

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 自然科

### 第三名

081513

舒適的高空之旅--探討貓空纜車車廂通風方式與空氣對流、  
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：	指導老師：
小六 高偉家	蔡垂其
小六 曹晉晉	陳慧娟
小六 吳思葶	
小六 林詩涵	
小六 楊苓彤	
小六 高藝庭	

關鍵詞： 空氣對流、通風方式

## 壹、摘要

貓空纜車車廂在通風方式進行了三個階段的改善，究竟效果為何？又有多少效益？而在夏天車廂行進時該以何種通風方式最好，冬天又該以何種通風方式最佳？經由實驗與數據的分析結果，我們得知**夏天搭乘纜車行進時，想要最涼爽、最舒適的通風方式，就是將迎風面上方的兩扇窗戶都開到最大為九十度，同時也把車廂門上方的窗戶打開，而將背風面上方的窗戶關閉。冬天希望保持車廂內通風，但又不會覺得寒冷，則以穿保暖的衣物再將迎風面上方的兩扇窗戶都開到為四十五度，同時也把車廂門上方的窗戶打開，而背風面上方的窗戶也打開，為搭乘纜車時最佳的方式。而在夏天纜車車廂行進時，比起車廂全部封閉的情況，改善後的最佳通風方式可高達 48.68%的效益。**

## 貳、研究動機

96年7月4日炎炎的夏日裏，眾所矚目全台最長的高空纜車「貓空纜車」正式開始營運，但纜車車廂因通風方式設計不佳，只有車廂下半部的百葉板與背風面的壓克力上方及門上的兩扇小窗，導致車廂內悶熱，搭乘過的民眾都抱怨搭纜車像在坐「烤箱」。捷運公司隨即進行改善，在迎風面的壓克力上方與迎風面下方的兩片百葉板分別挖洞，結果遇到下雨，車廂漏水，貓纜就宛如「水族箱」。若此種無法關閉的挖洞通風方式持續使用到冬天，冬天貓纜車廂肯定冷颼颼，就像「大冰箱」。因此，捷運公司為修漏且避免車廂變冰箱的情形產生，再將迎風面整片壓克力換新，改裝成可開關式的窗戶，並且把百葉板挖的洞封閉。我們很想了解在這一連串的通風方式改善過程，究竟有多大的改善，對乘客又有多大的幫助呢？

在**四上「電路DIY」**也學到燈泡的並聯與串聯；**六上「天氣的變化」**中我們曾學過空氣的對流現象，利用線香的煙充滿廣口瓶，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；**六下「熱與我們的生活」**中我們學到熱可以利用傳導、對流及輻射的方式進行傳播。以這些學過的相關知識為基礎，我們也很想了解貓空纜車車廂於行進時，夏天應該以何種通風方式，是最涼爽、最舒適的；而冬天又該以何種通風方式，才能使車廂內保持適當的通風而且不讓乘客感到非常寒冷。

## 參、研究目的

- 一、**夏天**纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），車廂應以何種通風方式，才能使乘客覺得**最涼爽、最舒適**。
- 二、**冬天**纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），車廂應以何種通風方式，才能讓車廂**保持通風透氣**，而且讓乘客**不會感覺到非常寒冷**。
- 三、在夏天纜車車廂行進時，**各個階段改進**的最佳通風方式的**效益差異**會有多少(強制對流)。

## 肆、研究設備及器材

1. 保麗龍膠 × 2 瓶	2. 模型板 × 9 片	3. 賽路路 × 8 片	4. 切割墊 × 1 片
5. 美工刀 × 2 把	6. 鋼尺(45cm) × 1 把	7. 電子溫度計 × 4 個	8. 燈泡(5W) × 8 顆
9. 支架 × 1 個	10. 膠帶 × 1 捲	11. 剪刀 × 1 把	12. 打火機 × 1 個
13. 小型風扇 × 4 個	14. 捲尺 × 1 尺	15. 口罩 × 1 盒	16. 線香 × 210 支
17. 塑膠短管 × 8 支	18. 油土 × 2 包	19. 數位相機 × 1 台	20. 電腦 × 1 台

## 伍、研究過程或方法

### 一、貓空纜車車廂模型的製作：

- (一) 與臺北捷運公司連繫，除取得相關的車廂資料外，並由其特定接待人員陪同，實地搭乘貓空纜車，且在接待人員的同意下，利用捲尺進行車廂尺寸的實體測量與記錄。
- (二) 將車廂實體測量的尺寸利用電腦試算表軟體，依適當的比例縮小尺寸，再用美工刀、切割墊、模型板、賽路路及保麗龍膠等器材(如圖 1)，製作成纜車車廂的模型，並在模型兩邊的座位上各打四個孔洞，且分別裝上 5 W 的燈泡共八顆，模擬八個乘客的熱源。如圖 2 和圖 3。



圖 1 纜車車廂模型器材



圖 2 纜車車廂模型一



圖 3 纜車車廂模型二

- (三) 將車廂區分成上、中、下三個部份，並在車廂中央放置一個溫度架，配合車廂的上、中、下三個部份，把電子溫度計感溫的金屬棒固定於溫度支架上。如圖 4。
- (四) 將此三個溫度計標號，分別為車廂內上方、車廂內中間、車廂內下方，並在車廂頂部外面也放置一個電子溫度計，以觀測記錄車廂外的溫度變化。如圖 5。示意圖如圖 6。



圖 4 電子溫度計支架



圖 5 電子溫度計位置圖

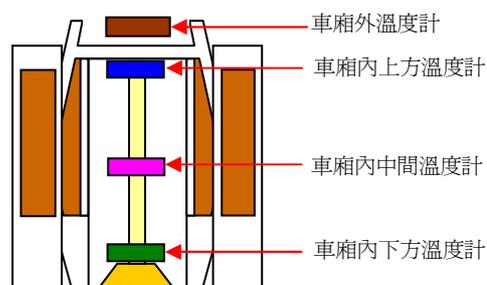
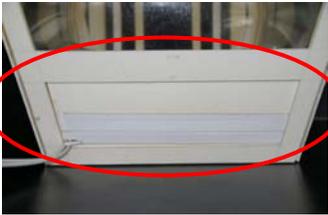
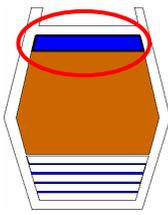
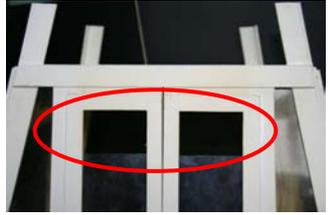
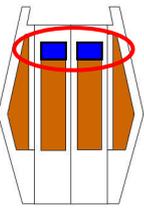
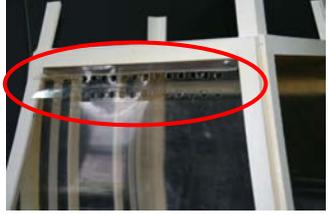
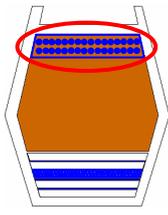
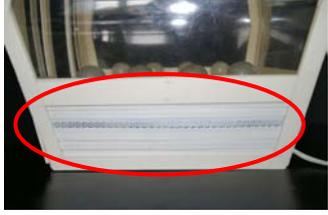
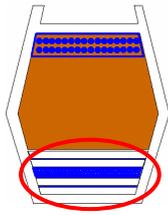
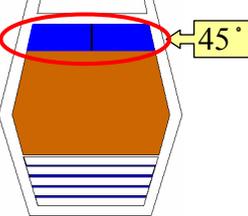
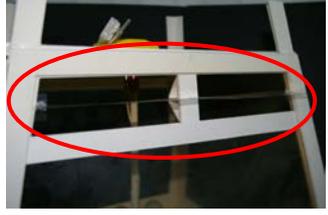
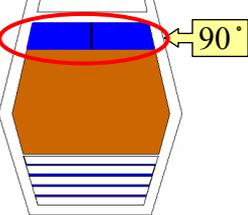


圖 6 電子溫度計位置示意圖

(五) 配合纜車車廂通風方式的改善三階段，分別做出可變換通風方式的部分模型，如表 1 所示：

表 1 車廂實際情形與模型及圖示的對應圖表

車廂實際的照片	模型的樣子	圖示
		
		
		
		
		
		
		

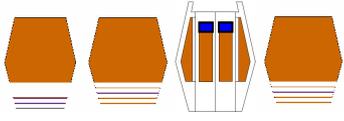
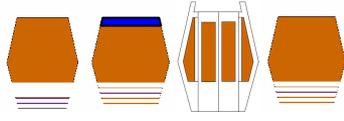
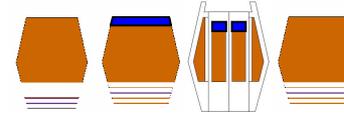
## 二、實驗步驟：

實驗一：纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），車廂應以何種通風方式，才能使乘客在夏天覺得最涼爽、最舒適；在冬天可以讓車廂保持通風透氣，而且不讓乘客感覺到非常寒冷。

(一) 以纜車車廂通風改善的三個階段，共取 12 種通風方式，分別進行步驟 (二) 到步驟 (六) 的觀察記錄。

1. **第一階段**：原型車廂，只有兩扇門的上方及背風面上方有窗。取用的通風方式如表 2 所示。

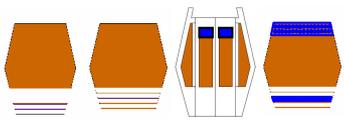
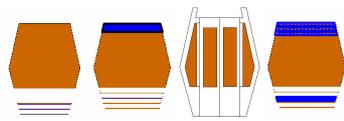
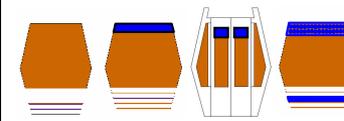
表 2 第一階段的通風方式

	第一種通風方式	第二種通風方式	第三種通風方式
圖示			

備註：圖示中藍色表示通風之部份，褐色表示透明強化壓克力，白色表示金屬結構物。

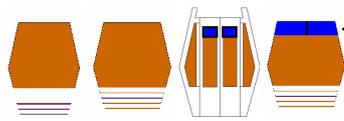
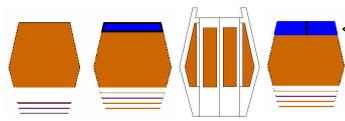
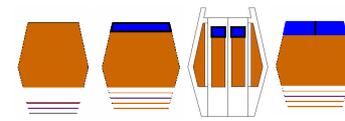
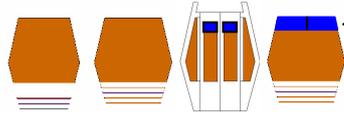
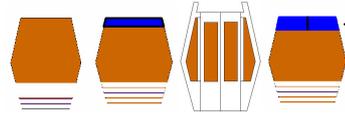
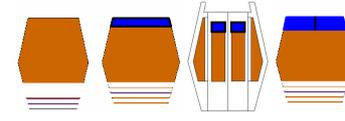
2. **第二階段**：除兩扇門的上方及背風面上方有窗，迎風面上方有兩排共 32 個 5 公分的圓孔及迎風面下方有一片小孔洞。取用的通風方式如表 3 所示。

表 3 第二階段的通風方式

	第四種通風方式	第五種通風方式	第六種通風方式
圖示			

3. **第三階段**：兩扇門的上方及背風面上方有窗，迎風面上方改為可開關的窗，並將迎風面下方的小孔洞封閉。實驗取用的通風方式如表 4 所示。

表 4 第三階段的通風方式

	第七種通風方式	第八種通風方式	第九種通風方式
圖示			
	第十種通風方式	第十一種通風方式	第十二種通風方式
圖示			

(二) 取八根線香，利用剪刀剪切成適當的長度，然後再點燃線香，分別插在線香座上。如圖 7。

(三) 量測車廂外及車廂內上方、中間、下方的原始溫度，記錄於記錄表上，並開始計時。如圖 8。

(四) 將插有點燃線香的兩排線香座，分別放入纜車車廂的模型中，平均放置在八顆 5 W 燈泡的旁邊，同樣是模擬乘客的熱源，也方便觀察車廂內外空氣流動的情形。如圖 9。

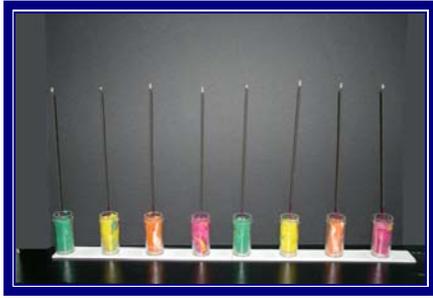


圖7 線香插於線香座上



圖8 量測四個原始溫度



圖9 線香座放入模型中

(五) 打開模擬乘客的熱源的八顆 5 W 燈泡，然後再關上模型的門(如圖 10)，再將模擬行進時會產生風的風扇打開(如圖 11)，風扇於迎風面距車廂 60 公分處。如圖 12。



圖10 打開八顆 5W 燈泡



圖11 打開模擬風的風扇



圖12 進行實驗記錄的狀態

(六) 從記錄原始溫度開始的時間後，每隔一分鐘觀察記錄四個溫度計的數值於記錄表上，並觀察記錄纜車車廂內外煙的流動情形，共記錄三十分鐘。

**實驗二：在夏天纜車車廂行進時，各個階段改進的最佳通風方式的效益差異會有多少？（強制對流）**

爲了了解從最根本的狀況到改善後整個過程的效益，我們增加 A(車廂全閉)、B(車廂下面有縫隙)、C(車廂下面有縫隙+小孔)等三種通風方式進行實驗。如表 5。

表 5 考量效益的通風方式

	A (車廂全閉)	B (車廂下面有縫隙)	C (車廂下面有縫隙+小孔)
圖示			

(一) 進行通風方式 A 的實驗時，必須先利用原本模型下方所裁切下來模型板放置回去，蓋住百葉板的部份，以達到車廂全閉。如圖 13、圖 14。



圖13 模型板蓋住百葉板



圖14 模型車廂全閉的狀態

(二) 分別以通風方式 A、B、C 進行實驗一中步驟(二)到步驟(六)的操作與記錄。

### 三、實驗結果分析方法：

- (一) 先將紀錄的時間分為四段，分別為五分鐘、十分鐘、十五分鐘及三十分鐘。五分鐘是升溫最為明顯的區間，十分鐘是升溫轉趨於平緩，十五分鐘是紀錄時間的一半，且之後至三十分鐘升溫更趨於平緩，三十分鐘為纜車單程的時間左右。
- (二) 再將十二種通風方式的三個溫度計分為車廂內上方、車廂內中間與車廂內下方。
- (三) 分別將不同溫度計在不同的通風方式，依所選定的四個分析時間點，利用 Microsoft Excel 計算出其平均升溫數值(即平均斜率)。

