

關鍵議題評析：

2019 年世界風能報告

—著重市場與系統價值與使用新興技術解決方案以促進風能市場發展

林廷融

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

世界風能協會(GWEC)於 2020 年 3 月發布「2019 全球風能市場報告」，指出 2019 年陸域及離岸風電新增 60.4 GW 裝置容量，為歷史第二高紀錄，陸域風電新安裝量為 54.2 GW，中國和美國是最主要的陸域風電新增國，離岸風電新裝置容量約為 6,145MW，中國、英國及德國仍是最主要的離岸風電新增國。報告中指出進一步加快風能市場增長的兩個關鍵驅動因素：(1) 將關注重點從均化成本(LCOE)轉移到市場與系統價值導向；(2) 使用新興技術解決方案（如混成技術和綠色氫能）為風能產業打開新的市場。報告中預期風能市場未來前景仍強勁，預期 2020 年將新增裝置容量達 76 GW，為風力發電創紀錄的一年，預估未來五年將有 355GW 的新增裝置容量，但是新冠病毒疫情(COVID-19)對風力發電裝置佈建的影響仍然未知，未來 GWEC 將針對疫情影響進行量化對風能市場的影響。

關鍵字：市場價值、商業模式、新冠病毒

一、前言

世界風能協會於 2019 年 3 月 26 日發布第 15 版「2019 全球風能市場報告」，指出 2019 年陸域及離岸風電新增 60.4 GW 裝置容量，相較 2018 年成長了 19%，是歷史上第二高。目前全球風能總裝置容量超過 651 GW，相較 2018 年成長了 10%。中國和美國仍然是世界上前二大的陸域風能市場，合計佔 2019 年新增裝置容量的 60% 以上。2019 年離岸風電新增裝置容量達到創紀錄的 6.1 GW，佔總體風能新增裝置容量的 10%，在推動全球風電安裝中扮演著越來越重要的角色。

世界風能協會統計 2019 年新增風力發電裝置容量共 60.4 GW，新增量前三名為中國大陸(26.15 GW，占比為 43.3%)、美國(9.12 GW，占比為 15.1%)及英國(2.41 GW，占比為 4%)；

累計風力發電裝置容量共 650,557 MW，累計量前三名為中國(236,402 MW，占比為 36.3%)、美國 105,466 MW，占比為 16.2%)及德國(61,406 MW，占比為 9.4%)。2019 年離岸風電全球新裝置容量約為 6,145 MW，全球總裝置容量累計 29,136 MW，其中 21,903 MW(75.2%)位於歐洲，剩餘 25% 主要在亞洲地區如中國大陸(6,838 MW)、南韓、台灣跟其他亞洲國家。由 2019 年風能市場報告中指出全球風電市場前景仍然保持樂觀，未來五年的複合年增長率仍可預期以每年 4% 持續成長，但逐年裝置容量並非線性增加，而會以各國風場開發規劃有所消長。

值得注意的是風電市場新增裝置容量主要驅動因素與 2018 年類似，仍為招標、競標及綠色憑證等市場機制，受惠於政策支持-包括再生能源目標設置量的提高及招標與競標專案，且風能成本逐漸降低，未來前景仍強勁，預計到 2024 年將有超過 355 GW 的新增裝置容量。除了政策支持外，報告中指出進一步加快風能增長的兩個關鍵驅動因素：將關注重點從均化成本(Levelised Cost of Electricity, LCOE)轉移到市場與系統價值導向及使用新興技術解決方案（如混成技術和綠色氫能）為風能產業打開新的市場。

二、2019 年世界風能報告重點摘要

(一) 風能行業永續性與技術方案

去年發布的 2018 年世界風能報告指出(1)不斷修正的商業模式；(2)企業採購模式及(3)更加關注價值的新能源解決方案這三個市場驅動因素。2019 年世界風能報告指出，隨著陸域風電技術的成熟，離岸風電已成為能源轉型中政府和國際機構所接受的主要變革者，在實現低碳或淨零排放的過程中，風能將扮演領導角色，因此，需進一步關注風能行業永續性與使用新興技術解決方案（如混合技術和綠色氫能），方能為風能產業拓展新的市場與發展機會。

1. 風能行業的永續性

IRENA 提出的 2030 年增溫 1.5 度 C 情景發展路徑中，提出全球陸域風電裝置容量需增加 3 倍，離岸風電裝置容量需增加 10 倍，並實現大規模電氣化。但為了實現這一加速增長情境，必須清除市場障礙，在未來十年中，陸域和離岸風電年安裝量將達到 100 GW 以上，但建設新的風電能力進展尚未能達到所需的水平，導致政策目標與建置部署和投資能力之間的差距越來越大。因此，為實現 2030 年風能加速增長目標，新的市場設計是有必要的，必須將重點由均化成本(LCOE)降低轉移到市場環境並發送正確的市場訊號：採用能源的系統價值，構建市場結構以確保再生能源獲得足夠的報酬以及為電網改造籌集資金。

報告中指出由印度、德國及巴西等國案例研究中發現風能面臨的一些挑戰，導致開發週期停滯或是市場增長緩慢，這些挑戰包括：(1)風能儘管具有價格和其他優勢，但淘汰現有化石燃料發電或阻止新建化石燃料的訊號仍然微弱；(2)風能和其他再生能源爭奪發電量的增長；(3)不完整的許可制度、土地分配和公眾接受度問題；(4)傳輸瓶頸；(5)政治和利益影響引起的政策不確定性。因此，如果風能市場想要永續發展，具永續性的風能市場設計是必須的，報告中提出永續能源市場設計的八大關鍵組成要素(見圖 1)：

(1)基礎設施-足夠的電網基礎設施投資；(2)主動許可-簡化再生能源項目的許可流程；(3)公平定價-制定再生能源的公平報酬和定價機制以反映碳成本；(4)收益機會:除了稅收抵免和 RPS 之類的激勵措施外，使雙向購電合約(PPA)能夠增加；(5)系統價值-強調再生能源的系統價值和能源競爭的公平競爭環境；(6)政策環境-致力於實現能源轉型的長期政治承諾；(7)採購流程:在雄心勃勃的再生能源目標引導下，建構透明再生能源採購管道；(8)脫碳解決方案:包括部門耦合、能效、儲能和其他技術。此八大元素可彼此連動構成市場循環，達到再生能源市場之永續性。

風電行業的成本競爭力和效率已經能夠證明其日益成熟，此反映在均化成本(LCOE)的變化上，LCOE 是評估風能和其他能源成本的常用手段，可透過 LCOE 來評估未來目標和支持水準。過去十年（尤其是過去五年），風電的 LCOE 降低已從根本上改變其競爭地位。據彭博社報導，過去五年來陸域和離岸風電成本平均下降了 50% 以上，陸域風電於 2016 年起均化成本降幅顯著，截至 2018 年已低於 60 美元/MWh；離岸風電均化成本自 2012 年起顯著下降，截至 2018 年已下降至 120 美元/MWh，而從 2018 年到 2019 年，隨著風機大型化效應，新建離岸風電價格下降了三分之一。雖然陸域風電和未來離岸風電的超低 LCOE，可與大多數地方的化石燃料發電進行成本競爭，但是不代表風能和其他再生能源能完全替代化石燃料。

如今的能源市場會根據批發市場價格為不同電力來源提供投資訊號，由於再生能源大量佈建，導致將大量可變的低成本電力整合到圍繞邊際成本設計的批發市場中，使得電價波動性加劇。在許多情況下，電力價格呈現低或甚至負電價的情況發生，加上政府導入「零補貼」政策，可能會破壞新的風能計畫投資回報率並增加風險，從而破壞能源轉型所需的投資加速。因此，適當的市場設計應著眼於系統價值，即所有能源對整個社會的正面和負面影響之和，包含考慮電網穩定和平衡成本、污染物排放、能源系統靈活性需求以及社會環境影響等影響要素，未來的能源市場除了關注風能和其他再生能源（如太陽能）LCOE 的降低外，應更公平地評估再生能源在能源轉型與電力系統中發揮的作用與價值。

