

臺灣離岸風電供應鏈建置策略規劃

Strategic Planning of Supply Chain Development for Offshore Wind Industry in Taiwan

胡斯遠

Ssu-yuan Hu

工業技術研究院 綠能與環境研究所
台灣 新竹縣

Green Energy & Environment Research Laboratories
Industrial Technology Research Institute
Chutung, Taiwan
kosh@itri.org.tw

呂威賢

Wei-Hsien Lu

工業技術研究院 綠能與環境研究所
台灣 新竹縣

Green Energy & Environment Research Laboratories
Industrial Technology Research Institute
Chutung, Taiwan
whlu@itri.org.tw

摘要

為有效推動台灣之離岸風電開發，建立自主性之海事工程能力將是首要工作之一，其中更以施工機具與運維船隊為本國供應鏈中最關鍵之環節。本研究參考全世界設立離岸風場之建置情形，配合目前離岸風電裝置容量居全球之冠的英國經驗，並針對我國離岸風電之發展條件，研擬出國內離岸風力電場開發之供應鏈建置指導方針，內容涵蓋發展歷程、市場現況、供應鏈缺口分析及建置策略規劃等重要資訊，以做為國內業者先期規劃工作機具及船隻等重要參考依據。

關鍵詞: 離岸風場，供應鏈，策略規劃

Abstract

In order to promote offshore wind energy development, it is one of our primary goals to establish self-sustained capabilities of marine engineering. Among all crucial items, vessels of construction and O&M appear to be the most critical link. This study collects construction experiences from existing offshore wind farms along with the developing practices of UK, and compiles comprehensible guidelines for the supply chain development of the offshore wind energy industry in Taiwan. Combining valuable information regarding historical review, market status, gap analysis of supply chain, and strategy planning, the results provide key reference for the local offshore industry.

Keywords: offshore wind farm, supply chain, strategic planning

I. 前言

我國屬海島型國家，地狹人稠且近 2/3 為山區，陸域可供開發風力發電場址有限，近年來在陸域風場持續開發下，優良場址已漸趨難覓，因此風能佳、平穩、少亂流之廣大海域風場將成為持續風電發展之重要場域。針對我國離岸風力發電開發，經濟部已於 96 年 9 月 1 日發布實施「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」，此階段將開放 30 萬瓩之總裝置容量供業者申請，並希望透過階段性離岸風電市場的開放，逐步帶動國內風力發電產業的發展。然而台灣海象環境惡劣，多颱風及地震，相關海事工程經驗缺乏，因此海域風能開發之投資與技術風險均較陸域高出許多，再加上相關法規不明確與環境生態問題，雖有業者投入評估但多持謹慎保守的

態度，導致離岸風力發電始終沒有實質的進展。

為協助政府推動離岸風場開發，並提升國內相關技術能量，本研究針對供應鏈建置策略規劃擬定之研究流程如下圖所示：

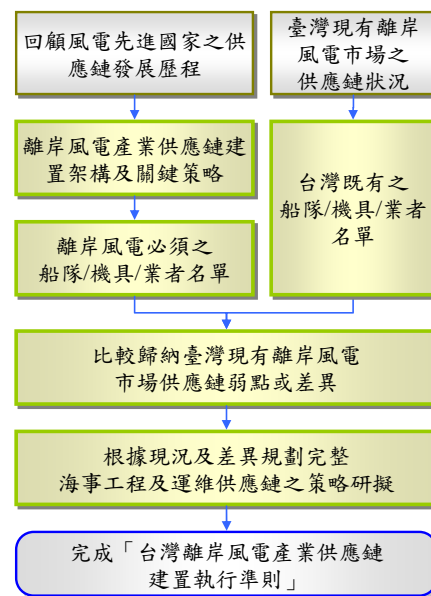


圖 1: 研究方法與流程

本研究首先蒐集整理台灣與風力先進國家之供應鏈現況，主要以目前離岸風電裝置容量居全球之冠的英國作為比較基準，詳列兩者現況之差異，並由此歸納出台灣離岸風電供應鏈之重大缺口，最後針對此差異性進行架構及建置策略分析，參考國際相關產業之供應鏈發展經驗，擬定建置策略規劃，以供相關單位參考。

