

百 科 小 叢 書

電 力 事 業 概 論

著 茲 麥 因 泰 斯
譯 章 陳

王 雲 五 主 編

商 務 印 書 館 發 行

書叢小科百

論概業事力電

著茲麥因泰斯
譯章陳

編主五雲王

行發館書印務商

目次

緒言

上篇

電力事業與人生

一 電力能力之特性

二 電力事業與文明生活

中篇

電力事業與實業

一 電力事業爲一獨立企業

二 自設電廠與購用電力之經濟比較

三 電力價格與負荷數量及性質之關係

一

三

三

九

一五

一五

一八

二〇

四	工廠購用電力之種種方法·····	二四
五	中央大電廠與自設電廠交換電力之方法·····	二八
六	交換電力種種方法之經濟比較·····	三〇
七	一般實業家與電工家合作之重要·····	三三
下篇	電力事業與市政·····	三五

電力事業概論

緒言

本書各篇，爲近代電學大家德人美籍斯泰因麥茲 (Dr. C. P. Steinmetz) 遺著斯氏於數學電學，無所不窺。其於學理及實驗上，俱有莫大之貢獻。所著斯氏電學叢書，尤爲不可磨滅之巨著，世界學者奉爲圭臬。本文所述係泛論電力事業，及其與他項事業之關係。說理淺顯，深中要竅，殊可爲一般人士研究本問題之資料。我國近年來國事紛亂，社會凋零，而市政之重要，漸爲有識者所瞭解，起而研究籌劃者，不乏其人。夫電力事業，市政之一端也。欲求市政修明，必先將整理電力事業入手無疑。因遂譯本文，備我國各界人士之熱心於城市建設，謀民衆福利者之參考焉。

譯者識

上篇 電力事業與人生

一 電力能力之特性

處近代文明生活之中，電力之應用，方日進而無已。諸如家庭，工廠，道路之燈光，實業製造之動力，家庭自門鈴風扇，以至於烹飪灑掃，何莫非電力之用。電話電報，不論無線有線，已成爲傳遞消息之至寶。運輸方面，長距離鐵道之電化，雖方在肇始，而重要城市，已無不應用電力爲局部之交通。其他如鋁之化煉，純銅之提取，以及他種實業，莫不應用巨量之電力。凡此種種，又何莫非以電力代替燃料之化學能，或蒸汽機與煤油機之機械能之明證。而欲明電力之所以能將他種能力起而代之之故，則電力本身特性之研究尙矣。

電能力之最大特長，在能運輸至任何距離。機械能力，吾人可以皮帶繩索，或高壓空氣而輸送

之，然其距離則有限。熱能藉蒸氣之介，可以輸運數百呎，而效率已大損。自然界惟有二種能力，經遠距離之運輸以後，而經濟不受損者，蓋即電力與燃料之化學能力是也。故凡研究一電力運輸問題，實即研究在煤礦或水力所在地發電，傳送至應用地方，或將煤斤運送到需要電力之處，就地發電，二者孰為經濟之問題。易言之，蓋即研究以電線運送電力，或以舟車運輸煤斤，而後藉汽機或汽輪以發電之孰為經濟耳。

電力與化學能力，俱有運輸簡捷經濟之利益，而前者之超勝於後者遠甚。電力傳送效率之高，迥異尋常。且由之改變他種能力，簡易特甚。而化學能力所需之燃料，運送遲滯。若欲由之變作他種能力，尤需複雜之機械，靈巧之人工。是以化學能力，除供取熱及蒸汽之外，直接為人類服務者，殊不多觀。譬如將電門一按，電燈發光，電能變為光能矣。如取給於化學能力，則需一至大且巨之煤氣廠。或用燭油，然暗淡無色矣。又如電門再啓，電動機不論小者用於電扇，大者千餘匹馬力，供給全城飲料或曳動列車，即能起始運轉。若用燃料，則汽鍋也，蒸汽機或蒸汽輪也，各種附件也，以及人工房屋也，其繁重可見，而其效率仍極低下。假若竟以燃煤為鼓動風扇之能源，上述種種，無一可免。是可見

化學能力之不適用於普遍之使用，而能力之可以運輸與分配，實肇始於電力之應用，彰彰明甚。反言之，若以機械能力或他種能力，變爲電力，極爲簡易而經濟，若以之變爲化學能力則反是。是以天然之水力，在電機工程未臻發達之日，類皆廢置。蓋水力之所在，常處深山窮谷之中，而非人羣聚居之地，天然工力，無所應用。故水力之能爲人類服務，實電力運送法有以促成之。

電能力有一特性，蓋其能力能積集至極高之壓力是也。此種高壓力，非他種能力所能達。例如生鐵能提煉於化鐵爐中，而鋁、鈣二種原質，以其與他種原質，在鑛苗中結合甚堅，非用壓力極高之電力，不能使其離異。鐵與炭合於化鐵爐而成生鐵。鈣與炭在電爐中合而成鈣化炭。轉而成電石氣及製造農田肥料。在最熱之養電石氣及養輕氣火焰中，始能使白金鎔化，使晶炭發軟。而在電爐中，不論白金、晶炭以及一切生存物質，不特鎔解，且可蒸溜之，或氯化之。其餘如鋁、矽、鈣、鎘、磷、鉀、鎂、電石氣、種種鹽基等製鍊工業，均非有極高壓力如電力者，不能成也。

電能力非天然能力，而其本身，實屬無用。其來也，自他種能力變化而得，其應用也，復變爲他種能力以去。他種能力，乃指化學及機械能力，以及熱力與光力。換言之，電能力乃爲一種媒介物，或樞

紐，藉此將能力之天然方式，變爲應用方式，或將能力自出產之地，遷之於應用之地也。驟觀之，似爲迂道。例如在電動船舶，能力由蒸汽機或輪，驅發電機爲電力，復由電動機變爲機械能力，驅使船舶，相去數十呎之間，轉輾變化，迂緩曲折。而不知電力之變化他種能力，或自他種能力變化電力，均極經濟簡易，益覺此傳送樞紐爲不可缺也。

