

風力發電技術發展、市場現況與展望

馮君強

核能研究所 能源經濟及策略研究中心

2019/06

近年來節能減碳已成為各國在能源及環境議題上，迫切追求之目標，但在經濟發展過程中，使用能源所產生的溫室氣體卻是造成全球暖化的主因。IEA (2018) 的研究指出，未來發展再生能源及汰除低效率燃煤電廠對全球減碳的貢獻合計占 36%，幾乎相當於提升能源使用效率及淘汰化石能源補貼所帶來的減碳貢獻 (37%)，由此可知，再生能源在減碳上扮演著舉足輕重的角色。

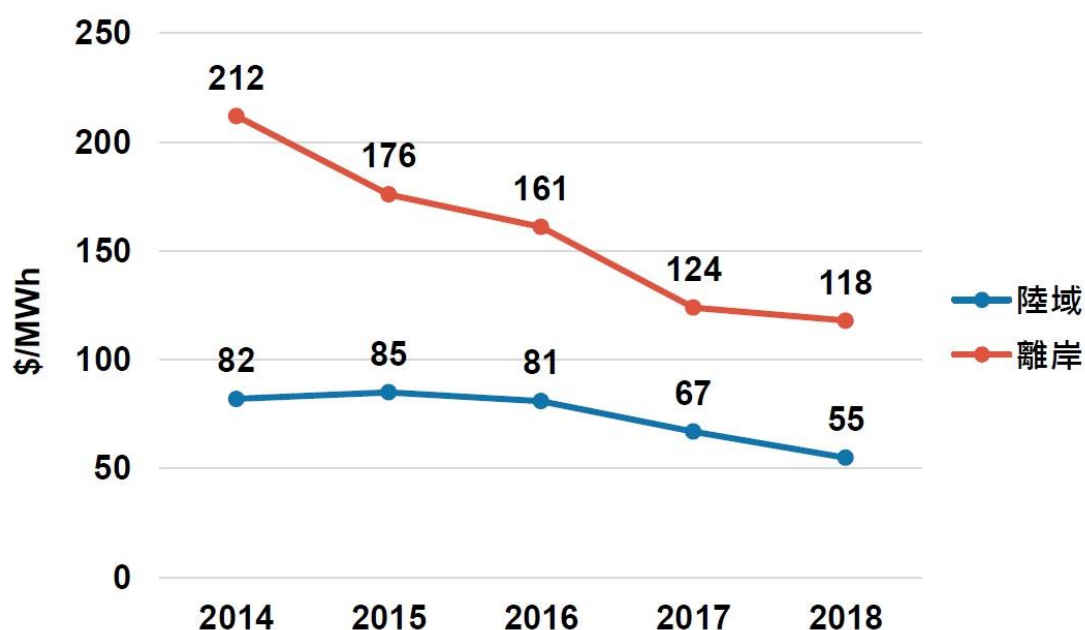
從全球再生能源技術發展的角度來看，風力發電相較於太陽能、生質能等其他再生能源發展的更為成熟且快速，IEA (2018) 也指出，2017 年全球風力發電量為 1,085 TWh，占全球總電力供應的 4%，並預測該占比於 2040 年將在 9%~21% 之間，為所有再生能源中之最。¹

1. 風力發電技術發展

風力發電的應用大致上是以 750 kW 為界限，高於此限可稱之為大型風機，低於此限則屬於中小型風機。目前全球風力發電的技術主流以大型風機為主，若依裝設地點分類可區分為陸域及

¹ 風力發電 2040 年的占比隨著不同模擬情境而有所改變，其占比介於 9%~21% 之間。

離岸兩大類，陸域風力發電的技術門檻較離岸低，成本也相對低，但不論陸域或是離岸風力，近幾年其成本皆呈現下降的趨勢（如圖一），雖離岸風力的成本較高，但在 2014～2018 年間下降了約 44 %，高於陸域風力的 33 %，顯示離岸風力的技術發展快速，陸域風力相對較為成熟。

