

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學(一)(機電與資訊)

組別：國中組

作品名稱：「冷」嘲「熱風」的「高壓」手段-探討渦流管在不同構造條件下的冷熱風差異與應用

關鍵詞：渦流管、3D 列印、空壓機

編號：112JB-I001

摘要

我們參考了 Youtuber 佑來了介紹渦流管的影片，依照指示做出了類渦流管，再經由實驗分別找出不同材質、孔洞數、孔洞角度、孔徑、管徑對冷熱分離效果的影響，並將每一組實驗中成效最好的變因沿用到下一組實驗，最後將所有結果組合再一起得出成效最好為 PLA 材質、4 孔、孔洞角度 60 度、孔徑 0.2 公分、管徑 1.2 公分。

得到成效最好的組合後，再以此類渦流管分別與常見、耗電量又高的冷氣及冰箱進行比較，相比之下渦流管有對環境友善、不需使用冷媒、可快速冷卻及加熱的優點，但同時卻有效率受限、需壓縮空氣、無持久性、溫度易隨壓力變化的缺點，因此我們認為消暑和保存食物的電器，還是以冷氣和冰箱更適合。

壹、前言

一、研究動機

近年來全球暖化的問題日益嚴重，也成了人人關注的焦點議題，其中電器的過度使用與其脫離不了關係。每到炎炎夏日便是冷氣等消暑相關電器使用次數最氾濫的時期，大眾在這期間不僅往往為了一時的享受造成不必要的能源浪費，更默默的加快了全球暖化的腳步，為生態體系、水土資源、人類社經活動與生命安全等帶來不可忽視的危害。

我們想起了過去聽說同樣有冷熱分離功能，卻有免維護、體積小、重量輕、不浪費空氣消耗量等優點的渦流管，我們不禁好奇這個神奇的渦流管能分離出溫差多大的冷熱風，而既然功能相同、對環境也十分友善，為什麼在人們家中還是傾向於使用冷氣消暑以及使用冰箱保存食物？

因此我們決定設計實驗找出對渦流管冷熱分離成效最好的條件，但考量到市售渦流管多數都組裝完成，不易拆解觀察加再上市售渦流管價格普遍位在 4~5 位數，若是購買大量渦流管來進行實驗將會遠遠超出我們的預算。由於以上原因，我們決定參考 Youtuber 佑來了的 PVC 類渦流管製作影片，自己動手製作「類渦流管」並透過實驗的設計和操作，找出成效最佳類渦流管的條件，再分別與日常生活中用量大同時耗電量也十分高的冷氣、冰箱比較優缺點，藉此推論出渦流不常使用在日常生活的原因。

二、研究目的

- (一) 比較 PVC 材質與 PLA 材質的類渦流管對冷熱分離效果之影響。
- (二) 探究不同孔洞數對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。
- (三) 探究不同孔洞角度對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。
- (四) 探究不同孔徑大小對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。
- (五) 探究不同管徑大小對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。
- (六) 透過上述實驗得到成效最佳 PLA 材質的類渦流管，並與冷氣、冰箱相互比較。

三、文獻回顧

(一)渦流管原理

利用空壓機將壓縮空氣注入渦流管，傾斜的孔洞會使氣流在管中迅速旋轉。這時，氣流可以達到每分鐘轉一百萬次的速度。一部分的氣流會流向較長的那一端，碰到熱端的控制閥會反彈。其餘渦流管內部的渦流會將熱量由控制閥與外部的空隙釋放到外部。而反彈的渦流因為已經釋放掉大部分熱量，形成冷氣。冷氣會由冷端的小孔中流出。

(二)渦流管應用

在生活中人們使用渦流管作為烘焙冷卻的工具。它可以當作可調溫冷卻槍使用，在工業加工的領域有很大的利用價值。也可以取代加工、切割、鑽孔、磨削等工業加工的冷卻液。渦流管不需要冷媒，因此對環境相對友善。

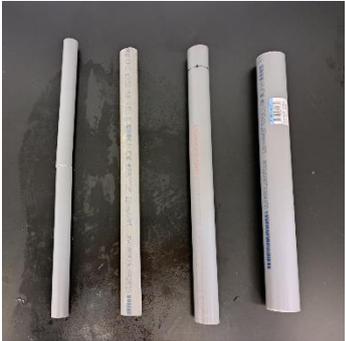
貳、研究設備與器材

一、類渦流管製作相關器材

(一)3D 列印

		
3D 繪圖軟體: onshape	3D 列印機	3D 列印耗材: PLA 線 (黑、白、透明)

(二)組裝和其他材料

		
PVC 管 (3 分、4 分、6 分、1 吋)	AB 膠 (A 膠和 B 膠以體積 1:1 混合)	水管剪

		
塑膠快插接頭	電鑽	測量及標記工具

二、實驗設備

		
空壓機	溫度計	碼表

三、類渦流管的構造與製作方法

(一)製作方法:

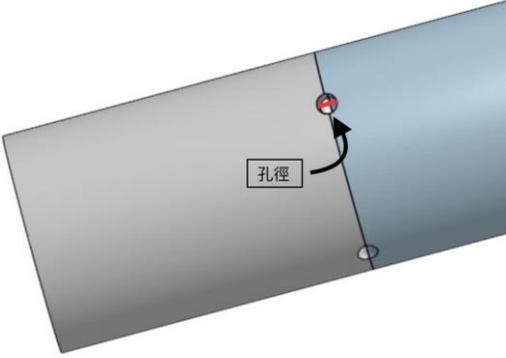
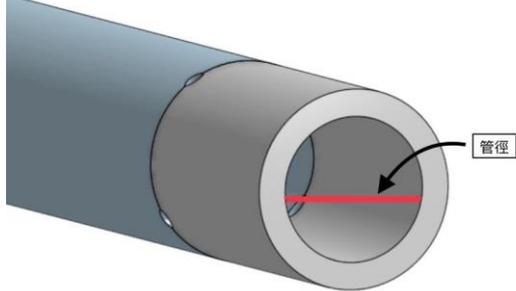
1. PVC 材質

- (1)分別將不同管徑的 PVC 管用水管剪切割成內管、中管、外管
- (2)畫出 3D 列印的熱端與冷端
- (3)用電鑽在內管鑽出孔洞(須以斜向鑽入)
- (4)用水管膠黏合 3 層 PVC 管
- (5)用 AB 膠黏合塑膠快插接頭、冷端、熱端

2. PLA 材質

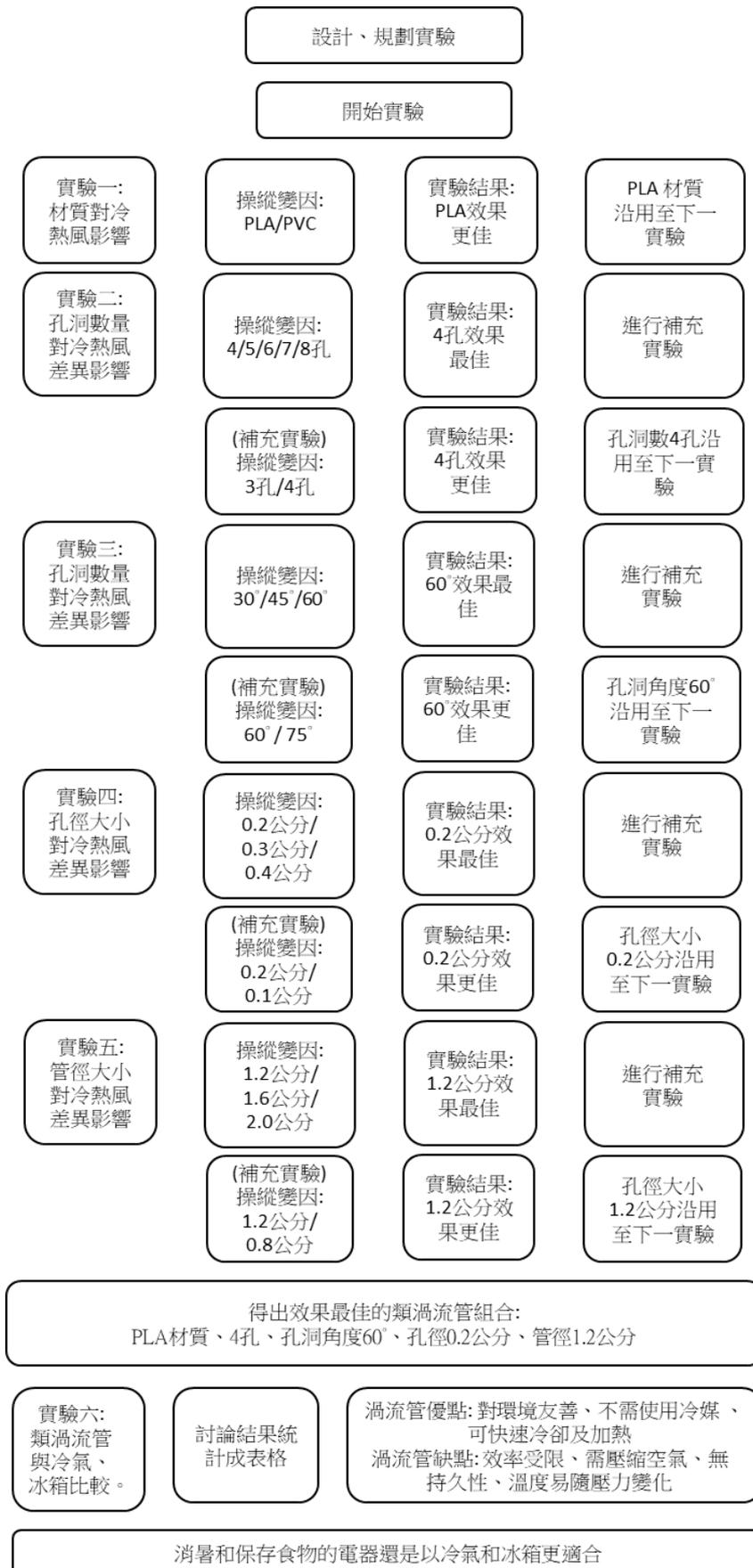
- (1)畫出 3D 列印的熱端、冷端、內管、中層、外層(依據每個實驗之操縱變因作尺寸的調整)
- (2)用 AB 膠黏合各部件
- (3)用 AB 膠黏合塑膠快插接頭

(二)類渦流管構造:

構造	內管	中管	外管
示意圖			
功能	壓縮氣體在管中形成渦流	連接內層和外層	連接塑膠快插接頭
構造	冷端	熱端	塑膠快插接頭
示意圖			
功能	使冷氣從中流出	控制閥，反彈在管內的渦流並釋放熱氣	連接空壓機的塑膠管，注入高壓空氣
 <p>孔徑</p>		 <p>管徑</p>	
實驗中的孔徑		實驗中的管徑	

參、研究過程或方法

一、研究過程



二、研究方法

(一)設計實驗

實驗一:比較 PVC 材質與 PLA 材質的類渦流管對冷熱分離效果之影響

我們分別使用 PVC 管和 3D 列印的 PLA 材質製作類渦流管，並比較兩者分離冷熱空氣的效果。

實驗二:探究不同孔洞數對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響

我們利用 3D 繪製軟體 Onshape 在各類渦流管的最內管中分別將孔洞數繪製為 3 孔、4 孔、5 孔、6 孔、7 孔、8 孔，並以此為操縱變因，利用實驗得知各孔洞數不同的類渦流管冷熱端產生之渦流溫度，找出成效最好者並將其孔洞數沿用到下組實驗。

