

# 出國報告（出國類別：實習）

## 風力發電機組發電機維護技術訓練

（  
裝  
訂  
線  
）

服務機關： 台灣電力公司

姓名職稱： 林瑞寶工程師

派赴國家： 德國

出國期間： 103.4.5～103.4.18

報告日期： 103.05.

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：風力發電機組發電機維護技術訓練

頁數 12 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林瑞寶/台灣電力公司/電力修護處中部分處/主辦電機工程專員

/(04)7363666 轉 365

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☒4 實習 ☐5 其他

出國期間：103 年 4 月 5 日至 103 年 4 月 18 日

出國地區：德國

報告日期：103 年 5 月 日

分類號/目

關鍵詞：WTG(Wind Turbine Generator)

**內容摘要：（二百至三百字）**

- ❖ 本次訓練課程計畫包含風機電力箱、整流箱、電驛箱、葉片旋翼箱及其相關電力系統等重要設備，並將針對 ENERCON 風機之故障檢修技術進一步深入研究。

德國 ENERCON 公司維修技術一流，藉由本次實習，期能作為本公司發展風力發電的借鏡與參考，並提升本處辦理風力發電運轉維護能力與經驗。本報告係將至國外受訓內容及參訪所見所得，摘要記錄，藉以供爾後參與風力機維護之同仁參考，減少設備運轉維護時間，進而提高風力機組妥善率。

# 目 錄

|                   | 頁次 |
|-------------------|----|
| 壹、目的及緣起 . . . . . | 5  |
| 貳、出國行程 . . . . .  | 6  |
| 參、參訪紀要 . . . . .  | 6  |
| 肆、心得及建議 . . . . . | 17 |

## 壹、目的及緣起

為配合政府再生能源政策，本公司積極開發風力發電，為培育風機維修人員及建立自主維護能力，本次出國任務目的在研習 Enercon 風力發電機組運轉、維護等相關技術。

本公司自 91 年起積極推動以風力發電為重點計畫，目前已有 161 部風機商轉，且陸續還有風力機組興建計畫，離岸風力機組計畫也進行中。

台灣風力機組陸續增加，所需維修人力也增加，可藉由此次訓練課程，對日後風機的運轉維護有相當助益，並可利用公司內自辦之教育訓練，教導其他維護人員，期能做好風機維修工作，使能提升可用率及年總發電量。

本次出國受訓人員共計 1 位（名單詳如附表 1），

| 單 位     | 姓 名 | 職 稱    |
|---------|-----|--------|
| 修護處中部分處 | 林瑞寶 | 電機工程專員 |

表 1：出國受訓人員

## 貳、出國行程

本次訓練行程，前往德國 Aurich，於 103 年 4 月 5 日出發 4 月 6 日至法蘭克福，4 月 7 日至 4 月 16 日在德國 Aurich 參與原廠訓練課程，4 月 18 日由法蘭克福搭機返台，共計兩週。

