

出國報告（出國類別：實習）

實習離岸風力海上結構物腐蝕防治設計

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：鄭錦榮、化學師

派赴國家：香港、大陸

出國期間：101年8月12日至101年8月21日

報告日期：101年9月20日

出國報告審核表

出國報告名稱：實習離岸風力海上結構物腐蝕防治設計		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
鄭錦榮	化學師	台灣電力公司綜合研究所
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：101年8月12日至101年8月21日		報告繳交日期：101年9月20日
出國計畫主辦機關審核意見	<p>※1. 依限繳交出國報告</p> <p>※2. 格式完整 (本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」)</p> <p>※3. 無抄襲相關出國報告</p> <p>※4. 內容充實完備.</p> <p>※5. 建議具參考價值</p> <p>※6. 送本機關參考或研辦</p> <p><input type="checkbox"/>7. 送上級機關參考</p> <p><input type="checkbox"/>8. 退回補正，原因：<input type="checkbox"/>不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/>以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/>內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/>抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/>電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/>未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔</p> <p>※9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： ※辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/>於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/>其他_____</p> <p>※10. 其他處理意見及方式： 本次實習取得離岸風力海上結構物腐蝕防治設計併入本所相關研究，供擬訂立本公司離岸風力海上結構物腐蝕防治、設備狀態監測及檢修的決策參考。</p>	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人		審 核 人	單 位 主 管	主 管 處 主 管	總 經 理 副 總 經 理
-------------	--	-------------	------------------	-----------------------	---------------------------------

QP - 08 - 00 F06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習離岸風力海上結構物腐蝕防治設計

頁數__ 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人事處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

鄭錦榮/台電綜合研究所/化學與環境研究室/化學師/02-80782246

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：中華民國101年8月12日至101年8月21日 出國地區：香港、大陸

報告日期：中華民國101年9月20日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

離岸風機由於長期處於海洋環境中，風機更容易受到雷擊、各類腐蝕等不良因素影響。除了製造問題，離岸的氣候條件、海上結構物的腐蝕防治設計、空氣中鹽份防蝕等，皆是機組日後運轉維護的重要因素，電場需要支出大量經費用於主要部件的更換。如何結合國外風力發電機組在設計開發之時，提高防腐蝕保護，降低日後維修故障的需求，改善腐蝕監督控制為主要研習內容。本次研習選取與台灣鄰近氣象、海域之地區，除了到香港電燈有限公司、香港理工大學土木及結構工程學系研習在香港南丫島

外海建立之離岸測風塔建構防蝕系統，氣象量測及資料擷取傳輸外，並赴上海勘測設計研究院設計之東海大橋海上風電場與相關研究人員研討海上風電規劃設計等方面的交流與溝通，吸收新知以彌補日後施行經驗之不足。

離岸風場氣象資料量測評估，除了採用傳統風速、風向計建構在現場靠近輪殼 40-80m 高度的測風塔外，亦可考慮先進的遙測專用設備 (LIDAR, SODAR, Sonic anemometers, Satellite images) 進行速度分佈和紊流特徵分析等風資源的評估研究。海上風電開發應協調好港口、航道、海事、海洋、環境、軍事等方面，協調與鄰縣間的關係，合理選擇風電場址。風機基礎型式應根據水文氣象和地質條件、風機設備和環境要求、施工能力、經濟合理等綜合因素比較選定，採用多樁承台結構或單樁承台結構適合彰濱離岸地區工程特點，基礎承载力需要通過現場試驗確定。風機吊裝有整體、分體，條件適宜時優先採用整體吊裝。結合香港昂船洲大橋腐蝕偵測方法與上海東海大橋風機防蝕系統，納入彰濱離岸風機基座防蝕評估考量。

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

摘要

離岸風機由於長期處於海洋環境中，風機更容易受到雷擊、各類腐蝕等不良因素影響。除了製造問題，離岸的氣候條件、海上結構物的腐蝕防治設計、空氣中鹽份防蝕等，皆是機組日後運轉維護的重要因素，電場需要支出大量經費用於主要部件的更換。如何結合國外風力發電機組在設計開發之時，提高防腐蝕保護，降低日後維修故障的需求，改善腐蝕監督控制為主要研習內容。本次研習選取與台灣鄰近氣象、海域之地區，除了到香港電燈有限公司、香港理工大學土木及結構工程學系研習在香港南丫島外海建立之離岸測風塔建構防蝕系統，氣象量測及資料擷取傳輸外，並赴上海勘測設計研究院設計之東海大橋海上風電場與相關研究人員研討海上風電規劃設計等方面的交流與溝通，吸收新知以彌補日後施行經驗之不足。

離岸風場氣象資料量測評估，除了採用傳統風速、風向計建構在現場靠近輪殼 40-80m 高度的測風塔外，亦可考慮先進的遙測專用設備 (LIDAR, SODAR, Sonic anemometers, Satellite images) 進行速度分佈和紊流特徵分析等風資源的評估研究。海上風電開發應協調好港口、航道、海事、海洋、環境、軍事等方面，協調與鄰縣間的關係，合理選擇風電場址。風機基礎型式應根據水文氣象和地質條件、風機設備和環境要求、施工能力、經濟合理等綜合因素比較選定，採用多樁承台結構或單樁承台結構適合彰濱離岸地區工程特點，基礎承载力需要通過現場試驗確定。風機吊裝有整體、分體，條件適宜時優先採用整體吊裝。結合香港昂船洲大橋腐蝕偵測方法與上海東海大橋風機防蝕系統，納入彰濱離岸風機基座防蝕評估考量。

目 次

目 次	6
一、目的	7
二、行程概要	9
三、研習內容	10
四、心得與感想	42

一、目的

1. 2011 年行政院經濟部已擬定「千架海陸風力機」打造綠能低碳環境的國家能源政策，陸續開發陸域風場與離岸風力發電，淺海風場開發量約 1,200 MW；深海風場依水深逐步開發，至 2030 年開發量約 1,800 MW，合計約 3,000 MW。以單機 5MW 計，將可設置約 600 架風力機。依據 2008 年「第四次行政院能源政策及科技發展指導小組會議」之結論，離岸風力系統設備之發展，應考慮台灣產業特色與發展利基，並依台灣之特殊環境，以抗震、抗颱、防腐蝕及海象條件作為重點研究考量，並規劃關鍵技術之發展。依公司建立風力發電機組的 10 年歷程，可說涵概風場評估、風機裝設位置與風機機種的選擇，風機塔座基礎土木結構及輸配電變電站的建構，風機安裝、運轉與維護等多方面的工程專業領域。工程人員必須隨著引進機種技術的創新學習與機組水土不服的改善，邁向提高機組的可用率及容量因數的目標。
2. 台電公司推展三期風機計畫共有約 161 台大型風力發電機加入服勤，四期準備發包作業中及彰濱離岸風場測風塔已納入建構評估中。離岸風機通常是在岸上風機的基礎上略作修改製造完成，由於長期處於海洋環境中，離岸風機更容易受到雷擊、各類腐蝕等不良因素影響。就像全球首個大型海上風電場 Horns Rev 在投入運轉後不久，部分風機機組的變壓器、發電機開始出現技術故障，除了製造問題，離岸的氣候條件、海上結構物的腐蝕

防治設計、空氣中鹽份防蝕等，皆是機組日後運轉維護的重要因素，電場需要支出大量經費用於主要部件的更換。

3. 如何結合國外風力發電機組在設計開發之時，提高防腐蝕保護，降低日後維修故障的需求，改善腐蝕監督控制為主要研習內容。本次研習選取與台灣鄰近氣象、海域之地區，除了到香港電燈有限公司、香港理工大學土木工程及結構工程學系研習在香港南丫島外海建立之離岸測風塔建構防蝕系統，氣象量測及資料擷取傳輸外，並赴上海勘測設計研究院設計之東海大橋海上風電場與相關研究人員研討海上風電規劃設計等方面的交流與溝通，吸收新知以彌補日後施行經驗之不足。

二、行程概要

本案實習、開會期間含往返行程共 10 天，即自民國 101 年 8 月 12 日至同年 8 月 21 日止。其行程概要簡述如下：

參訪機構名稱	地點	詳細工作內容
香港電燈有限公司	香港	離岸測風塔建構防蝕系統及資料擷取傳輸，Lidar 氣象量測
香港理工大學土木及結構工程學系	香港	離岸測風塔建構
上海勘測設計研究院	上海	東海大橋海上風電防蝕系統規劃設計

三、研習內容

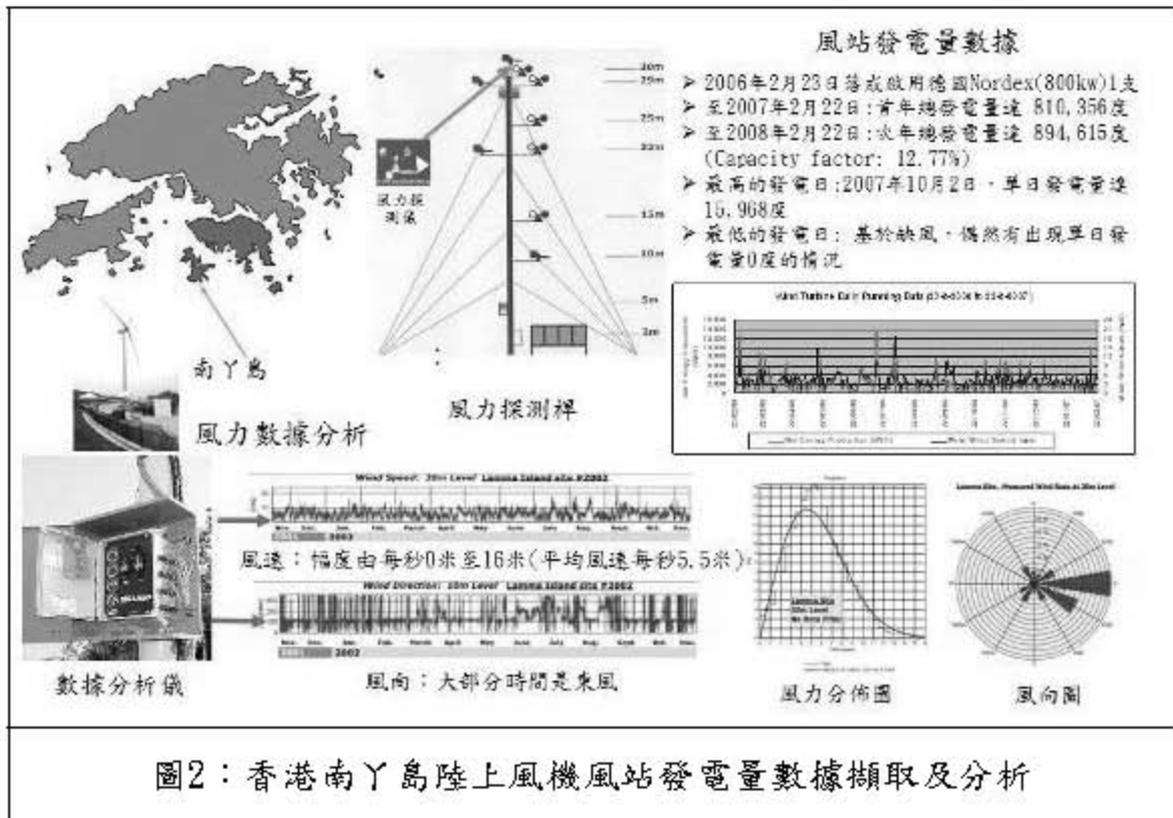
3.1 香港電燈有限公司訪問-離岸測風塔建構防蝕系統及資料擷取傳輸，Lidar 氣象量測

本次香港研習台灣參加單位及人員包括台灣電力公司鄭錦榮、台灣大學機械工程系單秋成教授、交通大學機械工程系金大仁教授共同出席，香港電燈有限公司方面分別由劉福海工程建設科總經理、關應良工程建設科總機械工程師、陳樂文高級機械工程師、劉煥來機械工程師、方恆強機械工程師、關永勳機械工程師等人員接待，雙方簡報及討論。



圖1：雙方簡報及討論

首先介紹香港2006年2月23日在南丫島東北方落成啟用德國Nordex (800kw)風機1支，至2007年2月22日首年總發電量達 810,356度，2008年2月22日次年總發電量達 894,615度，最高的發電日:2007年10月2日，單日發電量達15,968度，最低的發電日:基於缺風，偶然有出現單日發電量0度的情況。



港燈離岸風力的規劃，香港政府建議准許香港電燈有限公司於南丫島西南水域約四公里，約2,030平方米的海床範圍內進行實地勘測，並使用擬議撞擊式打樁法安裝大約八支海樁，以承載臨時離岸測風站的地基。測風站將收集風力數據，以研究在香港水域興建離岸風力發電場，安裝工程定於2011年首季展開，並於2011年年底內完成，

港燈離岸測風站的數據收集已於2012月年3月展開，利用無線網絡每日將風力資源及海浪數據，傳送至岸上電腦系統作進一步分析，收集的數據會參考過往香港天文台於周邊地區所錄得的氣候資料，利用電腦模擬作出分析，以評估風場的風力資源及海浪狀況，並擬定每月及全年的數據分析結果，分析結果會用作離岸風場的可行性研究及詳細設計之用，所收集的數據，均由委任的獨立認證機構審核，確保有關數據能合乎設計上的要求。

