

汽缸壁拋光專用機之設計開發與驗證研究

黎文龍¹、彭建斌²、張東權³

¹台北科技大學機械工程系教授

²機電整合所研究生、³永進機械公司研發部

國科會計畫編號：NSC-97-2221-E-027-027

摘要

本研究係以創新設計的手法，結合系統化之設計模式，設計開發一台小型割草機用汽缸內壁拋光加工之專用工具機，以滿足廠商之加工需求。在本研究創新設計過程中，利用有系統的創意發想與工程決策程序，進而建立一套整機設計之流程，並能縮短設計開發之時程，減少經驗不足對設計工作所造成的影響，進而降低成本及提高工作效率。過程中，由加工構想之方式將整機體系，依其功能性分解成變速箱、夾具及進給機構等子系統，其中進給機構又包含：調整、自轉、往復運動、及控制等子系統。當設計構想以發想及評估完成後，本研究係藉由 Solidworks 及 Pro/Engineer 電腦輔助繪圖軟體，進行各子系統元件之 3D 模型建立及組裝，並適時利用 COSMOS 分析模擬設計件之應力大小、分佈及變化，最後，產出各元件之原型，經歷動手組裝，從做中學，且同時檢驗設計時的缺失，進而產出拋光專用機之原型。經由機台測試，包含機能、振動及噪音等測試驗證，證實整機符合原訂之設計目標及規範。

關鍵字：設計程序、創新設計、工具機、拋光

1. 前言

本研究直接對應廠商之 25 C.C. 與 30 C.C. 之汽缸體拋光需求，為其設計開發新的產品，亦屬於設備創新研發之範疇。而一個創新產品成敗的關鍵，除了性能上須滿足產品的需求外，也需要能夠及時的投入市場並降低成本提升競爭力，因此，能妥善地安排與掌握完成此項設計所需工作之次序、時程以及相關的成本就變地格外的重要。故正式進入設計之前，將觀察現有關於「設計程序」及「系統化之設計模式」的相關研究，如 French [1]、Pahl & Betiz [2]、VDI 2221 [3] 等設計模式，觀察後發現，產品開發流程主要可分成確認需求、規劃設計活動、訂定設計規範、構想設計、具體設計及製造等程序。

2. 確認設計任務

2.1 問題解析

本研究所需開發之專用機，其加工對象為一般割草機用之汽缸材質為鋁合金或鐵，是經由鑄造法鑄造而成。其中，用於汽缸體之鑄造常見為壓鑄法(Die Casting)或翻沙鑄模法，成形之後再經由機械加工、電鍍以及拋光等[4]製程，加工流程說明如下：

(1) **機械加工：**製品由於經過壓造、鍛造、壓鑄等工程，因此為了去除其加工所形成的垢或銹，以及使其表面平滑，故必須研磨(grinding)。研磨的方法，依製品的材質、大小、形狀、精度等，而有機械、化學、電解等方法。

(2) **電鍍：**一般汽缸體主要是電鍍工業用鍍硬鉻，目的是用來提高鍍層的抗熱性、耐磨、抗蝕和低摩擦係數，故其鍍層較厚，厚度約 5 μm 至 0.1 mm，但因鍍層太薄不耐磨，太厚又易剝落，一般建議為 20 μm 至 50 μm 為宜，電鍍後其表面硬度可達 HRC 70 [4]。另外，電鍍後表面不得有侵蝕孔。

(3) **拋光：**金屬物件在電鍍後，需用機械力將表面磨光或拋光，除去被鍍物件上之鐵銹、污穢、毛刺等，使被鍍金屬表面光滑、附着力增強及增加光澤[5]。因此，機械式拋光一般去除金屬厚度約小於 0.4 μm ，大於則先用研磨。一般電鍍鉻之拋光圓周轉速約 30~35 m/s (1800~2100 m/min) [4]，將其換算成轉速約為 19000 rpm。

(4) **成品之加工規範要求：**經拋光加工後，量測時須就外觀、表面精度及尺寸精度等做檢查。且根據廠商所提供相關資料，拋光後須滿足以下條件[5]：

- 真直度(Straightness)須小於 10 μm 內誤差
- 真圓度(Roundness)須小於 15 μm 內誤差
- 鍍層厚度不得過厚(不得大於 15~20 μm)
- 拋光後不得有剝落現象
- 表面粗糙度介於搪磨(honing)與研磨(lapping)之間[6]，約為 R_a (中心線平均粗糙度) 0.8 以下