II. 供應鏈建置架構

根據英國 BVG 公司的研究，離岸風電開發的供應鏈架構主要可分為五大部分^[1]:

(1) 開發與獲證

此部分包括風場在安裝階段之前的所有設計與申請程序，但不包括研發及零組件之設計製造。

此類業務有時又被稱為專業服務 (professional

services), 因為開發商的專業性對風場設置的成敗具有決定性的因素, 其技術、知識、經驗等專業條件均至關重大。一般而言此部分約占總開發成本的4-7%^[2]。

(2) 風力機製造

本階段包括風機製造業者及其上游業者的所有製造活動, 例如機艙組件的製造、葉片及塔架的製造等。

目前全世界幾乎均採用三葉片式的水平軸風力機, 其單機的裝置容量大多在 2-3.6MW 等級, 但因技術逐漸進步, 近年來有朝 5-6MW 等級發展的趨勢。雖然預期未來將朝 10MW 等級繼續發展, 但由於更大的風機需要規模更強更高的起重機, 因此技術方面還有待突破。

(3) 附屬組件製造

此一階段涵蓋風力機製造之外的所有相關零組件, 例如基樁、海纜、變電站等。

目前國際上離岸風機大多皆使用單樁(monopile)的基座, 使用重錘直接擊入海床中固定。但因新近開發的離岸風場水深逐漸增加, 為避免隨之加粗的單樁直徑造成施工困難, 使用其他像重力式、套管式(jacket)或三腳式(tripod)基樁的設計越來越多。對台灣海域常須承受颱風地震的環境而言, 套管式的基樁是最適合的設計。

海纜通常分為內連(array cabling)及外聯(export cabling)兩種等級。內連是指用來連接風場內各風力機的中壓電纜(Medium Voltage, MV), 在台灣主要為 21kV, 英國則為 33kV。外聯是指整個風場對外併聯至變電站的高壓電纜(High Voltage, HV), 在台灣使用 161kV, 英國則大多使用 132kV。

變電站可分為陸上及海上兩種, 主要功能是將中壓電路轉換為高壓電路。但除此之外變電站也常具有其他功用, 例如做為風場的調度中心、控制站或維修站, 或是做為維修人員的緊急避難場所等。英國離岸風場所使用的變電站容量通常在 200-300MW, 占地 30x30m, 重量高達 1500 噸。在英國通常使用套管式結構支撐, 但也有少數使用單樁的設計。在台灣同樣因環境限制, 以套管式的基樁較為合適。

(4) 安裝與啟用

本階段主要包括基樁的設置、風力機組的陸上預組裝及海上組裝等工作, 以及鋪設海纜和變電站的安裝等。

單樁式的基樁設置較為簡便, 通常直接以重錘將基樁擊入海床。套筒式的基樁則比較複雜, 為確保各副樁都能安裝在準確的位置, 首先必須使用模板(template)、導管(through leg)或凸緣(skirt)作

為導引, 將副樁一一定位後再擊入海床。如何選擇適用工法取決於套管的設計及地質狀況等, 有時若海床條件不佳, 可能會在打樁前先作預鑽孔, 打樁後再進行灌漿等工法加以強化。

基樁設置完成後, 會在上方加裝一轉接頭(transition piece), 以作為塔架和基樁間的介面。轉接頭通常以現場灌漿或螺栓等方式固定, 以確保塔架能穩定地鎖固於基樁之上。風力機通常會分段進行安裝, 也就是先將塔架鎖固於轉接頭上, 再將風力機的機艙安裝在塔架上, 最後再安裝葉片。但隨著風力機組容量越來越大, 近年來也出現預組裝的方式, 先在陸地上將整組風力機安裝完成, 拖運至現場後直接將整組風力機一次安裝在轉接頭上。由於海上作業的時間及成本都遠高於陸上作業, 因此在有適當機具支援的條件下, 陸上預組裝的方式可大幅降低成本及風險, 極可能成為未來的主流。

海纜鋪設工作通常由駁船(barge)進行, 將纜線埋入海床至少 1-2m 以避免受損。工法的選擇取決於地質條件、纜線規劃的最小曲率半徑、以及纜線如何與塔架或變電站連接等, 事先均需進行精密的模擬排練及設計。

