

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 地球科學科

第一名

最佳創意獎

030501

凌「雲」馭「風」—以霧化水分子氣流場模型，  
模擬颱風在不同環境下的風場與路徑變化

學校名稱：高雄市立仁武高級中學(附設國中)

作者：  國一 郭宜玟  國一 江怡臻  國一 吳昱輝	指導老師：  蘇毓智  黃婷湘
---	-----------------------------

關鍵詞：電子霧化器、高層輻散、狹管效應

# 得獎感言

## 科展，一段難忘的旅程

這次的「科展」是我們第一次花一年的時間來完成的創舉，也是第一次以團隊合作的方式完成的巨作。到最後上臺領獎的時候，那一刻的心情是激動到難以言喻的，這榮耀，是在無數人協助下才得以成就，謝謝大家。

「以氣流模擬颱風」聽來是個簡單的概念，實驗起來卻很困難，因為氣流捉摸不定、難以控制。經過長時間失敗、和老師不斷討論、一再修改，才有後來拍出的美麗雲圖。實驗過程中也發生不少印象深刻的事：像是臺灣模型被螞蟻入侵，我們得邊實驗邊趕螞蟻；實驗中還曾發現不明物體在水中蠕動，仔細一看居然是長子子，令人超傻眼；我們的水槽還一度發生漏水，一層一層裹上熱熔膠和膠帶還是撐不住它，水整個爆開，像瀑布一樣狂流，差點把實驗室給毀了。因此，科展實驗過程雖辛苦，卻有許多有趣的事。

參加科展我們學到很多：像團隊合作、面對挫折、禮貌等……有次我和某一位隊友因意見不合吵架，之後居然把氣出在另一位無辜的隊友身上，現在回想真的蠻幼稚的，但也因這件事，我們學會了溝通和尊重。還有一次，我一直做錯實驗，照片也不會整理，信心因接二連三的打擊而崩潰，眼淚莫名其妙流個不停，事後想想，實在沒什麼，我學到不輕言放棄，不因挫折而氣餒，遇到問題，想辦法解決就好。

在全國科展第四天，作者解說的時候，我見識到何謂「人外有人、天外有天」。在那裡，人人都超厲害，充滿對科學的熱情，每件作品也都是大家一年（或多年）辛苦的結晶，但大家面對強勁的對手，不但不會批評別人，反而互相鼓勵、有禮貌的請教、讚嘆、交朋友。那晚科學之夜取消，我們和仁武「愛玉組」兩位夥伴、武崙「蜘蛛組」三個同學在飯店舉行自己的科學派對，大家玩撲克牌、唱歌，度過最快樂的時光。散場後，老師播「星際效應」給我們看，邊看老師邊解說、時間壓縮和膨脹、五維空間等，讓我們興奮到整晚睡不著！

謝謝爸媽，在我參加科展的時候給我很大的支持，認同做科展能讓我獲得比課堂更寶貴的知識和經驗。感謝兩位指導老師：毓智老師在一年多來，用心指導和陪伴，婷湘老師隨時幫我們補充地科的知識。此外，謝謝學校老師、教官，常利用下班後的時間來實驗室為我們

加油，主任、家長會長不時走來關心，還有科展前輩英宇學長特地從台北南下給我們打氣、並給我們建議，也謝謝我最棒的組員們。科展路，是一段難忘的旅程，謝謝大家。



## 摘要

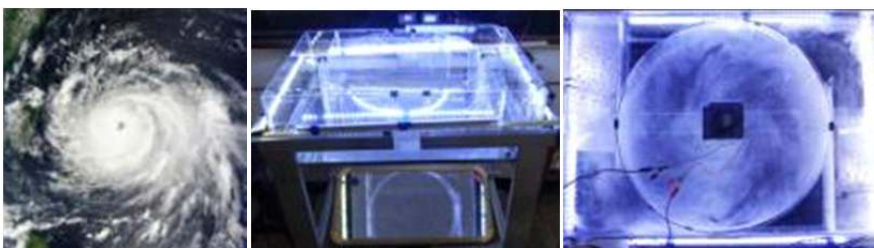
本研究開發霧化水分子氣流場模型，取代傳統水工實驗，以更貼近颱風構造的設計，應用於模擬颱風發展、雙眼牆、風場不對稱、狹管效應、副低壓影響及遇到障礙物的路徑變化等小尺度現象。實驗發現，高層輻散帶動低層輻合，增強到一定程度時出現風眼，類似真實颱風。瞬間提高風速會出現類似雙眼牆構造。當破壞風場的左側，帶動中心往西北偏移。狹管效應會使一側風速加快，造成中心偏移。模擬副低壓影響實驗中，東側的副低壓會使中心往東南偏移。氣場內放障礙物易在背風側產生漩渦，擋板越高越明顯。以臺灣地形障礙物進行實驗，北部通過的漩渦因狹管效應及風場不對稱南偏；中南部通過，先略南偏再北偏；大角度進入的漩渦也常受副低壓影響而偏向背風側。

## 壹、研究動機

「颱風」是臺灣每年都會經歷的天氣系統，也是重大的氣象災害之一，平均每年約有 3 至 4 個颱風侵臺。雖然颱風預報的技術已經日趨成熟，但臺灣複雜的地形變化和瞬息萬變的大氣環境，大大提高颱風小尺度預報的困難度。這是我們選擇「颱風」作為我們研究題目的原因，希望能對颱風有更深一層的了解。

我們閱讀了許多資料及歷屆科展報告，發現前人對「過山後的路徑偏移」及「藤原效應」已有不少探究（表一），但多以「水工實驗」的方式進行模擬實驗。可是，水流畢竟不等於氣流，水流只能往下旋卻無法往上吸，因此無法模擬出實際颱風的低壓上升氣流。以水流模擬大氣環境的真實性也有待商榷。因此，我們開始思考以氣流場取代水流實驗的可能，希望設計出一個裝置，操控飄忽不定的氣流，並精確的模擬出颱風螺旋形氣流場（如圖一）。

臺灣山脈高聳，通過臺灣的颱風幾乎都會受到地形影響。山的高低、颱風進入角度會決定颱風能否順利通過，有些颱風受到地形切割與破壞而發生不對稱、狹管效應、不對稱風場、或生成副低壓等；這些是我們希望在氣流場模型設計完成後，在實驗室中模擬的現象。



圖一、左圖是「2010 年凡那比颱風」的高解析度可見光衛星雲圖（圖自 NASA 網站），中圖是本研究設計的霧化水分子氣流場模型，右圖是用於模擬颱風的螺旋形氣流場。

## 一、颱風結構介紹



圖二、颱風結構示意圖（圖自科學人雜誌 2004 年 11 月號）

## 二、前人研究探討（表一、歷屆科展模擬颱風的方法與發現）

與「模擬颱風」有關的 歷屆科展題目	屆別	模擬方法	主要發現
把玩颱風漩！旋！炫！—藤原 效應探討	45	水工實驗：在水槽中裝兩個 吸水口模擬雙颱風效應	兩個漩渦在一定範圍內會 互相影響
猜不透我的心——探討影響颱風 路徑的原因，及不同颱風路徑造 成的災害	45	以 BB 彈射入圓錐盤，模擬 颱風在副熱帶高壓移動的 偏移情形	高壓對颱風路徑造成牽 引，高壓越強颱風越不易被 拋出
『心』情萬種！—論地形效應對 颱風副中心的形成與影響	46	水工實驗：利用水流撞擊臺 灣模型，模擬不同 $\alpha$ 角產生 的背風渦流	颱風外圍氣流受到地形阻 擋產生爬山或繞山的現象
當哈利遇上莎莉！—論地形效應 對颱風結構與路徑的影響	50	水工實驗：在水槽下方吸 水，上方補充，並在水槽旁 放置障礙物模擬狹管效應	漩渦旁放置障礙物會使水 流略為加快
「風」迴路轉—以氣流與水流模 擬颱風過山的路徑變化	53	氣流場：模擬背風尾流區 水工實驗：以擋板撞水流漩 渦，觀察路徑偏移	小角度進入臺灣易自由過 山，大角度進入臺灣偏移較 大，有時副低壓會取代過 山；狹管效應也有探討
<b>【本研究】</b> 「凌」雲馭「風」—以霧化水分 子氣流場模型模擬颱風在不同 環境下的風場與路徑變化	<b>55</b>	設計 <b>螺旋形氣流場模型</b> ，搭 配造霧器霧化水分子，模擬 颱風的各種現象	以霧化水分子模擬出更仿 真的颱風構造，模擬颱風在 小尺度、不同條件下的風場 與路徑偏移

## 三、本研究之教材相關性：國三地球科學：氣象資訊、臺灣的氣候災害、颱風等章節

## 貳、研究目的

表二、本研究實驗操作方法與模擬現象

操作方法	模擬現象
一、設計仿真颱風氣流場	替代水工實驗
二、改變抽風設備電壓	模擬不同發展階段的颱風
三、改變漩渦左右側風力平衡	模擬颱風不對稱對中心路徑的影響
四、改變漩渦風場左右側寬度	模擬狹管效應
五、增加第二個抽風設備	模擬副低壓對颱風路徑的影響
六、改變障礙物位置	模擬漩渦通過障礙物
七、改變臺灣地形障礙物位置	模擬各種過山情形
八、在氣流場中產生兩個互繞的小漩渦	模擬藤原效應
九、改變通氣量（瞬間提高吸力）	模擬颱風雙眼牆現象



