

# 中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

## 高中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：蘭克 - 希爾須渦旋管

關 鍵 詞：摩擦力、擴散、渦旋度

編 號：040103

---

**學校名稱：**

國立陽明高級中學

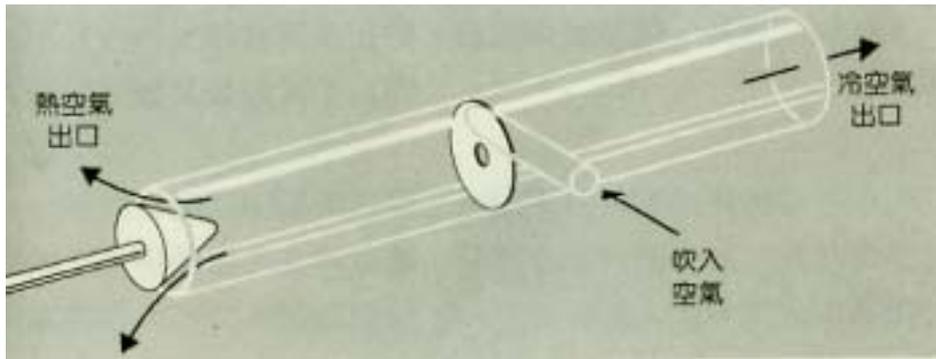
**作者姓名：**

李俊明、顏仲陵、洪聖堯、胡育華

**指導老師：**

林佩青、阮純儀





### 一、研究動機：

- (一) 在“物理馬戲團-Q&A”一書中，有一實驗「渦旋管」為何利用簡單的裝置即可產生溫差頗大的冷熱空氣？應該不會有小人躲在管子裡，很勤奮地將室溫下的空氣分離成冷、熱空氣吧？還是與所吹入的氣體壓力有關呢？
- (二) 在物理課本中有介紹“流體力學”及“熱力學”兩單元，更吸引了我們去探討其中的奧秘，但為何此設計並沒有繼續研發？是否有其它難以克服的障礙？還是和其它的變因有關呢？

### 二、研究目的：

- (一) 了解衝入之氣體壓力變化與溫度的關係。
- (二) 不同管長對溫度差的影響。
- (三) 不同管徑對溫度差的影響。
- (四) 觀察渦旋管內氣流的流動方式。
- (五) 嘗試測得二管中之壓力或壓力差。



### 三、研究設備及器材：

#### (一) 渦旋管(自行製作)：

1. 材料：水管、筆管、壓克力。
2. 工具：鑽床、砂輪機、游標尺、強力膠。
3. 說明：取一水管在中央斜鑽一個小孔，再將筆管以割線方式黏於中央小孔；用鑽床、砂輪機把壓克力車成圓圈，中央鑽個出氣孔，一個放在中央稍偏右，一個放在右方與管口齊；再做一個類似筆頭的活塞放在左方出口。
4. 規格：
  - (1) 編號 A 1 管，管長 65 cm，管內徑 2.0 cm。
  - (2) 編號 B 1 管，管長 50 cm，管內徑 2.0 cm。
  - (3) 編號 C 1 管，管長 35 cm，管內徑 2.0 cm。
  - (4) 編號 D 1 管，管長 20 cm，管內徑 2.0 cm。
  - (5) 編號 C 2 管，管長 35 cm，管內徑 2.8 cm。
  - (6) 編號 C 3 管，管長 35 cm，管內徑 3.8 cm。
  - (7) 編號 C 4 管，管長 35 cm，管內徑 4.4 cm。

(二)渦旋管(觀察氣流)：

1. 材料：半透明存錢筒(2)、保利龍、筆管。
2. 工具：鑽床、紗布、透明片。
3. 說明：

(1)將兩個存錢筒底部各鑽一個洞冷管稍大，再貼上紗布防止保利龍球露出；熱管部分在底部鑽孔接上筆管，出口處貼上鑽了四個洞的透明片；最後把保利龍分別放入冷熱管，再將兩管相連接。



(2)另外將一根渦旋管之熱管處在一平行線上鑽兩個洞，把筆管接上，一根接在管壁，一根插入管中央，並插上裡面含水的透明水管使其相連通。

(三)支架與活塞：

1. 材料：木板、木條、冰棒棍。
2. 工具：釘槍、白膠、砂紙、銼刀、美工刀。
3. 說明：將木頭製成活塞，先以美工刀削成筆頭的形狀，再用砂紙及銼刀修飾到平滑；將渦旋管和活塞以木條及冰棒棍固定在木板上。

