

# 離岸風電基地母港(臺中港)鄰近海域 可工作機率探討

羅冠顯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員  
蘇青和 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長  
蔡嘉和 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究助理  
陳子健 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究助理

## 摘要

面對全球溫室氣體減量趨勢與國家非核家園共識，政府規劃新能源政策目標於114年提升再生能源發電比例至20%，期能在兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟發展均衡下，建構安全穩定、效率及潔淨能源供需體系，創造永續價值，邁向2025年非核家園願景。

本研究於離岸風電區鄰近主要母港（臺中港）執行長期性海氣象觀測，分別設置波浪（1站）、海流（1站）及風速風向（6站）等海氣象觀測站，調查海域之風、波浪及流場等海氣象資料，並分析不同波高、風速持續6、12、18及24小時可工作機率，依月、季提出可工作機率圖表，提供主要母港鄰近海域外海工程施作、碼頭吊掛施工等作

業應用參考。

波高可工作機率分析成果，夏季可提供較佳可工作機率，春季可工作機率僅次於夏季，冬季期間因受東北季風影響，可工作機率為四個季節中最低之季節，作業波高1.0 m連續作業12小時，夏、冬兩季可工作天數由61天劇降至7天，相差約9倍；風速四季分析結果與波高相符，夏季可工作機率最高，春季次之，冬季歷年平均風速為13.1 m/s，直接影響本海域現場作業氣象環境，工作機率為四季中最低，作業風速12.0 m/s連續作業12小時，夏、冬兩季可工作天數由83天降至32天，相差約2.5倍。

## 一、研究緣起及目的

離岸風機設置於海中，改變原有水理機制，波浪、水流、漂沙及地形的變化，將影響風機結構與航行安全，且需

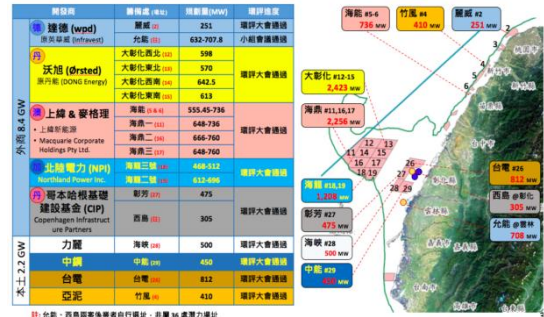
面對臺灣海峽複雜惡劣的海氣象環境，對海上施工安全及風力機組主體結構造成影響，故有必要進行環境保育相

關之海域環境監測與分析並建立本土化的施工與海下技術以及維管計畫。

鑒於現階段對風力機場址的海氣象特徵掌握有限，增加海上施工與維護補給船隻的航行風險，加上未來在離岸風電建置與維運時，所帶來許多施工與補給維護船隻，使海上交通流量增加，且原有航行船隻亦需改變航路，故極需於離岸風電區設置一套完整風力、波浪、海流及潮位等海氣象監測系統，輔以船舶動態資訊，提供主管單位執行航行船舶監督與管理等作業，以提升離岸風電區船舶航行之安全。

本研究係依據經濟部能源局所公佈之離岸風機潛力場址(如圖 1 所示)，擇定鄰近離岸風電區之臺中港海域，設置長期性海氣象觀測站，調查本海域之

波浪、海流、風力及潮位等資料，建置本海域海氣象資料庫，透過統計原理，分析本海域現場作業可工作機率、海氣象特性，相關資料可提供離岸風場鄰近海域工期安排、施工規劃及現場作業參考應用。



(資料來源：經濟部能源局)

圖 1 我國離岸風電區推動現況

## 二、文獻回顧

工期的管控對施工專案而言，為相當重要之環節，妥善安排工期可提高施工效率及生產力，尤以海事工程更是顯著，相較陸地施工，海上作業需克服風、波浪等因素影響，因此如何使工程如期(On time)、如預算(On budget)及如質(On quality)完成，為施工管理者重要課題。工期估算往往以施工地點、施工工法、工程造價及經驗法則做為工期計算依據，惟此推算方式仍存在一不確定因素，即「氣候條件」，本研究將蒐集臺中港歷年波高、風速觀測資料，以統計方式估算臺中港海域於不同月份、季節可工作機率，提供產官學研界參考應

用，茲將現場海事工程可施工日相關文獻分述如后。

朱等人(2000)就波浪、風速及過繼時間對可工作日數之各別及共同影響進行研究，其研究目的在建立海事施工工程規劃，可工作日數分析之方法，估算各種影響因素的發生機率特性，推導可工作日數。文內提到傳統工期由工程排程人員根據以前工程經驗以一般情形的資源投入情況設定工期，但依人工推估方式恐產生較大誤差，主因作業項目受天氣影響程度大小不一，因此應詳加考量天候之影響，氣象變化影響海事施工的因素包含船舶耐海性及施工精

度，因每艘船舶對海況條件承受程度不同，船舶承受風浪產生搖晃程度亦不盡相同，需考量不同船舶及工項決定是否能施工。論文中，可工作日數的估算分為風速、波高的單一因素影響、受波高與風速同時影響，及加入過繼時間的影響，並以龍洞海域實測海氣象資料為例，估算其可工作日數。

陳等人(2018)採用波浪擾動模擬(MIKE 21 BW)與大範圍長期波浪模式(MIKE 21 SW)對桃園觀塘海域施工區域之不可作業時間進行分析，其研究方法為，將邊界的波浪入射條件透過 3D 轉換函數計算港區波浪模式，由波浪模式模擬結果提取工程計畫區附近 30 m 水深處連續多年之波浪時間序列，做為港區波浪模式的入射邊界條件，模擬出近 20 年大範圍波浪模式波高分佈圖；不可工作日時間之呈現，為先設定海上作業標準於示性波高時間序列圖中篩選，文中以不同海上作業項目做為波高標準區隔，沉箱拖放區域以波高 0.5 m 做為標準，較大之船機設備以 0.8 m 做為標準，而對於浚深區域，則分別以 1.0、1.25 及 1.5 m 為作業標準做出不可作業時間統計。

黃等人(2012)以 SWAN 模式推算 1948~2008 年臺灣周邊海域可工作日，而波浪模式須由風場驅動推算波浪場，該文採用 NCEP 的全球再分析資料推算近 60 年西北太平洋之波浪場，經與中央氣象局與經濟部水利署設置浮

標龍洞及花蓮測站觀測資料比對，發現 NCEP 風場對於實測風速有高估的情形，為確認 SWAN 波浪模式之適用性，再進行誤差量化分析，龍洞測站模擬值與實測資料有義波高極值呈現較大差異性，模擬值較實測值大，量化分析結果，相關係數 0.8982，平均誤差(BIAS)為 0.06 m，均方根誤差(RMSE)結果為 0.24 m。花蓮測站模擬值與實測值當有義波高在高峰值時差異較大，低峰值時差異較小，量化分析結果，相關係數 0.8044，平均誤差為 0.23 m，均方根實際誤差大小為 0.38 m，各項差異程度都較龍洞測站大。可工作日數分析中，以有義波高 0.6 m 為門檻，探討每個月波高小於該門檻並且持續 6、12、18、24 小時等四種延時條件發生機率，其方法為從重建的 60 年歷史資料庫中，分別針對臺灣東西岸找出符合可工作條件的事件次數，除以每個月的總時數以計算可工作機率的 60 年平均值。

