



# 追風逐電 永續能源— 台電離岸風力發電第一期計畫

中興工程顧問股份有限公司副理 / 吳錫融  
中興工程顧問股份有限公司顧問 / 蕭永盛  
中興工程顧問股份有限公司協理 / 邱華榮  
台灣電力公司營建處計畫經理 / 高淑娟  
台灣電力公司營建處處長 / 陳憲能

關鍵字：再生能源、離岸風場、離岸風力發電、示範獎勵、潛力場址、區塊開發、永續發展、淨零轉型、MW (10<sup>6</sup>Watt)、GW (10<sup>9</sup>Watt)、GWh (百萬度)

## 摘要

我國長期以來高達九成以上能源依賴進口，化石能源依存度高，因此在面對全球溫室氣體減量趨勢與達成非核家園願景之下，政府規劃於 2025 年之再生能源發電占比應達 20% 為政策目標，期能在兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟下，建構安全穩定、效率及潔淨能源供需體系。為達成此一政策目標，政府衡量我國自然環境資源，以太陽光電及離岸風電作為再生能源開發主力，其中離岸風電規劃於 2025 年累計設置量達 5.6GW，藉此促進能源多元化及自主供應，展現我國積極推動再生能源發展之決心。

由於我國過去不具離岸風電開發經驗，且處在多颱風與地震的環境，因此發展離岸風電是採「先示範、次潛力、後區塊」3 階段開發策略，逐步推動；推動設置目標分別為 2020 年 520MW、2025 年 5.6GW、2035 年 20.6GW。

台電公司為配合國家政策，爭取並獲經濟部評選為第一階段示範風場之辦理廠商之一，是為台電離岸風力發電第一期計畫。本計畫於民國 2015 年 3 月 31 日獲行政院核准，計畫場址位於彰化縣芳苑鄉，距離岸約 7.2 至 8.7 公里，水深範圍介於 18 至 28 公尺之間，規劃風力發電機組總裝置



容量約為 110MW，風場面積約為 8.35 平方公里，各風機由海纜引接後，自永興海埔地西南角上岸轉接為陸纜，再引接至大城變電所，本計畫於 2021 年完成併網，年發電量超過 3.6 億度，可供給近 9 萬家戶一年用電。

## 一、前言

行政院於 2008 年 6 月通過「永續能源政策綱領」，指出在追求永續能源發展過程，應兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，以滿足未來世代發展的需要。經濟部能源局（署）提出永續能源政策與目標：1.「提高能源效率」2.「發展潔淨能源」3.「確保能源供應穩定」。2009 年 4 月行政院宣布啟動「綠色能源產業旭升方案」，推動綠色能源產業，並將風力發電產業納入台灣未來再生能源供給發展之主軸之一，並於同年 7 月完成「再生能源發展條例」三讀程序。2012 年 7 月經濟部公布實施「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，透過獎勵機制，鼓勵業者投入離岸風電之開發行列。

國際工程顧問公司 4C Offshore 於 2014 年發表的全球「23 年平均風速觀測」研究，世界上風況最好最理想的 20 處離岸風場，台灣海峽佔據了 16 處之多（在其 2021 年 3 月評比全球離岸風電潛能，世界上風況最好最理想的前 40 處潛能場址中，台灣海峽佔據了 29 處），且多數位於我國領海內，顯示出我國具有發展離岸風力發電之潛能，因此行政院推動離岸風電開發，除了引進外國廠商資源，同時也期望能帶動國內產業發展。

## 二、國家能源永續發展的願景

### 2-1 全球的永續發展目標

1987 年聯合國世界環境與發展委員會（World Commission on Environment and Development, WCED）認為，「永續發展」的意義在於：「滿足當代需求的同時，不損及後代子孫滿足其自身需求」之發展途徑，此概念亦開啟全球對於永續發展的關注，2015 年聯合國發表《翻轉世界：2030 年永續發展議程（Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development）》文件，作為行動指引，著眼於人（People）、地球（Planet）、繁榮（Prosperity）、和平（Peace）、夥伴關係（Partnership）等重要聯繫，促使全球團結努力，期盼至 2030 年時能夠消除貧窮與饑餓，實現尊嚴、公正、包容的和平社會、守護地球環境與人類共榮發展，並提出「永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」——包括 17 項核心目標及 169 項具體目標，於 2017 年再建立 232 項指標用來衡量實踐情形。

### 2-2 我國永續發展目標

永續發展向為我國所重視的核心價值之一，為追求我國積極邁向永續發展，並回應全球永續發展行動與國際接軌，同時兼顧在地化的發展需要，因此我國行政院於 1994 年 8 月成立「行政院全球變遷政策指導小組」，由相關部會首長及專長學者組成，下設因應全球環境問題及永續發展等 6 個工作分組。民國 1997 年 8 月 23 日擴大為「行政院國家永續發展委員會」（簡稱永續會），並指派行



