

出國報告(出國類別：考察)

中國大陸離岸風電海事工程產業參訪

服務機關：臺灣港務股份有限公司

姓名職稱：臺中港務分公司副總經理 鍾英鳳

臺中港務分公司工程處處長 林佑任

臺中港務分公司工程處督導 姚武田

臺中港務分公司業務處經理 林美秀

總公司財務處副管理師 蕭卉婷

臺中港務分公司業務處助理管理師 張惠筑

派赴國家：中國大陸地區上海、廣州

出國期間：104年11月22日至11月26日止

報告日期：104年12月24日(1個月內)

摘要

經濟部能源局於 101 年公告「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」後，已有二家民間業者及台電公司積極投入離岸風電開發事業，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，台電公司報院核定之離岸風電第一期計畫可行性研究亦選擇台中港為未來離岸風電組裝作業考泊港及陸上施工優先考慮場址。鑑於離岸風場開發、運維所涉及之產業鏈有助於台中港評估引進相關展業進駐港區，離岸風電設施建置所需之港埠設施設置運維模式在國內並無經驗，爰由本公司鍾副總經理英鳳率 5 名員工參加離岸風電海事工程大陸參訪行程，拜訪離岸風電之規劃設計、風力機及支撐結構製造，至施工碼頭之裝載儲運等相關業者，習取大陸有關離岸風機相關設備之製造、組裝、物流倉儲、施工等技術及風電產業鏈之操作模式，供後續相關規劃、業務評估及決策參考。

目 次

壹、前言.....	1
貳、參訪行程及參訪人員概述.....	2
2.1 參訪行程.....	2
2.2 參訪人員概述.....	4
參、參訪單位簡介.....	5
3.1 英國勞氏船級社.....	5
3.2 上海振華重工公司.....	6
3.3 藍島海工公司.....	7
3.4 上海電氣公司.....	9
3.5 廣東電力設計院.....	10
肆、參訪過程及技術交流心得.....	12
4.1 英國勞氏船級社亞洲總部.....	12
4.1.1 參訪過程.....	12
4.1.2 討論議題.....	15
4.1.3 技術交流心得.....	15
4.2 振華重工公司.....	18
4.2.1 參訪過程.....	18
4.2.2 討論議題.....	26
4.2.3 技術交流心得.....	27
4.3 藍島海工集團製造廠.....	28
4.3.1 參訪過程.....	28
4.3.2 討論議題.....	34
4.3.3 技術交流心得.....	36

4.4 廣東電力設計院.....	37
4.4.1 參訪過程.....	37
4.4.2 討論議題.....	39
4.4.3 技術交流心得.....	41
4.5 離岸風電場風機及電力系統.....	42
4.5.1 說明.....	42
4.5.2 離岸海上風機及機艙.....	43
4.5.3 離岸海上風機葉片.....	49
4.5.4 離岸海上風電場電力系統.....	51
4.5.5 技術交流研討議題.....	57
伍、結論與建議.....	59
5.1 結論.....	59
5.2 建議事項.....	60

圖 目 錄

圖 3.1-1	勞氏船級社業務概要圖-----	5
圖 3.2-1	潮間帶施工說明及圖示-----	6
圖 3.2-2	近海施工說明及圖示-----	7
圖 3.2-3	嵌岩施工說明及圖示-----	7
圖 3.3-1	藍島海工施工場地及碼頭佈置圖-----	8
圖 3.3-2	石油天然氣採集工作平台-----	8
圖 3.3-3	石油天然氣採集工作平台-----	9
圖 3.4-1	上海電氣公司風機-----	9
圖 4.1.1-1	勞氏船級社交流會議照片-----	13
圖 4.2.1-1	龍源振華現場參訪照片-----	22
圖 4.3.1-1	藍島海工公司位置圖-----	28
圖 4.3.1-2	藍島海工交流會議照片-----	29
圖 4.3.1-3	藍島海工工廠參訪照片(一)-----	30
圖 4.3.1-4	藍島海工工廠參訪照片(二)-----	31
圖 4.3.1-5	藍島海工工廠參訪照片(三)-----	32
圖 4.3.1-6	藍島海工工廠參訪照片(四)-----	33
圖 4.4.1-1	廣東電力設計院參訪及交流會議照片-----	38
圖 4.5.2-1	離岸風電場-----	43
圖 4.5.2-2	離岸風電場-----	43
圖 4.5.2-3	離岸風電場機艙-----	44
圖 4.5.2-4	離岸風電場機艙內部構造與部件-----	45
圖 4.5.2-5	離岸風電風機電力系統圖-----	45
圖 4.5.2-5	離岸風電場機艙潮蝕保護-----	48
圖 4.5.2-6	離岸風電機艙塔筒底部除濕器保護-----	48
圖 4.5.2-7	離岸風電全面的雷電保護系統-----	48
圖 4.5.2-8	離岸風電風機配備全面雷電保護系統-----	49

圖 4.5.2-9	離岸風電一體化葉片能有效抵禦雷擊危害-----	49
圖 4.5.3-1	離岸風機葉片製造廠(1) -----	50
圖 4.5.3-2	離岸風機葉片製造廠(2) -----	50
圖 4.5.3-3	離岸風機葉片製造廠(3) -----	50
圖 4.5.3-4	離岸風機葉片製造廠(4) -----	50
圖 4.5.3-5	離岸風機葉片製造廠(5) -----	51
圖 4.5.3-6	離岸風機葉片葉根導流槽和翼緣鋸齒形設計-----	51
圖 4.5.3-7	離岸風機葉片(1)-----	51
圖 4.5.3-8	離岸風機葉片(2)-----	51
圖 4.5.4-1	風電場海纜設計 -----	52
圖 4.5.4-2	風電場集電系統配置拓撲-----	52
圖 4.5.4-3	離岸風電場 SCADA 中央監控系統配置 -----	53
圖 4.5.4-4	風電場海上升壓站配置(1) -----	53
圖 4.5.4-5	風電場海上升壓站配置(2) -----	53
圖 4.5.4-6	風電場海上升壓站配置(3) -----	54
圖 4.5.4-7	風電場海上升變站(4) -----	54
圖 4.5.4-8	風電場海上升變站(5) -----	55
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 -----	55
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 -----	56
圖 4.5.4-11	風電場海上變電站模型 -----	56
圖 4.5.4-12	風電場第三代海上變電站-800MW 高壓直流-----	56

表 目 錄

表 2.1-1	參訪行程概要表-----	2
表 2.2-1	參訪人員概要表-----	4
表 4.2.1-1	龍華振源主要裝備及年產能-----	20
表 4.2.1-2	龍華振源主要裝備功能-----	20
表 4.2.1-3	近 5 年龍源振華海上風電場施工業績-----	22
表 4.5.2-1	西門子 4.0/3.6 系列海上風機規格比較-----	43

壹、前言

行政院於 101 年 2 月核定「千架海陸風力機計畫」，長程目標於 119 年完成離岸區塊 4,000 MW(4GW)，與陸域合計共 5,200 MW(5.2GW)，經濟部能源局於 101 年 7 月公告「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」後，已有二家民間業者及台電公司投入離岸風電開發事業，經濟部能源局再於 104 年 7 月 2 日 公告「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」，公開 36 處潛力場址基本資料與既有海域資料，總開發潛能概估約可達 25 GW，主要場址位於彰濱海域及台中港外海。

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，台電公司報院核定之離岸風電第一期計畫可行性研究亦選擇台中港為未來離岸風電組裝作業考泊港及陸上施工優先考慮場址。依現行全球面臨氣候變遷帶來之嚴苛挑戰及全球推行節能減碳氛圍，政府持續推動並擴大實施再生能源政策應可預期，其中離岸風電產業應為未來政策重點發展項目，台中港身為國家重要海運門戶且位居提供離岸風電場址開發運維所需最適港埠服務區位，必然將肩負起協助政府推動重大政策之角色，且離岸風電政策帶動之產業發展亦有助於台中港擴展業務，適值中華民國海洋及水下技術協會邀請參加離岸風電工程大陸參訪行程，鑑於離岸風場開發、運維所涉及之產業鏈有助於台中港評估引進相關展業進駐港區，離岸風電設施建置所需之港埠設施設置運維模式在國內並無經驗，爰陳奉核可由本公司鍾副總經理英鳳率隊參加離岸風電工程大陸參訪行程，拜訪相關離岸風場開發參與業者，從上游之規劃設計、風力機及支撐結構製造，至施工碼頭之裝載儲運，藉以習取大陸有關離岸風機相關設備之製造、組裝、物流倉儲、施工等技術及風電產業鏈之操作模式，供後續相關規劃、業務評估及決策參考。

