

出國報告（出國類別：實習）

離岸風力發電計畫環境影響評估

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：翁財發（主管）

派赴國家：丹麥

出國期間：97 年 09 月 16 日至 09 月 25 日

報告日期：97 年 11 月 10 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：離岸風力發電計畫環境影響評估

頁數 28 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

翁財發/台灣電力公司/工安環保處/主管/02-23667208

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☒4 實習☐5 其他

出國期間：97 年 9 月 16 日至 97 年 9 月 25 日 出國地區：丹麥

報告日期：97 年 11 月 10 日

分類號/目

關鍵詞：綠色電力、離岸風力發電、環境影響評估、Offshore Wind Farm

內容摘要：配合政府綠色電力政策及考量陸域風力發電開發已趨飽和，本公司近期將朝開發離岸風力發展邁進，由於離岸風力發電計畫之推動，在國內僅在萌芽階段，對於離岸風場之規劃調查、設計施工、運轉維護及環境影響等仍在學習中，鑒於離岸風力發電計畫環境影響評估在國內係首次辦理，故派員赴離岸風力發展先進國家丹麥實習，以汲取實務經驗。本次實習安排至丹麥哥本哈根 Grontmij | Carl Bro A/S 公司 Wind Power Team 專業團隊研習「離岸風力發電計畫環境影響評估」技術，實習內容包括丹麥電力系統、風力發電發展現況、離岸風力發電廠實績案例，以及離岸風力發電計畫環保相關法令、規劃階段環境考量重要議題、施工營轉期間環境影響與減輕對策、環境監測計畫等，茲將實習所得整理成報告，供公司進行離岸風力發電計畫環保規劃參考，以減低環境影響及開發阻力。

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

目 錄

頁次

壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、實習心得	3
一、前言	3
二、Grontmij Carl Bro A/S 公司簡介	4
三、丹麥電力系統及風機發展現況	6
四、丹麥離岸風力發電廠現況	7
五、離岸風力發電計畫環境影響評估	17
肆、建議事項	27

壹、出國目的

配合政府綠色電力政策目標及因應未來全球氣候變化綱要公約發展需求，本公司爰於民國 91 年間擬定「風力發電十年發展計畫」，規劃於台灣風能資源豐富地區，以十年內至少設置 200 部風力發電機組或總裝置容量 30 萬瓩以上為目標。目前本公司進行中的風力發電計畫包括已奉准執行的風力發電第一、二、三期計畫、澎湖金門離島風力發電計畫，以及規劃中的風力發電第四期計畫等，均為陸域風力發電計畫。

隨著台灣本島優良陸域風場已被本公司及民間業者漸次開發完畢，廠址取得日益困難，考量我國陸域風力發電開發已趨飽和，為落實再生能源發展政策，行政院遂核定「第一階段設置離岸風力發電廠方案」於民國 96 年公佈實施，朝開發離岸風力發展邁進。

近期本公司配合政策規劃於彰化、澎湖及雲林附近海域開發離岸風力，由於離岸風力發電計畫之推動，在國內僅在萌芽階段，對於離岸風場之規劃調查、設計施工、運轉維護及環境影響等仍在學習中，且離岸風力發電計畫環境影響評估在國內係首次辦理，缺乏實務作業經驗。

鑒於丹麥是全球風力發電產業技術最先進、最具競爭力的國家，亦是全球風力發電佔全國發電比例最高的國家，離岸風場開發經驗豐富，爰研擬並奉准赴丹麥實習離岸風力發電計畫環境影響評估技術，汲取歐洲先進國家寶貴實務經驗，供公司進行離岸風力發電計畫環保規劃參考借鏡，以減低環境影響及開發阻力。

貳、出國行程

一、日期：97 年 9 月 16 日至 17 日

內容：往程

地點：台北—哥本哈根

二、日期：97 年 9 月 18 日至 23 日

內容：實習離岸風力發電計畫環境影響評估

地點：Grontmij | Carl Bro A/S 公司

三、日期：97 年 9 月 24 日至 25 日

內容：返程

地點：哥本哈根—台北

參、實習心得

一、前言

丹麥國土面積約為台灣的 1.2 倍，人口僅有 546 萬人左右，為落實環境保護，從 1970 年代初期便積極發展綠色能源，如風力發電、太陽能、生質能等永續性再生能源，使丹麥從一個能源進口國，變成今日的能源出口大國，其出口能源技術主要以風力發電為主，佔總能源出口之 70%。

