

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：	指導老師：
小五 溫 馨	徐志宇
小六 游郁儒	呂龍興
小五 蔡育臻	

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

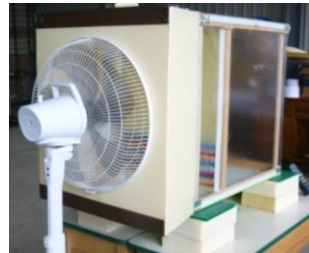


圖 3 第一代風洞

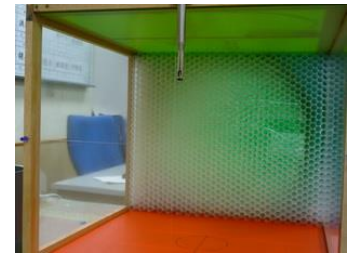


圖 4 第二代風洞



圖 5 調整支架

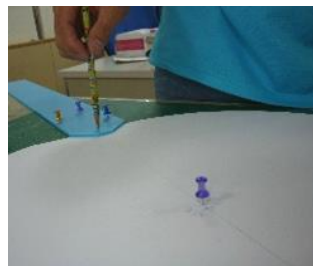


圖 6 通風蓋製作—畫圓



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

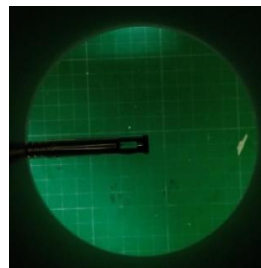


圖 11 安裝風速計

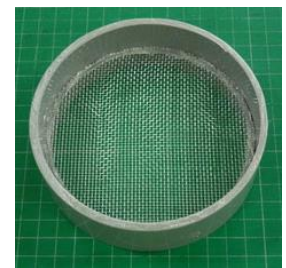


圖 12 模擬煙囪加紗網

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

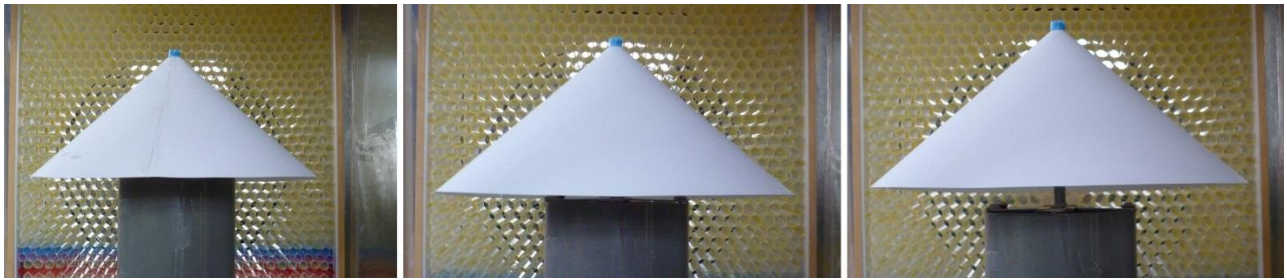


圖 13 三種通風蓋裝設位置 (-1.5cm、0cm、+1.5cm)



