

2021 年世界風能報告風能在實現淨零排放的道路上 扮演之角色

林廷融

工業技術研究院綠能與環境研究所

中文摘要

世界風能協會於 2021 年 3 月發布「2021 全球風能市場報告」，指出 2020 年陸域及離岸風電新增 93 GW 裝置容量，創下歷史新高紀錄，陸域風電新安裝量為 86.9 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 6.1 GW，中國、荷蘭及比利時是 2020 年最主要的離岸風電新增國家。報告中指出風能在實現淨零排放的道路上扮演之角色：(1) 風能行業必須與其他再生能源與儲能行業於能源轉型中進行合作，設計出具體淨零排放電力解決方案；(2) 使用新興技術解決方案（如 Power-to-X 與綠色氫能）為風能產業打開新的市場；(3) 完整的從製造、運輸、安裝和除役等各生命週期階段評估如何建構風能市場的永續性。報告中預期風能市場未來前景仍強勁，在未來五年內(2021-2025)預計複合年均增長率為 4.0%，每年將增加超過 94 GW，共超過 469 GW 的新裝置容量，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。

關鍵字：淨零排放、市場價值、商業模式

英文摘要(Abstract)

Global Wind Energy Council (GWEC) published the 16th annual report on the status of the global wind market in March, 2021. With 93 GW of new wind energy installed, 2020 was the best year in history for the global wind industry. 86.9 GW was installed in the onshore market and the other in the offshore market. China and USA remained the largest onshore markets and China, Netherlands and Belgium remained the largest offshore markets with new capacity respectively. This report indicates wind energy's role on the road to net zero emissions: (1) The wind energy must cooperate with other renewable energy and energy storage industries to design specific net-zero-emission solutions, (2) New technical solutions like Power-to-X and green hydrogen with increased focus on value as growth opportunity for wind energy, (3) A full lifecycle assessment captures the emissions from a wind project, across manufacturing, transport, installation and decommissioning stages. It also shows the market outlook for the global wind industry is positive. GWEC believed that over the next five years, 469 GW of new capacity will be added until 2025. This report also indicates main key market growth driver in the next five years from government policy supports such as Feed-in-Tariff (FiT), Production Tax Credit (PTC), Auctions/Tenders, Green Certifications, and National or state-level renewable energy targets.

Keywords: Net zero emissions, Market value, Business model

一、前言

世界風能協會於 2021 年 3 月 25 日發布第 16 版「2021 全球風能市場報告」，指出 2020 年陸域及離岸風電新增超過 93GW 裝置容量，全球風能總裝置容量超過 743 GW，相較 2019 年成長了 53%，是歷史新高。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 76% 以上。2020 年離岸風電新增裝置容量達到 6.1GW，離岸風電總裝置容量超過 35GW，佔全球累計風電總容量的 4.8%，在推動全球風電安裝中扮演著重要的角色。

世界風能協會統計 2020 年新增風力發電裝置容量共 93 GW，新增量前三名為中國大陸(52 GW，占比為 56%)、美國(16.193 GW，占比為 18%)及巴西(2.297 GW，占比為 3%)，累計風力發電裝置容量共 707.4GW，累計量前三名為中國大陸(占比為 39%)、美國(占比為 17%)及德國(占比為 8%)。2020 年離岸風電全球新裝置容量約為 6.1GW，全球總裝置容量累計 35.3GW，累計量前三名為英國(占比為 29%)、中國大陸 (占比為 28%)及德國(占比為 22%)。以區域新增趨勢而言，得益於中國的爆炸性增長，亞太地區仍處於領先地位，占 2020 年新增裝置容量的 59.8%，較去年提高 8.5% 占比，而在美國 2020 年創紀錄的新增安裝量推動下，北美地區以 18.4% 占比超越歐洲 15.9% 占比，成為新增裝置容量第二大區域市場，拉丁美洲仍是 2020 年第四大區域市場 (5.0%)，其次是非洲和中東 (0.9%)。

由於 2020 年風能市場受到 COVID-19 疫情影響，上半年度多數風電競標計畫有所推遲，但隨著主要成熟和新興風電市場開始克服疫情的影響在下半年強勁反彈，2020 年下半年全球通過競標增加 30 GW 的新增裝置容量，與 2019 年下半年的 28 GW 相比略有增加。根據彭博報導指出，2020 年全球通過企業購電協議採購了 6.5 GW 風電裝置容量，比 2019 年下降 29%，考慮到全球受 COVID-19 疫情衝擊導致許多企業收入暴跌，此結果仍可對未來風能市場發展有所期待。由於 2020 年中國、日本和韓國等國政府做出淨零排放/碳中和承諾，包含石油和天然氣公司在內的主要企業也做出了類似的承諾，因此，為了實現淨零排放目標必須完成從化石

燃料到再生能源轉換和提出低碳解決方案達到能源轉型目的，風電被視為綠色復甦的基石之一，並在加速全球能源轉型方面將發揮重要作用。

值得注意的是風電市場新增裝置容量主要驅動因素與過往年類似，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，未來全球風能行業的市場前景仍為積極樂觀，在未來五年內(2021-2025)預計複合年均增長率為 4.0%，每年將增加超過 94 GW，共超過 469 GW 的新裝置容量。未來五年(2021-2025)，陸域風電預估複合年均增長率為 0.3%，年平均新增安裝量約為 79.8GW，共超過 399 GW 的新裝置容量，離岸風電未來五年(2021-2025) 預估複合年均增長率為 31.5%，2025 年新增裝置容量可能會從 2020 年的 6.1 GW 增加兩倍，預計 2021-2025 年全球總計將增加 70 GW 離岸風電新增裝置容量。GWEC 希望各國政府在 COP26 之後能顯著提高其風電目標，以提高未來風電市場成長速度。

二、 2021 年世界風能報告重點摘要

(一) 風能在實現淨零排放的道路上扮演之角色

去年發布的 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，在 2021 年的報告中進一步說明風能在未來實現淨零排放的道路上扮演之角色，實現淨零排放的可行性新興技術解決方案（如 Power-to-X 技術和綠色氫能），國家及化石能源開發商如何邁向淨零排放的路徑，設計永續性風能產業，最後，疫情所帶動的綠色復甦方案將如何為風能產業在實現淨零排放過程中，拓展新的市場與發展機會。

1. 風能在實現淨零排放的道路上扮演之角色

根據 IEA World Energy Outlook 2020 顯示 2020 年全球能源需求下降

約 5%，其中石油和煤需求分別下降 8% 和 7%，預計未來十年全球石油需求將繼續穩步下降，BP 預測在保守情境下石油需求將在 2025 年達到峰值。2020 年歐盟的可再生能源發電量首次超過化石燃料，離岸風電的資本支出首次超過海上油氣投資，顯示化石燃料將逐漸被再生能源替代。IRENA 報告指出全球再生能源投資持續成長，2020 年再生能源新增裝置量達歷史新高。全球能源需求持續增加卻主要帶動化石能源消費與投資，然而減少生質能源使用，再生能源占最終能源消費占比由 2009 年的 8.7%，微幅增加至 2019 年的 11.2%。圖 1 為基於當前政策與承諾下，碳排放量與升溫的預估。

全球在 2020 年共有 137 國家設定再生能源發展目標，2020 年歐盟、日本、韓國、加拿大和南非均承諾到 2050 年實現淨零排放，從歐盟到大型日本貿易公司，再到世界上最大的投資基金和開發金融機構，都在呼籲逐步淘汰煤炭和不為新燃煤電廠提供融資，結合中國到 2060 年的淨零排放目標和美國拜登政府表現出至 2050 年實現淨零排放的意圖，已經採用或考慮實現淨零排放目標的國家現在佔全球經濟的三分之二，佔全球溫室氣體排放量的 63%，2021 年預期將需要提出更具體的政策規劃、期程目標設定及落實行動計劃，以達到將長期淨零排放路徑得以實現。

因為 COVID-19 疫情衝擊，原先世界風能協會於 2020 年第二季預期風能裝置容量將會較預期減少 20-30%，但由於中國裝機熱潮及離岸風電投資達到 3030 億美元的帶動下，達到了創紀錄的 93 GW 的新增裝置容量，顯示風能計劃由於開發時間較長，對於因應疫情更有彈性，預期到 2025 年之前，全球陸域和離岸風電累計裝置容量將會超過 1 TW。隨著大型風力機技術越來越成熟，IRENA 預計 2030 年陸域風電均化成本將會較 2018 年下降 25%，離岸風電均化成本將會較 2018 年下降 55%，成本下降對於投資風險有著明顯助益將進一步推動風電部署。

根據 IRENA 的 Transforming Energy Scenario 下，對於風能年度新增裝置容量必須達到 180 GW 左右，而在 IEA 的 2050 年淨零排放情景下，風電年度新增裝置容量速率需要更高，到 2025 年達到 160 GW，2030

年需達到 280 GW(圖 2)，是 2020 年建置量的 3 倍，全球對潔淨能源和基礎設施的年度投資總額需要從 2020 年的 3800 億美元增加到 2030 年的 1.6 兆美元。聯合國提出未來再生能源在全球電力結構中佔比需提高到 60%，其中 30% 來自風能和太陽能，因此未來 10 年能否透過政策引導與市場機制來加速風電投資實關重要，陸域風電已與新建的煤/天然氣發電廠相比具有成本競爭力，離岸風電也被視為 2050 年實現 1.5°C 路徑中將可提供 10%的減碳量，報告中指出各國政府應該強化措施方向包括：

- 設定隨時間增加且具雄心的風能裝置容量政策目標；
- 給予風能和可再生能源優先設置、優先調度和優先併網；
- 將風能歸類為國家重要和關鍵基礎設施，並簡化許可程序；
- 積極投資於長期輸配電網規劃和基礎設施；
- 保護既有或已核准的風電計畫，並避免對已批准的計畫進行追溯更改；
- 透過法規為雙邊可再生能源市場實現開放；
- 創建政策框架為成熟風電市場中已設置之舊風電廠重新更換機組；
- 加速推動政府間淨零承諾、碳預算、碳定價和其他科學基礎的方法，並在淨零規劃中檢查各去碳技術的優先性；
- 為公正轉型創建框架，包括終止對化石燃料的直接和間接補貼，為傳統化石燃料提前退場提供公平補償，並將補貼重新用於工人培訓基金和勞動力發展多元化戰略。

雖然風能的投資呈現了穩健上升的狀態，但值得注意的是 2020 年新興市場和發展中國家被下調的信用評級比過去 40 年的所有經濟危機都要多，對於新興經濟體而言，疫情帶來的融資成本上升需要擔憂，因此需要加強協調以降低新興經濟體的氣候和可再生能源融資風險，各國政府應與多邊開發銀行 (multilateral development banks, MDBs)、金融發展機構 (development finance institutions, DFI) 和金融部門合作，在茁壯的風能經