實驗三:探究不同孔洞角度對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響

我們利用 3D 繪製軟體 Onshape 在各類渦流管的最內管中分別將孔洞角度繪製為 30 度、45 度、60 度，並以此為操縱變因，利用實驗得知各孔洞角度不同的類渦流管冷熱端產生之渦流溫度，找出成效最好者並將其孔洞角度沿用到下組實驗。

實驗四：探究不同孔徑大小對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。

我們利用 3D 繪製軟體 Onshape 在各類渦流管的最內管中分別將孔徑大小繪製為 0.2 公分、0.3 公分、0.4 公分，並以此為操縱變因，利用實驗得知各孔徑大小不同的類渦流管冷熱端產生之渦流溫度，找出成效最好者並將其孔徑大小沿用到下組實驗。

實驗五：探究不同管徑大小對 PLA 材質的類渦流管冷熱氣流溫度之影響。

我們利用 3D 繪製軟體 Onshape 在各類渦流管的最內管中分別將管徑大小繪製為 1.2 公分、1.6 公分、2.0 公分，並以此為操縱變因，利用實驗得知各管徑大小不同的類渦流管冷熱端產生之渦流溫度，找出成效最好者並將其管徑大小沿用到下組實驗。

(二)操縱變因選擇原因/比較項目選擇原因

實驗一：我們觀看了佑來了的影片，他是用 PVC 管製作類渦流管，所以我們決定參考其製作方式。我們之後會選擇使用 PLA 是因為 3D 列印較手動穿孔能鑽出更精準的角度。另外，市售的 PVC 管種類十分有限，我們無法隨心所欲的選擇管徑。

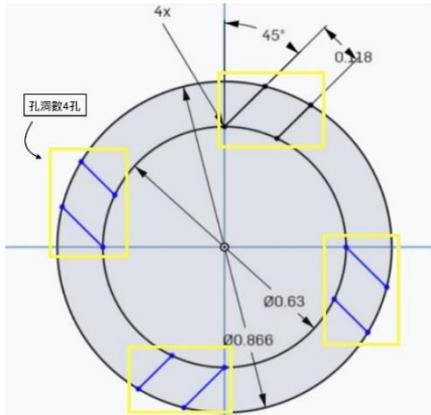
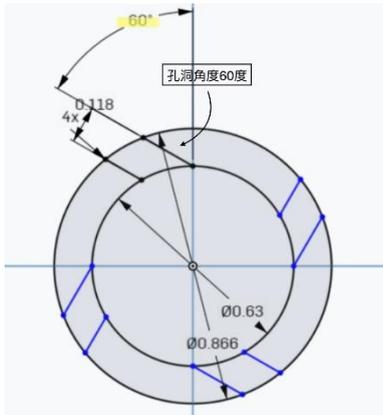
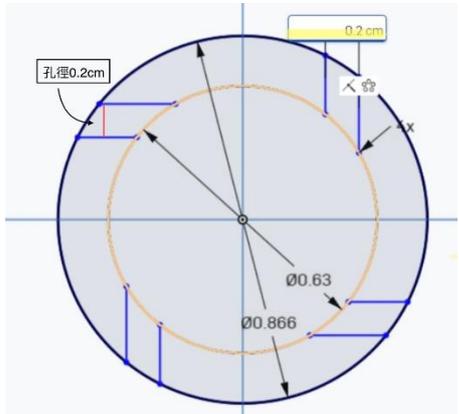
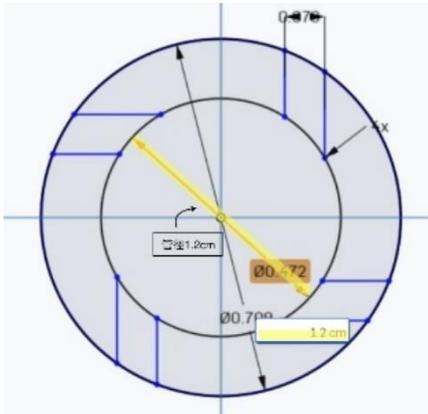
實驗二：我們參考佑來了影片，其中是以 6 孔進行製作。我們選擇製作 3 孔~8 孔的類渦流管是希望透過孔洞數的微調，嘗試能否找出其他成效好的組合。

實驗三：實驗一和實驗二的孔洞角度皆是用 45 度，而選擇 45 度是因為 90 度會垂直於管內介面，很難產生渦流。因 45 度正好是 90 度的一半，我們決定將 45 度±15 度，測試孔洞角度對成效的影響。

實驗四：實驗一、實驗二和實驗三的孔徑皆是 0.3 公分，我們決定將 0.3 公分 \pm 0.1 公分進行測試。因為想到孔徑對注入氣流的影響應會有顯著的差異，所以我們選擇以每組只微調 0.1 公分的方式製作。

實驗五：實驗一到實驗四的管徑皆是 1.6 公分，我們決定將 1.6 公分 \pm 0.4 公分進行測試。我們參考影片中的管徑大小，也就是 1.6 公分。希望透過製作不同的管徑大小並進行測試，能找到最好的效果組合。而我們選擇將原管徑 \pm 0.4 公分的理由為：考慮到若類渦流管管徑差距小，其成效不明顯的緣故，且+0.4 公分正好是 2 公分整，因此我們便將公差設為 0.4 公分。

實驗六：經過多次測試，我們已找出最好的類渦流管組合。選擇比較「普遍使用溫度範圍」是因為不同範圍的溫度對於使用者的需求會有所差異。選擇比較「成本」是因為它是許多消費者與廠商的基本考量。選擇比較「壽命」是因為它對於成本有顯著的影響，而且我們也希望能找出成本低，卻很耐用的組合。最後比較三者各自的「優缺點」作為它們在使用上的總評價及差異。

	
<p>實驗二孔洞數量繪製圖(圖 3-1)</p>	<p>實驗三孔洞角度繪製圖(圖 3-2)</p>
	
<p>實驗四孔徑大小繪製圖(圖 3-3)</p>	<p>實驗五管徑大小繪製圖(圖 3-4)</p>

(三)控制變因

實驗一：空壓機氣壓(8kg/cm²)、時間(30 秒)、溫度計原溫(室溫)、類渦流管管徑大小(1.6 公分)、孔洞數(6 孔)、孔洞角度(45 度)、孔徑大小(0.3 公分)、各構造長度。

實驗二：空壓機氣壓(8kg/cm²)、時間(30 秒)、溫度計原溫(室溫)、類渦流管管徑大小(1.6 公分)、材質(PLA)、孔洞角度(45 度)、孔徑大小(0.3 公分)、各構造長度。

實驗三：空壓機氣壓(8kg/cm²)、時間(30 秒)、溫度計原溫(室溫)、類渦流管管徑大小(1.6 公分)、孔洞數(4 孔)、材質(PLA)、孔徑大小(0.3 公分)、各構造長度。

實驗四：空壓機氣壓(8kg/cm²)、時間(30 秒)、溫度計原溫(室溫)、類渦流管管徑大小(1.6 公分)、孔洞數(4 孔)、材質(PLA)、孔洞角度(60 度)、各構造長度。

實驗五：空壓機氣壓(8kg/cm²)、時間(30 秒)、溫度計原溫(室溫)、類渦流管孔徑大小(0.2 公分)、孔洞數(4 孔)、材質(PLA)、孔洞角度(60 度)、各構造長度。

(四)應變變因及沿用之變因選擇方法

我們經由實驗得知數據結果後，透過分析冷熱氣流溫度及計算溫差，找出個實驗中成效最好者，即為冷氣流溫度愈低，其成效愈佳；熱氣流溫度愈高，其成效愈佳；溫差愈大，其成效愈佳，並將其操縱變因沿用到後續實驗。

(五)實驗步驟

實驗一：

- 1.利用器具切割 PVC 管，並用電鑽在最內管鑽孔
- 2.利用 Onshape3D 列印繪圖軟體繪製冷熱端及另一支類渦流管（PLA 材質）的零件
- 3.將繪製成果列印
- 4.利用 AB 膠將零件黏合組裝
- 5.使用空壓機、溫度計、碼表進行第一組實驗（材質）
- 6.紀錄實驗數據並分析討論

			
利用器具切割 PVC 管(圖 3-5)	列印 PLA 類渦流管零件(圖 3-6)	利用 AB 膠將零件黏合組裝(圖 3-7)	進行第一組實驗(圖 3-8)

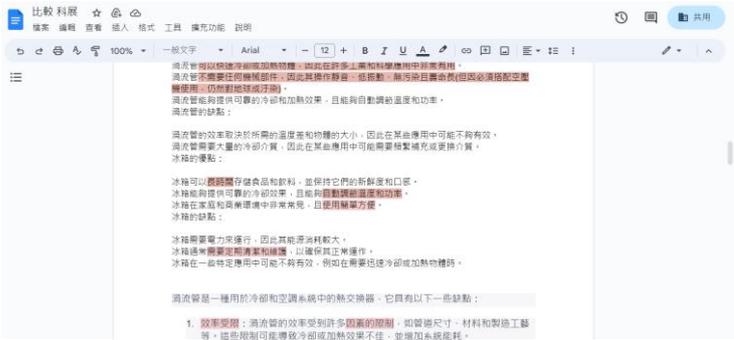
實驗二至實驗五:

- 1.利用 Onshape3D 列印繪圖軟體繪製此組類渦流管相關零件
- 2.將繪製成果列印
- 3.利用 AB 膠將零件黏合組裝
- 4.使用空壓機、溫度計、碼表進行實驗
- 5.紀錄實驗數據並分析討論
- 6.選出冷熱分離成效最佳的類渦流管並將其操縱變因沿用至下一實驗

		
<p>列印實驗二至實驗五類渦流管零件(圖 3-9)</p>	<p>利用 AB 膠將零件黏合組裝(圖 3-10)</p>	<p>進行實驗二至實驗五的實驗(圖 3-11)</p>

實驗六:

- 1.上網查詢類渦流管的優缺點
- 2.上網查詢冷氣的優缺點
- 3.上網查詢冰箱的優缺點
- 4.彙整資料
- 5.討論並比較三者的差異
- 6.將結果統整成表格