## 參、實習紀要

### 1. Enercon 風機介紹：

#### 1.1 E70：

HUB 高度： 64 米

葉片直徑： 71 米

掃風面積： 3,959 平方米

轉速變化範圍： 6-21 rpm

葉片數量： 3

啟動風速： 2m/s

額定風速： 15m/s

停止風速： 28~34m/s

額定功率： 2300KW

發電機類型：同步發電機

#### 1.2 E126

HUB 高度： 135 米

葉片直徑： 127 米

掃風面積： 12,668 平方米

轉速變化範圍： 5-12.1 rpm

葉片數量： 3

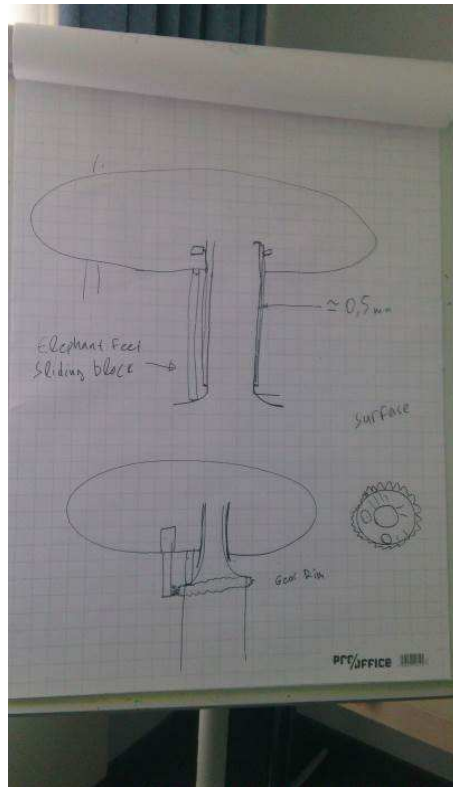
啟動風速： 2m/s

額定風速： 15m/s

停止風速： 28~34m/s

額定功率： 7580KW

發電機類型：同步發電機



圖一、原廠實際上課情形

### 1.3 Enercon 風機特點

- 1.3.1 發電機中的轉子及葉片形成一個轉動裝置，葉片直接連結至輪轂的滾珠軸承上，發電機及轉子既不是主要的傳動裝置也不是高速旋轉的部件，兩者之間的能量損失、噪音溢散、齒輪油的使用及機械磨損相當低。
- 1.3.2 三支葉片均配有各自獨立的旋角控制系統，該系統由電子驅動裝置及緊急供電裝置組成，並提供風力發電機管制風力的使用進而控制轉速。如此可正確且快速限制風力機的輸出，當葉片轉至垂直位置可使轉子停止不必使用煞車。旋角控制系統局部負載範圍同樣可以幫助增加輸出。
- 1.3.3 葉片可直接驅動發電機轉子，Enercon 發電機為空氣冷卻系統的多極低電壓同步發電機。
- 1.3.4 Enercon 風力機裝配有雷擊保護系統，在大多數情況下可將雷擊導向接地，不損壞風力發電機組。

## **2. 安全介紹**

### **2.1 危險因子**

2.1.1 高空作業

2.1.2 噪音

2.1.3 接近有電設備

2.1.4 不適合的裝備

2.1.5 不適合的工具

### **2.2 工作前的五項安全準則**

2.2.1 確認設備已斷電

2.2.2 防止設備再次投入送電

2.2.3 檢查有無電壓

2.2.4 設備接地

2.2.5 對於鄰近帶電設備需做隔離或用絕緣物體覆蓋

### **2.3 個人安全設備**

2.3.1 安全帽

2.3.2 安全鞋

2.3.3 護目鏡

2.3.4 絕緣手套

2.3.5 安全帶等

### 3. 電器維護訓練

#### 3.1 交流電機基本概念

Enercon 發電機為同步發電機，以下說明交流電機基本概念：

交流電機主要分為同步機與感應機，而同步機磁場電流是由直流電源供應。在電機旋轉部分稱為轉子，靜止部分稱為定子。若電機內存在兩磁場，則會有一試著排列此兩磁場之轉矩產生。若一個磁場是由定子產生，另一個由轉子產生，則轉子將感應一轉矩且使轉子沿著自己與定子磁場轉動。

若有某方法可使定子磁場旋轉，則轉子感應的轉矩將使它沿著一個圓方向追趕定子磁場，這就是所有交流電機基本操作原理。

一組三相系統的電流加到一組間隔 120 度的定子三個線圈裏，將會在定子裡產生一個均勻的旋轉磁場，該磁場的旋轉方向可藉著交換三相中任意兩條線而改變旋轉方向。相對的，一旋轉磁場可以在同樣的線圈裏產生一組三相電壓。

在超過兩極的定子裡，機械性的旋轉一周，以電氣觀點而言不只是一周。在此種定子裡，一個機械性旋轉產生  $P/2$  的電氣週期。定子的電氣頻率與機械轉速的關係為

$$f = \frac{nP}{120}$$

f：頻率

n：轉子轉速(rpm)

P：定子磁極數

| WEC-type | n [rpm]   | Poles | pairs | f [Hz]      |
|----------|-----------|-------|-------|-------------|
| E-30     | 28 .. 72  | 14    | 7     | 3,3 .. 8,4  |
| E-40     | 18 .. 38  | 60    | 30    | 9 .. 19     |
| E-58     | 10 .. 22  | 72    | 36    | 6 .. 13,2   |
| E-66     | 10 .. 22  | 72    | 36    | 6 .. 13,2   |
| E-112    | 4,5 .. 13 | 96    | 48    | 3,6 .. 10,4 |

表 2：Enercon 風機發電機轉速及頻率

### 3.2 Enercon 發電機概念

Enercon 發電機是多極同步發電機，且風力特性為不穩定，忽大忽小，發電機電壓與頻率都與發電機轉速相關，為讓風力機穩定輸出，須將發電機輸出先整流變直流，再經過轉換器轉成 60HZ 穩定交流電。

### 3.3 電力轉換

在這頻率轉換過程中，需使用電力電子元件，電力電子提供便利的方法，將交流電力轉換成直流電力，也可將直流電力轉換成交流電力。

然而電力電子最大的問題是開關轉態瞬間所產生的電壓與電流諧波，這些諧波增加總線電流(特別是三相系統的中性電流)。諧波電流使損失增加，且增加電力元件熱量，而需要更大額定元件才能供應相同負載。另外大的中性電流會使保護電驛跳脫，使部分電力系統跳電。

