

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 物理科

040107

風碩-室內氣流之探討

學校名稱：臺南市私立光華女子高級中學

作者：  高二 黃立雯  高二 郭怡君  高二 吳珍毅  高二 劉亞婷	指導老師：  楊盛智
---	------------------

關鍵詞：流體、伯努利原理

## 摘要

炎炎夏日常爲了兼顧舒適與節能，會將窗戶及氣窗全部開啓，而窗戶及氣窗的開口位置及大小均影響著室內通風效果，因此我們製作與教室等比例的壓克力模型，拍攝線香通過模型的軌跡，觀察開口對氣流的影響，並將它放置在均勻穩定的風洞之中，以模擬教室的通風狀況。實驗結果，在兩隔板開口對稱時，室內通風率隨隔板距離增大、隨入口風速減小；若在後隔板開了氣窗，其通風率會隨隔板距離減小、不隨入口風速變化，顯示開氣窗將讓室內通風率更加穩定。再者流體在進入開口處時會有加速的現象，其速度變化率會隨入口風速有遞增的趨勢，且隨兩隔板距離增加漸趨明顯；而風速變化率卻與兩隔板距離成指數遞減關係。

## 壹、 研究動機

教室在夏天沒開空調的時候，總覺得悶熱，即使窗戶與氣窗全都打開，室內與室外溫度仍相差很大，我們發現教室一邊只有上方的氣窗，另一邊則是一般的窗戶，因此感到很好奇，窗戶的開口位置與開口大小是否跟教室通不通風有關，剛好老師在課堂提到流體的運動時，也問了類似問題，於是興起了對這整個現象及其周邊關係做研究的念頭，並製作了與教室相似的模型，將它放置在均勻穩定的風洞之中，以便模擬教室的通風狀況。

## 貳、 研究目的

- 一、藉由製作與教室相似比例的壓克力模型，拍攝線香通過模型的軌跡，觀察開口對氣流的影響，並將教室模型放置在均勻穩定的風洞之中，以觀察教室的通風情形。
- 二、探討風速大小及開口位置，所造成的風阻效應<sup>[2-1]</sup>。
- 三、探討氣窗與窗戶的相對位置，對通風所造成的影響。
- 四、探討風速大小與窗戶位置，對通風所造成的影響。
- 五、開口風速的加速現象是否隨風速或隔板樣式不同而有所改變。

---

註 2-1：風阻效應泛指氣體流動時，會因爲截面的壓力分布而向壓力小的地方匯集，而在壓力大的地方形成一道氣體屏蔽。當風從遠方吹向障礙物時，會因爲障礙物截面積大小及外型造成不同強度的風阻，障礙密度（障礙物截面積/總截面積）越大形成的風阻越大，阻擋下來的氣體也越多，密度越小則反之。因此當氣體流到障礙物前時，速度會明顯降下，此爲風阻效應的結果。

## 參、 研究設備及器材

- 一、拍攝器材：數位 DV (SONY DCR-SR100, 300 萬像素), 黑色屏幕。
- 二、測量器材：整體示意圖及各儀器之簡介, 如下：

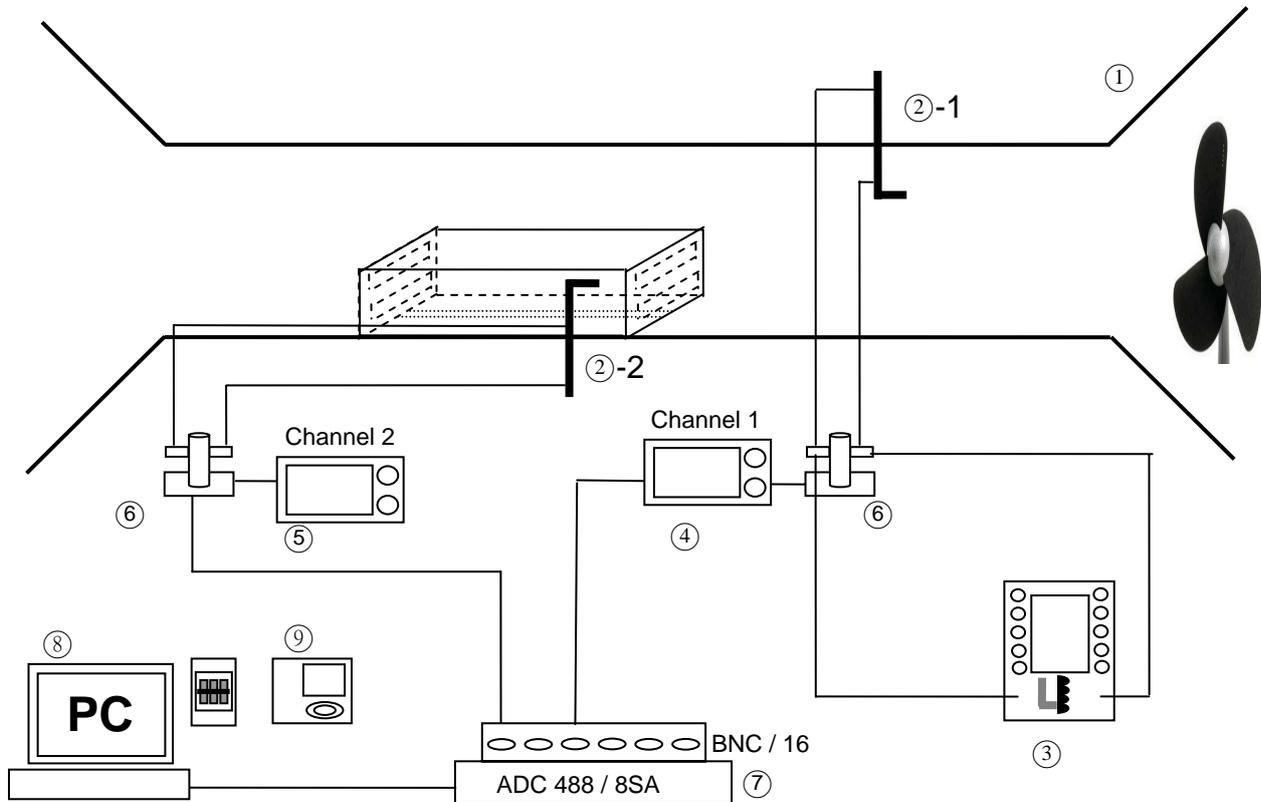


圖 2-1：低速循環式風洞及實驗測量裝置示意圖。

- ① 低速循環式風洞：以變頻器控制流速，風洞的流速有效範圍介於 3-20 m/s 之間，紊流強度(turbulence intensity)為 0.5%，測試斷面積為 155mm×160 mm，測試區長度 1500mm。風洞架有移動機構，方便皮托管移動到各定點作測量，其下緣有刻度尺可供定位。風洞中的流場是由下端的馬達轉動風扇來帶動，馬達的轉動頻率與未加障礙前的出口風速則已事先校正過，故利用這個風洞來模擬可控制流速的均勻風場。自製教室模型即架設在風洞的測試區 (Test Section) 進行實驗。
- ② 皮托管 (Pitot Tube)：利用管頭前後壓差 (所以必須正對流場)，再代入伯努利方程式 (Bernoulli equation) 推測流速。
  - ②-1 皮托管固定在出風口的皮托管：利用壓差，推測流速 (校正用)
  - ②-2 皮托管：實驗中，模型內外各位置取到的數據均來自此皮托管。
- ③ 壓力感測器 (Pressure sensory element)：量取在不同流速時，利用壓力轉換器 (Pressure Transducer) 量測到壓力差顯示壓力。
- ④ 轉換頻道 1 (Transduce Channel 1)：截取壓力感測器的數據，再傳送到 IO Tech 的中繼機構。

- ⑤ 轉換頻道 2 (Transduce Channel 2)：同轉換頻道 1，取得主要實驗數據。
- ⑥ 壓力轉換器 (Pressure Transducer)：量測壓力差的一種裝置。其原理為透過兩端輸入端壓力不同，使內部之金屬薄膜產生形變，進而使壓力轉換為相對電壓值。
- ⑦ 類比-數位變頻器 (Analogy-Digital Converter)：將類比訊號轉數位訊號。使用 IOtech ADC-488/8SA 之類比/數位轉換器(AD converter)，其具有八組輸入端，最高取樣頻率為 100KHz，具有 16bit 之解析度，精確度高達 0.02%，數位化之訊號以大於 200kb/s 之速率由 IEEE-488 之介面運算處理及儲存後傳回電腦，實驗中可藉由 Visual Basic 程式設定個取樣參數，並且操控 Pitot Tube(皮托管)之移動機構，擷取流場實驗數據。
- ⑧ 電腦 (computer)：儲存實驗數據，並即時算出換算風壓及風速大小。
- ⑨ 風速控制器 (Wind speed controller)：調整風速的機器。



圖 2-2：低速循環式風洞。

三、教室模型：示意圖如右：

這是一個由長 30 公分、寬 15 公分、高 10 公分組合而成的虛擬教室模型，前隔板是固定的，後隔板依照不同隔板距離而移動，上下兩個是模擬氣窗與窗戶的位置或大小，去改變它的六種樣式，例如：第一種樣式是前隔板是開上面氣窗的開口，後隔板也開上面氣窗的開口，放在風洞裡利用柏努利公式，測量出它的數據。

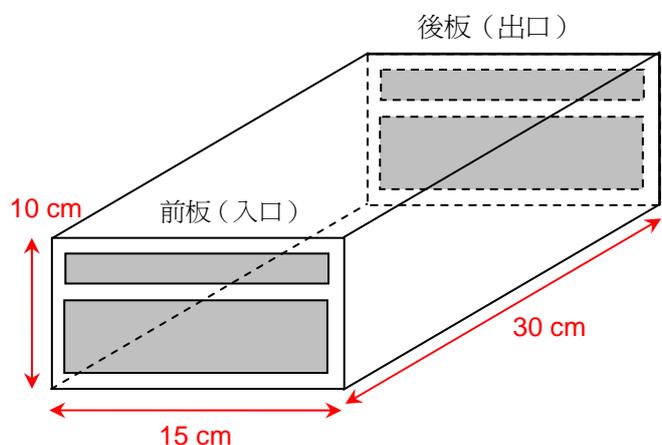


圖 2-3：教室壓克力模型示意圖。

## 肆、研究過程及方法

### 一、研究原理：

#### (一)、穩流體的連續方程式 (equation of continuity)：

1、內容：每單位時間流經任意截面的流體體積維持定值。

2、數學式： $A_1 v_1 = A_2 v_2$  ( $A$ ：截面積  $v$ ：流速)

【說明】對不可壓縮流體而言，

單位時間內通過管路各處之流量必相同：

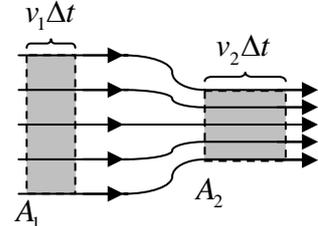
流過  $A_1$  截面之質量： $\Delta m_1 = \rho_1 V_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t$

流過  $A_2$  截面之質量： $\Delta m_2 = \rho_2 V_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$

$\Rightarrow \Delta m_1 = \Delta m_2 \Rightarrow \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$  ( $\because$  流體不可壓縮  $\therefore \rho_1 = \rho_2$ )

$\therefore A_1 v_1 = A_2 v_2$ ，故得證

※ 截面積大處流速小，截面積小處流速大。



#### (二)、伯努利方程式 (Bernoulli's equation)

1、發現者：1738 年瑞士科學家白努利 (Daniel Bernoulli, 1700~1782)

2、內容：在穩流體中，其壓力、流速，與高度之關係。

3、數學式： $P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$

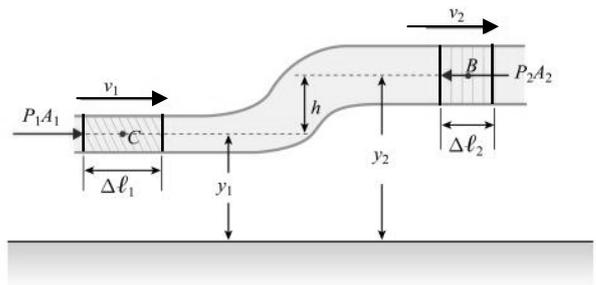
【說明】根據能量守恆： $E = E_k + U_g + W_p$

( $y_1$  處的能量) = ( $y_2$  處的能量)

$\Rightarrow \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + m g y_1 + P_1 V_1 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + m g y_2 + P_2 V_2$

( $V_1 = V_2 = \Delta V$  ;  $m_1 = m_2 = \rho \cdot \Delta V$ )

$\Rightarrow$  (兩邊消掉  $\Delta V$ )  $P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$ ，故得證



### 二、實驗一：流體軌跡拍攝。

為瞭解氣體是如何在教室內流動，故利用線香模擬通過模型隔板及其間所發生的變化。實驗裝置如圖4-1所示，將教室模型掛在架上，周圍用三塊黑色板子圍繞，一來防止外來氣體影響線香流動，二來加強背景的色差，下方以點燃的線香煙燻，利用線香會自然垂直上升來模擬風場，並使用DV記錄線香流經隔板時的軌跡，參見圖4-2。