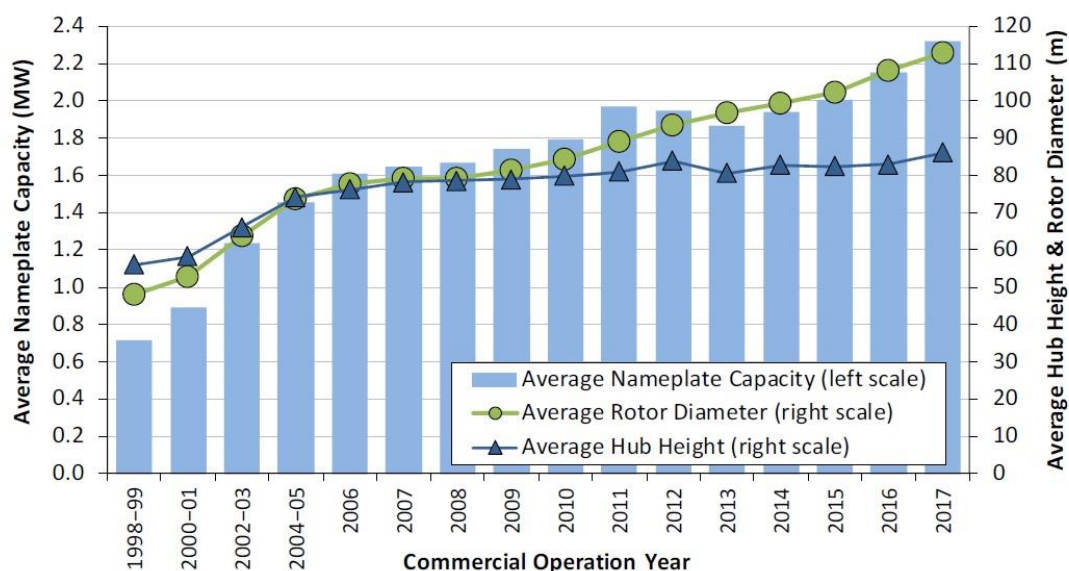


資料來源：工研院 IEK Consulting (2019)

圖一、2014~2018 全球陸域及離岸風力均化成本

在風力發電成本下降的趨勢中，風機大型化一直以來扮演著重要的角色，以美國為例（圖二），2017 年美國新增設的陸域風機平均裝置容量為 2.32 MW，相較於 1998–1999 年的 0.72MW，增加了 224 %；此外，2017 年新增的陸域風機之平均輪轂高度為 86 公尺，相較於 1998–1999 年的 55.8 公尺，高度也增加了 54 %。過去十年轉子直徑增加的速度比輪轂高度更快，2017 年安裝的陸

域風機之平均轉子直徑為 113 公尺，相較 1998–1999 年增加了 135 %，等同於轉子掃掠過的面積相對 1998–1999 年增加 459 %。²

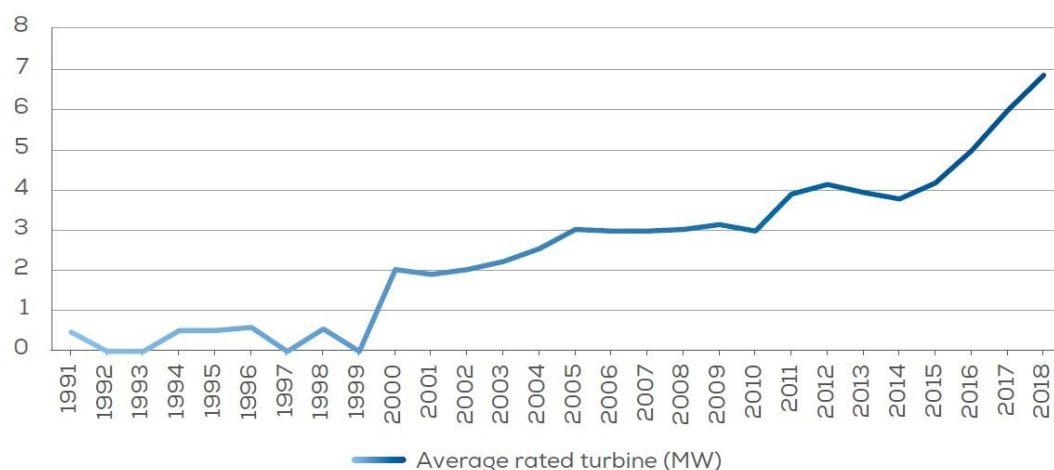


資料來源：USDOE (2018)

