

再生能源是否能成為穩定電力來源？

2018.04

核能研究所 林昌賢

關鍵字:併網、電力供需、再生能源

核能研究所能源經濟及策略研究中心於 2017 年 10 月 31 日公布「我國民眾願付電價與社會意向」調查(核能研究所, 2017), 結果顯示國人雖然情感上相當重視環境議題, 但實際進行電力消費時, 電力的「供應品質」、「電價便宜」與「環境友善」仍為首要考量, 其中又以供電穩定最重要。然而, 核能研究所的問卷調查時間為 2017 年 8 月, 其時間和去年 815 大停電事件有所重疊, 可能對調查結果有所影響。該份問卷結果亦顯示, 受訪者是否將個別再生能源視為穩定供電的電力來源, 與對該再生能源的支持度呈現高度正相關, 故若為爭取國人對再生能源的支持, 其是否能穩定供電將是其中的關鍵之一。

再生能源併網後電力供需結構的轉變

根據去年電業法修正條文第八條顯示:「輸配電業應負責執行電力調度業務, 於確保電力系統安全穩定下, 應優先併網、調度再生能源。」然而, 未來台灣再生能源設備大幅增加的情況下, 勢必會對電力系統帶來強烈衝擊且亦對系統穩定度造成影響。故為因應再生能源間歇發電的特性, 電力系統需要具備靈活調節的能力。

由於間歇性再生能源發電量瞬時的變動程度較大, 若沒有事先規劃就大量併入或退出電網, 將可能造成停電。根據台電委託研究報告「未來再生能源大幅增加對台灣輸電系統影響及因應策略研究」(李清吟, 2015)模擬分析結果顯示, 台灣原有電力系統加入大量間歇性再生能源後, 可能於颱風來襲時, 發生中部風場風力過強需全部停機, 此時風力發電機全部跳脫, 或是大型傳統機組跳脫, 產生的暫態低頻現象, 將會觸動低頻卸載電驛動作, 造成局部停電, 甚至有可能引發連鎖效應而導致大停電。

未來太陽光電與風力發電大量併網, 首先面臨的是發電間歇性對電網運轉、調度之衝擊及影響電網供電可靠度與品質。因此間歇性再生能源併網時, 各相關設備需要具有低電壓穿越(Low Voltage Ride Through, LVRT)、低頻穿越

(Low Frequency Ride Through, LFRT)等故障穿越功能，以避免引發連鎖跳機效應而導致更大規模停電，與現有火力電廠併網規範並不相同。(李清吟，2015、張嘉諳、韓佳佑，2016、IRENA，2016) 目前「再生能源發電系統併聯技術要點」中，僅針對風力設備提出低壓、低頻穿越能力，但未來在大規模的太陽光電併網後，為減緩太陽光電設備突然跳脫對電網之影響，建議亦需針對太陽光電的故障穿越能力，提出相關規範。(張嘉諳、韓佳佑，2016)

當再生能源大量併網後，除了由於再生能源發電間歇性對於電力供給端的挑戰外，由於如太陽光電及風力發電均不需額外投入燃料成本，故其邊際成本為零。這種零邊際成本的特性(卓金和，2016)，在國外自由的電力市場，對電力供應的成本有很大的衝擊。成本的改變亦會影響到需求端的使用結構，因此，未來當台灣再生能源大量併網且電業陸續自由化後，整個電力的供需結構都將有所改變。

再生能源併入電網所需要考量的要素

未來再生能源大量併入電網，首先面臨的是發電間歇性對電網運轉及調度之衝擊，進而影響電網供電可靠度與品質。再生能源大量併網後是否能成為穩定供電的基載？在2016年某假日，葡萄牙全國達到100%再生能源發電。(蔡翼澤等，2016)緊接著德國也發生“瞬間”全國使用再生能源之情形發生¹，這無疑是令人振奮的消息。但台灣未來當再生能源大量併網後，需要有傳統電廠的備援，並整合智慧電網與儲能系統，以下將分段詳述。