(四)電子溫度計(2)：

1. 說明：快速地測量溫度。

(五)空壓機：

1. 說明：提供足夠氣壓之空氣且能夠穩定的打氣。



(六)單眼相機：

1. 說明：記錄實驗內容及過程。

#### 四、研究方式：

(一)實驗地點：於本校圖書館一樓及物理實驗室。

(二)實驗方式：

1. 實驗一：

- (1) 將空壓機出氣口套在 A1 進氣孔上，並將電子溫度計置於冷、熱管出氣口前。
- (2) 將空壓機的氣壓充到馬達停止運轉後開始打氣，依序在到達 6、5、4 和 3 大氣壓時測量冷、熱管出氣口前的溫度並記錄。
- (3) 依序換上 B1、C1、D1 管重複(1)(2)步驟，測量管長與氣壓對溫度的關係並記錄。



2. 實驗二：

- (1)將空壓機出氣口套在 C1 進氣孔上，並將電子溫度計置於冷、熱管出氣口前。

(2)將空壓機的氣壓充到馬達停止運轉後開始打氣，依序在到達 6、5、4 和 3 大氣壓時測量冷、熱管出氣口前的溫度並記錄。

(3)依序換上、C2、C3、C4 管重複(1)(2)步驟測量管徑與氣壓對溫度的關係並記錄。

3. 實驗三：

在放入保利龍的半透明渦旋管打氣，觀察保利龍在管內的運動情形。

4. 實驗四：

將裝有液壓裝置的渦旋管打氣，利用水位高低去觀察管中與管壁渦旋度的差異。

五、結果：

(一)實驗一：

A 1 管(如圖 1)：

壓力(kg/cm<sup>2</sup>)溫度( )

	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	27.8	27.9	27.8	27.7	27.6	26.0	25.7	25.4	25.3
2	27.8	27.9	27.8	27.7	27.6	26.0	25.7	25.4	25.3
3	27.8	27.8	27.8	27.9	27.9	26.1	25.8.	25.5	25.4
4	27.9	28.0	27.9	27.7	27.7	25.9	25.3	25.2	25.4
5	27.9	27.9	27.7	27.7	27.6	25.8	25.4	25.3	25.4
平均	27.8	27.9	27.8	27.7	27.7	26.0	25.5	25.4	25.4

壓力	6	5	4	3
熱均溫	27.9	27.8	27.7	27.7
冷均溫	26.0	25.5	25.4	25.4
溫差	1.9	2.3	2.3	2.3

B 1 管(如圖 2)：

壓力(kg/cm<sup>2</sup>)溫度( )

	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	26.4	26.9	27.0	26.9	26.8	26.0	25.8	25.7	25.9
2	26.0	26.4	26.6	26.5	26.4	24.7	24.4	24.4	24.5
3	25.8	26.4	26.8	27.1	27.1	24.7	24.3	24.4	24.5
4	25.9	26.5	26.8	26.9	26.9	24.5	24.2	24.3	24.5
5	25.9	26.3	26.5	26.4	26.3	24.2	23.9	23.7	24.2
平均	26.0	26.5	26.7	26.8	26.7	24.8	24.5	24.5	24.7

壓力	6	5	4	3
熱均溫	26.5	26.7	26.8	26.7
冷均溫	24.8	24.5	24.5	24.7
溫差	1.7	2.2	2.3	2.0

C 1 管(如圖 3) :

壓力(k g / c m<sup>2</sup> )溫度( )

次數	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	25.4	25.7	25.7	25.8	25.6	25.1	24.8	24.3	23.0
2	24.9	25.1	25.3	25.2	25.2	24.1	23.9	24.4	24.5
3	25.3	25.4	25.6	25.6	25.5	23.5	22.5	22.5	22.9
4	25.2	25.4	25.5	25.6	25.5	24.9	23.1	23.3	23.7
5	25.7	25.8	25.8	25.7	25.5	22.5	25.4	23.5	23.7
平均	25.3	25.5	25.6	25.6	25.5	24.0	23.9	23.6	23.6

壓力	6	5	4	3
熱均溫	25.5	25.6	25.6	25.5
冷均溫	24.0	23.9	23.6	23.6
溫差	1.5	1.7	2.0	1.9

D 1 管(如圖 4) :

壓力(k g / c m<sup>2</sup> )溫度( )

次數	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	26.5	26.6	26.6	26.4	26.3	25.8	24.7	23.8	24.3
2	26.9	26.9	26.8	26.9	26.9	25.2	23.4	23.3	24.0
3	27.0	27.0	26.9	26.6	26.7	24.9	24.7	24.6	24.8
4	26.7	26.5	26.3	26.2	26.2	25.9	25.2	24.5	24.8
5	26.8	26.7	27.0	26.9	26.8	25.9	25.1	24.4	24.7
平均	26.8	26.7	26.7	26.6	26.6	25.5	24.6	24.1	24.5

