

## 風力機組傳動鏈故障診斷系統建置與分析

# Analysis and Construction of a Wind Turbine Drive-train Fault Diagnosis System

劉瑞弘<sup>1\*</sup>、陳錦城<sup>2</sup>、吳孟儒<sup>2</sup>、彭致勛<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南臺科技大學 機械工程學系

<sup>2</sup>工業技術研究院 綠能與環境研究所 動能與溫差發電研究室

Jui-Hung Liu<sup>1\*</sup>, Jien-Chen Chen<sup>2</sup>, Meng-Ru Wu<sup>2</sup>, Chih-Jsun Peng

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan, Taiwan

<sup>2</sup>Industrial Technology Research Institute, Hsinchu, Taiwan

\* dofliu@stust.edu.tw

### 摘要

國內大型風力發電機組運維技術基礎已逐漸完善，為了提升國內運維能量，本研究導入遠端監控與故障診斷系統，實際裝設於國內陸域風場，針對風力機不同部位的工作頻率進行有效的監測，同時可透過本系統的演算法及時的找到一項施工組裝上的缺失，早期做出的警告，避免重件損壞。對於大型風力發電機組而言，裝設故障預診系統卻有其必要性，除了可針對運轉所致的次系統元件損傷進行診斷壞，也可對其他維修組裝可能未盡完整的狀態，提出警告。此技術經過長期累積之監控資料，可運用於國內離岸風場之運轉維護技術。

關鍵詞：風力發電、傳動鏈、故障診斷、振動監測

### Abstract

Domestic O&M capacities for the large scale wind turbine were built in recently years. To level up this technology, Condition Monitoring System, CMS, is introduced to the MW wind turbine. The benefit of CMS is not only diagnosing a damage part in subsystem but also detecting a flaw of assembly and install process. CMS shows condition and warning to reduce cost of wind farm O&M.

**Keywords:** Wind turbine, Drive-train, Fault Diagnosis, Vibration monitoring

### I. 前言

國內現有陸域風場已漸漸進入其設計壽命的第二的階段，亦即進入二十年中的第二個十年。一般而言風力機建置前幾年，包含保固、日常維修保養、故障排除等工作，仍然會由原廠來負責與支援派工，提供服務。不過隨著合約到期，加上國內廠商與人力也在初期維修期間參與，也累積了一些維修經驗。因此過去幾年開始陸續也有部分陸域風場是由本土的專業運維廠商來負責，可見國內其實已具備維修大型風力發電機組能量。

不過本土廠商原廠支援受限的前提下，許多監控能量診斷其實也有限，尤其對於傳動鏈的故障診斷，這部份的能量其實是欠缺的。

為讓廠商在運維上能更進一步，希望廠商能夠在故障發生之前，配合日常定期檢修，就可提前避開重大故障的發生。因此規劃了故障預診系統在風力機的應用並實現。最後亦配合廠商參與業者先期參與的合作案，協助廠商建置更新遠端監控與故障系統。

針對大型風力機設備若採用狀態監測系統的話，相

較於傳統定期保養可大幅拉長保養週期，省掉許多不必要的保養次數，也可以避免零組件故障才修的窘境，在故障狀態快發生前介入保養維修。如此一來備品調度的時間寬裕，連帶的還可以做出最佳維修排程規劃，縮短從故障到維修完畢的故障停機時間，進而減少系統營運上所需支付的大型元件維護成本。

### II. 風力機預診系統介紹

根據前述狀態監控系統(Condition Monitoring System, CMS)的基本精神，本研究從國外現有產品中進行挑選比較，選定目前具備最多大型風力機應用實績的Bachmann 這家公司的產品，作為符合本次研究案指定須以國外成熟產品的目標。Bachmann 的 CMS 系統源自德國，目前總部位於奧地利。Bachmann 在大型風力機的控制系統是除了原廠控制系統以外的最大廠商，由於對風力機設備運轉有長足經驗，因此投入 CMS 領域也駕輕就熟，目前全球受 Bachmann 監控中的風力機超過 1500 部，包含超過 20 種不同製造商的系統，容量從 250kW 到 5MW 的離岸皆有，因此可說是非常有經驗也有實際經驗的廠商。而且由於對控制系統的了解，該公司之 CMS 也可輕易整合到原本採用 Bachmann 架構的控制系統中，讓 CMS 能夠有更完整的參考資訊來進行監控診斷。下圖 1 為 Bachmann CMS 的基本架構，透過振動訊號經由感測器回傳到主要的訊號擷取模組之後直接透過網路回傳到資料處理中心進行處理，操作人員、管理人員、營運開發商等，就可以透過這個介面即時的監看或分析資料，做出即時的反應。

