

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

離岸風力變電站之基礎設計與施工研習

服務機關：台電輸工處中區施工處
姓名職稱：周建宇/九等土木工程師
出國地區：芬蘭及英國
出國日期：106.11.15~106.11.22
報告日期：107.01.19

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：離岸風力變電站之基礎設計與施工研習

頁數：35 頁，不含附件

出國計畫主辦機關/連絡人/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

周建宇/台灣電力公司/中區施工處/九等土木工程師/(04)25211566

出國類別：實習

出國期間：106 年 11 月 15 日~106 年 11 月 22 日

出國地區：芬蘭、英國

報告日期：107 年 1 月 19 日

分類號/目：

關鍵詞：離岸風場(Offshore Wind Farm)、離岸風力變電站(Offshore Wind Substation)、套筒式基礎(jacket foundation)

內容摘要：

風力發電是再生能源的一種，台灣得天獨厚擁有世界數一數二的風場，台灣為因應此再生能源需求已朝向積極開發離岸風場努力。經濟部並配合推動「風力發電 4 年推動計畫」，預計於 109 年達成陸域累計設置 814MW、離岸累計設置 520MW，並建立中長期推動之基礎，為 114 年達成離岸風力 3GW 之長程目標鋪路。

藉由本次赴歐研習，瞭解離岸變電站之基礎設計及安裝施工，以及離岸風電陸上變電所的規劃配置、細部設計，並就未來離岸風電一期計畫將採用的靜態無效功率補償器（static var compensator，SVC）及靜態型同步無效電力補償器（static synchronous compensator，STATCOM）之設計、電網系統規劃、以及系統參數進行說明討論，並實際參訪 SVC 及 STATCOM 製造工廠。

目錄

壹、前言	1
貳、行程簡介：	2
參、離岸風力概述	3
肆、研習單位簡介	5
伍、研習內容概述	7
陸、心得與感想：	34
柒、建議事項：	35

圖目錄：

圖一 GE 英國分公司內、外觀	5
圖二 GE 公司於歐洲地區的離岸變電站分布圖	6
圖三 離岸風電架構圖(ABB).....	7
圖四 陳列於 GE 英國公司的離岸風電模型.....	8
圖五 風機基礎型式與水深關係圖	10
圖六 變電站內部住宿、會議空間	11
圖七 離岸變電站基礎區位圖	13
圖八 單樁式基礎 (BB2 offshore wind farm)	14
圖九 套筒式基礎 (WOWO3 offshore wind farm)	15
圖十 防蝕區域分區	18
圖十一 防蝕塗裝分區	19
圖十二 基礎於工廠內噴漆	19
圖十三 陰極保蝕原理	20
圖十四 鋅塊固定於結構體上	20
圖十五 陰極保蝕與結構體	20
圖十六 Jacket 構架零件(ST3 offshore).....	21
圖十七 Jacket 構架零件	22
圖十八 陸上作業場(ST3 Offshore)	22
圖十九 Jacket 基礎與作業場(GE Galloper offshore).....	23
圖二十 上部結構與作業場(GE Galloper offshore).....	23
圖二十一 上部結構運輸.....	23
圖二十二 離岸變電站剖面圖	24
圖二十三 吊車安裝船安裝上部結構.....	28
圖二十四 陸上變電站全貌	29

表目錄：

表一 離岸風電建置成本比例表.....	13
---------------------	----

壹、前言

隨著能源需求的增加，在兼顧生態保護原則下，能源供需也從原本的油、氣及核能等來源，進而尋求其他永續再生替代能源；風力發電是再生能源的一種，台灣得天獨厚擁有世界數一數二的風場，為了更有效應用此風能，風機設置亦也由陸域轉而推向離岸海域，台灣為因應此再生能源需求已朝向積極開發離岸風場努力。

藉由本次赴歐研習機會，參訪奇異公司在芬蘭及英國的變電所及工廠，瞭解歐洲國家在離岸風力變電所之相關設計及施工經驗，並藉由工廠參觀及會議研討過程瞭解最新之電力補償技術(STATCOM & SVC)的技術原理，以及其運用於離岸風電系統之模式，希望未來能將經驗學習實踐在公司離岸風力加強電網之相關變電所，進而提升公司變電所之設計品質，有效達成變電所安全、便利、節能之使用效益外，更能達到政府綠能政策的要求。

貳、行程簡介：

實習主題：離岸風力變電站之基礎設計與施工研習

實習地點：芬蘭、英國

出國期間：106 年 11 月 15 日至 106 年 11 月 22 日

研習主要對象：奇異公司芬蘭及英國分公司

參觀工程紀要：

11/16

Thursday 16th November – Tampere, Finland

9:00 –10:15 Reactors and Capacitors factory in Tampere

10:15 - 12:00 Visit of STATCOM demonstrator and reactor and capacitor

13:30 – 14:30 TPC project status/specification - TPC

14:30 – 15:30 STATCOM presentation/ project

15:45 – 16:15 STATCOM type tests outcome

16:15 – 17:00 Visit in RTDS lab + Control system and protection system manufacturing area

11/17

Friday 17th November – Tampere, Finland

9:00 – 12:00 Visit in Kangasala SVC

13:30 – 15:30 STATCOM projects

11/20

Monday 20th November – Stafford, UK

09:30 - 10:00 Introduction to HVDC activities

10:00 - 10:30 Introduction to VSC Valves & Q& A.

