

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030108

B&W

-探討黑白條紋系統溫差造成緩升溫效果的原因

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 王譯晟 國二 方璿驊 國二 石曜綸	指導老師： 梁敏芳 徐敏益
---	-----------------------------

關鍵詞：黑白條紋、對流、溫差

摘要

我們發現黑白條紋的組合具有緩升溫的效果，在不同條紋密度比較時，可以將寬度分成三群(0.2cm，細紋，寬紋)，條紋愈細，緩升溫效果愈好，但小至 0.2cm 時效果不佳。在黑白條紋系統中，不論 1.5cm(細紋)或 3cm(寬紋)，外部黑條紋溫度都比白條紋溫度低，而內部則是黑條紋比白條紋高，如此會形成溫差，而有對流現象。我們以銅管模擬條紋溫差，無論溫度是上冷下熱或下熱上冷，經迴歸分析後發現對流速度都與溫差成正比，並具有高度相關性。我們認為黑白條紋內部跟外部皆形成溫差但方向相反而造成對流方向不一樣，產生熱逆對流機制的效果，使熱能不易進入瓶內，具有緩升溫的效果。

壹、研究動機

在我們先前的實驗中發現黑白條紋瓶在距離 60-68cm 之間，具有緩升溫的效果，也發現條紋密度會影響緩升溫的效果。測量黑白的表面溫度，發現到外部和內部的不同條紋有溫差，但我們不確定是否因為條紋表面的溫差引起了附近空氣的擾動?因此今年我們以銅管模擬條紋的溫差，觀察是否在交界處形成空氣擾動?並測量煙霧的速度變化，以了解溫差與空氣擾動的關聯，這一切都值得我們去探討，所以我們就進行了今年的實驗。

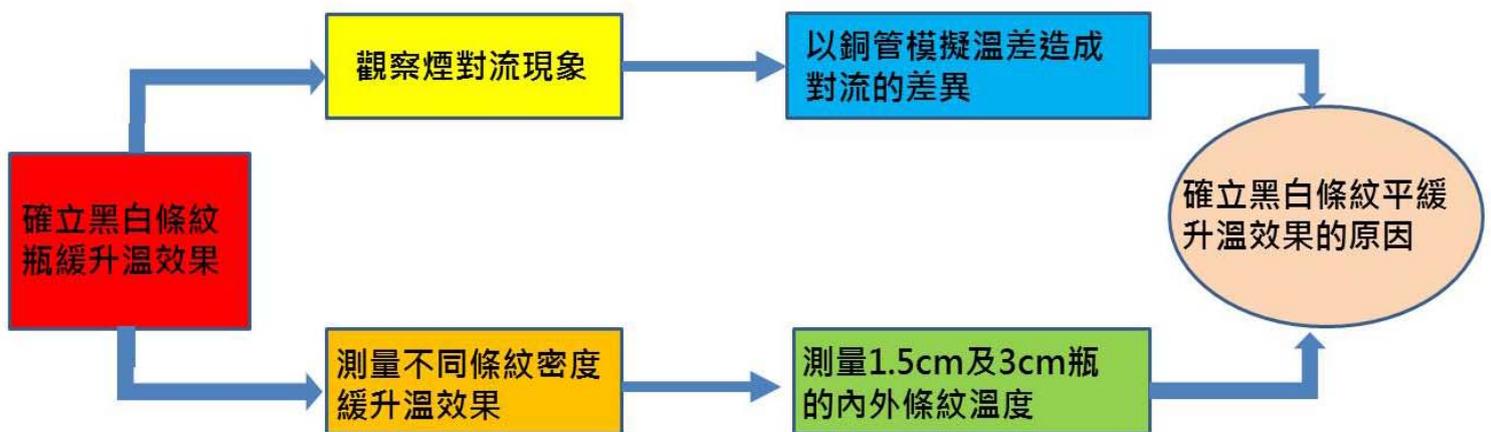
貳、實驗目的

- 一、驗證黑白條紋系統對緩升溫的效果。
- 二、分析不同密度黑白條紋緩升溫的效果。
- 三、測量黑白條紋系統的內部及外部條紋的溫度變化。
- 四、以銅管模擬黑白條紋溫度不同時的對流情形。
- 五、探討黑白條紋系統緩升溫效果的原因。

參、實驗工具

黑白絕緣膠帶(1.8公分)、保特瓶(600毫升)、熱電偶溫度計、熱電偶溫度探測器、紅外線溫度計、黏土、沉水馬達、20公分銅管、塑膠水管、泡綿管、紙箱、隔熱墊、剪刀、電暖器、計時器、玻璃棒、抽風機、噴煙器、sony RX10 II相機、SPSS 統計軟體(22.0版)。

肆、研究流程與方法



一 驗證黑白條紋系統對緩升溫的效果

經由先前實驗我們發現，黑白條紋瓶具有緩升溫的效果，我們再加以驗證。我們以黑白電火布黏貼在寶特瓶上模擬黑白條紋(圖1)，並製作三組條紋瓶分別為黑瓶、白瓶、黑白瓶，我們將熱電偶溫度計(氣體溫度探測器)(圖2)繞在玻璃棒上垂直放入瓶中，避免探測器觸碰至瓶底且放置於均溫箱中，瓶口以黏土封住，加熱距離為68公分(距離60cm容易變形、脫膠)，加熱時間為15分鐘，並每五分鐘紀錄瓶內氣體溫度變化，實驗重複五次，每次各組三瓶隨機換位。以上數據使用SPSS (22.0版)進行單因子變異數分析(ANOVA)，檢驗5分鐘及15分鐘升溫的差異。



圖 1：實驗用貼上膠帶的寶特瓶



圖 2:熱電偶溫度計

二 分析不同密度黑白條紋升溫的效果

我們將寶特瓶以不同寬度的黑、白電火布依序黏貼成七種不同處理，寬度分別為0.2、0.25、0.5、1.5、1、3和10.8公分(圖3)，再將熱電偶溫度計(探測器)纏繞在玻璃棒上垂直放入瓶中，避免探測器觸碰至瓶壁，瓶口以黏土封住，然後將瓶子放置於均溫箱中，加熱距離為68公分，加熱15分鐘，並每5分鐘紀錄瓶內氣體溫度數據，並以紅外線溫度計測量每瓶外部中間部分黑白條紋溫度各5次。每次以一瓶來進行實驗，實驗各重複五次，並將以上數據使用SPSS (22.0版)進行單因子變異數分析(ANOVA)，檢驗5分鐘及15分鐘升溫的差異。



圖3:七種不同黑白條紋密度瓶

三 檢視黑白條紋系統的條紋溫度變化

(一)1.5公分寬度黑白條紋瓶

我們取1.5公分黑白條紋瓶，以中間六條黑白條紋進行實驗(第一條黑條紋稱為黑1、第二條白條紋稱為白1、第三條黑條紋稱為黑2、第四條白條紋稱為白2、第

五條黑條紋稱為黑3、第六條白條紋稱為白3)(圖4A)，將上述條紋黏上熱電偶溫度計(共6個溫度計)。再將瓶子中間剖開，將內部中間的黑白條紋表面再黏上六根熱電偶溫度計探測器(圖4B)。再將一根熱電偶溫度計纏繞在玻璃棒上垂直放入瓶中，避免觸碰到瓶壁放置均溫箱中，瓶口以黏土封住，加熱距離為68公分，加熱時間15分鐘，每5分鐘測量內外各六條黑白條紋的溫度變化及內部溫度變化。再以單因子變異數分析(ANOVA)，檢驗5分鐘及15分鐘升溫的差異。



圖 4A:1.5cm 寬度瓶取中間條紋圖例

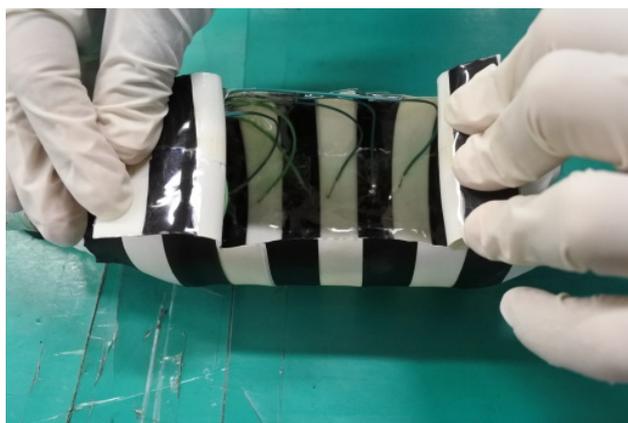


圖4B:1.5cm寬度瓶內部溫度裝置圖

(二)3.0公分

我們取3.0公分黑白條紋瓶，以中間四條黑白條紋進行實驗(第一條黑條紋稱為黑1、第二條白條紋稱為白1、第三條黑條紋稱為黑2、第四條白條紋稱為白2)(圖5A)，將上述條紋(共4個溫度計)黏上熱電偶溫度計。再將瓶子中間剖開，將內部中間的黑白條紋表面再黏上四根熱電偶溫度計探測器(圖5B)，將一根熱電偶溫度計(氣體溫度探測器)纏繞在玻璃棒上垂直放入瓶中，瓶口用黏土封住，避免觸碰到瓶壁放置均溫箱中，加熱距離為68公分，加熱時間15分鐘，每5分鐘測量內外各四條黑白條紋的溫度變化及內部溫度變化。再以單因子變異數分析(ANOVA)，檢驗5分鐘及15分鐘升溫的差異。

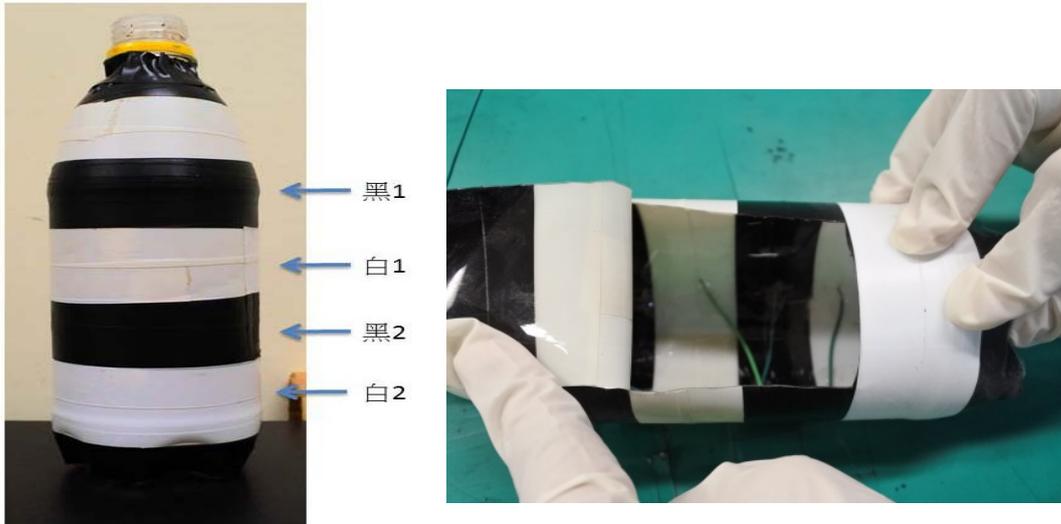


圖 5A:3cm 寬度瓶取中間條紋圖例 圖 5B:3cm 寬度瓶內部溫度裝置圖

四 以銅管模擬黑白條紋溫度不同時的對流情形

經由先前煙霧實驗，發現黑白條紋瓶外部會有煙擾動的現象（圖 6），爲了探討外部黑白條紋溫差變化與對流的關係，我們使用銅管模擬出上下管溫度不同的環境，裝置方式是先用 2 根銅管(圖 7-A)連接塑膠軟管，塑膠軟管外部以冷氣泡棉包裹以達到保溫的效果(圖 7-B)，將銅管的兩端的塑膠軟管，一端套上馬達放入水槽中(圖 7-C)，另一端放入相同水槽達到循環供水的效果，將一支銅管裝置注入熱水，另一支銅管裝置注入冷水，並將溫度探測器固定於銅管上測量銅管溫度，然後將兩銅管放置於 L 型腳架上(圖 7-D)，後方以木板支撐，上條銅管注入熱水，下條銅管注入冷水，並使用液體探測器測量記錄熱水缸及冷水缸的溫度。