2.2 設計目標與規範

在正式進入設計之前，將根據廠商之需求與相關理論做進一步的剖析，並訂定設計目標及規範，目的除了能減少設計錯誤，還能加速設計構想的產生。目標分析整理如下：

- **設備自動化：**因廠商是從事汽缸體大量生產製造，若能導入自動化製程，將能提升產品製造之效率及市場的競爭力。
- **高速主軸：**電鍍鉻之拋光加工理論轉速約 19000 rpm，本研究基於首次開發，將主軸轉速略降為 12000 rpm，以控制檢測之安全。
- **穩定性及效率：**儘可能設計成對稱之形狀，可減少機台的不穩定性，並利用雙軸同時加工之方式，提高加工效率。
- **特製夾治具：**主要針對該廠最大加工量 25 C.C.

及 30 C.C.之汽缸體為主要加工之對象,需設計特製容易替換兩種汽缸體規格之夾治具。

- **拋光工具**：拋光輪使用取得較為容易之毛氈、軟質布料或皮革等的黏附磨粒拋光輪。拋光劑使用微粉磨料、油脂和添加劑所組成固體拋光劑。
- **低成本限制**：應盡可能使用標準零組件，好處除了可以簡化系統設計程序，更可減少設計錯誤及特製品之製作成本及生產時間，增加系統維修零件的機動性。
- **維修及保養**：整機需模組化，拆解及組裝的動作、程序越少越好，使維修及保養容易。
- **綜合加工**：除了進行拋光加工外，更進一步利用磨除加工的方式，解決電鍍品質不穩定造成鍍層過厚的現象。

3. 創新設計

3.1 設計思維之程序

本研究拋光專用機系統構想思維之程序是先建立拋光機整體之功能架構(functional structure)[7]，將設計問題依拋光加工之方式以需求功能解剖、分解成許多可以掌握的幾個子系統(sub-systems)解，透過子功能的分解過程，可以更進一步瞭解拋光機系統的設計需求，以及各子功能間所應提供和扮演之角色，且遵循本研究所訂定之設計目標及規範，針對各個子系統以發想方法或技巧等依其作動之方式，找尋可行的機構或原理。儘可能構想多個可能解，且屏除個人主觀思維，以客觀角度正確決策、評估選出各個子系統的最佳解，以取得設計上較高的可信度及成功的機率。最後整合這些局部之最佳解，以成為拋光專用機整系統之構想設計的最終結果。

在設計構想轉換的過程中，利用 CAD 電腦輔助繪圖軟體建構實體模型，來加速各零組件形狀、位置、配置、各部尺寸及公差的設計，並交互檢查各個構想，檢查是否會產生干涉。

3.2 系統之功能架構

本拋光系統之汽缸加工方式構想由拋光工具抵住汽缸體內壁一側的“橫向拋光”，拋光工具固定不動，由欲加工之汽缸體橫向調整進給，並利用不同轉向的相對運動來提高拋光速率。因此，當刀具高速轉動下，夾具夾持汽缸體後也必須做逆向之迴轉運動，這樣才能夠達到兩個自由度之加工，如圖 1 所示。

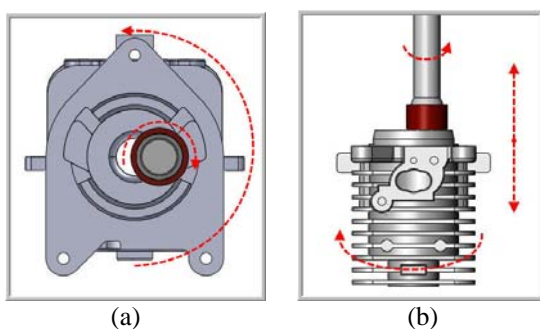


圖 1 構想加工方式：(a)橫向拋光、(b)汽缸進給加工

因此，由構想拋光加工之程序規劃出本研究拋光專用機之功能架構，將設計構想以輸入條件與輸出功能間以方塊圖表示，如圖 2 所示。考慮一次兩個汽缸體以人工放置於夾治具後迅速定位且夾持，汽缸夾持後依需加工之深度將夾具橫向調整至加工位置，夾具需自行迴轉與拋光工具做不同轉向之相對加工，藉由移動平台升降的往復運動來加工汽缸體之內徑，而移動平台之升降是利用控制系統控制其作動，最後與拋光所需高速迴轉之主軸夾持刀具來加工。因此，拋光機之系統依功能性分解後主要可分解成具有高速主軸之變速箱、夾具及進給機構等三個子系統，其中進給機構包含調整、自轉、往復運動及控制等子系統，如圖 3 所示。