例如：車廂內中間的溫度計於第一種通風的方式下的溫度變化如表 6。平均升溫數值計算方式如下：

車廂內中間的溫度計於第一種通風的方式下，初始的溫度為 18.9 度，五分鐘後的溫度為 22.1 度，十分鐘後的溫度為 24.7 度，十五分鐘後的溫度為 26.6 度，三十分鐘後的溫度為 28.5 度，所以五分鐘的平均升溫為  $(22.1 - 18.9) / 5 = 0.64$ 。十分鐘的平均升溫為  $(24.7 - 18.9) / 10 = 0.58$ 。十五分鐘的平均升溫為  $(26.6 - 18.9) / 15 = 0.51$ 。三十分鐘的平均升溫為  $(28.5 - 18.9) / 30 = 0.32$ 。

表 6 第一種通風方式實驗數據(節錄自原始數據)

記錄時間	模型外溫度	模型內下方	模型內中間	模型內上方
初始	19	18.7	18.9	19.1
5分鐘	19.3	20.1	22.1	23.5
10分鐘	19.5	20.9	24.7	26
15分鐘	19.6	21.5	26.6	27
30分鐘	19.9	22.7	28.5	28

- (四) 依照實際狀況考量纜車車廂內的狀況，夏天的時候我們則希望無論是沒有人的車廂內上方或有乘客的中間和下方都能降溫要快，對流旺盛，因此將車廂內上方、中間和下方平均升溫的數值都乘上 100 再加上一個負號為得分的多寡，平均升溫愈多，總得分愈低。最後將車廂內上方、車廂內中間及車廂內下方同一種通風方式的得分加總，得分最高者即是考量車廂內上方、車廂內中間及車廂內下方對流最旺盛、通風效果最好的最佳選擇。
- (五) 冬天的時候我們希望沒有人的車廂內上方降溫要快，對流才會旺盛，因此將車廂上方平均升溫的數值乘上 100 再加上一個負號為得分的多寡，平均升溫愈多，配得分愈低。而有乘客的中間和下方我們希望升溫要快，才不致於會感覺到寒冷，所以將車廂內中間和下方平均升溫的數值乘上 100 為得分的多寡，平均升溫愈多，配得分愈高。最後將車廂內上方、車廂內中間及車廂內下方同一種通風方式的配得分加總，得分最高者即是同時考量車廂內上方對流旺盛、車廂內中間及車廂內下方保溫效果好的最佳選擇。
- (六) 效益的考量則以通風方式 A 為基礎依據，推算夏天時三個階段，四個時間點最佳的通風方式所能獲得的效益有多大。計算方式：先由實驗二中得到通風方式 A 的得分，再由實驗一的分析中找到各個階段中最佳的通風方式，以同一個時間點進行效益的計算。例如：五分鐘時，通風方式 A 得分為 (-220)，第一階段的第二種通風方式最佳，得分為 (-170)，分別將得分加絕對值再計算， $效益 = (220 - 170) / 220 = 0.22727 = 22.73\%$

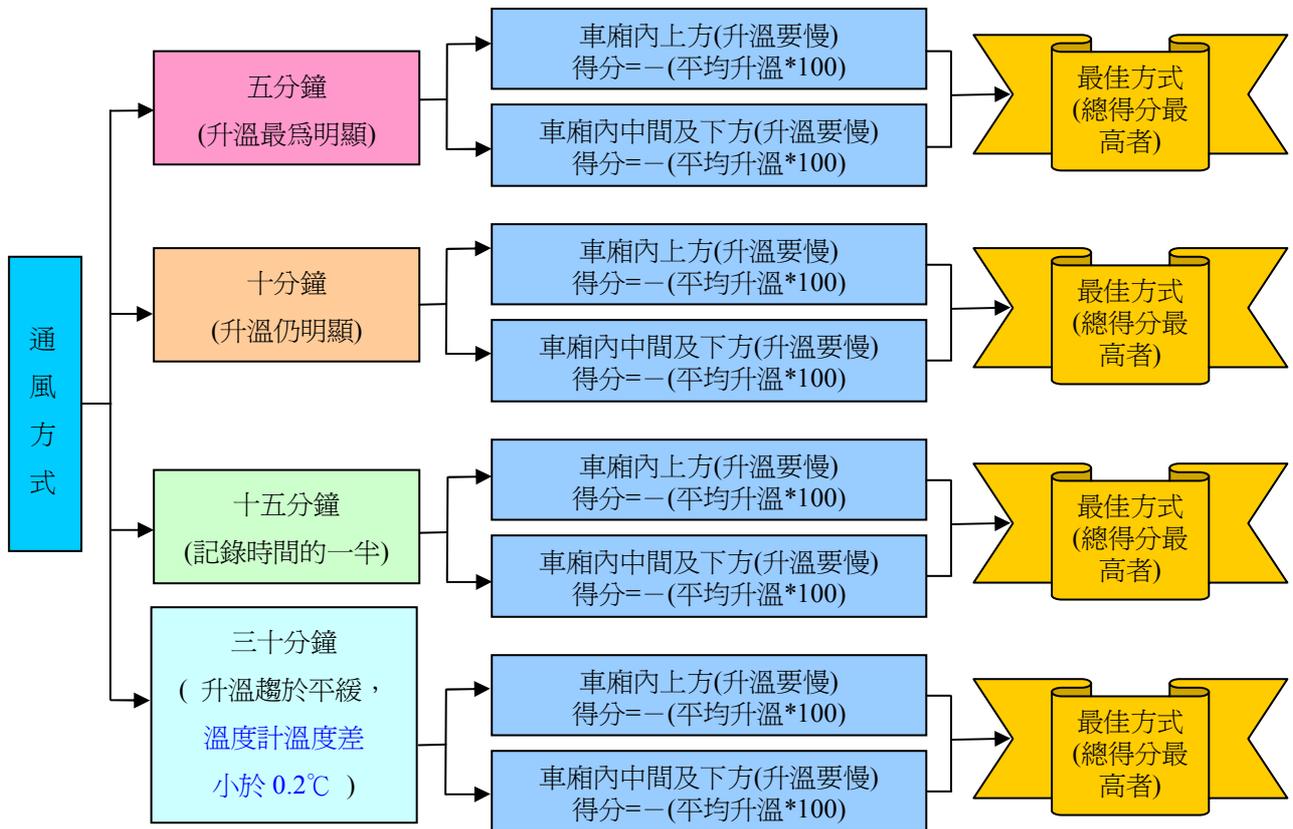


圖 15 實驗結果分析方法(夏天)

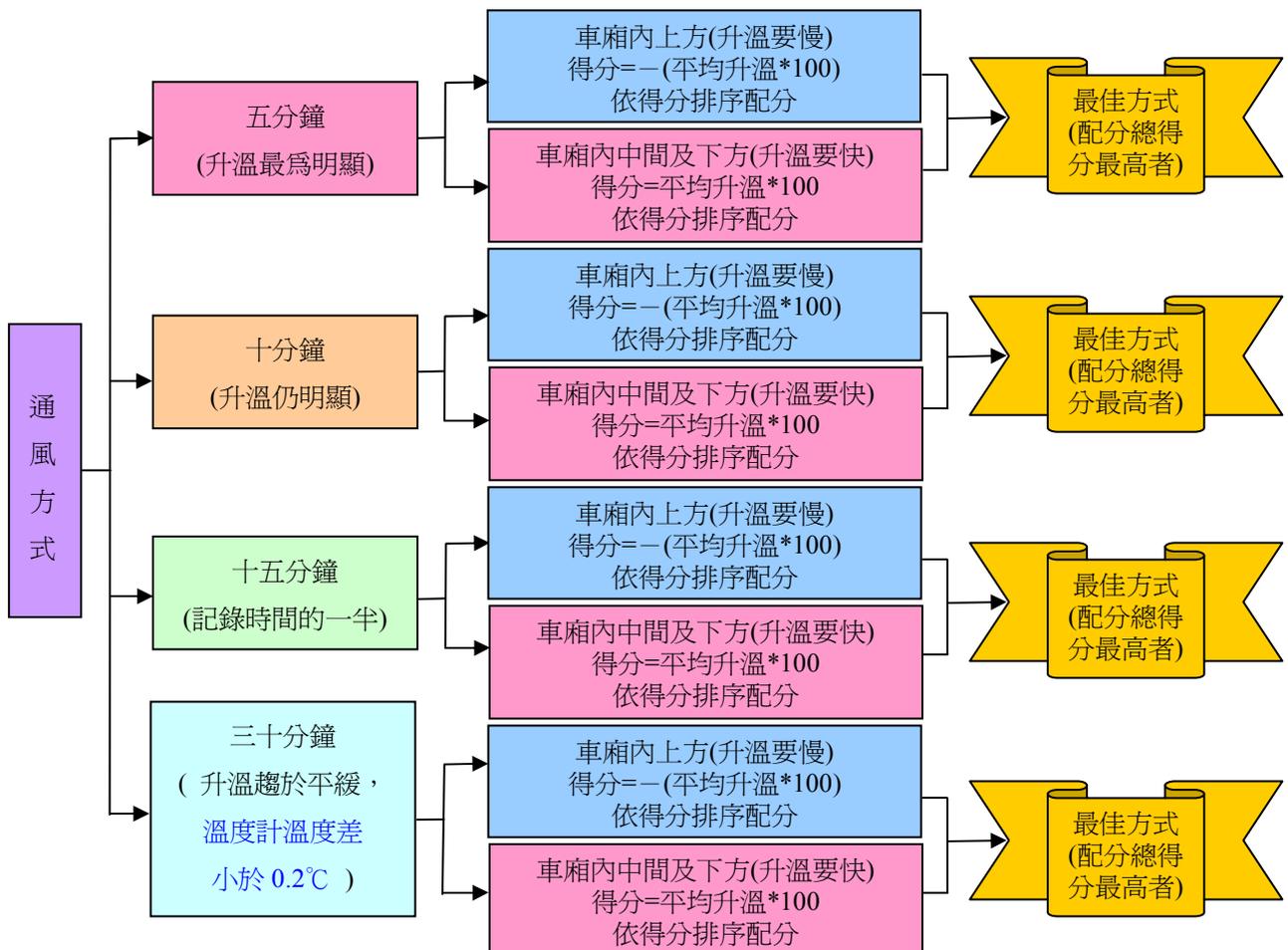


圖 16 實驗結果分析方法(冬天)

## 陸、研究結果

實驗一、纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），車廂應以何種通風方式，才能使乘客在夏天覺得最涼爽、最舒適；在冬天可以讓車廂保持通風透氣，而且不讓乘客感覺到非常寒冷。

〈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記錄資料本中)

利用 Microsoft Excel 的統計圖，以橫軸為時間(分鐘)，縱軸為溫度(°C)，將 12 種通風方式依實驗所記錄之數據，繪製成溫度折線圖。(如圖 17 至圖 28)

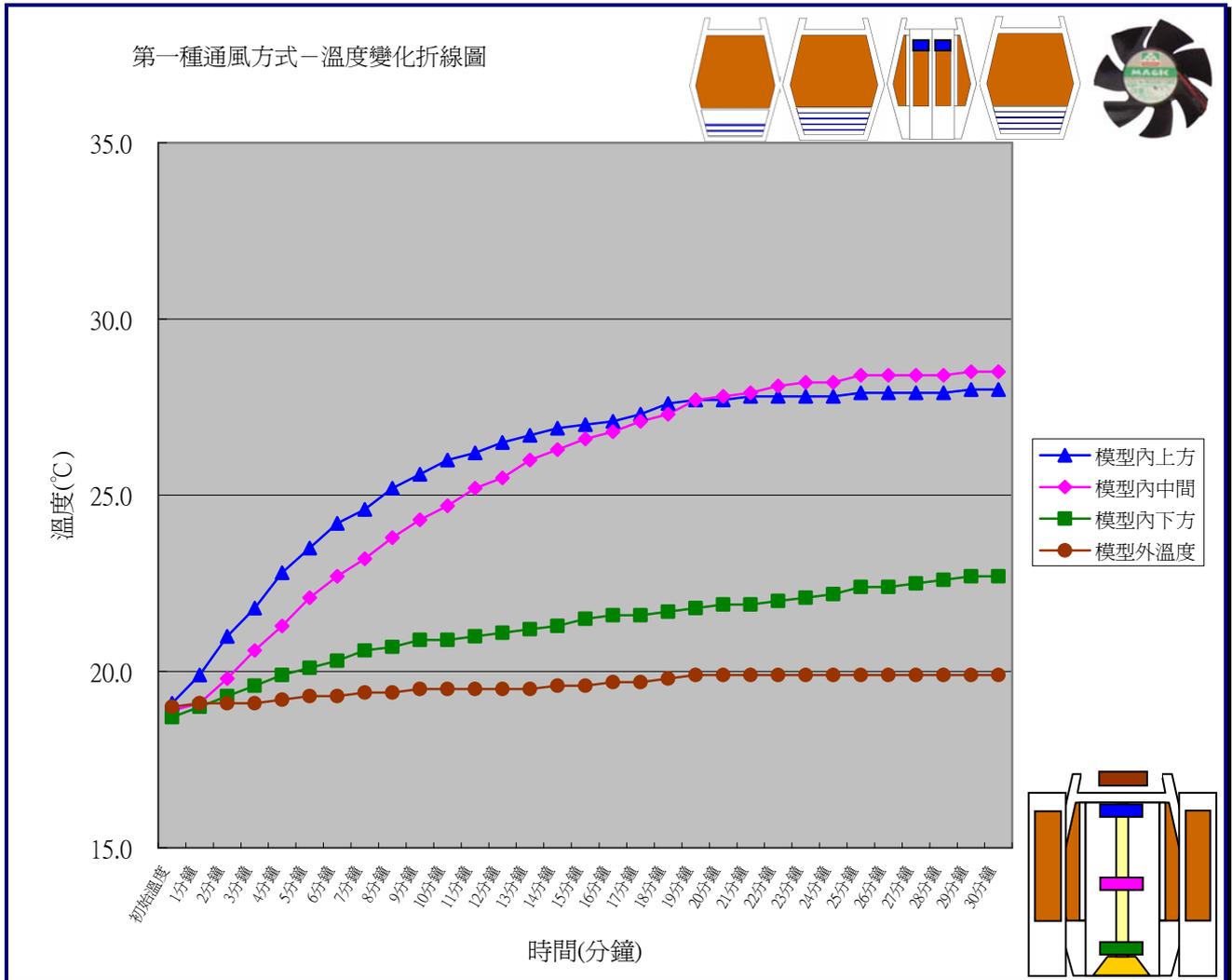


圖 17 第一種通風方式－溫度變化折線圖

圖 17 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度變化在前十五分鐘最為明顯，而在 20 分鐘後開始低於模型內中間的溫度，趨於平緩。
- 2.模型內中間的溫度變化也相當大，而且到約 20 分鐘後，才比較平緩，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度的變化很穩定的緩緩上升。
- 4.模型外的溫度變化很細微。30 分鐘上升不到 1°C。
- 5.車廂內的煙從車門上的兩扇窗戶快速飄出，但仍有大量的煙在車廂內。線香灰燼長才掉落。

