



## 轉動了風的翅膀 綠能新家園 台電一期離岸風電併聯

文／編輯部 圖／台灣電力公司

台電公司離岸一期風力發電工程共 21 部風機於今 (110) 年 8 月 27 日全部完成初始併聯，接下來將持續進行試運轉及調校，完成測試後接受調度，加入供電行列。施工期間，不僅須克服 COVID-19 疫情的影響，更須面對不利施工的冬季季風，克服惡劣海象。如今順利完成海纜埋設、風機吊裝，完成全部風機併聯，成為彰化外海離岸風場率先併網的指標性工程。



### 全球潛力風能 聚焦臺灣離岸

為解決能源與氣候變遷問題，發展永續能源、低碳社會、綠色經濟為當今社會急需發展之方向。因應國際能源環境快速變動，兼顧國際減碳承諾，國內已規劃民國 114 年再生能源發電占比達 20% 的目標，並以太陽光電與離岸風電為主要發展目標，其中「離岸風電」預計民國 114 年累計設置達 57GW 置容量目標，帶動國內能源產業發展與促進綠色就業，建構風力發電友善發展環境。

早在民國 103 年國際工程顧問公司 4C Offshore 的全球風速觀測中，共有多處臺灣海峽之內，超越歐洲各國風場，成為最具有潛力的風能熱點。臺灣海峽特殊的地點，在中央山脈及福建武夷山脈之中，建構了一道穩定的風之通道，夏季及冬季季風集中通過，帶來穩定又強勁「天然動能」。

然因臺灣並無具備離岸風電產業的開發經驗，政府為逐步建立實績，將開發階段規劃為一「先示範、次潛力、後區塊」三階段的開發策略。第一階段為「示範獎勵」階段，目前已完成所有示範場共 238MW 裝置容量。第二階段為「公告潛力場址，先遴選後競價」階段，共規劃 5.5GW(與示範階段共將設置約 5.7GW) 已於民國 107 年 4 月完成遴選作業，獲選開發商將透過躉購費率(約每度 5.8 元)誘因投入先期開發，並實現風機、塔架、水下基礎與海事工程等基礎設施之國產化義務。另外，已於民國 107 年 6 月完成競價作業，獲選開發商以每度 2.2~2.5 元得標。第三階段規劃為區塊開發階段，政府將針對領海內尚未開發區塊進行整體規劃(共規 15G)，以推動本土供應鏈全面產業化，進而搶攻亞太市場。

關於第二階段「公告潛力場址，先遴選後競價」階段，共有 7 家開發商得標(外商與國內廠商各占約 50%，分別為上緯、德國達德能源(WPD)、丹麥沃旭能源(Ørsted)、哥本哈根基礎建設基金(CIP)、加拿大北陸電力(NPI)、中國鋼鐵、台灣電力公司取得案場開發。民國 108 年臺灣第一座商業規模離岸風場海洋風電(Formosa1)完工啓動，台電離岸風電一期計畫接力登場，進入海上施工期。臺灣地區的沿海，聚集國內外風電經營團隊，逐漸熱鬧。

## 風力機組建設三階段

然而，在風力機組的建置，仍有前、中、後三個階段，第一階段為開發前的「調查期」，從場域的選擇、地點評估，以及對環境、漁業的影響調查等等，約需 1 到 5 年；第二階段則為「興建期」，開始安裝水下的基礎，以穩固後續安裝設備，接著再安裝風機與變電場，約需 1 至 2 年；第三階段則是「運維期」，一般若持續運轉，平均離岸風機壽命約達 20 年。

陸地上的建設，需要了解該地區的地質、氣候、生態等，臺灣建造離岸風電的海事工程與歐洲相比，更需克服天候複雜、地質鬆軟、地震等因素，透過觀測塔蒐集整合的資料更顯價值。離岸風機的架設點在海上，必須透過海氣象觀測塔來觀測設置區的氣象數據，包括風速、風向、氣壓、太陽日射量、海浪等，有了調查期蒐集到的大數據分析，做為興建期的施工工程，以及運維期的管理維護。民國 105 年 4 月，

台電公司在彰化芳苑王功漁港外海 6 公里處設置 97 公尺高的海氣象觀測塔，開始回傳即時監測資料。這座觀測塔也是首次由國人自行設計、製造及施工，台電公司此項技術的運用及轉移，也為未來的離岸風力技術立下根基。而氣象數據有助於選擇風機機組、設計最佳支撐結構、配合海況計畫等，在營運期和後續開發，還有很多重要的使命，像是估算發電量調配電力、試驗及驗證離岸風機的性能，還有後續風場開發的風能評估。

離岸風電機組分為結構設計、製造、安裝、維護修理、除役等階段，風電塔架為風力發電的基礎，依照海水不同深度，選擇使用 30 公尺、30~50 公尺及超過 50 公尺固定式或浮體式塔架。固定式分為單樁式塔架 (monopile foundation) 用於 30 公尺以下水深區域及套筒式基礎塔架 (jacket foundation) 用於 30~50 公尺水深之水域及重力式基礎 (gravity foundation) 用



❶ 離岸風機的組裝必須對抗隨時變動的洋流、風向、浪高等影響因素。



❷ 台電公司專業團隊將離岸風電機組建設技術加以整合，帶動本土產業供應鏈。

## 台電離岸一期風場組成結構



於 20~30 公尺水深，臺灣大部分風場之水域深度大約 50 公尺，這也是台電離岸一期的風機預定地的水域深度。

同年，台電成立的「海域風電施工處」，由過去完成台電重大任務的青山施工處為班底，加入具有海底電纜經驗的及新進具備海事工程專業的同仁，組成了第一批海域風電部隊。選擇青山施工處，就是看中該團隊過去在青山電廠的修復中，精確的工程管理、突破困難以及工程兼顧自然的能力。面對嶄新的技術及建設及龐大的國際技術團隊，以及可能面臨的氣候變動，海域風電施工處做足準備、臨機應變的心態，積極計畫即將面對的挑戰。