離岸變電站的安裝與風力機相似, 同樣分成兩階段, 首先進行基樁的安裝, 之後再以大型起重船以吊裝方式將整組變電站固接於基樁之上。

(5) 運轉與維護

最後階段的維運主要涉及風力機組安裝完成後的所有營運活動。運轉工作現多以 SCADA 系統透過變電站進行遠端遙控, 維護工作則依性質分為計畫性維護及臨時性維護等。

大型的定期維護, 所需要的船隊機具大致與安裝工作相似, 小型的短期維護則可能利用直升機、輕艇甚至無人載具(Remotely Operated Vehicles, ROVs)進行一般性的檢視與評估。通常營運業者可能會以外包方式將各項維護工作分別委託給不同的專業廠商, 例如風機保養、海纜維護、變電站檢修等, 且維修費用都已包含在保固契約當中。

根據上述五大階段之主架構, 本研究分別對國內外離岸風電產業之供應鏈進行調查檢視, 並依此供應鏈結構條列現況及缺口, 以便進行比對與分析。

III. 現況分析

依據前述分類, 本研究針對台灣現況, 對本國離岸風電供應鏈進行調查整理, 詳列相關產業之重要公司, 並與英國供應鏈現況進行比對, 所得結果如下表所示:

表 1: 台英供應鏈比較

分類	產業	台灣公司	英國公司
開發與獲證		環興科技 (工程/環境) 永傳能源 (開發) 星能公司 (開發) 台電公司 (開發)	Atkins (工程/環境) ERM (環境) Garrad Hassan (風能/工程) Mainstream (開發) Metoc (環境) Mott MacDonald (工程) Natural Power (風能/環境) ODE (風能) RPS (環境) Sgurr Energy (風能) SeaEnergy (開發)
風力機製造		(無)	Vestas Siemens REPower Clipper
附屬組件製造	基樁	台船公司 (CSBC) 中鋼機械 (CSMC)	Ballast Nedam Bifab Bilfinger Berger Bladt MT Hojgaard
	海纜	華榮電纜	ABB JDR Nexans Prysmian
	變電站	(無)	Harland and Wolff Heerema McNulty
安裝與啟用	風力機次結構安裝	台船公司 (CSBC)	Beluga / Hochtief Bilfinger Berger Heerema MPI MT Hojgaard Seaway Heavy Lift Van Oord
	風力機安裝	(無)	A2Sea Beluga / Hochtief MPI Seajacks
	海纜鋪設	華榮電纜	CTC Global Marine MPI Subocean Visser & Smit
	變電站安裝	(無)	Beluga / Hochtief Heerema Seaway Heavy Lift Van Oord
運轉與維護		台船公司 (CSBC)	AMEC Developers OEMs

雖然上表仍可能有遺漏的公司，但業界較知名或重要的競爭者大都已列入，由表中可明顯看出，相較於世界領先的英國，台灣離岸風電供應鏈仍有許多缺口，且產業上下游缺乏統整，以致不易發展出成熟的市場。

依據「再生能源發展條例」，我國離岸風電開發目標主要由中央主管機關考量國內再生能源開發潛力而進行訂定。在行政院新能源推動委員會 99 年 8 月 16 日舉行之委員會議中，經濟部能源局提出推廣再生能源目標，2020 年時再生能源發電裝置容量將達 6,388MW，2025 年達 8,968MW，2030 年達 10,858MW，其中離岸風能在 2030 年的裝置目標高達 2,000MW，占總裝置容量的 31%。

然而，跟英國的發展歷程相比，2,000MW 的目標其

實顯得非常保守。台灣在 2008 年的總耗電量是 233,000GWh^[3]，若以裝置係數 (Capacity Factor, CF) 30% 估算，2,000MW 僅能提供總耗電量的 2.3%。英國在 2007 年的總耗電量為 345,800GWh，目前開發中的風電場總裝置容量高達 45GW，可提供總耗電量的 34.2%。

由此看來，2,000MW 的目標似乎尚不足以支撐一個架構健全且發展完整的供應鏈。根據估算，台灣近海潛在的可開發離岸風能至少在 9,000MW 以上，若考慮未來亦將開發深海風能，離岸風電整體的潛能高達 16GW 以上。若比照英國經驗估算，台灣的離岸風能開發目標至少應設定在 6,000MW 以上，才足以支持一發展完整且能永續經營的離岸供應鏈^[4]。延續此一假設，台灣離岸風電供應鏈到 2030 年為止，須具備的必要條件如下表所示：