圖二、美國陸域風機新增機組平均容量、輪轂高度和轉子直徑

在離岸風機部分，其整體尺寸通常大於陸域風機，主要係由於其受到交通、噪音、景觀和土地的限制較少，從歐洲過去的經驗來看，離岸風機新增機組平均容量從 2010 年的 3 MW 增加到 2018 年將近 7 MW（圖三）。目前商用的最大離岸風機的裝置容量為 8.8 MW，由三菱重工維特斯 (MHI Vestas) 所生產，於 2018 年 4 月裝設在英國蘇格蘭東北部海岸附近，該風機高度約 191 公尺，轉子直徑約 160 公尺。此種大型風機不僅捕捉的風流面積較大，較高的輪轂也可獲得更強且連續的風力，以產生更多的電力。

² 輪轂高度是指扇葉中心點到地面的高度，而轉子直徑代表的是扇葉所掃過圓面積的直徑。



資料來源：WindEurope (2019)

圖三、歐洲離岸風機新增機組平均容量

2. 風力發電市場現況

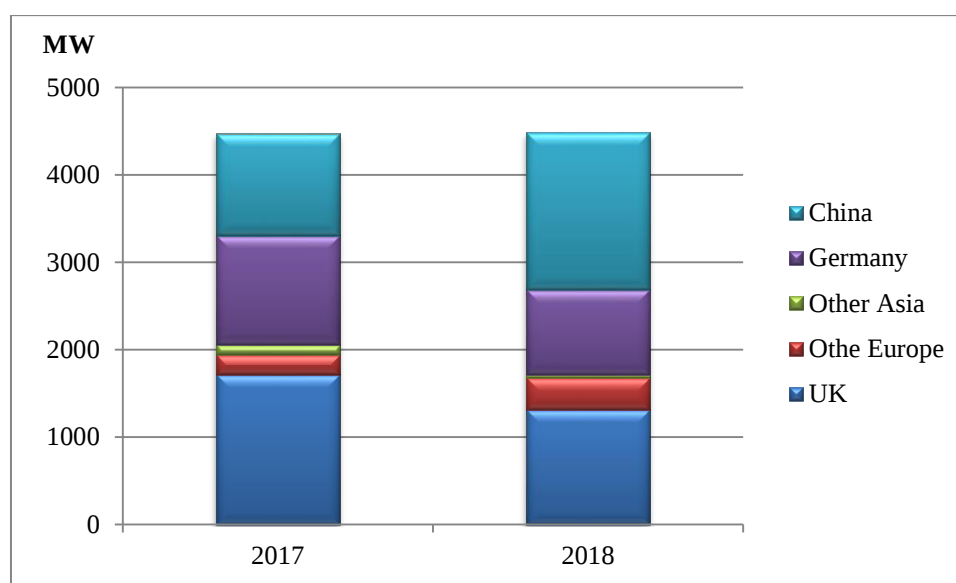
2018 年全球風力發電市場新增裝置容量為 51.3 GW，相較於 2017 年減少約 4%，全球累積裝置容量則為 591 GW，2018 年成長率為 9%，其中，2018 年陸域及離岸風機新增裝置量分別達到 46.8 GW 及 4.5 GW。依國家別來觀察，中國大陸的陸域風力市場自 2008 年開始即領先全球，在 2018 年新增裝置量為 21.2 GW，同時正式成為全球第一個累積裝置量超過 200 GW 的國家 (206 GW)，提早兩年達成 2020 年 200 GW 的目標。全球第二大市場—美國，2018 年累積裝置量為 96 GW，生產稅抵減 (Production Tax Credit) 係美國目前發展陸域風力發電的重要政策，預計於 2021 年以後將實施再生能源配額制度 (Renewable Portfolio Standard) 來主導陸域風電的發展。除此之外，美國目前正在發展新的商業及金融模式，以期未來能夠加速風力發電之成長。除了中國大陸

