

直
流
電
機

直 流 電 機

劉 肇 龍 著

中 華 書 局 印 行

編輯大意

1. 電機工程之最感困難者，一爲理論，一爲機械。著者以歷年教授所集之教材，先將直流發電機及直流電動機整理成冊，名曰直流電機，供諸同好。待有機會，亦擬將交流電機及交流理論等，相繼整理出版。

2. 本書之目的，在使一般工學者，了解電機之構造及其使用之方法，理論與實用並重，說理力求簡明，算式力避繁雜，固可作爲一般工學者及職業學校之電機教本，亦可作爲專攻電機者之初步教材。

3. 我國電業，日臻發達，對於電機之構造及其管理，亦逐漸需要，故本書對於直流電機之構造及繞線法，使用法及配電盤等各章，尤爲特加詳述。

4. 每章末尾所附之例題及練習問題，可視作書中各章之綱要，惟其中間有超出正文所述者，即視作正文之補遺亦可。至於習題之較難者，則亦無妨省略。

5. 本書所用之名詞與術語，皆採用教育部公布之物理學名詞，皆附有英文原名，以便對照，藉資互參。

6. 本書中之各項插圖，皆煩呂道耕及陳全漢兩先生之手製，於此特表謝意。

7. 本書倉卒付印，謬誤之處，在所不免，尙望海內明達，不吝教誨，錫我嚴格之批評，再版修正，得所依歸，則幸甚矣。

民國二十三年四月十日著者識於成都。

直 流 電 機

目 次

第一章 直流發電機總說

1. 電源.....	1
2. 發電機之大別.....	1
3. 原動機及機械能.....	2
4. 能之變換.....	2
5. 唧筒之譬喻.....	3
6. 擔負之大小與迴轉之難易.....	4
7. 發電機輸出之限制.....	4
8. 摘要.....	5

第二章 直流發電機之原理

9. 電磁感應之法則.....	6
10. 右手定則.....	6
11. 感電動勢之大小.....	7
12. 磁場與線圈.....	8
13. 線圈中之感電動勢.....	9
14. 集流環.....	10
15. 整流器之作用.....	11
16. 四線圈四整流器條之電樞.....	13
17. 勵磁法.....	15
18. 他勵發電機.....	16

19. 串繞發電機	17
20. 分繞發電機	18
21. 複繞發電機	19
22. 發電作用之漸昇與剩磁	20
23. 二極機與多極機	20
24. 摘要	22
問題一	23

第三章 直流發電機之構造

25. 渦電流及疊片鐵心	24
26. 電樞	25
27. 樞心	25
28. 電樞線圈	28
29. 線圈之絕緣法	30
30. 絕緣物之種類	30
31. 整流器	32
32. 刷子、刷子保持器及刷子進退器	35
33. 軸及軸承	36
34. 磁路	38
35. 磁極與軛鐵	39
36. 磁場線圈	40
37. 摘要	42
問題二	43

第四章 直流發電機之繞線法

38. 繞線法之概念	44
39. 環狀繞法	44
40. 鼓狀繞法	47
41. 導體號數及繞線節	49
42. 鼓狀繞法之基礎條件	50
43. 繞線圖及繞線表	51
44. 疊繞法	53
45. 波形繞法	55
46. 波形繞法之公式	57
47. 疊繞法之刷子之位置與組數	59
48. 波形繞法之刷子之位置與組數	60
49. 多電路繞法與二重電路繞法之比較	61
50. 多疊繞法	61
51. 摘要	62
問題三	63

第五章 直流發電機之理論

52. 感電動勢	68
53. 端子電壓	70
54. 發電機之磁通分佈	74
55. 電樞反作用	76
56. 減磁作用及偏磁作用	76
57. 電樞反作用之防止法	78
58. 補償繞線	80
59. 整流極	81

60. 整流作用.....	83
61. 整流之時間.....	85
62. 捷路之時間常數.....	86
63. 整流電動勢及整流磁通.....	87
64. 整流極(再述).....	88
65. 均壓環.....	89
66. 摘要.....	93
問題四.....	94

第六章 直流發電機之特性

67. 電壓控制.....	96
68. 場用變阻器.....	97
69. 複繞法.....	98
70. 電壓調變率.....	99
71. 磁化曲線.....	100
72. 特性曲線.....	102
73. 各種發電機之特性曲線.....	102
74. 發電機之效率.....	106
75. 發電機損失之分類法.....	107
76. 發電機之諸損失.....	108
77. 發電機之效率(續).....	113
78. 溫度之上升.....	115
79. 溫度之限制.....	117
80. 機器之額定.....	119
81. 摘要.....	120