煙霧產生的方式，是由噴煙器產生，下方則以紙箱先蓋住噴煙器(圖 7-E)，於上方開一圓形孔，並以 PVC 管置於寶特瓶內所製成的引流器(圖 7-F)放於紙箱圓形洞上方。將煙產生於紙箱內透過引流器引流並於支撐木板上方放置抽風扇(圖 7-G)，即可產生直煙，裝置完成(圖 7-H、8)，並使用慢速攝影機 SONY RX10 II 以每秒 1/500 的速度進行拍攝，共記錄 30 個溫差(30°F-0°F)記錄溫度並進行噴煙，拍攝再將攝影結果匯入 Tracker 軌跡程式中，觀察煙的流動，並指定煙下層的其中一點定位，且每隔五張(間隔 1/100 秒)點選該點移動後的位置，將此動作接續進行 3 次，計算熱對流的速度，將結果匯入 excel 中計算迴歸方程式。再以

相同方法，將上方銅管換為冷水，下方銅管換為熱水，進行實驗分析。接著再取 4 根銅管，將銅管替換為四支(圖 7-I)，以熱冷熱冷的順序，以相同方法進行實驗分析接著再取 4 根銅管，將順序替換為冷熱冷熱，進行實驗分析。

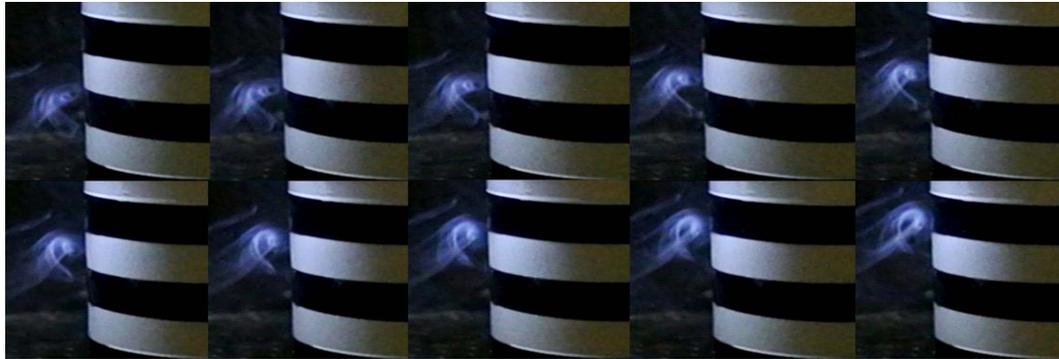


圖 6:以高速攝影機(每張間隔 1/200 秒)拍攝煙擾動的情形

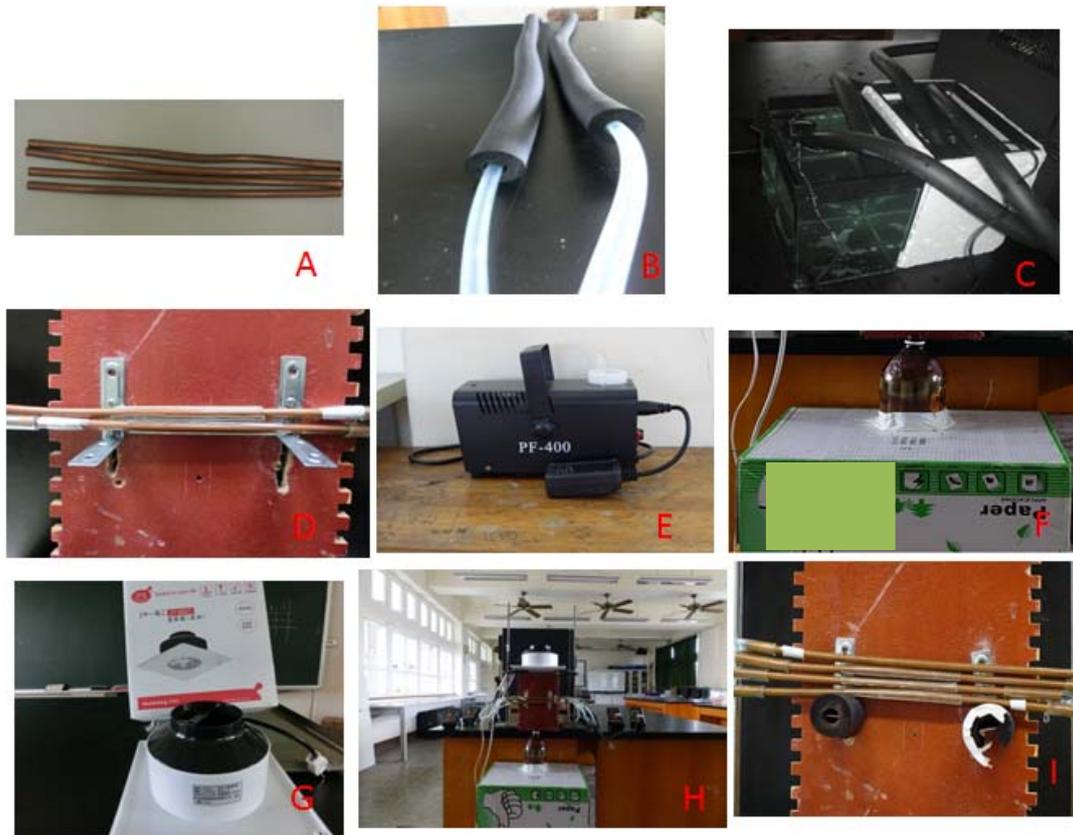


圖 7:(A) 銅管 (B)塑膠管 (C)馬達沉水箱 (D) L 架上 (E)噴煙器 (F)以集煙器覆蓋噴煙整體圖 (G)抽風機 (H)完成圖 (I)4 根銅管

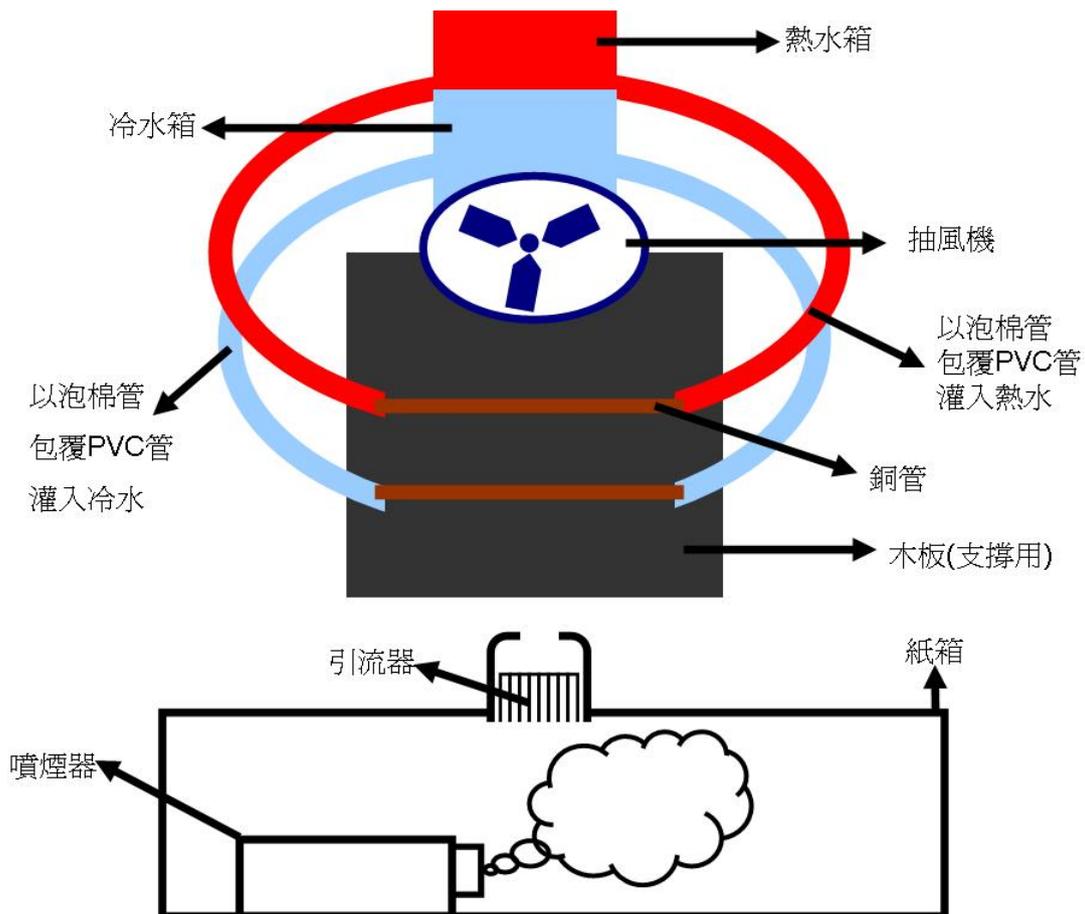


圖 8:以銅管模擬溫差裝置實驗示意圖

伍、研究結果

一、驗證黑白條紋系統對緩升溫的效果

由先前的實驗發現，黑白條紋瓶(簡稱黑白瓶)相較於黑色瓶(簡稱黑瓶)及白色瓶(簡稱白瓶)有較好的緩升溫效果(圖 9)，我們在加熱距離 68 公分時進行驗證實驗，測量各組內部溫度上升的情形，以每五分鐘溫度上升幅度來作比較變化。結果顯示黑白組溫度上升最少，15 分鐘上升 $13.1 \pm 0.63^{\circ}\text{F}$ ，黑組上升溫度最多，白組次之(圖 9)。將加熱 5 分鐘與 15 分鐘時的上升溫度分別以 ANOVA 檢驗，在加熱 5 分鐘時 $F_{2, 20}=11.211$ 、 $P=0.001$ ，各組有顯著差異($p < 0.05$)，其中黑白組與黑組有顯著差異 ($p < 0.05$)，加熱至 15 分鐘時 $F_{2, 20}=8.706$ 、 $P=0.002$ ，各組有顯著差異 ($p < 0.05$)，黑白組與黑組及白組都有顯著差異 ($p < 0.05$)，證實黑白條紋具有緩升溫的效果 (表一)。

