

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科(二)

第三名

082905

「三寶」的重生～寶特瓶變身 3D 列印線材之研究

學校名稱：新北市鶯歌區二橋國民小學

作者：  小六 謝瀚祥  小六 劉婷琄  小六 鄭喬尹  小六 陳星諺  小六 卓楷恩	指導老師：  姜育儼
---	------------------

關鍵詞：3D 列印、寶特瓶、PET 回收

## 摘要

本研究探討了使用回收塑膠寶特瓶製作 PET 線材的可行性。我們設計了數個不同功能的模組並使用 TINKERCAD 3D 建模軟體進行了優化，使過程更為穩定和高效，同時也考慮了減少廢棄物的製造量，以達到節約成本、保護環境的目的。

研究發現，為了得到品質更佳的成品線材，需要在生產過程中控制 PET 條寬度均勻性、拉線速度、加熱頭溫度、加熱塊支架變形和加熱塊溫度浮動等因素，以確保成品線材的品質。此外，本研究也嘗試將所有模組整合在一個平台之上，探討製作出一台具有全功能機器的可行性。

最終，本研究成功實現將使用過的寶特瓶變成 PET 線捲的目標。未來，我們將繼續優化該機器的設計，增加自動化程度，並探索更加環保的製作方法，以達到更加可持續的生產方式。

## 壹、前言

### 一、研究動機

最初，我們的研究動機源自於社區參觀垃圾焚化廠時的觀察和反思。當我們看到垃圾堆積如山，意識到人們生活中所產生的資源浪費和對環境的傷害。隨著我們學習到 3D 列印的原理，我們有了一個大膽的想法，即將垃圾加熱融化後，轉化為有用的物品。這個想法讓我們開始考慮，如何利用 3D 列印技術，將使用過的寶特瓶變成 PET 線捲，以減少垃圾的產生，並提高資源的再利用率。我們希望此技術不僅能提升人們對環境問題的關注，同時體現我們對科技和技術的熱情，並希望將這些概念轉化為實用的解決方案。

### 二、研究目的

- (一)、尋找省錢、環保且實用的 3D 列印材料
- (二)、利用 3D 列印技術將使用過的寶特瓶變成 PET 線捲
- (三)、測試在不同條件下，得到品質更佳的成品線材
- (四)、減少垃圾的產生，並提高資源的再利用率

### 三、文獻回顧

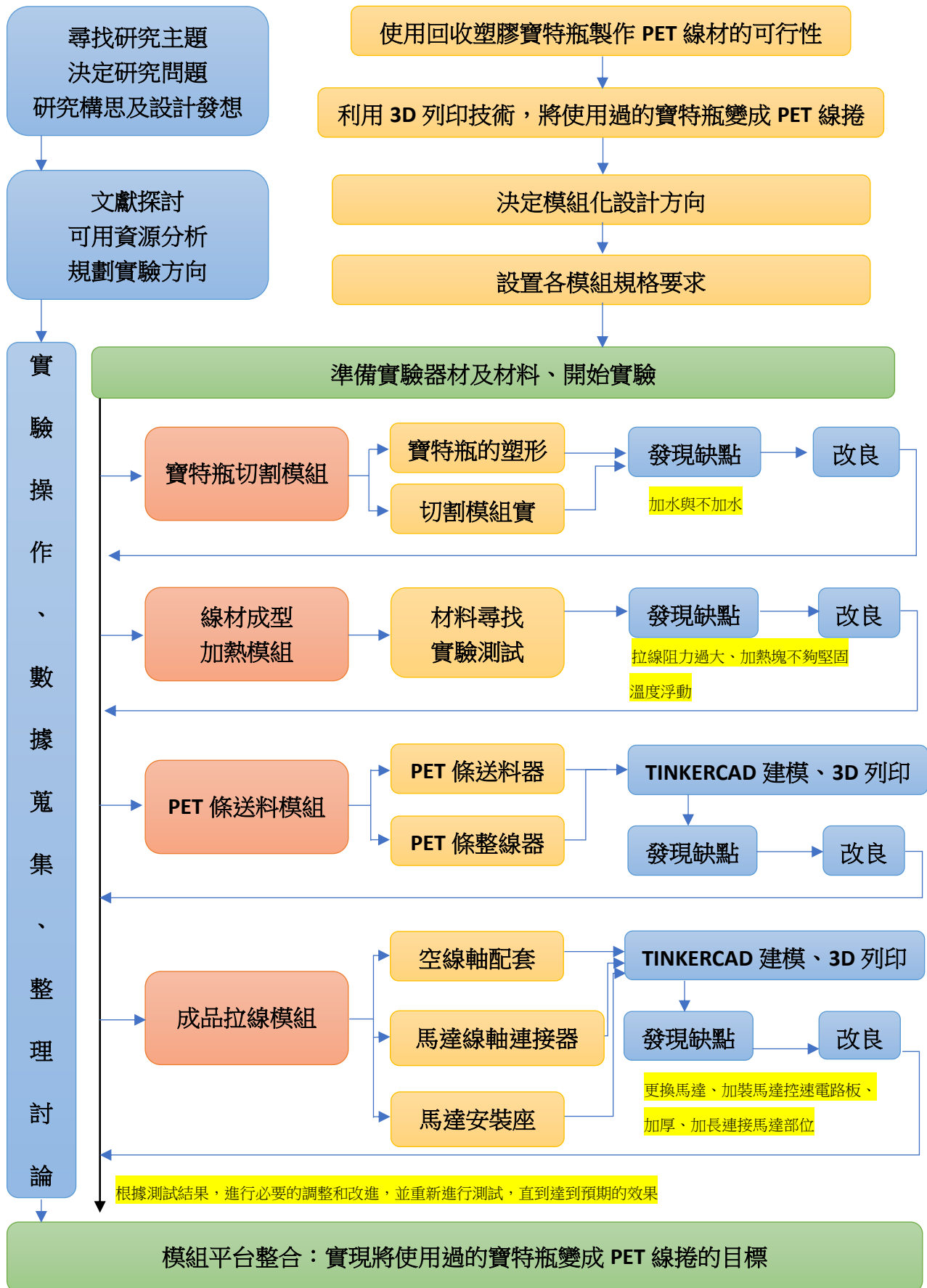
資料來源	名稱	研究內容分析
SET News Channel	邊騎邊印！3D 行動列印車 垃圾也能變商品	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將寶特瓶回收結合腳踏車蓋念</li> <li>2. 先絞碎回收塑膠杯、再融化成線材，只要 30 分鐘就有徽章形狀的產品出爐</li> </ol>
Z3DFilament 尼龍線材推廣中心	30 種 3D 列印線材指南與比較	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 分析不同材料的各方優與劣勢</li> <li>2. 查詢各列印材料的應用時機</li> <li>3. 介紹不同材料的列印特性</li> </ol>
Business Next Media Corp	寶特瓶當原料！環保 3D 列印 Renegade	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用寶特瓶做為列印原料</li> <li>2. 切割妥當的寶特瓶塑料條</li> <li>3. 將熔融狀態的塑料擠出</li> <li>4. 待塑料冷卻凝固後就能塑造成需要的形狀</li> </ol>
3DMart Ltd.	3D 列印廢水瓶，回收塑料變禮品！	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 荷蘭皇家航空公司 (KLM) 利用回收 PET 寶特瓶以製造 3D 列印零件及工具</li> <li>2. 回收旅客手中的寶特瓶，再製成 3D 列印線材</li> </ol>
Plastic 塑膠酷知識	塑膠射出·押出·吹出 有何不同？	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 「熱塑性塑膠」的加工原理： (1) 原料加熱、(2) 塑化成型、(3) 冷卻定型</li> <li>2. 塑膠射出、塑膠押出與塑膠吹出差異</li> </ol>

## 貳、研究設備與器材

寶特瓶、鐵夾子、量筒、卡式瓦斯爐、瓦斯罐、抹布、游標卡尺、木板、電鑽、螺絲、墊片、刀片、鐵桿、12V 變壓器、LCD2004 螢幕、12V 加熱棒、溫度探頭、加熱塊、噴嘴、L 型角鐵、電線、螺絲、3D 印表機主機板、螺帽、矽膠、加熱塊模組、PET 條、加熱頭模組、鉗子、麥克筆、寶特瓶切割器、3D 打印機、TINKERCAD、空的 PLA 線軸、馬達

# 參、研究過程或方法

## 一、研究架構



## 二、研究構思及設計發想

(一)、文獻思考：塑膠加工成型的方式有非常多種，塑膠主要分為「熱固性塑膠」與「熱塑性塑膠」兩種，由不同的產品去選擇不同的塑料，我們的寶特瓶是屬於熱塑性塑膠的一種。「熱塑性塑膠」的加工原理，簡單來說，就是 1 原料加熱 2 塑化成形 3 冷卻定型，他們的優缺點，整理如下表

<b>塑膠押出法 (Extrusion)</b> 塑膠押出法是一種將熔融的塑料通過模具擠出形成連續的截面形狀的方法。 這種方法適用於製造長而連續的物品，例如管道、薄膜、帶狀材料等。	
<b>優點：</b> 生產效率高，適用於大批量生產。 能夠製造複雜的截面形狀和各種長度。 成本相對較低，設備相對簡單。	<b>缺點：</b> 難以製造三維形狀複雜的物品。 難以控制壁厚的均勻性。 需要後續加工來確保的精度和表面品質。
<b>塑膠射出法 (Injection Molding)</b> 塑膠射出法是一種將熔融的塑料注入模具中，並在冷卻後形成所需形狀的方法。 這是最常用的塑料成型方法，適用於製造各種複雜的塑料制品，如零件、容器、玩具等。	
<b>優點：</b> 可以製造高精度、高質量的複雜零件。 生產效率高，適用於大批量生產。 材料種類廣泛，適用於多種塑料。	<b>缺點：</b> 初始設備和模具成本較高。 需要較長的準備和調試時間。 不適用於製造超大型或超長的物品。
<b>塑膠吹出法 (Blow Molding)</b> 塑膠吹出法是將熔融的塑料放入膨脹的空氣泡囊中，並將其擠壓成模具的形狀的方法。 這種方法適用於製造中空容器，如瓶子、容器、桶等。	
<b>優點：</b> 生產效率高，適用於大批量生產。 可以製造輕巧且中空的複雜形狀產品。	<b>缺點：</b> 受限於模具形狀，難製造複雜非中空形狀。 對原料要求較高，需要良好的熱穩定性。

我們認為「塑膠押出法」來作為這個研究的塑膠塑形法是可行的，因為這是唯一不需要模具就可以進行生產的方法，並且有著生產效率高，適合生產各種長度、成本相對較低，設備相對簡單的特點，但從文獻中我們發現，這個方法需要將寶特瓶粉碎後使用螺旋管送料的方式將高溫塑膠擠出，機器過於複雜且製作不易，且體積還十分大台，最終選定將寶特瓶先切割之後再加工的方式來進行實驗，因為這種方法有著結構簡單、易懂、容易推廣的設計思路。