圖三、本研究之研究架構圖

## 參、研究設備及器材

表三、器材與耗材列表

器材		耗材	
壓克力水槽	鏡子乙面	瓦楞板數片	軟、硬塑膠片數片
24VV 風扇 2 臺	美工刀	膠帶	酒精
變壓器 6~12VV	雷射投影筆	奇異筆 2 支	長尾夾
數位相機 2 臺	壓克力板	垃圾袋乙捆	小角鐵
起霧器 4 臺	印表機乙臺	壓克力顏料	I 字型鐵
手電筒 3 支	熱熔槍 2 支	雙面膠	強力接著膠
電腦 2 臺	尺	保麗龍膠	絕緣膠帶
相機腳架 2 個	透明塑膠水管 2 條	熱熔膠條 (大、小) 數條	立可白
延長線乙座	剪刀 2 支	泡棉膠	電話槽
直流電源供應器乙臺	隨身碟 2 個	玻璃亮光劑	黑色噴漆
螺絲起子 3 支	保麗龍切割器	A4 紙張	抹布
老虎鉗乙支	銲槍	藍筆	資料夾
LED 燈條 6 支		銲錫	鋸板角鐵

本實驗使用的各種器材

本實驗使用的各種器材型號：

- ◎超音波造霧器(圖五 SONG LONG SL-12W)
- ◎24V 電腦散熱用風扇(ZP CLX EB60252S1)
- ◎CASIO 數位相機 (有高速攝影功能)
- ◎SONY 數位相機 (DSC-HX100V)



圖四、左上、右上圖分別是手電筒和探照燈，可以拿來照射在水槽，可以拍攝到更清楚的照片。左下圖是直流電源供應器，可以調整風扇風速。右下圖是燈條，可以照亮水槽。

電子霧化器是用電壓晶體的電能轉成機械能的原理，藉由電子電路產生超音波訊號，將訊號傳到陶瓷振動片上，使振動片產生振動，直接把液體霧化成 1~3 $\mu\text{m}$  的微粒。(林婉霓等，2012)



圖五、電子霧化器

## 肆、研究過程或方法

### 一、選擇適當的煙霧材料（表四、各種煙霧產生方法的比較）

	線香、紅磷	乾冰	霧化水分子
說明	不穩定，有毒，故不採用	不易取得，價格高，故不採用	以水為原料，易取得、無毒故採用

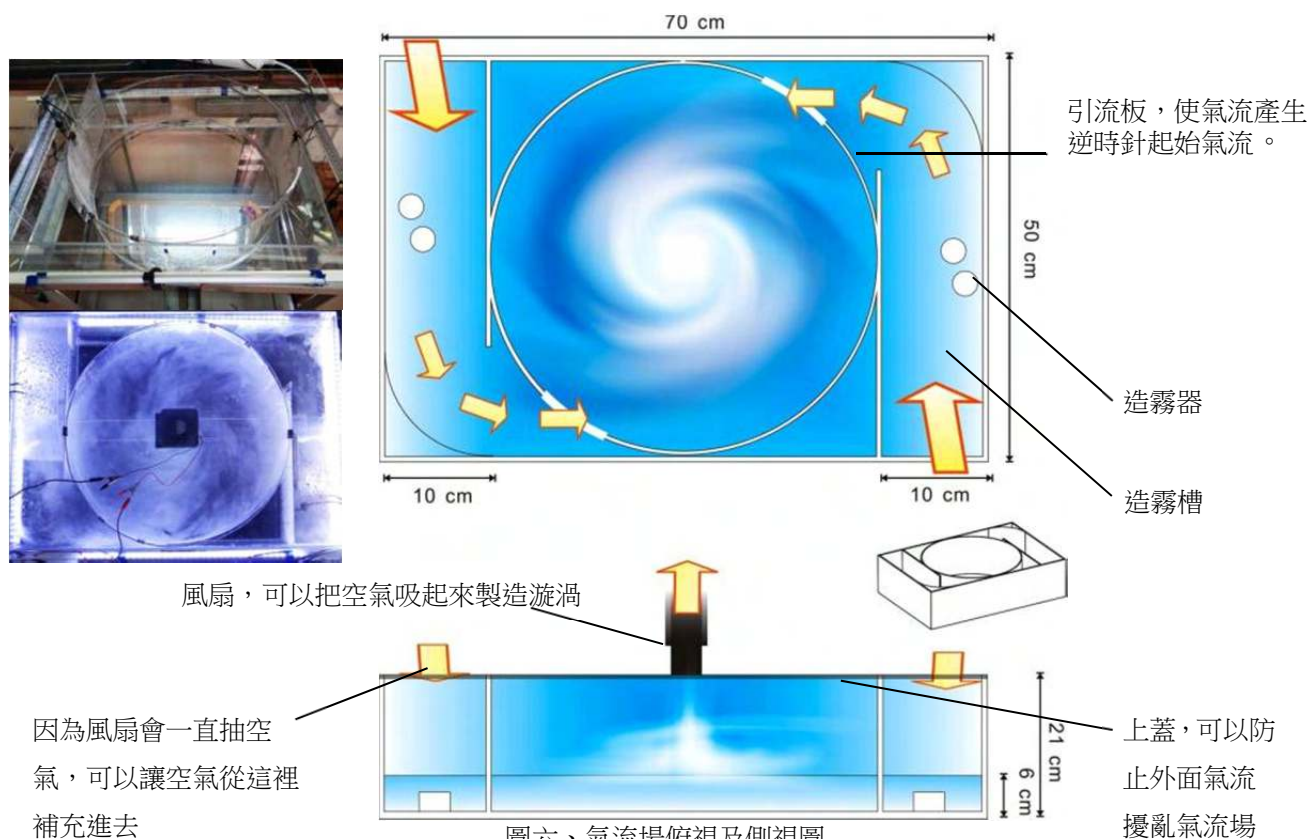
### 二、氣流場水槽設計

#### （一）氣流場水槽選擇

1. 方形和圓形塑膠水槽：雖然可以產生颱風，但水槽太小，不易設置裝置。
2. 長方形壓克力水槽：我們訂製適當大小壓克力水槽，在裡面放置引流板。

#### （二）氣流場水槽設計（圖六）

1. 使用壓克力材質製作水槽，長 70cm、寬 50cm、高 21cm。左右側作為造霧槽，寬 10cm。中間空間放置 2 個開口的引流板，使起始氣流為逆時針。
2. 水深 6cm，左右造霧槽各放 2 台造霧器，在水槽四周都裝 LED 燈條，且在水槽下以手電筒照射打光。水槽上方放壓克力蓋子，可以由上方或側面拍攝。
3. 水槽下方用投影片標上座標。（每個刻度 2cm，原點（0,0）置於水槽正中央）
4. 座標軸 X 軸方向模擬東西向，Y 軸方向模擬南北向。

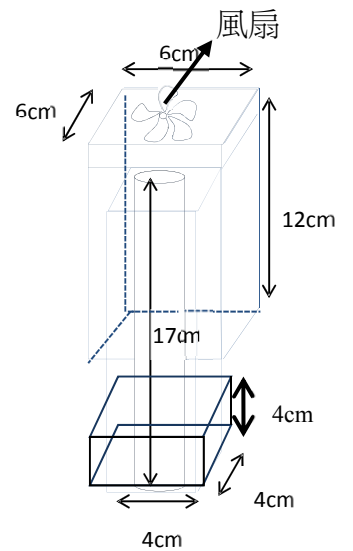


圖六、氣流場俯視及側視圖



(三) 抽風設備 (模擬低氣壓的上升氣流, 構造如圖七)

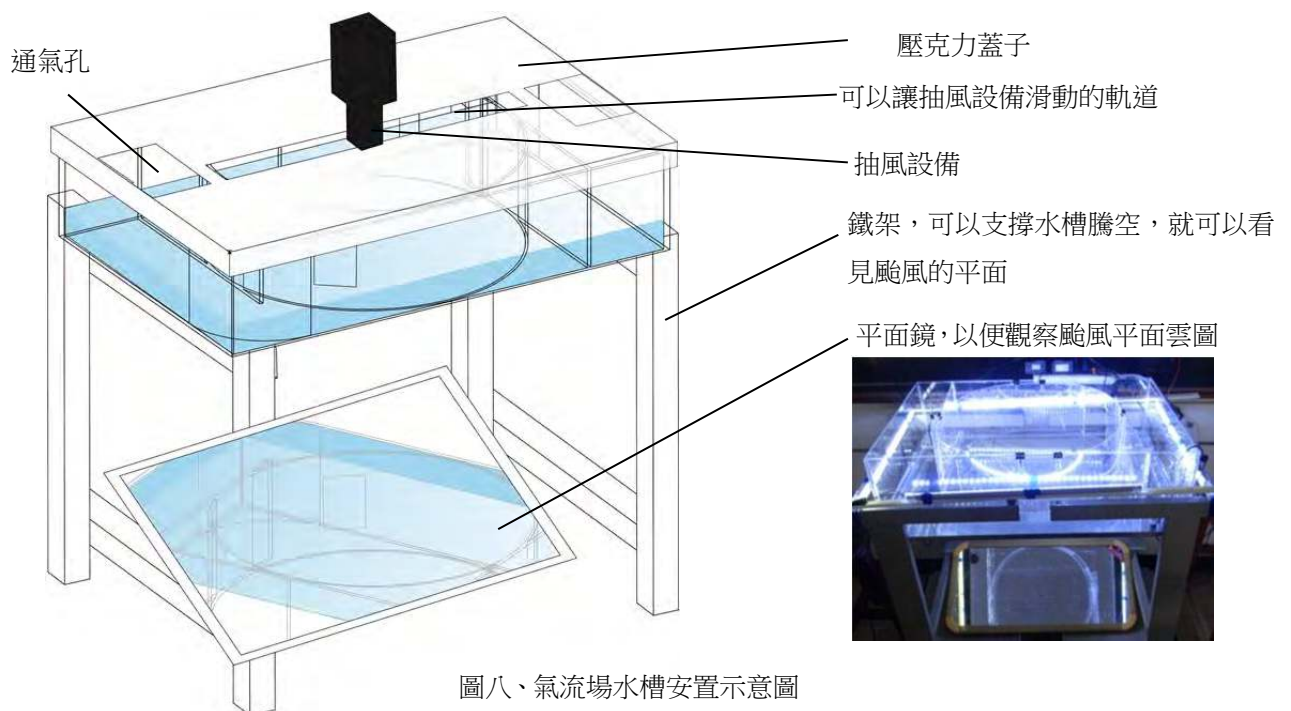
1. 剪裁 4 片長 12cm 寬 6cm 的瓦楞板組合成空心大長方體。
2. 剪裁 4 片長 17cm 寬 4cm 的瓦楞板組合成空心小長方體。
3. 剪裁長 20 寬 4cm 的瓦楞板圍繞在空心小長方體。
4. 把軟塑膠片捲成一圈圓柱狀, 放在空心小長方體內。
5. 把以上組合黏接起來, 把電腦風扇放置於長方體最上端。連接直流電源供應器, 以 0~24V 電壓調整風扇速度。



