

即時主軸負載監測應用於刀具磨耗之系統開發

汪正祺¹, 陳俊吉², 卓新翔², 朱永全^{2*}

* E-mail: anay8159@gmail.com, TEL: 0903786189

關鍵字：機台顫振抑制，遠端即時監控，切削參數最佳化，參數雲端化

此研究主題為提升CNC銑床的加工精度並即時監控加工製程。將針對加工製程、刀具參數、切削劑、刀具磨耗、機台顫振、3D加工模擬等等進行監控及管制，進而提升工件品質及降低製程的成本。將工件切削參數及狀態存取至雲端作為依據，並且透過每次的存取以及反饋，使其學習並且建構較完善的加工參數，加工時能更有效的改善加工程序和即時瞭解加工狀態、品質、加工率等，同時，利用加速規量測並擷取主軸振動訊號並存取至雲端，透過數據比對將可以得到一個基準規範，利用此規範做為主軸負載的判斷依據，此外還可透過即時顫振擷取的數據來判斷機台精確度、工件精度及刀具磨耗，最後的量測儀為綜合檢測儀主要為量測切削劑的PH值、濃度及導電率，透過監測可以避免切削劑變質而造成損壞，此外可同時連接多台工具機進行即時顫振及刀具磨耗之數據擷取及參數雲端化，經數據判斷後將透過控制器面板告知監控人員即時的刀具狀態以便進行更換，因此透過即時監控可以使機台及工件趨於穩定加工狀態，且在問題發生前將可提前抑制。

1. 前言

工具機亦稱工具母機，負責切削、加工各式金屬零組件等，由主軸、CNC 控制器、感測器、螺桿、驅動馬達等元件構成。因此工具機整體智慧化程度取決於這些重點部件。而工具機的主軸被譽為「機床的心臟」，是設備的核心配件，因此主軸的要求也就更加嚴格。

大部分的設備及結構都會有振動的產生，振動量測不只是基本的技術，更可以藉由感測器所蒐集來的振動數據加以分析，了解主軸品質並藉此提早進行管理維護，可延長主軸使用壽命。有別於其他一般搜集傳輸的模組，智能型數據擷取運算模組蒐集完數據並運算出結果，使用者可透過數據和頻譜特徵了解主軸異常的原因。包含主軸平衡不良、軸彎曲、偏心、機械內外鬆動及軸輪摩擦等異常特徵。

將感測器鑲埋於軸承或安裝軸承座，量測位置需對稱及正交且越靠近軸承之核心地帶為極佳之測量點，量測點位應相同並紀錄結果，振動標準值皆參考多次實驗的結果判定，並使用田口方法找出共振影響最低的位置，另外環境振動值不應超過機械穩定運轉振動量的 10%。

現今機械加工廠所製作的零件以量產、高精度、高品質為主要目的，由於零件的種類繁多，因此我們將工件的加工路徑及程式包含進給、轉速、切深及刀具參數等數據皆上傳至雲端，並透過雲端系統分析及整理，若遇到類似之加工路徑及程式時可提供較佳之加工參數，並透過雲端存取之數據減少加工前置

作業之耗時並提高工作效率，且可即時了解加工狀態、品質、加工率。

隨著機台不同操作方式在長時間、高頻率將會慢慢磨損，當主軸出現異常振動時將影響製造品質或造成機台稼動率降低，以致工件無法如期完成，若能達到預先得知，可使操作者提前避免狀況發生並抑制。

本研究之目的是為了提升 CNC 銑床加工時的精度和切削劑流量控管，因加工時工件外型及尺寸的不同，在加工程式也有所不同，刀具會以點、線、面三種不同方式與工件接觸進行切削，導致刀具與工件接觸時容易造成刀具磨損。

一般刀具壽命以實際操作的數值為基準，但是會因為實作經驗、刀具的切削速率、溫度、機台狀態、切削劑濃度等各種不定因素進而影響原建議參數。所以本研究經過測試來設定較佳的切削參數。