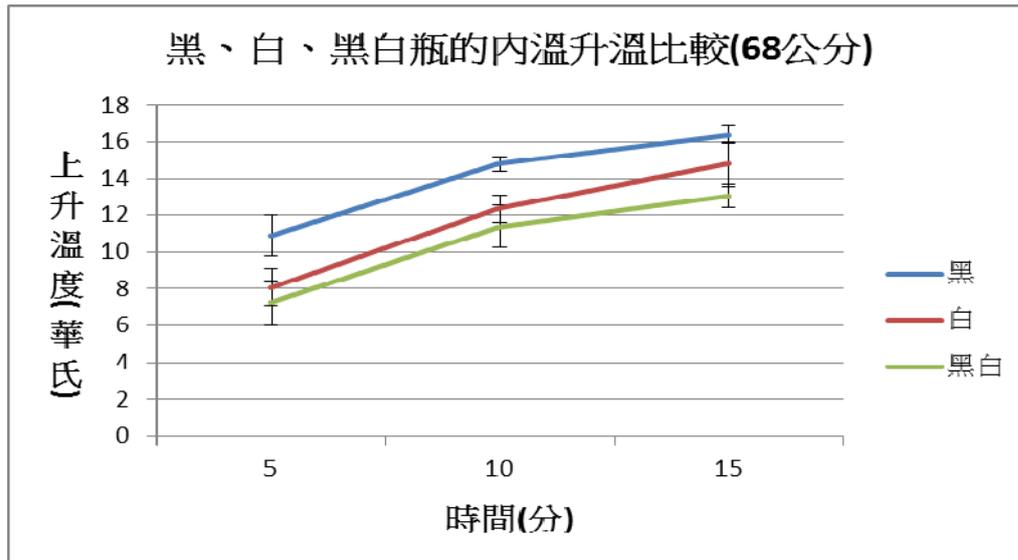


圖 9: 距離 68cm 黑瓶、白瓶、黑白瓶的內溫升溫比較圖

表一: 黑、白、黑白之內溫上升溫度比較(LSD)

5 分鐘	平均數	標準差	顯著性	15 分鐘	平均數	標準差	顯著性
黑白組	7.2	1.2	...	13.06	0.6	...	
黑白組 vs 黑組	10.9	1.1	0.01*	16.4	0.4	<0.01*	
黑白組 vs 白組	8.1	1.0	0.29	14.8	1.2	0.01*	

*表示 $p < 0.05$

二、分析不同密度黑白條紋升溫的效果

(一)瓶內溫度的比較

我們比較 7 種不同條紋寬度的黑白條紋瓶：10.8cm 的黑白條紋組(以下簡稱 10.8 組)，3cm 的黑白條紋組(以下簡稱 3.0 組)，1.5cm 的黑白條紋組(以下簡稱 1.5 組)，1cm 的黑白條紋組(以下簡稱 1.0 組)，0.5cm 的黑白條紋組(以下簡稱 0.5 組)，0.25cm 的黑白條紋組(以下簡稱 0.25 組)，0.2cm 的黑白條紋組(以下簡稱 0.2 組)，分別比較了瓶內 5-15 分鐘內溫度上升的情形(圖 10)，可看出升溫最快到最慢依序是：10.8 組溫度上升了 16.5°F、3.0 組溫度上升了 16.1°F、1.5 組溫度上升了 15.4°F、1.0 組溫度上升了 15.2°F、0.5 組溫度上升了 14.7°F、0.25 組溫度上升了 14.4°F、0.2 組溫度上升了 14.5°F，發現條紋寬度愈大溫度上升愈多，但在 0.2cm 瓶較不穩定。經過 ANOVA 分析，在 15 分鐘時 $F_{(6, 35)}=5.811$ ， $P < 0.001$ ，其中 1.5cm 與 3cm 及 1.5cm 與 10.8cm 有顯著，3cm 與 10.8cm 無顯著差異，而和其他組別有顯

著差異(表二)，發現條紋密度在 0.2cm-1.5cm 時擁有較好的緩升溫效果，所以緩升溫效果是條紋密度愈細愈好，但在寬度 0.2cm 時溫度不穩定，緩升溫效果不明確，所以可分為 3 個類群，第一類群為 0.2 公分組、第二類群為 0.25~1.5 組、第三類群為 3 公分以上組，第一類群及第三類群較不佳，第二類群較佳。

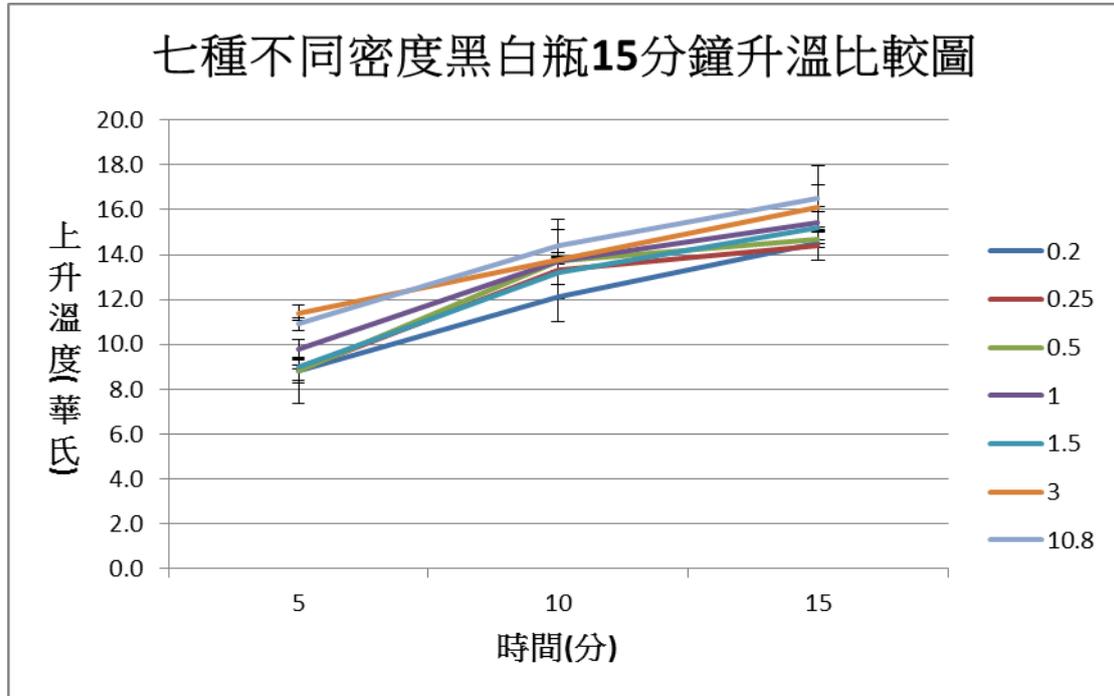


圖 10：七種不同密度黑白瓶 15 分鐘升溫比較圖

表二：不同密度黑白瓶加熱 15 分鐘內升溫單因子變異數分析結果〈LSD〉

5 分鐘		平均數	標準差	顯著性	15 分鐘	平均數	標準差	顯著性
1.5cm 組	0.2 組	8.8	0.5	0.52	14.5	0.7	0.130	
	0.25 組	8.9	0.5	0.86	14.4	0.7	0.864	
	0.5 組	8.8	1.4	0.48	14.7	0.4	0.377	
	1 組	9	0.1	0.129	15.2	0.7	0.148	
	3.0 組	11.4	0.4	0.002**	16.1	1.0	0.003**	
	10.8 組	10.9	0.3	0.05*	16.5	1.5	<0.001***	
3cm 組	0.2 組	8.8	0.5	<0.001***	14.5	0.7	0.005**	
	0.25 組	8.9	0.5	<0.001***	14.4	0.7	0.005**	
	0.5 組	8.8	1.4	<0.001***	14.7	0.4	0.003**	
	1.0 組	9.8	0.4	0.02*	15.4	0.7	0.029*	
	1.5 組	9	0.1	<0.001***	15.2	0.7	0.012*	
	10.8 組	10.9	0.3	0.33	16.5	1.5	0.287	

*為 p<0.05、**為 p<0.01、***為 p<0.001

(二)瓶外條紋溫度的比較

我們也測量七種不同條紋密度外部黑白條紋的溫度在加熱 15 分鐘時的上升溫度，發現外部白條紋的溫度比黑條紋來的高(表三)，黑條紋和白條紋的上升溫度透過 pair t-test(成對 t 檢定)檢驗後，發現在 15 分鐘時，各組的黑與白條紋都有顯著差異(表四)。

表三：外部中央黑條紋與白條紋加熱 5 分鐘及 15 分鐘溫度上升結果(N=5)

條紋寬度(5 分鐘)	黑條紋	白條紋
0.2cm	9.8±4.04	10.1±4.17
0.25cm	13.1±1.04	14.1±1.39
0.5cm	8.6±3.49	9.5±3.24
1.0cm	10.6±2.87	12.2±2.93
1.5cm	10.3±2.38	12.2±3.18
3.0cm	7.6±2.08	9.4±1.98
10.8cm	9.4±2.45	10.7±2.23
條紋寬度(15 分鐘)	黑條紋	白條紋
0.2cm	15.3±3.54	16.8±3.70
0.25cm	15.8±1.75	16.6±1.80
0.5cm	14.4±1.64	16.1±1.56
1.0cm	14.0±1.75	15.3±2.11
1.5cm	14.6±1.65	15.6±1.67
3.0cm	14.5±2.52	15.8±2.31
10.8cm	15.7±2.58	17.2±2.39

表四：黑與白條紋加熱 5、15 分鐘 pair t-test(成對 t 檢定)結果(N=5)

	加熱 5 分鐘 t 值	加熱 15 分鐘 t 值
0.2 公分黑 V.S 白	-3.99**	-6.20**
0.25 公分黑 V.S 白	-1.56	-3.98**
0.5 公分黑 V.S 白	-2.30*	-4.14**
1.0 公分黑 V.S 白	-3.17*	-3.23*
1.5 公分黑 V.S 白	-2.30*	-4.50**
3.0 公分黑 V.S 白	-5.28**	-5.61**
10.8 公分黑 V.S 白	-7.12**	-5.52**

*表示 p<0.05、**為 p<0.01

三 檢視黑白條紋系統的條紋溫度變化

(一)1.5 公分黑白條紋瓶比較

1.外部條紋溫度變化

由五次實驗結果發現 1.5cm 瓶，大部分外部白條溫度比黑條紋來的高，我們將相鄰近的白條紋比黑條紋高的部分以紅框標示出來，發現在 15 分鐘後有 16 組白條溫度比鄰近的黑條溫度高(總計 25 組)(表五)，並將結果統計後發現，加熱 15 分鐘時，白 1 與黑 1 和黑 2 具有顯著差異(表六)，且外部鄰近白條紋比鄰近黑條紋大多來的高溫(表五)(圖 11)。

