

作品名稱：龍捲風(Tornado)形成之理論探討及模型建立

高小組 地球科學科 第三名

縣市：桃園縣大溪鎮

作者：楊秀先、陳 濤

陳 薪、楊秀容

校名：瑞祥國小

指導教師：莊錦蓮、羅靜薇

關鍵詞：龍捲風、上升氣流、風切



一、研究動機

曾看過一部電影叫做「龍捲風」，是由史蒂芬史匹柏導演拍攝，影片中之龍捲風精彩壯觀，橫掃過的地方，滿目瘡痍，造成很大損失，全劇描述一位科學家由於童年時家中遭遇突如其來且威力強大的龍捲風而毀損，長大後立志從事龍捲風的研究救人，她和她的隊友們冒著生命危險正面進入暴風圈，成功投放測試器，從而瞭解龍捲風的構造，進而希望建立龍捲風警報系統，那種鍥而不捨的精神和意志令人印象深刻；然而我們在台灣僅偶爾聽到新竹、嘉義、左營等地方曾發生龍捲風的新聞報導，卻不易親眼看到，於是我們想：何不製作一個可以產生龍捲風的模型，讓同學們想看就能看到，那就太炫了！

二、研究目的

- (一) 觀察龍捲風現象
- (二) 研究龍捲風發生理論
- (三) 根據現象與理論建立龍捲風模型作為教學用具
- (四) 探討龍捲風的變因和影響
- (五) 培養科學研究的精神與態度

三、研究設備、材料

名	稱	數	量
蚊香		數捲	
線香		數支	
木屑		少許	
肥皂泡泡水		1 罐	
乾冰(1 磅)		1 塊	
水		500 毫升	
電熱板(110V)		1 台	
酒精溫度計(0°C~100°C)		1 支	
燒杯(1000 毫升)		2 個	
壓克力板(100 公分 x40 公分)		4 片	
點滴吊袋及煙霧產生裝置		1 組	
地形等高線模型(約 6 公分高)		4 組	
木製上座 (44 公分 x44 公分 x11 公分)		1 具	
木製底座 (44 公分 x44 公分 x24 公分)		1 具	
抽風扇(110V/0.08A、0.21A、0.27A、0.65A、60W)		5 個	
燈具組(12V 50W)		1 組	
三孔插燈(附自動斷電保護開關)		1 付	

四、研究過程

我們規劃的研究過程為：(一)蒐集龍捲風的相關資料並討論(二)建立模型(三)應用模型進行系列實驗，印證相關理論以確認模型的有效性，分別敘述如下：

(一) 蒐集龍捲風的相關資料並討論

1. 觀察龍捲風的現象

除了電影「龍捲風」中的情景，Discovery 頻道曾播出龍捲風在美國肆虐的實況，它在黑雲密佈和雷電交加的天空蘊釀成形，然後伸出漏斗狀雲體的『象鼻子』，當接觸到地面，龍捲風就形成了。它有如一個會移動又可怕的吸塵器，經過的地方，地面上的車子、房屋、樹木、砂石等，全部都被它螺旋狀旋轉的雲體吸捲起來；從形成到消失，生存時間只有幾分鐘，通常 5~30 分鐘，最多不過幾小時，直徑幾十公尺至幾百公尺，高度在 800 公尺至 1500 公尺左右，移動距離從幾公里到幾十公里，它的活動地區雖小，但卻是破壞力極大的天氣系統。

2. 龍捲風形成理論

我們從圖書館的參考資料查到，龍捲風會出現在陸地或海上，出現在陸上的就叫陸龍捲，出現在水面上的就稱為水龍捲。1997 年 6 月號「牛頓雜誌」有一篇「以

高科技儀器解開龍捲風的奧秘--龍捲風搜尋者」，提供更詳細的圖說，巨型積雨雲是龍捲風的母體，在巨型積雨雲成長到極盛期前，旺盛的上升氣流有如吸塵器般與周邊氣流輻合成旋轉氣流，於是龍捲風就在積雨雲中向下伸展出漏斗狀渦漩雲柱，多數龍捲風下端未達地面就會消失，然而一旦觸及地面，所達之處不僅掀起一片砂土碎片，並破壞樹木及建築物，對人畜造成強烈之殺傷力。那麼黑雲密佈的巨型積雨雲是什麼樣的雲？漏斗外形螺旋轉動的龍捲風又是如何形成的呢？