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

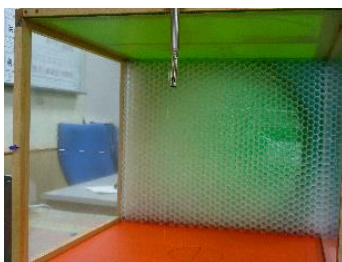


圖 22 測量一代風洞



圖 23 通風蓋傾斜角度實驗

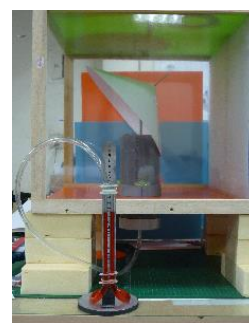


圖 24 排氣壓力實驗

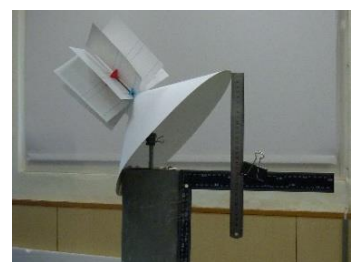


圖 25 測量蓋緣位置

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

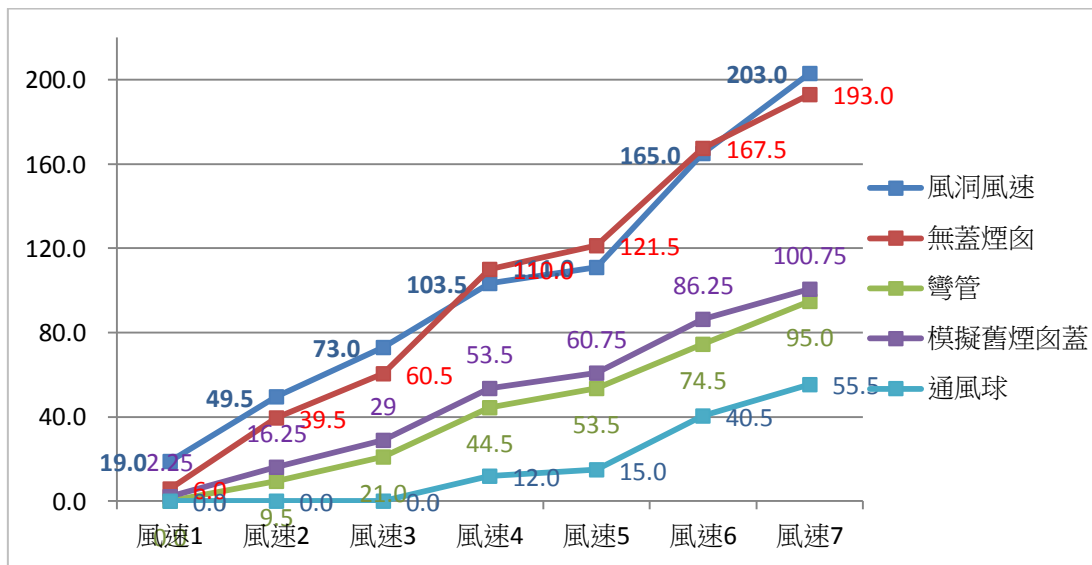


圖 26 「通風球」、「彎管」、「無蓋煙囪」、「模擬舊煙囪蓋」與「風洞」在各段風速通風效果比較，單位：cm/s。

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	$1236.5 \div 12 = 103.0$	$960.5 \div 12 = 80.0$	$541.5 \div 12 = 45.1$	$351.5 \div 11 = 32.0$	$169 \div 10 = 16.9$

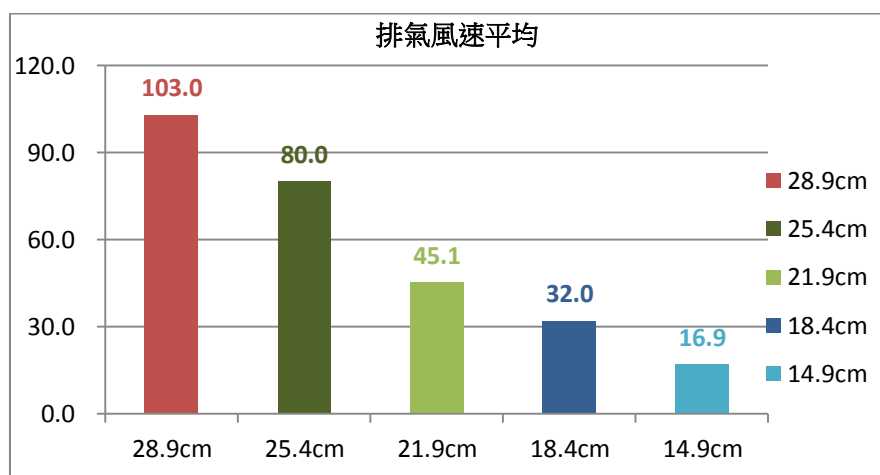


圖 27 不同直徑通風蓋排氣效果平均值比較，單位：cm/s。

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	$1626.5 \div 15 = 108.4$	$1478.0 \div 15 = 98.5$	$393.0 \div 14 = 28.1$	$-238.5 \div 13 = -18.3$

