

## 出國報告名稱：離岸風力機組施工、監造及電網聯結應用實習

頁數 \_\_ 含附件：是否

關鍵詞：離岸風力、基礎型式、工程管理

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、風力發電目前已是世界潮流，我國離岸風力亦具相當潛能，目前本公司正積極著手離岸風力發電計畫設置之規劃與推動，由於國內廠商較無此經驗，故有必要赴歐洲地區先進國家了解離岸風力施工、安裝及規劃等技術，為未來離岸風力發電施工監造及運轉維護預做準備。
- 二、本次出國主要赴丹麥 Siemens 公司、Vestas 公司、荷蘭能源研究中心 (ECN) 及荷蘭 Ballast Nedam 公司，實習觀摩有關離岸風力發電之規劃、設置、施工情形，以瞭解國外離岸風力發電發展及運用現況。透過上述實務經驗豐富的廠家參訪行程，學習離岸風力相關實務經驗，從中找出適用台灣地區之有利因素，以納入將來規劃、施工及營運時參考，以利本公司後續離岸風力建置任務推動，順利達成政府綠色能源目標。
- 三、此次前往實習參訪的兩家風力機廠家 (SIEMENS 及 VESTAS) 都位在丹麥，也是世界上在離岸風力機佔比前兩名的企業，為了解丹麥風力發電成功的發展經驗，除風力機廠家有關離岸風力規劃、施工及運維等技術資料外，也特別蒐集分析有關丹麥在再生能源及風力發電相關策略與措施，以供參考。
- 四、離岸風力建置趨勢，風場裝置容量及風機單機容量都漸趨大型化；離岸風力的風場水深及離岸距離也越來越大。
- 五、施工前完善的工程管理規劃，每個部門都清楚自己的角色與任務，展現優越的整體施工管理能力，可大幅節省施工時間，及讓興建成本大幅下降。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

# 第1章 緣由

## 一、出國目的

許多研究指出，使用化石燃料能源所排放的二氧化碳會造成溫室效應，而溫室效應的結果就是地球會慢慢發燒，造成極端氣候越來越多。

在聯合國氣候變化專家委員會（IPCC）曾發表評估報告指出<sup>1</sup>，從現在開始到 2100 年，全球平均氣溫可能升高幅度是 1.8~4°C，海平面也會因此升高 18~59 公分。屆時可能會有三分之一的物種瀕臨絕種，濱海的城市如紐約、上海等，可能因為海平面上升而淹沒。報告同時顯示氣候變暖的趨勢正在加快，可能帶來的結果包括極端天氣的增多、空氣移動（風）出現新的模式、某些地區乾旱加重、冰川融化、冰蓋萎縮、全球海平面上升等等。而這些影響使得氣候變的越來越奇怪，破壞的力量越來越大。

為避免地球持續發燒，降低 CO<sub>2</sub> 的排放成為世界各國一致努力的目標，根據 IEA2008 年預測，2050 年的全球二氧化碳排碳量，將可由於能源科技的進步，將由目前約 300 億噸減少到 140 億噸左右，其中在能源使用端的效率提昇佔 47%，發電效率提昇佔 7%，這兩者是減碳的關鍵共佔 54%，其次是發展再生能源佔 21%。我國也積極推動節能減碳政策，國家節能減碳總目標是短期 2020 年回到 2008 年排放量，中程 2025 年回到 2000 年排放量，長期 2050 年回到 2000 年排放量的 50%。而為達成國際減碳承諾原則，打造綠能低碳環境，逐步邁向非核家園等政策目標，馬總統於 100 年 11 月 3 日上午召開「能源政策」記者會宣示：政府將全力推廣「再生能源」並以「百萬陽光屋頂」及「千架海陸風力機」主要的推動政策。

根據聯合國氣候變化專家委員會（IPCC）2007 年發布的第 4 次氣候變遷報告顯示，自 1961 年到 2003 年，全球的海平面每年平均上升速率為 1.8 毫米。經濟合作暨發展組織（OECD）2007 年 12 月 16 日發表研究報告指出，全球溫室效應導致海平面升高問題，2070 年可能導致全球 136 個沿海城市，1 億 5,000 萬名居民，將活在淹水恐懼中成為「環境難民」。海平面上升也將對台灣宜蘭平原、台北盆地、桃園新竹沿海，以及自彰化以南的海岸平原地區，形成直接且嚴重的威脅與損害。

台灣大學曾于恆教授發表「台灣周圍海域海平面變化趨勢」研究報告，發現台灣的海平面每年平均上升速率達 2.51 毫米，為全球海平面平

---

<sup>1</sup> 2007 年 2 月聯合國氣候變化政府間專家委員會（IPCC）發表的第 4 次評估報告。

均上升速率的 1.4 倍。學者研究海平面若是上升 6 公尺，全台灣海拔 100 公尺以下土地，將有 25% 遭淹沒，「環境難民」將達 587 萬人，台南幾乎徹底淹沒；台北也將隨著從淡水河灌進的海水，讓所有的商業大樓、行政中心回到 20 萬年前的「台北湖」；而原本海平面高度只有 0.06 公分的高雄，更是直接滅頂，剩下「壽山島」<sup>2</sup>。台灣地少山多，如果溫室效應的情況持續惡化下去，我們的子孫該怎麼辦？

發燒地球所帶來的極端氣候現象，已經讓人類見識到它凶猛的力量，讓世界各國不得不重新檢視其能源的利用與規劃，並紛紛尋求新的替代能源，大家的目的都是一樣的，希望能為後代子孫留下一個可以安身立命、快樂生活的地球。

『能源』與民生融在一起，更與每個人日常生活息息相關，已經成為生活的一部份，所以平常大家都不會特別去注意它，只有在停電的時候，或漲價時，才會知道原來能源是如此的重要，在現在這時代，所有與民生相關的議題都與『能源』相關，沒有它，幾乎是寸步難行。

當大家熱烈在討論能源使用，所衍生的氣候變遷，對人類生命帶來的威脅時，另一個更嚴肅的議題是能源供給，對人類經濟與財產的影響。許多調查都指出，初級能源存量有限，而各國的能源消耗越來越多，可預見的將來，有一天人類能源的消耗會超過能源供給的最高產能。以石油為例，許多研究與專家都預測 peak oil(石油跨越最高產能)將在 2020 年到來<sup>3</sup>，圖 1-1 顯示從 1981 年來，全球 GDP 變化率幾乎與石油供需量的變化一致，當供給與需求失衡時，它對人類經濟及財產所帶來的衝擊更是劇烈。

---

<sup>2</sup>資料參考《天下雜誌》2007 年 4 月 369 期

<sup>3</sup>彭明輝（民 101 年）《2020 年台灣的危機與轉機》。聯經出版社。

## Oil Demand Correlates With Global GDP

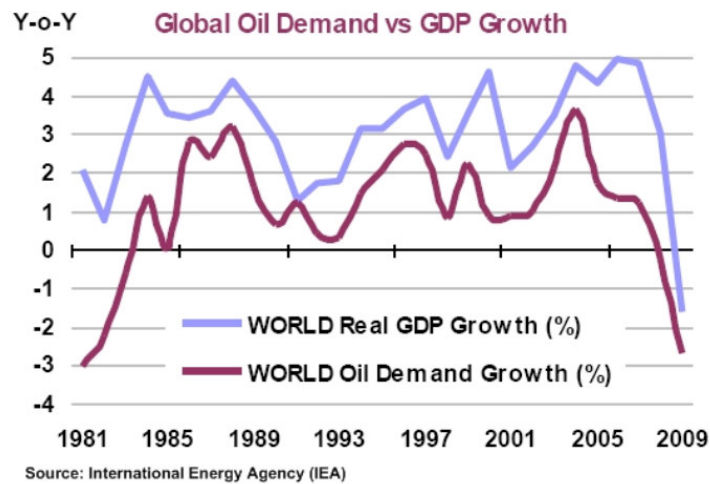


圖 1-2:全球實質 GDP 成長率與石油需求成長率比較圖

根據國際貨幣基金會與德國經濟研究院的預測<sup>4</sup>，peak oil 發生後的地 10 年，油價將上漲 126%~500%，全球 GDP 將下降 7%~14%，且全球經濟衰退的趨勢將持續至少 20 年。而台灣 99.4%的能源都靠進口，面對能源進口價格上漲、經濟衰退的衝擊與影響，更是輕忽不得，因為我們目前安居樂業的環境，都是建構在台灣的經貿可以持續成長，才有足夠的錢可以繼續向國外購買所需的能源，只是這樣的環境是存在著生存風險。

面對巨變的天候，每個國家都在找尋新的出路，在台灣我們也沒有缺席，我們用敬重謙卑的態度去看待大自然帶給我們的警訊，擘畫台灣長治久安的能源藍圖，台灣得天獨厚的天然環境裡蘊藏巨大的大自然財富，無論是風能、太陽能、地熱能及海洋能等，都是上天賦予我們的珍貴禮物，節能減碳已成為目前主流的能源策略，發展再生能源也成為台灣新的能源選項之一，我們期待這些藍圖實現時，會給台灣帶來巨大的成長動力，也會帶給我們一塊可以世世代代永遠安居樂土。

風力發電目前已是世界能源潮流所趨，我國離岸風力亦具相當潛能，目前本公司正積極著手離岸風力發電計畫設置之可行性研究，由於本處為本公司風力發電計畫之施工監造執行單位，而離岸風力發電計畫之設備、基礎、施工安裝、機組設備、施工期間檢驗/試驗及電纜佈設與登陸聯結等，國內廠商較無此經驗，故有必要赴歐洲地區先進國家了解離岸風力機施工、安裝及規劃等技術，為未來離岸風力發電施工監造及

<sup>4</sup>摘自彭明輝（民 101 年）《2020 年台灣的危機與轉機》。P26、P73

運轉維護預做準備。

本公司將配合政府政策推動離岸風力發電計畫，將由本處負責各項離岸風力發電工程之規劃及施工監造，本次出國主要赴丹麥 Siemens 公司、Vestas 公司、荷蘭能源研究中心(ECN)及荷蘭 Ballast Nedam 公司，實習觀摩有關離岸風力發電之規劃、設置、施工情形，以瞭解國外離岸風力發電發展及運用現況。

透過上述實務經驗豐富的公司研習，學習相關規劃、施工及運維等實務經驗，從中找出適用台灣地區之有利因素，以納入將來規劃、施工及營運時參考，進而建立相關技術人力，以利本公司後續配合政府再生能源政策推動，以達成政府綠色能源目標。

## 二、出國行程

起始日	迄止日	停留地點	工作概要
101.8.06	101.8.07	丹麥布蘭德	往程 桃園中正機場→荷蘭阿姆斯特丹機場→丹麥比靈斯機場
101.8.08	101.8.10	丹麥布蘭德 哥本哈根	研習離岸風力場址規劃、施工、運維等案例實習、參訪 Siemens 離岸風力機預組場及碼頭、參訪 Siemens 離岸風場
101.8.10	101.8.14	丹麥奧胡斯 蘭德斯	參訪 Vestas Technology R&D Center 研習離岸風力場址規劃、施工討論會議及參訪 Vestas 零件測試中心
101.8.15	101.8.17	荷蘭 阿姆斯特丹	參訪荷蘭能源研究中心 ECN，研習離岸風力設計及測試、Ballast Nedam 基礎形式、施工及相關技術實習
101.8.18	101.8.19		返程（阿姆斯特丹－台北）

## 第2章 研習心得

此次前往實習參訪的兩家風力機廠家（SIEMENS 及 VESTAS）都位在丹麥，也是世界上在離岸風力機佔比前兩名的企業，為了解丹麥風力發電成功的發展經驗，除風力機廠家有關離岸風力規劃、施工及運為等技術資料外，也特別蒐集分析有關丹麥在再生能源及風力發電相關策略與措施，以供參考，分述如下。

### 一、丹麥背景介紹

#### （一）丹麥基本資料

丹麥為君主立憲國家，自西元 950 年建立基督教王國至今，位於北歐各國之最南端，四面環海，氣候受海洋調節較為溫和，頗為乾燥。國土係由日德蘭半島及 406 個島嶼組成，較大島嶼為首都哥本哈根所在之西蘭島(Zealand)、芬島(Fyn)及羅蘭島(Lolland)，以及位於波羅的海中的柏紅島(Bornholm)，本土面積為 4 萬 3 千平方公里。丹麥人口總數約為 556 萬人。丹麥有全世界最悠久且涵蓋面最廣的社會福利制度，惠及所有國民，國家提供人民老年、殘障、生育、疾病、死亡及失業等各種津貼，提供免於各種恐懼及匱乏之保障，亦創造出極高之生活品質。

#### （二）丹麥能源改變過程

1970 年以前，丹麥曾經是 99% 的能源消費依賴進口，在第一次石油危機（1973~1974）爆發後，丹麥政府開始警覺到能源結構與國家的生存風險息息相關，為了國家長治久安，丹麥政府開始研究並提出適合丹麥的能源發展策略，期間透過 1. 大幅度改變能源供應結構、2. 提高能源使用效率、3 積極開發再生能源和清潔能源等策略，經過一段時間的努力後，丹麥的能源自給率在 1990 年即上升到 50% 左右，1997 年達到 100%。從此以後丹麥的能源供應大於需求趨勢增幅越來越大，到 2005 年能源自給率已高達 156%。由於重視能源結構調整和再生能源、清潔能源的開發利用，二氧化碳等有害氣體排放量逐年減少，生活環境也改善了。丹麥經過這段時間有計畫的探索及推動，丹麥在風力發電、秸稈發電、超超臨界鍋爐等再生能源和高效能源技術方面形成了獨特的經驗，也讓丹麥成為世界公認將能源問題解決得最好的國家之一，對於未來能源的挑戰充滿信心。丹麥在能源改革的努力，正為其國家帶來美麗豐碩的未來。

丹麥政府面對能源危機時，其思考的是如何讓它成為國家永續生存的轉機，故在能源危機時，丹麥政府透過策略分析，認為從長遠來看，其國家的能源將面臨三大挑戰：

一是能源供應安全問題。由於世界對能源需求日增，國際預測到2030年世界能源消耗量將比目前增加60%，但石油供給越來越集中在政治不穩定的少數地區，丹麥既要保持經濟成長，又要面對不穩定的能源價格，所以需要尋求更安全的能源供應，已成為國家最重要的議題之一。

二是全球氣候變遷。要想實現京都議定書和氣候公約所確立的目標，需要減少溫室氣體特別是二氧化碳的排放，所以更有效率的使用能源及開發再生能源減少二氧化碳的排放，成為能源策略方向。

三是經濟成長和發展的需要。由於全球化使得國際競爭更加激烈，丹麥企業必須保持國際競爭力，其中包括高效率地利用能源。另外，能源研究和技術需要儘快轉化為生產能力為國家創造更多的就業機會。

經過多年驗證，丹麥能源政策已經取得了突出成果。丹麥由原來的純石油進口國變為石油天然氣淨輸出國、單位GDP能耗歐盟最低、可再生能源在發電中所佔比重歐盟（世界）最高、擁有世界頂級清潔煤燃燒技術，等等。今後，丹麥能源策略和政策的方針是：促進能源供應的多元化，充分利用國內資源，通過熱電聯產等提高能源使用效率，鼓勵節約能源，發展可再生能源。

這些努力使得丹麥原本每年要發很多錢去向其他國家購買能源，現在這筆錢可以省下，不僅這樣由於能源結構的改變，使得丹麥成為能源輸出國，這筆省下的錢不僅讓國家更富有、社會福利更好、自然環境更好及讓國家免除生存風險。

### （三）丹麥再生能源政策<sup>5</sup>

2005年6月丹麥政府發佈了《2025能源發展策略》，作為政府的長期能源發展策略規劃，該發展策略對2025年前丹麥的能源發展做出了規劃和評估。丹麥沒有可用於發電的水力資源，且因社會大眾反對，在上世紀80年代初已決定不發展核能。丹麥政府衡量該國實際情況，決定丹麥今後能源發展的重點是可再生能源和新能源。

丹麥於2007年發布『2025年丹麥能源政策展望』，隨即於2008年2月與各議會簽訂丹麥《能源政策協議》，為再生能源及節能，規劃出一宏大的目標，例如，在2011年的能源消耗總量與2006年相比，應減少2%；2020年能源消耗總量比2006年減少4%；到2011年，丹麥的能源總消耗中再生能源應至少佔20%的比重。

能源政策協議裡包括了促進風力發電發展的激勵機制；丹麥環境部

---

<sup>5</sup> 資料來源：[www.ens.dk](http://www.ens.dk)



長應代表政府與地方政府締結促進地方風力發電規劃的協議，讓地方政府能落實陸上風力發電的規劃目標；丹麥能源署設立風力發電秘書處協助地方政府制訂風力發電的規劃。並達成在2012年底前有400MW的新建海上風電場完工發電規劃。

促進風力發電發展的激勵機制主要有：

1. 對於新安裝的陸上風力發電機在 22,000 小時的滿載發電的併網價格補貼，每度電補助增加了 0.25 DDK（克朗），且原有的每度電 0.023 克朗的設備成本補貼政策仍繼續執行。
2. 為促進老舊小風力機報廢，訂定報廢計畫並在其中訂定給予最高 12,000 滿載時數裡，每度電給予 0.08 克朗的額外補貼等。
3. 政府規劃在 2010 及 2011 各增設 75 MW 風力發電機組。
4. 推出一系列促進地方政府接受風力發電建設：如資產損失賠償機制、居民參予入股、設立保證基金擔保、綠色機制改善景觀衝擊。
5. 總裝置容量 400 MW 的海上風電正招標執行中，預計 2012 年發電。
6. 重新修訂 2008 年通過的海上風力發電行動計畫；政府正展開國家海上風場先期場址選擇作業；透過公開的程序展開新的海上風電開發指南。

經過以上努力丹麥在風力發電的裝置容量及裝機數在歐洲都是僅次於英國，分別佔 23% 及 29% 如圖 2-1<sup>6</sup> 及 2-2<sup>7</sup> 所示。丹麥發展風力發電的成功經驗值的借鏡參考。

---

<sup>6</sup> 資料來源：EWEA\_stats\_offshore\_2011\_02

<sup>7</sup> 資料來源：EWEA\_stats\_offshore\_2011\_02

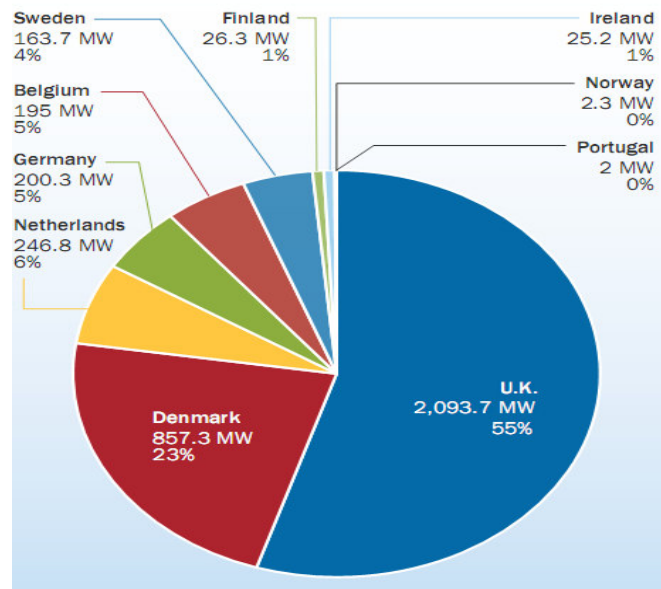


圖2-1：INSTALLED CAPACITY:CUMULATIVE SHARE BY COUNTRY AT END 2011 (MW)

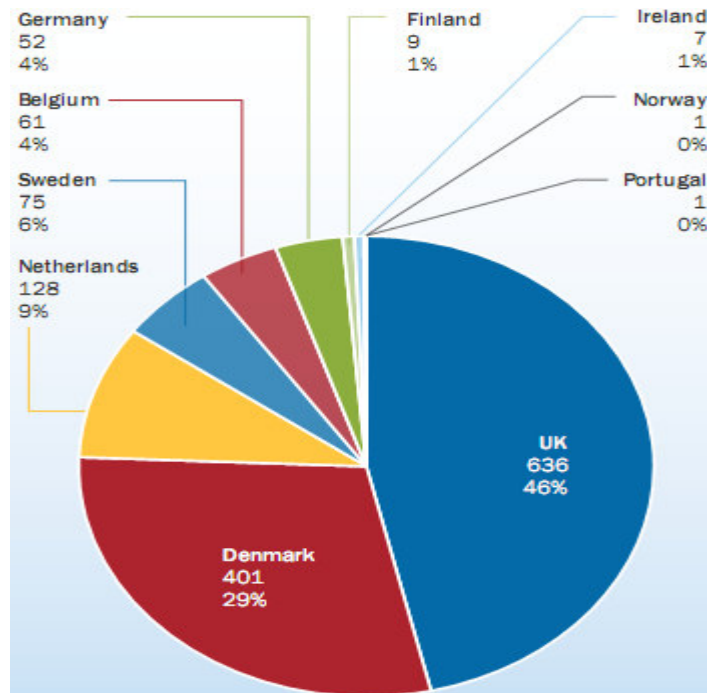


圖 2-1：INSTALLED TURBINES: CUMULATIVE SHARE BY COUNTRY AT END 2011

#### (四) 丹麥再生能源促進法<sup>8</sup>

丹麥自 1970 年代石油危機後開始推動新能源政策，1999 年於電力供應法增列環境友善電力專章，保障再生能源電力價格及市場，丹麥《再生能源促進法》2009 年 1 月 1 日開始正式生效，其內容包括：再生能源發電的價格補貼、風力發電機組的技術要求和安全要求、以及對海上風

<sup>8</sup> <http://www.ens.dk/en-US/supply/Renewable-energy/WindPower/Documents>

力發電機組的特別規定條款。該法全文計 56 條<sup>9</sup>，與風力發電相關的條文有一半以上，從丹麥歷年推動再生能源的策略觀之，其主力發展適合國土資源及具經濟效益的風力政策始終如一，並成功帶動產業發展。

2008 年 2 月 21 日的《能源政策協議》要求這些條款應該統一《再生能源法案》中，此項協議簽訂之後，為了提升當地居民對風力發電的接受度和讓更多人參與陸上風力發電的建設，此法案涵蓋了 4 個新機制。

1. 新的風力發電廠周遭民眾財產損失補償機制；
2. 當地居民參股機制；
3. 政府當局給風電廠所在地提升景觀及旅遊價值的綠色機制；
4. 給通過初步調查的當地開發商提供的擔保機制。

以上這些機制都由丹麥國家電網公司負責執行。茲分別說明如下：

#### 1. 財產損失補償機制：

任何一新的風力發電機組，包括非政府招標的海上風力發電機組，其安裝高度在 25 米以上，如果風力發電廠的建設導致任何居民不動產價值的損失超過 1%，則開發商必須向受損者賠償所有的財產損失。同時為了讓周邊民眾能夠了解風力發電的影響，開發商必須準備好各項與工程有關的資料，並邀請民眾參加公聽會。這些資料必須包括一個清單，列明所有位於風力發電機組總高 6 倍距離內的不動產。丹麥國家電網公司必須審查這些資料是否正確。

#### 2. 當地居民參股機制：

風力機高度在 25 公尺以上之風場，其開發商應釋出至少 20% 股份予當地居民認購。凡是具有丹麥永久居留權並滿 18 歲的居民，其居住地點距離風場不超過 4.5 公里或位於風場所在城市者，均有認購的權利。為確保當地居民擁有充分有效的決策資訊，開發商必須提供風力發電廠有關營運資料和財務狀況的訊息。

