

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-地球科學科

科 別：地球科學科

組 別：高中組

作品名稱：模擬龍捲風

關 鍵 詞：龍捲風

編 號：040507

學校名稱：

國立花蓮高級中學

作者姓名：

黃建衛、許庭瑋、柯東阜、洪宗聖

指導老師：

陳麗妃



壹、摘要

台灣地區平均在一年中會產生一、兩個龍捲風，雖然其次數不多，然而龍捲風是短時間所生破壞程度最大的風暴系統。本實驗藉由模擬龍捲風的行程，探討其生成的因素。

本實驗以『上方風扇』：模擬真實龍捲風的低壓中心，控制電壓的大小以影響氣流上升速率的快慢、『下方風扇』：模擬風切，控制電壓的大小與仰角以影響氣流的水平向、鉛直向大小、『口徑』：利用上方口徑大小以控制氣流鉛直方向上升速率與形成之暴風半徑大小、『高度』：利用高度的高低以控制氣流鉛直方向上升速率。

結論：

- (1) 上升範圍(口徑)越小，暴風半徑越小
- (2) 上升氣流(上方風扇)越快，暴風半徑越小
- (3) 風切(下方風扇)風速越大，暴風半徑越小
- (4) 對流高度越低，暴風半徑越小

貳、研究動機

台灣地區平均在一年中會產生一、兩個龍捲風，雖然其次數不多，再加上課程內高一基礎地科 大同資訊版 第七章 颱風部分；高一下物質科學地球科學 大同資訊版 第五章 大氣的運動 所提及，進而引發我們觀察及研究龍捲風。

參、研究目的

經由我們的操控變因組合，探討龍捲風的成因。

肆、研究器材與實驗裝置

(一)

0 1、	1 5 0 c m角鋼	4 枝
0 2、	5 0 c m角鋼	8 枝
0 3、	螺絲 螺絲帽	適量
0 4、	玻璃紙(全開)	3 張
0 5、	抽風電扇	1 座
0 6、	小風扇	4 座

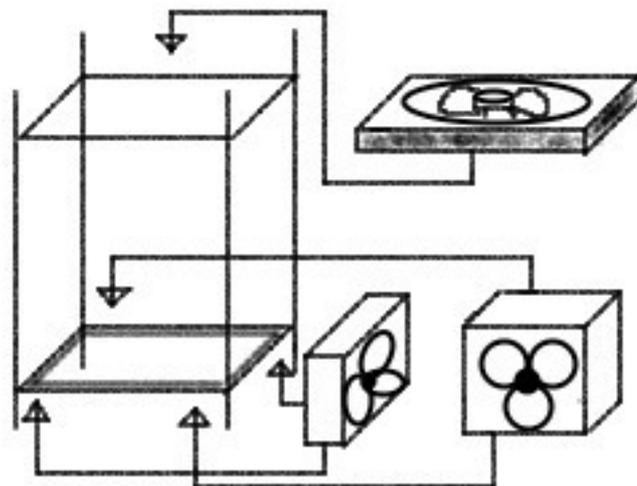
0 7、	皮尺	1 卷
0 8、	雷射筆	1 枝
0 9、	可調式變壓器 (7 0 V 1 1 0 V)	1 個
1 0、	乾冰	適量
1 1、	木板	1 片
1 2、	西卡紙	2 張
1 3、	電磁爐	1 座
1 4、	鍋子	1 個

(二) 設計原理

- (1) 上方風扇：模擬真實龍捲風的低壓中心，控制電壓的大小以影響氣流上升速率的快慢
- (2) 下方風扇：模擬風切，控制電壓的大小與仰角以影響氣流的水平向、鉛直向大小
- (3) 口徑：利用上方口徑大小以控制氣流鉛直方向上升速率與形成之暴風半徑大小
- (4) 高度：利用高度的高低以控制氣流鉛直方向上升速率

(三) 裝置設計流程

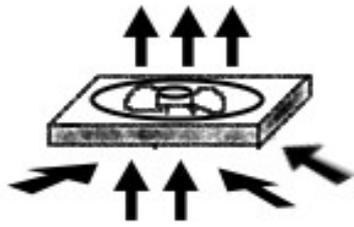
- 1、原始設計：根據低氣壓中心的資料，我們用角鋼來搭起裝置的骨架，並在架上放置 2 0 c m 的抽風扇，再於抽風扇下方的垂直方向，以逆時針來排列小風扇 如圖一 。



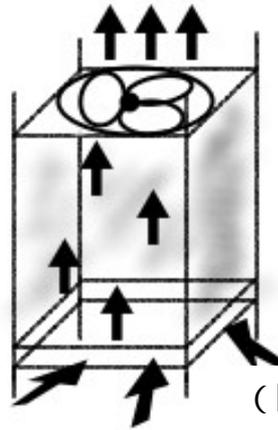
(圖一)

觀察：水蒸氣所冒出的白煙，只在小風扇這一層打轉，絲毫不受上方抽風扇影響。

- 2、思考上述實驗，認為上方抽風效率不佳 如圖二，於是在角鋼架上貼透明玻璃紙 如圖三



(圖二)



(圖三)

可是觀察後仍然無法形成，改以麵粉來替代水蒸氣觀察。如前實驗結果，就像是小型的塵捲風 Dust Devil，並不是我們所要的。

3、根據文獻記載，實際的龍捲風，其內部的外圍氣流流動速度最低可達每小時 40 公里以上。依照角動量守恆，我們在抽風扇下方放置可控制口徑大小的板子，以縮小上升氣流的範圍，使轉速加快；並把麵粉改為乾冰，使其更容易觀察。

結果：形成了穩定的管狀渦旋，於是便進行實驗。

(四) 暴風半徑測量法

在鋼架平行的兩側，分別貼上三個刻度尺（上、中、下）於同一對應位置，並對齊其刻度，再利用光的直進性（用雷射筆同時對齊同一刻度並切於暴風兩側）

伍、研究方法

一、**實驗 1**：研究抽風口徑對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

(1) 假設：如果在同一對流高度，上方風扇電壓相同，風切的強度相等時，抽風口徑的大小（控制每秒截面積空氣流量的大小）對模擬龍捲風的關係

(2) 控制變因：同樣的對流高度 70 cm，抽風電扇電壓 90 V，下方小風扇之電壓為 110 V，仰角 45°

(3) 操作變因：不同的抽風口徑：使用口徑（半徑）2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm 之鏤空厚紙板，置入適量的乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

二、**實驗 2**：研究上方抽風扇電壓對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一對流高度，口徑相同，風切的強度相等時，上方風扇電壓的大小對模擬龍捲風的影響
- (2) 控制變因：同樣的對流高度 7 0 c m，抽風口徑 8 c m，下方小風扇之電壓為 1 1 0 V，仰角 4 5°
- (3) 操作變因：不同的抽風扇電壓：上方抽風機之電壓為 5 0 V、6 0 V、7 0 V、8 0 V、9 0 V、1 0 0 V、1 1 0 V，使用口徑（半徑）8 c m之鏤空厚紙板，置入適量的乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

三、實驗 3：研究下方風扇電壓的高低對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一對流高度，上方抽風效率相同，抽風口徑大小一樣時，下方風扇電壓的大小（模擬風切對龍捲風影響的關係）
- (2) 控制變因：同樣的對流高度 7 0 c m，抽風電壓 1 1 0 V，抽風口徑 4 c m，仰角 4 5°
- (3) 操作變因：不同的下方風扇電壓：下方小風扇之電壓為 5 0 V、6 0 V、7 0 V、8 0 V、9 0 V、1 0 0 V、1 1 0 V，使用口徑（半徑）4 c m之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

四、實驗 4：研究對流的高度對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一抽風口徑，上方抽風速率及風切強度相同時，對流的高度（模擬對流高度對龍捲風影響的關係）
- (2) 控制變因：同樣的抽風口徑 4 c m，抽風扇電壓為 8 0 V，下方風扇電壓為 1 1 0 V，仰角 4 5°
- (3) 操作變因：不同的對流高度 5 0 c m、6 0 c m、7 0 c m、8 0 c m、9 0 c m，使用口徑（半徑）4 c m之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

五、實驗 5：研究下方風扇的仰角對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一抽風口徑，上方抽風速率及下方電壓相同時，仰角的不同（模擬對流高度對龍捲風影響的關係）
- (2) 控制變因：同樣的抽風口徑 4 c m，抽風扇電壓為 1 1 0 V，下方風扇電壓為 1 1 0 V，對流高度 7 0 c m
- (3) 操作變因：仰角 0°、2 2 5°、4 5°、6 7 5°、9 0°，使用口徑（半徑）4 c m之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

六、**實驗 6**：研究上方風扇的電壓與口徑對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

（1）假設：如果在同一下方電壓、仰角、對流高度，上方抽風電壓與口徑的不同（模擬上方電壓與口徑間對龍捲風影響的關係）。

（2）控制變因：下方風扇電壓為 110 V，仰角固定 45°，對流高度 70 cm

（3）操作變因：上方抽風機之電壓為 50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，使用口徑（半徑）2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm 之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態。

七、**實驗 7**：研究上方風扇的電壓與對流高度對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

（1）假設：如果在同一下方電壓、仰角、口徑，上方抽風電壓與對流高度的不同（模擬上方電壓與對流高度間對龍捲風影響的關係）

（2）控制變因：抽風口徑 4 cm，下方風扇電壓為 110 V，仰角固定 45°

（3）操作變因：對流高度 50 cm、60 cm、70 cm、80 cm、90 cm 抽風扇電壓為 50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，使用口徑（半徑）4 cm 之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

八、**實驗 8**：研究上方風扇的電壓與仰角對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

（1）假設：如果在同一下方電壓、對流高度、口徑，上方抽風電壓與仰角的不同（模擬上方電壓與仰角間對龍捲風影響的關係）

（2）控制變因：抽風口徑 6 cm，下方風扇電壓為 110 V，對流高度 70 cm

（3）操作變因：抽風扇電壓為 50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，仰角 0°、22.5°、45°、67.5°、90°，使用口徑（半徑）6 cm 之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

九、**實驗 9**：研究下方風扇的電壓與口徑對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

（1）假設：如果在同一上方電壓、對流高度、仰角，下方抽風電壓與口徑的不同（模擬下方電壓與口徑間對龍捲風影響的關係）

（2）控制變因：抽風扇電壓為 110 V，仰角固定 45°，對流高度

70 cm

- (3) 操作變因：下方風扇電壓為50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，使用口徑(半徑)2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

十、實驗 10：研究下方風扇的電壓與高度對於暴風半徑、穩定度(以每30秒龍捲風渦旋存在秒數為基準)及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一上方電壓、口徑、仰角，下方抽風電壓與對流高度的不同(模擬下方電壓與對流高度間對龍捲風影響的關係)
- (2) 控制變因：抽風口徑4 cm，抽風扇電壓為110 V，仰角固定45°
- (3) 操作變因：對流高度50 cm、60 cm、70 cm、80 cm、90 cm，下方風扇電壓為50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，使用口徑(半徑)4 cm之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

