

離岸風力發電場址波浪特徵之調查與研究

黃清哲^{1,2} 莊士賢³ 吳立中¹ 范揚洺¹ 林演斌¹ 馮宗緯⁴

摘要

離岸風力發電為我國積極推動的再生能源技術。雖然強勁的風速雖能帶來豐富的電力，但同時也可能會引起惡劣的海況，造成風力機施工期間的風險。本整合計畫團隊與永傳能源股份有限公司進行產學合作，以該公司之海上施工需求為導向，擬以兩年期間進行風力發電場址的長期海氣象特徵調查與研究。主要工作項目：(1)現場長期觀測站之建置與觀測資料收集；(2)波譜模型之研究；(3)波浪系集預測模型之發展。透過整合子計畫之間的工作相互搭配，能協助產業界完整釐清發電廠址所在海域的波浪特性，進而讓施工單位能透過海域環境條件評估出最佳的施工方式，藉以確保未來海上發電機組施工與結構之安全。

Investigation of wave characteristics in the sea area of an offshore wind farm

C.J. Huang^{1,2} L.Z.H. Chuang³ L.C. Wu¹ Y.M. Fan¹ Y.P. Lin¹ Z. W. Feng⁴

ABSTRACT

Offshore wind power is one of the most potential renewable energy sources in the Taiwan Strait, where strong wind during NE monsoon is the main driver of severe sea states. Therefore, it is imperative to obtain and analyze the information of the sea states to ensure the safety of engineering installation in the ocean.

To assist in the development of the offshore wind power industry, Coastal Ocean Monitoring Center (COMC) has collaborates with the Taiwan Generations Corporation on the studies of ocean waves. Our focus is on the issues of wave observation, analysis, and prediction.

一、緒論

我國現階段正積極推動離岸風力發電示範風場。科技部為整合研發資源與配合節能減碳政策，於 2009~2013 年推動跨部會署合作之「第一期能源國家型科技計畫(NEP-I)」，完成大型離岸風力發電場址評估與遴選，並建立環境影響評估現場海象調查資料。經濟部則為推動民間產業參與離岸風力發電技術開發，於 2012 年公布並實施「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」。種種措施都是希望藉由產官學三領域的相互結合，一同強化離岸風力發電產業之發展，藉以達成三贏之目標。

在臺灣海峽發展離岸風力發電的優勢在於強勁風速的地理條件以及往昔投入研發工作所打下的重要基礎。然而在持續發展風力發電產業必須面對臺灣海峽複雜且惡劣的海象對海上施工安全以及風力機柱體結構的影響。由於現階段對發電廠址的海象特徵掌握有限，增加了海上施工的不確定性，也增加了不必要的海上施工風險。針對此一劣勢，可將現場實測資料結合數值預測模式，藉以協助產業界進行海上施工規劃，減低海上作業風險。然而發電場址的複雜海象不但造成海上施工的風險，也增加了海氣象觀測作業的難度。這也是未來推展離岸風力發電技術所必須面對的潛在威脅。

¹ 國立成功大學近海水文中心

² 國立成功大學水利及海洋工程學系

³ 國立成功大學海洋科技與事務研究所

⁴ 永傳能源股份有限公司

我國位處熱帶與亞熱帶的交界處，每年夏秋兩季颱風對風力發電機組所造成的威脅絕不可輕忽。波浪對風力機柱體本身所可能造成的結構影響，會致使周圍流場的改變，產生降流(downflow)以及柱體後之尾流渦旋，進而造成柱體附近的底床掏刷。倘若底床掏刷現象太過嚴重，將有可能衝擊到柱體的基底穩定性，造成柱體的傾斜甚至是倒塌。為能推算柱體附近的底床掏刷情形，則必須先掌握現場的海氣象特徵，顯見海氣象資料對海上結構物安全之重要性。