壓力	6	5	4	3
熱均溫	26.7	26.7	26.6	26.6
冷均溫	25.5	24.6	24.1	24.5
溫差	1.2	2.1	2.5	1.1

(二)實驗二 :

C 2 管(如圖 5) :

壓力(k g / c m<sup>2</sup> )溫度( )

次數	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	25.1	25.6	25.6	25.4	25.3	24.5	24.0	23.9	23.8
2	25.9	25.7	25.6	25.6	25.5	25.4	25.1	25.0	24.6
3	25.5	25.9	26.1	26.4	26.5	25.3	24.9	24.4	24.1
4	26.1	25.9	25.7	25.7	26.0	24.3	23.9	23.6	23.5
5	25.7	25.1	24.9	24.8	24.8	24.9	24.7	24.7	24.8
平均	25.7	25.6	25.6	25.6	25.6	24.9	24.5	24.3	24.2

壓力	6	5	4	3
熱均溫	25.6	25.6	25.6	25.6
冷均溫	24.9	24.5	24.3	24.2
溫差	0.7	1.1	1.3	1.4

C 3 管(如圖 6) :

壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 溫度( )

次數	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	27.9	28.3	28.5	28.6	28.6	27.3	27.1	26.8	26.6
2	27.9	28.2	28.4	28.5	28.7	27.7	27.7	27.4	27.5
3	28.1	28.3	28.3	28.3	28.3	27.6	27.6	27.4	27.3
4	28.0	28.2	28.3	28.5	28.6	27.8	27.7	27.5	27.3
5	27.9	28.2	28.2	28.1	28.1	27.8	27.6	27.3	27.1
平均	28.0	28.2	28.3	28.4	28.5	27.6	27.5	27.3	27.2

壓力	6	5	4	3
熱均溫	28.2	28.3	28.4	28.5
冷均溫	27.6	27.5	27.3	27.2
溫差	0.6	0.8	1.1	1.3

C 4 管(如圖 7) :

壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 溫度( )

次數	常溫	熱 6	熱 5	熱 4	熱 3	冷 6	冷 5	冷 4	冷 3
1	26.0	25.8	25.6	25.5	25.3	25.9	25.9	25.8	25.9
2	26.0	25.7	25.6	25.3	25.2	25.9	25.8	25.6	25.5
3	25.5	25.9	26.1	26.4	26.5	25.3	24.9	24.4	24.1
4	26.5	26.3	26.1	25.9	25.9	24.4	24.2	23.5	23.4
5	26.3	26.1	25.8	25.7	25.7	25.1	24.8	24.3	23.8
平均	26.1	26.0	25.8	25.8	25.7	25.3	25.1	24.7	24.5

壓力	6	5	4	3
熱均溫	26.0	25.8	25.8	25.7
冷均溫	25.3	25.1	24.7	24.5
溫差	0.7	0.7	1.1	1.2

同管徑不同管長的溫差比較(如圖 8) : 壓力(k g / c m<sup>2</sup>) 溫差( )

壓力	6	5	4	3
A 1 (65cm)	1.9	2.3	2.3	2.3
B 1 (50cm)	1.7	2.2	2.3	2.0
C 1 (35cm)	1.5	1.7	2.0	1.9
D 1 (20cm)	1.2	2.1	2.5	1.1

同管長不同管徑的溫差比較(如圖 9) : 壓力(k g / c m<sup>2</sup>) 溫差( )

壓力	6	5	4	3
C 1 (2.0cm)	1.5	1.7	2.0	1.9
C 2 (2.8cm)	0.7	1.1	1.3	1.4
C 3 (3.8cm)	0.6	0.8	1.1	1.3
C 4 (4.4cm)	0.7	0.7	1.1	1.2

### (三)實驗三：

熱管空氣以螺旋方式前進 5 8 圈；冷管空氣大致以平行管子方向直線前進。

### (四)實驗四：

結果發現接於管中央的水位較高，管壁的水位較低，得知管壁壓力大於管中壓力。

## 六、討論：

(一)在探討理論中，發生了嚴重的瓶頸，因為在參考書目中，沒有控制變因是溫度的，溫度都是定值、常溫，皆是理想狀態。而真正都只討論流體力學一門，在壓縮性流體力學書中提到較多，但是並不深入。流體力學中有更多課本沒有的公式，而且兩本書之間代號也不同、出現了微分使我們無法了解。最難的是發現本實驗中流體力學和熱力學兩者結合困難。熱的部分我們大都加調黏滯性。而摩擦力又是一種奇怪的力啊！可是龍騰課本 P.93 頁白努力原理中，僅考慮無黏滯性、不可壓縮及穩定的流體。