	
<p>查詢實驗六相關資料(圖 3-12)</p>	<p>彙整實驗六相關資料(圖 3-13)</p>

肆、研究結果

實驗一、探討不同材質的類渦流管是否對冷熱分離效能產生影響

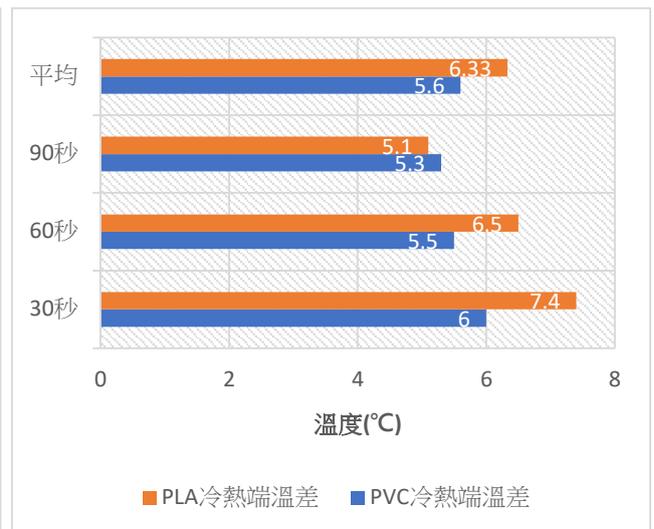
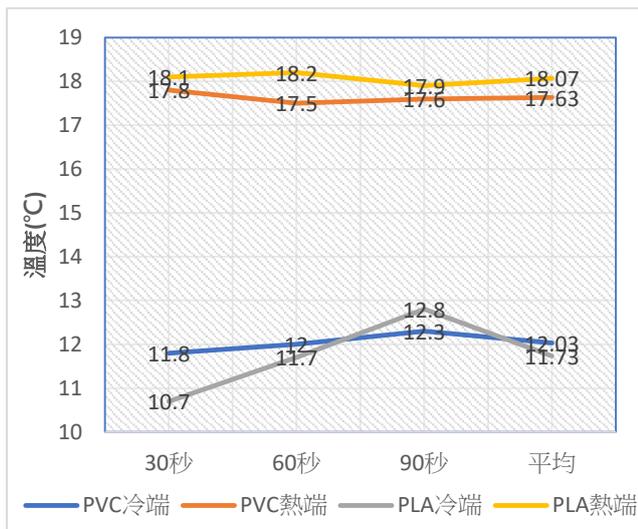
(一) 實驗結果

溫度計原溫度: 17.7(±0.1)°C

材質/時間	PVC		PLA	
	冷端最冷溫度 (°C)	熱端最熱溫度 (°C)	冷端最冷溫度 (°C)	熱端最熱溫度 (°C)
30 秒	11.8	17.8	10.7	18.1
60 秒	12.0	17.5	11.7	18.2
90 秒	12.3	17.6	12.8	17.9
平均(四捨五入至 小數點後第二位)	12.03	17.63	11.73	18.07

(二) 溫差計算

材質/時間	PVC 冷熱端溫差(°C)	PLA 冷熱端溫差(°C)
30 秒	6.0	7.4
60 秒	5.5	6.5
90 秒	5.3	5.1
平均(四捨五入至小數點後第二位)	5.60	6.33



(圖 4-1)不同材質類渦流管冷熱分離效能比較 (圖 4-2) 不同材質類渦流管冷熱風溫差比較

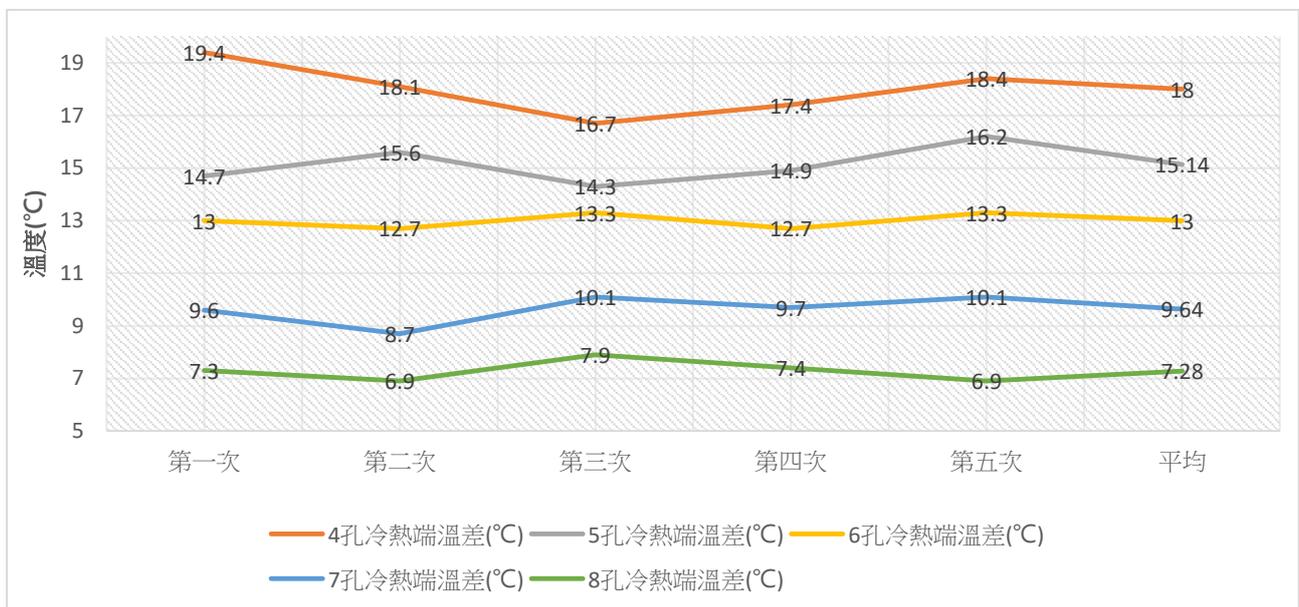
結果：由此表格可知，PLA 材質的類渦流管效果較 PVC 好。所以我們選擇 PLA 材質沿用至下一個實驗。

實驗二、探討不同孔洞數量的類渦流管是否對冷熱分離效能產生影響

(一) 實驗結果

溫度計原溫度: 21.1(±0.1)°C

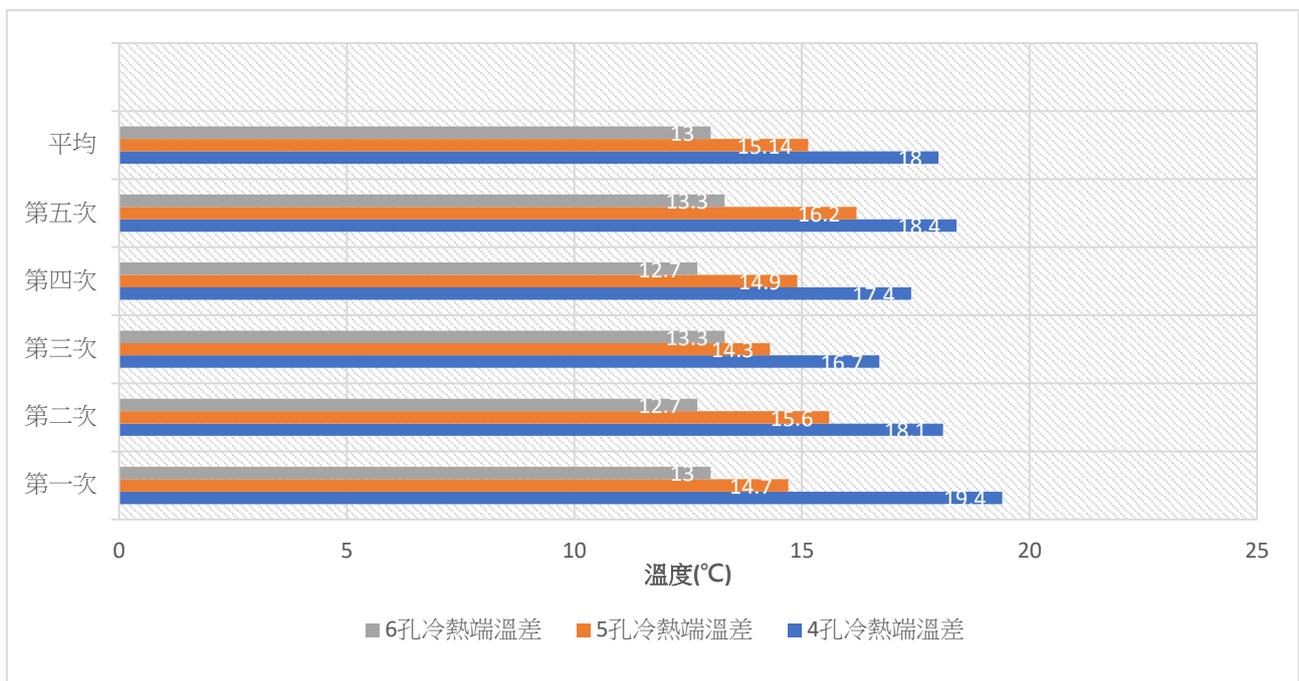
	孔洞數 /次數	4孔	5孔	6孔	7孔	8孔
冷端最 冷溫度 °C	第一次	6.2	8.3	13.3	15.5	16.7
	第二次	6.8	7.9	13.4	14.8	18.3
	第三次	7.6	8.7	12.4	14.6	16.9
	第四次	7.4	8.6	13.2	15.2	17.3
	第五次	7.2	8.0	12.9	14.9	17.6
	平均(四捨五入 至小數點後第二位)	7.00	8.30	13.00	15.00	17.40
熱端最 熱溫度 °C	第一次	25.6	24.6	26.3	25.1	23.0
	第二次	24.9	23.0	26.1	23.5	24.2
	第三次	24.3	23.0	25.7	24.7	23.8
	第四次	24.8	23.5	25.9	24.9	23.7
	第五次	25.6	24.2	26.2	25.0	23.5
	平均(四捨五入 至小數點後第二位)	25.0	23.7	26.0	24.6	23.2



(圖 4-3) 不同孔洞數量的類渦流管冷熱分離效能比較

(二)溫差計算

	4 孔冷熱端 溫差(°C)	5 孔冷熱端 溫差(°C)	6 孔冷熱端 溫差(°C)	7 孔冷熱端 溫差(°C)	8 孔冷熱端 溫差(°C)
第一次	19.4	14.7	13.0	9.6	7.3
第二次	18.1	15.6	12.7	8.7	6.9
第三次	16.7	14.3	13.3	10.1	7.9
第四次	17.4	14.9	12.7	9.7	7.4
第五次	18.4	16.2	13.3	10.1	6.9
平均(四捨五 入至小數點後第 二位)	18.00	15.14	13.00	9.64	7.28