貳、參訪行程及參訪人員概述

2.1 參訪行程

本次參訪行程係中華民國海洋及水下技術協會邀請中鋼公司、工研院、台灣世曦顧問公司及本公司共同參與「中國大陸離岸風電海事工程產業參訪」活動，實際成行之參加單位包括中鋼公司、台灣世曦顧問公司及本公司，於 104 年 11 月 22 日抵達上海後展開，並於 11 月 23 日起開始 4 天參訪行程，相關行程概要如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1 參訪行程概要表

104 年 11 月 22 日(星期日)		
時 間	參 訪 行 程	
台北出發	08：55-12：45	桃園-上海
	12：45-17：30	浦東機場-古象飯店 check in
高雄出發	05：50-09：20	高雄-香港
	11：00-14：20	香港-上海
	14：20-17：30	浦東機場-古象飯店 check in
18：30-20：30	參訪活動意見交換會議	

104 年 11 月 23 日(星期一)		
時 間	參 訪 行 程	
08：30-09：00	前往英國勞氏船級社亞洲總部	
09：00-12：00	拜訪英商勞氏、離岸風場海上施工安全技術交流	
12：00-12：50	午餐	
13：30-14：30	前往振華重工總部/東海大橋風場	
振華重工總部	14：30-17：30	參訪振華重工總部名單： 台灣世曦：王炤烈副總經理、廖學瑞資深協理、黃郁文資深協理、林倣寬副理 港務公司：鍾英鳳副總經理、林佑任處長 中鋼集團： 劉漢修組長
東海大橋	14：30-17：30	參訪東海大橋名單： 台灣世曦：張志斌副理、吳弘明副理、劉育明正工程師 港務公司：姚武田督導、林美秀經理、張惠筑助理管理師、蕭卉婷副管理師

104 年 11 月 23 日(星期一)	
時 間	參 訪 行 程
風場	中鋼集團：林志堅工程師、許福利組長、曾鴻雄副組長、黃海榮技師
17：30-18：30	返回古象飯店

104 年 11 月 24 日(星期二)	
時 間	參 訪 行 程
07：30-10：00	前往江北-南通市參訪離岸風電基座製造廠
10：00-12：00	拜訪振華重工製造廠、離岸風場風機基座製造及運輸技術交流
12：00-13：00	午餐
13：00-14：30	前往藍島海工集團製造廠
14：30-17：15	拜訪藍島海工集團製造廠、離岸風場風機基座製造及運輸技術交流
17：15-19：00	南通(啟東市)返回上海

104 年 11 月 25 日(星期三)	
時 間	參 訪 行 程
07：30-09：00	前往上海電氣風機製造廠(浦東)
09：00-11：30	拜訪上海電氣風機製造廠、離岸風場風機製造及運輸技術交流
11：40-13：10	浦東-虹橋機場
13：30	虹橋機場 check in
14：40-17：15	上海-廣州(東方 MU5311)
18：00-19：00	廣州白雲機場-翡翠皇冠假日飯店

104 年 11 月 26 日(星期四)	
時 間	參 訪 行 程
08：30-12：00	拜訪廣東電力設計院、導架式基礎設計技術交流
12：00-13：20	午餐
13：30-15：20	前往白雲機場
15：30	廣州白雲機場 check in
17：50-19：55	廣州-桃園(華航 CI0522)
20：00	赴歸

2.2 參訪人員概述

本次參訪活動，本公司由鍾副總經理率團員 5 員，台灣世曦顧問公司由王副總經理炤烈率團員 6 員，中鋼集團則派 5 員代表參加，參加團員共 18 人，參訪人員概列如表 2.2-1 所示，至大陸後，英國勞氏船級社派 2 名人員陪同參與拜訪行程。

表 2.2-1 參訪人員概要表

No	姓名	公司名稱 / 部門	職稱
1	王炤烈	台灣世曦公司 經理部	副總經理
2	廖學瑞	台灣世曦公司 港灣部	資深協理
3	黃郁文	台灣世曦公司 電機部	資深協理
4	張志斌	台灣世曦公司 第一結構部	副理
5	吳弘明	台灣世曦公司 第二結構部	副理
6	林倣寬	台灣世曦公司 港灣部	副理
7	劉育明	台灣世曦公司 港灣部	正工程師
8	劉漢修	中鋼公司 風電事業委員會	組長
9	林志堅	中鋼機械公司	工程師
10	許福利	中鋼結構公司	組長
11	曾鴻雄	中鋼結構公司	副組長
12	黃海榮	聯網營造公司	技師
13	鍾英鳳	臺灣港務股份有限公司 臺中港務分公司	副總經理
14	林佑任	臺灣港務股份有限公司 臺中港務分公司工程處	處長
15	姚武田	臺灣港務股份有限公司 臺中港務分公司工程處	督導
16	林美秀	臺灣港務股份有限公司 臺中港務分公司業務處	經理
17	張惠筑	臺灣港務股份有限公司 臺中港務分公司業務處	助理管理師
18	蕭卉婷	臺灣港務股份有限公司 財務處	副管理師
19	黃 濤	英國勞氏船級社 亞洲總部能源部	經理
20	許首雄	英國勞氏船級社 臺灣分公司海事處	總經理

參、參訪單位簡介

3.1 英國勞氏船級社

英國勞氏船級社(以下簡稱勞氏船級社)是由英國勞氏船級社基金會於 1760 年成立該基金會致力於科學及工程之研究與和教育為一慈善機構，勞氏船級社服務全球性的工程，涵蓋技術和商業服務組織。作為一個船級社，勞氏船級社之業務遍及許多行業，在 90 多個國家設有分支機構，並擁有員工超過 8,500 名。

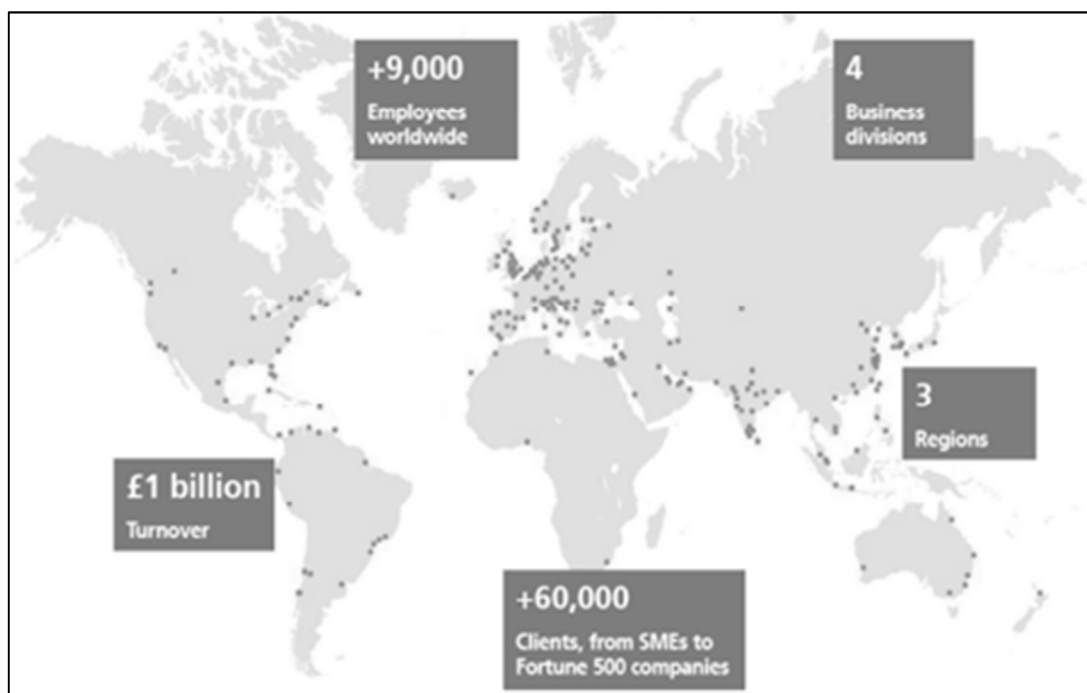


圖 3.1-1 勞氏船級社業務概要圖

勞氏船級社在能源產業之主要業務包括提供上下游各種規模的公司或類似行業內各部門，在電力和製造工作之客製化技術諮詢和業務解決方案。尤其將全球市佔率高之近海石油及天然氣行業的離岸勘探和生產技術轉移到再生能源產業。