(二)、初始發想：在確認研究方向後，我們花費了一段時間進行文獻蒐集，尋找了相關資料和參考影片。我們主要的目的是了解塑膠瓶的成分以及它們的加工成型方式，以及如何將寶特瓶再生為可以用於 3D 列印的線材。我們收集了各種相關資料，並詳細研究了每個可行的方法。在初步了解了可運用在我們設計的機台上的方法後，我們決定發揮研究創造的精神，希望能夠製造出一台簡單、便宜又有效的機器來再製寶特瓶。

(三)、模組化設計：我們計劃透過分解機台成數個模組的方式進行設計和實驗，以驗證我們的設計是否可行，然後將各模組進行整合，建構出一個完整的機台。我們的機台包含以下幾個模組：「寶特瓶切割模組」、「PET 條送料模組」、「線材成型加熱模組」以及「成品拉線模組」。

(三)、模組設計要求：

#### 1. 寶特瓶切割模組：

考慮到各種不同飲料的寶特瓶外觀設計的多樣性，以及瓶身表面的凹凸造型變化，所以我們需要找出方法將這些形狀各異的寶特瓶變為規格一致的原材料。這樣做的目的是為了方便我們後續的實驗加工。

#### 2. PET 條送料模組：

由於我們在實驗的過程中發覺，需要一個裝置來協助我們整理線材，這個模組的主要功能是「整線」，以及降低我們割傷手的風險。

### 3. 線材成型加熱模組：

此模組將我們初步處理後的 PET 材料進行加熱處理並且能夠製作出成品線材，所以這個模組的設計要求必須達到零件「耐高溫」以及可以「控制溫度高低」。

### 4. 成品拉線模組：

這個模組的主要功能是取代人力，將經過加熱模組出來後的線材蒐集起來，所以這個模組需要使用到馬達還有空線軸，我們需要設計一些結構將他們組裝在一起。

## 實驗一：寶特瓶的塑形

(一)、實驗討論：我們發現寶特瓶的外觀多樣，具有各種不同的形狀和紋路，這可能會對瓶身的切割造成困難。因此，我們希望找到一種方法來消除寶特瓶上的紋路。在網上搜集了資料後，我們發現可以通過加熱寶特瓶使其瓶身變軟，進而使紋路消失。為了了解在加熱塑形過程中是否需要在瓶中加入水，以及水對寶特瓶瓶身加熱塑形的影響，我們一開始設計了以下兩種實驗：一種是在加熱塑形過程中加水，另一種則不加水。基於以上實驗結果，我們綜合考慮了多個因素後作出了新的嘗試：在寶特瓶中注入 1bar 的壓力空氣和少量水分，然後將寶特瓶放在瓦斯爐上進行加熱。

(二)、實驗步驟：

1. 寶特瓶：選擇所需的寶特瓶，清洗瓶子以去除污垢或殘留物。
2. 加入 50mL 的水進寶特瓶內。
3. 加熱：使用瓦斯爐將寶特瓶加熱，在瓶子表面移動加熱來讓瓶子均勻加熱。
4. 觀察瓶子的狀態：當瓶子開始變形且表面紋路消失時，可以停止加熱。
5. 等待瓶身變化完整後熄火。
6. 觀察、記錄、分析實驗結果。

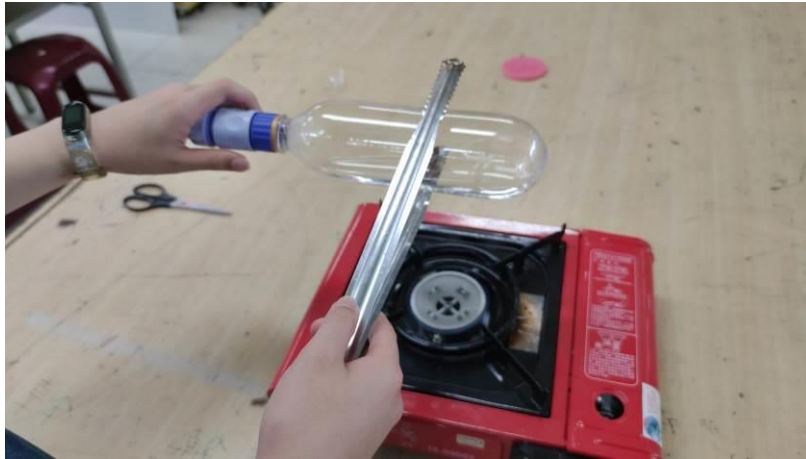


圖 3-1-1 使用瓦斯爐將寶特瓶加熱

## 實驗二：製作寶特瓶切割模組

(一)、實驗討論：我們進行了一項實驗，旨在找出一種將寶特瓶切割成較小尺寸的方法，以方便後續的加熱處理。在搜尋相關資料時，我們發現有兩種處理方式：「切成小碎塊」和「切成條狀」。經過討論後，我們認為以「切成條狀」的方式來處理會更適合我們現有的資源，也較容易成功。因此，我們開始製作一個寶特瓶切割模組，並需要將寶特瓶切割成條狀，我們稱之為 PET 條。

(二)、實驗步驟：

1. 平台選擇：在木板上預先使用電鑽鑽出兩個小孔。
2. 安裝刀具：放入螺帽、刀片，用墊片夾緊並鎖緊螺絲。
3. 進行切割實驗：將寶特瓶放入切割模組中進行切割實驗。
4. 分析和討論結果：根據實驗結果進行分析和討論，評估 PET 條切割方式的優缺點，並提出改進方案。





圖 3-2-1 螺帽、螺絲及刀片結構示意圖

### 實驗三：改良-寶特瓶切割模組

(一)、實驗討論：在初版的寶特瓶切割器上，我們發現了一些缺點，包括寶特瓶切割出的 PET 條寬度不夠一致、寬度粗細相差甚大，且很容易切割到一半時將 PET 條拉斷等問題。此外，我們也發現用手固定待切割的寶特瓶很不方便且有點危險，有可能會被割到手。

(二)、實驗步驟：

我們推測可能是因為切割器的設計不夠完善，或者是使用方法不當所致，於是提出了以下改進方案：

1. 改進切割器的設計：我們計劃增加寶特瓶固定裝置、調整刀具角度等。
2. 調整刀具角度：嘗試調整刀片的角度，尋找較為穩定的切割設定。
3. 改進操作方法：我們計劃改善操作方法，將人力下壓寶特瓶之方式替換掉，改為以重物安裝在寶特瓶上的方法，以確保有穩定的下壓力。同時，提供更為安全的固定方式，避免用手固定待切割的寶特瓶，從而提高工作效率和安全性。



圖 3-3-1 不同刀具角度的安裝方法及增加寶特瓶固定器

#### 實驗四：製作線材成型加熱模組

(一)、實驗討論：我們正在探討如何將寶特瓶條轉換成一般常見的 3D 印表機線材。為此，我們想到使用類似於 3D 列印機的技术，將寶特瓶條加熱後，透過噴嘴融化並拉出直徑約 1.75 毫米的線材，以方便後續一般正常的 3D 印表機使用。我們找到了一塊舊的 3D 印表機主機板，雖然有些許損壞，但經過測試後，我們確認它可以正常加熱、控制溫度、顯示螢幕等功能。因為有這塊主機板的幫助，我們得以快速完成模組的設計。

(二)、實驗步驟：

1. 資料查詢：我們先上網尋找這片 3D 印表機主機板的接線配置圖。

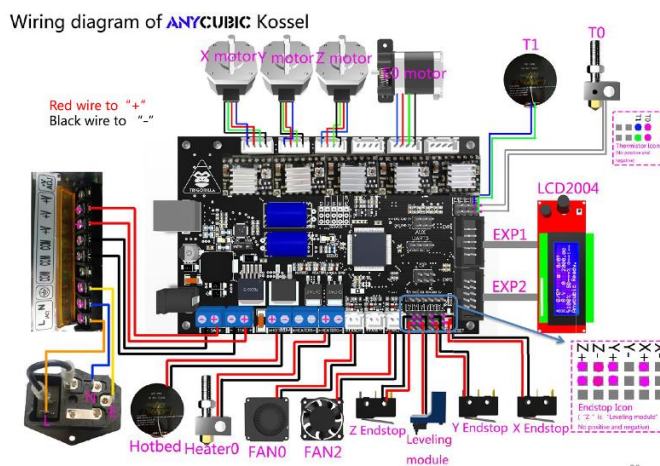


圖 3-4-1 接線配置圖

2. 檢視主板：檢視主板上損壞的部位，並清理損壞零件、檢查是否堪用。

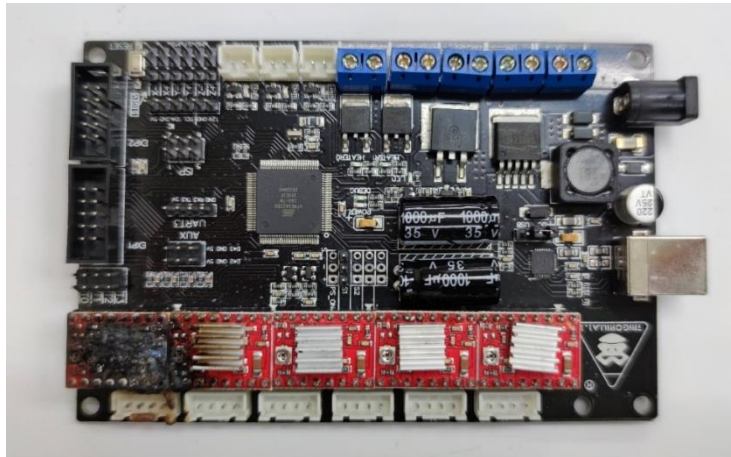


圖 3-4-2 檢視主機板上損壞的部位

3. 分析：很明顯地觀察到主板上方面部分電路以前發生過燒毀的現象，經過查閱資料，我們認為損壞的部分可能是馬達驅動的相關功能，於是我們決定將主機板上關於驅動馬達相關的零件移除，一方面可以幫我們節省買新主機板的錢，另一方面我們也能進一步減少電子廢棄物，讓我們的研究對環境更友善。
4. 尋找相關材料，安裝到主機板上方相對應接口位置。
5. 安裝：主要的項目有加熱塊、加熱控制線、溫度感測線還有顯示螢幕。
6. 檢查主機板功能：接上 12V 電源，通電進行功能測試，檢查功能是否正常。

