國外離岸風力電場開發之技術發展趨勢

摘 要 ABSTRACT

經濟部能源局在2012年7月提出離岸風電示範獎勵辦法，鼓勵民間業者積極投入發展離岸風電開發；然而離岸風電技術發展，並非一蹴可幾，為能發展符合台灣環境之離岸風電技術，乃須藉由歐洲國家之成功經驗及技術發展趨勢，以做為國內風場開發之借鏡。本文主要整理歐洲離岸風電開發之統計資料及離岸風電產業供應商參訪紀實，針對風場開發時相關之供應鏈、技術內容進行一概要性的綜整介紹，並初步探討風機基礎設計之概況，最後提供綜合性的結論與建議，冀供國內未來開發離岸風電技術參考。

關鍵詞：離岸風力發電技術、歐洲風能產業鏈參訪

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／經理／丁金彪 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／正工程師／李磑柏 ❷

壹、前言

我國屬海島型國家，地狹人稠且近2/3為山區，隨著社會成長民眾意識抬頭，核能電廠開發受到相當的阻力，尋找替代性能源已勢在必行，再生能源也逐漸受到國內的重視。再生能源的諸多選項中，除了水力以外，風力發電因其技術最成熟、最有效率、最具經濟、產能最大，且其發電成本最為接近傳統能源發電成本，因此，風力發電已成為全球成長最為快速之再生能源。目前國內陸域可供開發風力發電場址有限，未來陸域建置之困難度將逐漸增加。相較之下有著風能密度高、風速平穩、亂流低條件的離岸風場環境，將提供台灣一個開發風力資源之可行途徑。因此經濟部能源局在2012年7月提出離岸風電示範獎勵辦法，鼓勵民間業者積極投入發展離岸風電開發。離岸風電技術發展，並非一蹴可幾，以風力資源高度開發的國家如英國、丹麥、德國等歐洲國家為例，目前陸域可開發場址已漸趨飽和並積極朝海域發展，也累積了多處成功經驗，足為國內發展借鏡。特此整理參訪歐洲離岸風電產業相關廠商之紀實，說明國外離岸風力發電廠開發技術發展趨勢及經驗學習(lesson learned)，供國內未來開發離岸風電技術參考。

貳、歐洲離岸風電發展統計資料

依據歐洲風能協會(EWEA)2014年的統計資料，於2013年歐洲設置離岸風機總計2,080座，累計裝置容量達6,562MW(詳表1)，其中以英國居領先地位，設置達1,082座離岸風機，

共計3,681MW，其次為丹麥513座風機，容量達1,271MW。以下針對各項指標項目之統計資料，逐一說明。

表1 2013年歐洲離岸風電累計設置量說明

國家	累積設置風場數	累積設置風機量(座)	累計裝置容量(MW)	裝置容量百分比(%)
英國	23	1,082	3,681	56
丹麥	12	513	1,271	19
比利時	5	135	571	9
德國	13	116	520	8
荷蘭	4	124	247	4
瑞典	6	91	212	3
芬蘭	2	9	26	0.4
愛爾蘭	1	7	25	0.4
西班牙	1	1	5	0.08
挪威	1	1	2	0.03
葡萄牙	1	1	2	0.03
合計	69	2,080	6,562	100

一、風機基礎型式及其製造商

在目前歐洲開發的風場之中，單樁式(mono-pile)基礎仍然為採用最多的基礎型式，如圖1在2013年裝設的離岸風機中，有490座(79%)為單樁式基礎，87座(14%)為三腳管式(tri-pod)基礎，39座(6%)為管架式(jacket)基礎，8座為三樁式(tri-pile)基礎以及1座(0.2%)為重力式(gravity)基礎。在基礎製造商方面，以Bladt公司製造224座(37.1%)為市佔率最高的製造商，其次為Ambau GmbH公司製造90座(14.9%)，Per Aarsleff/Bilfinger JV公司 製造80座(13.2%)，Sif公司製造71座(11.8%)，Siag公司製造66座(10.9%)，HGN (Hochtief Construction, GeoSea, Nordsee Naβbagger) JV公司製造39座(6.5%)，Smulders公司製造24座(4%)以及Cuxhaven Steel Construction公司製造8座(1.3%)，基礎製造商主要集中在丹麥及德國境內。