(二)為什麼有些熱管溫度會降低呢？

我們覺得是因為 1.管長不夠以致於渦旋度不夠，所以無法產生足夠的摩擦。 2.因為

管徑變大時管中速度變小對管壁摩擦產生能量不夠，而且空壓機所打出的空氣本來就低於常溫較多，升溫後，還是可能低於常溫，摩擦與擴散抵消的結果，這種情況是可能發生的。

(三)為什麼冷管出口的洞選擇比較小？

我們猜測，洞比較小，膨脹做功比較明顯，擴散速率較快，溫度下降較多。

(四)冷熱管中的氣流流動方式？

冷管的流動方式：一開始擴散後，接近平行管壁流動，之後被壓縮出去。

熱管的流動方式：剛充入氣體，管中心就形成一個渦旋，邊緣氣體摩擦管壁前進，經過一段距離之後變的比較穩定，且中心氣流速度大於外邊氣流速度。

(五)為什麼最短的渦旋管會例外？

螺旋氣流要前進一段距離時，速率才會隨著半徑的分布變得比較平均，但是短的渦旋管等於是一灌入氣體馬上就衝出，氣流很不穩定，可能不能用相同的模型去解釋

## 七、結論：

(一)根據空壓機出口壓力由 6 atm 5 atm 4 atm 3 atm 所測得之數據：

1. 同管徑不同管長時之狀況：

除 D 1 (20cm)管外，其餘 A 1 (65cm)、 B 1 (50cm)、 C 1 (35cm)三管所得曲線類似(如圖 8)，管長愈長，溫差愈大。

2. 同管長不同管徑時之狀況：

C 1 (2.0cm)、 C 2 (2.8cm)、 C 3 (3.8cm)、 C 4 (4.4cm)所得之曲線接類似(如圖 9)，壓力愈小時溫差愈大。

(二)不同管長對溫度差的影響(管徑固定 2.0cm)：

結果相同管徑下，管長愈長，溫差愈明顯(如圖 8)。我們推測管徑愈長對管壁摩擦做功愈多，所以愈熱，例如所得 A 1 (65cm) > B 1 (50cm) > C 1 (35cm)，而 D 1 (20cm)的曲線呈現大起伏，可能因為管長太短，有其他因素待考慮。

(三)不同管徑對溫度差的影響(管長固定 35cm)：

相同的管長下，管徑愈大溫差愈不明顯(如圖 9)，我們猜測因為熱管部分的管徑愈大，氣體擴散，速度降低，且渦旋度愈不明顯。而冷管管徑愈大，出口處噴出速率沒有窄管大故擴散較不明顯，溫度較高。例如：

C 4 (管徑 4.4cm) 25.3、 C 1 (管徑 2.0cm) 24.0  $\Rightarrow$ 同在 6 atm。

(四)觀察渦旋管內氣流的流動方式：

結果管壁的氣壓比管中心大，我們推測管中心流速大於管壁，呈現渦流狀況。且管徑愈大，渦旋愈不明顯，故比較不熱。

(五)嘗試測得二管中之壓力或壓力差：

1. 買兩個壓力表，鑽孔，嘗試直接測冷熱管中之壓力，但充氣時表不動，無法測出。

2. 買半透明水管(長約 30cm)，嘗試做冷熱管壓力差的關係，結果水柱由冷管噴出，

顯示熱管中之壓力至少大於冷管 30cm-H<sub>2</sub>O，建議用水銀來做，但老師不答應，認為太危險。

3．最後老師建議做熱管管中心與管壁之壓力差的關係，結果如結論(四)。

#### 八、結語：

雖然這個實驗仍未臻完善，需要改進的地方還很多，而且我們也常逝去尋找適當的理論模型來解釋而不可得。但是我們認為它是很有發展潛力的，若能適當地加以研究應用，可在空調系統、冷卻系統或航太科學上有所貢獻，以其達到節約能源、減少污染的目標。

#### 九、參考書目：

- (一) 物質科學物理篇(下) 褚德三等編著 龍騰文化事業公司編印。
- (二) 物理馬戲團-Q&A Jear Walker 著 葉偉文譯 天下文化。
- (三) 熱與熱力學 柴曼斯基著 翁武忠、曹培熙譯 徐氏基金會。
- (四) 壓縮性流體力學 言本順二郎著 吳義勇譯 曉園出版社。
- (五) 流體力學原理及題解 D.J.Pollard、E.H.Wilson 著 黃博全譯 曉園出版社。
- (六) 中華民國中小學科學展覽高中組物理科合訂本優勝作品專輯 國立台灣科學教育館編印。
- (七) 普通流體力學 王石安著 台灣中華書局印行。
- (八) 理論物理第五冊 熱力學、氣體動力論、統計力學 吳大猷著 聯經出版事業公司。
- (九) 熱傳遞學第六版 J.P.Holman 著 楊春欽、毛迪譯 科技圖書股份有限公司。