與美國，2018 年第三至第五名的陸域風力發電市場分別為德國 (2.4 GW)、印度 (2.2 GW) 以及巴西 (1.9 GW)。³

2018 年對離岸風電來說是相當重要的一年。首先，中國大陸的新增裝置量 (1.8 GW) 超過其他國家，英國與德國因此分別降為第二及第三名 (圖四)；第二，德國過去進行了兩次的離岸風力競標遴選，第一次遴選在 2017 年，德國修法將再生能源躉購費率制改成競標制後，離岸風力競標就由德國能源集團 (EnBW) 與丹能集團 (Dong Energy) 以零元標下德國北海風場。而第二次遴選在 2018 年，選在德國在北海與波羅的海共六個風場展開離岸風電競標，沃旭能源 (Ørsted) 同樣以零元的價格標下北海風場，顯示離岸風力未來的成本可能會快速下降；第三，雖然美國離岸風力的發展相較於歐洲仍有一大段距離，但 2018 年美國完成麻州附近的離岸風場招標，最後 3 家廠商得標，總金額約 4.05 億美元，預計裝置容量為 4.1 GW，本次的招標權利金為歷年之最，代表美國往離岸風電的領域邁進一大步；第四，在亞洲地區方面，印度身為新興離岸風力市場一員，雖然目前尚未有任何離岸風機，但於 2018 年開始制定離岸風力目標，分別在 2022 年及 2030 年要到達 5 GW 及 30 GW，並預計 2019 年要開始第一個離岸風力

³ 括號內的數字為新增裝置量。

的競標。綜合以上幾點來看，已經有許多國家開始或加速往離岸風電的市場前進。



資料來源：GWEC (2019)

圖四、離岸風力新增裝置量

3. 風力發電未來展望

全球風能協會 (Global Wind Energy Council) 表示，未來持正面的角度看待全球的風力發電市場，並預期在未來五年全球將會增加超過 300 GW 的裝置量，代表 2023 年前每年平均將增加超過 55 GW 的風力發電。而未來增加的裝置量仍以陸域風力為主，但離岸風力無論是新增量或是比例皆明顯地增加，顯示未來整個風力發電市場中，主力仍是陸域風力，但屬於新興市場的離岸風力將蓄勢待發。

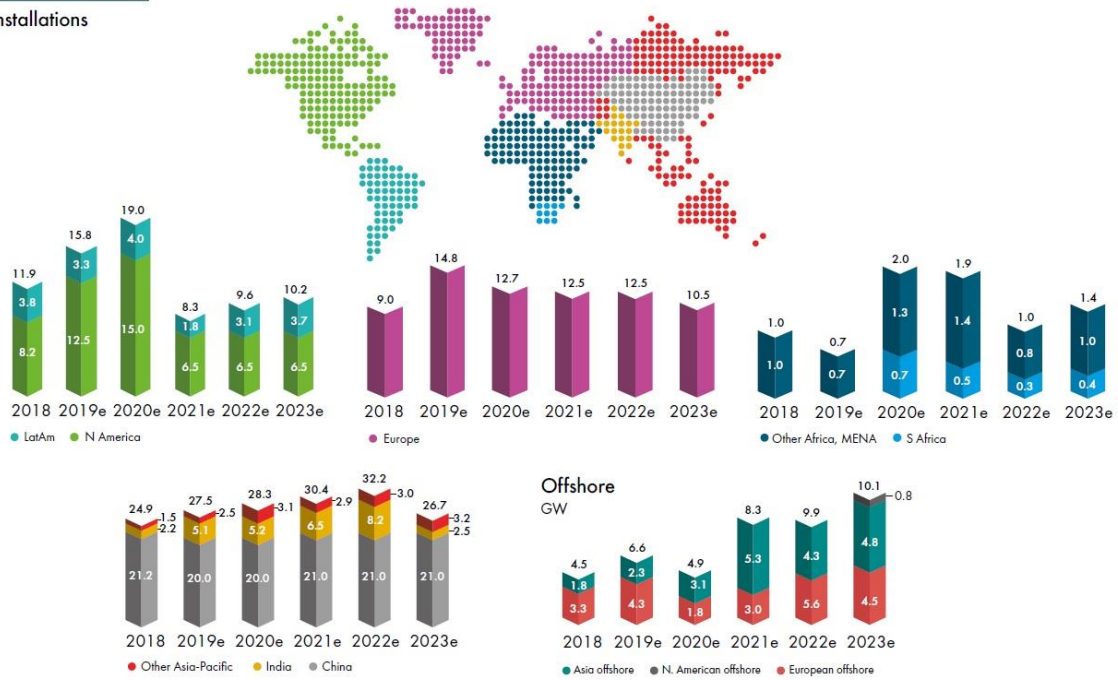
若從不同區域來觀察 (圖五)，在陸域風力市場的部份，歐洲風力發電市場已經相當成熟，在政府所設計的競標制度下，未來