十一、實驗 11：研究下方風扇的電壓與仰角對於暴風半徑、穩定度(以每30秒龍捲風渦旋存在秒數為基準)及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一上方電壓、對流高度、口徑，下方抽風電壓與仰角的不同(模擬下方電壓與仰角間對龍捲風影響的關係)
- (2) 控制變因：抽風口徑4 cm，抽風扇電壓為110 V，對流高度70 cm
- (3) 操作變因：下方風扇電壓為50 V、60 V、70 V、80 V、90 V、100 V、110 V，仰角0°、22.5°、45°、67.5°、90°，使用口徑(半徑)4 cm之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

十二、實驗 12：研究口徑與對流高度對於暴風半徑、穩定度(以每30秒龍捲風渦旋存在秒數為基準)及氣流組織狀態的影響

- (1) 假設：如果在同一下方電壓、仰角、上方電壓，口徑與對流高度的不同(模擬口徑與對流高度間對龍捲風影響的關係)
- (2) 控制變因：抽風扇電壓為80 V，下方風扇電壓為110 V，仰角固定45°
- (3) 操作變因：對流高度50 cm、60 cm、70 cm、80 cm、90 cm，使用口徑(半徑)2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

十三、**實驗 1 3**：研究口徑與仰角對於暴風半徑、穩定度（以每 30 秒龍捲風渦旋存在秒數為基準）及氣流組織狀態的影響

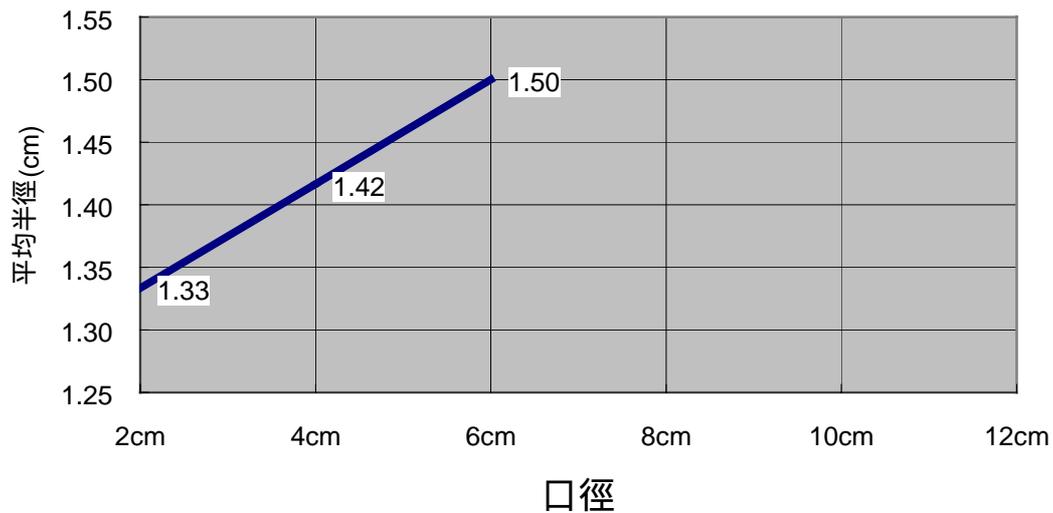
（1）假設：如果在同一下方電壓、對流高度、上方電壓，口徑與仰角的不同（模擬口徑與仰角間對龍捲風影響的關係）

（2）控制變因：抽風扇電壓為 80 V，下方風扇電壓為 110 V，流高度 70 cm

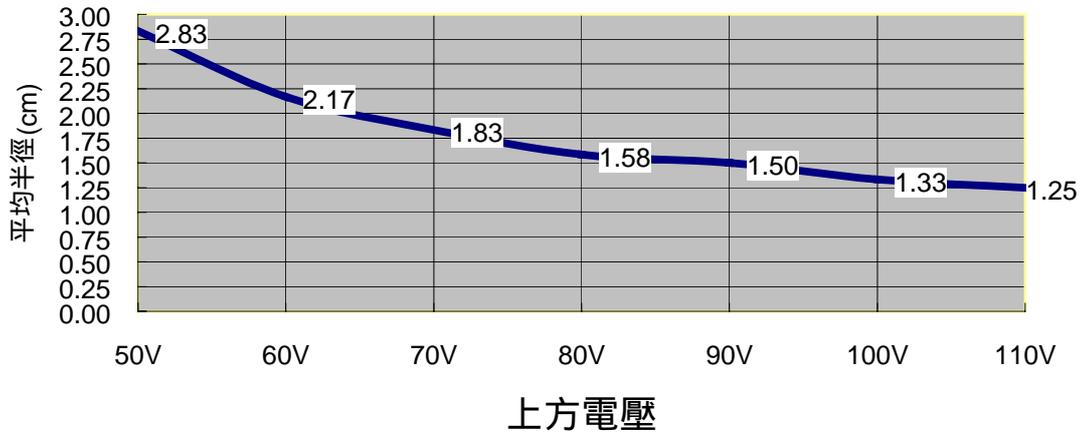
（3）操作變因：仰角為 0°、22.5°、45°、67.5°、90°，使用口徑（半徑）2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm、12 cm 之鏤空厚紙板，置入適量乾冰於熱水中，分別觀察及測量其形成之型態