政院政務委員擔任主任委員。目前（2021年11月11日起），永續會主任委員由行政院長兼任，政務委員擔任執行長，其下設置4位副執行長，分別由衛生福利部、經濟部、國家發展委員會及環境部副首長兼任，秘書處幕僚作業於110年8月由國家發展委員會兼辦。

2009年8月公布「永續發展政策綱領」，2016年啟動研訂「臺灣永續發展目標」作業，2019年完成訂定對應指標，並設氣候變遷與淨零轉型專案小組，於2022年12月完成「臺灣永續發展目標修正本」。

### 2-3 我國能源永續之核心目標及對應指標

依據「臺灣永續發展目標修正本」，其核心目標07與能源之開發利用相關：「確保人人都能享有可負擔、穩定、永續且現代的能源」，目前能源核心目標之主要工作重點為：

1. 修正《再生能源發展條例》：增訂「建物設置太陽光電」及「地熱專章」等規範，並針對離岸風電、小水力發電及生質能發電等再生能源多元發展建立友善環境。
2. 離岸風力發電推動成果：經濟部於2023年11月23日完成公告區塊開發第2期《離岸風力發電區塊開發場址容量分配作業要點》。
3. 增加潔淨燃料發電占比、邁向電力淨零排放：鼓勵地熱開發、漁電共生案場、小水力發電場域等之建置。
4. 提高強制性節能措施涵蓋率，降低能源密集度：透過歷年節能規定之推動、能效技術示範輔導、節能技術開發等。

5. 建置儲能系統，提升電網韌性：推動光電儲能搭配再生能源之大型儲能系統、具有多功能輔助服務之儲能系統。

### 2-4 我國再生能源供需環境現況

行政院主計總處已將2024年全年經濟成長率上調至3.94%，在考量未來AI科技潮帶動的半導體產業擴廠、電動車推動政策等因素，預估2024～2028年電力需求年均成長率約為2.5%，在此趨勢下，預估2024～2033年電力需求年均成長率約為2.8%。電源供給規劃部分，截至2024年5月，整體再生能源裝置容量已累計達1,935萬瓩。另外，為提高再生能源供應的穩定性，政府積極規劃增加燃氣機組、儲能系統等設施，結合電網建設和智慧化管理，以促進再生能源的整合和利用效率，亦將多元發展再生能源，確保國內能源供應的可持續性和穩定性。

### 2-5 臺灣2050淨零轉型政策之能源轉型

我國於2016年宣示能源轉型，以「減煤、增氣、展綠、非核」之潔淨能源發展方向為規劃原則，確保電力供應穩定，兼顧降低空污及減碳。2022年3月政府再宣示「臺灣2050淨零排放路徑及策略」，訂定臺灣2050淨零轉型之四大轉型策略：「能源轉型、產業轉型、生活轉型、社會轉型」，以及兩大基礎：「科技研發、氣候法制」，以作為施政方針。其中能源轉型是以打造零碳能源系統、提升能源系統韌性、開創綠色成長為3大策略，並提出9項措施，其中確定風電及光電為再生能源之發展主力。



### 三、離岸風電開發及作為

#### 3-1 再生能源的發展之潛能

臺灣的自然資源，除了化石燃料資源為量不多外，其他尚稱豐富，如風能、太陽能、海洋溫差等，但若以目前技術成熟且可提供大規模量體之使用者而言，則以風力發電及太陽能發電均已歷經示範及商業開發階段，有足夠大的商業開發規模，提供工商業及大眾使用。

離岸風電由於具有如下之多項優勢，可成為我國電力永續開發重點：

- (1) 風能為永續資源，不虞匱乏，且為自有資源
- (2) 台灣西岸沿海及澎湖、蘭嶼等之風能密度高，深具開發價值
- (3) 發電過程無碳排，可協助國家抑制溫室氣體效應
- (4) 環境衝擊小，遠離陸地及人群，發電過程中無公害
- (5) 風場在海上，幾乎不佔用陸地資源
- (6) 海上風場限制漁業捕撈活動，有利於魚類等海洋生物在此生活棲息

#### 3-2 離岸風電的開發配套作為

政府在離岸風電之推展方向，區分為三個階段，第一階段為示範風場階段，透過政府補助來引導及鼓勵投資者參與；第二階段為潛力場址階段，遴選出 3.8GW 潛力場址及競標 1.6GW 淺海區場址，完工期間為 2020 ~ 2025 年；第三階段為區塊開發階段，分三期