勞氏船級社標榜之營運理念為誠信、公正和技術精益求精。透過全球技術中心和研究網絡之新科學技術，協助能源業務客戶改善其資產的安全性、可靠性和性能，並取得客戶之信任，確保客戶之資產和業務是安全、持續和可靠。

目前勞氏船級社也參加國際設計標準之編輯委員會，除協助審查及重新發行外，也得知其他參與機構的標準或其發展趨勢。因此，可確保將最新的設計理念和基礎物理學技術移轉至產業。

3.2 上海振華重工公司

上海振華重工(集團)股份有限公司，簡稱振華重工，原名上海振華港口機械(集團)股份有限公司，英文商標 ZPMC(Zhenhua Port Machinery Company)，是中國交通建設集團之子公司，目前為全世界最大的港口機械和大型鋼結構製造商。

振華重工主要生產貨櫃起重機、輪胎式集裝箱龍門起重機、散貨裝卸船機、門輪堆取料機、門座起重機、浮吊和工程船舶以及大型鋼橋構件等。振華重工業務包括設計、製造、安裝、調試、整機運輸、售後服務和新產品開發等。

上海振華重工下有長興分公司、常州分公司、長興精密鑄造有限公司、江陰分公司、上海港機重工有限公司、南通分公司、上海振華重工集團(南通)傳動機械有限公司等多個生產基地。

在海上風電新興產業高速發展之際，國資委所屬的大型國有企業：中國國電集團旗下的龍源電力集團公司與中交集團旗下的上海振華重工集團股份有限公司，各出資 50%共 2.6 億元人民幣，於 2010 年 6 月合資成立江蘇龍源振華海洋工程有限公司，主要致力於海上風電施工領域和海工裝備製造領域。相關施工技術摘錄如下：

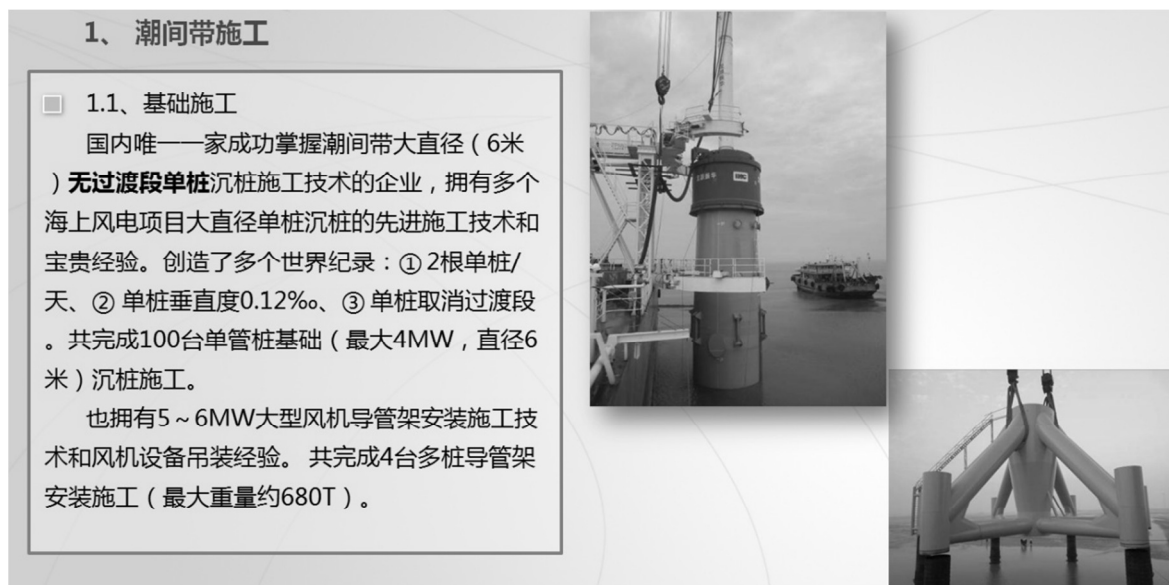


圖 3.2-1 潮間帶施工說明及圖示

2、近海施工

■ 量身定制的专用装备：①800T自升式起重平台、②单管桩竖立专用工装、③万吨级专用运输船，为近海风电场基础施工和设备安装提供了装备保障，并据此制定了低成本、高效率、安全可靠的施工方案。一个施工作业面施工效率可达50台套/年，约是多桩基础施工效率的1.5倍。

2014年完成1台近海单桩沉桩和6台风机设备吊装施工，单桩垂直度0.19‰，为近海风电场规模化施工拉开了序幕。施工效率可达4~5台套/月。

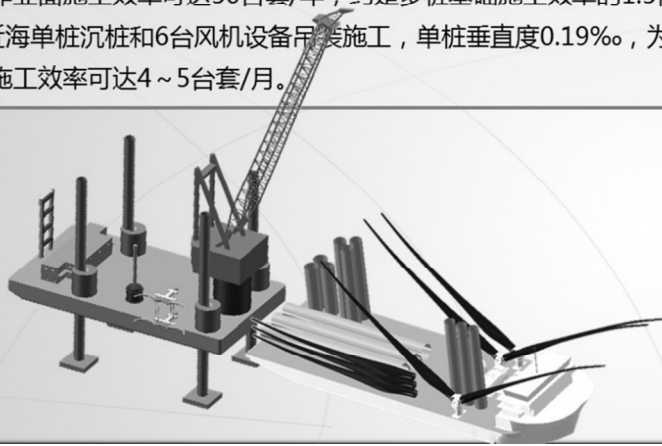


圖 3.2-2 近海施工說明及圖示

3、嵌岩施工

■ 龙源福建莆田南日岛莆田400MW海上风电项目，需要采用3D (drive-drill-drive) 嵌岩施工技术，最大钻岩强度达130Mpa，单桩最大入岩深度达15m。

经过与华东勘测设计研究院、洛阳矿山设计研究院、英国LDD公司、荷兰DDC公司多次交流和研究，我司已掌握3D施工所需的关键装备和技术。计划于2016年初在福建进行施工。

采用嵌岩单桩施工方案，综合施工效率可达4台/月。

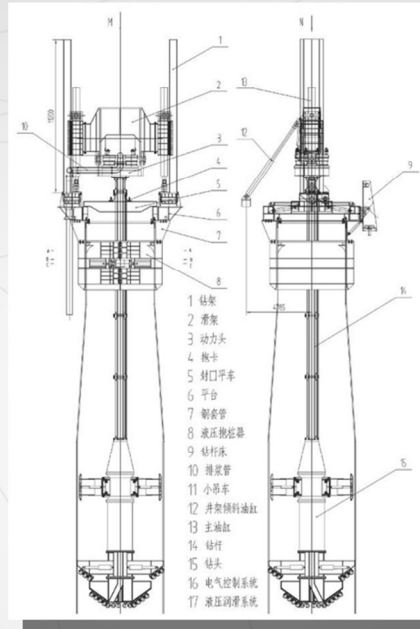


圖 3.2-3 嵌岩施工說明及圖示

3.3 藍島海工公司

藍島海工集團是一家專門從事海洋工程裝備建造的民營企業，前身是國內較大也是最早從事海事工程裝備分包和勞務輸出公司(南通藍水船舶工程有限公司)，擁有技術員工 6,000 餘名，業績項目有半潛平台、自升式平台、特種船舶等海工高端裝備，對專案的建造、採購進行總體承包，積累了豐富的海事工程專案建造、管理和採購經驗。