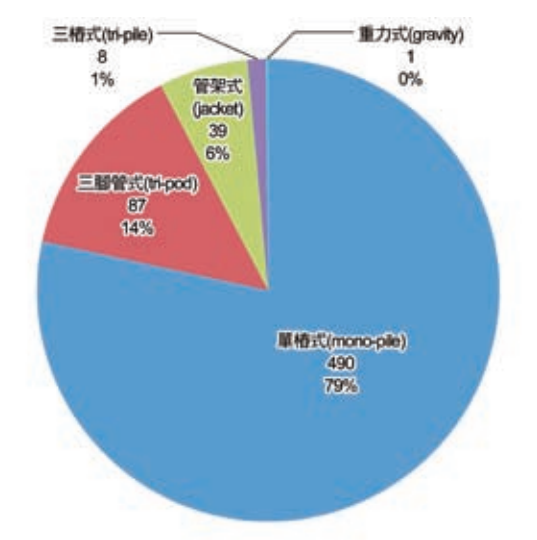


圖1 2013年歐洲風場風機裝設基礎型式數量
整理自The European offshore wind industry key trends and statistics 2013,EWEA(2014)

二、風機額定功率及開發規模

在2013年離岸風力發電機供應以Siemens公司307部3.6MW及2部6MW合計309部(74%)為市佔率最高的供應商，其次為Bard公司48部(12%)5MW風機，Vestas公司41部(10%)，Sevion(Repower)公司18部(4%)以及Alstom公司1部(0.2%)與Gamesa公司1部(0.2%)，發電額定功率平均為4MW。平均每個風場開發的規模為485MW，有78%大於前一年的開發規模，同時可預期的未來一年也有相同的趨勢。在2013年開發的風場平均水深為20m，平均離岸的距離約為30km。

參、離岸風電產業參訪

本次參訪(2014.1.13~2014.1.26)主要行程詳如表2，針對行程重點說明如下：

表2 離岸風電參訪行程表

日期	行程內容
13 Jan	桃園國際機場出發至荷蘭阿姆斯特丹(Amsterdam)史基浦機場(Schiphol)轉機至丹麥阿爾堡(Aalborg)
	與SCADA公司討論會
14 Jan	參訪西門子測試風場
	參訪A2SEA施工船SEA POWER
	丹麥阿爾堡(Aalborg)至哥本哈根(Copenhagen)
15 Jan	丹麥哥本哈根(Copenhagen)至荷蘭阿姆斯特丹(Amsterdam)史基浦(Schiphol)機場
	與K2公司討論會
	與COWI公司討論會
	搭乘火車至荷蘭鹿特丹(Rotterdam)
16 Jan	與Falck公司會議並參訪安衛訓練場地
	與Ballast Nedam公司會議
	荷蘭鹿特丹(Rotterdam)至恩斯赫特(Enschede)
17 Jan	與Mecal公司會議
18 Jan	移動日---荷蘭恩斯赫德(Enschede)至德國明斯特(Münster)
19 Jan	移動日---德國明斯特(Münster)至漢堡(Hamburg)
20 Jan	與8.2/Kipke公司會議
	與Ramboll公司會議
	與Hochtief公司會議
21 Jan	漢堡(Hamburg)至布萊梅港(Bremenhaven)
	與NSW公司會議
22 Jan	與RES公司會議
23 Jan	與Areva公司會議
	參訪Areva公司原型機測試場及風機製造廠
24 Jan	德國布萊梅(Bremen)至荷蘭恩斯赫德(Enschede)
	與Mecal公司會議
25 Jan	移動日---恩斯赫德(Enschede)至阿姆斯特丹之史基浦(Schiphol)機場
26 Jan	移動日---阿姆斯特丹之史基浦(Schiphol)機場至桃園國際機場

一、SCADA公司

SCADA公司屬於風機營運監控軟體服務公司，可提供風機監控軟體以及監控設備安裝等服務。在風機運轉維護(Operation and Maintenance)方面，SCADA公司指出，若採用Siemens風機，風機供應商運維服務可達15年；若採用 AREVA風機目前在運維方面可提供的服務仍相當有限。針對風機營運監控資料，SCADA公司表示可提出風機運轉維護分析所需項目，供開發商在與風機供應商簽約時於契約內規定及要求，由開發商另外進行風機運轉維護資料分析，有利於備份資料以及評估風機效能之作業，資料分析應採用符合IE61400-25規定的方法對資料內容正規化，做為不同廠牌機種風機資料的比較基準；同時利用這些資料，對於尚未達維護時間的風機設備已出現異常，如齒輪箱溫度高於平均溫度，可在事前要求請風機供應商提出解決方案，同時可預測風力機組未來可能發生的情形。最後SCADA公司提出一個觀念「風場的產能損失(Loss of Production)比可用率(availability)為更重要的一個指標」。

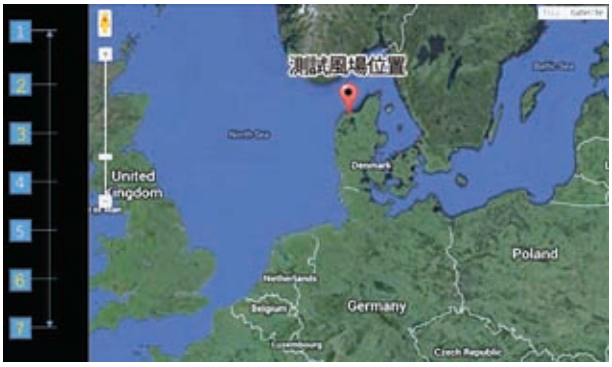


圖2 østerild test site及風機位置示意圖

二、丹麥測試風場(østerild test site, Denmark)

