

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

080815

「蓋」厲害

學校名稱：桃園市大園區溪海國民小學

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 作者： 小五 溫馨 小六 游郁儒 小五 蔡育臻 | 指導老師： 徐志宇 呂龍興 |
|--------------------------------------|-------------------------|

關鍵詞：通風球、通風蓋、屋頂通風

摘要

我們試著讓舊的煙囪蓋能隨風擺動，找出通風效果最佳的通風蓋，研究發現效果最好的通風蓋能有較通風球及彎管更好的排氣效果，在一些特別的尺寸和安裝位置時，會有吸氣的現象，利用能排吸氣的通風蓋能幫忙建築通風換氣。

壹、研究動機

空氣是生存的基本需求，空氣人類最離不開的生存要素，人們的居住環境通風是否良好更會影響健康，三年級學到空氣流動形成風（三上翰林版自然），瞭解風與生活的關係；觀察頂屋上不同通風裝置，想知道哪一種通風裝置通風效果最好，若有一種是最好的，為什麼大家不都用最效果好的呢？所以我們找來各種通風裝置來比較看看。其中通風球和彎管都會隨風轉動，我們想試試如果舊的煙囪蓋也會隨風而動的話，通風效果如何？也利用四年級學到的連通管原理（四下翰林版自然）測試通風裝置的排吸氣壓力。過程中發現通風蓋有吸氣的功能，三年自然有學到測量氣溫時要在 120 公分高的地方測量（三下翰林版自然），因為白天地面的氣溫會比較高，利用有吸氣功能的通風蓋可將高處較冷的空氣引入室內，也能把室內的熱空氣排出，可以達到幫建築換氣降溫的目的。

貳、研究目的

- 一、研究常見屋頂通風設備效果差異—1。
- 二、研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—1。
- 三、研究通風蓋高度與排氣效果的關係—1。
- 四、研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—1。
- 五、研究通風蓋被吹走的原因。
- 六、測試新舊風洞差異。
- 七、研究常見屋頂通風設備效果差異—2。
- 八、研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—2
- 九、研究通風蓋高度與排氣效果的關係—2
- 十、研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—2
- 十一、研究通風蓋形狀與排氣效果的關係
- 十二、研究通風蓋傾斜角度與排吸氣效果的關係
- 十三、研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係—1
- 十四、研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—1

- 十五、研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—1
- 十六、研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係—2
- 十七、研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—2
- 十八、測量吸氣通風蓋各安裝位置的蓋緣位置並預估防雨效果

參、研究設備及器材

一、器材準備與製作：

(一) 製作風洞：

1. 第一代風洞：以木條為框架，上下以塑浪板封蓋，其中下面塑浪板為要固定並支撐模擬煙囪，塑浪板雙層交錯固定，並以水管外徑開一圓孔；兩側為方便觀察，以透明桌墊覆蓋，風源側以塑浪板製作風罩，開個電風扇直徑的圓孔；風洞中段排列吸管整流，形成直流風。

2. 第二代風洞：變更第一代風洞設計，①加長吸管長度為 10cm，使氣流更直更穩定，②將所有結構木條移到風洞外，減少氣流擾動，③吸管前增設三層紗網，使中央與週圍風速更均勻穩定。④底部開孔旁增加支撐木條，安裝模擬煙囪更穩固。

(二) 製作通風蓋：為使較大尺寸的通風蓋在實驗時不易變形，以較厚重的西卡紙製作，圖釘選用釘子較短的圖釘，使釘尖到蓋頂的距離縮短。

(三) 模擬煙囪：

1. 第一代模擬煙囪：以四吋 PVC 水管為模擬煙囪，側面兩垂直位置黏上水平儀，方便安裝時確保模擬煙囪鉛直直立。

2. 第二代模擬煙囪：變更第一代模擬煙囪設計，底部加設一層紗網，使排吸氣流更均勻，底部側面開孔，讓風速計測頭可伸入煙囪內測量風速。

(四) 選擇風源：以市售直流變頻風扇為風源，有七段風速可選擇。

(五) 選擇風速計：以能測量微弱風速的風速計測量，有 AVG 平均功能，可平均最新的 30 次取樣數據並即時顯示。

表 1 研究設備及器材

| 自製風洞部分 | 通風蓋部分 | 模擬煙囪部分 | 測量器材 | 工具耗材 |
|--------|-------|-----------------|--------|---------|
| 木條 | 西卡紙 | PVC 水管、彎頭、三通、接頭 | 風速計 | 白膠、保麗龍膠 |
| 塑浪板 | 圖釘 | 4 吋通風球 | 電風扇 | 膠帶、雙面膠 |
| 透明桌墊 | 吸管 | 水平儀 | 姆指夾 | 剪刀、美工刀 |
| 吸管 | 萬向軸承 | 紗網 | 線香、打火機 | 割圓器、量角器 |
| 保麗龍 | 球型雲台 | 調整支架 | 磁鐵、墊片 | 尺、直角尺 |
| 紗網 | | | 煙霧機 | |
| | | | 角度儀 | |



圖 1 20 種不同尺寸的通風蓋



圖 2 實驗器材



圖 3 第一代風洞



圖 4 第二代風洞



圖 5 調整支架



圖 6 通風蓋製作—畫圓



圖 7 傾斜角度儀



圖 8 裝在通風蓋內的雲台



圖 9 在模擬煙囪安裝水平儀



圖 10 有 AVG 功能的風速計

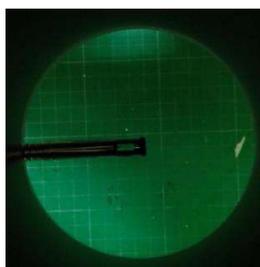


圖 11 安裝風速計

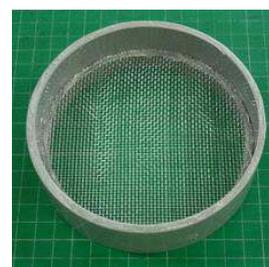


圖 12 模擬煙囪加紗網

肆、研究過程及方法

一、共同準備項目及變因：

- (一) 架設風洞：將風洞置於桌面墊高（三層廢發泡板，約 18cm）並保持水平。
- (二) 架設模擬煙囪：模擬煙囪插入風洞底部，檢查模擬煙囪上水平儀，確保模擬煙囪保持鉛直直立。
- (三) 架設風扇：調整扇面高度及位置，使扇面對齊風洞開孔，並以皮帶固定。
- (四) 架設風速計：以姆指夾固定測頭把手，使風速計測頭固定於模擬煙囪管內中心。

(五) 測量方式：

1. 實驗一至實驗五，測量前檢查水平儀確認模擬煙囪鉛直直立，將風速計設定於AVG 平均模式，開啟風扇後等待 1 分鐘（0~60 秒），待風扇加速達到穩定，並以線香確認排氣或吸氣，排氣記為正值，取最大與最小值記錄。
2. 實驗六以後，更為開啟風扇後等待 90 秒後，十分鐘內每一分鐘讀取風速計讀數顯示最大與最小值一次，共計 10 筆最大值與 10 筆最小值，平均後作為此次實驗數據。

表 2 實驗內容表

| 實驗組別 | 實驗內容 | 控制變因 | 操縱變因或實驗重點 |
|------|------------------------|---------------------|---|
| 實驗一 | 研究常見屋頂通風設備效果差異-1 | 模擬煙囪 | 測量各常見屋頂通風設備效果 (無蓋煙囪、通風球、舊煙囪蓋、彎管) |
| 實驗二 | 研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、通風蓋高度、通風蓋裝設位置 | 通風蓋直徑大小 (14.9、18.4、21.9、25.4、28.9cm) |
| 實驗三 | 研究通風蓋高度與排氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋裝設位置 | 通風蓋高度 (5、7.5、10、12.5cm) |
| 實驗四 | 研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋高度 | 通風蓋裝設位置(蓋底低於模擬煙囪頂 1.5cm、蓋底切齊模擬煙囪頂、蓋底高於模擬煙囪頂 1.5cm，以【-1.5】、【0】、【+1.5】表示) |
| 實驗五 | 研究通風蓋被吹走的原因。 | 模擬煙囪 | 增加煙霧以觀察氣流，找出通風蓋被吹走的原因 |
| 實驗六 | 測試新舊風洞差異 | 風扇、風速計 | 測試第一、二代風洞風速穩定性及均勻性 |
| 實驗七 | 研究常見屋頂通風設備效果差異-2 | 模擬煙囪 | 測量各常見屋頂通風設備效果(無蓋煙囪、通風球、舊煙囪蓋、彎管、T型管、倒U管) |
| 實驗八 | 研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係-2 | 模擬煙囪、通風蓋高度、通風蓋裝設位置 | 通風蓋直徑大小(28.9、32.4、35.9cm) |
| 實驗九 | 研究通風蓋高度與排氣效果的關係-2 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋裝設位置 | 通風蓋高度(12.5、15、17.5cm) |
| 實驗十 | 研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係-2 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋高度 | 通風蓋裝設位置(蓋底高於模擬煙囪頂 1.5、3、4.5cm，以【+1.5】、【+3】、【+4.5】表示) |
| 實驗十一 | 研究通風蓋形狀與排氣效果的關係 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋高度 | 半球形及圓錐形通風蓋 |
| 實驗十二 | 研究通風蓋受風時傾斜角度與排氣吸效果關係 | 模擬煙囪 | 通風蓋傾斜角度 (33°、20°、10°、0°、-10°、-20°、-33°) |
| 實驗十三 | 研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、通風蓋高度、通風蓋裝設位置 | 通風蓋直徑大小(28.9、32.4、35.9cm) |
| 實驗十四 | 研究通風蓋高度與吸氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋裝設位置 | 通風蓋高度(12.5、15、17.5cm) |
| 實驗十五 | 研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係-1 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋高度 | 通風蓋裝設位置【+1.5】、【+3】、【+4.5】 |
| 實驗十六 | 研究通風蓋高度與吸氣效果的關係-2 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋裝設位置 | 通風蓋高度(12.5、10.0、7.5、5.0cm) |
| 實驗十七 | 研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係-2 | 模擬煙囪、風蓋直徑大小、通風蓋高度 | 通風蓋裝設位置【+4.5】、【+6.0】、【+7.5】 |
| 測量一 | 測量通風蓋各安裝位置的蓋緣位置並預估防雨效果 | | 測量吸氣通風蓋在不高度置位置，迎風前緣和煙囪頂的水平距離和垂直高度差 |

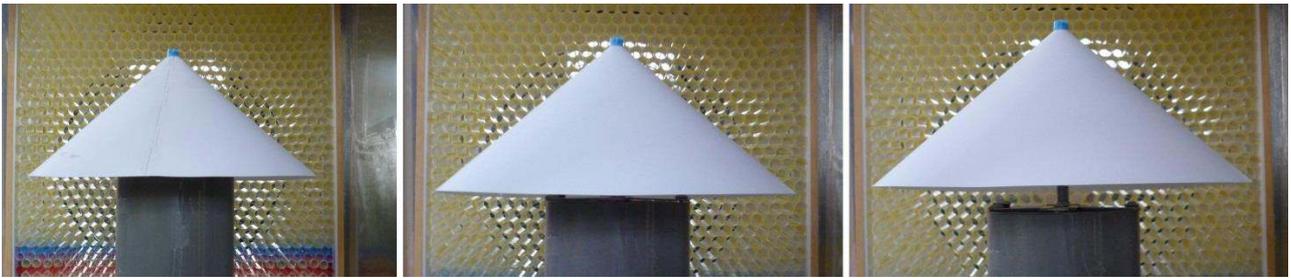


圖 13 三種通風蓋裝設位置 (-1.5cm、0cm、+1.5cm)



圖 14 舊煙囪蓋



圖 15 模擬舊煙囪蓋



圖 16 T型管



圖 17 倒U形管



圖 18 方形的舊煙囪蓋



圖 19 彎管實驗



圖 20 通風球實驗



圖 21 測量一代風洞

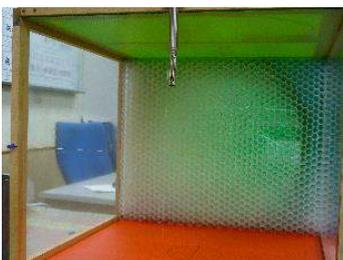


圖 22 測量一代風洞



圖 23 通風蓋傾斜角度實驗

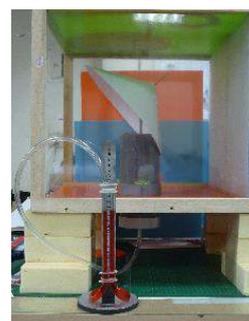


圖 24 排氣壓力實驗

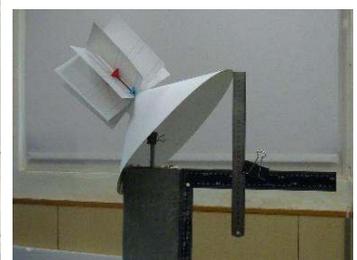


圖 25 測量蓋緣位置

二、實驗一：研究常見屋頂通風設備效果差異-1。

(一) 說明：以「模擬煙囪不加其他裝置」、「通風球」、「模擬舊煙囪蓋」、「彎管」，使用第一代風洞，於七種風速 (1~7) 中做實驗。

(二) 操作：將風速計設定於 AVG 平均模式，開啟風扇後等待 1 分鐘 (0~60 秒)，待風扇加速達到穩定，自第 2 分鐘起至第 2 分鐘結束 (60~120 秒) 讀取風速計

讀數，並以線香確認排吸氣，排氣記為正值，吸氣記為負值。取最大與最小值記錄，平均作為實驗數據。

Ps：「模擬舊煙囪蓋」因製作成品不完全對稱，所以取兩個裝置方向實驗，實驗結果為兩組最大最小值的平均。

三、實驗二：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—1。

(一) 說明：以 14.9、18.4、21.9、25.4、28.9cm (以模擬煙囪外徑 11.4cm 加 3.5、7、10.5、14、17.5cm) 五種大小，各四種通風蓋高度 (5、7.5、10、12.5cm)、三種通風蓋裝設位置 (蓋底高於模擬煙囪頂 1.5cm、蓋底切齊模擬煙囪頂、蓋底低於模擬煙囪頂 1.5cm，以【+1.5】、【0】、【-1.5】表示) 做實驗，使用第一代風洞，於四種風速 (1、3、5、7) 中做實驗。