圖 3.3-1 藍島海工施工場地及碼頭佈置圖

經過十幾年不斷的開拓進取，藍島海工現擁有大陸最完善的民營海工裝備建造基地(南通藍島海洋工程有限公司)和較大的勞務分包企業(南通藍水船舶工程有限公司)，不僅在建造和管理能力上實力雄厚，在技術人才培養方面也取得了亮麗的業績，擁有成熟的研發技術團隊，能夠獨立完成自昇式平台、平台供應船、海上風電裝備的設計工作。該企業完全採用一體化管理模式，避免一般船廠採用勞務分包模式而導致的人員不穩定以及品質難以控制的風險。



圖 3.3-2 石油天然氣採集工作平台

藍島海工公司憑藉自身較早涉足海洋工程裝備建造領域，擁有成熟的技術和專案管理團隊以及充足的施工技術人才，使海工裝備建造專案的安全、品質、採購、

計畫得到了強有力的保障，尤其在專案的成本控制和進度方面具備業內獨有的競爭優勢。

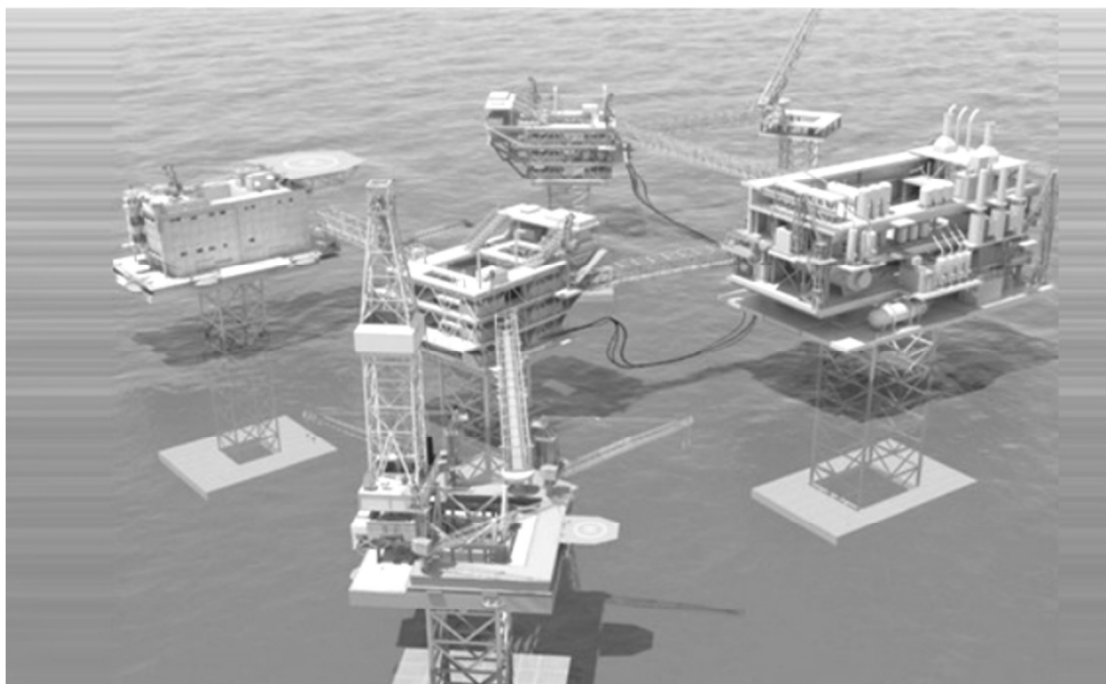


圖 3.3-3 石油天然氣採集工作平台

3.4 上海電氣公司

上海電氣風電設備有限公司由上海電氣股份有限公司投資組建，是一家集大型風力發電機組研發、設計、製造、技術諮詢、工程總承包為一體的新能源裝備製造公司。公司成立於 2006 年 9 月，總部位於中國上海閔行紫竹科學院區，在上海臨港重裝備產業區和江蘇省東台市建立了兩大製造基地。



圖 3.4-1 上海電氣公司風機

上海電氣風電設備有限公司因實施「許可證生產-聯合設計」技術路線上有重大突破，使得該公司成功研發目前中國境內最大容量 3.6MW 大型風力發電機組，上海電氣風電具備了領先中國境內同行的整機設計能力，包括葉片、控制、塔筒等關鍵部件的設計能力，可以根據特定的風資源和氣候條件，為用戶提供個性化的優化設計和服務。

上海電氣風電製造基地參照國際標準、佈局科學、與場內設施。其中臨港製造基地占地面積 5 萬多平方公尺，具備年產 1,000 台機組的生產能力，配備全功率試驗台和併網試驗台；東台製造基地一期占地面積 10 萬多平方公尺，配置併網試驗平臺，具備 2MW、3.6MW 及以上大型風機的生產條件。

3.5 廣東電力設計院

中國能源建設集團廣東省電力設計研究院有限公司(以下簡稱廣東院)成立於 1958 年，註冊資本達 10 億元人民幣，是具有國家工程設計綜合甲級資質的高新技術企業。廣東院連續十一屆入選中國工程設計企業 60 強，榮獲全國品質獎、中國五一勞動獎狀、中央企業先進集體、國慶 60 周年中國工程勘察設計十佳工程承包企業、中國工程勘察設計十佳自主技術創新企業。

廣東院立足於電力行業，具有五十多年從事電力工程勘測設計、諮詢、工程總承包和專案管理的經歷，可在建築、核工業、煤炭、化工石化醫藥、石油天然氣、電力通信廣電、鐵道、公路、市政、水利、海洋等 21 個行業承擔工程諮詢、勘測設計、總承包以及專案管理和相關的技術服務，承擔或參與了大亞灣核電站、嶺澳核電站、遼寧紅沿河核電站、臺山核電站、山東海陽核電站、陸豐核電站、雲廣±800 千伏特高壓直流輸電工程、雅安-武漢 1,000 千伏特高壓交流輸電工程、沙角電廠、臺山電廠、惠來電廠、平海電廠、海門電廠和三百門電廠等國家級重點工程建設。





廣東粵電華工光伏發電計畫



500kV 木棉變電站

廣東院與全球近 40 個國家和地區建立了業務往來關係，在國際版圖上，已形成大湄公河次區域、南亞區域、麻六甲區域、非洲區域、土耳其及東歐區域、中東區域、南美洲區域等 7 大海外市場佈局，企業國際競爭力逐步提升。

順應行業發展趨勢，廣東院已逐步形成「諮詢設計、專案管理、投資運營」三位一體的業務結構。建設具有核心競爭力的國際工程公司是廣東院的經營目標。

肆、參訪過程及技術交流心得

4.1 英國勞氏船級社亞洲總部

勞氏船級社在臺灣設有分公司，負責有關海事及船舶相關業務，然該公司在上海設有亞洲總部，綜攬亞洲地區有關海事、能源及船舶驗證等業務。據該公司之員工表示，英國勞氏船級社在中國之分公司設立於十九世紀末(清朝時代) 歷史悠久，在中國許多與海事有關之行業皆與該公司有業務往來。因此，本次大陸參訪行程皆透過勞氏公司協助，以利深入拜訪與離岸風電有關之產業。

4.1.1 參訪過程

勞氏船級社(LR)亞洲總部為本次大陸參訪之第一站，由張燕銘總經理負責接待本參訪團。由於該公司現正結合英國 RES 公司與世曦公司共同合作參與中鋼公司「台電 EPC 標備標顧問」之投標作業，因此本次拜訪過程中，勞氏船級社同時邀請該公司之離岸風電專家(在英國)、新加坡分公司及 RES 公司代表(在英國)以視訊會議方式參加本次會議之簡報與討論。由於英國與上海當地時差 8 個小時，開會時倫敦為清晨 1 點，故安排在英國之代表先行簡報及討論，後續再由勞氏公司(亞洲辦公室)簡報，最後再由勞氏新加坡公司與上海辦公室人員參與討論。

