

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 物理科

第三名

040103

管中世界—冷暖自知

學校名稱：高雄市立路竹高級中學

作者： 高一 王柏翔 高一 涂俊曄 高一 賴居旺	指導老師： 葉舜至 鍾志輝
---	-----------------------------

關鍵詞：渦漩管、管狀層流、連續方程式

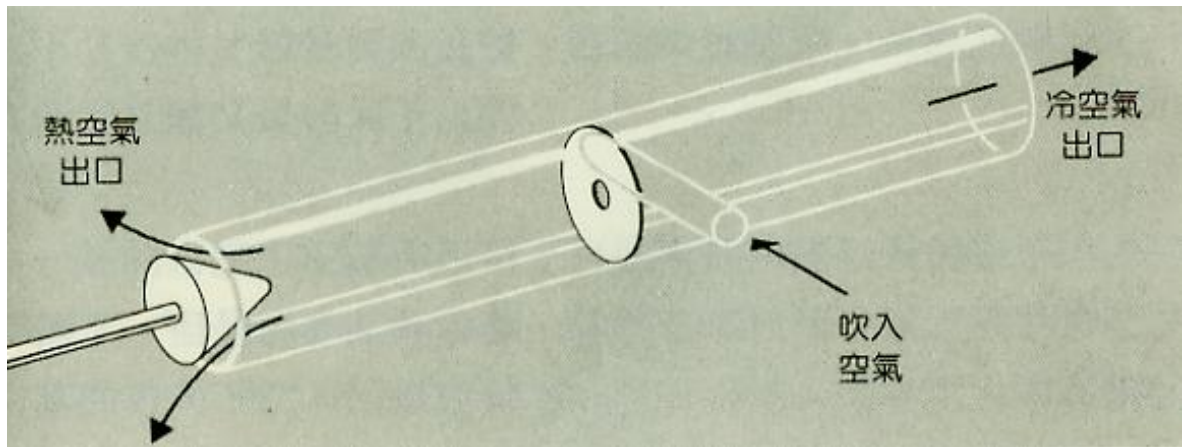
管中世界-冷暖自知

摘要

我們研究並製作出簡易的蘭克—希爾須渦漩管(Ranque-Hilsch vortex tube)，使管子一端產生冷空氣，一端產生熱空氣。藉由改變不同的供氣方式及控制不同的氣體流速，意外地突破了前幾屆全國科展只做出 2~3 度的溫差，再藉由設計不同的渦漩管大小、長度、孔洞等進一步做了一系列深入的探討，最後成功讓渦漩管兩端冷熱空氣溫差高達 57.6 度。此外，我們還利用易於觀察的白色溶水油來分析氣體在管中流動的情形和軌跡。

壹、 研究動機

在一個炎熱無比的早上，我們三人為了逃避太陽的攻擊，躲進了一間有如冰箱般冷的圖書館，在休息的時候，我們瀏覽著圖書館裡的書，發現了一套極富有趣的書籍，那套書名為“物理馬戲團 Q&A”，在其中找到了一篇吸引我們注意的東西，那就是“蘭克—希爾須渦漩管(Ranque-Hilsch vortex tube)”書上提到：「沒有任何可動零件，卻能很神秘地，把冷、熱空氣分開。由側管吹入壓縮空氣，一端會跑出接近攝氏 200 度的熱空氣，而另一端會跑出接近攝氏零下 50 度的冷空氣。」溫差快接近 250 度，也就是說，可以一邊燒開水，一邊做冰塊，這真是太神奇了!所以我們就上網瀏覽關於它的一些資料，結果發現這個實驗在第 42 屆全國科展有人做過了，但是它的溫差只侷限在 2~3 度左右，無法有效地拿來實際應用，所以我們想要進一步突破，決定研究這個實驗。



(圖片取自：物理馬戲團)

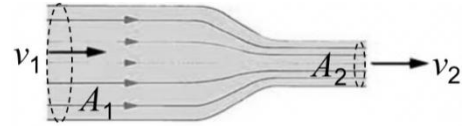
貳、 研究目的

- 一、觀察按壓供氣的方法對溫度的影響。
- 二、觀察空氣槍導入之風速隨時間變化與按壓方式的關係。
- 三、探討管子內徑粗細與溫度的關係。
- 四、探討分離洞孔徑大小與溫度的關係。
- 五、探討 L、R 管長度比例與溫度的關係。
- 六、環境對溫差的影響。
- 七、觀察氣流在管中的流動情形。

參、實驗原理

一、觀念一：連續方程式

理想流體的穩定流流經一截面積會變化的管子時，單位時間內流入管子某一段的質量必須等於流出此段管子的質量。如圖，在截面積為 A_1 處的流速為 v_1 ，則在此處單位時間向右流入的流體質量為 $\rho A_1 v_1$ 。在截面積為 A_2 處的流速為 v_2 ，則在此處單位時間向右流出的流體質量為 $\rho A_2 v_2$ ，因此 v_1, v_2 滿足 $A_1 v_1 = A_2 v_2$ ，此即連續方程式。



二、觀念二：伯努力方程式

流體在空間運動時，其壓力、速率和所在的高度之間，若不計管外流及空氣阻力之影響，運用功能原理， $\Delta P \cdot \Delta V = \Delta E_k + \Delta U$

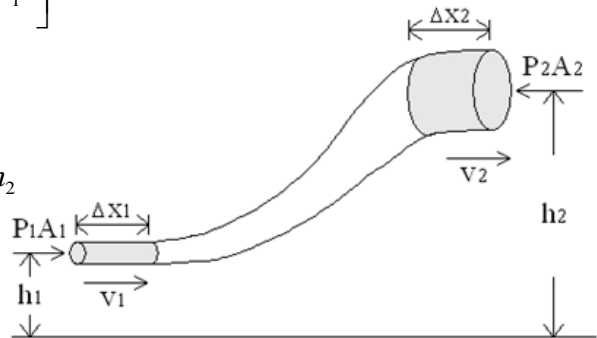
$$\text{即 } (P_2 - P_1) \frac{\Delta m}{\rho} = \left[\frac{1}{2} (\Delta m) v_2^2 - \frac{1}{2} (\Delta m) v_1^2 \right] + [(\Delta m) g h_2 - (\Delta m) g h_1]$$

$$\text{已知 } \Delta m = \rho A_1 \Delta x_1 = \rho A_2 \Delta x_2$$

$$\text{得 } P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$\text{或 } P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{定值}$$

此即伯努力方程式



三、觀念三：氣體動力論—均方根速率

體積 V 之正立方形容器中，盛有 n 莫耳的理想氣體，容器之各面器壁保持定溫 T 。在此立方形容器中，每一個氣體分子均以不同的速率往各方向任意運動，分子會與器壁相撞。如圖，先考慮一個分子撞擊 A_1 的情形，則分子碰撞時，其動量變化為

$$\Delta p_x = (-m v_x) - (m v_x) = -2m v_x$$

$$\text{平均動量為 } \frac{\Delta p_x}{\Delta t} = \frac{2m v_x}{2L/v_x} = \frac{m v_x^2}{L}$$

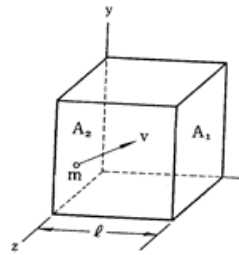
$$\text{所以施於器壁上的壓力 } P = \frac{F_x}{L^2} = \left(\frac{m}{L^3} \right) (v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2)$$

$$\text{對任一個分子而言 } v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

$$\text{得 } P = \frac{nM(v^2)_{avg}}{3V}, \text{ 其中 } (v^2)_{avg} \text{ 的平方根稱為均方根速率 } (v_{rms})$$

再與理想氣體定律 ($PV = nRT$) 合併，可得

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \text{ 此即為均方根速率}$$



氣 體	莫耳質量(10^{-3} kg/mol)	v_{rms} (m/s)
氫	2.02	1920
氮	4.0	1370
水蒸氣	18.0	645
氬	28.0	517
氧	32.0	483
二氧化碳	44.0	412
二氧化硫	64.1	342

分子在室溫(T=300 K)之速率

四、**觀念四**：氣體動力論—移動動能

承上觀念，假設單一分子會與別的分分子碰撞而改變它的速度，且為完全彈性碰撞，則該分子在任何時刻其移動動能為 $\frac{1}{2}mv^2$ ；而在某一段時間後，此一移動動能的平均值為

$$K_{avg} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{avg} = \frac{1}{2}m(v^2)_{avg} = \frac{1}{2}mv_{rms}^2 = \left(\frac{1}{2}m\right)\frac{3RT}{M} = \frac{3RT}{2N_A}$$

由理想氣體定律 $PV = nRT = NkT$ ，可得

$$K_{avg} = \frac{3}{2}kT$$

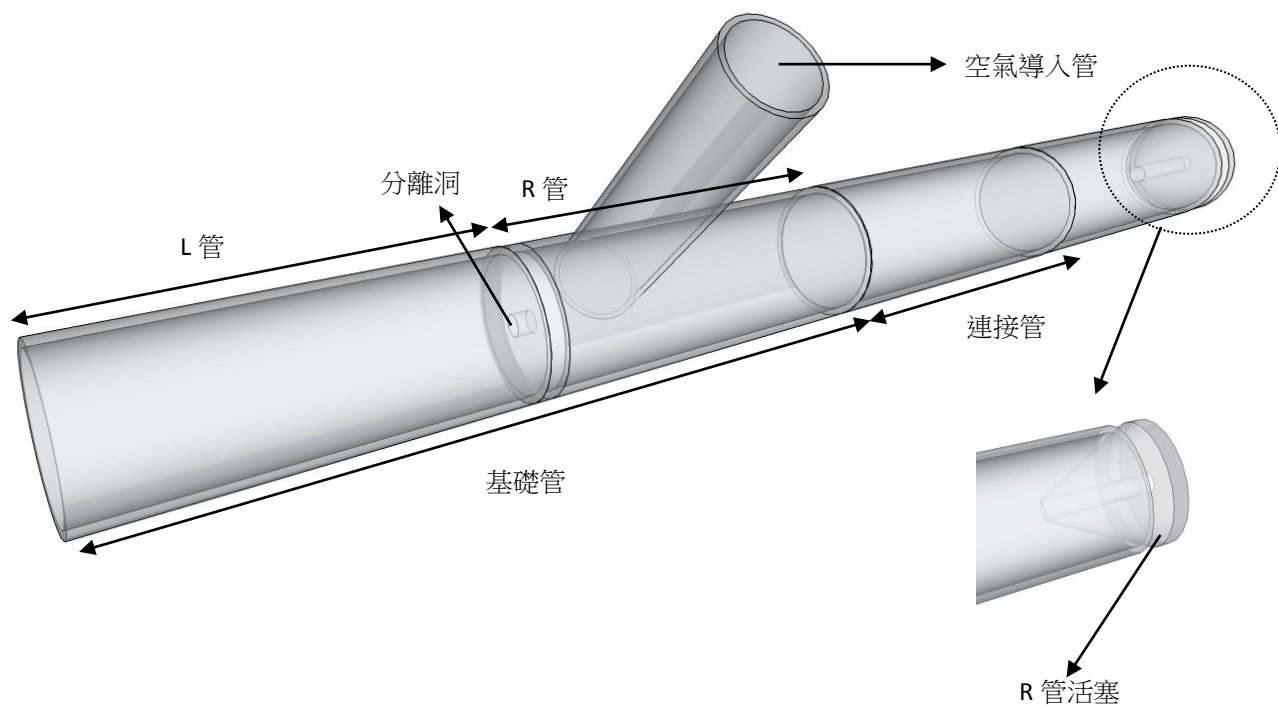
即表示所有理想氣體分子，不論其質量為何，均具有相同的平均移動動能，而當我們量測氣體的溫度時，其實是在量測其所有分子的平均移動動能。

肆、 研究設備及器材

一、器材

- (一)、空氣壓縮機一台 (2HP)
- (二)、壓克力管組：A~I 基礎管各一支，連接管數支
- (三)、空氣導入管一支
- (四)、電子溫度計兩支
- (五)、可變式空氣除塵槍一支
- (六)、R 管活塞一個
- (七)、電工膠布數網
- (八)、風速計一台
- (九)、溶水油

二、實驗裝置：簡易裝置如下圖所示。



三、名詞解釋

(一)、A~I 基礎管：包含分離洞、R 管、L 管和空氣導入管孔洞，共九組

	大孔(孔徑 4mm)	中孔(孔徑 3mm)	小孔(孔徑 2mm)
大管(內徑 16mm)	A	B	C
中管(內徑 11mm)	D	E	F
小管(內徑 6mm)	G	H	I

(二)、分離洞：基礎管中間的分隔孔

(三)、連結管：厚度 2 mm、長度 10 cm 的中空壓克力管

(四)、空氣導入管：R 管上側邊的管子，筆管改製，為空氣導入口

伍、 研究過程或方法

一、**實驗一**：供氣方式

- (一)、持續性供氣：壓住空氣槍不放持續供氣兩分鐘。
- (二)、間斷性供氣：壓住空氣槍不放持續一段時間後放開為一個週期
 - 1、 間 1：按壓頻率為 1~2 次/秒
 - 2、 間 2：按壓頻率為 2~3 次/秒
 - 3、 間 3：按壓頻率為 3~4 次/秒
- (三)、供氣氣流強度：以上四種供氣方式，利用可變式空氣槍依供氣的氣流強度又分為強（氣強）、中（氣中）、弱（氣弱）。
- (四)、測量方法：空氣導入後，每 10 秒讀取一次 R、L 兩管的溫度，持續 2 分鐘。