問題五	121
-----	-----

第七章 直流發電機之使用法

82. 安裝及組立	123
83. 開始運轉前之注意	127
84. 運轉之次序	128
85. 關於運轉之注意	129
86. 發電機之故障	130
87. 並行運轉之必要	132
88. 分繞發電機之並行運轉法	133
89. 複繞發電機之並行運轉法	137
90. 摘要	141
問題六	141

第八章 直流電動機總說

91. 電動機之概念	145
92. 電動機與發電機之可逆性	145
93. 發電機之感應	146
94. 因勵磁法之分類	147
95. 摘要	148
問題七	148

第九章 直流電動機之理論

96. 逆電動勢	150
97. 逆電動勢與電流之關係	151

98. 發生機械動力.....	152
99. 轉距.....	153
100. 轉距與磁通及電流之關係.....	154
101. 速度與磁通及電壓之關係.....	156
102. 因擔負增加而起之電流之自己調節.....	158
103. 電動機之加速及減速.....	158
104. 電動子反作用.....	159
105. 具整流極之電動機.....	161
106. 迴轉方向之轉換.....	163
107. 摘要.....	164
問題八.....	165

第十章 直流電動機之特性

108. 不變速度、多速度、加減速度及變速度.....	168
109. 速度調變率.....	168
110. 串繞電動機之特性及其用途.....	169
111. 分繞電動機之特性及其用途.....	170
112. 複繞電動機之特性及其用途.....	172
113. 各種直流電動機之特性比較.....	174
114. 電動機之效率.....	177
115. 最大效率.....	181
116. 摘要.....	182
問題九.....	183

第十一章 直流電動機之使用法

117. 起動器.....	189
118. 起動電流之變化.....	191
119. 解放磁鐵.....	193
120. 過量擔負之解放器.....	195
121. 起動器之構造.....	196
122. 自動起動器.....	199
123. 串繞電動機之起動法.....	202
124. 電動機之一般速度控制法.....	202
125. 分繞及積複繞電動機之速度控制法.....	204
126. 串繞電動機之速度控制法.....	206
127. 各種控制法之比較.....	207
128. 串並聯控制法.....	207
129. 控制器.....	210
130. 電動機之運轉法.....	212
131. 摘要.....	214
問題十.....	214

第十二章 直流機之試驗法

132. 試驗之順序.....	222
133. 極性試驗.....	224
134. 磁化試驗.....	224
135. 損失分離試驗.....	225
136. 鐵損失及機械損失與軸承摩擦損失及刷子摩擦損失之分離法.....	228
137. 返還擔負法.....	230

138. 溫度試驗.....	232
139. 調變率試驗.....	234
140. 效率試驗.....	236
141. 效率試驗(續).....	238
142. 絕緣試驗.....	240
143. 摘要.....	242
問題十一.....	243

第十三章 電氣設備

144. 伏特計.....	247
145. 安培計.....	249
146. 瓦特計.....	249
147. 開關器.....	250
148. 自動斷路器.....	251
149. 電阻器.....	253
150. 起動器.....	254
151. 電壓調整器.....	255
152. 檢漏器.....	255
153. 避雷裝置.....	256
154. 配電盤.....	257
問題十二.....	259

直 流 電 機

第一章 直流發電機總說

1. 電 源 發生電或電力之根本，總稱之曰電源 (source of electricity)。光源熱源，皆有天然存在者，惟電源則非利用某種裝置，不能求得。如利用摩擦或感應起電機以起電者，亦為一種電源，但此等電源甚小，到底不適實用，次以電池作電源，運搬既屬便利，復可得一時之電的儲蓄，固屬至寶，不過欲求大電力之連續發生，完成電源之本來使命，則又勢不可能，然則一般點電燈，供電熱，行電車，所謂光、熱、動力之三大要素，欲求最輕便，最經濟連續供給不斷者，舍發電機其何屬？蓋發電機，只要有其他之原動機轉動，即能連續發生電力，不特調整簡單，且發生之電力甚大，僅用電線二三根，可安全輸送電力於數百哩外之遠距離，其輕便容易可知也。近代科學之研深，其目的在求動力之普遍化，作動力之先驅者，厥惟電力是賴，而發生電力之基礎，又舍發電機莫由，是發電機占科學之重要地位，固吾輩工學者所不可不汲汲研究者也。

2. 發電機之大別 發電機為一種發生電力之機械，只要有適當之電的裝置，即可連續送出電力，其種類有二：一為送出之電流，恆有一定之方向者，稱之曰直流發電機 (continuous current generator or direct current generator)，他為送出之電流，其方向常頻繁變化者，稱之曰交流發電機 (alternating current generator or alternator)，此兩種發電機，其被轉動即發生