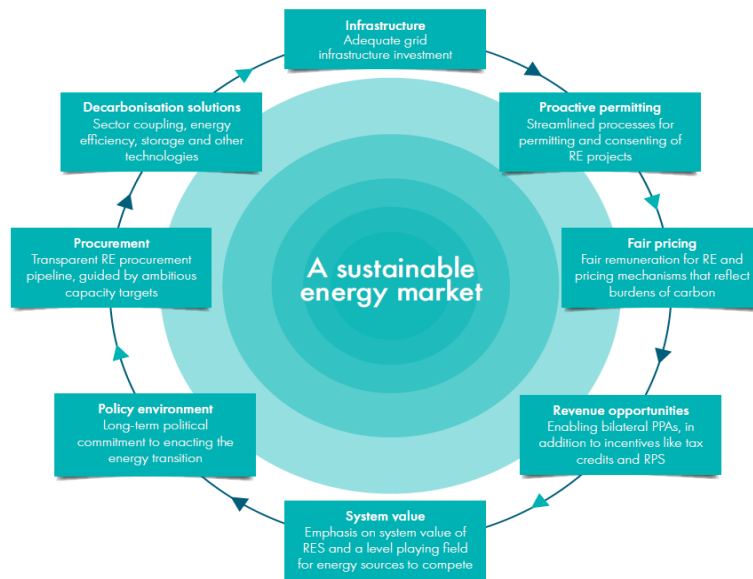


圖 1、永續能源市場設計的關鍵組成要素[2]

風能市場另一大轉變是在過去的十年中，競標逐漸取代躉購補貼政策，根據 IRENA 的數據顯示，有 100 多個國家至少舉行了一次再生能源競標，其中許多是近三年來第一次，圖 2 顯示過去三年世界風能低競標價格案場分布與價格。競標機制已成為引起成本競爭和價格透明的流行工具，同時仍可保證向電力生產商收取可預見的報酬。中國將在 2021 年之前逐步取消對陸域風電的補貼，2017 年開始德國離岸風電「零補貼」競標，而 2018 年荷蘭也跟進此政策。GWEC 於本報告中指出並不支持轉向「零補貼」競標策略，原因是無法提供長期的價格/價值可見性，並難以預測技術進程、貿易限制不確定性及金融市場的風險，導致增加風能的資本成本風險。德國、加州和澳洲等市場已經顯示出，當高再生能源發電時期造成供過於求並迫使批發價格降至低甚至負水準時，可能會出現價格扭曲，而分析師則將負價格的正常時期視為「新常態」，但是如果是能源供應商與企業簽訂雙向的購電合約，則可避免這樣的狀況發生，它們使企業能夠對沖電力批發價格風險，同時為風能供應商提供長期的收入穩定性。據彭博社報導，透過這些雙向 PPA，企業在 2008 年至 2019 年期間購買了超過 50 GW 的再生能源，其中僅在 2019 年就簽訂了 19.5GW 的購電合約。

雖然 2019 年風力發電裝置容量創歷史第二高的紀錄，但檢視當前對風

能的投資趨勢卻令人擔憂，儘管全球安裝量持續增長，但總體投資還不夠快，根據彭博社的數據，2019 年全球陸上和海上風能投資總額為 1,427 億美元，而 2010 年為 978 億美元，在過去十年風能投資的年均複合增長率為 3.85%，見圖 3。儘管部分原因是由於風能成本下降，但仍遠遠不夠，根據 IPCC 報告，2035 年全球對清潔能源的投資應從 2019 年的約 2,820 億美元大規模擴大到每年 24 兆美元，而根據 IRENA 的 2019 年全球能源轉型報告，2030 年需將陸域和離岸風電累計安裝量增加 3.5 倍，2050 年增加 10 倍，在未來 10 年，陸域和離岸風電年新增裝置容量將超過 100 GW。

Low bid levels around the world in last three years

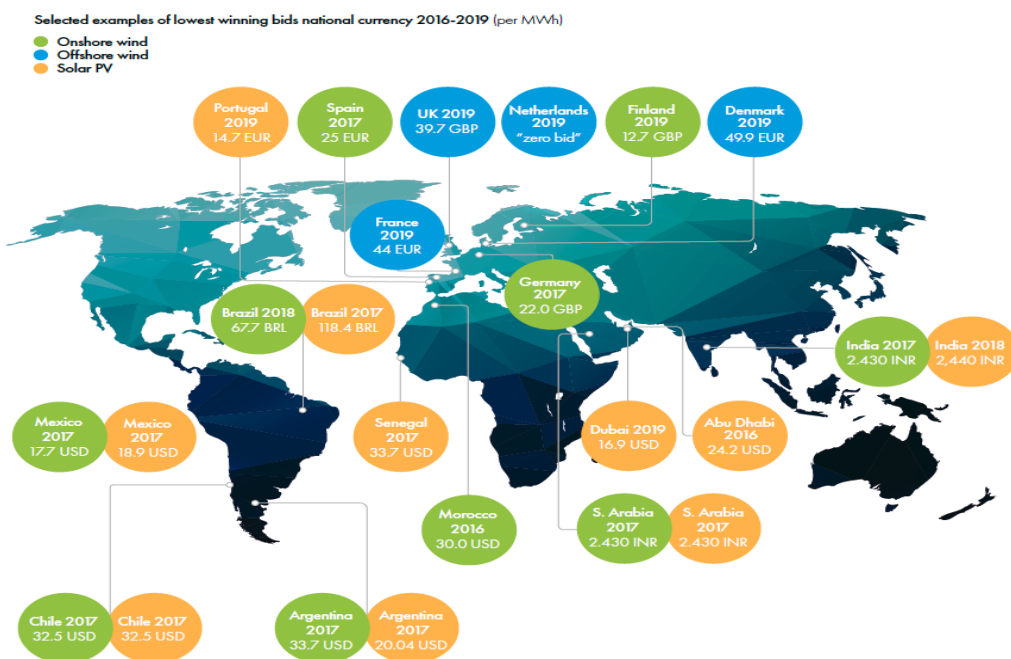


圖 2、過去三年世界風能低競標價格案場分布與價格[2]

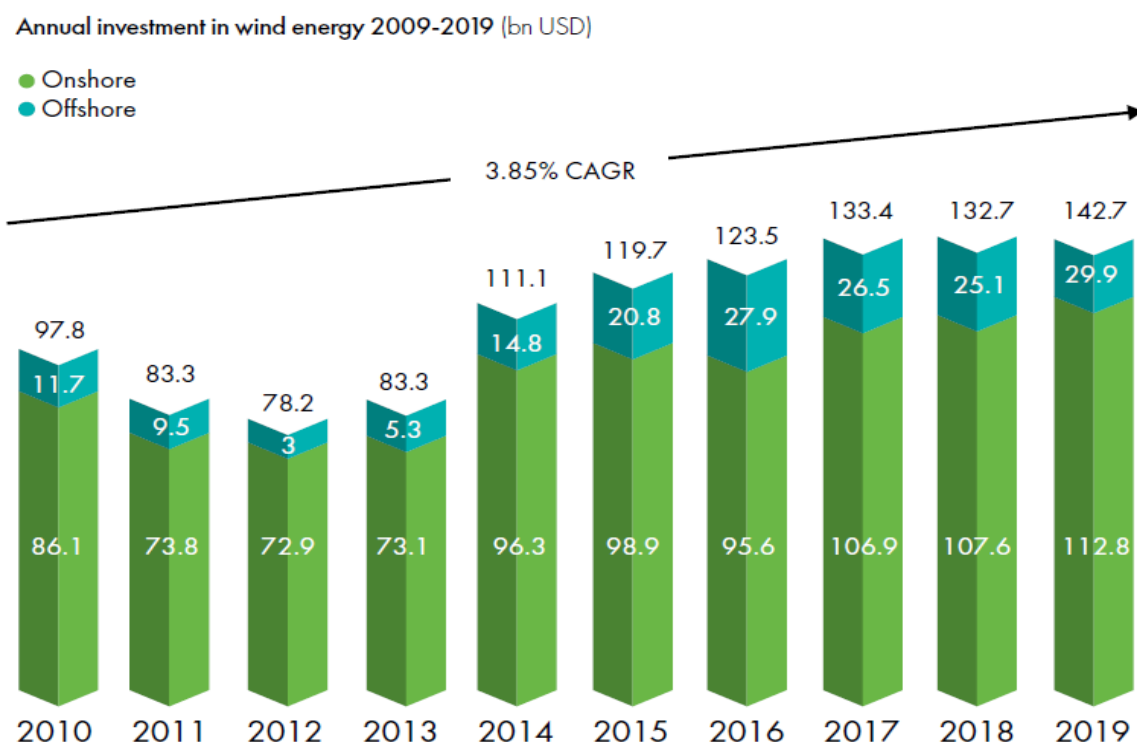


圖 3、過去十年(2009-2019)世界風能投資額與複合年增長率[1]