• 雲是如何形成的？

我們在自然課本學到雲的形狀千變萬化，也做過人造雲的試驗，雲基本上有卷雲、積雲、層雲，它的基本形成條件有三個：

(1) 有充足的水氣。(2) 有足夠的凝結核。(3) 要有使空氣中水氣發生冷凝結的冷卻過程，尤其是要有空氣上升運動引起的絕熱冷卻。因此，雲是地面上空氣被加熱，上升膨脹，到凝結高度時，溫度下降，空氣中水蒸氣凝結成水滴或冰粒的現象，雲呈現白色原因是受到陽光後亂反射的結果(雲的分類請參閱附件)。

積雨雲屬直展雲族，是屬於垂直向上發展的雲塊，它的高度從近地面跨越到高雲範圍。一般直展雲雲底的高度在 2500 公尺以下，但是垂直向上發展的雲厚度可以達到 10,000 公尺以上，由小水滴或由水滴、過冷卻水滴、冰晶混合組成。積雨雲頂部，在高空風的吹拂下，向水平方向展開成砧狀，亦稱為砧狀雲，在順風高空風的方向上，雲砧能伸展到很遠，因而它的伸展方向，可作為判定積雨雲的移動方向。積雨雲的厚度很大，在中緯度地區為 5,000~8,000 公尺，在低緯度地區可達 10,000 公尺以上，雲中上升及下沉氣流很大，上升氣流可達 20~30 公尺/秒，甚有可能達到 60 公尺/秒的上升速度，下沉速度也有 10~15 公尺/秒，雲中湍流十分強烈，因此，旺盛的上升氣流成為積雨雲的必要條件和特性。它的內部有激烈的氣流運動，小水滴或冰粒繼續不斷在結合、分離，彼此間的摩擦，較小的粒子會帶正電，較大的粒子會帶負電，因此，雲層的上部帶著正電，下部帶著負電，會引發地面上帶正電，電量累積夠大時就會放電，產生閃電。

在參觀台北天文科學教育館期間，我們還觀察到一個積雨雲的模型，這個積雨雲的模型的外型有如一個打鐵的砧塊，上面顏色較淺，較白，中間雲層為灰色，下方雲底顏色為黑色，並且有雷電產生，若依照地面景物大小之比例看來，這塊積雨雲的體積很大，被下方黑色雲塊所遮蓋之地面有如黑夜來臨，這種情景看來不正是龍捲風出現時黑雲密佈、雷電交加的情景嗎？

• 風是如何形成的？

從自然課本裡，我們學習到風是由空氣對流而來，這是由於高壓空氣冷而重，密度大，低壓空氣熱而輕，密度小，密度大的空氣，總是向密度小的地方流動，也就是高壓地區的空氣向低壓地區流動，就會產生了風，凡是兩地氣壓相差小，風力就小，兩地氣壓相差大，風力就強。

大氣中上升運動的產生主要有以下幾種情況：

(1) 動力上升：暖濕氣流受鋒面、輻合氣流的作用被迫上抬，或者運行中受地形阻擋產生上升氣流。

(2) 熱力對流：絕對不穩定的氣層受到擾動或地面受熱不均勻而產生上升運動。

(3) 動力上升與熱力對流相結合：

潛在不穩定氣流，整層被抬升到凝結高度以上，由於潛在不穩定能量的釋放形成強烈的上升運動，除了動力抬升外，有時低層的絕對不穩定氣流造成的局部

對流也可把整層的潛在不穩定氣流抬升到凝結高度以上。風向的流動因為受地球自轉的影響，不是循直線的，時常會轉向，從高壓地區出發時會轉向，衝向低壓地區也會轉向，這是風形成的原理，但是龍捲風呢？

3. 龍捲風

由於龍捲風威力強大，很難接近偵測觀察，目前龍捲風真正形成之原因仍有許多待研究的地方，但總體而言，巨型積雨雲是龍捲風的母體，巨型積雨雲在同時流入的氣流中成長時，會吸收周圍旋轉的空氣，這種現象就叫輻合，輻合現象出現之後，旋轉度就會急劇增加，強烈旋轉的渦旋，中心氣壓很低，有時可達 400 百帕，也有低到 200 百帕（一個大氣壓為 1013.3 百帕），由於它的中心氣壓很低，與周圍的氣壓差很大，因此就形成強風，中心附近有下沉氣流，自中心向外是旺盛的上升氣流，稱為旋風區，上升氣流受到風切旋轉而組成漏斗狀雲體。從 Discovery 頻道「龍捲風」節目中得知，氣象學家就龍捲風的風速及破壞程度對比分析，把龍捲風分成 F0 到 F5 的 6 個等級，如表一所示。

