

發電廠與配電站

毛啓爽 吳玉麟 編譯

電工技術叢書

第一集

編輯委員會：楊孝述(總編輯)

楊肇燦 毛啓爽 丁舜年 趙富鑫

電學與磁學	裘維裕
交流電學	裘維裕
直流電動機與發電機	毛啓爽
交流電動機與發電機	丁舜年
發電廠與配電站	毛啓爽 吳玉麟
蓄電池	毛啓爽
保護替續器	丁舜年
磁鐵及電磁鐵設計	丁舜年
司路機鑰	壽俊良
電壓調整	壽俊良
電工儀器及儀器	楊肇燦
互特小時刻	楊肇燦
電照學	趙富鑫
電熱	趙富鑫
實用電工敷線法	莊標文
線路傳輸及計算(印刷中)	曹鳳山
電燈線路之電子管控制(印刷中)	李志熙
工用電子管理論(校訂中)	史鍾奇
變壓器(校訂中)	周琦
電動機運用與電機試驗(編譯中)	胡汝鼎
整流機與換流機(編譯中)	胡汝鼎
電動升降機(二冊)(編譯中)	吳沈鉅

凡 例

- (一)本叢書編譯之目的，係爲訓練電機工程事業各項中級工程師及高級技工之用；職業學校，函授學校等採作課本，最爲適合；卽爲有志自修者，亦極合用；而大學生備作參考，以補大學教本略於實用之不足，裨益亦非淺鮮。
- (二)本叢書係用美國國際函授學校 (International Correspondence School) 所編之教本爲依據，延聘專家，從事編譯；原書優點爲 (1) 注重實用，(2) 說理淺顯；(3) 插圖豐富詳明，尤以插圖多經精心繪製，與正文相得益彰，最爲特色。
- (三)本叢書一面採用國外已見成效之書籍爲藍本，一面力求適合國情，盡量加入國內已有之材料及法規，庶免隔閡之弊。
- (四)本叢書對於原書之優點，力爲發揮，惟原書若有舛誤或欠妥，亦不事盲從，而惟求其至是，不憚加以修正，以免遺誤。
- (五)本叢書側重中級電工教育，對於高深精確之理論，大都從略，間有必須牽涉之處，亦祇能取譬於日常切近之事物，出以通俗近似之陳述，精確之度難免犧牲，讀者諒之。
- (六)本叢書中所用各項單位，均取國際制，凡原書用英製制之處，則加註國際制之當量值。

- (七) 本叢書在原則上選用教育部頒之名詞。凡名詞若爲部頒所無者，或部頒名詞在實用上有窒礙者，則有編輯會議商定之。
- (八) 本叢書各冊名詞力求統一，惟卷帙甚繁，編輯部同人校訂難免疏漏，所望讀者發現矛盾或不一致之處，惠予指正，以期再版時收統一之效。
- (九) 本叢書中重要名詞後均附註英文名詞，並於每冊後附英漢對照名詞彙。
- (十) 本叢書爲普及起見，用語體文撰述。
- (十一) 本叢書第一集共二十三冊，電工各門大致俱備，其他門類，如電信等，擬陸續另出第二集補成之。
- (十二) 本叢書編輯同人均以業餘之暇從事撰述，疏誤在所難免，所望海內方家，不吝見教，俾於再版時得以更正，不獨同人個人之幸，亦中國電工教育之幸也。

編譯者序

本書爲布拉克恩 (E.F. Bracken) 原著，布氏爲美籍電機工程師，所述亦多美國制度，其對於直流配電站及換流機站，講述甚詳，尤注重於電車鐵道及三線佈電制。此種制度在我國尙未多見，足資關心電車鐵道者之參攷。在交流發電廠及配電站方面，深感其材料不充，尤以變壓器配電站一章爲過簡，容將來另編交流配電站一書，以補此書之不足。是書之作，對發電廠及配電站之輪廓及其一般佈置，已足供初步之介紹。

本書原請吳玉麟先生編譯。吳先生爲電工界耆宿，編譯是書，不過牛刀小試，惟於譯成前三章後，即因他事離滬，乃囑啓爽爲之完卷。啓爽才識淺陋，且乏實地經驗，本不敢承命。奈因吳先生之惇囑，因不揣縝貂之冒昧，勉譯成篇。其不能暢達原意之處，尙祈海內方家指正爲幸。

