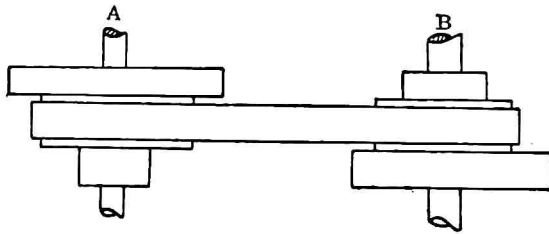
第 70 圖



第 71 圖

至周緣隆起之皮帶輪，所以能阻止皮帶使不致脫落之理，可參看第 71 圖。將平面皮帶置於一周緣隆起之皮帶輪上。假定無論因何原因，離開中間位置而偏於右方，則 AB 一邊所受之牽力必大於 CD 一邊所受之牽力。因之 AB 一邊伸長， AC 處即平鋪於輪緣上。但因皮帶非完全能任意伸長之物質，故結果使進輪之一部向左彎曲，如 AE 及 CF 所示之方向。迨 EF 一部與輪接觸，繼續迴轉，則 E 點必至 E' ， F 點必至 F' 。即皮帶自動的歸於皮帶輪較高之部分。換言之，即皮帶恆有在皮帶輪中間之趨勢也。

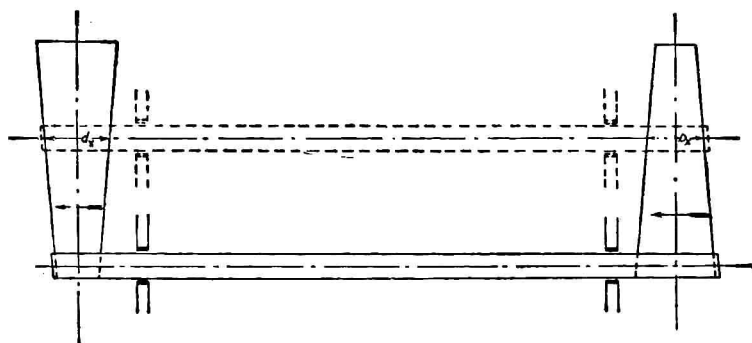
79. 塔輪或階級輪 (Stepped Pulleys). 同一機械,因工作之性質不同,或同一工作,因材料之硬度不同,機械迴轉之速率,即應隨之變動,而發動機或總軸之迴轉速率,則普通皆為一定(即微有變動,亦往往非隨意者).欲由總軸(Main Shaft)或對軸(Counter Shaft)上一定之速率得到機械上種種不同之速率,最簡單之方法,即用塔輪.如第72圖.設A為對軸,B為機



第 72 圖

械軸,在對軸上裝置一數級之塔輪,於機械軸上正相對之地位,亦裝置一同級數之塔輪,惟大小兩端與對軸上者恰相反.如此裝置,若皮帶由一對皮帶輪移於別一對皮帶輪上,則其速比必因之變化.倘對軸之速率,則機械上可得數種不同之速率.

80. 變速圓錐 (Speed Cones). 欲將原動軸上一定之速率,傳達至從動軸使生種種不同之速率,有時不用塔輪,而用兩個截錐體形輪以代之,謂之變速圓錐(亦可認為係級數多至無限之兩塔輪).如第73圖所示,當皮帶在任何位置,其兩截錐體之工作直徑 (Working Diameter, 即相當之兩皮帶輪之直



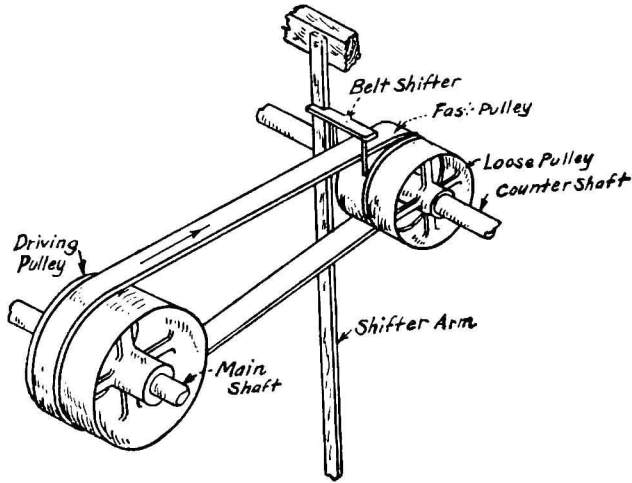
第 73 圖

徑)係沿皮帶之中線量之,如圖中 D_x 與 d_x 是。

又如用變速圓錐時,則皮帶進兩圓錐之一部,須各有移帶桿 (Belt Shifter) 以約之;否則皮帶在兩圓錐上均有趨向較粗一端之傾向。又當移動皮帶以變更速率時,兩移帶桿須同時動作。

81. 定輪與遊輪 (Fast and Loose Pulleys). 如兩個以上之機械,同連於一發動機或同連於一總軸時,多於機械軸與總軸之間,復設一對軸 (Counter Shaft). 發動機 (或用電動機) 所發之原動力,先由一皮帶傳於總軸,再由一皮帶傳於對軸,由對軸至機械軸另用一皮帶。如此,則任一機械不欲工作時即可停止之,且無防於其他機械之工作。停止之法,最普通者,即用定輪與遊輪,即在對軸上,並列置兩個皮帶輪,一固定於對軸上,與之同轉,謂之定輪;一僅套於對軸上,由定輪之軸頭及一軸環約束其地位,不與對軸同轉,謂之遊輪或鬆輪。當停止

某機械時，即將由總軸至對軸之皮帶移於遊輪。當起動某機械時，即移於定輪。移於遊輪時，對軸不轉，機械自歸停止。



第 74 圖

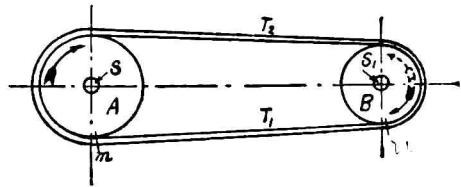
遊輪之直徑應微小，蓋皮帶傳達動力時，恆微行伸長，不傳達動力時，以使恢復原狀為宜。

第 74 圖，表示一皮帶連接總軸與對軸之情形。

在總軸上與定輪遊輪相對之皮帶輪，其周緣恆不隆起，完全為一圓柱形面，以便皮帶之移動，且其寬度至少須為定輪與遊輪寬度之和。

82. 皮帶上之牽力 (Tension in a Belt). 如第 75 圖，設皮帶輪 A 固定於 S 軸上，皮帶輪 B 固定於 S_1 軸上。當兩軸靜止時，設將一皮帶用力伸張而套於其上，使皮帶上有相當之牽力，以便皮帶在皮帶輪上有一定之緊度。此種牽力之大小在皮

帶各部均大致一律，稱之曰初牽力(Initial Tension)，由 T_0 代表之。



第 75 圖

設 S 軸受一種外力，擬使之向箭頭所指之方

向迴轉，此種擬使 S 軸迴轉之力，必使皮帶在下邊一段之牽力 (mn 之間) 增大，在上邊一段之牽力減小。設在下邊一段之新牽力為 T_1 所代表，在上邊一段之新牽力為 T_2 所代表， T_1 大於 T_0 ， T_2 則小於 T_0 。

如皮帶附着於皮帶輪 B ，使彼此之間不致發生滑動，則 T_1 必有使 B 輪沿實線箭頭所指之方向迴轉之勢。如 T_1 超過 T_2 至一定之程度，即其使 S_1 軸迴轉之力勝過 S_1 軸對於迴轉之抵力時，則 S_1 軸必起始沿實線箭頭所指之方向迴轉。此時使 B 輪迴轉之力，即為皮帶緊邊牽力 T_1 與鬆邊牽力 T_2 之差。此牽力之差，謂之皮帶之有效拽引力 (Effective Pull of the Belt) 如用 E 代表之，則 $E = T_1 - T_2$ 。

83. 皮帶所傳達之馬力 (Horse Power of a Belt). 就前段研究之結果，可知有效拽引力為使皮帶傳達動力之力。故有效拽引力與皮帶每分鐘所行之呎數之乘積，必為皮帶每分鐘所傳達之工作 (以呎磅計)。再用 33000 除之，即為皮帶所傳達之馬力數。

設 N 為 S 軸每分鐘之迴轉數， D 為皮帶力之直徑 (以呎計)，

則皮帶所傳達之馬力 $H.P. = \frac{\text{皮帶每分鐘之速率} \times E}{33000}$,

或 $H.P. = \frac{\pi DN(T_1 - T_2)}{33000} = \frac{V(T_1 - T_2)}{33000}$. V 為皮帶每分鐘之速率。

由上式觀之,可知如皮帶之速率一定,則 T_1 與 T_2 之差愈大時,皮帶所傳達之馬力數必愈多。

茲將普通所假定之 T_1 與 T_2 之關係,及計算皮帶所傳達之馬力之公式列下:

普通 T_1 對於 T_2 之比,即 $\frac{T_1}{T_2}$, 多不使超過 $7/3$. 又對於雙層帶,普通每吋寬度其實際所受之牽力,多用 140 磅;對於單層帶,則每吋寬度,其實際所受之牽力,多用 75 磅。

根據以上之規定,得在雙層帶,

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{3},$$

$$T_1 = \text{每吋寬度 } 140 \text{ 磅}, T_2 = 140 \times \frac{3}{7} = 60 \text{ 磅}.$$

故 $T_1 - T_2 = 140 - 60 = 80 \text{ 磅}$

= 雙層帶每吋寬度許用之最大有效拽引力。

在單層帶,

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{3},$$

$$T_1 = \text{每吋寬度 } 75 \text{ 磅}, T_2 = 75 \times \frac{3}{7} = 32 \text{ 磅 (約)}$$

故 $T_1 - T_2 = 75 - 32 = 43 \text{ 磅}.$

= 單層帶每吋寬度許用之最大有效拽引力。

將此結果代入前式,得在雙層帶,

$$H. P. = \frac{\text{皮帶速率每分鐘之呎數} \times 80 \times \text{皮帶寬度之吋數}}{33000}$$

在單層帶,

$$H. P. = \frac{\text{皮帶速率每分鐘之呎數} \times 43 \times \text{皮帶寬度之吋數}}{33000}$$

例題. 一軸上有一直徑 48 吋之皮帶輪, 每分鐘迴轉 180 次. 將一寬度 8 吋之雙層帶套於其上, 使帶動別一軸. 問此皮帶所傳達之馬力數幾何?

$$\text{皮帶之速率} = \frac{\pi \times 48}{12} \times 180 = 2262 \text{ 呎, 每分鐘.}$$

$$\text{所傳達之馬力} = \frac{2262 \times 80 \times 8}{33000} = 43 \frac{1}{2}.$$

又倘皮帶之寬度為 b 吋, 厚度為 t 吋, 橫斷面每方吋實際所受之牽力為 f 鎊, $T_2 = nT_1$, 則

$$T_1 - T_2 = (1 - n)T_1 = (1 - n)bt + f$$

故 所傳達之馬力 $H. P. = \frac{(1 - n)bt + f}{33000}$.

例題. 皮帶之速, 每分鐘為 2000 呎, 所傳達之馬力數為 20. 問 (a) 皮帶之有效拽引力, 即 $T_1 - T_2$. (b) 如 $T_2 = \frac{1}{2}T_1$, 則 T_1 當為若干鎊? (c) 如皮帶每吋寬度許受牽力 90 磅, 問皮帶之寬度當為若干吋?

按公式
$$H. P. = \frac{(T_1 - T_2)l}{33000},$$

得
$$20 = \frac{(T_1 - T_2) 2000}{33000}$$

或
$$T_1 - T_2 = \frac{20 \times 33000}{2000} = 330 \text{ 磅.}$$

又因
$$T_2 = \frac{1}{2} T_1,$$

故
$$T_1 - T_2 = T_1 - \frac{1}{2} T_1 = 330 \text{ 磅, 即 } \frac{1}{2} T_1 = 330 \text{ 磅.}$$

故
$$T_1 = 660 \text{ 磅.}$$

又因每吋寬度許受牽力 90 磅,

故
$$\text{皮帶之寬度} = \frac{660}{90} = \underline{\underline{7.33}} \text{ 吋.}$$

84. 鋼帶 (Steel Belt). 近年以來,在德國與英國多有用鋼帶以代替皮帶者,其厚度約由 0.008 吋至 0.04 吋,其寬度則約由 1 吋至 8 吋.其優點甚多:第一傳達同一之動力,鋼帶之寬度約當皮帶之 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{4}$,故輪之寬度可減,因之其所占空間,所有重量及製造之價值,自均隨之減少.第二鋼帶本身之價值較之皮帶及橡皮帶等均低.第三伸縮性較小,滑動之損失較少.第四受氣候溫度及濕度之影響特小,故在氣候太濕之地帶用之尤宜.又在油漆或染色工廠,即有污濺,易於用汽油洗去,亦較他種皮帶為宜.惟所用之輪,周緣不能隆起,且鋼帶之動作又較為靈敏.故製造及裝置輪與軸時,須特別精細,否則極易自行脫落.

又用鋼帶之輪,周緣多覆一層粗布軟木或橡皮等,以增加其摩擦力.

85. 皮帶之應力 (Stress of Belt) 皮帶橫斷面每方吋之

最大應牽力 (Ultimate Tensile Stress) 約為 3000 磅。雖有時有至每吋 500 磅者，然非通例。其接連處之最大應牽力約當上數三分之一。至實際工作時，皮帶許受之牽力，則自每方吋 250 磅至 350 磅不等。

第 83 段所假定之數，係就普通言之。實際上無論單層帶或雙層帶，其厚度亦微有變化，其所受之牽力亦應隨之微有變化也。茲就皮帶之厚度層數及連接情形對於每吋寬度許受之牽力，列表於下：

皮革之品質	平均厚度		緊邊每吋寬度許受之牽力(磅)			
	單層帶	雙層帶	單層帶	雙層帶	單層帶	雙層帶
			縫合者	縫合者	膠固者	膠固者
輕者	1/8 至 5/32	15/64 至 17/64	30	60	50	90
適中者	5/32 至 3/16	19/64 至 21/64	40	75	70	120
重者	3/16 至 7/32	23/64 至 25/64	60	100	90	150

習 題

1. 原動輪之迴轉數為每分鐘 120 次，從動輪之迴轉數為每分鐘 90 次。兩輪直徑之和為 49 吋。問原動輪與從動輪之直徑各為若干吋？(不計皮帶之厚與滑動)

2. 原動輪之直徑為 15 吋，從動輪之直徑為 60 吋，皮帶之厚為 3/8 吋。原動輪每分鐘輪迴轉數為 200。(a) 不計皮帶之厚與滑動；(b) 將皮帶之厚計算在內；(c) 將皮帶之厚計算在內，並設滑動為百分之五。問從動輪之迴轉數各為若干次？

3. 原動輪每分鐘迴轉 500 次所傳達之馬力數為 100。緊邊牽力為 80

邊牽力之二倍，皮帶每寬一吋實受之牽力為100磅，原動輪之直徑為10吋，問皮帶之寬當為若干吋？

4. 設原動輪之直徑為 D ，每分鐘之迴轉數為100次，從動輪之直徑為6吋，每分鐘之迴轉數為800次，皮帶厚為 $\frac{1}{4}$ 吋，滑動為百分之三，問 D 為若干吋？

5. 設皮帶緊邊之牽力為 T_1 磅，鬆邊之牽力為 T_2 磅，寬為 b 吋，厚為 t 吋，橫斷面每方吋所受之牽力為 f 磅（就緊邊言），皮帶每分鐘之速率為 V 呎， $T_2 = nT_1$ ，試證

$$\text{皮帶所傳達之馬力} = \frac{(1-n)b + fV}{33000}$$

如 $t = \frac{1}{4}$ 吋， $f = 300$ 磅， $V = 2200$ 呎， $T_2 = \frac{1}{2}T_1$ ，所傳達之馬力數等於10，問皮帶之寬當為若干吋？

6. 有磨石機一架，其磨石輪之直徑為8吋，其緣邊之直徑為每分鐘2500呎，對軸上有皮帶輪二，其第一輪之直徑為18吋，由一皮帶與總軸上直徑36吋之一皮帶輪相連，其第二輪由一皮帶與磨石機上直徑2吋之皮帶輪相連（與磨石輪同軸），倘總軸每分鐘迴轉80次，不計皮帶之厚與滑動，問對軸上第二皮帶輪之直徑為若干吋？

7. 某軸每分鐘之迴轉數為250次，其皮帶輪之直徑為18吋，如擬用一雙層帶傳達20馬力之動力於另一軸，問皮帶之寬度應為若干吋？

8. 一五馬力之電動機，由一皮帶連於一總軸，電動機每分鐘迴轉500次，總軸每分鐘迴轉300次，電動機上皮帶輪之直徑為10吋，設皮帶緊邊牽力對於鬆邊牽力之比為2比1，皮帶每吋寬度許用之牽力為100磅，試求此皮帶之寬度。

第 五 章

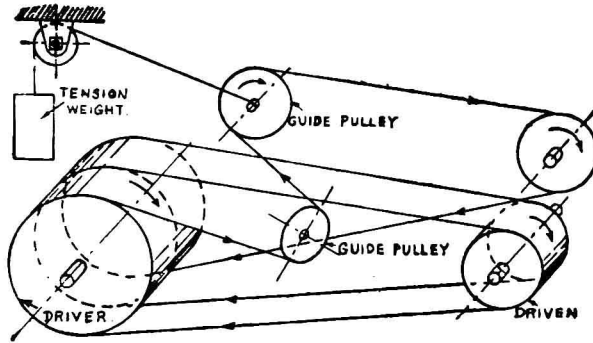
繩 輪

86. 繩輪上所用之繩. 將一軸之迴轉運動傳達於他軸, 如傳達之動力甚大, 且距離亦較遠時, (如全廠之發動機傳其力於一總軸或數軸), 則多用繩以代皮帶, 因皮帶之厚度與寬度均有相當之限度, 增加繩數, 則比較甚易也.

繩輪上所有之繩, 可分為兩大類: 第一類, 用蔴製, 用棉製, 或用馬尼拉纖維(即斐利賓香蕉樹之纖維)製者, 可總稱之曰纖維繩 (Fibrous Ropes). 第二類, 用鋼絲或鐵絲製者, 可總稱之曰鋼絲繩 (Wire Ropes). 纖維繩多用以傳達動力, 鋼絲繩則多以起重拽重.

87. 繩在繩輪上纏繞之方法. 因繩之彎曲性(Flexibility)隨其直徑之增加而減小, 故傳達之動力較大時, 多增加繩數而不用粗繩. 至增加繩數之方法, 則有兩大類:

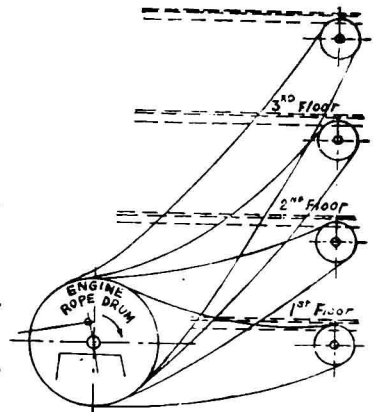
(一)美國制 (American System), 或單繩制 (Single Rope System), 或連續制 (Continuous System). 即用一長繩向兩繩輪或數繩輪往復纏繞, 最後再由導輪 (Guide Pulley or Sheave) 引導



第 76 圖

與起始點相連，為調節各段繩之鬆緊度，或起始工作後全繩之牽力起見，恆設一牽力輪 (Tension Pulley)，如第 76 圖所示。

(二) 英國制 (English System)，或多繩制 (Multiple System)，或個體制 (Individual System)。即兩輪上凡相對之槽中，即有一繩纏繞，與他槽之繩不相連屬，如第 77 圖所示。



第 77 圖

88. 美國制與英國制利弊之比較。兩制各有利弊，茲列舉如下：

美國制 利：(a) 各段繩鬆緊之程度極易一致，即各段所受之牽力極易相等，無分配不均之弊。

(b) 全繩因所負載荷 (Load) 之增減而有伸縮時, 亦能由牽力輪調節之。

弊: (a) 無論何段, 一經破壞, 則全體停頓, 非待修理全備, 不能復工。

英國制 利: (a) 如有一二繩損壞, 仍能繼續工作, 至適宜時間, 再加修理。

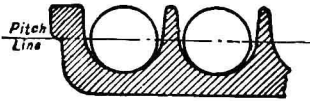
(b) 用一原動輪帶動從動輪, 較美國制易於裝置。

弊: (a) 各繩鬆緊之程度, 極難一致。故所受之牽力極難分配均勻。因之受牽力特大者, 比較易於傷損, 且各繩所負之載荷增大時, 易失於鬆, 因之易生滑動。

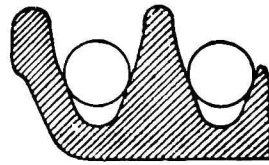
89. 繩輪周緣之形狀. 欲使繩在繩輪上永保持其應處之地位, 繩輪之周緣恆備若干平行之小槽以約束之。槽形之斷面, 多製成 V 字形, 如第 78 圖所示。使繩在槽中僅與兩邊接觸, 不能與槽底接觸。因之繩與槽之兩邊有較大之壓力, 以增加其摩阻力。

繩槽兩邊所成之角度, 多用 45° , 美國制 亦有用 60° 者。導輪與牽力輪繩槽之底部, 則用半圓形, 使繩完全與底部接觸。槽之兩邊, 多用直形, 如第 79 圖所示, 亦有使成 60° 者。

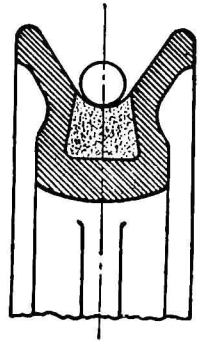
鋼絲繩之繩輪, 恐傷損過甚, 其輪槽不製成 V 字形而製為平圓形, 使繩之底部完全與槽底接觸。又為免避鋼鐵互相



第 78 圖



第 79 圖



第 80 圖

摩擦,以致易於傷損起見,槽之底部,多用樹膠木材或皮革等富於彈性,且摩擦係數較大之物質填充之,如第80圖所示。

90. 鋼絲繩之應用. 在三四十年以前,用鋼絲繩以傳達遠距離之動力,在工程界本極屬重要.後因電工發達,電能力對於長距離之傳達又極為便利,用鋼絲繩之範圍,遂受相當影響.然有多種工作,仍以鋼絲繩為要件,如運搬煤石,升降機(Elevator),上山火車(Cable and Inclined Railway),以及礦用與普通用之起重機(Hoisting Machine),拖載機(Haulage Machine)等,皆為利用鋼絲繩之處,故仍不失為機械中之要件也。

91. 鋼絲繩之製法. 鋼絲繩普通多為圓形,在深礦中所用者,有時亦有製成排形者,以其長度太大,比較易於纏繞也.稱之為圓鋼絲繩(Round Wire Rope)與平鋼絲繩(Flat Wire Rope).

先將多數鐵絲或鋼絲扭轉為若干股(Strands).在圓鋼絲

繩,則用數股繞一麻線之中心軸扭轉為一繩;在平鋼絲繩,則用多股編為一排。

又在圓鋼絲繩,由每繩所含之股數及每股所含之絲數,與各繩以特別名稱,以資分別。如 6—7, 6—19, 8—19, 6—37, 6—31, 等等,第一數字係指每繩所含之股數,第二數字係指每股所含之絲數。如云 6—7 鋼絲繩 (6—7 Wire Rope), 即共含六股,且每股含有七絲之鋼絲繩也,如第 81 及第 82 圖所示。



第 81 圖



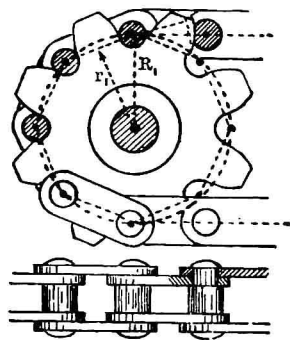
第 82 圖

第 六 章

鏈 輪

92. 鏈輪之應用與其特點. 用皮帶與繩傳達動力時,其兩軸迴轉數之比,多不能絕對一定,恆視滑動之程度而生變化. 若用鏈輪,則迴轉速率之比,雖亦有相當升降,惟其升降係在一迴轉之內,且與外部之情形無關,非似皮帶及繩等當鬆緊之程度有變化時,滑動之程度即因之變化,而兩軸迴轉數之比亦發生變化者.

第 83 圖,即表示鏈輪之一種. 就圖上觀之,可知鏈輪之節線 (Pitch Line) 非係一圓,實係一多邊形,邊之數目與輪齒之數目相同. 節線即非圓形,故當原動輪按等速率迴轉時,鍊條直線部分之速率,絕不能一致. 設 R_1 為多邊形外切圓之半徑, r_1 為多邊形內切圓之半徑. 當 R_1 與鏈條直線部分垂直時,則鏈條之速率高. 當 r_1 與鏈條直線部垂直時,



第 83 圖

則鏈條之速率低故就長時間論，兩軸迴轉數之比雖無變化然在每次迴轉之內，則常微行升降。

在一定直徑之鏈輪上，其升降之程度與鏈輪之齒數成反比若齒數增多，或鏈環減短，升降之程度，即可減輕。

又當傳達動力時，鏈條鬆邊之牽力幾等於零，故多略去不計所傳之工作，可視為等於緊邊牽力與所行距離之乘積，故

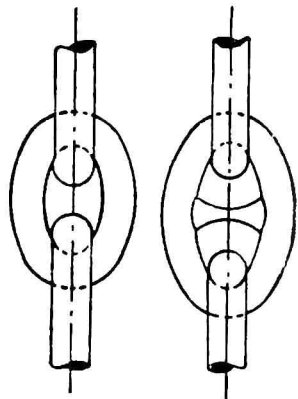
$$\text{所傳達之馬力數 } H.P. = \frac{TV}{33000}$$

式中 T 為鏈條緊邊之牽力，以磅計， V 為鏈條之平均速率，以每分鐘若干呎計。

93. 鏈之分類 (Classification of Chains). 鏈可分為三大類：一為起重鏈 (Hoisting Chains)；二為運搬鏈 (Conveyor Chains)；三為傳達動力鏈 (Power Transmission Chains). 茲分段述之如下。

94. 起重鏈 凡各種起重機上所用之鏈及用以拽引重物之鏈，皆屬於起重鏈。近年來代以鋼絲繩者不少。

起重鏈多由多數橢圓形之鏈環所組成，如第84圖所示，謂之平環鏈 (Plain Link Chain)。若所負之重力或拽引力甚大時，則製為第85圖所示之形狀，謂之柱環鏈 (Stud Link Chain) 或

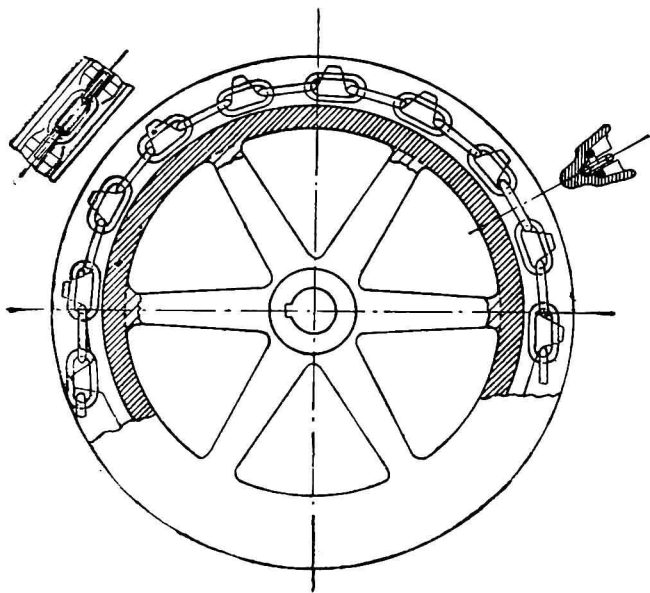


第 84 圖

第 85 圖

日字鏈

又如用於拽引重物時，多將鏈條之一端裝置於一捲筒 (Drum) 上。筒之周緣，備一種螺線形之平槽即可。如用於普

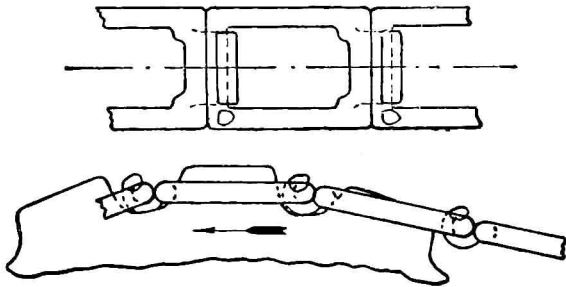


第 86 圖

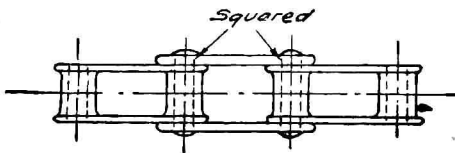
通人力起重機，則鏈條多為套狀，並無固定之點鏈輪之周緣，則多具齒狀突起。每間一環，鏈輪上即有突起一對，鏈條之立環，位於兩突起之間。鏈條之平環，則平置於各對突起之間，其一端為突起所阻而壓迫於其上，如第 86 圖所示。

