

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(一)科

052312

自製電線彎曲機

學校名稱：國立苗栗高級農工職業學校

作者：  職二 謝孟勳  職二 蔡家雄  職一 王知右	指導老師：  林己超
-----------------------------------------------	------------------

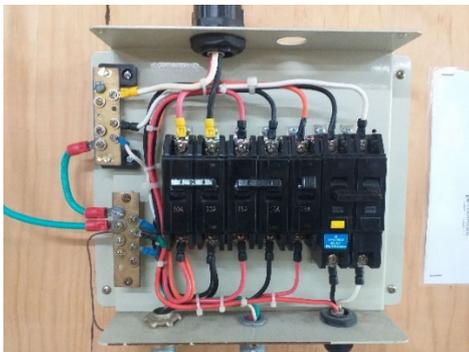
關鍵詞：步進馬達、Arduino

## 摘要

本作品的特色是以 Arduino 單晶片為核心，自製一個機電整合系統的電線彎曲機，利用程式設計好的流程，系統即會自動控制步進馬達，將所需之電線送入進料機構、Z 軸機構、彎曲機構，完成程序所設定之長度、形狀，讓使用者可以客製化的規劃，方便、快速又一致性的彎折所需之電線。

## 壹、研究動機

自從進入電機科後，三不五時，家中有什麼電路、電器要維修的問題，老爸總會說：「讓專業的來，一定可以做的安全又美觀」，我當然不能丟電機科的臉，只是當初在學校實習練習的時候，讓我最頭痛的就是整線，尤其是單心線、線徑愈粗、施工空間又小，總讓我弄的一個頭兩個大，用手去折彎總是不夠好看又搞得兩隻手痛得要命，用尖嘴鉗夾著彎又怕傷到絕緣皮影響到線路安全。



專業電線彎折配線



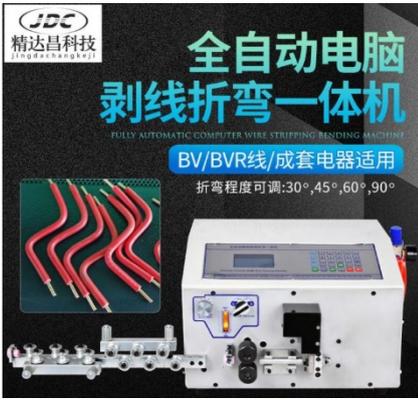
非專業電線彎折配線

圖 1：盤電盤接線圖

如果有個機器可以自動彎折所需長度和形狀的電線？那一定很方便又很酷，於是有了想要自己動手作一個自動電線彎曲機的動機。

上網搜尋，發現真的有這種機器，一種是手動電線彎曲機，另一種是自動電線彎曲機，而且還可以自動剝線，如表 1 所示，但不論是手動還是自動價格真的是太貴了

表 1：手動、自動電線彎曲機比較表

	1.手動電線彎曲機	2.自動電線彎曲機
種類	 <p>（資料來源：露天拍賣，2020）</p>	 <p>（資料來源：露天拍賣，2020）</p>
價格	台幣：\$6,810~\$12,490 元	台幣：\$89,300~\$3,339,050 元

所以決定發揮創客精神，以學校老師所教導過的單晶片實習、程式設計、電腦繪圖、機件原理等課程技能自製一個學生級電線彎曲機。

## 貳、研究目的

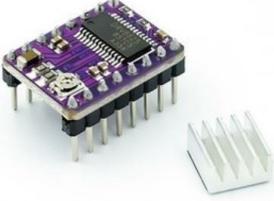
有薦於市面上的電線彎曲機太過於昂貴，於是本研究的目的為利用學校所學，以有限的資源自製學生級的電線彎曲機，具體設計特色為：

- 一、利用雷射切割機，切割系統組裝平台。
- 二、利用 3D 列印機，列印主要系統機構組件。
- 三、利用高速電路板雕刻機，雕刻系統電路板。
- 四、可利用電腦直接控制電線彎曲長度、形狀。
- 五、可利用電腦自動控制客製化程序的電線彎曲長度、形狀。

## 參、研究設備及器材

本研究主要使用的設備及材料，如表 2 所示。

表 2：主要使用設備與材料表

1.高速電路板雕刻機	2. 3D 列印機	3.雷射切割機
		
4.Arduino nano 開發板	5.步進馬達	6.伺服馬達
		
7.筆記型電腦	8.電源供應器	9.穩壓 IC (7805)
		
10.步進馬達驅動器	11.極限開關	12.翹板開關
		
13.軸承	14.不銹鋼管( $\phi$ 8mm)	15.螺絲、螺帽
		

## 肆、研究過程或方法

研究方法為經由搜集、分析資料文獻，在和老師討論後，決定出整個系統的主架構，並且依據研究的目的，設計出以 Arduino 單晶片為系統核心的機電整合控制，利用電腦繪圖軟體進行機構與電路設計，再經由實際的操作測試系統的穩定與完整性，以進行修正，最後完成研究報告，研究方法流程如圖 2 所示。

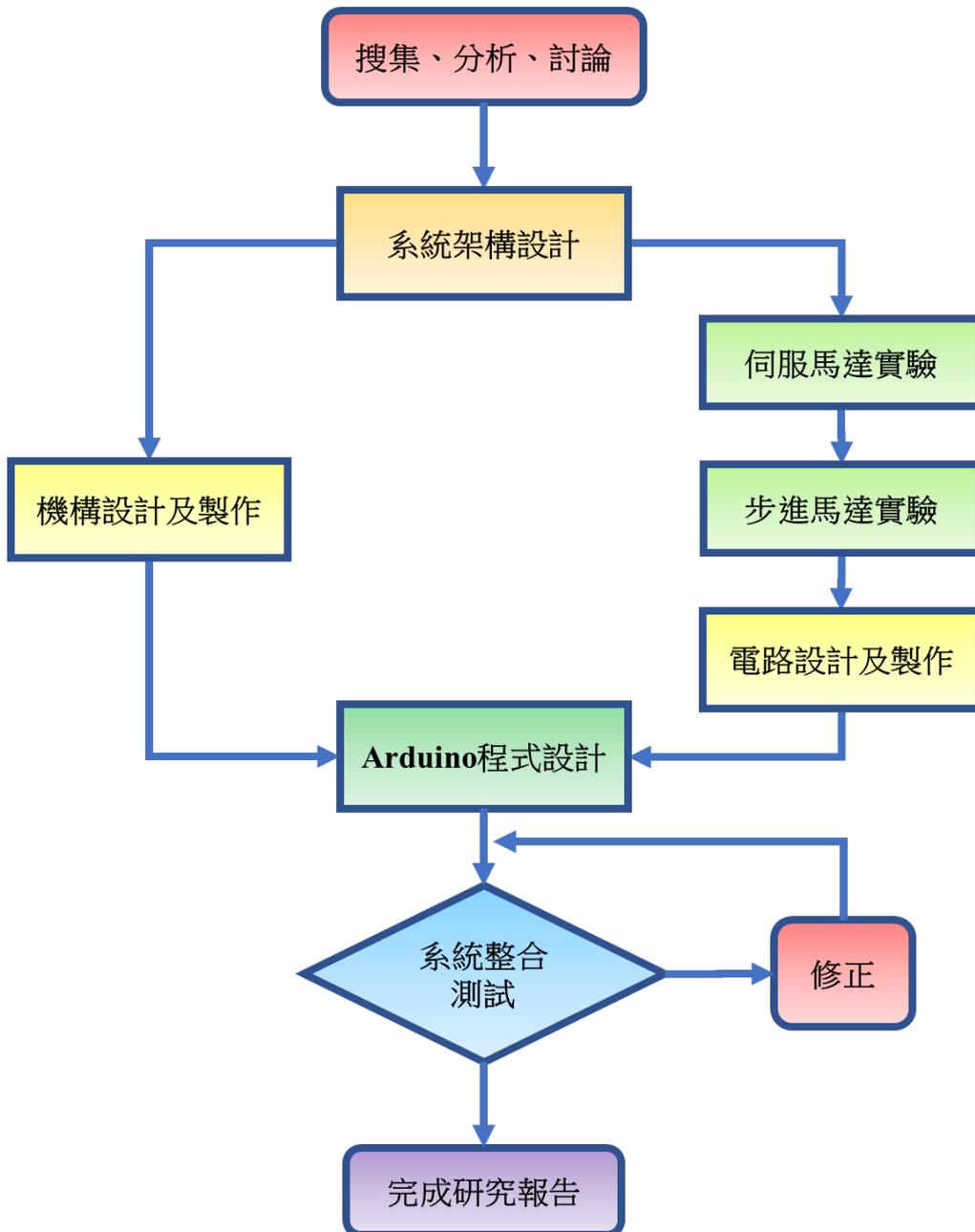


圖 2：研究方法流程圖

## 一、系統架構設計

本研究發想的作品為利用 Arduino 開發板整合測試的方便特性，配合電腦、步進馬達、伺服馬達、電腦繪圖軟體的機構與電路設計，自製學生級的電線彎曲機，系統設計架構圖，如圖 3 所示。

初步的系統設計模型如圖 4 所示，主要的機構組件有：進料機構、Z 軸機構、彎曲機構、活動卡榫機構，藉由 Arduino 單晶片控制步進馬達、伺服馬達來完成電線的自動進料、旋轉、彎折動作。

