

本月專題

從『用電大戶條款』淺談能源轉型與減碳

謝智宸¹

摘要

美國總統拜登(Joe Biden)元月 20 日宣誓就職後，簽署美國重返巴黎氣候協定(Paris Agreement)的行政命令，另聯合國氣候變化綱要公約第 26 次締約國會議(COP 26)預定今(2021)年底召開，美國此舉將促成各國對減排目標提出新的承諾，2021 年儼然成為氣候變遷的突破年。此外，我國《溫室氣體減量及管理法》(簡稱「溫管法」)實施五年以來，面對全球暖化議題持續增溫及國際氣候行動之緊急呼籲，原法內容已顯不足因應，而於去(2020)年底由環保署提出修法草案並將於今年啟動修法程序。其中眾所矚目，呼應國際間已有逾百國家提出淨零碳排的目標與期程，我國刻正積極評估並凝聚共識，希冀研訂符合我國國情及國際趨勢之減排路徑與目標。

無論入法與否，零碳排將是各國因應氣候變遷問題善盡世界公民責任的終極目標，電力部門的零排碳並非零碳社會的最終結果，而僅是最起碼的要求，也是路徑中最重要的首站，運輸部門的動力及工業部門的熱能才是真正未來零碳社會達成與否的關鍵。而電力部門的零排碳之達成，即在於應窮盡可能發展及應用再生能源及其他零碳能源發電技術，並確保在任何時間、任何地域都能夠滿足任何型態的能源服務需求。本文即從此一觀點，順應全球能源轉型浪潮並結合我國今年開始啟動之大型電力用戶負擔再生能源義務之措施，淺談未來推動我國再生能源發展及能源轉型以達到零碳排終極目標國際上相對應的策略與作法。

¹財團法人台灣綜合研究院 研究員

一、前言

國際間再生能源發展政策制度，依據開發強度及期程的考量因素，主要可採取以價格管理的「躉購費率制度」(Feed-in Tariffs, FiT)及數量管理的「配額制度」(Renewable Portfolio Standard, RPS)等兩類制度或兩者併行，然政策管理的對象均為電能供應業(躉售及/或零售)，希冀透過電能供應鏈的源頭，可以較有系統及規模地引進再生能源發電技術及其電力，推動國家或區域再生能源的發展與應用。

我國為加速推動再生能源發展，透過相對於國際上常見之電力供給端 RPS 制度，創新成為全球獨步之需求端 RPS 概念，透過賦予用電大戶再生能源發電設備裝設或綠電使用義務，加速再生能源發電裝置容量的設置。我國《再生能源發展條例》(以下簡稱「條例」)於 2019 年修正，依據條例第 12 條第 4 項所訂定之「一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法」(俗稱『用電大戶條款』，以下簡稱「管理辦法」)，於今(110)年元月 1 日實施。根據管理辦法規定，再生能源義務用戶是指與公用售電業簽訂用電契約，經常契約容量達五千瓩 (5MW/5,000KW) 以上之電力用戶。再生能源義務用戶可以透過 1.設置再生能源發電設備、2.購買再生能源電力及憑證、3.設置儲能設備等三種管道履行綠電義務。若未透過上述三種方式履行義務或不足的部分則應繳納代金。

上述三種履行綠電義務的方式均將對於再生能源發電設備的增設有直接或間接的貢獻，進而直接或間接達成減碳的效果，不同的履行方式透過不同的路徑促進再生能源發電設備的增設及減碳效果。而為有利於建構再生能源發展的環境，當今先進國家在能源轉型過程中所採取及新創的技術、法規制度、市場和商業模式等，值得我國借鏡。