綜上所述，黃等人(2012)、陳等人(2018)以數值模擬所得波場資料，做為該海域不同波高大小可工作機率分析，朱等人(2000)以實測風速資料，探討不同風速大小可工作機率；本研究參考前人文獻，蒐集臺中港 2004~2019 波高、風速逐時觀測資料，分析不同波高、風速門檻持續 6、12、18 及 24 小時可工作機率，依月、季提出可工作機率圖表，提供未來離岸風電區外海工程施作、碼頭吊掛施工等作業應用參考。

### 三、海氣象即時觀測系統建置

本研究已於臺中港鄰近海域分別設置波浪（1 站）、海流（1 站）、潮位（1 站）及風速風向（6 站）等海氣象觀測站，蒐集現場海氣象資料，提供本海域可工作機率、海氣象特性分析探討，所有觀測站皆採太陽能供電，控制箱內置資料記錄器、無線傳輸設備及電源控制等模組，透過無線傳輸設備將各測站觀測資料即時回傳至交通部運輸研究所港灣技術研究中心（以下簡稱港研中心）海氣象資料庫儲存、加值及應用，觀測站位置如圖 2~圖 3 所示。



圖 2 海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖

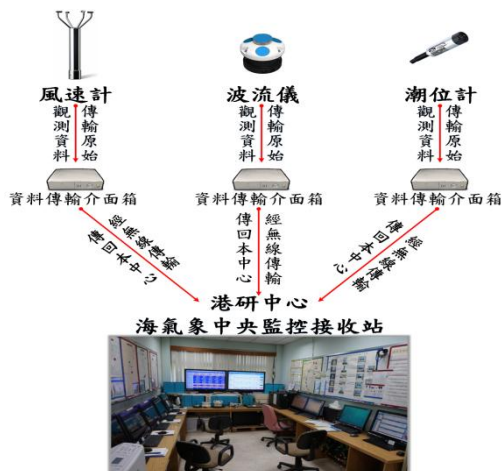


圖 3 海氣象觀測系統架構圖

理想港灣環境資料需保持長期且連續不中斷觀測，然而觀測設備常因人為或天然因素，致儀器壞損使觀測資料中斷，且觀測儀器及現場資料處理設備均含電子元件物品，設備受潮勢必將影響資料觀測、儲存及傳送，故長期現場海氣象觀測資料，需經常性進行儀器設備維護及保養，以維持系統妥善率，茲將各觀測站所採用觀測儀器等相關內容描述如後。

#### 3.1 風速風向觀測儀

本研究於臺中港離岸風電海域所採用之風速風向觀測儀共分為兩款，分別為英國 GILL 公司所生產之 WindObserver（裝設地點：北防波堤綠燈塔、防風林）與日本 SONIC 公司所生產之 SA-20（裝設地點：旅客服務中心、31 號碼頭、北防沙堤、港研中心）二維超音波式風速風向儀，如圖 4 所示。

資料輸出頻率為 10 分鐘，持續觀測本海域 10 分鐘內平均風速、平均風向、最大陣風及最大陣風時風向等數值，期間相關資料係透過觀測站內無線傳輸系統，將所測得風力資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫儲存。依據港研中心 107 年度「離岸風電區海氣象觀測與特性分析（2/4）」風觀測站分析成果，北堤綠燈塔觀測站（T2），設置高度約 15 公尺，遠離內陸受地形環境遮蔽影響較小，本研究係取 T2 觀測站所測得風觀測資料執行分析。



(資料來源: WindObserver, SA-20 使用者手冊)

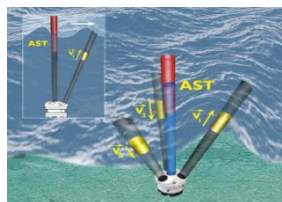
(a) GILL WindObserver (b) SONIC SA-20

圖 4 二維超音波式風速風向儀示意圖

及海流觀測係採底碇式觀測，觀測儀器採用挪威奧斯陸 Nortek 總公司所生產超音波式表面波高波向與剖面海流儀 AWAC (Acoustic Wave and Current profiler)，依據音鼓發送頻率 (Transmit Frequency) 不同共分為 1MHz、600kHz 及 400kHz 三種，其原理係透過儀器上方音鼓量測設置地點波流及海流運動情形 (如圖 5 所示)，使用者可依據不同觀測環境 (如水深) 及使用需求，選擇適當儀器執行觀測作業，茲將前述三款型號儀器相關量測特性整理如表 1。

### 3.2 波浪與海流觀測儀

考量觀測海域特性，本研究於波浪



(a) 超音波量測原理



(b) 1MHz AWAC



(c) 600kHz AWAC



(d) 400kHz AWAC

(資料來源: Nortek AS)

圖 5 波流儀觀測原理及儀器示意圖示意圖

表 1 不同型號波流儀特性比較表

|          | 1MHz                    | 600kHz                  | 400kHz                  |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 波浪最大量測範圍 | 35 公尺                   | 60 公尺                   | 100 公尺                  |
| 海流最大量測範圍 | 25 公尺                   | 50 公尺                   | 90 公尺                   |
| 量測功能     | 自記/即時                   | 自記/即時                   | 自記/即時                   |
| 取樣率      | 1Hz、2Hz                 | 1Hz                     | 0.75Hz                  |
| 樣本數      | 512、1024、1200、2048、2400 | 512、1024、1200、2048、2400 | 512、1024、1200、2048、2400 |

本海域觀測站位於臺中港北防波堤堤頭外約 800 公尺處，觀測水深約 30 公尺，經評估係採用 600kHz 型號執行本處波流觀測作業，剖面海流量測間距設定為 1 公尺，於每小時第 0 分鐘至 10 分鐘連續量測 600 秒，再將總和平均代表其每一間距層之海流剖面流速及流向等資料，波浪的取樣頻率為 1Hz，每小時取樣 2048 筆（第 10 分鐘至 44 分

鐘）資料，量測取得之資料再作整合而得到波高、波向及週期等資料。

前述波流觀測資料將暫存於儀器記憶體內，於每小時第 44 分鐘經由海底電纜將資料傳送至岸上接收站，透過無線傳輸設備將資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫中儲存，如圖 6 所示。



圖 6 底碇式波流觀測系統資料傳輸原理示意圖

### 3.3 潮位觀測儀

潮位觀測可分為接觸式（如超音波式水位觀測儀）及非接觸式（如壓力式水位觀測儀）觀測，兩者於觀測原理及設置方式等均有差異，使用者可依據觀測需求選用設置。本研究選用壓力式觀測儀，執行現場潮位變化量觀測，儀器採用美國 TE 公司所生產之 KPSI 735 壓力式水位觀測儀，觀測站設置於臺中港港區內 4 號碼頭，潮位資料輸出頻率為 1 分鐘，透過無線傳輸系統，將水位資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫，如圖 7 所示。