二、**實驗二**：風速測量

- (一)、先固定一種供氣方式，並將空氣槍槍口對準風速計。
- (二)、利用風速計測量風速大小，並改變三種不同的空氣強度。
- (三)、改變不同的供氣方式並重覆上述步驟。
- (四)、測量方法：每 20 秒讀取一次風速，持續兩分鐘。

三、**實驗三**：不同管子變化的溫度測量

- (一)、我們選用一種最佳的供氣方式與風速大小來進行以下的實驗。
- (二)、先選用一種基礎管
- (三)、將 R 管與連接管相接，接成不同的 R 管長度，與 L 管比較可為分
 - 1、 L：R=10：30 cm(1：3)
 - 2、 L：R=10：40 cm(1：4)
 - 3、 L：R=10：50 cm(1：5)
- (四)、測量方法：空氣導入後，每 10 秒讀取一次 R、L 兩管的溫度，持續 2 分鐘。
- (五)、其餘基礎管（A~I）重覆上述步驟。

四、**實驗四**：環境的影響

- (一)、在不同室溫情形下，重覆實驗三。
- (二)、測量方法及步驟同實驗三。

五、**實驗五**：觀察空氣在 R、L 管中氣體流動的方式

- (一)、加入數滴溶水油於空氣導入管中，再經由空氣槍送入空氣，觀察管中油滴經空氣帶動後的痕跡。
- (二)、利用相機將油滴流動的情形記錄下來。

陸、 研究結果

一、**實驗一**：供氣方式

表中數據為 R、L 管兩端溫度隨時間變化的大小，單位：℃

最後溫差：時間 2 分鐘時 L、R 管兩端的溫度差。

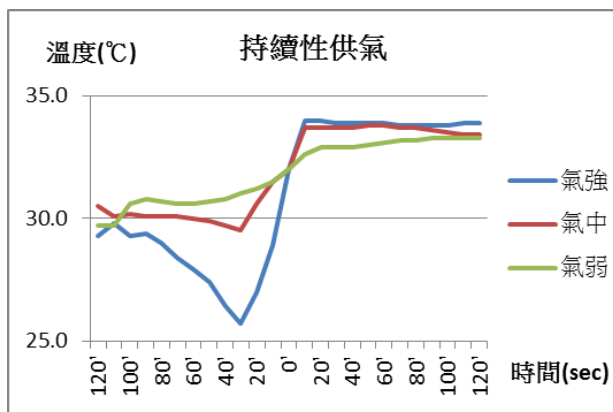
供氣方式	時間(sec)	持續性供氣			間斷性供氣(1~2次/秒)			間斷性供氣(2~3次/秒)			間斷性供氣(3~4次/秒)		
		氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱
L管	120'	29.3	30.5	29.7	26.7	26.8	30.0	18.6	21.2	30.1	25.9	26.7	30.3
	110'	29.8	30.1	29.7	26.5	26.8	31.0	18.1	21.0	30.1	25.6	26.8	30.4
	100'	29.3	30.2	30.6	26.3	27.0	30.9	17.8	21.0	30.2	25.4	26.7	30.3
	90'	29.4	30.1	30.8	26.2	26.4	30.8	17.8	21.2	30.2	25.1	26.5	30.3
	80'	29.0	30.1	30.7	26.1	25.9	30.6	17.7	21.2	30.1	24.9	26.6	30.4
	70'	28.4	30.1	30.6	26.0	26.1	30.4	17.7	21.4	30.1	24.7	26.4	30.3
	60'	27.9	30.0	30.6	26.2	26.4	30.1	17.8	21.5	30.3	24.5	25.9	30.3
	50'	27.4	29.9	30.7	26.3	26.3	29.8	17.8	22.1	30.2	24.4	25.5	30.6
	40'	26.4	29.7	30.8	26.8	26.1	29.6	18.4	22.8	30.2	24.7	25.3	30.7
	30'	25.7	29.5	31.0	28.1	26.2	28.6	19.5	23.9	30.5	25.8	25.2	31.0
	20'	27.0	30.6	31.2	29.9	26.3	28.1	21.1	25.4	31.0	27.0	25.5	31.4
10'	28.9	31.5	31.5	30.0	27.1	28.0	24.4	29.3	31.5	29.6	26.4	31.6	
室溫	0'	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
R管	10'	34.0	33.7	32.6	33.3	36.8	36.2	38.2	36.8	33.9	36.5	38.2	38.9
	20'	34.0	33.7	32.9	47.2	45.1	41.3	44.3	44.6	34.0	44.3	46.3	43.7
	30'	33.9	33.7	32.9	53.9	53.3	42.8	47.4	47.0	34.9	46.9	53.6	46.2
	40'	33.9	33.7	32.9	59.5	56.9	40.9	55.4	50.1	35.6	59.8	55.4	46.2
	50'	33.9	33.8	33.0	62.9	59.9	41.3	58.8	52.9	36.1	69.6	58.1	46.5
	60'	33.9	33.8	33.1	65.6	60.5	41.5	63.8	53.9	36.6	67.3	59.1	47.9
	70'	33.8	33.7	33.2	66.9	57.3	42.2	66.6	55.4	37.1	66.9	57.4	47.4
	80'	33.8	33.7	33.2	66.6	57.8	43.3	67.2	56.8	38.1	67.4	58.3	47.1
	90'	33.8	33.6	33.3	66.1	58.6	43.2	69.4	58.0	40.0	68.2	63.3	47.8
	100'	33.8	33.5	33.3	66.0	59.6	44.3	72.3	59.1	41.5	62.5	65.2	47.1
	110'	33.9	33.4	33.3	65.3	58.6	44.0	72.1	63.3	41.0	62.8	64.0	46.9
120'	33.9	33.4	33.3	64.3	58.7	43.9	72.5	64.1	40.9	64.3	63.8	47.2	
最後溫差		4.6	2.9	3.6	37.6	31.9	13.9	53.9	42.9	10.8	38.4	37.1	16.9

(表一)

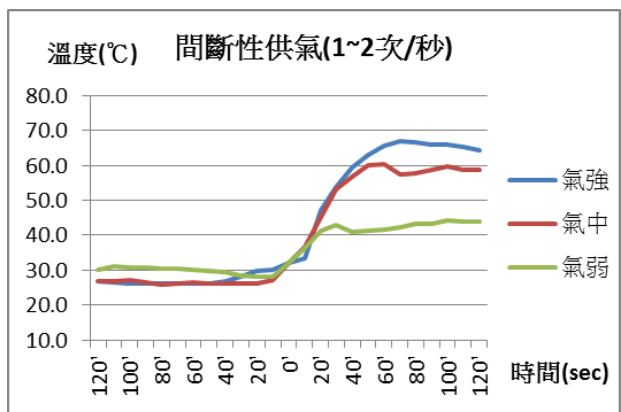
(一)、圖表比較

1、同一種供氣方式，比較不同進氣風速與溫度的關係

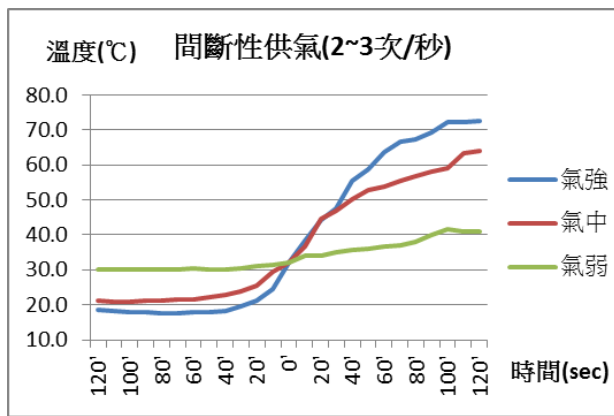
以下圖中時間 0 sec 時為室溫，往左為 L 管隨時間的溫度變化，往右為 R 管隨時間的溫度變化。



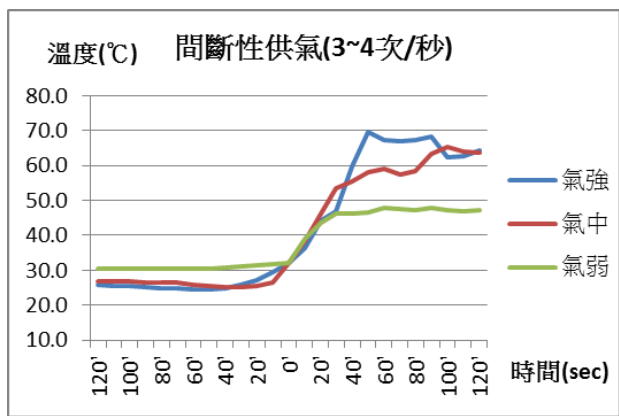
(圖一)



(圖二)

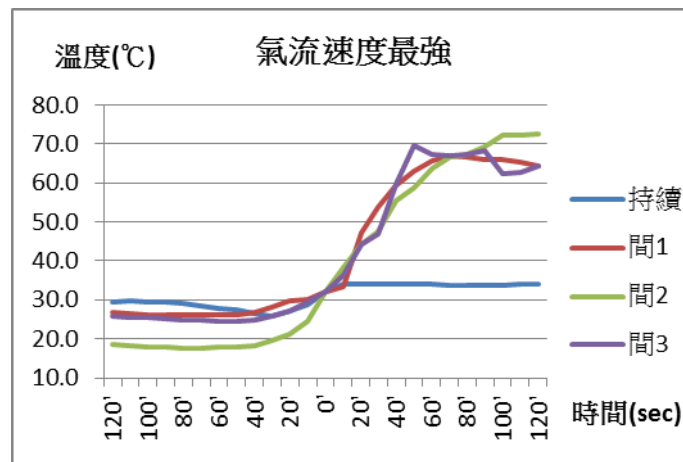


(圖三)



(圖四)

2、進氣風速最強時，比較四種不同進氣方式與溫度的關係



(圖五)

二、實驗二：風速測量

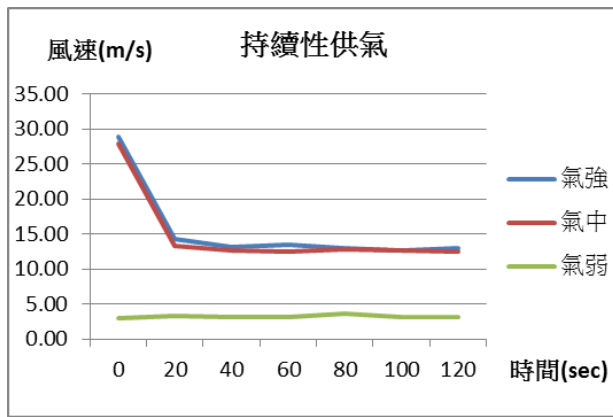
表中數據為空氣槍所排出風速隨時間變化的大小，單位：m/s

供氣方式 時間(sec)	持續性供氣			間斷性供氣(1~2次/秒)			間斷性供氣(2~3次/秒)			間斷性供氣(3~4次/秒)		
	氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱	氣強	氣中	氣弱
0	28.87	27.87	3.05	18.20	18.10	3.20	18.10	18.02	4.02	19.72	16.92	3.03
20	14.24	13.40	3.32	14.85	14.32	3.70	15.16	14.69	4.73	15.14	15.79	3.06
40	13.20	12.65	3.19	13.61	13.31	3.15	14.83	14.23	4.00	15.78	14.06	3.12
60	13.47	12.59	3.10	14.12	13.48	3.84	14.31	13.86	4.45	14.69	13.89	3.74
80	12.99	12.83	3.60	13.70	13.39	3.21	14.10	13.41	3.79	14.32	13.53	2.96
100	12.72	12.66	3.20	13.63	13.30	3.90	13.90	13.28	3.99	14.68	12.46	3.69
120	12.98	12.59	3.24	13.84	13.09	3.07	14.24	13.31	4.73	13.69	12.76	3.12
扣除第一次取平均	13.27	12.79	3.28	13.96	13.48	3.48	14.42	13.80	4.28	14.72	13.75	3.28