(二) 操作：同實驗一。

四、實驗三：研究通風蓋高度與排氣效果的關係—1。

(一) 說明：以 5、7.5、10、12.5cm 四種通風蓋高度，各五種直徑大小、三種裝設位置，使用第一代風洞，於四種風速 (1、3、5、7) 中做實驗。

(二) 操作：同實驗一。

五、實驗四：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—1。

(一) 說明：以+1.5、0、-1.5cm 三種通風蓋裝設位置，各五種直徑大小、四種高度，使用第一代風洞，於四種風速 (1、3、5、7) 中做實驗。

(二) 操作：同實驗一。

六、實驗五：研究通風蓋被吹走的原因。

(一) 說明：取在實驗二、三、四中，會被吹走的「通風蓋」做實驗。

(二) 操作：以煙霧機在風洞前噴煙，觀察「通風蓋」被吹落時氣流情況。

七、實驗六：測試新舊風洞差異

(一) 說明：以第一、二代風洞做實驗，測試風速穩定性及均勻性，考量實驗二、三、四風速一時讀數多為 0，所以風速一不再測量。

(二) 操作：以一、二代風洞於三種風速 (3、5、7) 做實驗。測量風洞出口切面中央、中央與四邊中點，共五個位置風速，將風速計設定於「AVG 平均模式」，測頭固定於風洞出口測量位置，開啟風扇後等待 90 秒，待風扇加速達到穩定後，十分鐘內每一分鐘讀取風速計讀數顯示過的最大與最小值，共計 10 筆最大值與 10 筆最小值，平均後作為此次實驗數據。

八、實驗七：研究常見屋頂通風設備效果差異—2。

(一) 說明：以「模擬煙囪不加其他裝置」、「通風球」、「模擬舊煙囪蓋」、「彎管」、「T型管」、「倒U型管」，使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。

(二) 操作：將風速計設定於「AVG 平均模式」，測頭固定於模擬煙囪內中心，開啟風扇後等待 90 秒，待風扇加速達到穩定後，十分鐘內每一分鐘讀取風速計讀數顯示過的最大與最小值，共計 10 筆最大值與 10 筆最小值，平均後作為此次實驗數據。並以線香確認排吸氣狀況，排氣記為正值，吸氣記為負值。

Ps：「模擬舊煙囪蓋」因製作成品不完全對稱，所以取兩個裝置方向實驗，實驗結果為兩組最大最小值的平均。

九、實驗八：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—2。

(一) 說明：以 28.9、32.4、35.9cm 三種通風蓋直徑大小，各三種高度（12.5、15.0、17.5cm）、三種裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。

(二) 操作：同實驗七。

十、實驗九：研究通風蓋高度與排氣效果的關係—2

(一) 說明：以 12.5、15、17.5cm 三種通風蓋高度，各三種直徑大小（28.9、32.4、35.9cm）、三種裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。

(二) 操作：同實驗七。

十一、實驗十：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—2

(一) 說明：以三種通風蓋裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），各三種高度（12.5、15、17.5cm），各三種直徑大小（28.9、32.4、35.9cm），使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。

(二) 操作：同實驗七。

十二、實驗十一：研究通風蓋形狀與排氣效果的關係

(一) 說明：取自然課半球形天體教材製作半球形通風蓋，另依半球形通風蓋直徑及高度製作直徑 24.9cm、高 10.6cm 圓錐形通風蓋，在三種裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），比較二者的排氣效果，使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。

(二) 操作：同實驗七。

十三、實驗十二：研究通風蓋傾斜角度與排吸氣效果的關係

- (一) 說明：以排氣效果最佳的「直徑 28.9cm、高 15cm」通風蓋，裝設位置【+4.5】做實驗，蓋頂內部安裝球形雲台，使通風蓋可調整傾斜角度，取此通風蓋向仰風面的最大傾斜角度 33°，與 20°、10°、0°、-10°、-20°、-33°，共七種角度，測量通風蓋排吸氣效果，使用第二代風洞，於三種風速（3、5、7）中做實驗。
- (二) 操作：同實驗七。

十四、實驗十三：研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係—1

- (一) 說明：以 28.9、32.4、35.9cm 三種通風蓋直徑大小，各三種高度（12.5、15.0、17.5cm）、三種裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），使用第二代風洞，於風速 7 中做實驗。
- (二) 操作：將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，其餘同實驗七。

十五、實驗十四：研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—1

- (一) 說明：以 12.5、15、17.5cm 三種通風蓋高度，各三種直徑大小（28.9、32.4、35.9cm）、三種裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，使用第二代風洞，於風速 7 中做實驗。
- (二) 操作：將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，其餘同實驗七。

十六、實驗十五：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—1

- (一) 說明：以三種通風蓋裝設位置（【+1.5】、【+3】、【+4.5】），各三種高度（12.5、15、17.5cm），各三種直徑大小（28.9、32.4、35.9cm），將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，使用第二代風洞，於風速 7 中做實驗。
- (二) 操作：將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，其餘同實驗七。

十七、實驗十六：研究通風蓋高度、與吸氣效果的關係—2

- (一) 說明：以直徑 35.9cm 通風蓋，三種高度（5、7.5、10cm）、各四種裝設位置（【+3】、【+4.5】、【+6】、【+7.5】），將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，使用第二代風洞，於風速 7 中做實驗。
- (二) 操作：將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，其餘同實驗七。

十八、實驗十七：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—2

- (一) 說明：以直徑 35.9cm 通風蓋，四種裝設位置【+3】、【+4.5】、【+6】、【+7.5】，各三種高度（5、7.5、10cm）做實驗，將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，使用第二代風洞，於風速 7 中做實驗。
- (二) 操作：將通風蓋迎風面揚起至最高固定，測量吸氣效果，其餘同實驗七。

十九、測量一：測量吸氣通風蓋各安裝位置的蓋緣位置並預估防雨效果

(一) 說明：測量通風蓋各安裝位置的蓋緣位置，並參考雨水終端速度，計算吸氣通風蓋在不同安裝位置時能防雨的最大風速。

(二) 操作：固定直角尺在煙囪外緣，調整通風蓋高度後，測量通風蓋迎風側外緣與煙囪頂部外緣的水平及垂直距離。

伍、研究結果

一、實驗一：研究常見屋頂通風設備效果差異。

表 3 常見屋頂通風設備在各風速排氣速度，單位：cm/s。

| 風速 | 風洞風速 | 無蓋煙囪 | 彎管 | 模擬舊煙囪蓋 | 通風球 |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|
| 1 | 19.0 | 6.0 | 0.0 | 0.25 | 0.0 |
| 2 | 49.5 | 39.5 | 9.5 | 5.5 | 0.0 |
| 3 | 73.0 | 60.5 | 21.0 | 14.25 | 0.0 |
| 4 | 103.5 | 110.0 | 44.5 | 29.25 | 12.0 |
| 5 | 111.0 | 121.5 | 53.5 | 35.5 | 15.0 |
| 6 | 165.0 | 167.5 | 74.5 | 51.5 | 40.5 |
| 7 | 203.0 | 193.0 | 95.0 | 62.5 | 55.5 |
| 總計 | 724.0 | 698.0 | 298.0 | 198.8 | 123.0 |

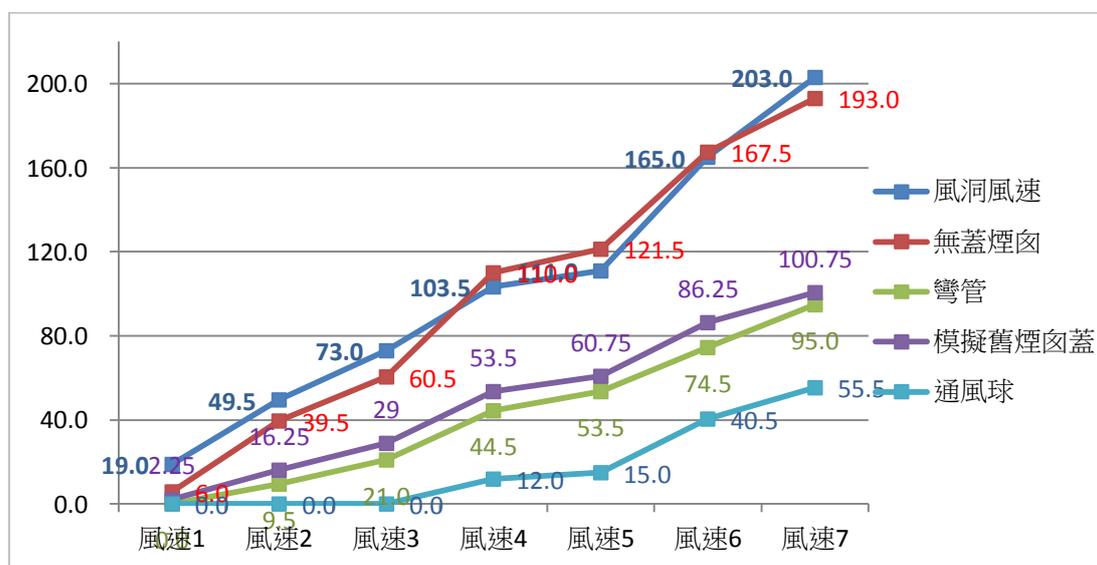


圖 26 「通風球」、「彎管」、「無蓋煙囪」、「模擬舊煙囪蓋」與「風洞」在各段風速通風效果比較，單位：cm/s。

二、實驗二：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係。

表 4 各直徑大小通風蓋的排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋直徑 | 28.9cm | 25.4cm | 21.9cm | 18.4cm | 14.9cm |
|--------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 排氣風速總計 | 1236.5 | 960.5 | 541.5 | 351.5 | 169.0 |
| 排氣風速平均 | $1236.5 \div 12 = 103.0$ | $960.5 \div 12 = 80.0$ | $541.5 \div 12 = 45.1$ | $351.5 \div 11 = 32.0$ | $169 \div 10 = 16.9$ |

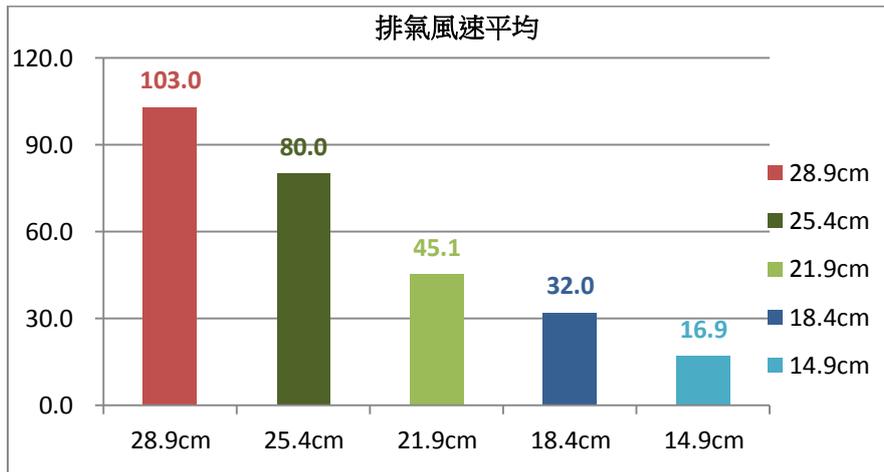


圖 27 不同直徑通風蓋排氣效果平均值比較，單位：cm/s。

三、實驗三：研究通風蓋高度與排氣效果的關係。

表 5 各高度通風蓋的排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋高度 | 12.5cm | 10.0cm | 7.5cm | 5.0cm |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 排氣風速總計 | 1626.5 | 1478.0 | 393.0 | -238.5 |
| 排氣風速平均 | $1626.5 \div 15 =$ 108.4 | $1478.0 \div 15 =$ 98.5 | $393.0 \div 14 =$ 28.1 | $-238.5 \div 13 =$ -18.3 |

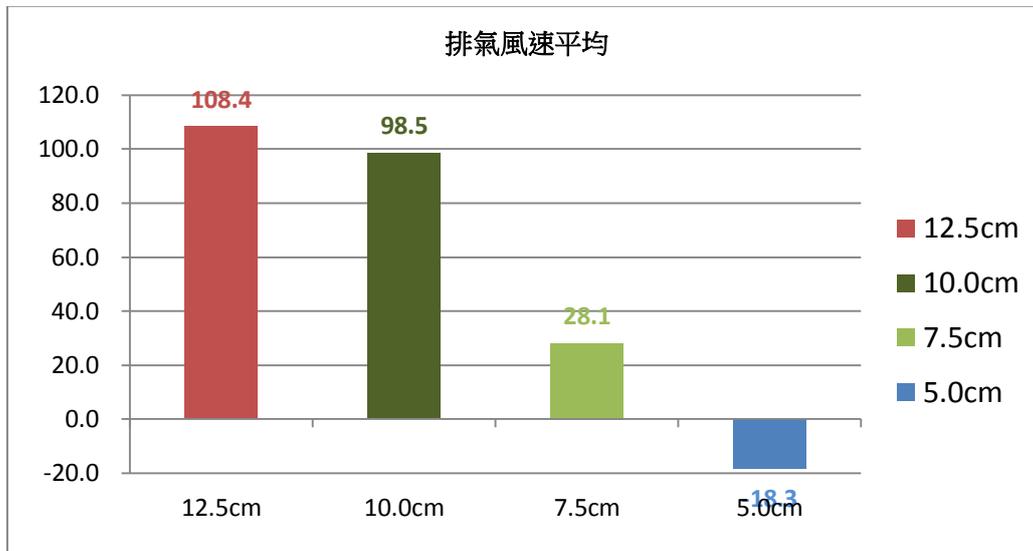


圖 28 不同高度通風蓋排氣效果比較，單位：cm/s。

四、實驗四：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係。

表 6 不同通風蓋裝設位置的排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋位置 | 【+1.5】 | 【0】 | 【-1.5】 |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 排氣風速總計 | 1480.5 | 1020.5 | 758.0 |
| 排氣風速平均 | $1480.5 \div 20 =$ 74.0 | $1020.5 \div 20 =$ 51.0 | $758.0 \div 17 =$ 44.6 |

