

# 積極進行能源轉型， 實踐非核家園理念

中興大學 許志義\*

**根**據國際能源署 IEA（2016）指出，2015 年為再生能源發展重要分水嶺，其新增裝置容量超過該年度全球新增裝置容量一半以上，高達 153GW 的創新紀錄，較前年度增加 15%。其中風力（66GW）與太陽光電（49GW）發電為大宗。我國為順應國際潮流綠能發展趨勢，亦於今年 1 月完成新版《電業法》修正，以推動電業改革與再生能源發展為目標，並研擬能源轉型相關配套措施與「綠能前瞻基礎建設計畫」，希冀為電力市場供需參與者帶來多元效益。

政府宣示 2025 年發電配比為：天然氣 50%、燃煤 30%、再生能源 20%。能源局（2017）預估未來再生能源以太陽光電與風力發電量占比最大，分別為 49% 與 28%。此外，生質能也是發展重點之一，占比可達 11%。為達成零核電目標，政府也將 2025 年非核家園入法，正式宣告核一、核二、核三正常除役，核四廢止。

究竟如何順利進行能源轉型，實現非核家園理念？如何克服再生能源的間歇供電特性？實有必要深入探討。基此，本文首先簡述《電業法》修正後的能源轉型契機，以及電力市場利害關係人因應之道，並針對再生能源對電力系統可能的衝擊，提出相關因應策略。

---

\* 許志義為中興大學應用經濟學系教授兼大數據中心主任。

## 壹、新版《電業法》推動能源轉型

### 一、提供再生能源發電業者八大優惠

本次《電業法》修正內容為鼓勵低碳綠能發展，除放寬再生能源業者經營與售電方式之外，亦給予不少優惠配套措施，如放寬組織結構型態、綠電優先併網、輔助服務之優惠、調度及轉供費用之優惠、一定裝置容量內免除備用供電容量、純益免提撥公積金、無需繳納促協金、自用發電設備電能可全數銷售等。其中又以「免除備用供電容量」與「轉供直供費率優惠」為最主要措施。

具體言之，本次《電業法》修正條文明定售電予用戶之電業需準備備用供電容量。惟為鼓勵再生能源發展，明訂太陽光電、陸域及離岸風力裝置容量於 5MW、10MW 及 20MW 以下者，不需負擔備用供電容量義務。再者，為鼓勵再生能源轉供與直供，針對其輔助服務費、電力調度費及轉供費，依電力排碳係數訂定並予以優惠。如以再生能源為基準，燃氣及燃煤需多負擔 11.31 倍與 16.47 倍費用，亦即綠能相對優惠甚多。這些措施當有助於綠能轉型發展！

### 二、對電力市場供需參與者之效益

此次新版《電業法》除可對用戶、台電公司、民營電廠、售電業者等帶來各種效益外，也可促使地方政府共同參與電力市場。由於本次修法針對再生能源經營方式，得採合作社等形式設立。故未來地方政府可整合轄區內再生能源設備，成立區域能源公司。如此一來，地方政府除可有效管理再生能源外，亦可透過區域能源公司，將再生能源藉由代輸或直供方式，售予當地民衆，甚至售予其他非當地之民衆，促進不同區域之間電能經營者之良性競爭。

以彰化縣為例，其為打造低碳綠能城市，已規劃成立彰化再生能源電力公司。未來地方政府除可參與電力市場競爭，成為電力供給者外，亦可透過代輸 (wheeling) 或直供方式售予任何消費者；甚至亦可藉由了解消費者一般社會大眾用電方式，集結各類用戶成為用戶群代表 (aggregator)，參與提供電力需量反應、輔助服務或是緊急備轉容量，達成公民參與在地電業發展，打造友善城鄉、智慧城市，落實在地行動減碳目標，並促進地方產業繁榮、增加地方就業等多重效益。

