

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

佳作

052315

應用行星輪系於磨墨機構之設計與分析

學校名稱：國立秀水高級工業職業學校

作者： 職三 劉彥均 職三 鄭凱駿 職三 吳崇維	指導老師： 張漢佑 吳家福
---	-----------------------------

關鍵詞：萬花尺、擺線運動、磨墨機

摘要

市售磨墨機使用時都需要專用硯台，因此侷限了磨硯之泛用性。還記得小時候玩過可以畫出花型曲線萬花尺，這曲線成形定義是由內擺線所構成，適巧這運動軌跡可應用於磨墨機構。本研究應用連桿與內擺線運動機構配合進行軌跡設計，原理是運用連桿一端(與萬花尺小齒輪上一支點連接)及連桿中間具一可滑動調整鈕之運動限制，使連桿另一端點(墨條端)產生軌跡變化。透過實際組裝後測試，調整小齒輪上連桿端支點位置設定，便可以畫出大小不同圖案，另外只要調整連桿中間調整鈕位置，便可以變化輸出不同長寬比曲線，此比值可以變化適用於不同形狀及大小硯台。完成確立實驗後，我們將整個作品做最佳化設計，以符合實際使用者的需要。

壹、研究動機

過年時阿姨來家裡拜年，阿姨說你們學機械的會不會作磨墨機啊？因為她有在寫書法，每次磨墨都要花很多時間，雖然有人說磨墨過程可以使心情沉靜下來，可是也要花好些時間磨墨，也需要用力，如果用現成墨汁寫出來的字又不好看。所以我們就針對這個問題來研究及設計。搜尋網路上相關磨墨機的商品，發現各種磨墨機設計大都需要特定硯台，且價格昂貴。因此我們想設計可調整研磨範圍的磨墨機，而且可應用家裡已有的硯台及墨條來磨墨。

貳、研究目的

由於學校機件原理課程有教授過輪系及相關齒輪製造方式，因此構想利用行星齒輪系來完成整個機構設計，其動作會應用到萬花尺原理，所以我們設立下列幾個研究目的：

- 一、了解萬花尺的原理及應用。
- 二、以行星輪系設計磨墨機構及整體架構設計
- 三、了解調整磨墨範圍及圖案的變化
- 四、磨墨機商品化設計：夾墨調壓設計、調速定時設計及濃度偵測設計

參、研究設備與器材

1. 電腦與繪圖軟體
2. 傳統加工母機：車床、銑床、鑽床及各式工具
3. 金屬雷射切割加工機
4. 使用材料：不銹鋼板、鋁材、銅棒等

肆、研究過程

一、研究流程圖如圖 1 所示。

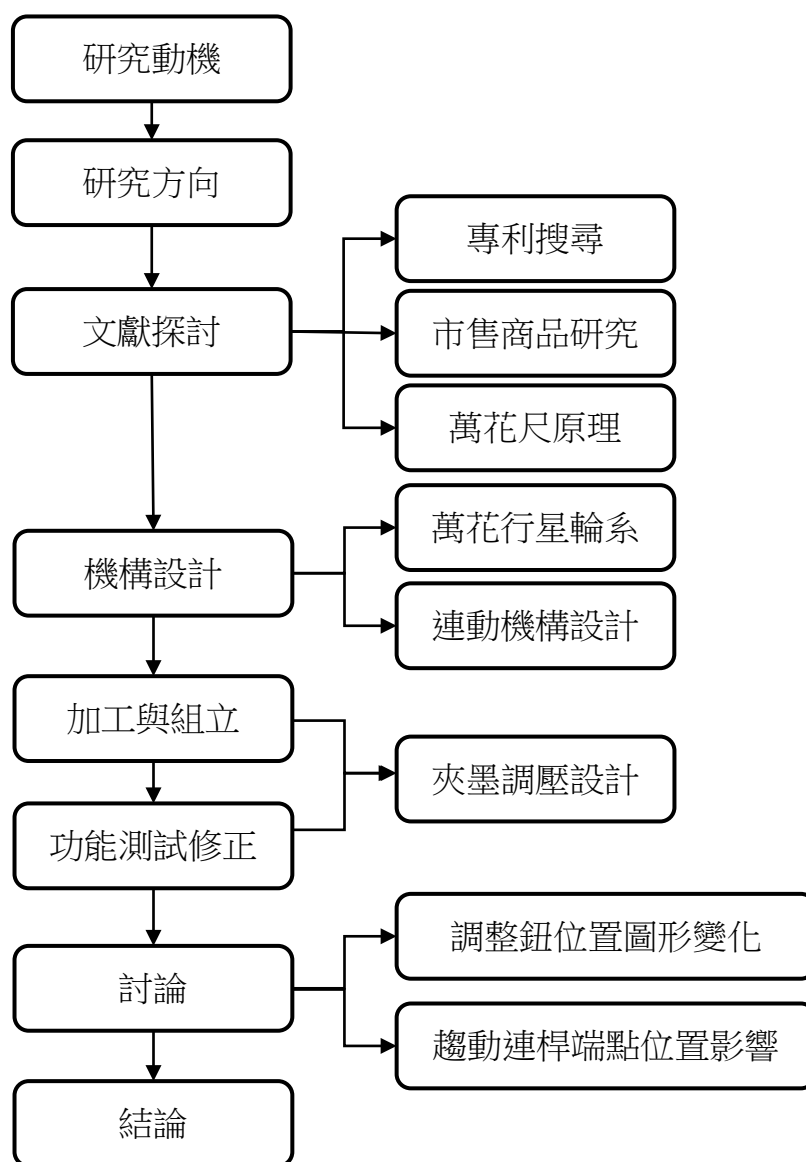


圖 1 研究流程圖

二、文獻探討

(一).專利搜尋

在上專題製作課程時，老師教授我們專利搜尋技巧，我們透過中華民國專利檢索系統來檢視相關磨墨機專利，經過查詢後我們將目前已有和磨墨機的相關專利整理如下：

- 1、M607614 自動磨墨機：其設計如圖 2，是利用齒條與齒輪使墨條往復作動，再利用加壓設計使墨條壓住硯台，產生磨墨的效果。
- 2、M559257 攜帶式自動磨墨機：利用馬達帶動圓形硯臺轉動，墨條透過雙導桿機構使夾持更穩定，其機構設計如圖 3。

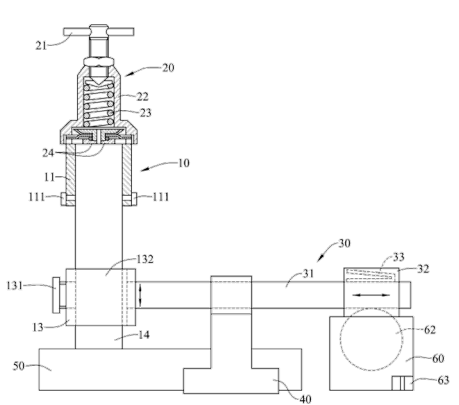


圖 2 M607614 自動磨墨機專利圖

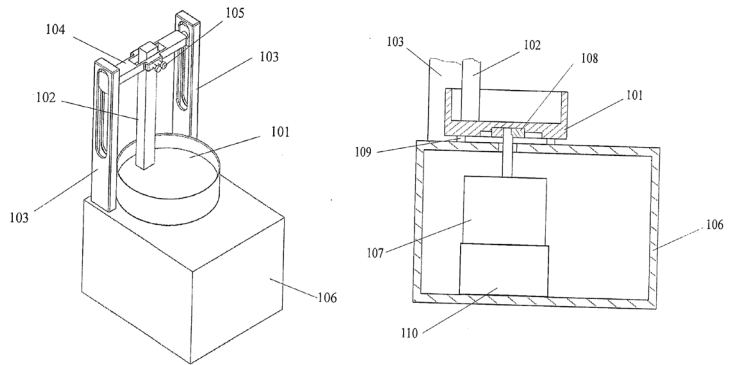


圖 3 M559257 攜帶式自動磨墨機專利圖

- 3、M516513 汲水式磨墨機：其設計有一馬達帶動的圓形磨墨部件(類似砂輪)，將一容器裝水放在磨墨部件下方，使與水面接觸達到汲水的功能，加上一支以上的墨條接觸在磨墨部件上，達到磨墨的功能，其設計如圖 4 所示。
- 4、M359430 改良之自動磨墨機：如圖 5 所示，其利用一直立的馬達帶動旋轉臂，臂上加上墨條固定加壓裝置，旋轉後讓墨條與下方硯臺接觸迴轉，產生磨墨之效果。
- 5、M250817 自動磨墨裝置：其設計與 M359430 類似，都是利用直立馬達直接帶動使墨條旋轉運動，再與下方硯臺摩擦產生墨汁，這個設計可以夾持兩根墨條，同時有增加給水裝置，如圖 6。

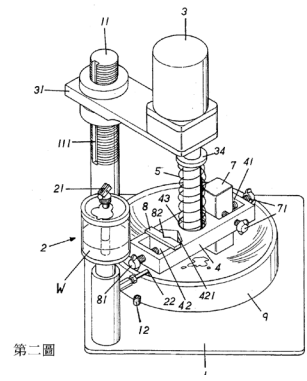
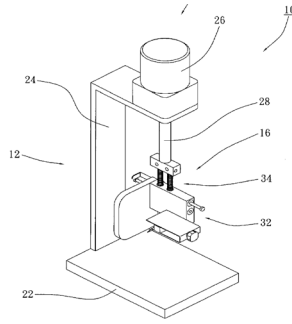
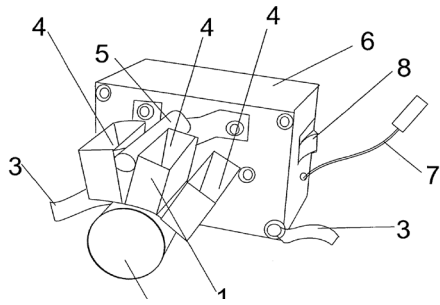


圖 4 M516513 汲水式磨墨機專利圖 圖 5 M359430 改良之自動磨墨機 圖 6M250817 自動磨墨

綜觀上述專利設計，我們發現除汲水式磨墨機不用硯臺外(需要專用容器)，其他設計都需要專用硯臺。小時候寫書法時都會先磨墨，還記得手握住墨條磨墨的感覺，有點像在畫花朵，上述專利的運動軌跡都不是畫花形曲線，所以我們想設計出接近小時候磨墨的動作機構出來。

(二). 市售商品搜尋

我們利用網路搜尋相關產品，主要有三大類的商品，其中圖 7 是利用硯臺旋轉，墨條夾墨裝置夾持後利用重力使墨條與硯臺摩擦產生磨墨的效果，圖 8 就是專利 M516513 汲水式磨墨機商品化的產品。圖 9 是 M359430 改良之自動磨墨機的商品化成品。



圖 7 硯臺迴轉磨墨機

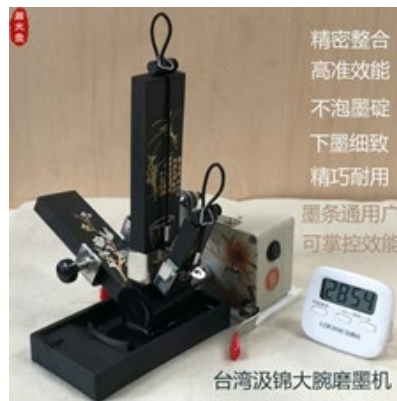


圖 8 汲水式磨墨機商品



圖 9 墨條迴轉式磨墨機

圖 10 所示作品是由上海市民辦尚德實驗學校之專題製作作品，原理是利用馬達裝上齒輪帶動螺桿轉動使墨條在硯台前後移動，另外放置硯台設計是利用機車手機架的挾持原理，可放置圓、長方形硯台。而對於磨硯速度控制是利用電壓的大小使馬達轉動速度改變，藉以讓墨水有不同的濃度；夾持部分之設計是使用長尾夾夾持墨條，並且利用尾座旋鈕調整墨條下壓力量。

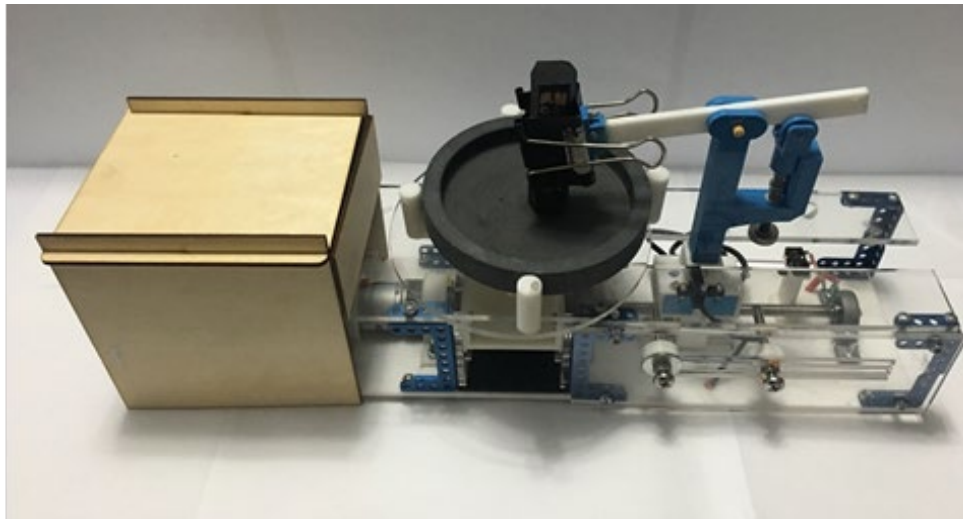


圖 10 迴轉下壓式磨墨機構創作

(三). 萬花尺原理

小時候很多人都有玩過的玩具萬花尺 (spirograph) 如圖 11 所示，最早是由波蘭的數學家 Bruno Abakanowicz 所發明，用來計算曲線所構成的面積。後來英國工程師 Denys Fisher (1918-2002) 將改良的萬花尺展示於 1965 年的「紐倫堡玩具大展」中。萬花尺的圖形是由小齒輪中任意特定點在大的內齒輪中旋轉所形成的曲線圖案，網路上也有可以調整各種尺寸的應用軟體，可以模擬畫出各式的曲線，我們以接近的尺寸設計模擬如圖 12 的圖案。



圖 11 萬花尺與繪出的圖案

取自 <http://4rdp.blogspot.com/2011/08/blog-post.html>

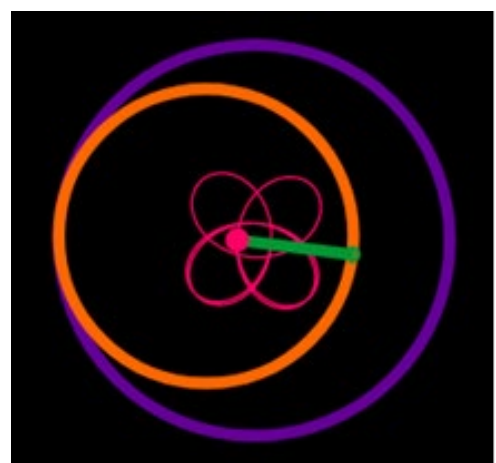


圖 12 電腦軟體繪出的模擬圖案

取自 https://www.mathplayground.com/equation_creations.html

我們參考 NTCU 科學遊戲實驗室的說明，萬花尺的圖形花瓣數目決定於大圓、小圓的半徑比例，例如內齒輪節圓直徑為 90，小齒輪節圓直徑為 75，節圓直徑最簡單整數比為 $90:75=6:5$ ，內齒輪的比值為 6，劃出來的圖形會有 6 個花瓣後起點與終點重合，如圖 13 所示。

我們在機件原理中有學到擺線及漸開線的畫法，其中擺線的定義是一個圓在直線或曲線(圓弧)上滾動，圓上一點所描繪出來的軌跡。當一小圓在一直線上滾動了 5 圈，會產生 5 個週期的擺線(如圖 14)。將此線段彎曲成一個大圓時，讓小圓在大圓裡面滾動，此時會形成五角形的擺線，大圓與小圓的直徑比為 $5:1$ 。若小圓的直徑改成二倍，大圓直徑不變時，則相同的距離小圓只能滾動 2.5 圈，這時擺線還沒回到出發點如圖 14(2)右邊紅色實線。小圓繼續滾動 2.5 圈(紅色虛線)之後，就會回到原點，成為一個 5 個花瓣的星形。