測試風場位置如圖2，工址面對北海平行排列可設置7組風力發電機，每組風力發電機距離為600公尺，目前有Vestas (Vestas Wind Systems A/S)與Siemens (Siemens Wind Power GmbH)兩家風機供應商進入設置風機，分別位於編號2、3及編號6、7，測試風場內設置之風機詳細資料如表2所示。本測試風場在設置時有下列幾點要求:(a)100m高度之平均風速最少為8m/s；(b)區域位在歐洲鳥類保護區外；(c)距離最近的住家至少1,000m；(d)區域至少涵蓋346公頃以上。參

表2 國家測試風場內設置之風機詳細資料

編號	風機供應商	風機型式	標稱發電量 (MW)	轉子直徑 (M)	機艙高度 (M)	頂部高度 (M)	備 註
1	---						未設置風機
2	VESTAS	V164-8.0	8.0	164	140	222	世界最高風機
3	VESTAS	V126-3.3	3.3	126	116	179	
4	---						未設置風機
5	---						未設置風機
6	Siemens	SWT-6.0-154	6.0	154	120	197	2013年以前世界最大風機
7	Siemens	SWT-4.0-130	4.0	130	110	175	以SWT-3.6修改，配合為較大葉片及效能較強的發電機

訪當日飄雪且有濃霧，能見度不佳，且在測試風場內僅能以步行方式進入，故僅參觀Siemens風機SWT-6.0-154及SWT-4.0-130，其中SWT-6.0-154為2012~2013年世界最大風機，參訪照片如圖3及圖4，左側照片為現場拍攝風機整體，右側為塔筒底部及其錨碇螺栓。

SWT- 4.0-130風機

塔筒及錨碇螺栓

圖3 西門子SWT-4.0-130 風機照片

SWT 6.0-154風機

塔筒及錨碇螺栓

圖4 西門子SWT 6.0-154風機照片

三、A2SEA公司

A2SEA為風機及其基礎運送、安裝與風場運維運補的專業海事工程供應商，旗下共有SEA INSTALLER、SEA CHALLENGER、SEA WORKER、SEA JACK以及SEA POWER等5艘專用船隻。本次參訪停靠於Grenaa (Anholt風場附近)之安裝船SEA POWER (照片詳圖5)。SEA POWER係自航式(Self-propelled)及船形半頂升式 (Ship-shaped Semi Jack-up)之吊裝船，腿長32m適用水深約為20m，主吊桁架為TEREX CC2800，吊桿72m+12m jib，吊重230ton@15m。此種施工船機為A2SEA較老舊之型式，每次僅能裝載一部機組至現場安裝，較不適合目前離岸越來越遠以及風機規模越來越大之歐洲風場。目前台灣離岸風電處於剛起步的階段，可考量使用類似的船機，惟腿長的限制，船機無法適用於水深大於20m以上之風場。

四、K2公司

K2為一陸域及離岸風電管理顧問公司，以計劃管理團隊(Management Team)為主的組織，公司成員主要包括Henrik Stamer (Managing Director)、Per Melgaard (Co-founder)、Lars Hammershøj(Co-founder)等，目前主要的部門及負責人包括德國開發商離岸風電安裝管理，負責人為Mike Prowse、離岸風電開發公司計畫指導，負責人為Peter Steinfeld、美國辦公室則由Carsten Jensen負責。自2007年成立以來，曾經參與包括南韓的 Southwest Offshore Wind Offshore basic design review、美國的Cape wind

船艏控制室

船艉起重設備

主吊桁架TEREX CC2800

主吊底座設備

圖5 安裝船SEA POWER照片

project management contract、以及義大利的Ogin Wind風能評估等計畫。

五、COWI公司

COWI為丹麥第二大顧問公司，員工超過6,200人，全球超過20國家設有計畫辦公室。在任何一個時間點，執行過的計畫超過17,000件以上，為具有相當規模的顧問公司。在風場設計的部分，COWI公司曾參與全世界第一個離岸風場丹麥Ebeltoft的設計工作，以及英國最大的風場London Array包括175支單樁基礎及其轉接段(Transition Piece)的基礎細部設計工作。於London Array的設計COWI公司有許多成熟的設計，例如單樁的附屬結構(Secondary Steel)採用鋼構架(steel cage)的方式設計，再配合特殊的吊具，海上施工的部分可不必以潛水人員進行水下工作，同時也提出建議海纜出入口可考量採用無J-tube的方式，可能為較經濟的方式。在初步聽取國內相關自然條件以及製造及施工船機能量之後，COWI公司對於國內之風機基礎型式建議為單樁及管架式基礎。

