

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

第三名

最佳(鄉土)教材獎

052303

「光」宗「躍」祖

—以 3D 列印技術再造神明燈之探究

學校名稱：國立苗栗高級農工職業學校

作者： 職二 張兆玄 職二 林庭辰 職二 陳新賀	指導老師： 黃學志 羅昌財
---	-----------------------------

關鍵詞：3D 列印、神明燈、蓮花燈

摘要

傳統的神明燈(圖 1)、蓮花燈(圖 2)只做晚上微亮的照明，功能性少，美觀性不足，但價格昂貴。本研究在於增加其功能性，改善其美觀性，降低成本。運用電腦繪圖軟體重新設計外觀，使其更有藝術美感，加入機件原理中的齒輪機構、凸輪機構，及電機模組的馬達、燈條等等，使其功能性增加，避免用工廠開模的高額成本，利用 3D 列印輸出，大幅節省作品的成本(如圖 3、圖 4)。

本研究合併了機件原理中多種機械結構產生連動，達到同時有正逆時鐘旋轉，及往復開合的華麗效果，最後再增加 mp3 播放模組，利用記憶卡任意更換音樂，改善一般念佛機無法更換音樂的困境，且作品利用 PLA 環保塑材成型，而達到能動能唱又環保的目的。



圖 1.市售神明燈



圖 2.市售蓮花燈



圖 3.第二代設計-圓弧型組合圖

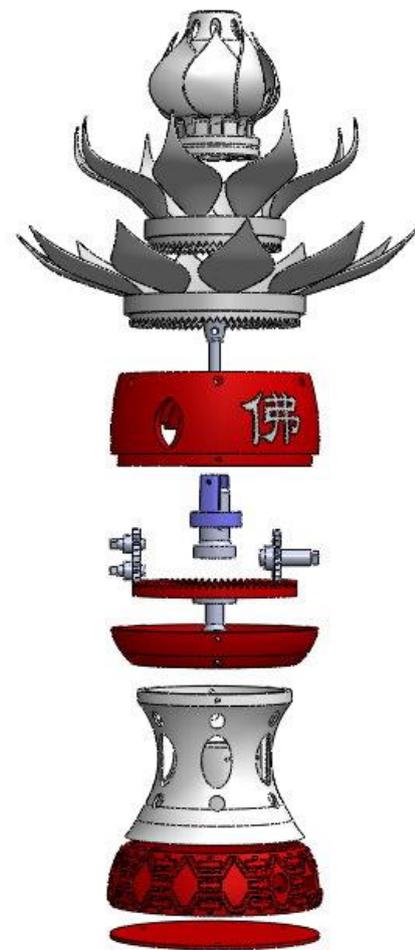


圖 4.第二代設計-圓弧型組立爆炸圖

壹、研究動機

在高二上電腦繪圖的課堂，老師提到教育部所極力推動的自造者(Maker)運動，「Maker」中文稱作「創客」，是當代潮流趨勢中最被熱烈討論的一環，同時也被視為是啟動未來創新的重要角色。從過去單向「想」的學習模式，欠缺「實作」的學校課程，到今日創意創新成為競爭主體的時代來到，翻轉了傳統觀念。又介紹了科裡去年購置的 3D 列印機及雷射雕刻機，老師也把自己的 3D 列印的作品帶來給我們看，鼓勵我們動腦多「想」，動手去「做」。

在假日幫忙家中打掃，不小心把家中神明廳的神明燈打破了，神明燈價格昂貴，爸爸雖然沒有太過責備我，但自己卻自責不已，於是想乾脆用電腦繪圖畫個神明燈，用科裡的設備做出來，還給父親。於是與老師討論可行性，但老師建議傳統神明燈美觀性差，功能性少，創新才是唯一的途徑。之後思考了許久，想用機械科所學的機械製圖、機械電腦繪圖、機械製造、機件原理的知識中，找到答案，製作出能動又美觀的神明燈。

於是請教老師並討論後，覺得此作品利用車、銑、鉋、磨、鑽傳統工具機較難完成，而射出成型與粉末冶金的方式成本太高且無此設備，但可用科裡的 3D 列印機試試看，因其使用積層製造技術，並配合機械電腦繪圖設計，應可達成複雜的結構，美麗的外觀的目的，故開始召集有意願學習更高階電腦繪圖技巧及 3D 列印技術的同學，利用假日期間到校研發與設計，並依照隊員之所長分配工作，從最基本的蒐集資料及更改設計著手，以設計一個全新的神明燈。

貳、研究目的

- 一、利用電腦繪圖軟體重新設計，加強藝術美感及圓滑的外觀，付予居家裝飾性，改善神明燈之美觀性。
- 二、加入機械元素讓神明燈不再只是靜態的，且賦予神明燈提高其功能性及實用性。
- 三、加入電機模組的喇叭及 mp3 播放器可撥放音樂，更利用燈條的全彩變化，增加神明燈的視聽效果。
- 四、使用 PLA 環保塑材及 3D 列印輸出成型，降低神明燈的成本又達到環保的目的。

參、研究設備及器材

本研究使用之設備、軟體、工具及材料，如表 1、2、3。

表 1.研究設備與軟體

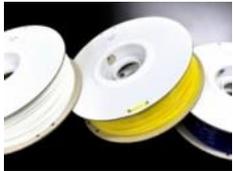
名稱	數量	單位	圖片	備註
電腦	3	台		設計、繪圖、編修檔案
3D 列印機	4	台		YING ANGEL
SolidWorks 2006	3	套		設計與繪圖用
Cura 切片軟體	3	套		轉成列印機的檔案

表 2.使用之工具

名稱	數量	單位	圖片	備註
SD 記憶卡	4	個		儲存檔案以供列印機 列印(創見 32G)
銼刀	4	把		有粗、中、細三種不 同尺寸(BAHCO 魚 牌)
砂紙	多	張		去毛邊用

鏟刀	2	把		鏟起列完成的零件
3M 耐熱膠帶	1	捲		貼於 3D 列印機底板上
游標卡尺	3	把		Mitutoyo
十字起子	2	支		組裝用
電烙鐵	1	支		電烙鐵 30W
焊錫	1	捲		活性優質焊錫 100g 1.0mm 含助焊劑成分

表 3.使用之材料

名稱	數量	單位	圖片	備註
線材	多	捲		PLA 環保塑料 ABS 塑料
螺絲	多	個		組裝用

燈泡	3	組		12V 直流 LED
燈泡座	3	組		2W E12 燈頭
燈條及遙控器組	3	組		RGB 全彩的軟燈條 DC 12V
電線	1	捲		1 mm
高扭力直流減速馬達	3	個		電壓：DC 3V~12V 電流：22mA~40mA 轉速：12V 25rpm
Micro SD 8G 記憶卡	3	片		mp3 播放模組用
mp3 播放模組及喇叭	3	組		自帶功能 mp3 模組 mp3 解碼器 使用 Micro SD 記憶卡
降壓模組	6	組		直流降壓模組 輸入電壓：4V-35V 輸出電壓：1.23V-30V