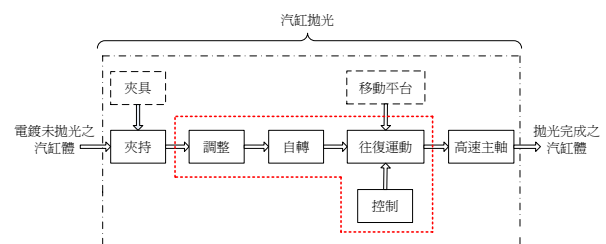


圖 2 拋光機之功能架構

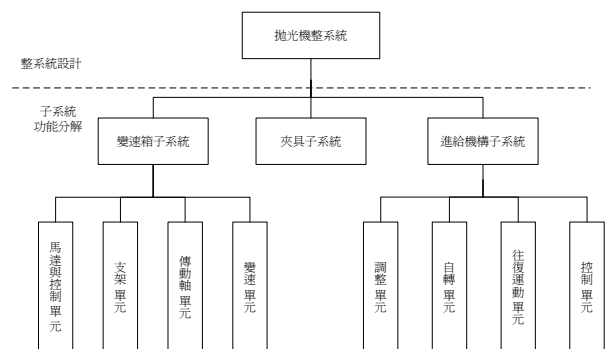


圖 3 研究範疇

3.3 子系統之功能說明

為清楚說明圖 3 之各子系統間之作動方式與內涵，方便後續說明本研究構想過程與結果，特將已完成之拋光機整體構想表示於圖 4，各子系統之內容可參考[8, 9]，但簡單介紹如下：

(1) **變速箱子系統**：實現主軸旋轉之運動，為加工運作之核心，主軸轉速需高達 12000 rpm，並且有變速之機制，可以安裝加工工具於其軸上，如圖 7 所示之 A，包括馬達與控制單元、支架結構單元、傳動軸單元、及變速單元等：

- **馬達與控制單元**：動力傳遞之相關能量計算，經過解析計算後，變速箱單元之動力傳遞選用結果：動力源為三相 220V 之 1/2 HP 感應馬達，開關使用無熔絲開關。儘可能選用市售之標準元件。

- **外箱結構與支撐架**：外箱採用以四片鋼板用螺栓加以固，須考慮組合之對位配置、安裝手孔、鎖固設計等設計，由於外箱之結構設計須特別考慮強度與模態，本研究利用 CAE 軟體 COSMOS/ Design STAR 來輔助模態分析。
 - **傳動軸**：本設計總共有三支旋轉主軸，兩加工軸與一驅動軸，轉軸上設計有軸環、鍵、固定螺絲、軸承用螺栓以及定時皮帶輪等元件。
 - **變速單元**：本設計採用齒輪與定時皮帶兩種加速方式，總共有三支旋轉主軸，兩加工軸與一驅動軸，詳細將於後面說明。
- (2) **夾具子系統**：實現夾持汽缸體之運動，為汽缸體夾持之工具。夾具設計上，具備能夠快速夾持，且容易替換兩種大量生產之汽缸體的功能。另外，其須兼具自轉之運動，如圖 4 所示之 B。
- (3) **進給機構子系統**：主要功能為控制拋光加工之自轉、線性進給、往復等運動，包含四個主要單元：
- **調整子系統**：實現夾治具可以調整移動至加工位置之運動，並限制只能做單方向位移，以減少加工誤差，此單元亦為進給機構之一，如圖 4 所示之 C。
 - **自轉子系統**：實現夾具自轉之運動，利用相對運動來提高拋光速率，轉速約 50 ~100 rpm。其附於夾具單元，當夾具調整至加工位置時，此系統也會隨著移動。如圖 47 所示之 D。
 - **往復運動子系統**：實現移動平台上下移動之往復運動，使夾具配置在移動平台上，藉由上下平移往復之功能，來達到汽缸體全壁的加工，亦為進給機構之一，如圖 4 所示之 E。
 - **控制子系統**：實現設備自動化加工，利用上下兩個極限開關，控制移動平台之動力源，使平台自動移動加工，如圖 4 所示之 F。
- (4) **其他**：除前述三大主要功能子系統外，為了本研究開發之專用機更具有附加價值，過程中也考慮一些特殊之設計，例如，間隔環與定位板[8]、工具及方便展示成果之移動車架等。