95. 運搬鏈。 運搬鏈可分為鈎連式 (Hook Joint Type) 與合連式 (Closed Joint Type) 兩種，如第 87 及第 88 兩圖所示，多用於各種運搬機械 (Conveying Machinery) 或需用運搬之各種

機械其速率普通多比較甚低，如運搬煤石，運搬泥水及農具中運搬穀粒等皆是。將多數長方形之斗 (Buckets) 裝置於兩鏈條或一鏈條上，再套於上下兩鏈輪上，鏈輪繼續迴轉，所欲運搬之物即繼續運搬於一定之處所。



第 87 圖



第 88 圖

96. 傳達動力鏈 傳達動力鏈，與皮帶繩輪等之作用相同，即亦傳達兩軸間之運動與動力者。可分為塊狀鏈 (Block Chain)，轉子鏈 (Roller Chain) 及無聲鏈 (Silent Chain) 三種。

97. 塊狀鏈 塊狀鏈由實體鋼製之塊狀環組織而成，各環之形狀如字母 B 或數字

8，再由邊環連結於一處，如第 89 圖所示。若速率不超

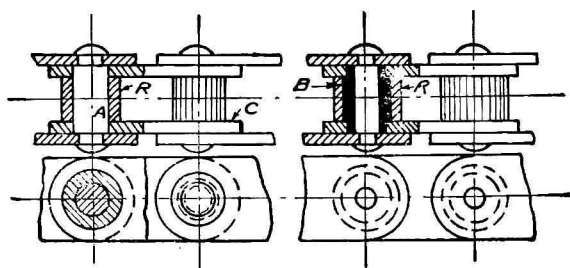


第 89 圖

過每分鐘 800 呎至 900 呎以上時，用之頗為適宜。

98. 轉子鏈 第 90 圖, 表示轉子鏈中之簡單者, 軸針 A 固定於外環, 內環可繞之迴轉, 內環兩片之間, 置一轉筒 R , 以減輕軸針對於輪齒之摩阻力與傷損。

在此種鏈上, 傷損最甚之處為內環與軸針之間, 傳達之力較大時, 不甚適宜。



第 90 圖

第 91 圖

第 91 圖所示者, 係更加以改良, 即多用一軸套 B , 壓入內環中, 軸針則仍固定於外環, 與軸套之內面相接觸, 轉筒更套於軸套之外, 若軸套用較硬金屬製成, 則傷損之程度因之減輕。

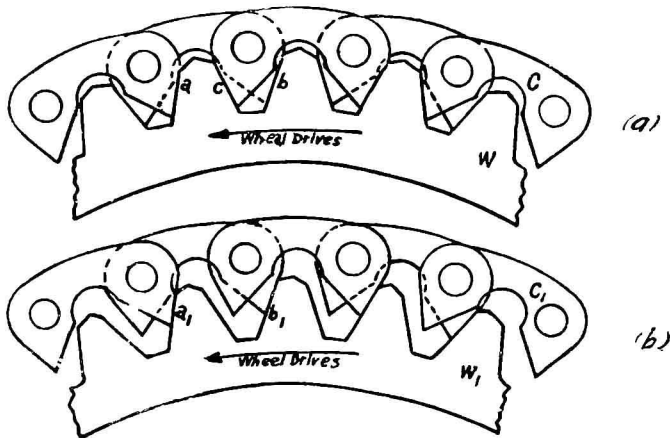
99. 無聲鏈 在塊狀鏈與轉子鏈, 當工作時間過久以後, 因接連處傷損之故, 鏈條伸長, 每一鏈節之長度, 亦即增加, 即鏈條受力牽緊以後, 每節之長與鏈輪齒節之長不能相合, 結果使所傳達之力全部落於一軸針及一輪齒之上, 全鏈之工作必致不勻靜, 傷損則較前更重。

在無聲鏈, 則鏈條用久伸長之弊, 用一種特別構造補正之, 即當各鏈節因摩擦傷損之故逐漸伸長, 則鏈條在鏈輪上之一段, 即自動的逐漸由鏈輪中心遠離, 因之使鏈節多邊形

各邊之長度增加，以適合各節延長之度。又自各鏈片起始與鏈輪之齒接觸，直至離開，並無滑動，故幾無聲音。用於高速率之傳動，尤為相宜。

無聲鏈中應用較廣者，有 Renold 無聲鏈及 Morse 無聲鏈兩種。

Renold 無聲鏈之構造，如第 92 圖所示。其鏈片之形狀，與塊狀鏈及轉子鏈完全不同。兩端各具一直線邊，與鏈輪上具有直線邊之齒相接觸。按所傳達之動力之大小，可任意組成若干層，再由長軸針橫貫之。



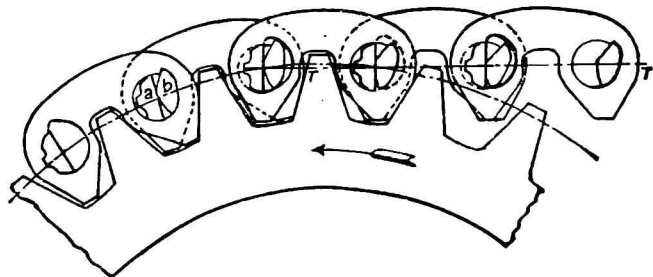
第 92 圖

圖中 (a) 表示一新鏈在鏈輪上之情形，鏈片與鏈輪之齒，僅在直線部分接觸，且其斜度相同。故鏈條在鏈輪上能按其鍊節之長短自行調整其應占之地位，即鍊節短時，鏈條在輪上之一部，比較近於鏈輪之中心。鍊節長時，鏈條在輪上之一

部,比較遠於鏈輪之中心.易言之,即由各鏈片之節線所組成之多邊形,其大小恆依鏈節之長短自行調整也.圖中(b)表示鏈條經用日久,鏈節增長,因之雖在同一之鏈輪上,其鏈條自行由輪心遠離之情形.

在 Morse 無聲鏈,則軸針與鏈片間之滑動,更由一種搖動橫針免去之,其構造如第 93 圖所示. *a* 與 *b* 為硬鋼所製之兩橫針, *a* 謂之座針 (Seat Pin), *b* 謂之搖針 (Rocker Pin), 分別裝置於 *c*, *d* 兩鏈片之上. 當 *c* 與 *d* 有相對迴轉運動時,彼此只沿一定之線稜搖動,並無滑動發生. 當在兩鏈輪間之直線部分時,則搖針上之一平面,與座針相接觸. 當鏈片進輪或進輪時,則兩橫針沿搖針上之一線稜搖動,故無被摩擦傷損之虞. 至鏈片與輪齒之接觸,仍與 Renold 鏈相似,故既無聲音,又減輕傷損之程度至極微之限度.

又此種鏈條,固無摩擦動作,故普通可不用滑油,即使酌用為量亦極微. 此種特點,在傳達高速率時,極為重要. 蓋必需滑油之鏈條,當速率高至一定之程度,離心力每將滑油拋去.



第 93 圖

使失去效力也在飛塵較多之地,此種無聲鏈,尤為適宜.

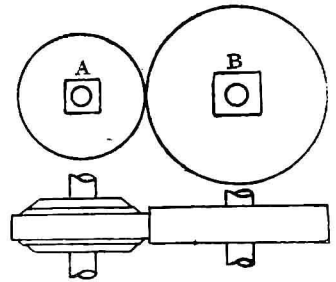
又在無聲鏈,所傳達之載荷,恆分配於所有接觸各齒之上,不僅在一齒.

第 七 章

摩 擦 輪 (Friction Wheels)

100. 摩擦輪與其特點。一軸之迴轉運動,可用兩輪之滾動接觸直接傳達於別一軸,亦使之發生迴轉運動。此種直接由滾動接觸將一軸之迴轉運動傳達於別一軸之兩輪,謂之摩擦輪,因運動之所以能傳達實賴兩輪間之摩擦力也。

如第 94 圖。設 A , B 兩輪,分別裝置於平行之二軸上,倘 A 輪迴轉時,兩輪接觸處發生相當之摩擦力,且此摩擦力使 B 輪發生迴轉之力率 (Moment),若勝過其抵力所生之力率時,則 A 輪迴轉, B 輪必隨之迴轉,故一軸之迴轉運動遂直接傳達於 B 軸。



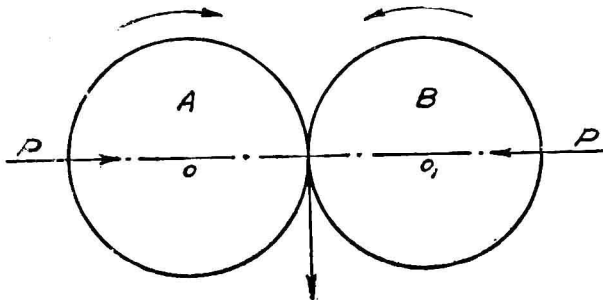
第 94 圖

惟實際上用摩擦輪傳達運動或動力時,恆難得到純粹之滾動接觸,普通總有相當之滑動發生,故兩輪之速比如欲絕對一定時,摩擦輪實不適用,又在一定之兩摩擦輪,從動輪之抵力如超過一定之限度時,則接觸處完全滑動,故用摩擦

輪以傳達運動或動力之機械，其所需之力多係比較輕微者，但摩擦輪最要之優點亦即在此，蓋絕對不能發生滑動之機件，如齒輪鏈輪等，若所負之載荷驟爾過量，則輪齒往往受傷，在摩擦輪則不致如此也。（皮帶輪亦有此優點）。摩擦輪起動時之和緩及運動時之勻靜無聲，亦為他種傳動機件所不及。在載荷甚輕，速率甚高之運動，有時極為相宜。

101. 摩擦輪需要之壓力。因摩擦輪之所以能傳達運動或動力，全賴接觸處之摩擦力，而摩擦力又賴壓力始能發生。故兩輪接觸處，若僅彼此相切毫無壓力，則摩擦力無由發生。因之一輪之運動即不能傳達於他輪。

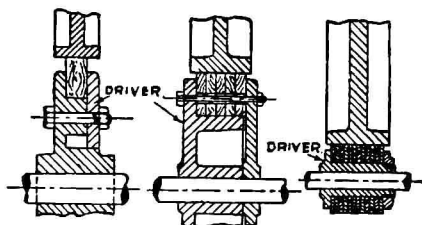
如第 95 圖，設沿兩輪之中心與接觸處相連之直線，由兩邊各加以相當之壓力 P ，則接觸處當運動時始能發生相當之摩擦力。A 輪之迴轉運動方能傳達於 B 輪。惟原來理想上之接觸線，實際上已變為接觸面，輪之有效半徑因之縮短耳。



第 95 圖

又原動輪之周邊，多用一種軟料 (Soft Material) 製成，如草纖維，革纖維（即用革之斷面），革、木及紙等。從動輪則多用生

鐵等硬料 (Hard Material) 製成, 如第 96 圖所示, 因載荷增重時, 發生部分滑動或發生完全滑動, 若原動輪之周邊係用硬料製成, 則極易將從動輪上接觸之一部摩一



第 96 圖

部分平面, 若原動輪之周邊用軟料製成, 則無此弊也。

102. 摩擦輪所傳達之馬力. 如摩擦輪之直徑為 D 呎, 每分鐘之迴轉數為 N 次, 接觸處之壓力為 P 磅, 接觸處之摩擦係數為 μ , 則此摩擦輪所傳達之馬力數 $H.P. = \frac{\pi D N P \mu}{33000}$, 因所生之摩擦力為 $P\mu$ 磅也。

例題. 某摩擦輪之直徑為 16 吋, 每分鐘之迴轉數為 300 次, 接觸處之壓力為 200 磅, 摩擦係數為 0.2, 問所傳達之馬力數若干?

$$H.P. = \frac{\pi D N P \mu}{33000}$$

此題 $D = 16$ 吋 $= \frac{16}{12}$ 呎, $N = 300$ 次, $P = 200$ 磅, $\mu = 0.2$.

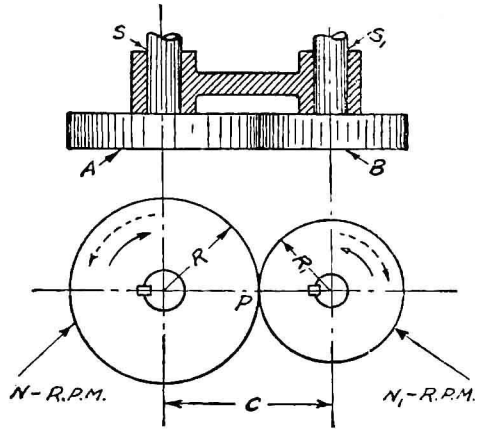
故

$$H.P. = \frac{\pi \times 16 \times 300 \times 200 \times 0.2}{12 \times 33000} = \underline{\underline{1.5}}$$

103. 兩圓柱形摩擦輪, 外面接觸. 如第 97 圖, 設 A 為一圓柱形摩擦輪, 固定於 S 軸上, B 亦為一圓柱形摩擦輪, 固定於 S_1 軸上, 並設兩軸心相相距之距離 C 恰等於兩輪之半徑 R

與 R_1 之和, 兩輪周邊則在 P 點接觸.

又當兩輪各沿其軸迴轉時, 設接觸處恆有相當之摩擦力, 使不致發生滑動. 如此則得兩種結果:



第 97 圖

第一, 兩輪互相接觸之各點, 其運動之方向

必相同, 即兩輪迴轉之方向必相反. 如圖, 兩輪無論按實線箭頭所指之方向, 或按虛線箭頭所指之方向, 其迴轉總係相反.

第二, A 輪周緣上任一點之線速 (Linear Speed) 恆與 B 輪周緣上任一點之線速相等.

根據第二種結果,

設 A 輪每分鐘之迴轉數為 N , B 輪每分鐘之迴轉數為 N_1 ,

則 A 輪周緣上任一點之線速 $= 2\pi RN$,

B 輪周緣上任一點之線速 $= 2\pi R_1 N_1$,

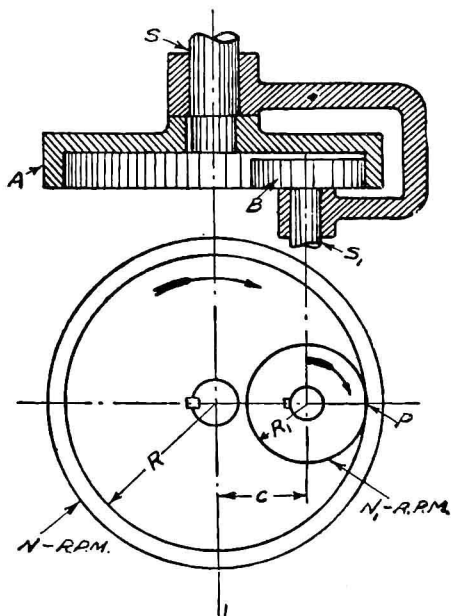
如兩輪周緣上各點之線速恆相等,

得 $2\pi RN = 2\pi R_1 N_1$

或 $\frac{N_1}{N} = \frac{R}{R_1}$.

即兩輪每分鐘之迴轉數與其半徑成反比也。

104. 兩圓柱形摩擦輪，內面接觸。如第 98 圖， A 與 B 仍為兩圓柱形摩擦輪， S 與 S_1 仍為兩輪之軸。惟所異者 A 輪係中空，將 B 輪容納於其中，使 A 輪之內緣與 B 輪之外緣相接觸，故稱之為內面接觸兩輪。每分鐘之迴轉數仍與其半徑成反比，即前段之公式仍可通用。惟兩輪軸心相距之距離不為兩輪半徑之和，而為兩輪半徑之差，且兩輪迴轉之方向由相反而變為相同耳。

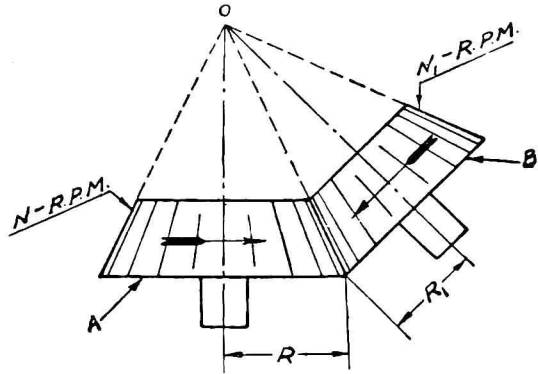


第 98 圖

105. 兩截錐形摩擦輪，外面接觸。前兩段所論，摩擦輪均係圓柱形，故兩軸恆須平行，有時在同一平面互成一定角度之兩軸，亦可由摩擦輪傳達其運動。惟摩擦輪之形狀，須為具有公共頂點之兩截圓錐體，如第 99 圖所示。如以兩圓錐之底圓代表兩圓柱形摩擦輪之圓周，則兩圓錐形摩擦輪底圓之半徑與其迴轉數之關係，仍與前同。即 $\frac{N_1}{N} = \frac{R}{R_1}$

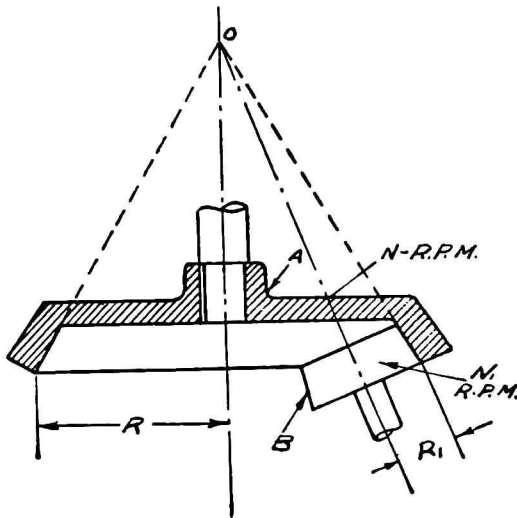
106. 兩截錐形摩

擦輪，內面接觸 兩
 軸之速率，兩軸所成
 之角度及兩軸迴轉
 之方向等種種關係，
 有時有使兩截錐形
 摩擦輪內面接觸之
 必要。其底圓之半徑



第 99 圖

與其迴轉數之關係亦與前同，其構造如 100 圖所示。



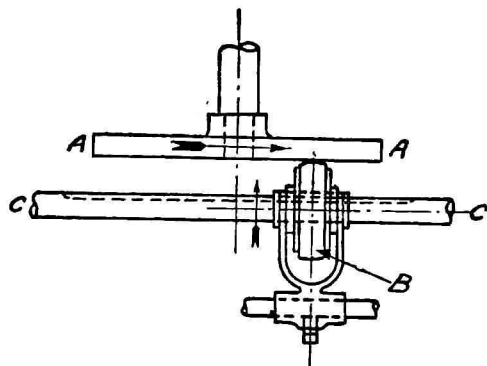
第 100 圖

107. 平盤與轉子 (Disk and Roller).

此為摩擦輪中極普通之一種傳達彼此垂直之兩軸之運動，並能隨意變換傳達

之速比及迴轉之方向。其構造略如第101圖所示。

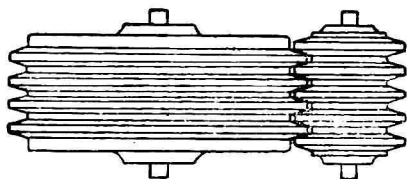
圖中AA代表平盤，B代表轉子，能沿C軸上之一長鍵左右移動。如C軸按等角速率迴轉，則當B輪沿C軸移



第 101 圖

動時，A盤之角速率必生變化，即B輪愈近A盤之中心時，其角速率必愈高；反之，其角速率必愈低。若將B輪移於A盤中軸之他一邊，則A盤迴轉之方向與前相反。

108. 凹槽摩擦輪 (Grooved Friction Gearing). 欲不待增加兩軸間之壓力而使兩輪周緣之摩擦力增加，有時用凹槽摩擦輪，其構造如第102圖所示。於兩圓柱上各製成若干凹槽，兩槽之間則遺留若干同形之凸稜，使兩輪之槽與稜，交相嵌入，如此則摩擦力因之增加。



第 102 圖

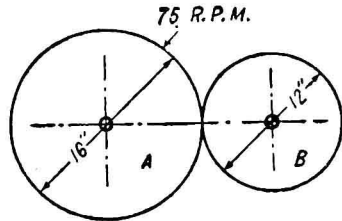
槽兩邊所成之角度，約在 30° 與 10° 之間。大於 30° ，則槽之效果大減；小於 10° ，則彼此相嵌過緊，迴轉時能力之消耗太大。

又在此種摩擦輪，兩輪多盡用生鐵製成，且接觸之情形，

不能為純粹之滾動。在礦廠之起重機及迴轉唧筒 (Rotary Pumps) 多採用之。

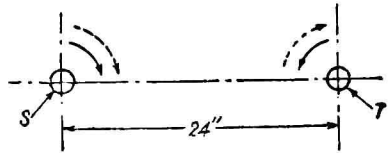
習 題

1. 如第 103 圖, A 與 B 為兩摩擦輪, A 輪之直徑為 $16''$, B 輪之直徑為 $12''$ 。倘 A 輪每分鐘之迴轉數為 75 次, 問 B 輪每分鐘之迴轉數?



第 103 圖

2. 某摩擦輪每分鐘之迴轉數為 300 次, 接觸處之壓力為 300 磅, 摩擦係數為 0.25 , 所傳達之馬力數為 2 。問輪之直徑為若干吋?

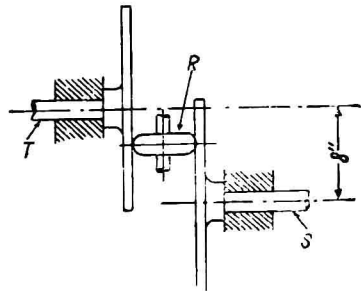


第 104 圖

3. 如第 104 圖, 設 S 軸之角速率為 T 軸之角速率之三分之一, 試求兩圓柱形摩擦輪之直徑。

- (a) 當兩軸按實線箭頭迴轉時。
- (b) 當兩軸按虛線箭頭迴轉時。

4. 如第 105 圖, 設 S 軸之角速率為 T 軸之角速率之三倍, 問轉子 R 之中心位置距 T 軸之距離應為若干吋?

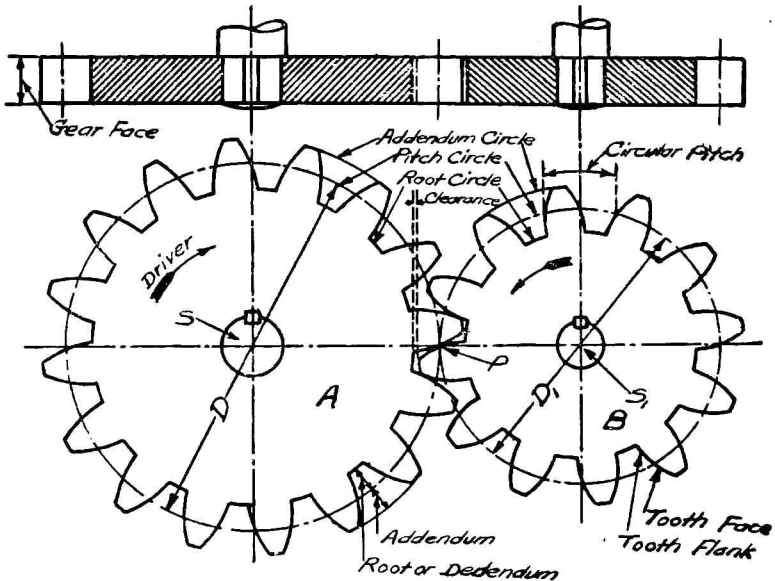


第 105 圖

第 八 章

齒 輪

109. 齒輪之應用. 在前章,知一軸之迴轉運動,可由兩摩擦輪之滾動接觸傳達於別一軸.此種運動,因完全依賴摩擦力,難免滑動發生.故當兩軸之速比須絕對確定或所擬傳達之力較大時,即不適用,而別代以齒輪.

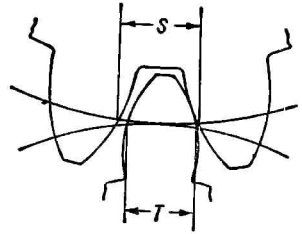


第 109 圖

如第106圖，設用中心線所表示之兩圓，仍相當兩摩擦輪，倘在A輪之周圍，備若干凸起部分，嵌入B輪周緣上之凹下部分，B輪周緣上兩個凹下部分之間，亦備同樣之凸起部分，嵌入A輪周緣之凹下部分，則原來兩摩擦輪遂變為兩齒輪。若計畫與製造適當，不但傳達之動力可以增加，且與原來兩摩擦輪理論上之速比完全一致。

110. 齒輪各部之名稱。 仍參看前圖，與原來兩摩擦輪相當之兩圓，謂之節圓 (Pitch Circle)。兩節圓相切之點，謂之節點 (Pitch Point)。包含各齒頂部之圓，謂之頂圓 (Addendum Circle)。包含各齒根部之圓，謂之根圓 (Root Circle)。頂圓之半徑減節圓之半徑，謂之齒頂距離 (Addendum distance)，或簡稱之曰齒頂 (Addendum)。節圓之半徑減根圓之半徑，謂之齒根距離 (Root distance)，或簡稱之曰齒根 (Root)。齒頂與齒根相加之和，謂之齒長 (Length of Tooth)，或謂之齒高 (Height of Tooth)。輪齒曲面在節圓外之一部，謂之齒面 (Face of the Tooth or Tooth Face)。輪齒曲面在節圓內之一部，謂之齒腹 (Flank of the Tooth)。齒腹上與別一輪之齒面能實際接觸之一部，謂之作用齒腹 (Acting Flank)。輪齒自齒輪一面至彼面之寬度，謂之齒寬 (Width or Face of Gear)。當兩輪互相銜接時，沿兩輪之中心線，自一輪之頂圓至別一輪之根圓之一段距離，謂之餘隙 (Clearance)。即相一輪之齒根減別一輪之齒頂。一齒沿節圓所有之寬度，謂之齒厚 (Thickness of Tooth)。兩齒之間沿節圓

所有之寬度，謂之齒間 (Width of Space). 沿節圓，齒間與齒厚之差，謂之齒隙 (Backlash). 如第 107 圖，沿節圓弧線， S 減 T 之差，即為齒隙。精製之齒，多不用齒隙。但粗製者或鑄造者，則須有相當之齒隙。



第 107 圖

111. 周節 (Circular Pitch). 沿節圓自第一齒之中心至第二齒之中心之一段弧線距離，謂之周節。或沿節圓自第一齒上之任一點至相鄰之一齒上相當之一點之弧線距離，且恆等於齒厚與齒間相加之和。

就定義觀之，可知一輪節圓全圓周之長，必等於周節乘齒數，或周節必等於齒數除節圓圓周。

設 T 代表一齒輪之齒數，

C 代表周節 (以吋計)，

D 代表節圓直徑 (以吋計)，

$$\text{則} \quad C = \frac{\pi D}{T}, \quad T = \frac{\pi D}{C}.$$

又互相銜接之齒輪，其周節須完全相同。

112. 徑節與節數 (Diametral Pitch and Pitch Number). 徑節一名詞，有兩種定義：

(a) 第一定義為節圓直徑每吋所有之齒數，即齒數對於節圓直徑之比例。如某齒輪之齒數為 24，節圓直徑為 8''，則此

齒輪之徑節爲 $24/8=3$. 即節圓直徑每吋,其圓周上即有三個齒也.此種齒輪,有時稱之曰三節齒輪(Three Pitch Gear). 又徑節有時稱之爲節數(Pitch Number).

(b) 第二定義恰爲第一定義之反數.即每一齒節圓直徑所有長度之吋數,或節圓直徑對於齒數之比,仍用前例,則徑節應爲 $8/24 = \frac{1}{3}$.

又按第二定義所得之數,有時稱之爲模數(Module).

設 P 代表節數(Pitch Number), M 代表模數(Module),

$$\text{則} \quad P = \frac{T}{D}, \quad M = \frac{D}{T}.$$

$$P = \frac{1}{M}, \quad M = \frac{1}{P}.$$

在英美多用第一種定義,在法德多用第二種定義.

113. 周節與節數之關係.

$$\text{按 111 節之公式,} \quad C = \frac{\pi D}{T},$$

$$\text{按 112 節之公式,} \quad P = \frac{T}{D},$$

$$\text{故} \quad P \times C = \frac{T}{D} \times \frac{\pi D}{T} = \pi.$$

即周節與節數之乘積等於 π 也.

114. 周節與模數之關係.

按 111 節之公式, $C = \frac{\pi D}{T}$,

按 112 節之公式, $M = \frac{D}{T}$.

故 $\frac{C}{M} = \frac{\pi D}{T} \div \frac{D}{T} = \frac{\pi D}{T} \times \frac{T}{D} = \pi$.