肆、研究過程或方法

一、製作流程圖

本研究之製作流程圖，如下圖 6 所示

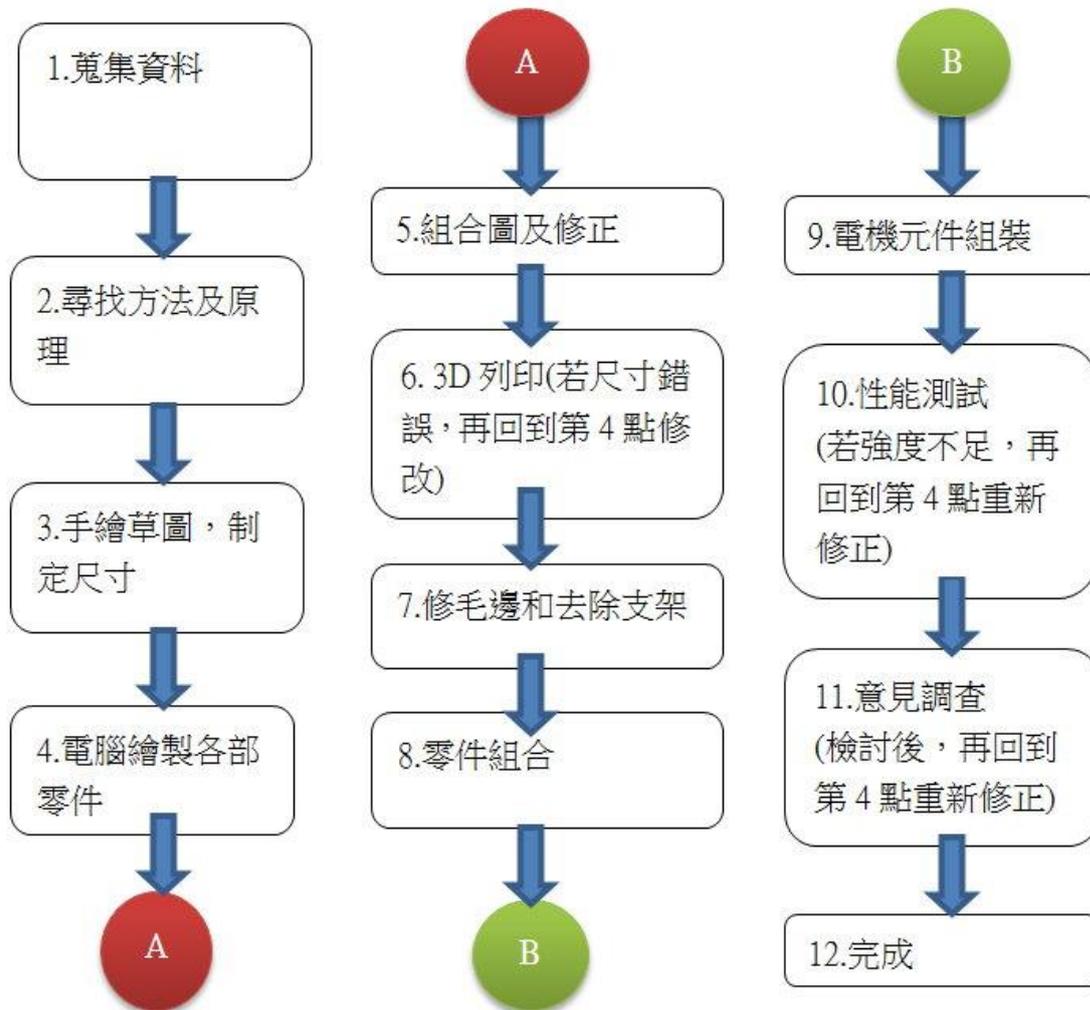


圖 6.製作流程圖

二、蒐集資料

(一)尺寸之設定

一般佛具用品店所賣的神明祖先燈依尺寸分類有小型的 7 吋~8.5 吋，中型的 9 吋~12 吋，大型的有 12 吋~15 吋等等，尺寸眾多。本研究因設計機械結構之考量，決定以中型尺寸為設計之依據。

(二)價格之調查

依價格之分類，小型品質較差者有 950 元以上，大型品質較佳者價位可達數萬元不等，而中型尺寸之價格約為數千元不等。

(三)外觀之調查

經佛具用品及網路蒐集資料，大部份之神明祖先燈外觀有如大蠟燭一般(如圖 7)，但有些有如日式造園之景觀燈(如圖 8、9)，但最令我們讚賞的外型有如蓮花一般(如圖 10)，高雅脫俗，給人心靈平靜的感覺，故我們決定以蓮花為設計的方向。

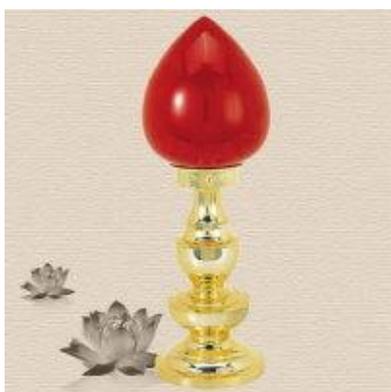


圖 7.神明燈(圖取自明軒佛具)



圖 8.神明燈(圖取自明軒佛具)



圖 9.神明燈(圖取自明軒佛具)



圖 10.神明燈(圖取自十方佛教百貨網)

(四) 3D 印表機常用線材之調查

PLA（聚乳酸）及 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）是 3D 印表機常用的線材，相當於印表機的墨水，因為作品中有厚的外殼、薄的花瓣及各種曲面，選擇適當的線材就是一件很重要的事，故先收集各種線材的特性並深入了解它才可增加作品的成功率。以下為線材之比較表。(如表 4)

表 4.3D 印表機常用的線材之比較

	PLA 線材	ABS 線材
一般性質	PLA 是由植物（玉米、小麥、甘蔗）澱粉提煉出的生物塑料，屬環保材料	ABS 是樂高玩具使用的材料，由石油提煉而得
味道	加熱時味道有微微的甜味	加熱時有異味
毒性	無毒	不宜吸入 ABS 的煙霧
平滑度	列印物件的平滑度較 ABS 者為差	列印物件具有平滑表面
捲曲	PLA 在列印過程中較不易翹曲	ABS 固化快速，列印過程中須使用加熱台，避免翹曲
顏色	有透明色及不透明色可供選擇	僅有不透明色

三、尋找方法及原理

(一)凸輪機構

「凸輪(Cam) 為圓柱形(圖 11)或平板狀(圖 12)的機件，這種機件的用途是藉它的曲線外形或曲線凹槽與另一機件(從動件)相接觸，而當凸輪本身轉動或移動時，可使從動件作周期性之等速、不等速或不連續之往復或搖擺運動者。」凸輪迴轉一周從動件依次作升-停-降-停 4 個動作。從動件位移 s (或行程高度 h) 與凸輪轉角 ϕ (或時間 t) 的關係稱為位移曲線(圖 13)。本研究為確保上下往復運動，故採用圓柱形凸輪之設計。

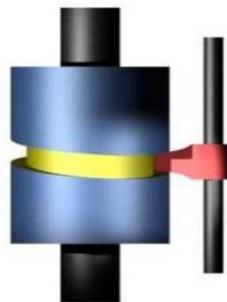


圖 11.圓柱形凸輪

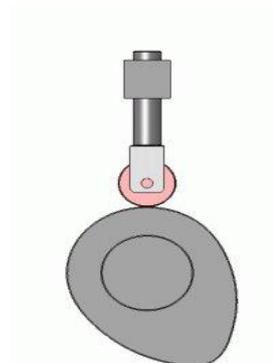


圖 12.平板狀凸輪

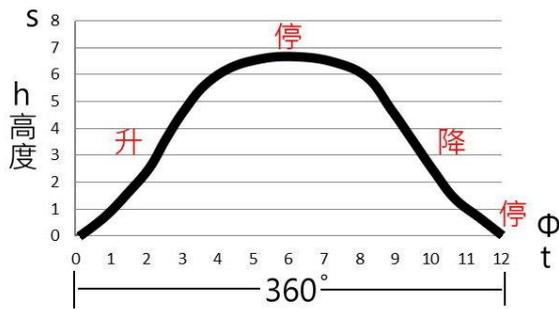


圖 13.位移曲線

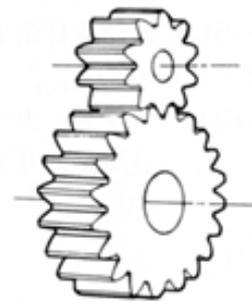


圖 14.正齒輪

(二)齒輪機構

齒輪（Gears）是在摩擦輪的表面，製造適當形狀之輪齒（Tooth）能互相嚙合，並以一定的速比傳達動力，而不會產生有如摩擦輪傳動之滑動現象發生。是機械設備關鍵的傳動零件之一，廣泛的應用於日常生活及傳動系統。

1.齒輪之傳動具有以下三種用途。

- (1)傳達動力：例如汽機車、工具機、攪拌機等之動力傳遞，大都使用齒輪。
- (2)改變運動方向：兩齒輪傳動方向，兩輪之轉向不一定一致，例如外接正齒輪傳動時，兩輪轉向相反；內接正齒輪，則兩輪轉向相同。
- (3)改變旋轉速度：齒輪傳動可使兩轉軸速度快或慢，例如：兩正齒輪傳動，齒數較多者，轉速較慢。

2.齒輪之優點如下。

- (1)速比正確。
- (2)大小動力均可傳達。
- (3)高低速傳動均可。
- (4)變速操作容易。
- (5)占用空間少。

3.齒輪有很多種類，其分類法最通常的是根據齒輪軸性來區分，分成平行軸、相交軸及交錯軸三種類型。(表 5)

- (1)平行軸齒輪包括正齒輪(圖 14)、螺旋齒輪、齒條(圖 15)及螺旋齒條等。
- (2)相交軸齒輪有直齒傘形齒輪、彎齒傘形齒輪、零度傘形齒輪等。

(3)交錯軸齒輪有交錯螺旋齒輪、蝸輪蝸桿、戟齒輪等。

表 5.常用齒輪的分類情況 .