二、大型電力用戶負擔再生能源義務之措施

(一)設置再生能源發電設備

履行綠電義務第一種方式為「設置再生能源發電設備」，應為政府推動再生能源發展之初衷，透過相對於國際上常見之供給端 RPS 制度，我國另採全球獨步之需求端 RPS 創新概念，賦予用電大戶再生能源發電設備裝設義務，加速再生能源發電容量的裝設。為與現行再生能源電力躉購制度(FiT)脫鉤，規定義務用戶裝設之再生能源發電設備必須「自發自用」，故此一方式將直接促進再生能源發電設備的增設效果，而其增設容量所產生且自用的綠電亦將直接產生減碳效益。

以義務用戶的角度看來，以目前台電平均售電價格比較太陽光電(PV)躉購價格而言，選擇於廠房建物屋頂或另覓合適土地裝置 PV 以供自發自用並不符合經濟效益，然若著眼於 PV 發電均為尖峰電力以及未來電價合理化可能趨勢，以 PV 自發自用取代尖峰用電以及調整契約容量，加上可增加電力供應韌性(resilience)所帶來的效益(可從電網以外的途徑取得電力資源)，不啻為可行之管道。

但另一方面，以目前躉購制度下再生能源發電申設占比最高的 PV 觀之，所公告的躉購價格仍具申設誘因，客觀條件主要面臨的是案場土地權及與電網併接饋線等問題，導致大規模種電仍有一定難度。非適用 FiT 的義務用戶除非在廠區屋頂及土地內設置 PV 並自發自用，否則依然存在上述案場土地權取得及與電網併接饋線裕度的問題。

誠然，與目前平均電價比較而言，投資離岸風電應最符合成本效益，然離岸風電開發所涉及之技術、風險評估及專案融資、法規及其他不確定因素過於複雜，應鮮少有義務用戶願意採取此一管道以履行義務。

(二)購買再生能源電力及憑證(綠電憑證)

履行綠電義務第二種方式為，透過與再生能源開發商簽訂再生能源購電合約(Power Purchase Agreement, PPA)或購買電證合一的綠電憑證，可以引申市場對

於綠電的需求進而創造綠電供給，亦可直接促成再生能源發電設備的增設效果，而其增設容量所能產生的綠電亦將直接產生減碳效益，不啻為推動再生能源發展及減碳的有效策略。

國際間包括我國，有愈來愈多企業、組織基於減少營運及產品之碳足跡，或善盡企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR)等動機，參與例如 RE100 全球再生能源倡議的行動，透過綠電投資自發自用、購買再生能源憑證 (Renewable Energy Certificates, RECs)、簽訂綠電購售合約 (Power Purchase Agreement, PPA) 等途徑，逐步達成其公開承諾在 2020 至 2050 年間達成 100%綠電使用目標。其中透過與綠電開發商簽訂長期的綠電 PPA 為國外較常見的方式，根據美國彭博社(Bloomberg NEF)的統計，2019 年當年全球有 23 個國家超過 100 家企業與再生能源業者簽訂綠電 PPA。另根據美國綠電買家聯盟(Renewable Energy Buyers Alliance, REBA)2020 年公布的數據，美國各大企業當年度簽約購買綠電最大買家為亞馬遜 (316.3 萬瓩)，其次分別為谷歌(104 萬瓩)、威訊媒體 (Verizon Media)(84 萬瓩)、麥當勞(75 萬瓩)、臉書(72.5 萬瓩)以及通用汽車(61 萬瓩)等。

值得注意的是，根據 RE 100 在 2020 年年報中揭露 260 家的參與會員企業問卷調查結果顯示，在認同並參與 RE 100 倡議的諸多理由中，99%為減少溫室氣體排放及善盡企業社會責任；92%為促進用戶滿意度(customer satisfaction)、77%為改善空氣品質；但也有 70%的動機是基於取得較廉價的電力。目前我國再生能源電力價格(比較躉售價格)，絕大部分仍高於公用售電業的平均電價，在推動大規模綠電 PPA 的政策上仍需更大的著力。在 2019 年勤業會計師事務所調查(Deloitte Renewable Energy Transition Survey)中也顯示，減少碳足跡以達成企業永續發展目標並伴隨低電力成本的效益，是企業簽訂再生能源 PPA 的主要目的，其他目的還包括分散電力來源及維

