台灣地區離岸風場選址技術之探討

關鍵詞：離岸風場(Offshore Wind Farm)、潛勢風能區域(Potential Offshore Wind Energy)、風場開發限制因素(Limitations of Offshore Wind Farm Develpoment)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／副理／林俶寬 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／正工程師／張上君 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／工程師／黃振愷 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／工程師／劉晉堯 ❹

摘 要 ABSTRACT

離岸風場選址之主要邏輯係由大到小，從先劃定一最大可能開發區域，經風能及風速、電網併聯及相關限制條件等諸多方面影響因素進行綜合評估後，進而選擇風能資源豐富且最具開發價值之區域，以作為後續離岸風場細部規劃、設計之基本藍圖。基此，本文參考工研院綠能研究所之台灣海域離岸風場之風力資源潛勢圖作為最大可能之開發範圍，經套疊我國領海範圍圈選出具開發潛能之場址後，再選定具優勢風速條件者劃設為離岸潛勢風場區域，再經綜合考量離岸風場選址需考量之重點項目如環境因素、電網併聯點及不同水深與地質等條件進行風場之可能基礎型式初步評選後，擘劃出具有開發潛勢之風場範圍，冀供未來國內離岸風場開發規劃之參考。

壹、前言

台灣位於亞洲大陸與太平洋交界處，屬於季風氣候區，因此有明顯的東北季風吹拂與西南氣流交替。由於台灣中央山脈與大陸東南丘陵之地形，形成台灣海峽峽管效應增強東北季風風速，使得台灣冬季之風力資源豐富，此為台灣發展風力發電之先天優勢條件。然隨著陸域可供開發的風場尋找不易，國內風能開發重心逐步由陸域延伸至離岸。但目前台灣離岸風電產業仍處於起步階段，並未完全掌握相關技術。基此，經濟部能源局乃於102年7月公告「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，鼓勵民間業者參與開發，並規劃近期2015年前完成建置6部示範機組，2020年前完成600MW離岸風力電場，遠期2030年開發3GW之離岸風場。由於此離岸風場開發深具龐大商機，已吸引眾多國內外風力發電開發業者興趣。因此，本文乃針對國內可能之離岸風場場址選擇所需之相關技術進行初步探討，以作為未來大規模之離岸風場開發場址評選之參考。

貳、台灣離岸潛勢風能區域

台灣海峽風力強勁，尤其冬季東北季風期間更加明顯，然因科技發展長期以來較少注重，直到近十年來地球暖化問題與潔淨能源需求，風力才逐漸受到國內重視而競相開發，業經能源局評估，在陸域風場優良場址日益減少之際，未來離岸風電將是我國重要且可大力開發之永續綠色能源之一。然風能之好壞攸關著開發場址發電效益，故在一般風力發電開發前，必須先評估風能優良之場址，且在符合經濟效益之情況下，才進行開發。

由於風能與風速的三次方成正比，因此平均風速愈快，所蘊藏的風能便愈高，依據經濟

部能源局委託工業技術研究院所進行之台灣地區風力潛能分布模擬結果，詳如本季刊第103期「台灣地區風能評估與離岸風電開發潛能分析」所述，台灣西部沿海及外島之澎湖、南部墾丁及蘭嶼沿海，於80m高之風速（m/s）年平均風速多可達5～6m/s以上，及風能密度（W/m^2）達750～850W/m^{2}以上，顯示我國深具離岸式風力發電開發之潛力。

前述風能評估資料，係依目前氣象資料經電腦模擬結果，在場址測風塔尚未建置完成無實測風速資料之情況下，其完整度仍嫌不足。為彌補觀測資料之不足，進而有效及快速性地得知場址風力潛能，乃參考美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL) 50m高度風場風能資源評估等級，依選定優良最具可發展風力潛能資源條件(如表1所示)，以風能密度800W/m^{2}及平均風速9m/s以上作為台灣離岸潛勢風場場址初步選定原則，再套疊我國領海範圍(12海浬線)後，初步評估出台灣地區離岸風場較佳之潛勢風能區域，詳如圖1所示。經初步選定結果得知，台灣西部離岸潛勢風能區域可開發面積約為16,500 km^2，東南側潛勢風能區域可開發面積約為9,600 km^2。再依省市界線分，西部較具開發潛在優勢之離岸風場位於新北市、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林及澎湖離岸，以及南部屏東墾丁及蘭嶼等。惟此初步評估結果，僅代表具有開發潛力，但實際可開發範圍，必須依據後續相關離岸潛勢風場場址之評估技術，再加上電網銜接之變電站位置及相關限制條件等因素進一步分析後劃設。