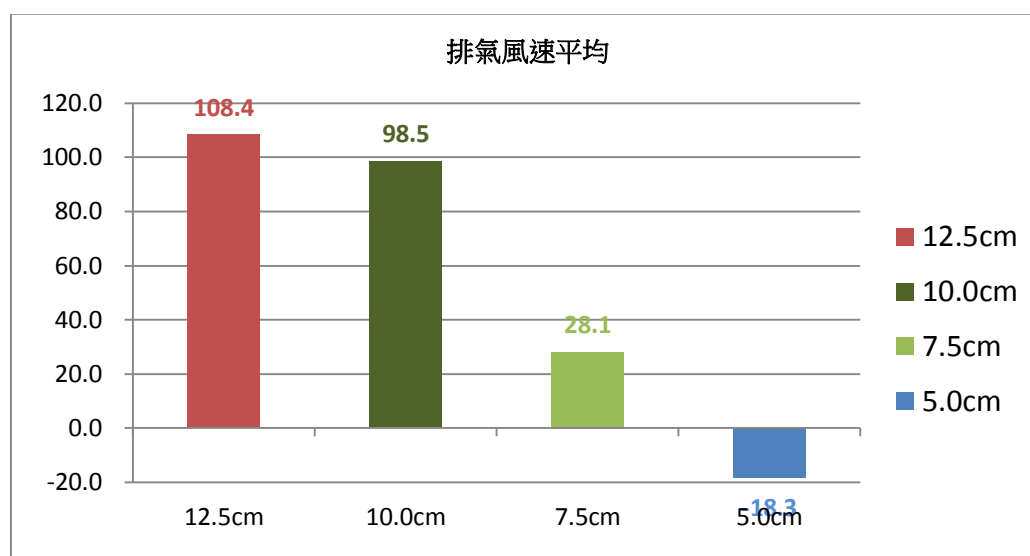


圖 28 不同高度通風蓋排氣效果比較，單位：cm/s。

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	$1480.5 \div 20 = 74.0$	$1020.5 \div 20 = 51.0$	$758.0 \div 17 = 44.6$

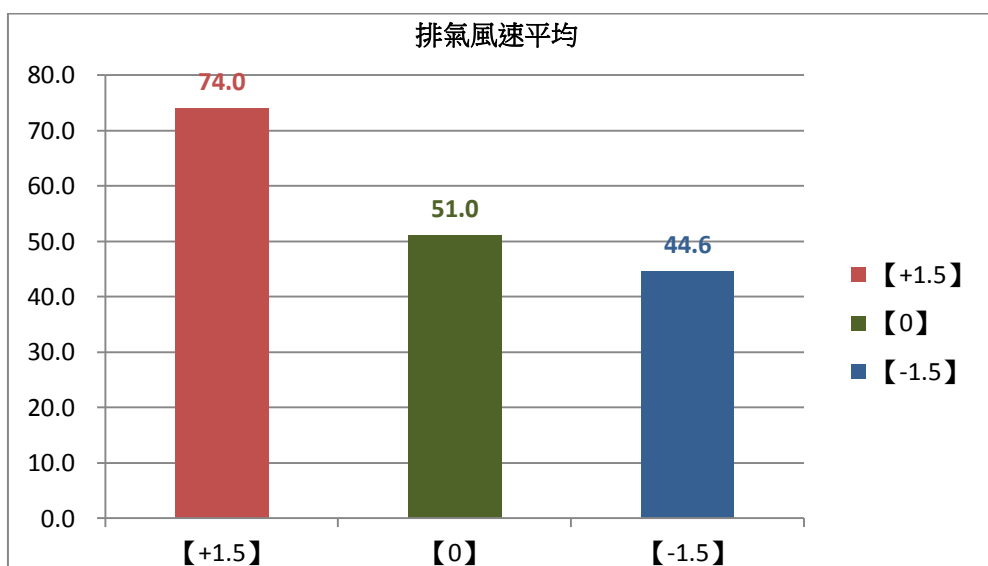


圖 29 不同通風蓋裝設位置排氣效果比較，單位：cm/s。

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
	2.7%	
4.4%	12.8%	14.1%
	6.2%	

新風洞	穩定性	風速七
	1.0%	
0.9%	2.3%	1.2%
	1.0%	

舊風洞	均勻性	風速七
	3.69	
3.75	1.00	3.45
	3.62	

新風洞	均勻性	風速七
	1.69	
1.77	1.00	1.84
	1.81	

舊風洞	穩定性	風速五
	3.8%	
5.9%	9.5%	9.3%
	7.3%	
新風洞	穩定性	風速五
	1.8%	
1.6%	2.5%	1.7%
	1.1%	
舊風洞	均勻性	風速五
	3.96	
4.10	1.00	3.82
	3.79	
新風洞	均勻性	風速五
	1.86	
1.95	1.00	2.01
	2.02	
舊風洞	穩定性	風速三
	4.0%	
9.2%	14.9%	14.2%
	8.4%	
新風洞	穩定性	風速三
	1.5%	
2.9%	3.3%	1.7%
	1.8%	
舊風洞	均勻性	風速三
	4.80	
4.76	1.00	4.25
	4.93	
新風洞	均勻性	風速三
	2.14	
2.21	1.00	2.40
	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