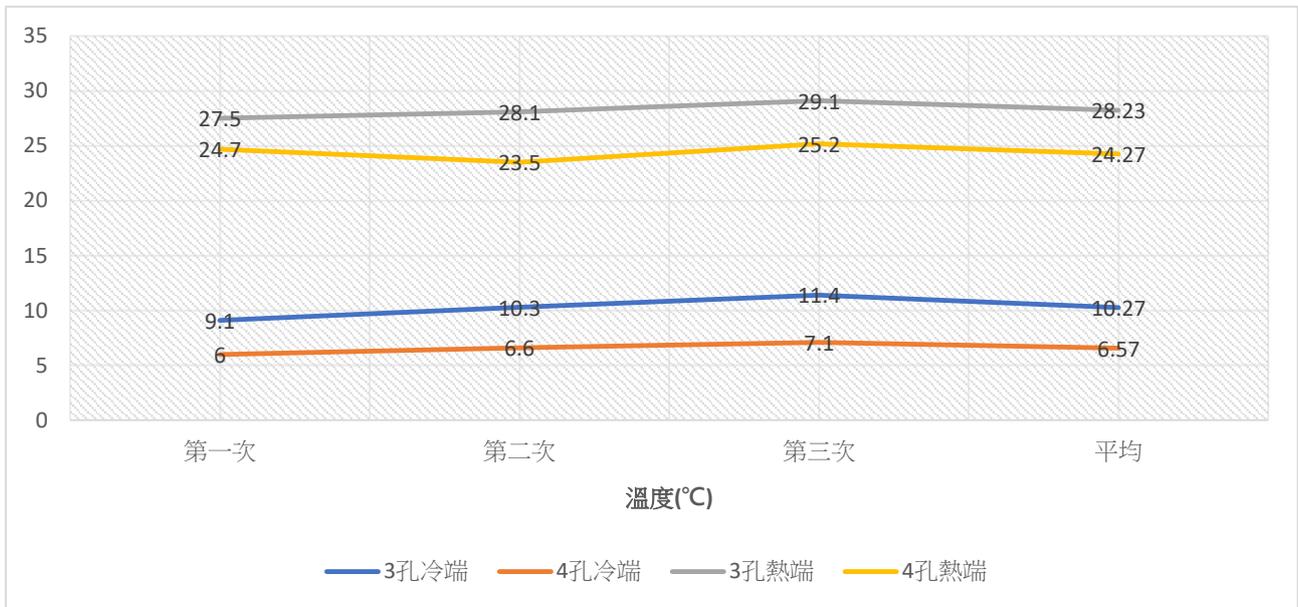


(圖 4-4) 不同孔洞數量流管冷熱風溫差比較

(三)補充實驗

溫度計原溫度: 21.1(±0.1)°C

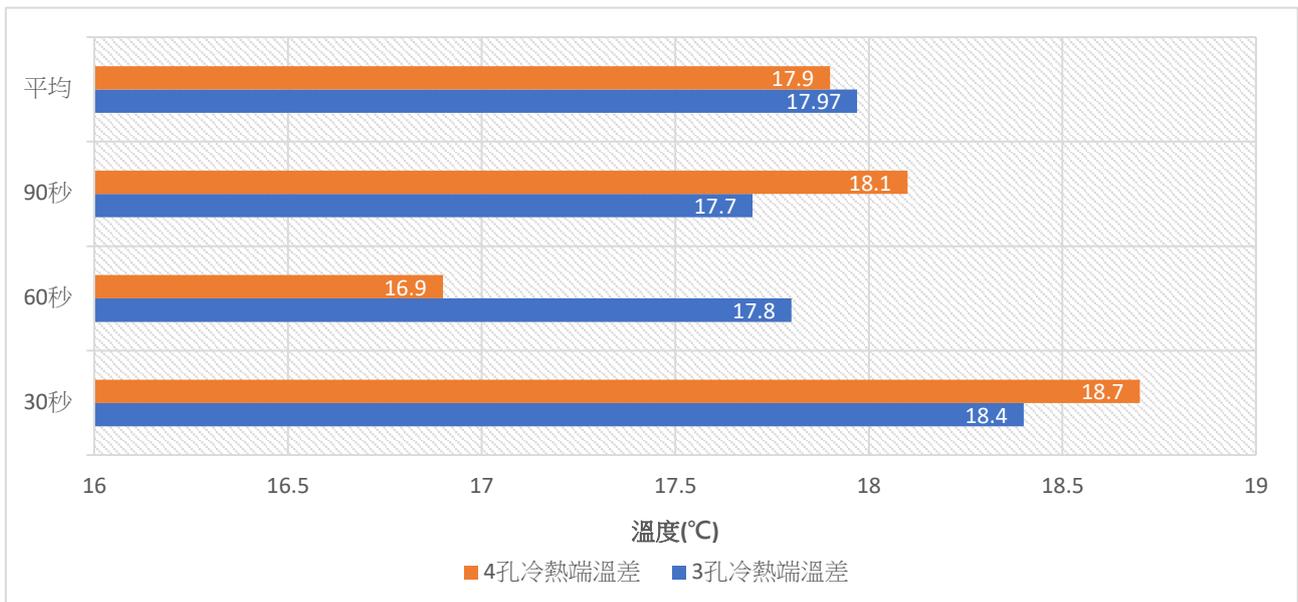
孔洞角度	3 孔	4 孔	
冷端最 冷溫度 °C	第一次	9.1	6.0
	第二次	10.3	6.6
	第三次	11.4	7.1
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	10.27	6.57
熱端最 熱溫度 °C	第一次	27.5	24.7
	第二次	28.1	23.5
	第三次	29.1	25.2
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	28.23	24.27



(圖 4-5) 3 孔和 4 孔的類渦流管冷熱分離效能比較

(四)補充實驗溫差計算

	3 孔冷熱端溫差(°C)	4 孔冷熱端溫差(°C)
30 秒	18.4	18.7
60 秒	17.8	16.9
90 秒	17.7	18.1
平均(四捨五入至小數點後第二位)	17.97	17.90



(圖 4-6) 3 孔和 4 孔類渦流管冷熱風溫差比較

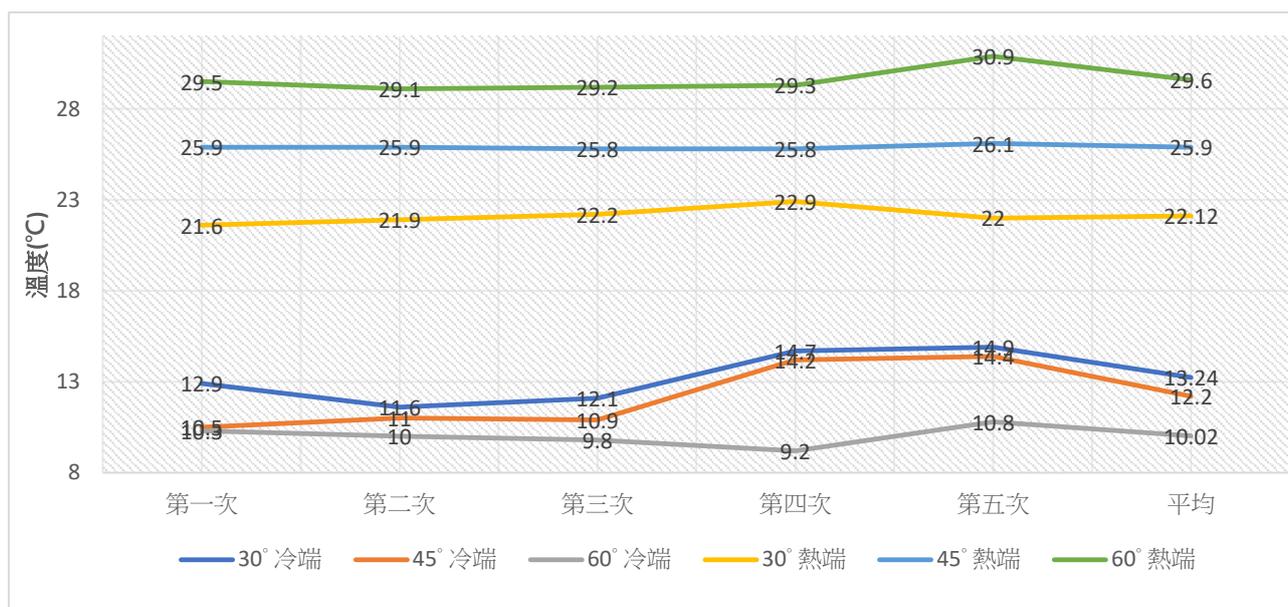
結果：由此表格可知，4孔的類渦流管成效最好。因此們將4孔沿用至下一個實驗。但我們一開始認為孔洞數愈少效果會愈好，進而設計了補充實驗，就是比較3孔和4孔的效果，結果是4孔的成效較好。

實驗三、探討不同孔洞角度的類渦流管是否對冷熱分離效能產生影響

(一) 實驗結果

溫度計原溫度:21.0(±0.1)°C

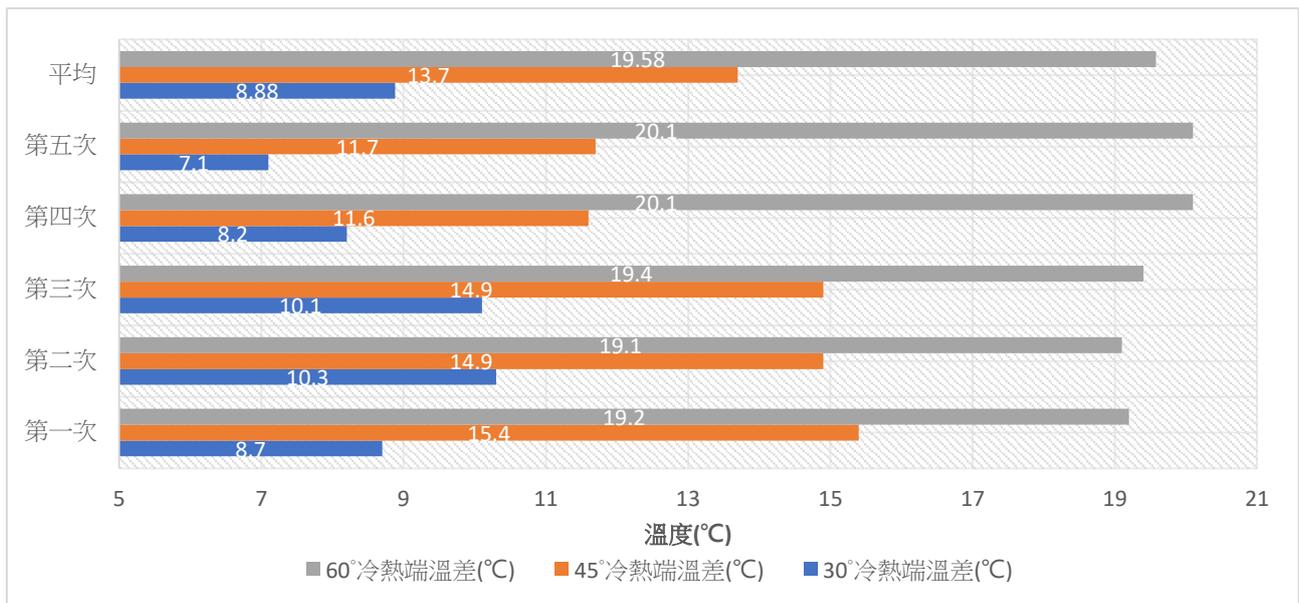
	孔洞角度	30 度	45 度	60 度
冷端最冷溫度 °C	第一次	12.9	10.5	10.3
	第二次	11.6	11.0	10.0
	第三次	12.1	10.9	9.8
	第四次	14.7	14.2	9.2
	第五次	14.9	14.4	10.8
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	13.24	12.20	10.02
熱端最熱溫度 °C	第一次	21.6	25.9	29.5
	第二次	21.9	25.9	29.1
	第三次	22.2	25.8	29.2
	第四次	22.9	25.8	29.3
	第五次	22.0	26.1	30.9
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	22.12	25.90	29.60



(圖 4-7) 不同孔洞角度的類渦流管冷熱分離效能比較

(二)溫差計算

	30 度冷熱端溫差(°C)	45 度冷熱端溫差(°C)	60 度冷熱端溫差(°C)
第一次	8.7	15.4	19.2
第二次	10.3	14.9	19.1
第三次	10.1	14.9	19.4
第四次	8.2	11.6	20.1
第五次	7.1	11.7	20.1
平均(四捨五入至小數點後第二位)	8.88	13.70	19.58

