

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

第一名

最佳創意獎

080208

「膠」響樂 - 熱塑水晶混合各種膠類效果之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者： 小六 林允亮 小六 陳仕恩 小六 侯文婷 小五 張智凱	指導老師： 簡辛如 黃尚偉
---	-----------------------------

關鍵詞：熱塑水晶、膠、熱縮

得獎感言

「膠」響樂外的新樂章

每一個優秀的人，都有一段沉默的時光。

那一段時光，是付出了很多努力，忍受孤獨和寂寞

日後說起時，連自己都能被感動的日子。

回想起這將近一年的科展，快樂、緊張、頭痛、驚喜，樣樣都有，為了要搞定難搞的塑膠，我們常常是火裡來、水裡去。有時，一不小心把太燙的熱塑水晶黏到手上時，就會因為拔不下來被燙的哇哇大叫，時間一久，感覺自己的手越來越像鐵砂掌。

這段歷程中，最困難的莫過於量化工具的製作。

為了要製作塑膠絲，我們曾經利用針筒擠絲-擠到針筒變形、重物吊掛、吹風機、泡熱水、…等各種方式，經過多次討論、錯誤嘗試，才利用簡單的廢材搭配樂高…製作出我們人生中的第一台機器：「蛋捲機」。這一台蛋捲機還能以螺旋製絲的方式製作出 1 公尺以上的細絲，加入由跳繩拆下的計數器，更解決了我們量化過程的困難。

除了工具之外，我們也常在內心天人交戰。特別是假日或畢業後，往往只能看著同學開心的出遊，我們卻得回學校報到，想新的實驗、創意，練習口語。

雖然有些辛苦，但過程中我們常有很多驚喜和快樂。

保麗龍膠熱塑水晶只要一熱縮，總是會讓我們驚呼連連。每一種膠類的神奇變化，都讓人張大雙眼。特別是後來的製模，我們利用可回收的塑膠，替很多人製作出手部模型，看見每個人拿到成品驚喜的笑容，我們突然有滿滿的成就感。

這次科展中，讓我們學到最多的就是「合作」。過程中，只要一遇到問題，這個團隊就能互相支援、協助，找出辦法。其中，我們要感謝辛如老師和尚偉老師的指導。辛如老師總是在歷程中不斷丟問題、釐清問題、要我們自己想辦法解決，每周都是新挑戰。口語訓練中，尚偉老師更是發揮評審的犀利，巨細靡遺的挑出實驗毛病，把我們問到節節敗退。

每一次的經驗，都是一種學習。這段日子我們不只學會了如何進行實驗，還學到了如何溝通、領導大家。特別是口語的部分，即使台下話很多，只要得上台或面對全班時，都會讓人忍不住想要逃避。不過，在老師魔鬼式的訓練下，我們必須反覆練習到老師滿意為止，然後，還必須在不同人面前練習，短時間下來，我們的台風、音量、氣勢，也都跟著科展的腳步，改變好多。

隨著國賽的頒獎，我們的心也跟著忐忑不安了起來，當司儀公布名次的那一刻，我們不禁尖叫，我們成功了！回想起來，我們的努力、付出，都多了一些肯定和驕傲。

2016 的夏天，我們留下了一段很美的回憶。



「笑容和驚奇」是讓我們科展前進最大的力量！



辛苦的歷程中，家人是我們最大的支持！



我們是耐操、好擋、拚第一的最佳合作團隊！

摘要

熱塑水晶是一種熱塑性塑膠，它在低溫(60 度↑)就能軟化重新塑形，無毒可分解能重複回收使用。我們以各種物質和熱塑水晶混合，自製量化檢測工具進行檢測。經實驗得到以下結論：

1. 便宜的蠟筆可取代色母，幫熱塑水晶進行染色(熱塑水晶：蠟筆 = 10：1)。
2. 清潔劑混合熱塑水晶，不能改變性質，但能直接處理沾手問題。
3. 不同膠類混合熱塑水晶，會產生不同變化，我們研發出幾種較具特色的產品，進行應用。
 - (1) 保麗龍膠熱塑水晶 以 1：1 比例混合，熱縮快，熱縮量達 60%，在乾掉前拉過，甚至可達 80%以上。
 - (2) 矽膠熱塑水晶 以 1：0.05 比例混合，延展性佳、乾掉速度慢、產生的絲有極佳的韌性。
 - (3) 熱熔膠熱塑水晶，增加原有熱塑水晶的沾黏效果。可以黏住金屬、玻璃產品。

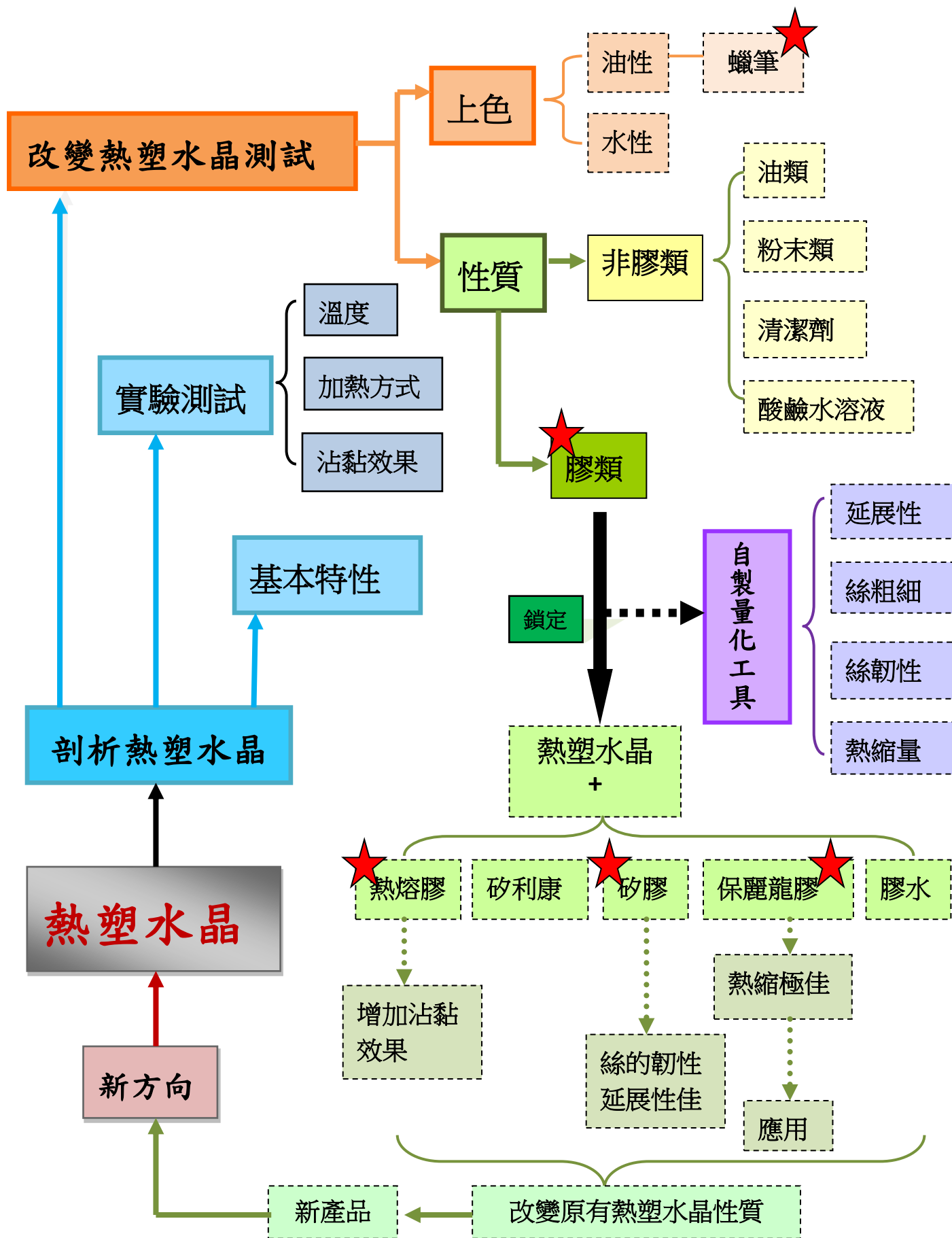
壹、研究動機

為了製作模型及器材，老師介紹了一種可用來修補的新材料 - 熱塑水晶。這個素材，竟然可以隨溫度的變化而改變型態，無毒、可回收又能不斷重複利用。剛好，我們自然課中有提到熱對物質的影響。我們想進一步了解熱在熱塑水晶中扮演的角色。同時，進一步了解這種可回收、分解的材料，是否還有其他變化能用來取代一般塑膠，以處理一般塑膠無法回收、分解的問題。

貳、研究目的

1. 剖析熱塑水晶的特性及其最佳使用方式。
2. 尋找生活中可取代色母的材料，替熱塑水晶進行染色的工作。
3. 使用不同的材料，嘗試改變熱塑水晶原有的性質，以研發新產品。
4. 設計不同裝置，進行熱塑水晶性質的檢測工作。

參、研究概念流程圖



肆、研究過程及結果

一、初探熱塑水晶：

(一)、研究原因：

熱塑水晶到底是什麼？為了能讓我們之後的研究更上手，我們試著將熱塑水晶與溫度的關係、加熱方式及沾黏素材的效果上，再進一步深入了解與探究。

(二)、實驗測試紀錄及結果：

1. 熱塑水晶 - 基本特性

(1)、**網路上的產品說明**：<https://www.buy123.com.tw/site/item/37771/%E7%A5%9E%E5%A5%87%E8%90%AC%E8%83%BD%E7%86%B1%E5%A1%91%E6%B0%B4%E6%99%B6>

❶熱塑水晶(ShapiCrystal)，是白色顆粒，在 70 度左右的溫度可任意塑型，在 25 度以下的冷水中會凝固變硬。雖然它是塑膠，但無毒不含塑化劑、重量輕、可被生物分解、可無限重複使用。

❷適應範圍：修補東西(斷裂黏合)、模型創作。

❸上色方式：融成透明時加入色母或色粉混色，乾掉後塗上壓克力顏料。

❹加熱方式：熱水、電鍋、微波爐、烤箱、吹風機、打火機。

❺加熱溫度，不能超過 200 度 C，會破壞原有特質。



我們再進一步查詢，發覺，熱塑水晶的成分事實上就是一種熱塑性塑膠→聚己內酯。

2. 熱塑水晶 - 溫度影響研究

(1)、**研究原因**：我們自己在玩熱塑水晶的過程中，發覺熱塑水晶一下子就乾掉了，到底，溫度和熱塑水晶之間的關係是什麼？幾度就會軟掉？

(2)、**研究方法**：我們將 10 顆小熱塑水晶放入不同溫度(40、50、60、70、80、90 度 C)的熱水中(以有定溫功能的加熱板維持溫度)，看在不同溫度中熱塑水晶變透明的時間及速度。

(3)、**實驗記錄及結果**：





溫度	變透明顆粒	10 顆皆變透明時間	備註
40 度	0 / 10	5 分 ↑ 仍未改變	5 分鐘後仍是白色硬的顆粒
50 度	0 / 10	5 分 ↑ 仍未改變	5 分鐘後仍是白色顆粒 (顆粒外圍有一點黏性會互相沾黏)
60 度	10 / 10	4 分 12 秒	30 秒表面出現透明，1 分鐘後顆粒陸續變透明。
70 度	10 / 10	30 秒	10 秒左右就陸續開始變透明
80 度	10 / 10	16 秒	一下鍋就立即透明
90 度	10 / 10	13 秒	一下鍋就立即透明