濟、創紀錄的低全球利率和可再生能源低成本資金的基礎上去建立融資機制，並將私人資金流轉向風能市場。

邁向淨零排放最核心的邏輯是使用成本最佳化的再生能源組合進行能源轉型並實現完全電氣化，可以利用現有或未來技術將風能和再生能源用於為家庭、工業、短途交通和城市基礎設施直接進行供電。與其他再生能源相比，陸域風電和離岸風電具有更高的裝置容量因子，為電力需求不斷增長的新興市場提供了更高的能源可靠性，IRENA 預測到 2050 年，陸域風電的全球加權平均裝置容量因子將增至 32-58%，離岸風電將增至 43-60%，甚至從位於北海的 Hywind Scotland 浮動式離岸風場在運行的前兩年中裝置容量因子已經達到了 56%。當然，大規模風電進入電網將需要更多的電網平衡和儲能技術，以保持具有成本效益和安全性，如今混合風能、太陽能 and 儲能的再生能源解決方案招標正在世界各地興起，正是因為電池成本下降所導引，自 2010 年以來，固定式輔助儲能系統價格下降了三分之二，電動汽車中的鋰離子電池價格也下降了 90%，就長期而言，系統轉型仍需更大規模的儲能解決方案（如 Power-to-X 和綠氫），最近對加州電網脫碳的研究發現，到 2045 年，它將需要高達 55 GW 的儲能系統進行搭配，是該州目前儲能容量的 150 倍以上。對於鋼鐵生產、化工、航空、海運和其他形式的長途運輸等難以電氣化進行減碳的行業，將需要對包括綠氫等高效、多功能和可擴展的儲能解決方案進行投資。

展望 COP26，國際談判的關鍵目標之一將是達成有效的全球碳稅機制，聯合國表示，從 2020 年到 2030 年，排放量需要每年快速下降 7.6%，才能實現《巴黎協定》的目標，儘管目前二氧化碳淨排放量仍是每年繼續上升中，但從英國對化石燃料發電機的“碳價格底線”到歐盟改革後的碳排放交易計劃 (Emissions Trading Scheme, ETS) 為碳定價的有效性提供了證據，根據國際貨幣基金的說法，需要從最初的低價格（6-20 美元/噸）開始，然後每年快速增加，到 2050 年達到 40-150 美元/噸。

近十年，風能和太陽能已經成為全球三分之二人口最便宜的能源選擇，但在全球範圍內，仍有 7.7 億人無法獲得電力供應，到 2030 年預計

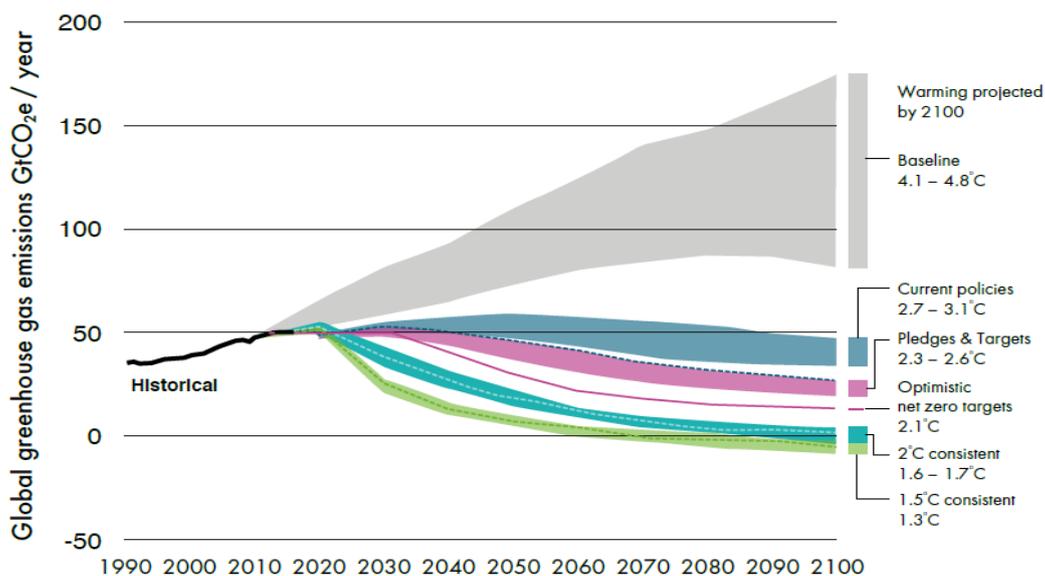
將減少至 4.3 億，其中主要集中在非洲撒哈拉以南和南亞，對於這些地區，問題的核心是清除市場障礙及解決電網基礎設施不足，尤其是針對公用事業規模的風能計畫，需要長期政治經濟規劃、對電力部門強有力監管、創新融資模式以激勵私人對再生能源投資以及將化石燃料補貼重新導向到電網和潔淨能源。

隨著風電市場不斷擴展，供應鏈也在不斷發展中。風力機供應商數量從 2013 年的 63 家減少到 2019 年的 33 家，但前六大風力機供應商現在控制著全球市場的近四分之三，由於 2019 年安裝的風力機中有一半以上位於亞太地區，這加強了中國和印度現有的出口中心地位，隨著東亞和東南亞市場擴大離岸風電設置量，預期將會產生新的供應商或是供應商移地生產，齒輪變速箱供應鏈也出現了類似的市場整合機制。在葉片方面，由於無法在成本、研發投資和市場覆蓋方面競爭，獨立和中小企業供應商的數量已經減少，因此，10 家葉片生產商佔當今全球葉片供應總量的 80%，對未來技術激烈競爭增加了價格波動和貿易緊張局勢的風險，這會減緩風電行業的成本降低速度和學習曲線，同時增加風電計畫資本支出。

風能作為世界許多地區和所有主要能源轉型情景中的主流能源，風能將為實現淨零排放提供動力，但要在本世紀中葉實現這一目標，需要在 COP26 之前和 2025 年 NDC 的下一個截止日期之前做出努力。作為短期的優先事項，風能行業必須與其他再生能源與儲能行業於能源轉型中進行合作，設計出具體淨零排放電力解決方案，以提高各國對再生能源的雄心，設定更為具體的政策目標與行動方案。

2100 Warming projections

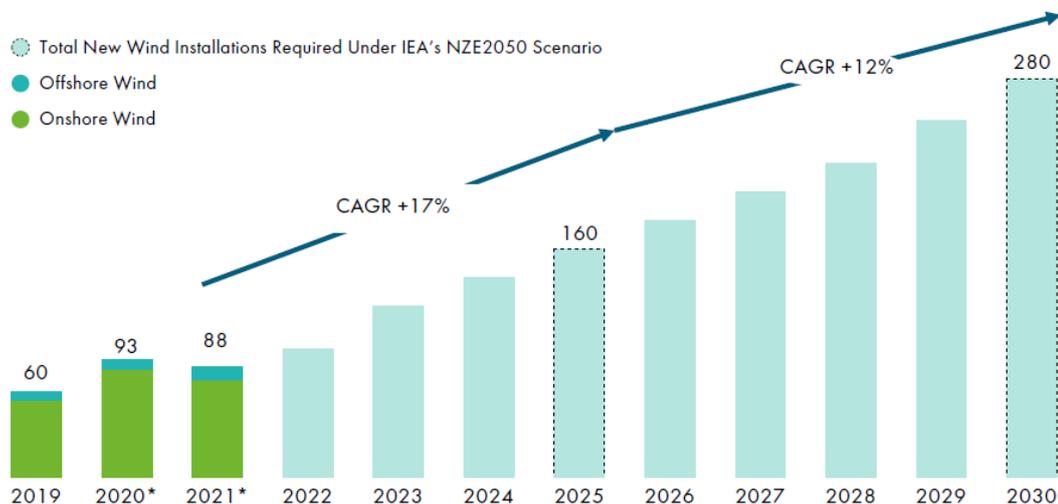
Emissions and expected warming based on pledges and current policies



Source: Climate Action Tracker, December 2020.

圖 1、基於當前政策與承諾下碳排放量與升溫預估[1]

Annual wind installations must increase dramatically to reach net zero by 2050
New global wind installations (GW)



Source: GWEC Market Intelligence; IEA World Energy Outlook (2020), volume in 2022-2024 and 2026-2029 are estimates

圖 2、預估 2050 淨零排放情境下，年度風電裝置容量增加變化 [2]

2. 實現淨零排放的可行性技術解決方案 - Power-to-X 與綠色氫能

IRENA 的“深度減碳展望 (Deeper Decarbonisation Perspective)”報

告中概述 2060 年實現碳中和路徑，提出從 2016 年到 2050 年對可再生能源需累計投資達 38 兆美元（現有政策投資額的三倍），27 兆美元用於電氣化、儲能和電網基礎設施（現有政策投資額兩倍）。未來的潔淨能源系統將需要大規模整合風能與其他再生能源，透過更具有彈性調節供需的技術如儲能、電轉 X (Power-to-X)和綠氫(Green hydrogen)等可行性解決方案實現淨零排放的目標，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，需整合風能和其他再生能源到電網可更有效地跨距離傳輸大量可再生能源，除了能直接電氣化脫碳外，配合儲能系統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可再生能源技術的思維是非常重要的，本報告認為電轉 X (Power-to-X)和綠氫(Green hydrogen)將是兩可行性的技術解決方案。

Power-to-X 目前是被認為具創新且用途廣泛的風能儲存解決方案，可將風能與另一種能源和/或存儲解決方案相結合，提供增加電網中可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，例如儲存風能產生的電力可以電解成氫氣作為工業生產過程原料如甲醇或氨（電力轉天然氣或電力轉化學品），或與捕獲的二氧化碳結合以製造碳中性液體燃料如原油、汽油、柴油和航空燃料（Power-to-Liquid Fuels），也可以通過熱泵或電鍋爐為房屋和工廠產生熱（Power-to-Heat），或儲存到鹽丘等地下地層並在需要時反饋到天然氣網或轉化為熱能或電能（Power-to-Heat and Power-to-Power）。根據 IEA 數據，電力部門佔全球二氧化碳排放量近 40%，由於再生能源發電成長，這一比例正在下降，運輸和工業佔全球剩餘排放量的近一半，建築約佔 10%，Power-to-X 解決方案具有多功能性，可轉化適用於每個部門別，尤其是可以對航空、海運、鋼鐵生產和化學品製造等“難以電氣化”行業做出關鍵因應措施。

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，具有作為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的機會低碳模式，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。到 2020 年底，至少有 33 個國家已經發布或正在準備國家氫能戰略，包括歐盟執委會提出氫能戰略目標是到 2030 年達到 40 GW 的綠氫電解槽裝置容量。將氫能推向商業規模需要具體的政策和法規，擴大氫能商業規模應用亦可推動再生能源大規模部署，並提高電網的平衡能力。