開發，每年釋出 1.5GW 開發權，完工期間為 2026 ~ 2035 年。歷年來實際作為及發展情形可概述如下：

- (1) 2012 年 2 月公布「千架海陸風力機」計畫：推動策略為「先陸域後離岸」、「先示範後區塊」、「先淺海後深海」，預計 2016 年完成首座離岸風電示範機組，2020 年完成首座離岸風電示範風場，2030 年完成超過 1 千架、總裝置容量 5,200MW 海陸風機。
- (2) 2012 年 7 月經濟部公告「離岸風力發電示範獎勵辦法」。
- (3) 2013 年 1 月能源局公布示範評選結果：共有福海公司、海洋公司（海洋風場）、台電公司（台電第一期）等 3 個申請人取得示範獎勵資格。
- (4) 2015 年於彰濱、苗栗外海陸續完成三座海氣象觀測塔：蒐集海氣象資料，做為日後開發風場之重要數據使用。
- (5) 2016 年海洋公司於苗栗外海完成 2 部示範機組。
- (6) 2016 年 12 月通過「離岸風電區塊開發」政策環評。
- (7) 2017 年 8 月行政院核定「風力發電 4 年推動計畫」：離岸風電規劃規模於 2025 年達到 3GW。
- (8) 2017 年 10 月經濟部公布 2025 年的離岸風電目標由 3GW 提高到 5.5GW。
- (9) 2018 年 1 月能源局公告離岸風電第二階段「遴選」、「競價」的《作業要點》。2018 年 4 月遴選容量達 3,836MW，20 年固定電價為 5.8 元／度。2018 年 6 月公布離岸第一期競價結果，容量達 1,664MW。



- (10) 2019 年 11 月台灣首座離岸風場「海洋風場」(Formosa 1) 完工：為風電邁入商業規模的重要里程碑。
- (11) 2021 年 7 月經濟部針對第三階段區塊開發公告《離岸風力發電區塊開發場址規劃申請作業要點》，2021 年 8 月經濟部針對第三階段區塊開發公告《離岸風力發電區塊開發容量分配作業要點》
- (12) 2021 年 12 月台電完成離岸風電第一期計畫：示範風場均已建造完成。
- (13) 2022 年 12 月經濟部針對第三階段區塊開發第一期完成選商容量分配，計有 6 組開發商、7 座離岸風場獲配，合計 3.0 GW 的裝置容量。(嗣後有兩家未完成行政契約簽訂)
- (14) 2024 年 7 月經濟部針對第三階段區塊開發第二期完成選商容量分配，計有 5 座離岸風場獲配，合計 2.7 GW 的裝置容量。

### 3-3 台電公司離岸風電風場之開發

台電公司配合政府之能源政策，於風力發電開發部分，於 2013 年 1 月獲經濟部評選而取得開發商資格，開啟彰化芳苑外海第一期計畫，同時在 2016 年啟動第二期風場的可行性研究，選擇彰化鹿港外海第 26 號潛力廠址來推動第二期計畫，也順利於 2018 年獲能源局遴選，給予 300MW 開發容量。

### 四、台電離岸風力發電第一期計畫

政府有鑑於國內缺乏辦理離岸海事工程經驗，相關海事工程之工程環境資料蒐集、量測設施及基礎研究不夠完備，因此台電離岸風力發電第一期計畫是以示範風場方式辦理，分年里程碑時程詳表 1。

表 1 本計畫分年里程碑時程

主要里程碑	可研規劃完成日期	實際完成日期
可行性研究	2014 年 12 月	2014 年 12 月
計畫奉准	2014 年 12 月	2015 年 3 月
環評審查通過	2015 年 06 月	2015 年 09 月
籌備完成創設	2015 年 09 月	2017 年 12 月
工程總顧問決標	2015 年 12 月	2016 年 01 月
風場工程招標及決標	2017 年 03 月	2018 年 02 月
基樁打設、基礎安裝	2018 年 09 月	2020 年 09 月
塔架及風機安裝	2019 年 09 月	2021 年 06 月
風機接受安全調度	2019 年 12 月	2021 年 12 月
全部工程完工	2020 年 06 月	2022 年 06 月