#### 實驗五：改良-線材成型加熱模組

(一)、實驗討論：我們研發的線材成型加熱模組在實驗中取得了一些正面的結果。然而，我們也發現了一些問題。首先，PET 條無法進料且線材拉線阻力過大，導致拉線時很難拉，拉斷的風險很高。其次，加熱塊的支架 L 型鐵材質不夠堅固，在施力較大時容易彎曲變形，且加熱塊本身也存在拉扯變形的問題，進一步檢查後發現螺絲已經彎曲了。最後，我們還發現溫度會輕微上下浮動。

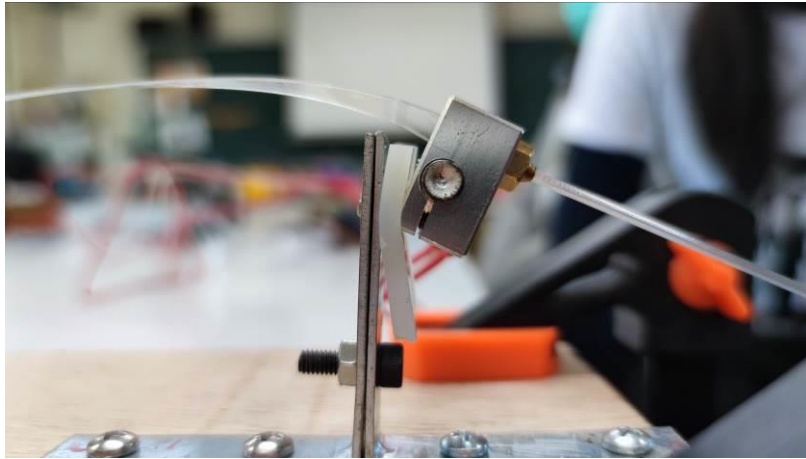


圖 3-5-1 支架及加熱塊本身拉扯變形

(二)、實驗步驟：

1. 線材拉線阻力過大的改進方式：

- 調整寶特瓶切割器，使 PET 條的寬度減半為 7mm 左右，使拉線較為順利。
- 使用電鑽將加熱頭以及噴嘴的入料口擴大成三角形，讓 PET 條進入噴嘴時不會卡在加熱塊內部。

2. 支架及加熱塊本身拉扯變形的改進方式：

- 使用兩片 L 型鐵進行加固，並在中間用一根螺絲貫穿鎖緊兩片 L 型鐵，以增強支架的強度。
- 在加熱塊的歪斜位置增加兩片螺絲墊片，以分散拉線時給加熱頭的壓力。

3. 減小溫度浮動的變化量：

- 我們在 L 型鐵及加熱塊中間夾了一片矽膠，減緩熱的接觸傳播。



圖 3-5-2 加熱頭加工方式

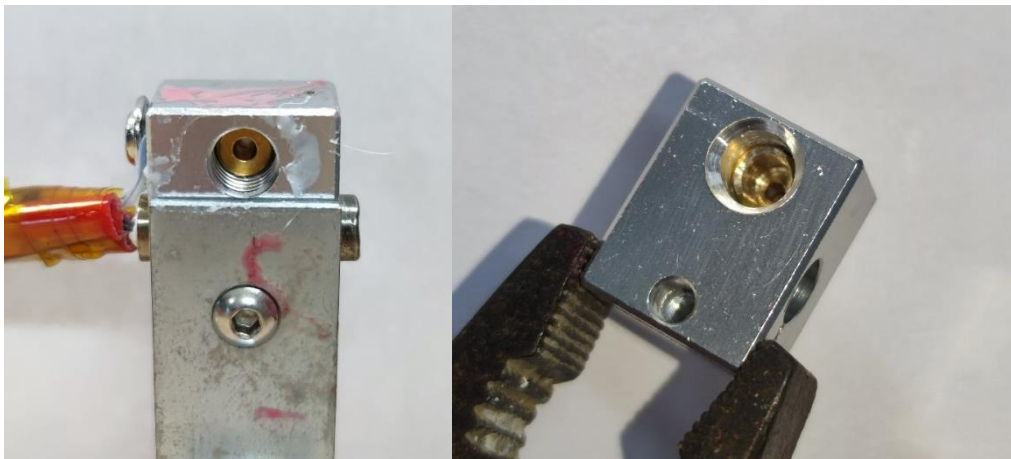


圖 3-5-3 加熱頭加熱前後對比



圖 3-5-4 加熱頭加熱前後的零件差異對比



圖 3-5-5 加熱頭新增螺絲墊片及矽膠墊片分布

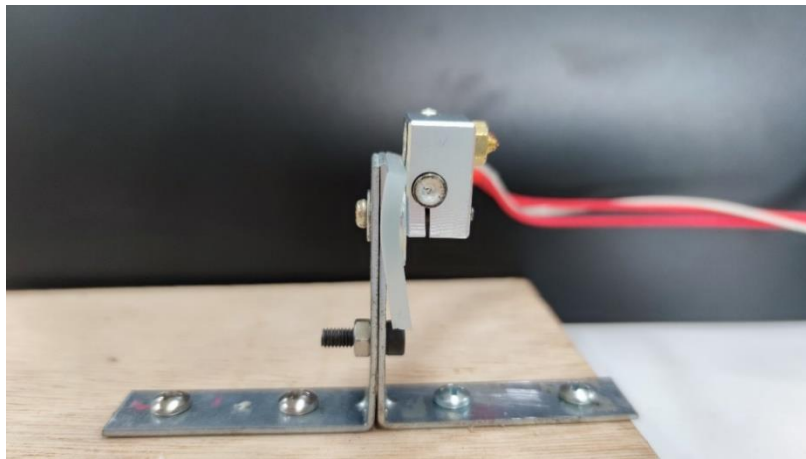


圖 3-5-6 使用兩片 L 型鐵進行加固修正後的加熱模組

### 實驗六：產出線材的成形實驗

(一)、實驗討論：在生產線材的過程中，品質是一個非常關鍵的問題。為了提高產品的品質，我們需要了解在哪些條件下可以產出品質較佳的線材。因此，我們進行了一系列的測試，試圖找到最佳的生產條件。

我們的測試是在 PET 條加熱時進行的。我們測試了一些不同的條件，包括不同的加熱頭溫度、不同的線條寬度以及不同的拉線速度。通過對測試數據的分析，我們得出了一些結論。

(二)、實驗步驟：

1. 準備 PET 條和相關材料：在進行線材生產前，需要先準備 PET 條和其他相關材料，如加熱頭、拉線用鉗子等。
2. 設置實驗條件：根據實驗需要，設置不同的加熱頭溫度、線條寬度和拉線速度等實驗條件。
3. 加熱 PET 條：將 PET 條放入加熱頭中，並根據實驗設計設定相應的加熱頭溫度，將 PET 條加熱至一定溫度。
4. 拉伸 PET 條：將加熱後的 PET 條通過拉線用鉗子，將 PET 條拉伸成線材。
5. 檢視線材品質：檢視生產出來的線材品質。
6. 結論：根據數據分析結果，得出最佳的生產條件，並進行相關的討論和總結。

### 實驗七：PET 條送料模組

(一)、實驗討論：為了改善 PET 條送料的效率，我們製作了一個 PET 條送料模組，由兩個部件組成，分別是「PET 條送料器」和「PET 條整線器」。

在設計 PET 條送料器支架時，我們使用了 3D 列印技術並透過 TINKERCAD 進行 3D 建模設計。此外，我們還採用了空的 PLA 線軸將切割下來的 PET 條纏繞在上面，解決了手工整線的問題，同時也回收再利用了空線軸，減少了廢棄物的製造量，並在 PET 條送料器支架和加熱塊模組之間，製作了一個 PET 條整線器，能夠使 PET 條在進入加熱塊之前更平順。

(二)、實驗步驟：

1. 設計 PET 條送料器支架：測量空線卷的外觀尺寸、使用 3D 建模軟體 TINKERCAD 設計 PET 條送料器支架，依照 PET 條大小及形狀設計支架的形狀與尺寸。
2. 3D 列印 PET 條送料器支架：將設計好的 PET 條送料器支架透過 3D 列印製作。
3. 製作 PET 條整線器：根據 PET 條的尺寸與形狀，製作一個 PET 條整線器，用來將 PET 條在進入加熱塊之前整線。
4. 安裝及測試：在安裝完所有部件後，進行 PET 條送料模組的測試，檢查 PET 條是否能夠正常送料且 PET 條整線器是否能夠正確整線。

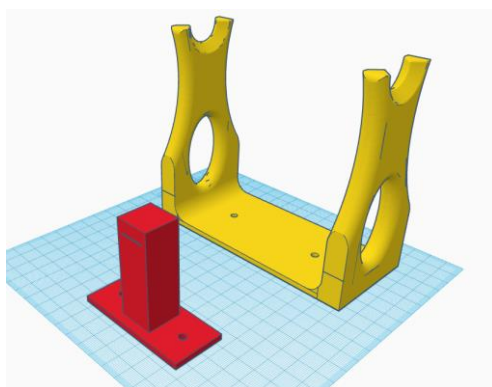


圖 3-7-1 以 TINKERCAD 進行 3D 建模設計「PET 條整線器」和「PET 條送料器」

### 實驗八：成品拉線模組設計與製作

(一)、實驗討論：我們發現使用人力將完成品從加熱模組拉出來十分費力，且有安全疑慮(重心不穩、高溫燙傷、割手)，因此決定設計一個機器來代替這項工作。我們採用 3D 列印的方法，以 TINKERCAD 進行 3D 建模的設計，選擇使用過的空 PLA 線軸來當作零件減少垃圾量。接著在列印完成的部件上加裝馬達、空線軸等零件，進行組裝、測試，並記錄測試結果。

(二)、實驗步驟：

1. 討論拉線模組的設計要求：馬達需要有足夠力道可以拉線、結構要穩固。
2. 使用 TINKERCAD 3D 建模軟體設計和測試，並優化設計以符合設計要求和限制。
3. 在列印完成的部件上加裝馬達、空線軸等零件，並進行組裝。
4. 測試線材的拉出速度和質量，以及檢查模組的安全性和操作性。
5. 記錄測試結果和相關資料，以供後續參考和改進。

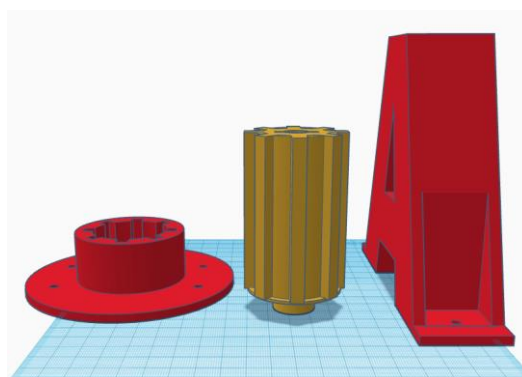


圖 3-8-1 以 TINKERCAD 進行 3D 建模設計「空線軸配套」、「馬達線軸連接器」和「馬達安裝座」



## 實驗九：模組平台設計與製作

(一)、實驗討論：基於以上的實驗結果和改進過程，我們開始思考討論以下事物：

1. **是否還有進一步的改進空間**：例如可以考慮使用更強大的馬達或調整電路板以達到更好的效果。
2. **安全性是否足夠**：我們需要評估模組的安全性，確保操作者在使用過程中不會受到任何傷害。
3. **設計是否符合環保原則**：我們需要思考如何減少垃圾產生和減少對環境的影響。
4. **如何進一步提高效率**：我們需要探討如何更快地拉出成品線材，並且減少任何可能影響效率的因素。