氫能原料主要為氫氣，目前生產氫氣方式分為三類，第一類由化石燃料(甲烷和煤)轉化生產出的氫氣稱為灰氫，以 Carbon Brief 指出現今每年生產灰氫過程排放 8.3 億噸二氧化碳，第二類是與碳捕獲和儲存 (CCS) 技術相結合生產出的氫氣稱為藍氫，第三類則為使用再生能源電力進行電解生產的綠氫。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%。這一預測是基於可再生能源成本的下降和氫生產的擴大，而 IRENA 指出在製造設施的研發和規模經濟的推動下，成本降低和學習率可以使電解槽的價格最快在 2030 年降低 40%。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至關重要。

在所有再生能源中，考量成本競爭力和可擴展性，離岸風電和風能/太陽能混合利用在提高綠氫經濟效益上具有最大的潛力，彭博報告指出陸域風電在 2020 年成為最便宜的新電力來源之一，而全球離岸風電在過去 8 年中均化成本(LCOE) 降低 67% 以上，預計到 2030 年均化成本將再下降三分之一，因此，成本下降的 GW 級風電計畫與生產綠氫相結合將有望於 2030 年前實現商業化之可能，2020 年已有 50 GW 綠氫計畫正在規畫進行中，未來綠氫透過天然氣基礎設施運輸氫氣的成本也可能與通過電纜運輸電力的成本效益一樣，甚至更高，尤其是在更遠的海域生產綠氫的話。

報告中也提到目前發展中之風能產製綠氫計畫案例如表 1，風能行業

參與者包括離岸風電開發商、石油和天然氣公司、研究中心以及政府，旨在大規模推廣離岸風電和風能/太陽能混合利用以生產綠氫達到零碳排的目的，並為能源轉型做出重大貢獻。

表 1、發展中之風能產製綠氫計畫

計畫名稱	國家	商轉年	發展現況
Asian Renewable Energy Hub (14GW)	澳洲	2027-2028	規劃利用 16 GW 的陸域風電和 10 GW 的太陽光電產製綠氫，目前正在加速通過澳洲政府授予之許可。
NorthH2 (at least 10GW)	荷蘭	2040 (1GW by 2027, 4GW by 2030)	完全由離岸風電提供電力，可行性研究將於 2021 年中期完成
AquaVentus (10GW)	德國	2035 (30MW by 2025, 5GW by 2030)	尚在規畫初期，此計畫於 2020 年年中公布
Murchison Renewable Hydrogen Project (5GW)	澳洲	2028	示範階段將使用陸域風電和太陽能為運輸燃料生產氫氣；擴建階段會將氫氣混合到當地的天然氣管線，並生產出口到亞洲
Beijing Jingneng Inner Mongolia (5GW)	中國	2021	使用陸域風電和太陽能生產氫氣，正在建設中
Helios Green Fuels Project (4GW)	沙烏地阿拉伯	2025	尚在規畫初期，此計畫於 2020 年年中公布
Greater Copenhagen (1.3GW)	丹麥	2030 (10MW pilot as soon as 2023, 250MW by 2027)	使用離岸風電生產氫氣，正在進行可行性研究，以期在 2021 年做出最終投資決定
Fuel Cells and Hydrogen 2	歐洲	2021-2024	使用離岸風電與離岸電解槽生產氫氣，正

Joint Undertaking(FC H2-JU)			透過岸邊試點進行可行性研究
'Deep Purple' Seabed Hydrogen Storage Pilot	挪威	2021-2023	將於 2021 年底開始建設
VindØ	丹麥	2030	建置人工島初始設置 3GW 離岸風電；未來計劃連接 10 GW 離岸風電並結合儲能和 Power-to-X 設施

3. 淨零排放國家案例研究

本報告針對七個國家進行淨零排放案例研究，探討風能行業發展如何協助實現淨零排放。

(1) 中國

認識到氣候行動背後的全球和國內共識正在加強，中國在 2020 年 9 月聯合國大會上宣布將升級其國家自主貢獻，目標是 2030 年二氧化碳排放達到峰值，到 2060 年實現碳中和，各部委和省級機構為因應此目標，將持續進行規劃和實施擴大風能和再生能源產能的相關措施。2021 年中國“十四五”規劃（2021-2025 年）要求各省制定各自再生能源發展規劃和排放達峰時間表，風電發展目標可能早日取得成果，例如，江蘇省目標是成為第一個達到排放峰值的省份，目標是到 2025 年陸域風電累計裝機容量達到 12 GW，離岸風電裝置容量達到 15 GW。

為配合國家宣示之目標，中國風電行業 400 多家公司於 2020 年 10 月提出從 2021 年到 2025 年每年新增安裝 50 GW，從 2026 年每年新增安裝 60 GW 的目標，預計到 2030 年中國累計風電裝置容量將達到 800 GW，到 2060 年達到 3,000 GW，將有機會在 2060 年以具有成本效益的方式實現碳中和。

(2) 日本

日本菅義偉首相於 2020 年 10 月在國會首次施政報告中宣布日本 2050 年實現碳中和，為保持經濟發展並改善工業、交通和建築的碳排放，電氣化戰略需要與碳定價等市場機制齊頭並進，並提供資金激勵措施以加速煤炭淘汰並轉向潔淨能源，隨後宣布啟動綠色增長戰略，呼籲在 14 個關鍵領域進行投資，該戰略將原有 2030 年再生能源發電目標達到 22-24%，提高到 2050 年達到 50%。

截至 2020 年底，風電裝置容量累計 4,437 MW，其中包括 65 MW 的離岸風電，風能正成為日本實現其淨零目標並實現鋼鐵製造和航運等重工業脫碳未來主流電力來源，但因為人口稠密與陸域風電審核與環評流程複雜限制其發展，因此，離岸風電已被視為發展大規模再生能源的解決方案，並有機會與氫氣和氨氣生產相結合。因此，日本政府於 2020 年底公佈離岸風電行業願景，該願景為到 2030 年每年分配 1 GW 離岸風電裝置容量並建構風電供應鏈及降低開發成本，於 2035 年均化成本下降到 8-9 日元/千瓦時 (JPY/kwh)，至 2040 年累計裝置容量達到 30-45 GW 及在地化供應鏈達到 60% 的目標。

(3) 韓國

韓國在 2020 年 10 月承諾到 2050 年實現淨零排放，原先在 2019 年設定再生能源目標是 2030 年再生能源發電電力從目前的 6.5% 增加到 20%，到 2040 年再增加到 30-35%。為實現這些目標，韓國設定風電目標為 2025 年和 2030 年分別達到 9.2 GW 和 16 GW，其中 12 GW 為離岸風電，但因 2020 年僅有 1.5 GW 陸域風電和 145 MW 離岸風電完成安裝，此目標仍需相當努力。

文在寅政府提出 609 億美元的綠色新政計劃，旨在通過太陽能和風能項目加速能源轉型，並擴大電動汽車和智能綠色城市。其中讓風能投資者信心增強的信號是政府宣布計劃到 2030 年建設世界最大的 8.2 GW 離岸風電計畫，但本報告指出韓國擴大風能和再生能源設置將面臨一定程度的

地方反對和官僚審批程序，經評估由於過於複雜的許可審核和利害關係人溝通，完成離岸風電計畫開發將需要 5-7 年的時間，為此，政府正努力簡化許可並為當地社區提供更明確的補償指南，並於 2020 年 7 月發布離岸風電合作計畫，該計畫提出協助加速大型離岸風電計畫開發的具體措施，並向當地利害關係人保障明確利益：

- 由政府主導選址和簡化許可：提出“離岸風電潛力區”並提供單一窗口服務授予所有必需的許可。
- 提高利害關係人接受度：包括政府主導示範計畫、公眾諮詢和利害關係人參與/利潤分享模式。
- 提高產業競爭力：通過低息貸款提高經濟可行性，修訂 REC 計畫，加快電網建設和併網。

(4) 印度

印度是世界第四大能源消費國，人口超過 13.5 億但人均碳足跡僅為 2 噸二氧化碳當量，僅為澳洲的 11.7%，印度雖尚未宣示淨零目標，但已承諾到 2030 年將其經濟碳排放強度與 2005 年的水平相比降低 33-35%，推行一系列包括電力部門自由化改革、綠色電力、清潔烹飪和能源效率提升等低碳計畫，並制定積極的再生能源目標 - 2022 年再生能源設置量目標達到 175 GW，其中包括 60 GW 陸域風電，而截至 2021 年 2 月，風電裝置容量為 39 GW，佔總體電力結構的 10.25%。

印度風能成長未來五年將受到 2023 年州際輸配電 (inter-state transmission, ISTS) 收費豁免到期及風能、太陽能和儲能技術結合招標計畫推動成長，印度政府設定到 2030 年實現 450 GW 的長期再生能源目標願景，其中包括 140 GW 風電設置量，但由於土地分配、電網可用性、財務不穩定、招標設計和購電合約合理性等問題導致 2022 年風能目標可能無法實現，需要通過加強政府行業協調、監管改革和知識共享解決這些挑戰。

(5) 美國

目前，美國的淨零目標並未載入具有約束力的聯邦立法中，然而，拜登政府於 1 月下旬公佈了一系列旨在應對氣候變化的行政命令 (Executive Orders, EO)，預期在 2035 年實現電力部門零碳化，2050 年實現淨零經濟。2021 年 1 月 27 日的 EO 14008 中的一些行動將促進風能和其他再生能源的部署，包括：

- 聯邦潔淨電力和車輛採購戰略：指導環境品質諮詢委員會 (Council on Environmental Quality, CEQ)、管理和預算辦公室 (Office of Management and Budget, OMB) 和其他機構制定聯邦潔淨電力和車輛採購戰略，以在 2035 年之前實現電力部門零碳化。可能包括增加國會撥款和擴大多數聯邦機構簽訂期限超過 10 年的電力購買協議 (PPA) 的能力，因為大多數風能和太陽能 PPA 期限都是 20 年。
- 公共土地和近海水域再生能源發展：指示內政部 (Department of the Interior, DOI) 盤點公共土地和近海水域的選址和許可程序，以確定後續可採取之措施來增加再生能源設置。
- 取消化石燃料補貼：指示聯邦機構取消化石燃料補貼並尋找新的機會來刺激潔淨能源技術和基礎設施。
- 永續基礎設施：指示 CEQ 和 OMB 採取措施確保聯邦基礎設施投資減少氣候污染，並要求聯邦許可決定必須考慮溫室氣體排放和氣候變化影響。

再生能源在美國取得了巨大的成功，美國的風能和太陽能成本在過去十年中分別下降了 70% 和 90%，使其成為美國大部分地區最實惠的新電力來源，在減少電力部門的碳排放方面發揮重要作用。