丹麥是全球風力發電產業技術最先進、最具競爭力的國家，亦是全球風力發電佔全國發電比例最高的國家，風力發電裝置容量達 3,535MW，佔全國總發電量約 21%，目前陸域約有 5,500 部風機，離岸有 215 部風機。自 1990 年瑞典建立第一座離岸風力發電計畫應用試驗案例後，截至 2007 年止，全球共設置有 20 餘處離岸風力發電廠 (Offshore Wind Farm)，其中丹麥就佔有 8 處離岸風力發電廠，另有 2 處 200MW 級的大型離岸風力發電廠正在施工中，預計分別於 2009、2010 年完工商轉，是發展離岸風力發電廠最成功的國家。

此次實習依核定行程赴丹麥與位於哥本哈根的 Grontmij | Carl Bro A/S 公司 Wind Power Team 專業團隊研習離岸風力發電計畫環境影響評估技術，實習內容包括丹麥電力系統、風力發電發展現況、離岸風力發電廠實績案例，以及離岸風力發電計畫環保相關法令、規劃階段環境考量重要議題、施工營轉期間環境影響與減輕對策、環境監測計畫等，茲將實習所得彙整報告。

二、Grontmij | Carl Bro A/S 公司簡介

本次實習係由 Grontmij | Carl Bro A/S 公司 Wind Power Team 部門負責安排，該公司位於丹麥哥本哈根西郊的 Glostrup，現有員工 650 人，隸屬荷蘭 Grontmij 公司。

荷蘭 Grontmij 公司有員工 6,800 人，全球擁有超過 100 處以上的服務據點，主要市場遍佈荷蘭、丹麥、瑞典、英國、德國、比利時及波蘭等地。

Grontmij | Carl Bro A/S 公司具有 50 年以上的技術顧問服務經驗，業務範圍涵蓋建築、交通、環境、水、工業、能源及航運等領域，風力發電方面則有超過 15 年以上的技術顧問服務經驗，在陸域及離岸風場之規劃、設計、環評及執行各方面提供專業技術顧問服務。

本次負責安排實習的 Wind Power Team 有 10 位專家，專業領域包括廠址勘選、地質調查、風機技術、風場設計、結構與基礎設計、輸電網路規劃、環境影響評估、財務管理及操作維護等，部門負責人是資深顧問 Per Vølund。有關 Grontmij | Carl Bro A/S 公司近 10 年來在丹麥境內之離岸風場技術顧問服務實績整理如表 1，尤其是現施工中的 Horns Rev 2 Offshore Wind Farm 及 Rødsand 2 Offshore Wind Farm 二項大型離岸風力發電計畫環境影響評估工作正是由該公司負責辦理。

表 1 Grontmij | Carl Bro A/S 公司離岸風場開發技術顧問服務實績

年份	實績案例
2008	EIA, Avedøre Holme Offshore Test Wind Farm (3-5 MW 3turbines)
2007	EIA, Frederikshavn Offshore Test Wind Farm
2007	Total Consultancy, Rødsand 2 Offshore Wind Farm
2007	EIA, Vonå 10 MW Wind Farm
2007	EIA, Nørrekær Enge 30-40 MW Wind Farm
2006	EIA, Rødsand 2 Offshore Wind Farm
2006	Operation and Maintenance, Middelgrunden Offshore Wind Farm
2006	Sound Power Measurement Software
2006	EIA, Horns Rev 2 Offshore Wind Farm
2006	Sound Power Measurements for Vestas Asia Pacific
2006	Foundation Design, SIWT EU-supported Offshore Wind Demo Project
2006	Monitoring and Evaluation, Middelgrunden Offshore Wind Farm
2006	Commenting on international Offshore Wind Farm Standard
2004	Research Ice Loads on Offshore Wind Turbine Foundations
2004	Research Load Measurement, Middelgrunden Offshore Wind Farm
2002	Design Basis, Nysted Offshore Wind Farm
2002	EIA and Foundation Tendering, Rønland Offshore Wind Farm
2002	Manual for EIA on Load-Based Wind Farms
2001	Owners Tender Design Foundation, Nysted Offshore Wind Farm
2000	EIA parts involved, Nysted Offshore Wind Farm
1999	Detailed Design, Middelgrunden Offshore Wind Farm