2. 技術解決方案

近年來，風能已發展成為主流能源，在 2019 年滿足歐盟 15% 的電力需求，成為中國第三大能源來源以及被譽為全球市場上最大的新電力來源，但是，為了大幅增加風能在能源市場中的占比並加速全球能源轉型，需要進行一系列的策略方案調整，需要持續關注並支持整合風能和其他再生能源到電網中的解決方案，透過解決方案可更有效地跨距離傳輸大量再生能源。解決方案的開發是能源轉換過程的重要組成部分，由於風能其成本競爭力、易於部署和可擴展性，在這一發展中起著主導作用，報告中指出與其他技術（例如氫氣）合作，除了能直接電氣化脫碳外，可提高在電力供應過剩時的蓄電能力，因此跨系統整合取代單一再生能源技術的思維是非常重要的。本報告認為風能混成解決方案(Hybridisation)和綠色產氫(Green hydrogen)將成為全球能源轉型的兩關鍵推動因素。

風能混成解決方案可將風能與另一種能源和/或存儲解決方案相結合，提供增加電網中再生能源占比的機會，同時可以幫助應對其他能源缺乏靈活可變的特性，目前已逐漸從穩定的電力供應保證，進展到協助分擔設計採購施工總承包 (Engineering, Procurement and Construction, EPC)、運轉與維護(Operation and Maintenance, O&M)和電網連接成本到擴大收益機會。目前可以應用在如歐洲、美國和澳洲等成熟市場以及東南亞等成長市場以替代化石燃料；在非洲大陸等新興市場和小島嶼等偏遠地區，可透過促進系統整合及啟用微電網/離網解決方案帶來價值並提供電力供應安全。

風能混成解決方案在財務上取得成功的因素是有效的計畫設計和設置，包括整個計畫的規模以及計畫功率輸出的管理和商業化。為了幫助加快全球能源轉型，從系統角度看，混成解決方案具有明顯價值，可以提供高成本效益的電力，將更多再生能源整合到電網中（透過克服再生能源的靈活性挑戰），並能更好地配合供需狀況。當然背後需要新的技術來支持，例如更經濟、更高效的儲能解決方案以降低儲能成本，以及數位化解決方案/能源管理系統（EMS）來管理發電和調度。

氫能近年逐漸受到世界各國重視，氫能具有在運輸和供暖中替代化石燃料的潛力，並可用作工業製程的低碳原料，具有可運輸或儲存能源的吸引力，並可以為石油和天然氣公司提供發展低碳模式的機會，而由再生能源電解產氫即所謂的「綠氫」(Green hydrogen) 為風能將提供進一步的市場增長機會。

由於面臨溫室氣體減量目標的挑戰，預計到 2050 年，風能和太陽能等再生能源雖然可滿足幾乎所有的電力需求，但部分能源使用領域如運輸、製造和供熱仍須找到脫碳方法。氫氣是一重要的潛在低成本解決方式，用風能和太陽能生產氫氣可以為基於風能、太陽能和其他再生能源電力系統開發提供迅速增長的利益，包括更高的能源安全性，更低的價格波動性和解決方案，然後用於整個系統中提供靈活且可調度的能源，並可解決風能過量產生電能的問題。因此，氫能提供邁向 100%再生能源系統發展的獨特商機和模式，風能的大量佈建將可通過綠色產氫來滿足零碳重工業所需的龐大能量。

氫能最大的問題還是在於成本，據彭博社報導，2019 年的綠色氫氣成本在每千克 2.50 美元至 4.50 美元之間，這主要取決於電解槽的成本，而價格必須降到 2 美元以下才能使綠氫與煤競爭，而價格必須降至 0.6 美元才能與灰氫競爭。根據 IEA 的報告《氫能的未來》指出 2030 年生產綠氫的成本可能會下降 30%。這一預測是基於再生能源成本的下降和氫生產的擴大。擴大綠氫項目和製造規模以實現可預見的成本降低並確保氫的經濟可行性至關重要，以便氫能夠充分發揮其作為能源轉型的長期推動力的潛力。

由於電解槽價格仍昂貴，在目前所有再生電力選擇中，離岸風能最具有永續的氫氣生產潛力，這是因為其規模和技術創新可以實現經濟競爭力，在北歐離岸風能發電成本已降至 55 至 70 歐元/兆瓦時(與 2015 年相比降低了 65%)，因此，目前已衍生兩種類型離岸風能到氫能的解決方案。第一種方案透過多餘的離岸風能為電解槽提供將水分子分解為氫氣和氧氣之電力，綠色氫氣將被壓縮並存儲在儲罐系統中，在需要時卸載或利用海上加氫平台將液態氫 (LH2) 轉換為合成天然氣 (SNG) 或氫，然後再運送到最終用戶進行多種用途。電解槽也可以部署在通過高壓海底電纜連接到變電站的沿海地區，這樣，綠氫可以在壓縮後直接通過陸上氫氣管道或卡車運輸。另一種方案利用離岸風能為位於石油和天然氣平台上的電解槽供電，從海水中產生綠色氫氣，綠氫被混入天然氣出口管道，並通過現有的天然氣基礎設施運輸到陸地，該方案已被工業氣體生產商廣泛用於供應化學和精煉工業，預計最多可以將 20% 的氫氣按體積混合到現有的天然氣管道中。

報告中也提到目前已擇定之綠色氫氣計畫案例如表 1，顯示風能行業參與者如何在 2019 年期間將氫結合風能的方法，參與者包括領先的海上風能開發商、石油和天然氣公司、研究中心以及政府，旨在大規模推廣氫氣以使工業脫碳，並為能源轉型做出重大貢獻。

表 1、已擇定之綠色氫氣計畫[2]

計畫名稱	位置	年	公司	發展現況
Crystal Brook Energy Park, Australia (50-MWe)	澳大利亞	2021	Neoen Australia	研議中的 50 MW 氫氣超級樞紐將成為世界上最大並置風能、太陽能、電池和氫氣生產設施。
Dolphyn (10MW)	英國	2023	Environmental Resources Management	將由英國商業、能源及產業策略部 (Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS) 支持此示範計畫第二階段
HYPORT® Oostende	比利時	2025	DEME, Oostende Port, and PMV	此綠色產氫廠將每年減少約 50 萬噸至 100 萬噸二氧化碳
Hyoffwind (25MW)	比利時	2023	Parkwind, Fluxys and Eoly	計劃在 2020 年夏季後做出最終投資決定，以便能在 2021 年中開始建造
Hydrogen Utility (15MW)	澳大利亞	2020 初	Germany's Thyssenkrupp and the Hydrogen Utility (H2U)	研議中的 1.175 億澳元設施將包括一 15 MW 電解廠，一個分佈式氫生產設施，一個 10 MW 氫氣燃氣輪機和 5 MW 氫燃料電池
H2Future (6MW)	奧地利	2019.11	Verbund (with Siemens electrolyser), APG, TNO and K1-MET	已安裝並運行大型 6MW 質子交換膜燃料電池 (Proton Exchange Membrane, PEM) 電解系統
NorthH2 Eemshaven	荷蘭	2027	Shell, Gasunie and Groningen Seaports	規劃建造一高達 10 GW 離岸風電場以生產工業規模的綠氫
Gigastack (5 MW)	英國	2022	Ørsted with ITM Power and Element Energy	該計畫得到 BEIS 支持，與 Hornsea2 離岸風電開發案相關
REFHYNE (10 MW)	德國	2020	Shell, ITM Power	此計畫為一 30 MW 示範計畫，為總體 700 MW 計畫的一部分，預計 2025 年運作

PosHYdon	荷蘭	2021	Nexstep, TNO and Neptune Energy	使用北海現有天然氣管道的 第一個離岸綠色氫氣示範計 畫
----------	----	------	---------------------------------------	-----------------------------------

(二) 2019 年風力市場現況

世界風能協會統計 2019 年新增風力發電裝置容量共 60.4 GW(圖 4)，相較 2018 年成長 19%，累積裝置容量達到 650.557 GW，比去年成長了 10%。陸域風電新增裝置容量達到 54.2 GW，離岸風電突破 6 GW 的里程碑，占 2019 年迄今為止全球最高裝機量的 10%。以區域新增趨勢而言，亞太地區仍處於領先地位，占 2019 年新增裝置容量的 50.7%，其次是歐洲 (25.5%)、北美 (16.1%)、拉丁美洲 (6.1%) 和非洲及中東 (1.6%)。以國家別而言，全球新增裝置容量前五大市場分別是中國、美國、英國、印度和西班牙，合計占全球新增裝置容量的 70%，見圖 5。就累計裝置容量而言，截至 2019 年底的前五大市場中國、美國、德國、印度和西班牙仍保持不變，合計占全球風電累計裝置容量 72%。

