

出國報告（出國類別：實習）

研習離岸風力發電計畫規劃、環評、
施工、運轉、維護等相關技術

（裝訂線）

服務機關： 台灣電力公司
姓名職稱： 陳國安處長、林武煌組長、
陳君銓組長、洪永輝組長、
楊光統經理、陳明傳課長、
李文彬主管等
派赴國家： 荷蘭、丹麥、英國
出國期間： 96.6.9~96.6.23
報告日期： 96.8.21

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習離岸風力發電計畫規劃、環評、施工、運轉、維護等相關技術

頁數 0 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳國安/台灣電力公司/營建處/處長/(02)23666920
陳君銓/台灣電力公司/營建處/組長/(02)23666929
林武煌/台灣電力公司/工安環保處/組長/(02)23667205
洪永輝/台灣電力公司/系統規劃處/組長/(02)23666911
楊光統/台灣電力公司/新能源施工處/經理/(04)26580310
陳明傳/台灣電力公司/電力修護處/課長/(04)7363666 轉 361
李文彬/台灣電力公司/電源開發處/主管/(02)23667536

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：96年6月9日至96年6月23日

出國地區：荷蘭、丹麥、英國

報告日期：96年8月22日

分類號/目

關鍵詞：OWF(Offshore Wind Farm)、FEED (Front End Engineering Design)

內容摘要：(二百至三百字)

在全球因應氣候變遷與環境保護的呼聲中，再生能源因為具有潔淨、低溫室氣體排放及自產能源的特性，愈來愈多的國家將再生能源

列為未來能源政策考慮重點之一，而我國自產能源有限，98%均須仰賴自國外進口，故能源政策也逐步思考如何發展再生能源。其中風力發電一直被列為我國發展再生能源的選項之一。經本公司及其他民間業者競相規劃結果，台灣陸域可供新設風機之位址所剩不多，為突破場址難覓之困境，國外經驗係朝離岸風力發展。離岸風力涉及海上多變環境，投資鉅大，國內缺乏實務作業經驗，故本公司董事長指示安排職司風力發電之規劃、設計、施工、運轉、維護等相關單位派員共同組團赴已具離岸風力開發實例之荷蘭、丹麥、英國等地參訪海上風場及專業廠商，以汲取歐洲先進國家寶貴實務經驗，作為公司規劃離岸風力計畫之借鏡，俾降低投資風險。

本報告係將國外所見所得按出訪目的摘要記錄，藉以供爾後參與計畫之同仁參考引申，俾利規劃周詳，施工順利，設備運轉維護無礙，投資成功。

目 錄

	頁次
壹、目的及緣起	1
貳、出國行程	3
參、參訪紀要	7
肆、參訪心得	9
一、可行性研究	9
二、籌設許可申請	20
三、電力系統分析	27
四、環境影響評估	31
五、發包策略及施工	38
六、工程設計及管理	54
七、營運及維護	57
八、除役或更新機組	67
伍、結論與建議	68
陸、附 錄	70

壹、目的及緣起

本次出國任務目的在研習離岸風力發電計畫規劃、環評、施工、運轉、維護等相關技術。

本公司為配合政府再生能源發展政策，自 91 年起積極推動以風力發電為重點之「十年發展計畫」，迄今已獲政府核准執行共三期計畫，已有近 70 部風機商轉、施工中與籌設中更超過 100 部。經本公司及其他民間業者競相規劃結果，台灣西部海濱可供新設風機之位址所剩不多，為突破陸域風力場址難覓之困境，國外經驗係朝離岸風力發展。

本公司雖已委外辦理離岸風力廠址選擇及可行性研究，惟離岸風力涉及海上多變環境，投資鉅大，國內工程顧問機構缺乏實務作業經驗，且本公司將來負責執行單位亦須實地了解相關作業細節，故奉董事長指示安排職司風力發電（以離岸風力為重點）之規劃、設計、施工、運轉、維護等相關單位共同組團赴國外研習，參訪海上風場及專業廠商，以汲取歐洲先進國家寶貴實務經驗，俾降低離岸風力投資風險。

本次出國台電公司人員共計 7 位，應用 96 年度出國計畫第 4、42、85、136、189 及 197 號，獲電人字第 9606-0231 號函核准在案（出國核定書 EE96041）。參團人員尚有中興工程顧問公司 2 位及台灣大學教授 1 位（名單詳如附表 1-1）。

表 1-1 離岸風力計畫組團出國研習人員名單

姓 名	所 屬 單 位	職 稱	備 註
陳國安	台電公司營建處	處長	團長
林武煌	台電公司工安環保處	組長 (環境規劃組)	
陳君銓	台電公司營建處	組長 (機械組)	
洪永輝	台電公司系統規劃處	組長 (幹線規劃組)	
楊光統	台電公司新能源施工處	經理 (土建組)	
陳明傳	台電公司電力修護處 (中部分處)	課長 (第四工作隊)	
李文彬	台電公司電源開發處	主管 (新能源組)	
林銘崇	台灣大學工程科學及 海洋工程學系	教授	隨團顧問
龔誠山	中興工程顧問公司	協理	副團長
陳啟明	中興工程顧問公司	工程師	

貳、出國行程

本次出國期間自 96 年 6 月 9 日至 96 年 6 月 22 日止，共計 14 天。其行程如下表（表 2-1）：

日期	行 程	拜會機構 所在城市	住 宿 城 市
6/9	往程		
6/10	飛抵荷蘭、假日休息		荷蘭 阿姆斯特丹
6/11	拜會 KEMA	荷蘭 Arnhem	荷蘭 阿姆斯特丹
6/12	觀摩 OWEZ 及 Q7 二處海上風場	荷蘭 Egmond aan Zee	荷蘭 阿姆斯特丹
6/13	飛抵丹麥 Billund，再轉車至 Arhus	丹麥 Arhus	丹麥 Arhus
6/14	拜會 Vestas	丹麥 Rander	丹麥 Arhus
6/15	拜會 Energinet.dk、A2SEA	丹麥 Fredericiar	丹麥 哥本哈根
6/16	假日休息及整理資料		丹麥 哥本哈根
6/17	假日休息及飛抵英國		英國 倫敦
6/18	拜會 SeaScape Energy（觀摩 Burbo Bank 海上風場工作基地）	英國 LiverPool	英國 倫敦
6/19	拜會 Wind Prospect 及 Garrad Hassan	英國 Bristol	英國 倫敦
6/20	拜會 RPS plc	英國 倫敦	英國 倫敦
6/21	DTI、Mott MacDonald	英國 倫敦	英國 倫敦
6/22	返程		



圖 2-1 荷蘭參訪地點



圖 2-2 丹麥參訪地點

BRITRAIL MAP

Legend

- high speed rail only
- main line / high speed rail
- primary lines
- secondary lines
- shipping services
- bus services
- airports

To and through London

0 50 100 150
kilometres / miles



利物浦

- Burbo Bank

布里斯托

- Garran Hassan
- Wind Prospect

圖 2-3 英國參訪地點

倫敦

- RPS
- DTI
- MacDonald

參、參訪紀要

本次出國遵照 董事長核示前往荷蘭、丹麥、及英國三國觀摩離岸風場及參訪相關廠商，俾汲取離岸風力發電之實務經驗與了解廠商供應能力，此次共參訪三處風場及 10 家廠商等，涵括規劃、設計、施工、製造、與風場開發及電網調度各層面，茲依參訪順序分別概述如下：

表3-1 參訪公司及其性質

編號	參訪公司	公司性質	研習重點
1	KEMA	電力工程顧問公司	電網分析、電力市場
2	Ramboll	海事工程顧問公司	海事工程設計
3	Vestas	風機製造廠商	風機、葉片及塔架製造
4	Energinet.dk	電力供電系統公司	風力發電對系統衝擊、電力供需管理
5	A2Sea	風機施工廠商	海上施工及管理
6	SeaScape	IPP	風場開發及施工管理
7	Wind Prospect	電力開發商	風場開發、發包策略、工程管理
8	Garrad Hassan	風力發電顧問公司	可行性研究、規劃、設計
9	RPS Group Plc	環境、規劃、工程顧問公司	環境影響、視覺衝擊、工程管理
10	Mott MacDonald	工程顧問公司	風機市場、風險評估

表3-2 觀摩風場概要

編號	風場名稱	地點	裝置容量	開發現況
1	Q7	荷蘭 <u>Egmond aan Zee</u>	60@Vestas 2MW	施工中
2	OWEZ (Q8)	荷蘭 <u>Egmond aan Zee</u>	36@Vestas 3MW	運轉中
3	Burbo Bank	英國利物浦灣	25@Siemens 3.6MW	施工中 (風機吊裝)

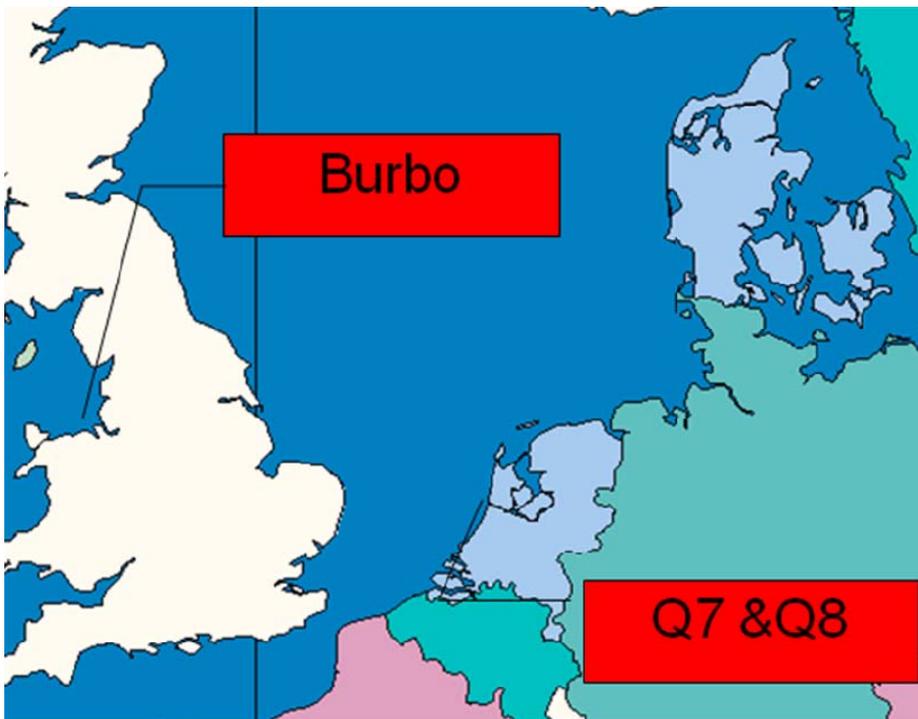


圖3-1 參訪風場位置

肆、參訪心得

一、可行性研究

(一)開發流程

國外的離岸風力發電的開發流程(圖 4.1.(1).1)與傳統的開發流程稍有不同。歐洲離岸風力發電開發廠商於場址範圍選定並確定開發規模後，其開發計畫首先需訂定開發策略，取得相關廠商之技術支援及企劃書後，進行可行性研究及設置測風塔，再於技術顧問之分包完成後藉由開發團隊(圖 4.1.(1).2)進入後續設計研究流程，反覆檢討修正設計，由開發商之工程管理團隊進行工程與設備發包、施工，待完工及試運轉驗收後進入商轉維護營運階段。

其中開發策略範疇包括開發規模、風力發電市場條件、資金與財務、供應鏈成熟度、開發時機與時程(圖 4.1.(1).3)、環境影響、設計、發包、施工、營運及維護、除役等項目訂定相關開發原則與方針，提供後續各開發階段之參考依據。各風場之開發策略因時地制宜，且甚為重要，為後續開發之基礎，建議應針對各風場進行策略研究，降低開發風險。