齒輪的分類	齒輪的種類	效率 (%)
平行軸齒輪	正齒輪	98.0 — 99.5
	齒條	
	內齒輪	
	螺旋齒輪	
	螺旋齒條	
	人字齒輪	
相交軸齒輪	直齒傘形齒輪	98.0 — 99.0
	彎齒傘形齒輪	
	零度傘形齒輪	
交錯軸齒輪	圓筒蝸桿蝸輪	30.0 — 90.0
	交錯螺旋齒輪	70.0 — 95.0

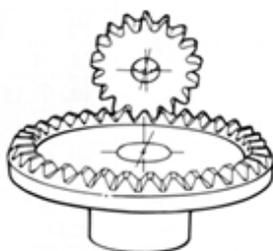
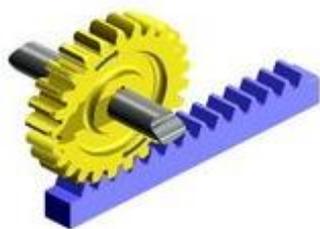
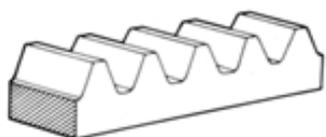


圖 15.齒條

圖 16.齒輪及齒條機構

圖 17.面齒輪

圖 18.直線設計之齒輪

本研究中將合併使用齒輪與齒條機構、面齒輪機構連動，故在此說明：

- (1)齒輪及齒條機構(Racks)-與正齒輪咬合的直線條狀齒輪，可以看成是標準圓直徑無限大的正齒輪之特殊情況。(如圖 16)
- (2)面齒輪機構(Face Gears)-可與正齒輪或螺旋齒輪咬合的圓盤狀齒輪，在直交軸及交錯軸間傳動，屬特殊齒輪之一。(如圖 17)

齒輪依齒形來區分有漸開線齒輪，擺線齒輪等等，通常使用漸開線齒輪較多，

本研究之齒輪較小齒形用漸開線設計與直線設計沒太大差異，故本研究之齒形使用直線設計(圖 18)。

四、研究計劃之甘特圖

表 6.研究計劃之甘特圖

日期 工作 內容	第 1 、 2 週	第 3 、 4 週	第 5 、 6 週	第 7 、 8 週	第 9 、 10 週	第 11 、 12 週	第 13 、 14 週	第 15 、 16 週	第 17 、 18 週	第 19 、 20 週	第 21 、 22 週	第 23 、 24 週	第 25 、 26 週	第 27 、 28 週
蒐集資料	■	■												
尋找方法	■	■												
手繪草圖， 制定尺寸			■	■										
電腦繪製			■	■	■	■		■	■		■	■		
組合圖及 修正						■	■							
3D列印輸出							■	■	■		■	■		
零件組合								■	■		■	■		
性能測試										■	■	■		
意見調查											■			
報告撰寫												■	■	■

五、製作流程



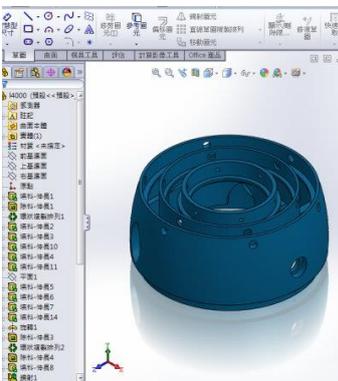
1. 小組討論 →



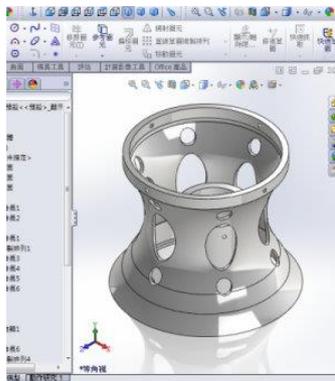
2. 手繪草圖 →



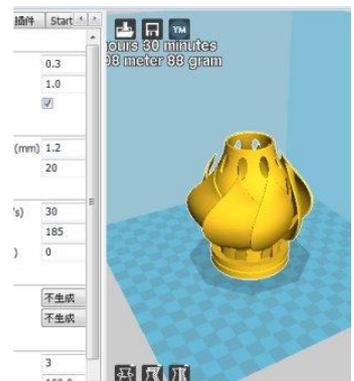
3. 尋找方法 →



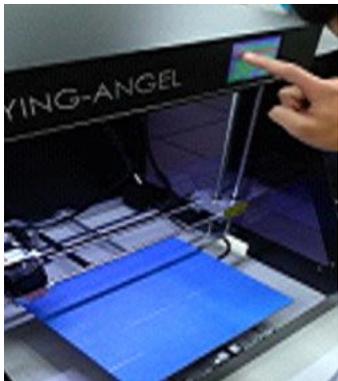
4. 零件繪製 →



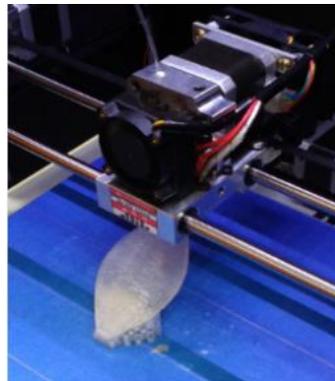
5. 零件繪製 →



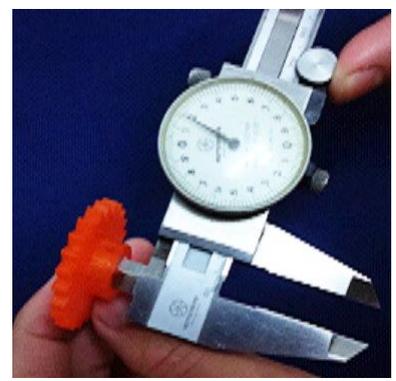
6. 轉成 Gcode →



7. 列印機操作 →



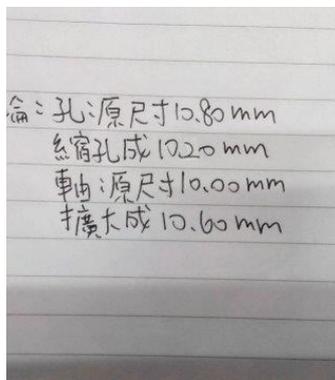
8. 列印中 →



9. 零件量測 →



10. 修毛邊 →



11. 尺寸記錄 →



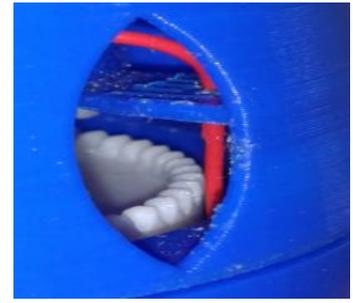
12. 尺寸更正 →



13.印製完成→



14.零件組合→



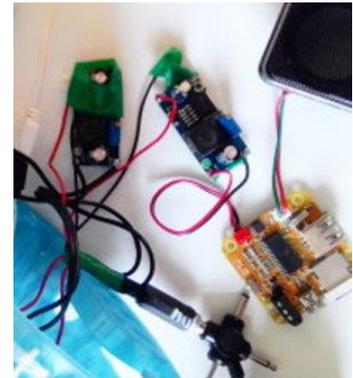
15.安裝燈泡線路→



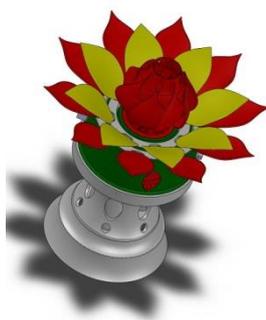
16.手動測試→



17.安裝馬達→



18.電機連接→



19.組裝完成 (第一代設計)