附圖：

圖 1 (A 1 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(k g / c m<sup>2</sup> ) 縱：溫度( )

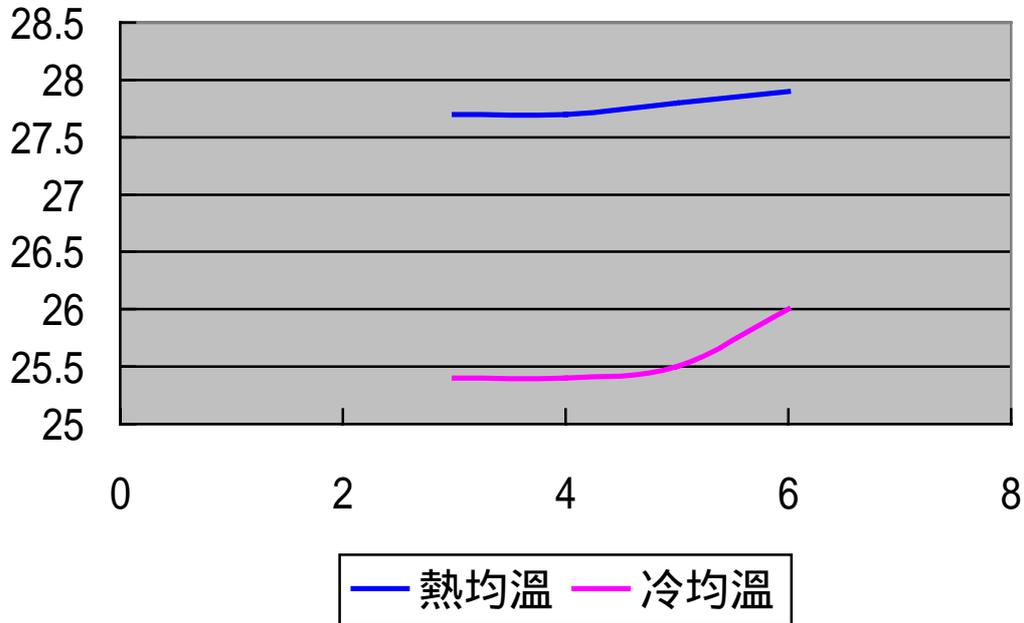


圖 2 (B 1 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(k g / c m<sup>2</sup> ) 縱：溫度( )

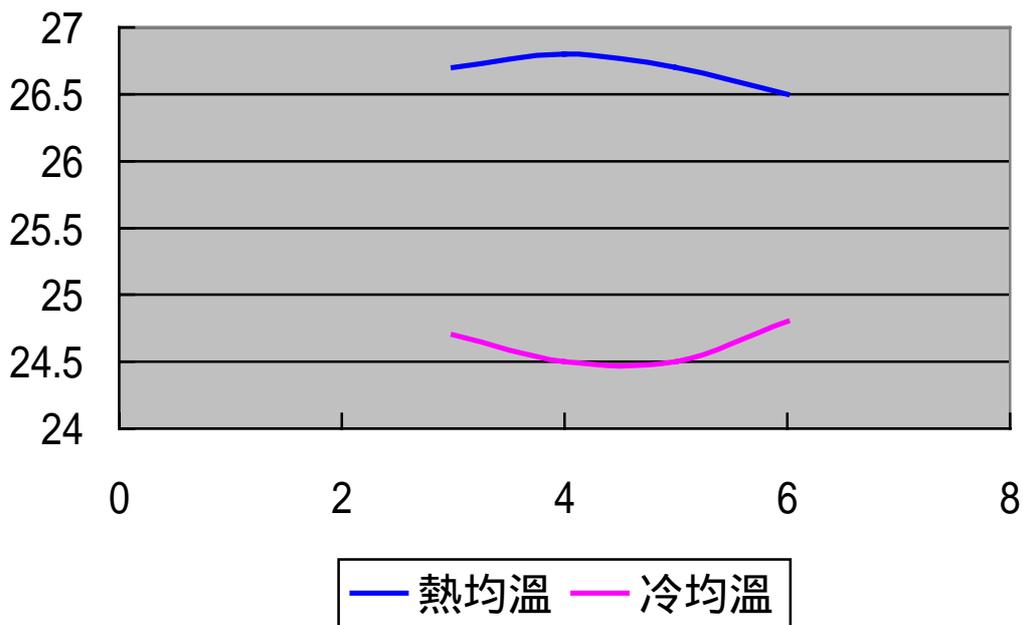


圖 3 (C 1 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 縱：溫度( )