陸、研究結果

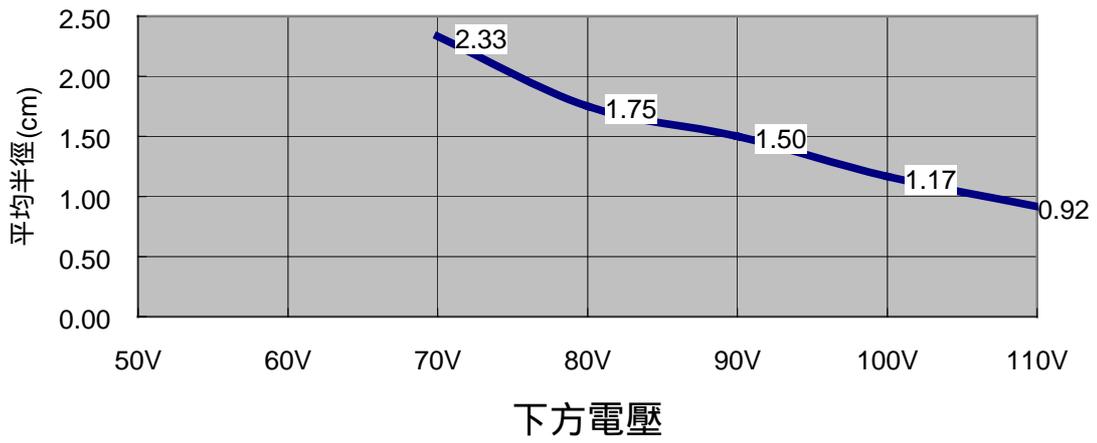
實驗一數據圖表



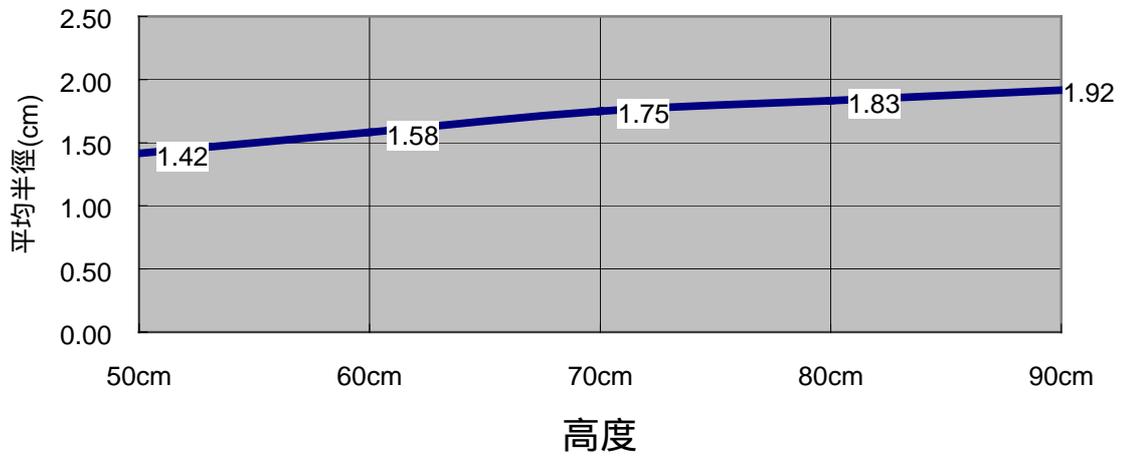
實驗二數據圖表



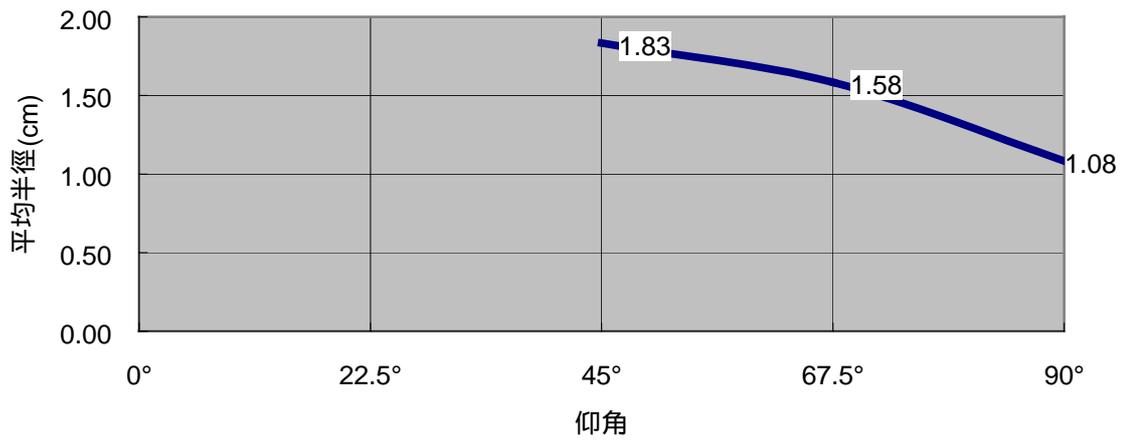
實驗三數據圖表



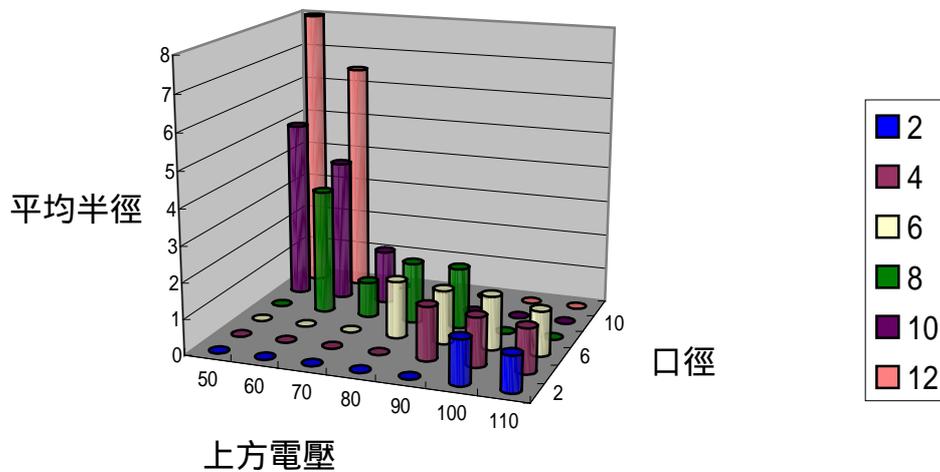
實驗四數據圖表



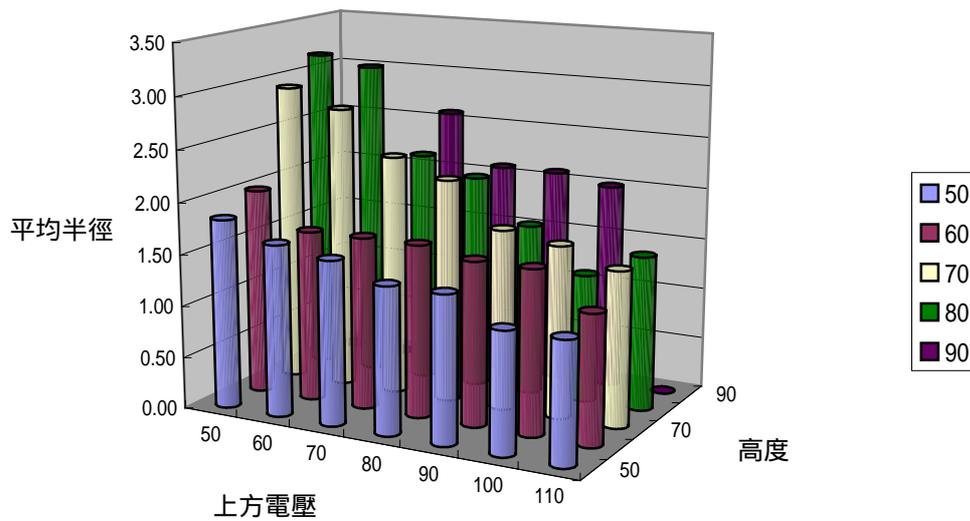
實驗五數據圖表



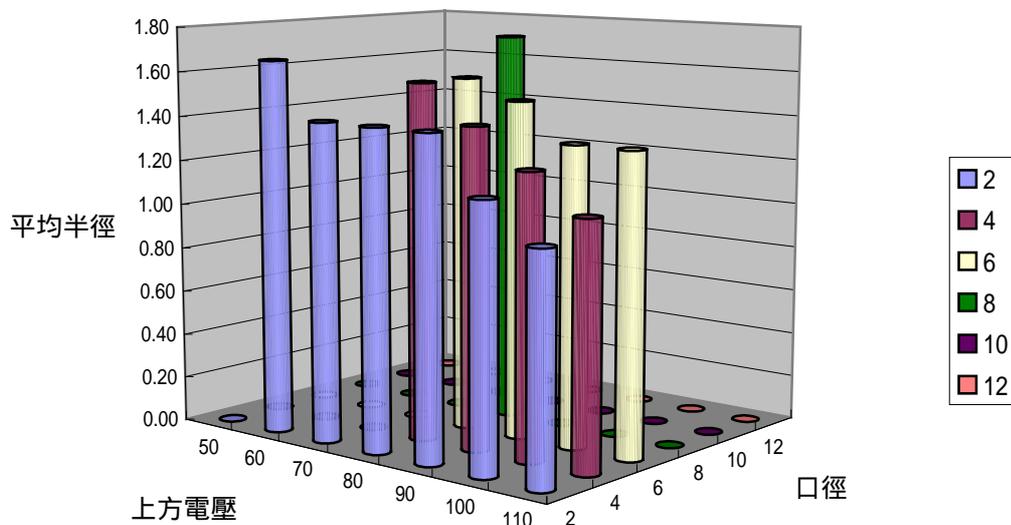
實驗六數據圖表



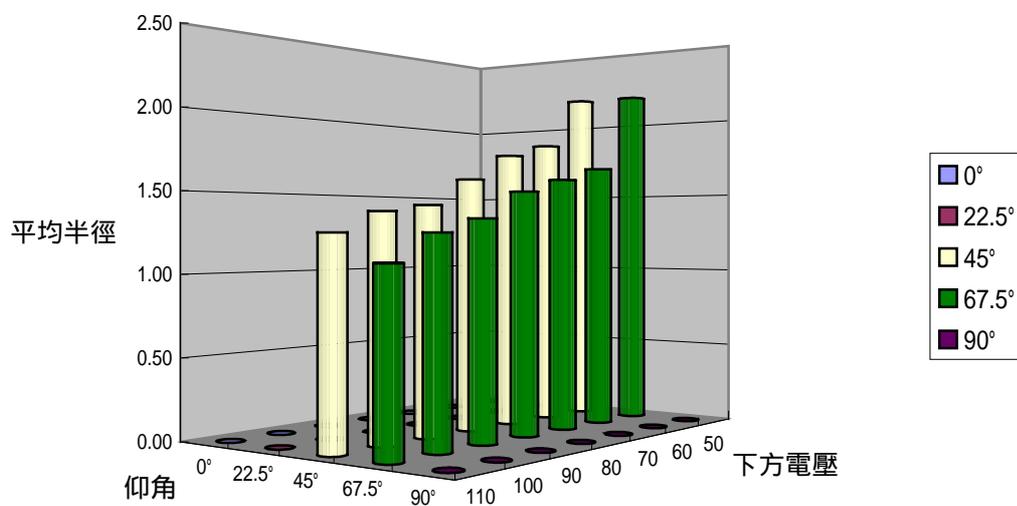
實驗七數據圖表



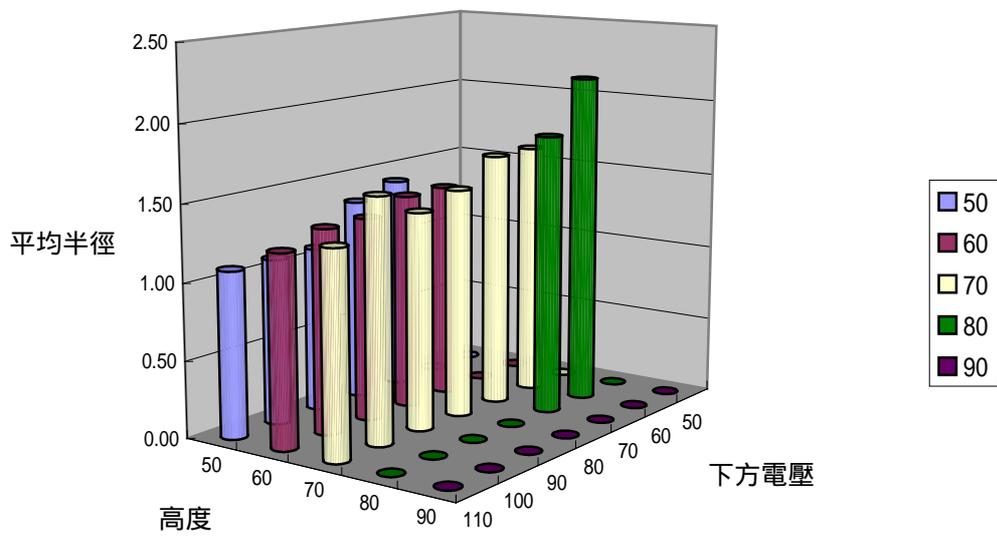
實驗八數據圖表



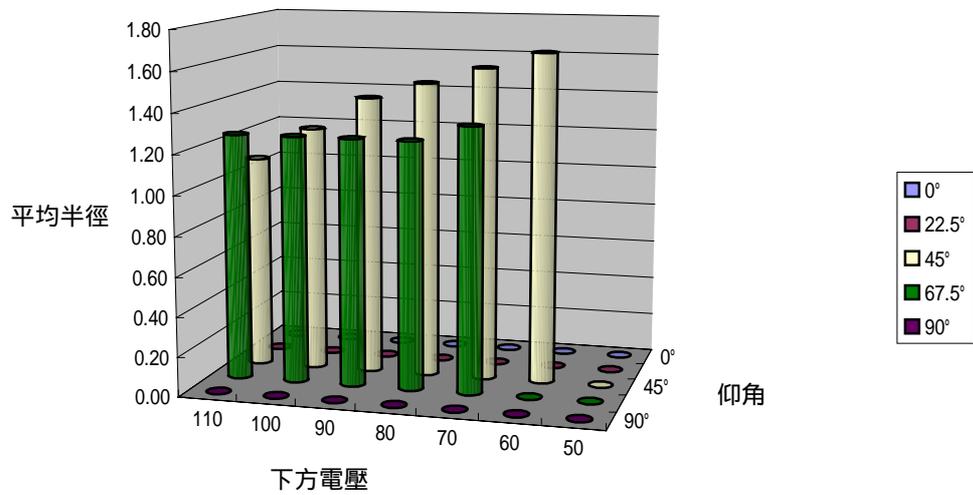
實驗九數據圖表



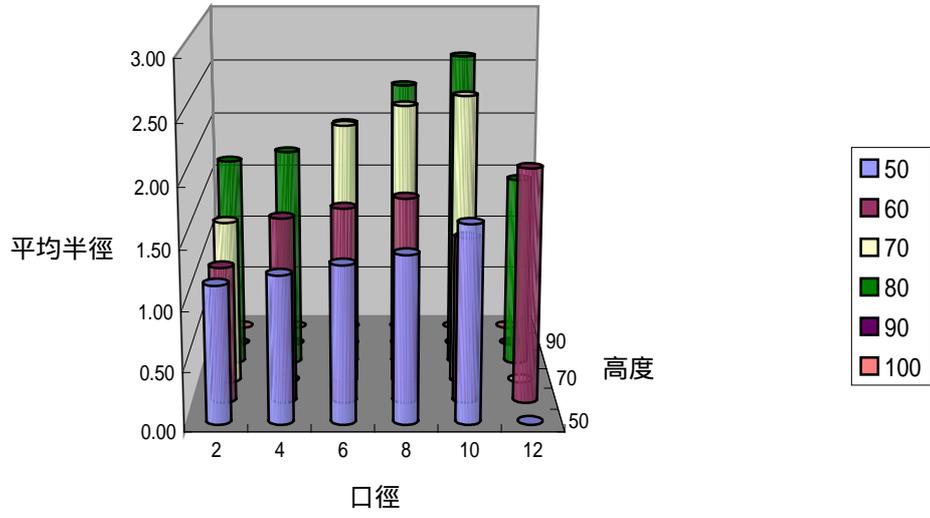
實驗十數據圖表



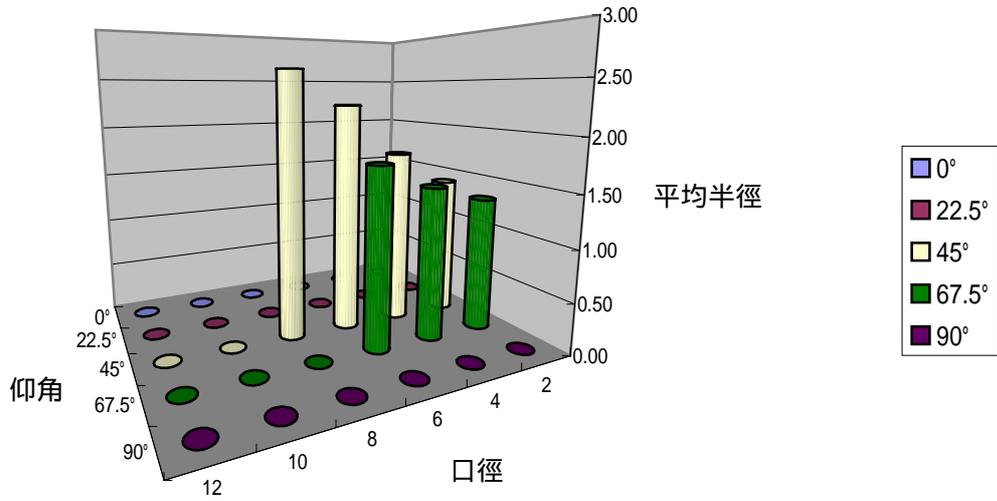
實驗十一數據圖表



實驗十二數據圖表



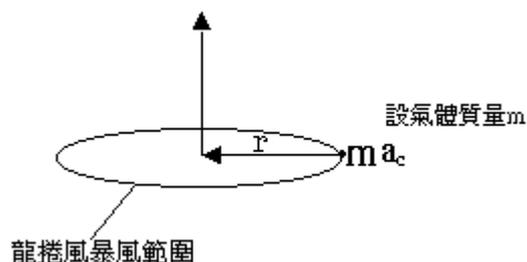
實驗十三數據圖表



柒、討論

一、判斷上方電壓對於暴風半徑的關係

證明：以鉛直圓運動來印證上方電壓對於暴風半徑的影響



設上方電壓 5 0 V 時，抽風抽風效率為 A（假設為一個力）

上方電壓 1 1 0 V 時，抽風抽風效率為 B（假設為一個力）

a_c 為向心加速度， r 為暴風半徑

因為 $B > A$

所以 $\Rightarrow m a_c (B) > m a_c (A)$

$\Rightarrow a_c (B) > a_c (A)$

$\Rightarrow r (A) > r (B)$

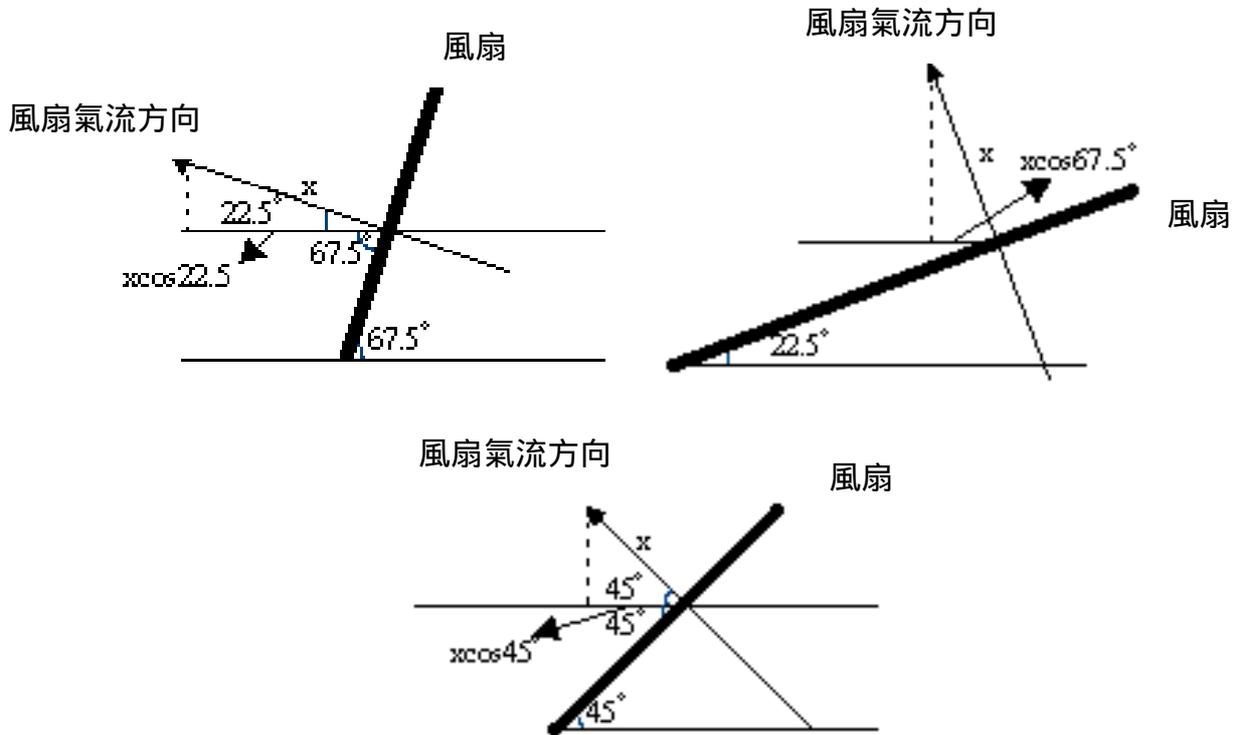