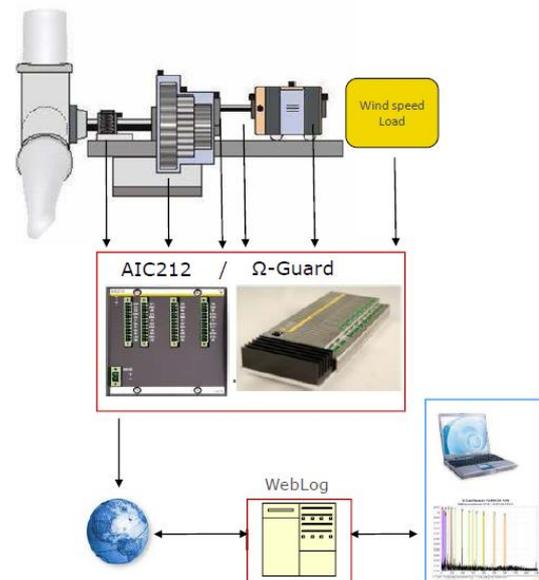


圖 1、Bachmann CMS 架構

III. 預診系統資料分析

預診系統的好壞除了完善的硬體架構規劃，以取得正確的運轉振動資訊外，如何主動地透過智慧演算法進行資料分析，盡早發出警告，才是 CMS 的重點。Bachmann CMS 是一套規劃完善的系統，對風力機運轉資料的監控從資料擷取開始，到資料分析、警告處理與顯示、診斷工具等都可透過網頁式的 Weblog 介面完成，該介面並可包含不同風場不同風力機系統，使用者只要有帳號便可隨時隨地透過網路登入，同時可監看風場統計資料或是單一風力機的統計資訊。CMS 系統在硬體安裝完畢後，便會持續收集資料，並進行分析。使用者可透過 Bachmann 開發的網頁介面 Weblog 來監看。

收到資料後，系統會作如下處理：

1) 資料擷取辨識(Data Acquisition)

風力機根據風況不同，操作條件與環境設定不同，可能會有不同的運轉發電輸出策略。所產生的運轉資料，振動資料也都會有差異性。因此我們會根據不同的操作範圍，如下圖 2 來將所擷取的資料進行分類處理，以根據不同類別來進行不同的診斷。而這項功能也正符合國際規範(IEC 61400-25-6)中所要求的，CMS 必須能夠將運轉資料切分成不同的群組(bins)以做出更準確的判斷。除此之外，Bachmann 也將風力機中的元件進行分類，以配置最佳的感測器安裝位置(如圖 3)，從主軸承、增速齒輪箱、以及發電機等，各個感測器有其各自需求的規格與測量方式，以取得該元件真正反應出來的特性。並且基於對傳動元件的了解，再將元件細分到如圖 4 中所拆解的齒輪箱元件，就有辦法根據每個組元件的規格來計算可能影響的頻率。