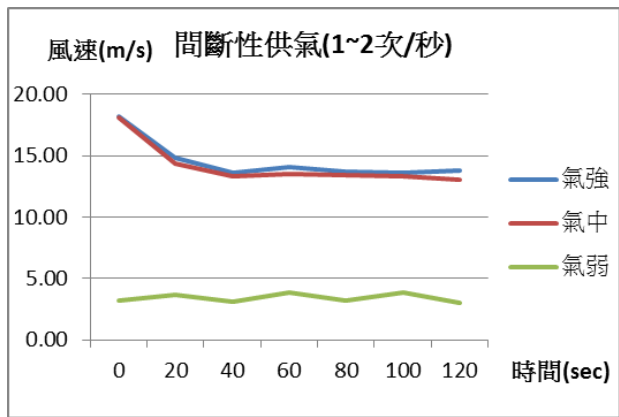
(表二) 空壓機飽和壓力值：92 psi

(一)、圖表比較

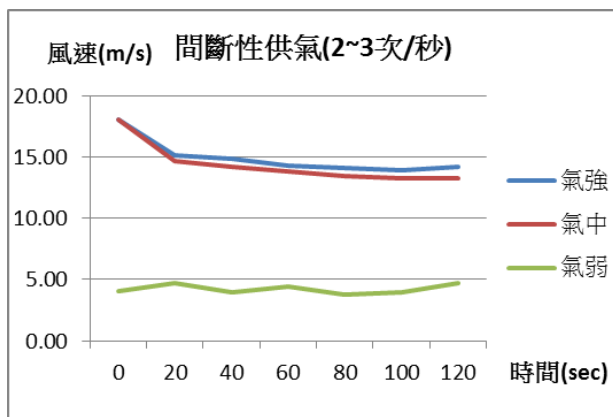
1、 同一種供氣方式，比較不同進氣風速隨時間的變化



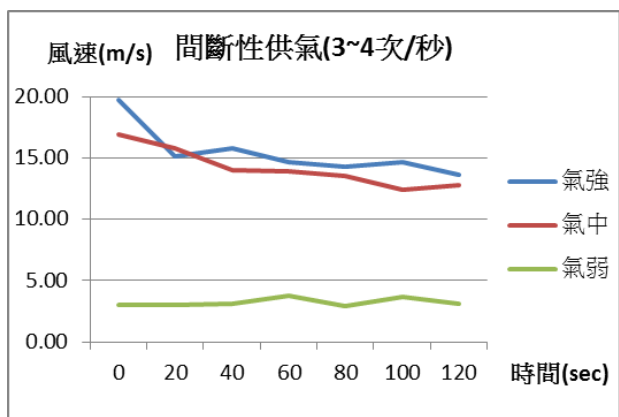
(圖六)



(圖七)

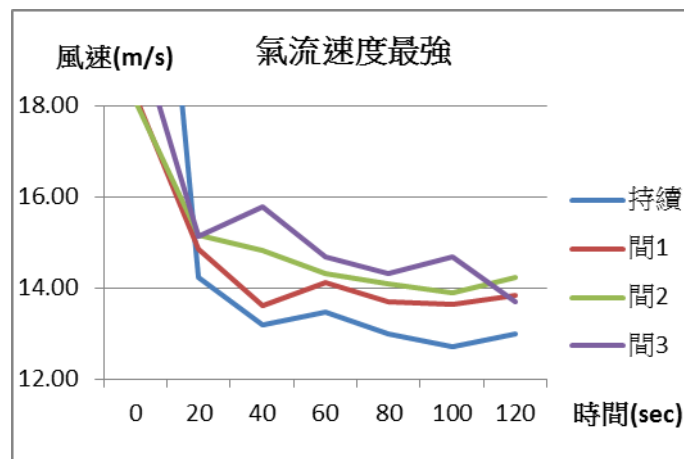


(圖八)



(圖九)

2、 進氣風速最強時，比較四種不同進氣方式隨時間的變化



(圖十)

三、**實驗三**：不同管子變化的溫度測量

(一)、小管數據 (G、H、I基礎管)

(時間：sec，溫度：℃)

項		管別 比例 溫度	小管小孔			小管中孔			小管大孔		
			1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5
L 管	時間	120	13.1	13.1	13.1	15.9	14.5	14.3	18.8	19.7	20.4
		110	13.2	13.1	12.7	15.7	13.6	13.8	18.9	19.8	20.1
		100	13.0	13.1	12.9	15.4	13.9	13.6	19.6	19.9	20.4
		90	12.3	12.9	12.3	15.3	12.3	13.2	20.0	19.9	20.7
		80	13.4	12.7	12.6	14.9	12.9	12.7	20.2	19.9	20.6
		70	13.6	13.0	12.1	14.7	13.2	14.3	21.1	19.9	20.8
		60	13.8	13.3	11.8	14.0	11.9	14.0	22.1	19.9	21.4
		50	13.5	13.4	11.8	12.6	11.3	14.5	22.1	19.8	21.2
		40	13.8	13.5	12.0	11.5	12.3	14.6	22.0	19.4	21.3
		30	14.5	13.6	12.1	11.7	13.0	14.5	21.7	19.1	21.1
		20	15.8	14.7	12.9	11.3	13.8	14.8	21.5	18.8	21.9
		10	19.8	18.2	16.2	13.9	15.2	15.2	21.5	19.3	22.3
室溫	0	24.0	24.0	24.0	26.0	26.0	25.5	25.0	25.0	25.0	
R 管	10	31.5	34.6	34.8	30.9	30.7	30.2	27.3	28.4	29.5	
	20	38.4	40.5	44.6	34.8	34.6	33.0	29.3	28.9	31.1	
	30	44.0	45.5	50.2	37.1	37.7	35.1	30.9	29.9	31.8	
	40	47.3	48.6	53.3	38.7	40.6	36.3	32.1	31.0	32.4	
	50	49.8	51.6	56.2	39.3	42.5	37.5	33.2	31.8	33.6	
	60	50.7	54.8	57.1	42.4	43.1	38.8	34.0	32.2	34.2	
	70	52.9	56.2	55.7	45.0	43.2	39.8	34.2	32.5	34.4	
	80	54.6	57.7	56.4	45.4	43.1	40.0	35.0	32.8	34.3	
	90	55.4	58.2	55.7	46.4	42.6	40.4	35.9	33.1	34.3	
	100	55.6	58.1	54.6	45.6	42.7	41.0	36.3	33.4	34.8	
	110	55.0	58.4	53.1	46.6	42.6	40.9	36.5	33.6	35.6	
	120	54.8	57.4	51.8	45.5	42.6	41.5	36.2	33.9	35.8	
最後溫差		41.7	44.3	38.7	29.6	28.1	27.2	17.4	14.2	15.4	

(表三)

(二)、中管數據 (D、E、F 基礎管)

(時間：sec，溫度：℃)

項	時間	管別 比例 溫度	中管小孔			中管中孔			中管大孔		
			1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5
L 管	120		9.3	11.0	11.7	13.7	13.3	12.9	19.9	19.0	17.7
	110		9.4	10.9	11.5	14.1	13.5	12.5	19.9	19.8	17.8
	100		9.6	10.5	11.3	14.8	13.4	12.7	19.9	19.5	17.9
	90		10.0	10.4	11.5	13.7	13.2	12.7	20.0	19.2	18.0
	80		11.0	11.0	11.7	12.6	13.3	12.2	19.8	18.7	18.0
	70		11.9	11.6	12.3	12.5	13.0	12.0	19.7	19.2	18.1
	60		12.7	12.2	13.5	12.1	13.1	11.8	20.0	19.2	18.2
	50		13.1	13.4	13.5	12.7	13.1	12.5	20.7	19.5	18.0
	40		13.9	14.5	13.4	14.5	13.3	12.6	20.9	19.9	18.1
	30		14.7	15.3	13.7	15.7	13.5	13.2	20.7	20.0	18.8
	20		15.4	16.2	13.5	16.4	15.3	14.8	20.9	20.2	19.7
	10		18.2	18.3	16.2	18.4	18.0	17.1	21.8	21.2	22.2
室溫	0		24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
R 管	10		30.2	36.0	35.4	26.6	34.7	36.7	32.6	30.5	31.4
	20		33.1	47.6	43.4	31.8	42.5	42.7	35.9	32.0	33.4
	30		36.6	52.8	45.3	33.5	48.8	47.5	37.9	35.3	34.2
	40		42.9	54.7	48.1	37.9	49.7	52.7	39.5	37.5	35.3
	50		48.8	62.3	50.3	42.6	53.7	54.7	40.4	39.2	36.3
	60		54.1	66.3	55.5	45.8	52.9	56.3	40.5	39.6	37.0
	70		57.9	68.5	58.7	47.0	55.0	55.8	39.8	39.4	37.6
	80		60.3	70.8	59.2	48.4	55.4	56.1	39.0	39.5	37.4
	90		61.7	72.0	61.0	49.2	54.9	55.7	38.2	40.1	37.0
	100		62.5	70.0	63.5	50.1	55.4	55.1	38.1	40.8	36.5
	110		62.8	68.0	64.6	52.1	53.9	54.9	37.6	41.0	36.3
	120		64.9	68.6	66.3	51.9	54.1	55.5	37.1	40.8	35.9
最後溫差			55.6	57.6	54.6	38.2	40.8	42.6	17.2	21.8	18.2

(表四)

(三)、大管數據 (A、B、C 基礎管)

(時間：sec，溫度：℃)

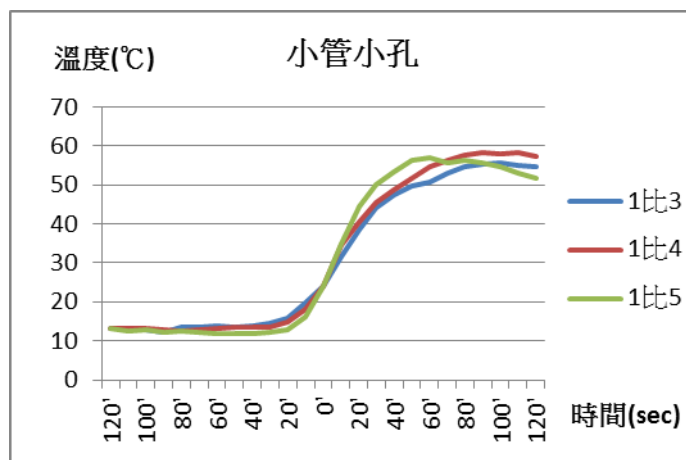
項	時間	管別 比例 溫度	大管小孔			大管中孔			大管大孔		
			1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5	1 比 3	1 比 4	1 比 5
L 管	120		10.9	11.1	9.2	15.7	14.7	14.8	19.1	19.1	19.9
	110		10.3	9.9	7.9	15.4	14.5	15.0	18.9	19.0	19.8
	100		9.1	7.9	6.7	14.8	14.5	14.7	18.5	19.5	19.7
	90		8.3	7.1	6.5	14.4	14.4	14.6	18.6	19.5	19.6
	80		7.9	7.3	6.6	14.2	13.9	14.5	18.6	19.5	19.4
	70		7.5	7.6	9.3	14.0	13.3	14.8	18.5	19.6	19.5
	60		7.4	7.7	9.3	15.2	13.2	14.7	19.0	19.3	19.5
	50		6.9	9.0	9.2	18.1	13.0	14.5	19.3	19.2	19.4
	40		7.2	6.7	9.4	18.1	13.4	14.9	19.4	19.1	19.5
	30		7.5	7.3	10.8	18.3	14.4	15.4	19.4	19.1	19.5
	20		9.5	9.0	7.9	19.1	14.7	16.7	19.8	19.0	19.8
	10		11.3	10.1	11.1	21.5	16.8	20.3	22.2	19.8	22.3
室溫	0		24.0	24.0	24.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
R 管	10		30.9	33.5	32.5	31.2	31.5	28.8	31.6	30.1	30.7
	20		32.4	34.6	34.0	32.1	32.9	30.1	31.7	30.7	31.3
	30		34.5	36.4	36.1	33.0	34.5	31.4	31.8	31.2	31.9
	40		36.6	38.7	38.2	33.7	35.7	32.8	32.0	31.5	32.5
	50		38.6	41.1	40.6	34.2	36.6	34.3	32.1	31.8	33.0
	60		40.3	43.5	42.4	34.6	37.3	35.5	32.3	32.1	33.3
	70		41.4	45.3	43.3	34.9	37.8	36.9	32.4	32.2	33.5
	80		41.9	46.1	44.8	35.0	38.1	37.9	32.5	32.4	33.8
	90		41.9	46.6	45.8	35.0	38.3	38.7	32.5	32.5	34.0
	100		41.7	46.9	46.4	35.0	38.4	39.4	32.6	32.6	34.1
	110		41.5	47.0	46.7	34.9	38.4	39.8	32.6	32.7	34.2
	120		41.4	47.0	46.8	34.7	38.3	40.1	32.7	32.7	34.2
最後溫差			30.5	35.9	37.6	19.0	23.6	25.3	13.6	13.6	14.3

(表五)