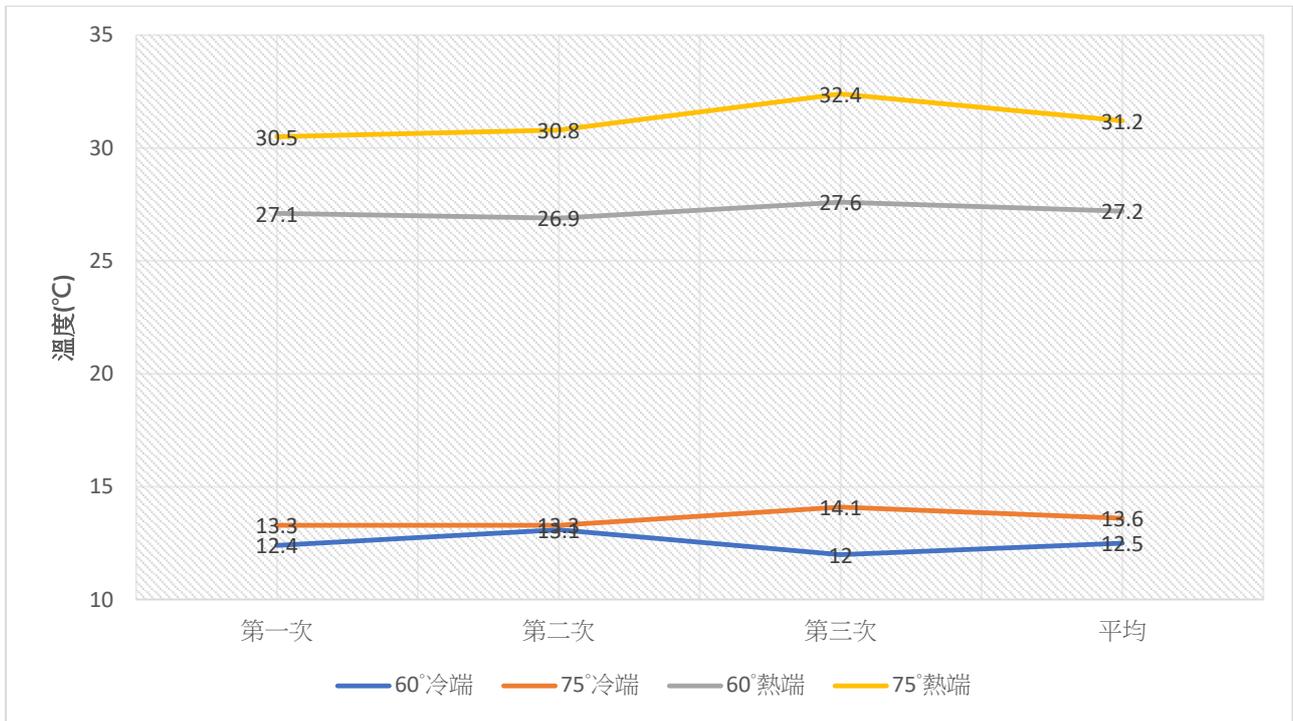


(圖 4-8) 不同孔洞角度類流管冷熱風溫差比較

(三)補充實驗

溫度計原溫度: 22.3 (±0.1)°C

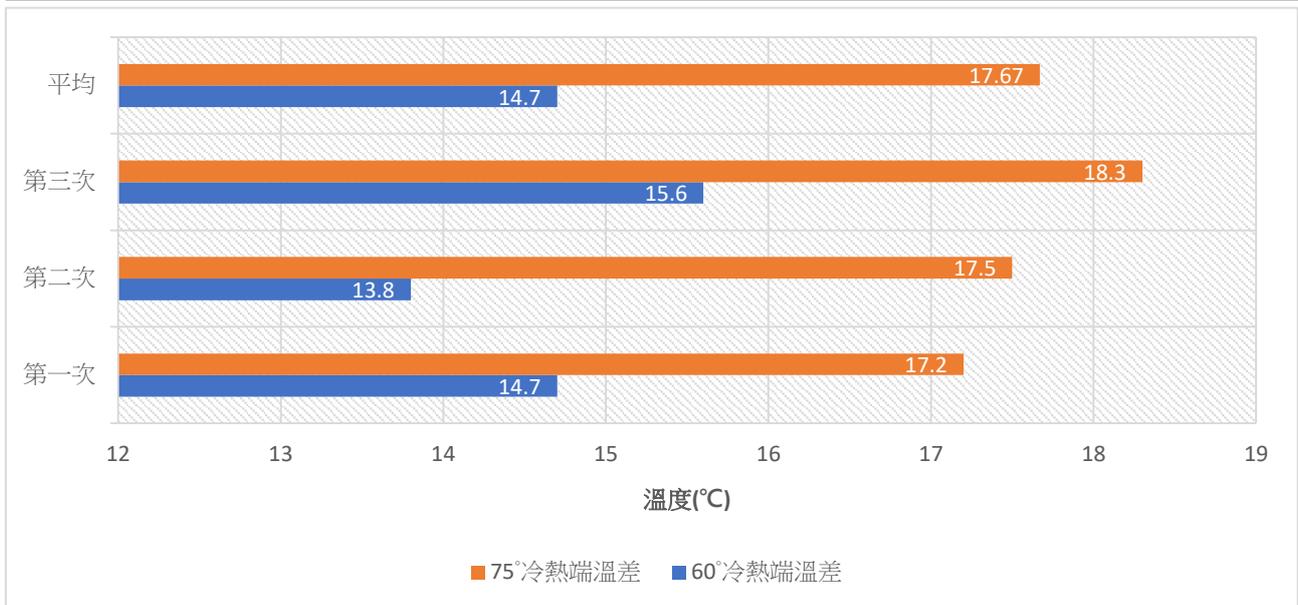
	孔洞角度	60 度	75 度
冷端最冷溫度 °C	第一次	12.4	13.3
	第二次	13.1	13.3
	第三次	12.0	14.1
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	12.50	13.60
熱端最熱溫度 °C	第一次	27.1	30.5
	第二次	26.9	30.8
	第三次	27.6	32.4
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	27.20	31.20



(圖 4-9) 60 度和 75 度的類渦流管冷熱分離效能比較

(四)補充實驗溫差計算

	60 度冷熱端溫差(°C)	75 度冷熱端溫差(°C)
第一次	14.7	17.2
第二次	13.8	17.5
第三次	15.6	18.3
平均(四捨五入至小數點後第二位)	14.70	17.67



(圖 4-10) 60 度和 75 的類渦流管冷熱風溫差比較

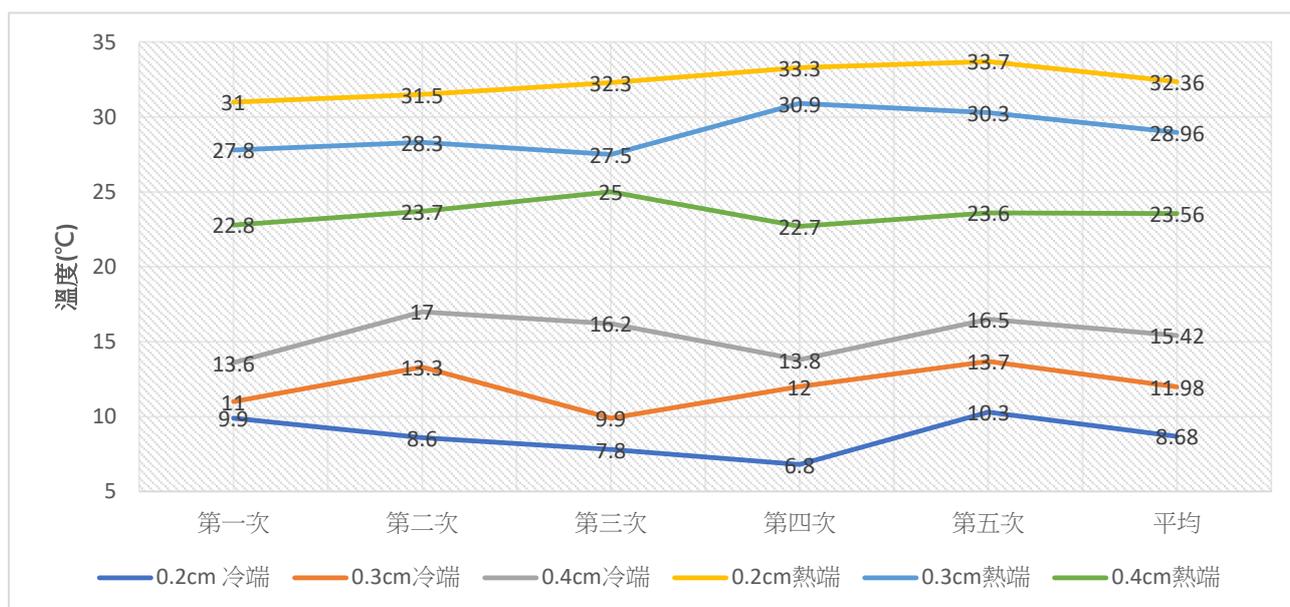
結果：由此表格可知，60度的類渦流管成效最好，因此我們將其沿用到下一個實驗。但我們一開始推測傾斜角度愈大(不超過90度)，效果會愈好。因此我們設計了補充實驗，測試60度和75度的成效何者較好，結果75度的效果較差。

實驗四、探討不同孔徑大小的類渦流管是否對冷熱分離效能產生影響

(一)實驗結果

溫度計原溫度:21.5°C (±0.1°C)

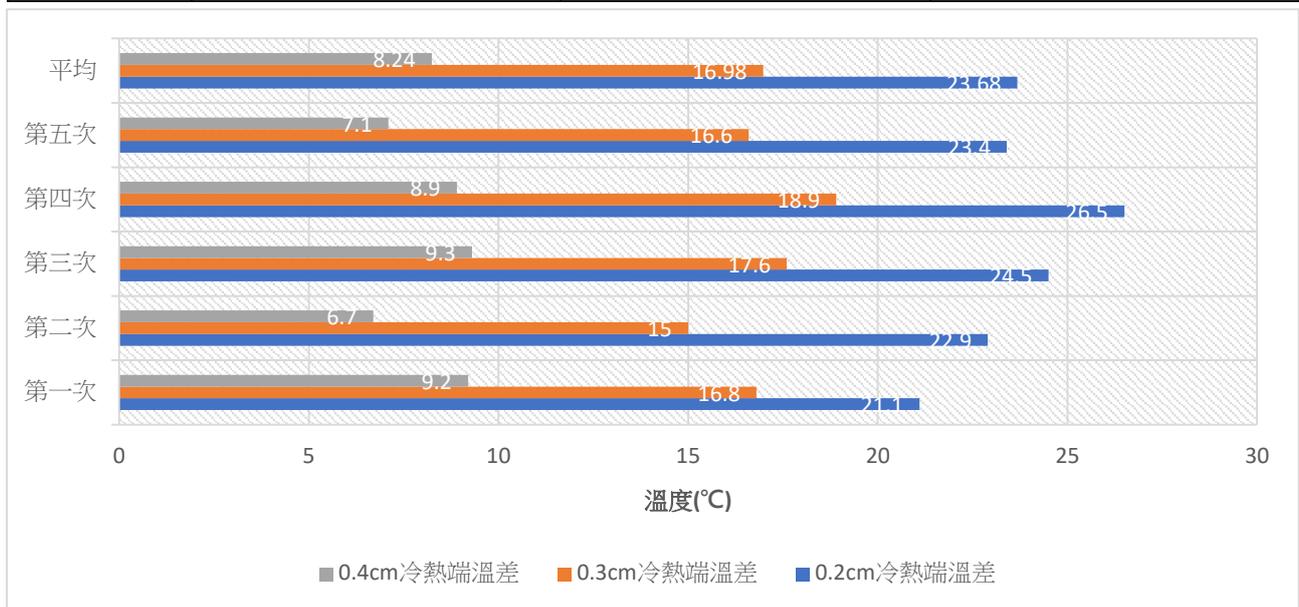
	孔徑大小	0.2 公分	0.3 公分	0.4 公分
冷端最冷溫度 °C	第一次	9.9	11.0	13.6
	第二次	8.6	13.3	17.0
	第三次	7.8	9.9	16.2
	第四次	6.8	12.0	13.8
	第五次	10.3	13.7	16.5
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	8.68	11.98	15.42
熱端最熱溫度 °C	第一次	31.0	27.8	22.8
	第二次	31.5	28.3	23.7
	第三次	32.3	27.5	25.0
	第四次	33.3	30.9	22.7
	第五次	33.7	30.3	23.6
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	32.36	28.96	23.56