三、丹麥電力系統及風機發展現況

（一）電力系統

丹麥電力系統分東丹麥電力系統及西丹麥電力系統，東丹麥電力系統佔全丹麥電力系統 40%，西丹麥電力系統佔全丹麥電力系統 60%，東、西丹麥電力系統互不相連。東丹麥電力系統由 Elkraft 公司負責系統運轉及調度，Energi E2 公司負責電廠運轉；西丹麥電力系統原由丹麥國營之 Elsam 公司負責系統及電廠運轉，自 1998 年 1 月 1 日起電力系統改由新成立的民營 Eltra 公司負責運轉，電廠則仍由 Elsam 公司負責運轉，隨後丹麥政府亦將 Elsam 公司民營化。

丹麥目前風力發電佔全國發電量比例約 21%，且法規規定風力發電為優先購買的電力之一，雖然風力發電佔比規模大，但因丹麥與挪威、德國電網系統相連且互相支援，可與其他國家輸送交換所需電力，可解決風力發電供應不穩定的問題。

（二）風機發展現況

丹麥地勢平坦，加以受來自北海及俄羅斯的季風影響，風能蘊藏相當豐富，近 20 年來積極發展風力發電，到 2007 年止，風力發電裝置容量達 3,535MW，佔全國總發電量約 21%，目前陸域約有 5,500 部風機，離岸有 215 部風機，以 2~2.3MW 機組為主流，亦有少數 3MW 機組實績。

丹麥現有 8 處運轉中之離岸風力發電廠，另有 2 處 200MW 級的大型離岸風力發電廠 Horns Rev 2 Offshore Wind Farm 及 Rødsand

2 Offshore Wind Farm 正在施工中，預計分別於 2009、2010 年完工商轉。

根據丹麥政府 1996 年制定的能源執行計畫”Energy 21”，為維持國家 CO₂ 減量及使用再生能源提高永續能源發展目標，明訂至 2030 年再生能源將提供其 35% 的能源需求，為達成此再生能源擴展目標，必須大量開發離岸風力，估計到 2030 年離岸風機擴增容量將達 4,000MW。

四、丹麥離岸風力發電廠現況

丹麥現有 Vindeby, Tunø Knob, Middelgrunden, Horns Rev, Nysted, Samsø, Frederikshavn 及 Rønland 等 8 處運轉中的離岸風力發電廠，電廠概況整理如表 2，電廠位置如圖 1。

表 2 丹麥離岸風力發電廠現況概要

離岸 風力發電廠	裝置容量 (MW)	風機容量 (MW)	發電量 (GWh)	設置水深 (m)	離岸距離 (km)	商轉時程 (Year)
Vindeby	4.95	11 x 0.45MW	10	2.5~5	1.5~3	1991
Tunø Knob	5	10 x 0.50MW	15	0.8~4	3	1995
Middelgrunden	40	20 x 2.0MW	95	5~10	2	2001
Horns Rev	160	80 x 2.0MW	600	6~14	14~20	2002
Nysted	165.6	72 x 2.3MW	600	6~9	10	2003
Samsø	23	10 x 2.3MW	80	11~18	3.5	2003
Frederikshavn	10.6	2 x 2.3MW 2 x 3.0MW	20	3	0.8	2003
Rønland	17.2	4 x 2.0MW 4 x 2.3MW	70	3	0.1~0.5	2003



圖 1 丹麥離岸風力發電廠位置圖

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（一）Vindeby Offshore Wind Farm

Vindeby 離岸風力發電廠（圖 2）位於丹麥南側 Baltic Sea, Lolland 島 Vindeby 北方 1.5~3 公里處，計有 11 部 Bonus 450 kw 風力機組，總裝置容量 4.95MW，由 SEAS 公司建於 1991 年，年發電量約 10GWh。丹麥 Risø 國家實驗室在此海域設有二座風力計，以測取該離岸風力發電廠之風場及紊流資料，Vindeby 離岸風力發電廠是全球第一座離岸風場，它的運轉提供丹麥電力公司開發離岸風力無價的運轉經驗。



圖 2 Vindeby 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（二）Tunø Knob Offshore Wind Farm