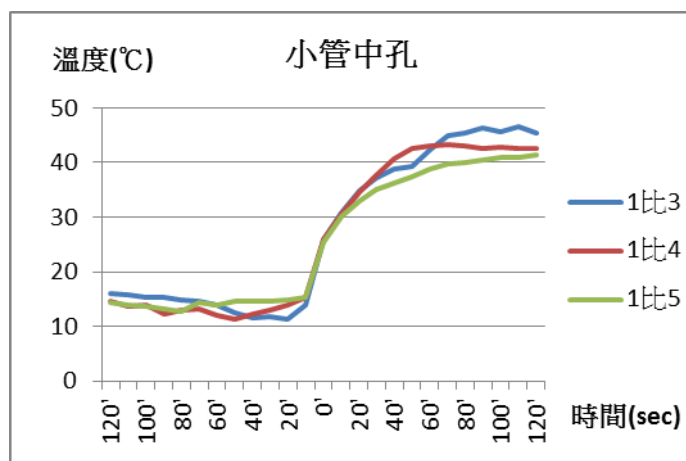
(四)、數據圖表統整

1、 固定一種基礎管（即固定管、孔徑），比較不同的 R 管長度

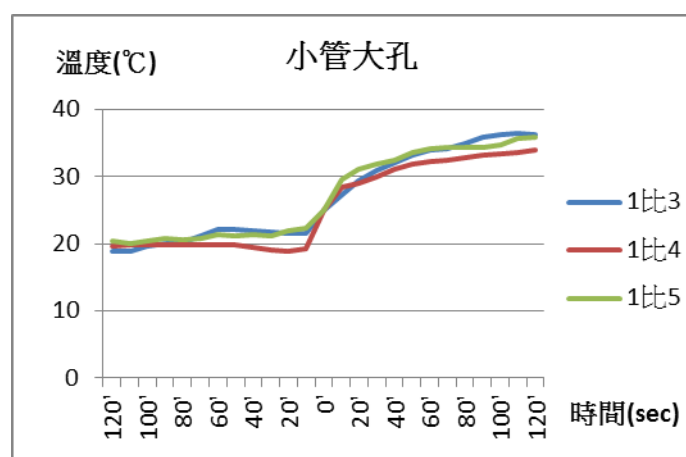
以下圖中時間 0 sec 時為室溫，往左為 L 管隨時間的溫度變化，往右為 R 管隨時間的溫度變化。



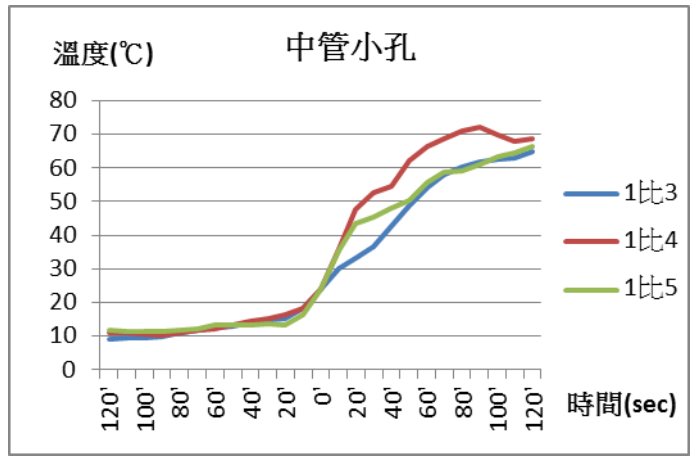
(圖十一)



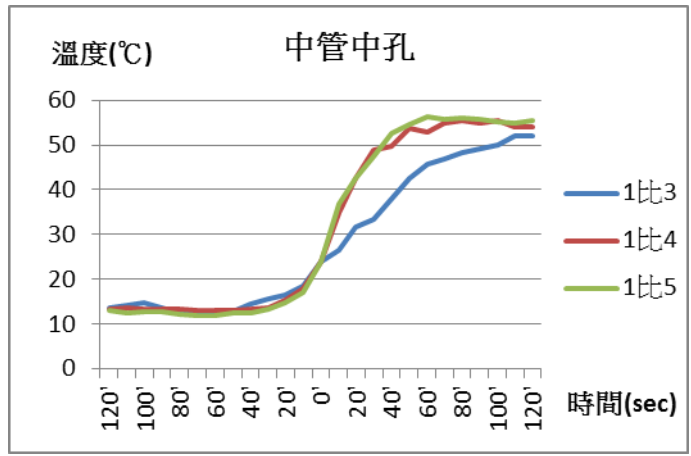
(圖十二)



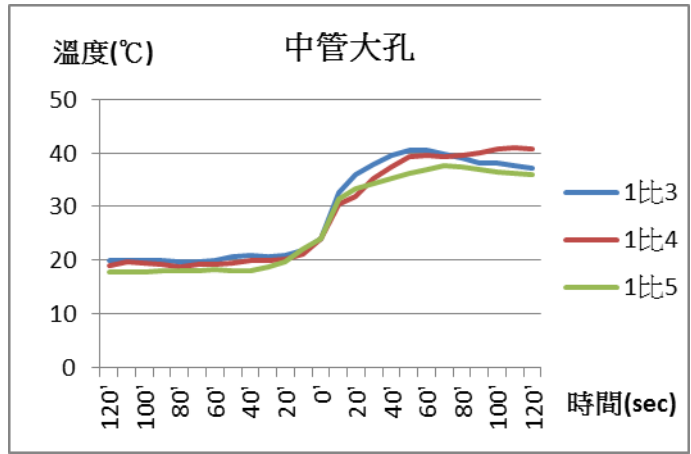
(圖十三)



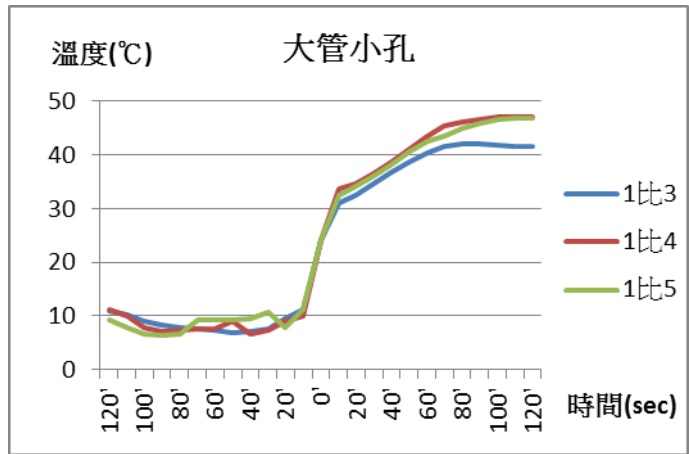
(圖十四)



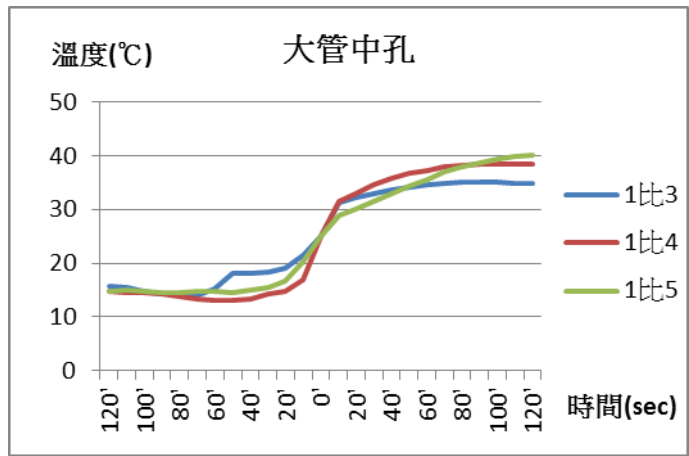
(圖十五)



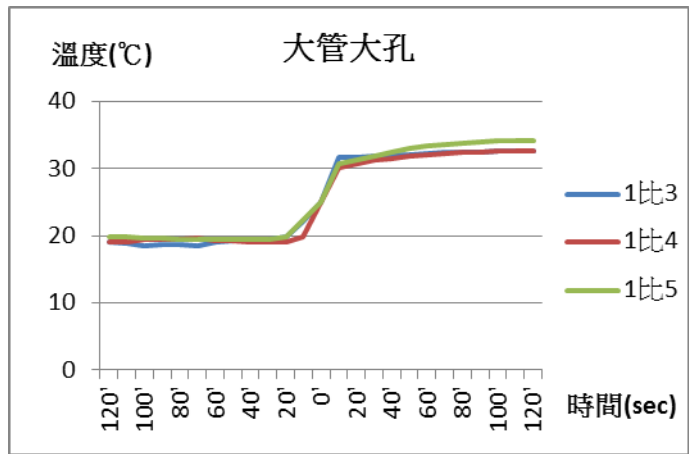
(圖十六)



(圖十七)



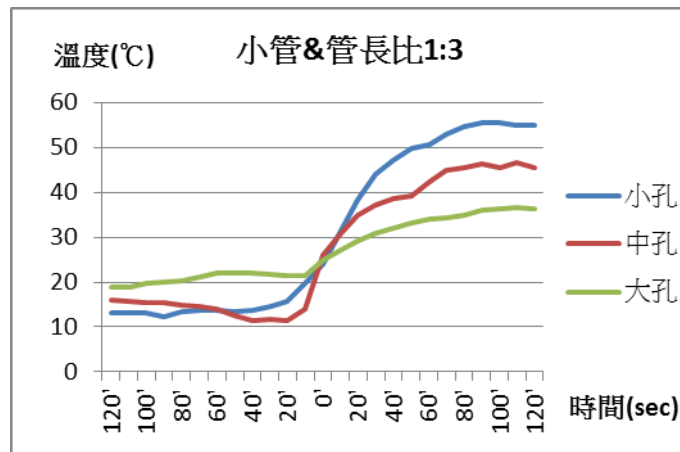
(圖十八)



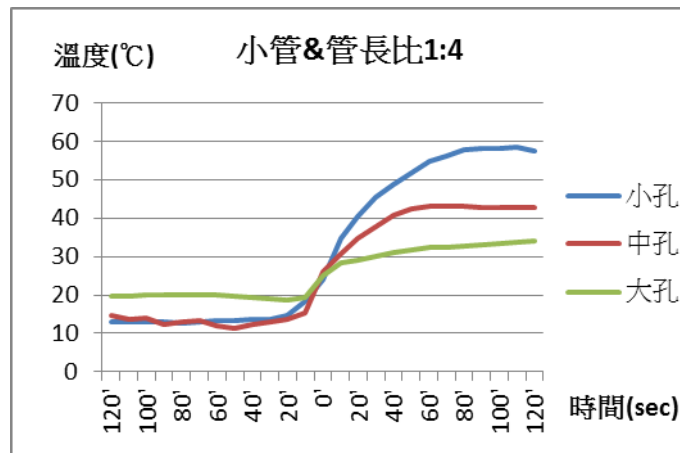
(圖十九)

2、 固定 R 管長度及管徑大小，比較不同分離洞大小關係

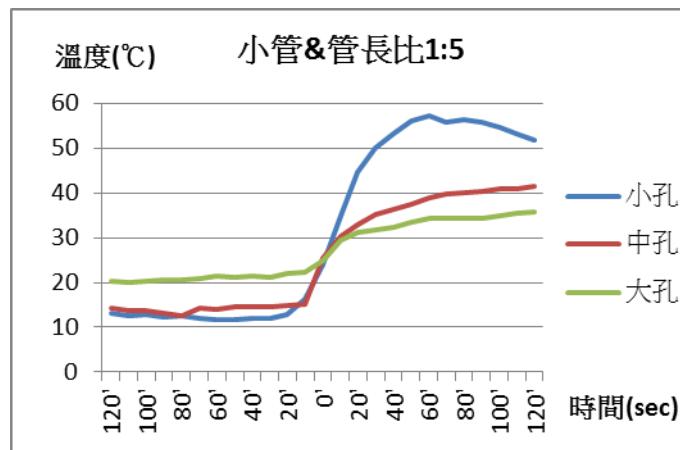
以下圖中時間 0 sec 時為室溫，往左為 L 管隨時間的溫度變化，往右為 R 管隨時間的溫度變化。



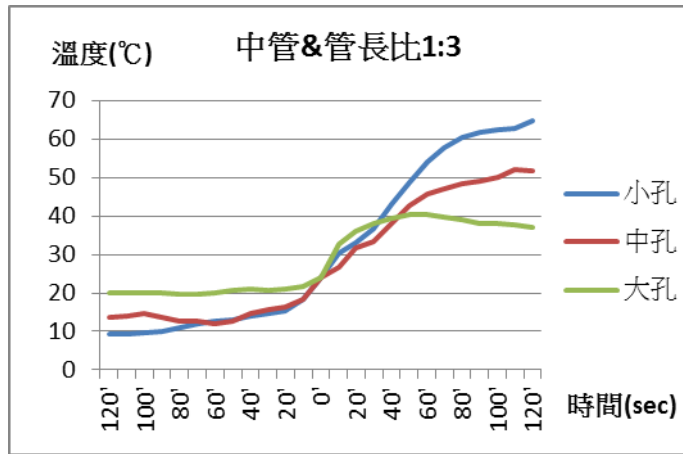
(圖二十)



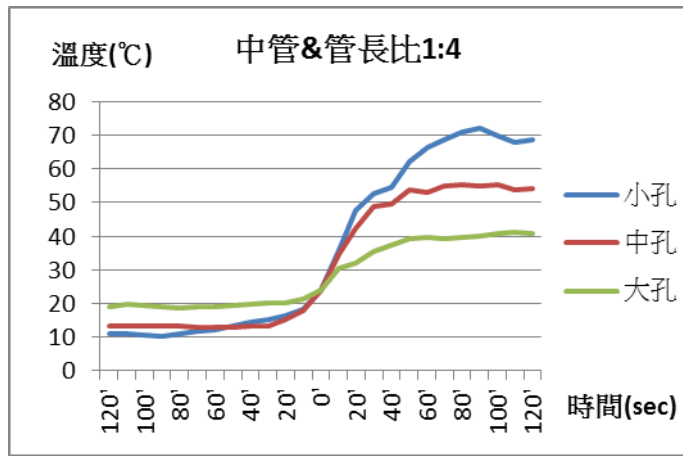
(圖二十一)