1. 陸域風電市場

2019 年陸域風電新增裝置容量 54.2 GW，相較 2018 年成長 17%，累積裝置容量超過 600 GW 的里程碑。而中國於陸域風電裝置容量上一直處於龍頭地位，在 2019 年新增裝置容量達 23.8 GW，累計總裝置容量提高到 230 GW，是第一個超過 200GW 總裝置容量的市場。中國政府於 2018 年宣布採用陸域風電競標制度，2019 年中國國家發展與改革委員會(National Development and Reform Commission, NDRC)提出陸域風電零補貼政策發展路徑，明定已於 2018 年核准之陸域風電計畫若能於 2020 年年底完成併網，則仍可適用躉購費率制度，從 2021 年 1 月 1 日開始，所有新批准的陸域風電計畫將進入電網平價（目前基於燃煤發電的管制價格）。由於在 2018 年底之前批准了超過 60 GW 陸域風電計畫，GWEC 預計已經在 2019 年下半年進行的新增裝置容量高峰將延續至 2020 年，使中國的新增裝置容量達到

30 GW。

2019 年陸域風電第二大市場是美國，擁有 9.1 GW 的新裝置容量和超過 100 GW 的累計總裝置容量，生產稅收抵免（Production Tax Credit, PTC）仍將是新增裝置容量的主要驅動力，開發商需在 2020/21 年之前完成計畫項目方可取得全部的生產稅收抵免，而 2019 年 12 月參議院通過生產稅收抵免再延長一年，因此，生產稅收抵免驅動新增裝置量效應將持續到 2024 年，未來的需求將連結到與各州設定之再生能源配額制度(Renewable portfolio standard, RPS)和企業購電合約市場。

2019 年前五大陸域風電市場除中國和美國外，為印度（2.4 GW）、西班牙（2.3 GW）和瑞典（1.6 GW）等三國。與 2018 年雷同，除了中國和美國外，競標、招標和綠色憑證等基於市場的機制仍是 2019 年陸域風能新裝置背後的主要驅動因素，報告中指出基於陸域風能市場機制產生了與 2018 年持平的 35% 新增裝置容量，隨著中國從 2021 年將開始陸域風電零補貼政策，預計將為支持全球競標量提供新的元素。

New installations GW

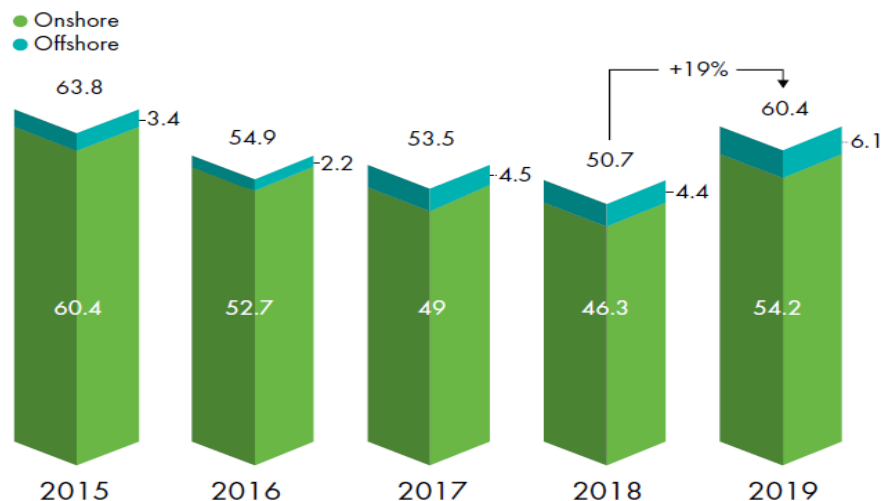
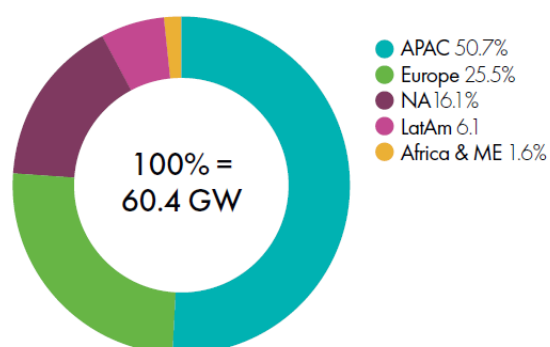


圖 4、2015 - 2019 年全球風力發電裝置容量新增量[2]

New capacity 2019 installed by region (%)



New capacity 2019 and share of top five markets (%)

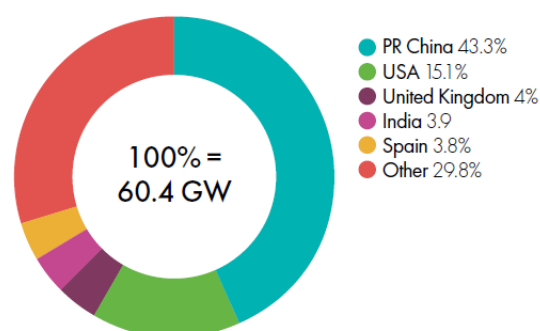


圖 5、2019 年全球主要區域與國家新增裝置容量占比[2]

2. 離岸風電市場

2019 年全球離岸風電新增裝置容量約為 6,145 MW，佔總體風能新增裝置容量的 10%，在推動全球風電安裝中扮演著越來越重要的角色，全球總裝置容量累計達 29.1 GW，2019 年新增量前三名為中國(2,395MW，占比為 38.97%)、英國(1,764MW，占比為 28.70%)及德國(1,111MW，占比為 18.08%)，見圖 6。

2019 年主要市場動態包括 2019 年 9 月英國差價合約(Contracts for Difference, CfD)第三階段分配結果出爐，以創紀錄每 MW 39~41 英鎊的低價格核配 5.1 GW 離岸風電風場，較 2017 年競標價格下降了 30%；開發商 Vattenfall 公司於 2019 年 7 月贏得了第二個荷蘭零補貼離岸風電招標案，共 760 MW，重複 2018 年第一輪零補貼競標結果，意味著該計畫將僅獲得電力批發價而不再獲得其他補貼，這證明離岸風電已降至具市場競爭力；美國離岸風電市場受到紐約州及紐澤西州上調離岸風電裝置目標及更多州設定離岸風電裝置目標刺激下，離岸風電總體裝置目標從 2018 年的 9.1 GW 上調至 2019 年的 25.4 GW，截至 2019 年 12 月為止，已有六個州提出超過 6 GW 離岸風電招標書，預計 2020 年紐約州及紐澤西州將有更多的離岸風電招標案件出現，預計到 2026 年將有超過 15 個離岸風場完成建置；亞洲離岸市場的發展在 2019 年仍是積極的，台灣完成第一個公用事業規模的離岸

風場完成併網，除了已經規劃 2025 年完成的 5.7 GW 外，並提出 2026~2035 年期間完成 10 GW 之目標。

圖 7 為 2019 年全球主要國家新增風力發電裝置變化，除拉丁美洲、非洲和中東以外的所有地區年度風能市場都在增長，圖 8 顯示 2019 年全球主要國家陸域及離岸風電新增及累計裝置量占比。圖 9、圖 10 顯示 2001-2019 年風能逐年新增及累計裝置容量成長變化及複合年均增長率，雖然 2010-2013 年逐年新增複合年均增長率有所下降，但之後仍有 9% 增長率，而累計裝置複合年均增長率增長幅度雖有所放緩，但仍有 12% 增長率。

