



從淺海邁向深海 政府應開放 多元離岸風電浮台 做測試

李宏道 / 台亞風能工程技術 總監
林琮盛 / 台亞風能公共事務部 協理
黃佩君* / 台亞風能公共事務 資深經理
蔡幸芳 / 台亞風能公共關係 資深經理
王詮文 / 台亞風能海洋工程 工程師

台灣離岸風電發展進程從第一階段示範苗栗、彰化外海的示範風場開始，延續至潛力場址的開發，風場多分布於彰化外海的雲彰隆起海域，整體水深相對較淺（小於 50 公尺），藉此培養國內水下基礎—套管式基礎（Jacket）及水下基樁（Pin-pile）本土供應鏈；2022 年正式啟動第三階段—區塊開發，整體離岸風電發展進入快速成長期，但伴隨快速成長離岸風電進程而來的將會面臨適合固定式之海域在避開軍事區域、環境敏感區、航道等重要敏感區之後逐漸開發完成，以區塊開發 3-1 為例，共同參與並得標風場共計 10 案，其中包含風妙、海鼎二、海鼎三、加能、海盛、環洋、海峽、北能、達天、又德等 6 家開發商共計 10 案離岸風場開發計畫，未來若要持續開發勢必將面臨水深較深之海域，而原本的固定式工法將不適用，需要仰賴浮動式風場克服水深限制。

關鍵字：離岸風電、區塊開發、浮式風場

ABSTRACT

The development of offshore wind power in Taiwan began with the demonstration wind farms in the first phase, located off the coast of Miaoli and Changhua. It then continued with the development of potential sites (phase II). The wind farms are mostly distributed on the coast of Changhua, with relatively shallow water depths (less than 50 meters). The Phase II strategy aims to cultivate a domestic supply chain for substructure foundations, such as jacket foundations and pin-pile. In 2022, the third phase, known as zonal development, was officially launched. The overall offshore wind development entered a period of rapid growth. However, with the rapid growth of offshore wind, suitable fixed seabed areas must be developed after avoiding military zones, environmentally sensitive areas, and important sensitive areas such as fairway channels. Taking zonal development 3-1 as an example, a total of 10 wind farms were awarded to

participating developers, including Feng-Miao, Formosa 2, Formosa 3, Jia-Neng, Formosa 4, Huanyang, Hai-Xia, Bei-Neng, Da-Tian, and You-De. To sustain future development, it will inevitably require exploring deeper water areas, where traditional fixed foundations will not be applicable. Floating wind projects will be necessary to overcome the water depth limitations.

Keywords: Offshore Wind, Zonal development, Floating Wind Farm

淺水區邁向深水區

台灣海峽受惠於台灣的中央山脈及中國的武夷山脈，形成管道束縮效應，結合穩定的東北季風及西南氣流，使得風速快速且長年穩定，故彰化外海的淺水區成為了各家開發商兵家必爭之地，但是隨著水深逐漸加深，單樁水下基礎（Monopile）早已不敷使用，而套管式水下基礎（Jacket type foundation）水下基樁

* 通訊作者，lia.huang@tre.com.tw

表 1 浮動式平台技術 (台亞風能自行整理)

台亞風能	駁船式浮台	半潛式浮台	浮筒式浮台	張力腿式浮台	非傳統式浮台
	Barge type	Semisub type	Spar-buoy type	Tension leg type	Unconventional type
技術優勢	<ul style="list-style-type: none"> 外型簡單 製造容易 	<ul style="list-style-type: none"> 技術成熟 結構穩定 	<ul style="list-style-type: none"> 技術成熟 穩定性高 	<ul style="list-style-type: none"> 穩定性高 	<ul style="list-style-type: none"> 新穎阻尼技術
技術劣勢	<ul style="list-style-type: none"> 浮台重量較重 	<ul style="list-style-type: none"> 焊接節點多建造難度高 需有壓載系統 	<ul style="list-style-type: none"> 目標場址水深條件限制 拖航階段工法較嚴苛 	<ul style="list-style-type: none"> 目標場址水深條件限制 繫錨系統要求高 成本較高尚未於離岸風電實際應用 	<ul style="list-style-type: none"> 技術相對不成熟 融資相對不容易
繫泊系統	多採用懸鏈式繫泊系統			張緊式繫泊系統	取決於設計結果
錨碇系統	錨碇選擇多元			選擇較少(需抵抗垂直受力)	取決於設計結果
浮台示意					