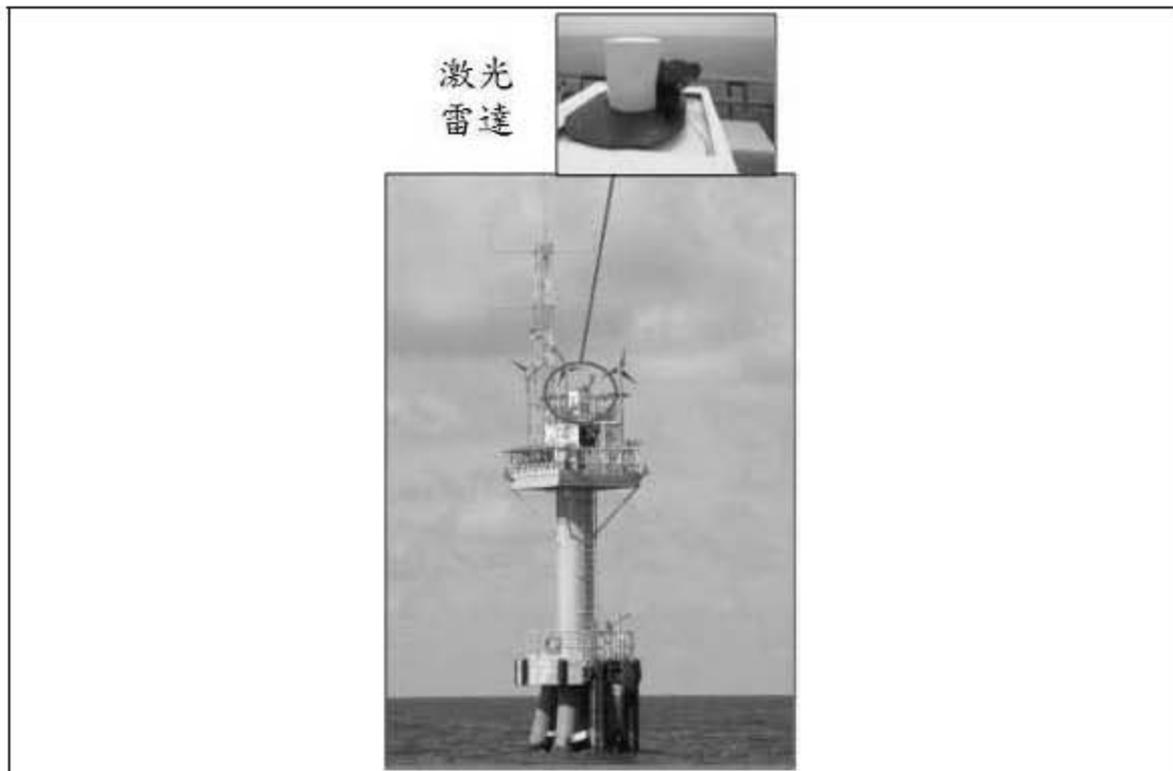


圖3：測風站率先採用「激光雷達」技術量度風資源

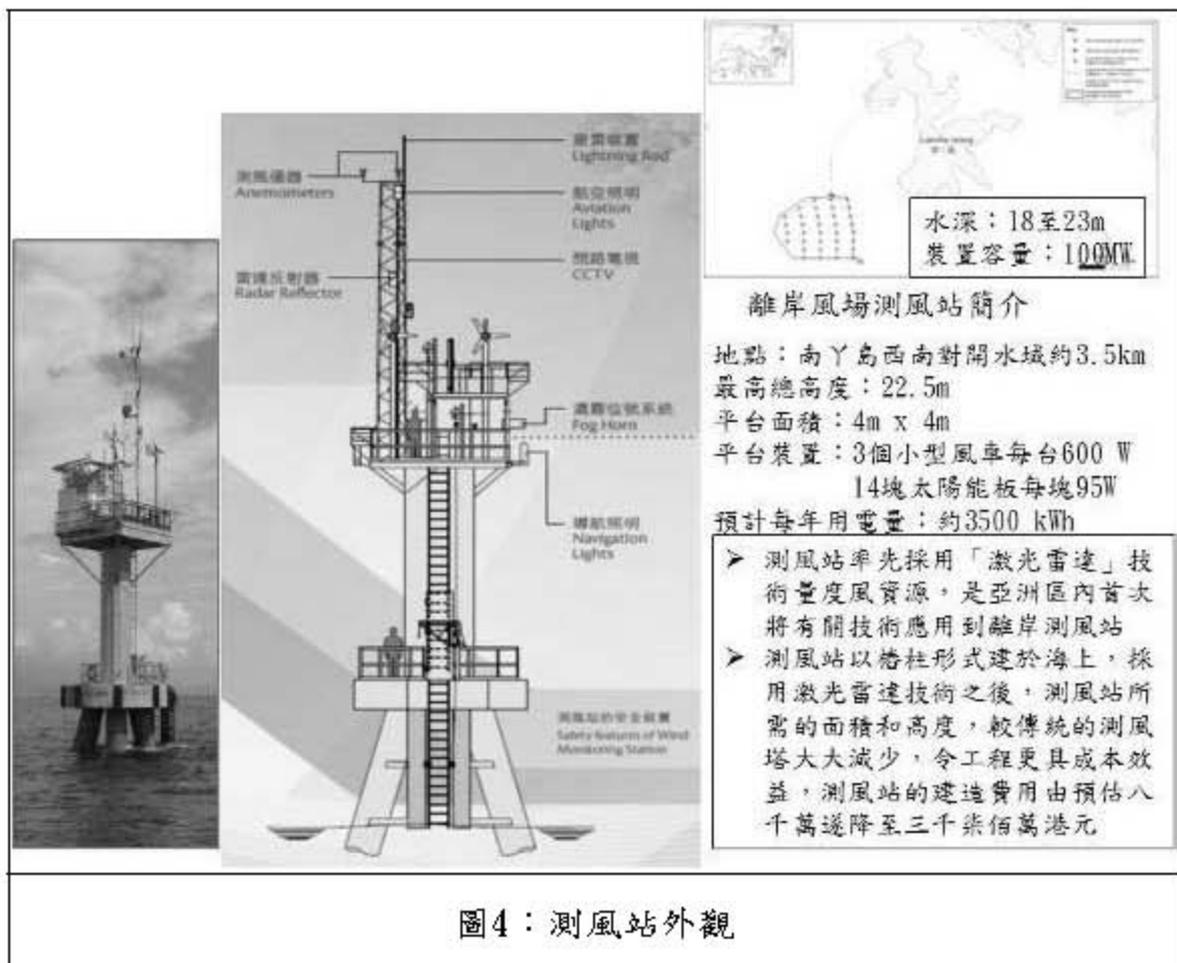


圖4：測風站外觀

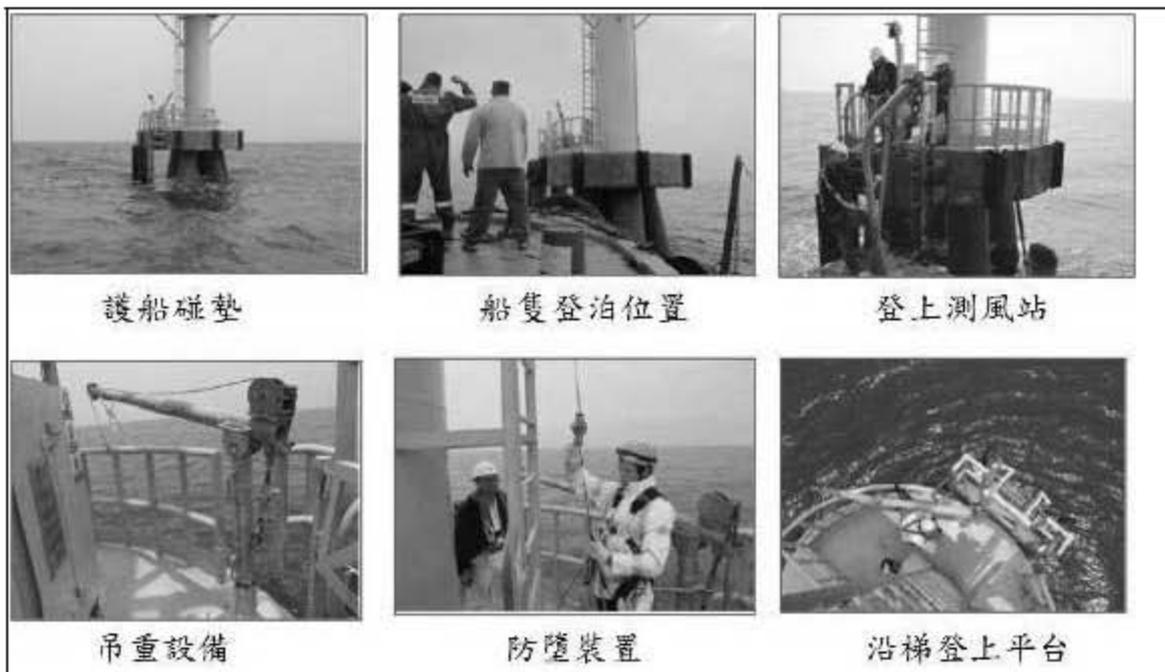
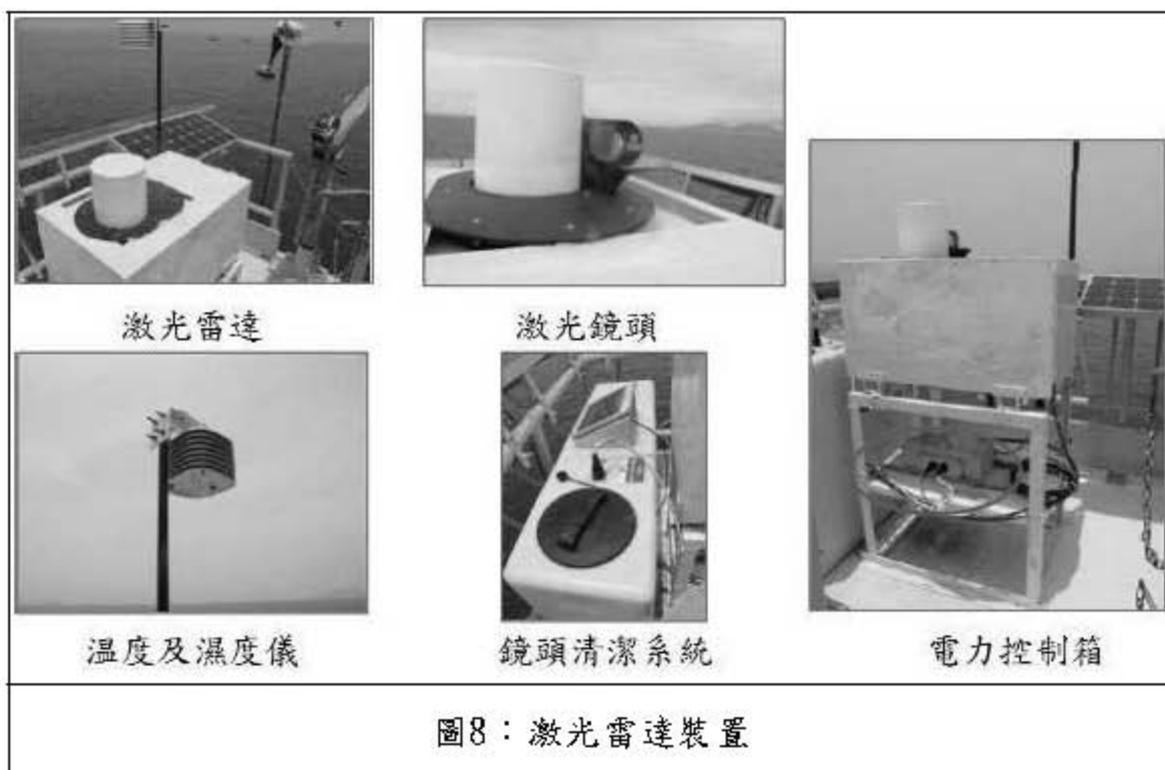
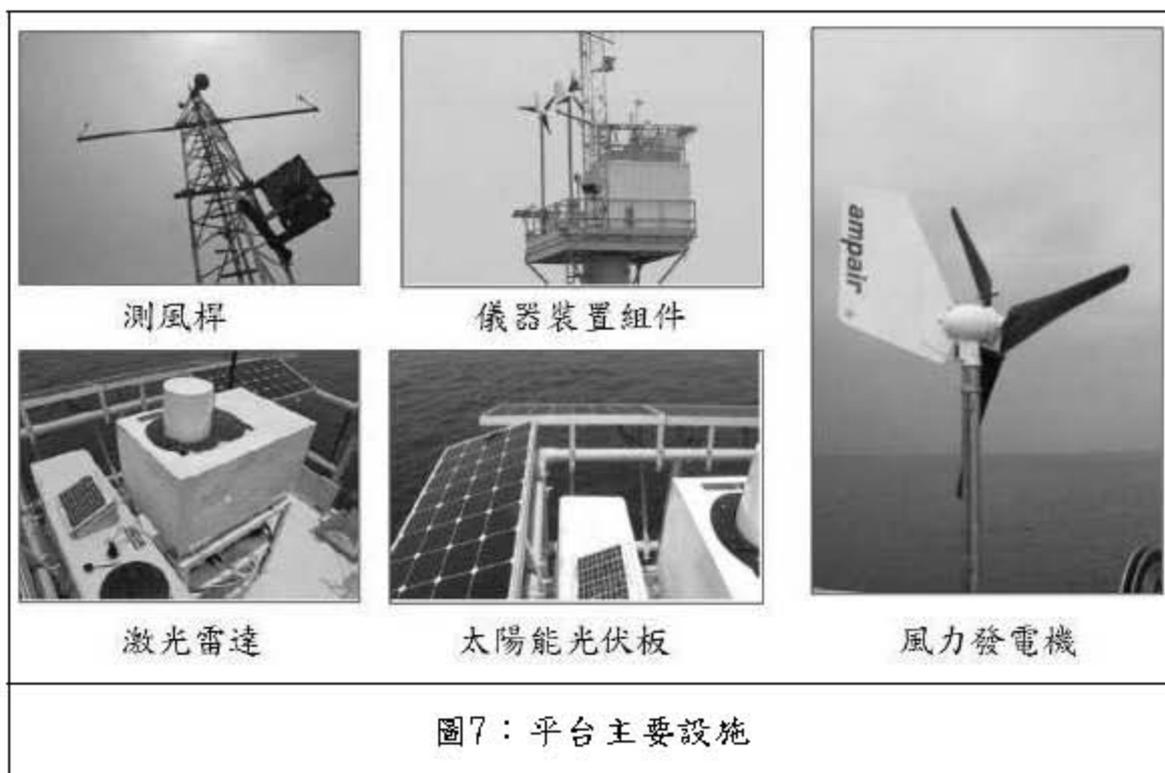
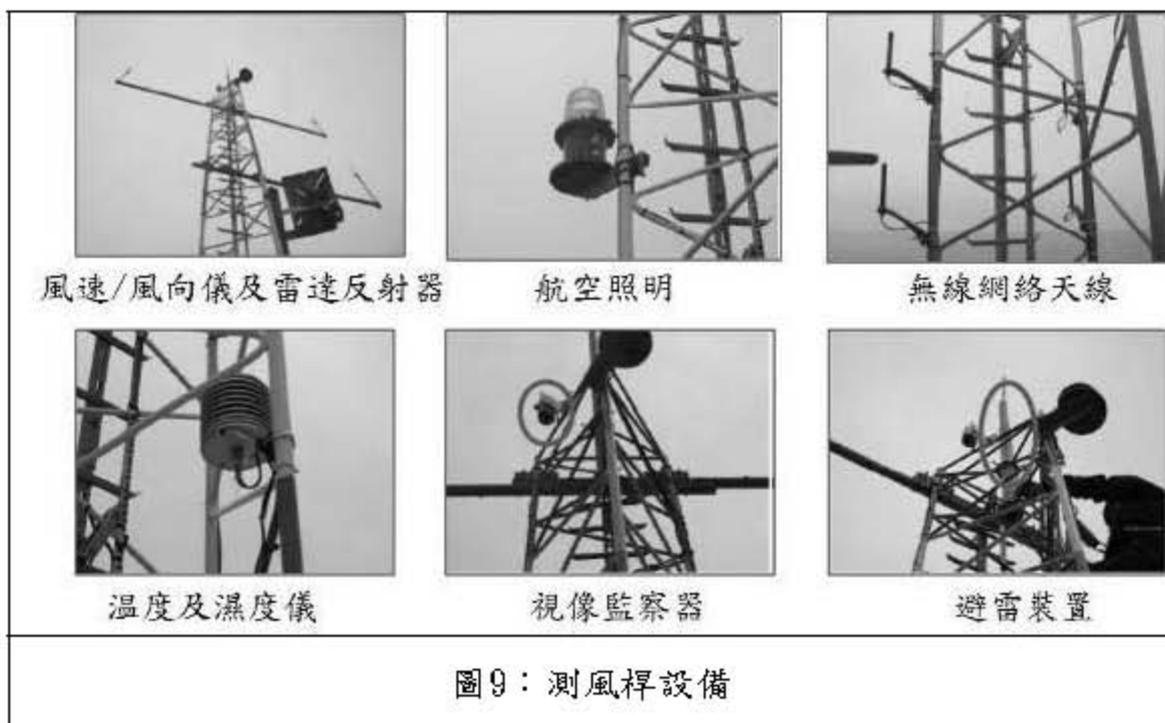