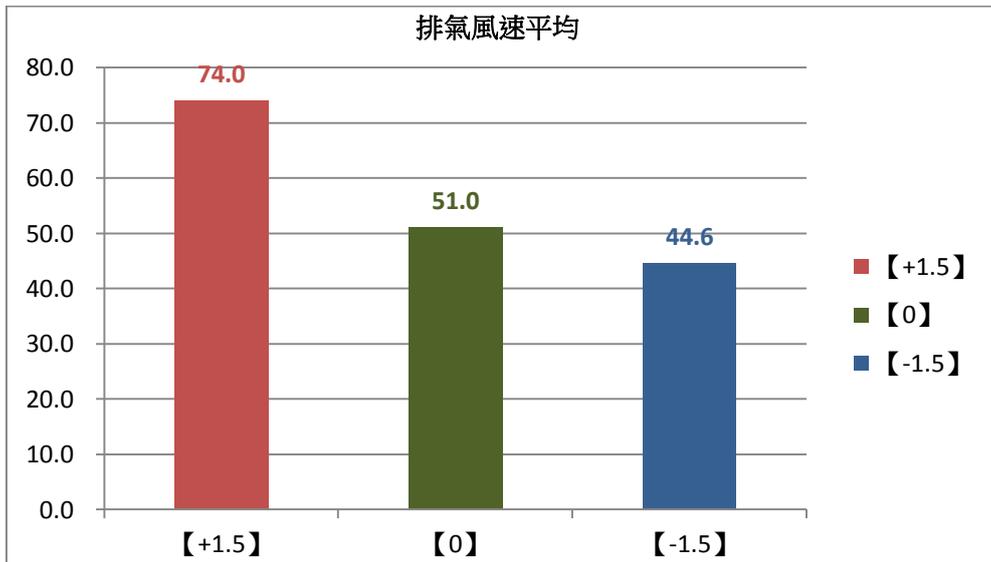


圖 29 不同通風蓋裝設位置排氣效果比較，單位：cm/s。

五、實驗五：研究通風蓋被吹走的原因。

氣流撞上煙囪，一部分氣流轉向上，推高通風蓋的迎風端，使通風蓋被吹走。



圖 30 增加煙霧方便觀察氣流

六、實驗六：測試新舊風洞差異。

| 舊風洞 | 穩定性 | 風速七 | 新風洞 | 穩定性 | 風速七 | 舊風洞 | 均勻性 | 風速七 | 新風洞 | 均勻性 | 風速七 |
|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.7% | | | 1.0% | | | 3.69 | | | 1.69 | |
| 4.4% | 12.8% | 14.1% | 0.9% | 2.3% | 1.2% | 3.75 | 1.00 | 3.45 | 1.77 | 1.00 | 1.84 |
| | 6.2% | | | 1.0% | | | 3.62 | | | 1.81 | |
| 舊風洞 | 穩定性 | 風速五 | 新風洞 | 穩定性 | 風速五 | 舊風洞 | 均勻性 | 風速五 | 新風洞 | 均勻性 | 風速五 |
| | 3.8% | | | 1.8% | | | 3.96 | | | 1.86 | |
| 5.9% | 9.5% | 9.3% | 1.6% | 2.5% | 1.7% | 4.10 | 1.00 | 3.82 | 1.95 | 1.00 | 2.01 |
| | 7.3% | | | 1.1% | | | 3.79 | | | 2.02 | |
| 舊風洞 | 穩定性 | 風速三 | 新風洞 | 穩定性 | 風速三 | 舊風洞 | 均勻性 | 風速三 | 新風洞 | 均勻性 | 風速三 |
| | 4.0% | | | 1.5% | | | 4.80 | | | 2.14 | |
| 9.2% | 14.9% | 14.2% | 2.9% | 3.3% | 1.7% | 4.76 | 1.00 | 4.25 | 2.21 | 1.00 | 2.40 |
| | 8.4% | | | 1.8% | | | 4.93 | | | 2.38 | |

圖 30 新舊風洞在各風速時的穩定性及均勻性

表 7 第一二代風洞穩定性、均勻性、風速比較。

| 風扇 風速 | 穩定性 | | 均勻性 | | 風速比較 (cm/s) | |
|----------|---------------|-------|------------------|-------|----------------|-------|
| | 風速起伏比率 (五點平均) | | 週圍與中央風速倍率 (五點平均) | | 週圍與中央風速 (五點平均) | |
| | 第一代風洞 | 第二代風洞 | 第一代風洞 | 第二代風洞 | 第一代風洞 | 第二代風洞 |
| 風速三 | 8.4% | 2.1% | 4.69 | 2.28 | 221.9 | 139.7 |
| 風速五 | 6.7% | 1.7% | 3.92 | 1.96 | 329.1 | 228.6 |
| 風速七 | 7.1% | 1.2% | 3.63 | 1.78 | 469.8 | 338.5 |

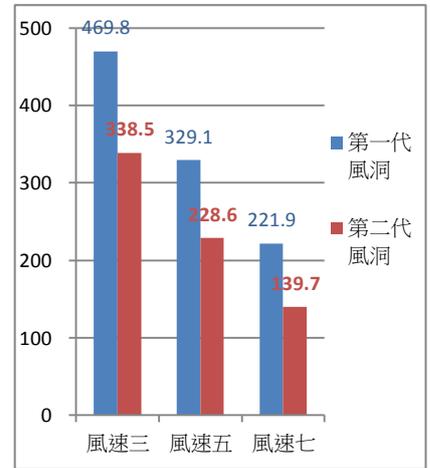
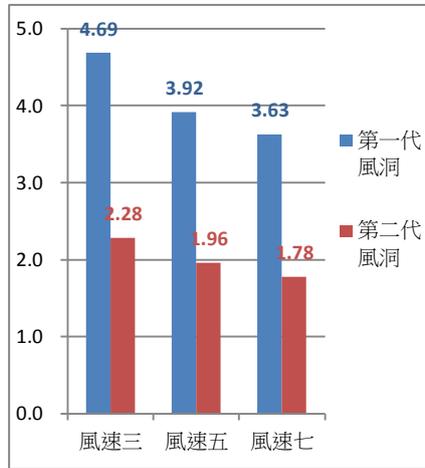
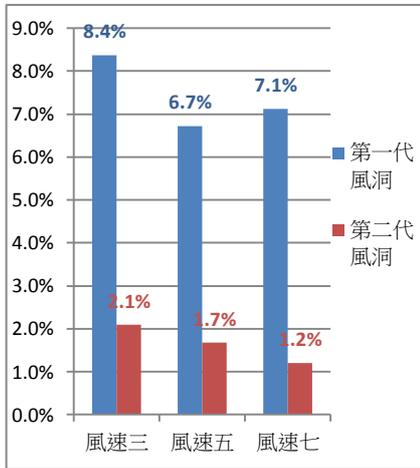


圖 31 第一二代風洞穩定性比較

圖 32 第一二代風洞均勻性比較

圖 33 第一二代風洞風速比較

八、實驗七：研究常見屋頂通風設備效果差異—2。

表 8 常見屋頂通風設備在各風速排氣速度，單位：cm/s。

| | 彎管 | 無蓋煙囪 | 倒 U 管 | T 管 | 舊蓋子 | 通風球 |
|-----|------|------|-------|------|------|------|
| 風速三 | 3.4 | 3.5 | 2.6 | 3.3 | 0.6 | 0.0 |
| 風速五 | 17.3 | 15.5 | 13.1 | 12.2 | 7.5 | 0.3 |
| 風速七 | 40.2 | 34.9 | 29.9 | 26.5 | 16.5 | 15.6 |
| 總計 | 60.9 | 53.8 | 45.6 | 42.0 | 24.5 | 24.5 |

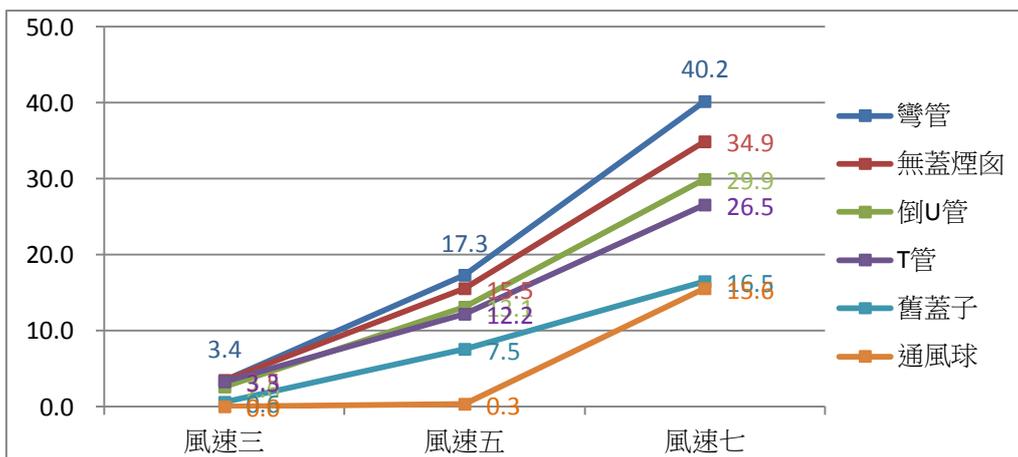


圖 34 常見屋頂通風設備在各風速排氣速度比較，單位：cm/s。

九、實驗八：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—2

表 9 各直徑通風蓋的排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋直徑 | 35.9cm | 32.4cm | 28.9cm |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 排氣風速總計 | 247.5 | 370.8 | 605.3 |
| 排氣風速平均 | $247.5 \div 9 = 27.5$ | $370.8 \div 9 = 41.2$ | $605.3 \div 9 = 67.3$ |

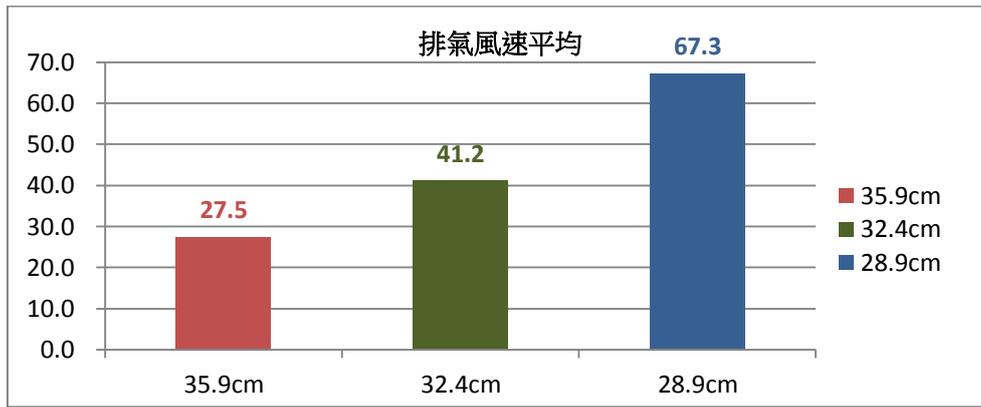


圖 35 各直徑通風蓋的平均排氣數據比較，單位：cm/s。

十、實驗九：研究通風蓋高度與排氣效果的關係—2

表 10 各通風蓋高度排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋高度 | 17.5cm | 15.0cm | 12.5cm |
|--------|--------|--------|--------|
| 排氣風速總計 | 424.0 | 415.2 | 384.4 |
| 排氣風速平均 | 47.1 | 46.1 | 42.7 |

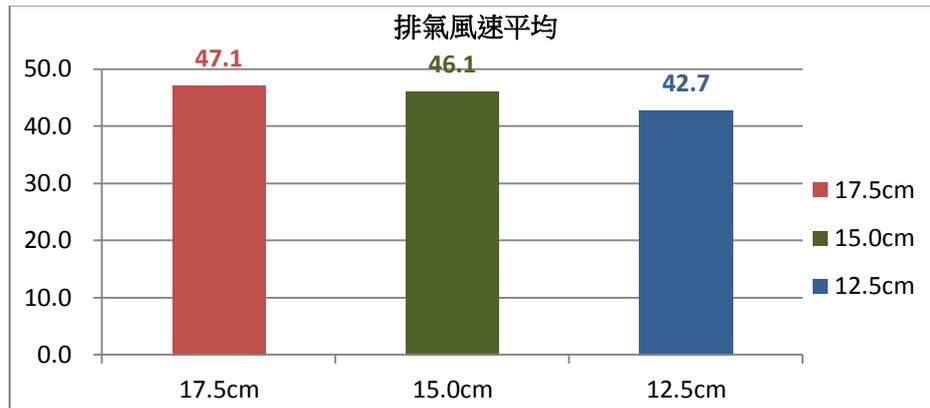


圖 36 各高度通風蓋的平均排氣數據比較，單位：cm/s。

十一、實驗十：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—2

表 11 各通風蓋位置排氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋位置 | 【+4.5】 | 【+3.0】 | 【+1.5】 |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 排氣風速總計 | 467.9 | 418.1 | 337.6 |
| 排氣風速平均 | $467.9 \div 9 = 52.0$ | $418.1 \div 9 = 46.5$ | $337.6 \div 9 = 37.5$ |

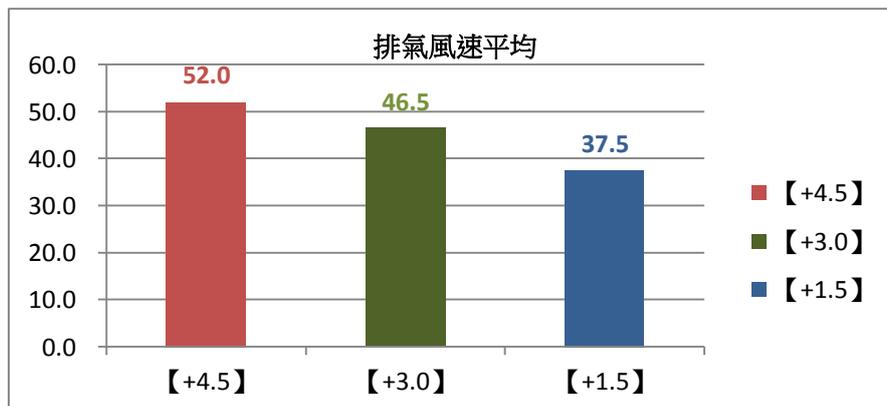


圖 37 各通風蓋位置平均排氣數據比較，單位：cm/s。

十二、比較常見屋頂通風設備與通風蓋效果

表 12 效果最佳的通風蓋的與常見屋頂通風設備排氣風速比較比較，單位：cm/s。

| | 風速三 | 風速五 | 風速七 | 總計 |
|---------------------------|-----|------|------|------|
| 直徑 28.9cm、高 12.5cm、【+4.5】 | 5.9 | 29.7 | 47.2 | 82.8 |
| 彎管 | 3.4 | 17.3 | 40.2 | 60.9 |
| 無蓋煙囪 | 3.5 | 15.5 | 34.9 | 53.8 |
| 倒 U 管 | 2.6 | 13.1 | 29.9 | 45.6 |
| T 管 | 3.3 | 12.2 | 26.5 | 42.0 |
| 舊蓋子 | 0.6 | 7.5 | 16.5 | 24.5 |
| 通風球 | 0.0 | 0.3 | 15.6 | 15.9 |