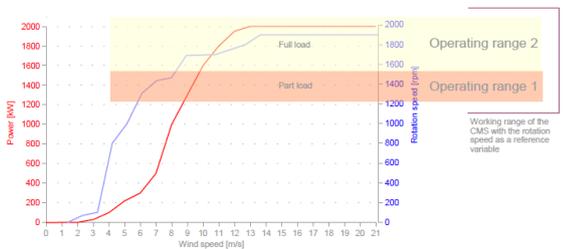


圖 2、根據不同操作範圍進行監控

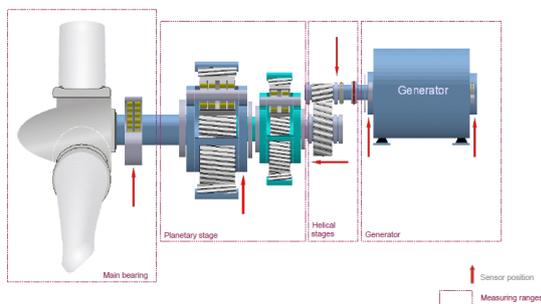


圖 3、根據元件分類配置感測器

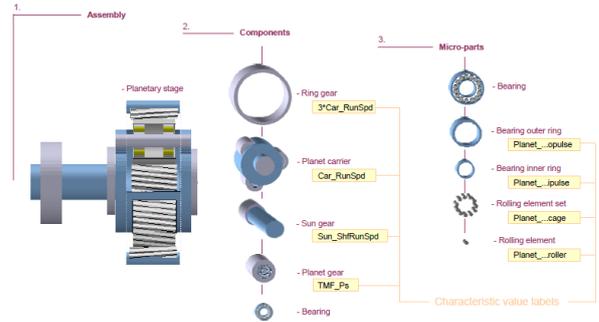


圖 4、將行星齒輪組細分到單一組件

2) 診斷工具(Diagnosis Tool)

診斷工具可提供專業訊號分析人員，進行細部運轉狀態的了解。Weblog 提供即時線上操作的功能，可即時於線上從資料庫中選取欲觀察的訊號，然後透過 Weblog 的工具 Vtool 可以從很多不同角度來觀察訊號，以進行比較分析。以下圖 5 為例，左邊為時域訊號，可選擇觀察 1 週到 2 年的長期資料，得到整體的訊號趨勢走向。也可從這個圖上顯示有問題的時間點等等。在配合右方的頻譜圖形，可以觀察不同感測器所得到的頻譜，來分析該訊號。頻譜圖並會根據規格設定，預先將關鍵的頻率範圍以不同色塊來顯示，使用者觀察上就非常簡易。

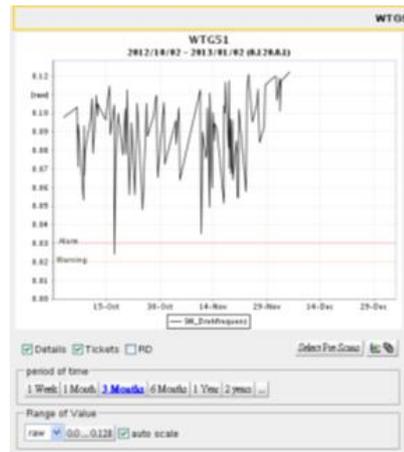


圖 5、Vtool 訊號診斷工具 I

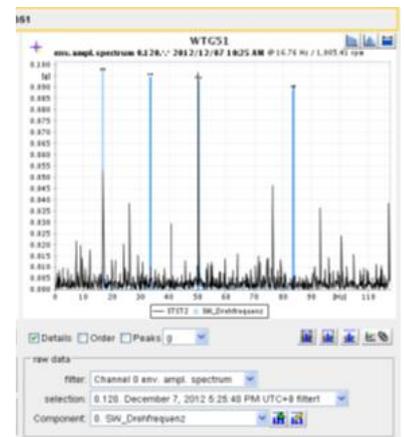


圖 6、Vtool 訊號診斷工具 II

III. 預診系統規劃與安裝

決定好軟硬體系統後，接著必須根據選定的機組規

格來配置適當數量與規格的感測器。

### 1) 低頻振動感測器：

- 需求之頻率範圍： $\pm 3\text{dB}$ ， $0.2\sim 10\text{kHz}$
- 為確保能更反應出直驅式系統低轉速特性，本案採用 CMS 原廠支援之低頻感測器，頻段更低，範圍為  $0.05\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$ ，只針對  $1\text{kHz}$  以下訊號測量。如下圖中長方形的 usen 感測器，與一般加速規原理的感測器不同，採用類似應變規的理論來測量振動。