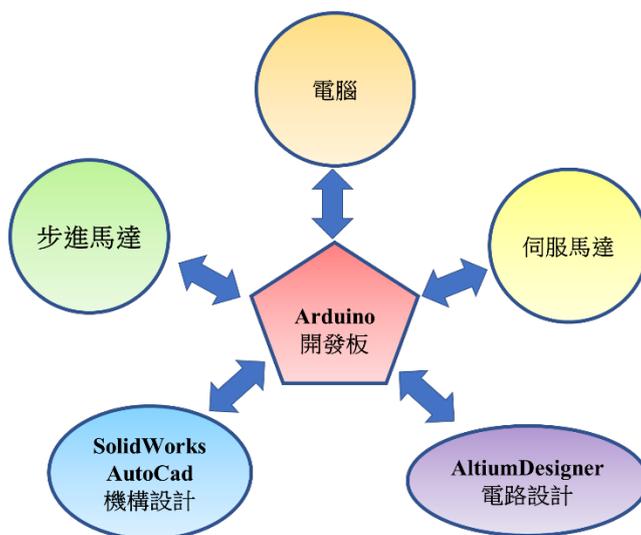


圖 3：系統設計架構圖

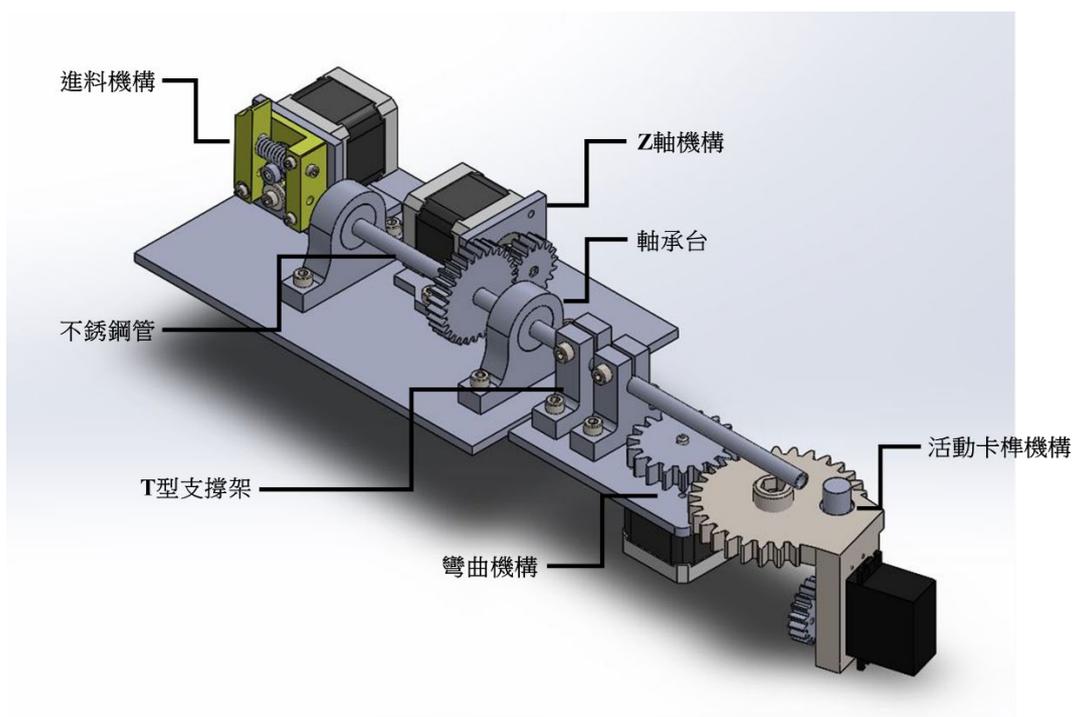
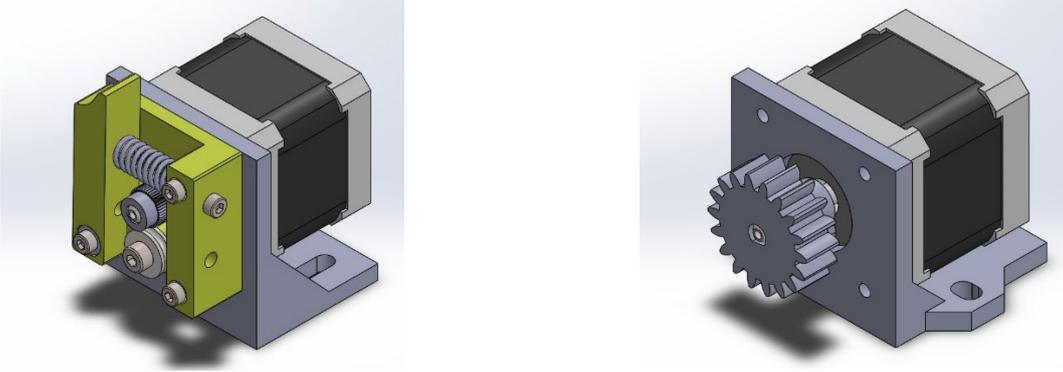
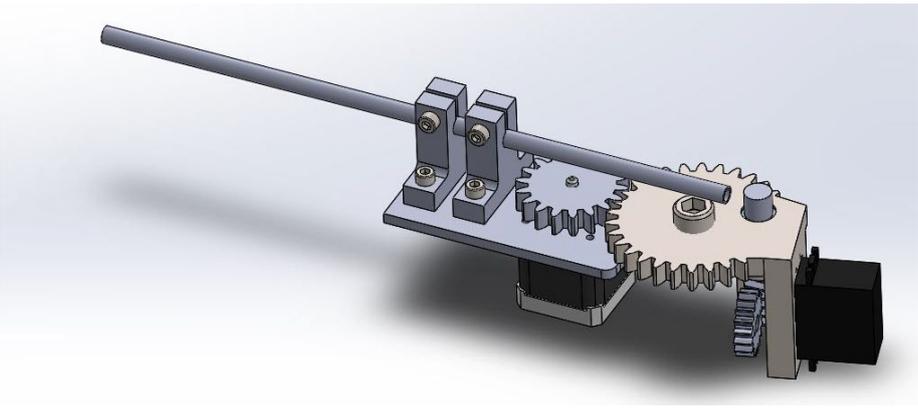
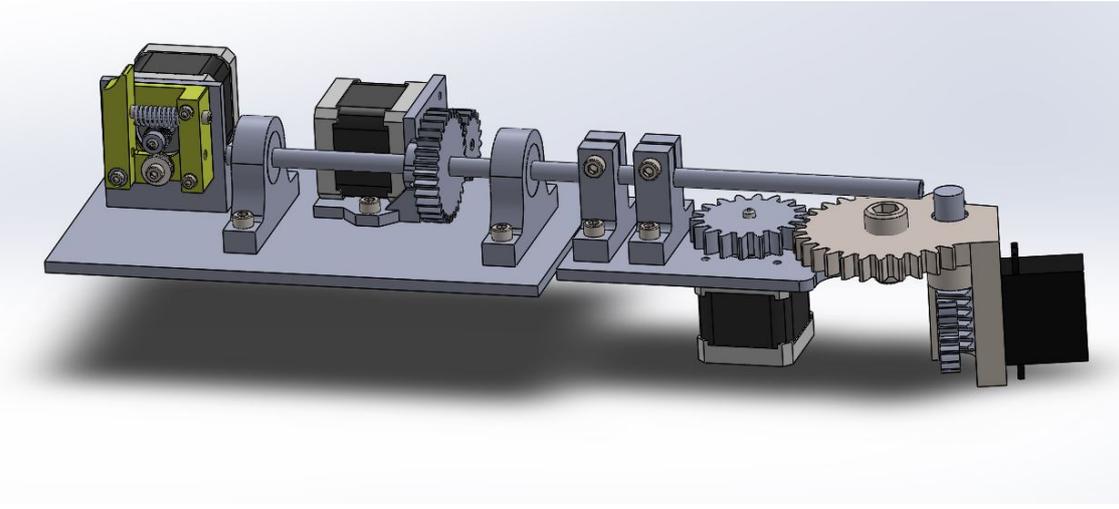


圖 4：系統設計模型

## 二、機構設計及製作

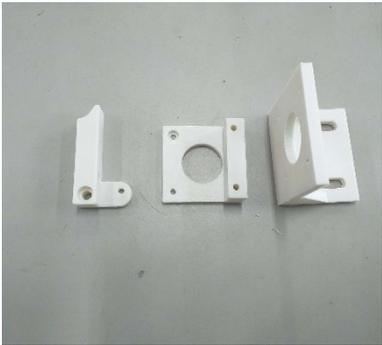
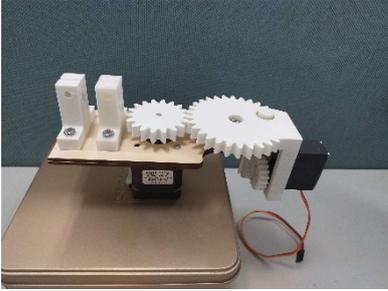
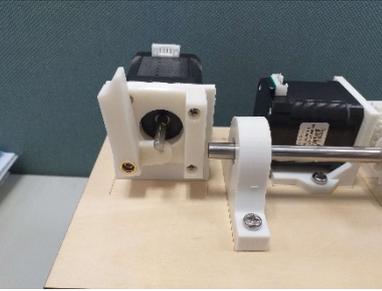
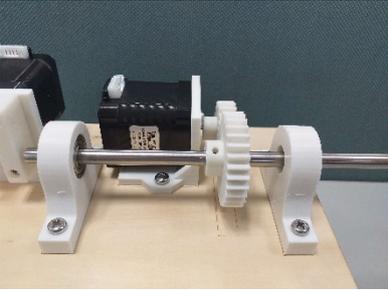
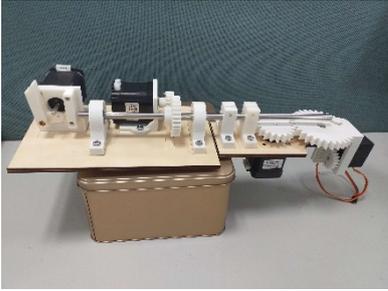
此機構設計模型是參考手動、自動電線彎曲機構、3D 列印機構……等加以改良設計，利用 **SolidWorks** 軟體，繪製機構組件及模擬組合圖，如表 3 所示。

表 3：機構組件及模擬組合圖

1.進料機構	2.Z 軸機構
	
3.彎曲機構、活動卡榫機構	
	
4.機構組合圖	
	

經由 **SolidWorks** 軟體模擬組合後，檢查機構組件的連接和作動是否有任何問題，再將檔案轉換成切片檔案，以利用 3D 列印機將機構組件列印製作出來並進行組裝，如表 4 所示。