表五:外部 1.5 公分 6 條溫度表

	5 分鐘						15 分鐘					
	一	二	三	四	五	平均	一	二	三	四	五	平均
黑 1	21.6	18.2	16.4	15.0	16.1	17.5	23.2	21.9	27.0	18.9	22.0	22.6
白 1	25.9	19.3	18.9	18.4	20.7	20.6	27.7	23.8	28.3	23.1	20.9	17.9
黑 2	23.4	21.0	20.9	17.7	15.0	19.6	25.4	21.6	23.1	20.9	17.9	21.8
白 2	23.4	21.6	20.9	11.7	11.7	17.9	24.8	23.4	23.9	15.6	14.6	20.5
黑 3	15.5	10.8	8.5	11	13.4	11.8	20.0	17.8	17.7	13.7	17.6	17.4
白 3	17	15.6	14.9	12.3	12.5	14.5	21.3	16.9	17.4	15.7	16.9	17.6

註:一、二、三、四、五是指不同次的實驗

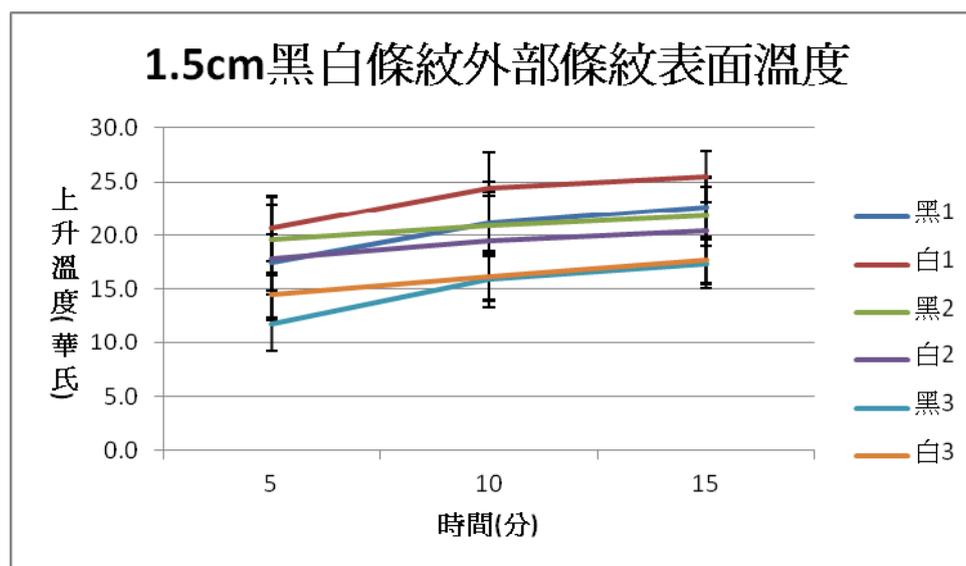


圖 11: 1.5cm 黑白外部條紋表面溫度

表六:1.5 公分外部 6 條紋 pair t-test(成對 t 檢定)

	加熱 5 分鐘 t 值	加熱 15 分鐘 t 值
黑 1vs 白 1	-5.00**	-4.56**
黑 2vs 白 1	-0.73	-4.00*
黑 2vs 白 2	1.37	1.00
黑 3vs 白 2	-2.16*	-1.83
黑 3vs 白 3	-1.97	-0.48

*表示 $p < 0.05$ 、**表示 $p < 0.01$ 、***表示 $p < 0.001$

2.內部條紋溫度變化

由五次實驗結果發現 1.5cm 瓶，大部分內部黑條溫度比白條紋來的高，我們將相鄰近的黑條紋比白條紋高的部分以紅框標示出來，發現在 15 分鐘後有 16 組黑條溫度比鄰近的白條溫度高(總計 25 組)(表七)，並將結果統計後發現，在 15 分鐘時，黑 1 與白 1、黑 2 與白 2、黑 3 與白 3 具有顯著差異(表八)，且內部鄰近黑條紋比鄰近白條紋大多來的高溫(表七)(圖 12)。

表七:內部 1.5 公分 6 條溫度表

	5 分鐘						15 分鐘					
	一	二	三	四	五	平均	一	二	三	四	五	平均
黑 1	19.1	19.0	18.7	16.6	16.4	18.0	21.8	19.6	22.9	19.8	20.3	20.9
白 1	18.9	17.5	17.7	13.9	16.1	16.8	20.5	18.0	20.7	17.7	19.5	19.3
黑 2	14.1	14.1	13.8	15.3	17.1	14.9	18.2	16.4	19.0	19.3	21.6	18.9
白 2	17.3	17.1	16.6	17.8	16.3	17.0	20.0	17.8	20.9	21.8	20.5	20.2
黑 3	20.9	19.8	20.3	16.2	17.3	18.9	24.5	21.4	23.7	19.5	23.6	22.5
白 3	16.4	15.8	16.1	19.0	16.4	16.7	19.3	16.5	20.4	21.9	20.4	19.7

註:一、二、三、四、五是指不同的實驗次數

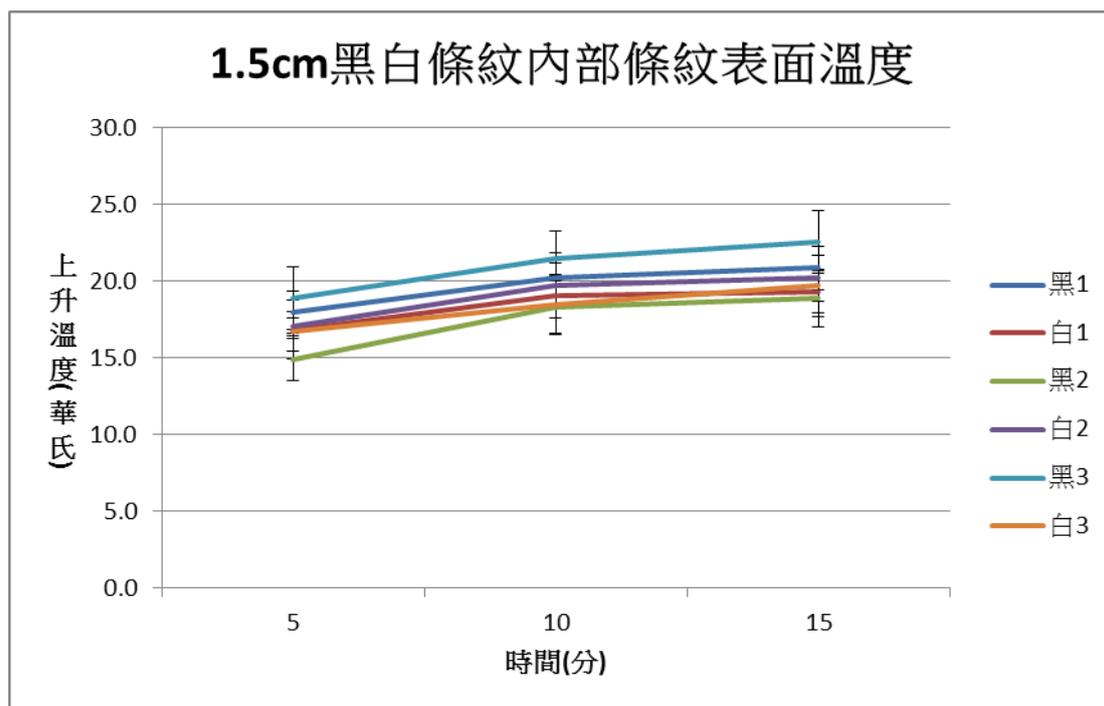


圖 12: 1.5cm 黑白條紋內部條紋表面溫度

表八:1.5 公分外部 6 條紋 pair t-test(成對 t 檢定)

	加熱 5 分鐘 t 值	加熱 15 分鐘 t 值
黑 1vs 白 1	2.50*	6.18**
黑 2vs 白 1	-1.49	-0.41
黑 2vs 白 2	-2.88*	-2.08*
黑 3vs 白 2	-1.89	1.96
黑 3vs 白 3	-1.54	2.07*

*表示 $p < 0.05$ 、**表示 $p < 0.01$ 、***表示 $p < 0.001$

(二)、 3cm 公分黑白條紋瓶比較

1.外部條紋溫度變化

由五次實驗結果發現 3cm 瓶，大部分外部白條溫度黑白條紋來的高，我們將相鄰近的白條紋比黑條紋高的部分以紅框標示出來，發現在 15 分鐘後有 8 組白條溫度比鄰近的黑條溫度高(總計 15 組)(表九)，並將結果統計後發現，在 15 分鐘時，黑 2 與白 1 具有顯著差異(表十)，且外部鄰近白條紋比鄰近黑條紋大多來的高溫(表九)(圖 13)。

表九:外部 3 公分 4 條溫度表

	5 分鐘					15 分鐘						
	一	二	三	四	五	平均	一	二	三	四	五	平均
黑 1	29.4	28.6	22.2	25.9	19.6	25.1	32.3	31.6	29.6	26.9	20.6	28.2
白 1	31.2	26.8	23.4	23.8	22.7	25.6	34.1	30.1	29.3	25.6	23.7	28.6
黑 2	23.8	19.3	18.4	19.0	20.4	20.2	24.1	21.3	24.3	23.7	22.2	23.1
白 2	25.1	17.6	19.1	15.3	14.2	18.3	27.6	20.3	23.9	21.8	16.2	22.0

註:一、二、三、四、五是指不同的實驗次數

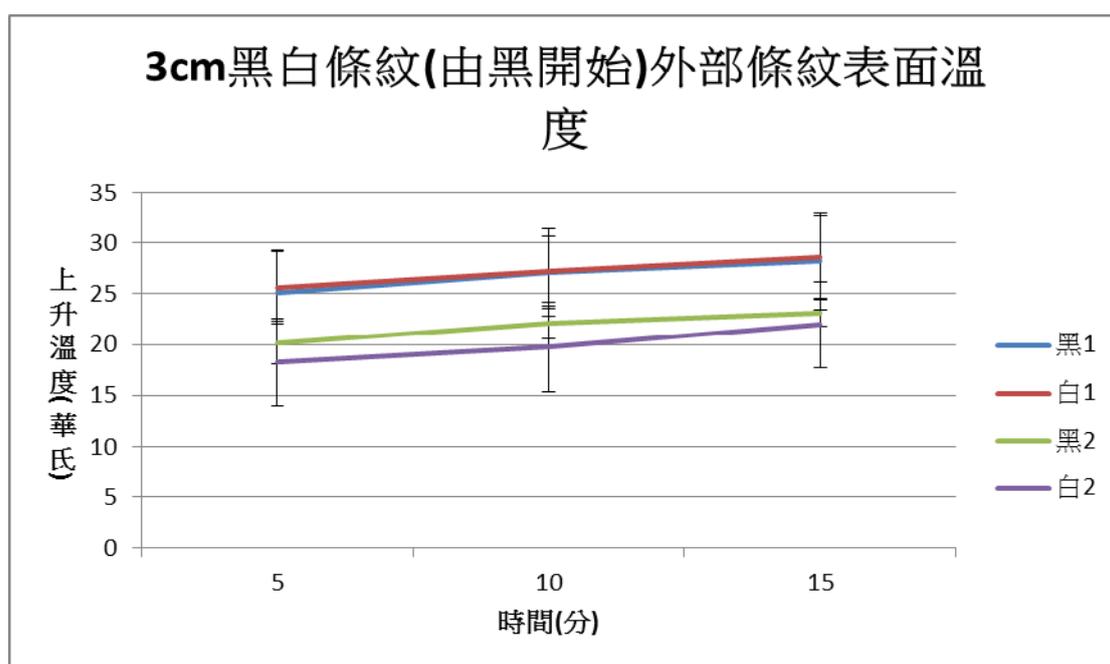


圖 13: 3cm 黑白外部條紋表面溫度

表十: 3 公分外部四條紋 pair t-test(成對 t 檢定)