國外可行性研究係以為取得籌設許可為目的，其內容大都根據過去經驗進行初步分析，需待組成設計團隊後進入 FEED 階段，相關設計才能確定。

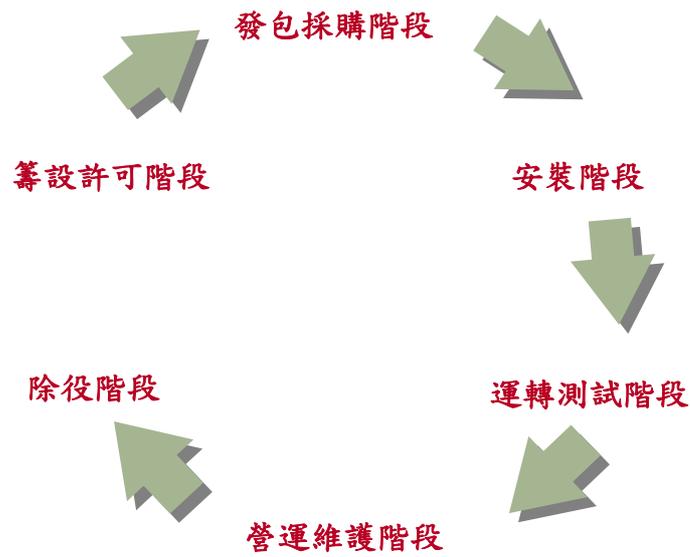


圖4.1.(1).1 離岸風力發電計畫開發流程

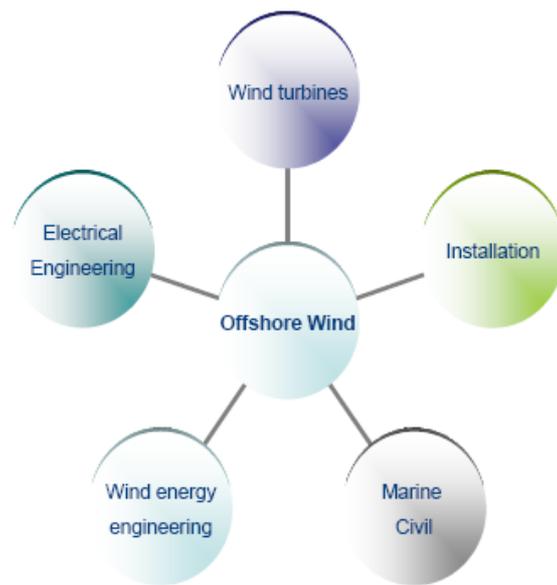


圖4.1.(1).2 離岸風力發電計畫開發團隊之領域

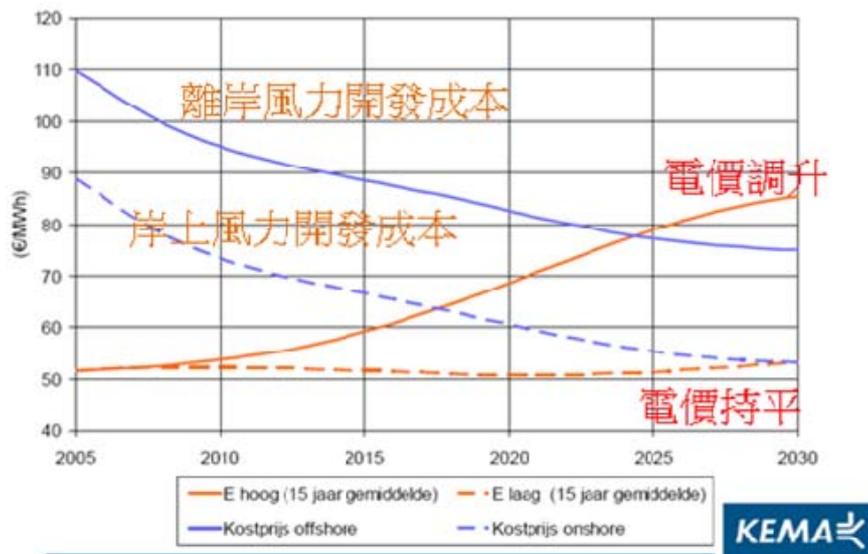


圖 4.1. (1).3 電價與開發成本之趨勢預測

(二)風機佈置

以英國為例，政府規定離岸風力於第一回合(Round 1)申請案以 30 部風機為開發上限，開發面積亦已確立(一般為 10km²)，因此風機佈置間距可藉由程式計算出較佳發電效率方式決定。

依照風機公司經驗，大於 3MW 之風機，風機間距需大於 500 公尺。此外，由於目前所開發之風力發電模擬程式，對於發電量與擾流損失之計算皆利用簡化後之公式或半經驗公式進行計算，已知對於較大規模之離岸風力發電廠(大於 100 部風機)，受到模式能力之限制，其計算結果可能存在一定程度之誤差，須謹慎評估後使用。

(三)FEED (Front End Engineering Design)

根據歐洲風場開發經驗認為，藉由來自各領域廠商之專家所組成的設計團隊進行 FEED 研究，反覆檢討規劃設計內容，可逐步確立各項風機設計、施工、營運及維護之可行性，降低開發風險。

FEED Study

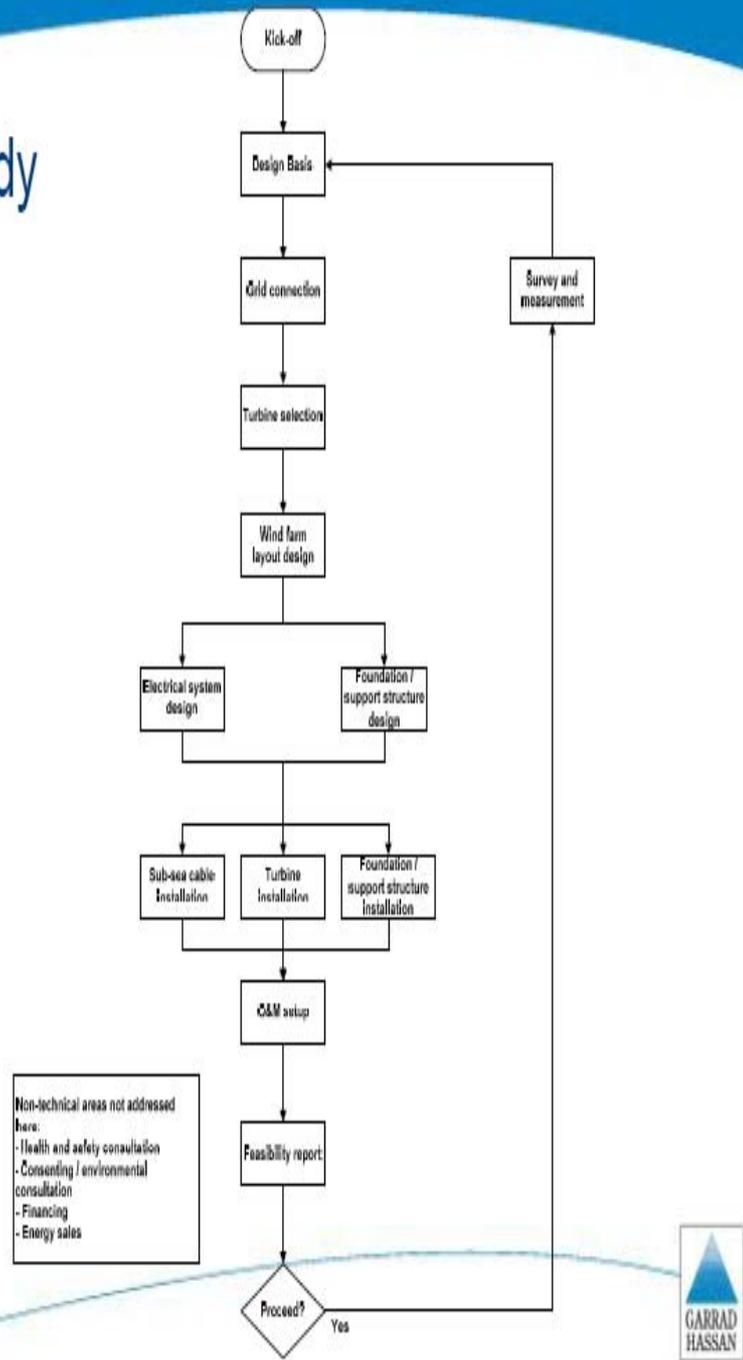


圖4.1.(3).1 FEED 流程

由於設計團隊皆來自各領域廠商，皆具備專業知識與經驗，由其進行設計或提供專業諮詢等工作，可確保規劃設計之可行性。一般而言，該團隊中之廠商即為未來設備或施工之廠商與工程管理之顧問公司，如此開發商、風機廠商與施工廠商皆能充分瞭解該開發計畫之內容與可行性，確保建置與成本控制之風險。

(四)測風塔設置

風塔(圖 4.1.(4).1)近來已成為建置離岸風場之必要條件，測風塔之風場與環境資料的內容，影響風機與施工廠商參與意願，因此測風塔需於可行性研究後建置完成，如此一方面 FEED 研究方能順利取得資料進行設計，另一方面提供風機與施工廠商做為未來議價的基礎。此外，測風塔除提供風場資料外，亦提供環境監測資料，作為施工前監測環境背景資料。歐洲經驗顯示至少需有一年之觀測資料為必要條件。

測風塔(圖 4.1.(4).2)之投資成本高(約 £1.8M)，為取得籌設許可前之最大投資，因此投資風險高。開發商應進行策略研究，確立適當的投資時機以降低投資風險。



圖 4.1.(4).1 Burbo 測風塔近照



圖 4.1.(4).2 Burbo 測風塔施工

(五)基礎設計

國外於可行性研究階段僅討論基礎型式的可行性，需待組成設計施工團隊(圖 4.1.(5).1)後進行設計研究。

因歐洲無地震及颱風，台灣海象及海上施工環境與歐洲差異甚大，且目前亞洲無專業之風機安裝與大型基礎打樁(>直徑 5M)之船隊(圖 4.1.(5).2)，再者亞洲海上施工廠商皆無離岸風機施工經驗，等等因素皆須納入可行性研究考量之。



圖 4.1.(5).1 打樁船隻

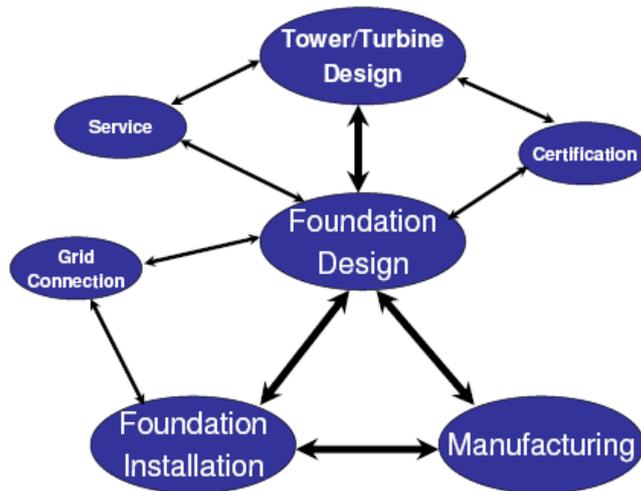


圖 4.1.(5).2 基礎設計界面

(六)施工規劃

需考慮基礎及海纜施工之可行性，施工工期依開發規模而定，根據歐洲之經驗，30~40 部風機之施工約需 2~3 年時間，但是由於台灣海上施工環境、能力與經驗等因素，施工工期預期應比歐洲長，施工成本因而增加。

施工港埠之位置除考量施工船隊進出所需具備之條件外，另需有夠之陸上腹地提供風機組裝存放空間；選擇漁/商船交通流量較低之港埠可降低航行風險，考量港埠至場址之航行時間可節省施工時間，降低成本。

以英國 Burbo 風場開發為例(如圖 4.1.(6).1)，規劃階段皆以利物浦(Liverpool)為施工港埠，但是進入 FEED 階段後，反覆研究後考量利物浦船隻流量高，施工船隻進出限制及風險高，運輸時間較南方港埠長，最後決定以 Burbo 場址南方港口為施工港埠。

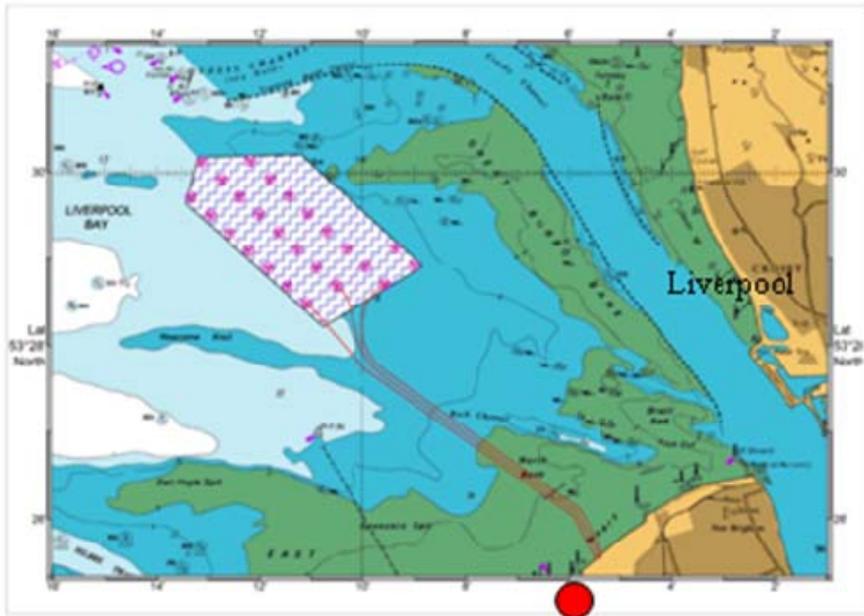


圖 4.1.(6).1 英國 Burbo 風場位置圖

(七)成本結構

開發廠商之實際成本或風機成本資料皆不易取得，而且目前風機為賣方市場，價格之推估亦難準確。施工成本則視海事工程市場榮枯而定，價格波動大，風險亦相形增加。東亞地區尚無大型打樁施工船隻，若因此改變基礎結構以適用東亞施工船隻則將增加建造成本。此外東亞施工、營運及維護之供應鏈尚未形成，也增加未來營運維護成本及風險。

歐洲已經有離岸風力開發經驗，各離岸風場間之開發成本結構雖有所出入，但基本上皆類似，其經驗可供參考。以英國 Burbo 風場為例(表 4.1.(7).1)，其中基礎與風機預算之成本佔比約 78%，為離岸風力開發計畫成本之關鍵項目，而該兩項成本亦為不確定性高之項目，因此離岸風力開發成本控制之風險實不易掌控。綜上所述，開發成本之高低取決於市場及供應鏈等外在因素，不易藉由發包或規劃設計降低或控制，而未來本公司進行離岸風力發電開發時，成本風險則需藉由計畫管理反覆評估分析掌控。

表4.1.(7).1 Burbo 開發預算結構

Overall Project (project management, engineering, insurance, grid connection fee, site investigations)	10 %
Foundations supply and installation	23 %
Turbines supply and installation	53 %
Offshore cable supply and installation	10 %
Onshore cable supply and installation Substation	4 %

