

8. 本次參訪之振華南通基地面積約 2km×2km，由振華公司出資興建，造價 56 億人民幣，使用期 30 年，碼頭結構為棧橋式，水深約 9m，碼頭承載力為 50T/m<sup>2</sup>，後線土地承載力為 20T/m<sup>2</sup>，此基地除作為離岸風電施工碼頭外，亦作其他用途，包括鑽油平台...等重件施工基地，其作為離岸風電工程使用之施工基地約 100m×200m，由龍源振華海洋工程有限公司向振華公司承租。龍源振華海洋工程有限公司正承攬施作江蘇海上風電場示範工程，計畫設置 38 架風機，風場離岸 10Km 以上，水深 10m 以上，平均每周施工完成 4 隻樁、每月完成 6 台風機安裝，一年可完成 38 架風機。在長江口灘地設置風電之案例，其潮差約 3M，為利工作建造吃水深 2m 之工作船，低潮時特別設計可坐底的船舶。
9. 龍源振華海洋工程有限公司承攬施作之江蘇海上風電場示範工程，其風機、塔身及基礎設備係先於他地各別製作完成，因尺寸龐大，陸運不便，主要採海運方式運至振華南通基地儲存及進行海上安裝組裝作業，再配合氣海象條件，以運輸船駁運至風場工址進行安裝。從龍源振華公司之施工模式與本次參訪勞氏公司及廣東設計院提供之資訊，顯示離岸風電工程在港口端所需設置之施工基地需求(面積、承載力...)與施工廠商選擇之工法有關，港口端施工基地之興建並非須由港口經營者或政府負責興建提供，龍源振華公司案例顯示施工廠商可配合工區特性及本身船機動員能力、業務經營需求選擇合適之施工模式。

## 4.3 藍島海工集團製造廠

### 4.3.1 參訪過程

12 月 24 日早上參訪振華重工位於南通經濟技術開發區之江蘇龍源振華海洋工程有限公司後，中午隨即轉往位於啟東市船舶海工工業園區藍島路 1 號之泰勝藍島海洋工程有限公司(詳圖 4.3.1-1)參訪，該海工基地位于南通港啟海港區寅陽作業區，靠近連興港，近長江入海口北岸，東臨黃海、長江入海口，隔長江北支與上海崇明島相望，距啟東市區 18km，距滬崇蘇越江大通道北橋頭堡僅 10km，距上海市主城區 50km，



圖 4.3.1-1 藍島海工公司位置圖

鄰水岸線長度約 760m，用地面積約 375.21 畝，主要產品為海上風機塔架重型裝備等海洋工程產品。到達時由該公司竇建榮總經理親自出面接待並主持技術交流會議，陪同出席者尚有邵夕吾副總經理、市場經營部符建軍經理、市場營銷部項目經理趙磊及徐技術工程師等。

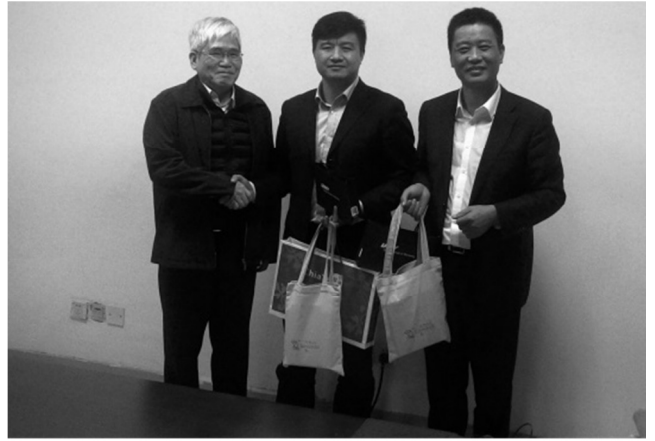
會議首先由符經理簡報介紹藍島集團經營團隊、主要營業項目、生產設備、施工船機、業績經驗及公司之企圖心與願景。緊接著由台灣世曦公司作「台灣離岸工程發展現況」簡報並介紹本次台灣參訪之主要人員，隨即進行有關離岸風機基礎製作及施工等技術問題之交流，經過約 2 小時之熱烈討論後雙方互相餽贈紀念品，後續參觀該公司之基樁及導架製作工廠，詳圖 4.3.1-3 製作工廠參訪照片。

**圖 4.3.1-2 藍島海工交流會議照片**

	
<p>藍島海洋工程公司衛星平面圖</p>	<p>藍島海洋工程公司</p>
	
<p>藍島公司說明其相關業務實績</p>	<p>台灣世曦公司說明台灣離岸工程發展現況</p>



台灣世曦公司王副總經理贈紀念品予藍島公司



鍾副總經理贈紀念品予藍島公司

圖 4.3.1-3 藍島海工工廠參訪照片(一)



參訪人員進入工廠參觀



型鋼製作廠



單樁圓周銲接作業及鋼板堆置



鋼構作業之廠區動線配置

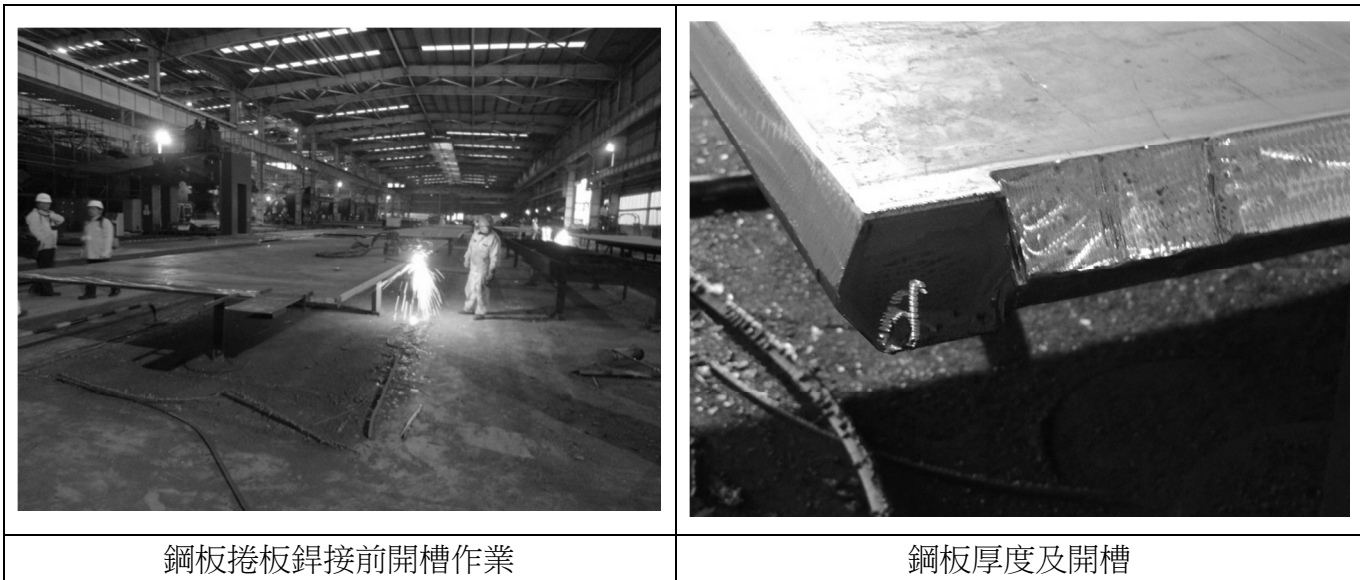


圖 4.3.1-4 藍島海工工廠參訪照片(二)





鋼管捲圓後之焊接



單管圓周銲接作業

圖 4.3.1-5 藍島海工工廠參訪照片(三)



捲圓後約 3m 一節之鋼管



鋼管組裝銲接



導管架構件端部 NC 開槽



構件銲接作業



直昇機平台



組裝完成之塔架及基樁

圖 4.3.1-6 藍島海工工廠參訪照片(四)



