

我國既有大型風力機組故障原因探討分析

The study and analysis of failure cause for large wind turbine in Taiwan

作者 1.林榮貴 工研院綠能所 工程師(稿費受款者)

* 投稿「機械月刊」 * 本文為「自撰」

* 關鍵字：風力發電機、故障、維修

摘要

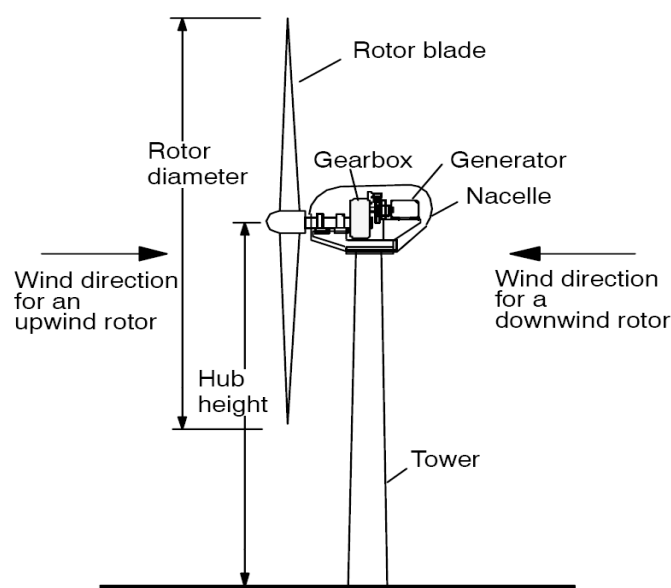
大型風力發電機為長壽命及高效能發電產品，可用率為風力發電機效能中之重要指標，其需要有非常高的可靠度設計與維運建置，其故障原因探討分析及維修技術更是相當重要的一環。本文乃依全球主要風力發電機組相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來進行分析。其內容包含大型風力發電機簡介、全球大型風力發電機故障問題與維修趨勢、我國既有大型風力發電機故障概述、大型風力發電機故障原因探討分析與維修展望等。

前言

今年 3 月日本福島附近地區發生大地震引起大海嘯，造成附近核能電廠發生爆炸而核輻射外洩引發全世界震驚、對日本產生極大的傷害；同時世界上的原油等能源正在快速減少當中，風力發電為一綠色環保的新興能源最效能之一。可用率為風力發電機效能中之重要指標，風力發電功能為將葉片轉動之能量傳輸至發電機，其動力傳遞過程為增加轉速，將葉片主軸輸入之轉速提升，使輸出軸進入發電機能以最高效率運轉發電。大型風力發電機為長壽命及高效能發電產品，其需要有非常高的可靠度設計與維運建置，其故障原因探討分析及維修技術更是相當重要的一環。本文乃依全球主要風力發電機組相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來進行分析。其內容包含大型風力發電機簡介、全球大型風力發電機故障問題與維修趨勢、我國既有大型風力發電機故障概述、大型風力發電機故障原因探討分析與維修展望等。

