

2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100021

參展科別 工程學

作品名稱 多功能數值控制微型射出成形機

得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 國立嘉義高級工業職業學校

指導教師 黃永國、張智賢

作者姓名 江浩宇、侯信旭

關鍵詞 射出成形、數值控制、變導程螺桿

作者簡介



我們是嘉義高級工業職業學校的學生，在高二時期，自願參與工科技藝競賽，經過長時間的訓練，我們對於操作機台有相當的了解，對於機械製造，與機構運作有極大的興趣，因此我們看見課本上有許多學校無法購置的機器時，我們好奇這麼多機器是如何運作的，因此以作教學工具為基礎，我們決定開發一台微型射出成形機，因為我們認為設計一台微型射出成形機可以引起學生們的興趣，以及利用學校 CNC 資源自行開發模型，順帶練習 MasterCAM 技巧是很不錯的一件事，當時製作時發生了需多問題，不斷的修改結構以及調整許多參數，只希望學生們能百聞不如一見，體驗到操作機器，甚至學習組裝的樂趣。

壹、摘要

高職機械群科在學習的過程中常常接觸到射出成形相關領域，我們想自主設計開發微形射出成形機，並和工業界生產的機台以液壓為射出機構不同。所以本專題以 3D 列印機的運動控制及材料加熱系統為基礎，利用變導程螺桿的加壓射出機構及螺桿導軌鎖閉模機構來完成射出成形所需的各個機械動作。變導程螺桿做出材料的輸送及射出動作，加壓後可將空氣排出，進而取代了原本注塞式和一般螺桿式的加壓射出；再利用公模、母模、頂射板和母模固定板所形成的射出模系統，進行自動化。由於機台微小化，操作方式和現行 3D 列印機操作方式類似，所以可作為教學之教具使用，亦可由同學自行設計模具進行射出成形操作。也能針對不同的材料做為射出的成品。

貳、研究動機

因為我們在高二製作過 3D 印表機，使用 3D 印表機列印成品，發現強度與精度較射出件差，因此在與老師討論過程中想要開發射出成型機。現今業界所生產用的射出機，大台動輒好幾百萬，規格小型的也要好幾十萬，不僅價錢高，體積也大，勢必要挪出不小的空間擺設機台，且專用射出模具適用於大量生產用，模具價格昂貴不易普及到每位學生製作。

因此，我們想設計製造一台，成本低、體積小也適合學校實習工廠的微型射出成形機，使學生了解射出成形的原理，而不是課本裡簡單的文字敘述，而且射出模具設計簡單，可以配合高二電腦輔助設計(CAD)和高三的電腦輔助製造(CAM)課程做出，讓課程內容能夠更加豐富，同時也適合 3C 產品光學零件組微小化後產品設計原理模具開發之先期測試使用。

本專題開發出的微型數值控制射出成形機有以下特點：

- 一、自行開發設計與零件加工、組裝，技術自主。
- 二、體積小、製作成本低，一般高職生所學的專業知識即可製作完成，當教具使用。
- 三、可射出不同融點的材料，如環保塑膠、臘、肥皂等。
- 四、整體射出動作由兩個步進馬達做動控制簡單，可連續進料及自動化生產。
- 五、利用變導程螺桿取代活塞式射出動作，排除液壓元件維護成本。
- 六、操作介面和 3D 列印機方式相同，成本低操作簡便。
- 七、射出成形過程中，可由 NC 碼控制不同材料在射出成形時的各項時間參數，並可簡易調整。
- 八、可以讓學生可以自製簡單射出成形模具架設，並且操作使用。

參、研究設備及器材

三、研究設備與機台

研究設備及器材：

- (一)車床
- (二)銑床
- (三)切削中心機
- (四)鑽床
- (五)刀具及量具
- (六)Arduino-RAMPS 運動控制板
- (七)步進馬達
- (八)Solidworks 及 Mastercam 軟體

開發機台所需材料：

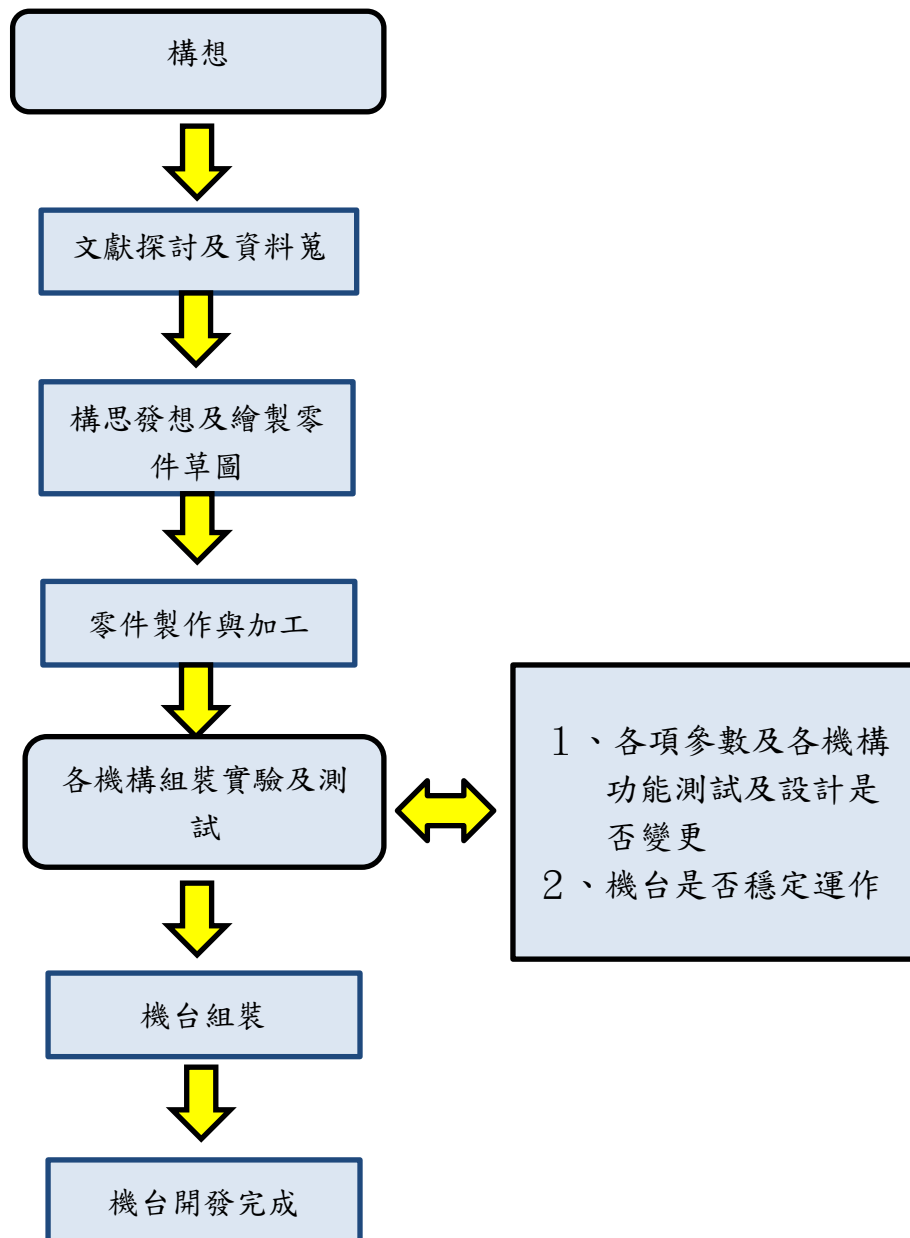
表(2) 機台所需材料

項次	設備名稱	規格	備註
1	固定架	鋁擠型	
2	變導程射出機構	中碳鋼，低碳鋼，鋁材，黃銅	依各零件設計尺寸加工
3	模具開合鎖閉機構	中碳鋼，低碳鋼，鋁材	依各零件設計尺寸加工
4	射出模具	低碳鋼，鋁材，彈簧	依各零件設計尺寸加工