#### 3. 綠色機制

地方政府得向國家電網公司申請風場專案推廣補助，宣導開發風場之效益，補助款以風力發電機 1 年發電量核計，每度為 0.004 克朗。

#### 4. 擔保機制

由國家電網公司設立 1 千萬克朗作為擔保基金，旨在協助各地風電業公會或其他創始團體順利取得融資，俾其能進行籌設風力機所必需的先期研究調查。該機制每案最高擔保金額為 50 萬克朗。

---

<sup>9</sup>陳艷茹（2012）。丹麥再生能源促進法介紹  
導 3 月號。

## 二、丹麥海上風力發電實施概述

丹麥海上風電能源政策起始於了 1996 年，當時丹麥政府在“Energy 21” 制定了 2030 年 4000MW 的目標。由於風力發電已在陸地上廣泛的推動及朝向大型風力機發展，所以丹麥政府修改了海上風力發電的目標，以達到在 2030 年以 1990 年 CO2 排放基礎，削減 50% 以上的目標。並在在 2004 年『能源發展策略 2025 年』報告中，其交通能源部(DTE)更認為未來丹麥風能主要發展方向在海上。

2011 年 3 月 15 日丹麥首相拉斯穆森(Lars Rasmussen)在美國華盛頓一場研討會表示，日本因地震引起的核能危機毫無疑問將對歐洲各國的核能發展戰略產生巨大影響。在研討會上，拉斯穆森揭露丹麥的能源發展計畫，丹麥預計在 2050 年時將不再依賴化石燃料，而離岸風電和提高能源利用效率是未來能源發展的關鍵。丹麥政府對於風場建設之執行極具效率，例如 2005 年目標是達到 1,500MW 裝置容量，但早在 1999 年中即已達成，而 2030 年達成 5,500 MW 的目標（其中 4,000 MW 來自離岸風力發電）並占總用電量的 50%，極可能也可以如期完成，最終達到 2050 年全國不使用化石燃料之目標將指日可待。

有關政府部門分工上，為推動海上風力發電，丹麥政府在 2003 年任命能源署(Danish Energy Authority, DEA)作為推動再生能源的單一窗口，它擁有招標、選址、環境影響評估、核發建設許可等職責與權力。其程序大致如下：開發商在協商招標時根據選擇的場址點各自投標，丹麥能源署（DEA）則負責審查及批准程序，並在這個過程中諮詢其它政府相關部門。審查及批准程序包括基本的財務，法律和技術資格的預先審查，通過審查的開發商可遞交投標價格，能源管理局再和參與投標的申請人進行協商，並根據每 kWh 賣電價格、場址地點和計劃的可信度進行選擇那家開發商可以得標。得標的申請人獲得勘測海域和調查風能資源的許可，同時也必須進行環境影響評估(EIA)。在繳交完整報告和環境影響評估(EIA)後，等候公眾諮詢程序。諮詢程序之後，施工許可證持有人須提出詳細的開發項目說明，以證明所有內容都可實現，如果所有項目都滿足要求，DEA 將允許開發商安裝風力發電機，另外風電場必須開放做實驗性研究。

有關財政支持方面，當前丹麥對再生能源採取發電補貼、能源稅、CO2 稅的豁免優惠措施及綠色機制以鼓勵風力發電推動，所以投資海上風電場可獲得優惠賣電、免稅和綠色認證帶來的可觀的收益。

在電網建設方面，在風力機間之電網由開發商負責，包括風力機到海上變電站之間電纜、海上變電站和陸上高壓電網的連接由電網傳輸系統運營商(TSO)負責建設，費用來自向消費者徵收的電力傳輸稅。海上風電的電網由 TSO 建造，成本由丹麥民眾分擔，海上風電場電網由 System

Operator 和電網傳輸系統運營商 TSO 管理，但相關電網和必要的容量增加由 TSO 統一規劃。

由於開發商在協商投標時只需要同一個機構談判，即丹麥能源署 (DEA)。這種單一窗口式的服務，讓開發商在獲取許可時給予了很大便利，而丹麥能源署 (DEA) 嚴格管理招標過程，使廠商們之充分競爭，因而可以確保政府獲得較低價格和推動企業創新。

### 三、丹麥離岸風力計畫執行現況

在離岸風場的建置上，丹麥於 1991 年建置世界第一座離岸風電場 Vindeby，共計 11 座 450kW 風力機組。1997 年丹麥政府提出「離岸風電行動規劃 (Danish Action Plan on Offshore Wind)」，表明往離岸發展將可提升丹麥風力發電產業競爭力，並規畫出 5 座示範風場，總裝置量 750MW。由政府制定 5 家電力開發商負責，且必須為後續技術發展、經濟和環境等層面之影響研究提供資料。2001 年丹麥政府將此計畫之示範風場由 5 座縮減為 2 座。

於 2001 年在哥本哈根外海完成首座大型商業化 Middelgrunden 離岸式風力發電場，共有 20 座 2 MW 的風力機組。

在 2004 年宣布了為 2 個大型的海上示範發電場招標 (Horns Rev II 及 Rødsand II)，每個場址的裝機容量為 200MW。其中 Horns Rev II 風場於 2009 年 9 月正式商轉，該風場位於北海 距離丹麥日德蘭半島 (Jutland) 30 公里處，共有 91 座離岸風力發電機，總裝置容量高達 209MW。而 Rødsand II 離岸風場於 2010 年 10 月正式商轉，此離岸風場位於波羅的海距離羅蘭島 (Lolland) 約 10 公里處，共計有 90 座 Siemens 2.3MW 離岸風力發電機，總裝置容量達 207MW。

丹麥是全世界第一個設置離岸風場的國家，目前丹麥離岸風場可分為三部分，包括運行中、已批准執行 (建造中)、以及計畫中的風場。運行中的風場總計有 12 座，總發電量達 815MW，已批准之計畫有 2 座風場，總發電量為 436MW，然而開發區域等計畫項目總計有 21 案，每一開發區發電容量都達到 200MW 以上，如果將計畫中的風場也都計算在內，全數建設完畢後丹麥的離岸風力發電場總容量可以達到 7576MW，將遠超過預計 2030 年風能產量 5500MW (其中 4,000MW 來自離岸風力發電) 的目標。請參酌表 2-3-1、2-3-2、2-3-3。



圖 2-3-1 丹麥離岸風場分布圖<sup>10</sup>

表 2-3-1 目前運轉中的離岸風力發電場

計畫名稱	安裝水深	離岸距離	總發電容量	目前狀況
Tunø Knob	7m	5.5km	5MW	運行中
Vindeby	4m	1.8km	5MW	運行中
Sprogø	16m	9.3km	21MW	運行中
Horns Rev 1	11m	17.8km	160MW	運行中
Horns Rev 2	17m	32.6km	209MW	運行中
Samsø	13m	3.8km	23MW	運行中
Rønland	2m	0.1km	17MW	運行中
Rødsand 2	12m	8.9km	207MW	運行中
Nysted	9m	10.7km	106MW	運行中
Avedøre Holme	2m	0.4km	11MW	運行中
Middelgrunden	6m	4.7km	40MW	運行中
Frederikshavn	4m	3.1km	11MW	運行中

表 2-3-2 已批准的離岸風力計畫

計畫名稱	安裝水深	離岸距離	總發電	目前狀況
Anholt	17m	未定	400MW	已批准
NearshoreLAB	19m	7.9km	36MW	已批准

<sup>10</sup> 資料來源：<http://www.ens.dk>

表 2-3-3 未來計畫的離岸風力計畫

Area	Park	MW
Krigers Flak A	K2,K3,K4	600
Horns Rev A	HR3,HR4,HR5	600
Rønne Banke	RB1,RB2	400
Jammerbugt A	J3,J4	400
Ringkøbing Fjord A	RK1,RK2	400
Horns Rev B	HR6,HR7	400
Ringkøbing Fjord B	RK3,RK4	400
Krigers Flak B	K1	200
Ringkøbing Fjord C	RK5	200
Jammerbugt B	J1,J2	400
Store Middelgrund	MG1	200

#### 四、SIEMENS 公司能源業務介紹

此次到丹麥的 SIEMENS 公司實習參訪，非常感謝 SIEMENS 台灣分公司 Mr. Lu, Tony 及亞太區銷售總裁 Mr. Gleerup, Mikkel 兩位先生的協助，安排在丹麥所有西門子公司的參訪行程，讓我受益良多，相關內容介紹如下。

##### (一) SIEMENS 公司 能源部門

共有六大業務範圍：石油天然氣、石化、燃料發電機、風力部門、太陽光電及水力、能源服務、電力及電纜相關設備等，如 4-1-1 圖所示。



© Siemens Energy, Inc. 2012

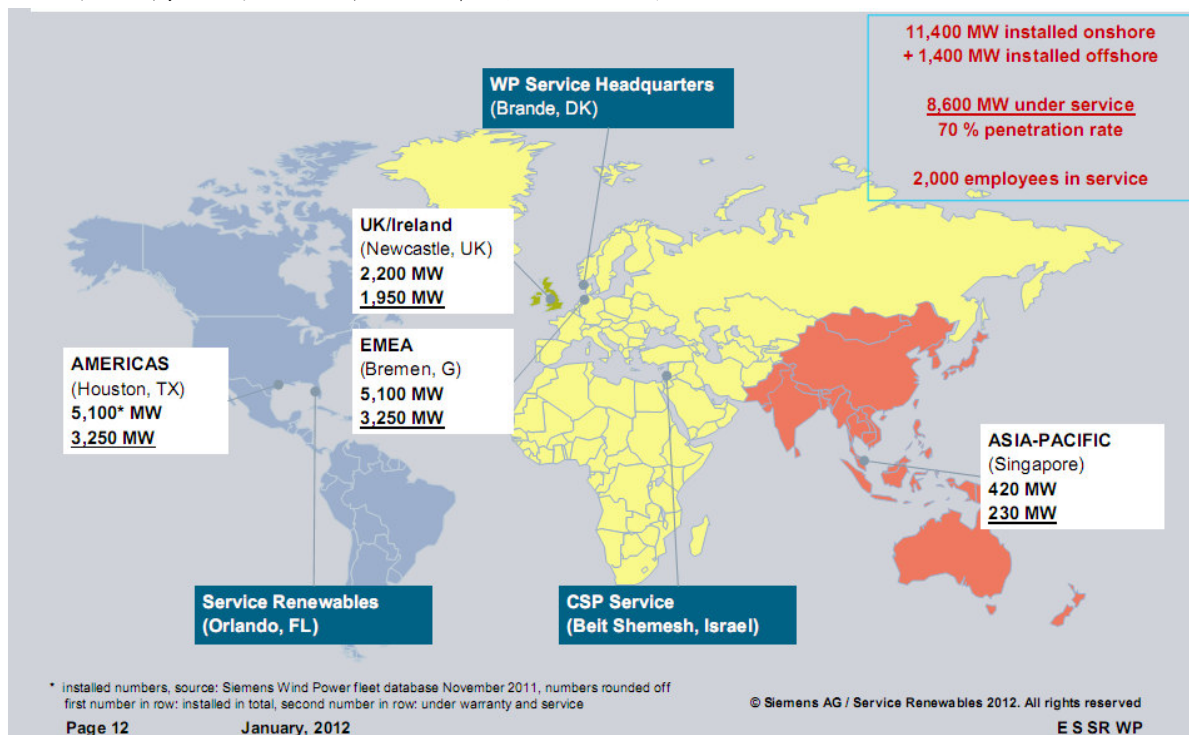
圖 4-1-1 SIEMENS 能源部門共有六大業務範圍

## (二) SIEMENS 能源部門 中的風力業務範圍

在風力業務範圍主要涵蓋三大部分：風力發電機組、驅動技術、及電力傳輸等。其中風力發電部份包含風力機葉片、機艙、風力機相關設備、風場規劃、風力機安裝、試運轉及風力機組的運轉維護等工作；驅動技術部份包含定速或變速的發電機、齒輪箱等；電力傳輸部分則包含中壓、高壓開關，各類變電站及變壓器設施、各類中壓及高壓電纜生產與敷設、高壓直流及高壓交流併網等。

## 五、 SIEMENS 公司離岸風力發電發展情形

西門子公司截至目前為止岸上風力發電機組已安裝 11,400MW，離岸風力發電機組已裝置 1,400MW，全球目前約 8,600MW 風力機組受西門子公司在運轉服務中。詳細分布圖如 5-1 所示。



圖：5-1 西門子公司截至 2011 年安裝及運維數量。

### (一) 離岸風力機組

目前西門子在離岸風力機組上主要的機種是 2.3 MW 系列、3.6 MW 系列及 SWT-3.0-101 直驅式(Direct Drive)風力機。風力機設計上強調葉片整體製造、風力機負載控制技術 (TLC) 風力機運轉情況監測 (TCM) 及 NetConverter®技術等。

，如圖 5-1-1 所示。



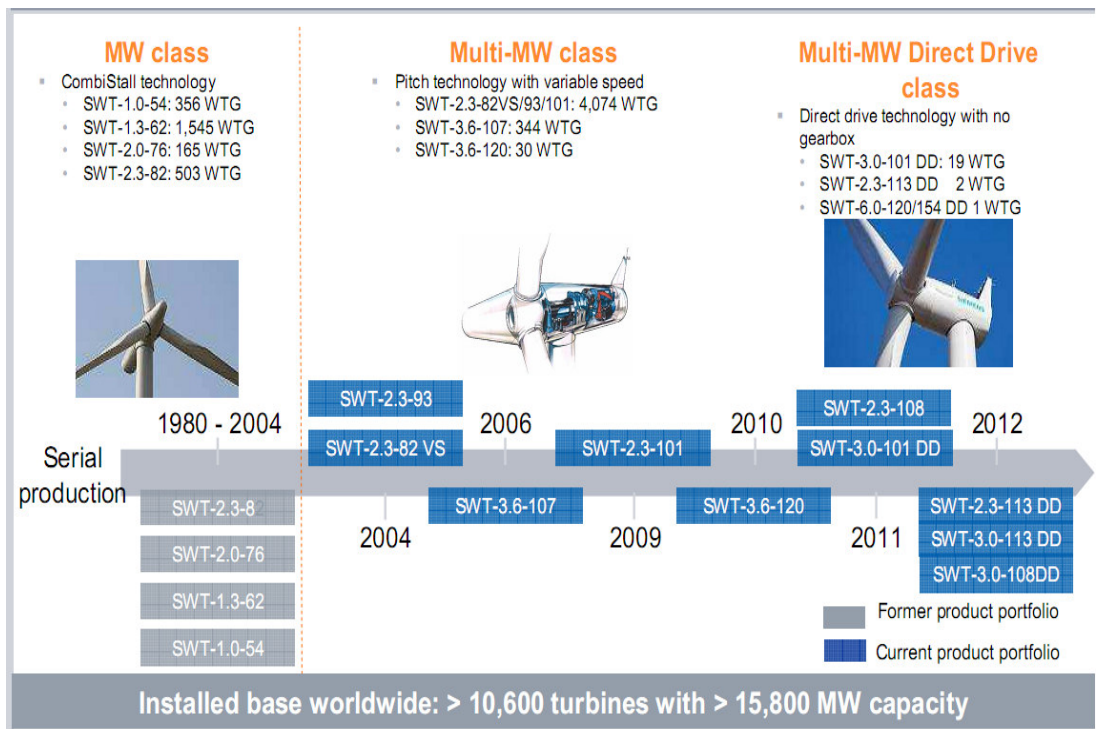


圖 5-1-1 2.3 MW 系列、3.6 MW 系列及 SWT-3.0-101(Direct Drive)風力機

而 2011 及 2012 年推出的 SWT-3.0-101DD；SWT-2.3-113DD、SWT-3.0-113DD 及 SWT-3.0-108DD 等直驅式風力機，為因應將來離岸朝向降低成本、減少維修、加大輸出及大型化等趨勢，西門子公司繼續準備推出 6MW 的直驅式風力機，目前已在丹麥裝設一台原型機進行測試認證中。

## (二) SWT-3.6-107 系列產品升級

另外在目前主力的 SWT-3.6-107 系列，西門子公司從 2004 年推出第一代產品後，累積 6 年的運轉經驗於 2010 年進行新的品質改善測試，並於 2011 年進行產品昇級推出第二代 SWT-3.6-120，西門子公司仍將稟持不斷的透過測試及認證等學習過程，繼續提升產品品質及性能，預計 2014 年推出 SWT-3.6-120 及 SWT-3.6-107 第三代系列產品，並將於 2015 年再次將產品升級推出 SWT-3.6-120、SWT-4.0-120 及 130 等新機型，其產品提升演進如圖 5-2-1 所示。

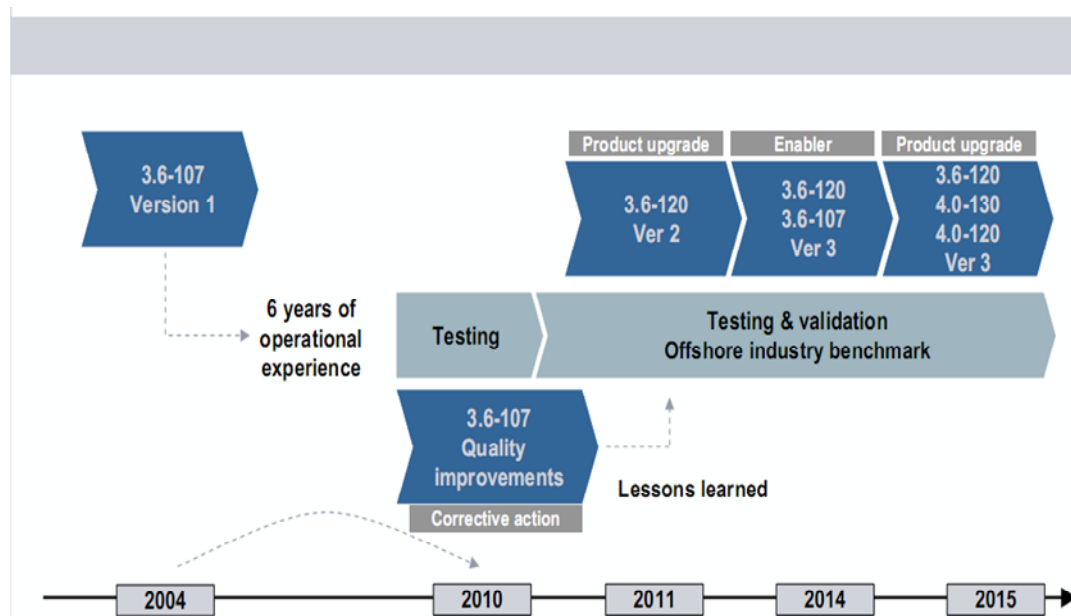


圖 5-2-1：西門子 SWT-3.6-107 產品提升演進

## (三) 西門子風力機提升性能簡介

為使顧客能獲得更多電能產出西門子分別針對電力產出提昇、可用率增加、延長壽命、效率改善及可靠度改善等進行改良，其具體作為有透過葉片加裝增加旋轉能力的導片、改裝超音波風速計、潤滑油粒子偵測器及提升遙控系統等。

#### (四) 優越的葉片設計技術

西門子公司對於自身生產的風力機葉片性能及產品品質相當自豪，特別強調截至目前為止，在陸上及離岸風力機沒有一支葉片受損。西門子公司葉片是由其公司專利的 **IntegralBlade®** 技術所製造。葉片使用一個封閉的一體成型製造過程完成，製造時加強的玻璃纖維材料被佈置乾燥使用特殊成型安排與一個封閉的外模，和一個擴大的內模。一層層玻璃纖維壓型後在真空下注入環氧樹脂，注入後，葉片是在一個較高的溫度下硬化，此時葉片仍然在模具中。一旦葉片硬化後，先除去外模，內模則用真空方式吸附從葉片內拉出。由於葉片是一體成型製造，所以性能優越諸如：擁有良好的強度及回彈力、沒有膠合點可避免彎曲時產生裂縫及減少水氣進入、而優越的空氣動力設計使得葉片在產出及噪音表現也很優越。



圖 5-4-1 葉片製造情形

#### (五) 各類零件可靠度測試

為提高葉片可靠度，西門子公司特別規劃設計相關葉片測試實驗室，驗證葉片設計是否符合需求，以確保葉片的性能、壽命及產品的可靠度。相關葉片可靠度測試設備如圖 5-5-1 所示。



圖 5-5-1 葉片可靠度測試設備

為提高機艙的可靠度，西門子公司透過各地風力機實際的運轉經驗，回饋各類經驗數據資訊，透過實際的模擬測試，不斷的修正設計參數，以求機艙產品有最好的性能及可靠度。相關機艙可靠度測試設備如圖 5-5-2 所示。



圖 5-5-2 機艙可靠度測試 1

在 Yaw 軸承、機艙床架及主軸承等主要零部件，西門子公司也設計各類測試設備及實驗室，加以驗證各項設計參數，是否符合需求，透過實際測試過程，不斷調整，以求 Yaw 軸承、機艙床架及主軸承等主要零部件，有最好的產品可靠性。相關測試設備如圖 5-5-4 所示。

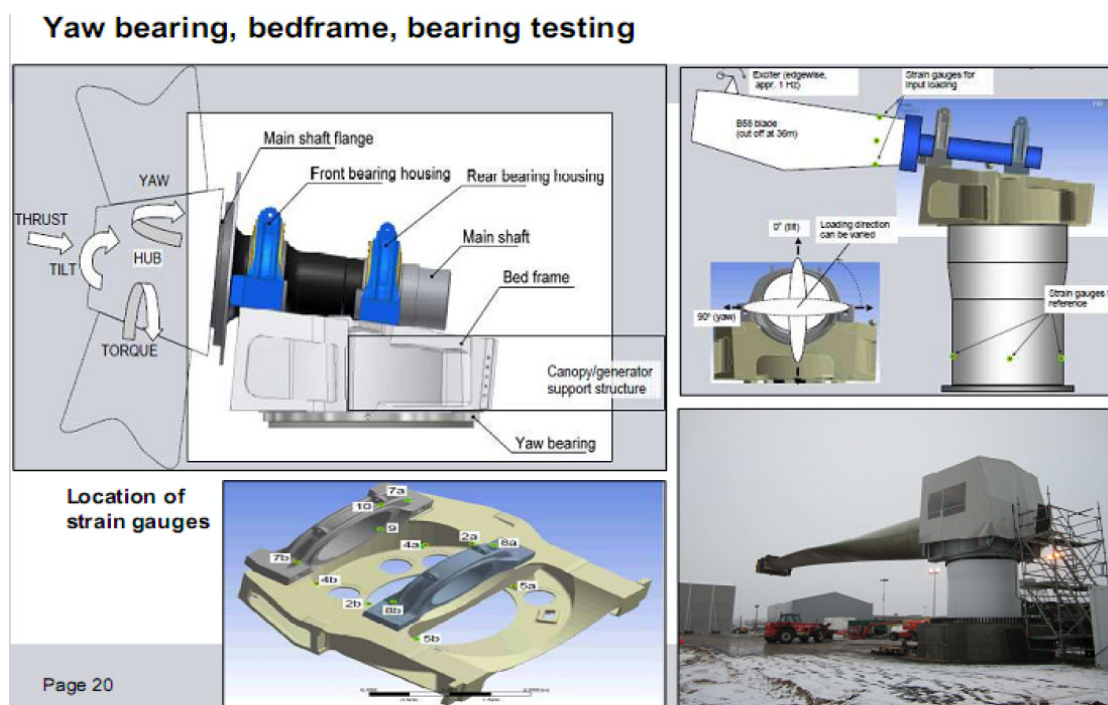


圖 5-5-4 Yaw 軸承、機艙床架及主軸承可靠度測試

#### (六) Power Curve 提升

西門子公司除了優越的葉片設計外，與製造外，為提升風力機產能，特別透過空氣動力分析證實有效後，進一步在葉片加裝一些提升空氣動力的元件 DinoTail 及 DinoShell 等，如圖 5-6-1 所示。這些元件可增加發電量、提高風力機負載控制及讓風力機在高風速運轉更好。2004 年經實際安裝在 SWT-2.3-93 風力機上，實際運轉證明可每部機每年可提高 1.5% 的發電量，目前此項元件已普遍應用在陸上及離岸風力機的葉片上。