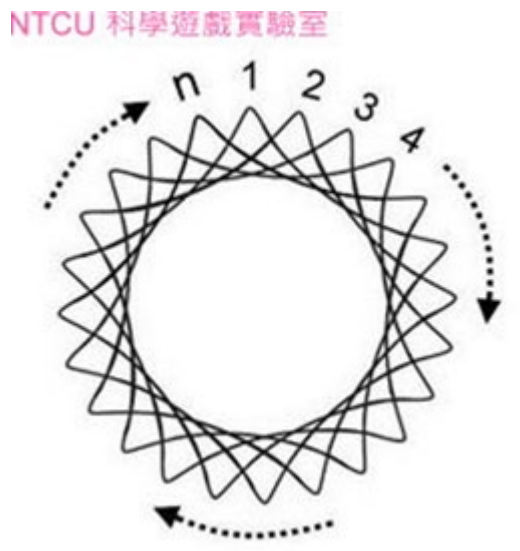


圖 13 N 個花瓣軌跡完成圖形

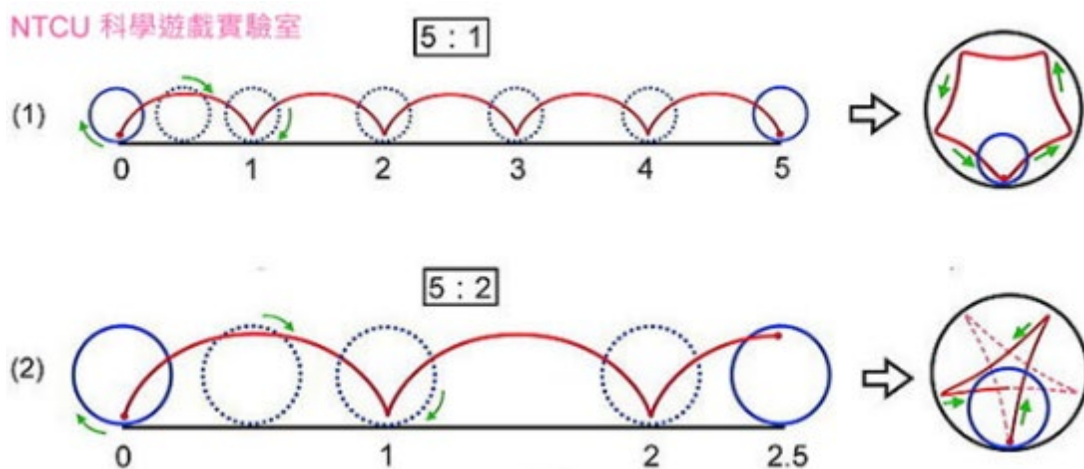


圖 14 圓在一直線上形成軌跡圖及在圓內形成內擺線圖

取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-025.html>

(四).行星輪系

行星齒輪（Epicyclic Gearing）是輪系結構的一種，通常由一個或者多個外部齒輪圍繞著一個中心齒輪旋轉如圖 15，類似行星繞行太陽運動而得名，行星齒輪系在最外部通常還有一個外齒圈，用來貼合行星齒輪繞行的軌跡。行星齒輪通常可以分為簡式行星齒輪系和複式行星齒輪系。簡式行星齒輪分別有一個太陽齒輪，一個外齒圈，一個行星齒輪和一個行星架。複式行星齒輪通常指即包含行星輪系又包含太陽輪系的齒輪系。複式行星齒輪相對於簡式行星齒輪有高減速比，高扭矩的特點(有助於磨硯之扭力)。圖 16 為瓦特式太陽行星輪裝置，其特性為當活塞往復一次時(C 件)，曲柄可以旋轉兩次。

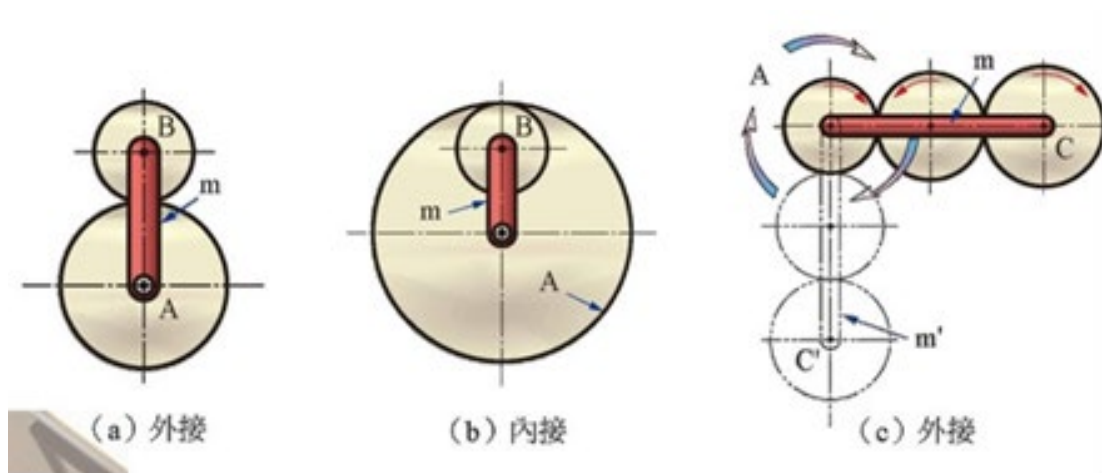


圖 15 行星輪系(取自 龍騰文化)

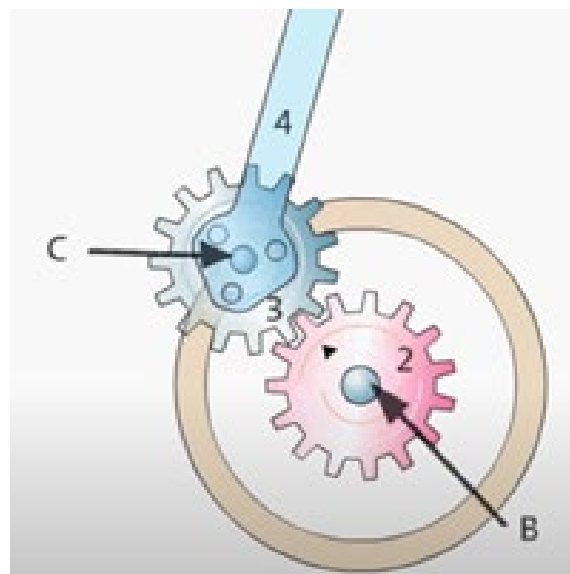


圖 16 瓦特式太陽行星輪(取自 全華高職)

三、機構設計

(一).行星輪系與萬花尺機構設計

學校有購置雷射切割加工機，老師在課程中有教我們使用 AutoCAD 來繪製機構加工，所以我們也利用相同的方式來繪製如圖 17 所示，其中大圓(內齒輪)節圓直徑 81mm，小齒輪節圓直徑 60mm，齒輪模數為 1，先以木材加工完成如圖 18 所示，同時使用較為簡便的材料來了解機構初步設計有沒有問題。對於零組件設計，我們是在小齒輪上鑽好 6 個孔以作為繪圖定位孔(可以插筆繪圖)，其尺寸位置如圖 19 所示。

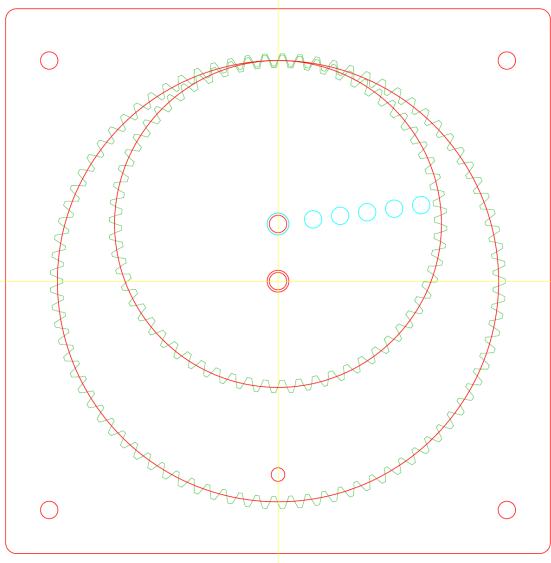


圖 17 原始萬花尺設計圖



圖 18 以雷射切割完成的木頭萬花尺

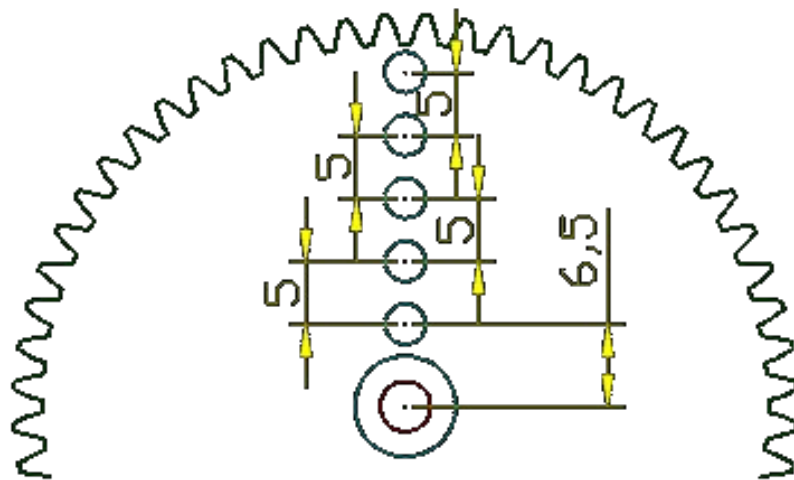


圖 19 小齒輪上孔位尺寸圖

我們將筆插入這 5 個孔內，0 孔為內齒輪圓心，描繪為圓形，最外孔我們考慮機構位置限制後決定不採用，其他 4 孔為軌跡建置位，經過描繪後完成的曲線如圖 20 所示，再進行實際大小量測獲取運動範圍尺寸。原本設計比值為 4：3，為考量齒輪均勻磨耗問題，我們設計成 81 齒比 60 齒，內外齒輪中心距離為 10.5mm(40.5-30)。

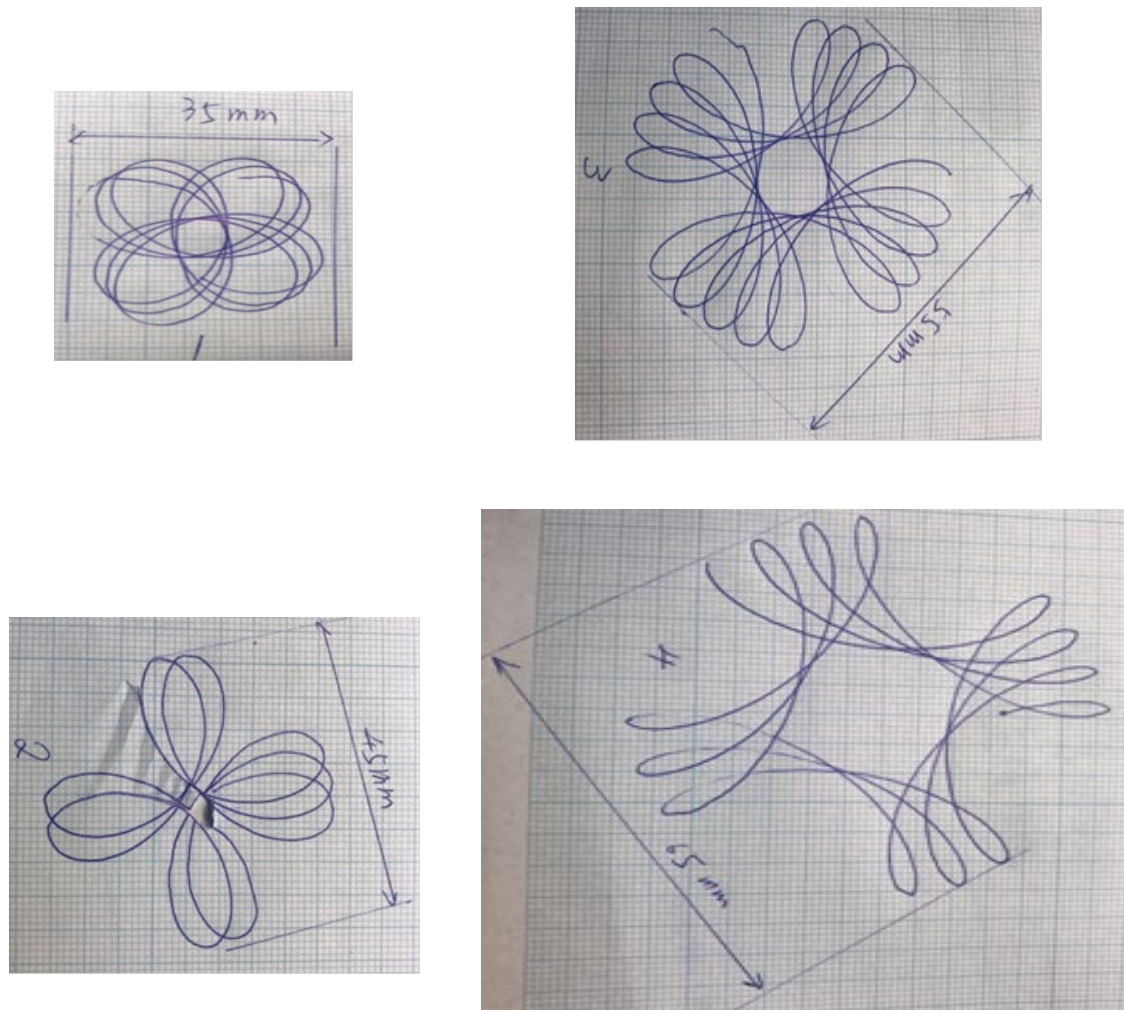


圖 20 原始萬花尺繪出曲線圖與量測的大小範圍

(二).位置調整與研磨範圍調整(放大縮小圖形變化)

由於我們設計不使用專用硯臺，觀察一下常見硯臺的型式如圖 21，有圓有方有大有小，為了達成可以調整大小設計，我們設計連桿中間限制點位置可調及連桿端固定支點可調，因此可獲取(1)連桿端固定支點可調整圖案形狀大小；(2)中間限制點可以調整輸出大小縮放比例。

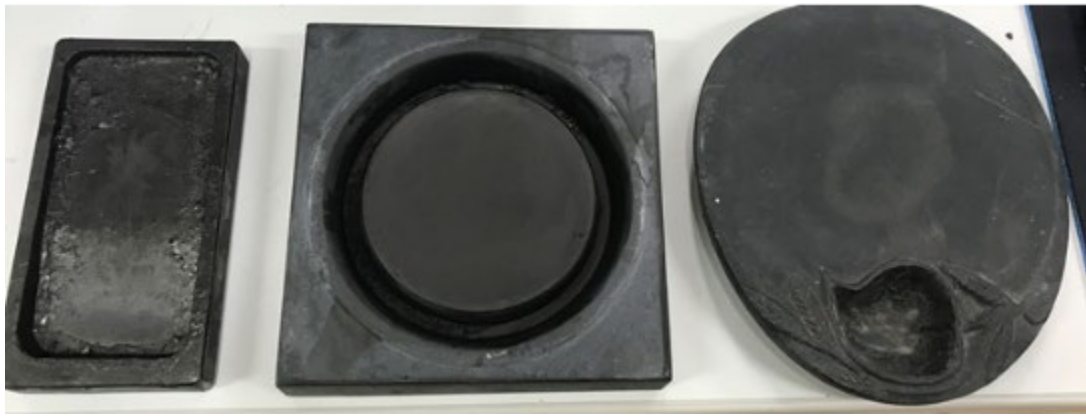


圖 21 各式硯臺形狀及大小

我們構想機構如圖 22 所示，結構上利用上面行星輪系為基本架構，透過連桿將動作傳遞出來，並且利用調整支點位置，讓此具繪出研究目的所需之變化圖形，另外連桿本身也可以設計夾持墨條的機構。

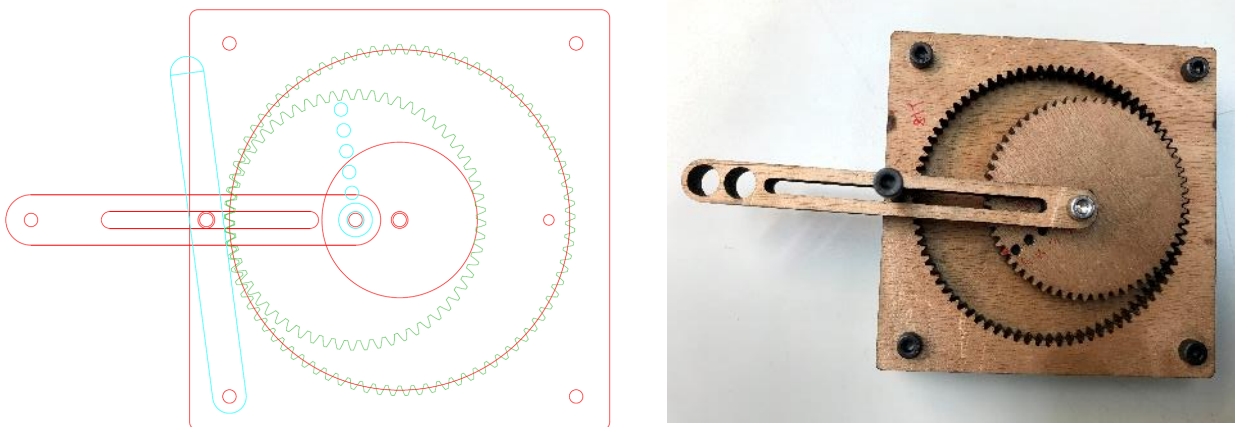


圖 22 連桿設計示意與測試組裝位置圖

(三). 墨條夾持及加壓設計

我們設計的夾持墨條設計如圖 23，目前先利用螺絲鎖固。此墨條夾持後如圖 24，因為墨條大小形狀不同，使用螺絲會比較方便。墨條架上我們使用四個彈簧來加壓墨條，另外利用一個螺絲來調整加壓力量。

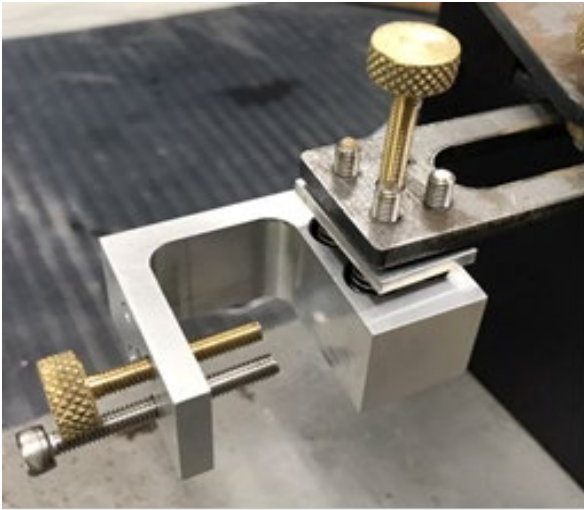


圖 23 墨條夾持與加壓設計

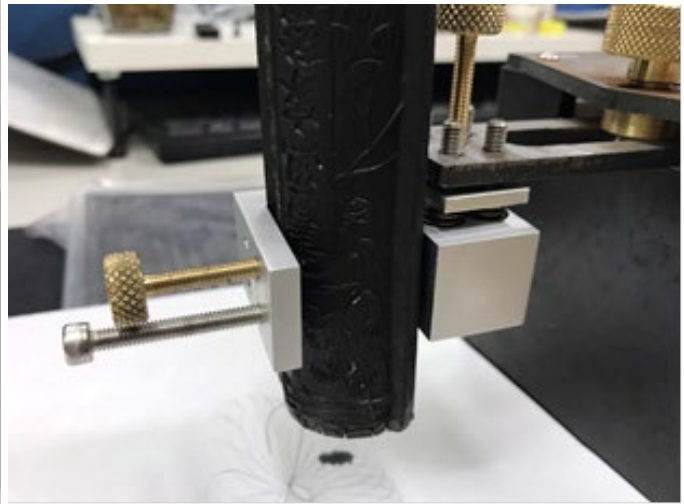


圖 24 實際夾持墨條設計

這個夾墨設計在調整墨條位置較為不方便，因此為了解決方便硯臺取下，後續夾墨方式改良為搖臂式，希望使用上能夠更方便。

伍、研究結果

一、加工組立過程

加工過程我們使用學校的雷射切割機及車、銑、鑽床完成零件加工，加工零件齒輪如圖 25 所示，各項傳動零件都安裝軸承，經過組裝後主結構如圖 26 所示；圖 27 為加上墨條夾持後整體的組立完成測試圖。