(八)雷達

離岸風力發電場之設置可能影響岸置國防、海防、航運之雷達監控(圖 4.1(8).1 與圖 4.1.(8).2)，但亦可利用場址設置之雷達進行

鳥類觀測調查工作，因此歐洲在此方面已有相關經驗可供參考，惟台灣國防與海防單位之需求可能與國外不盡相同，因此尚需政府主管機關制定相關法規作為離岸風力發電開發業者遵循之依據。

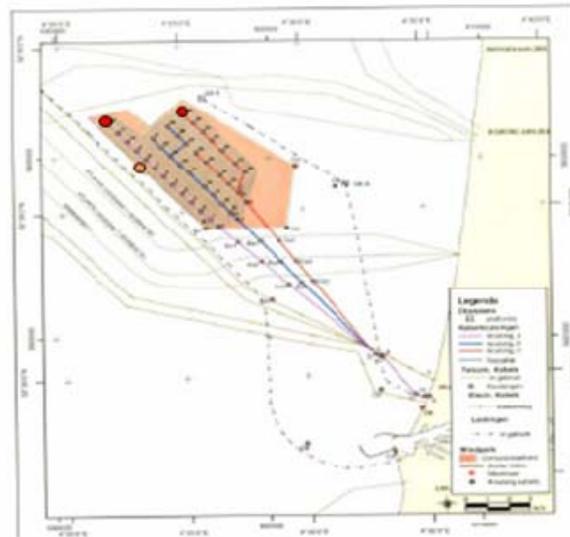


圖4.1.(8).1 荷蘭Q8離岸風力發電場雷達位置(紅色與橘色圓點)

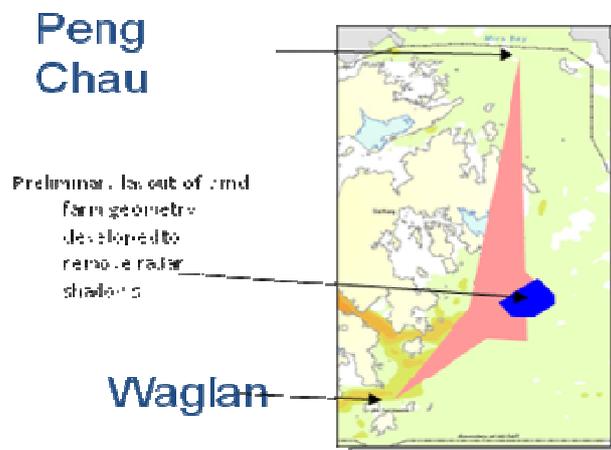


圖4.1.(8).2 香港離岸風力發電場雷達位置

(九)船隻碰撞

基於航行考量安全，一般要求船隻航行需距離風場至少 500 公尺。由於台灣海峽區域航行密度無官方之統計資料可資參考研究，對於未來進行船隻碰撞研究可能造成困擾。

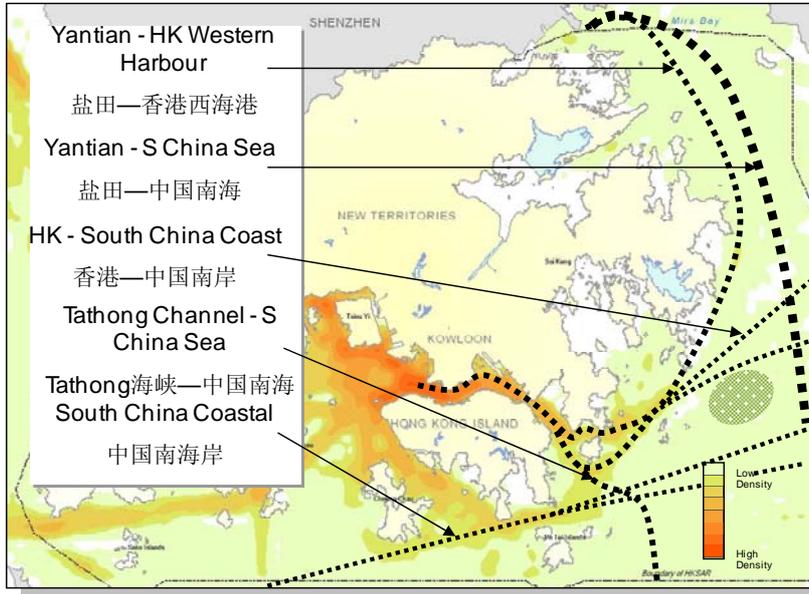


圖 4.1.(9).1 香港離岸風場周邊海域航線與交通密度

(十)調查及評估

調查工作(圖 4.1.(10).1)首先收集過去已經調查過之資料，經過資料分析後進行初步調查工作(地形、地質及海象)，氣象資料則需由測風塔取得。利用前述資料、風機位置、海纜路徑及基礎概念設計等初步分析，再評估並進行補充調查，反覆前述程序後進行基本設計(圖 4.1.(10).2)。

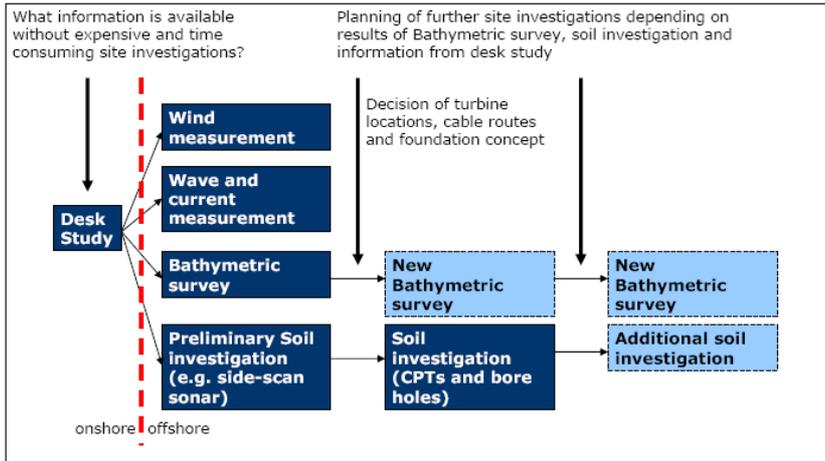


圖4.1.(10).1 調查及評估之關係

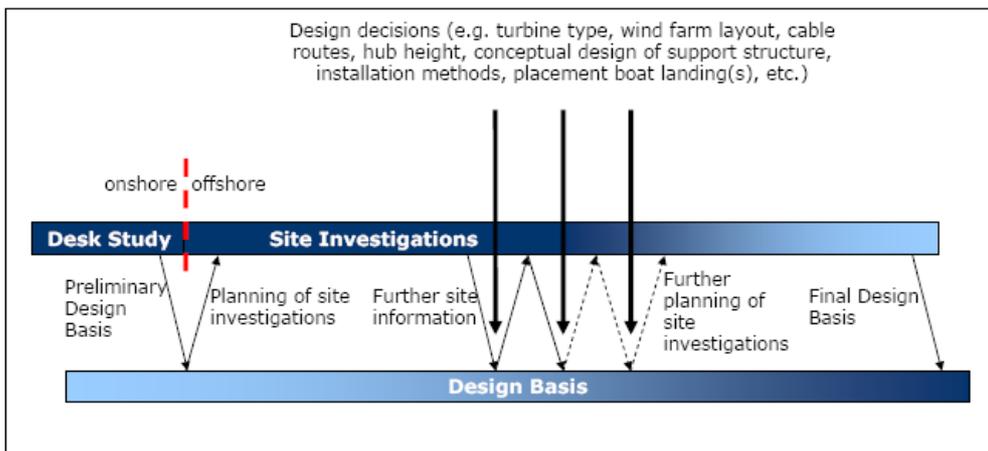


圖4.1.(10).2 調查及設計之關係

(十一) 第三者認證

第三者認證工作需於取得籌設許可及確定設計團隊後，於 FEED 研究或工程與設備發包開始至施工完成期間，視開發商需求而定。

二、籌設許可申請

(一)歐洲三國政策、法規及開發程序

荷蘭、丹麥、英國等三國為目前歐洲興建離岸風力發電廠相當積極及具有經驗之國家，此三國政府為使民間廠商投資離岸風力發電，皆已制定相關離岸風力發電政策、申請程序及獎勵措施等如下表(表 4.2.(1).1~表 4.2.(1).3)。

表4.2.(1).1 荷蘭離岸風力發電相關政策與法案

Policy Type	Policy
•Fossil Fuel Taxes •Tax Credits	<u>Regulatory Energy Tax (Regulerende Energie Belasting - REB)</u>
•Guaranteed Prices / Feed in	<u>MEP: Environmental Quality of Electricity Production (Milieukwaliteit van de Elektriciteitsproductie)</u>
•Government Purchases	<u>Renewables for Government Buildings</u>
Capital Grants RD&D	<u>Energy Research Strategy (EOS)</u>
Investment Tax Credits	<u>Energy Investment Deduction (EIA)</u> <u>Green Funds</u>
Regulatory and Administrative Rules	
不分類	<u>Energy Transition</u> <u>Implementation of EU Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) / Energy Performance Certificate (Energieprestatiecertificaat)</u> <u>Energy Tax Regime</u> <u>Energy Performance Standard for New Buildings</u>

表 4.2. (1).2 丹麥離岸風力發電相關政策與法案

Policy Type	Policy
•Fossil Fuel Taxes •Voluntary Programmes	<u>Energy Taxes</u>
•Guaranteed Prices / Feed in	<u>Subsidies for Renewable Electricity Generation</u>
•Capital Grants	<u>Subsidies for wind turbines</u>
RD&D	<u>National RD&D Strategies for Renewable Energy Technologies</u> <u>The Energy Research Programme (ERP)</u>
Public Awareness	<u>National Strategy for Sustainable Development</u>
Tax Credits	<u>Wind Energy Co-operative Tax Incentive</u>
Regulatory and Administrative Rules	<u>Technical certification scheme for the design, manufacture and installation of wind turbines</u>

表 4.2. (1).3 英國離岸風力發電相關政策與法案

Policy Type	Policy
General Energy Policy	<u>Climate Change Programme - Revision 2006</u> <u>Low Carbon Buildings Programme</u> <u>Implementation of EU Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)</u>
Tradable Certificates	<u>Renewable Energy Guarantee of Origin (REGO)</u>
•Fossil Fuel Taxes •Tax Credits	<u>Climate Change Levy</u>
•Capital Grants	<u>Offshore Wind Capital Grants Scheme</u> <u>Energy Crops Scheme – England</u> <u>Research & Development and Demonstration of Wave and Tidal-stream Technologies</u>
RD&D	<u>Energy Technology Programme</u>
Public Awareness	<u>Industry Promotion and Information Development</u>
Obligations	<u>Renewables Obligation Plan</u>

此三國亦為申請籌設許可訂有相關法規，例如英國申請離岸風力發電籌設許可之相關法規整理如下：

1. Crown Estate - Seabed Lease
2. Electricity Act 1989, Section 36
3. Food and Environment Protection Act 1985
4. Coast Protection Act 1949, Section 34
5. Mersey Conservator (Mersey River)
6. Mersey Docks and Harbour (Port Authority)
7. Town and Country Planning 1990 (onshore)
8. Offer of Connection (Manweb)

截至目前，英國政府已舉辦兩回合的離岸風場徵選，各回合獲選風場概要詳如表 4.2.(1).4 及表 4.2.(1).5，分布地點則參閱圖 4.2.(1).1 及圖 4.2.(1).2。

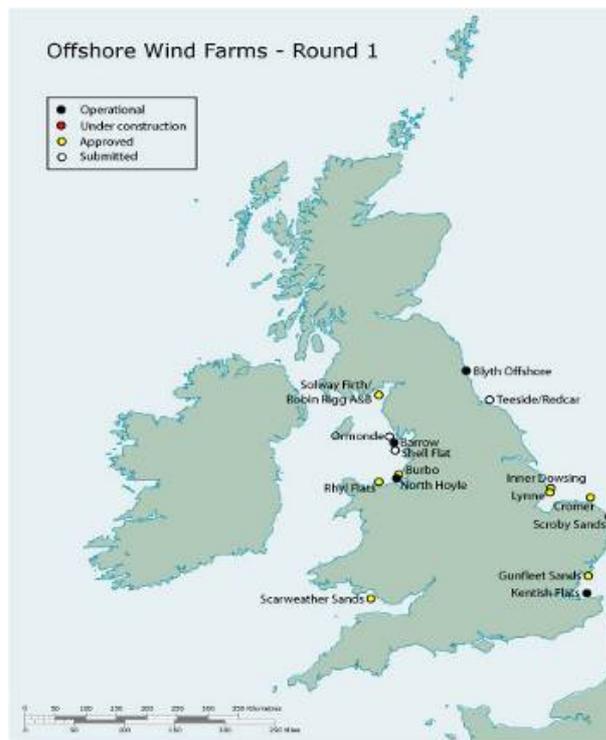


圖 4.2.(1).1 第一回合申請的離岸風場分佈地點

表 4.2.(1).4 第一回合申請的離岸風場概要表

Location	Status	Capacity	Developer/Turbines
North Hoyle	Operating (Dec 2003)	60 MW	npower renewables (Vestas 2 MW)
Scroby Sands	Operating (Dec 2004)	60 MW	E.ON UK Renewables (Vestas 2 MW)
Kentish Flats	Operating (Sep 2005)	90 MW	DONG Energy (Vestas 3 MW)
Barrow	Operating (Sept 2006)	90 MW	Centrica/DONG Energy (Vestas 3 MW)
Gunfleet Sands	Approved	30 turbines	GE Energy
Lynn/Inner Dowsing	Approved	60 turbines	Centrica
Cromer	Approved	30 turbines	Norfolk Offshore Wind/EDF
Scarweather Sands	Approved	30 turbines	E.ON UK Renewables/Energi E2
Rhyl Flats	Approved	30 turbines	npower renewables
Burbo Bank	Approved	30 turbines	DONG Energy (Seascope)
Solway Firth	Approved	60 turbines	E.ON UK Renewables
Shell Flat	Submitted	90 turbines	ScottishPower/Tomen/ Shell/DONG Energy
Teesside	Submitted	30 turbines	Northern Offshore Wind/EDF
Tunes Plateau *	Submitted	30 turbines	RES/B9 Energy
Ormonde *	Submitted	30 turbines	Eclipse Energy
* These two projects were outside the original Round 1 process but conform to its terms, Ormonde is an innovative wind-gas hybrid project.			