(6) 英國

2019 年，英國是第一個採用具有法律約束力宣示 2050 溫室氣體淨零排放目標的國家，根據巴黎協定，英國 NDC 為與 1990 年相比，2030 年

溫室氣體排放量至少減少 68%。為盡快實現淨零排放將需要對電力基礎設施進行大量投資，而英國具有離岸風電累計裝置容量 10.4 GW 為全球第一的優勢，並已設定 2030 年達到 40 GW 目標。目前離岸風電規畫總量已經超過 41 GW，若無意外，2030 年目標可望達成，此外，英國最近設定 2030 年至少 1 GW 浮動式離岸風電目標。

受到疫情流行的影響，英國首相呼籲進行綠色工業革命並制定實現十點計畫，其中離岸風電為首要發展目標。政策支持將可帶動再生能源的發展，RenewableUK 敦促英國監管機構 Ofgem 將淨零排放作為其做出的每項決策的核心，風能行業將可通過差價合約 (Contracts for Difference, CfD) 增加更多的設置量，陸域風電儘管在 2015 年被排除在競標外，但有望於今年年底新一輪的競標中重新加入，在 2020 年 12 月發布的英國第六次碳預算中，氣候變遷委員會政府顧問建議 2050 年英國陸域風電裝置容量應達到 25-30 GW，風電業者則認為依照如今趨勢 30 GW 有望提早達標，總體而言，再生能源業者認為預計今年的 CfD 競標將可帶來達 12 GW 的再生能源新增置量，增加超過 200 億英鎊的新投資機會。

展望未來，英國政府的政策框架將持續鼓勵離岸風電技術部署，而離岸風電產製綠氫及浮動式離岸風電等創新技術將會帶來新能源技術重要成長，目前英國已經在蘇格蘭擁有世界上最大浮動式離岸風電場 (30MW)，另外還有 150 MW 建造中，業界認為浮動式離岸風電可以輕鬆超過政府 2030 年 1 GW 目標，並可展望到 2030 年安裝 2 GW，到 2050 年至少安裝 20 GW 新增裝置容量。

(7) 南非

南非能源部門佔該國溫室氣體排放總量近 80%，其中 50% 來自發電和液態燃料生產，依據巴黎協議，南非承諾到 2025 年達到溫室氣體排放峰值，而 2020 年南非政府批准低排放發展戰略 (Low Emission Development Strategy, LEDS)，該戰略承諾 2050 年實現淨零碳排放目標，規劃優先考慮增加再生能源裝置容量，包括承諾 2030 年實現 30 GW 再

生能源的國家發展計劃，其中的 20.4 GW 再生能源包含 14.4 GW 風能和 6 GW 太陽能。

由於煤炭為部分省分的經濟支柱，因此，為確保社會公正轉型，淨零過程必須減輕工廠退役對人民和當地經濟的不利影響。風能由於過去十年成本競爭力和關稅降低，2019 年已納入整合資源計畫(Integrated Resource Plan, IRP)中，預計 2030 年完成的 14.4 GW 風能將相當於這計劃新增發電量約 50% 和總裝置容量約 18%。目前，南非的能源規劃是對再生能源施加年度建設限制，以促進逐步和公正的能源轉型，為了 2050 年實現淨零排放目標，公私部門需共同行動與協調，政府需要放鬆監管環境、確保實施已批准政策以及為私部門投資創造有利環境。

4. 石油和天然氣生產商之淨零路徑

由於氣候緊急已成為世界各國注重的議題，未來大幅減少石油和天然氣使用已逐漸形成共識，化石燃料行業未來將面臨緩慢但不可避免的衰退，對於石油和天然氣生產商需要逐步轉變商業模式，將投資從油氣勘探和精煉迅速重新分配到可再生能源生產，以維持在未來碳中和目標下的商業發展，這對石油和天然氣公司構成了巨大挑戰也同樣帶來了機會。

自 2015 年巴黎協定以來，與能源相關的二氧化碳排放量增加了約 4%，IEA 甚至發現 2020 年 12 月的能源部門碳排放量從疫情的影響中反彈，比 2019 年同期高出 2%。根據 IEA 的「2020 年世界能源展望」報告中指出石油和天然氣仍然是世界兩大主要能源，佔 2019 年初級能源需求總量的一半以上，石油和天然氣是加速全球暖化的溫室氣體如二氧化碳和甲烷 (CH₄) 排放的主要貢獻者，為了實現碳中和，需要從化石燃料到再生能源和低碳解決方案進行系統化轉型，對於石油和天然氣公司而言，做出可信的淨零承諾、參與甚至領導這一轉變至關重要且緊迫。

從油氣勘探和提煉到再生能源的過渡給石油和天然氣公司帶來了巨大的挑戰，由於預期石油和天然氣投資者的投資報酬將逐漸下降，石油和

天然氣公司雖然在財務資源、資產和創收方面具有競爭力，但跨足至再生能源業務進行擴展並不容易，同樣需要面臨成熟的再生能源參與者的競爭，尤其擁有強大專業技能、運營團隊和資本支出資源的風電生產商致力於實現規模化，因此，石油和天然氣公司為了達到淨零戰略，除了必須避免在短期內增加化石燃料的開採，同時需依賴負碳技術來實現長期目標。

但石油和天然氣公司過往擁有豐富油氣探勘與生產知識、專有技術和經驗，可補充再生能源發展的需求，例如：

- 離岸風電：基礎設計與製造、海上施工安裝、船舶運營、海底運維與油氣行業相似，通過支持技能再培訓和勞動力發展計劃向再生能源轉型的經濟影響不僅會超過石油和天然氣行業的淨就業損失，還會為社會帶來可持續的價值。
- 浮動式離岸風電：目前用於浮動式離岸風電的三種基本的浮動式基座設計都來自過往的石油和天然氣行業，因此對這一特定領域的投資可以加速浮動式離岸風電的商業化和產業化步伐。
- 大型計畫工程完工和預算控制能力：石油和天然氣公司在完成大型工程計畫方面擁有豐富的技能與經驗，有助於確保公用事業規模等級風電計畫在預算內安全完工。
- 資本支出和融資能力：石油和天然氣公司可以利用雄厚財務實力，制定嚴格財務門檻設計及融資能力，降低資本成本，以提高再生投資回報率。
- 氫能：石油和天然氣生產商一直在為化工生產等行業提供藍氫作為原料，且具備將綠氫混合到現有天然氣管線輸送到最終用戶的能力。
- Power-to-X：大型石油和天然氣公司可以採用再生能源使工業和運輸脫碳的 Power-to-X 解決方案。
- 全球運營、能源生產、貿易、服務和銷售網絡經驗：大型石油和天然氣公司在能源生產、貿易和零售領域擁有廣大業務與客戶關係，可以

利用其公共事務能力網絡來加速潔淨能源轉型。

在淨零目標和 COVID-19 疫情流行帶來的環境、社會和經濟壓力下，越來越多的石油和天然氣生產商正在改變企業增長戰略和投資組合，Ørsted（前身為丹麥石油天然氣公司）在過去二十年所取得的成就已經證明石油和天然氣公司可以成功執行能源轉型計劃，除了技術解決方案，透過併購、合作計畫和共同投資，石油和天然氣公司逐步建立再生能源行業的地位和專業知識，尤其是投入在離岸風電行業。

5. 風能行業的永續性

鑑於氣候挑戰的風險無與倫比，各國政府從支持綠色電力採購到實施零排放建築標準，持續推動工業價值鏈的脫碳，而風能行業在呼籲大規模擴大風能設置和相關工業活動的情況下，更需注重生產過程脫碳的必要性，確保不會以無節制的成本實現行業增長，風能行業必須部署最佳技術和流程，同時最大限度地減少浪費並使供應鏈脫碳，其中包括製造材料來自鋼鐵和水泥等“難以減碳”行業，需完整的從製造、運輸、安裝和除役階段各生命週期評估排碳量。

從生命週期分析顯示風電的碳排放回收期遠短於燃煤電廠，截至 2016 年，2 MW 陸上渦輪機約為 5.4 個月，6 MW 海上渦輪機約為 7.8 個月，甚至優於水力發電和第一代太陽能，其中，製造和安裝階段佔設置陸域風電碳排放總量的 90% 以上，佔離岸風電場碳排放總量的 70%（其中航運為主要排碳來源）。據 NREL 指出風力機的 80% 以上由如鋼、鐵、銅和鋁等可回收材料製成，11-16% 是由碳纖維或玻璃纖維複合材料、塑料和樹脂組成，主要應用於預期壽命長達 25 年且目前難以進行商業回收的風機葉片，這些比例不是固定不變，可能會隨著風機設計的改進、輪轂高度的增加、葉片長度增長而有所調整。由於陸域風電市場已經非常成熟，預計到 2024 年歐洲將有近 12,000 台風機將除役，未來舊有機組更新後，如何處理舊的葉片、輪轂、發電機和齒輪箱等就是個重大的挑戰，

目前已有相關計畫著手進行研究未來生產更輕、更有彈性及更容易回收的風機零組件材料。

為了協助企業因應 2050 實現碳中和，Science-Based Targets initiative (SBTi) 以 1.5°C 淨零路徑提供透明和標準化的衡量標準，已有 60 個國家/地區的 1,200 多家公司正在與 SBTi 合作以減少碳排放，而風能行業正推動全面的可持續發展戰略朝此目標邁進，根據 Corporate Knights 2020 排名，Ørsted 在過去十年中從化石燃料公司轉變為全球排名最高的永續發展公司，而 Iberdrola、Vestas、Siemens、Acciona、ABB 等風能企業出現在前 50 名中。

6. 綠色復甦催化淨零進程

根據聯合國環境署(UNEP)數據，截至 2020 年 12 月為止，已有 127 個國家正在考慮或已宣布淨零排放目標，此 127 國溫室氣體排放量佔全球約 63%。而聯合國開發計劃署(UNDP) 於 2020 年的“人民氣候投票”，此投票涵蓋 50 個國家(佔世界人口一半以上)，有 64% 參與者認為相較於 COVID-19 疫情，氣候變化才是真正的全球緊急情況。

儘管如此，COVID-19 已使新興經濟體陷入癱瘓，公共債務不斷上升，社會/醫療危機不斷，拉大電力負擔能力差距，並加劇再生能源的融資風險，GWEC 綠色復甦中心數據估計至少有 2,740 億美元的公共支持計劃被視為有條件或無條件支持化石燃料，而用於清潔能源的則為 2,590 億美元，在 G20 國家中，每人均 1 美元用於清潔能源，就有 1.05 美元/人用於支持化石燃料行業，額外的 0.05 美元可以再投資於能源效率解決方案或電網加固的淨零驅動，以實現綠色電力的大規模整合，綠色復甦投資為國家行為者鼓動現有依賴關係和投資全系統轉型提供了機會。

綠色復甦可以為風能市場提供增加風能產量機會，包括重新更新風力機組可以為歐洲即將屆齡除役風電場域提供有效的解決方案，而減少行政和許可障礙簡化將有助於亞洲、非洲和拉丁美洲的風電計畫能更有效地