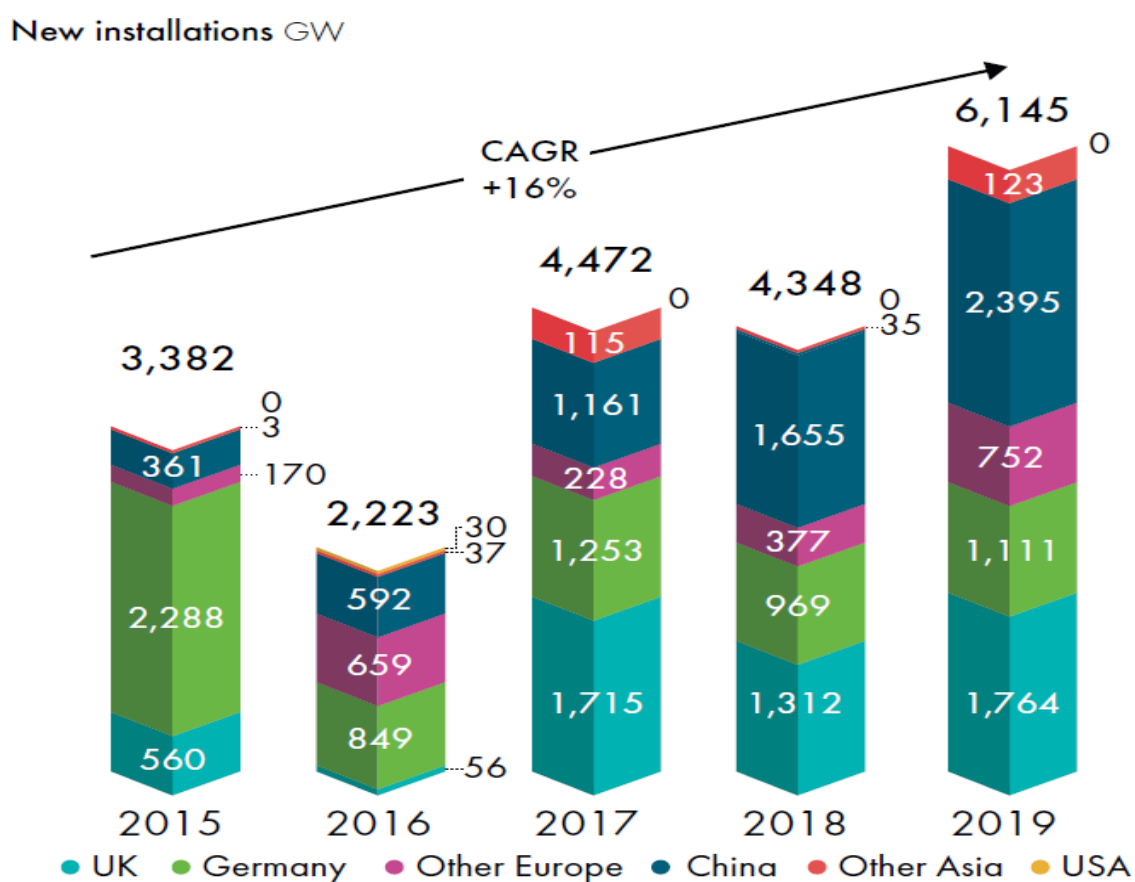


圖 6、2015 - 2019 年全球離岸風力發電裝置容量新增量[2]

Changes in new installations 2018 to 2019

GW, onshore and offshore

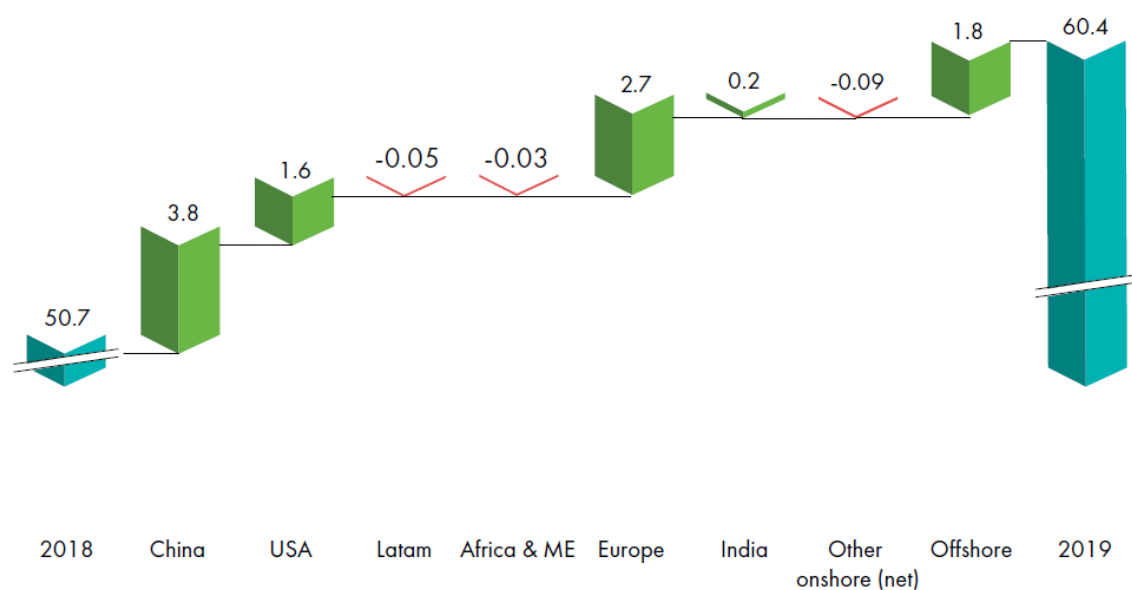
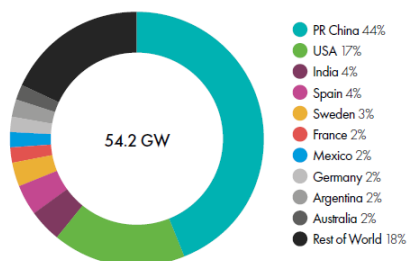


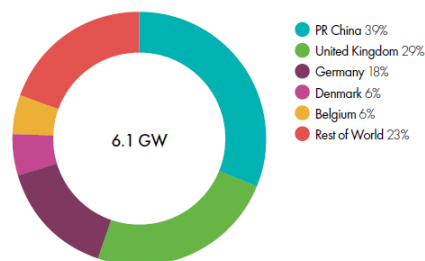
圖 7、2019 年全球主要國家與區域新增風力發電裝置變化[2]

Top markets 2019

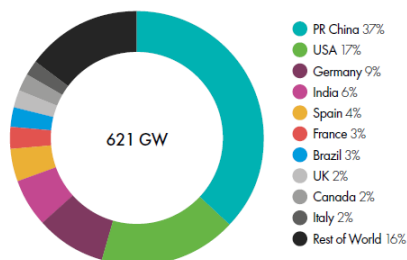
New installations onshore (%)



New installations offshore (%)



Total installations onshore (%)



Total installations offshore (%)

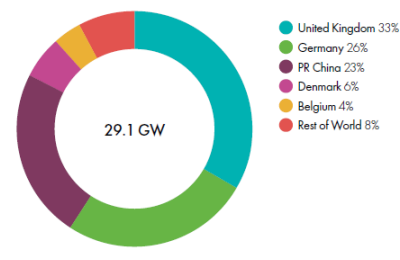


圖 8、2019 年全球主要國家陸域及離岸風電新增及累計裝置量占比[2]

Historic development of new installations (onshore and offshore)

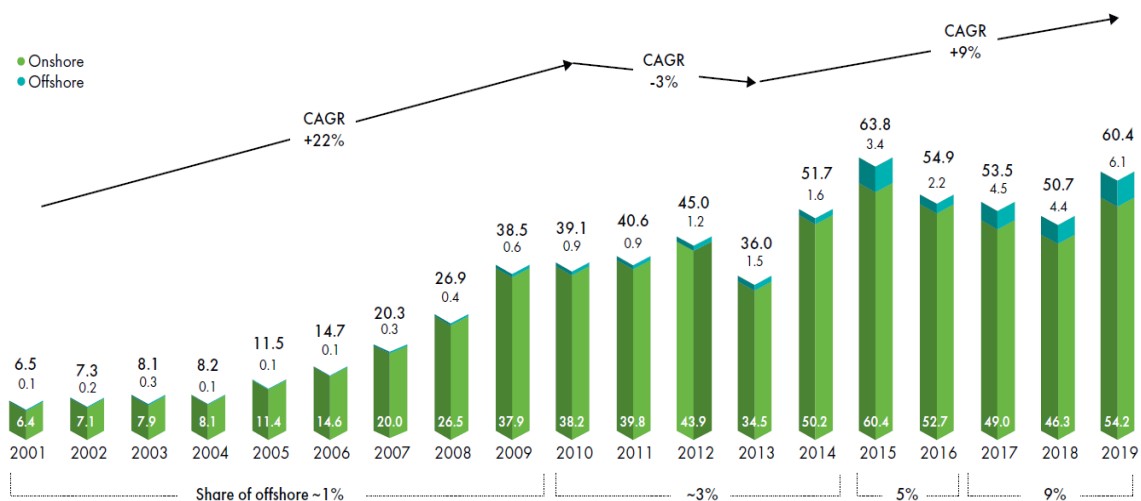


圖 9、2001-2019 年逐年風能新增裝置容量變化及複合年均增長率[2]