表 4：機構組件列印及裝組表

1.進料機構組件	2.Z 軸機構組件	3.彎曲、卡榫機構組件
		
4.軸承座組件	5.T 型支撐架	6.進料機構組裝
		
7.Z 軸機構組裝	8. 軸承座組裝	9. 彎曲、卡榫機構組裝
		
10. 進料機構固定於平台上	11.Z 軸機構固定於平台上	12.組合彎曲、卡榫機構平台
		

### 三、伺服馬達實驗

#### (一)、伺服馬達

伺服馬達 (Servo) 是一種用於精確移動、定位場合的動力裝置，常用於遙控模型，裡面含有直流馬達、齒輪箱、軸柄、電位計、控制電路，如圖所示，可透過訊號控制軸柄的停止角度，大部分都是 0 到 180 度，但不同廠牌型號會有不同的範圍；經由齒輪箱降速後，變成適當可用的轉速，並且提供更高的轉矩（扭轉力）。

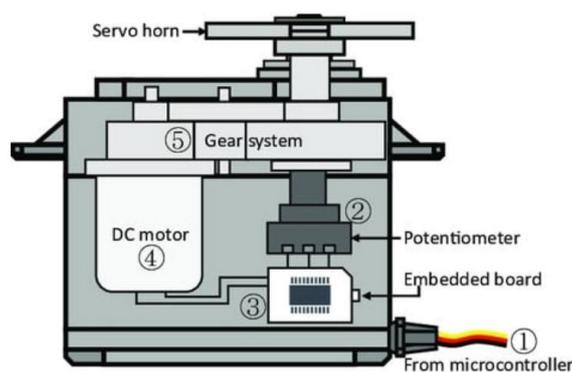


圖 5：伺服馬達機構原理圖

(資料來源：Makerguides.com，2020)

本研究系統機構設計中有一個活動卡榫的機構，其中卡榫的移動為想利用伺服馬達的控制來達成，考量到裝置在彎曲平台的重量和所需要推動的力矩大小，再加上製作的成本因素故選用馬達為 MG996 伺服馬達，其規格如表 5 所示，在工作電壓為 4.8V 時，其力矩為 9.4kg·cm，運轉速度為 0.19 秒/60 度。

表 5：伺服馬達規格表

型號	MG996
工作電壓	DC：4.8 ~ 6V
工作力矩	9.4kg·cm (4.8V)、11kg·cm (6V)
運轉速度	0.19 秒/60 度 (4.8V)、0.15 秒/60 度 (6V)
轉動角度	最大 180 度
重量	55g
尺寸	40.8mm (長)、20mm (寬)、38mm (高)

#### (二)、伺服馬達控制實驗

一般伺服馬達的接線有三條線，電源（紅色）、接地（黑或棕色）、訊號線（白、黃、橘、藍、黑色），接線電路如圖 6 所示。透過訊號線傳送 PWM 脈波來控制軸柄停止的旋轉角度位

置，這個訊號脈波必須每秒重複 50 次（也就是  $f=50\text{HZ}$ ， $T=20\text{ms}$ ），而脈衝持續時間長短便代表了馬達將軸柄旋轉到什麼位置，如圖 7 所示。範圍從 1.0ms 到 2.0ms（millisecond，毫秒，千分之一秒），若想置中則是 1.5ms；也可將 1.0ms 當做角度 0 度，那麼 1.5ms 會是 90 度，2.0ms 則是轉到底 180 度。（也有可能相反）

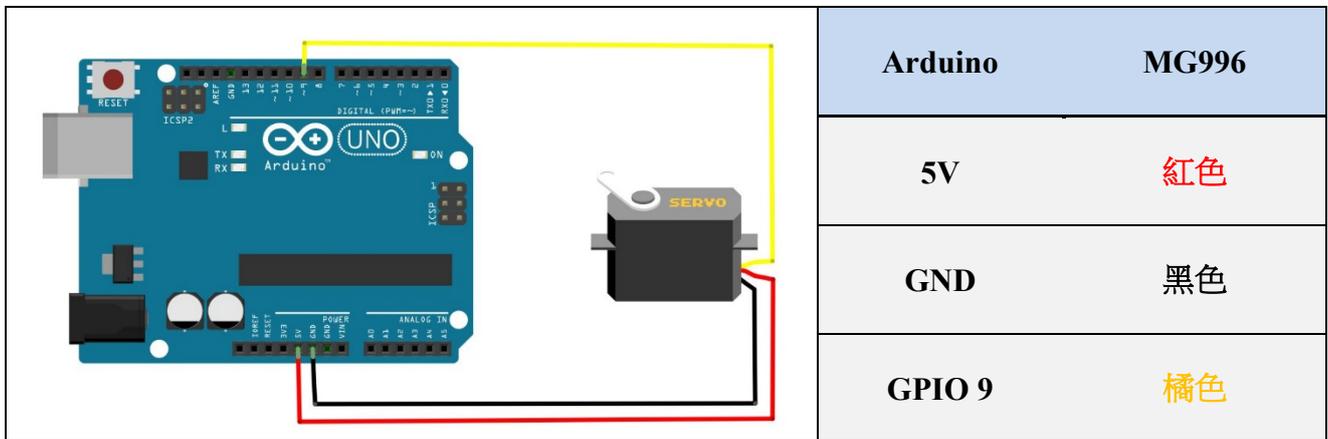


圖 6：伺服馬達接線電路圖

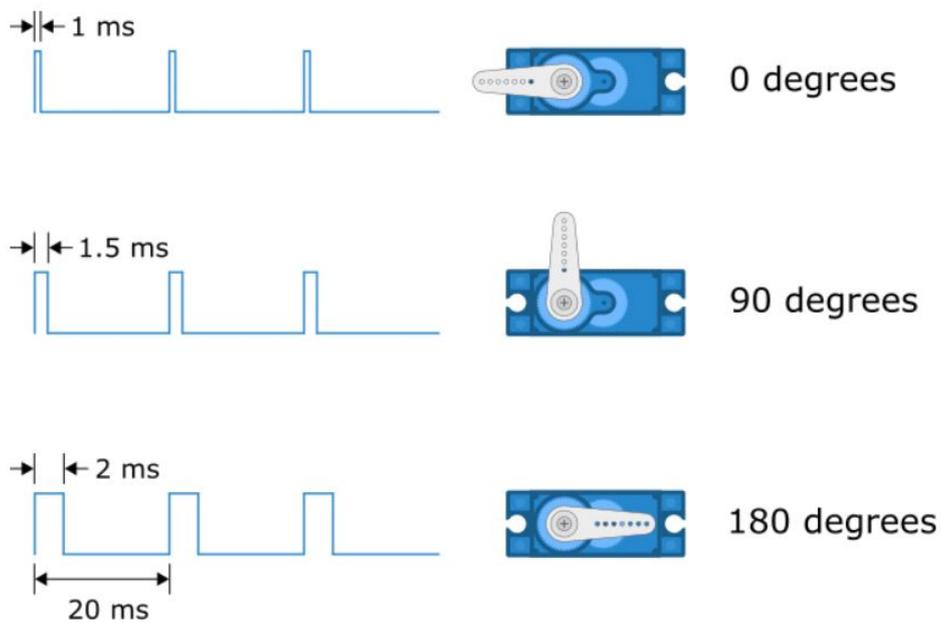


圖 7：伺服馬達 PWM 控制

（資料來源：Makerguides.com，2020）

Arduino已內建操控伺服馬達的函數庫，也有一個來回旋轉的範例程式Sweep，由範例程式碼說明主要函數的方法，如下表6。

表6：Servo主要程式碼說明

程式碼	說明
<code>#include &lt;Servo.h&gt;</code>	// 載入 Servo 函數庫
<code>Servo myservo;</code>	// 建立 Servo 物件，物件名為 myservo
<code>myservo.attach(9);</code>	// 設定伺服馬達訊號線腳位：9
<code>myservo.write(pos);</code>	// 寫入伺服馬達旋轉角度：pos

本研究利用機構設計的活動卡榫為一個正齒輪與線性齒輪（齒條）直線性的行程，設計的想法是簡單的藉由上升、下降卡榫，方便使用者可以改變電線彎曲的方向，實驗結果如圖 8 所示，伺服馬達的旋轉角度為卡榫下降：110 度、卡榫上升：15 度，行程大約 22mm。

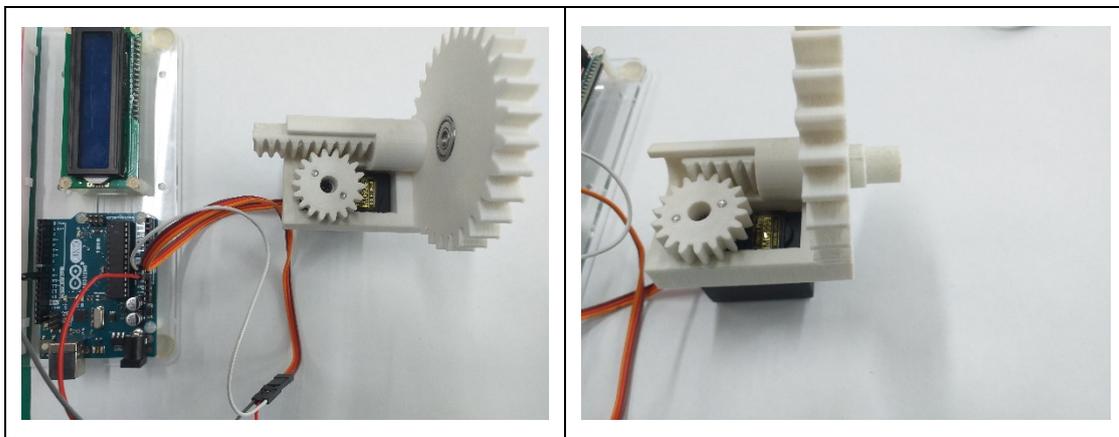


圖 8：伺服馬達控制實驗

而由實際測量 MG996 伺服馬達的旋轉角度，發現有些許誤差，搜尋資料得知是因為 Servo 函數庫的預設脈衝寬度範圍是 544 ~ 2400 $\mu$ s，和 MG996 伺服馬達的脈衝寬度有些許不同，若要更精準控制移動行程，可以利用「`myservo.attach( 9, 500, 2500 );`」即可修正 MG996R 脈衝寬度範圍，也可以利用「`myservo.writeMicroseconds( i );`」，直接輸入脈衝寬度  $i \mu$ s。

