

預測性維護(PdM)技術綜述、西門子(Siemens) 之PdM 解決方案平台介紹分析與實際應用案例探討

摘要

本報告旨在探討預測性維護(Predictive Maintenance, PdM)技術在智慧製造領域的應用，並聚焦於西門子(Siemens)公司的解決方案平台及其實際應用案例。首先介紹了PdM技術的基本概念，包括其旨在協助確定在用設備狀況，以便估計何時應進行維護的目的。報告提及了PdM的目標，包括成本最小化、可用性與可靠性最大化和多目標最佳化。此外，報告還探討了物聯網預測性維護中感測器和通訊系統的作用，以及傳統機器學習和深度學習方法在PdM故障診斷和預測中的應用。本報告在此基礎上進一步探討了PdM技術在智慧製造中的具體應用場景，以及西門子公司在電氣化、自動化及數位化等領域提供的解決方案。報告指出PdM技術的成功取決於目標公司的數據成熟度與文化成熟度，並提及了PdM導入所遇到的問題，包括導入成本的考量與堅持下去的決心。接下來報告引用了相關文獻，包括Siemens公司的案例研究和相關資源，以支持報告內容。最後，報告根據以上資訊分析了PdM領域未來的發展方向，涵蓋了工程面向與產業面向的通測。總結來說，本報告旨在提供對PdM技術及其在智慧製造中的應用有一個全面的理解，並以西門子公司的解決方案平台為例，探討了PdM技術的實際應用案例，以期為相關領域的研究和實踐提供有價值的參考。

使用方法論述及綜合比較

一、預測性維護(PdM)技術綜述

預測性維護(Predictive maintenance, PdM)技術旨在協助確定在用設備的狀況，以便估計何時應進行維護。與例行或基於時間的預防性維護相比，這種方法有望節省成本，因為任務僅在保證時才執行。因此，它被視為根據對物品退化狀態的估計而進行的基於狀態的維護。PdM的目的包括成本最小化、可用性與可靠性最大化和多目標最佳化。

現行PdM故障診斷和預測方法主要涵蓋傳統知識與經驗、傳統機器學習和深度學習。傳統機器學習包含使用傳統類神經網路(ANN)、決策樹(DT)、支持向量機(SVM)與等K-近鄰演算法(KNN)模型進行預測。而深度學習方法則包含自動編碼器(AE)、捲積神經網路(CNN)、循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)、深度信念網絡(Deep Belief Network, DBN)、生成對抗網路(Generative Adversarial Network, GAN)、深度強化學習(Deep Reinforcement Learning, DRL)等模型(Ran, Yongyi, et al)。實際執行PdM故障診斷和預測則多會綜合以上多種模型給出最終解決方案。如將傳統知識與經驗結合使用遷移學習(Transfer Learning)技術來結合機器學習和深度學習方法，或使用傳統知識與經驗調整模型所使用的參數。

除分析方法外，資料的取得與傳輸也是執行PdM的一大重點環節。受益於物聯網(IoT)的發展，進行PdM所需的數據能透過物聯網與訊號傳輸設備第一時間接入預測模型中使工作人員能及時收到反饋。在物聯網預測性維護中，物聯網通常由感測器和監視

器組成，這些感測器和監視器放置在設備上或內建在設備中，以監視可能表明潛在設備問題的各種變數。這些儀器收集資產數據並將其傳輸到網路中的其他“物體”，例如預測維護軟體、CMMS 軟體 或其他智慧製造系統。透過即時收集和傳輸設備性能數據，其他物聯網技術可以運行預測維護分析，以識別可能導致設備故障的任何潛在問題。此流程可協助組織更好地預測故障或其他的可能問題，以便他們採取主動的維護方法 (AspenTech)。

二、Siemens PdM 解決方案平台介紹

產業界中完整的PdM解決方案通常結合了前一章節中的資料取得和傳輸環節及核心預測模型，並將最終結果整合呈現於一 PdM 平台上。該平台的核心功能為監管個受監督的設備並即時透過平台或email等方式發送預測結果與預警。該平台還須保留一定的後續擴充功能與API保證新設備導入時也能夠受到監管。PdM故障診斷和預測模型的訓練主要會落在該解決方案平台前期建構導入時並在數據的選用上保持一定的客製化(如要求全數採用現有機器與數據進行訓練) (Siemens)。