（圖片來源：TE Connectivity）

圖 7 KPSI 735 壓力式水位觀測儀示意圖

茲將本研究於離岸風電海域所採用風、波浪、海流及潮位等海氣象觀測儀器規格及設定等相關內容整理如表 2。

表 2 海氣象觀測儀器規格與觀測設定

| 儀器                                                | 規格                                                                                                                                              | 輸出頻率  |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| NORTEK 公司<br>超音波式表面波高波向<br>與剖面海流儀<br>600 kHz AWAC | 海流<br>量測深度：50 m<br>觀測剖面數：最大 128 層<br>量測範圍：±10 m/s<br>精度：測量值 1%±0.5 cm/s<br>波浪<br>量測深度：60 m<br>量測範圍：±15 m<br>精度(Hs)：<1%測量值/1cm<br>精度(Dir)：2%0.1° | 1 小時  |
| GILL 公司<br>二維超音波式風速風向<br>儀 WindObserver           | 風速<br>量測範圍：0 ~ 75 m/s<br>精度：2%<br>解析度：0.01 m/s<br>風向<br>量測範圍：0 ~ 360°<br>精度：±2°<br>解析度：1°                                                       | 10 分鐘 |
| SONIC 公司<br>二維超音波式風速風向<br>儀<br>SA-20              | 風速<br>量測範圍：0 ~ 90 m/s<br>精度：3%<br>解析度：0.01 m/s<br>風向<br>量測範圍：0 ~ 360°<br>精度：±3°<br>解析度：0.1°                                                     | 10 分鐘 |
| TE 公司<br>壓力式潮位儀<br>KPSI 735                       | 量測範圍：0 ~ 20 m (H2O)<br>精度：±0.05%FS                                                                                                              | 1 分鐘  |

## 四、離岸風電區鄰近海域可工作機率分析

### 4.1 機率統計方式

考量單日資料完整性，每日至少需包含 23 筆（即 23 小時）觀測資料，本研究依此範疇篩選符合之資料，波高觀測資料自 2004~2019 年 8 月共計 4629 天，篩選後為 3913 天，風觀測資料自 2005~2019 年 8 月共計 4594 天，篩選後為 4446 天，如表 3 所示。

表 3 波高及風速觀測資料篩選表

|                        | 波浪<br>2004~2019  | 風<br>2005~2019   |
|------------------------|------------------|------------------|
| 原資料筆數<br>(天)           | 4,629            | 4,594            |
| 篩選後筆數<br>(天)<br>(合格率%) | 3,913<br>(84.5%) | 4,446<br>(96.8%) |

本研究參考陳等人(2018)，依據不同海事作業項目將波高分為 0.5、0.6、0.8、1.0 及 1.5 m 等作業條件統計分析，風速門檻值擬定參考蒲福風級表，依據不同波高所對應之風速分級，分別以 5.4、7.9、10.7、12 及 13.8 m/s 執行分析，風速 13.8 m/s 作業條件亦為「西門子歌美颶離岸風力再生能源股份有限公司」所使用之離岸風機安裝船 Seajacks Zaratan 允許最大作業風速相同。

作業延時訂定則參考黃等人(2012)之建議，以特定海氣象限制條件下持續作業 6、12、18 及 24 小時，估算可工作機率，如式(1.1)所示，季節劃分方

式，12 月至 2 月間歸屬於冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季，以此原則執行統計分析。

$$\text{可工作機率}(\%) = \left( \frac{\text{符合連續}N\text{小時筆數}}{\text{資料總筆數}} \right) \times 100 \quad (1.1)$$

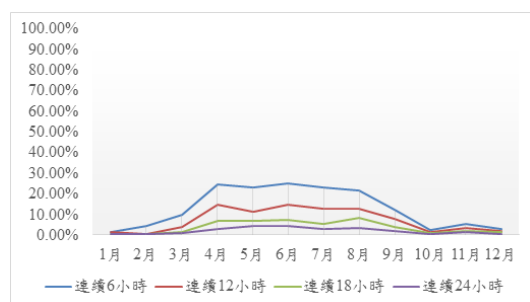
### 4.2 波高可工作機率分析

本海域於 0.5、0.6、0.8、1.0 及 1.5 m 波高條件下，持續 6、12、18 及 24 小時可工作機率統計分析，如表 4~表 9、圖 8~圖 13 所示。

根據歷年各月可工作機率統計資料，波高 0.5 m 條件下，歷年各月可工作機率均低於 25%，僅 4~8 月可工作機率較高，符合可連續作業 6 小時，最高機率於 6 月，可工作機率為 24.66%（約 7.5 天），可連續作業 12 小時的最高機率為 4 月，機率為 14.65%（約 4.5 天），連續 18 小時的最高機率為 8 月，可工作機率為 8.23%（約 2.5 天），連續 24 小時的最高機率為 6 月的 4.34%（約 1.5 天），工作機率隨所需作業時間延長而將低；可工作機率最低之月份，分別為連續 6 小時（1 月；0.98%；約 0.5 天）、連續 12 小時（1 月；0.98%；約 0.5 天）、連續 18 小時（1 月；0.00%；無可工作天）及連續 24 小時（12 月~1 月；0.00%；無可工作天），因受東北季風影響，於此作業波高門檻條件，可作業天數均未達 1 天。

**表 4 波高 0.5 m 可工作機率統計表**

| 波高 0.5 m |            |             |             |             |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份       | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月      | 0.98%      | 0.98%       | 0.00%       | 0.00%       |
| 2 月      | 4.18%      | 0.42%       | 0.42%       | 0.00%       |
| 3 月      | 9.70%      | 3.80%       | 1.27%       | 0.84%       |
| 4 月      | 24.18%     | 14.65%      | 6.59%       | 2.93%       |
| 5 月      | 22.90%     | 10.97%      | 6.45%       | 4.19%       |
| 6 月      | 24.66%     | 14.63%      | 7.05%       | 4.34%       |
| 7 月      | 22.97%     | 12.61%      | 5.18%       | 2.48%       |
| 8 月      | 21.45%     | 12.47%      | 8.23%       | 2.99%       |
| 9 月      | 12.01%     | 7.84%       | 3.68%       | 1.47%       |
| 10 月     | 2.04%      | 1.17%       | 0.87%       | 0.29%       |
| 11 月     | 5.21%      | 3.26%       | 1.63%       | 0.98%       |
| 12 月     | 2.53%      | 1.81%       | 1.44%       | 0.00%       |