\Rightarrow 所以上方電壓愈大時，龍捲風的暴風半徑愈小

同理可證明對流高度對於暴風半徑的影響

對流高度愈低，暴風半徑愈小

二、判斷風切電扇的仰角對於暴風半徑的影響

由實驗數據得知：水平風切速率愈大 → 暴風半徑愈小



設風切電扇效率 x ，由圖可知水平分量

$$xcos22.5^\circ > xcos45^\circ > xcos67.5^\circ$$

由其分力可知，仰角 67.5° 時，水平風切分力大於 45° 及 22.5°

在比照實驗數據之後可以得知仰角 67.5° 的暴風半徑

均較 45° 為大，而仰角 22.5° 則因水平風切分力太小而無法形成

(除仰角變因，其餘變因均不變的環境下)

註：由於實驗儀器不夠精密，無法明確測量出形成範圍的仰角極值

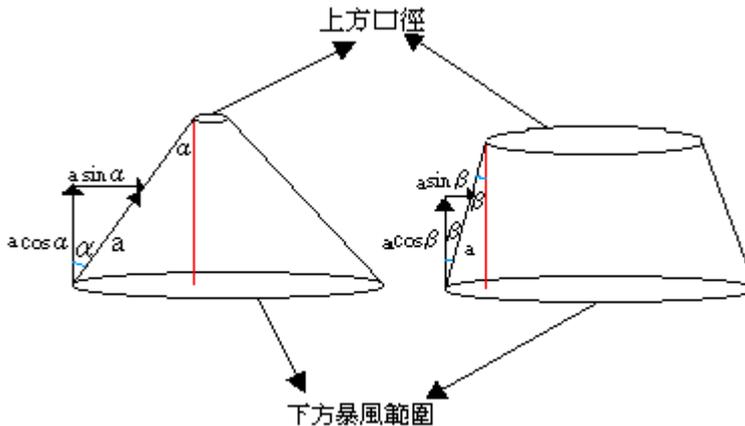
故只討論 45° 67.5° 之間

三、口徑對暴風半徑的影響

由白努力定律，在同一時間內流出的流量相等， $A_1 V_1 = A_2 V_2$ ，因此得知口徑越小，速率越快（暴風半徑越小），口徑越大，速率越慢（暴風半徑越大）

四、判斷口徑對暴風半徑和上升速度的影響

（一）證明：利用夾角來算出分力，並討論其影響



$$F = ma_c$$

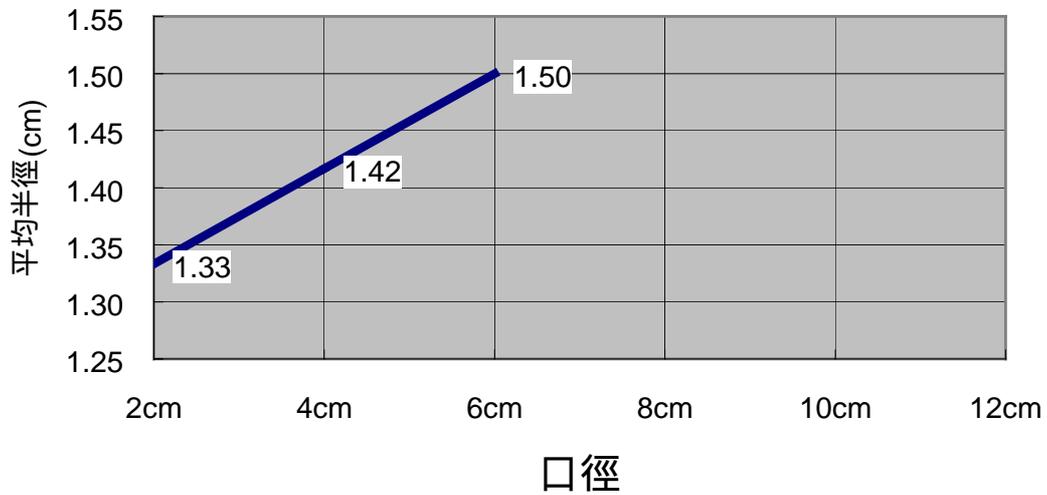
> ，設抽風效率同樣為 a

> 所以 $a \sin \alpha > a \cos \alpha$

$$a \cos \alpha > a \cos \beta$$

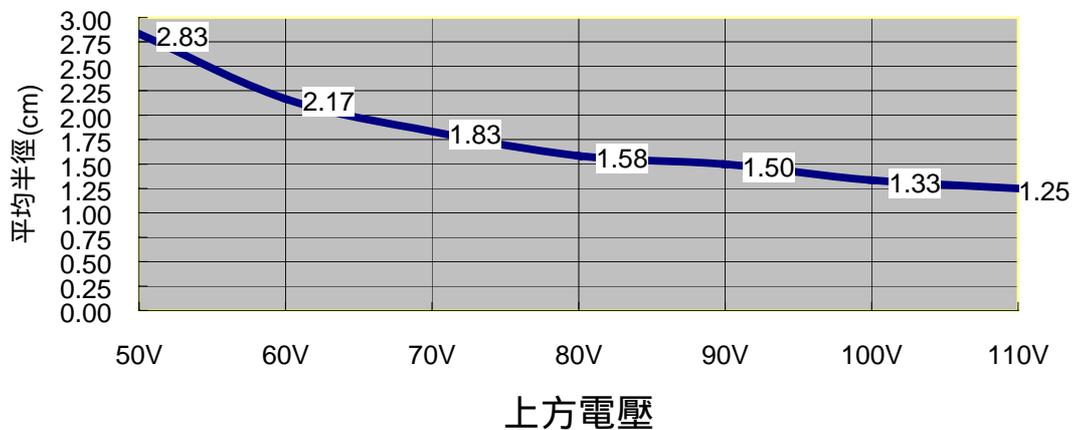
- 1、因為在同一抽風效率下，水平抽風分力 $a \sin \alpha > a \cos \alpha$ 可以有和向心力相同的效果，以致於小口徑之暴風半徑較大口徑的為小。
- 2、同一抽風效率下，垂直風切分力 $a \cos \alpha > a \cos \beta$ ，大口徑的上升風速大於小口徑的上升速度。但是因為無法測得不同口徑時個別的確實氣體流量，所以只能推測出其間的關係