圖 25 齒輪零件加工完成品

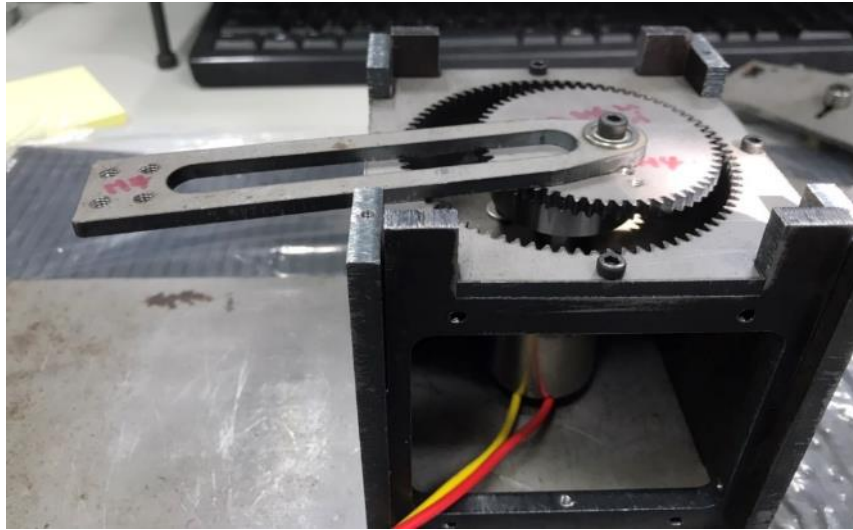


圖 26 機構組裝

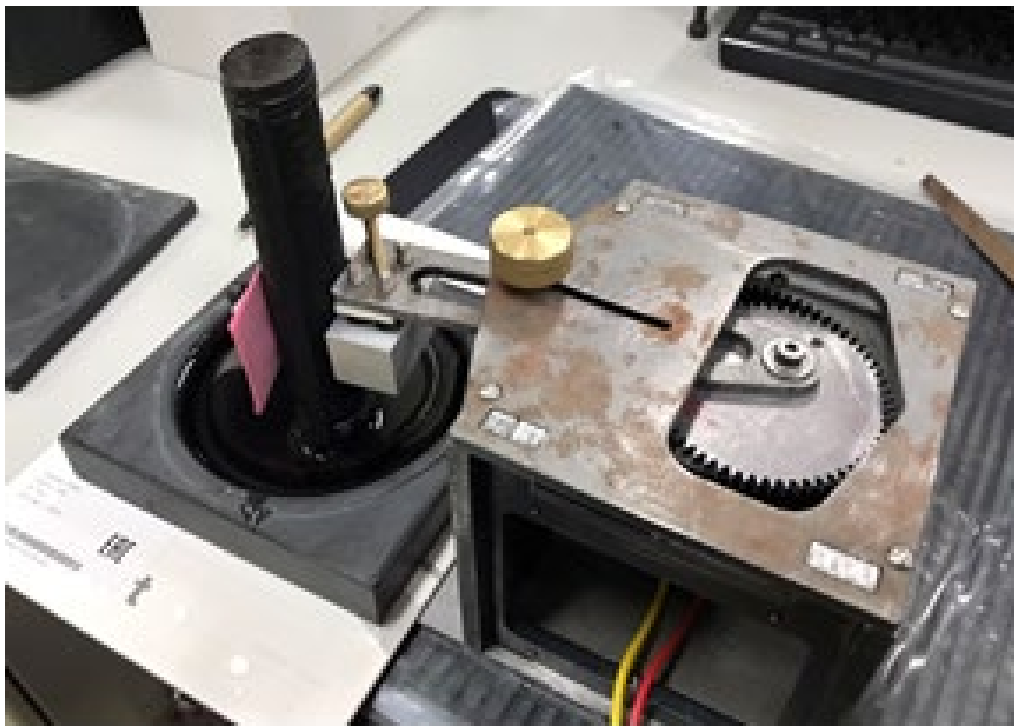


圖 27 初步完成機構研磨測試

二、模擬測試

機構完成後，我們進行曲線描繪測試，將原本墨條夾持位置裝上筆如圖 28 所示，調整各位置後描繪出各種尺寸圖形。圖 29 是先試繪圖的圖案。

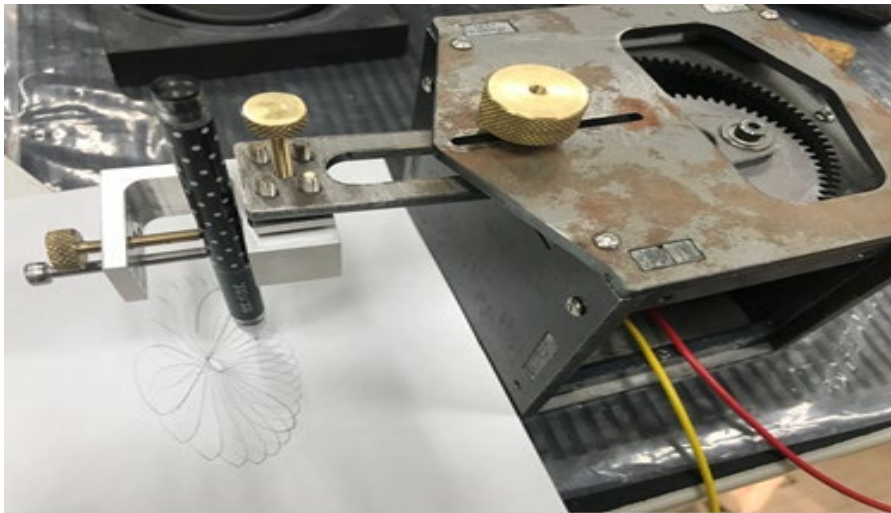


圖 28 以夾持筆來繪製運動軌跡

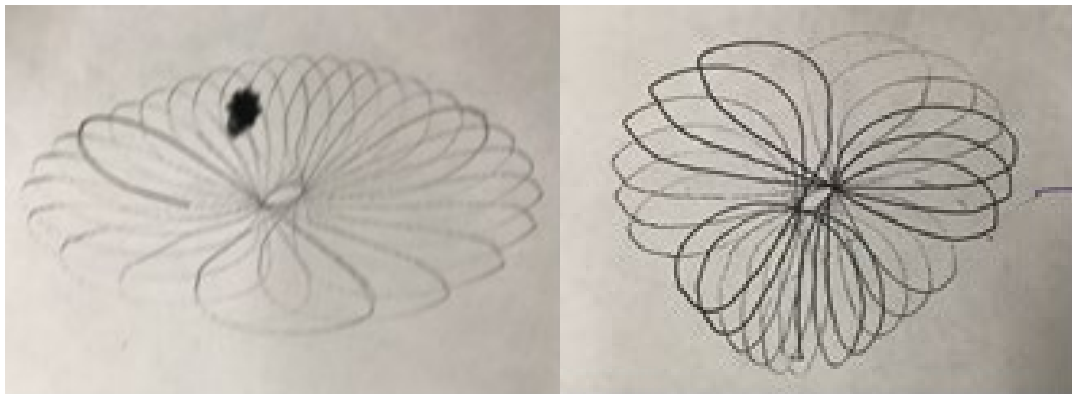


圖 29 描繪完成的軌跡

三、修正夾持墨條設計

在初步設計夾墨裝置測試時，發現調整壓力不足問題，表示彈簧行程不足，無法有足夠的壓力。另外是使用上的習慣問題；一般書法家磨完墨可能會將硯臺取下到其他寫書法的地方，而反觀目前的設計卻是不易取出硯臺。我們修改方向為朝向搖擺方式固定墨條，只要將夾持裝置上移就可以解決取出硯臺的問題。

新的設計如圖 30 所示，我們利用扭轉彈簧來產生壓力，壓力調整部份則透過定位銷孔來做有段壓力調整，當磨墨完成後要取出硯臺時，只要將定位銷移出後，可以將整個夾墨機構後移如圖 31 所示，這樣就可以取出硯臺。實際完成的夾墨裝置改良如圖 32 所示，未加壓狀態可以安裝墨條，圖 33 為墨條上移，硯臺方便取出，圖 34 為墨條加壓狀態，透過定位孔位置可以調整加壓壓力大小。

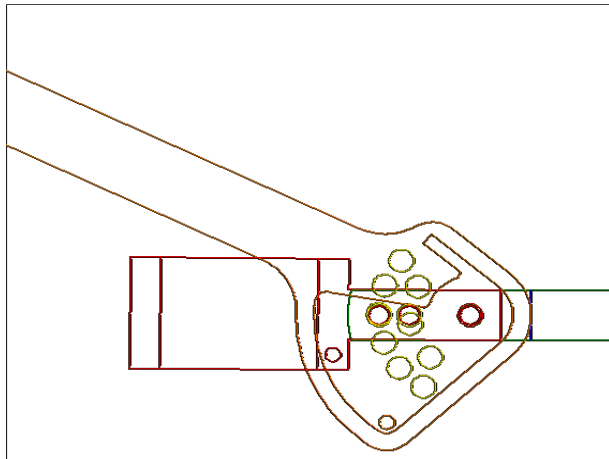


圖 30 新設計夾墨裝置，加壓狀態

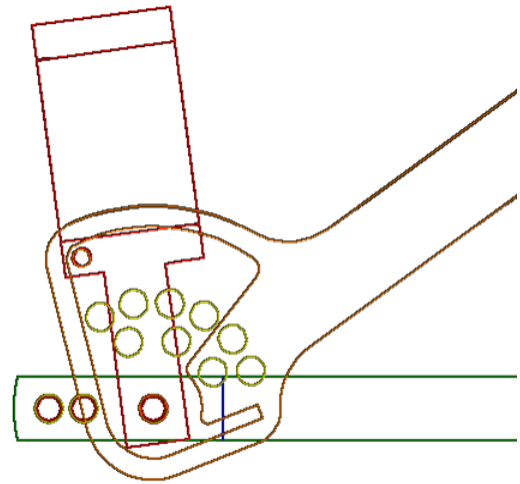


圖 31 墨條上舉狀態，硯臺可以取出



圖 32 夾墨裝置安裝墨條狀態

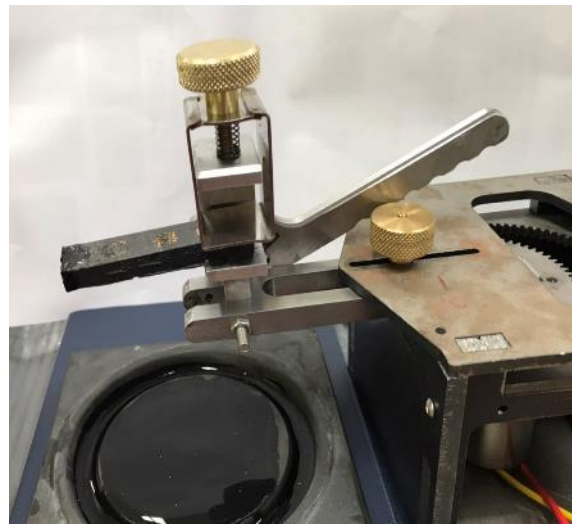


圖 33 墨條上掀情況，硯臺可取出

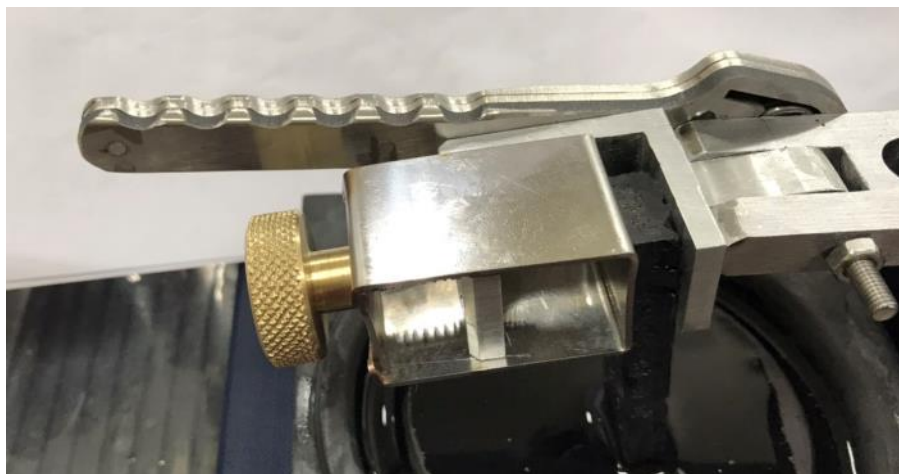


圖 34 墨條加壓研磨情況

經過實際使用後仍然有不方便的地方，我們需要改善兩個方向：

(一).加壓操作上需要兩手動作，仍不符合使用者習慣。

(二).夾墨裝置在研磨過程，墨條會偏擺尤其是某些方向角度時，墨條會偏移鬆掉。

針對第一個問題我們重新設計如圖 35 的機構，讓之前的定位銷固定，另外設計限制桿在把手裡面，這樣的設計可以單手操作，經過設計加工組立後，完成的成品如圖 36 所示。安裝在連桿上的使用如圖 37 所示。

針對第二個問題，我們經過討論後，重新設計夾墨裝置，利用 V 枕的概念，同時使用連桿設計，讓 V 枕的夾持角度可以調整，可以適用於方形、長方形及圓形的墨條，其零件設計草圖如圖 38 所示，夾持圓形墨條如圖 39 所示，由於使用 V 枕可以改善限制墨條偏擺的情況。

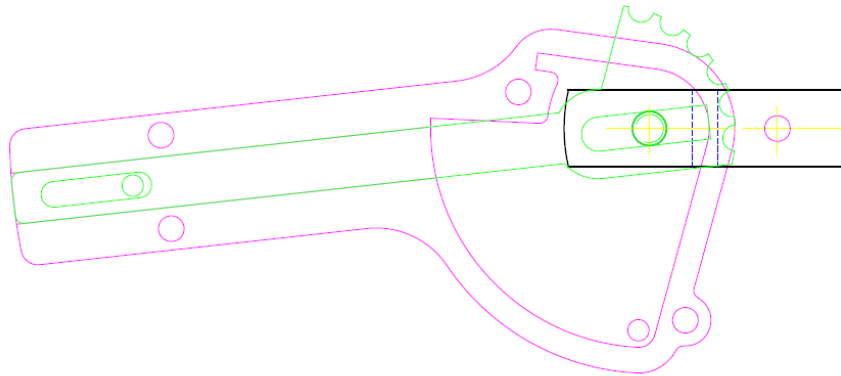


圖 35 單手加壓設計示意圖



圖 36 加壓機構組裝



圖 37 加壓機構安裝於連桿上

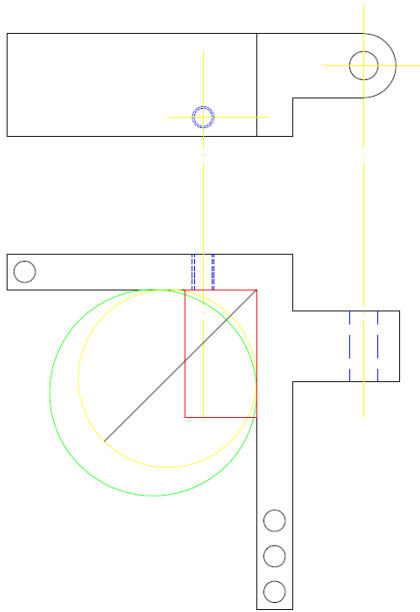


圖 38 夾墨設計零件圖



圖 39 夾墨裝置組裝完成圖

經過測試後，我們發現夾持墨條的設計已經可以符合我們的需求，可是墨條加壓還是有問題，當壓桿壓到最低位置時，測試使用的彈簧壓力太大，無法提供墨條上下移動的彈性空間，因為部份硯臺並不平整，若使用彈力較小的彈簧，則壓力不足需要較久時間研磨。這部份還需要再改良，因為原先的扭轉彈簧只有三圈，加上加壓把手有行程的限制，經過幾次的討論後及選購不同的彈簧回來測試，有了如圖 40 的構想，利用棘輪及扭轉彈簧來設計加壓裝置，完成初步的組裝如圖 41 所示，經過實際測試後，發現可以達到我們的需要，再經過設計調整後，完成的機構如圖 42 所示，實際夾墨的機構如圖 43 所示。