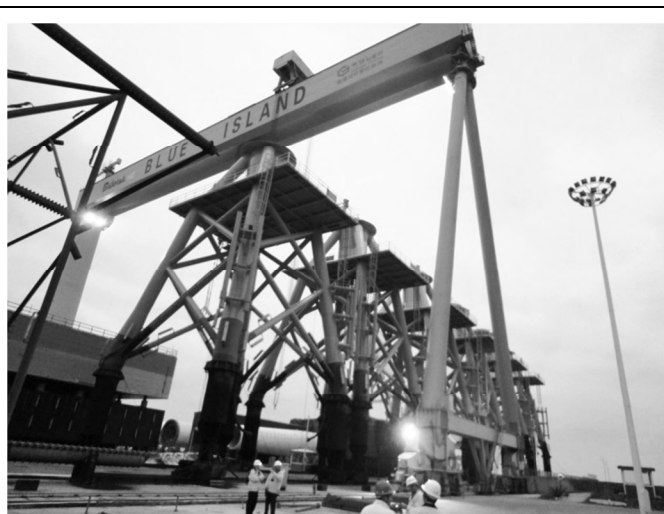
導管架及單樁基礎轉階段附屬設施



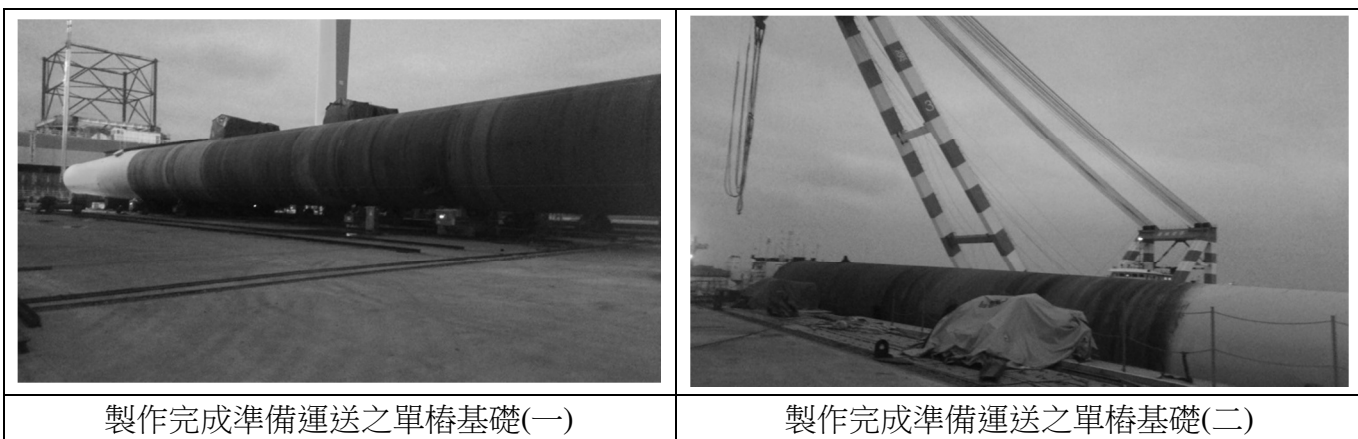
製作完成準備運送之離岸鋼構造(一)



導管架半成品



製作完成準備運送之導管架



### 4.3.2 討論議題

本次各單位與藍島公司技術交流之討論議題與藍島公司之回應說明摘錄如下：

1. 離岸風機基座製造過程中除鋼板材料外，銲接為另一項重要工作，為確保品質，針對 jacket type 之基座，其銲接程序規範書為何？(WPS, weld process specification)律定程序為何？例如鋼管樁是否可仰銲之規定。

Ans：銲接程序乃依符合國際銲接協會等規範之要求進行，對於仰銲並無規定，惟在工廠內鋼管樁之銲接仍以利用轉動架轉動鋼管採平銲為原則。

2. 不論導管架或單樁基座，鋼板皆須熱機處理(TMCP, Thermal mechanical Control Process)，以製造成品，但熱處理往往對鋼板材料性質會造成改變，此部分該如何處理，以避免銲後(PWHT, Post weld heat treatment) 影響鋼材機械性質。

Ans：鋼板製作成成品須採預熱處理，要避免熱處理改變鋼板材料性質必須要控制好熱機處理之溫度，與鋼板材質及厚度有關，一般海上工程及船舶用鋼板都是採高合金鋼，鋼含碳量要 40%。

3. 對於厚板(厚度 100mm 以上) 大口徑圓管構件，依貴司之經驗，於工序上如何安排，方能確保各桿件節塊(segment of member)之真圓度(out of roundness)等製作精度及銲接品質。

Ans：有關真圓度(大陸稱橢圓度)之控制，其控制在最大直徑減最小直徑在 5mm，在裁切製作時要控制好鋼板之長度(CNC 電腦控制)，利用滾輪機可控制真圓度在 1/100，垂直度在 1/200，基樁垂直度可利用測距儀作直線分段安裝之控制。

4. 由於台灣地處於亞熱帶，工址之溫度及鹽度對於鋼構件之腐蝕性較高，但一般契約規範中均要求鋼材、鐸道須符合 CTOD(Crack Tip Opening Displacement) 規定，對此議題大陸方面如何解決？同時如於中國進行 CTOD 試驗須，有相關試驗機構？收費如何？

Ans：大陸並未有強制作 CTOD 試驗之規定，CTOD 費用不便宜，如有需求大陸亦有相關之研究機構可做試驗，收費尚需進一步詢問。

5. 依規範要求製作 WPS 時，PQR 除標準要求外還須滿足哪些額外要求(如衝擊值、硬度值或其他等)。

Ans：做衝擊試驗及硬度要求。

6. 製造後需 PWHT 之規定有哪些？

Ans：大陸不作 PWHT 只作預熱處理。

7. (1)真圓度製造公差有無規範可循？(2)每節/段直度製造公差有無相規範可參考？

Ans：製作每節之長度約 3~3.5m，全長視車間長度而定，本公司車間約 42m，所以組合長度約 30m，製作公差 5mm。

8. 製造過程中檢查要點有哪些，包括：材料、焊接、尺寸、假安裝、塗裝、防蝕等。

Ans：製作過程並無假安裝，採用 CNC 電腦裁切可精密控制尺寸，本工司有塗裝設備，可進行成品之噴砂及塗裝防蝕。

9. 依據貴公司之經驗，製造熱處理或應力消除如何執行較佳。

Ans：利用熱處理鐸接後採保溫方式來消除應力。

10.岸上基樁生產、製造及運輸之建議。

Ans：運輸時應避免壓傷樁體，利用馬鞍座固定，利用模具組裝，在車間將各節鐸接組裝後，以可 360 度旋轉之平板車運輸至碼頭，再用碼頭之門形吊車吊上運輸船，利用船運至海上工址。

11.基座製作需要哪些週邊產業配合，貴公司是否有委外或下包協力廠商協助製作



Ans：本公司基樁及導架之製作，從鋼板之裁切至成品連運輸之工址，係為一貫作業不須委外或發下包協助製作。

12. 惠請提供製作廠基地及廠房面積、每年電力及用水需求量、人力需求資料，以利本公司未來港埠規劃參考。

Ans：廠房基地含中轉安裝至少要 100\*200m，要有承載 20t/m<sup>2</sup> 之承載能力，而碼頭前緣地面承載力則達 40t/m<sup>2</sup>。

### 4.3.3 技術交流心得

1. 藍島海上工程公司其核心之業務為自升式平台、樁腿製作與海上風電設備之導管架及基樁，此次所參訪為基樁完整之製程及已完成之海上風電之四樁導管架。該公司從鋼板之裁切至成品，係為一連貫性之作業，甚至可包括運輸及建造，可說是具相當規模之公司。在業界享有很高的聲譽，尤其是自升式平台的製程管理與安全品質更得到了相關船東和船級社之認可。
2. 由於離岸風電之基礎常位於海水深達 10m 以上，故其樁基礎之口徑都很大至少 4m 以上，因此鋼板之厚度亦相對地厚至少 50mm 起跳，藍島公司曾經製造最厚者達 152mm，國內很少有製作那麼厚的鋼管樁，希望從藍島公司汲取相關製造施工之經驗，因此此次之技術交流議題大都是圍繞在有關鋼板裁切、焊接、製作與施工規範等問題，例如鋼板裁切尺寸大小、製作精度之誤差規定如鋼管捲圓之真圓度、焊接之規定、殘餘應力如何消除、檢驗相關規定及組裝運輸所需吊車、平台車、船機等之能量大小等，在經過熱烈的發問與討論獲得了不少的經驗與了解。從本次參訪該公司工廠內整個基樁製作的過程，從鋼板採 CNC 之裁切，人工及自動裁切焊接，鋼管樁及導管架之組裝運輸等都有了完整之概念。
3. 值得一提的是藍島海工寶總經理，他是從基層焊工出身，能夠從黑手起家，奮鬥建立具有 8000 餘名技術員工之私人企業而成為大陸擁有最大勞務分包企業南通藍水船舶工程有限公司的支持，實在不簡單，在會議中看得出來，他對於該公司獨特之經營模式頗有自傲，他所採用之一體化管理，規避了一般船廠採用勞務分包模式所導致的人員不穩定及品質難以控制的風險，保證了各工程的品質、安全和交付時間。