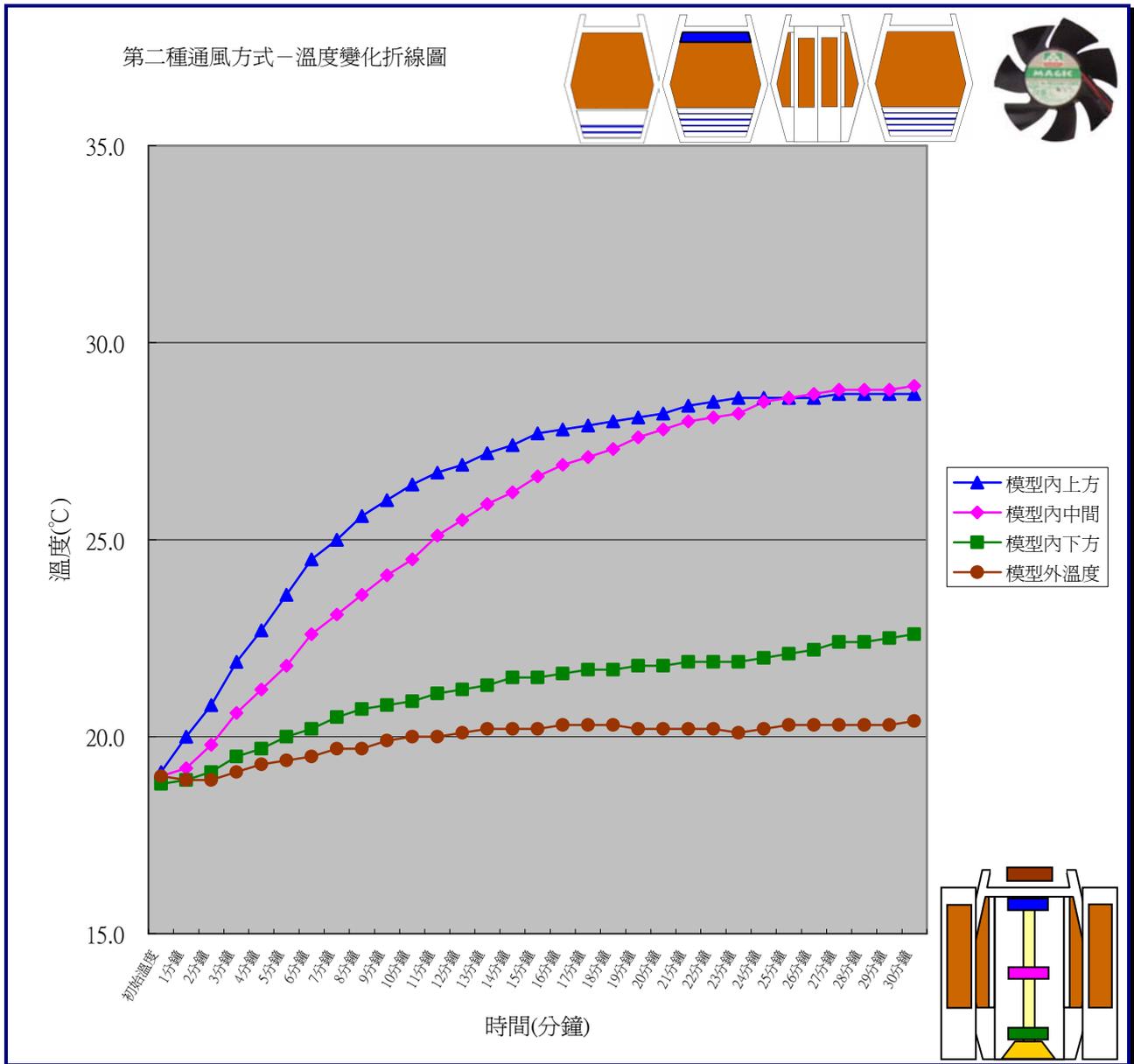


圖 18 第二種通風方式－溫度變化折線圖

圖 18 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 10 分鐘最為明顯也最大，而在 20 分鐘後，趨於平緩，25 分鐘後開始低於模型內中間的溫度。
- 2.模型內中間的溫度變化也相當大，而且到約 20 分鐘後，才比較平緩，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度的變化很穩定的緩緩上升。
- 4.模型外的溫度變化有些許上升，約為 1.4°C。
- 5.車廂內的煙從背風面上方的窗戶快速飄出，而且煙飄出背風面的窗外後，卻向車頂方向飄走，而不是往車廂的後上方飄走。
- 6.有大量的煙仍在車廂內，車廂內上方的煙流動快速，中間線香的煙緩慢上升，下方的煙比較少，而線香的灰燼長才掉落。

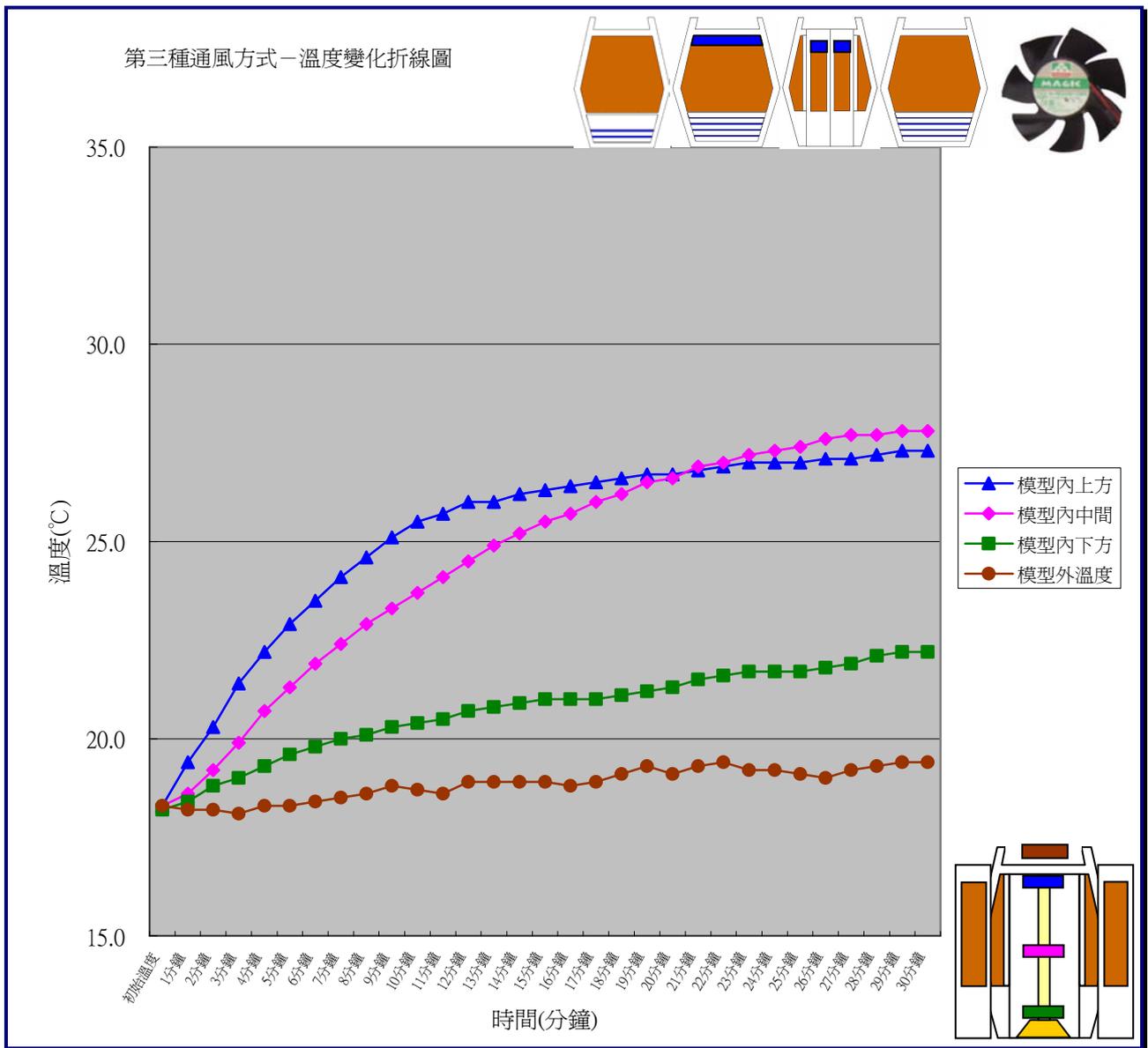


圖 19 第三種通風方式－溫度變化折線圖

圖 19 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 12 分鐘最為明顯也最大，而在 12 分鐘後，趨於平緩，21 分鐘後開始低於模型內中間的溫度。
- 2.模型內中間的溫度變化也相當大，而且到約 20 分鐘後，才比較平緩，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度的變化很穩定的緩緩上升。
- 4.模型外的溫度變化有些許上升，約為 1.1°C，而且變動的情形也比較明顯。
- 5.車廂內的煙從背風面上方的及門上方的窗戶快速飄出，而且煙飄出背風面的窗外後，有時向車頂方向飄走，有時是往車廂的後上方飄走。這應該也是造成模型外的溫度明顯變動的原因。
- 6.有大量的煙仍在車廂內，車廂內上方的煙流動非常快速，中間線香的煙快速上升，下方的煙很少。

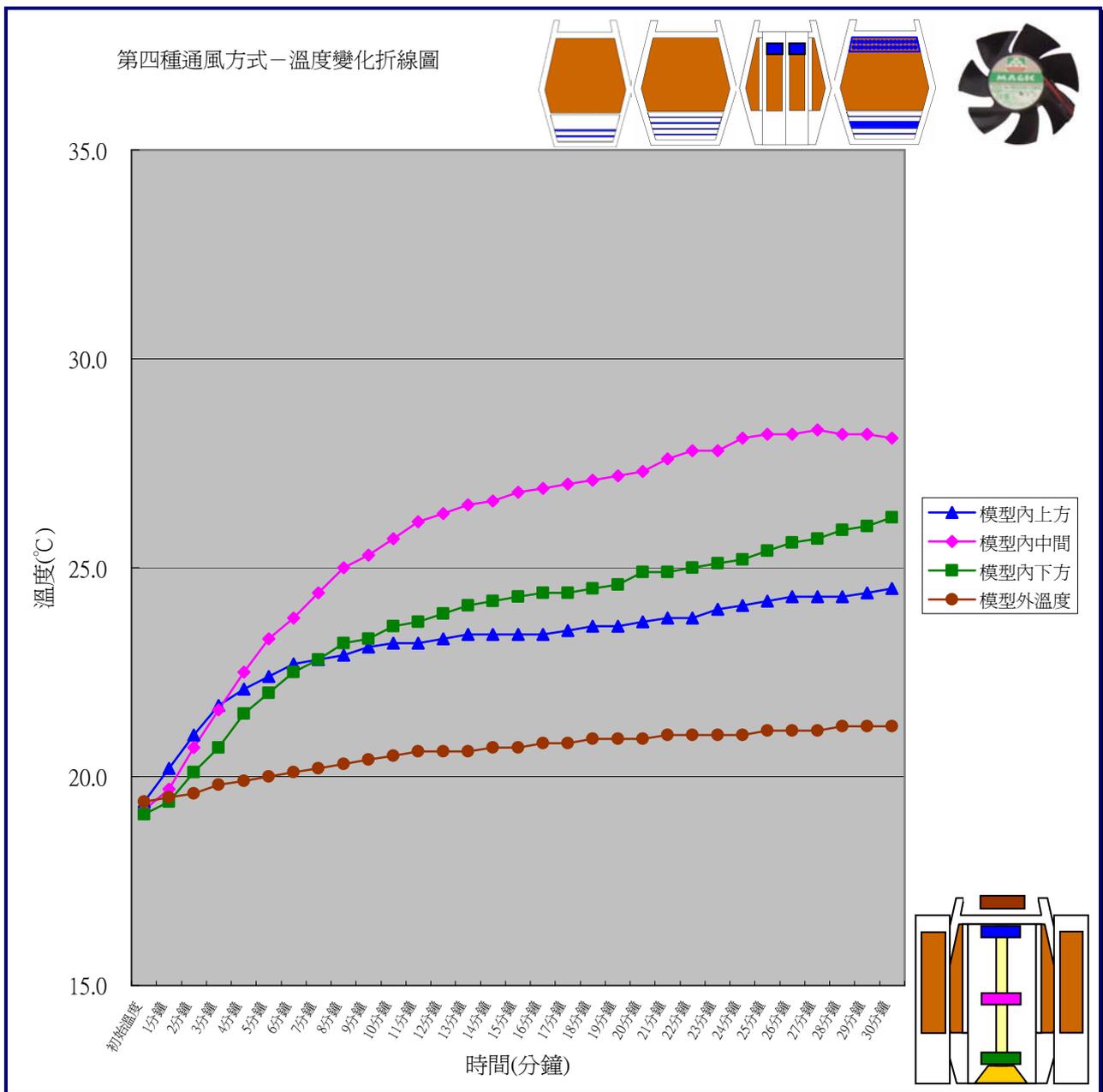


圖 20 第四種通風方式－溫度變化折線圖

圖 20 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前3分鐘最為明顯也最大，而在3分鐘後趨於平緩，4分鐘後開始低於模型內中間的溫度，7分鐘後開始低於模型內下方的溫度。
- 2.模型內中間的溫度變化也相當大，而且到約12分鐘後，才比較平緩，但溫度仍逐漸上升，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度上升的速度也很快，而且在7分鐘之後也都高過於模型內上方的溫度。
- 4.模型外的溫度變化有些許上升，約為1.8°C。
- 5.車廂內的煙從門上方的窗戶快速飄出。
- 6.有大量的煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速。