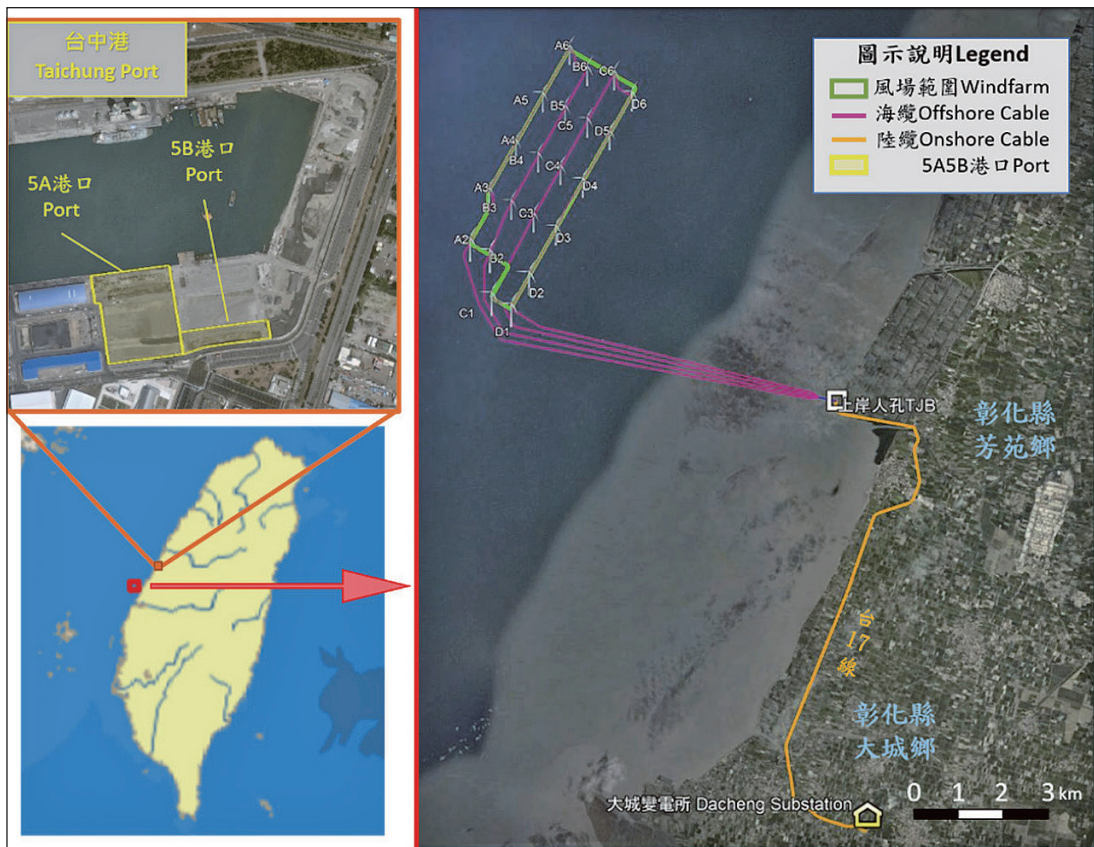


圖 1 本計畫位置圖

#### 4-1 可行性研究階段的規劃

中興公司在進行可行性研究時，充分了解國內工程環境及產業界處境及台電公司所肩負之使命，搭配國外著名工程公司 GL Garrad Hassan 的協助，來完成此項工作。工作成果可概述於下：

##### (1) 場址選擇與開發規模：

彰化外海之場址選擇需考量台中港錨地港界範圍、保護礁禁漁區及人工漁礁禁漁區、中華白海豚野生動物重要棲息環境、避

免在濁水溪河口區域內、水深 30 公尺以內之區域、永傳公司福海風場及彰化縣專用漁業權等限制條件，以王功及福寶保護礁區旁之可開發範圍為本計畫優先考慮區域。

##### (2) 風力機組型式及容量評析：

本計畫場址風力機組之選擇，以考量 3.6MW ~ 6MW 的風力機組較為合適。此外，基於在台灣海峽採用較大容量裝置風機以及其相對嚴酷的環境條件，經評估結果顯示選擇 C 類型或 R 類型風機（較大葉片及較小的產出功率）可達到較佳的經濟效益。



(3) 風能分析：

在本場址之風速分布上，高程 90 公尺處之平均風速約每秒 9.5 公尺。依據風能模擬結果，本場址之單位面積風能介於 1350 ~ 1400 W/m<sup>2</sup> 之間。

(4) 風力機組佈置規劃及發電量：

本計畫開發場址位於彰化縣芳苑鄉外海，以 5.0MW 風力發電機組 22 部之配置方案進行規劃佈置。以主要成本作為支出考量，發電收入作為效益考量。

(5) 基礎結構型式之選擇：

由安全、成本與時間等方面來考量，採用套筒型式作為風機下部結構。

(6) 電源線併聯及線路規劃：

風力機組產生之電力經機艙內變壓器升壓至 33 kV 後以海底電纜連接至陸上電氣室再升壓至 161 kV 後併入大城一次配電變電所(D/S)。

在線路規劃方面，本計畫案工程 33kV 級線路採單回路配置，以節省初期建造成本。另外經比較輸電容量、海纜費用、輸電損失皆採用 3  $\phi$  33kV 等級。

(7) 海纜線路規劃：

選擇海洋漁業活動和水產養殖較少區域，盡量避開或通過較少張網捕魚作業區。沿海與登陸灘地附近無其他大型建築設施如港口、軍事設施、水管以及其他海纜等上岸點宜避開法規限制區或居民抗爭地點等條件。不危及附近海堤安全。輸出海纜鋪設配合風場機組佈置，以 4 條纜線規劃，海纜之最小埋設深度不得少於 2 公尺。

