

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第一名

081511

抗流感有妙招～探討教室門窗開關與空氣對
流、溫度的關係

學校名稱： 臺北市文山區私立靜心國民小學

作者： 小六 呂依穎 小六 鄭如 小六 李怡璇 小六 陳渝婷	指導老師： 蔡垂其、 陳慧娟
--	-------------------

關 鍵 詞：空氣對流、門窗開關

壹、摘要

冬天時，教室的門窗該如何開關，才能使得教室內的溫度驟降最少且教室內空氣流通，讓學生和老師不會受冷風侵襲又可以安心又舒適的在教室教與學呢？我們將教室區別為上半部和下半部，無人的上半部希望對流旺盛；下半部則希望降溫緩和，避免位於下半部的老師和學生感到寒冷。並分別考慮無風時，空氣自然對流的狀態以及東北季風時，風從教室右邊向教室吹襲的強制對流狀態。經由實驗與數據的分析結果，我們得知在冬天無風的自然對流狀態下，以下課十分鐘的時間考量，開門窗方式以打開教室兩邊的上排的窗戶為最佳的選擇；而在東北季風盛行，風從教室右邊吹向教室的強制對流的狀態下，以十分鐘後的时间考量，打開教室兩邊的上排的窗戶仍是適合的開窗方式。因此**冬天不論有風或無風，想要教室內空氣流通，又不希望溫度驟降，最適合的開窗方式為打開「兩邊上排的的窗戶」。**

貳、研究動機

每當寒冷的冬天到來時，我們總是幾乎把教室的門窗都關起來，不讓那冷颼颼的寒風侵襲我們，但時常班上有一兩位同學感冒，雖然他們戴著口罩，但每每聽到他們咳嗽聲時，總不免心理毛毛的，**深怕在幾乎密閉的教室裡，會被他們傳染，加上媒體大肆報導流行性感冒、病毒感染（如：禽流感、SARS…）資訊，使得我們不得不注意教室空氣流動的問題；在六上「天氣的變化」中我們曾學過空氣的對流現象，利用煙充滿廣口瓶，我們可以明顯的看到煙流動情形，得知熱空氣上升、冷空氣下降；三下「氣象觀測」中我們學到距離地面不同的高度，溫度也會不相同；四下「電路DIY」也學到燈泡的並聯與串聯。於是我們想找出冬天時，教室的門窗該如何開關，才能使得室內的溫度驟降最少且教室內空氣流通的作法，兩者兼顧，如此我們才能舒適、健康的安心在教室裡上課了。**

參、研究目的

在無風與東北季風時風從右邊吹來的狀態下，要**讓室內空氣流通，傳染疾病才不至嚴重蔓延開來**，所以我們考量教室內空氣的對流狀態，與探討是否能在良好的對流情形下，又能讓室內溫度不會驟降很快、很多，讓人覺得寒冷，這樣冬天才能在舒適且健康的教室裡上課。

而教室的門、窗開關都會影響到教室內的空氣對流現象和氣溫的高低變化，所以我們利用上課時所學，將煙灌入模型內，在模型內裝溫度計，以不同的開關門、窗方式來探討**該如何做才能讓空氣對流最佳且氣溫不驟降**兩者兼顧。

於是我們設計了下列實驗來探討「**教室門窗該如何開關，才能使教室內的氣溫驟降最少且空氣對流現象最佳**」：

實驗一：探討**無風**時，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

實驗二：探討**東北季風時風從右邊吹來且熱源一直存在**，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

肆、研究設備及器材

1. 捲尺*1 個	2. 瓦楞紙*15 張	3.透明塑膠膜*2 張	4. 剪刀*2 支	5. 美工刀*2 支
6. 白膠*1 瓶	7. 透明膠帶*2 捲	8.電子溫度計*8 個	9. 油土*3 包	10. 細鐵棒*1 根
11. 線香*2 包	12. 數位相機*1 台	13.小型風扇*4 個	14. 指北針*1 個	15. 打火機*1 個
16. 燈座*6 個	17. 燈座*6 個	18. 25W 燈泡*6 個	19. 口罩*1 盒	20. 計算機*1 台

伍、研究過程或方法

一、實驗步驟：

實驗一、探討無風時，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

- 〈一〉用捲尺測量教室的長、寬、高，及門、窗、冷氣機的位置，並用電子計算機將它縮小比例，用瓦楞紙、透明塑膠膜製成教室模型。如圖 1。
- 〈二〉將教室模型內等分成四個部位，在這四個部位中間各放置一個瓦楞紙溫度架，將教室模型高度等分三份，在三分之一及三分之二處，於瓦楞紙溫度架上各架設一個電子溫度計，共架 8 個電子溫度計。如圖 2。



圖 1 教室模型



圖 2 電子溫度計

- 〈三〉將此 8 個溫度計標號，以人面對黑板右邊前側上面溫度計為 1 號，右邊前側下面溫度計為 2 號，右邊後側上面溫度計為 3 號，右邊後側下面溫度計為 4 號，左邊後側上面溫度計為 5 號，左邊後側下面溫度計為 6 號，左邊前側上面溫度計為 7 號，左邊前側下面溫度計為 8 號。如圖 3 和圖 4。



圖 3 教室模型鳥瞰圖

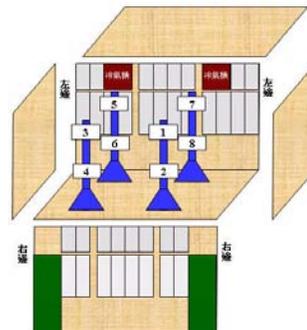


圖 4 電子溫度計相關位置

〈四〉將油土揉成長方柱狀，並將 8 根線香插在油土上方，成為為教室模型加熱的熱源。
如圖 5。

〈五〉利用細鐵棒插入油土下半部中，使其有如煙斗般，方便將線香由教室模型的門移入至教室模型的中央。如圖 6。

〈六〉將門、窗全部關起來，測量記錄教室模型內 8 個溫度計的原始溫度。如圖 7。



圖 5 線香插於油土



圖 6 細鐵棒插入油土



圖 7 關閉所有門窗

〈七〉將線香點火燃後放入教室模型內的中央，並將所有門窗緊閉，讓它成為熱源在教室模型內冒煙，過 10 分鐘後觀察記錄 8 個溫度計的放煙加熱未開門窗的溫度。如圖 8、圖 9 和圖 10。

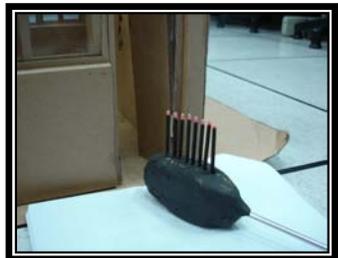


圖 8 點燃線香放入模型



圖 9 線香於模型內冒煙一



圖 10 線香於模型內冒煙二

〈八〉將油土及線香由門移出教室模型(如圖 11)，然後再將所有門窗緊閉(如圖 12)，經一分鐘後，各溫度計之數值不再上升，確保模型教室內的溫度能夠均勻平衡，記錄移除熱源一分鐘後的溫度。



圖 11 由模型內取出線香



圖 12 關閉所有門窗

〈九〉分別以下列 7 種開關門窗方式，觀察模型內煙的流動情形，並於每隔 1 分鐘觀察記錄 8 個溫度計的溫度。7 種開關門窗方式如下：

- 1.兩邊上下門窗全部打開(全開)。
- 2.兩邊下排窗戶和門全部打開(右下左下)。
- 3.兩邊上排窗戶全部打開(右上左上)。
- 4.右邊上下排門窗全部打開(右上右下)。

- 5.左邊上下排窗戶全部打開(左上左下)。
- 6.右邊下排門窗全開，左邊上排窗戶全開(右下左上)。
- 7.右邊上排窗戶全開，左邊下排窗戶全開(右上左下)。

表 1-1 自然對流的 7 種開關門窗方式之一

開關門窗方式	全開	右下左下	右上左上	右上右下
圖示				

表 1-2 7 自然對流的 7 種開關門窗方式之二

開關門窗方式	左上左下	右下左上	右上左下
圖示			

註：圖中白色代表已經打開之門窗，深灰色、深咖啡深(冷氣機位置)、綠色(門)表示不開之門窗。

實驗二：探討東北季風時風從右邊吹來且熱源一直存在，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

- 〈一〉同實驗一步驟〈一〉至步驟〈三〉。
- 〈二〉利用指北針確認教室與東北季風的方向。如圖 13。
- 〈三〉將電風扇(如圖 14)配合東北季風的方向，放置於教室模型右方 60 公分處。如圖 15。



圖 13 用指北針確認方位

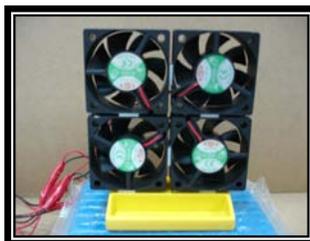


圖 14 電風扇

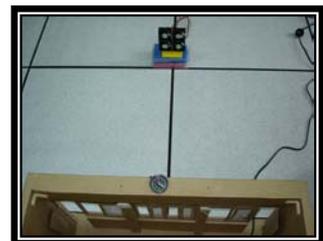


圖 15 電風扇擺放位置

(四) 將模型教室所有門窗關閉，並將置於模型教室內下半部的熱源電燈(25W*6 個)開啓，且一直維持開啓狀態。如圖 16。

(五) 當模型教室內的溫度加熱至 42°C 左右時，依預定的開門窗方式打開門窗，同時將電風扇開啓，且一直維持開啓狀態，並記錄此時的原始溫度。如圖 17。



圖 16 關閉門窗、開啓電燈

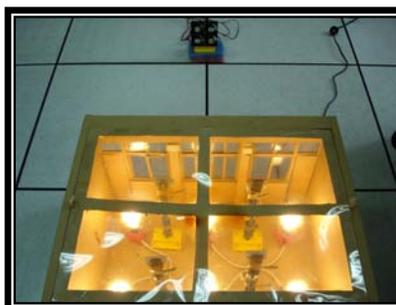


圖 17 打開門窗、開啓電風扇

(六) 分別以下列 4 種開關門窗方式，每隔 1 分鐘觀察記錄 8 個溫度計的溫度。

4 種開關門窗方式如下：

1. 兩邊上排窗戶全部打開。
2. 右邊上排窗戶全開，左邊下排窗戶全開。
3. 右邊上排窗戶全開，左邊上下排窗戶全開。
4. 右邊下排窗戶全開，左邊下排窗戶全開。(對照組)

表 2 強制對流的 4 種開關門窗方式

開關門窗方式	右上左上	右上左下	右上左上下	右下左下 (對照組)
圖示				

註：圖中白色代表已經打開之門窗，深灰色、深咖啡深(冷氣機位置)、綠色(門)表示不開之門窗。

二、實驗結果分析方法：

- 1.先將紀錄的時間分為三段，分別為三分鐘、五分鐘、十分鐘。三分鐘是降溫比較明顯的區間，十分鐘是降溫趨於平緩且為一般下課的時間，五分鐘是紀錄時間的一半。
- 2.再將七種開門窗方式的八個溫度計分為**上半部(1、3、5、7)**，**下半部(2、4、6、8)**。
- 3.分別將不同溫度計在不同的開門窗方式，依所選定的三個分析時間點，利用 Microsoft Excel 計算出其平均降溫數值(即平均斜率)。
例如：溫度計 1 於全開的方式下，在前三分鐘的平均降溫數值，計算方式如下：
溫度計 1 於全開的方式下，**開窗前的溫度為 28.6 度**，開窗**三分鐘後的溫度為 26.5 度**，開窗**五分鐘後的溫度為 26 度**，開窗**十分鐘後的溫度為 25.4 度**，所以**三分鐘的平均降溫為 $(28.6 - 26.5) / 3 = 0.7$** 。**五分鐘的平均降溫為 $(28.6 - 26) / 5 = 0.52$** 。**十分鐘的平均降溫為 $(28.6 - 25.4) / 10 = 0.32$** 。
- 4.依照實際狀況考量教室降溫狀況，我們希望沒有人的**上半部降溫要快，對流才會旺盛**，因此將**上半部平均降溫的數值乘上 100 為得分的多寡，平均降溫愈多，得分愈高**。而有學生及老師的**下半部我們希望降溫要慢，才不致於會感覺到寒冷**，所以將**下半部平均降溫的數值乘上 100 再加上一個負號為得分的多寡，平均降溫愈多，得分愈低**。
- 5.在不同的分析時間點，將上半部的溫度計於同一種開窗方式的得分加總，並依加總後的得分，依序選擇出最佳的開門窗方式，最佳的選擇給予記分 7 分，次佳的 6 分，以此類推，最差的給予記分 1 分；下半部亦同。
- 6.最後將上半部及下半部同一種開門窗方式的選擇記分加總，得分最高者即是同時考量上半部對流旺盛、下半部降溫劇烈的最佳選擇。