(二)、實驗步驟：

1. **設計和製作平台**：設計一個適合整合所有模組的平台，並考慮到平台的穩固性、耐用性、易於操作等因素。平台材料選擇使用木板，我們需要在設計階段就考慮好整個平台的尺寸和材質。
2. **測試各個模組的適用性**：將現有的模組整合到平台上，測試它們的適用性和相互配合的能力。
3. **進行測試和調整**：整合好所有模組後，需要進行詳細的測試和調整，以保證它們的正確運行。需要測試各個模組的穩定性、耐用性、效率等等，並進行必要的調整，例如增加零件、加強支撐結構等等。
4. **優化和改進**：在測試和實驗的過程中，檢查是否有需要改進的地方，以提高機器的效率和性能。例如：可以優化模組的結構、改進控制系統等等，以提高整個機器的運行效率和質量。

## 實驗十：成品線材上機列印

(一)、實驗討論：我們最終將製作出來的成品線材拿到 3D 印表機設備上進行列印，目的是驗證本研究是否真的能夠將廢舊寶特瓶變為可用的新物品。

## 肆、研究結果

### 實驗一：寶特瓶的塑形

透過加熱塑形法，我們成功改善了寶特瓶的外觀平整度。在我們的實驗中，我們對全家茶飲和多喝水礦泉水的寶特瓶進行了塑形。結果顯示，兩者的凹槽深度分別減少了 0.88 毫米和 0.7 毫米。此外，我們也發現在加熱膨脹塑形的過程中，裝水的寶特瓶需要較長的時間。然而，不論是裝水或不裝水的寶特瓶，在塑形後的瓶身外型均勻，平均凹槽深度都有所減少。具體而言，裝水的寶特瓶平均減少了 0.42 毫米的凹槽深度，而不裝水的寶特瓶則平均減少了 1.04 毫米的凹槽深度。兩者之間的平均差異為 0.48 毫米，最終效果差異不大。在時間花費方面，不裝水的寶特瓶所需時間較短。然而，值得注意的是，起初加熱時的瓶身形狀可能會稍有扭曲，難以控制外型，但隨著時間的推移，瓶身逐漸恢復平滑。相比之下，裝水的寶特瓶形狀變化較穩定，但需要更長的時間進行塑形。

根據以上實驗結果，我們決定先在寶特瓶中打入 1Bar 壓力的空氣和少許的水，再將寶特瓶移至瓦斯爐上加熱，我們發現這樣的效果非常不錯，可以大幅減少塑形時間還可以維持很好的寶特瓶形狀。

表 4-1-1 不同特瓶塑形前後變化

瓶種	全家茶飲寶特瓶		多喝水礦泉水瓶	
	塑形前 凹槽深度 mm	塑形後 凹槽深度 mm	塑形前 凹槽深度 mm	塑形後 凹槽深度 mm
第一次測試	1.1	0.0	1.2	0.7
第二次測試	1.0	0.0	1.2	0.6
第三次測試	1.2	0.2	1.4	0.4
第四次測試	0.9	0.4	1.5	0.6
第五次測試	0.9	0.1	1.2	0.7
平均	1.02	0.14	1.3	0.6



圖 4-1-1 全家茶飲和多喝水礦泉水的寶特瓶塑形-前後差異照

表 4-2-2 寶特瓶內有無加水對於寶特瓶加熱塑形的影響

實驗處理	瓶內加水		瓶內不加水	
	塑形前 凹槽深度 mm	塑形後 凹槽深度 mm	塑形前 凹槽深度 mm	塑形後 凹槽深度 mm
第一次測試	1.0	0.5	1.1	0.0
第二次測試	0.9	0.6	1.1	0.0
第三次測試	0.9	0.4	1.0	0.1
第四次測試	0.9	0.7	1.1	0.0
第五次測試	1.0	0.4	1.1	0.1
平均	<b>0.94</b>	<b>0.52</b>	<b>1.08</b>	<b>0.04</b>

## 實驗二：製作寶特瓶切割模組

我們成功完成此模組，能夠將整個寶特瓶切割成寬度約 1.5 公分的 PET 條。在實驗中，我們發現切割 PET 條的寬度不均勻以及斷裂的問題，進一步的觀察發現，這是由於切割寶特瓶時前方人員未能平行拉線的角度拉扯 PET 條，以及未施加向下壓力於寶特瓶，導致寶特瓶在切割過程中彈起而 PET 條斷裂。因此，我們計劃改良裝置使用方式，確保 PET 條能夠平均切割而不斷裂。



圖 4-2-1 寶特瓶切割模組結構俯視圖

### 實驗三：改良-寶特瓶切割模組

在固定好寶特瓶後，我們進一步探究了切割穩定性的因素。除了刀片的安裝角度對於寶特瓶的切割效果有著極為重要的影響外，我們也發現對寶特瓶施加向下的壓力可以帶來更好的效果。經過實驗比較，我們發現刀片的安裝角度必須垂直於瓶身的切線，於是我們使用 3D 列印技術設計出一個切割座，並且將刀片藏在裡面，這樣可以顯著提高 PET 條在切割時的穩定性，減少 PET 條斷裂的風險，並且能夠讓 PET 條的寬度更加平均一致。這一結果不僅可以讓產品的質量得到進一步提升，同時也為後續的切割工作提供了更加穩定可靠的基礎。

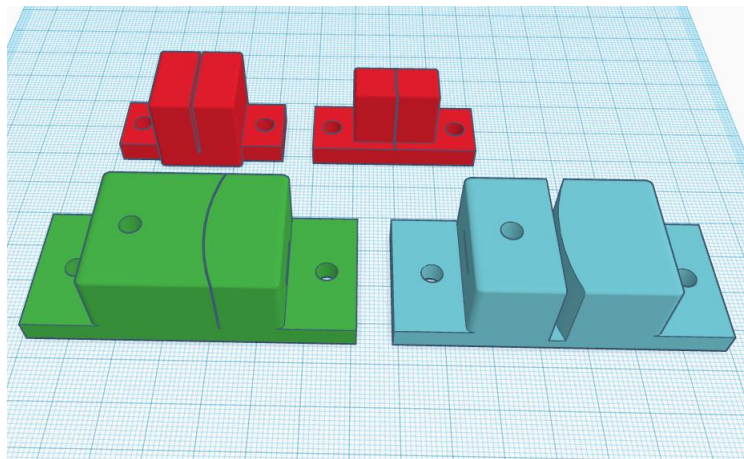


圖 4-3-1 設計出來不同款式的新寶特瓶切割器

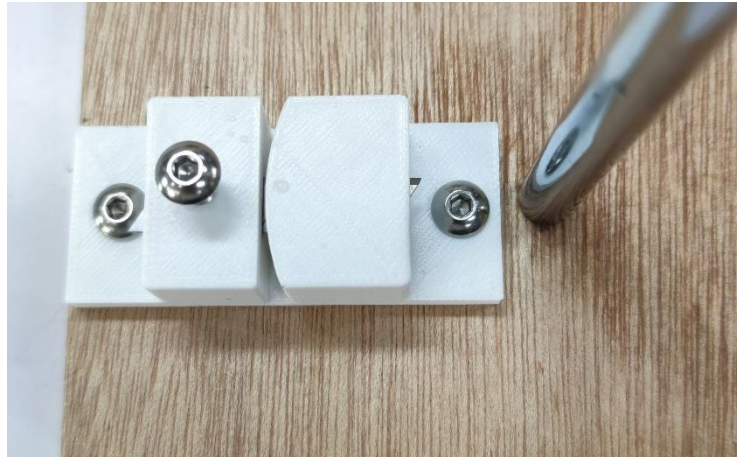


圖 4-3-2 重新設計的寶特瓶切割器

#### 實驗四：製作線材成型加熱模組

我們進行了一個線材成型加熱模組的實驗，使用了一塊舊的 3D 印表機主機板作為控制系統。儘管主機板有些許損壞，但經過測試後，我們確認它可以正常運作。

我們成功組裝出來的模組也經過了一系列的測試，結果顯示該模組能正常工作，電源的部分 12V 輸出一切正常，主機板沒有發生任何故障，加熱塊成功升溫，並到達我們所指定的目標溫度。



圖 4-4-1 製作完成的線材成型加熱模組

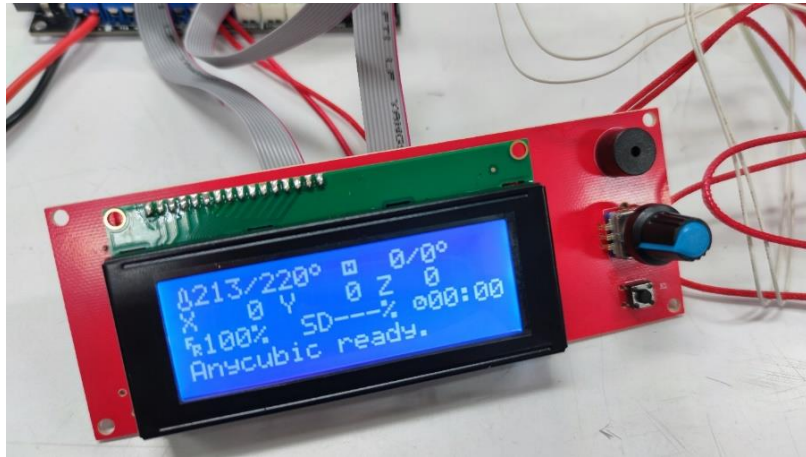


圖 4-4-2 加熱塊成功升溫到達目標溫度

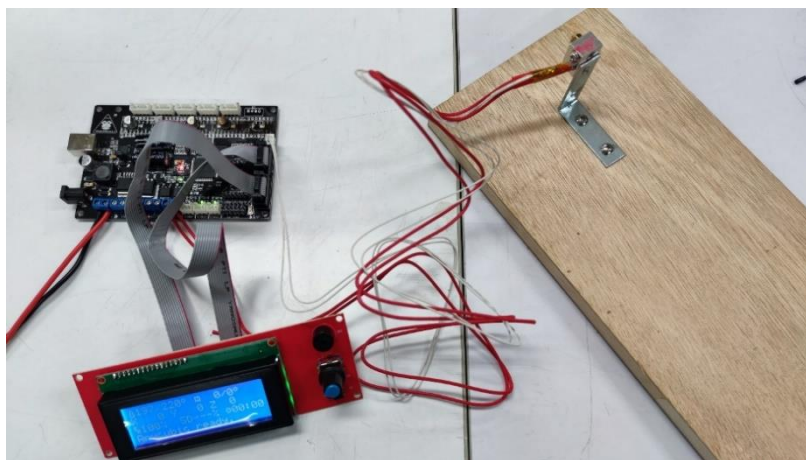


圖 4-4-3 線材成型加熱模組的全部樣貌

在實驗過程中，我們也發現了線材成型加熱模組的一些問題：

- 一、線材拉線阻力過大，使得拉出線材後很難繼續拉，阻力大可能會導致線材斷裂。
- 二、加熱塊支架（L 型鐵）變形，可能會影響產出品質，造成實驗失敗。
- 三、加熱塊本身也會拉扯變形，可能會導致機器故障或影響線材成型的準確度。
- 四、加熱塊溫度浮動，可能會影響產出品質，造成線材不良率提高。