Historic development of total installations (onshore and offshore)

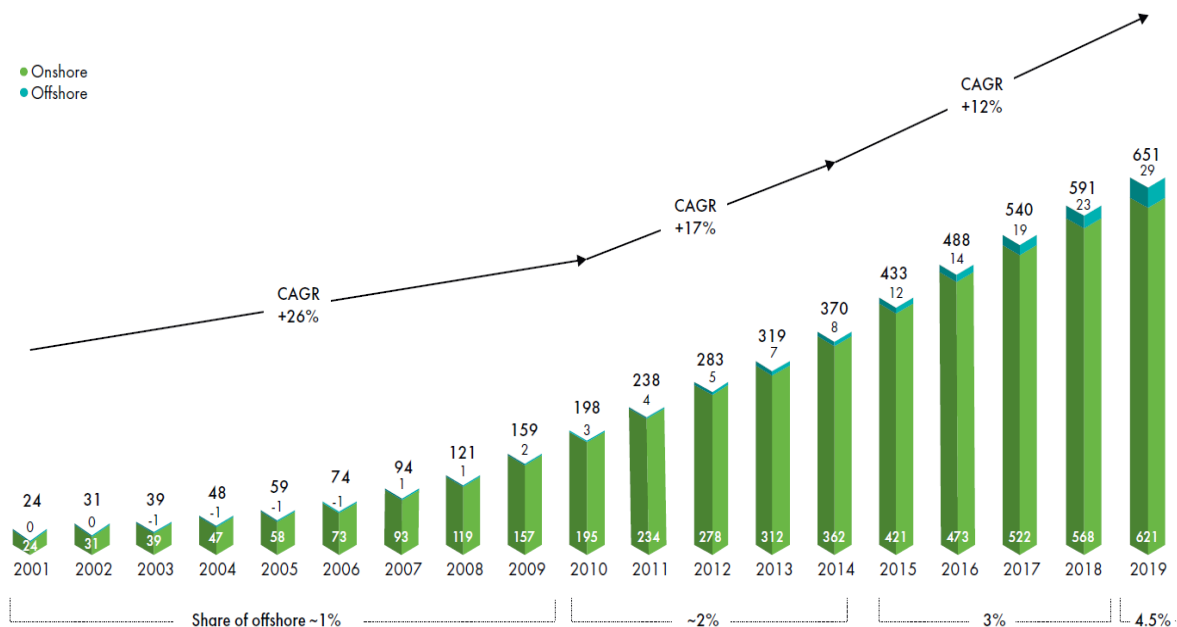


圖 10、2001-2019 年風能累計裝置容量成長變化及複合年均增長率[2]

(三) 值得關注之各區域風能市場

亞洲區域風能發展亮點包括: (1)中國大陸在 2019 年新增裝置容量比例為全球最高，離岸風電佔全球新增量 39%，陸域風電佔全球新增量 44%；(2) 亞太地區在 2019 年新增 30.6 GW 裝置容量，其中陸域佔 28.1GW，離岸風電貢獻 2.5GW，風電總裝置容量為 290.6GW，佔全球的 44%；(3)東南亞將是未來發展重點區域，值得關注越南與泰國未來市場框架與政策發展。世界銀行「風資源圖集」和「走向全球：將海上風電擴大到新興市場」的兩份報告中指出越南陸域風電開發潛能達 24 GW，離岸風電開發潛能達 475 GW，而目前越南每年峰值電力需求增長速度為 11%，迫使越南政府需尋求更多的電力來源，到 2019 年底，越南的累計風電總裝置容量為 487.4 MW，其中包括 99 MW 離岸風電，預計到 2025 年越南風電總裝置容量將約達 4 GW，目前越南仍採躉購制度至 2021 年，2019 年陸域風電躉購費率為每度為 8.5 美分(約新台幣 2.55 元)，離岸風電躉購費率初導入價格為每度為 9.5 美分(約新台幣 2.85 元)。泰國於 2019 年新增 322 MW 風電裝置容量，風電累計總裝置容量為 1,532 MW，已達 2037 年 3 GW 目標的一半，泰國已於 2018 年宣布可再生能源在 2037 年總能源結構中的比重將提高到 29.4GW (或占全國發電量的 33%)，GWEC 預期未來每年可以 250 MW 新增裝置量成長。

美洲區域風能發展亮點包括: (1) 在 2019 年新增 13.4GW 的裝置容量，比 2018 年的新增裝置量增加了 13%，風電總裝置容量為 148GW，是過去 10 年的三倍；(2) 市場監管機制和政治動盪以及中美貿易戰是未來拉丁美洲風電發展的關鍵驅動因素；(3)哥倫比亞與智利是拉丁美洲區值得關注的國家，哥倫比亞於 2018 年設定 2022 年再生能源目標為 1.5 GW，並著手建立自己的風電市場，於 2019 年 10 月進行的第二次再生能源競標中，簽訂了 7 個風場共 1,174 MW 平均價格 USD 28/MWh 的 15 年風電長期購電合約，GWEC 預期 2024 年可以達到 2.2 GW 總裝置容量。智利於 2019 年風能裝置容量增加了 18% 以上，新增裝置容量達 526 MW，智利目前運行中的風能裝置容量有 2.15 GW，另外還有 1 GW 正在興建中以及超過 6 GW 已核

准的風電計畫。

非洲和中東區域風能發展亮點包括：(1)於 2019 年共新增 944 MW，較 2018 年下降 2.9%，總裝置容量超過 6GW；(2)預計未來五年南非、埃及、摩洛哥和沙烏地阿拉伯等國新增陸域風機裝置容量超過 10.9 GW。非洲值得關注的市場是肯亞，肯亞目前擁有 335 MW 風電裝置容量，預計到 2024 年還將有 350 MW 的風電投入，作為非洲大陸上風能比太陽能更具吸引力的國家之一，肯亞有望在風能領域保持領先地位，另外肯亞提出 2020 年利用地熱、風能和太陽能達到實現 100%再生電力的目標，到 2030 年實現 23 GW 再生能源電力產能。

本報告針對美國、中國與日本的離岸風電發展提出市場觀察分析。根據美國國家再生能源實驗室 (National Renewable Energy Laboratory, NREL)指出美國擁有超過 2,000 GW 的離岸風力發電技術資源潛力，幾乎是美國目前用電量的兩倍，目前由緬因州、康乃迪克州、麻州、紐約州、紐澤西州、德拉瓦州、馬里蘭州、維吉尼亞州和北卡羅來納州等十多個東海岸州已有離岸風電計畫處於不同的開發階段，其中六個州通過立法、有條件目標或行政命令制定離岸風電目標，使美國離岸風電總目標從 2018 年的 9.1GW 增加到 2019 年的 25.4 GW，根據美國風能協會(AWEA)統計，截至 2019 年 12 月，已有六個州通過招標計畫選擇近 6,300 MW 的離岸風電，排名前四的州是紐約州 (1,696 MW)、麻州 (1,604 MW)、康乃迪克州 (1,108 MW) 和紐澤西州 (1,100 MW)，預計到 2026 年將有 15 個離岸風電計畫總計 10,603 MW 商轉，預計仍以歐洲開發商為主，丹麥沃旭(Ørsted)公司仍為龍頭，搶下 2.5 GW 開發量。

中國在 2018 年的離岸風電新增裝置容量 2.4 GW 已超過英國，成為世界領先的海上風電市場。目前，中國的離岸風電累計裝置容量為 6.8 GW，成為世界第三大風電，並實現到 2020 年 5 GW 離岸風電裝置容量併網的目標。目前中國沿海各省皆提出 2030 年離岸風電裝置目標，包括廣東省 30 GW、江蘇省 15 GW、浙江省 6.5 GW、福建省 5 GW、山東省 3 GW 與遼寧省 2 GW，其他河北省、上海市、廣西省和海南省也提出離岸風電發展計畫