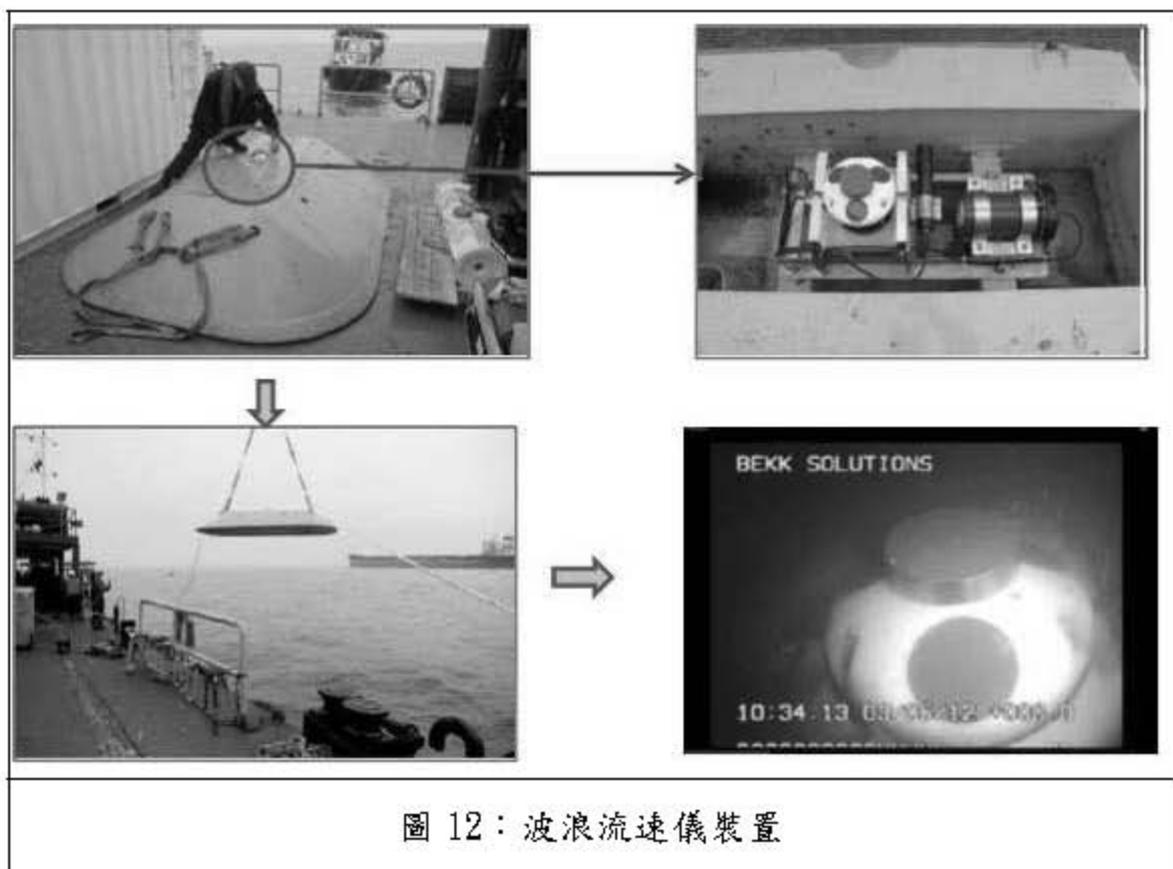
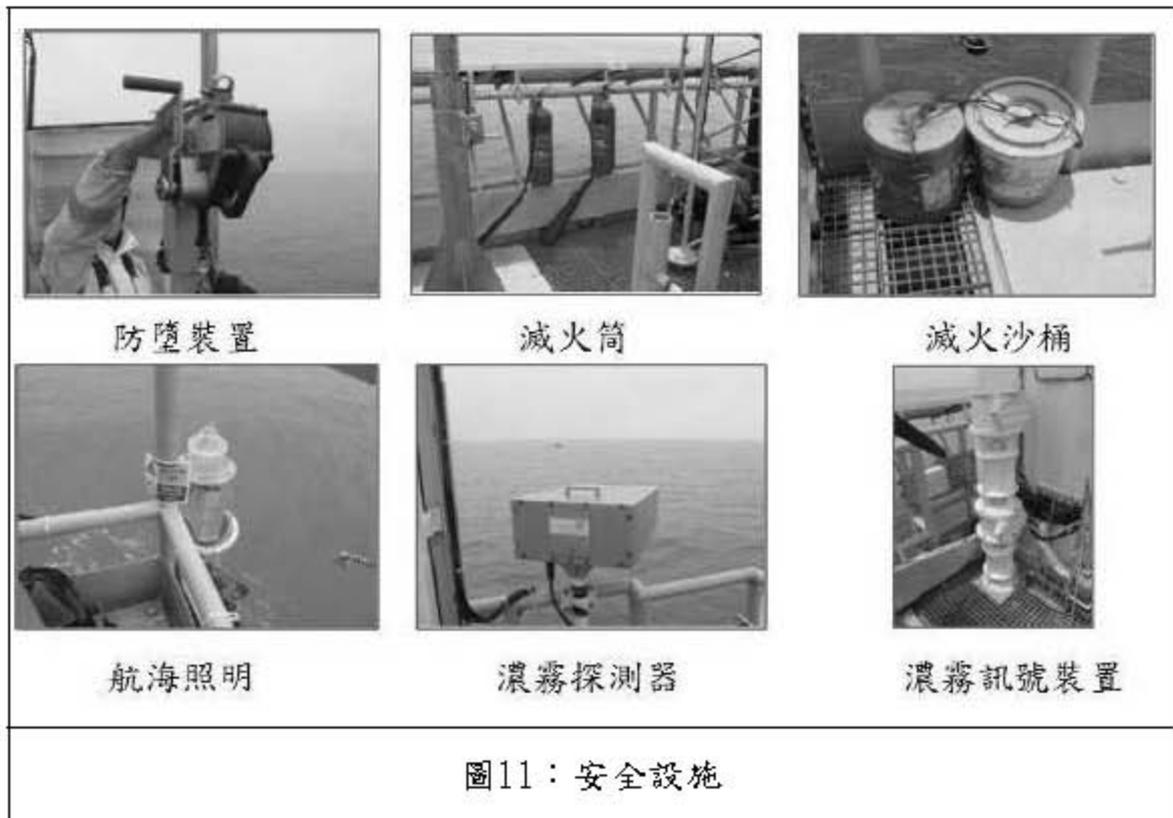
圖5：測風站樁帽平台



圖6：測風站平台整體裝置







離岸測風站的運作，為確保測風站的儀器能運作正常，例行檢查及保養於每月定期進行，例行檢查及保養包括確保激光雷達、數據接收及傳送系統、供電設施、以及所有安全裝置運作正常，由潛水員檢查及清潔安裝在海床的”波浪流速儀”是每月例行檢查的其中一個重要項目。



圖13：離岸測風站的運作

獨立顧問以過往長期氣象數據為基礎所作出的電腦模擬分析結果顯示，風場範圍內高出海面80米(相等於塔桿高度)的全年平均風速可達6.85 m/s。

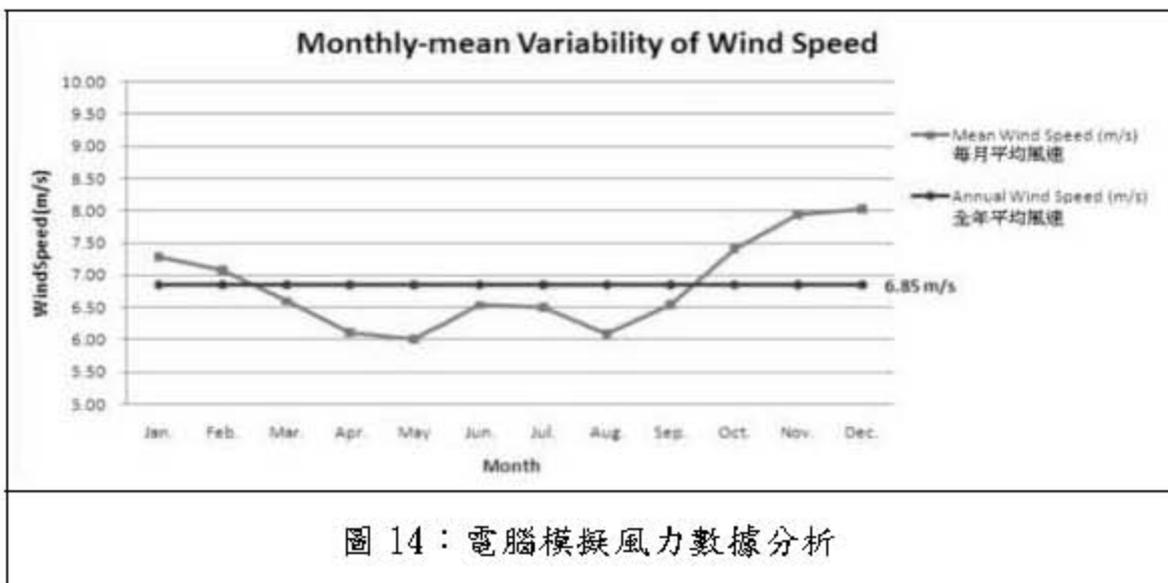
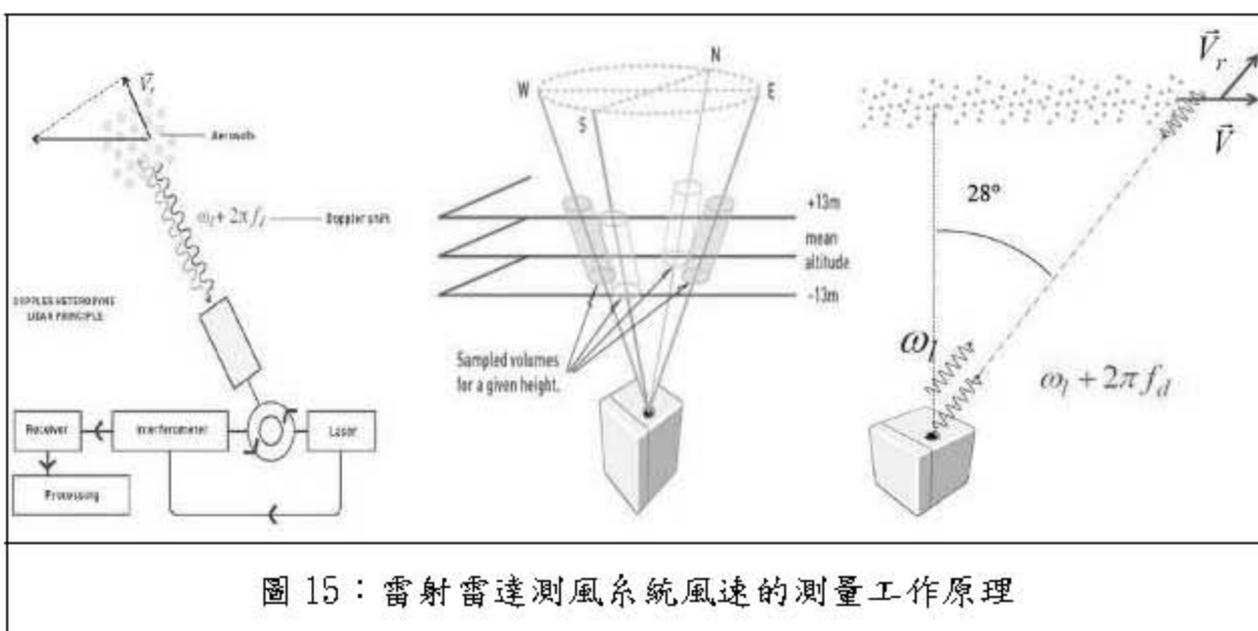