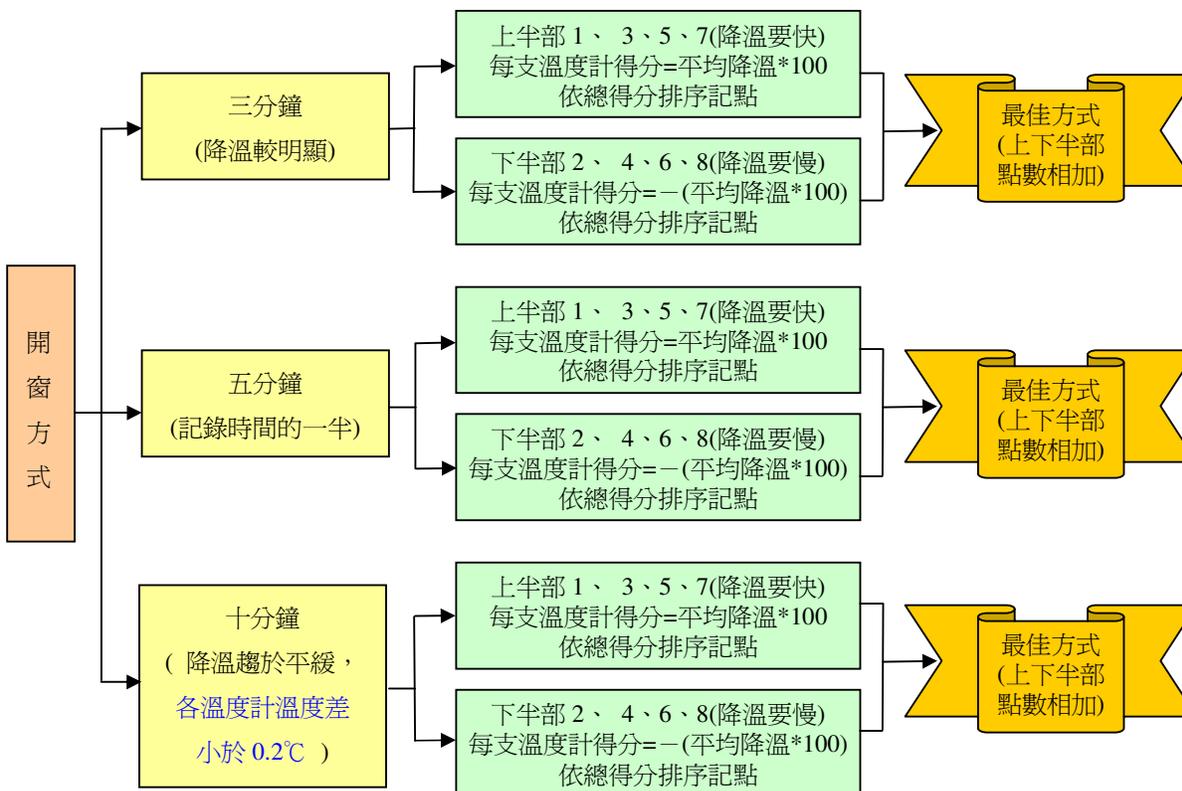


圖 18 實驗結果分析方法

陸、研究結果

實驗一、探討無風時，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

〈一〉**實驗數據與折線圖：**(因篇幅有限，故將實驗記錄之數據列於原始數據記錄本中) 利用 Microsoft Excel 的統計圖，以**橫軸為時間(分鐘)**，**縱軸為溫度(°C)**，將 7 種開門窗方式依實驗所記錄之數據，繪製折線圖。(如圖 19 至圖 25)

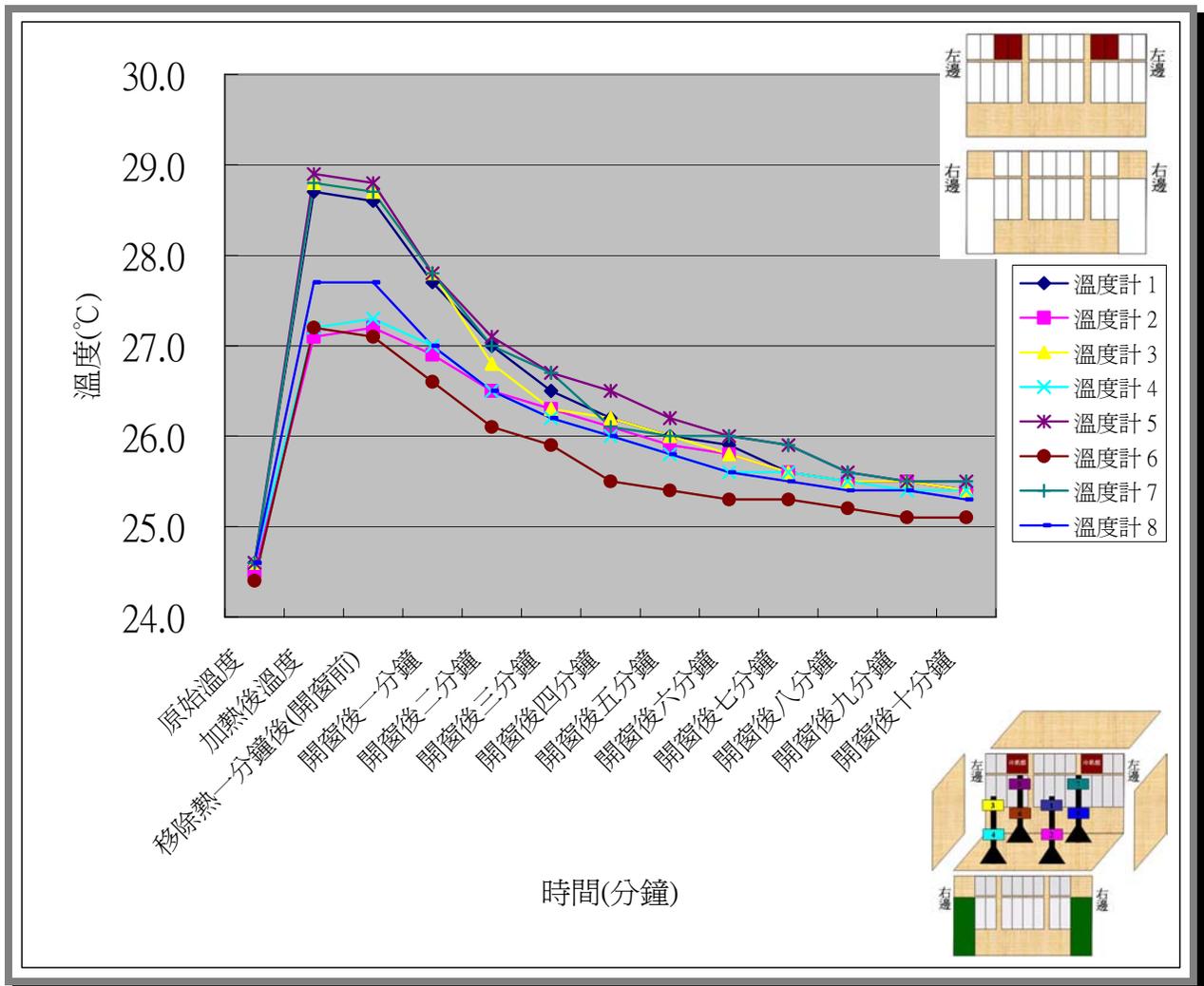


圖 19 第一種開關門窗方式—兩邊上下門窗全部打開

圖 19 說明：

- 1.由圖中我們可以得知門窗全開時，上半部編號 1、3、5、7 的溫度計平均降溫較下半部 2、4、6、8 要劇烈，尤其在前三分鐘，差異更為明顯，這是因為當教室在放煙加熱後，熱空氣上升造成上半部溫度會高於下半部，而當門窗全開後，教室內外則因冷熱不同，而產生自然對流，上半部因為與教室外溫差較大，產生較旺盛的對流狀態，同時溫度下降也將較為劇烈。
- 2.由折線圖中，我們可以得知在開窗後的前三分鐘，溫度降溫較為劇烈，三至八分鐘時，溫度變化已逐漸緩和，八分鐘後溫度已逐漸平衡，變化量很小。
- 3.此種開窗方式下，位於下半部的學生及老師，在開窗後的前三分鐘可以明顯感覺到溫度的下降變化，亦即會有寒冷的感覺。

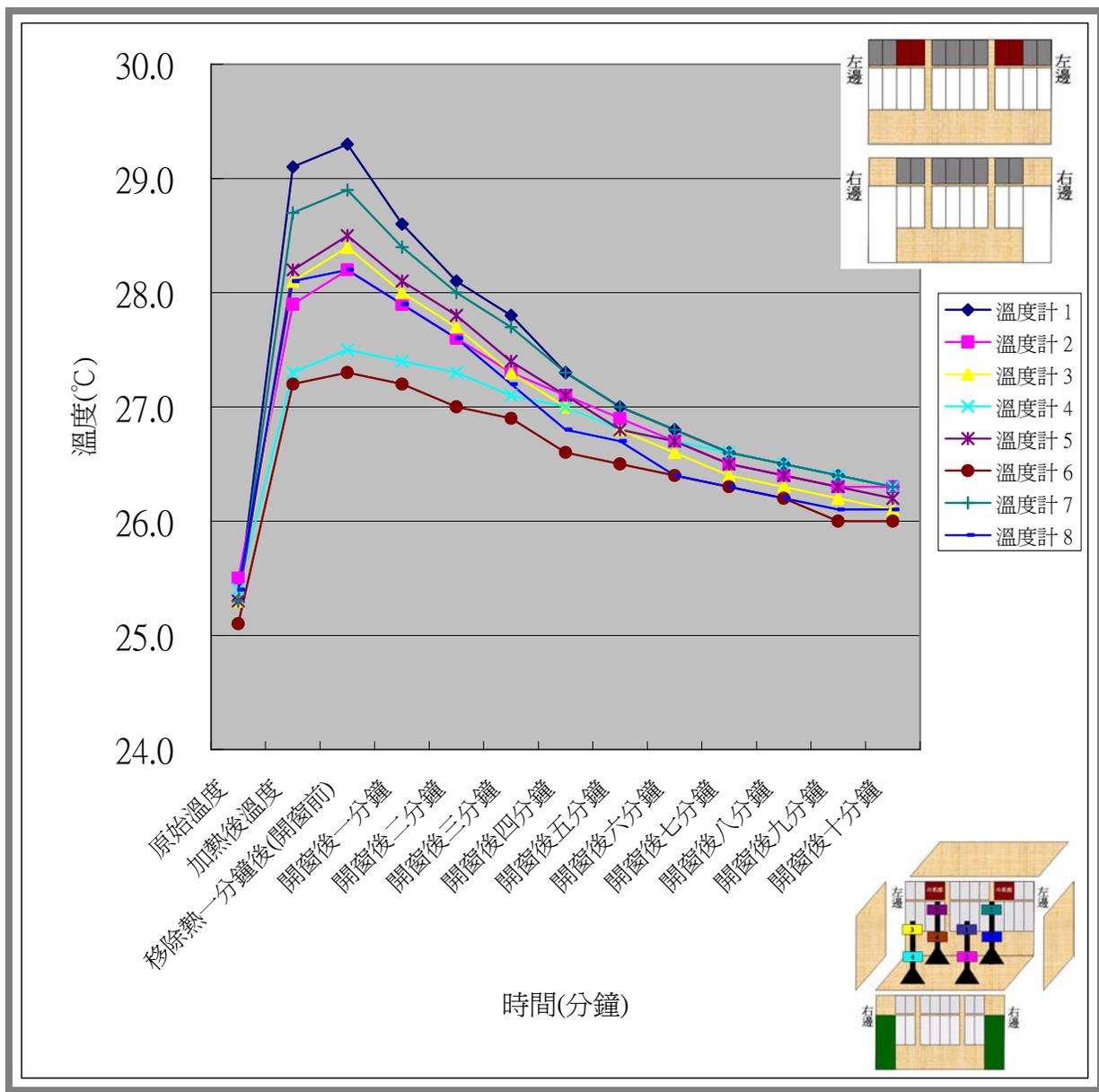


圖 20 第二種開關門窗方式—兩邊下排窗戶和門全部打開

圖 20 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，雖然開的是兩邊下排的門窗，但並沒有發現下半部編號 2、4、6、8 的溫度下降的幅度比上半部 1、3、5、7 的溫度來得快的情形產生，這是因為在無風自然對流的狀況下，模型教室內的熱空氣雖然必須由下排門窗向外排出，但上半部的空氣溫度較下半部高，故上半部與教室外的對流仍是大於下半部，降溫的速度仍是比下半部快。
- 2.由圖表中我們可以看出，在此開門窗方式中，在前四分鐘溫度變化較為明顯，而在四至十分鐘時，溫度變化已趨於平緩。
- 3.而在實驗觀察中，有些許的煙積存在上半部貼近天花板，無法隨著上半部的降溫、對流，而迅速的排出到教室外面。
- 4.此種開窗方式的前四分鐘，讓位於下半部的學生與老師仍可以明顯感覺到溫度下降的變化，亦即會有寒冷的感覺。