11:00 - 12:00 GE UK presentation on OFFSHORE experience

13:30 - 14:30 Visit to STATCOM Valves manufacturing facility

15:00 - 16:00 Feedback and Voice of Customer

11/21

Tuesday 21st November – Galloper Windfarm - Onshore Substation, UK

參、離岸風力概述

因應地球暖化議題，增加再生能源使用比例已是各國間普遍共識，再生能源包含了風能、太陽能...等。如以台灣的地理特性，西部區域豐沛的風力、南部區域強烈的日照，構成台灣地區再生能源發展的主幹。

各種再生能源中，風力發電能源效率最高，經過風機設備轉換成電力後的總輸出效率約介於 25% ~ 45% 之間，較高的效率使得風力發電已成為再生能源的首選，尤其離岸風電的土地限制比陸上風電小，濱海地區也比較沒有地形屏障，為風力發電理想設置點。

2012 年，英國 4C offshore 網站公布全球離岸風能最好的前 20 處海域場址均位於臺灣海峽：「臺灣擁有極佳的海上風場，5 至 20 公尺深的淺海，就有 1,2GW 的風能開發潛量，20 至 50 公尺的深海區，風能開發量則達 10GW，50 公尺至領海邊界的極深區，可開發風能達 9GW。」另依工研院綠能所 2013 年最新的離岸風電潛力預估。綠能所認為最大可安裝面積為 5,640 平方公里，裝置容量 29.37GW(平均數字 5.21MW/Km²)。

海上風場的極佳條件，對陸上空間即將耗盡的臺灣而言，無疑是一個好消息。為了善用淺海海域 1.2 GW 及深海海域高達 10 GW 的可開發量、加速國內離岸風力發電的開發設置與產業發展，經濟部推動「風力發電 4 年推動計畫」，預計於 109 年達成陸域累計設置 814MW、離岸累計設置

520MW，並建立中長期推動之基礎，為 114 年達成離岸風力 3GW 之長程目標鋪路。「風力發電 4 年推動計畫」目前推動工作已完成跨部會協商，未來將在行政院能源及減碳辦公室督導下，由各部會合作協力落實各項工作，達成預定目標。

肆、研習單位簡介

奇異（GE）公司是全球數位工業公司，創造由軟體定義的機器，集互聯、回應和預測之智，致力變革傳統工業。全球知識交換系統-“GE 商店”讓所有業務共用技術、市場、結構與智力，每項發明都推動跨界創新應用。GE 理解行業之需，講述工業語言，以全球人才、服務、科技與規模，為客戶創造非凡業績。



圖一 GE 英國分公司內、外觀

GE 公司與台灣的發展與建設息息相關。1940 年代，GE 提供我國空軍飛機引擎及相關服務；1950 年代，GE 與台灣電力公司合作，全力供應發電機組；1960 年代，GE 投身參與台灣十大建設，包括中山高速公路、大煉鋼廠、鐵路電氣化，以及核能發電廠。1970 年代，GE 正式在台設立分公司，由世界各地派遣專業人員來台，提供各行業專業的商品與服務；1980 及 1990 年代，GE 與台灣產業攜手進行產業技術合作升級，並擴大提供民生相關產品服務。

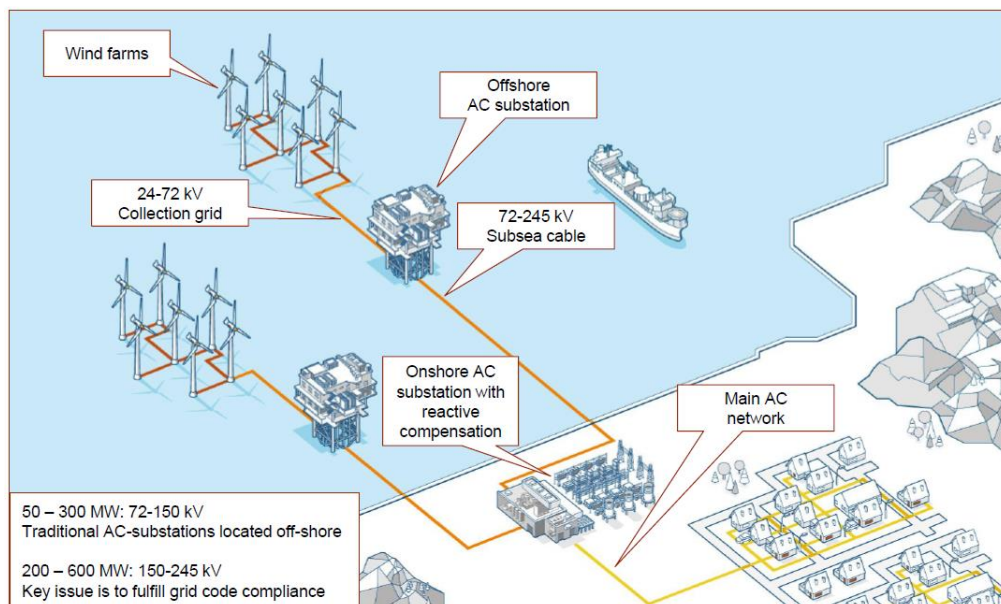
European portfolio – offshore substations



圖二 GE 公司於歐洲地區的離岸變電站分布圖

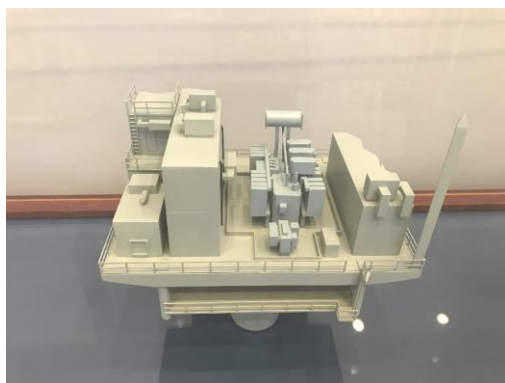
伍、研習內容概述

(一) 離岸風電傳輸架構：



圖三 離岸風電架構圖(ABB)