(第二代設計)



伍、研究結果

一、第一代設計-平直原型機

這個設計(圖 19)我們做了約半年之久，因為全部從零開始，也要不斷的摸索繪圖軟體的各種功能，又需適應兩台 3D 列印機的印製限制與公差裕度，皆有差異。而 PLA 及 ABS 這兩者塑材的強度也有不同，起初列印後總是滿腦子疑問，例如：為什麼列印過程中會翹曲?為什麼組合完成後，齒輪不能轉動?等等，還好指導老師總是給我們適時的解

惑，使我們很快能解決問題，並把問題記錄下來，之後列印就可避免類似狀況發生。

以下為第一代設計之組立爆炸圖(圖 20)及優缺點分析表(如表 7)



圖 19.平直原型機

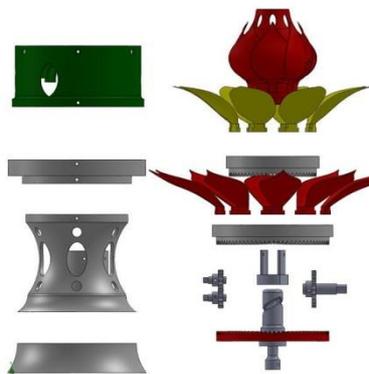


圖 20.原型機組立爆炸圖

表 7.平直原型機優缺點分析

優點	1.主燈擁有上下往復開合的動態效果
	2.內外花瓣擁有正逆時鐘旋轉的變化
	3.加入燈條的全彩變化，使燈更有視覺效果
	4.除了主燈及花瓣外，皆使用 PLA 環保塑料，無毒安全
	5.主燈泡使用 12V LED 燈泡壽命長
缺點	1.外觀平直不美觀
	2.未考慮到電路走向而使電線外露
	3.齒輪干涉噪音較大
	4.馬達連接件，凸輪連接件常斷裂，設計時強度不足
	5.從動軸凸出嚴重影響外觀
	6.未考慮馬達外殼顏色使燈條效果打折

二、第二代設計-圓弧型

因為原型機缺點較多，故開始二代之設計(圖 21、22)，這次以保留第一代設計之優點及改善缺點為設計方向。但牽一髮動全身，為了改良其中一點又再做一次的全面修改，

全部的組合圖的干涉檢查，其實修改到完成，其實等於已經全部重新設計了。



圖 21.第二代設計圓弧型 1



圖 22.第二代設計圓弧型 2

(一)主燈花座設計及修正

主燈花座(圖 23)構造是所有零件中最複雜的，原設計為是圓柱型卡榫，但在印製時會產生許多支架卡在軌道中，不易去除，故常常失敗，經過多次試驗，得到以圓珠型卡榫無需支架且成功率高，搭配滑軌，使其做上下往復運動，帶動主燈花瓣可產生花開花合的華麗效果(圖 24)。表 8 為主燈花座列印數據。

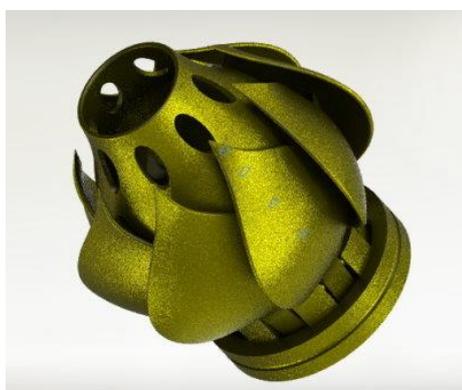


圖 23.主燈花座

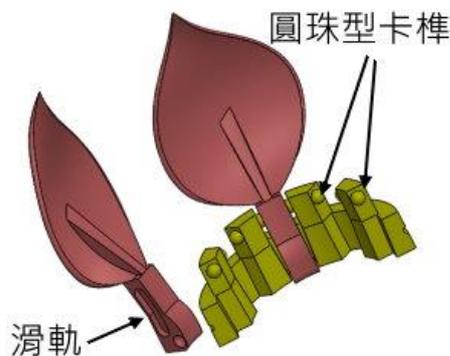


圖 24.圓珠型卡榫與滑軌

表 8.主燈花座列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.25	1	20%	ABS	5 小時 33 分	88 公克

(二)主要作動機構設計及修正

旋轉花瓣的動作原先設想，可由機件原理中摩擦輪或齒輪機構，但為保花瓣之確動，故使用齒輪機構設計，但在製作往復運動時卻發生瓶頸，嘗試過曲柄搖桿及盤形

凸輪後，發現不大適用，故經過討論及詢問老師後，決定用圓柱形凸輪設計，使主燈花座可順利往復開合，且合併圓盤狀齒輪機構產生連動，故設計了特殊的圓盤雙齒輪同步來傳達動力，使花瓣作正逆時鐘旋轉(圖 25、26)。

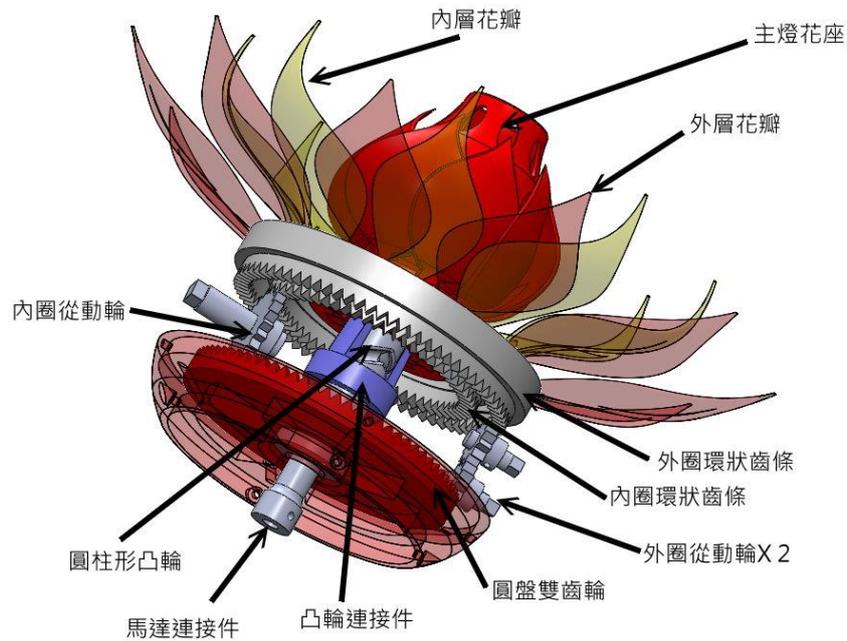
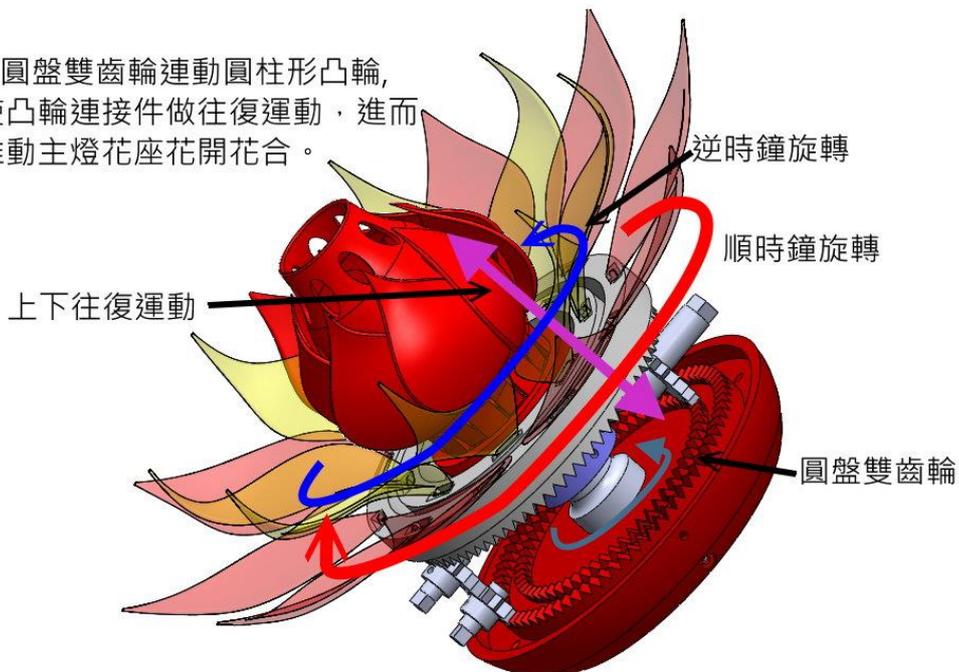