西門子Siemens公司主要業務為在電氣化、自動化及數位化等領域提供解決方案。該公司的產品包含了從設備本身、設備資料擷取、設備資料傳輸、PdM演算、設備資料呈現等涵蓋了PdM流程的一系列所需系統。根據該公司網頁所述，西門子的PdM業務能夠將停機時間預測提高高達 85%、將計劃外停機時間減少高達 50%、將維修人員的工作效率提高高達 55%、維修成本降低高達 40%，且到全球財富 500 強公司的信賴，可推動整個組織的數位轉型和文化變革 (Siemens)。此外，該公司的PdM服務已經涵蓋了汽車、食品、金屬和採礦、設備即服務 (EaaS)和紙漿和造紙工業等產業。目前已經有超過100 種不同的機器類型各自使用西門子設計的專有機器學習演算法進行遠端監控，包括機器人、輸送機、升降機、泵浦、馬達風扇和壓力機/沖壓機。

Senseye為西門子Siemens公司所提供的一PdM 解決方案平台。該平台包含了在本章節第一段所續訴的所有功能。其整合的PdM解決方案演算法採傳統知識與經驗與機器學習並行。西門子的工程師將該算法分為兩部分，一為計算馬達的相對安全數據，此部分乃藉由馬達出廠時的數位孿生數據、國際標準與同種類馬達歷史數據計算而成。第二部分為絕對安全數據，此部分包含馬達上線後持續運轉所取得的數據 (Siemens)。第一部分資料被用於非監督式的學習，而第二部分的資料將為任何功能歷史上的故障建立故障紀錄並分析狀態監測資料以查看其是否與已知紀錄相符，該過程為監督式學習，由識別實際功能故障的維護資料的輸入觸發。可惜的是西門子並未公布該演算法的更多詳細資訊，但我結合課程內容推測為利用第一部分進行故障診斷再使用第二部分檢查並預測趨勢與壽命。或使用第一部分資料預訓練並建立初步模型，再透過遷移學習技術在上線後採用第二部分進行調整。

根據西門子所發布的2023 年大規模預測性維護準備報告白皮書，導入PdM技術的成功取決於兩個因素：目標公司的數據成熟度與文化成熟度。數據成熟度乃距離大規模整理和利用 PdM 所需的資料有多遠，而文化成熟度是指落實支持預測性維護部署的組織承諾、目標和實踐。調查發現高達81%的製造公司擁有足以實現大規模機器狀態分析和 PdM 所需的資料擷取和儲存能力，但只有46%的製造公司有相對應的文化成熟度。西門子強調通常只有對於最關鍵的資產才需要改造振動感測器 - 製造商需要對任何可能的故障進行早期預警，否則，現有數據就已經足夠。因此，大部分製造商擁有豐富的感測器數據，但缺乏足夠的熟練資源來進行分析。導入PdM主要會遇到的問題為導入成本的考量與堅持下去的決心。

三、實際應用案例探討與比較

Hayat 是世界上最大的造紙與尿布製造商之一。自 2011 年以來，西門子一直是 Hayat 的首選合作夥伴，為其土耳其伊茲米特附近 Yeniköy 工廠安裝的如馬達和驅動器等西門子設備提供生命週期服務。Hayat 導入 PdM 的最初始於 2019 年其更新關鍵製程中的低壓馬達並為其安裝了各種振動感測器，並使用 MindConnect Nano 將馬達連接到西門子物聯網解決方案平台。而後透過該平台和與西門子的合作建立該種馬達的 AI PdM 模型開始預測。在初次導入成功後，Hayat 開始加大 PdM 系統的導入。2020 年，另外 51 台低壓馬達被目前西門子產品組合中最先進的新型馬達取代，在第二階段，其中 28 台連接到西門子的物聯網解決方案平台。目前，超過 30 個運轉馬達的數據點已傳輸至該平台，並由新的 AI 模組和西門子服務專家的專業知識進行評估(Siemens)。收集和分析相關數據不僅有助於 Hayat 保持生產正常運行，還使西門子能夠利用這些見解進一步開發人工智慧模組。