(一)英國勞氏船級社

依勞氏公司簡報，表示迄今在世界各地已完成超過 7.5GW 之風力發電計畫，累積相當豐富之經驗，且針對計畫特性及新的問題不斷地研發，包括建立離岸風電開發標準化流程等。而本次簡報則將 RES 目前業務要項概列如後：

- Geology, Geotechnical and Structures(地質、地工、結構)
- Wind turbine design / construction(風力機設計/建造)
- Wind farm design / construction(風場設計/建造)
- Wind farm operation (風場營運)
- Other wind related services (其他相關服務)

依據能源局之規劃 2016 年國內四架示範機組建置完成，因此風場營運為國內未來即將面對之問題，其中 root cause analysis 即針對風機營運過程中發生問題時，如何找到問題根源進而解決問題之一種分析方法。其次，LR 公司亦自行開發一套 IRIS 程式，監控追蹤風場之作業船隻，此套程式係一種平台，將風場基本資料，圖庫，

營運維修紀，船舶作業能量及作業程序等功能建置於內，以利風場維修時監控船舶作業情形，並安排船舶作業排程等。

(二)英國地質專家簡報

本次參訪在成行之前即將討論議題傳給 LR 公司先行準備，參訪時 LR 公司就離岸風電設計中最重要影響因素—地質條件進行簡報，簡報之內容包括：

- Introduction of jack-ups 自昇式平台簡介
- Operation risks during the different deployment stage 作業期間之各種風險
- Seabed related Jack-up accidents 海床地質相關事故案例
- Seabed risk assessment 海床地質風險評估
- Managing the seabed risk 海床地質風險管理

離岸風電開發建造過程中，除海氣象風險外，因海床地質狀況不了解或調查分析不夠詳盡導致之相關事故也相當多，統計比較 1996~2005 年及 1979~1989 年，海床地質引致之事故增加 23%，較其他因素導致事故高出許多。以 1996 年南澳洲之頂昇式平台船為例，由於平台船在頂昇後，四支腳柱之其中一支腳柱穿透軟弱土層，造成該支腳柱無承載力及摩擦力不足而嚴重挫屈，即為最典型之案例。

其次，海床地質調查亦為離岸風電設計及開發過程中極為重要之因素，海床地質調查採用之規範包括 SNAME 5-5A REV3 (2008)、ISO 19905-1、Insafe JIP 等，且對於海床下之障礙物，包括沉船、沉積物、未爆彈、沙波、大型石塊等之辨識需詳盡方能降低風險。

圖 4.1.1-1 勞氏船級社交流會議照片





英商勞氏說明相關離岸風電服務項目(一)



英商勞氏說明相關離岸風電服務項目(二)



英商勞氏說明相關離岸風電服務項目(三)



參訪團人員與英商勞氏意見交換討論

Lloyd's Register services to the energy industry

Jack-up Accidents

Maersk Victory, 1996- Punch Through, South Australia

頂昇式平台船因地質鬆軟事故案例

Lloyd's Register services to the energy industry

Assess Seabed Condition and Identify Seabed-Risks

海床地質調查項目與評估案例



鍾副總經理餽贈紀念品予英商勞氏張總經理



英商勞氏張總經理餽贈紀念品予參訪團員

4.1.2 討論議題

1. 英國勞氏公司長久以來，在風電產業扮演第三方認證單位，在執行認證工作時主要依據哪些規範？而認證重點包括哪些？

Ans：基本上離岸風場開發參考之規範以 IEC61400 為主，其次為 DNV-OS-J101、DNV-OSS-901、DNV-RP-C203 等，認證重點包括資格(Qualification)、品質(Quality)、安全方法(Safety Methodology)、材料技術(Materials Technology)、結構(Structures)...等。

2. 目前英國勞氏公司正推廣之 resilience engineering 概念，如何將這些概念納入離岸風力機支撐結構設計？

Ans：勞氏公司於 2015 年 10 月出版 Foresight review of resilience engineering 以探討可預期及不可預期之工程設計，如何納入離岸風電支撐結構設計尚在研擬中。

3. 海上作業時 MWS(Marine Warranty Survey)，主要參考哪些規範，其執行重點包括哪些項目？例如(1)碼頭作業時之海床整備要求及材料 loadout 注意事項，(2)Jackup vessel 或 Jackup barge 頂昇時應注意事項..等。

Ans：勞氏公司在離岸風電之服務項目中有關安全及環境風險管理包括：工作船登靠系統、噪音和振動次量評估、海上吊裝，高空作業、海上變電站風險管理等，採用之規範以 LR 規範及 DNV 相關規範為主。

4. 台灣在工程設計上，如國內無相關規範時，會參考國外規範，然當美規及歐規系統不同時，通常在參照比對後會採用更嚴格方式來制訂規範，但也經常因此而導致工程施工不易，此部分勞氏之看法如何？

Ans：當採用更嚴格之規範時，通常會使得工程經費提高，如在經費許可下，此更保守之方式尚能接受。但如美規或歐規有相互衝突時，可能會導致無法施工。此時可能透過與廠商協商方式，尋求最大共識及可行之方式後進一步解決。

4.1.3 技術交流心得

本次拜訪英國勞氏位於上海之亞洲總部後，在雙方技術交流過程之心得概述如后。

- (一)英國勞氏公司成立於 1760 年，目前員工來自於 90 多個國家，約有 8500 名，總公司位於英國倫敦，共有 238 個辦事處，分布於 186 個國家，2014-2015 的營業額約 9.5 億英鎊，主要業務涵蓋四大類：Marine 船舶、Energy 能源、Management System 管理系統、Transportation 交通等四大項。其中離岸風電屬於能源的一部分，並有 20 多年與再生能源公司合作之經驗。近幾年來勞氏公司已將海上油氣工業之專長應用到海上再生能源產業，累積相當多之經驗。同時勞氏公司目前是英國標準協會(BSI)和國際電工委員會(IEC)之重要會員，為再生能源業制訂相關標準。勞氏屬非營利組織，獨立、公證，現於中國設有海事部，員額約 500 人，以上海為大本營，主要爭取中國之造船市場，此一業務以往係以日本、韓國為主。透過本次參訪可與英國勞氏公司建立良好關係，對於未來本公司擴展港埠、海事工程業務可藉此管道蒐集相關資訊；另勞氏隨著業務擴展配合市場區位調整組織之運作方式，亦可供本公司未來國際化參考。
- (二)本次參訪中瞭解英國勞氏公司亦針對服務離岸風電開發業者需求設置專案小組，以設計方、生產方、施工方、運營方為主幹，綜理有關(A)風機工程、(B)結構工程、(C)岩土工程、(D)氣象環境、(E)防腐工程、(F)電機工程、(G)材料工程、(H)電纜工程、(I)生產檢驗師、(J)運輸安裝等 10 大項。勞氏公司在離岸風電業務方面，主要是驗(認)證服務、技術培訓及研究工作，在離岸風電領域之認證服務範圍相當廣、亦擁有多項技術，與 RES 公司為合作夥伴，可提供一條龍服務(含爭取風場開發權、漁權談判等等，不包括港口端服務)，但不承接設計、製造、施工業務，維持獨立之公證地位。參訪過程勞氏對其離岸風電做整體基本介紹，包含歐洲風場的建置、風場流體力學的計算、氣象基礎資料及氣象測量等事宜，其特別分享漁權談判之經驗，若我國於發展離岸風電產業時，勢必面臨同樣問題，可以藉由其經驗了解與漁民如何談判。
- (三)離岸風電驗(認)證並無強制性，主要係對品質進一步提供保證，以往只有少數廠商自願辦理驗(認)證作業，目前幾乎每家廠商均實施。辦理驗(認)證之時間點，基本上係在完成基本設計後之各作業階段(設計、製造、施工、運維)均可提出辦理，目前驗(認)證範圍並不包括港口端之儲運、碼頭作業。
- (四)離岸風電對港口端之需求基本上包括：足夠之土地面積、吃水深度及起重設備，實際需求視採用之結構型式(導管架、單樁式...)及施工方式而定。目前施工方式發展趨勢係海上安裝(施工)船專精於安裝作業，船型趨小，風機塔身及基