圖 25.主要作動機構零件說明

1.圓盤雙齒輪連動圓柱形凸輪，使凸輪連接件做往復運動，進而推動主燈花座花開花合。



2.圓盤雙齒輪帶動兩從動輪，進而使內外圈環狀齒條及內外層花瓣作正逆時鐘旋轉。

圖 26.主要作動機構作動圖解

圓盤形雙齒輪(圖 27) 設計成雙齒形為本研究中所獨創之零件，在第一代設計中齒輪干涉噪音較大，為改善噪音問題，故在第二代設計中，改成模數為 1.5，外圈齒數為 71 齒，內圈齒數為 59 齒，使其帶動從動輪及連動內外花瓣時噪音較小。表 9 為圓盤形雙齒輪列印數據。

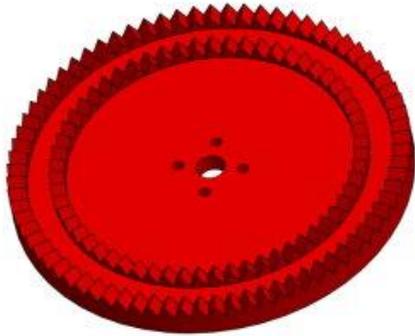


圖 27.圓盤形雙齒輪

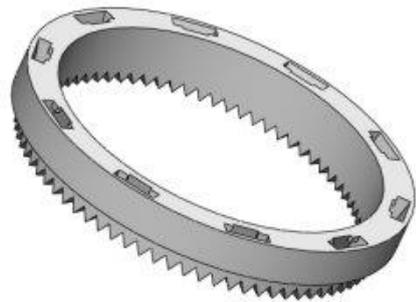


圖 28.外圈環狀齒輪

表 9.圓盤形雙齒輪列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	2 小時 40 分	43 公克

環狀齒輪亦為本研究中所獨創之零件，外圈環狀齒輪(圖 28)模數為 1.5，齒數為 71 齒，內圈環狀齒輪(圖 29)，模數為 1.5，齒數為 59 齒。齒條(Racks)通常為長條狀，但為使其呈現旋轉運動，而將其變化為圓形環狀，上面有方形孔洞，可與花瓣組裝，產生正逆時鐘之旋轉。表 10 為外圈環狀齒輪列印數據，表 11 為內圈環狀齒輪列印數據。

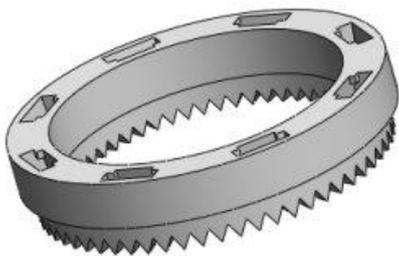


圖 29.內圈環狀齒輪

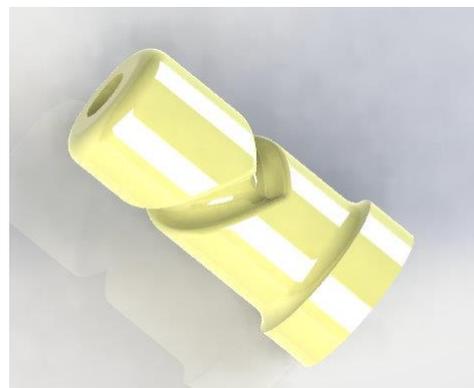


圖 30.圓柱形凸輪

表 10.外圈環狀齒輪列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	2 小時 17 分	37 公克

表 11.內圈環狀齒輪列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	1 小時 50 分	29 公克

圓柱形凸輪(圖 30)為帶動凸輪連接件使主燈花座花開花合之零件。而圓柱形凸輪底部與圓盤雙齒輪連接，故圓盤雙齒輪轉一圈，圓柱形凸輪就做一次的往復運動。表 12 為圓柱形凸輪列印數據。

表 12.圓柱形凸輪列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	36 分	10 公克

從動齒輪與從動軸雖為從動件，但外圈從動輪有兩組，模數為 1.5，齒數為 12 齒，而內圈從動輪只有一組，模數為 1.5，齒數為 23 齒，故內外圈齒輪之轉向不同而有不一樣的效果 (圖 31、32)。表 13 為外圈從動輪×2 及從動軸列印數據，表 14 為內圈從動輪及從動軸列印數據。

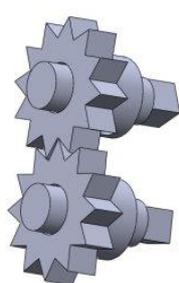


圖 31.外圈從動輪

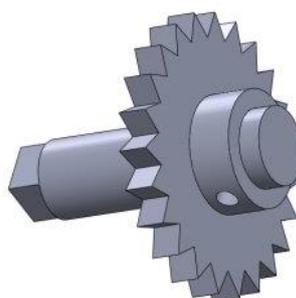


圖 32.內圈從動輪

表 13.外圈從動輪×2 及從動軸列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	50%	PLA	21 分	5 公克

表 14.內圈從動輪及從動軸列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	50%	PLA	28 分	7 公克

(三)外殼設計及修正

外殼為作品極為重要的零件之一，幾乎能作動的零件都在其中組裝，而作動零件的支撐與孔洞皆在其中，電燈線路的走向也因它而改變，可說是第二複雜的組件。

第一代設計外觀平直雖已經擁有正逆時鐘旋轉及上下往復開合之動作，但因設計上未考慮到從動軸及電線走向之情況，導致產生從動軸與電線外露的結果，故外觀極不美觀(圖 33)，所以我們決定重新設計，外殼改為圓弧形，且從動軸內縮，也將電線修正至外殼內部，幾乎所有作動零件都重新設計了，使其增加美觀性(圖 34)。表 15 為外殼列印數據。

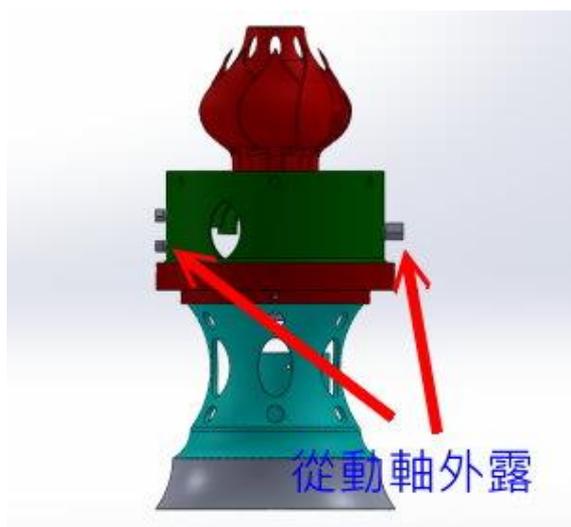


圖 33.平直外殼



圖 34.圓弧外殼

表 15.外殼列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	12 小時 23 分	197 公克

(四)外殼及馬達底座之連接件設計及修正

此零件位於馬達底座及外殼中間，用來校正馬達和馬達連接件，及支撐圓盤齒輪，原設計為平直形(圖 35)，因原型機雖已達機械連動之功用，但外型不美觀而更改成圓

弧型，而此零件亦同時需修正為圓弧型，以修正其美觀性(圖 36)。表 16 為外殼及底座之連接件列印數據。

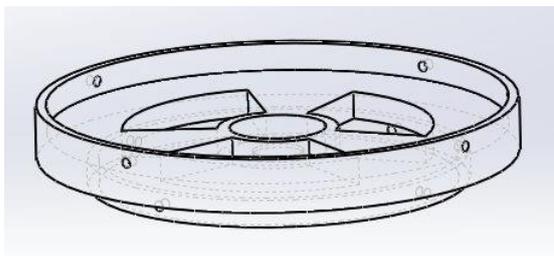


圖 35.連接件修正前



圖 36.修正後之圓弧型連接件

表 16.外殼及底座之連接件列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	4 小時 43 分	82 公克