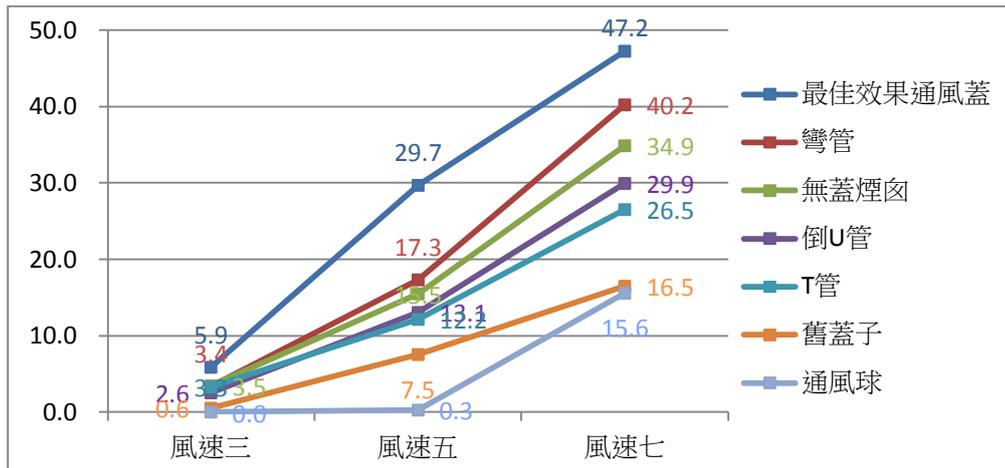


圖 38 效果最佳的通風蓋的與常見屋頂通風設備在各段風速排氣效果比較，單位：cm/s。

十三、實驗十一：研究通風蓋形狀與排氣效果的關係

表 13 半球形及圓錐形通風蓋在固定及活動時於各風速實驗數據，單位：cm/s。

| 活動 | 直徑 24.9cm 高 10.6cm | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|
| | 半球形 | | | 圓錐 | | |
| 電扇風速 | +1.5 | +3 | +4.5 | +1.5 | +3 | +4.5 |
| 三 | 1.0 | 2.5 | 2.6 | 3.0 | 2.9 | 2.6 |
| 五 | 1.1 | 8.4 | 10.7 | 11.3 | 19.0 | 16.0 |
| 七 | 7.7 | 22.5 | 27.9 | 30.1 | 32.8 | 27.4 |
| 總計 | 9.8 | 33.4 | 41.2 | 44.4 | 54.7 | 45.9 |
| 平均 | 28.1 | | | 48.3 | | |

| 固定 | 直徑 24.9cm 高 10.6cm | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|
| | 半球形 | | | 圓錐 | | |
| 電扇風速 | +1.5 | +3 | +4.5 | +1.5 | +3 | +4.5 |
| 三 | 3.2 | 3.2 | 2.7 | 3.1 | 3.2 | 2.7 |
| 五 | 11.7 | 11.8 | 11.2 | 12.4 | 16.3 | 11.0 |
| 七 | 31.7 | 30.2 | 26.9 | 30.1 | 32.8 | 27.4 |
| 總計 | 46.5 | 45.2 | 40.7 | 45.5 | 52.3 | 41.1 |
| 平均 | 44.1 | | | 46.3 | | |

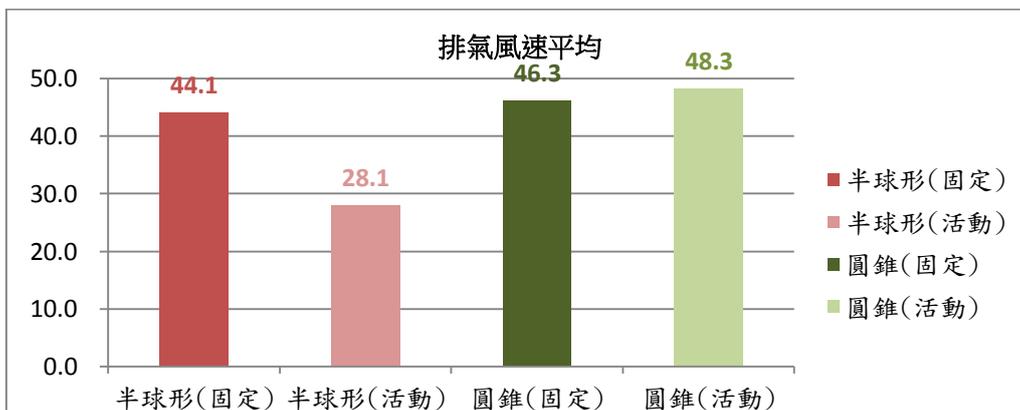


圖 39 半球形及圓錐形通風蓋在固定及活動時排氣數據平均數據比較，單位：cm/s。

十三、實驗十二：研究通風蓋傾斜角度與排吸氣效果的關係

表 14 通風蓋傾斜角度於各風速的排吸氣效果數據，單位：cm/s。

| 直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值) | | | | | | | |
|---|--------|-------|-------|------|------|------|------|
| 傾斜角度 | -33° | -20° | -10° | 0° | 10° | 20° | 33° |
| 風速三 | -16.9 | -1.7 | -1.7 | 1.7 | 4.4 | 1.7 | 5.5 |
| 風速五 | -38.0 | -6.7 | -10.2 | 15.9 | 20.9 | 8.7 | 25.7 |
| 風速七 | -62.1 | -14.4 | -25.1 | 35.2 | 33.7 | 33.4 | 48.3 |
| 總計 | -116.9 | -22.7 | -36.9 | 52.8 | 59.0 | 43.8 | 79.5 |

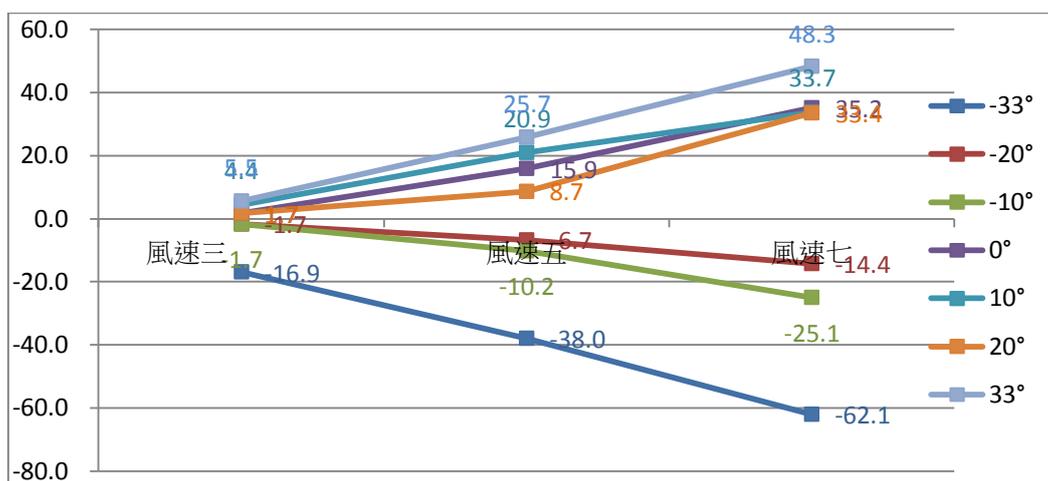


圖 40 通風蓋傾斜角度於各風速的排吸氣數據，單位：cm/s。

十四、實驗十三：研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係—1

表 15 各直徑通風蓋的吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋直徑 | 28.9cm | 32.4cm | 35.9cm |
|--------|--------|--------|--------|
| 吸氣風速總計 | -279.3 | -453.7 | -697.9 |
| 吸氣風速平均 | -31.0 | -50.4 | -77.5 |

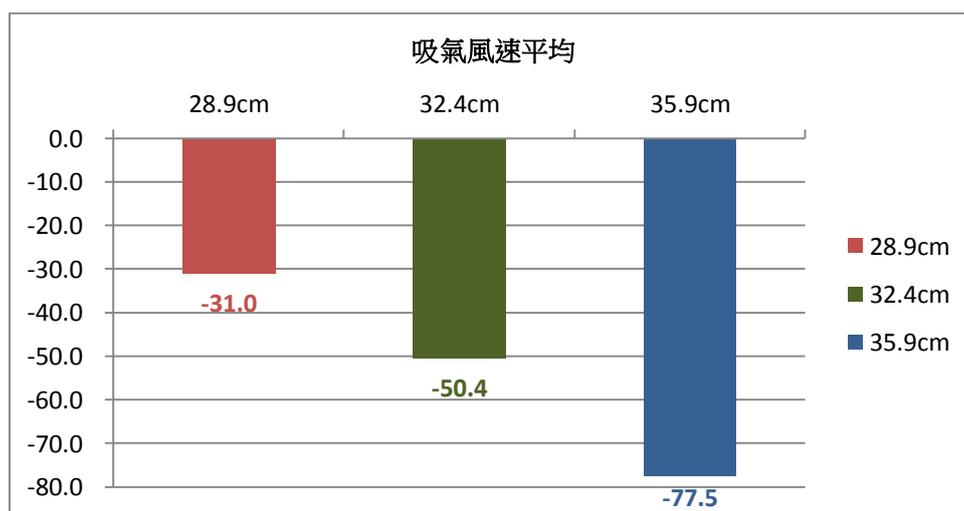


圖 41 各直徑通風蓋的平均吸氣數據比較，單位：cm/s。

十五、實驗十四：研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—1

表 16 各通風蓋高度吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋高度 | 17.5cm | 15.0cm | 12.5cm |
|--------|--------|--------|--------|
| 吸氣風速總計 | -443.2 | -245.5 | -516.9 |
| 吸氣風速平均 | -49.2 | -27.3 | -57.4 |

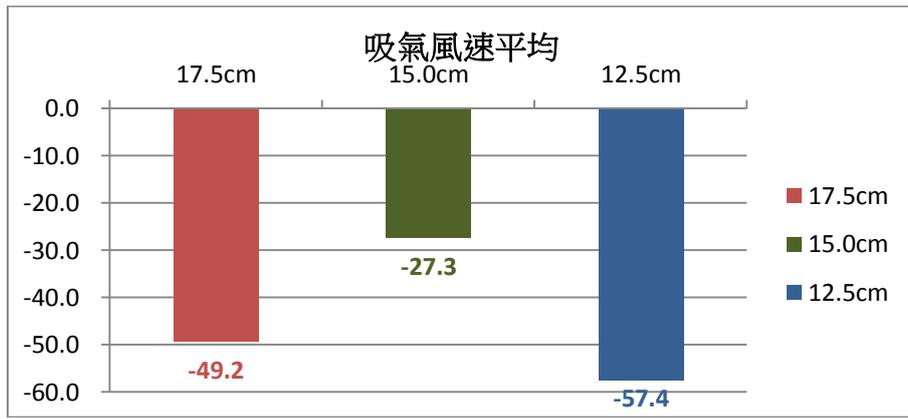


表 42 各通風蓋高度吸氣風速平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十六、實驗十五：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—1

表 17 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋位置 | 【+4.5】 | 【+3.0】 | 【+1.5】 |
|--------|--------|--------|--------|
| 吸氣風速總計 | -553.4 | -465.8 | -411.6 |
| 吸氣風速平均 | -61.5 | -51.8 | -45.7 |

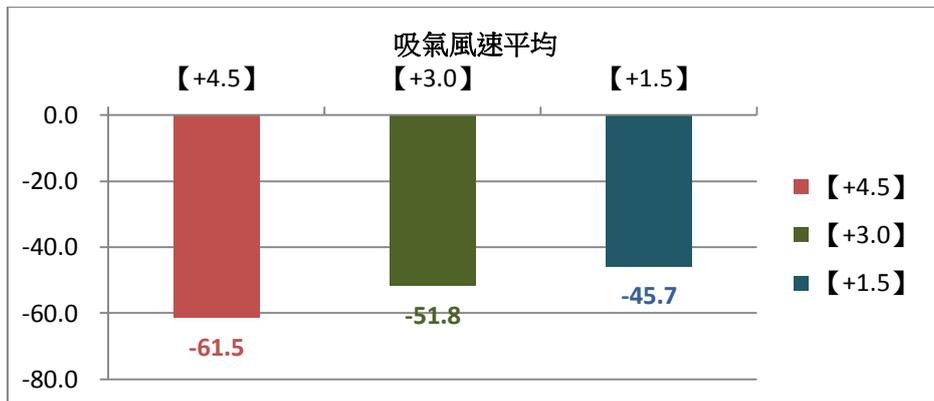


圖 43 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十七、實驗十六：研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—2

表 18 各通風蓋高度吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋高度 | 12.5cm | 10.0cm | 7.5cm | 5.0cm |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 吸氣風速總計 | -372.1 | -479.8 | -465.4 | -447.9 |
| 吸氣風速平均 | -93.0 | -119.9 | -116.4 | -112.0 |