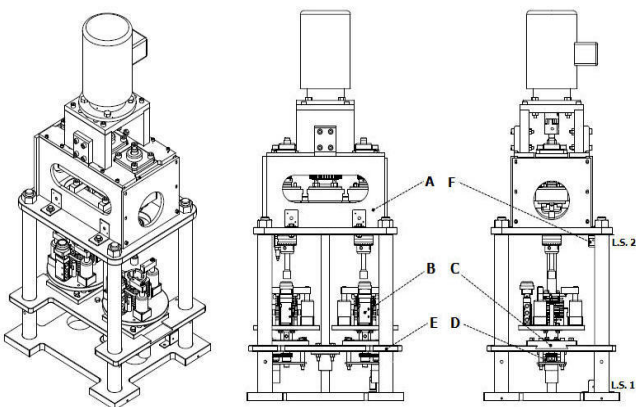


圖 4 全機之設計構想 3D 圖

3.4 子系統之設計

1. 變速箱子系統：外箱為變速箱之主體支撐結構，其需有支撐轉軸之功能，一般齒輪變速箱分為上下兩部分，因考慮箱內油衝擊內部故需製成圓弧型，以減少間隔，且齒輪變速箱之製造方式多以鑄造而成。然而，本研究基於原型機與實驗之考量，暫先以構造簡單與低成本為理念。外箱於構想設計中之多數設計解中，評估認為使用四片鋼板以螺栓鎖固之方式為較適合，如圖 5 所示。因其加工容易、易拆解、不受尺寸限制，但在具體實現時，需考慮組合之對位配置、安裝手孔、鎖固設計等設計。

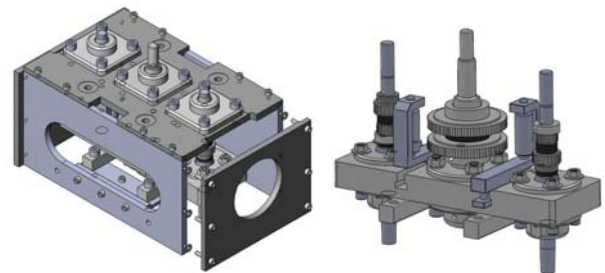


圖 5 變速箱子系統：(a)變速箱設計、(b)主軸配置

本研究之構想為利用雙軸同時加工來提高加工的效率，因此，將利用三支旋轉主軸，一驅動軸與兩加工軸，轉軸上設計有軸環、鍵、固定螺絲、軸承用螺栓以及定時皮帶輪等元件來配置。利用定時皮帶傳遞動力時，需配合使用調整皮帶鬆緊度的裝置，以避免皮帶傳遞造成滑動。

動力傳遞之方式如圖 6 之爆炸圖所示，也即感應馬達經由聯軸器以直結之方式將動力傳達至驅動軸，再經由定時皮帶與定時皮帶輪傳動至兩加工軸，軸上搭載兩種不同之定時皮帶輪，故設計有兩種轉速可供切換，為 140 齒與 40 齒搭配可達 11970 rpm，而另一轉速為傳 140 齒與 60 齒搭配可達 7980 rpm。兩加工軸間距為 213.8 mm，直徑各為 15 mm。

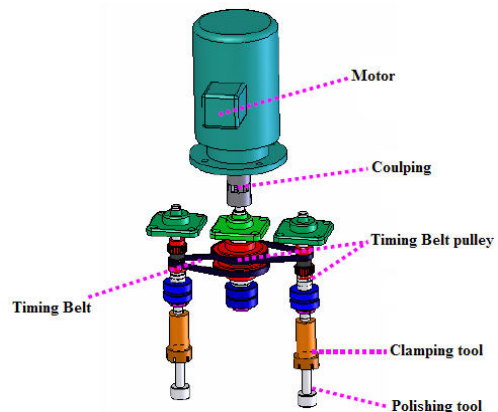


圖 6 動力傳遞之構想

變速箱於整合時，首要面對的課題就是變速箱子系統要如何配置，最重要的不外乎就是機身及機架結構。因為一般工具機之機身及機架結構，主要在於提

供一堅強且穩固的基礎，以承受靜態與動態負荷。觀察目前工具機之各機身外型方式，可以轉用至本研究。在考量整合後之穩定性，本研究認為立式是較適合之設計解，並進一步由立式可延伸出其他目前常見之立式機型。