#### 實驗五：改良-線材成型加熱模組

為了解決【實驗五】的問題，我們採取了以下改良方法：

- 一、用電鑽在加熱模組上進行擴孔，分別把加熱塊及噴嘴內部的孔徑擴大，減少線材拉線阻力過大的問題。
- 二、將原本支撐用的 L 型角鐵，由一塊增加成兩塊，並且以螺絲+墊片的方式鎖在一起

用以增加結構強度，減少加熱塊支架變形的問題。

三、在加熱塊和 L 型角鐵接觸的部位加上一塊矽膠墊片，可以承受高溫且減少熱的傳導作用，減少加熱塊本身拉扯變形的問題。

四、透過增加加熱塊和 L 型鐵之間的距離，減少熱能的分散，改善加熱塊溫度浮動的問題。

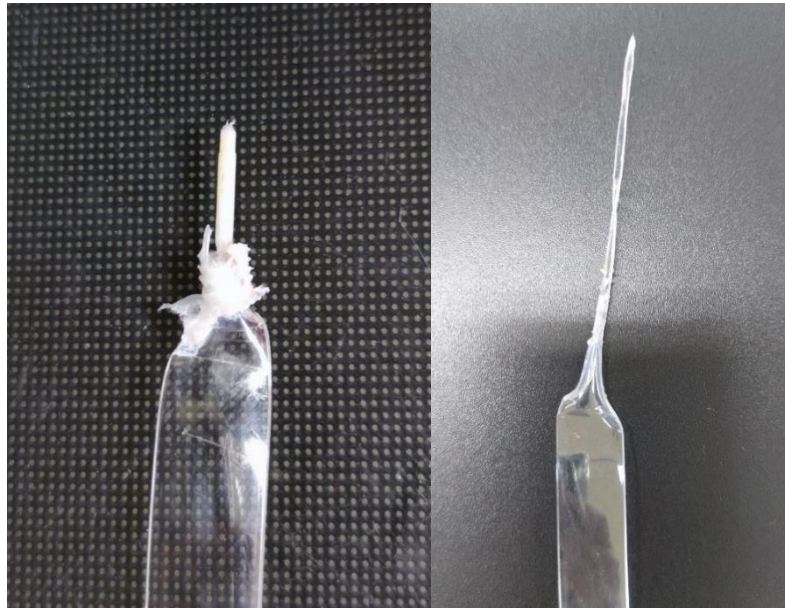


圖 4-5-1 擴孔前後對比，PET 條融化的形狀已經變成平滑三角形，降低了拉線阻力



圖 4-5-2 擴孔後的結果顯示，PET 條融化的形狀已經變成平滑三角形



圖 4-5-3 改良前加熱塊本身也會拉扯變形

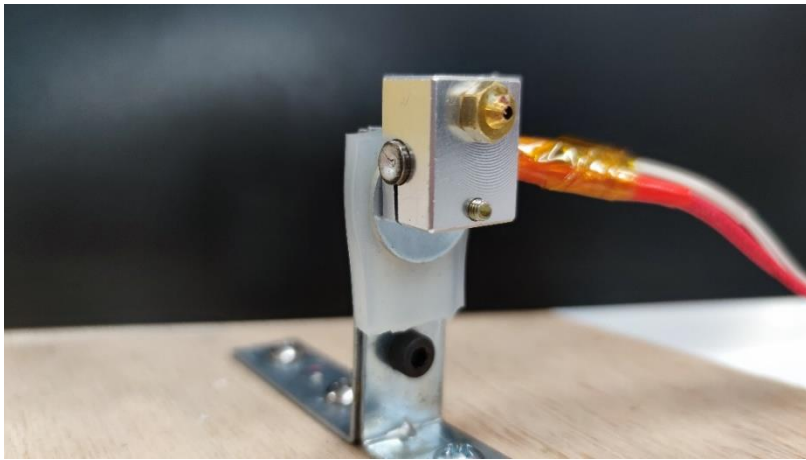


圖 4-5-4 改造後的加熱模組溫度穩定，且變形的問題也解決了

#### 實驗六：產出線材的成形實驗

我們在這次實驗時完整拉完了一整個 PET 條，產出了 316 公分的成品線材。

根據測試結果，PET 條寬度不均會導致成品線材品質不穩定和表面粗糙。因此，在製作過程中**需要控制 PET 條寬度的均勻性**。

當線條寬度相對均勻且拉線速度較慢時，可以得到品質較好的成品線材。這意味著，在製作過程中**需要注意控制拉線速度**，尤其是在成品線材品質的要求較高時。

**加熱頭溫度對線材品質也有很大影響**。我們發現設置加熱頭溫度為 235 度時可以得到最為穩定的成品線材，當加熱頭溫度低於 210 度時，成品線材的品質較差，且拉線阻力很大，而當加熱頭溫度超過 250 度時，成品線材容易斷裂。因此，在製作過程中**需要控制加熱頭的溫度**，以得到最佳的線材品質。



## 實驗七：PET 條送料模組

我們成功利用 3D 列印技術和 TINKERCAD 製作了一個 PET 條送料器。這個送料器能夠有效地將 PET 條送入加熱塊，使加熱過程更為穩定和高效。另外，在 PET 條進入加熱塊之前，我們還製作了一個 PET 條整線器，以確保 PET 條能夠平順進入加熱塊，從而進一步提高了送料效率。



圖 4-7-1 「PET 條送料模組」及「PET 條整線器」特寫，黑色圓盤為空線軸

## 實驗八：成品拉線模組設計與製作

一開始我們設計的成品拉線模組發現力量不足，使用的馬達為 66 轉的 545-12V 馬達，無法拉動成品線材，因此我們決定更換更強大的馬達，經過評估後，選擇了 5 轉的 555-12V 馬達，轉速更低、轉矩更大，且安裝尺寸不變。

然而，在解決了馬達力量問題後，我們發現馬達轉速過快，導致線材易斷裂，因此我們加裝馬達控速電路板。接著，馬達線軸連接器出現裂痕，導致線軸空轉，我們決定進行改良，加厚、加長連接馬達的部位並增加一組支架支撐整個拉線模組。最終，我們成功完成初步實驗，拉出了 3 公尺多的線材。

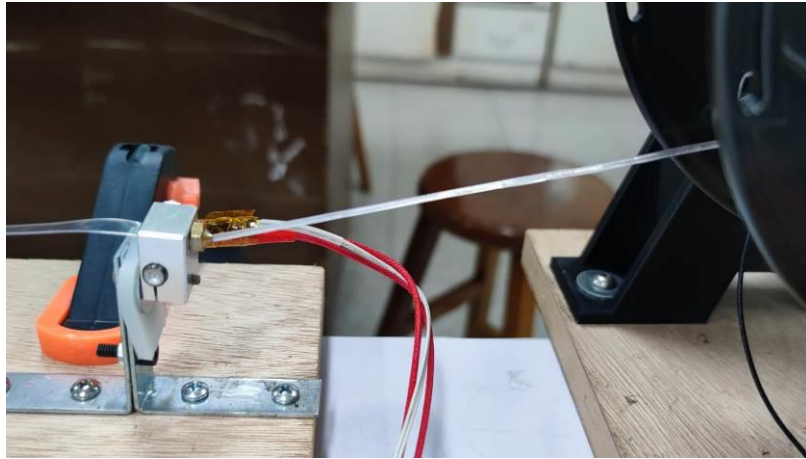


圖 4-8-1 正在拉出 PET 線的模組

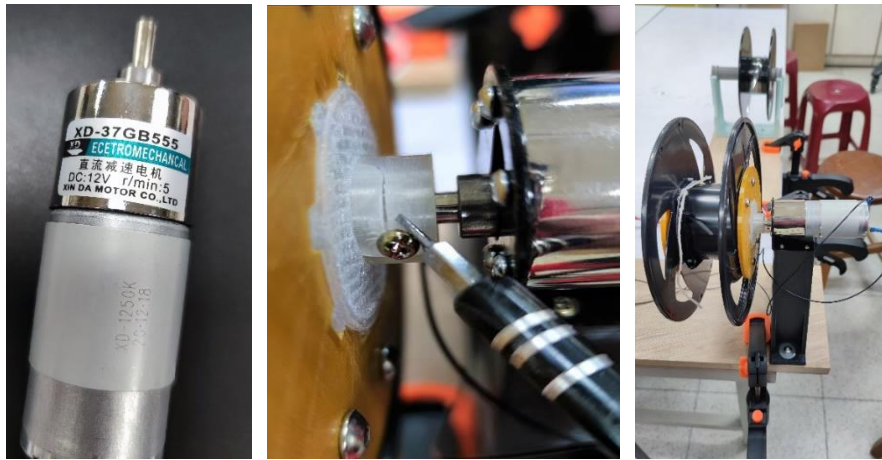


圖 4-8-2 (左) 更換馬達、(中) 馬達線軸連接器出現裂痕、(右) 模組安裝圖

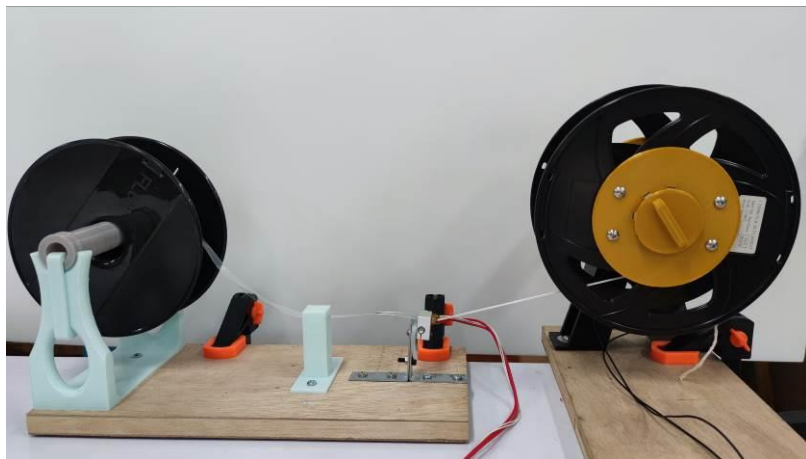


圖 4-8-3 所有模組安裝完成，正在拉線的機器

### 實驗九：模組平台設計與製作

經過測試，所有模組功能正常。成品拉線模組能夠順暢地將 PET 線拉出，並且拉出的 PET 線符合一定的質量要求；切割器模組能夠有效地將寶特瓶切成適合的 PET 條的尺寸；線材成型加熱模組能夠將 PET 條壓加工為一定尺寸的線捲。