此外，為了擴大綠電交易模式，與國際接軌，積極建置再生能源電證分離機制。在此情況下，可藉由經濟部標準檢驗局進行再生能源設備與發電量驗證之後，核發所謂的「綠電身分證」。而且，已於 2017 年 5 月完成第一批再生能源憑證（Renewable Energy Certificates, REC）核發，共計 268 張再生能源憑證（每張 1,000 度），共 268,000 度。準此而論，再生能源業者除了可透過躉購費率（FIT）躉售給公用售電業時，必須維持「電證合一」之外，再生能源發電量與憑證亦可分別轉售，有助於活絡綠能產業發展。

## 貳、再生能源大量併網之挑戰與因應策略

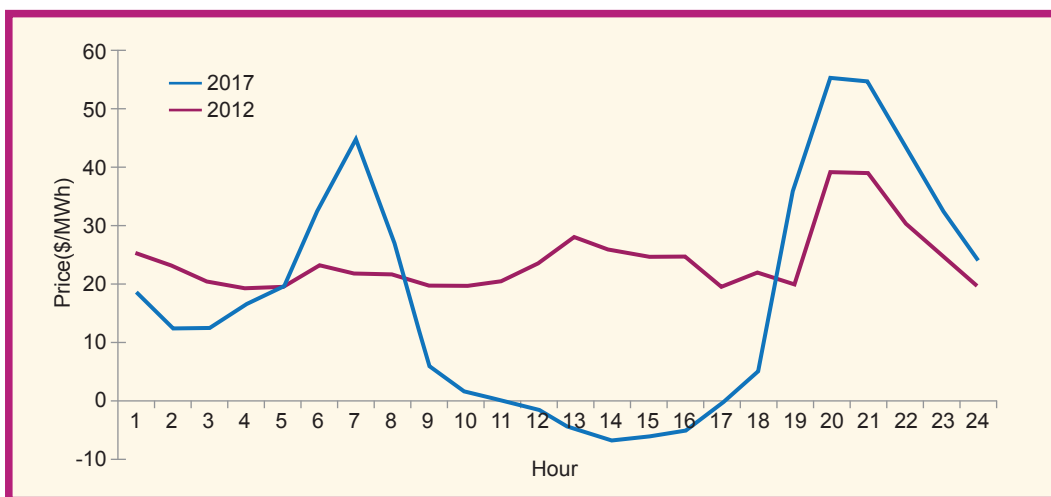
全球再生能源獲得大力推廣的主要原因，包括太陽光電與風力發電不需使用燃料，硬體設施建置完成之後，邊際發電成本接近於零，故再生能源可視為自產（自主）能源，有助於能源整體安全供應。同時，也不會有二氧化碳排放問題，可落實非核家園且兼顧永續發展。

然而，太陽光電與風力發電的間歇性（生質能源、地熱及海洋能則可穩定運轉）特質，也會造成大量併網時電壓與頻率不穩定的潛在問題。以下即針對再生能源大量併網可能衍生的問題與因應對策，進行探討。

### 一、「鴨子曲線（Duck Curve）」帶來電力市場典範移轉

當再生能源發電占比愈高時，即有可能出現所謂「鴨子曲線」，產生再生能源發電排擠其他火力或核能機組起停之情境。舉例而言，下圖為美國南加州 2012 與 2017 年 4 月第二個星期天之日前（Day-ahead）電價。藉由該圖形可發現南加州電價趨勢有明顯的差異。

首先，由 2017 年上午 8 點至下午 6 點，凸顯出鴨子的大肚臍，代表太陽光電或風力再生能源發電之高峰期，特別在上午 10 點至下午 4 點半左右，加州批發電價呈現負價格。此時，因太陽能發電邊際成本為零（停止機組運轉的解聯成本更高），故廠商寧願在電力批發市場投標「零」的現貨價格。相對而言，火力或核能基載機組之邊際發電成本，遠高於太陽光電或風力發電系統。此時傳統發電機組因