除了面臨樁徑加大打樁噪音變高外，水下基礎的整體尺寸也會隨之加大，且在施工運輸階段所需要的船舶、設備要求提高，大型尺寸的水下基礎會導致整體的開發成本急遽上升，浮動式平台的技術就屬於未來發展的重點。

目前世界主流浮動式平台技術可分為五大技術群集 (如表 1 所示)，其中每一技術群集各自有數種不同技術，以致目前除了幾個已有浮動式風場 / 示範案實績的浮台技術，如 Equinor、Principle Power、BW Ideol 外，仍有數十種浮動式浮台技術存於市場中，實際穩定性仍有待完整驗證；浮動式平台技術源於石油天然氣產業，大多仍依據歐洲海域環境條件進行設計，對於好發颱風且海流較強的東亞地區而言是否可以在符合安全規範之下仍使整體專案具有經濟效應，必須進一步檢視。

深水區發展目標

在台灣發展浮式風電

接連第一階段示範階段及第二階段潛力場址後，

12 哩內 (如圖 1 所示) 離岸風電開發區域逐漸飽和，且固定式水下基礎佔地跨距將近三十公尺且基樁直徑超過四公尺^[1]，海事工程安裝及國內既有港埠設施將面臨險峻挑戰，另外適合固定式基礎之場址多位於中彰外海 (如圖 2 所示)，避開環境敏感區、漁業作業區及國防安全禁限建等紅燈區之後，可開發面及逐漸趨於飽和，另外額外考量水深條件及海域底質狀況，中彰外海之海域閒置畸零地日益增加，無法有效利用海域空間創造最大開發價值。深水區及 12 哩外的可開發區域則是未來開發重點；浮式風電對於水深的限制性不若固定式一般敏感，且對於海洋環境噪音也遠低於固定式基礎在深水區開發所產生之影響，降低海洋噪音的影響大有益助，國內目前多數浮式風場多座落於竹苗外海緊鄰 12 哩線 (如圖 3 所示)，該處水域大多超過 60 公尺，且整體風能潛勢更甚，對於開發該處場域又是一大利多。另以國家發展層面來看，目前世界浮式風電發展進程以技術成熟度 (Technology Readiness Level, TRL) 來看，運轉中的專案多屬於 TRL 7- 原型規模試驗 (Prototype Scale)

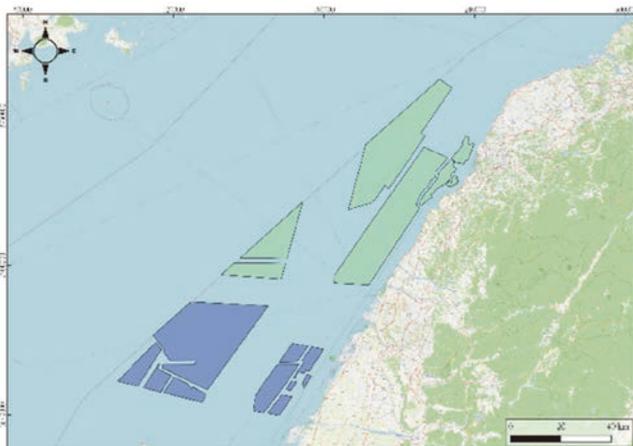


圖 1 台灣海峽已公告風場 (圖片來源：台亞風能自行整理)