大型風力發電機簡介

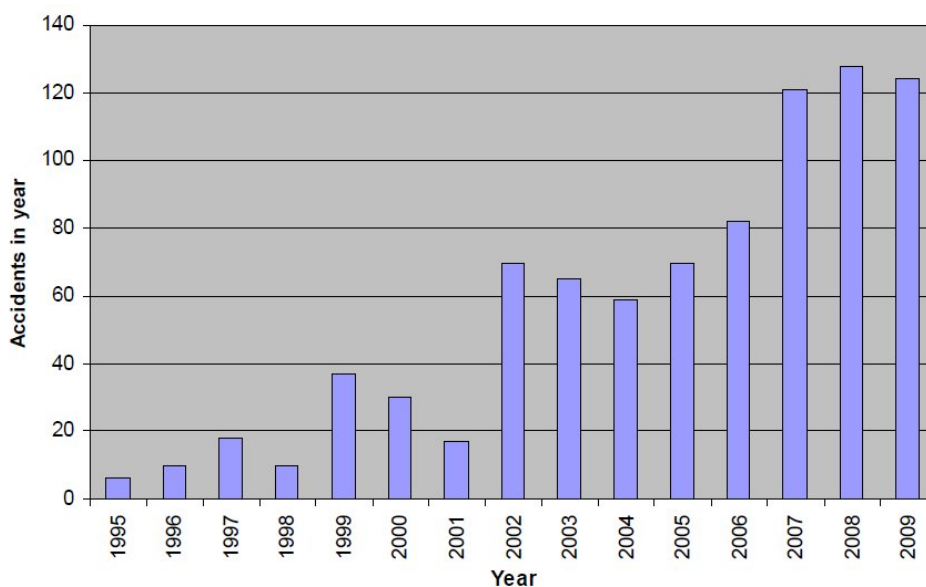
風力發電機(Wind Turbine)主要有水平軸式(Horizontal Axis)及垂直軸式(Vertical Axis)發電機兩種。其透過風吹轉動葉片(Rotor blade)而帶動主軸(Main shaft)旋轉(約 15RPM)，經由增速由其輸出端高速軸旋轉(約 1,800RPM)而帶動發電機(Generator)發電。大型風力發電機大多為水平軸式風力發電機示意圖依 ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03 如圖一。大型風力發電機大多配置於環境較為惡劣場所；其重量多達約百噸、配置又高維修不易，故其可靠度極為重要；當然其維修要求，更須與一般設備的作法不同了。



圖一 大型風力發電機示意圖

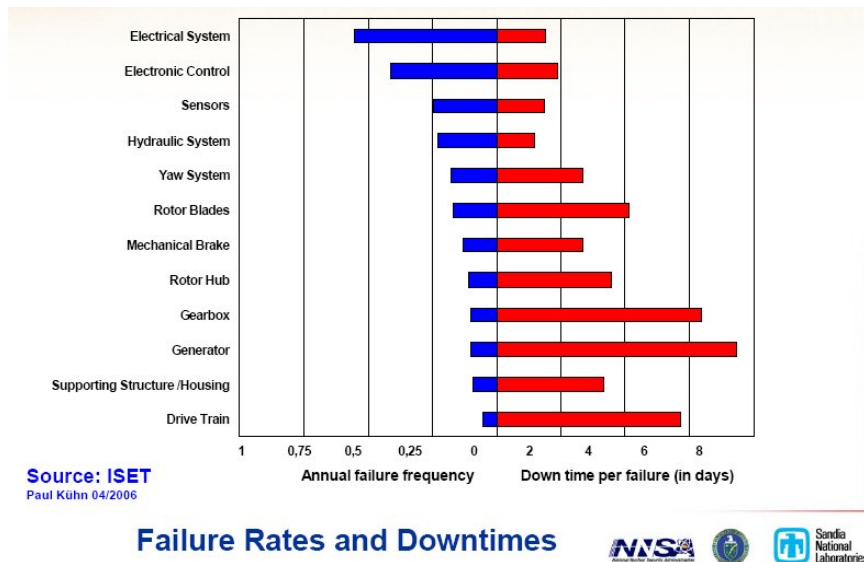
全球大型風力發電機故障問題與維修趨勢

全球風力發電機意外事故問題，依英國風力發電專業機構 CWIF(Caithness Windfarms Information Forum)統計，全球風力發電機意外事故發生件數，2001 年以前每年僅約 40 件；隨著風力發電機設置數快速成長，於 2009 年全球風力發電機意外事故發生件數已超過 120 件；故趨勢顯示，風力發電機設置數快速成長，也將快速伴隨引起風力發電機意外事故發生如圖二；主要意外事故故障問題，有葉片失效(blade failure)、火災(fire)、結構失效(structure failure)、冰擊(ice throw)、運輸(transport)、環境破壞(environmental damage)及其他零組件失效(other failure)。在強調發展風力發電機技術與產業上，大型風力發電機故障問題的探討分析與改善，無疑是相當重要的課題。



