

百年來 電力工程發展的 回顧與前瞻

■ 張忠良 · 洪穎怡 · 潘晴財

電力能源的優點在於能以光速傳送，並且很容易以高效率轉變成為各式各樣的能源。例如透過燈泡或日光燈管便可變成光能來照明；經由冷暖氣機便可轉變成冷能或熱能，提供舒適空調環境；透過驅動高鐵或捷運的交流電動機變成機械能，使我們的交通與運輸變得甚為方便；我們的電腦與通訊系統也需要電力的協助來進行各式各樣的活動；工廠製程的自動化生產，更是不能沒有電力。

可見21世紀的人類要維持生活品質與文化發展，必須仰賴電力能源。然而這些電力能源是來自何方呢？電力發展的過程又是如何呢？

回顧過去電力發展過程

在西元1800年以前，電與磁現象只是科學家感興趣研究的科學，並無實際應用，人們所有的動力主要是獸力與人力。

直到法拉第發明電磁感應定律，才陸續衍生各種電力技術，並使電與磁由科學研究逐漸轉變成工程技術研發。隨後愛迪生在1879年發明白熾燈，並於1882年在紐約珍珠街建置一直流三線220 / 110伏特30kW的電力系統供照明用。然而隨著負載成長，線路電流增加，導致線路壓降過大而限制了傳輸距離。交流電因可藉著變壓器升壓而降低電流，所以便利遠距離傳輸。經歷20世紀百年至今，電力系統已普及至世界各國，促進人類經濟與文明的快速發展。



隨著用戶的增加，電力系統所涵蓋的地理範圍也愈來愈大。由發電廠的發電機發出來的電力，經由升壓變壓器升高電壓以降低電流，然後經由輸電線輸送到遠方，到負載區域再降壓，經由饋線（配電線）配送至各用戶。通常一般家庭用電約在3至5瓩（kW）左右，而高科技用戶，例如一個平面顯示器製造廠的用電量，可能達70百萬瓦（MW）。

由於發電成本的考慮，電壓等級愈來愈高，台灣目前最高是345千伏（kV），其他國家有採用500kV或765kV。同樣如火力發電機組，以日本為例，1975年以前，最大單一機組容量是250MW，1980年前就升級到700MW，而1990年更達1,000MW容量。

隨著各地理區域電力系統的擴展建置，各個電力公司的電力網很快便接近到其他電力網。在早期，以美國為例，有的系統頻率是25周／每秒（Hz），有的是50Hz、60Hz，甚至125Hz，由於美國東西海岸時差，負載尖峰或離峰時段不一致，如果電力網互相聯接，可以互通有無，彼此互助，以降低成本。

但所有交流電網中的交流發電機必須以相同頻率同步運轉，否則無法並聯供電至該電網的用戶，也因此演變成今日世界各洲的大型互聯電力網必須有相同的系統頻率，例如北美洲美國與加拿大的60Hz電力網。至於日本電力網包括部分50 Hz與另部分60Hz，其間就必須用高壓直流予以聯接。

電力能源的特點是不方便大規模儲存，它的

發電量扣除線路等耗損後必須恰等於用戶的用電；而用戶的用電除了實際消耗的能量，稱為有效電力或實功率外，例如馬達之類的電器，尚需提供一些電力來建立磁場，以做為機電能量轉換的媒介，這種電能稱為無效電力或虛功率。