完成融資並實現併網。此外，由於預估到 2030 年，全球風電裝置容量將從目前的 743 GW 增加到 2,000 GW 以上，預估每年將創造額外的 2,070 億美元總計超過 2 兆美元的投資額，並提供越來越多樣化的低技能到高技能職業，以一 25 年生命週期的 500 MW 離岸風電計畫為例，將可產生 10,000 個綠色就業機會，因此，政府必須確保具有透明和可預測的長期政策，確保風電開發計畫的確定性和可見性。

綠色復甦措施的複合效益已得到廣泛認可，國際貨幣基金組織估計為實現可持續復甦而採取的措施可以在 2023 年將全球 GDP 提高 3.5%，高於正常水平，各國政府應關注全球和市場層面將綠色經濟復甦作為脫碳長期計劃的重要因素。

(二) 2020 年風力市場現況

世界風能協會統計 2020 年新增風力發電裝置容量共 93.0 GW(圖 3)，相較 2019 年大幅成長了 53%，累積裝置容量達到 743 GW，比去年成長了 14%。陸域風電新增裝置容量達到 86.9 GW，離岸風電達到 6.1 GW，使 2020 年成為陸域風電和離岸風電新增裝置容量歷史上最高和第二高的年份。以區域新增趨勢而言，得益於中國的爆炸性增長，亞太地區仍處於領先地位，占 2020 年新增裝置容量的 59.8%，較去年提高 8.5% 占比，而在美國 2020 年創紀錄的新增安裝量推動下，北美地區以 18.4% 占比超越歐洲 15.9% 占比，成為新增裝置容量第二大區域市場，拉丁美洲仍是 2020 年第四大區域市場 (5.0%)，其次是非洲和中東 (0.9%)。以國家別而言，2020 年全球新增裝置容量的前五名市場是中國、美國、巴西、荷蘭和德國，這五個市場合計佔全球安裝量的 80.6%，比 2019 年增長 10% 以上，見圖 4。就累計裝置容量而言，截至 2020 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，合計佔全球風電累計裝置容量 73%。

1. 陸域風電市場

2020 年陸域風電新增裝置容量 86.9 GW，相較 2019 年成長 59%，累積裝置容量超過 700 GW 的里程碑，主要是由中國與美國市場爆炸性成長所推動。中國於陸域風電裝置容量上一直處於龍頭地位，據中國國家能源局(National Energy Administration, NEA)報告，在 2020 年新增裝置容量達 68.6 GW，累計總裝置容量提高到 272 GW，在 2020 年新增裝置容量中，約有 26 GW 已於 2019 年底完成安裝，但於 2020 年完成併網，除去此部分實際 2020 新增已併網之安裝量為 42.3GW，若包含未於 2020 年併網之新增裝置容量為 48.9GW，主要是因為 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）。

2020 年陸域風電第二大市場是美國，新增約 17 GW 裝置容量和超過 120 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 2025 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，為巴西（2.3 GW）、挪威（1.53 GW）和德國（1.43 GW）等三國。與 2019 年雷同，除了中國受 FiT 和美國受 PTC 因素推動外，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 2020 年基於陸域風能市場機制產生 23% 新增裝置容量，較 2019 年下降 16%，主要是因為中國與美國爆炸性成長拉高基數。2020 年上半年，由於 COVID-19 的限制，許多陸域風電競標計畫被推遲或取消，但隨著主要成熟市場和新興風能市場開始克服 COVID-19 的影響在下半年強勁反彈，總體而言，2020

年全球陸域風電競標增加了 33.7GW 裝置容量。

New installations

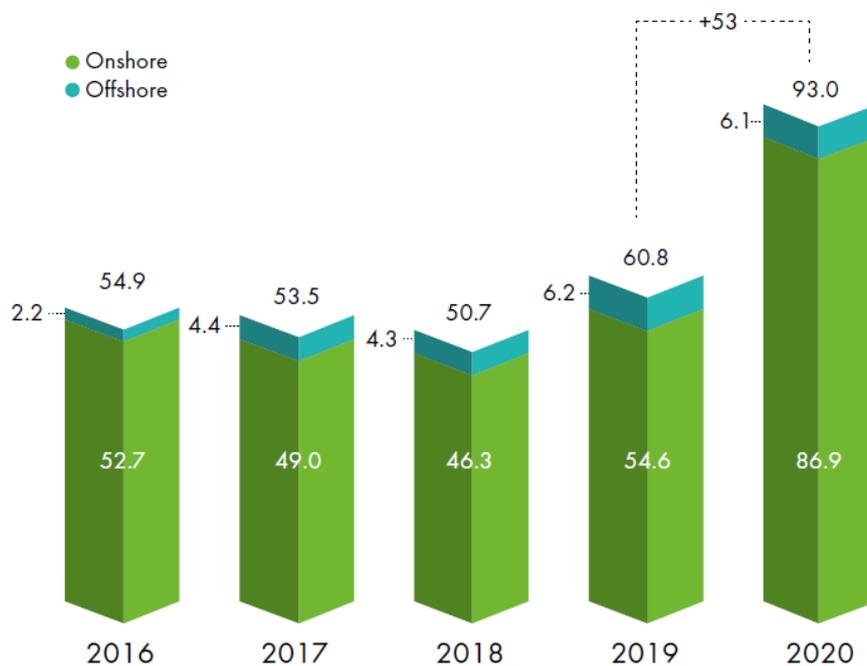
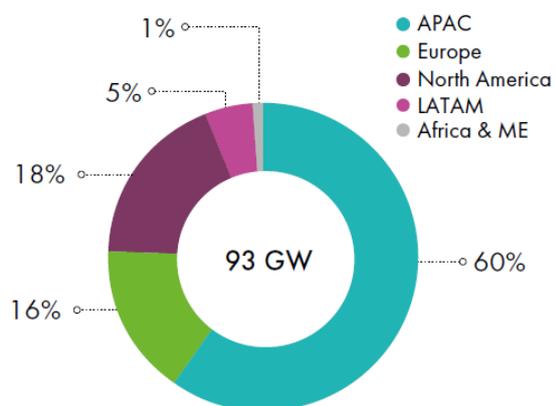


圖 3、2016 - 2020 年全球風力發電裝置容量新增量[2]

New wind power capacity in 2020 by region
Per cent



New wind power capacity in 2020 and share of top five markets
Per cent

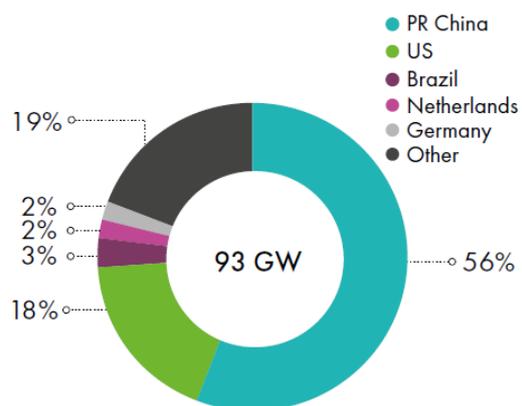


圖 4、2020 年全球主要區域與國家新增裝置容量占比[2]

2. 離岸風電市場

2020 年全球離岸風電新增裝置容量約為 6,068MW，佔總體風能新增裝置容量的 6.5%，較去年下降 3.5%，主要是陸域風電設置量大幅成長造成占比下降，全球總裝置容量累計達 35.3 GW，2020 年新增量前三名為中國(3,060MW，占比為 50.45%)、荷蘭(1,493MW，占比為 24.62%)及比利時(703MW，占比為 11.59%)，見圖 5。

2020 年主要市場動態包括 2020 年全球總裝置容量累計 35,196 MW，其中約 72%位於歐洲，剩餘 28%主要在亞洲地區如中國大陸(9,898MW)、台灣、南韓(60MW) 及美國(12MW)。2020 年英國(10,206 MW)仍然是全球離岸風電總容量最大的國家，而中國已經超過德國成為世界第二大離岸風電市場。英國和德國分別安裝了 483 MW 和 237 MW，使其成為 2020 年新安裝的第四和第五市場，英國增長放緩是由於不同階段差價合約 (CfD) 的差距，德國將離岸風電目標雖然從 2030 年 15GW 提高到 20GW，2040 年提高到 40GW，但由於缺乏短期離岸風電競標計畫導致增長放緩。

2020 年全球離岸風電市場通過競標方式僅競標了 1,005MW 裝置容量，其中 759MW 來自荷蘭，其餘來自中國。殼牌和 Eneco 公司以全球第三個零補貼競標價格標得荷蘭 Hollandse Kust North 759MW 風場。儘管與 2019 年相比，2020 年新增離岸風電裝置容量相對較低，但 2020 年啟動超過 7GW 的離岸風場的拍賣與競標，其中 5.5GW 是來自美國新澤西州、紐約州和羅德島州政府招標計畫，其餘容量來自丹麥 (800-1000 MW) 和日本-這是其首次對浮動式和固定式離岸風電進行競標。

圖 6 為 2020 年全球主要國家新增風力發電裝置變化，除歐洲、非洲和中東以外的所有地區年度風能市場都在增長，非洲和中東的新增風力發電裝置量下降了 7MW，主要是由於北非 (埃及和摩洛哥) 的裝機量相對較低，與 2019 年相比，離岸風電安裝量略有下降，這主要是由於英國和德國這兩個歐洲最大離岸風電市場活動疲軟。圖 7 顯示 2020 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 8、圖 9 顯示 2001-2020 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 (Compound annual growth rate, CAGR)，雖然逐年新增複合年均增長率有所下降，但

之後仍有 8%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 11%增長率。

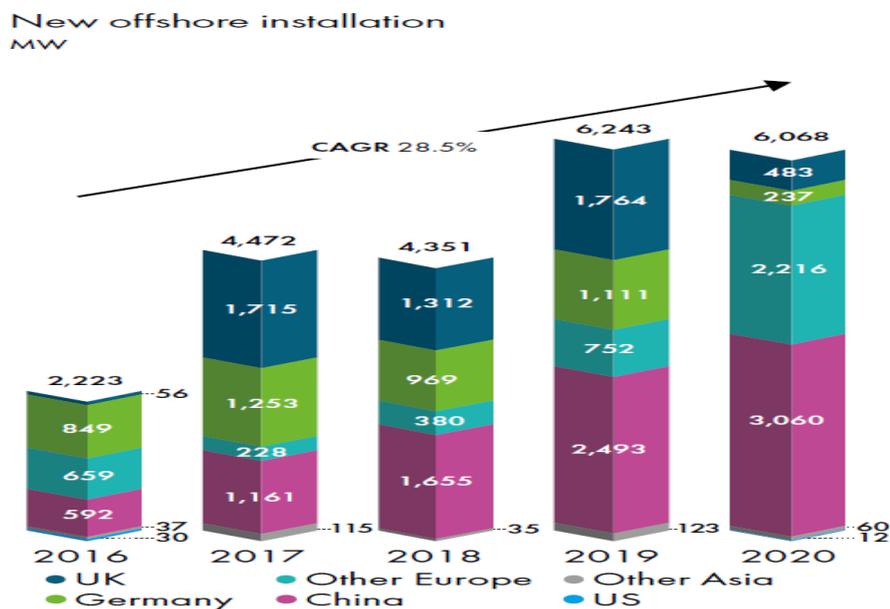


圖 5、2016 - 2020 年全球離岸風力發電裝置容量新增量[2]