(8) 陸纜線路規劃：

四條 33 kV 海底電纜上岸，經連接站將 33 kV 500 mm<sup>2</sup> 級海纜轉接為每相二條 250 mm<sup>2</sup> 或每相一條 500 mm<sup>2</sup> XLPE 電力電纜，經 8(16) 支 150 mm 或 4(8) 200 mm $\phi$  PVC 管及高壓人孔所構成之地下管路，連接至 161 kV 電氣室。

(9) 陸上電氣室及連接站規劃：

本計畫基於風場位置離岸較近，於海上不設置電氣室。為配合風力機組電力系統電力輸送，本計畫原規劃設置連接站及電氣室各一處，連接站設置於海底電纜上岸處。

(10) 施工規劃：

- 施工碼頭及後線工作場地：以下部結構與連接段重量約為1018噸為主要關鍵載重，考量採用2台吊車進行吊裝作業，故評估施工碼頭高載重能力最小約為每平方公尺10噸；高載重能力碼頭所需面積約為100公尺 × 30公尺。另考慮安裝船機之船長，建議碼頭長度約為250公尺。
- 施工運輸規劃：
  - 起重機船隊：包括全旋回式起重船（1600T）、拖船（4000ps兼揚錨船）、平台船（2000T）等、自昇式平台船等，主要用於運搬套筒桁架、風力機組與鋼管基樁打設等工作。
  - 打樁船隊：包括打樁船、拖船（2000ps）、揚錨船（50T）。
  - 挖溝機台船（PC-1600, 6.0立方公尺）：主要挖掘海底電纜管溝（水深-1至-9公尺）。



- 抓斗式台船（13立方公尺）：主要挖掘海底電纜管溝（水深9至20公尺）。
  - 海底電纜佈設工作平台船（500T）、拖船（500ps）、揚錨船（5T）。
  - 警戒船與指揮船（100ps）。
  - 潛水伏船（100ps）、GPS定位儀、ROV檢測儀。
- 施工運輸規劃：規劃於工址至台中港外海航道間規劃一條專用航道，航道寬約200公尺。施工單位於施工前須提送台中港務分公司核備。
  - 基礎及風力機組設置作業規劃：
    - 鋼管基樁（含套筒桁架）施作：打樁工作船須以DGPS定位，打樁船機須設置水中曝氣設施，可採用國際上通用之氣泡簾幕工法，以降低水中打樁產生之音壓危害鯨豚，且基樁施工如使用敲擊式基樁應以soft start（ramping up）方式進行打樁，由低力道的打樁慢慢漸進到全力道的打樁，讓鯨豚有機會在剛開始打樁時得到警告而遠離噪音源，以避免受到噪音直接的傷害。鋼管基樁打入至預定設計深度後，繼則進行套筒桁架吊裝，並於套筒桁架與鋼管樁銜接之接合段灌漿以完成套筒桁架之安裝工作。
    - 塔架組裝作業：研擬由自昇式安裝船來配合此支承塔架海上運搬、架設與組裝工作。
  - 風力機組、葉片組裝作業：研擬由自昇式安裝船來配合風力機組機艙及葉片吊裝組合。
  - 海纜施工規劃：
    - 海纜佈放路廊之海底層地質、地形與海象調查。
    - 海底電纜溝開挖／浚挖及上岸處纜線溝開挖作業：於淺灘段之開挖／浚挖作業可使用怪手台船配合曳船施作，淺水段海面下水深1.0公尺以上範圍，管溝開挖可使用挖溝機台船開挖；深水區管溝開挖可考慮採用附加高壓沖水式之鋤式埋設機施作。
    - 海底電纜佈放與纜溝回填作業：深水區域可考慮採用附加高壓沖水式之鋤式埋設機施作，或同等能力之埋設機。
    - 鋪設電纜成果調查：以ROV專用調查船機，確認纜溝佈放與回填作業成果。
  - 施工進度安排：
    - 施工工期以兩年之兩個施工窗期來完成本計畫要徑之海上安裝及風場試運轉工作。

## 4-2 工程設計及執行

本計畫採統包方式辦理招標，由得標廠商 Jan De Nul 及 Hitachi 兩公司共同承攬，辦理設計、製造、採購、施工、測試及試運轉並含 5 年運轉維護等工作，其主要工作內容及成果如下：





## 1. 工程主要數據

計畫場址：彰化縣芳苑鄉外海，距離岸約 7.2 至 8.7 公里  
 風場面積：約為 8.35 平方公里  
 水深範圍：介於 18 至 28 公尺之間  
 風機型號：Hitachi 公司之 HTW 5.2-127 風機  
 海纜額定電壓：18/33 (36) kV  
 陸纜額定電壓：36 kV  
 總裝置容量：109.2 MW（共 21 部風機，單機容量 5.2 MW）  
 年發電量：約 3.6 億度  
 契約金額：約 249.9 億元（工程 221.9 億元，完工後五年運維 28 億元）  
 商轉：2021 年 12 月