#### 四、步進馬達實驗

##### (一)、步進馬達

步進馬達（Stepper Motor）是一種數位開迴路馬達，利用脈波驅動，每一步的定位精確，常用於光碟機、3D 列印機、機器人控制……等。

本研究考量系統所需平穩運動特性和良好的保持扭矩的馬達控制，選擇使用 2 相 4 線雙極性的 NEMA17（42 步進馬達），如圖 9 所示，每步具有 1.8°，等於旋轉一圈 200 步。

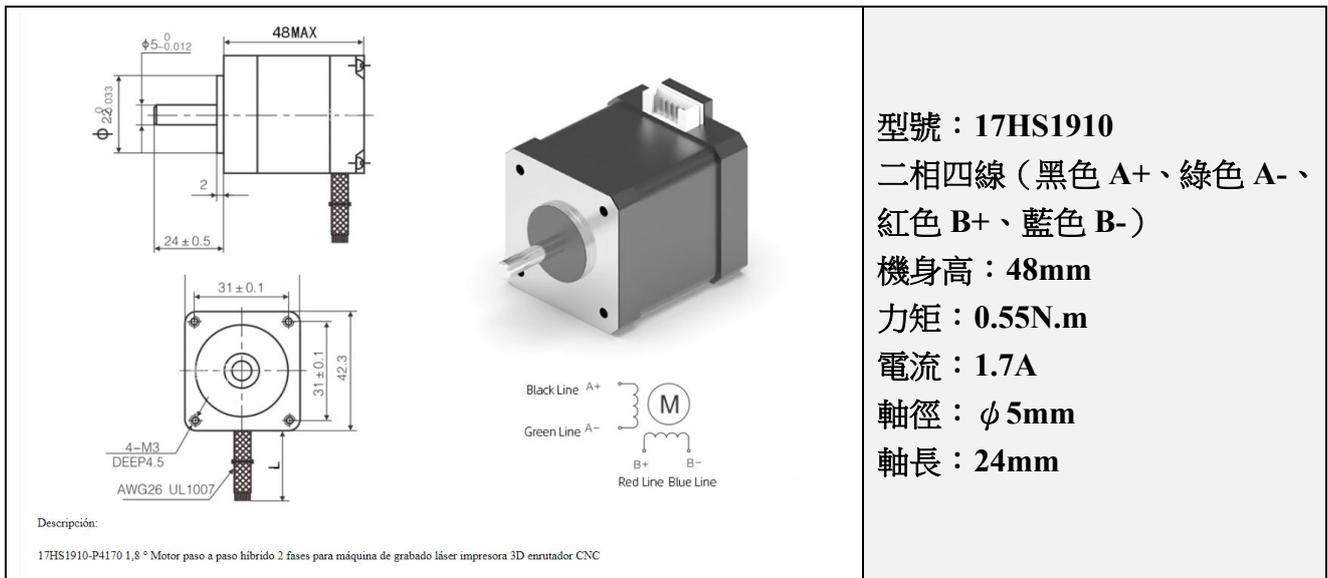


圖 9：42 步進馬達  
 （資料來源：AliExpress，2020）

## （二）、DRV8825 步進馬達驅動器

DRV8825 步進馬達驅動器是由德州儀器生產的 IC，如圖 10 所示，非常適合驅動中小型步進馬達，具有過電流，短路，欠壓鎖定和過熱保護，我們可以很容易的利用 Arduino 的 2 個接腳連接驅動器來控制步進馬達。



圖 10：DRV8825 步進馬達驅動器  
 （資料來源：Makerguides.com，2020）

而其微步分辨率的設定如表 7 所示，利用控制 M0、M1、M2 接腳的輸入電位高低，來實現更高的分辨率，例如，以 1/16 步模式驅動步進馬達，將使雙極性的 NEMA17 從每轉 200 步（Full Step），轉換成每轉 3200 步，使我們可以更精確的定位控制。

表 7：微步分辨率設定

M0	M1	M2	微步分辨率 (Resolution)
LOW	LOW	LOW	Full Step
HIGH	LOW	LOW	1/2 Step

LOW	HIGH	LOW	1/4 Step
HIGH	HIGH	LOW	1/8 Step
LOW	LOW	HIGH	1/16 Step
HIGH	LOW	HIGH	1/32 Step
LOW	HIGH	HIGH	1/32 Step
HIGH	HIHG	HIGH	1/32 Step

### (三)、設定限制電流

在使用步進馬達之前，我們需要設定限制流經步進線圈的最大電流，以防止其超過步進馬達的額定電流，其 DRV8825 驅動器設定限制電流接線電路如圖 11 所示。

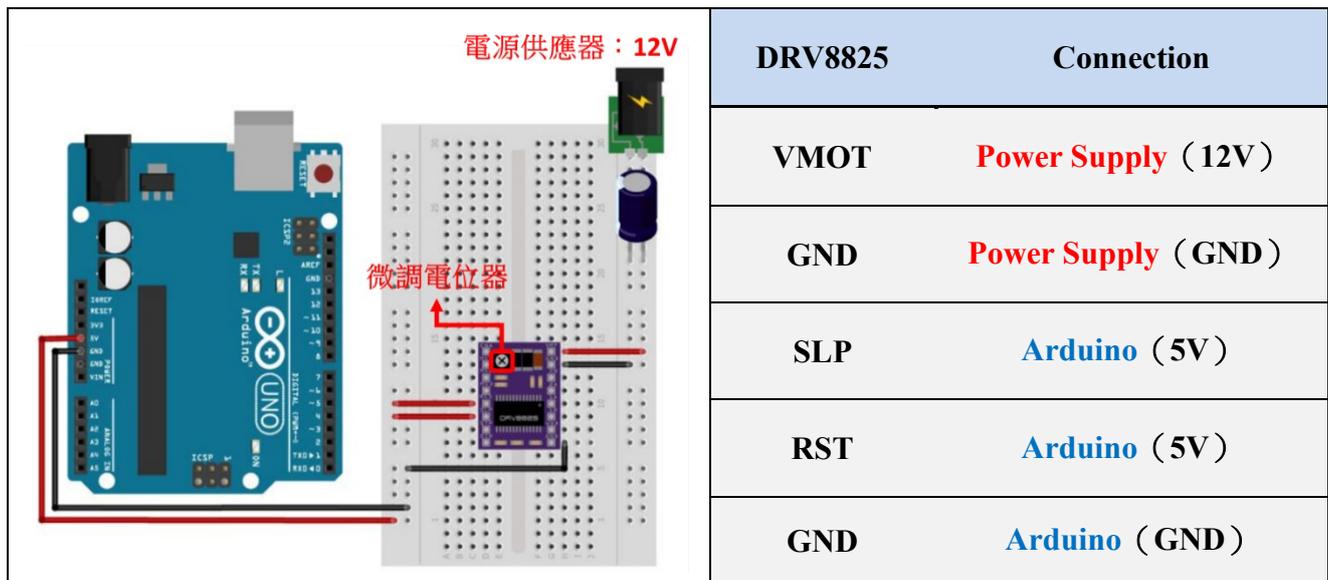


圖 11：設定限制電流接線圖

而 DRV8825 驅動器上有一個微調電位器，可用小型螺絲起子來調整，當接完設定限制電流電路後，在通電狀態下，由圖 12 所示利用電壓表量測參考電壓 (Vref)，配合 DRV8825 驅動器使用手冊提供的計算公式來設定所需的限制電流。

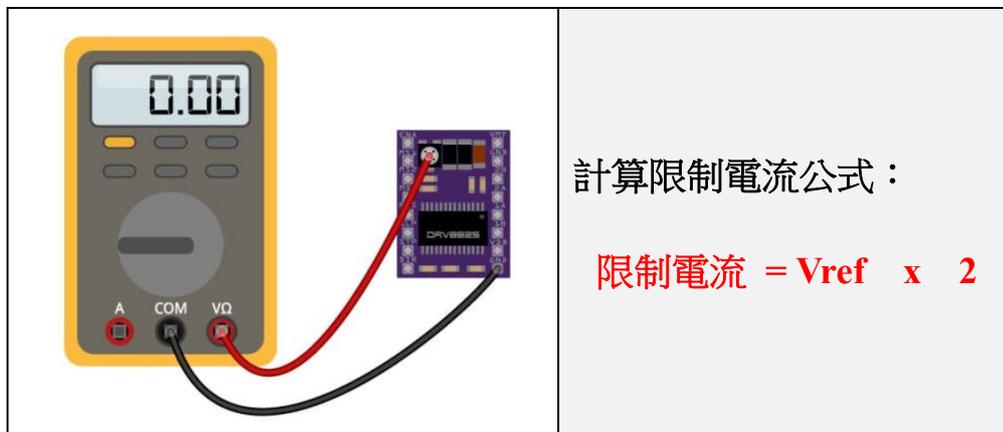


圖 12：設定限制電流接線圖

(資料來源：Makerguides.com，2020)

例如：我們使用的是 NEMA 17（42 步進馬達）12V/1.7A，則我們就要利用小型螺絲起子來調整參考電壓至 **0.85V**（ $1.7 = 0.85 \times 2$ ）。由於微調電位器調整不易，我們設定的參考電壓大約調整到 0.84V ~ 0.89V 之間，換算的限制電流為：1.68A~1.78A，而在查詢到的資料中，有建議可將電流限制設置得足夠高可以產生較大的扭力，以免步進馬達發生失步，但若步進馬達發出很多噪音，可以嘗試降低電流限制。