風機構成風場，風機所產生的電力藉由風機下方的陣列海纜(array cable)以交流電方式傳輸至離岸風力變電站，再藉由變電站將電壓升高，以降低電力在長途傳輸後的損失，再由上岸海纜(Export cable)以交流或直流方式送至陸上變電所。



GE offshore wind project model



圖四 陳列於 GE 英國公司的離岸風電模型

(二) 離岸風電工作內容：

英國的海床領土係由英國皇室所有，由 The Crown Estate 進行整體規劃，規劃完成區域開放民間租用領土進行離岸風場開發。2001 年開始，英國開始了 Round 1 的開發作業，選擇區域以近岸、淺水環境為主，總容量 1.1GW。有了 Round1 經驗後，Round2 繼續往較深海域，較大開發規模。2010 年開始，Round3 則對 Round1、Round2 延伸開發區域，預估可再提供 33GW，預計 2014 ~ 2015 年間開始施工，本次參訪之 Galloper Wind Farm 即屬於 Round3 的範圍。The Crown Estate 並依據 Round3 的風場開發、安裝、運維等流程出版了離岸風場指南(A Guide to an Offshore Wind Farm)供相關投資者或公司參考，其風場開發所涉的內容分述如下：

1. 開發及許可(Development and consent)

費用約佔總風場開發資金的 4%，以一個 500MW 的風場為例，這部分的費用大約是 6 仟萬英鎊，約合台幣 24 億元。工作內容包含：

1.1 可行性評估、開發許可、相關規劃、鑽探、雷達探測...等

1.2 環境調查

1.3 海岸調查

1.4 氣象站

1.5 海床調查

1.6 FEED

1.7 人類影響

2. 風機(Wind Turbine)

以一架 5MW 的風機為例，費用約是每架 6 佰萬英鎊，約合台幣 2.4 億元。

風機構成單元大概分成三部分

2.1 機艙(Nacelle)

2.轉子發電機(Rotor)

3.塔架(Tower)

3. 海纜(Cables)

以一個 500MW 的風場為例，費用約是 8 仟萬英鎊，約合台幣 32 億元。電纜大概區分為三部分：

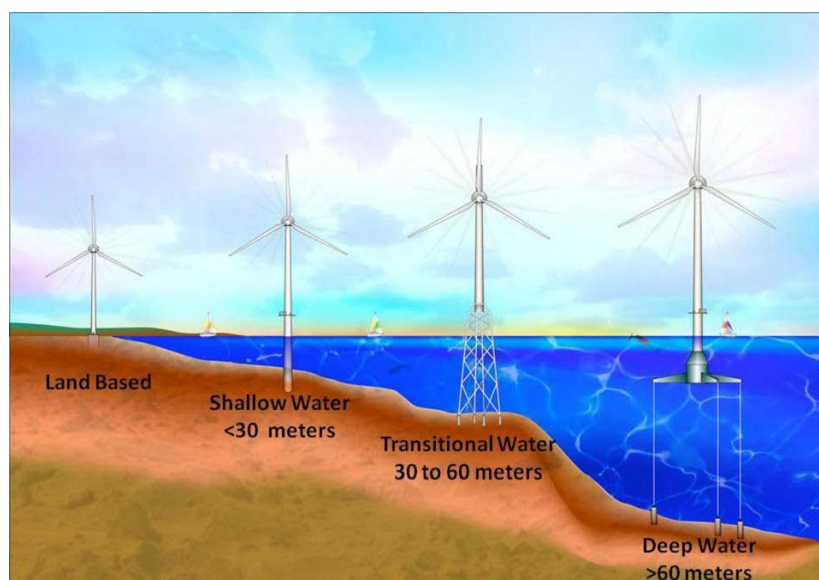
3.1 上岸電纜(Export cable)約 20 億新台幣

3.2 陣列電纜(Array cable)約 12 億新台幣

3.3 海纜保護工事(Cable protection)約 3 仟萬新台幣

4. 風機基礎(Turbine foundation)

一個 500MW 的風場，若使用 100 架 5MW 風機，水深 20M，基礎的費用大約是 3 億英鎊，約合台幣 120 億元，實際費用仍需視水深而定，20M 深的基礎結構大約重 600 噸，當水深來到 30M，重量將會增加到 800 噸。費用包含：



圖五 風機基礎型式與水深關係圖

4.1 基礎結構(Foundation structure)

4.2 連接段(Transition piece)

4.3 J 型電纜引上管(J-Tube)

4.4 掏砂保護工事

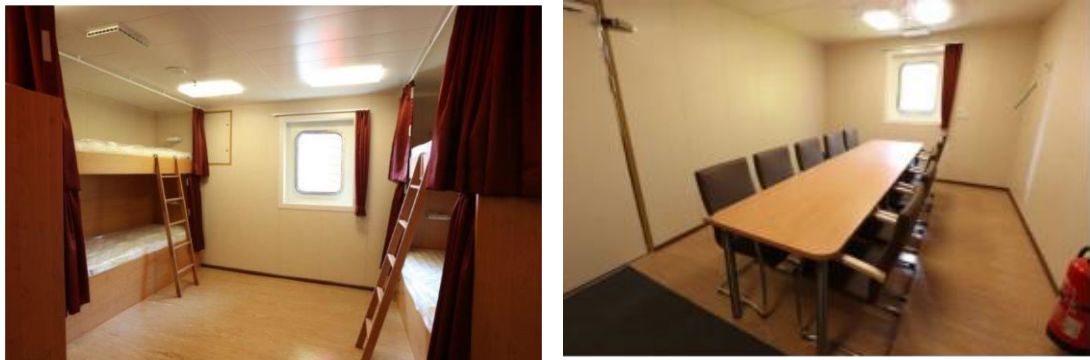
4.5 陰極防蝕保護

5. 離岸變電站(Offshore substation)