電能力最嚴重之弱點，爲其不能儲蓄之性質。吾人皆知有所謂蓄電池者。電廠用以防電力之中斷，而應不時之需，以及其他種種應用。而不知此種蓄電池，以嚴格言之，實非儲蓄電能力。不過於輸進電力時，變爲化學能力，輸出時，復由化學能力變爲電力，故所儲蓄者，實爲化學能力，而非電力也。

蓄電池經濟效率之低，爲其不能作爲工業界儲蓄能力方法之主要原因。此可與貯藏燃料之化學能力作比較。例如一電廠，需用巨量煤斤，因冬日冰凍運輸阻斷，則可預先備足煤斤，以爲冬日之用，經濟上損失殊少。但若因冬日冰凍，水力不能發電，蓄電池雖能爲頃刻繼電之助，未嘗能使之延久至數月者。是以蓄電池之不能恃之爲儲蓄能力之法，彰彰明甚。

由上文觀之，可知電能之消耗速率，必須與其發生速率，適為相等。而電力之價格，遂與其應用之速率，發生關係也。此種情形，顯然不適用於貯藏化學能力之燃料。譬如一噸之煤，不論用之於頃刻咄嗟之間，或延長應用至歲月之久，其出資相同。又如燃用煤氣每日二千四百立方呎，不論燃燒速度為平均，即每小時百立方呎，或盡燃之於任何一小時，而絲毫不用於其餘之二十三小時，其出資又復相同。因煤氣製成之後，貯於大鋼池，以備顧客隨時應用，其價格視製造成本而上下，與顧客應用之速率無關。至於電能則不然。設使每日應用電能二百四十基羅華脫，其速率設為每小時十基羅華脫，或為任何一小時用二百四十基羅華脫，而於其餘二十三小時，則絲毫不用，其出資將大相懸殊。其故因前者電廠於發電機、變壓器、傳電制，以及種種附件，祇須十基羅華脫之廠量，以供給此需要。而後者則各件須二百四十基羅華脫以供給之。如此後者固定資本、利息及耗蝕，均二十四倍於前者。在蒸汽電廠中固定資本，常為總資本之半，在水力電廠中固定資本，又且過半。是以如電能應用，集於一時，則其價格必較全日平均為昂貴，此乃一定不易之理。故電能力因其無儲蓄之可能，於是其價格大部，全視其應用時間分量之平均程度而異。換言之，即負荷因數之大小。負荷因數

者，乃最大消費量與平均消費量之比例也。

吾人自上文已見及若應用電能力集注在一小時以內，則電廠之固定資本、利息及消蝕，比平均應用同量電能力於一日內，將增加二十四倍。但若另有一顧客，應用同量電能力，集注於另一小時，於是固定資本可減少一倍，而電能力價格之低廉，前後兩顧客將共享之。可見電能力之價格，又須視各顧客應用時間之相遇情形。易言之，即所謂離散因數 (diversity factor) 是，該因數愈大，即各顧客應用時間，愈不相遇，電能力價格愈低。例如電燈所用能力之價格，自較化學或其他工廠所用能力為貴。電廠所得顧客，性質愈不同，其用電時局愈離散，則電力價格銳減，全體顧客俱受其益，亦因此故。總言之，電能力因其不能儲蓄，是以其發生代價，因情而異。雖因同一電廠，而其售價，往往大相懸殊。此種用電能力特殊情形，實為家庭工業運輸各界，應用電力前應注意之問題也。

二 電力事業與文明生活

文明愈進化，社會上各分子，相依益切。上古野蠻時代，部落、家庭、個人間，需要簡單。自力自食，不生關係。漸次開化，始有以貨物交易者。後此遂有營商爲人民調劑需要與供給。但直至近百年前，品物消費之處，與生產之地，相去甚近。商賈遠地販賣之品類，多非生存必需之物。至今日則事勢已大易，吾人所食用品物，不論其爲必需爲奢華，類皆來自千百里之外。所用之食品、衣料、建築材料等等，往往令世界無不有其分也。是則吾人之生存，固全恃一極靈便普遍之運輸與分散之機關，如最近一世紀所經營之鐵路與航線，實爲近代文明之關鍵。蓋文明之意義，乃於時間及空間上，生產與消費之分離，以達最經濟之程度也。

文明生活之需要，約分二種，材料與能力是也。現有之運輸機關，專營材料而已，非所語於能力之供給也。而能力供給之不便捷，常爲阻遏文明進化之障礙物。運輸機關有時於遷運材料時，間接

供給能力。例如鐵路運煤，吾人所欲者，非煤之本身，乃煤所藏之能力也。但煤藏之能力，固大部用之於工廠，以發蒸汽，轉動機器，而能直接爲人羣服務之例甚鮮。故材料易求，而能力難得。試於窮鄉僻壤，欲得任何地出產之任何材料，舉辦尙易。而於通都大邑，欲得電能力以驅使一縫紉機或電扇，未必便有，則文明尙復偏畸。故眞文明生活，不獨須有健全之運輸制度，以運送材料，且需有可恃之電力傳導制度，以爲人類之用。此種能力傳導制度，蓋卽今日觸目皆是之電路。此種傳導能力之電路，在今日正如半世紀前，運輸事業之飛黃騰達，日新月異時也。吾人今日見各地小電廠之合併擴充，電路向四鄉散射，各大廠高壓傳電制之聯接，包羅境地，至數千百方里。當知此乃不獨大規模經營合於經濟原理之結果，亦效法於過去時代之鐵路界，合併爲強有力之運輸機關，以便於合作。所不同者，前者爲運輸材料，今者爲能力耳。

吾人至此，當已瞭解電力已起而爲文明生活供給能力之惟一方式。因其變化他種能力之經濟與簡捷，傳送之便宜。電力應用之普遍，小至家庭之用具，以至工廠之巨機。且蒸汽機自取出煤藏能力以後，尙不便於消費，必重變爲電力，然後藉以傳送，於是靡遠不屆矣。