資料來源：California ISO OASIS

圖 南加州2012年與2017年4月第二個星期日之日前電價

其平日「正常」之投標價格無法與太陽光電或風力發電競爭，原本應該停止運轉，以避免財務損失。然而，在基載機組無法停止運轉之前提下，火力與核能發電甚至需要以「負」的現貨價格，投標出售其最低負載（minimum load）發電量，俾能確保獲得發電優先權，避免因停機而造成更大損失。

再者，在晚上 6 到 8 點南加州電價呈現鴨脖子曲線，電價由每千度 10 美元以內，飆升至 50 美元以上。主因是太陽能發電量因日落後驟降，產生缺口，電力調度必須迅速跟上負載追隨（Load following），特別是中尖載火力機組必須快速起動並投入電力供應，或者相對地能夠迅速抑低用戶負載的需量反應，才能因應快速上升的鴨脖子負載曲線。此時，再生能源（如風力發電）亦可在電價上漲時獲得營收，攤提其折舊費用，甚至可能在晚上 7 點半時段因電價高漲而獲得超額利潤。由此可見，非夏季假日負載的鴨子曲線，確實造成傳統電力市場負載曲線之典範移轉。這種情況，是否會衍生到夏季尖峰時刻，值得密切關注！

## 二、發展儲能系統及精進再生能源發電預測準確性

當風力與太陽光電發電系統之發電量占比提高時，可透過儲能設備與抽蓄水力系統，提供快速反應的備轉容量，降低其間歇性所產生的影響。再者，在大數據機

器學習應用趨勢下，強化再生能源預測能力非常重要。根據美國德州獨立調度中心 ERCOT 經驗，將再生能源發電量預測與傳統負載預測分開處理，並透過天氣預報與地理資訊系統，進行各種不同情境下之再生能源可供容量與能量資料探勘，將可大幅提高掌握再生能源起伏變化之預測能力。

### 三、強化電力市場靈活度設計，增加電力供需彈性、韌性與流動性

若能提升電力市場靈活度設計，降低供需雙方交易成本，將可增加電力市場彈性、韌性與流動性。首先，針對兩年半之內即將開放的綠電市場，除了建立日前（Day-ahead）市場與即時現貨市場機制外，可增加時前（Hour-ahead）市場機制，以提升綠能電力調度之反應能力。再者，若能及早建立電力輔助服務市場，以及合理之備用容量標準與容量市場機制，針對太陽光電與風力發電之間歇性問題，由管制機關及早制定可靠且供應無虞的電力市場容量標準（包括採用固定或變動容量標準），均將有助於綠電產業之健全發展。

### 四、改善既有系統的效率，或是引進更有效率的新系統

在電力市場結構改變下，業者應關注的核心課題是「改善既有系統的效率」，或是「引進更有效率的新系統」。對於創客（Maker）及能夠快速轉型的業者，本文建議宜及早準備迎接再生能源市場的開放（《電業法》新版本規範一至二年半之內開放綠電市場）。同時，積極帶動六至九年內台灣電力市場整體風貌的典範移轉，走向市場創新（market innovation）。亦即，可積極結合儲能業者（包括電動車）、綠建築、節能建築、智慧建築與零碳建築業者，或是其他綠能業者，專注於能源管理系統、需量反應、分散式電源、儲能系統之整合與鏈結，發展「虛擬電廠（virtual power plant）」這類具備充分彈性與韌性之供電架構，布局於能源互聯網（Energy Internet）之生態體系，開發出需求端負載能夠追隨再生能源發電端起伏高低之跨領域新系統，當可實現市場創新。

對於無法快速轉型的業者，比如基載電廠、汽電共生、獨立發電廠（Independent Power Producer, IPP）等業者，建議一方面可積極推行自動化精簡

人事、改善流程等以降低成本，朝向效率創新（efficiency innovation）或持續創新（sustaining innovation）之方向邁進。另一方面，亦可考量與儲能業者、電動車業者進行策略聯盟，持續進行未來電力市場自由化後，布局不同電力商品服務價值的妥善規劃。例如：當臺灣未來電力市場「鴨子曲線」出現時，能夠把「大肚臍」時段無法停機下的多餘發電量，透過雙邊合約（bilateral contract）或價差合約（Contract For Difference, CFD），提供給策略聯盟夥伴，減少降載或停機損失。