本研究使用加速規擷取機台空轉及正常加工時之主軸負載數據，同時以主軸負載數據來判斷刀具磨耗狀態之根本，還能透過即時的主軸負載數據判斷機台及工件精度。

現今製造業大多數都以電腦化、智慧化邁進。本研究針對機台稼動率之擷取數據皆能連線並傳送至雲端，以便在加工過程能自行學習設定完善數據，再將數據回饋至雲端從中不斷的學習改善，作為後續參數調整的依據。CNC 銑床加工時刀具與工件接觸後會產生切屑及熱能，熱能會影響刀具、機台精確度、表面粗糙度等因素導致工件精度不佳，進而影響稼動率。若欲擁有較佳加工精度，須將加工時刀具的溫升併入考量範圍，因

此本研究透過切劑品質監測系統，即時監控切劑劑流量、PH 值、導電、濃度、溫度並提供智慧自動警報及偵測補償。

2. 流程與設備

2.1 切劑過程控制

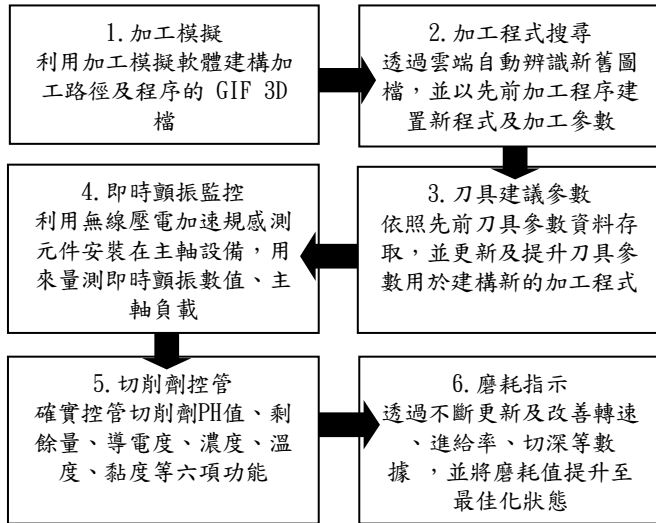


圖 2-1 切劑過程控制流程圖

2.2 主軸負載擷取設備

本功能大致需要四項硬體設備：

1. 無限壓電感測器：為安裝至主軸內部以便感測主軸負載數據。
2. 擷取卡：為擷取主軸感測器之負載數據。
3. 網路卡：將擷取後之數據連線傳送至雲端。
4. PC 對比：將雲端之擷取數據進行交叉對比及分析並回傳至工具機。

2.3 主軸負載擷取流程

首先將無線壓電感測器預先埋入主軸中，便於之後可針對主軸進行負載數據的感測，安裝完後開啟工具機進行加工，使無線壓電感測器擷取到正常主軸軸承的負載數據，隨後連接無線壓電感測器與擷取卡，擷取正常主軸之負載數據，將數據利用網路卡傳送至雲端儲存以便後續進行交叉對比，再接著進行多次加工，直至刀具異常。實驗過程中持續使用感測器搭配擷取卡來擷取軸承負載數據，將所有數據傳送至雲端，將資料傳輸完成後，利用 PC 端針對正常之軸承負載與刀具異常時之軸承負載進行大數據交叉對比分析，最終擷取數據呈現機台空轉之軸承負載與切削至刀具異常之軸承負載，利用 PC 端將數據分析及統整後將其設定為定值，在後續加工中軸承負載若達到刀具異常之規範時，將即時擷取數據經 PC 端判斷之磨耗，結果透過控制器面板來提醒現場操作者或是讓監控人員得知即時刀具狀態，以便提前進行刀具更換，之後再將最終對比數據回傳至雲端使工具機自行學習及完善數據，再將數據回饋至雲端，以便其他工具機的利用調整，如遇到不同環境因素或加工參數時，仍可輕鬆自行判斷並回報問題點。