電力既在工業界戰勝蒸汽能力而代之，但決非純爲電動機代蒸汽機或蒸汽輪之簡單問題。

蓋若是則未必能合乎經濟也。工業界所有機器之使用方法，大半視能力供給情形而定，合於用電力者，未必合於蒸汽力。反之亦然。故電力之入主於能力界，必須同時輔以工業方法及組織之革新。否則形格勢禁，不易見效。例如蒸汽機本身，及鍋爐等無數附件，欲其使用之安全與經濟，必用優級之工人，且效率較高者，惟巨量之蒸汽機耳。所以凡一工廠，若應用蒸汽機爲動力，必備一巨量機器，由總軸而至一羣滑車，復由滑車而皮帶，然後帶動工作之百什件機器。所由蒸汽機發出之能力，於此轉輾傳達之際，損失已逾其半。若將百十小件，各以小蒸汽機帶動之，太不值得。反之，若以一巨大電動機代之，又將不合經濟。吾人可以百十電動機帶動此百什之工作機器。因小量之電動機，其效率較巨量者相差幾微。而同時因轉輾傳送能力，如總軸皮帶之損失，亦即消滅。不特此也，若用蒸汽能力，則凡需用一二件工作機器時，勢必將供給全廠能力之唯一巨機開駛，損失不貲。用電力則不然。經濟上不以一二件或全廠電動機開駛而有所損益。對於應用之時間，電力與蒸汽力亦有不同之點。假使廠中開駛機器，自早八時至晚六時，或自晚六時至次晨四時，同爲十小時。若用蒸汽能力，

固無絲毫差異。但若用電力，則後者將與燃燈需要相遇，減低全電廠負荷因數，以是出資較多；前者適相反。此種情形，非用蒸汽力者所有，故自電能應用漸行廣遍以來，凡用能力之顧客，相依益為密切，而互助合作之重要，更為彰明矣。

利用電力，須使工業組織加以革新，此事可以鐵路問題為例。即以車客而論，往往以電機車代蒸汽機車，未見經濟上有何利益。但至實施以後，該電機鐵路雖與蒸汽機鐵路，在並行路線上，而前者路政較佳，取價較廉，盈餘亦較多。其情形適與前世紀蒸汽機車與馬車，競爭相同。蒸汽機車初創之時，草率簡陋，未見即時爭勝，但馬車卒歸淘汰，蒸汽機車終能得勝。此無他，學者能將蒸汽機精益求精，遂能操最後之勝利，若以蒸汽機與電動機，在鐵路應用上比較，則蒸汽機如機身愈巨，則效率愈高。且蒸汽機鐵路之使用，務使車務集注於大而少之單位上為佳。是以蒸汽機車車身之巨，力量之大，已增進，至於止境。過此則過橋樑及曲線時，均有阻礙。電機鐵路之情形，則與此又背道而馳。電力之負荷，於空間及時間，能愈平均，則愈經濟。易言之，宜於小而多之單位，分佈於全路上，方為經濟。故就鐵路言之，由蒸汽力而改為電力，其設施上之變化，亦不容緩也。

從上述種種，吾人可得下列之結論。欲傳送及散佈能力，以供民衆及工廠之需，電能力實爲合於經濟之唯一方式。文明生活之需要，共分二種，一爲材料，一爲能力。運輸事業，所以經營材料。傳導電路，所以供給能力。電能而欲代他種能力，必須革新工業界之組織以副之，始克有濟也。

中篇 電力事業與實業

一 電力事業爲一獨立企業

能力猶原料，乃實業之要品，而工廠之不可缺者也。是以凡屬工廠，必備有發生能力之源，如蒸汽機等。能力之製造有如鋼鐵傢具之製作，鐵路旅館之處理，爲一獨立企業。近代實業效率之高超於昔日者，其要點徒以各種工業舉措，分工精細。每一項工作，俱分門獨立。如是人能專注精力於一事一物，藉是以得最高之效率。設有一實業公司，專經營製造建築鋼鐵，或辦理鐵路，其組織、其人材、自極合於鋼鐵或鐵路事業，因得甚高之效率。但該公司或同時須用巨量工率，（譯者按工率即應用能力之速率。例如在英美能力之單位，爲呎磅。若有一機器，每秒鐘可工作五五〇呎磅者，稱爲一馬力。此馬力即爲工率之單位。在克裡秒單位中，工率單位爲基羅華脫，等於一·三四馬力。電力當

作電工率之解。則此種組織與人才，未必克合於發出工率之用。故爲得最高效率起見，產生工率，必須與其在應用之工業分立。但若無相當傳送及分佈能力或工率之設備，此種分工，不能成立。自電機工程發達以來，各地專門發電之工廠林立，於是製造電能力之事業，遂成一獨立實業，與製造鋼鐵行駛鐵路，傳導電力之路線，四通八達，無遠不屆。於是各種實業須用能力工作者，得隨時隨地，購取能力，與製造電力事業，劃然爲二。所謂分工者，各盡其職，因以各得良美成績，高大效率之謂也。最近工業界之趨勢，電力之供給，已由各工廠自備電廠，進而爲購買電力於中央大電廠。此種設施之改革，不特通行於小實業，且已漸普及於需用巨量電力，如開駛幹線之電機鐵路，或全市街車公司。故電力事業效率之高下，已非本事業之單獨問題，且已影響及於全體實業界及民衆福利也。夫實業經濟之一重要原素，乃在原料價格之低廉。能力之源，如水力、煤油、汽油等等，乃電力事業之原料。煤及煤油之應用，已極普及。惟水力之開闢，方在肇始，其遲速問題，誠與全實業界及民衆有深切之關係也。工業家欲得廉價材料，尙有利用他工業界副產品一法，此法雖不盡可恃，要亦爲調劑原料來路之要道。能力爲製造電力之材料，但往往爲他種工業之副產。如鋼鐵廠化鐵爐煤汽，理宜