由圖1德國能源轉型發電現況與未來電腦模擬分析結果顯示，德國目前仍用核能與燃煤廠做為基載，而2020年在假日時用電較少，白天有可能全國大部分使用再生能源，一小部分使用抽蓄水力發電，火力電廠在該時段擔任備援的角色。再生能源需要火力電廠彈性支援，而非自身單獨可做為基載使用(王雲怡，2017)，當再生能源大量併網後，由於間歇供電特性，需要有更多能與之配合的傳統電廠。但從電腦模擬分析結果顯示，若未來再生能源、儲能系統與傳統電廠電力調度能配合天衣無縫，形成能源與技術整合之系統，將可以作為電力基載使用。

¹ <https://udn.com/news/story/6809/2919177>

Renewables need flexible backup, not baseload

Estimated power demand over a week in 2012 and 2020, Germany

Source: Volker Quaschnig, HTW Berlin

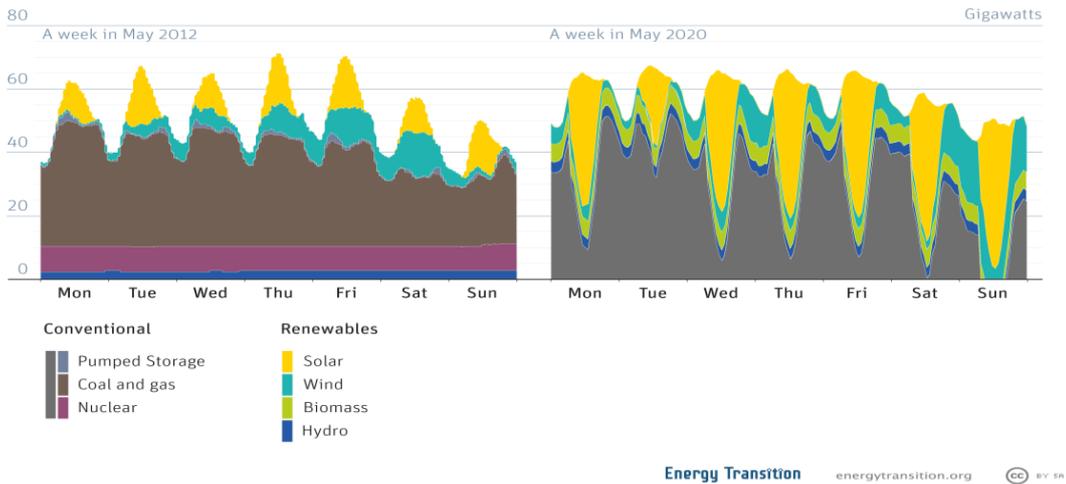


圖 1 德國傳統電廠與再生能源協力供電曲線(2012 與 2020)²

而當再生能源發電大量使用後，將形成極為典型的鴨子曲線(Duck Curve)，在這種再生能源供電快速升降情境下如何維持電網穩定也將是一大挑戰(葛復光，2017)。所謂鴨子曲線，乃是白天使用太陽能發電，在傍晚時太陽能消失，大量切離電網，造成火力電廠供電需求急速上升，如圖 2 之鴨子形狀的供電曲線，將對火力電廠供電升降速度形成考驗。目前天然氣機組升降速度較快，從待機到滿載需要一個小時到兩小時，洽可滿足下午 3 點到傍晚 5 點用電轉換急速上升需求。因此，未來天然氣機組結合準確的天氣預報後，可與間歇性再生能源配合，形成穩定供電來源。其中再生能源可減少碳排放，而天然氣機組可彌補再生能源之不穩定性，形成相輔相成之電源。台灣目前天然氣機組仍然不夠，須增加備援機組，但新建發電廠從興建到投入運轉需要數年之久。且天然氣要有專用的港口，才能設立足夠天然氣接收站與儲存槽，所以目前規劃中第 3、4 及第 5 天然氣港口及接收站應配合天然氣機組增加而逐步完工，然而第 3 觀塘接收站港口有千年藻礁，環保團體抗爭問題仍在協調當中，尚未開始興建。另一方面，若發生下雨或陰天，鴨子曲線發生將提早，並不是每天例行下午 3 點到傍晚 5 點，如此智慧型電網與氣象預報技術就顯得更為重要。智慧型電網使各種發電來源與儲能系統可以互通訊息，而氣象預報可估計天氣狀況使電廠提早做準備。