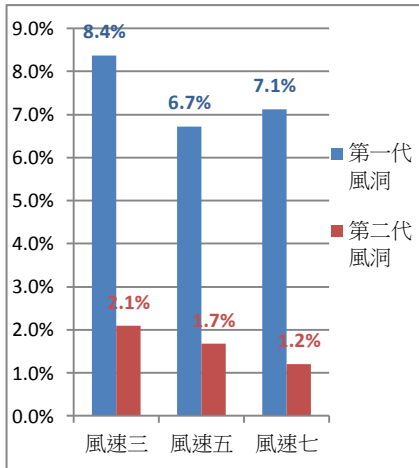


圖 31 第一二代風洞穩定性比較

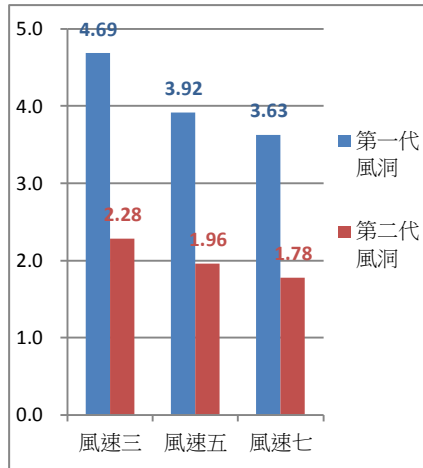


圖 32 第一二代風洞均勻性比較

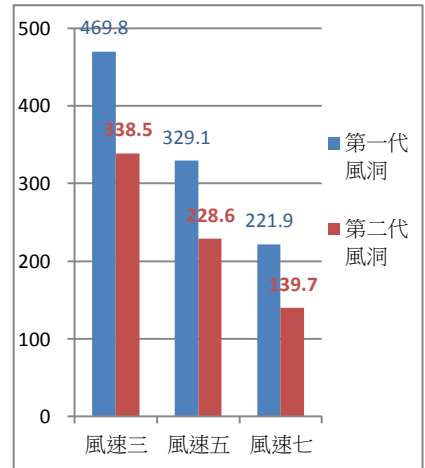


圖 33 第一二代風洞風速比較

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

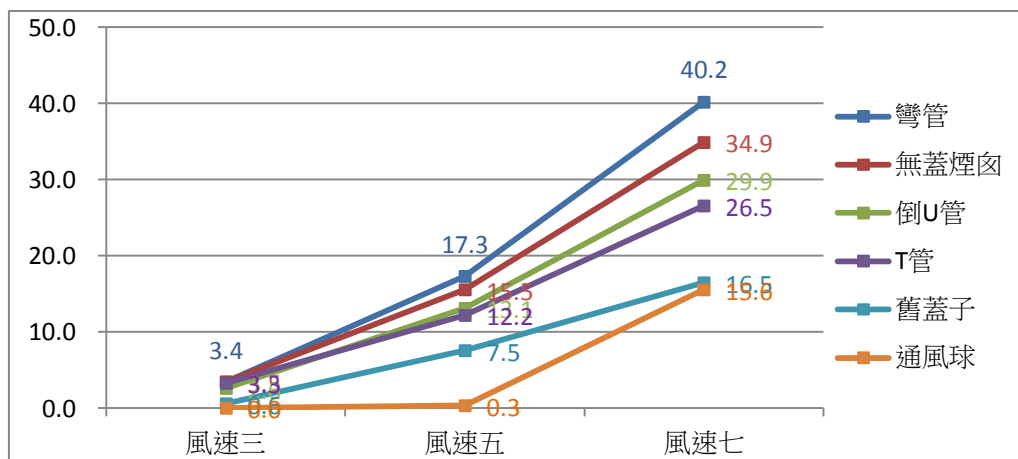


圖 34 常見屋頂通風設備在各風速排氣速度比較，單位：cm/s。

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	$247.5 \div 9 = 27.5$	$370.8 \div 9 = 41.2$	$605.3 \div 9 = 67.3$