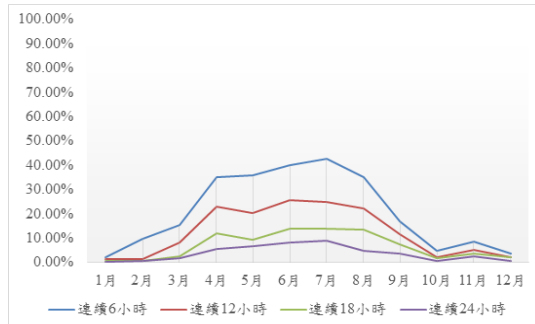
**圖 8 波高 0.5 m 可工作機率分佈圖**

波高 0.6 m 作業門檻，符合可連續作業 6 小時最高機率為 7 月，可工作機率為 42.34%（約 13 天），連續 12 小時最高機率為 6 月，機率為 25.20%（約 7.5 天），連續 18 小時的最高機率為 6 月，可工作機率為 13.82%（約 4.5 天），連續 24 小時的最高機率為 7 月的 8.56%（約 3 天），可工作機率隨作業延時增加而遞減；可工作機率最低之月份為 1~2 月，東北季風盛行李節，連續 6 小時（1 月；1.96%；約 1 天）、連續 12

小時（2 月；1.26%；約 0.5 天）、連續 18 小時（1 月；0.33%；無可工作天）及連續 24 小時（1 月；0.00%；無可工作天），可作業天數均低於 1 天。

**表 5 波高 0.6 m 可工作機率統計表**

| 波高 0.6 m |            |             |             |             |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份       | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月      | 1.96%      | 1.31%       | 0.33%       | 0.00%       |
| 2 月      | 9.62%      | 1.26%       | 0.42%       | 0.42%       |
| 3 月      | 15.19%     | 8.02%       | 2.11%       | 1.69%       |
| 4 月      | 34.80%     | 22.71%      | 11.72%      | 5.49%       |
| 5 月      | 35.48%     | 20.00%      | 9.03%       | 6.45%       |
| 6 月      | 39.57%     | 25.20%      | 13.82%      | 8.13%       |
| 7 月      | 42.34%     | 24.77%      | 13.74%      | 8.56%       |
| 8 月      | 34.66%     | 21.95%      | 13.22%      | 4.49%       |
| 9 月      | 16.67%     | 11.52%      | 7.35%       | 3.43%       |
| 10 月     | 4.66%      | 1.75%       | 1.46%       | 0.29%       |
| 11 月     | 8.47%      | 4.89%       | 3.26%       | 2.28%       |
| 12 月     | 3.25%      | 1.81%       | 1.81%       | 0.36%       |



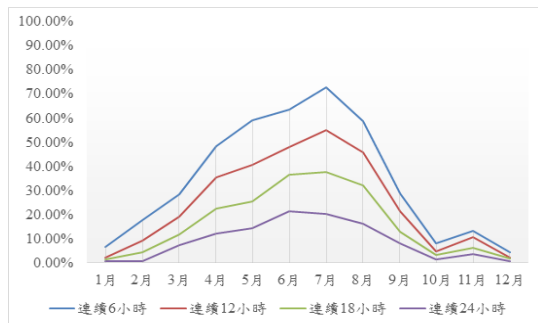
**圖 9 波高 0.6 m 可工作機率分佈圖**

波高 0.8 m 時，符合連續 6 小時機率最高為 7 月的 72.52%（約 23 天），連續 12 小時最高機率於 7 月，可工作機率為 54.73%（約 17 天），連續 18 小時最高機率於 7 月，可工作機率為 37.39%（約 12 天），連續 24 小時最高

機率為 6 月的 21.41%（約 6.5 天），7 月 20.27%（約 6 天）次之；可工作機率最低月份為 12~1 月，連續 6 小時（12 月；4.33%；約 1.5 天）、連續 12 小時（1 月；1.96%；約 0.5 天）、連續 18 小時（1 月；1.31%；約 0.5 天）及連續 24 小時（2 月；0.42%；無可工作天），除 12 月 1 天可持續作業 6 小時，如需於 1 月連續作業 12~24 小時，可作業天數均低於 1 天。

**表 6 波高 0.8 m 可工作機率統計表**

| 波高 0.8 m |            |             |             |             |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份       | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月      | 6.54%      | 1.96%       | 1.31%       | 0.65%       |
| 2 月      | 17.57%     | 9.21%       | 4.18%       | 0.42%       |
| 3 月      | 28.27%     | 18.99%      | 11.81%      | 7.17%       |
| 4 月      | 48.35%     | 35.16%      | 22.34%      | 12.09%      |
| 5 月      | 59.03%     | 40.32%      | 25.48%      | 14.19%      |
| 6 月      | 63.41%     | 47.97%      | 36.31%      | 21.41%      |
| 7 月      | 72.52%     | 54.73%      | 37.39%      | 20.27%      |
| 8 月      | 58.60%     | 45.64%      | 31.92%      | 15.96%      |
| 9 月      | 28.68%     | 21.32%      | 12.75%      | 8.09%       |
| 10 月     | 8.16%      | 4.66%       | 3.21%       | 1.17%       |
| 11 月     | 13.03%     | 10.42%      | 6.19%       | 3.58%       |
| 12 月     | 4.33%      | 2.17%       | 1.81%       | 0.72%       |



**圖 10 波高 0.8 m 可工作機率分佈圖**

波高為 1.0 m 時，7 月可提供較高可工作機率，分別為連續 6 小時（87.16%；約 27 天）、連續 12 小時（77.93%；約 24 天）、連續 18 小時（62.61%；約 19.5 天）及連續 24 小時（35.81%；約 11 天），7 月雖為汛期，且受西南季風影響，依據統計結果顯示，仍較其餘月份可提供較佳之工作機率；工作機率最低之月份仍為 12~1 月，連續 6 小時（12 月；7.22%；約 2.5 天）、連續 12 小時（12 月；3.97%；約 1.5 天）、連續 18 小時（1 月；1.63%；約 0.5 天）及連續 24 小時（2 月；0.65%；無可工作天），如某海事工程僅需約半天作業時間，則 12 月約有 2 天時間可供進場。

**表 7 波高 1.0 m 可工作機率統計表**

| 波高 1.0 m |            |             |             |             |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份       | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月      | 10.46%     | 4.90%       | 1.63%       | 0.65%       |
| 2 月      | 24.69%     | 15.48%      | 8.79%       | 3.77%       |
| 3 月      | 37.55%     | 24.47%      | 16.03%      | 10.55%      |
| 4 月      | 58.97%     | 46.89%      | 32.23%      | 20.88%      |
| 5 月      | 70.00%     | 57.42%      | 41.94%      | 26.45%      |
| 6 月      | 83.74%     | 70.19%      | 52.03%      | 32.52%      |
| 7 月      | 87.16%     | 77.93%      | 62.61%      | 35.81%      |
| 8 月      | 76.56%     | 62.59%      | 47.38%      | 27.43%      |
| 9 月      | 41.91%     | 30.39%      | 20.34%      | 12.50%      |
| 10 月     | 12.54%     | 7.00%       | 4.66%       | 2.33%       |
| 11 月     | 18.57%     | 11.40%      | 7.17%       | 4.89%       |
| 12 月     | 7.22%      | 3.97%       | 2.53%       | 1.08%       |