但是，我們也在實驗中發現一些問題，例如使用汽水罐寶特瓶的話，由於寶特瓶上的殘膠不易去除，這會導致融化的塑膠卡在加熱頭裡出不來，加熱頭堵住進而讓成品線材斷裂，而且成品線材會出現黃色的顏色外觀、摸起來黏黏的，最終設備的加熱頭、馬達連接器都壞掉了，必須要維修更換。所以我們強烈建議不要使用汽水寶特瓶進行實驗。

另外，我們也在實驗中對耗電量進行測試。機台待機時消耗功率為 6W、加熱模組升溫時消耗功率為 53-55W 而達到工作溫度後開啟馬達則消耗功率為 26-30W。

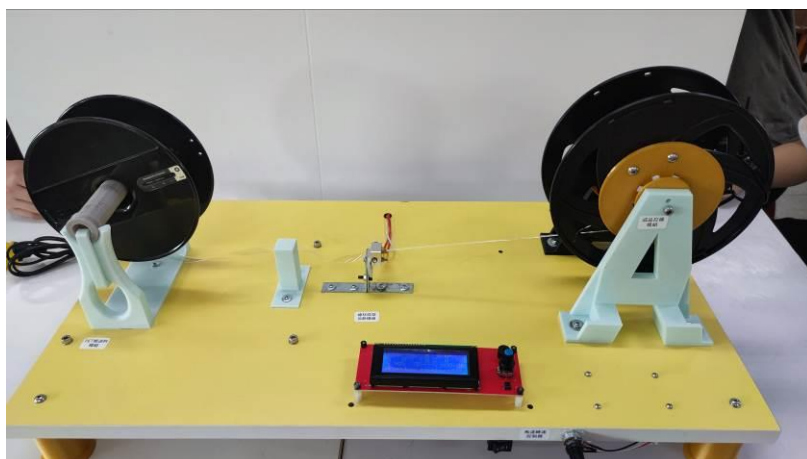


圖 4-9-1 整合完成的模組平台

#### 實驗十：成品線材上機列印

經過測試，我們列印出了一個筆筒物件，成功驗證了本研究的可行性，並找出較為適合的列印溫度，從實驗中我們發現 260 攝氏度作為列印溫度較為適合，溫度過低，則會列印失敗。且成品線材似乎有時候線材直徑不足，這樣會導致列印失敗，我們也發現可以藉由增加 PET 條的寬度來達到品質較佳的成品線材。



圖 4-10-1 本研究列印出來的成品

## 伍、討論

### 實驗一：寶特瓶的塑形

烘烤寶特瓶的目的是通過提高表面溫度來引起瓶子的變形。烘烤後，瓶子會膨脹是因為內部的空氣受熱膨脹，但由於瓶口已經密封，空氣無法逸出，因此導致瓶子膨脹變形。此外，我們發現加熱後的寶特瓶瓶身比加熱前更堅硬。為了避免瓶子過度變形膨破，我們需要在烘烤過程中適時減少熱源或移動瓶身。

加水的寶特瓶在加熱過程中需要吸收更多熱量，以將水加熱至沸點並蒸發形成蒸氣，進而增加瓶內壓力，促使塑形效果更好。因此，加熱裝水的寶特瓶所需的時間比較長。相比之下，不加水的寶特瓶由於內部沒有水分可以吸收熱量，所以寶特瓶本身的材質會更快地吸收熱量，導致軟化速度較快。此外，瓶身變形不均勻可能是因為瓶子內部缺乏水分，無法均勻吸收熱量，從而使某些區域比其他區域更快軟化，導致瓶身變形不均勻的現象。

### 實驗二：製作寶特瓶切割模組

我們計劃進行一些調整，包括「調整切割模組的設計」：將切割模組的切割刀片調整一下，也許可以改善切割寶特瓶時寬度不均勻的問題；「增加切割模組的穩定性」：增加切割模組的重量或將其固定和平穩的平台上，減少操作時的晃動，從而降低 PET 條斷裂的機率。「改進操作技巧」：在操作時，可以試著讓前方人員保持一定程度的施力穩定性，並且調整寶特瓶的位置，使其能夠穩定地施加向下的壓力，從而減少 PET 條斷裂的機率。

### 實驗三：改良-寶特瓶切割模組

實驗中，我們發現將刀片的安裝角度垂直於瓶身的切線可以顯著提高 PET 條在切割時的穩定性，減少 PET 條斷裂的風險，並且能夠讓 PET 條的寬度更加平均一致，於是我們改採用 3D 列印的方式製作切割器。這些改進措施不僅提高了 PET 條的質量和生產效率，同時也提高了工作安全性和操作便利性。

### 實驗四：製作線材成型加熱模組 & 實驗五：改良-線材成型加熱模組

我們進行了以下改良，以解決 PET 條無法進料以及線材拉線阻力過大的問題。首先，我們觀察到從加熱模組上拔出來的 PET 條為奇怪的階梯型，這會導致非常大的阻力，使 PET 條無法穿過噴嘴。因此，我們用電鑽在加熱模組上進行擴孔，分別把加熱塊及噴嘴內部的孔徑

擴大，讓加熱模組內部呈現平滑的三角形。

另外，為了增加加熱塊的結構強度，我們將原本支撐用的 L 型角鐵由一塊增加成兩塊，並以螺絲加墊片的方式鎖在一起。此外，在加熱塊和 L 型角鐵接觸的部位，我們加上一塊矽膠墊片，可以承受高溫且有效減少熱的傳導作用。這樣，我們的機器不會因為熱量散失太快而需要頻繁的高功率運作或者是掉溫度而實驗失敗。

### **實驗六：產出線材的成形實驗**

首先，我們發現加熱頭溫度對線材品質的影響非常大。當加熱頭溫度較高時，線材的品質更好。這是因為在高溫下，PET 條可以更容易地被加工成線材。其次，我們發現線條寬度對線材品質也有影響。當線條寬度較窄時，線材的品質更好。最後，我們發現拉線速度對線材品質的影響也很大。當拉線速度較慢時，線材的品質更好。

綜合上述結論，我們可以得出一個最佳的生產條件，即在高溫下、窄 PET 條寬度和較慢的拉線速度下生產線材可以產生品質較佳的產品。我們的研究為生產高品質的線材提供了有用的參考，同時也為未來的研究提供了一個良好的基礎。

### **實驗七：PET 條送料模組**

我們發現這個 PET 條送料模組的使用效果非常良好，PET 條能夠順利進入加熱塊，並且能夠穩定地產生高品質的線材。這將對我們的研究和生產帶來極大的幫助。

### **實驗八：成品拉線模組設計與製作**

更換了更強大的 555-12V 馬達，並加裝了馬達控速電路板，以解決了馬達的問題後。我們又進行了改良，加厚、加長連接馬達的部位並增加一組支架支撐整個拉線模組。最終，我們成功完成初步實驗，拉出了 3 公尺多的線材。

### **實驗九：模組平台設計與製作**

從實驗中我們發現 PET 條原材料的乾淨程度會嚴重影響成品線材的產出結果，選擇不佳的寶特瓶原材料會導致製作出來的成品線材品質不佳，甚至會導致平台本身得損壞。且我們發現平台的最大耗電量出現在加熱模組升溫時，而開始工作時的耗電量則會降低。

### **實驗十：成品線材上機列印**

列印溫度需要比一般市售材料還要高出許多，且成品線材的品質對列印成果會產生巨大影響，我們會繼續測試和實驗，檢查是否有需要及時進行優化和改進，以提高效率和性能。

## 陸、結論

- 一、基於之前的實驗結果，我們綜合考慮了多個因素後作出了新的嘗試。我們決定在寶特瓶中注入 **1bar** 的壓力空氣和少量水分，然後將寶特瓶放在瓦斯爐上進行加熱。這樣的方法效果非常出色，能夠顯著減少塑型所需的時間，同時仍能維持寶特瓶的形狀。
- 二、我們發現固定寶特瓶和刀片安裝角度都是影響切割質量的關鍵因素。通過改進固定方式和調整刀片安裝角度，切割出的 **PET** 條寬度更加一致，同時也減少了拉斷的風險。
- 三、**3D** 列印版的寶特瓶切割器底座需要保持高度一致，才能夠正常切割。
- 四、線材成型加熱模組能夠保持加熱塊的恆溫，從而實現精準的溫度控制。這一結果表明，我們的線材成型加熱模組設計是可行的，並且可以在實際應用中發揮良好的效果。
- 五、當 **PET** 條寬度較為平均且拉線速度較慢時，產出的成品線材品質較佳。
- 六、加熱頭溫度對線材品質有影響。在本實驗中，攝氏 **235** 度時產出的線材最為穩定。通過使用 **3D** 列印技術製作我們解決了手工拉 **PET** 條的問題，提高了效率，同時也考慮了環保因素。減少廢棄物的製造量，達到節約成本、保護環境的目的。
- 七、寶特瓶原料的乾淨程度會嚴重影響成品線材的產出，我們不推薦使用汽水寶特瓶。
- 八、平台在加熱模組升溫時最為耗電約為 **53-55W**，正常工作時的耗電量降為 **23-26W**。
- 九、成品線材上機列印時，設定溫度為攝氏 **260** 度時為較佳的列印溫度，這時候能夠成功列印出一個新的 **PET** 材質物件。
- 十、成品線材的線徑不好控制，過細的線徑會導致成品線材上機列印時，列印失敗。
- 十一、以回收寶特瓶製成市售 **3D** 列印機所需的線材的確是可行的方法。

## 柒、參考文獻資料

Z3DFilament 尼龍線材推廣中心。(2018)。30 種 3D 列印線材指南與比較。

<https://z3dfilament.blogspot.com/2018/01/30-FDM-Filament12.html?m=1>

BNEXT。(2015, July 14)。用寶特瓶當作原料的環保 3D 列印筆。

Renegade.<https://www.bnext.com.tw/article/40750/bottles-material-environmental-protection-3d-printing-pen-renegade>