毛 啓 爽

民國廿五年一月於上海

目 錄

第一章 發電廠總論..... 1

1.1 地點之選擇 1.2 廠屋之設計 1.3 全廠發電機之座數 1.4
發電機之相似性 1.5 導體之大小,材料,式樣與電流密度

第二章 電車鐵道制之直流發電廠..... 6

2.1 發電機之線路及屏幅 2.2 均衡裝置 2.3 關於各機分任負
載之調整 2.4 分繞場卷之接法 2.5 各種儀器設備 2.6 電樞
開關和斷路器 2.7 直流電車鐵道之饋電屏幅 2.8 昇壓匯流
排 2.9 饋電纜之引出 2.10 屏幅之佈置

第三章 電燈及電力制之直流發電廠.....18

3.1 發電機之制式 3.2 小型二線制發電廠 3.3 用單只複繞發
電機之三線制小型發電廠 3.4 用平衡機組獲得三線制之中線
3.5 小型發電廠之匯流排與饋電線 3.6 中型發電廠之發電機
連接 3.7 中型發電廠之匯流排及饋電線

第四章 交流發電機之並聯運用.....28

4.1 交流發電機並聯之條件 4.2 燈暗法之整步指示 4.3 燈亮
法之整步指示 4.4 高壓單相機之整步指示燈連接法 4.5 多
相發電機之整步電路 4.6 接燈之整步電路 4.7 用伏特計指

示整步 4.8 整步指示器

第五章 小型交流發電廠.....38

5.1 激磁發電機 5.2 單相連接 5.3 二相連接 5.4 三相星形
連接 5.5 三相三角形聯接 5.6 匯流排及開關 5.7 饋電線路

第六章 中型交流發電廠.....46

6.1 概論 6.2 電壓調節器 6.3 對於過載之保護 6.4 遙控電路
6.5 雙套匯流排制 6.6 配電線路電壓之調節及控制

第七章 大型交流發電廠.....51

7.1 概論 7.2 激磁制度 7.3 油浸開關 7.4 匯流排構造與佈
置 7.5 饋電線路之連接 7.6 保護用及分段用電抗器 7.7 接
地之需要及機件 7.8 接地之方法 7.9 三相及發電機變壓器
接地

第八章 配電站總論.....61

8.1 配電站之功用 8.2 配電站之種類 8.3 高壓匯流排之佈置
8.4 機器之組數和容量 8.5 油浸開關 8.6 電動機策動之發電
機

第九章 配電站之變壓器.....67

9.1 變壓器之數目，聯接及容量 9.2 油冷式變壓器 (1) 油浸自
冷式 (2) 油浸水冷式 (2) 油浸，自冷水冷混合式 (4) 油浸
風冷式 9.3 各種油浸變壓器之比較 9.4 風冷式變壓器 9.5

風冷式變壓器之空氣供給 9.6 三相制變壓器之選擇

第十章 直流配電站概論.....74

- 10.1 直流配電站之種類 10.2 一般佈置 10.3 直流開路機
10.4 直流機之分繞場連接 10.5 同步換流機與電動機發電機
組之比較 10.6 電動機之選擇 10.7 汞弧整流器

第十一章 電動機發電機組直流配電站.....79

- 11.1 用感應電動機之直流配電站 11.2 開動感應電動機之方法
(1)用變壓器分接頭 (2)開動補助器 11.3 儀器用變壓器
11.4 安培計, 瓦特計及過載替換器之接法 11.5 瓦時計連接
11.6 接線圖 11.7 用同步換流機之配電站設備 11.8 同步電
動機之場激方法 11.9 由直流方面開動同步電動機之方法

第十二章 電車鐵道制之換流機站.....91

- 12.1 複繞式與分繞式同步換流機之比較 12.2 換流機之組數及
大小 12.3 六相及三相同步換流機之連接 12.4 開動時減低
電壓之方法 12.5 他種開動方法(1)在直流方面開動 (2)用輔
助感應電動機開動 12.6 分繞場之連接 12.7 均衡聯接 12.8
輔助電動機之連接 12.9 儀器與替換器之連接 12.10 運用匯
流排電源 12.11 保護設置 (1)避雷器 (2)限速設置 (3)
對逆電流之保護 12.12 移動配電站