持電力成本的穩定。

此外，愈來愈多的 RE 100 會員企業，希望所簽訂的綠電 PPA 具有外加性 (additionality)，亦即是因為他們對綠電的需求，而額外創造了綠電的供給，而非取代現有基於其他目的而設置的再生能源發電設備所產生的綠電，例如眾所熟知的谷歌公司購買綠電的策略就是逐步堅持如此。

如上所述，與目前平均電價比較而言，投資離岸風電應最符合降低購電成本的需求，但若義務用戶欲透過與離岸風電開發商簽訂 PPA，由於牽涉繁雜的風險評估與融資結構，參考比較對象且是政府背書之 FiT 制度，除非義務用戶信用評等類同於國營的台電公司，否則將增加離岸風電開發商融資風險及影響融資條件，進而反映在較高的售電價格。

義務用戶使用綠電除了與再生能源開發商簽訂 PPA 外，亦可透過綠電憑證交易平臺的媒合購買電證合一的綠電，無論透過直供或者代輸，均可達到電證合一電能消費的要求。透過購買綠電以盡再生能源消費義務，其實是希望藉由衍生性需求的增加間接帶動綠電的供給增加。我國推動再生能源發展自始即採取採取躉購電力制度，太陽光電的躉購費率迄今依然高於市電價格，以維持必要的申設誘因，有制度完善、運作良好的再生能源躉購電力制度作為參考比較座標，欲在制度外另開闢一個供需市場恐需提供更大的誘因及相關配套。

(三) 設置儲能設備

履行綠電義務第三種方式為「設置儲能設備」。當前全球正值能源轉型之浪潮，植基於再生能源發電技術成本之陡降，加以氣候變遷議題廣受關注且影響日益明確與顯著，例如今(2021)年 2 月中旬造成美國德州及其鄰近地區大規模電力供應中斷的猛烈暴風雪極寒氣候。大量再生能源併網除了顛覆傳統電力技術與電業經營外，更由於太陽光及風力的間歇性，電網可靠

度議題成為顯學，儲能技術與設施及其應用遂成為轉型浪潮下之遊戲改變者(Game Changer)。

不僅電網需要儲能設備提供因應間歇性電力供需調節及電力品質的輔助服務，需求端更可以利用儲能設備進行：

- 1.節省電費支出：儲存離峰電力以供尖峰使用，套利(arbitrage)尖、離峰價差。
- 2.重要生產設施之備用電源：儲能電池可以避免傳統備用發電機之環境汙染，亦可更快速維持敏感設施所需之電力品質。
- 3.電動載具(EV)充電站：事業單位建置充電樁亦可搭配儲能電池進行電價套利，EV 也是企業呈現 ESG(環境 Environmental、社會 Social、公司治理 Governance)報告重要的一項。
- 4.參加需量反應措施(Demand Response, DR)：用戶端需量反應之績效端視智慧電表(AMI)所顯示之特定時段之平均需量與其用戶基準線(CBL)之差異計算得知，故用戶於表後(behind the meter, BTM)之用電行為非為 DR 績效考量之因素。用戶透過表後儲能電池的供電，以暫時減少來自電網的電力需求，即使表後並無實際抑低用電之行為，電表的計量卻仍可達成 DR 措施要求之績效(performance)。
- 5.若儲能設備搭配自發自用之再生能源發電則更有綜效(synergy)，如同目前加州正積極推動之進階版 PV 附加儲能電池之淨計量電價制度(net metering 2.0/solar plus storage)，值得開發其電業服務的價值鏈成為我國下一階段 FiT 制度之進階版。