表 2: 台灣離岸風電供應鏈發展條件

總裝置容量	6,000 MW
開發面積	720 km ²
風場數量	10 座
施工船隊	3 艘/年
變電站	30 座
風力機	1,200 座
21kV 海纜	880 km
161kV 海纜	300 km
21kV 海纜工作船	1 艘/年
161kV 海纜工作船	1 艘/年
相關技術人員	291 人/年

依據上述目標條件，可大略看出本國供應鏈所欠缺的要點，接下來則將進一步詳細比較台英供應鏈的差異，並分析台灣供應鏈組成之弱點所在，以做為規劃建置策略時之參考。

IV. 差異分析

結合前述的供應鏈必要條件，以及台灣的供應鏈現況，則可條列出本國供應鏈的缺口，並深入進行補強分析。首先整理台灣離岸風電供應鏈之缺口差異如下表：

表 3: 台灣離岸風電供應鏈缺口

開發與獲證	
專業技術人員	291 人
風力機製造	90 座/年
附屬組件製造	
基樁	90 座/年
21kV 海纜	66 Km/年
161kV 海纜	23 Km/年
變電站	2.25 座/年
安裝與啟用	
風力機安裝船	3 艘
海纜鋪設船	1 艘
變電站起重船	1 艘

以下則就各缺口項目分別深入討論其性質：

(一) 開發與獲證：

相關技術人員之專長領域如下：

- (1) 風場物理 5%：風能評估及風場規劃
- (2) 大地工程 10%：地質調查與基樁設計
- (3) 結構工程 15%：結構及變電站設計
- (4) 電子工程 15%：線路設計及併網規劃
- (5) 環境諮詢 15%：環境調查與衝擊評估
- (6) 建築規劃 5%：建築方法規劃
- (7) 維運管理 5%：維運規劃及系統建置
- (8) 計畫管理 15%：計畫啟動及分包
- (9) 採購 5%：補給與管理
- (10) 財務 5%：財務控管
- (11) 法務 5%：計畫及業務律師

為能長期提供穩定且可靠的技術人力，建議除對現有人才進行職訓培育之外，更可設立專業訓練中心或技職學校科系，甚至由政府提供學費補助，到歐洲實際加入離岸風場開發計畫，進行現場培訓(on-site training)。

(二) 風力機製造：

對單一風力機製造商而言，欲建立穩定供需市場的年產能大約是 1,000MW^[5]，故由於市場規模的差異，台灣本身若要在短期內建立穩定可靠的風力機組實有困難，建議可向國外（包括大陸）購買組件，再由本國業者自行組裝。

(三) 附屬組件製造：

根據英國 BiFab 公司經驗，套筒式基樁製造業者的年產能大約是 100 組^[6]。即使如此，就市場的穩定與公平發展考量，還是應該鼓勵至少兩家以上的本國業者投入競爭，因為受限於運費成本，國外廠商與本國業者進行市場競爭的可能性較低。

至於海纜，線材可由國內自行製造，但鋪設工作則可由國內業者與國外廠商進行市場競爭。

在離岸變電站方面，單一製造業者的年產能大約是兩座，同樣由於運費成本限制，國外廠商的競爭性較低，建議由國內業者自製。

(四) 安裝與啟用：

在風力機安裝船隊方面，主要包括大型的自立平台(jack-up)、起重船(crane)、或是同等級的駁船等，主要以台灣自製為主，亦可雇用國外（包括大陸）的施工船隊。

至於海纜鋪設船的工期是每年三個月，變電站起重船的工期則是每年大約二到三個月。由於變電站起重船的工期相對較短，建議可先雇用大陸船隊，不需由台灣自製。

(五) 運轉與維護

由於維護的工作性質取決於風力機組的規格

及設計，因此無法準確地估算所需的機具。一般而言需要簡單的運輸船隊搭配直升機作業，以便維護人員進行機動性巡邏。若欲進行大型定檢維修時，則還需另行雇用吊車或起重機，以便進行變速箱或葉片更換等作業。建議可先由台灣現有船隊進行改裝，應足以應付相關作業要求。