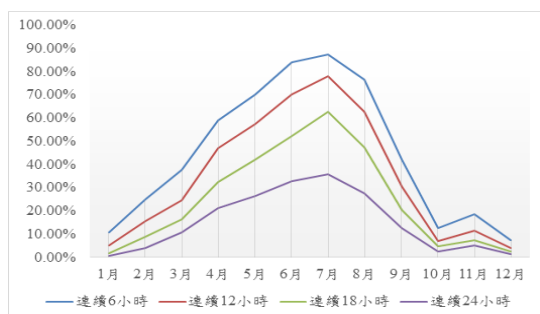


圖 11 波高 1.0 m 可工作機率分佈圖

現場作業波高限制為 1.5 m 時，可於 6~7 月選擇進場，連續 6 小時可工作機率最高為 7 月 94.37%（約 29.5 天），連續 12 小時為 7 月 91.67%（約 28.5 天），連續 18 小時為 6 月 84.01%（約 25 天），連續 24 小時為 7 月 55.63%（約 17.5 天），如工程作業允許波高可放寬至 1.5 m，則 6~7 月間可提供最佳可工作機率；根據統計資料，12 月可工作機率為各月份最低，分別為連續作業 6 小時 20.94%（約 6.5 天），12 小時 11.91%（約 4 天），18 小時 6.86%（約 2 天），24 小時 3.61%（約 1 天）。

表 8 波高 1.5 m 可工作機率統計表

| 波高 1.5 m |            |             |             |             |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份       | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月      | 25.16%     | 16.01%      | 9.48%       | 4.58%       |
| 2 月      | 44.77%     | 30.96%      | 21.34%      | 14.23%      |
| 3 月      | 59.07%     | 40.93%      | 32.07%      | 21.10%      |
| 4 月      | 76.92%     | 64.10%      | 52.75%      | 38.46%      |
| 5 月      | 90.00%     | 81.29%      | 68.39%      | 51.29%      |
| 6 月      | 94.04%     | 91.60%      | 84.01%      | 54.74%      |
| 7 月      | 94.37%     | 91.67%      | 81.76%      | 55.63%      |
| 8 月      | 91.77%     | 87.28%      | 75.06%      | 50.12%      |
| 9 月      | 68.14%     | 54.66%      | 37.75%      | 23.04%      |
| 10 月     | 26.82%     | 20.12%      | 13.12%      | 7.00%       |
| 11 月     | 41.69%     | 28.01%      | 17.92%      | 9.77%       |
| 12 月     | 20.94%     | 11.91%      | 6.86%       | 3.61%       |

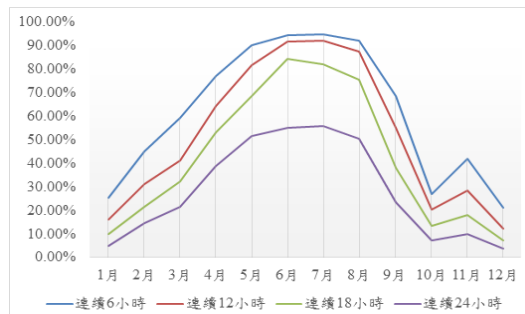


圖 12 波高 1.5 m 可工作機率分佈圖

根據歷年四季可工作機率統計資料，0.5、0.6、0.8、1.0 及 1.5 m 作業波高條件，連續施工 6、12、18 及 24 小時，夏季（6~8 月）均可提供較佳可工作機率，以作業波高 1.0 m 為例，連續施工 6 小時可工作機率為 77.10%（約 71 天），12 小時可工作機率為 66.14%（約 61 天），18 小時可工作機率為 51.40%（約 47 天），24 小時可工作機率為 29.98%（約 28 天）；春季（3~5 月）可工作機率僅次於夏季，連續施工 6 小時可工作機率為 56.59%（約 52 天），12 小時可工作機率為 44.02%（約 41 天），18 小時可工作機率為 31.10%（約 29 天），24 小時可工作機率為 19.88%（約 18 天），如施工單位無法於夏季作業，建議可於春季安排人員、機具進場，亦可提供較佳可工作機率。

冬季（12~2 月）期間本海域因受東北季風影響，可工作機率為四個季節中最低之季節，連續作業 6 小時可工作機率為 13.38%（約 12 天），12 小時可工作機率為 7.66%（約 7 天），18 小時可工作機率為 4.01%（約 4 天），24 小時可工作機率為 1.70%（約 2 天），可工作天數急遽降低，以連續作業 12 小時

為例，夏、冬兩季可工作天數由 61 天降至 7 天，相差約 9 倍。

表 9 不同波高條件分季可工作機率統計表

| 波高 0.5 m |         |          |          |          |
|----------|---------|----------|----------|----------|
| 季節       | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春        | 19.15%  | 9.88%    | 4.88%    | 2.80%    |
| 夏        | 21.58%  | 12.69%   | 6.67%    | 3.13%    |
| 秋        | 6.43%   | 4.07%    | 2.18%    | 0.95%    |
| 冬        | 2.43%   | 1.09%    | 0.61%    | 0.00%    |
| 波高 0.6 m |         |          |          |          |
| 季節       | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春        | 29.02%  | 17.07%   | 7.80%    | 4.76%    |
| 夏        | 36.41%  | 22.57%   | 13.26%   | 6.92%    |
| 秋        | 9.74%   | 5.96%    | 3.88%    | 2.08%    |
| 冬        | 4.62%   | 1.46%    | 0.85%    | 0.24%    |
| 波高 0.8 m |         |          |          |          |
| 季節       | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春        | 45.98%  | 31.71%   | 20.00%   | 11.22%   |
| 夏        | 59.97%  | 46.05%   | 33.03%   | 17.55%   |
| 秋        | 15.70%  | 11.35%   | 6.81%    | 3.78%    |
| 冬        | 9.00%   | 4.14%    | 2.31%    | 0.61%    |
| 波高 1.0 m |         |          |          |          |
| 季節       | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春        | 56.59%  | 44.02%   | 31.10%   | 19.88%   |
| 夏        | 77.10%  | 66.14%   | 51.40%   | 29.98%   |
| 秋        | 24.03%  | 16.08%   | 10.69%   | 6.34%    |
| 冬        | 13.38%  | 7.66%    | 4.01%    | 1.70%    |
| 波高 1.5 m |         |          |          |          |
| 季節       | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春        | 76.34%  | 63.54%   | 52.56%   | 38.17%   |
| 夏        | 87.40%  | 84.68%   | 76.11%   | 49.75%   |
| 秋        | 44.28%  | 33.59%   | 22.89%   | 12.96%   |
| 冬        | 28.95%  | 18.98%   | 12.04%   | 7.06%    |