## 五、產政學研各司其職，鏈結創新

面對這一波能源轉型大趨勢，產業界宜掌握當前綠能減碳風潮，以過往豐富的商品化量產經驗，尋求技術突破，降低硬體設備成本，積極搶攻國內外市場。再者，政府有關部門宜進一步藉由政策法規面的創新或鬆綁，營造更有利於綠能產業長期發展之健全環境。此外，學研界應持續聚焦於綠能科技與商業模式之創新發展與突破，使綠能產品或服務標準得以獲得公開驗證、持續改善、降低綠電市場交易成本，開創最適的營運模式。

## 叁、結論

隨著新版《電業法》付諸實施，我國能源轉型與非核家園實踐，已跨入新的轉折點。此刻，電力供需市場所有利害關係人都無法置身事外，必須在新的電力市場架構下做出回應，為自身與臺灣整體綠能發展做出貢獻。

太陽光電與風力發電間歇供電之特性，雖然帶來許多併網問題與挑戰，但正面思考其實正意味著商機無限。而其有效因應策略，則在於提升電力供需雙方之彈型與韌性。在此趨勢下，積極透過大數據分析模型，精準預測短期再生能源發電容量與能量，並能針對未來鴨子曲線的大肚臍及鴨脖子曲線之快速變化，靈活彈性地即時予以反應，包括提供相關輔助服務、自動需量反應、儲能系統價值等，都將成為電力市場典範轉移下享有主要資產利基與核心價值的贏家。

對於原有基載機組供給者，本文建議除可仿先進國家藉由物聯網自動化與智慧化技術，精簡人力、降低成本外，也可思考在鴨子曲線大肚臍的時段內，引進相關

技術或營運模式，以去化或吸收基載機組多餘的發電能量與容量，例如與儲能設備業者等進行策略聯盟等，均不失為可行對策。

對於電力市場的新參與者，本文建議以創客精神整合供需雙方的分散式電源、各種能源管理系統（包括 HEMS、BEMS、CEMS、FEMS）、加上儲能設施（包括電動車），以「虛擬電廠」營運模式，開創出未來電力市場的藍海策略。

面對此次能源轉型與電業改革，影響範圍廣泛，實有賴電力市場利害關係人共同努力，結合產政學研之公私夥伴關係，進而創造綜效。而其關鍵要素在於政府有關單位宜及早妥善規劃及執行綠能前瞻基礎建設，包括再生能源技術平台與沙崙綠能科學城建置、再生能源產業化技術驗證與綠色金融機制等。其中，綠能科技研究中心與示範場域均屬具有高度私人投資風險，民間無意願大規模投資，但卻具有高度外部效益的研發平台。在當前各國政府競相投入此一綠能創新領域之情況下，我國產業界不能缺席，而公部門之參與實責無旁貸。尤其在相關政策法規之軟實力方面，短期內宜未雨綢繆，針對兩年半內綠能先行的電力交易平台及容量市場機制等相關配套措施，予以落實，俾達成新版《電業法》綠電先行、能源轉型及非核家園之願景。🌱

---

#### 參考文獻

---

1. California Independent System Operator (2017), Open access same-time information system (OASIS).
2. International Energy Agency (2016), World Energy Outlook, Paris.
3. 林全能，能源轉型與電業改革論壇，能源經濟學年會，2017。
4. 台灣電力公司，〈需量反應措施〉，台電公司業務處，2017。
5. 許志義、柳育林，〈電業法修正後綠能業者發展契機〉，財團法人資訊工業策進會產業情報研究所，2017。
6. 許志義，〈把綠電變便宜要三管齊下〉，《經濟日報》，2017。
7. 許志義，〈降低再生能源供電不穩定影響之發展策略〉，《台電工程月刊》第 824 期（2017 年 4 月），臺北：台灣電力公司，2017，頁 1-25。