肆、研究過程或方法

一、 研究流程

(一)在初步和老師討論後，分析本專題將會面臨到的技術問題及一些專業問題，我們擬定的研究開發策略流程如圖(1)所示，各項開發工作及日程則由實驗記錄本進行記錄。由於開發當中不可預期的問題點會陸續出現，所以零件的設計變更及修正應再所難免。



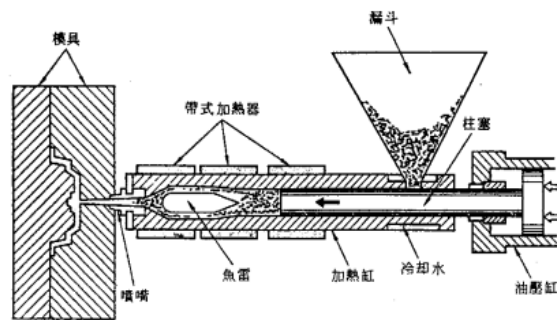
圖(1) 微型數值控制射出成形機之研究開發策略流程

二、文獻探討

目前射出成形機大部分都是大型工業量產為主，在講求快速生產的條件下皆以液壓柱塞型射出機構為主，所以機台系統眾多構造複雜，設備成本高，若以射出機構方式不同，射出成形機可分為底下幾類：

(一) 注塞式射出成形機

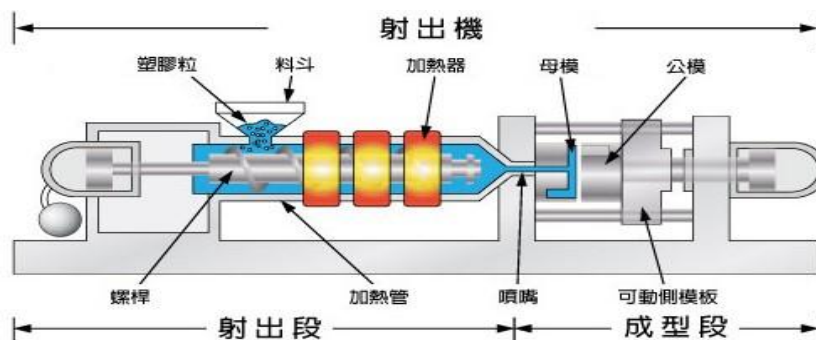
由漏斗加入材料後，利用連結於柱塞的計量裝置作往復運動而計量，計量終了，射出注塞前進使原料通過射出口的狹小通路，在此充分加熱後從噴嘴部射出於模具內。



圖(2) 注塞式射出成型機

(二) 螺桿式射出成型機

材料自漏斗進入螺桿內部後，加熱器加熱使材料熔融狀態後，用螺桿旋轉混煉，並將材料往前推進至前端，在一定位置停止螺桿旋轉，藉由機台後部油壓缸，對螺桿施加壓力，此時螺桿成為射出注塞，將前端熔融材料射至模穴內。



圖(3) 螺桿式射出成型機

三、 研究設備與機台

(一) 研究設備及器材:

1. 車床
2. 銑床
3. 切削中心機
4. 鑽床
5. 刀具及量具
6. Arduino-RAMPS 運動控制板
7. 步進馬達
8. Solidworks 及 Mastercam 軟體

(二) 開發機台所需材料:

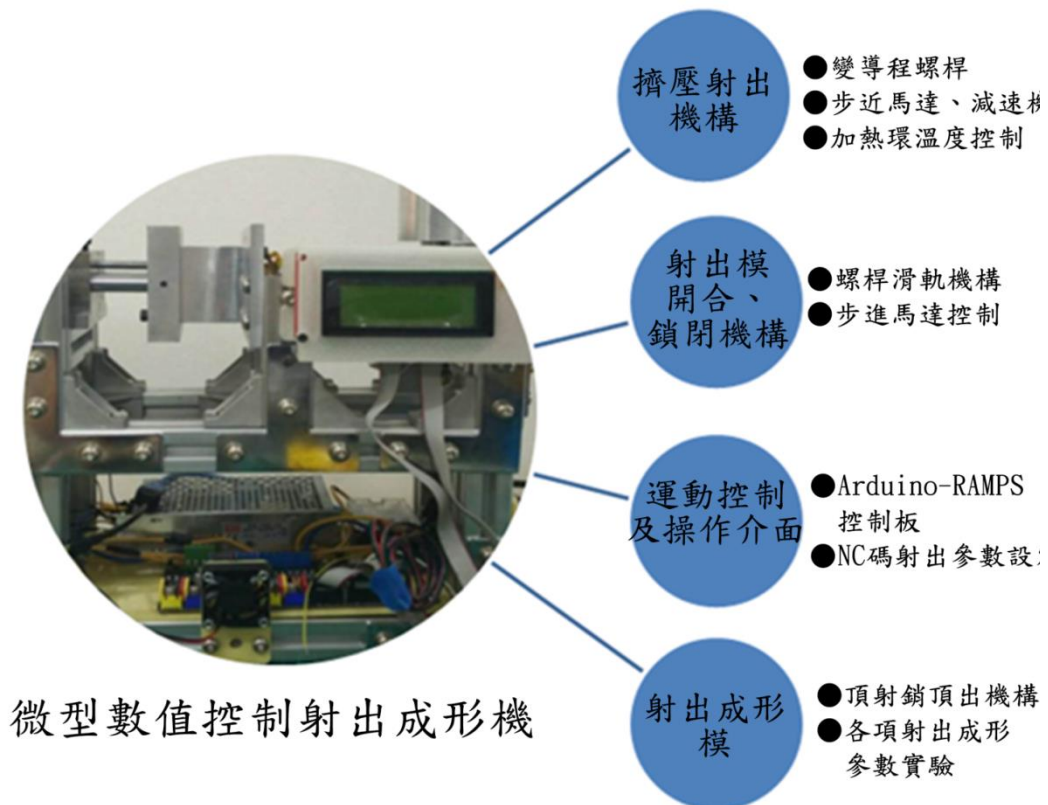
表(2) 機台所需材料

項次	設備名稱	規格	備註
1	固定架	鋁擠型	
2	變導程射出機構	中碳鋼，低碳鋼，鋁材， 黃銅	依各零件設計尺 寸加工
3	模具開合鎖閉機構	中碳鋼，低碳鋼，鋁材	依各零件設計尺 寸加工
4	射出模具	低碳鋼，鋁材，彈簧	依各零件設計尺 寸加工

四、 研究過程

(一) 構想概念發想結構圖

當我們把射出成形的加工方式和 3D 列印技術作了一番比較後，再把本專題機台開發過程所必須使用的各項技術作細部分類，形成一個概念發想結構圖，如(圖 4)所示，圖中顯示了本專題所必須使用的各項技術及細部的機電元件。塑膠射出成型的方式和鑄造概念相同，先把材料融化，再由氣壓或油壓的方式將材料擠壓到模具當中，冷卻後再把成品取出，各種材料融點不同，所以操作方法再設計上也有差異，再者考量到開發的機台成品大小，及團隊同學的知識及實作背景，本專題採用 3D 列印的運動控制模組及操作介面，一般塑膠成形的 3D 列印機由 Arduino 為控制板分別控制 3 個步進馬達 XYZ 三個軸向射出頭的加熱板，還有進料機構，而射出成形的概念和 3D 列印機相近，本專題利用變導程螺桿作用射出材料的輸送及加壓射出機構，和螺桿滑軌系統作為射出模的閉鎖模機構，最後使用 NC 碼來控制整個自動化射出成形的各項動作及時間參數，整合開發出可連續射出成形的射出成形機。經一再分析討論後，構想概念圖如圖(4)所示：