整座風場的心臟，主要功能是在海纜上岸前升

壓，降低電力損失。變電站重量約 2000 噸，座落於海平面上 25M 處，面積大約是 800 m²，費用約為 5 仟萬英鎊，約合新台幣 20 億元。

現階段離岸變電站通常不具服務平台的功能，但隨著風場離岸距離越來越遠，未來的變電站將具備逃生避難及提供短、長期住宿的功能。



圖六 變電站內部住宿、會議空間

變電站組成：

- 5.1 電子系統:主要有變壓器(Transformers)、GIS(Switchgear)、電抗器(Reactors)、備用柴油發電機(Backup diesel generator)、接地(Earthing)...等，費用約 12 億。
- 5.2 附屬設施:防火防爆系統、吊車、控制室、水塔、油箱、安全系統...等。
- 5.3 結構:支撐及保護電子及其他系統，費用大約是 4 億，包含直昇機起降平台及上下設施。

6. 陸上變電站(Onshore substation)

費用約 4 仟萬英鎊，16 億台幣，大概是離岸變電站的一半費用，所使用之設備規範與離岸變電站相

同，一樣有變壓器(Transformers)、GIS(Switchgear)、電抗器(Reactors)、備用柴油發電機(Backup diesel generator)、接地(Earthing)...等，另外還有併網的計量監測設備。

7. 安裝及試運轉(Installation and Commissioning)

以一個 500MW 的風場來說總費用大約 4 億英鎊，約合 160 億新台幣，一般而言，基礎安裝及海纜生產約需各佔 1 年(可併行)，接著安裝及試運轉需再花一年。費用包含：

7.1 海纜(輸出及陣列)佈設

7.2 離岸變電站及風機安裝

7.3 基礎安裝

7.4 後線碼頭

7.5 試運轉

8. 運轉維護(Operations and maintenance)

費用(O&M)大約 2.5~4 仟萬英鎊，以最高 4 仟萬英鎊計算約合 16 億台幣。而維護部分因前 5 年為保固期，由風機供應商負責維護，故無須額外支付。

(三) 離岸風電各項費用：

依英國 The Crown Estate 資料以 5MW 的風機 100 架構成的 500MW 離岸風場，其建置成本為：

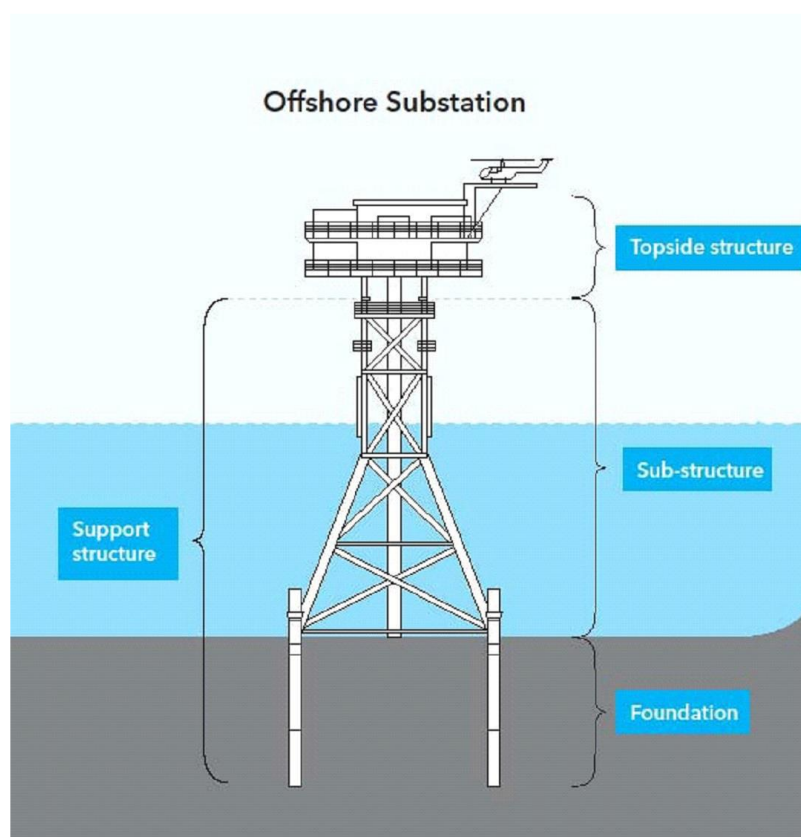
項次	名 稱	費 用	比例
1.	開發及許可	24 億	3.75%
2.	風機	240 億	37.5%
3.	海纜、基礎、變電站	200 億	31.25%
4.	安裝及試運轉	160 億	25%
5.	運轉維護	16 億	2.5%
	合計	640 億元	100%

表一 離岸風電建置成本比例表

註：英鎊匯率以 1:40 計算

(四) 離岸變電站基礎型式：

一般離岸變電站之支承結構，可分成基礎 (Foundation)、下部結構(Sub-structure)及上部結構 (Topside structure)等三部分。



圖七 離岸變電站基礎區位圖

離岸變電站之基礎支撐型式，依據歐洲地區案例大多為單樁式(Monopile)或套筒式(Jacket)。由於離岸變電站基礎之設置受離岸距離及海水深度影響甚鉅，在較遠及較深的海域，基礎設施之施工、成本及維修更加困難。此外，基礎之適用性需搭配海床地質情形進行設計，以下以主流的兩種基礎來介紹，其種類與適用性概述如下；

■單樁式基礎(monopile foundation)：



圖八 單樁式基礎 (BB2 offshore wind farm)