圖七、抽風設備構造示意圖

(四) 氣流場水槽的安置 (圖八)

1. 將壓克力水槽放在鐵架上方。水槽下放置平面鏡, 以便觀察實驗結果。
2. 為避免氣流混亂, 在水槽上方蓋上有軌道的壓克力蓋子, 左右側各有一個通氣孔, 中間有軌道可讓抽風設備移動, 平時軌道上會以透明塑膠片蓋上。

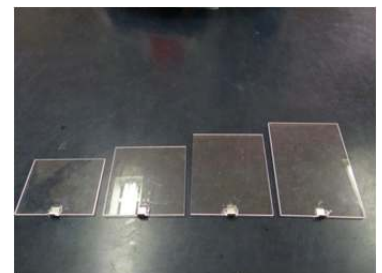


圖八、氣流場水槽安置示意圖

三、氣流場模型可移動障礙物設計

(一) 方形擋板 (圖九)

1. 切寬 10cm, 高 8、10、12、14cm 的壓克力板。
2. 在長方形下方做鐵製 L 字型小支架, 做成可站立障礙物。在水槽外拿強力磁鐵控制左右移動。



圖九、方形擋板示意圖 (左到右為 8cm、10cm、12cm、14cm 的擋板)

## (二) 臺灣地形障礙物 (圖十)

1. 把臺灣不同高度 (0、500、1000、1500、2000、2500m) 的等高線圖印出剪下。黏在珍珠板上切割。高度換算 500m 換算為 0.7cm 厚 (兩層珍珠板)。
2. 把剪下的保麗龍板依照山脈高度依次序貼上，以保鮮膜包起來，墊在 6 cm 塑膠片底座上，完成臺灣地形障礙物。



圖十、臺灣地形障礙物

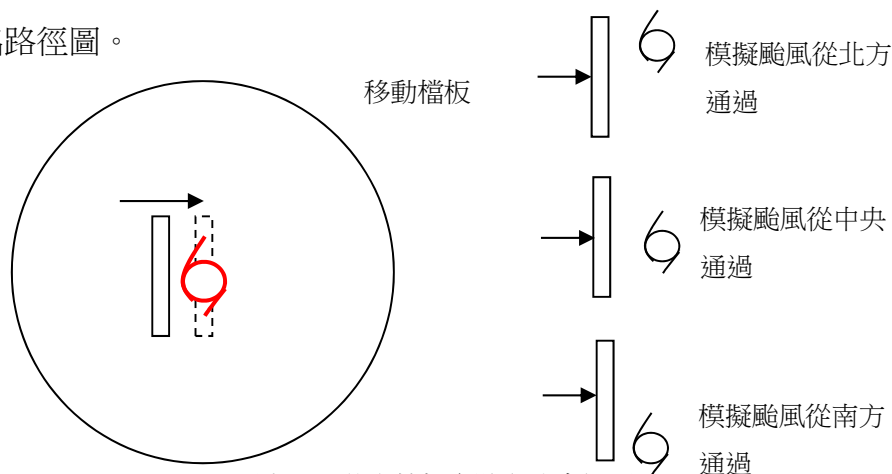
四、模擬颱風遇障礙物時，於背風側產生副低壓的情形。以壓克力擋板模擬障礙物。

### (一) 測試漩渦通過不同高度擋板時的情形。從中挑選適合的擋板高度作為對照組。

1. 將 8、10、12、14cm 擋板放入氣流場
2. 移動擋板到 (-5,0)、(-4,0) ..... (5,0)，固定擋板再進行實驗，並記錄漩渦位置，實驗多次取平均值。

### (二) 固定擋板高度，移動擋板位置，模擬颱風通過障礙物。

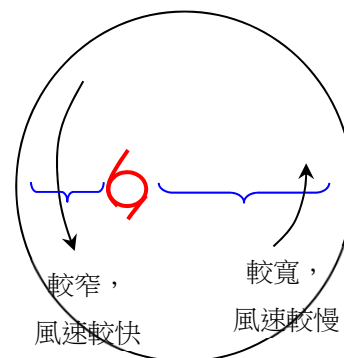
1. 把 10cm 高擋板放進氣流場，中心固定在  $Y=2.5、0、-2.5$ 。
2. 移動擋板到 (-5,0)、(-4,0) ..... (5,0)，記錄漩渦位置，實驗多次取平均值。
3. 用 EXCEL 換算出漩渦中心與擋板的相對位置 (漩渦與擋板中心位置相減)，並畫出路徑圖。



圖十一、移動擋板實驗方法介紹圖

## 五、模擬狹管效應

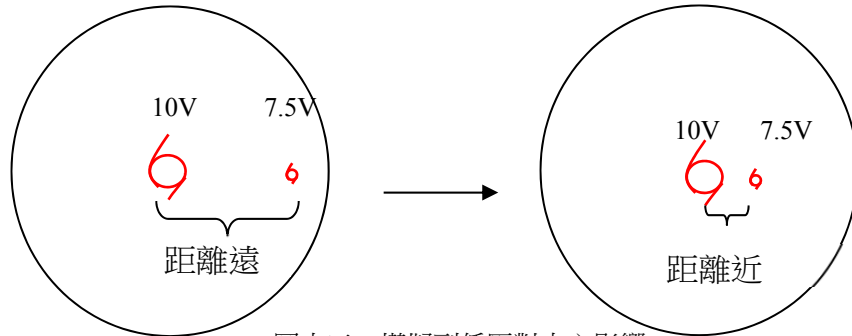
- (一) 移動抽風設備，一次向左移動 1 格 (2 cm)，最多移動 5 格。
- (二) 記錄漩渦中心位置偏移情形，實驗多次取平均值。



圖十二、狹管效應實驗方法介紹圖

## 六、模擬副低壓對原低壓中心路徑的影響

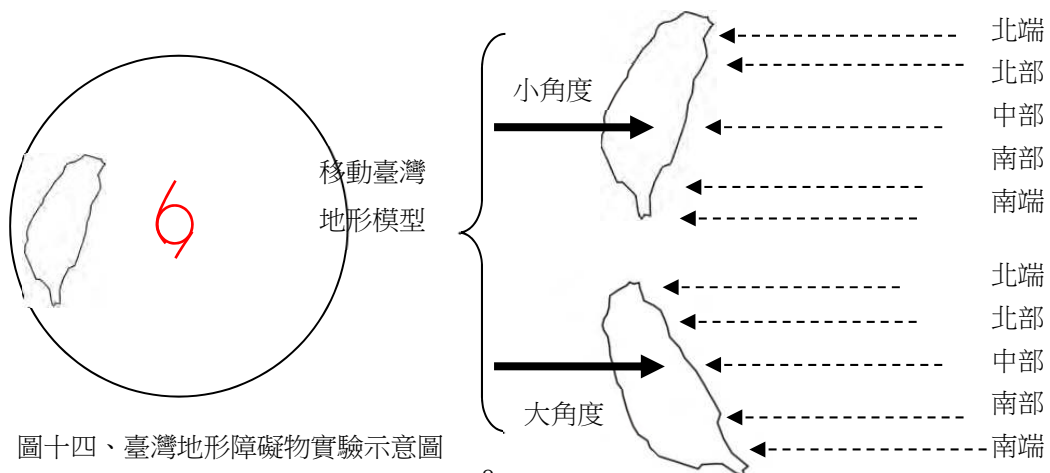
- (一) 觀察並記錄只有單一 10V 抽風設備時的漩渦位置，作為對照組。
- (二) 在抽風設備軌道右方 3 格、5 格、7 格、9 格處裝第二個抽風設備 (7.5V) 作為副低壓，觀察並記錄副低壓對原低壓位置的影響。