世界材料網。(2021, 9)。可將寶特瓶轉換製作成 3D 列印用長纖維之 DIY 機器。

<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=47335>

tomy\_cn。(2022, 12)。自作ペットボトルフィラメント製造機「フィラメント巻い太郎」の作り方。<https://note.com/fisherkiijima/n/nf994eaf13e60>

tomy\_cn。(2022, 12)。ペットボトルから3Dプリンタ用フィラメントを作る。

[https://www.youtube.com/watch?v=3lzHYQLGeyQ&ab\\_channel=Tommy](https://www.youtube.com/watch?v=3lzHYQLGeyQ&ab_channel=Tommy)

3DMart Ltd。(20219, 10)。【3D 列印應用】3D 列印廢水瓶，回收塑料變禮品！。

<https://3dmart.com.tw/en/news/klm-airlines-recycles-bottles-to-3d-printed-tools>

SET News Channel。(2014, 02)。邊騎邊印！3D 行動列印車 垃圾也能變商品。

<https://www.setn.com/news.aspx?newsid=14295>

Plastic 塑膠酷知識。(2020, 03)。塑膠射出・押出・吹出 有何不同？。

[https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=69JleW-GfOc&ab\\_channel=Plastic%E5%A1%91%E8%86%A0%E9%85%B7%E7%9F%A5%E8%AD%98](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=69JleW-GfOc&ab_channel=Plastic%E5%A1%91%E8%86%A0%E9%85%B7%E7%9F%A5%E8%AD%98)

## 【評語】 082905

本作品以寶特瓶製成 PET 條再經過加熱形成線材、設計改良送料模組、拉線模組，具備實驗精神並顯示良好的解決問題能力。

1. 美中不足的是架構的概念與參考的 youtube 相似，弱化了原創性。建議能強化說明與其他人的設計，甚至商業機台的差異與本作品的優勢。
2. 建議能思考如何能在多個寶特瓶間，連續輸入。
3. 建議考慮如何控制送料速度與力量，或是最終拉線的速度與力量。若只使用空 PLA 線軸收集拉扯，隨著收集量增加、直徑增加，相同轉速下的速度與拉力都會增加。或許可以參考錄音機控制錄音帶的方式。
4. 除了 PET 材質作為回收再利用外，可考慮其它塑膠材質是否也能作為列印原料，成為更有效的循環經濟。
5. 建議比較本研究與市售 PET 線材的列印品質，以增加本研究在回收及輸出的優勢，兼顧環保與品質。



# 作品海報

「三寶」的重生～

寶特瓶變身 3D列印線材之研究

# 研究摘要

本研究探討回收塑膠寶特瓶製成PET線材之可行性。我們設計數個不同功能之模組並使用3D列印技術進行優化，使過程更為穩定及高效。為了得到品質更佳之成品線材，需在生產過程中控制各種變因，以確保成品線材品質。此外，我們製作出一台全功能之機器。

最終，本研究成功將使用過的寶特瓶變成PET線捲。我們將繼續優化機器之設計，增加自動化程度，並探索更加環保的製作方式。

## 研究動機

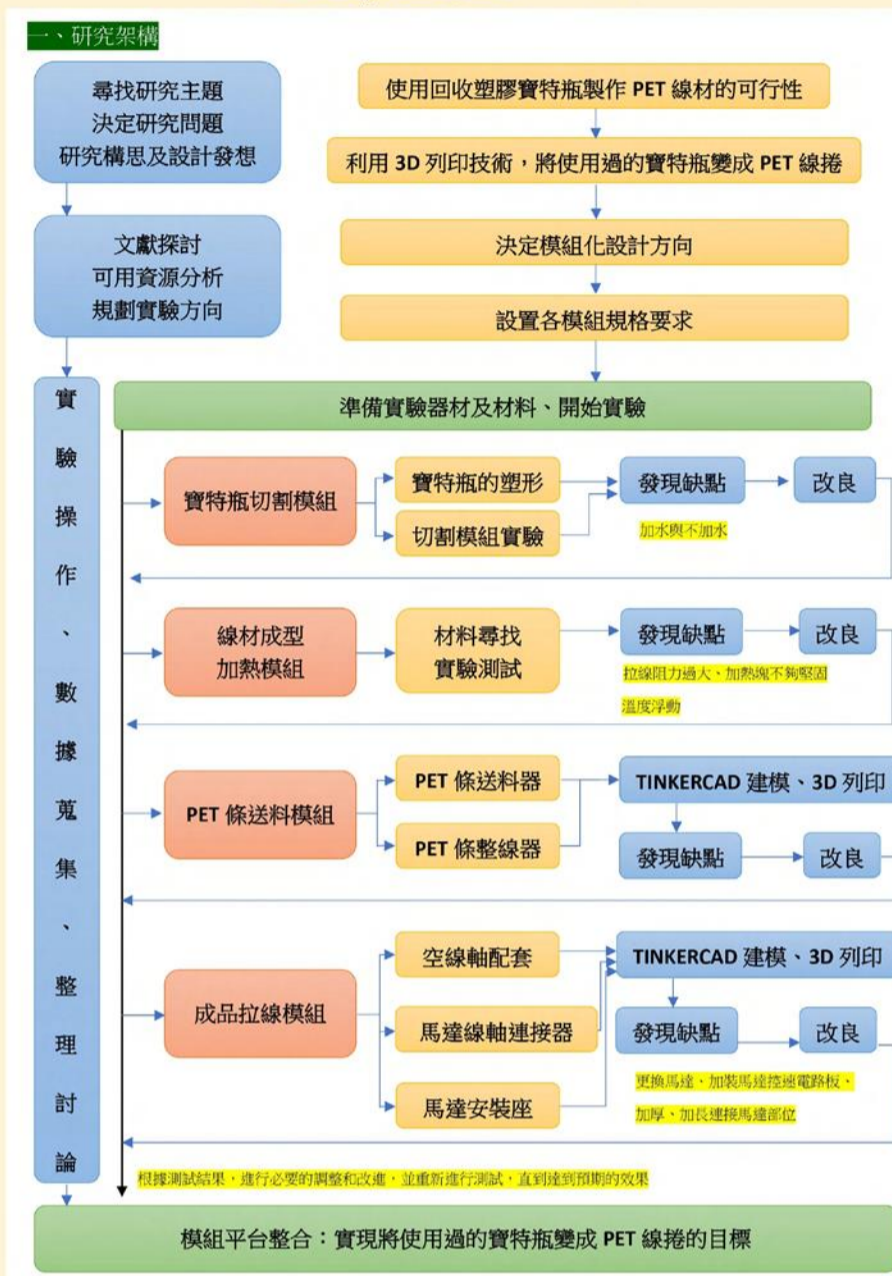
我們的研究動機源自參觀垃圾焚化廠的觀察和反思。我們意識到人們生活中所產生的資源浪費和對環境的傷害。隨著我們學習到3D列印的原理，我們開始考慮，利用3D列印技術，將使用過的寶特瓶變成PET線捲，以減少垃圾之產生，並提高資源的再利用率。

我們希望不僅能提升人們對環境問題的關注，同時體現了我們對科技和技術的熱情，並轉化為實用的解決方案。

## 研究目的

1. 尋找省錢、環保且實用的3D列印材料
2. 利用3D列印技術將使用過的寶特瓶變成PET線捲
3. 測試在不同條件下，得到品質更佳的成品線材
4. 減少垃圾的產生，並提高資源的再利用率

## 研究方法



## 模組化設計

- **寶特瓶切割模組：**  
考慮到各種瓶身凹凸變化，所以我們需將這些寶特瓶變為規格一致的原材料，方便我們後續的實驗加工。
- **線材成型加熱模組：**  
此模組將我們處理後的PET材料進行加熱並能製出成品線材，所以設計要求須達到「耐高溫」、「控制溫度高低」。
- **PET條送料模組：**  
由於我們在實驗的過程中發覺，需要一個裝置來協助我們整理線材，降低割傷手的風險。
- **成品拉線模組：**  
這個模組的功能是把經過加熱模組出來後的線材蒐集起來，所以需要設計一些結構將他們組裝在一起。

## 實驗一：寶特瓶的塑形

我們發現寶特瓶外觀多樣，可能會對切割造成困難。因此，我們搜集資料後發現可用加熱的方法讓瓶身變軟，使紋路消失。

瓶種	全家茶飲寶特瓶		多喝水礦泉水瓶	
	塑形前 凹槽深度mm	塑形後 凹槽深度mm	塑形前 凹槽深度mm	塑形後 凹槽深度mm
第一次測試	1.1	0.0	1.2	0.7
第二次測試	1.0	0.0	1.2	0.6
第三次測試	1.2	0.2	1.4	0.4
第四次測試	0.9	0.4	1.5	0.6
第五次測試	0.9	0.1	1.2	0.7
平均	1.02	0.14	1.3	0.6



### 結果發現：

一開始的兩種實驗分別為：加熱塑形時加水而另一種則不加水我們考慮了多種因素後作出新的嘗試在瓶中注入1bar的壓力空氣及50ml的水再將寶特瓶加熱到紋路消失為止。

## 實驗二：製作寶特瓶切割模組

### 結果發現：

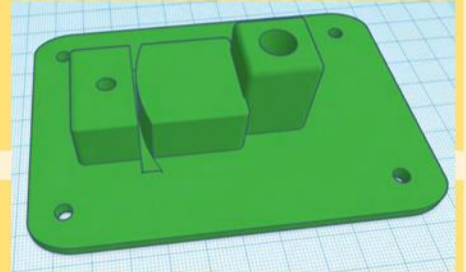
我們進行了一項實驗：找出將寶特瓶切割成較小尺寸的手法，以便後續處理。搜找相關資料時，發現兩種處理方式：「切成小碎塊」和「切成條狀」經過討論，我們認為以切成條狀，來處理更適合我們的資源，也較容易成功。因此我們製作寶特瓶切割模組，並進行實驗，切割成條狀的寶特瓶條稱為PET條。



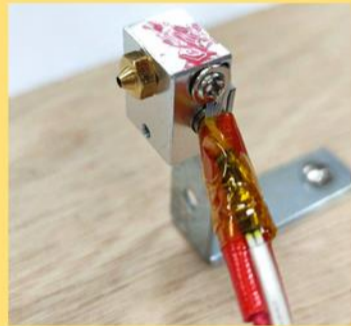
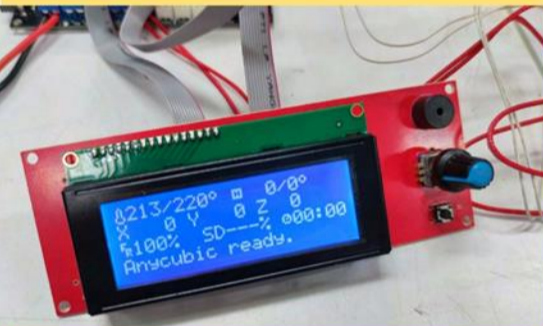
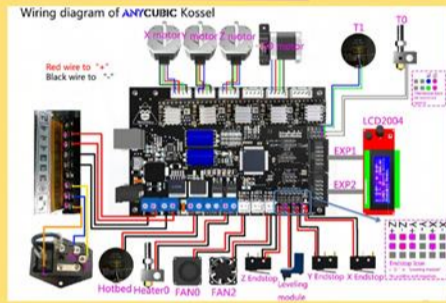
## 實驗三：改良-寶特瓶切割模組