圖 5-6-1 葉片提升 Power Curve 改進

### (七) 風力機運轉情況偵測系統 (Turbine Condition Monitoring) TCM System

風力機運轉情況偵測系統 (TCM) 是西門子公司非常自豪的一套風力機標準配備，這套系統可以把不預期的故障維修變成可以預期及計畫安排，可以把浪費在不預期故障維修的時間降低，可以確保風力機在高風速的運轉，可以使能源的成本最經濟，這套早期的故障偵測與診斷，可以預先安排維修時程，避免故障情況繼續擴大。

第一套 TCM 系統在 1998 年安裝實測成功後，目前已經有超過 4500 台的西門子風力機，安裝這套預先診斷系統，運轉成效良好。西門子公司認為 TCM 系統 24 小時的監看風力機，才能讓西門子公司可以遠端遙控診斷風力機的故障情形。尤其在離岸風力機 TCM System 這項設備更是重要。

TCM 整套系統是由 SVM sensor、M-system、MCM accelerometer 這三種主要零件構成，分別裝在例如主軸承、齒輪箱、發電機等等主要零件或靠近主要零件等部位，偵測其頻率的變化情形，以判斷風力機零件是否異常。

西門子公司提到每台風力機都有其獨特的運轉頻率，他們會在每台風力機從併聯運轉開始一段時間，蒐集此風力機獨特的運轉頻率，以作為 TCM 系統將來判斷零件是否異常的依據之一。TCM- System 如圖 5-7-1 所示。

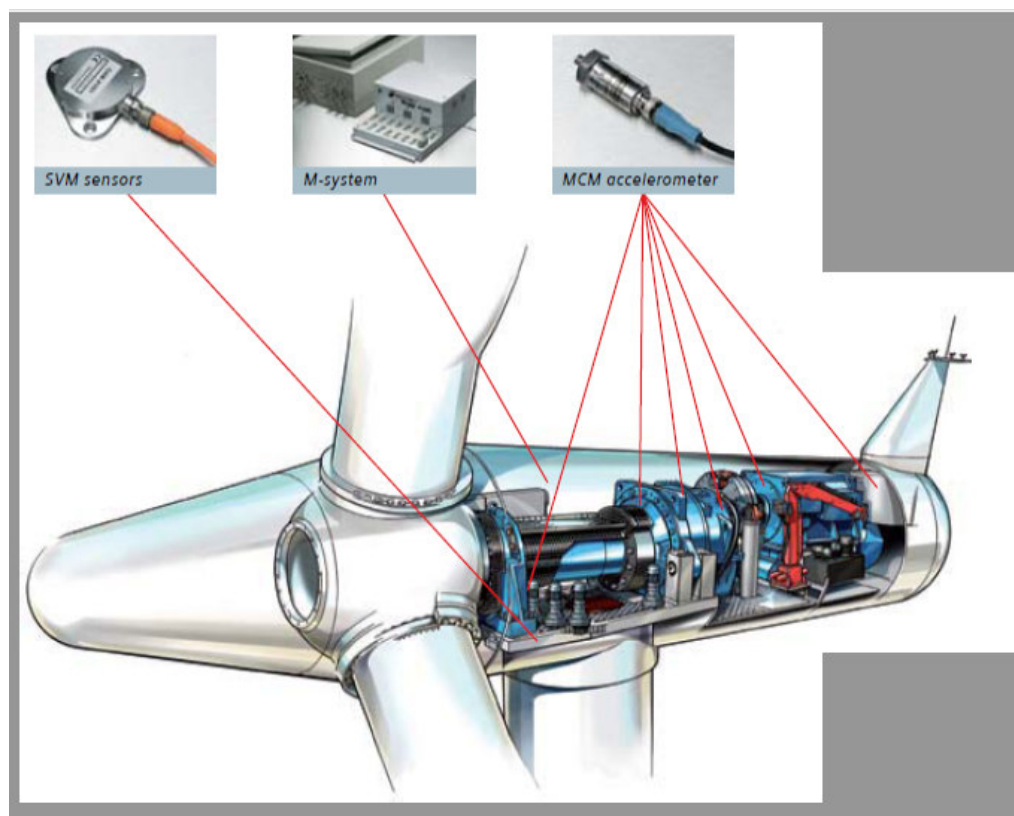


圖 5-7-1 Turbine Condition Monitoring System

(八) 西門子風力機雷擊保護系統

在雷擊保護方面，為確保風力機有最佳的雷擊保護能力，西門子公司風力機的雷擊保護系統設計，是依據 IEC61400-24-LEVEL 1 的要求，設計相關雷擊系統，各類設計參數值如圖 5-8-1。

First short positive stroke			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Peak current	I	kA	200	150	100	
Short stroke charge	$Q_{short}$	C	100	75	50	
Specific energy	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Rolling sphere radius	r	m	20	30	45	60
Time parameters	$T_1/T_2$	μs/μs	10/350			

Source: IEC 61400-24

圖 5-8-1 西門子風力機依 IEC61400-24-LEVEL 1 設計之設計值

西門子風力機透過兩種雷擊偵測系統，讓風力機有良好的雷擊監視能力，此兩種雷擊偵測系統(如圖 5-8-2)分別是 Jomitek Lightning Detection (LD) System 及 OBO Lightning Detection Cards，其中 LD System 被整合在風力機的控制系統，其感測器被安裝在塔架的根部，這套系統讓個別風力機的雷擊記錄可以備份在 SCADA 系統內，也讓我們可以辨別個別風力機的雷擊次數及去安排特別維修時程；OBO Lightning Detection Cards 這套系統則是在每隻葉片、航空警示燈及氣象站各裝一個 OBO Lightning Detection Card，用類比訊號來監測有無突波電流發生，以確保雷擊時風力機不會發生故障。相關安裝位置如圖 5-8-3 所示。



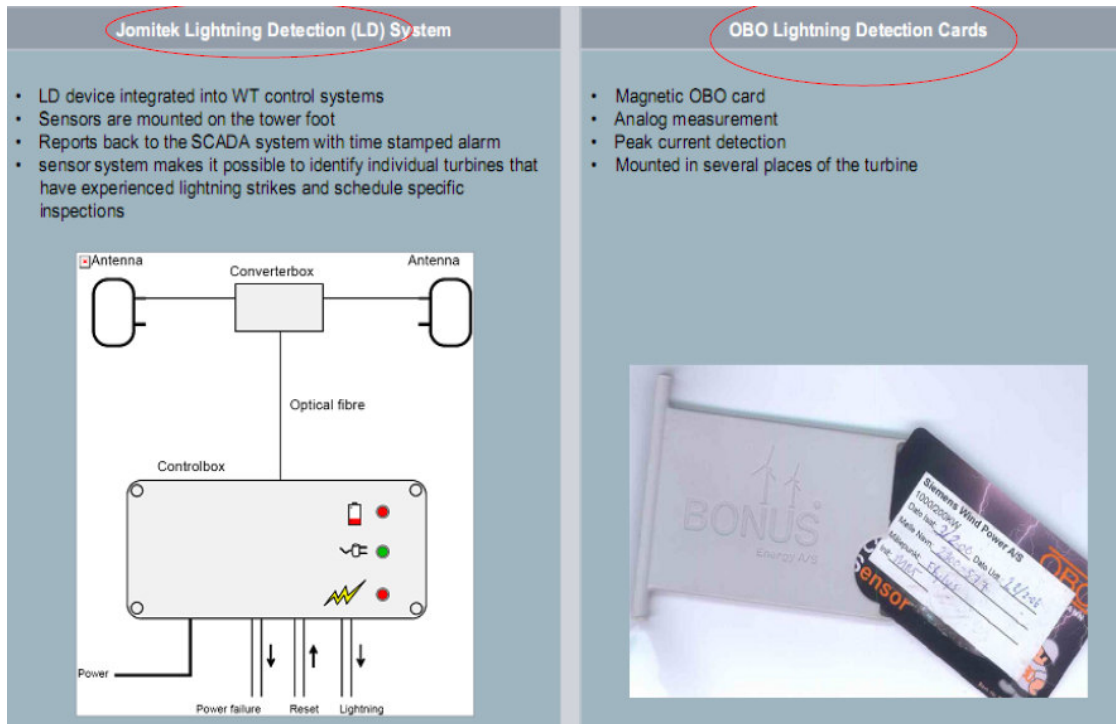


圖 5-8-2 風力機 Jomitek Lightning Detection System 及 OBO Lightning Detection Cards

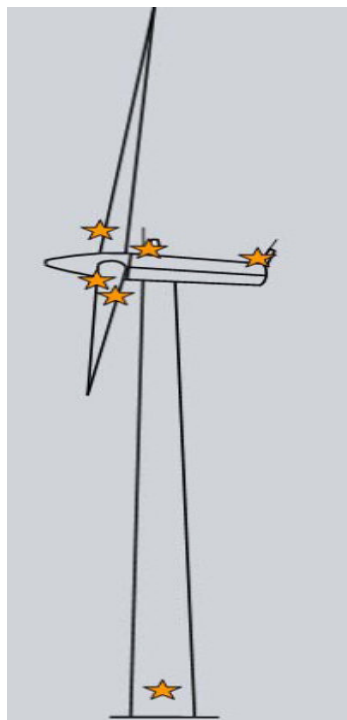


圖 5-8-3 雷擊偵測系統安裝位置

下列圖 5-8-4~圖 5-8-7 分別概略標示，岸上型風力機及離岸型風力機（單樁、重力型及 Jacket Type）的雷擊接地連接方式。其中陸上型風力機是依據 IEC62305 規定設置，其接地形式是透過接地環（內、外圈）及接地棒（最少深 6 公尺）分別與基礎環及塔架連接以達到接地保護的功能。而離岸型風力機則透過連接段與塔架及底下基礎結構物連接，透過海水（是很好導體）達成接地的功能。

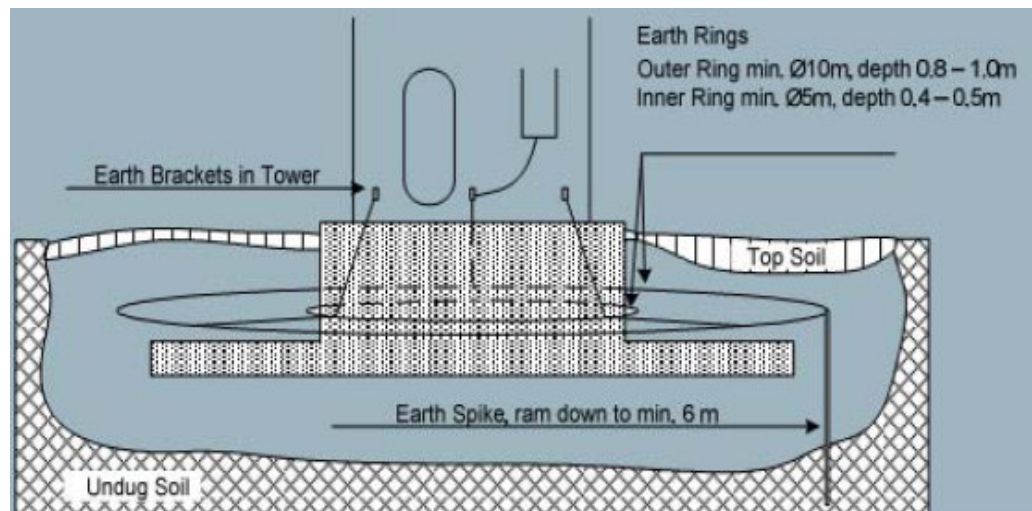


圖 5-8-4 陸上型風力機的雷擊接地方式

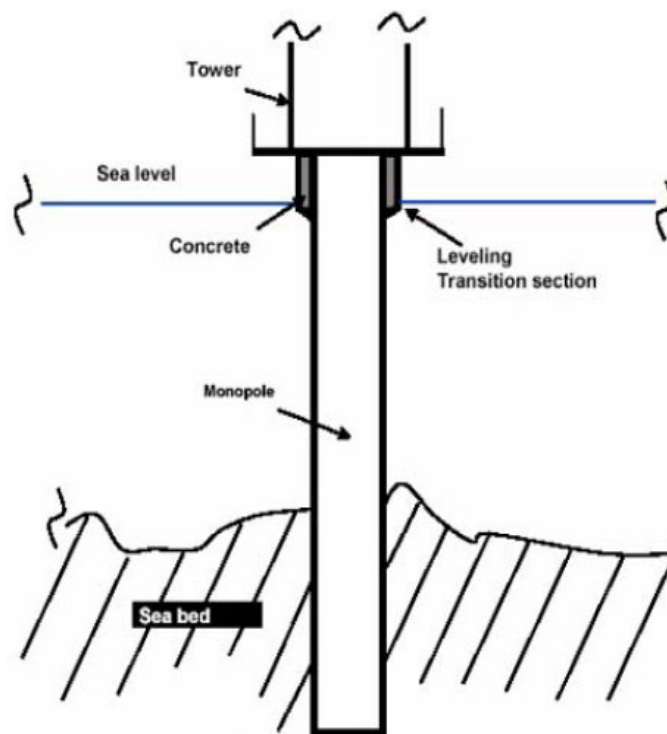


圖 5-8-5 離岸型風力機單樁基礎的雷擊接地方式

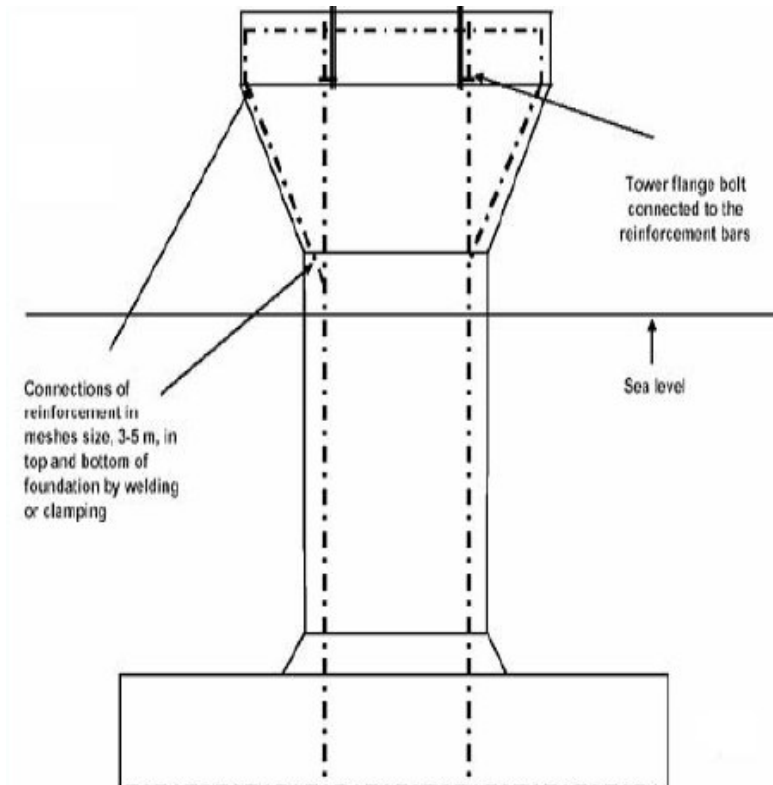


圖 5-8-6 離岸型風力機重力式基礎的雷擊接地方式

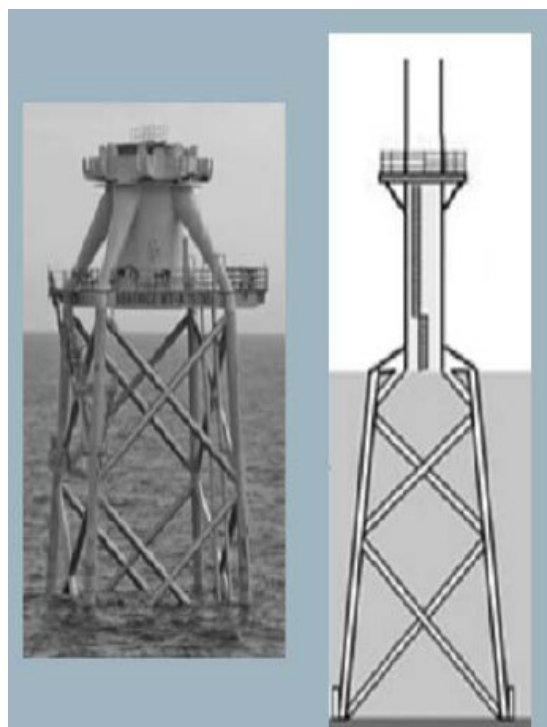


圖 5-8-7 離岸型風力機 Jacket Type 基礎的雷擊接地方式

西門子公司特別提出丹麥 Horns Rev II 風場的雷擊紀錄報告，報告顯示從 2009 年 8 月 20 日到 2011 年 8 月 8 日，此區共發生 125 次雷擊，共有 56 部機被打到，但都沒有任何一部機受到損害，雷擊保護系統發揮很大的功能，如圖 5-8-8 所示。

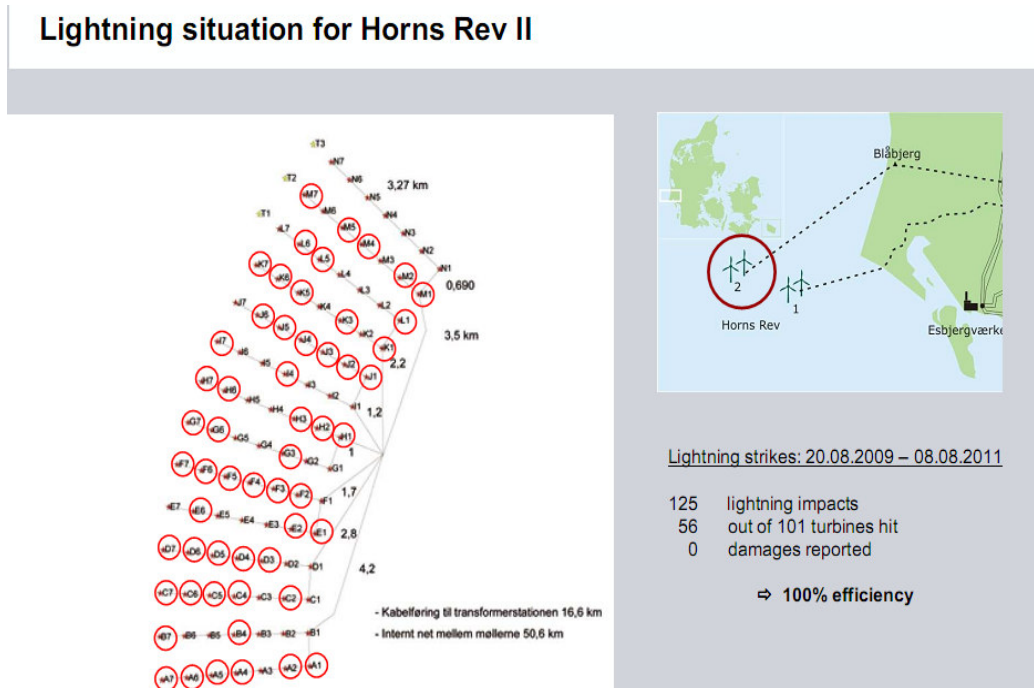


圖 5-8-8 Horns Rev II 風場從 2009.8.20~2011.08.08 受雷擊情況

## 六、SIEMENS Rødsand II 離岸風力計畫介紹

以下將分別從風場概要介紹、施工介紹、海上變電站及電纜等面向作一概略介紹。

### (一) Rødsand II 離岸風場概要

Rødsand II 離岸風場於 2010 年 10 月正式商轉，此離岸風場位於波羅的海距離羅蘭島 (Lolland) 約 10 公里處 (如圖 6-1-1 所示)，共計有 90 座 Siemens 2.3MW 離岸式風力發電機，總裝置容量達 207MW。此風場由德國能源巨擘 E.ON 公司獲得建設特許權，於 2008 年 8 月開始建設，投資金額約 4 億 4 千 6 百萬歐元，它是 E.ON 公司最大的風力發電建設之一。該風場每年約可提供 20 萬個家庭電力需求，相當於丹麥電力消耗的 2%。



圖 6-1-1 Rødsand II 離岸風場位置圖

Rødsand II 離岸風場是接續 Nysted 離岸風場(Rødsand I)的第二期風場建設，它建置於 Nysted 離岸風場以西約 3 公里處。此一風場位於丹麥，洛蘭島以南，佔地 35 平方公里，使用之機組為 SIEMENS 公司 SWT 2.3MW 機組共 90 組(機組高度:68.5 公尺、葉片直徑:93 公尺)，總裝置容量:207MW，離岸距離 4 公里，最大水深 10 公里，而風力機基礎設立的方式為重力式(Gravity)基礎，風場年平均風速約 12m/s (45m 高之風速) 2011 年發電量約 833.47 GWh、容量因數約 45.96%。概要資料如圖 6-1-2 及表 6-1-1、表 6-1-2 所示。

Wind Farm		Foundations		Wind Turbines	
Capacity (MW)	207	Type	Gravity	Type	Siemens 2.3-93
Status	Operational	Material	Concrete	Capacity (MW)	2.3
Start of Operation	2010	Weight (t)	1,300	No. of Turbines	90
Distance to Shore (km)	4	Height (m)	15	Hub Height (m)	68
Max. Water Depth (m)	10	Diameter (m)	15	Rotor Diameter (m)	93

圖 6-1-2 Rødsand II 風場、基礎及風力機概要

Rødsand II 風場的風力機排列方式共分為 5 列，每一列有 18 台風力發電機，每一台風力機高度為 68.5 公尺，風力機直徑為 93 公尺，詳細的風場風力機排列結構如圖 6-1-3 所示。

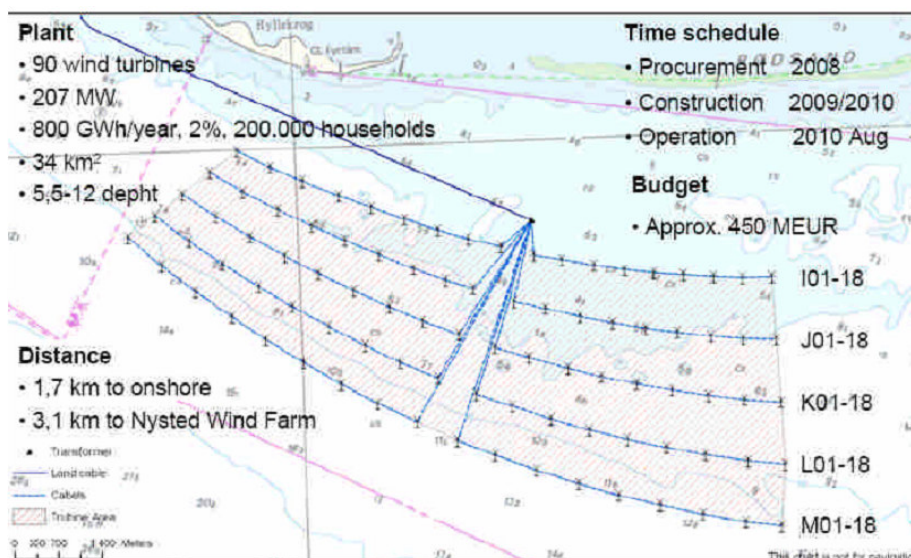


圖 6-1-3 Rødsand II 離岸風場內風力機之排列示意圖

表 6-1-1 風場基本資料

Official Name:	Rodsand 2
Alternative Name:	Nysted 2
Development Status:	Commissioned
Area of Wind Farm:	34 km <sup>2</sup>
Number of Rows/Turbines:	5 x 18 turbines
Distance Between Rows/Turbines:	700-900 m / 500-600 m
Location:	Nysted
Region:	Lolland
Sea Name:	Baltic Sea
Distance From Shore:	8.8 km
Water Depth:	6-12 m
Average Wind Speed	12 m/s at 45 m
Annual Estimated Production	833.47 GWh in 2011
Capacity Factor	45.96 % in 2011