第十三章 電燈電力制之換流機站.....105

- 13.1 主要連接 13.2 保護設置 13.3 分繞場之連接 13.4 導

出中線之方法 13.5 一組變壓器供給兩只換流機 13.6 用交流
開動換流機 13.7 用直流開動換流機 13.8 同步換流機之整步
電路

第十四章 自控及遙控配電站..... 118

14.1 總論 14.2 控制之方式 14.3 機器之開動 14.4 停機

第十五章 交流變頻配電站..... 123

15.1 感應電動機策動之變頻機 15.2 同步電動機策動之變頻機
15.3 變頻組合之運用理論

第十六章 交流變壓配電站..... 127

16.1 電車鐵道制之變壓配電站 16.2 電燈電力制之變壓配電站
16.3 防範電抗器之應用 16.4 遙控式變壓配電站 16.5 戶外
配電站

問題與習題..... 134

發電廠與配電站

第一章

發電廠總論

1.1 地點之選擇——僅就配電之立場言，發電廠應居電力負載之重心。但其他條件，也有不能忽略的。如電廠基地在負載重心區附近是否易於覓購，地產之價格是否合算，廠址所在是否受環境之限制，以及將來有無擴充之餘地等。再如廠內所用燃料之供給，以及煤屑之清除，以及汽鍋用水及凝汽機用水之供給等，都需要廠址鄰近鐵道或公路或水道，以得運輸及取水之便利。所以發電廠地點之選擇，是各種條件協調的結果，不必一定在負載的重心。

1.2 廠區之設計——廠屋的設計，雖常是建築師的工作，然關於房屋之大小及其平面佈置，也有徵求電廠工程師意見的必要。因廠屋非堆棧可比，其各部份之佈置，務使機器作有秩序之排列，走廊必須寬大，俾機器之裝拆修理，可以周旋無礙，並須保留相當餘地，俾負載超過現有機器容量時，可以添裝機器，擴充容量。電廠房屋之通風問題，也是很重要的。若是將機器排列在

狹窄的處所，以致所發之熱不能儘量排除，一定比較裝在寬敞而清爽處所的機器，容易損壞。再者，廠屋之佈置，務使笨重機器和燃料如煤等易於起卸。

1.3 全廠發電機之座數——電廠內發電機的座數，要看該廠的總發電量而定。發電機之總容量必須能担任一日中之平均巔值負載(Peak load)，偶或有短時期之暫時過載，尚屬無礙。所以先要將現在及預期之負載狀況，及負載於廿四小時內的分配情形，加以詳細之研究，始能決定一廠之總電量。其次應準備裝置與發電機相稱之附屬設備，以資供應。至於第一批所設置之機量究否即以目前需要為限，抑或酌加若干，備數年後擴展業務之需，有關廠方經濟，涉及經理事務範圍，似非工務人員所能獨斷。可斟酌負載情形，擬具兩三個計劃，比較其用費之多寡及管理之利便，然後決定之。

總發電量既定，可進而選擇發電機之座數。全廠僅置一機，為工程慣例所不許，因機件略有損壞，全廠即為之停頓。然亦有情形特殊，間或採用單機制的，祇可視作例外，殊不足為訓。就服務之持續性而言，一廠似宜置備等量之發電機二座。假使有一機發生障礙，影響所及，不過全廠的一半容量。如果將另一機酌加負載，大概可應付全廠總負載的七成左右。全廠如置備三座發電機，在一機停頓時，其他二機可暫時過載，在短時期內，可勉維全局。有時設備容量不同之發電機數座，看負載情形酌開幾座，留有一座以備緊急時之服務。

就電工之原理而言，發電機在滿負載(Full-load)時之效率，高於在輕負載(Light load)時的。所以在選擇發電機的機量時，務使每機之滿載之工作時間愈久愈佳。換一句話說，機量不宜過大，過大就難盡其量。又發電機容量愈大，效率也愈高，所以選擇的機量也不宜過小，過小則效率低微。如果裝置容量相同或不同的發電機，輕載時開用一座，負載增加時再增開一座，殊為有利。

綜合以上論據，電廠內所應置備之發電機，至少應有三座。但是這是就一般情形而言的。如果環境優越，大量負載之增加，可計日而待，在開辦時不妨先裝大容量發電機一座，以担任全廠之負載。因為大型機的效率較高，而且不久即須擴充，開用一機之冒險，為時是很暫的。