圖十三、模擬副低壓對中心影響

## 七、模擬颱風遇到臺灣地形障礙物後的路線變化

- (一) 小角度進入臺灣 (山脈與颱風路徑夾角  $70^\circ$ )
  1. 將臺灣地形障礙物放進氣流場。
  2. 將臺灣地形障礙物中心放在  $Y=+5$ 、 $+3$ 、 $0$ 、 $-3$ 、 $-5$ ，固定障礙物再進行實驗，模擬颱風從不同位置登陸。
  3. 移動臺灣地形障礙物到  $(-3,0)$ 、 $(-2,0)$ 、.....  $(3,0)$ ，並記錄漩渦中心位置。
  4. 當漩渦中心在陸地上時，有透明上蓋觀察中心位置
  5. 以 EXCEL 算出漩渦與障礙物的相對位置，並繪製路徑圖。
- (二) 大角度進入臺灣 (山脈與颱風路徑夾角  $110^\circ$ )
  1. 將臺灣地形障礙物角度逆時針旋轉  $40$  度，放進氣流場。
  2. 重複上述實驗 (一)，但把臺灣模型中心放在  $Y=+4$ 、 $+2$ 、 $0$ 、 $-2$ 、 $-4$ 。



圖十四、臺灣地形障礙物實驗示意圖

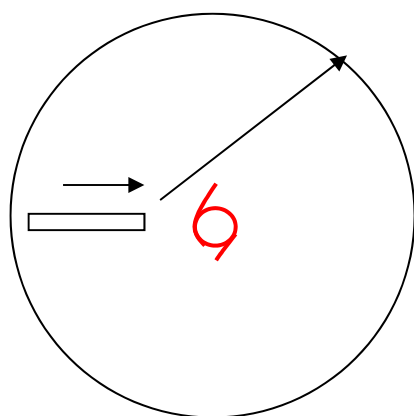
## 八、模擬颱風一側被破壞

(一) 改變障礙物高度，探討障礙物在固定位置時，漩渦西（左）側被破壞之情形。

1. 把 8cm、12cm 和 14cm 的擋板與 X 軸平行放入氣流場中，固定其位置於(-3,0)。
2. 觀察並記錄漩渦中心位置。重複實驗，取平均值。

(二) 固定障礙物高度，探討障礙物在不同位置時，漩渦西（左）側被破壞之情形。

1. 把 10cm 擋板放入氣流場中，移動擋板至 (-6,0)、(-5,0) ..... (-3,0)。
2. 觀察並記錄漩渦中心位置。重複實驗，取平均值。



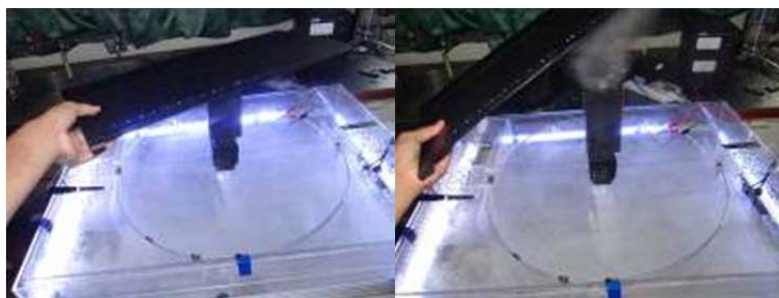
擋板最多移到 (-3,0)。若再往右移，擋板破壞到漩渦右側將不符合實驗目的。

圖十五、漩渦不對稱實驗示意圖

## 九、模擬雙眼牆

(一) 將抽風設備電壓調至最強 24V，以塑膠板蓋住出風口，強迫降低風扇抽氣量。

(二) 掀開塑膠板，突然增加風扇抽氣量，觀察雲層變化。



圖十六、模擬雙眼牆示意圖

## 十、模擬藤原效應

(一) 把兩抽風設備的塑膠管拉出 9 cm，置於壓克力上蓋的軌道。

(把塑膠管拉出 9 cm，使抽風管更接近水面，控制兩漩渦的上升氣流柱，避免相互干擾破壞。) 將兩抽風設備電壓調至 10V。

(二) 觀察、記錄兩個漩渦的狀態，並拍攝之。


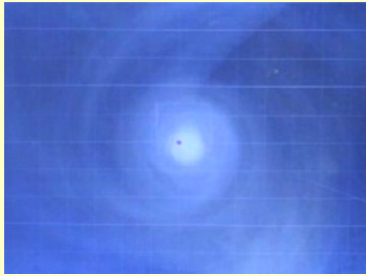


圖十七、將抽風設備內管子下拉 9cm




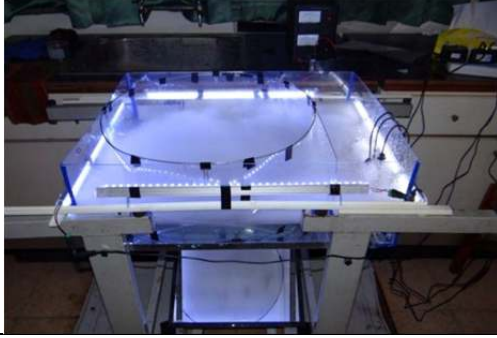
## 伍、研究結果

### 一、設計仿真颱風氣流場，替代傳統水工實驗

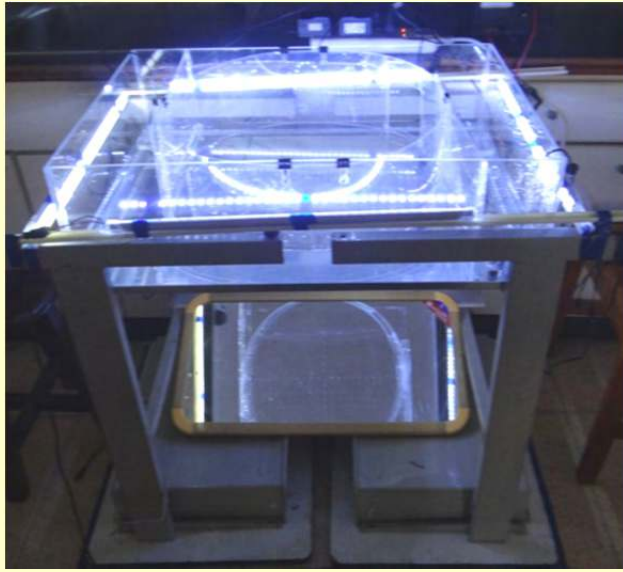
表五、氣流場漩渦與水流場漩渦的比較（\*水流場資料參考自謝仁祥等（2013））

	水流場（水工實驗）*	氣流場（本研究）
漩渦構成物質	水	霧化水分子
製造漩渦方法	電子加熱攪拌器	抽風設備與圓形氣流場
操作難易度	較容易	較困難，因為煙走得太快
輻合與輻散	上層輻合、下層輻散	低層輻合、高層輻散
颱風擬真情形	較不相似 因為水往下旋，無法往上吸，不能模擬颱風低層輻合、高層輻散，且水的黏滯度與氣流不同	<b>相似</b> <b>因為颱風是由雲構成的低壓氣團，使用水霧可以使颱風模擬更加真實</b>
示意圖		

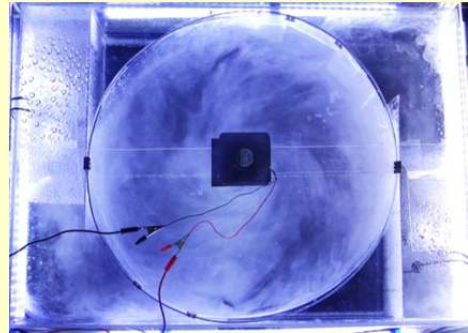
表六、本研究的氣流場演化圖（續下頁）

第一代氣流場模型（103.10~11）	第二代氣流場模型（103.12）
	
我們在水槽中造霧，並且讓鐵製水槽濾網旋轉吸起雲霧，水槽濾網上的孔洞會因離心力而吹出空氣，反而使氣流更亂，且濾網太重，馬達常轉不動。	我們讓水霧緩緩流下玻璃，並且用電腦散熱風扇吸，發現雲霧旋轉方向仍然難以控制，有點像龍捲風，且更容易受到外界氣流的影響。
第三代氣流場模型（103.12~1）	第四代氣流場模型（104.02）
	
我們以抽屜滑軌架設抽風設備，使漩渦可以移動，在塑膠水槽中架設氣流場，缺點是無法從下方拍攝。	第四代氣流場裝置是壓克力水槽，下方架設鏡子，從上方下方都可以拍照。

第五代氣流場模型(104.5~6 確定板)