4. 藍島海工選擇在長江入海口北支流北岸設置海工基地，主要是考量其各項重件、大尺寸構件運輸過程可不受道路橋梁限制，該基地地面承載力為 20T/m<sup>2</sup>，滑船道及碼頭承載力為 40T/m<sup>2</sup>(造價約 5 萬人民幣/m<sup>2</sup>)，碼頭長 113m，水深 9m，為多用途碼頭，除作為離岸風電設備(施)施工碼頭外，亦供造船平台、直升機平台、燃氣塔...等重件施工使用。
5. 藍島海工表示大陸離岸風電真正起步是在 2014 年。在參訪了振華及藍島海工集團後，可綜結出大陸離岸風電施工技術能力絕非僅是在 2014 年才開始發展，振華及藍島海工本身均擁有多用途施工基地及碼頭，其並非僅是為發展離岸風電而設立，而是早已承攬海洋、造船、重工業等各項重件、基礎構件工程，並擁有製造、施工船機等自主施工能力，此等優勢對台灣而言顯然落後相當遠。
6. 參觀藍島海工基地時，可明顯感受到製造工廠內外噪音量差異相當大，工廠外雖有零星之加工、焊接、運輸、堆儲搬運作業，但噪音並不大，工廠內則非常吵雜。從藍島海工基地製作離岸風機鋼管結構經驗，碼頭後線若設置離岸風電設備(施)組裝儲轉基地，其施工期間產生之噪音對周遭環境之影響應不大，惟製造部分應限制在工廠建築物內，並要求有效隔絕噪音。
7. 藍島海工對基地內各類員工依性質統一規定不同顏色之外套，可快速判斷員工工作領域及出現之地點是否適當，相較於多數工廠、工地僅在安全帽上以顏色、標籤方式區隔之作法，安全管理更便利有效。

## 4.4 廣東電力設計院

### 4.4.1 參訪過程

2015 年 11 月 26 日早上參訪團一行 18 人至中國能建廣東院參訪，參訪人員由接待人員引領至交流會議室。待參訪團及中國能建廣東院所有人員坐定位後，由廣東院湯東升副總工程師引言並歡迎我方參訪團，後由參訪團說明此次參訪交流目的，台灣世曦公司說明離岸風力發電於台灣係屬起步階段，而中國大陸從東海大橋風場開發至今已有相當實務經驗，相較歐洲離岸風場開發經驗，就地緣因素應該有更多值得台灣學習、請教、交流之經驗；尤其以颱風、地震等環境載重係歐洲離岸風場開發所無須考量的，希望藉由此參訪行程交流 貴院相關技術。台灣世曦公司說明簡要說明後由廣東院劉晉超副主任進行簡報，簡報過程劉副主任與之參訪團員互動交流相關離岸風力機支撐結構暨基礎設計議題。待簡報告一段落，廣東院馮奕敏

設計總工程師針對台灣目前離岸風力發電相關開發計畫、台灣環境載重條件不利風場開發等議題提問，台灣世曦公司針對環境載重問題，說明台灣將依據風場場址特性進行可靠度分析，若所需考量設計颱風、地震載重無須如台灣現行相關規範要求，且經開發商、保險公司及貸款銀行認可條件下(所有利害關係人於風場運轉期間皆可承擔此風險)，基於經濟效益考量前提，台灣對於離岸風場開發之環境載重律定，傾向依據可靠度分析結果進行。針對「台灣目前離岸風力發電相關開發計畫」議題，由台灣世曦公司說明依台灣離岸風場潛勢分佈、官方相關政策、民間參與及目前開發進程作說明。待時間近中午十二點，因當日下午參訪團將結束此次參訪行程返台，廣東白雲機場距離中國能建廣東院約 1.5 小時車程，故結束中國能建廣東院參訪交流行程；倉促行程中廣東院湯東升副總工程師說明此次雙方交流是一個起步，來日仍有許多互動交流機會。

**圖 4.4.1-1 廣東電力設計院參訪及交流會議照片**





雙方針對離岸風機支撐結構設計交換意見(一)



雙方針對離岸風機支撐結構設計交換意見(二)



鍾副總經理贈紀念品予廣東電力設計院



參訪人員與廣東電力設計院接待人員合影

#### 4.4.2 討論議題

1. 導管架式基座設計規範眾多，大陸方面主要參考那些國際規範？或是依大陸自行頒佈之設計規範？或引用既有可用規範再加以衍伸？

Ans：(1) DNV-OS-J101

(2) DNV-OS-J201

(3) DNVGL-RP-0005(C203)

(4) ISO19902

(5) API/AWS

(6) 中國能建廣東院目前亦主導中國海上風電場設計國標編纂

2. 風力機支撐基座設計須與風機製造商執行載重計算過程(load calculation process)，貴院如何與風機製造商合作進行？主要程序為何設計？所採載重(load cases)係由風機廠商獨立提供，抑或是由基座設計方與製造商討論協商之結果？

Ans：荷載計算過程(load calculation process)一般分為 3 個循環，往返計算次數越多，計算結果就越趨於精確合理，綜合考慮各種因素，計算 3 個循環即可滿足要求。第 1 個循環：由設計院根據風機製造商的要求，向其提供風電場的基礎設計資料，包括地質資料、水文資料（水位，不同重現期的風、浪、流）等，風機製造商根據資料進行初步的風機荷載計算，並將計算結果回饋給設計院；第 2 個循環：設計院根據風機製造商提供的初步風機荷載檔，進行風機基礎設計，將設計結果（結構形式、基礎剛度等）提供給風機製造商，風機製造商根據結果重新計算風機荷載，並將二次計算的結果回饋給設計院；第 3 個循環與第 2 個循環類似，設計院根據更精準的計算結果，對基礎結構進行優化，將優化後的計算結果提供給風機製造商，風機製造商根據結果再次計算風機荷載，並將第三次計算的結果回饋給設計院。

3. 依貴院之經驗 LCP 之往返計算流程約費時多久？

Ans：一般情況下，需要往返計算 3 次，總費時月 6 個月

4. 依貴院之經驗，設計過程所採用之商用軟體(commercial software)，在可用度方面佔整個設計工作量之百分比為何？即可完成為數多少之設計工作，或是需再自行開發輔助程式？又完成設計後，如何校核設計成果 (qualification)？

Ans：我院目前設計所採用的商用計算軟體為 SACS、ANSYS 等，SACS 應用於風機基礎整體結構設計，包括：強度分析、變形分析、模態分析、腐蝕分析、地震作用分析和抗疲勞壽命分析等；ANSYS 應用於風機基礎細部結構設計，包括風機平臺、灌漿段結構、靠船結構、爬梯、吊機等結構的強度和變形分析以及重要節點的疲勞分析等。上述計算分析的工作量占總的分析工作量的 80%。

5. 風機基座設計時必須考量施工廠商之能量及能力，依貴司之經驗，相關製造廠商、基礎安裝廠商等(stakeholder)在哪個階段參與設計工作較佳，例如 conceptual design 或 FEED 或 LCP 階段？

Ans：設備供應商可在 FEED 階段參與設計工作。設計院在 FEED 階段，可確定一些比較成熟的技術方案，然後交由各設備製作、安裝商在同一個平臺進行報價，提供一個可比較的技术和商務報價。

6. 風機基座設計工作繁重，能否分享貴院之人力安排，例如編組及配置。

Ans：分工協作，1 名工程師作為專案主設人，負責專案的內外介面管理，負責總牽頭。1 名工程師負責基礎結構整體強度和變形分析；1 名工程師模態、腐蝕、地震作用以及負責細部結構分析；1 名工程師負責抗疲勞分析；1 名工程師做三維設計及出圖。所有成果由 3 位技術專家負責校核（包括主設人）。1 名工程師駐施工現場。