2.4 主軸負載擷取流程圖

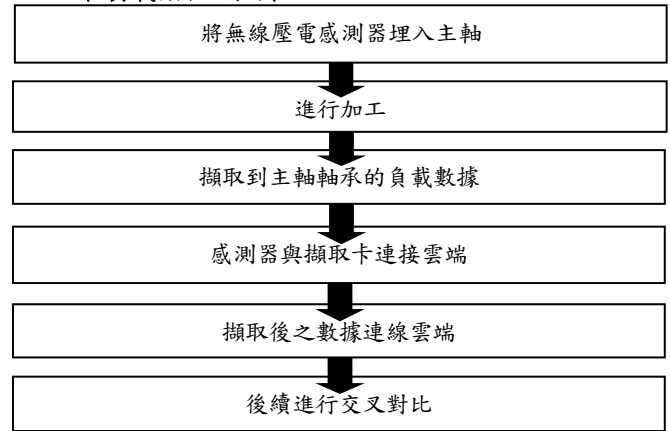


圖 2-2 主軸負載流程圖

2.5 刀具磨耗規範

切劑加工是應用相當廣泛的加工方法，現今切劑加工都以自動化機器來運作，能以穩定的加工參數及固定的量產製造，加工參數則會影響產品的品質、生產效率以及生產成本，此外還針對尺寸精度來制定刀具磨耗規範，以工業上常用之中碳鋼材 S50C 作為研究材料，以鎢鋼端銼刀做為測試刀具。

當刀具磨耗時，切劑力會上升，造成主軸負載增加，也就是切劑力與主軸負載這兩種訊號與刀具磨耗的關聯較為直接。在一定切劑條件下，不論何種磨耗型態，其磨耗量都將隨切劑時間的延長而逐漸增大，以刀腹磨耗為例，刀具磨耗過程可分為三個階段：

初期磨耗:此階段是因新刀具刀面粗糙處及工件表面黑皮和鍛造產生的壓應力及切劑力集中於刀口，所以這階段磨耗較快。

正常磨耗:此階段是經初期磨耗後，刀具刀面粗糙處已磨平，面積增大，壓應力減小，從而使磨耗速度明顯減小，刀具進行正常磨耗階段，這個階段的磨耗比較緩慢均勻。

急劇磨耗:此階段是當磨耗寬度增加到一定數值後，加工表面粗糙度變大，摩擦力增大，切劑力與切劑溫度均迅速升高，磨耗速度增加，以致刀具損壞而失去切劑能力。在實際生產中為合理使用刀具，保證加工品質應當避免發生急劇磨損，在這個階段到來之前，就要更換刀具。

2.6 切劑劑流量管理設備

本功能大致需要四項硬體設備：

1. 浮球液位感測器(Float Type Continuous Level Sensors)：安裝至工具機之冷卻液槽用以感測切劑劑之液面上升/下降過程。
2. 擷取卡：為擷取浮球液位感測器之上升/下降數據存取。
3. 網路卡：將擷取之數據連線傳送至雲端。
4. PC 對比：將雲端之擷取數據進行交叉對比及分析並回傳至工具機。
5. 酸度計(acidimeter):由酸度計量測PH值，以PH值推算濃度、黏度及導電率，顯示於畫面。

2.7 切劑劑流量管理流程

首先是將浮球液位感測器預先安裝至工具機之冷卻液槽，便於之後針對切削之液面位置上升/下降進行感測，安裝完後讓工具機進行加工，並開啟切削劑讓浮球液位感測器感測到液面浮動，隨後連接浮球液位感測器與擷取卡，擷取感測器裡面的液面浮動數據，再將數據利用網路卡傳送至雲端儲存以便進行交叉對比，之後進行多次加工直至切削劑使用完畢並產生異常訊號。