六、Falck公司

Falck公司主要業務為勞安訓練及諮詢工作，提供全尺寸實境模擬(照片如圖6、7)，在離岸風電安全衛生(Health, Safety and Enviroment)方面，依循GWO(Global Wind Organization)之規範要求，包括高空作業(Working at Heights)、初步協助(First Aid)、火災認識(Fire Awareness)、人工操作(Manual Handling)、海上逃生及救生(Sea

逃生小艇訓練　油罐車火災訓練

直升機落水訓練　鑽油平台火災訓練

圖6 全尺寸實境模擬照片(一)

風機塔架攀登訓練

離岸風電救生小艇訓練

離岸風機基礎登入訓練

圖7 全尺寸實境模擬照片(二)

Survival and Boat Transfer)，合計7.5天的訓練課程，這些項目都可分別受訓、分別認證，這部分在歐洲已經施行甚久，受到充分的重視，而這部分無論是政府法令規定以及相關擁有認證的人員，仍是台灣很欠缺的一部分，應及早因應，以利未來在風場施工以及營運維護順利且安全的進行。

七、Ballast Nedam公司

Ballast Nedam公司為工程統包商，主要依靠Heavy Lift Vessel Svanen (模型照片如圖8)進行離岸風場相關工程，目前正在進行德國EnBW Baltic 2離岸風場的風機基礎安裝，這是目前世界上最重的風機基礎之一。在風場施工經驗方面，Ballast Nedam已經成功安裝了300多座單樁基礎及150餘座轉接段，同時Ballast Nedam集團也有相關的離岸風電設計部門，提供基礎設計的服務工作，該公司曾參加台灣高速鐵路的統包施工(Hochtief, Ballast Nedam, Pan Asia joint venture, HBP JV)，對於台灣的土木施工環境應甚為熟悉。