#### 4.4.3 技術交流心得

1. 中國能建廣東院為中國推展電力規劃研究單位之一。總部員工人數約 1557 人，子公司約 900 人，其中 70%的員工年齡低於 40 歲，是非常年輕的公司，該院對於離岸風場開發工作的發展進程係先藉由國外設計顧問公司輔導，實際參與執行離岸風場開發相關工作，誠如廣東院元國凱項目副設總所述：藉由實際開發計畫進行過程中學習，國外顧問無法解決所有問題(有些是不問不說，有些是他們無相關經驗)、國內無相關設計參考規範、國外規範並不全然完備情形下，僅能就目前所掌握之技術、知識及以往相關港灣、近岸油氣平台開發經驗進行目前手中所進行之離岸風場開發計畫。一個風場建置、營運，其會反映規劃、設計過程相關場址特性之考量不週全，相對這也是國外顧問無法回答而經由這作中學所獲得之經驗。廣東院同時也投入資源進行相關現地的場址研究，譬如現地 1：2 縮尺基樁試驗，藉由現地試驗結果、試驗室離心機試驗、數值分析結果相互比對，藉以釐清工址土壤承受反覆載重軟化行為。對於離岸工程常用之灌漿接合工法，廣東院參與歐洲相關工業合作研究計畫，以冀對於灌漿接合之設計、施工考量更為完備。
2. 廣東設計院表示目前大陸離岸風電有關塔身、基礎之設計規範係採用大陸港口工程相關規範，目前正制訂國家規範，預計 2016 年底公告；在港口端並未配合離岸風電進行配套規劃，都是由開發商、施工廠商自行設置專用碼頭及提供服務，例如江蘇離岸風電工程風場與港口間最遠距離有達 300 海浬者，藍島海工也有運送至廣東施工；臺灣於發展離岸風電時需配合臺灣情勢，考量包含規範之訂定、風場範圍劃設、漁權、環評、招商開發、財源來源、政府政策支持否，惟因中國發展離岸發電有政府部門大力支持，故其發展較快速。
3. 廣東設計院表示離岸風電海纜佈設深度位於海床面下 250cm 以上，評估風場必

須先瞭解海床多年來變化情形，原則上應不可在侵蝕海床上；風機場域因基樁會有海生物的生長，將有海洋復育的效果，將有聚魚效果，形成很好的漁場，對海洋生態有正面效果；風機佈設通常在航道邊距離要 1 海浬以上，但對漁船之影響則未探討，原則上不允許漁船進入風機場域，但實務上禁絕不了，風機上設有警告裝置，當船舶靠近時，會發出警告，或由陸上監視系統提出警示，在航行管制上如風機會影響雷達波，則另外設轉點，以彌補盲點，基本上風機上不設置 AIS。大陸地區對風機基樁四周防沖刷措施係採用沙袋覆蓋海床，不允許拋石，有些地方則不允許作任何設施，此方面與台灣作法(覆蓋石料)明顯不同。

4. 廣東設計院表示大陸離岸風電工程施工方式主要採整體式安裝，所以需要施工基地及碼頭，1 座專用碼頭約需 7,800 萬人民幣，平均完成 1 架離岸風機之成本，碼頭部分約佔 550 萬人民幣；採分體式安裝，對施工基地及碼頭之需求較小，利用既有碼頭岸線簡單改造即可因應，平均完成 1 架離岸風機之成本，碼頭部分約佔 400 萬人民幣以內。碼頭設計跟風機安裝方式相關，整體式的風機所要求的碼頭強度較高，安裝施工費用成本大於分體式，本公司於推動相關碼頭建置時，須了解其風機安裝形式，以了解碼頭所需強度。
5. 廣東設計院表示測風塔費用，1 架約 1000 萬人民幣，大陸擁有自主施工船機，施工費用低，台灣則需向外國租借，工程費用大幅提高，以目前已完成之 2 架測風塔實績，廠商提供之資訊是每架 2 億台幣，據瞭解其施工船機所占成本相當高(大陸業者之報價在動復原費上就要 3 至 4 千萬台幣，大陸地區本身動復原費則僅約 5 百萬台幣)。整架離岸風機之工程費，若以西門子風機為例，每架 4MW 離岸風機之費用組成：風機部分每套約 3000 萬人民幣、塔身及基礎部分約 3000 萬人民幣、安裝費約 600 萬人民幣，動復原費約 150 萬人民幣。從廣東設計院提供之費用資訊對照國內業者反應之行情(每架約 10 億台幣)，我國離岸風電成本顯然偏高，其關鍵在於國內技術及施工能力(設備)幾全仰賴國外，港口端之成本相對而言佔比不高。

## 4.5 離岸風電場風機及電力系統

### 4.5.1 說明

本次赴大陸參訪離岸風電產業，有關離岸風電風機及電力系統之交流議題研討

，分別於英國勞氏船級社亞洲總部、上海電氣風電設備股份有限公司、西門子葉片製造廠(Siemens)、中國能建廣東院(CEDC)等會議簡報有所討論。謹就會議簡報研討及工廠現場參訪心得彙總整理；並就離岸海上風機機艙、葉片、電力系統等，分別說明如后。

#### 4.5.2 離岸海上風機及機艙

上海電氣風電設備股份有限公司，係由上海電氣公司與西門子公司合資，技術轉移，主要從事於離岸海上風機設計、製造、組裝、安裝等，為中國國內及全球海上風電先行者，優勢明顯，並且不斷擴大，西門子 4.0/3.6 系列海上風機業績全球已經安裝超過 4,000 兆瓦。離岸風力發電海上場及風機如圖 4.5.2-1~4.5.2-2 所示，西門子 4.0/3.6 系列海上風機規格比較如表 4.5.2-1 所示。



圖 4.5.2-1 離岸風電場

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.2-2 離岸風電場

(資料來源：Siemens)

表 4.5.2-1 西門子 4.0/3.6 系列海上風機規格比較

<p>Swept area: 11,300 m<sup>2</sup></p> <p>Rotor diameter: 120 m</p>	<p>Swept area: 11,300 m<sup>2</sup></p> <p>Rotor diameter: 120 m</p>	<p>Swept area: 13,300 m<sup>2</sup></p> <p>Rotor diameter: 130 m</p>
<p><b>SWT-3.6-120</b> IEC Class IA</p>	<p><b>SWT-4.0-120</b> IEC Class IA</p>	<p><b>SWT-4.0-130</b> IEC Class IB</p>



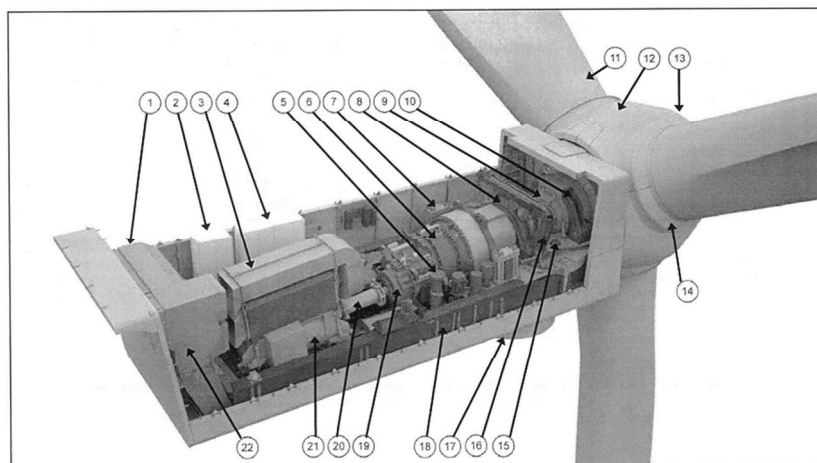
Rotor diameter 120 m Blade length 58.5 m Swept area 11,300 m <sup>2</sup> Hub height Site specific Power regulation Pitch regulated	Rotor diameter 120 m Blade length 58.5 m Swept area 11,300 m <sup>2</sup> Hub height Site specific Power regulation Pitch regulated	Rotor diameter 130 m Blade length 63.45 m Swept area 13,300 m <sup>2</sup> Hub height Site specific Power regulation Pitch regulated
<b>Setting the scene for modern offshore wind power</b>  The design of this wind turbine is based on our long-term experience in offshore wind power. With a swept area 26 percent larger than its predecessor, it makes a giant leap forward with respect to energy yield. Compared with the SWT-4.0-120, the SWT-3.6-120 is a competitive choice for sites with capacity constraints.	<b>Ongoing evolution of offshore wind power</b>  Based on millions of operating hours and experience accumulated from the 3.6-MW class, the capacity upgrade to 4.0 MW is founded on confidence. The SWT-4.0-120 features the proven 120-meter rotor that has been used in offshore applications since 2009. This makes the installation of a 4.0-MW turbine suitable for environments where maximum tip-height restrictions apply.	<b>The biggest and most advanced rotor in its class</b>  By using advanced blade technologies, Siemens increased the 4.0-MW rotor diameter by another ten meters –and the swept area by an astounding 18 percent. This allows for a significant increase in energy production, and thanks to the aero-elastically tailored blade technology, this is possible without compromising the structural.