科技部於國科會時期曾委託國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心在彰濱海域進行過一整年的海氣象觀測，彰濱資料浮標觀測期間為 101 年 7 月 27 日至 102 年 8 月 12 日，統計全年觀測達成率超過 80 %。一般而言，海域的觀測資料要能有代表性，至少須三年，因此除了前述一整年的海氣象觀測外，於該海域僅須再進行兩年觀測，資料樣本即可具有一定程度的代表性。

國立成功大學團隊與永傳能源股份有限公司進行產學合作，以該公司之海上施工需求為導向，擬以兩年期間進行風力發電場址的長期海氣象特徵調查與研究。透過現場長期觀測站之建置與觀測作業、觀測資料分析與研究及數值波浪模擬，完整釐清發電場址的波浪特性，藉以掌握未來於海上進行風力發電機施工以及機組柱體本身所可能面臨的風險，進而讓施工單位能透過海域環境條件評估出最佳的施工方式，藉以確保未來海上發電機組施工與結構之安全。

二、彰化海域長期海氣象觀測

為能更完整掌握轄區內之海岸環境特徵，於風力發電場址內設置海氣象資料浮標觀測系統。海氣象資料浮標是國內外常使用的海氣象觀測工具之一，其主要特點為：(1)設站地點不受水深限制，能廣泛運用於各種海域、(2)大載量可架設多種感測器及能源自主設備，長期自動觀測多種海氣象資料、(3)配備資料傳輸系統能取得即時海氣象資訊。

國立成功大學團隊多年來接受中央氣象局、水利署及觀光局等單位的委託，發展國內自主的資料浮標技術，建立環臺海氣象資料浮標觀測網(圖 1)。過去五年站網平均觀測成功率達 94%，顯示自主觀測技

術已然成熟。目前環臺灣海域計有 17 座直徑 2.5 m 的長期資料浮標監測站，作業水深範圍從約 20 m 到將近 6,000 m，用來觀測海象(波高、週期、波向、方向譜、流速、流向、水溫)與氣象(氣壓、氣溫、風速、風向)等資訊。

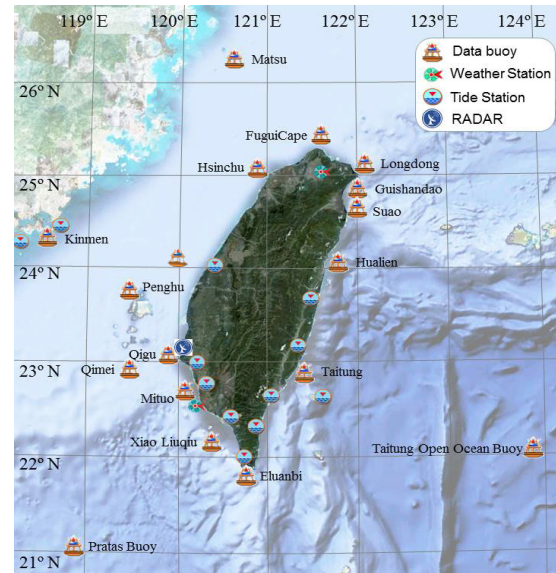


圖 1 環臺長期海氣象資料浮標觀測網及彰濱資料浮標

本團隊與永傳能源公司協議資料浮標預定布放地點，位在福海三期離岸風場範圍內，所量測到海氣象資料將提供未來離岸風場開發之參考。隨後拜訪彰化漁會，對於資料浮標預定布放地點進行溝通協調，確定資料浮標布放地點不在漁民捕魚區。由於資料浮標為作業化觀測，可提供當地漁民即時且準確的海氣象觀測資訊，作為出海安全考量的依據。完成上述資料浮標布放位置的溝通後，隨即著手資料浮標支組裝及布放作業，因彰化崙尾漁港已嚴重塌陷，需繞道尋找合適的漁港進行出海布放作業，於 104 年 5 月 19 日完成海氣象資料浮標的布放(圖 2)，布放位置為，該位置水深約 40 m，與最近的海岸陸地之距離約 13 km。