3. 熱塑水晶 - 加熱方式研究

(1)、**研究原因**：在熱塑水晶的廣告中，提到幾種加熱方法：熱水、電鍋、微波爐、烤箱、吹風機、打火機。我們想知道哪一種方式最適合我們之後實驗的操作。

(2)、**研究方法**：我們選擇四種最容易在學校嘗試的方式→**①泡 70 度 C 熱水**、**②用熱水持續加熱**、**③隔水加熱**、**④直接加熱**。看不同加熱方式，對 5 公克重的熱塑水晶會有什麼樣的差異？

(3)、**實驗過程記錄**：

加熱方式	泡 70 度熱水加熱	用熱水持續加熱	隔水加熱	直接加熱
照片				
過程紀錄	顆粒無法完全透明。(因水溫會冷卻)	顆粒會持續變透明	傳熱速度慢，只有碗底的熱塑水晶才變透明	碰到碗底的熱塑水晶會變透明直接沾黏在碗上
加熱速度	無加熱(降溫)	中	很慢	超快
效果分析優	沒有燙傷問題	可調整水溫	可以控制溫度	速度超級快
缺	一沒注意，水冷又硬掉。水溫一直降，熱塑水晶就無法變透明了	水對熱塑水晶本身也會有影響	水熱→碗底熱，但其他地方是冷的，不易加熱	溫度過高，要隨時注意溫度
熱塑水晶取出	容易	容易	困難(黏碗)	困難(黏碗)

結果：綜合比較優缺點及方便性，我們決定以**泡熱水直接加熱**或**直接加熱**，做為我們研究工具的主要方式。

4. 熱塑水晶 - 沾黏效果 研究

(1)、**研究目的**：熱塑水晶的主要功能之一是修補東西，但，所有東西都能用熱塑水晶沾黏嗎？我們決定拿生活中幾種常見的東西來測試看看。

(1)、**研究方法**：

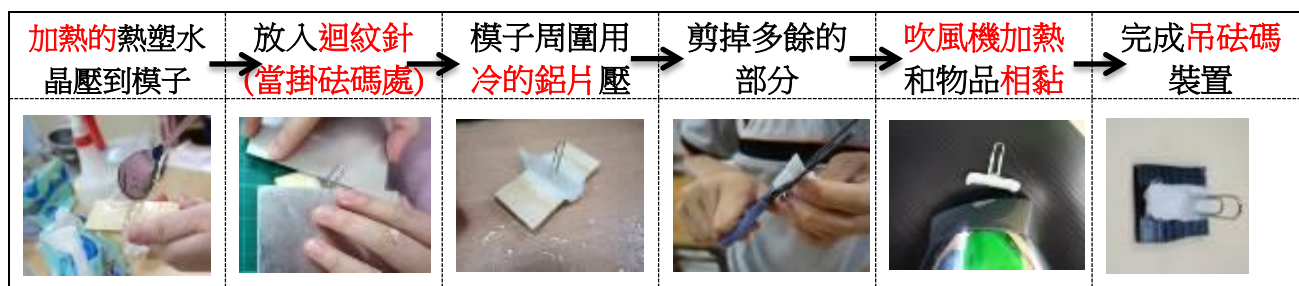
①我們將熱塑水晶分成兩種方式加熱：泡熱水加熱和直接加熱

②利用自製模子定量，放入迴紋針當成吊掛重物的工具。(見實驗記錄①與量化工具介紹)

③乾掉後(半天)，每 10 秒掛上一顆 10 公克砝碼，直到重物掉落。掛完，則以自製重物進行測量。

(2)、**實驗過程記錄**：

①**量化模型製作過程**：



②**測試結果**：

材質			DVD	保鮮膜	紙板	桌墊	泡棉	木板	培養皿	板夾	PP板	玻璃	鐵	鋁	鏡子
			PC	PVC	/	PVC	PU	/	PE	PMMA	PP	石英	/	/	/
熱塑水晶	熱水加熱	撐重 g 針壞	3650 針壞	2600 針壞	2600 針壞	2600 針壞	750 針壞	250	130	50	0	0	0	0	0
	直接加熱	撐重 g 針壞	3650 針壞	2600 針壞	2600 針壞	2600 針壞	2600 針壞	3100	150	50	0	0	0	0	0

過程照片：



結果：

1. 熱水加熱的熱塑水晶沾黏效果比直接加熱的熱塑水晶效果差。因此使用熱塑水晶修補時，直接加熱的方式較正確。

2. 熱塑水晶不是所有材質都能沾黏的。其中鐵製品、玻璃、PP板，沾黏效果都很差。

(三)、**實驗結果與討論**：

1. 熱塑水晶是低熔點的熱塑性塑膠，60度↑就會由白色變透明，同時由固態轉變成液態。

2. 加熱熱塑水晶的方式很多，各有其優缺點，我們的實驗以泡熱水加熱或直接加熱為主。

3. 熱塑水晶沾黏效果以塑膠 PC 和 PVC 效果最佳。PP、玻璃、鐵鋁和鏡子則完全無法沾黏。

二、**熱塑水晶，上色囉!**

(一)、**研究原因**：

熱塑水晶要如何上色，網路上提到兩種方法：(1)購買色母、(2)乾掉後用壓克力顏料著色。但，色母貴，壓克力顏料著色不均勻，因此我們試著用生活中常見的色料，嘗試其染色效果。

(二)、研究方法：

1. 選擇幾種常見的染色材料，利用泡熱水加熱法，進行材料的混合。
2. 研究過程：



(三)、實驗測試紀錄及結果：

1. 不同色料上色效果

名稱	油性			水性			其他
	蠟筆	廣告顏料	壓克力顏料	水彩	食用色素	水性版畫顏料	
掉色	不會	一點點	不會	不會	會	會	會
顆粒	無	無	無	無	無	無	有(明顯)
染色	均勻	不均	不均	均勻	不均	不均	不均
熱水	不影響	可因熱再搓揉的更均勻		不影響	不影響	搓揉過程會跑出顏料.粉末	
其他效果	超柔軟延展性佳不沾手	無	無	無	無	無	顆粒和塑料是分離

2. 插曲-白膠+熱塑水晶：

- (1)、**研究原因**：因為色素不太能染上熱塑水晶，因此我們試著用白膠當作[介質]進行嘗試。
- (2)、**研究方法**：先把食用色素混在白膠中，再以此色素白膠和熱塑水晶混合看其效果。
- (3)、**研究結果**：

製作過程： 混合綠色色素白膠和熱塑水晶(超黏)			成品	放入熱水連拍	
				一開始	後來(縮小了!!)

(四)、實驗結果與討論：

1. 不同顏料的上色結果，以蠟筆完全勝出，其優點有：
 - (1) 上色均勻
 - (2) 不論是熱水加熱(蠟油會漂浮在水面上)或直接加熱，都能順利讓蠟溶解成的油和熱塑水晶混合
 - (3) 成品和一般熱塑水晶性質上不太相同，幾乎不沾手、十分柔軟。

2. 白膠混合色素後，色素的確能和熱塑水晶融合，但，過程中最讓我們驚豔的是：白膠熱塑水晶竟然有明顯的熱縮！！我們在網路上曾經看過日本記憶金屬遇到熱水立即恢復原來形狀的超強能力。也許，我們能試著開發出塑膠形狀記憶的效果。

三、油類對熱塑水晶的影響：


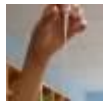


(一)、研究原因：

蠟筆是上色效果最好，同時產品也出現變異。我們思考可能是「油」讓熱塑水晶產生變異，因此我們決定拿以油為主和熱塑水晶混合看看。

(二)、研究方法：我們選擇了兩種油：(1)蠟燭的蠟油(含蠟、且易看染色效果)、

(2)矽油(較安全，可以耐高溫)。我們直接將(蠟燭)油和熱塑水晶混合加熱，看其效果。

(三)、實驗測試紀錄及結果：

	過程照片	溫度	軟度	成品	油膩程度	取下
矽油		超高	超軟 軟到會自動掉落成絲		好油 絲也油	易取不沾碗
蠟燭		高	軟 和一般熱塑水晶效果同		一點點油	易取不沾碗

(四)、實驗結果與討論：我們發覺加了油類的熱塑水晶，具有兩大特點：









1. 相同的加熱時間下，有油的产品溫度較高，也因溫度較高而使熱塑水晶變得更軟。
2. 因為有油，較不易沾碗，容易取出。

四、粉末類對熱塑水晶的影響：

(一)、研究原因：除了油，我們也想試粉末類的東西加入熱塑水晶，有無其他特別的效果。

(二)、研究方法：1.將熱塑水晶在鐵碗加熱軟化→2.加入差異性大的粉末，看其效果。

(三)、實驗測試紀錄：

粉末	太白粉		爽身粉	砂土
	直接包太白粉	太白粉+水+熱塑水晶		
過程				
產品				 <div style="position: absolute; top: 5px; left: 5px; border: 1px solid black; padding: 2px;">顆粒大</div> <div style="position: absolute; top: 55px; left: 835px; border: 1px solid black; padding: 2px;">顆粒小</div>
效果	顏色白、有粉末，遇水後太白粉會被洗出來	太白粉+水遇熱本身就有反應(像:水晶餃)含顆粒的水晶餃	顏色米白色有香味。製作時溫度高、燙手、很軟	砂土出現動力沙的效果。乾掉後，不同比例能產生不同的沙子紋路。

(四)、實驗結果與討論：

1. 粉末類的物質(如:太白粉、小蘇打粉…)，會直接溶在熱水，無法為熱塑水晶帶來其他效果。
2. 太白粉，本身就會和熱水起反應，變成水晶餃的物質。因此，我們在選擇粉末類的物質時，嘗試的方向就變成不易溶在水中的粉末→以岩石、礦物類粉末為主。
3. 爽身粉會讓熱塑水晶變得**很軟**。用手一摸，超級**燙手**、**不易冷卻**，我們推測這是因為**沙子會吸熱**，所以才能累積較多的熱能。
4. 熱塑水晶會讓沙子聚在一起出現像動力沙的效果(不黏碗)。最後的成品**保留了沙子的紋路和塑膠的特質**(不同比例時，產品會呈現不同感覺)，是一個值得繼續開發的產品。

五、清潔劑、酸鹼水溶液對熱塑水晶的影響：




(一)、**研究原因**：因為粉末會溶在水中，因此我們決定轉變方向不使用粉末，直接用特殊的溶液嘗試，看看不同水溶液是否能對熱塑水晶有所改變？

(二)、**實驗測試紀錄及結果**：我們選擇了清潔劑及 PH 值兩端的酸、鹼水溶液，來進行測試。

1. 不同 PH 值水溶液

	酸(醋精水溶液)	鹼(過飽和小蘇打粉水溶液)
加入熱塑水晶	有很臭的酸味，但對熱塑水晶的沒有影響。	沒有影響

2. 不同清潔劑溶液

	洗碗精	奶瓶洗碗精	嬰兒洗髮乳
照片			
特色	<u>這三種清潔劑做出來的熱塑水晶效果幾乎相同</u> 1.十分滑順、 不沾手 、延展性也很好。 2.鐵碗上 完全 不沾任何熱塑水晶!!		