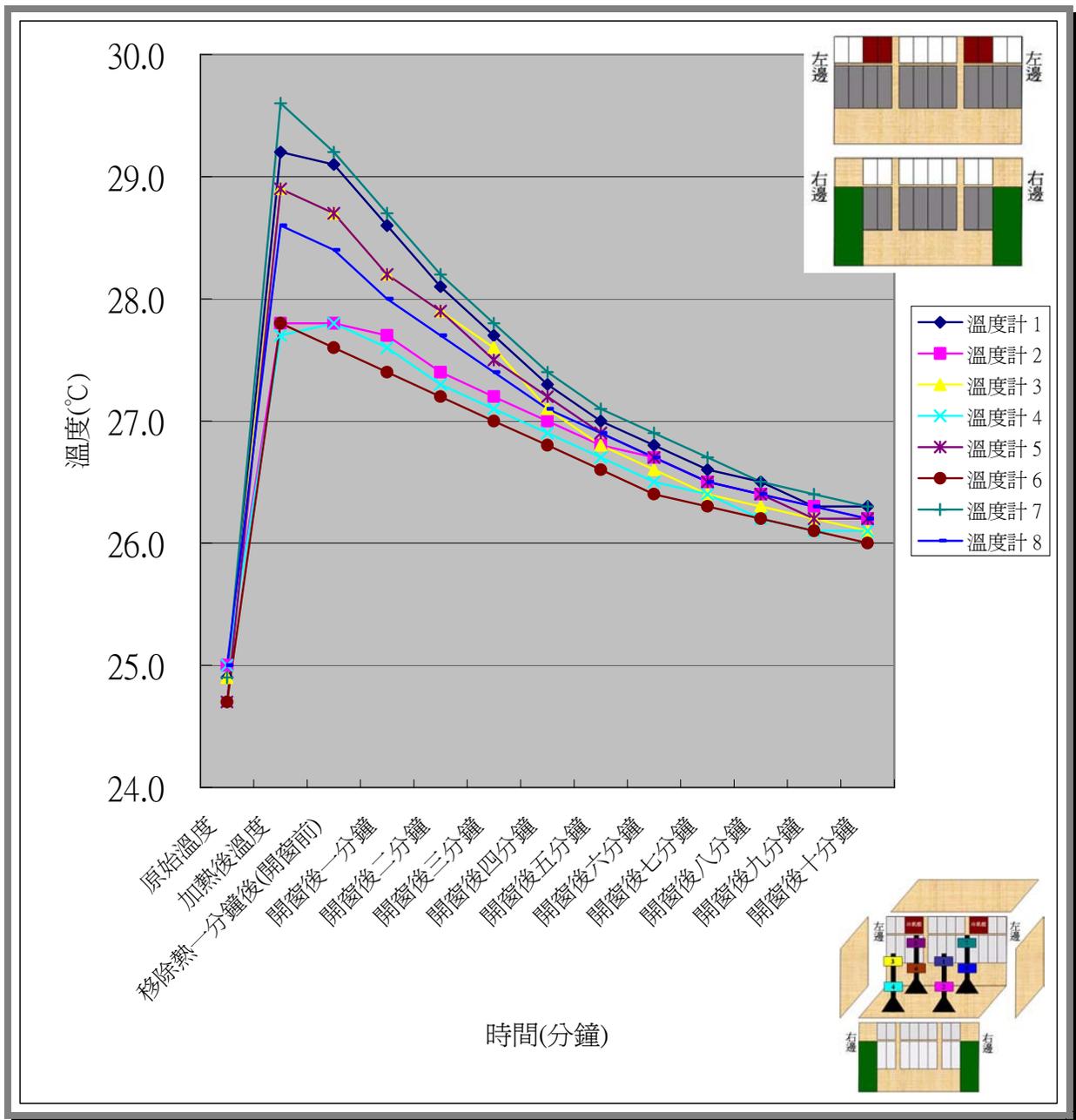


圖 21 第三種開關門窗方式—兩邊上排窗戶全部打開

圖 21 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，雖然我們開的是兩邊上面的窗戶，但卻沒有發生上位於上半部的溫度計有驟降的情形產生，反倒是以一種較為均勻平緩的方式下降；同時位於下半部的溫度也跟上半部一樣，是以一種均勻平緩的方式下降，其原因是因為**教室內的熱空氣由上排的窗戶向外流出時，教室外的冷空氣亦是由上排的窗戶流入教室內**，而兩邊上排窗戶雖然都打開，但因冷氣機又佔掉兩個窗戶，使得開窗後可以讓**空氣對流的面積變得更小，故使得教室內外空氣的自然對流較為平緩**。
- 2.由圖表中我們可以看出**各個溫度計降溫的速度都很均勻，沒有驟降的情形產生**，且整體的降溫狀態也十分均勻。
- 3.此種開窗方式，雖然教室內外空氣對流速度不是非常快速，但由於溫度下降速度相當均勻，沒有驟降的情形產生，讓**位於下半部的學生與老師，不會感覺到寒冷**。

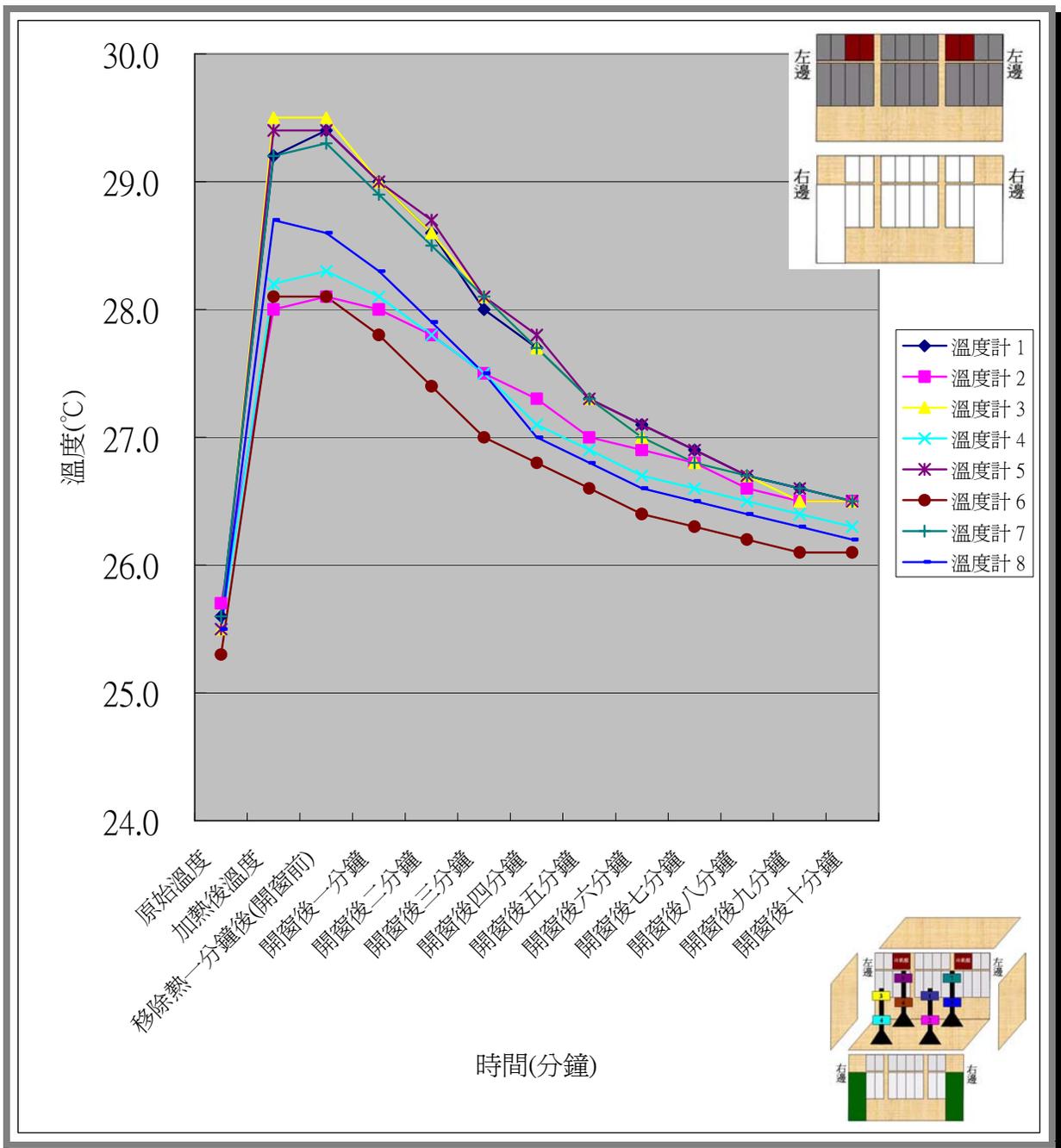


圖 22 第四種開關門窗方式—右邊上下排門窗全部打開

圖 22 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，只開右邊的上下排門窗時，上半部靠開窗的 1、3 號溫度計，所顯示的溫度，降溫較其他溫度計快；而下半部靠開窗的 2、4 號溫度計，所顯示的溫度，降溫卻較其他溫度計慢。
- 2.由圖表中我們可以看出**前五分鐘，降溫的速度較為劇烈**，五分鐘後，降溫逐漸平緩。
- 3.在此種開窗方式下，在**下半部靠開窗的同學較不會感覺到寒冷，因為平均降溫的速度較為均勻**；而在**下半部靠近未開窗的同學，在前四分鐘，會有寒冷的感覺，因為平均降溫速度較為劇烈**。