盡量利用，以增效率。從此可見電力事業已成一獨立工業。凡實業之需用電力者，購買電力較自行發電為經濟，副產之能力，須盡量利用，此犖犖大端也。

二 自設電廠與購用電力之經濟比較

今試進而詳論中央大電廠與局部小電廠之經濟比較。大電廠供應顧客之種類，約分下列各種。家用電燈及電力、路燈、工廠電力、鐵路電力、及特種應用，如電竈、及化學電解等是。各顧客所需最高負荷，不致相遇於同一時間，故中央電廠之最高負荷，小於各個最高負荷之和。電廠之負荷因數甚高，極合經濟。負荷因數者，乃平均負荷，與全廠發電量（視最高負荷而定）之比值也。

發電至數十萬基羅華脫以上之電廠，須用較大而經濟之發電傳電變電之機件。例如巨量蒸汽臥輪，以每基羅華脫計算，比小量者取價較廉，使用較經濟。傳達及分佈制，在同距離間，大量亦較價廉。其餘如變壓器，變流機，單位力量愈巨，效率愈高，取值愈廉。此外如收集能力之源，如煤及油之類，凝結水，掃除灰燼，以及一切廠中舉措大，廠所得經濟程度，皆非小廠所能望其項背。又如人工技術，小廠又萬無大廠之魄力可以網羅人才。因小廠為附屬實業，當局者注重於主體工業，不暇及此。

借貸利率，小廠常較大廠爲高。但若小廠所服務之主體，規模甚大，自爲例外。

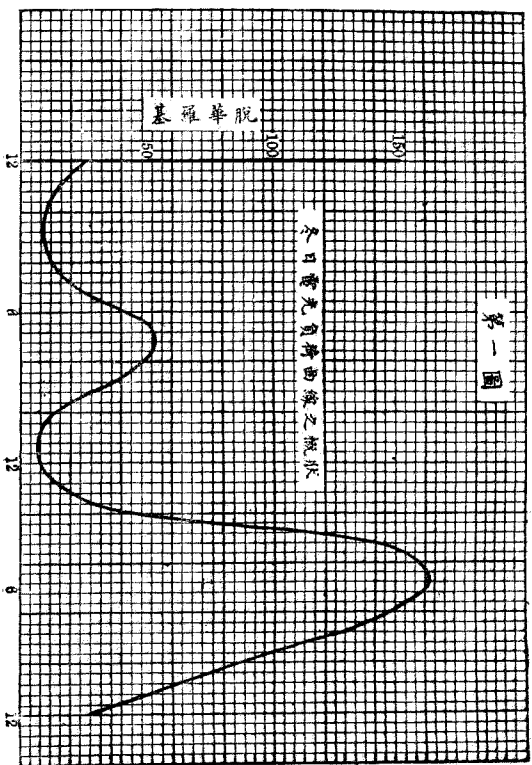
附屬於他種工業之小電廠，所供給電力，有時亦不止一種。如電燈及電力。其負荷因數，當然較獨供一種者爲高。顧各種供給之需要及時間分配，均限於主體工業之情狀，不能措置如意。而在中央大電廠，則主事者可特別擴大任何一種顧客之用电量，以增進其負荷因數。此種實例，不一而足。且此等小電廠，既附屬於一種主體工業，必不爲當局者所重視。廠中工人技師，必注全力於如何應用電力於此特種工業，非如中央大電廠之工程師，以如何產生電力爲其唯一之職務。二者孰優，不言自喻矣。

從另一方面論之，工業之富有副產能力，如鋼鐵廠之化鐵爐煤氣，自以先用本廠副產爲宜。即使大電廠價格似覺低廉，亦不以購買爲得。除非此種副產能力，自有其重大之用途，然已不成其爲副產品矣。

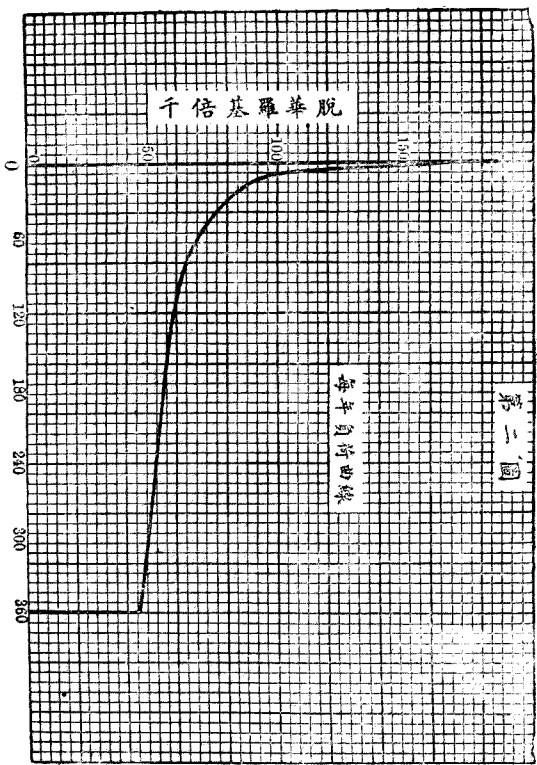
此種小電廠，然則竟無一利足述乎？有之，其惟吸收大電廠之餘電乎。然以小電廠工程管理上之簡陋，較之大廠相去遙遠，果有所得，亦未必能償其所失耳。

三 電力價格與負荷數量及性質之關係

電力之特性爲不能儲蓄，故其生產與消費速率，適爲相等。設一電廠所有負荷，各時不相平均，於是其廠不能常時得足量負荷。全廠負荷高低之差愈大，則全廠所發出之電力，較其力所能出之量，愈見微小，電力之價格，乃愈增高，此爲不能免之事實。是以電力之價值，視負荷曲線（即表示每日或每年負荷按時變值之曲線），及負荷因數而異。例如第一圖爲冬季每日之負荷曲線。其負荷純爲電燈。負荷因數爲百分之三十三。易言之，蓋即該廠每日所發電力，止合該廠力所能發之百分之三十三。第二圖表示一每年負荷曲線。其最高負荷逾一五〇、〇〇〇基羅華脫之巨。然爲時祇全年中某日之八小時。專爲此短時間，而最高負荷遽增加三〇、〇〇〇基羅華脫，將使該時間發出之電力，每基羅華脫小時（譯者按即國人俗稱一度或一字），價值高至一元以上，而其餘全年平均價值，或祇數分。吾人可見照此廠情形，苟能在最高負荷以外之時間，加增此廠之產量，則其電



