

離岸風場運維創新技術發展趨勢

台灣亞太產業分析專業協進會 105 年認證產業分析師 李孟諺

一、前言

全球離岸風電開發容量快速增加，全球風能委員會(Global Wind Energy Council, GWEC)統計 2020 年全球離岸風場安裝總量已達 35.3GW。國際研究機構 Wood Mackenzie 則推估 2030 年全球離岸風電開發總量可達 256.4GW，且長期發展仍呈現穩定成長的趨勢。

市場成長同時，風力機單機容量的提升，以及各國政策對離岸風電補貼的降低，都強化產業對離岸風場運維工作的重視。如單機容量增加，檢修或故障停機對機組的單位發電收益影響增加。各國政府提高離岸風場競標的比例，零補貼的離岸風場將成常態，促使風場資產業主更加重視運維工作，盡可能的提升可用率，達成預期收益目標。

因此，在市場擴充、機組停機影響大和政府補貼降低等因素的推動下，提供創新運維概念與技術的發展機會，驅動全球離岸風場運維業者投入研發，掌握具有時間效益與成本優勢的運維技術服務維持市場競爭優勢。

二、運維策略與技術趨勢

離岸風場距岸遠，海上作業環境風險大，船隻運輸成本高和人員體能需求強的因素影響下，離岸風場運維策略與技術逐漸走向無人化、自動化和系統化，達到最少人力使用，最低停機時間，最快故障排除的運維工作，實現最低成本的最終目標。

(一) 運維策略

運維策略依據運維工作實施的時間點可分為反應式維護(Reactive Maintenance)、預防式維護(Preventative Maintenance)、狀態式維護(Condition-Based Maintenance)、預測式維護(Predictive Maintenance)。不同運維策略對應不同的運維成本，市場目前以發展預測式維護技術為主，在時間、成本與效益間取得最佳維修時間點。

1. 反應式維護

反應式維護為設備或零組件發生故障時才進行維修，成本可能最高且維修時間可能最長，為早期設備監控或感測器尚未成熟或普及前採用之策略。離岸風場結構中，機艙內感

測器安裝數量最多，但機艙外設施如水下基礎或海纜則較少，故障發生時只能採用反應式維護，如海纜故障或斷裂。

2. 預防式維護

預防性維護為依據維護時程規劃進行設備或零組件更換，維護成本與時間較反應式維護低，但仍有可能發生設備提早老化而故障，或設備狀態仍健康卻替換的情形。如機艙內設備油品可能規範運轉特定日數需更換，但其間的運作環境溫度與運作狀態可能促使油品提前老化或仍可持續運用，因此無法掌握最佳的油品更換時間。

3. 狀態式維護

狀態式維護則依賴感測器和監控設備的數據，從數據判斷設備與零組件的狀態進而安排維護工作。可改善預防式維護對零件健康程度無法掌握的情況，但仍無法預測零件壽命，規劃最佳的維修時間。如增加油品品質偵測系統，待油品品質達劣化程度時進行更換。

4. 預測式維護

預測式維護為狀態式維護的進階版本，透過更多的感測器收集數據，並且透過大數據分析，預測設備壽命，讓運維團隊有充足時間準備維修之船期、備品或專業人員之安排等。如齒輪箱或機電設備之零組件預測將於三個月後達使用壽命時，可先行安排備品採購或船隻安排。

(二) 技術趨勢

預測式維護為運維管理的重要方向，其技術重點在風力機或周邊設施(Balance of Plant)設計規劃時就必須納入考量，且必須有眾多的數據資料庫做為後盾，發展人工智慧或數位雙生模型進行監控，規劃最佳的運維工作安排。

現場運維工作的執行內容涵蓋人員安全、效率以及精確度。其中人員安全為運維技術的發展首要重點，降低人員暴露於危險工作環境時間，降低人為作業疏失造成的潛在風險，因此無人化和自動化設備成為技術研發關鍵。相關檢測或維修設備則以效率化和精準度為發展方向。全球離岸風場運維技術趨勢可以英國離岸風場創新中心(Offshore Wind Innovation Hub, OWIH)提出的技術藍圖為參考，作為創新運維技術的發展方向。

三、 英國離岸風場創新中心技術藍圖

英國為全球離岸風電開發領導國家，為維持離岸風場開發的全球領先地位，英國政府責成商務、能源與工業策略部出資設立離岸風電創新中心(Offshore Wind Innovation Hub, OWIH)，作為英國離岸風電技術創新之平台，並致力降低離岸風場成本以及擴大經濟效益。該創新中心由英國離岸再生能源創新機構 Offshore Renewable Energy Catapult(ORE Catapult)和知識移轉網絡(Knowledge Transfer Network, KTN)共同營運。

OWIH 扮演英國離岸風電創新研發整合協調者的角色。透過產業訪談與調查，提出長期技術發展藍圖、技術創新重點，挖掘供應鏈成長潛力，以及尋找可用於技術研發的資金管道，提供創新研發專案使用。OWIH 提出的離岸風場創新技術發展藍圖涵蓋自風場概念構想到除役階段，並分為風力發電機、水下基礎、電力基礎設施和運維及風場生命週期四大類。四大技術項目中，再細分預計發展之技術項目及發展期間。