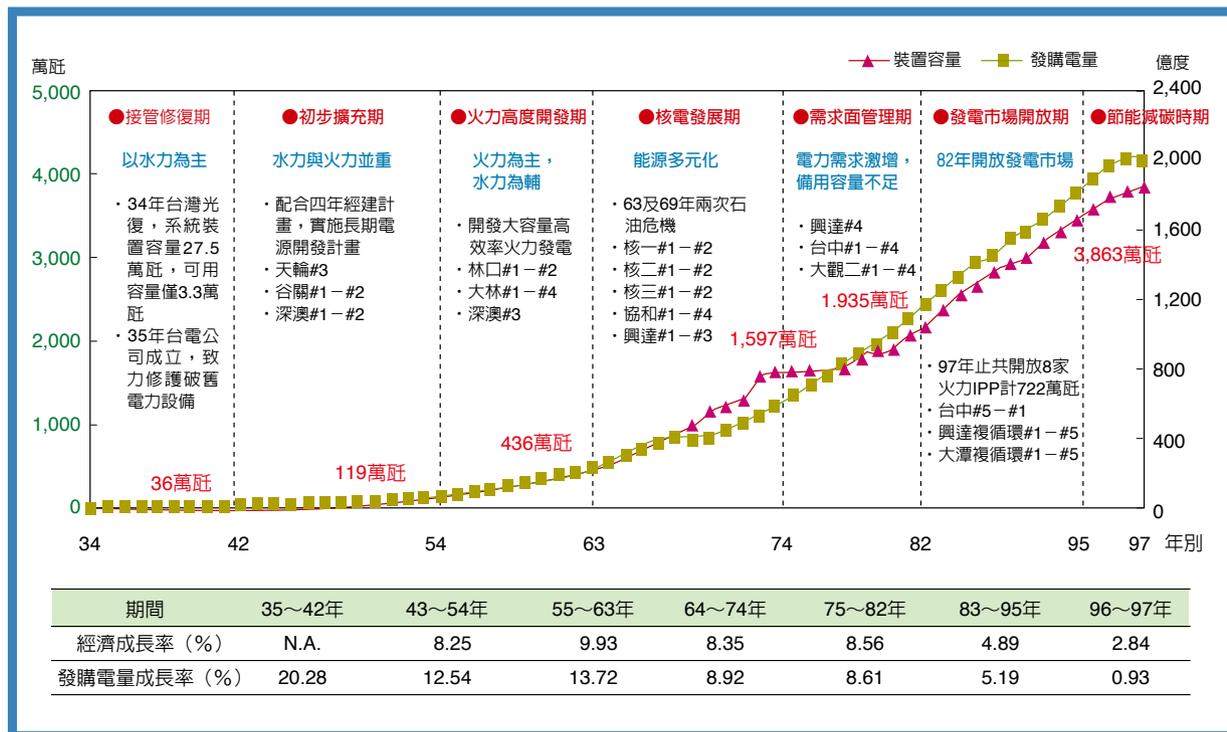
當發電機所供給的實功率與負載所需不平衡時，它的系統頻率便會變動而無法保持固定。同樣當虛功率不平衡時，電壓大小也無法保持固定。因此要控制一個大型電力系統中並聯的所有發電機，使得上述電壓與頻率為定值（或小變化範圍內），可說是非常不簡單。

幸運的是，隨著電腦的應用，得以自動調度控制電壓及頻率，替電力公司人員減輕很大的負擔。因此電力科技事實上也是一門高科技，並不像一般人們所想像只是爬電線桿之類的工作。

回顧20世紀人類的發展，電力系統的布建可說是該世紀最偉大的工程成就之一，不僅僅是它包括的地理面積非常大，投資的成本巨大，所提供的高品質電力能源非常大，對人類的生活品質與經濟活動影響也甚為巨大。因此，未來電力工程發展是不可能捨棄現有的電力系統去重新建立另一新系統，只可能隨著技術進步，對現有的系統逐步改進擴充。