表一龍捲風風速及破壞程度分等表

特性 等別	風 速	破 壞 程 度
F0	<72 哩/小時	地面起沙塵
F1	73~112 哩/小時	掀起屋頂、捲起地面零散物體
F2	113~157 哩/小時	使廂型車翻轉
F3	158~206 哩/小時	樹木連根拔起
F4	207~260 哩/小時	捲起房屋、車輛
F5	>260 哩/小時	掀起地面上固定的建築物，並將之摔成碎片

在了解龍捲風形成的環境條件後，我們以積雨雲、上升氣流、輻合氣流的風切場等特性因素作為產生龍捲風模型設計原理。

(二) 龍捲風模型建立

1. 龍捲風模型的設計

模型設計必需考慮下列因素：

- (1) 安全。
- (2) 便於觀察。
- (3) 以最簡單的結構充分展現主題。
- (4) 可以快速、穩定持續的操作。

於是我們設計下列的雛型：

- (1) 模型上部安裝一個風扇，利用風扇向下抽風，產生一個上升氣流，模擬龍捲風的上升氣流。
- (2) 可控制進風口方向及大小的物體，模擬形成龍捲風的輻合氣流風切場及旋轉氣流。

2. 模型製作

(1) 本體

我們先找了一個高約 25 公分，內徑 14 公分之壓克力管，四週鑽一排直徑 2.5 公分的小孔，抽風扇選用 0.21A 浴室用的抽風扇，但所產生之龍捲風效果不夠明顯。

我們重新修改模型，以大自然的龍捲風那麼巨大，要多大的模型才能讓龍捲風看得像，而且方便操作呢？於是我們設計修改加裝如下：（請參考圖一及二）

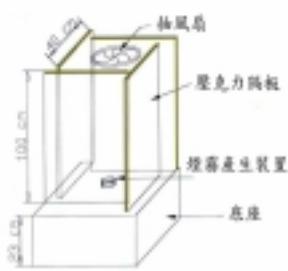
- ① 木製模型上座，放置一個抽風扇，並配合扇面開一個 10 公分的抽風口，上座下方設計四個槽道，放置壓克力板。
- ② 模型上座放置風扇的木板則模擬為積雨雲雲底。
- ③ 採用 4 片高 100 公分，寬 40 公分的透明壓克力板，兩兩相互垂直，將 4 片壓克力板接合處留一間距作為進風口，並且排列方向一致，以便產生的風

切及氣旋不致互相抵消。

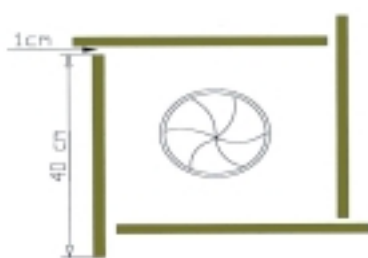
④底座內放置煙霧裝置，底座上方設計四個槽道，放置壓克力板。

(2) 煙霧產生裝置(如圖三)

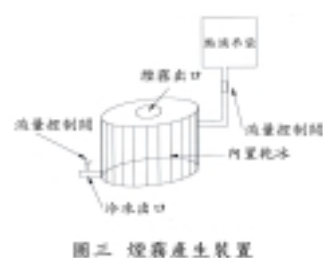
為使模型產生的龍捲風方便觀察，除採用透明壓克力板外，另必需在模型中加入煙霧來顯示氣流運動；因此我們就可產生煙霧之材料進行試驗，包括：線香、蚊香、木屑、水蒸氣、乾冰等，並選擇適用的盛裝容器，經過多次試驗後，以乾冰為較佳之煙霧產生材料；又為了控制穩定而持續的煙量，繼續改良乾冰煙霧產生裝置，成為加蓋的壓克力筒，筒蓋中心留一 2.5 公分小孔，做為乾冰煙霧出口，筒側外接一個熱水入口與點滴吊袋連接，下方另接一個冷水出口與一承接袋連接的裝置(如圖三)，如此一來，使用點滴吊袋控制熱水定量滴入乾冰煙霧產生裝置，再以一承接袋承接使用過之冷水的操作方式，使得實驗中手動操作部份簡化很多，便能容易控制實驗所需要的煙霧量，也滿足了本模型中的相當重要的考慮因素。