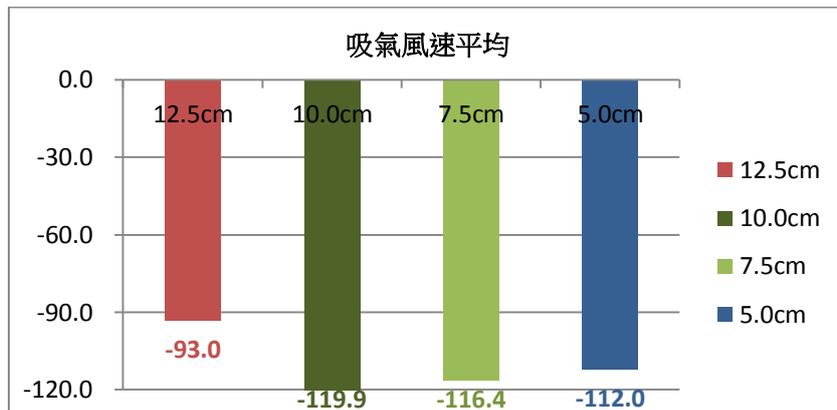


表 44 各通風蓋高度吸氣風速平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十八、實驗十七：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—2

表 19 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

| 通風蓋位置 | 【+7.5】 | 【+6.0】 | 【+4.5】 | 【+3.0】 |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 吸氣風速總計 | -358.2 | -350.0 | -358.2 | -326.7 |
| 吸氣風速平均 | -89.6 | -87.5 | -89.5 | -81.7 |

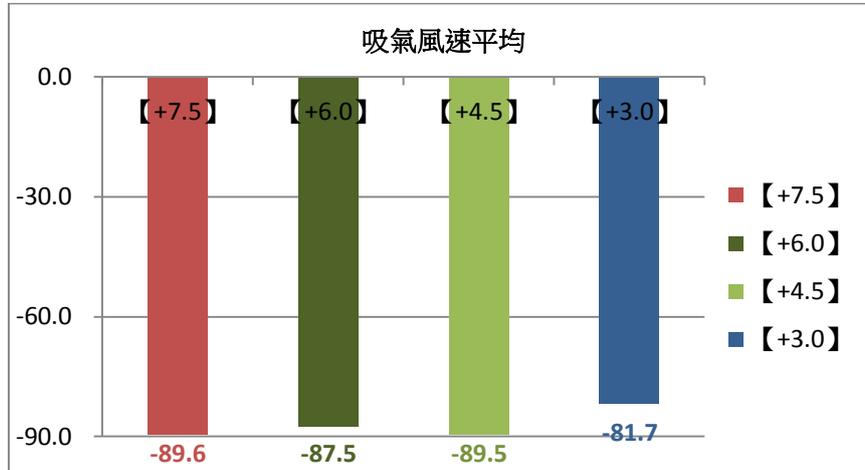


圖 45 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十九、測量一：測量通風蓋各安裝位置的蓋緣位置並預估吸氣通風蓋的防雨效果

表 20 通風蓋不同安裝位置蓋緣距離煙囪的水平距離及垂直高度，風速為以 9m/s 為終端速度計算出的可防雨最大風速。

| 位置 | 【+4.5】 | 【+3.9】 | 【+3.3】 | 【+2.7】 | 【+2.1】 | 【+1.5】 | 【+0.9】 | 【+0.3】 | 【-0.3】 | 【-0.9】 | 【-0.15】 | 【-0.21】 | 【-0.27】 | 【-0.33】 | 【-0.39】 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 水平距離 (cm) | 10.3 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.1 | 10.2 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.8 | 10.8 | 11.1 | 11.2 | 11.5 |
| 垂直高度 (cm) | 19.4 | 18.7 | 18.3 | 17.6 | 17 | 16.4 | 15.7 | 14.8 | 14 | 13 | 12 | 11.1 | 9.9 | 9.2 | 7.5 |
| 防雨風速 (m/s) | 4.78 | 4.87 | 4.73 | 4.73 | 4.73 | 4.69 | 4.73 | 4.82 | 4.87 | 4.87 | 5.01 | 5.01 | 5.15 | 5.20 | 5.34 |

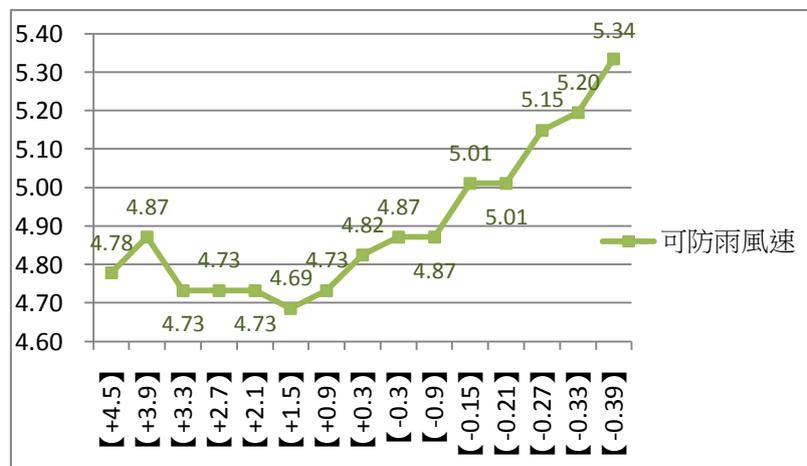


圖 46 各通風蓋位置與可防雨風速，單位：m/s。

陸、討論

一、實驗一：研究常見屋頂通風設備效果差異。

實驗發現「無蓋煙囪」、「通風球」、「模擬舊煙囪蓋」、「模擬彎管」四種常見的屋頂通風裝置中，以「無蓋煙囪」的效果最佳，在各風速中，排氣速度都是最好的，排風速度與風洞的風速接近，其次是較大型廠房上才能看到會隨風轉向的「彎管」，再其次的竟然是較少見的是燒柴的灶上煙囪安裝的「舊煙囪蓋」，最後是幾乎隨處可見的「通風球」。較常見的「通風球」和會轉向的「彎管」都能利用風力或是轉動或是轉向來幫助通風，我們試著讓「舊煙囪蓋」也能隨風擺動，看看能否找出更好的屋頂通風裝置。

二、實驗二：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係。

直徑 28.9、25.4、21.9、18.4、14.9cm 五種直徑的通風蓋，以平均排氣效果來看，直徑越大的通風蓋排氣效果越好。但同樣直徑大小的通風蓋，不同高度及裝設位置的效果差異頗大。

三、實驗三：研究通風蓋高度與排氣效果的關係。

高度 12.5、10、7.5、5 四種高度的通風蓋，以平均排氣效果來看，高度越高的通風蓋排氣效果越好。但相同高度的通風蓋，不同直徑大小及裝設位置的效果差異頗大。

四、實驗四：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係。

【+1.5】、【0】、【-1.5】三種通風蓋裝設位置，以平均排氣效果來看，裝設位置越高的通風蓋排氣效果越好。但同樣位置的通風蓋，不同直徑大小及高度的效果差異頗大。

五、實驗五：研究通風蓋被吹走的原因。

「通風蓋」是由「舊煙囪」修改支撐點而來的，因為重心在支點下，加上受風面也幾乎在支點之下，我們覺得「通風蓋」在受風時應該會往背風面翹起，但前實驗中發現，有些「通風蓋」在受風時會往迎風面翹起而被吹走。

在煙霧幫助下，我們清楚的看到氣流的走向，氣流撞向煙囪而轉向，一部份氣流轉向上，將「通風蓋」的迎風面掀起，使「通風蓋」被推高吹走。

利用部分「通風蓋」迎風面會翹起時會吸氣的特性，只要讓「通風蓋」不被吹走，我們可以設計出能吸氣的「通風蓋」，在排氣和吸氣之間幫助建物築換氣。

六、實驗六：測試新舊風洞差異。

實驗時風速計的讀數並不穩定，所以我們才採用一分鐘裡出現過的最大最小值平均做為實驗數據，為瞭解讀數不穩定的原因，我們直接測試電風扇及風洞內的風速，

發現電風扇的風速很穩定，風洞內的風速卻不穩定，經中央大學風洞實驗室的朱教授介紹，請教一家風洞公司的工程師，在尺寸限制範圍內重新設計製作了第二代風洞。

分別測試新舊風洞的穩定性和均勻性，第二代風洞的穩定性和均勻性都較第一代風洞好，在穩定性方面，二代風洞的風速起伏在 2.1% 以下，風速七時更只有 1.2%，均勻性方面；第一代風洞在風速三時，周圍風速平均是中央風速的 4.69 倍，風速七時也有 3.63 倍，第二代風洞在風速三、五、七時，分別是 2.28、1.96、1.77 倍，較第一代風洞有明顯進步。兩代風洞都有在較大風速時，較均勻、穩定的情形。

依工程師的建議均勻性部分若要達到較高水準，須延長風洞的整流段並增加收縮段，在經費及空間考量下，只製作第二代風洞。

七、實驗七：研究常見屋頂通風設備效果差異—2。

常見屋頂通風設備效果最佳為「彎管」，其次依序為「無蓋煙囪」、「倒 U 管」、「T 管」、「舊蓋子」、「通風球」，除「彎管」、「無蓋煙囪」順序不同外與實驗二結果類似。

八、實驗八：研究通風蓋直徑大小與排氣效果的關係—2

實驗二中五個直徑大小中，排氣效果是越大越好，所以在實驗八做了更大的 32.4、35.9cm 兩個尺寸的通風蓋來和 28.9cm 的比較，結果發現 32.4、35.9cm 兩個尺寸的通風蓋排氣效果並沒有比 28.9cm 的更好。

九、實驗九：研究通風蓋高度與排氣效果的關係—2

實驗三的四種高度中，排氣效果最好的是 12.5cm 的通風蓋，而且是越高越好，所以在實驗九增加了 15.0、17.5cm 兩種高度，結果發現高度 17.5cm 通風蓋的平均排氣效果是最好的。

十、實驗十：研究通風蓋裝設位置與排氣效果的關係—2

實驗四的三種裝置位置中，安裝位置越高排氣效果越好，實驗十增加了【+3.0】、【+4.5】兩個安裝位置，實驗發現【+4.5】位置是排氣平均效果最好的。

十一、排氣效果最好的通風蓋與常見屋頂通風設備的排氣效果比較

挑出排氣效果最好的通風蓋（直徑 28.9cm、高 12.5cm、【+4.5】）與常見屋頂通風設備用第二代風洞的實驗數據比較，其中以通風蓋的效果最好，其次是彎管、無蓋煙囪、倒 U 形管，T 形管和舊蓋子，最後是通風球。另外在實驗二、三、四中發現有些情況（大多是高度較低的）通風蓋會被吹翻飛走，或是有些通風蓋會有吸氣的狀況，可以做為再研究吸氣通風蓋的方向。

十二、實驗十一：研究通風蓋形狀與排氣效果的關係

因為半球形通風蓋較圓錐形通風蓋重，所以在風速七時還沒有靠在煙囪上，所以實驗十一中，半球形與圓錐形通風蓋分別以活動及固定在水管上兩種方式實驗。半球形通風蓋固定時效果會比活動時好很多（平均 $44.1\text{cm/s} > 28.1\text{cm/s}$ ），但圓錐形通風蓋則相差不多；圓錐形通風蓋在固定和活動時效果都比半球形通風蓋要好。

十三、實驗十二：研究通風蓋傾斜角度與排吸氣效果的關係

在實驗十一中，將半球形通風蓋以最大的傾斜角度靠在煙囪上時會有更好的效果，而且差距不小，所以在實驗十二採用在實驗八、九、十找到的最佳排氣通風蓋（直徑 28.9cm 、高 17.5cm 、【+4.5】）探討傾斜角度與排吸氣效果的關係，從向背風面翹起的【+33°】到向迎風面翹起的【-33°】大致是排氣效果漸小轉為吸氣效果漸強，而且【+33°】和【-33°】分別是排氣與吸氣效果最佳的角度。

從實驗二、三、四，一直到實驗八、九、十，我們找到了排氣效果最好的尺寸一直徑 28.9cm 、高 15.0cm 、【+4.5】（風速三、五、七總計 82.1cm/s ）及直徑 28.9cm 、高 17.5cm 、【+4.5】（風速三、五、七總計 82.8cm/s ）；從實驗十一、十二中，雖不能確定圓錐形通風蓋是效果最佳的形狀，但發現了製作通風蓋要考慮重心位置，讓通風蓋在較慢風速時就能靠在煙囪上達到最大的傾斜角度，便會有較好的排氣效果。

十四、實驗十三：研究通風蓋直徑大小與吸氣效果的關係—1

在直徑 28.9 、 32.4 、 35.9cm 三種尺寸通風蓋中，平均以 35.9cm 的通風蓋最好，而且直徑越大效果越好。

雖然實驗發現直徑越大的通風蓋吸氣效果越好，但考量通風蓋尺寸及製作材料，直徑 32.4 、 35.9cm 的通風蓋已漸漸容易受風力而變形，會讓誤差增加，我們不再製作更大的通風蓋。

十五、實驗十四：研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—1

在高度 17.5 、 15.0 、 12.5cm 三種高度通風蓋中，平均以 12.5cm 的通風蓋最好， 15.0cm 的通風蓋吸氣效果最差。

十六、實驗十五：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—1

在【+1.5】、【+3.0】、【+4.5】三種裝置位置中，平均以【+4.5】的通風蓋吸氣效果最好，而且裝設位置越高效果越好。

十七、實驗十六：研究通風蓋高度與吸氣效果的關係—2

在高度 12.5 、 10.0 、 7.5 、 5.0cm 四種高度通風蓋中，平均以 10.0cm 的通風蓋最好， 12.5cm 的通風蓋吸氣效果最差。 10.0 、 7.5 、 5.0cm 三種高度的效果很接近。

十八、實驗十七：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的關係—2

在【+7.5】、【+6.0】、【+4.5】、【+3.0】四種裝置位置中，平均以【+7.5】的通風蓋吸氣效最好，其中【+7.5】、【+6.0】、【+4.5】平均吸氣效果都很接近。

從實驗十三到十七，我們找到了吸氣效果最好的尺寸（直徑 28.9cm、高 10.0cm、【+7.5】（風速七時-125.8cm/s）及直徑 28.9cm、高 10.0cm、【+4.5】（風速七時-125.1cm/s））；從實驗十一、十二中，雖不能確定圓錐形通風蓋是效果最佳的形狀，但發現了製作通風蓋要考慮重心位置，讓通風蓋在較慢風速時就能靠在煙囪上達到最大的傾斜角度，便會有較好的排氣效果。