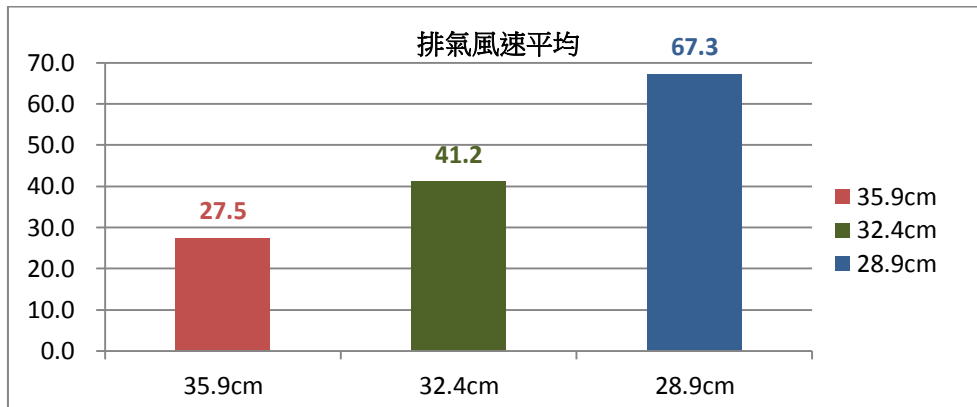


圖 35 各直徑通風蓋的平均排氣數據比較，單位：cm/s。

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

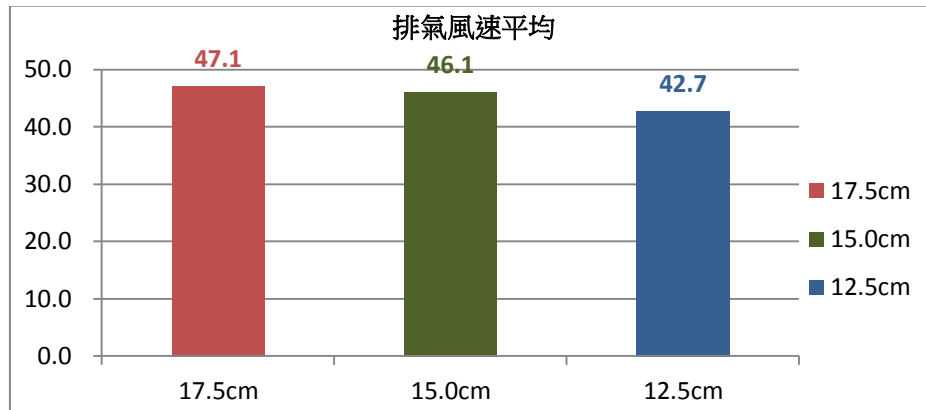


圖 36 各高度通風蓋的平均排氣數據比較，單位：cm/s。

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	$467.9 \div 9 = 52.0$	$418.1 \div 9 = 46.5$	$337.6 \div 9 = 37.5$

