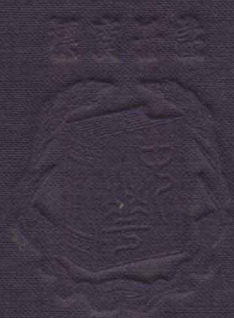




直流電機

劉啓龍著

中華書局



# 直 流 電 機

劉 肇 龍 著



中 華 書 局 印 行

民國二十六年九月發行  
民國二十八年十月再版



著者

劉肇龍

發行者

中華書局有限公司  
代表人 路錫三

印刷者

上海澳門路  
美商永寧有限公司

總發行處 昆明

中華書局發行所

分發行處 各埠

中華書局



## 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. 發電機之大概      | 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<br>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。

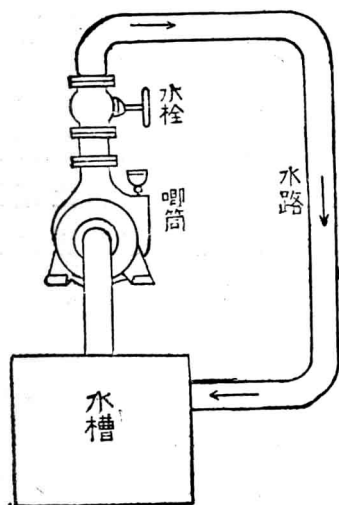
(3)以落下之水,作用於水車之迴轉部,使其軸迴轉,是即為水車。

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，則電流向外流出，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

燒損之處。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。