圖 14：電腦模擬風力數據分析

離岸測風站錄得的初期風力數據，港燈已委托顧問根據測風站錄得的初期風力數據，與長洲及橫瀾島在同時期所錄得的風力數據及長期平均值進行比較，就風場範圍內的風力資源作出評估，評估結果顯示，風場範圍內在塔桿高度的全年平均風速預計與較早前電腦模擬桌面分析的結果相若，按照以上的風力資源估算結果，離岸風場預計每年可生產二億二千萬度電，較環評報告所預計的每年一億七千五百萬度的產電量，高出約25%。

雷射雷達測風系統風速的測量工作原理，採用脈衝鐳射掃描方式，基於雷射脈衝多普勒頻移原理，光束遇到空中粒子後反射回來，通過多普勒頻移效應來測量塵埃移動速度，塵埃移動速度=風速，光學元件能檢測到多普勒頻移，多普勒頻移為1.3MHz等於1m/s的風速，多普勒頻移通過外差檢驗法測量得到。



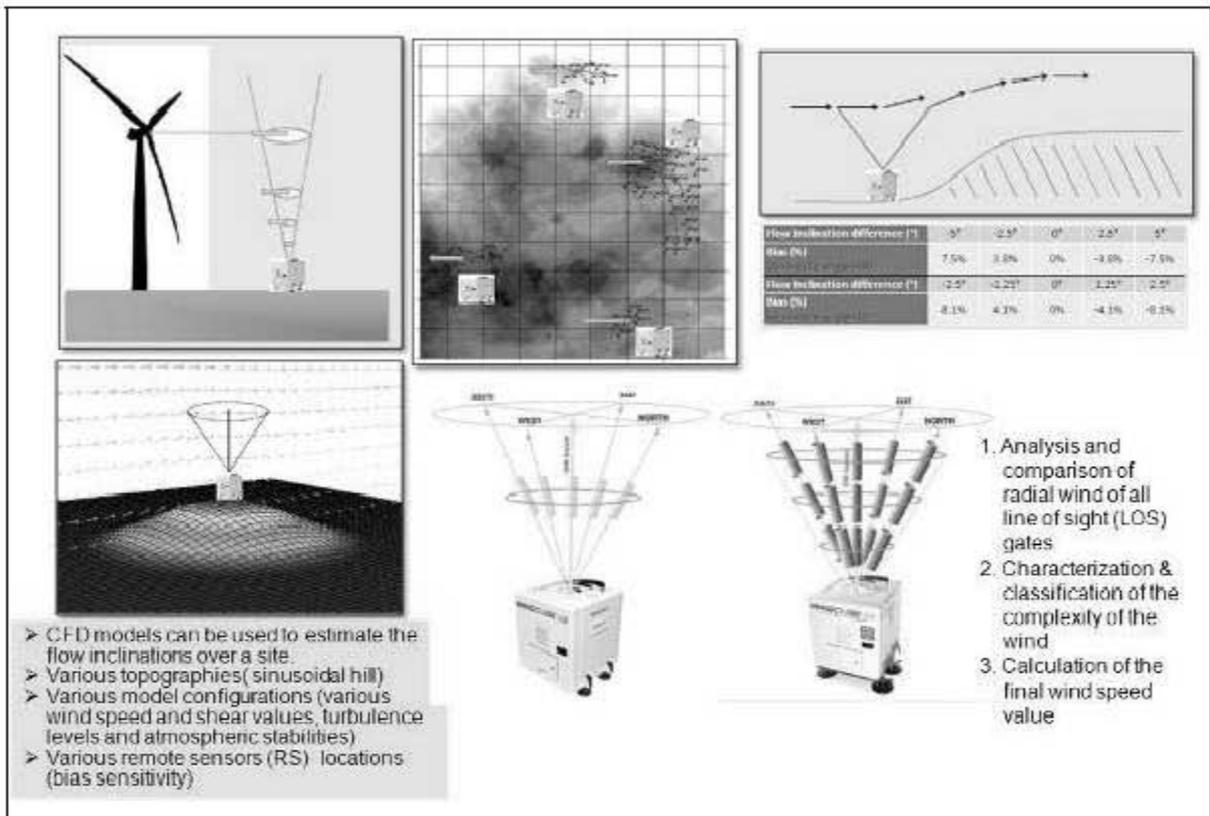


圖 16：雷射雷達測風系統在複雜地形的量測

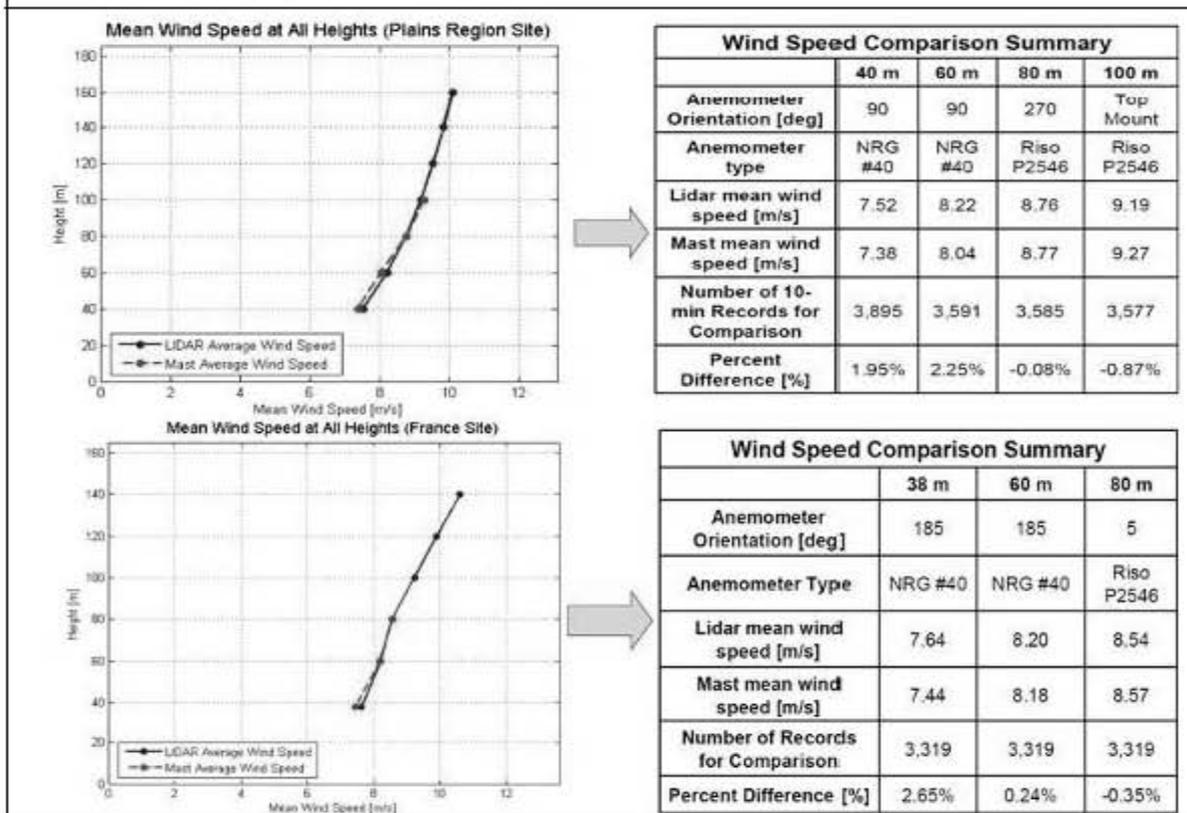


圖17：激光雷達的驗證結果

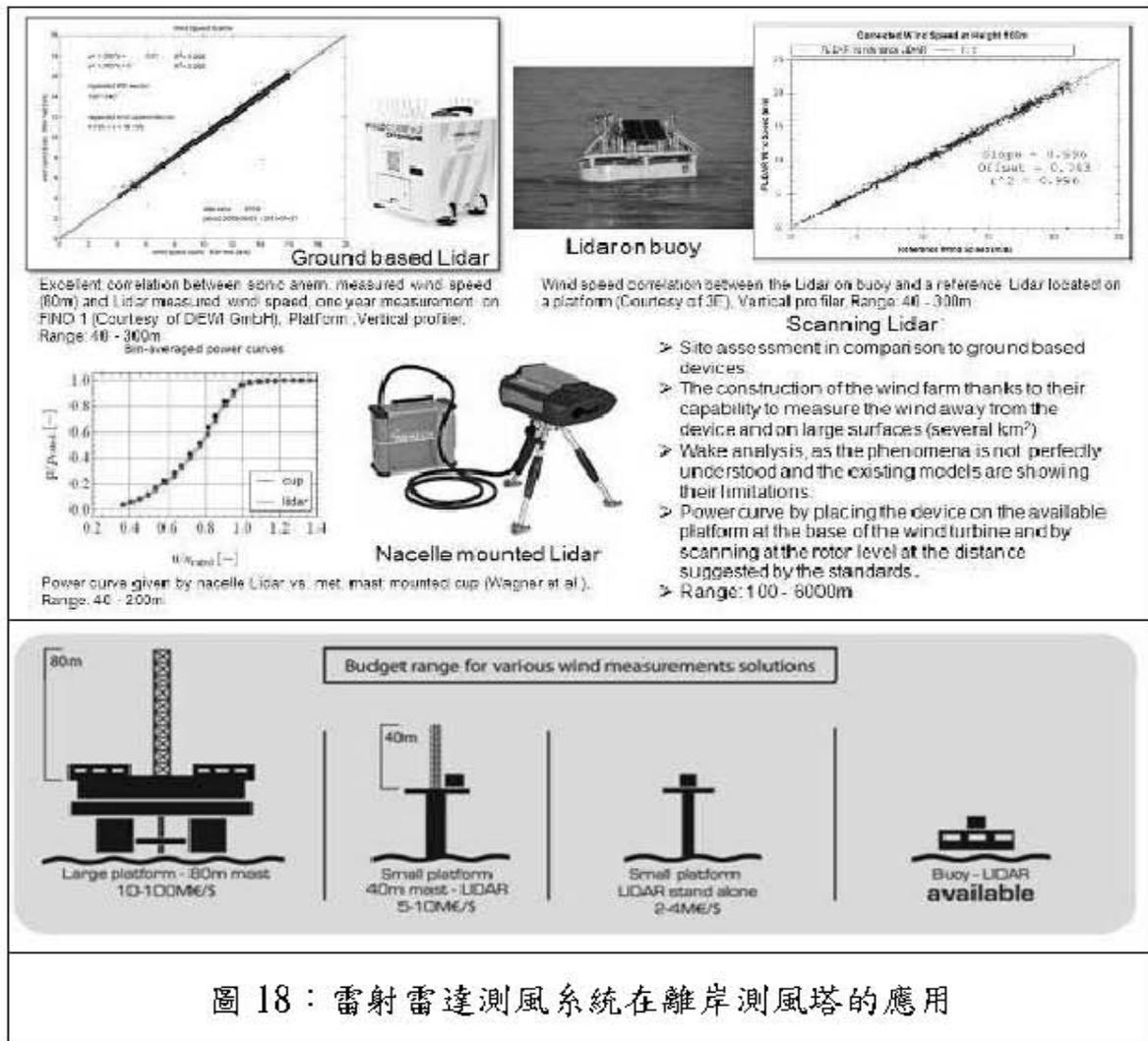


圖 18：雷射雷達測風系統在離岸測風塔的應用

Task	Traditional Approach	Tools	Advanced Approach	Tools
Site Prospecting	Cartographic survey + onsite evaluation	Political and physical maps. European Wind Atlas. Met office statistics of nearby Stations	Regional wind atlas produced with a mesoscale model. Integration of other feasibility parameters in a GIS database.	Mesoscale models, GIS platform.
Measurement Campaign	Onsite reference mast as close as possible to the hub height and several additional shorter masts (in large sites)	40-80 m tall masts, equipped with cups and vanes	Velocity profile and turbulence characterization using dedicated instruments	Remote sensing (Lidar, SODAR[Sonic Detection and Ranging], satellite images for offshore) and sonic anemometers
Long-term Extrapolation	Correlation with nearby historical observations	Measure-Correlate-Predict (MCP) methods	Onsite virtual met mast with historical and homogeneous wind speed time series	Physical/statistical downscaling from large scale reanalyses produced by met offices (ECMWF, NCEP/NCAR)
Microscale horizontal extrapolation	Linear model, near-neutral conditions	Wind Atlas Methodology (WAsP)	Non-linear model, different stabilities, built-in forest model	CFD solvers, turbulence model calibrated with sonic measurements
Microscale vertical extrapolation	Define most likely wind shear based on lower measurement and experience	Linear model, near-neutral and/or Experience	Profile calibration based on remote sensing and CFD modeling	Remote sensing + CFD
Wind Farm Design	Analytical wake modeling	Wind farm design tools based on WAsP	Built-in wake effects CFD model	Wind farm design tools based on CFD solvers
IEC Classification (Vref)	Vref from limited (1-3 years) measurement periods	Extreme Value Analysis methods, IEC 61400-1	Onsite virtual met mast with historical homogeneous wind speed time series	Extreme Value Analysis methods applied to downscaled long-term wind statistics