參、電力系統評估

一般風場之風力機組電力輸送方式，係將風力機組輸出之690V電力於塔架旁或塔架內升壓為33kV電力，再配合當地之輸變電系統以電纜傳送至電網內作為電力能源。因國內目前台電公司之輸變電網為交流電系統，因此離岸風力電場產生之電能將依「再生能源發電系統併聯技術要點辦法」將風場產生之發電量併入所在地經營之既有電網系統中，故離岸風場之電網併聯點評估為離岸風場評估之第二關鍵要項。

電網併聯評估前，需就鄰近風場既有之變電站位置進行調查，並就變電站之電壓等級、容量、負載狀況等項目進行綜合分析後，以決定最佳之銜接變電站作為風場併聯點。但通常風力電場所產生之電力能源屬於不穩定電源，台電公司之電力網為維持其供電品質，不可能讓此不穩定電源直接併入電網內，因而要求風力電場開發者必須在併聯電網前設置一變電站，以保護既有電網之安全性。有關風場開發者自設變電站之相關考量重點如下：

考量整體風場之總發電量係由離岸風力機組數量累加而成，而潛勢風場場址面積又決定離岸風機架設數量，故在自設升壓變電站之評估時，除電壓選擇外，變電站內可接受之最大發電容量亦為另一考量重點。經初步評估國內每座風場以200MW較為適當，因此其電力系統所採用之海底電纜規格將為(1)場內電纜(Inter Array Cable)： 33kV海底電纜；(2)輸出電纜(Export Cable): 161kV電纜，因此自設變電站之設計匯入電壓為33kV，匯出電壓為161kV。儘管風力電源經過變電站升壓後才能符合目前國內電網系統之電壓等級，但考量風力電源為不穩定電源，併聯至特高壓輸電系統內時，必須再辦理整體電網併聯衝擊分析，以評估各種負載風險，降低電網損失。其次，自設變電站設置地點，通常考量風場與陸上併聯點變電站之距離，如風場距離併聯點超過20公里時，則以設置海上變電站較佳，但如風場距離併聯點在20公里內時，則在陸域設置變電站較為經濟。至於海纜選擇直流或交流系統則依風場規模，包

表1 NREL風力資源分級表

等級	50m高度		可發展潛能
	風能密度(W/m²)	平均風速(m/s)	
1	<200	<5.6	差
2	200-300	5.6-6.4	勉強
3	300-400	6.4-7.0	尚可
4	400-500	7.0-7.5	好
5	500-600	7.5-8.0	優良
6	600-800	8.0-8.8	優良
7	>800	>8.8	優良