圖二 全球大型風力發電機意外事故發生趨勢圖

全球風力發電機零組件故障問題中，依 Sandia National Laboratories 統計，每次故障而停機時間長短依序為發電機(generator)、齒輪箱(gearbox)、傳動系統(drive train)、葉片(rotor blade)、輪轂(rotor hub)、支架/機殼(supporting structure/housing)、轉向系統(yaw system)、機械煞車(mechanical blade)等；每年故障頻率多寡依序為電力系統(electrical system)、電子控制(electronic control)、感測器(sensor)、液壓系統(hydraulic system)、轉向系統(yaw system)、葉片(rotor blade)、機械煞車(mechanical blade)等如圖三，且由 Northern power system 公司調查，每次零組件故障更換成本如齒輪箱多達約 300,000 美元；故風力發電機良好維運，對風力發電機營運效益，相當重要。



圖三 風力發電機零組件失效頻率與停機時間圖

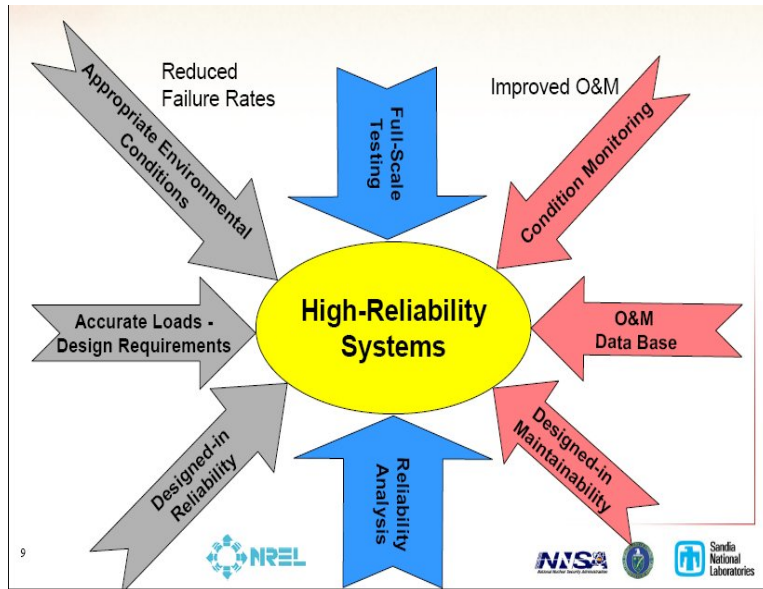
全球風力發電機零組件故障維修趨勢，主要參考歐美風力發電機零組件專業維修廠商如 Frontier Pro Services、Northern power system、GasTOPS、Sandia National Laboratories 等、相關技術文獻與規範如 IEC、ISO 等相關現況與實際投入經驗來探討。

依據 Roger Hill 研究，風力發電機可靠度必須由減少失效率(Reduced Failure Rates)與改善操作維修(Improved O&M)來達成如圖四；風力發電機零組件故障維修亦須依此方向來推展。減少失效率(Reduced Failure Rates)方面，著重於適當的運轉環境(Appropriate environmental conditions)、正確的負載設計需求(Accurate load design requirements)、可靠度設計(Reliability design)；改善操作維修(Improved O&M)方面，則著重於維修設計(Designed-in maintainability)、建置 O&M 資料庫(Data base)、監控(Condition monitoring)、全載測試(Full-scale testing)、可靠度分析(Reliability analysis)。