表 6-1-2 Timeline & Track Records	
Project Start:	2004. 03- decision to build Rødsand 2 2008.04 - Project consented
Construction Start:	2009 (April) - Construction started
First Power Generation:	2010 (July)
Commission Year:	2010 (October)
Developer:	E.ON
Installer Turbines:	A2SEA
Installer Substructure:	Eide Contracting Gravity based foundations Peter Madsen Rederi- Scour protection
Installer Inter-Array Cables:	Norddeutsche Seekabelwerke (NSW)
Installer Export Cables:	JD-Contractor (Jydsk Dyk)
Installer Offshore Substation:	Scaldis Salvage & Marine Contractors
Operator:	E.ON
TSO(電網公司)	Energinet.dk
Estimated Project Cost:	446 mio €

## (二)Rodsand 2 離岸風場施工介紹

1. 整地：廠址現場用 GPS 定位每一部風力機位置，挖除海床高低不平的海底。如圖 6-2-1 所示。

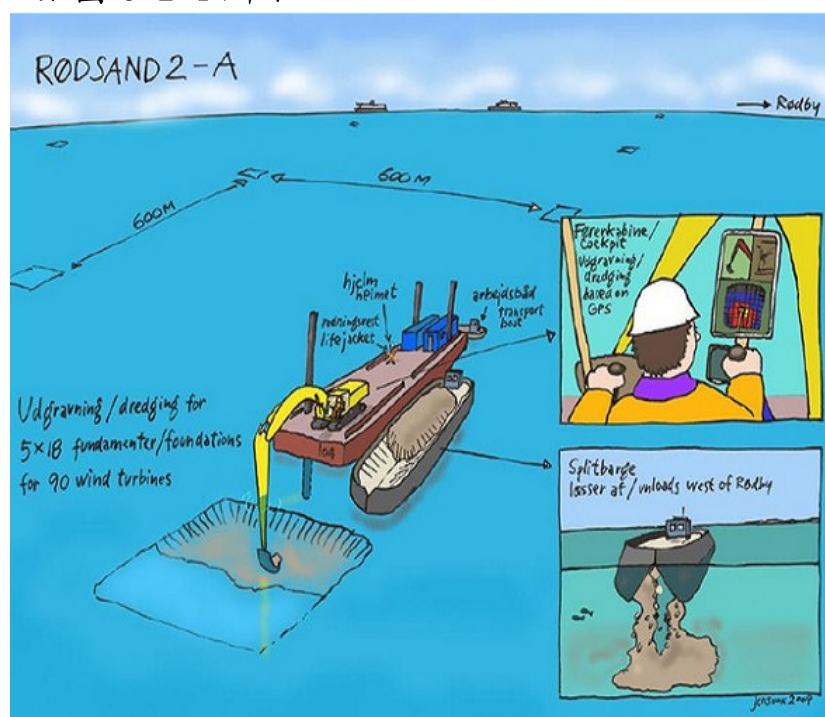


圖 6-2-1 用 GPS 定位、海床整地

2. 敷設礫石層：整地完成後，使用設備敷設礫石層，派潛水夫下去確認及敷設基礎中心點。如圖 6-2-2 所示。

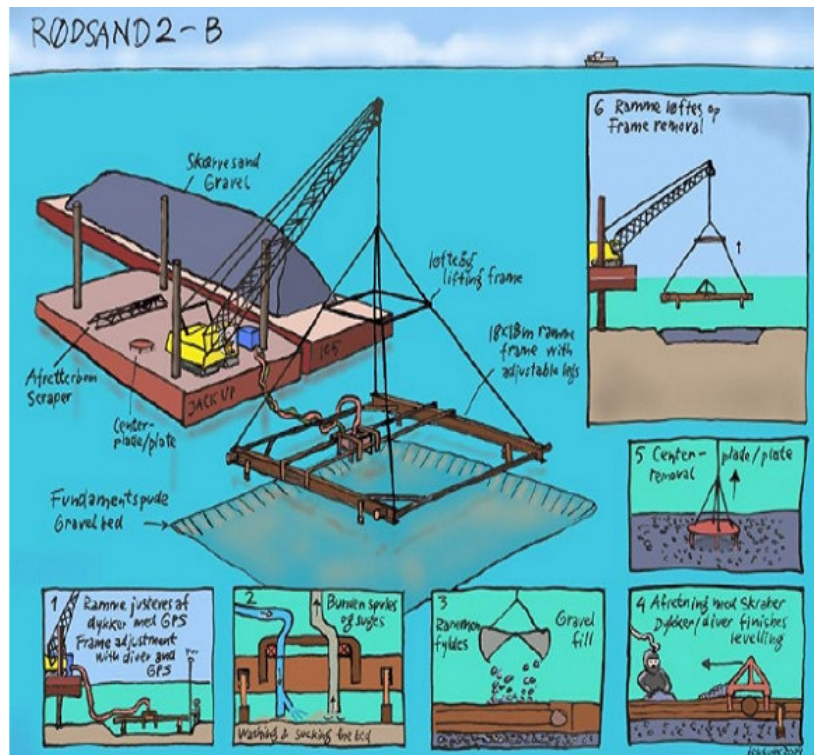


圖 6-2-1 敷設礫石層及基礎中心點

3. 重力式基礎製造：重力式基礎是由 EIDE 公司承攬，安裝重力式基礎之工作、由 PETER MADSEN REDERI 公司施作防掏沙 (Scour) 保護措施，整個重力式基礎高達 11 米、重達 1300 噸，故為將來搬運的方便及減少吊裝工作與花費，重力式基礎製造時直接在平板船上完成，從鋼筋綁紮、組模、灌漿等過程一步步完成整個重力式基礎的製作。詳細重力式基礎製造過程如圖 6-3-1、6-3-2、6-3-3、6-3-4 所示。





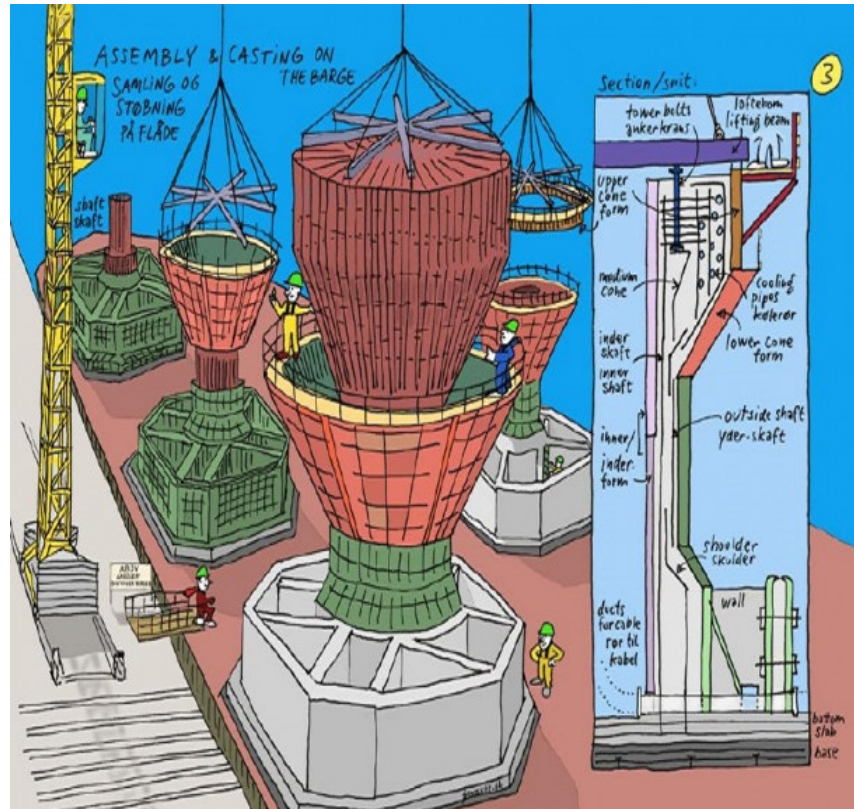


圖 6-3-3 重力式基礎一步步組模製造情形

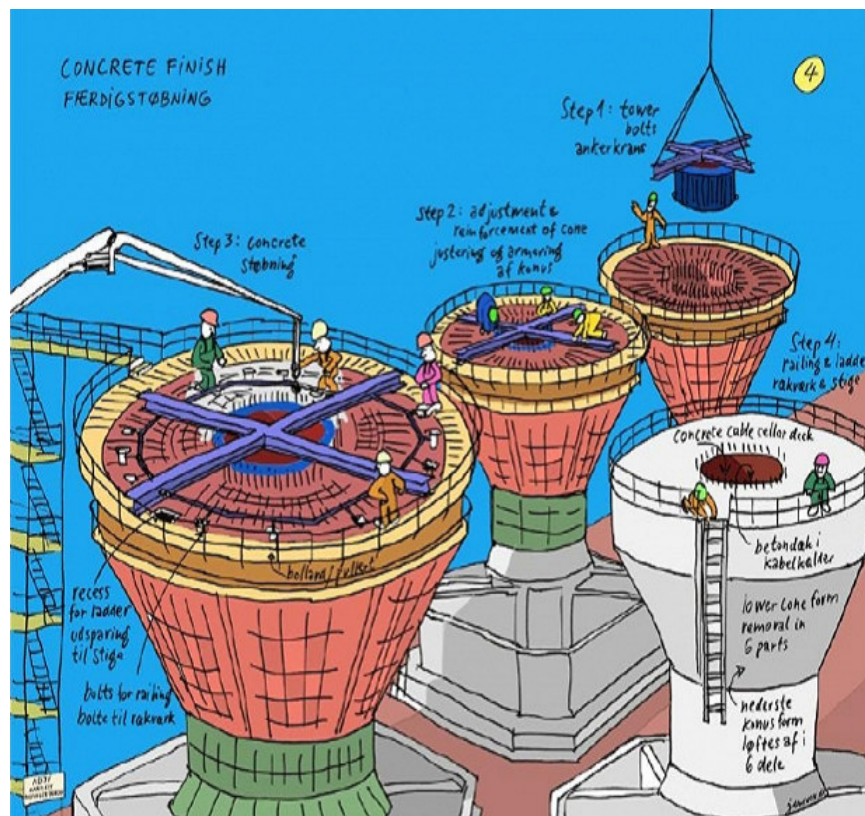


圖 6-3-4 重力式基礎一步步組模製灌漿完成及拆模後情形

4. 重力式基礎現場安裝：在整地、敷設礫石層、重力式基礎製作完成後，則開始現場吊裝作業，由於重力式基礎重量高達 1300 噸，所以製造完成後，以大型托板船一次裝載六個重力式基礎，到達風場風力機位置再由大型吊船吊到風力機中心點位置安放，重力式基礎定位完成後，再連接海底電纜接頭、灌砂到基礎外凹槽，再於每個基礎四周鋪設 6500 立方的圓形石頭，作為防掏沙保護措施。其過程如圖 6-4-1、6-4-2 所示。完整安裝過程如圖 6-4-3 所示。

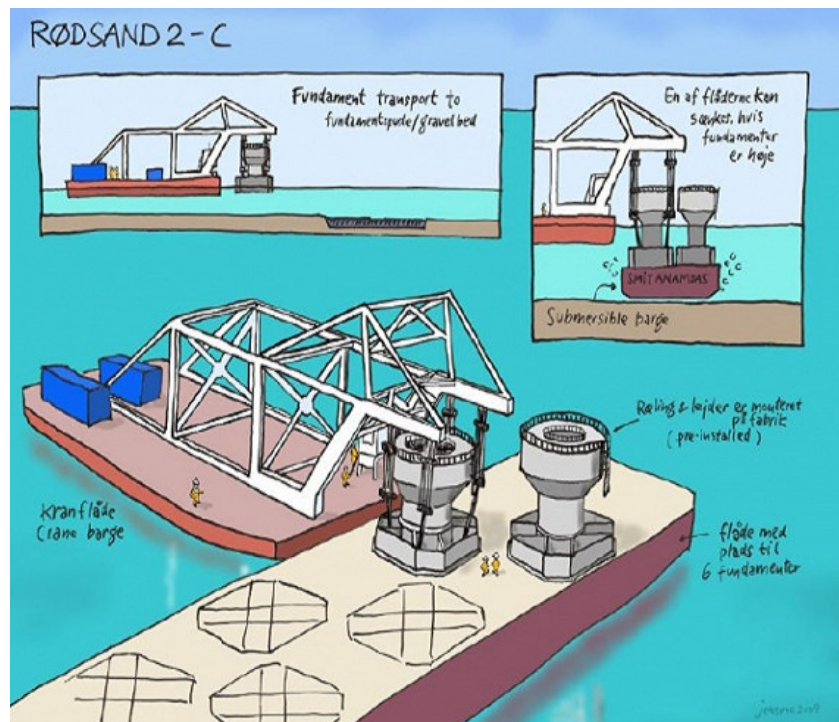


圖 6-4-1 重力式基礎由平板船運至風力機位置再由大型吊船吊裝

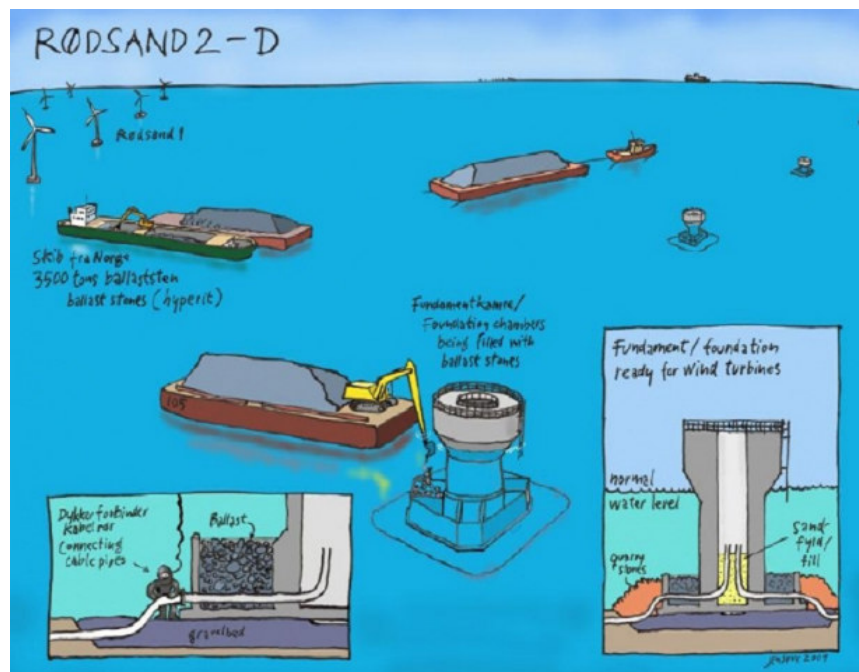


圖 6-4-2 基礎定位、連接海底電纜接頭、鋪設防掏沙保護措施

### 5. 風力發電機組港邊預組裝及海上吊裝

重力式基礎吊裝完成後，再來就是要執行風力機吊裝工作，因為海上作業困難所以會先在港口岸邊進行風力機預組裝工作，如圖 6-5-1 所示，再由吊裝船運至風力機廠址預定地，逐一吊裝到重力式基礎上，如圖 6-5-2，完成接線及試運轉工作後就大功告成了。

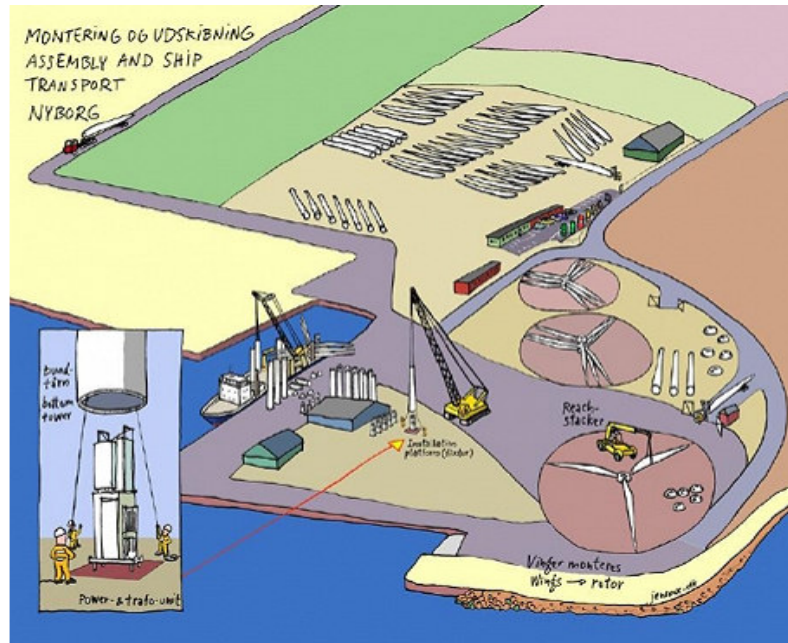


圖 6-5-1 港口岸邊風力機先進行預組裝

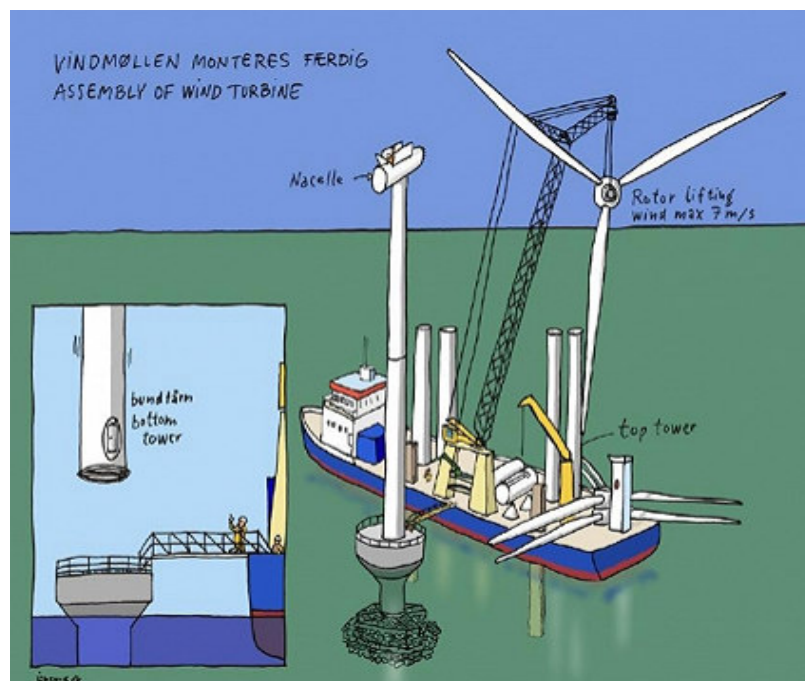


圖 6-5-2 預組後由船運至現場再逐一吊裝到基礎上

### (三)海上變電站

離岸變電所平台的面積約 18×32 公尺，高度為 18 公尺，總重量為 865 噸(包括主變壓器 280 噸、其他裝置 85 噸、以及鋼骨結構 500 噸)。在離岸變電所的架構中，包含主艙(Main deck)、纜線艙(Cable deck)、以及夾層艙(Mezzanine deck)等。在主艙內裝設有 132kV 的主變壓器、輔助變壓器、33kV 切換開關、132kV GIS 切換開關等，在纜線艙內裝設有油分離器(oilseparator)以及柴油儲存槽，在夾層艙內裝設有柴油發電機組與小型柴油儲存槽、低壓開關室、以及監控室等。外型及吊裝如圖 6-3-1 所示。

海上變電站是由 Scaldis Salvage & Marine 這兩家公司承攬安裝。基礎也是重力式基礎，其結構由 COWI 公司設計，電器設備則由西門子公司提供，變電站輸出電纜則由 ABB 製造，詳細規格如表 6-3-1 所示。

表 6-3-1 海上變電站詳細概要

電氣零部件供應商：	西門子輸配電集團
基礎結構類型：	重力式
結構物製造商：	Bilfinger Berger公司 -重力基礎
結構物設計：	COWI -重力基礎
海上變電站說明	海上變電站有4個甲板。海拔高度：25米。 尺寸：18x30米。重量：900噸
出口電纜類型：	2× ABB 145 kV交聯聚乙烯絕緣
重量：	73公斤/米
總長度：	9.5公里



圖 6-3-1 海上變電站吊裝

#### (四) 電力傳輸

電力傳輸系統是以塔架下方(或是艙體內)的變壓器將風力機運行電壓提升至 33KV，經海底電纜傳送至離岸變電所，經離岸變電所再次升壓提高電壓為 132kV 後連結電網，並經由海纜傳送至岸上併入系統。如圖 6-4-1 所示。風力機間的電纜規格如整理如表 6-4-1 所示。

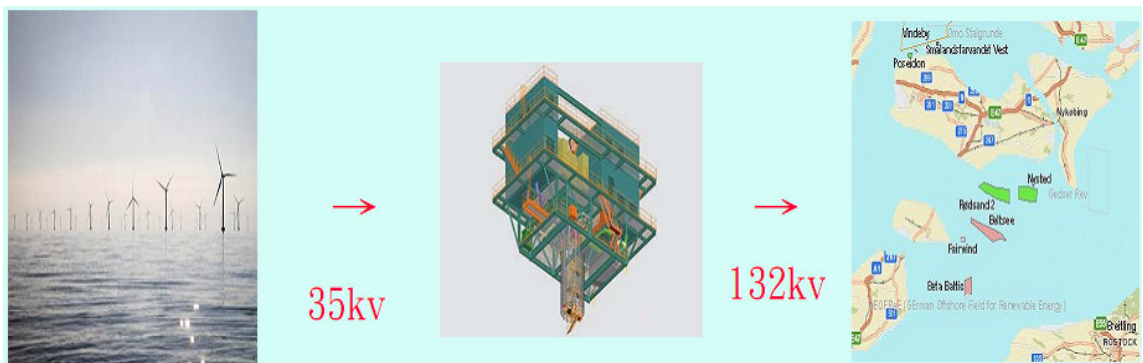


圖 6-3-2 電力傳輸由 35KV 中壓升高 132KV 後再傳至岸上

表 6-4-1：風力機間的電纜概要

<b>Cable Type:</b>	<b>Submarine Power Cable 3*240 mm<sup>2</sup>, 18/30 (36) kV</b> <b>Submarine Power Cable 3*120 mm<sup>2</sup>, 18/30 (36) kV</b>
<b>Weight:</b>	<b>26 kg/m resp. 19 kg/m</b>
<b>Diameter:</b>	<b>125 mm resp. 100 mm</b>
<b>Amount of Fibers:</b>	<b>48 Single-Mode Fibers</b>
<b>Customer:</b>	<b>E.ON Vind Sverige AB</b>
<b>Location:</b>	<b>13 km south of the Danish Island Lolland, Baltic Sea.</b> <b>Offshore wind farm with 90*2,3 MV wind turbines</b>
<b>Length:</b>	<b>80 km</b>
<b>Installation:</b>	<b>2009-2010 with barge NOSTAG 10</b>