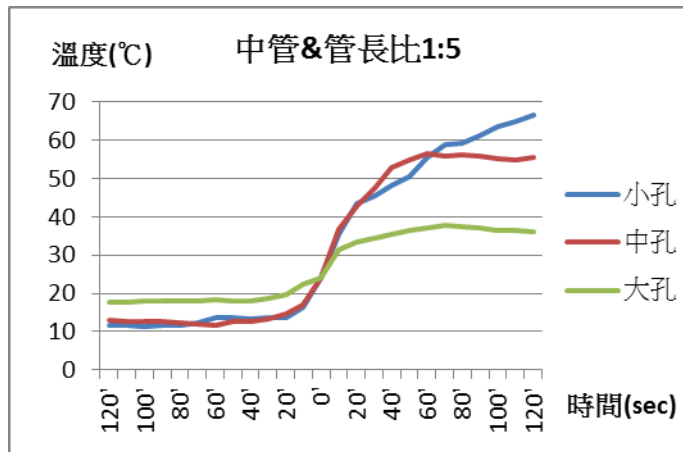
(圖二十二)



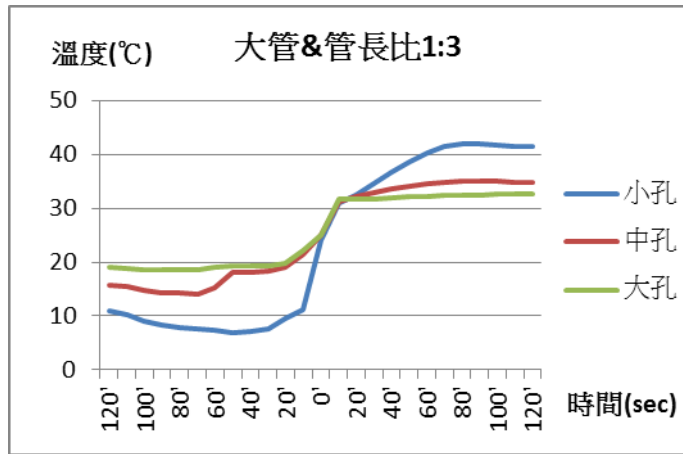
(圖二十三)



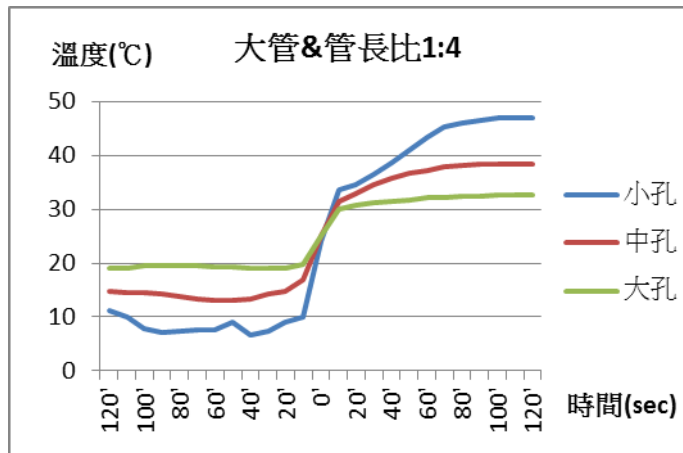
(圖二十四)



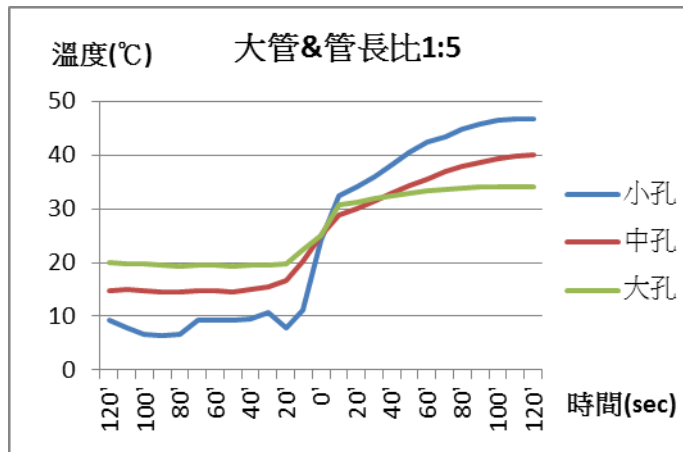
(圖二十五)



(圖二十六)



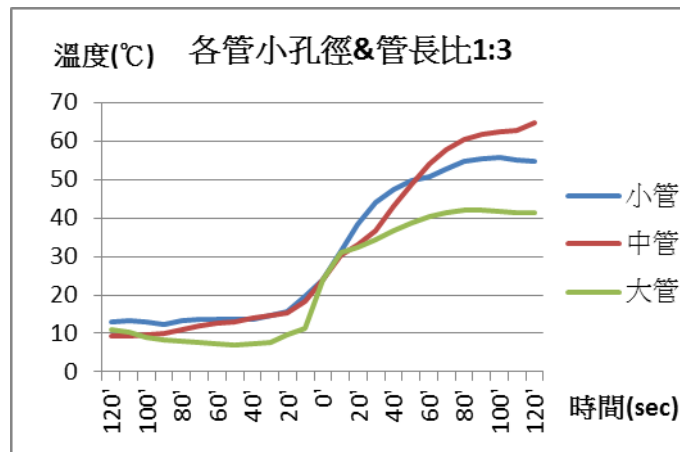
(圖二十七)



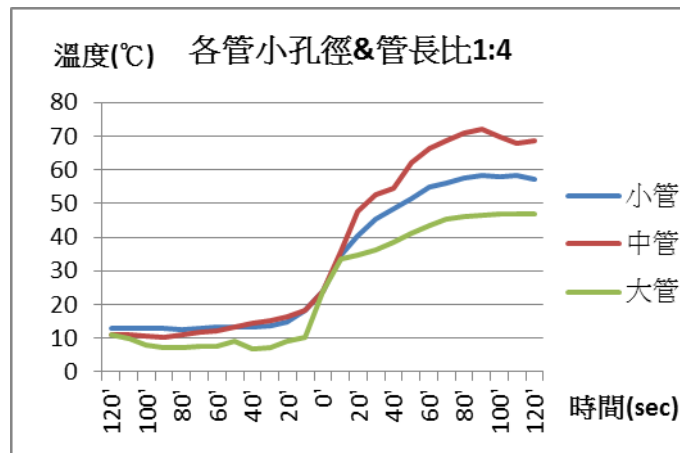
(圖二十八)

3、 固定 R 管長度及分離洞大小，比較不同管徑大小的關係

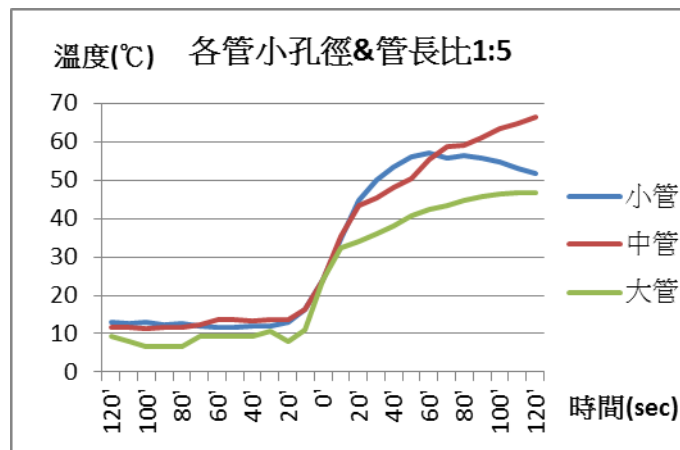
以下圖中時間 0 sec 時為室溫，往左為 L 管隨時間的溫度變化，往右為 R 管隨時間的溫度變化。



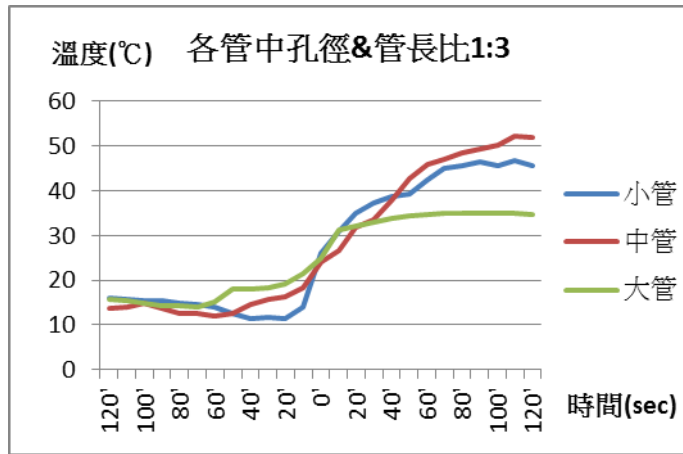
(圖二十九)



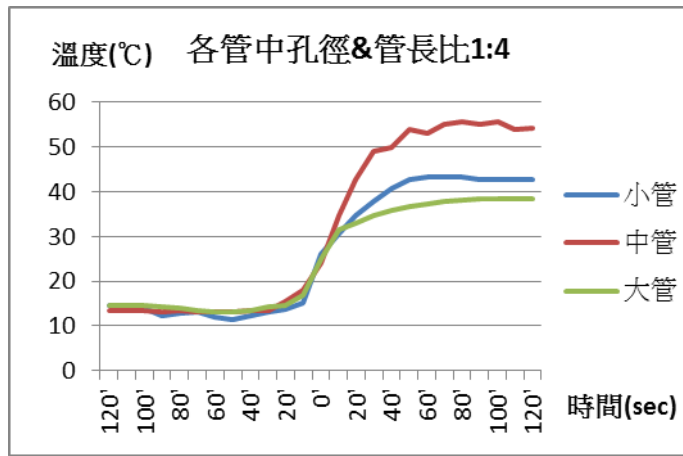
(圖三十)



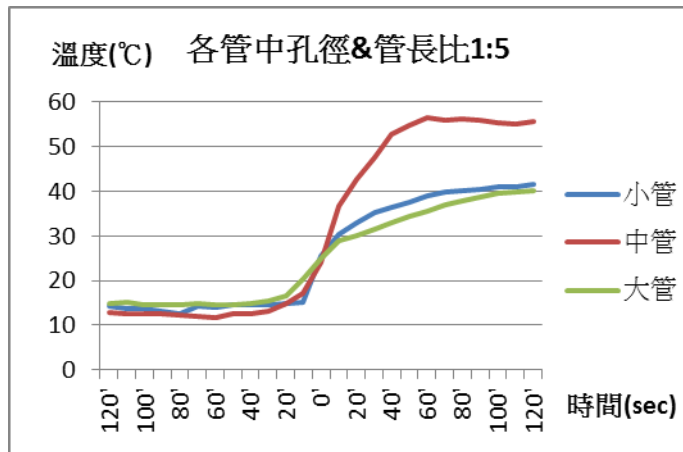
(圖三十一)



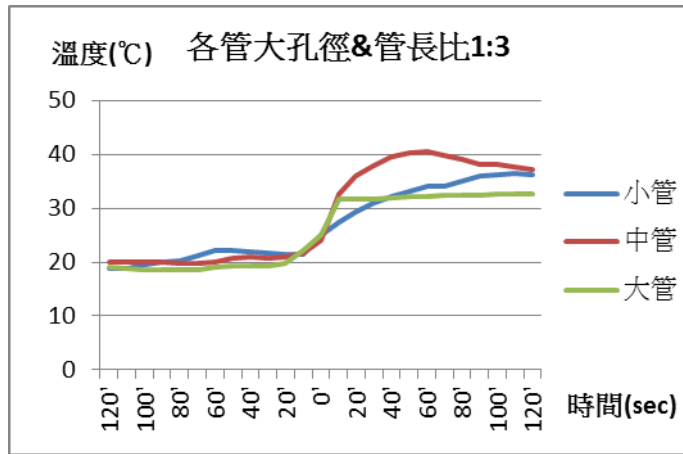
(圖三十二)



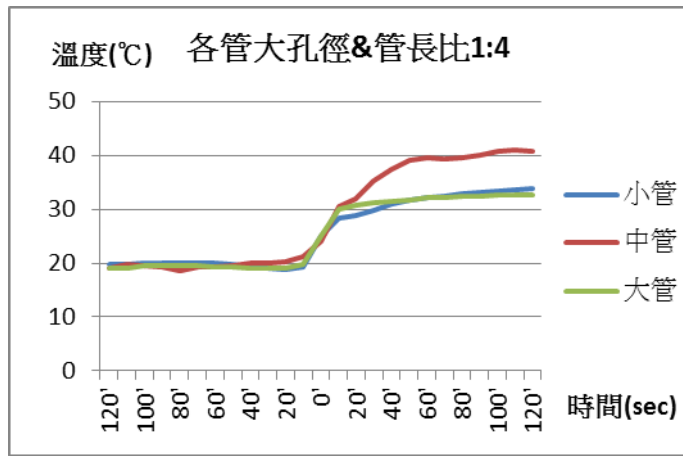
(圖三十三)