離岸海上風機由於離岸；考量營運維修成本與困難，故對系統設備之可靠度 (reliability) 品質有極高度的要求，機組機艙的部件環境規格條件包括：符合 IEC 1B 等級標準；極端風速設計為 IEC I 以應對絕大多數颱風；在 IEC II 級的年平均風速下可獲得更大發電量；降低產品生命週期內的度電成本；符合電網接入要求；並須考量葉片、油濾系統、防雷、防腐、防火設計及品質控制。機組機艙如圖 4.5.2-3~4.5.2-6 所示。



圖 4.5.2-3 離岸風電場機艙

(資料來源：Siemens、現場照片)



Item	Description	Item	Description
1	Canopy	12	Hub
2	Yaw converter(A18)	13	Spinner
3	Generator cooling	14	Blade bearing
4	Control panel (A3)	15	Yaw gear
5	Oil filter	16	Service crane
6	Gearbox	17	Yaw bearing
7	Gear support	18	Bedframe
8	Bearing house rear	19	Brake
9	Main shaft	20	Coupling
10	Bearing house front	21	Generator
11	Blades	22	Cooling unit

圖 4.5.2-4 離岸風電場機艙內部構造與部件(資料來源：Siemens)

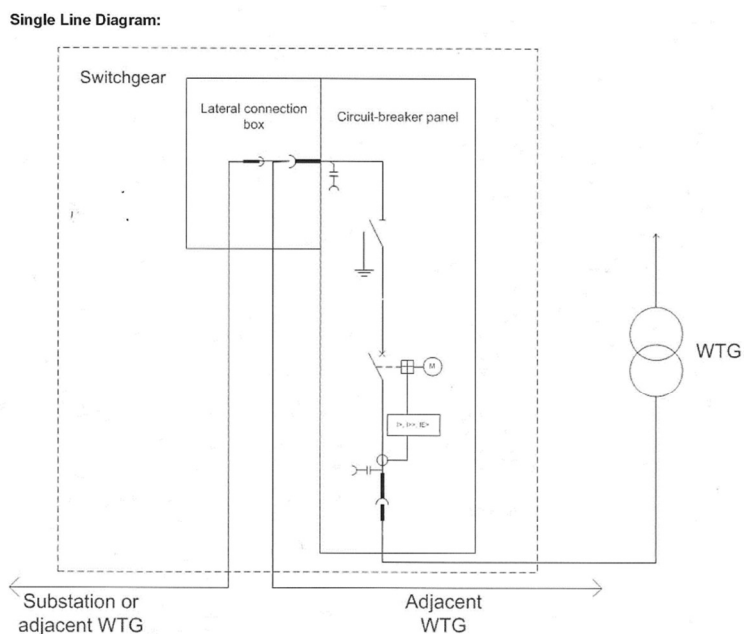


圖 4.5.2-5 離岸風電風機電力系統圖(資料來源：Siemens)

西門子公司針對高可靠性離岸風電場機艙內部構造與部件的設計考量彙整如下，可供國內未來系統規設時設備規格考量參考。

(一)專門針對海上嚴苛環境設計的潮蝕保護

1. 針對海上風場修改設計的有機組部分。
2. 外部防腐蝕— 在鹽霧帶表面保護達到 C5M 等級。
3. 內部防腐蝕— 「封閉式系統」，帶有溫度調控（減濕器，鹽分篩檢程式）和熱交換器冷卻系統。
4. 惡劣環境下保護— 機艙蓋口和其他孔口最小化。
5. 生產工廠空間是採用恆溫恆濕的生產環境。

(二)機艙和塔筒底部的除濕器確保較低的濕度水準

1. 除濕器確保塔筒和機艙最大相對濕度不超過 60%。
2. 通過在非重要的 50%相對濕度下停止除濕器；和在相對濕度達到 60%時重啟除濕器，以節省電能。
3. 如果塔筒門打開，在其重新關閉後，除濕器風機中的相對濕度很快降至 60%。

(三)先進的被動防火設計將火災風險降低至最小(設計中採用的火災預防性措施)

1. 外部防火
  - 防雷擊。
2. 防止由於內部漏油或者機械摩擦產生火苗
  - 剎車系統封閉在金屬外殼內，該系統預設為「斷開」狀態。
  - 液壓變漿系統置於機艙內而不是輪轂內-消除由於轉動漏油導致的潛在風險。
  - 全密閉。
  - 塔筒和機艙採用非易燃的鋼材。
  - 變壓器單元置於塔筒底部-降低火災蔓延至機艙內部的風險-並密閉於防爆單元中。
  - 過剩的油和溢出油脂收集在集油瓶中。
3. 工作撲火

- 滅火器。

(四)全面綜合的測試體系保證產品最大的品質可靠性與運行收益性

1. 獲取權威認證機構（DNV, TÜV）測試認證報告。
2. 每一年依照 EN ISO/IEC 17025 對工藝與操作進行審核。

(五)為確保設計驗證，模擬風機 20 年壽命所承受應力進行嚴格測試

高加速壽命試驗(HALT)，包括：

1. 氣隙：甚至在關鍵變流器短路模擬中，氣隙都很穩定。
2. 主軸溫度：由溫度變化造成的機械應力須在設計範圍內。
3. 偏航系統：偏航電機機械應力測試，在極端惡劣的條件下，其表現也為穩健。

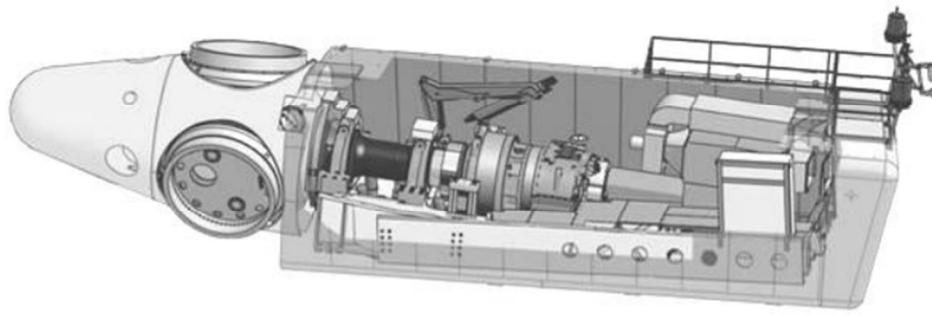
(六)部件測試—獲取部件詳細資料以保證部件應用可靠性

1. 對新部件進行快速檢測。
2. 依次針對部件性能、生命週期可靠性、設計極限進行測試。
3. 測試結果為未來品質檢測提供寶貴參數。
4. 針對葉片、主軸承等所有大部件進行嚴格測試。
5. 針對西門子長期部件供應商進行全方位品質控制與性能測試。

(七)200 多項測量組成的全面測試專案

(八)線上的大油濾確保油的超潔淨度和延長齒輪箱的使用壽命(風機設計齒輪箱潤滑系統)

1. 大容量和低壓的線上篩檢程式確保油的超過濾效果和減少旁路風險。
2. 旁路系統的磁過濾裝置可以吸附微粒，減少了在冷開機情況下的風險。
3. 額外的離線油濾確保過濾度達到 3 微米。
4. 為達到最大潤滑效果油溫保持在較低水準(最高 60°C)。
5. 泵與篩檢程式結構上的分離，避免微粒自篩檢程式振動並到達齒輪箱裡。



**圖 4.5.2-5 離岸風電場機艙潮蝕保護**

(資料來源：Siemens)



**圖 4.5.2-6 離岸風電機艙塔筒底部除濕器保護**

(資料來源：Siemens)

(九) 依照 IEC 防雷保護標準的最高等級進行設計

(十) 西門子風機配備全面的雷電保護系統(如圖 4.5.2-7~4.5.2-8 所示)

1. 雷電接收器和絕緣的銅牌提供了從接收器到輪轂的導通路徑。
2. 埋在玻纖結構中的導通路徑確保最好的絕緣。
3. 輪轂、機艙和塔筒的法拉利籠為內部的所有部件提供了最好的雷電保護。
4. 外置變壓器或塔筒底部的變壓器可減少可能發生的損壞。