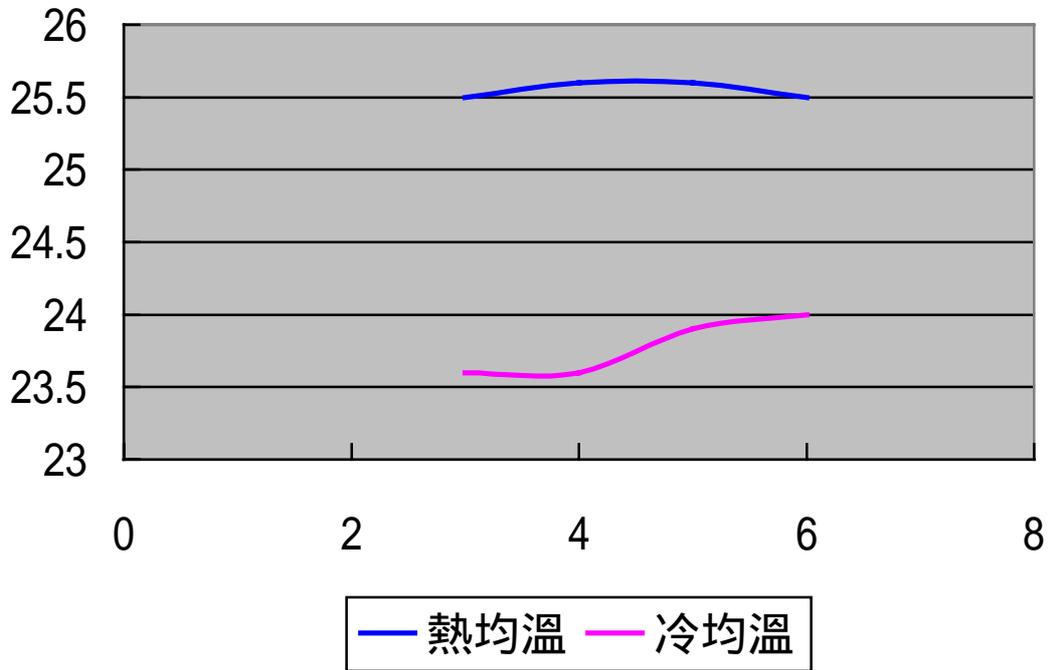


圖 4 (D 1 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 縱：溫度( )

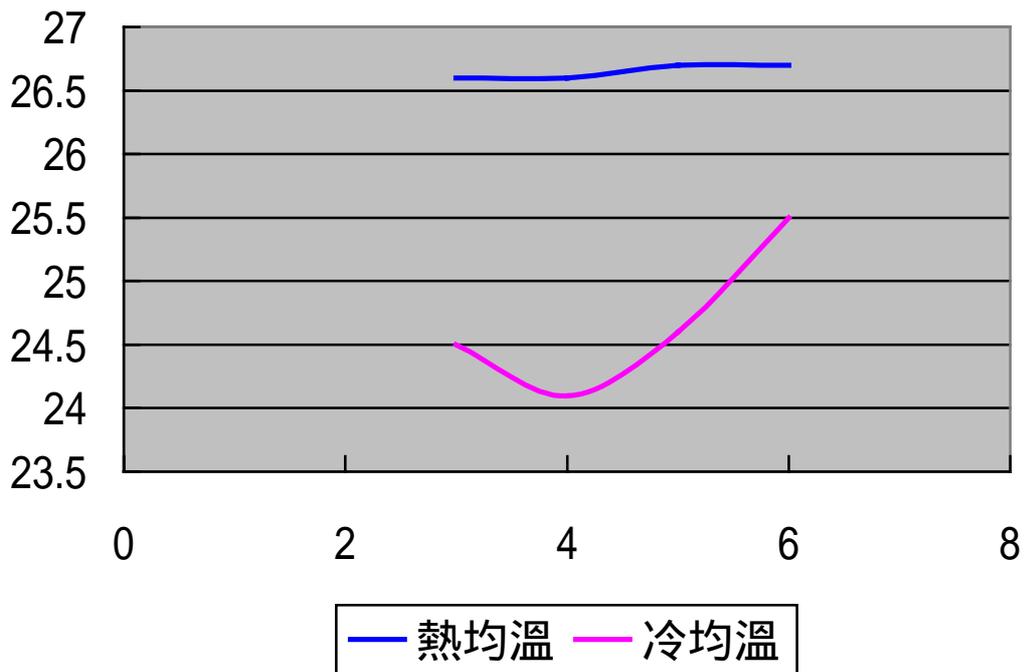


圖 5 (C 2 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 縱：溫度( )

