

浮動式離岸風電商轉技術發展趨勢之分析

研究一所 許中駿 副研究員

因浮動式風機仍為發展中逐漸成熟的科技，大部分國家尚在研發及示範風機階段，因此投入相關開發的資本有較高風險，致使市場上的投資意願較低，不易推動技術發展與形成產業。故如何扶植相關技術的發展，有賴於政府在各個技術發展階段推出合宜的政策措施，以提供技術發展的誘因，促使新興產業加速形成。在技術發展的早期階段，浮動式風機計畫必然需耗費相當高的成本，也伴隨高度風險，因此政府宜祭出補助金及收益支持政策，以減低企業投資的風險，加速技術開發與市場發展。待技術成熟之後，為避免扭曲市場機制及付出過多補貼，政府宜減少扶植力度，僅需確保企業能順利取得貸款，便足以促成大規模計畫之開發。本節以下將浮動式風機技術的發展分為「示範前研發(Pre-demonstration R&D)」、「全尺寸原型示範風機(Full-scale prototype demonstration)」、「商業化前示範風場(Pilot/pre-commercial array)」、「商業化(Commercial Projects)」四個階段，分別羅列各國在各階段採取的政策措施，並作出初步評析。

此外根據 Quest Floating Wind Energy 統計，截至 2019 年 11 月全球浮動式離岸風場包括已運營、正在開發、計畫開發、以及可能開發的專案中，包括的浮動式技術分為五類，共計 2,097 部，其中半潛式浮動平台(Semi-submersible)共計 1,213 部、深水浮筒式平台(Spar-buoy)共計 613 部、駁船式浮動平台(Barge)共計 186 部、半潛單柱式平台(Semi-spar)共計 82 部、張力腿式(TLP)共計 3 部(如圖 1 所示)。數據顯示，半潛式浮動平台(Semi-submersible)為全球較多採用的技術發展方向。

由於半潛式浮動平台裝置對水深要求較彈性，淺水或深水區皆可，重要運維作業可在岸陸域進行，唯平台結構複雜，具較多連接件，需配置動態穩定性系統及主動壓載系統。葡萄牙北部海域 Windfloat Atlantic 和英國蘇格蘭 Kincardine 風場為著名實績案例，兩個項目所採用的基座設計為 Principle Power 公司所開發的 Windfloat 技術，前者已佈建 3 台 Vestas 的 8 MW 風機，後者將佈建完成 5 台 Vestas 的 V164-9.525 MW 風機，為全球第一個風機超過 9 MW 的浮動式風電專案，兩個風場項目所採用的技術相較成熟。深水浮筒式平台結構簡單，較少複雜零件，平台穩定性高，不需要額外的動態穩定系統，唯結構吃水範圍大，不易在岸上進行組裝和維修，對比其他的概念需要一定的水深(>100 公尺)。英國蘇格蘭北海的 Hywind Scotland 為目前世上唯一在該技術類型已有商業化運行項目，其採用 5 台 6 MW 的 Siemens 風力機，容量因數達到 65 %，深水浮筒式平台規格長 91 公尺，直徑 882 公尺，重達 3,450 噸。

駁船式浮動平台有採用阻尼池(Damping Pool)，以創新混凝土和施工方法建置而成，例如：法國 FLOATGEN 由 4 家產業與 3 家學術單位共同參與完成，並已於 2018 年商轉；近期亦有採用的新技術為旋轉雙體船(SATH)，即利用 2 個混凝土船體組成類似雙體船的結構，並通過轉軸和單一錨泊連接點連接，船體及風機本身將繞著該點轉動。採用單點錨鏈連接點，可先在港口建造低吃水平台，縮短安裝時間、成本和風險，如風機需要大修，可較為方便的與連接點斷開，拖回港口維修。目前有西班牙工程顧問公司 Saitec Offshore 獲得由歐盟執委會提供的近 200 萬歐元，用於建造創新混凝土浮動風機設計的縮小模型(1:6 SATH, Swinging Around Twin Hull)，

展開研發測試及示範。半潛單柱式平台之結構則由三個提供浮力及穩定性的外側圓筒和一個與塔筒連接的中央圓筒組成，該技術結合了半潛式在基礎施工、運輸及安裝階段和單柱式在運行階段的各別優勢，結構底部底板和靜態壓載艙用於降低重心，確保安裝階段穩定性，和 Windfloat 一樣採用主動壓載系統。國際上有幾個採取該技術的專案，像是位於西班牙加納利群島的 Flocan 5 Canary、美國的 Magellan CIP、南韓的 White Heron 等(如表 1 所示)，皆在規劃中並將於 2026 年前商業化運轉。