(五)馬達底座設計及修正

馬達底座原設計為直筒型，列印完成後發現外型不討喜，故再修正為原型機型，但因該型之直流減速馬達已經停產，購置新型之馬達後發現外型尺寸皆不相同，因而又再修正一次馬達底座，才將其改良為圓弧型(圖 37)。表 17 為馬達底座列印數據。

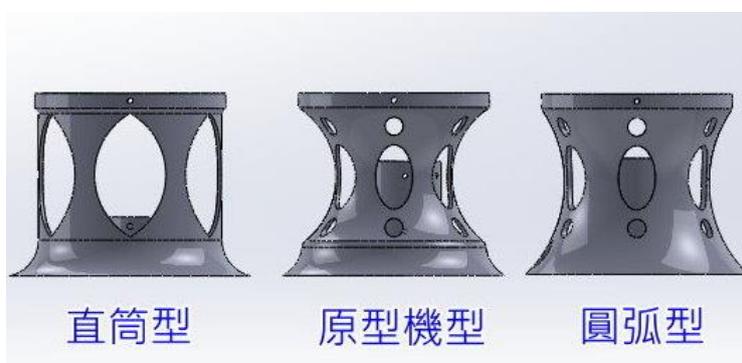


圖 37.馬達底座設計及修正

表 17.馬達底座列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	6 小時 52 分	114 公克

(六)花瓣外型及厚度修正

我們使用 PLA 塑料進行印製，在印製中我們發現花瓣最高點出現結塊的現象(圖

38)，是因為 PLA 塑料冷卻較慢，而下一層塑材又加在其上方之原因，故花瓣改用 ABS 塑材，冷卻速度較快，同時降低印製速度，即可解決此問題之發生。

花瓣的厚度原先設計為 1mm 太薄了容易斷裂(圖 39)，所以我們把厚度修正為 2mm，強度較佳且不易變形。最後舉辦師生票選最佳造型花瓣活動(圖 40、41)，最高票的前兩名，則為本研究之參賽花瓣，更可客製化設計出各種不同形狀的花瓣，應用於各種不同的場合。表 18 為花瓣列印數據。



圖 38.花瓣結塊現象 圖 39.太薄容易斷 圖 40.表決最佳造型花瓣 圖 41.最佳造型花瓣誕生

表 18.花瓣列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.25	1	20%	ABS	9 小時 31 分	130 公克

(七)凸輪連接件之設計及修正

連接圓柱形凸輪及主燈花座，把圓柱形凸輪傳達的動力傳到主燈花座，使主燈花座作上下往復開合運動，是主燈花座能否正常上下往復開合運動的關鍵零件。但此零件承受的扭力極大，起初常因扭力過大而斷裂，以致於無法使主燈花座開合，故將原先的寬度 10mm(圖 42)修正為 13mm(圖 43)，厚度增為 2mm，但是依然會產生斷裂之狀況(圖 44)，故重新設計加強常斷裂的部份，增加厚度達 3.5mm(圖 45)，且填充設定為 100% 實心填充，如此才解決了此問題。表 19 為凸輪連接件列印數據。

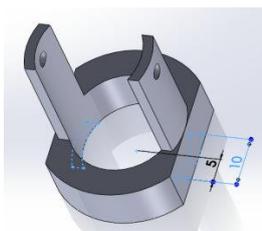


圖 42.修正前

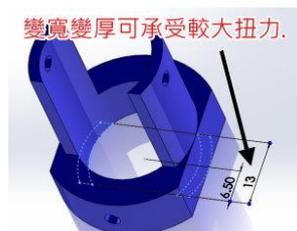


圖 43.修正後



圖 44.斷裂之凸輪連接件



圖 45.重新設計

表 19.凸輪連接件列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	100%	PLA	24 分	6 公克

(八)馬達連接件之設計及修正

此零件為連接馬達及圓盤形齒輪，把動力向上傳達的關鍵零件。此零件也是承受極大的扭力，但原先設計馬達連接件就有考慮到扭力問題，直徑尺寸就有 10mm 粗，但是依然斷裂(圖 46)，探討可能之原因有三，其一為扭力，其二為安裝歪斜，其三為齒輪間毛邊未處理完善，造成阻力過大。故重新修正其直徑尺寸到 15mm(圖 47)，且填充設定為 100% 實心填充，如此才解決了此問題。表 20 為馬達連接件列印數據。



圖 46.斷裂之馬達連接件

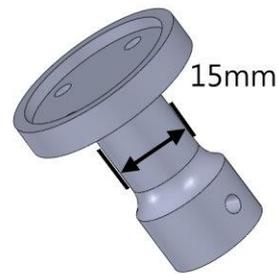


圖 47.修正後之馬達連接件

表 20.馬達連接件列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	100%	PLA	26 分	7 公克

(九)電機元件外殼與底板設計及修正

電機元件外殼為燈條、遙控接收器、mp3 播放器及喇叭的整合之處，原型機設計空間較狹小(圖 48)，雖勉強將電機元件置入其中，但偶有相互干擾之情況發生，且更換記憶卡音樂時，需拆開底板方能取出，極不方便。

所以我們決定重新設計，外殼改為圓弧形且加高 15mm，解決空間狹小之問題，同時也解決了電機元件相互干擾之情況，但為了方便更換音樂，故將其側邊設計個圓角矩形的孔洞，並將 mp3 播放模組之記憶卡取出口，安裝在此。更改設計後既方便使用者更換音樂，又增加圓弧美感(圖 49)。表 21 為電機元件外殼與底板列印數據。



圖 48.原型機電機元件外殼



圖 49.圓弧電機元件外殼

表 21.電機元件外殼與底版列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	9 小時 3 分	148 公克

(十)燈泡座架設計及修正

燈泡座架是燈泡座維持穩定之座架，設計理念較容易，只要比燈泡座(圖 50)稍大一點，但為了維持穩固，須加長圓柱插入圓柱形凸輪中心避免歪斜(圖 51)。表 22 為燈泡座架列印數據。