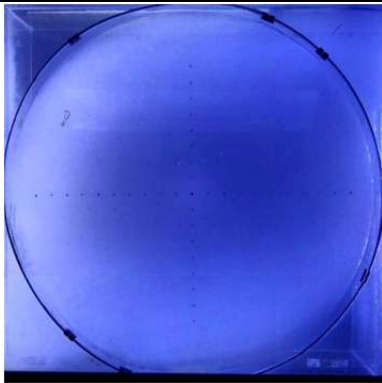
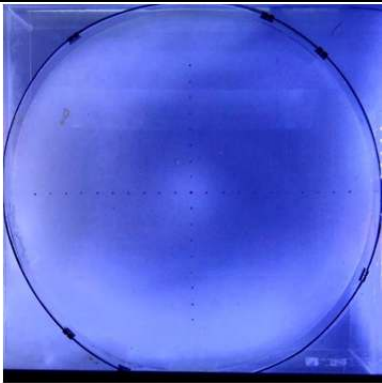
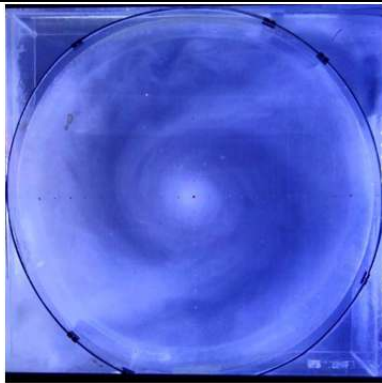
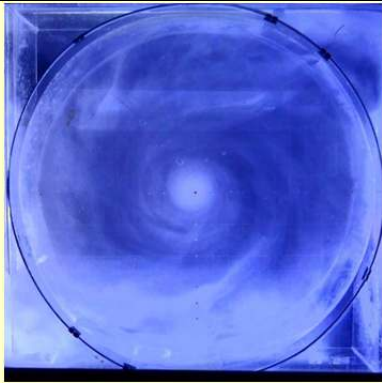
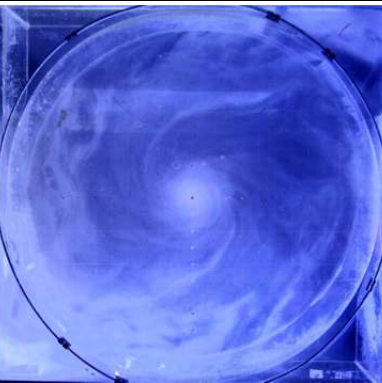
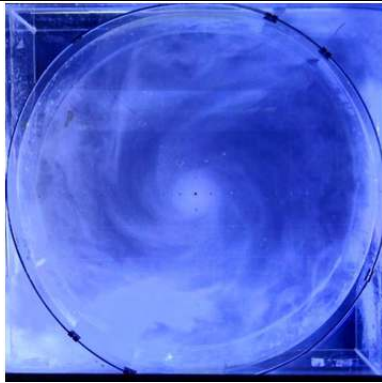


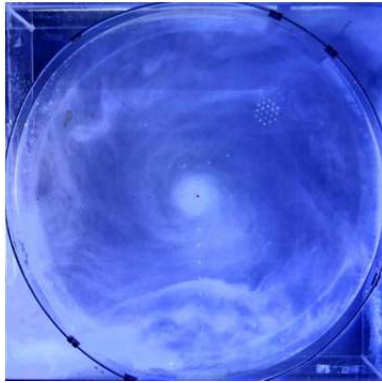
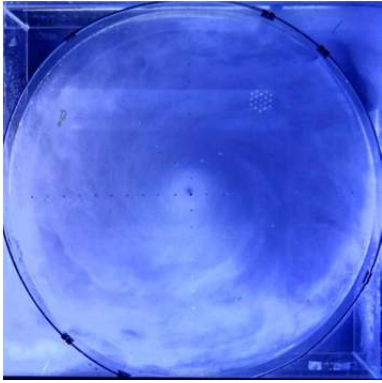
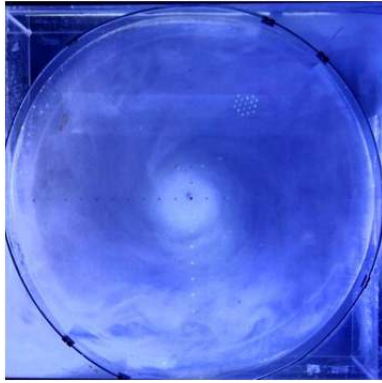
最新的氣流場裝置仍是壓克力水槽，我們把第四代的模型做得更大，為了使平衡性更好，左右2側都增加造霧槽，下方架設更大的鏡子，可以看到更大的範圍，也可從上方下方拍照，然後也做了有軌道的壓克力蓋子，是我們發展的最完整的模型。



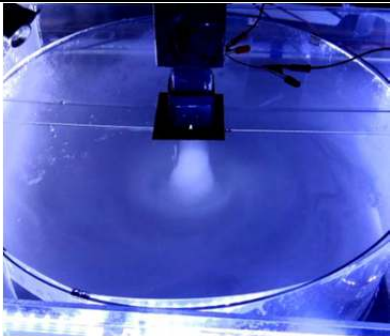
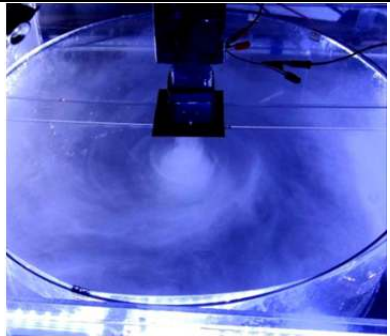
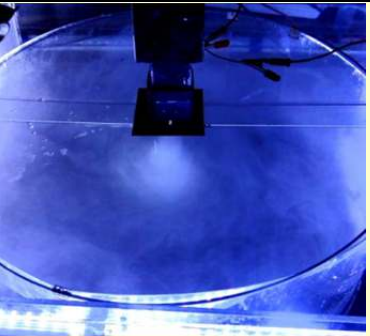
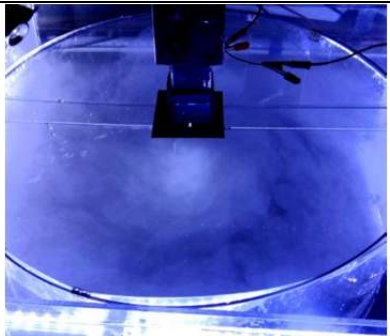
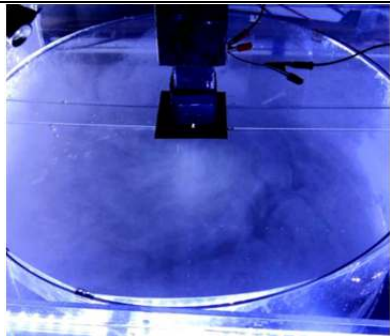
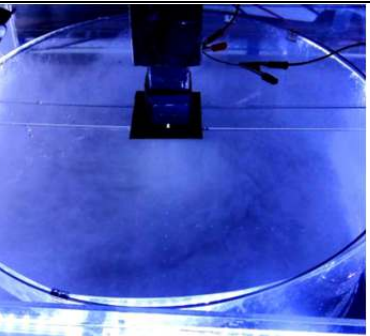
二、改變抽風設備電壓，模擬不同發展階段的颱風

表七、不同抽風設備電壓的平面雲層模擬結果

	4V 平面雲層	6V 平面雲層	8V 平面雲層
圖例			
說明	抽風設備電壓小，漩渦不是很清楚，只有一團氣。	漩渦強度弱，中心已有雲層聚集。	漩渦有增強一點，強度不強，雲層集中，螺旋雲帶產生。
	10V 平面雲層	12V 平面雲層	14V 平面雲層
圖例			
說明	<b>10V 電壓產生的漩渦雖然沒有颱風眼，但非常適合觀察與拍照 (10V 為後續實驗對照組)</b>	漩渦強度增強後，中心出現風眼。	風速加快，風眼更加清晰。

	16V 平面雲圖	18V 平面雲圖	20V 平面雲圖
圖例			
說明	漩渦增強風眼清晰，雲移動快速。	漩渦縮小，雲層快速移動不易拍攝，風眼依舊清晰	裡面的氣場因風速快變得很亂，不易拍照，但風眼能見度提高。

表八、不同抽風設備電壓的垂直雲柱模擬結果

	4V 雲柱	8V 雲柱	10V 雲柱
圖例			
說明	雲柱較寬大，氣流很穩定。	裡面的氣流開始旋轉較快，螺旋雲帶變得明顯。 <b>(10V 為對照組)</b>	
	12V 雲柱	16V 雲柱	20V 雲柱
圖例			
說明	風速開始變快，雲很快被吸走。	風速快，雲柱很細，隱約看的到風眼眼牆的管子。	因為風速太快，雲層不易長時間聚集。



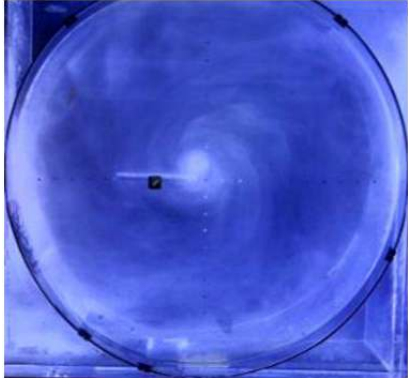
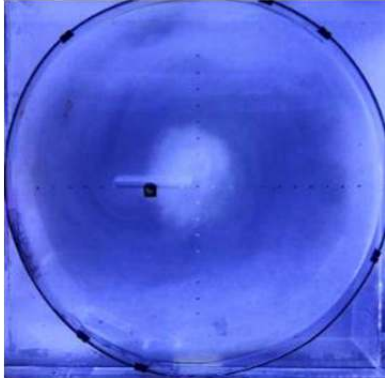
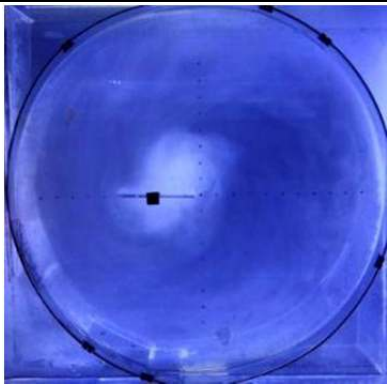
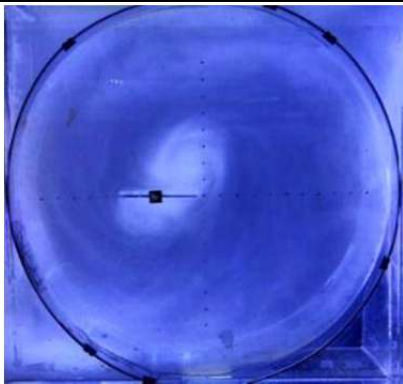
圖十八、颱風結構剖面圖  
(圖自科學人雜誌 2004 年 11 月號)