途中持續使用浮球液位感測器搭配擷取卡來擷取切削劑液面浮動數據，將所有數據傳送至雲端，資料傳輸完成後，利用 PC 端針對正常切削劑液面與切削劑使用完畢產生異常訊號之液面浮動數據進行交叉對比分析，使最終擷取數據僅呈現正常切削劑與異常訊號之液面位置浮動數據，在 PC 端進行設定，使其液面位置浮動數據到達或是即將變異常訊號之液面狀態時，即時擷取數據經 PC 端判斷後將結果通過控制器面板來提醒現場操作者或是讓監控人員得知及時切削劑狀態，以便提前控制使用量或是進行切削劑的填補。

另外裝上酸度計，觀察 PH 值的變化量增加加工的品質，也使加工過後的切削劑能有更大的回收效率，減少切削劑的更換次數，接著將最終對比數據回傳至雲端以便工具機自行學習及完善數據，工具機在之後遇到不同環境因素或不同加工參數時，仍可輕鬆自行判斷及回報問題點，將結果傳送至操作者監控人員。

3. 系統架構

本系統主要分為 6 項，其功能包含了加工程式搜尋、加工模擬、刀具建議參數、切削劑管控、即時顫振監控與磨耗指示，以下將詳細的說明系統功能的規劃與介紹：

3.1 加工程式搜尋

本系統的加工程式搜尋的部分將呈現五大主要畫面，為了配合工業 4.0 以及人工智慧的運用，因此我們將使用到雲端大數據的概念，在此功能中的所有動作皆上傳至雲端做為加工經驗與技術傳承，此步驟也將大量減少撰寫程式以及尋找專業技術資訊的時間。

若需加工新訂單時，可先將工單傳送至遠端空間由系統進行比對，以大數據的方式將先前工單中取出相似處，以舊程式為基底直接修改新工單所需的程式，可節省大量時間。

程式模擬畫面中，將新訂單的程式與圖檔進行比對，另一畫面則呈現舊工單程式，使用複製及新增的方式建立新的程式，同時畫面的底端呈現加工效率參數，使用以往經驗去計算新工單的加工效率，可適時的調整不一樣的參數條件，獲取更有效率或節省成本的新加工程式。

3.2 加工模擬

在該項畫面中主要分為四個重點，資料來源由 Mastercam 的設計理念而萌生新的加工模擬畫面，在加工廠中，運用桌上型電腦開啟程式再確認加工程式是否正確，相當繁瑣且會因環境及人為因素而誤判，另外使用基本控制器的預覽加工路徑的功能，會有無法察覺的加工死角，且無法看出完成工件的全貌，因而使加工出錯導致工件不良率的攀升，其次則是增加成本及機台磨損。因此畫面設計兩個視窗以 3D 的圖像呈現出加

工時的工件描繪圖，由此可使用拖曳的方式看到工件全貌。

畫面中左上為加工完成品中 3D 的畫面，左下為加工中工件即時畫面，可藉由控制每一刀的步驟確認程式的正確與否，此外右上畫面為現行加工程式，若加工中的一個部分程式，將以黃色色塊標記，以便確認程式尺寸。

3.3 刀具建議參數

本節主要是應用於刀具參數的控制，將所有加工刀具參數及加工程式據整理並上傳至雲端作數據資料庫，同時將兩個資料庫進行串聯，使工具機加工新工件時的刀具參數會同時連結加工程式，一併上傳至雲端且不斷更新並建立新的資料庫，作為後續建立切削劑參數之參考基礎，且提供操作者調整不一樣的刀具參數，可透過雲端讀取刀具參數並計算出新刀具的加工時間，減少程式編輯的工時及增加加工精度。

3.4 磨耗指示

此畫面可以看到刀具的磨耗程度，藉由加工條件及設定參數來推斷刀具磨耗量，以百分比的方式呈現，提醒操作者提早將該刀具做更換或是變更刀具加工參數以減少刀具磨耗，同時可結合上述 3-3 刀具建議參數，得到更好的加工參數，將所有的概念數據化，將帶來更多的經濟效益。