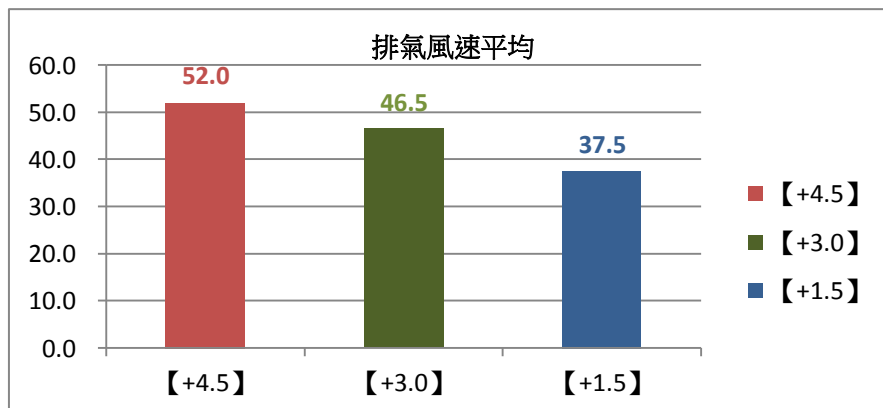


圖 37 各通風蓋位置平均排氣數據比較，單位：cm/s。

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

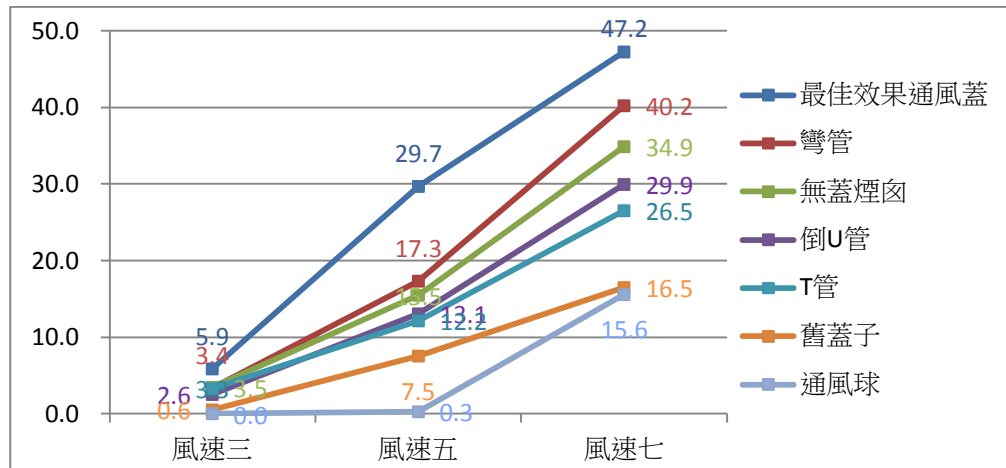


圖 38 效果最佳的通風蓋的與常見屋頂通風設備在各段風速排氣效果比較，單位：cm/s。

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		

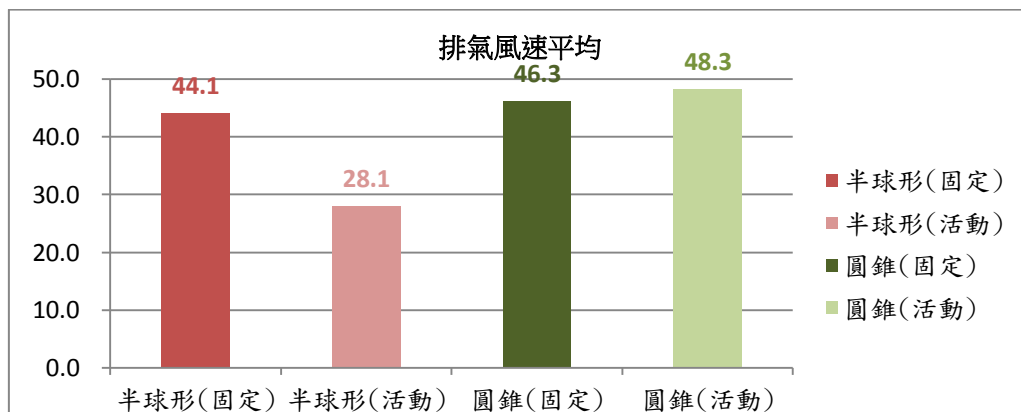


圖 39 半球形及圓錐形通風蓋在固定及活動時排氣數據平均數據比較，單位：cm/s。

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