圖 6、2020 年全球主要國家與區域新增風力發電裝置變化[2]

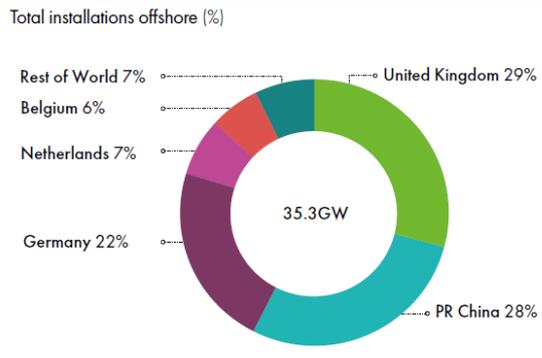
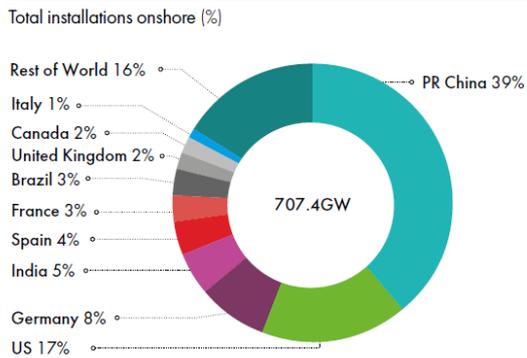
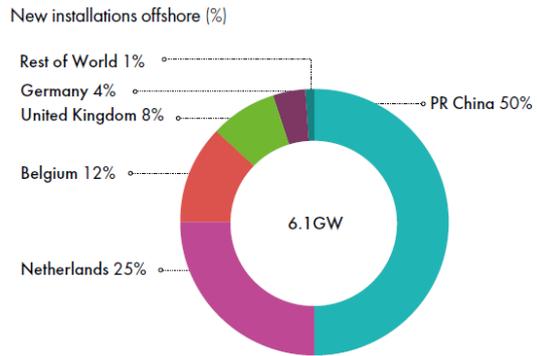
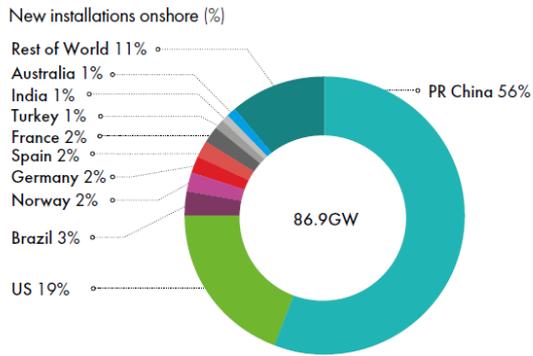


圖 7、2020 年全球主要國家陸域及離岸風電新增及累計裝置量占比[2]

Historic development of new installations (GW)

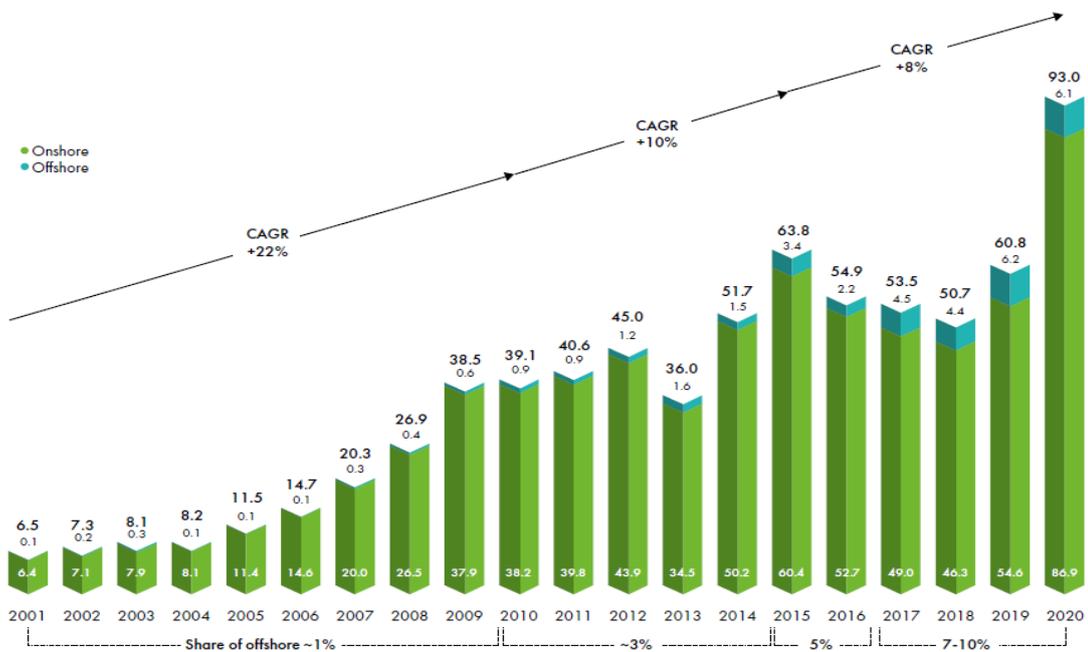


圖 8、2001-2020 年逐年風能新增裝置容量變化及複合年均增長率[2]

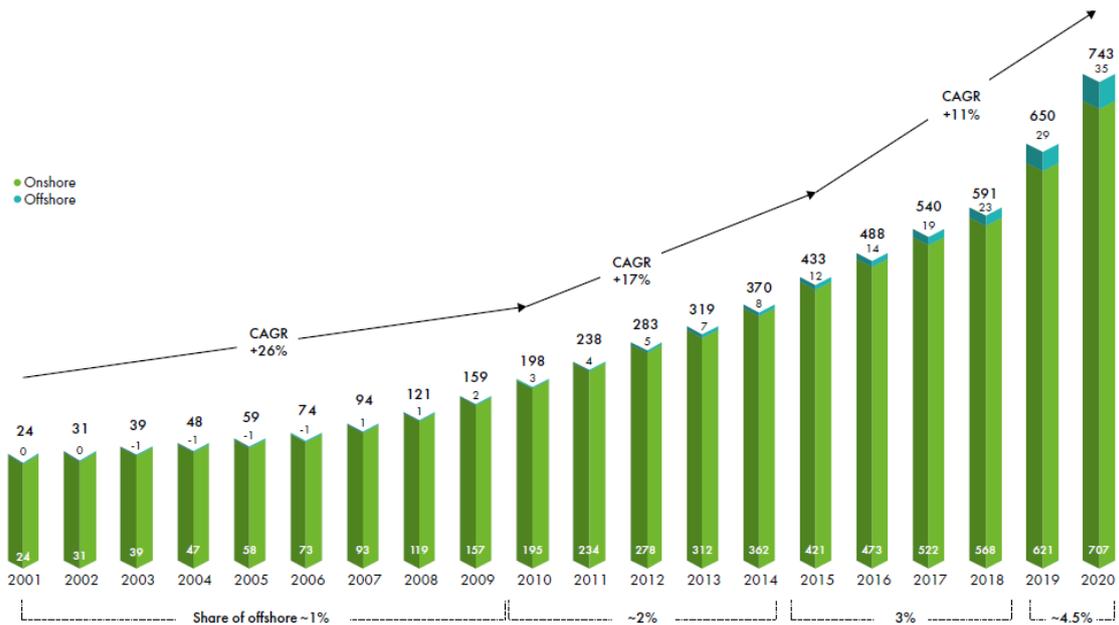


圖 9、2001-2020 年風能累計裝置容量成長變化及複合年均增長率[2]

(三) 值得關注之各區域風能市場

本報告針對智利、沙烏地阿拉伯、越南、哥倫比亞與莫三比克等五國風電發展提出市場觀察分析。

1. 智利

智利得天獨厚的自然資源使其對風能投資和開發具有吸引力，智利於 2019 年風能裝置容量較 2018 年增加了 18% 以上，新增裝置容量達 526 MW，而 2020 年較 2019 年增加了 30% 以上，新增裝置容量達 683.5 MW，智利目前運行中的風能裝置容量有 2.83 GW，另外還有 1.5 GW 因 Covid-19 延遲正在興建中以及超過 6 GW 已核准獲得 PPA 的風電計畫，但由於疫情影響而導致用電需求下降及輸配電線路缺乏，政府政策執行決心仍有待觀察。

由於智利目標於 2025 年溫室氣體排放達到峰值，並於 2040 年淘汰燃

煤電廠，並成為第一個宣示 2050 淨零排放的南美洲國家，雖然 2020 年推遲了每年可產生 2.3 TWh 的再生能源競標計畫至今年 6 月，但預估 2024 年面臨的電力供應問題仍需依靠風能建設來提供解決方案，由於優良風場與用電需求地區有所差異，智利國家電力協調組織(National Electric Coordinator, CEN)著手改善輸配電網，2017 及 2019 年建構的兩條風能輸配電線路投產後已迅速滿載運作，今年宣布新的美金 7.17 億元的輸電系統擴建計畫，以配合 2020 年 9 月公佈的電力系統靈活性戰略。

另外，智利於 2020 年 11 月提出國家綠色氫能戰略，預計 2025 年綠氫生產要達到 5GW，2030 年綠氫生產成本全球最低及 2040 年成為全球前三大綠氫出口國，若要實現此戰略，如何應用風能將是重要課題。

2. 沙烏地阿拉伯

沙烏地阿拉伯早於 2010 年即已設定 2032 年 54GW 的再生能源目標，其中風力目標為 9GW，沙烏地阿拉伯在世界陸域風電潛力排名第 13 位，陸域風況良好地點年平均風速在 6-8 m/s 之間，全年大部分時間都有強風。

2016 年沙烏地阿拉伯成立再生能源計畫發展辦公室(Renewable Energy Project Development Office, REPDO)，負責推動再生能源涉及之大量前期開發需解決的問題，包括選址和土地租賃協議、兩年風能資源數據、環境和社會影響評估以及電網整合研究，2018 年沙烏地電力公司成立沙烏地電力採購公司(Saudi Power Procurement Company, SPPC)，負責為 REPDO 的風力計畫提供 20 年的購電採購合約，並由沙烏地電力公司負責輸配電網建設。