(十一) 高性能的專利一體化葉片能有效抵禦雷擊危害(如圖 4.5.2-9 所示)



**圖 4.5.2-7 離岸風電全面的雷電保護系統**

(資料來源：Siemens)

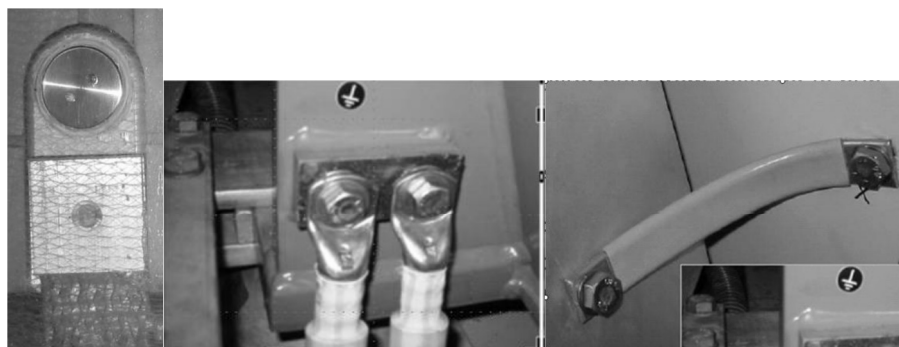


圖 4.5.2-8 離岸風電風機配備全面雷電保護系統

(資料來源：Siemens)

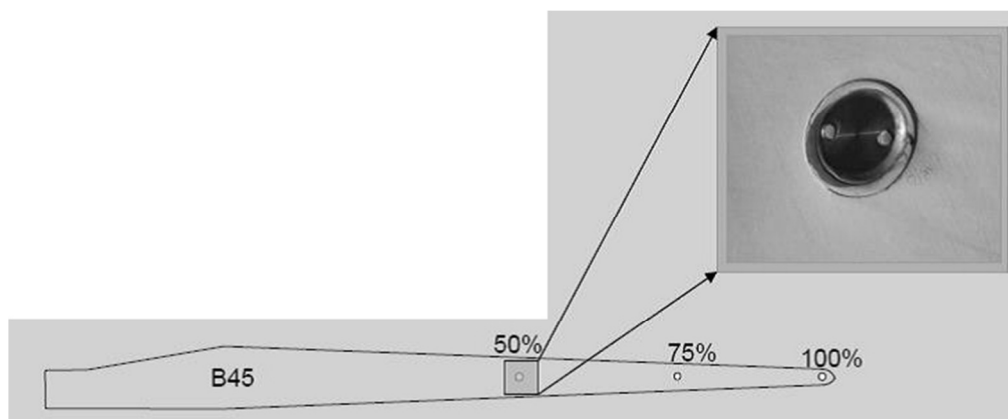


圖 4.5.2-9 離岸風電一體化葉片能有效抵禦雷擊危害

(資料來源：Siemens)

### 4.5.3 離岸海上風機葉片

西門子上海公司離岸海上風機葉片製造工廠；如圖 4.5.3-1~4.5.3-8 所示，其主要的特點說明如下：

(一) 專利保護的生產工藝來保證設計優點的實現(西門子一體化葉片)

1. 葉片採用西門子專利的一體化葉片製造工藝，在一個封閉的處理過程中一步鑄造成型。
2. 外殼和承重杆之間無膠接點、無薄弱點、防水、防雷電。
3. 更大的強度，良好的動力和低噪音性能。

(二) 獨特的製造技術避免膠結點

1. IntegralBlade®技術是由西門子發明的一體成型製造工藝；葉片在完全封閉模具中一次灌注製造成型。
2. 一體成型的製造工藝讓葉片結構成為一個有機整體，使得葉片的強度和韌性都更加優異。
3. 由於葉片製造過程消除了膠粘劑粘接環節，大大降低了開裂和水氣侵入而引發的次生缺陷風險。

(三) SWT-4.0-130 機組葉片擁有先進的擾流器技術增加發電量

1. 從風資源利用的角度看，SWT-4.0-130 風機具有 130 公尺的大風輪直徑，其發電能力超過普通 IEC II 類風機。
2. 另外，SWT-4.0-130 獨特的葉片設計，使其風能利用係數高於普通風機，例如位於葉根的導流槽和翼緣的鋸齒形設計（選配）。



圖 4.5.3-1 離岸風機葉片製造廠(1)

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-2 離岸風機葉片製造廠(2)

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-3 離岸風機葉片製造廠(3)

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-4 離岸風機葉片製造廠(4)

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-5 離岸風機葉片製造廠(5)

(資料來源：Siemens)

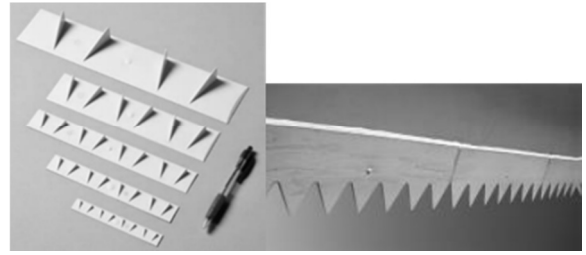


圖 4.5.3-6 離岸風機葉片葉根導流槽和翼緣鋸齒形設計

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-7 離岸風機葉片(1)

(資料來源：Siemens)



圖 4.5.3-8 離岸風機葉片(2)

(資料來源：Siemens)

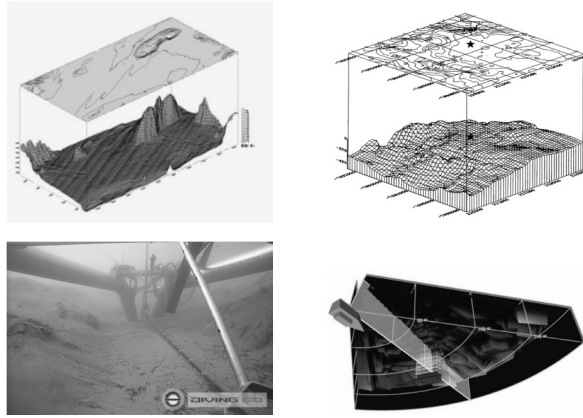
#### 4.5.4 離岸海上風電場電力系統

離岸海上風電場電力系統主要包括：海纜規劃設計、集電系統(集電拓撲)、SCADA 中央監控系統、海上升壓站等規劃設計、興建施工、營運維修等重要課題，值得深入探討研究。