表面光滑，完全不沾碗。
量越多，越不沾手。



(三)、實驗結果與討論：

1. 不同 PH 值的水溶液，並不會影響熱塑水晶的性質。
2. 清潔劑對熱塑水晶的性質，並無明顯影響。但，只要有清潔劑，熱塑水晶就不會沾在鐵碗上。所以，要避免熱塑水晶的沾粘，使用清潔劑就能處理。

六、膠類與熱塑水晶：

(一)、**研究原因**：我們鎖定了膠類是最有可能改變熱塑水晶特質的材料，因此尋找了幾種生活中易取得的膠，加入熱塑水晶看其效果。

(二)、實驗測試紀錄及結果：

1. **各種膠類物質分析**：我們先尋找了幾種生活中常見的膠，研究它們的基本成分。並試著區分成4大類。(1)、水溶性液態膠。(2)、非水溶性膠。(3)、含矽的膠類。(4)、塑料膠。

分類	名稱	基本成分	特色
水溶性液態膠	膠水	聚乙烯醇(PVA)	水溶性高分子聚合物，功能介於塑料和橡膠之間，無毒。易溶於水。
	白膠	聚醋酸乙烯酯(又稱：聚乙烯酯酸脂)	有彈性的合成聚合物，分子量大，呈現白色乳狀。易溶於水!是由醋酸乙烯酯單體聚合成的熱塑性膠
非水溶性膠	保麗龍膠	聚醋酸乙烯樹脂	透明的乳狀膠 高分子醋酸乙烯酯聚合物，乾燥後有韌性
	太空氣球	醋酸乙酯(乙酸乙酯)	成分效果其實和保麗龍膠幾乎一樣
含矽膠類	矽利康	矽氧樹脂(矽橡膠)	耐濕，能在-60~150度下保持膠狀，填縫膠。
	矽膠	二氧化矽	高活性吸附材料，屬非晶態物質，不溶於水和任何溶劑，無毒無味，化學性質穩定，需要硬化劑才能變硬。
塑料膠類	熱熔膠條(HMA)	由乙烯和醋酸乙烯高壓下共聚而成	不耐熱、軟化點低。在常溫下熱熔膠為固體，加熱到一定溫度後熔融，變成能流動而已有黏結性的液體。

2. **膠類本身遇熱的效果分析**：

	膠水	白膠	保麗龍膠	太空氣球	矽利康	矽膠	熱熔膠條
原來狀態	液態	液態	液態	液態	液態	液態	固態
直接加熱	冒泡	結塊	會牽絲	冒泡→牽絲	液態	液態	液態→牽絲
乾掉後	透明	透明	透明	變白乾硬	乳白 (Q軟彈性)	不會乾掉	乳白 (原樣)
硬掉後加熱	直接加熱	融化沾黏	融化沾黏	融化牽絲	變軟	沒變化	變軟透明
	熱水 80 度加熱	溶解於水	溶解於水	變軟	變軟	沒變化	變軟透明
	熱縮狀態			有	有	無法觀察	幾乎沒有



3. **膠類放入熱塑水晶的實驗結果**：

(1)、**研究方法**：






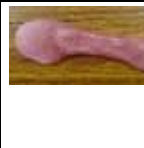
- ① 混合不同膠類與熱塑水晶：分成兩種模式。
 - 甲、**直接加熱**→直接把材料和熱塑水晶放入鐵碗中加熱。
 - 乙、**間接加熱**→先以熱水將熱塑水晶軟化完成後，再添加材料。
- ② 材料混合均勻乾掉後，放入熱水看其效果。

(2)、**實驗過程記錄**：



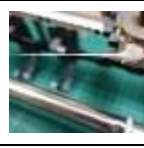

① **水溶性膠類+熱塑水晶**

	混合攪拌狀況		成品照片		泡入熱水		
	直接加熱	間接加熱	製作過程	產品			
膠水	膠水會留在表面，很滑，乾掉後十分沾手!	膠水一直和熱塑水晶表面的水混合，無法混合!	無法拉絲一拉就斷!		起鍋黏手有點彈力 乾掉:硬		熱縮(佳)
白膠	不易混合，易沾手(和膠水很像)，很黏一拉就斷!	白膠一碰到熱塑水晶表面的水，就變白色。					熱縮(差)





② **非水溶性膠類+熱塑水晶**

	混合攪拌狀況		成品照片			泡入熱水
	直接加熱	產品	效果	效果		
保麗龍膠		待熱塑水晶融化後兩者才能混合。			起鍋十分 Q，有彈性。用力拉會回彈 乾掉後：硬	熱縮(極佳)
太空氣球		太空氣球牽絲之後才與熱塑水晶混合			十分 Q，有彈性，用力拉會回彈(比保麗龍膠硬) 乾掉後：硬	熱縮(佳)

③ **含矽的膠類+熱塑水晶**

	混合攪拌過程		成品照片		泡入熱水	
	直接加熱	產品	效果	效果		
矽利康		變白、濃稠，難攪拌越攪越硬。			起鍋很軟，能拉絲。絲很軟有彈性。 乾掉後：硬、偏黃	熱縮(均勻)
矽膠		一點矽膠，就能使熱塑水晶變白濃稠好攪拌			起鍋非常軟能拉絲， 不易硬掉(保溫效果佳) 乾掉後：硬	無熱縮

④ **其他黏膠類+熱塑水晶**

	混合攪拌狀況		成品照片		泡入熱水	
	直接加熱	產品	效果	效果		
熱熔膠條		熱熔膠條和熱塑水晶遇熱皆變透明，好攪拌。			有彈性、比較黏可拉細絲且有韌性! (製作過程，不容易剝離鐵碗)	無熱縮
PVA		失敗!無法混合!	網路上提到 PVA 溶解的溫度為 190 度，所以我們不以此進行實驗。			

(三)、實驗結果與討論：

1. 不同的膠類，對熱塑水晶的確產生不同的影響：

	膠水	白膠	保麗龍膠	太空氣球	矽利康	矽膠	熱熔膠
成絲	無	無	可(成膜)	可(成膜)	可(細)	可(超軟)	可(超細)
熱縮	可	可	可(極佳)	可	可(均勻)	無	少
彈性	無	無	有	有	有	無	有
其他特色	熱縮速度快、易取得		熱縮速度快，可拉膜		均勻熱縮	超軟/保溫佳	絲細/彈性
清理	容易	容易	容易	容易	容易	容易	難清

2. 保麗龍膠和太空氣球的效果相似，太空氣球的产品偏硬又有安全疑慮，不考慮深入實驗。

3. 我們決定鎖定幾種具特色的膠類和熱塑水晶混合，進行比例與量化的深入探究。

七、量化裝置的製作：


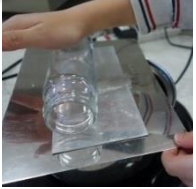

(一)、研究原因：實驗開始，我們一直嘗試著設計適合檢驗熱塑水晶這個產品的量化裝置，以讓研發的產品能有數據資料進行修正和分析。但時間有限，因此，我們只量化後面較具特色的產品，找出其最佳比例。

(二)、量化裝置研發：




1. 薄片定量裝置：

(1)、研究原因：實驗中熱塑水晶需要定量，但製作過程沾黏碗底、手的狀況嚴重。因此我們利用重物的概念，將熱塑水晶壓成厚度相等的薄片，更利於之後的測試工作(EX：熱縮)。

(2)、研究歷程：我們選擇了不會跟熱塑水晶沾黏在一起的材料(EX：玻璃、壓克力板、鐵鋁片)，試著製作薄片的定量裝置。

	人力壓製	水蒸氣加熱+人力壓	熱水煮+製薄片機器壓
照片			
缺點	1. 熱塑水晶會沾黏在玻璃上。 2. 還沒有壓平就乾掉了。	1. 熱塑水晶較好壓，但仍會跟著玻璃黏起來。 2. 人壓的力量不定 3. 熱塑水晶乾太快了	1. 我們嘗試製作的[製薄片機器](如上圖)解決人力的問題，但，鐵圈接觸處有高度差，捲進去的那一側厚度又偏薄，因此薄片的厚薄不均!

(3)、研究結果：雖然我們很喜歡自己設計出來的製薄片機器，但，為了製作更精準的薄片，我們還是選擇最傳統的方式-重物壓，來處理壓力不均造成厚薄不均的問題。同時訂下我們的製作薄片 SOP 流程，如下：



① 定量熱塑水晶放入兩片鋁片中夾住，放入滾水煮 1 分鐘	② 取出、放入兩片壓克力板中，押上重物(沙子)2 分鐘	③ 冷卻(可用冰加速冷卻) 剝開鋁片即可取下
		

2. **蛋捲製絲延展測試機** - 以下簡稱[蛋捲機]：

(1)、**研究原因**：除了厚薄要一定，既然熱塑水晶的產品幾乎都能拉絲，我們就希望能夠製作出粗細相當的絲，來進行一連串檢測。

(2)、**研究歷程**：製絲，真的很複雜，我們嘗試了很多方式，失敗了好幾次。

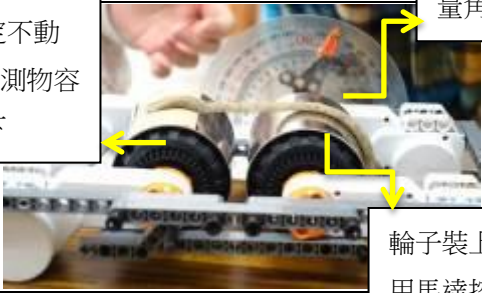
初期：

嘗試 流程	① 熱熔槍+自製熱塑水晶條，擠絲	② 熱塑水晶黏上釘子，下墜拉絲	③ 用針筒裝熱塑水晶，上面加吹風機(軟化) 下面用冷水，擠絲後立即冷卻	
照片				
缺點	溫度高，鐵管裡的膠都融化，無法擠壓。	下墜速度和狀況無法控制	1.超級難擠(針筒都擠到壞掉了) 2.絲遇到水不會直直下去，會彎曲變形	
嘗試 流程	④ 用針筒擠出的粗絲 → 再配合重物(釘子)拉絲			
	保鮮膜封住孔+吹風機	直接吹風機加熱	直接泡熱水	整個裝置一起泡熱水
照片				
缺點	會由接觸保鮮膜處遇熱融化	受熱不均，由釘子處遇熱融化	熱水與粗絲接觸處斷裂融化	受熱不均，斷裂