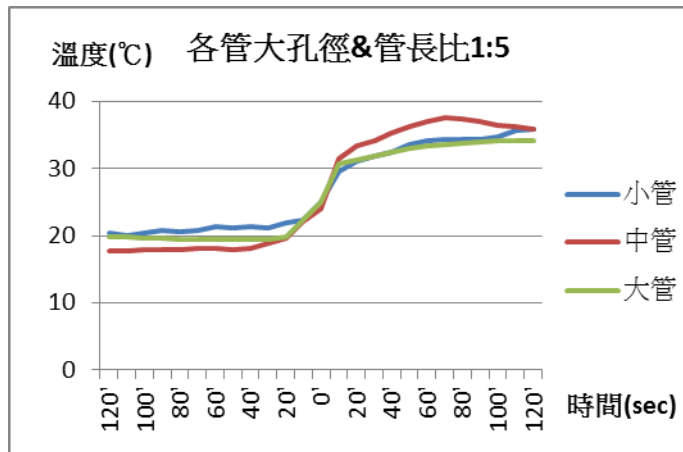
(圖三十四)



(圖三十五)

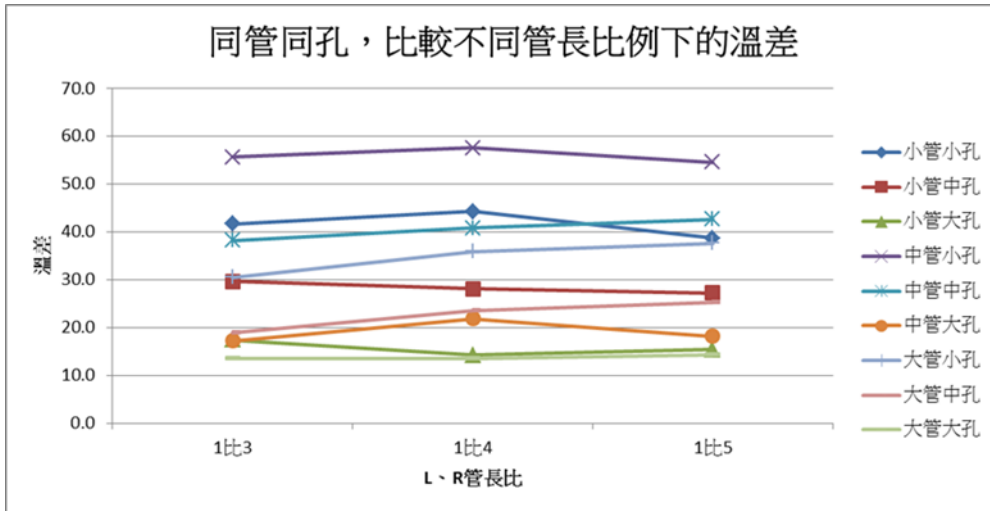


(圖三十六)

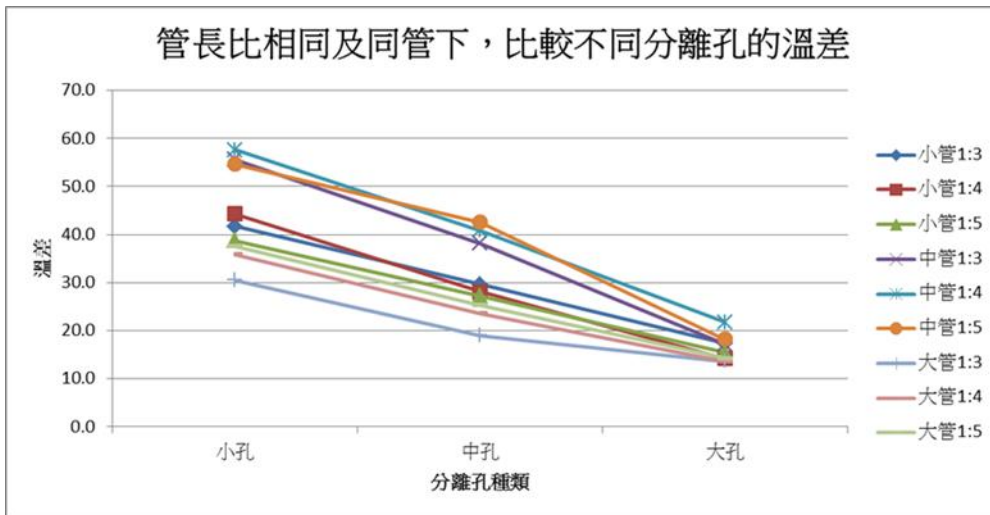


(圖三十七)

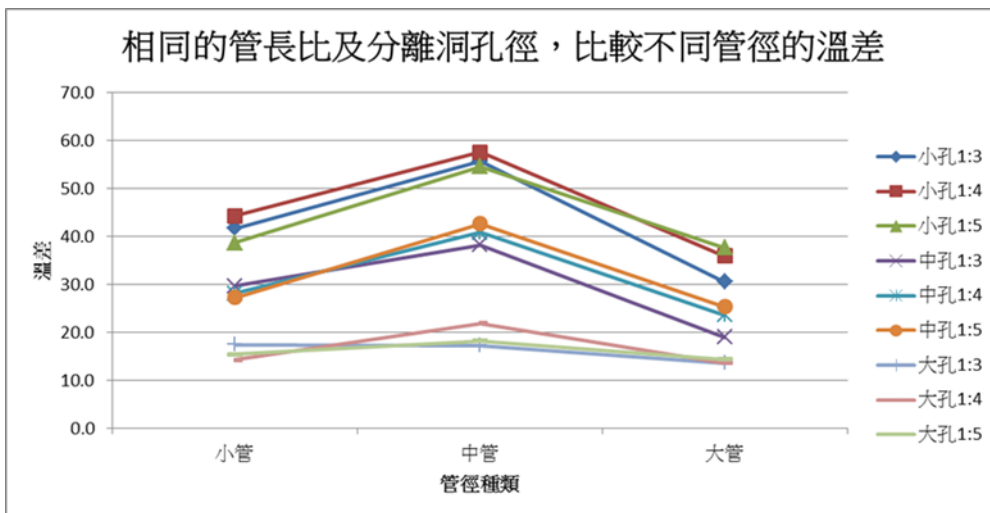
4、 最後溫差綜合比較



(圖三十八)



(圖三十九)



(圖四十)

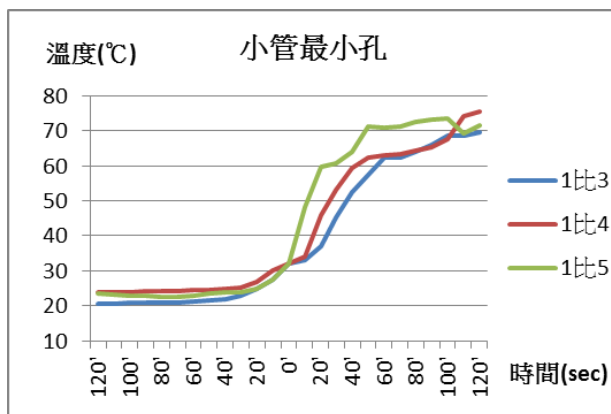
四、**實驗四**：環境的影響（室溫 32°C）

（一）、小管數據

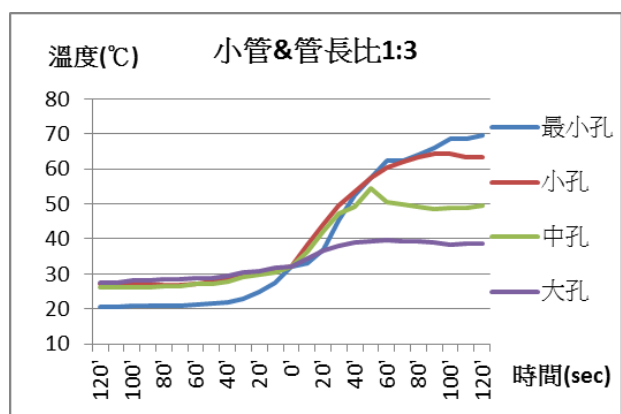
（時間：sec，溫度：°C）

管、孔大小		小管最小孔			小管小孔			小管中孔			小管大孔		
時間(sec)		1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5
L管	120'	20.6	23.9	23.4	27.1	27.9	28.2	26.2	26.7	26.6	27.6	28.2	28.4
	110'	20.5	23.8	23.3	27.0	28.0	28.4	26.1	26.6	26.3	27.5	27.8	28.5
	100'	20.9	23.9	23.0	27.0	27.8	28.0	26.1	26.7	26.5	28.0	27.6	28.7
	90'	20.8	24.1	22.8	27.0	27.2	27.9	26.2	26.6	26.4	28.2	27.6	29.3
	80'	21.0	24.2	22.7	26.8	27.5	27.9	26.5	26.9	26.5	28.4	27.4	29.8
	70'	21.0	24.3	22.6	26.9	27.7	27.7	26.4	27.9	26.7	28.3	27.9	29.9
	60'	21.3	24.4	22.8	27.2	28.0	28.1	27.0	27.9	27.2	28.7	28.2	30.0
	50'	21.6	24.6	23.4	27.7	28.6	27.8	27.3	28.6	27.8	28.8	29.0	30.0
	40'	21.8	24.7	23.8	28.4	28.9	28.5	27.7	29.4	28.6	29.3	29.3	30.4
	30'	22.9	25.3	23.8	29.4	29.2	29.4	29.0	29.6	29.1	30.4	29.8	30.8
	20'	24.9	26.8	25.0	30.5	30.0	30.3	29.7	29.6	30.4	30.9	30.1	31.1
	10'	27.6	30.2	27.6	31.5	31.0	31.0	30.5	30.2	30.5	31.6	30.7	31.4
室溫	0'	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
R管	10'	33.1	34.2	48.3	38.5	36.9	39.7	36.3	38.1	41.2	34.5	34.7	35.3
	20'	36.9	45.8	59.7	44.1	46.2	49.3	42.4	41.7	47.7	36.7	37.6	38.4
	30'	45.1	53.3	60.6	49.4	52.9	54.1	47.3	41.9	50.9	38.1	37.8	40.1
	40'	52.6	59.5	63.9	53.5	55.7	58.3	49.1	43.3	51.3	38.9	38.2	39.9
	50'	57.4	62.3	71.2	57.3	57.2	61.3	54.3	43.8	52.3	39.4	38.2	39.5
	60'	62.2	63.1	70.9	60.4	60.6	63.3	50.5	43.7	52.9	39.5	38.2	39.6
	70'	62.2	63.5	71.1	62.1	62.1	63.5	49.9	46.2	53.4	39.4	38.0	39.2
	80'	64.1	64.3	72.5	63.2	62.0	61.0	49.1	47.0	53.3	39.2	37.7	38.7
	90'	66.0	65.3	73.3	64.3	63.3	61.3	48.4	47.6	51.8	38.9	37.5	38.2
	100'	68.7	67.5	73.6	64.5	64.0	60.5	48.9	47.9	50.6	38.4	37.9	38.0
	110'	68.5	74.1	69.2	63.5	64.3	60.2	48.8	47.4	49.6	38.6	38.3	38.0
	120'	69.5	75.4	71.5	63.3	64.3	60.1	49.4	48.5	48.0	38.6	38.5	37.9
最後溫差		48.9	51.5	48.1	36.2	36.4	31.9	23.2	21.8	21.4	11.0	10.3	9.5

（表六）最小孔孔徑大小：1 mm



（圖四十一）



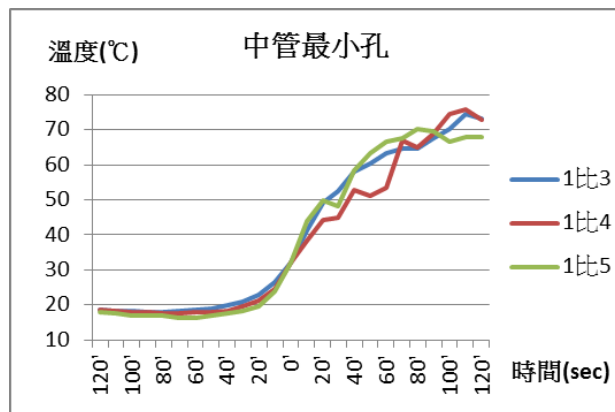
（圖四十二）

(二)、中管數據

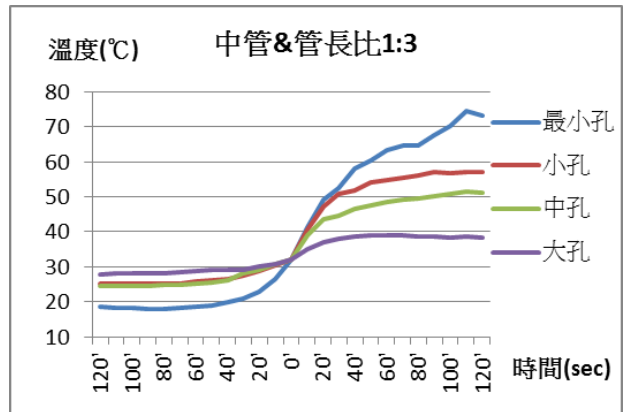
(時間：sec，溫度：°C)