礎構件則於陸地(港口端)完成大段組裝，由運輸船載運至工址後直接吊裝施工，此一工法之海上施工時間及風險降低，但港口端之需求相對提高。

(三)離岸風電工址地質調查對施工安全相當重要，若港口碼頭端裝載作業亦係採用自升式平台船，船席區之地質調查亦須詳實並進行施工安全評估。英國勞氏公司對於海床地質之調查與地層中障礙物辨識特別重視，尤其該公司曾蒐集分析離岸風場開發所需用到之頂昇式平台船因地質因素造成事故案例進行探討，1995-2000 年間有記載之離岸風電工安事件記錄中，270 工安事件中有 14 件係自升式平台船支撐腳貫穿地層導致平台船傾倒；亦曾發生自升式平台船支撐腳貫入地層後無法拔出地層，須仰賴他船協助拔出。另支撐腳貫入海床後，支撐腳周圍海床沖刷現象亦會造成危險，曾記錄過 1 天可刷深達 6M。本次參訪意識到離岸風場開發時所面臨之風險，不僅是海氣象之環境條件，水下地理及地質風險之管理亦甚為重要；地質調查作業應採用 CPT(圓錐貫入試驗)，若僅採用 SPT(標準貫入試驗)較不可靠。尤其國內以往在辦理海床地質調查時，大部分僅針對海床土層之組成如砂質土壤、沉積層、粉土、黏土等力學性質加以探討，但障礙物部分較少著墨。因此，有關海床下障礙物辨識之技術及規避風險之方法值得學習。

(四)RES 公司長期協助英國 Crown Estate 辦理離岸風場之開發工作，範圍涵蓋總顧問、開發商技術顧問、EPC 統包商之技術顧問等，經驗豐富，在本次參訪中介紹本參訪團有關離岸風場開發之關鍵考量因子諸如：防災風險評估(HAZID, HAZOP risk assessments)、監測系統條件之規範(Specification of condition monitoring systems)、振動監測分析(Vibration monitoring studies, mechanical equipment)、應用 Axxim 軟體執行運維最佳化作業(Maintenance optimization using Axxim)等技術，未來本公司若朝離岸風電拓展業務，可考量在技術面上研議合作方式以學習移轉其技術。

(五)有關離岸風電風機、塔身及基礎等相關設備(施)之設計、施工等規範，勞氏表示美規或歐規均可使用，視設計需求而定。台灣常同時採用不同規範，但取最嚴格的規定而跨不同規範組合。離岸風電在歐洲等地已發展一段時間，故其技術、相關認證或規章可向歐洲學習相關經驗，以利未來離岸風力發電產業。

(六)勞氏表示目前大陸地區離岸風電開發進度較規劃期程慢，原規劃於 2015 年開發規模達 5GW，實際約為 0.5GW；已批准之離岸風電計畫於 2014 至 2016 間開

發總量達 10.5W。

(七)風電技術研發持續進步中，除單架風機發電量提昇及開發海上浮式風機外，塔身基礎結構型式亦有新技術，全世界現有 2 架成功設置之負壓式單樁測風塔實例。

(八)參訪人員抵達勞氏辦公室後開始進行交流簡報前，勞氏主持人員即先介紹安全逃生路線，並告知火災時由主持人帶大家走，到洗車間刷卡。不僅勞氏重視且落實職安作為，在後續參訪藍島海工、上海電氣等公司時，該等公司對職安亦採取高規格作法，值得本公司學習。

4.2 振華重工公司

4.2.1 參訪過程

本項參訪包括 11 月 23 日下午拜訪位於上海市的振華重工總部及 11 月 24 日上午拜訪位於南通市江蘇龍源振華海洋工程有限公司的離岸風電基座製造廠，分述如下。

(一)振華重工總部

為了解大陸在離岸風場的發展現況，本次參訪特別安排拜會全世界最大的港口機械和大型鋼結構製造商上海振華重工(集團)股份有限公司。參訪時振華重工由副總工程師兼工程部主任王徽華率領多位項目經理代表接待。

雙方交流時，首先參訪團就目前台灣在離岸風電場的發展現況、政策目標與未來願景作說明，並對本次參訪團隊包括本公司、台灣世曦及中鋼集團在未來台灣離岸風電產業中將扮演的角色及具有的技術與優勢作進一步的分析與解說，並期待未來雙方能在風電產業中有進一步的交流與合作。

接著振華重工說明目前公司的技術及營運現況。上海振華重工(集團)股份有限公司(ZPMC)，為國有控股上市公司，控股方為世界 500 強之一的中國交通建設股份有限公司，為重型裝備製造商，辦理產品設計、生產製造、運輸到售後服務一條龍的服務。公司總部設在上海，於上海本地及南通、江陰等地設有 8 個生產基地，占地總面積 1 萬畝，總岸線 10 公里，特別是長江口的長興基地有深水岸線 5 公里，承重碼頭 3.7 公里，是全國也是世界上最大的重型裝備製造企業。公司擁有 26 艘 6 萬噸~10 萬噸級整機運輸船，可將大型產品跨海越

洋運往全世界。

振華重工的產品大致上包括 6 大類，如下表所示：

起重機類產品	海工產品	大型鋼結構	船運服務	配套件
				
大型港口集裝箱機械與礦石煤炭等散貨裝卸機械產品，遍布 75 國，市佔率高達 75%。	提供各種海上工程船舶如大型起重船、鋪管船、挖泥船、大型船廠龍門架及鑽油平台等等。	具年產 100 萬噸鋼構能力，包括大型鋼橋、風電基礎構件、鋼構廠房、鋼構電廠及碼頭鋼構等。	擁有 26 艘 6 萬至 10 萬噸級運輸船，並擁有海運設計與管理團隊，可提供遠洋運輸方案。	提供海上工程裝備及各種起重機械設備的機電配套件，如大型錨絞機、動力定位裝置等。

上海振華重工目前已獲得了大陸首批創新型企業、大陸技術創新示範企業、博士後科研工作站、國家認定企業技術中心、中國世界名牌產品、國家海洋鋪管核心裝備工程技術研究中心、百家智慧財產權優勢企業等各類榮譽資質。

截止 2014 年 2 月底，振華重工已獲得大陸國家科技進步獎一等獎 1 項，二等獎 2 項；上海市科技進步獎一等獎 6 項，二等獎 3 項，三等獎 5 項；浦東新區科技獎項 4 項；中國交通建設集團科技獎 11 專案；國際工業博覽會金獎 2 項目，銀獎 1 項。此外，振華重工共申報專利 520 件，其中國際專利申請 33 件，國內專利申請 487 件（發明 210 件、實用新型 268 件、外觀設計 8 件）。公司擁有授權有效專利 299 件，其中國際有效授權專利 17 件，國內有效授權專利 282 件（其中發明 66 件、實用新型 208 件、外觀設計 8 件）。

1. 南通市離岸風電基座製造廠

為了解離岸風場的實際製造與施工情況，本參訪團前往位於南通市龍源振華海洋工程有限公司的離岸風電基座製造廠拜訪。龍源振華海洋工程有限公司主要致力於海上風電施工領域和海工裝備製造領域，集風機運輸、吊裝、打樁、安裝於一體的企業，為海上風電場的專業施工廠商。本參訪內容包括龍華振源代表於簡報室介紹公司的技術及設備，以及施工碼頭現場參觀等。

龍華振源擁有多項先進大型海上風機施工機具，施工規模及效率皆遠


高同業；依據所提供資料顯示，龍源振華可同時展開 3 個工作面、總計年產能可達 150 台套/年(按 4MW/台計約 60 萬 KW/年)，各工作面所搭配機具設備及其產品產能概如下表所列：