根據機架之構想，變速箱子系統是以四根機柱支撐，而機柱身兼移動平台往復運動之導引功能。組裝方式是由下支撐平板設計成內階級圓孔，由下而上依序套入下支撐平板及上支撐平板，利用導桿階級的幾何外型，支撐住上下兩塊平板，最後用強力螺帽鎖固於上支撐平板即可。變速箱單元之整合，將組裝於上支撐平板，外箱之前、後兩片銅板底部設置有定位銷定位以確保變速箱的位置，變速箱的固定是利用現有之 L 型角鋼來固定。而機架與變速箱整合後，估計重量約為 120 kgf。

2. 夾具子系統：依設計目標及規範，將針對最大加工量 25 C.C. 及 30 C.C. 之汽缸體，設計專用且能快速替換之夾治具。另外，將導入自動化夾持之構想，但礙於成本的考量，決定先以人工取料、填料、夾治具快速夾持的半自動化來實現。因經歷鑄後之汽缸體外型並不均一，不適宜使用面接觸的方式來固定工件，故構想由圓柱配置於夾具平台，以點線接觸限制汽缸體不可任意移動及轉動，並設置定位錐，使工件能快速定位。夾持之元件經評估與成本考量後，決定使用氣壓式之自動化控制。

使用氣壓轉角缸來夾持工件，其氣壓管線之配置，是先由空氣壓縮機產生氣體，透過空氣調理組調整輸出氣體之壓力及過濾大氣中的水氣來增加元件的壽命，接著將氣體送至機械閥來控制進排氣，而三個轉角缸是利用串聯的方式，分別以兩個三通的接頭將轉角缸進氣與排氣給串在一起，串聯的方式並不影響轉角缸最後輸出之壓力，只與串聯位置作動的時間有關。最後，排氣時氣體一樣會回至機械閥，藉由消音器排放於大氣之中，圖 7 為氣壓之流程之示意圖。

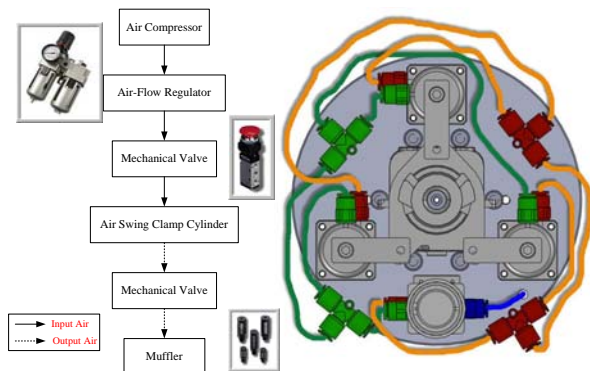


圖 7 管線配置構想

3. 進給機構子系統：

(1) 調整子系統：因各個汽缸體經電鍍後，其生成鍍層厚度不同，使內徑之尺寸並不均一，導致汽缸體加工的深度也不相同，再加上本研究構想在加

工時刀具固定不動。初步構想是將夾具盤置於調整座，藉由調整座在移動平台上調整至加工位置，經評估後將利用鳩尾槽之幾何外型限制鳩尾座只能做單方向的位移，若公差配合及加工時之精度得宜，其移動所產生的誤差量會很小。

鳩尾槽的深度構想為鳩尾座推至底時的歸零位置，也就是拋光刀具與汽缸體內孔的同心處，如圖 8 之(a)，由 CAD 上量測後槽深約為 170 mm。目前調整座的移動暫時以手動的方式調整，移動平台上設置有固定螺栓，鳩尾調整座設計有移動用之長孔，調整至加工位置後以鎖固螺栓於平台上，圖 8 之(b)為建構的 CAD 模型。

(2) 自轉子系統：由於每次調整座移動的距離都不盡相同，動力傳遞的方式不適宜獨立固定在外，且雙軸加工時，希望兩個夾具盤可以分別獨立轉動。初步構想是希望將自轉運動之系統附掛於調整座，使夾具調整至加工位置的同時，此系統也會隨著移動。因夾具構想使用油壓、氣壓或電控等自動化裝置驅動，在管線配置的規劃下，無法使用馬達直結的方式連結。如圖 9 所示。