單樁式基礎為一大口徑鋼管樁，傳遞上方載重至所承載的海床上，為歐洲主流的水下基礎低成本方案。一般用於礫石、砂土、或黏土之海床，但下方需具有堅實地盤，惟台灣地處亞太地震帶，於潛力風場場址地質鑽探結果分析，普遍認為以苗栗為分界，苗栗以北有岩層且地震影響較輕微可適用其

作為離岸風機之水下基礎。單樁式基礎之施作成本隨水深增加而增加，以歐洲地區而言，該型式基礎多應用於水深小於 20 公尺的水域。同時單樁式基礎對於砂質海床或是漂砂之問題具較高之優勢。

■ 套筒式基礎(jacket foundation)：



圖九 套筒式基礎 (WOW03 offshore wind farm)

套筒式基礎擁有較複雜的桁架結構，故其製造較費工，成本亦相對較高，但其擁有較佳的穩定度，適合在苗栗以南的軟弱泥土質地盤及較活躍的地震帶使用。對於水深超過 20 m 之區域為最具經濟之基礎型式，相較於單樁式基礎與三連桿式基礎，套筒式基礎之鋼材需求量較低。另，如果用於淺水區，套筒式基礎則相對成本會提高許多，套筒式基礎之優勢在於其不需相對大型之樁基礎(如單

樁式基礎)。彰化外海風場若使用 Monopile，其設計重量將達 Jacket 的 2 倍，故 Monopile 在台灣並非絕對的低成本方案。

Jacket 基礎型式選用考量須注意事項：

- (1)地質條件不適打擊工法者，不適合採用。
- (2)施工階段自然環境的氣候、海域靜穩度要求較高。
- (3)較淺水域不適用該基礎型式。

國內西部海域多屬粉土質砂與黏土互層，承载力不佳，在考慮地震與颱風等外在因素，以本公司風力一期為例，經顧問公司 NIRAS 分析之後，基礎型式採套筒(Jacket)是為較可行之方式。

(五) 離岸變電站基礎設計：

1.設計規範：

離岸變電站的基礎結構與陸上工程大不相同，相關設計理念是由油氣產業 (Oil & Gas)海上鑽油平台而來，設計規範主要有：

- (1) 認證公司法規：由於海事工程與船舶產業息息相關，最早發展的多為船級認證公司，如 DNV、ABS、BV、GL 等。其中以 DNV 離岸風電的設計法規最為完整。
- (2) 美國石油機構 API：如前所述，離岸風電基礎

結構係由鑽油平台而來，API（American Petroleum Industry）設立了許多石油產業的設計基準。

- (3) 國際標準局 ISO：ISO 與鑽油產業十分密切，相關設計基準亦用於離岸風電設計。

國外離岸變電站設計準則：OFFSHORE SUBSTATIONS FOR WIND FARMS DNV-OS-J201，其最新版本已更新至 2016。

2.地震力考量：

就歐洲現役風場開發案例而言，地震相對於風、波浪條件等其他環境載重，不是一個主要控制設計載重因素，但台灣地處地震帶且海域地質特性與歐洲已開發風場不盡相同。台灣海域地質特性，可能因地震而引發土壤液化，造成基礎承載能力因而降低、局部區域不均勻沉陷或產生側向位移。因此，未來進行風場開發須將地震載重因素納入考量。

離岸變電站基礎之適用性需搭配海床地質情形進行設計，國內西部海域多屬粉土質砂與黏土互層，承載力不佳，依大地技師建議利用具代表性之實際地震記錄作為輸入運動，進行非線性動力歷時數值分析，探討在所考量地震等級下，基礎結構之性能表現能否符合要求，以評估海床土壤之穩定

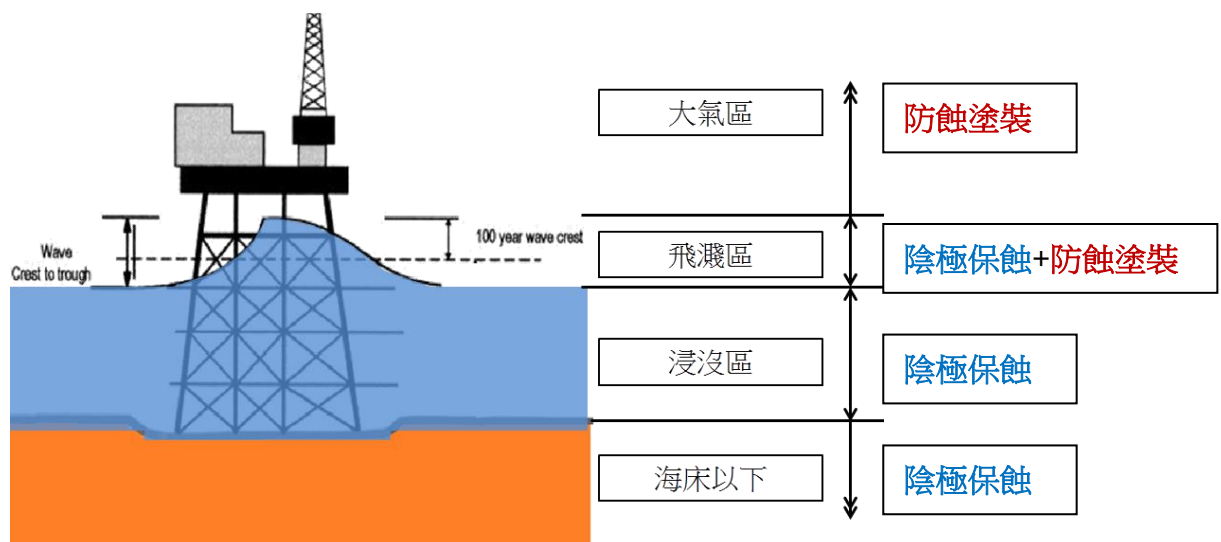
性，同時瞭解海床互層土壤與基礎結構之互制行為，方可確認與檢核最適之基礎型式。

3.腐蝕(corrosion)：

離岸變電站因長時間矗立於海上，長時間受到高鹽份的海風吹襲，故除鋼構本身的材料非常重要外，相關防止結構鋼料被腐蝕的作法亦是基礎設計的一環，而離岸構造物的結構用鋼控制腐蝕的方法可蓋分 3 種：