圖 19：傳統的風能資源評估過程中輔以先進的方法

3.2 香港理工大學土木及結構工程學系-離岸風力海上結構物腐蝕防治設計



圖 20：香港理工大學土木及結構工程學系參訪、雙方簡報及討論

本次香港研習台灣參加單位及人員包括台灣電力公司鄭錦榮、台灣大學機械工程系單秋成教授、交通大學機械工程系金大仁教授共同出席，香港理工大學參予者包括滕錦光建設及環境學院院長、徐幼麟土木及結構工程系主任、楊洪興可再生能源研究室主任、朱松暉土木及結構工程系助理教授、李伯亨土木及結構工程系助理教授及20位碩、博士研究生。

雙方簡報內容包括

1. Brief Introduction of CSE(Prof. You-Lin Xu Head of Department)
2. 台電風力發電開發及綜研所風力發電研究(台電鄭錦榮)
3. Research Institute for Sustainable Urban Development (Prof. Jin-Guang Teng)
4. Dynamics of Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine (Prof. Song-ye

Zhu)

5. 風力發電原理及設計方法(台灣交通大學金大仁教授)

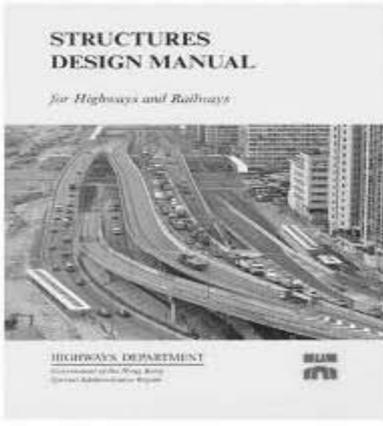
<p>橋樑結構設計手冊規定大橋設計使用壽命為120年</p>  <p>STRUCTURES DESIGN MANUAL for Highways and Railways HIGHWAYS DEPARTMENT Department of the Highways General Administration Agency</p>	 <p>氯離子擴散</p>	<p>橋塔混凝土的規格</p> <table border="1"><tr><td>強度</td><td>60 Mpa</td></tr><tr><td>保護層</td><td>60mm</td></tr><tr><td>裂縫寬度</td><td>0.25mm</td></tr><tr><td>水灰比</td><td>0.35</td></tr><tr><td>水泥含量</td><td>490kg/m³</td></tr><tr><td>含粉煤灰</td><td>35%</td></tr><tr><td>矽灰</td><td>6%</td></tr><tr><td colspan="2">+不銹鋼鋼筋</td></tr></table>	強度	60 Mpa	保護層	60mm	裂縫寬度	0.25mm	水灰比	0.35	水泥含量	490kg/m ³	含粉煤灰	35%	矽灰	6%	+不銹鋼鋼筋	
強度	60 Mpa																	
保護層	60mm																	
裂縫寬度	0.25mm																	
水灰比	0.35																	
水泥含量	490kg/m ³																	
含粉煤灰	35%																	
矽灰	6%																	
+不銹鋼鋼筋																		
<p>增加混凝土耐用程度的傳統方法-改變混合料成分以減低混凝土內的氯離子擴散速度</p> <ul style="list-style-type: none">➢ 水灰比➢ 水泥含量➢ 含粉煤灰(PFA)➢ 矽灰 (Silica Fume)																		

圖 21：橋樑的設計使用壽命

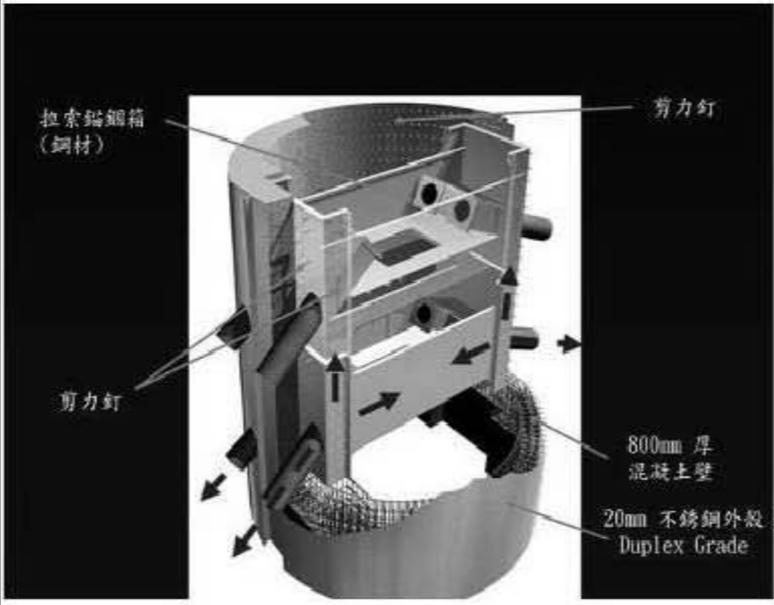
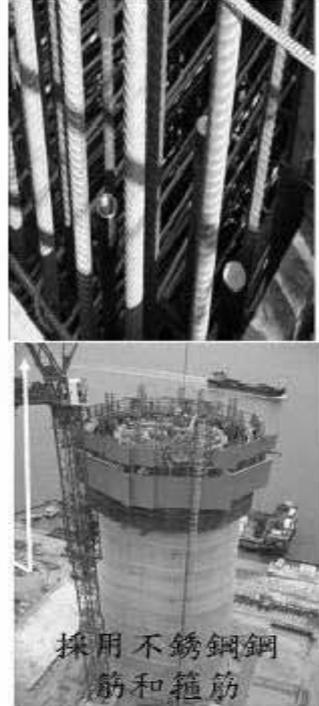
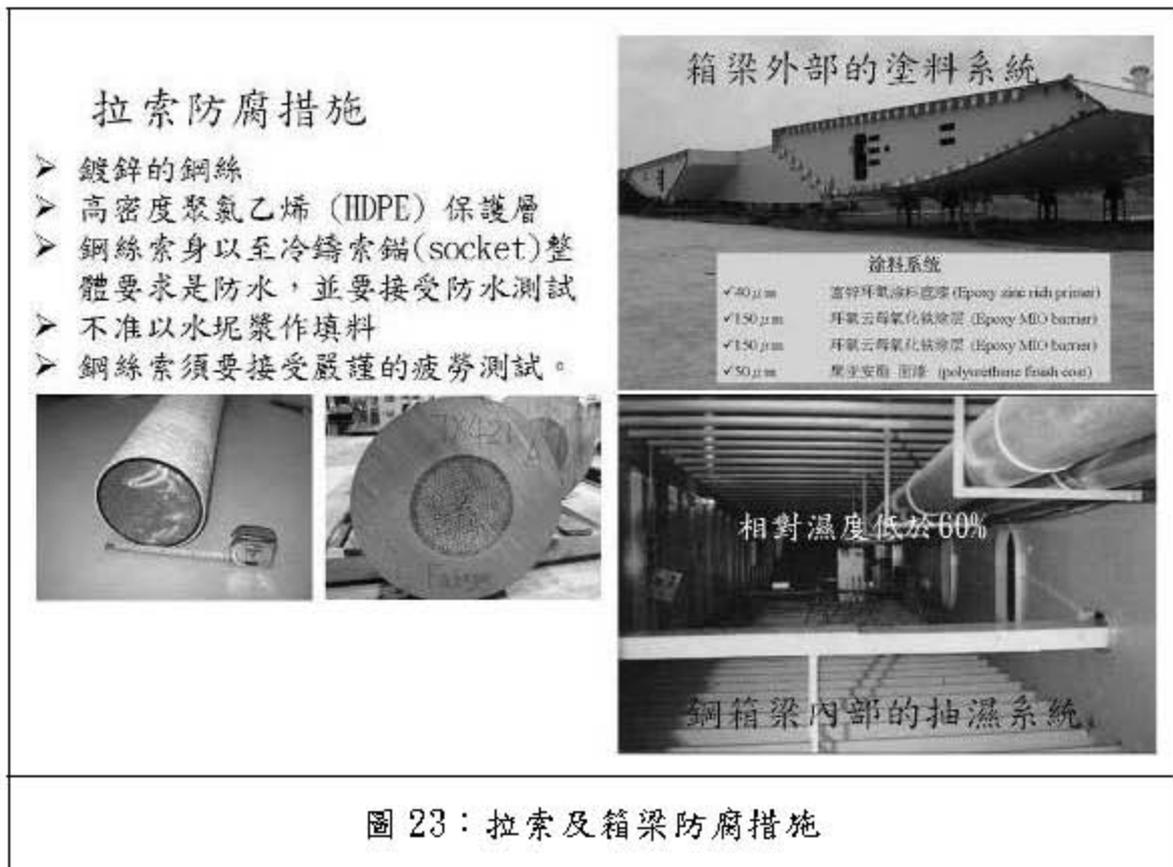
 <p>拉索錨鋼箱 (鋼材)</p> <p>剪力釘</p> <p>800mm 厚 混凝土壁</p> <p>20mm 不銹鋼外殼 Duplex Grade</p>	 <p>採用不銹鋼鋼筋和箍筋</p>
--	---

圖 22：橋塔上下半部的結構



香港理工大學參予香港昂船洲大橋的結構健康監測及安全評估，

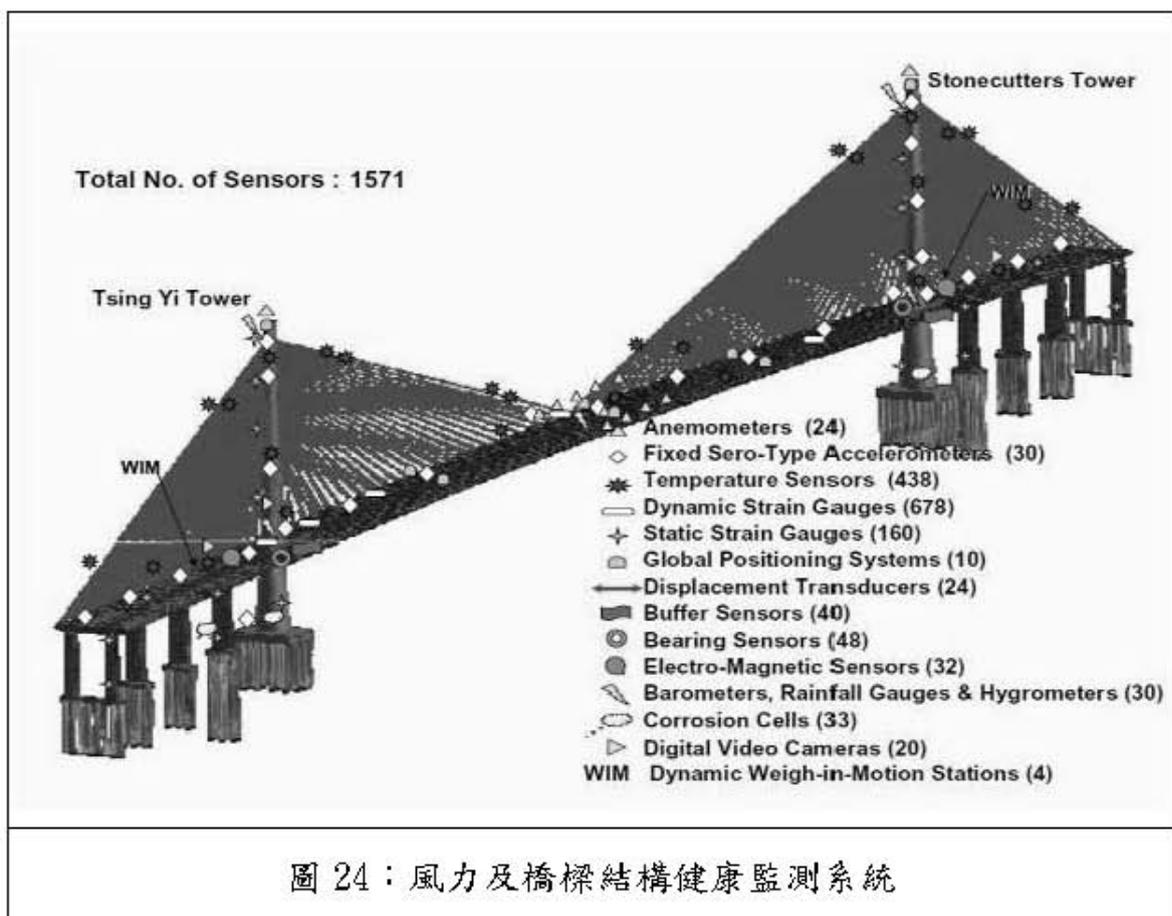
- The SHM&SES is composed of four integrated systems
 - Structural health monitoring system (SHMS)
 - Structural health rating system (SHRS)
 - Structural health evaluation system (SHES)
 - Structural health data management system (SHDMS)
- Structural rating approaches and criteria

Criticality and vulnerability ratings are used to rate the structural conditions of components.