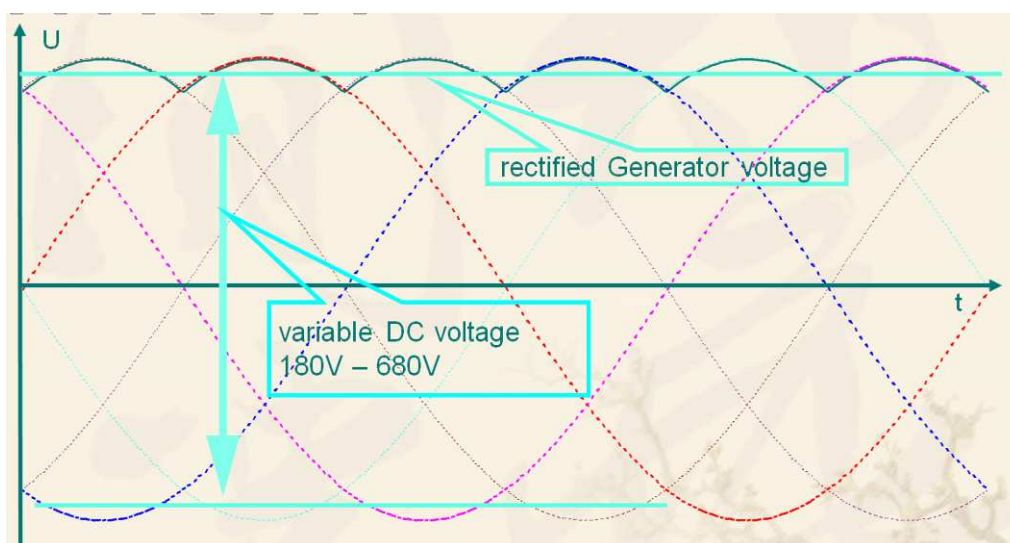
電力電子所產生的諧波標準已制定，一般控制器也已設計減少諧波的產生，利用濾波電路將諧波濾除。

### 3.4 整流箱



圖二、整流箱

如圖二為 Enercon 風力機組的整流箱，Enercon 風力機組發電機有兩組三相線圈，發電機發電後，經過濾波電路濾掉諧波，再經過整流電路，將交流變為直流(如圖三)，整流出來的直流電壓約 180~680VDC，視實際風速而定，風速越高轉子轉速越快頻率越高，電壓也越高。



圖三、經過整流後的電壓

### 3.5 電力箱



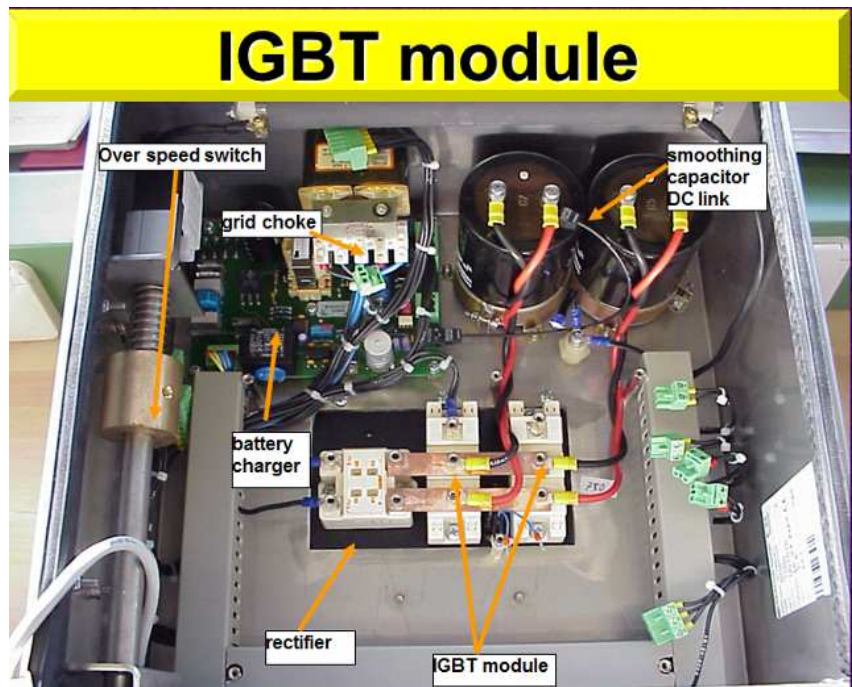
圖四、電力箱

電力箱主要的功能是将直流電轉換成交流電並且併入電網，而每個電力箱可以傳送 300KW 的電力，因此，以 E70 為例，額定功率 2300KW 就需要八個電力箱。

電力箱內有兩組轉換器(inverter)，一組轉換器產生正弦波上半部，另一組則產生正弦波下半部，兩組轉換器均由 SMI 控制器控制，要併入電網需要電壓、頻率、相位角相同才能併入，SMI 控制器就是判斷電網狀態，並且控制轉換器輸出的重要元件。