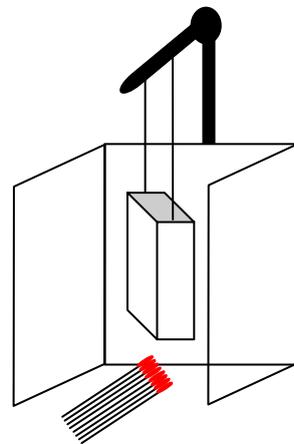


圖 4-1：流體觀察實驗的示意圖。

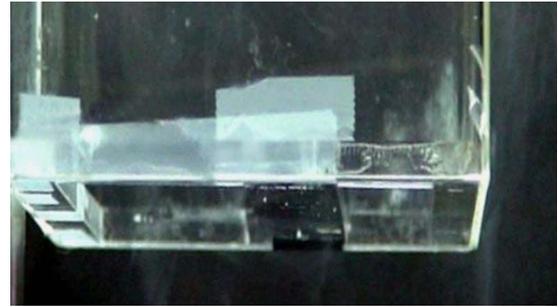
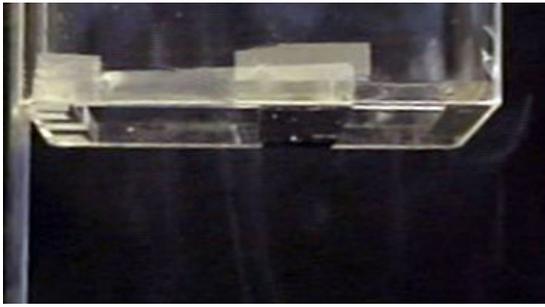


圖 4-2：流體軌跡的拍攝照片。線香在開口處發生邊界現象及明顯的紊流結構。

### 三、實驗二：

#### (一) 預備實驗：製作校正曲線。

因為皮托管是利用管頭前後壓差，再代入伯努利方程式而推測流速，但皮托管本身只是測量儀器，對壓力差並不具任何計算能力，需透過壓力轉換器（Pressure Transducer）利用兩端輸入之壓力不同，使內部的金屬薄膜產生形變，進而使壓力轉換為相對電壓值，再交由壓力感測器來截取數據。過程中類比-數位變頻器（Analogy-Digital Converter）會先將類比訊號轉數位訊號，處理及儲存後傳回電腦。如此一來，實驗中便可藉由Visual Basic程式設定個取樣參數，並且操控皮托管來擷取流場實驗數據。此校正曲線的功用，即利用不同壓力變化和電壓值的線性函數圖，來校正壓力轉換器，並得到壓力（Pa）與電壓（Volt）的線性函數，以確保下列主要實驗數據之正確性。因為有兩支皮托管，加上實驗並非一次完成，故在每次量測時，均得先求出兩皮托管之校正曲線。圖4-3~4-4分別表示其校正曲線。

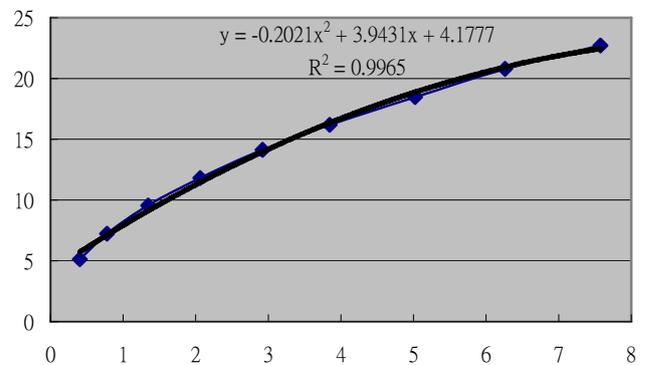
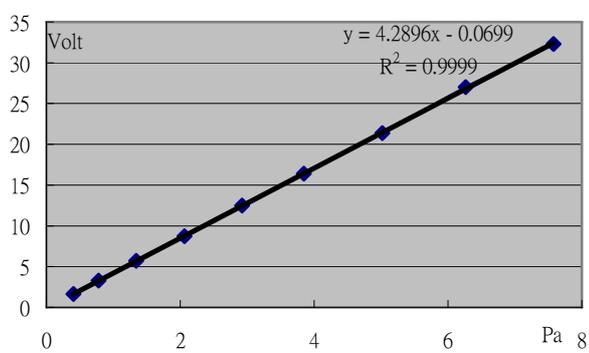


圖4-3：左、右兩圖依序為channel1皮托管一次擬合及二次擬合的校正曲線（2009/1/3）。

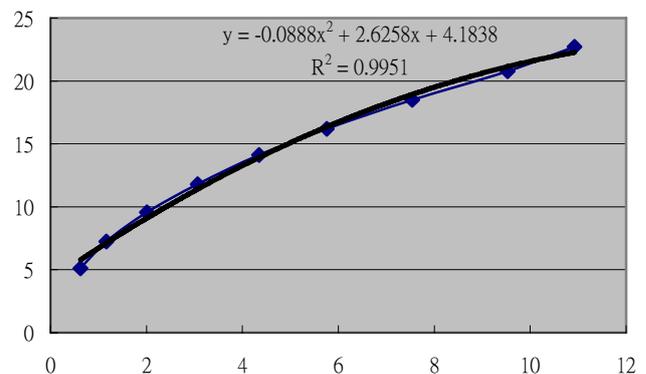
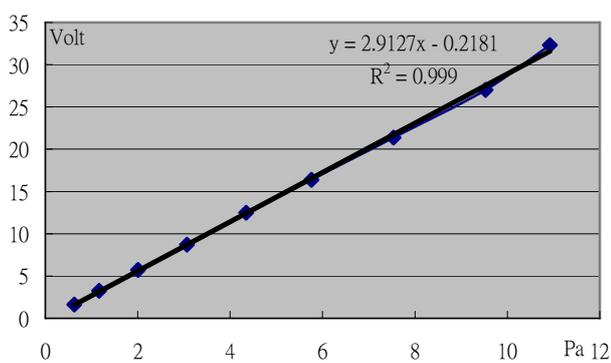


圖4-4：左、右兩圖依序為channel2皮托管一次擬合及二次擬合的校正曲線（2009/1/3）。

(二) 教室模型實驗：測量室內風的流速，爲了較爲貼近真實情況，理當考慮在自然情況下作此實驗，但考慮到外來流場所造成的影響可能會導致更多數值的不穩定，於是利用低速風洞來模擬出一個均勻風場，並將教室模型放置於風洞內。(實驗裝置如 圖2-1所示)

#### 1、步驟：

- (1) 選擇前、後隔板樣式（共有六種樣式）。
- (2) 選擇兩隔板的距離（10、20、30 cm）。
- (3) 選擇入口風速（30、40、50Hz）。
- (4-1) 在前隔板前方，依序距前隔板 8.5、12、15.5、19cm 處，量取皮托管（Pitot Tube）數據（在模型上方至下方量取十個測量點，每點相距 1cm）。
- (4-2) 量取皮托管在模型「內」緊貼「前隔板」的數據（從上至下共十個測量點）。
- (4-3) 量取皮托管在模型「外」緊貼「後隔板」的數據（從上至下共十個測量點）。
- (5) 回到步驟（2），重新選擇另一個隔板距離，重複步驟（4），直到步驟（2）中全部的隔板距離均量取完。
- (6) 再回到步驟（1），重複步驟（2）～（5），直到步驟（1）中全部的隔板樣式均量取完。

#### 2、注意事項：

- (1) 漏氣檢查：蓋上風洞蓋，四周用螺絲拴緊，啓動風洞以線香在周圍檢查，是否有空氣外漏或是被吸進去，若有漏氣的部份則以膠帶將其密封。
- (2) 皮托管的量測：在風洞的測量區（Test Section）下方挖了一條寬約一公分的溝，以利皮托管移動，但爲了減少漏氣情況，在固定完皮托管後，我們會使用膠帶將溝封起來，每當要改變測量位置時，再將膠帶割開，等固定好皮托管後再封一次，如此重覆步驟。
- (3) 後端channel2皮托管，架設在滑軌上可以前後自由移動，用來測量風洞中各點的壓力值。
- (4) 數據取得：以皮托管測量各點的壓力差，透過PC，每秒取100點，連續取10 秒（共1024個值），再求得平均值，最後將其記錄下來。
- (5) 將上述得到的壓力差，再帶入伯努利方程式，便可算出其平均風速。

## 伍、 研究結果

- 一、風速隨模型開口位置的變化（位置－風速圖形）：依前後隔板的不同樣式，將「緊貼前隔板」與「緊貼後隔板」之各點風速（之後分別簡稱為『入口風速』及『出口風速』），繪成圖 5-1～圖 5-4<sup>[5-1]</sup>。橫軸為風速大小、縱軸為測量點位置；藍色菱形、紅色四方形、綠色三角形分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速；紅棕色垂直的虛線，代表風洞中穩定流場的風速大小。四張圖中可見，各顏色曲線均能大致呈現出前、後隔板的開口型式，表示教室模型並不會造成過度失真；此外，前板開口處的入口風速較接近風洞穩定的風速。值得注意的是，圖 5-4 中的綠色線（即兩隔板距離 30 公分），沒有明顯起伏，可能原因是：模型空間加長造成內部渦流、外部擾流或邊界效應<sup>[5-2]</sup>增大，而影響到訊噪比（signal to noise ratio），導致皮托管不易量測。
- 二、風速隨模型兩隔板距離的變化：承圖 5-1～圖 5-4，亦可看出「入口風速」與「出口風速」隨兩隔板之距離而改變情形，但在相同的風洞流速中，不同顏色的曲線，卻不太隨兩隔板距離而作大幅改變，即各色曲線的起伏趨勢相當吻合。針對此現象，於通風率的討論中，將有進一步的探討。

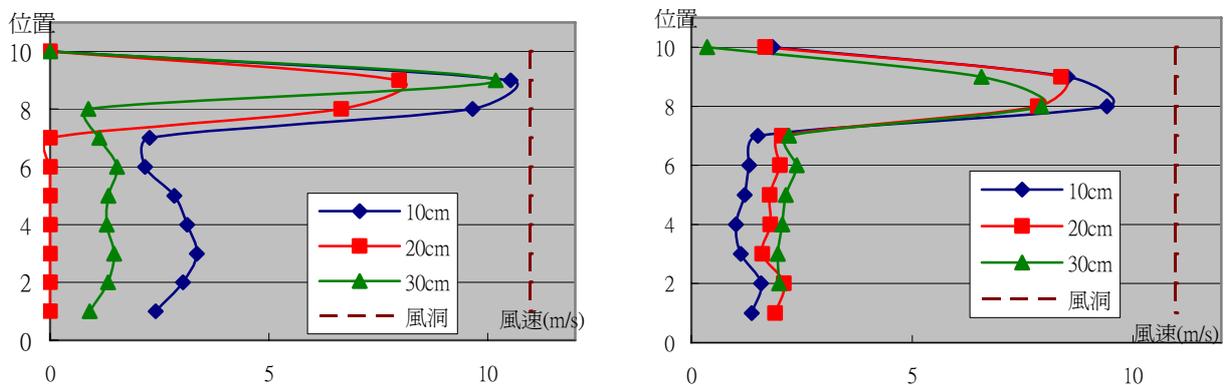


圖 5-1：兩隔板樣式為『前上後上』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。

註 5-1：完整的「位置－風速」圖形，參見 附錄-1～18。

註 5-2：一開始在試驗風洞的時候發現，把皮托管移近模型或風洞的邊緣時，風速會劇烈降低。上述現象的成因是當氣體流過邊緣時會與壁面造成摩擦的邊界效應所致，並考慮流體的黏性，會吸附在邊界上，故實驗中我們應將取樣的水平高度位置改在開口處的中央處，以避免此類干擾。

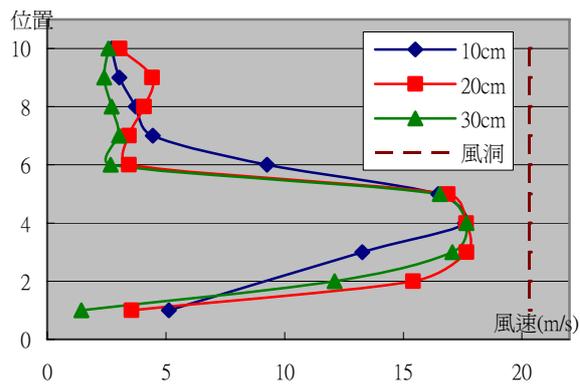
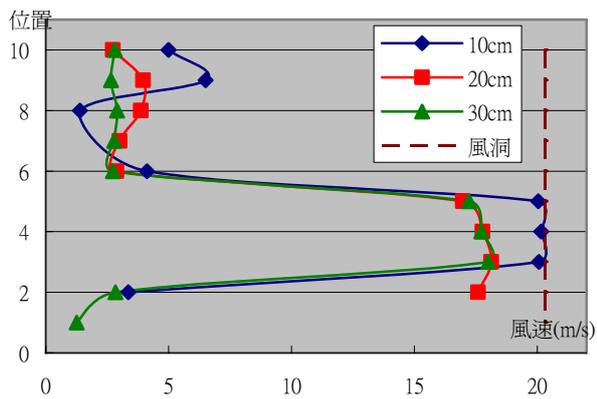