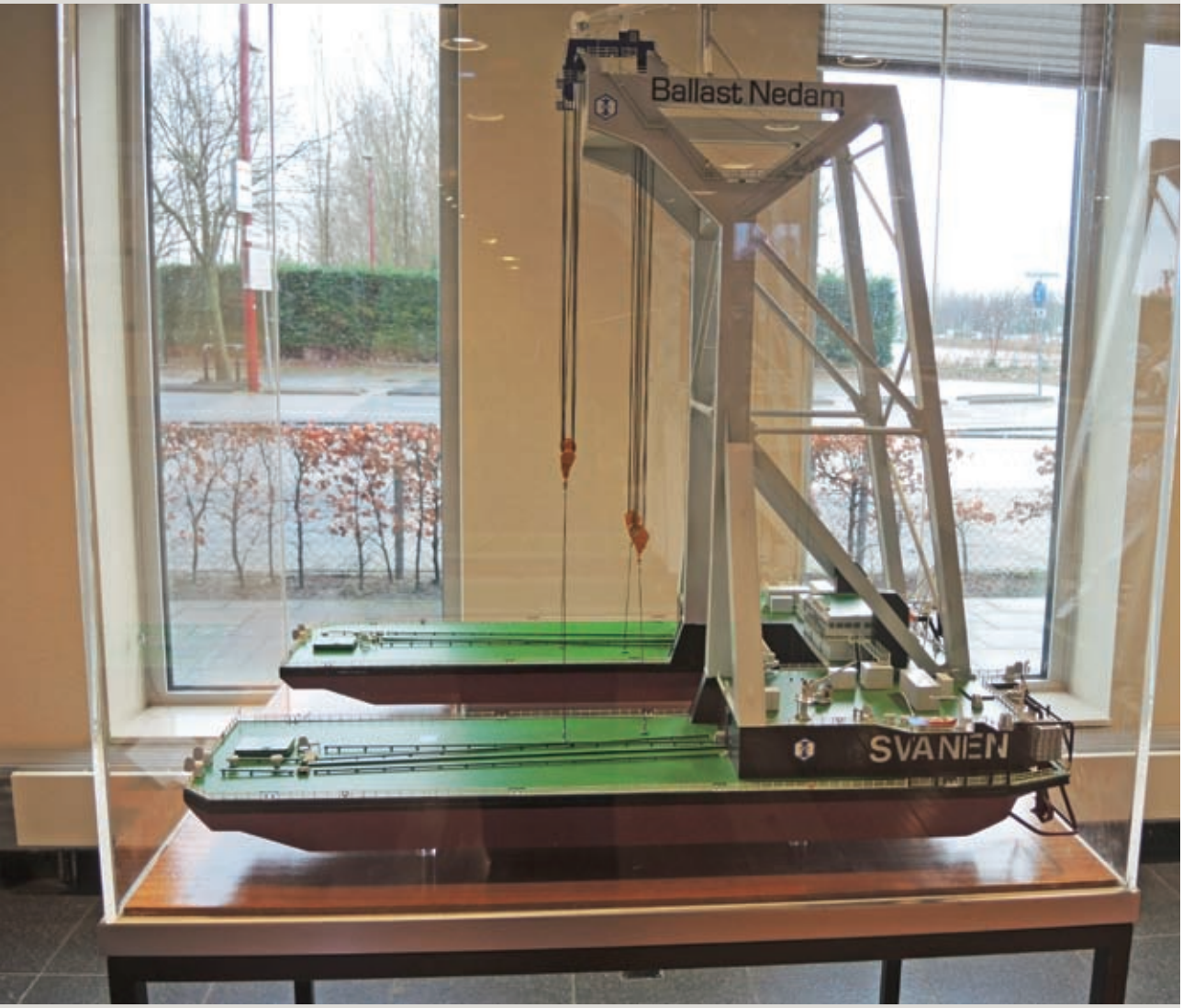


圖8 起重船 Svanen模型照片

八、 Mecal公司

Mecal公司業務主要包含兩大部分，一為風能產業，其二為半導體工業。關於風能產業主要服務包括：(1)風機設計(Turbine Design)：主要內容為風機概念設計、載重模擬及控制、最佳化、認證、機械設計、測量驗證；(2)勘驗(Inspections)：主要內容為施工完成勘查、保固結束勘查、週期性勘查、作為盡職調查(Due Diligence)的勘驗；(3)盡職調查(Due Diligence)：主要內容為風場開發、供應商選擇、營運中風場；(4)業主及銀行工程師(Owners' & Banks' Engineer)：主要內容為風機選擇、監造、O&M費用預測；(5)營運監控(Performance Monitoring)：如SCADA分析。

Mecal公司在討論過程中表示，考量目前亞洲地區的製造以及施工能力，管架式基礎在製造上雖然較為繁複，在亞洲地區仍有製造商可生產，而其在施工時所需採用的樁徑較小，可能是一個比較安全的選擇，若選擇單樁基礎可能會有無法施工的風險發生。

九、8.2 consulting AG公司

8.2公司為1995年成立於德國的管理顧問公司，服務項目包括風能評估、DD(Due Diligence)、技術勘查(Technical Inspection)以及風場管理顧問等等。

十、 Ramboll公司

Ramboll公司為丹麥第一大顧問公司，員工人數超過10000人以上，本次訪問邀集Ramboll英國分公司人員，會合於漢堡分公司。Ramboll公司設計離岸風場之風機基礎乃採用自行研發的程式ROSA(Ramboll Offshore Structural Analysis program)以及RONJA (Ramboll’s Offshore Non-linear Jacket Analysis programme)等配合ANSYS程式分析。對於基礎鋼板之規範初步建議採用歐洲規範，若採用API規範受限於規定內無高強度之鋼板，可能造成基礎尺寸不經濟。

十一、 Hochtief公司

Hochtief公司為工程統包廠商，可提供施工服務，集團子公司Leighton Offshore則可提供風場設計服務。Hochtief公司離岸風場施工曾參與Lillgrund、Alpha Ventus、Bard offshore1、Global tech1及Baltic 2等，為離岸風電施工經驗豐富之統包廠商，同時該公司也曾與前述Blast Nedam公司共同參加台灣高速鐵路的施工(HBP JV)，對於台灣的土木施工環境應甚為熟悉。討論過程中，Hochtief公司表示，單樁轉接段為目前基礎主要問題之一，依照DNV-OS-J101之建議，轉接段須以錐形(Conical)或剪力鍵銜接單樁基礎。單樁及轉接段示意如圖9所示，圖中在斷面需求較小的位置，即以漸變斷面設計，考量的是材料的節省以及受力斷面的縮減，在轉接段仍須以錐形之設計，避免基礎發生下陷的問題。