或 $C = \pi M$, 即周節等於 π 乘模數也。

115. 一對齒輪之速比. 仍參看第 106 圖, 設 A 為原動輪, 裝置於 S 軸上. B 為從動輪, 裝置於 S_1 軸上. N 為 A 輪每分鐘之迴轉數, N_1 為 B 輪每分鐘之迴轉數. D 為 A 輪節圓之直徑, D_1 為 B 輪節圓之直徑. T 為 A 輪之齒數, T_1 為 B 輪之齒數. C 為兩輪之周節.

因兩齒輪互相銜接, 故兩輪之周節相同. 且 A 輪節圓上任一點之線速 (Linear Speed) 必與 B 輪節圓上任一點之線相等.

但 A 輪節圓上任一點之線速 $= \pi DN$

B 輪節圓上任一點之線速 $= \pi D_1 N_1$

故 $\pi DN = \pi D_1 N_1$

或 $\frac{N_1}{N} = \frac{D}{D_1} \dots \dots \dots (1)$

即兩輪每分鐘之迴轉數與其節圓之直徑成反比也。

又 A 輪節圓之圓周 $= \pi D = CT$

B 輪節圓之圓周 $= \pi D_1 = CT_1$

兩式相除,得 $\frac{D}{D_1} = \frac{T}{T_1}$(2)

即兩輪節圓之直徑與其齒數成正比也。

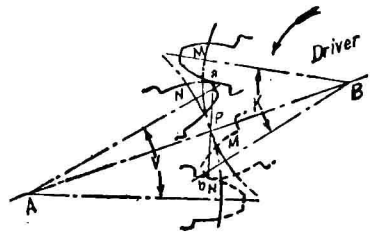
又由(1)與(2)兩式,得

$$\frac{N_1}{N} = \frac{T}{T_1}$$
.....(3)

即兩輪每分鐘之迴轉數與其齒數成反比也。

116. 作用角與作用弧 (Angle and Arc of Action). 原動輪上之一齒推動從動輪上相當之一齒所迴轉之總角度,謂之原動輪之作用角. 同理,從動輪上之一齒被原動輪上相當之一齒推動所迴轉之總角度,謂之從動輪之作用角. 又無論就原動輪言,或就從動輪言,當兩輪上之兩齒起始接觸,直至接觸點至節點時所經過之角度,謂之原動輪或從動輪之進角 (Angle of Approach). 當兩輪上之兩齒在節點接觸,直至彼此離開所經過之角度,謂之原動輪或從動輪之退角 (Angle of Recess). 又無論就原動輪言,或就從動輪言,作用角恆等於其進角與其退角相加之和。

如第 108 圖,用實線所表示之二齒,係原動輪上之一齒 M 方起始推動從動輪上之一齒 N . 用虛線所表示之二齒,仍係 MN 二齒,惟其地位係 N 齒將起始離開 M 齒,當 M 齒推動 N 齒之



第 108 圖

時間內， B 輪上任一半徑線，例如經過 M 齒中心之線，必經過一角度 K 。兩 A 輪上任一半徑線，例如經過 N 齒中心之線，必經過一角度 V 。故 K 即為 B 輪之作用角， V 即為 A 輪之作用角。

在節圓上正對作用角之一段弧線，謂之作用弧 (Arc of Action)。正對進角之一段弧線，謂之進弧 (Arc of Approach)。正對退角之一段弧線，謂之退弧 (Arc of Recess)。

因兩輪既互相銜接，傳達運動，其作用弧之長度，恆屬相等。故其作用角須與半徑成反比。但就前段所得之結果，知半徑與齒數成正比，故得下列公式：

$$\frac{\text{原動輪之作用角}}{\text{從動輪之作用角}} = \frac{\text{從動輪之齒數}}{\text{原動輪之齒數}}$$

作用弧永不能小於周節。因若使作用弧小於周節，則當第二對齒起始接觸以前，第一對齒早已彼此離開，必不能繼續運動也。

117. 接觸線 (Path of Contact). 仍參看前圖，用實線表示之二齒彼此在 a 點接觸。此接觸點實係二齒之接觸線對於紙面之投射點。接觸線之長度與齒寬相同。為簡單起見，多就一點加以研究。用虛線表示之二齒，彼此在 b 點接觸。當此二齒行至任一中間地位，彼此必在別一點接觸。由此類推，在二齒彼此有作用之時間內，每在一不同之地位，即必有一不同之接觸點。連所有各接觸點所成之線（在此圖上即 apb 線）謂之接觸線。按所成輪齒曲線之性質之不同，此接觸線或為直

線,或為曲線.但所有製造適宜之齒,兩輪之節點 p 恆在此接觸線上.

118. 傾斜角或壓力角 (Angle of Obliquity or Pressure Angle). 經過節點且與中心線垂直之一線,對於由節點至兩齒接觸點所畫之線中間所成之角,謂之傾斜角,或壓力角.在漸開線齒輪,此傾斜角係一定之大小.在擺線齒輪,則隨兩齒接觸之地位而變化.

原動輪齒及於從動輪齒之力,其方向恆沿由節點至兩齒接觸點之直線.故傾斜角或壓力角愈小時,原動輪使從動輪迴轉之分力必愈大,使兩軸彼此遠離之分力必愈小.易言之,即較大之傾斜角結果使及於軸承 (Bearing) 之壓大也.

119. 直接傳動角速率之比 (Angular Velocity Ratio in Direct Contact Motions). 如第 109 圖,設 C 與 D 為兩個迴轉曲線塊之中心,並設兩曲線塊在 P 點接觸. TT 為接觸點之公切線, NN 為接觸點之公法線.如 C 軸上之曲線塊向箭頭所指之方向轉動,則 D 軸上之曲線塊亦必被迫而轉動.

畫接觸點至兩軸中心之半徑線 PC 與 PD .

如假定 P 點係上面曲線塊上之一點,則 P 點運動之方向,必沿 PC 垂直之方向 PA .若假定 P 點係下面曲線塊上之一點,則 P 點運動之方向必沿 PD 垂直之方向 PB .

設 PA 直線代表上面曲線塊上 P 點之線速率.將 PA 分解為兩部:一 PM ,沿切線 TT ; 一 PO ,沿法線 NN . PM 一部對於下

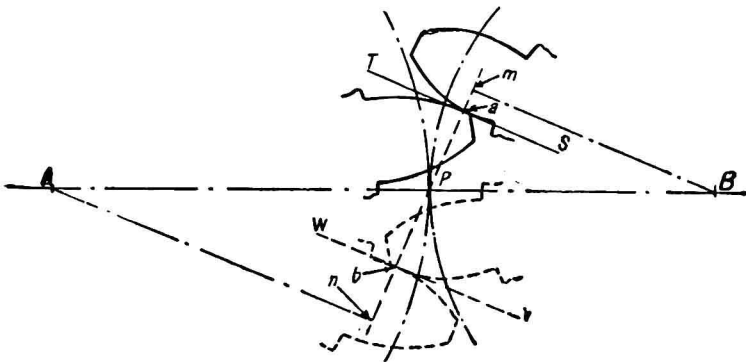
刻 (Instant) 均爲一定，即應使兩軸迴轉之速比與理想上相當之兩摩擦輪毫無差異也。

能達到此種條件之情形如下：

從兩輪節點至兩齒接觸點之直線須恆與接觸點之公切線垂直，即兩輪輪齒所具之曲線須使所有接觸點之公法線永經過節點也其證明如下：

(a) 按前段之理推之，知倘接觸點之公法線劃分中心線兩段之長短恆爲一定，則兩軸迴轉之速比即恆爲一定。若兩輪輪齒所具之曲線能使所有接觸點之公法線永經過節點，則所分中心線兩段之長短，當然恆爲一定，即恆爲兩節圓之半徑。其長短既恆爲一定，故兩軸迴轉之速比亦恆爲一定，且恆等於兩節圓半徑之反比，與理想上相當之兩摩擦輪無異也。

(b) 如第 110 圖，設用實線所表示之二齒，在 a 點互相接觸



第 110 圖

即兩輪齒之曲線在 a 點相切。畫 ST 線，在 a 點與兩齒曲線相切。此曲線之形狀，必須使此切線與由 a 至 P 之直線垂直。同一方法，用虛線表示之兩齒，其接觸 b 之切線，必須與由 b 至 P 之直線垂直。如欲使兩輪之速比恆為一定，則互相銜接之兩齒，無論在何位置，均須適合於此種條件。

設 An 與 Bm 為 AB 兩中心至經過接觸點 a 之公法線之垂直線，並設

$$\omega_a = A \text{ 輪之角速率,}$$

$$\omega_b = B \text{ 輪之角速率.}$$

則 n 點之線速率 = $\omega_a \times An$,

$$m \text{ 點之線速率} = \omega_b \times Bm.$$

就此時刻言， n 與 m 運動之方向，均係沿 mn 直線，故其線速率相同。

即
$$\omega_a \times An = \omega_b \times Bm,$$

或
$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{Bm}{An} \dots\dots\dots(1)$$

又就 P 點言，(P 點可視為在 A 輪上之一點，亦可視為在 B 輪上之一點)。有同一線速率之兩點，其角速率恆與其半徑成反比。

即
$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{BP}{AP} \dots\dots\dots(2)$$

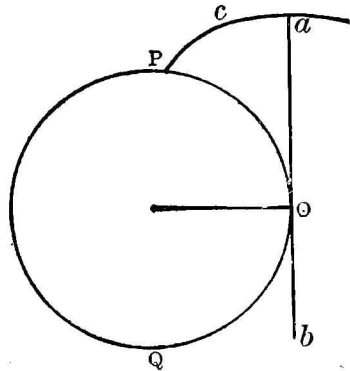
由 (1) 與 (2) 兩式，得

$$\frac{BP}{AP} = \frac{Bm}{An}$$

故 mn 直線須恆交中心線 AB 於 P 點也。

121 輪齒曲線. 合於前段之定律, 且實際應用於輪齒者, 普通有兩種曲線: (一) 圓之漸開線 (Involute), (二) 擺線 (Cycloid). 茲分別述之如下。

122. 圓之漸開線. 圓之漸開線, 其定義有兩種說法: (1) 當一直線沿一圓之周線轉動時, 此直線上任一點之軌跡 (Locus), 即謂之此圓之漸開線所沿之圓, 則謂之此漸開線之基圓 (Base Circle). 如第 111 圖, 設 ao 直線, 沿 POQ 圓由左向右轉動, 則 a 點之軌跡 Pca 曲線, 即圓之漸開線. (2) 如將一無伸縮性之繩線, 纏繞於一圓上 (或一極短之圓柱上), 倘由此圓上徐徐將繩線撤下, 且撤下之時, 務使繩線伸直, 則繩線上任一點之軌跡, 即圓之漸開線。

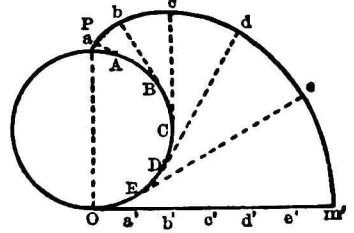


第 111 圖

漸開線最重要之性質, 即無論在全線之何點畫一法線 (Normal) 必與其基圓相切。如圖, 在 a 點所畫之法線 ab 與 POQ 圓相切於 O 點。

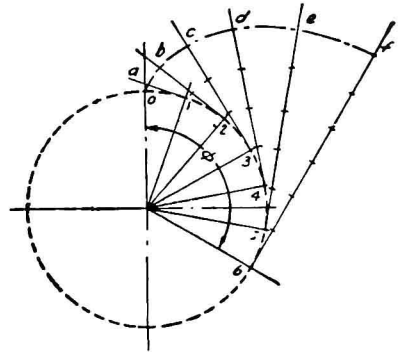
123. 漸開線之畫法. 如第 112 圖, 設 PCO 為基圓, 且所畫之漸開線擬由 P 點起始。

畫 Om' 線，使其長等於基圓
圓周之半。將 PCO 半圓，任意分爲
數等分，並將 Om' 分爲同數之等
分。在 PCO 半圓之等分點上，各畫
一切線，然在各切線上截 $Aa, Bb,$
 Cc 等線，使依次等於 Oa', Ob', Oc'
等，連 $Pabcd$ 各點，作一曲線，即爲所求之漸開線。



第 112 圖

或按第 113 圖之畫法。在
基圓上，任意截出一角度 ϕ 。
將 ϕ 角任意分爲數等分。此處
共分爲六等分。由等分線與基
圓相交之 1, 2, 3, 4, 5, 6, 等點，畫
切線 $1a, 2b, 3c, \dots, 6f$ 等。如基圓
上各分段不甚長時（如每分
段之長度爲直徑長度十分之



第 113 圖

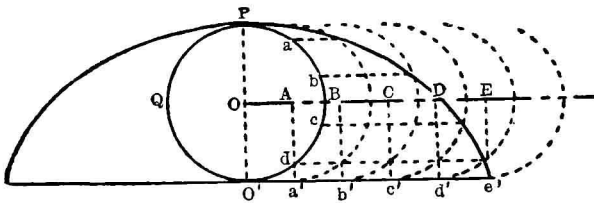
一，則假定每段之弦線與每段之弧線相等，相差不過千分之
一），則每段弦線之長度可假設與每段之弧線相等。

沿 $1a$ 線，截 $O1$ 弦線得 a 點。沿 $2b$ 線，截兩倍 $O1$ 弦線，得 b 點。由
此類推，得 c, d, e, f 等點。經過 a, b, c, d, e, f 等點，畫一曲線，即爲
所求之漸開線。

124. 擺線 (Cycloid), 內擺線 (Hypocycloid) 與外擺線 (Epicycloid). 如一圓在一直線上轉動，則圓周上任一點之軌跡，謂

之擺線。如一圓在別一圓之內緣轉動，則轉動之圓其圓周上任一點之軌跡，謂之內擺線。如一圓在別一圓之外緣轉動，則轉動之圓其圓周上任一點之軌跡，謂之外擺線。

125. 擺線之畫法 如第 114 圖，設 $PO'Q$ 為轉圓 (Rolling Circle), $o'e'$ 為直線。畫 $o'e'$ 線，使等於轉圓圓周之半。將 $o'e'$ 分為數等分，並將半圓分為同數之等分。在 $o'e'$ 之等分點上，畫 $a'A, b'B, \dots$ 等垂線，再畫 OE 線與 $o'e'$ 平行，並交各垂線於 A, B, C, D, E 等點，以 A, B, C, D 等點為中心，轉圓之半徑為半徑，各畫一圓。從半圓上之等分點起，各畫一線，與 $o'e'$ 平行，並與相當之圓交於一點。連此諸點畫一曲線，即為所求之擺線。

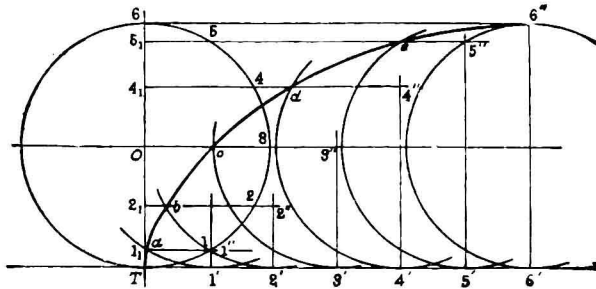


第 114 圖

或按第 115 圖之畫法，將轉圓之半圓周，任意分為數等分，例如分為六等分。並在直線上從切點 T 起，截 $T1' = T1, 1'2' = 12, 2'3' = 23, 3'4' = 34, 4'5' = 45, 5'6' = 56$ 。經過 $1', 2', 3', \dots$ 等點，各畫一垂線，並經過半圓上之 $1, 2, 3, \dots$ 等點，畫水平線，使與半圓之直徑相交於 $1_1, 2_1, 3_1$ 與 5_1 等點，並與垂直線相交於 $1'', 2'', 3'', \dots$ 等點。

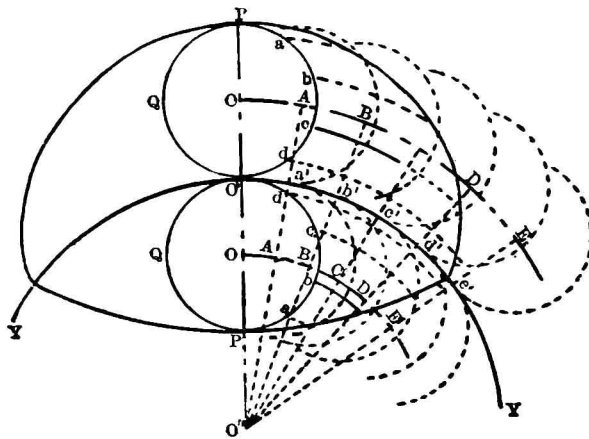
在 $1_1 1'$ 上，從 $1''$ 點起，截 $1''a = 11_1$ ，在 $2_1 2'$ 上，從 $2''$ 點起，截 $2''b$

= 22, 其餘依此類推.再經過 a, b, c, d, e 及 $6''$ 等點畫一曲線, 即為所求之擺線.



第 115 圖

126. 內外擺線之畫法.



第 116 圖

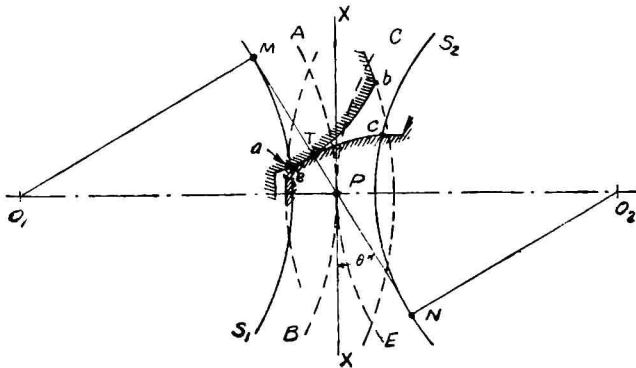
如第 116 圖. PQO' 為轉圓. $XO'Y$ 為導圓 (Directing Circle). 截 $o'e'$ 一段弧線, 使等於轉圓圓周之半 (最好根據轉圓與導圓之直徑, 比例截分. 例如轉圓之直徑若為導圓直徑之四分之

一則導圓上與 45° 相對之一段弧線，即等於轉圓之半周。並分爲數等分。將轉圓之半圓周，亦分爲同數之等分。畫 $o'a'$ ， $o'b'$ ……等線，並引長之（若專畫內擺線，即不必引長）。再畫 OE 弧線，使與 $o'a'$ ， $o'b'$ ……等線相交於 A, B, C, D, E 等點。以各點爲中心，轉圓之半徑爲半徑，各畫一圓。再用 $O'a$ ， $O'b$ 等爲半徑，畫弧線使各與相當之圓相交，連各交點，即得所求之內外擺線。

因轉圓係沿導圓轉動，則兩圓接觸點必可視爲轉圓上各點瞬時中心 (Instantaneous Center)。故在轉圓圓周上任一點，畫該點內擺線或外擺線之法線，必經過 O' 點，此爲內外擺線之特性。

又內外擺線亦可比照第115圖之畫法畫出，茲不贅述。

127 漸開線齒合於齒輪基本定律之證明。如第117圖，設 APB 與 CPE 爲互相銜接，且具有漸開線齒之兩輪之節圓。



第117圖

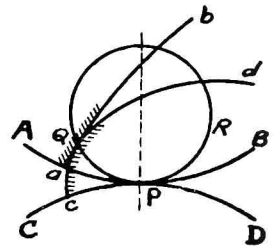
並設 aTb 與 cTe 爲兩齒表面在 T 點互相接觸，且此兩齒表面之曲線爲 S_1 與 S_2 兩基圓之漸開線。

因漸開線之特性，從漸開線上任一點畫一法線，均為基圓之切線，可知兩漸開線之接觸點 T 之公法線，必為兩基圓之公切線 MN 。

又就 O_1PM 與 O_2PN 兩相似三角形比較觀之，可知倘使兩基圓半徑之比與兩節圓半徑之比相同，且恆為一定則互相接觸之兩齒，其接觸點之公法線，必永經過節點 P ，即合於齒輪之基本定律也。

至實際畫漸開線輪齒時，其步驟如下：設 O_1 與 O_2 為兩齒輪之中心， O_1P 與 O_2P 為兩齒輪節圓之半徑， P 為兩齒輪之節點。經過 P 點畫一線 XX ，與 O_1O_2 垂直。再畫傾斜線 MN ，與 XX 成 θ 度之角度。 θ 之大小，普通由 $14\frac{1}{2}^\circ$ 至 $22\frac{1}{2}^\circ$ 不等。然後由 O_1 與 O_2 各向此傾斜線畫一垂線，得出 O_1M 與 O_2N ，此即為兩基圓之半徑。畫基圓後，再由基圓上各畫一漸開線。用所畫漸開線之一段為輪齒表面，自然合於齒輪之基本定律。

128. 擺線齒合於齒輪基本定律之證明。如第 118 圖，設 APB 與 CPD 為兩齒輪之節圓，並設 APB 上一齒之齒腹，其表面曲線係轉圓 PQR 在 APB 節圓內轉動時所畫出之內擺線 aQb 之一段。設 CPD 上一齒之齒面，其表面曲線係轉圓 PQR 在 CPD 節圓外轉動時所畫出之外擺線 cQd 之一段。



第 118 圖

迴轉齒面 cQ 與齒腹 aQ 相接觸，並設 Q 爲其接觸點。則當轉圓 PQR 同時與兩節圓之節點相切時，此 Q 點必在轉圓之上。因轉圓畫 Q 點之內擺線時，此內擺線在 Q 點之法線必經過轉圓與 APB 節圓之切點。同一理由，當轉圓畫 Q 點之外擺線時，此外擺線在 Q 點之法線，必經過轉圓與 CPD 節圓之切點。因此兩法線在此點合而爲一。即接觸點之公法線必經過轉圓與兩節圓同時相切之節點。因曲線 aQb 與 cQd 在其接觸點 Q 之公法線經過兩輪之節點 P ，故倘一輪所有之齒面與別一輪所有之齒腹，係同一轉圓所畫出之外擺線與內擺線，則彼此銜接，傳達運動，必與齒輪之基本定律相合。即所有接觸點之公法線恆經過節點 P 也。

又互相銜接之兩齒輪，其一輪之齒腹與他一輪之齒面，須用同一轉圓畫出。一輪之齒面與他一輪之齒腹，須用同一轉圓畫出。至兩輪之齒腹或兩輪之齒面則無須定由同一之轉圓畫出。因兩輪之齒腹或兩輪之齒面實無彼此接觸之時也。

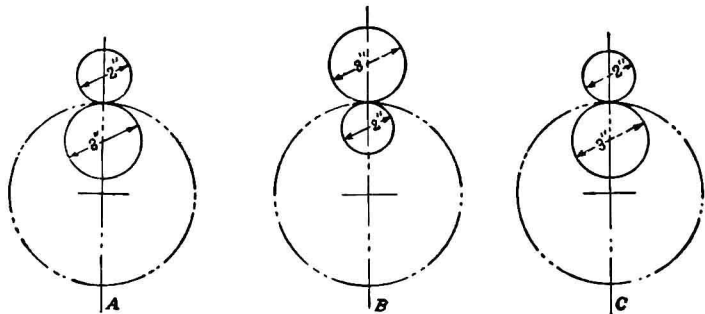
129. 互換漸開線齒輪 (Interchangeable Involute Gears).

欲使多數大小不同之漸開線齒輪，可以互相交換，即任一齒輪均可與其餘之齒輪互相銜接，互相工作，其最要之條件即齒節 (Pitch，無論就周節或就徑節言) 與傾斜角須彼此完全相同。蓋齒節不同，則兩輪之齒必互相衝突。傾斜角不同，則兩齒接觸點之法線不能在一直線也。

130. 互換擺線齒輪 (Interchangeable Cycloidal Gears).

若單就互相銜接之兩擺線齒輪言，則 A 輪之齒腹與 B 輪之齒面，可由一轉圓畫出。 A 輪之齒面與 B 輪之齒腹，可由另一轉圓畫出。齒節當然須相同。

若在多數之擺線齒輪，欲使其中之任一輪均可與其餘之輪隨意配合，則除各輪之齒節，須完全一律外，其所用轉圓之直徑，更須完全相同，即各輪之齒面與齒腹，均須由同一之轉圓畫出也。



第 119 圖

如第 119 圖，設 ABC 三輪所有之齒節完全相同，但其齒面與齒腹，則由直徑不同之轉圓所畫出。所用轉圓之直徑，如圖中所示。如此則 B 輪對於 AC 兩輪雖能得適當之銜接，而 A 輪對於 C 輪，則不能得適當之銜接。故欲多數擺線齒輪可以互換，非一律用同一之轉圓不可。

131. 階級輪 (Stepped wheels). 當兩齒輪互相銜接傳達運動時，若同時接觸之齒數愈多，則傳達之情形愈順利，摩阻

力之損失亦愈小，其原因如下：

(a) 在擺線齒輪，若同時接觸之齒數愈多，其傾斜角之平均值必愈小。例如同時有兩對齒接觸，當第二對起始接觸時，第一對之接觸點已至節點。其傾斜度為零度。若假設所傳達之壓力平均分配於各齒之上（實際上傾斜度愈小之齒，所受之壓力愈大），其傾斜度則由零度至最大傾斜度之間。如此則平均對於有效分力必比較增加，而沿兩軸中心線之分力則比較減少（此一部分力只有害而無利）。

(b) 若只有一對齒接觸，當初接觸及將近離開時，所傳之壓力完全加於一齒面之頂部，齒根部所受之彎曲率較大。

(c) 在漸開線齒輪，因傾斜度恆為一定，故兩部分分力之影響與之無關。惟無論何種曲線之輪齒，其接觸點滑動之速率恆與接觸點至節點法線之長度成正比。若同時有多數齒接觸，其平均長度必因之減小，故因摩阻力消耗之工作亦比較減少。

欲使同時接觸之齒數增多，普通不外兩種方法。

(a) 齒節不變，增加齒之高度，惟齒高增加後，第一，傾斜角或最大傾斜角須增大。第二，齒根部所受之彎曲率 (Bending Moment) 增大。即相當使齒變弱。

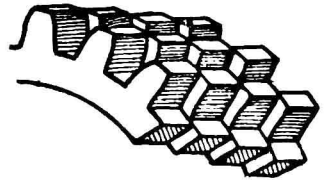
(b) 傾斜角不變，減小齒節。惟齒節減小，齒厚自減，齒亦變弱。

故雖有以上兩種方法，實際上漸開線齒輪，其接觸弧約

爲周節之 $1\frac{3}{4}$ 至 $2\frac{1}{2}$ 倍。在擺線齒輪，其接觸弧約爲周節之 $1\frac{1}{4}$ 至 2 倍。

欲達到同時接觸之齒數多且無他種損失之目的，則可用階級輪。

如第 120 圖，倘將一對正齒輪，沿與垂直之平面橫切爲若干片，並使每片各較其相鄰之一片向前錯動一段。錯動之角度，使等於片數除節角(Pitch Angle)，則結果變爲一對階級輪。兩個階級輪互相銜接，能得到同時接觸齒數

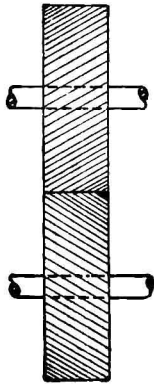


第 120 圖

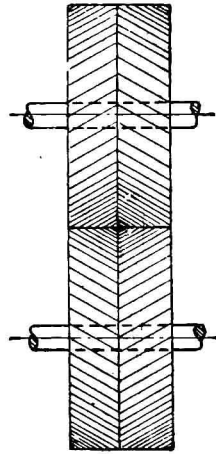
增多之利益，而無減弱力之弊。每一片與另一輪上相當之一片接觸之情形，與原來兩齒輪接觸之情形相同。若原來兩輪有兩對齒同時接觸，倘每輪各分三片，即相當同時有六對齒接觸。每片之齒長雖減薄，而數片相合，其長仍舊，然傾斜角之平均值，滑動速率之平均值，以及接觸點距齒根底之情形，均有多數齒同時接觸之優點。

又實際上所分片數無過多者，普通以三片或兩片者爲多。

132. 扭轉齒輪 (Twisted Gear). 如橫切之片數想像增至無限，結果成爲扭轉齒輪，如第 121 圖所示。兩齒之接觸約爲一螺旋線形。惟接觸點愈近節點者，距齒根愈近，故非一真螺旋線形。對於垂直於輪軸之平面之投影，與原來之接觸線相