我們發現抽氣設備電壓越強（高層輻散強），漩渦越圓，且雲層集中。增強到 12V 以上時，漩渦中心出現風眼，與颱風發展實際情形類似（中度以上的颱風出現風眼）。

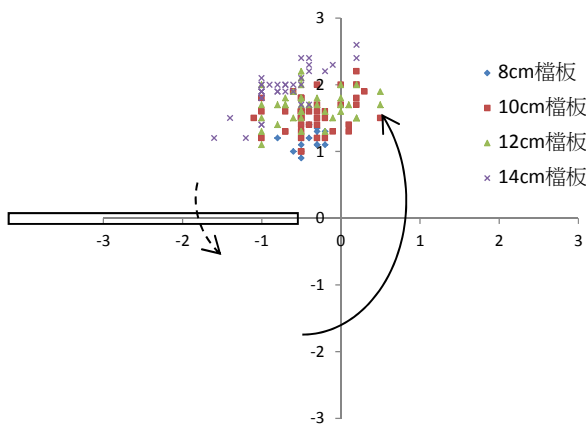
三、改變漩渦左右側風力平衡，模擬颱風不對稱對中心路徑的影響

(一) 在漩渦左側(-3,0)的位置放置不同高度的擋板

表九、不同高度的擋板破壞漩渦左側造成的中心位置偏移

	8cm	10cm
圖例	 <p style="text-align: center;">擋板較矮，偏移並不明顯</p>	 <p style="text-align: center;">左側開始受破壞，因此略往北偏</p>
	12cm	14cm
圖例	 <p style="text-align: center;">左側受到更多破壞，往北偏移更明顯</p>	 <p style="text-align: center;">左側受到破壞最嚴重，往西北偏移的情況最明顯</p>

漩渦左側被破壞，中心偏移情形  
(擋板8~14cm，位在-3)



擋板高度	漩渦中心位置平均值
8cm	(-0.41, 1.16)
10cm	(-0.35, 1.56)
12cm	(-0.40, 1.67)
14cm	(-0.73, 1.94)

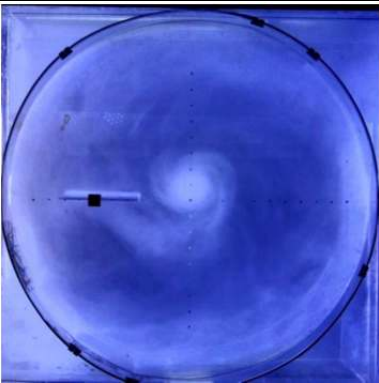
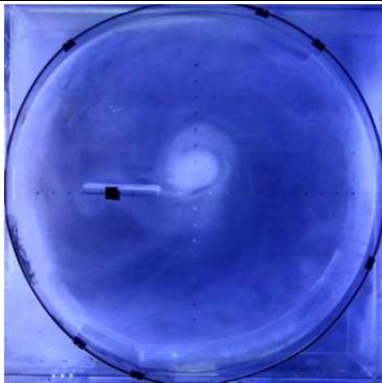
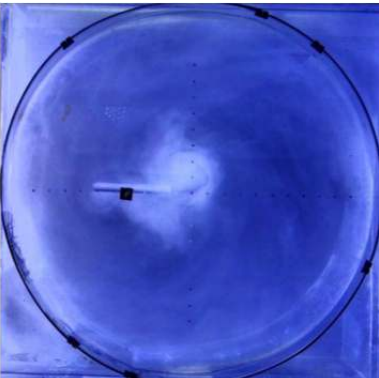
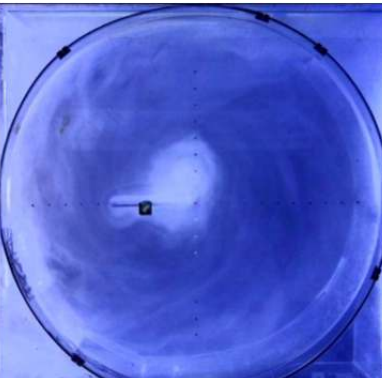
我們發現，當擋板越高時，漩渦左（西）側被破壞得越嚴重，漩渦中心向左上方（西北方）偏移到第二象限的情形也越顯著。

圖十九、漩渦左側被破壞的中心偏移

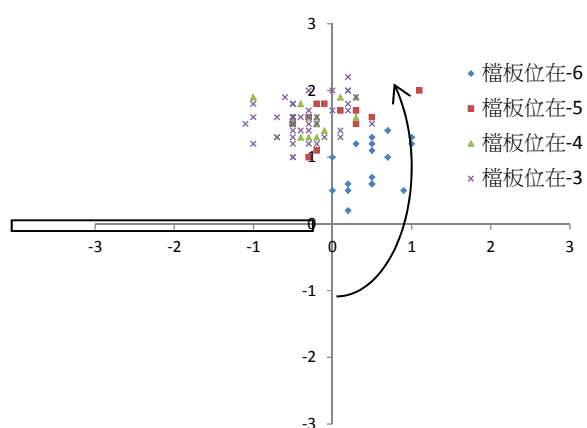


(二) 在漩渦左側不同位置橫放 10cm 高的擋板

表十、將擋板橫放在漩渦左側不同位置破壞漩渦造成的中心位置偏移

	擋板中心在(-6,0)	擋板中心在(-5,0)
圖例		
	擋板中心在(-4,0)	擋板中心在(-3,0)
圖例		

漩渦左側被破壞，中心偏移情形  
(擋板10cm，位在-6~-3)



圖二十、漩渦左側被破壞的中心偏移

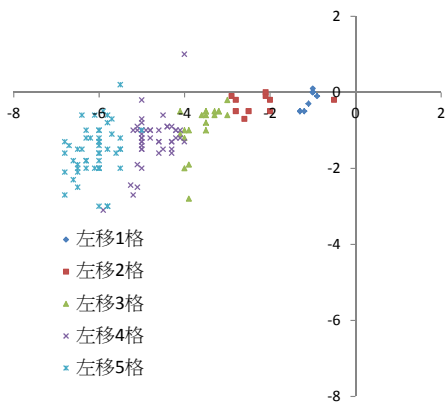
擋板位置	漩渦中心位置平均值
(-6, 0)	(0.48, 0.88)
(-5, 0)	(0.02, 1.57)
(-4, 0)	(-0.25, 1.57)
(-3, 0)	(-0.35, 1.56)

左側漩渦被破壞，會帶動漩渦中心**往上(北)偏**。若擋板越靠右、越接近中心，即 X 越大時，偏移量會越明顯。本研究推測，應是障礙物越接近中心，西側漩渦破壞越嚴重，此時受到西北方背風側渦流影響會越顯著，而帶動原低壓中心**向上(北)或左上(西北)方**偏移 to 第二象限。

四、改變漩渦風場左右側寬度，模擬狹管效應（表十一）

	對照組，漩渦在 (0,0)	左移一格（漩渦在 (-1,0)）
圖例		
	左移兩格（漩渦在 (-2,0)）	左移三格（漩渦在 (-3,0)）
圖例		
	左移四格（漩渦在 (-4,0)）	左移五格（漩渦在 (-5,0)）
圖例		

狹管效應(向左移動1~5格)

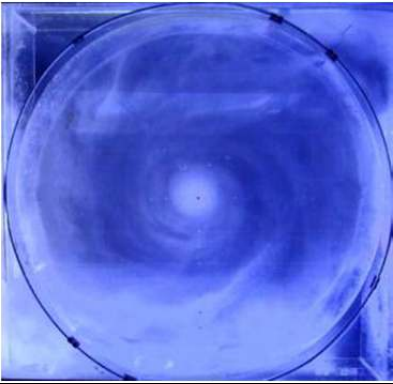
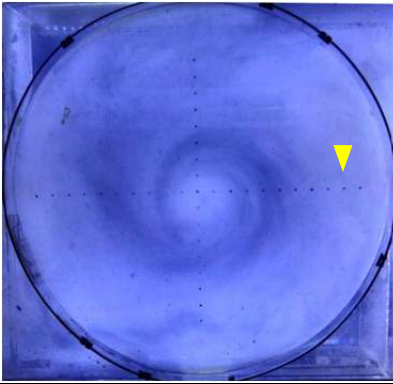
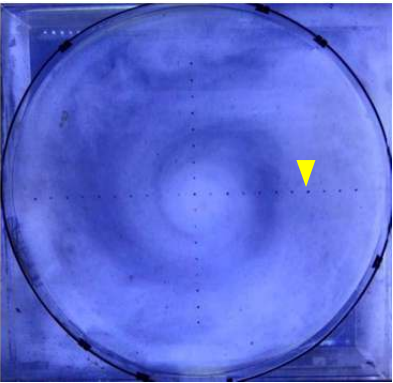
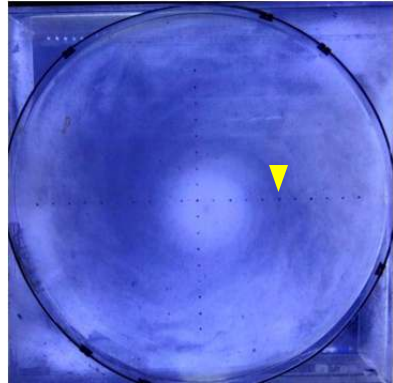
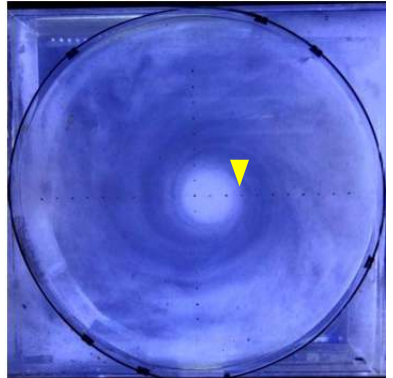