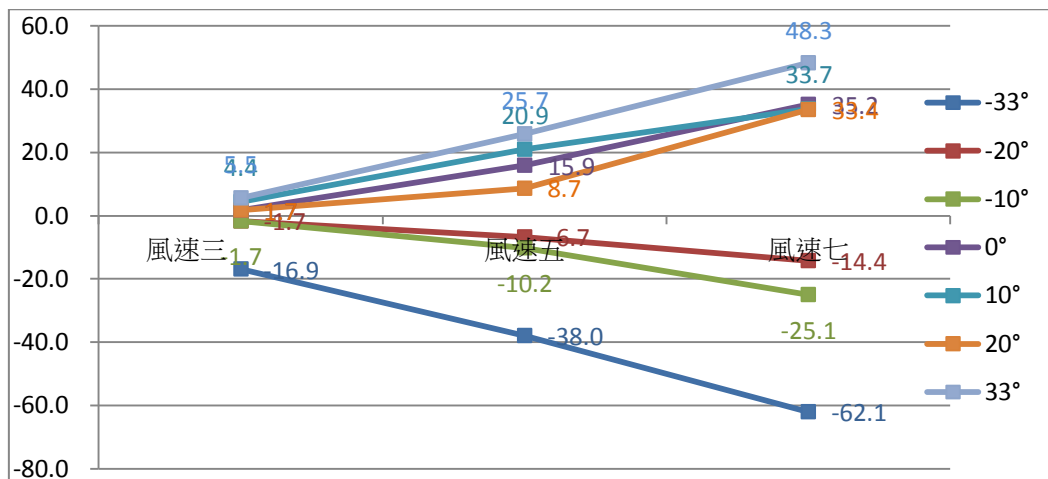


圖 40 通風蓋傾斜角度於各風速的排吸氣數據，單位：cm/s。

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

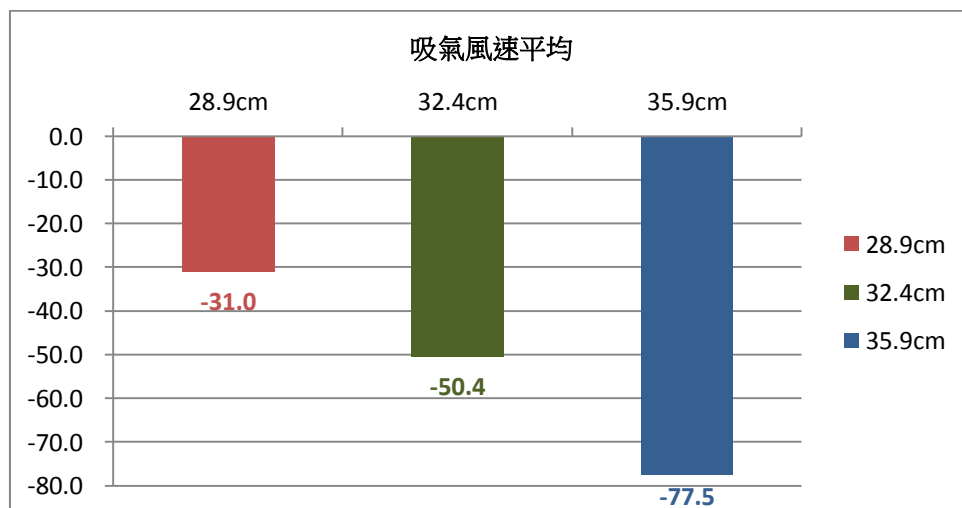


圖 41 各直徑通風蓋的平均吸氣數據比較，單位：cm/s。

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

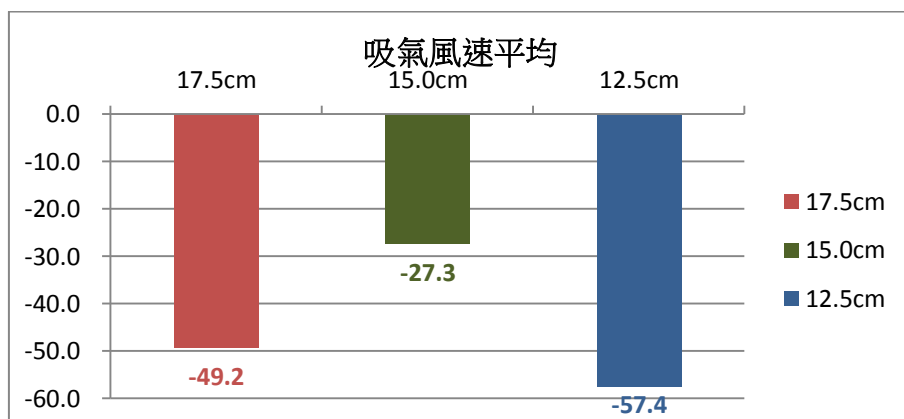


表 42 各通風蓋高度吸氣風速平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十六、實驗十五：研究通風蓋裝設位置與吸氣效果的关系—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