圖一 龍捲風模型



圖二 俯視圖



圖三 煙霧產生裝置

(2) 操作程序

- ①組合壓克力板至木製底座，依照預期產生風切方向可採順或逆時鐘排列。
- ②調整各板間距約 1 公分。
- ③放置木製上座及風扇。
- ④將產生煙霧材料移入模型底座中間，使產生煙霧。
- ⑤啓動抽風扇，開始抽風。
- ⑥進行各項實驗並觀察紀錄。

(三) 實驗

實驗一：煙霧材料選擇實驗

實驗步驟：

- ① 準備線香、蚊香、木屑、水蒸氣、乾冰等材料，以適當的容器裝好。
- ② 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。
- ③ 放置木製上座及風扇。
- ④ 將材料放在底座中間，使產生煙霧。
- ⑤ 啓動抽風扇，開始抽風。
- ⑥ 進行觀察並紀錄。實驗紀錄：

材料名稱	優點	缺點
線香	便宜容易取得，操作方便	有火星，要注意安全，煙霧產生慢，煙量小，濃度太淡，有刺鼻味
蚊香	便宜容易取得，操作方便	有火星，要注意安全，煙霧產生慢，煙量小，濃度太淡，有刺鼻味
木屑	便宜容易取得	有火星，要注意安全，煙量不易控制
水蒸氣	容易製取	要使用加熱器，煙量濃度較淡
乾冰	操作方便，煙霧產生速度快，濃度夠且持續性佳	常溫中無法長期保存，價格較貴

實驗結果：以乾冰產生煙霧的效果較佳，但煙量的控制上以手動加注熱水至裝乾冰的燒杯方式，有些不便，需要改進，水蒸氣的方式可以列為次要考慮。

實驗二：模擬龍捲風實驗

實驗步驟：

- ① 組合壓克力板至木製底座，依逆時鐘方向排列。
- ② 調整各板間距約1公分。
- ③ 放置木製上座及風扇。
- ④ 將一塊乾冰放入燒杯中，並移入模型底座，關底座門。
- ⑤ 將熱水加入燒杯，使產生煙霧。
- ⑥ 啟動抽風扇，開始抽風。
- ⑦ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：長長彎彎的煙柱。

實驗結果：根據積雨雲、上升氣流及輻合氣流風切場特性製作模型，可以看到一個像龍捲風那樣會旋轉的煙柱，是我們的「龍捲風」。

實驗三：乾冰煙霧改良實驗

實驗步驟：

- ① 準備乾冰材料一塊。
- ② 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約1公分。
- ③ 放置木製上座及風扇。
- ④ 將乾冰煙霧產生裝置移入模型底座中。
- ⑤ 加注約70°C熱水，使產生煙霧。
- ⑥ 啟動抽風扇，開始抽風。
- ⑦ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：

煙霧產生方式	結果
1. 燒杯加注熱水 2. 放入乾冰	1. 熱水溫度接觸乾冰後很快降低，玻璃燒杯受不了就破了，塑膠燒杯可以承受。 2. 以手動方式加注熱水及排放冷水，操作不便，煙量也不易控制
1. 金屬容器加注熱水，並放在加熱板上加熱 2. 放入乾冰	1. 熱水溫度可以控制，但電熱板板面的熱氣干擾煙霧的流動，效果不佳。 2. 以手動方式加注熱水及排放冷水，操作不便，煙量也不易控制。
1. 壓克力筒中放入乾冰 2. 以點滴吊袋注入熱水	1. 在點滴吊袋中加注熱水後，調整流量，熱水自動定量滴入，操作方便。 2. 煙量穩定，濃度夠且持續性佳

實驗結果：採用點滴吊袋滴進熱水至煙霧產生器產生煙霧，再以一承接袋承接使用過之冷水的操作方式，使得實驗中手動操作部份簡化很多，更容易操作，並且於實驗過程中可以做到自動操控，這就是圖一、二、三所顯示的龍捲風模型。