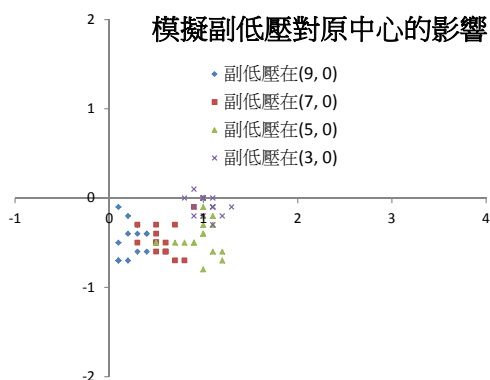
圖二十一、狹管效應，中心偏移情況

抽風設備位置	漩渦中心位置平均值
(-1, 0)	(0.10, 0.18)
(-2, 0)	(0.23, 0.30)
(-3, 0)	(0.70, 0.72)
(-4, 0)	(0.79, 1.18)
(-5, 0)	(1.12, 1.59)

漩渦西側空間變小，該側北風增強，如表 11 中圖例中箭頭所示說明漩渦西側，發生狹管效應越強，漩渦中心南偏也越顯著。

五、增加第二個抽風設備（7.5V），模擬副低壓對颱風路徑的影響（表十二）

	對照組	第二個抽風設備在(9,0)，漩渦中心往右下略偏												
圖例														
	第二個抽風設備移動到(7,0)，中心往右下略偏	第二個抽風設備移動到(5,0)，中心往右下略偏												
圖例														
	第二個抽風設備移動到(3,0)，中心往右略偏													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>第二抽風設備位置</th> <th>漩渦中心位置平均值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(0, 0)</td> <td>無偏移(0, 0)</td> </tr> <tr> <td>(9, 0)</td> <td>(0.31, -0.47)</td> </tr> <tr> <td>(7, 0)</td> <td>(0.56, -0.48)</td> </tr> <tr> <td>(5, 0)</td> <td>(0.94, -0.42)</td> </tr> <tr> <td>(3, 0)</td> <td>(1.03, -0.07)</td> </tr> </tbody> </table>	第二抽風設備位置	漩渦中心位置平均值	(0, 0)	無偏移(0, 0)	(9, 0)	(0.31, -0.47)	(7, 0)	(0.56, -0.48)	(5, 0)	(0.94, -0.42)	(3, 0)	(1.03, -0.07)
第二抽風設備位置	漩渦中心位置平均值													
(0, 0)	無偏移(0, 0)													
(9, 0)	(0.31, -0.47)													
(7, 0)	(0.56, -0.48)													
(5, 0)	(0.94, -0.42)													
(3, 0)	(1.03, -0.07)													

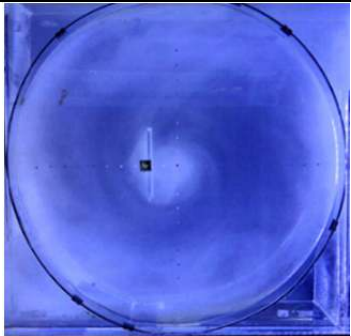
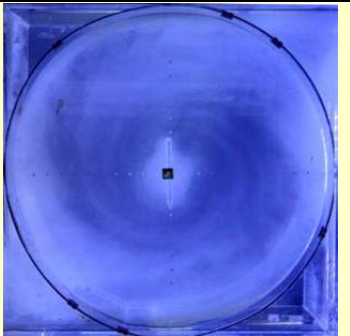
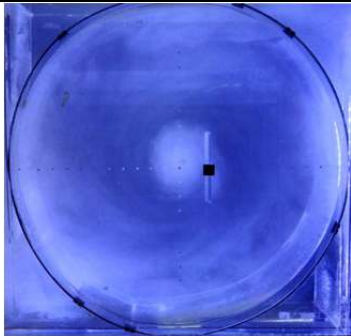
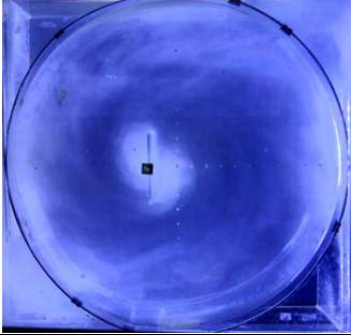
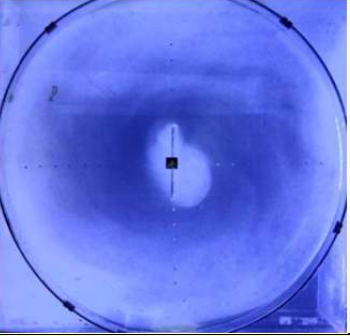
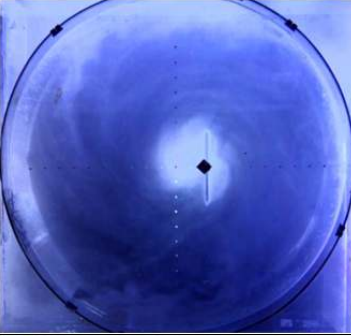
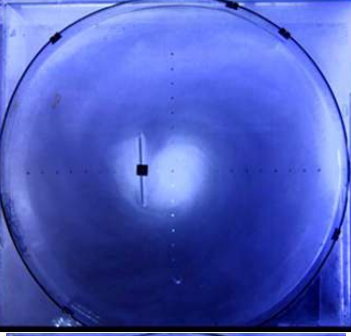
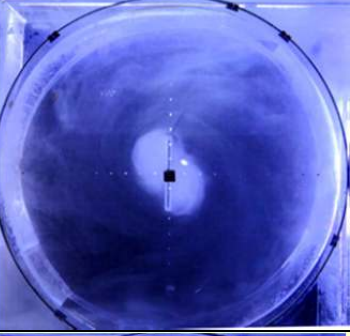
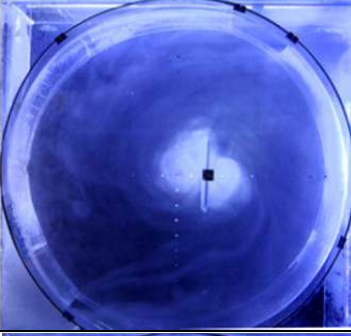
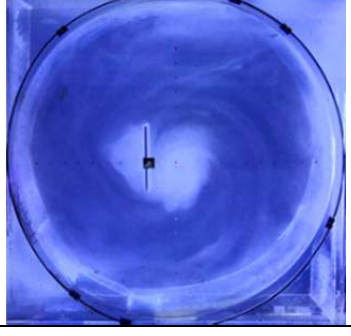
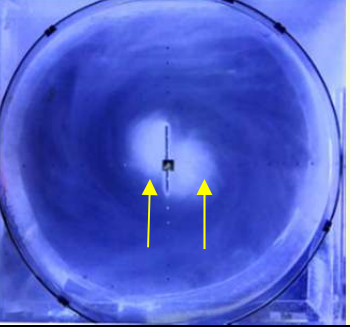
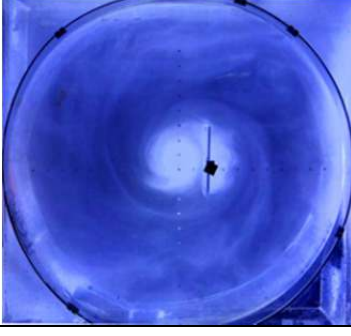