後期：


⑤ 我們決定**改裝原來要壓薄片的機器**，增加兩個滾輪中間的距離，讓一個滾輪動、一個不動，看其效果。

另一個輪子，改成固定不動
上面貼一層膠帶，讓待測物容易黏在上面也容易取下



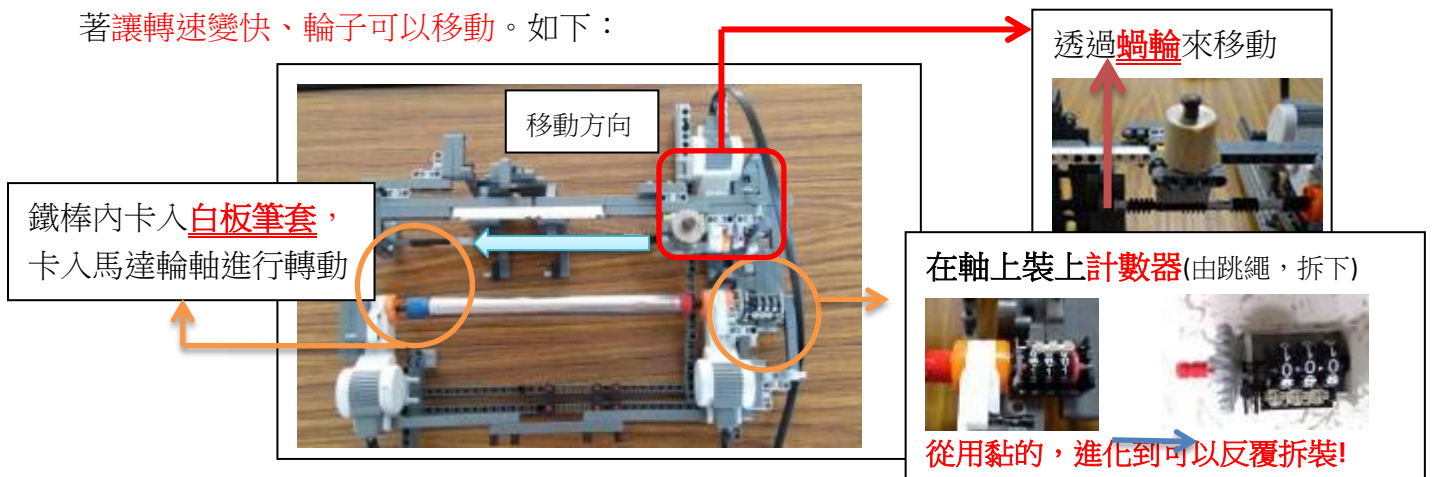
量角器 x2 組成→測量轉圈數

輪子裝上鐵圈，變成大的滾輪
用馬達控制轉動速度



使用後，我們發覺他的絲會一直在同一個點繞，出現**3D 列印的效果**，但，越繞越多的結果，反而會讓縫隙變小，相互影響。




⑥最後，我們決定再利用電子樂高零件製作一台新機器 - 蛋捲機，修改原先機器的缺點，試著讓轉速變快、輪子可以移動。如下：



(3)、**研究結果**：

甲、失敗了很多次後，終於製成[蛋捲機]，它不但可以測量延展性(圈數)，還能夠順利拉出我們要的細絲，這些細絲，讓我們能繼續深入研究，是我們最驕傲的發明之一。

乙、**使用蛋捲機的 SOP 流程**：

<p>①熱塑水晶沾黏在固定端和蛋捲棒上，開始啟動機器，直到無法繞圈斷掉(計算圈數)</p>	<p>②取出蛋捲棒，將絲擠到一邊或反繞取出。</p>	<p>③取下的細絲成品</p>
		

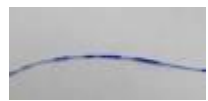
備註：沾了水的熱塑水晶不易沾黏在鐵管或膠帶上，因此這裡的測量都是**直接加熱法**!

3. **韌性測試拉絲機** - 以下簡稱[拉絲機]：

(1)、**研究原因**：在蠟筆加入熱塑水晶的實驗中，我們意外發現蠟筆熱塑水晶的絲可以**繼續拉的更細**，這讓我們想製作一台能夠拉絲的機器，測試絲的硬度同時了解是否能繼續拉絲。

(2)、**研究歷程**：以電子樂高作為基本零件，思考讓輪軸互相拉扯絲線的方式。



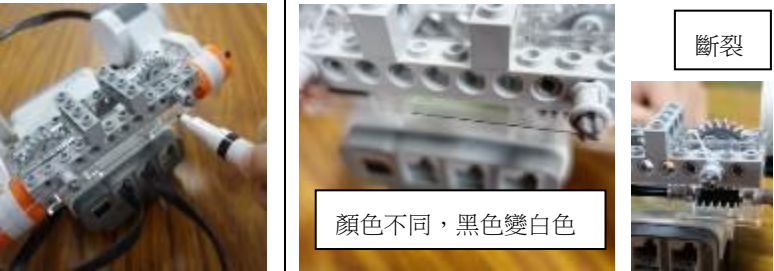
可拉出更細的絲




(3)、**研究結果**：

甲、拉絲機能順利幫我們確認絲線的**拉絲效果及硬度**。


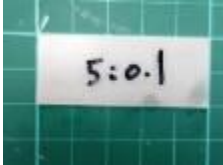

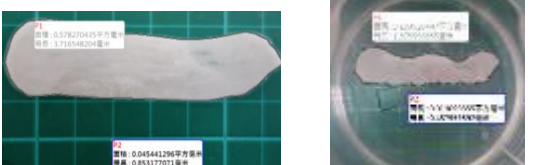
乙、**使用拉絲機的 SOP 流程**：

<p>①將蛋捲機製出的絲取下 固定在兩邊</p>	<p>②把線用簽字筆塗 黑。</p>	<p>③兩邊馬達開始運轉，絲被拉出兩 種顏色，直到拉斷為止。</p>
		

3. **熱縮比例測試**：

(1)、**研究原因**：實驗過程中，因加入白膠的熱塑水晶出現明顯的熱縮效果，因此，我們「把**熱縮**」也當成一項重要的檢測向度。

(2)、**檢測方式**：

<p>①以薄片裝置製 成薄片</p>	<p>②將薄片裁切成 方形(切割墊)</p>	<p>③放入 80 度熱 水 2 分鐘</p>	<p>④透過 motic images plus 軟體，由照片 中正方格的比例計算出熱縮量的幅度</p>
			

(三)、**實驗結果**：我們完成這一次實驗主要的量化工具，如下：

目的	SOP 流程/量化項目
<p>測量熱縮比例</p>	<p>製薄片→裁切(拍照)→泡熱水(拍照)→以 motic images plus 軟體由照片計算 放入熱水前後的面積差異→確認熱縮量 ★計算放入熱水前後的面積差異</p>
<p>測量絲的延展性</p>	<p>直接加熱產品→沾黏在蛋捲機上→由圈數確認延展性→乾掉製成絲 ★計算能在蛋捲機上轉的圈數</p>
<p>絲的粗細度</p>	<p>取下蛋捲機上的絲→以顯微鏡配合 motic images plus 軟體測量絲的粗細 ★計算線的平均寬度(5 次平均)</p>
<p>測量絲的韌性</p>	<p>取下蛋捲機的絲→裝入拉絲機→透過相反方向旋轉的馬達拉絲→斷裂 ★計算轉的圈數，愈多，韌性越高!</p>

(四)、**討論**：在我們設計出主要的量化工具後，就可以開始針對新配方產生的熱塑水晶新產品，進行較為**科學的測量**。

八、蠟筆 + 熱塑水晶的最佳比例探討！

(一)、研究原因：在熱塑水晶的上色實驗中，蠟筆的效果最好也最方便。因此，我們想知道蠟對熱塑水晶的影響，同時找出使用蠟筆時的**最佳重量比例**。

(二)、實驗測試：

1. 研究方法：

(1)我們用不同重量比的蠟筆和熱塑水晶混合，看其效果的差異。

(2)我們以 10 公克的熱塑水晶為基礎，配上 1~0.01 公克的蠟筆(唯，製作過程中發現我們無法順利測出 0.01 公克，因此，最小克數為 0.05 公克的蠟筆)，看不同克數的蠟筆融在熱塑水晶中，比例與顏色的關係。



2. 實驗記錄：

(1) 不同重量比的蠟筆與熱塑水晶：

熱塑水晶： 蠟筆(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	其他現象
一般熱塑水晶	105 圈	85.4 圈	
1 : 0.5	60 圈 (絲不均勻,不易黏在裝置)	77 圈	延展性較好
1 : 1	13 圈	34 圈	很軟，線易斷裂。黏鋁片！
1 : 2	無法製絲(無法黏在裝置上)	無絲可拉(用手一拉就斷)	有顏色會跑出、會黏鋁片

(2) 染色所需蠟筆量的影響：

因網路上提到色母染色的比例是→1g 色母和 100g 熱塑水晶混合，我們以此為基準增減。

熱 塑 水 晶 ： 蠟 筆	色母染色		蠟筆染色			
	10 : 0.1	色母原色	10 : 0.05	10 : 0.1	10 : 0.5	10 : 1
						
	顏色十分均勻，和色母原色十分接近		顏色會因為蠟筆的含量而出現深淺的改變。 大約 10 公克的熱塑水晶:1 公克的蠟筆最接近原色。			

小結：使用蠟筆上色的熱塑水晶，會因蠟筆的含量而產生顏色深淺的差異。要讓混合後顏色較接近蠟筆原來的顏色，建議 10 公克的熱塑水晶要使用超過 1 公克的蠟筆混合，較為適合。

(三)、結果與討論：

1. 有蠟筆的熱塑水晶，取出時完全不沾手!!!當蠟筆的量越多，就越加無法使用蛋捲機製絲。
 - (1) 蠟筆熱塑水晶**表面很滑**，無法順利沾黏在裝置上檢測。推測，是蠟油的影響。
 - (2) **蠟的量越多**，製出來的**絲會越軟、越細**，**一拉就斷裂**。推測是**油讓熱塑水晶溫度上升**。
2. 如果要使用蠟筆來幫熱塑水晶上色，**蠟筆的含量可以控制熱塑水晶顏色的深淺**。若要和蠟筆原來顏色相同，建議**10公克的熱塑水晶**，要用**1公克以上**的蠟筆進行混合。

九、膠類 + 熱塑水晶 的深入研究

(一)、**研究原因**：從膠類對熱塑水晶影響的實驗中，我們發現「膠類和熱塑水晶」的特質之間會交互影響，形成新效果的產品。因此，我們決定鎖定幾種有特色的膠類進行深入研究。

(二)、實驗測試：

1. **研究方法**：

(1) 因為膠水、白膠效果類似，太空氣球有安全疑慮，PVA 無法進行測試，因此，我們鎖定了**膠水、保麗龍膠、矽膠、矽利康、熱熔膠**。以**①乾掉速度/延展性、②絲的韌性、③絲的粗細、④熱縮效果**，試著以不同比例，深入進行一連串的測試。

(2) **混合的方式皆以直接加熱法進行**。

2. **實驗記錄**：

(1)矽膠

熱塑水晶： 矽膠(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線粗	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	熱縮量	過程特色
一般熱塑水晶	105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%	略
1 : 0.05	160	0.04mm	146	3.17%(幾乎無縮)	易攪拌。溫度低即軟化、碰到熱水軟化速度很快，能保溫。
1 : 0.1	129	0.23mm	139	8.37%(幾乎無縮)	
1 : 0.2	73	0.34mm	112	9.87%(幾乎無縮)	
1 : 0.4	34	0.40mm	50	超黏不乾(無法測)	

小結：甲、只需要**一點點的量**即可影響熱塑水晶。**當矽膠量越多，越糊、黏手不會乾**。

乙、加入矽膠後，**線的延展性(冷卻時間)、韌性都會增加**。但，**矽膠過多時反而越差**。

丙、遇到熱水，**矽膠熱塑水晶軟化速度快**，推測是**矽膠會吸熱**的因素。

(二)保麗龍膠：

熱塑水晶： 保麗龍膠(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線粗	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	熱縮量	過程特色
一般熱塑水晶	105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%	略
1 : 0.25	50	0.21mm	84	27.3%	過程很多絲和 膜，遇熱會快速 縮成一團) 
1 : 0.5	36	1.41mm	0	31.4%	
1 : 0.75	無法測量		無法測量	38.48% 64.6%(拉過)	
1 : 1	無法測量		無法測量	61.8% 81.41%(拉過)	

小結：甲、加入保麗龍膠後，產品出現彈性，幾乎無法使用蛋捲機測量。當彈性越高越難固定在蛋捲機上。我們嘗試以人力拉開，可拉開，且斷裂後會捲曲彈回。

乙、保麗龍膠量越多，線越粗、產品越有彈性、不易乾掉且熱縮效果極佳(速度超快)