3.5 切削劑管控

工具機加工中，為了提高工件品質，往往需要考慮因素較多且複雜，其中切削劑的使用時機也是一項核心技術，使用切削劑能夠提高加工速度及大幅提升品質，且工件表面細緻程度較優良，刀具磨耗較少，工件溫度也會明顯降低許多，減少熱脹冷縮的幅度對於尺寸的精細度也相對會提高，除此之外，可將切屑沖離工件表面，避免工件刮傷。

切削劑溫度管控，切削劑溫差雖影響工件尺寸微小，但不容忽視，也會影響表面粗糙程度，尤其是鐵質材料會更加明顯，在切削過程中，溫度升高導致切削劑揮發而減少，若掌握住溫度曲線，控制品質就較為容易。對於銑削工件與刀片而言，溫度太高導致黑化，甚至刀具強度與切削力因此減弱，以致工件品質無法達標，尤其當工件為金屬材質時，需更加注意。

PH 值管控，由於科技進步相關製造材料日新月異，對於產品的材質不再是金屬等耐碰撞及耐腐蝕之材料，而是趨向輕量化且透明度高之科技材料，工具機加工時同常會與潤滑劑搭配使用以便達到降溫及潤滑之效果，長期之下由於不同工件材質會使且切削劑當中的酸鹼功能失衡及因降溫而導致揮發，因此為防止材料的腐蝕或儲存的考量，應不定時填添加及視工件材料調整 PH 值。例如鋁材在 PH 小於 9.2 時易腐蝕、PH 值過高易造成人體的皮膚過敏等。

切削劑濃度管控，切削劑通常與工具機如影隨形，切削劑的調配能力對於工件降溫及潤滑是至關重要的，倘若切削劑濃度不足時，容易造成鏽蝕等問題，若濃度過高，會使切屑黏附於工件或刀具上，因此不但無法提供潤滑反而導致損壞，所以應加以管控。

導電率管控，切削劑當中會由於工件及刀具摩擦產生導電性質，而高的導電率會導致切削劑乳化，不僅影響阻隔網利用電流去吸附較為細小且隱藏於切削劑中的磨屑，這將造成加工時

切削劑與工件的摩擦，並影響工件尺寸而增加成本。

切削劑量管控，工具機切削劑剩餘量將以百分比形式呈現，在切削劑不足時將會提醒使用者添加，避免因缺少切削劑導致無法潤滑及降溫，因此將在切削劑的儲放位置加入以下幾項感測器，分別為量測 PH 值之酸度計、量測溫度之溫度計及量測剩餘量之液位感測器，接著利用酸度計所量測的 PH 值推算濃度、導電率及黏度。

總結以上，為本系統開發之理念及功能，將各項功能之擷取數據連線並傳送至雲端，以便工具機自行學習及產生更完善的數據，再將數據回饋至雲端使其他工具機可接續使用此加工參數及訊號比對，工具機在日後加工過程中遇到不同環境因素或加工參數時，仍可自行判斷及回報問題，將結果傳送給操作者或遠端監控人員。

3.6 即時顫振監控

由於銑床在切削時產生振動，造成切削顫振，除了銑床會有顫振的產生，在機械的領域中各種加工機均有產生顫振的可能性，切削顫振會引起加工不穩定的現象，甚至會在工件表面留下刀痕，當刀具再次經過這些刀痕時，就會引起更大的振動，產生更深的刀痕，另外也會加速刀具的磨耗。如此惡性循環，最終會導致刀具或工件的損壞，品質也會受到影響，更增加成本的浪費。

因此本系統將畫面劃分為三，加入加速規做量測，放置三個位置，分別為銑床的主要三軸向 X、Y、Z，另外再透過無線壓電感測器搭配擷取卡及網路卡量測主軸的電流值，並上傳至雲端，藉由轉數及電流的變化得到主軸負載的百分比，也可藉此觀察轉速及進給量是否需要得到即時補償。