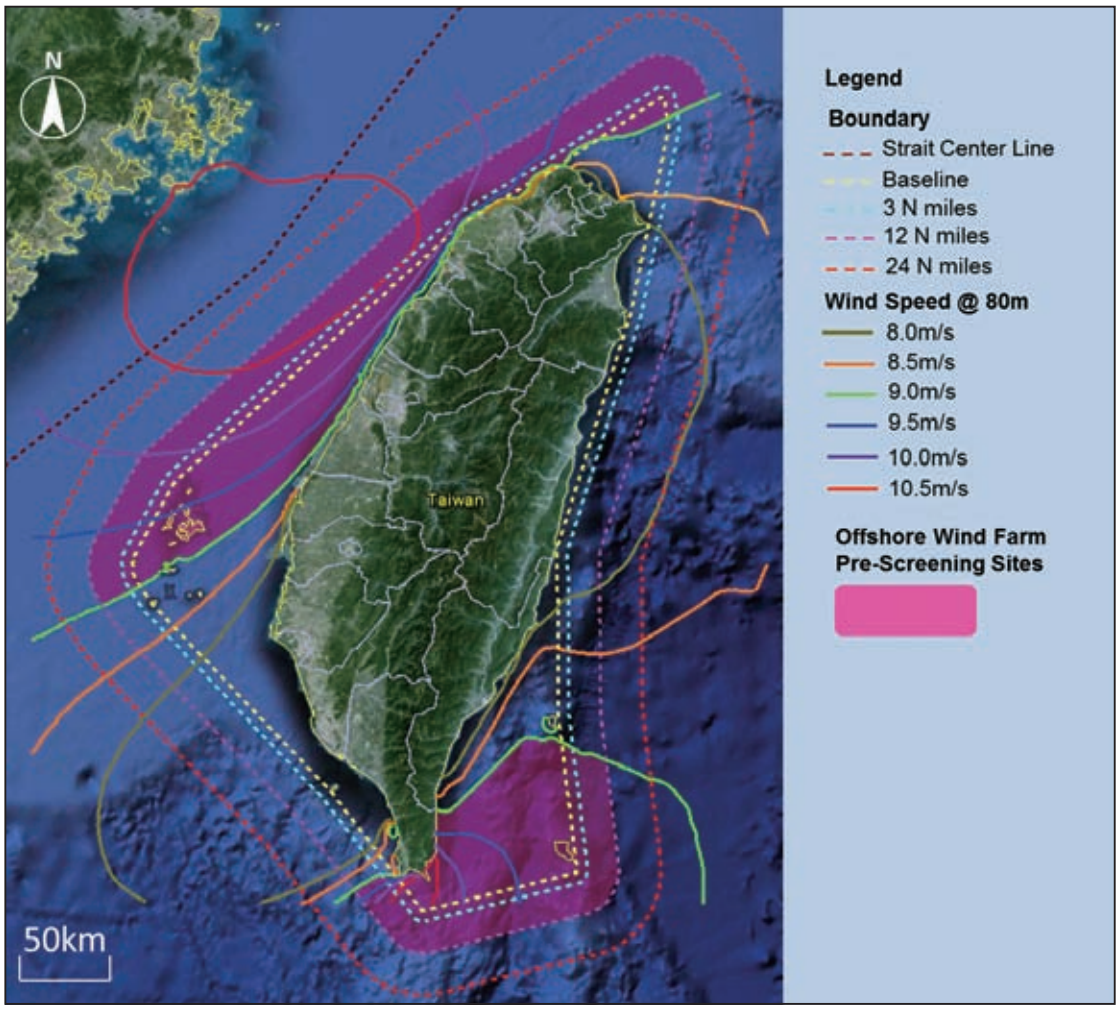


圖1 台灣離岸潛勢風場位置圖

括：設置費用、施工難易度、設備材料供應、維修成本及相關經濟性評估結果決定。

肆、水深及地質影響分析

由前述各章內容得知，離岸風機之設置成本受離岸距離、水深及地質條件影響甚鉅，故於潛勢風場評估項目中需將可能風場之海域水深資料納入考量。然由於台灣長期海禁，詳細之海域水深資料較為闕如，乃以目前國內較具公信力之海軍海洋測量局所頒佈之台灣區海域水深地形圖(如圖2所示)與風場資料進行套疊。由水深圖得知台灣西部海域因雲彰隆起，地形水深大部分小於-100m且地質多為砂質，而最南端墾丁一帶屬於岩質海域，地形水深變化較大，離岸約5km處，水深已達200m以上，致使風機在此不同區域必須選擇不同型式之支撐基礎，才能降低工程經費及施工風險。基本上離岸風機基礎可概分為固定式及浮式二大類，因不同水深與地質條件，固定式之支撐基礎又可區分為重力式(Gravity)、單樁式(Monopile)、三腳管式(Tripod)、管架式(Jacket) 、三腳樁式(Tripile)及負壓桶基式(Suction Bucket)等型式，而浮式(Floating)基礎目前市場上較少；其基礎結構型式示意詳如圖3所示。其中單樁式為目前市場上使用最多之型式，而重力式及負壓桶基式基礎屬淺基礎，多用於地質條件較佳區位；三腳樁式基礎雖具較佳施工性，然其屬BARD公司專利，較少人使用；至於浮式基礎，則適用於水深較深之區位(約-50m～-200m)，目前日本已有浮式離岸風力機試運轉實績(2013年11