² <https://book.energytransition.org/infographic>

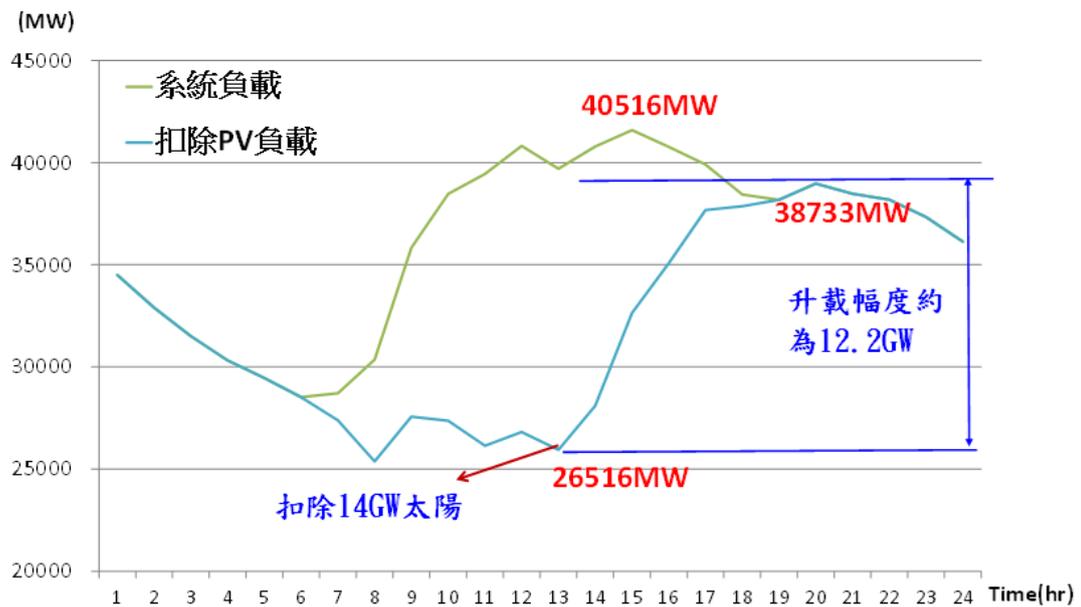
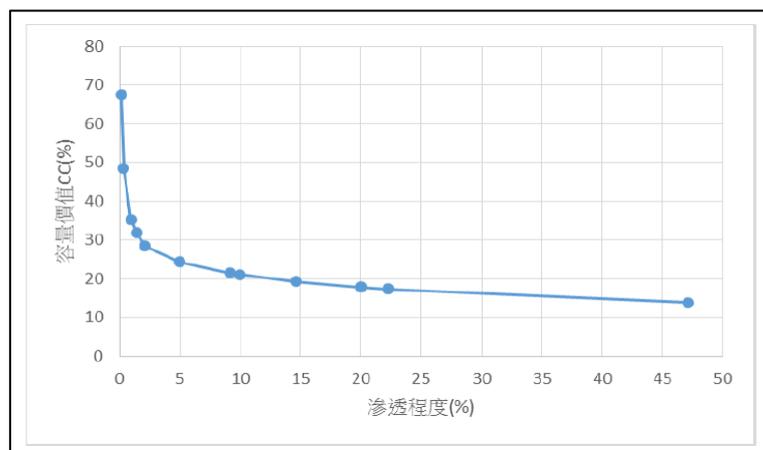
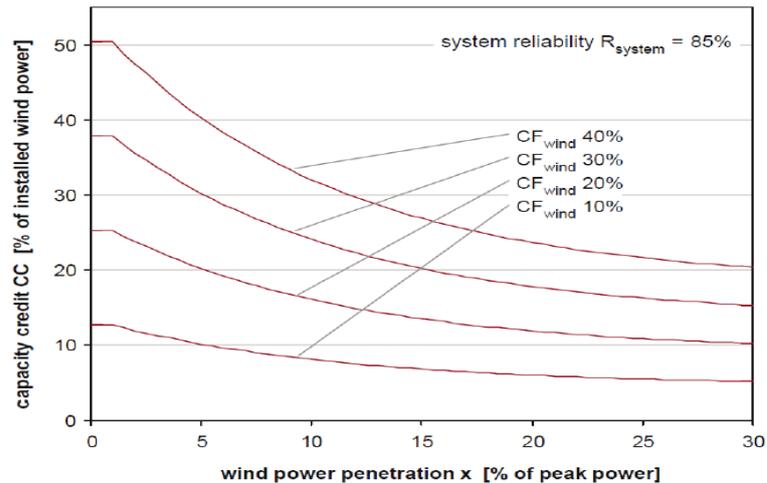