## 七、VESTAS 公司離岸風力機施工管理及後勤規劃

此次能前往丹麥 Vestas 公司位於丹麥 Randers,的總部，瞭解相關 Vestas 公司有關離岸風力機的知識與施工管理，非常感謝台灣喬集偉思特風力發電股份有限公司黃琛經理及 Vestas Offshore A/S 新興區銷售負責人 Mr. Casper Toft 的協助與安排，讓我在離岸風機工程管理方面收穫很多，不虛此行。

### (一) Vestas 公司離岸風機業務介紹

Vestas 公司 1945 於丹麥 Lem 成立，於 1979 年設置第一座風力發電機，容量 33kW，至今 Vestas 公司已在全世界 69 個國家安裝 46,000 台風力機，在離岸風力方面，目前有 38% 的裝置容量，581 台風力機共 1,409MW，是 Vestas 公司所安裝（如圖 7-1-1 所示），是世界上最大風力發電機供應商。

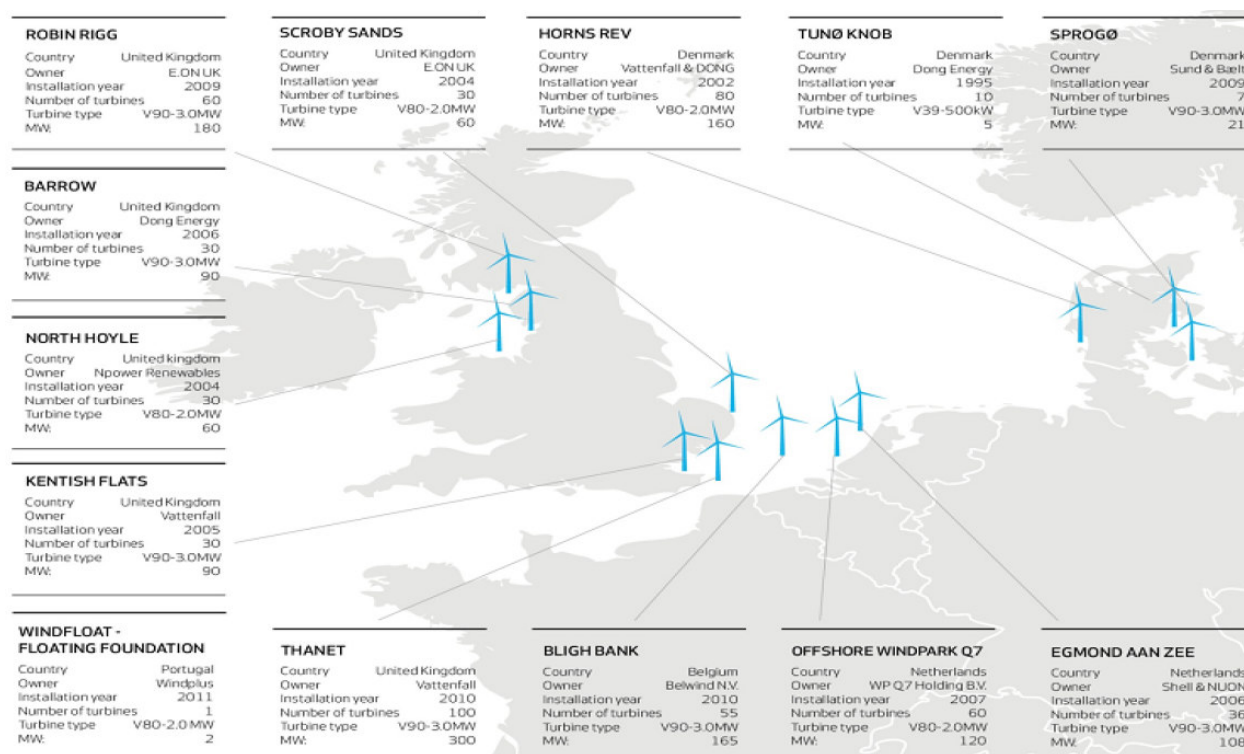


圖 7-1-1 Vestas 公司離岸風力機裝置分布圖

Vestas 公司從 1990 年開始離岸風力業務，在 2006 年將離岸風力全球的營運總部設在丹麥，並分別在丹麥、英國、荷蘭、比利時、加拿大等地分設貿易、技術、施工、運維等辦公室，至今 6 年時間員工數從 50 人增加到 320 人。在離岸風機的發展上也從 kW 級進步到 MW 級的旗艦型風機 V112-3.0MW，為進一步節省離岸風力的成本及提昇產能與性能，目前正積極開發 7MW 的離岸風力機。離岸風力機演進過程如圖 7-1-2 所示，V112-3.0MW 及 V164-7.0MW 風力機的基本規格如表 7-1-1 及表 7-1-2 所示。





圖 7-1-2 離岸風力機演進過程

表 7-1-1 V112-3.0MW 風力機規格表

<b>POWER REGULATION</b> pitch regulated with variable speed		<b>GEARBOX</b>	
		Type	4-stage planetary/helical
<b>OPERATING DATA</b>		<b>TOWER</b>	
Rated power	3 MW	Type	tubular steel tower
Cut-in wind speed	3 m/s	Hub heights	84 m and 94 m (IEC IIA) 119 m (IEC IIIA)
Rated wind speed	12 m/s	<b>BLADE DIMENSIONS</b>	
Cut-out wind speed	25 m/s	Length	54.6 m
Re Cut-in wind speed	23 m/s	Max. chord	4 m
Wind class	IEC IIA and IEC IIIA	<b>NACELLE DIMENSIONS</b>	
Operating temperature range	standard range: -20 °C to 40 °C low temperature option: -30 °C to 40 °C	Height for transport	3.4 m
<b>SOUND POWER</b>		Height installed (incl. CoolerTop™)	6.8 m
(Mode 0, 10 m above ground, hub height 80 m, air density 1,225 kg/m³)		Length	12.8 m
3 m/s	94.7 dB (A)	Width	4.0 m
4 m/s	97.5 dB (A)	<b>TOWER DIMENSIONS</b>	
5 m/s	101.2 dB (A)	Max. section length	30 m
6 m/s	104.5 dB (A)	Max. diameter	4.2 m
7 m/s	106.5 dB (A)	<b>HUB DIMENSIONS</b>	
8 m/s	106.5 dB (A)	Max. transport height	3.74 m
<b>ROTOR</b>		Max. transport width	3.75 m
Rotor diameter	112 m	Max. transport length	5.42 m
Swept area	9,852 m²	<b>Max. weight per unit for transportation</b> 70 metric tonnes	
Nominal revolutions	12.8 rpm		
Operational interval	6.2 – 17.7 rpm		
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders		
<b>ELECTRICAL</b>			
Frequency	50/60 Hz		
Generator type	permanent magnet generator		
Converter	GridStreamer™ full scale converter		

表 7-1-2 V164-7.0MW 風力機主要規格表

<b><u>Main dimensions</u></b>	
Blade length	80 m
Max chord (preliminary)	5,42 m
Nacelle (incl. hub and coolers)	
Height	7,5 m
Length	24 m
Width	12 m
<b><u>Weights (± 10%)</u></b>	
Nacelle with hub	390 ton
Blade (each)	35 ton
Tower (HH 107m)	Site dependent
<b><u>Rotor</u></b>	
Rotor diameter	164 m
Swept area	21.124 m <sup>2</sup>

(二) Vestas 公司離岸風力工程計畫管理考慮因素及架構

離岸風力工程成敗計畫管理是關鍵因素之一，Vestas 公司強調成功的離岸風力工程計畫管理，需要考慮下列 5 項關鍵要素：

1. 盡可能讓後勤供應鏈縮短。
2. 盡可能在岸上完成所有工作。
3. 計畫開始前周詳計畫及預演。
4. 降低風險及準備好備案。
5. 保持誠實及開放的溝通。

Vestas 公司秉持上述關鍵素建立符合自己需求的工程管理組織如圖 7-2-1 所示，其中工程計畫管理大概區分風力機供應管理、預組裝管理、風力機風場安裝管理、風力機試運轉管理、保固服務及運維管理等部門，而組織建立後，最重要的是，每個人都清楚自己在組織及施工程序內的角色及責任範圍。

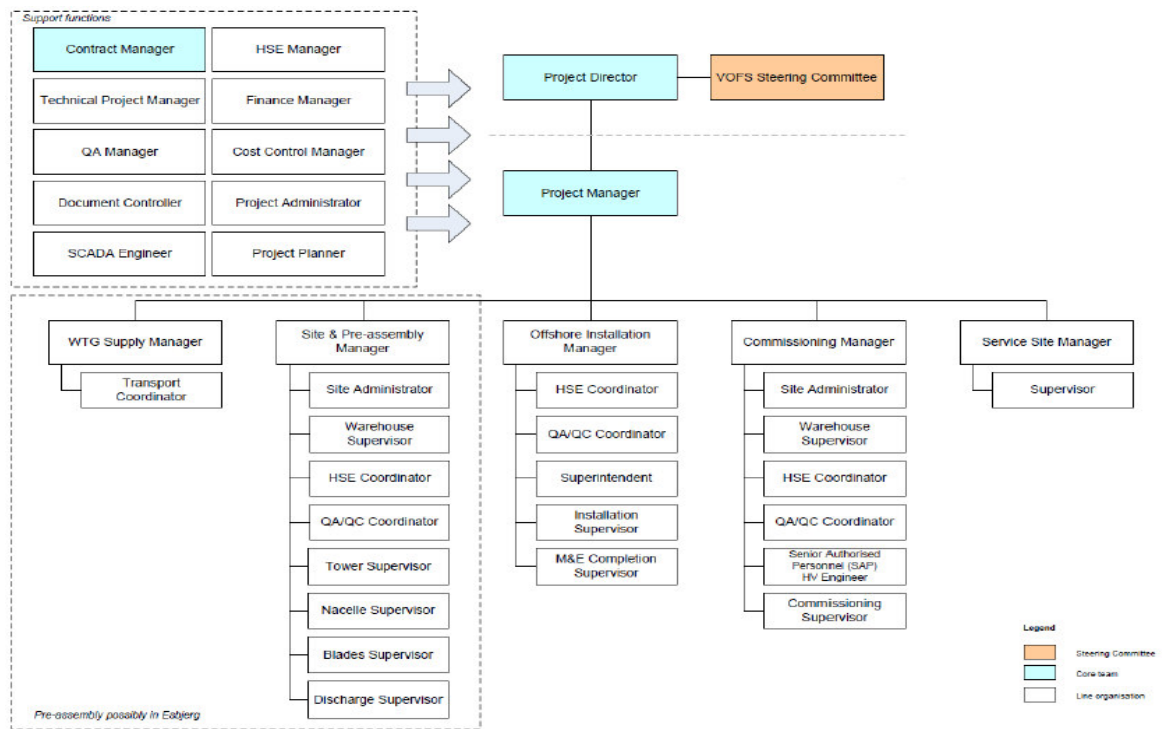


圖 7-2-1 Vestas 公司離岸風力工程計畫管理架構

### (三) Vestas 公司離岸風力機安裝的港口後勤規畫

有關港口規劃方面，Vestas 公司以 V112-3.0MW 風力機為例，概述如下：

1. 空間大小：碼頭空間須有 200m×50m 約 1000m<sup>2</sup> 大小（如圖 7-3-1 所示）。儲存場則須有約 40000 m<sup>2</sup>~60000 m<sup>2</sup> 的空間大小可共放置風機相關零件，如圖 7-3-2 所示。
2. 承載力：碼頭及儲存場 10 噸/m<sup>2</sup>，安裝吊車處其承載力需 25 噸/m<sup>2</sup>。
3. 船隻停泊水深：至少大於 8 公尺。
4. 地面型式：水泥或柏油地面。
5. 其它需求：可 24 小時隨時進出的出入口、1500m<sup>2</sup> 的倉庫空間、保全監視設施、可容納 20-50 人的辦公及停車空間。



圖 7-3-1 碼頭配置圖示



圖 7-3-2 儲存場圖示

目前 Vestas 公司正在丹麥 Esbjerg 市興建專用的 V112-3.0MW 離岸風力機港口（如圖 7-3-3 及 7-3-4 所示），大概 2013 年第二季可以完成。其目的希望可降低將來離岸計劃的不確定性、減少主要零件的運輸及降低風險、機艙及驅動系統的預組裝、減少招募及遣散員工的困擾、可建立公司本身在離案計畫執行的學習曲線，進一步提升離岸風力工程的執行效率。



圖 7-3-3 在 Esbjerg 市興建專用的 V112-3.0MW 離岸風力機港

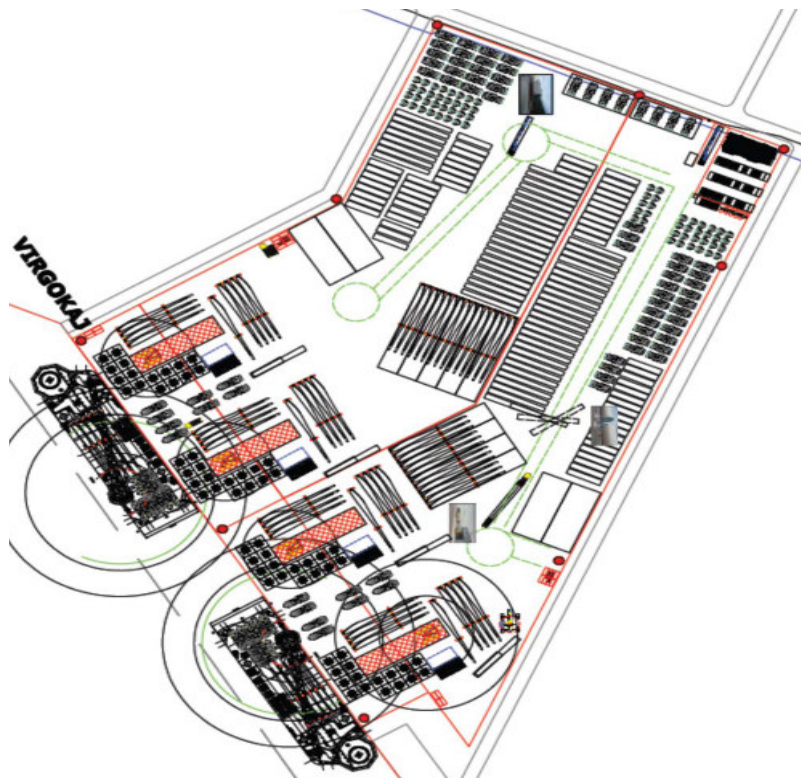


圖 7-3-4 在 Esbjerg 市之專用的離岸風力機港配置情形

#### (四) Vestas 公司離岸風力機安裝的海運後勤規劃

◎此運輸的解決方案取決於地區的預組港口條件，規劃時考量點有：

1. 費用多寡取決於零件大小及重量。
2. 需考量船隻滯延及設備儲存費用。
3. 增加對主要設備及零件的管制。
4. 卸貨及吊掛人手問題。

◎海運行程規劃應以一次起停及完成裝機為首要考量如圖 7-4-1 所示，主要內容為：

1. 安裝船隻直接在基地母港裝載風力機。
2. 裝載風力機後，安裝船隻直接行駛到風場風力機的安裝點，安裝風機。
3. 此項規劃可降低計畫的不確定性及運輸成本。
4. 能完全的利用安裝船的裝載容量。
5. 簡化安裝的程序及可高度利用可吊裝氣候時間。
6. 減少海上的工作。

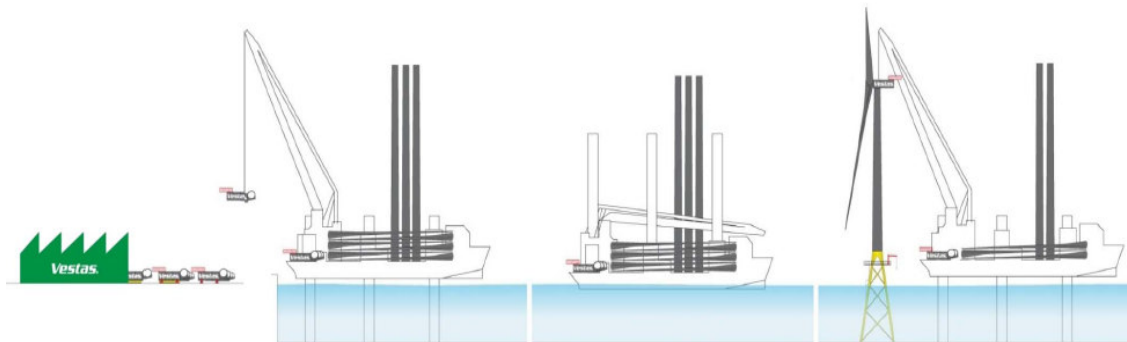


圖 7-4-1 海運行程規劃應以一次起停即完成裝機工作

#### (五) 風力機安裝及試運轉的海運規劃

1. 風力機安裝船方面：Vestas 公司已針對 V112-3.0MW 離岸風力機及 V164-7.0MW 請設計專用的離岸安裝船隻（如圖 7-5-1），目前已有數艘船隻興建中，如 Van Oord 公司的『Aeolus』號船隻，其規劃 V112-3.0MW 一船次可裝載 7-10 台風力機；V164-7.0MW 一船次可裝載 3-4 台風力機。



圖 7-5-1 Vestas 公司針對 V112-3.0MW 設計專用的離岸安裝船隻

2. 含運維及住宿功能的船隻：這是特別興建的船隻包含有會議室、辦公室及房間等功能；可容納 30-50 人；可能需考量規劃幾間女性專用的房間，因可能有女性專業技術人員；此船隻移動在風力機興建及運維期間，如圖 7-5-2 及 7-5-3 所示。



圖 7-5-2 含運維及住宿功能的船隻



圖 7-5-3 船隻內部功能

3. 人員運送船隻：用來接送人員來回岸邊及海上船隻，具便利性及減少時間與油耗，船隻噸位較小，需可運送設備及工具，視需求改善船隻功能。如圖 7-5-3 所示。



圖 7-5-3 人員運送船隻

#### (六) 風力機預組裝作業

1. 塔架預組裝作業：在塔架地面安裝框架上逐一安裝下塔及上塔架、安裝爬梯及內部吊車、連接高壓電纜、測試。如圖 7-6-1 所示。



圖 7-6-1：塔架預組裝作業



2. 葉片預組裝如圖 7-6-2 所示。

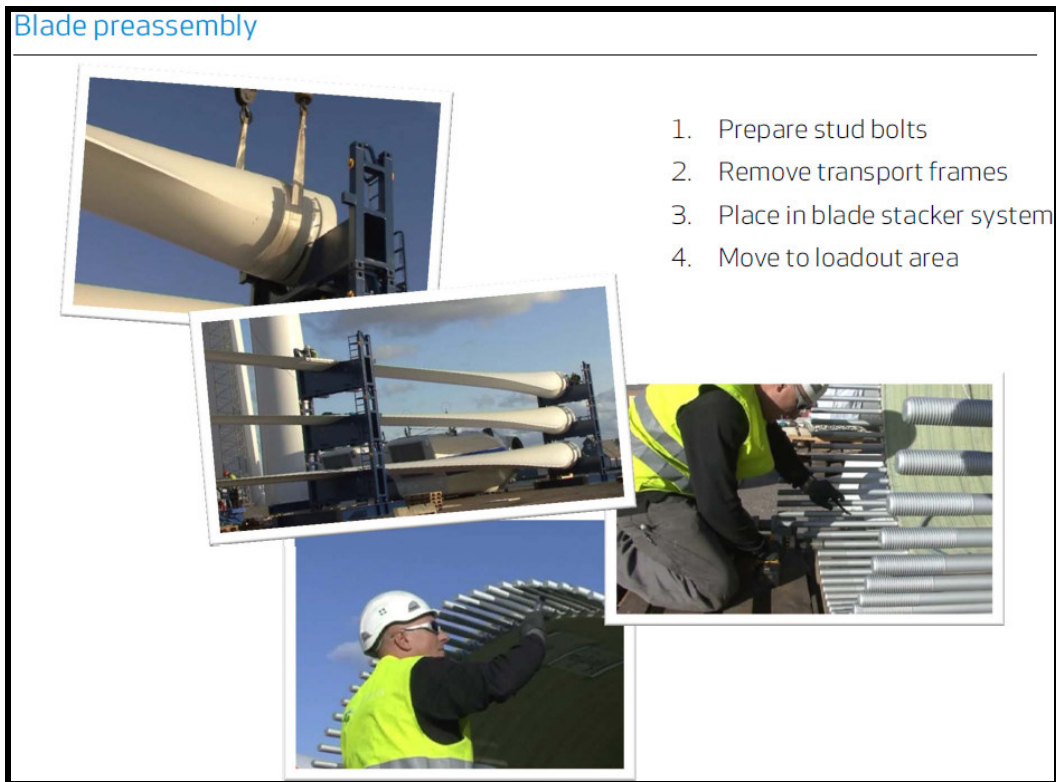


圖 7-6-2：塔架預組裝作業

3. 機艙及轉子預組裝作業如圖 7-6-3 所示。



圖 7-6-3：機艙及轉子預組裝作業

#### 4. 機艙及轉子預組裝完成後在岸邊進行試運轉測試

為確認機艙及轉子所有功能正常，Vestas 公司特別設計一個測試設備，模擬底部控制器及提供所有訊號及電源，先在岸上機艙及轉子進行測試及調整，確認所有功能皆正常後才會裝船，運到風場進行後續吊裝作業，以避免將來有問題在海上維修困難。相關測試示意圖如圖 7-6-4 所示。

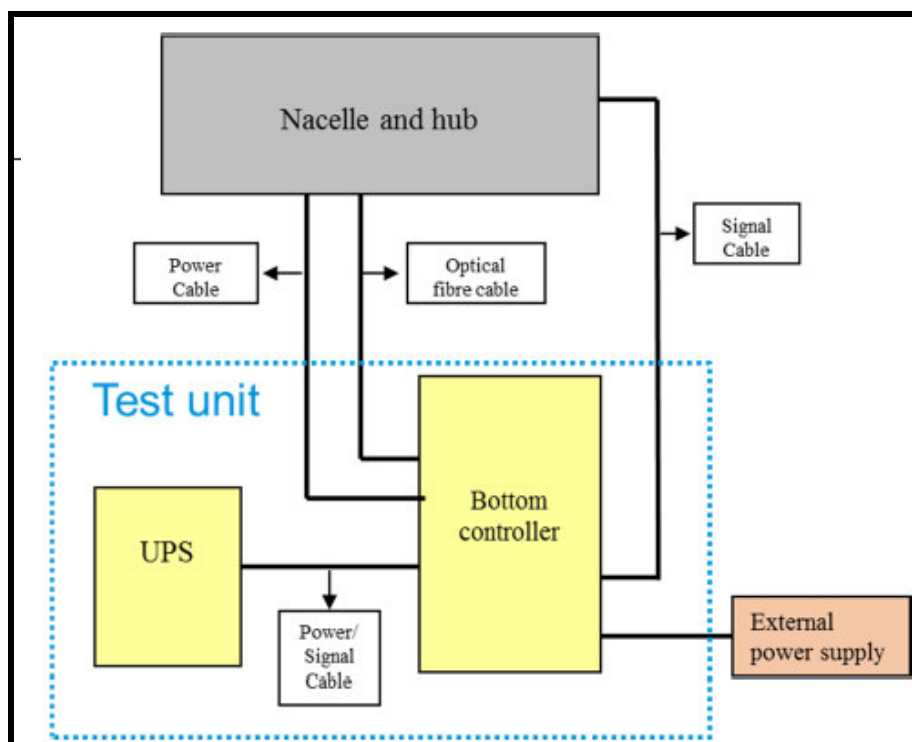


圖 7-6-4：機艙及轉子試運轉及測試示意圖

#### 5. Vestas 公司針對離岸風力機的試運轉測試規劃

由於海上作業的困難及複雜度遠高於陸地，Vestas 公司針對試運轉測試工作需下列 (1) 及 (2) 兩項工作完成後才會進行海上的風力機試運轉測試，其示意圖如 7-6-5 所示。