1.4 發電機之相似性——電廠所置備的發電機，最好是容量相同，制式相同的，可以減少機器零件的備料(Spare parts)數量，因而減低電廠的成本。各部份的配件，能夠互相換用，差不多是設計一種機工設置的主要原則。

倘因種種關係，所選用的發電機，不是一個廠家所製造，設計不能全同。無論如何，他們應具有足夠相似之電的特性曲線(Electrical Characteristics)，以便得相同之電壓調整(Voltage regulation)。並且在需要並聯運用的時候，尤其要特性之儘量相似，以適合並聯運用的條件。凡是交流發電機之參預並聯運用的，彼此須有相同之頻率，他們的策動機器(Prime Mo-

ver) 須有相似之速率調整 (Speed-regulation) 特性。如果交流機是由皮帶拖動的，可以變更滑輪 (Pulley, 俗稱皮帶盤) 的大小，而求得適當的速率。如果交流發電機的策動機沒有相似的速率調整特性，將他們並聯運用，很難有圓滿之結果。雖然在轉移負載，彼此交替的短時間內，在很有利的情形之下，可以暫時並聯起來，不過決不能長期維持同步 (In synchronism) 而不失步 (Out of synchronism) 的。

1.5 導體之大小，材料，式樣與電流密度——發電廠所用的導體，應有充裕之載流量，以免過分發熱。在配電系統 (Distribution System) 中，電線的粗細，要看所允許之電壓降而定。不過在發電廠裏面距離很近，電壓降落問題居於次要。導體因載電流而發熱，實屬首要，不能不予以重視。因溫度過高，足以軟化開關上的彈簧，使失去彈性；使接合處的觸點過熱；並使接合堅牢之導體膨脹而產生不必要的機械應力 (Mechanical strength)。

因其電導係數之高，與銲接之便易，紫銅為電工建造中之主要導體。再者，銅的價格適中，延性佳，抗張強度也高，不易擦壞，不受空氣之腐蝕，這都是其他材料所不及的。鋁的電導係數是銅的百分之六十一，但是鋁較輕，以同樣長度和同樣重量來比較，鋁的電導是銅的兩倍。反過來說，就定值之電導而言，鋁導體的直徑比銅導體的為大。而且鋁的抗張強度太低，不易銲接，在受熱後的膨脹太多，以致很難獲得優良的接合。所以在電廠裏，鋁的用途沒有紫銅來得普遍。但有時也用鋁做大料的，如匯流排

(Bus bar), 及發電機引線(Leads)之類。

匯流排之笨重的,大都用扁條。載小量交流電的,用小扁條或實心圓條。若是載大量的交流電,因集膚效應(Skin effect)相當地大,以用空心管狀導體為較佳。用作發電機引線或類似任務的,以有適當的絕緣與保護設備的絞纜(Stranded cable)為宜。因為這種絞纜市上可有任何適用的長度,並且已經絕緣,敷設起來也不十分費事。可以裝在沿牆的架子上,也可埋置在地下的溝道裏。絞纜的價值雖比扁條為高,但是裝置費輕,關於低壓任務,例如 600 伏以下的電壓,兩者裝置的費用相等。然而電纜愈粗,絕緣的成本也愈大,所以晚近對於載巨量電流的導體,有採用裸銅條之趨勢。

在房屋高爽通風便利的電廠裏,紫銅導體可容許每方吋截面 1,000 安培(約合每平方厘米 155 安)的電流密度。如廠內環境,對於導體之散熱無大妨礙;導體又不裝置在發熱機件的附近,上開的電流密度,不致引起過份發熱情事。在特殊有利環境之下,可容許電流密度高至每方吋 1,250 至 1,400 安(約合每平方厘米 195 至 217 安),亦能安然無事。

第二章

電車鐵道制之直流發電廠

2.1 發電機之線路及屏幅——電車鐵道所用的發電機，普通為複繞式 (Compound wound)，其負端大都經鐵道的鋼軌面接於地。圖 2.1 顯示雙座發電機連同串繞場卷組 (Series-field winding) 以及接在負邊的均壓聯接 (Equalizer connection)