圖 5-2：兩隔板樣式為『前下後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。

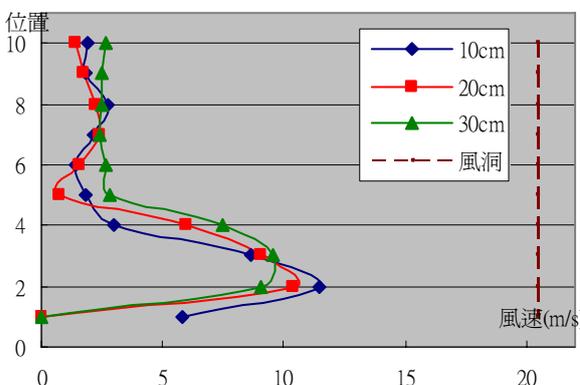
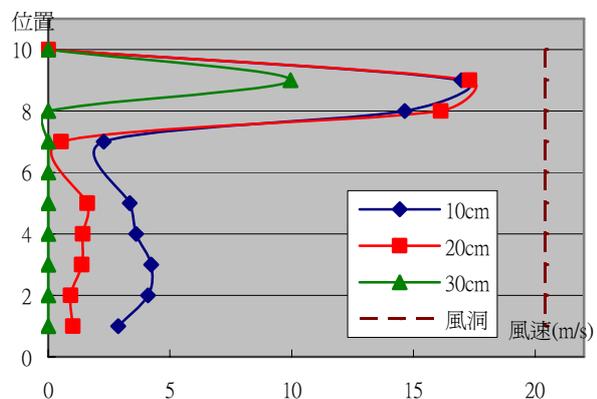


圖 5-3：兩隔板樣式為『前上後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。

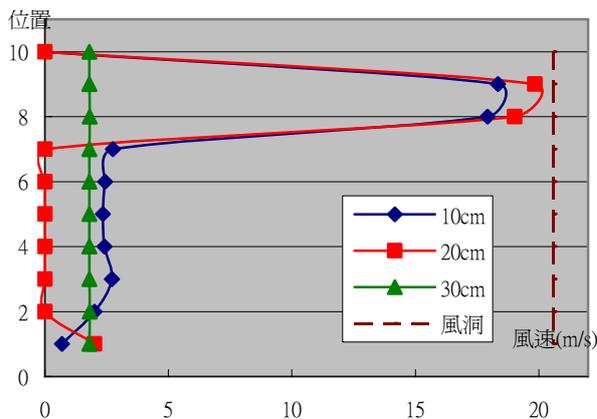
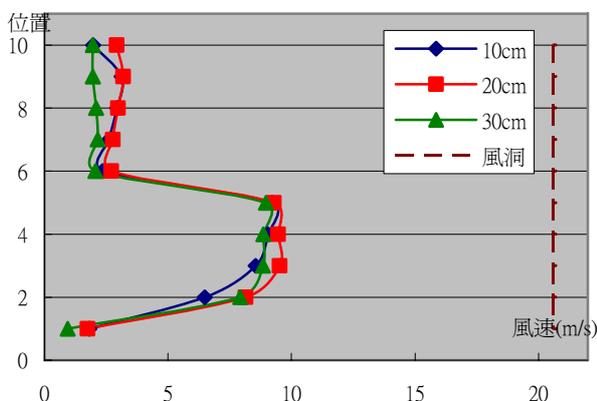


圖 5-4：兩隔板樣式為『前下後上』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。

三、距模型前隔板之距離與風速的變化：選擇對稱的兩隔板樣式<sup>[5-3]</sup>，在前隔板前方，依序將距前隔板 8.5、12、15.5、19cm 處的測量數據，繪成 圖 5-5~5-8<sup>[5-4]</sup>，橫軸為距前隔板之距離、縱軸為各測量點的風速大小，有顏色者代表位於開口處的測量點。因為圖中左方諸點代表在風洞內各位置的風速，故呈水平分布，即將抵達前隔板時，於開口處各點（紅、藍、綠菱形曲線）的入口風速，有明顯增大的現象，此為「連續方程式」之必然結果（截面積變小，流速變快），但其餘各點（黑色圓點曲線）卻有減小的現象，此為風阻效應之影響。對於上述速度的變化率，將於風速變化率的討論中，進一步的探討。

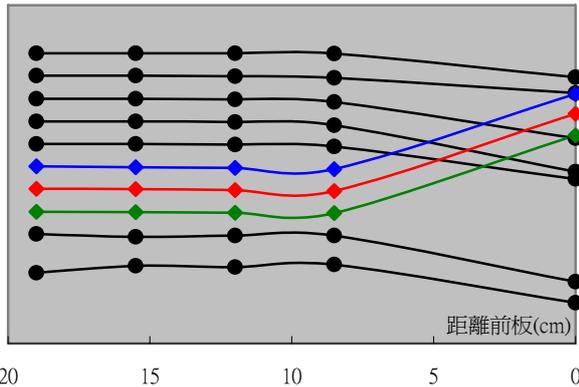


圖 5-5：兩隔板樣式為『前下後下』，風洞的風速為 30Hz，兩隔板距離為 10 公分，藍色、紅色、綠色分別代表位於下開口前方的各點風速。

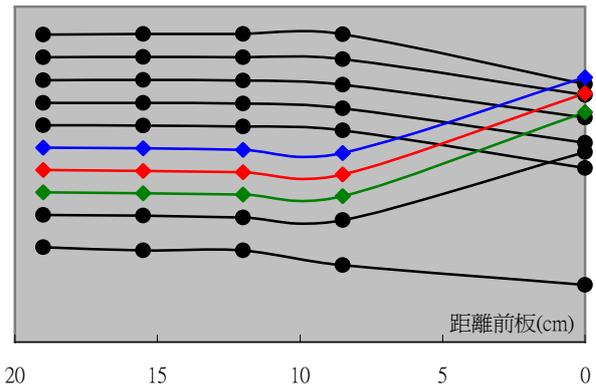


圖 5-6：兩隔板樣式為『前下後下』，風洞的風速為 40Hz，兩隔板距離為 20 公分，藍色、紅色、綠色分別代表位於下開口前方的各點風速。

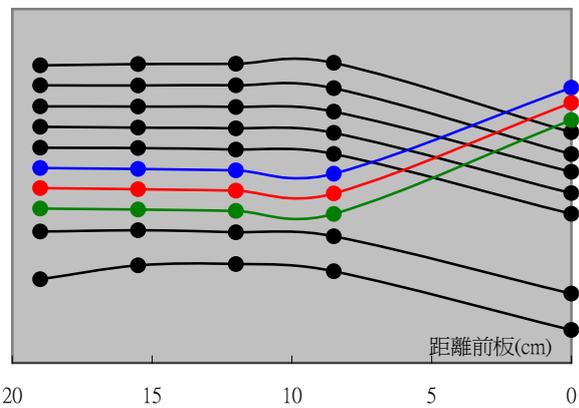


圖 5-7：兩隔板樣式為『前下後下』，風洞的風速為 50Hz，兩隔板距離為 30 公分，藍色、紅色、綠色分別代表位於下開口前方的各點風速。

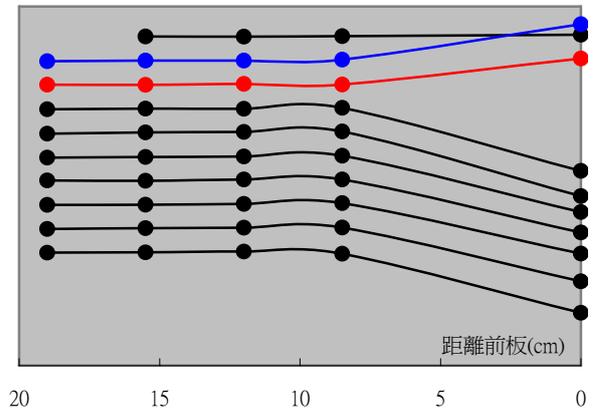


圖 5-8：兩隔板樣式為『前上後上』，風洞的風速為 30Hz，兩隔板距離為 10 公分，藍色、紅色分別代表位於上開口前方的各點風速。

註 5-3：所謂對稱的隔板樣式，即前隔板上開口，後隔板上開口（簡稱『前上後上』），而不採用非對稱樣式的原因是，氣流在模型內部受到渦流、外部受到擾流的影響，氣流過於紊亂，增加皮托管量取數據的困難性。

註 5-4：完整的「風速 - 距離前板」圖形，參見 附錄 19~33。

## 陸、 討論

一、通風率的探討：由實驗數據中，整理出三種隔板樣式<sup>[6-1]</sup>之表格（表 6-1~表 6-3）。表中「風洞」的風量數值，可利用類似 圖 5-1 中的紅棕色垂直虛線算得面積，即為風洞中穩定的風量；同理「曲線」的數值，即為各色曲線所圍成的面積，兩者相除即可求得代表通風率的「%數值」；而黃底色處為（後板曲線值）除以（前板曲線值）的百分比。

（一）兩隔板樣式『前下後下』：依 表 6-1 之數據，繪出 圖 6-1（通風率 - 兩隔板距離），橫軸為兩隔板距離、縱軸為通風率<sup>[6-2]</sup>。圖中可見，不管風洞風速如何，兩隔板距離愈大，通風率愈大（通風率隨兩隔板距離增大），將此結果與綠建築資料<sup>[6-3]</sup>相比較，本實驗的隔板距離分別是 10、20 及 30cm（皮托管的彎管長度限制），若依模型比例而言，已超過最佳距離，故呈現增大現象；或者是模型內部的渦流效應隨模型長度增加而有所改善，故通風率增加；另外，30Hz 的通風率大於 40Hz，而 40Hz 又大於 50Hz（通風率隨風速減小，換句話說，當風速越快時，風阻效應越顯著），其原因也可能是，模型內部的渦流結構尺度變小或頻率變快所致；而 圖 6-2（通風率 - 風洞的風速）中，橫軸為風洞風速、縱軸為通風率，圖中可見，不管兩隔板距離如何，風洞的風速愈大，通風率愈小（通風率隨風速減小）；此外，兩隔板距離 10cm 的通風率大於 20cm，而 20cm 又大於 30cm（通風率隨兩隔板距離增大）。

表 6-1：隔板樣式『前下後下』之通風率表格。

30Hz				40Hz				50Hz			
前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%
10cm	118.041	53.891	45.654	10cm	159.350	71.002	44.558	10cm	202.927	91.350	45.016
20cm	118.041	59.404	50.325	20cm	159.350	77.144	48.411	20cm	202.927	86.931	42.838
30cm	118.041	48.214	40.845	30cm	159.350	56.851	35.677	30cm	202.927	70.958	34.968
後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%
10cm	118.041	16.356	13.856	10cm	159.350	15.279	9.589	10cm	202.927	15.457	7.617
20cm	118.041	18.644	15.794	20cm	159.350	18.960	11.899	20cm	202.927	19.587	9.652
30cm	118.041	18.635	15.787	30cm	159.350	17.676	11.093	30cm	202.927	22.176	10.928
後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)			
30.350 31.385 38.651				21.520 24.578 31.092				16.920 22.532 31.252			

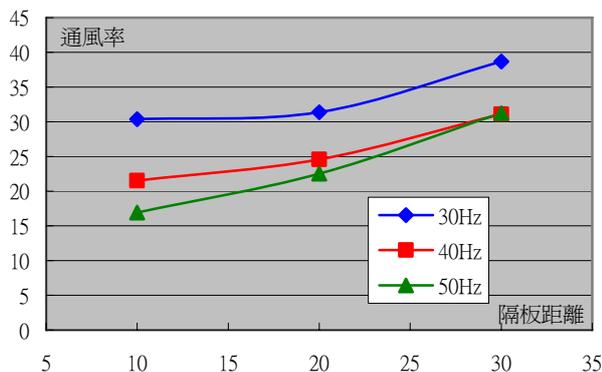


圖 6-1：通風率 - 兩隔板距離之關係圖。

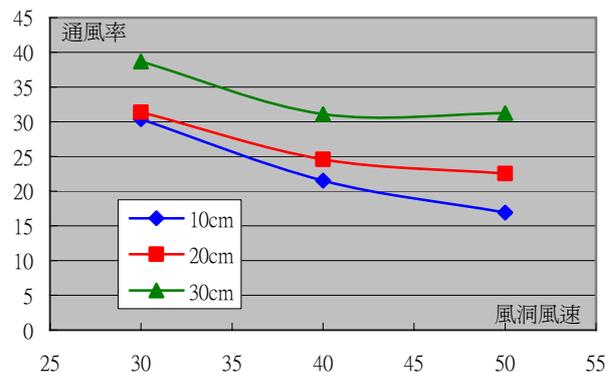


圖 6-2：通風率 - 風洞的風速之關係圖。

(二)兩隔板樣式『前上後上』:依 表 6-2 之數據,繪出 圖 6-3~6-4。此兩張圖形與(一)的圖形部分吻合卻又局部相異,造成此現象的可能原因是,模型外部擾流、內部渦流及邊界效應之故,影響到測量數據。但仍可看出,通風率隨入口風速減小。值得一提的是,通風率有超過 100%的現象,可能原因是,模型外部的氣流會沿模型邊緣,影響後板上方開口的流速,當風速變大時,此效應減弱,數字也變得較合理(參見 圖 6-3, 50Hz 曲線)。