第 121 圖

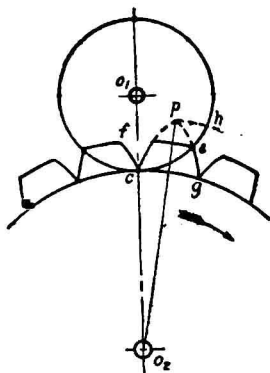


第 122 圖

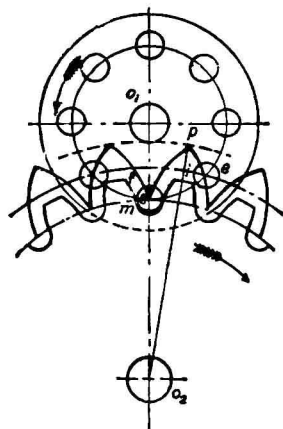
等。又在此種齒輪，當工作時，恆有一部沿軸之方向橫推之力為其缺點。

133. 人字齒輪或鯊骨輪 (Herring Bone Gears). 如第 142 圖所示相當兩個同樣之扭轉齒輪合併於一處，惟扭轉之方向恰相反。如此，則沿軸之方向橫推之力，可以互相抵消。

134. 針輪 (Pin Gearing). 如第 123 圖，設 O_1 與 O_2 為兩輪之中心，並設畫 O_1 輪齒腹與 O_2 輪齒面之轉圓，增至與 O_1 輪之節圓同大，則 O_2 輪之齒面為 O_1 輪之節圓在 O_2 輪節圓外所畫之外擺線之一部。而 O_1 之輪齒腹則變為一點。同時設畫 O_2 輪齒腹與 O_1 輪齒面之轉圓減小至一點，則 O_2 輪之齒腹與 O_1 輪之齒面均變為一點。此種結果，理論上遂變為針輪。



第 123 圖



第 124 圖

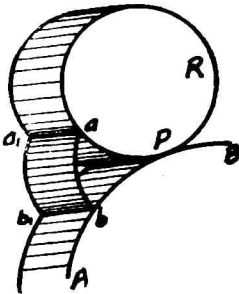
就圖上觀之，設兩輪各繞其軸迴轉，按純粹滾動接觸相接觸於 c 點，則 O_1 輪上之一點 e 必在 O_2 輪之平面上畫出一外擺線 gp ，而在 O_1 輪之平面上則只為一點 e 。設 cf 為與 ge 同樣之曲線，並想像 O_1 輪在 c 點有一無粗細之針，則當 O_2 輪向右迴轉時，彼必按一定之速比向前推動 O_1 輪上之針，與推動相當之齒無異，如曲線之上端僅至 f ，則作用至 e 點即行停止。

以上僅係理論上之研究，實際上恆用有一定粗細之針以代之，而齒輪之齒，其實際曲線亦須改為與原來外擺線平行之一曲線，其相距之距離，則恆等於針之半徑，如第 124 圖所示，沿原來所行之外擺線取多數點為中心，以針之直徑為直徑，畫若干小圓，此多數小圓之內函線即為所求之輪齒曲線，若欲使針對於 O_2 輪兩齒之間有相當之餘隙，則畫齒根處之小圓時，使其中心微在節圓以內，圓心在節圓內之距離使恰等於餘隙即可。

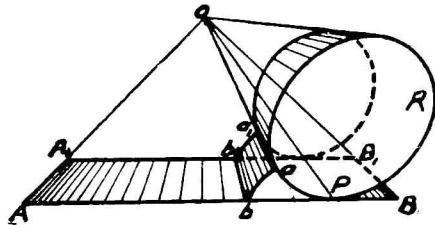
若將各針裝置於平行之兩圓板上，則變為燈輪 (Lantern Wheel). 為減輕摩擦傷損起見，亦有在針上套一轉筒者。

135. 斜齒輪 (Bevel Gears) 理論上之研究. 當研究正齒輪 (Spur Gears) 時，為簡單起見，曾假設所有之運動皆限於一平面之內，故一切研究，多係以點代線，以線代面。但實際上所稱之點，多係垂直於紙面之線，所稱之線多係垂直於紙面之面也。

在漸開線齒輪，基圓 (Base Circle) 可視為一基圓柱 (Base Cylinder) 之一端。畫漸開線之線，可視為有一定寬度之一帶之一邊。畫漸開線之筆，可視為垂直於紙面之一直線之一端。帶上垂直於紙面之一直線在空間所行之曲線面，實為輪齒之表面，即兩齒互相接觸，亦係沿一直線而非只在一點也。



第 125 圖



第 126 圖

在擺線齒輪，節圓與轉圓，實可視為兩圓柱體之兩端。如第 125 圖所示，可稱之為節圓柱 (Pitch Cylinder) 與轉圓柱 (Rolling Cylinder)。兩圓柱接觸之處，亦係一直線而非一點。當

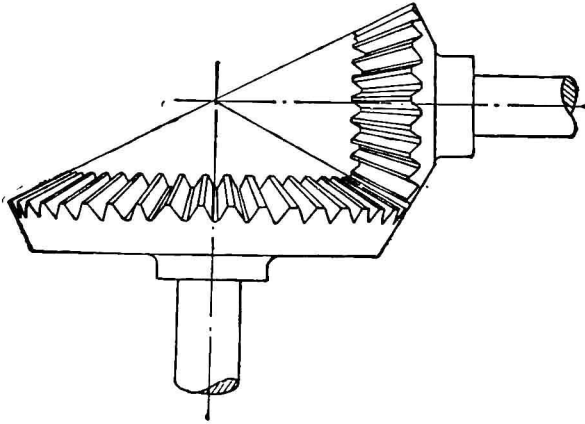
轉圓柱 PR 沿節圓柱 AB 迴轉時，轉圓柱上之一線 aa_1 在空間所畫出之曲線面 aa_1bb_1 實為輪齒之曲線表面。此種觀念，對於研究斜齒輪輪齒之形狀，極有幫助。

如第 126 圖，相當原來節圓柱者，變為 OAB 圓錐之截錐體 ABB_1A_1 。轉圓柱在此亦變為一截錐體 PR 。 ab 曲線則變為一球體外擺線 (Spherical Epicycloid)。輪上一齒之齒面為一轉截錐體沿齒輪節面之外面轉動時，其斜面上之一直線 aa_1 所畫成。其齒腹則為另一轉截錐體沿齒輪節面之內面轉動時，其斜面上之一直線所畫成。

仍參看第 126 圖。當 $OaPR$ 圓錐沿 OAB 圓錐轉動時，畫 ab 曲線之 a 點，距 O 點之距離恆不變，故 a 點實係沿以 O 點為中心以 OA 為半徑之球面而轉動，其齒腹之畫法亦然。故理論上斜齒輪輪齒之外端，實為球面之一部，惟實際上恆用另一圓錐之表面耳。 OAB 圓錐謂之節圓錐 (Pitch Cone)，後一圓錐謂之法圓錐 (Normal Cone)。

136. 斜齒輪之速比。斜齒輪可想像係由圓錐形摩擦輪變化而成。如想像於前章第 99 圖之兩個圓錐形摩擦輪上，各備若干凸起部分與凹下部分，互相嵌入，則原來之兩個圓錐形摩擦輪，遂變為兩個摩擦輪，如第 127 圖所示。

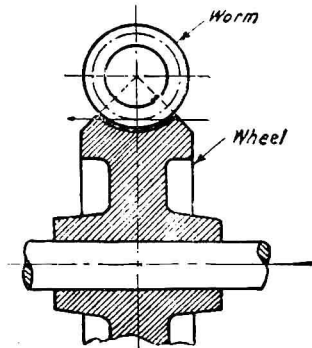
斜齒輪既可視為由圓錐形摩擦輪變化而成，故其速比之關係，亦與兩圓錐形摩擦輪相同，即亦與其節圓錐底圓之半徑成反比也。



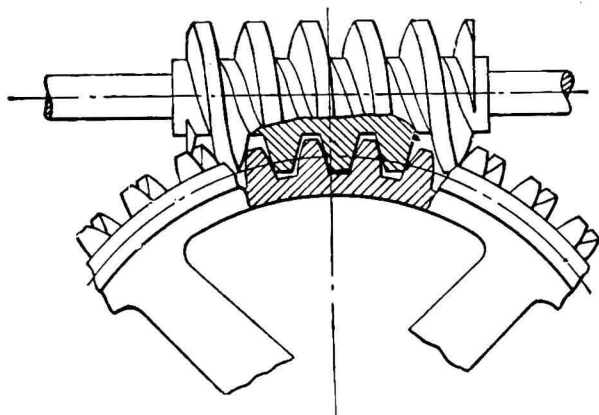
第 127 圖

137. 螺旋桿與螺旋輪 (Worm and Worm Wheel). 當一螺旋桿之螺旋線與一齒輪之齒相銜接, 且使輪齒之形狀恰與螺旋線間之空間相合, 則當螺旋桿迴轉時, 齒輪必被推而轉動. 此種組合, 謂之螺旋桿與螺旋輪, 多用以傳達互相垂直而不相交之兩軸之運動. 與普通正齒輪不同之點, 不但輪齒微行傾斜, 且中間向內彎曲, 包圍螺旋桿一定之角度, 使接觸之面積因之增大, 其情形如第 128 與第 129 兩圖所示.

此種輪之優點, 第一能傳達甚高之速率. 第二, 不易倒行. 當用於起重機上時, 此種性質極為重要. 第三, 工作時發聲音特小.



第 128 圖



第 129 圖

138. 螺旋桿與螺旋輪之速比. 螺旋桿與螺旋輪尚有與普通齒輪不同之點,即速比與輪之直徑無關. 只與螺旋輪上之齒數及螺旋桿之螺旋線係單線或複線有關. 若係單線,則螺旋桿每迴轉一週,只使螺旋輪前進一齒;若係雙線,則使螺旋輪前進二齒.其餘依此類推.

例如螺旋桿係單線,而螺旋輪有 48 齒,則欲使螺旋輪迴轉一週,螺旋桿須迴轉 48 次.若螺旋桿係雙線,則欲使螺旋輪迴轉一週,螺旋桿須迴轉 24 次.由此可知螺旋桿與螺旋輪節圓之直徑,對於速比並無關係.

習 題

1. 齒輪迴轉之速率,與其直徑及齒數均成反比,試證明之.
2. 甲乙兩軸上各有齒輪一個,甲軸上之齒輪,其齒數為 80,今擬此兩

齒輪之作用，將甲軸之運動傳於乙軸。倘甲軸每分鐘迴轉 100 次，乙軸每分鐘迴轉 20 次，問乙軸上之齒輪，其齒數當為若干？

3. 試述齒輪之基本定律，並證明之。

4. 設 P = 徑節， C = 周節， T = 齒數， D = 節圓直徑。

(a) $P=10$, $D=5$, 求 T .

(b) $D=15$, $C=2$, 求 T .

(c) $T=48$, $D=4\frac{1}{2}$, 求 C .

(d) $C=1\frac{1}{4}$, $T=30$, 求 P .

5. 兩正齒輪互相銜接，當原動輪迴轉 5 次時，從動輪迴轉 3 次。周節為 $\frac{7}{8}$ 吋，從動輪之齒數為 30。試求兩輪中心之距離及原動輪之齒數。

6. 兩正齒輪互相銜接，其齒數一為 80，一為 50，周節為 $1\frac{1}{2}$ 吋，問兩輪中心相距之距離。

7. 兩正齒輪互相銜接，原動輪之齒數為 63，周節為 $1\frac{1}{2}$ 吋，兩輪中心之距離為 20 吋，試求從動輪節圓之直徑及齒數。

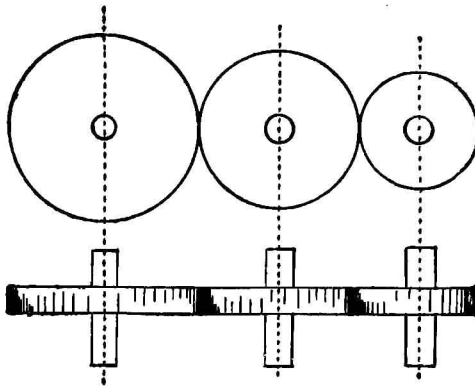
8. 兩正齒輪互相銜接，其中心相距之距離為 20 吋，徑節為 4。如一輪每分鐘之迴轉數為別一輪之三倍。問兩輪之齒數各為若干？

第 九 章

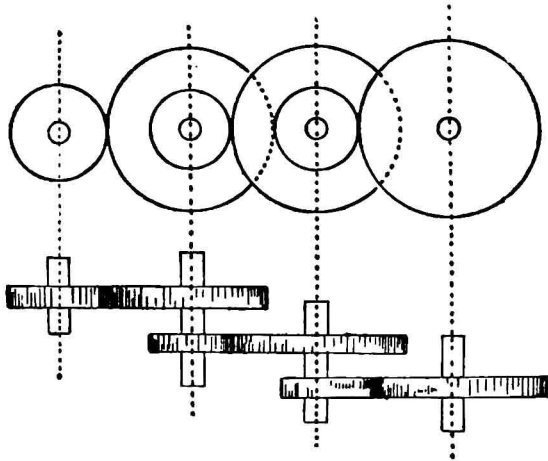
輪 系 (Gear Trains or Wheels in Train)

139. 輪系之定義. 凡三個或三個以上之齒輪, 互相銜接為聯合運動者, 均謂之輪系. 首輪謂之原動輪, 末輪謂之從動輪 (又有時凡互相銜接之兩輪, 先動者即為原動輪, 後動者即為從動輪) 介乎其間者, 統謂之中輪 (Intermediate Wheel).

又每軸只有一輪者, 謂之單式輪系. 如第130圖所示除首末兩輪外, 每軸有二輪或有某一軸有二輪者, 謂之複式輪系, 如第131圖所示.



第 130 圖



第 131 圖

140. 輪系之值。(Train Value) 或輪系之速比。在同一時間內，一輪系最末一輪之迴轉數對於最初一輪之迴轉數之比，謂之此輪系之值，或此輪系之速比，多用字母 e 代表之。

141. 單式輪系之值。如第 132 圖，設 A 為原動輪， B 為最末之從動輪， C 為中輪。 N_A 為 A 輪每分鐘之迴轉數， N_B 為 B 輪每分鐘之迴轉數， N_C 為 C 輪每分鐘之迴轉數。 T_A 為 A 輪之齒數， T_B 為 B 輪之齒數， T_C 為 C 輪之齒數，按齒輪定理，得

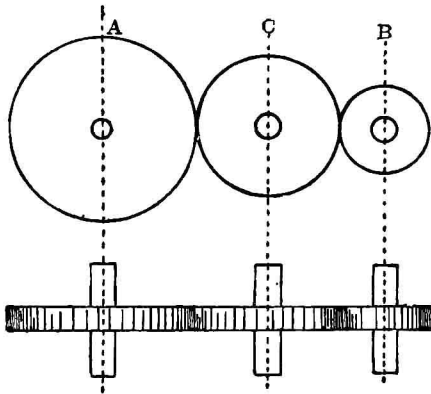
$$\frac{N_C}{N_A} = \frac{T_A}{T_C} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{N_B}{N_C} = \frac{T_C}{T_B} \dots\dots\dots(2)$$

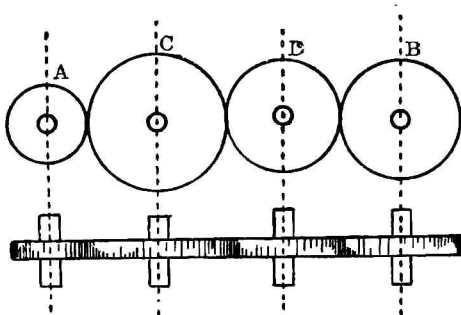
兩式兩邊連乘，得

$$\frac{N_C}{N_A} \times \frac{N_B}{N_C} = \frac{T_A}{T_C} \times \frac{T_C}{T_B}$$

或輪系之值 $e = \frac{N_B}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} \dots\dots\dots(\text{甲})$



第 132 圖



第 133 圖

如第 133 圖，設 A 為原動輪，B 為最末之從動輪，C 與 D 為兩中輪。N_A, N_B, N_C, N_D 為四輪每分鐘之迴轉數，T_A, T_B, T_C, T_D 為四輪之齒數。按齒輪定理，得

$$\frac{N_C}{N_A} = \frac{T_A}{T_C} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{N_D}{N_C} = \frac{T_C}{T_D} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{N_B}{N_D} = \frac{T_D}{T_B} \dots\dots\dots(3)$$

三式兩邊連乘,得

$$\frac{N_C}{N_A} \times \frac{N_D}{N_C} \times \frac{N_B}{N_D} = \frac{T_A}{T_C} \times \frac{T_C}{T_D} \times \frac{T_D}{T_B}$$

或輪系之值 $e = \frac{N_B}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} \dots\dots\dots(\text{乙})$

由甲乙兩式觀之,可知在單式輪系,中輪對於首末兩輪之速比或輪系之值之大小無關,與 A, B 兩輪直接聯動者同,故中輪有時稱之曰惰輪 (Idle Wheel or Idler).

142. 單式輪系用中輪之益. 在單式輪系,中輪雖與首末兩輪之速比無關,然於兩輪迴轉之方向及其所占之面積,則大有關係.凡中輪之數爲一,或任何奇數者,則首末兩輪迴轉之方向相同.凡中輪之數爲二或任何偶數者,則首末兩輪迴轉之方向相異.又如有一定之速比,則用中輪時,其首末兩輪較小;若首末兩輪直接聯動,則兩輪較大.

如第 134 圖,欲使 O_1 軸對於 O_2 軸有一定之速比,且迴轉之方向相同.倘置中輪 C 於 A, B 兩輪之間,但使 $\frac{O_2b}{O_1a}$ 等於所需之速比即足 (O_2b 爲 B 輪之半徑, O_1a 爲 A 輪之半徑). 如不用中

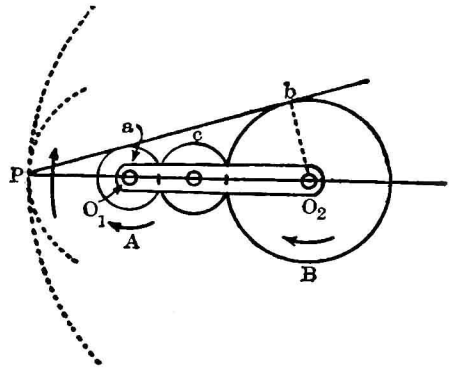
輪既欲迴轉同向，則須用內接聯動(即一輪之齒向內，與另一輪之齒相銜接)至兩輪之大小，可求之如下：

畫 A, B 兩輪之外公切線 ba ，並引長之，使交 O_2O_1 引長線於 P 點，則 O_1P 與 O_2P 即所求內接聯動兩輪之半徑。因

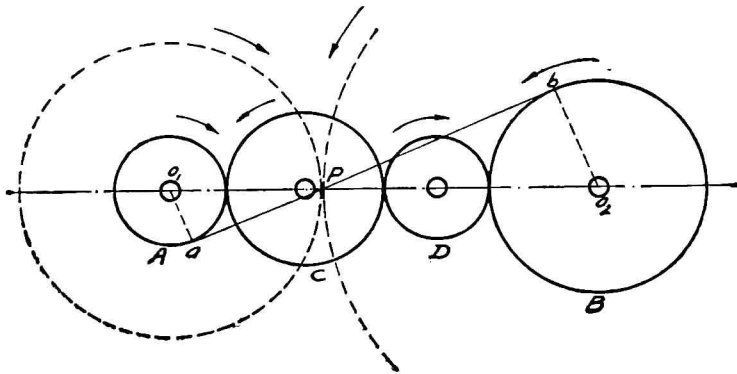
PaO_1 與 PbO_2 兩三角形為相似三角形，

$$\frac{OP}{O_2P} = \frac{O_1a}{O_2b} = \frac{A \text{ 輪之半徑}}{B \text{ 輪之半徑}} \text{ 故也。}$$

又如第 135 圖，欲使 O_2 軸對於 O_1 軸之速比為 $1:2$ ，且使其迴轉之方向相反，則任意計畫 A, B 兩輪，使 B 輪節圓之半徑 O_2b 為 A 輪節圓之半徑 O_1a 之二倍，再於中間置兩中輪 C 與 D ，使彼此互相銜接即可。



第 134 圖



第 135 圖

若不用中輪，則 B 輪節圓之半徑，須為 O_1O_2 線之三分之二， A 輪節圓之半徑須為 O_1O_2 線之三分之一，或與前圖之方法比照求之如下：

畫 A, B 兩輪節圓之公切線 ab ，與 O_1O_2 線相交於 P 點，則 O_1P 即為 A 輪節圓應有之半徑， O_2P 即為 B 輪節圓應有之半徑，因 PaO_1 與 PbO_2 兩三角形為相似三角形，

$$\frac{O_1P}{O_2P} = \frac{O_1a}{O_2b} = \frac{1}{2} = \text{所求之速比也。}$$

兩圖上用虛線所表示者，為不用中輪時兩輪節圓應有之大小比較觀之，可知用中輪時與不用中輪時，輪之大小相差甚鉅。大小既差，則購置時之價值及所占之面積，均因之增加。

143. 複式輪系之值。 如第 136 圖，設 A, B, C, D, E, F ，為相聯之六齒輪。 A 為原動輪， F 為最末之從動輪。 B, C, D, E ，皆為中輪又設 $N_A, N_B, N_C, N_D, N_E, N_F$ ，為六輪每分鐘之迴轉數， $T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F$ ，為六輪之齒數，按齒輪定理，得

$$\frac{N_B}{N_A} = \frac{T_A}{T_B} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{N_D}{N_C} = \frac{T_C}{T_D} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{N_F}{N_E} = \frac{T_E}{T_F} \dots\dots\dots(3)$$

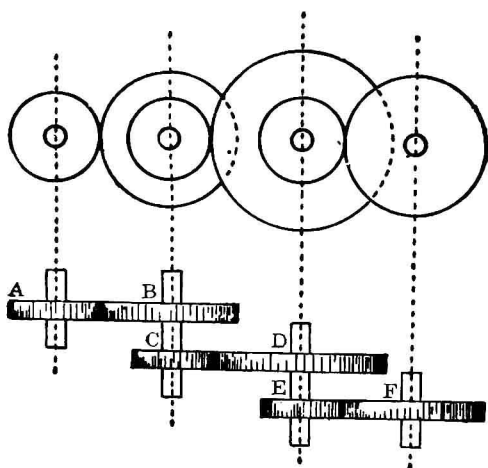
三式兩邊相乘，得

$$\frac{N_B}{N_A} \times \frac{N_D}{N_C} \times \frac{N_F}{N_E} = \frac{T_A}{T_B} \times \frac{T_C}{T_D} \times \frac{T_E}{T_F}$$

但 B, C 二輪在一軸上, 故 $N_B = N_C$,

D, E 二輪在一軸上, 故 $N_D = N_E$,

$$\text{故輪系之值 } \epsilon = \frac{N_F}{N_A} = \frac{T_A \times T_C \times T_E}{T_B \times T_D \times T_F}$$



第 136 圖

又就 A, B 二輪言, A 為原動輪, B 為從動輪。就 C, D 二輪言, C 為原動輪, D 為從動輪。就 E, F 二輪言, E 為原動輪, F 為從動輪。故上式又可用下文表示之:

末輪迴轉數對於首輪迴轉數之比, 或輪系之值, 等於所有原動輪齒數連乘對於所有從動輪齒數連乘之比。

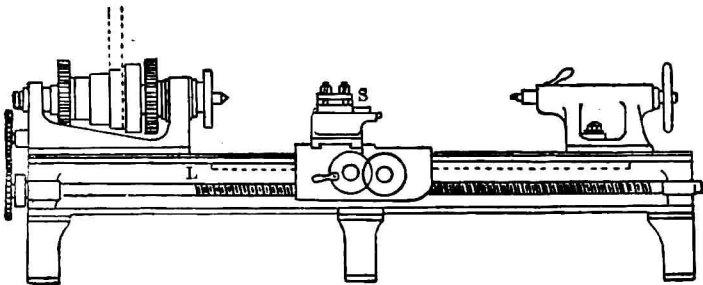
144 用複式輪系之益。 就前段觀之, 可知用複式輪系, 不但有變換方向縮小面積之益, 且中輪之齒數與首末兩輪

迴轉數之比亦生有關係。倘備多數齒數不同之中輪，則由適宜之配置，輪系之值，亦可任意改變焉。

又在複式輪系中，關於首末兩輪變換方向之定理，可易言之如下：

凡中軸之數為一，或任何奇數者，則首末兩輪迴轉之方向相同。凡中軸之數為二，或任何偶數者，則首末兩輪迴轉之方向相異。

145. 銑床上之輪系。銑床上之輪系，為輪系最普通應用之一。當用以銑螺旋時，則刀架（即裝置銑刀者）在定方向前進一定之距離時，主軸須迴轉一定之次數。例如欲銑一每吋12線之右螺旋，則當刀架向左移動1吋時，主軸須迴轉12次。如欲銑一每吋12線之左螺旋，則當刀架向右移動1吋時，主軸須迴轉12次。



第 137 圖

第 137 圖表示一普通銑床之正面。S 為刀架，L 為導螺旋（Leading Screw）。導螺旋上普通皆具右螺旋線，經過刀架之上

陰螺旋孔。故導螺旋迴轉時，刀架即因之左右移動。其移動之向左或向右，一視導螺旋迴轉之方向而異。又因主軸迴轉之方向不變，故所鑄螺旋線之或左或右，亦一視導螺旋迴轉之方向而異。由軸與導螺旋之間，由一輪系連接之，其中有數輪可以任意更換。故備若干齒數不同之齒輪，隨意組合，則導螺旋與主軸之速比，可以任意改變。故所鑄螺旋線之或左或右與每吋中之線數，亦可任意而定。

設 n = 所鑄螺旋每吋之線數，

P = 導螺旋之螺節 (Pitch)，

當鑄刀沿導螺旋移動 1 吋時。

則導螺旋迴轉之數必為 $\frac{1}{P}$ 。

因所鑄之螺旋，在此時間內須出 n 線，

故主軸迴轉之數必為 n 。

即導螺旋與主軸之速比當為 $\frac{1}{P} \div n = \frac{1}{nP}$ 。

設主軸上之齒輪為首輪，導螺旋上之齒輪為末輪，如輪系係單式，則但使

$$\frac{\text{首輪之齒數}}{\text{末輪之齒數}} = \frac{1}{nP}, \text{ 即得所求之線數。}$$

如輪系係複式，則應自首輪起，先察其何為原動輪，何為從動輪，但使

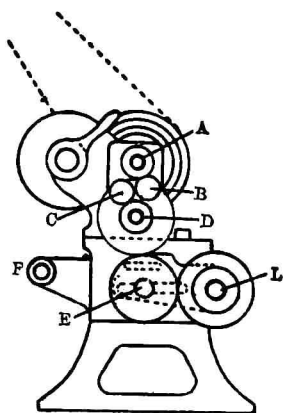
$$\frac{\text{各原動輪齒數連乘}}{\text{各從動輪齒數連乘}} = \frac{1}{nP}, \text{ 即得所求之線數。}$$

如複式輪系中，有數個單輪，則計算時可重複之，一次為

原動輪，一次為從動輪，或不計之，其結果相同。

至所鑄螺旋線之或左或右，須視主軸與導螺旋間中軸數目之為奇為偶而定。如擬鑄一右螺旋，則導螺旋須與主軸迴轉之方向相同，即中軸之數目須為奇數。如擬鑄一左螺旋，則導螺旋須與主軸迴轉之方向相異，即中軸之數目須為偶數。

第138圖表示一普通鑄床之側面。A為主軸，L為導螺旋。B、C、D、E皆為中軸。F為橫臂，中備長孔。E軸可沿之移動，以便E軸上可裝置大小不同之齒輪，與D、L二軸上之齒輪相接。B、C二軸，固定於同一臂上。此臂如向下推轉時，則B軸上之齒輪即與A軸上之齒輪不相銜接。C軸上之齒輪，即介於A、D二軸之間。故中軸之數目減一，因之導



第 138 圖

螺旋對於主軸迴轉之方向自異。所鑄螺旋線之或左或右，亦遂因此而分。

146. 原動輪與從動輪在同心軸上。如將一輪系之原動輪與最末之從動輪裝置於同心之兩軸上，則全輪系所占之面積尤小。普通鑄床上之背輪 (Back Gear) 即其一例。如第139圖，P為鑄床上之塔輪。A、B、C、D為四齒輪。A輪固定於塔輪上，與一平行軸R上之B輪相銜接。R軸上之C輪，復與主軸

上之 D 軸相銜接。主軸與塔輪軸同心，但非係一軸。 R 軸對於 S 軸之位置可以任意移動。移近之，則輪系發生作用。 D 輪對於塔輪亦可由一螺旋分合之。

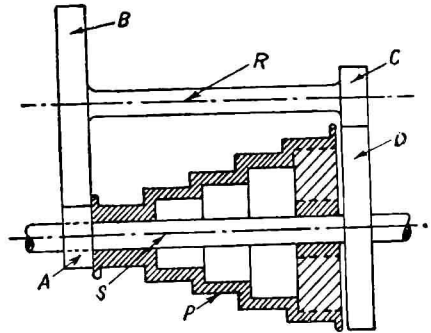


圖 139 號

當不用背輪時，將 R 軸推遠，一面將 D 輪管於塔輪上。主軸之速率，遂與塔輪之速率相同。如塔輪有四級，即可直接得到四種不同之速率。

當用背輪時，一面使 D 輪與塔輪分開，一面將 R 軸移近，使兩對齒輪均彼此銜接。塔輪之迴轉運動，先由 A 輪傳於 B 輪，再由 C 軸傳於 D 輪而達於主軸。其速比如下：

$$\frac{\text{主軸之速率}}{\text{塔輪之速率}} = \frac{A \text{ 輪之齒數} \times C \text{ 輪之齒數}}{B \text{ 輪之齒數} \times D \text{ 輪之齒數}}$$

如塔輪有四級，又可得四種不同之速率。

147. 時鐘上之輪系。第 140 圖，表示一普通時鐘上之輪系。各輪附近之數字，皆係代表輪之齒數。卡子 (Verge or Anchor) O 隨同擺 P 擺動，倘此擺每秒鐘擺動一次，則每當擺動兩次或每經過兩秒鐘，卡子下之放力輪 (Escape Wheel) 即迴轉一齒。故 A 軸每分鐘必迴轉一整週，用以帶動秒針 S ，極為適宜。

A 與 C 兩輪間輪系之值為

$$\frac{C \text{ 軸之迴轉數}}{A \text{ 軸之迴轉數}} = \frac{8 \times 8}{60 \times 64} = \frac{1}{60}$$

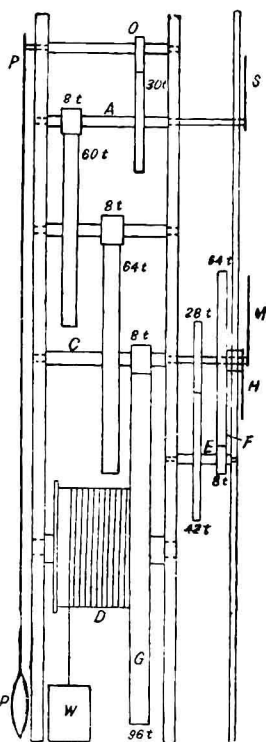
即 A 軸每當迴轉 60 週時, C 軸即迴轉 1 週. 故 C 軸宜於帶動分針 M .