圖 2 電腦模擬我國 2025 年供電的鴨子曲線(黃郁青, 2017)

近年來我國政府積極發展再生能源，尤其是太陽光電與離岸風電。但當大規模再生能源如太陽能與風力發電併網後，模擬結果顯示太陽能滲透率越高則容量價值(調度價值)反而減低(李佩珊、陳士麟 2016)，如圖 3 所示，也就是說，用電尖峰的時候，再生能源的調度價值不高。



太陽能發電



風力發電

圖 3 太陽能與風力容量價值與滲透程度之關係(李佩珊、陳士麟，2016)

台灣為孤島電網，並沒有跨國互聯電網與其他國家連接，電力調度較歐美有互聯系統困難許多。在模擬 2025 年大量間歇性再生能源併網後，依據台電 104 年 10405 電源開發方案的規劃，亦發現電力系統備用容量率仍然不足。李佩珊和陳士麟(2016)指出，改善方法是加入天然氣機組，將使模擬結果符合可靠度要求。此外，另一個改善方法是使用儲能系統(葛復光，2016、2017)，間歇性再生能源需要搭配儲能技術，以減緩對電力系統之衝擊是未來趨勢。史邁爾(2014)也指出，若想加速轉換成再生能源，最重要的是降低能源使用量，若能發展出便宜的大規模能源儲存方式，當電力需求較低時，先把多餘的風力與太陽能儲存起來，等到尖峰時段再輸入電網，將更能加快新型再生能源的推廣，且再生能源的容量價值將會大幅提升。另外，研究結果顯示，增加儲能系統也是有效解決頻率穩定度問題的方法之一(李清吟，2015)，但增加電網級儲能系統所需要的成本亦非常高，目前經濟上較為可行方法是增加抽蓄水力容量。抽蓄水力先把水抽到高處的蓄水池儲存起來，等到需要時再讓水流下，通過水力發電機發電。然而擁有高低位差的水庫地點不多，而且抽蓄過程會導致能源損失(史邁爾，2014)。簡而言之，若要大量使用再生能源，儲能設備的使用將能解決電力調度問題並提升再生能源的容量價值，但儲能設備的使用亦會需要較高的成本。此外，台電積極推動智慧電網之建設，並藉由需量反應功能，有效抑低尖峰用電，且也是有效解決頻率穩定度問題的方法(陳秋麟，2014、李清吟，2015)。

另一方面，再生能源也有供過於求的時候。舉例而言，在 2014 年時，當德國再生能源發電佔比超過四成之時段，出口電價曾一度呈現負值，致使德國電力公司花錢請別的國家用電(林基興，2015)。近兩年，中國亦大量使用再生能源，但中國許多風電與太陽光電卻是空發電、沒接上電網，此一現象被稱為「棄風棄光」，導致棄風棄光現象的原因，亦包含了在某時間點再生能源的供給大於需求，然而，這些被放棄掉的電力可以說是免費的，若是有足夠的儲能系統或者是好的商業模式，將可能產生龐大的商機。

當再生能源增加時，必須同時增加饋線等基礎設備，所以電網與變電站建設的投資，亦是勢在必行。例如為了傳輸大量分散的再生能源電力，德國必須大量投資電網設備(林基興，2015)。但目前我國現有電網容量尚不足以應付大量再生能源佈建，應增加電網傳輸容量以應付再生能源併網需求。(李清吟，2015) 台電為因應政府推動離岸風力發電，目前承諾要裝 10.65GW 饋線³。