實驗一數據圖表



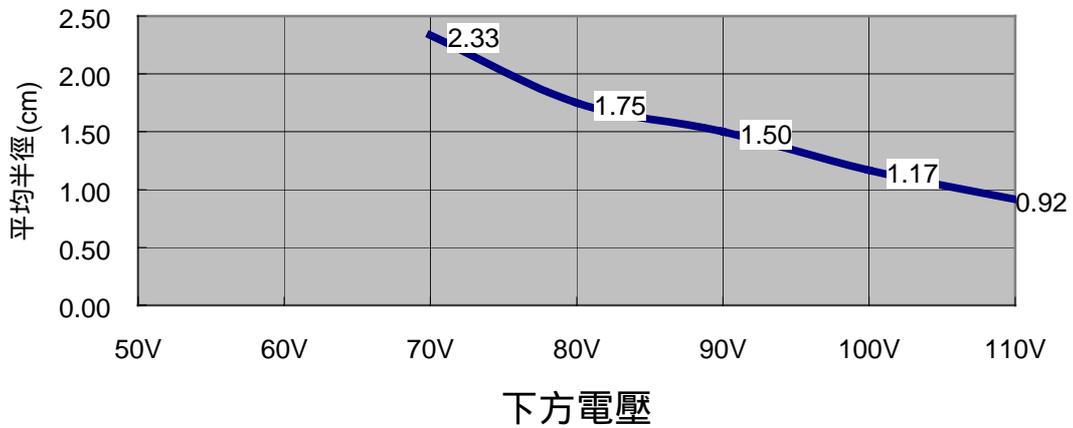
- (1) 從實驗數據發現，口徑越小時，暴風半徑越小
- (2) 由流體力學及白努力定律可知口徑越小，半徑越小

實驗二數據圖表



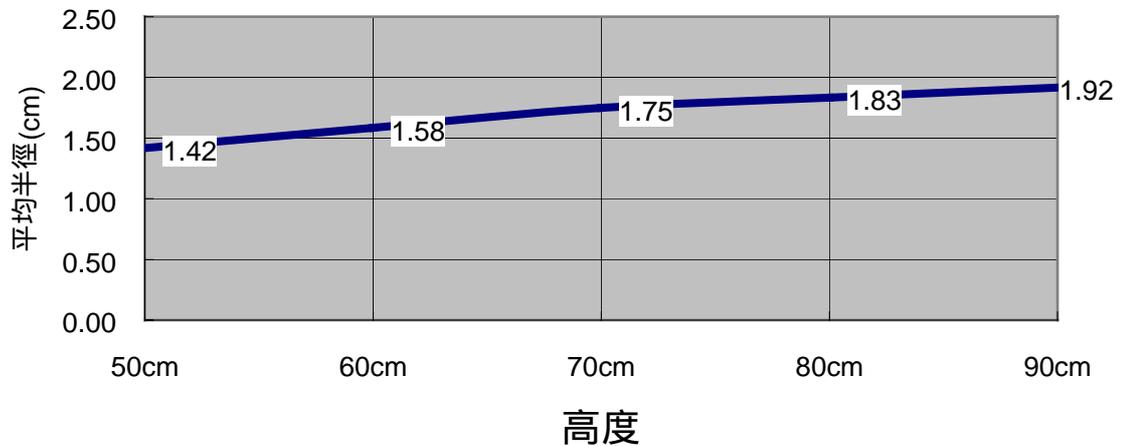
- (1) 從實驗數據觀察而得知，上方電壓越大，暴風半徑越小
- (2) 由鉛直圓運動可以證明上方電壓越大時，暴風半徑越小

實驗三數據圖表



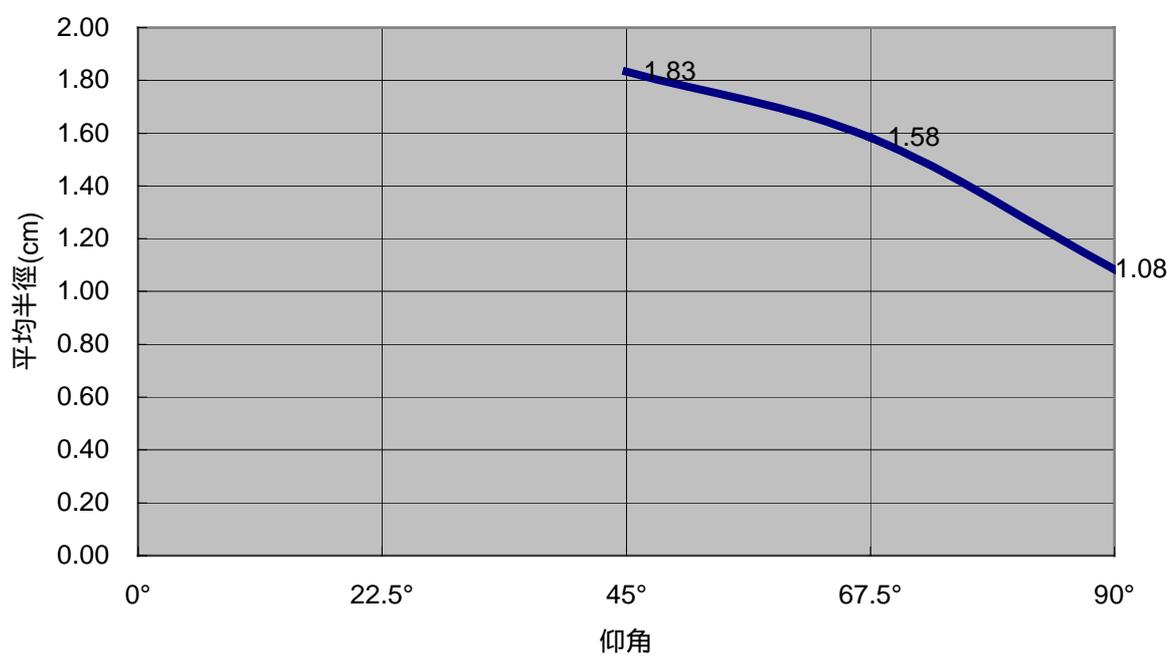
- (1) 從實驗數據可以得知，下方風切的力量越大時，暴風半徑越小
- (2) 風切的力量是用來製造龍捲風渦旋很重要的因素，要是風切力量太弱，就無法形成渦旋，越強的風切則使半徑變越小

實驗四數據圖表



- (1) 從實驗數據可得知，對流高度越低，暴風半徑越小
- (2) 同上方電壓的影響，也可以由鉛直圓運動證明出對流高度越低，暴風半徑

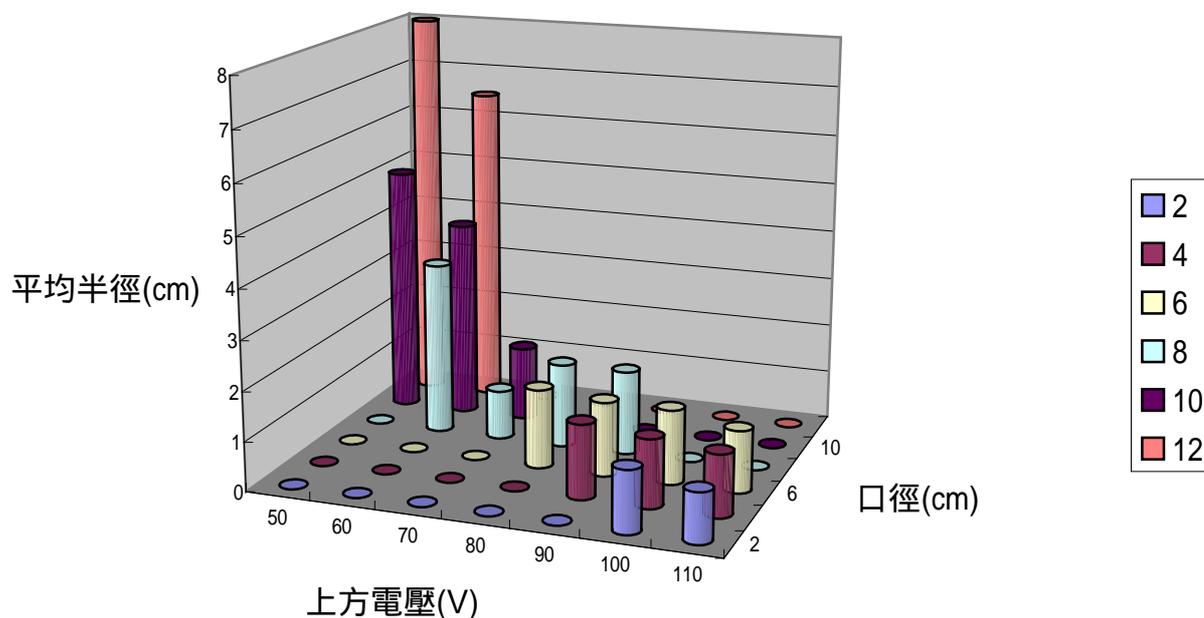
實驗五數據圖表



- (1) 從實驗中只得知兩組數據，並無法測得期線性關係
- (2) 可以由討論的第二項證明來推測而得知仰角越大，暴風半徑越小 (限於 4 5 °到 9 0 °之間)