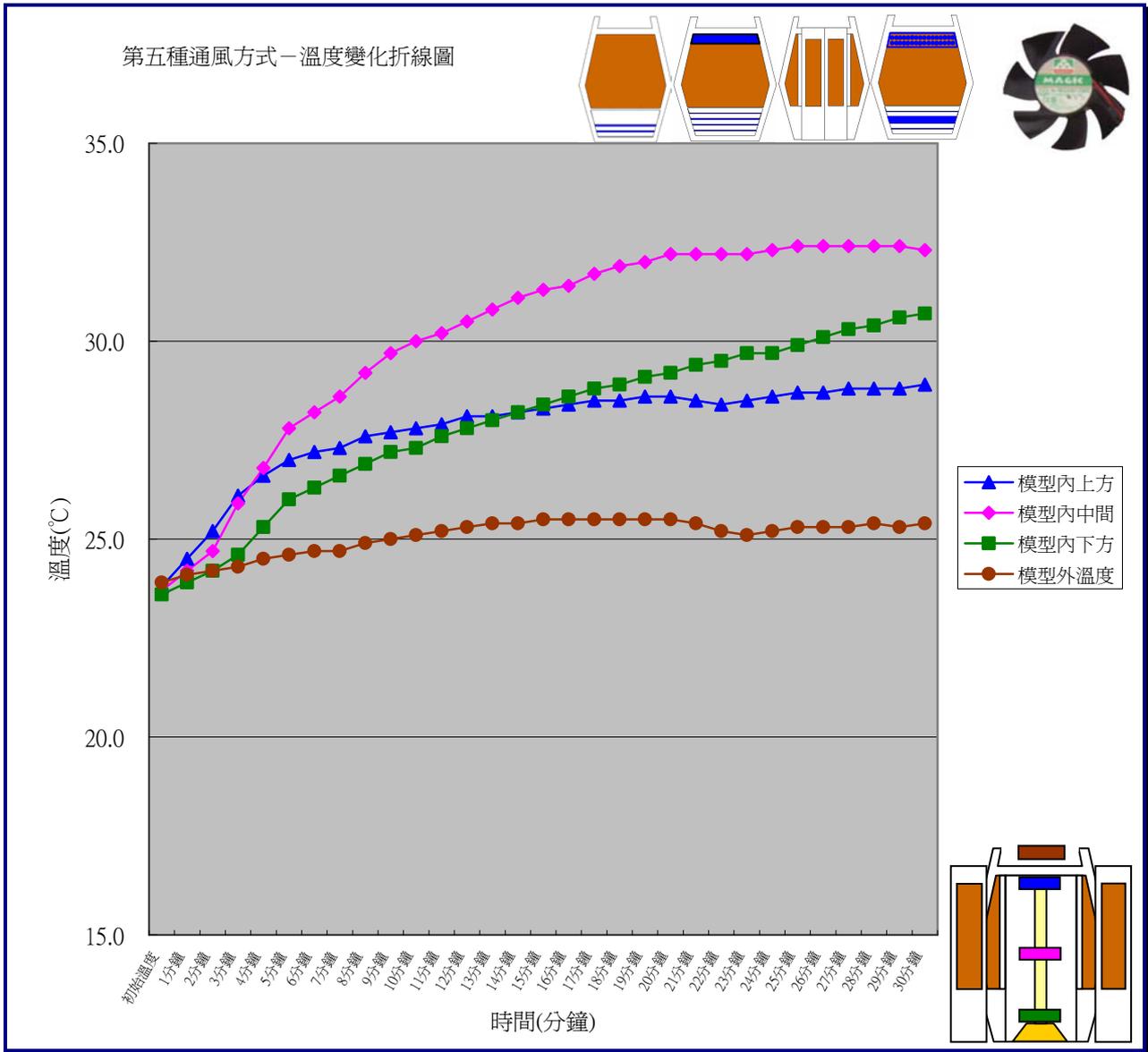


圖 21 第五種通風方式－溫度變化折線圖

圖 21 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前3分鐘最為明顯也最大，而在3分鐘後趨於平緩，4分鐘後開始低於模型內中間的溫度，15分鐘後開始低於模型內下方的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前6分鐘變化相當大，而7到20分鐘較為平緩，20分鐘後的溫度變化就很小了，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度上升的速度也很快，而且在15分鐘之後也都高過於模型內上方的溫度。
- 4.模型外的溫度變化有些許上升，約為1.5°C，而且21分鐘時有點溫度下滑的變動。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走。
- 6.由門外向車廂內觀察時，仍有大量的煙在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，而且是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

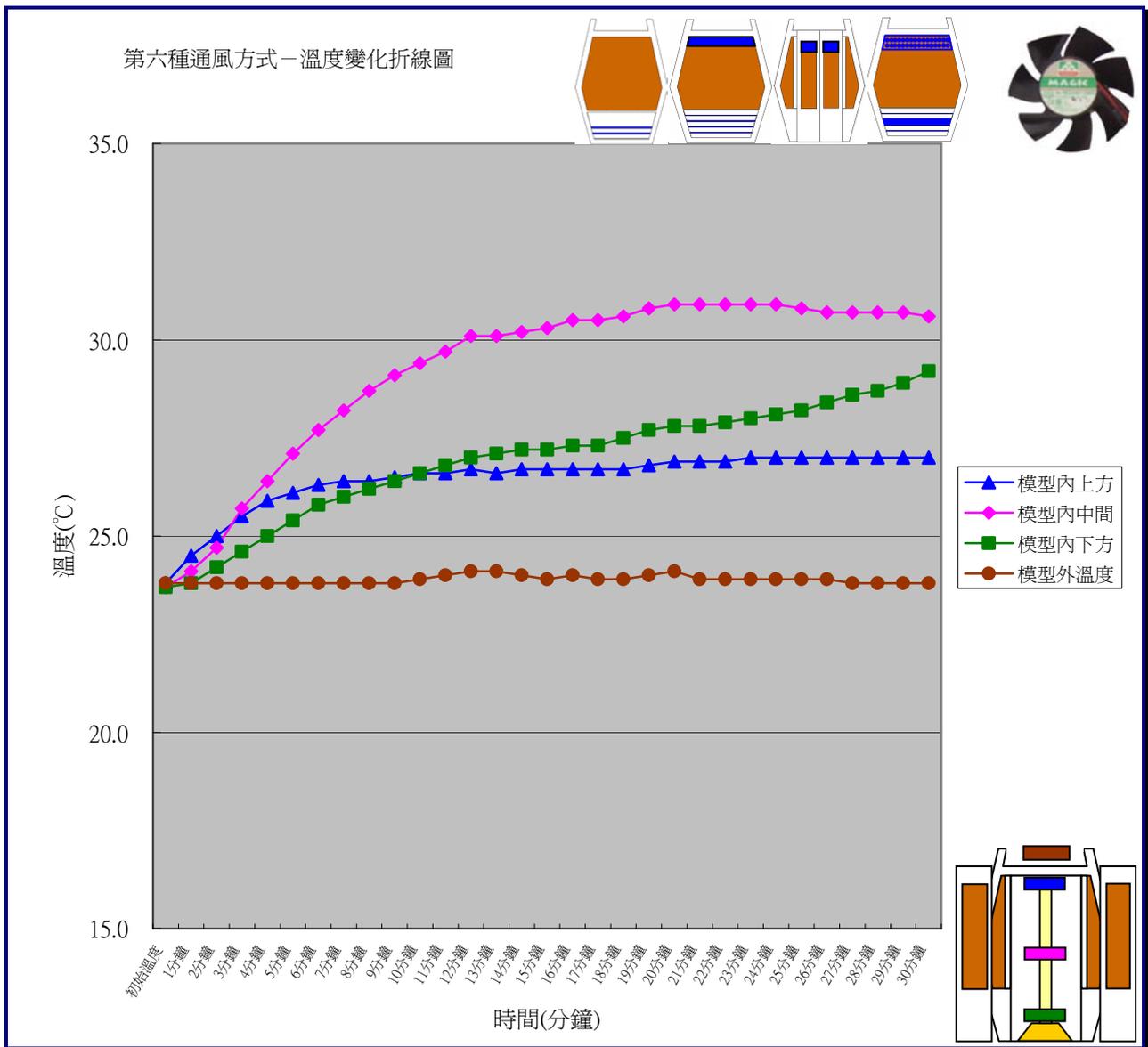


圖 22 第六種通風方式－溫度變化折線圖

圖 22 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 5 分鐘最為明顯也最大，而在 5 分鐘後趨於平緩，3 分鐘後開始低於模型內中間的溫度，10 分鐘後開始低於模型內下方的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前 12 分鐘變化相當大，12 分鐘後的溫度變化就比較平緩，而且最後的溫度大於模型內上方的溫度。
- 3.模型內下方溫度上升的速度也很快，而且在 10 分鐘之後也都高過於模型內上方的溫度。
- 4.模型外的溫度變化幾乎沒有什麼改變，只是兩次非常小的變動。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走；另外煙也有從門上方的窗戶向外快速飄出。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，而且是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

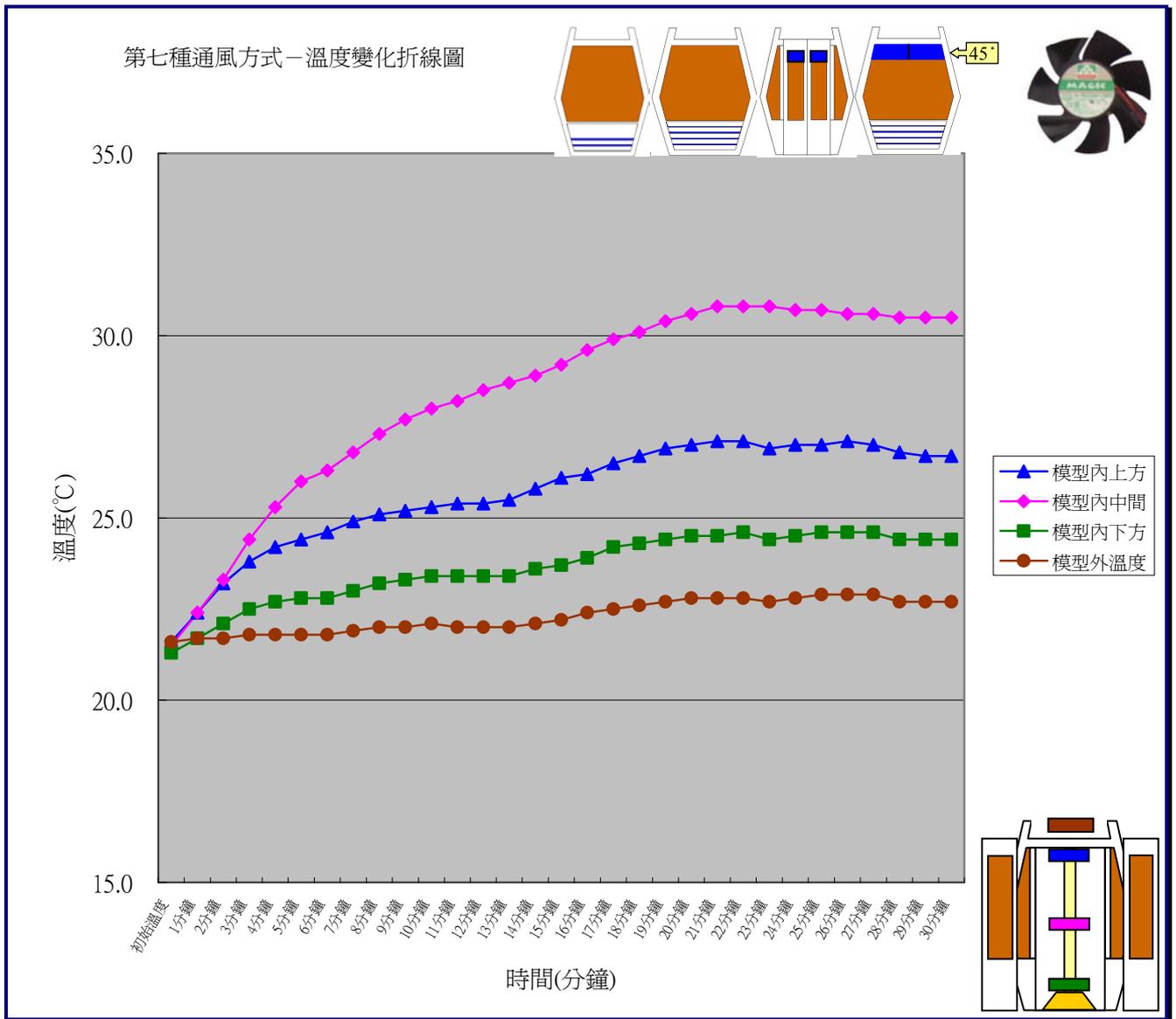


圖 23 第七種通風方式－溫度變化折線圖

圖 23 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前3分鐘最為明顯，而在4到12分鐘其次，13到21分鐘再其次，22分鐘後就變為平緩，而且在開始的1分鐘後就低於模型內中間的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前5分鐘變化最明顯也最大，6到20分鐘其次，21分鐘後的溫度變化就比較平緩。
- 3.模型內下方溫度上升的速度並不快，而且也有溫度些許的變動情形產生。
- 4.模型外的溫度也只有些微的變化，為升高1.1°C。
- 5.車廂內的煙大量的從門上方的窗戶向外快速飄出。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，而且是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