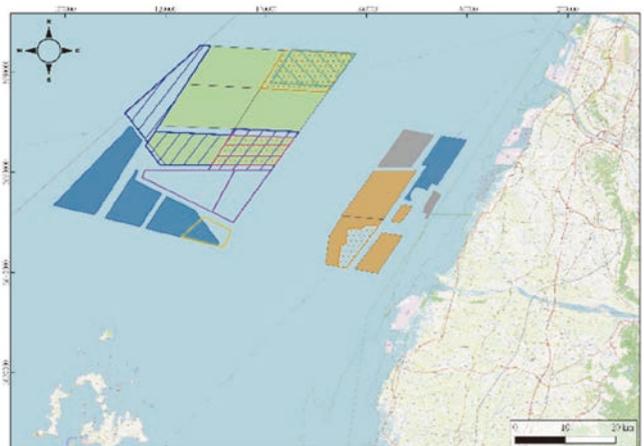


圖 2 中彰外海已公告風場 (圖片來源：台亞風能自行整理)



圖 3 竹苗外海已公告風場 (圖片來源：台亞風能自行整理)

或 TRL 8 – 準商業規模 (Pre commercial)，若我國可藉由示範案的機會在台灣海峽測試不同的浮動式平台技術，整合不同技術在台灣海峽多變的海氣象條件中運動表現及發電效應等資訊，充分掌握並建立自主國內資料庫，未來亞洲地區發展浮式風電台灣將處於領先地位並成為核心技術輸出中心。

經濟部於 2022 年公布「離岸風電浮動式示範計畫」，藉由會議與開發業者進行討論，共同建構最適合台灣的浮動式示範計畫，對於工程層面而言，開發業者可先測試前瞻技術，以小規模、具彈性的方式測試該技術之可靠性；以商業/經濟層面而言，可藉由示範案，先行檢視國內相關供應鏈，多元浮台技術相對應不同的供應鏈，若可藉由示範案這次機會，整合相關供應鏈，這不僅可以降低投資單一浮台技術之風險，亦可帶動除了固定式風電產業以外的產業鏈，建立更全面的離岸風電產業群集。

浮動式示範計畫面臨議題

示範案係以透過較高的躉購費率 (Feed-In Tariff, FIT) 吸引開發業者參與，計畫核心以測試技術為優先，但目前經濟部初步規劃：原則擇優選擇兩案，視情況開放第三案參與示範獎勵計畫，倘若獲選之三案示範計畫均以商業面進行考量，均選擇已有實績且同一類型浮台，恐怕會失去示範計畫 – 測試技術的核心本質，對於表 1 所示的五大技術群集無法達到充分演示。

浮筒式浮台 (Spar-bouy) 以簡單外觀且優異之浮台穩定性使其為現今布置容量最多的浮台形式，浮筒式浮台雖於擺動 (Yaw) 方向具有較大運動振幅但仍於

橫搖 (Roll) 及縱搖 (Pitch) 等兩方向之運動具有優異性能 (如圖 4 所示)，但是浮筒式浮台細長結構對於水深有一定程度要求，對於台灣海峽而言開發相對不易。

半潛式浮台 (Semi-submersible) 演變於油氣產業之鑽油平台，藉由多組浮筒 (Column) 及沉箱 (Pontoon) 組成浮台，但做為主要浮力提供來源之大型圓筒動輒超過十公尺直徑且高度超過二十公尺，另外整體浮台於建造階段所需要之要求，對於台灣現有供應鏈及港埠設施相對嚴苛，在生產製造上面會是一大挑戰，其結構如圖 5 所示。

駁船式浮台 (Barge type) (如圖 6 所示) 雖然整體浮台重量較重，但是在浮台材料除了鋼材以外亦可選擇混凝土作為浮台主要材料，搭配相對簡單之結構外觀及較淺吃水深的特性相對適合國內現有港口，整體生產成本仍具有一定競爭力。

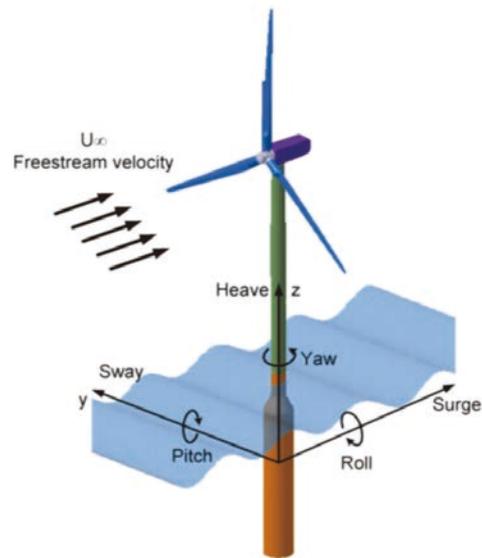


圖 4 浮筒式平台結構及座標系統示意圖 (圖片來源：Mareike, 2017^[21])