電力之點皆相同，惟其發生電流之性質則各異。此兩種發電機皆互有短長，對於電之用途上，有限於僅用直流者，有限於僅用交流者，亦有交流直流皆可適用者，情形極不一致。

3. 原動機及機械能 如前所述，欲發電機發生電力，第一非設法使發電機轉動不可，轉動發電機之機械，一般稱為原動機 (prime mover)。電能固易由熱能或化學能得來，不過在實用上，發生大電力之際，則以使用機械能最為捷徑，原動機即為供給機械能之裝置，其方法有三：

(1) 燃燒石油、石炭、瓦斯等，使水變成蒸汽，將此蒸汽壓力，傳達於機關之活塞 (piston) 或輪機 (turbine) 之翼 (vane) 上，使之轉動者，是為蒸汽機關或蒸汽輪機。

(2) 由瓦斯、石油或石炭造成人造瓦斯等之混合物，將此混合物，送入機關之內部，使之爆發，因其所生之壓力，使軸迴轉，是即所謂內燃機關，如石油機關或瓦斯機關等是也。

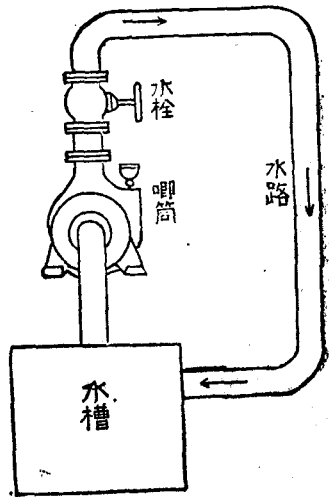
(3) 以落下之水，作用於水車之迴轉部，使其軸迴轉，是即為水車。

以上之中，(1) 及 (2) 兩種機關，皆使石炭或瓦斯所有之熱能，變換為機械能之裝置。(3) 之機關，則係利用落下之水力，變為機械能之裝置。

4. 能之變換 依能量不滅之原理，則宇宙間之能 (energy)，無論如何變形，總量毫無增減，換言之，能祇能利用，絕對不能創造，故前述之機械能，不過由石炭或水所有之能變形而來，決非另外有所創造，然則原動機，亦不過變換能之一種裝置而已，發電機亦然，一方被原動機迴轉，他方即供給電力，不過將機械能變換為電能，並非自身有創造電能之能力也。

但在能之授受過程中，隨伴有各種之損失，如最初由石炭能變為最後之電能時，其間能之損失頗為不少。

5. 唧筒之譬喻 以水流譬喻電流，學者往往行之。如欲水在第1圖所示之水路流通，則唧筒頗為需要，因唧筒之作用，在作成水壓，有水壓，水即流通；故視水壓為原因，水流則為其結果。發電機亦因迴轉而生電動勢（與水壓相當），維持之，使之繼續發生電力之情形，恰與水力中唧筒之作用完全相同，至其用電線（與水路相當）連結，即通過電流（與水流相當），其情形亦與水力完全無異。由是觀之，是先有電動勢，然後有電流，決非有電流而無電動勢者。故發電機是發生電動勢之機械，非直接發生電流之機械也。次以水栓塞住唧筒之出口而迴轉之，縱令有水壓發生，亦決無水流通過，於是唧筒得輕快的迴轉，然若將出口打開，使水流通過，則唧筒驟感加重，蓋就前者言，唧筒中僅因迴轉之水，發生摩擦而已。



故由原動機僅供給少許機械力，即可濟事；就後者言，則除摩擦外，尚非加上抽水出流之工作不可，故所要之機械力，特別浩大。一般唧筒內之流量愈增，則原動機之速度亦愈小，發電機亦然，若發電機未點電燈或不供給其他之電力時，則流向外部之電流甚少，恰與塞住唧筒出口，不使水向外流之情形相當，故需要之動力甚小，若一旦