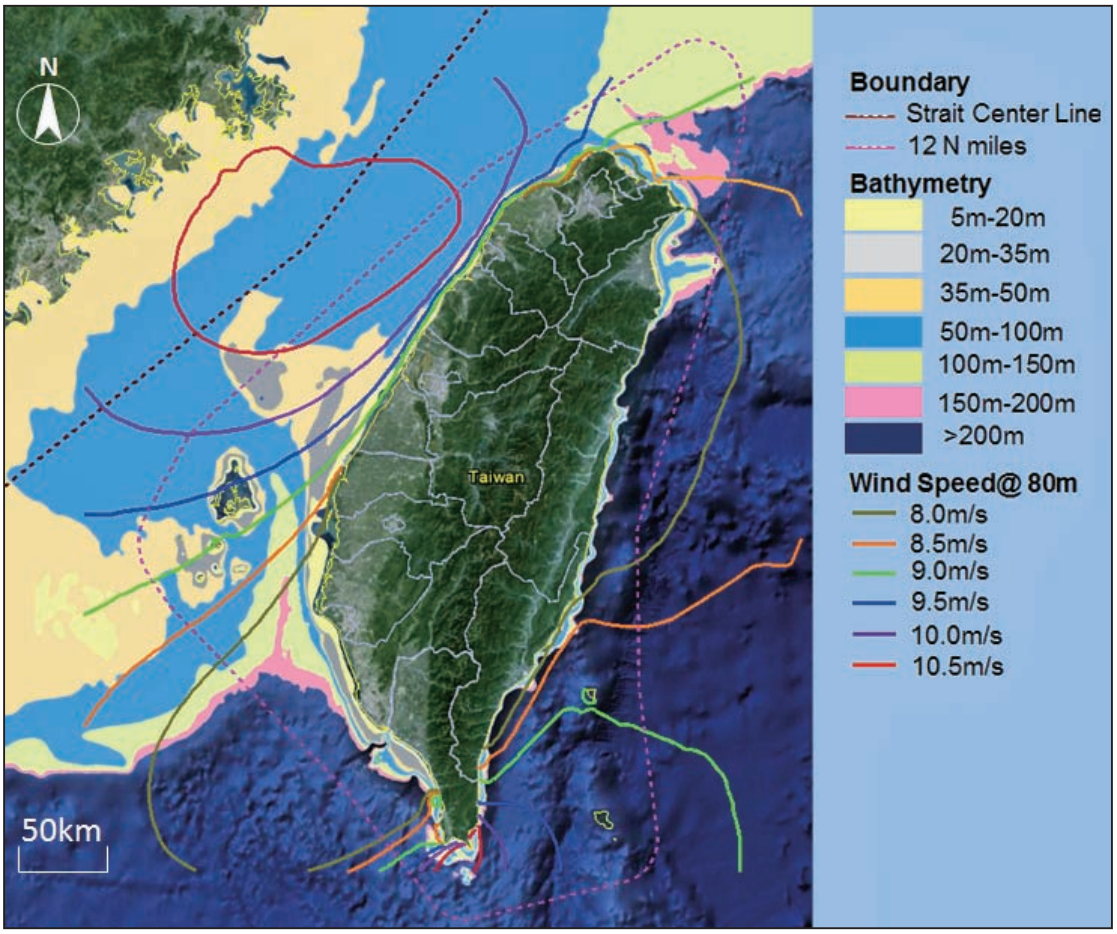
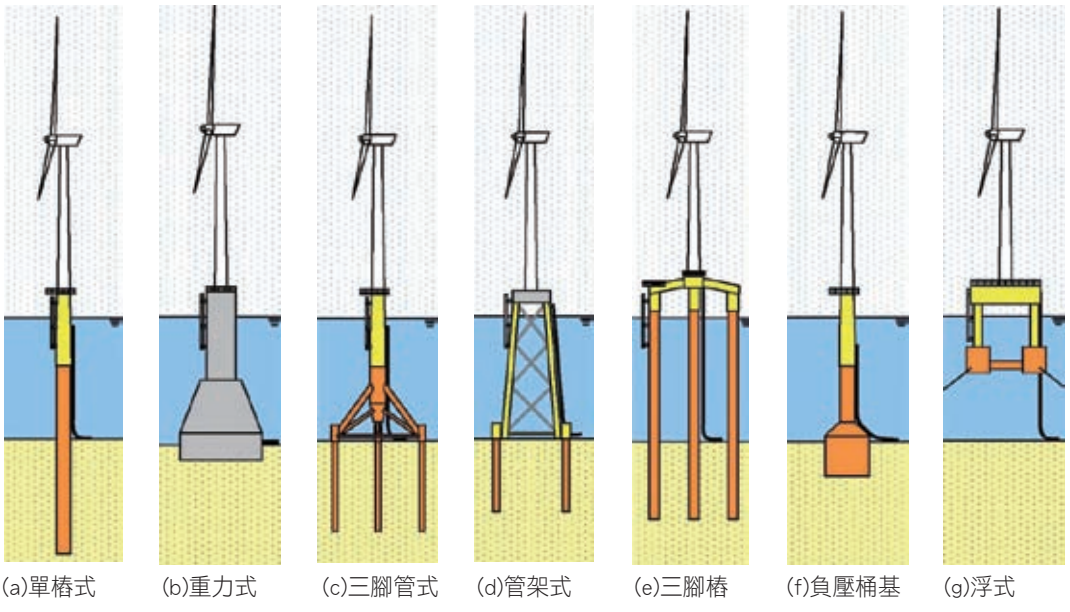