(圖 4-11) 不同孔徑大小的類渦流管冷熱分離效能比較

(二)溫差計算

	0.2 公分冷熱端溫差 (°C)	0.3 公分冷熱端溫差 (°C)	0.4 公分冷熱端溫差 (°C)
第一次	21.1	16.8	9.2
第二次	22.9	15.0	6.7
第三次	24.5	17.6	9.3
第四次	26.5	18.9	8.9
第五次	23.4	16.6	7.1
平均(四捨五入至小數點後第二位)	23.68	16.98	8.24



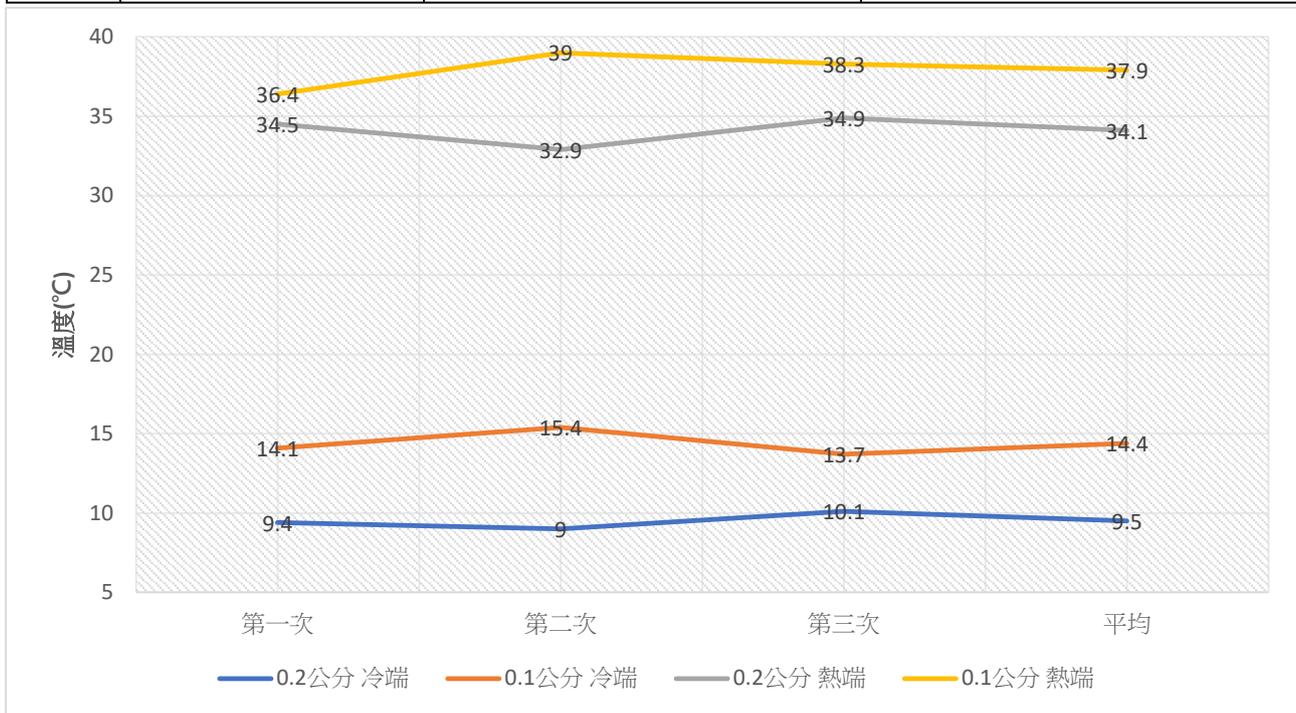
(圖 4-12) 孔徑大小的類渦流管冷熱風溫差比較

(三)補充實驗

溫度計原溫度: 25.3°C (±0.1°C)

	孔徑大小	0.2 公分	0.1 公分
冷端最冷溫度 °C	第一次	9.4	14.1
	第二次	9.0	15.4
	第三次	10.1	13.7
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	9.50	14.40

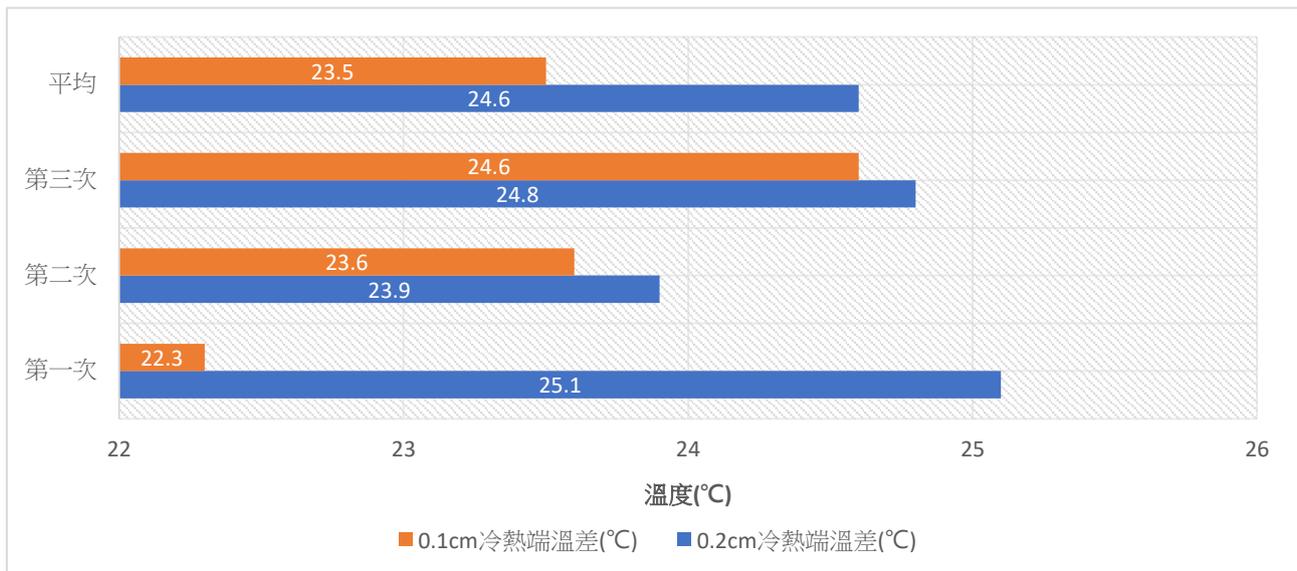
熱端 最熱 溫度 °C	第一次	34.5	36.4
	第二次	32.9	39.0
	第三次	34.9	38.3
	平均(四捨五入至小數 點後第二位)	34.10	37.90



(圖 4-13) 孔徑 0.2 公分和 0.1 公分的類渦流管冷熱分離效能比較

(四)補充實驗溫差計算

	0.2 公分冷熱端溫差(°C)	0.1 公分冷熱端溫差(°C)
第一次	25.1	22.3
第二次	23.9	23.6
第三次	24.8	24.6
平均(四捨 五入至小數 點後第二位)	24.60	23.50



(圖 4-14) 孔徑 0.2 公分和 0.1 公分的渦流管冷熱風溫差比較

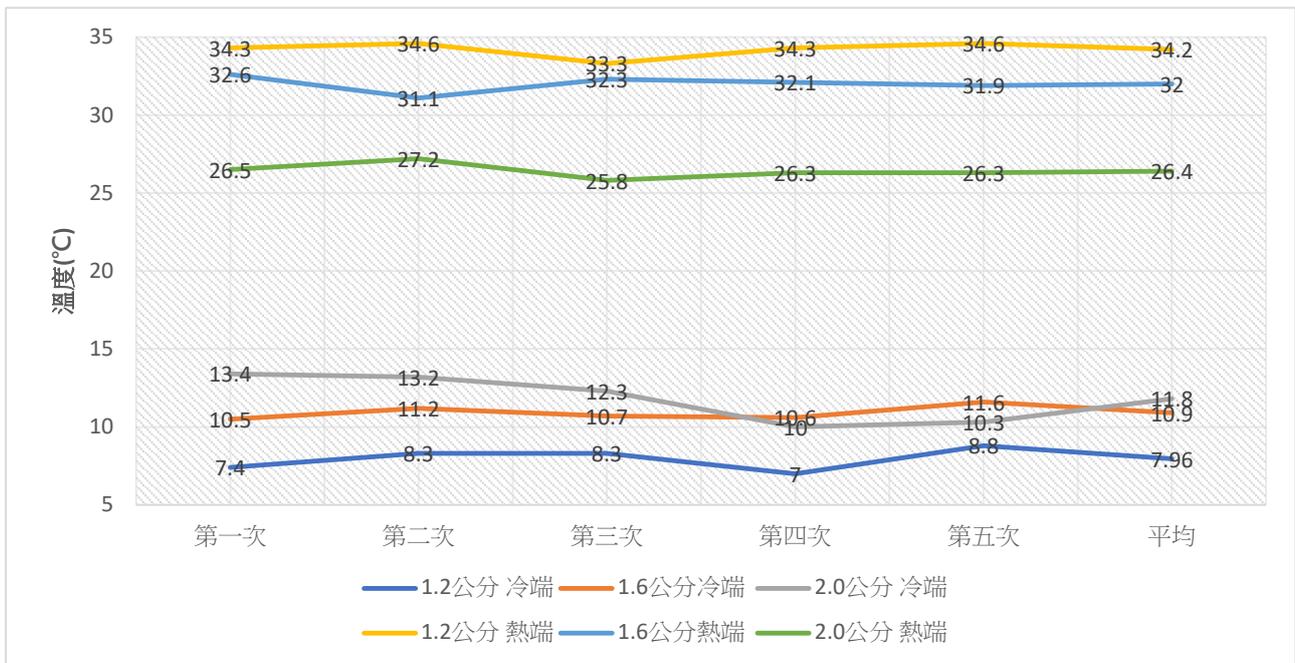
結果：由此表格可知，孔徑 0.2 公分的類渦流管成效最好，因此我們將其沿用至下一個實驗。一開始我們推測孔徑愈小，成效會愈好。為了證明推測，我們設計了補充實驗，比較孔徑 0.1 公分和 0.2 公分的類渦流管何者成效較好。結果是 0.2 公分的成效較好。