	加熱 5 分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
黑 1V.S 白 1	-0.42	-0.40
黑 2V.S 白 1	-5.60**	-3.13*
黑 2V.S 白 2	1.37	0.76

*表示 $p < 0.05$ 、**表示 $p < 0.01$ 、***表示 $p < 0.001$

2. 內部條紋溫度變化

由五次實驗結果發現 3cm 瓶，大部分內部黑條溫度比白條紋來的高，我們將相鄰近的黑條紋比白條紋高的部分以紅框標示出來，發現在 15 分鐘後有 15

組黑條溫度比鄰近的白條溫度高(總計 15 組)(表十一)並將結果統計後發現，在 15 分鐘時，各組均有顯著差異(表十二)，且內部鄰近黑條紋比鄰近白條紋大多來的高溫(圖 14) (表十一)。

表十一：內部 3 公分 4 條溫度表

	5 分鐘					平均	15 分鐘					平均
	一	二	三	四	五		一	二	三	四	五	
黑 1	27.3	14.5	22	26.1	28.6	23.7	31.4	17.0	30.1	28.7	33.7	28.2
白 1	23.4	11.9	14.9	20.7	23.4	18.9	27.9	14.3	23.0	23.8	27.9	23.4
黑 2	27.9	14.4	19.8	23.4	32.7	23.6	29.7	16.2	25.2	26.1	38.3	27.1
白 2	21.6	13.1	16.9	19.8	26.5	19.6	25.9	14.9	20.7	22.2	31.7	23.1

註：一、二、三、四、五是指不同的實驗次數

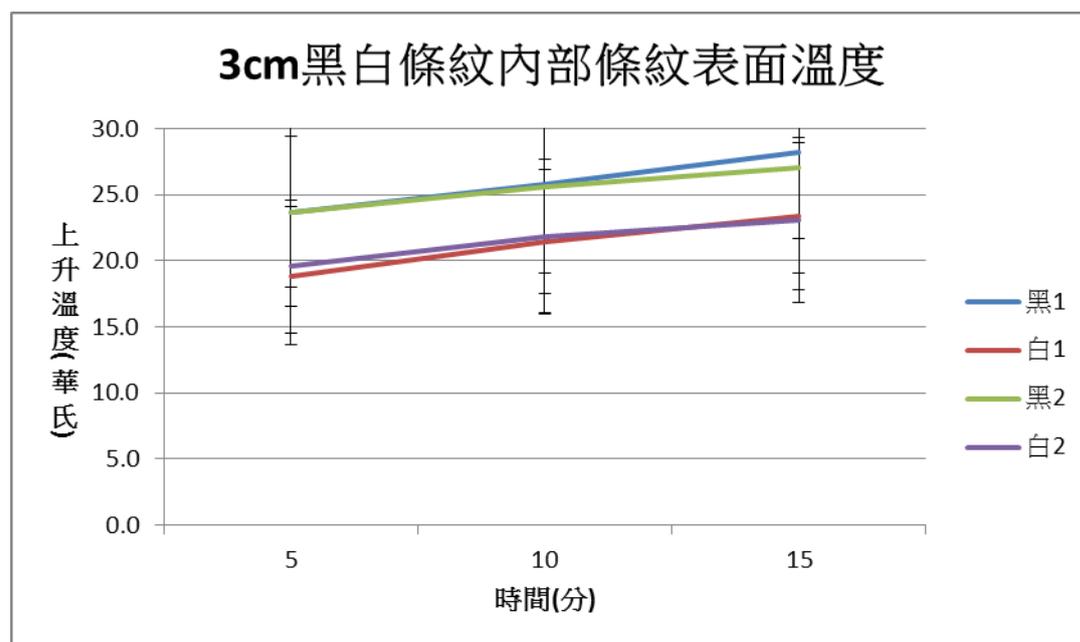


圖 14: 3cm 黑白外部條紋表面溫度

表十二：3 公分內部四條紋 pair t-test(成對 t 檢定)

	加熱五分鐘	加熱 15 分鐘
	t 值	t 值
黑 1V.S 白 1	6.40**	6.10**
黑 2V.S 白 1	3.90**	2.22*
黑 2V.S 白 2	4.19**	4.74**

*表示 $p < 0.05$ 、**表示 $p < 0.01$ 、***表示 $p < 0.001$

由以上實驗發現，不論是 1.5cm(細紋)或是 3cm(寬紋)，外部白條紋的溫度會比相鄰的黑條紋溫度來得高，內部則為黑條紋溫度高，當兩者有溫差產生時，就可能有對流的發生，所以爲了驗證示溫差造成對流，我們就以銅管製造出上下溫差不同的環境條件進行實驗。

四、以銅管模擬黑白條紋溫度不同時的對流情形

當兩銅管沒有溫差時，煙會呈直線上升，在銅管交界處並無任何擾動現象(圖 15)。將熱水與冷水通入銅管後，發現在銅管交界處會具有擾動現象，將其以慢速攝影的方式記錄，並匯入 Tracker 軌跡追蹤軟體，點出三點位置，將兩點之間的距離除以時間，計算出煙的速度(圖 16)。

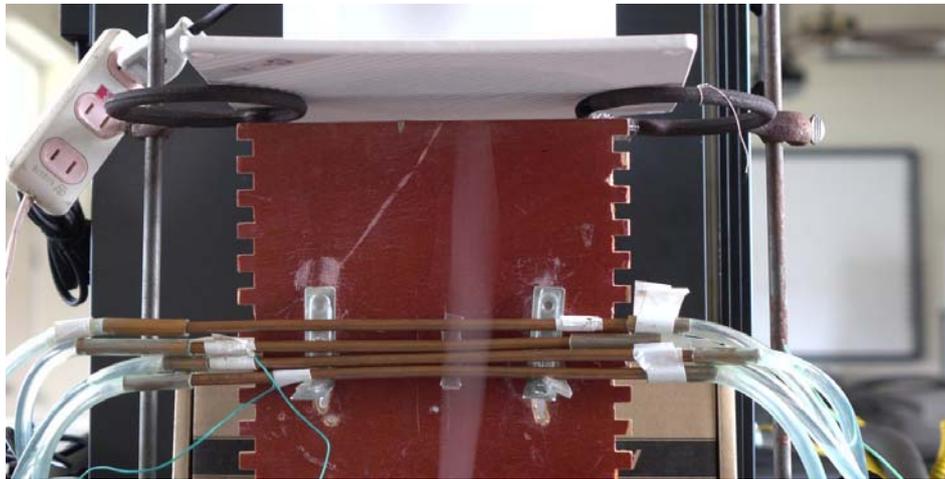


圖 15 :銅管直煙示意圖

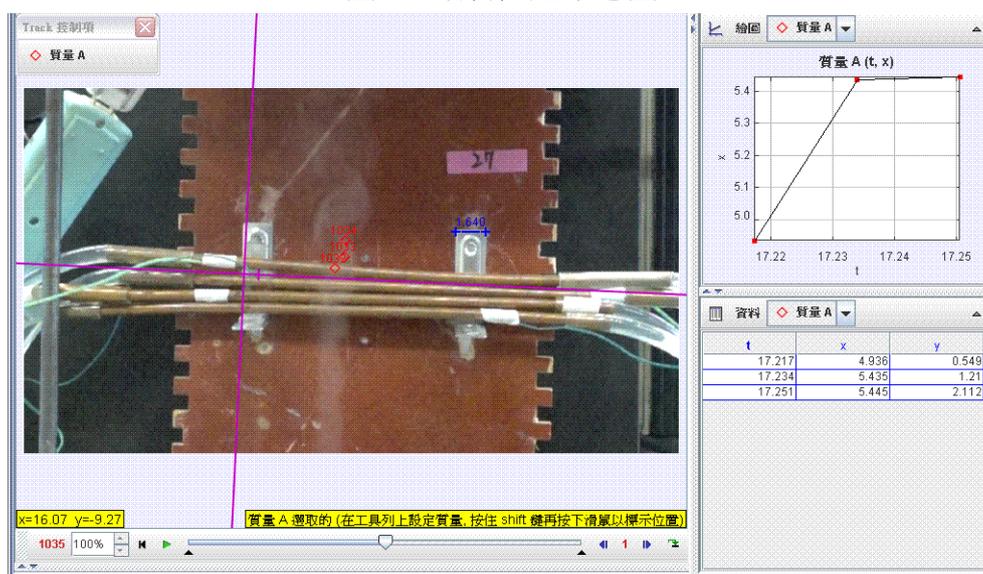


圖 16 :Tracker 位置示意圖

(一)兩根銅管上方為低溫，下方為高溫

我們發現煙在未達銅管時呈直煙狀態，經過銅管交界處後就會產生擾動的現象(圖 17)，經由 Tracker 軟體計算對流的速度發現，上下銅管溫差為 30°F 時，對流速度約為 197.02 至 197.30(cm/s)，以此方法計算，進行迴歸分析，發現方程式為 $y=4.5457x+62.732$ ($R^2=0.96$)，顯示有高度相關，當溫差愈大時，對流速度也愈快，即溫差與對流速度存在正比的關係(圖 18)。