圖2 台灣領海風力資源與水深分布組合圖



資料來源：European Commission “Integrated Wind Turbine Design”。

圖3 各類風機基礎結構型式

月)，其設置地點位於福島縣水深約120m海域，距岸約20km。

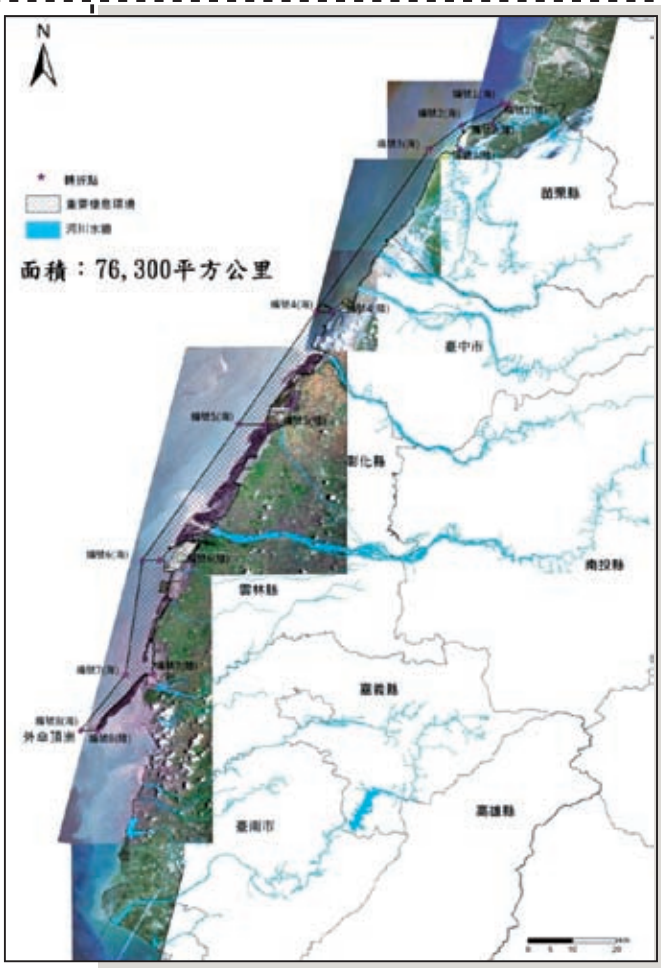
地質條件除上述影響風機基礎型式之選擇外，亦影響風機基礎鄰近之局部淘蝕之深淺與淘刷面積。特別是進行大規模風場開發時，局部淘刷累積效應、海岸地形變遷及地震引致之液化、沉陷皆與基礎型式有關。因此，基於經濟性及結構安全性等考量下，在基礎施工之同時有必要進行拋石等防淘刷保護工，以防止海床受波流所導致之淘刷行為。

伍、其他相關限制條件之分析

離岸風場場址評選因子，除基於上述風力資源、電網併聯系統銜接、不同水深與地質條件重要因素外，仍需考量其他潛在不利風場開發之關鍵限制條件，如海底電纜、油氣管線位置、各港口通航之航路等限制，其將影響整體離岸風場開發區域之完整性。國內離岸風場之選址首先應避開環境敏感及自然保護區域，包括中華白海豚重要棲息地、漁業權及船舶航路等範圍，分述如下：

一、中華白海豚

行政院農委會於2014年4月公告“預告訂定「中華白海豚野生動物重要棲息環境之類別及範圍」”，此重要棲息環境包括98%中華白海豚目擊點，橫跨苗栗、臺中、彰化、雲林等範圍，北起苗栗縣龍鳳港以北；南邊界線為外傘頂洲西南端；西邊界線依中華白海豚在各區活動範圍之不同而以海岸線距岸1-3海浬為基礎畫直斜線；東邊界線為海岸線距岸50公尺並包括主要河口等區域，如圖4所示。此野生動物重要棲息環境區域劃設，對於離岸風電開發確有重大的影響，但在生態環境與開發共謀雙贏之情況下，離岸風場避開白海豚保護區向較深之水域移動設置仍是可被接受，也可免除民眾之疑慮。