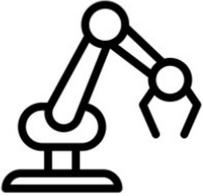




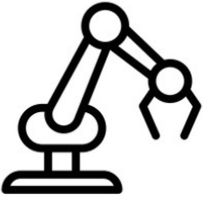




Hayat 自 2020 年更新後所採用的低壓馬達皆安裝了 SIMOTICS CONNECT 400 以實現 PdM 系統的功能。SIMOTICS CONNECT 400 將馬達數據的擷取、處理、傳輸整合於一起。其可以提供馬達的溫度、徑向/切向/軸向振動、電定子頻率、轉差頻率(slip frequency)的原始數據。並藉由西門子內建演算法計算該馬達的狀態(開/關)、轉速、扭力、電力、馬達啟動次數、能耗、能源成本、二氧化碳排放量、能源效率、運轉時間、基於速度負載振動曲線的運轉點等數據 (Siemens)。

根據西門子網站與 Hayat 主管描述，Hayat 將把他們的維護流程提升到一個新的水平，並從現有的議程中消除了計劃外的停機成本。借助此預測服務，Hayat 在第一年就將可用性提高了 10%。這是因為公司確切地知道了何時必須執行維護任務以及必須做什麼。

心得與發想

結合所有西門子的公開資料可以發現，該公司已具備商業化導入 PdM 的能力。但由實際應用案例和維護準備報告能夠得知，PdM 的導入是一個長時間、由點到面、由個案串聯的進程。在 Hayat 的例子中，即使已經有超過 10 年的合作與設備使用經驗，光馬達一設備的 PdM 導入便花了 2 年。此外在另一西門子與一汽車製造商合作的 PdM 案中，其從無到有總共花了 7 年將共 10,000 多台機器導入 PdM。造成這種長時間現象的因素為 PdM 的高度客製化特性。必須針對每一種類的設備設計專有的機器學習演算法。這包含了資料蒐集時間與若使用深度學習系統所必須付出的長久模型訓練時間。我認為這種特性是導致企業 PdM 文化成熟度不足的主要原因。因此我認為 PdM 領域未來的發展方向如下：在預測模型面上，只要模型能提供的結果比現有方案準確，模型的訓練速度重要性會大於預測的準確度；在產業面上，具 PdM 導入經驗越多的公司能夠築起資料優勢的壁壘，針對多種設備的模型設計經驗會使再次遇到同種設備能夠快速決定新模型的細節和輸入參數。這同樣是設備商的機會，一種可能的發展模式為由一平台商提供平台與決定顯示項目，再由設備商設計並提供 PdM 模型和預測結果的 API。

平台商提供平台與UI

 Machine A	 Component AA  Component AB	<p>顯示參數與定義由平台商決定 參數計算由設備商提供</p> <div>  Health score, RUL, etc.  Health score, RUL, etc. </div>
 Machine B	 Component BA  Component BB	<div>  Health score, RUL, etc.  Health score, RUL, etc. </div>

圖一、一可能之PdM商業發展模式

引用文獻

Ran, Yongyi, et al. "A survey of predictive maintenance: Systems, purposes and approaches." arXiv preprint arXiv:1912.07383 (2019).

"IOT Predictive Maintenance." AspenTech,
www.aspentech.com/en/apm-resources/iot-predictive-maintenance. Accessed
12 Dec. 2023.

Annanth, V. Kishorre, M. Abinash, and Lokavarapu Bhaskara Rao. "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A case study of siemens industry." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1969. No. 1. IOP Publishing, 2021.

"What Senseye Predictive Maintenance Can Deliver." Siemens.Com Global Website,
www.siemens.com/global/en/products/services/digital-enterprise-services/analytics-artificial-intelligence-services/predictive-services/senseye-predictive-maintenance/platform-overview.html. Accessed 12 Dec. 2023.

"How Senseye Predictive Maintenance Works." Siemens.Com Global Website,
www.siemens.com/global/en/products/services/digital-enterprise-services/analytics-artificial-intelligence-services/predictive-services/senseye-predictive-maintenance/how-it-works.html. Accessed 12 Dec. 2023.

"How To Run a Predictive Maintenance Proof of Concept." Siemens.Com Global Website,
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:39a26e9b-58c0-47b5-9bd7-edf0527fb60d/dics-b10147-00-7600howtorunapredictivemaintenanceproofofconcept-.pdf>

“Artificial Intelligence Boosts Maintenance Efficiency.” Siemens.Com Global Website,
www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/digital-enterprise-services/hayat-paper-predictive-services-tr.html. Accessed 12 Dec. 2023.

"Technical datasheet SIMOTICS CONNECT 400." Siemens.Com Global Website.
Accessed 12 Dec. 2023.

“Readiness for predictive maintenance at scale report 2023.” Siemens.Com Global
Website. Accessed 12 Dec. 2023.