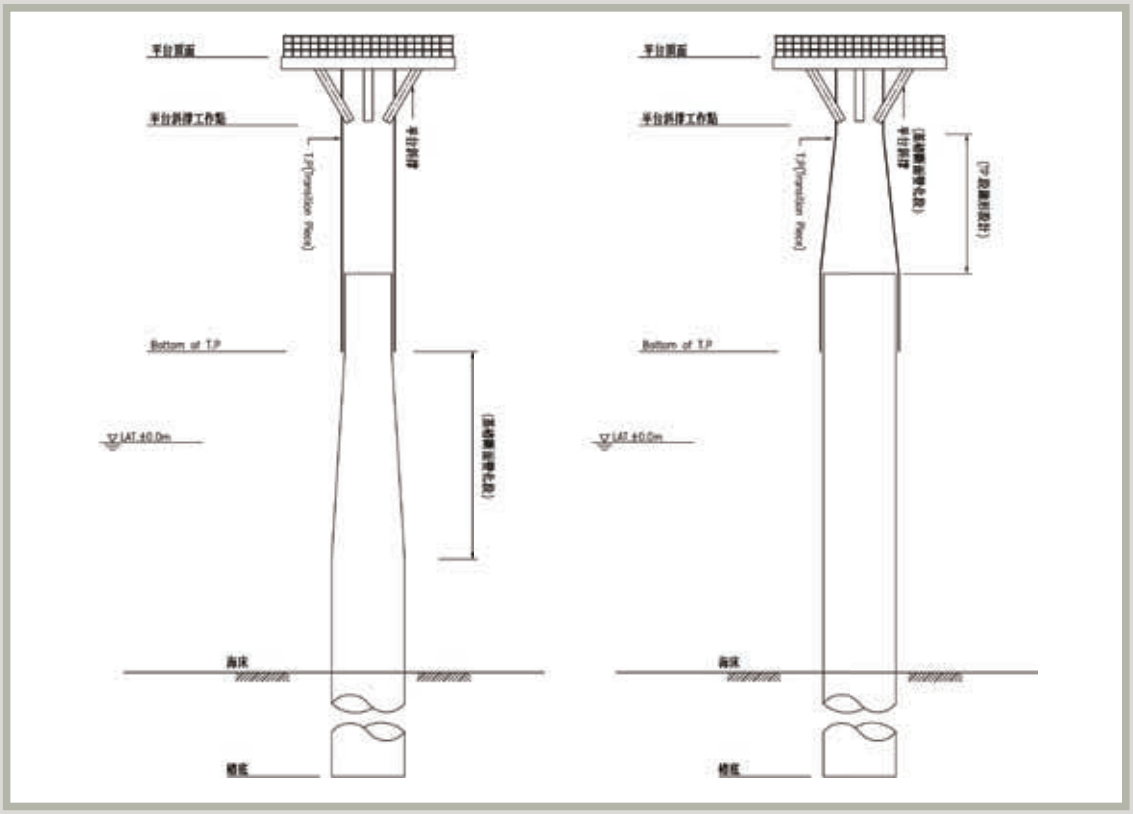


圖9 單樁及轉接段示意圖

十二、 NSW公司

NSW公司為海纜供應商，曾參與Rødsand II以及Alpha Ventus等風場。NSW公司表示，海纜生產訂貨至交貨時間(Lead Time)約需6個月左右，在裝船運送前通常需先預付10~30%海纜費用。海纜通常經由J-tube進入風機基礎，而在風機基礎與海纜的介面，受到海流的影響，常會產生土壤淘刷以及海纜渦擊振動的情形。前者會造成海纜的無支撐長度變大，產生額外的應力及變形而損壞，後者則是會造成反覆的震動產生疲勞破壞，這部分需要設計保護設施。此外，風機基礎亦有無J-tube的設計，這部分的海纜保護NSW公司最常與英國TEKMAR公司合作進行海纜保護設計及製造；另外值得注意的是漁業活動亦是造成海纜損壞的主要情形之一，例如拖網以及拋錨等，在海纜埋深不足的狀況下，即可能受到影響，海纜損壞時必須以整段或部分更換的方式，無法以水下修復的方式進行，亦即必須動員類似初期海纜佈設之船機規模，才有辦法完成修復的工作。

十三、RES公司

RES公司為風機運轉維護服務廠商，包括提供技術諮詢及維護技術人員等，目前主要業務在土耳其及德國境內風場，其員工有許多來自GE試運轉及調校工程師(Commissioning Engineer)。運轉維護的策略既是技術也是商業議題，需視開發商預期想要達成之規模、技術層級、初期投資成本等運維策略的規劃。RES公司表示目前西門子高階技術人員(High Level Technician)要價甚高，而且為了目前歐洲風場的安裝及其運轉維護，技術人員人力吃緊，因此建議亞洲地區的風場開發商應擁有自己的技術人員，可能會降低運維成本以及掌握相關技術能力。同時，在購買風機的時候，若開發商已有運轉維護策略，可以為談判增加籌碼。此外，在風機運維保固期結束之前的幾個月有許多的零組件損耗已經趨近必須更換的狀態，此時對於整體風場的風機逐一檢查，對於不正常損耗或是該更換未更換的零組件，可要求風機供應商更新，可保障開發商自身的權益。