圖 50.燈泡座

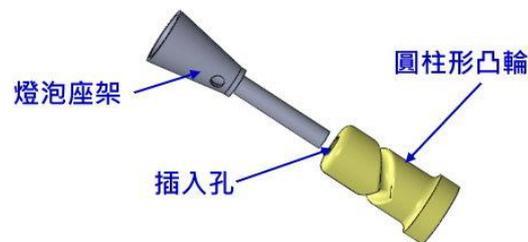


圖 51.燈泡座架與圓柱形凸輪之組合

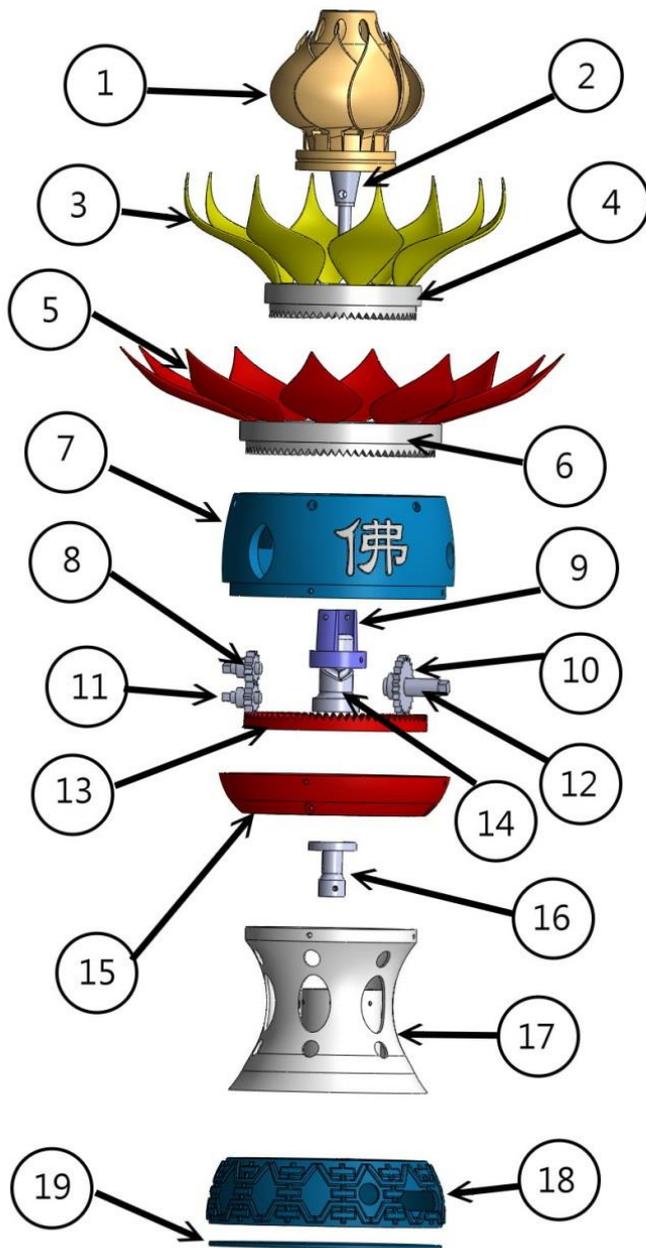
表 22.燈泡座架列印數據

層高	壁厚	填充密度	線材材質	列印時間	花費材料(g)
0.3	1.2	20%	PLA	25 分	5 公克

(十一)作品的組合方式及爆炸圖

本研究之作品的作動方式由馬達外殼中的馬達傳輸動力至馬達連接件及圓盤齒輪，主燈座再配合圓柱形凸輪連接件依循著圓柱形凸輪的軌道作上下開合運動，同時圓盤雙齒輪也帶動兩組從動齒輪機構做旋轉，再將動力傳至內外環狀齒條而使

內外花瓣做正逆時鐘旋轉運動，如下圖為作品爆炸圖（圖 52）。底座電機模組之連接分為三路，第一路為 12V 變壓器輸入至主燈燈泡及燈條使用，第二路為輸入至降壓模組 1，將電壓降至 5V 輸出，供給 mp3 播放模組及喇叭使用，第三路為輸入至降壓模組 2，將電壓降至 3V 輸出，供給直流減速馬達使用（圖 53、54）。



編號	零件名稱	數量
1	主燈花座	1
2	燈泡座架	1
3	內層花瓣	8
4	內圈環狀齒條	1
5	外層花瓣	10
6	外圈環狀齒條	1
7	外殼	1
8	外圈從動輪	2
9	凸輪連接件	1
10	內圈從動輪	1
11	外圈從動輪軸	2
12	內圈從動輪軸	1
13	圓盤形齒輪	1
14	圓柱形凸輪	1
15	外殼及底座之連接件	1
16	馬達連接件	1
17	馬達底座	1
18	電機元件外殼	1
19	底板	1

圖 52.爆炸分解圖

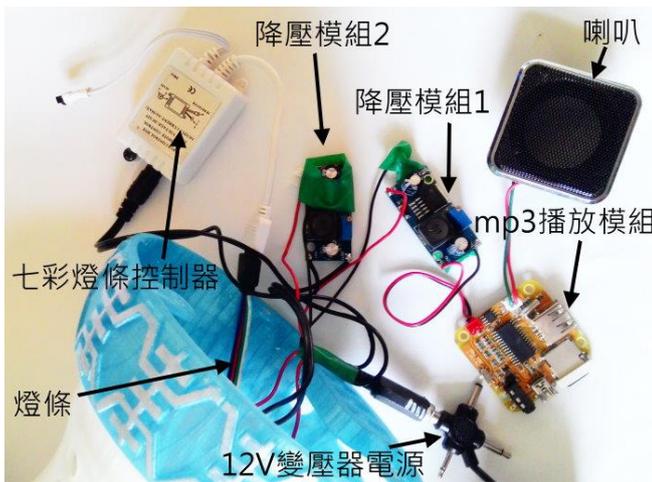


圖 53.底座電機模組之連接

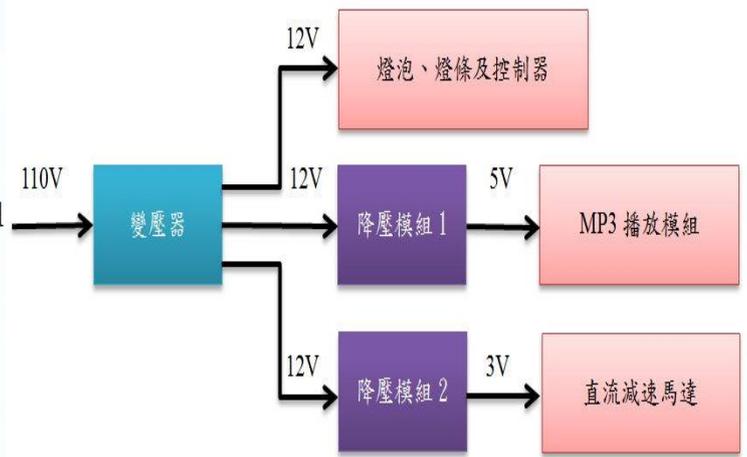


圖 54.電機元件連接示意圖

(十二)第二代設計-圓弧型之優缺點分析表

綜合以上之修正設計，整理出以下之優缺點分析表，如表 23。

表 23.圓弧型優缺點分析

優點	1.主燈擁有上下往復開合的動態效果
	2.內外花瓣擁有正逆時鐘旋轉的變化
	3.加入燈條的全彩變化，使燈更有視覺效果
	4.除了主燈及花瓣外，皆使用 PLA 環保塑料，無毒安全
	5.圓弧外觀，造型美觀，裝飾性大大提昇
	6.考慮到電路走向，電線置入燈體內部，安全性提昇
	7.圓盤雙齒輪及內外從動齒輪重新設計，且加入凡士林加強潤滑效果，噪音大大降低
	8.馬達連接件，凸輪連接件重新設計，加厚加寬，不易斷裂
	9.從動輪內縮，不影響整體美感
	10.馬達外殼顏色選用透明色，使燈條效果不打折
	11.主燈泡使用 12V LED 燈泡壽命長
	12.提高電機底座，能加入 mp3 撥放模組及喇叭可撥放音樂
	13.用油漆筆彩繪，補足 3D 列印只能輸出單一顏色的缺點
缺點	1. .因花瓣、花燈為薄片狀，可惜未能 100%使用 PLA 環保塑料

陸、討論

表 24.材料及列印時間統計

零件名稱	花費材料(g)	列印時間
主燈花座	ABS 88 公克	5 小時 33 分
圓盤形雙齒輪	PLA 43 公克	2 小時 40 分
外圈環狀齒輪	PLA 37 公克	2 小時 17 分
內圈環狀齒輪	PLA 29 公克	1 小時 50 分
圓柱形凸輪	PLA 10 公克	36 分
外圈從動輪 X2 及從動軸	PLA 5 公克	21 分
內圈從動輪及從動軸	PLA 7 公克	28 分
外殼	PLA 197 公克	12 小時 23 分
外殼及底座之連接件	PLA 82 公克	4 小時 43 分
馬達底座	PLA 114 公克	6 小時 52 分
花瓣	ABS 130 公克	9 小時 31 分
凸輪連接件	PLA 6 公克	24 分
馬達連接件	PLA 7 公克	26 分
電機元件外殼與底版	PLA 148 公克	9 小時 3 分
燈泡座架	PLA 5 公克	25 分
總計	PLA 690 公克 ABS 218 公克	2 天 9 小時 7 分鐘

表 25.整體製作經費統計

品名	數量	小計
原廠 PLA 塑料線材	1	800 元
原廠 ABS 塑料線材	1	1500 元
高扭力直流減速馬達	1	350 元
燈泡 LED 12V	1	70 元
燈泡座	1	10 元
燈條及遙控器組	1	290 元
電源線及開關	1	170 元
mp3 播放模組及喇叭	1	300 元
降壓模組	2	320 元
Micro SD 記憶卡	1	120 元
經費總計		3930 元