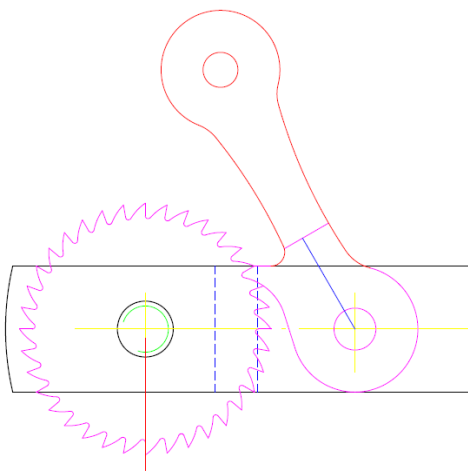


圖 40 棘輪加壓設計

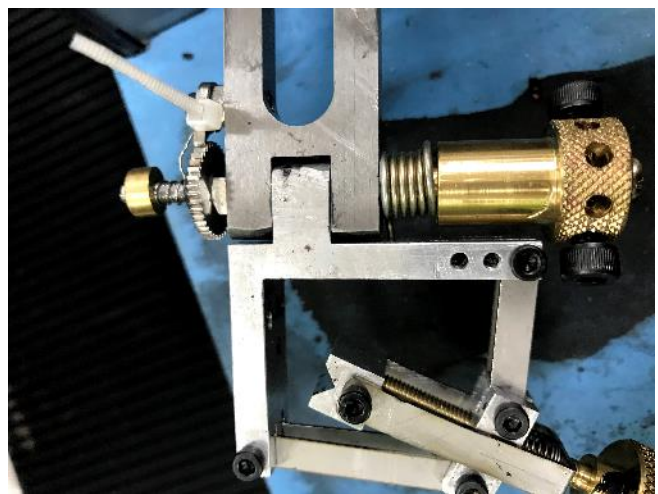


圖 41 棘輪加壓設計使用測試

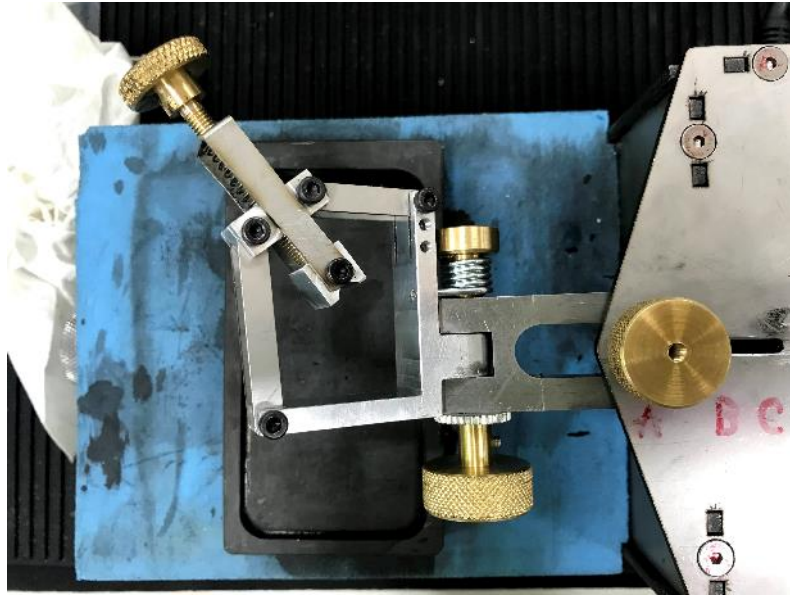


圖 42 墨條夾持加壓設計上視圖

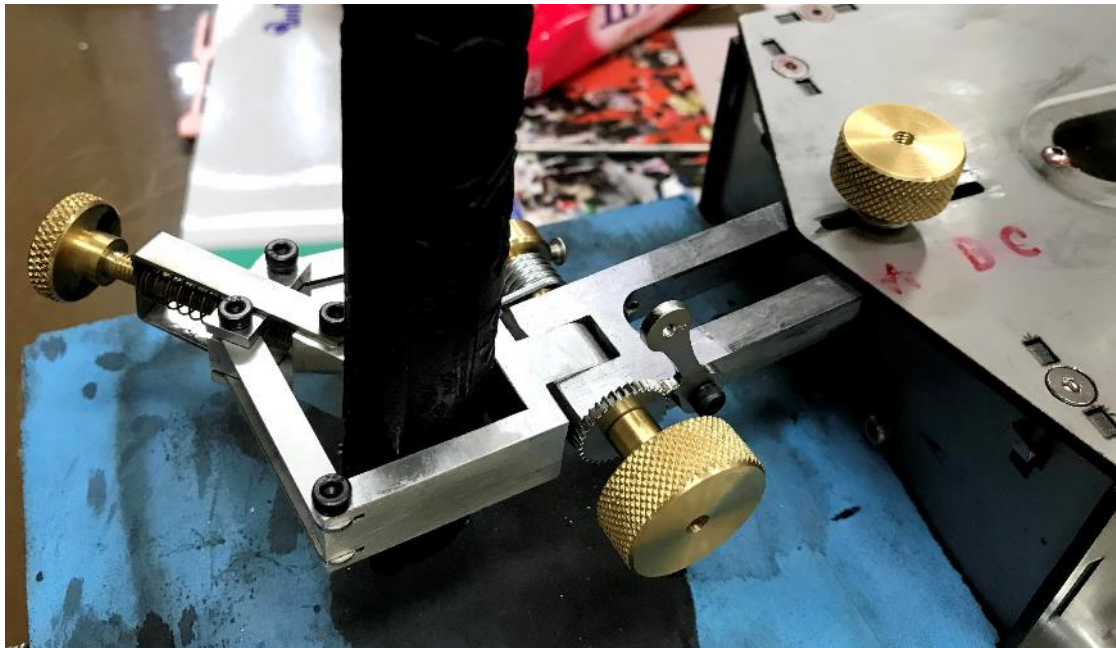


圖 43 最後完成的夾墨加壓設計

在整體架構設計時，我們加入了床臺可以升降的功能，主要考慮到硯臺有大小高低的差異，同時墨條會有研磨消耗越來越短的情況發生，磨墨機外觀設計草圖如圖 44 所示，其中臺面設計有一組斜面如圖 45，透過螺桿的旋轉使得下方斜面可以前後移動如圖 46，間而帶動上面臺面的上下移動，可作為調整不同的高度功能。

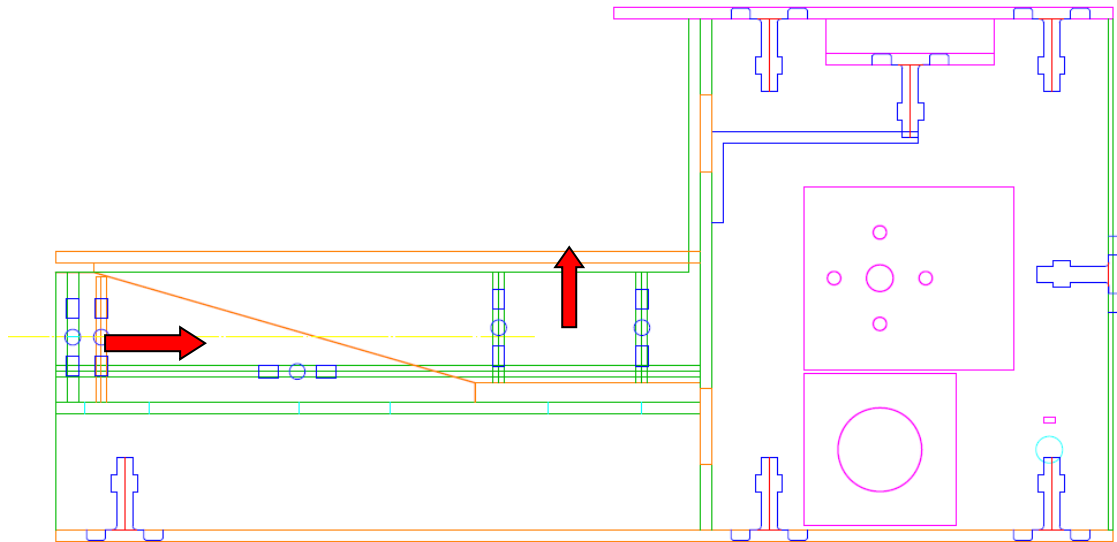


圖 44 磨墨機外觀設計草圖

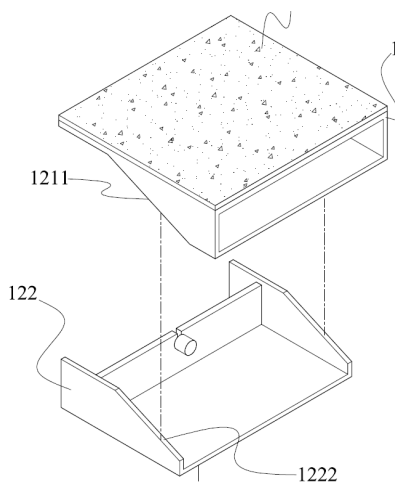


圖 45 斜面昇降機構



圖 46 昇降機構螺桿

陸、討論

一、調整鈕位置及趨動連桿心軸位置圖形變化探討

本研究設計的機構尺寸變化位置如圖 47 所示，巧思連桿中間滑動限制點(調整鈕)可以無段調整從距內齒輪圓心 63mm 至距圓心 35.5mm 移動，在實際測試過程中，連桿端心軸若連接小齒輪外側兩點時，上面的軸承會碰觸到滑動限制點的限制塊(需要再改良)，因此心軸 3、4 兩點僅描繪距離 63mm 及 46mm 兩點的圖形，實際描繪出來的圖形如圖 49~54 所示。連桿端

固定支點可以固定在小齒輪上的四個位置，分別為距圓心 6.5mm、11.5mm、16.5mm 及 21.5mm 尺寸，該支點分別定義為 1、2、3、4 四點，連桿中間調整鈕位置設定 63mm 處為 A 點、46mm 處為 B 點、35.5 處為 C 點。

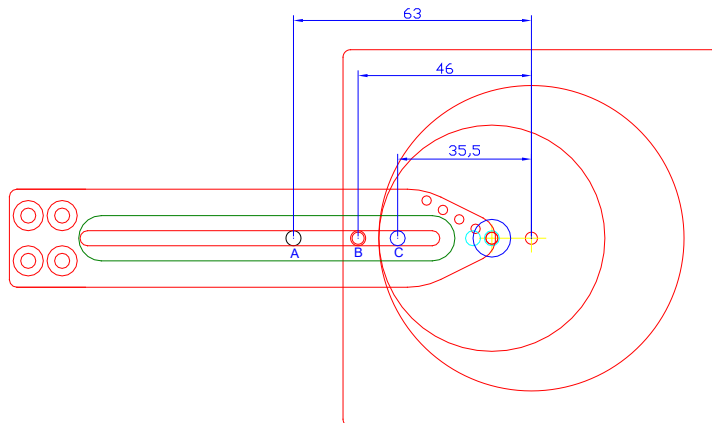


圖 47 連桿中間滑動限制點位置圖

在設計磨墨機時，我們考慮研磨的範圍可以調整，因此利用萬花尺的基礎圖案，我們希望能找到研磨的最大範圍關係，將磨墨機相關位置圖繪製如圖 48 所示。

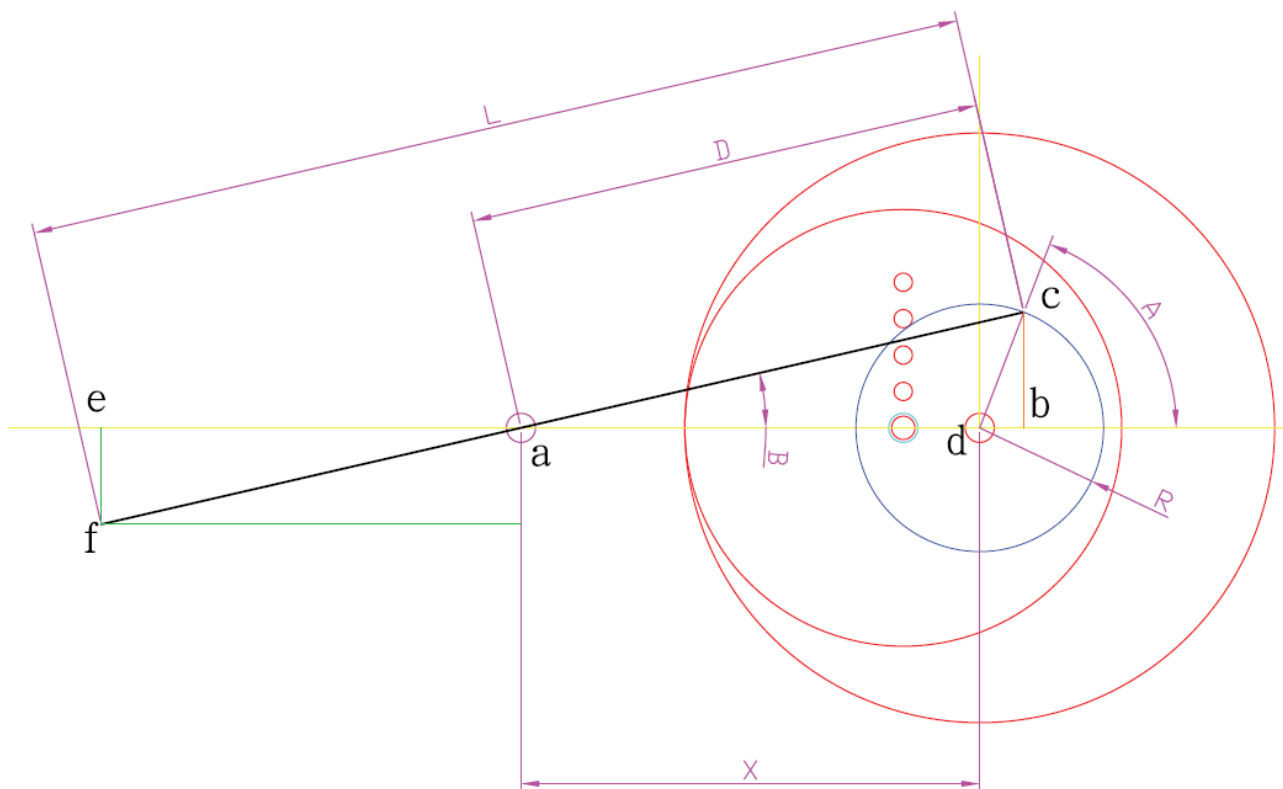


圖 48 磨墨機構各相關零件相對位置圖

其中 c 點以 R 為半徑，繞 d 點為圓心形成的藍色圓為萬花尺繪出圖形的最大外徑。

角度 A 為藍色圓旋轉的角度，範圍從 0 度~360 度

a 點為調整鈕位置，X 為調整鈕到內齒輪圓心距離

L 為連桿端心軸點到輸出點的距離

D 為調整鈕至藍色圓周上任一點的距離

$$D = \sqrt{(R \times \sin A)^2 + (X + R \times \cos A)^2}$$

$$\tan B = \frac{R \times \sin A}{X + R \times \cos A}$$

角度 B 為連桿與水平軸線的夾角

$$\bar{f}e = (L - D) \times \sin B \quad (\text{Y 軸距離})$$

$$\bar{a}e = (L - D) \times \cos B \quad (\text{X 軸距離})$$

我們利用 EXCEL 描繪計算出來的結果，所得與實際繪圖比較如下：

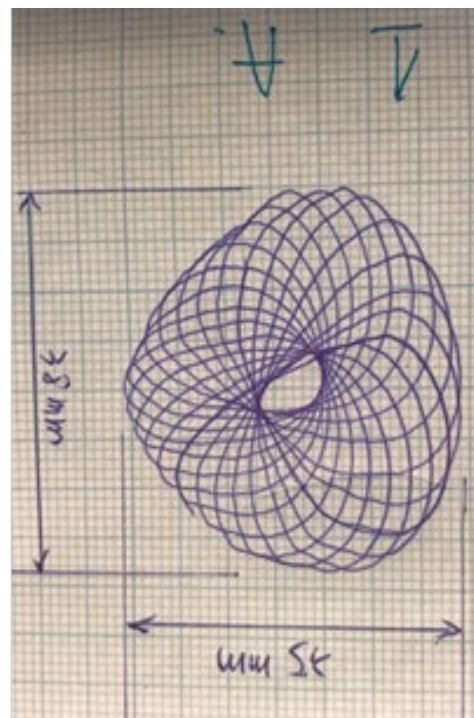
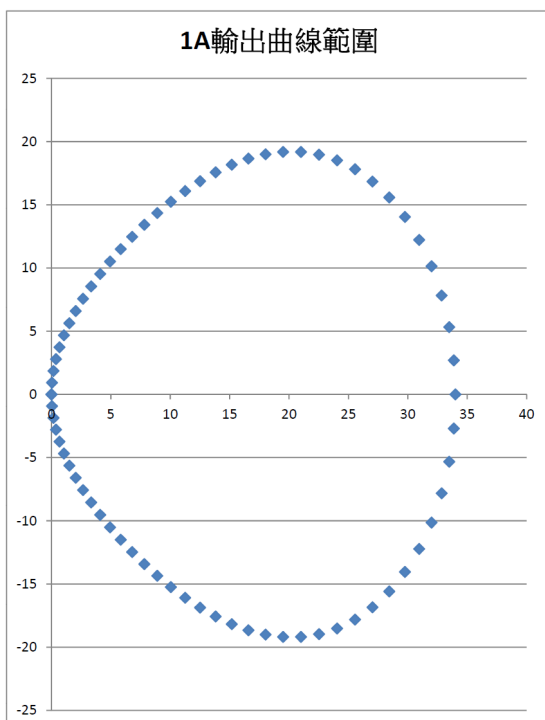