V. 建置策略規劃

在規劃建置策略之前，首先對台灣的市場戰略位置作一分析，以便針對市場發展進行策略規劃。圖 2 為台灣離岸風電市場的 SWOT 分析，詳列其強勢、弱點、機會與威脅等條件。表 4 則為 PESTLE 分析，針對政經、科技、法律、環境等市場條件進行評估，有助於對整體大環境的性質進行分析與了解，尤其有助於預測市場風險的消長，以及產業發展的潛在方向。

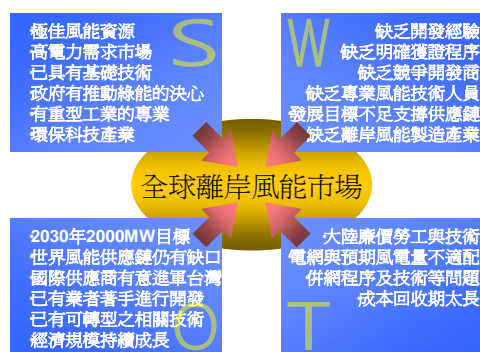


圖 2: 台灣離岸風電市場 SWOT 分析

表 4: 台灣離岸風電市場 PESTLE 分析

評估項目	內容
P 政治 / political	<ul style="list-style-type: none"> • 再生能源目標已確立，能源政策將朝減碳方向推動。 • 政府已明確表達加入 UNFCCC 組織之意願^[7]，宣示共同對抗氣候變遷之決心。
E 經濟 / economic	<ul style="list-style-type: none"> • 已建立收購電價 (FIT) 制度，鼓勵業者投資。 • 耗電量逐年增高。 • 石化燃料成本逐年提高。 • 碳權交易制度逐漸成形。 • 台灣風能條件極佳，具開發價值。 • 就業需求問題亟待解決。
S 社會 / sociological	<ul style="list-style-type: none"> • 再生能源與綠色經濟已成國際趨勢。 • 傳統能源對氣候變遷及環境衝擊之議題漸受重視。
T 科技 / technological	<ul style="list-style-type: none"> • 全球工業大國均積極開發離岸風能。 • 台灣亟需建立離岸風電自主供應鏈。 • 歐洲有豐富開發經驗可供台灣學習。
L 法律 / legal	<ul style="list-style-type: none"> • 再生能源收購機制已透過立法制度成形。 • 申請及獲證程序尚待釐清。 • 技術標準、融資協議、及相關契約等規範正待建立。
E 環境 / environmental	<ul style="list-style-type: none"> • 再生能源轉型將衝擊傳統觀念及立場。 • 減碳目標應透過政策落實到相關業者之減碳義務。 • 需考量飛航、噪音、視覺、航運等衝擊效應。 • 透過潔淨能源推動石化汙染減量。

參考國外經驗，英國之所以能發展健全離岸風電供應鏈，並有效推動離岸風能開發，一般咸認為原因包含下列六項重要因素：

- (1) 明確的再生能源政策，透過宣示減碳目標及義務，同時確保能源安定與就業繁榮。
- (2) 大膽訂立開發目標，並透過前瞻性的海域管理政策進行管理，故能有效地開發離岸風能。
- (3) 隨時反映成本而靈活調整的市場機制，確保離岸風電市場具有經濟吸引力。
- (4) 透過基礎建設計劃委員會 (Infrastructure Planning Commission, IPC) 及海洋管理組織 (Marine Management Organisation, MMO) 的規劃，將開發流程一致化，降低投資者疑慮。
- (5) 歐盟在國家及地方皆對再生能源研發提供資金補助機制，以先進科技支持供應鏈發展。
- (6) 設立國家級的測試中心及研究機構 (如 NaREC) 以支持相關產業的科技研發。