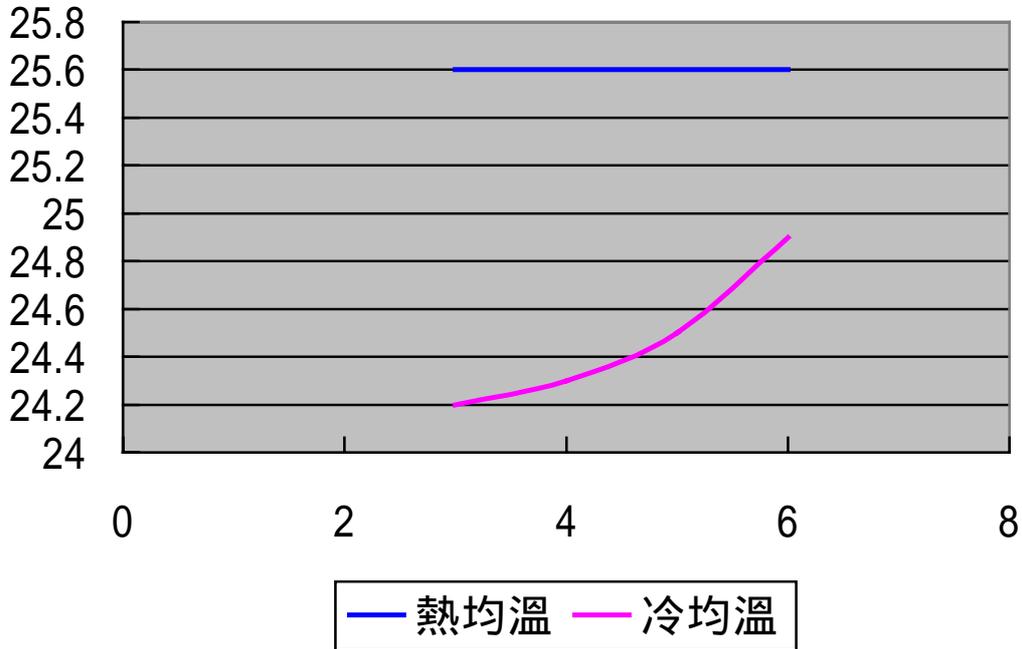


圖 6 (C 3 管冷、熱均溫比較圖) 橫：壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 縱：溫度( )

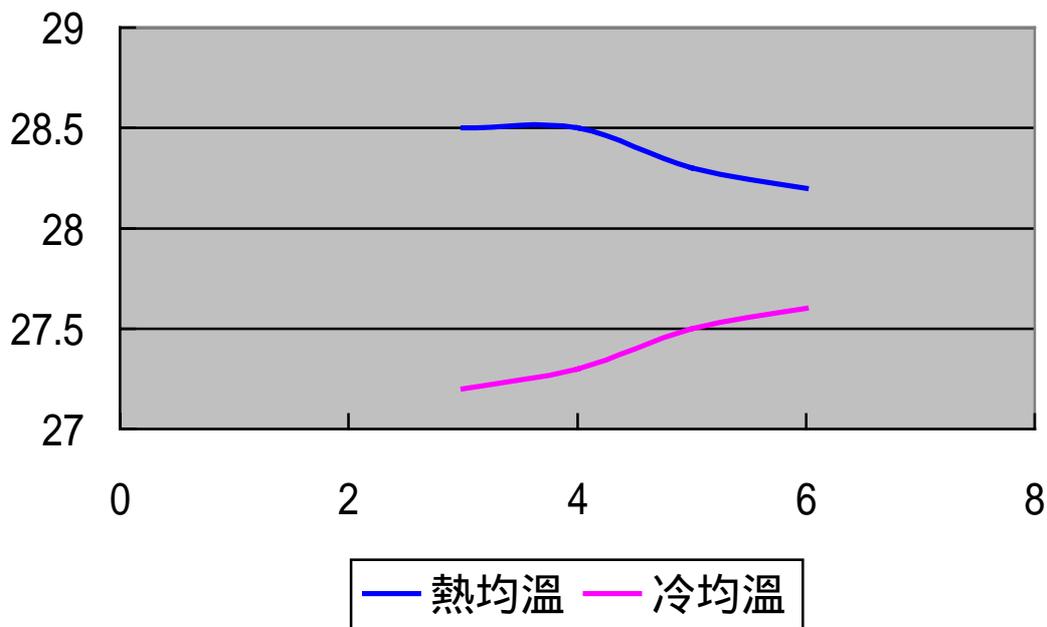


圖 7 (C 4 管冷、熱均溫比較圖)

橫：壓力(kg/cm<sup>2</sup>) 縱：溫度( )