4. 結果



圖 4-1 系統主畫面

本系統主畫面(圖 4-1 系統主畫面)區分成 6 大項，由於本系統功能眾多且細緻，為了避免畫面壅擠，因此區分畫面為加工模擬、加工程式搜尋、刀具建議參數、切削液管控、即時顫振監控與磨耗指示，以下為各畫面的說明：

4.1 加工模擬畫面

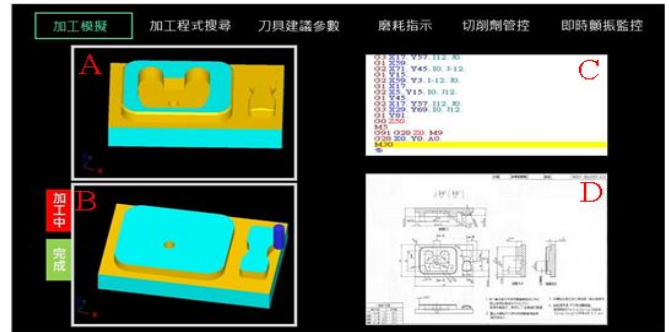


圖 4-2 加工模擬畫面

- A: 顯示加工後成品之 3D 畫面，可運用拖曳的功能觀察實體的每一面向，清楚看出加工成品是否達到預期形貌。
- B: 加工進行中的畫面，搭配著刀具路徑的移動，依循程式的走向，可以確認出座標點是否正確，刀具是否會發生碰撞等問題，能在模擬畫面中提早預防。
- C: 正在加工程式以黃色色塊標記，可對應 B 畫面比較。
- D: 工作圖，為比較成品是否正確，因此在畫面中已取代紙本工作圖呈現，此外附有畫筆功能，若發生問題可直接於工作圖上做標記再上傳雲端，並傳送給設計者，可以電腦或者是任何遠端裝置進行修改。

4.2 加工程式搜尋畫面

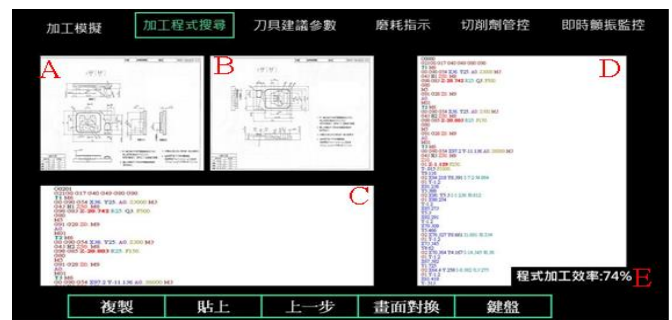


圖 4-3 加工程式搜尋畫面

- A: 新工作圖，由 (圖 4-2 加工模擬畫面) 延用，與舊工單進行分析比對，並尋找相似之處，可減少相同程式的編寫並節省時間，對於排刀的方法或切削經驗之數據，皆由雲端空間取出做為程式基底。
- B: 雲端交叉比對所得之舊工作圖，將與新工作圖做比對，方便對照不同之處，以便得到更有效率的程式。
- C: 舊工作圖之程式，若程式有較細小的文字能在對換後的畫面中看得更加仔細。
- D: 新工作圖之程式，可與 C 畫面對換，有較好的視野。
- E: 由雲端資料庫計算大約的程式加工效率，提供給編輯者參考。