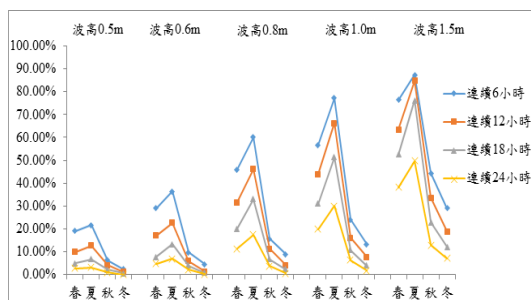


圖 13 不同波高條件分季可工作機率分佈圖

#### 4.3 風速可工作機率分析

本海域於風速 5.4、7.9、10.7、12 及 13.8 m/s 條件下，持續 6、12、18 及 24 小時可工作機率統計分析，如表 10~表 15、圖 14~圖 19 所示。

根據歷年各月可工作機率統計資料，風速 5.4 m/s 作業門檻，可連續作業 6 小時，最高機率於 8 月，工作機率為 67.02%（約 21 天），連續作業 12 小時最高機率為 8 月，機率為 43.62%（約 14 天），連續 18 小時最高機率為 8 月，可工作機率為 18.62%（約 6 天），符合連續作業 24 小時的最高機率為 4 月，機率為 12.91%（約 4 天），工作機率隨作業延時增加遞減；可工作機率最低之月份介於 12~1 月，分別為連續 6 小時（1 月；18.07%；約 6 天）、連續 12 小時（1 月；8.91%；約 3 天）、連續 18 小時（12 月；2.67%；約 1 天）及連續 24 小時（12 月；0.97%；約 0.5 天），如需持續作業 6 小時，建議於 8 月進場，可獲得較高工作效率。

表 10 風速 5.4 m/s 可工作機率統計表

| 風速 5.4 m/s |            |             |             |             |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份         | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月        | 18.07%     | 8.91%       | 3.82%       | 3.82%       |
| 2 月        | 26.47%     | 10.29%      | 2.35%       | 1.47%       |
| 3 月        | 43.28%     | 23.12%      | 10.22%      | 7.80%       |
| 4 月        | 47.75%     | 28.23%      | 16.82%      | 12.91%      |
| 5 月        | 52.39%     | 26.20%      | 13.52%      | 6.48%       |
| 6 月        | 44.01%     | 22.01%      | 9.19%       | 6.96%       |
| 7 月        | 56.41%     | 36.15%      | 17.18%      | 8.72%       |
| 8 月        | 67.02%     | 43.62%      | 18.62%      | 11.17%      |
| 9 月        | 58.87%     | 29.80%      | 13.79%      | 7.88%       |
| 10 月       | 28.08%     | 15.47%      | 5.73%       | 4.58%       |
| 11 月       | 32.60%     | 17.68%      | 6.63%       | 3.87%       |
| 12 月       | 18.45%     | 9.47%       | 2.67%       | 0.97%       |

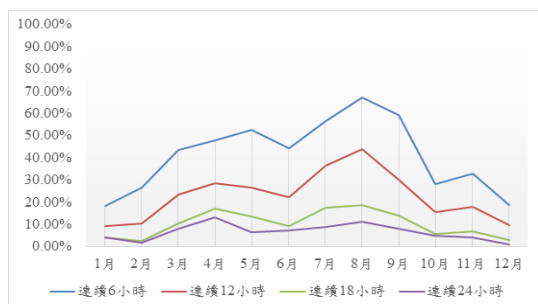


圖 14 風速 5.4 m/s 可工作機率分佈圖

以風速 7.9 m/s 作業條件分析，8 月為較佳進場時機，分別為連續 6 小時（83.24%；約 26 天）、連續 12 小時（67.82%；約 21 天）、連續 18 小時（44.68%；約 14 天）及連續 24 小時（39.36%；約 12 天），8 月雖受颱風影響，依據統計數據，可工作日數仍較其他月份多；工作機率最低之月份為 12 月，連續 6 小時可工作機率為 27.67%（約 9 天），連續 12 小時為 15.05%（約 5 天），連續 18 小時為 7.04%（約 2 天），連續 24 小時為 4.37%（約 1.5 天）。

表 11 風速 7.9 m/s 可工作機率統計表

| 風速 7.9 m/s |            |             |             |             |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 月份         | 連續<br>6 小時 | 連續<br>12 小時 | 連續<br>18 小時 | 連續<br>24 小時 |
| 1 月        | 31.30%     | 16.03%      | 7.89%       | 6.36%       |
| 2 月        | 38.24%     | 22.94%      | 11.76%      | 9.41%       |
| 3 月        | 56.99%     | 38.98%      | 23.12%      | 16.94%      |
| 4 月        | 66.07%     | 49.55%      | 33.03%      | 26.43%      |
| 5 月        | 77.46%     | 55.21%      | 37.18%      | 28.73%      |
| 6 月        | 69.36%     | 42.90%      | 28.69%      | 23.40%      |
| 7 月        | 74.62%     | 55.13%      | 41.03%      | 34.10%      |
| 8 月        | 83.24%     | 67.82%      | 44.68%      | 39.36%      |
| 9 月        | 74.88%     | 55.42%      | 31.53%      | 26.11%      |
| 10 月       | 36.96%     | 24.93%      | 14.04%      | 10.32%      |
| 11 月       | 47.24%     | 30.11%      | 17.68%      | 11.88%      |
| 12 月       | 27.67%     | 15.05%      | 7.04%       | 4.37%       |

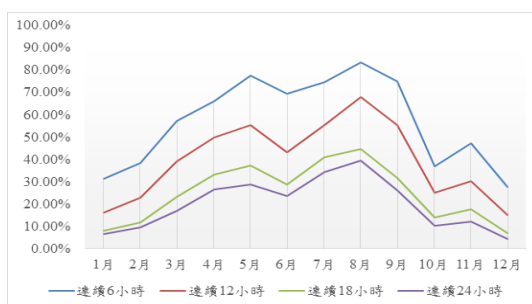


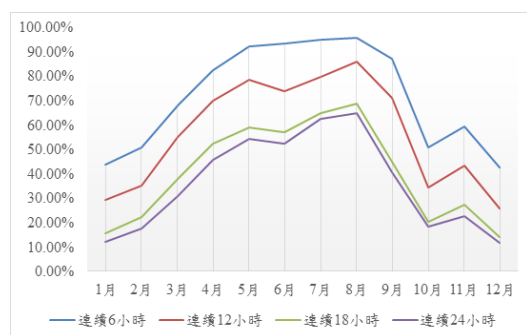
圖 15 風速 7.9 m/s 可工作機率分佈圖

作業限制風速為 10.7 m/s 以下時，8 月亦可提供較高可工作機率，依序為連續 6 小時（95.48%；約 30 天），連續 12 小時（85.90%；約 27 天），連續 18 小時（68.62%；約 21 天），連續 24 小時（64.63%；約 20 天），作業風速放寬至 10.7 m/s，8 月可提供 20 天以上施作日；工作機率最低之月份為 12 月，連續 6 小時可工作機率為 42.48%（約 13 天），連續 12 小時為 25.73%（約 8 天），連續 18 小時為 14.08%（約 4.5 天），連續 24 小時為 11.65%（約 3.5 天）。