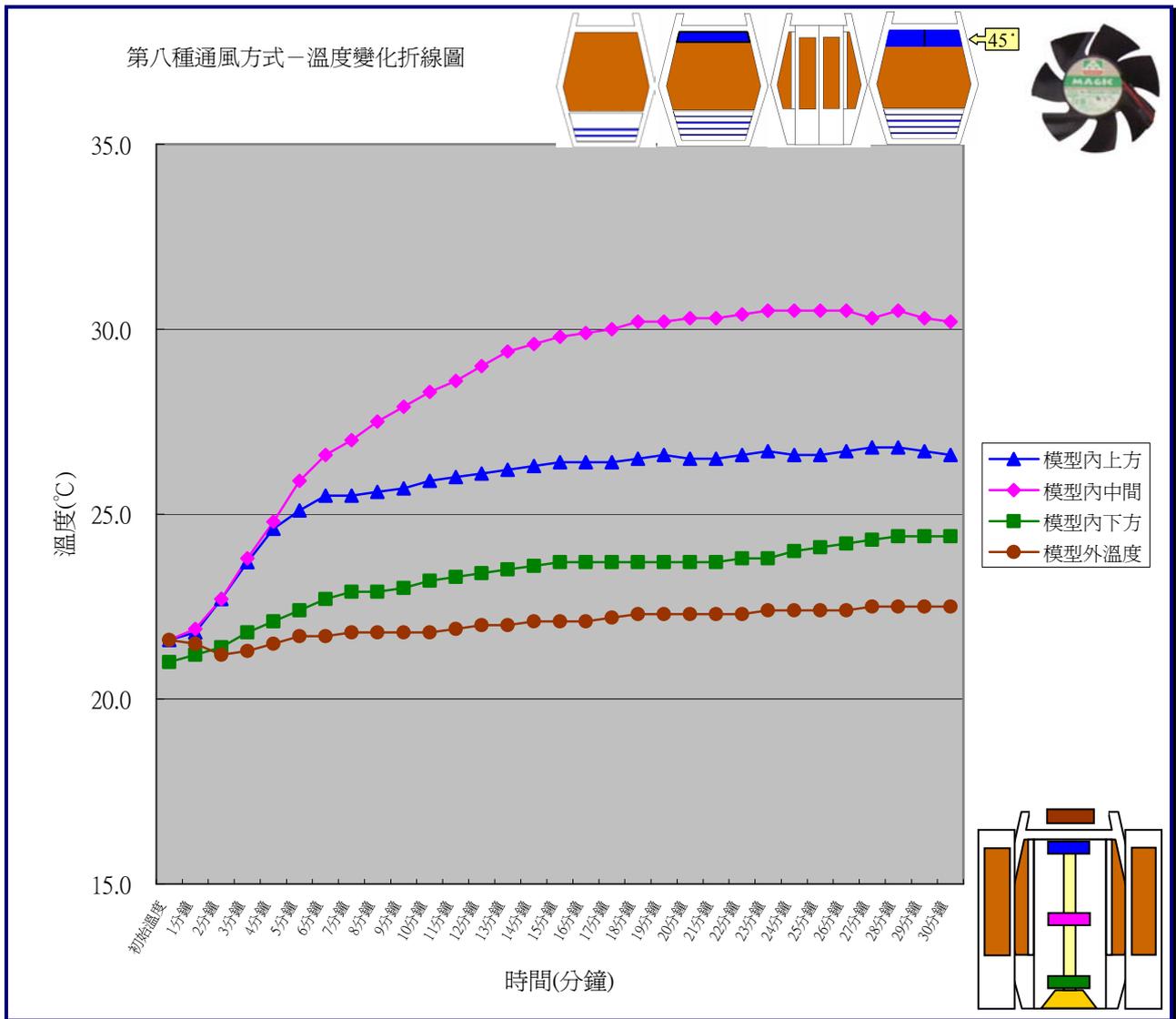


圖 24 第八種通風方式－溫度變化折線圖

圖 24 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 5 分鐘最為明顯，而在 6 分鐘後就變為平緩，而且在開始的 3 分鐘後就低於模型內中間的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前 6 分鐘變化最明顯也最大，7 到 18 分鐘其次，19 分鐘後的溫度變化就比較平緩。
- 3.模型內下方溫度上升的速度並不快，而且也有溫度些微的變動情形產生。
- 4.模型外的溫度也只有些微的變化，為升高 0.9°C。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，而且是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

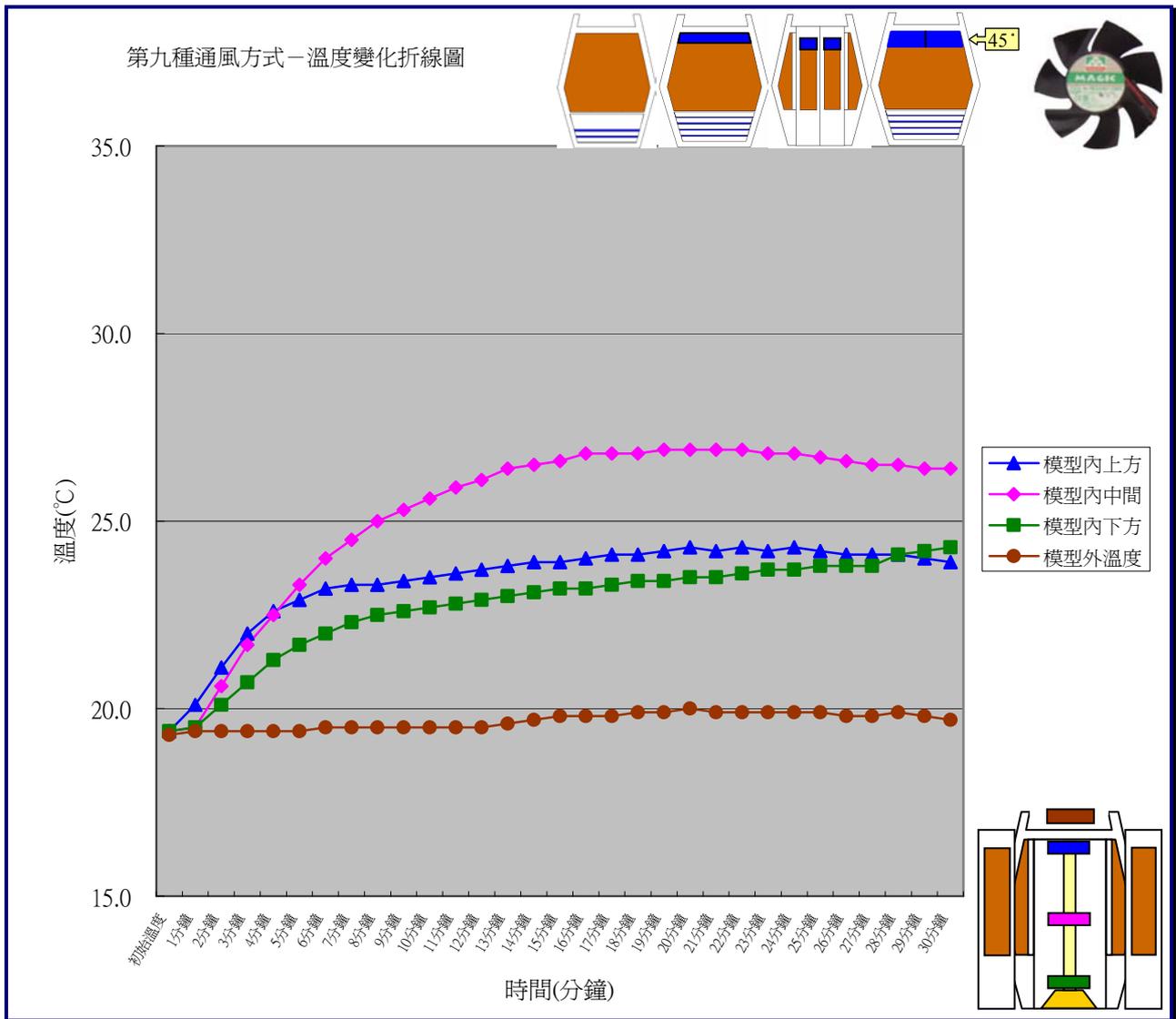


圖 25 第九種通風方式－溫度變化折線圖

圖 25 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 4 分鐘最為明顯，而在 5 分鐘後就變為平緩，而且在開始的 5 分鐘後就低於模型內中間的溫度，而且在 29 分鐘後也低於模型內下方的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前 8 分鐘變化最明顯也最大，9 到 15 分鐘其次，16 分鐘後的溫度變化就比較平緩。
- 3.模型內下方溫度在前 7 分鐘上升的速度也很快，8 分鐘後的溫度變化才比較平緩。
- 4.模型外的溫度幾乎沒有太大的變化，只有升高 0.3°C。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走，門上方的窗，也有煙快速的向外飄出。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，而且是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

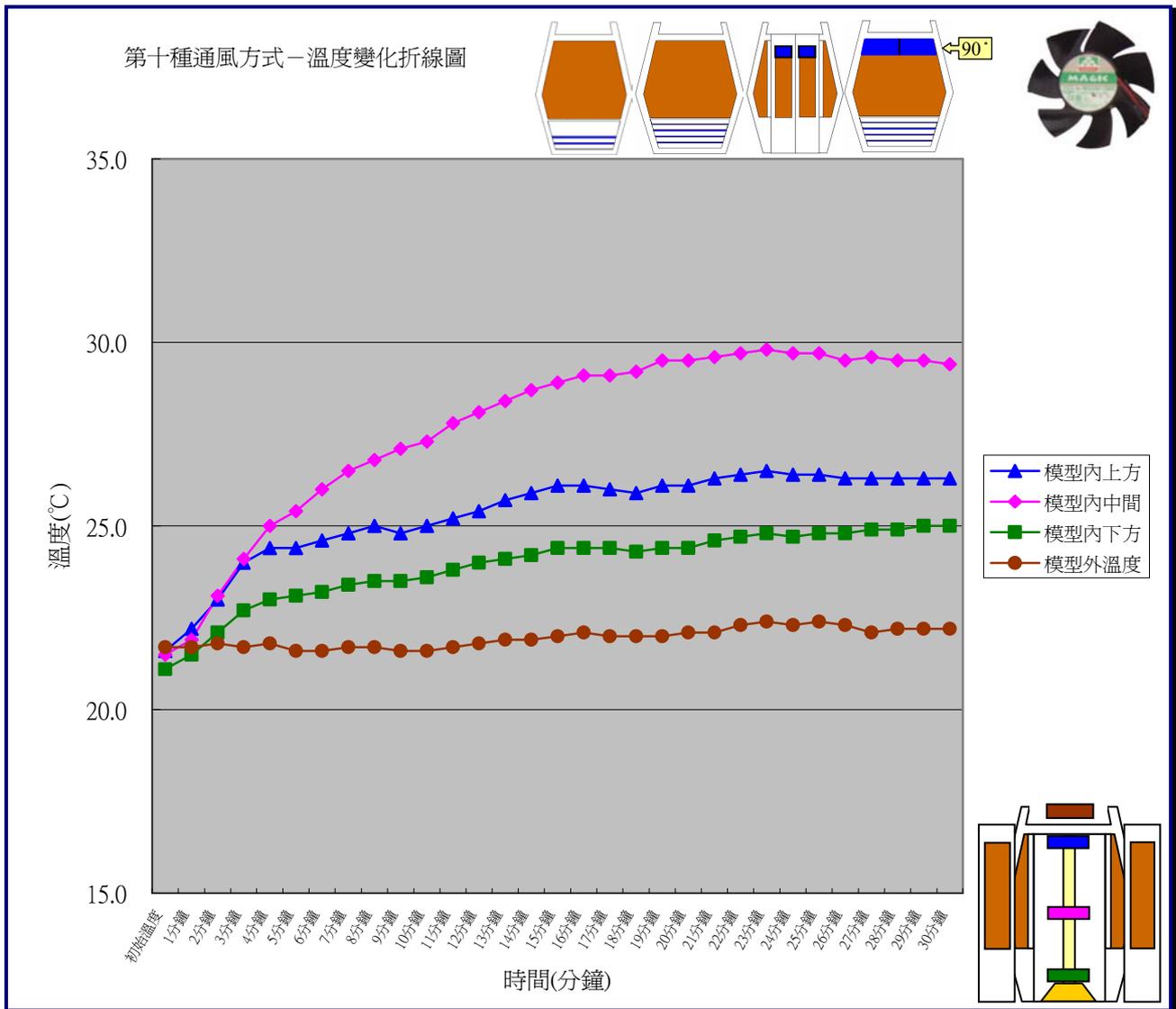


圖 26 第十種通風方式－溫度變化折線圖

圖 26 說明：

1. 由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 3 分鐘最為明顯，而在 4 到 8 分鐘其次，9 到 17 分鐘再其次，18 分鐘後就變為平緩，而且在開始的 2 分鐘後就低於模型內中間的溫度。
2. 模型內中間的溫度前 10 分鐘變化最明顯也最大，11 到 18 分鐘其次，19 分鐘後的溫度變化就比較平緩。
3. 模型內下方溫度在前 3 分鐘上升的速度比較快，4 分鐘後的溫度變化才比較平緩。
4. 模型外的溫度幾乎沒有太大的變化，只有升高 0.5°C。
5. 車廂內的煙大量的從門上方的窗快速的向外飄出。
6. 由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，剛開始比較混亂，而過一段時間後，煙的流動是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