- (1)塗裝(coating)。
- (2)陰極保護(cathodic protection)。
- (3)腐蝕容許值(corrosion allowance)。

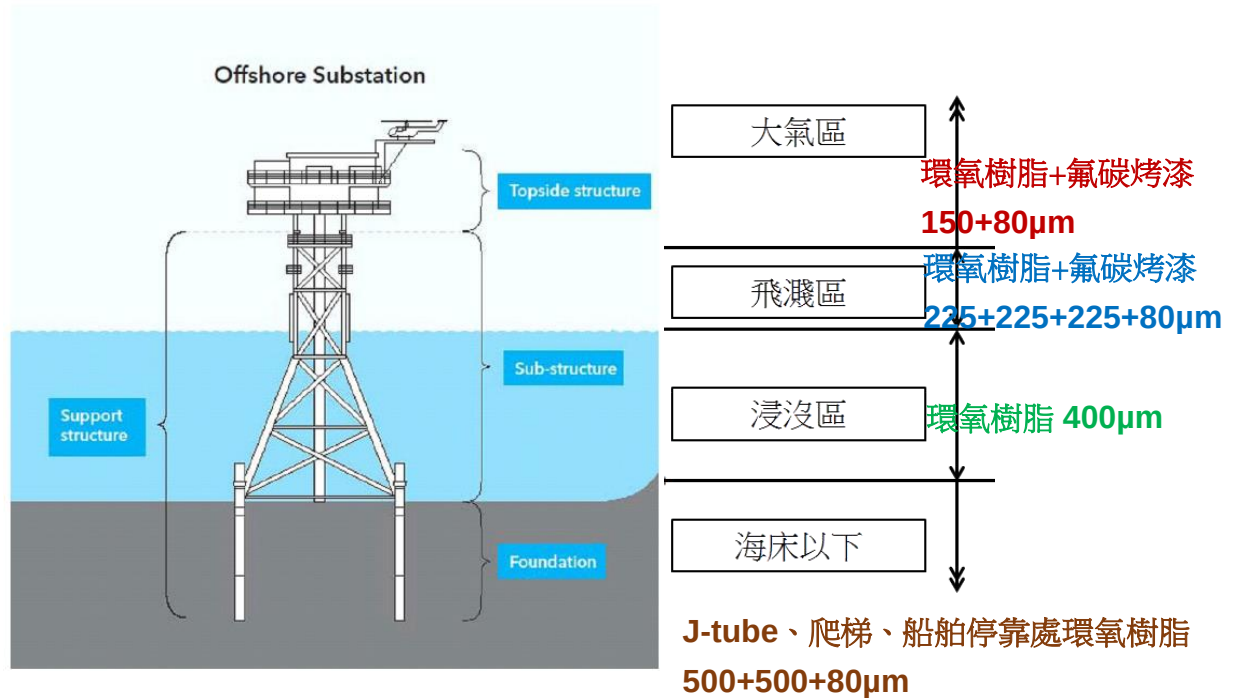
防蝕區域可分為大氣區、飛濺區、浸沒區及海床以下四個區域，並針對上述分區進行防蝕規劃。



圖十 防蝕區域分區

3.1 防蝕方法:塗裝

塗裝為金屬防蝕的主要方式，塗層分為底漆，中塗及面漆。塗層材料多為環氧樹脂及氟碳烤漆。



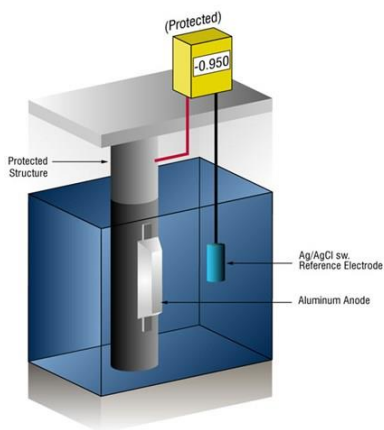
圖十一 防蝕塗裝分區



圖十二 基礎於工廠內噴漆

3.2 防蝕方法:陰極保蝕

陰極保蝕(cathodic protection)，是利用電化學原理，在一個電化學系統當中，陽極的金屬會氧化，而成為金屬離子溶入電解質溶液當中；而陰極則會產生還原反應，使得在溶液當中的一些金屬離子，或者是能夠被還原的物質在陰極上面還原。由於陰極的金屬在此情況下，並不會溶解到溶液當中，換言之保護位於陰極金屬不被侵蝕。



圖十三 陰極保蝕原理



圖十四 鋅塊固定於結構體上



圖十五 陰極保蝕與結構體

(六) 離岸變電站施工：

由於離岸變電站通常位於離岸數十公里遠之海域，為降低船機花費，縮短海上工時，並避免勞安風險，各項工作盡可能在岸上完成，以縮短海上作業時間。

因此海上變電站之下部結構(sub-structure)及上部結構(Upside structure)相關零件均於各製造工廠先行製作(Component Fabrication)。



圖十六 Jacket 構架零件(ST3 offshore)

Jacket 的製造銲接因屬立體類圓弧銲，需由具備 6G 銲接證照之銲工施作以確保品質，而台灣具有足夠的焊工人數，但較缺乏相關經驗。另歐洲較大的風電基礎製造廠均已開始就部份焊接方式採用機械手臂自動化焊接，以確保施工品質。惟自動化則需視未來離岸風場的規模及經濟量能否吸引本地製造廠商投資了。