### 結果發現：

我們發現了初版寶特瓶切割器上有些缺點，包括PET條寬度粗細相差較大、不一致且容易將PET條拉斷等問題。我們推測可能是因設計不夠完善。或使用方法不當所致，於是提出改進設計、操作和調整刀的角度等方案。經過實驗比較，我們發現刀片的安裝角度必須垂直於瓶身切線，且需施加一個向下壓的力量，可以提高PET條在切割時的穩定性，不僅提高了PET條的質量和生產效率，同時也提高了工作安全性和操作便利性。



## 實驗四：製作線材成型加熱模組



### 結果發現：

我們探討如何將寶特瓶條轉換為常見的3D印表機線材。我們想到將寶特瓶條加熱後，融化拉出直徑1.75毫米的線材。

我們觀察到從加熱模組上拔出來的PET條為階梯型，使PET條無法穿過噴嘴。我們用電鑽在加熱模組上進行擴孔，讓加熱模組內部呈現平滑的三角形。

經由以上實驗，我們發現PET條寬度太長，造成拉線阻力過大、支架及加熱塊拉扯時會變形、溫度會輕微上下浮動等問題。

## 實驗五：改良-線材成型加熱模組

### 結果發現：

為了解決拉線阻力的問題，我們用電鑽在加熱模組上進行擴孔，並將PET條的寬度減半為7mm左右減少線材拉線阻力過大的問題。

在結構上，我們將原本支持用的L型角鐵增加成兩塊，以增加結構強度。

並且在熱塊和L型角鐵接觸的部位加上一塊矽膠墊片，可以承受高溫且減少熱的傳導作用，改善加熱塊溫度浮動的問題。

此外，我們於加熱頭前加上了預熱裝置，溫度大約為攝氏90度，能使PET條先軟化，以便後續加熱。

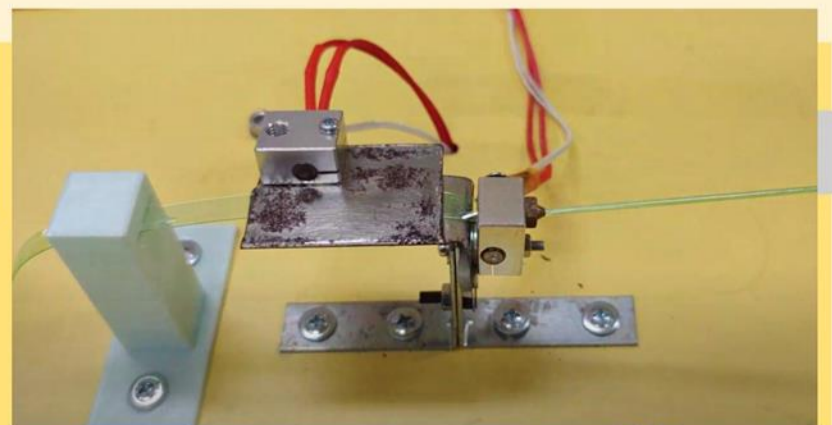
## 實驗六：產出線材的成形實驗

### 結果發現：

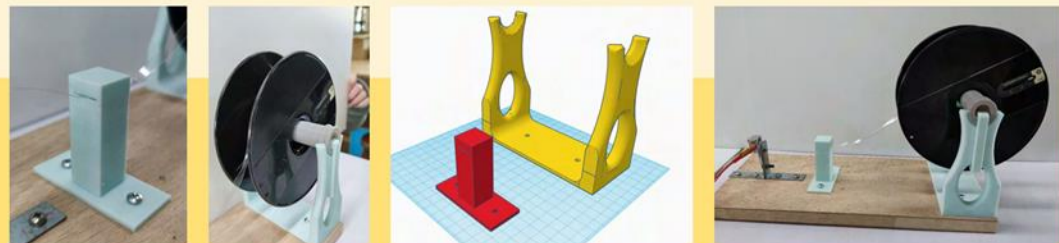
測試結果顯示，PET條寬度不均會導致成品線材品質不穩定和表面粗糙。因此，在製作過程中需要控制PET條寬度的均勻性。

當拉線速度慢時，可得到較好的線材，這意味着，在製作過程中需要注意控制拉線速度。

發現加熱頭溫度為攝氏235度時可得到最為穩定的線材，溫度低於攝氏210度時，線材品質較差，拉線阻力很大，溫度超過攝氏250度時，線材容易斷裂。因此需要控制加熱頭的溫度。



## 實驗七:PET條送料模組

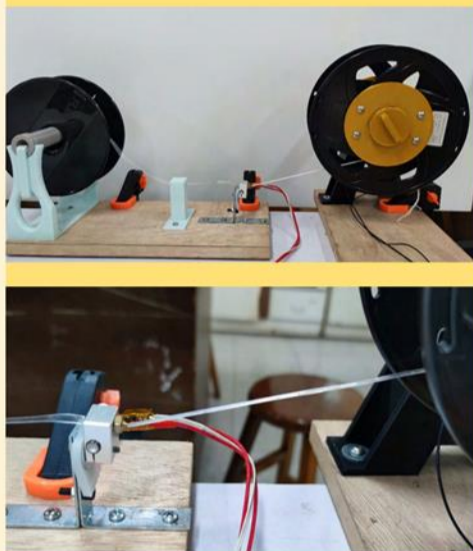


### 結果發現:

我們製作了一個PET條送料模組，分別是「PET條送料器」和「PET條整線器」。我們成功利用3D列印技術和TINKERCAD製作了一個PET條送料器。這個送料器能夠有效地將PET條送入加熱塊，使加熱過程更為穩定和高效。我們還製作了一個PET條整線器，讓PET條平順進入加熱塊，進一步提高了送料效率。結果顯示，這個PET條送料模組的使用效果非常良好，PET條能夠順利進入加熱塊，並且能夠穩定地產生高品質的線材。

## 實驗八:成品拉線模組與製作

### 結果發現:



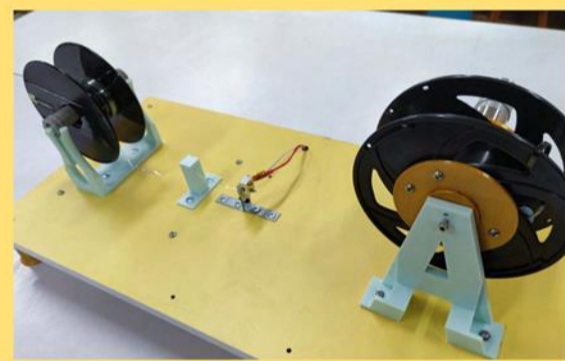
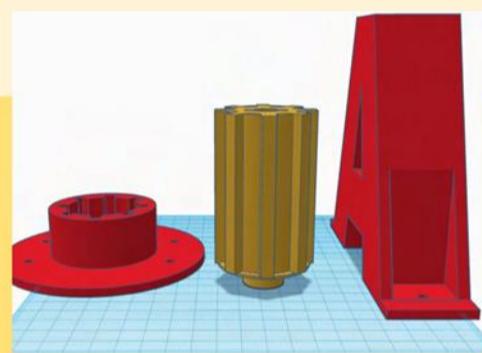
一開始我們設計的成品拉線模組發現力量不足，使用的馬達為66轉的545-12V馬達，無法拉動成品線材，因此我們決定更換更強大的馬達，經過評估後，選擇了5轉的555-12V馬達，轉速更低、轉矩更大，且安裝尺寸不變。然而，在解決了馬達力量問題後，我們發現馬達轉速過快，導致線材易斷裂，因此我們加裝馬達控速電路板。接著，馬達線軸連接器出現裂痕，導致線軸空轉，我們決定進行改良，加厚、加長連接馬達的部位並增加一組支架支撐整個拉線模組。最終，我們成功完成初步實驗，拉出了3公尺多的線材。

## 實驗九:模組平台設計與製作

### 結果發現:

經過測試，所有模組功能正常。成品拉線模組能夠順暢地將PET線拉出；切割器模組能夠有效地將寶特瓶切成適合的PET條的尺寸；線材成型加熱模組能夠將PET條壓加工為一定尺寸的線捲。

我們也在實驗中發現一些問題，使用汽水罐寶特瓶的話，由於寶特瓶上的殘膠不易去除，這會導致融化的塑膠卡在加熱頭裡出不來，所以強烈建議不要使用汽水寶特瓶進行實驗。



## 實驗十:成品線材上機列印

### 結果發現:

最終，我們列印出一個筆筒物件，並找出適合的列印溫度，我們發現攝氏260度作為列印溫度較為合適。且成品線材有時候線材直徑不足，這樣會導致列印失敗，我們發現也可以藉由增加PET條的寬度來達到品質較佳的成品線材。



## 結論

1. 在加熱寶特瓶時加入少量水可增加瓶內的壓力，讓寶特瓶的表面更加平整。這是因為瓶內的水蒸氣膨脹，軟化瓶身，同時讓瓶內的壓力將瓶身表面的凹凸紋路消失。如不加水直接加熱，則可能變形不均勻。需注意的是，加入水的應適量，過多的水會影響實驗的結果。
2. 我們發現固定寶特瓶和刀片安裝角度是影響切割質量的因素。改進固定方式和調整刀片安裝角度，切割出的PET條品質更為穩定。
3. 線材成型加熱模組能夠保持加熱塊的恆溫，代表我們的線材成型加熱模組設計是可行的。
4. 當PET條寬度較為平均且拉線速度較慢時，產出的成品線材品質較佳。
5. 加熱頭溫度對線材品質有影響。在本實驗中，攝氏235度時產出的線材最為穩定。
6. 通過使用3D列印技術製作我們解決了手工拉PET條的問題，提高了效率，同時考慮了環保因素。減少廢棄物的製造量，達到節約成本、保護環境的目的。
7. 寶特瓶原料會影響成品線材產出。
8. 平台在加熱模組升溫時耗電約53~55W，正常工作時的耗電量為23~26W。
9. 成品線材列印時，設定溫度為攝氏260度為最佳溫度。
10. 成品線材線徑較難控制，過細經常導致上機列印時列印失敗。
11. 以回收寶特瓶製成市售3D列印機所需之線材確實為可行之方案。