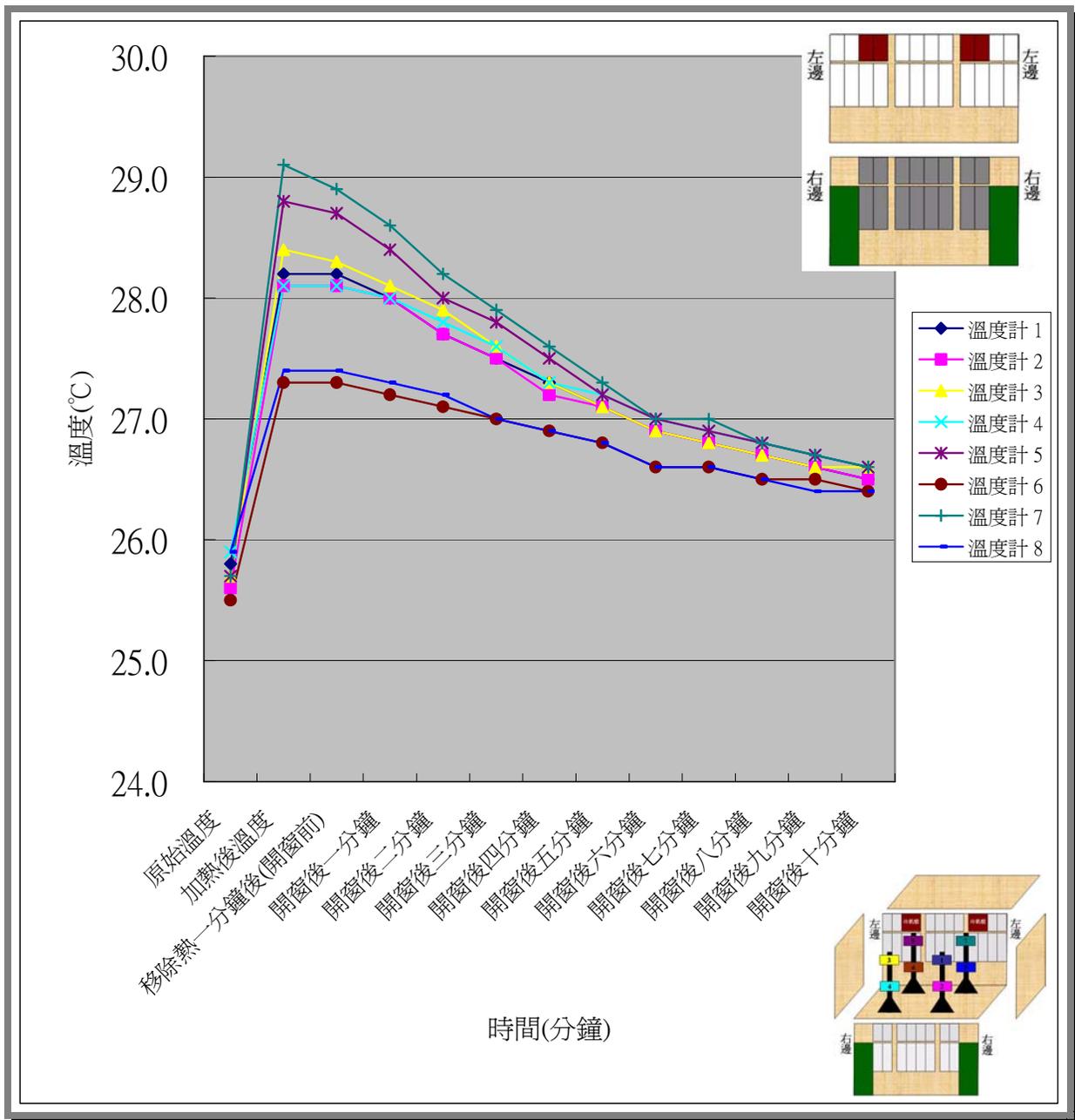


圖 23 第五種開關門窗方式—左邊上下排窗戶全部打開

圖 23 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，只開左邊的上下排門窗時，上半部靠開窗的5、7號溫度計，所顯示的溫度，降溫較其他溫度計快；而下半部靠開窗的6、8號溫度計，所顯示的溫度，降溫卻較其他溫度計慢。
- 2.由圖表中我們可以看出前六分鐘，降溫的速度較為劇烈，六分鐘後，降溫逐漸平緩。比起只開右邊上下排門窗，此種開窗方式降溫較劇烈的時間多了一分鐘左右，是因為左邊上排的窗戶因為冷氣機佔掉了兩個窗戶，而且右邊又有兩扇門，使左邊開窗的面積比右邊少，所以降溫的速度比開右邊上下排門窗要來得慢一些。
- 3.在此種開窗方式下，在下半部靠開窗的同學較不會感覺到寒冷，因為平均降溫的速度較為均勻；而在下半部靠近未開窗的同學，在前四分鐘，會有寒冷的感覺，因為平均降溫速度較為劇烈。

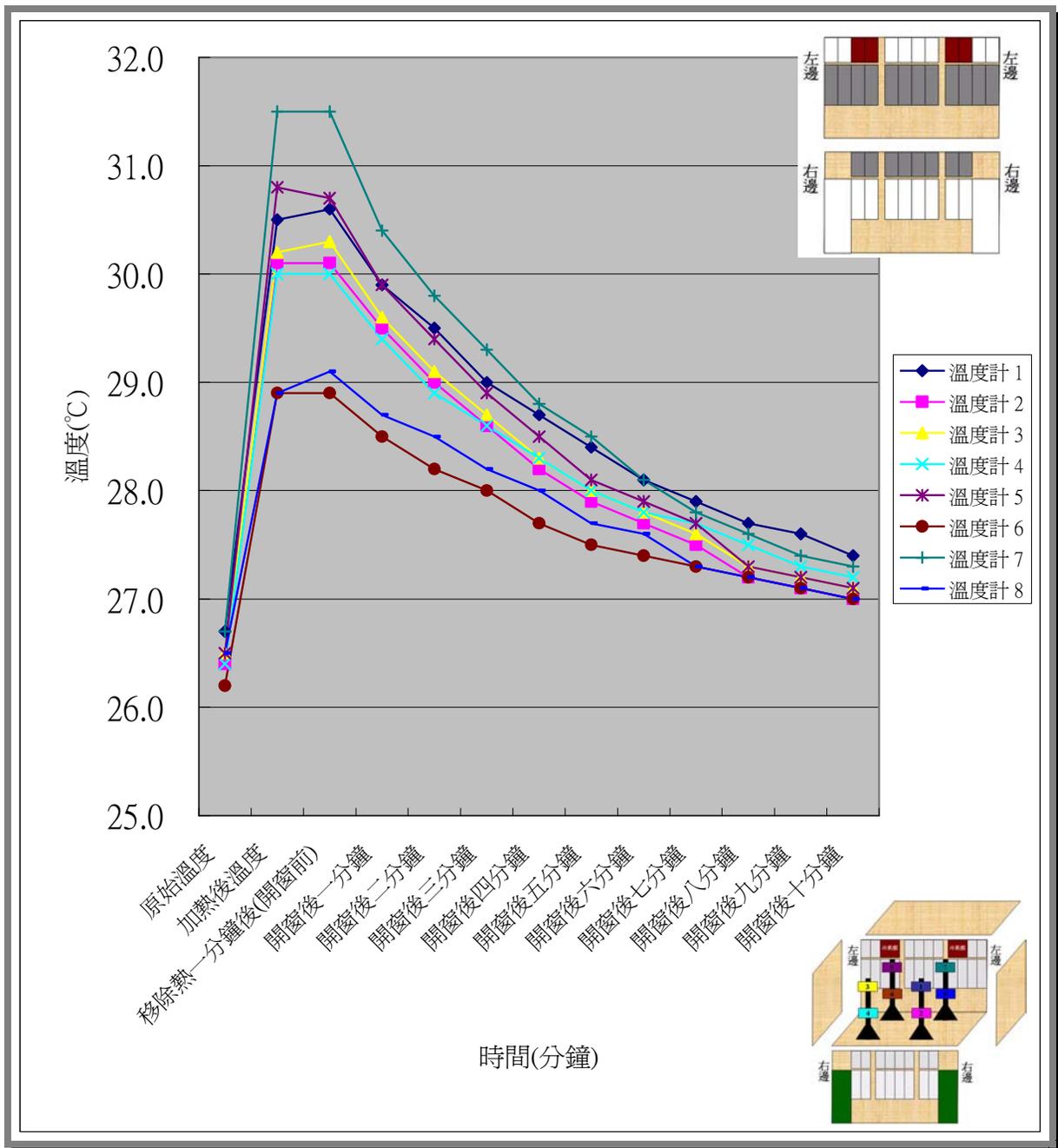


圖 24 第六種開關門窗方式—右邊下排門窗全開，左邊上排窗戶全開

圖 24 說明：

1. 由圖表中我們可以得知左邊上半部靠開窗的 5、7 號溫度計，所顯示的溫度，降溫較其他溫度計快；而右邊下半部靠開門窗的 2、4 號溫度計，所顯示的溫度，降溫比左邊下半部未開窗的 6、8 號溫度計要快，但卻比右邊上半部未開窗的 1、3 號溫度計降溫慢。
2. 由圖表中可以看出，除了下半部靠近未開窗的 6、8 位置的溫度計降溫較為平緩外，其他區域降溫都相當快速，尤其是在前五分鐘。
3. 此種開窗方式下，位於下半部右邊且靠開門窗的學生於前五分鐘會感覺到寒冷，而在下半部左邊靠近未開窗的學生較不至於有寒冷的感覺。

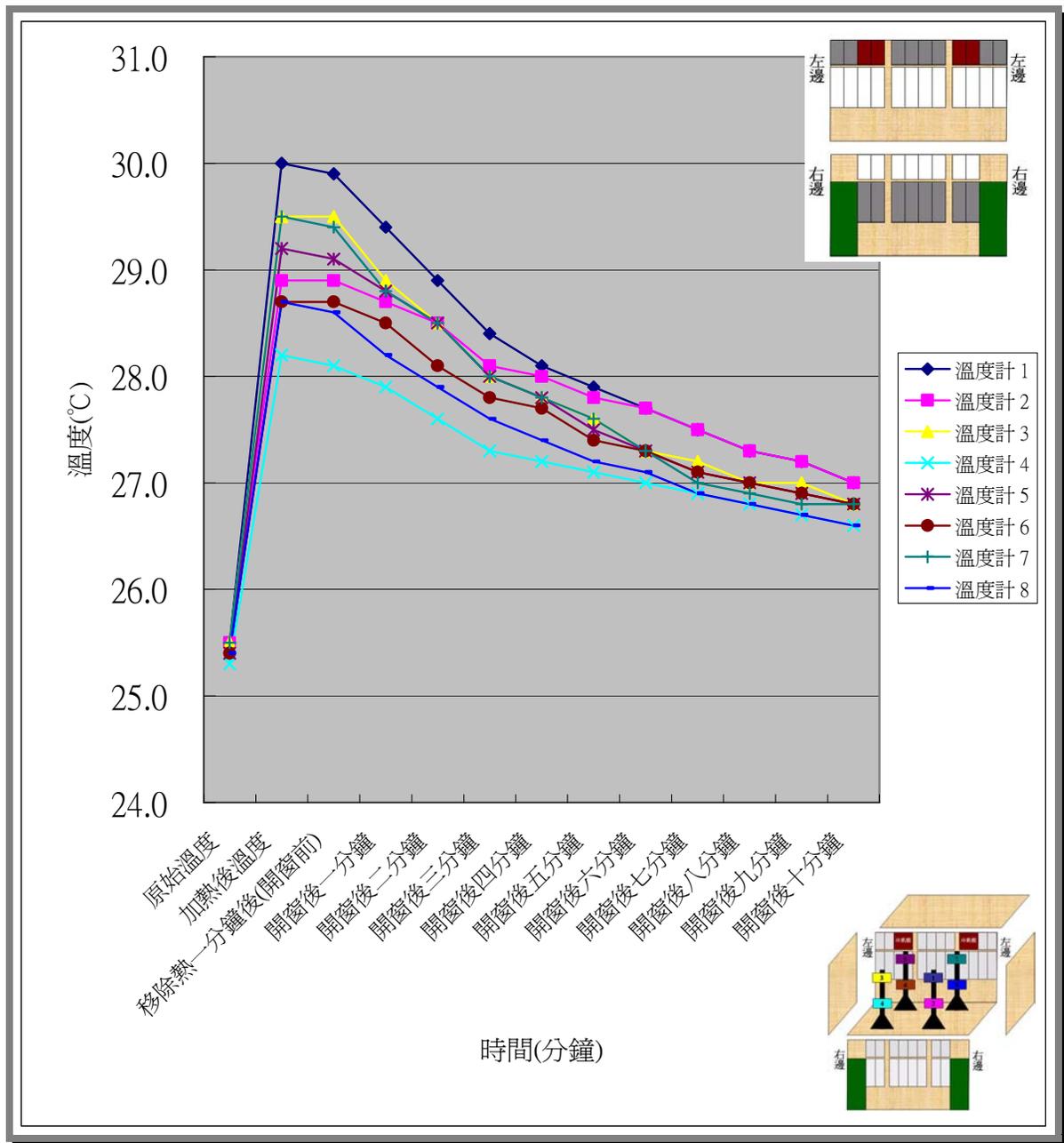


圖 25 第七種開關門窗方式—右邊上半部靠開窗的 1、3 號溫度計，所顯示的溫度，降溫較其他溫度計快；而左邊下半部靠開門窗的 6、8 號溫度計，所顯示的溫度，降溫比右邊下半部未開窗的 2、4 號溫度計要快，但卻比左邊上半部未開窗的 5、7 號溫度計降溫慢。

