

工具機智慧化的 精實數位價值

自動化技術，創造了工具機精度更好、更有效率、故障報警以及省人化等數值控制價值。工具機智慧化是在既有的自動化和資訊科技的基礎下，強化加工現場管理數據，即時收集、分析的數位技術，提高設備運轉的數據價值創新。譬如設備異常的預警、加工實際情況即時可視化、檢視現場加工數據挖掘浪費，進一步導入精實（Lean）改善的課題。

精密零件加工廠使用設備的觀點，工具機智慧化的精實數位價值，包括保證設備性能優異且能持續穩定可靠運轉的評價指標，例如設備稼動率與OEE、加工精度與速度的優化、設備健康管理。以及加工流程連貫縮短LT、有效產出的評量指標，譬如加工途程可視與SOP的VSM化、加工途程的浪費與優化、設備與零件的生產資訊。

智慧化除了為顧客創造價值，同時也要增加自己的競爭力和價值。本文以加工廠導入精實數位加工的實際案例，說明工具機智慧化與加工線精實改善融合的共創價值，以及分享運用控制器指令與回授資料的低成本數據採集方案，創造設備製造商和設備使用業者雙贏的數據價值。

工具機智慧化的精實數位價值

CNC工具機透過通訊標準平台（OPC UA；Open Platform Communication Unified Architecture），讓與設備連線的電腦可以即時取得運轉資料，並存入資料庫。這些設備運轉數據資料，可歸納為兩大類，第一類是機器的運轉數據，如設備運轉事件時間、振動、聲音、溫度、速度、變形、電流、距離、機構運動次數、機器故障警報等。第二類是機械的加工數據，如執行的加工程式、開始加工時間、完成加工時間、執行的次數等與加工相關的資料。



巫茂熾
(Mao-Chih Wu)

東海大學精實系統團隊核心成員、資深顧問。歷任連豐機械設計工程師，友嘉實業研發部課員、課長、經理、協理、事業部副總經理等職務。彈性製造系統的主導性新產品、五軸加工技術暨加工機業界科專等專案計劃主持人。近年積極致力於精實製造與客製化管理、精實智慧製造、產品開發管理與電腦系統導入之實踐研究。

設備的運轉數據和加工數據，可以創造多樣化的價值，最普遍的是分析檢討設備投資效益的稼動率、提高加工精度與產能的性能優化等。本文則聚焦在「設備健康管理」、「加工途程VSM (Value Stream Mapping) 化」、「加工途程的浪費與優化」等加工產線的精實改善，以及「設備與零件的生產資訊」，分享工具機在加工廠的精實數位價值。

設備健康管理，是運用預警機制，落實預防保養，以保養維修取代無預警故障停機搶修，讓機器設備在排程時間 (Planned Production Time) 可以正常的持續運轉，創造設備的最大可動率和產值。工具機在切削加工過程，機構的運動會產生振動、摩擦、溫升、變形、切屑、運轉時間、作動次數、移動距離等機構劣化的潛在因素，初期的劣化經過適當的保養可以恢復如新，若劣化因素沒有盡快排除，日積月累最終會故障停機。設備運轉的資料，經過預防保養的望聞問切診斷模式，發現機器有劣化症狀時，立即發出預警訊息，管理者安排的非加工排程期間停機保養，確保機器保持健康、運轉正常，用數據做好設備的健康管理，創造設備不會故障停機的價值。就像人的健康檢查一樣，發現異常在第一時間控制或改善，不產生病痛影響生活作息，達到延年益壽的效果。

加工途程VSM化，是紀錄並呈現零件加工途程，每個工序物料與時間的實際流動資訊。機械零件從素材到零件，要經過很多道工序的加工，如機械加工的車削、銑削、研磨等途程。這些加工途程的先後順序、使用的設備、工序等，是零件的標準加工途程。零件在每個途程的工序有加工時間、有上下料的換料時間、有更換刀具夾具的換模時間、以及等待下工序上線加工的時間和數量，透過機聯網取得以上資料，將零件加工的實際流動資訊可視化，如每個工序的加工時間、等待時間和數量、換料時間或換模時間。零件每次加工的實際資訊，用價值流圖 (VSM) 突顯實際流動資訊，關注每次加工實際狀況異同、以及和標準之間的差異，是分析檢討加工途程浪費的重要資訊。