圖(4) 微型數值控制射出成形機概念發想結構圖及細部系統分類圖

如前文所述的構想概念，整個機台的研究開發過程，我們可分為四大部分：

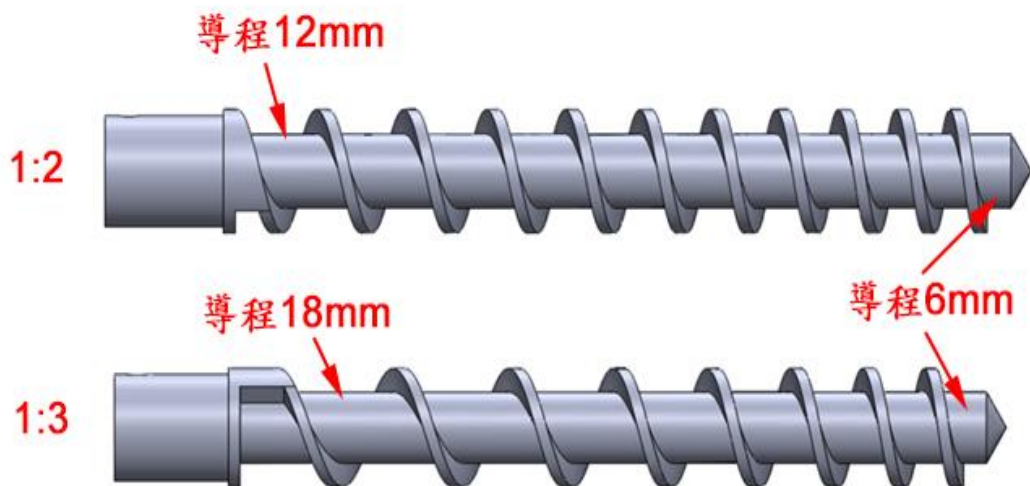
1. 變導程螺桿材料輸送及加壓射出機構
2. 螺桿滑軌系統作為射出模的模具開合及閉鎖機構
3. 運動控制及操作介面系統
4. 射出成形模及成品頂出系統

至於射出成形的各項動作及時間參數則由 NC 碼來控制，下文分別討論各項機構系統及運動控制系統的細部設計及設計過程中的各種因素及考量點，最後開發出整個機台，當然現實情況及實作過程所遇見的困難，使得細部設計不斷變更，此種狀況再所難免。

(二) 變導程螺桿輸送及壓射出機構

變導程螺桿的形狀如圖(5)所示，它是一根螺桿但導程均勻由大到小變化，由於塑膠材料由固體經加熱融化為液態時，材料本身因密度不同所以體積也不一樣，再者由液態加壓射出到模具內時亦需保持一定的壓力，變導程螺桿在一個密閉的套筒內旋轉時，空間會移動並縮小，所以變導程螺桿是一個很適合的機構用來使固體材料輸送、融化到材料擠壓到模具內，本專題使用變導程螺桿作為射出成形的動作，目的有：

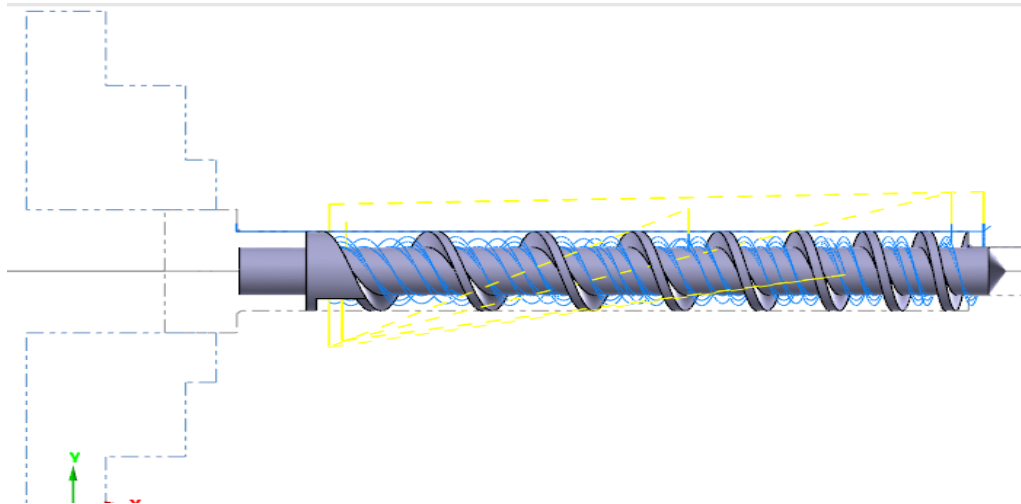
1. 材料由固體加熱變為液體時，體積會縮小，因此使用變導程螺桿旋轉提供固、液態之間的空間變化。並可同時擠出空氣。
2. 提供射出口的射出壓力，使射出成形時讓模具內材料凝固時保持一定的壓力。



圖(5) 1:2 及 1:3 變導程螺桿設計

(三) 變導程螺桿設計及製造

變導程螺桿的導程是一個漸變的過程，無法由一般車床來車製，所以本專題使用數控工具機進行切削，螺桿的模型由 Solidworks 來建構，再使用 CAM 軟體進行刀路規劃，最後由數控 CNC 車製而成，其刀路規劃如圖(6)所示，車製後的實體照片如圖(7)所示：



圖(6) 變導程螺桿刀路規劃



圖(7) 數控 CNC 車製變導程螺桿

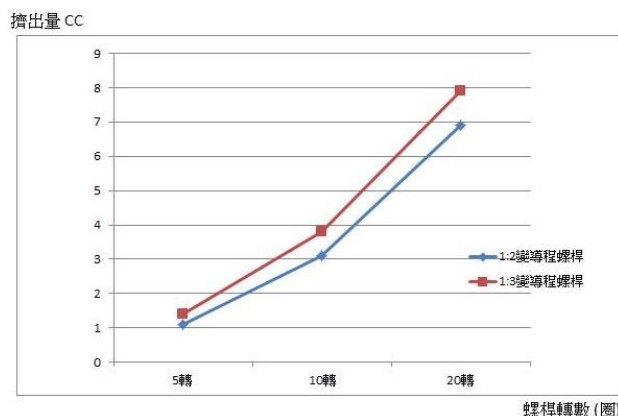
(四) 塑膠材料的射出實驗

變導程螺桿在外套筒內的空間縮小變化的比例是由導程的逐漸縮小來計算，例如圖所示 1:2 及 1:3 的變導程螺桿空間所以我們對於不同的塑膠材料來做為融化時固態加熱變態到液態時的體積變化，聚乳酸 (PLA) 由加熱環加熱，從固體變成液體過程中，體積會小。



圖(8) 聚乳酸(PLA)加熱後射出長條形

由實驗得知聚乳酸(PLA)由固體(未加壓含空氣)的狀態，加熱後變為液體(不含空氣)，體積縮小約 25%因此，我們考量聚乳酸(PLA)體積縮小率，以及射出口壓力和螺桿跟套筒的加工間隙所產生加壓效率問題，進行兩種變導程螺桿射出實驗，對於 1:2 及 1:3 變導程螺桿，在步進馬達固定旋轉量時，射出材料時體積的變化。(實驗條件:加熱環溫度 210°C)