實驗四：龍捲風操縱變因—上升氣流實驗

實驗步驟：

- ① 準備5個不同規格的抽風扇進行實驗。
- ② 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約1公分。
- ③ 將一塊乾冰放入煙霧產生裝置中，並移入模型底座，關底座門，滴入溫熱水。
- ④ 啟動風扇，開始抽風。
- ⑤ 觀察不同抽風扇產生上升氣流的情形並紀錄。
- ⑥ 使用110V 0.21A之風扇，進行風扇中心點改變時上升氣流的情形。
- ⑦ 觀察並紀錄。

實驗結果：

風扇規格	A	B	C	D	E
110V 0.08A	110V 0.08A	110V 0.21A	110V 0.27A	110V 0.65A	110V 60W
扇葉旋轉方向	逆時鐘	逆時鐘	逆時鐘	順時鐘	逆時鐘
龍捲風產生情形	無	有逆旋轉	有逆旋轉	有逆旋轉	有逆旋轉

風扇中心點位置	與抽風口中心點同軸	與抽風口中心點水平偏離3公分	與抽風口中心點垂直
龍捲風產生情形	有	有，比較細，風頭跟著偏離	有，風頭有點偏離且變得更細了

實驗結果：1. A風扇抽風力較小，不能產生足夠的上升氣流，看不到龍捲風，其餘風扇產生的上升氣流均可產生龍捲風。

2. 旺盛的上升氣流是龍捲風產生的必要條件，且龍捲風的大小與上升氣流

的強弱有正相關，龍捲風的中心點隨著上升氣流的中心點移動。

實驗五：龍捲風操縱變因—輻合氣流實驗

實驗步驟：

- ① 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。
- ② 放置木製上座及風扇。
- ③ 將一塊乾冰放入煙霧產生裝置中，並移入模型底座，關底座門，滴入溫熱水。
- ④ 啟動風扇，開始抽風。
- ⑤ 進行觀察並紀錄。
- ⑥ 調整壓克力板間距，分別為 2 公分、3 公分、5 公分。
- ⑦ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：

壓克力板間距	密合	1 公分	2 公分	3 公分	5 公分
龍捲風產生情形	無	有逆旋轉	有逆旋轉	有逆旋轉	有逆旋轉

實驗結果：1. 壓克力板間距 5 公分所形成之龍捲風顯得較鬆散，以 1 公分間距所顯示之龍捲風結構最清楚。

2. 輻合氣流風切場是龍捲風產生的必要條件。

實驗六：龍捲風旋轉方向實驗

實驗步驟：

- ① 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。
- ② 放置一個扇葉為逆時鐘方向旋轉的風扇。
- ③ 將一塊乾冰放入煙霧產生裝置中，並移入模型底座，關底座門，滴入溫熱水。
- ④ 啟動風扇，開始抽風，進行觀察。
- ⑤ 調整壓克力板排列方向為順時鐘方向，進行觀察並紀錄。
- ⑥ 更換另一個扇葉為順時鐘方向旋轉的風扇。
- ⑦ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：

壓克力板排列方向	逆時鐘		順時鐘	
	逆時鐘	順時鐘	逆時鐘	順時鐘
風扇扇葉旋轉方向	逆時鐘	順時鐘	逆時鐘	順時鐘
龍捲風產生情形	有逆旋轉	有逆旋轉	有順旋轉	有順旋轉

實驗結論：1. 模型中龍捲風旋轉方向與壓克力板排列方向相同，與風扇扇葉旋轉方向無關。

2. 龍捲風氣流旋轉方向與風切方向相同，與上方積雨雲旋轉方向無關。

實驗七：龍捲風與地形的關係實驗

實驗步驟：

- ① 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。
- ② 放置木製上座及風扇。
- ③ 置入四塊自然實驗室使用的等高線模型，高約 6 公分，於底座中心 10 公分圓周處散列。
- ④ 將一塊乾冰放入煙霧產生裝置中，並移入模型底座，關底座門，滴入溫熱水。
- ⑤ 啟動風扇，開始抽風，進行觀察並紀錄。
- ⑥ 調整等高線模型位置，分別置於四周風切口 5 公分距離處。
- ⑦ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：

