

工業 4.0 盲點二：只重其形，不得要義

「預知保養」防患未然 複合式檢測相得益彰

■文：任苙萍



照片人物：台灣科技大學機械工程系助理教授劉孟昆

僅單純想解決機械本身的問題，真需如此大費周章？他認為，「過於注重工業 4.0 架構而忽略產業真正需求，並不恰當」；必須洞悉產業特性，且基於足量且多樣化的數據建立演算模型，才能發揮效益。

設備維護三層次：事發、預防、預知

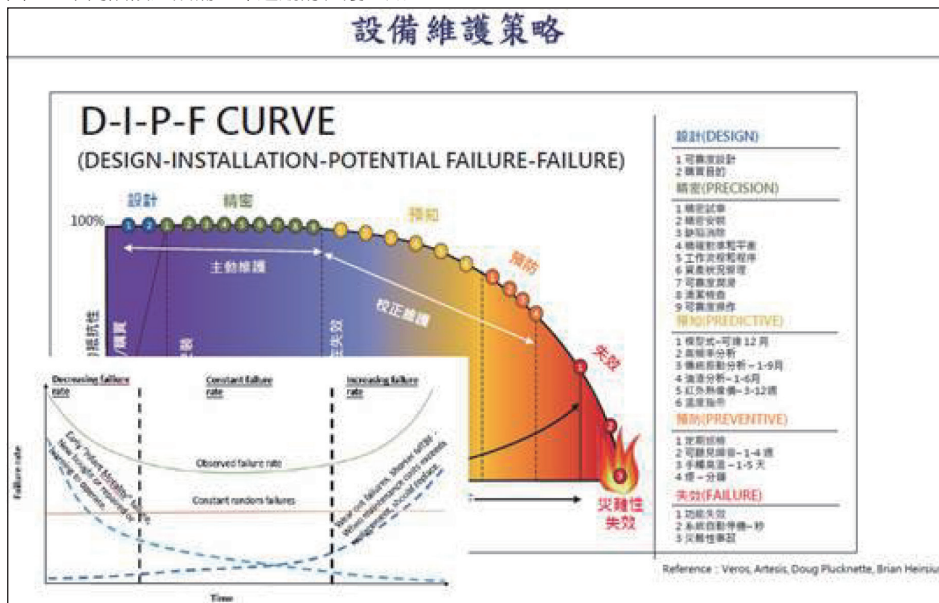
劉孟昆指出，交流感應馬達 (Induction motor)、水泵等設備有配重限制，運轉速度一快就會振

動；當偵測到異常，可適時降速。但他強調，這是治標不治本的作法，設備的維護、故障排除與節能考量其實打從設計、組裝就開始。設備機台的維護有三個層次：

1. 事發修復 (run to failure) —— 由事件驅動，等設備故障才設法改善或重新設計以延長使用壽命；
2. 預防保養 (preventive maintenance) —— 可依循時間週期或設備狀態驅動；
3. 預知保養 (predictive maintenance)

工業 4.0 促使智慧機械 圖 1：不同階段之設備生命週期的維護重點

趁勢而起，坊間已出現可依感測資料調整設定的工具機產品，另有鑑於塑膠射出成型對溫度、壓力變化非常敏感，造成良率下降，台灣廠商如全立發、百塑等亦開發智慧型射出成型機，可監測環境及製程狀態，並用以調整製程參數。然而，台灣科技大學機械工程系助理教授劉孟昆提出一個反思：精密感測器代價高，且資料的收集、儲存、管理、聯網及應用軟體皆是成本；如果業界



maintenance) ——架構於預防保養上，配合生產製程條件建立可預測異常失效的模型、預先規劃修正措施，在故障初期即可藉微小變異預估設備剩餘壽命並量化成本效益。