時針 H 之迴轉軸與分針 M 之迴轉軸同心. 惟係用一空筒軸頭裝置於鬆輪 F 上 (F 輪並未固定於 C 軸上). F 輪對於 C 軸係由一輪系及一中軸 E 連接之. 此輪系之值為

$$\frac{H \text{ 針之迴轉數}}{M \text{ 針之迴轉數}} = \frac{28 \times 8}{42 \times 64} = \frac{1}{12}$$

故 F 輪宜於帶動時針 H .

又因 D 捲筒上所連之齒輪 G , 其齒數為 96, 與 C 軸上 8 齒之輪相銜接. 故每當分針迴轉 12 週時, D 筒即迴轉一週, 即每一晝夜, D 筒即迴轉兩週. 若欲此鐘自行 8 日, 方重上一次, 則 D 筒上之鏈索至少須纏繞 16 週.



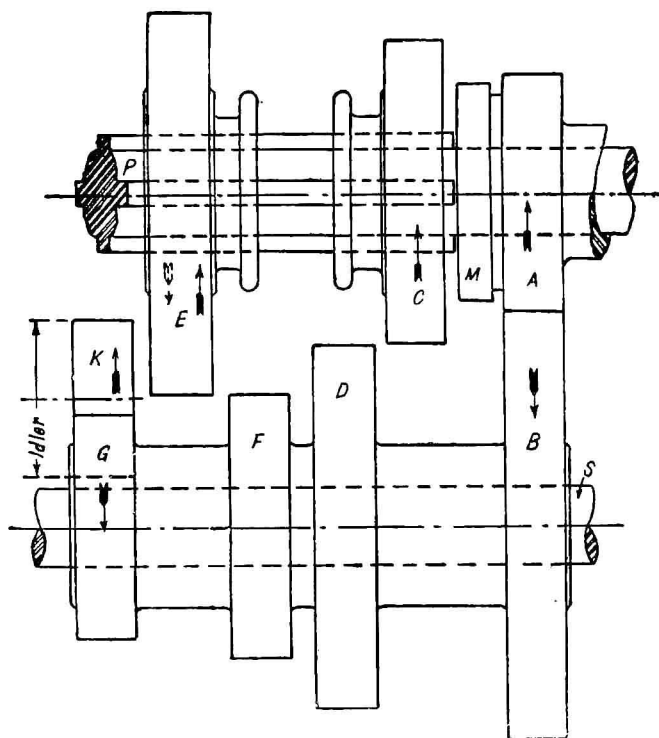
第 140 圖

148. 汽車上之輪系 (Automobile Transmission) 第 141 圖

表示普通汽車上變化速率之輪系, 能由之得到三種前進之速率及一種後退之速率.

齒輪 A 裝置於直接由發動機帶動之套管之一端. 在 P 軸之一端自由迴轉. 在對軸 S 上, 有 B, D, F, G 四齒輪, 彼此固定於一處, 恆發生同一之迴轉運動. 全組之目的係使 A 輪按一定

之速率迴轉而使 P 軸在同一方向, 能得三種大小不同之速率迴轉. 在相反之方向, 能得一種速率迴轉.



第 141 圖

B 輪與 A 輪互相銜接, 故對軸迴轉之方向與 A 輪相反, 且對軸迴轉數對於 A 輪迴轉數之比等於 A 輪之齒數對於 B 輪齒數之比.

C, E 兩輪在圖上所示之位置時, 對軸之迴轉無甚作用, 即全組位於中立之地位.

A輪左邊之輪殼 M , 其周圍具有若干突起部, C 輪右邊之內部, 則具有相當之槽. 當 C 輪向右移動時, 能與 M 上之突起部互相嵌合, 結於一處. 又因 C 輪係沿 P 軸上之長鍵滑向左右, 故當 C 輪隨 M 迴轉時, P 軸即隨之迴轉. 結果使 P 軸按 A 輪同一之速率迴轉, 得傳動之高速 (High Speed).

如將 C 輪由現在之地位向左移動, 使與 D 輪互相銜接, 則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}} = \frac{A\text{輪之齒數} \times D\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數} \times C\text{輪之齒數}}$$

得傳動之中速 (Intermediate Speed).

如將 C 輪置於圖上所示之地位, 將 E 輪向右移動, 使與 F 輪互相銜接, 則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}} = \frac{A\text{輪之齒數} \times F\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數} \times E\text{輪之齒數}}$$

得傳動之低速 (Low Speed).

如將 E 輪由其中立之地位向左移動, 使與惰輪 K 互相銜接, K 輪則係由 G 輪帶動, 則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}} = \frac{A\text{輪之齒數} \times G\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數} \times E\text{輪之齒數}}$$

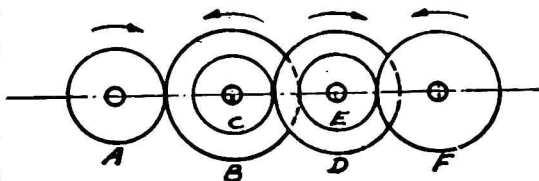
因 G, E 兩輪中間插入一惰輪, 故 E 輪或 P 軸迴轉之方向與 A 輪迴轉之方向相反, 即得到後退之結果.

習 題

1. 何謂輪系? 何謂輪系之值? 試分別述之.

2. 在單式輪系與複式輪系, 中輪各有何益? 試分別述之。

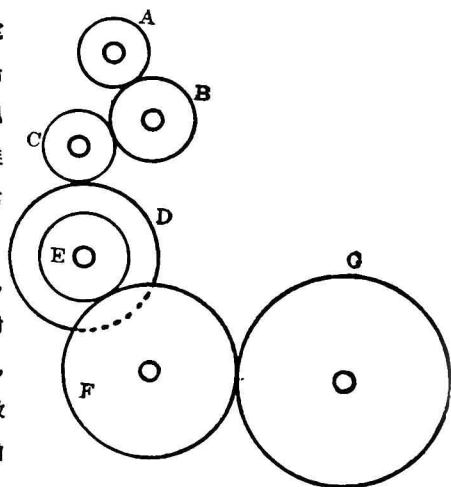
3. A, B, C, D, E, F 共組成一複式輪系, 其連接法如第 142 圖所示。倘 $T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F$ 代表六輪之齒數, $N_A, N_B, N_C, N_D, N_E, N_F$ 代表六輪每分鐘之迴轉數。試證



第 142 圖

$$\frac{N_F}{N_A} = \frac{T_A \times T_C \times T_E}{T_B \times T_D \times T_F}$$

4. 第 143 圖, 表示一銼床上之輪系。A 輪固定於主軸上。G 輪固定於導螺旋軸上。A, B, C, D, E, F 六輪之齒數為 24, 24, 24, 48, 40, 60。導螺旋之螺節為 $\frac{1}{2}$ 吋。如欲在主軸上銼每吋 8 線之螺旋, 問 G 輪之齒數當為若干?



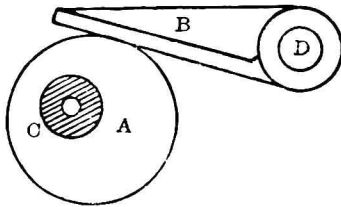
第 143 圖

5. 某銼床上之塔輪共有四級, 各級之直徑為 $3\frac{1}{4}''$, $4\frac{1}{2}''$, $6''$, $7\frac{1}{4}''$ 。對軸上之塔輪, 其各級之直徑為 $8\frac{1}{8}''$, $7\frac{1}{2}''$, $6''$, $4\frac{1}{2}''$ 。對軸每分鐘之迴轉數為 275 次。其背輪輪系上各輪之齒數, 計 A 有 28 齒, B 有 84 齒, C 有 28 齒, D 有 84 齒 (參看第 139 圖。問此銼床工作時能得之速率各為何?

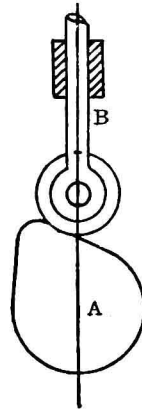
第 十 章

凸 輪 (Cams)

149. 凸輪之定義及其應用。凸輪一譯偏突輪,係一平板或一圓柱或一任何形狀之固體,具有一曲線之周緣(Curved Outline)或一曲線之凹槽(Curved Groove),當繞一定之軸迴轉時,即能將機械一部之等速連續運動變為他一部所預期之不等速或不連續運動之機件也。有時凸輪本身亦有為上下或往復運動者,惟應用較少。



第 144 圖



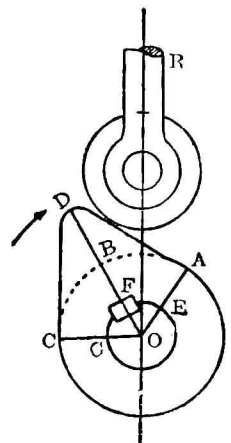
第 145 圖

由圓周運動變為往復擺動者,如第144圖所示. A為凸輪,

B 爲傳動桿， C 爲原動軸， D 爲從動軸 當 C 軸迴轉時， A 遂作用於 B ， D 軸卽爲往復之擺動。

由圓周運動變爲上下運動者，如第 145 圖所示，因凸輪 A 之動作，導路之約束， B 桿遂發生上下運動。

150. 凸輪各部之名稱 凸輪周緣之形狀不一，因之其動作之效果斯異。又原動部普通皆爲等速運動，而從動部則否。至凸輪之種類雖有種種不同，其原理則無甚差異。今就最簡單之凸輪說明其各部之名稱如下。如第 146 圖， ABC 爲凸輪， EFG 爲凸輪軸， R 爲被動之桿， OA 爲凸輪之最小半徑， OD 爲凸輪之最大半徑。假設凸輪順鐘表指針迴轉之方向迴轉，則 R 桿之上升必始於 A 而終於 D 。 R 桿之下降，必始於 D 而終於 C 。弧線 CA 一段， R 必止而不動，故 AOC 角謂之凸輪之作用角， AOD 角謂之升角， DOC 角謂之降角。又最大半徑與最小半徑之差 BD 一段，謂之從動部之總升距。

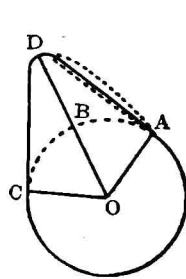


第 146 圖

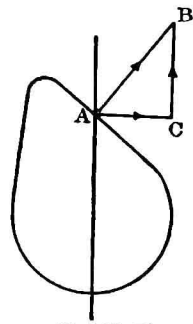
151. 凸輪周緣之形狀對於側面壓力與傳動速率之關係。如第 147 圖 AOC 爲作用角， BD 爲從動部之總升距。凸輪上 AD 一段周緣，無論爲何形狀，當凸輪迴轉 AOD 角度時，從動部上升之距離必等於 BD 。是周緣之形狀，對於最終之總升距無關，然對於側面壓力與傳動速率則大有關係。

緣之形狀，對於最終之總升距無關，然對於側面壓力與傳動速率則大有關係。

如第148圖，凸輪施於從動部之力 AB ，恆沿接觸線法線之方向。此力可分解為 AC 與 CB 二部。 CB 一部為作用於從動部之力。 AC 一部則為側面壓力。此側面壓力不僅費能力於無用，接觸部分更因之而受損失。



第 147 圖



第 148 圖

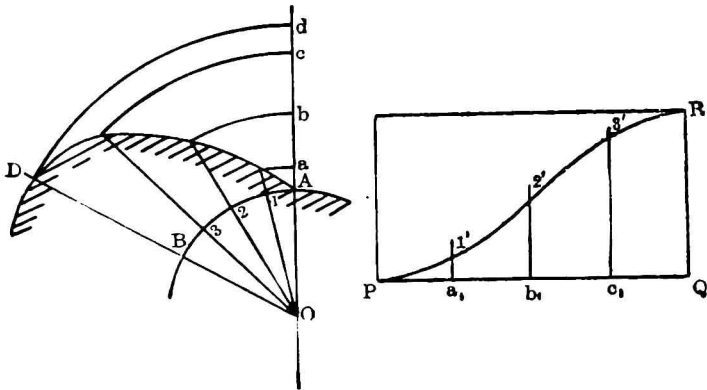
又就圖上觀之，此側面壓力之大小，一視 AD 一段對於 OD 傾斜之角度而異。傾斜之角度愈大，側面之側力愈小。傾斜之角度愈小，側面之壓力愈大。是但就側面壓力一方面論之，周緣傾斜之角度，宜於大而不宜於小。然同一之升角，同一之總升距，如周緣傾斜之角度愈小，則傳動之速率愈高，周緣傾斜之角度愈大，則傳動之速率愈低。在各種內燃機，其出入氣瓣之啓閉，恆貴乎速而不取乎緩。是但就傳動速率一方面論之，周緣傾斜之角度，又宜於小而不宜於大。故計畫時須斟酌二者關係之輕重而取決焉。

又同一之總升距，同一之升角，若增大最小半徑，亦可減輕側面壓力。因增大最小半徑等於增大傾斜角也。

152 凸輪周緣之製定法。凸輪周緣之製定法，按從動部之性質及與原動部相關之地位，分下列四種述之：

(甲)從動部動作之中心線經過凸輪之中心者。在此類

之中，又有從動部上有無轉子(Roller)之分。



第 149 圖

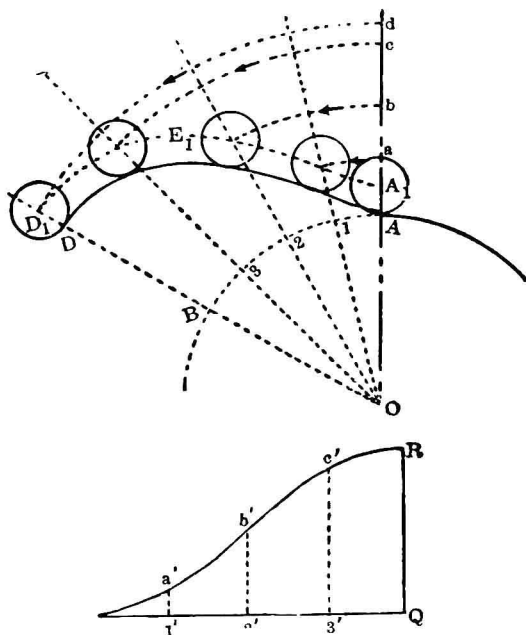
(a) 從動部上不帶轉子。如第 149 圖， OAd 為從動部及凸輪之中心線， OA 為凸輪之最小半徑， OD 為凸輪之最大半徑。 AOD 為凸輪之升角。 BD 為從動部之總升距。將 AOD 角任意分為數等分。畫 PQ 平線，代表 AOD 角，並按 AOD 角分為同數之等分引長分角線 $O1, O2, O3$ 。在 PQ 上之等分點，畫垂直線 $a_1 1', b_1 2', c_1 3'$ ； QR 各代表凸輪迴轉 $AO1, AO2, AO3$ 等角時從動部須升之高沿 Ad 線，量 Aa, Ab, Ac, Ad ，使與 $a_1 1', b_1 2', c_1 3'$ ，及 QR 相等。然後以 O 為中心，以 Oa, Ob, Oc, Od 等為半徑，畫弧線，使交於 $O1, O2$ 等之引長線。連所交各點，即得凸輪在升角內周緣應具之形狀。至降角內周緣所應具之形狀，其求法亦與此相同。

(b) 從動部帶有轉子。欲減少凸輪周緣之摩阻力與傷損，恆於從動部之下部裝置一轉子。當凸輪迴轉時，轉子隨

之滾動，故摩阻力與傷損均因之減少。此種凸輪周緣之製法，如第150圖所示。

各部之名稱，與前段無異。惟此次量從動部升起之距離時，須自轉子之中心 A_1 起。蓋轉子中心之動作即足以代表從動部全體之動作也。

沿 A_1d 線，量 A_1a ， A_1b ， A_1c ， A_1d ，使各等於下圖上之 $1'a'$ ， $2'b'$ ， $3'c'$ ， QR 。再畫弧線，求與各分角線之交點。以各交點為圓心，轉



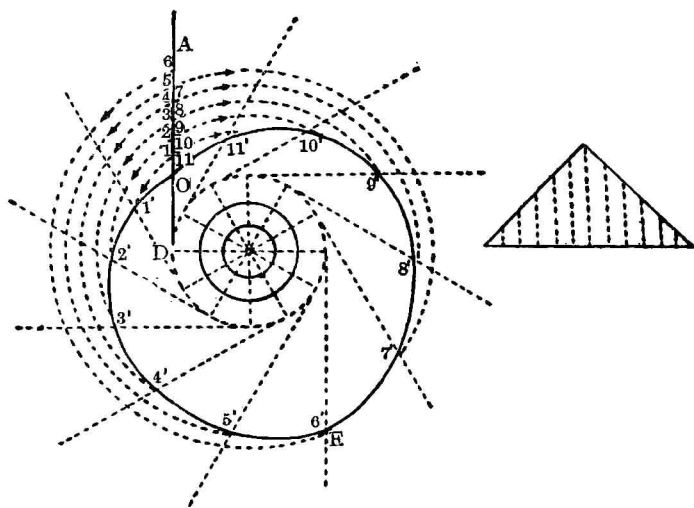
第 150 圖

子之半徑為半徑，各畫一小圓，然後求各小圓之內包絡線 (Envelope)，即得所求凸輪之周緣

又轉子中心所連之曲線，謂之凸輪之節線 (Pitch Line) 即圖中 $A_1E_1D_1$ 曲線也。

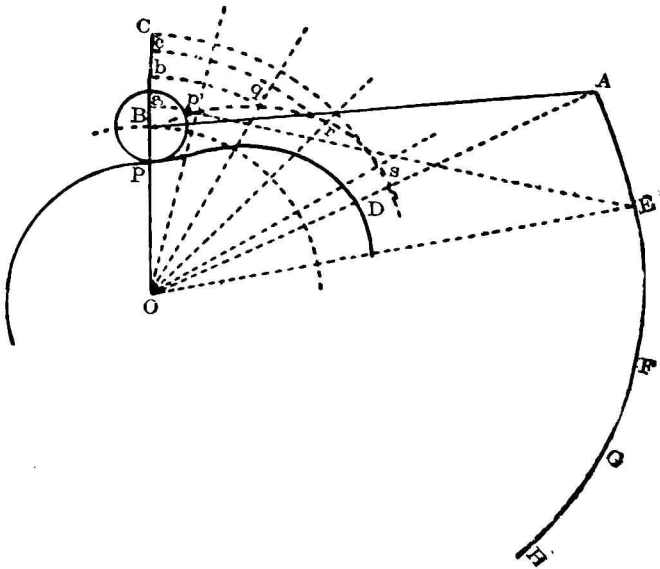
(乙) 從動部動作之中心不經過凸輪之中心者。在此類凸輪中，亦有從動部上有無轉子之分。第151圖所示者，係從動部上無轉子。AOD為從動部運動之中心線，C為凸輪之

中心, CD 為 C 點距 AOD 最近之距離, CO 為凸輪之最小半徑, CE 為凸輪之最大半徑. 以 CD 為半徑, 畫一圓, 從 D 點起, 將此圓分為若干等分, 在等分點上, 各畫一切線. 沿 OA 截 $O1, O2,$ 等等, 使等於從動部在每分角內升高之距離. 再以 C 為中心 $C1, C2$ 等為半徑, 畫弧. 使與相當之切線交於 $1', 2'$ 等點. 連此各點, 即得所求凸輪之周緣. 如從動部上有轉子時, 則須先求轉子在各切線上之地位, 然後畫其內包絡線, 即得所求凸輪之周緣. 至其求法, 與前段無異.



第 151 圖

(丙) 從動部轉子之地位係一平板者. 如第 152 圖, OA 為凸輪之最小半徑, OD 為凸輪之最大半徑, OAd 為從動部運動之中心線. AOD 為凸輪之升角. 將 AOD 角任意分為數等分,



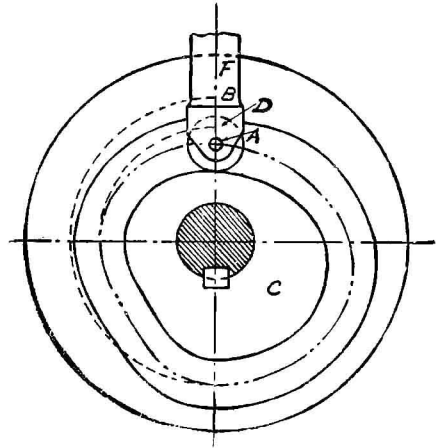
第 153 圖

弧線，截 Ba, Bb, Bc, Bd 等弧，使 Ba, Bb 為凸輪迴轉至相當之分角時，槓桿 AB 所移動之角度。至求凸輪之節線時，其方法如下：

假設凸輪軸係靜止，而槓桿向反對方向迴轉。以 O 為中心， OA 為半徑，畫 $AEFGH$ 弧。畫 AOE 角，使等於 $PO1$ 角，則 OE 必為 OA 之新地位。再以 O 為中心， Oa 為半徑，畫 ap 弧，則當凸輪迴轉 $PO1$ 角度時，轉子之中心必在 ap 弧上。又以 E 為中心， AB 為半徑，畫弧，使與 ap 弧相交於 P 點，則 P 點必為凸輪迴轉 $PO1$ 角度後轉子之中心。蓋 AB 為一堅固之桿， A 移於 E ， B 不能外以 AB 為半徑之弧線上也。

用同一方法可得 q, r, s , 等點為凸輪迴轉至相當角度時轉子之中心, 然後以所得各點為中心, 轉子之半徑為半徑, 各畫一小圓, 此數圓之內包絡線即為所求凸輪之周緣。

153. 確定運動凸輪 (Positive Motion Cam) 凡不待重力或彈簧之彈力即能使從動部仍復其原來地位之凸軸, 謂之確定運動凸輪。以前所述之數種凸輪對於其從動部只有使之遠離之力。其從動部常能與凸輪之周緣保持接觸者, 普通多係依賴一種外力, 如從動部本身之重力及彈簧之彈力等等。如欲使從動部遠離及接近均不待任何外力, 則凸輪之作用均及於從動部轉子之兩邊。最普通者如第 154 圖所示。

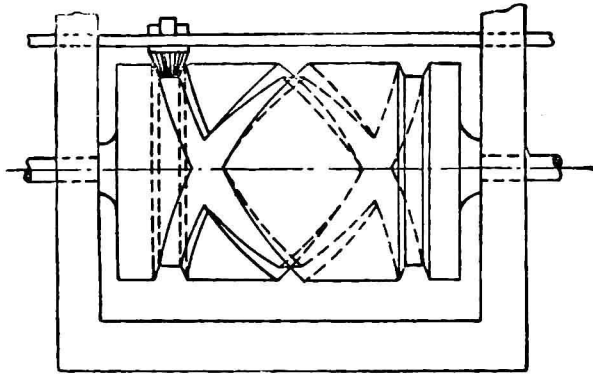


第 154 圖

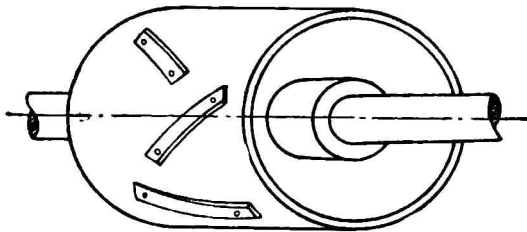
使從動部之轉子嵌入凸輪平面上之一槽中。槽之中心線, 相當凸輪之節線, 其寬度則處處與轉子之直徑相等。如此, 則從動部無論向上或向下, 皆有確定之運動矣。

154. 圓柱形凸輪 (Cylindrical Cams) 此種凸輪之製法, 係依照從動作之情形, 或於一圓柱體之表面洗出一定形狀之凹槽, 或於一圓柱體之表面裝置若干曲形薄板, 使彼此聯

貫成一定之路線如第 155 及 156 兩圖所示。



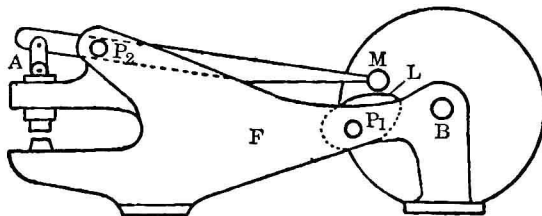
第 155 圖



第 156 圖

又在第二種，普通多於圓柱體上多備若干釘孔，以便變更各曲形薄板之位置，因之變更從動部運動之情形。

155. 壓穿機 (Punching Machine) 上之凸輪。



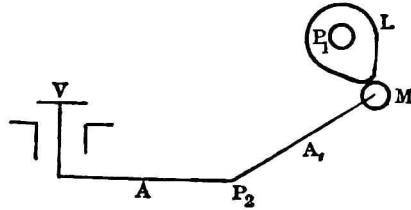
第 156 圖

第156圖表示一簡單壓穿機之重要部分。A爲連桿，工具即固定於其下部。B爲機軸。上置飛輪，F爲機架之一部。P₁爲凸輪軸。P₂爲槓桿軸。L爲凸輪。爲轉子。P₁之動作，由齒輪之作用，從B輪傳來，故機軸迴轉，凸輪即隨之迴轉。A端之工具遂下降而發生工作。因槓桿近凸輪之一端較重，故其轉子永與凸輪相接觸。又壓穿機工具之動作，其必要之條件如下：

(a) 當穿孔時，其動作須緩而勻。(b) 當提起時，其動作須速，以省時間。(c) 每次工作至下次工作之時間內，工具須停止片刻，使工人從事布置。(d) 工人布置以後，工具須先降至接觸板面處一處，再重行提起，以察位置之是否正確。故計畫凸輪之周緣時，當根據此四者而定。

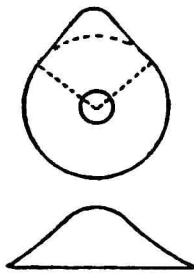
156. 煤氣機與油機上之凸輪。 煤氣機與油機上之各氣門，多由邊軸 (Side Shaft) 上之凸輪與氣瓣上之彈簧司其啓閉。第157圖表示一煤氣機出氣門之裝置。AA爲曲槓桿之二臂，L爲邊軸上之凸輪。M爲轉子，V爲出氣瓣。P₁爲邊軸。P₂爲槓桿軸。邊軸之動作，由螺旋輪從機軸之動作傳來，其速比多爲二比一，即機軸迴轉兩次，邊軸方迴轉一次。因普通煤氣機，多於四衝程中始有一排除衝程 (Exhaust Stroke)，即機軸每迴轉二次中，或邊軸每迴轉一次中，其四分之一爲排除衝程所占。換言之，即作用出氣瓣之凸輪，其作用角須爲90°也 (實際上出氣瓣每於排除衝程之先即行微啓。故作用

角實微大於 90°).