圖 4.2. (1).2 第二回合申請的離岸風場分佈地點

表 4.2.(1).5 第二回合申請的離岸風場概要表

Location	Maximum capacity (MW)	Developer
Docking Shoal	500	Centrica
Race Bank	500	Centrica
Sheringham	315	Ecoventures/Hydro/SLP
Humber	300	Humber Wind
Triton Knoll	1,200	npower renewables
Lincs	250	Centrica
Westermost Rough	240	Total
Dudgeon East	300	Warwick Energy
Greater Gabbard	500	Airtricity/Fluor
Gunfleet Sands II	64	DONG Energy
London Array	1,000	DONG Energy-Farm Energy/Shell/ E.ON UK Renewables
Thanet	300	Warwick Energy
Walney	450	DONG Energy
Gwynt y Mor	750	npower renewables
West Duddon	500	ScottishPower / Euros / DONG Energy
TOTAL		7,169

(二)開發期程

離岸風力發電廠之興建初期為求降低風險，荷蘭政府投資之示範型計畫 OWEZ(即 Q8)，歷經 5 年開發，於 2005 年興建完成商轉。一般開發興建期程至少需 6 年時間方能完工進入商轉。例如 Q7 風場向政府申請時間早於 Q8 風場，但由於投資風險之不確定與取得許可時間較長等因素，使得 Q7 較 Q8 晚興建。而 Burbo 風場之興建則由於某些因素造成施工延宕，所幸仍可於今年完工，若延宕過久，可能錯過 2007 年之可施工期，則必須等到明年才能完工，其投資成本與風險將大大增加。

1. Q8 開發期程

- (1)政府投資之示範型計畫
- (2)36 部 3MW V90 (Vestas 風機)
- (3)離岸 10~18 公里

- (4)2001 年政府招標
- (5)2002 年簽署特許同意書
- (6)2005 年興建完成

2. Q7 開發期程

- (1)60 部 2MW V80 (Vestas 風機)
- (2)1998 年著手研究開發
- (3)1999 年提出申請許可
- (4)2002 年取得開發許可
- (5)2005 年宣布施工
- (6)預計 2007 年完工

3. Burbo 開發期程

- (1)25 部 3.6MW (Siemens 風機)
- (2)1999 年著手研究開發
- (3)2001 年提出申請許可
- (4)2003 年取得開發許可
- (5)2006 年開始施工
- (6)預計 2007 年完工

(三)國內現況

政府對於再生能源或離岸風力發電之相關法案仍付之闕如，而且對於離岸風力發電開發籌設許可之流程未定，所需配合之相關政府機關亦尚未制定取得該機關許可之標準，相關環境影響亦少有研究，東亞缺乏部分設備及施工能力，供應鏈資訊亦不完整，施工經驗與工程管理經驗可能不足等因素下，目前對於開發投資離岸風力發電，不論是投資財務之多寡、取得籌設許可之期程、環境影響評估之審查、供應鏈之網羅、興建時程及施工之掌握、及營運維護能力之建置等諸多風險皆不易評估與掌控。

三、電力系統分析

(一)國外風力發電對電力系統之影響

丹麥目前為風力發電量佔全國發電量比例接近 20%之國家(圖 4.3.(1).1)，而且法規規定風力發電為優先購買的電力之一，因此面臨著風力發電供電不穩定的問題。但因丹麥與挪威及德國電網系統相連且互相支援，所以雖然風電規模大，然而分布均廣，可即時與其他國家輸送交換所需電力，因此整體而言對系衝影響不大。但是丹麥電網系統公司(例如 Energinet.dk)，亦為因應當其他國家無法輸入電力時，設法解決供電不穩定與系統衝擊問題。電網公司與火力發電公司簽訂不同發電規模的備載電力契約，當風力發電不足時，依其不足之發電量額度啟動相對應規模之火電發電量(圖 4.3.(1).2)。此外由於歐洲電力之發電端電價已建立浮動價格交易制度，需要即時監控(圖 4.3.(1).3)，而且風力發電量變動亦影響剩餘電力量(圖 4.3.(1).4)，為能及時因應調整發電量，風力發電預測之掌握亦相當重要。

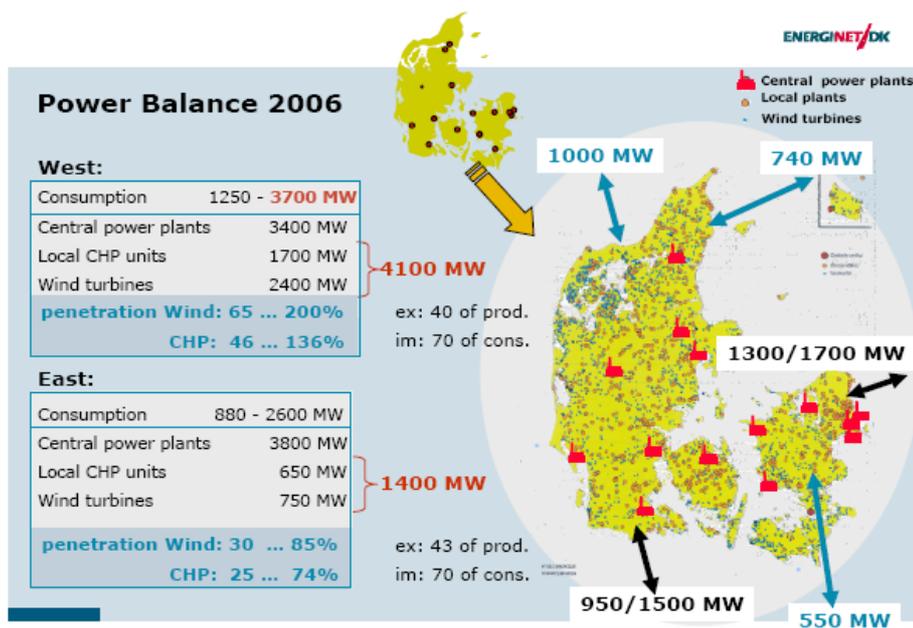


圖4.3.(1).1 2006年丹麥發電占比圖

Reserve Capacity in Denmark West

- Primary reserves
 - UCTE requirement: 25 MW
- Automatic regulating capacity
 - grid regulator: ± 140 MW
- Manually activated regulating capacity
 - approx. + 475 MW

圖4.3.(1).2 丹麥不同規模之備載電力

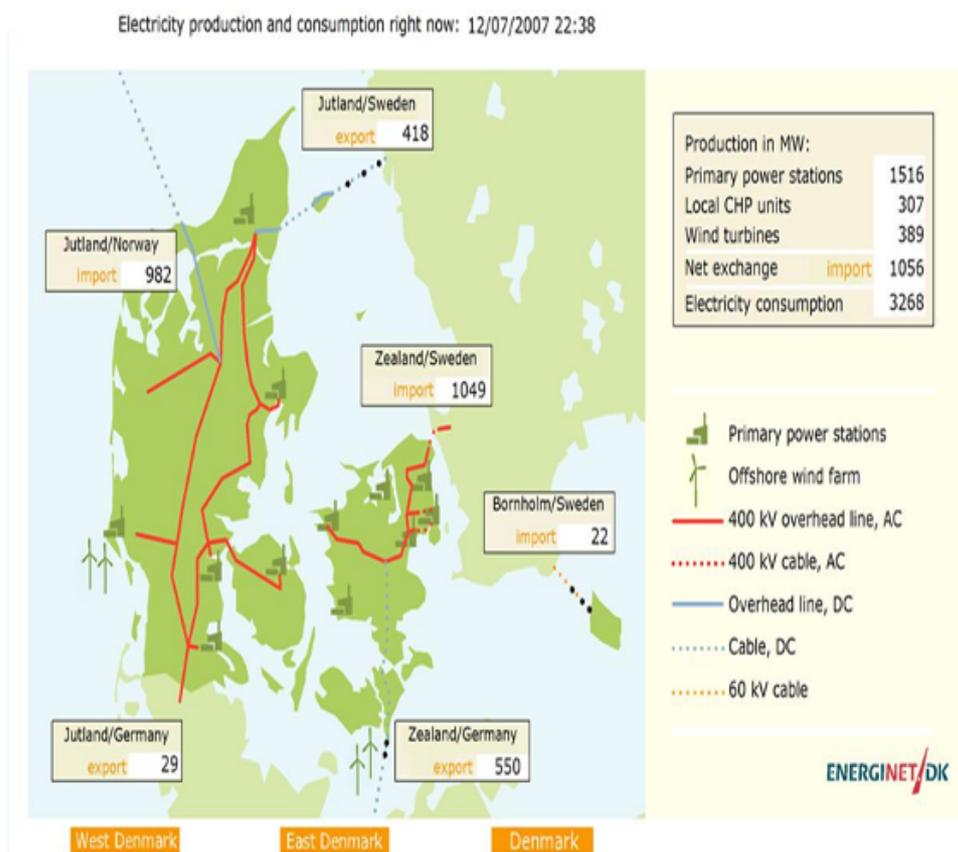


圖4.3.(1).3 丹麥即時發電量現況

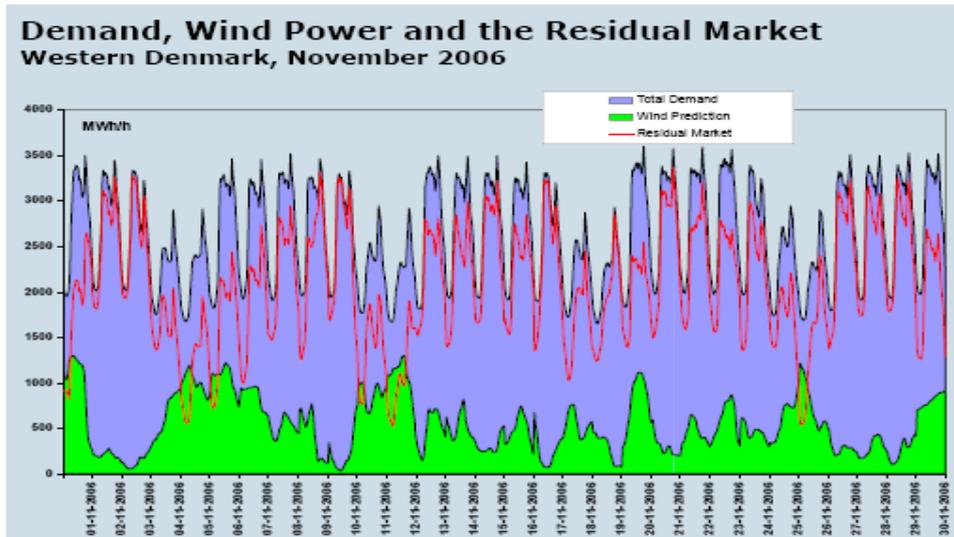


圖4.3.(1).4 丹麥西部2006年11月電力需求、風力發電量、與市場剩餘電力

(二)引接規範及系統運轉規範研究

未來若政府鼓勵民間廠商投資再生能源(包括風力發電)，隨科技之進步，發電規模將逐漸提升，其引接進入電力系統之地點及規範皆須事先研究規劃預作準備，使民間廠商能依規範接入系統，減少目前電力引接之問題。此外，英國為因應再生能源佔比逐年增加，針對電力系統運轉制定相關規定，要求發電廠設計與操作必須依照規定進行系統分析評估，降低未來電力系統操作風險。



圖4.3.(2).1 荷蘭電網系統提供風力發電之引接點

(三)未來系統衝擊研究之建議對策

因應風力發電佔比逐年增加，系統衝擊研究有其必要性，惟目前並無急迫性，建議分期分年規劃執行，並隨發電及用電趨勢調整研究內容，逐步掌握 know-how。

四、環境影響評估

(一)離岸風力環評流程及關鍵議題

1. 環評流程

環境影響評估為歐洲發展離岸風力發電最重要的議題之一，環境影響說明書之認可亦為取得籌設許可的要件之一。換言之，這些國家已累積相當的研究成果，可提供未來台灣面臨環境影響議題時之解決基礎及參考。以下列舉英國及香港之環評流程。

以英國為例，其環評流程如下：

- (1)Baseline and Scoping Report (環境基本資料與範疇內容報告)
- (2)Environmental Impact Statement (環境影響說明)
- (3)Environmental Management Plan (環境管理計畫)
- (4)Contractors Specifications (承包商規範說明)
- (5)Operating Procedures (操作程序)
- (6)Major Accident Prevention Plan (主要意外防止計畫)
- (7) Decommissioning plan (除役計畫)：風機屆滿壽齡(一般為 25 年)時即須考慮進行除役，除役所需工期估計約與裝機工期相當。