以構造簡單、成本低廉、應用廣泛的感應馬達為例，正確的預知保養並排除設備的初期故障，可節省 5 ~ 20% 能耗。劉孟昆指出，理論上，馬達接近全載時效率最高，但實務上基於可靠度起見，寧可讓多台馬達以 50% 效率同時平行運轉，意謂有半數能源將被浪費！據估計，感應馬達在工業用電佔比達 70%、佔全國總用電量 40%，全天候開啓的能耗可觀；雖說馬達初期置換效率可提升三成左右，但現今馬達多半已是 IE3 或 IE4 級別，升級效率不到 5%。假如處於「半載運轉、但振動未達極限值」，效率會更低；且只量測振動無法評估設備運轉效能，須借助預知保養、依設備即時狀態進行維護。

此外，平行運轉會導致機組「掛點」的時間點相近，越早預知狀態、計算效率，以便及時修護或置換，越有助於備料、估算排程並避免額外損失，偏偏早期振動訊號的微幅上升難以察覺——機台剛裝機時因不可避免的磨耗，故障率最高，中段進入穩定期，但經過歲月洗刷後，故障機率又會變高；唯有預知維護才能減少無預警停機。劉孟昆表示，預知保養的檢測技術眾多、莫衷一是，無法一招行遍天下，各家互有長短、相輔相成。其

中，「振動特徵分析」常用於檢知機械運作，目前業界大多參考 ISO 10816，對於不同的設備功率及基座安裝型式，訂有對應的振動速度方均根值上限及安全等級。

振動診斷：振動量測 vs. 頻譜分析

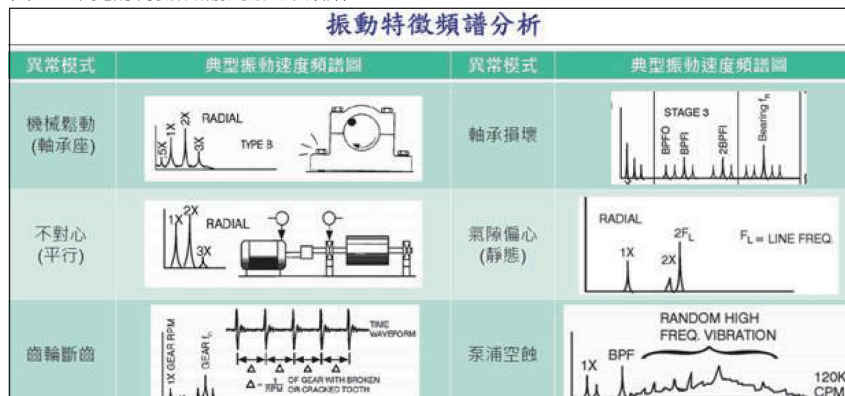
典型作法是由廠務設備人員以手持式振動量測儀定期巡檢，觀測振動加速度或速度振幅的方均根值 (RMS) 是否有成長趨勢？是否超出訂定的閾值極限？此法可以概括的得知機台的整體狀態，但無法進一步確認故障的成因，且無法預測突發式的故障。另一個方法是觀測振動頻譜，更能辨識問題環節；也有人會在機台安裝多個加速度計 (Accelerometer) 量測，然後從廠務端拉線至中控台、收集數據，但缺點是：硬體需求大、通訊成本高、須慎選量測點位置並排除環境嘈雜的干擾因素。

振動頻譜分析在操作上常遇到的困境是：量測多少會干擾製程或現場工作，需要作業人員的配合，但現場人員對於頻譜分析未必

有經驗；當然，也能選擇委託專業服務商處理，惟由於須長期監控，委外代價恐不小。最重要的是，這些消極方式僅能檢測會隨時間惡化的故障情形，無法應對突然跳機或已進入故障／失效末期、須立即處置者，且異常訊號易受干擾、數據分析需要專業奧援。於是，業界試圖從量測「電訊號」、冀透過「電壓／電流特徵分析」和以此為基礎的物理模型診斷設備，其優點為可直接從中央控制端擷取資料、省下設備端部署成本。感應馬達電訊號診斷的相關規範，在 ISO 20958 中有明確定義。