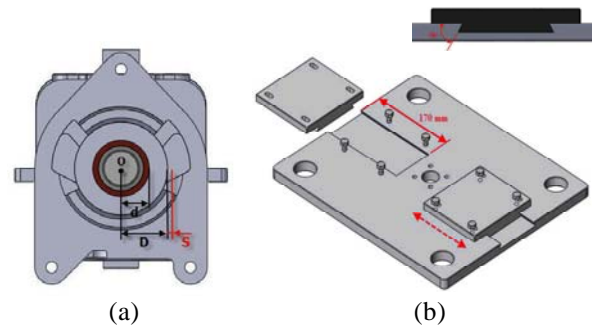


圖 8 調整子系統：(a)進給示意圖、(b)構想之結果

(3) 往復運動子系統：一般機械工件加工進給方式有兩種：1. 刀具主軸固定不動，由工件進給，如：銑床、車床等。2. 工件固定不動，由刀具主軸進給，如鑽床。因已開發完成之變速箱子系統組裝後重量約為 60 kg，要使其穩定進給並不容易，故將以第一種方式，也就是變速箱固定不動，由工件置於平台上進給的方式來產生構想。往復進給系統的作動方式主要是作直線運動，由此限制後，經決策評估認為移動準確、安裝容易及製作成本低之螺桿與導桿式為最佳解。此構想是由螺桿配合螺桿襯套並鎖固於往復平台，且機柱兼導桿的功能限制其運動方向，由迴轉運動轉為直線運動，螺桿的動力源為馬達，並構想利用上下兩個極限開關，來控制馬達以實現往復運動，如圖 10 所示。

(3) 控制子系統：移動平台的升降運動將分成手動進給與自動控制進給。先以手動按壓升降開關上升加工些許的深度，確認此次進給加工的結果，之後切換為自動化升降，加工汽缸體內徑之深度。

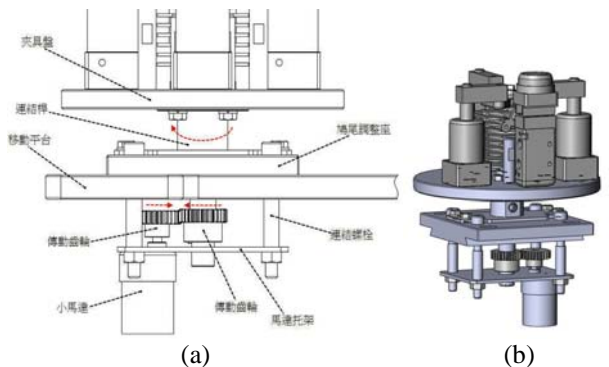


圖 9 自轉子系統：(a)自轉示意圖、(b)整合後之模型

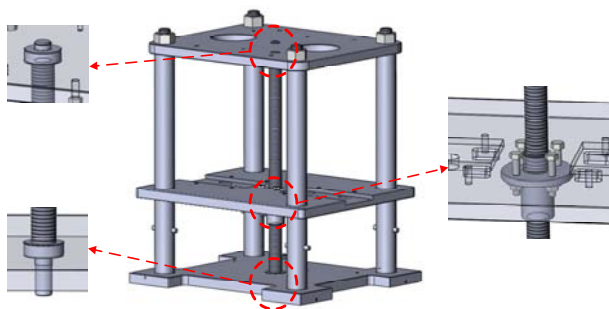


圖 10 往復子系統之構想

4.組裝及測試

4.1 組裝

將零組件及標準件按照裝配圖動手組裝，目的是希望在這從無到有的設計過程中，能將虛擬與實際做結合並比較，因為虛擬狀態下是不受空間及物理限制，而在實際情況是沒有人可以違反物理意義的，所以必須經歷動手組裝，從做中學習，且同時檢驗設計時的缺失。拋光機組裝如圖 11 所示。

4.2 機台測試與量測

安裝完成後，將進行拋光機之跑合測試。於是本研究將修正機台測試的方針，僅針對產出後之原型機做運轉的機能測試，檢驗其功能性是否正常無異以及是否滿足設計前所訂定之目標及規範，另外再以振動及噪音的量測診斷組裝或設計欠佳之部分，並推估在實際加工時的影響。

4.2.1 機能測試

規劃一系列拋光專用機之機能測試，來檢驗組裝後各項操作裝置之功能是否正常，有無異處。此項測試包含主軸啟動與停止、變速箱轉速變換、夾具自轉起動與停止、往復平台之升降、調整裝置之操作、拋光工具之裝卸、控制裝置、安全裝置、潤滑裝置、氣壓裝置及電器裝置等測試，測試結果發現不良之處有三：一為主軸變換轉速不易，變換時需將整個變速箱拆解才得以變速；二為氣壓管線於接頭處容易漏氣；三為對於操作人員之安全防護機能較弱。