資料來源：行政院農業委員會-預告訂定「中華白海豚野生動物重要棲息環境之類別及範圍」(2014.04)

圖4 中華白海豚野生動物重要棲息環境範圍圖

二、漁業權區

台灣漁業發展豐碩，沿岸漁港及漁業活動作業頻繁，離岸風場劃設應考量降低對漁業經濟之影響，基本上規劃之離岸風場應避開專用漁業區海域設置，以減輕漁民之抗爭行為。基此，乃蒐集行政院農委會2006年起核發之台灣區西北部海域專用漁業權縣市如表2所示，並將其範圍標示於google map上，如圖5所示，以利與其他限制條件作一彙整之作業。由圖5得知台

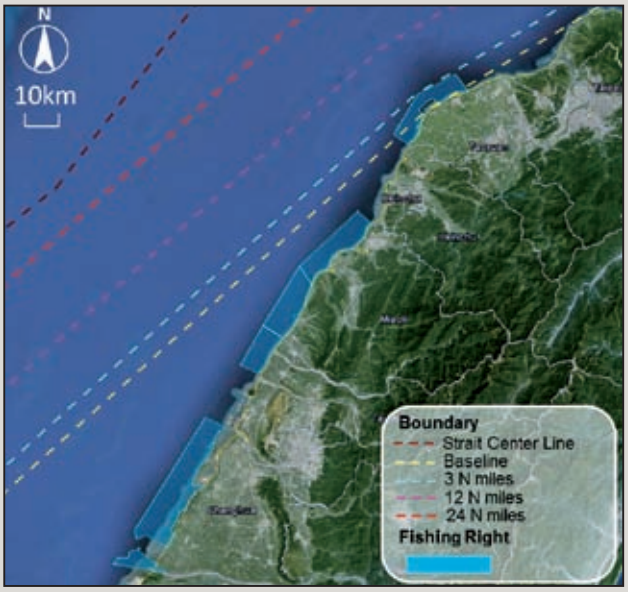


圖5 台灣西北部海域漁業權範圍位置

表2 2006年起核發專用漁業權(西北部)

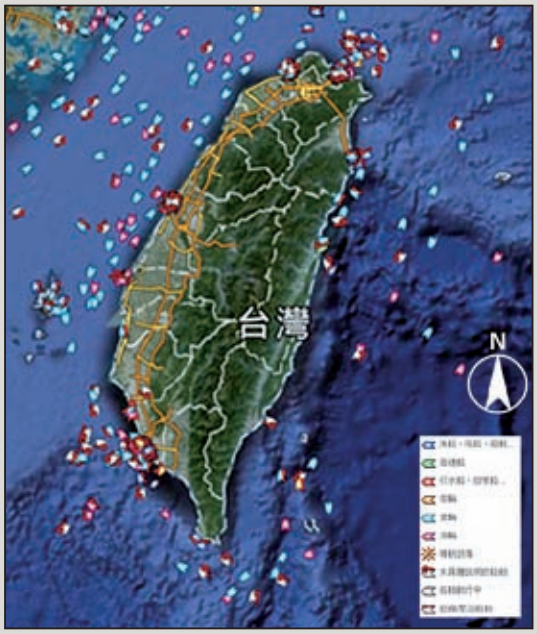
各縣市	漁業權人	核准期間	核准位置、區域及範圍
桃園縣	中壢區漁會	2009年6月至2019年6月	桃園縣新屋鄉與觀音鄉沿岸地區自平均低潮線起向外海延伸3浬之海域。
苗栗縣	南龍區漁會	2010年3月至2020年3月	苗栗縣竹南鎮及後龍鎮沿岸地區自平均低潮線起向外海延伸3浬之海域
	通苑區漁會	2010年8月至2020年8月	苗栗縣通霄鎮及苑裡鎮沿岸海域自平均低潮線起向外海延伸3浬之海域
臺中市	臺中區漁會	2012年10月至2022年10月	臺中市大甲溪口以北沿海地區自低潮線起向外延伸3浬之海域
彰化縣	彰化區漁會	2009年6月至2019年6月	彰化縣沿岸地區自平均低潮線起向外海延伸3浬及潮間帶之海域。