圖 17 :銅管上冷下熱示意圖

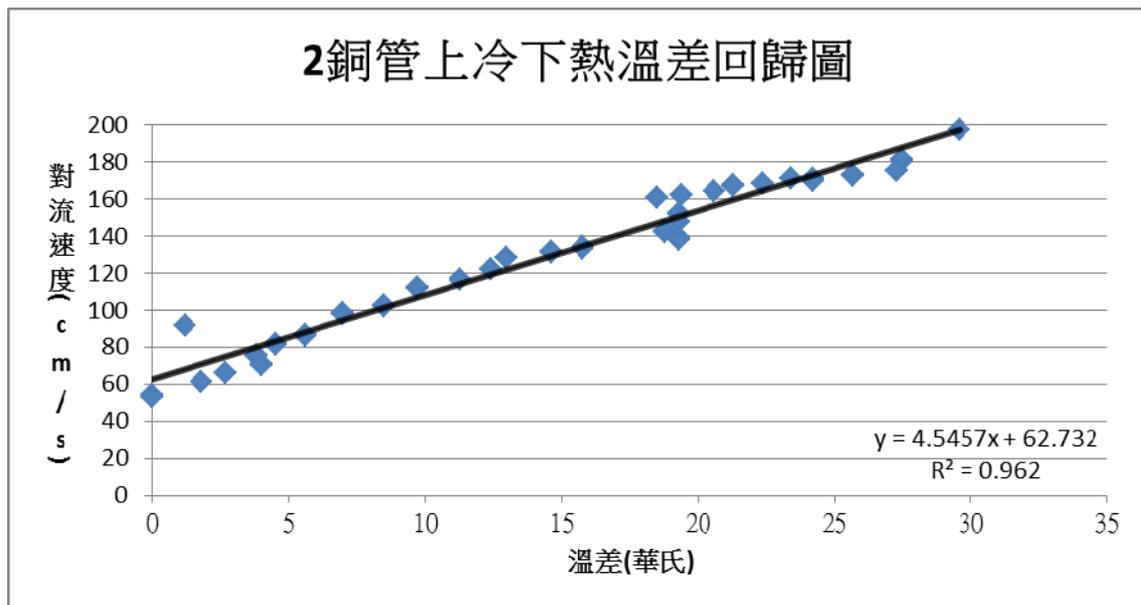


圖 18:銅管上方為冷下方為熱溫差回歸圖

(二) 兩根銅管上方為高溫，下方為低溫

我們發現煙在未達銅管時呈直煙狀態，經過銅管交界處後就會產生擾動的現象(圖 19)，經由 Tracker 軟體計算對流的速度發現，上下銅管溫差為 30°F 時，對流速度約為 124.27 至 123.62(cm/s)，以此方法計算，進行迴歸分析，發現方程式為 $y=2.0153x+59.291(R^2=0.93)$ ，顯示有高度相關，當溫差愈大時，對流速度也愈快，即溫差與對流速度存在正比的關係(圖 20)。

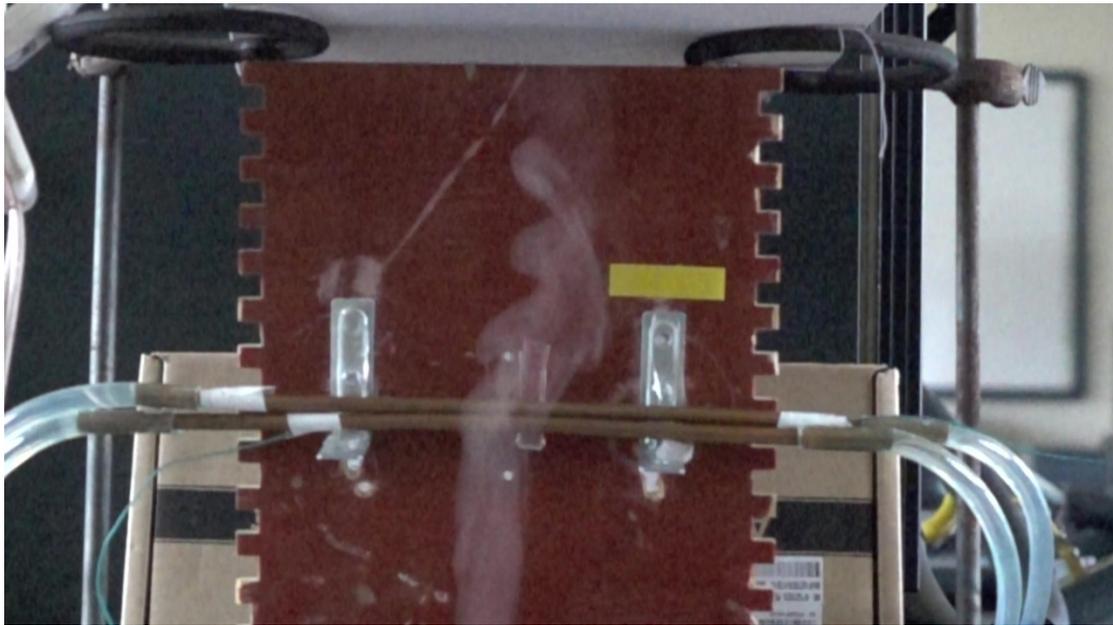


圖 19:銅管上熱下冷示意圖

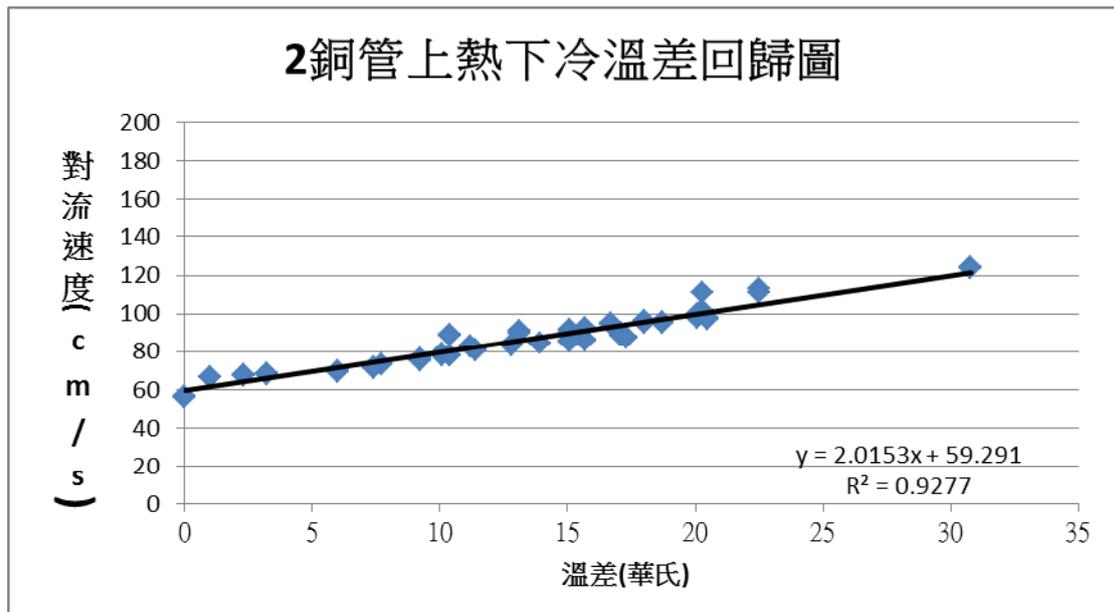


圖 20:銅管上方為熱下方為冷溫差回歸圖

(三) 四根銅管由上而下為冷熱冷熱

我們發現煙在未達銅管時呈直煙狀態，經過銅管交界處後就會產生擾動的現象(圖 21)，經由 Tracker 軟體計算對流的速度發現，上下銅管溫差為 30°F 時，對流速度約為 198.40 至 198.28(cm/s)，以此方法計算，進行迴歸分析，發現方程式為 $y=4.0959x+57.925$ ($R^2=0.92$)，顯示有高度相關，當溫差愈大時，對流速度也愈快，即溫差與對流速度存在正比的關係(圖 22)。

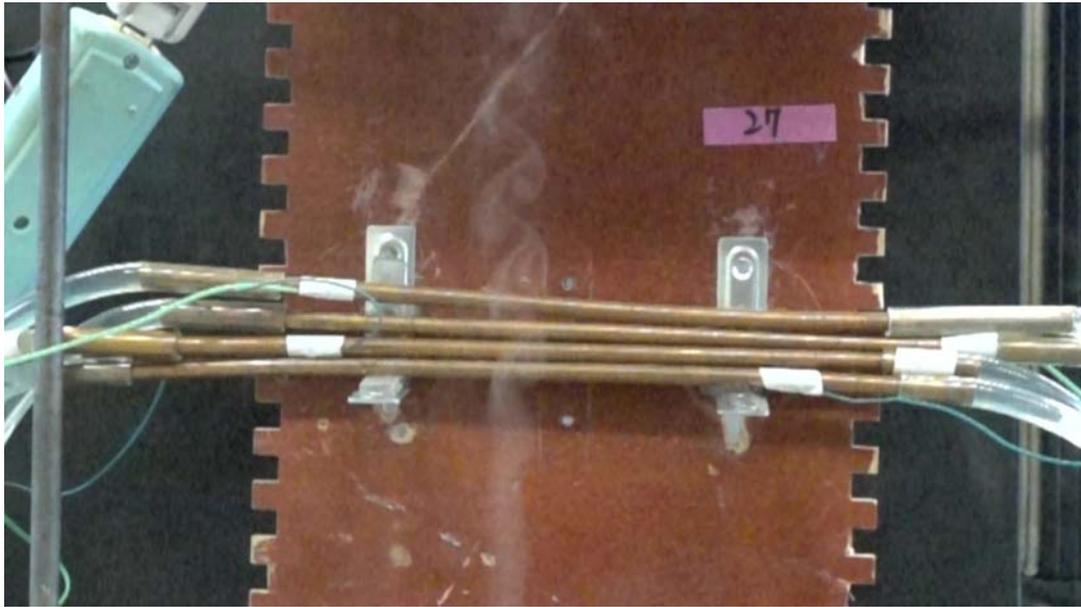


圖 21:銅管冷熱冷熱示意圖

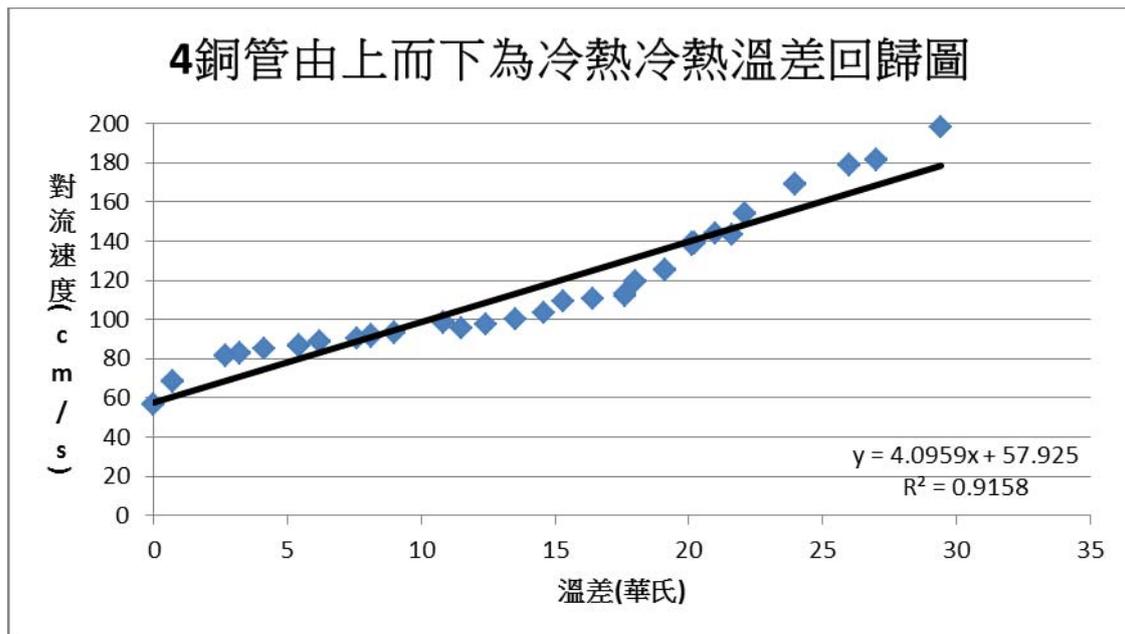


圖 22 銅管由上而下為冷熱冷熱溫差回歸圖

(四) 四根銅管由上而下為熱冷熱冷

我們發現煙在未達銅管時呈直煙狀態，經過銅管交界處後就會產生擾動的現象(圖 23)，經由 Tracker 軟體計算對流的速度發現，上下銅管溫差為 30°F 時，對流速度約為 169.18 至 168.16(cm/s)，以此方法計算，進行迴歸分析，發現方程式為 $y=3.2201x+52.761(R^2=0.95)$ ，顯示有高度相關，當溫差愈大時，對流速度也愈快，即溫差與對流速度存在正比的關係(圖 24)