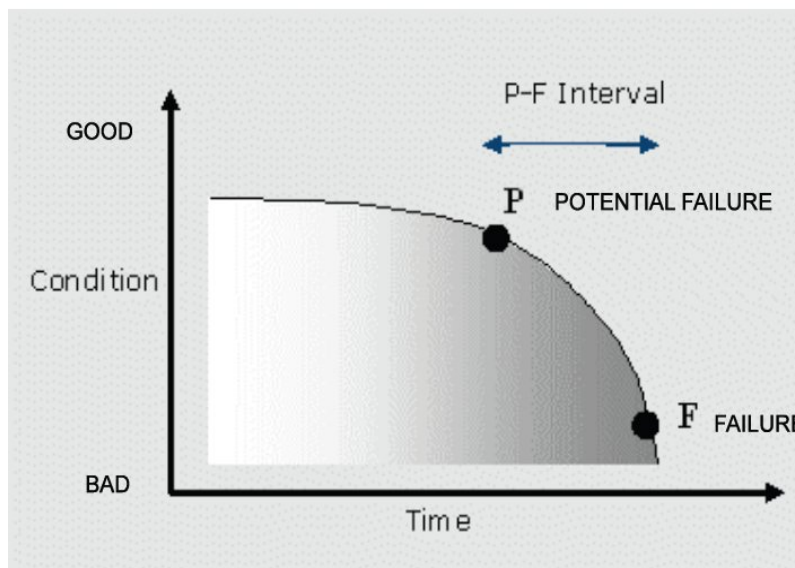
預防監控維修是重要且為未來全球風力發電機零組件故障維修趨勢。依 GasTOPS 公司 Richard Dupuis 研究，風力發電機零組件故障損壞可分為潛伏失效(potential failure)與破壞失效(failure)如圖五；分為初期破壞期(Break-in)、健康期(Healthy)與損壞期(damaged)。當損壞達初期破壞期為注意狀況；當損壞繼續擴大達預警狀況(Warn limit)、仍在健康期可接受範圍但需準備維修；如不理睬，損壞將繼續擴大達警告狀況(Alarm limit)；如再不理睬，損壞將繼續擴大造成破壞性失效(failure)。

全球風力發電機零組件故障問題，依據美國 Frontier Pro Services 維修專家 Jack Wallace 研究得出，由於風力發電機結構及零組件複雜大型化，重量多達約百噸，殼體及主傳動軸均會變形，對軸承及軸調心有負面影響；同時風力發電機零組件在高溫等惡劣環境，亦會引起短路或材質劣化而造成諸多故障。

一般風力發電機零組件故障，其故障原因複雜，不會只有單一原因；通常運轉狀況，大都由監控機制(含電控通訊訊號、潤滑油及軸承溫度、轉速、振動及噪音與現場目視等)、維修體系所掌控，即可據以分析故障原因。



圖四 風力發電機可靠度示意圖



圖五 風力發電機零組件潛伏與破壞失效示意圖

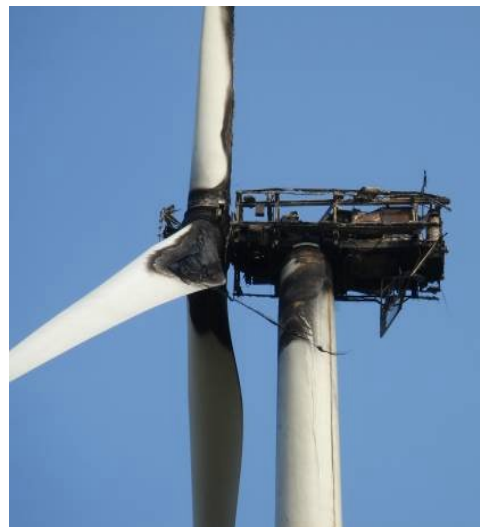
我國既有大型風力發電機故障概述

台灣地區風力資源豐富，尤以西部沿海風況十分良好，經評估台灣地區陸上風力潛能，至少有1,200MW以上發展潛力，截至2010年底止，我國既有風力發電機組設置，包含已商轉、興建中及籌措中之風力發電機組，全部共約380部風力發電機組，總裝置容量高達約725MW。隨著風力發電機組設置的成長，風力發電機組的故障問題也變得更加嚴峻；依據立法院公報第98卷第12期顯示，我國既有風力發電機組之可用率如表一；由表一顯示，風力發電機組之可用率，主要由風力機組製造廠家、設置地點環境等所影響。Shanghai Zhang也指出，風力發電機組之可用率，主要由氣候狀況、電網特性、操控員素質、管理問題與風場特性等所決定。

風力機組	製造廠家	台數	單機額定容量 (KW)	總額定容量 (KW)	97.10 止平均可用率 (%)	商轉日期
澎湖中屯風力	Enercon E40	4	600	2400	89.54	90年9月
澎湖中屯風力	Enercon E40	4	600	2400	89.54	93年12月
石門風力	Vestas V47	6	660	3960	93.96	93年10月
恆春風力	GE 1.5S	3	1500	4500	77.96	94年1月
大潭風力	GE 1.5S	3	1500	4500	59.75	94年3月
大園觀音風力	GE 1.5S	20	1500	30000	38.9	94年10月
台中電廠風力	Harakosan Z-72	4	2000	8000	10.73	95年6月
台中港區風力	Harakosan Z-72	18	2000	36000	46.54	96年12月
新竹香山風力	Gamesa G80	6	2000	12000	49.9	96年12月
彰工風力	Vestas V80	31	2000	62000	92.83	96年4月