綠能轉型除了備用容量率或備轉容量率的考量外，尚包含電力調度、儲能技術及金融支應等細節與配套需要克服(王美花，2017)。張嘉諳與韓佳佑(2016)亦提出兩點建議：1.增設電力調節設備，以減緩對傳統中尖載機組之衝擊。2.發展智慧電網，以強化輸配電系統之調度能力。未來預計將有 1 萬公頃太陽光電場域，然而優良太陽光電場址大多座落於中南部地區，未來大量太陽光電併入系統，南北供電不平衡現象將更嚴重，集中設置太陽光電可能使得輸電線路過載，未來輸配電計畫應考慮強化電網傳輸容量，在大量裝設太陽光電地區應規劃新建變電所並擴建輸電線路，避免造成輸電線路雍塞。在智慧電網方面，2025 年前先完成低壓智慧電表之建設，且為配合未來太陽光電系統之建置計畫，可以在南部安裝太陽能之縣市針對電力需求較大的用戶(如學校、住商及辦公大樓)為優先執行安裝智慧電表的對象，以達電力資源最佳化配置。2025 年後再進行智慧發電與調度、智慧輸電及智慧配電等工作，以提升輸配電系統安全與效能。(張嘉諳、韓佳佑，2016)

探討台灣未來各階段再生能源併網的情況

IEA 依據目前的電力系統特性，訂定了間歇性再生能源發展的四個階段，如圖 4 所示，每個階段都具有特點與優先解決問題之技術。(IEA Reports，2017)

第 1 階段：間歇性再生能源占比非常小，電力需求本身的變動超過了間歇性再生

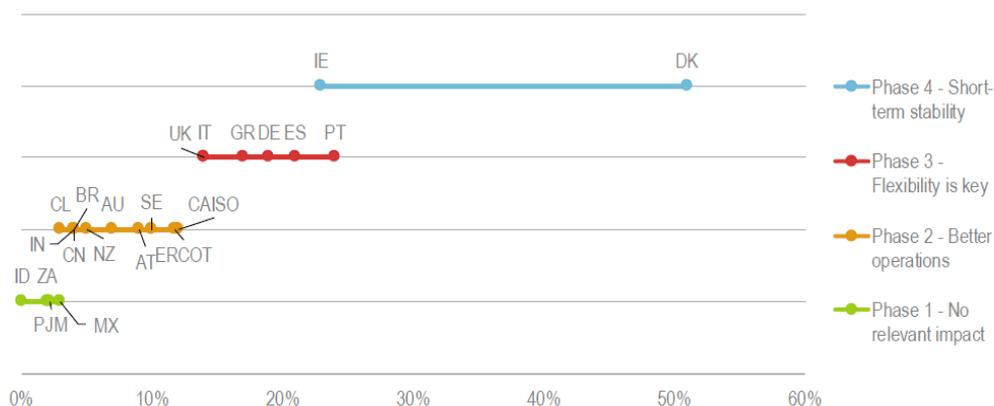
³ <http://news.ltn.com.tw/news/business/paper/1162002>

能源供電的變動幅度，所以此階段再生能源對於電網的運行沒有明顯影響。目前處於這一階段的國家有印尼、南非、墨西哥與台灣。

第 2 階段：間歇性再生能源占比較小，對於電網已經有明顯影響，但是可以用加強電網管理的方式來解決，相對比較容易。處於這一階段的國家包括印度、中國、巴西、加拿大、澳大利亞、瑞典。

第 3 階段：間歇性再生能源占比中等，必要引入需量管理與儲能技術的應用。處於這個階段的國家包括義大利、英國、德國、西班牙、葡萄牙。

第 4 階段：間歇性再生能源占比較大，在某些時刻再生能源可滿足 100% 的電力需求，電網穩定性面臨挑戰。除了需量管理和儲能技術以外，此時所有的傳統電廠都必須可以彈性運轉。處於這個階段的國家包括愛爾蘭、丹麥。



Notes: AT = Austria; AU = Australia; BR = Brazil; CL = Chile; CN = China; DE = Germany; DK = Denmark; ES = Spain; GR = Greece; ID = Indonesia; IE = Ireland; IN = India; IT = Italy; MX = Mexico; NZ = New Zealand; PT = Portugal; SE = Sweden; UK = the United Kingdom; ZA = South Africa. PJM, CAISO and ERCOT are US energy markets.

Source: Adapted from IEA (2016a), *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016*.