十四、AREVA WIND公司

AREVA Wind 是法國 AREVA 核能電廠開發與製造商集團的子公司，在 2007 年從 Prokon Nord Energiesysteme 公司取得 MultiBrid GmbH 公司 51 % 股份，成立 AREVA Wind，專門負責開發 5 MW 離岸專用風力機的風力機系統。為了組裝運送方便及減少在海上組裝的步驟，風機工廠就設在Bremerhaven港。AREVA WIND 相當早就投入德國離岸風能市場，德國首座離岸示範風場Alpha Ventus共有 12 架風力機，其中有6架是 AREVA WIND 的 M5000，目前 AREVA WIND 在全歐洲已安裝及已簽約將安裝的風力機組總計超過120架。

目前AREVA WIND主要生產機種為M5000型，標稱發電功率5.0MW，係永磁式風機，其優點在於輕量化，包含機艙及轉子總重僅約350tons；其二可靠度高，利用永磁與一階增速的設計，齒輪箱增速比為1:10，可降低轉速、減少轉動元件數量以及減少軸承的損壞，同時所有關鍵的元件及偵測感應器都裝有備品，使維修工作容易規劃及效率加倍；第三為海洋環境的防蝕保護優良，利用裝設於機艙下方塔架內的空氣處理系統，過濾腐蝕的鹽份及水份，提供機艙內部形成一個完整且高於外部空氣壓力的環境，使得機艙的空氣不會直接由含有腐蝕成分的外界進入。

在Alpha Ventus 風場測試過程中，曾經出現變速箱嚴重的過熱問題，在裝設初期就必須更換零組件甚至更換整體機組，花費甚高。故目

前Areva在風機送至現場安裝前，機組必須在組裝廠先成套(包括機艙及下部控制儀器)同時連續運轉48 小時以上測試，送至風場時亦為同一機組進行安裝，可減少在海上測試的工作時間以及減少初期即需維護更換的費用。

在AREVA WIND試驗風場，風機塔筒高度約達130m，為了節省建造費用，設計考量採用兩種不同材質之結構，底部採用預力混凝土塔筒，上部採用鋼製塔筒，照片如圖10所示。廠房內不准許拍照，僅能在廠房外拍攝，機艙製

Areva風機

塔筒底上視

塔筒底內部配置

圖10 AREVA陸上試驗風場照片

造示意圖摘自網路如圖11，基礎及轉接段現場照片如圖12。

針對台灣的颱風環境，AREVA WIND表示在控制葉片的迎風面角度(Pitch System)可設置兩道電源裝置(包括電池以及緊急發電機)避免停機後無法供應電源，造成葉片損壞。目前AREVA WIND的風機仍未有長期的運維紀錄(Track Record)，存有不確定的風險，然其設計概念，有相當大的潛力成為未來主流的風機，值得國內風場開發持續評估，作為風場風機選項。

圖11 AREVA風機組裝廠房照片（資料來源:AREVA網站）

轉接段及基礎　　三腳管式基礎

圖12 AREVA廠房外塔架及基礎照片

肆、離岸風電設計之初步探討

有關離岸風電設計初步有下列幾點看法：

一、目前歐洲使用最廣泛的基礎型式仍是以單樁為最多，原因即是考量施工的速度，經濟性等條件，而單樁基礎在國內仍有製造能力以及船機能量等限制因素尚未解決。

二、雖然目前歐洲風場設計工作已臻成熟，但仍未有地震及颱風之經驗，這部分無論是歐洲設計顧問公司或是國內顧問公司都是一大的挑戰。

三、風場開發資金需求龐大，需要銀行的借貸，在此程序之下風場設計條件(如風況、地質、海況等)及基礎設計等常常都需要第三公正單位的認證，如何獲取有經驗的國外顧問公司的協助，順利完成設計工作，為目前國內顧問公司應仔細評估的項目之一。

四、依據目前參訪過的離岸風電開發設計顧問公司，以GL-GH(目前皆已經合併於DNV-GL)、RamboII以及COWI等公司對風機基礎規劃設計實績最為豐富，其中RamboII及COWI分別在ENR(Engineering News Records)2013年百大國際設計廠商排名24及35。

五、離岸風電規劃設計包括的範疇甚廣，由風場風能評估、到風機選擇、基礎設計、電網連接等，歐洲顧問公司多由油氣開採設計進入離岸風電設計，並累積20多年的經驗，值得國內顧問由目前的專業領域進入離岸風電設計之參考。

伍、結論

綜合歐洲離岸風電統計資料及參訪紀實結論整理如下：

一、風力發電已成為全球成長最為快速之再生能源，目前國內陸域可供開發風力發電場址有限且趨於飽和，離岸風場開發將提供台灣一個可行途徑。

二、歐洲開發的風場之中，單樁式基礎仍為採用最多的基礎型式，目前歐洲基礎製造商主要集中在丹麥及德國境內。

三、依據EWEA統計資料顯示，在2013年開發的風場採用的風機發電額定功率平均為4MW。每個風場開發的平均規模為485MW，平均水深為20m，平均離岸的距離約為30km。