天)，如以連續作業 6 小時為例，8 月及 10 月可作業天數相差約 2.5 倍。

**表 12 風速 10.7 m/s 可工作機率統計表**

| 風速 10.7 m/s |         |          |          |          |
|-------------|---------|----------|----------|----------|
| 月份          | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 1 月         | 43.51%  | 29.26%   | 15.52%   | 12.21%   |
| 2 月         | 50.59%  | 35.00%   | 22.06%   | 17.35%   |
| 3 月         | 67.74%  | 54.84%   | 37.63%   | 30.65%   |
| 4 月         | 82.28%  | 69.67%   | 52.25%   | 45.65%   |
| 5 月         | 92.11%  | 78.31%   | 58.87%   | 54.08%   |
| 6 月         | 93.31%  | 73.82%   | 56.82%   | 52.09%   |
| 7 月         | 94.87%  | 79.49%   | 64.87%   | 62.56%   |
| 8 月         | 95.48%  | 85.90%   | 68.62%   | 64.63%   |
| 9 月         | 86.95%  | 71.18%   | 44.83%   | 40.39%   |
| 10 月        | 50.72%  | 34.10%   | 20.34%   | 18.34%   |
| 11 月        | 59.39%  | 43.09%   | 27.07%   | 22.38%   |
| 12 月        | 42.48%  | 25.73%   | 14.08%   | 11.65%   |



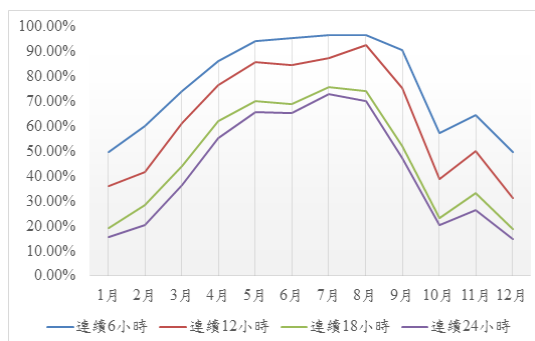
**圖 16 風速 10.7 m/s 可工作機率分佈圖**

作業風速為 12.0 m/s 時，符合連續 6 小時可工作機率最高為 7 月的 96.41%（約 29.5 天），連續 12 小時最高機率為 8 月，可工作機率 92.29%（約 28.5 天），連續 18 小時最高機率於 7 月，可工作機率為 75.38%（約 23.5 天），連續 24 小時最高機率為 7 月的 72.82%

（約 22.5 天）；可工作機率最低月份均為 12 月，如需於此限制風速下作業，各延時可工作天數分別為，連續 6 小時 49.27%（15 天）、連續 12 小時 31.07%（9.5 天）、連續 18 小時 18.45%（6 天）及連續 24 小時 14.56%（4.5 天）。

**表 13 風速 12.0 m/s 可工作機率統計表**

| 風速 12.0 m/s |         |          |          |          |
|-------------|---------|----------|----------|----------|
| 月份          | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 1 月         | 49.36%  | 35.88%   | 18.83%   | 15.27%   |
| 2 月         | 60.00%  | 41.18%   | 27.94%   | 20.29%   |
| 3 月         | 73.92%  | 61.02%   | 43.82%   | 36.02%   |
| 4 月         | 85.89%  | 76.28%   | 61.86%   | 54.95%   |
| 5 月         | 93.80%  | 85.35%   | 69.86%   | 65.35%   |
| 6 月         | 94.99%  | 84.40%   | 68.80%   | 64.90%   |
| 7 月         | 96.41%  | 86.92%   | 75.38%   | 72.82%   |
| 8 月         | 96.28%  | 92.29%   | 73.67%   | 69.95%   |
| 9 月         | 90.15%  | 75.12%   | 51.72%   | 47.04%   |
| 10 月        | 57.02%  | 38.68%   | 22.92%   | 20.06%   |
| 11 月        | 64.09%  | 49.72%   | 32.87%   | 25.97%   |
| 12 月        | 49.27%  | 31.07%   | 18.45%   | 14.56%   |



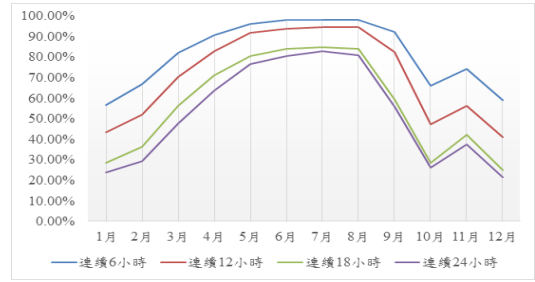
**圖 17 風速 12.0 m/s 可工作機率分佈圖**

本研究以「西門子歌美颶離岸風力再生能源股份有限公司」使用之離岸風

機安裝船 Seajacks Zaratan，現場作業所允許最大風速 13.8 m/s 分析，該作業船如需持續執行風機安裝作業達 6 小時，可於 6 月進場，機率為 98.05%（約 29.5 天），如需持續作業 12 小時，可於 8 月進場，可工作機率為 94.41%（約 29 天），現場作業如需持續 18~24 小時，則可於 7 月進場可達到較高工作效率，可工作機率分別為 84.87%（約 26.5 天）、82.82%（約 25.5 天）；可工作機率最低之月份分別為，連續 6 小時（1 月；56.49%；約 17.5 天），連續 12 小時（12 月；41.02%；約 13 天），連續 18 小時（12 月；25%；約 8 天），連續 24 小時（12 月；21.36%；約 7 天）。

**表 14 風速 13.8 m/s 可工作機率統計表**

| 風速 13.8 m/s |         |          |          |          |
|-------------|---------|----------|----------|----------|
| 月份          | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 1 月         | 56.49%  | 43.26%   | 28.50%   | 23.92%   |
| 2 月         | 66.76%  | 52.06%   | 36.18%   | 29.12%   |
| 3 月         | 81.99%  | 70.43%   | 56.18%   | 47.58%   |
| 4 月         | 90.69%  | 82.58%   | 71.17%   | 63.66%   |
| 5 月         | 96.06%  | 91.83%   | 80.28%   | 76.62%   |
| 6 月         | 98.05%  | 93.59%   | 84.12%   | 80.50%   |
| 7 月         | 97.95%  | 94.36%   | 84.87%   | 82.82%   |
| 8 月         | 97.87%  | 94.41%   | 83.78%   | 80.85%   |
| 9 月         | 92.12%  | 82.27%   | 59.11%   | 55.67%   |
| 10 月        | 65.90%  | 47.28%   | 28.37%   | 26.07%   |
| 11 月        | 74.03%  | 56.35%   | 41.99%   | 37.29%   |
| 12 月        | 58.74%  | 41.02%   | 25.00%   | 21.36%   |