丙、用手拉過的保麗龍膠熱塑水晶熱縮量及熱縮速度都極優異。

(三)矽利康：

熱塑水晶： 矽利康(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線粗	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	熱縮量	過程特色
一般熱塑水晶	105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%	略
1 : 0.1	114	0.17mm	105	34.4%	很油，但不沾 手。碰到冷水， 不會立即變硬 (Q 軟)
1 : 0.5	143	0.08mm	75	53.32%	
1 : 1	75	0.02mm	33.5	超黏，不乾 (無法壓模測)	

小結：矽利康的量愈多，可以拉的絲越細。但，相對越黏，乾掉後無法全部變硬。

(四)熱熔膠：

熱塑水晶： 熱熔膠(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線粗	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	熱縮量	過程特色
一般熱塑水晶	105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%	略
1 : 0.1	113	0.2~0.05mm	106.7 一畫黑線就拉絲	18.57%	細的粗細差異 極大!可以非 常細到無法測 量。使用過的 鐵碗很難清理
1 : 0.5	35	0.1~0.04mm	107	12.21%	
1 : 1	32	0.1~0.01mm (超級細)	38.3 絲細到無法測量	29%	

小結：甲、熱熔膠的量越多，可以拉出越細的絲、熱縮量也增加(但，整體而言熱縮效果很差)

乙、加入熱熔膠，線較具有韌性和彈性。

丙、加了熱熔膠的熱塑水晶，會浮在水面上。

(五)膠水：

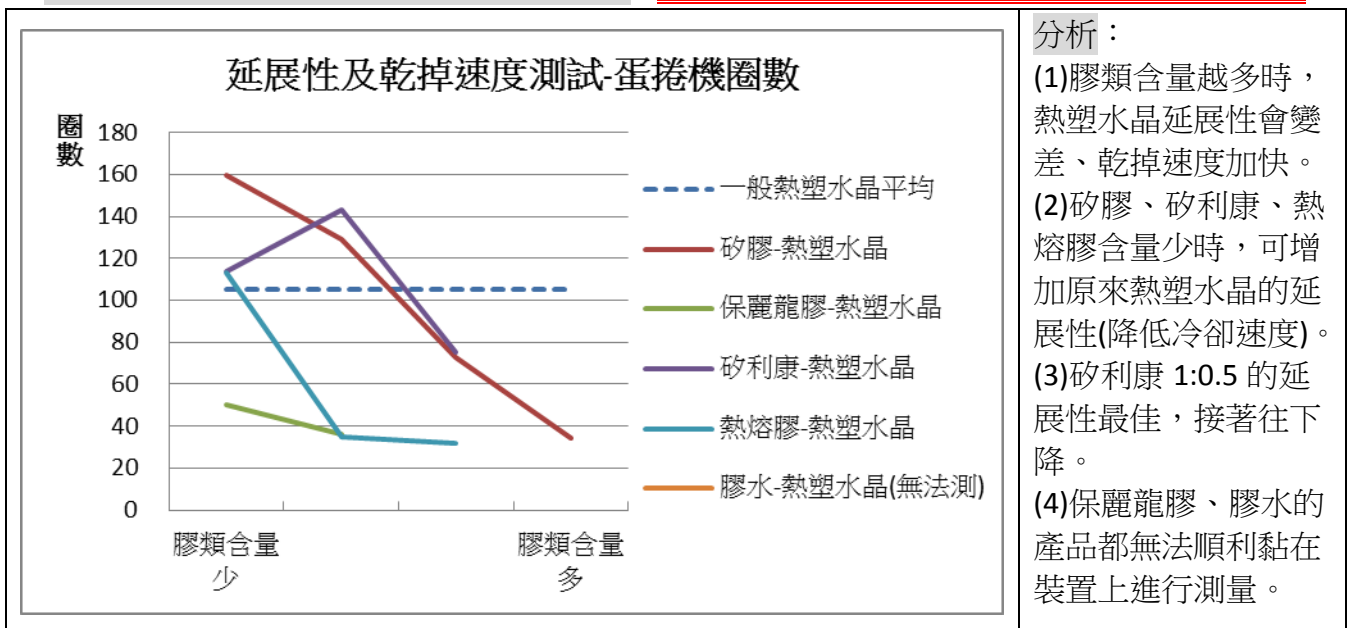
熱塑水晶： 膠水(g)	乾掉速度/延展性 蛋捲機圈數(平均)	線粗	線的韌性測試 拉絲機圈數(平均)	熱縮量	過程特色
一般熱塑水晶	105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%	略
1 : 0.1	無法測量			26.43%	非常很難攪
1 : 0.5	無法測量			34.91%	拌!無法拉絲!

小結：甲、膠水量越多，越難攪拌!

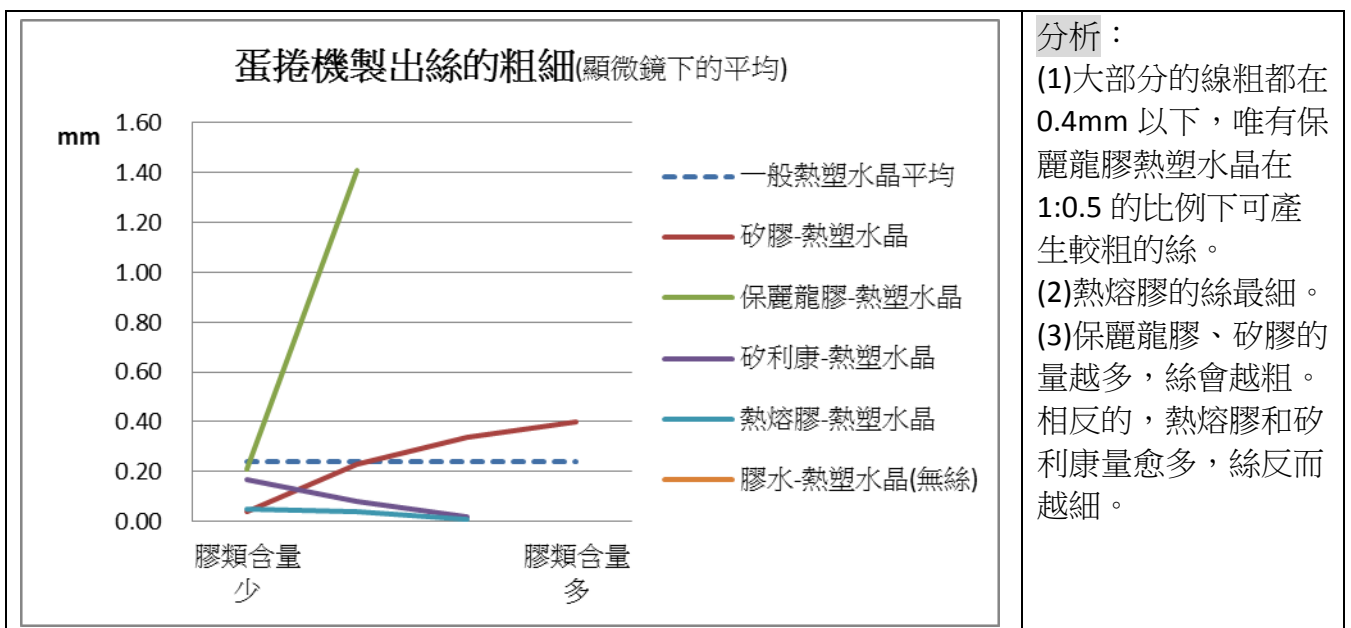
乙、膠水量越多，熱縮量越大。但，熱縮速度慢(1~2 分鐘才看得見明顯)

(三)、結果：因數據資料多、配方分布範圍不同，因此我們合併多種膠類以趨勢圖進行分析

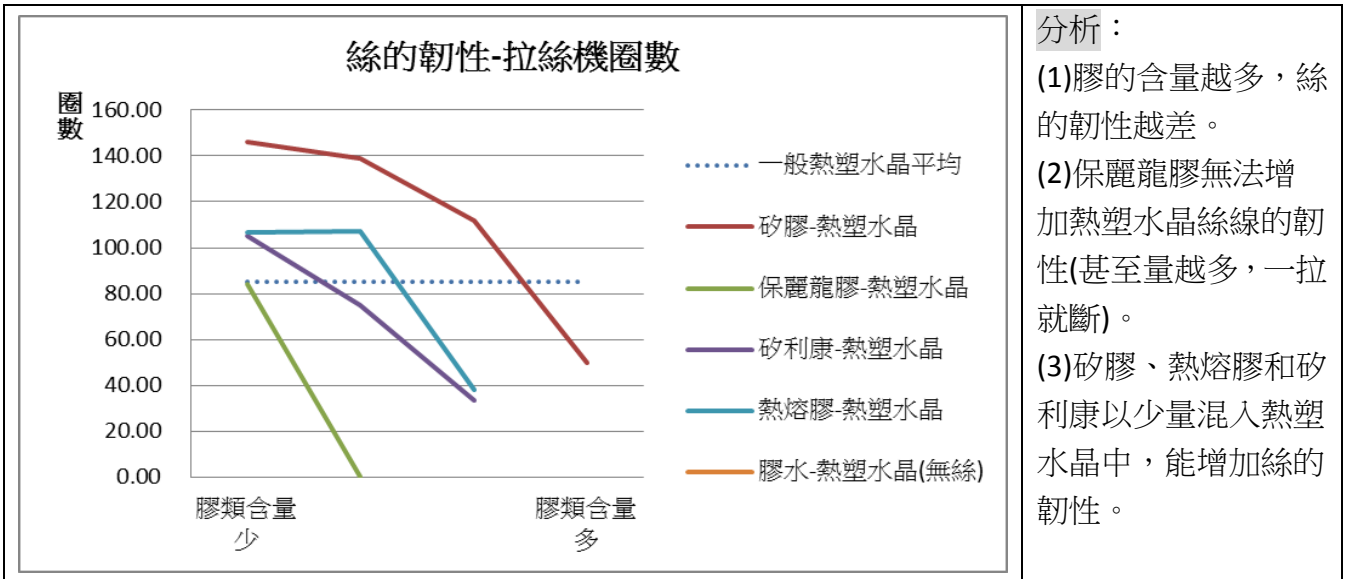
1. 延展性及乾掉速度-蛋捲機測試結果趨勢圖：意義→圈數越多，代表延展性/乾掉速度越慢。