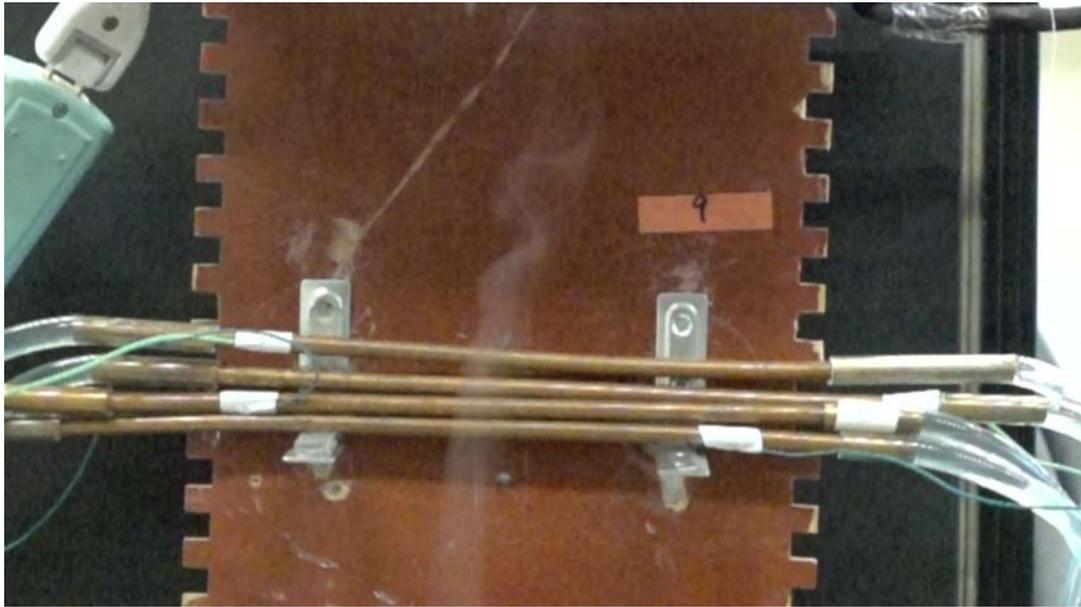


圖 23:銅管熱冷熱冷示意圖

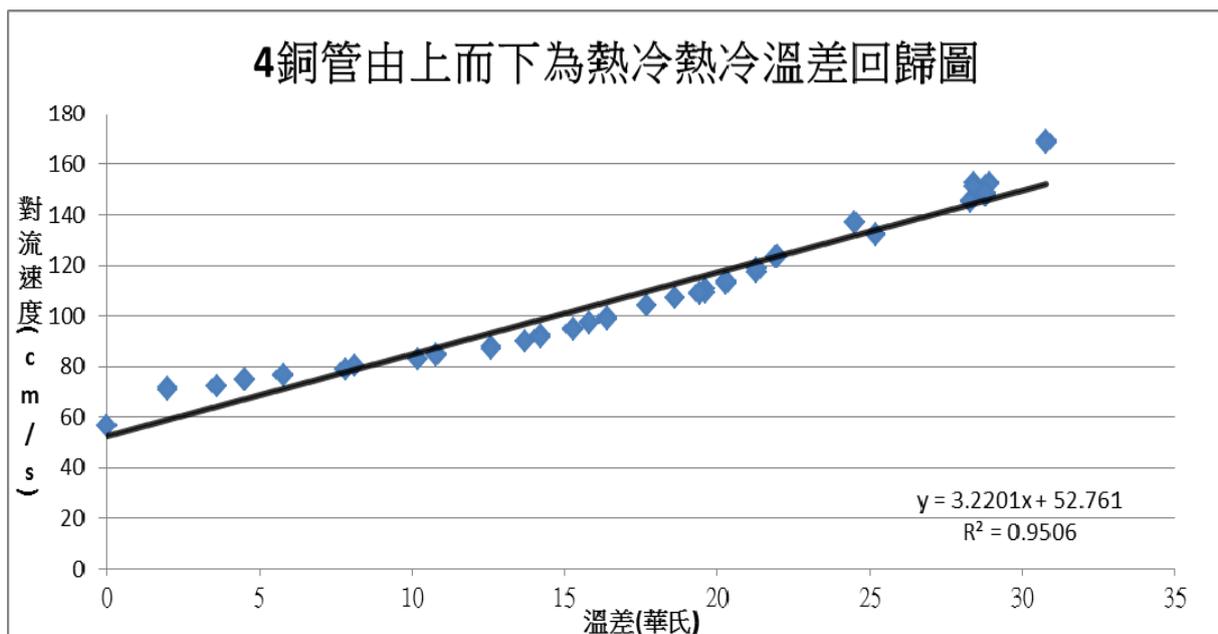


圖 24:銅管由上而下為熱冷熱冷溫差回歸圖

五、探討緩升溫效果的原因

依據輻射功率 $H=Ae \delta T^4$

(A 為表面積、T 為絕對溫度、 δ 稱為史特凡 • 波茲曼常數，其值= $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

其中 e 稱為發射率，其值與表面的材質有關，例如：光亮的金屬表面大約等於 0.1；黑色表面大約等於 0.95，白色表面約 0.85~0.27(Coletta, 2007)。因此，黑色的表面較容易吸收輻射熱，而白色吸收到的輻射較少，黑條紋把熱帶入瓶內，蓄積在密閉的瓶內空氣，因此瓶子內部的表面溫度以黑紋高於白紋。而外部的白條紋反射部分的熱而造成表面溫度高於黑條紋，若黑紋與白紋表面有一定的溫度差，就有對流形成的可能，進而將熱散出。所以黏有黑條和白條的黑白瓶，相較之下就較為低溫。

我們由觀察煙霧擾動實驗發現黑白條紋瓶受熱時，在黑白條紋交界處會產生擾動，並發現黑白條紋瓶外部白條紋會比黑條紋溫度來的高，即瓶子外部熱量會由白條紋處傳向黑條紋處；而銅管模擬實驗中，發現銅管沒有溫差時，則煙霧則會順著抽氣方向直線向上，若銅管有溫差時，則煙霧會在銅管交界處產生擾動現象，並根據熱對流公式 $dQ/dt = h A*(T_H-T_L)$

(Q：熱能，t：時間，h：平均熱對流係數 A：截面積， T_H-T_L ：溫差)

顯示溫差越大則熱能傳遞越快。因此，我們推論黑白條紋瓶緩升溫的現象是因為黑條紋和白條紋受熱時因不同顏色吸收的輻射熱不同，造成表面溫度的差異，而黑條紋和白條紋的溫差，又引起表面空氣的擾動，將部分的熱帶走，造成黑白條紋瓶升溫較慢。

而瓶子的內部在黑條紋的相對位置測得的溫度卻高於白條紋，也產生了溫差，因此我們推論在瓶子的內部也產生了擾動的氣流，但擾動的方向與瓶外是相反的，符合**逆流交換機制(counter-current heat exchange mechanism)**我們認為瓶外的白條紋有部分的熱帶向黑條紋而溫度下降，內部的相對位置則因得到來自

黑條紋的熱而升高溫度，則同一位置瓶子內外的溫差就減小了，瓶子受熱後向內傳遞的過程，通過膠帶和寶特瓶的塑膠材質，根據熱傳導公式 $Q = k A (T_s - T_f)/L$ (k：熱導率、Q：熱量、t：時間、L：長度、A：面積、 $T_s - T_f$ ：溫度差)

顯示瓶子內外若溫差越小則熱越不易向內傳導。

綜合上述，我們認為黑白條紋瓶受熱時的緩升溫現象，是因為黑白顏色對熱的輻射熱吸收程度不同，造成表面黑白條紋的溫差，進而引起對流擾動，帶走部分的熱；而瓶子內部黑白條紋也產生溫差，並產生與外部反向的擾動，使得同一位置的瓶外、瓶內溫差縮小，減小了熱向瓶內的傳導，達到緩升溫的現象(圖 30)。

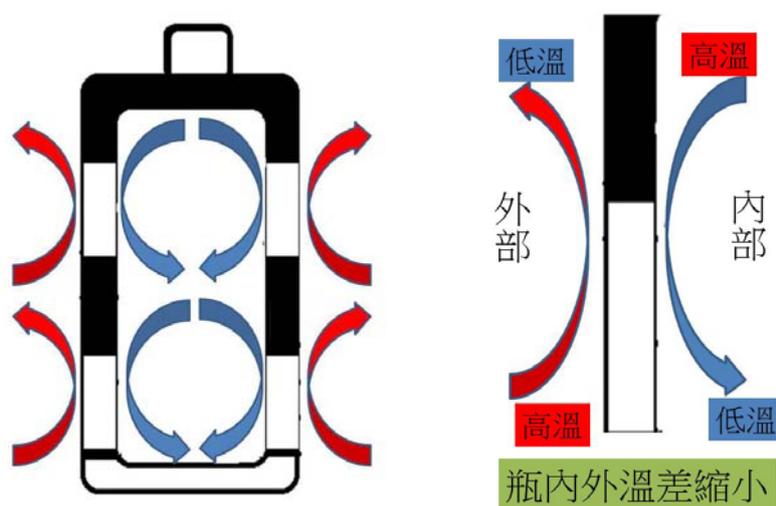


圖 30 :黑白條紋瓶內部外部氣流示意圖

陸、討論

一、驗證黑白條紋系統對緩升溫的效果

在實驗中，我們發現黑白條紋瓶的升溫的情形較為緩慢，甚至低於白瓶，這與洪宥靖等(2013)的研究結果是相同的，但在加熱距離的選定，因考量到溫度的變化(溫度上升太快)及避免瓶子變形(可延長實驗器材使用壽命)，我們選定68cm為理想距離。洪等(2013)認為此種現象可能因為黑條紋與白條紋表面的溫度差，造成空氣產生擾動，有助於緩升溫，但未證實溫差與擾動的關聯性，我們試以本研究去證明它。