(四)繳交代金

除了以上所述三種履行綠電義務的方式外，義務用戶有可能在特殊情況下，選擇或必須以此種方式繳納全額或部分義務容量的代金。根據依本辦法第 13 條規定所繳納之代金，將納入再生能源發展基金作為再生能源發展之用，透過再生能源設備之補貼及對再生能源發電、儲能之研發補助的基

金使用用途，間接由政府推動再生能源之發展，然對於減碳的貢獻量，無法直接呈現且難以具體估算。

由於建置自發自用再生能源發電設備及儲能設備，甚至與開發商簽訂PPA及購買綠電憑證，不但均可達到增加再生能源增設及減少碳排的目的，其功能與在電力系統中所扮演的角色亦有其諧調與互補的綜效，故與其提供再生能源義務負擔用戶自由選擇三個選項，或可更積極地根據電力系統的規劃與需求，安排不同選項的組合及時程，甚至透過諸如拍賣或競標程序提供廠商投資經規畫選項的誘因，如此可以更進一步增進電力系統的彈性，以達到更大的減碳效果。

(五)需求端彈性資源

在低碳化的電力系統運行上，需求端的彈性資源(flexible resource)所扮演的角色顯得越來越重要，電力系統對於可靠度的要求也逐漸在演變當中，無論是在輸電或是配電的等級，需要額外的彈性資源去滿足這些新的需求，包括從與日俱增的顛覆性技術資源(disruptive technology)。需求端的彈性資源一般說來包括五類範疇(National Grid ESO)，第一類就是常見的需量反應(Demand Response, DR)，；第二類是用戶端的自用發電系統；第三類是用戶端的自用儲能系統；第四類是以銷售電力服務為目的的分散性電源；第五類是以銷售電力服務為目的的分散型儲能系統。

所謂需量反應(DR)就是透過轉移需求端製程設備運轉及電器用品使用的時間，或調整其所需的負載出力，，達到抑低電力系統尖峰負載的目的。一般來說，需量反應對電力系統可以提供四個重要的功能 - 4S，分別為：

1. 削減(Shed)：在用電尖峰時段或電力系統緊急(電力設備故障、損害)狀況，透過實施 DR 可以降低電力負載以緩解供電壓力，亦可避免尖峰高價高污染的機組啟動。

- 2.移轉(Shift)：DR 經由需求端彈性資源的應用，可以轉移特定時段的負載至其他時段，亦即前述可削減負載的用電設備，必須另擇時段滿足其能源服務需求，例如洗衣機以及製造業工廠的製程設備等。
- 3.形塑(Shape)：透過時間電價措施引導用戶用電行為，塑造其負載曲線樣態貼近電力系統經濟排程下的即時成本(realtime cost)曲線。
- 4.頻率或電壓的震動追隨(Shimmy)：例如調頻、電譯及負載追隨等輔助服務功能。

(六)小結

如前所述，當前全球正值能源轉型過程，大量間歇性再生能源電力的併網，以及分散型電源和自用發電設備以及電動載具充電設備逐漸普及，導致傳統電力無論供給端或需求端，都需要更具彈性的資源以應付電力系統供需狀態在時間上及地域上所呈現的不確定性。而所謂分散型電力資源(distributed energy resources, DER)，即符合需求端彈性的需求，可以在電力系統中發揮必要的功能。更由於儲能電池在電力供需的平衡過程中可以提供緩衝以及調整的功能，所以在電力部門低碳化過程裡扮演非常重要的中心角色，被譽為能源轉型的「遊戲改變者」(Game changer)，最顯著的效益就是減少間歇性再生能源例如太陽能發電及風力發電，由於輸、配電設施容量不足或該時段電力供給大於需求等因素所必須採取的輸出抑減(curtailment)，即一般所謂的「棄光棄風」。職是之故，儲能設備雖不直接產生電力，甚至所儲存之電能亦並非全然為再生能源電力，然其所扮演上述「遊戲改變者」的角色，適足以令更多的再生能源電力進入電網而得以維持電力系統的可靠度，對於減碳的貢獻不亞於直接設置再生能源發電設備。