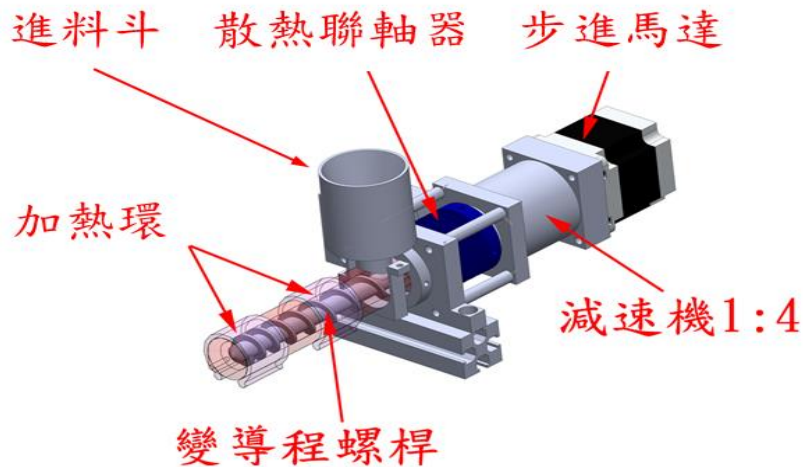
圖(9) 變導程螺桿機構運作射出實驗

由實驗的知 1:2 及 1:3 的實驗得知射出量的體積和馬達的旋轉圈數並不成一固定比例，因為變導程螺桿和外 套筒間有間隙存在，但實驗結果是証實變導程螺桿機構的運作正常，而且將固體材料融化成液體並由射出孔射出。 1:3 的變導程螺桿射出壓力較 1:2 為大，相同螺桿轉數狀況下 1:3 的射出量比 1:2 大，並由照片可看出，射出的管狀物內無氣泡，表示聚乳酸(PLA)從固體狀態經變導程螺桿加壓旋轉加壓後，可以有效的將氣體排出。

由上述的實驗知，1:3 的變導程螺桿在相同的馬達旋轉週數的狀態下，有比較大量的射出材料，考量到本專是在射出模具部分沒有預熱裝置的情況下，愈快速的擠壓速度有利於液態材料充滿模具，但考量到愈大比數的變導程螺桿所需的馬達扭力愈大，所以本專題使用 1:3 的變導程螺桿做為射出機構的選項。

最後設計出機構如下圖所示，在圖中可以看出，本專題使用一個步進馬達來作為變導程螺桿旋轉加壓的扭力來源，由於所需扭力大經

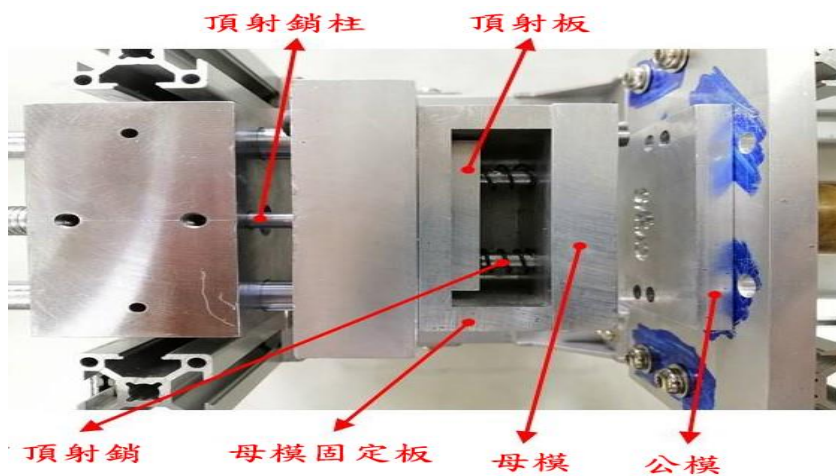
測試後，我們再使用一個 1:4 的減速機來作為扭力放大使用。減速機後連結一個散熱器，防止加熱環的熱傳遞到馬達；散熱器後連結變導程螺桿，變導程螺桿在一個銅製的套筒內轉動時，即可；從料筒中擷取材料往前輸送筒外有一加熱環，如圖(10)，材料在輸送過程漸漸融化，這時變導程螺桿的空間也漸漸縮小，並擠壓出空氣，最後射出孔擠出材料。



圖(10) 變導程螺桿射出機構

(五) 射出模具及頂射機構設計

射出模具基本分為:公模、母模、頂射板及母模固定器，如圖(11)所示。在開模時，固定不動的頂射銷柱碰撞到後退的頂射銷板時，頂射銷往前推，使成品脫離母模。



圖(11)射出模具及頂出機構

(六) 模具開合及模具鎖閉機構設計

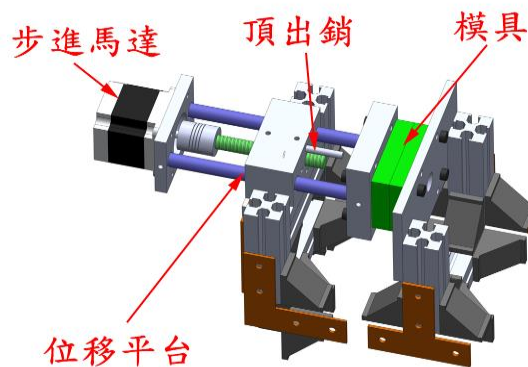
模具開合及模具鎖閉機構，目的在於射出模的開合之前後移動，及射出機構將液態材料注入模具內時具有一定壓力，所以模具必須具有一定的閉鎖力量，以防材料的壓力將閉合的模具頂開。在設計時，公模固定於公模固定板，母模固定板固定於，鎖閉模滑軌機構，鎖閉模滑軌機構連接步進馬達，由步進馬達驅動，鎖閉力量計算如下,由機件原理第二章力矩公式得知:

$$\frac{W}{F} = \frac{2\pi R}{L}$$
$$\rightarrow W = \frac{2\pi \times R \times F}{L}$$
$$\rightarrow W = \frac{2\pi \times T}{L}$$

W 為鎖閉力量，T 為步進馬達之扭力 0.4N-m(400N-mm)，本專題所使用的螺桿導程為 1.75mm 若考量摩擦效果，整個效率為 80%時，算出結果，閉鎖力量約為 117 Kg。

1. 機構設計及分析

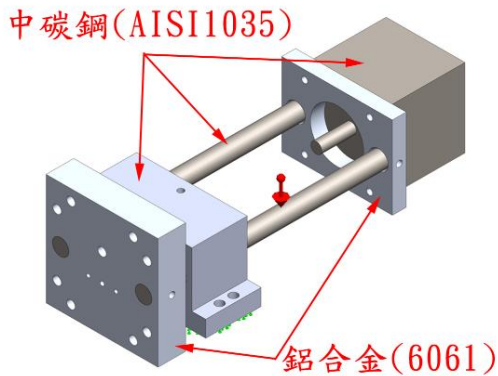
開合模機構主要功能為模具閉合與退模，該機構需要直線往復運動及定位，且我們希望整組系統不外加裝置，故採用步進馬達為主設計機構。將旋轉轉換為直線往復運動，在高二機件原理學過很多種機件，如齒輪與小齒條、皮帶、凸輪、滑輪起重機構、連桿機構與斜面原理螺旋機構等等，經過小組討論，齒輪與小齒條成本較高，皮帶鋼性不足，凸輪加工後難以調整行程，連桿機構與滑輪起重機構難以定位，故選用斜面原理螺旋機構。螺旋機構有千斤頂、虎鉗、車床車牙進刀機構等等，在小組討論下主要以能以所學的能力設計，設計如圖(12)所示，只需銑削 6 面體與鑽孔攻絲即可完成。



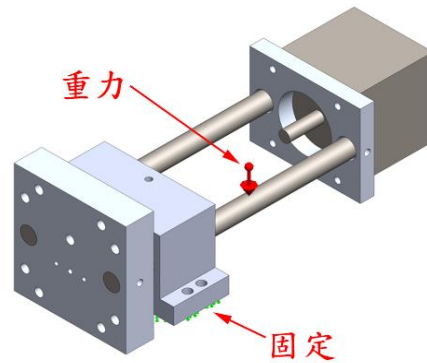
圖(12) 開合模機構設計

但該機構雖然易於加工，此機構需能承受力量及定位，我們擔心該機構剛性不足，故想用高二電腦繪圖課老師補充的 SolidWorks 的 SimulationXpress 進行運算，但該功能不能在組合件上使用，在老師指導下學習 SolidWorks Simulation。