管、孔大小		中管最小孔			中管小孔			中管中孔			中管大孔		
時間(sec)		1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5
L管	120'	18.7	18.6	17.9	25.2	24.1	24.3	24.6	25.5	25.1	27.9	27.1	27.2
	110'	18.4	18.1	17.7	25.1	24.2	24.3	24.4	25.0	25.3	28.0	26.8	27.5
	100'	18.1	17.8	17.0	25.1	24.0	24.1	24.5	24.8	25.5	28.0	26.7	27.3
	90'	18.0	17.8	16.9	25.2	24.1	24.1	24.4	24.7	25.6	28.1	26.4	27.5
	80'	17.9	17.7	16.8	25.2	24.1	24.0	24.9	24.8	25.7	28.2	26.5	27.4
	70'	18.2	17.7	16.3	25.3	24.3	23.9	24.8	25.1	25.5	28.5	26.8	27.7
	60'	18.5	17.8	16.4	25.8	24.5	24.0	25.2	25.2	25.3	28.7	27.2	27.9
	50'	19.0	17.8	17.1	26.1	24.8	24.1	25.6	25.3	25.2	29.1	27.6	28.0
	40'	19.8	18.4	17.6	26.6	25.3	24.1	26.3	25.5	25.3	29.2	27.8	28.2
	30'	21.0	19.5	18.3	27.6	25.7	24.6	28.1	26.3	25.7	29.2	27.8	28.4
	20'	22.9	21.1	19.7	28.7	26.2	25.4	29.1	27.3	26.5	30.0	27.9	28.6
	10'	26.4	24.4	23.9	30.6	28.6	26.8	30.9	28.9	28.1	30.8	28.9	29.4
室溫	0'	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
R管	10'	41.4	38.2	44.0	40.5	46.7	46.9	39.0	39.0	45.5	35.2	38.9	38.1
	20'	49.2	44.3	49.9	47.1	52.6	54.6	43.5	46.4	53.8	37.1	40.0	40.1
	30'	52.6	44.8	48.3	50.9	53.4	61.9	44.7	50.0	58.4	38.0	39.4	40.2
	40'	58.1	52.8	58.5	51.7	54.7	63.0	46.7	50.3	60.0	38.6	39.1	40.2
	50'	60.5	51.2	63.3	54.2	53.4	61.8	47.4	52.2	59.3	38.9	39.0	40.2
	60'	63.2	53.6	66.6	54.8	55.2	61.7	48.5	55.1	58.8	39.1	38.6	40.0
	70'	64.6	67.1	67.5	55.6	56.3	62.7	49.2	56.8	58.1	39.0	38.2	40.1
	80'	64.8	65.1	70.1	56.1	57.1	61.5	49.6	56.6	58.0	38.8	38.1	40.1
	90'	67.6	68.9	69.6	57.0	57.5	60.2	50.3	56.4	57.8	38.6	37.8	39.8
	100'	70.1	74.6	66.6	56.8	58.7	60.1	50.9	56.5	57.6	38.4	37.6	39.5
	110'	74.6	76.0	67.9	57.2	59.6	57.4	51.4	56.4	56.6	38.6	37.5	39.3
	120'	73.3	73.0	68.0	57.0	60.2	57.3	51.2	55.5	56.3	38.4	37.3	39.1
最後溫差		54.6	54.4	50.1	31.8	36.1	33.0	26.6	30.0	31.2	10.5	10.2	11.9

(表七) 最小孔孔徑大小：1 mm



(圖四十三)



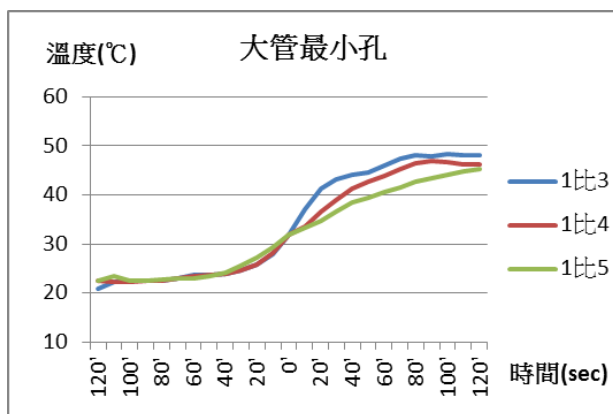
(圖四十四)

(三)、大管數據

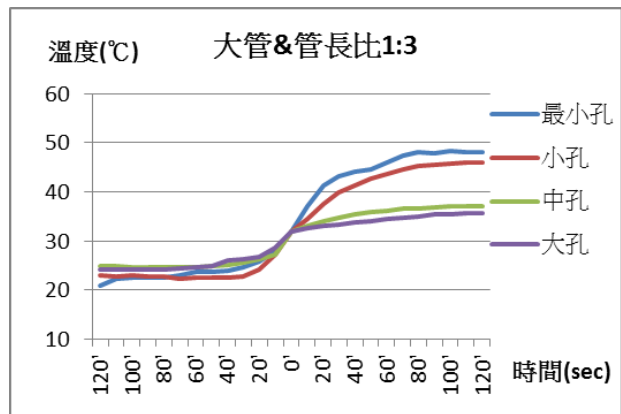
(時間：sec，溫度：℃)

管、孔大小		大管最小孔			大管小孔			大管中孔			大管大孔		
時間(sec)		1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5	1比3	1比4	1比5
L管	120'	20.8	22.5	22.5	23.0	21.6	20.8	24.9	24.0	24.0	24.2	25.0	28.8
	110'	22.3	22.2	23.5	22.8	21.3	20.5	24.8	24.2	23.8	24.1	25.0	28.9
	100'	22.6	22.2	22.6	22.9	21.2	20.3	24.7	24.0	24.0	24.2	24.8	28.8
	90'	22.5	22.4	22.6	22.8	21.3	20.3	24.6	24.1	24.3	24.2	24.9	28.8
	80'	22.5	22.6	22.7	22.7	21.3	20.2	24.7	24.1	24.2	24.1	24.9	28.9
	70'	22.9	22.9	22.9	22.3	21.5	20.6	24.6	24.4	24.3	24.4	24.8	29.0
	60'	23.6	23.5	23.0	22.4	21.8	20.7	24.7	24.7	24.3	24.5	24.9	29.2
	50'	23.6	23.6	23.5	22.5	22.4	21.0	24.8	24.9	24.3	24.9	24.8	29.4
	40'	23.8	23.9	24.2	22.4	22.6	22.1	25.1	25.4	24.5	25.9	24.7	29.8
	30'	24.5	24.6	25.5	22.7	23.1	22.4	25.6	25.9	24.8	26.3	24.7	30.2
	20'	25.8	25.7	27.2	24.2	24.1	23.2	26.2	26.8	25.5	26.8	25.3	30.6
	10'	28.0	28.1	29.3	27.2	26.7	25.2	27.2	28.8	28.0	28.5	27.6	31.3
室溫	0'	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
R管	10'	37.1	33.6	33.3	34.5	36.3	37.2	33.0	33.2	32.1	32.7	31.8	32.5
	20'	41.2	36.5	34.8	37.5	38.6	39.2	34.0	34.1	32.8	33.1	32.2	32.8
	30'	43.1	38.9	36.6	39.8	40.5	41.2	34.8	35.1	33.4	33.4	32.7	33.1
	40'	44.1	41.4	38.5	41.2	42.2	41.7	35.4	36.0	34.1	33.8	33.0	33.4
	50'	44.6	42.8	39.5	42.6	43.2	43.1	35.8	36.7	34.6	34.1	33.3	33.6
	60'	46.0	43.9	40.6	43.6	44.0	44.0	36.2	37.3	35.1	34.4	33.6	33.9
	70'	47.3	45.4	41.6	44.6	45.0	44.9	36.5	38.0	35.5	34.6	33.8	34.2
	80'	48.1	46.5	42.7	45.2	45.1	45.5	36.7	38.5	36.0	35.0	34.0	34.4
	90'	47.8	47.0	43.4	45.5	45.0	46.0	36.8	38.9	36.5	35.3	34.2	34.6
	100'	48.4	46.6	44.2	45.7	46.0	46.5	37.0	39.9	36.9	35.5	34.4	34.8
	110'	48.2	46.2	44.8	45.9	46.6	46.9	37.0	39.8	37.4	35.7	34.6	34.9
	120'	48.0	46.3	45.2	46.1	47.2	47.3	37.1	40.2	37.7	35.7	34.7	35.0
最後溫差		27.2	23.8	22.7	23.1	25.6	26.5	12.2	16.2	13.7	11.5	9.7	6.2

(表八) 最小孔孔徑大小：1 mm



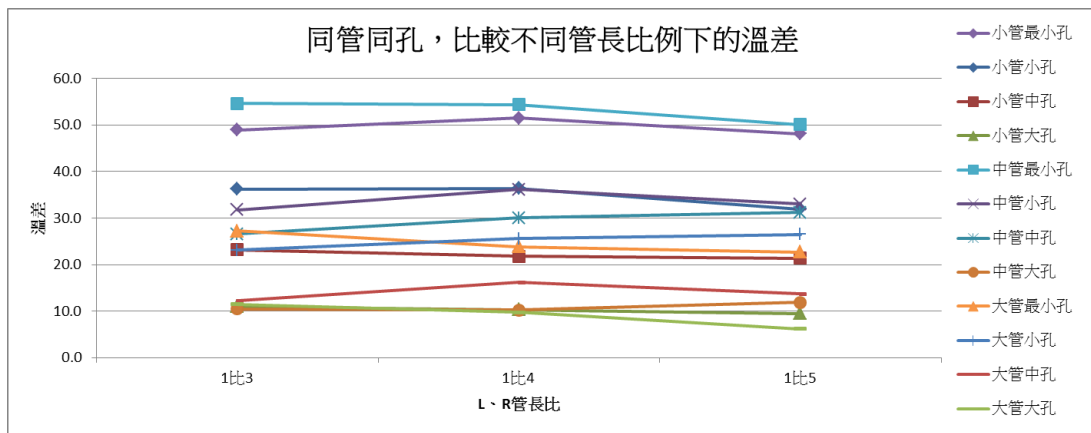
(圖四十五)



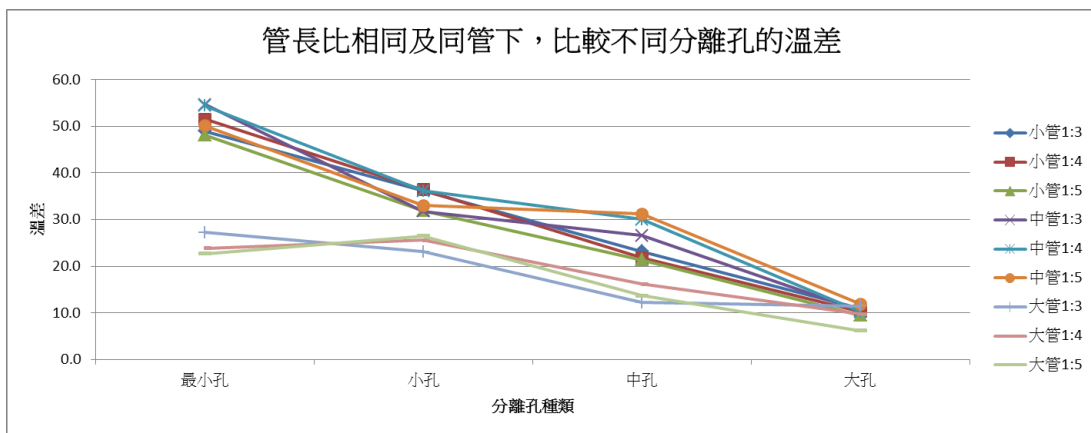
(圖四十六)

(四)、數據圖表統整：

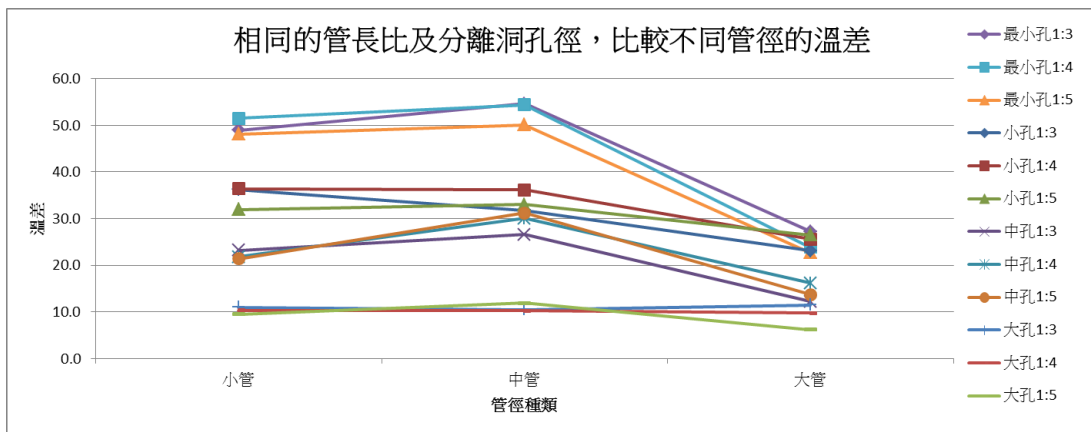
1、 最後溫差綜合比較



(圖四十七)