負載彈性資源目前已有定義的內容包括，智慧恆溫控制器(smart thermostat)、住宅型(表後)的儲能電池(residential storage)、併網型的電熱

水器(grid intergrated water heater, GIWH)以及智慧型電動載具充電方案(smart EV charging program)等，其中恆溫控制器在我國並不普及；併網型的電熱水器在國內的相關應用，目前並未在電能管理及電力系統之間的關聯性設計誘因機制，以應用此一已稍具規模的負載彈性資源；智慧型電動載具充電設施建設在國內正值起步階段，住宅型充電樁多直接連接電力線，而商業型的專業充電站則已有經由儲能設備(儲能櫃)輔助者。研議中的時間電價方案，目的在減緩充電行為對於配電系統的衝擊，並鼓勵充電時段可以配合階段系統特性所需，間接提升再生能源電力併網的容量，亦可達到減碳的效果。現行用電大戶條款中之儲能設備選項，未來應該可以考慮將併網型的電熱水器，等同或折抵儲能設備容量看待，其亦具有間接增加再生能源電力併網容量及減碳的效益，尤其在日間系統尖峰負載不高的冬季。

三、電力資源的成本效益

然如同一般電力設備建置與投資案，儲能設備或系統的建置投資，需要考量其成本效益(cost-effectiveness)，儲能電池或系統的建置成本目前一般認為仍高於其他分散型電力資源尤其是屋頂型太陽光電，然其效益在國外電業解制(Deregulation)較深及電力市場發展程度較高的國家或地區，已在相關機制上提供相當的誘因及應用技術以增加用戶端儲能電池的效益，例如通訊遙控直接控制技術及相關費用補償(compensation)等。舉例來說，例如目前國內已經有很多住宅用戶即所謂表燈用戶已經裝設了智慧電表，但是由於適用於表燈用戶的時間電價方案不多，還須開發較多元化的時間電價方案以引導用戶用電行為的改變，以配合不同時期電力系統轉型的演進，如此不但能夠為用戶節省電費支出，同時對於增進電力系統的可靠度也有助益，再者，也可以帶動能源服務廠商對於電能管理技術及商業模式的創新應用，增加能源市場經濟的產值與創造就業機會。

上述儲能設備帶來的效益，都應該要反應在建置成本的補償機制上，如此一

來，儲能設備建置的成本效益有可能達到平衡，甚至收益（return）高於成本。美國重要的電力智庫 Brattle Group 近幾年多項針對負載彈性資源深入的研究成果，發現「負載彈性資源已經不存在對於電力系統不可靠的問題，而是電廠、法規制定者及其他利害關係人是否是願意開發及應用的問題」而已。併網型或表後儲能設備在合理的規劃與使用情況下，可以幫助更多的間歇性再生能源電力進入電網，尤其不可忽視住宅型(表後)儲能電池的效益，若提供足夠的誘因，透過需量聚合商(aggregator)聚合眾多表燈用戶參加需量反應甚至輔助服務方案，對於電網的穩定性及可靠度亦將有所助益，在美國某些電力市場，此類聚合型電力資源已經能夠獲得可觀的補償獲利(compensation)。

再生能源發電設備自發自用，也可以減少電網的電力傳輸負擔，給予更多必須併網的再生能源電力設備設置的容量；電動載具的充電設施亦可在合理的規劃與管理下，協助緩解因大量 PV 設置所造成電力系統呈現著名的「鴨子曲線(duck curve)」對電力系統所帶來的衝擊，進而創造用車人與電業雙贏的結果。