點電燈或供給電力，則電流向外出，恰與唧筒打開出口，使水流通過之情形相當，故所需之動力特大。

電燈、電熱器、電動機等，凡接受發電機之電流供給而作任何工作者，統稱之為發電機之「擔負」(load)。用此擔負之術語，再將前事申述之，則如次：

發電機無擔負時，僅屬空轉，若漸次增加其擔負，則其迴轉亦次第困難，故由原動機所要求之機械力，亦愈加多，因而石炭或水之消費量，逐漸增高。

6. 擔負之大小與迴轉之難易 發電機之擔負愈增，則原動機之迴轉亦愈難，前已約略言之，此則再述其理由。蓋發電機之構造原理，係以一種導體，在磁鐵之近傍轉動，導體中即發生一種電動勢。若發電機有擔負，即因此電動勢而送出電流，若通過導體之電流愈多，則此導體與磁鐵起作用，發生一種與導體運動方向相反之力，即對於原動機之迴轉，發生相反之作用。此時若擔負增加二倍，則其相反作用亦增加二倍，此其所以原動機感覺增加二倍之重也。

7. 發電機輸出(output)之限制 今假定有1000盞燈用之發電機一部，若安裝之電燈數，至1000盞以上，即將發電機之擔負加重時，則如前述之理，原動機必迴轉困難，於是設法補充原動機之力量，打勝迴轉之困難，保持原來之迴轉數。驟思之，似無大礙，其實發電機早已過熱，蓋發電機一經加上擔負，即發生電流，此電流反抗發電機導體之電阻而通過，因此必消耗電能，此一部分消耗之電能，即變為熱能，此即電磁學上所謂之焦耳損失(Joule loss)是也。發電機內，既發生熱能，則發電機必至發熱，此為當然之結果，因其溫度過高，遂不免有

燒損之虞。蓋此發電機之構造，其內部絕緣體，只能忍耐 1000 盞燈之熱量，若徒增加原動力，加重發電機之擔負，終至使發電機之絕緣體燒壞，不堪為用。故無論任何之發電機，必有一定適當之擔負；此時之電流，稱為發電機之額定電流 (rated current)，此外，發電機之設計，皆有特定之電壓及適合此電壓之一定迴轉數，如萬一條件不合，則不能圓滿工作。此時之電壓稱為額定電壓 (rated voltage)；此時之迴轉數，稱為額定迴轉數 (rated speed)。額定電壓與額定電流之乘積，稱為發電機之額定輸出 (rated output)，或曰擔負耐量或單稱之曰容量 (capacity)。畢竟，限制發電機之額定輸出者，厥惟發電機內所生之熱量。

8. 摘要 關於發電機之概念，本章已約略述之，茲更申述其要點如次：

- (1) 發電機為最優越之電源。
- (2) 發電機大別之為二種：一曰交流發電機，一曰直流發電機。
- (3) 電學上之擔負云者，由電源取得電力，用作任何工作之謂也。
- (4) 增加發電機之擔負，則原動機之迴轉困難，因此，原動機須消費多數之水量或石炭等。
- (5) 電流通過，必發熱而增高溫度，此溫度之增加，被發電機之額定輸出所限制。
- (6) 發電機之電壓、迴轉數，皆有額定。

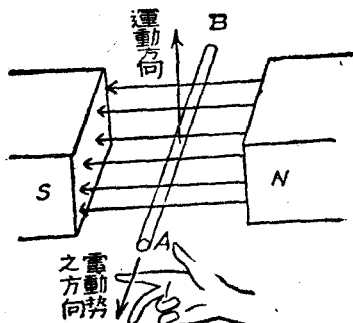
第二章 直流發電機之原理

9. 電磁感應之法則 電磁感應之法則，為構成發電機之基本原理，此法則於1831年由英人法拉第 (M. Faraday) 發見之，在電磁學上，非常有名，其詳細說明，固當讓諸電磁學，若必用一言以盡其概要，則有如次之說明：『若用導體切斷磁通 (flux)，則導體中必生感電動勢。』

導體切斷磁通，為何必生感電動勢？關於此種說明，今日尚欠充分，不過此種事實，雖用極簡單之實驗，亦可證明無誤。發電機亦即應用此理而成，即在圓形之鐵心上面適當接續多數導體，因鐵心之轉動，即切斷磁通而發電。惟鐵心轉動，非有原動機不行，故發電機得如是定義之。

發電機是依電磁感應之法則，變機械能為電能之機械。

10. 右手定則 電磁之感電動勢，有大小，有方向。電動勢之大小，另於次節詳述，至於表示其方向，則用佛來銘氏之右手定則 (Fleming's right-hand rule)，甚為便利。如第2圖甲所示，以右手之拇指、食指、中指，互成直角而立，若以拇指表導體運動之方向，食指表磁通之方向，則中指即表電動勢之方向。今如圖所示，以導體 AB ，置於平等磁場內，若向上方（與導體及磁通皆成直角之方向）運動之，則感電動勢之方向，係由後端向前端，如第2圖乙所



第2圖甲 表示磁通、運動及電動勢之相對的方向