4.3 建議參數畫面

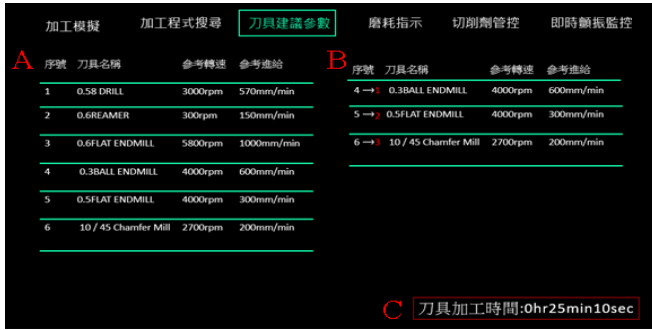


圖4-4 建議參數畫面

A：此畫面中呈現為建議刀具資料庫參數，從(圖4-3加工程式搜尋畫面)程式中得到舊式的刀具資料庫，可作為編輯刀庫的比較，計算此工件使用此參數之加工時間，提供給操作者做參考，會傳送雲端空間，作為往後加工時間的參考，使加工效率越來越進步。

B：此畫面中呈現為新建議刀具參數，可由序號部分看出從 A 處取出，並更新做為 B 處之新加工刀具參數，此外 B 處可由操作者隨時編輯和增添刀具參數。

C：此處為依照 B 處之刀具參數做為判斷依據，並經由雲端系統分析及計算提供操作者預計加工時間及工件稼動率。

4.4 磨耗指示畫面

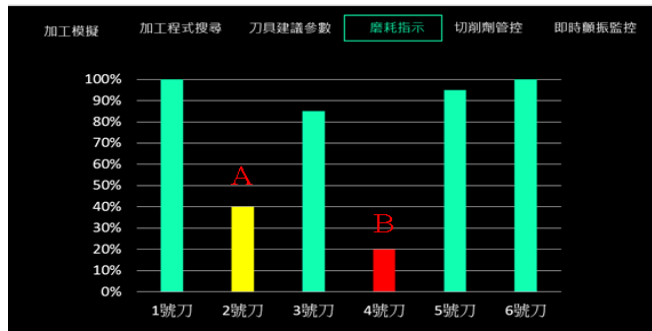


圖4-5 磨耗指示畫面

此畫面為即時呈現加工程式所用之刀具磨耗，藉由(圖4-4建議參數)並搭配雲端資料庫參數，進而計算出刀磨耗程度並以百分比的方式呈現在圖表中，若工件只需要兩把刀具，列表中也只會出現兩把刀具的磨耗量，如刀具磨耗已至百分之五十以下將呈現黃色狀態如A處所示，低於百分之二十五以下將呈現紅色狀態如B處所示，並發出告示通知操作者或遠端監控者。

4.5 切消劑管控畫面



圖4-6 切消劑管控畫面

A：監控切削劑濃度，以百分比的方式呈現，指針於百分之五十時為最佳狀態，但也視工件材料決定該濃度的增減。

B：黏度控管畫面，若黏度過高，會使工件潤滑產生問題，因此黏度也被本研究視為重要因素之一。

C：PH值控管畫面，為避免造成工件變質，因此量測 PH值使工件加工穩定。

D：管控切削劑剩餘量，若剩餘量不足時，畫面呈現紅屏狀態，提醒操作者或遠端監控者補足，由於此畫面最為重要。

E：溫度狀態控管畫面，提醒溫度過高應降溫，避免工件溫度過高，影響精度量測。

F：導電率控管畫面，因磨擦會產生靜電及細微磨屑，有時會藉由切削劑帶走，使切削劑本身帶電，本研究將導電率視為重要影響加工因素之一。

4.6 即時顫振狀況畫面

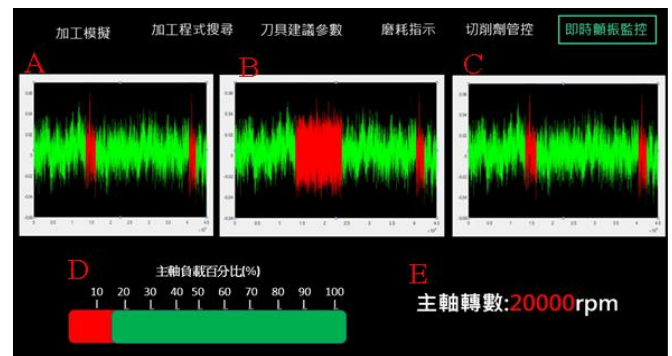


圖4-7 即時顫振狀況畫面

A：加速規X軸向量測所得訊號，透過雲端中的訊號來源作為背景訊號比對，若超過之赫茲以紅色波表示，明顯發生顫振若無修正，APP 將發出警示訊息告知操作者或遠端監控者做處理。