四、非有線替代方案

另一個有關電力資源成本效益說明的案例為，「非有線替代方案」(Non-wires alternatives, NWA)是電力公司在進行電力系統投資評估及規劃未來運營方式時，應該盡可能應用接近負載端相對較小投資及營運成本的特定資源，可靠地減少輸電系統擁塞或配電系統的約束，而達成延遲或取代需相對較大投資成本建設之特定輸電和/或配電基礎設施之目的，藉此可以降低供電成本進而減少用戶電費之負擔，其應用 NWA 之成本支出，將被允許可以作為電價計算的依據。常見的 NWA 包括需量反應(DR)、分散型電源 (distributed generation, DG)、能源效率(energy efficiency)、儲能(熱)設備(electricity and thermal storage)、負載管理(load management)以及電價制度的設計(rate design)、電動載具充放電(Electrical vehicle charging and discharging)設施與商業模式等，以上資源皆與節能以及再生能源的應用相關，可謂低碳及零碳電力資源。

美國的電業在進行電力系統相關投資前，必須依據未來電力供需的預測結果，評估欲達到系統供需平衡並滿足可靠度要求的情況下，應該盡其可能採用 NWA 方案替代電網實體基礎設施建設，在長期電源開發的「整合資源規劃」(Integrated Resource Planning, IRP)及較短期的「資源妥適性評估規畫」(Resource Adequacy, RA)的利害關係人公聽與監管機構審議過程中，對於上述 NWA 有能力可以參與電力市場的要求愈來愈顯著。2008 年美國聯邦能源管制委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)公布的第 719 號指令開啟了 DR 參與電力市場的濫觴，2011 年第 745 號指令(FERC Order No. 2222)更確立了 DR 等價於實體發電機組的地位；去(2020)年九月公告的第 2222 號指令(FERC Order No. 2222)，進一步完備包含 DR 之 DER 參與電力市場的必要性及權利。上述觀念與規則、法令之演進，均隨美國各區域電業環境之變化與時俱進甚至超前部署，值得我國參考與借鏡。

五、結語

氣候變遷問題若失控，其結果將造成人類文明浩劫已為普世共識，近年來各國逐漸在減緩行動上摒棄過往的成見，而趨同於一致的減排策略，即大量引用逐年成本陡降的再生能源電力尤其是風力發電(特別是離岸風電)與太陽光電，以及電網現代化(grid modernization)等。以往在以傳統大型火力電廠為主要電源的時代，大電網(bulk grid)的經營與運作在累積百餘年的經驗後顯得相對單純，再生能源電力與傳統電力最大相異之處在於其電力的生產具間歇性及難以預測性，尤其在較小的時間粒度(granularity)上，增加電力供給的不確定性；另一方面，也由於傳統的電力消費者(consumer)藉由上文所提的顛覆性技術力如屋頂型 PV、儲能電池及智慧恆溫器等之導入，由純粹消費者的角色進化成兼具電力供給能力的「產消者」(producer+consumer, prosumer)，也使得電力需求端增加了不確定性，導致電力供給與消費在電網的部分範疇(配電系統)中界線變得模糊，增加電力調度規劃及作業之困難和任務之艱鉅不言可喻。

化石能源產生的電力必須逐步自電網中淘汰，零碳排的再生能源電力須儘快進入電網，科技所造成電力供需型態的多樣性與不確定性，使得電網的可靠度面臨挑戰。然而透過適當的制度調整及提供足夠的市場誘因機制，也可以管理及應用這些彈性資源緩解其所造成的電網不可靠，進一步增加再生能源的發電容量及減碳效果。

如前所述，電力部門的零排碳並非零碳社會的最終結果，而僅是最起碼的要求，也是路徑中最重要的首站。電力轉型道路的崎嶇不僅需依賴科技因應，法規、制度、市場，甚至決策者與消費者的思維與觀念都應隨之調整與改變，方纔可能面對與緩解更多或許更頻繁如去年夏天加州酷熱及今年冬天德州嚴寒氣候所導致電力系統癱瘓，並進而往淨零排碳之路邁進。