#### （四）、步進馬達控制實驗

在設定好 DRV8825 驅動器的限制電流後，將 2 相 4 線雙極性步進馬達如圖 13 所示接線，在電路中因為我們將 M0，M1 和 M2 空接，所以步進馬達的驅動程序以將以全步（Full Step）模式運行，即每圈 200 步。

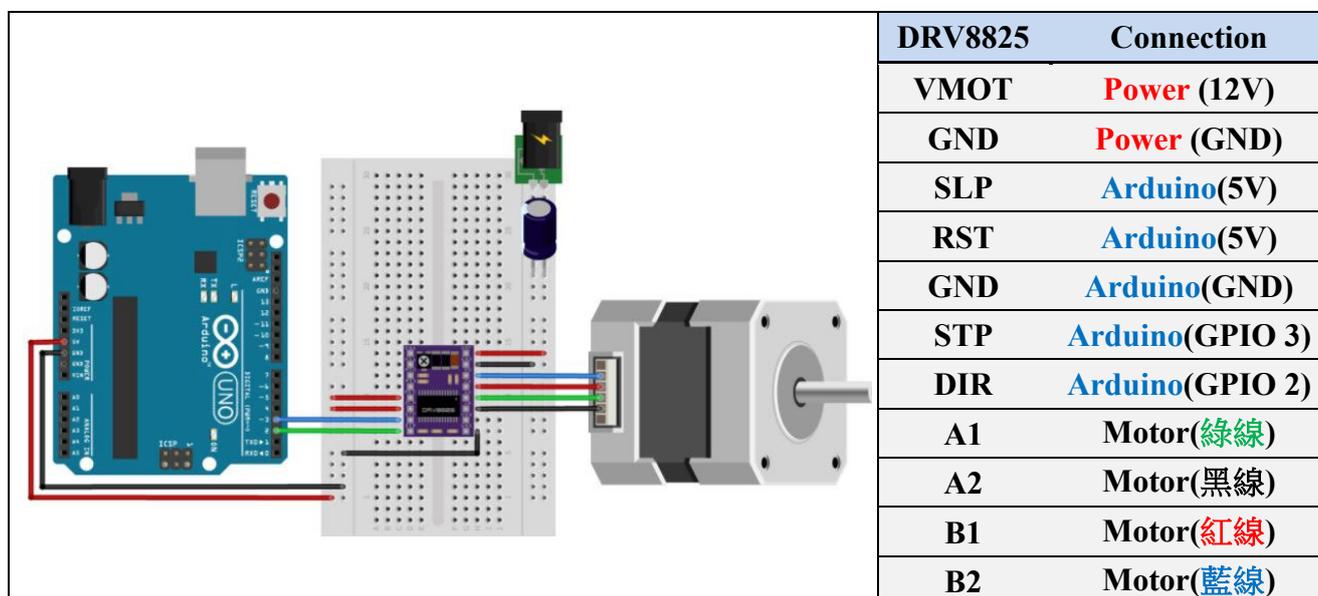


圖 13：步進馬達控制電路圖

當接完步進馬達控制電路圖，即可撰寫 Arduino 程式來控制步進馬達的速度，旋轉方向和轉數，主要程式碼說明如下表 8 所示。

表8：步進馬達控制主要程式碼說明

程式碼	說明
<code>#define dirPin 2</code>	// 定義步進馬達旋轉方向接腳為 GPIO 2
<code>#define stepPin 3</code>	// 定義步進馬達移動步數接腳為 GPIO 3
<code>#define stepsPerRevolution 200</code>	// 定義步進馬達每轉的步數
<code>digitalWrite(dirPin, HIGH);</code>	// 順時針設置旋轉方向
<code>digitalWrite(dirPin, LOW);</code>	// 逆時針設置旋轉方向
<code>for (int i = 0; i &lt; stepsPerRevolution; i ++)</code>	// 緩慢旋轉步進馬達 1 圈 = 200 步
<code>{</code>	// 這四行程式碼為產生 1 步位移

```

digitalWrite(stepPin, HIGH); // delayMicroseconds ( ) 函數
delayMicroseconds(2000); // 用來控制步進馬達運轉一步的速度
digitalWrite(stepPin, LOW); // 延遲越短，步進馬達運行得越快
delayMicroseconds(2000); // 延遲越長，步進馬達運行得越慢
}

```

經由實驗測試得知，要控制步進馬達旋轉方向，除了要使用函數「digitalWrite(dirPin, X);」，也要配合步進馬達線圈實際和 DRV8825 驅動器的接線，才能將 DRV8825 驅動器的 DIR 接腳設置為高電位或低電位，來控制步進馬達正轉或反轉。而控制步數或轉數，則可以使用「for 迴圈」來設定。

## 五、電路設計及製作

本研究以 Arduino Nano 開發板整合所需之步進馬達驅動器、穩壓 IC、連接器……等，以 **Altium Designer** 軟體繪製完整電路，如圖 14 所示，而電路板製作過程如表 9。

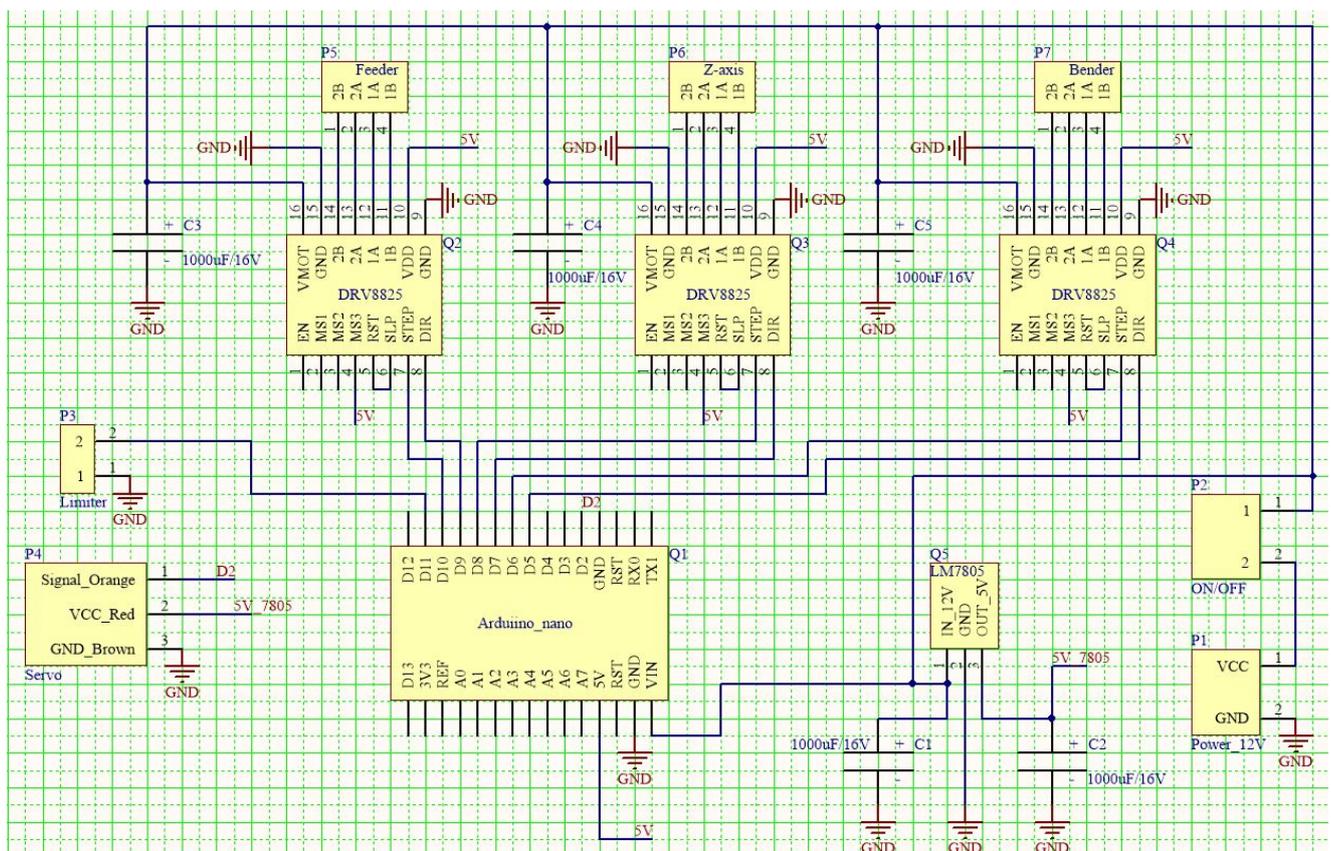
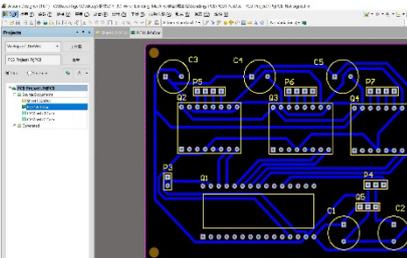
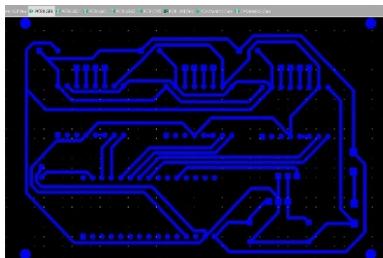
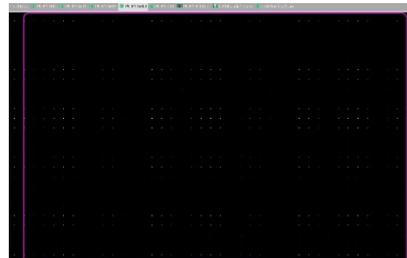
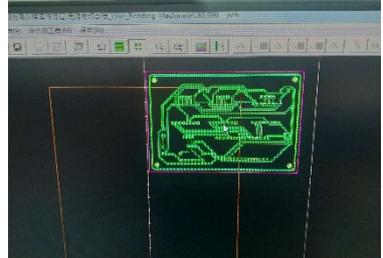
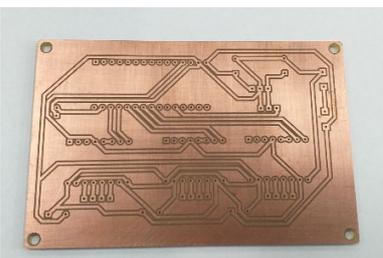
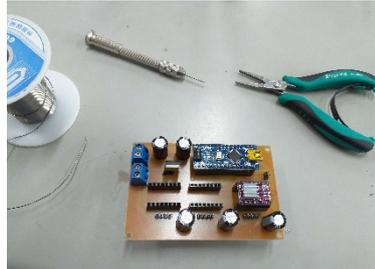
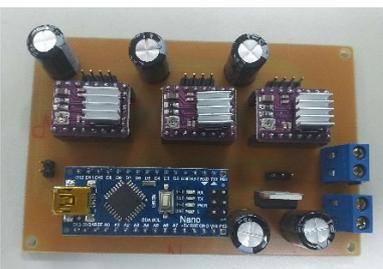