彰濱海氣象資料浮標布放完成後，建立資料品管技術以確保即時資料之正確，透過即時資料網頁展示(圖 3)經過每日資料品管的實測資料，每小時自動更新資料，提供永傳能源股份有限公司隨時查詢與下載海氣象資料檔案，掌握彰濱海域的海氣象資料，作為離岸風電相關工程施工決策之參考，資料亦可作為相關性分析及統計分析使用。



圖 2 彰濱海氣象資料浮標外觀

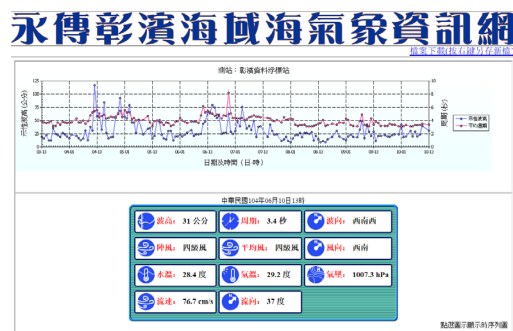


圖 3 彰濱即時海氣象網頁

資料浮標為海上無人自動作業海氣象觀測站，雖其性能已相當可靠，海上來往的作業船隻仍會對其產生威脅，雖然在布放前已至當地漁會宣導溝通，但是資料浮標仍遭受不明漁船強行拖移，造成觀測儀器(流速儀、超音波式風速計等)毀損，於 104 年 9 月 1 日透過海巡署至現場勘查資料浮標受損情形，在海況允許的情況下，並於 9 月 21 日至現場維修作業，目前為止本整合計畫團隊已進行兩次海上維修作業。觀測資料品質須仰賴資料品管與維修作業，以在發生破壞後儘速發現及進行維修。維修作業能否順利進行受海象條件所影響，此須仰賴海象預測模式之建立，以正確判斷出海作業時機。

三、彰化海域颱風波譜模型研究

海浪之波動紛紜多變，看似並無規律可循，要確切掌握其相關特性並非易事。往昔許多波動力學的基礎理論多奠基在一些簡化的假設上，並無法完整描述海上實際的波動現象。透過統計技術的引入，可將變化紛紜的波浪視為隨機過程進行統計之分析與探討，雖已獲知許多波浪的統計特徵，但僅單從波浪的時間域特徵進行判讀，仍無法完整之表達真實海浪之波動特性。利用頻譜描述不規則海面之波動情形，可建立波浪能量和頻率之關係。

本研究蒐集國內外常用的波浪能譜型式，藉以作為後續建立離岸風力場址適用之颱風波浪能譜型式之基礎依據(圖 4)。海洋波浪是不規則且隨機變化，為一種紛紜現象。近年來學者提倡地域性模式化波譜的觀念，建立適用於特定海域之波浪能譜，以利海洋工程應用及相關研究參考。本研究檢討國內外常用的波浪能譜型式以建立離岸風力場址適用之颱風波浪能譜型式，現階段已針對不同波譜理論進行研究，並掌握其譜型特徵。在 104 年 5 月 19 日彰濱海域啟動作業化海氣象觀測作業，並逐時回傳最新的觀測結果。取得彰濱海域的波浪觀測數據後，隨即進行波譜轉換與分析之研究，並已初步掌握彰濱海域的波浪能譜特徵。由本研究建立離岸風力場址適用之颱風波浪能譜，以利工程應用或相關研究參考。

四、施工期系集波浪預測模型發展

精確的波浪預測資訊是離岸風機施工與維運期間出海工作決策之參考依據，不但可提昇施工管理決策之正確度，更能降低營運成本。然而波浪預測模式中存在著許多不確定性，如預測風場的誤差或是模式的缺陷，皆可能影響波浪預測結果的準確度。目前單一模式決定性的預測方法，無法完全掌握預測過程中的不確定性，同時亦無法提供預測過程中的不確定性資訊，因此欲獲得所有可能的海象變化有其困難度。