材料設定條件如圖(13)所示，受力條件如圖(14)所示只使用重力與固定面，主要是想知道兩個 Ø12 的軸能否支援模具開合時與整體的重量。

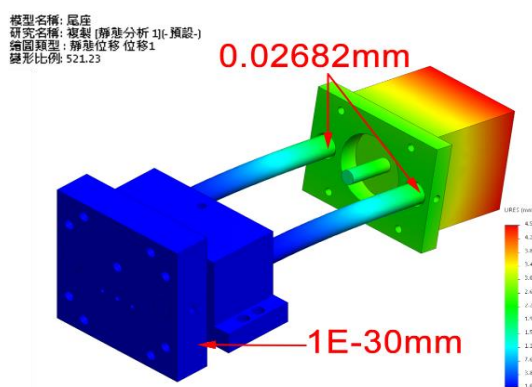


圖(13) 材料設定

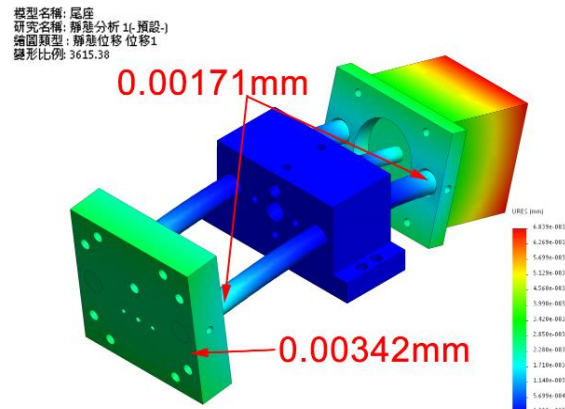


圖(14) 受力條件

進行運算結果當模具在開模時模具軸在模具端變形量為 $1e-30\text{mm}$ ，當退到最後時滑塊與固定塊貼合不易變形。軸在馬達端變形量為 0.02682 ，雖然有將近 3 條的變形，但該地方非開合模主要的地方，如圖(15)所示。



圖(15) 開模變型量



圖(16) 合模變型量

當模具在合模時軸的兩端變形量為 0.00171mm ，變形極小。在模具端為 0.00342mm 變形不到 $4\ \mu\text{m}$ 的變化，如圖(16)所示。我們相信該設計足以應付射出工作。

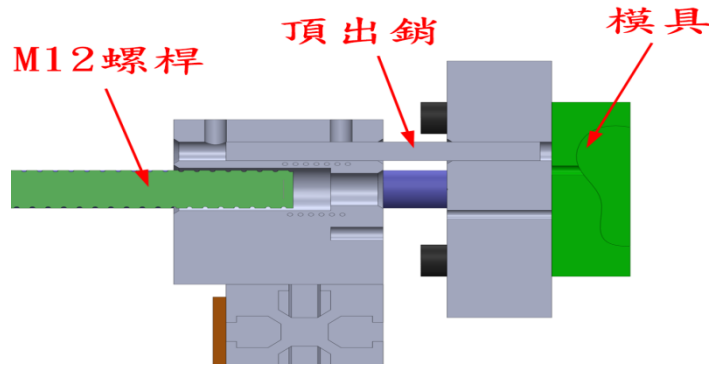
2. 頂射銷彈簧力量計算

本專題設計由一步進馬達驅動螺桿帶動母模和公模結合，合模後由射出機構把材料射入模穴，保持一段時間，再將步進馬達反轉使母模後退，後退過程中，頂射柱碰觸頂射板使頂射銷往前動作，把成品頂出模穴，完成頂出動作，頂射銷和母模之間須保持一個接觸力，而母模後退時，頂射柱碰觸頂射板的力量必須大於彈簧的力量。

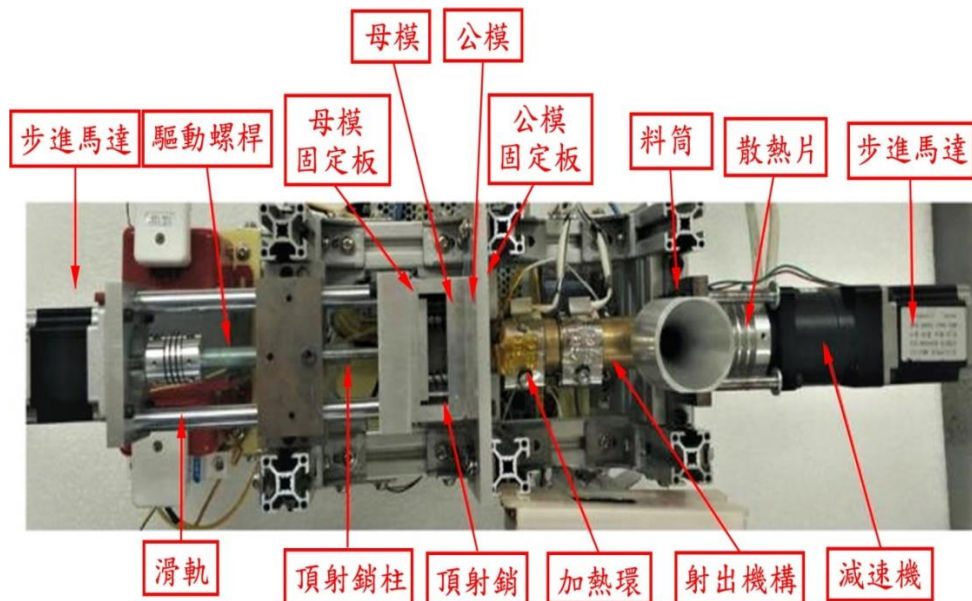
頂射力量計算如下：

$$\frac{W}{F} = \frac{2\pi R}{L} \rightarrow W = \frac{2\pi \times R \times F}{L} \rightarrow W = \frac{2\pi \times T}{L}$$

W 為鎖閉力量，T 為步進馬達之扭力 0.4N-m(400N-mm)，本專題所使用的螺桿導程為 1.75mm 若考量摩擦效果，整個效率為 80%時，算出結果，閉鎖力量約為 117 Kg。