表 6-2：隔板樣式『前上後上』之通風率表格。

30Hz				40Hz				50Hz			
前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%
10cm	109.59	39.396	35.947	10cm	147.93	40.344	27.272	10cm	187.46	58.235	31.064
20cm	109.59	14.629	13.348	20cm	147.93	19.057	12.882	20cm	187.46	31.766	16.945
30cm	109.59	20.021	18.268	30cm	147.93	26.479	17.899	30cm	187.46	49.482	26.395
後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%
10cm	109.59	28.854	26.328	10cm	147.93	32.574	22.019	10cm	187.46	27.954	14.911
20cm	109.59	31.097	28.374	20cm	147.93	31.796	21.493	20cm	187.46	28.817	15.371
30cm	109.59	32.394	29.558	30cm	147.93	41.861	28.297	30cm	187.46	38.586	20.583
後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)			
	73.241	212.57	161.79		80.739	166.842	158.09		48.003	90.716	77.98

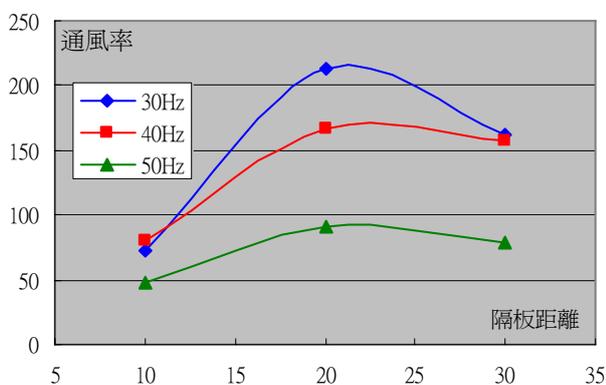


圖 6-3：通風率 - 兩隔板距離之關係圖。

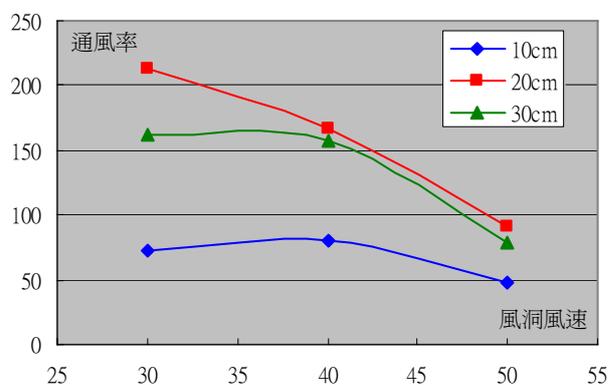


圖 6-4：通風率 - 風洞的風速之關係圖。

註 6-1：三種隔板樣式分別為『前下後下』、『前上後上』、『前下後上』。而非對稱的樣式，雖有 註 5-2 的缺失，仍將其畫出，使其與對稱的隔板樣式作比較。

註 6-2：通風率 =  $\frac{\text{後板風量}}{\text{前板風量}} \times 100\%$ ，其中前、後板風量分別為前、後板的曲線面積。

註 6-3：最佳的通風比例，截面積長寬比為 1：2 至 1：3。

(三)兩隔板樣式『前下後上』：依 表 6-3 之數據，繪出 圖 6-5~6-6。圖形與上述(一)、(二)迥異，雖然已利用加權計算方式，考慮前後兩隔板開口面積不同之因素，但結果仍顯示，通風率會隨兩隔板距離減小、並與入口風速無關。造成此現象可能原因是，非對稱性開口，增加模型內部渦流之複雜性，或者是模型外部擾流及邊界效應之故，而不易量測到隔板距離與通風率的關係。特別的是，此隔板樣式的通風率普遍都高過對稱性的隔板樣式，若此結果受上述的影響甚低(因為前板下開口是後板上開口的兩倍大，因此認為訊噪比應該夠高)，圖 6-5 的結果恰符合綠建築資料(通風率隨兩隔板距離減小)，而 圖 6-6 的結果更顯示，若在後隔板開了上開口(氣窗)，室內通風效果會更加穩定(不隨入口風速變化)，在真實情境下，室內氣體的流動，伴隨著流體的熱對流(熱空氣上升，冷空氣下降)，此狀況將能加速室內熱量排出的效率，達到更佳的通風效果。

表 6-3：隔板樣式『前下後上』之通風率表格。

30Hz				40Hz				50Hz			
前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%	前板	風洞	曲線	%
10cm	119.43	33.864	28.355	10cm	162.26	39.807	24.531	10cm	206.06	48.092	23.338
20cm	119.43	33.054	27.677	20cm	162.26	43.316	26.694	20cm	206.06	52.706	25.578
30cm	119.43	29.388	24.607	30cm	162.26	38.561	23.763	30cm	206.06	45.760	22.207
後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%	後板	風洞	曲線	%
10cm	119.43	36.905	30.901	10cm	162.26	41.923	25.835	10cm	206.06	51.637	25.059
20cm	119.43	23.636	19.791	20cm	162.26	32.907	20.279	20cm	206.06	42.873	20.806
30cm	119.43	19.404	16.247	30cm	162.26	18.057	11.128	30cm	206.06	18.063	8.766
後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)				後板曲線/前板曲線 (%)			
108.97 71.508 66.027				105.31 75.970 46.827				107.37 81.344 39.473			

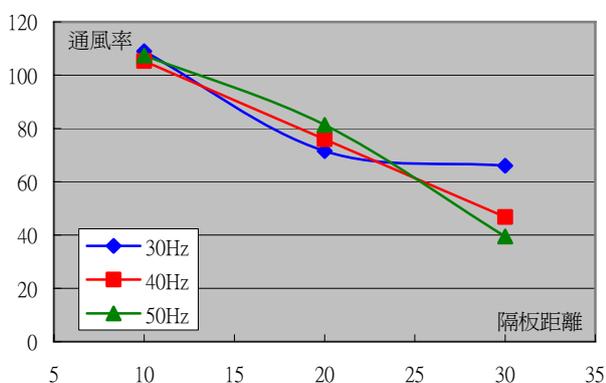


圖 6-5：通風率 - 兩隔板距離之關係圖。

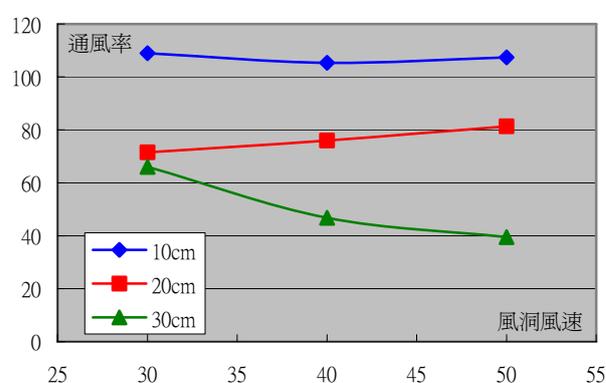


圖 6-6：通風率 - 風洞的風速之關係圖。

二、隔板開口與風速變化的探討：由實驗數據中，整理出對稱的隔板樣式<sup>[6-3]</sup>之表格（表 6-4～6-6）。表格中「前 4 點平均風速」的數值，可利用類似 圖 5-5～5-6，左方水平分布的各位置測量點數值求得（距前隔板 8.5、12、15.5、19cm 處的測量數據），即風場的穩定氣體將進入模型時，各高度及位置的風速變化；「前板風速」為緊貼前隔板所量測到的風速；「變化率」<sup>[6-4]</sup>則為前兩者的誤差率。

（一）兩隔板樣式『前下後下』：依 表 6-4～6-6 之數據，繪出 圖 6-7～6-9（不同的兩隔板距離，風速變化率與入口風速的關係），發現風速變化率隨入口風速有遞增的趨勢；再利用表 6-4～6-6 之數據，繪出 圖 6-10～6-12（固定某入口風速，風速變化率隨兩隔板距離的關係），不管入口風速如何改變，風速變化率隨兩隔板距離均有遞減的趨勢，且有漸緩和的情況，故將趨勢圖形採『一次』（藍色長虛線）、『二次』（綠色短虛線）、『自然對數』（紅色實線）曲線擬合，其擬合結果的 $R^2$ 值以『自然對數』最佳<sup>[6-5]</sup>，因此推論，風速變化與兩隔板距離有指數遞減關係，但礙於數據不充足，無法確立其數學關係式。

（二）兩隔板樣式『前上後上』：因為模型外部擾流、內部渦流、甚至是邊界效應所致，此隔板樣式，於不同風洞風速下的風速變化率，數據並不完整（訊噪比過低）。只能將可用之數據作成 表 6-7，由於數據不夠完整，故不繪成類似 圖 6-7 之圖形。

---

註6-3：非對稱的隔板樣式，除了 註5-2的缺點外，對稱的隔板樣式『前上後上』，其內部渦流、外部擾流等因素而影響到訊噪比（signal to noise ratio），導致皮托管不易量測，僅列出幾組堪用的表格，不作延伸探討；而其它不對稱之隔板樣式（前上後下、前下後上），來自模型內與外的干擾更為嚴重，故也不予討論。

註 6-4：變化率= $\frac{\text{前板風速}-\text{前4點平均風速}}{\text{前4點平均風速}} \times 100\%$

註 6-5：因為任三點即可構成任意二次曲線，故二次擬合的 $R^2$ 值必等於 1，因此無法與其它擬合結果比較優劣。

表 6-4：兩隔板樣式『前下後下』、兩隔板距離 10 公分，不同風洞風速下的風速變化率。

前下後下：10cm_30Hz			前下後下：10cm_40Hz			前下後下：10cm_50Hz			
前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	
1	5.73407	3.62914	7.45316	4.23655		9.12846	5.00439		
2	5.69424	4.20088	7.34759	4.63985		9.01543	6.50408		
3	5.62266	2.21310	7.27594	0.87387		8.93619	1.38130		
4	5.60430	1.22799	7.27304	-		8.94450	-		
5	5.62306	2.58963	7.24621	3.40146		8.94492	4.12582		
6	<b>5.60768</b>	<b>12.11808</b>	<b>116.10</b>	<b>7.24717</b>	<b>16.33707</b>	<b>125.43</b>	<b>8.98300</b>	<b>20.04263</b>	<b>123.12</b>
7	<b>5.62946</b>	<b>12.38121</b>	<b>119.94</b>	<b>7.21026</b>	<b>16.40250</b>	<b>127.49</b>	<b>8.96334</b>	<b>20.15757</b>	<b>124.89</b>
8	<b>5.62273</b>	<b>12.45940</b>	<b>121.59</b>	<b>7.22464</b>	<b>16.48975</b>	<b>128.24</b>	<b>8.95445</b>	<b>20.06452</b>	<b>124.07</b>
9	5.57562	1.46248	7.14651	0.44764		8.63468	3.36676		
10	4.73361	1.60863	5.72276	8.17379		7.79439	10.70332		

表 6-5：兩隔板樣式『前下後下』、兩隔板距離 20 公分，不同風洞風速下的風速變化率。

前下後下：20cm_30Hz			前下後下：20cm_40Hz			前下後下：20cm_50Hz			
前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	
1	5.80488	2.69705	7.52368	3.06437		9.30731	2.73934		
2	5.71438	3.25598	7.43098	4.09159		9.16235	3.97025		
3	5.62702	3.22360	7.30510	4.07235		9.00983	3.86961		
4	5.60045	2.90951	7.24123	3.81104		8.95790	3.01044		
5	5.56772	3.01487	7.23047	3.57012		8.89243	2.88108		
6	<b>5.55438</b>	<b>10.14388</b>	<b>82.63</b>	<b>7.20087</b>	<b>13.65455</b>	<b>89.62</b>	<b>8.90874</b>	<b>16.96888</b>	<b>90.47</b>
7	<b>5.57764</b>	<b>10.64817</b>	<b>90.91</b>	<b>7.21298</b>	<b>14.23250</b>	<b>97.32</b>	<b>8.89268</b>	<b>17.77829</b>	<b>99.92</b>
8	<b>5.57139</b>	<b>10.83452</b>	<b>94.47</b>	<b>7.23497</b>	<b>14.54609</b>	<b>101.05</b>	<b>8.91446</b>	<b>18.12243</b>	<b>103.29</b>
9	5.57219	10.60814	7.17488	12.99079		8.85872	17.59029		
10	5.15531	2.06801	5.94208	3.11027		7.70175	-		

表 6-6：兩隔板樣式『前下後下』、兩隔板距離 30 公分，不同風洞風速下的風速變化率。

前下後下：30cm_30Hz			前下後下：30cm_40Hz			前下後下：30cm_50Hz			
前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	
1	6.00680	2.29441	7.75736	2.42291		9.56479	2.82032		
2	5.91281	2.41738	7.59762	2.60710		9.37904	2.65940		
3	5.82777	2.39210	7.47454	2.60600		9.22565	2.90810		
4	5.76028	2.34225	7.42182	2.48209		9.14581	2.78487		
5	5.72088	2.37041	7.37906	2.49978		9.07861	2.73212		
6	<b>5.72769</b>	<b>10.41711</b>	<b>81.87</b>	<b>7.37876</b>	<b>13.78961</b>	<b>86.88</b>	<b>9.05585</b>	<b>17.22638</b>	<b>90.22</b>
7	<b>5.72166</b>	<b>10.65596</b>	<b>86.24</b>	<b>7.37593</b>	<b>14.13594</b>	<b>91.65</b>	<b>9.06921</b>	<b>17.71880</b>	<b>95.37</b>
8	<b>5.70929</b>	<b>10.84707</b>	<b>89.99</b>	<b>7.36484</b>	<b>14.29046</b>	<b>94.04</b>	<b>9.04058</b>	<b>18.00973</b>	<b>99.21</b>
9	5.70651	2.58203	7.32862	-		8.88067	2.84408		
10	5.14198	1.89486	5.80746	2.01734		7.18604	1.25469		