圖 49 支點 1A 狀態完成的運動軌跡

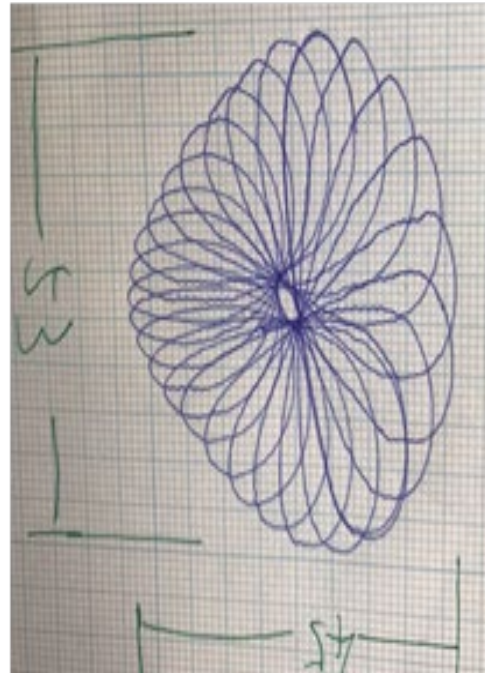
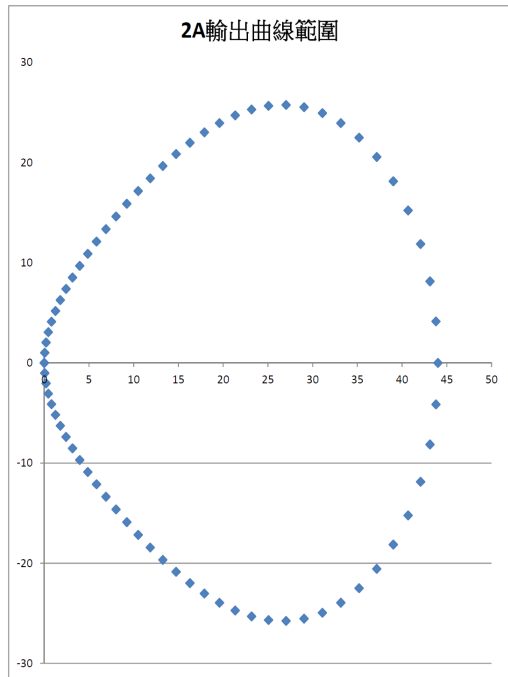


圖 50 支點 2A 狀態完成的運動軌跡

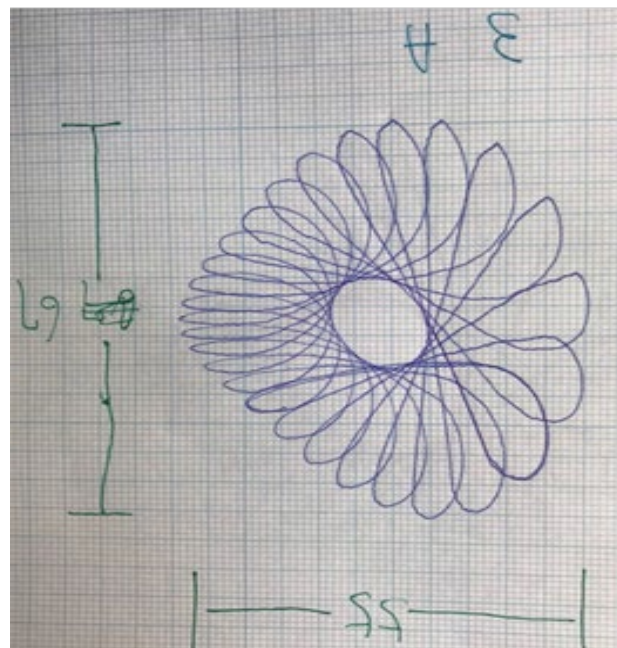
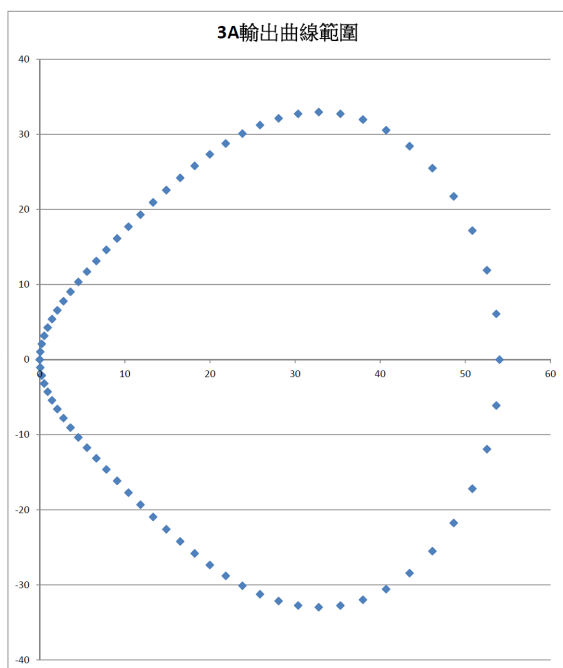


圖 51 支點 3A 完成的運動軌跡

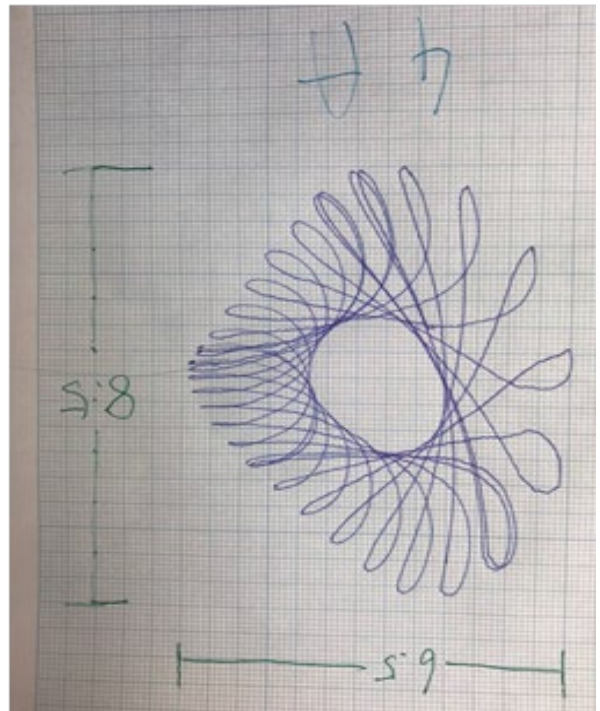
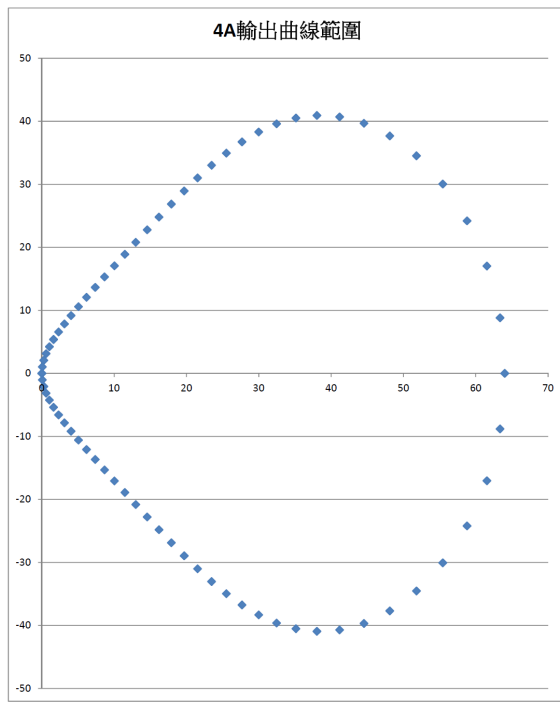


圖 52 支點 4A 完成的運動軌跡

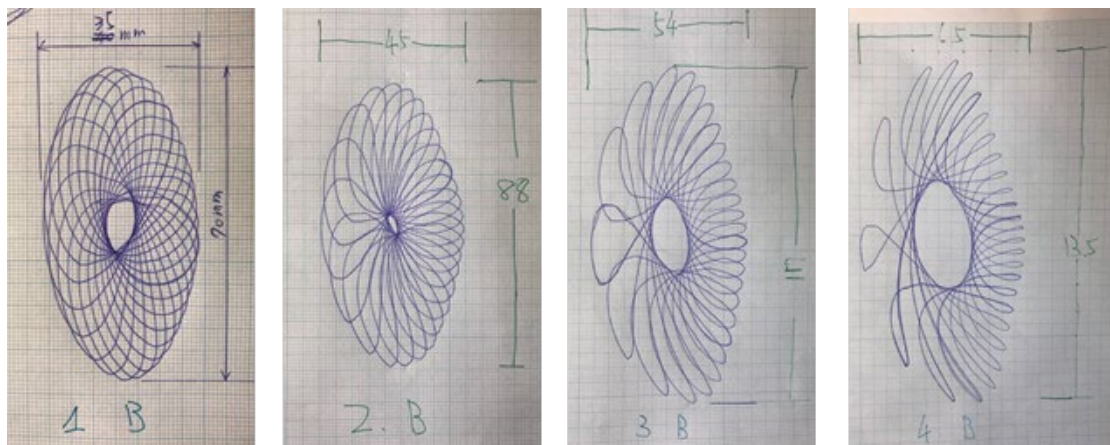


圖 53 不同連桿固定支點位置，於中間限制點 B 點位置所繪出路徑軌跡圖

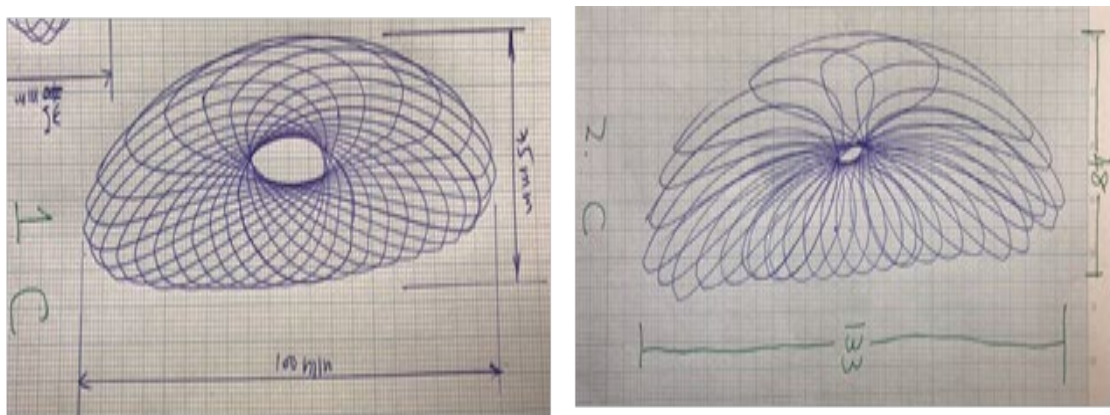


圖 54.不同連桿固定支點位置 1、2 在中間限制點 C 點位置所繪出路徑軌跡

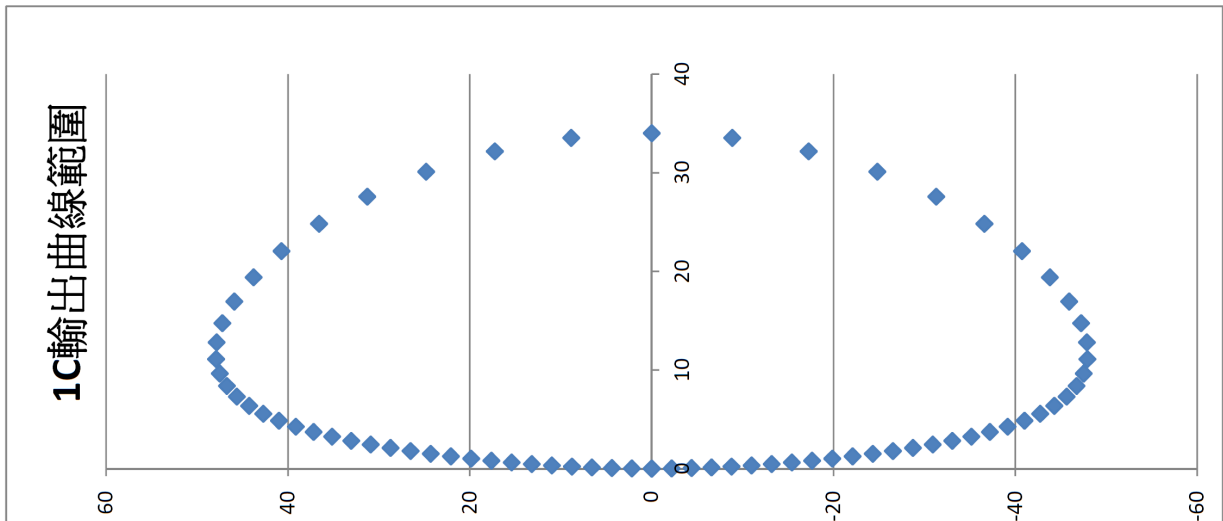


圖 55 1C 相對位置描繪的研磨最大範圍

表一 磨墨機構各相關位置實際繪出圖形範圍尺寸(單位:mm)

連桿固定支點位置順序			1	2	3	4
連桿支點距離			6.5	11.5	16.5	21.5
R 值(萬花圖案最大半徑)			17	22	27	32
萬花尺原始描繪最大範圍			34	44	54	64
連桿中間 滑動限制 點	距內齒輪圓心 63(A)	長軸	38	53	67	85
		短軸	35	45	55	65
	距內齒輪圓心 46(B)	長軸	70	88	117	135
		短軸	35	45	55	65
	距內齒輪圓心 35.5(C)	長軸	100	133		
		短軸	35	45		

在模擬計算的結果與實際繪製的圖形外圍形狀大小接近，經過公式計算與驗證後，我們在設計機構時，可以更清楚各部位尺寸變化，會產生不同的結果。同時從計算描繪的軌跡中，我們發現各軌跡點相距越遠，該點的速度會加快，在機構上可能會產生搖晃的現象，若是在磨墨時可能會將水噴濺出來。

如表中實測結果，我們發現萬花尺原始圖形是對稱花型，各點繪出的曲線範圍分別為 34、44、54、64，各點距離間距為 5mm，所以繞行一周後軌跡原始範圍為間距距離的兩倍。經過連桿傳遞動作後，產生軸向放大不同比例效果，結果短軸部份比例與原始範圍一致，但長軸部份有產生較大變形。

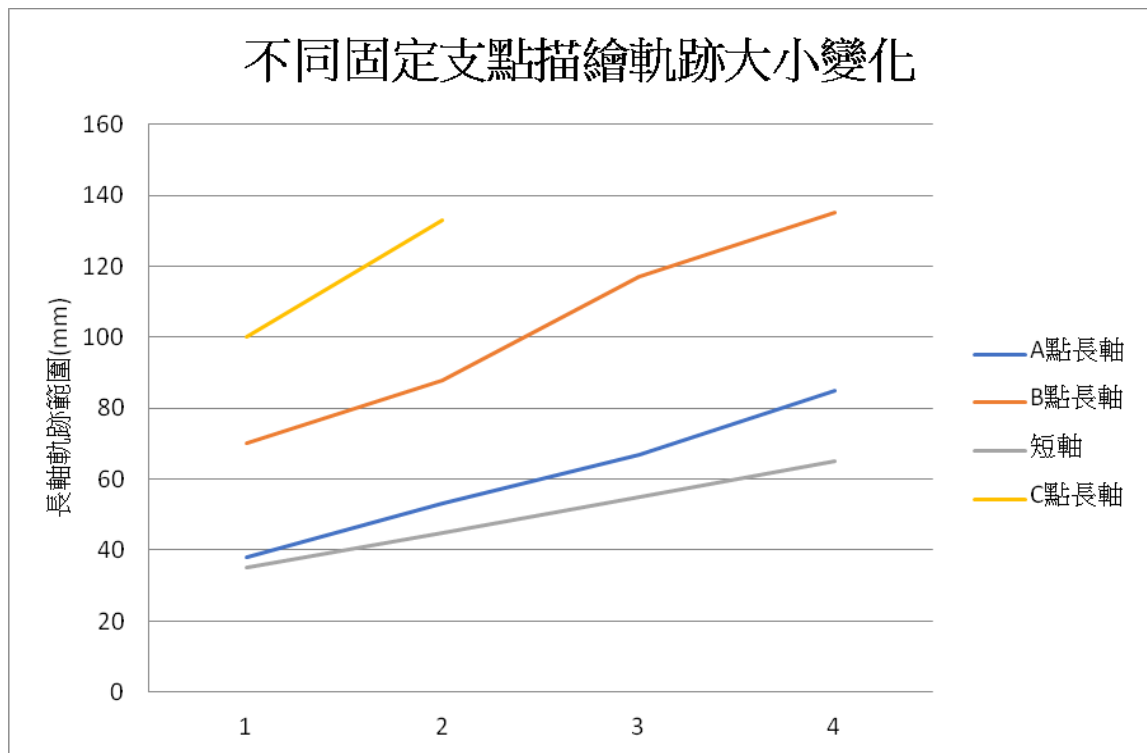


圖 56 不同控制點繪製軌跡變化曲線

如圖 56 所示，在小齒輪支點 1 滑動支點 A 時長短軸都接近 35mm 左右的圓形區域，支點 B 時長短軸形成接近 35mm×70mm 的橢圓形區域，這樣的範圍適用於長方型的硯臺，且只要小齒輪上的 1、2 點就可以適用目前市場上不同大小的硯臺，若是現場使用的是更大的長方形硯臺，使用者可將限制點調整接近 C 點，就可以跑出接近長方形軌跡了。

二、磨墨機其他附加功能

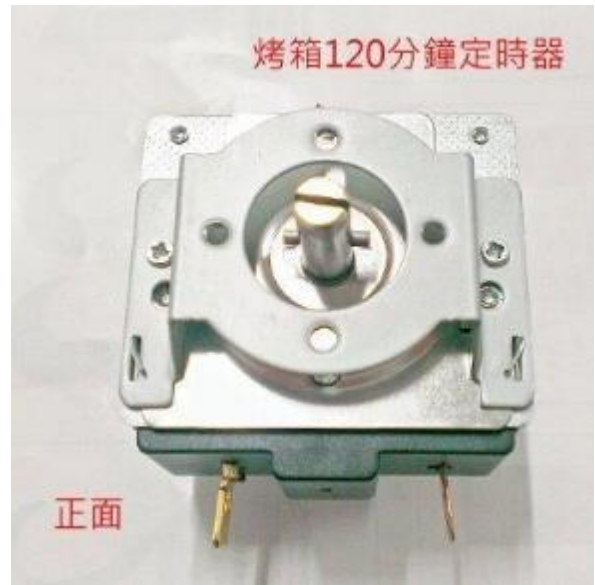
(一). 調速定時裝置

我們最早選用的馬達是 12 伏特、轉速 20RPM 的直流馬達，初步測試機構轉速太慢，後來改用 120RPM 的直流馬達，為了符合使用需要，我們上網購買直流馬達轉速控制器，我們選用如圖 57 PMW 的控制器，價格不到百元，目前這方面的技術非常成熟，可以直接選用現成用品。定時部分則是另外購置烤箱時間定時器，機械式故障率較低且容易接線。