- (1) 預組裝：先在岸上對風力機進行試運轉測試完成、高壓電纜的測試完成。
- (2) 安裝：電纜工作完成、所有機械工作完成。

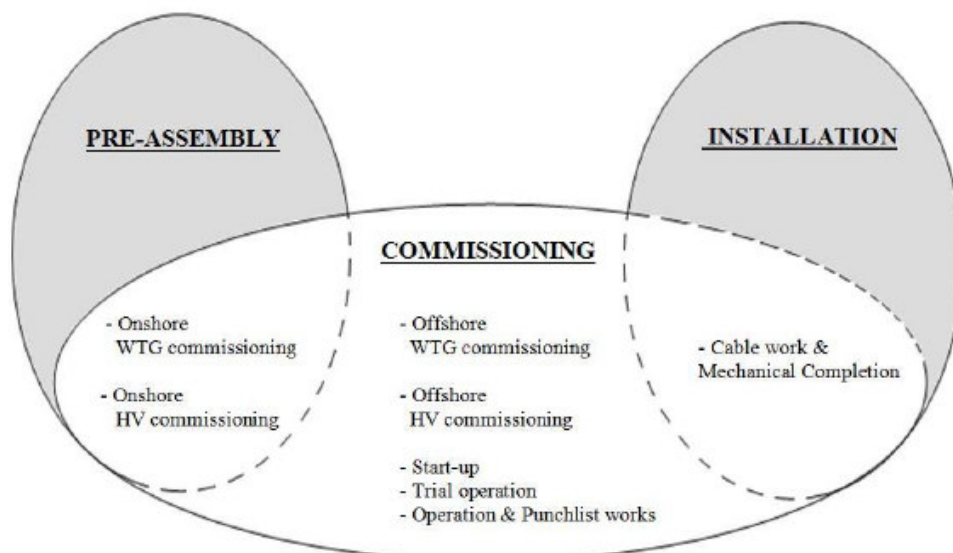


圖 7-6-5：海上風力機試運轉及測試示意圖

(七) 風力機裝船後勤規劃

考量安裝船來回的時間規劃緩衝的裝載量：如兩個或三個塔架豎立基座設備；安排機艙排列區域靠近塔架；考量葉片的堆疊設備與空間等，所有安排應方便船隻裝載及讓安裝船裝載最大容量。安裝船隻應配有可 24 小時操作的大型吊車及操作人員，盡量與預組裝不要再產生界面，預組裝完成後應可直接裝船。如圖 7-7-1 所示。



圖 7-7-1 風力機裝船規劃

(八) 離岸風力機裝船及運至風場

上述後勤準備工作完成後，風力機可以正式裝船運至風場（如圖 7-8-1 所示），每台風力機以吊裝三次即完成裝船工作為目標，相關裝船程序如下：

1. 吊裝船靠港並錨定完成準備吊裝風力機。
2. 卸下船上已使用過的設備。
3. 將塔架從地面安裝框架解開，吊裝裝到船上並繫緊。
4. 葉片三支一組裝船並繫緊。
5. 機艙裝船並繫緊。
6. 船隻出航準備及添加油料等，完成所有準備工作後，出發運風力機至風場。



圖 7-8-1：離岸風力機裝船

- (九) 風力機安裝：總共三項吊裝項目（一次塔架、一次機艙、三次葉片）即完成整個風力機的吊裝工作，每次的吊裝都需鎖好螺絲後才進行下一項的吊裝工作，最後的葉片螺栓鎖緊後，進行高壓電纜整齊排列及連結工作、調整維修吊車、完成風機內部清潔等。相關吊裝程序如圖 7-9-1 所示。

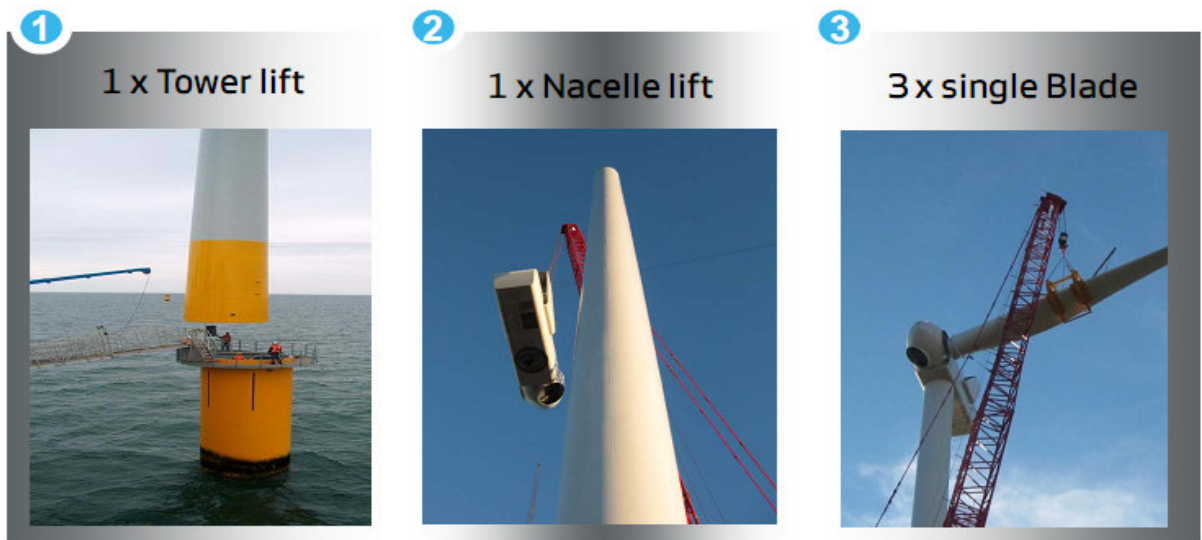


圖 7-9-1 五次吊裝工作完成風力機吊裝工作

(十) 加壓及試運轉測試。

1. 輸出電纜及變電站之加壓測試。
2. 風力機陣列間及變電站間的電纜連接測試。
3. 陣列間的電纜加壓測試。
4. SCADA 系統測試。
5. 併聯發電測試。
6. 風機啟動程序測試。
7. 試運轉檢查。
8. 風力機超速測試。
9. 試運轉測試。

(十一) Vestas 公司離岸風力實際施工案例 (Thanet 計畫)

Vestas 公司以上述的施工管理架構及後勤規劃實際執行此計畫，以下將執行情況概要敘述如下：

1. THANET在英國倫敦東方(約2小時車程)叫KENT的小鎮的海域上，距岸12公里。如圖7-11-1所示。
2. 風場之裝置容量300MW，共100部V-90離岸風力發電機。
3. 年發電量1000GWH，足供20萬戶UK家庭使用。
4. 操作維護人員21人。

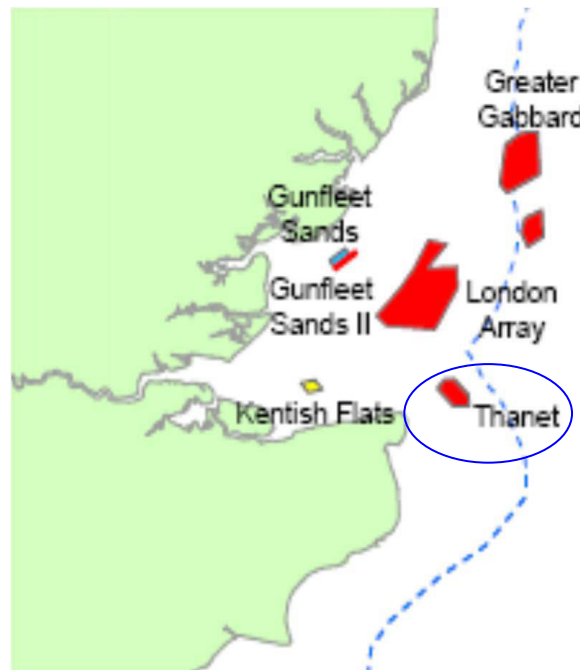


圖 7-11-1：Thanet 離岸風力計畫位置

5. 此計畫Vestas公司負責100部風力機的安裝及併聯發電工作。
6. 基礎為單樁(Monopile)。
7. 塔架、機艙、轉子及葉片 均由Denmark 船運至法國Dunkirk組裝，再由工作船運至工地安裝。
8. 海纜設計為，於海上變電站兩迴路至 Pegwell Bay 上岸，埋設陸上電纜至Richborough power station 併接到電網。
9. 整體施工時間：從2009年9月6日預組裝場準備開始，到2010年9月9日試運轉完成共花 368天。如果扣除惡劣天候實際施工時間為 277天。
10. 實際預組裝從2009年11月4日開始，到2010年6月4日，裝船時間一船次9組塔架、9組機艙(含轉子)及27支葉片組可在34小時完成。詳細時間細項如圖7-11-2所示。
11. 風力機海上現場安裝，從2009年12月4日開始到2010年6月24日止共202天，扣除壞天氣87天及運輸與風機裝船時間32天，100台風力

機實際海上安裝時間為83天，幾乎不到一天即安裝一台風力機，速度相當快，可見周詳的計畫管理與施工規劃，可大幅及省時間與成本的花費，詳細時間細項如圖7-11-3所示。

12. 併聯及試運轉，從2010年2月28日開始到2010年9月9日止共193天，扣除壞天氣99天，實際時間為104天，詳細時間細項如圖7-11-4所示。

**Pre-assembly**

Period: 15 Nov 2009 - 4 June 2010  
(incl. weather – 91d)

- 9 towers completed in 9-12 days
- 9 nacelles completed 9 days
- 9 sets of blades prepared and stacked 4 days

**Loading of vessel**

- 9 towers, 9 nacelles with hubs,
- 27 blades in stacking system in 34 hours




圖7-11-2：風力機預組裝及裝船時間

**Erection**

Actual period: 4 Dec 2009 - 24 June 2010  
= 202 days

Weather downtime: 87 days

Transit / loading time in Dunkirk: 32 days

**Actual installation time for 100 WTGs: 83 days!**

Fastest turnaround  
(Harbour - erection of 9 turbines – harbour): 8 days

Fastest erection of a turbine: 5 h and 44 min

Jack down to jack down: 12 h




圖7-11-3：風力機現場安裝時間



圖7-11-4：風力機併聯及試運轉時間

由此計劃執行成果來看，Vestas公司透過施工前完善的工程管理規劃，每個部門都清楚自己的任務、各司其職，展現出優越的整體施工管理能力，大幅節省施工時間，也讓興建成本可以下降。



## 八、荷蘭 ECN (Energy research center of the Netherlands) 實習心得

此次能順利到荷蘭的能源研究中心(以下簡稱 ECN)參訪實習，特別感謝喬集偉思特風力發電公司黃琛經理及 ECN 風能部門的業務經理 Mr. Haico van der Heijden 的安排及協助，讓我得以在荷蘭參訪 ECN 風能部門實習相關離岸風力的知識與技術及 Ballast Nedam 公司實習相關離岸風力機的基礎與施工方式。以下將介紹在 ECN 的實習心得收穫，Ballast Nedam 公司部份則另章介紹。

### (一) ECN 風能部門概略介紹

ECN 本身的功能性質有點類似國內工研院的角色，它期許自己能成為能源研究與市場間的橋樑，轄下有 WMC (Wind turbine Materials and Constructions) 風力機材料及興建研究中心及 EWTW (ECN Wind Turbine Test Site Wieringermeer) 風力機測試風場。其地理位置靠近阿姆斯特丹如圖 8-1-1 所示。

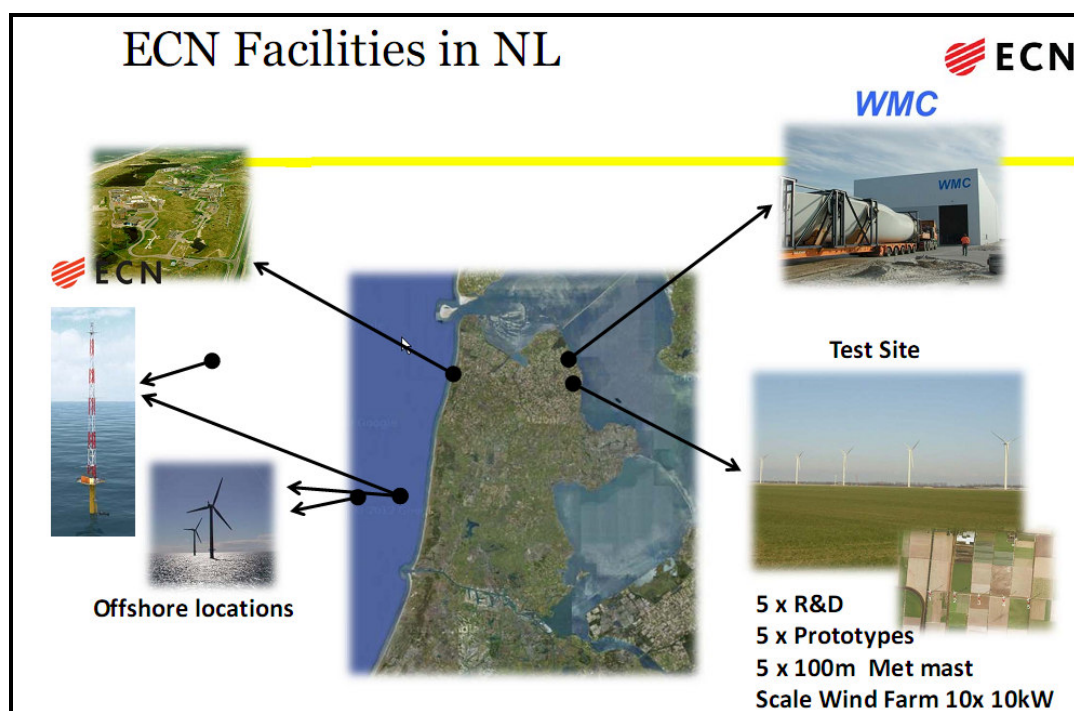


圖8-1-1：ECN及其附屬研究中心WMC及EWTW的地理位置

### (二) 離岸風力的挑戰

由於海上風能巨大且深具經濟價值，所以現在歐洲各國紛紛將風力的觸角從陸地延伸到海上，但海上因為風(颱風、颶風等)的影響、巨浪的影響及海水的侵害等等惡劣的環境條件(如圖 8-2-1 所示)，也使得離岸風力在安裝及運轉維護的挑戰遠比陸地來的高，風險也更巨大，因此面對離岸風力的巨大挑戰，ECN 認為有列三個主要面向需考量：

1. 在風力機選擇的設計規劃上，須選擇可以耐惡劣環境及節省成本(含興建及運維)風力機。
2. 要有縝密嚴謹的風場的設計分析、安裝規劃及運轉維護規劃。
3. 上述的設計都要經過有效的測試及實驗加以驗證。



圖 8-2-1：離岸風力惡劣的天候如暴風雨巨浪等

ECN 認為它們在這些方面具有堅強的專業能力及實務經驗。

### (三) ECN 的專業能力

1. 離岸風力機葉片設計能力：葉片的空氣動力分析、葉片的彈性及扭轉、噪音消除等，目前已有能力設計 3 到 75 公尺長的葉片，正進行 120 公尺長的葉片可行性研究。如圖 8-3-1 所示。

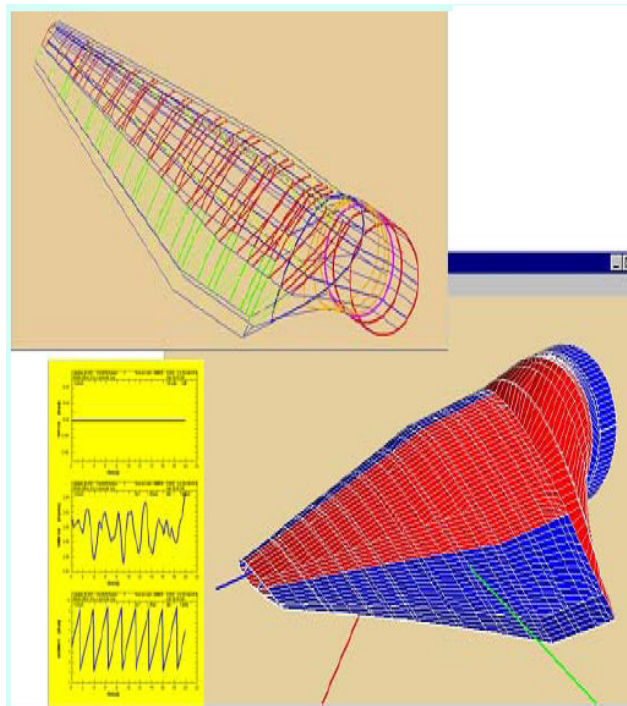


圖 8-3-1：離岸風力機葉片設計能力

2. 先進的風力機控制技術能力：最佳的葉片角度控制技術、外部事件控制（如颱風等）最佳的停機控制（平順的停機）故障控制、塔架 Damping 控制等等。
3. 風場控制分析能力：透過 CFD 模擬以有效的增加風場效率。如圖 8-3-3 所示。

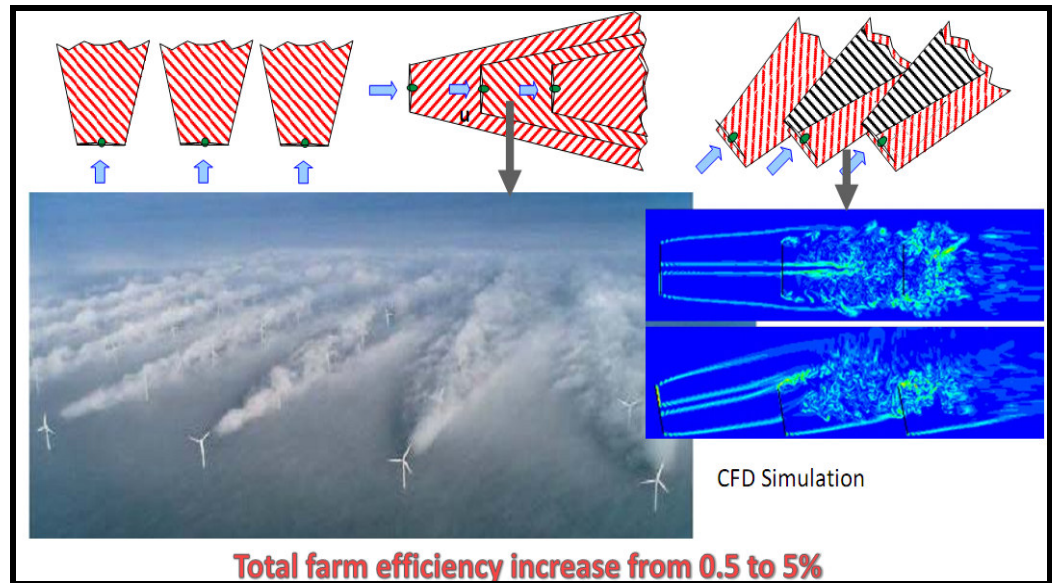


圖 8-3-3：風場控制分析能力

4. 風場規劃設計能力：
  - 分析風場空氣動力的分布情況；包括能量的輸出、擾流的影響、機械負載的分析等等。如圖 8-3-4 所示
  - 最佳電力系統規劃：以最低的投資達最高效益為原則。如圖 8-3-5 所示。

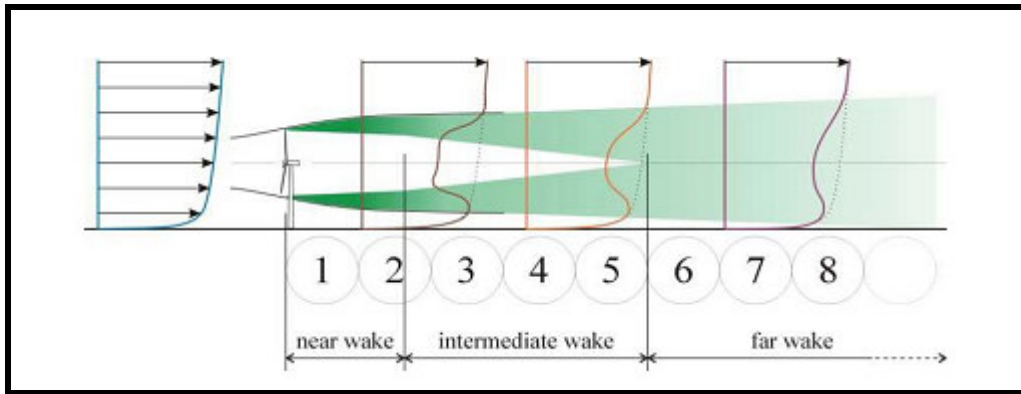


圖 8-3-4 分析風場空氣動力的分布情況

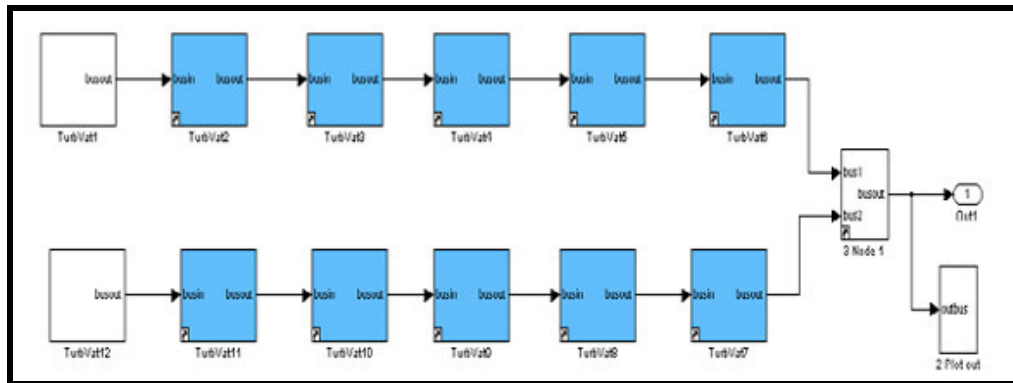


圖8-3-5風場最佳電力系統規劃分析

5. 離岸風場運轉維護策略規劃能力，並實際開發出一套運轉維護策略的軟體，可提供運轉維護的策略建議。
6. 離岸風力機的量測能力：噪音、性能、機械負載、氣象資料等量測能力。ECN 擁有陸上及離岸風力機的實際經驗；ECN 可對原型風力機進行深入的分析，並對原型風力機提供開發規劃及認證服務，也可對風力機提供必要的數據及報告；ECN 擁有自己的測試工廠及設備精良的量測基礎設施。

#### (四) 離岸風力建置時需考量之面向

目前歐洲這幾年是世界上發展離岸風力最快速的地區，歐洲這些年的離岸風力開發、興建與運維的實務經驗，有許多地方值得我們借鏡參考。截至2011年底歐洲的年裝置容量與累積裝置容量如圖 8-4-1 所示<sup>11</sup>。由這幾年的經驗分析可得離岸風力建置時需考量下列面向：

<sup>11</sup> Source: The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics

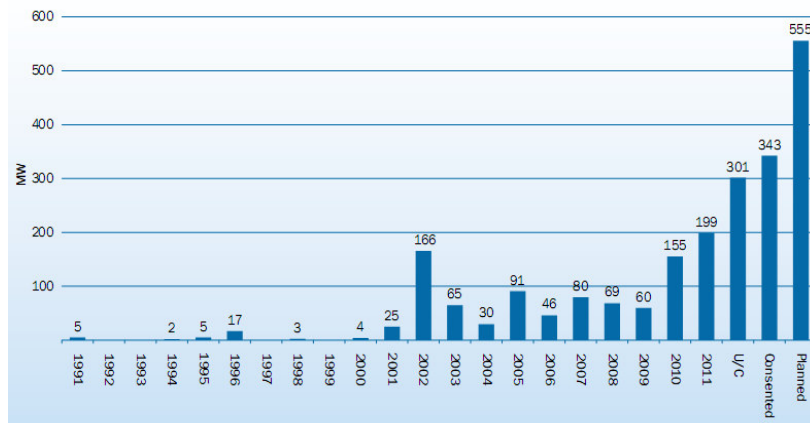


圖8-4-1截至2011年底歐洲的裝置容量與累積裝置容量

1. 風場裝置容量及風機單機容量都漸趨大型化<sup>12</sup>：2010年平均風場大小約155MW到2011年以後平均風場大小已超過300MW，如圖8-4-2所示；風機單機容量也從2000年的2MW到2011年的3.6MW，未來大都以5MW以上的風力機為主流規格。將來我們的採購也應順應趨勢，在‘裝置容量及單機容量上趨向主流趨勢。

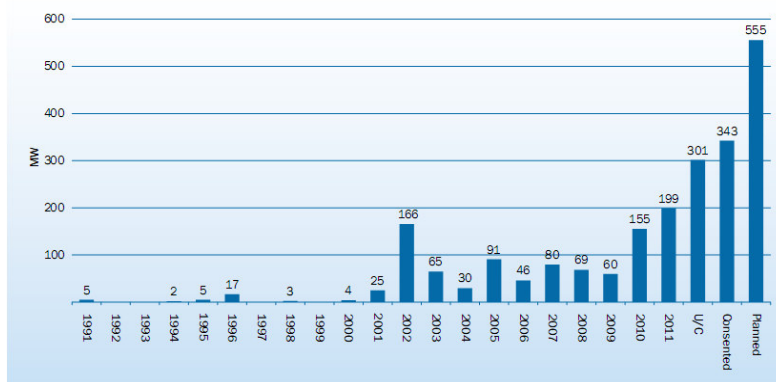


圖8-4-1風場裝置容量漸趨大型化

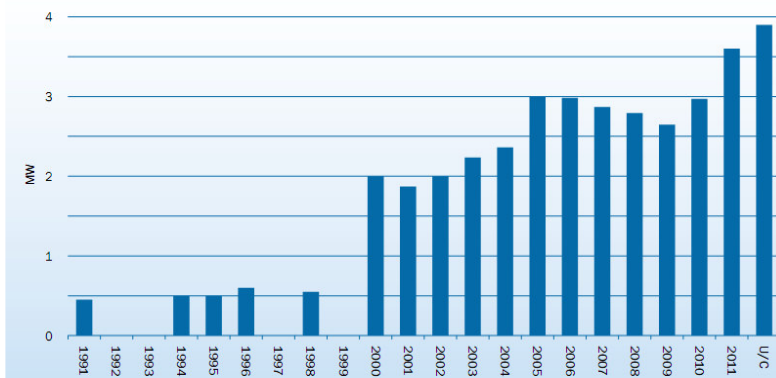


圖8-4-2風力機單機容量趨向大型化

<sup>12</sup> Source: The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics

2. 離岸風力的風場水深及離岸距離也越來越大<sup>13</sup>如圖8-4-3所示，縱座標是離岸距離，橫座標是水深。

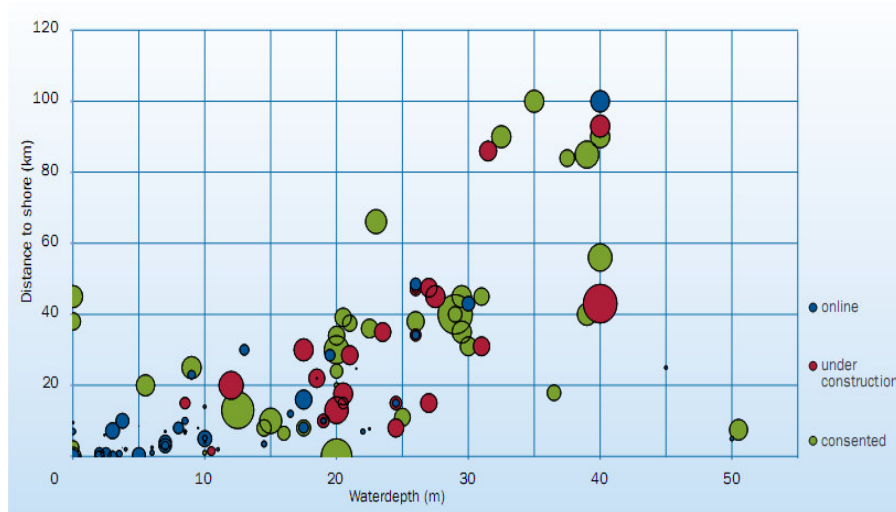


圖8-4-3風場水深越來越深

3. 離岸風力機市場佔有率趨向<sup>14</sup>：

➤ 在風力機製造廠商方面累積至2011年為止，累積裝置容量及裝機數量，目前還是以Siemens及Vestas兩家為主，但這兩項統計分析Siemens公司都超過50%的以上，如圖8-4-4所示。

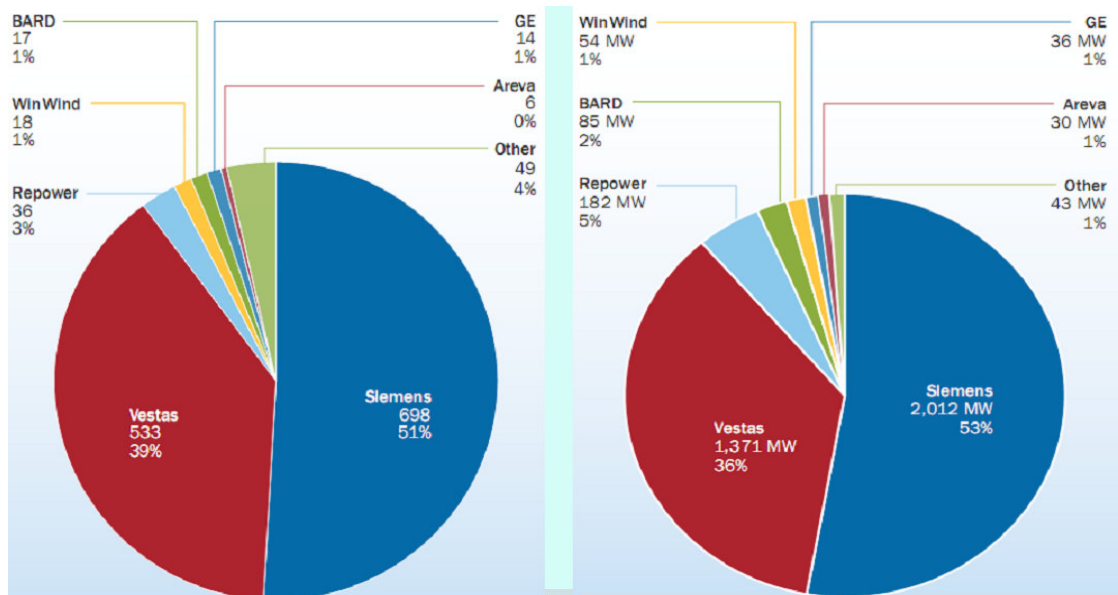


圖8-4-4至2011年止累積裝置容量及裝機數量市場佔有率

<sup>13</sup> Source: The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics

<sup>14</sup> Source: The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics

- 但進一步探討在2011年當年度，各廠家累積裝置容量及裝機數量的統計數據分析，Siemens公司的裝置容量及裝機數量都超過80%，反而Vestas公司幾乎沒有賣到風力機（如圖8-4-5），這是值得探討的地方。

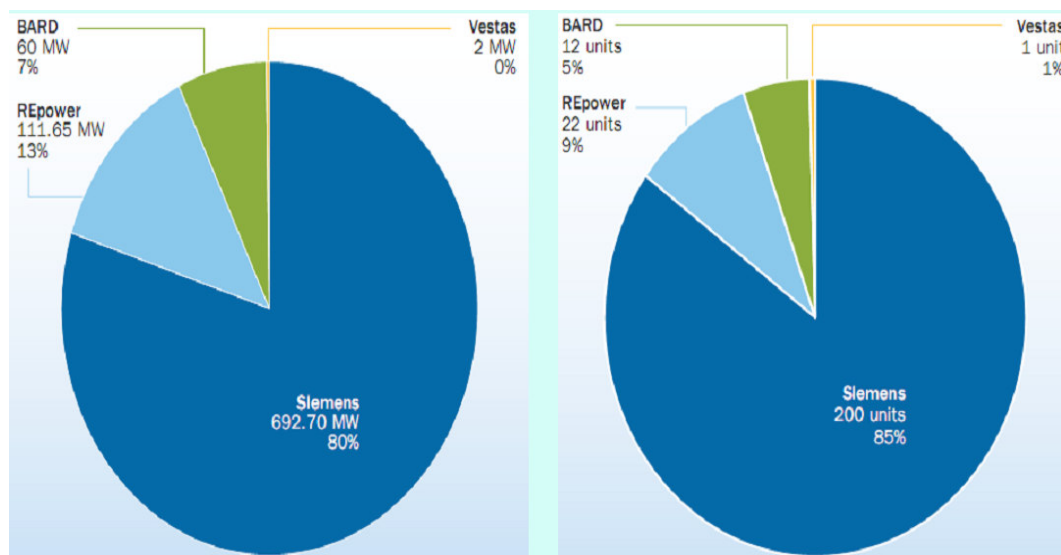


圖8-4-5在2011年當年度各廠家的裝置容量及裝機數量分析

- 丹麥Horns Rev1離岸風場(80部 V80-2.0MW )運轉故障讓Vestas公司的離岸風力機銷售深受影響：諸如層出現安全控制系統的失效，超速造成葉片受損，此事Vestas公司認為是人為造成；變壓器故障全數更換；發電機絕緣故障全部運回拆卸檢修更換；運轉開始1年半的時間高達75000次出海維修紀錄，對成本造成極大的負擔；這些故障也對Vestas公司的離岸風力機銷售產生極大影響，Vestas公司針對一些技術問題加以改良，目前主推V90-3.0M及V112-3.0MW離岸風力機，相信在經過時間驗證其可靠度後，Vestas公司的離岸風力機應會重新在市場上佔有一席之地。
- 基礎結構型態趨向：以目前已安裝的離岸風力機之基礎結構做分析，得到的結果是，無論是在2011年當年度或從以前累積到2011年止的風力機基礎結構，以單樁為基礎型態（Monopile）的佔比約70%以上最多；第二多的基礎型態則不同，累積到2011年止的以重力式為主，2011年當年的則以Jacket Type為主，相關分析如圖8-4-6所示。

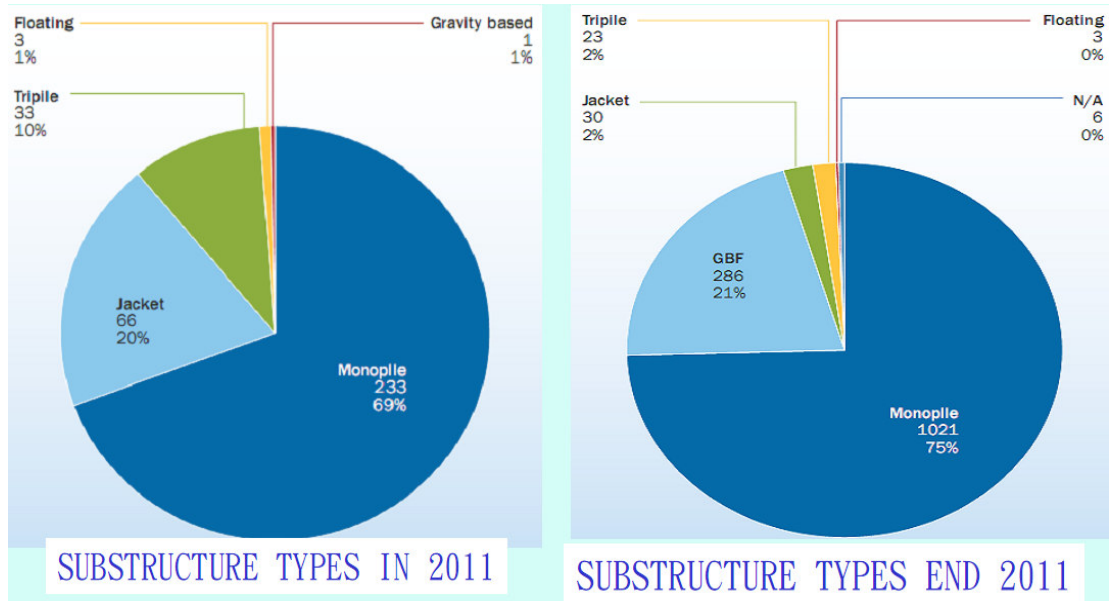


圖8-4-6基礎結構型態趨向分析

- 工程費用之外也應考量運轉維護費用：一般離岸風力工程成本大概可分5大部份<sup>15</sup>：1.風力機及風力機安裝約佔50%；2.基礎及基礎安裝約25%；3.電力電纜及其敷設安裝約15%；4.工程管理費用約5%；5.其他費用約5%。如圖8-4-7所示。

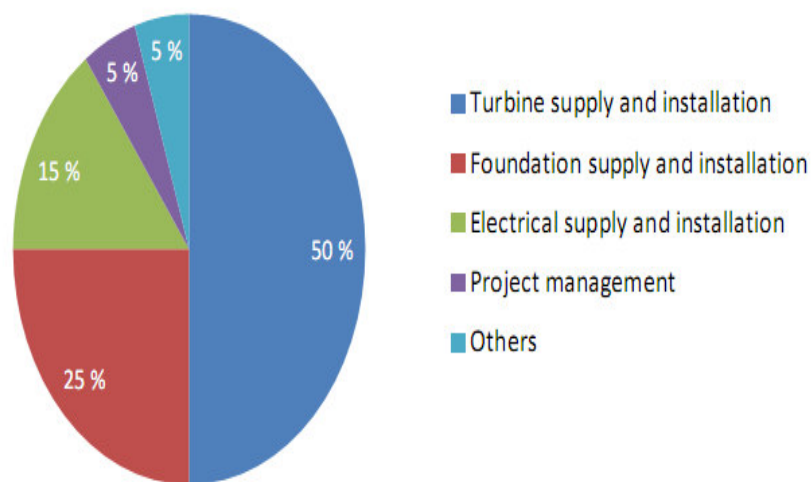


圖8-4-7離岸風力工程成本分析

ECN認為運轉維護費用在離岸風力的成本裡也應該是很重要的考量項目之一，以全生命週期來看，運轉維護的費用更應該被重

<sup>15</sup> BWEA, 2009, <http://www.bwea.com/pdf/publications/ChartingtheRightCourse.pdf>



視，因為它關係著將來風力機運轉效能的良莠與否，據統計分析運為費用在整個離岸風力成本佔比約 23% 左右，如圖 8-4-8 所示。所以在工程規劃階段應把將來運維的策略與有效的執行方式一併考量，以讓風力機的運轉效能達到最大。

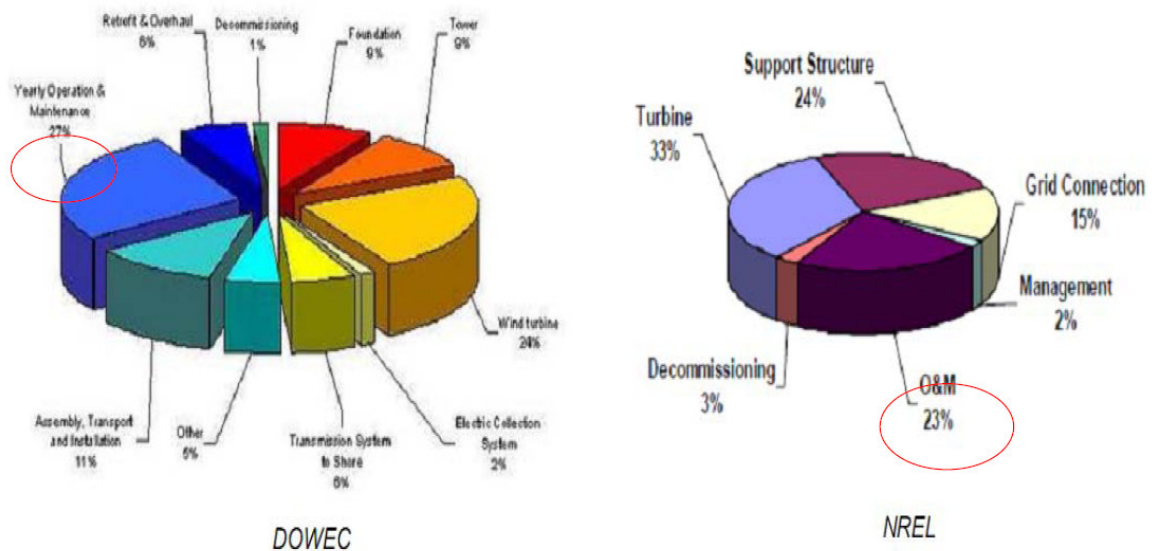


圖 8-4-8 運為費用在離岸風力工程成本佔比

## 九、Ballast Nedam 公司實習

此次得以前往Ballast Nedam公司離岸部門參訪實習，特別感謝喬集偉思特風力發電公司黃琛經理及ECN的Mr. Haico van der Heijden的安排及協助，感謝Ballast Nedam公司業務經理 Mr.Edwin van de Brug的精闢介紹，讓我在此獲得許多離岸風力機基礎結構的專業技術。

### (一) Ballast Nedam公司離岸部門介紹

Ballast Nedam公司離岸部門主要的核心業務是有關海上的工程技術、海上結構的製造及供應、海上工程的後勤規劃與支援、海上結構的安裝與維護等等。在離岸風力的基礎結構主要有單樁、Jacket及重力式等基礎結構。本身也擁有一艘安裝運輸船，可作為基礎之運輸及安裝用，同時也針對基礎提出許多創新的工法以節省成本與時間。

Ballast Nedam公司離岸部門截至目前為止參與離岸風場基礎的設計或安裝約477座其分布如圖9-1-1所示，所以Ballast Nedam公司離岸部門在離岸風力基礎工程領域無論是設計、製造或安裝皆有堅強的實務經驗。