表 4.2.1-1 龍華振源主要裝備及年產能

施工作業面	主要搭配裝備	產品(工作項目)	產能(台套/年)
一	龍源振華 1 號 IHC-S800 液壓衝擊錘 小型運輸船(租賃)	潮間帶風電廠(4MW)單樁 基礎施工 導管架基礎施工 10MW 風機設備吊裝	50
二	龍源振華 2 號 IHC-S2000 液壓衝擊錘 龍源振華 5 號 振華 12 號	近海(5~30m 水深)風電場 (6MW)單樁基礎 導管架基礎施工 10MW 風機設備吊裝	50
三	托本號 S2000 液壓衝擊錘 振駁 27 號 運輸船(租賃)	近海(8~45m 水深)風電場 (6MW)單樁基礎 導管架基礎施工 10MW 風機設備吊裝	50

有關龍源振華的主要施工裝備及其功能說明如下表：

表 4.2.1-2 龍華振源主要裝備功能

<p>龍源振華 1 號 船長 99m、寬 43.2m、型深 6.5m、空載吃水 2.2m。可浮態吊裝施工，也可坐灘起重作業。坐灘時雙鉤 360°全回轉最大吊重 800T，最大起重高度 108m，配有雙層單管樁沉樁專用抱樁器。廣泛用於潮間帶和淺海區域起重作業。</p>	
<p>龍源振華 2 號 船長 76.8m、寬 42m、型深 6m，樁腿長 67m。全回轉最大吊重 800T，最大起重高度 108m，最大風暴自存能力 12 級。配置有雙層單樁抱樁器、雙層多樁抱樁器，既可進行單管樁基礎施工也可進行多管樁基礎施工。</p>	
<p>托本號 船長 100m、寬 40m、型深 8m，樁腿長 78m。可在 45m 內水深海域作業，最大吊重 1000T@25m，最大起重高度 110m，最大風暴自存能力 13 級 (40m/s)。配置有雙層單樁抱樁器和翻樁器各一套，既可進行單樁翻身豎立作業，也可進行沉樁作業。</p>	

<p style="text-align: center;">IHC-S2000 液壓衝擊錘</p> <p>最大衝擊功率 2000KJ。替打直徑 $\phi 5500\text{mm}$，具有升級至 $\phi 6500\text{mm}$ 能力。該錘目前是國內打擊能量最大的液壓打樁錘，可滿足國內近海 6MW 單樁沉樁需求</p>	
<p style="text-align: center;">IHC S800 液壓衝擊錘</p> <p>該錘最大衝擊功率 800KJ，最小衝擊功率 90KJ。可沉單管樁直徑範圍 $\phi 3443\text{mm} \sim \phi 5100\text{mm}$。</p>	
<p style="text-align: center;">龍源振華 5 號</p> <p>船長 110.4m、寬 36m、型深 6.5m、設計吃水 3.8m。載重量 10300 噸，航速 8 節。配有 6 台 60 噸大型定位錨機，甲板裝載區域所有設備均佈置於甲板下。單航次可運輸 3 台單樁基礎及 3 套風機。</p>	
<p style="text-align: center;">龍源振華 17 號</p> <p>船長 137.8m、寬 40m、型深 8.5m、設計吃水 5.1m。載重量 11431 噸，航速 8 節。配有 6 台 45 噸大型定位錨機。單航次可運輸 3 台單樁基礎及 3 套風機設備。</p>	

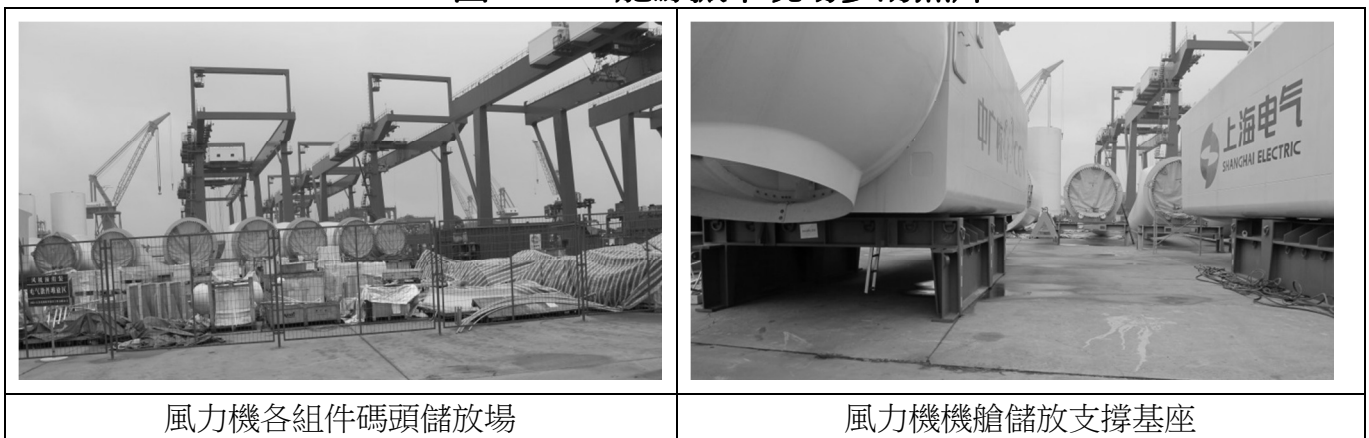
龍源振華除了在上海風電廠具有多年各種不同形式風機的施工經驗，近年來由於大陸部分風電場進入商轉營運階段，風機的營運維修成為另一重要的業務領域。因此龍源振華也積極參與風機維護工作，並已具有多項設備維修實績，包括葉片更換、主軸及變速箱更換等，顯示大陸在離岸風機的技术發展上，已由施工安裝跨足到維護管理，相關技術也已日趨完整成熟。有關龍源振華近年來的在上海風電的施工及設備維護的業績，概如表 4.2.1-3 所列：

表 4.2.1-3 進 5 年龍源振華海上風電場施工業績

年度	風機設備吊裝			風機設備維護			
	數量 (台)	機型 (MW)	風機廠家	數量 (台)	維修內容	機型 (MW)	風機廠家
2010~ 2011	8	3	華銳				
	2	2.38	西門子				
2012	12	2.5	金風	1	葉片更換	2.5	明陽
	2	5	海裝				
2013	1	4	遠景	2	葉片更換	5	海裝
				2	主軸更換	2	海裝
	1	5.5	東汽	1	葉片更換	4	遠景
2014	10	4	遠景	1	主軸更換	5	海裝
	1	6	明陽	1	減速箱更換	2.38	西門子
	15	8	西門子				
2015	38	4	西門子				

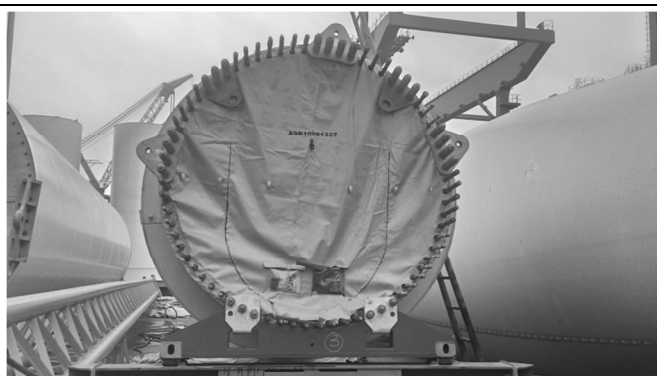
除了於簡報室內交流討論外，龍源振華亦帶領本參訪團前往施工碼頭現場參觀，以瞭解風機的儲放、安裝及運輸等作業現況。龍源振華的施工碼頭水深約 8~9m，面積大小約 100m×200m，其前緣地面承載力約 50 t/m²，後緣承載力約 20 t/m²。現場照片詳如下圖：

圖 4.2.1-1 龍源振華現場參訪照片





風力機葉片儲放支撐基座



風力機葉片吊具配置(一)



風力機葉片吊具配置(二)