張力腿式平台結構較輕、較少移動零件、易於檢測，獨特的張力錨鏈佈置使平台穩定性高且不需要動態穩定系統，可在陸域進行簡易運維作業，唯錨碇、維修及安裝過程相對複雜，錨鏈需承受較高負荷，易產生金屬疲勞。法國地中海海域 Provence Grand Large(PGL)計畫為全球唯一將採用該技術的浮動式風電項目，總裝置容量 24 MW，預定 2021 年商轉，將實現風機機艙晃動最小化。

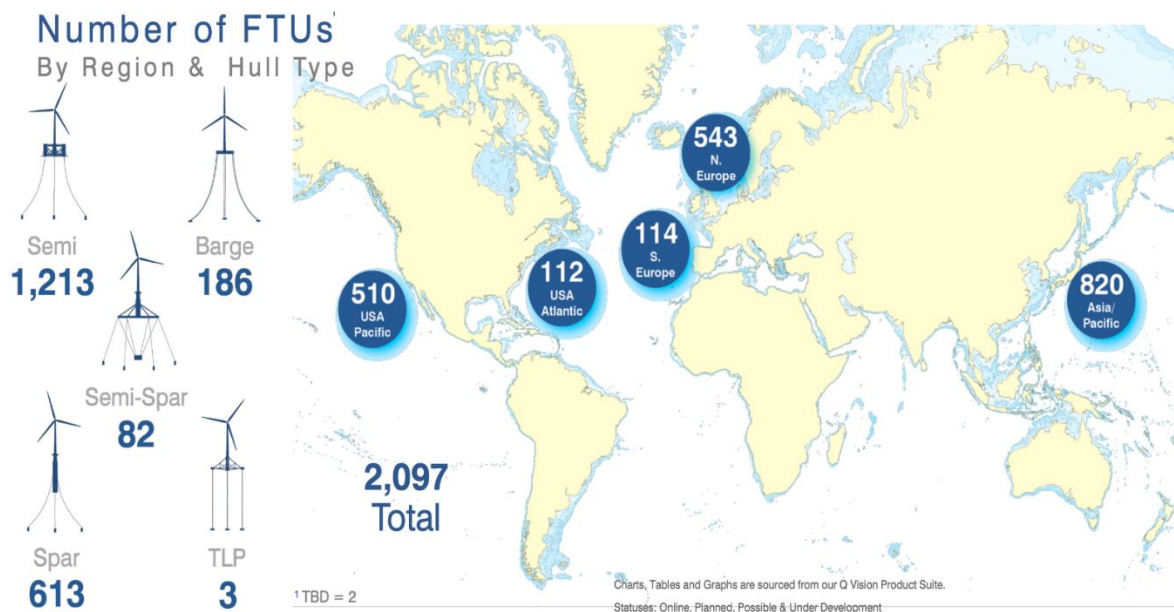


圖 1、全球浮動式平台類型及各地區數量統計

表 1、全球具代表性之浮動式離岸風電專案參考

計畫名稱	狀態/運轉年度	國家	總裝置容量/部數	平台類型	投資金額(百萬美元)
Hywind I (Demonstrator)	營運中/2009	挪威	2MW(1部)	Spar	110
Hywind Scotland II (Commercial)	營運中/2017	英國	30MW(5部)	Spar	185
Fukushima FORWARD Ph1 (Demonstrator)	營運中/2013	日本	2MW(1部)	Semi-sub	175

計畫名稱	狀態/運轉 年度	國家	總裝置容 量/部數	平台 類型	投資金額 (百萬美 元)
Fukushima FORWARD Ph2 (Demonstrator)	營運中/ 2015	日本	5MW(1 部)	Spar	
Fukushima FORWARD Ph2 (Demonstrator)	營運中/ 2016	日本	7MW(1 部)	Semi- sub	
Kincardine Tranche 1 (Commercial)	營運中/ 2018	英國	2MW(1 部)	Semi- sub	TBD
Floatgen (Demonstrator)	營運中/ 2018	法國	2MW(1 部)	Barge	TBD
WindFloat Atlantic: Phase 2 (Pre-Commercial)	營運中/ 2019	葡萄牙	25MW(3 部)	Semi- sub	180
Provence Grand Large(Faraman) (Pre-Commercial)	開發中/ 2021	法國	24MW(3 部)	TLP	230
DemoSATH (Demonstrator)	開發中/ 2021	西班牙	2MW(1 部)	Barge	TBD
EolMed(Gruissan) (Pre-Commercial)	開發中/ 2021	法國	24MW(4 部)	Barge	TBD
Hywind Tampen (Commercial)	開發中/ 2022	挪威	88MW (11 部)	Spar	550
Magellan CIP (Commercial)	規劃中/ 2023	美國	30MW(5 部)	Semi- spar	7,000
White Heron (Commercial)	規劃中/ 2026	南韓	200MW (25 部)	Semi- spar	TBD

註：TBD (To be determined)待決定。