圖 25 說明：

- 1.由圖表中我們可以看出右邊上半部靠開窗的 1、3 號溫度計，所顯示的溫度，降溫較其他溫度計快；而左邊下半部靠開門窗的 6、8 號溫度計，所顯示的溫度，降溫比右邊下半部未開窗的 2、4 號溫度計要快，但卻比左邊上半部未開窗的 5、7 號溫度計降溫慢。
- 2.由圖表中可以看出，除了下半部靠近未開窗的 2、4 位置的溫度計降溫較為平緩外，其他區域降溫都相當快速，尤其是在前六分鐘。
- 3.此種開窗方式下，位於下半部右邊且靠開門窗的學生於前六分鐘會感覺到寒冷，而在下半部左邊靠近未開窗的學生較不至於有寒冷的感覺。

〈二〉實驗結果分析：

表3 三分鐘之分析結果(自然對流)

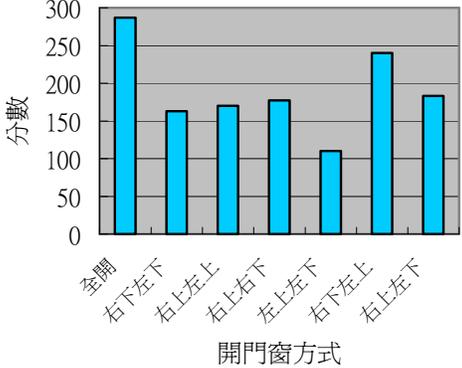
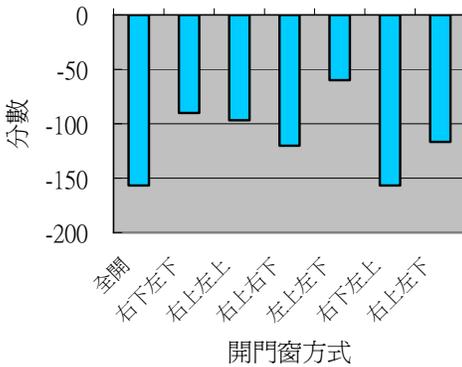
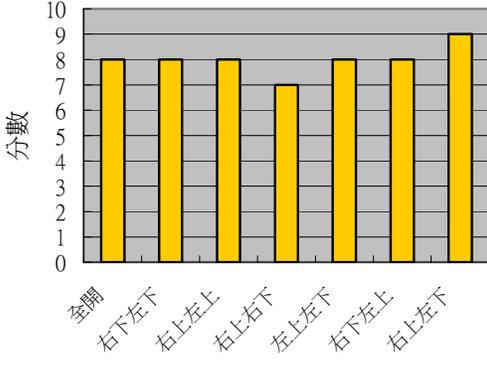
範圍	得分之直條圖	說明
上半部	<p>上半部降溫快(三分鐘)</p>  <p>開門窗方式</p>	<p>開窗後三分鐘內，上半部的平均降溫最快的方式是「全開」，「右下左上」次之。 平均降溫最差的是「左上左下」。</p>
下半部	<p>下半部降溫慢(三分鐘)</p>  <p>開門窗方式</p>	<p>開窗後三分鐘內，下半部的平均降溫最慢的方式是「左上左下」，「右下左下」次之。 平均降溫最快的是「右下左上」和「全開」。</p>
全部	<p>上半部降溫快、下半部降溫慢(三分鐘)</p>  <p>開門窗方式</p>	<p>開窗三分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的選擇是「右上左下」，最差的選擇是「右上右下」。</p>

表 4 五分鐘之分析結果(自然對流)

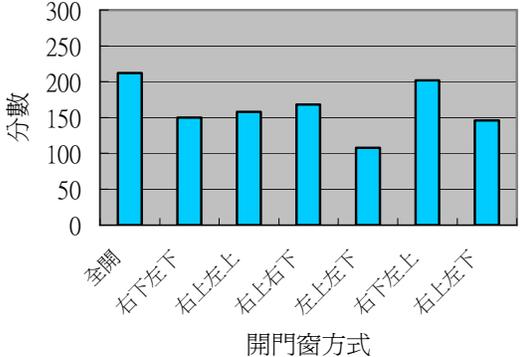
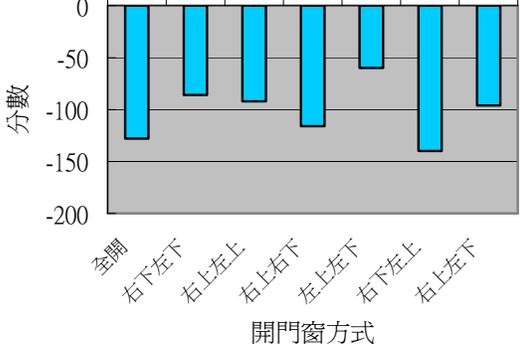
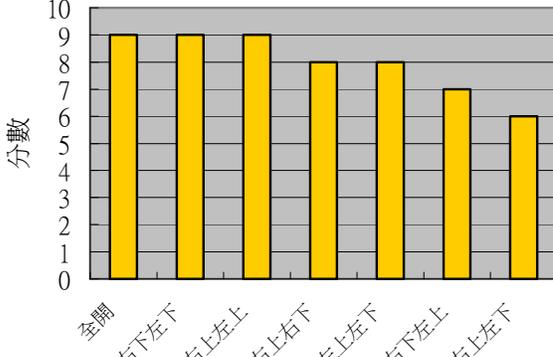
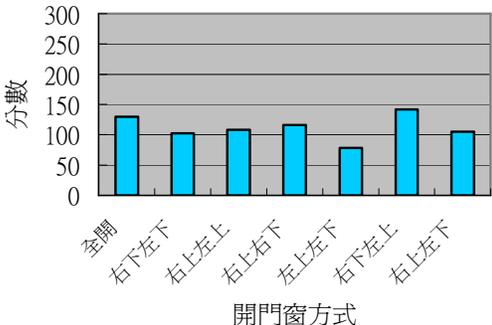
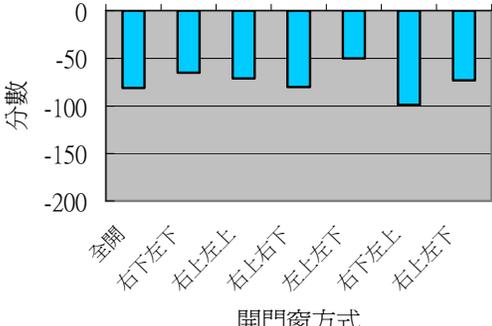
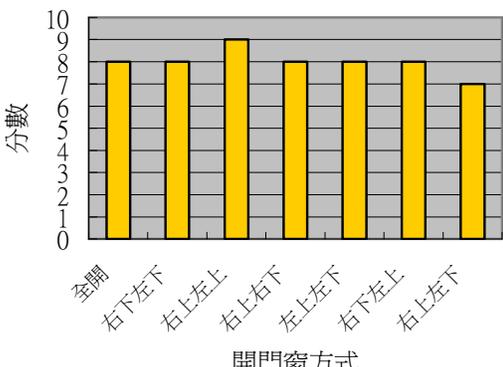
範圍	得分之直條圖	說明
上半部	<p style="text-align: center;">上半部降溫快(五分鐘)</p>  <p style="text-align: center;">開門窗方式</p>	<p>開窗後五分鐘內，上半部的平均降溫最快的方式是「全開」，「右下左上」次之。 平均降溫最差的是「左上左下」。</p>
下半部	<p style="text-align: center;">下半部降溫慢(五分鐘)</p>  <p style="text-align: center;">開門窗方式</p>	<p>開窗後五分鐘內，下半部的平均降溫最慢的方式是「左上左下」，「右下左下」次之。 平均降溫最快的是「右下左上」，其次是「全開」。</p>
全部	<p style="text-align: center;">上半部降溫快、下半部降溫慢(五分鐘)</p>  <p style="text-align: center;">開門窗方式</p>	<p>開窗五分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的選擇是「全開」、「右下左下」、「右上左下」，最差的選擇是「右上左下」。</p>

表5 十分鐘之分析結果(自然對流)

範圍	得分之直條圖	說明
上半部	<p>上半部降溫快(十分鐘)</p> 	<p>開窗後十分鐘內，上半部的平均降溫最快的方式是「右下左上」，「全開」次之。 平均降溫最差的是「左上左下」。</p>
下半部	<p>下半部降溫慢(十分鐘)</p> 	<p>開窗後十分鐘內，下半部的平均降溫最慢的方式是「左上左下」，「右下左下」次之。 平均降溫最快的是「右下左上」、其次是「全開」。</p>
全部	<p>上半部降溫快、下半部降溫慢(十分鐘)</p> 	<p>開窗十分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的選擇是「右上左上」，最差的選擇是「右上左下」。</p>

實驗二：探討東北季風時風從右邊吹來且熱源一直存在，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

我們已經知道冬天無風最佳的開窗方式，那麼當東北季風時，學生與老師一直待在教室，持續散發出身體熱氣，我們又該如何開門窗，才會讓對流現象旺盛且氣溫不會驟降太多，是我們緊接著要探討的地方。

〈一〉實驗數據與折線圖：(因篇幅有限，故將實驗記錄之數據列於原始數據記錄本中)

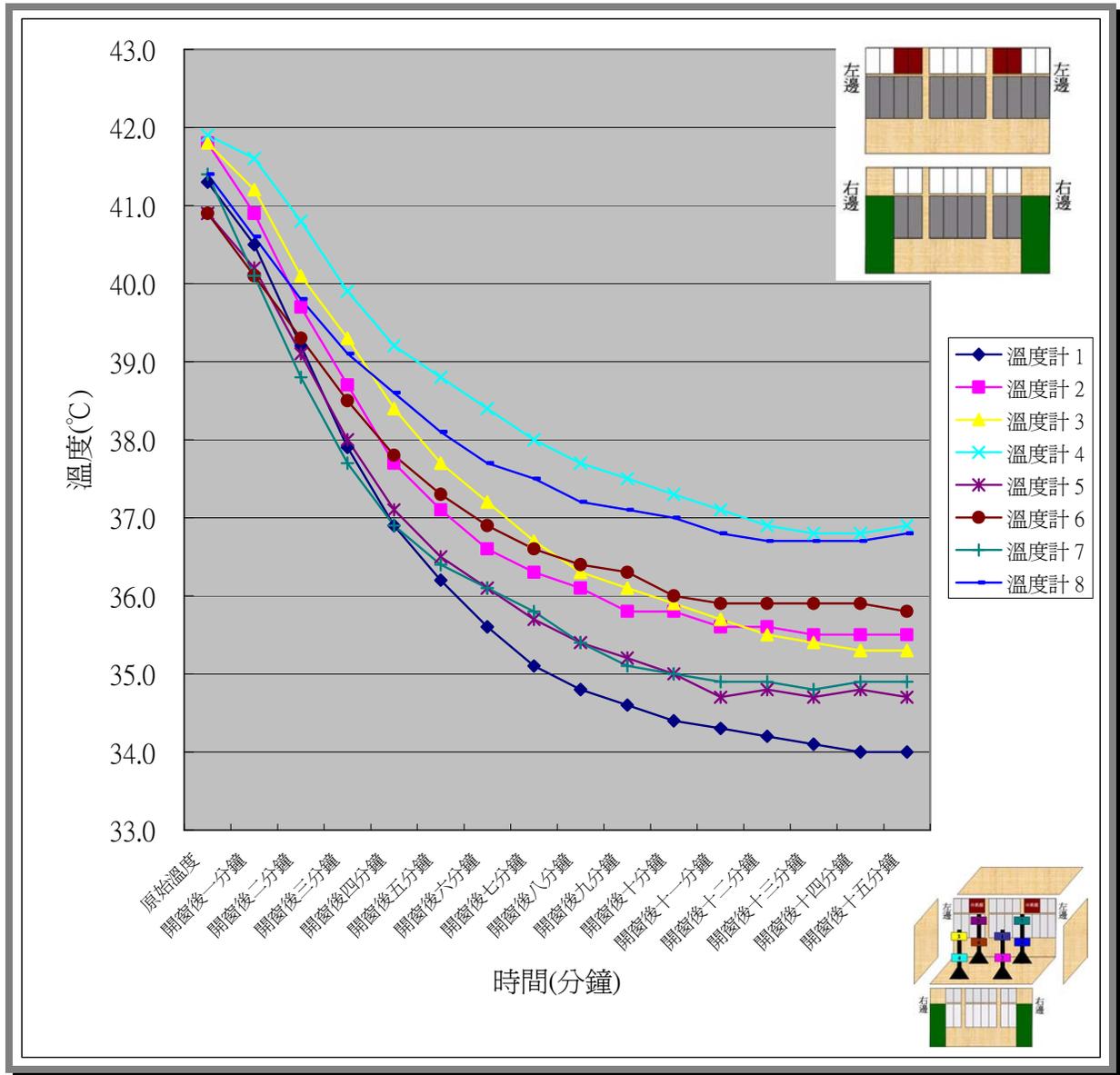


圖 26 第一種開關門窗方式—右邊上排窗戶全開，左邊上排窗戶全開

圖 26 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，上半部靠近開窗的溫度計(1、3、5、7)降溫比較快，最後的溫度也降得比較低。
- 2.雖然原始溫度相近，但經過電風扇吹襲後，上、下半部的十五分鐘後的溫度有明顯差異，下半部的溫度高於上半部的溫度，都介於 34°C 至 37°C。