實驗五、探討不同管徑大小的類渦流管是否對冷熱分離效能產生影響

(一) 實驗結果

溫度計原溫度: 23.0°C (±0.1°C)

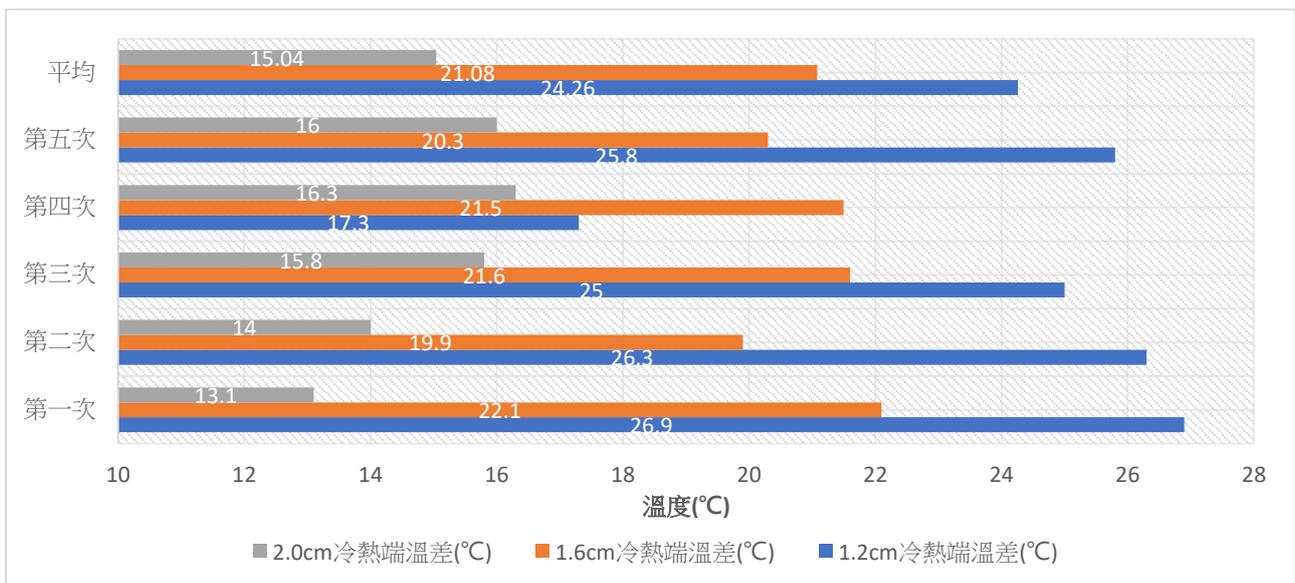
	管徑大小	1.2 公分	1.6 公分	2.0 公分
冷端最冷溫度 °C	第一次	7.4	10.5	13.4
	第二次	8.3	11.2	13.2
	第三次	8.3	10.7	12.3
	第四次	7.0	10.6	10.0
	第五次	8.8	11.6	10.3
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	7.96	10.90	11.80
熱端最熱溫度 °C	第一次	34.3	32.6	26.5
	第二次	34.6	31.1	27.2
	第三次	33.3	32.3	25.8
	第四次	34.3	32.1	26.3
	第五次	34.6	31.9	26.3
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	34.20	32.00	26.40



(圖 4-15) 不同管徑大小的類渦流管冷熱分離效能比較

(二) 溫差計算

	1.2 公分冷熱端溫(°C)	1.6 公分冷熱端溫(°C)	2.0 公分冷熱端溫(°C)
第一次	26.9	22.1	13.1
第二次	26.3	19.9	14.0
第三次	25.0	21.6	15.8
第四次	17.3	21.5	16.3
第五次	25.8	20.3	16.0
平均(四捨五入至小數點後第二位)	24.26	21.08	15.04

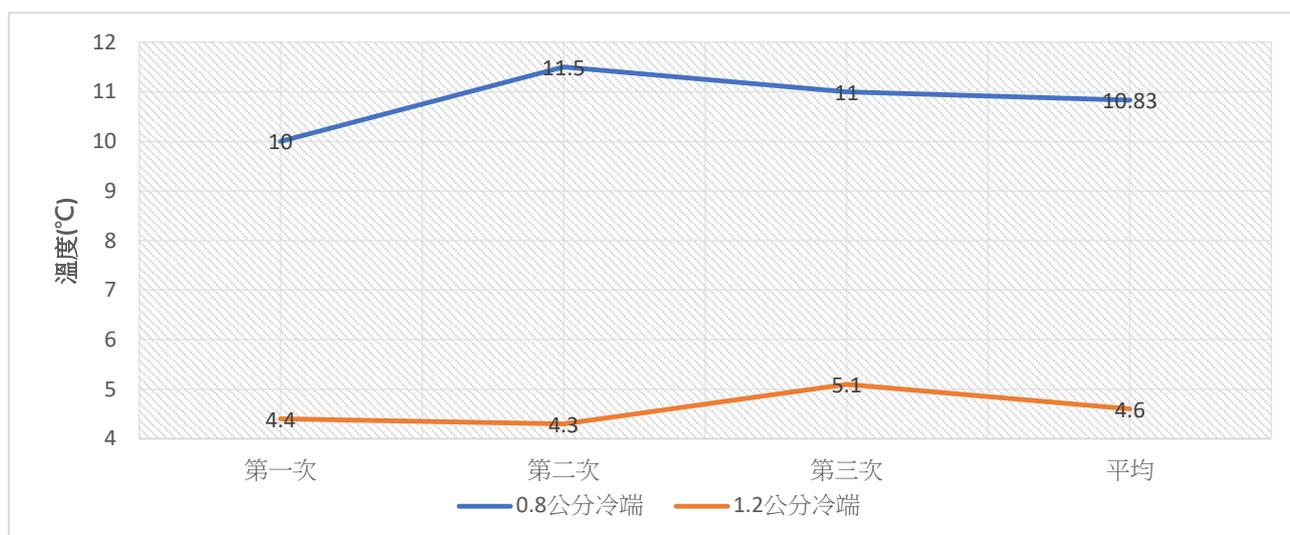


(圖 4-16) 管徑大小的類渦流管冷熱風溫差比較

(二) 補充實驗

溫度計原溫度: 20.0°C (±0.1°C)

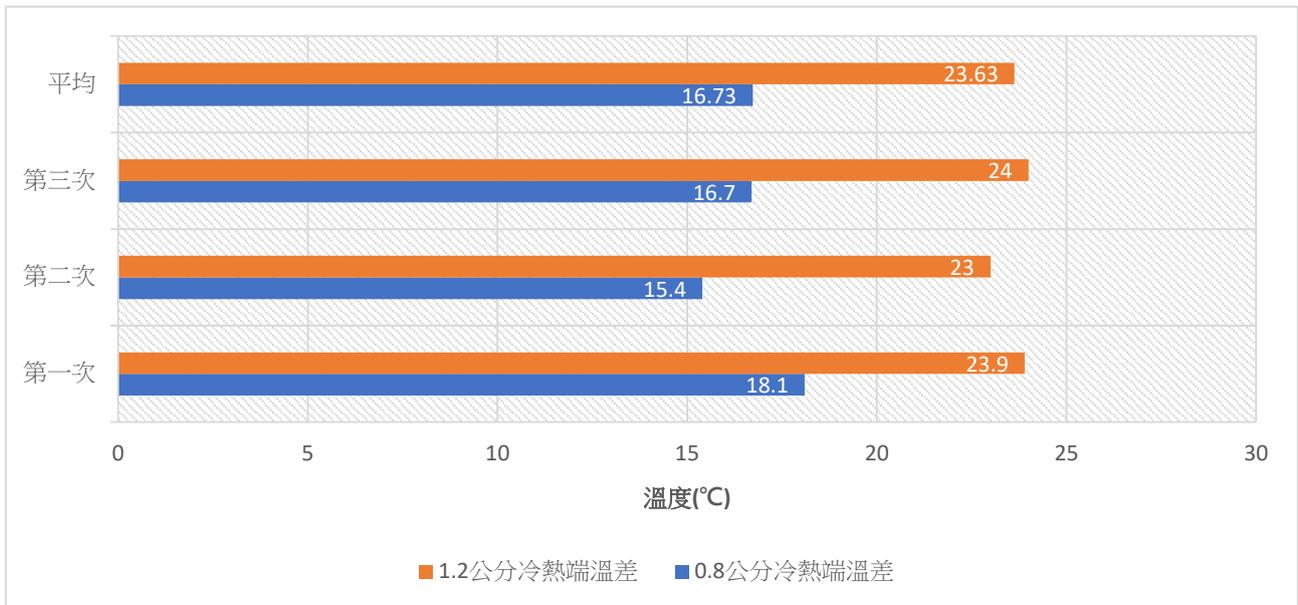
	管徑大小	0.8 公分	1.2 公分
冷端最冷溫度 °C	第一次	10.0	4.4
	第二次	11.5	4.3
	第三次	11.0	5.1
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	10.83	4.60
熱端最熱溫度 °C	第一次	28.1	28.3
	第二次	26.9	27.3
	第三次	27.7	29.1
	平均(四捨五入至小數點後第二位)	27.57	28.83



(圖 4-17) 管徑 0.8 公分和 1.2 公分的類渦流管冷熱分離效能比較

(二) 溫差計算

	0.8 公分冷熱端溫差(°C)	1.2 公分冷熱端溫差(°C)
第一次	18.1	23.9
第二次	15.4	23.0
第三次	16.7	24.0
平均(四捨五入至小數點後第二位)	16.73	23.63



(圖 4-18) 管徑 0.8 公分和 1.2 公分的類渦流管冷熱風溫差比較

結果：由此表格可知，管徑 1.2 公分的類渦流管成效最好，因此將其沿用至下一個實驗。但我們推測管徑愈小成效會愈好，因此設計了補充實驗。我們測試管徑 0.8 公分和 1.2 公分的類渦流管，發現 1.2 公分的成效較好。

實驗六、將成效最佳的類渦流管與冷氣、冰箱相互比較。

	渦流管	冷氣	冰箱
普遍使用溫度範圍	市售渦流管： 冷端 4~7 (°C) 熱端 62~66 (°C) 自製類渦流管： 冷端 4.3~7 (°C) 熱端 34.3~35 (°C)	大眾使用冷氣的普遍溫度：18~28 (°C)	一般冰箱冷藏溫度：3~5 (°C)
成本	無油式空壓機市價：5000-15000 元之間	市價普遍在 20000-40000 元之間	市價普遍在 5000-7000 元之間
壽命	無油式空壓機壽命：約 2000 小時	5-10 年	10-15 年
其他優點	對環境友善 -不需要使用冷媒，可避免其洩漏造成的污染 -操作簡單 -可快速冷卻及加熱	-方便控制 -可調節濕度 -較不會產生噪音 -市面上產品種類中，有較多選擇	-利於儲存食物 -可自動調節溫度及功率 -操作簡單
其他缺點	-效率受限(若是自製類渦流管，就可避開此困擾) -渦流管使用需要壓縮空氣，因此須搭配空壓機 -無持久性，需不停加壓才能維持其效能 -冷熱氣流溫度會因壓力變化而有差異	-使用冷媒，破壞環境（臭氧層破壞、全球暖化） -大量能源消耗及碳排放	-需長時間保持在低溫狀態，耗電量高 -過程中會產生溫室氣體，對環境有害