Tunø Knob 離岸風力發電廠（圖 3）位於丹麥中部 Kattegat Sea, Tunø 島南方 3 公里處，計有 10 部 Vestas 500kw 風力機組，總裝置容量 5 MW，由 Midtkraft 公司建於 1995 年，年發電量約 15GWh，此風場機組運轉狀況比預期良好。



圖 3 Tunø Knob 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（三）Middelgrunden Offshore Wind Farm

Middelgrunden 離岸風力發電廠（圖 4）位於丹麥首都哥本哈根東方 2 公里處，計有 20 部 Bonus 2MW 風力機組，總裝置容量 40MW，由 Middelgrunden Wind Power Work Team 合作建於 2001 年，機組成弧形排列、線條優美。Middelgrunden 離岸風力發電廠是丹麥大型風機、大型風場開發之濫觴，年發電量約 95GWh，可提供 20,000 戶年電力需求。Middelgrunden 風場之開發營運為後續開發之 Horns Rev、Nysted 160MW 大型風場提供寶貴實務經驗及技術知識。



圖 4 Middelgrunden 離岸風力發電廠

資料來源：www.powergeneration.siemens.com

（四）Horns Rev Offshore Wind Farm

Horns Rev 離岸風力發電廠（圖 5）位於丹麥西南側 North Sea, Justland 西方 14-20 公里處，計有 80 部 Vestas 2MW 風力機組，總裝置容量 160MW，由 Elsam 公司建於 2002 年，是丹麥最大的離岸風力發電廠，年發電量約 600GWh，可提供 150,000 戶年電力需求。



圖 5 Horns Rev 離岸風力發電廠

資料來源：Horns Rev Offshore Wind Farm

Summary of EIA Report May 2000

(五) Nysted Offshore Wind Farm (即 Rødsand 1 Offshore Wind Farm)

Nysted 離岸風力發電廠(圖 6)位於丹麥南側 Baltic Sea, Lolland 島 Nysted 南方 10 公里處，計有 72 部 Bonus 2MW 風力機組，總裝置容量 165.6MW，由 Energi E2 公司建於 2003 年，年發電量約 600 GWh，可提供 150,000 戶年電力需求。



圖 6 Nysted 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（六）Samsø Offshore Wind Farm

Samsø 離岸風力發電廠(圖 7)位於丹麥中部 Kattegat Sea, Samsø 島南方 3.5 公里處，計有 10 部 Bonus 2.3MW 風力機組，總裝置容量 23 MW，由當地政府及民間股東合作建於 2003 年，年發電量約 80 GWh。值得一提的是，丹麥政府為發展綠色能源特選定該島，自 1997 至 2006 年期間進行一個能源自給自足社區的可行性計畫，致力推動打造一個潔淨、無碳排放的綠色能源島。Samsø 島約有 4,500 位居民，全島百分之百的能源由島上風力發電廠、離岸風力發電廠、太陽能發電系統以及當地自產的麥稈、木屑生質能燃燒發電廠等綠色能源提供，計畫執行順利，成果豐碩，深獲當地民眾好評。



圖 7 Samsø 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（七）Frederikshavn Offshore Wind Farm

Frederikshavn 離岸風力發電廠（圖 8）位於丹麥東北角 Frederikshavn 港口東方 0.8 公里處，計有 2 部 2.3MW 風力機組，2 部 3MW 風力機組，總裝置容量 10.6 MW，由 Elsam 公司建於 2003 年，年發電量約 20 GWh。



圖 8 Frederikshavn 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

（八）Rønland Offshore Wind Farm

Rønland 離岸風力發電廠（圖 9）位於丹麥西側 Rønland 岸邊，屬近岸風場，計有 4 部 2MW 風力機組，4 部 2.3MW 風力機組，總裝置容量 17.2 MW，由私人股東建於 2003 年，年發電量約 70GWh。

由近 20 年來丹麥離岸風機設置容量分析，明顯可見機組容量朝大型化發展，且離岸越遠風場規模越大，以獲取更多風能，提高更大的供電能力。



圖 9 Rønland 離岸風力發電廠

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

五、離岸風力發電計畫環境影響評估

環境影響評估是丹麥發展離岸風力發電最重要議題之一，環境影響評估報告書之認可亦為取得籌設許可的要件之一。丹麥離岸風力發電計畫籌設許可申請係以丹麥能源局（Danish Energy Agency）為單一窗口，經能源局選定的申請人獲得許可進行風場勘測和風能資源調查，還須進行環境影響評估，在遞交完整應用報告和環境影響評估報告書並完成公眾諮詢程序及審核認可後，始能進行離岸風場開發。