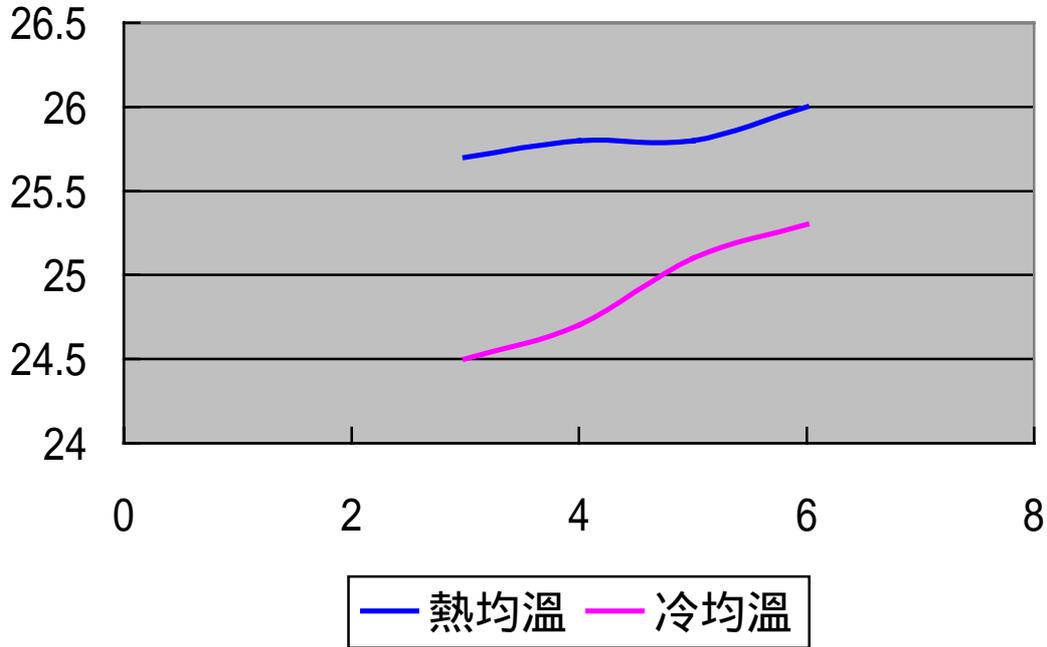


圖 8 (A 1、B 1、C 1、D 1 溫差比較圖)

橫：壓力(kg/cm<sup>2</sup>) 縱：溫差( )

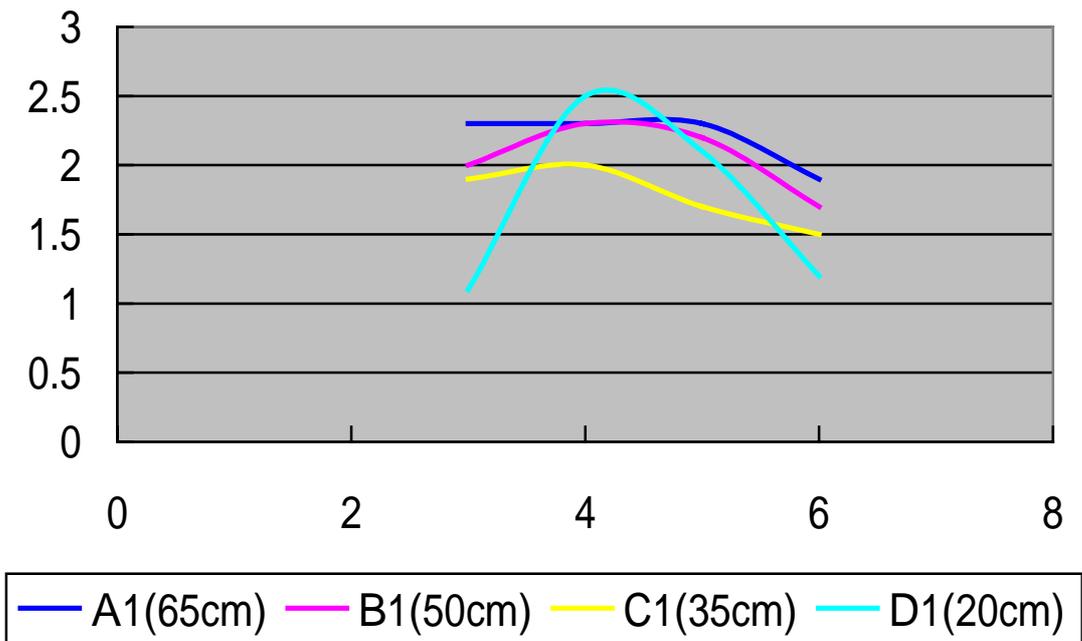


圖 9(C 1、C 2、C 3、C 4 溫差比較圖) 橫：壓力(kg / cm<sup>2</sup>) 縱：溫差( )