第一圖



力價格，可以非常低下。因投資總額無須增加。所需加者，僅燃料及人工耳。而在蒸汽機廠，二者佔極小部分。在水力電廠，幾等於零也。在最高負荷以外時之電力，極似副產品。若發展過多，與最高負荷相埒，固為電廠所喜有，然此時已失其類似副產品之故矣。

電廠之發生、傳導、變換，以及分佈電力之設備之大小，除燃料及原動機力量以外，（譯者按原動機，指驅使發電機之蒸汽機、蒸汽輪、煤油機、及水輪等，電動機須先得電力而轉動，不得謂之原動機。）決之於全廠發出之基羅伏脫安培（kilo-volt ampere 簡書為 Kva）。而電力之實力乃為基羅華脫，是以電力價值，又將視工率因數而異。工率因數者，乃基羅華脫與基羅伏脫安培之比值也。（譯者按交流電因電壓電流相位之差（phase difference），乃使基羅華脫與基羅伏脫安培二數有差。後數永為大於或相等於前數。工率因數永小於一或等於一。讀者可參閱基本電學各書之交流電工率等段。）是故凡一電廠工率因數愈小，電力成本愈高，價格自亦愈昂，為不易之定例也。

四 工廠購用電力之種種方法

凡一實業欲應用電力，其取給之方法，大要可得三類如下：

一則自行設廠發電，與外來中央電廠電力無所聯接。其利害各點，已詳論於前述各節。如本實業富有副產能力，用以變成電力，則此電力有時較向外購買為廉。但此殊無準繩，因副產電力之價格，固可以自由假定。且如副產能力，尚嫌不足，將額外多費燃料以得之。如副產能力，多於需要，易致廢棄；否則惟有設法出售，或另覓應用。是在主其事者善為處理，方不背經濟原則也。

二則將所用電力，盡向中央電廠購取，而不自設廠發電。此法於設備上，自最簡捷。至於是否經濟，全視所訂價格而定。其訂定價格之多寡，以最高需要及工率因數為基本。欲得低廉價格，自以使是項工業用電在時間上愈平均愈妙，以避免巨量之最高負荷。但此為所營工業性質所限定，非可任意排佈者。如所用俱為電力，而非電燈，宜設法多用同期電動機 (synchronous motors)，藉以

改正感應電動機 (induction motors) 之落後電流 (lagging currents) 而提高工率因數。(譯者按此法原理至複，閱者可參閱交流電學書)。至於傳電制支廠 (substations) 中之變壓控制，以及改正工率因數之種種設備，有爲中央電廠裝置而使用者，有爲購電工廠裝置而使用者，有爲此廠裝置而彼廠使用者。量電力之表計，有裝於電路進支廠之前，或支廠之後者。(譯者按前法則支廠之電力損失將由工廠負之，後法則電廠負之。) 殊不一律。惟最通行合理之原則，當爲凡屬電力之生發、輸送、變換、種種機件及設備，由電廠負裝置使用之責。如此方切近經營電力事業之責任。凡屬電力應用於某種工業之機件及設備，統由某種工廠負裝置使用之責。此固不能視爲不易之定例，全視兩方經濟能力與當事者合作之程度，而爲變通之辦法也。假如本實業富有副產能力，當設法以利用之。如不能利用，盡行廢棄，或利用之而不合經濟，則所購電廠電力，雖甚低廉，亦將有損失之慮。是在主其事者，善爲規劃也。

三則向電廠購電應用，而同時復自建電廠發電，以爲需要與供給之調劑也。以此辦理，復分數法；二路電源各不相聯，需要時，可應用任何一路，此其一；平日專應用自發電力，至需要逾過廠量後，

然後向大電廠取電，此其二；大電廠平日永不使用，除非本廠電源斷絕，爲意外防備之用，此其三；自廠與大電廠，聯接一起，同時應用，彼此比例如何，可以任意配置，此其四。

上述第四方法中，其自電與購電，如何配置方法，又可析爲多種。首爲向電廠所購電力，爲定量負荷，而爲等於百分之一百之工率因數。如有增進負荷及『無華脫』(wattless) 電流，由自設電廠供給。如此乃可得購價低廉之利益，因負荷定量，與工率因數增高，皆爲電價減低之主因，其故已如前述。但自設電廠，其負荷既常在遊移變量，必不能如何經濟。如自廠能力之源，爲工業副產，則此種副產，須有儲蓄，足以應此變量之需要；且自廠發電機之磁場 (field) 及發電子 (armature) 之導體，是否可以補充此額外之落後電流，當注意及之。次爲自廠擔任定量負荷，而將變量之負荷及『無華脫』電流，加之大電廠；因有時由自廠定量負荷所得之利益，勝於大電廠之定價，例如大電廠之價格，若在工率因數自百分之一百至百分之九十以內，價格一律，則令自廠擔任此變量負荷及『無華脫』電流，殊可不必。假如大電廠之變化價格標準，與該廠所受最高負荷時間發生關係，則應用電力者，可於大電廠擔任最高負荷數日或數小時之外，其餘時間一概與之斷絕，若是必

可取得較廉之價格。或則用兩種表計，與電廠最高負荷時間相衝突時，用一種表計，其價格較高；不相衝突時，用又一表計，其價格較低。如此則必要時，於最高負荷衝突時，亦可得電。惟以取價特高，能避免之最佳。次則自廠擔任定量負荷，而將變增負荷及「無華脫」電流全行加大電廠之責；如此則買來電力，固不能得滿意之價格，然自廠之使用，可得最高之經濟程度。若用副產能力，則自廠負荷，可以配置，使將副產全量，隨時利用，免除儲蓄之設備。總言之，大電廠與工業自設電廠間相互之最經濟辦法，全視局部地方電力之需要與供給情形，及本工業之是否能將需要配置，而得低廉之價格。至於負荷因數，工率因數，時間問題，皆爲其主因，所以決定最後之辦法者也。