**圖 18 風速 13.8 m/s 可工作機率分佈圖**

四季可工作機率統計分析成果與波高相似，5.4、7.9、10.7、12.0 及 13.8 m/s 風速條件，可連續作業 6、12、18 及 24 小時，夏季（6~8 月）可提供較佳可工作機率，以作業風速 12.0 m/s 為例，連續施工 6 小時可工作機率為 95.91%（約 88 天），12 小時可工作機率為 87.91%（約 83 天），18 小時可工作機率為 72.71%（約 67 天），連續 24 小時可工作機率為 69.33%（約 64 天）；春季（3~5 月）可工作機率僅次於夏季，連續施工 6 小時可工作機率為 84.34%（約 87 天），12 小時可工作機率為 73.96%（約 68 天），18 小時可工作機率為 58.21%（約 54 天），24 小時可工作機率為 51.79%（約 48 天）。

冬季（12~2 月）期間本海域可工作機率為四季中最低之季節，連續作業 6 小時可工作機率為 52.49%（約 47 天），12 小時可工作機率為 35.72%（約 32 天），18 小時可工作機率為 21.40%（約 19 天），24 小時可工作機率為 16.51%（約 15 天），以連續作業 12 小時為例，夏、冬兩季可工作天數由 83 天降至 32 天，相差約 2.5 倍。

表 15 不同風速條件分季可工作機率統計表

| 風速 5.4m/s  |         |          |          |          |
|------------|---------|----------|----------|----------|
| 季節         | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春          | 47.74%  | 25.75%   | 13.40%   | 8.96%    |
| 夏          | 56.00%  | 34.13%   | 15.11%   | 8.98%    |
| 秋          | 40.77%  | 21.42%   | 8.96%    | 5.56%    |
| 冬          | 20.70%  | 9.52%    | 2.97%    | 2.10%    |
| 風速 7.9m/s  |         |          |          |          |
| 季節         | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春          | 66.70%  | 47.74%   | 30.94%   | 23.87%   |
| 夏          | 75.82%  | 55.47%   | 38.31%   | 32.44%   |
| 秋          | 54.12%  | 37.72%   | 21.59%   | 16.58%   |
| 冬          | 32.05%  | 17.73%   | 8.73%    | 6.55%    |
| 風速 10.7m/s |         |          |          |          |
| 季節         | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春          | 80.47%  | 67.36%   | 49.34%   | 43.21%   |
| 夏          | 94.58%  | 79.82%   | 63.56%   | 59.91%   |
| 秋          | 66.76%  | 50.54%   | 31.45%   | 27.69%   |
| 冬          | 45.24%  | 29.69%   | 16.94%   | 13.54%   |
| 風速 12.0m/s |         |          |          |          |
| 季節         | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春          | 84.34%  | 73.96%   | 58.21%   | 51.79%   |
| 夏          | 95.91%  | 87.91%   | 72.71%   | 69.33%   |
| 秋          | 71.42%  | 55.56%   | 36.65%   | 31.81%   |
| 冬          | 52.49%  | 35.72%   | 21.40%   | 16.51%   |
| 風速 13.8m/s |         |          |          |          |
| 季節         | 連續 6 小時 | 連續 12 小時 | 連續 18 小時 | 連續 24 小時 |
| 春          | 89.43%  | 81.42%   | 68.96%   | 62.36%   |
| 夏          | 97.96%  | 94.13%   | 84.27%   | 81.42%   |
| 秋          | 78.14%  | 62.99%   | 44.00%   | 40.50%   |
| 冬          | 60.35%  | 45.07%   | 29.52%   | 24.54%   |

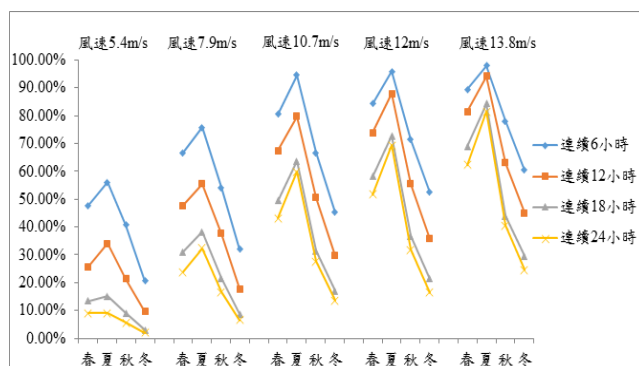


圖 19 不同風速條件分季可工作機率分佈圖

## 五、結論

本研究目前已於離岸風電主要母港（臺中港）鄰近海域分別設置波浪、海流、風速風向及潮位等海氣象監測系統，針對現場波高、風速執行統計分析，並提出不同延時可工作機率，可提供工程單位於未來施工規劃、現場作業及工程管理等層面應用參考。

根據本研究分析成果，現場作業限制波高為 1.0 m 時，以連續作業 6 小時推算，7 月可提供較高可工作機率，可工作機率為 87.16%，約 27 天，12 月工作機率最低，可工作機率為 7.22%，僅餘約 2.5 天；波高限制為 1.5 m 時，可於 6~7 月選擇進場，連續 6 小時可工作機率最高為 7 月 94.37%，連續 12 小時為 7 月 91.67%，連續 18 小時為 6 月 84.01%，連續 24 小時為 7 月 55.63%，12 月可工作機率為各月份最低；春季可工作機率僅次於夏季，冬季期間因受東北季風影響，可工作機率為四個季節中

最低之季節，作業波高 1.0 m 連續作業 12 小時，夏、冬兩季可工作天數由 61 天劇降至 7 天，相差約 9 倍。

現場作業限制風速為 12.0 m/s 時，連續施工 6 小時，可工作機率最高為 7 月的 96.41%，約 29.5 天，可工作機率最低月份為 12 月，工作機率為 49.27%，約 15 天；以「西門子歌美颯離岸風力再生能源股份有限公司」使用之離岸風機安裝船 Seajacks Zaratan，現場作業所允許最大風速 13.8 m/s 分析，該作業船如需持續執行風機安裝作業達 6 小時，可於 6 月進場，機率為 98.05%，如需持續作業 12 小時，可於 8 月進場，可工作機率為 94.41%；四季分析結果與波高相符，夏季可工作機率最高，春季次之，冬季工作機率為四季中最低，作業風速 12.0 m/s 連續作業 12 小時，夏、冬兩季可工作天數由 83 天降至 32 天，相差約 2.5 倍。

## 六、參考文獻

1. 朱宗蔚、錢樺、高家俊、莊士賢（2000）「海事工程可工作日分析之探討」第 22 屆海洋工程研討會論文集，第 480-486 頁。
2. 游微娟（2012）「台灣海域波候長期變遷趨勢研究」，建國科技大學土木與防災研究所碩士學位論文。
3. 黃清和、錢樺、李文欽、游微娟、洪子軒等（2012）「台灣周邊海域可工作日數分析」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，第 607-612 頁。
4. 簡仲璟、李俊穎、劉清松、曾相茂等（2014）「臺中港海氣象特性綜合探討」第 36 屆海洋工程研討會論文集，第 519-524 頁。
5. 經濟部能源局「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」，2015 年 7 月。
6. 莊文傑、曾相茂、張憲國（2015）