表一 我國風力發電機組之可用率

我國既有風力發電機組曾經發生過機艙起火燒毀、風力機遭颱風吹倒，以及螺絲斷裂導致葉片飛脫等重大事故如圖六、圖七、圖八。



圖六 我國既有風力發電機組曾經發生過機艙起火燒毀



圖七 我國既有風力發電機組曾經發生過螺絲斷裂導致葉片飛脫



圖八 我國既有風力發電機組曾經發生過風力機遭颱風吹倒

我國既有大型風力發電機組之一般故障問題，經統計整理與中國大陸大型風力發電機組一般故障問題相當類似；大型風力發電機組亦許多由歐美風力發電機製造商如Vestas所提供。依Shanghai Zhang對中國大陸大型風力發電機組一般故障問題研究，主要如表二。

項次	故障項目	故障現象	故障說明
1	齒輪箱(Gearbox)及傳動(Drive train)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 齒面點蝕(corrosion of point)甚至輪齒崩壞。 2. 軸承或軸心磨損(bearing worn)。 3. 殼體破裂(housing fracture)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.冷卻不足，潤滑油過熱。 2.產生金屬粉粒，潤滑油劣化。 3.不適當的潤滑油種類。 4.軸承孔偏心或間隙過大，軸承偏移。
2	發電機Generator)及電力轉換(converter)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 轉子不平衡(rotor unbalance)。 2. 定子線圈損壞(coil damage)。 3. RCC(rotor current control)失效。 4. 軸承或軸心磨損(bearing worn)。 5. 冷卻系統失效。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電力轉換控制模組失效。 2. 轉子滑環失效。 3. 定子溫度高。

3	葉片(Blade)	1. 雷擊破壞(lightning damage)。 2. 表面損傷。	1. 防雷擊系統失效。 2. 葉片製造品質不佳。
4	控制器(Controller)及輪轂(Hub)	1. 感測器失效。 2. 控制模組失效。 3. 軟體失效。	1. 控制軟體失效。 2. 旋角(pitch)控制模組、旋角馬達煞車失效。 3. 輪轂密封及通風不佳。 4. 通訊及監控不佳。
5	塔架(Tower)及轉向(Yaw)	1. 塔架液壓煞車失效。 2. 塔架倒塌。	1. 轉向摩擦系統煞車失效。 2. 塔架結合螺栓損壞。 3. 通風不佳。

表二 我國既有大型風力發電機組之一般故障問題

我國既有大型風力發電機故障原因探討分析與維修展望

風力發電機維運好壞，影響因素包含風力發電機設計、維運環境、風場負載、維修體系、零組件製作組裝品質、維修設計、Q&M資料庫、監控及可靠度分析等。

風力發電機故障原因，依Shanghai Zhang研究，通常由許多不良因素合併產生。故有賴嚴密管控維運影響因素，尤其對包含天候(climate)、風場設計(wind farm design)、風力發電機安裝(installation)、風力發電機設備(machinery)、風力發電機品質(quality)及風力發電機服務(service)的嚴密研究，才可能確保運轉品質進而提高風力發電機齒輪箱維運可靠度。

風力發電機可能故障原因探討分析如表三。

項目	故障影響因素	可能故障原因探討
1	天候(climate)	1. 暴風(storm)、颱風(typhoon)。 2. 砂塵害、鹽害(salt fog)、高溫。
2	風場設計(wind farm design)	1. 尾流(wake)等不良效應。 2. 高度變異、超估風力資源。 3. 旋角、葉片表面等性能不佳。
3	風力發電機安裝(installation)	1. 安裝扭矩(torque)不佳。 2. 參數(parameter)設定不佳。 3. 基礎及塔架設計不佳。
4	風力發電機設備(machinery)	1. 傳動軸偏心、過大軸承間隙。 2. 設計不符合使用環境、潤滑油質劣化。 3. 溫度控制系統不佳。 4. 密封不佳。 5. 電壓及功率異常。 6. 防雷擊不佳。
5	風力發電機品質(quality)	1. 設計品質不佳。 2. 製造品質不佳。
6	風力發電機服務(service)	1. 製造廠倒閉、缺備品。 2. 諮詢支援不足、原廠服務人員維護能力不足。 3. 備品交期過長。