等高線模型位置	距底座中心 10 公分圓周處	距風切口 5 公分處
龍捲風產生情形	無	在底座中心上方 30 公分處看到煙柱，但較鬆散

實驗結果：1. 凸起的等高線模型會影響龍捲風的成形。

2. 龍捲風在平坦之地形較易產生，凸起之地形會影響龍捲風的成形。

實驗八：龍捲風對地面下空間影響實驗

實驗步驟：

- ① 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。
- ② 放置木製上座及風扇。
- ③ 啟動風扇，開始抽風。
- ④ 分別在底座上方與模擬地下室的底座中

吹入肥皂泡泡。⑤ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：

觀察位置	壓克力板內空間	底座內空間
肥皂泡泡移動情形	隨龍捲風逆時鐘旋轉方向向上移動	未受龍捲風影響，四處飄浮

實驗結果：1. 壓克力板內空間之肥皂泡泡會隨著龍捲風逆時鐘旋轉方向向上移動，而木製底座內空間之肥皂泡泡則未受龍捲風影響，四處飄浮。

2. 在有堅固阻絕設施的地下室，可以減低受龍捲風破壞的影響。

實驗九：水龍捲實驗

實驗步驟：

① 模型組合，壓克力板依逆時鐘方向排列，調整各板間距約 1 公分。② 放置木製上座及風扇。③ 將一盤水，深約 3 公分移至模型底座上。④ 啟動風扇，開始抽風。⑤ 進行觀察並紀錄。

實驗紀錄：盛水盤水面產生漩渦及濺起水滴並不時將水滴甩出。

實驗結果：1. 模型龍捲風可以在盛水盤水面產生逆旋轉向的漩渦及濺起水滴。若有足夠的上升氣流的話，水龍捲也可以產生了。

2. 上升氣流及輻合氣流風切場在水面可以造成急速旋轉，形成水龍捲。

五、結論

- (一) 根據積雨雲、上升氣流及輻合氣流風切場特性製作模型，可以看到一個像龍捲風那樣會旋轉的煙柱，是我們的「龍捲風」。
- (二) 以我們所知會產生煙霧的材料做實驗，發現乾冰產生煙霧的效果較佳，水蒸氣的方式可以列為次要考慮。
- (三) 乾冰產生煙量的控制上，經過改進後以點滴吊袋滴進熱水產生煙霧，再以一承接袋承接使用過之冷水的操作方式，使得實驗中手動操作部份簡化很多，更容易操作，並且於實驗過程中可以做到自動操控。
- (四) 旺盛的上升氣流是龍捲風產生的必要條件，且龍捲風的大小與上升氣流的強弱有正相關，龍捲風的中心點會隨著上升氣流的中心點移動。
- (五) 當壓克力板間距密合時，就沒有龍捲風，壓克力板留有適當間距，都可以看到龍捲風的煙柱，顯示輻合氣流風切場亦為龍捲風形成之必要條件。
- (六) 壓克力板排列方向形成之氣旋造成渦流運動，影響了龍捲風的旋轉方向，當更換扇葉旋轉方向不同的風扇時，龍捲風卻沒有受到影響，顯示龍捲風的旋轉方向與輻合氣流風切方向相同，與上方積雨雲旋轉方向無關。
- (七) 凸起的地形會破壞龍捲風的形成或結構，由本模型實驗可以證明龍捲風通常出現在廣闊的平地區域。
- (八) 龍捲風的威力強大，來不及撤離時，由本模型實驗可以證明進入堅固屏蔽的地下室躲避，能大大減低受到龍捲風摧殘的影響。
- (九) 上升氣流及輻合氣流風切場在水面上可以造成急速旋轉，形成水龍捲。
- (十) 根據我們實驗結果，我們所製作之龍捲風模型有以下優點，可以說明這個模型的有效性：
 1. 易於觀察：以透明壓克力板設計，同學們可以清楚地觀察龍捲風。
 2. 可產生順、逆兩種旋轉方向之龍捲風：木製上座及底座的壓克力板槽道，設計成可以讓壓克力板做逆向或順向排列的方式，因而可以看到逆(順)時鐘旋轉方向的龍捲風。
 3. 乾冰煙霧產生快速，利於觀察：選擇以乾冰煙霧為顯示龍捲風風型與氣旋方向的材料，使煙霧產生初期約 5 秒內，即可看到結構完整的龍捲風，高度約和壓克