十八、測量吸氣通風蓋各安裝位置的蓋緣位置並預估防雨效果

實驗用的最佳吸氣通風蓋因為加裝了萬向軸承與塑浪板，高度增加了，所以安裝位置下降時，蓋緣的水平距離不太會增加，參考雨水的終端速度表（圖 47），以 9m/s 為雨滴落下速度來計算吸氣通風蓋雨水不會落進煙囪的「可防雨風速」，隨著蓋緣高度下降「可防雨風速」也逐漸增加，降到可調整的最低位置時，「可防雨風速」達到 5.34m/s，若通風蓋能繼續下降「可防雨風速」應能繼續上升，以達到能實際應用的需求。

柒、結論

適當尺寸和裝設位置的通風蓋可較彎管及通風球有更好的排氣效果，有些尺寸和裝設位置的「通風蓋」有吸氣的效果，是能幫建築引進屋頂較冷空氣並排出室內熱空氣內降溫的好方法。

通風蓋構造簡單製作容易，且會排氣的通風蓋和會吸氣的通風蓋搭配更能幫助通風，如果能使用牢固的活動關節製作通風蓋的活動處，通風蓋應能取代通風球及彎管且還能有遮雨的效果；如果能再設計方便升降的通風蓋支架，可以降低「通風蓋」讓煙囪封閉而停止通風或調整到可排吸氣位置，值得再設計實驗探究。

表 21 通風蓋與常風通風裝置簡單比較

| | 風速三、五、七 排氣速度總計 | 特點 |
|---------|--------------------------|----------------------------|
| 最佳排氣通風蓋 | 82.8 | 排氣效果最好、可下降而關閉 |
| 彎管 | 60.9 | 效果好、較大型的工廠才有 |
| 無蓋煙囪 | 53.8 | 不防雨 |
| 倒 U 管 | 45.6 | 一般住宅屋頂的通氣管 |
| T 管 | 42.0 | 一般住宅屋頂的通氣管 |
| 舊蓋子 | 24.5 | 常在舊爐灶、金爐上安裝，尺寸不一 |
| 通風球 | 15.9 | 鐵皮屋頂最常見 |
| 最佳吸氣通風蓋 | (風速七時吸氣速度) -125.8cm/s | 有吸氣功能、可下降而關閉、下雨需防雨時吸氣效果會下降 |

捌、參考資料及其他

一、參考資料

翰林出版事業（2014）·國民小學自然與生活科技 3 上·翰林出版事業股份有限公司。

翰林出版事業（2014）·國民小學自然與生活科技 4 下·翰林出版事業股份有限公司。

維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/>。

溫度直減率（Lapse rate of temperature）或稱為**環境直減率**（Environmental lapse rate，ELR）是**直減率**（lapse rate）的一種，指的是對流層中溫度隨高度增加而降低的現象，通常乾空氣每上升 100 公尺減低 0.98 度，而濕空氣每上升 100 公尺減低 0.65 度。平均而言，夏季海拔高度每上升 100 米氣溫約降低 0.6 度，而冬季每上升 100 米約降低 0.36 度。

蔡沛勳、王安邦、隋中興。水滴大氣之旅中的力學，7。

<http://www.stam.org.tw/newsletter2a.php?SN=44&opp=download1>。

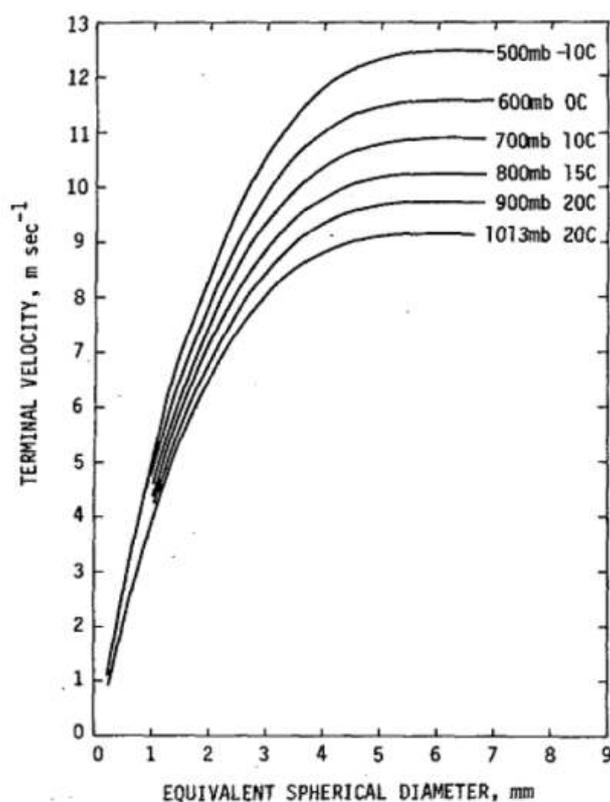


圖 47 水滴終端速度表

二、未完成實驗

表 21 未完成實驗。

| | | | |
|------|-------------------------|------|---|
| 實驗十八 | 研究通風蓋與常見通風裝置的排吸氣壓力 | 模擬煙囪 | 常見屋頂通風設備與通風蓋的排吸氣壓力（無蓋煙囪、通風球、舊煙囪蓋、彎管、倒 U 管、T 形管） |
| 實驗十九 | 研究增加附件對通風蓋排吸氣效果的影響 | 模擬煙囪 | 測量在模擬煙囪增加附件時的排吸氣效果 |
| 實驗二十 | 研究吸氣通風蓋在各安位置的防雨風速時的吸氣效果 | 模擬煙囪 | 通風蓋安裝位置及防雨風速 |

(一) 實驗十八：研究通風蓋與常見通風裝置的排吸氣壓力

- 1.說明：以連通管原理製作氣壓計，測試常見屋頂通風設備與通風蓋的排吸氣壓力。
- 2.操作：將安裝水管的管蓋裝於模擬煙囪底部，開啟風扇後觀察氣壓計左右紅色水柱高度變化，以高度差計算壓力差。

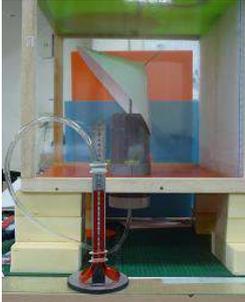


圖 48 排氣壓力實驗



圖 49 紅色水柱



圖 50 吸氣通氣蓋加附件



圖 51 排氣通風蓋加附件

(二) 實驗十九：研究增加附件對通風蓋排吸氣效果的影響

- 1.說明：以排吸氣效果最佳的通風蓋加裝模擬煙囪附件，測試安裝不同附件對排吸氣效果的影響。
- 2.操作：安裝附件於煙囪，其餘同實驗七。

三、實驗數據

表 22 實驗二、三、四數據（依比較直徑大小方式整理），表中數據為測得最大最小值平均，空白為不可測量

部分，紅色數字為負數（吸氣），藍底部分是蓋子會被吹落，以迎風面翹起方式固定後測得數值，總計是取可測量部分的總和，單位：cm/s。

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 通風蓋直徑 | 28.9 | | | | | | | | | | | | |
| 通風蓋高度 | 5 | | | 7.5 | | | 10 | | | 12.5 | | | |
| 裝設位置 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | |
| 風速 | 一 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 三 | -1.0 | -1.5 | -5.0 | 7.0 | 8.0 | 10.5 | 10.0 | 21.0 | 22.0 | 17.5 | 17.5 | 36.0 |
| | 五 | -5.0 | -8.0 | -14.0 | 32.5 | 46.5 | 50.0 | 33.5 | 58.5 | 52.0 | 46.0 | 49.5 | 66.0 |
| | 七 | -10.5 | -12.0 | -31.5 | 69.5 | 76.5 | 88.0 | 79.5 | 82.0 | 90.5 | 76.5 | 90.0 | 86.5 |
| 合計 | -16.5 | -21.5 | -50.5 | 109.0 | 131.0 | 149.0 | 123.0 | 161.5 | 166.0 | 140.0 | 157.0 | 188.5 | 1236.5 |
| 通風蓋直徑 | 25.4 | | | | | | | | | | | | |
| 通風蓋高度 | 5 | | | 7.5 | | | 10 | | | 12.5 | | | |
| 裝設位置 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | |
| 風速 | 一 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| | 三 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 6.5 | 10.0 | 9.0 | 16.0 | 5.5 | 13.0 | 25.0 |
| | 五 | -1.5 | -5.0 | -9.5 | -4.0 | 19.5 | 34.5 | 36.5 | 50.5 | 51.0 | 38.5 | 49.5 | 51.5 |
| | 七 | -6.0 | -8.5 | -11.5 | 54.0 | -34.5 | 80.0 | 74.5 | 74.5 | 85.0 | 83.5 | 80.0 | 89.0 |
| 合計 | -7.5 | -14.0 | -21.0 | 50.0 | -11.0 | 121.0 | 121.0 | 134.0 | 152.0 | 127.5 | 142.5 | 166.0 | 960.5 |
| 通風蓋直徑 | 21.9 | | | | | | | | | | | | |
| 通風蓋高度 | 5 | | | 7.5 | | | 10 | | | 12.5 | | | |
| 裝設位置 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | |
| 風速 | 一 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| | 三 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 9.5 | 13.0 | 0.5 | 6.5 | 13.0 |
| | 五 | 0.0 | -3.0 | -7.0 | -8.0 | 0.0 | 6.0 | 2.5 | 16.0 | 42.5 | 18.5 | 36.0 | 48.0 |
| | 七 | 0.0 | -7.5 | -22.5 | -20.5 | -22.5 | -15.0 | 46.5 | 77.0 | 83.0 | 66.0 | 73.0 | 88.0 |
| 合計 | 0.0 | -10.5 | -29.5 | -28.5 | -22.5 | -7.5 | 49.0 | 102.5 | 138.5 | 85.0 | 115.5 | 149.5 | 541.5 |
| 通風蓋直徑 | 18.4 | | | | | | | | | | | | |
| 通風蓋高度 | 5 | | | 7.5 | | | 10 | | | 12.5 | | | |
| 裝設位置 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | |
| 風速 | 一 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 三 | | 0.0 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 14.0 | 0.5 | 2.0 | 8.0 |
| | 五 | | -1.5 | -3.0 | -6.5 | -2.0 | 1.0 | 0.0 | 22.0 | 44.0 | 6.5 | 11.0 | 36.0 |
| | 七 | | -8.0 | -27.0 | -11.5 | -24.5 | -23.5 | -11.5 | 63.0 | 85.5 | 29.0 | 71.5 | 75.5 |
| 合計 | | -9.5 | -30.0 | -18.5 | -26.5 | -22.5 | -11.5 | 86.5 | 143.5 | 36.0 | 84.5 | 119.5 | 351.5 |
| 通風蓋直徑 | 14.9 | | | | | | | | | | | | |
| 通風蓋高度 | 5 | | | 7.5 | | | 10 | | | 12.5 | | | |
| 裝設位置 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | -1.5 | 0 | +1.5 | |
| 風速 | 一 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 三 | | 0.0 | -0.5 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.5 | 0.0 | 0.5 | 4.5 |
| | 五 | | -1.5 | -5.5 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 25.0 | 0.0 | 6.0 | 22.0 |
| | 七 | | -4.0 | -16.5 | | -13.5 | -16.5 | 0.0 | 11.0 | 67.0 | 0.0 | 22.0 | 60.0 |
| 合計 | | -5.5 | -22.5 | | -13.5 | -16.5 | 0.0 | 11.5 | 100.5 | 0.0 | 28.5 | 86.5 | 169.0 |

表 23 實驗六舊風洞穩定性、均勻性測量原始數據，單位 cm/s。

| 風速七 | 舊風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | 上 | 大 | 568 | 575 | 573 | 570 | 562 | 570 | 569 | 557 | 554 | 569 | 566.7 | 上 | 大小差 | |
| 小 | | 553 | 557 | 562 | 554 | 544 | 556 | 553 | 545 | 541 | 553 | 551.8 | 559.3 | 14.9 | 2.7% | |
| 中 | 大 | 168 | 156 | 166 | 161 | 146 | 147 | 163 | 176 | 169 | 159 | 161.1 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 146 | 138 | 143 | 135 | 128 | 133 | 143 | 159 | 157 | 135 | 141.7 | 151.4 | 19.4 | 12.8% | |
| 下 | 大 | 554 | 526 | 568 | 541 | 552 | 592 | 609 | 573 | 563 | 577 | 565.5 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 527 | 493 | 520 | 507 | 515 | 563 | 577 | 535 | 542 | 534 | 531.3 | 548.4 | 34.2 | 6.2% | |
| 左 | 大 | 548 | 570 | 568 | 585 | 584 | 578 | 587 | 603 | 590 | 589 | 580.2 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 535 | 542 | 537 | 560 | 553 | 564 | 558 | 563 | 567 | 572 | 555.1 | 567.7 | 25.1 | 4.4% | |
| 右 | 大 | 559 | 569 | 565 | 547 | 591 | 561 | 497 | 582 | 589 | 532 | 559.2 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 466 | 538 | 506 | 471 | 550 | 494 | 444 | 466 | 458 | 462 | 485.5 | 522.4 | 73.7 | 14.1% | |
| 平均 | 大 | 479.4 | 479.2 | 488 | 480.8 | 487 | 489.6 | 485 | 498.2 | 493 | 485.2 | 486.5 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 445.4 | 453.6 | 453.6 | 445.4 | 458 | 462 | 455 | 453.6 | 453 | 451.2 | 453.1 | 469.8 | 33.46 | 7.1% | |