另以香港為例，列舉其環評流程如下：(Wind Prospect 公司執行)

- (1)Environmental Impact Assessments (環境影響評估)
- (2)Landscape and Visual Assessment (景觀及視覺評估)
- (3)Baseline Studies (環境背景資料研析)
- (4)Coastal Processes Modelling (海岸變遷模擬)
- (5)Commercial Fisheries Studies (商漁業研究)
- (6)Archaeology (考古)
- (7)Noise Assessment and Modelling (噪音評估及模擬)
- (8)Ecology -Habitat and Species Surveys (生態環境棲息與物種調查)

- (9)Telecoms and Radar Interference (電纜及雷達影響)
- (10)Traffic,Transport and Access (交通、運輸及途徑)
- (11)Socio-economics and Tourism (社會經濟與旅遊)
- (12)Ornithology and Collision Risk (鳥類及碰撞風險)
- (13)Hydrology and Hydrogeology (水文學及水文地質學)
- (14)Pre & Post-Construction Monitoring (施工前後監測)

2. 環境影響評估關鍵議題

目前歐洲國家進行離岸風力發電環境影響評估時考慮的關鍵議題為：

- (1) Ecology (Birds, Fish, Etc) (生態環境：鳥、魚等)：主要調查海域無脊椎動物、潮間帶生物、魚種類和數量、海洋哺乳類和鳥類。
- (2) Visual Influence (視覺影響)：需進行陸上及海域之視覺影響分析，並須將風機數、風機周遭範圍至海岸環境及敏感受體納入考量。
- (3) Tourism (旅遊)
- (4) Pollution (污染)
- (5) Noise (噪音)
- (6) Wind speed (風速)
- (7) Archaeology (考古 Sea/Land)：包括陸域及海底文化遺址。
- (8) Electrical Connection (電力連接)：包括海上變電站或陸上變電站、海底電纜等。
- (9) Foundations and installation (基礎與裝機)
- (10)Coastal Process Modelling (海岸變遷模擬)
- (11)Cumulative Impact (累積衝擊)
- (12)Navigation (航運)
- (13)Aviation (飛行)
- (14)Fisheries (漁業)

(二) 規劃階段議題

以下就離岸風力發電規劃階段最主要考慮之議題說明如下：

1. 鳥類影響

目前已由丹麥 Horns Rev 風場經驗顯示，風場若位於遷徙性鳥類之遷徙路徑上，已知鳥類將繞過風場飛行，因此離岸風場之設置對於遷徙型鳥類影響不大。一般可利用岸上觀測或以船隻、飛機對海域風場進行持續性的鳥類活動調查(圖 4.4.(2).1 及 2)。評估的重點主要包括碰撞風險、飛行路徑干擾、棲地損失、擾動及燈光之影響。

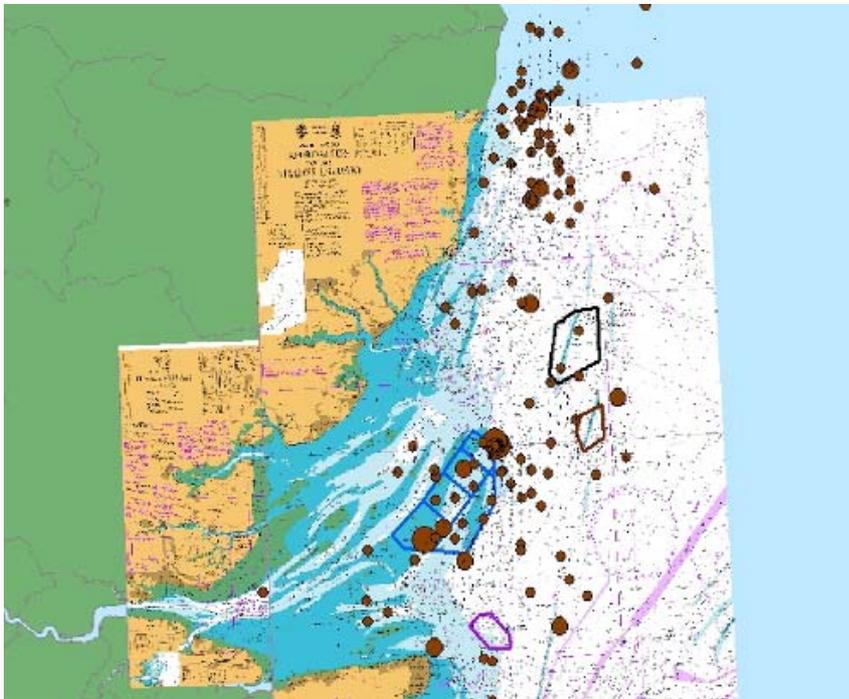


圖 4.4.(2).1 London Array 鳥類活動密度調查

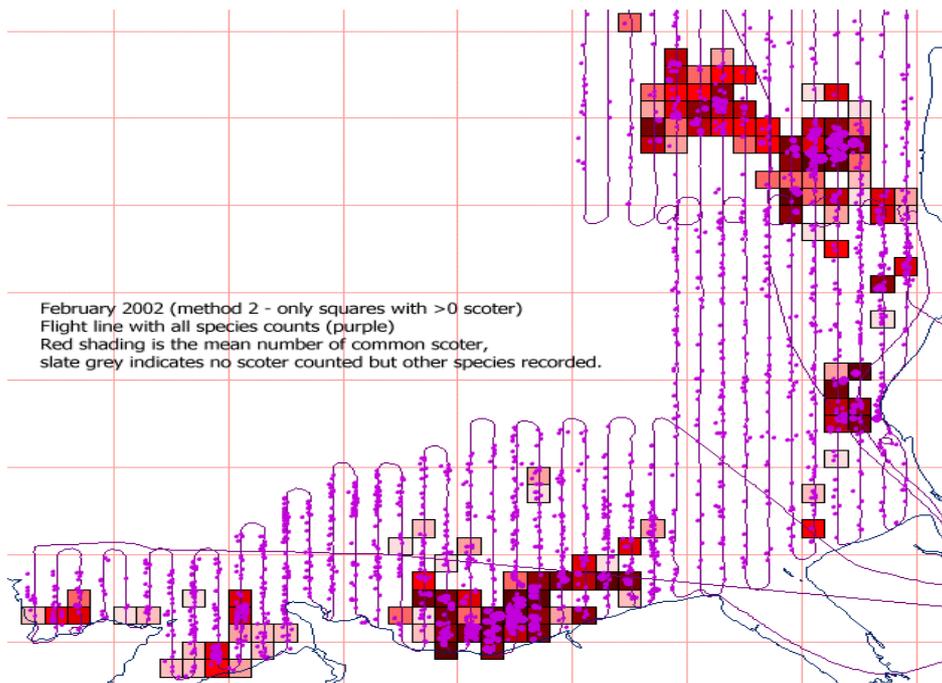


圖4.4.(2).2 London Array 鳥類活動調查船行路徑

2. 海洋哺乳類影響

持續性的海洋哺乳類動物（例如鯨豚類）調查為離岸風力發電環境影響調查評估的基本要求，至於離岸風力發電廠開發對於此類動物的影響，歐洲已有豐富的研究。惟於未來引用相關研究成果時應謹慎評估對於台灣海域哺乳類動物的適用性。

3. 海域生態之影響

離岸風力對於海域生態之主要影響為鑽探、打樁時對於棲地之擾動，整體風機所影響之海床棲地面積應屬有限。海底電纜之鋪設對海域生態之影響亦屬輕微，而前述工程均屬一次性之衝擊影響其恢復性亦相當快。另外一項間接性之影響為海底沉積物受施工擾動而釋出之污染，惟其影響輕微且並無持續性累積污染之虞。

4. 漁業影響

一般而言，歐洲離岸風力發電廠附近的漁業活動並不頻繁，但是有一定程度的衝擊，例如影響漁民進出及漁業活動，可能造成漁撈/漁業損失增加船隻撞擊的風險等衝擊。然而根據研究成果顯示，離岸風力發電廠附近由於無漁業活動而成為極佳之海域生態復育地區，成為生物棲息地，且發電廠區內之海域確有生態復育的跡象，對於漁業有正面的效應。

5. 噪音影響

噪音振動之調查與影響分析為離岸風力發電環境影響調查評估的基本要求。至於離岸風力發電廠開發因為其距離海岸線一般均有一段距離，故其所產生之噪音振動（尤其是打樁時之噪音振動以及運轉時之低頻噪音）對於人類生活環境及遊憩幾乎無影響（圖 4.4.(2).3），然其對於海域動物之影響則需加以探討，惟其影響程度一般均屬短暫，此方面歐洲已有豐富的研究成果及分析方法可供參考。

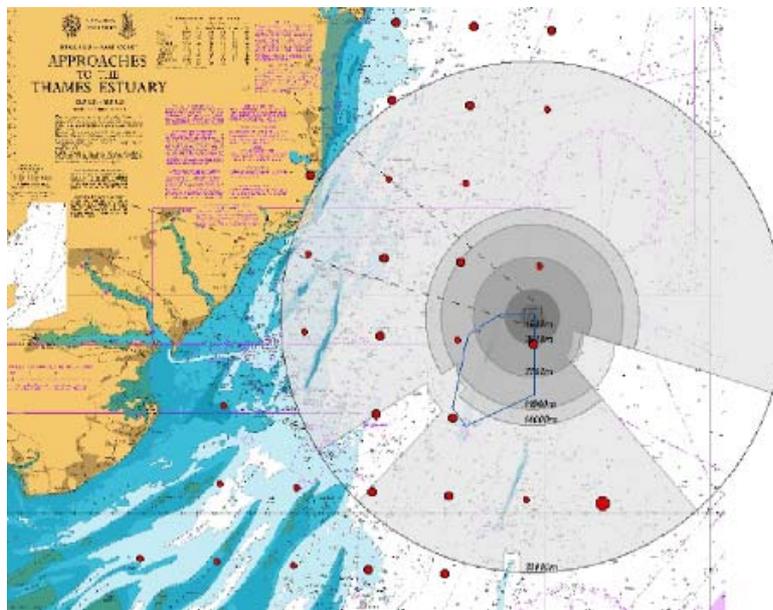


圖 4.4.(2).3 離岸風力發電噪音分析

6. 航運影響

航運影響主要係針對大型商船及漁船，航行安全距離至少劃設 500 公尺，以避免撞擊風機。歐洲已有豐富的研究成果及分析方法可供參考。

(三) 施工期間之影響及對策

1. 海域哺乳類

施工期間之打樁、基礎保護、海纜鋪設等施工行為皆可能影響海洋哺乳類動物，其中又以打樁所產生之噪音對海洋哺乳動物之影響最為明顯。若海洋哺乳類動物位於打樁區域附近，其巨大的噪音可能造成海洋哺乳類動物受傷或死亡。目前歐洲的因應對策為於打樁初期先施以較低出力之施工，用以產生較小之噪音，驅趕打樁區域周圍之海洋哺乳類動物，避免造成傷害。待一定時間以後再進行正常施工。

2. 海域生態

歐洲離岸風力發電廠之開發經驗已證實，當進入商轉後，海域生態會自然復育並成為生物良好的棲息地區

3. 施工航行安全

施工期間為顧及航行安全，離岸風力發電場區域內，除必要之施工及安全管理船隻得以進出外，其他船隻皆不得進入。

4. 環境監測

為了解離岸風機施設對環境是否造成影響及提供後續改善參考，一般均規定需進行環境監測，其期程分為施工前、施工期間、及施工後三個階段。以英國為例，施工期間必須依照擬定之環境監

測計畫施行環境監測，而施工後仍需進行至少三年之環境監測。環境監測之項目一般包括有海域水質、漂砂、海床地形及沖刷、潮流、海域生態、鳥類、底棲生物、基樁生物聚集、電磁場、魚類等項。

(四)營運期間

1. 禁航案例

目前歐洲有意開發離岸風力發電的國家，對於離岸風力發電廠是否禁航有不同的規定。以英國為例，離岸風力發電廠允許船隻進入。德國亦同，劃定部分可通航區域，且提出漁業合作的概念，與漁業形成雙贏的局面。反觀丹麥與荷蘭等國，禁止離岸風力發電廠區域內船隻進入，以確保航行安全。

2. 海域生態

海域生態棲地永久消失之部分為風機結構物所佔位置，其總面積不大應可忽略，然而風機結構物本身長期亦會形成新的棲地（類似人工漁礁），而使得生物族群再度群聚。另海底電纜所產生之電磁場強度亦低且遠低於自然界磁場強度，故對於部分對電磁場較敏感之生物種（如 sharks、skates、rays）其影響亦屬輕微。

五、發包策略及施工

(一)發包策略

1. 發包方式

歐洲過去離岸風力發電廠之發包經驗一般分為兩類：1、大統包 (Turnkey) 模式(圖 4.5.(1).1)，2、分包(Multi-contract)模式(圖 4.5.(1).2)。其中分包模式在依設備及施工性質分為下列幾類：

- (1) WTG
- (2) Foundations
- (3) Cable
- (4) Onshore Infrastructure
- (5) Offshore Substation & Met Mast
- (6) Installation Vessels