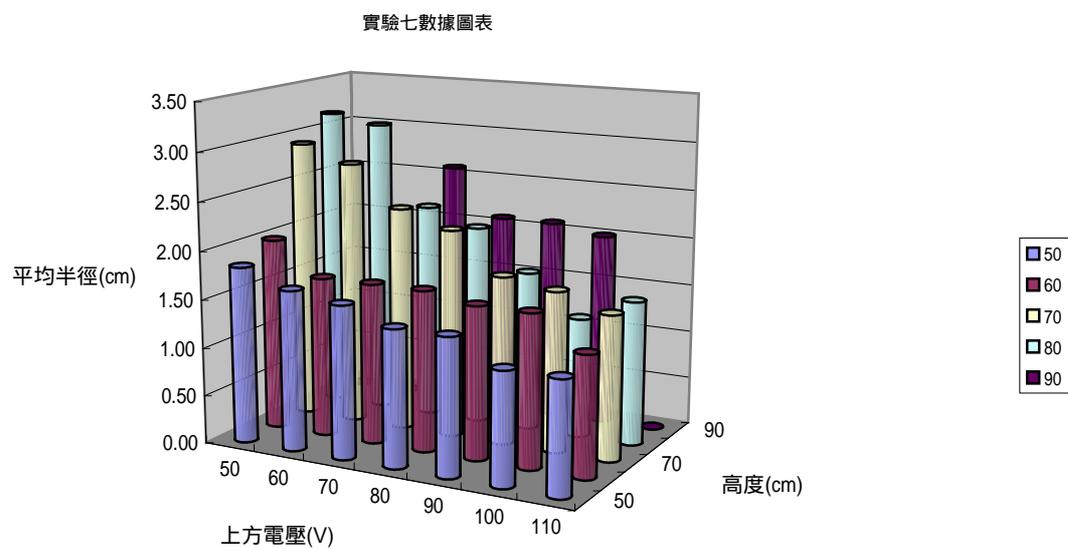
六、實驗六

實驗六數據圖表



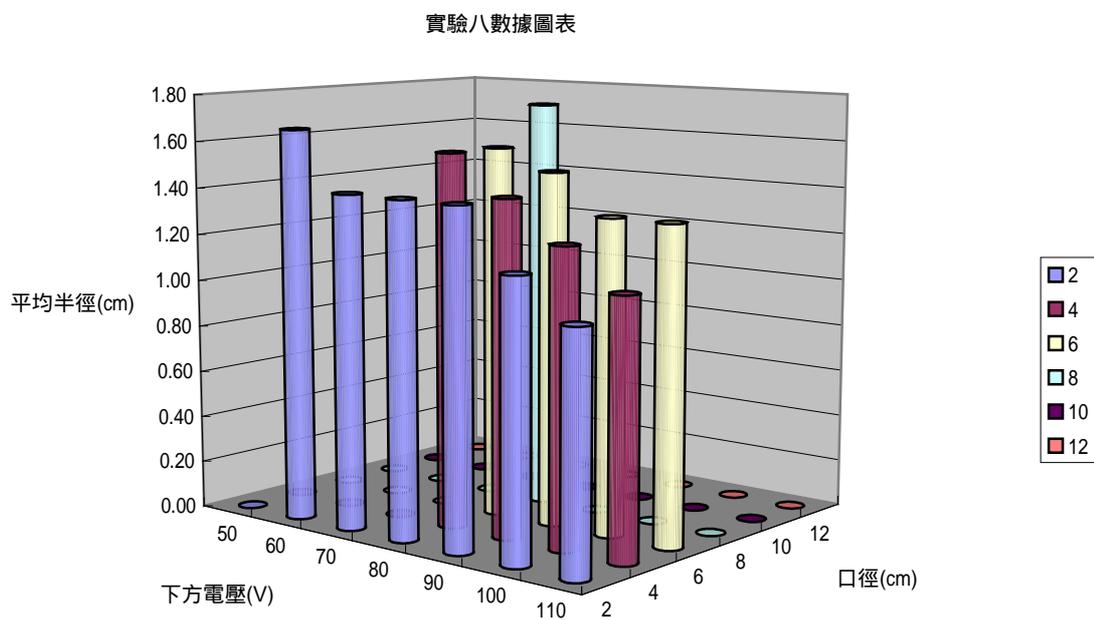
- (1) 實驗數據呈現有趣的區塊分布，不符合討論第三項所證明的口徑越小，暴風半徑越小。
- (2) 因為不符第三項討論，所以由第四項討論來推測。上升風速的分力和水平風速分力的大小可以使得龍捲風的形成呈現有趣的分布，因為水平分力和垂直分力的強度必須不能相差過多才有辦法形成龍捲風。12 cm 口徑的上升風速(鉛直分力)是所有口徑中的最大者，110 V 抽風效率最好者，所以兩者搭配起來為上升(水平分力)風速最快的，可是因風速太快，水平風速太慢而使得水平風速遭干擾以致無法形成龍捲風。反之，2 cm 的上升風速最慢，50 V 為抽風效率最低者，所以兩者的搭配使得上升風速太慢(鉛直分力太弱時)易被水平的分力所影響而使龍捲風亦無法形成。

七、實驗七



- (1) 從實驗數據可知，高度越低且上方電壓越高時，暴風半徑越小。
- (2) 由鉛直圓運動即可印證高度、上方電壓對暴風半徑的影響。

八、實驗八



(一) 下方電壓

(1) 50 V : 風切力量最弱

(2) 110 V : 風切力量最強

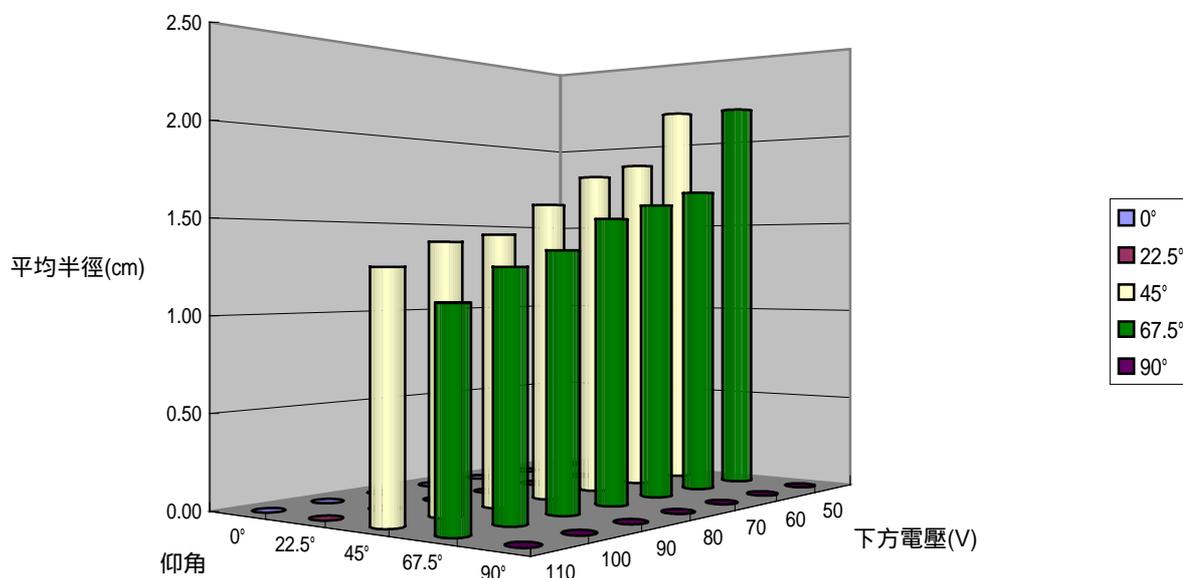
(二) 口徑

(1) 2 cm : 水平風速分力最大 (使半徑最小)

