

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

972.197

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，此則確爲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，不僅琥珀與羊毛爲然，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，卽定名曰電。西文電字“*electricity*”，在希臘語意爲琥珀，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，而代之矣。

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，亦使軟化，即最難鎔之鉑，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，則貿易遷有無，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；然自輓近工業革命以來，機械之製造日精，無處不思利用深邃之科學原理，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，振開汽門或閉電鎚，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，覩壯偉之電機，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。就良好工程師之希望，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，對於事物能有精細之觀察與判斷。

(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，或尚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)樂羣而有爲領袖之才能。

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

程師 (Administrating 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，即不難明其大旨也。

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，

與近代交流電之非常發展，實有莫大之關係，將於第四章內論其要義，第五章所論爲發電廠之設備大意，及其工作概況。第六章所述爲輸送電力之學理，及現代所廣用之電力輸送之方法及制度。第七章內歷述電力光照之方法，及近代各種電燈之原理與構造。第八章內述各種原電池及蓄電池之理論及應用。第九章內列舉現代電機鐵道之各種制度及其優劣之點，對於市街電動車亦將加以簡明之解釋。第十章及第十一章則爲現行之電報、電話、無線電報、無線電話之各種廣用之制度，作一簡明之敘述。凡過於繁瑣艱深之學理，及並不廣用之制度，則概行從略。電視爲最近發明之一種學術，尙未脫離試驗時期，而進於實用時期，但將來之希望，則甚爲偉大。本書第十一章內，將略述此種學術之大意。第十二章內對於電鍍、電鑄、電氣鍊銅、鍊鋁、漂白粉之製造，及電氣熔爐、電弧爍接術，各有簡要之敘述。本書所包括之範圍，既若是其廣，自不能臻於詳盡。但對於各門電機工程之大意，亦已各具眉目。讀者手此一卷，對於電機工程學，或能得一清晰之鳥瞰，則作者之願望也。