2. 線粗細平均測試結果趨勢圖：

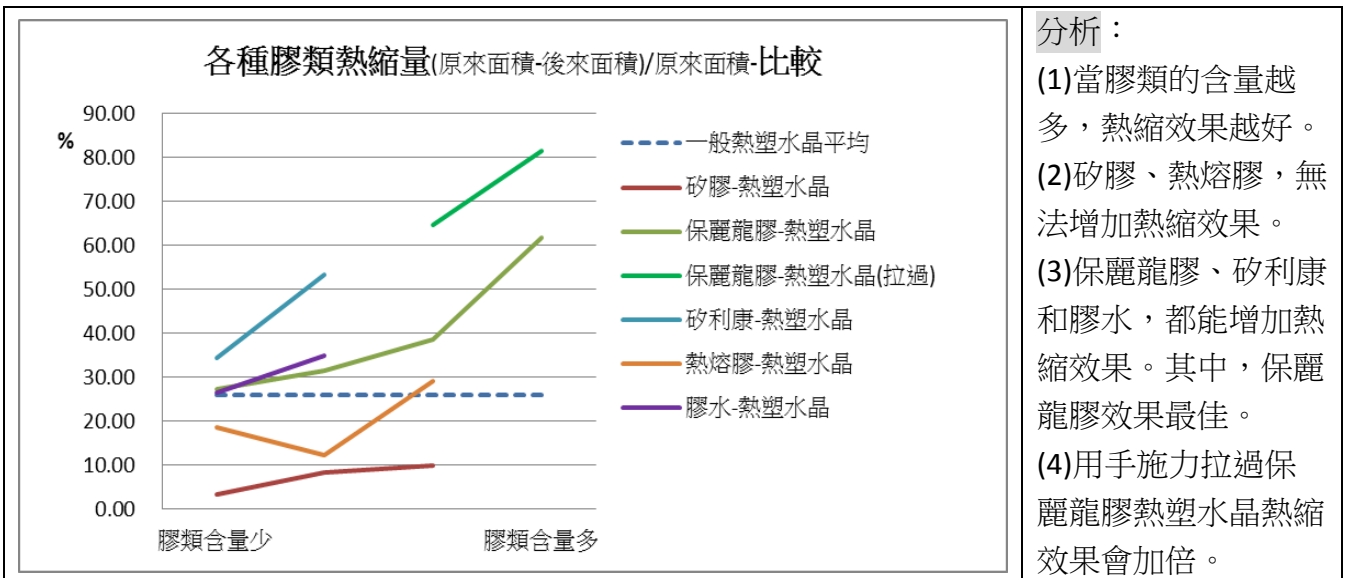


3. 線的韌性-拉絲機測試結果趨勢圖：意義→圈數越多，代表線越有韌性(能拉絲)。



分析：
 (1) 膠的含量越多，絲的韌性越差。
 (2) 保麗龍膠無法增加熱塑水晶絲線的韌性(甚至量越多，一拉就斷)。
 (3) 矽膠、熱熔膠和矽利康以少量混入熱塑水晶中，能增加絲的韌性。

4. 熱縮量測試結果趨勢圖：意義→熱縮量越大，代表遇熱後縮得越小。



分析：
 (1) 當膠類的含量越多，熱縮效果越好。
 (2) 矽膠、熱熔膠，無法增加熱縮效果。
 (3) 保麗龍膠、矽利康和膠水，都能增加熱縮效果。其中，保麗龍膠效果最佳。
 (4) 用手施力拉過保麗龍膠熱塑水晶熱縮效果會加倍。

(四)、討論：

1. 每一種膠會因為本身特質的不同，對熱塑水晶產生不同的影響。我們取前二名分析如下

項目	延展性/不乾掉速度		線寬度		線的韌性(乾掉後)		熱縮效果最好	
	好	差	細	粗	佳	差	好	差
TOP	矽膠	膠水	熱熔膠	保麗龍膠	矽膠	保麗龍膠	保麗龍膠	矽膠
2	矽利康	保麗龍膠	矽利康		熱熔膠		矽利康	熱熔膠

(1) 由上面幾個極限值(最好、最差)，可以看出前三個測量項度之間其實會相互影響：延展性佳(或乾掉時間較慢)→較有機會做出細絲→絲的韌性較高。因此，在延展性、細絲能力、線的韌性上，都是加了矽膠、矽利康、熱熔膠的熱塑水晶包辦前幾名。而這三種膠類，自己本身乾掉後的特質上大多具有彈性。因此，這些膠類透過直接加熱混合熱

塑水晶，的確讓熱塑水晶產生特質上的變化。

(2) 延展性最差的是加了膠水、保麗龍膠的熱塑水晶，在線的寬度、韌性上都很差(甚至無法做出絲-膠水)。

(3) **熱縮量上，反而和延展性出現相反的走向：**

延展性極差的保麗龍膠熱塑水晶卻有很好的熱縮效果，而加延展性韌性最佳的矽膠則幾乎不會出現熱縮。我們推測，保麗龍膠自己本身就具有明顯的熱縮特質(也因為這樣的特質，不易製絲)，加入熱塑水晶後，熱塑水晶遇冷乾掉的特質，反而關住了保麗龍膠自己彈回的力量。如此一來，一遇熱，保麗龍膠就會釋放原先關住的力量往回拉。

(4) 用手拉過的保麗龍膠熱塑水晶，熱縮效果極好(會是原來壓製方式的 2 倍)!熱塑水晶紮實的關住的我們拉開的力量，所以，一遇熱會立即縮回，宛如形狀記憶的效果。







2. 這些做出來的[新型]熱塑水晶產品，除了因為不同膠類，造成不同特質的改變之外。其實，它們全部都還保有原來熱塑水晶遇熱可以不斷新塑型、回收使用的大優點喔。

十、熱縮因素的探討：

(一)、研究原因：在實驗九中，保麗龍膠熱塑水晶一遇到熱水產生迅速「熱縮」的效果。我們想深入分析「熱縮」的因素。

(二)、研究方法：保麗龍膠是保麗龍膠熱塑水晶的關鍵成分，因此我們試著進行各種實驗比較它們之間的差異。選擇對象為 1：1 比例配方的保麗龍膠熱塑水晶和單純的保麗龍膠。

(三)、實驗測試：

	乾掉時間	外觀	遇熱		產品	
					產品拉開	熱縮效果
乾掉的保麗龍膠	長 (一天↑)	透明 有彈性 (稍軟)	熔點高 遇熱絲較多			 會熱縮：31.75%
保麗龍膠熱塑水晶 (1：1)	短 (1分鐘↓)	白色 (硬)	熔點低 (60~70度) 絲少且易斷			 會熱縮：65.25%

(四)、實驗結果與討論：

熱塑水晶的熱縮量大約為 26%(實驗九的數據)。表示，熱塑水晶本身就具有熱縮能力。但，

保麗龍膠熱塑水晶熱縮的量比一般熱塑水晶快上 3 倍↑，速度差異更大。會造成這樣的結果，我們從上面的實驗很明顯推測出：

1. 除了熱塑水晶本身的性質外，**保麗龍膠自己具有彈性和能熱縮的性質**混合在其中。
2. 當我們對保麗龍膠施力後，保麗龍膠會因本身的彈性自行彈回消耗掉一些力量。但，加了熱塑水晶之後，它乾掉的速度增加許多，反而更容易保留我們原來施予在上面的力量。也因此，用手拉開過的保麗龍膠熱塑水晶，其熱縮效果比壓成薄片的好，甚至可以高達 81.4%(實驗九的數據)。

十一、熱縮素材的應用：

(一)、**研究原因**：實驗中，我們發覺保麗龍膠熱塑水晶和矽利康熱塑水晶熱縮效果佳，因此，我們想再進一步研發它的相關應用。我們發想了一些天馬行空的概念(EX:打包帶、雨衣…等)，後來決定嘗試把它當成熱縮片，可以用來藏小秘密，一把秘密丟入熱水就會現形。

(二)、**研究方法和實驗測試**：我們分成兩種模式進行。

1. 先把產品拉開成膜，在上面寫字。放入熱水，會縮小。
2. 先在產品上寫字，熱水軟化拉開後→變形字。乾掉後再放入熱水，以熱縮方式讓字恢復。

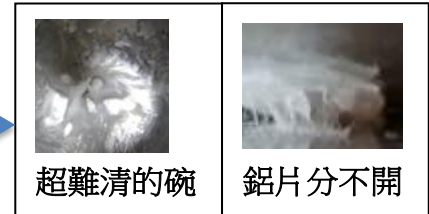
模式一(保麗龍膠)		模式二(矽利康)	
放入熱水(正常字)	熱縮後(縮小)	放入熱水(變形字)	熱縮後(恢復正常)
			

(三)、**實驗結果與討論**：

1. 實驗中，我們發現保麗龍膠熱塑水晶**熱縮的反應太快**，不小心就會縮成[一大團]。因此，需要**降低保麗龍膠的比例**，**才能讓字熱縮的漂亮**。
2. 矽利康熱縮的比較均勻，但**速度較慢**。
3. 這個實驗很像包遙控器用的「熱縮片」，但有致命缺點，寫上字後熱塑水晶會**越來越髒**。如果能讓顏色**可加入又可除去**，就會更完美了。

十二、不同膠類混合熱塑水晶之黏性測試

(一)、研究原因：在熱塑水晶的黏性測試中，鐵的沾黏力 = 0。但，在我們進行「熱熔膠+熱塑水晶」混合實驗的過程中，意外發現**鐵碗變得超級難清理**。雖是缺點，但這表示熱熔膠熱塑水晶改變了黏性，因此我們用測試熱塑水晶黏性的裝置，重新檢測熱熔膠熱塑水晶及其他膠類混合後的沾黏效果。



(二)、研究方法：

1. 以在原有一般熱塑水晶沾黏測試的模子(參見實驗一的製作方法)上，以原有熱塑水晶直接沾黏上一層混合不同膠類的熱塑水晶新配方，進行沾粘。其比例皆為「熱塑水晶：膠 = 1：0.5」。
2. 以此黏住一般熱塑水晶原來黏不住的待測物：木頭、培養皿、夾板、PP板、鐵鋁、鏡子。
3. 使用黏性檢測裝置，每10秒掛上一顆50公克砝碼，一直到重物掉落。(若完全掛完，則以自製重物箱進行測量)

(三)、實驗測試：★表示在該材質沾黏效果最佳!

		木板	培養皿	板夾	PP板	鐵	鋁	鏡子
材質		木頭	PE	PMMA	PP	鐵	鋁	石英
原熱塑水晶撐重(g)	熱水	250g	130g	50g	0	0	0	0
	直接	3100g	150g	50g	0	0	0	0
熱塑水晶：矽膠 (1：0.5)		200g	450g	400g	0	100g	350g	100g
熱塑水晶：保麗龍膠 (1：0.5)		4100g 迴紋針壞	650g	650g	0	150g	0	650g
熱塑水晶：熱熔膠 (1：0.5)		3100g 迴紋針壞	★3100g 迴紋針壞	★2050g 迴紋針壞	★3100g 迴紋針壞	★3100g	★3100g	★3100g 迴紋針壞
熱塑水晶：矽利康 (1：0.5)		3600g 迴紋針壞	450g	500g	0	0	0	650g
熱塑水晶：膠水 (1：0.5)		2550g 迴紋針壞	650g	650g	0	0	0	0

(四)、實驗結果與討論：

1. 熱塑水晶本身無法黏住的材質(EX、塑膠PP板、鐵、鋁、鏡子)，在**熱塑水晶加入其他膠類後**，的確能因膠類的影響增加其原有黏性。
2. 其中，以熱熔膠熱塑水晶的效果最好(果然是鐵碗清不乾淨的主因)，就連鏡子、鐵鋁，都能撐到3公斤的重量。如此一來，熱熔膠加了熱塑水晶後，能承接熱塑水晶的優勢，變成

[可加熱回收，又能不斷重複再利用的黏著素材]。

3. 其他膠類也有不同的沾粘效果，其中以矽膠熱塑水晶效果較特別，它在別種膠類沾粘效果最佳的木板 - 反而沾粘狀況最差。卻在其他膠類最難沾粘的金屬、鏡子，都有拿到成績。