五 中央大電廠與自設電廠交換電力之方法

工廠中自設電廠，除得盡量利用副產能力外，所發電力，有時超越本廠之需要。此額外之電力，可以還給大電廠。換言之，在一時大電廠供給某工廠電力，又一時則大電廠收買某工廠之電力。如此大電廠既供給其缺乏，而又收納其餘力。兩方電力之交易，宜有記錄，而隨時計算其出入焉。

今先試述繼續不斷之負荷，而為百分之百之工率因數。此時大電廠所發之電力，在自設電廠方面言，其價值較在大電廠方面言為昂貴。其差為購置傳導、變壓、控制、機件設備之資本利息，及其維持、耗蝕與電力損失。反言之，自設電廠所發之電力，在自設電廠方面言，其價值較在大電廠方面言為昂貴。其差同為上述種種費用。故在自設電廠言，向大電廠取給及還給電力兩種價格之差，適等於上述種種費用之二倍。若向大電廠取給之電力變量游移，則價格愈巨；因機械傳導之設備，視最高負荷之大小，而不關平均負荷也。反言之，若還給大電廠之電力變量游移，對於大電廠，其價值

愈落。故兩種電力價值之差，視其變量程度而不同。變量愈大，則其差益大也。此乃指變量電力聽自設電廠之便而言。因自設電廠或取給巨量電力於大電廠，正值該廠最高負荷之時，而還給巨量電力，又值大電廠不需電力之非最高負荷之時。若變量電力聽大電廠之便，取給電力非最高負荷時，而還給電力於最高負荷時，則自設電廠，損失可減；然此若非兩電廠處同一管理權之下，不易成議也。

電力之工率因數，小於百分之一百者，其在大電廠之成本較巨，因大電廠不特須供給真正電力，又須供給反應電力 (reactive power)。此種反應電力，雖屬無用，而成本所在，與真電力所差，止在燃料及發電機械方面耳。電力之還給至大電廠者，若工率因數小於百分之一百，情形正同。但此乃指反應電力來自落後電流，若以進前電流 (leading currents) 而言，則反應電力，反較尋常真正電力，為有價值；因進前電流，可以矯正落後電流。是以往往以反應電力之是否由於進前抑落後電流，為自備電廠計算損益出入之根據。然此法不無缺點；最佳之法為設二價，真正電力為一，反應電力為一，前者視最高需要程度，後者視電流之為進前抑落後以為判，辦法最為公允。

六 交換電力種種方法之經濟比較

按理論上，大電廠與某種工廠應用副產能力所設之電廠，二者能互換電力，最爲經濟。凡自設電廠需要電力，由大電廠供給，有餘電力，由大電廠購買。若兩廠所有權與管理權各異，交換電力數量之變易，自不以大電廠使用之經濟爲標準，而視本工業需要電力情形而定。是以還給電力，對於大電廠，價值甚微；因之自設電廠，出售此還給電力價格，比購買電力爲小。更經濟之辦法，當爲自設電廠，還給電力於大電廠最急需之時，而取給電力於大電廠有餘裕之際。但此種合作，若非自設電廠受大電廠之管轄，及經濟與管理上之統一，難以實現。今假定竟實現矣，於是此自備電廠，將爲大電廠全電力系中之位於需要中心，而應用副產能力之一廠。本工廠對於自設電廠之使用，不負責任。大電廠向之購買副產能力，而出售電力；即使副產能力有儲蓄性質，足以應付額外需要，所有相互關係，不過如是而已。對於電力之應用於某種工業之問題，是則本工廠主事者之職責，以期盡善。

其對於電力之生發、控制與傳導，全由大電廠當局負責解決。則各事得專家主之，其勝任愉快，必有逾常者矣。

大電廠全電力系之使用基本原則，乃使最經濟之電廠，先使其擔任滿負荷 (Full Load)；若負荷再增，然後命次經濟電廠，起任負荷；依此類推。易言之，輕負荷時，最經濟電廠任之；負荷更增，次經濟電廠始行加入；其最不經濟之電廠，除非於負荷特高，或他廠停給意外之時，然後使用，一年中或不及數次。(按此指電力系之各個電廠而言；同廠內之各個發電機，情形正同。)

如全電力系有水力及蒸氣力電廠，同時使用，當使水力電廠，擔任繼續不斷之滿負荷，而令蒸氣力廠隨時擔負其負荷之變量。蓋因水力廠之效率，因負荷減少，損失愈速。在水力電廠總費用幾全為固定資本，而蒸氣力電廠，維持費如煤斤等類，佔一部分也。若水流乾涸，水力不足以應付滿負荷之使用，最好以水量儲蓄，將廠全停，而俟水流復原時，然後開行，使擔滿負荷，而得最高經濟。工廠自設電廠，應用副產能力，與水力電廠，處相似之地位，而與大電廠比較，自不及其經濟。依第一原因，當擔負不斷之滿負荷，依第二原因，當令於輕負荷時停給。至於究宜如何配置其停給與否之時間，

須視臨時變化情形而妥爲措置焉。

雖然，以上種種關於經濟之論述，固指一概而言，至於因局部情形之不同，自當隨機應變，以適合此環境。例有一支廠，在全電系中爲次級經濟，徒因其處於負荷之中心或附近，使用此廠，可以減少遠距離傳導電力之損失；又如爲維持全電力系盡頭處之電壓定量計，遠處支廠，須與總廠同時使用；殊未可一概而論也。

七 一般實業家與電工家合作之重要

大電力廠與用電工廠間之相互關係，實一能力或電力價格之問題。若欲詳論其因果利益，殊出本文範圍以外，簡言之，物品價格，當爲成本以外，加以公允盈餘，方爲合理，按此殊覺簡易，而不知在計算之時，困難叢生。譬如最高負荷以外時間之負荷，固定資本之是否宜作價在內如宜則作若干？又如副產能力，究宜作價若干？皆爲極難解決，易惹爭論之疑點。全恃兩方當局者之遠大目光，和衷協濟，定一公允合理，不偏不畸之辦法。不特電工界之利益，抑亦全體實業界與民衆之福利也。