資料來源：行政院農委會漁業署 (http://www.fa.gov.tw/cht/ResourceFishRight/index.aspx)

灣西北部海域之專用漁業權區多以平均低潮線起向外海延伸3浬之海域來進行劃設，初步分析結果，此漁業權區之劃設對於採用固定式離岸風機基礎者影響較大，但對於採用浮式離岸風機基礎者影響較小。

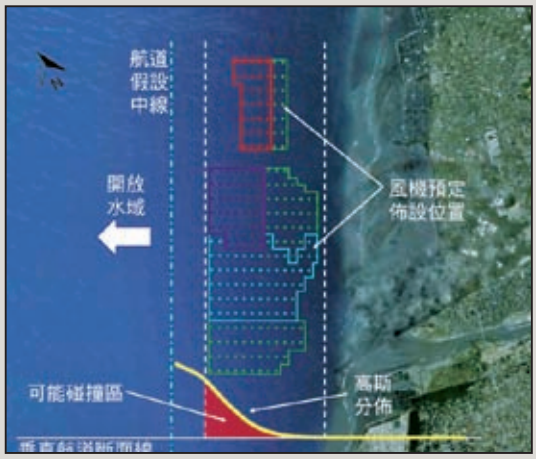
三、船舶航路

由於台灣海峽屬開放水域，並未明定航道之範圍，為評估此影響因子，特蒐集交通部運輸研究所港灣技術研究中心針對台灣周遭海域建置之台灣船舶海域動態資訊管理系統之相關資料。並藉由船舶自動辨識系統(Automatic Identification System，AIS)之船舶航行資料，以瞭解台灣西部海域船舶航路資訊，如圖6所示。因離岸風場範圍將直接受船舶交通通航航路影響，後續再視特定潛勢風場開發場址評選時，進行海域船舶交通分析，藉以評估大型船舶(商、貨船)於台灣海域之交通流量及巔峰位置，並進一步分析船舶碰撞風險，以及利用統計船舶航路資料分析船舶對特定風場可能造成之影響(詳圖7所示)。



資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心-台灣船舶海域動態資訊管理系統(http://ais.ihmt.gov.tw/module/ShipsMap/ShipsMap.aspx)

圖6 台灣海域即時動態船舶顯示位置圖



資料來源：台灣世曦「彰化離岸風力發電第一期計畫可行性研究」服務建議書

圖7 海域船隻位置分佈機率圖

四、既有海域設施

除上述三項優先應考量排除區域外，影響風場開發仍存在有多潛在相關限制因素，而這些因素將限制離岸風場的開發面積。綜整台灣周遭海域應考量之既有設施項目詳如表3所示。並將其建置於資料庫中，併同其他各項不利因素，建立風場場址受限區位彙整圖資，如圖8所示，以供風場場址範圍及位置調整及選定參考。

表3 潛在影響離岸風場場址開發項目

離岸風場場址開發項目	項目因子
既有管線及設施影響	1.海底通信、電力及油氣等海底管線 2.人工魚礁區及保護礁區 3.漁業權範圍
環境敏感及自然保護區位	1.野生動物保護區 2.自然保護區 3.海岸保護區 4.國家公園 5.重要野鳥棲息地
交通及軍事敏感區位	1.飛航、通航港口及漁港 2.通航航道 3.雷達、軍事管制及禁建限區域
既有離岸風場開發計畫	1.離岸風場開發商