 - The criticality rating is basing on five criteria, namely, C1-alternative load paths, C2-strength utilization ratios, C3-remaining fatigue life, C4-known or discovered defects but not serious enough to warrant

immediate repair, and C5-failure modes/mechanisms;

- The vulnerability rating is basing on three criteria, namely, V1-corrosion, V2-damage and V3-wear.
- The combination of these two ratings or the synthesis ratings will provide the basic information in establishing the priority list for planning and scheduling of bridge inspection and maintenance activities.
- All ratings of structural components, including criticality, vulnerability and synthesis ratings, should be calibrated/updated once per five years or in case of any major events occurred in the bridge during its in-service period.



3.3 上海勘測設計研究院-上海東海大橋海上風電防蝕系統規劃設計

大陸上海勘測設計研究院(SIDRI)創建於1954年，原為水利部和國家電力公司所屬大型甲級工程勘測設計研究院，2001年7月因勘察設計體制改革移交地方管理，現隸屬於上海市國有資產監督管理委員會。本次接待人員包括陸忠民上海勘測設計研究院副院長、黃熔新能源設計研究院副院長、林毅峰海上風電場設計總工程師，安排雙方簡報及上海東海大橋海上風電參觀。

SIDRI 是一家從事新能源(包括風電)、水利、電力、環境、工業與民用建築工程的勘測設計單位。服務範圍包括工程規劃、項目建議書、可行性研究、招標設計、施工圖設計、環境影響評價、工程勘察、工程諮詢、工程項目管理、EPC (Engineering、Procurement、Construction，設計、採購、施工) 總承包。配備專業包括規劃、勘察、土建、機電、建築、施工、環評、監測、造價等。業務範圍遍佈大陸、巴基斯坦、緬甸、越南、伊朗、斯里蘭卡等國。



圖 25：SIDRI 工程項目開發建設

SIDRI 風電業績包括承攬了上海、天津、江蘇、福建、廣東、山東、河北、遼寧、吉林、內蒙古等地陸上和海上風電場、測風塔等工程的規劃、勘察、設計、咨詢和 EPC 總承包、環境影響評估。海外風電業務拓展到美國、德國、巴基斯坦、菲律賓、蘇丹、馬爾地夫等國家和地區。完成了亞洲第一座海上風電場—東海大橋海上風電場規劃勘察設計，目前正在開展二期工程、臨港海上風電場等工程勘察設計、環境影響評估。完成了 3.6MW、5MW、6MW 大容量海上風機試驗風場的設計。建立了海上風電場設計研究中心，開展了海上風電風資源評價、颱風影響評估、場址選擇、海洋環境影響評價、基礎設計等方面技術研究、管理技術標準制定和典型設計等工作。

另外亦分別制定下列風機相關標準

1. 海上風電場工程可行性研究報告編制辦法
2. 海上風電場工程施工組織設計技術規定
3. 海上風電機組基礎設計規範
4. 海上風電場工程 設計概算編制辦法及技算標準
5. 海洋能資源調查與評估指南
6. 風電場工程設計規範

大陸近海風電場規劃建設進展，可利用的風能在全世界分佈廣泛，風電成為國家可持續發展戰略的重要組成部份，風電是可再生能源中最具商業價值的電源。大陸擁有漫長的海岸線，沿海島嶼星羅棋布，海岸線總長 3.2 萬 km(其中大陸海岸線 1.8 萬 km)，海上風能資源十分豐富。5~25(5~50)m 水深區域，50(70)m 高度風電可裝機容量達 2(5)億 kw，具有大規模開發海上風電的資源條件。東部沿海地區經濟發達，電力需求量大。能源資源相對缺乏，2020 年將建成智能電網，有電網市場空間和電網支撐來促進海上風電的規模發展。開發海上風電可以充分利用豐富的海上風能資源，改善電源結構，降低化石能源資源消耗，減少碳排放，有利於保護環境。

東海大橋風電場位於上海市臨港新城至洋山深水港的東海大橋兩側 1000m 以外沿線，風電場最北端距離南匯嘴岸線 5.9km，最南端距岸線 13km。風機佈置按東海大橋東側佈置 4 排 35 颱風機；西側佈置 2 排 15 颱

風機，風電場裝機規模 10 萬 kW。全年中風速大於或等於 3m/s 的時數約為 7000~8000 小時，大於或等於 6m/s 的時數為 4000 小時。風機南北向間距 500m (局部根據航道、光纜走向適當調整)；東西向間距 1000m。風電場通過 35kV 海底電纜接入岸上 110kV 風電場升壓變電站，接入上海市電網。第一期裝設 34 台 3MW 風力發電機組，總裝機容量 10 萬 kW，預計年上網電量 25851 萬 kWh，項目投資 21.22 億元人民幣。由中國大唐集團公司、上海綠色環保能源有限公司、中廣核風力發電有限公司和中電國際新能源控股有限公司共同出資組建的上海東海風力發電有限公司，負責該專案的投資開發和運營管理工作。

東海大橋風機平台的施工是採用高樁承台基礎設計。與國外海上風電場採用的單樁和三角架基礎設計不同，而大陸設計和施工則是先打下 8 根鋼管樁，再在鋼管樁的頂部澆注成一個混凝土承台，來滿足高聳風機承載、抗拔、水平移位元的需要。另採用了大陸首創的海上風機整體吊裝方法。國外通常採用帶液壓支腿的移動平臺進行風機分體安裝，然而東海近海海域淤泥較深，不適合移動平臺的作業。透過具有海上精確定位和緩衝軟著落功能的吊架系統，成功解決了海上惡劣自然條件下整體吊裝的各種技術難題。

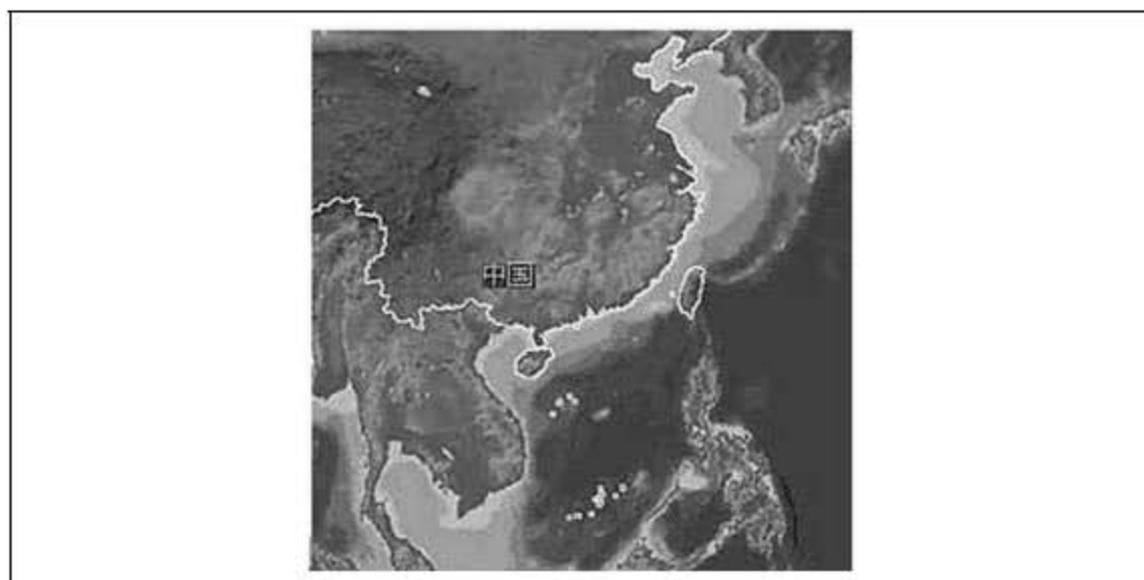


圖26：大陸近海風電場規劃建設進展

大陸海上風電規劃，大陸國家能源局組織發展了上海、遼寧、河北、天津、山東、江蘇、浙江、福建、廣東、海南、廣西等地的海上風電規劃工作。

省/市	規劃裝機容量(MW)	
	2015年	2020年
上海	700	1550
江蘇	4600	9450
浙江	1500	3700
山東	3000	7000
福建	400	1100
其他(暫定)	5000	10000
合計	15100	32800

圖 27：大陸海上風電規劃

大陸近海風電場規劃建設解決方案，

1. 颱風影響評價：

上海及以南地區危害性最嚴重的大風天氣，颱風路徑：第一類—近海北上轉向路徑，即從菲律賓以東向西北方向移動，進入東海後轉向東北的；第二類—登陸路徑，即從菲律賓以東向西北方向移動，主要在福建、浙江、台灣一帶登陸，其中在上海以南登陸的佔 85%。近海 50 年：100m 高速風速：上海南匯：最大 44m/s 極大 53m/s—IEC IC 級，福建福清：極大 66m/s—IEC IA 級。

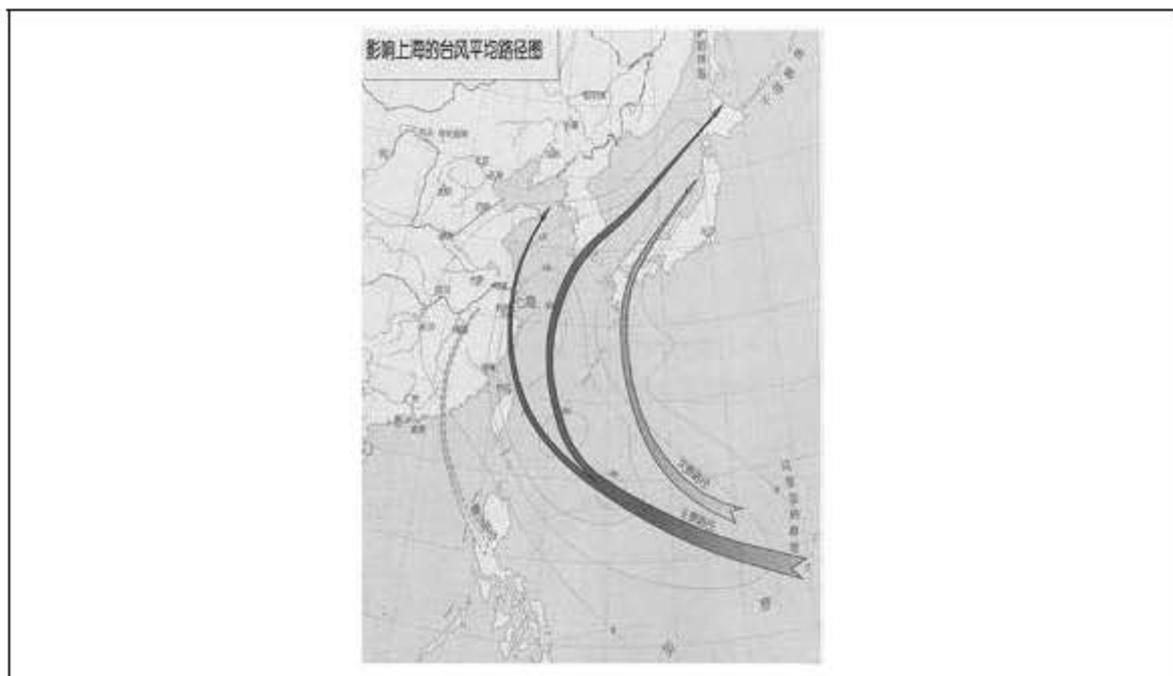


圖28：颱風路徑

2.海上風電場場址選擇

海上風電場選址原則；優先考慮風能資源豐富區和較豐富區場址資源。具備規模開發的場地條件。兼顧岸線和灘塗利用、城市建設規劃和生態保護要求。不影響防汛安全以及機場、航道的正常運行。陸上風電場宜選擇沿海(江)岸線，並避開一線大堤的保護範圍。海上風電場應滿足上海

市海洋功能區劃要求；符合環境和生態保護的要求，盡量減少對鳥類和漁業的影響；盡量避開港區、錨地、航道、軍事以及海底管線的保護範圍；不影響其他已明確的特殊用海，如科研活動、災害觀測、導航設施等。

3. 東海大橋海上風電場場址

東海大橋海上風電場場址位於上海市東海大橋東側 1.0 Km 外，北端：距陸地岸線 8 Km；南端：距陸地岸線 13 Km；場址範圍海域面積 14 Km²，裝機容量：102MW（34 台 3MW 風機），總投資 23.7 億元。



圖 29：東海大橋海上風電場場址

4. 海上風電場升壓方式

設海上升壓站：距陸地 ≥ 15 Km 電壓 ≥ 110 KV；不設海上升壓站：距陸地 < 15 Km 電壓 < 110 KV，東海大橋海上風電場集電線路：35KV電壓等級，風機：一機一變升壓至35KV，接線：8台或9台風機組合成一個聯