B：加速規Y軸向量測所得訊號，概念與(圖4-6-A切削劑管控畫面)相同。

C：加速規Z軸向量測所得訊號，概念與(圖4-6-A切削劑管控畫面)相同。

D：無線壓電感測器所量測之訊號，主要用以觀察主軸負載值，調整加工參數時，可藉由此處觀察主軸負載程度，判斷參數是否需再做更改，並以百分比方式呈現。

E：主軸轉速，透過控制器回傳，可觀察當時轉速大小。

5. 結論

傳統工具機旁皆有操作員，切削異狀很快被發現，但隨機器手臂廣泛地導入 CNC 工作後，若是發生顫振，或是崩刀導致加工不良，可能要數小時後品質檢驗站才會發現，此時造成的時間及材料上的浪費會是以往的數十倍。本研究可即時診斷機器健康狀態。以往僅能在加工中途時才發現問題，現階段已可即時監測，如加工機開始出現不尋常狀態，可快速採取對應的處理措施，包括優化調整加工參數，例如變更主軸轉速或更換刀具等等，誤差立即就能解決。

人工智慧應用將在工業 4.0 擔任重要關鍵，亦為本研究之

基礎，所謂人工智慧就是於電腦或機器上實現人類的智慧，也可說是讓機器有類似於人類處理事情運用的智慧，基本上人工智慧有聽說讀寫四大功能，具有思考並於錯誤中學習，因應千變萬化的環境，而知識更是一切智慧系統之根基，在智慧系統運作的過程中每一動作都是獲取知識及運用知識的證明。

本研究擷取訊號類型為壓電性訊號，透過收集訊號、測量機床電流負載，以此證實數控機床主軸電流負載的變化與刀具磨耗程度之間存在一定的相關性。此外，當刀具磨損或切削劑不足時，造成過熱或其他異常狀況，電流負載將在極短時間內會產生劇烈且異常的顫振，再進一步採集刀具從正常使用到崩刃的週期壓電資料，從中找到能夠反映刀具磨損趨勢的特徵，接著搭配 AI 智慧的演算功能，將異常的訊號做處理，並反饋給機台做修整，將得到更好的加工效率，及減少的加工成本。

參考文獻

- [1] 洪良德 切削刀具學。新北市：全華圖書（2017）
- [2] 陳紹賢、華柏堯、劉哲瑋。CNC 主軸溫升之影響。綠色科技工程與應用發表之論文。臺中市國立勤益科技大學（2013 年 5 月）
- [3] R. Sundar, A.N. Balaji, R.M. SatheeshKumar12th global congress on manufacturing and management Procedia Eng., , pp. 1875-1885 (2014)
- [4] J. Mayr, J. Jedrzejewski, E. Uhlmann, M. Alkan Donmez, W. Knapp, F. Härtig, et al.Thermal issues in machine toolsCIRP Ann - Manuf Technol, 61, pp. 771-791 (2012)
- [5] D. Berger, D. Brabandt, G. LanzaConception of a mobile climate simulation chamber for the investigation of the influences of harsh shop floor conditions on in-process measurement systems in machine tools Measurement, 74 (2015).
- [6] J. TlustyDynamics of high-speed milling J. Eng. Industry, 108 (1986)
- [7] Y. Altintas, M. WeckChatter stability of metal cutting and grindingCIRP Ann., 53 (2004)
- [8] Chien-Yu Chen "Analysis of Hydrodynamic Journal Bearings with Novel Elliptical Groove" Master's thesis, School of Mechanical Engineering, National Taiwan University, Taiwan, (2010).