圖 4 目前處於再生能源併網 4 個階段之國家

IEA 報告指出(IEA · 2014) · 對於任何一個國家來說 · 如果滿足三個條件 ·

間歇性再生能源占比於 5-10%，目前多數國家的電力系統均可承受：1. 必須避免不受控制的間歇性再生能源部署於本國電網“熱點”（即電網輸電集中點）。2. 間歇性再生能源必須在需要時可穩定電網。3. 間歇性再生能源預測必須有效。史邁爾提出(2014)，若想大規模推廣再生能源，得先徹底改造現有能源基礎設施，以電力供應來說，不能再仰賴少數超大型火力或水力電廠，改採大量分散各地的小型風力與太陽能系統。因此，台灣可以朝分散式小型微電網發展，以減少對大型火力電廠的依賴。如台灣位於澎湖東吉嶼的再生能源微電網，經多年努力終於進入穩定商轉，成為台灣離島微電網系統首例(葛復光，2017)。今年初，再生能源佔比最高瞬間達 92.8%。

由於台灣正處於引入間歇性再生能源之最初部署階段，應了解引入風力和太陽能可能面臨的挑戰，以及何時可能出現這些挑戰。最重要的是，它提供了一個更清潔、更有彈性的電力系統的每一階段的解決方案。台灣 2025 年的再生能源規劃將可能達到 IEA 定義的第 3 階段，未來除了需要加強電網管理外，應引入需量管理與儲能技術來解決併網問題，並減少南電北送，增加電網區域平衡，如此，再生能源的電力供應才能較為穩定。

參考文獻

王美花(2017)，再生能源非基載 儲能技術要做好，能源願景高峰論壇-前瞻能源

生態鏈發展祝詞，2017 年 11 月 21 日。

王雲怡(2017)，電業改革與能源轉型下再生能源業者之角色與定位，電業改革與

能源轉型論壇，2017 年 10 月 25 日。

史邁爾(2014)，再生能源再等 60 年？，科學人雜誌，3:74-79。

李佩珊、陳士麟(2016)，大規模風光發電對台電系統備用容量率之影響分析，中

華民國第 37 屆電力工程研討會論文，台灣台中市。

李清吟(2015)·未來再生能源大幅增加對台灣輸電系統影響及因應策略研究·台灣電力股份有限公司委託計畫 546-0200-076·計畫主持人：李清吟。

林基興(2015)·清潔能源的美麗與哀愁·台電電力人· 18(12):14-17。

卓金和(2016)·再生能源占比提升對未來電力市場運作的影響·台灣經濟研究院經濟評論·2016年4月5日。

原能會核能研究所(2017)·我國民眾之電力願付價格與市場調查研究·執行單位：財團法人資訊工業策進會·計畫主持人：姜漢儀。

陳秋麟(2014)·澎湖智慧電網試行規劃科技部補助專題研究計畫成果報告·MOST 101-3113-P-002-028·計畫主持人：陳秋麟。

黃郁青(2016)·國內儲能技術現況與未來發展核能研究所·能源簡析。

黃郁青(2017)·2025年太陽光電併網後燃氣機組的調節情形·學術演講簡報。

葛復光(2016)·先進能源技術策略規劃與電力供給中長期影響分析·科技部補助專題研究計畫成果報告 MOST 105-3113-F-042A-001·計畫主持人：葛復光。

葛復光(2017)·微電網的現況與發展·永續產業發展期刊·80：49-57。

電業法修正條文(2017)·2017年1月26日修正最新版。

張嘉諳、韓佳佑(2016)·2025年太陽光電達20GW之輸配電問題與建議·核能研究所·能源簡析。

蔡翼澤、張耀仁、楊皓荃、胡瑋元、吳雨寰(2016)·葡萄牙可100%以再生能源

滿足電力需求案例研析，核能研究所，能源簡析。

劉光瑩(2016)，中國棄風棄光對台灣再生能源有什麼啟示？，天下雜誌，精華簡

文，2016年10月27日。

IEA report(2017), Getting Wind and Sun onto Grid.

IEA report(2017), Status of Power System Transformation.

IEA news(2014), "Any country can reach high shares of wind, solar power
cost-effectively, study shows" Feb. 26, 2014.

IRENA report(2016), Grid Codes.