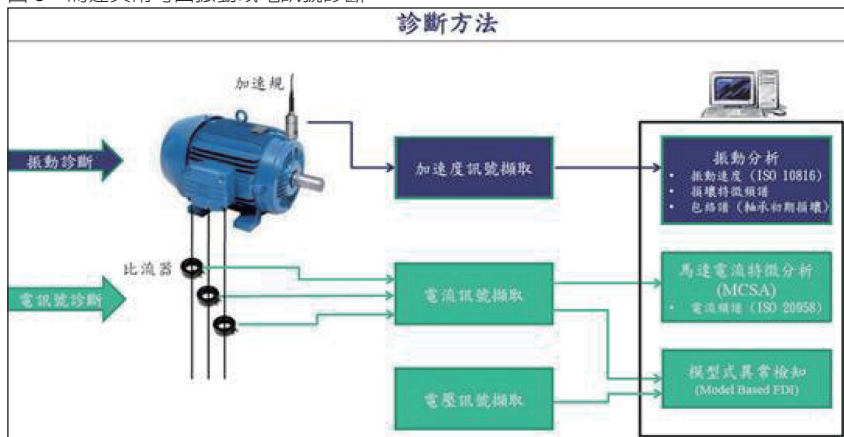
劉孟昆表示，高溫、高壓、粉塵皆容易引發感測器、致動器零部件或設備機構故障，可能是漸進、突然、間歇性發生，假如觀測時間不夠長，很難從設備端擷取訊號解析；因此，他主張以「電流特徵分析」對轉動設備進行長時間的連續監控，一旦檢知設備的異常情形，再輔以現場設備的「振動量測」或「頻譜分析」進行確認。電流特徵分析的運作方式為：機台振動時，定子和轉子之間的氣隙會改

圖 2：常見的轉動設備振動異常頻譜



資料來源：劉孟昆提供

圖 3：馬達異常可由振動或電訊號診斷



資料來源：聆特科技提供

變，進而改變電流值；一旦軸承損壞，會反應到轉子、再到電流。電訊號十分敏感，且可估算能耗並回推電流負載率，監測供電品質。目前提供馬達電流診斷服務的有聆特科技等廠商。不過，訊號式終究只能檢驗設備機械異常，無法具體顯示異常狀況與能耗間的關係，用以維持設備運轉效率；若欲獲悉更明確的訊息或是早期預警，須輔以模型式診斷。

電流特徵 + 建立模型 + 巡檢定位，多方會診

一般而言，故障檢知層次越

高、成本也越高，從低階到高階分別是：

1. 偵測 (Detection)：僅知故障，卻不知是何種類型；
2. 區隔 (Isolation)：能大致區分，但無法精確列示；
3. 辨別 (Identification)：確認是哪個元件出錯；
4. 預測 (Prediction)：預知即將故障；
5. 校正 (Correction)：根據預測結果自動校正、不需人為介入，真正達到「智慧機械」境界，即使經驗傳承一時青黃不接，也不會完全束手無策。

使用電流輸出殘差值、系統模型參數變異和輸出頻譜特徵可檢知異常；而經由推算定額電壓下的理想電流輸出，將它與真實電流值相減可排除電源諧波等雜訊干擾，提升預測準確率、減少預警誤報。電壓、電流亦可與振動檢測並行不悖，前者用以做連續性監測、發現異常後，再用手持式設備定位確認，遠較在各機台安裝許多加速度計更為實際。

順帶一提，「電流特徵分析」可診斷機械和電性異常，亦可逆向從齒輪等機械規格反推正常頻譜落點範圍，可檢知的項目包括變頻器輸出的供電品質是否異常（諧波失真率）、對心不良、軸承損壞、底座鬆脫、轉動不平衡、氣隙偏心等。最後，劉孟昆還提到「產學落差」隱憂：學界未必熟稔領域知識、有能力解決工廠跳機問題；當擷取的資料量不足或是沒有足夠的多樣性，則會造成分析上的困難，且架設感應器及資料收集系統又會造成成本增加。這些，都是投身工業 4.0 不得不正視的議題。CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>