二、分析不同密度黑白條紋緩升溫的效果

我們發現條紋的密度會影響緩升溫效果，這和洪宥靖等(2013)的研究不同，因為洪宥靖等(2013)是採用不同條紋粗細來進行實驗，黑白條的交界面差異不大，界面只有 7~14 個，而我們的實驗以相同粗細的黑白條紋進行，黑白的交界面從 1 個到 95 個。若條紋的密度低，黑白的交界面數量少，能產生的空氣擾動也較少；但若條紋的密度高，黑白的交界面數量多，使空氣產生擾動機會增加，而使瓶內的緩升溫效果增加。我們以黑/白條紋寬度為 1:1 的比例，分別以不同的條紋寬度進行升溫的實驗，3cm、10.8 組黑白溫差較大，但界面少；條紋寬度在 0.25~1.5cm 時，有最好的緩升溫效果；寬度細到 0.2cm 時，出現了不穩定現象，有時緩升溫效果與 0.25cm 的相近，有時卻會溫度上升得很快，顯示比較 0.2cm 的寬度已無法穩定的發揮緩升溫效果。我們的結果顯示條紋過細的話，黑條與白條的溫差會不明顯，造成的對流較不明顯，且條紋交界處也過多，對流間會互相干擾影響，緩升溫效果就不明顯；而條紋過粗的話，雖然黑條與白條確實有造成溫差，但條紋接觸面較少，所以對流的產生減少，緩升溫效果也不佳。我們認為黑白條紋溫差的存在是造成緩升溫效果的重要原因，而溫差形成的原因，我們比較了各密度的黑白條紋外部表面溫度，發現皆呈現白紋高於黑紋的現象(表十八)。

表十八:不同條紋密度界面間格數與溫差關係表

條紋寬度(cm)	界面數(個)	黑白溫差(華氏)
10.8	1	1.5
3	6	1.3
1.5	13	0.6
1	18	0.4
0.5	42	1.8
0.25	82	0.8
0.2	95	1.5

我們比較各密度瓶子中間黑白條紋的表面溫度，發現在加熱 15 分鐘時，白條紋的溫度皆高於黑條紋的溫度，經統計比較，皆有顯著差異，我們認為這與黑

色的表面較容易吸收輻射熱，能傳進瓶內的溫度較多，而造成黑條紋的表面溫度反而低於白條紋。

三、測量黑白條紋系統的內部及外部條紋溫度變化

「藍色革命」一書中提到，斑馬條紋之所以可以降溫，是因為白色會反光，黑色吸光，所以白條紋上方的空氣會比黑條紋上方的空氣涼爽，黑條紋熱氣上升與白線的高氣壓形成壓差，在表面衍生小氣流(鮑利，2010)。但我們的實驗結果是瓶外表面溫度以白條紋的溫度較黑條紋高，內部表面溫度則是黑條紋的溫度比白條紋高，這與洪(2013)結果相同。因為我們無法直接測量氣體溫度，所以測量出表面溫度是最接近表面氣體溫度的位置，也較能有相同的比較基準來進行測量。我們測量了不同寬度的黑白條紋內部及外部條紋溫度(1.5cm 及 3cm)，發現黑條紋溫度不一定比每一條白條紋來的高，不過它一定比鄰近的白條紋來的高(圖 12~圖 14)(表五~表十二)，相鄰近的黑白條紋有溫差時，就有熱能的傳播，如此就形成一組一組的對流系統。

四、以銅管模擬黑白條紋溫度不同時的對流情形

由去年煙霧實驗，我們發現在黑白條紋交界面，確實出現了擾動，證明這裡有溫差的產生，但每一個條紋的溫度不一，實在難以完全證明對流的形式是用顏色或是溫度造成。所以我們將兩根銅管內注入不同溫度的水，讓兩管間產生溫差，並經由煙霧產生器，觀察計算不同溫差造成的煙霧速度差異，發現溫差越大，速度也越快，這與熱對流公式 $dQ/dt = h A*(T_H-T_L)$

(Q：熱能，t：時間，h：平均熱對流係數 A：截面積， T_H-T_L ：溫差)

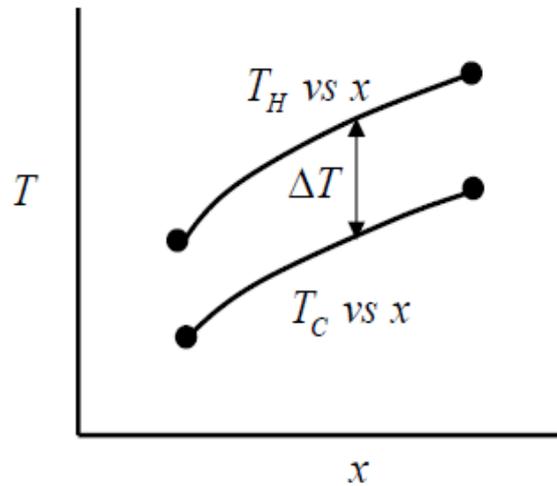
是相符合的，當溫差越大時，熱對流的速度也越大。我們也進行 4 根不同溫差的銅管實驗，發現不論高溫管在上方或在下方，當溫差越大時對流速度都越快，這與我們去年進行不同條紋寬度的煙對流速度實驗(條紋越寬，速度越快)(條紋越寬，溫差也越大)有類似的結果 (表十九)

表十九:各條紋密度的煙的對流瞬時速度與平均速度

組別	5 分鐘	15 分鐘
	速度	速度
0.2	6.21±7.449	9.67±6.748
0.25	4.38±5.903	12.68±5.734
0.5	4.09±10.921	16.42±13.193
1	6.33±6.494	23.06±7.092
1.5	6.41±4.837	27.34±8.781
10.8	19.96±5.348	82.49±33.163

五、探討黑白條紋系統緩升溫效果的原因

由上述結果我們發現，黑白條紋組外部的白條紋溫度比黑條紋高，內部的黑條比白條高；熱力學第二定律說到，熱會由高溫流向低溫處，洪宥靖等(2013)推測有四種對流可能，造成黑白條紋組溫度不易上升。我們認為更有可能是因為瓶外對流，阻止了部分的熱進入瓶內；而瓶內的對流方向與瓶外相反，使得瓶內同一位置的溫差縮小，進而減緩熱能的輸入瓶內，而具有緩升溫的效果。這可能與熱逆流機制(counter-current heat exchange mechanism)(圖 31) (R. Shankar Subramanian)有關，內部黑白條紋溫差(黑條比白條高溫)與外部黑白條紋溫差(白條比黑條高溫)不同，兩者形成相反方向的對流，使得溫度不易進入瓶內，而達到緩升溫的效果，這與企鵝站在雪地上能保持自身體溫的道理是相類似的，企鵝腳部的動脈和靜脈間靠著「逆流交換作用」(邱，2008 年)，負責運送溫暖血液的動脈分成許多小血管，緊靠著數目相近的靜脈血管，血液輸送時，並排的動脈溫度自然便會傳向靜脈，因此幾乎沒有什麼熱量會往下送到雙腳，減少熱量損失，而我們實驗的黑白條紋系統則是因為內外部黑白條紋都具有溫差，而且外部是白條紋比黑條紋的溫度高，內部則是黑條紋比白條紋高，使得內外兩側對流方向相異，因此外部的熱量不易進入內部而達到緩升溫的效果。



Countercurrent Mode

圖31:熱逆流機制圖示(來源

<http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Thermal%20Analysis%20of%20a%20Steady%20State%20Heat%20Exchanger.pdf>)

六、應用

全球暖化的問題，影響著全人類的未來，黑白條紋的組合具有緩升溫的效果，若能明白其中的緩升溫機制，或許可以應用在我們的日常生活中，在不耗費能源的條件下，為減緩地球暖化盡一份力。例如:建築物的外觀，若塗裝成黑白相間，在交界處能自然的形成小對流，阻止部分的熱進入室內，能夠減低對空調的依賴，達到節能減碳的目的。另外也可應用於汽車的烤漆、儲存易燃氣體的儲油槽，或是身上的衣著等，一起努力減緩地球暖化的速度。

柒、結論

- 一、黑白條紋組的上升溫度較黑組與白組慢，白組又比黑組慢。
- 二、在不同條紋密度的比較，發現條紋愈細，緩升溫效果愈好，但寬度在0.2公分時，緩升溫效果變差。
- 三、在黑白條紋系統，不論1.5cm或3cm，外部黑條紋溫度都比白條紋溫度低，而內部則是黑條紋比白條紋高，如此會形成溫差，造成對流現象。

四、以銅管模擬條紋溫差無論是上冷下熱、下熱上冷，經過迴歸分析後發現對流速度都與溫差成正比，並具有高度相關性。

五、我們認為內部跟外部因為溫差造成對流方向不同，有熱逆流機制，而使溫度不易進入瓶內，形成緩升溫的效果。

捌、參考文獻

一、洪宥靖、黃冠霖、鍾芳志。2013。黑與白的邂逅--探討黑條紋與白條紋升溫降溫的變化第53屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、鮑利，剛特。2010。-藍色革命(第一版)。-台北市，-天下雜誌股份有限公司。
-p.57、p.58、p.59、p.262。

三、Coletta, V.P.(原著)。1998。-李瑞真等人編譯。-普通物理-(初版)。台北市。
-高立圖書有限公司--p.190。

四、范恩。2009。-熱力學練功寶典：熱的簡史(第一版)。-台北市。-天下遠見出版有限公司。

五、國小科學促進會著。2009。-我的第一堂有趣的物理常識課(初版)。-台北市。
-台灣廣廈出版集團，-美藝學院出版。

六、王譯晟、石曜綸、方璿驊。2015。黑白一線間—探討不同密度的黑白條紋瓶緩升溫效果及對流情形第55屆中小學展覽作品說明書。

七、維基百科。(無)-斑馬_條紋。2013年05月21日引自

<http://zh.wikipedia.org/zh/%E6%96%91%E9%A6%AC>

八、Smith R. L. 1992. Elements of ecology. Chapter 5: Temperature. P83. Harper Collins. New York.

九、邱瓊玉 (2008 年 12 月 17 日)。《極地動物解析》企鵝抗寒 血液逆流交換。聯合報，教育版。

十、R. Shankar Subramanian, Thermal Analysis of a Steady State Heat Exchanger
<http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Thermal%20Analysis%20of%20a%20Steady%20State%20Heat%20Exchanger.pdf>

【評語】 030108

延續之前研究進行反升降溫的原理確認，設計了一套精巧的銅管裝置加以驗證。延伸出的熱擾流現象，極具科學探究精神。希望未來能超越原先白條紋的題目範圍，以目前的小尺度熱擾流裝置進一步發展出更有意思的科展作品。