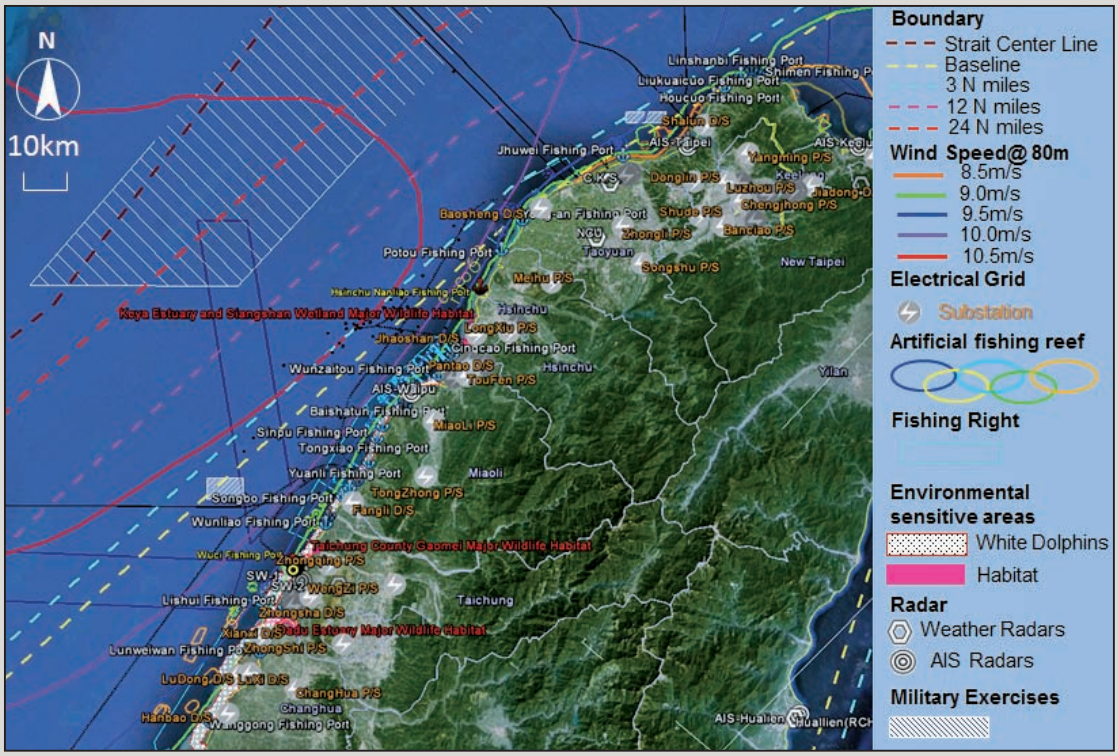


圖8 台灣西部離岸風場相關限制因素影響範圍彙整圖

陸、結論

由於環保意識抬頭，具有綠色替代能源特性的離岸風力發電，已逐漸成為政府與一般民眾較能接收的可開發能源之一，但也由於國內日益重視海洋生態及環境議題，不論中央或地方政府近年來已劃定許多保育區域，如桃園沿岸藻礁及白海豚活動區域均已列入野生動物保育區，這些保護區域或多或少對離岸風力發電開發場址、海纜路徑及上岸點等產生影響。惟考量工程開發與環境生態間仍須取得平衡，故離岸風場選址時，應儘量避開環境敏感及自然保護區域，或選擇對環境衝擊最低之工程作為，以保護環境減輕影響，此外避開漁礁、漁業專用權區，並與漁民充分溝通減少民眾訴願、提高離岸風場開發之成功率才是計畫成功與否之重要關鍵。

除人為環境因素外，自然環境因素及其限制條件同樣影響離岸風場開發成果，為確保離岸風場達到預期之發電量並符合經濟效益，離岸風場場址海域相關資訊，包括：海氣象資料、海面上80～90公尺高之風力資料、水深地形、海床地質等調查工作必須儘早展開；其次，場址海域既有限制條件也必須事前蒐集、規劃，進而建立資料庫，作為相關議題間之競合分析之用，皆為場址評選時重要評估因子。

目前台灣離岸風力發電工程仍於起步階段，許多政府機關之既有法令規章與主管事項並不明確，如何透過溝通協調達成最大共識，是現階段產、官、學界一致共同努力的目標。也唯有在明確的政策引導之下，才能吸引更多國內外業者共同參與，讓離岸風力電場在國內生根發展。

參考文獻

1. M. Young and R. Vilhauer (2003), “Sri Lanka Wind Farm Analysis and Site Selection Assistance”, NREL / SR-710-34646.

2. J. Murphy (HMRC), K. Lynch (HMRC), L. Serri (RSE), D. Airdoldi (RSE), M. Lopes (WavEC) (2011), “Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe”, Results of the FP7 ORECCA Project Work Package 2.

3. DNV-OS-J101 (2013) “Design of Offshore Wind Turbine Structures”.

4. 曾志福(2005)，“再生能源併聯要點對風力發電之影響探討”。

5. 吳佳梁, 李成鋒(2012)，“海上風力發電技術Offshore Wind Power”。

6. 李振弘, 陳昭榮(2012)，“離岸式風力電廠之發展與基本規劃”。

7. 交通部運輸研究所(2012)，“智慧型航行與監測系統之研究”。

8. 經濟部能源局-工業技術研究院綠能與環境研究所(2014)“千架海陸風力機-風力資訊整合平台”，http://wind.itri.org.tw/index.aspx。