下篇 電力事業與市政

自電燈電車電力事業發展以來，城市中電機工程師之職責，日益擴大而嚴重。其範圍自管理與使用城市電廠，以及顧問與建議於立法者，皆視市內監察電力事業之約章而異。在未詳論電力事業在市政上之地位以前，請先述本事業發軔以及盛衰之歷史爲之引。電力事業，肇始於供給家庭及街路電燈之小廠，及後稍稍供給電力，又後則始有烹飪取熱洗滌塵帚等等之用電。但此種應用，尚非遍地皆有。次爲電力鐵路之通行，最先專有電廠經營街車，大城始有電力列車，爲城廂內外局部交通之要道。同時各種工業之電化，漸次實現。工廠中製造工作之機器，電動機起以轉動。此種電力，來自水力或蒸汽力，長途傳導而至，或本工廠自設電廠供給之。

是故在同一區域以內，有三種獨立電廠，供給電燈電車及實業電力三種應用，如此設施，極不經濟，而效率又低。三種應用時間，雖似相遇，實並不適相符合。設將三廠合而爲一，於是各機負荷較爲平均，效率高，需機少，全廠負荷因數於以提高，機件單位力量可以擴大，後備機數可以大減，舉凡

技師工人之職員，可以免去重複。大規模工業之利於電力事業乃益顯。

電廠之由小併大，化零爲整，乃水力發電長距離傳導，及廢止小電廠代以附於電力系之支廠之當然結果。此種經濟所得，即在蒸汽力廠，其情形亦同。原因有二：一則蒸汽輪之製造精進，所得效率，迥非昔日用蒸汽機時所能夢想。但此種高效率，止能得之於極大力量之臥輪發電機，如一萬至五萬馬力（譯者按臥輪發電機單位力量至一九二六年已逾十萬馬力，且有繼續增高之勢）；二則由於電力事業與他種工業之分立。電力事業宛如他種實業之爲一獨立企業，其理由已詳述中篇。

電力系之傳導線制，在今日已滿布於美國各處，恰如鐵路交通之縱橫交叉，爲人羣社會文明生活之要素。此種電力系大者佔面積至一萬至二萬平方哩之多，傳送電力至數十萬匹馬力之巨。將來各區域之電力系，復互相聯接貫通，使全國自太平洋沿岸至大西洋沿岸止，所有電力系，打成一片，成一全美國大電力系，蓋亦意中事。其實現與否，祇一時間問題。此種區域電力系，一方將水力廠蒸汽機及蒸汽輪廠銜接，一方供給電力至城鎮、社市、工廠、鑛穴、鐵路。電力系之中心，或集中於一

大城，如芝加哥，或集中於水力之源，如耐亞嘎拉瀑布，而應用電力之顧客，大概散佈各地，如加利福尼亞州，新英格蘭諸州，密執安州，紐約州中部，南大西洋諸州等等是。故電力事業已漸自城市範圍，進而至於全州或竟全國之事業矣。

自大電力系密佈四方，若用電力而自設電廠，已不經濟，不如逕向電力系接收購買之爲愈。此不特小顧客爲然，即應用巨量如芝加哥，廂電車，已將自廠停歇，而向支城愛迪生公司購用，紐約新哈文哈得富爾鐵路，已放棄其發電之措施，而向紐約愛迪生公司購用，亦可以見趨向之所至矣。（譯者按一九一七年美國完成之芝加哥密爾窩基聖保羅鐵路二段之電化，其電力供給均向附近水力廠電力系購用，一九二六年完工之伊里諾斯中央鐵路芝加哥盡頭一部之電化，其電力供給亦向芝加哥愛迪生公司購用，類此者不勝枚舉。）

是故電力事業發達以來，局勢漸形複雜，當爲經營市政者所注意。其要點已非城市自設電廠，或應用私立電廠電力之問題矣。

凡一城市爲公衆應用電力起見，其設施方法，約有數種。而究以採用何種類，須視局部之情形，

以銳利之目光斷定之。其他問題如高電壓傳導通過城市之如何限制，最高佈散電壓之制定，電壓變量之多少，以及電流供給之繼續可恃問題，在在需極鄭重之考量。試分述於下，為經營市政者之助。最簡單普通之城市取電方法，為一私有公用公司，供給電力。此公司或則設立一小廠經營之，或則向區域內大電力系經過支廠而購進，或則局部電廠甚大，與區域大電力系聯接一起；於是此城市遂為大電力系之一顧客，而電廠亦為大電力系中多數電廠之一分子也。

此區域大電系公司，即可直接經營此城市電力供給，或竟另組一公司，專司其事；因城市電力散佈與供給，與大電力系之傳導巨量電力，所事性質絕不相類，能各別經營，為計亦得。或則竟由完全獨立之又一公司，向大電系將電力大宗購入，然後散佈為城市之用。可見其設施種類之至多也。

城市路燈之設施，當為市政要端之一。大概城市當局，向私立電廠訂約購取；因其時間之長及數量之不變，所訂合同，價格較家用為廉。而路燈之設備，又較家用為複雜，如需要定量電流變壓器、整向器 (rectifiers)、弧光燈、獨立線路等。有時城市當局不允為多年長期之合同，而電廠又恐合同之驟斷，於是路燈之情況，往往隨之腐敗，如燈暗不明，舊燈不易等等現象。如能城市當局向電廠

或大電系購電，而自己經營路燈之設備，電廠止負供給電流之責任。如是界限劃清，必能滿意。然此又往往非小城市能力所及也。

城市當局購電爲公共機關屋內燃燈之用，如學校廳堂者，其價格當與私家顧客相同。然亦有因爲官業得較廉者。有時雖表面價格與私家顧客相同，而實際則將所有電力合爲一帳，因得大顧客優待之利益，或則將電力電光之價劃一，因得較廉。辦法殊不一律。有時城市機關購電經營自來水工程，備有儲水池，限制用電於電廠最高負荷以外之時間，於是此電力之價格，自較低下。其理由詳見本論中篇。