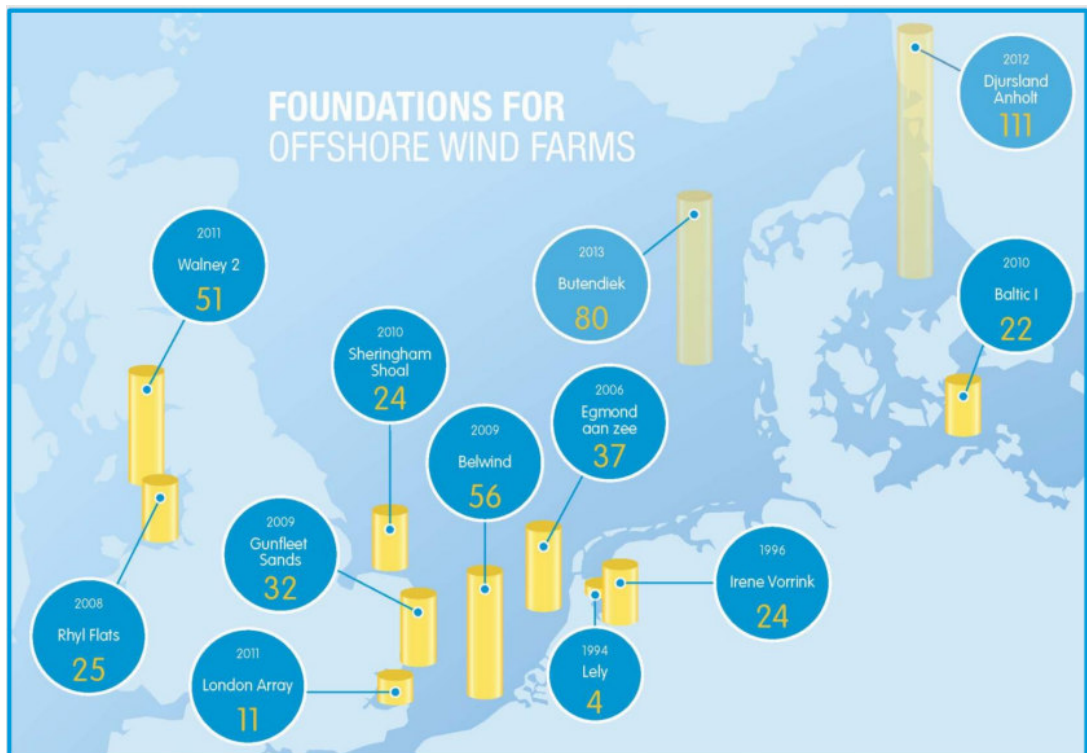


圖9-1-1 Ballast Nedam公司參與過的離岸風力工程

## (二) 基礎設計

### 1. 設計輸入：

一般在基礎結構設計時會考量的設計輸入資料大概有水深、風力機負載大小、製造因素、海底岩石及地形結構因素、海浪的衝擊負載及安裝等因素，如圖9-2-1所示。

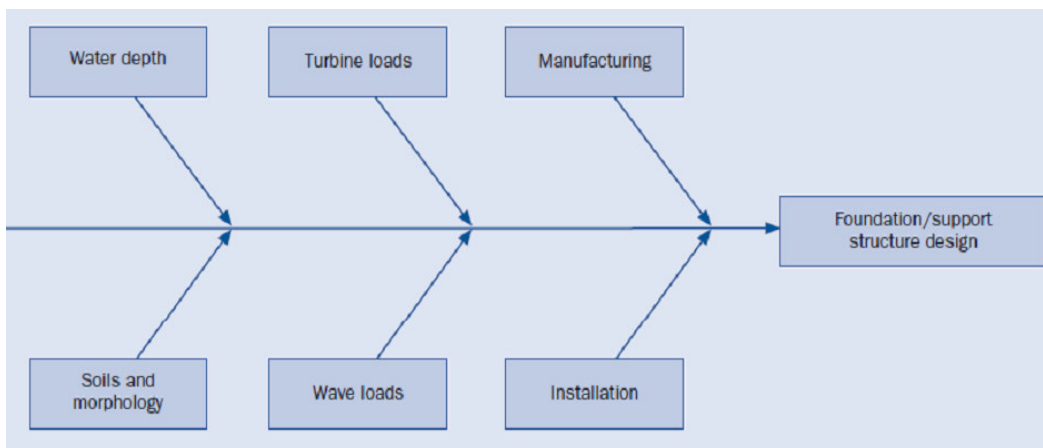


圖9-2-1基礎結構設計時考量的輸入資料

### 2. 負載型態：

基礎結構的負載一般有垂直力、水平力及傾倒力矩等如圖9-2-2所示。

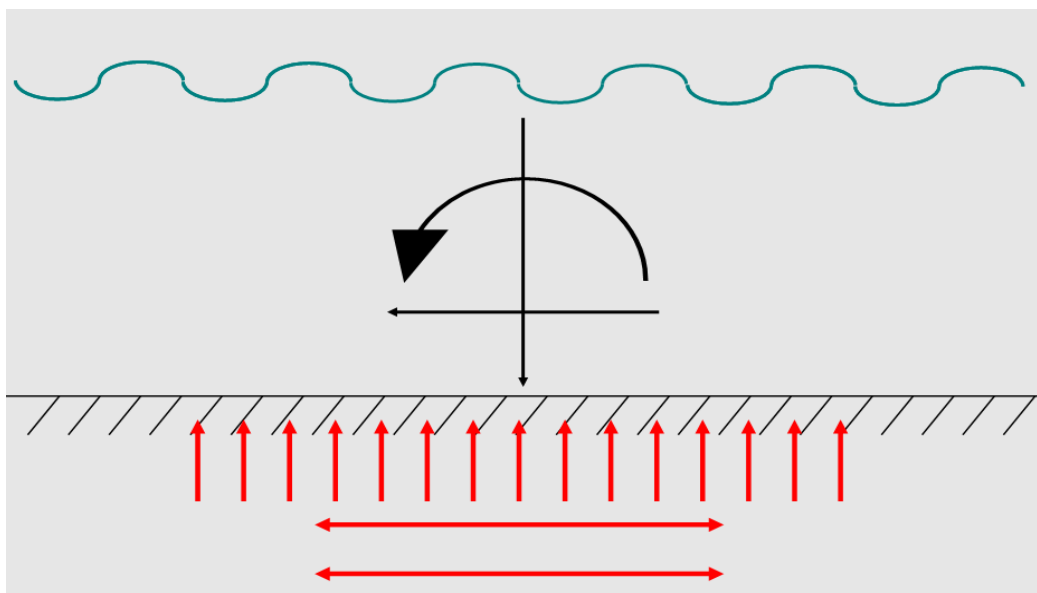


圖9-2-2基礎結構負載分析

3. 基礎結構原理：單樁、重力式及Jacket等型式各不相同，如圖9-2-3所示。

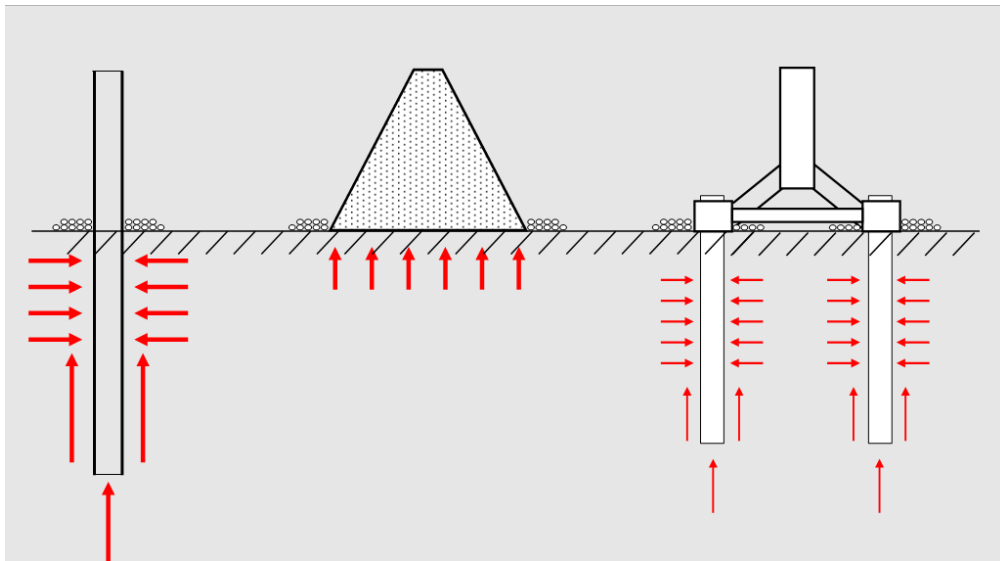


圖9-2-3基礎結構原理

4. 各類基礎結構型式及安裝

- 鋼材單樁基礎型式：基樁打入海底後，需施作防掏沙保護措施，海底電纜連接管（J tubes）在連接段上，連接段與基樁間需用水泥填塞，基礎型式、各部位說明及安裝方式如圖9-2-4所示。

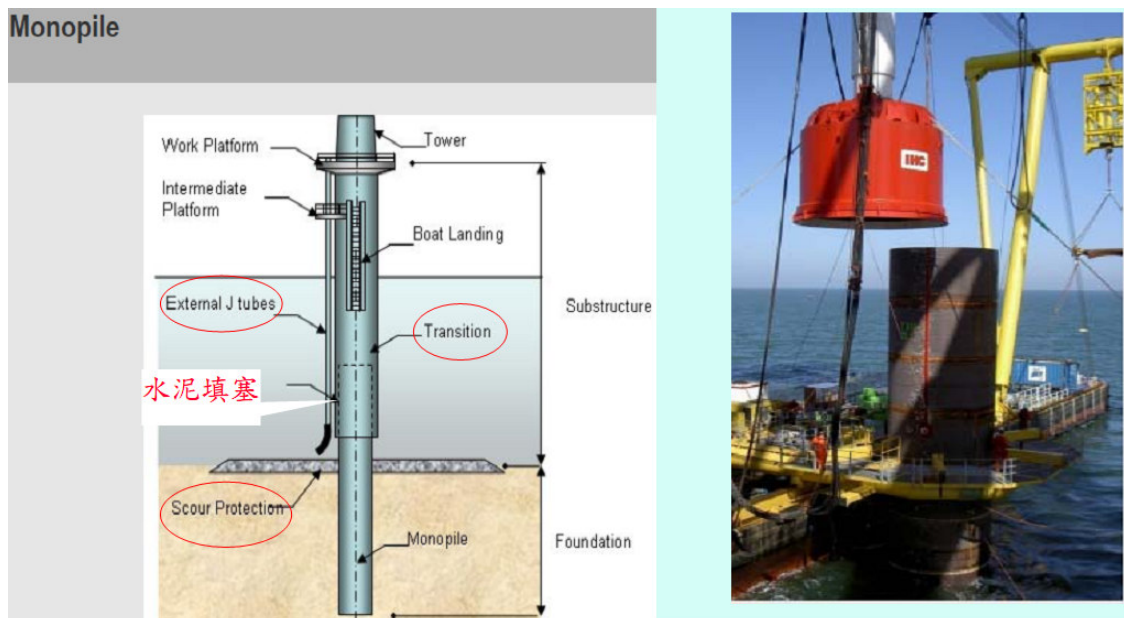


圖9-2-4鋼材單樁基礎

- 重力基礎型式：重力基礎放置到海底定位後，需施作防掏沙保護措施，海底電纜管線設計由重力式基礎的中心進入，基礎底部須以薄水泥填塞。基礎型式、各部位說明及安裝方式如圖9-2-5所示。

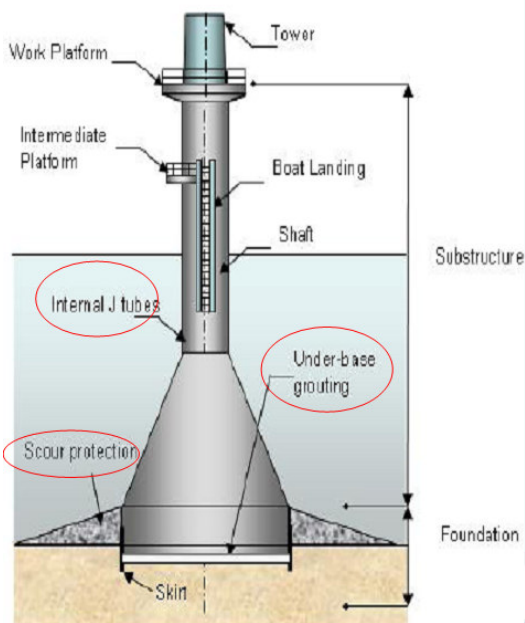


圖9-2-5重力式基礎

- Jacket基礎型式：Jacket基礎由四支樁將基礎固定在海底，為確保打樁導管平穩坐在海底以利打樁，導管架底部需設防沉鋪底，海底電纜管線由Jacket內之電纜J管進入連階段到塔架，Jacket頂部由連接段轉接塔架，為方便人員進入風機，Jacket處需設計爬梯及平台。基礎型式、各部位說明及安裝方式如圖9-2-6所示。

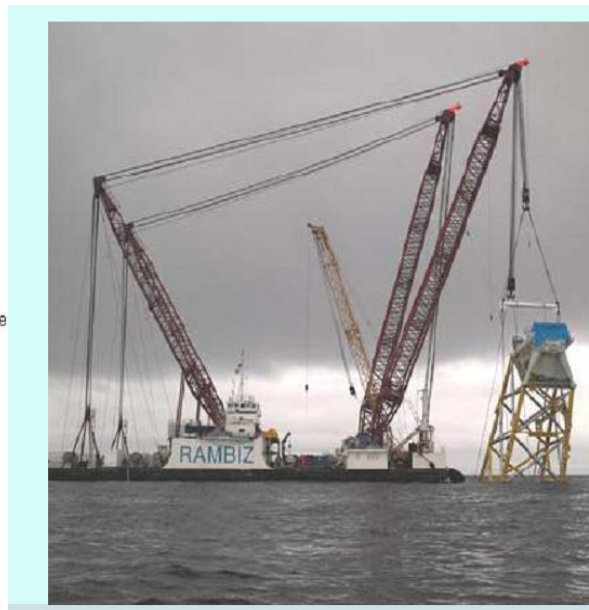
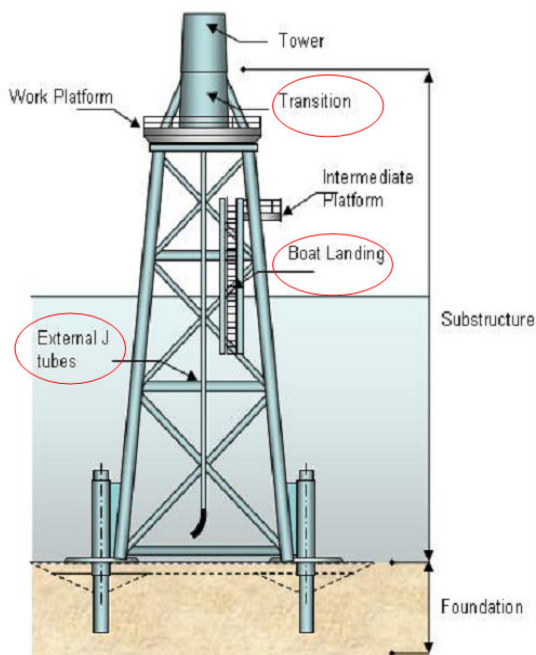


圖9-2-6 Jacket 基礎型式

- Tripod基礎型式：Tripod基礎由三支樁將基礎固定在海底，為確保打樁導管平穩坐在海底以利打樁，導管架底部需設防沉鋪底，海底電纜管線由Tripod底部之電纜J管進入Tripod內部連到塔架，Tripod頂部直接與塔架連接，為方便人員進入風機，Tripod基需設計爬梯及平台。基礎型式、各部位說明及安裝方式如圖9-2-7所示。

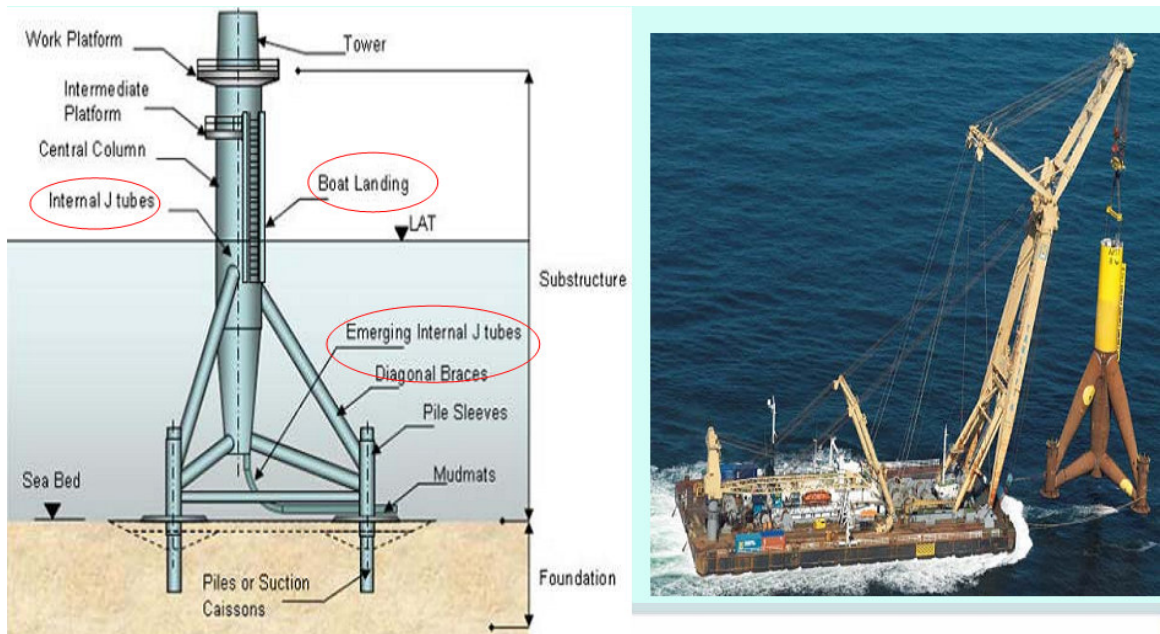


圖9-2-6 Tripod 基礎型式

### (三) 消除噪音施工：

單樁施工時噪音的問題常常造成施工困擾或漁民與環保團體的抗議，目前德國有明確法令規定，距離750公尺知水下噪音值需低於160dB，為此可透過設計進一步消除施工噪音，例如樁頭加緩衝墊及消音罩，預計可降低20dB的噪音值，其方式如圖9-3-1所示。



圖9-3-1 樁頭加緩衝墊及消音罩以減低施工噪音

#### (四) 創新的漂浮式單樁運送方式

為減低單樁的運送成本，Ballast Nedam公司離岸部門，特別研究以漂浮方式以小船將單樁快速的拖到風場位置，再由大型吊船將單樁安裝到指定位置，如此可以快施工時間與節省大型船的運送成本。Ballast Nedam公司目前無論是鋼為材質或混凝土為材質的單樁，都可以漂浮式來快速運至施工地點。如圖9-4-1所示。



圖9-4-1 漂浮式單樁運送方式

#### (五) 創新技術：混凝土單樁基礎型式

1. 以植樁方式施工，沒有水下噪音及震動，故施工時不會傷害海中生物。
2. 混凝土單樁基礎，製造時期CO<sub>2</sub>的排放遠比鋼的單樁基礎來的低。
3. 在海中混凝土單樁基礎的壽命也比鋼的單樁基礎之壽命長。
4. 其製造是以一截一截的方式灌漿後再連接起來成一單樁。
5. 其安裝則以漂浮方式運至大型吊船後，由吊船垂直吊起慢慢放入海床，再由混凝土單樁內中空處放入鑽頭，一邊鑽一邊將基樁植入海床。

### (六) 基礎型式的趨勢

Ballast Nedam公司以多年的實務經驗分析，認為以目前的離岸風機大小，單樁基礎的施工時間與成本是最快也最經濟，將來風力機越來越大，設置位置越來越趨向深海處，未來反而重力式基礎及Jacket Type的基礎型式較合乎需求。基礎型式的趨勢如圖9-6-1

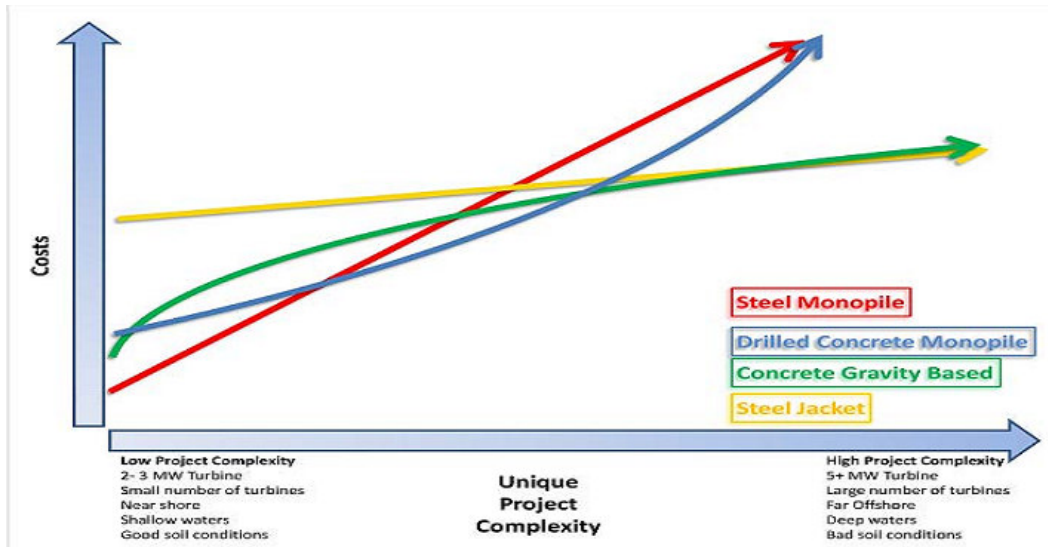


圖9-6-1 基礎型式的趨勢

### (七) 基礎的成本：

在離岸風力的基礎成本分析上，Ballast Nedam公司認為影響這項成本的關鍵因素有兩個，一是風力機的大小，另一是基礎的數量，一般來說風力機越大或基礎數量越多，其所花費的成本越低，這也是將來在規劃離岸風場需考量的地方。基礎的成本分析如圖9-7-1所示。

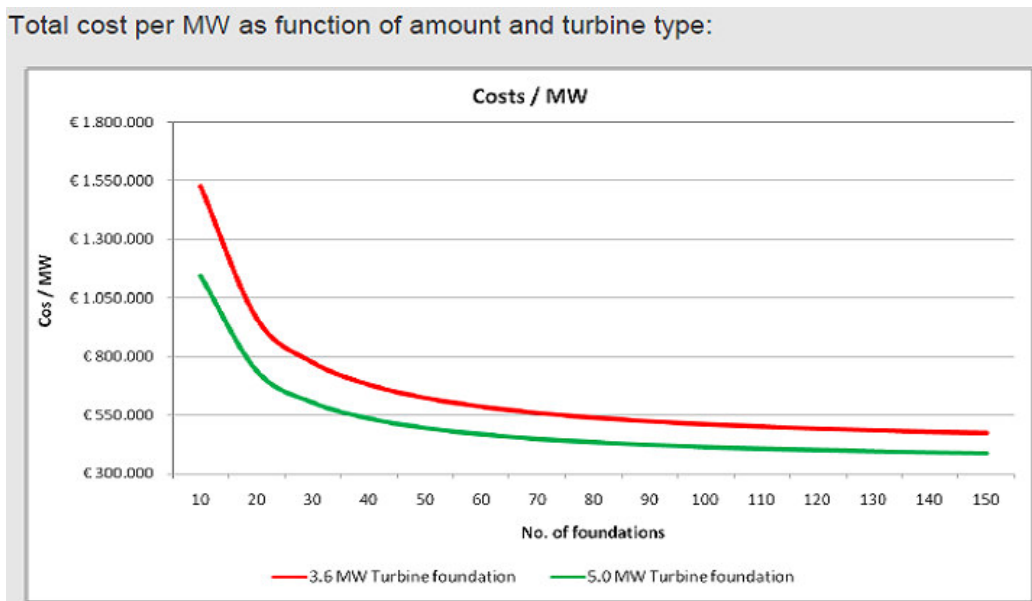


圖9-7-1 基礎的成本分析



### 第3章 結論與建議

- 一、丹麥 1970 年以前也是 99% 的能源依賴進口，從 1973 年第一次石油危機開始，該國從新思考建構能源發展策略，大幅改變能源供應結構，提高能源使用效率，積極開發再生能源及清潔能源，經過 20 多年的努力，到 1997 年以可達到 100% 的能源自給，2005 年自己率已高達 156%，可見調整能源供應結構，是一條可行但需長遠努力的路，目前政府也在調整能源政策，建議應收集更多國外成功資訊，盡快建構台灣最佳的能源供應結構，降低能源進口比例，以避免將來 OIL PEAK 來臨時，對台灣經濟與社會安定的衝擊。
- 二、丹麥及歐洲先進國家，這幾年積極推動離岸風力的建置，這些國家成功及失敗的實務經驗相當寶貴，建議應適時蒐集並回饋國內，以利成功的推動台灣離岸風力及避免重蹈相同錯誤。
- 三、丹麥政府以能源署 (DEA) 作為推動再生能源的單一窗口，它擁有招標、選址、環境影響評估、核發建設許可等職責與權力，這對離岸風力的推動減少許多界面的干擾，值得台灣參考。
- 四、離岸風力成本包括風機與風機安裝基礎、基礎與基礎施工、電力電纜及變電站等設備及安裝、工程管理等等；此外，建議應將運維的成本更詳細的列入初期規劃分析，確實轉移到將來運維技術的建立與學習，以利風力機保持高的可靠度與運轉效能。
- 五、離岸風力機的海運後勤規劃包括碼頭與儲存腹地，丹麥及歐洲國家政府都積極介入主導規劃專用區，減少離岸風力建置的不確定性與風險，建議台灣應該參考國外經驗，盡速籌建離岸專用碼頭等相關設施，以促進離岸風力的推展速度。
- 六、離岸風力機的好壞對將來運轉效能與維護成本影響巨大，應多多收集分析歐洲這幾年已經商轉及得標的風力機資料，從各類成本角度與產出效能作詳細的分析，透過招標策略挑選最佳風力機，以降低將來的運轉風險及減少各類成本支出。
- 七、故障預先偵測系統，可在早期發現風機問題即時反應或維修，可減少風機大故障機率，在運維的時程安排上，可提供很好的資訊，幫助運轉維修決策，建議此設備應納入招標要求，避免事後再花錢建立相關系統。

- 八、好的工程管理組織架構、策略及執行方式，可加速工程進度推動及簡省工程經費，應多多蒐集國外成功經驗，建構適合本公司的離岸工程管理架構與策略，有效推動離岸風力的建置任務。
- 九、葉片、齒輪箱、發電機，主軸承等等大零件好壞，對將來運維影響很大，應蒐集國外這幾年的運轉經驗，作為採購參考決策資訊。
- 十、應繼續派員到歐洲建置成功且運轉良好的離岸風場，蒐集有關環境保護衝擊資訊、漁業資源影響資料、船隻航行影響、候鳥飛行影響、各類補償機制策略等等，以利將來離岸風力的推動。

## 第4章 參考資料

- 一、2007 年聯合國氣候變化政府間專家委員會（IPCC）發表的第 4 次評估報告。
- 二、2007 年 4 月 369『期天下雜誌』。
- 三、陳艷茹（2012）。丹麥再生能源促進法介紹 —— 並與我國再生能源發展條例比較。能源報導 3 月號。
- 四、彭明輝（民 101 年）。2020 年台灣的危機與轉機。聯經出版社。
- 五、<http://www.ens.dk>
- 六、<http://www.ens.dk/en-US/supply/Renewable-energy/WindPower/Documents>
- 七、SIEMENS 公司資料。
- 八、VESTAS 公司資料。
- 九、BWEA,2009,<http://www.bwea.com/pdf/publications/ChartingtheRightCourse.pdf>
- 十、The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics.
- 十一、荷蘭 ECN（Energy research center of the Netherlands）資料。
- 十二、Ballast Nedam 公司資料