### 3.6 葉片旋翼箱

葉片旋翼箱包含控制葉片的電子元件，有兩組 IGBT 模組(圖五)，電池充電器，gird choke 和整流器等元件，旋翼控制馬達(圖六)直接連接到 IGBT 模組，並且由 Power Board 和 PC Board 控制。



圖五、IGBT 模組

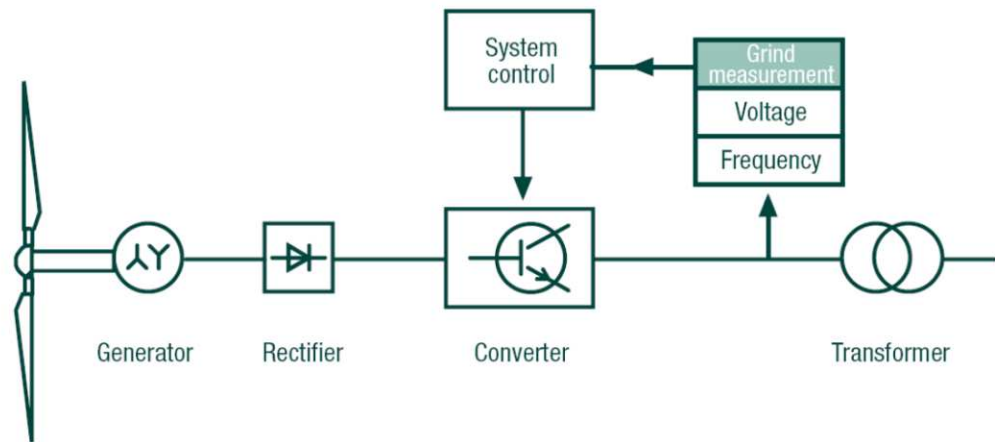


圖六、旋翼控制馬達

### 3.7 控制系統

電網監測必須確保適當的電能由風力機注入電網，在低壓側量測電網參數，如電壓、電流和頻率的轉換器，必須不斷傳遞給控制系統，使風力機組立即做出反應的變化(如圖七)。如果觸動系統或電網保護協調值時，風力機組將自動安全停機，待維修處理後再啟動。電網發生

短路時，電網事故產生電壓突降，Enercon 風力機組依然有抵抗能力。



圖七、控制系統圖

#### 4. 工廠參訪及 E126 風機參觀

本次原廠機組維護課程，也包括工廠參訪與 E126 參觀，工廠參訪包含電機工廠及葉片工廠，工廠內都有專人專責，每個人負責自己的部分，除減少出錯，工作效率也提高。

新 ENERCON 葉片設計充分利用輪轂周邊的葉片旋翼之內緣部分，可增加電力輸出。並且這種葉片新設計之尾翼(如圖八)，不僅可導引葉片尾部之風能，亦可減少在尾端之渦流並且減少噪音發射和壓力過於集中。



圖八、ENERCON 葉片尾翼

由於精簡的葉片設計，使葉片壓力降低及延長葉片壽命，並擁有更高的運輸效率。葉片表層塗裝是採用先進的雙煉聚酯化合物塗料系統，且有效保護轉子葉片表面塗料，抵抗風和水，紫外線輻射侵蝕和長期彎曲負荷。

參觀 Enercon 發電機工廠，Enercon 發電機繞線為人工繞線方式，且為風力機中最重要的部分，結合轉子樞紐它提供一個幾乎無摩擦損耗能量，而低速的運行及較少運動部件，可保證最低限度的材料磨耗，與傳統的非同步發電機相較，它特別適合重物和使用壽命長。同步發電機沒有直接與電網耦合，其輸出電壓和頻率依靠不同的轉子轉速而定，並經轉換器變成直流成分再以定電壓併入電網。使用高品質的銅導線沒有接觸電阻，且不容易受到腐蝕，也沒有材料疲勞的問題。