OWIH 的技術分類中，運轉維護與風場生命週期技術歸屬於同一分類。並且分為計畫發展(Project development)、安裝(Installation)、營運(Operations)、維護(Maintenances)、除役(Decommissioning)與賦能研究(Enabling Research)，六大類。本文探討之離岸風場維護技術發展藍圖細部技術創新領域如下【表 1】。

表 1、OWIH 離岸風場維護創新技術藍圖

維護服務		
項目	說明	發展年限
法定檢測	降低國家之間的法規差異	2020-2023
規劃服務	智慧維護規劃工具	2020-2022
維修服務	自動化維修	2020-2031
維護技術		
項目	說明	發展年限
糾正型維護技術	底層結構用之先進表面塗料	2020-2035
	海床調查與環境任務之自動化系統	2020-2038
	外部葉片維修與介入自動化系統	2020-2038
	機艙內部維修與介入自動化系統	2020-2038
重大維修技術	狀態監控系統(CMS)與機器學習零組件預診斷	2020-2023
	新型起重系統	2020-2022
	葉片維修封閉系統	2020-2025

資料來源：OWIH / 金屬中心 MII 整理

技術藍圖規劃未來英國離岸風場運維技術領域，提供產業發展指引以及政府資源投入方向，

進一步促成產官學研資源整合投入，研發創新運維技術。

四、 創新運維技術範例

依據 OWIH 的創新技術藍圖，英國已推動多案創新研發項目，標竿技術簡述如下。

(一) 極端環境多平台檢測、維護與修復計畫(Multi-Platform Inspection, Maintenance, & Repair in Extreme Environment, MIMREE)

本計畫由 Plant Integrity 公司主導，結合 ORE Catapult, Thales, Wootzano, 布里斯托大學、曼徹斯特大學、皇家哈洛威學院和皇家藝術學院八個產學研機構共同執行。研發期間自 2019 年 3 月至 2021 年 2 月。

本計畫目的在於建構無人化之離岸風場檢測、維護與修復技術，藉以降低成本與風險，如【圖 1】。技術運作機制為無人船搭載無人機與自動化檢修機器人自動航行至風場。再以無人機進行風力機葉片檢查與判讀，若需要進行葉片基本維修，將再派遣自動化攀爬機器人於葉片上施工。



資料來源：MIMREE 計畫網站/金屬中心 MII 整理

圖 1：MIMREE 計畫構想

運作過程中，各項設備具備相互溝通能力，岸上操作者則可透過無線傳輸，即時掌握維修現場影像，並透過相關數據的分析進行決策。

(二) 離岸風場資產檢測與預防性維護水陸兩棲機器人(Amphibious Robot for Inspection and Predictive Maintenance of Offshore Wind Assets-IFROG)

本計畫由 InnoTecUK 主導，攜手布魯內爾大學、威廉堡水下中心、ORE Catapult 和英國焊接研究所共同研究。研發期間自 2018 年 3 月至 2020 年 12 月。

本計畫開發的水陸兩棲機器人取名為 iFROG，如【圖 2】。iFROG 搭載電子、感測器和光學儀器，並採用磁力設計藉以附著於金屬結構表面移動。檢測時使用相位陣列式超音波(PAUT)針對結構進行非破壞檢測，並將非破壞檢測所得數據和材料特性做出最佳的維護策略。



資料來源：ORE Catapult/金屬中心 MII 整理

圖 2：iFROG 構想圖

(三) 單樁自動化生物汙染監控、清潔與管理系統(Autonomous biofouling monitoring, cleaning and management system for monopoles, RobFMS)

本計畫同樣由 InnoTecUK 主導和布魯內爾大學共同執行。研發期間自 2019 年 3 月至 2021 年 2 月。本計畫開發之單樁基礎附著物清除機器人取名為 RobFMS。該設備具備檢測與清潔功能，運作時可於單樁上自由移動，並利用 AI 及時辨識水下結構海生物附著情況，並使用高功率超音波技術進行附著物清除。若技術實證獲得成果，未來將可進一步降低潛水夫與水下 ROV 的使用。

五、 結論與建議

臺灣 2025 年離岸風電預計開發目標為 5.7GW，若加上近期經濟部能源局公告之區塊開發規劃草案，2026 至 2035 年將再新增 15GW，市場發展目標將超過 20GW，提供充足的運維市場發展規模，提供在地產業投入創新研發之誘因。

我國在地產業缺乏離岸風場運維之知識與執行經驗，但是卻有良好的自動化、無人化以及 AI 技術發展環境。因此，若可推動風場開發商、運維外商、我國業者以及相關技術產業，針對創新前瞻運維技術進行開發將有助於深化我國離岸風場維護新科技之自主能力，未來亦有機會將創新運維服務整廠輸出至全球市場。

若從政策角度思考，政府亦可參考英國離岸風電創新中心的設立宗旨，整合產學研專家依據全球趨勢、我國產業優劣勢，以及市場需求等因素規劃我國離岸風電產業自規劃階段到除役階段的長期技術發展藍圖，並責成特定機構負責管理與整合政府研發資源，協助產業開發創新技術，奠定離岸風電產業在地化、本土化及永續化的基礎。

(本文作者為金屬中心執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>