由於連桿端支點可以調整位置，為了讓調整位置可以移動到特定區域，旋鈕部份我們有增加一個寸動的開關，利用微調可以調整連桿轉動的位置，最後成品如圖 59 所示。



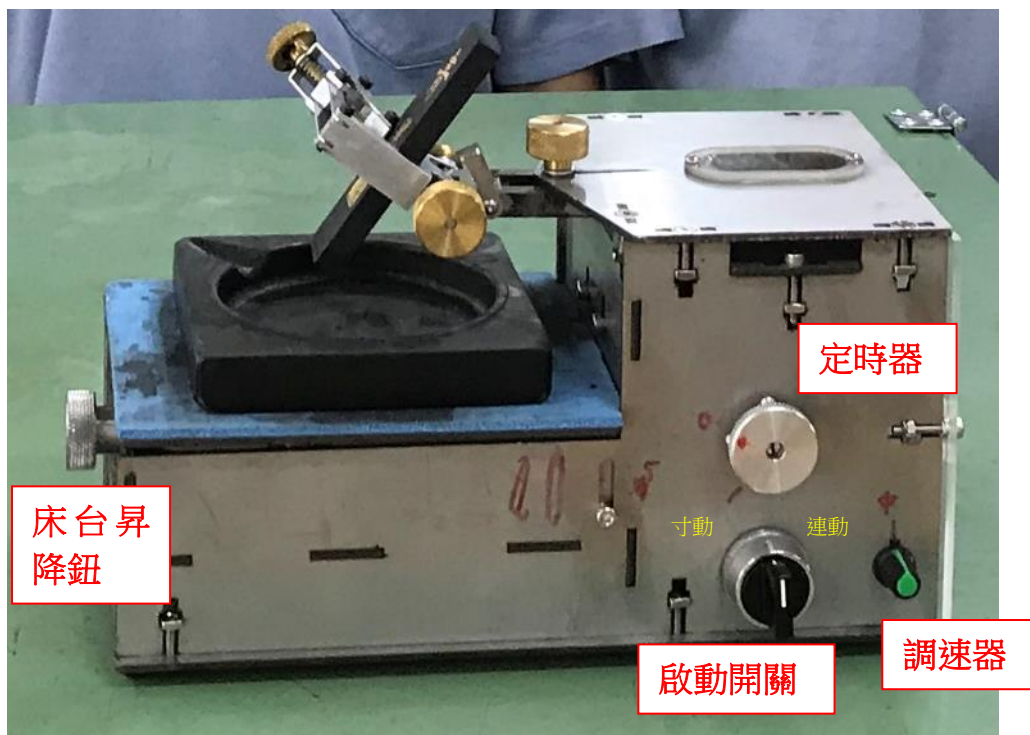
圖 57 直流馬達轉速控制器



烤箱120分鐘定時器

正面

圖 58 定時器



床台昇
降鈕

定時器

啟動開關

調速器

圖 59 最後完成的可調式磨墨機

(二). 墨汁濃度偵測裝置

磨墨機設計到目前已經符合我們要求的基本功能，為了讓其功能性更強，我們嚐試研究如何偵測墨汁的濃度，因為每個人寫書法的習慣不同，紙張、墨條等都可能影響到需要的墨

汁濃度，我們構想是針對某一個墨條來偵測其濃度變化值，作為書法家在磨墨時的時間參考。我們利用如圖 60 的實驗架構，測試墨汁電阻值的量測可行性，以作為後續設計的依據。實驗記錄如圖 61 所示，將相關資料以 EXCEL 處理程圖表 62 所示。

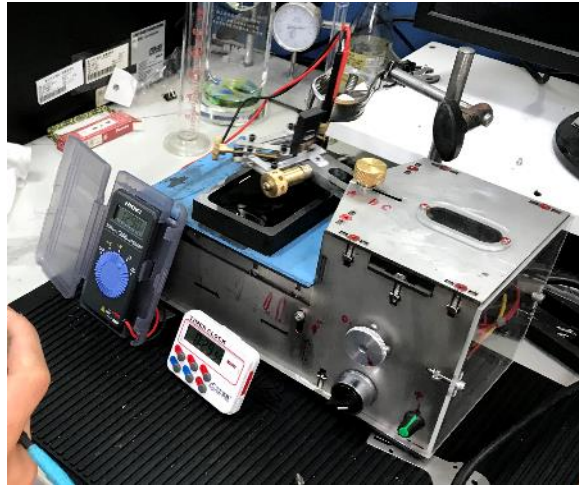


圖 60 墨汁濃度電阻值測試實驗

實驗日期	4/30	實驗日期	
水量	20ml	水量	20ml
墨條種類	春竹墨	墨條種類	書道
加壓條件		加壓條件	
電阻量測位置	中	電阻量測位置	中
測量時間	電阻值	測量時間	電阻值
0分	243.6	0分	155
2分	291.1	2分	169.2
4分	291.0	4分	167.7
6分	280.8	6分	159.1
8分	266.4	8分	147.3
10分	254.2	10分	155.1
12分	211.2	12分	152.9
14分	205.9	14分	146.3
16分	182.8	16分	144.9
18分	179.6	18分	143
20分	174.2	20分	141.6
22分	169.5	22分	138.7
24分	167.8	24分	138.6
26分	165.2	26分	135.8
28分	132.3	28分	118.7
30分	129.2	30分	121.2
32分	125.7	32分	121.7
34分	121.5	34分	122.4
36分	116.9	36分	128.6
38分	110.8	38分	123.3
40分	104.3	40分	124

圖 61 墨汁電阻值實驗結果(KΩ)

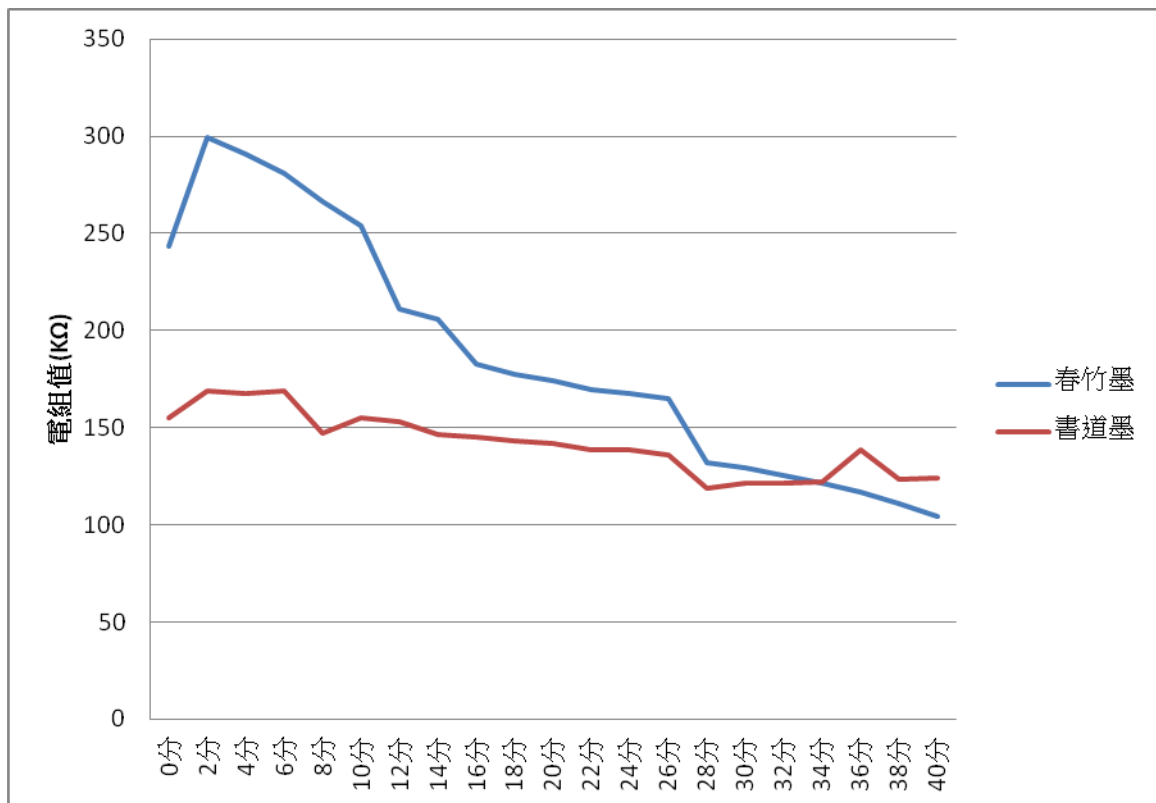


圖 62 不同墨條研磨下，各時間電阻值變化曲線圖

經過墨汁濃度電阻值測試後，我們設計一個電阻值比較電路如圖 63 所示，利用兩條固定距離的電線作為測頭如圖 64。比較電路實際測試實驗如圖 65，實驗時也安裝電阻計及計時器，實驗觀察墨汁濃度的變化，是否可以利用電阻變化來作為馬達運轉的控制，目前這部份的測試有些問題，仍然在研究解決問題中。

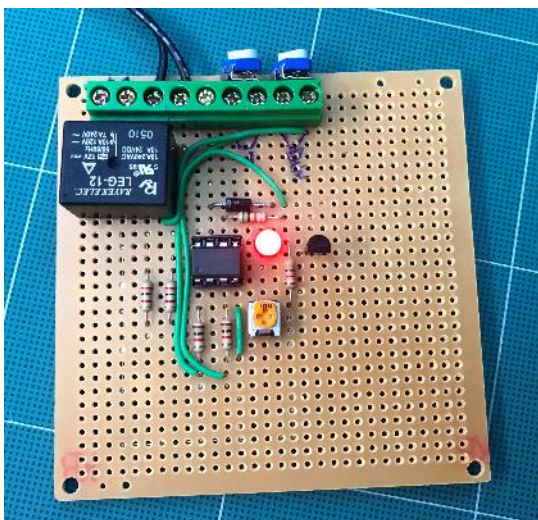


圖 63 墨汁濃度檢測電阻值比較電路



圖 64 測量電阻值測頭

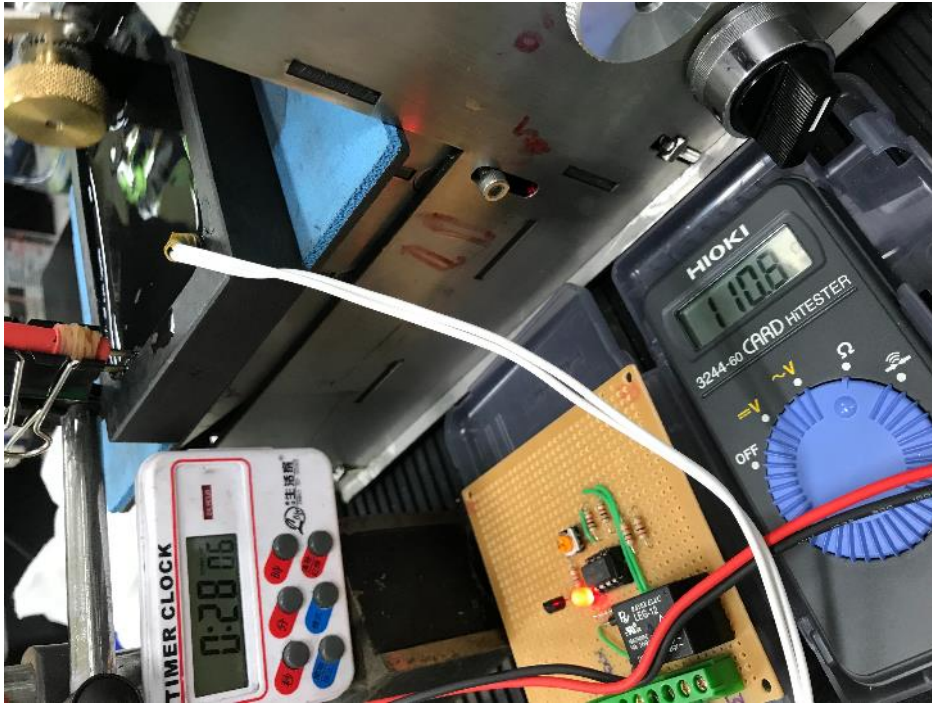


圖 65 墨汁濃度偵測測試實驗

柒、結論

從一開始構想至作品完成，我們發現設計一個商品要面對很多問題，尤其是在設計過程。本次研究發現市售磨墨機大都需要專用硯臺，並利用迴轉方式磨墨，我們構想重現小時候磨墨的動作機構，利用萬花尺的曲線變化來產生墨條的運動軌跡，經過初步機構設計與測試後，磨墨的範圍及形狀，功能上可以透過調整鈕來做變化，使能夠適用於不同的硯臺及墨條。

在機構可行情況下，我們進行以下各項商品化的設計

- 一、夾墨加壓機構的改良設計
- 二、馬達轉速控制，作為可以調整合適的磨墨速度，加入時間控制，避免自動磨墨時因他事忘記關機，導致墨條研磨過度。
- 三、透過電阻值量測的電路設計來檢驗墨汁濃度，並提供自動磨墨的控制。

高職機械科所學習的課程較為嚴謹，因此才會在課程中安排學習美術與音樂，老師教育我們，書法或是墨繪是種對藝術的涵養，但每個人寫書法或國畫對墨汁濃度的要求不一樣，計畫上是透過科展研究各種測試與修正得以獲取上述創新創作，其貢獻度希望完成能夠成為市場價值的商品，協助學習書墨繪的同好得以更精進成長。

捌、參考文獻資料

- 1.中華民國專利檢索系統：<https://twpat.tipo.gov.tw/>
- 2.柯雲龍、潘建安(2013)。機件原理 I、II。新北市：台科大圖書。
- 3.林英明、徐法文、林彥伶(2017)。機械製造 II。台北市：全華圖書。
- 4.廖倉祥、黃世峰、陳文峰、林鴻儒(2014)機械基礎實習。新北市：台科大圖書。
- 5.科學遊戲實驗室，國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，
<http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-025.html>
- 6.GGB 與萬花尺，<https://sites.google.com/site/chen3398123/home/scratch/ggbyuwanhuachi>
- 7.維基百科（英）：<https://en.wikipedia.org/wiki/Spirograph>
- 8.Equation Creations Math Activity（萬花尺電腦模擬）：
http://www.mathplayground.com/equation_creations_spiromath.html
- 9.Spirograph GIFs on Giphy（各類萬花尺集錦）：<http://giphy.com/search/spirograph>
- 10.PrimoGraf Drawing Machine leafpdx：
<http://leafpdx.bigcartel.com/product/primograf-drawing-machine>

【評語】 052315

1. 應用連桿與內擺線運動機構配合，進行軌跡設計，產生所需磨墨的軌跡變化，來設計式自動磨墨機，主要特色為可用於不同形狀及大小硯台，具實用性的潛力。
2. 市面上已經存在不少運作原理不同的磨墨機，有對這些產品及相關專利進行了解分析，找出所發展產品的創新性及獨特性。
3. 系統以多變化的軌跡來磨墨，產生的墨汁和一般圓形或橢圓形軌跡磨出的墨汁是否有差異？抑或墨條的損耗是否有差異？最終墨汁功能面的差異可進行討論。
4. 研究步驟清楚，功能明確，報告中可以增添自製磨墨機與市售磨墨機(速度、功能)的數據比較，增加其研究之完美度。

作品簡報



應用行星輪系 於磨墨機構之設計與分析

關 鍵 詞：萬花尺、擺線運動、磨墨機

摘要

- 市售磨墨機使用時都需要**專用硯台**，因此侷限了磨硯之泛用性。
- 磨墨機構會應用萬花尺曲線，該曲線成形定義是由**內擺線**所構成。
- 調整小齒輪上**連桿端支點**的位置，便可以畫出大小不同圖案。
- 調整連桿**中間調整鈕**位置，便可以變化輸出不同長寬比的曲線，此長寬變化適用於不同形狀的硯台。
- 作品最後做**最佳化設計**，以符合實際使用者的需要。