合單元四回海纜接入陸上升壓站。

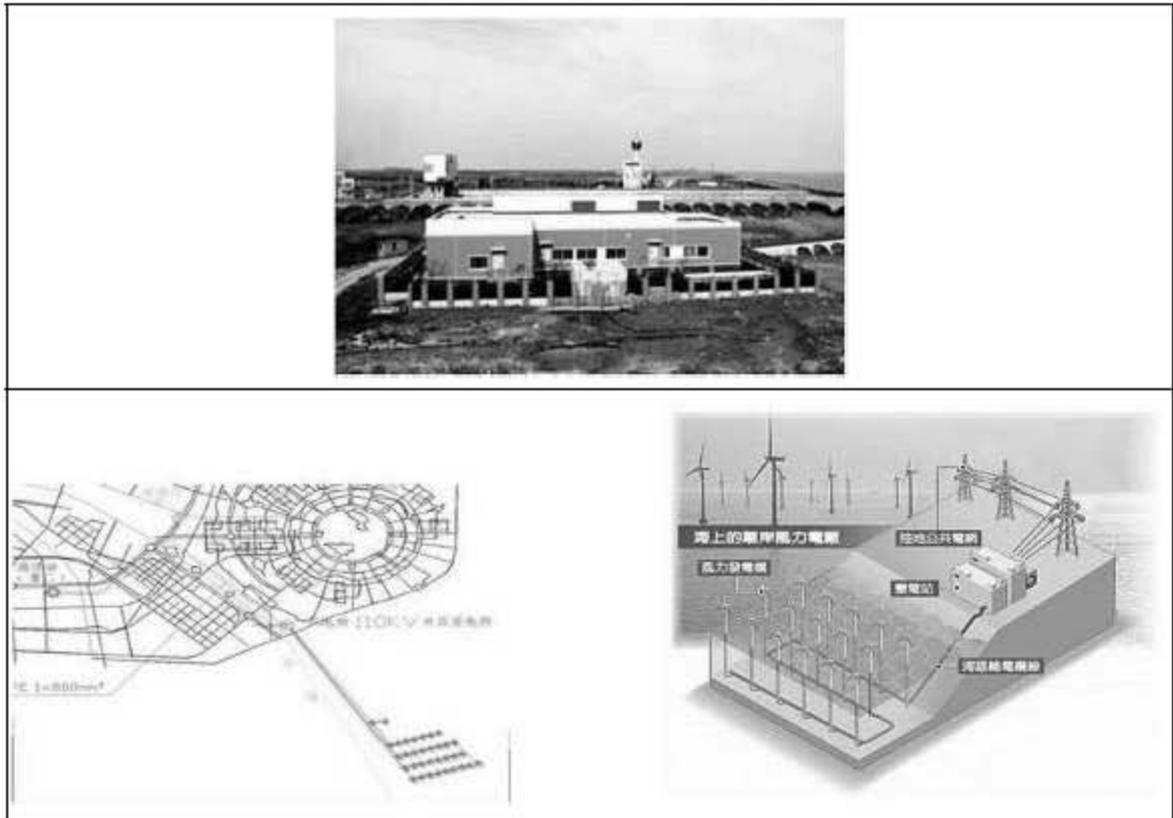


圖30：海上風電場升壓方式

5. 風機基礎設計

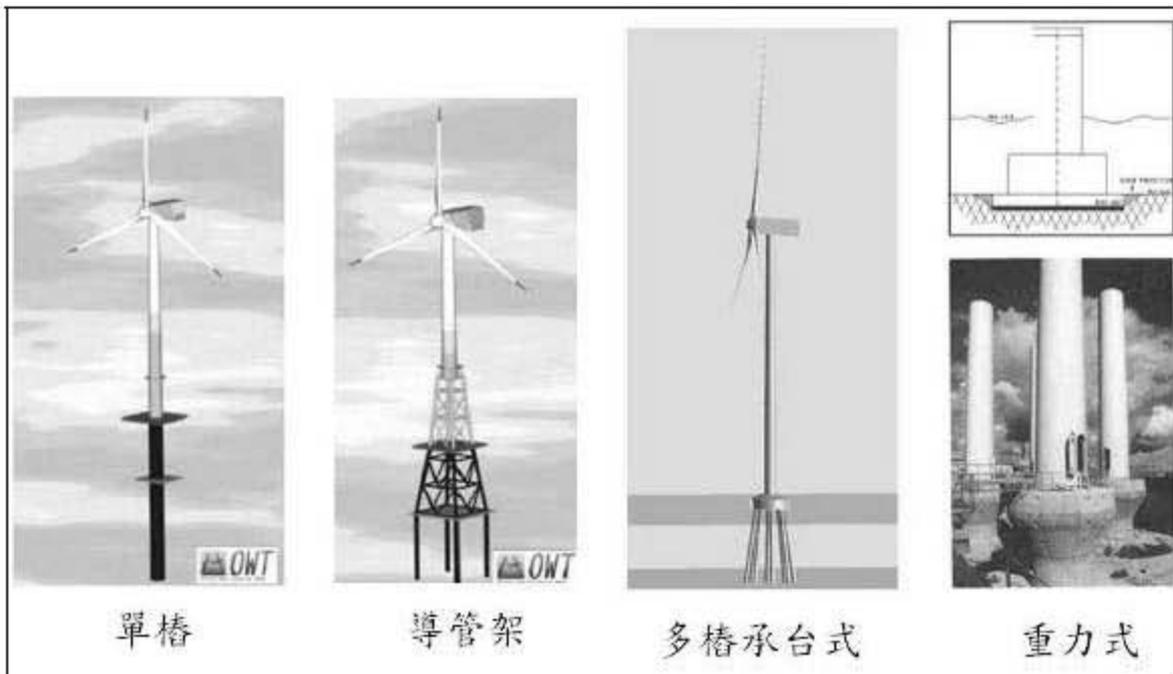


圖 31：基礎結構形式

一般經驗

基礎型式	適用條件
重力式	水深10m以下
單樁	水深25m以下
導管架	各種水深、機型
多樁承台式	各種水深、機型、船舶撞擊

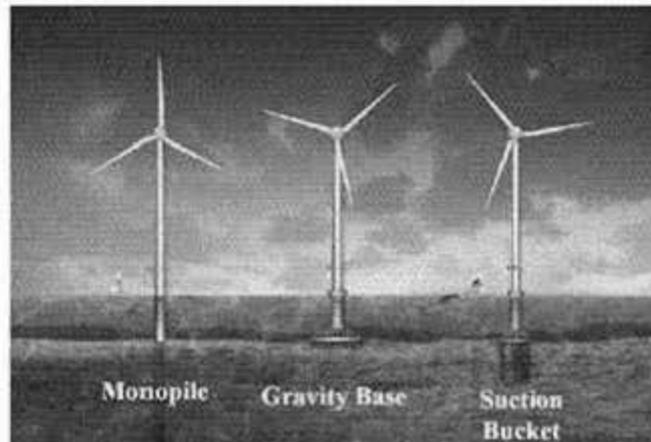


圖32：基礎結構形式適用條件

- ⊕ 結構簡單
- ⊕ 安裝簡單
- ⊕ 對於重量較輕的風機和淺水域成本效益高
- ⊕ 適合相對柔軟的土壤

- ⊖ 波浪荷載大
- ⊖ 刚度相對較低
- ⊖ 以前有灌漿連接問題
現採用錐形連接設計



圖33：單樁適用水深25m以下及優劣

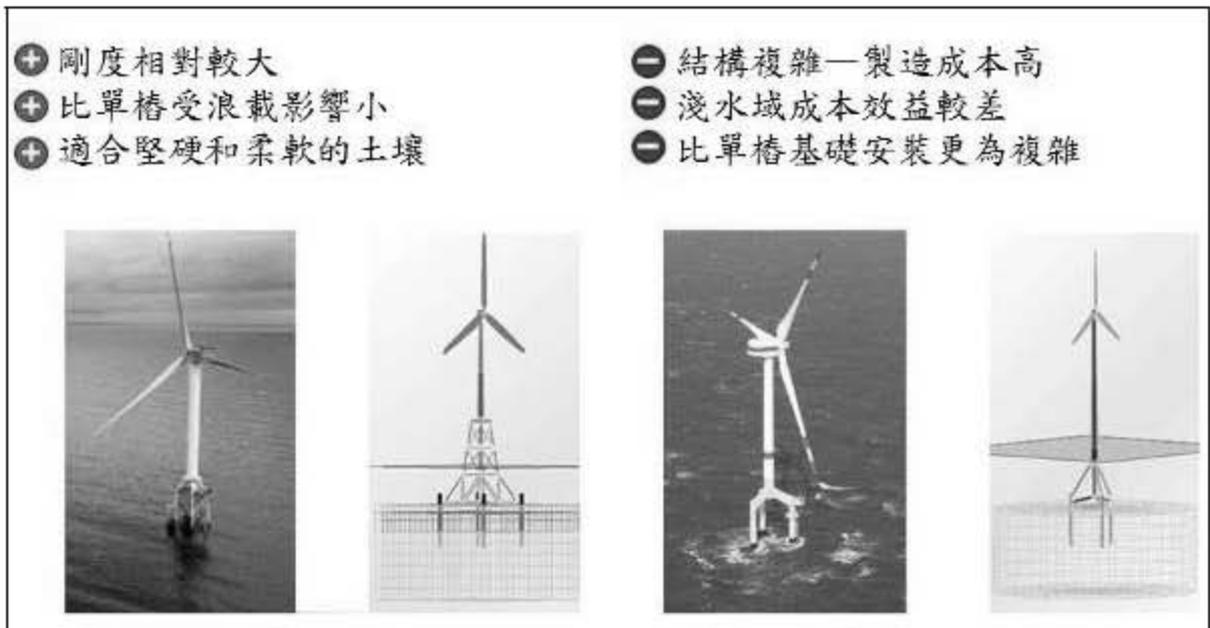


圖 34：導管架（三腳架）及優劣

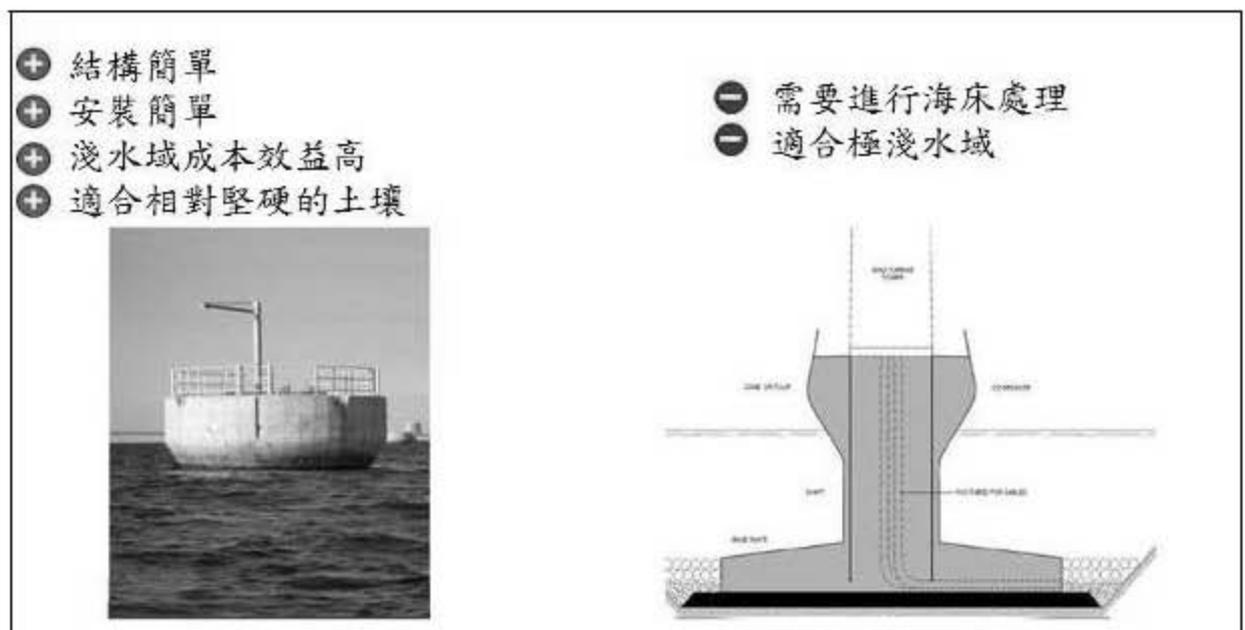


圖 35：重力式適用水深0-10m及優劣



圖36：東海大橋海上風電場採用了高樁承台方案

6. 風機基礎安全監測

包括樁基應力、變形觀測；承台結構應力觀測；機艙振動、變形觀測。

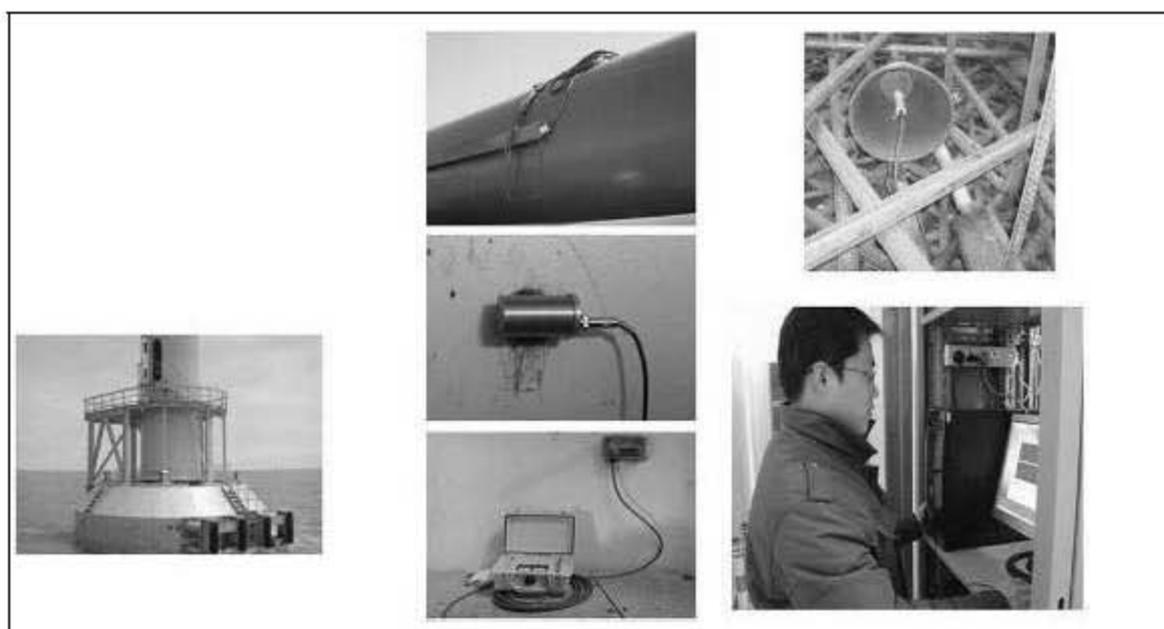


圖 37：風機基礎安全監測

7. 風機基礎施工

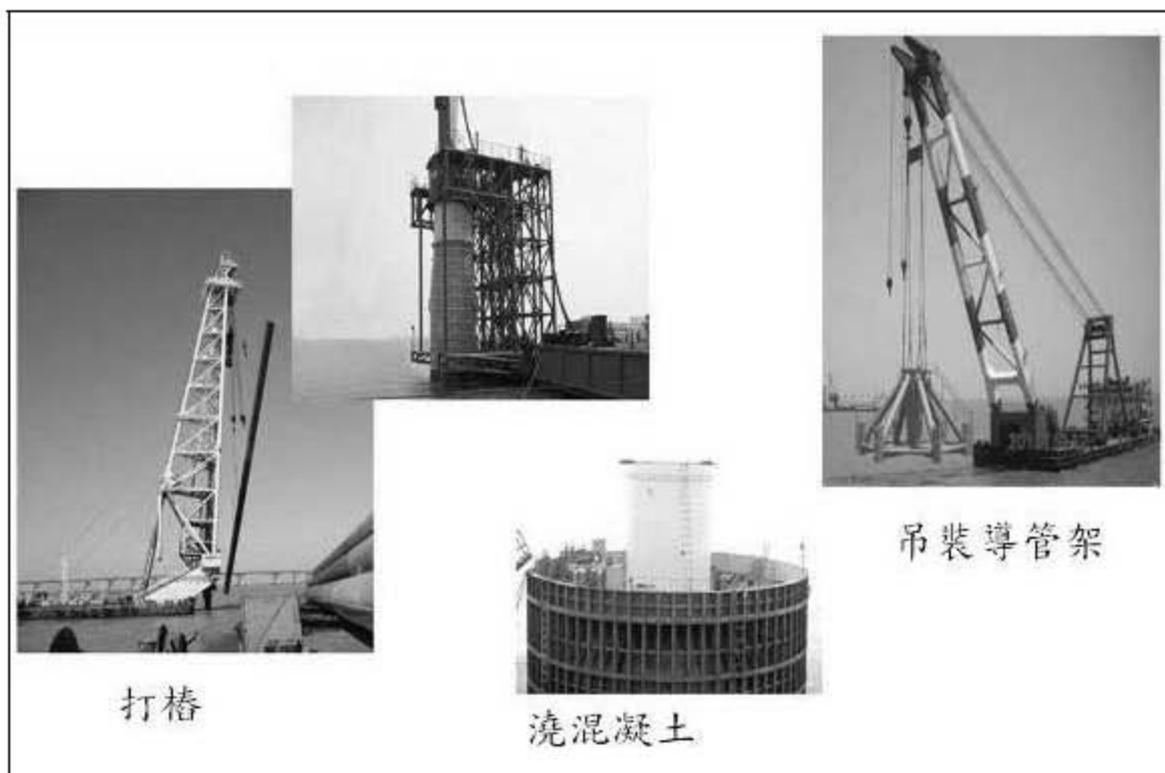


圖 38：風機基礎施工

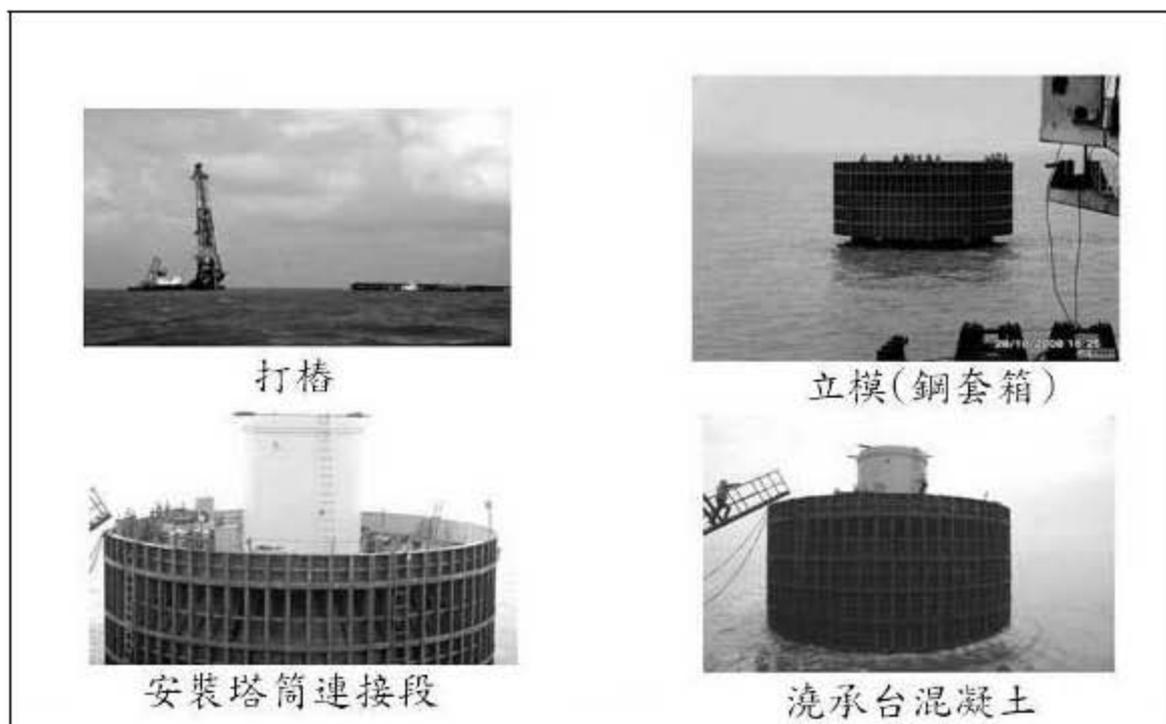


圖 39：東海大橋海上風電場多樁承台式

8. 風機吊裝



圖40：風機吊裝

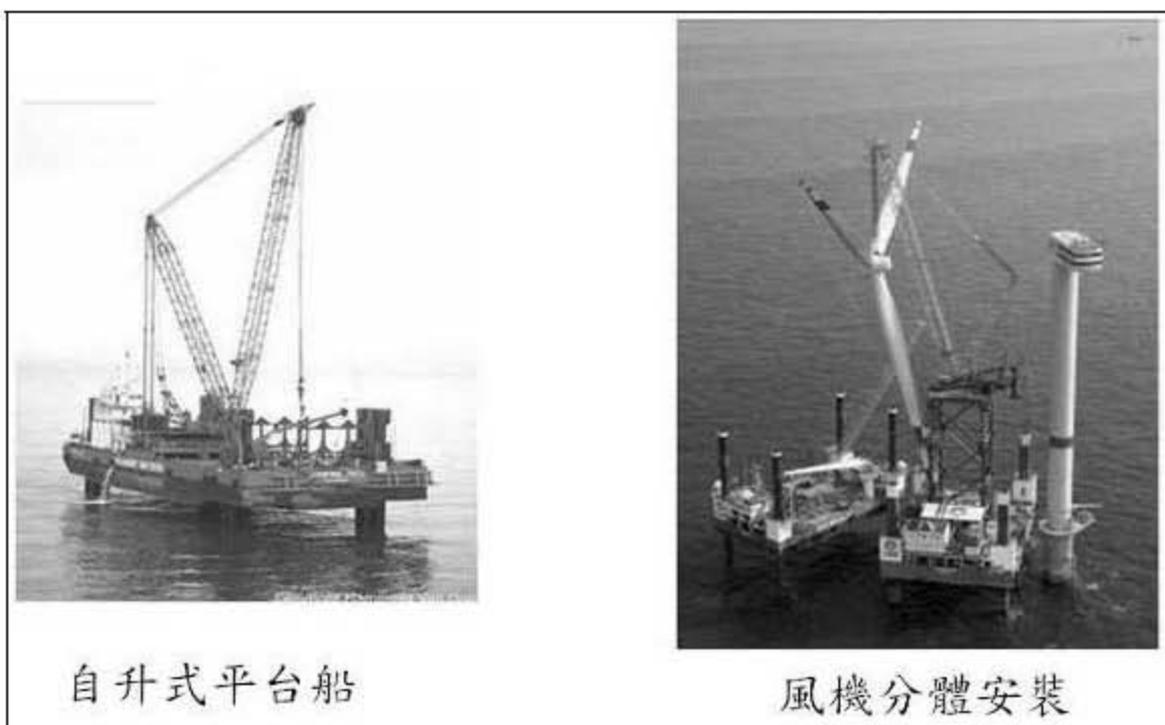


圖41：分體安裝



圖42：整體安裝



圖43：陸上拼裝→海上整體運輸→海上整體吊裝



圖44：風機整體安裝到運輸接駁上



圖45：東海大橋海上風電場

9. 防腐

根據海上風電機組不同的高度部位，分成 5 個腐蝕區域，不同區域的腐蝕特性和程度不同，應分別採取不同防腐措施。

海洋大氣區：海洋大氣區包括機艙、葉輪和大部份塔架，其腐蝕特性：紫外線輻照強烈；海洋大氣溼度大；晝夜溫差大，表面容易結露；空氣中富含氯離子。海洋大氣區方案 1：採用熱噴鋁工藝合適的環氧封閉漆；環氧雲鐵中間漆；高光柔性聚合漆，或聚硅氧烷面漆。海洋大氣區方案 2：無機硅酸鋅底漆合適的環氧封閉漆；環氧雲鐵中間漆，高光柔性聚合漆，或聚硅氧烷面漆。海洋大氣區方案 3：環氧富鋅底漆，環氧雲鐵中間漆，聚氨基酯面漆。

浪濺區：防腐通常包括塔架下部和部份基礎，其腐蝕特性如下：乾濕交替風浪衝擊，海水中富含氧氣，腐蝕最嚴重的部位，碳鋼平均腐蝕速度：0.52mm/yr，常用的防蝕措施同海洋大氣區域，但是對塗層的厚度、材料、工藝的要求更高。方案 1 環氧通用底漆，增強型環氧耐磨漆 或者環氧玻璃鱗片漆，方案 2 超厚型無溶劑環氧漆，方案 3 複合包裹。