| 風速五 | 舊風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|
| | 上 | 大 | 403 | 384 | 381 | 384 | 411 | 409 | 404 | 389 | 406 | 410 | 398.1 | 上 | 大小差 | |
| 小 | | 376 | 361 | 371 | 383 | 396 | 398 | 387 | 375 | 388 | 396 | 383.1 | 390.6 | 15 | 3.8% | |
| 中 | 大 | 108 | 110 | 97 | 102 | 104 | 97 | 107 | 103 | 102 | 104 | 103.4 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 97 | 95 | 92 | 89 | 95 | 90 | 95 | 96 | 94 | 97 | 94 | 98.7 | 9.4 | 9.5% | |
| 下 | 大 | 396 | 403 | 414 | 382 | 397 | 362 | 381 | 372 | 394 | 377 | 387.8 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 371 | 362 | 379 | 367 | 353 | 345 | 373 | 351 | 355 | 348 | 360.4 | 374.1 | 27.4 | 7.3% | |
| 左 | 大 | 409 | 418 | 421 | 421 | 395 | 405 | 435 | 431 | 414 | 421 | 417 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 393 | 402 | 387 | 402 | 377 | 388 | 381 | 410 | 395 | 397 | 393.2 | 405.1 | 23.8 | 5.9% | |
| 右 | 大 | 395 | 408 | 374 | 391 | 391 | 413 | 395 | 383 | 414 | 383 | 394.7 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 364 | 371 | 353 | 365 | 364 | 343 | 367 | 351 | 371 | 348 | 359.7 | 377.2 | 35 | 9.3% | |
| 平均 | 大 | 342.2 | 344.6 | 337.4 | 336 | 339.6 | 337.2 | 344.4 | 335.6 | 346 | 339 | 340.2 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 320.2 | 318.2 | 316.4 | 321.2 | 317 | 312.8 | 320.6 | 316.6 | 320.6 | 317.2 | 318.1 | 329.1 | 22.12 | 6.7% | |

| 風速三 | 舊風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | 上 | 大 | 281 | 275 | 270 | 273 | 271 | 280 | 274 | 283 | 276 | 269 | 275.2 | 上 | 大小差 | |
| 小 | | 259 | 265 | 263 | 264 | 259 | 267 | 267 | 272 | 267 | 261 | 264.4 | 269.8 | 10.8 | 4.0% | |
| 中 | 大 | 59 | 63 | 60 | 61 | 64 | 62 | 56 | 57 | 60 | 62 | 60.4 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 47 | 56 | 50 | 50 | 55 | 52 | 48 | 52 | 53 | 57 | 52 | 56.2 | 8.4 | 14.9% | |
| 下 | 大 | 287 | 264 | 276 | 300 | 281 | 282 | 293 | 297 | 275 | 289 | 284.4 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 263 | 247 | 257 | 372 | 254 | 267 | 271 | 256 | 245 | 262 | 269.4 | 276.9 | 15 | 5.4% | |
| 左 | 大 | 294 | 281 | 274 | 277 | 281 | 266 | 286 | 277 | 282 | 283 | 280.1 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 270 | 233 | 264 | 248 | 259 | 238 | 261 | 247 | 266 | 268 | 255.4 | 267.8 | 24.7 | 9.2% | |
| 右 | 大 | 269 | 233 | 251 | 253 | 263 | 267 | 263 | 257 | 258 | 243 | 255.7 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 227 | 224 | 241 | 232 | 212 | 230 | 209 | 208 | 237 | 198 | 221.8 | 238.8 | 33.9 | 14.2% | |
| 平均 | 大 | 238 | 223.2 | 226.2 | 232.8 | 232 | 231.4 | 234.4 | 234.2 | 230.2 | 229.2 | 231.2 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 213.2 | 205 | 215 | 233.2 | 207.8 | 210.8 | 211.2 | 207 | 213.6 | 209.2 | 212.6 | 221.9 | 18.56 | 8.4% | |

表 24 實驗六新風洞穩定性、均勻性測量原始數據，單位 cm/s。

| 風速七 | 新風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 上 | 大 | 356 | 354 | 355 | 355 | 356 | 355 | 354 | 355 | 356 | 355 | 355 | 355.1 | 上 | 大小差 |
| 小 | | 353 | 350 | 350 | 351 | 352 | 352 | 351 | 352 | 352 | 351 | 351 | 351.4 | 353.3 | 3.7 | 1.0% |
| 中 | 大 | 213 | 212 | 211 | 212 | 211 | 210 | 212 | 211 | 209 | 210 | 211.1 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 207 | 208 | 206 | 207 | 206 | 205 | 207 | 205 | 207 | 205 | 206.3 | 208.7 | 4.8 | 2.3% | |
| 下 | 大 | 381 | 380 | 381 | 376 | 378 | 379 | 381 | 380 | 377 | 378 | 379.1 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 377 | 376 | 375 | 374 | 376 | 374 | 377 | 375 | 375 | 373 | 375.2 | 377.2 | 3.9 | 1.0% | |
| 左 | 大 | 370 | 369 | 371 | 372 | 371 | 372 | 371 | 370 | 371 | 371 | 370.8 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 365 | 366 | 369 | 368 | 368 | 369 | 367 | 367 | 368 | 367 | 367.4 | 369.1 | 3.4 | 0.9% | |
| 右 | 大 | 387 | 385 | 384 | 387 | 388 | 386 | 387 | 385 | 388 | 387 | 386.4 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 382 | 380 | 380 | 385 | 383 | 382 | 381 | 381 | 382 | 382 | 381.8 | 384.1 | 4.6 | 1.2% | |
| 平均 | 大 | 341.4 | 340 | 340.4 | 340.4 | 340.8 | 340.4 | 341 | 340.2 | 340.2 | 340.2 | 340.5 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 336.8 | 336 | 336 | 337 | 337 | 336.4 | 336.6 | 336 | 336.8 | 335.6 | 336.4 | 338.5 | 4.08 | 1.2% | |

| 風速五 | 新風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| | 上 | 大 | 244 | 243 | 242 | 243 | 244 | 243 | 244 | 242 | 243 | 243 | 243 | 243.1 | 上 | 大小差 |
| 小 | | 240 | 238 | 237 | 237 | 240 | 239 | 238 | 239 | 240 | 239 | 238.7 | 240.9 | 4.4 | 1.8% | |
| 中 | 大 | 130 | 131 | 131 | 130 | 131 | 131 | 131 | 130 | 132 | 131 | 130.8 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 126 | 127 | 128 | 127 | 127 | 128 | 129 | 127 | 128 | 129 | 127.6 | 129.2 | 3.2 | 2.5% | |
| 下 | 大 | 262 | 261 | 262 | 261 | 263 | 263 | 263 | 262 | 264 | 263 | 262.4 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 259 | 260 | 258 | 258 | 259 | 260 | 260 | 261 | 260 | 260 | 259.5 | 261 | 2.9 | 1.1% | |
| 左 | 大 | 252 | 253 | 253 | 251 | 254 | 255 | 256 | 253 | 255 | 256 | 253.8 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 247 | 248 | 250 | 247 | 250 | 250 | 251 | 249 | 253 | 252 | 249.7 | 251.8 | 4.1 | 1.6% | |
| 右 | 大 | 262 | 264 | 261 | 261 | 260 | 261 | 263 | 263 | 264 | 263 | 262.2 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 258 | 260 | 258 | 257 | 258 | 256 | 257 | 258 | 257 | 258 | 257.7 | 260 | 4.5 | 1.7% | |
| 平均 | 大 | 230 | 230.4 | 229.8 | 229.2 | 230.4 | 230.6 | 231.4 | 230 | 231.6 | 231.2 | 230.5 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 226 | 226.6 | 226.2 | 225.2 | 226.8 | 226.6 | 227 | 226.8 | 227.6 | 227.6 | 226.6 | 228.6 | 3.82 | 1.7% | |

| 風速三 | 新風洞 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均 | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| | 上 | 大 | 148 | 148 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 147 | 149 | 148.6 | 上 | 大小差 | |
| 小 | | 145 | 146 | 145 | 146 | 147 | 148 | 147 | 146 | 146 | 148 | 146.4 | 147.5 | 2.2 | 1.5% | |
| 中 | 大 | 71 | 69 | 70 | 70 | 69 | 70 | 71 | 71 | 71 | 69 | 70.1 | 中 | 大小差 | | |
| | 小 | 68 | 67 | 67 | 68 | 68 | 68 | 68 | 69 | 68 | 67 | 67.8 | 68.95 | 2.3 | 3.3% | |
| 下 | 大 | 166 | 166 | 167 | 165 | 166 | 164 | 164 | 166 | 165 | 165 | 165.4 | 下 | 大小差 | | |
| | 小 | 164 | 163 | 163 | 162 | 163 | 161 | 162 | 162 | 163 | 162 | 162.5 | 164 | 2.9 | 1.8% | |
| 左 | 大 | 155 | 154 | 154 | 155 | 155 | 156 | 155 | 156 | 155 | 154 | 154.9 | 左 | 大小差 | | |
| | 小 | 152 | 151 | 150 | 150 | 149 | 152 | 150 | 151 | 152 | 148 | 150.5 | 152.7 | 4.4 | 2.9% | |
| 右 | 大 | 167 | 167 | 168 | 166 | 165 | 167 | 167 | 166 | 167 | 167 | 166.7 | 右 | 大小差 | | |
| | 小 | 163 | 165 | 164 | 164 | 163 | 164 | 164 | 163 | 164 | 165 | 163.9 | 165.3 | 2.8 | 1.7% | |
| 平均 | 大 | 141.4 | 140.8 | 141.6 | 141 | 140.8 | 141.2 | 141.2 | 141.6 | 141 | 140.8 | 141.1 | 平均 | 大小差 | | |
| | 小 | 138.4 | 138.4 | 137.8 | 138 | 138 | 138.6 | 138.2 | 138.2 | 138.6 | 138 | 138.2 | 139.7 | 2.92 | 2.1% | |

表 25 實驗八、十、九數據（依比較直徑大小方式整理），表中數據為 20 筆最大最小值平均，單位：cm/s。

| | 35.9 | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | 12.5 | | | 15.0 | | | 17.5 | | | |
| | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | |
| 風速三 | 0 | 0.25 | 3.05 | 0 | 0.8 | 2.95 | 0 | 2.2 | 3.35 | |
| 風速五 | 8.25 | 11.4 | 12.3 | 9.25 | 5.65 | 7.2 | 9.45 | 10 | 7.05 | |
| 風速七 | 12.3 | 11.65 | 14.3 | 21.1 | 16.8 | 15.4 | 21.2 | 21.1 | 20.5 | 總計 |
| 合計 | 20.55 | 23.3 | 29.65 | 30.35 | 23.25 | 25.55 | 30.65 | 33.3 | 30.9 | 247.5 |

| | 32.4 | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 12.5 | | | 15.0 | | | 17.5 | | | |
| | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | |
| 風速三 | 0 | 2.1 | 3.55 | 0.15 | 0.25 | 4.15 | 0.15 | 2.75 | 4.65 | |
| 風速五 | 11.7 | 14.4 | 15.1 | 10.1 | 10.6 | 11.1 | 8.5 | 7.8 | 13.6 | |
| 風速七 | 27.7 | 26.8 | 26.9 | 21.85 | 31.55 | 32.15 | 27.15 | 28.15 | 27.85 | 總計 |
| 合計 | 39.4 | 43.3 | 45.55 | 32.1 | 42.4 | 47.4 | 35.8 | 38.7 | 46.1 | 370.75 |

| | 28.9 | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 12.5 | | | 15.0 | | | 17.5 | | | |
| | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | +1.5 | +3.0 | +4.5 | |
| 風速三 | 1 | 5.15 | 5.3 | 0.2 | 5.35 | 4.65 | 0.3 | 5.4 | 5.85 | |
| 風速五 | 5.65 | 7.6 | 23.2 | 5.8 | 21.15 | 25 | 19.05 | 23.65 | 29.7 | |
| 風速七 | 30.15 | 55.25 | 49.35 | 47.6 | 51.9 | 52.45 | 38.95 | 38.4 | 47.2 | 總計 |
| 合計 | 36.8 | 68 | 77.85 | 53.6 | 78.4 | 82.1 | 58.3 | 67.45 | 82.75 | 605.25 |

表 26 實驗十二通風蓋傾斜角度於各風速的排吸氣效果原始數據，單位：cm/s。

| | | 直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值) | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|---|------|----|------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|---|
| 記錄 | -33° | | -20° | | -10° | | 0° | | 10° | | 20° | | 33° | | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | |
| 風速三 | 1 | -17 | -16 | -2 | -1 | -2 | -1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 2 | -17 | -17 | -2 | -1 | -2 | -1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 3 | -17 | -17 | -2 | -2 | -2 | -1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 4 | -18 | -17 | -2 | -2 | -2 | -1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 5 | -17 | -16 | -2 | -1 | -2 | -2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 2 | 2 | 5 | 5 |
| | 6 | -17 | -16 | -2 | -1 | -2 | -2 | 2 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 7 | -17 | -16 | -2 | -1 | -2 | -1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 2 | 2 | 6 | 6 |
| | 8 | -18 | -17 | -2 | -1 | -2 | -2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 5 | 6 |
| | 9 | -17 | -17 | -2 | -2 | -2 | -1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| | 10 | -17 | -17 | -2 | -1 | -2 | -1 | 2 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 5 | 6 |
| 平均 | -16.9 | | -1.7 | | -1.7 | | 1.7 | | 4.4 | | 1.7 | | 5.5 | | |

| | | 直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值) | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|---|------|----|-------|-----|------|----|------|----|-----|----|------|----|----|
| 記錄 | -33° | | -20° | | -10° | | 0° | | 10° | | 20° | | 33° | | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | |
| 風速五 | 1 | -39 | -37 | -7 | -6 | -11 | -9 | 15 | 16 | 20 | 21 | 7 | 9 | 25 | 26 |
| | 2 | -39 | -37 | -7 | -6 | -11 | -10 | 15 | 16 | 20 | 21 | 7 | 9 | 25 | 26 |
| | 3 | -39 | -37 | -7 | -7 | -11 | -10 | 16 | 16 | 21 | 22 | 8 | 10 | 25 | 26 |
| | 4 | -39 | -37 | -7 | -7 | -11 | -10 | 16 | 17 | 21 | 22 | 9 | 11 | 25 | 27 |
| | 5 | -39 | -36 | -7 | -6 | -11 | -10 | 16 | 17 | 20 | 21 | 8 | 10 | 25 | 27 |
| | 6 | -38 | -38 | -7 | -6 | -11 | -9 | 15 | 16 | 20 | 21 | 8 | 10 | 25 | 26 |
| | 7 | -39 | -37 | -7 | -6 | -10 | -9 | 16 | 16 | 20 | 21 | 7 | 9 | 25 | 26 |
| | 8 | -39 | -38 | -7 | -6 | -10 | -9 | 15 | 16 | 21 | 22 | 7 | 8 | 25 | 26 |
| | 9 | -38 | -37 | -7 | -7 | -11 | -9 | 16 | 16 | 21 | 22 | 8 | 10 | 25 | 27 |
| | 10 | -39 | -37 | -7 | -7 | -11 | -10 | 16 | 16 | 20 | 21 | 9 | 10 | 25 | 27 |
| 平均 | -38.0 | | -6.7 | | -10.2 | | 15.9 | | 20.9 | | 8.7 | | 25.7 | | |