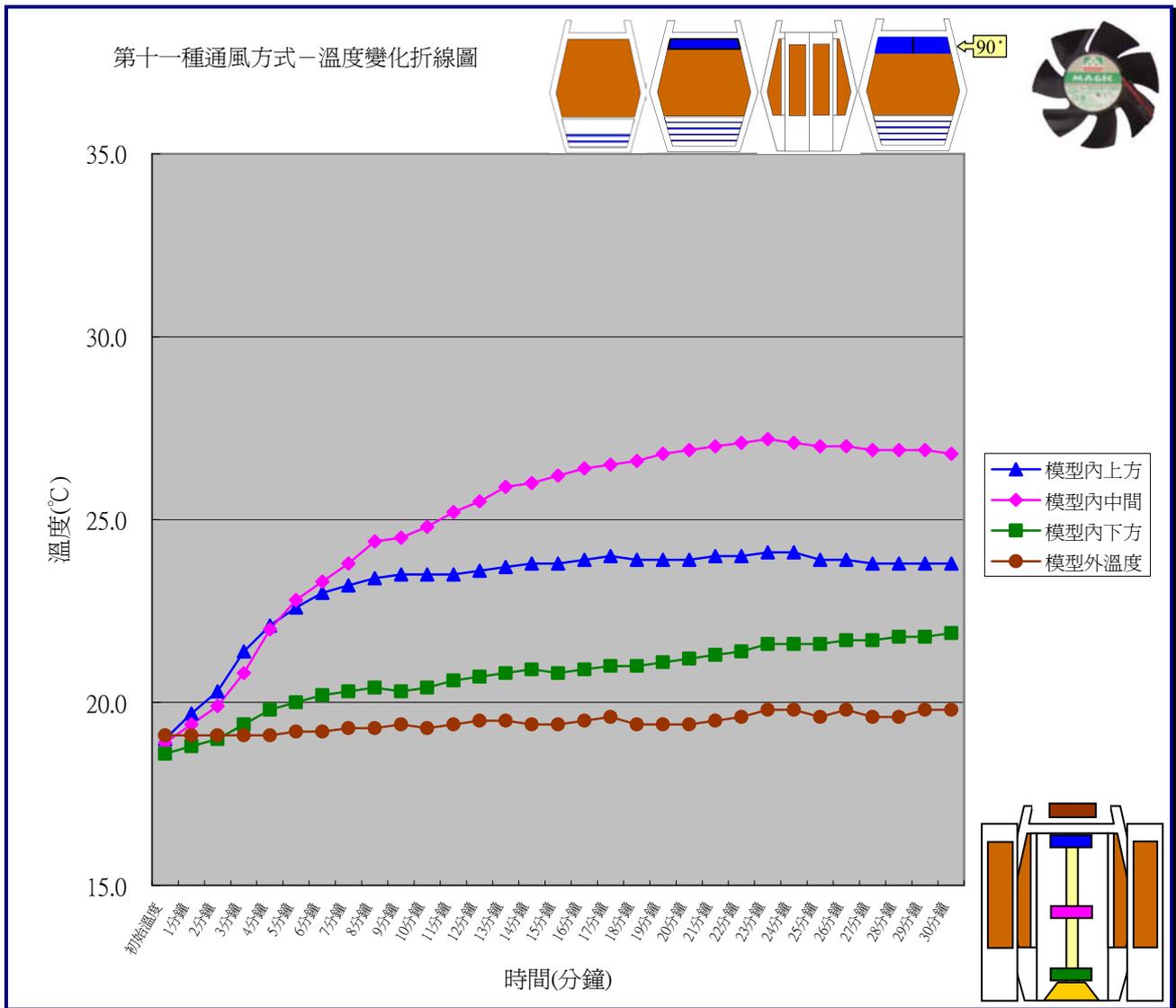


圖 27 第十一種通風方式－溫度變化折線圖

圖 27 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前3分鐘最為明顯，而在4到11分鐘其次，12到17分鐘再其次，18分鐘後就變為平緩，而且在開始的5分鐘後就低於模型內中間的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前8分鐘變化最明顯也最大，9到23分鐘其次，24分鐘後的溫度變化就比較平緩。
- 3.模型內下方溫度上升的速度比較平緩，且有持續上升之趨勢。
- 4.模型外的溫度幾乎沒有太大的變化，只有升高0.7°C。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，剛開始比較混亂，而過一段時間後，煙的流動是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

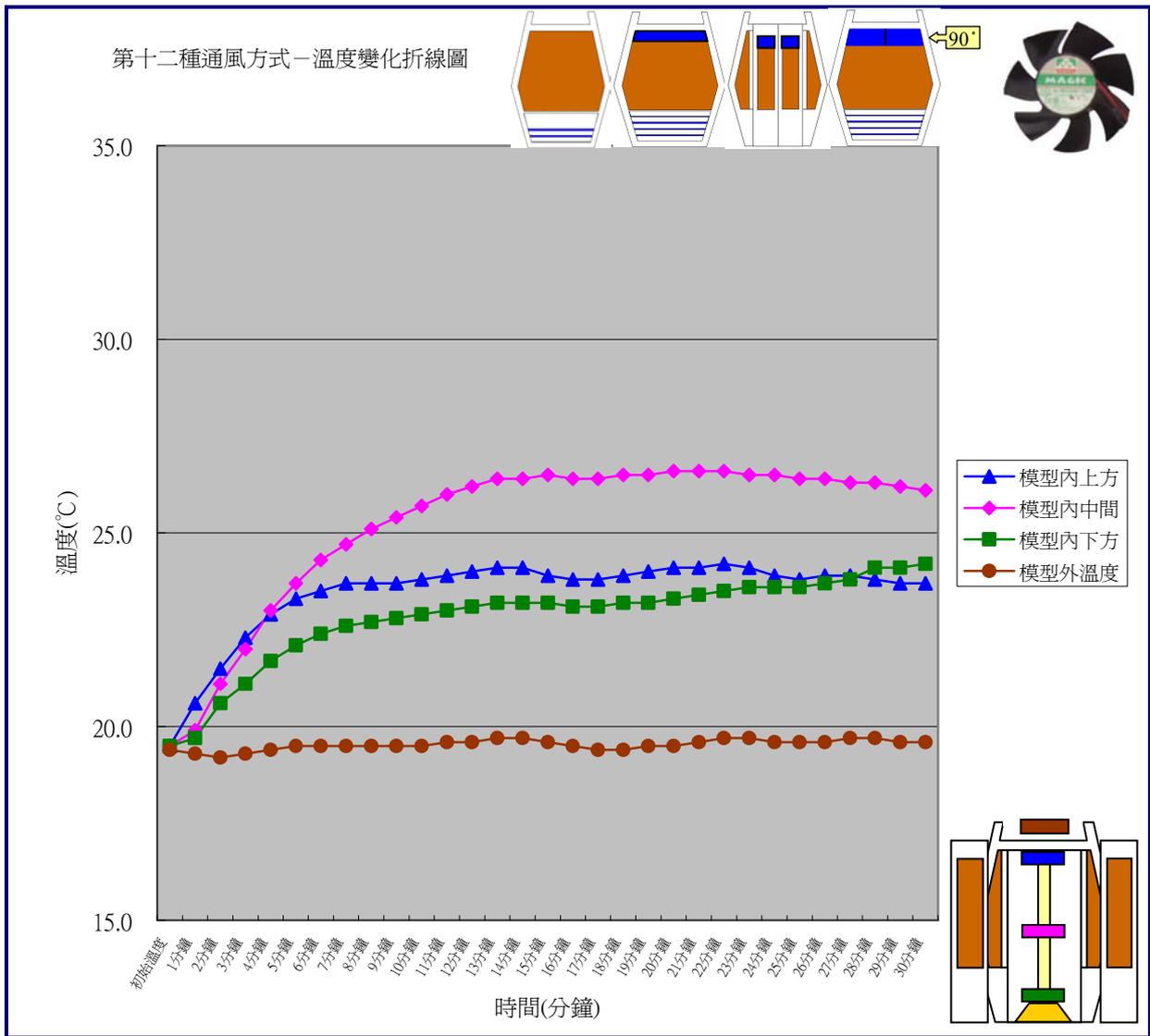


圖 28 第十二種通風方式－溫度變化折線圖

圖 28 說明：

- 1.由溫度變化折線圖我們可以看出於此種通風方式中，模型內上方的溫度上升變化在前 4 分鐘最為明顯，而在 5 分鐘後就變為平緩，而且在開始的 5 分鐘後就低於模型內中間的溫度，而且在 28 分鐘後也低於模型內下方的溫度。
- 2.模型內中間的溫度前 4 分鐘變化最明顯也最大，5 到 13 分鐘其次，14 分鐘後的溫度變化就比較平緩。
- 3.模型內下方溫度在前 6 分鐘上升的速度也很快，7 分鐘後的溫度變化才比較平緩。
- 4.模型外的溫度幾乎沒有太大的變化，只有升高 0.2°C。
- 5.車廂內的煙大量的從背風面上方的窗戶飄出，而且煙是向順著背風面上方開窗的角度向車廂外的下方飄走，門上方的窗，也有煙快速的向外飄出。
- 6.由門外向車廂內觀察時，有煙仍在車廂內，車廂內的煙流動非常快速，剛開始比較混亂，而過一段時間後，煙的流動是有方向性的，逆時鐘方向在車廂內旋轉。

(二) 實驗結果分析：

1. 夏天纜車行進時，風從前方吹來時的情況考量(強制對流)。結果分析如表 7-1、表 7-2。

表 7-1 夏天不同時間點車廂內上方、中間及下方的得分與總得分

	五分鐘	十分鐘
車廂內上方		
車廂內中間		
車廂內下方		
總得分		
說明	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第三種；車廂內中間升溫最少是第二種，升溫最多是第七種；車廂內下方升溫最少是第二種，升溫最多是第四種。前五分鐘考量整個車廂升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛的方式，最佳的方式是第六種；最差是第十二種。</p>	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最少是第三種，升溫最多是第八種；車廂內下方升溫最少是第十一種，升溫最多是第四種。前十分鐘考量整個車廂升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛的方式，最佳的方式是第六種；最差是第一種。</p>

表 7-2 夏天不同時間點車廂內上方、中間及下方的得分與總得分

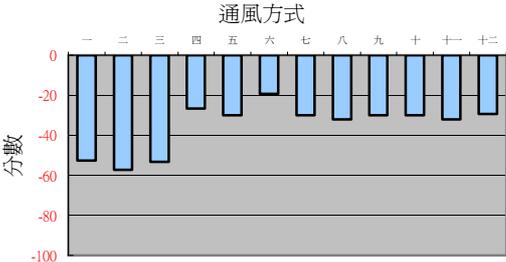
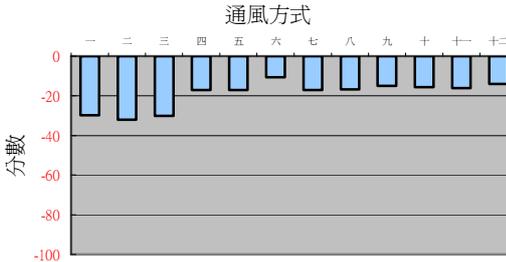
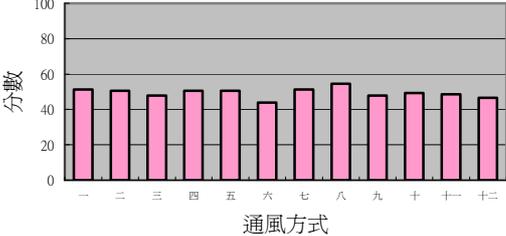
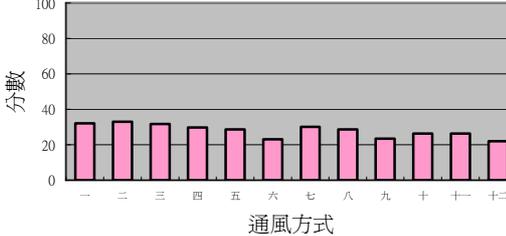
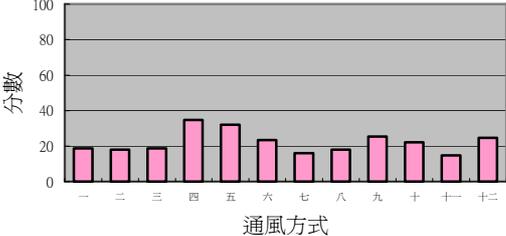
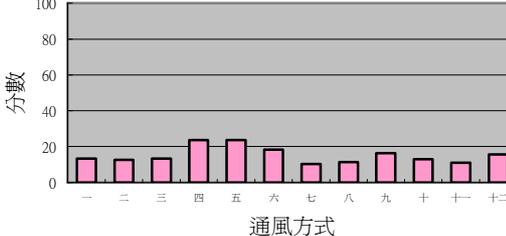
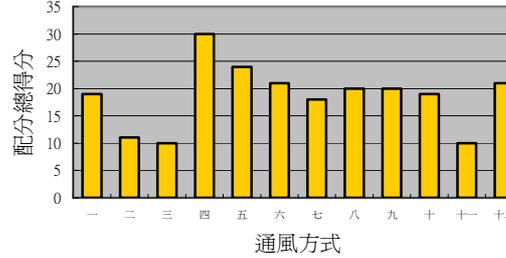
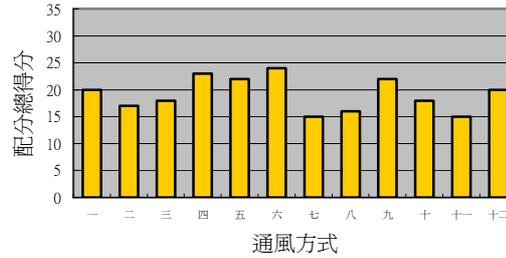
	十五分鐘	三十分鐘
車廂內上方		
車廂內中間		
車廂內下方		
總得分		
說明	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最少是第六種，升溫最多是第八種；車廂內下方升溫最少是第十一種，升溫最多是第四種。前十五分鐘考量整個車廂升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛的方式，最佳的方式是第六種；最差是第二種。</p>	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最少是第十二種，升溫最多是第二種；車廂內下方升溫最少是第七種，升溫最多是第五種。前三十分鐘考量整個車廂升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛的方式，最佳的方式是第十二種；最差是第二種。</p>