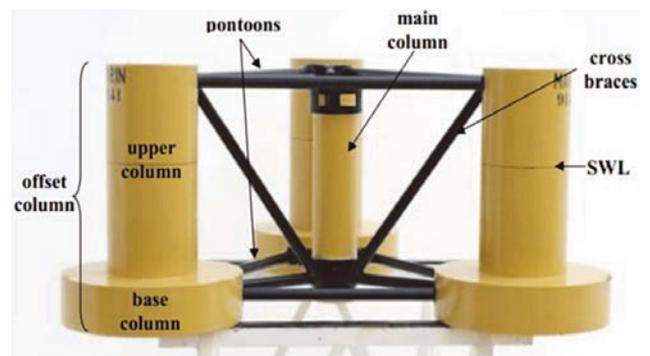


圖 5 半潛式浮台結構示意圖 (圖片來源：Watsamon, 2014^[23])



圖 6 駁船式浮台港口組裝示意圖（圖片來源：BW Ideol 官方網站^[4]）

不同群集技術都具有各自優劣勢，勢必透過通盤全面性的檢視，擇優選定台灣最適化浮台技術。

離岸風電案場開發動輒牽一髮動全身，不單只是測試技術可行性，亦須針對相關配套措施進行通盤檢核，現有幾個主要風電港，如台中港、高雄港、台北港都有需要調整之項目，若能藉由示範案重新激活國內現有之其他閒置港口，會提升台灣港埠設施使用率及協助閒置港口從原本較為單一的任務導向轉型為較多元任務導向港口，即便歐洲已經發展離岸風電行之有年，在面臨浮式風電的開發，亦是整合各個不同港口進行任務分工，以祈達到最佳利用效率，此一模式可供國內發展浮式風電計畫參考。

目前政府擬以躉購費率支持浮動式示範案開發，以政策鼓勵開發業者投入，但倘若在整體大環境不穩定的情況中，單靠躉購費率可能會導致誘因不足仍不足以吸引足夠開發業者共襄盛舉，勢必需要提供其他面向政策福利提高誘因，示範案雀屏中選之計畫可以藉由示範計畫資料與政府共享、測試技術可行性等資源共享機制，換取未來商業規模浮動式專案啟動招標時具有投標優勢，不失為一考量方向。

浮動式風電展望

台灣現在可成為亞洲地區發展離岸風電的領頭羊，皆仰賴政府完整規劃及土木、水利、海工等業界先賢共同努力，但日本、韓國、越南乃至澳洲等東亞、東南亞及大洋洲地區順應全球綠能意識，均在離岸風電產業急起直追，台灣若有意持續保持領頭羊的位置除了適當將固定式離岸風電產業相關條例穩健放寬回歸市場機制外，浮動式風電將會是下一階段發展重點，掌握多元的浮動式技術除可確保未來台灣能源自主更加獨立外，亦可佔據亞洲地區浮動式風電開發先驅者地位，結合台灣位於東亞中樞之優勢成為技術外銷中心，提高台灣土木、水利、海工等產業能力，攜手再創繼十大建設之後的下一個產業黃金世代。

參考資料

1. 環洋離岸風力發電計畫環境影響說明書
2. Leimeister, M. and Thomas, P. (2017). The OneWind Modelica Library for Floating Offshore Wind Turbine Simulations with Flexible Structures.
3. Sahasakkul, W. (2014). Development of a Model for an Offshore Wind Turbine Supported by a Moored Semi-Submersible Platform.
4. Ideol's Technology : An Easily Scalable Floater Solution. (2019, May 28). <https://www.bw-ideol.com/en/ideols-technology-easily-scalable-floater-solution>. 