2. 發包案例

以丹麥、荷蘭及英國為例，列舉分包方式如下：

Horns Rev	大統包
Q8	大統包
Q7	分包
Burbo	分包

3. 發包趨勢

目前歐洲對於離岸風力發電廠之施工大都以分包方式進行發包，其最主要的原因是統包工程對於風機公司的風險過高，再加上目前為賣方市場，風機公司對統包工程的意願極低。

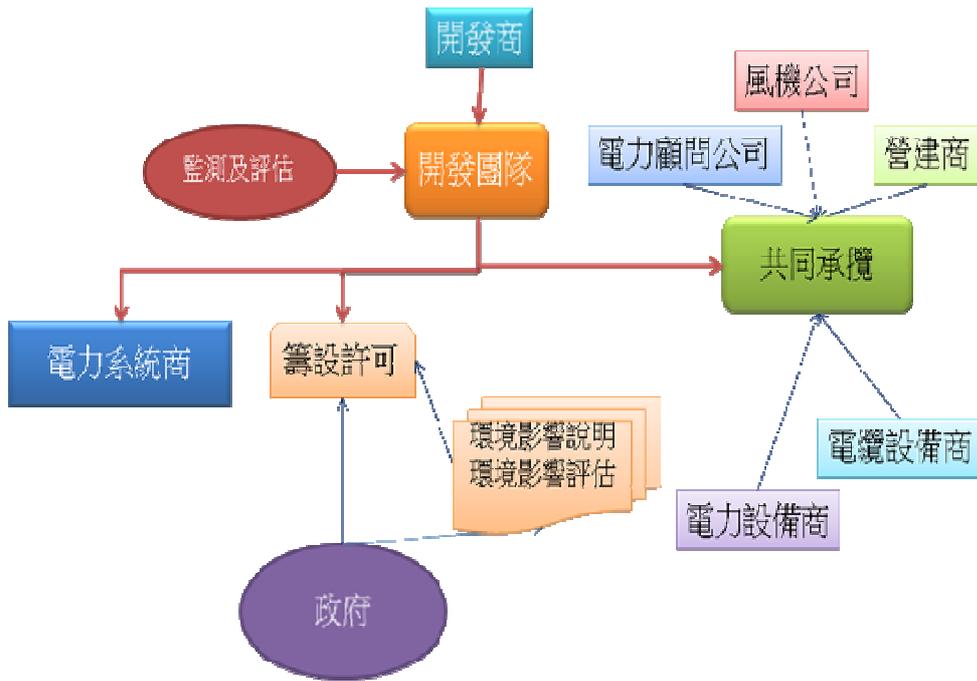


圖 4.5. (1).1 大統包模式

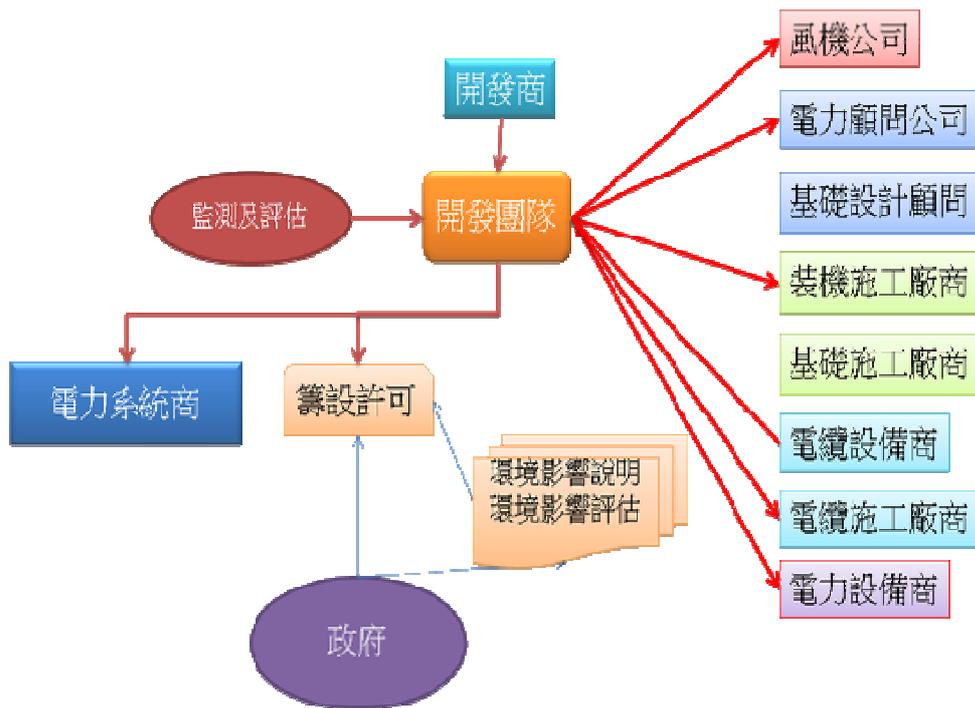


圖 4.5. (1).2 分包模式

4. 風機公司對承攬風場開發的態度

由於離岸風力發電之開發，風機本身之成本佔比高，因此風機公司參與開發案之意願與承攬之範圍甚為重要。由圖 4.5.(1).3 可知，風機公司對於環境影響部分不願涉入，對於提供荷重分析部分有較高的承攬意願，在設計階段與風機設備製造僅對風機與塔架部分有承攬意願。由此可知風機公司已不願承攬風險性高之工作，因此未來離岸風力發電之發包應以分包為其趨勢。

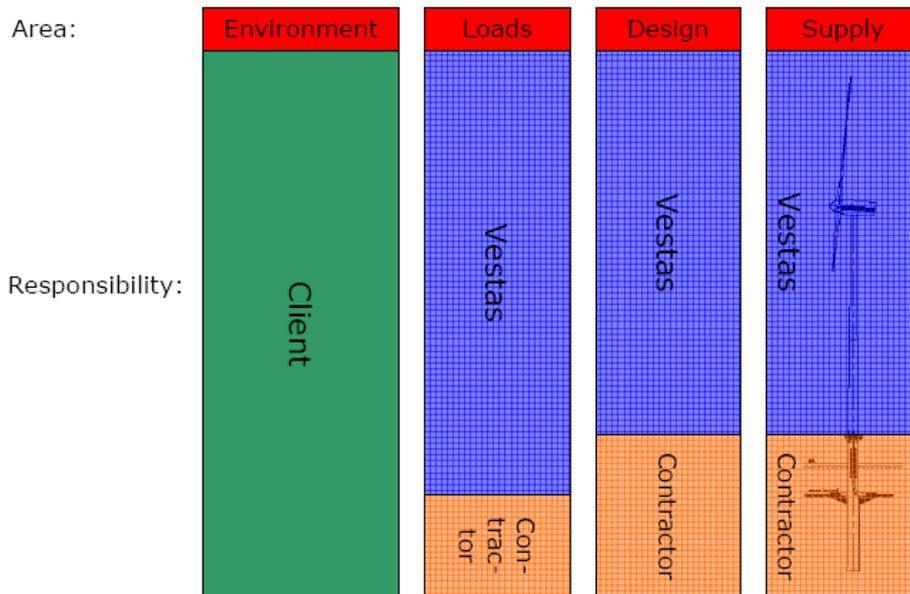


圖 4.5.(1).3 風機公司對於各開發階段所願意承攬的範圍

5. 發包風險

雖然大統包對於開發商而言風險較低，似乎較為有利，但也由於將風險轉嫁至承包商，因此開發成本亦相對提高。反之，若開發商採分包策略，開發商本身將承擔較高的風險，因此開發商勢必要有相當之工程管理能力方能有效控制複雜之分包施工界面，有效控制及降低風險。

表 4.5. (1).1 開發商、承包商與風機公司於不同之發包方式下，
所承擔風險與成本的關係

		風險	成本
開發商	大統包	小	高
	分包	大	低
承包商	大統包	大	高
	分包	小	低
風機公司	大統包	大	高
	分包	小	低

6. 影響發包策略的因素

由於發包策略影響未來計畫成敗甚巨，過去歐洲離岸風力發電開發經驗顯示，影響發包策略的因素如下：

- (1) Financing route (balance sheet or debt) (財務)
- (2) Project size (計畫規模)
- (3) Availability of suitable contractors (承包商合適度)
Large enough to handle project size (承包商規模)
Ability of WTG supplier to take EPC risk (風機公司承擔工程風險的程度)
- (4) Investor risk appetite (投資者承擔風險的意願)
- (5) Project economics (計畫的經濟性)
- (6) Availability of installation vessels (裝機船隻的可用期)
- (7) Foundation design (基礎設計)
- (8) Internal capability (內部能力與人力)

上述因素皆需逐一檢討分析，方能提出最佳之發包策略及開發時程，降低投資失敗風險。

7. 發包及採購時程

以過去歐洲離岸風力發電開發經驗顯示，發包及採購時程皆須整合，其施工的工期與設備的遞送方能密切配合，因此列舉設備製造所需時間及計畫執行的歷時作為參考：

- (1) Wind Turbines(風機) : 18 – 24 months
- (2) HV transformers (高壓變電站) : 12 – 24 months
- (3) HV Cables (高壓海纜) : 6-12 months
- (4) 較大之離岸風力發電開發案需數年施工期方能完工
- (5) 典型英國之離岸風力發電計畫需時至少 6 年時間方能由廠址分析進入商轉
- (6) 未來 6 年內最佳風機需審慎評估

8. 未來風機選擇

由於離岸風力發電之開發，風機本身之成本佔比高，因此目前及未來風機型式及機組規模之資訊甚為重要。未來風機選擇將影響未來商轉成本，因此列舉相關資訊如下：

(1) 目前可供採購之風機:

Vestas V90	: 3.0 MW
Siemens 104	: 3.6 MW
REpower 5M	: 5.0 MW
GE Wind 104	: 3.6 MW

(2) 未來計畫年內可量產之風機:

Vestas V110	: > 4.5 MW
Enercon E126	: 6.0 MW

(3) 未來可能之風機廠牌:

Clipper? Suzlon? Gamesa? Nordex? Others?

9. 未來本公司發包的可能模式

由於發包採用分包模式將為未來趨勢，惟對開發商而言，風險較高，因此需要較強之工程管理團隊，以求降低施工風險。故依建議未來本公司於開發初期仍採用分包模式，由公司進行工程管理，但委託總顧問協助規劃、設計、發包與施工等工作，厚植公司同仁對離岸風力發電之工程管理能力，於下階段開發時程才能有效控制風險。

刪除: 更

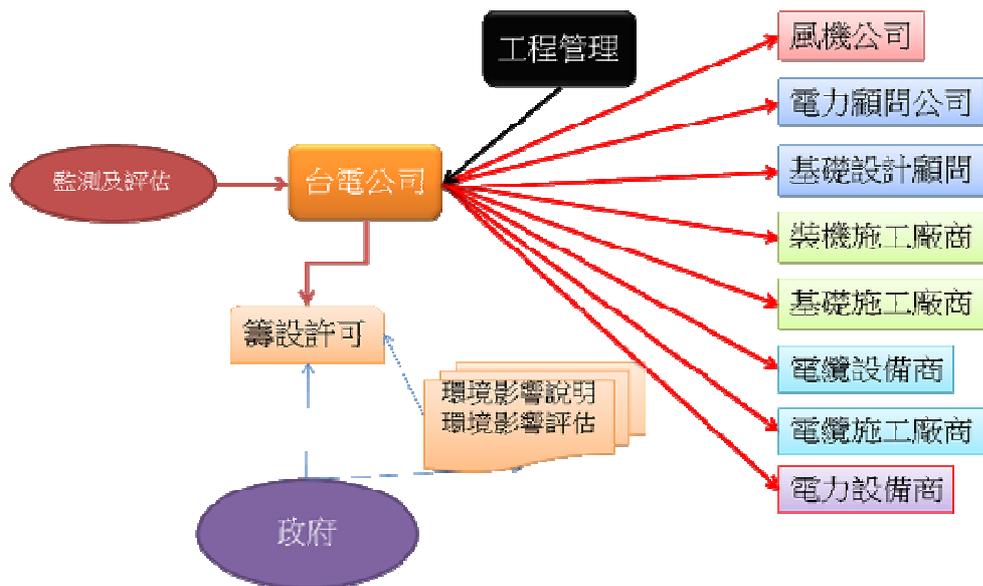


圖 4.5.(1).4 未來本公司發包的可能模式

(二) 施工

1. 施工港埠考量

施工港埠之選擇影響施工時期之船隻協調與工期，主要考量因素如下：

- Industrial harbour (工業商港)
- Plenty of space (場區空間)
- Good access to site (通達方便性)

以荷蘭 Q7 為例，港埠施工場地(10 ha)及碼頭需整地，設於漁業碼頭，於研習期間拍攝現場照片如下：



圖 4.5.(2).1 荷蘭 Q7 港埠與施工場地



圖 4.5.(2).2 荷蘭 Q7 港埠與施工場地



圖 4.5.(2).3 荷蘭 Q7 港埠與施工場地



圖 4.5.(2).4 荷蘭 Q7 港埠與施工場地

2. 施工船隻

目前歐洲離岸風力發電之大型施工船隻有專業化的趨勢(圖 4.5.(2).5~9)，數量少且忙碌。一般而言，施工船隻可抗 1.5m 高之波浪，當地 12 月期間仍可施工。



Jack-up 1 WTG



A2Sea 4 WTGs

圖 4.5.(2).5 風機設置之施工船隻



圖 4.5.(2).6 風機設置之施工船隻



圖 4.5.(2).7 海纜施工船隻

圖 4.5.(2).8 大型打樁設備



圖 4.5.(2).9 砂石船

3. 運輸

以荷蘭 Q7 為例，塔架與風機皆由丹麥設計製造完成後，船運至荷蘭(圖 4.5.(2).10)，放置於港埠之施工場地進行組裝，並於組裝完成後由施工船隻運送至海上工區。