四、風機運轉維護在開發初期即應考量在成本之內，相關之運轉維護策略亦應及早規劃，並且在風機採購時即有成熟的構想，並於契約內規定及要求。

五、風場的產能損失比可用率為更重要的一個指標。

六、在國內風場開發初期很難有足夠的施工規模提供國內施工廠商去投資船機，而由歐洲動員船機的費用則過高且船期難以配合；國內風場開發無論是基礎或是風機吊裝都將面臨無適合的國內施工船機，較可行的方式為由亞洲地區尋找可替代的施工船機。

七、基礎型式應考量自然條件以及製造及施工船機能量，初步可能的基礎型式為單樁及管架式基礎，整體費用仍以單樁為較經濟之方案。

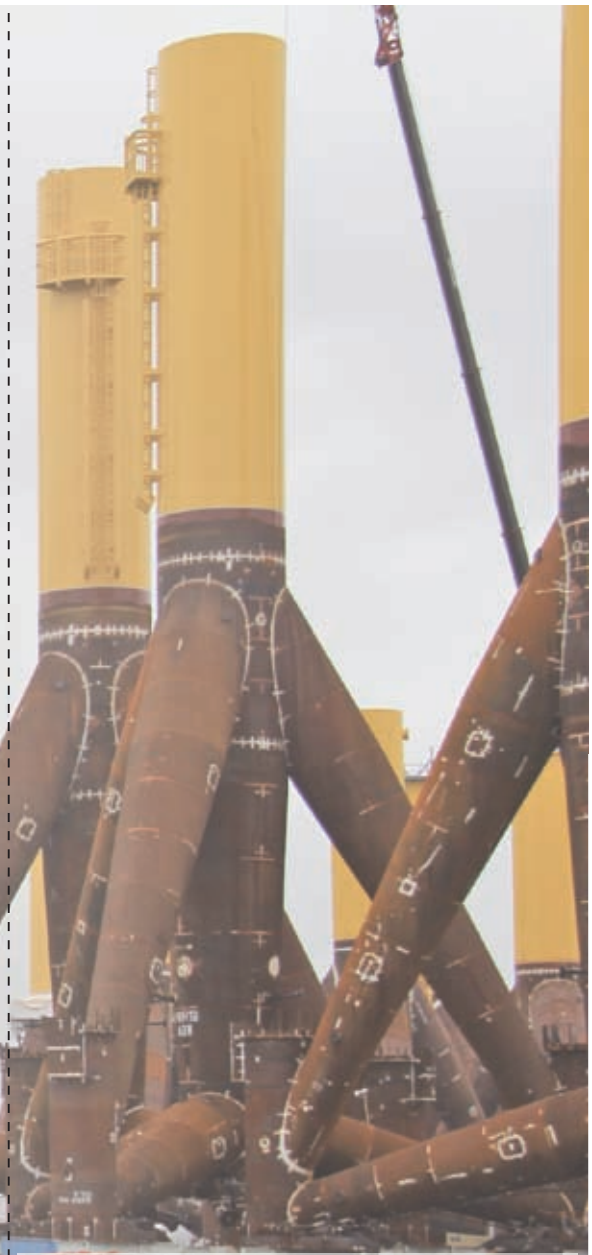
八、管架式基礎在製造上雖然較為繁複，在亞洲地區仍有製造商可生產，而其在施工時所需採用的樁徑較小，可能是一個比較安全的選擇，若選擇單樁基礎可能會有無法施工的風險發生。

九、離岸風電安全衛生目前國際規範依循GWO之相關指引，有相關的訓練及認證，在國內無論是政府法令規定以及相關擁有認證的人員，仍是很欠缺的一部分，應及早因應，以利未來在風場施工以及營運維護順利且安全的進行。

十、基礎鋼板之規範初步建議採用歐洲規範，目前國內包括中鋼公司尚無法生產符合歐規之鋼板，在亞洲地區則有日本、韓國及大陸地區的鋼板製造商可生產符合歐規之鋼板。

十一、單樁轉接段為目前基礎主要問題之一，設計須依照DNV-OS-J101之建議，以錐形(conical)或剪力鍵銜接單樁基礎。

十二、Siemens為目前離岸風電供應商的龍頭，有足夠的運維紀錄(track record)，技術成熟。AREVA WIND的風機則未有長期的運維紀錄，存有不確定的風險，然其設計概念，有相當大的潛力成為未來主流的風機，值得國內風場開發持續評估，作為風場風機選項。



參考文獻

1. European Wind Energy Association (EWEA), (Jan., 2005), "The European offshore wind industry key trends and statistics 2013"

2. AREVA網站:HTTP://WWW.AREVA.COM