(2) 12 cm : 上升風速分力最大 (使半徑最大), 鉛直分力太大, 擾動水平分力, 使龍捲風無法形成

九、實驗九

實驗九數據圖表



(一) 仰角

(1) 0°：只有鉛直風切分力，沒有水平風切造成渦旋

(2) 22.5°：水平風切太弱，只有些許鬆散的氣體作微幅旋轉，並不構成渦旋

(3) 45°：水平風切較67.5°弱，所以暴風半徑較大

(4) 67.5°：水平風切大，鉛直風切適中，使得龍捲風暴風半徑較小

(5) 90°：只有水平風切，沒有鉛直風切使龍捲風渦旋與上方銜接

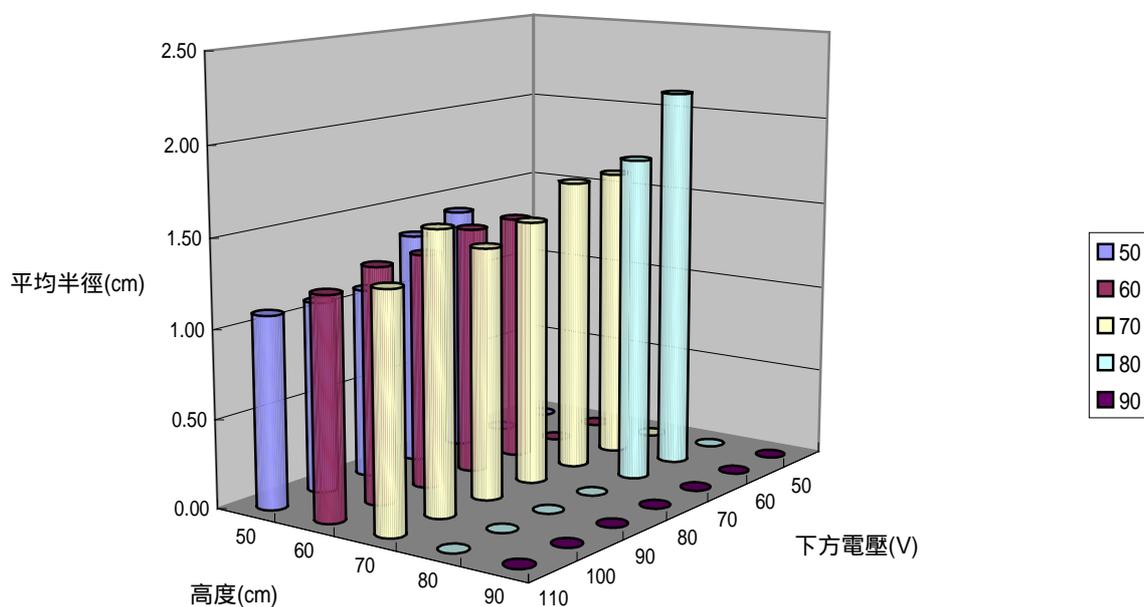
(二) 下方電壓

(1) 110 V：抽風效率最高，鉛直風切最大

(2) 50 V：抽風效率最低，鉛直風切最小

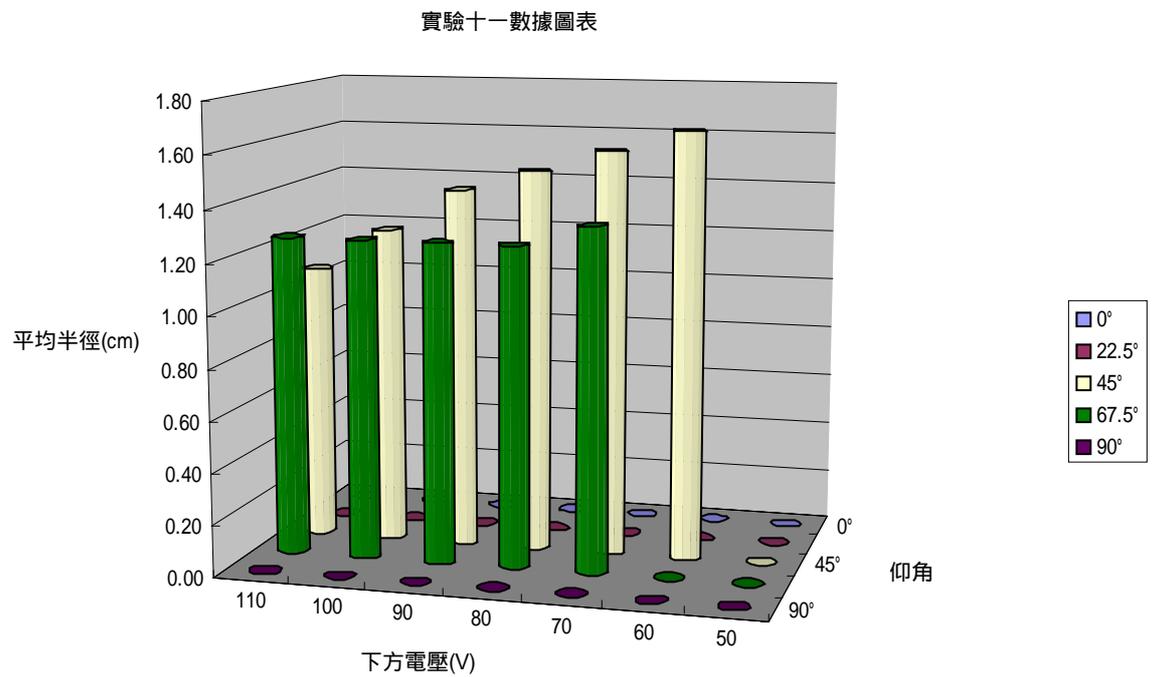
十、實驗十

實驗十數據圖表



- (1) 由實驗數據可知，高度越低且下方電壓越強時，暴風半徑越小
- (2) 高度與暴風半徑的關係，可由鉛直圓證明而得知，下方電壓越大則風切力量越大，暴風半徑越小

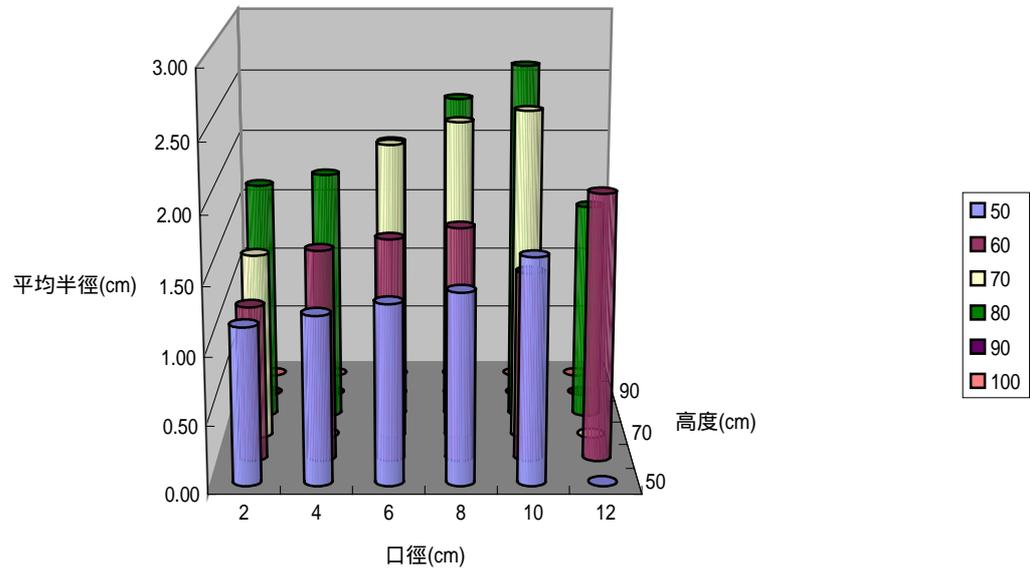
十一、實驗十一



- (1) 依二維關係和他組數據的推測，仰角 67.5° 之 110 V 及 100 V 兩組數據可能有出錯，並不如預期，暴風半徑應小於 45° 的暴風半徑
- (2) 由討論第二組可推測得知，風切仰角對於暴風半徑的影響

十二、實驗十二

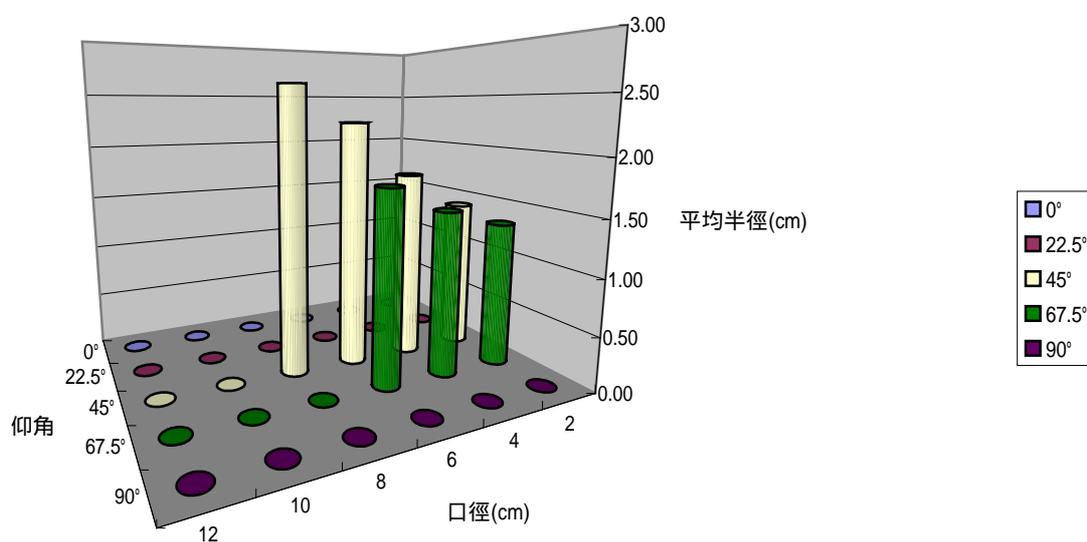
實驗十二數據圖表



- (1) 實驗中偶有幾組不合於理論的數據，不過在經過多組交叉比對之後，仍可看出其規律性
- (2) 高度對於暴風半徑的關係，可由鉛直圓運動證明而得知，口徑對於暴風半徑的關係，可由白努力定律證明而得知
- (3) 高度越低且口徑越小時，暴風半徑越小

十三、實驗十三

實驗十三數據圖表



(一) 仰角

(1) 0°: 只有鉛直風切分力，沒有水平風切造成渦旋

(2) 22.5°: 水平風切太弱，只有些許鬆散的氣體作微幅旋轉，並不構成渦旋

(3) 45°: 水平風切較67.5°弱，所以暴風半徑較大

(4) 67.5°: 水平風切大，鉛直風切適中，使得龍捲風暴風半徑較小

(5) 90°: 只有水平風切，沒有鉛直風切使氣流上升

(二) 口徑

(1) 2 cm: 水平抽風分力最大 (使半徑最小)

(2) 12 cm: 水平抽風分力最小 (使半徑最大)

捌、結論

前言：對於實際龍捲風的成因，尚未明確證實，因此藉由模擬龍捲風，對前述幾組變因作小部份的探討。

綜合前面的實驗數據，可以歸納得知：

- (1) 上升範圍 (口徑) 越小，暴風半徑越小
- (2) 上升氣流 (上方風扇) 越快，暴風半徑越小
- (3) 風切 (下方風扇) 風速越大，暴風半徑越小
- (4) 對流高度越低，暴風半徑越小

玖、參考書目

- (1) 書名：Weather 出版社：COLLINS
作者：Burroughs、Robertson、Crowder、Vallier-Talbot、Whitaker
- (2) 書名：氣象的奧妙 出版社：Discovery
- (3) 書名：The Atmosphere 出版社：Prentice Hall
作者：Frederick K.Lutgens、Edward J.Tarbuck
- (4) 書名：龍捲風 出版社：寰宇出版股份有限公司
作者：Michael Allaby 譯者：張鳳蕙

附 錄 一

實驗一數據

口徑	上半徑(cm)	中半徑(cm)	下半徑(cm)	消長週期(秒 / 30)	平均半徑(cm)
2cm	1.5	1	1.5	30	1.33
4cm	1.25	1.25	1.75	30	1.42
6cm	1.5	1.25	1.75	30	1.50
8cm		0	0	14	
10cm	0	0	0	8	
12cm	0	0	0	6	

實驗二數據

下電壓	上半徑(cm)	中半徑(cm)	下半徑(cm)	消長週期(秒 / 30)	平均半徑(cm)
50V	0	0	0	0	
60V	0	0	0	0	
70V	2.5	2	2.5	25	2.33
80V	1.75	1.5	2	28	1.75
90V	1.5	1.25	1.75	30	1.50
100V	1.25	1	1.25	30	1.17
110V	1	0.75	1	28	0.92

實驗三數據

下電壓	上半徑(cm)	中半徑(cm)	下半徑(cm)	消長週期(秒 / 30)	平均半徑(cm)
50V	0	0	0	0	
60V	0	0	0	0	
70V	2.5	2	2.5	25	2.33
80V	1.75	1.5	2	28	1.75
90V	1.5	1.25	1.75	30	1.50
100V	1.25	1	1.25	30	1.17
110V	1	0.75	1	28	0.92

實驗四數據

高度	上半徑(cm)	中半徑(cm)	下半徑(cm)	消長週期(秒 / 30)	平均半徑(cm)
50cm	1.5	1.25	1.5	30	1.42
60cm	1.75	1.25	1.75	30	1.58
70cm	1.75	1.5	2	30	1.75
80cm	1.75	1.75	2	30	1.83
90cm	2	1.75	2	30	1.92
100cm				0	

實驗五數據

仰角	上半徑(cm)	中半徑(cm)	下半徑(cm)	消長週期(秒 / 30)	平均半徑(cm)
0°	0	0	0	0	
22.5°	0	0	0	0	
45°	2	1.5	2	30	1.83
67.5°	1.75	1.25	1.75	30	1.58
90°	0.75	1	1.5	30	1.08