共約 5 GW，總體目標達到 66.5 GW。由於 2019 年國家發改委宣布將由躉購制度轉向競標制度，離岸風電開發案若於 2018 年底前獲得批准並於 2021 年底前完成併網，可獲得每度人民幣 0.85 元(約新台幣 3.58 元)的補貼，而 2019-2020 年獲准的開發案則需進行競標，價格上限分別設置為人民幣 0.80 元/度(約新台幣 3.37 元)和人民幣 0.75 元/度(約新台幣 3.16 元)，而 2020 年 1 月更宣布 2022 年後將取消離岸風電補貼，但允許省級政府提供補貼政策以達成離岸風電開發目標。2019 年前國家或省級政府批准了 40 GW 以上離岸風電計畫，其中一半位於廣東省，另一半位於江蘇省、浙江省和福建省，主要開發商為中國國有之能源公司。GWEC 預估到 2020-2021 年中國可能併網 7.5 GW 的離岸風電，將可能使中國取代英國成為全球離岸風電累計安裝量最大的國家。

日本於 2012 年 6 月批准了風電躉購電價 (FiT)，但直到 2014 年 3 月經產省 (METI) 才提出離岸風電專用躉購電價每度 36 日圓(約新台幣 9.92 元)的價格後，截至 2019 年底，日本只有 65.6 MW 離岸風電裝置量，其中包括五台總計 19 MW 的浮動式離岸風機，過於複雜的環境影響評估制度 (EIA) 與市場不確定性導致日本的離岸風電發展緩慢，通過日本嚴格的環境評估程序需要花費四到五年的時間，且需要面對跨部會協調的問題，由於 2012 年 10 月開始規定案場規模大於 7.5 MW 皆需通過環評，對於開發商而言環評通過與否會產生相當大的投資不確定性，截至 2020 年 1 月，已有 14.8 GW 離岸風電開發案正在進行環評程序。儘管日本政府未宣布長期海上風電目標，但風電行業仍期望每年約有 1 GW 的離岸風電開發計畫(由三個或四個推廣區域組成，每個區域 300-350 MW)，如果能夠實現供應鏈產業化，日本風能協會(JWPA)向政府建議可提出 2030 年離岸風電總裝置容量 10 GW 的目標。

(四) 2020-2024 未來風能市場展望

本報告指出未來全球風能行業的市場前景仍為積極樂觀，在未來五年

內(2020-2024)預計每年將增加超過 71 GW，共超過 355 GW 的新裝置容量(圖 11)。未來五年，政府政策支持(例如躉購制度、生產稅收抵免、競標專案以及國家或州級設定之再生能源目標等)仍然是風能裝置量成長的主要驅動力，在商業基礎上運營的機會也逐步增加，尤其是風能已證明其成本競爭力及商業購電協議等商業模式逐步增長。而由於中國的陸域風電零補貼政策及美國生產稅收抵免政策，2020 年是可預期的風能裝置高峰期，而 2021 年後下一個高峰期可能出現在 2024 年美國取消生產稅收抵免政策之時。在歐洲、拉丁美洲、非洲及中東和東南亞，基於市場機制包括單一風能、與其他能源混合的競標將繼續占據主導地位，但是 GWEC 提醒在德國和印度等國家必須加快解決與市場設計有關的問題。

風能和再生能源的投資環境在 2019 年期間保持積極態勢，隨著風能成本競爭力的日益提高，雙邊購電協議(例如公司 PPA 模式)不僅將在美國、巴西、墨西哥、智利、阿根廷和北歐等成熟市場保持發展，而且未來新興市場如東南亞也將不斷發展。隨著均化成本的急劇下降和全球能源轉型的加速，離岸風電投資環境更顯積極，預計將以 19.5%複合年增長率達到未來五年內建造超過 50 GW 的目標。

報告中針對幾個區域提出未來展望(圖 12):

1. 離岸風電: 預計全球離岸風電市場的規模將從 2019 年的 6 GW 增長到 2024 年的 15 GW，到 2024 年預計離岸風電在全球風能市場新增裝置量占比將從 10%增長到 20%。2024 年預計中國將成為亞洲離岸風電市場最大貢獻者，其次是台灣和日本。美國預計將在 2023 年實現首個公用事業規模的離岸風電電廠(> 800 MW)
2. 非洲/中東: 預計未來三年(2020-2022 年)非洲/中東地區的風電新增裝置量將保持每年 1.45GW 穩定成長，甚至可能會翻倍成長，成長貢獻來自於非洲最大風能市場-南非以及中東沙烏地阿拉伯。
3. 亞洲(中國除外): 印度預計在未來 2-3 年內將解決與風能計畫執行和市場設計有關的問題，因此將繼續扮演重要發展角色。在東南亞，近期達

到安裝高峰的越南是值得關注的市場，而印尼及菲律賓在再生能源政策推動下，有機會給予風能市場更多的能量。

4. 大洋洲：未來五年主要風能市場需求將來自澳洲，將和紐西蘭就混合能源與微電網等新型技術和先進商業模式提供發展機會。
5. 歐洲：歐洲市場成熟，未來五年預計在陸域風電市場將新增裝置容量達到 11-12 GW。此外不屬於歐盟的俄羅斯和土耳其隨著政府執行競標和招標，裝置量將持續增加。
6. 美洲：在拉丁美洲，隨著巴西市場的復甦和市場需求，預計每年將可穩定新增 4 GW 裝置容量。PTC 將持續推動美國市場，良好的經濟效益和州級 RPS 將確保未來的市場活動。
7. 中國：隨著 2021 年起陸域風電將為零補貼，因此，2020 年將是中國陸域風電新增裝置量的高峰，預計將有 50 GW 裝置量，而 2021/22 將導入新的競標制度。

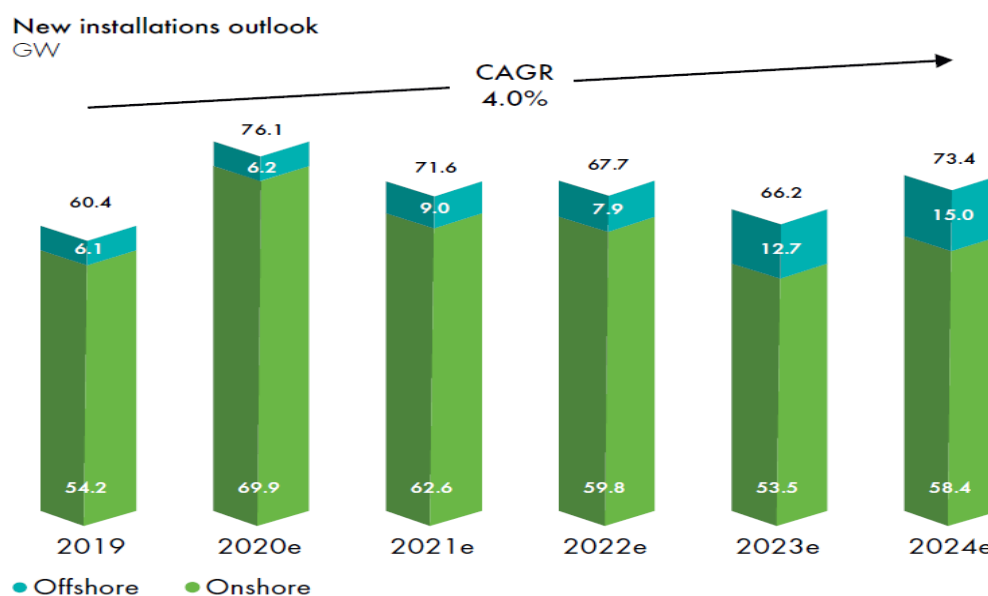


圖 11、2019-2024 年陸域及離岸風力發電新增裝置量預測[2]

New installations outlook by region (MW and per cent, onshore and offshore)