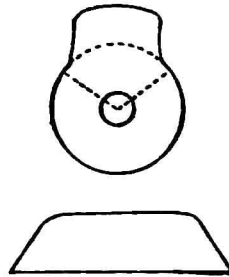


第 157 圖

至出氣瓣啓閉之速度，恆視凸輪周緣之形狀而異。設形狀如第 158 圖所示時，則啓閉皆緩，且氣瓣全開之時間短。設形狀如第 159 圖所示時，則啓閉皆速，且氣瓣全開之時間長。



第 158 圖

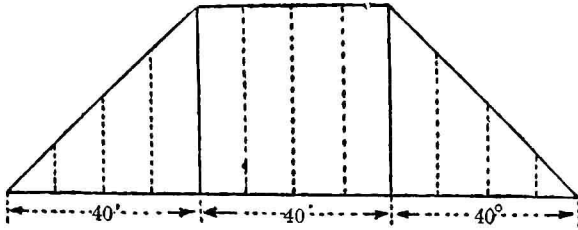


第 159 圖

習 題

1. 凸輪周緣之形狀，對於側面壓力與傳動速率，各有何種關係？試詳言之。

2. 某凸輪之最小半徑為 $1\frac{1}{2}$ 吋，從動部之總升距為 1 吋，作用角為 120° 。從動部運動之中心線經過凸輪之中心，從動部動作之速度，如第 160 圖所示。

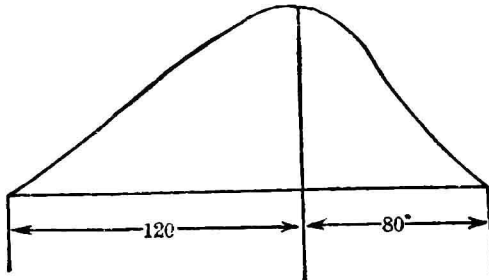


第 160 圖

在前 40° ，從動部按等速運動上升；在中 40° ，從動部完全靜止；在後 40° ，從動部按等速運動下降。倘從動部與凸輪接觸處無轉子。試求出凸輪周緣之形狀。

3. 上題如從動部與凸輪接觸處有一轉子，其半徑為 $3/8$ 吋。試求此凸輪周緣之形狀。

4. 某凸輪之最小半徑為 3 吋。升角為 120° ，降角為 80° ，從動部之總升距為 3 吋。其升降之速度如第 161 圖所示。倘轉子之半徑為 1 吋。從動部動作之中心線經過凸輪之中心。試求此凸輪周緣之形狀。



第 161 圖

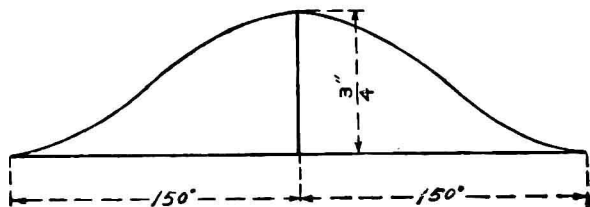
5. 今有一直立之桿，擬借凸輪之作用使之發生上下運動。運動之距離為 4 吋。凸輪之升角為 120° ，降角為 240° ，升降皆係等速運動。最小半徑為 3 吋，轉子之半徑為 $1/4$ 吋，從動部運動之中心線經過凸輪之中心，試求此凸輪之周緣。

6. 第二題，倘從動部運動之中心線與凸輪中心之垂直距離為 1 吋，

試求其周緣。

7. 第四題, 倘從動部運動之中心線與凸輪中心之垂直距離為1吋, 試求其周緣。

8. 某凸輪之最小半徑為 $1\frac{1}{2}$ 吋, 升角為 150° , 降角為 150° 。從動部之總升距為 $\frac{3}{4}$ 吋, 其升降之速度如第162圖所示。從動部與凸輪接觸處, 係一 $\frac{1}{2}$ 吋長之平板, 其運動之中心線經過凸輪之中心。試求此凸輪周緣之狀形。



第 162 圖

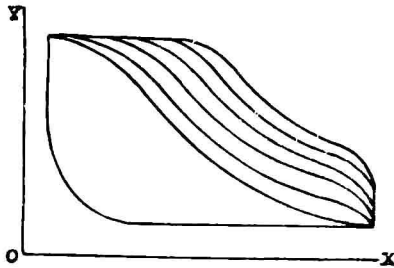
第 十 一 章

調 速 器 (Governors)

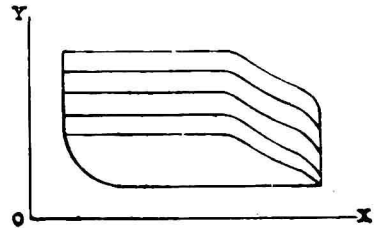
157. 調速器之功用. 一發動機速率上發生變化,普通有下列兩種原因:(a)在一循環(Cycle)內或一迴轉內,發動機所發之作力有時較多於外部所需之抵力,有時較少於外部所需之抵力,因之速率上發生變化.(b)在較長之時間內,發動機之載荷(Load)增大或減小,因之速率上發生變化.

在第一種,普通多用一飛輪調節之,即在機軸上裝置一飛輪,當發動機所發之作力較多時,儲蓄於飛輪,變為動能力;當發動機所發之作力不足時,復由飛輪給出以補充之.在第二種,則普通恆用一種調速器,使發動機所發之作力,隨外部之載荷而變化,因之大致保持其計畫時之速率.

158. 調速器約束發動機所發作力之方法. 茲僅就蒸汽機言之,其餘發動機亦可依此類推.在蒸汽機,調速器約束所發作力之方法,可分為兩大類:(a)阻瓣調速器(Throttle Valve Governor),即變更進入汽缸內蒸汽之壓力者.(b)自動調速器(Automatic Governor),即變更蒸汽在汽缸內停汽點(Point of Out Off)之早晚者.



第 163 圖



第 164 圖

第 163 圖，表示採用阻瓣式調速器之蒸汽機之工作圖。在輕載荷時，使蒸汽之壓力較低；在重載荷時，使蒸汽之壓力較高，停汽點則保持不變。第 164 圖，表示採用自動式調速器之蒸汽機之工作圖，蒸汽之初壓保持不變。載荷變化時，則變更停汽點之早晚。

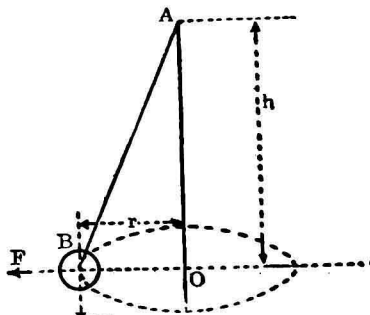
至各種調速器動作之原理，則大致相同。即當發動機按計畫時之速率迴轉時，調速器上有一定之數力歸於平衡。速率一變，則平衡被攪動，調速器遂自行調節，按一種新地位仍歸於平衡。當由原地位易為新地位時，利用其動作以變更蒸汽之壓力或蒸汽之停汽點，結果仍歸於原來平衡之地位為止。

159. 調速器所利用之力。 調速器變更地位所利用之力，普通不外兩種：一為離心力，一為惰力。故調速器又可按所利用之力分為離心力調速器(Centrifugal Governors)與惰力調速器(Inertia Governors)兩大類。離心力調速器更可分為迴轉擺式(Rotating Pendulum Type)與彈簧約束式(Spring Controlled

Type) 兩種。又惰力調速器有時稱之曰軸裝調速器 (Shaft Governors)。茲擇要分述之如下：

160. 迴轉擺 (Rotating Pendulum or Revolving Pendulum)

如第 165 圖, AB 爲一迴轉桿, B 端懸重球一, A 端爲活動關節。倘 AB 桿繞 AO 中心迴轉時, 則重球必生離心力, 向外移動, AB 桿在空間畫出一尖錐形, 故有時稱之爲尖錐擺 (Conical Pendulum)。



第 165 圖

設 W = 球重, 以磅計。

F = 離心力, 以磅計。

h = 球距 A 軸之垂直

高, 以呎計。

r = 球距迴轉中軸之半徑, 以呎計。

T = AB 桿上所受之牽力, 以磅計。

倘重球沿一定之周線而迴轉, 則 W , F 與 T 三力必屬平衡。取三力繞 A 點之力率 (Moment), 得

$$F \times h = W \times r,$$

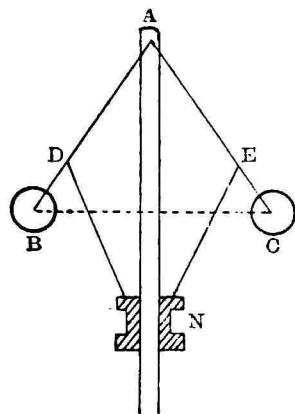
但 $F = \frac{W}{g} \omega^2 r$ (ω 代表重球之角速率),

故 $\frac{W}{g} \omega^2 r \times h = W r,$

或 $h = \frac{g}{\omega^2}.$

由上式觀之,可知重球之高,與其角速率之自乘成反比

161. 瓦特調速器(Watt Governor) 如第166圖,倘於 AB 相對之面,再裝置一 AC 桿.復於 AB , AC 二桿上之 DE 二處,裝置 DN 與 EN 二桿,用活動關節以連於 N 筒,則 N 筒必因重球之升降而升降,且其升降之程度,更因多加此二桿而放大焉.利用此升降之動作,由適宜之機構以達於阻汽瓣,即能變更進入汽缸內蒸汽之壓力.瓦特最初發明之調速器,其構造即如此.故此種裝置,謂之瓦特調速器.就 $h = \frac{g}{\omega^2}$ 式推之,如 N 代表重球每分鐘之迴轉數.



第 166 圖

則

$$\omega = \frac{2\pi N}{60},$$

故

$$h = \frac{60^2 \times g}{4\pi^2 N^2} = \frac{900g}{\pi^2 N^2} \text{呎} = \frac{35235}{N^2} \text{吋}.$$

茲將 h 與 N 相對之數目列表於下:

每分鐘之迴轉數 N	球高之吋數 h
60	9.788
80	5.505
100	3.524
160	1.566
200	0.811
250	0.564
300	0.392

就上表觀之，可知重球之高，不因迴轉數之增加為同比例之減少。迴轉緩時，減少之高度較大。迴轉速時，減少之高度變小。故迴轉速率如超過每分 300 次以上時，則球高之變化幾不能借之得均速之作用焉。

162. 荷重調速器 (Loaded Governor). 欲矯正前段所言之缺點，於二重球上加重 W' ，則遇同一之速率變化，重球高度之變化較大，此種調速器，謂之荷重調速器，其構造如第 167 圖所示。

設 W = 球重，以磅計。

W' = 荷重，以磅計。

F = 球之離心力，以磅計。

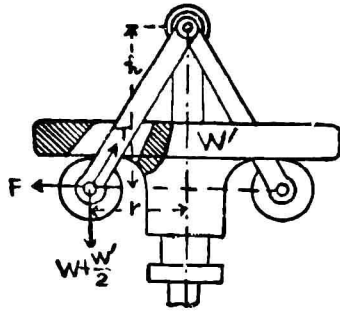
h = 球高，以呎計。

r = 球距迴轉中軸之半

徑，以呎計。

T = 桿上所受之牽力，以

磅計。



第 167 圖

因外加之重，係二桿所支持，故 BC 二處所受之重力各等於 $W + \frac{W'}{2}$ 。

取各力繞 A 點之力率，得

$$F \times h = \left(W + \frac{W'}{2} \right) \times r,$$

但

$$F = \frac{W}{g} \omega^2 r,$$

故
$$\frac{W}{g} \omega^2 r \times h = \left(W + \frac{W'}{2} \right) \times r,$$

$$\frac{2W}{g} \omega^2 h = 2W + W',$$

或
$$h = \left(\frac{2W + W'}{2W} \right) \frac{g}{\omega^2}.$$

$2W + W'$ 永大於 $2W'$, 故同一之速率, 荷重調速器之高, 永大於瓦特調速器之高, 因之調速器之靈敏度增加焉。

163. Porter 調速器 此調速器, 乃就荷重調速器復加以改良者, 其構造如第 168 圖所示. 於二重球之下部復各置一桿, 由活動關節以連於 N 筒. N 筒之上置重 W' . 假設上部二桿與下部二桿之長相等, 則重球之高可求之如下:

設 $W =$ 球重, 以磅計.

$W' =$ 外加之重, 以磅計.

$F =$ 球之離心力, 以磅計.

$T =$ 桿上所受之牽力, 以磅計.

$Q = T$ 力水平分解部, 以磅計.

$h =$ 球高, 以呎計.

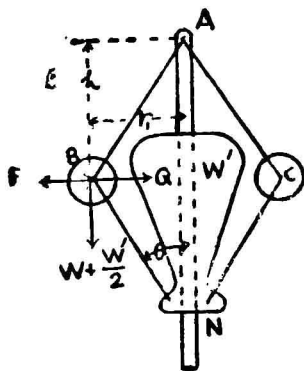
$r =$ 球距迴轉中軸之半徑, 以呎計.

$\theta =$ 桿對迴轉中軸之傾斜角.

因 W' 為二牽力所支持, 且牽力之傾斜角為 θ .

故
$$2T \cos \theta = W'$$

或
$$T = \frac{W'}{2 \cos \theta}.$$



第 168 圖

T 力在 B 點又可分解為水平與垂直二部。

$$\text{水平方向者} = T \times \sin \theta = Q \text{ (假定),}$$

$$\text{垂直方向者} = T \cos \theta = \frac{W'}{2 \cos \theta} \times \cos \theta = \frac{W'}{2}.$$

故 B 點之力有四：(一) 垂直之力 $= \frac{W'}{2} + W$ 。(二) 球之離心力 $F = \frac{W}{g} \omega^2 r$ 。(三) T 力水平分解部 $Q = \frac{W'}{2} \tan \theta$ 。(四) 沿 AB 之牽力。取各力繞 A 點之力率，則 AB 上之牽力，因其施力線經過 A 點，故其力率等於零。其餘三力，得

$$(F - Q) \times h = \left(\frac{W'}{2} + W \right) \times r,$$

或
$$\left(\frac{W}{g} \omega^2 r - \frac{W'}{2} \tan \theta \right) h = \left(\frac{W'}{2} + W \right) \times r.$$

且
$$\tan \theta = \frac{r}{h},$$

故
$$\left(\frac{W}{g} \omega^2 r - \frac{W'}{2} \times \frac{r}{h} \right) \times h = \left(\frac{W'}{2} + W \right) \times r,$$

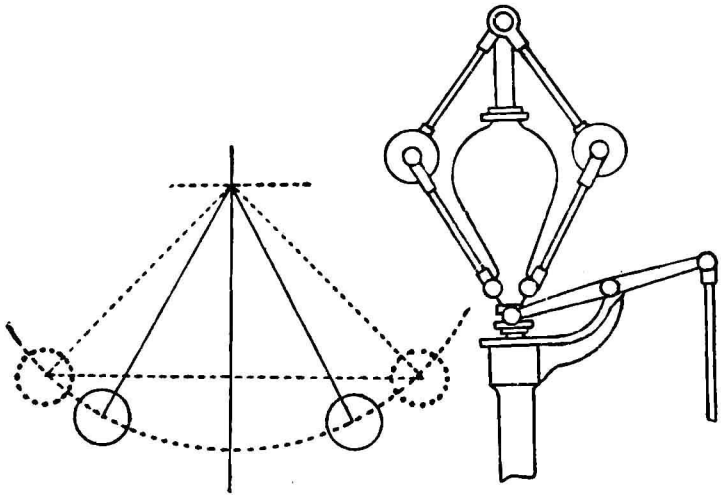
$$\frac{W}{g} \omega^2 h - \frac{W'}{2} = \frac{W'}{2} + W,$$

或
$$h = \left(\frac{W' + W}{W} \right) \frac{g}{\omega^2}.$$

由上式觀之，可知 $\frac{g}{\omega^2}$ 之倍數，由 $\frac{2W + W'}{2W}$ 變為 $\frac{W' + W}{W}$ 。如 W' 與 W 係一定之數值，則後者之值永較前者為大。且因用下部二桿之故， N 筒上升之距離，更等於重球上升距離之二倍（假設上下四桿等長），故調速器之靈敏度較前尤大也。

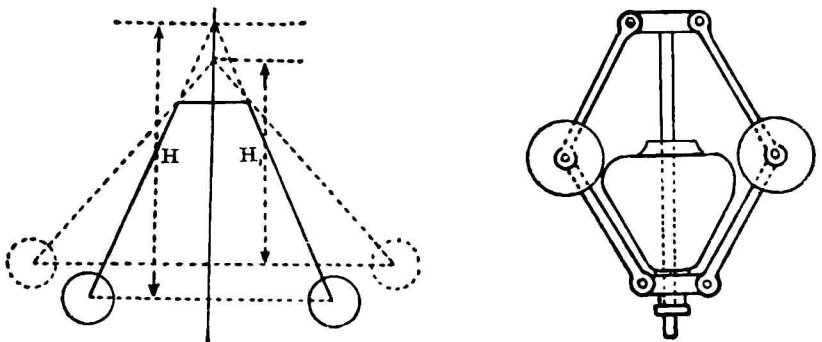
164. 調速器上部兩桿連於中軸之方法. 調速器上部下部兩桿連於中軸之方法有三:

(a) 兩桿皆連於中軸之中心線, 如第 169 圖.



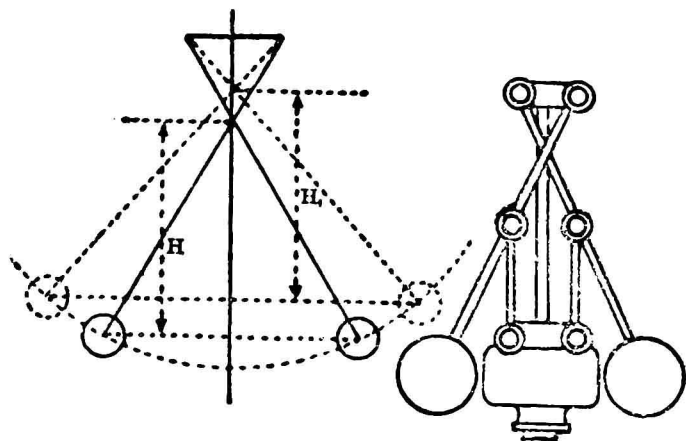
第 169 圖

(b) 兩桿上端, 距迴轉中軸各有一定之距離. 如第 170 圖所示.



第 170 圖

(c) 兩桿上部交叉於中軸,其上端則超過中心,在反對方向迴轉中軸各有一定之距離如第171圖。



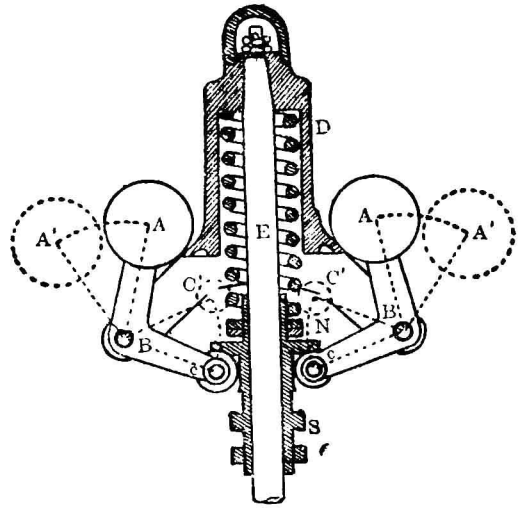
第 171 圖

以上三圖,實線表示速率較低時重球之地位,虛線表示速率較高時重球之地位.如 H 等於速率較低時重球之高, H_1 等於速率較高時重球之高,則第一種連法,重球實升之高,等於 $H - H_1$, 第二種連法,重球實升之高,小於 $H - H_1$. 第三種連法,重球實升之高,大於 $H - H_1$. 故第三種連法,應用上最為靈敏,第一種次之,第二種最下. 惟就製造上言之,第二種最為簡易,第一第三兩種較為繁難.

165 彈簧約束式調速器. 彈簧約束式調速器之種類繁多,茲將 Hartnell 調速器述之如下:

如第 172 圖, A 為重球, ABC 為曲槓桿, D 為彈簧, E 為中軸, N 為陰螺旋環, S 為上下動作筒. 如發動機之速率增高,則

A 球由離心力之作用向外移動。槓桿之 C 端遂反抗彈簧之彈力向上推動 S 筒，因之達到調速之目的；若發動機之速率減低，則彈簧又推動 S 筒使之下降。



第 172 圖

又螺旋環 N 係用以變更彈簧之初壓 (Initial Tension)，以

變更調速器之靈敏度者。蓋同一發動機，倘稍減其調速器之靈敏度，可多發原動力也（即微超過其所應負之載荷）。

166. 自動調速器或軸裝調速器。此種調速器多用於速率較高工率較大之蒸汽機。因其作用係自動的變更停汽點之早晚，故稱之曰自動調速器。又因此種調速器多直接裝置於飛輪上或機軸上，隨同機軸迴轉，故又稱之曰軸裝調速器。

在所有軸裝調速器，其迴轉之平面恆垂直於機軸之中心，其所在之地位，由迴轉時所發之離心力與惰力 (Inertia force) 反抗固定於輪上之一彈簧或數彈簧之牽力之結果而定。在採用此種調速器之蒸汽機，其偏心輪不固定於機軸上，而連結於調速器上。當調速器因速率變更而改變地位時，偏

心輪之中心亦隨之移動，結果改變停汽點之早晚，以適應外部所需之工作。

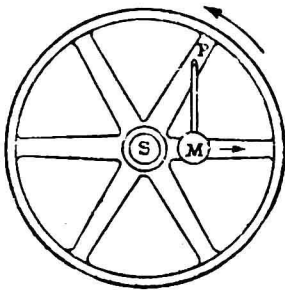
又按使調速器發生地位變更之力之性質，軸裝調速器又可分為兩種。

(a) 離心力軸裝調速器。

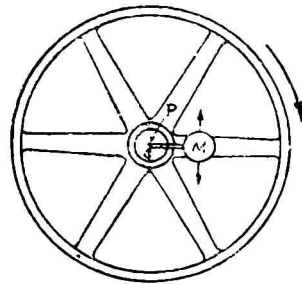
(b) 惰力軸裝調速器。

實際上在離心力軸裝調速器，每有相當之惰力。在惰力軸裝調速器，每有相當之離心力。

離心力軸裝調速器之原理，如第 173 圖所示圖中 S 為機



第 173 圖



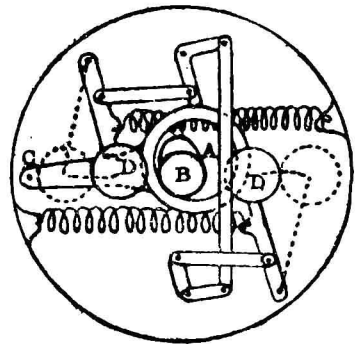
第 174 圖

軸 M 為一重塊，由一彈簧裝置於飛輪上之 P 點。當飛輪迴轉時， M 發生相當之離心力，反對彈簧之彈力由機軸之中心向外移動。速率增高時，向外移動之距離較大。速率降低時，由彈簧之彈力，仍使之向內移動，利用此種內外之移動以變更偏心輪之地位。

惰力軸裝調速器之原理，如第 174 圖所示。重塊 W 裝置於

軸上或輪上之點，幾在軸之中心，當迴轉時所生之離心力對於調速器幾無甚影響，只在彈簧上或連桿上發生相當之牽力，但當速率忽而增高或忽而減低時，則發生一種惰力，亦反對彈簧之彈力比較落後，或比較趨前，利用此種前後之移動，以變更偏心輪之地位。

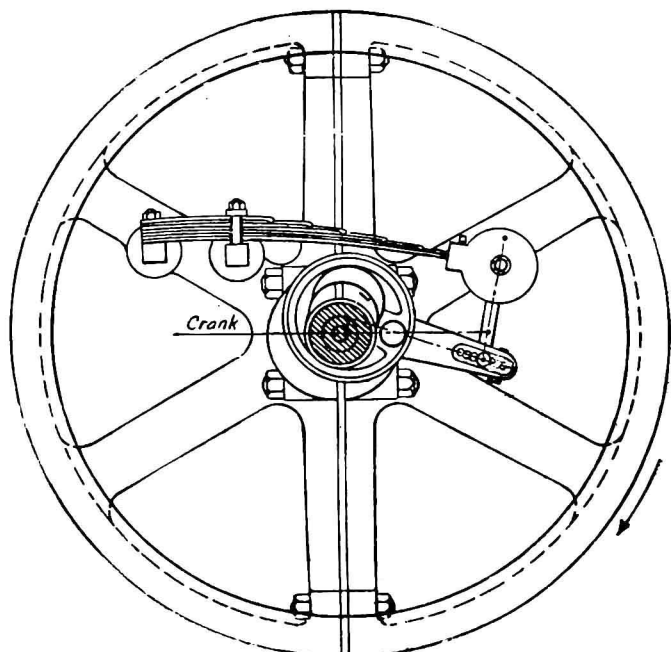
167. 離心力軸裝調速器。第 175 圖，表示一種離心力軸裝調速器之構造。圖中 A 為偏心輪， B 為機軸，通過偏心輪之弧形孔，故偏心輪可繞 C 軸為弧線之運動。 DD 為二重球或二重塊，當速率增高，二重塊由離心力之作用向外移動，再借連桿與槓桿之作用，使偏心輪對於曲柄傾斜之角度，因之增大，蒸汽之停汽點遂變早。當速率降低，二重塊又因彈簧之牽力使之向內移動，結果與前適反，即蒸汽之停汽點遂變晚。



第 175 圖

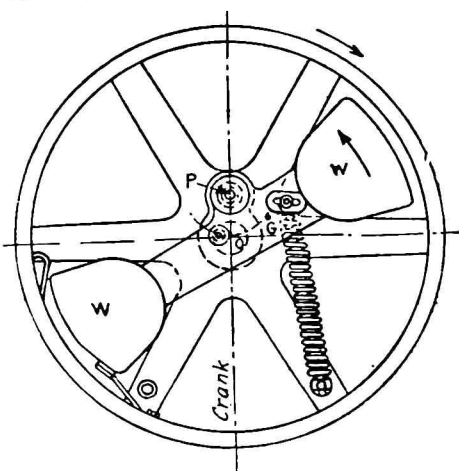
第 176 圖，表示 Robb-Armstrong 調速器之構造，亦係一種離心力軸裝調速器，所利用之力，大部係離心力，但同時亦助以相當之惰力，其作用由圖上觀之，即可明瞭，無待贅述。

168. 惰力軸裝調速器。第 177 圖表示 Rites 調速器之構造，係惰力軸裝調速器之一種。在高速率蒸汽機上採用最多，重要之部分係一重桿，兩端各懸一重塊 W ，裝置於一軸 P 上，



第 176 圖

全部之重心在 G 點，即想像全部之質量聚於 G 點。迴轉時其所生之離心力與彈簧之牽力相合，使調速器位於一定之地位。當載荷增加，速率減低時，重塊與重桿所生之惰力使重桿繞 P 點向右迴轉，移動偏心輪，使停汽點變晚。反之，則使重桿繞 P 點向左迴轉，移動偏心輪，使停汽點變早。



第 177 圖

習 題

1. 瓦特調速器何以不能用於速率較高之發動機?試舉其理.
2. 在荷重調速器,如 W = 球重, W' = 荷重. ω = 調速器每秒鐘之角速率, g = 地心吸力之加速率,試證

$$\text{球高 } h = \left(\frac{2W + W'}{2W} \right) \frac{g}{\omega^2}.$$

如 $W = 4$ 磅, $W' = 40$ 磅, 調速器之速率由每分鐘 200 次變為每分鐘 210 次, 問球所升之高為若干吋?

3. 在 Porter 調速器, 如 W = 球重, W' = 外加之重, ω = 調速器每秒鐘之角速率, g = 地心吸力之加速率, 並設上下四桿等長, 試證

$$\text{球高 } h = \left(\frac{W + W'}{W} \right) \frac{g}{\omega^2}.$$

如 $W = 4$ 磅, $W' = 40$ 磅, 調速器每分鐘之迴轉數由 320 次變為 330 次. 問球所升之高為若干吋? 加重上行之高為若干吋?

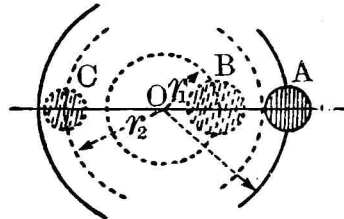
4. Porter 調速器優於荷重調速器之點有幾? 試詳述之.
5. 試繪圖略述 Hartnell 調速器之構造與作用.
6. 試繪圖略述一種離心力軸裝調速器之構造與作用.
7. 試繪圖略述一種惰力軸裝調速器之構造與作用.

第十二章

均衡法 (Balancing)

169. 均衡之必要. 發動機運動之部分, 有爲圓周運動者, 有爲直線運動者, 圓周運動之部分, 皆有一種離心力; 直線運動之部分, 皆有一種惰力 (Inertia Force). 此離心力與惰力如分配不均, 不能自行抵消時, 則發動機靜止之部分與周圍接觸之物體, 必受其影響. 在工廠固定之發動機, 其機座與附近地面多生震盪, 在汽車汽船飛艇飛機等, 則發動機之安危與人之適否係焉. 故新式發動機, 多設均衡裝置, 使離心力與惰力之全體或一部歸於平衡, 以消滅或減少其傳於外部之影響.