圖 4.5.(2).10 風機及塔架運輸船

4. 施工考量

施工必須考量的因素甚多，但由過去經驗顯示，主要考量的因素如下：

- (1) 適合的運作基地
- (2) 施工船隻間的協調
- (3) 適當的施工船隻
- (4) 噪音防止
- (5) 評估因天候因素所造成不能施工的日數

5. 施工過程簡述

以英國 Burbo 為例，簡述海上施工之主要過程：

- (1)基礎保護(圖 4.5.(2).11~12)
- (2)基礎施工(圖 4.5.(2).13~15)
- (3)轉換環施工(圖 4.5.(2).16)
- (4)附屬設備安裝(圖 4.5.(2).17)
- (5)風機與塔架安裝(圖 4.5.(2).18)
- (6)離岸海纜佈設(圖 4.5.(2).19~20)



圖 4.5.(2).11 砂石船



圖 4.5.(2).12 基礎保護施工



圖 4.5.(2).13 施工平台 jack up



圖 4.5.(2).14 基礎吊升



圖 4.5.(2).15 打樁



圖 4.5.(2).16 裝設轉換環



圖4.5.(2).17 附屬設備裝設



圖4.5.(2).18 葉扇裝設



圖4.5.(2).19 葉扇裝設



圖4.5.(2).20 海纜施工



圖 4.5.(2).21 海纜施工

六、工程設計及管理

(一)工程設計

1. 海上結構設計之常見問題

- (1)腐蝕
- (2)船隻碰撞
- (3)螺栓預力失效
- (4)結構龜裂
- (5)施工不慎

2. 設計重點

- (1)極端事件設計
- (2)自然頻率分析
- (3)疲勞分析

Simplified ULS Load Cases	Wind Turbine Load	Wave Load
Wind Dominated (Shallow Waters e.g. <10m)	1.35 x 50 Year Wind Load	1.35 x 5 Year Wave Load
Wave Dominated (Deeper Waters e.g. > 10m)	1.35 x 5 Year Wind Load	1.35 x 50 year Wave

圖4.6.(1).1 荷重考量

(二) 工程管理

1. 介面複雜

分包模式下，開發商之工程管理負擔及風險提高，為因應不同承包商在同一時間內於施工場地及海域活動，工程管理人員數量勢必增加。以英國 Burbo 離岸風力發電廠為例，施工高峰期時，工程管理人員接近 30 位。因此建議未來公司於施工工程管理方面委託總顧問協助管理，以降低工程管理及施工之風險。

2. 船隻協調

於施工期間所有船隻皆須接受工程管理監控和指揮，一切海上活動亦須通知協調中心。因為海上船隻活動頻繁，因此需要借助專業監控軟體輔助監控海上施工活動(圖 4.6.(2).1~2)。



圖 4.6.(2).1 英國 BurBo 離岸風力發電廠施工期間船隻協調中心



圖4.6.(2).2 英國Burbo離岸風力發電廠施工期間船隻協調監控軟體

七、營運及維護

(一)營運

1. 發電量預測能力及監控能力之建立

風力發電之不穩定性高，短期內風力發電量應不會對台灣電力系統造成影響，但是未來風力發電占比若逐漸提升至可能影響電力系統時，則需建立發電量預測模式，因應電力調度的需求。目前歐洲丹麥與英國皆已建立相關預測模式，並已有實務操作經驗可供參考。

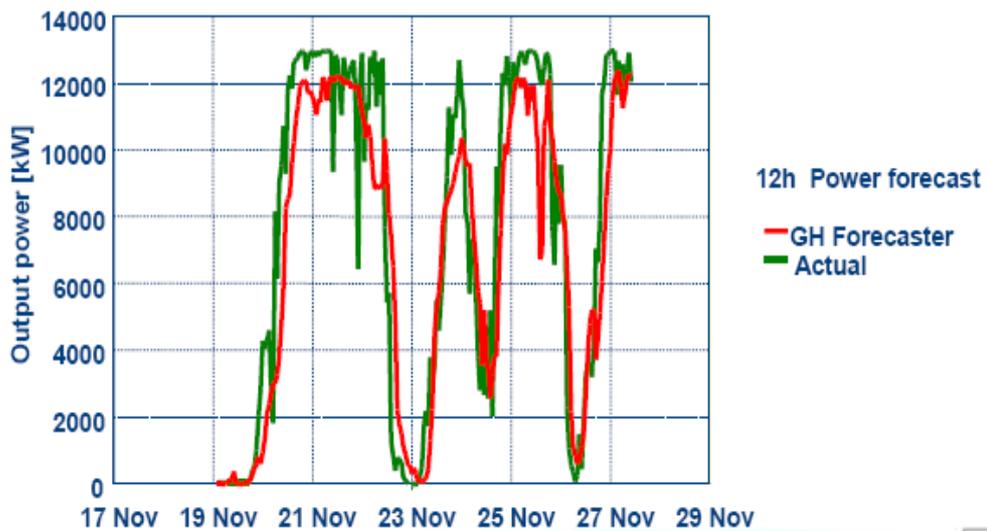


圖4.7.(1).1 電力預測與實際發電量比較

2. 電力調度因應方案

如前述原因，電力系統可能會因為風力發電的不穩定性造成衝擊，屆時需要適當的電力調度因應方案以解決類似問題，目前則尚無此需求。

(二) 維護

1. 可利用率與可到達率

離岸風機的維護與運轉，與陸上風機維護與運轉的最大不同在於維護工作受天候因素影響很大，也就是說，離岸風機有低到達率 (Accessibility) 的特性，以致於離岸風機有較低的可用率 (Availability)(圖 4.7.(2).1)。

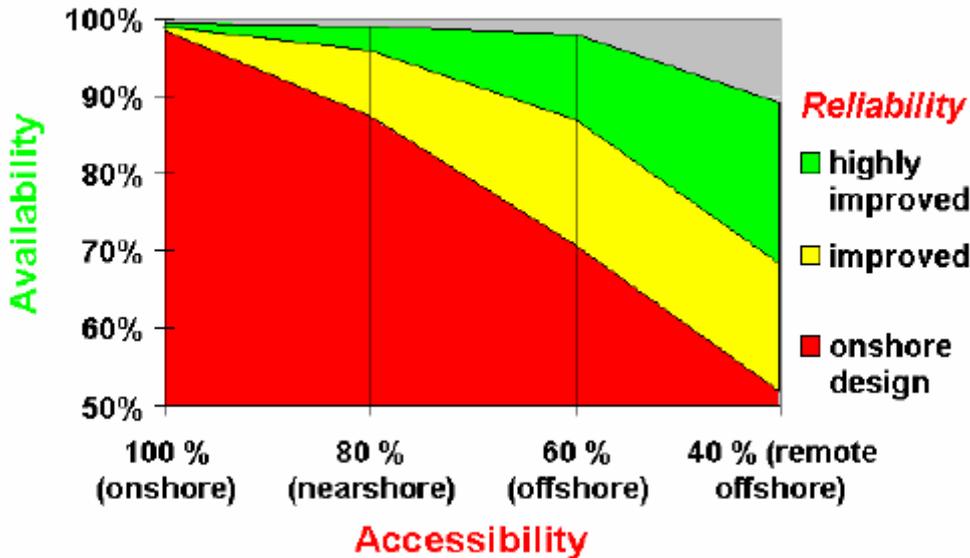


圖 4.7.(2).1 可到達率與可利用率之關係

2. 工作限制

維護人員每天都必需掌握風場的氣象，來安排維護工作的時間長短，若有不良海象，應即暫停工作，例如當海面浪高達 1.5 公尺以上時，船隻即不允許出海工作，而且風機維護工作通常也只有在白天進行，夜間工作的危險性太高，不宜出海。至於利用直昇機，則全世界目前也只有丹麥的 HORNS REV 風場的每部風機設有直昇機起降平台，但相對的其成本相當高，況且有些國家法律不允許直昇機在海域上從事相關工作。

離岸風機的維護，顯然必需靠船隻載運人員及裝備材料至風機現場，因此必須具備數量不等的船隻，以及領有證照的船長以及副手；風機離港口通常在 20 公里以上，從事風機維護的人員，最好不要會暈船，以降低工作的危險性。

離岸風場由於開發規模(小於 100 組風機)、成本及風險考量，並未設置大型備品倉庫(圖 4.7.(2).2)，更換大型備品需動用大型船隻，一般而言會視其需求請海事工程船隻廠商及風機公司合作派遣。



圖 4.7.(2).2 各種維護船隻



圖 4.7.(2).3 荷蘭 Q8 離岸風力發電廠維護倉儲

3. 維護範圍

離岸風機的維護，除了維護風機本身外，還包括塔架及塔底工作平台的維護，而轉換環(Transition Piece)、基樁(Pile)及更重要的埋設於海床下的海底電纜(Sub sea Cable)，都必須定期派遣合格潛水人員加以檢視與維護。另外還有陸上的電纜及開關場等電氣設備也必須維護。若另設有船隻靠泊的港口，則港口的設施亦必需加以維護。若再自購船隻，則必需加上船隻的維護。

離岸風機除在建造前及建造中，必須對海象及環境保護事項加以監測記錄外，即使在營運維護期間，亦必須定期加以監測記錄，例如潮位的變化或是鳥類的數量等，以評估海象的變化對風機的影響，以及風機對環境的衝擊。

另外，離岸風機除在建造中必須動用大型吊裝船隻外，當風機大型組件故障時，如變壓器、葉片等，亦必須動用大型吊裝船隻，

但目前僅歐洲地區的吊裝公司擁有如此大型的吊裝船隻，其船隻動員及施工經費非常昂貴，且不一定排得出時間遠至亞洲來工作。

4. 國外目前現況

離岸風機發展至今仍未臻成熟，從規劃、設計、建造到運轉維護，期間會發生什麼狀況，無法事先預測，故必需非常謹慎小心。通常風機廠商希望保固期及維護合約訂在試運轉完成後的五年內，因為五年之後，由於風機運轉越久，大型組件故障之機率越大，若需動員大型吊裝船隻，所費不貲，維護成本勢必大幅提高，其風險大增。

諸如上述，都是離岸風機維護的困難點。由此觀之，離岸風機之運轉與維護，比陸上風機困難得多，其所須之人力與物力皆遠甚於陸上風機，離岸風機之建造方式與使用機具設備與陸上風機亦完全不同，投資金額高再加上海事作業之不確定因素多，風險相對提高，以全世界離岸及陸上風機市佔率最高的 Vestas 風機製造商為例，亦成立另一家離岸風機公司，以專責離岸風機之銷售與維護。

5. 監控設備(SCADA)

風機廠商及相關產業已開發相關監控設備，一般皆採用風機廠商所開發之監控系統。但是若同時擁有數家不同風機公司之風場，其監控系統可能各不相同，勢必造成發電監控人員必須同時能夠操控不同系統而形成負擔，若有統一之監控介面可能是較佳的策略，然而可能影響風機廠商的參與意願、提高維護系統的成本及維護合約的複雜程度，故需再配合公司開發的進度、風機市場狀況及操作經驗等考量後審慎評估。



圖 4.7.(2).4 荷蘭 Q8 離岸風力發電廠維護辦公室之 SCADA

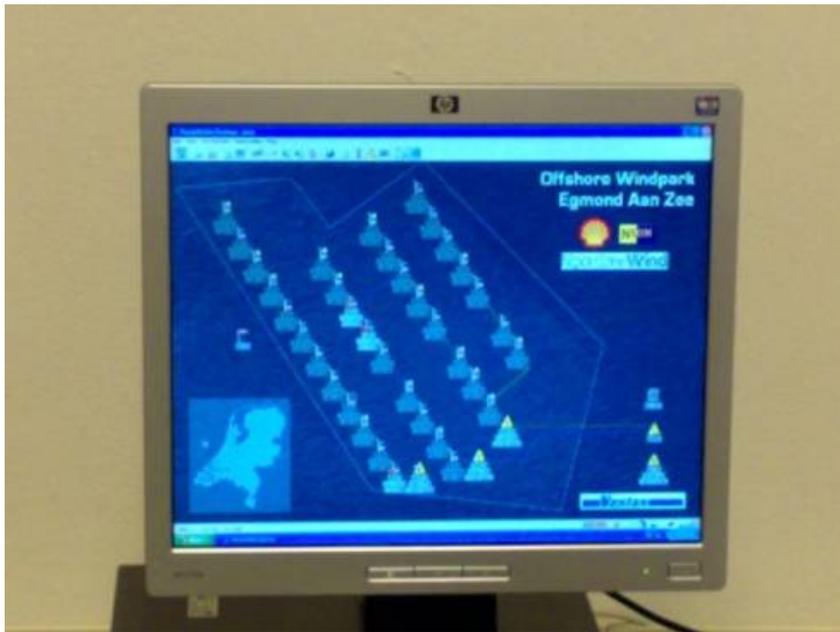


圖 4.7.(2).5 荷蘭 Q8 離岸風力發電廠維護辦公室之 SCADA

6. 維護成本及風險

由歐洲目前已商轉之風場經驗顯示，運維費用的變動約為 COE (Cost of Energy) 的 20~25% (圖 4.7.(2).6)，有部分資料顯示其變動率為 COE 的 10~30%。其中以非定期之運維成本佔多數(約運維成本的 80%)，此成本對整體運維成本而言，具有決定性的影響。由圖 4.7.(2).7 之資料顯示，風機的可靠度高可大幅減少運維的成本。可到達率與非定期維護之成本佔最絕大部分的成本。此外非定期維護事件受天候環境影響，可到達率降低，致使無法進行定期的維護工作，將衝擊風機的可用率及發電量(圖 4.7.(2).8)