結果：經過資料查詢與優缺點比較，我們發現目前渦流管還無法代替電器產品。

伍、討論

一、實驗結果討論

實驗一：

透過實驗一我們發現 PVC 和 PLA 材質做出的類渦流管對於冷熱分離的成效差異不大，而 PLA 材質冷熱分離的效果甚至更好一些，因此我們推測 PLA 的氣密效果不比 PVC 差。而且 PVC 須以手動穿孔容易產生誤差，使得實驗結果不夠具有可信度與說服力，再加上 PVC 管有一定的尺寸，對實驗造成很大的限制，相比之下利用 3D 繪圖軟體和 3D 列印機製出的 PLA 類渦流管更方便和準確。因為以上原因我們決定將 PLA 材質沿用到接下來的實驗。

另外，30、60、90 秒測得的結果沒有固定規律，因此可以推測當時間長度達到一定程度時，就不會對效果產生影響。

實驗二：

我們以 3~8 孔的類渦流管進行測試，發現 4 孔的成效最好。我們推測 3 孔的渦流不夠，因此不易分離冷、熱氣。而 4 孔以上的類渦流管，溫度則隨著孔洞數增加。會造成此現象可能是因為渦流混亂。過多的渦流注入導致各渦流方向互相影響，冷與熱的氣流因混合而無法有好的效果。

實驗三：

經過測試，我們發現 30 度、45 度、60 度的孔洞角度中，60 度的效果最為顯著。我們推測氣流在 60 度時，旋轉的角度因為較明顯，所以冷熱氣流不易混合。當孔洞的傾斜角度足夠時，氣流會比較容易被分離成冷氣和熱氣。

隨後我們依照我們的假設--若孔洞傾斜角度愈大，愈能將冷熱渦流分離，效果愈佳，製作了 75 度的類渦流管與 60 度的進行比較。經過實驗後，我們發現孔洞角度為 60 度的類渦流管冷熱端氣流溫度皆較 75 度者好，因此可得知非孔洞角度愈大者，效果愈好，應是孔洞角度在 60-某數(大於 45 度，小於 75 度)範圍之間，呈現的效果最佳。

實驗四：

我們將類渦流管分別設計 0.2 公分、0.3 公分、0.4 公分的孔徑大小。經過測試，我們發現孔徑 0.2 公分的類渦流管成效最好。孔徑愈大，效果也愈不顯著(與同組實驗比較)。我們推測因為孔徑較小的緣故，氣流會較集中，氣流的角度也會比較準確。冷熱氣流也不容易混在一起，或失去方向。

依照我們的推測，我們設計了補充實驗，比較孔徑大小為 0.1 及 0.2 公分的類渦流管，進而去驗證我們的假設--孔徑愈小的類渦流管，愈可將壓縮空氣集中，而形成效果較佳的冷熱氣流。經過實驗，我們發現了孔徑為 0.2 公分的類渦流管，其產生之冷熱氣流溫度皆較孔徑為 0.1 公分者佳，因此我們得知並非孔徑愈小者，其成效愈佳，推測應是孔徑大小在 0.2 公分左右(大於 0.1 公分，小於 0.3 公分)的範圍，冷熱氣流分離效果最好。

實驗五：

我們分別製作 1.2 公分、1.6 公分、2.0 公分管徑大小的類渦流管。經過測試，發現管徑 1.2 公分的類渦流管成效最好。我們推測其原因是注入的氣流在較小的管徑內，旋轉的角度與方向較不容易產生偏差。若管徑太大，氣流在旋轉的過程中偏離路線的機會更大，實驗的誤差也容易被擴大。

依據我們的實驗結果，我們提出了一個假設--管徑大小愈小者，渦流較不容易偏離軌道，冷熱氣流溫度效果愈佳，並製作了管徑為 0.8 公分的類渦流管與管徑 1.2 者進行比較加以驗證。經過實驗後，我們發現管徑大小為 1.2 公分的類渦流管，其產生的冷熱氣流溫度效果較 0.8 公分者佳，因此我們可得知並非管徑大小愈小者，其成效較佳。推測應為管徑在 1.2 左右(大於 0.8 公分，小於 1.6 公分)的範圍，其分離冷熱渦流的效果最好。

實驗六：

我們藉由討論及分析去比較渦流管、冷氣、冰箱三者普遍使用溫度範圍、成本、壽命，及各自的優缺點。經由資料的統整，我們得知了渦流管應在使用上不會使用到冷媒且較不會產生溫室氣體，因此在三者中其環保方面佔有優勢。但因渦流管的冷熱分離效果較容易受到各種因素的影響，比較難控制溫度。渦流管需搭配壓縮空氣，因此也無法持久的運作。若要使用渦流管，須不停加壓，其中空壓機的運作也無法達到很環保的效果。如果空氣壓力控制不當，產生出的氣流溫度也會有所不同。因此在經過實驗與討論，我們認為渦流管目前還無法代替冷氣或冰箱。

二、遭遇問題討論

我們在製作與測試類渦流管時，遇到了以下幾個問題:

(一)熱端的氣流無法集中，因此測到的溫度不準確。

因此我們用 3D 列印製作馬桶塞形狀的蓋子，並將溫度計插入孔道中測試。以蓋子包覆住熱端出口可以避免熱氣逸散到空氣中。我們要測試的是從熱端流出的熱氣，須盡量避免外界氣溫的影響，因此以蓋子來隔絕外界。

(二)溫度計插入冷端的長度不同，會影響測出的溫度。

當我們把溫度計放置到冷端口時，溫度會最低。若把它插入 3~5 公分，溫度最高。插入 5~7 公分，則溫度次高。因此可以發現渦流的距離與長度會影響效果。我們推測在冷端口時，渦流是最完整的。而最靠近氣流柱入口的溫度次高是因為我們測到的，有可能是空壓機原來的氣流。在氣流柱入口與冷端口之間的溫度最高可能是因為氣流並沒有經歷過完整的渦流，又離氣流柱入口有一段距離。總結以上原因，我們在測試時皆將溫度計放置在冷端口，以得到最準確且有效的結果。

(三)經過多次的測試動作，測出的溫度愈來愈高。

我們在測試冷氣與熱氣時，發現測出的溫度會隨著測試次數而增加。我們推測空壓機因為一直不間斷的運作，機器散熱不易，導致空壓機的氣流溫度升高。我們在空壓機運作一段時間後，再次測其溫度，也證實了我們的推測。後來，我們想到可以使用間斷性的實驗，使空壓機有散熱的時間。而經過測試，間斷式的實驗確實對測試結果的準確度有所提升。

(四)成效最好的類渦流管熱端溫度高，但冷氣若考慮到環保，須達到排放熱氣溫度低的需求。

為了達到減緩地球暖化的目的，必須盡量避免使用會使周遭環境溫度明顯升高的電器。經過資料查詢，我們發現冷氣的熱氣排放口溫度比類渦流管熱端的溫度高出許多。因此就算成效最好的類渦流管熱端溫度相較其他類渦流管高，與冷氣比較依然算環保。所以我們決定以冷端溫度做為比較的依據，而熱端溫度做為參考。

(五)渦流管外層長度

經過資料查詢與思考，我們以為外層長度愈短，氣流壓力會愈大，渦流效果會比較好。所以我們縮短了它的長度，測試結果是否符合我們的推測。原本我們的想法是氣流在高壓的情況下，更容易產生渦流，冷熱分離效果應該也會比較好。經過實驗，我們卻發現外層較長的效果較好。我們推測產生渦流需消耗較多的壓縮空氣，而若外層長度較短，即代表在將壓縮空氣輸入渦流管時，沒有多餘的空間可以加以儲存。因此將壓縮空氣輸入後，其會立刻遭到消耗(變成渦流)，形成供不應求的狀況發生。若是外層長度較長的類渦流管，就會有更多多餘的空間可以儲存，提供較充足壓縮空氣來幫助產生渦流，因此外層較長的類渦流管成效較外層較短者好。

(六)空壓機氣壓影響渦流管效能

我們透過實驗得知了空壓機的氣壓會影響類渦流管冷熱氣流溫度成效，且氣壓愈低，其成效愈差。而在實驗過程中，空壓機的壓力會隨著使用時間的長度而逐漸變小，且在使用時壓力無法固定。換句話說，即是指渦流管無「持久性」。在壓力變小的同時，冷熱端溫度也會隨之上升，因此在與冷氣及冰箱這兩個溫度持久性強的電器相比時，「無法有效控制溫度」就成了渦流管及類渦流管致命的大劣勢。

陸、結論

一、我們得知了 PVC 及 PLA 材質所製作的類渦流管其成效未有明顯差異，且 PLA 材質成效甚至更佳，因此我們經由數據分析及討論後，決定將後續實驗的類渦流管材質定為 PLA。

二、我們沿用了實驗一的結果，並將操縱變因設為孔洞數量並進行實驗。透過實驗二，我們得知了若類渦流管內層鑽有 4 孔，其成效最佳，於是我們便將後續實驗的類渦流管的內層孔洞數定為 4 孔。

三、我們沿用了實驗一、二的結果，並將操縱變因設為孔洞角度並進行實驗。透過實驗三，我們得知了雖然三者的數據結果無明顯落差，但若以冷熱氣流產生之熱能進行探討，可知孔洞角度為 60 度的成效最好，於是我們便將後續實驗的類渦流管孔洞角度定為 60 度。

四、我們沿用了實驗一、二、三的結果，並將操縱變因設為孔徑大小並進行實驗。透過實驗四，我們得知了孔徑為 0.2 公分的類渦流管成效最好，於是我們便將後續實驗的類渦流管孔徑大小定為 0.2 公分。

五、我們沿用了實驗一、二、三、四的結果，並將操縱變因設為管徑大小並進行實驗。透過實驗五，我們得知了管徑大小為 1.2 公分的類渦流管成效最好，於是我們便將後續實驗的類渦流管管徑大小定為 1.2 公分。

六、我們使用效果最好的類渦流管組合(PLA 材質、4 孔、孔徑角度 60 度、孔徑 0.2 公分、管徑 1.2 公分)與冰箱和冷氣進行比較的結果是:雖渦流管與另外兩者相比在環保方面較有優勢(不用使用冷媒，較不會產生溫室氣體)，但其仍有許多不足即不便之處(影響因素多，無持續性)，因此渦流管目前還無法代替冷氣或冰箱。

柒、參考文獻及其他

一、佑來了類渦流管製作影片

<https://www.youtube.com/watch?v=syu6SM7X8yU&t=446s>

二、渦流管原理和應用影片

<https://www.youtube.com/watch?v=YVPJGn5-h6M>

三、什麼是渦流管

https://www.g9corp.com.tw/content.asp?article_id=39

四、渦流管的制冷原理

<https://www.masters.tw/281794/vortex-tube>

五、渦流管運作原理

<http://www.tsaneast.com.tw/vortex-tubes-stainless-steel.htm>

六、渦流管運作模式與原理

<http://www.diso.com.tw/zh-tw/product-c55383/TOHIN%E4%BD%8E%E6%BA%AB%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E5%86%B7%E5%8D%BB%E5%99%A8.html>