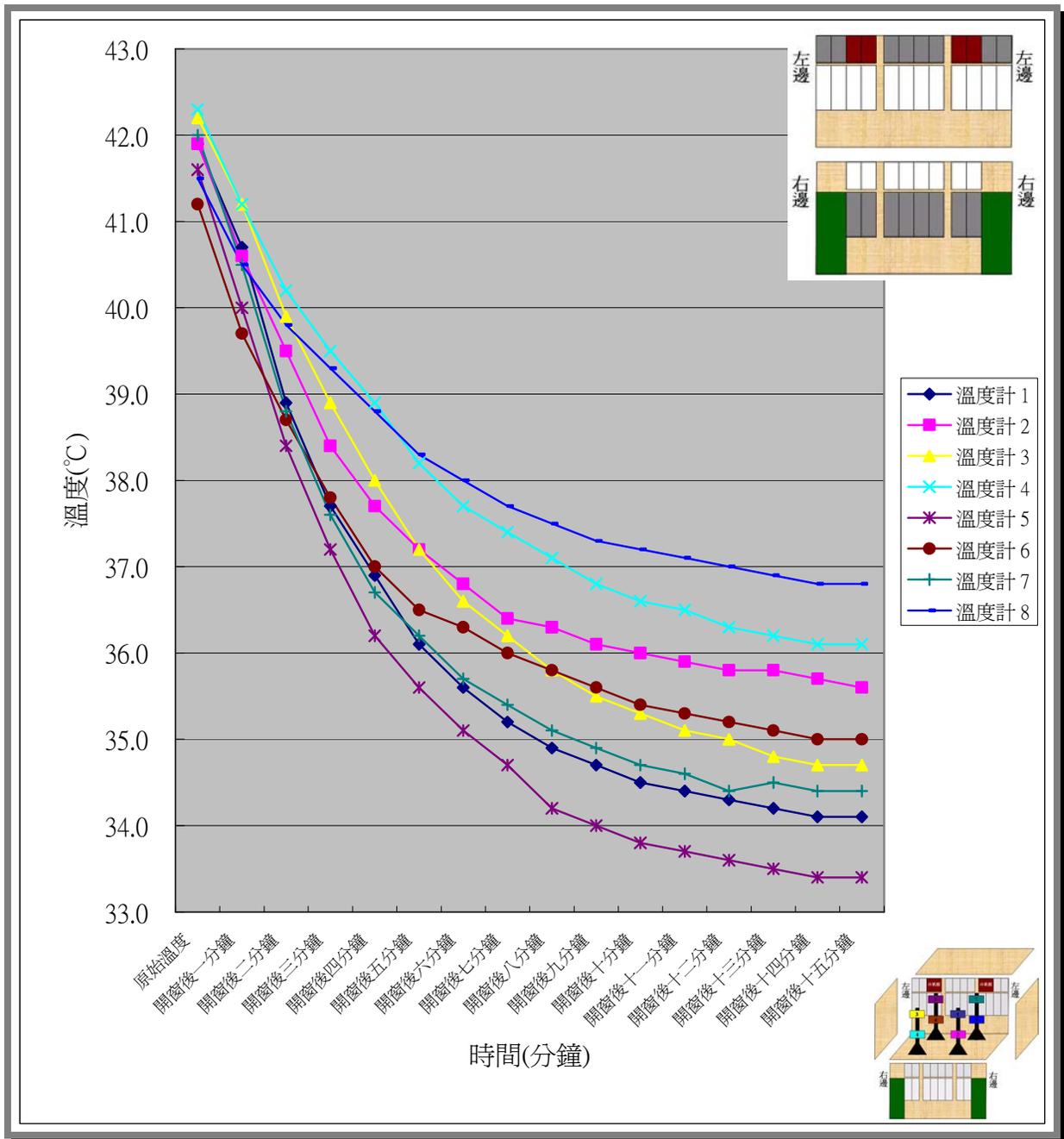


圖 27 第二種開關門窗方式—右邊上排窗戶全開，左邊下排窗戶全開

圖 27 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，上半部靠近開窗的溫度計(1、3、5、7)降溫比較快，最後的溫度也降得比較低。
- 2.雖然原始溫度相近，但經過電風扇吹襲後，上、下半部的十五分鐘後的溫度有明顯差異，下半部的溫度高於上半部的溫度，都介於 33°C 至 37°C 之間。

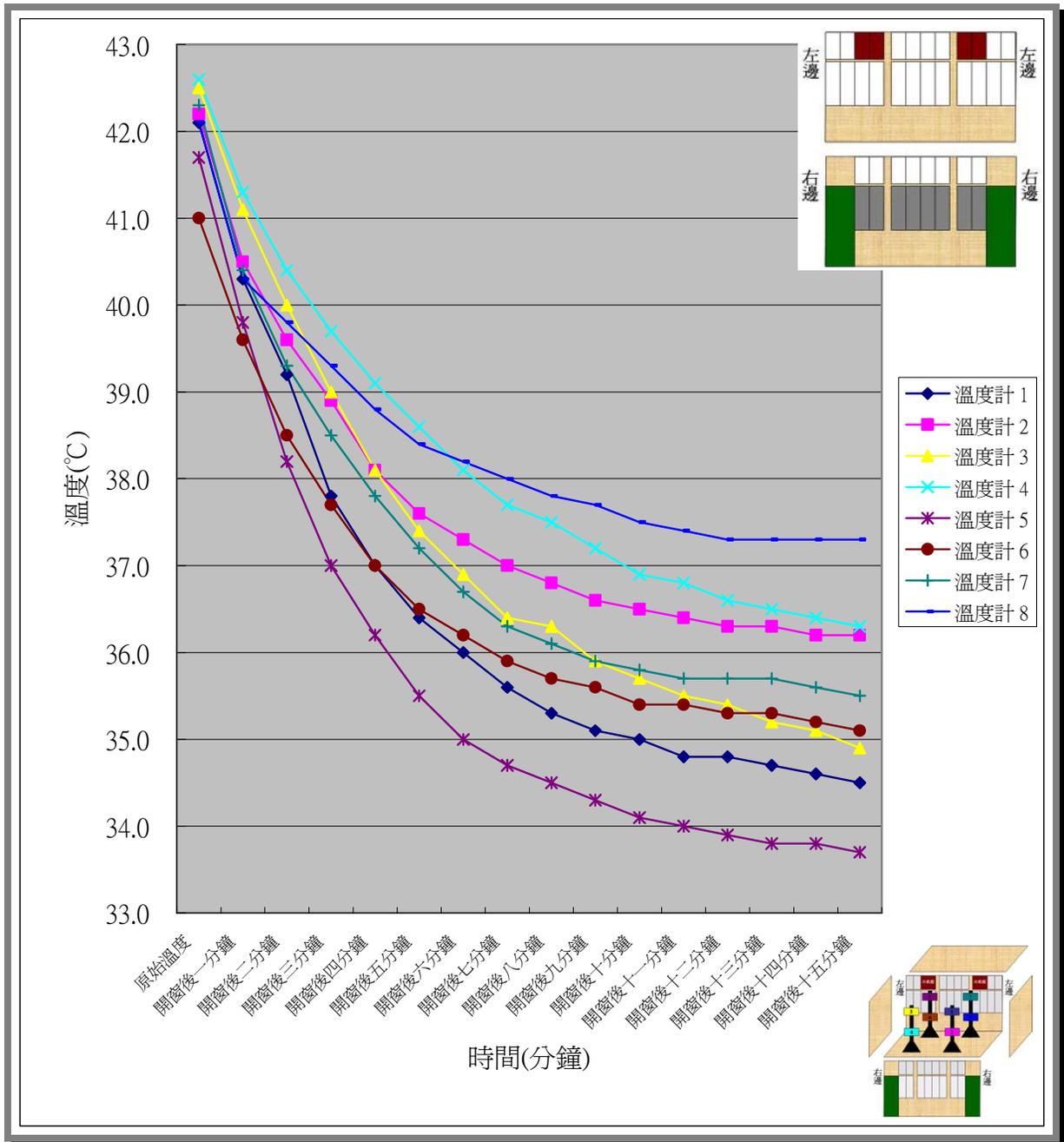


圖 28 第三種開關門窗方式—右邊上排窗戶全開，左邊上下排窗戶全開

圖 28 說明：

- 1.由圖表中我們可以得知，**上半部溫度計 7** 經過 15 分鐘後的溫度雖然比下半部溫度計 6 的溫度要來得高，但其**平均降溫卻仍是大於溫度計 6**。
- 2.雖然原始溫度相近，但經過電風扇吹襲後，**上、下半部各溫度計十五分鐘後的溫度有明顯差異**，介於 33°C 至 38°C。