## 2. 環境調查及分析

- 大地工程：地球物理探勘、海床現況及水下文資調查、海床移動性調查及評估
- 氣候環境：海氣象調查及分析、風況調查及分析

- 地震工程：機率式地震危害度分析、地盤反應分析

## 3. 風力發電機

本計畫採用日立公司 Hitachi 5.2 MW 風力發電機下風式風力發電機，轉子直徑為 127 m，輪轂高度距海面高度約為 97 ~ 99 m，轉子機艙總成（RNA）的設計壽命為 20 年，塔架設計壽命為 25 年，其中轉子機艙總成 IEC S 級（ $V_{ref} = 55 \text{ m/s}$ ）和 JIS T 級（ $V_{ref} = 57 \text{ m/s}$ ）之型式認證由認證機構 Class NK 核准通過。風機主要規格如表 2。

## 4. 風場佈置

本計畫風場海域涵蓋範圍面積總計約 860.27 公頃；輸出海纜廊道規劃佈設範圍長約 9.2 公里、寬約 1.1 公里，海纜開發面積約 794.82 公頃，風場海域及海纜規劃範圍共 1,655.09 公頃。（風場總佈置圖如圖 2。）

## 5. 風機下部結構

表 2 風力發電機主要規格

型號	HTW 5.2-127	轉速	$5.6 \sim 13.2 \text{ min}^{-1}$
每部風機功率輸出	5,200 kW	圓錐角	5 度
功率控制	旋翼控制與變速	傾斜角度	-8 度
轉子位置	下風型	葉片數量	3
動力傳動系統	齒輪箱	塔節數量	3
傳動比	約 1 : 40	發電機	永磁發電機
導入風速	4 m/s	電力轉換系統	全功率變流器
切斷風速	25 m/s (10 分鐘平均值) 或 35 m/s (1 秒鐘平均值)	轉向控制	主動轉向（正常運作）／ 自由轉向（暴風狀態）
額定風速	13 m/s	煞車	葉片順槳（獨立控制）
輪轂高度	約 97.44 ~ 99.92 m	輸出電壓	33,000 V
轉子直徑	約 127 m	抗風等級	日本工業規格 ClassT