圖十七 Jacket 構架零件

結構鋼管、上部結構區塊、Jacket 的平面構件等皆先於基礎製造商處先行製造，再運至工作碼頭或船塢施作銲接組裝(Final Assembly)。因此，許多製造廠因為經濟性及工作性考量，均選址於重型碼頭旁，

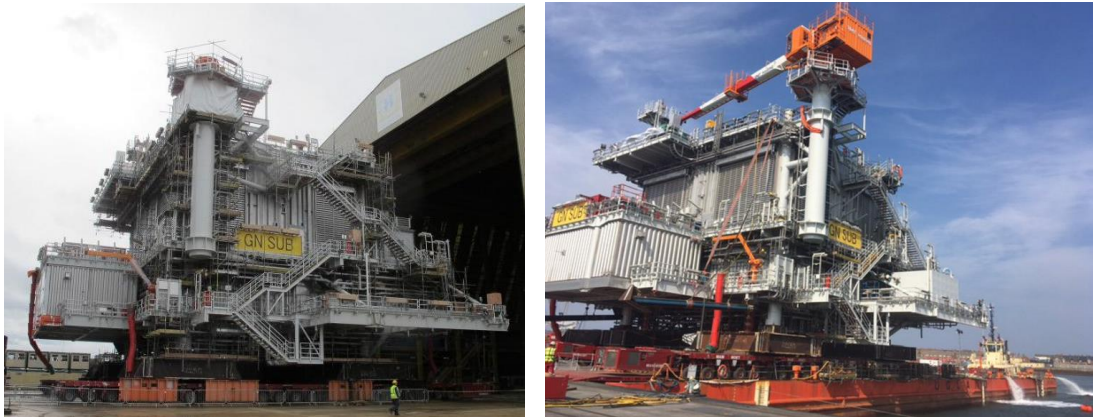


圖十八 陸上作業場(ST3 Offshore)

以便利用陸上作業場接臨之工作碼頭，以起重船機裝載至海上作業場施作(Installation)。



圖十九 Jacket 基礎與作業場(GE Galloper offshore)



圖二十 上部結構與作業場(GE Galloper offshore)

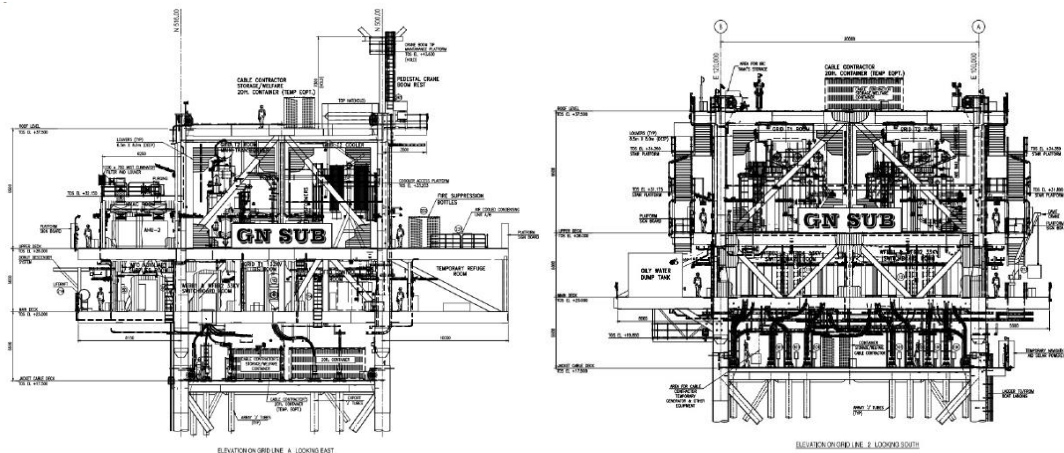
上部結構的製造安裝方式與下部基礎大同小異，大型電力設備於各供應商(GE、Siemens 等)工廠組裝完畢，再送至工作碼頭配合鋼構廠組裝進度進行安裝測試，試運轉完成後再與下部結構一併或分開運至預定場址施工安裝。



圖二十一 上部結構運輸

(七) 離岸變電站安裝：

以本次參訪的英國 Galloper offshore wind farm 的離岸變電站為例，雖然因為拜訪的時候已經冬季，北海的海象不佳有安全顧慮，也因為(歐洲風場模式)開發商與營運商的不同，要取得同意登上離岸變電站的許可有困難，故無法實際出海一探究竟實屬遺憾。但仍可藉由會議簡報以及討論瞭解其一連串的安装施工流程。



圖二十二 離岸變電站剖面圖



上部結構及製造廠



上部結構及 Jacket 基礎



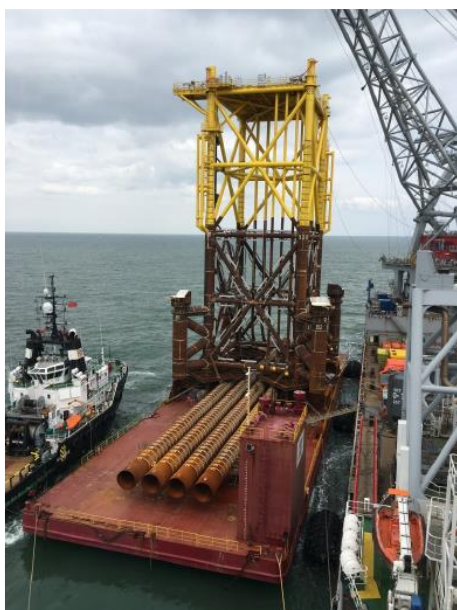
上部結構吊上拖板船



Jacket 基礎運離
碼頭



Jacket 基礎離開
港口



抵達預訂地準備
吊裝



Jacket 基礎吊至
定位



Jacket 基礎就定
位後打基樁



安裝上部構造

海上施工所使用的船機分為配有吊車之安裝船、人員運輸船、拖船、運輸駁船、多功能服務船等。考量變電站下部基礎或上部結構之重量達2,000T，吊車吊昇能力至少須達3千公噸以上，可達標之船機數量有限，租用費相當高，在英國當地配有吊車之安裝船一天的費用約為27萬英鎊，約合1,100萬台幣/天。台灣因無類似船機，大陸籍船舶亦無法租用，故相關安裝方面仍有極大問題須克服。