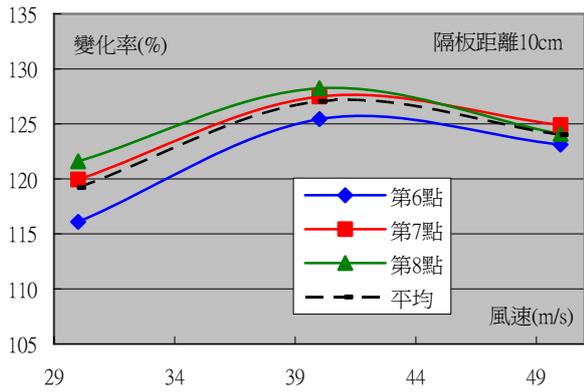


圖 6-7：兩隔板距離 10 公分，風速變化率與入口風速的關係圖形。發現風速變化率隨入口風速增大的趨勢並不明顯。

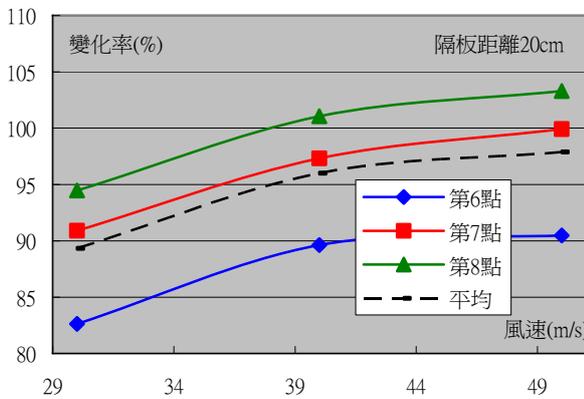


圖 6-8：兩隔板距離 20 公分，風速變化率與入口風速的關係圖形，發現風速變化率隨入口風速增大的趨勢漸明顯。

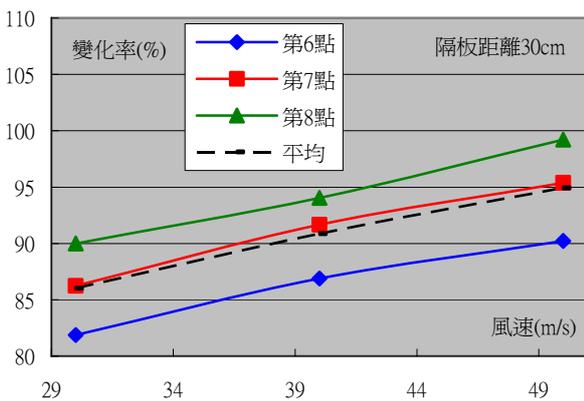


圖 6-9：兩隔板距離 30 公分，風速變化率與入口風速的關係圖形，發現風速變化率隨入口風速增大的趨勢最明顯。

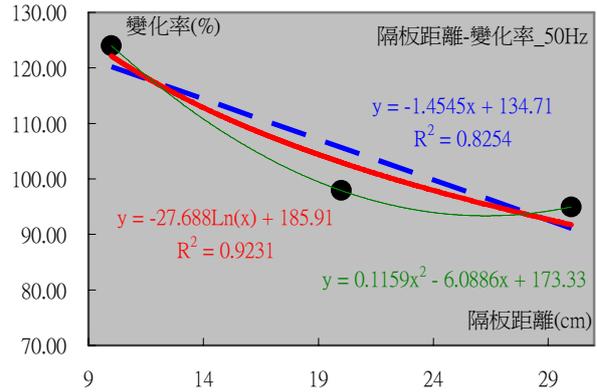


圖 6-10：入口風速 50Hz，風速變化率隨兩隔板距離的關係圖形，其中以『自然對數』的擬合結果最佳。

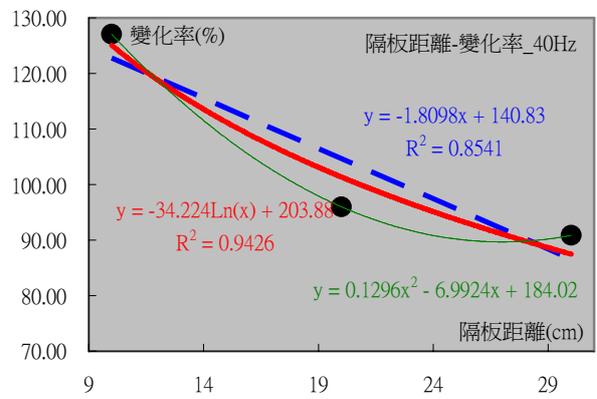


圖 6-11：入口風速 40Hz，風速變化率隨兩隔板距離的關係圖形，其中以『自然對數』的擬合結果最佳。

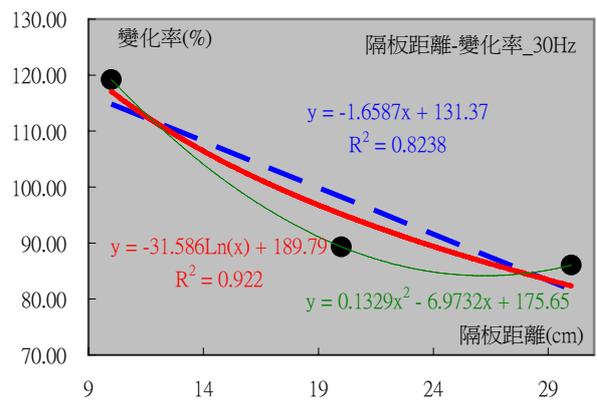


圖 6-12：入口風速 30Hz，風速變化率隨兩隔板距離的關係圖形，其中以『自然對數』的擬合結果最佳。

表 6-7：兩隔板樣式『前上後上』，因為擾流因素，不同風洞風速下的風速變化率，並不完整。

前上後上：10cm_30Hz				前上後上：10cm_50Hz		
	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)
1	7.53194	-		12.21988	-	
2	<b>7.48732</b>	<b>10.52498</b>	<b>40.571</b>	<b>12.19531</b>	<b>17.48068</b>	<b>43.339</b>
3	<b>7.48717</b>	<b>9.65257</b>	<b>28.921</b>	<b>12.19028</b>	<b>15.75316</b>	<b>29.227</b>
4	7.46767	2.27322		12.14119	2.23504	
5	7.48607	2.17066		12.13003	2.03706	
6	7.45755	2.83953		12.13203	3.97785	
7	7.50643	3.13461		12.15521	4.66849	
8	7.49662	3.35114		12.17201	5.34210	
9	7.49685	3.03952		12.18473	5.26623	
10	7.44469	2.41013		12.11338	1.47399	
前上後上：20cm_30Hz				前上後上：30cm_50Hz		
	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)	前 4 點平均 風速(m/s)	前板風速 (m/s)	變化率 (%)
1	5.04806	-		8.23931	-	
2	<b>4.89888</b>	<b>7.97688</b>	<b>62.831</b>	<b>8.04790</b>	<b>16.95005</b>	<b>110.62</b>
3	<b>4.79499</b>	<b>6.65210</b>	<b>38.730</b>	<b>7.82625</b>	<b>15.71192</b>	<b>100.76</b>
4	4.68131	-		7.64062	1.29514	
5	4.56221	-		7.44032	0.61211	
6	4.43709	-		7.27500	2.25688	
7	4.36028	-		7.11678	1.94515	
8	4.28045	-		7.01658	2.62793	
9	4.20846	-		6.81217	8.08293	
10	3.47319	-		5.38252	-	

## 柒、 結論

- 一、流體軌跡拍攝：當線香流經隔板開口中央處時，能快速通過開口；若線香流經隔板開口邊緣處時，則產生邊界效應，並於模型內部形成渦流結構；而模型外部或閉口處也會形成擾流，部分沿著模型邊緣流動，部分與後方的線香發生碰撞而散開，導致通過的氣體減少，無形中形成一道牆般（風阻效應），所以風速應該也會減少。再者，線香的燃燒並不穩定，且無外在作用力（自然對流），有時呈現穩定流動，有時又會聚結在一塊，加上實驗室中細微的流體即會干擾到線香的流動，導致流線過於紊亂而不易觀察，建議以後能將模型放置在風洞後，再於模型內部點燃線香，讓流場更加穩定，也讓情況更趨近真實，或者改用『低速穩定的水洞』外加染劑來顯示其流線，以改進上述缺失，而有利於觀察與拍攝。

## 二、通風率：

- (一)、兩隔板樣式與入口、出口風速：入口及出口風速的曲線分布，大致上均能顯示出兩隔板的開口樣式（參見 圖 5-1~5-4）。
- (二)、前隔板的入口風速：前隔板的入口風速較接近風場的風速大小（參見 圖 5-1~5-3），唯獨 圖 5-4，前隔板的入口風速與風場風速相差甚多，且後隔板的出口風速卻接近風場的風速。造成此現象，可能是「連續方程式」（開口愈小，風速愈大），或者是模型外部擾流之故。
- (三)、後隔板的出口風速：當兩隔板的開口對稱時（前上後上，前下後下），參見 圖 5-1~5-2，後隔板的出口風速較能接近風場的風速大小；非對稱時則否（參見 圖 5-3）。
- (四)、隔板樣式、距離與通風率：
  - 1、隔板樣式『前下後下』：通風率隨兩隔板距離而增大（參見 圖 6-1），此結果雖與綠建築所提 1:2 至 1:3 有所出入，但原因就出在：皮托管的彎管長度限制，依模型比例，10 公分已超過最佳距離，故呈現增大現象；或者是加大隔板距離，使模型內部的渦流效應減弱，故通風效果變好。除此之外，通風率也隨入口風速而減小（參見 圖 6-2），換句話說，當風速越快時，風阻效應越明顯。
  - 2、隔板樣式『前上後上』：通風率與兩隔板距離的圖形並無明顯的增大趨勢（參見 圖 6-3），可能原因是模型外部擾流及邊界效應之故，影響到測量數據。但仍可看出，通風率隨入口風速減小（參見 圖 6-4）。
  - 3、隔板樣式『前下後上』（開口不對稱）：圖形與上述(1)、(2)迥異，通風率隨兩隔板距離減小，與入口風速無關。造成此現象的可能原因是，非對稱性開口，增加模型內部渦流之複雜性，或者是模型外部擾流及邊界效應之故，而看不出隔板距離與通風率的關係。但前板下開口是後板上開口的兩倍大，訊噪比（signal to noise ratio）應該夠高，故認為此現象受上述的影響甚低，圖 6-5 的結果恰符合綠建築資料（通風率隨兩隔板距離減小），而 圖 6-6 的結果更顯示，開了氣窗，室內通風效果更穩定（不隨入口風速變化），再伴隨流體的熱對流（熱空氣上升，冷空氣下降），將能加速室內熱量排出的效率，達到最佳的通風效果。

## 三、風速變化率：由於非對稱的隔板樣式，受干擾因素過多（模型內部的渦流、模型外部的擾流、邊界效應）造成訊噪比不足，故只採用隔板樣式『前下後下』的數據來探討。

- (一) 風速變化率與風洞風速的關係：風速變化率隨入口風速有遞增的趨勢（參見 圖 6-7），且隨兩隔板距離增加漸趨明顯。
- (二) 風速變化率與兩隔板距離的關係：風速變化率隨兩隔板距離有遞減的趨勢，且將趨勢圖形採『一次』、『二次』、『自然對數』的曲線擬合，其擬合結果的 $R^2$ 值以『自然對數』最佳，因此推論風速變化與兩隔板距離成指數遞減關係，但礙於數據不充足，無法確立其數學關係式。

#### 四、未來發展與展望：

##### (一) 模型的製作：

- 1、由於此次實驗模擬真實教室比例，故無法全方面的採取不同的開口大小，導致『前上後上』的測量數據受到影響，而『前上後下』或『前下後上』的數據也因為開口不對稱、內部渦流、外部擾流、及邊界效應等，影響到測量數據，希望以後可以嘗試更多款式的隔板樣式，並調整開口位置及大小，以避免邊界效應。
- 2、本次實驗所用的模型截面積為長方形，未來可以觀察不同的幾何形狀，甚至是不規則形，再觀察  $A/A'$ （通風面積/總截面積）對風速是否有不同的影響。

(二) 測量儀器 - 皮托管：因為風的流場是三度空間分布，而皮托管大多適用於一維的平穩流速測量，故量取的數據與真實情況有所出入，再者皮托管的彎曲長度，也影響了與前板距離、兩隔板距離之探討，故建議能將測量儀器改用『熱金屬線』（hotwire，利用風帶走金屬線上的熱，而推得風速），以求得三度空間中的風速。