實驗六數據

平均半徑	口徑					
上電壓	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00
50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	8.00
60.00	0.00	0.00	0.00	3.50	4.00	6.50
70.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.00
80.00	0.00	0.00	1.60	1.70	0.00	0.00
90.00	0.00	1.50	1.50	1.70	0.00	0.00
100.00	1.25	1.33	1.50	0.00	0.00	0.00
110.00	1.00	1.25	1.25	0.00	0.00	0.00

實驗七數據

高度	平均半徑				
上電壓	50	60	70	80	90
50	1.83	2.00	2.92	3.17	0.00
60	1.66	1.66	2.75	3.08	0.00
70	1.58	1.67	2.33	2.25	2.58
80	1.42	1.67	2.17	2.08	2.08
90	1.42	1.58	1.75	1.67	2.08
100	1.17	1.58	1.67	1.25	2.00
110	1.17	1.25	1.50	1.50	0.00

實驗八數據

仰角	平均半徑				
上電壓	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
50	0.00	0.00	2.17	2.17	0.00
60	0.00	0.00	1.83	1.67	0.00
70	0.00	0.00	1.75	1.58	0.00
80	0.00	0.00	1.58	1.50	0.00
90	0.00	0.00	1.42	1.33	0.00
100	0.00	0.00	1.38	1.25	0.00
110	0.00	0.00	1.25	1.08	0.00

實驗九數據

口徑	平均半徑					
下電壓	2	4	6	8	10	12
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	1.42	1.58	1.58	1.75	0.00	0.00
90	1.42	1.42	1.50	0.00	0.00	0.00
100	1.17	1.25	1.33	0.00	0.00	0.00
110	1.00	1.08	1.33	0.00	0.00	0.00

實驗十數據

高度	平均半徑				
下電壓	50	60	70	80	90
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	1.67	2.17	0.00
70	1.42	1.42	1.67	1.83	0.00
80	1.33	1.42	1.50	0.00	0.00
90	1.08	1.33	1.42	0.00	0.00
100	1.08	1.33	1.58	0.00	0.00
110	1.08	1.25	1.33	0.00	0.00

實驗十一數據

仰角	平均半徑				
下電壓	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
70	0.00	0.00	1.58	1.33	0.00
80	0.00	0.00	1.50	1.25	0.00
90	0.00	0.00	1.42	1.25	0.00
100	0.00	0.00	1.25	1.25	0.00
110	0.00	0.00	1.08	1.25	0.00

實驗十二數據

高度	平均半徑					
口徑	50	60	70	80	90	100
2	1.17	1.17	1.42	1.83	0.00	0.00
4	1.25	1.58	0.00	1.92	0.00	0.00
6	1.33	1.67	2.25	2.17	0.00	0.00
8	1.42	1.75	2.42	2.50	0.00	0.00
10	1.67	1.42	2.50	2.75	0.00	0.00
12	0.00	2.00	0.00	1.67	0.00	0.00

實驗十三數據

仰角	平均半徑				
下電壓	0°	22.5°	45°	67.5°	90°
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
70	0.00	0.00	1.58	1.33	0.00
80	0.00	0.00	1.50	1.25	0.00
90	0.00	0.00	1.42	1.25	0.00
100	0.00	0.00	1.25	1.25	0.00
110	0.00	0.00	1.08	1.25	0.00

附 錄 二



第一組 口徑：2 c m



第一組 口徑：6 c m



第一組 口徑：10 cm



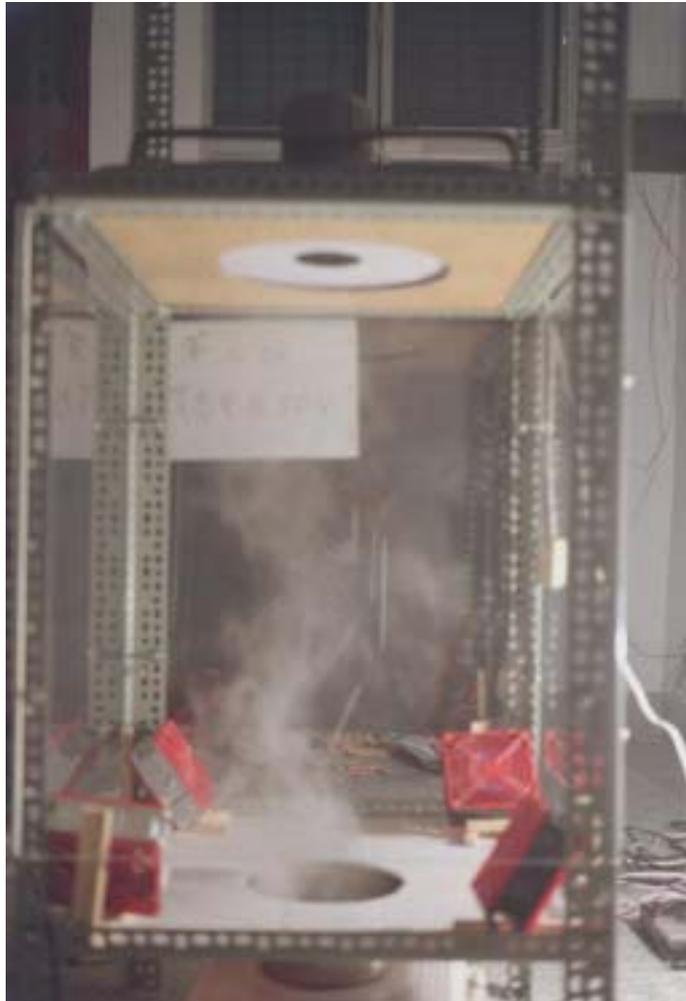
第二組 上電壓：60V



第二組 上電壓：80V



第二組 上電壓：100V



第三組 下電壓：50V



第三組 下電壓：70V



第三組 下電壓：90V



第三組 下電壓：110V



第四組 高度：60 cm



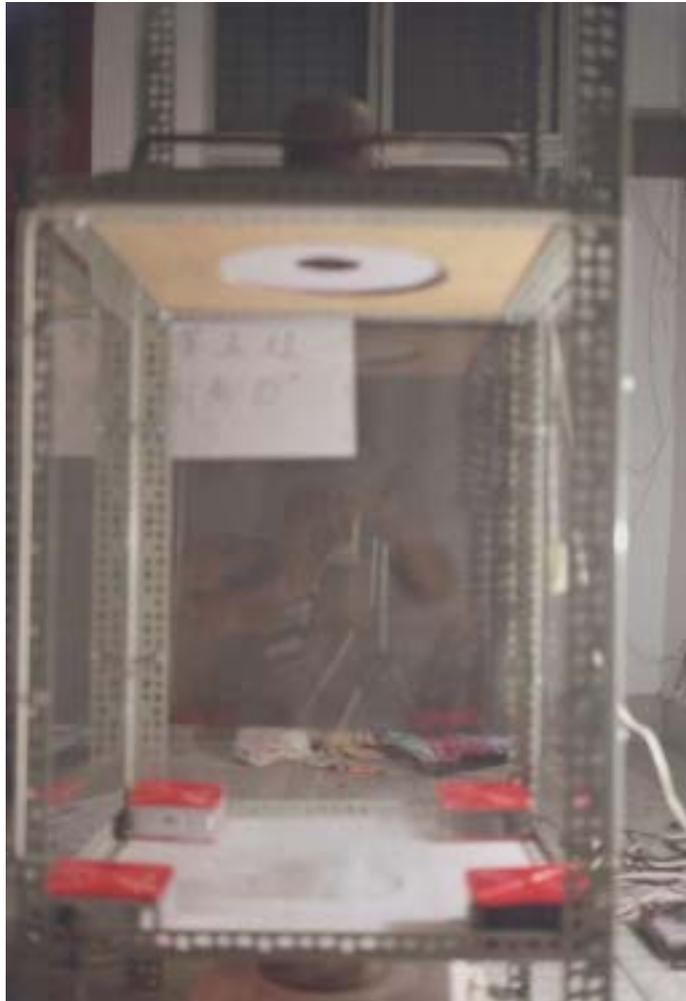
第四組 高度：70 cm



第四組 高度：80 cm



第四組 高度：90cm



第五組 仰角：0°



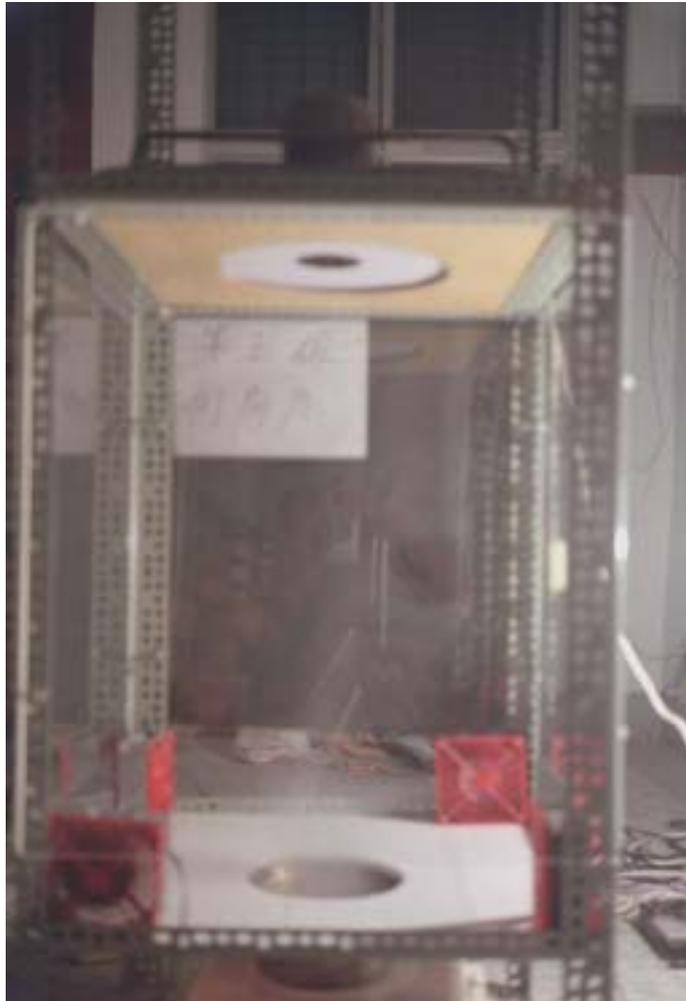
第五組 仰角：22.5°



第五組 仰角：45°



第五組 仰角：67.5°



第五組 仰角：90°

(第三名)

1. 能自製簡單的模型去模擬龍捲風的形成，並探討影響龍捲風結構的可能因子，是目前一般中學生較缺乏的能力，值得讚賞
2. 整個實驗流程十分完整。