170. 重量相當量. 如第178圖, 設 A 物體之重量爲 W , 其迴轉之半徑爲 r , 迴轉之角速率爲 ω , 則所生之離心力必爲 $\frac{W}{g}\omega^2 r$. 若將 A 移去, 設有別一物體 B , 其重量爲 W_1 , 其迴轉之半徑爲 r_1 , 迴轉之角速率仍爲 ω , 則所生之離心



第 178 圖

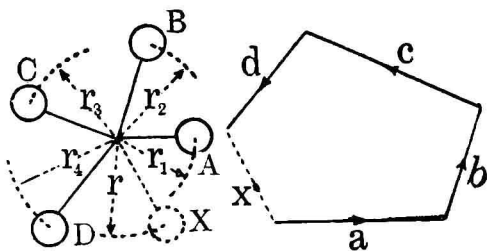
力必為 $\frac{W_1}{g}\omega^2 r_1$.

如 A 所生之離心力與 B 所生之離心力相等，則 $Wr = W_1 r_1$ ，此時在半徑 r_1 之重量 B 與在半徑 r 之重量 A ，謂之重量相當量。

171. 用一迴轉物體使與別一迴轉物體均衡。參看前圖，如 O 為迴轉之中心，則迴轉物體 A 所發生之離心力 $\frac{W}{g}\omega^2 r$ 必沿 OA 之方向，傳達於迴轉中心，且因 OA 之地位時時變易其方向，軸承及與軸承連接之部分均受其影響。若於 OA 相反之方向置一物體 C ，其重量為 W_2 ，其半徑為 r_2 ，且使 $W_2 r_2$ 等於 Wr ，則 C 物體所生之離心力必與 A 物體所生之離心力大小相等，方向相反，故互相抵消而歸於平衡。

172. 用一迴轉物體，使與在一平面內之多數迴轉物體均衡。如第179圖，設 A, B, C, D

等為在一平面之多數迴轉物體。 W_1, W_2, W_3, W_4 等為其重量， r_1, r_2, r_3, r_4 等為其迴轉半徑， ω 為公共之角速率， O 為迴轉中心，



第 179 圖

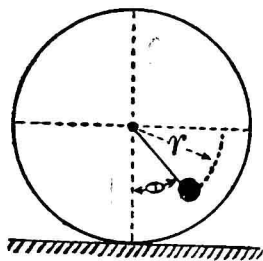
則各物體所生之離心力必為 $\frac{W_1}{g}\omega^2 r_1, \frac{W_2}{g}\omega^2 r_2, \frac{W_3}{g}\omega^2 r_3, \frac{W_4}{g}\omega^2 r_4$ ，等等。

如 W 為所求物體之重量， r 為所求物體距中心之半徑，則

W 所生之離心力必為 $\frac{W}{g} \omega^2 r$. 因各力中 $\frac{\omega^2}{g}$ 一因數彼此相同, 故研究均衡問題時, 每略去之, 但餘 $W_1 r_1, W_2 r_2, W_3 r_3, W_4 r_4,$ 及 $W r,$ 等等蓋此等數值之關係既定, 則離心力之關係自定也. 據力之多邊形律, 倘畫 $abcd$ 四邊, 使依次代表 $W_1 r_1, W_2 r_2, W_3 r_3,$ 及 $W_4 r_4,$ 之大小與方向, 則所餘之一邊 x 必代表 $W r$ 之大小與方向. 故設半徑 r 已定, 則物體之重量 W 可以求出. 設物體之重量 W 已定, 則半徑 r 可以求出.

170. 不均衡之車輪對於路上之壓力. 如車輪本體之重與所負之重共為 W , 車輪上或車軸上不均衡之重為 W' . 此不均衡之重對於輪心之半徑為 r . 輪之角速率為 ω , 則不均衡之部分, 必生有心離力, 其值為 $\frac{W'}{g} \omega^2 r$. 當此部由垂直之方向向上時, 則路上所受之壓力為 $W - \frac{W'}{g} \omega^2 r$. 當此部由垂直之方向向下時, 則路上所受之壓力為 $W + \frac{W'}{g} \omega^2 r$.

如第 180 圖, 當此部與垂直線所成之角度為 θ 時, 則路上所受之壓力為 $W + \frac{W'}{g} \omega^2 r \cos \theta$.

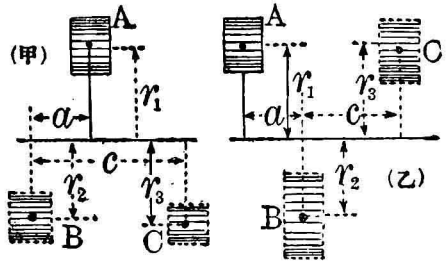


第 180 圖

又就 $W - \frac{W'}{g} \omega^2 r$ 式研究之, 倘不均衡之重最所生之離心力等於或超過 W 時, 則車輪每迴轉一週, 必躍起一次, 下擊一次. 因之車之安全與軌道上或橋樑上所受之壓力, 均受影響.

174. 用兩個迴轉物體使與一迴轉物體均衡. 如第 181

圖, A 爲一迴轉物體, 擬使 B, C 二迴轉物體均衡之. 設 W_1, W_2, W_3 , 爲三物體之重量, r_1, r_2, r_3 爲三物體之重心距迴轉中軸之半徑. a 與 c 爲 A, C 兩物體迴轉



第 181 圖

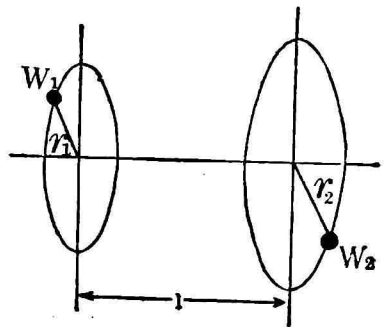
之平面距 B 物體迴轉之平面之垂直距離擬使三物體完全均衡, 須合於下列兩項條件.

(a) 三物體所發之離心力須歸於平衡.

(b) 三物體所發之離心力繞迴轉中軸上任一點之力率須歸於平衡.

欲合第一項條件, 在第 181 圖 (甲), 但使 $W_1 r_1 = W_2 r_2 + W_3 r_3$ 即可. 在第 181 圖 (乙), 但使 $W_1 r_1 + W_3 r_3 = W_2 r_2$ 即可. 欲合第二項條件, 但使 $W_1 r_1 a = W_3 r_3 c$ 即可. 蓋計力率時, 倘所取之點爲一物體迴轉之平面與中軸相交之點時, 必較簡便也.

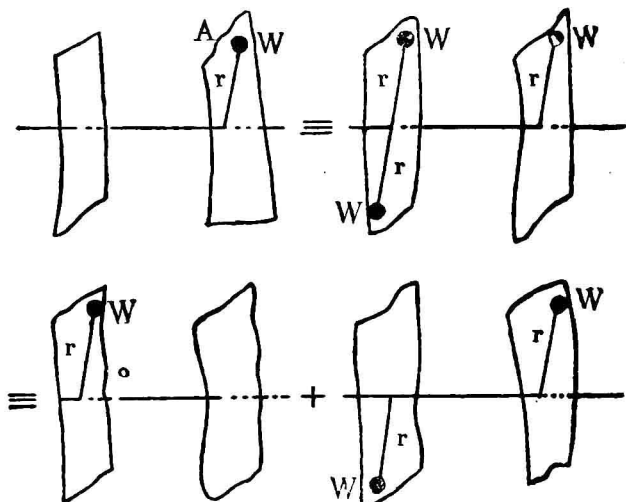
175. 用一迴轉物體不能使在別一平面內之一迴轉物體完全均衡. 如第 182 圖, 設 W_1, W_2 爲二迴轉物體, 其方向適反. r_1, r_2 爲二物體之重心距迴轉中軸之半徑. 惟未在一平面內. 但使 $W_1 r_1 = W_2 r_2$, 則兩物體所生之



第 182 圖

離心力即行均衡，惟同時引出一種偶力，其大小與 $W_1 r_2 l$ 或 $W_2 r_1 l$ 成正比。其方向在包含兩物體重心與迴轉中軸之平面內。此偶力亦發生震盪之結果。又偶力之性質與力之性質相同。故亦可用直線代表。

176. 離心力可由一平面移於別一平面。如第183圖， A, B 為二平面，其垂直距離為 l 。在 A 平面內有一迴轉物體，其重為 W ，迴轉之半徑為 r ，則離心力必與 Wr 成正比。倘於 B 平面內引出二力，其施力線均與 A 平面內之力平行，其大小均與 A 平面內之力相等，惟方向彼此適反，則此二力對於全體平衡上不生影響。



第 183 圖

所有三力，可分為下列二種：

(a) B 平面內與 A 平面內之原力方向相同之一力，但就

離心力言,可視為由原力移來.

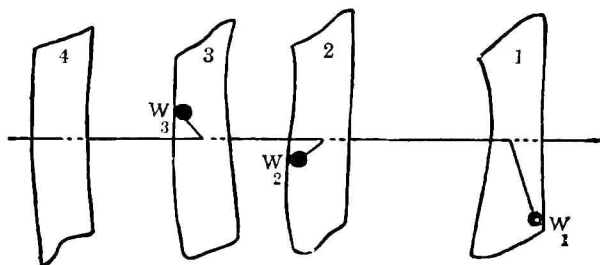
(b) A 平面內原有之一力與 B 平面內所餘之一力組成一偶力,其大小與 Wr_1 成正比,其變化可由圖上觀之.

177. 多數迴轉物體不在一平面內之均衡法. 多數迴轉物體,不在一平面內,如擬使之均衡,須合於下列兩項條件:

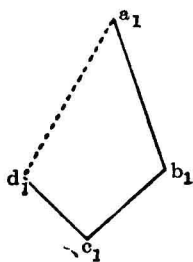
(a) 各物體所生之離心力須互相抵消,即各離心力之結果力須等於零.

(b) 倘將各離心力均移於一平面內,所生偶力須互相抵消,即各偶力之結果偶力須等於零也.

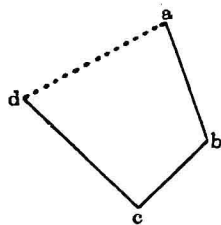
如第184圖,設有三個迴轉物體,在1,2,3三平面之內,其重量為 W_1, W_2, W_3 , 其半徑為 r_1, r_2, r_3 , 所生之離心力必與 $W_1 r_1, W_2 r_2, W_3 r_3$ 成正比.



第 184 圖



第 185 圖



第 186 圖

又設 4 爲任意選擇之一平面. 謂之參考平面 (Reference plane). l_1, l_2, l_3 爲 1, 2, 3 三平面距 4 平面之垂直距離. 如將三個離心力均移於參考平面時, 則所生之偶力必與 $W_1 r_1 l_1$, $W_2 r_2 l_2$, $W_3 r_3 l_3$ 成正比. 然後畫偶力多邊形, 如第 185 圖所示. 畫 $a_1 b_1$ 使代表第一偶力 $W_1 r_1 l_1$ 之大小與方向, 畫 $b_1 c_1$ 使代表第二偶力 $W_2 r_2 l_2$ 之大小與方向. 畫 $c_1 d_1$ 使代表第三偶力 $W_3 r_3 l_3$ 之大小與方向, 則結果偶力之大小與方向, 必可由 $a_1 d_1$ 代表.

再畫離心力多邊形. 如第 186 圖所示. 畫 ab 使代表第一離心力 $W_1 r_1$ 之大小與方向. 畫 bc 使代表第二離心力 $W_2 r_2$ 之大小與方向. 畫 cd 使代表第三離心力 $W_3 r_3$ 之大小與方向, 則結果離心力之大小與方向, 必可由 ad 代表. 結果偶力既爲 $a_1 d_1$ 所代表, 如欲所有偶力均互相抵消, 則所加之物體必發生一偶力, 其大小與方向適爲 $d_1 a_1$ 所代表不可. 結果離心力既爲 ad 所代表, 如欲所有離心力均互相抵消, 則所加之物體, 必發生一離心力, 其大小與方向適爲 da 所代表不可. 然除二多邊形上 $a_1 d_1$ 與 ad 二邊適爲平行時, 則用一物體, 決不能使偶力與離心力均互相抵消. 能使偶力互相抵消時, 必不能使離心力互相抵消. 能使離心力互相抵消時, 必不能使偶力互相抵消. 故欲使全體歸於均衡, 有時必用兩個物體. 蓋用兩個迴轉物體, 其結果離心力可在一方向, 其結果偶力可在別一方向也.

178. 應加物體之重量或位置之求法。應加物體之重量或位置,普通多依下列數項求之。

(1) 畫各迴轉物體之正面圖與側面圖,表明各物體距中軸之距離,各物體互成之角度,與各物體相距之遠近。

(2) 擇定一參考平面,最好擇一擬求之重量所在之平面。因如此則偶力之數目減一,求結果偶力時較為簡便也。

(3) 將所有 Wr 與 Wr_1 之數值,表列如下,愈詳愈好。

平 面	重 量 W	半 徑 r	離 心 力 Wr	距 離	偶 力 Wr_1
1	W_1	r_1	W_1r_1	0	0
2	W_2	r_2	W_2r_2	l_2	$W_2r_2l_2$
3	W_3	r_3	W_3r_3	l_3	$W_3r_3l_3$
4	W_4	r_4	W_4r_4	l_4	$W_4r_4l_4$

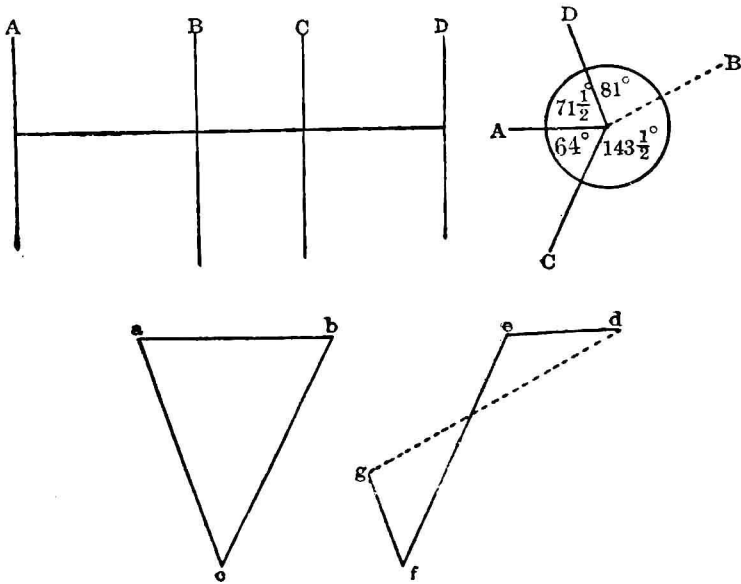
$r_1r_2r_3$ 等半徑彼此互成之角度,在此表內不能表示。1 之距離係從參考平面量起,故 1 之數值有一個等於零,因之偶力之數值亦有一個等於零也。

(4) 畫偶力多邊形。如重量之數為四,且所擇之平面適當一重量之迴轉平面,則偶力之多邊形只有三邊。如所擇之參考平面在他平面之中間,則偶力須分為正負兩種,即在參考平面右邊之偶力,如謂為正偶力,則左邊之偶力,即謂之負偶力。又畫正偶力時,其方向係由迴轉中軸向外;畫負偶力時,其方向係由外部向迴轉中軸。

(5) 畫離心力多邊形。

例題. 今有一軸, 共帶有 A, B, C, D 四重量. 四重量之重心距迴轉中軸之距離為 $10, 12, 15, 12$ 吋. 又 B, C, D 三重量之平面距 A 平面之距離為 $2\frac{1}{2}, 4, 6$ 呎. A 重 40 磅, B 重 100 磅, C 重 60 磅, D 重 30 磅. 如擬使此軸完全均衡, 問 B 重量須如何改變?

(1) 先畫正面圖與側面圖, 將已知各項分別表出, 其未知者暫缺, 如第 187 圖所示.



第 187 圖

(2) 因 B 重量須受改變, 故擇定包含 B 重量之平面為參考平面. 求 B 重量應有之重 X .

(3) 將已知各項, 列表如下, l 之值, 凡在參考平面之右者為正, 凡在參考平面之左者為負.

平 面	W	r	Wr	l	Wrl
A	40	10	400	$-\frac{2^1}{1}$	-1000
B	X	12	$12X$	0	0
C	60	15	900	$\frac{1}{2}$	1350
D	30	12	360	$3\frac{1}{2}$	1260

(4) 畫偶力圖 abc . 畫 ab 代表 1000, bc 代表 1350, cd 代表 1260. 從此圖即可得出 A, C, D 三重重量互成之角度.

又重量 A 必在 ab 反對之方向 (因 ab 爲負), C 在 bc 之方向, D 在 cd 之方向, 如圖.

(5) 畫離心力圖 $defg$, 畫 de 代表 400, ef 代表 900, fg 代表 360. 最後之一邊 gd 必代表 $12X$ 之大小與方向. 用量法, 得 gd 之長適代表 1026, 故 $X = \frac{1026}{12} = 85\frac{1}{2}$ 磅, 即 B 之重量 100 磅中須減去 $(100 - 85\frac{1}{2})$ 或 $14\frac{1}{2}$ 磅, 方能使全體歸於均衡也. 至 B 重量應在之位置, 亦由 gd 之方向定出.

179. 直線運動各部之均衡法. 欲研究直線運動各部之均衡法, 須先知直線運動各部所發生之惰力.

設 W = 直線運動各部之重量 (在蒸汽機包括活塞, 活塞桿, 丁頭及連桿之一部).

ω = 機軸迴轉之角速率.

r = 曲柄之長.

l = 連桿之長.

θ = 曲柄對於衝程線 (Line of Stroke) 所成之角度. 則

所生惰力之近似式爲 $\frac{W}{g}\omega^2 r \left(\cos\theta + \frac{r}{l}\cos 2\theta \right)$. (證明從略)

爲研究上便利起見，將上式分爲兩項：第一項 $\frac{W}{g}\omega^2 r \cos\theta$ 稱爲第一部震盪力或正震盪力 (Primary Disturbing Effect). 第二項 $\frac{W}{g}\omega^2 r \left(\frac{r}{l}\cos 2\theta \right)$ ，稱爲第二部震盪力或副震盪力 (Secondary Disturbing Effect). 在普通均衡問題中，對於副震盪力多置而不計。然如發動機之速率甚高時，其影響亦甚鉅也。

180. 發動機完全均衡必要之條件. 由圓周運動物體所發生之離心力，其大小不變，然方向常變。由直線運動物體所發生之惰力，其方向不變，然大小常變（因與角度 θ 有關）。故圓周運動物體，決不能用直線運動物體均衡之；直線運動物體，決不能用圓周運動物體均衡之。且直線運動物體所發生之兩部震盪力，其大小及變化之遲速亦各有不同，故亦不能互相抵消。故欲發動完全均衡，須合於下列三種條件：

(1) 各圓周運動物體所生之離心力，與由此離心力所生之偶力，須互相抵消。

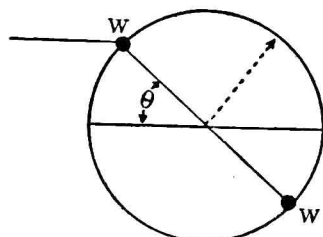
(2) 各直線運動物體所發生之第一部震盪力，與由此震盪力所生之偶力，須互相抵消。

(3) 各直線運動物體所發生之第二部震盪力，與由此震盪力所生之偶力，須互相抵消。

181. 用圓周運動物體使直線運動物體所生之震盪力變換方向.

就前段之理觀之，如欲使直線運動物體所生之震盪力全完均衡，非別用一直線運動物體不可。此種裝置較難（參看拙編機械原理），故實際上用之者甚少。普通多用一圓周運動物體，使變換直線運動物體所生震盪力之方向。其理如下

如第 188 圖，設直線運動各部之總重為 W ，發動機迴轉之角速率為 ω ，曲柄之長為 r 。



第 188 圖

假設此種全聚於曲柄軸針，則當迴轉時，所發之離心力必為

$\frac{W}{g}\omega^2 r$ 。如曲柄對於衝程線所成之角度為 θ ，則此離心力沿衝程線方向之分力必為 $\frac{W}{g}\omega^2 r \cos \theta$ ，與此方向垂直方向之分力必為 $\frac{W}{g}\omega^2 r \sin \theta$ 。

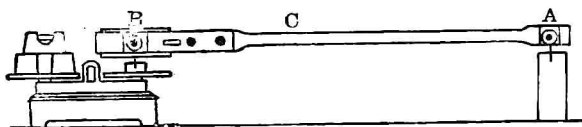
但就第 179 段之公式觀之，如不計第二部震盪力，則直線運動各部所生之震盪力，亦等於 $\frac{W}{g}\omega^2 r \cos \theta$ 。故如在曲柄反對之方向置一重量 W ，必可使沿衝程線方向之震盪力（但計第一部）完全消滅，惟在垂直之方向別引出 $\frac{W}{g}\omega^2 r \sin \theta$ 之一力。其大小由 $-\frac{W}{g}\omega^2 r$ 變至 $+\frac{W}{g}\omega^2 r$ 。與直線運動各部所發之力相同。所異者只變換其方向耳。

若是在曲柄反對之方向所加之重小於直線運動各部之總重 W 而為 w 時，則沿衝程線之方向所餘之震盪力必為 $\frac{(W-w)}{g}\omega^2 r \cos \theta$ 。在垂直方向引出之震盪力，則為 $\frac{w}{g}\omega^2 r \sin \theta$ 。

倘不計連桿之斜度，則二力之變化，如下表所示：

曲柄傾斜之角度 θ	在衝程線之震盪力	在垂直方向之震盪力
θ (任意角度)	$\frac{(W-w)}{g}\omega^2r \cos \theta$	$\frac{w}{g}\omega^2r \sin \theta$
0°	$\frac{(W-w)}{g}\omega^2r$	0
90°	0	$\frac{W}{g}\omega^2r$
180°	$-\frac{(W-w)}{g}\omega^2r$	0
270°	0	$-\frac{w}{g}\omega^2r$

182. 連桿重量之分配法 前言發動機運動之部分，有爲圓周運動者，如曲柄，曲柄軸針，飛輪等是。有爲直線運動者，如活塞，活塞桿等是。惟連桿之爲物，實兼二者而並有之。蓋連桿係由直線運動變爲圓周運動之媒介。其在丁頭軸針之一端，完全爲直線運動。其在曲柄軸針之一端，完全爲圓周運動，其中間各點皆爲橢圓運動。橢圓運動之大半徑各處相同，惟愈近曲柄軸針，則橢圓之小半徑愈長，愈近丁頭軸針，則橢圓之小半徑愈短耳。普通多將其重量分爲兩部，其分配法如下：



第 189 圖

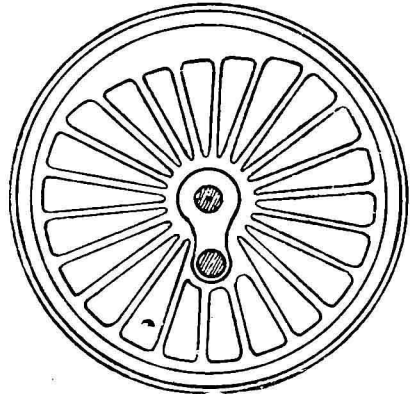
如第 189 圖，設 AB 爲一連桿， A 爲丁頭軸針之中心， B 爲曲柄軸針之中心， C 爲連桿之重心， W 爲連桿之重。置 B 端於天

秤上,得重 R_B ,則 R_B 必等於 $W\frac{AC}{AB}$,此部屬於圓周運動部分內。置 A 端於天秤,得重 R_A ,則 R_A 必等於 $W\frac{BC}{AB}$,此部屬於直線運動部分內。蓋假設連桿全體之重分聚於 A, B 二點,一等於 R_A ,爲直線運動,一等於 R_B ,爲圓周運動也。

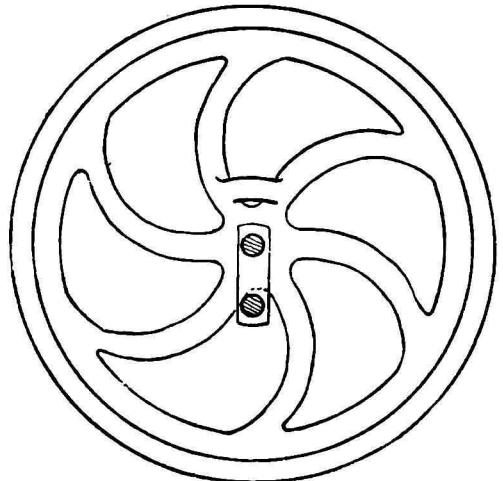
183. 均衡實例 均衡裝置,在新式發動機隨在可得其實例,而尤以速率較高之內燃機爲決不可缺。

第190圖表示一機車之原動輪,曲柄反對方向所加之重,即爲一種均衡裝置。第191圖,係 Crossley 煤氣機之飛輪,亦在曲柄反對方向之輪幅上附加一重。

第192圖係 Sattley 煤油機之飛輪,此機之均衡裝置,乃在飛輪之周緣與曲柄同方向之處,減少其重,故備一

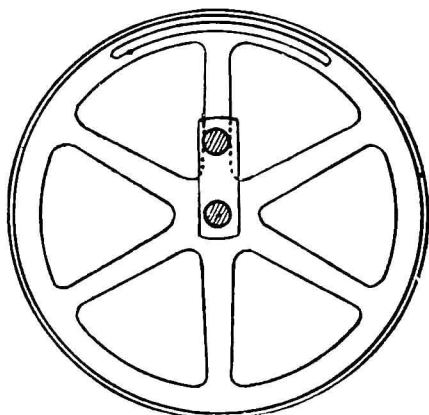


第190圖

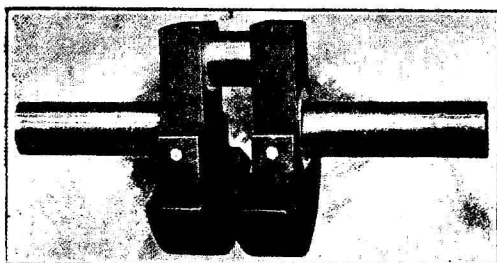


第191圖

槽。第 193 圖係 Hornsby 煤氣機之機軸與曲柄。其均衡裝置係在曲柄反對方向附加重量。現在內燃機之曲柄，普通多有此種裝置。以上數種，構造雖微有不同，原理無少異也。



第 192 圖



第 193 圖

習 題

1. 各種發動機，除純粹係圓周運動者外，何以多備均衡裝置？試述其理。
2. 今有兩物體，一等於 10 磅，一等於 20 磅，同連於一軸上，所成之角度等於 90° 。在同一之迴轉平面內，距軸心之半徑，一等於 2 呎，一等於 3 呎。如此軸每分鐘迴轉 200 次，問兩物體旋於軸上之結果力為何？又如擬用一迴轉物體使之完全均衡，其迴轉之半徑等於 $2\frac{1}{2}$ 呎。問此物體之重量與位置各如何？

3. 今有 A, B, C, D 四物體, 其重量爲 80, 100, 120, W 磅, 同連於一軸上. 其重心距軸心之半徑爲 15, 12, 14, 13 吋, 各物體排列之距離均相等. 如擬使全體完全均衡, 試求 (a) W 之數值, (b) B, C, D 三物體對於 A 物體所成之角度.

4. 今有 A, B, C, D 四物體, 同連於一軸上, 其重心距軸心之距離均相等. B, C, D 三物體各等於 10 磅. A 距 B 3 呎, A 距 C 4 呎. A 距 D 5 呎. 如擬使全體完全均衡. 試求 (a) A 物體之重量, (b) 各物體互成之角度.

5. 今有機車一輛, 車重與所載物重共爲 10 噸. 如車輪上有不平衡之重量 100 磅, 其半徑等於 $1\frac{1}{2}$ 呎. 倘車輪每分鐘迴轉 200 次, 問車軌上所受最大與最小之壓力各爲若干?

第十三章

直線運動, 平行運動與間歇運動 (Straight-line Motion, Parallel Motion and Intermittent Motion)

184. 直線運動機構 (Straight-line Motion Mechanism).

凡一機構上有往復運動之一點, 不賴直線導路之約束, 即能自發生一直線運動者, 即謂之直線運動機構, 所發之直線運動, 有絕對在一直線上者, 有在一極近似之直線上者. 凡在一極近似之直線上時, 多使運動範圍之兩極點及中點絕對在一直線上, 其餘各點亦相差極微.