圖 7、低頻與高頻感測器安裝

### 2) 高頻振動感測器：

- 需求之頻率範圍： $\pm 3\text{dB}$ ， $0.5\sim 10\text{kHz}$
- 本案採用之高頻感測器，頻段為  $0.5\text{Hz}\sim 14\text{kHz}$ ，可測量軸承內部滾柱、保持架等細部元件可能產生的較高頻率。



圖 8、高頻感測器外觀 II

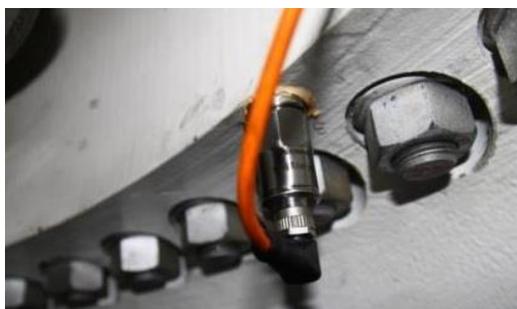


圖 9、高頻感測器安裝

### 3) 訊號處理模組：

- 需求之類比輸入頻道數：3
- 需求之電壓輸入頻道數：9 (Piezo Inputs, ICP Standard)
- 需求之 Ethernet 網路通訊埠：1

- 本次採用之訊號處理模組，亦與原廠搭配為同一廠牌 Bachmann 的硬體。包含了一個進行訊號擷取的高速精密模組 AIC222，以及一個進行資料儲存、處理、統計、過濾的主運轉模組 MX213。MX213 內建 CPU 處理器、一般網 Ethernet 路通訊、RS232/485 序列埠通訊、USB 介面供資料存取、並可支援 CF 卡。AIC222 則具備同時擷取 9 個 ICP/IEPE 相容之感測器訊號、3 組類比訊號輸入，透過編碼器與計數器頻道，可讀取傳速計訊號，具備完整振動訊號監測的功能。



圖 10、訊號處理模組安裝



圖 11、資料處理模組(3 組類比輸入、9 組壓電輸入、1 組計數器、1 組編碼器、1 組網路埠、1 序列埠)

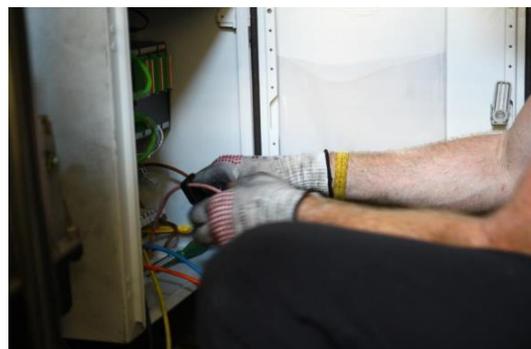


圖 12、訊號處理模組安裝

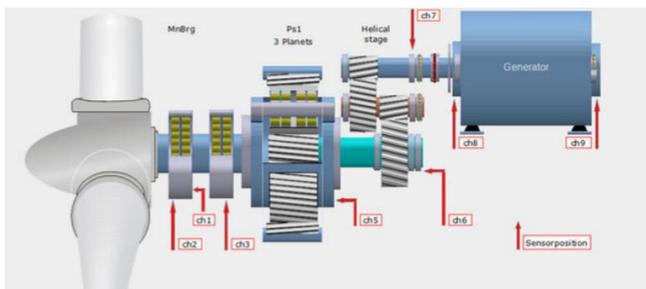


圖 13、傳動鏈架構與感測器配置圖

為了能夠了解並學習風力機組的運轉特性，CMS 安裝完畢後，會經過至少三個月的調適期，盡量測量其在不同風速與發電量的運轉條件下的輸出，以便建立適當的正常振動響應值。就可以按照此基準值，配合各個部件的特徵頻率，可由不同軸承的滾珠滾柱數量、齒輪齒數等參數計算出來後，進行判別。除此之外，更進階的預警判別會透過各項統計特徵值的計算，加上時頻域的分析工具，進行健康狀態的判斷。