圖(17) 頂射銷和模具



圖(18) 射出與合模機構整機設計

(七) 射出機零件加工

射出機中的散熱片、模具固定板、料桶、頂出銷和黃銅加熱缸等等，大部份看的到的，都是由我們自己製作完成，加工過程如下圖所示。



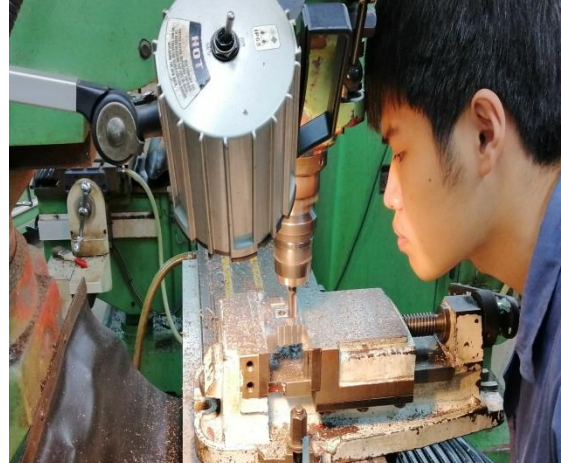
圖(19) 加熱銅套車



圖(16) 合模變型量



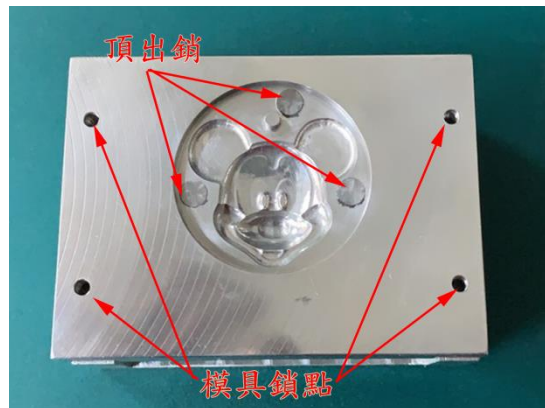
圖(21) 銅套成品



圖(22) 模具固定板製作



圖(23) 孔加工和攻螺紋



圖(24) 模具成品

(八) 運動控制及操作界面

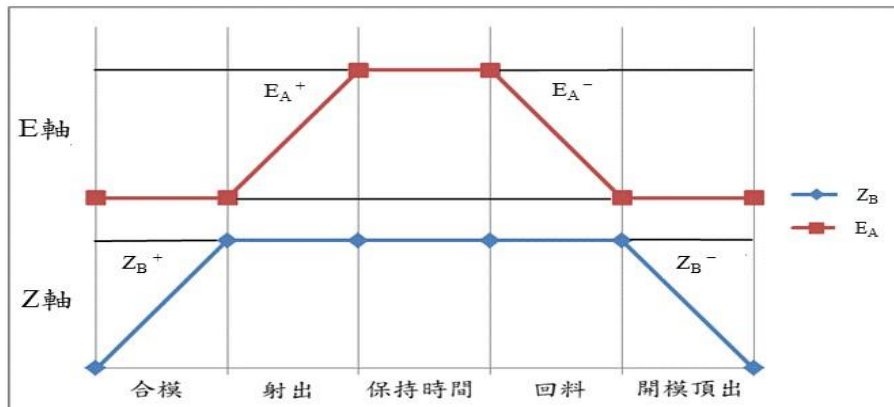
本專題的射出成形機構各項運動的驅動及各項參數由一個 Arduino 微處理器控制步進馬達驅動器，驅動步進馬達，以及控制加熱環的溫度，各項運動的各項參數可由 SD 卡內的 NC 碼進行數值控制架構如下圖。



圖(25) 電路控制架構圖

本專題設計由兩個步進馬達分別控制射出機構及模具開合和頂出機構，變導程螺桿的外套筒包覆兩個 220V 加熱環加熱，而步進馬達和加熱環皆由 Arduino-RAMPS 控制板來控制；二個步進馬達分別設定為 X 軸是射出機構步進馬達的旋轉時射出頭射出材料的長度，Z 軸是模具開合機構步進馬達旋轉使模具移動的長度。

射出成形的馬達的動作時序圖如圖(26)所示。時序圖代號: 射出機構步進馬達 E 軸: E_A^+ 馬達正轉、 E_A^- 馬達逆轉，模具開合及頂出馬達 Z_B : Z_B^+ 馬達正轉、 Z_B^- 馬達逆轉。



圖(26) 步進馬達的動作時序圖

射出成形的動作循環為:合模->材料射出->加壓保持時間->材料回抽->開模頂出相對應的 NC 數值控制碼如表(3)所示。

表(3) 動作循環 NC 碼

G1 Z10.	合模
G1 E10.	材料射出
G4 P5	時間暫停，加壓保持時間
G1 E5.	材料回抽
G1 Z0	開模頂出

(九) Arduino 韌體

本專題 Arduino-RAMPS 運動控制板所使用的韌體為 Marlin，因為我們在高二製作的 3D 印表機就是使用 Marlin，所以我們在本專題也是使用 Marlin，不同的地方是使用 1.0.x 板本，這是因為 1.0.x 板本功能較少，易於設定，較符合本專題，修改 Configuration.h 的資料如表(4)。

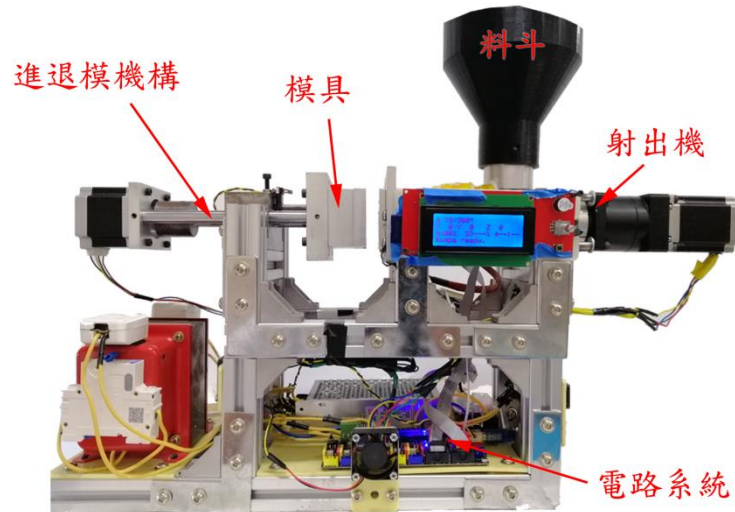
表(4) Marlin Configuration.h

參數修改	該參數功能
#define MOTHERBOARD 33	設定為 ramps1.4 控制板
#define TEMP_SENSOR_0 1	使用 T0 為加熱端
#define DEFAULT_Kp 22.5 #define DEFAULT_Ki 0.07 #define DEFAULT_Kd 500	加熱環使用的 PID 參數
#define X_MAX_POS 75	進退模最大行程
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER _UNIT {0, 0, 3657.14, 6400}	此為馬達步進量分別為 {X, Y, Z, E} 僅修改 Z 及 E。 Z 值公式為： $\frac{\text{每轉馬達步進量} \times \text{驅動細分數}}{\text{螺桿節距(M12X1.75)}} =$ $\frac{200 \times 32}{1.75} = 3657.14$ E 值公式為：每轉馬達步進量 × 驅動細分數 = 6400
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {300, 300, 5, 500}	馬達最大速度分別為 {X, Y, Z, E} 僅修改 Z 及 E
#define PLA_PREHEAT_HOTEND_TE MP 200	選單預熱參數
#define SDSUPPORT	啟用 SD 卡讀取

#define REPRAP_DISCOUNT_SMAR T_CONTROLLER	啟用 2004 顯示螢幕
---	--------------

(十) 機台組裝

各項零件經製造、加工、再修整或測試功能需再做設計變更後，完成組裝，如圖(27)所示，各項動作都符合當初設計要求，各項測試於下一章節討論。



圖(27)整機組裝完成

伍、實驗結果及測試

一、控制程式 NC 碼測試

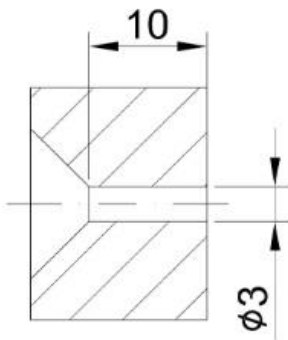
當各項零件依設計圖製作、組裝後，經測試各項參數，寫成 NC 數值控制碼如下，使用程式 NC 碼數值控制程式：

```
----- 程式開始檔-----  
M109 S200 ;加熱至 200 度  
G28Z0 ;模具回原點  
G92Z0E0 ;將 X 及 E 設為 0  
G91 ;相對座標  
G01E50F400;預射出  
M0 ;暫停-請清除噴頭餘料  
-----以下可以無限複製，看需要制作多少成品-----  
G1Z18.F500 ;上模(合模距離)  
G1E28.F400 ;射出(射出量)  
G4P5. ;暫停 5 秒  
G28Z0. ;退模  
----- 程式結束檔-----  
G28X0 ;模具回原點  
M84 ;解除步進馬達  
M109 S0 ;冷卻  
M30 ;程式回原點
```