潮差區：海水的周期性浸泡，風浪衝擊，海上漂浮物的摩擦、撞擊；海水中富含氧氣，腐蝕較嚴重的部位，碳鋼平均腐蝕速度：

0.29mm/yr，潮差區通常考慮採用塗層保護，在平均低潮位以下還可以採用塗層和陰級保護的聯合保護方案。與浪濺區處理方案相同。

全浸區：腐蝕介質主要是海水，腐蝕不如飛濺/潮差區嚴重，開始腐蝕速度較快但後趨平穩，碳鋼平均腐蝕速度：0.2mm/yr。防腐方案 1：陰極保護-犧牲陽極法；防腐方案 2：陰極保護--犧牲陽極法再加塗料雙重保護，塗料配套可參照潮差區。

海泥區：可能有硫酸鹽還原細菌，海底沉積物的影響，腐蝕速度最低的部位，碳鋼腐蝕速度：0.08mm/yr。海泥區通常只在上部採用塗層保護方案，

四、心得與感想

- (1) 離岸風場氣象資料量測評估，除了採用傳統風速、風向計建構在現場靠近輪殼 40-80m 高度的測風塔外，亦可考慮先進的遙測專用設備(LIDAR, SODAR, Sonic anemometers, Satellite images)進行速度分佈和紊流特徵分析等風資源的評估研究。
- (2) 海上風電開發應協調好港口、航道、海事、海洋、環境、軍事等方面，協調與鄰縣間的關係，合理選擇風電場址。
- (3) 風機基礎型式應根據水文氣象和地質條件、風機設備和環境要求、施工能力、經濟合理等綜合因素比較選定，採用多樁承台結構或單樁承台結構適合彰濱離岸地區工程特點，基礎承载力需要通過現場試驗確定。
- (4) 風機吊裝有整體、分體，條件適宜時優先採用整體吊裝。
- (5) 結合香港昂船洲大橋腐蝕偵測方法與上海東海大橋風機防蝕系統，納入彰濱離岸風機基座防蝕評估考量。
- (6) 東海大橋工程位於杭州灣北部的東海海域，是長江三角洲地區上海市與浙江省之間的緊密通道。大橋建在 30m 深的海域內，為減少海水對橋樑的侵蝕，大橋除對鋼筋混凝土樁基、墩身、立柱等結構加厚保護層外，還將混凝土樁處於海水中的部分，包裹上玻璃鋼外加環氧塗層。作為“重點保護物件”，大橋鋼結構則採取了“犧牲陽極”的化學保護方

法。

- (7) 離岸風力海上結構物腐蝕防治設計，採取的防腐蝕方法分為三大類：隔離防腐、電化學防腐和本質防腐。採用為工程防腐蝕的常規方法主要有下列 5 種。(1)塗層法，(2) 鍍層法，(3) 陰極保護法，(4) 預留腐蝕餘量法，(5) 選用耐腐蝕的材料。然後針對海上風力發電機組的構造採取不同部位的防腐方法：(1)風機水下基礎/塔筒防腐蝕方法；(2)風機機艙/輪轂及其防腐蝕方法；(3)風機葉片防腐蝕方法等。
- (8) 海洋環境給風力發電帶來的防腐問題目前看來都有解決方案，但是有些解決方案付出的代價是巨大的，成本居高不下，有些解決技術還不太成熟，工藝繁雜，解決問題有點牽強。離岸風場建設將規劃進行，如果防腐蝕問題處理不好，小則使個別風電機組故障頻頻，影響機組運轉效率，大則使機組大面積故障，被迫拆除。