圖二十三 吊車安裝船安裝上部結構

(八) 陸上變電站：

Gallopier - Onshore substation 陸上變電站





圖二十四 陸上變電站全貌

不同於台灣近年來新建變電所均採屋內式設計的趨勢，英國離岸風場的陸上變電所大多為屋外式，可能是造價及工期上的考量，讓英國及歐洲這些工業技術比我們先進的國家不約而同地採屋外式。而即便變電所位址鄰近海洋，或許是空氣裡的帶鹽成分比台灣低，GE 人員表示設計上並未針對構材防蝕去做特殊要求或處理，連一些附屬設備(冷氣機)也是，這部分是此行較無法理解的部分。

不過由上圖也可看出整個屋外型變電所被周遭的土丘所包圍，設計者另外的巧思，藉由整地以較為自然的方式來避免變電所受海風侵蝕。但考量到建物高度的問題，類似的手法也只能運用在較為低矮的屋外式變電所，以台灣現在屋內式變電所動輒 17~20M 的高度，完全沒辦法使用這種整地擋風的辦法，不過這也提供了我們設計上可以思考的一個方向。

■主變壓器室：



外觀給人感覺類似台灣的鐵皮屋，變壓器設備座落於獨立基礎上，預留作業空間後以鋼構方式搭建，



內部一樣包覆消音材，外覆烤漆鋼板，避免低頻噪音傳出。地面以格柵方式分隔排油、水及工作空間，另外穿牆部分均以特殊街頭處理。

■ G. I. S 室：



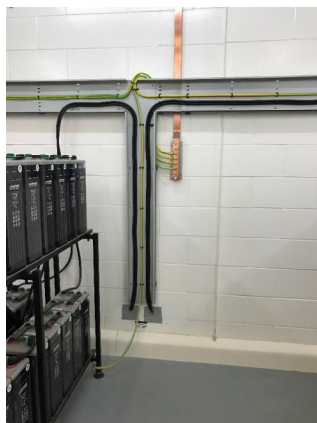
和主變室一樣採較為經濟的鐵皮屋方式設計，建築物分兩層，一樓為半戶外之電纜整理空間，並以地下電纜溝方式引入引出；二樓為 GIS 設備空間及控制室。



■ 電池室及控制室



唯一採砌築方式之建築物，內部設置控制設備及電池室，較為特殊處為全所均採明管配置，無論弱電、照明、消防系統，就連接地系統也是。



■ 特殊工具插座



屋內型防呆插座，與一般插座孔型不同。



防呆型屋外用電插座，提供 110、220 及 400 三種電壓，不同電壓對應不同插座孔。

陸、心得與感想：

1. 本次參訪芬蘭及英國 2 個國家，因區內並無地震問題，而風場所在位置亦無颱風，會議討論中 GE 設計人員表示歐洲設計規範及準則均未考量颱風及地震這兩個台灣特產，後續將考量台灣特殊環境，重新檢視或修正相關設計規範。因此歐洲地區雖在離岸風場建置上已累積豐富實績，但仍難以直接將經驗複製至台灣。

2. 離岸風電工程的複雜度遠遠超過陸上風電建置工程，且海域施工其危險程度亦遠高於陸域施工，因此歐洲離岸風電均落實工安風險管理及設計從工安做起，所有工作均需先辦理風險分析及危害鑑別後始得進行後續設計工作。參訪過程亦可由衣著、護具的要求及相關工安告知、門禁管制、現場工安人員一路陪同發現確實依規定落實。

最後感謝公司及主管給予本人出國研習的機會，另感謝 GE Finland 及 GE UK 的團隊無私地分享 STATCOM、SVC 的技術及工廠製造流程，更感謝 Mr. Louis Nivelleau、Ian Mould、Frederic Hong 連日辛苦的陪同協助及提供相關參考資料。

柒、建議事項：

- 一、防蝕塗裝：本公司變電所現行有關塗裝部分均規定採氟碳烤漆 35 μ m，考量部分沿岸地區變電所受海風及鹽霧害侵蝕，建議依照離岸風電基礎塗裝厚度調整為 200 μ m，以提高金屬保護力。
- 二、接地系統：本公司現行接地系統均採裸硬或裸軟”銅線”，部分沿海地區變電所已發現有被腐蝕掉的案例，本次參訪發現歐洲均採”銅帶”方式處理接地系統，因其接觸面積較小，且無毛細現象可供海水滯留，建議接地系統材料由銅線改為銅帶。
- 三、明管配置：本次參訪陸上變電所發現無論芬蘭或英國，所有配管均採明管配置。考量結構強度、施工便利性及後續維修，此部分建議日後變電所設計可搭配 BIM 系統朝此方向試行。
- 四、屋外型設計：無論是造價或工期，屋外式變電所均占優勢，惟近年來公司因整體都市景觀、運轉維護、抗爭處理考量，均採屋內式興建。建議日後離岸風電陸上變電所倘採用屋外式，可參考英國案例取得較大面積基地，基地四周除開口處外均整地成土丘，除物理屏障效果可有效減少海風侵蝕避免設備損壞外，還可達到視覺上的屏障，降低存在感，減少威脅性，可有效協助降低抗爭強度。