圖 14：完整電路圖

表 9：電路板製作過程

<b>1. 電路圖轉成電路板圖</b>	<b>2. 輸出底片檔</b>	<b>3. 輸出鑽孔檔</b>
		
<b>4. 輸出外框成形檔</b>	<b>5. 載入電路板至 PCAM 軟體</b>	<b>6. 設定雕刻參數</b>
		
<b>7. 高速電路板雕刻機運作</b>	<b>8. 電路板雕刻完成</b>	<b>9. 取出電路板除屑</b>
		
<b>10. 零件固定</b>	<b>11. 零件錫接</b>	<b>12. 電路板錫接完成</b>
		

## 六、Arduino 程式設計

為了方便控制步進馬達，程式碼中使用 Mike McCauley 提供的 AccelStepper 函數庫，可以很容易的設定步進馬達加速、減速及移動的步數，程式主要架構分為三個部分：1.宣告與載入函數庫。2.設定函數。3.迴圈函數。

### 1.宣告與載入函數庫：

表 10：宣告與載入函數庫

```
1 #include <AccelStepper.h>
2 #include <Servo.h>
3 #define limitSwitch 11
4 // 定義步進馬達驅動模式和使用的 GPIO 接腳
5 AccelStepper feederStepper(1, 6, 5); // (Type:driver, STEP, DIR)
6 AccelStepper zAxisStepper(1, 8, 7);
7 AccelStepper benderStepper(1, 10, 9);
8 Servo servo01;
```

### 2.設定函數：

表 11：設定函數

```
9 void setup() {
10     Serial.begin(9600); // 開啟序列埠監控視窗
11     pinMode(limitSwitch, INPUT_PULLUP);
12     servo01.attach(2);
13     servo01.write(15); // 初始化活動卡榫的上升位置
14     // 設定步進馬達最大每秒移動步數
15     feederStepper.setMaxSpeed(2000);
16     zAxisStepper.setMaxSpeed(2000);
17     benderStepper.setMaxSpeed(2000);
18     Serial.println("Test");
19     // 初始化彎曲機構的位置
20     while (digitalRead(limitSwitch) != 0) {
21         benderStepper.setSpeed(1200); // 設定每秒移動步數
22         benderStepper.runSpeed(); // 執行移動
23         benderStepper.setCurrentPosition(0); // 設定目前的位置
24     }
25     delay(40);
26     // 當碰觸到極限開關，彎曲機構旋轉 1380 步至初始彎曲位置
```

```

27 while (benderStepper.currentPosition() != -1380) {
28     benderStepper.setSpeed(-1200);
29     benderStepper.run();
30 }
31 benderStepper.setCurrentPosition(0);
32 Serial.println("Machine Test ok");           // 機器初始化測試完成
33 }

```

### 3.迴圈函數：

表 12：迴圈函數

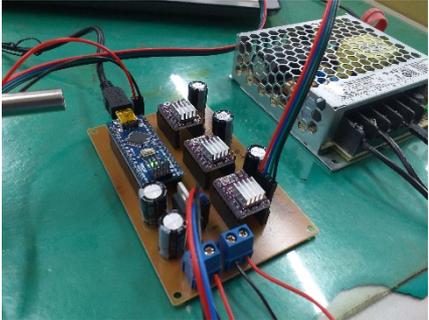
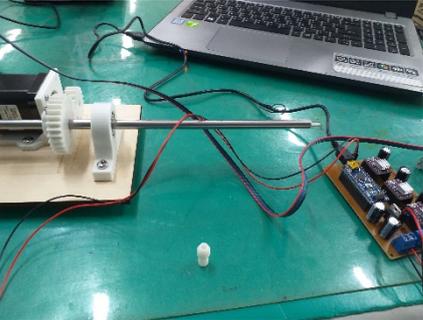
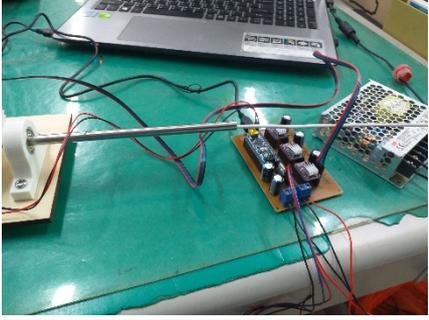
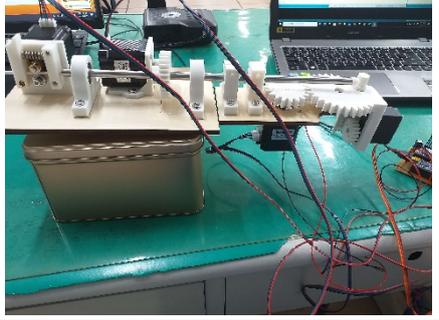
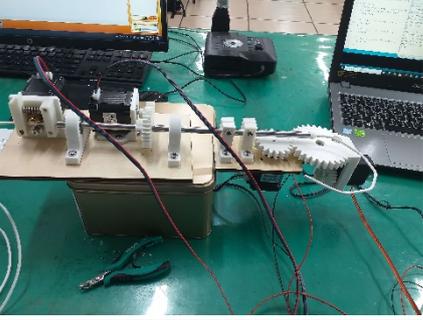
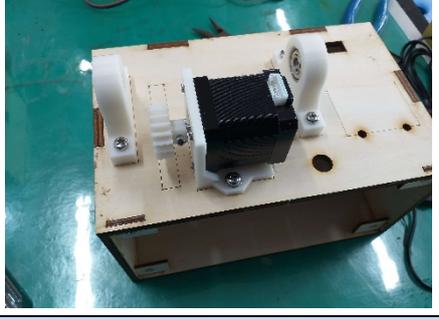
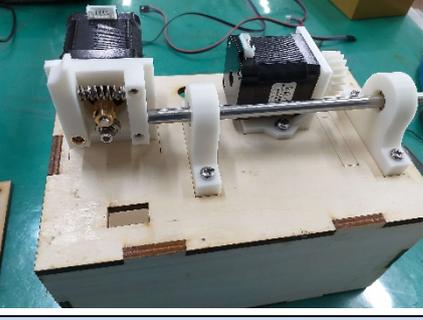
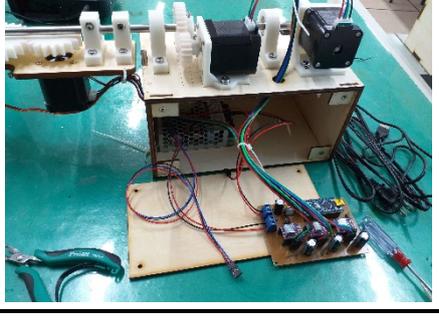
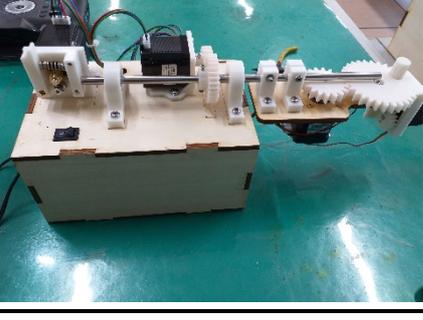
```

34 void loop() {
35     // 讀取序列埠監控視窗傳來的指令
36     String mode = Serial.readString();
37     if (mode.startsWith("manual")) {
38         manual();           // 呼叫手動程序
39     }
40     if (mode.startsWith("auto_1")) {
41         auto_1();           // 呼叫自動程序_1
42     }
43     if (mode.startsWith("auto_2")) {
44         auto_2();           // 呼叫自動程序_2
45     }
46     if (mode.startsWith("auto_3")) {
47         auto_3();           // 呼叫自動程序_3
48     }
49 }