185. Peaucellier's 直線運動機構. 此種機構之構造, 如第 194 圖所示, 包含七個運動桿與一個固定點. 各桿大小之比例, 則 $AO = BO$, $AC = BC = BT = AT$, $CD = DO$. 如此裝置, 倘發生運動時, T 點恆沿一直線運動, 可證明之如下:

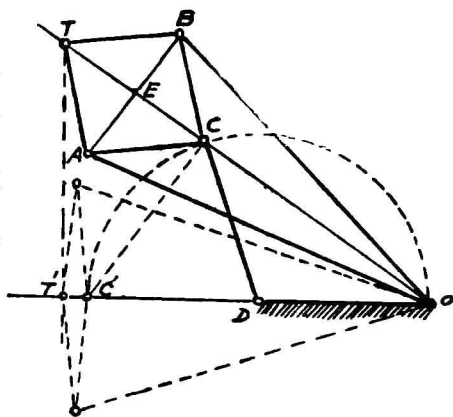
$$\text{因} \quad BE^2 = OB^2 - OE^2 = BT^2 - TE^2,$$

$$\begin{aligned} \text{或} \quad OB^2 - BT^2 &= OE^2 - TE^2 \\ &= (OE + TE)(OE - TE) \\ &= OT \times OC \end{aligned}$$

但 $OB^2 - BT^2$ 係一常數，
 故 $OT \times OC$ 亦係一常數。
 使能運動之各桿向下
 運動，直至 C 點落於 C' 點並
 設 T' 點為 T 點之新地位，
 則得

$$OT' \times OC' = OT \times OC$$

或
$$\frac{OC'}{OC} = \frac{OT}{OT'}$$



第 194 圖

又因
$$OD = DC = DC'$$
,

故 O, C, C' 三點位於一半圓周上，且 OCC' 角為一正角。

在 $C'CO, TOT'$ 兩三角形，因 TOT' 角係公用，其相當之邊
 又互成比例，故為相似三角形。

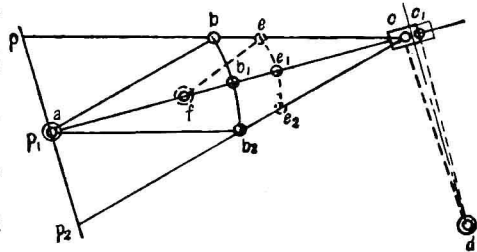
因 OCC' 角係一正角，故 $TT'O$ 角亦為一正角，即 TT' 線與
 OT' 線垂直。

用同一方法，可證明當運動各桿在其他地位時， TT' 線
 仍垂直於 OT' 線，故 T 點恆沿一直線運動也。

186. Scott Russell's 直線運動機構。 此種機構之構造，如
 第 195 圖所示。 ab 與 pc 為兩桿， c 為一滑塊。 ab 桿繞 a 處一固
 定軸擺動。滑塊 c 則約束於導路，只能沿 ac 方向左右移動。滑
 塊與 ab 桿對於 pc 桿則各由一軸針連接之。如圖上所示，且
 $ab = bc = pb$ 。

又因 p 點上下運動之範圍多不甚大，故滑塊左右移動之距離多屬甚微。

以 b 點為中心，以 bc 或 bp 為半徑，畫半圓周，則此半圓周亦必經過 a 點。且



第 195 圖

pac 角係一正角。當 pc 桿在其他地位時，亦可得到同一之結果，即 p 點恆沿經過 a 點且與 ac 線垂直之一直線 pp_1p_2 運動也。

a 點須位於 p 點動路之中。又如 ap 代表 p 點由其動路之中點向上或向下移動之距離，則滑塊移動之距離

$$cc_1 = cp - \sqrt{cp^2 - ap^2}$$

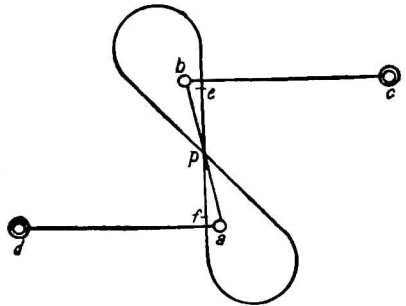
如不用滑塊與導路，完全由搖桿帶動 pc 桿，可得兩種近似之直線運動機構，與前述者極為相似。

(a) 仍參看前圖，在 cp 桿上，選擇一適宜之點 e 。當 pc 桿運動至中間之地位時，此點之地位為 e_1 ，當 pc 桿運動至兩極端之地位時，此點之地位為 e 與 e_2 。經過此三點畫一圓弧 ee_1e_2 ，其中心 f 必在 ac 線上。由一桿 ef ，連 ef 二點，並使能繞 f 處一固定軸擺動，則 ab 與 ef 兩桿即能帶動 pe 桿，使其上之 p 點在其動路之中點及兩極端皆在 pp_2 直線之上。

(b) 仍參看前圖，倘於 c 點動路之中點，畫一垂直線，並於此垂直線上擇一適宜之點 d ，如不用滑塊導路而代以 cd 搖

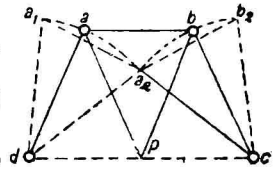
桿,使其上端由一軸針連於 pc 桿,下端能繞 d 處一固定軸擺動.因在此種機構, c 點之動路恆屬甚短,故極近於直線.即 P 點之動路亦極近於直線,且 cd 搖桿愈長時,所得之結果愈佳.

187. Watt's 直線運動機構. 此種機構只能得到一種極近似之直線運動.其構造略如第 196 圖所示. c 與 d 為兩固定軸. ad 桿能繞 d 軸擺動. bc 桿能繞 c 軸擺動, ab 兩端復由一 ab 桿連接之.當 ad 與 bc 擺動時, ab 桿上之一點 p 畫一雙環曲繞 (Double-looped Curve). 其中有兩段為極近似之直線.當計畫此種機構時,普通只用其近似直線之一段.如圖中 ef .



第 196 圖

188. Robert's 近似直線運動機構. 此種機構亦謂 W 形直線運動機構,其構造略如第 197 圖所示, apb 為一兩等邊三角形架,即 $ap = bp$. 在 a 與 b 兩點,由軸針裝置於 ad 與 bc 兩搖桿上,可繞 d 與 c 兩處之固定軸擺動,且 $ad = bc = ap = bp$.



第 197 圖

如此則當兩搖桿擺動時, p 點即極似的沿 dc 直線運動.

189. 由平行四邊形所得之平行運動. 平行運動多由一種平行四邊形之機構得出,有時雖外部形狀微有變化,其

原理則無甚差異。

如第 198 圖，設 $ABCD$ 爲四桿組成之平行四邊形架，並設 AD 與 CD 兩桿之軸針係固定者。在 AB 桿延長之一段上，取一點 P ，並畫 PD 線與 BC 桿相交於 T 點，則在 PBT 與 PAD 兩三角形，得

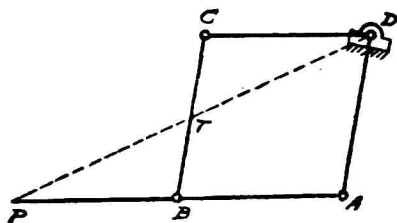
$$\frac{BT}{AD} = \frac{PB}{PA}$$

或 $BT = \frac{PB}{PA} \times AD = \text{一常數}$ 。

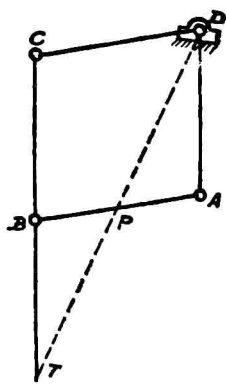
即 P 點若在 AB 桿上之位置一定，則 T 點恆爲 BC 桿上之一定點，且無論四桿之位置如何， $\frac{DP}{DT}$ 恆等於 $\frac{AP}{AB}$ ，恆等於一常數。

故倘 T 點沿任意之一線運動， P 點必隨之沿一同樣之線運動。其運動之方向恆與 T 點運動之方向平行，惟較 T 點運動之範圍擴大。

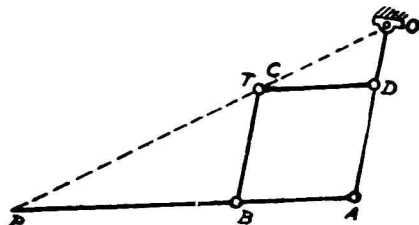
又如第 199 圖，設將 CB



第 198 圖

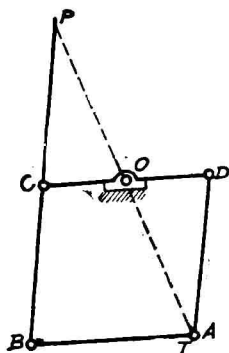


第 199 圖



第 200 圖

桿沿長，並於延長之一段上取 T 點，則在 AB 桿上之 P 點遂落於 D 與 T 之間。此時若 T 點沿一任意之線運動， P 點亦必隨之沿一同樣之線運動，運動之方向仍係平行，惟 P 點運動之範圍較 T 點縮小。



第 201 圖

又 T 二點恆須與固定之軸在一直線上，此爲此種機構必要之條件。

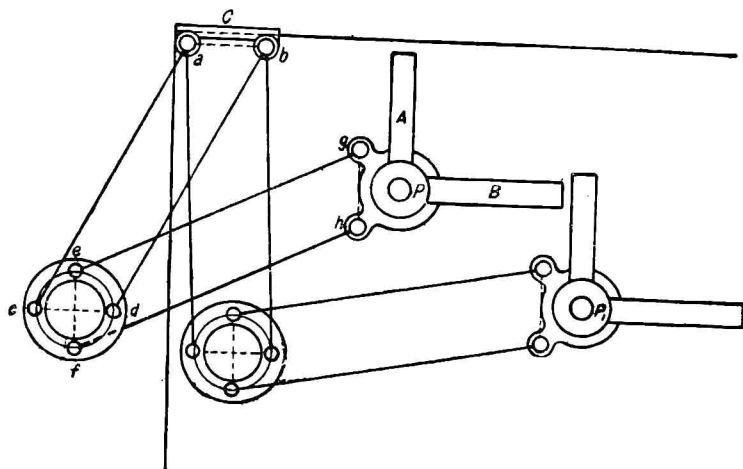
第 200 圖，係使固定點 O 位於一桿延長之一段上。第 201 圖，係使固定點 O 位於一桿之中點，理論上仍與前兩圖所表示者相同。

又在第 201 圖，倘 CP 與 CB 同長，則 $OP/OT=1$ ，即 P 點與 T 點運動之範圍相同，惟因在固定軸之兩邊，其方向適反耳。

此種機構，可用於放大及縮小一定之圖形及雕刻等工作，常用之放圖器，即其一例。

190. 通用畫圖機(Universal Drafting-machine).

第 202 圖，表示一通用畫圖機之構造。由兩個平行四邊形組織而成，在畫圖室中爲用甚廣，可代替丁字尺與三角板之功用。 e 爲一螺旋夾，固定於畫圖板之左上角，用以支持第一平行四邊形 $abcd$ 。 $cedf$ 爲一環，帶動第二平行四邊形 $efhg$ 。第



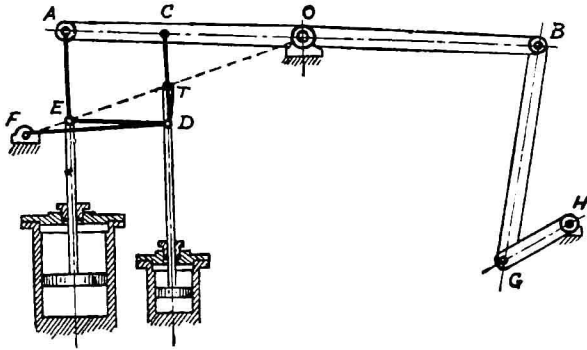
第 202 圖

二平行四邊行之右端，則連於 P 。 A 與 B 為互成正角之兩直尺，可繞 P 軸轉動。由 P 軸周圍之圓尺及鬆緊螺旋，可使 A, B 兩尺迴轉任意之角度，以便畫傾斜任何角度之傾斜線，即同時具有分度器 (Protractor) 之功用。

因 ab 與 cd 永為平行， ef 與 gh 永為平行，而 ef 與 cd 垂直。倘 ab 之方向不變，其他部分無論如何移動， cd 之方向必不變。因之 ef 與 gh 之方向亦不變，即 A, B 兩尺之方向必不變，故將 A, B 兩尺固定於一定之方向，無論如何變更地位，其方向恆不變，即可畫多數之平行線也。圖上僅表示兩個不同之地位。

191. Watts 直線運動機構與一平行四邊形機構之合併

第 203 圖，表示一 Watt 直線運動機構與一平行四邊形機構合併用於天秤機 (Beam Engine) 之情形， O 為橫梁之中軸， F



第 203 圖

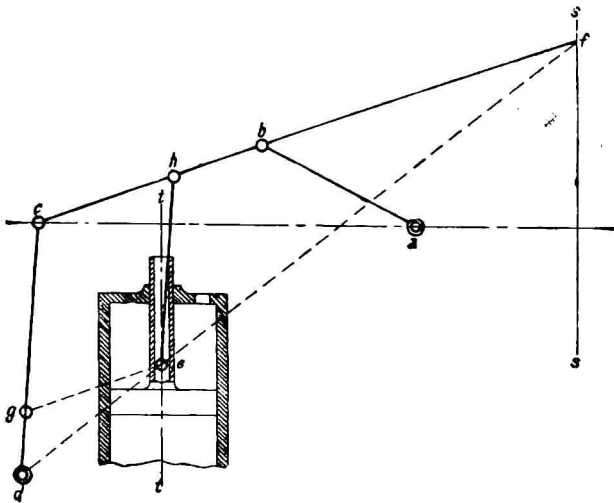
為機架上之一軸。H 為機軸。OC, CD 與 DF 三桿組成 Watt 直線運動機構，結果使 T 點在一垂直之直線上運動。

OA, AE, ED 與 DC 四桿組成平行四邊形機構。T 點之地位使與 O, E 兩點在同一直線之上。活塞桿之上端連於 E 點。唧子桿之上端連於 T 點。當活塞上下運動時，唧子亦發生同樣之上下運動，僅按 OC/OA 之比例縮小耳。

192. Thompson 工作指示器 (Thompson Indicator) 上之直線運動。

此種工作指示器上所採用之機構，如第 204 圖所示。ss 為捲紙筒之中軸，tt 為汽筒之中軸，f 為置筆處。畫圖時應沿捲紙筒之外周發生對於其中軸平行之直線運動，且其運動之距離，對於活塞在汽筒內沿 tt 所運動之距離，恆有一定之比例。

圖中 abcd 組成一 Scott-Russel 直線運動機構。he 一桿係用

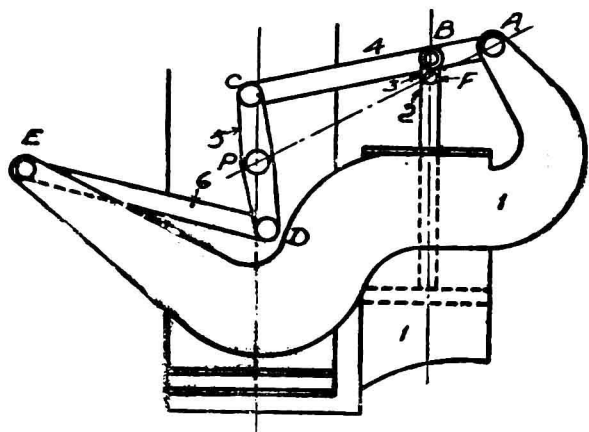


第 204 圖

以傳達活塞之運動於 cb 桿者。 e 點之位置係連 fd 線與 tt 線之交點。

假定不用 ab 桿而能裝置一 eg 桿，與 bc 平行，則 dc , ch , eg 與 cf 四桿即組成一平行四邊形機構。倘 e 點隨活塞發生直線運動，則 f 點必發生絕對之直線運動，且 f 點運動之距離對於 e 點運動之距離之比，恆等於 $cf : ch$ 或 $df : de$ 。但實際裝置上， eg 一桿為不可能。故採用 ab 一桿變為 Scott-Russel 直線運動機構。且因 cd 係一擺動桿， ab 與 cf 等部之長度微有變更之故， f 點不能發生絕對之直線運動，但所差極微。

193. Richard's 工作指示器上之直線運動機構。此種工作指示器上採用之機構，略如第 205 圖所示。亦由一 Watt

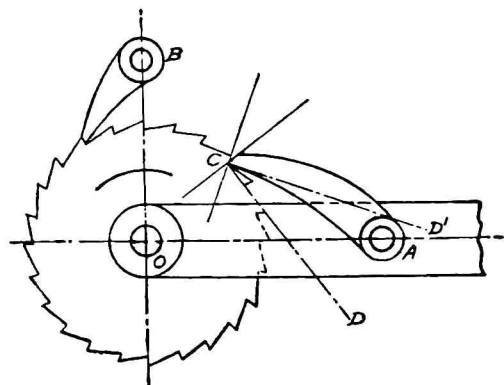


第 205 圖

直線運動機構與一平行四邊形機構合併而成。AC, CD 與 DE 三桿組成 Watt 直線運動機構,倘 F 點有直線之上下運動,則 P 點亦隨之發生直線之上下運動,且 P 點運動之距離比 F 點運動之距離等於 AC 比 AB 或 AP 比 AF。

194. 閘輪(Ratchet Wheel). 閘輪為間歇運動機構中之最普通者,共含兩個主要部分:一為閘輪,二為閘(Pawl).

第 206 圖為閘輪中之最簡單者。O 為閘輪之中心,OA 為一直桿,能繞閘輪之軸自由轉動。A 與 B 兩軸上各裝



第 206 圖

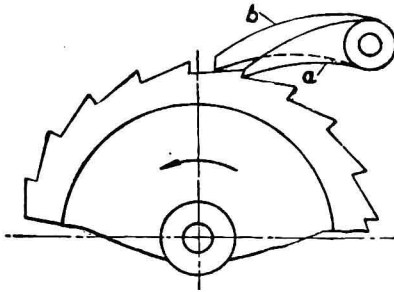
置一閘， A 軸上者謂之起動閘， B 軸上者謂之止動閘，各由其自身之重力或另一彈簧之彈力，使恆與閘輪之齒相接觸。

如此裝置，當 OA 桿向上擺動時，起動閘必按擺動之範圍推動閘輪，使向箭頭所示之方向迴轉一定之角度。止動閘之尖端，則沿閘輪之齒滑動，不生若何阻力。當 OA 桿向回擺動時，起動閘之尖端，則沿閘輪之齒滑動。止動閘之尖端，則阻止閘輪，使不向回轉動。故由 OA 桿之連續往復擺動，得出閘輪軸之間歇迴轉運動。

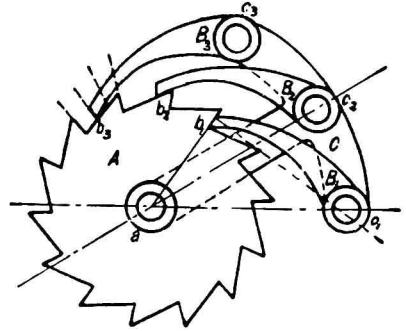
195. 多閘輪 (Multiple Pawl Ratchet). 如前段所述，倘只用一個止動閘，以阻止閘輪向回轉動，則有時閘輪須向回轉動一定之角度，至閘端之前面與齒面相接觸，方行停止。此種向回轉動之限度，最輕時可為零，即閘輪停止前進時，恰遇閘端與輪齒立面相接觸之時，最重時為閘輪輪齒之一周節 (Pitch)。即閘輪停止前進之時，恰遇閘端由一齒之斜面將落下未落下之時。減輕此種向回轉動之方法，第一為減小周節。惟用此法，輪齒之力必隨之減弱。如所負之載荷較大時，實屬不宜。第二即在同一軸上或同一桿上裝置數個長短不同之閘。若使各閘在輪齒上繼續相差之長度等於閘數除閘輪之周節，則閘輪向回轉動之限度，亦必按同一之比例減輕。

如第 207 圖，倘 a 與 b 兩閘之長度，在輪齒上相差閘輪周節二分之一，則向回轉動之限度即減至原來二分之一。

若起動閘亦用數個，使其在輪齒上繼續相差之長度，亦



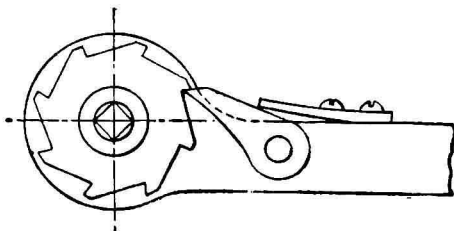
第 207 圖



第 208 圖

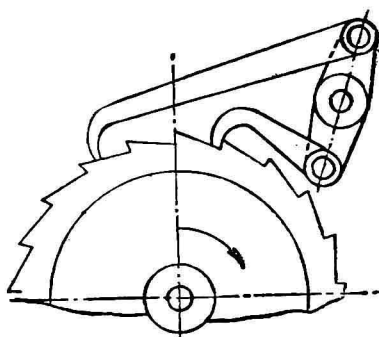
等於開數除開輪之周節，則前進之運動，不待減小齒節，即可變為細密。若只用一起動開，則前進之運動，每次至少須退一周節。第 208 圖表示一三開輪。A 為開輪。B₁、B₂、B₃ 為三個起動開，裝置於 C 桿之 c₁、c₂、c₃ 三軸上。在輪齒上長度之差，各為周節之三分之一。如此裝置，則當 A 輪向前轉動一齒之三分之一時，或 C 桿向回轉動一齒之三分之一時，B₂ 開即與 b₂ 齒之立面接觸。再轉動一齒之三分之一，則 B₃ 開即與 b₃ 齒之立面接觸。再轉動其餘之三分之一，則 B₁ 開即與 b₁ 齒之立面接觸。故運動可變為細密。且搖桿每次退回再向前運動時，無效力之運動，亦按同比例減輕。若將三開裝置於一軸上，則開輪須增寬。當所負之載荷甚大，而迴轉之運動須細密者，用此裝置最為相宜，蓋輪齒之力不因之減弱也。

196. Weston 開輪。第 209 圖表示一種應用於 Scotch 鑽上之開輪，只有起動開。因鑽在鑽孔所受之摩阻力，即能阻止開輪使不向回轉動也。

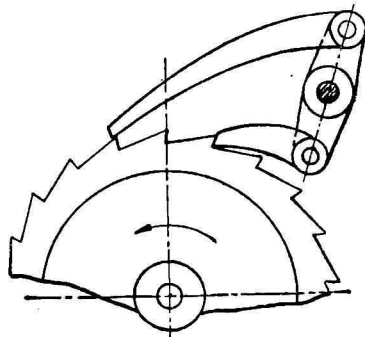


第 209 圖

197. 雙動閘輪 (Double Acting Ratchet). 以前所述各種閘輪,只搖桿向一方向轉動時,閘輪發生運動.迨向回轉動,閘輪即歸靜止.若欲使搖桿無論向前或向後轉動時,閘輪均向同一方向運動,則可用第 210 及第 211 兩圖之裝置.



第 210 圖

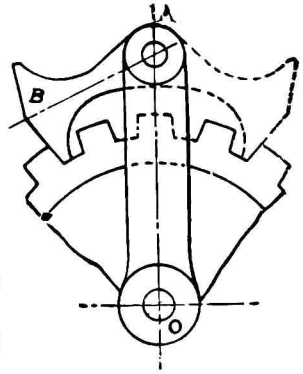


第 211 圖

在一兩臂長度相等之直槓桿或曲槓桿之兩端,各裝置一閘,一長一短,均使與輪齒相接觸.如此則槓桿無論向何方向轉動,閘輪均沿一定之方向迴轉.此種閘輪,謂之雙動閘輪.

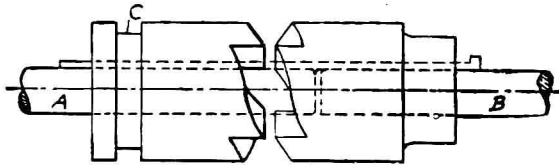
198. 可逆閘 (Reversing Pawl). 閘輪迴轉之方向,有時須於一定時間以後改變一次.如刨床上管理給工 (Feed) 之

開輪即其一例。此時須用一種可逆開，如第 212 圖所示。開之形狀與開輪之齒均與前稍異，開之形狀須兩邊均能應用，輪齒表面亦須兩邊均能受力。如開在實線所表示之地位，則當搖桿擺動時，開輪即向左迴轉。如開在虛線所表示之地位，則當搖桿擺動時，開輪即向右迴轉。

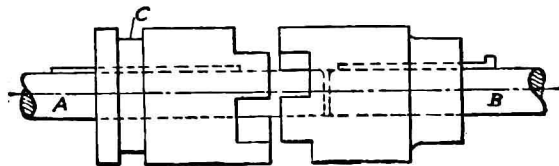


第 212 圖

199. 確定運動接合器 (Positive Clutches). 一軸之迴轉運動欲傳達於同一直線上之別一軸，使有時隨同運動，有時停止運動，則用一種接合器。接合器有能發生確定運動者，有係利用摩阻力，難免微有滑動者。



第 213 圖



第 214 圖

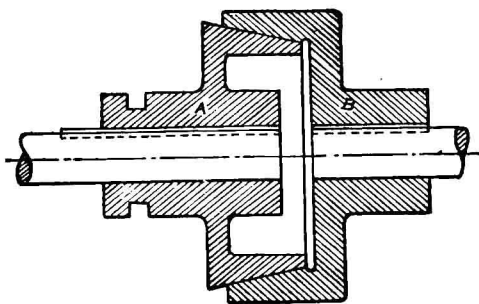
第 213 表示只能向一方向傳達確定運動之接合器，B 軸

上由一鍵固定接合器之一半。A 軸上之一半，則只由一長鍵約束之，使不能繞軸迴轉，但可沿軸左右滑動。當 B 軸由下向上轉動時(就前面看)，如於 C 處沿軸之方向，用一搖桿由左向右推動 A 軸上之一半，則兩半接合，A 軸即隨 B 軸迴轉。

如欲使兩軸恆由上向下迴轉，則各突出部之形狀須與前適反。如欲使之任意向上或向下迴轉，則兩半之突出部可製成方形，如第 214 圖所示。

200. 摩阻力接合器 (Friction Clutches). 摩阻力接合器，其一軸之運動傳達於他軸，係利用兩部接觸表面之摩阻力

第 215 圖所示者，係摩阻力接合器中之最普通者，謂之圓錐形接合器 (Cone Clutch)。B 軸上之一部，仍係由一鍵固定於軸上，中備一截圓錐形之槽。A 軸上之



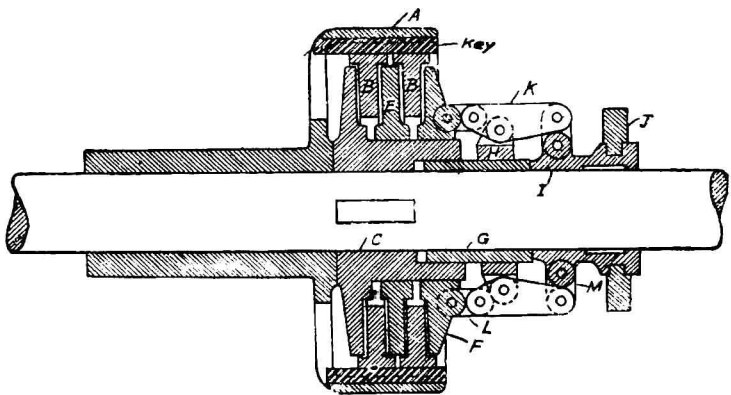
第 215 圖

一部，則仍沿長鍵左右滑動，其表面亦係一截圓錐形。如使 A 軸上之一部插入 B 軸上之一部，則兩部接觸表面之摩阻力，即可使 B 軸之迴轉運動傳達於 A 軸。

若所欲傳達之力甚大時，則只此簡單之接觸面，其摩阻力往往失之過小。故多用一種多板式之接合器 (Multi-plate Clutches)。當接合時由一種肘形節 (Toggle Joint) 之作用，使各

組板同時接合。於壓力之分配上亦較單一者為優，如第 216 圖所示。圖中 S 為一長軸筒，可繞軸自由迴轉。右端帶一環狀部 A 。 A 之內部裝置數層向內伸張之環狀板 BB 。 C 為一圓形盤，由一鍵固定於軸上，其向右伸張之軸筒上，裝置摩阻環板 EF 。此環板亦能沿軸筒左右移動。 F 板則連於由 K 、 L 及 M 三部組成之肘形節上。又 S 筒上固定一皮帶輪，欲使 S 軸筒與軸同時迴轉時，則向左推動 J 部，使肘形節發生作用。 BE 各環狀板即互相接觸，由 B 及於 A ，再及於 S ，則 S 上之皮帶輪即同時迴轉。

又 B 、 E 等環狀板有時全用生鐵製成，有時 BB 等環板用木製成。



第 216 圖

習 題

1. 試述 Peaucellier 直線運動機構之構造，並證明此機構能發生一綫

對直線運動。

2. 試繪圖略述兩種絕對直線運動機構及兩種近似直線運動機構。
3. 試述放圖器之原理。
4. 試繪圖略述通用畫圖機之構造及原理。
5. Thompson 工作指示器係利用何種機構組成? 試述之。
6. 多開輪較單開輪之優點為何? 試述之。
7. 何謂雙動開輪?
8. 可逆開宜於何種工作? 試述之。
9. 試述接合器之應用及其普通種類。