

新 中 學 文 庫  
電 機 工 程 概 論

陳 章 著

商 務 印 書 館 發 行

書叢小學工

論概程工機電

著章陳

行發館書印務商

中華民國二十三年一月初版  
中華民國三十六年一月十版

(91410)

工學小叢書  
電機工程概論一冊

定價國幣叁元

印刷地點外另加運費

\*\*\*\*\*  
\* 版 翻 \*  
\* 所 印 \*  
\* 有 必 \*  
\* 究 \*  
\*\*\*\*\*

著 者 陳 章

發 行 人 朱 經 農  
上海河南中路

印 刷 所 商 務 印 書 館  
印 刷 所 商 務 印 書 館

發 行 所 各 地 商 務 印 書 館

(本書校對者林懷民)

# 電機工程概論

## 目次

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

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

# 電機工程概論

## 第一章 緒言

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

(一) 對於算學及理化學有特具之興趣與天才

(二) 具有善於分析之腦力，對於事物能有細之觀察與判斷。

(三) 有好奇心，對於事物喜歡窮究其源由。

(四) 對於複雜而無生命之機械有愛好之癖。

(五) 富於想像力，能懸想不在目前，或尙未造成之機械之情況，及憶想磁電之各種關係。

(六) 富創造力，能有自出心裁之思想及動作。

(七) 身體康健，無廢疾。

(八) 有喜動之天性，但同時富有忍耐力。

(九) 有愛好整潔之習慣。

(十) 樂羣而有為領袖之才能。

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

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

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

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



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

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