表三 我國既有大型風力發電機組之故障原因探討分析

風力發電機齒輪箱維修展望方面，依行政院 96 年召開之 SRB 產業科技策略會議、97 年 4 月行政院會通過經濟部所提「綠色能源產業旭升方案」、97 年 10 月 8 日經濟部向行政院提報「新兆元能源產業旗艦計畫」規劃案，選定九大能源重點產業：太陽光電、風力發電等、98 年 6 月 12 日「再生能源條例」三讀通過，顯示有效益之大型風力發電產業，大為看好；而其相關風力發電機維運，更是相當重要的一環了。

結論

大型風力發電機為長壽命的產品，維修不易、其需要有非常高的可靠度設計與維運建置，其故障原因探討分析及維修技術更是相當重要的一環。

一般風力發電機零組件故障，其故障原因複雜，不會只有單一原因；通常運轉狀況，大都由監控機制(含電控通訊訊號、潤滑油及軸承溫度、轉速、振動及噪音與現場目視等)、維修體系所掌控，即可據以分析故障原因。

我國既有大型風力發電機組之故障原因，主要為天候(如水土不服)與風力發電機組安裝(如基礎及塔架設計不佳)、設備(如溫度過高)、服務(如備品交期長、諮詢支援不足)等；透過建置完整大型風力發電機故障原因探討分析及維運技術，可驗證風力發電機由規劃、分析、設計、製造、組裝及實際運轉相關優缺點，進而建立完整具競爭力的風力發電機技術；同時，風力發電機的維運成功，也將提升整體大型風力機的可用率進而提高發電效益。

建置風力發電機良好維運功能，則需包含風力發電機設計、維運環境、風場負載、維修體系、零組件製作與組裝品質、維修設計、Q&M 資料庫、監控及可靠度分析等的有效整合；尤其更應確保零組件合理功能、定期更換消耗零組件、合理運轉環境、適當控制合理負載、適當溫度控制功能、排除漏油、合理監控品質、定期抽樣檢查與異常追蹤改善處理等的有效執行。

可預先預警有效提高可靠度之預防監控維修技術如電控訊號、潤滑油油質、振動、軸承與潤滑油溫度等監控與有效整合回饋改善，是目前及未來相當重要的維修技術課題。

誌謝

本研究工作承蒙能源局資助，謹此致謝。

參考資料

- [1] ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03, Wind turbine generator systems – part4 Gearboxes for turbines from 40 Kw to 2 MW and larger,2004.(規範)
- [2] Bin Lu, Yaoyu Li, Xin Wu and Zhongzhou Yang, A Review of Recent Advances in Wind Turbine Condition Monitoring and Fault Diagnosis 2009. (網頁文獻)
- [3] CWIF, Summary of Wind Turbine Accident data to 30 June 2010.(網頁文獻)
- [4] Germanischer Lloyd, Guideline for the certification of wind turbine,2003.(規範)
- [5] IEC 61400-1, Wind turbines- Part1 : Design requirements,2005-2008.(規範)
- [6] Northern power system, The gearbox problem, 2009. (網頁文獻)
- [7] Risø National Laboratory, Failure Database and Tools for Wind Turbine Availability and Reliability Analyses,2000. (網頁文獻)
- [8] Roger Hill, Wind Turbine Reliability, 2006.(網頁文獻)
- [9] Sandia National Laboratories, Wind Turbine Reliability:Understanding and Minimizing wind turbine operation and maintenance costs, 2006. (網頁文獻)
- [10] Shanhui Zhang, Problems Experienced with Operating Wind Farms in China(網頁文獻)
- [11] 中國時報報導, 2008. (網頁報導)
- [12] 立法院公報,立法院公報第 98 卷第 12 期委員會紀錄. (網頁文獻)