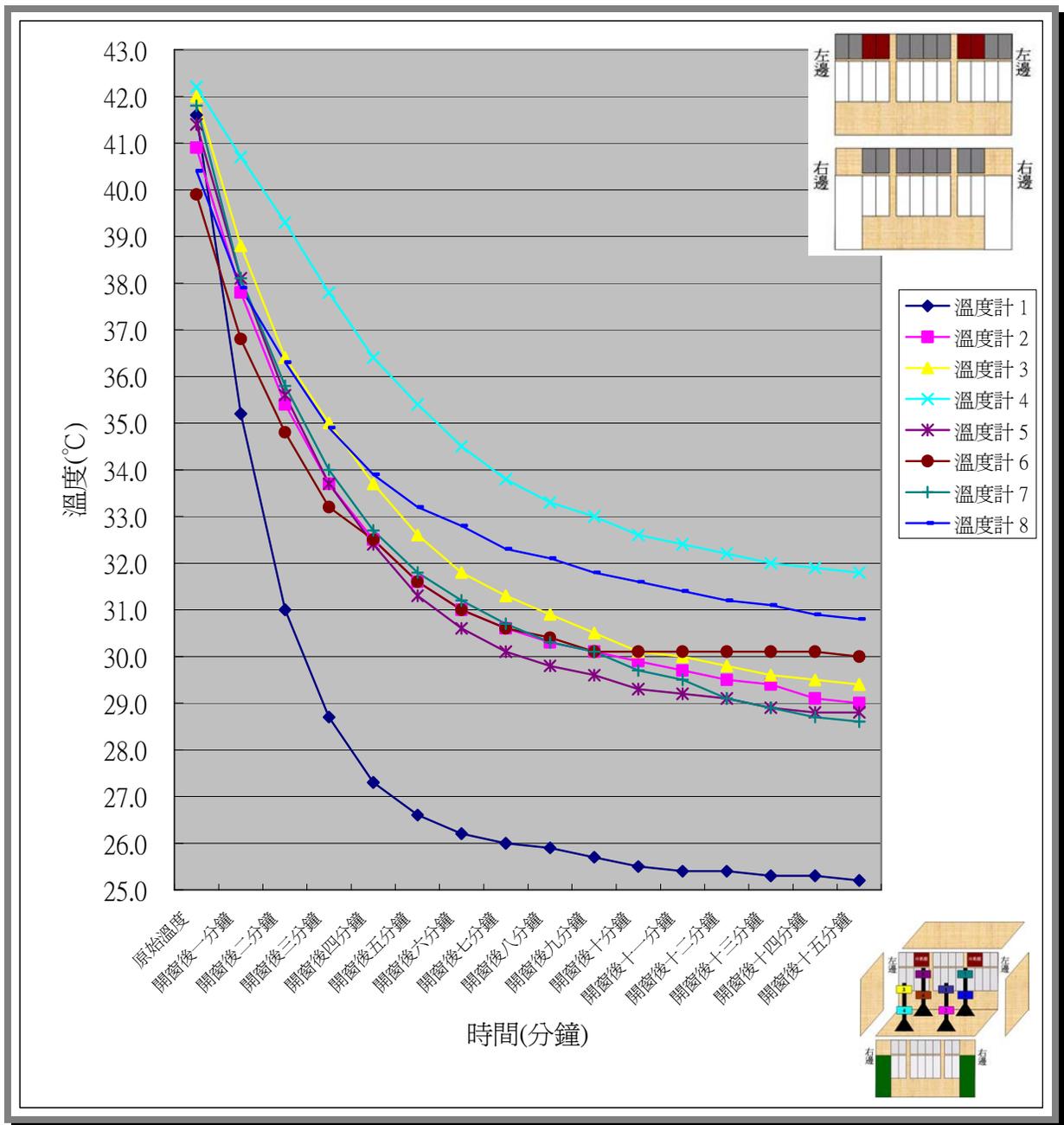


圖 29 第四種開關門窗方式—右邊下排窗戶全開，左邊下排窗戶全開

圖 29 說明：

- 1.由折線圖中，我們可以看出溫度計 1 降溫特別快，也降得特別低，這是因為溫度計的感測器正好被電風扇所產生的風直接吹襲。
- 2.折線圖中的溫度計 4，其降溫較為平緩，是因為溫度計 4 的溫度感測器與電風扇之間，恰好有柱子在中間遮蔽，而且感測器又較靠近熱源的原故。
- 3.在此種開窗方式下，**無論是那個溫度計的位置，其溫度下降都相當劇烈**，所以位於教室下半部的老師和學生都將會感到溫度明顯的下降，而覺得相當寒冷。

〈二〉實驗結果分析：

表 6 三分鐘之分析結果(強制對流)

範圍	得分之直條圖	說明								
上半部	<p style="text-align: center;">上半部降溫快之得分</p> <table border="1"> <caption>上半部降溫快之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>420</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>550</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	420	右上左下	550	右上左上下	550	<p>開窗三分鐘後，上半部的平均降溫較快的方式是「右上左下」和「右上左上下」。平均降溫較差的是「右上左上」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	420									
右上左下	550									
右上左上下	550									
下半部	<p style="text-align: center;">下半部降溫慢之得分</p> <table border="1"> <caption>下半部降溫慢之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>-320</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>-400</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>-400</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	-320	右上左下	-400	右上左上下	-400	<p>開窗三分鐘後，下半部的平均降溫較慢的方式是「右上左上」，「右上左下」次之。平均降溫最快的是「右上左上下」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	-320									
右上左下	-400									
右上左上下	-400									
全部	<p style="text-align: center;">上、下半部之得分</p> <table border="1"> <caption>上、下半部之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	4	右上左下	3	右上左上下	4	<p>開窗三分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，較佳的選擇開門窗方式是「右上左上」和「右上左上下」；較差的選擇開門窗方式是「右上左下」。較佳的二種開門窗方式得分相同，不同的是「右上左上」的開窗方式，上半部對流較小，下半部的降溫也比較少，而「右上左上下」的上半部對流較大，而下半部的降溫也比較多。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	4									
右上左下	3									
右上左上下	4									

表7 五分鐘之分析結果(強制對流)

範圍	得分之直條圖	說明								
上半部	<p>上半部降溫快之得分</p> <table border="1"> <caption>上半部降溫快之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>380</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>460</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>450</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	380	右上左下	460	右上左上下	450	<p>開窗五分鐘後，上半部平均降溫較快的方式是「右上左下」，「右上左上下」次之。 平均降溫較差的是「右上左上」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	380									
右上左下	460									
右上左上下	450									
下半部	<p>下半部降溫慢之得分</p> <table border="1"> <caption>下半部降溫慢之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>-290</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>-330</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>-330</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	-290	右上左下	-330	右上左上下	-330	<p>開窗五分鐘後，下半部的平均降溫較慢的方式是「右上左上」，「右上左下」次之。 平均降溫最快的是「右上左上下」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	-290									
右上左下	-330									
右上左上下	-330									
全部	<p>上、下半部之得分</p> <table border="1"> <caption>上、下半部之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	4	右上左下	5	右上左上下	3	<p>開窗五分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的選擇開窗方式是「右上左下」，其次是「右上左上」；較差的選擇開窗方式是「右上左上下」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	4									
右上左下	5									
右上左上下	3									

表 8 十分鐘之分析結果(強制對流)

範圍	得分之直條圖	說明								
上半部	<p>上半部降溫快之得分</p> <table border="1"> <caption>上半部降溫快之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>280</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	250	右上左下	300	右上左上下	280	<p>開窗十分鐘後，上半部的平均降溫較快的方式是「右上左下」，「右上左上下」次之。 平均降溫較差的是「右上左上」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	250									
右上左下	300									
右上左上下	280									
下半部	<p>下半部降溫慢之得分</p> <table border="1"> <caption>下半部降溫慢之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>-200</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>-220</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>-210</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	-200	右上左下	-220	右上左上下	-210	<p>開窗十分鐘後，下半部的平均降溫較慢的方式是「右上左上」，「右上左上下」次之。 平均降溫最快的是「右上左下」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	-200									
右上左下	-220									
右上左上下	-210									
全部	<p>上、下半部之得分</p> <table border="1"> <caption>上、下半部之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	4	右上左下	4	右上左上下	4	<p>開窗十分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，三種開門窗方式得分都相同；不同的是「右上左上」的開窗方式，上半部對流較小，下半部的降溫也比較少；而「右上左下」的上半部對流較大，而下半部的降溫也比較多；在此情形下造成得分相同。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	4									
右上左下	4									
右上左上下	4									

表9 十五分鐘之分析結果(強制對流)

範圍	得分之直條圖	說明								
上半部	<p style="text-align: center;">上半部降溫快之得分</p> <table border="1"> <caption>上半部降溫快之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>200</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	180	右上左下	210	右上左上下	200	<p>開窗十五分鐘後，上半部的平均降溫較快的方式是「右上左下」，「右上左上下」次之。 平均降溫較差的是「右上左上」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	180									
右上左下	210									
右上左上下	200									
下半部	<p style="text-align: center;">下半部降溫慢之得分</p> <table border="1"> <caption>下半部降溫慢之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>-140</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>-150</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>-140</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	-140	右上左下	-150	右上左上下	-140	<p>開窗十五分鐘後，下半部的平均降溫較慢的方式是「右上左上」，「右上左上下」次之。 平均降溫最快的是「右上左下」。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	-140									
右上左下	-150									
右上左上下	-140									
全部	<p style="text-align: center;">上、下半部之得分</p> <table border="1"> <caption>上、下半部之得分</caption> <thead> <tr> <th>開門窗方式</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>右上左上</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左下</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>右上左上下</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	開門窗方式	分數	右上左上	4	右上左下	4	右上左上下	4	<p>開窗十五分鐘後，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，三種開門窗方式得分都相同；不同的是「右上左上」的開窗方式，上半部對流較小，下半部的降溫也比較少；而「右上左下」的上半部對流較大，而下半部的降溫也比較多；在此情形下造成得分相同。</p>
開門窗方式	分數									
右上左上	4									
右上左下	4									
右上左上下	4									

柒、討論

一、無風時，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

(一) 由實驗數據與折線圖中我們可以看出位於上半部編號 1、3、5、7 的溫度計，在未開窗前的溫度比下半部編號 2、4、6、8 的溫度計，所得到的溫度較高，這是因為熱空氣會上升的原故。而且我們於實驗進行中也觀察到上半部的煙比下半部的煙要來得多且濃厚。如圖 30。

(二) 依七種不同的開門窗方式將門窗打開後，可以看到各個溫度計所顯示的溫度明顯下降，模型教室裏的煙由門窗向外流出，這是模型教室內外空氣進行對流的原故。如圖 31、圖 32。(雖然黃色煙霧易於觀察，但會刺激眼、鼻，為了健康安全著想，故不於正式實驗中使用。)



圖 30 煙向上升



圖 31 煙向外流出一



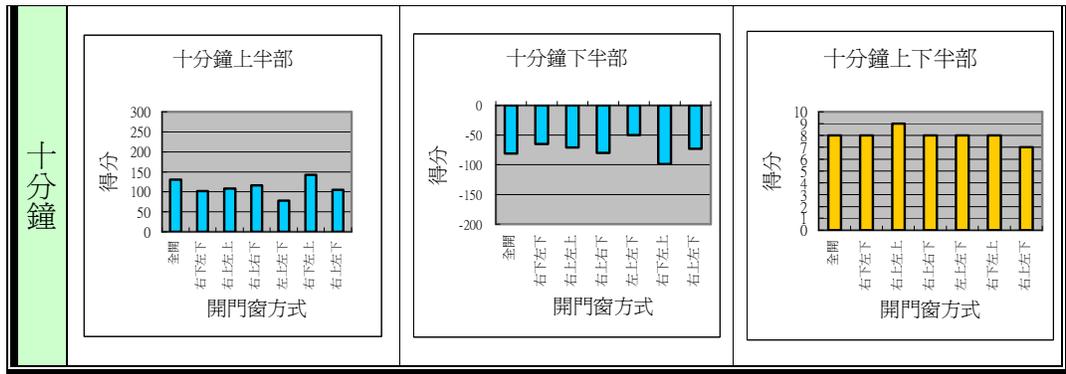
圖 32 煙向外流出二

(三) 由實驗的數據分析中我們得知，在無風的狀態之下，無論何種開窗方式，上半部的降溫的速度是比下半部來的要快；其次是靠開門窗的地方比沒開門窗的地方降溫要來得要快。

(四) 自然對流狀態的資料分析結果如下表：

表 10 自然對流狀態下的資料分析結果

	上半部得分	下半部得分	得分排序選擇結果
三分鐘	<p>三分鐘上半部</p>	<p>三分鐘下半部</p>	<p>三分鐘上下半部</p>
五分鐘	<p>五分鐘上半部</p>	<p>五分鐘下半部</p>	<p>五分鐘上下半部</p>



- (五) 同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，開窗後三分鐘後，最佳的選擇是「右上左下」，最差的選擇是「右上右下」。開窗後五分鐘後，最佳的選擇是「全開」、「右下左下」、「右上左上」，最差的選擇是「右上左下」。開窗後十分鐘後，最佳的選擇是「右上左上」，最差的選擇是「右上左下」。
- (六) 由上圖表中，我們可以看出隨著時間的加長，各種開門窗的方式所得之分數，逐漸下降，因為分數是直接由平均降溫換算得來的，也就是說隨著時間的加長，平均降溫卻逐漸變小，這是因為開門窗經過一段時間後，溫度的變化逐漸緩和，所得的分子(溫度變化量)逐漸變小，但分母(時間)卻逐漸變大，所以使得平均溫度逐漸變小，得分也就逐漸變小。
- (七) 我們一般常使用第二種開門窗方式「右下左下」，在本實驗的結果分析下，只有在五分鐘時，和「全開」與「右上左上」的開門窗方式同樣為可以選作最佳的開門窗方式。
- (八) 假若我們同時希望上半部和下半部都是對流旺盛，而不考慮溫度急驟下降的問題，在實驗數據分析下，三分鐘時「全開」的方式是最好的選擇，「右下左上」次之；五分鐘時「右下左上」的方式是最好的選擇，「全開」次之；十分鐘時「右下左上」的方式是最好的選擇，全開」次之。如圖 33。