（一）離岸風力發電計畫環評法規及流程

1. 環評法規

丹麥辦理離岸風力發電計畫環境影響評估主要依據法規為“Executive Order no.815 of Environment and Energy 28 August 2000”。

2. 環評流程

- （1）環境基本資料蒐集及範疇界定（Baseline and Scoping）；
- （2）編擬環境影響評估報告書（EIS）；
- （3）環境影響評估報告書提報能源局進行公眾諮詢程序；

環評重要議題刊載於當地及全國版報紙，刊載內容包括：

- 關鍵議題說明
- 環境影響評估報告書陳列地點及資料索取方式
- 公聽會相關事宜

(4) 能源局將環境影響評估報告書提送相關政府機關及團體
研提審查意見，研審期間至少 8 周；

(5) 能源局審查核可。

(二) 離岸風力規劃階段環境考量重要議題

根據丹麥離岸風場開發經驗，相關環境議題如下：

1. 生態 (Ecology)：海域生態、海洋哺乳類動物及鳥類；
2. 景觀 (Landscape)：陸域及海域視覺景觀；
3. 噪音 (Noise)；
4. 眩光及日照陰影 (Shadow Flicker)；
5. 污染 (Pollution)：空氣及水質污染；
6. 考古 (Archaeology)：陸域及海底文化遺址；
7. 旅遊 (Tourism)；
8. 風場變化 (Wind Field Variation)；
9. 電磁場 (Magnetic Field)：海域變電站及海纜電磁場；
10. 海岸變遷模擬 (Coastal Process Modeling)；
11. 累積效應 (Cumulative Impact)；
12. 航運 (Navigation)；
13. 漁業 (Fisheries)。

分析丹麥現有 8 處離岸風力發電廠實務經驗，自 1990 年代至 2000 年代初期在 Vindeby(1991), Tunø Knob(1995), Middelgrunden

（2001）三項離岸風場先導型計畫（Pilot Projects）所進行之環境調查研究結果顯示：Vindeby 離岸風場開發對於鳥類並無嚴重威脅，但發現對該海域漁獲反有增加；在 Tunø Knob 離岸風場，因場址所處區域是雁鴨換毛和渡冬的場所，尤其是黑鳧(Scoter)和綿鳧(eider)等重要鳥種，為調查該風場開發對其影響，Midtdraft 電力公司和丹麥 Risø 國家實驗室合作進行一項為期三年的研究（1994-1996），研究結果顯示，eider 數量及分佈並不受風機設置影響，食物供應變化對 eider 影響遠較風機設置扮演更重要角色；在 Middelgrunden 離岸風場則因考量風機設置對哥本哈根水岸觀光景點視覺衝擊，特將機組數由 27 部減為 20 部。

後續在 2003 年建置的 Samsø, Frederikshavn 及 Rønland 三項近岸（Near shore）的離岸風場計畫，丹麥政府於環評時要求開發單位針對特定項目進行調查研究，以保護海域環境。在 Samsø 離岸風場針對海豹（Seals）及海豚（Porpoises）進行研究，結果發現海豹及海豚在風場設置後因食物來源增加而獲益；Frederikshavn 離岸風場位置雖然鄰近幾處國際性自然保護區，但調查研究結果顯示對於鳥類並無負面衝擊；在 Rønland 離岸風場則針對海豹、鳥類種類及遍佈該海域的大葉藻（eelgrass）進行研究，結果亦顯示無負面影響。

根據 Horns Rev 及 Nysted 二處大型離岸風場示範計畫（Demonstration projects）6 年（1999-2006）長期環境監測調查結果發現，風場開發施工初期，海洋哺乳類動物如海豹、海豚等會游離施工區域，不會受到施工噪音影響，風場設置完成後海豹很快就回

到 Horns Rev 及 Nysted 離岸風場，並沒有受到風機這些柱狀新鄰居影響，海豚亦已回到 Horns Rev 離岸風場，但回 Nysted 離岸風場則較慢，原因尚待進一步研究。