加工途程的浪費與優化，是運用加工途程的實際流動數據優化產線，創造加工途程的改善價值。以精實管理的浪費觀點，檢視VSM可以發現加工途程的浪費，最明顯的是等待時間、換模時間、換料時間等每次的差異。重視這些差異才能落實、檢討、優化SOP，如等待時間冗長、換料與換模的時間不一致，需要深入檢討包括人員、設備、SOP的步驟，找到這些變異的因子並解決它。除了確保每次都可以在標準時間內完成，若發現不合理並改善它，進一步優化標準時間。內外換模、加工批量大

小、急單與插單、交期變動等，都是隱藏在加工現場的浪費問題，這些問題是管理需要重視的議題，應設法改善、精進與優化加工產線和SOP。

設備與零件的生產資訊，是將機聯網的報工資訊，透過資訊工具的整理歸納運算，自動產生管理需要的設備生產力與零件完工的生產日（時、週或月）報表。每一台設備加工的零件、工序、數量等加工日誌資料，都被機聯網採集並彙整為加工日誌資料，經由資訊系統的運算，快速且正確產生每一台設備的加工產量資訊，以及每一項零件的每個工序已完工、預計完工與交期資訊。

加工廠需要掌握現況、突顯問題，追求途程連起來、縮短交期，創造與顧客一起受惠的價值，以上的精實加工價值模式，可以提升加工廠的產值與縮短交期。

設備稼動率或OEE（Overall Equipment Effectiveness，整體設備效率）是檢視加工設備有效產出的指標。加工途程的浪費與優化，是衡量加工產線的精實指標。設備稼動率高，不一定能夠縮短零件加工的交期。反之，工序連貫、沒有異常停機、最少浪費的精實加工途程，一定可以提高設備稼動率。

價值模式決定採集數據

2023年底在某企業的智慧製造產品研發會議上，一位資訊技術主管拿出一個白板，上面寫了很多他可以從機器上採集到的各種數據，

他苦惱的說：我可以從工具機上採集到這些數據，但是不知道這些數據要做什麼用？這個發言告訴我們，數據採集的技术問題比較容易克服。數據應該要創造什麼價值，才是智慧製造的關鍵課題和挑戰。

輸入（Input）資料，透過邏輯運算處理（Process）產出（Output）結果，及時輸入正確資料，立即呈現作業增值成果，是資訊系統創造價值的模型。從機器上採集數據是為了協助設備使用者以及他的客戶創造價值，所以我們應該先確定，為顧客釐清現況、突顯問題、解決痛點的數據價值模式，再根據顧客的價值模式，決定應該採集設備哪些數據。輸入資料就是IoT（Internet of Things）要從設備採集的數據，所以「價值模式決定採集數據」，是我回覆提問者的解決方案。也就是說，數據都有，可以創造價值的數據，就是要採集的對象。

價值模式需要的數據IoT從機器上取得後，可以直接或間接使用，譬如電流、壓力、變形，作動次數等可以直接使用。但溫升、作動時間、運動距離、換模時間、等待時間、加工時間等，須採集兩個或以上的複數數據，經過比較演算的結果才能使用。

低成本的數據採集

採集設備的運轉實際狀態數據，可從設備的內部控制系統和外部感測器兩大類取得。善用控制器的資訊，以最低成本取得價值模式需要的數據，是精實管理的精髓。

設備的控制系統，若無法提供價值模式需要的數據，則需追加外部感測器，這是不得已需要增加的成本。如上所述的設備健康管理及計算OEE需要的良率數據，需要增加適當的外部感測器（Sensor）、轉換器（Converter）和數據擷取介面（Interface）等物料成本。故機器的線上量測系統、溫度感測器、應變規等，需要追加費用，才能得到需要的數據。

活用設備控制系統既有的控制命令與回授訊號，譬如開始加工時間、結束加工時間、換刀指令、直線運動的距離、伺服馬達電流等，控制器都有這些數據，不需要增加額外的材料成本。多樣少量加工的F企業（參閱本專欄149期—多樣少量機械加工廠：導入精實數位改善LT與交期），導入精實數位加工系統，包含加工途程VSM化、加工途程的浪費與優化、設備與零件的生產資訊、設備稼動率等，這些價值模式需要的數據，設備的控制系統都可以取得，不需加裝外部感測器，數據採集的成本很低，善用這些數據創造的價值無限大。MA

附註：精實數位加工的觀念、架構、實際案例規劃與執行，除本文外，請參閱本專欄已刊載的四篇文章

109期（2019年4月）《發展與活用IoT創造數據價值 以工具機的實體系統為例》

128期（2021年3月）《機械加工的精實化與智慧化》

139期（2022年4月）《精實先行數位加速的「精實數位模式」》

149期（2023年4月）《多樣少量機械加工廠-導入精實數位改善LT與交期》