我們推測矽膠的材質容易黏在金屬或玻璃上，應該和吸盤適合黏在[光滑表面]的意義相同

十三、研究新方向

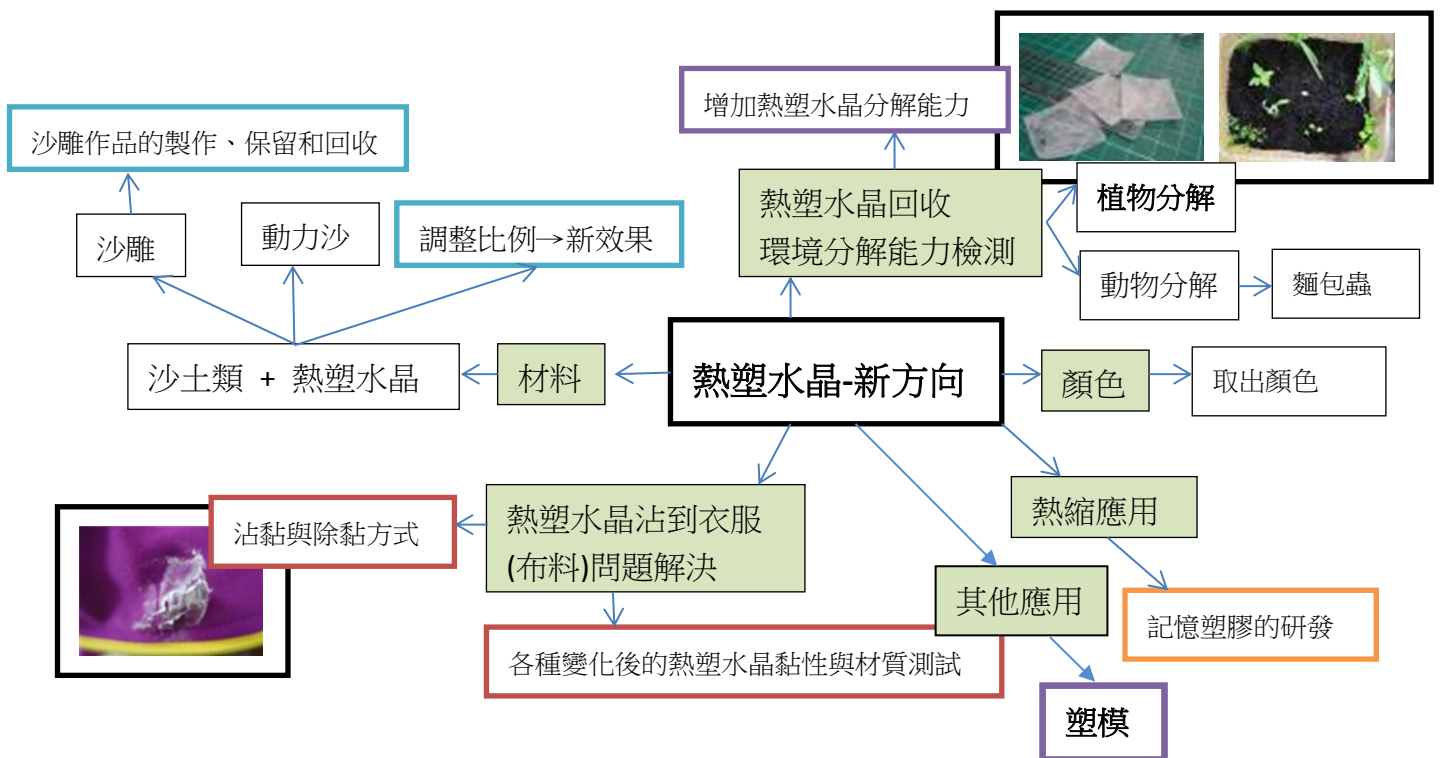
(一)、研究原因：

本來我們以為塑膠是一種[堅不可摧]的材質，在這麼多的實驗歷程中，才發現其實簡單的膠類就能改變塑膠特質。因此，能否以這樣方向，嘗試保留不同膠類的優點，加入熱塑水晶讓其成為可回收、可分解物質。因此，除了改變熱塑水晶原有的特性之外，我們試著進一步從不同觀點研究熱塑水晶，也嘗試再找出更佳的生活應用。

(二)、研究紀錄及結果：

1.未來研究方向架構圖：

我們將繼續討論熱塑水晶的各種可能，以期有時間時可以進一步完成進行試驗。



2.熱塑水晶分解能力測試：

(1)、**研究原因**：熱塑水晶一直強調可以分被分解，那，我們想試著進一步了解他真的如產品所說是容易分解的塑膠嗎？

(2)、**研究方法**：我們將一般熱塑水晶壓成薄片、裁切成等大的正方形，放入培養土，同時種植植物，並於半年後取出看其狀況是否有改變。

流程一 ：20151118 製成薄片，裁切成正方形		流程二 ：20151118 埋入盆栽(標記)、種上植物	
			
流程三 ：放置等待觀察		流程四 ：20160329 挖出	
			

(3)、**研究結果**：

從 20151118 到 20160329 這段日子中，熱塑水晶的薄片的確發生崩解、碎裂的狀況。

原來薄片的樣子		四個月後的薄片，出現小洞、脆裂!		
				

甲、我們推測熱塑水晶，在泥土裡因為溫度、壓力等，四個月後出現明顯的碎裂的狀態。

乙、熱塑水晶比起一般塑膠，的確比較容易崩解、碎裂。

丙、聰明的老鼠，竟然看懂我們的記號，把放入的小塊熱塑水晶叼走。

3.熱塑水晶塑模應用

(1)、**研究原因**：我們一直在尋找熱塑水晶的應用，其中，我們將這半年多研究過程中產生的廢材全部於熱水中加熱看其效果，卻意外發現，熱塑水晶的新應用。

(2)、**研究方法及實驗測試**：

<實驗甲>將熱塑水晶廢材全部融入熱水：

流程一 ：實驗過程產出的廢材混合加熱		流程二 ：測試延展性、拉膜	
			
色彩繽紛		拉開-延展性佳	

<實驗乙>：熱塑水晶塑模

廢材的延展性佳、拉膜效果好。我們想試著把它變成塑模的材料(手模、臉模~~等)。但，一般熱塑水晶在進行塑模時會出現三個主要問題：

我們試著以我們的研究數據，根據這三個問題，進行配方的調配。





問題	說明	處理
沾手	❶一旦熱塑水晶太黏，就會沾黏在模型或手上，不利於塑模的推擠動作 →→要能不沾手。	清潔劑
溫度高	❷溫度不能太高，不然製作過程，手就會燙傷了!→→溫度不能太高。	矽膠
太快乾	❸塑模需要長一點的時間→→硬掉的速度要減慢。	矽膠





過程：

將熱塑水晶配方黏在手上，製模。	脫模!	想試試看臉!
		

<實驗丙>：灌模

既然已經塑了模型，在製作過程中很容易發覺外面的手黏到後來總是坑坑疤疤像[鬼片裡的手]。但，模子裡面還是看得到當出手的紋路或狀況。因此，塑了模，我們就嘗試用現有材料(矽利康、矽膠+硬化劑)進行灌模的動作。看其效果，並了解是否能順利脫模。

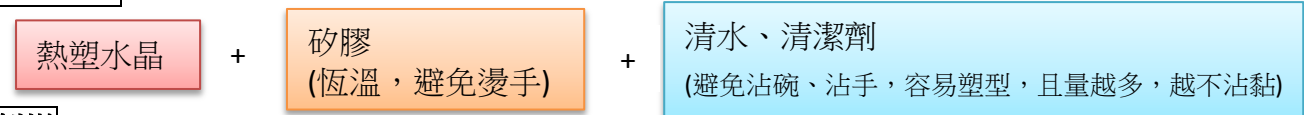
原有物品	模型	灌入「矽利康」脫模	灌入「矽膠+硬化劑」脫模
			

原有物品	模型	灌入「矽利康」脫模	灌入「矽膠+硬化劑」脫模
			

(3)、研究結果：

1.製模 SOP 流程：

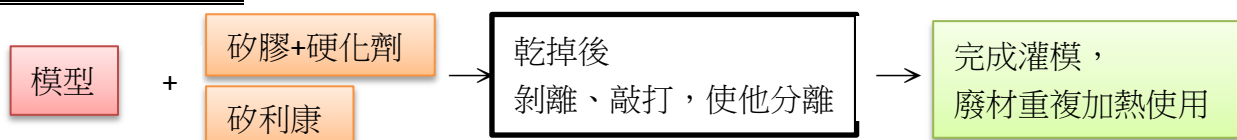
材料製作



製模

- 甲、將所有材料，用熱水加熱(溫度不會像直接加熱高)，黏在需翻模的物品上(物品上先塗上一層清潔劑)
- 乙、等乾掉後，即可脫模!

2.灌模 SOP 流程：



伍、結論

一、熱塑水晶特性及使用方式：

1. 基本特性：

溫度-是一種[熱塑性塑膠]	顏色	特質
70 度左右的溫度即可軟化塑形，不能加熱超過 200 度	白色→加熱：透明→冷卻：白色 需使用色母或廣告顏料色	無毒可無限重複使用、可被生物分解

2. 溫度對熱塑水晶的影響：

溫度需達 60 度以上，熱塑水晶才會開始變透明、沾黏、軟化。溫度越高，速度越快。

3. 加熱方式對熱塑水晶的影響：

加熱方式	泡 70 度熱水加熱	泡熱水持續加熱	隔水加熱	直接加熱
效果	×不軟化、效果差	○可調整水溫	×溫差大不均勻	○速度快/不沾到水

4. 熱塑水晶沾黏效果：

(1) 熱塑水晶直接加熱黏的效果 > 泡水加熱法。(水會影響沾黏效果)

(2) 熱塑水晶對不同材質沾黏效果不同，塑膠類有的和熱塑水晶黏得很緊(EX：PC、PVC)，也有完全黏不住的(PP)。而金屬、玻璃幾乎完全無法用熱塑水晶黏住。

黏得很牢	→			完全無法黏住(立即分開)
①塑膠類：PC、PVC ②紙板	木板	培養皿(PE)	板夾(PMMA)	①金屬：鐵、鋁 ②玻璃 ③PP

(3) 熱塑水晶加入不同膠類，沾黏效果不同。熱熔膠加入熱塑水晶，可以黏住原來黏不住的材料(EX、金屬、玻璃、PP)，甚至撐過 3000 公克以上的重物。

5. 熱塑水晶的量化測試結果：我們將熱塑水晶利用自製的量化裝置進行測試，結果如下：

延展性	線粗	絲線的韌性	熱縮量
105 圈	0.24mm	85.4 圈	26%

我們以此為基準，進行一連串檢測工作的標準值。

二、熱塑水晶的上色：

1. 上色方式：直接加熱 >>泡熱水加熱 (避免部分顏料溶在水中分散掉)