系集預報的發展是為了彌補單一模式預報的不足，藉由多個不同的系集成員預報，期望能包含模

式預報的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率(Leith, 1974)。Pan et al. (2012)與 Fan et al. (2011)初步分析波浪系集預測結果顯示實測波浪在成長或衰減過程中的變化趨勢皆在波浪系集預報的上下限內，且尖峰值與尖峰時間可更精確的掌握。

為了波浪模式的準確度，本研究建立 SWAN 波浪模式與 WAVEWATCH III 波浪模式，同時進行率定與校驗。本研究以彰濱資料浮標的一年海氣象資料完成兩種波浪模式之參數率定，參數率定後的波浪結果較初始設定參數計算結果更趨近測站資料，證明

SWAN 波浪模式與 WAVEWATCH III 波浪模式皆可合理模擬離岸風力發電場址之波浪資料。

現階段已利用不同的風場資料驅動波浪模式，產出系集波浪成員(圖 5)。由模擬結果發現系集預測發展過程中可能會遭遇特定一個系集成員和其他系集成員相比，總是比較缺乏精確性，則在平均結合這些系集成員的同時，可能會導致不理想的預測結果，如圖 5 的紫色實線。因此，後續的研究工作將根據模式預測和觀測值比較表現，藉由統計方法求得各系集成員的權重值再做的結合，理論上較合理而且會有比較好的結果。



圖 5 波浪能譜圖建立流程圖

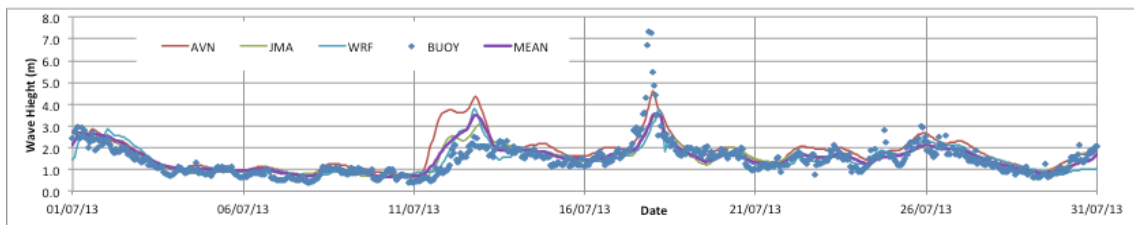


圖 6 系集波浪成員、系集平均與實測資料比對時序列圖

謝誌

承蒙行政院科技部「離岸風力發電場址波浪特徵之調查與研究 (1/2)」計畫編號 MOST104-3113-E-006-016-CC2 及永傳能源股份有限公司經費補助，同時國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心提供寶貴的資料浮標資料，使本文得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

- Holthuijsen, L. H., Waves in Oceanic and Coastal Waters, Cambridge University Press, 2007.
- Iredell, M. and P. Caplan, "Four-times-daily Runs of the AVN Model, Technical Procedures Bulletin of U.S. Department of Commerce", NWS Technical Procedures Bulletin, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, No. 442, 1997, pp.1-6.

3. Goda, Y., "A Comparative Review on the Functional Forms of Directional Wave Spectrum", Coastal Engineering Journal, Vol. 41, No. 1, 1999, pp. 1-20.
4. Japan Meteorological Agency, Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency. Appendix to WMO Technical Progress Report on the Global Data-Processing and Forecasting System and Numerical Weather Prediction., March 2013. Available on <http://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-center/nwp/outline2013-nwp/index.htm>
5. Lee, B.C., Y.M. Fan, L.Z.H. Chuang and C.C. Kao, "Parametric Sensitivity Analysis of the WAVEWATCH III Model", Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences, Vol. 20, No. 2, 2009, pp. 425-432.
6. Saltelli, A., K. Chan, and E.M. Scott, Sensitivity Analysis. John Wiley & Sons, 2000.
7. Torn, A., and A. Zilinskas, Global Optimization, Springer-Verlag, New York. 1989.
8. Tucker, M.J., Waves in Ocean Engineering: Measurement, Analysis, Interpretation, E. Horwood., 1991.