4.2.2 振動量測

工具機在使用的過程中都會產生噪音及振動，振動的發生通常是由於製造公差、虛位、軸心不良、軸承或齒輪磨損、驅動皮帶失常、動力源、機件間的滾動和磨擦及旋轉和往復運動部件的不平衡力等的動力效應而產生。振動容易造成生產效率及製造精度降低、機件磨損及影響人體健康等。因此，本研究將量測所設計出之拋光機原型，在主軸正常運轉且進行拋光加工情況下所產生的振動量，並藉由量測所得之振動量分析診斷振動產生的原因。且主要探討主軸轉速於 7980 rpm 下，距離動力源較近之上、下支撐平板及往復運動的移動平台等三個位置的振動情形，如圖 12 所示之 A、C、B。

量測結果，於上支撐平板(位置 A)、移動平台(位置 B)及下支撐平板(位置 C)，在 7980 rpm (133 Hz)狀態下於二倍頻處(266 Hz)，皆有共振產生之鋒值，其中以移動平台(位置 B)之振幅為最大，複合振動約為 0.26 m/sec^2 ，推測可能為機件鬆動或夾具子系統自轉之動不平衡所造成。因夾具之自轉是由齒輪帶動連結桿轉動，並利用止推軸承降低轉動時的摩擦，其固定方式應由迴轉物體之重量壓住，但本研究製作出之夾具子系統為鋁合金重量較輕，因此便設計了軸承固定蓋固定，可能是軸承與軸承蓋間仍有間隙，使得夾具的轉動有動不平衡作動的空間，造成移動平台有較大的振動。其次為上支撐平板(位置 A)，複合振動約為 0.18 m/sec^2 ，其振源可能為變速箱動力傳遞所引起，推測為調整皮帶鬆緊度的裝置安裝不欠佳，使皮帶太鬆或太緊所造成的振動。下支撐平板(位置 C)的振動量為最小，複合振動約為 0.1 m/sec^2 ，但頻率位置仍與位置 A 及位置 B 所量得的訊號相同，推測可能仍為變速箱所以引起之振動。

將拋光機所量得的振動量與 ISO 10816[10]機械設備振動檢驗標準做對照，所量得之最大複合振動量 0.26 m/sec^2 ，對照後可得知本研究所設計之拋光機於機械設備振動檢驗中，亦屬於可接受範圍的機械設備。

4.2.3 噪音量測

本研究於進行量測時將以電容式麥克風以距離 5~10cm 量取拋光機運轉加工時之聲音最大處，本研究認為最大處位於變速箱之動力傳遞部份。

由頻譜分析之得知結果如圖 13 所示，拋光加工之噪音峰值有三處：一為 1 k~4 kHz 處，約為 80 dBA 左右，此處之音源認為是馬達運轉的聲音，二為 8k Hz 處約為 92.6 dBA，此處之音源研判是皮帶輔助裝置裝配不當發出的吱吱聲響；三為 16 kHz 處約為 81.5 dBA，此處之音源推測可能是軸承潤滑不足所致。本研究之設計，於機台運轉加工的過程中所產生的噪音亦屬於良好的範圍。