至於城市電廠之由官辦，則其利害可得而述之如下。以理論言，城市所需電力量較微，萬不能如大電力系之經濟。所以實際言之，假若大電力系尚未侵入之前，此種官立電廠，未嘗不可以成功。此種城市官辦電廠有借貸息輕之利益，非私有所及，其電力價格因之可以減低；蓋城市官立電廠其主意爲社會服務，而不在于謀錙銖之利益。況城市政府，尚可兼營自來水及他種事業，經濟上及能力上，可藉以調劑，又非私家所能。其最大弱點，乃在管理權之隨政權而移易，因之設施上常受挫折，

效率低下，失其獨立經營之道；然若能電廠官辦不受政權之束縛，得自由之維持與進展，雖官辦電力事業，又何傷。

城市官立電廠，規模不大，常不能供給巨量電力，為各種工業應用。但若區域大電力系已入本城市內，則巨量電力之取給，全無困難；此似為與本城市電廠競爭，實則供給廉價能力，乃助進工商業，間接裨益於地方人士，不當以偏狹之見阻遏之。此區域電力系入進城市以後，與城市自設電廠之關係，及與局部私設小電廠，恰為相同。欲得最經濟之使用，自亦以聯接一起為解決之道；或作為大電力系支廠，或則由城市當局購買大宗電力，然後轉賣於顧客；或則城市當局，祇有支廠及附屬線路之所有權，而交另一公司以使用管理之權。總之，自大電力系實施以來，城市電力事業之處理，已自城市政府自辦，漸趨於城市之控制與監察之途矣。

此外在市政上，電力事業尚有二端足堪注意者，二端為何，電壓之變量與電力之可恃問題也。在電燈應用，電壓有百分之一變量，即發生百分之五之光量之變化。而百分之二之光量變化，實為人類目光能檢出之最低限度，百分之五之光量變化，除非故意留神，常不及察。即使光量變化

百分之十或十五（即電壓變量之百分之二或三），如不聯續發現，不致過量厭惡。但電壓常變易不定，究屬不宜。且對於發光效率減低，燈絲壽命減短。實則電壓之求其不變，乃工程上易爲之事，如燈頭之因壞改換，由電廠中任之，則電壓之維持定量，較易辦到。否則電壓常變，燈頭調換較多，開支自將因之激增矣。

電流供給之繼續可恃問題，即不致間斷之問題，益難規定，例如美國某大城電廠宣言謂十八年來電流未有頃刻停給，而某大傳導系則自負謂一年中止有十三次停給，每次止數分鐘時間。足見可恃二字，殊無一定標準。若國立標準局註定該二字定義，使羣衆對此二字有一致之了解，爲益於電工界，殊匪淺鮮。以通常情形言之，電流供給自以愈可恃，愈不間斷，則愈裨益於公衆。然亦有限制，蓋欲使其愈可恃，保護及防備之機件須多，不期然而增加固定資本，而至於增加電力價格，是非民衆之利。是故電流能愈可恃自然愈佳，但可恃至若何程度爲限，方不致增加過大電力價格，而得不償失，確爲至可研究之點。例如大城市中任何時間，有千百電梯滿載乘客，巨大廳堂，滿聚羣衆，電流停給，勢將釀成紛擾，其禍甚大；而在小城市中，頃刻電流之停給，僅使居民略感其不便，無大禍

害可言。故大小城市於電流供給之可恃問題，情形大異。小城中如爲取得低廉電力價格而電廠設備較疏，每年有數次之停給，亦尙合理。此乃指廠當局於可能範圍中，竭力慎防，而所有停給，爲不可避免之事實而言，非使廠當局得以藉口以爲卸責之地也。

電力散佈線路，爲家用電力或電燈制最普遍通行者，厥爲高架之二千三百伏脫之正路，而用裝置於電桿之變壓器，降下爲百十五及二百三十伏脫之副路，向戶內傳散應用。百十五伏脫之意義乃指任何電壓自百零五以至百三十之電壓，二千三百伏脫比例亦同。

有時二千三百伏脫利用第四線爲回路，且接連地下。使三線代表三相，則第四線所帶電流極微，或竟無流。如是則爲正式四線三相正路散佈線路。各線與第四線電壓爲二千三百伏脫，而各線相互間電壓，等於二千三百乘三之平方根，即等於四千伏脫是也。或即稱之謂四千伏脫正路散佈線路以此。其利較單純三線三相，在能包括面積較廣，負荷較大，故此種散佈線路，漸漸通行。（譯者按三相間電壓之數學關係，可參考交流電初步各書）。

高架傳導或散佈線路，在人羣集居之地，電壓過高，不無危險。究宜限制與否，常爲電工界爭議

之點，因自高電壓傳導制，直接取給小量電力，極不經濟。其故乃由於變壓器之銅線，不能因電流微小而減小，同時被機械抗力所限制。小變壓器價格，幾與較大變壓器相等。爲便利取給大小量電力起見，或有用二次變壓降下電壓，但層層損失，於計未得，惟有用較高散佈線路電壓，是以近今高電壓如六千六百及一萬三千二百伏脫頗見習用，雖似乎爲民衆安全計，略嫌太高，而不知爲經濟起見，有不得已之苦衷在也。是以依經濟而言，電壓之在城市區域以內，不宜制限；所須注意者則電廠之於此類散佈電路，是否謹慎滿意經營，例如絕緣之是否可恃，離去住宅建築之距離，是否太近，方不致危及生命。蓋若以觸電殺人而論，二千三百伏脫電路其危險程度，實不亞於二十二萬伏脫電路，而人民之偶觸前者之機會，反較後者爲多，因意前者爲較低電壓，反不經心也。故城市當局所當注意者，乃在監察審查在城市以內之散佈電路，是否設施安全，不致危及生命財產；不當盲設電壓限制額，而置工程狀況於不問不聞也。

於城市中散佈電力，除用高架電路以外，尙能應用埋入地中之電纜。但價值昂貴，間接增高電力之價格，亦非盡美。願於電力需要之中心點，所增價格尙微，而街路得減去密如蛛網之電線，增進

美觀非不值得。若城市設計佳美，能於規劃電路時，將所有高架電路，安置於僻弄小巷中，則不致妨礙大路之觀瞻，且得免電纜之耗費，則誠所謂一舉兩得者矣。