研究流程圖

- 有了最初設計構想後我們的研究流程如右所示。

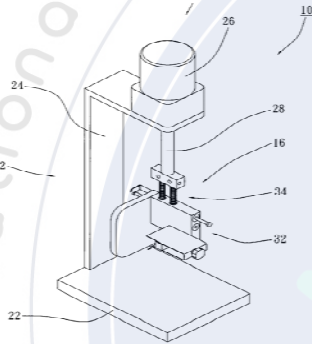


圖2 M359430改良之自動磨墨機

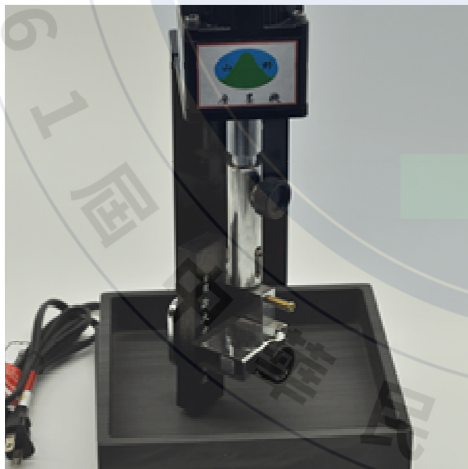


圖3 墨條迴轉式磨墨機

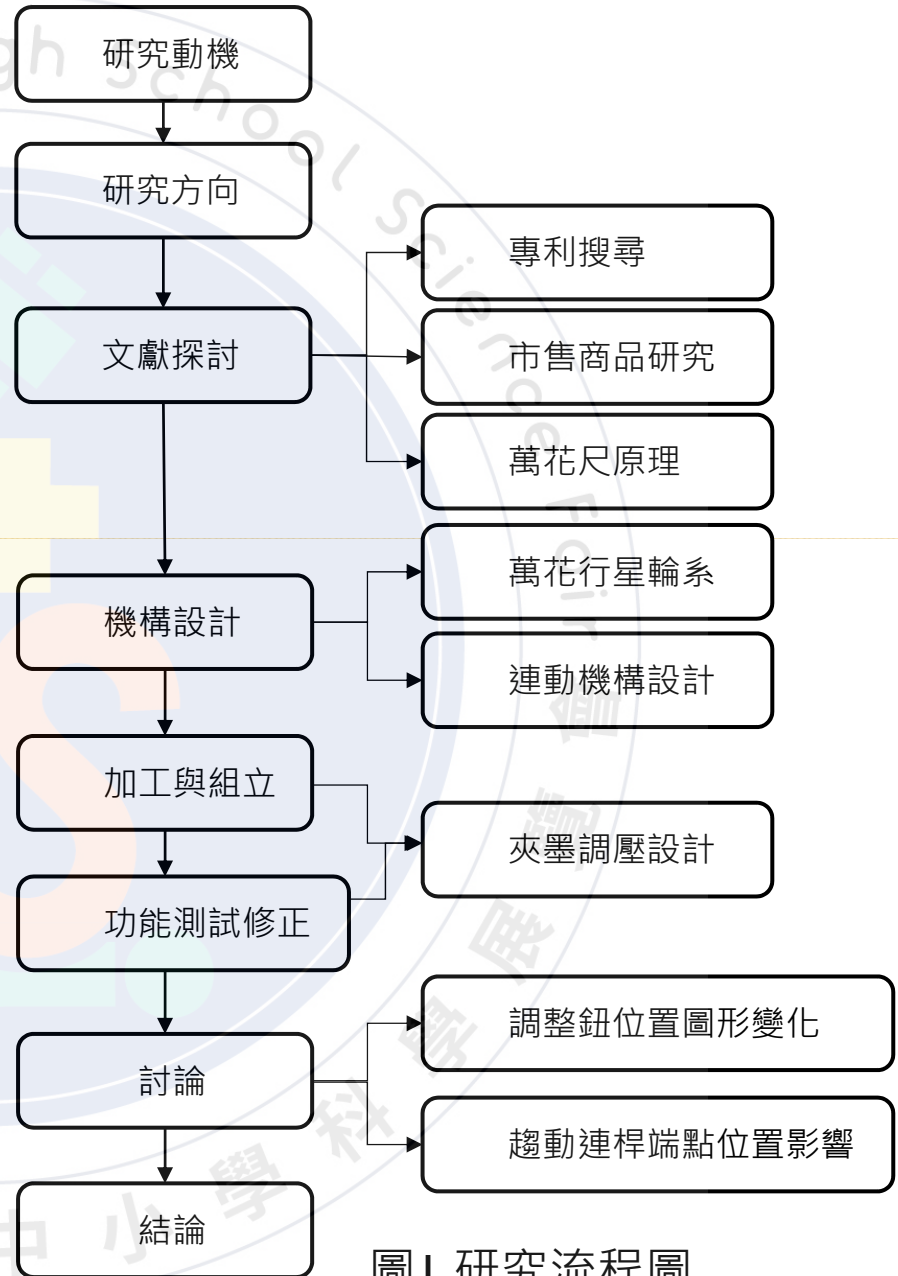


圖1 研究流程圖

磨墨機構設計與分析

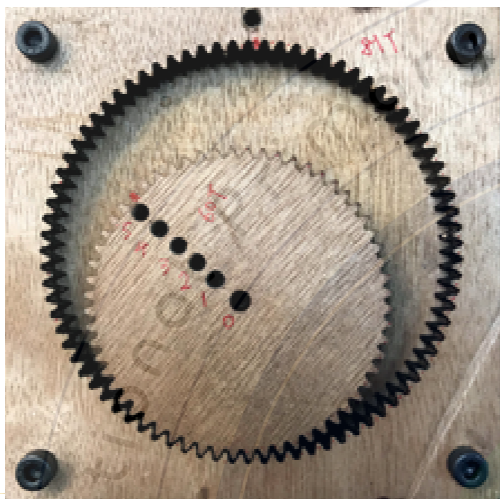


圖4 以雷射切割完成的木頭萬花尺

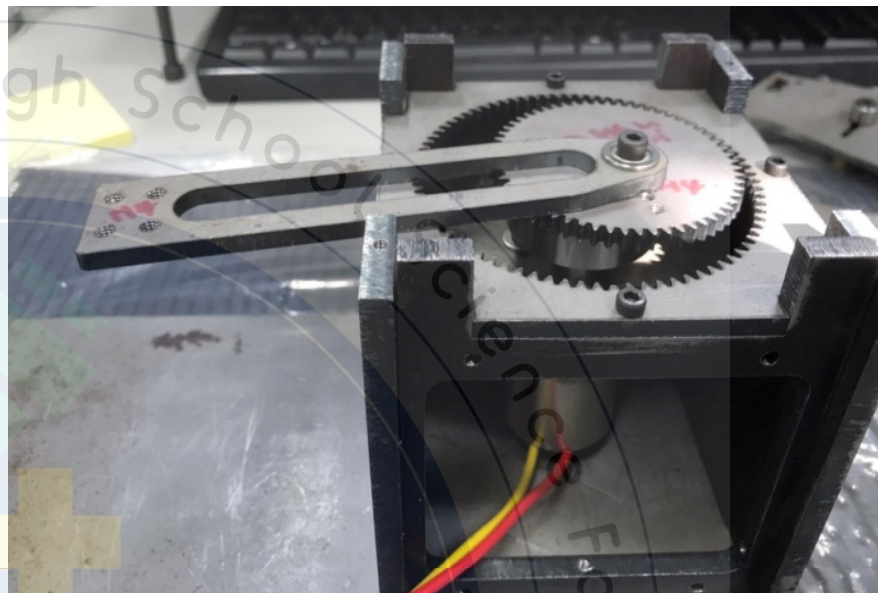


圖5 機構組裝

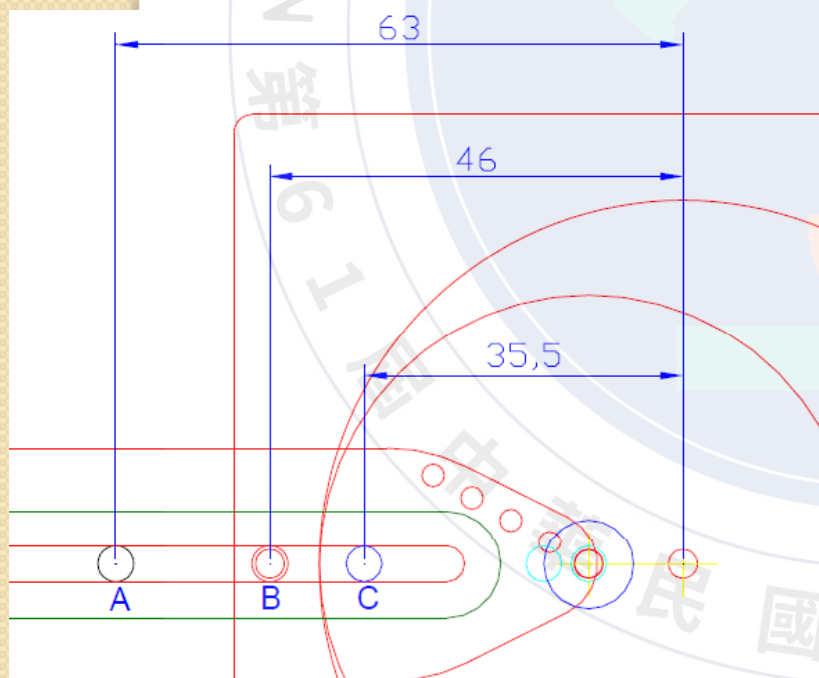


圖6 連桿中間滑動調整鈕位置圖

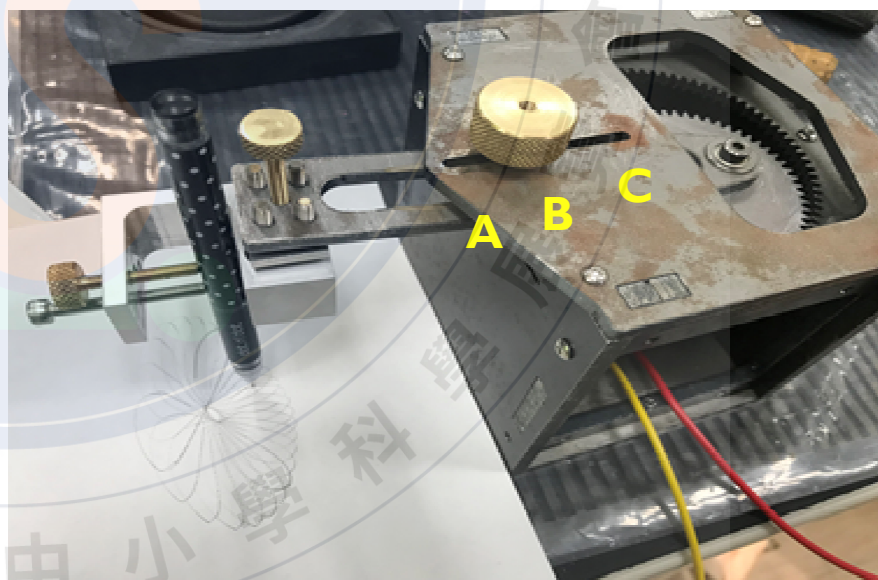


圖7 以夾持筆來繪製運動軌跡

研磨最大範圍分析計算

其中 c 點以 R 為半徑，繞 d 點為圓心形成的藍色圓為萬花尺繪出圖形的最大外徑。

角度 A 為藍色圓旋轉的角度，範圍從 0 度~360 度

a 點為調整鈕位置，X 為調整鈕到內齒輪圓心距離

L 為連桿端心軸點到輸出點的距離

D 為調整鈕至藍色圓周上任一點的距離

$$D = \sqrt{(R \times \sin A)^2 + (X + R \times \cos A)^2}$$

$$\tan B = \frac{R \times \sin A}{X + R \times \cos A}$$

角度 B 為連桿與水平軸線的夾角

$$\bar{f}e = (L - D) \times \sin B \quad (\text{Y 軸距離})$$

$$\bar{a}e = (L - D) \times \cos B \quad (\text{X 軸距離})$$

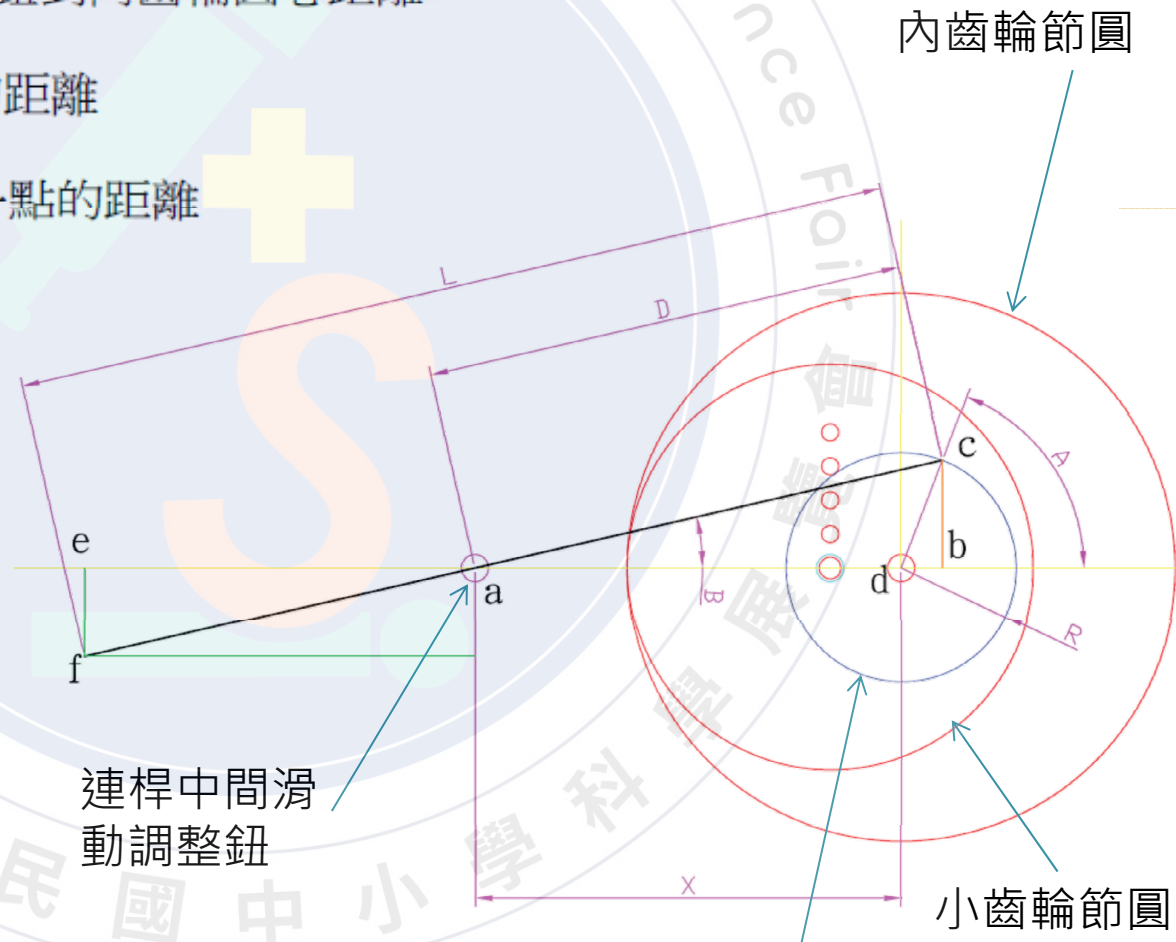


圖8 相關零件相對位置圖

萬花曲線最大外徑

研磨範圍實際繪製與模擬計算比較

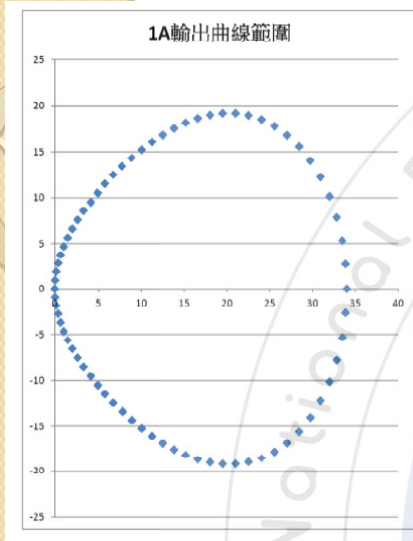


圖9 支點1A狀態完成的運動軌跡

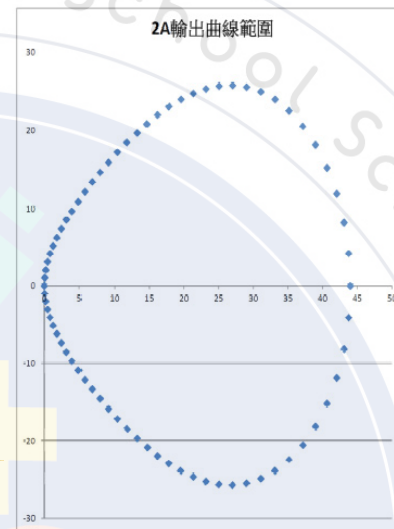
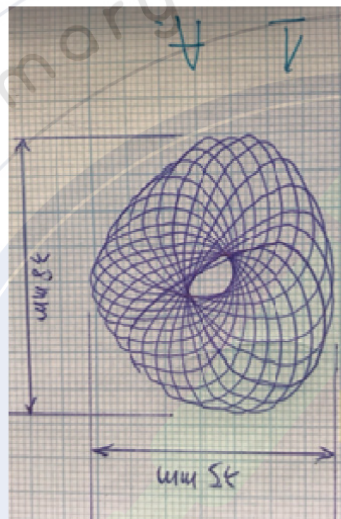


圖10 支點2A完成的運動軌跡

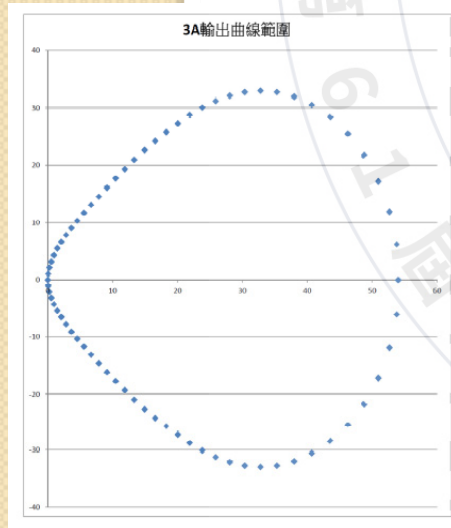
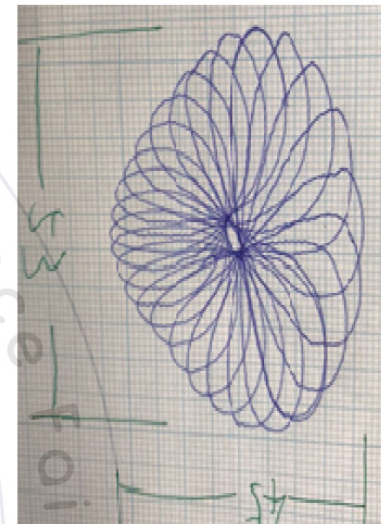