綜合丹麥離岸風場開發經驗，計畫規劃階段主要環境考量議題為鳥類、海洋哺乳類動物、景觀、噪音及社會接受度等項，應審慎規劃評估，擬訂適切的減輕對策以爲因應：

1. 鳥類影響

根據丹麥離岸風場開發經驗，鳥類影響是最重要環境議題之一，依據 Horns Rev 離岸風場經驗顯示，風場若位於遷徙性鳥類的遷徙路徑上，鳥類將會找出各種飛行路徑穿越或繞過風場如圖 10。對於鳥類影響調查評估一般可利用岸邊觀測或以船隻、飛機或設置海上觀測塔對海域風場進行持續性的鳥類活動調查。評估重點主要包括碰撞風險、飛行路徑干擾、棲地損失、擾動及燈光影響等，並依據評估結果擬訂減輕對策或採行其他替代方案。

2. 海洋哺乳類動物影響

根據丹麥離岸風場開發經驗，海洋哺乳類動物影響亦是最重要環境議題之一，持續性海洋哺乳類動物調查為離岸風力發電計畫環境影響評估的基本要求。丹麥在離岸風場開發對於海洋哺乳類動物如海豹、海豚等有相當豐富的調查研究資料可供參考。惟未來引用相關研究成果時應審慎評估對台灣海域哺乳類動物的適用性。



圖 10 鳥類穿越 Horns Rev 離岸風場各種飛行路徑圖

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

3. 噪音影響

由於風機製造技術的提昇，風機噪音已成為次要的環境問題，只要離風機直徑 7 倍距離即不易察覺其影響，一般離岸風場距岸邊有相當距離，風機產生噪音對於人類生活環境及遊憩幾無影響，然其對海域生物之影響仍需注意加以探討。

對於離岸較近之近岸風場，因靠近岸邊民眾，雖然風機運轉噪音方面隨著科技的進步已有效降低，然而民眾對於風機噪音的感覺和接受度取決於他們對於風機的態度遠比噪音大小更為重要，因此仍需加強與風力場址附近居民溝通，勿因風力發電為綠色能源而疏忽。

4.景觀

在視覺景觀上風機是一高度可見的元素，風機外觀顏色上一般採淡灰色較易與環境融合，風機配置除考量風能強度、佈纜條件外，亦應考量場址環境特性，針對陸域、海域視覺景觀進行模擬分析。通常大型離岸風場多成矩陣排列，由於風場離岸距離較遠，若超過 8 公里以上，在岸邊海平面附近視覺景觀影響幾乎可忽略，如 Horns Rev 離岸風場離岸距離約 14~20 公里，自岸上眺望對視覺景觀幾無影響(圖 11)。



圖 11 自岸上眺望離岸 14-20 公里 Horns Rev 離岸風場景觀

資料來源：Danish Energy Authority

”Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions”

對於近岸的中、小型離岸風場，風機量體對陸域居民及遊客視覺景觀將有影響，風場機組排列可考量採簡單幾何線條進行配置，會有較佳的視覺效果，如 Middelgrunden 離岸風場機組成弧形排列、線條優美，視覺效果頗佳（圖 12）。

有關風機對景觀衝擊方面，在丹麥、英國、德國和荷蘭等國經調查研究結果顯示，風機所在地居民對風機的接受性遠大於都市居民，這是因為當地居民可從裝設風機獲得利益，心理接受性較高所致。



圖 12 Middelgrunden 離岸風力發電廠風機景觀

資料來源：www.power-technology.com

5. 社會接受度

離岸風力發電計畫規劃時應充份考量社會接受度，以尋求最佳的模式來提高民眾參與和解決相關利益團體之衝突，以下二項是丹麥離岸風場推動經驗及提高社會接受度的做法可供規劃參考。

(1) 針對當地居民及觀光客對離岸風力發電計畫進行民意調查，作為計畫規劃參考。

(2) 透過專家說明會或讓當地民眾直接合作參與初期規劃提高參與感，在民眾充份瞭解離岸風力發電計畫相對於其他發電替代方案的正面影響後，社會接受度必定會大幅提升。

(三) 施工營運期間影響及減輕對策

1. 施工期間

施工期間之打樁、基礎結構、海纜鋪設等施工行為皆會擾動海域及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類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，則巨大的噪音可能造成海洋哺乳類動物受傷或死亡。因應之道可於打樁初期先以較低出力的施工方式，用以產生較小的噪音，驅趕打樁區域附近的海洋哺乳類動物，避免造成傷害。待一定時間以後再進行正常施工。