#### IV. 診斷結果分析

系統安裝並且設定好警告值後，團隊便持續針對機組進行監測。表 1 為風場故障監控系統報告。透過這樣的定期分析診斷報告，可以定期追蹤了解機組健康狀態，確保故障可在早期預知。此監測部位如圖 13 之傳動鏈架構與感測器配置圖(Ch9)，發現此振動倍頻現象發生如圖 14 所示，發電機末端軸承外環頻譜趨勢，可以明顯看出振幅明顯高於警戒值，再進一步由旋轉頻率倍頻響應分析結果顯示確實有振動倍頻產生，經人員檢修後發現當時更換發電機後，其中一顆螺栓並未完全鎖緊，導致振動過高，經排除後此狀態已經減緩，振幅回復原本警戒值內，因此透過此裝置有效避免系統因為振動過大導致其它零組件故障引發更大之故障。若以此簡單估算可用率的差異，鎖緊螺栓只需不到一小時，但若是沒有及時發現導致發電機或軸承故障，不僅花費是幾十幾百倍的等級，可能至少要一個月的訂購與備貨以及吊車拆卸與安裝，可用率也因此相差了 8% 之譜。

表 1、香山風場 CMS 監控系統報告

|      |                        |
|------|------------------------|
| 風力機  | Gamesa G80 香山一號機       |
| 警告位置 | 發電機末端 NDE (Ch9)        |
| 警告部位 | 發電機軸承-外環滾珠頻率(BPFO)振幅異常 |
| 重要性  | 高(Very High)           |

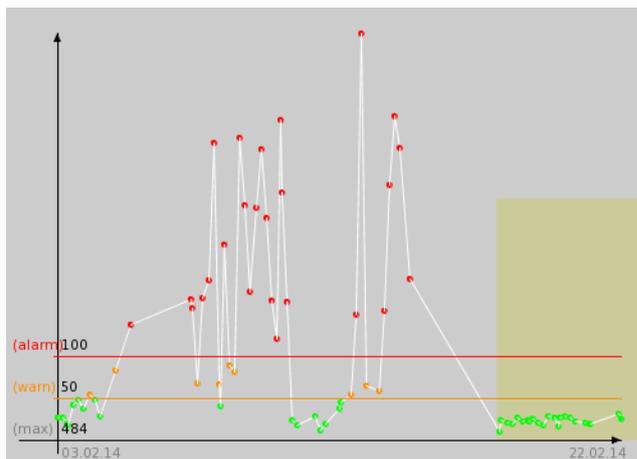


圖 14、發電機末端軸承外環頻譜趨勢



圖 15、未鎖固完全之發電機基座螺栓



圖 16、發電機末端軸承外環頻譜趨勢

## V. 結論

本次施行之 CMS 預診監控系統，總共安裝了九個高低頻不同頻段的加速規感測器，已針對不同部位的工作頻率進行有效的監測，並且也透過本系統的演算法及時的找到一項施工組裝上的缺失，早期做出的警告，避免了後面可能導致發電機甚至齒輪箱的損壞。可見對於大型風力發電機組而言，裝設故障預診系統卻有其必要性，除了可針對運轉所致的次系統元件損傷進行診斷壞，也可對其他維修組裝可能未盡完整的狀態，提出警告。對於未來海上離岸的風力機組，在無法輕易接近檢修的狀態下，對於 CMS 的需求更是迫切。透過持續訊號的擷取與分析，國內也可更深入的研究智慧型演算法，以期在故障判斷的準確度以及時間上能夠更進一步。

## IV. 誌謝

本文能夠順利完成，感謝經濟部能源局補助之「千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發計畫」(104-DO106)，使本工作得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 參考文獻

- [1] Wenxian Yang, P.J. Tanver, Cost-Effective Condition Monitoring for Wind Turbines, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.1, 2010
- [2] Bachmann Electronic GmbH, "User manual M-BASE V3.80," 2012.
- [3] P. Tavner, "Offshore Wind Turbines: Reliability, availability and Maintenance," The Institution of Engineering and Technology, London, 2012.
- [4] Bachmann, "User Manual, Weblog", 12<sup>th</sup> Dec., 2012.