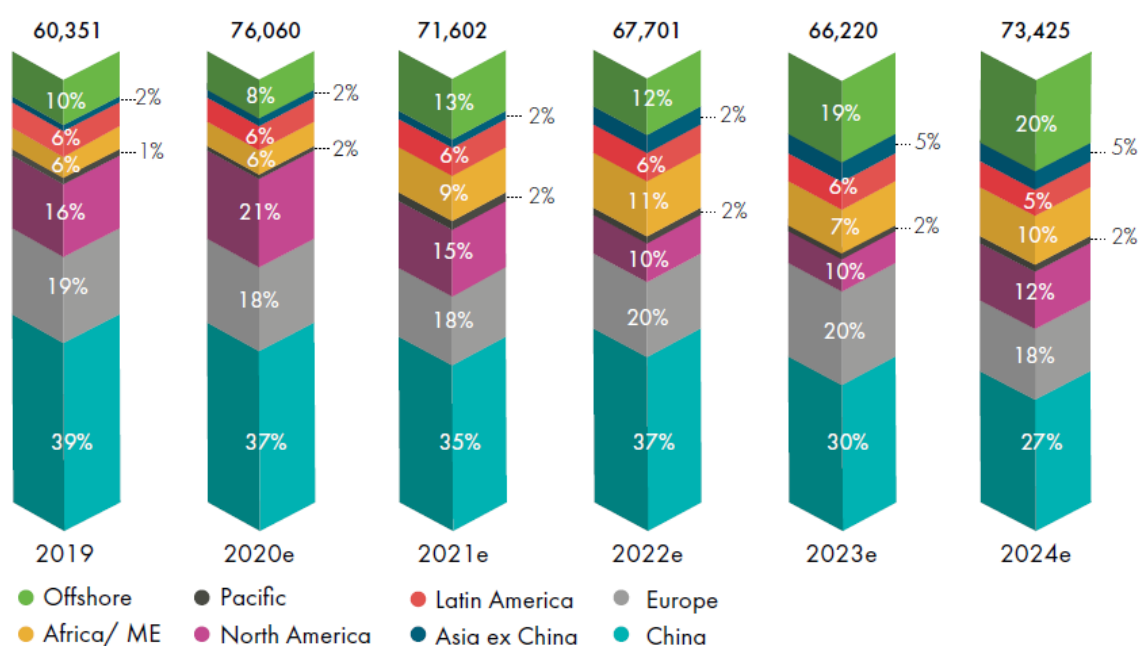


圖 12、2019-2024 年區域陸域及離岸風電新增裝置量與占比預測[2]

三、 結論及建議

能源轉型其中一個關鍵是更注重能源為系統和市場提供的價值，包括能源產出、易整合性及供需調度配合等，目前已經出現許多風能與其他能源系統綜合解決方案，對整體能源市場展現更進一步的價值與可能性，綜合解決方案關鍵是成本效益、系統整合技術創新和基於需求概況衍生出的安全/適時的供應。近年價格下跌和競爭壓力，未來風電產業已逐步調整業務重點方向，尋找新的其他收入來源、商業模式和增長機會。

依據 REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) 發布 2020 年度全球再生能源發展報告(GSR2020)，全球 2019 年再生能源投資僅較 2018 年微幅成長，但平均設置成本持續下降中，再生能源投資總額已是傳統火力電廠與核電廠加總的 3 倍。台灣在 2019 年度再生能源投資額名列世界第 5 名(不包含水力)，緊接在中國、美國、日本與印度之後，主要包含 3 項的大型離岸風場計畫(78 億美金)，總投資額達到歷年最高的 88 億美

元，較 2018 年成長 390%。

由於 2020 年受到新冠病毒疫情影響，對於未來風能市場的影響尚未能具體量化估算，世界風能協會於 2019 年 4 月 6 日發布第一次風能產業與新冠病毒回應中心週報，針對印度、中國及西班牙風能政策及產業鏈供給受新冠病毒影響提出現況更新與分析。印度是亞太地區僅次於中國的最大風力渦輪機生產基地(年產量達 10 GW)及世界上最大的風機齒輪箱製造基地之一(年產量近 10 GW)，Suzlon Energy 和 Inox 是印度最大本地供應商，約佔 25%，剩餘約 75% 市場由 Siemens Gamesa、Vestas 和 GE 共享。

歐洲渦輪機 OEM 廠商面臨供應鏈中斷的挑戰，而印度製造的齒輪箱主要供應美國陸域風能市場，因此，COVID-19 對齒輪箱供應鏈的影響不僅會對其國內風能市場產生負面影響，預期美國陸域風機裝置成長將受到影響。中國將從 2021 年開始實施風電「零補貼」政策，原先預期於 2020 年將有 60GW 以上風電專案完成併網取得躉購費率，達到安裝高峰，若受新冠病毒疫情影響裝置進度無法如期完成或展延，預期將對開發商及製造商財務有重大影響。西班牙因新冠病毒疫情全國封城，風力渦輪機製造商 Siemens Gamesa 和組件供應商 LM Windpower 停止其西班牙葉片生產工廠運作，製造商 Siemens Gamesa、Nordex Acciona 和 Vestas 相繼暫停相關供應鏈零組件生產，中國及美國將受到風能零組件出口供應影響。

世界風能協會（GWEC）與全球風能組織(GWO)共同發布《2020-2024 年全球離岸風電勞動力展望》，預計到 2024 年，全球離岸風電行業將需要超過 77,000 名受過訓練的專業人員，以推動新興市場的增長。報告提出至 2024 年六大離岸風電目標市場(包括北美、中國、台灣、日本、越南及南韓)將需要受過 GWO 專業訓練的勞動力需求約 77,000 人，相當於每專案每 MW 約 2.5 人。台灣預計至 2024 年將新增 3,579MW 裝置容量，評估勞動力需求達 8,949 位專業人員。報告中認為勞動力供應鏈瓶頸包括缺乏 GWO 培訓中心、缺少熟悉標準的講師與認證員，及被認為是「強加」標準的風險。雖然於世界風能協會市場展望報告中認為新冠病毒(COVID-19)影響勞動力及渦輪機供應鏈輕微，但因尚未完全量化影響程度，全球風能組織已先應用數位

學習平台訓練相關勞動力以因應本次疫情。

目前我國為促進在地產業及創造就業，鼓勵外商產業進駐投資並建構相關基礎設施及供應鏈，由於離岸風場開發對大部分之離岸風電零組件禁止中國進口，船舶與船員亦禁止，因此目前影響有限，但隨著疫情擴散是否會影響到風場開發期程有待觀察。交通部航港局已於今(2020)年3月底宣布為確保疫情不擴散及維護風場施工工作人員之安全，離岸風電船舶若由國外首次申辦入港，須由航港局航務中心確認該船過去14天內是否曾停靠疫情警示第三級國家或地區；若曾經停靠則該整船船員需在14日檢疫期滿後方可至風場作業，風電施工商皆依政府發布的防疫要求和建議進行防疫措施。

經濟部能源局規劃離岸第三階段區塊開發規則已於2020年6月19日辦理區塊開發說明會進行規則草案說明，規劃2026年至2035年10年共10GW裝置容量，採競價方式，預計每年釋出1GW容量，預計將在2021年第二季開始連續3年辦理容量分配，優先推動小於50公尺水深區域，容量分配擬分三期進行：

- 第一期於2021年第二季進行競標，分配1GW，預計2026年併網。
- 第二期於2022年第二季進行競標，分配2GW，預計2027~2028年併網。
- 第三期於2023年第二季進行競標，分配2GW，預計2029~230年併網。

審查採兩階段進行，第一階段資格審查，以「技術、財務能力、產業承諾條件」進行審查，把國產化納入評比；第二階段進行價格評比，以通過資格審查者進行競價，價低者得標。如此可看出政府為因應未來龐大離岸風電開發量，延續第二階段潛力場址推動政策，仍將國產化列為資格審查指標，可持續鼓勵國內外產業進駐投資並強化國內投資環境，吸引外商投資加速建構相關基礎設施及國產化供應鏈，以促進在地產業及創造就業。由於已歷

經示範階段及潛力階段，對於過往面臨之基礎設施不足、漁業補償及回饋機制、獎勵投資及融資等問題可望於區塊開發開始前逐一解決。

四、參考資料

- [1] Bloomberg (2020), BloombergNEF Clean Energy Investment database (Status January 16th, 2020.)
- [2] GWEC (2020), Global Wind Report 2019, 2020/03/25.
<https://gwec.net/global-wind-report-2019/>
- [3] GWEC (2020), The first weekly update of GWEC's Wind Industry & COVID-19 Response Hub, 2019/04/06.
https://gwec.net/wind-industry-covid-19-response-hub/?mc_cid=52abb65de5&mc_eid=95002c1b2e
- [4] GWEC (2020), Powering the Future - Global Offshore Wind Workforce Outlook 2020-2024.
<https://gwec.net/gwec-and-gwo-global-offshore-wind-industry-will-require-over-77000-trained-workers-by-2024-to-power-growth-in-emerging-markets/>