REPDO 於 2018 年舉行第一次風能競標，標的為中東最大的計畫 - 400 MW 的 Dumat al-Jandal 風場，得標價格為 \$19.9/MWh (美元/兆瓦時)，預計將於 2022 年第一季商轉，未來到 2030 年 REPDO 將再提出 35 個陸域風電場域競標計畫。值得注意的是沙烏地阿拉伯於競標過程中逐漸要求風電工業的在地化，於 REPDO 第一輪競標中，要求資本支出的 30% 需在

地化(local content requirement)，第二輪和第三輪建立新的機制針對供應商和製造商進行“在地化評分”，初期設定以塔架、機艙、輪轂組件及葉片等在地化製造，中期包括機艙外殼，長期可能包括機艙電氣、發電機和傳動齒輪箱等，預計有兩到三個 OEM 廠商將致力於在地化。

此外，利用 4GW 太陽能與風能產製綠氫及 500 MW 浮動式離岸風電開發計畫都是未來沙烏地阿拉伯風能市場上的亮點。

3. 越南

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 2020 年，越南的累計風電總裝置容量為 597MW。

目前越南仍採躉購制度至 2021 年，2019 年陸域風電躉購費率為 USc 8.5/ KWh，離岸風電躉購費率初導入價格為 USc 9.5/KWh，2020 年，工業和貿易部 (MOIT) 發布將 2021 年至 2023 年底裝設之陸域風電躉購電價削減 17% 的提議。2020 年 6 月越南批准 7 GW 風電計畫，之後工業和貿易部 (MOIT) 提議將 6.4GW 新風電項目添加到電力系統中，使當前電力計劃中現有和批准的風電總裝置容量達到 18,200 MW。

越南提出的第八次電力發展計畫(Power Development Plan VIII, PDP8) 草案針對陸域及近海風電和水深超過 20 公尺離岸風電分別規劃高案及基本兩種風電發展情境直到 2045 年，陸域及近海風電高案預計在 2045 年將達到 40,080MW 裝置容量，基本情境為 39,610MW，而水深超過 20 公尺離岸風電高案預計在 2045 年將達到 36,000MW 裝置容量，基本情境為 21,000MW，因此預計 2045 年高案及基本情境裝置容量將達到 76,080MW 及 60,610MW。

越南目前風電發展也同樣面臨到電網併網的問題，由於在第七次電力發展計畫設定之太陽能目標裝置容量為 850MW，但因躉購費率即將到期

所引發安裝潮，於 2020 年累計達到 11GW，對於舊有的電網基礎設施產生龐大的負擔，越南於 2021 年 1 月將施行公私合作夥伴關係 (PPP) 的新法律，此法律可提供私人和外國投資者進入輸配電網項目進行投資，包括增加國內和國際互連，提高電網系統靈活性以及具成本競爭力的再生能源整合等。因此，越南將如何利用政策目標、監管確定性和電網升級來發展風電值得關注，但若將越南風能市場潛力順利發展，將對 GDP 增長、貿易平衡、環境績效和能源安全產生深遠的影響。

4. 哥倫比亞

哥倫比亞電力供應約三分之二來自水力發電，僅 1% 來自再生能源，其他為傳統化石能源，預計到 2050 年長期能源需求仍將增長 60% 以上，年增長率約為 1.5%，但因近年易受聖嬰現象及雨量不如預期的影響，亟需其他類型能源進行補充。

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 年進行二次可再生能源競標，簽訂了共 2.27 GW 平均價格 USD 28/MWh 的 15 年風電長期購電合約，2020 年初，哥倫比亞國家能源規劃部門批准了 2.53 GW 風電計畫併網，截至 2020 年 12 月，哥倫比亞國家能源規劃部門仍有 3.16 GW 風電裝置容量進行中。

哥倫比亞正致力推動拉丁美洲和加勒比地區可再生能源倡議 (Renewable Energy for Latin America and the Caribbean initiative)，並提出新的 2030 年再生能源佔比達 70% 之目標，除水力發電之外，其他再生能源裝置目標達到 4 GW，以配合溫室氣體 2030 年減量 51% 之目標，作為實現 2050 年淨零排放之長期戰略之一。礦產與能源部 (Ministry of Mines and Energy, MME) 為提高可再生能源使用量，規定電業自 2022 年起不論在電力監管市場或是自由市場都需提供最少 10% 非傳統再生能源電力給予終端用戶，電力部門監管機構重新制定新的電網傳輸容量分配規則，將閒置電網容量提供給新再生能源發電廠，以期將風能潛力區所發出的電力傳輸到其他省份，若能排除相關設置障礙，GWEC 預期 2022-2025 年可以達到

2.2 GW 總裝置容量，La Guajira 區域評估有 18 GW 風能潛力，可滿足國家 2 倍需求。

哥倫比亞面臨主要問題在於基礎設施不足，現有的運輸系統難以快速將風機較大部件如葉片和塔架等運輸至安裝場域，且現有港口設施多為私人所有，需由政府進行協商港口使用以利零組件進口，此外，受到社會影響評估和環境影響評估進度落後影響，長 470 公里的 500 kV Colectora 輸配電線路建設延遲，將會影響 La Guajira 區域超過 1,000MW 風電電力傳輸，需於 2023 年 12 月 31 日前解決。因此，GWEC 建議應透過設置單一窗口、虛擬公開聽證會和戰略性長期基礎設施規劃等方案來解決環評許可、基礎設施不足和交通網絡等挑戰。

5. 莫三比克

莫三比克電力來源 80% 為水力發電，近年逐步採用非水力可再生能源來使其電力結構多樣化，風能已納入能源基礎設施綜合總體計劃(Integrated Master Plan of Energy Infrastructures, PDIE)當中。根據 2020 年最新風能資源測量數據顯示莫三比克具有高達 681 GW 裝機容量和 1,570 TWh/年淨風能發電量潛力。

莫三比克目前風場主要在南部 Namaacha 地區，2018 年已完成兩個 60MW 陸域風場批准興建，此兩風場主要由外國投資商獨資或是與當地開發商合作完成，未來莫三比克將逐漸走向競標型採購框架，主要是透過促進可再生能源競標計畫(Project for Promotion of Auctions for Renewable Energies, PROLER)進行規劃推動。

莫三比克未來有機會於中期實現達 200 MW 的風能計畫部署，需取決於政府能源規劃決策、充足的基礎設施建設以及透過合適的長期電價購電協議去完成。目前莫三比克亦積極開發大型離岸液化天然氣設施以建造燃氣電廠，此將可能會排擠到風電市場的發展，然而，疫情以及北部地區武裝衝突將會影響燃氣電廠設置進度的不確定性，GWEC 仍看好莫三比克可以成為撒哈拉以南非洲下一波風能市場的領導者。

(四) 2021-2025 未來風能市場展望

本報告指出儘管受到疫情影響，但 2020 年新裝機容量仍達到新高的狀態下，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(2021-2025)預計複合年均增長率為 4.0%，每年將增加超過 94 GW，共超過 469 GW 的新裝置容量，較去年預測 2020-2024 年每年增加 71GW 成長 32.3% (圖 10)。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，預計 2021 年新安裝數量將較 2020 年略有下降，但考慮到全球兩個最大市場中國（離岸）躉購制度截止和美國（陸域）生產稅收抵免日期截止效應，仍然可能使 2021 年維持安裝高峰，成為歷史上第二好的年份。

未來五年(2021-2025)，陸域風電預估複合年均增長率為 0.3%，年平均新增安裝量約為 79.8GW，共超過 399 GW 的新裝置容量，由於中國從 2021 年開始陸域風電開始進入無補貼時代，短期內預期中國陸域風電市場將呈現下降並減緩全球陸域風電增長，但因中國政府宣布淨零目標以及省級政府和企業的相關實施計劃，仍可能會加速 2022 年後陸域風電的新安裝數量。離岸風電未來五年(2021-2025) 預估複合年均增長率為 31.5%，2025 年新增裝置容量可能會從 2020 年的 6.1 GW 增加兩倍，預計 2021-2025 年全球總計將增加 70 GW 離岸風電新增裝置容量，主要受到以下因素支持：1. 離岸風電均化成本(LCOE)的急劇下降；2. 歐洲、美國、日本和韓國等主要市場的離岸風電目標提高；3. 浮動式離岸風電實現商業化和工業化；4. 離岸風電在促進跨行業合作和加速全球能源從化石燃料向可再生能源的過渡方面的獨特作用。

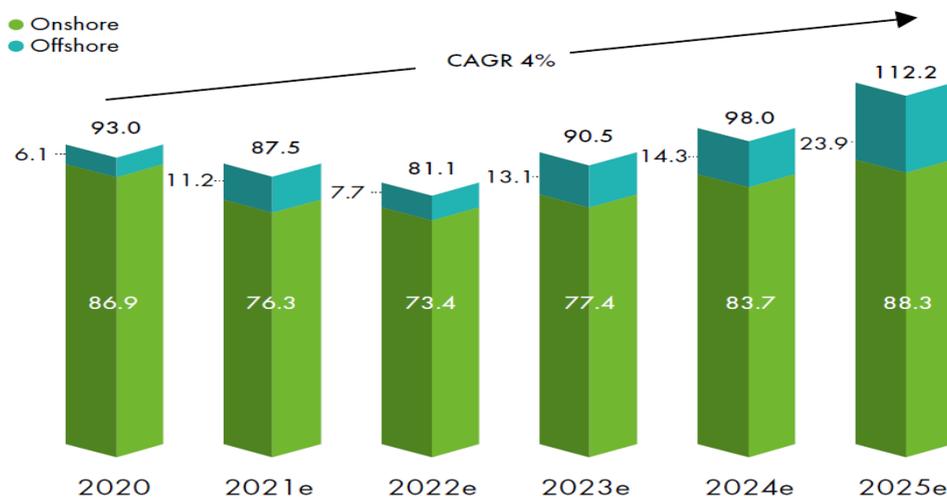
風能和可再生能源的投資環境持續保持積極態勢，新興市場和離岸市場將在推動全球風能增長中扮演更重要的角色。報告中針對離岸風電與各區域提出未來展望(圖 11):