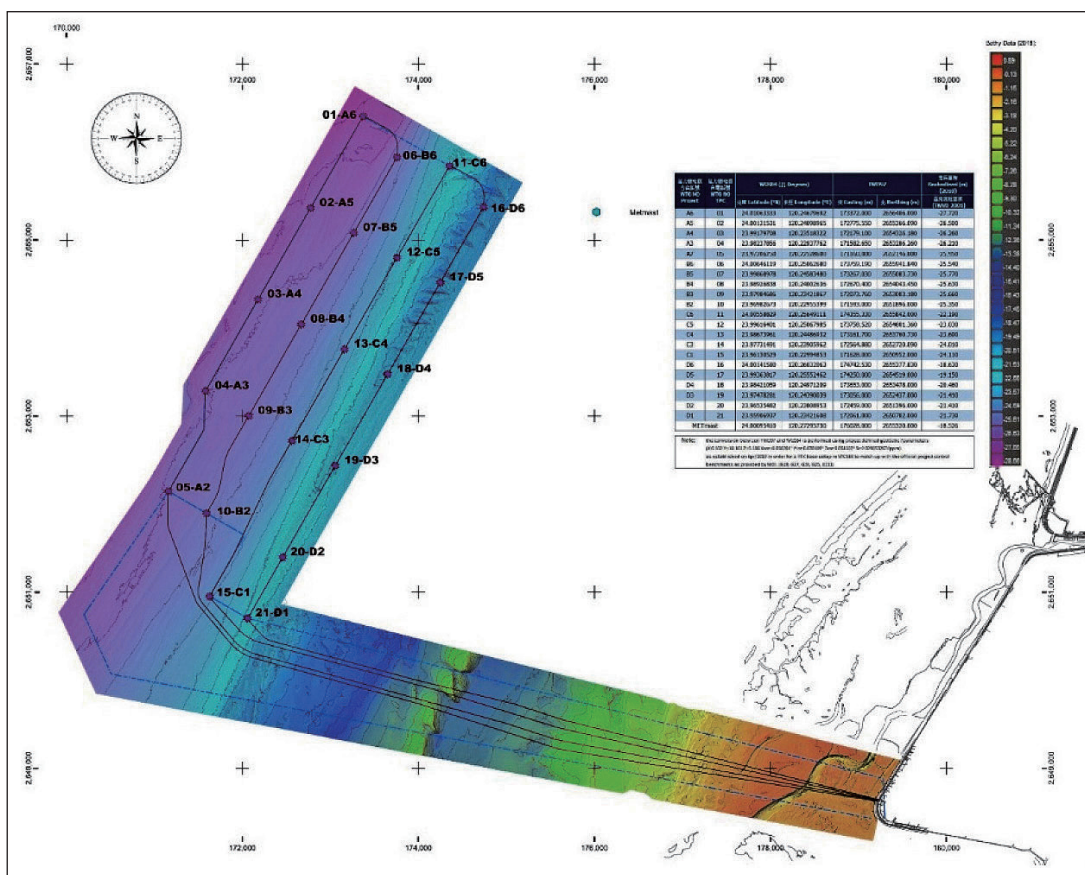


圖2 風場總佈置圖

### (1) 設計原則

**群集策略：**本案在承攬商及其下部結構設計顧問公司之規劃下，整個風場範圍內之風機下部結構依不同水深分為3個群集作設計。

### 鋼管樁設計：

- 詳細審查適用於所考量之土壤分層分類方法及對應使用的承載力評估。此包含但不限於適當選擇 p-y 和 t-z 曲線，適用於樁的設計工具

以及樁的側向／軸向效能的評估。

- 確定相關標準，從而確定設計中採用的負載和材料因子的適當選擇。
- 土壤承載力驗證，包含軸向及側向承載力檢核。
- 長期位移的驗證，如長期週期性負載可能造成長期軸向及側向位移。
- 產出結構計算的輸入土壤參數，這取決於土樁相互作用。
- 打樁分析：評估安裝過程和相應的打樁造成的疲勞損傷。



### 主要及次要鋼結構設計：

- 主要結構之獨立負載分析，包含基於DNV規範之各極限狀態檢核
- 次要結構設計
- 耐震設計
- 灌漿接合設計
- 防蝕保護設計
- 臨時階段設計，包含製造、運輸或施工狀態等

### 載重迭代分析 (ILA)：

- 與風機廠商之RNA、塔架模型進行載重迭代分析 (ILA)

### (2) 設計特點：

#### 套筒桁架及基樁：

- 結構型式概念：套筒桁架採四支撐腳之鉚接鋼結構，並採預打樁式套筒桁架之概念設計。
- 基樁長度優化：每一風機之樁長設計必須根據各個風力發電機組的位置進行，以獲得基樁的最佳貫入深度。
- 沖刷考慮：在結構分析中藉由去除可能受淘刷區域之土壤對軸向／側向能力和剛性的貢獻，估算基樁受地形變遷及海流沖刷的影響。

#### 連接段：

- 連接段的設計必須很堅固來傳遞所受拉力，以適應風力發電機組負荷的可能變化。
- 連接段必須假設塔架維修門需與連接段塔筒整合為一體。連接段

塔筒與塔架底部藉塔架上下法蘭結合而順利傳遞應力。

- 塔架法蘭螺栓的安裝必須適當考慮所需的螺栓和工具的空間要求。

#### 次要結構：

- 依業主要求設計兩個船靠設施及附屬構件，並採對角設置，以降低整體結構之非對稱性。
- 外部爬梯搭配船靠設施設計，中間附有休息平台，爬梯必須配備防墜落系統，固定於梯子頂部。
- 考慮外部平台的工作需求。
- 犧牲陽極之陰極防蝕及其支撐結構。
- 兩個外部J型管。
- 雜項電氣設備的考慮，需包括接地和雷擊保護系統。

### 6. 海底電纜

**內陣列海纜：**3 × 630 mm<sup>2</sup> 銅，18/33 (36) kV，具有 1 × 48 單模光纖和 2 × 2 單模光纖的三相電力電纜。

**輸出海纜：**3 × 630 mm<sup>2</sup> 銅，18/33 (36) kV，具有 1 × 48 單模光纖和 2 × 2 單模光纖的三相電力電纜。

**內置之光纖纜線：**光纖種類為 48 個 ITU-T G.652D 單模光纖和 2 組 2 個 ITU-T G.652D 單模光纖，用於通訊、監控及偵測海纜運轉狀況。

**海纜監視系統：**承攬商採用 Omnisens 廠牌設備之 Cobra 海纜監控系統，監控輸出電纜、陣列電纜和環路電纜的完整性、溫度和機械



圖 3 風機下部結構示意圖（照片出處：台電公司提供）

損傷預防，共安裝兩個 DITEST-L 沿海纜環路測量溫度變化及應變偵測，此二設備配置在不同的光纖芯束上，形成備援機制，監視主機設於台電岸上大城變電所。

#### 7. 上岸點及陸域電纜：

輸出海纜（33 kV 4-3/C 630 mm<sup>2</sup> XLPE）上岸處為永興海埔地之西南角，為不破壞海堤結構且避開當地蚵農蚵架區域，採 HDD 工法通過約 1 公里潮間帶及既有堤岸之底部，以堤岸後新設海陸纜接續人孔作為海陸纜分界點，銜接及續接轉換成 33 kV 12-1/C 800 mm<sup>2</sup> XLPE 陸纜，透過地下管排、預鑄人孔或箱涵等方式，總長度約為 13 公里。