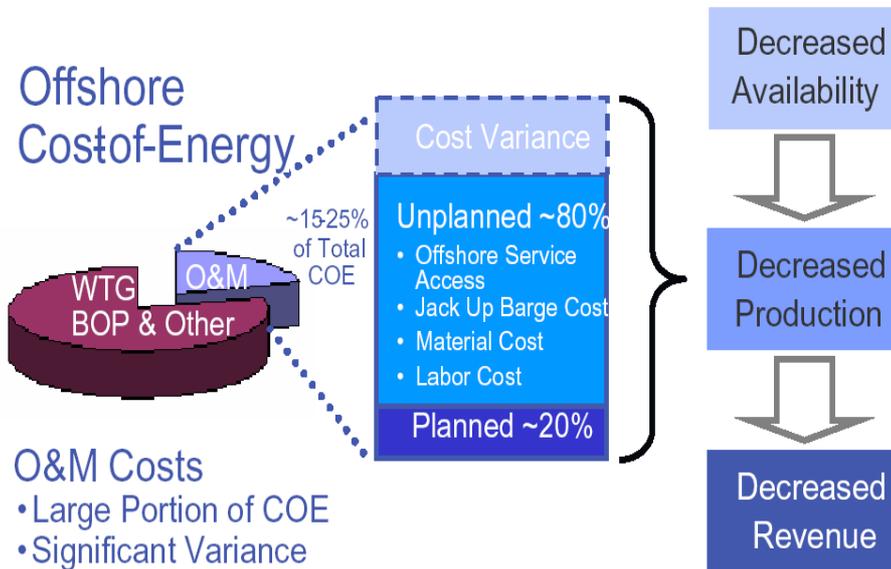


圖 4.7.(2).6 營運維護成本佔比

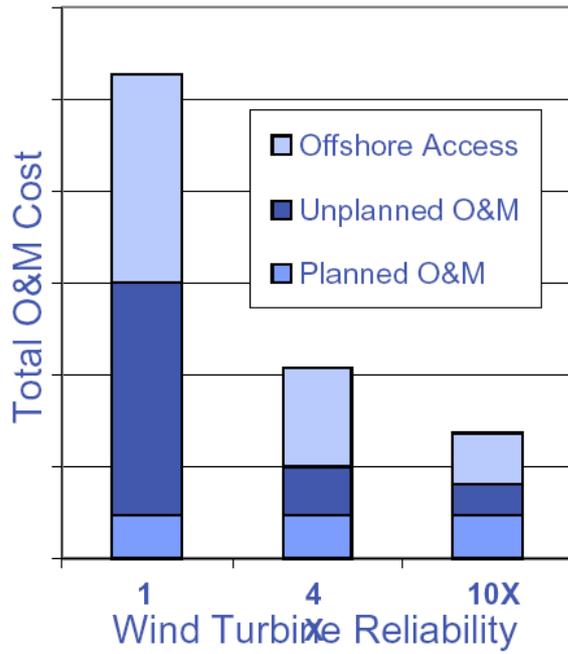


圖 4.7.(2).7 運維可靠度與運維成本之關係

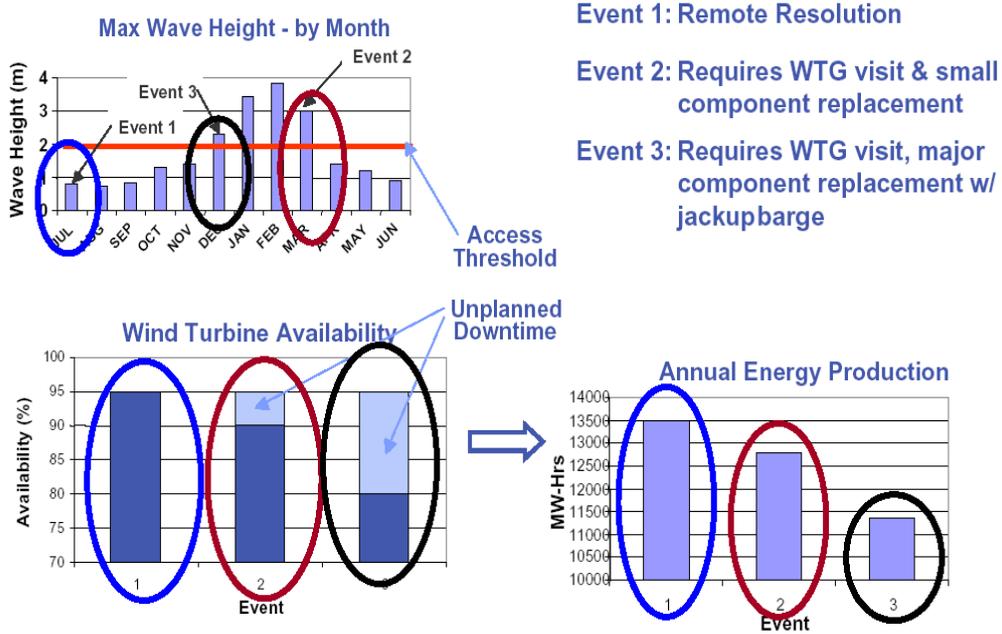


圖 4.7.(2).8 非定期維護事件受可到達率因素影響對於可利用率及發電量之衝擊

7. 建議之維護策略

與風機製造商簽訂的保固年限條款越長越好，之後再續簽維護合約，以降低營運風險，並將維護技術移轉本公司，以期訓練本公司技術人員，建立本公司維護技術能力。

初期離岸風機的維護，考量船隻的經費與船長等專業人員的缺乏，建議以租賃船隻及船長等專業人員的方式進行，俟風機達到一定數量，再考慮購船。建議公司另成立一專責單位，來統籌離岸風機之運轉與維護工作。



圖 4.7.(2).9 荷蘭 Q8 維護倉儲內堆高或運輸設備之機具



圖 4.7.(2).10 荷蘭 Q8 維護倉儲辦公室



圖 4.7.(2).11 荷蘭 Q8 完成當日維護工作後之會議



圖 4.7.(2).12 荷蘭 Q8 維護倉儲內人員裝備存放空間

八、除役或更新機組

目前世界尚無除役經驗，以英國為例，英國政府要求開發商需提出除役計畫及所需經費，並預先確保有足夠經費可提供除役之用。目前對於機組更新之進展尚處於概念設計階段，而且與風機公司息息相關。此外，由於離岸風力機組之更新，需考量基礎及塔架結構是否足以支撐更大型之風機、以及塔架高度變動等因素，因此將會提高機組更新的成本，故公司於首次開發離岸風力發電廠時，建議不考慮機組更新之問題，以降低開發成本。

伍、結論與建議

(一) 可行性研究：

國外離岸風電開發過程與國內有部分差異，在此階段進行詳細評估之不確定性高，成本及投資風險隨之增高。建議逐年進行相關研究。

(二) 電力系統衝擊研究：

建議本公司應配合政府離岸風電政策規模委託國內外顧問公司就台灣獨立電力系統特性及分期發展狀況進行系統特性、系統衝擊及系統改善等議題之檢討分析。

(三) 環境影響：

建議建設離岸風電之主要關切項目可及早進行調查，例如低頻噪音對海洋哺乳類動物影響尚待澄清，台灣環保團體對此議題極為重視，應及早研究因應。(電磁波對海底生物之影響；對台灣地區候鳥遷徙之影響)

(四) 發包策略及施工：

1. 建議採分包為主要發包策略，委託具經驗之專業公司為總顧問，成本雖較高，惟可降低本公司投資風險。
2. 亞洲短期內無大型專業施工船隻，風機之整體供應鏈尚未建立，工程管理經驗也不足，建置及運維成本勢必提高，建議應謹慎評估於短期內開發之可行性。

(五) 工程設計及管理：

1. 台灣地區需考量克服地震及颱風等因素，因此基礎設計以 Jacket 型式基礎較為合適。
2. 本公司已有陸上開發風力發電之豐富經驗，應可由本公司負責工程管理。

(六) 營運及維護：

風力發電預測能力與供電系統的穩定息息相關，因此應及早準備風力發電自主預測能力，並規範 IPP 所需提供之預測資料，以因應未來的預測風力發電量及電力系統供需調整之需求。

較大型之新型風機雖有較大之發電量及較先進之發電技術，惟其故障之風險亦較高，風機維護 2 年（以上）保固 + 3 年委外維修，並作維護技術移轉。

由於風機維護之專業性及高風險性，應成立專責維護單位及團隊，並建立維修基地及碼頭，維護初期船隻應以契約承租之方式較為合宜，降低船隻維護成本。離岸風場之開發初期應以較易到達之地區為優先開發之地區，以提高可到達率，提高離岸風機之可利用率，有效維持離岸風機之發電量。

(七) 建議政府及早研議法規事項：

1. 離岸風場施工與營運期間之海上航運限制範圍：

對於每一施工中之海上風場，以法令規定在風場四周設置

- (1) 禁航區
- (2) 空中交通示警燈
- (3) 海上交通警示燈
- (4) 霧笛等，以維海上施工安全。

2. 離岸風場漁業權排除：

由於歐洲之風場申請與設置經與地方漁業團體協商及政府核可後，即可施工興建，無漁業補償問題，而離岸風力屬高風險、高投資之電力事業，若涉及漁業補償將使離岸風力投資資金計畫成一不穩定之變數，投資者將裹足不前，因此建議立法取得風場之業者不必對漁業補償。

3. 離岸風機對現有雷達的干擾及改善方案：

海上風場設置後，可能影響海巡業務之執行，故如何創造雙贏，利於離岸風機建造及海巡業務推動，待政府整合訂定法規俾利遵循。

4. 籌備創設之申准流程：

台灣西部海岸可設置離岸風力之場址可觀，惟有些開發者往往佔有風場開發權後即停滯不動，以致影響真正想開發之廠家，故建議政府研議對策，防止此一不合理之現象。

陸、附 錄



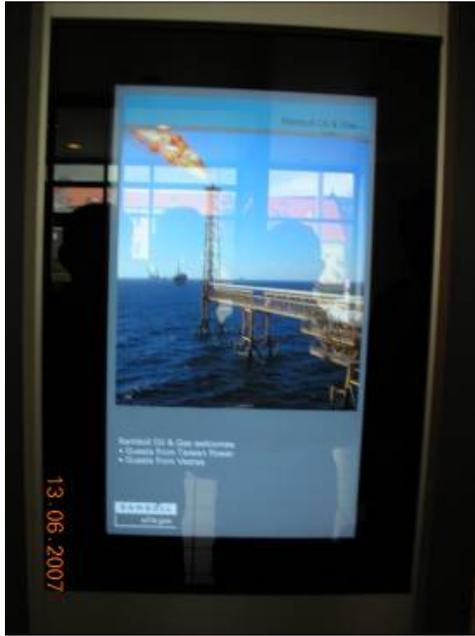
1. KEMA 辦公室



2. KEMA 小型研討會



3. RAMBOLL 辦公室



4. RAMBOLL 迎客多媒體播放



5. Vestas 租用旅館會議中心



6. Vestas 小型研討會



7. Energinet 門前標示板



8. Energinet 小型研討會



9. A2SEA 簡報



10. A2SEA 小型研討會

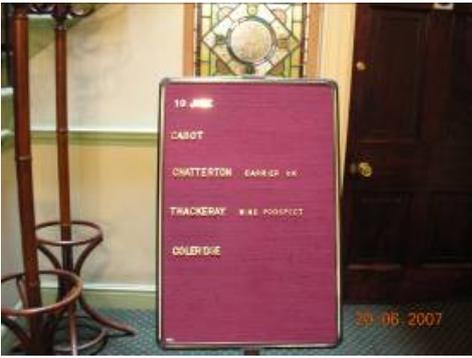


11. SeaScape Energy 企業識別標誌



12. SeaScape Energy 工地辦公室
內外部





13. WindProspect 租用旅館會議中心



14. WindProspect 小型研討會



15. Garrad Hassan 小型研討會



16. Garrad Hassan 代表接受禮物



17. RPS 辦公室



18. RPS 小型研討會



19. DTI 辦公室



20. MacDonald 小型研討會



21. Q7 風場工地辦公室



22. Q7 風場小型研討會



23. Q7 風場快速交通船



24. Q7 風場砂石船



25. Q7 風場吊裝船



26. Q7 風場吊裝前後對照



27. Q7 風場海象浮標



28. Q7 風場陸上基地假組立



29. Q7 風場風機機艙



30. Q7 風場陸上基地



31. Q7 風場風機葉片



32. Q7 風場陸上基地吊運作業



33. OWEZ 風場運維中心



34. OWEZ 風場運維中心工作討論會



35. OWEZ 風場運維中心 SCADA 螢幕



36. OWEZ 風場運維中心地下倉庫



37. OWEZ 風場風機



38. OWEZ 風場測風塔



39. OWEZ 風場風車



40. OWEZ 風場測風塔



41. OWEZ 風場塔架轉接段



42. OWEZ 風場測風塔近照



43. OWEZ 風場交通船



44. OWEZ 維修船



45. BURBO BANK 風場工地標示牌



46. BURBO BANK 風場工地塔架假組立



47. BURBO BANK 風場工地單樁吊運



48. BURBO BANK 風場吊裝船



49. BURBO BANK 風場 33KV
海纜橫切面



50. BURBO BANK 風場設備運輸船