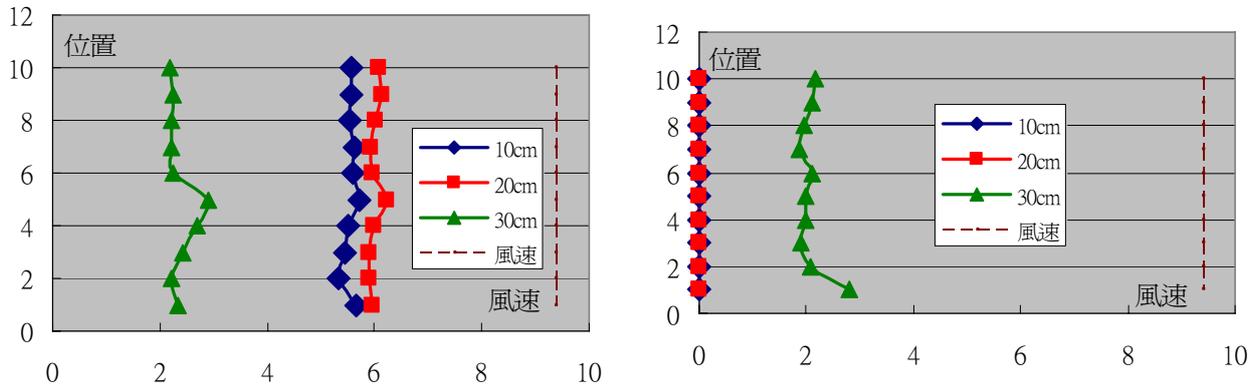
(三) 這次實驗只量測風速，而室內通風率只是人體舒適度的一項指標而已，其它像溫度、溼度…等，也該一併考慮在內，建議以後可以同步量測這些物理量，並利用實驗結果，設計教室窗戶開口位置及大小，以便在不開空調的狀況下，還能保持良好通風，進而達到節能省碳的目的。

## 捌、 參考資料及其他

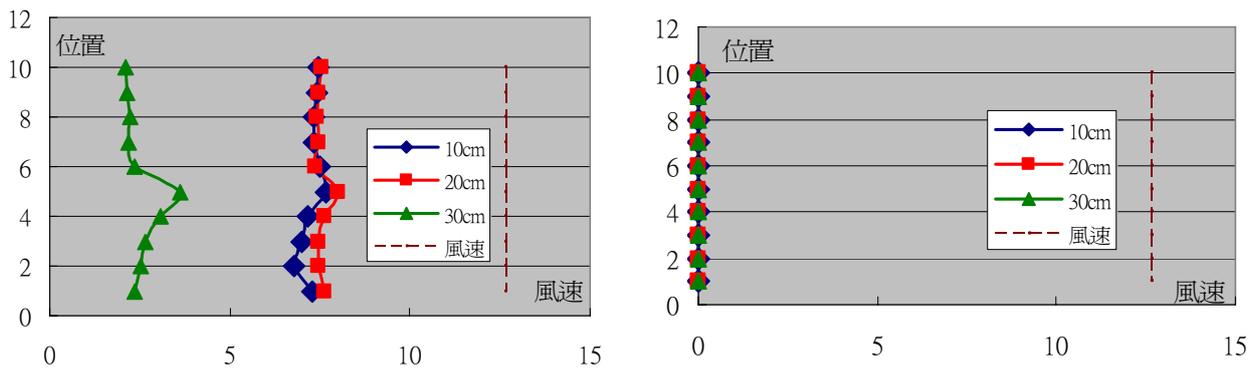
### 一、參考資料：

- (一) 林明瑞（民97）。南一 高中物理（下）。台北市：南一書局。
- (二) 褚德三（民97）。龍騰 高中物理（下）。台北市：龍騰文化。
- (三) 林重光（民94）。第四屆旺宏科學獎優等 神奇的妙網：台南一中。
- (四) 苗君易（民92）。流體力學知多少。台南市：成功大學。
- (五) 楊 明（民96）。單層多孔隙風擋對低層建築風力通風之效應分析。  
私立中華大學景觀建築學系(所) 碩士論文，未出版，新竹市。
- (六) 綠建築九大指標：<http://www.fubonland.com.tw/b/B1d.html>。富邦建設。

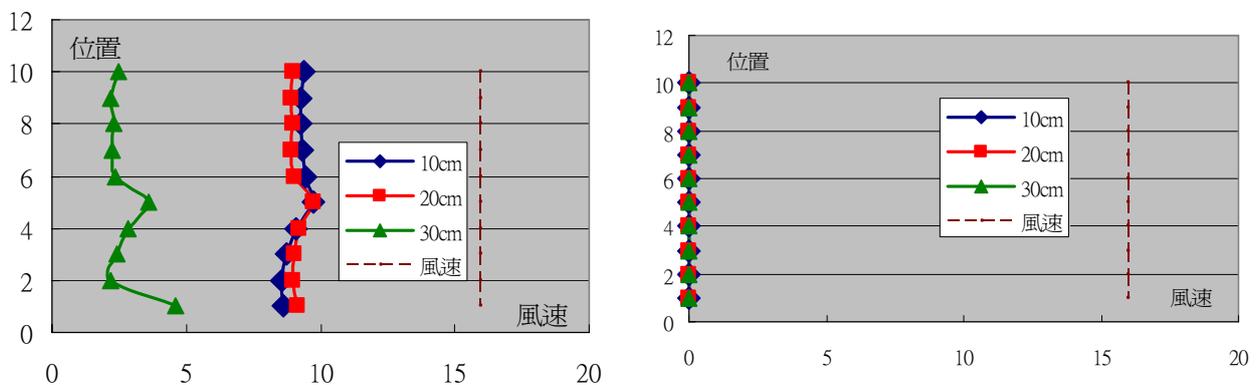
## 玖、 附 錄



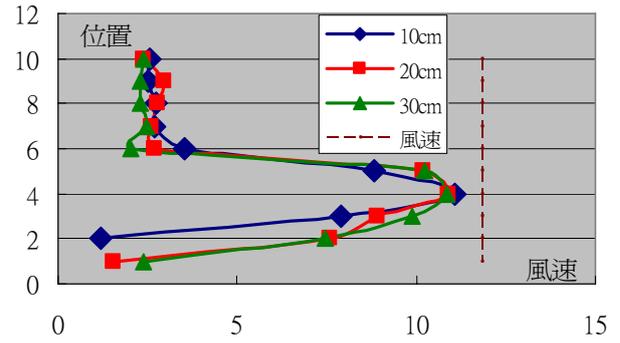
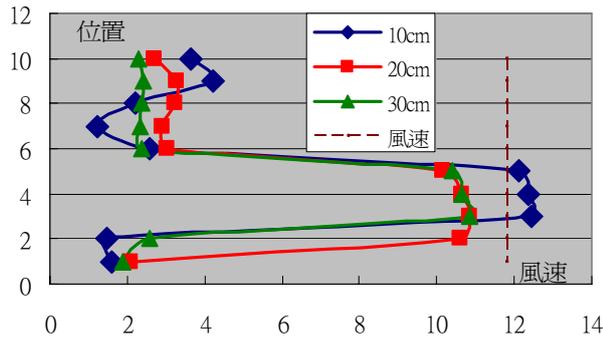
附錄-1：兩隔板樣式為『前下後 x』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



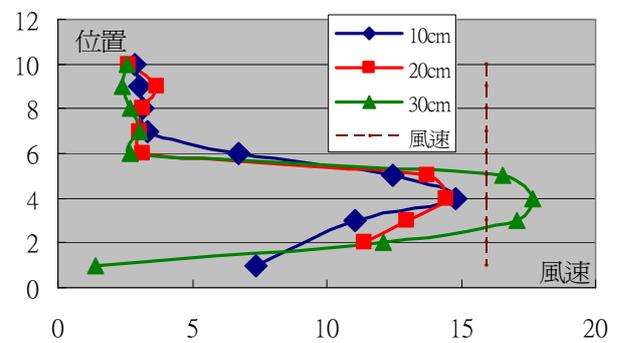
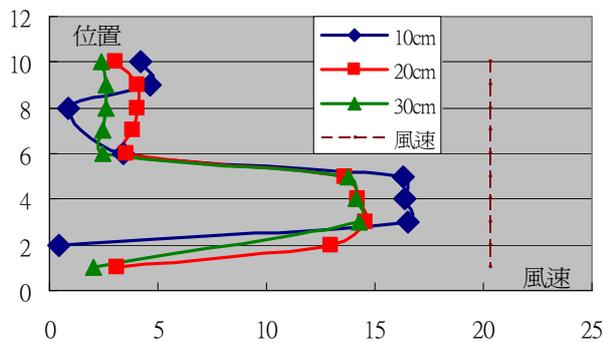
附錄-2：兩隔板樣式為『前下後 x』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



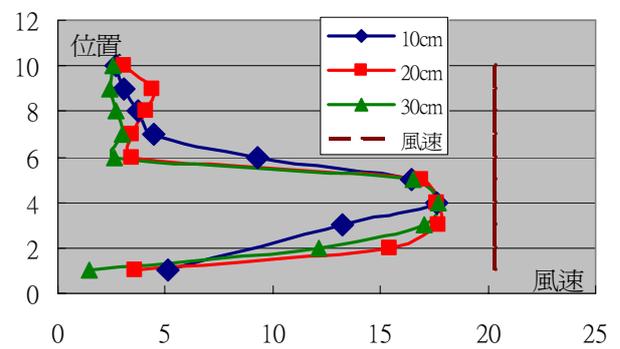
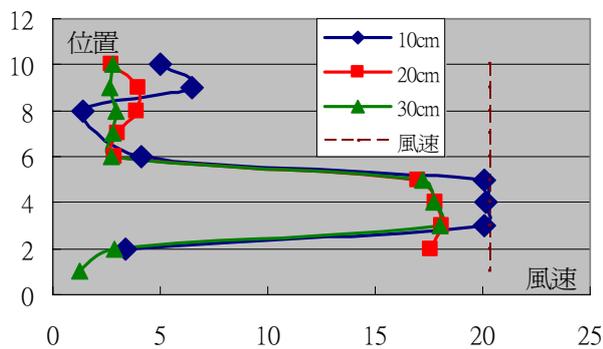
附錄-3：兩隔板樣式為『前下後 x』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



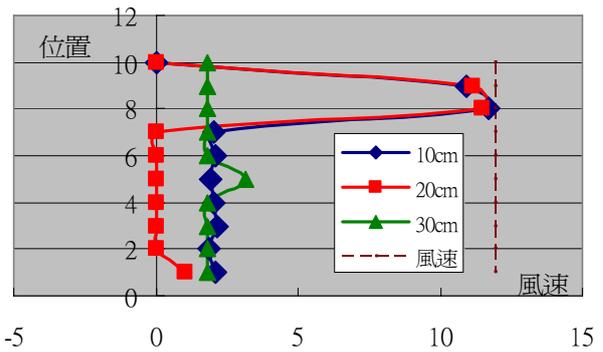
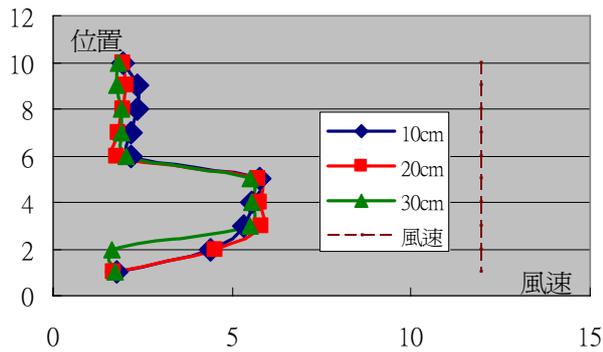
附錄-4：兩隔板樣式為『前下後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



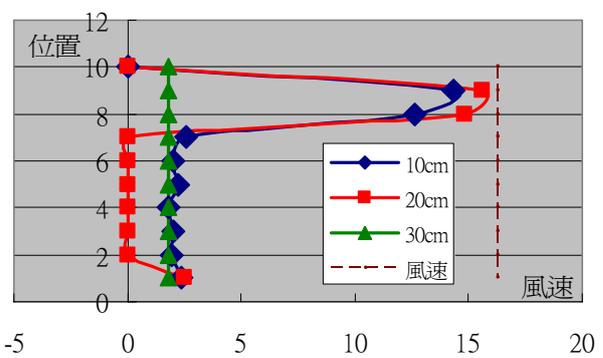
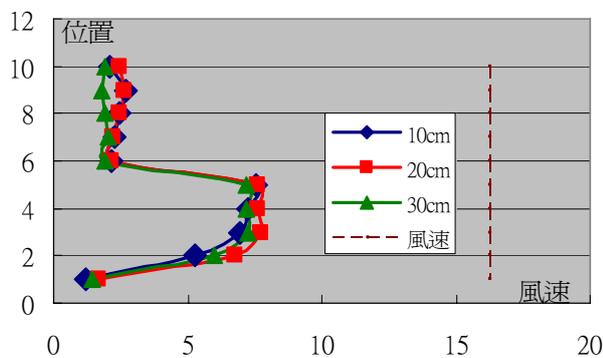
附錄-5：兩隔板樣式為『前下後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



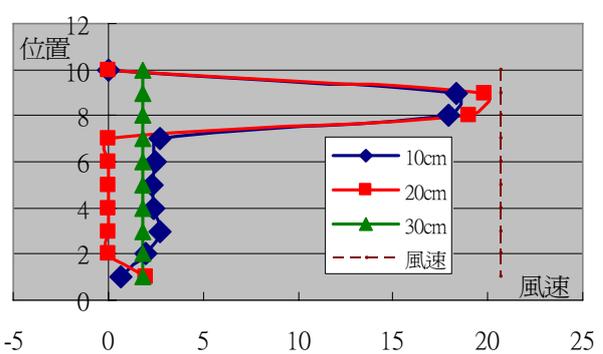
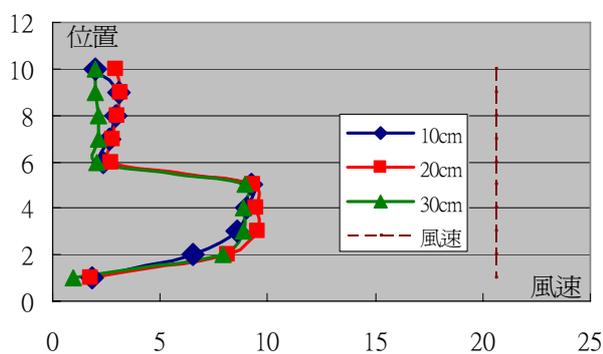
附錄-6：兩隔板樣式為『前下後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