## 建設計畫 因疫延宕

民國 107 年，工程團隊著手地質鑽探作業，水下基礎由套筒桁架 (Jacket) 與鋼

管樁 (Pin Pile) 組成，每根鋼管樁深入海床底下 63 公尺到 82 公尺不等。將 84 支套筒及鋼管架，依照個別海床性質，準確的打入預定位置。除了個別差異之外，最重要的是必須對抗隨時變動的洋流、風向、浪高等影響因素。風力機組利用海風發電，要將海上發出的電力送到陸地，必須連接海底電纜、陸纜、再接到變電所，升壓到 161kV 後，與全臺電網連結。因此在地質調查結束後，進入設計與製造階段，同時陸纜、陸上變電站等陸地工程也一併展開。

依據觀測資料，預計避開 10 月至翌年 3 月東北季風盛行的期間，應可於民國 109 年春季順利開工。然而，離岸風力建設仰賴跨國技術，國際人力需求高且密集，在疫情相對平穩的臺灣境內，意外成為 COVID-19 疫情下的重傷戶。因為邊界管理的限制，外籍人員的入境變得困難重重，



必須檢具相關證明、入境後嚴格的隔離措施，延長了人員流動的時間。此外，風機施工作業都在海上進行，相關機具、人員的運載透過船隻接駁，民國 109 年 4 月爆發的磐石艦染疫事件，成了打亂工程程序的最後一根稻草。

風電施作團隊的船隻分為三類：打樁船、風機安裝船及布纜船，船隻上的作業人員，必須符合防疫規範，才能繼續海上工程施作。各工作船進行的防疫措施，也因作業需求而有不同的隔離方式。以布纜船隻而言，由於是負責後端海纜連接的工作，工作人員得以團進團出，故在工程進度達到一定程度時，便採取全船檢疫 14 天再靠港上岸。另一執行重要任務的打樁船，必須持續於海上作業，工作人員只能批次於工程結束下船之後，再行隔離 14 天。14 天的時間看似不長，但加上工作排程、人

員管控等，有時一上船作業，回到陸地上已經是一個月後的時間了。一連串的繁瑣流程，工程團隊必須忍受在船上隔離，無法回家的狀況，確仍遵守防疫規定，只為了把握海象、風向較佳的可工作期間。

正當打樁、布纜作業如火如荼的進行之時，國外的 COVID-19 疫情早已從零星之火蔓延成串，吞噬著數千萬的寶貴生命，各國紛紛加強邊境管理措施，更有進行鎖國的最強烈手段，偏偏風機安裝船正巧在採取鎖國策略的新加坡進行吊臂改裝，船隻無法出境，套筒作業遲遲無法進行。儘管風機安裝船終於 8 月底回到臺灣海峽的彰化外海，但強勁的東北季風又將吹拂，109 年的工程計畫，在完成 2 支風機的組裝作業後，只能草草按下暫停鈕，等待春風來臨之時。

### 自然工法 保持平衡生態

「工程兼顧自然」是台電公司在電力開發、設置電力設施過程中的宗旨。離岸風力發電的能源取自於天然，過程中也希望以對環境最低的干擾，保留自然環境的樣貌，才是長久經營之道。

台電第一期風場所在的海域，原為彰化地區漁民的經濟海域，也是白海豚可能行經的海域，沿岸的潮間帶，有著蚵農養殖的心血，海洋的領空，偶與候鳥遷徙的路徑重疊。



❶ 風電團隊在疫情期間，堅守防疫規定持續進行施作工程，與完工時間賽跑。  
❷ 從零開始的離岸風電設置技術，透過傳承及經驗學習，更能從容面對第二期離岸風電建置。

為了降低打樁工程施行過程產生的噪音驚擾到海底的鯨豚，工程團隊與在地漁民合作，成立鯨豚觀察員系統，配合漸進式打樁及水下氣泡幕施作工法。如施作範圍附近有鯨豚出沒，即暫停打樁作業，降低受傷害的機率。待鯨豚逐漸源離時，才進行漸進式打樁，讓鯨豚能夠避開噪音源及施工地，另透過氣泡船製造水下氣泡幕，氣泡在海中吸收部分噪音，減少對海中生物的衝擊。

海底電纜佈線工程可能造成的海水擾動及揚塵，影響蚵的生長，降低蚵農產值。施作中，在近岸部分採「水平導向鑽掘工法」，從養蚵區往外海算起的 950 公尺開始，海纜避開養蚵區域，改從海床下 21 公尺穿越，讓蚵農得以繼續維持經濟來源。

冬季海上工程暫停，錯開候鳥遷徙過

冬的時節，鳥類可於潮間帶覓食，維持生態平衡。並於工程設施上標示警示燈，避免鳥類在視線不佳的狀況下撞擊設備，一則減少鳥類受傷，一則保護機具，避免鳥襲的損失。

除此之外，在基樁投擲漁箱，恢復漁產等，也是未來風力發電後，維持海域生態的積極做法。

離岸風電被視為未來綠電的潛力新星，台電公司第一期離岸風電成功併聯電力系統，為綠能發電注入一股活力。從零開始的離岸風電設置技術，透過人力的更新、傳承及經驗學習，面對第二期離岸風電計畫更有把握。儘管疫情影響工程進度，累積的一點一滴，都將成為日後豐收的果實。成功並聯的好消息，有如奧運選手奪牌般，激勵了疫情之下低迷的生活。🌊