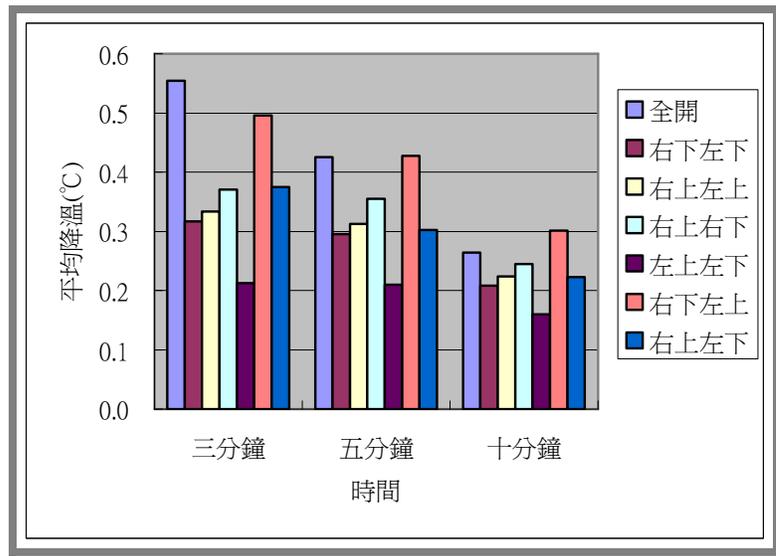


圖 33 自然對流狀態且上下半部皆對流旺盛的情況

二、東北季風時風從右邊吹來且熱源一直存在，教室門窗該如何開關，才能使教室內的空氣對流現象最佳且氣溫驟降最少。

- (一)當風從右邊吹來且熱源一直存在，此種強制對流的狀態下，我們只考慮開迎風面右邊上排窗戶是因為要達到強制對流的條件，使教室外面的冷風可以隨著電風扇的風吹入教室內，而不開迎風面右邊下排的門窗，是因為老師和學生都位於下半部，一旦開迎風面下排的門窗，可想而知，老師和學生將面臨冷颼颼的寒風侵襲。
- (二)以右邊上面開窗，無論左邊是開上排窗、下排窗或是上下排都開窗的方式，上半部的降溫較為明顯，對流較為旺盛，下半部較為緩和，位於下半部的老師和學生不至於感受到像上半部降溫如此劇烈，因此雖有涼意，但不至於感到寒冷。
- (三)圖 34 是強制對流下，8 支溫度計在四種開門窗方式下平均溫度的變化曲線，由圖中我們可以很明顯看出，**當開迎風面右邊上排窗戶，無論左邊是開上排、下排或上下排全開，三種情形下的平均溫度變化都很相近**；但**若是開右邊下排門窗和左邊下排窗戶，其溫度變化就會非常劇烈**，十五分鐘內的溫差可以達到約 12°C 之大。

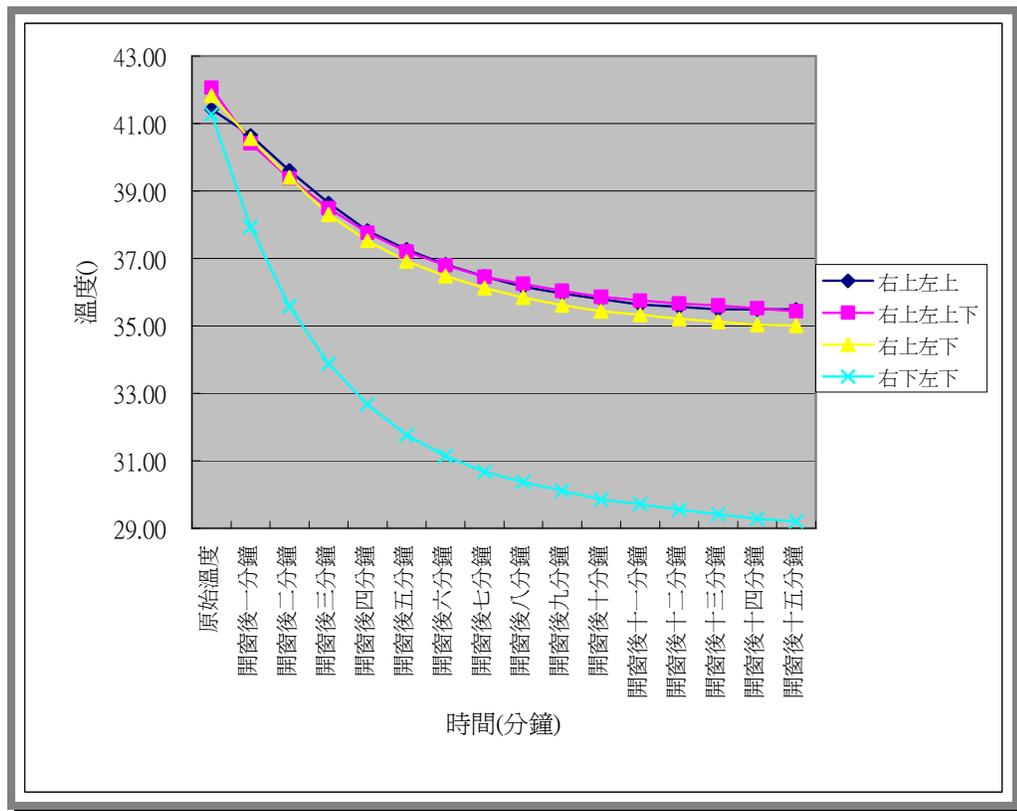


圖 34 強制對流狀態，四種不同開門窗方式之比

- (四)因此我們可以得知，在有風的強制對流且左右邊都有開門窗的情況下，室內溫度變化與迎風面開窗的總面積有明顯的關係，當迎風面開門窗總面積愈大，溫度變化愈劇烈，而當迎風面開門窗的總面積愈小，溫度變化也愈小。

(五) 強制對流狀態的資料分析結果如下表：

表 11 強制對流狀態下的資料分析結果

	上半部得分	下半部得分	得分排序選擇結果
三分鐘	<p>上半部降溫快之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>下半部降溫慢之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>上、下半部之得分</p> <p>開門窗方式</p>
五分鐘	<p>上半部降溫快之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>下半部降溫慢之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>上、下半部之得分</p> <p>開門窗方式</p>
十分鐘	<p>上半部降溫快之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>下半部降溫慢之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>上、下半部之得分</p> <p>開門窗方式</p>
十五分鐘	<p>上半部降溫快之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>下半部降溫慢之得分</p> <p>開門窗方式</p>	<p>上、下半部之得分</p> <p>開門窗方式</p>

(六)同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，開窗後三分鐘後，最佳的選擇是「右上左上」，最差的選擇是「右上左下」。開窗後五分鐘後，最佳的選擇是「右下左下」，最差的選擇是「右上左上下」。在十分鐘後及十五分鐘後，其最後的得分皆相同，所以其中的開門窗方式「右上左上」、「右上左下」、「右上左上下」都是可以選擇的。

(七)假若我們同時希望上半部和下半部都是對流旺盛，而不考慮溫度驟降的問題，在實驗數據分析下，三分鐘時「右上左上下」的開窗方式是最好的選擇；五分鐘、十分鐘及十五分鐘時「右上左下」的開窗方式都是最好的選擇。如圖 35。

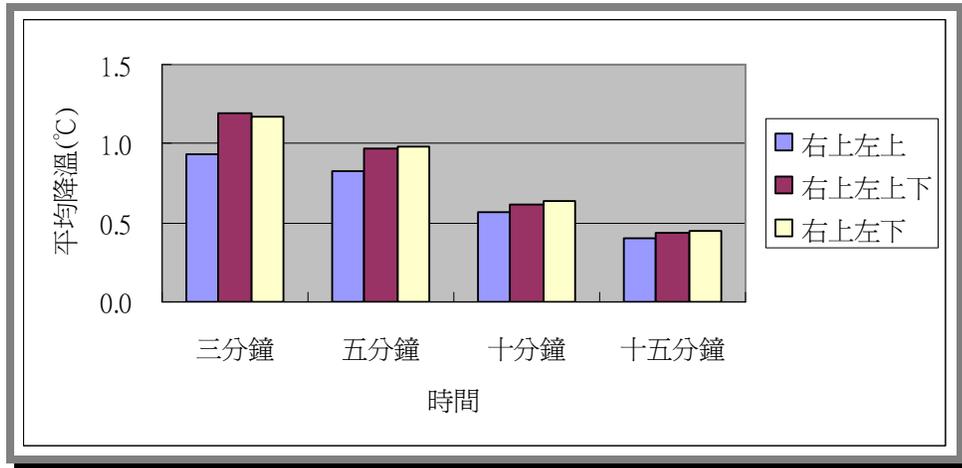


圖 35 強制對流狀態且下上下半部皆對流旺盛的情況

捌、結論

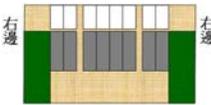
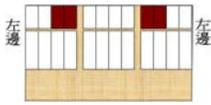
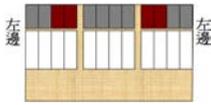
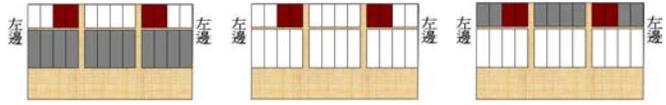
- 一、在冬天教室內溫度高，教室外溫度低，無風的自然對流狀態下，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的開門窗方式與最差的方式如下表所示：

表 12 無風的自然對流狀態下，最佳與最差的開門窗方式

	最佳的開門窗方式		最差的開門窗方式	
	左邊	右邊	左邊	右邊
三分鐘				
五分鐘				
十分鐘				

- 二、當冬天東北季風從教室的右邊吹襲而來時，同時考量上半部要降溫快、對流旺盛，下半部要降溫慢、避免感到寒冷，最佳的開門窗方式如下表所示：

表 13 風從教室的右邊吹來時，最佳的開門窗方式

	最佳的開門窗方式	
	左邊	右邊
三分鐘		
		
五分鐘		
十分鐘 十五分鐘		

三、由上表中，我們可以得知有風(風從右邊來)的狀態，在十分鐘或十五分鐘後，三種開門窗方式都是我們可以選擇的；若以十分鐘後的时间考量，同時配合無風的狀態下的開門窗方式，於是我們選擇打開教室兩邊上排的窗戶，以同時符合無風和有風(風從右邊來)的最佳開門窗方式。

四、冬天要能舒適且健康的在教室裡上課，要考量教室內空氣的對流狀態良好且不讓室內溫度驟降太快，根據實驗分析結果，**冬天不論有風（風從教室右邊來）或無風時「兩邊上排窗戶全部打開」是最好的選擇。**

五、夏天希望教室內涼爽且通風，以提供學生舒適的學習環境，教室內若有冷氣空調，則使用冷氣空調來達到涼爽且空氣清新，而教室內若無冷氣空調，通常是以門窗「全開」加上電風扇的轉動吹拂，使教室內空氣對流旺盛，促使與教室外空氣對流。

六、春、秋兩個季節，則因氣溫舒適宜人，故並不會有溫度驟降令人感到寒冷，故只要以考量整個教室空氣對流旺盛的開門窗方式即可，可以圖 30 與圖 32 為參考。

玖、參考資料及其它

- 一、小牛頓科學百科（民 85）。台北市：牛頓出版。
- 二、光音熱的魔術（民 93）。台北市：台灣東方。
- 三、自然科學大百科（民 81）。台北市：綠地球。
- 四、自然與生活科技（民 94）。台南市：南一。
- 五、科學教授：（民 70）。台北市：故鄉。
- 六、科學圖書館（民 75）。台北市：圖文。
- 七、柯啓瑤（民 79）。熱和然燒（52-55 頁）。台北市：科智文化事業。
- 八、張振環（民 89）。物理 I。台北縣：泰宇。
- 九、中華民國第二十屆中小學科學展覽會。國小組。物理科。窗戶怎樣開較涼爽。
- 十、中華民國第三十七屆中小學科學展覽會。國小組。物理科。冷熱交流－窗窗有玄機。

評語

081511 抗流感有妙招~探討教室門窗開關與空氣對流、溫度的關係

1. 貼近生活。
2. 表達優良。說理清楚。
3. 實驗設計的架構及材料選用頗佳。
4. 團隊默契佳。