2.冬天纜車行進時，風從前方吹來時的情況考量(強制對流)。結果分析如表 8-1、表 8-2。

表 8-1 冬天不同時間點車廂內上方、中間及下方的得分與配分總得分

	五分鐘	十分鐘
車廂內上方		
車廂內中間		
車廂內下方		
配分總得分		
說明	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第三種；車廂內中間升溫最多是第七種，升溫最少是第二種；車廂內下方升溫最多是第二種，升溫最少是第二種。前五分鐘考量整個車廂上方要升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛，車廂中間和下方要升溫最多，避免乘客覺得寒冷的最佳的方式是第四種；最差是第二種。</p>	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最多是第八種，升溫最少是第三種；車廂內下方升溫最多是第四種，升溫最少是第十一種。前十分鐘考量整個車廂上方要升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛，車廂中間和下方要升溫最多，避免乘客覺得寒冷的最佳的方式是第四種；最差是第二種。</p>

表 8-2 冬天不同時間點車廂內上方、中間及下方的得分與配分總得分

	十五分鐘	三十分鐘
車廂內上方		
車廂內中間		
車廂內下方		
配分總得分		
說明	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最多是第八種，升溫最少是第六種；車廂內下方升溫最多是第四種，升溫最少是第十一種。前十五分鐘考量整個車廂上方要升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛，車廂中間和下方要升溫最多，避免乘客覺得寒冷的最佳的方式是第四種；最差是第三種和第十一種。</p>	<p>車廂內上方升溫最少是第六種，升溫最多是第二種；車廂內中間升溫最多是第二種，升溫最少是第十二種；車廂內下方升溫最多是第四種、第五種，升溫最少是第七種。前三十分鐘考量整個車廂上方要升溫最少，也就是通風最好，對流最旺盛，車廂中間和下方要升溫最多，避免乘客覺得寒冷的最佳的方式是第六種；最差是第七種和第十一種。</p>

**實驗二、夏天纜車車廂行進時，各個階段改進的最佳通風方式效益差異會有多少(強制對流)?**

(一) 實驗數據：因篇幅有限，故將實驗記錄之數據列於原始數據記錄本中。

(二) 實驗結果分析：

利用 Microsoft Excel 的統計圖，以**橫軸為通風方式**，**縱軸為總得分**，繪製成總得分直條圖；再以**橫軸為通風方式**，**縱軸為效益**，繪製成效益直條圖。如表 9 所示。

**表 9** 夏天有風(強制對流)相對於通風方式 A(全閉)不同時間點的總得分與效益

	總得分	效益(以通風方式 A 為基礎依據)
五分鐘	<p>通風方式</p> <p>總得分</p>	<p>增加效益(%)</p> <p>通風方式</p>
十分鐘	<p>通風方式</p> <p>總得分</p>	<p>增加效益(%)</p> <p>通風方式</p>
十五分鐘	<p>通風方式</p> <p>總得分</p>	<p>增加效益(%)</p> <p>通風方式</p>
三十分鐘	<p>通風方式</p> <p>總得分</p>	<p>增加效益(%)</p> <p>通風方式</p>
說明	<p>通風方式 A (車廂全閉) 無論是前五分鐘、十分鐘、十五分鐘、三十分鐘時，都是升溫最多；第六種通風方式在前五分鐘、十分鐘、十五分鐘都是升溫最少；三十分鐘以第十二種方式升溫最少，但第六種也幾乎與第十二種升溫一樣少。</p>	<p>以通風方式 A (車廂全閉) 為計算的基礎根據，前五分鐘第二階段改善中的第六種方式效益最為顯著，可達 32.73%；前十分鐘第二階段改善中的第六種方式效益最為顯著，可達 39.36%；前十五分鐘第二階段改善中的第六種方式效益最為顯著，可達 46.72%；前三十分鐘第三階段改善中的第十二種方式效益最為顯著，可達 48.68%。</p>

## 柒、討論

- 一、貓纜車廂採用法國 P O M A 公司原裝進口，不可能替台灣量身訂做，所以未針對台灣氣候改善車廂車體，纜車車廂門上方開了兩個小窗戶及背風面上方有一片小拉窗，但無法產生對流，在太陽照射下車廂吸熱，熱氣卻無法散出。尤其正午時，乘客猶如坐在移動式的烤箱中，雖不致中暑，但會感覺悶且燥熱。
- 二、纜車運轉靠的是轉動的纜繩，本身沒有電力，纜車燈光只能靠蓄電池的電力，若爲了通風加裝冷氣或電扇，需要很大的電池，若超過承載的重量可能會影響乘坐纜車時的安全，執行上的確會有困難；而若開整面大窗戶，除了安全的問題外，也無法適應台北多雨的天候，故只能在通風方式進行適當的改善。
- 三、夏天與冬天之所以用不同的分析方法，是因爲夏天是考量整個纜車車廂都要通風良好，讓車廂內的熱氣可以散出到車廂外，車廂內的溫度不致於升溫太高，使乘客感到悶熱，所以我們直接把車廂內部上方、中間及下方所量到的升高的溫度乘上(-100)，當成得到的分數來加總評估；而冬天必須把車廂內部上方、中間及下方作區別，沒有人的上方不怕溫度驟降、不怕溫度低，希望通風良好，而中間和下方是乘客所在的位置，所以希望升溫要多，才不致於讓乘客覺得非常寒冷，而若單純用溫度轉化爲分數加總評估，會有得分分數正負抵消後的誤判情形產生。
- 四、一開始進行實驗，是採用 15W 的燈泡八顆，來模擬八個乘客，然後觀察記錄溫度的變化，雖然可以明顯看到溫度的變化，卻看不到空氣流動的情形，而且八顆 15W 的熱能也太高，有些通風方式的溫度超過了 40°C 與一般實際的溫度產生差異。所以我們將 15W 的燈泡改換成 5W 的燈泡，並加上 8 根線香，除了溫度變化較切合實際，同時也可以看到空氣流動的情形。如圖 29、圖 30、圖 31、圖 32。



圖 29 煙的流動一 圖 30 煙的流動二 圖 31 煙的流動三 圖 32 煙的流動四

- 五、在強制對流有風的情形下，於第一階段的三種通風方式中，我們發現車廂內上方和中間從記錄開始後的溫度上升速度都相當快，而且中間的溫度都在二十分鐘後，才超過上方的溫度，而且下方的溫度也一直遠低於中間和上方，這也代表這一個階段中，車廂上方和中間的空氣流動情形並不理想。
- 六、在強制對流有風的情形下，於第二階段的三種通風方式中，我們發現車廂內中間的溫度在四分鐘後就都大於上方的溫度，而且下方的溫度也在十五分鐘前就大於上方的溫度，而且下方的溫度還一直接近上方的溫度，上方的溫度在十五分鐘後就持續低於中間和下方的溫度，這也表示在這一階段中，車廂內本身及與車廂外空氣的流動非常劇烈。

- 七、在強制對流有風的情形下，於第三階段的六種通風方式中，我們發現車廂內中間的溫度在五分鐘後就都大於上方的溫度，下方的溫度也有高於上方的情形，所以也表示在這一階段中，車廂內本身及與車廂外空氣的流動仍是相當劇烈。而在這六種通風方式下，我們由溫度折線圖，還有一個特別的發現就是有些溫度變化並不是一路平滑的上升，而是一個波段一個波段，尤其在第七種(圖 23)和第十種(圖 26)通風方式下車廂內上方的溫度變化特別明顯，我們查詢相關資料與討論後，覺得可能是車廂內溫度達到某個平衡點後，才又會持續上升，應該與車廂內熱的平衡有關，這也是我們日後可以再深入研究的方向。
- 八、插線香的底座原本是裝細沙的短塑膠試管，雖然插線香很容易，但若是一個不小心就會弄倒短塑膠試管，讓管中的細沙散落於模型內或實驗桌上，必須浪費時間清理，而且短塑膠試管一個一個放入模型內，也是很浪費時間。所以我們作了一些改善，將原本的細沙換成黏土，並且配合模擬二排乘客的燈泡位置，也將短塑膠試管固定於二排模型板上，以加快放入模型內的速度。如圖 33、圖 34。



圖 33 原本的線香座

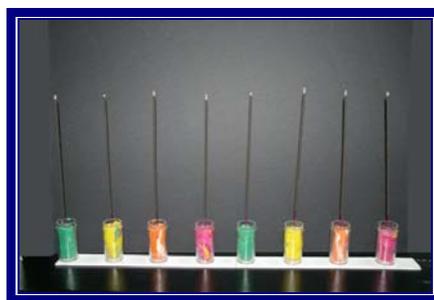


圖 34 改善後的線香座

- 九、觀察線香的煙，以了解車廂內外空氣流動的情形，當迎風面上方有開孔或開窗時，若從車門往車廂內觀察，我們也發現車廂內的煙會以逆時鐘方向旋轉，同時若車門上方的窗沒開，則又會發現背風面的煙是順著開窗的角度向下飄出，而不是向上飄走，這是與迎風面的入風量有關，因為迎風面的入風量大於背風面的出風量，就造成的車廂內的氣壓上升，所以形成**背風面的煙是順著開窗的角度向下飄出**。示意圖如圖 35。

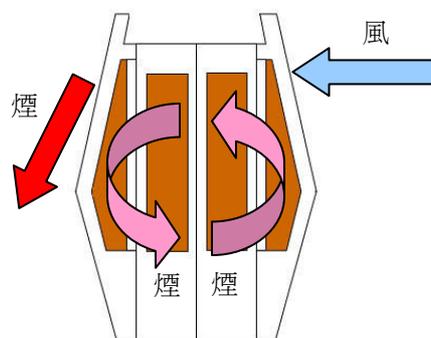
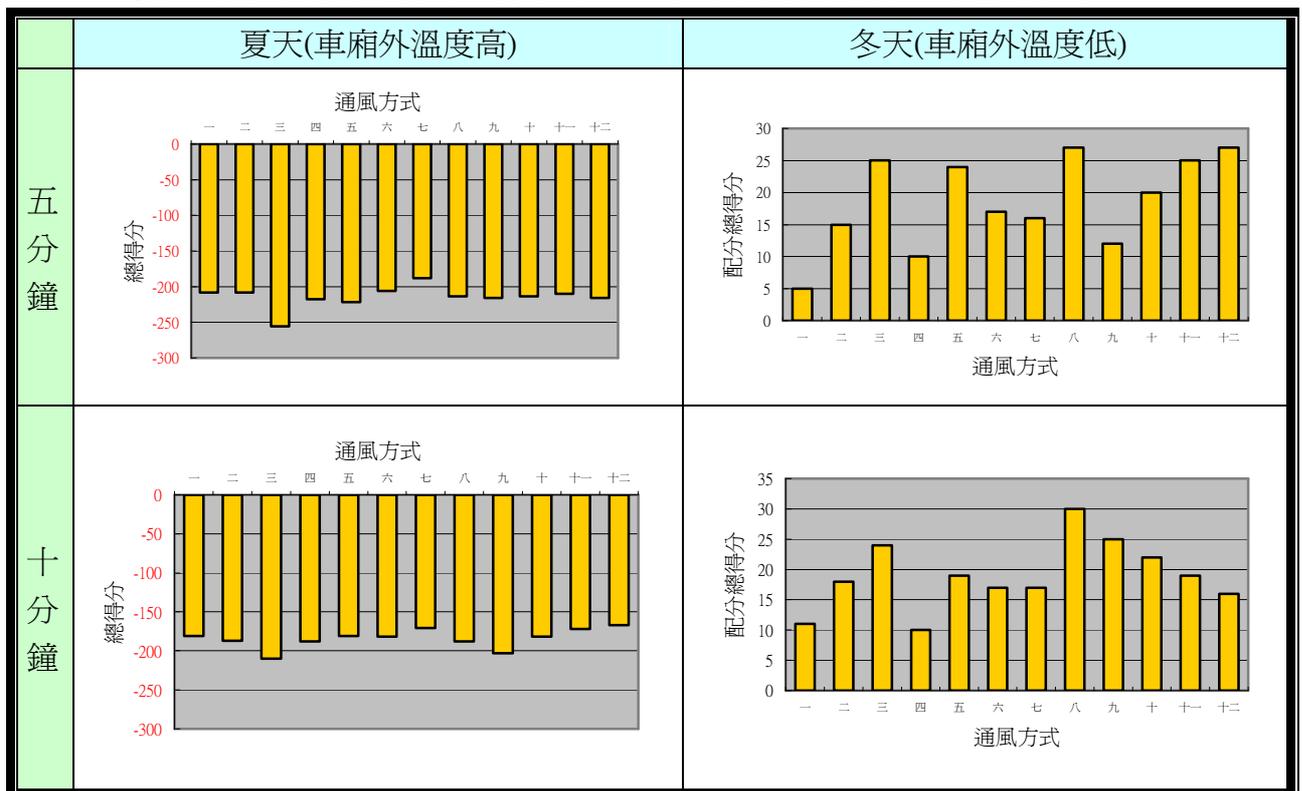