##### (一) 海纜規劃設計

中國能建廣東院(CEDC)從設計選型到施工安裝及運行維護期的整體海纜解決方案；如圖 4.5.4-1 所示。



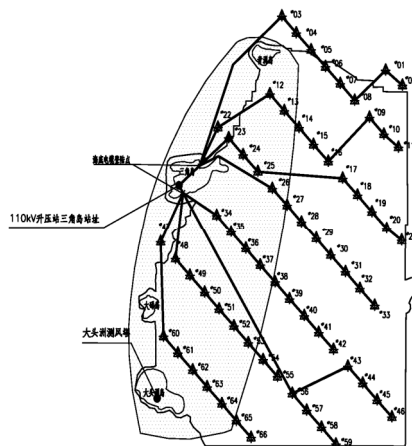


**圖 4.5.4-1 風電場海纜設計**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)

### (二) 集電系統(集電拓撲)

為優化集電系統設計，提高系統可靠性、經濟性。智慧化地甄選出針對工程專案的可靠性、經濟性兼優的集電系統拓撲方案；如圖 4.5.4-2 所示。

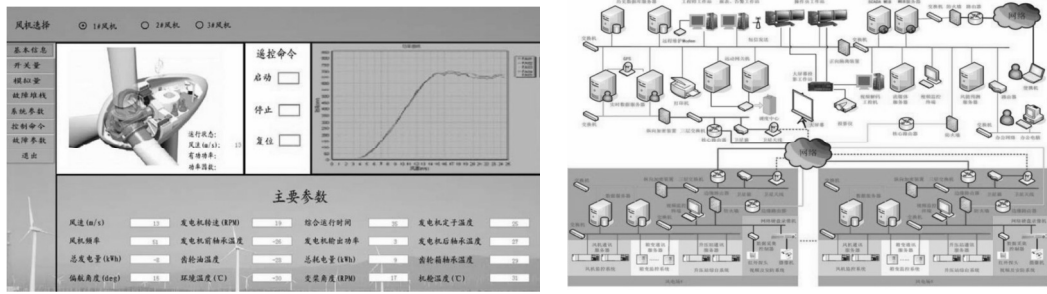


**圖 4.5.4-2 風電場集電系統配置拓撲**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)

### (三) SCADA 中央監控系統

離岸風電場 SCADA 中央監控系統配置；如圖 4.5.4-3 所示。

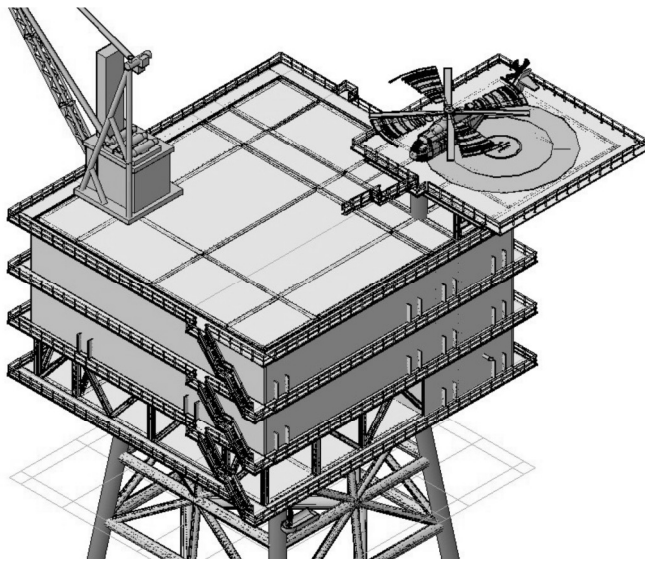


**圖 4.5.4-3 離岸風電場 SCADA 中央監控系統配置**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)

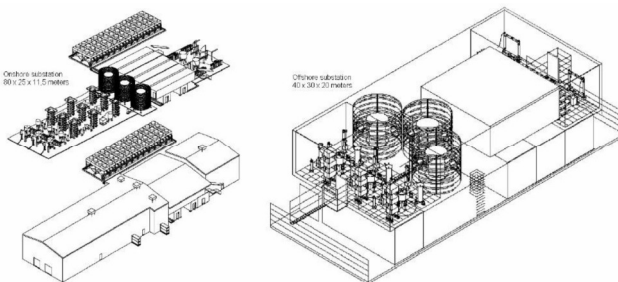
#### (四) 海上升壓站

為減低由集電系統所蒐集電力輸送之電力損失，遠距離之離岸風力發電場須考量規劃設置海上升壓站；西門子與上海電氣公司所開發興建之海上升壓站；彙總如圖 4.5.4-4~4.5.4-12 所示。



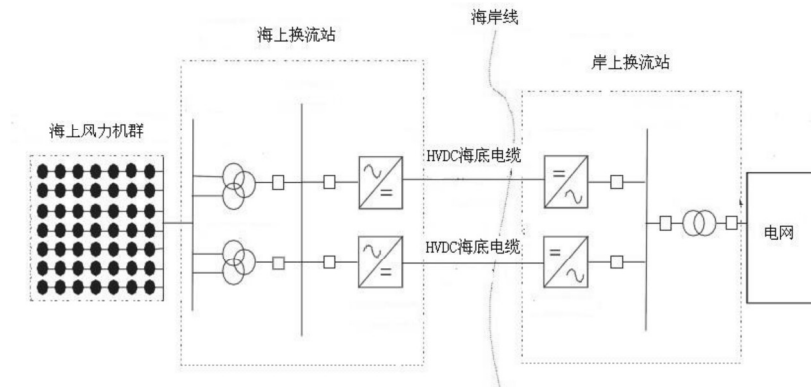
**圖 4.5.4-4 風電場海上升壓站配置(1)**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)



**圖 4.5.4-5 風電場海上升壓站配置(2)**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)



**圖 4.5.4-6 風電場海上升壓站配置(3)**

(資料來源：CEDC 中國能建廣東院)



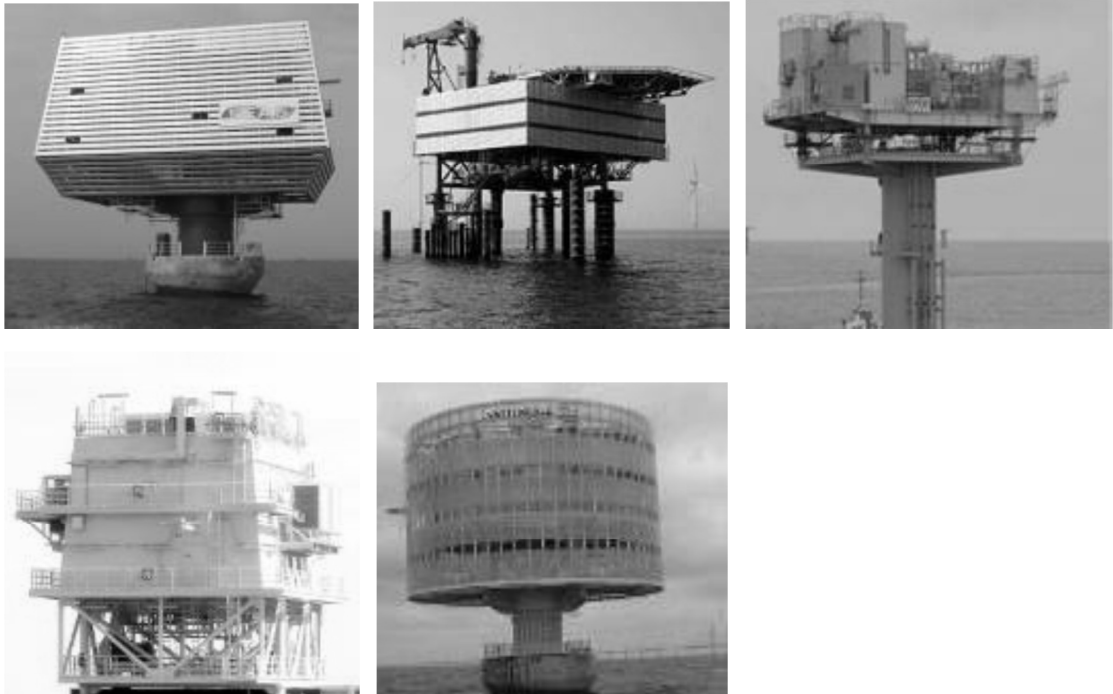
**圖 4.5.4-7 風電場海上升變站(4)**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)



**圖 4.5.4-8 風電場海上升變站(5)**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)



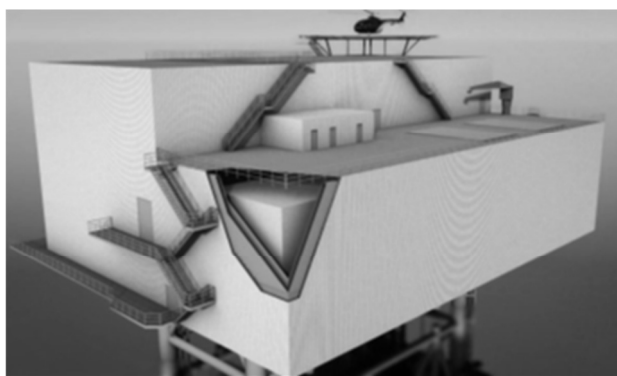
**圖 4.5.4-9 風電場第一代海上變電站-重達 1,000 噸，單出口電纜、單變壓器**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)



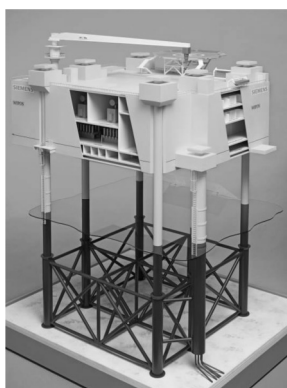
**圖 4.5.4-10 風電場第二代海上變電站-增加了 1,500 噸，多出口電纜、多變壓器**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)



**圖 4.5.4-11 風電場海上變電站模型**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)



**圖 4.5.4-12 風電場第三代海上變電站-800MW 高壓直流**

(資料來源：上海電氣風電設備公司)