1. 離岸風電: 預計全球離岸風電年新增裝置容量將從 2020 年的 6.1 GW 增長到 2025 年的 23.9 GW, 到 2025 年預計離岸風電在全球風能市場新增裝置量占比將從 6.5% 增長到 21%。2025 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、越南、日本和韓國。歐洲離岸風電市場將持續成長, 特別是 2023 年英國新的大型差價合約 (Contracts for Difference, CfD) 第三階段計畫上線及 2024 年東歐國家開始新的離岸風電計畫安裝。美國在拜登政府支持下, 預計在 2023 年實現首個公用事業規模的離岸風電電廠(> 800 MW) 更為可行, 並有望推動更多 GW 等級的離岸風電計畫。
2. 非洲/中東: 預計 2021 年非洲/中東地區的風電新增裝置量將是 2020 年的一倍, 2022 年將會是 2020 年的三倍, 預計 2021-2025 年保持每年 3.2GW 穩定成長, 成長貢獻來自於非洲最大風能市場-南非、埃及、摩洛哥以及中東沙烏地阿拉伯。
3. 亞洲(中國除外): 印度 2020 年因 COVID-19 大流行、土地徵用、併網許可等計畫執行和市場設計問題, 設置進度較預期落後, 但可望 2021 年有所改善, 年度安裝量預計將在 2023 年達到新的高峰。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, 中亞的哈薩克和烏茲別克也將加入風能市場推動。
4. 大洋洲: 紐西蘭於 2020 年啟動新的設置計畫, 預計未來五年會提出更多設置計畫, 未來五年主要風能市場需求還是來自澳洲, 需求是來自州政府的支持、混合能源與微電網等新型技術和先進商業模式等提供發展機會, 但仍需注意電網傳輸的挑戰。
5. 歐洲: 在西歐(包括德國, 法國和西班牙)、北歐(瑞典和挪威)和非歐盟國家(俄羅斯和土耳其) 預期增長的推動下, 2021 年有望實現新的陸域風電安裝高峰, 至 2025 年會維持穩定增長, 為確保未來五年每年 15 GW 的增長, 必須解決包含許可、重新供電以及與疫情相關限制等問

題。

- 美洲：在拉丁美洲，隨著市場的復甦和需求，預計 2021 年將可達到新的陸域風電安裝高峰，但因為各國政府支持，經濟穩定和國家/地區電網能力不同，預計 2022 年會開始下降，巴西、智利、墨西哥、阿根廷和哥倫比亞將在未來五年內成為地區增長的前五名。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，預計 2022-2023 年新增裝置量可能會下降，但 2024-2025 年將會反彈。

圖 10、2021-2025 年陸域及離岸風力發電新增裝置量預測[2]



- 中國：隨著 2021 年起陸域風電將為零補貼，因此，2021 年中國陸域風電新增裝置量將開始大幅下降，但因為中國宣布淨零排放目標，預計陸域風電將會因新的政策與制度逐步回升。

New wind power installations outlook 2020-2025 by region
 MW and per cent, onshore and offshore

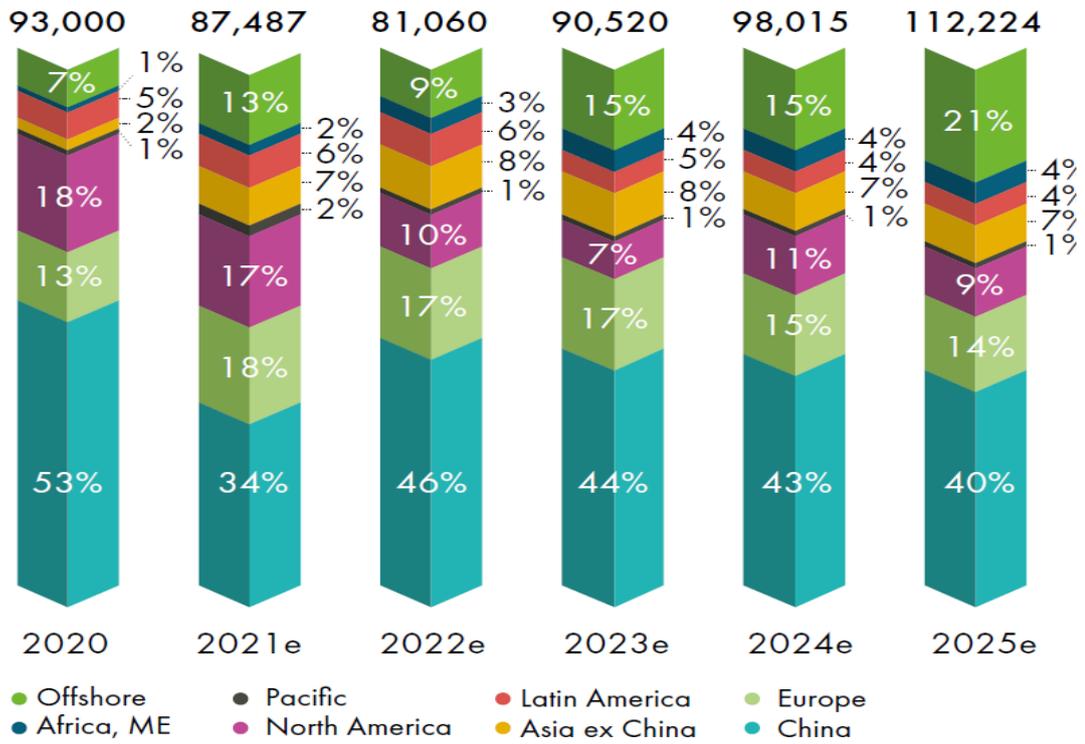


圖 11、2020-2025 年區域陸域及離岸風電新增裝置量與占比預測[2]

三、 結論及建議

依據 GWEC 統整主要的全球長期能源情境評估結果，若溫升不超過 2°C，全球風電占比 2050 年至少 30% (目前約 6%)，為追求潔淨、韌性、安全的能源系統，2050 年全球再生能源發電占比至少 60% 且控制初級能源供給在 500-650 EJ，需藉結構與行為改變降低能源需求。風能將為能源轉型和淨零排放提供能源產出、易整合性及供需調度配合等價值，目前風能與其他能源系統綜合解決方案，已對淨零排放目標達成展現價值與可能性，未來發展的關鍵是成本效益、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，並能因應各國提出之需求。近年風電均化成本下降，導致競標價格下跌和競爭壓力，風電產業已逐步調整業務重點方向投入新的技術研發，結合更多異業共同尋找新的收入來源、商業模式和增長機會。

REN21 發布 2021 年度全球再生能源發展報告(GSR 2021)，2020 年再生能源裝置量達 2,838 GW，較 2019 年增加 9.9%。再生能源占最終能源消費占比由 2009 年的 8.7%，微幅增加至 2019 年的 11.2%，全球再生能源投資持續成長。而由 IRENA 發布的 2020 年再生能源發電成本報告指出，2020 年與 2019 年比較，全球新增陸域風力均化成本由 0.045 美元/度下滑至 0.039 美元/度共減少 13%，新增離岸風力均化成本由 0.093 美元/度下滑至 0.084 美元/度共減少 9%，與 2010 年相比，陸域風力均化成本減少 56%，離岸風力均化成本減少 48%。

世界風能協會 (GWEC) 與全球風能組織(GWO)共同發布「2021-2025 年全球離岸風電勞動力展望」，預計到 2025 年，全球陸域與離岸風電行業將需要超過 500,000 名受過 GWO 訓練專業人員，以推動風電市場的增長。報告提出超過 70% 的全球新勞動力培訓需求將來自 10 個國家：巴西、中國、日本、印度、墨西哥、摩洛哥、沙特阿拉伯、南非、美國和越南。報告中認為 GWO 培訓對於風電價值鏈的建設、安裝、運營和維護環節的工作至關重要，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，全球標準化培訓是確保風電員工健康和安全的最有效工具。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從 2020 年激增的安裝量顯示輕微，但世界各國的培訓和工業教育供應鏈具有巨大的未開發潛力，GWO 計劃應用數位學習平台與實體訓練強化所需額外培訓能力，以滿足勞動力未來需求。

浮動式風電是歐洲各國目前相當重視的議題，已有蘇格蘭 Hywind (30 MW)和葡萄牙 WindFloat Atlantic (25 MW) 兩個風場進行商轉，預計 2020 年代技術將可達到商業部署規模並持續成長。英國政府支持下，離岸再生能源整合開發中心(ORE Catapult)偕同能源開發商(含 Equinor、EDF、Shell、Total 等)建立浮動離岸風能卓越中心(FOWCoE)，目標降低成本、加速風場建設及為英國供應鏈創造機會。根據 GTM Media 報導，預計到了 2022 年，歐洲會有 12 個以上的浮動式離岸風電計畫，挪威 Hywind Tampen (88MW)則是唯一規模超過 50MW 的計畫。DNV GL 估計到 2050 年，已安裝的浮動式離岸風電裝置容量將從 100 MW 增長到超過 250 GW，佔離岸風電市場的 20%以上，約佔全球電力供應的 2%。

浮動式離岸風電均化成本預測 2050 年將為 40 €/MWh 較 2020 年下降近 70%。成本下降關鍵來自於引入風力機組與風場巨大化、浮台技術發展和創新及具成本競爭力供應鏈建立。

浮動式離岸風電帶來的機會

- 風力機製造商增加新產品市場機會
- 石油和天然氣公司將鑽油平台專業知識加值應用
- 造船廠與水下結構製造商投入新型浮動式結構研發

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，但隨著疫情進入第 3 級警戒，國外施工團隊沒有居留證，雖有交通部航港局於 2020 年 3 月宣布離岸風電船舶入港檢疫相關規定，要求風電施工商依政府發布的防疫要

求和建議進行防疫措施，但船員及工作人員更換依規定要事先向疾管局專案申請，審核時間未定影響人員調度，造成工期延宕。此外，受到疫情影響，供應商交貨時間也受到延遲，國內關鍵零組件本土化進度亦受到學習曲線與生產進度延遲影響，尚需投入資源強化人員訓練與技術轉移。

經濟部能源局規劃離岸風電第三階段區塊開發規則將於 2021 年 7 月公告區塊開發規則，規劃 2026 年至 2035 年 10 年共 15 GW 裝置容量，採競價方式設定上下限，上限以前 1 年的台電「迴避成本」為上限，第 1 階段為 2026 到 2031 年 6 年釋出 9 GW，2022 到 2024 年每年分配 3 GW，2026 起每年完成 1.5 GW 風場併網，第 2 階段為 2032 到 2035 年釋出 6 GW，將視第 1 階段選商結果另行規劃，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，國產化方案則敲定 26 項「關鍵發展項目」原則上延續前一階段國產化要求，開發商需有 6 成完全達到國產化。

受到疫情影響，原先預定於 2021 年併網的幾個風場都面臨延後，但今年公告的離岸風電第三階段區塊開發規則可看出政府為因應未來龐大離岸風電開發量，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前逐一解決。

四、 參考資料

[1] Climate Action Tracker, December 2020.

<https://climateactiontracker.org/>

[2] GWEC (2021), Global Wind Report 2021, 2021/03/26.

<https://gwec.net/global-wind-report-2021/>

[3] GWEC (2021), Powering the Future - Global Offshore Wind Workforce Outlook 2021-2025.

https://gwec.net/global-wind-workforce-outlook-2021-2025/?mc_cid=28115d3c2d&mc_eid=95002c1b2e