圖11 支點3A狀態完成的運動軌跡

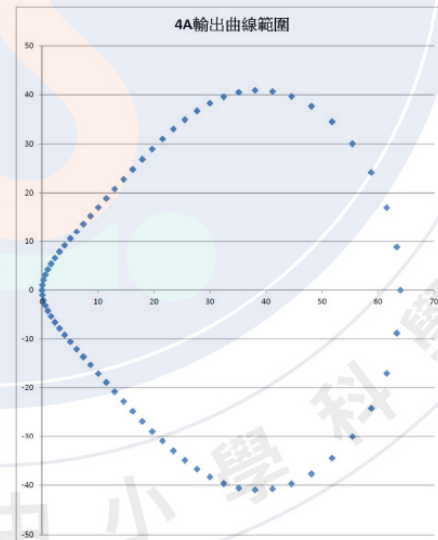
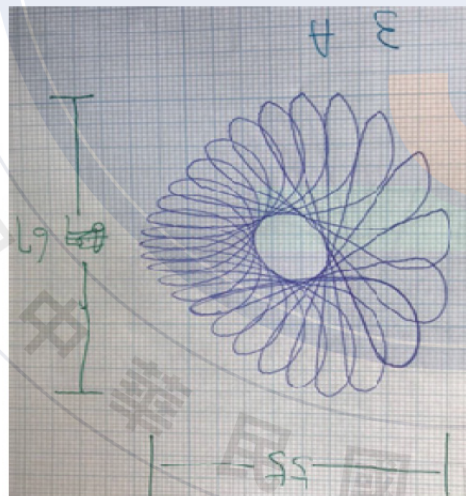
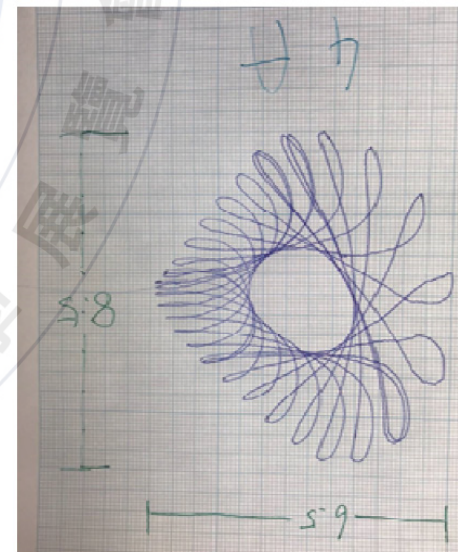


圖12 支點4A 完成的運動軌跡



研磨範圍大小分析結果

表一 磨墨機構各相關位置實際繪出圖形範圍尺寸(單位:mm)

連桿固定支點位置順序		1	2	3	4	
連桿支點距離		6.5	11.5	16.5	21.5	
R 值(萬花圖案最大半徑)		17	22	27	32	
萬花尺原始描繪最大範圍		34	44	54	64	
連桿中間 滑動限制 點	距內齒輪圓心 63(A)	長軸	38	53	67	85
		短軸	35	45	55	65
	距內齒輪圓心 46(B)	長軸	70	88	117	135
		短軸	35	45	55	65
	距內齒輪圓心 35.5(C)	長軸	100	133		
		短軸	35	45		

不同固定支點描繪軌跡大小變化



1C輸出曲線範圍

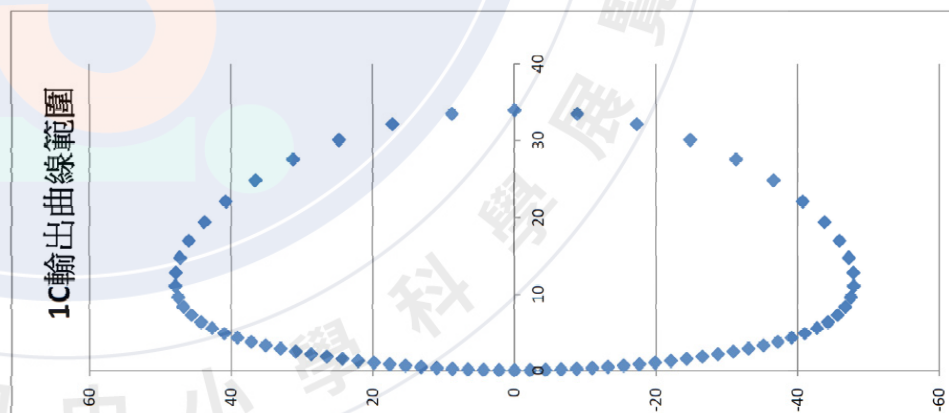


圖13 不同控制點繪製軌跡變化曲線

圖14 1C相對位置描繪的研磨最大範圍 7

修正夾持墨條加壓設計

設計改良特點

1. 使用**棘輪加壓**，無空間限制，可調整更大研磨壓力。
2. 夾墨可**翻轉**，硯臺取出容易。
3. 床臺可**調整高度**，適用不同高度硯臺，研磨時可同步調整壓力。

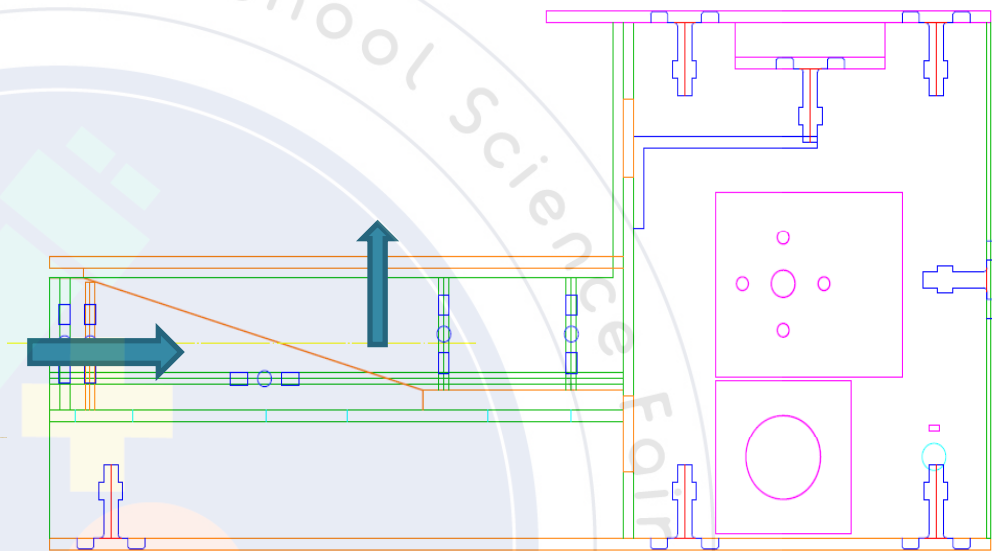


圖15 床臺斜面昇降機構

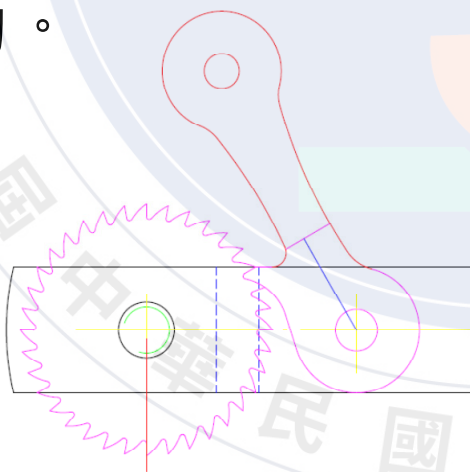


圖16 棘輪加壓設計

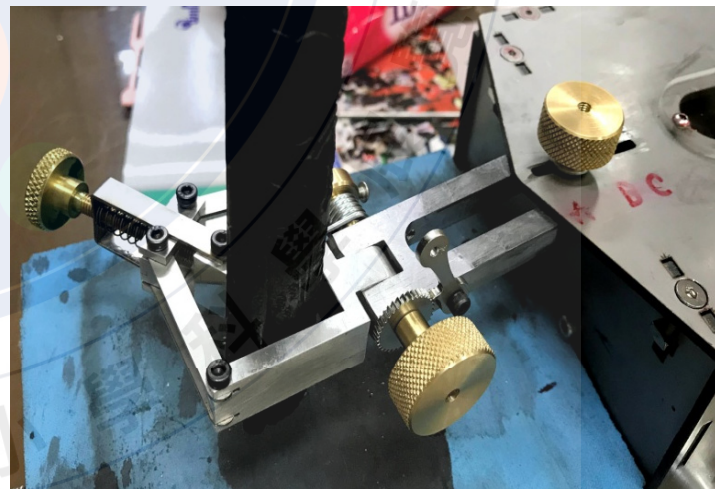


圖17 最後完成的夾墨加壓設計

磨墨機整體完成設計與製作

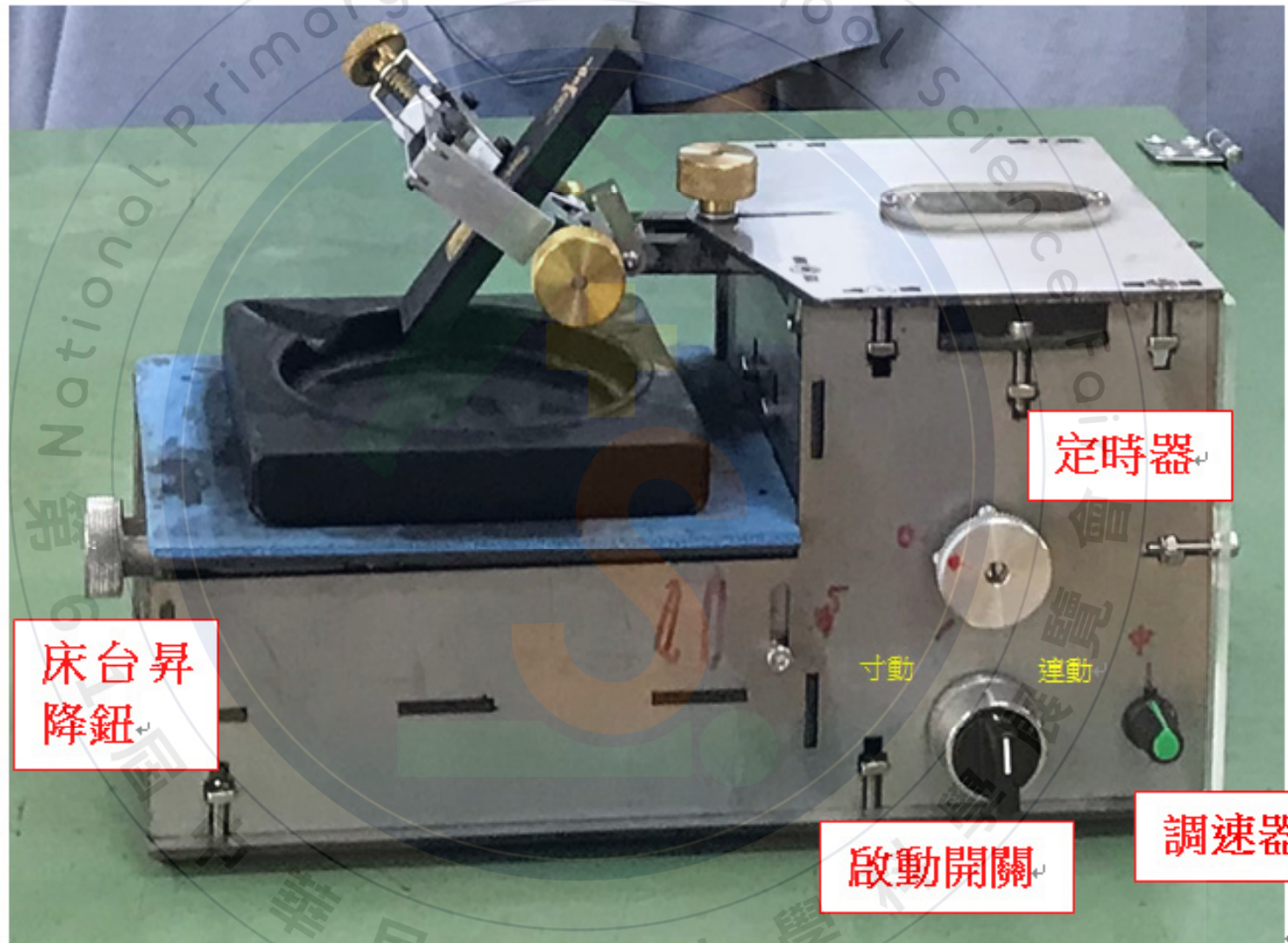


圖18 最後完成的可調式磨墨機

墨汁濃度偵測裝置

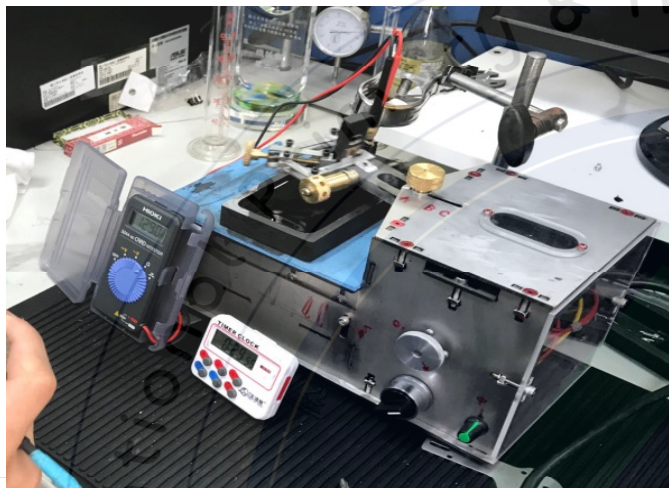


圖19 墨汁濃度電阻值測試實驗

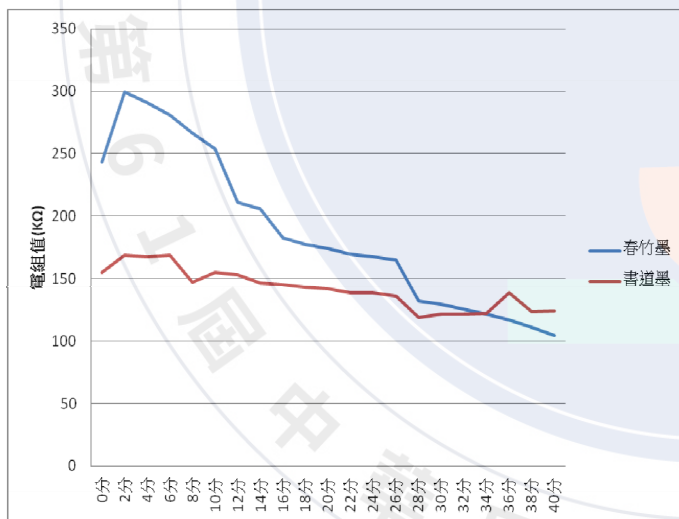


圖21 不同墨條研磨下，各時間電阻值變化曲線圖

實驗日期	4/30
水量	20ml
墨條種類	春竹墨
加壓條件	
電阻量測位置	中
測量時間	電阻值
0分	243.6
2分	299.1
4分	291.0
6分	280.8
8分	266.4
10分	254.2
12分	211.2
14分	205.9
16分	182.8
18分	179.6
20分	174.2
22分	169.5
24分	167.8
26分	165.2
28分	132.3
30分	129.2
32分	125.7
34分	121.5
36分	116.9
38分	110.8
40分	104.3

實驗日期	
水量	20ml
墨條種類	書道
加壓條件	
電阻量測位置	中
測量時間	電阻值
0分	155
2分	169.2
4分	167.7
6分	159.1
8分	147.3
10分	155.1
12分	152.9
14分	146.3
16分	144.9
18分	143
20分	141.6
22分	139.7
24分	138.6
26分	135.8
28分	118.7
30分	121.2
32分	121.7
34分	122.4
36分	138.6
38分	123.3
40分	124

圖20 墨汁電阻值實驗結果(KΩ)

結論一

- 我們構想重現小時候磨墨時畫花形的動作軌跡，研究利用萬花尺的曲線變化來產生墨條的運動軌跡，經過初步機構設計與測試後，磨墨的範圍及形狀，功能上可以透過調整鈕來做變化，使能夠適用於不同的硯臺及墨條。
- 機構確認可行後，我們進行下列的設計：
 1. 完成夾墨加壓機構的改良設計。
 2. 加入馬達轉速控制，可以調整合適的磨墨速度。
 3. 加入計時器，避免自動磨墨時因他事忘記關機，導致墨條研磨過度。
 4. 透過電阻值量測的比較電路設計來檢驗墨汁濃度變化，並提供自動磨墨的停止控制。經過測試後目前的濃度檢測功能不太穩定。

結論二

整體功能設計改良，本研究的結果是符合原先的設定。雖然墨汁濃度偵測功能尚未完全，但在成本考量下目前的磨墨機設計是符合市場需求的。

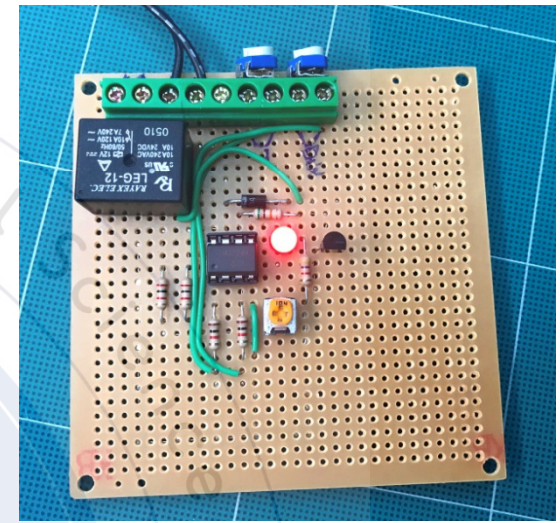


圖22 電阻值檢測比較電路

參考文獻資料

- 科學遊戲實驗室，國立台中教育大學NTCU科學教育與應用學系，
<http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-025.html>
- GGB與萬花尺，
<https://sites.google.com/site/chen3398123/home/scratch/ggbyuwanhuachi>
- 維基百科（英）：<https://en.wikipedia.org/wiki/Spirograph>
- Equation Creations Math Activity（萬花尺電腦模擬）：
http://www.mathplayground.com/equation_creations_spiromath.html
- Spirograph GIFs on Giphy（各類萬花尺集錦）：
<http://giphy.com/search/spirograph>
- PrimoGraf Drawing Machine leafpdx：
<http://leafpdx.bigcartel.com/product/primograf-drawing-machine>