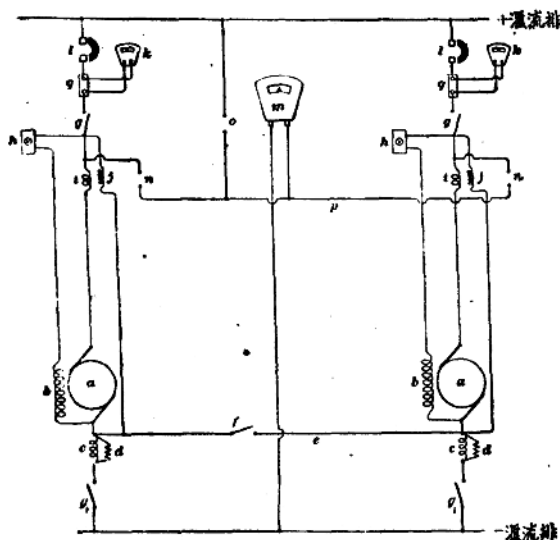


圖 2.1 電車鐵道用直流發電機之線路圖

的詳細情形。圖內 a 代表發電機樞； b 是分繞場卷組 (Shunt-field winding)， c 是串繞場卷組； d 是串繞卷組的分流器 (Diverter)； e 是均壓匯流排 (Equalizer bus)； f 是均壓開關 (Equalizer switch)； g 是發電機正端總開關； g_1 是負端總開關； h 是分繞場電路的變阻器； i 及 j 是瓦特計的串聯和分繞線卷； k 是安培計； l 是斷路器 (Circuit-breaker)， m 是廠內伏特計； n 及 o 是伏特計的插座 (Plug receptacle)， p 是電壓總線； q 是安培計的分流器。

從理論方面言，發電機的串繞場卷和均壓開關，裝在正的一邊或負的一邊，毫無出入，因為這種線卷和開關的運用與效果，正方和負方都是一樣的。不過若是均壓開關附裝於發電機基座或機旁台座 (Pedestal) 為減少電務人員觸及開關的危險起見，此項開關，似以接於負方為妥當。

圖 2.2 顯示電車鐵道用直流發電機屏幅 (Generator panel, 即配電板) 的正面。圖內各字母所指的機件和圖 2.1 相同。圖 2.2 裏的手搖輪 h_1 ，是用以轉動圖 2.1 裏變阻器 h 的接觸臂 (Contact arm) 的。圖 2.2 裏的單極雙投開關 s 是用以控制廠用電燈的，他的聯接沒有畫在的

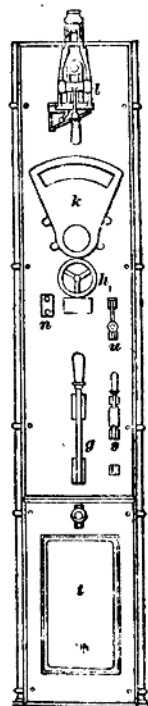


圖 2.2 電車鐵道用直流發電機之屏幅

圖 2.1 裏。 t 處是保護瓦時計的玻璃罩， u 是場路開關 (Field switch)。依照電車鐵道工程慣例，發電機的負端總開關大都附裝在該機的基座上，所以沒有在圖 2.2 裏顯示出來。

2.2 均壓裝置——均壓裝置包括均壓匯流排和均壓開關而言，其功用匯集各電機所發的電流，而分配於各機的串繞場卷，務使各機有同樣的複激效果。假使沒有均壓裝置，一機偶或多任負載時，該機的串繞場也連帶地被增強，於是提高該機的電壓，而所任負載更多。有了均壓裝置以後，各機的串繞場卷電流依照各該卷組的電阻而分配，總電流增多時，各串繞場電流均比例的增多，對於各機的複激影響是一樣的，無偏重之弊。均壓匯流排，應接在串繞場卷和匯流環，即刷握柄 (Brush-holder stud) 之間。這種匯流排應有很大的截面積，以愈短為愈佳，庶幾可將其電阻限制到極小。若是均壓匯流排的電阻過大，將使得各串繞場卷間不能獲得適當的電流分配，因而各機的複激程度不同，使各機對負載的分任也難得適當。所以均壓開關應該裝在極近發電機之處，或者裝在機旁一個小屏幅上，或者裝在機旁的臺座上。均壓匯流排，實際上大都為大地的電壓，然而也應該選擇最短之路徑而敷設。

2.3 關於各機分任負載之調整——要使得兩座複激發電機並聯運用時，負載之分任得以恰當，在各機串繞場電路內由均壓匯流排到總匯流排間的電壓降必須相等。如某一機的串繞場電阻太大，該機的串繞場將分配到比應得之量較小的電流，該機的