二、 塑膠射出參數實驗

步進馬達可以控制射出量，因射出頭為 Ø3，我們加工許多 Ø3x10mm 孔如圖(28)及圖(29)，透過射出填滿，校正直到當射出 E 10mm 距離時，可以將 Ø3x10mm 的孔填滿。只要修改我們程式裡的 CONTROL > MOTION > E0 STEP 的數值，我們就可以透過這方式控制射出量。校正公式為：

$$\text{公式：校正 STEP} = \frac{10}{[\text{E0 移動量}]} \times \text{原 Step}$$



圖(28)材料示意圖



圖(29)照片

三、 實驗測試馬達的最大速度

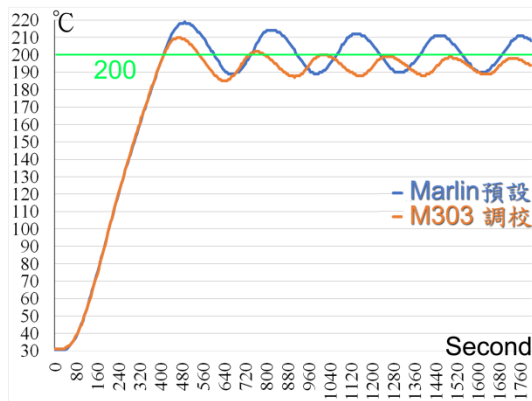
為了射出效率，所以我們必須要知道步進馬達驅動合模機構，在給多少 F 值時都能正常作動，所以我們要給與不同進給速度 F，如 F100、F200、F300 等等...直到馬達產生失步異音。透過 Arduino 控制板與手機 OTG 連接，開啟 Serial USB Terminal 輸入表(4)G 指令即可測試，透過表(4)可以發現我們的合模機構在 F600 都能正常作動，因為自動化要穩定控制合模，故我們取 F500 做為我們的合模速度。

表 (5) 步進馬達實驗

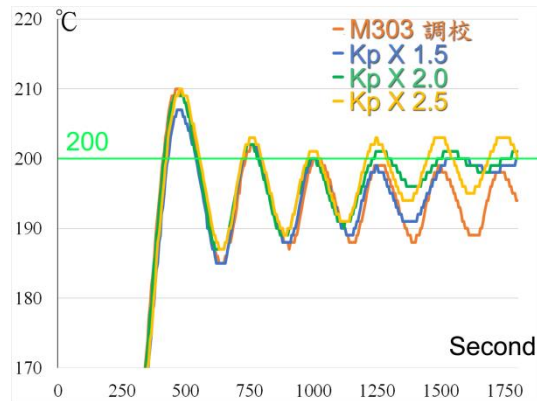
輸入 G 指令	有無失步
G1E10F100	無
G1E10F200	無
G1E10F300	無
G1E10F400	無
G1E10F500	無
G1E10F600	無
G1E10F700	有

四、PID 溫度實驗

因為我們使用的銅套體積大，所以加熱速度及溫度振盪非常大，一開始我們使用的是內建的 PID 數值分別為 K_p 22.2、 K_i 1.08、 K_d 114，溫度振盪如圖(30)，會在 210 到 190 振盪，溫差相當大。Marlin 裡有 PID 自動校正指令 M303，只要我們輸入 M303 C8 S200，系統自動調整參數在 200°C 振盪，並檢測 8 次，測完得到 K_p 7.55、 K_i 0.05、 K_d 292.68。當我們輸入該參數，溫度振盪幅度雖小(200~189°C)，始終在目標值下，無法穩定在目標值，導致系統無法向下運行。

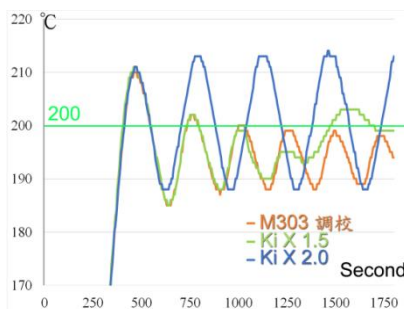


圖(30)預設與自動調校比較

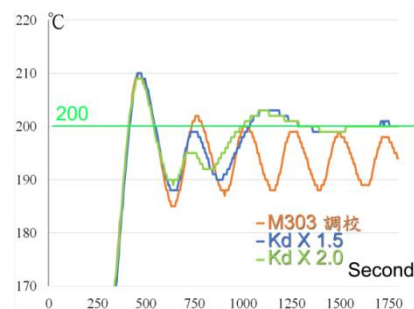


圖(31)M303 K_p 不同比例比較

所以我們依據 M303 的 K_p 7.55 作不同比較實驗，分別是 $K_p \times 1.5$ 、 $K_p \times 2.0$ 、 $K_p \times 2.5$ ，值為 11.325、15.1、18.875，另外 K_i 、 K_d 不變，如圖(31)，透過實驗觀察發現當 K_p 值越大時，可以比較好控制在 200°C，振幅在 201~198°C 在 $K_p \times 2.0$ ，有較佳的溫度控制。接下來將 M303 的 K_i 0.05 作不同比較實驗，分別是 $K_i \times 1.5$ 、 $K_i \times 2.0$ ，值為 0.075、1.1，另外 K_i 、 K_d 不變實驗如圖(32)，該值越大振幅越大，較不易控制在 200°C。最後將 M303 的 K_d 292.68 作不同比較實驗，分別是 $K_d \times 1.5$ 、 $K_d \times 2.0$ ，值為 439.02、585.36，實驗如圖(33)，該值越大越穩定，穩定在 200°C 不振盪。故我們選擇 K_p 7.55、 K_i 0.05、 K_d 585.36 做為 PID 參數。





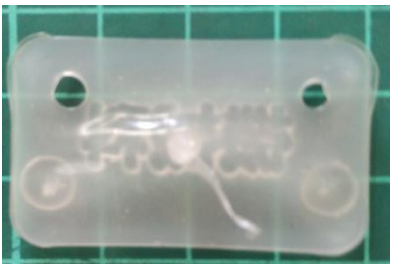
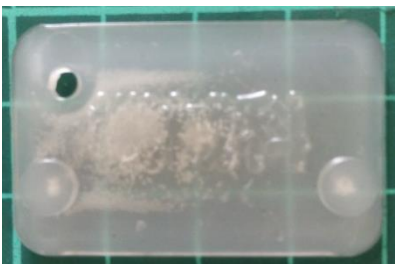

圖(32) M303 K_i 不同比例比較



圖(33) M303 K_d 不同比例比較

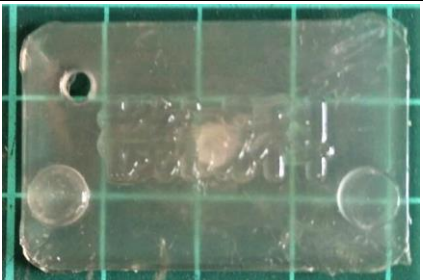
五、各種材料射出成果

(一) 聚丙烯(PP)


成品	發生問題原因	解決方法
	材料無法填滿模穴，加熱環設定溫度太低	調高溫度設定，減緩射出後冷卻速度
	閉鎖模力量不足，導致材料從分模面溢出	更換驅動螺桿聯軸器為剛性聯軸器，增加閉鎖模力量
	成品翹曲，射出材料不足	增加射出材料(即X軸移動量增大)
	成品有先前射出之凝固材料	每次射出循環時間降低，增加溫度
	較完美成品	

由上表可知，再不斷的調整各項射出成形參數和實驗後，成品的品質愈來愈好

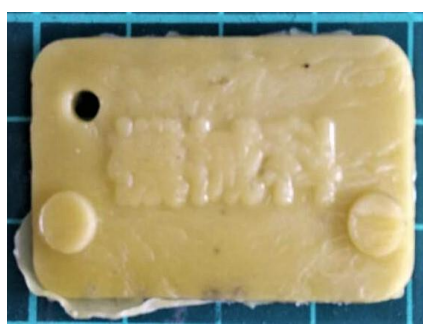
(二) 聚乳酸(PLA)

	溫度設定 210 度左右，成品較完整，但仍有些許材料從分模面溢出	更換驅動螺桿聯軸器為剛性聯軸器，增加閉鎖模力量
---	----------------------------------	-------------------------

(三) 肥皂(Soap)

	溫度設定 90 度左右，無法填滿模穴，材料融化後，流動性較高。	設為垂直式的射出機構或許可改善
---	---------------------------------	-----------------

(四) 蜜蠟(Wax)

	溫度設定 150 度，成果較肥皂好，但仍從分模面溢出	設為垂直式的射出機構或許可改善
--	----------------------------	-----------------