2. 營運期間

離岸風力發電廠完工後，風機結構物長期會形成新的棲地（類似人工魚礁），使得生物族群再度群聚，在丹麥的離岸風場開發經驗已證實風力發電廠商轉營運後，海域生態會自然復育，成為海域生物良好的棲息場所，對於漁業有正面的效益。另海底電纜所產生的電磁場強度亦低，且遠低於自然界磁場強度，對於部份對電磁場較敏感之物種如海鰻（eels），其影響亦屬輕微。

對於航運，丹麥禁止船隻進入離岸風場區域，以保航行安全，根據經驗仍有船隻撞上風機塔柱，原因是船長喝醉或睡著了。

（四）環境監測計畫

為瞭解離岸風場設置是否對環境造成影響及提供後續改善參考，離岸風力發電計畫環境影響評估需進行施工前、施工中及施工後三個階段的環境監測，施工期間必須依照環評所擬訂的環境監測計畫執行，施工完成營運後仍需至少進行三年的環境監測。

環境監測項目一般包括有海域水質、漂砂、海床地形、海流、風場、鳥類(數量、種類、棲息地、食物鏈、飛行高度與遷徙路徑) 海域生態、海洋哺乳類動物、底棲生物、基樁生物聚集、噪音、景觀、電磁場、漁業及航運等項。

丹麥於2003年建置的 Horns Rev 及 Nysted 二處大型離岸風場示範計畫，在 1999 年至 2006 年期間投入 DKK 8,400 萬元（約新台幣

幣 5 億 3,000 萬元)經費執行環境監測計畫，1999 年至 2001 年為施工前環境監測，2001 年至 2003 年是施工期間環境監測，2003 年至 2006 年是營運期間環境監測，此環境監測計畫由 Forest and Nature Agency、Danish Energy Authority、Elsam 及 Energi E2 共同執行，由 International Advisory Panel of Experts on Marine Ecology (IAPEME) 負責監督，另有 World Wildlife Fund、Danish Nature Conservation Association、Open Air Council、Greenpeace、Danish Ornithological Association Organization for Renewable Energy 等 NGO 組織從旁監視，IAPEME 是研究計畫機構先驅，在其監督之下使得丹麥在離岸風場環境研究領域位居國際領導地位，提供歐洲及全球離岸風場開發者寶貴的環境研究資訊。

肆、建議事項

- 一、離岸風力發電計畫環境影響關鍵項目主要為鳥類、海洋哺乳類動物、景觀、噪音及民眾接受度等，於規劃階段應建立完備的離岸風場廠址篩選機制，事先避開或排除環境極敏感區位，以降低環境影響及開發成本。
- 二、對於環保團體極重視之環境議題，如對鳥類之影響(包括棲息地、族群數量分佈與遷徙路徑)、噪音對海洋哺乳類動物之影響、電磁場對海底生物之影響等，應及早進行調查研究因應。
- 三、位處近岸的離岸風場開發，對於風機色彩、警示照明、排列方式應妥善規劃，並進行視覺景觀模擬評估，且可配合當地觀光事業，帶來沿岸及海上旅遊商機，增加當地民眾接受度。
- 四、丹麥對於離岸風場開發採先辦理先導型離岸風場方式為之，以獲取離岸風場開發經驗、技術知識及環境資料，俾提供後續開發大型離岸風場寶貴經驗，此種循序漸進做法可供本公司借鏡。
- 五、建置綠色能源島示範計畫，塑造綠色電力企業形象：

丹麥政府選定 Samsø 島推動能源自給自足社區計畫，全島百分之百的能源由島上風力發電廠、離岸風力發電廠、太陽能發電系統以及當地自產的麥稈、木屑生質能燃燒發電廠等綠色能源提供，成果豐碩，深獲好評。

我國台澎金馬間有多處島嶼，島上電力來源多是由高發電成本的柴油發電機組供應，本公司可效法丹麥做法，選定一處

適當島嶼，結合當地政府及民間業者力量，建置綠色能源島示範計畫，運用 10 年期間推動風力、太陽能及生質能等綠色能源發電，使該島所需能源能完全來自潔淨、無碳排放的自產能源，建造一個能源自給自足的環保理想社區，成效良好再陸續推廣至其他離島，塑造本公司積極發展綠色能源，為地球善盡企業責任形象。