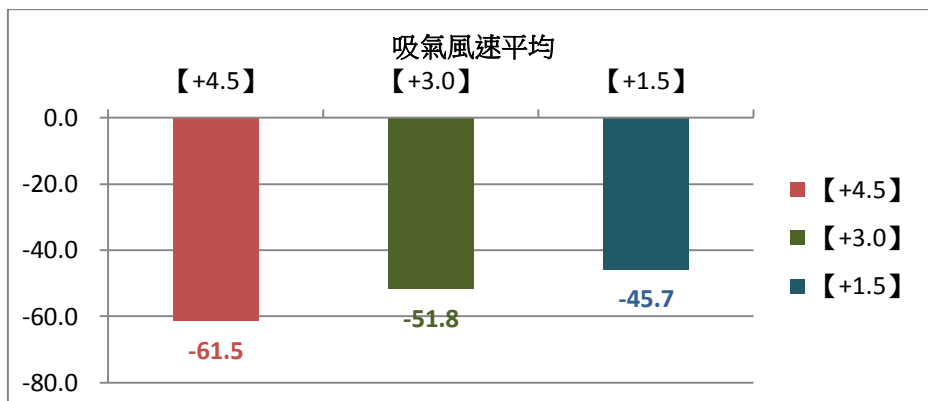


圖 43 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

十七、實驗十六：研究通風蓋高度與吸氣效果的关系—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

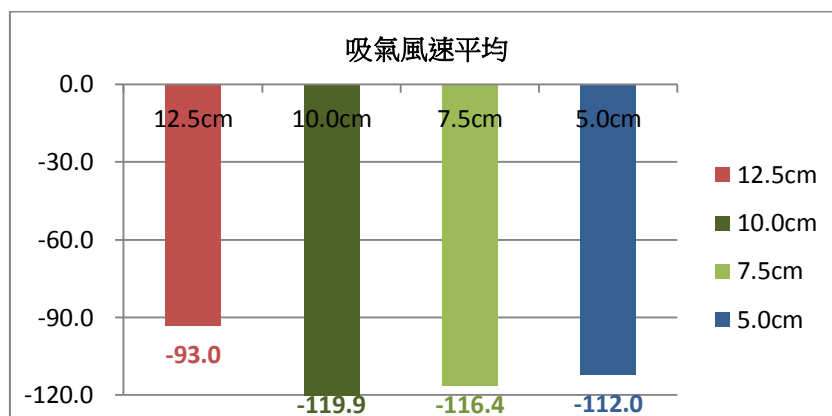


表 44 各通風蓋高度吸氣風速平均實驗數據比較，單位：cm/s。

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

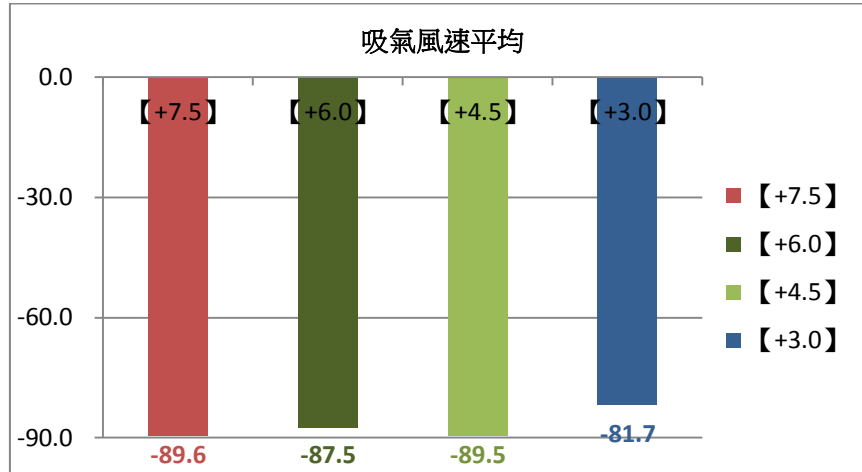


圖 45 各通風蓋位置吸氣風速總計及平均實驗數據比較，單位：cm/s。

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

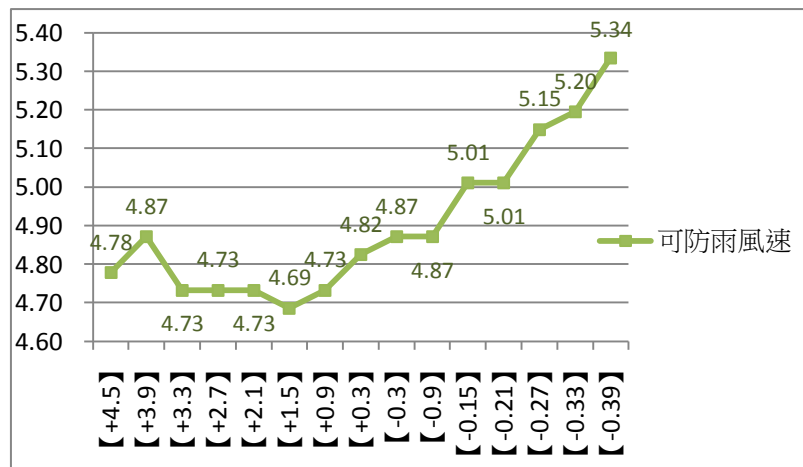


圖 46 各通風蓋位置與可防雨風速，單位：m/s。

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>。

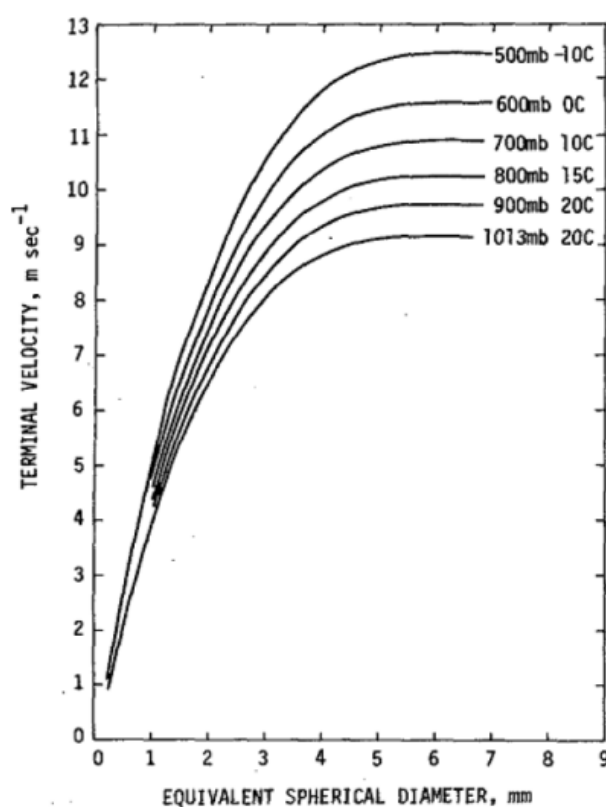


圖 47 水滴終端速度表

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	0.5	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	總計
	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	總計
	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	總計
	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	總計
	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	總計
	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	355.1	上	大小差	
		小	353	350	350	351	352	352	351	352	352	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	243.1	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。

	記錄	直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值)													
		-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	

	記錄	直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值)													
		-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	

	記錄	直徑 28.9cm 高 17.5cm +4.5cm (向背風面仰起角度為正值)													
		-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					
風速七	記錄	+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5	
		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	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					
風速七	記錄	+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5	
		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	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					
風速七	記錄	+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5		+1.5		+3		+4.5	
		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	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							
風速七	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
	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
平均		-107.6		-116.3		-114.8		-109.3		-108.9		-116.9		-116.6		-123.1	

		35.9															
		10								12.5							
風速七	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
	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
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。