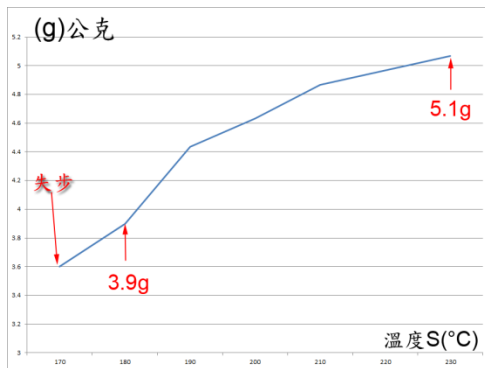
根據實驗得知，射出材料的融點溫度愈低，成品尺寸愈難控制，溫度較高時，成品較完整，初步探討可能原因為加熱還的溫度控制靈敏度部高所致。

六、 溫度與射出量實驗

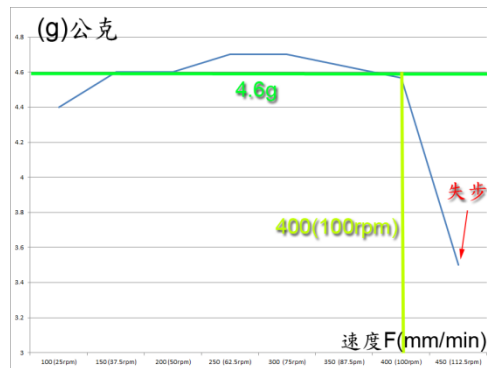
試過各種材料後，我們發現 PP 強度佳、易成形、易脫模與無臭味，便以此材料為目標，測試用不同溫度射出相同射出值 E、觀察溫度對成品的影響。實驗結果如圖(34)，該材料在攝氏 170 度以下，F 值 400 時，射出機會失步，推測因為溫度太低，導致內部材料流動性不佳，當溫度升到 180 度以上，便不會有失步情況。透過實驗發現當溫度增加時材料射出量也會增加，從 3.9g 到 5.1g 的變化，推測可能是流動性與材料熱脹影響射出量，透過此實驗發現溫度控制是相當重要的，溫度一旦變化太大，射出穩定性就會下降。

七、 射出速度與射出量實驗

射出速度會影響每次射出工件時間，直接影響到生產效率，例如：當射出量 100 時，F 100 需要花費 60 秒才能完成一次射出；若是 F400 只需要 15 秒就可以完成。實驗結果如圖透過此實驗從 F150 到 F400，重量變化在 4.58~4.7 變化在 0.12g 內影響不大，當速度達 450 時，開始產生失步，故推測較佳的射出速度 F 約在 300~400 間。



圖(34) 溫度-射出值關係圖



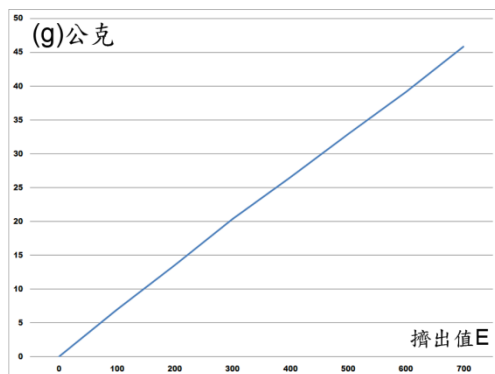
圖(35) 射出速度-射出量關係圖

八、 射出值與射出量實驗

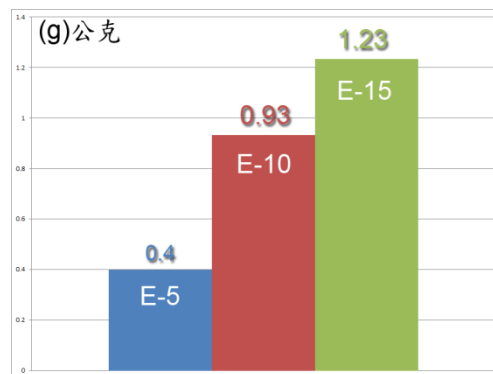
這實驗目的在於射出量及在長時間射出量是否線性？機器是否可大量連續射出。我們使用 F200 射出實驗數據如圖(36)，可以看到 E 在 700 時都還是線性，E 值 700 所射出的 PP 體積大小已大於母模大小，故我們停止實驗，透過這實驗，我們的機構的確可以連續射出。

九、 回抽量實驗

當射出工作完成時，模具的射出孔會有一些材料殘留，透過回抽將材料從射出孔回收，可以不浪費材料，且脫模時降低拉線的問題。我們實驗回抽，在相同射出量時，加入回抽，無回抽前射出量與回抽後射出量的材料重量比較如圖(37)，在 E-15 成品出現了氣泡，因此得知回抽值 E 約在 10 以下最理想。



圖(36) 射出量與射出值實驗



圖(37) 回抽量與回抽值實驗

陸、討論

一、各種射出機構特性之比較

常用的射出成形機和本專題所用的變導程螺桿在射出機構的比較，以下 是比較表格：表(6) 射出機構特性比較

	變導程螺桿	油壓柱塞式	油壓+螺桿式
機台小型化	✓	✗	✗
射出程序控制	簡單	需工業配電 +PLC	需工業配電 +PLC
機台成本	低	高	高
維護成本	低	高(高壓管路)	高(高壓管路)
量產速度	低	已工業生產應用	已工業生產應用
射出材料多元化	可	難	難
連續進料	✓	✗	✓

二、垂直進料水平射出和水平進料垂直射出的特性比較，如下表。

表(7) 射出特性比較

	變導程螺桿垂直進料 水平射出	注塞式水平進料垂直 射出
連續進料	可	難
自動化程度	可	難
射出材料特性	融化時流動性較差的 材料	融化時流動性較佳

柒、結論

這幾個月來本專題團隊不斷的討論設計變更，零件製作，終於完成一部完整機台，並且經過不斷的測試以獲取最佳參數，進而可以達到當初所設定的目標。以下幾點是這個專題製作期間所得到的結論：

- 一、本專題零組件皆由自行設計與加工，我們有技術自主能力。
- 二、變導程螺桿的加壓方式可應用於射出成形的產品生產，它比起一般螺桿，具有同時產生空間變化加壓及體積移動的優點。
- 三、數值控制 NC 碼配合 3D 列印機運動控制板可方便於射出成形時各項動作的參數設定。並具有類似工業用 PLC 控制器的功能。
- 四、本專題作為教具使用時，可讓同學實際操作射出成形工作即其運作原理，並讓具有機械加工訓練過的同學自行設計簡單的射出成形模具，並同時架到到射出成形機上直接量產。
- 五、本專題為水平射出成形方式，可自動化程度較高，而且為螺桿連續進料式，方便進料及控制射出材料的體積，經實驗證明它可以穩定長時間大量連續射出。
- 六、本專題具有低成本操作更簡便的優勢，單一電源 110V 的能量來源即可作動，不用再使用空壓或液壓的動力來源，維修更加方便。目前測試結果，符合工業自動化生產需求。

捌、參考文獻

1. 機械製造 II(2016)，林英明、徐文法，林彥伶編著。全華圖書股份有限公司。
2. 機件原理 I(2017)，葉倫祝。全華圖書股份有限公司。
3. 數值控制機械實習 I(2010)，施忠良、徐世威編著。台科大圖書股份有限公司
4. 螺桿式射出成形機
https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiR05fz8dXgAhVbIqYKHecmBzEQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.mold-ok.com%2Fproduct-info.asp%3Fid%3D120&psig=AOvVaw07AypuJKEuic1_77W41cBJ&ust=1551149920472612
5. 勞動部勞動及職業安全衛生研究所 SDSE022T0025－塑膠射出成型機
<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1204/10151/>
6. 電腦輔助機械製圖(2016)，許中原編著。全華圖書股份有限公司。

【評語】 100021

本作品開發一種實驗等級小型射出成形機，對於初期開發和教學有相當實用性。而且有的零配件必須全新設計，所以也有其創新性。