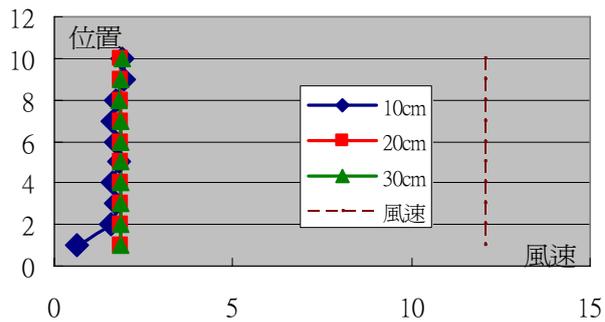
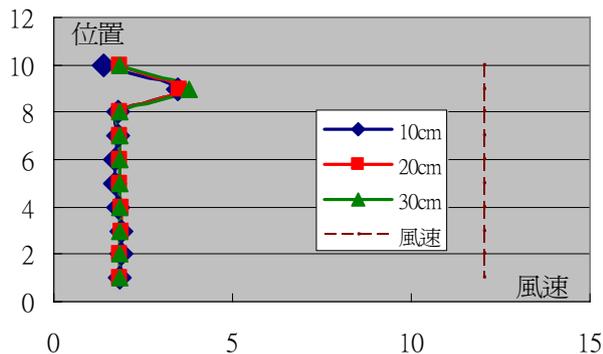
附錄-7：兩隔板樣式為『前下後上』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



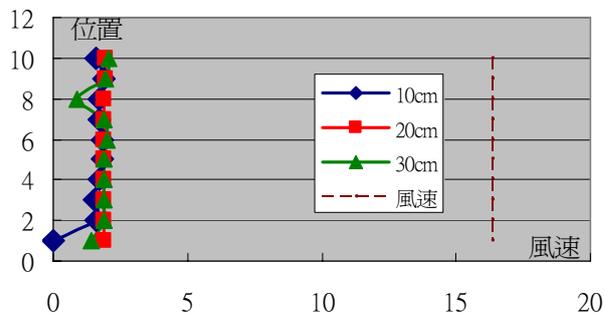
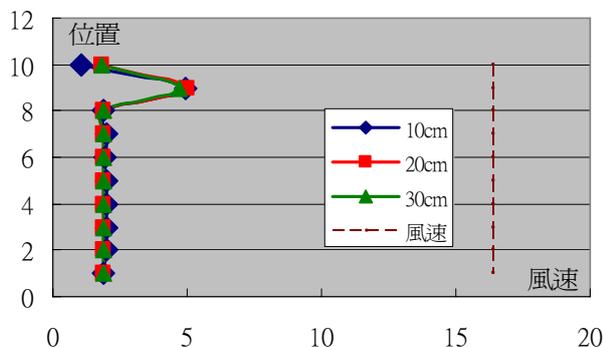
附錄-8：兩隔板樣式為『前下後上』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



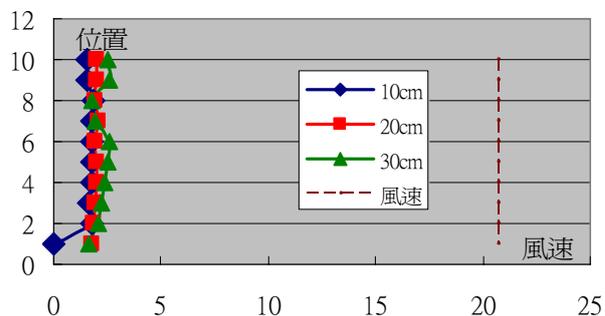
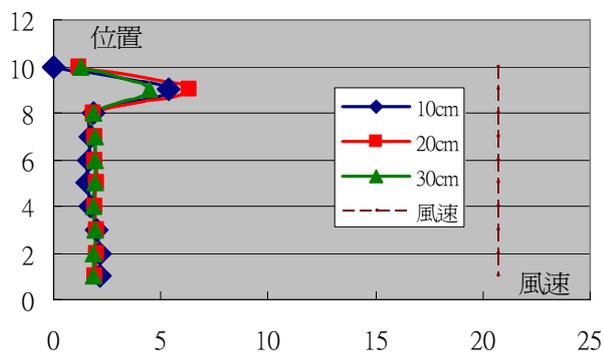
附錄-9：兩隔板樣式為『前下後上』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



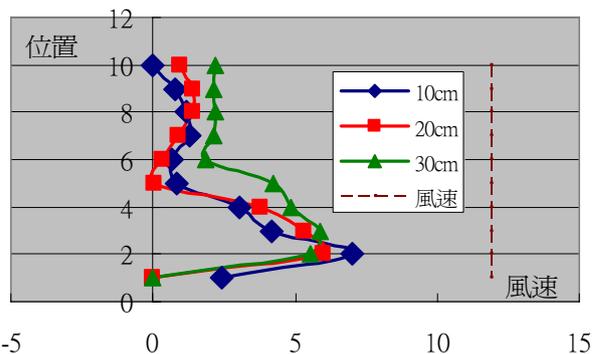
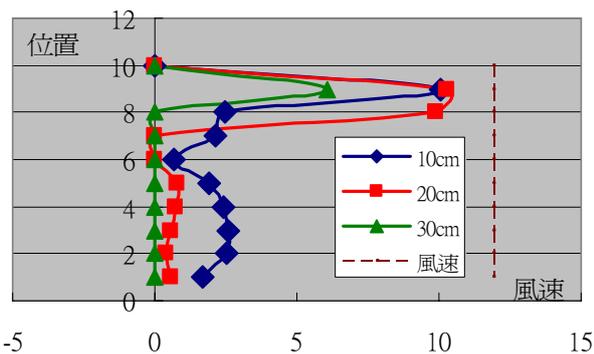
附錄-10：兩隔板樣式為『前上後 x』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



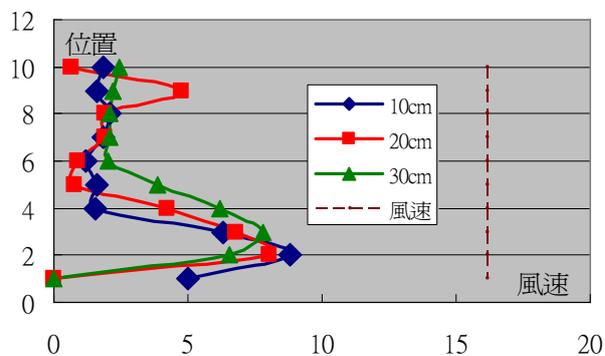
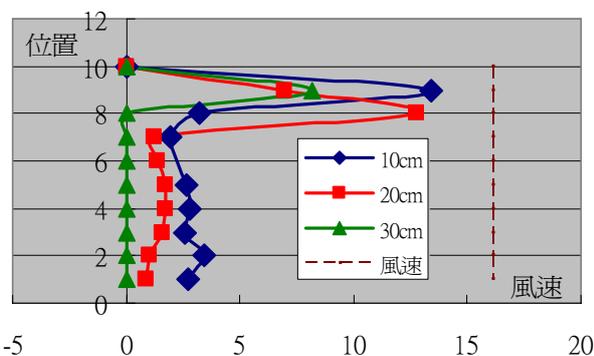
附錄-11：兩隔板樣式為『前上後 x』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



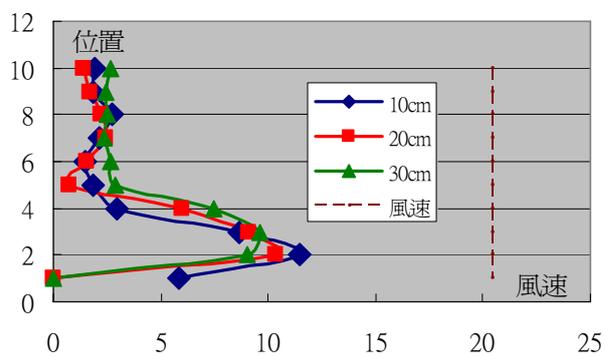
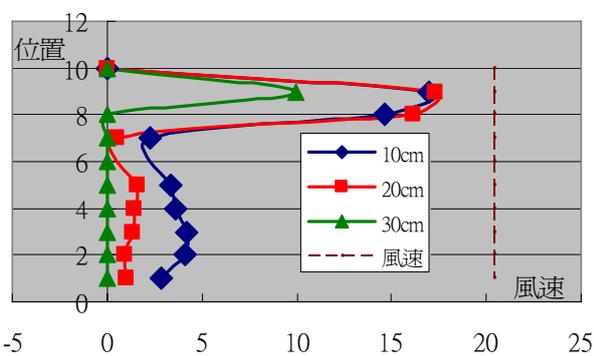
附錄-12：兩隔板樣式為『前上後 x』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



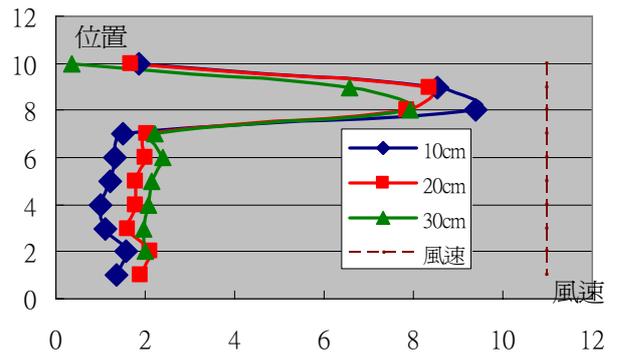
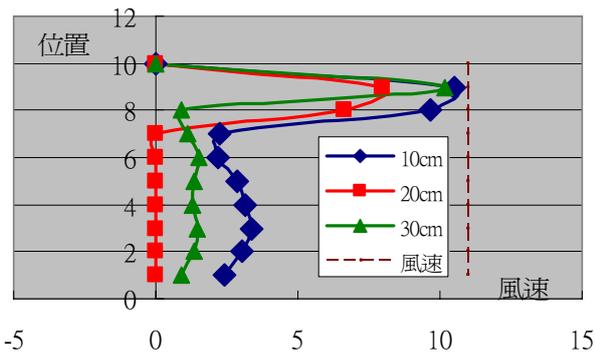
附錄-13：兩隔板樣式為『前上後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



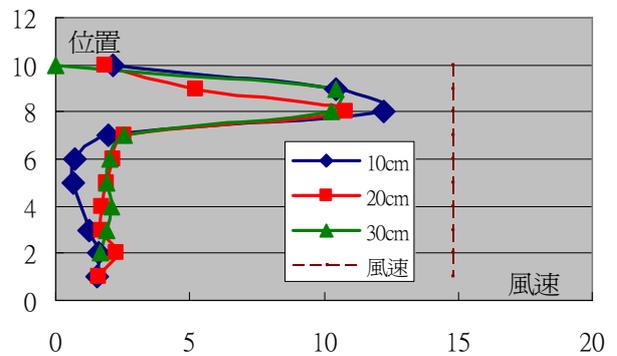
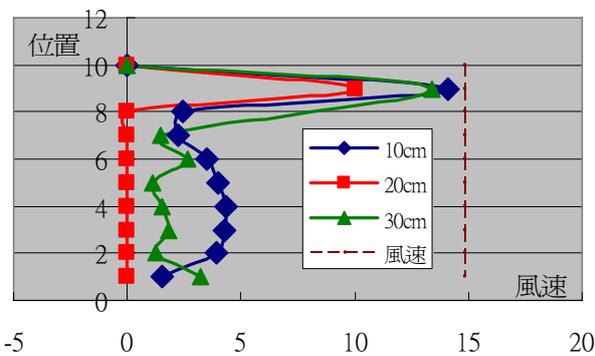
附錄-14：兩隔板樣式為『前上後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



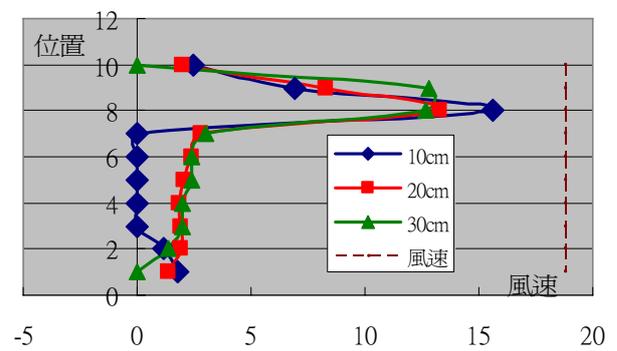
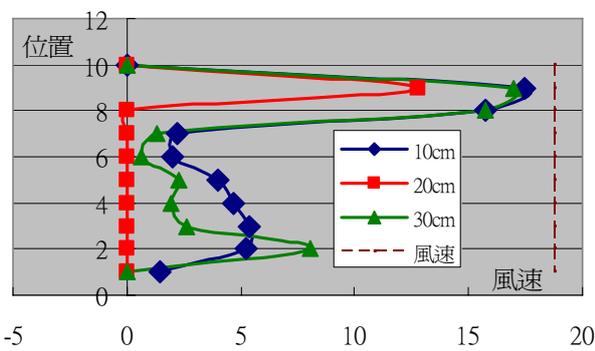
附錄-15：兩隔板樣式為『前上後下』（左側為前隔板、右側為後隔板），風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