陸纜沿線共包含 46 座陸域人孔（M0A、M01 ~ M45），人孔內設有接續匣，每個接續匣配有接地阻抗。

#### 8. 大城變電所新增之主要電氣設備：

- (1) 33 kV 氣體絕緣開關
- (2) 161 kV 氣體絕緣開關
- (3) 161/33 kV 高壓油浸式變壓器
- (4) 直流 125V 充電機及直流分電盤，具有兩組充電機，一組為平時使用，一組為備用。
- (5) 直流 125V 電池組能供應 12 小時之使用
- (6) 低壓配電盤
- (7) STATCOM（靜態補償器，static compensator）2 套





#### 4-4 本計畫之特點

本計畫在開始辦理可行性研究開始，一直到工程結束，都在在展示對環境友善之規劃及設計，藉以闡明在開發離岸風電計畫時，與社會、環境、生態共存共榮，是完全可以期待的；藉著本計畫之示範，可以給予國人充分的信心，來支持離岸風場之持續開發。因此將本計畫的特點羅列說明如下：

- **首批示範離岸風場**—這座離岸風力發電廠是台電公司首次興建並擁有的，也是台灣首批示範離岸風場之一，說明在台灣的工程環境下，興建離岸風場為可行，在本計畫進行之中之規劃、設計階段、發包階段、製造階段、施工階段及運維階段，碰到諸多問題及情境，在逐一克服後，為未來離岸風場建設提供重要參考。
- **風機下部結構國產化**—為推動離岸風電產業的國產化政策，其中21座風機的下部結構所需的84支鋼管樁中，有4支由銘榮元公司製造，說明台灣鋼構廠商也具備製造離岸風電鋼結構能力，已可通過業界品質檢驗程序之考驗，為鋼構製造本土化取得重要里程碑。
- **施工／營運工安考量**—考慮到台灣冬夏季風的主流風向之方向變換，風場設置兩個不同方向的船靠設施，以提高人員運輸船成功登上風機的機率；施工期間船隻採用有動態懸梯系統裝置之船舶，利於人員在船舶與風機間移動，提高工率。
- **離岸風電專用碼頭改善**—為風機大件運送吊放及在陸上完成風機塔架預組裝，

碼頭港池及碼頭儲放區域需要進行承載力改善工作；台電公司與臺中港務公司攜手改善臺中港#5碼頭，使其成為符合需求之離岸風電專用碼頭。

- **HDD工法使用**—海纜上岸段採用長約1公里的水平導向鑽掘工法施作，完全避開蚵架並且免於破壞海堤結構，並使用防濁幕，來降低對環境衝擊至極低程度。
- **水下噪音防制**—為減少風場對環境的影響，已避開鯨豚棲息地和養蚵區域外，在風機基礎打樁作業期間，以低力道打樁慢慢進到全力道方式程序，並利用水下氣泡幕減輕打樁所產生的水下噪音，降低對海洋生物的影響。
- **孤島情境之應變**—由於施工時間跨越冬季，台電公司要求承攬商根據現地情況實施「渡冬計畫」，加強海上風機、預組裝場上風機及其附屬設備的除溼及防護措施。
- **STATCOM規劃**—為符合台電再生能源發電系統併聯技術要點要求，大城變電所設置靜態虛功補償設備（STATCOM），以避免電力系統故障或電壓驟降時發電機組跳機，確保離岸風場的安全運行，這也是台電離岸風力變電所的首例。
- **新冠肺炎考驗**—受到疫情及政策法規的影響，外籍船舶無法順利前往風場進行施工，台電公司透過與經濟部、能源署、國營會、航港局、疾管署等多方溝通及研商協調，最終成功克服困難進行施工，包括實施人員交換船、全員隔離檢疫、全船消毒、防疫要求等措施。



- **促進漁電共榮**—台電公司為了與當地環境社群共榮共存，與彰化區漁會保持溝通，並傾聽漁民的需求和意見，在營運期間，雇用當地漁民以保障他們的工作權利，並持續探索更多的漁業轉型機會。風場區域限制漁業捕撈活動，有利於海洋生物之棲息及保育。

#### 參考文獻

1. 有關能源政策之宣示公告等文件，請詳經濟部官方網頁 <https://service.moea.gov.tw>。
2. 有關永續發展之宣示公告等文件，請詳行政院永續發展偉院會官方網頁 <https://ncsd.ndc.gov.tw>。
3. 4C Offshore Global Offshore Wind Speeds Rankings (4C Offshore 網址：[sales4C@tgs.com](mailto:sales4C@tgs.com))。
4. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 工程總評估報告（定稿版）”(2024年2月)。
5. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 可行性研究（核定版）”(2015年10月)。
6. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 環境影響說明書（定稿本）”(2015年8月)。