從民國100年看台灣電力系統

人類的電力文明從1879年美國愛迪生發明電燈開始，至今已發展成為世界最大規模與最重要的工業，且素有工業之母與維生系統的美名。台灣



台灣電力系統的發展歷程

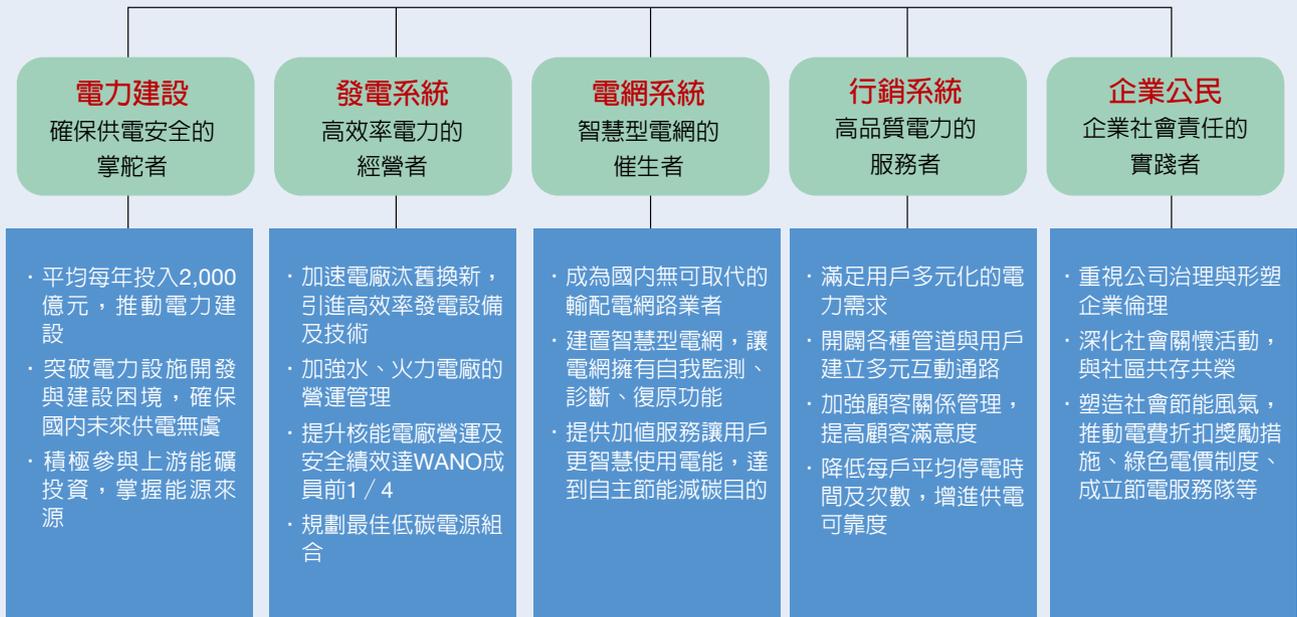
在同一世紀接觸電力，1887年劉銘傳在台北市東門創設興市公司，裝置小型蒸氣發電機燃煤發電是為濫觴。日據時代1909年成立「台灣電力株式會社」，各地分區、單獨供電；1944年8月，「台灣電力株式會社」合併全部電業統一經營。

政府遷台後，在民國34年11月成立「台灣電力監理委員會」監理前「台灣電力株式會社」。民國35年3月改名「台灣電力接管委員會」，並於同年5月1日成立「台灣電力有限公司」。成立當時以小型水力發電為主，系統裝置容量27.5萬瓩，但因戰後電力設施殘破不堪，發電能力僅有3.3萬瓩，亟待積極修復擴充。民國39年12月改組為「台灣電力股份有限公司」，是台灣地區唯一的綜合電業，從事電力的開發、生產、輸配及銷售。

回顧過去歷史，台灣電力系統的發展歷程由接管修復期、初步擴充期、火力高度開發期、核電發展期、需求面管理期、發電市場開放期，到目前的節能減碳時期。1945年，台灣電力系統的裝置容量只有27.5萬瓩，變電所113所，輸配電線路長度1.3萬回線公里，售電量3億度，用戶數也只有40萬戶。民國98年，台灣電力系統的裝置容量已增加到4,798萬瓩，是當年的174倍，變電所579所，輸配電線路長度34.6萬回線公里，用戶數也增加為1,242萬戶，售電量更是大幅增為597倍，達到1,792億度。

現在，無論是深山中的一盞小燈或是都市中的萬家燈火，都有綿延不斷的電網連接和源源不絕的電力供應。台電同仁全年無休地在高山、外島從事電力建設；在鄉間僻野，負責運轉維護；在颱風地震期間，奮不顧身搶修各項

台灣電力系統未來發展圖像



電力設備，卒能持續提供台灣經濟起飛、工商蓬勃發展及人民生活水準提升的堅實基礎。

未來展望

由於電力能源使用的方便性與普及性，可以預期未來電力需求仍會持續成長。然而由於溫室氣體等排放造成全球氣候變遷，引起生態與環境劇變，如何兼顧環境安全、經濟成長與能源供應充分，可說是未來電力工程發展的主要限制條件。