2. 不同顏料效果不同，其中以蠟筆效果最佳！10 公克的熱塑水晶，大約需要 1 公克蠟筆就

能染出和原來蠟筆相似的顏色。隨著蠟筆克數的降低，熱塑水晶顏色也會降低。

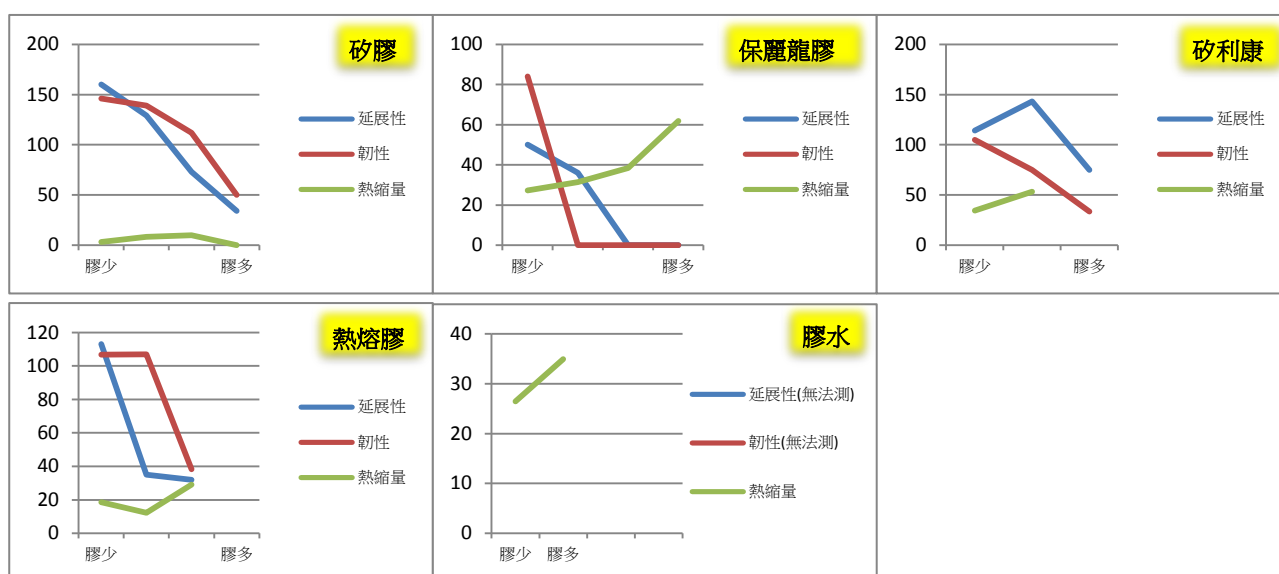
3. 除了上色，加入蠟筆後，還能讓熱塑水晶具有不黏手、柔軟滑順的效果。

4. 蠟筆和色母上色的比較：(◎代表比較中獲勝)

	取得	1g 可染熱塑水晶量	價格	染 100g 熱塑水晶	
				需量	價格
蠟筆	◎方便	10 公克	◎1 根蠟筆(5g)，大約 3 元	10g →	◎6 元
色母	困難	◎100 公克	1g 要 50 元	◎1g →	50 元

三、膠類 和 熱塑水晶 混合後的效果：

1. 不同的膠類混合熱塑水晶，會因為膠類的特質產生不同的效果，如下：



分析(1) 矽膠具蓄熱的能力，降低了熱塑水晶冷卻的速度，提升了產品的延展性和韌性。

(2) 矽利康、矽膠、熱熔膠，都是本身具有彈性的膠類，能夠提升產品的韌性。

(3) 保麗龍膠，本身熱縮、彈性的效果就很好，透過熱塑水晶延緩他收縮力量，就能在熱塑水晶軟化後，一次釋放原有的力量，就能提升產品的熱縮量及熱縮速度。

2. 膠類的量，對熱塑水晶影響很大。不同的比例，會產生不同的效果。

3. 膠類+熱塑水晶的應用中，[熱縮]是一個很棒的效果，也許有機會做出記憶塑膠的產品。

4. 透過這樣的方式，我們有機會改變塑膠萬年垃圾的汙染問題，讓塑膠回收利用的更徹底。

四、其他材質(非膠類) 和 熱塑水晶 混合後的效果分析：

1. 油類(矽油/蠟燭)熱塑水晶：因油的特性而產生：①吸熱溫度高→軟。②不易沾碗。的特點

2. 粉末類熱塑水晶：不同粉末效果有差異，但共同狀況都是 → 他們沒有改變熱塑水晶的性

質，只是透過熱塑水晶把這些粉末包起來而已！

	太白粉	爽身粉	沙子
特色	自己和熱水作用→太白粉糊	滑石粉→吸熱→溫度高→軟	有動力沙的感覺，但更硬





3. 清潔劑：清潔劑隔絕了熱塑水晶和鐵碗或手直接沾黏的問題，這樣的特性，協助我們日後在處理熱塑水晶沾碗問題的解決模式及應用。

熱塑水晶實驗碗清理模式：

- (1) 容易剝離碗的熱塑水晶，就等它乾掉後再進行剝離工作即可。
- (2) 不易剝離碗的熱塑水晶，只要加入一點清潔劑、水，在電磁爐上加熱混合，熱塑水晶容易聚在一起，清理上就變得很容易了。

五、量化裝置：

我們的量化向度有：①壓薄片、②製絲、③絲的粗細、④絲的韌性、⑤熱縮量、⑥沾黏效果。除了「③絲的粗細」和「⑤熱縮量」是 motic image plus 軟體透過照片上的比例計算出產品大小。其他都需要設計出的檢測裝置(如下)。

裝置	薄片定量模式	沾黏測試方式	蛋捲製絲延展測試機	韌性測試拉絲機
照片				
目的	壓薄片	沾黏效果	製絲	絲的韌性
方式	利用簡單的概念、素材，將 SOP 流程訂出來		利用樂高製作機器協助人力產生的誤差	

六、膠類熱塑水晶的新應用與延伸研究：

1. 熱塑水晶埋在土裡，會因溫度、壓力…等因素而產生崩解，和一般不分解的塑膠的確不同。
2. 我們試著利用研究所得的結果，調配出更適合塑模的熱塑水晶，來進行製模的工作：
 - ①利用[矽膠]克服溫度過高、太快乾掉的問題。
 - ②利用[清潔劑]解決沾手黏手的問題，就不會只能捏出造型，還能變成塑模的工具。
3. 熱塑水晶還能配合 3D 列印的廢棄材料或線材混合後，產生熔點較低可重複回收的線材。

陸、心得

這一次科展，在大家一起研究、探討下，我們度過了開心的八個月！其實，從一開始訂題目我們就有很多不同的想法，最後才聚焦在很有挑戰的塑膠材料 - 熱塑水晶。老師說，塑膠不像水溶液，我們很難幫它加入東西或改變性質，也不斷質疑我們要進行塑膠研究的意義和價值是什麼？雖然塑膠的確是環保殺手，但，如果人類短時間內無法全面停止使用塑膠，那就應該試著用更環保、可重複回收的塑膠漸漸取代那些無法回收的萬年塑膠垃圾。所以，我們說服老師帶我們一起挑戰這個題目。

過程中，其實很辛苦，塑膠真的很難搞定！前面我們幾乎都是拿熱塑水晶「包餡」(包粉、包顏料…)，一度陷入膠著狀態。一直到膠類和熱縮效果的出現，我們才慢慢看見熱塑水晶真的改變了。有了改變，量化工具又成為我們頭痛的事情，要在短時間內做出大量的量化機器，使用後還要不斷修正、再修正…忙到快虛脫，光是計數器就改裝了好多次，但做出那幾台機器的量化裝置(蛋捲機、拉絲機…)時，我們真的好有成就感。

這五個月，我們的手常常得在熱水中攪和，一不小心，就被膠黏到燙的哇哇叫！有時，我們不知道自己是在練[鐵砂掌]？還是在實驗？但，霸王級寒流來時就覺得自己好幸福。這段歷程中，我們最開心的就是能和一群好朋友一起挑戰科展。我們彼此間會互相分工協助，擅長機器、擅長實驗……最後一起挑戰大家最不擅長的紀錄工作。當計較的少，得到的就多。

我們第一次挑戰化學，老師說我們會在無字天書中慢慢感受化學的魅力(他給我們看的文章，我們都看不懂！)。也許，我們對於塑膠或聚合物本身的理解沒有那麼厲害，但，這段時間下來，我們真的看見了化學最有趣的地方，當 $A + B$ 會等於什麼？沒有實驗前，真的不知道。在化學的世界裡，好像什麼意想不到、變化莫測的驚喜，什麼~~都有可能啊!!

柒、參考資料

(一)科展資料：

1. 王涵韻、許子胤、鍾安昀、楊詠晴(2015)。[遊戲·矽油]-矽、粉末與沙的對話。中華民國第 55 屆科學展覽作品說明書。
2. 陳錡霖、黃敏榮、陳玟茜、顏欣顥、曾子庭、王柏凱 (2007)。塑形密碼。中華民國第 47 屆科學展覽作品說明書。
3. 汪佳儀、陳亭妤、陳逸柔(2007)。壓不扁的玫瑰-「植物」形狀記憶合金及其應用。中華民國第 47 屆科學展覽作品說明書。

4. 李宜緯、鄭正如(2012)。有記憶的高分子。科學發展 476 期。

(二)其他重要網路資料：

1. 塑膠中心 <http://www.pidc.org.tw/zh-tw/DIV12/12/Pages/p004.aspx>
塑膠中心-智能材料 <http://www.pidc.org.tw/zh-tw/DIV12/11/115/Pages/F905.aspx>
2. 維基百科：<http://zh.wikipedia.org/>
3. 熱塑性塑膠受熱後的歷程及行為
<http://littlejeff.pixnet.net/blog/post/6581022-%E7%86%B1%E5%A1%91%E6%80%A7%E5%A1%91%E8%86%A0%E5%8F%97%E7%86%B1%E7%9A%84%E6%AD%B7%E7%A8%8B%E5%8F%8A%E8%A1%8C%E7%82%BA>
4. 國立清華大學-科普網-形狀記憶合金(2008)
<http://gensci.phys.nthu.edu.tw/#sthash.8HRBQZY1.dpbs>
5. 洗碗精+矽利康 = 黏土 https://www.youtube.com/watch?v=C6z3_dcP1_M
6. 生活智慧王：六號塑膠杯變杯墊 https://www.youtube.com/watch?v=KwC1_KewweE
7. 自製鬼口水(泰國) <https://www.youtube.com/watch?v=lspVMZu6CNk>
8. 自製膠水 <https://www.youtube.com/watch?v=MolFOOtHTrQ>
9. 自製 3D 列印筆
<https://tw.tech.yahoo.com/news/%E7%86%B1%E7%86%94%E8%86%A0%E6%A7%8D%E5%8A%A0%E6%A8%82%E9%AB%98%E7%A9%8D%E6%9C%A8-3d%E5%88%97%E5%8D%B0%E7%AD%86%E4%B9%9F%E8%83%BD%E8%87%AA%E5%B7%B1%E5%81%9A-080400974.html>
10. 形狀記憶物質(未來的科學) <https://www.youtube.com/watch?v=Aycf46ocKxA>
11. 自製生物塑料 https://www.youtube.com/watch?v=5M_eDLyfzp8
12. 自製塑膠(保麗龍) <https://www.youtube.com/watch?v=VNslClO5qOU>
13. 牛奶塑膠
<http://www.citytalk.tw/bbs/thread-176949-%E3%80%90Maker%20Faire%E3%80%91DIY%E7%B0%A1%E5%96%AE3%E6%AD%A5%E9%A9%9F%EF%BD%9E%E7%89%9B%E5%A5%B6%E8%A%E8%A%E5%A1%91%E8%86%A0-1.html>

【評語】 080208

本作品把熱塑水晶以不同物質混合，成功改造了原來的材料，增加更多元的應用，實驗過程能自製薄片定量裝置及延展測試機，符合科學家探究精神：團體合作無間、講解生動有趣，尤其是能將市售商品作變化結合新應用，並開發脫模模型，指紋複製、握筆膠套，甚至推展至 3D 列印低溫原料等有趣實用之應用，實在令人驚艷！其實驗設計嚴謹有趣且富應用潛力，是不可多得之優良作品。