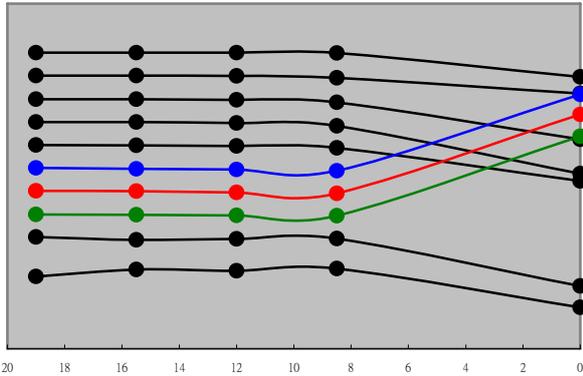
附錄-16：兩隔板樣式為『前上後上』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 30Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



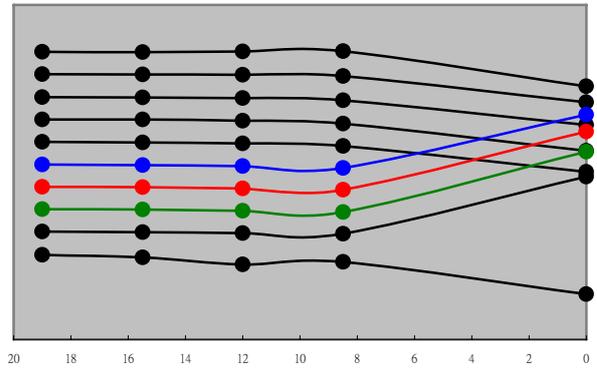
附錄-17：兩隔板樣式為『前上後上』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 40Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



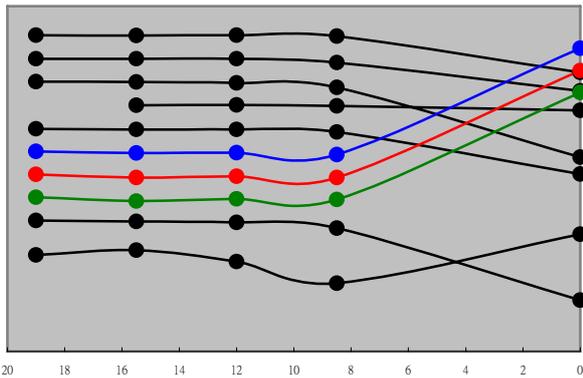
附錄-18：兩隔板樣式為『前上後上』(左側為前隔板、右側為後隔板)，風洞的風速為 50Hz，藍色、紅色、綠色分別代表兩隔板距離 10、20、30cm 的各點風速。



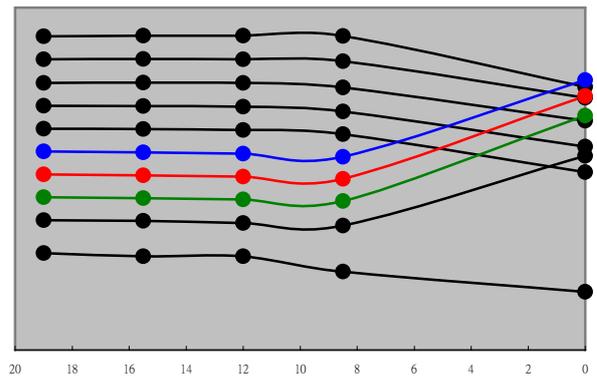
附錄-19：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 10cm，



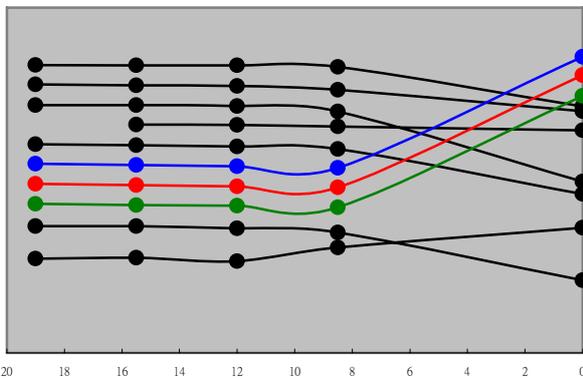
附錄-22：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 20cm，



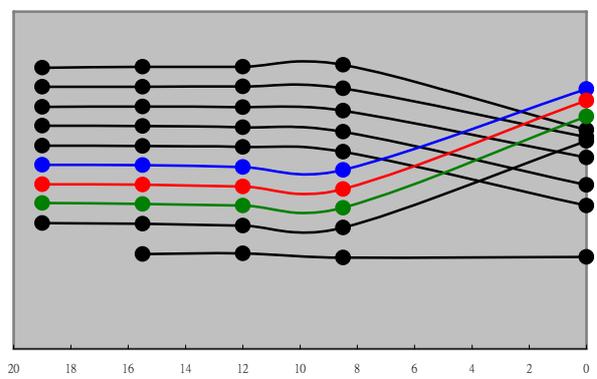
附錄-20：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 40Hz，兩隔板距離 10cm，



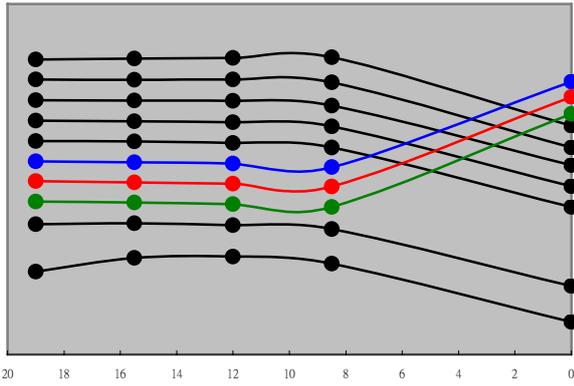
附錄-23：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 40Hz，兩隔板距離 20cm，



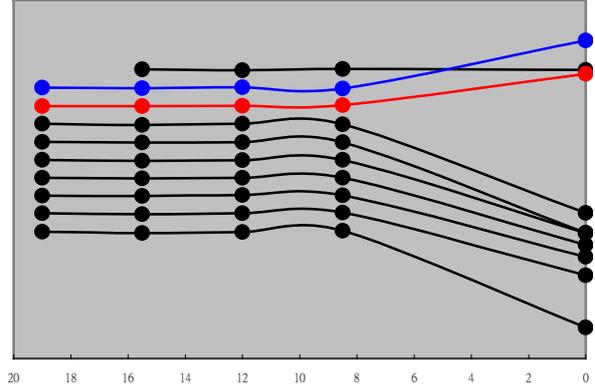
附錄-21：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 50Hz，兩隔板距離 10cm，



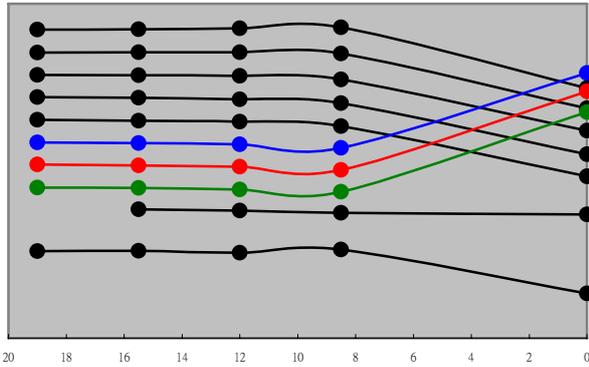
附錄-24：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 50Hz，兩隔板距離 20cm，



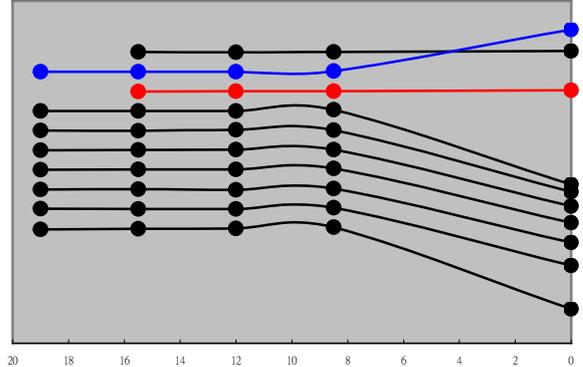
附錄-25：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 30cm，



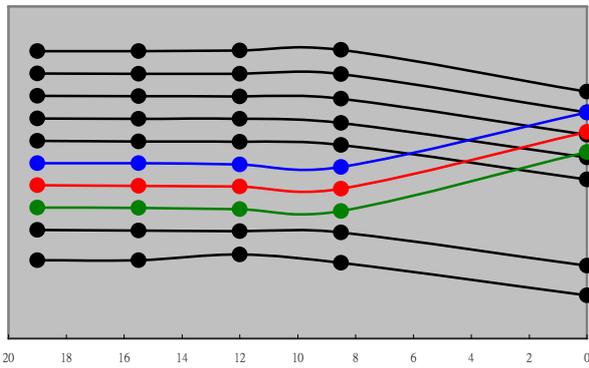
附錄-28：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 10cm，



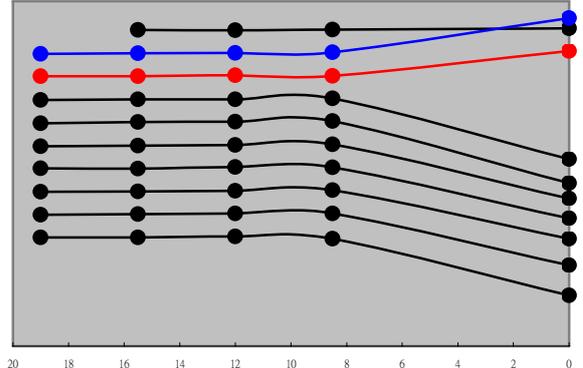
附錄-26：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 40Hz，兩隔板距離 30cm，



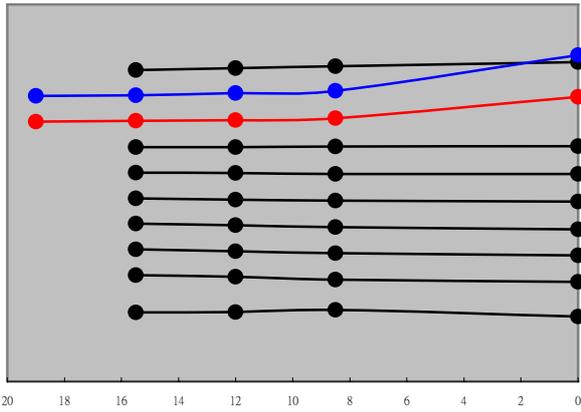
附錄-29：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 40Hz，兩隔板距離 10cm，



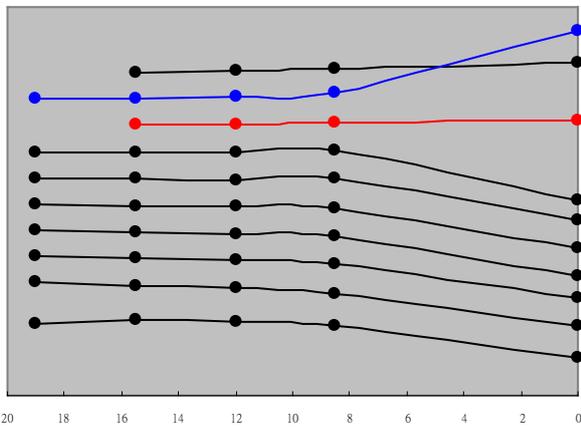
附錄-27：兩隔板樣式為『前下後下』，  
風洞風速為 50Hz，兩隔板距離 30cm，



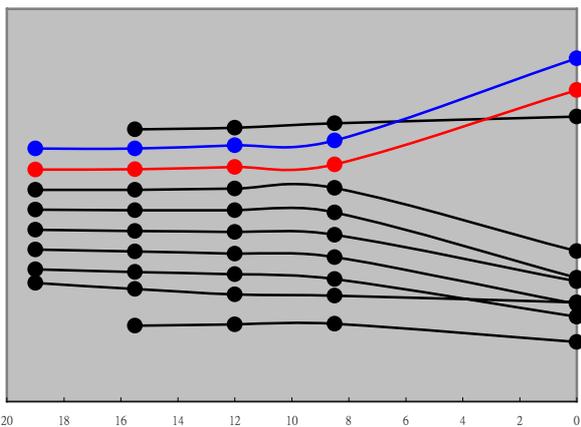
附錄-30：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 50Hz，兩隔板距離 10cm，



附錄-31：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 20cm，



附錄-32：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 30Hz，兩隔板距離 30cm，



附錄-33：兩隔板樣式為『前上後上』，  
風洞風速為 50Hz，兩隔板距離 30cm，

## 【評語】 040107

- 1、 本作品以隔板風碩，模擬教室氣流，有鄉土實用性，取材值得鼓勵。
- 2、 風速較有變化之區段，實際數據稍嫌不足，雖受限於量測儀器，但應可設計改善，以取得較充足的數據。
- 3、 絕大部份的實驗，所取得的數據不足，較不易有精細結論。
- 4、 應可加強實驗數據的解說。