力板相同。顯示乾冰作為煙霧產生材料有其優點。

4. 生存時間長：一塊約一磅重之乾冰，經過滴進熱水至煙霧產生器的操作控制，可持續穩定產生煙量約 20 分鐘，具足夠的觀察時間，若需要延長觀察時間，增加乾冰的量即可。
5. 以壓克力板阻隔成一個準密閉系統，當抽風扇啓動時造成顯著的上升氣流，會強迫四周輻合的氣流，經過壓克力板間之間距形成的進風口而產生風切及渦漩，進而形成結構完整的龍捲風型態，此一自然生成的氣流結構相當接近於大自然中的龍捲風。

六、心得

經過這次科展，我們學習到如何將在大自然中觀察到的現象，找出它的理論形成，進而運用這些理論基礎實際設計製作一個模擬成品，每一個實驗階段，大家集思廣義，作了許多的試驗，模型拆拆改改，過程中誰的靈感都被拿來證實一下，讓我們感到科學研究是充滿趣味性的，尤其在遇到困難，想了各種方法，一一克服、解決難題後，是最大的喜悅，而達成預定目標之際，好像只是一個段落，往後還有許多可以繼續探究的地方，讓我們深深體會到學科學是永無止境的。

七、參考資料

- (一)台北市天文科學教育館：龍捲風發生裝置、世界的氣候等模型和說明。
- (二)菲立浦伊·伊登、克林特·特威斯特，氣象小百科，貓頭鷹出版，1998 年。
- (三)陳育仁主編，新世紀彩色圖解百科全書，貓頭鷹出版，1992 年。
- (四)千變萬化的氣象，東方出版社，民國 83 年。
- (五)戚啓勳，地球科學，明文書局，1997 年。
- (六)陸正華、許以平，近代氣象學基礎，明文書局，民國 84 年。
- (七)牛頓雜誌，1997 年 6 月號。
- (八)周淑貞、張如一、張超，氣象學與氣候學，明文書局，民國 85 年。
- (九)www.cv.ncu.edu.tw
- (十)www.max.edu.tw
- (十一)www.tces.chc.edu.tw
- (十二)Discovery 頻道：「龍捲風」、「世紀龍捲風」節目。

附件

根據世界氣象組織將雲按照高度及形成分成四族十屬。

第一族為高雲族（中緯度地區高度約 5~13 公里），有卷雲、卷積雲、卷層雲三屬

第二族為中雲族（中緯度地區高度約 2~7 公里），有高層雲、高積雲二屬

第三族為低雲族（中緯度地區高度約 0~2 公里），有層雲、層積雲、雨層雲三屬

第四族為直展雲族(高度可近地面跨越到高雲範圍)，有積雲和積雨雲二屬

另外有一種飛機雲，它是飛機排出之氣體，受冷而凝結成雲，稱為凝結尾或飛機雲。

雲有時可能會混合出現，有時會受到氣流影響，雲的形狀會產生變化，這時就不容易分類了。

評語：

本作品以乾冰模擬龍捲風之形成並探討與地形之關係，一般在平原地區熱氣團與冷氣團相遇容產生龍捲風，但如有地形效應（如山脈或丘陵之存在）則龍捲風不易形成，本作品模擬過程正確加上地形效應，更能加深對龍捲風產生原因之了解。

作者簡介

姓名：楊秀先 性別：男 出生日期：77年10月5日

學校：桃園縣大溪鎮瑞祥國小六年甲班 喜歡的科目：最喜歡自然，其次是數學

興趣：看科學方面的書、打球 未來志願：工程師

姓名：陳浩 性別：女 出生日期：78年1月8日

學校：桃園縣大溪鎮瑞祥國小六年甲班 優點：專心、有毅力、思慮細

缺點：興趣太多、不易專精 喜歡的科目：每一科都喜歡，最喜歡自然和數學，因為很有趣

興趣：做科學實驗、畫畫、彈鋼琴、看書、游泳 未來志願：牙科醫生

姓名：楊秀容 性別：女 出生日期：79年5月11日

學校桃園縣大溪鎮瑞祥國小五年甲班 優點：有愛心、做事專心 缺點：愛睡覺

愛吃的東西：魚卵 喜歡的科目：音樂 興趣：研究動物，尤其喜歡貓咪

未來志願：獸醫

姓名：陳薪 性別：男 出生日期：78年12月18日

學校：桃園縣大溪鎮瑞祥國小五年甲班 優點：樂觀 缺點：不夠主動

愛吃的東西：炸雞、漢堡 喜歡的科目：國語、數學

興趣：看漫畫 未來志願：當工程師