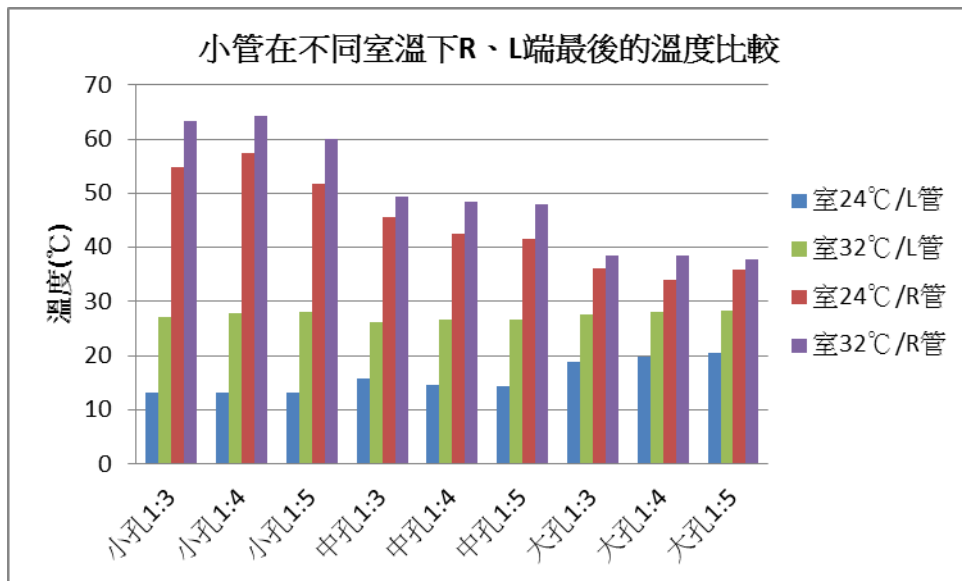
(圖四十八)



(圖四十九)

2、小管在不同室溫下的比較

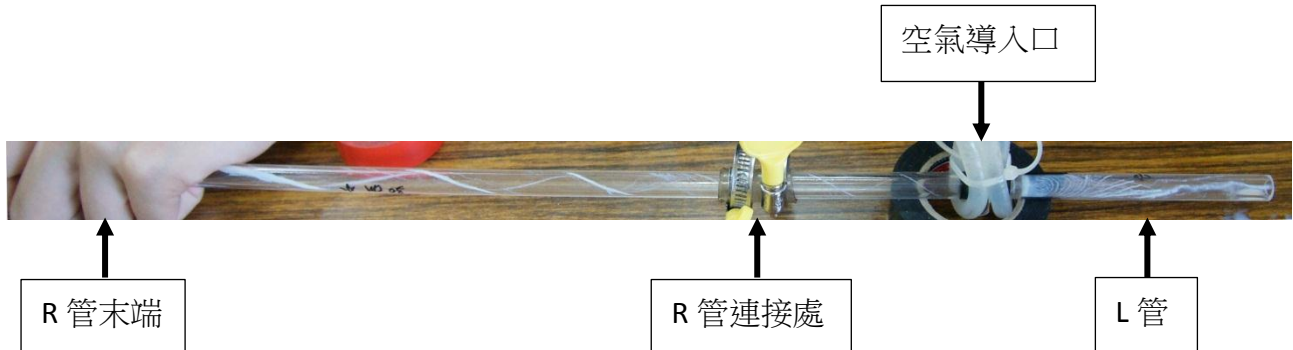
圖表溫度皆取最後 R、L 兩端的溫度（即 2 分鐘時的溫度）



(圖五十)

室 24°C/L 管：室溫 24°C、L 端最後溫度；室 32°C/L 管：室溫 32°C、L 端最後溫度
室 24°C/R 管：室溫 24°C、R 端最後溫度；室 32°C/R 管：室溫 32°C、R 端最後溫度

五、**實驗五**：觀察空氣在 R、L 管中氣體流動的方式



(圖五十一)

柒、 討論

一、從**實驗一**結果我們發現：

- (一)、持續性供氣的溫差幾乎都小於 5 度，跟第 42 屆全國科展的結果差不了多少；而間斷性供氣的溫差就非常地明顯，在實驗中的溫差最好的溫差可達 53.9 度，這是得以讓我們的研究繼續下去的關鍵。
- (二)、從結果還可發現進氣強度最強時，不論哪種進氣方式皆可達到最大的溫差，將四種進氣強度最強的一起拿出來比較如（圖五）所示，發現在按壓頻率 2~3 次/秒可達最大的溫差，為了了解原因，於是我們進一步去量測這四種進氣方式其進氣的風速隨時間變化的關係為何。

二、實驗二結果顯示：

- (一)、剛進氣時風速都最大，是因為每次實驗我們都等到空壓機裡的空氣飽和（即空壓機不再運轉）後才開始做，然而開始進氣一段時間後空壓機的壓力會逐漸降低才導致風速下降。
- (二)、從結果還可發現，氣強、氣中風速一開始都會快速地下降，主要因為一開始吹出大量的氣體導致空壓機壓力快速下降；然而氣弱的風速一直非常地穩定，主要是因為空壓機壓縮空氣的速度來得及補充吹出的少量氣體。
- (三)、從實驗一得知氣流強度最強所得到的溫差較大，於是我們單獨將四種進氣方式中氣流最強一起作比較如（圖十）所示，比較後發現：
 - 1、 持續性供氣的風速下降最多，平均風速也比其他三種方式還低，主要因為持續性地將空氣吹出的量較比其他三種方式多，以致於空壓機壓縮空氣的速度不及。
 - 2、 當間斷性供氣頻率愈高時，其平均風速愈高，但間 3 風速隨時間變化非常地不穩定，這可以用來說明實驗一中，間 3 供氣氣流最強時 R 管的溫度為何變化非常地不穩定，而主要是因為按壓的人除了不好控制外，時間愈長手會愈沒力氣按壓；頻率太慢則也會使氣體吹出的量過多造成風速下降，所以，適中（間 2）的按壓方式才是最好的。

三、根據實驗三的結果：

- (一)、在固定基礎管改變 R 管長度的情況下，從（圖十一）～（圖十九）我們發現溫度的變化並沒有因為長度的改變而有所太大的變化，於是我們進一步將每種情況下最後的溫差（即 2 分鐘時的 R、L 管溫度差）整理成（圖三十八），更可以清楚地發現溫差幾乎不隨 R 管長度變化，或許是因為管長比例差異性並不大，未來我們可再增加 R 管的長度，進一步探討氣體在管中流動的長度是否會影響溫度的變化。
- (二)、固定 R 管長度及管徑大小情況下，從（圖二十）～（圖二十八）發現，兩端溫度變化隨著分離洞愈小，其溫度的變化也跟著愈大，我們也進一步將每種的最後溫差整理成（圖三十九），更清楚地看出分離洞最小時溫差最大，我們再根據觀念一知道分離洞愈小時，空氣通過分離洞時速度較快，之後空氣在 L 管瞬間產生膨脹使周圍溫度下降。
- (三)、固定 R 管長度及分離洞大小情況下，從（圖二十九）～（圖三十七）發現中管的溫度變化皆最大，一樣我們進一步將最後溫差整理成（圖四十），更清楚發現中管的溫差最大，原先我們以為只改變管徑的情況下，小管溫差是最大的，可是結果我們可以看到在中管之 L、R 兩管的溫差是最大的，其次才是小管，最後是大管。
- (四)、根據前面的實驗結果，我們上網搜尋一些資料後，推測 L、R 兩管的溫差可能與氣體在管中所形成的「管狀層流」有關，所以管徑的大小關係著 L、R 兩管的溫差變化。
- (五)、管狀層流：
如右圖所示，空氣進入管中後產生渦流氣流，氣流碰到活塞後反彈形成一股反



向的渦流氣流，所以氣流在管中形成了層流。外層的氣流會與管壁互相作用（摩擦碰撞）使空氣溫度升高，最後將熱氣從活塞帶出。然而氣流雖然在大管產生了較多的摩擦，不過，由於管徑太大導致氣流反彈至分離洞時，一部分氣流又被反彈回去，而這來來回回的層流彼此間會有擾動的現象產生，進而使效果變的不佳；而管徑太小，則是反彈的氣流會跟下一股進來的外層氣流產生干擾。所以，適當的管徑大小可以產生較佳的層流，而使兩管的溫差變大。

- (六)、我們由上述討論結果得知「中管小孔」的效果是最佳的，因此我們藉由實驗原理「觀念一」的連續方程式， $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$ (因為氣體可壓縮) 公式算出 A_1 、 A_2 面積比 (先不考慮氣體密度)，得知溫差最好的「中管小孔」其面積比為 30.3，也許在未來的研究上，我們可以找出最佳的面積比，而達到最大的溫差效果。

管別 孔別	面積比		
	小管管徑 (6 mm)	中管管徑 (11 mm)	大管管徑 (16 mm)
小孔(2 mm)	9.0	30.3	64.0
中孔(3 mm)	4.0	13.4	28.4
大孔(4 mm)	2.3	7.6	16.0

四、環境因素：

我們在做實驗時，由於不一定是同一天，所以數據的部份會因當天的天候狀況（溫度、濕度等）而有所誤差，於是我們將之前天氣較冷（24°C）時所做的實驗與之後天氣很熱（32°C）時所做的結果拿來做比較，從（圖五十）來看，當室溫升高時 R、L 兩端的溫度也都會跟著升高，而且還可發現 L 端的溫度升高較多以致於整體的溫差效果變差，所以若要減少環境的影響就須盡量在同一時間內完成。

- 五、在「實驗四」中除了討論環境因素外，我們將大、中、小管皆增加一種分離洞（最小孔，孔徑：1 mm），即增加了三支不同的基礎管，而實驗的結果（室溫皆 32°C）我們可以從（圖四十一）～（圖四十九）中發現其趨勢與實驗三（室溫 24°C）討論的結果相符合，所以室溫的改變雖然改變了溫差，但並不會影響整體的結果。

六、人為因素：

在按壓的過程中，有時候會出現一些小狀況(如溫度升到一半突然下降或降低到一半突然往上升等)，可能是因為按壓久了手會疲勞、酸痛，進而導致按壓頻率的不正常異動，以及溫度計擺放的方式及位置也會產生誤差。

七、渦流氣流：

為了方便觀察及確認我們打進的氣體是否為渦流氣流，我們就在導入管的地方滴進些許黏滯性較低的工業用溶水油（白色狀），實驗結果如圖所示，我們觀察到 R 管，當氣體由管徑的切線方向吹入之後，氣體會沿著管壁產生渦流狀，而且愈接近末端，其螺距就愈大。因此我們能更加確定為何導入管必須設置在 R 管的切線方向，也明白了為何這篇實驗要命名為“蘭克—希爾須渦流管(Ranque-Hilsch vortex tube)”。

- 八、目前市面上有一種節能的熱水器—「熱泵熱水器」，它可以吸收外界的熱氣來達到加熱的效果，但是冬天時由於溫度較低所以效果會降低，我們想說是否能將渦流管產生的熱空氣應用在這上面，而冷空氣則可以用來降低室內的溫度。

捌、 結論

- 一、按壓進氣的方式是本次實驗之所以能夠突破第 42 屆科展作品的 1~2 度的溫差，其關鍵在於我們使用間斷性的供氣，從實驗三結果得知最好的一次高低溫差高達 57.6 度，在我們的實驗過程中甚至最低溫度還曾經出現過 4 度左右，最高溫度也曾經高達 80 度左右。
- 二、間斷性供氣在頻率每秒按壓 2~3 次的方式下，能夠產生又大又穩定的氣流，產生的人為誤差也是最小的。
- 三、固定管徑及分離洞大小，改變管長比例，結果發現，不管是 1:3、1:4 還是 1:5，做出來的結果溫差並沒有太大的變化。
- 四、固定管長及管徑，改變分離洞的大小，發現不論是大管、中管或小管其分離洞的孔徑愈小，R、L 兩管的溫度差就愈大，反之溫差則愈小。
實驗結果：小孔 > 中孔 > 大孔
- 五、固定管長及分離洞大小時，我們觀察到，中管能產生最大的溫差，其次是小管，溫差最小的是大管。
實驗結果：中管 > 小管 > 大管
- 六、由上述三點結果得知，中管小孔（F 基礎管）在本次實驗中可得到最佳的溫差效果。
- 七、氣流在管中由渦漩的方式進入 R 管，碰到 R 管活塞後，以反向渦漩的方式流經分離洞並從 L 管流出。

玖、 參考資料及其他

- 一、沃克著，葉偉文譯。蘭克—希爾須渦漩管。載於物理馬戲團 Q&A(1)-讓你藝高人膽大的力學題庫(198-199 頁)。天下遠見出版股份有限公司。
- 二、Vortex tube。Wikipedia, the free encyclopedia, from http://en.wikipedia.org/wiki/Hilsch_vortex_tube
- 三、李俊明、顏仲凌、胡育華，林佩青老師、阮純儀老師。蘭克—希爾須渦旋管。第 42 屆全國科展，高中組物理科，取自：<http://www2.pymhs.tyc.edu.tw/edu/nat/show06.htm>
- 四、Halliday 著，王行達、田麗文、李佳榮譯。物理。全華圖書。

【評語】 040103

1. 本研究主題雖然在科展中出現過，且為已知的現象，但本團隊能進一步探索細節，達成更高的溫差，值得鼓勵。
2. 本作品新加入間歇性充氣的方式，有其獨特性。
3. 該團隊對研究中的物理現象已有初步理解，但仍應進一步掌握理解其中的關鍵概念。