#### 4.5.5 技術交流研討議題

本次參訪有關機電系統技術交流研討議題 Q & A 彙整說明如下：

1. 除 DNV-GL 有發行部分文獻外，目前國際上並無離岸風機電力系統(含海纜) 設計規範可依循，大陸於此部分設計作業參考文件為何？

Ans：大陸於此部分設計作業參考文件除 DNV-GL 仍以參考當地法規為主；大陸目前已著手編訂國標，CEDC 中國能建廣東院並參與，目前尚屬草案階段。

2. 大陸地區各家電力公司有關於風機併網相關規定是否相同？若有差異，其差異為何？

Ans：沒有；皆依國家統一之風機併網相關規定。

3. 有關離岸風力之電力潮流與併網系統衝擊等計算係採用何種分析軟體？

Ans：沒有統一規定之分析軟體；如：ETAP、PESSEM 等皆有採用。

4. 離岸風力機電力輸出所經輸電系統，係採用交/直流系統？離岸變電站設置距離或容量之決定是否有相關標準？

Ans：沒有相關標準；一般依工程經驗與慣例，採用交/直流系統原則離岸變電站設置距離大於或容量大於則考量採用直流輸電系統，以降低輸電損失、提高經濟效益。

5. 考慮 Ferranti effect，電力系統線路電壓補償採用何種裝置？

Ans：仍以採用電抗器補償為主要考量。

6. 離岸變電站相關變電設備規格性能與岸上設備是否在規範上有相關要求，其參考規範為何？(如防蝕、避雷、維護便利性？有無特殊需求)

Ans：尚沒有相關要求；但考量營運維修成本、方便性、困難度、系統供電之可靠度等因素，離岸變電站相關變電設備規格性能與岸上設備，在防蝕、避雷、維護便利性、系統運轉可靠度、妥善率等需求要求較為嚴峻。

7. 風力機避雷設計之構想與考量為何？

Ans：仍以風機機艙、葉片考量避雷設計，並以接地線引接搭接於塔柱鋼構架，

連接至海床；該設計之構想、考量與施工與台灣相類似。

8. 離岸風場電力設備 (如變電設備、海底電纜..等)維護週期、頻率及項目為何？

Ans：大陸目前尚無此方面經驗；仍以參照國外經驗案例為主。

9. 離岸風場電力監控部分，主要監控點項目為何？其通訊協定為何？電力公司所需資料為何？

Ans：沒有統一之規定；主要監控點項目、通訊協定視個別設備廠商而有不同；電力公司所需資料依監控系統而定。

10.海纜輸電線屬傳輸系統核心項目之一，是否有設置海纜監控系統？其監控架構又為何？

Ans：大陸海纜輸電線皆有設置海纜監控系統；其監控系統架構視個別設備廠商而有不同。

11.以大陸經驗，目前離岸風場所面臨電力系統問題或事故部分，以何項目居多(如線路或設備事故)？又如何改善？

Ans：已運轉中之系統仍以線路與設備故障居多；目前仍以搶修為主，未來規設時可考量系統備援及設備的可靠度、妥善率等條件。

## 伍、結論與建議

在經濟部能源局之推動下，國內離岸風場開發已如火如荼展開，而中國大陸雖然從近幾年才開始開發離岸風場，不若歐洲北海地區已有 20 多年之開發成果，但由於離岸風場開發已列為中國大陸能源建設計畫之一，中國大陸業已投入許多資源，包括人力與物力等，累積許多經驗可資參考。

英國勞氏公司在中國大陸已立足一段長久時間，以往以服務中國大陸之海事安全及船級認證業務為主，近年來也投入離岸風電相關業務，並由其能源部門負責。除持續離岸風機安裝用頂昇平台船之驗證工作外，亦將海域油氣平台之技術導入離岸風機建造技術中，並協助上海振華重工等海工設備製造廠進行認證作業，足見該公司與中國大陸之離岸風電產業者相當熟悉。故本次參訪行程皆透過其協助安排，可直接到鋼構製造廠及碼頭儲存區參觀，而得知大陸方面在離岸風力發電規劃設計、製造及安裝之能量，收穫不少。綜合整理結論與建議說明如后。

### 5.1 結論

- (1)中國大陸為開發離岸風電，其考量係整體性的，由中央發改委訂立政策目標，再由各地方執行；如上海地區為成為世界上重要海洋工業產業基地，遂於南通劃設海工產業園區及風電製造產業園區，積極推動相關技術產業之進展，且本次參訪之製造公司均位於該產業園區內。至於施工基地及碼頭設施均係由廠商自行興建，政府並未配合離岸風電進行配套規劃港口碼頭設施，由開發商、施工廠商自行設置專用碼頭及提供服務。
- (2)離岸風場開發前海床地質之調查與海床中障礙物辨識應須詳實，且離岸風場開發範圍由淺水區向深水區發展，地質調查設備及技術要求愈來愈高，而如何制訂符合設計需求之規範更形重要，因此需與國外技術交流及引進技術方能達到目標。
- (3)大陸已掌握離岸風電有關基礎製造施工及風機組裝等相當程度之核心技術，而上海振華重工及藍島海工集團具有離岸風電場之基樁施工、運輸、風機吊裝等船舶設備與技術，可大幅降建造低成本，具有國際競爭力，在製造施工技術方面具一定優勢地位，廣東設計院負責制定大陸離岸風電工程規範，擁有豐富之大陸離岸風電發展及技術資訊，本公司可繼續進行技術交流，以更新相關資訊。
- (4)江蘇龍源振華海洋工程有限公司近年來在離岸風場之業績除包括土木基礎施工



及風機設備組裝外，亦包括風機葉片及主軸等構件更換之維護作業，顯示大陸在風機設備技術方面，已日趨成熟，相關運轉、維護、監測技術可資參考。

(5)上海電氣為擁有自主發展技術，初期採合資方式邀請西門子入股，其後收回西門子股權，按架數支付專利權利金，逐步取得技術之策略可供公司未來發展業務參考。目前上海電氣與德國西門子公司合作在大陸生產 4MW、6MW 風力機，技術能量仍僅達協助西門子公司組裝風力機，自製率僅約佔風力機製造之 20%，所有風力機組之重要零組件仍由德國進口，技術層次較高部分仍由外國公司掌控。

(7)總體而言，離岸風電產業因其施工機組零件均為重物且體積龐大，例如其葉片、塔筒、導管架等，故通常於發展此產業時，需要專用港埠碼頭作為物流倉儲與施工基地。在參訪過程中，我們也可以看到離岸風電產業內的業者，例如藍島、江蘇振華重工，均臨碼頭甚或擁有碼頭，以利其物流及運輸需求。另外於東海大橋矗立著幾十隻運作中的離岸風電機，我們同時也看到中國發展離岸風電之決心及效果。本公司為港口經管單位，須就離岸風電產業做更整體了解及評估，以了解此產業發展對整體港口影響，以利本公司於港埠發展規劃時可做通盤考量。

## 5.2 建議事項

(1)大陸已陸續推出大規模海上風電計畫，並在過程中學習改進，且已獲得具體成果。鑑於因應氣候變遷溫室氣體減量之巴黎議定書已於 104 年 12 月 13 日簽署，再生能源之發展為必然之趨勢，建議本公司持續與國內外相關技術單位廣泛交流，並參與相關研討會，掌握市場脈動及技術發展趨勢。

(2)中國大陸之風電產業近 2 年來組裝之離岸風機機型皆為 4~6MW 等級，顯示該等級風機之生產技術應已成熟，然離岸風電場海上施工技術複雜且作業困難，可施作工期亦常受天候影響，為縮短海上吊裝作業時間，須先建置設施完善之風機組裝基地及專用碼頭。本次參訪確認港口端服務設施對離岸風電施工及運維之重要性，該等設施大陸政府並未投入該項建設，由開發商及施工單位視本身施工及營運需求投資興建，惟參訪過程中未見到碼頭上之吊裝儲存及 loadout 作業，相當可惜。建議未來如有機會仍應安排參訪，以建立離岸風電碼頭 overall 規劃設計及營運之技術。

(3)離岸風電場技術多元且層次高，包括土木基礎、風力機組、海洋環境、碼頭物流

運儲、電力設備等，均為跨領域之綜合技術工程，建議未來如朝離岸風電業務拓展時，除尋求專業領與人才外，對於跨領域人才之培訓可及早進行，以因應未來離岸風場大規模開發之需。

- (4)離岸風場之開發及運維，須仰賴適當之港埠服務設施，台中港距離公佈之海上主要風電場址距離適中，能源局推動千架海陸風力機計畫團隊評估台中港最適合提供離岸風電專用碼頭，建議本公司應儘早規劃離岸風電專用碼頭，並思考適合投入之產業項目。