E126 風力機組為目前 ENERCON 發電量最大的機組，額定輸出為 7,580KW ，葉片直徑 127m ，塔底空間非常大，就連機艙內空間也很大，機艙外也有個工作平台，方便檢修風速計及航障燈。



圖九、E126 風機參觀

## 肆、心得及建議

近年來全球能源逐漸消耗且二氧化碳排放量過高而造成全球氣候產生溫室效應，再加上環保意識高漲，使得低污染、低危險的風力發電受到重視。現行的風力發電已經成為大型的再生能源中最為經濟且使用最廣泛的技術之一。尤其，在歐洲國家對於風能的使用，已經是目前非常重要的電力來源之一。因應全球能源吃緊、原油礦源期貨價格高漲，調高油電價格勢在必行，以解決發電油礦物料成本倍增之問題，風力發電/太陽能發電/生質能發電漸次取代部分(20－40%)傳統日漸枯竭的地球資源，全球有效能的國家近十年來積極獎勵研發綠色能源的商業市場，建構永續經營的環境保育綠能政策，已然成為減緩全球溫室效應的重要指標。我國對於電源的開發係兼顧能源安全、經濟發展、環境保護等目標之三贏策略進行電源規劃。由於再生能源可永續利用之潔淨能源，惟現階段再生能源以水力、風力、太陽能等發展較為成熟，亦是使用較為廣泛的能源種類。

而本公司目前已建置 161 座風力機組，總裝置容量為 286,760KW，風力機廠家有 Vestas、Enercon、GE、Gamesa、Zephyros 等，本人在修護處中部分處經管 Vestas 風機已有多年，在風機定期保養及故障檢修都已能自行完成，但 Enercon 風機在台灣還是以原廠人員進行定保及故障檢修，若要 Enercon 風機能自行定期保養及故障檢修，可以以 Vestas 風機模式，先與風機原廠簽訂合約，由原廠人員帶領本公司人員一起完成定保和故障檢修，經一段時間再由原廠人員監督下本公司人員自行完成定保及故障檢修。

在本次出國接受 Enercon 原廠風機維護訓練，原廠只提供訓練，並不會給任何資料，工廠參觀也不准拍照，在 Enercon 每個工廠內均可發現井然有序，有條不紊，每個步驟都很嚴謹，每個人都有專業。參觀 E126 風機，在現場看真的是很壯觀，塔底內就像一間房間，空間寬敞，就連機艙內也很寬敞，真是無法想像它是如何運送如何建造的。

在風力機組的維護方面有以下幾點建議：

**1 充份的人力：**

為風力機組維持妥善的重要因素，充足的技術人員，可避免工作負荷過大，造成士氣低落，也可減少過度勞累導致的工安事件，若因人員不足，可以以部分發包進行。

**2 完善的教育訓練：**

除新進人員的基礎訓練外，完整的訓練課程，建立對風力機組全面的認識，可讓工作人員在操作風力機組時，減少不正常之操作，在執行維護時，更快更容易瞭解故障的原因。Enercon 在 Aurich 設置有風機模擬器及模擬塔架，建議可以引進，可讓新進人員更快速進入狀況。

**3 技術的建立與傳承：**

初期可利用原廠技師與台電人員混合編組，支援進行定檢、故障查修工作，可迅速累積相關經驗，待台電員工可自行獨立作業時，再由資深同仁帶領後進同仁，在工作中教導傳授相關經驗，減少技術人員的斷層，加快新進工作人員的成長。

**4 維修據點的設立：**

建立維修據點時，應儘量靠近風場，除可減少工人舟車勞頓之外，在據點內可建立小型備品的庫存，減少維護時等待備品的時間，增加維護效率，加快維護人員對故障的反應速度，更可於據點建立通訊節點，以利工作人員聯絡溝通。

**5 備品與工具供應完善：**

高效率的庫存管理系統，提供完善的備品管理、準確的供應遞送，可減少人力工時，縮短風機維護時間，提高風力機組的妥善。

**6 足夠維修車輛：**

維修車輛對佔地遼闊的風力場，猶如工作人員的雙腿，而車載完備的維修工具，更如工作人員的雙臂，車輛應與人員相對應配置，提升工作人員調度效率。

期待能達成出門一次即可完成檢修工作的目標：風力機組的運轉、維護，因狹小的工作環境，只能容許少數工作人員同時進入機艙中，又因機艙位於高空，若準備之工具、料件有所疏漏，使工作人員需等待或得再次攀爬甚至需再度往返倉庫與風場之間，除耗費工時外，對維修進度有一定的負面影響，完善的倉管系統，強大的後勤支援，充足的維修車輛，完整的維修工具，都是達成出門一次即可完成檢修工作，不可或缺的要素。