同為市場經濟的台灣，在推動離岸風電上頗有可借鏡英國之處，乃規劃以下策略，俾有效推動本國自主供應鏈之迅速成長及穩定發展：

- (1) 再生能源推動目標：
首先應訂立前瞻而大膽的開發目標，並利用減碳政策推動。若目標值太低，除無法展現推動決心之外，亦不足以支撐一穩定完整之離岸供應鏈。
- (2) 市場工具：
除明確推動目標之外，還需建立具吸引性的市場工具，以鼓勵企業投資，畢竟沒有業者會投資無法獲利的產業，故須謹慎操控收購電價機制。
- (3) 獎助基金：
強而有力的供應鏈有賴先進的科技支持，故須事先規劃推動研發的獎助機制，其目的在於鼓勵開發具有先導性的產業技術，以短期的研究經費來帶動長期的產業成長。必須注意的是，補助的目標必須明確訂立，以針對供應鏈發展的缺口作集中式的強化，避免資源分散反而徒勞無功。
- (4) 供應鏈發展期程：
從國家發展的層級，訂立長遠的離岸風電開發期程，明確宣示推動的目標與規模，除可作為前述獎助技術研發的規範之外，主要在於集中資源推動必要產業，以最短時間成本補足供應鏈缺口。
- (5) 貿易組織機構：
強而有力的產業組織聯盟，對供應鏈來說是相當重要的一環，如英國風能協會 (British Wind Energy Association, BWEA) 就在業者與政府間的溝通上扮演著重要的角色，透過單一窗口發聲，提升業者與政府間對話的層級，除能有效聚焦相關議題之外，對於產業間的統整也會更有效率。

(6) 國際事務處：

歐洲在發展離岸風電上有長久的歷史與豐富的經驗，對正起步的台灣而言是珍貴的資產。若能透過貿易代表團或類似的機制加強雙方的交流，將能更迅速有效地交換意見與心得，為填補本國供應鏈缺口之策略規劃提供經驗參考。

VI. 結果與討論

目前世界各國之離岸風電產業大多仍處於起步階段，台灣風場發電容量率 (Capacity Factor, CF) 高達 30%，在全世界排名僅次於英國^[8]，在目前氣候變遷及節能減碳議題廣受關注的關鍵時刻，正是積極建置離岸風電供應鏈的最佳時機。參考目前離岸風電裝置容量領先全球的英國經驗，本研究逐步分析歸納出台灣離岸風電產業供應鏈的結構及弱點，並規劃出補強缺口推動發展的關鍵策略，主要從政策、經濟、技術、市場及國際合作等五個方面多管齊下，期能在最短時間內帶動產業信心及投資意願，共同促成離岸風電產業的蓬勃發展。

根據本研究擬定之策略規劃，並參考英國推動離岸風電的經驗，以下提出幾項落實策略規劃的作法：

- (1) 透過能源政策明確規範減碳義務，促使相關業者共同協力推動再生能源。
- (2) 規劃跨部會申設流程，簡化獲證的時程。
- (3) 根據國家能源政策，規劃離岸風電供應鏈建置時程及發展目標。
- (4) 針對現有供應鏈之缺口成立發展基金，以補助或獎勵等方式，鼓勵業者成立主動投入缺口產業的新興公司。
- (5) 推動成立離岸風電產業聯盟或貿易組織，透過會員制度促成自主自足的完整供應鏈。

雖然台灣受到鄰近大陸市場威脅，短時間內不易自製大型風力機組，但若精確掌握供應鏈缺口及優勢，並透過相關單位及政策法規之妥善配合，則台灣仍有機會在國際離岸風電市場中佔有舉足輕重的地位。

致謝

本研究工作承經濟部能源局資助，謹此致謝。

參考文獻

- [1] "Towards Round 3: Building the Offshore Supply Chain," BVG Associates, 2009
- [2] "Cost of Offshore Wind," DTI Report, 2007
- [3] "The World Factbook," Central Intelligence Agency, Mar. 2010, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>
- [4] "Offshore Wind in Taiwan: Supply Chain Development," Atkins, 2010
- [5] "Charting the Right Course," Garrad Hassan, BWEA, 2009
- [6] BiFab Press Release, 2009, <http://www.owectower.no/pdf/bifabpress.pdf>
- [7] 中華民國外交部網站, 2010, <http://www.mofa.gov.tw/webapp/np.asp?ctNode=2020&mp=1>
- [8] 李振弘, 陳昭榮, "離岸式風力電廠之發展與基本規劃," 能源與冷凍空調學術研討會, 2004