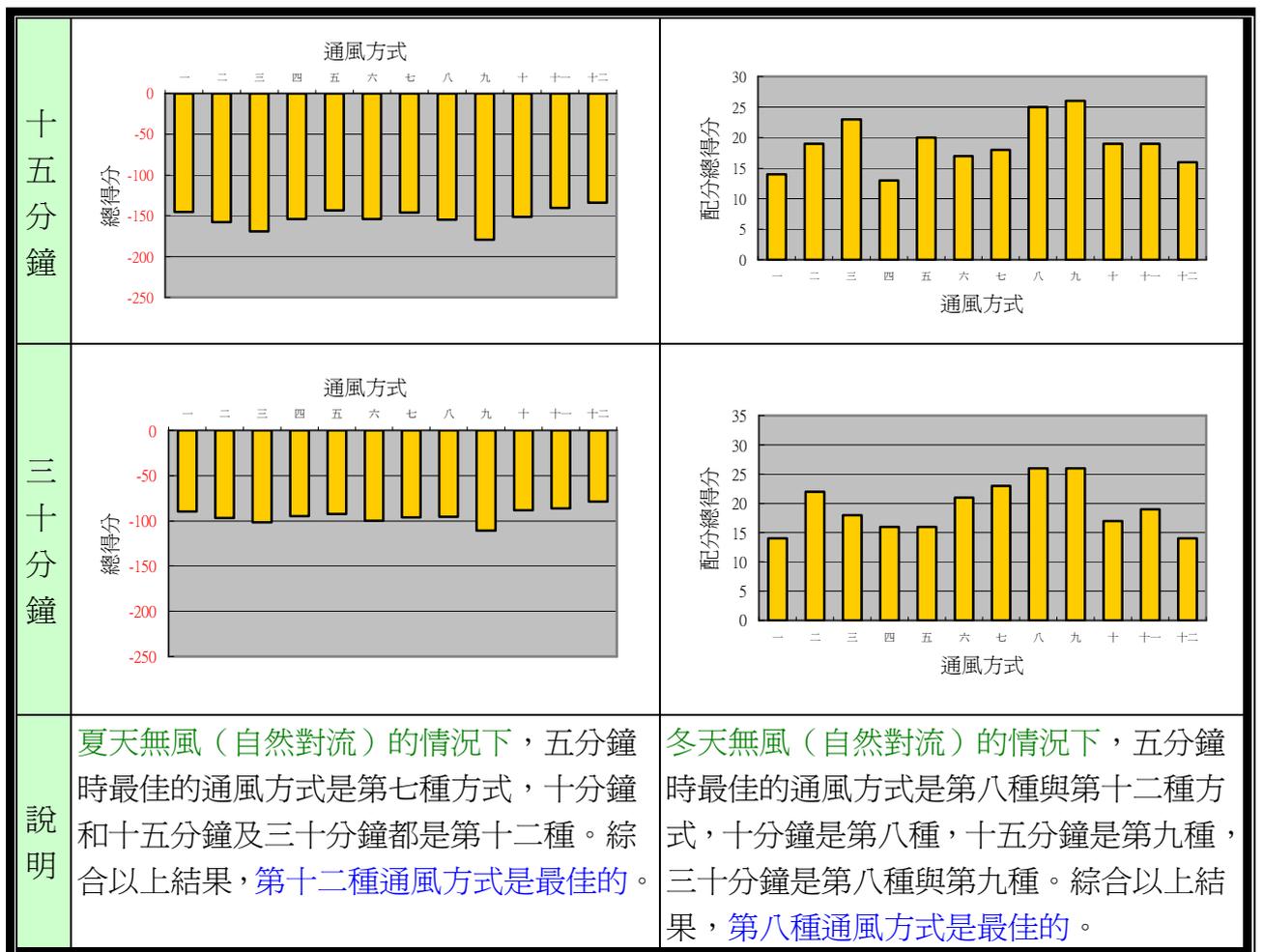
圖 35 車廂內外煙的流動情形示意圖

- 十、原本以為現在貓空纜車的第十二種**全開通風方式**，會是最通風、最涼爽的方式，但由實驗的分析結果卻發現除了不是最好的之外，在前**五分鐘、十分鐘居然是最差的**，直到三十分鐘時才變為最佳的，在觀察實驗時煙的流動情形與大家的討論後，我們認為是因為全開時，迎風面 90 度的入風口，雖然有大量的風進到車廂，但由於車門上的兩扇窗及背風面上方的窗都打開，所以進入車廂的空氣，很快的就又從車門上的兩扇窗及背風面上方的窗飄出，所以整個車廂的空氣流動並不是最劇烈的，由溫度變化折線圖也可以看出，下方的溫度上升速度很快，也代表下方的空氣流動很不理想。

- 十一、由實驗的結果分析，我們得知以**現在貓空纜車的通風方式**，在夏天纜車車廂行進時，以**第十種通風方式**，也就是迎風面上方兩扇窗戶都開最大為 90 度，車門上方的兩扇窗也要打開，而背風面上方的窗戶關閉，於五分鐘、十分鐘是**最通風、最涼爽**的通風方式，在觀察實驗時煙的流動情形與大家的討論後，我們認為是因為迎風面 90 度的入風口，有大量的風進到車廂，而只有車門上的兩扇窗打開，所以進入車廂的空氣，無法直接從背風面上方的窗戶飄出，部份的空氣從車門上方的窗飄出，部分的空氣順著車廂的弧度向下流動，造成整個車廂內空氣流動較為劇烈。
- 十二、整個**三階段十二種通風方式**的實驗中，經由數據分析的結果，夏天纜車車廂行進時，於五分鐘、十分鐘、十五分鐘都是**最通風、最涼爽的方式是第二階段的第六種方式**，也就是迎風面上方打了二排 32 孔，迎風面下方二片百葉板打小孔，車門上的窗戶打開，背風面上方的窗也打開，如此迎風面上、下都有孔洞，除了增加車廂進風量，也可增加熱空氣上升，冷空氣下降對流的通風方式，是讓車廂最通風，空氣流動最快的方式。
- 十三、第三階段的改善，也就是現在貓空纜車的通風方式，迎風面上方為兩扇可開關的窗，這兩扇窗各自都可以從關閉的 0 度，開到全開的 90 度左右，若要一一做出每一組合的實驗，恐怕要花費非常多非常多的時間，而且結果可能無法應用於實際的狀況，畢竟乘客無法開出精準的角度的窗戶角度，所以我們就以全開及半開為考量，取用的實驗開窗角度為 45 度與 90 度。
- 十四、了解纜車車廂行進時（強制對流）各種通風方式與空氣對流、溫度的關係後，我們也想知道若纜車未行進車廂靜止時（自然對流）的通風方式與空氣對流、溫度的關係，所以我們也作了相關的實驗與分析，結果如表 10 所示。

**表 10** 無風（自然對流）時夏天與冬天在不同時間點最佳的通風方式





## 捌、結論

- 一、依現在貓空纜車車廂實際的通風方式，夏天纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），要讓乘客覺得最涼爽、最舒適，最佳的通風方式與最差的方式如表 11 所示。

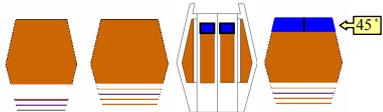
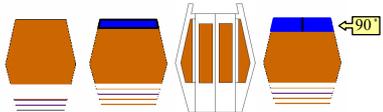
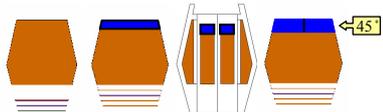
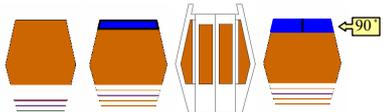
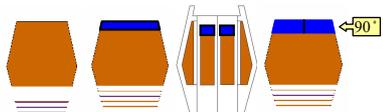
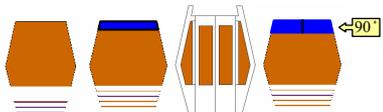
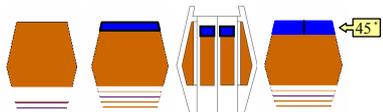
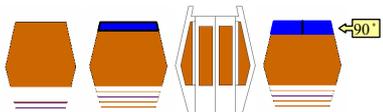
表 11 夏天不同時間點最佳及最差的通風方式

	最佳的通風方式	最差的通風方式
五分鐘		
十分鐘		
十五分鐘		
三十分鐘		

二、一般的人認為全開一定是最通風的方式，由上表我們可以得知在前五分鐘與十分鐘全開的方式反倒是最差的通風方式；而第十種通風方式在十五分鐘與三十分鐘的得分與該時段最佳的通風方式差異量也不會很大，總得分也以第十種為最大，故在考量整個乘車過程，能盡興的欣賞美麗風景，不須要計時然後改變開窗的方式，以**現行的纜車車廂通風方式**，我們建議以**第十種通風方式**為夏天纜車車廂行進時最佳的通風方式。

三、以**現在貓空纜車車廂實際的通風方式**，冬天纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），要能讓車廂保持通風透氣，而且不讓乘客感覺到非常寒冷，最佳和最差的通風方式如表 12 所示。

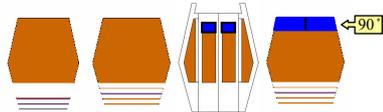
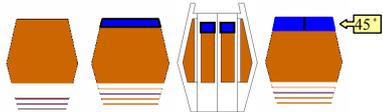
表 12 冬天不同時間點最佳及最差的通風方式

	最佳的通風方式	最差的通風方式
五分鐘		
十分鐘		
十五分鐘		
三十分鐘		

四、冬天乘坐纜車的，因為車廂外溫度通常是比較寒冷，所以乘客常常把車廂的通風完全關閉，以避免寒冷，但小小的車廂空間有八個乘客，如此一來雖然會溫暖些，但在二十至三十分鐘的車程中反倒容易讓人缺少氧氣，覺得沈悶、暈暈欲睡，因此由實驗的結果，第九種通風方式在五分鐘時雖然不是最佳的通風方式，但也不是最差的，而在十五分鐘時與最佳的通風方式配分也只差一分。綜合以上的考量加上**現行的纜車車廂通風方式**，我們建議冬天能穿保暖的衣物再以**第九種通風方式**為冬天搭乘纜車時最佳的方式。

五、纜車車廂行進時，風從前方吹來的狀態（強制對流），在夏天車廂外氣溫高與冬天車廂外氣溫低的乘坐情形下，分別建議的通風方式如表 13 所示。

表 13 建議的最佳通風方式

	夏天(氣溫高)	冬天(氣溫低)
通風方式	第十種	第九種
圖示		

六、在夏天纜車車廂行進時（強制對流），各個階段改進的最佳通風方式相對於纜車車廂全部封閉的效益差異如下圖所示。

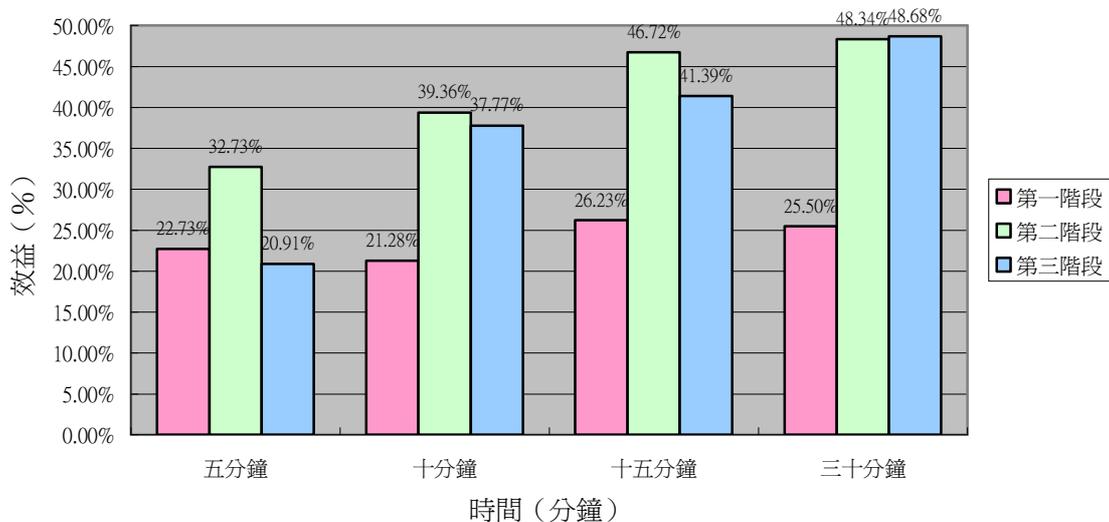


圖 36 相對於車廂全閉各個階段的最佳效益

七、由上述的直條圖，我們可以看出纜車車廂通風方式在改善的三個階段中相對於車廂全部封閉的效益。**第一階段的改善**就是車廂兩片車門上各有一個小窗，背風面上方也有一個小拉窗，而車廂下方也都裝設百葉板，在四個時間點比起車廂全閉都有大於 20% 以上的效益，**最高有 26.23%**；**第二階段的改善**就是在迎風面上方打二排共 32 孔，下方的二片百葉板的打很多的小孔，在四個時間點的效益比起第一階段都非常明顯的提升，而大於車廂全部封閉的效益可達 48.34%，比第一階段要多出 22.11%；**第三階段的改善**是將原二排打 32 孔的地方換成二片可開關的拉窗，並把車廂下方二片打小孔的百葉板封閉，雖然在五分鐘的時候，效益都比前二個階段來的不理想，但隨著時間到十分鐘時與十五分鐘時，效益就大於第一階段，與第二階段相差不多，而到三十分鐘時效益就變成是最高的，比起車廂全部封閉的效益要多出 48.68% 的效益。這也證明改善的方式是相當正確的。

八、貓空纜車的通風方式經過三個階段的努力改善，已有明顯的效果，**只要選對了通風方式**，夏天不再是「烤箱」，冬天也不再是「冰箱」，秋天更不是「水族箱」。想飽覽貓空的山區景色、遠眺台北 101 大樓及台北盆地的美景，來一趟台北最美的山線「貓空纜車」之旅，會讓你覺得值回票價的。

## 玖、參考資料及其它

- 1、施惠等人(民 94)。自然與生活科技四上單元四電路 DIY。台南市：南一書局。
- 2、施惠等人(民 94)。自然與生活科技六上單元一天氣的變化。台南市：南一書局。
- 3、施惠等人(民 94)。自然與生活科技六下單元二熱和我們的生活。台南市：南一書局。
- 4、郭鴻銘、蕭仁貴(民 89)。物理 I。溫度與熱量 (179-195 頁)。台北市：三民。
- 5、臺北大眾捷運股份有限公司。台北最美的山線貓空纜車。取自：<http://www.trtc.com.tw/c/>
- 6、貓空纜車網站。纜車車廂。取自：[http://gondola.trtc.com.tw/g\\_introduce4.asp](http://gondola.trtc.com.tw/g_introduce4.asp)
- 7、中央氣象局全球資訊網。每月氣象資料。取自：<http://www.cwb.gov.tw/>

**【評語】** 081513

本作品探討纜車車廂通風方式與車廂的關係，對於各種科學變因作完整的分析，數據的處理符合科學方法及精神，值得肯定。實驗結果建議提供捷運公司參考。