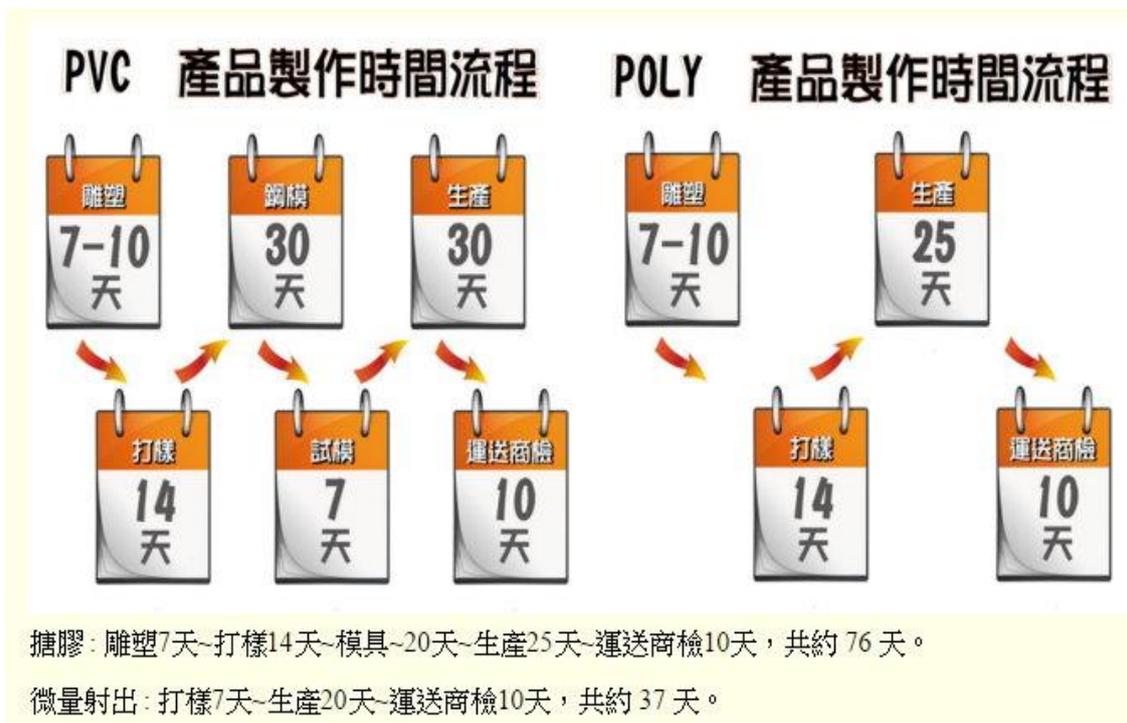


圖 55.產品開模成型製作流程

表 26. 作品與市售神明燈比較表

	鑄鐵神桌燈	水晶蓮花燈	宮燈	第二代設計
圖像				
價格	2250 元	17575 元	9500 元	3930 元
材料	鑄鐵、玻璃	鑄鐵、琉璃、玻璃	鑄鐵、陶瓷	PLA 環保塑料、ABS 塑料
電機功能	微亮照明	微亮照明	微亮照明	mp3 撥放器、LED 燈及七彩燈條
造型	像根大蠟燭	燈光在水晶內折射產生亮麗變化	燈罩印有經文	外觀圓滑，三層花瓣，華麗氣派美觀
強度	燈罩為玻璃	水晶較玻璃為硬	燈罩為陶瓷	塑膠材料，花瓣易斷裂
顏色	紅色、金色	金色	黑色、金色及米色	可依個人喜好搭配不同的顏色
機械結構	無	無	無	正逆時鐘旋轉上下往復開合
總評				優勝

整合研究結果中表 8~表 22，花費材料與列印時間之數據為統計表(表 24)，得知總計列印材料重為 PLA 690 公克、ABS 218 公克，而一捲原廠 PLA 塑料為 1000 公克，價格為 800 元，一捲原廠 ABS 塑料為 500 公克，價格為 1500 元，故約花費兩捲線材，合併其它製作經費為整體製作經費統計表(表 25)。

由以上圖表得知，若以少量多樣的產品來說，3D 列印與開模成型(圖 55)相較下，開模成型費用動則數十萬，時間最少需要一個月以上，而 3D 列印輸出本作品只需不到 4 千元，花費的時間不到 3 天，故 3D 列印輸出是種非常省錢又省時又有客製化之優勢。再則若本作品與市售神明燈相較下(表 26)，功能性、美觀性也大幅超越市售神明燈。就產業方面來看，作品亦具有創新、美觀、實用且功能性多的特點，如能廣泛使用，頗具經濟價值，亦符合申請專利的特性與條件。

柒、結論

我們運用 3D 繪圖及 3D 列印的技術製作作品，讓我們了解設計者與製造者合一並不是夢想，經過約七個月的時間設計及改良，作品順利的由積層製造技術 3D 列印完成，而增加美觀、實用性上皆有達成，藝術性、裝飾性上更大大超越了一般神桌燈，其中開合旋轉的設計更可說是一項創舉，功能性大增。過程中雖然有許多次的失敗，但一次的失敗就是下次成功的經驗，不斷的累積經驗，下次的設計將更快成功。綜觀以上可得以下之結論：

- 一、完成用電腦繪圖軟體重新設計神明燈，而藝術美感及圓滑的外觀，大大提升居家裝飾性及美觀性。
- 二、合併了機械元素後讓神明燈不再是呆板的靜態點燈功能，增加了正逆時鐘旋轉、上下往復開合的美麗效果，則功能性及實用性大增。
- 三、加入電機模組的喇叭及 mp3 播放器可撥放音樂，更利用燈條的全彩變化，使神明燈、唸佛機合而為一，更利用記憶卡可隨意更換音樂，更超越了唸佛機的單一功能，使作品的視聽效果大大加分。
- 四、用 3D 列印輸出成型，大大降低作品的成本又節省時間並可客製化，可使創意加速完成。

捌、參考資料及其它

- 吳清炎、李建億(2006)。製圖實習。台北市：華興文化事業有限公司
- 陳文峰、林鴻儒、廖倉祥、黃世峰(2008)。機械實習。台北市：台科大圖書
- 郭宏賓(2005)。SOLIDWORKS 2006。台北市：全華圖書股份有限公司
- 王千億、王俊傑(2006)。機械製造。台北市：全華圖書股份有限公司

- 葉倫祝(2015)。機件原理 I、II。台北市：全華圖書股份有限公司
- 教育部全球資訊網(2016 年 1 月 25 日)。「**推動自造教育策略聯盟簽約與自造者基地揭牌啟用儀式**」[訊息公告/即時新聞]。台北市：教育部。2016 年 2 月 27 日，取自：
http://www.edu.tw/News_Content.aspx?n=9E7AC85F1954DDA8&s=0C1A81261C425F1D
- 台灣創客運動 - Top makers in Taiwan。「**創客運動 Maker Movement**」。台北市：台灣創客平台。2016 年 2 月 27 日，取自：<http://vmaker.tw/about>
- 趙珩宇(2015)。自造者運動對生活科技的啟示。《科技與人力教育季刊》，第 1 卷第 3 期，1-20
- KHK 齒輪大學。「小原齒輪工業(株)：KHK 齒輪大學：齒輪技術資料」。台北市：小原齒輪工業(株)。2016 年 2 月 28 日，取自：
http://www.khkgears.co.jp/tw/gear_technology/guide_info.html

【評語】 052303

1. 本作品利用 PLA 環保塑材及 3D 列印輸出成型，製作蓮花型神明燈。此作品有厚的外殼、薄的花瓣及各種曲面之製作。另外，製作時又考量一體成形及花瓣展開之動作。整體製作技術具新穎性、獨特性、低成本及環保概念。
2. 在神明燈加裝凸輪及齒輪機構，產生神明燈上蓮花之相互運轉，可提升觀賞之多元變化。
3. 加入喇叭及 mp3 播放器可撥放音樂，並可用手機控制，可提升神明燈之價值感及現代感。
4. 同學們簡報時，合作無間、活潑生動、簡單明瞭並能清楚表達本作品之核心價值，值得嘉許。