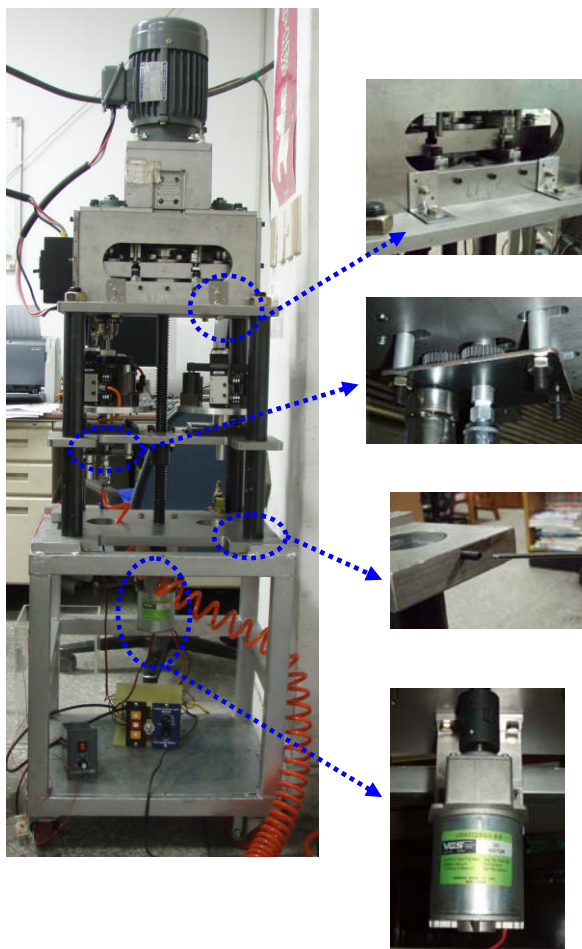


圖 11 拋光機之組裝

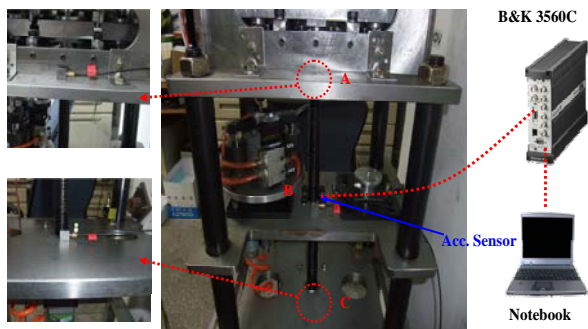


圖 12 振動量測架構

5. 結論

本研究由規劃機台的機能與性能的跑合測試，評估整機之功能，符合原預期之目標與規範。也對振動及噪音量測，觀察在跑合運轉期間所產生的振動量與噪音，進行設備的診斷找出發生的原因。將振動與噪音量測之結果與 ISO 10816 之機械設備振動檢測表對照後，本研究之拋光機屬於可接受之設備。

6. 誌謝

國科會 NSC-97-2221-E-027-027 計畫以及建成機械公司於獎助學金與材料之支助，謹致謝忱。

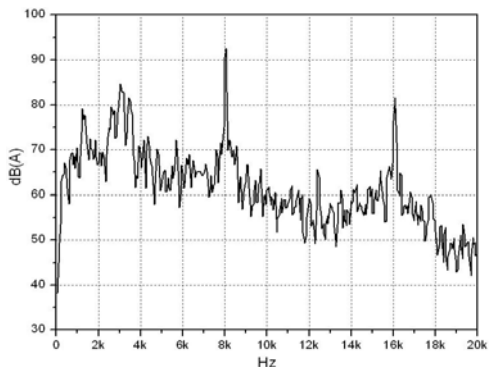


圖 13 噪音量測之結果

7. 參考文獻

1. French, M.J., Conceptual Design for Engineers, The Design Council, London, 1985.
2. Pahl, G. and Beitz, W., Engineering Design: A Systematic Approach, Springer, 1996.
3. VDI 2221, Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, VDI.
4. 王大倫譯，實用電鍍學，徐氏，台北，1991。
5. 蘇癸陽編譯，實用電鍍理論與實際，台南市：復文書局，1990，第一章。
6. 張金全，電鍍工程學，台北市：五洲出版社，1976，第六章。
7. 黎文龍，工程設計與分析，東華書局，台北，2002，第八章。
8. 張東權，汽缸壁拋光專用機之設計與驗證研究，碩士論文，台北科技大學機電所，台北，2007。
9. 彭建斌，汽缸壁拋光專用機之設計與驗證研究(II)：夾具與進給機構，碩士論文，台北科技大學機電所，台北，2009。
10. International Organization for Standardization. ISO 10816 Mechanical vibration, 2003.

Design and Verification of the Machine for Polishing Cylinder Walls

Wenlung Li¹, J.B. Peng¹, T.C. Chang²

¹Department of Mechanical Engineering, NTUT

²Yeong Chin Machinery Ind. Co.

Abstract

The main purpose of the present study is to design a machine for polishing the inner wall of the cylinder for small volume engines. The machine was decomposed into several subsystems. Through the study, the idea generation process has been applied. It was started by looking into the functional structure of the machine. After that, practical ideas were thoroughly generated by using a systematic check list. The design solution was then transformed into drawing and sent to shop. The machine was assembled and tested in the lab once all components were ready. Both dry-run and measured results have shown the present polishing machine is quite promising.

Keywords : Design Process, Innovation Design, Polishing