```

## 七、系統測試和修正裝組

表 13：系統測試和修正裝組

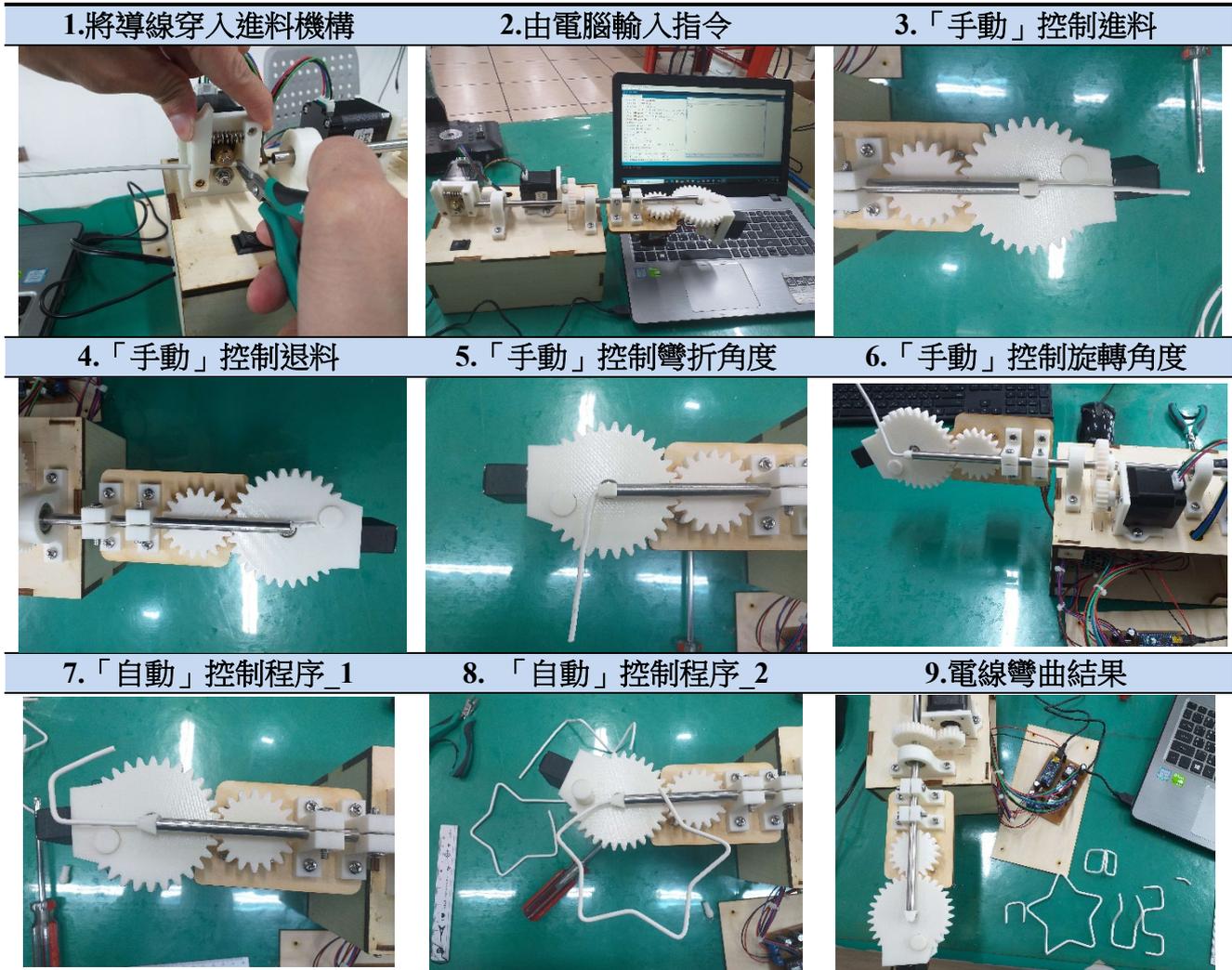
1.系統電路連接	2.進料機構測試	3.Z 軸機構測試
		
4.進料長度參數修正	5.彎曲機構測試	6. 旋轉角度參數修正
		
7.完整平台組裝	8.Z 軸機構組裝	9.進料機構組裝
		
10.彎曲機構組裝	11.電路完整連接	12.系統組裝完成
		

經由修正程式參數後，進料長度最小單位為 1mm，誤差約 0.2mm，而旋轉角度最小單位為 1 度，誤差約 0.2 度。

## 伍、研究結果

### 一、作品測試結果

表 14：作品測試結果



### 二、作品特點

- 1.本研究自製的電線彎曲機，可以讓使用者客製化的規劃電線彎折的長度、形狀，當需要大量製作一致性的彎折電線時，可以很方便又快速的完成。
- 2.自製的電線彎曲機在功能上雖無法與市售自動的商品相比，但自製時所花費的費用卻不到市售自動商品的十分之一，對於沒有經費預算的人來說，不失為一種極佳的選擇。
- 3.自製的電線彎曲機在設計機構開發的過程中，是利用 SolidWorks 軟體設計，再實際由 3D 列印機印出，機構若不理想可即時透過軟體修改，加速開發的速度，可省下很多額外的費用。

### 三、作品自製費用

表 15：自製電線彎曲機費用表

名稱	數量	價格	合計
Arduino Nano	1 個	100 元	100 元
步進馬達(NEMA 17)	3 台	400 元	1200 元
DRV8825 步進馬達驅動器	3 個	85 元	255 元
伺服馬達(MG996R)	1 台	100 元	100 元
穩壓 IC(7805)	1 個	10 元	10 元
電容器(1000uF/16V)	5 個	10 元	50 元
極限開關(250V/5A)	1 個	15 元	15 元
翹板開關(125V/10A)	1 個	25 元	25 元
電源供應器(12V/6A)	1 台	310 元	310 元
密集板(600*400*3mm)	3 片	50 元	150 元
單層銅箔板(A4/1.6mm)	1 片	250 元	250 元
3D 列印耗材(PLA/1kg/1.75mm)	1 卷	580 元	580 元
排針、IC 腳座、接線端子、杜邦線材…等	1 套	約 500 元	500 元
螺絲、螺帽、墊片、墊圈、軸承、不銹鋼管…等	1 套	約 1500 元	1500 元
<b>總費用合計約：</b>			<b>5,045 元</b>

## 陸、討論

### 一、電線彎折最短長度問題

本研究自製的電線彎曲機，目前採用的線材為 1.6mm 直徑的單心線銅線，系統彎折電線的最短長度約為 25mm，如圖 15 所示。

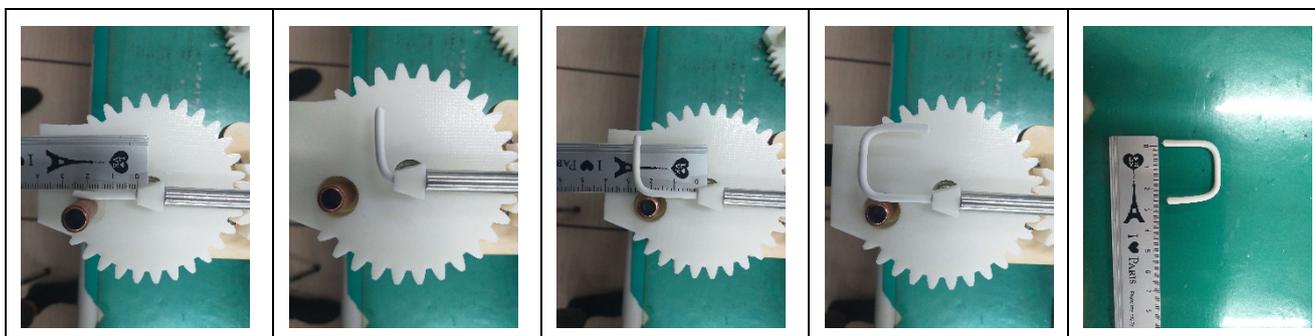


圖 15：系統彎折電線最短長度

系統設計一開始的構想為利用可活動的卡榫機構，方便使用者可順時針或是逆時針的彎折電線，所以卡榫不能太貼近齒輪中心，再加上為了減輕 Z 軸機構旋轉時的負重和節省成本

所以採用三顆相同的步進馬達。經過測試噴嘴頭至卡榫至少要 25mm 系統才有辦法順利彎折電線，若小於此長度，系統就會發生堵轉問題。

故若想要以目前的系統架構來縮短彎折長度，有幾種方式可以改良：1.更換大扭力的步進馬達。2.縮短卡榫至齒輪的中心位置。

由於更換大扭力的步進馬達會增加系統成本，所以目前改良的方式為設計固定的卡榫旋轉機構，簡單利用槓桿原理，縮短抗力臂來增加彎折扭力，也可減輕 Z 軸機構的旋轉負擔，經由多次的測試、列印機構，改良的效果如圖 16 所示，目前彎折的最短長度約為 15mm。

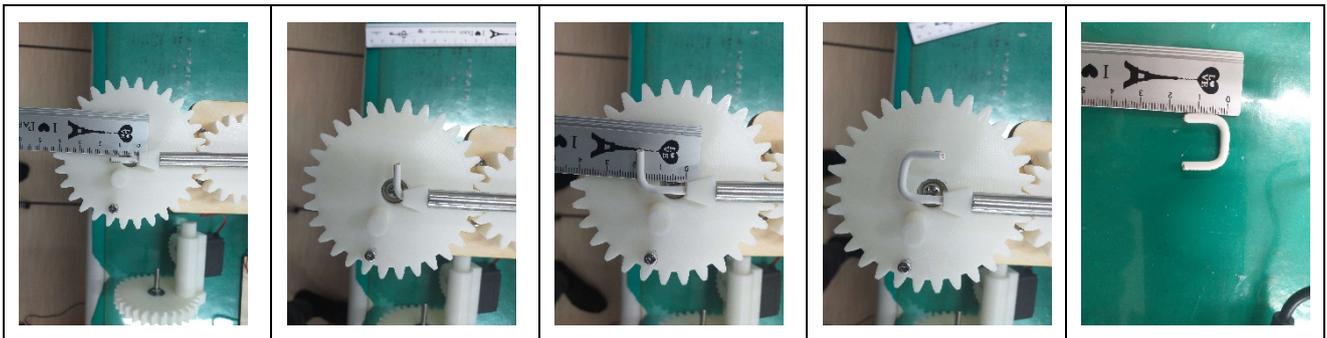


圖 16：改良後彎折最短長度

## 二、電線進料不完全問題

系統設計的進料機構是參考 3D 列印機的擠出機來設計，並且上網購買擠出機所使用的金屬齒輪、軸承、螺絲、彈簧…等，組裝而成，一開始的想法是進料機構可以和 3D 列印機一樣只要放好一圈線材，電線就可以很平穩的進料。

但由於採用的 1.6mm 單心線銅線具有一定的堅韌性，只要銅線進入進料機構前有不小彎折到銅線的地方，就會發生進料不完全的問題，如果系統是在「手動」模式還可以立即維修處理，但是若發生在「自動」模式，程序在執行中只要有某段尺寸發生偏移，就會造成彎折誤差或失敗，嚴重時可能會造成步進馬達堵轉過熱或燒毀電路。