陸域風力仍以穩健的速度成長。在拉丁美洲，政府承諾將推動大規模的競價制度，此制度將是推動陸域風力發電的主力關鍵因子。美國市場方面，未來兩年陸域風電生產稅抵減仍是主要的政策，但之後會由各州的再生能源配額制度來主導。非洲與中東則是因為政府對於再生能源具有相當的雄心，未來預期將會穩定的成長，至於身為非洲最大的市場—南非，2019 年將會有下一輪風電競標來重拾市場的信心。有關亞洲市場方面，中國大陸將於 2021 及 2022 年引進競標制度，預計未來陸域風力市場每年仍是以 20 GW 的速度成長，同樣地，印度未來將會以競標的方式發展風力發電。台灣則是土地有限，目前陸域的優良風場已逐漸開發完成，加上受到民眾及相關環保抗爭等問題，導致陸域風場的開發面臨到許多困難。至於其他東南亞的國家，政府仍將重心放在燃煤發電，所以風力發電在未來的成長較有限。

在蓄勢待發的離岸風力市場中，2018 年占整個風力發電市場約 4%，預計到 2025 年將超過 10% 且總裝置量會到達 100 GW。在發展成熟的歐洲方面，未來在發展目標及競標制度下，每年將會持續以 3–4 GW 的速度成長。至於亞洲，如果政府能夠維持承諾且執行這些投資，未來每年將會有 5–7 GW 的裝置量，其中，關鍵的離岸風力發展國家包含台灣、日本及南韓，這些市場的投

資計畫及相關產業鏈正在快速成長且日益成熟。在台灣方面，政府規劃在 2025 年達到 5.5 GW 的離岸風力目標，並以「先遴選、後競價」兩階段的方式發展離岸風電，且政府將國產化及建立本土供應鏈列為重要目標。2019 年 4 月經濟部能源局宣示自 2026 年起每年將釋出 1 GW，5 年共釋出 5 GW 的風場，並要求開發商繼續跟國內產業作結合，實現區塊開發國產化。日本政府於 2018 年通過離岸風力法 (Offshore Wind Law)，明確定義離岸風場發展的區域及其他相關規範，這些行動反映著日本希望透過發展離岸風力因應未來可能的電力短缺及對進口化石燃料的依賴。南韓在 2016 年已在濟州島完成第一個離岸風場，並訂定 2030 年 18 GW 的風力發電發展目標 (包含陸域及離岸風力)，雖然目前其他離岸風場都在規劃階段，但未來離岸風電在風力發電目標所擔任的角色相當重要。反觀印度及越南目前雖處於起始階段，但其具有可觀的離岸風力潛能(越南 27 GW，印度 60 GW)，越南已經安裝了 99 MW 的離岸風機，雖中間冗長的行政程序消耗許多時間，但有穩定的躉購費率 (98 USD/MWh) 來支撐著離岸風力的發展。綜觀整個亞洲的離岸風力市場有相當大的潛力，但相關產業完整的供應鏈及穩定的政策仍為離岸風力發展的關鍵。

New installations
GW



資料來源：GWEC (2019)

註：最後一張為離岸風電，其他則為陸域風電。

圖五、未來風力發電新增裝置量—依全球區域別

資料來源

1. 工研院 IEK Consulting (2019)，2019 年全球風力發電四大趨勢。
2. GWEC (2019), Global Wind Report 2018.
3. IEA (2018), World Energy Outlook 2018.
4. USDOE (2018), 2017 Wind Technologies Market Report.
5. WindEurope (2019), Offshore Wind in Europe, Key trends and statistics 2018.