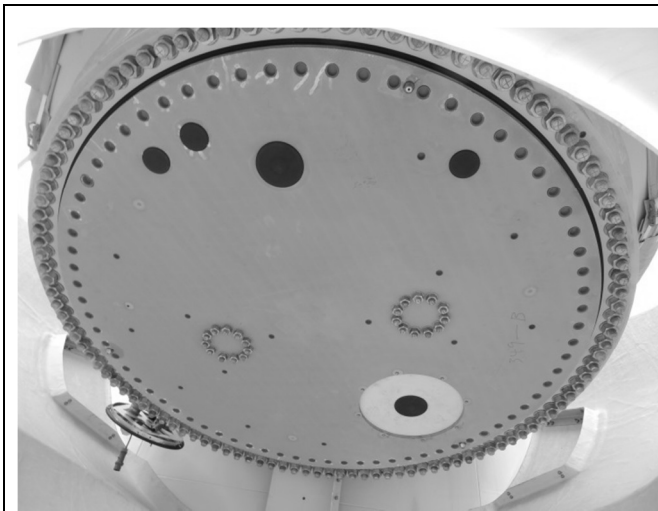
轉接段犧牲鋁合金陽極塊配置



振華人員解說風力機組件儲放場需求



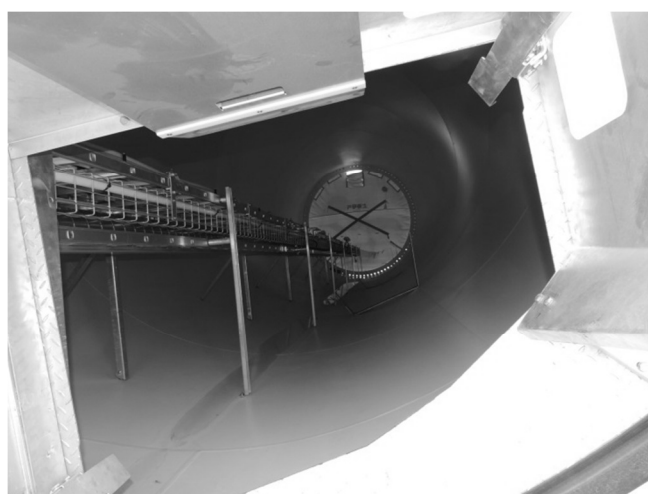
振華人員解說風力機轉子內部構造



風力機轉子端部



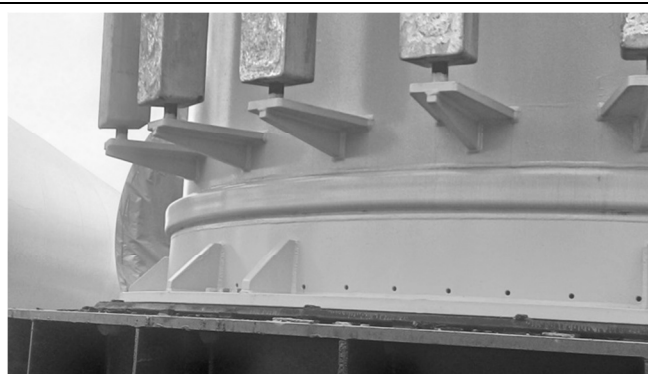
風力機機艙內部配置



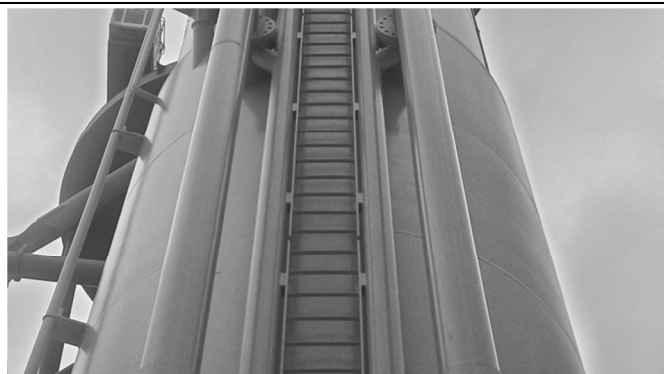
塔筒內部配置



塔筒運輸之臨時固定基座



單樁基礎轉接段底部預留 grout seal 鎖固孔



單樁基礎轉接段灌漿管及爬梯配置



準備運送之風力機塔筒(一)



準備運送之風力機塔筒(二)



單樁基礎轉接段



離岸頂升式平台



振華公司說明相關離岸風電業績



振華公司說明相關離岸風電業績

4.2.2 討論議題

1. 龍源振華在海上風電單管樁所能施作的最大樁徑及樁長為何？

Ans：目前龍源振華擁有的 IHC-S800 液壓衝擊錘可施作單管樁直徑範圍為 3,443 mm~5,100 mm；IHC-S2000 液壓衝擊錘施作單管樁直徑為 5,500mm，並具有升級至 6000mm 之能力。曾經施作最長的單樁長度為 60 公尺、其中入海床深度約 45~50 公尺。

2. 海上風電基樁施工的能量如何，垂直度可控制在多少以內？

Ans：無過渡段單管樁垂直度一般可控制在 2.75/1000 以下，可完全滿足風機設備對基礎的垂直度要求；2014 年龍源振華完成 1 台近海單樁沉樁垂直度達 0.19/1000，施工效率可達 4~5 台套/月。

3. 一般單樁基樁施工所需經費大約多少？

Ans：基樁施工經費需考量工址條件及採用之機具設備，一般而言不含材料費用，每支基樁施工經費約在 500 萬~1,000 萬人民幣左右。

4. 依據龍源振華的施工機具，風機吊裝時允許的風速為多少？採用的吊車能量為何？

Ans：一般情況須在風速 ≤ 8 m/sec 以下，採用吊車噸數為 800 噸(龍源振華 1 號及 2 號皆具有 800 噸吊重能力，托本號最大吊重則達 1,000 噸)；必要時單葉片吊裝時可放大至風速 ≤ 14 m/sec 以下。

5. 請問在基樁施工過程中，曾否因為河床下方存在沉木或是巨石等地質硬度變化較大情況，導致影響基樁垂直度之情況？

Ans：一般而言，基樁施工前須先辦理嚴謹的地質勘察，以判斷河床地質情況，目前尚未遭遇因地質變異較大影響基樁垂直度的情形。

6. 在潮間帶施工時，施工機具有無特別限制？

Ans：在潮間帶施工時，主要須考量施工船舶的吃水深(龍源振華 1 號最大吃水深約 6m、龍源振華 2 號吃水深約 2.2m、托本號吃水深約 8m)。一般而言須配合漲退潮施工，所以每天可施工時間可能會受影響；因此相關海象資料的調查與蒐集，以及確實妥善的施工計畫是相當重要的。

7. 一般風機吊裝的功率為何？

Ans：一般而言每組風機吊裝所須時間大約為 17~18 小時，不過亦受天候及海象風浪情況影響。因此必須能確實掌握氣候、風速及浪高等情況，以確保施工安全順利。

4.2.3 技術交流心得

1. 大陸已掌握離岸風電設備相當核心技術，振華重工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。振華採與歐洲學習及合作取得技術，再返回歐洲競逐市場，以成本來佔有市場，振華擁有將打樁及安裝合一的工作船，可提升效率及降低成本。
2. 大陸已陸續推出大規模海上風電計畫，並已獲得具體成果。
3. 大陸離岸風電場已有採用大陸廠家生產風機或與國外廠商合作生產風機之案例；除大幅降低建造成本外，亦可技術生根、將技術留在當地，有利於未來風電產業提升與發展。
4. 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，須先尋得風機組裝基地及專用碼頭。
5. 離岸風電場技術多元且層次高，包括土木基礎、風力機組、海洋氣象及電力設備等，為跨領域之綜合技術工程。振華表示清淨能源市場投入者需有許多設備，初期承受財務壓力很大，目前大陸先做起來，其次降低成本，並朝總承包商方向發展
6. 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，該公司表示近海工程施工能力平均每月約可安裝 4-5 套、平均每年約可安裝 50 套，整體而言具有每年可施作 600MW 離岸風電能力，其擁有之施工船機施工成本在基礎部分約可降低 15%、塔身降低 25%、風機安裝降低 30%，顯示大陸在風機設備施工、運維技術方面，已日趨成熟。
7. 龍源振華公司近 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，未來台灣離岸風機應可朝向建置相同或更高等級之風機。