| | | 直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值) | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|---|--------|-----|--------|-----|------|----|------|----|------|----|------|----|----|
| 記錄 | -33° | | -20° | | -10° | | 0° | | 10° | | 20° | | 33° | | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | |
| 風速七 | 1 | -63 | -62 | -15 | -14 | -26 | -24 | 34 | 36 | 32 | 35 | 32 | 34 | 47 | 49 |
| | 2 | -63 | -62 | -15 | -14 | -26 | -24 | 33 | 35 | 33 | 35 | 33 | 35 | 48 | 50 |
| | 3 | -62 | -62 | -15 | -13 | -25 | -24 | 34 | 36 | 32 | 34 | 32 | 34 | 47 | 50 |
| | 4 | -63 | -62 | -15 | -13 | -26 | -24 | 34 | 36 | 33 | 34 | 32 | 34 | 48 | 49 |
| | 5 | -62 | -61 | -15 | -13 | -26 | -25 | 35 | 36 | 33 | 34 | 33 | 34 | 48 | 49 |
| | 6 | -62 | -61 | -15 | -15 | -26 | -25 | 34 | 36 | 34 | 35 | 33 | 35 | 46 | 49 |
| | 7 | -62 | -62 | -15 | -15 | -26 | -24 | 35 | 37 | 33 | 35 | 33 | 35 | 47 | 49 |
| | 8 | -62 | -61 | -15 | -14 | -26 | -25 | 36 | 36 | 34 | 34 | 33 | 34 | 47 | 49 |
| | 9 | -62 | -62 | -15 | -13 | -26 | -24 | 35 | 36 | 33 | 34 | 32 | 34 | 48 | 49 |
| | 10 | -63 | -62 | -15 | -13 | -25 | -24 | 34 | 36 | 33 | 34 | 32 | 34 | 48 | 49 |
| 平均 | -62.05 | | -14.35 | | -25.05 | | 35.2 | | 33.7 | | 33.4 | | 48.3 | | |

表 27 實驗十三、十四、十五原始數據（依比較直徑大小方式整理），單位：cm/s。

| | | 35.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | | 12.5 | | | | | | 15 | | | | | | 17.5 | | | | | |
| 記錄 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | |
| | | 最小 | 最大 |
| 1 | | -86 | -83 | -89 | -85 | -98 | -95 | -62 | -59 | -77 | -76 | -89 | -87 | -71 | -69 | -64 | -62 | -76 | -71 |
| 2 | | -85 | -83 | -87 | -84 | -97 | -95 | -63 | -58 | -77 | -76 | -90 | -88 | -71 | -77 | -62 | -60 | -76 | -72 |
| 3 | | -86 | -84 | -88 | -83 | -99 | -96 | -62 | -60 | -78 | -76 | -89 | -87 | -71 | -68 | -63 | -59 | -74 | -71 |
| 4 | | -84 | -83 | -89 | -86 | -97 | -94 | -62 | -60 | -77 | -77 | -89 | -86 | -71 | -69 | -64 | -59 | -75 | -72 |
| 5 | | -85 | -83 | -88 | -86 | -98 | -95 | -63 | -59 | -77 | -76 | -88 | -87 | -71 | -69 | -64 | -60 | -74 | -73 |
| 6 | | -83 | -83 | -87 | -84 | -99 | -95 | -61 | -58 | -78 | -77 | -89 | -86 | -70 | -67 | -63 | -60 | -76 | -74 |
| 7 | | -83 | -82 | -89 | -85 | -97 | -95 | -61 | -58 | -78 | -77 | -89 | -88 | -71 | -69 | -61 | -59 | -76 | -73 |
| 8 | | -85 | -83 | -89 | -85 | -98 | -96 | -62 | -59 | -77 | -76 | -89 | -86 | -71 | -68 | -63 | -61 | -74 | -73 |
| 9 | | -86 | -84 | -88 | -86 | -99 | -95 | -62 | -59 | -77 | -77 | -88 | -85 | -71 | -69 | -62 | -60 | -77 | -74 |
| 10 | | -84 | -83 | -88 | -86 | -98 | -95 | -63 | -60 | -77 | -76 | -89 | -87 | -70 | -69 | -64 | -61 | -76 | -73 |
| 平均 | | -83.9 | | -86.6 | | -96.6 | | -60.6 | | -76.9 | | -87.8 | | -70.1 | | -61.6 | | -74.0 | |

| | | 32.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | | 12.5 | | | | | | 15 | | | | | | 17.5 | | | | | |
| 記錄 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | |
| | | 最小 | 最大 |
| 1 | | -30 | -27 | -56 | -53 | -62 | -59 | -45 | -41 | -56 | -53 | -69 | -65 | -34 | -30 | -50 | -47 | -67 | -64 |
| 2 | | -29 | -27 | -56 | -53 | -61 | -59 | -46 | -42 | -56 | -54 | -69 | -66 | -34 | -31 | -49 | -46 | -66 | -65 |
| 3 | | -30 | -28 | -54 | -52 | -61 | -59 | -44 | -42 | -55 | -53 | -68 | -66 | -34 | -30 | -50 | -47 | -67 | -64 |
| 4 | | -29 | -28 | -55 | -52 | -62 | -60 | -45 | -40 | -55 | -53 | -68 | -66 | -34 | -31 | -50 | -48 | -67 | -64 |
| 5 | | -28 | -28 | -55 | -53 | -60 | -58 | -46 | -43 | -56 | -54 | -70 | -65 | -34 | -31 | -49 | -47 | -67 | -65 |
| 6 | | -30 | -28 | -56 | -53 | -61 | -60 | -44 | -42 | -56 | -53 | -70 | -66 | -33 | -30 | -48 | -46 | -65 | -65 |
| 7 | | -30 | -28 | -56 | -54 | -61 | -59 | -45 | -42 | -56 | -54 | -67 | -65 | -33 | -31 | -48 | -47 | -67 | -65 |
| 8 | | -29 | -27 | -55 | -53 | -60 | -58 | -45 | -43 | -55 | -54 | -68 | -65 | -34 | -31 | -49 | -48 | -66 | -65 |
| 9 | | -28 | -27 | -54 | -53 | -62 | -60 | -45 | -41 | -54 | -52 | -68 | -65 | -34 | -33 | -50 | -48 | -66 | -64 |
| 10 | | -29 | -27 | -56 | -54 | -62 | -61 | -44 | -43 | -55 | -53 | -69 | -66 | -34 | -32 | -50 | -47 | -67 | -64 |
| 平均 | | -28.4 | | -54.2 | | -60.3 | | -43.4 | | -54.4 | | -67.1 | | -32.4 | | -48.2 | | -65.5 | |

| | | 28.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | | 12.5 | | | | | | 15 | | | | | | 17.5 | | | | | |
| 記錄 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | | +1.5 | | +3 | | +4.5 | |
| | | 最小 | 最大 |
| 1 | | -32 | -29 | -34 | -32 | -44 | -40 | -31 | -29 | -27 | -24 | -26 | -24 | -33 | -31 | -26 | -24 | -36 | -34 |
| 2 | | -31 | -30 | -34 | -33 | -44 | -41 | -31 | -28 | -27 | -24 | -26 | -23 | -33 | -31 | -27 | -24 | -36 | -34 |
| 3 | | -32 | -30 | -35 | -33 | -43 | -41 | -32 | -29 | -26 | -25 | -26 | -23 | -32 | -31 | -27 | -25 | -35 | -33 |
| 4 | | -33 | -31 | -34 | -32 | -43 | -41 | -31 | -29 | -26 | -23 | -26 | -25 | -32 | -30 | -25 | -24 | -36 | -34 |
| 5 | | -33 | -30 | -34 | -33 | -44 | -42 | -30 | -29 | -26 | -24 | -27 | -24 | -33 | -31 | -26 | -25 | -35 | -34 |
| 6 | | -31 | -29 | -34 | -31 | -45 | -42 | -30 | -30 | -27 | -24 | -26 | -24 | -32 | -30 | -26 | -25 | -34 | -33 |
| 7 | | -32 | -31 | -34 | -32 | -45 | -43 | -32 | -30 | -27 | -25 | -27 | -24 | -31 | -30 | -27 | -26 | -36 | -34 |
| 8 | | -31 | -30 | -34 | -33 | -42 | -41 | -31 | -30 | -26 | -24 | -27 | -25 | -33 | -31 | -26 | -24 | -35 | -34 |
| 9 | | -33 | -32 | -35 | -34 | -44 | -42 | -31 | -29 | -27 | -24 | -26 | -23 | -32 | -31 | -26 | -25 | -36 | -34 |
| 10 | | -32 | -31 | -34 | -32 | -44 | -41 | -32 | -30 | -27 | -25 | -26 | -24 | -33 | -31 | -25 | -24 | -35 | -33 |
| 平均 | | -31.2 | | -33.4 | | -42.6 | | -30.2 | | -25.4 | | -25.1 | | -31.6 | | -25.4 | | -34.6 | |

表 28 實驗十六、十七原始數據（依比較高度方式整理），單位：cm/s。

| | | 35.9 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | | 5 | | | | | | | | 7.5 | | | | | | | |
| 記錄 | | +3 | | +4.5 | | +6.0 | | +7.5 | | +3 | | +4.5 | | +6.0 | | +7.5 | |
| | | 最小 | 最大 |
| 風速七 | 1 | -108 | -106 | -118 | -114 | -116 | -113 | -111 | -108 | -111 | -107 | -119 | -114 | -118 | -115 | -124 | -122 |
| | 2 | -109 | -105 | -118 | -115 | -115 | -113 | -112 | -108 | -109 | -108 | -118 | -115 | -118 | -115 | -124 | -123 |
| | 3 | -110 | -107 | -117 | -114 | -117 | -114 | -111 | -108 | -110 | -107 | -118 | -114 | -118 | -116 | -125 | -123 |
| | 4 | -108 | -106 | -118 | -114 | -116 | -113 | -110 | -108 | -110 | -106 | -119 | -116 | -117 | -114 | -123 | -122 |
| | 5 | -108 | -106 | -118 | -116 | -115 | -113 | -111 | -108 | -111 | -108 | -119 | -117 | -118 | -115 | -124 | -121 |
| | 6 | -108 | -107 | -118 | -115 | -116 | -114 | -109 | -108 | -109 | -108 | -118 | -116 | -118 | -114 | -123 | -121 |
| | 7 | -110 | -108 | -117 | -114 | -117 | -114 | -111 | -108 | -110 | -108 | -118 | -115 | -118 | -116 | -124 | -122 |
| | 8 | -108 | -106 | -117 | -115 | -116 | -114 | -110 | -107 | -109 | -108 | -118 | -115 | -118 | -117 | -125 | -123 |
| | 9 | -108 | -106 | -118 | -116 | -116 | -113 | -110 | -108 | -111 | -108 | -118 | -116 | -118 | -116 | -124 | -121 |
| | 10 | -110 | -107 | -118 | -115 | -117 | -114 | -111 | -109 | -111 | -108 | -118 | -116 | -117 | -116 | -125 | -123 |
| 平均 | | -107.6 | | -116.3 | | -114.8 | | -109.3 | | -108.9 | | -116.9 | | -116.6 | | -123.1 | |

| | | 35.9 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | | 10 | | | | | | | | 12.5 | | | | | | | |
| 記錄 | | +3 | | +4.5 | | +6.0 | | +7.5 | | +3 | | +4.5 | | +6.0 | | +7.5 | |
| | | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| 風速七 | 1 | -112 | -108 | -127 | -123 | -121 | -116 | -129 | -124 | -87 | -83 | -96 | -93 | -97 | -95 | -99 | -96 |
| | 2 | -112 | -110 | -127 | -124 | -121 | -117 | -128 | -125 | -85 | -82 | -95 | -92 | -97 | -94 | -97 | -95 |
| | 3 | -112 | -109 | -126 | -123 | -120 | -117 | -128 | -125 | -86 | -81 | -97 | -94 | -98 | -96 | -98 | -97 |
| | 4 | -113 | -110 | -126 | -124 | -121 | -117 | -127 | -123 | -87 | -84 | -95 | -92 | -97 | -94 | -97 | -95 |
| | 5 | -110 | -108 | -127 | -123 | -120 | -118 | -128 | -124 | -86 | -84 | -96 | -93 | -97 | -95 | -98 | -96 |
| | 6 | -111 | -109 | -127 | -123 | -121 | -117 | -127 | -125 | -85 | -82 | -97 | -92 | -98 | -94 | -99 | -96 |
| | 7 | -112 | -109 | -128 | -124 | -121 | -116 | -127 | -123 | -87 | -83 | -95 | -92 | -98 | -95 | -98 | -96 |
| | 8 | -111 | -109 | -126 | -124 | -119 | -117 | -126 | -123 | -87 | -83 | -96 | -94 | -97 | -96 | -98 | -97 |
| | 9 | -112 | -110 | -127 | -123 | -120 | -116 | -127 | -125 | -86 | -84 | -97 | -93 | -98 | -95 | -99 | -96 |
| | 10 | -111 | -108 | -126 | -123 | -120 | -117 | -128 | -124 | -86 | -84 | -96 | -92 | -97 | -94 | -98 | -95 |
| 平均 | | -110.3 | | -125.1 | | -118.6 | | -125.8 | | -84.6 | | -94.4 | | -96.1 | | -97.0 | |

【評語】 080815

1. 實驗設計與觀察記錄用心認真，能確實投入研究值得肯定。
2. 研究問題（實驗）達 18 個之多，應加速過濾與組織，例如實驗 7-10，重複了實驗 1-4，前者是改良的第二代風洞，因此可刪除實驗 1-4。
3. 風洞要模擬屋頂戶外情形，因此要避免加蓋封閉，或者風洞體積再增加。
4. 歷屆科展有不少類似通風扇的作品，應探討或描述差異性或獨特性。