目前的改良方式是簡單利用舊有的機構平台組合製作出直線輔助機構，如圖 17 所示，讓電線進入進料機構前能先以平直的方式進入減少電線彎折。

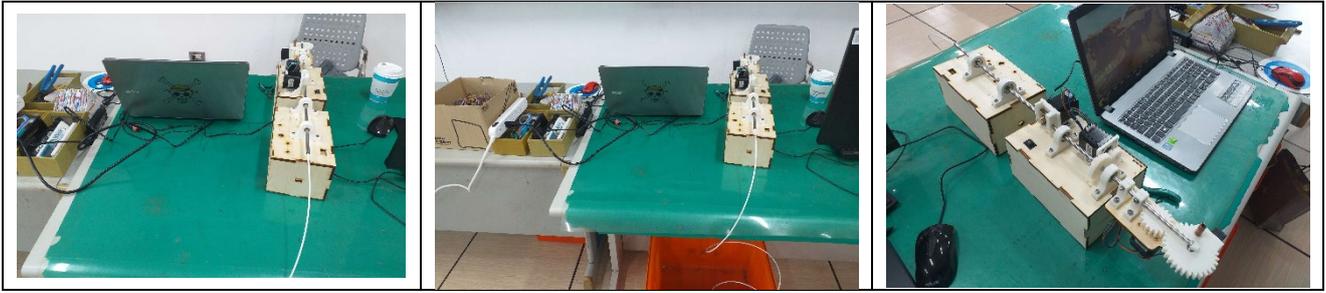


圖 17：改良直線輔助機構

由於本研究設計主要考量為利用有限資源為出發點來創作，在主要機構材質上是利用學校所提供 3D 列印機的 PLA（Polylactic Acid 聚乳酸）線材列印而成，容易在使用多次後，產生材料磨損，誤差變大，或發生材質龜裂破損，故在後續的改良，建議在機構的材質上，可朝向利用輕量金屬的材料設計齒輪、外框架構……等。

## 柒、結論

本研究確實能達成研究的目的，自行設計出所需的電路與機構，創作出類似自動電線彎曲機的彎折功能。使用者只需要利用電腦，規劃好電線彎折的行程，或是先用「手動模式」測試要彎折的路徑，再自行更改自動程序程式碼，系統就可以快速將電線彎折成我們期望的尺寸與形狀，尤其是在需要大量製作相同彎折工作時，本系統就可以發揮自動控制流程的特色，除了可減輕我們的工作負擔，又可製作出一致性的美觀線路。

這次的研究讓我們真正學會了什麼是機電整合的系統，這些可能是我們高中三年來都很難觸碰到的事物，在製作的過程中從最先前的設計概念到裝置結構都經過了一番討論，在製作過程中遇到了許多瓶頸，例如：如何把手繪的草圖利用電腦繪製、齒輪機構的組合設計、程式碼的撰寫、機台測試中燒毀……等，讓我們體會到一個產品從設計到製作是需要投入非常多的心血，也體會到團隊合作的重要，最後看到成品能順利、完美的運作、使用我們這幾個月來的辛苦一瞬間都值得了。

## 捌、參考資料及其他

露天拍賣 (2020 年 9 月 12 日) • 小型手動電線電纜折彎機線束彎線機打彎機折線機銅鐵絲彎曲器工具 • 取自 <https://www.ruten.com.tw/item/show?22042651555119>

露天拍賣 (2020 年 9 月 12 日) • 異世界全自動電腦剝皮折彎機硬電線裁線剝線折彎一體機電表柜電箱折線機 • 取自 <https://www.ruten.com.tw/item/show?22038385678170>

Makerguides.com (2020, September 12) .How to control servo motors with Arduino [Web blog message].Retrieved from <https://www.makerguides.com/servo-arduino-tutorial/>

Makerguides.com (2020, September 12) .How to control a stepper motor with DRV8825 driver and Arduino [Web blog message].Retrieved from <https://reurl.cc/ravVe4>

AliExpress(2020, September 12).Free shipping Nema17 Stepper Motor 42 step motor 4-lead motor for CNC 3D printer [Web blog message].Retrieved from <https://reurl.cc/OXYEr3>

艾迪諾 (2015) • *Arduino 全能微處理機實習* • 台北：全華。

徐德發 (2012) • *Arduino 錦囊妙計* • 台北：基峰資訊。

趙英傑 (2013) • *超圖解 Arduino 互動設計入門* • 台北：旗標。

孫駿榮、蘇海永 (2015) • *用 Arduino 全面打造物聯網* • 台北：基峰資訊。

## 【評語】 052312

1. 本作品站在創客進行各類創意原型開發過程中所需彎線的需求，來開發出一台機電與機械整合的自動電線彎曲機，並將機器原型完成並展現彎線功能，為一個好的系統整合實作，值得鼓勵！
2. 科研成果理應包含量化數據和分析，以及和現有系統之比較，論述說明本成果往上突破之進步程度；後續也可以此分析成果，來訂定本彎線機之系統規格，如彎線的精準度和速度等。
3. 有部分創客仍以手作方式進行，建議可以探討以機器彎折和手折之異同，包含製作精度和節省時間或其他成本之效益等。
4. 系統開發也同拾取決於所使用零組件本身特性，目前系統機構為以 3D 列印機 PLA 所製作，材料本身強度及耐用性相較於金屬不佳，容易損耗致使誤差變大，這也是創客以塑膠 3D 列印進行實作常遇到的關鍵問題之一。因為本作品屬機台開發，會持續使用，系統損耗對其功能有很大的影響，建議應對本議題有所著墨。

## 作品簡報



# 自製電線彎曲機

# 摘要

- 本作品的特色是以Arduino單晶片為核心，自製一個機電整合系統的電線彎曲機，利用程式設計好的流程，系統即會自動控制步進馬達，將所需之電線送入進料機構、Z軸機構、彎曲機構，完成程序所設定之長度、形狀，讓使用者可以客製化的規劃，方便、快速又一致性的彎折所需之電



# 研究動機

- 進入電機科後，生活有什麼電路、電器需要維修，總想要自行完成，達成學以致用得目標，當初在學校實習時，最讓我無法立馬上手的就是整線，尤其是單芯線，這種線的線徑粗，再加上我們施工的範圍有限，而使用尖嘴鉗夾著彎又怕傷到絕緣皮影響到線路安全。如果有個機器可以自行彎折電線出需要完成我們的長度和形狀？一定很方便又很省時，於是我們就有了想要自己動手作一個自動電線彎曲機

# 研究目的

- 有薦於市面上的電線彎曲機太過於昂貴，於是本研究的目的為利用學校所學，以有限的資源自製學生級的電線彎曲機，具體設計特色為：
- 一、利用雷射切割機，切割系統組裝平台。
- 二、利用3D列印機，列印主要系統機構組件。
- 三、利用高速電路板雕刻機，雕刻系統電路板。
- 四、可利用電腦直接控制電線彎曲長度、形狀。
- 五、可利用電腦自動控制客製化程序的電線彎曲長度、形狀。

1.高速電路板雕刻機



2. 3D 列印機



3.雷射切割機



# 進料步進馬達實驗

前進3.00cm			前進5.00cm		
程式進程常數	實際測量常數	誤差值	程式進程常數	實際測量常數	誤差值
92	2.79cm	-2.01cm	92	4.79cm	-2.01cm
93	2.85cm	-0.15cm	93	4.84cm	-0.16cm
94	2.88cm	-0.12cm	94	4.90cm	-0.10cm
95	2.97cm	-0.03cm	95	4.95cm	-0.05cm
96	3.06cm	0.06cm	96	5.07cm	0.07cm
97	3.11cm	0.11cm	97	5.13cm	0.13m
98	3.16cm	0.16cm	98	5.21cm	0.21cm

# 折角步進馬達實驗

彎45°			彎90°		
程式進程常數	實際測量常數	誤差值	程式進程常數	實際測量常數	誤差值
11	33°	-12°	11	65°	-25°
12	35°	-10°	12	75°	-15°
13	37°	-8°	13	80°	-10°
14	43°	-2°	14	87°	-3°
15	46°	1°	15	89°	-1°
16	48°	3°	16	95°	5°
17	50°	5°	17	97°	7°

# Z軸步進馬達實驗

Z彎45°			Z彎90°		
程式進程常數	實際測量常數	誤差值	程式進程常數	實際測量常數	誤差值
13	38°	-7°	13	70°	-14°
14	39°	-6°	14	78°	-12°
15	40°	-5°	15	85°	-5°
16	42°	-3°	16	88°	-2°
17	44°	-1°	17	91°	1°
18	46°	1°	18	93°	3°

# 討論(一)

- 目前採用的線材為1.6mm直徑的單心線銅線，系統彎折電線的最短長度約為25mm。故若想要以目前的系統架構來縮短彎折長度，有幾種方式可以改良：1. 更換大扭力的步進馬達。2. 縮短卡榫至齒輪的中心位置。由於更換大扭力的步進馬達會增加系統成本，所以目前改良的方式為設計固定的卡榫旋轉機構，簡單利用槓桿原理，縮短抗力臂來增加彎折扭力，也可減輕Z軸機構的旋轉負擔，經由多次的測試、列印機構，改良的效果如圖所示，目前彎折的最短長度約為 15mm

## 討論(二)

- 由於採用的1.6mm單心線銅線具有一定的堅韌性，只要銅線進入進料機構前不小心彎折到銅線的地方，就會發生進料不完全的問題，如果系統是在「手動」模式還可以立即維修處理，但是若發生在「自動」模式，程序在執行中只要有某段尺寸發生偏移，就會造成彎折誤差或失敗，嚴重時可能會造成步進馬達堵轉過熱或燒毀電路。目前的改良方式是簡單利用舊有的機構平台組合製作出直線輔助機構，如圖所示，讓電線進入進料機構前能先以平直的方式進入減少電線彎

# 結論

- 電線彎曲機的彎折功能。使用者只需要利用電腦，規劃好電線彎折的行程，或是先用「手動模式」測試要彎折的路徑，再自行更改自動程序程式碼，系統就可以快速將電線彎折成我們期望的尺寸與形狀，尤其是在需要大量製作相同彎折工作時，本系統就可以發揮自動控制流程的特色，除了可減輕我們的工作負擔，又可製作出一致性的美觀