如同前面所述及，不管未來如何，現有的電力系統仍會持續運轉使用，因此開始研發新世代智慧型電網（smart grid或intelligent grid），主要目的就在於追求更有效地統合運用現有的發電系統及可再生的能源，如風力發電、太陽光發電、沼氣發電、地熱或海浪發電等。

歐盟在過去已花費約100億新台幣進行二期共8年的智慧電網研究，美國歐巴馬總統更提出在未來10年投入1,500億美金以期逐步完成一智慧潔淨能源系統，俾期在2025年達成全國用電中有25%來自再生能源，並於2015年促成插入式混合動力車輛成長至100萬輛，每加侖可行使150英里。

另外如日本為驗證再生能源市電並聯後的穩定度，已在Hokuto建置2MW太陽光電系統，計畫中將發展400kW的大型電力調節器，以並聯於高壓交流電力網，強化系統運轉的穩定度。雖然至2008年日本全國才安裝2.14GW太陽光電系統，其中80%是安裝於住宅屋頂的3~5kW容量，但預計在2010年全國將建置達48.2億瓦（4.82GW）。日本進行前述Mega-solar計畫，儘管太陽光的變化甚大且不穩定，但技術上已可控制電網電壓的波動

範圍小於±2%。

至於風力發電方面，要比太陽光發電更成熟，但由於陸地可用面積較有限，未來發展將朝向離岸風力發電。離岸風力發電市場預測至2020年，未來每年仍有2GW以上的需求量，且機組容量都會大於5MW。除了購置時的費用外，若考慮之後的運轉與維護成本，離岸風機採用由第二代高溫超導線製造的風力發電機會更具商業競爭力。例如由美國超導公司與東元－西屋在德州Round Rock合作研發的10MW離岸超導風機，其重量與體積比起傳統機組可減少50%。

綜言之，吾人可以預期，未來至2030年左右，全球所產生的電力能源中將有15至30%來自再生能源，而目前發展中的智慧型電網最大的挑戰，就在於如何有效地整合這些再生能源。由於如陽光與風力等再生能源的不穩定性，整合現有龐大的交流電網與未來欠穩定的再生能源直流電網，同時要保持運轉的高穩定性，可說是一項巨大的挑戰。

而就國內情況而言，台灣電力裝置容量已達人均2.0瓩（僅次於日本的2.2瓩），每平方公里1,266瓩，再加上輸變電及配電的建設，電力設施密集度高居各國之冠。面對溫室氣體減量的必然趨勢及天然資源的匱乏，若持續追求高成長，未能有效率、有效益地使用電力，並不符合永續發展的理念。

今後除致力最根本、最重要的電力能源結構改善外，也要透過技術的精進及設備的改善來提升電廠與電網效率，同時更應引導所有用戶提升用電效率、力行節約用電，結合供給面及需求面一起努力，降低電力的使用密集度及二氧化碳的排放強度，建立國家永續發展的契

機。

台灣將從資訊科技產業發展轉型為能源科技產業，而潔淨能源產業會是本世紀最有希望、最有前景的產業。智慧型電網是電力、電信、資訊及網際網路4種產業的匯流，是未來能源科技產業發展過程中最具潛力的一環。

目前，台電智慧型電網分別在發電調度系統、輸電系統及配電系統3個層級已建置多項智慧技術設備，其中自動讀表短期內可完成23,000戶高壓用戶的建置目標，未來更將推廣至一般用戶。此外，將以「電網安全與可靠」、「能源效率」、「用戶服務品質」及「分散型電源整合」4個目標領域，以及「通訊協定整合」、「資源分享」2項支援平台，發展並建構適合台灣本土的智慧電網，達到電力供應（electric）、能源（energy）及環境（environment）三贏（3E）的新局面。

時代考驗青年，青年創造時代，在這國家建國百年之際，也期盼有志青年能基於台灣資訊通訊與半導體產業優勢，把握良機立志投入綠能產業發展，貢獻一己之力造福人群。

張忠良

台灣電力公司系統規劃處

洪穎怡

中原大學電機系

潘晴財

清華大學電機系