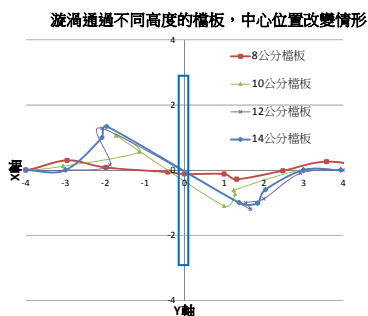
圖二十二、副低壓影響，中心偏移情況

當第二抽風設備位在(9,0)時，漩渦幾乎不會受到影響。漸漸移到(3,0)時，原低壓會被第二個低壓影響，往右下(東南)偏移到兩個抽風設備間。

六、改變障礙物位置，模擬漩渦通過障礙物

(一) 使漩渦靠近不同高度的擋板，模擬不同高度的山脈（表十三）

	漩渦從右側（東）接近擋板	漩渦通過擋板	漩渦移動到擋板左側（西）
8cm			
10cm			
12cm			
14cm			

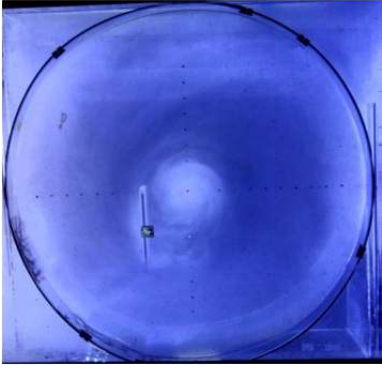
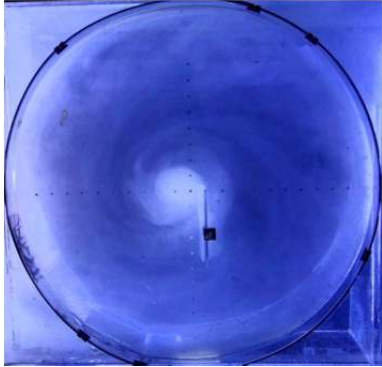
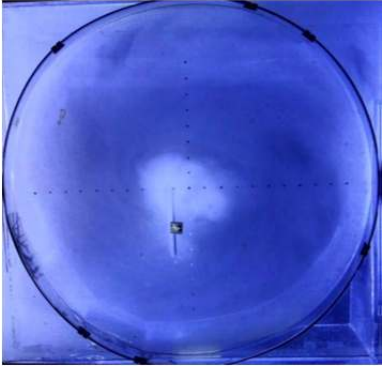
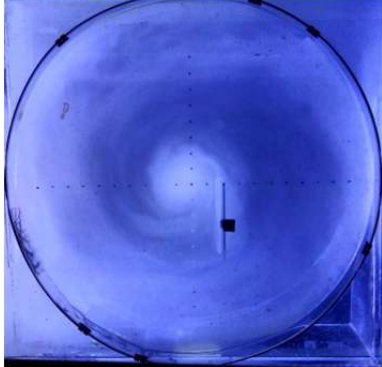
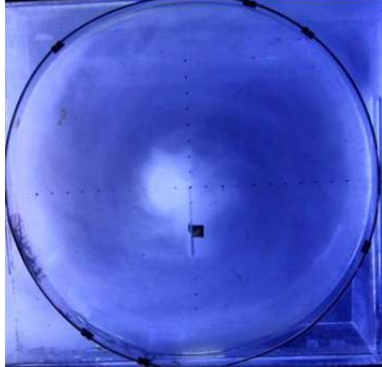
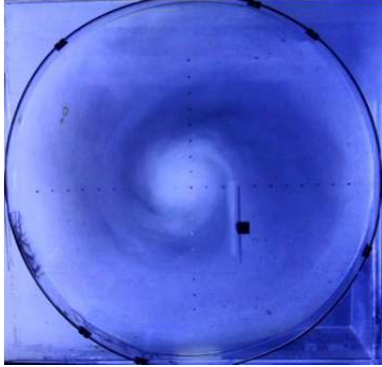


結果顯示，產生副低壓的現象會隨著擋板高度增加而趨於明顯。當擋板高度只有 8 cm 時，高度不高，漩渦氣流可輕易通過擋板。擋板高度 10 cm 時，開始在背風側產生副低壓。擋板 12 cm 時，背風低壓變得很好觀察。擋板 14 cm 時，高度最高，背風側的副低壓最明顯。

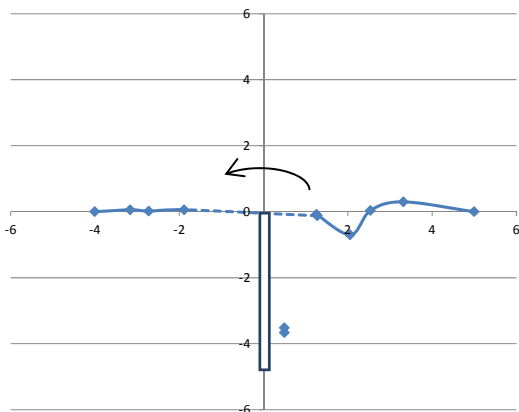
圖二十三、漩渦通過不同高度擋板狀況

(二) 使漩渦分別由北方、中央、南方通過擋板，觀察路徑偏移

1. 漩渦從擋板（10cm 高）**北方（上方）**通過（表十四）

位置	圖例	位置	圖例
擋板位置 (-3, -2.5)		擋板位置 (1, -2.5)	
擋板位置 (-1, -2.5)		擋板位置 (2, -2.5)	
擋板位置 (0, -2.5)		擋板位置 (3, -2.5)	

模擬漩渦從北方通過擋板

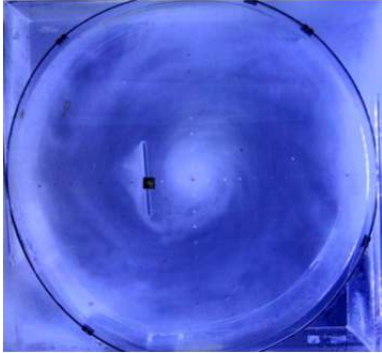
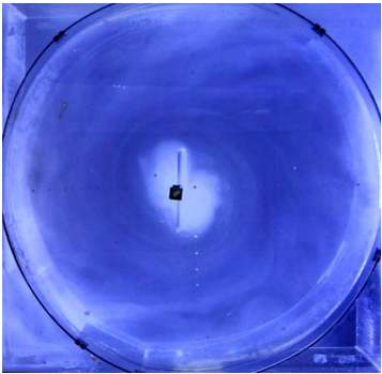
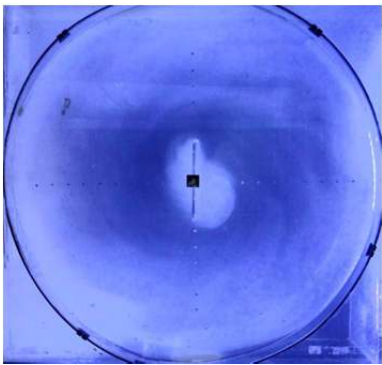


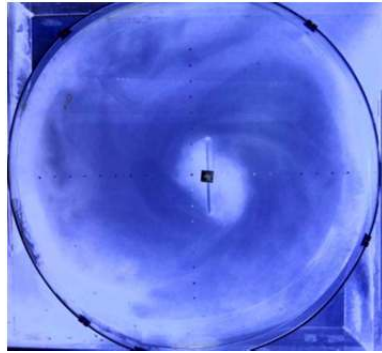
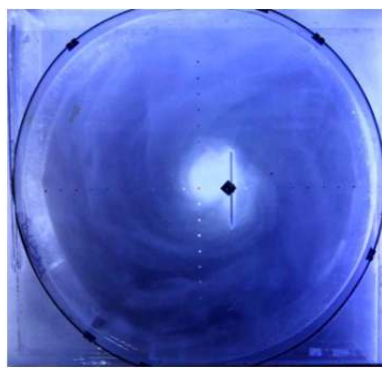
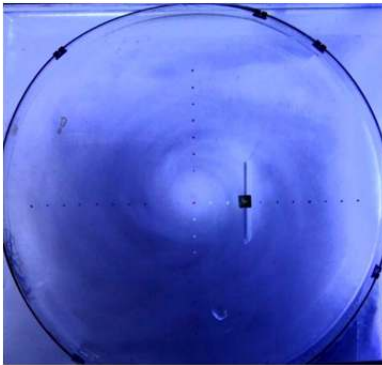
當擋板移動到(-1, -2.5)時，漩渦最靠近擋板，正要開始要過山。移動到(0, -2.5)時，漩渦正在過山。由於南側被破壞，北側氣流帶動中心快速繞過擋板，在擋板**東南方**產生副低壓。

**副低壓會隨過擋板後漸漸消失。**

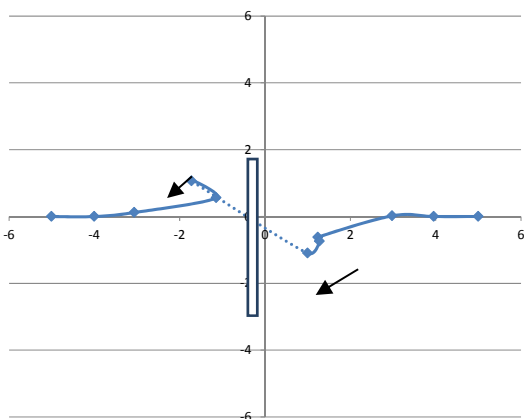
圖二十四、使漩渦分別由上方、中央、下方通過擋板，路徑偏移情況

2. 漩渦從擋板（10cm 高）中央通過（表十五）

位置	圖例
擋板位置 (-3, 0)	
擋板位置 (-1, 0)	
擋板位置 (0, 0)	

位置	圖例
擋板位置 (1, 0)	
擋板位置 (2, 0)	
擋板位置 (3, 0)	

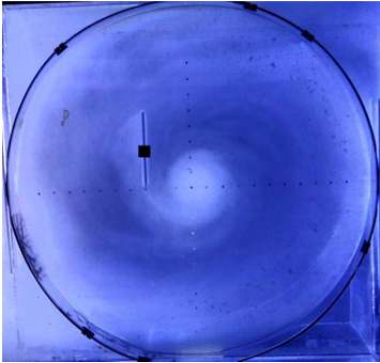
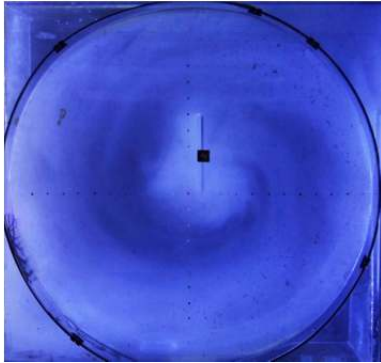
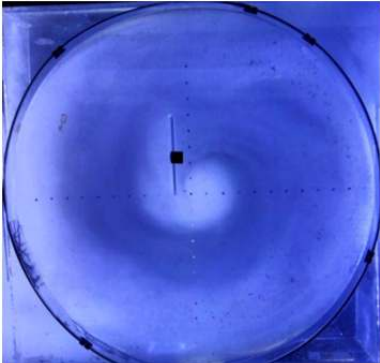
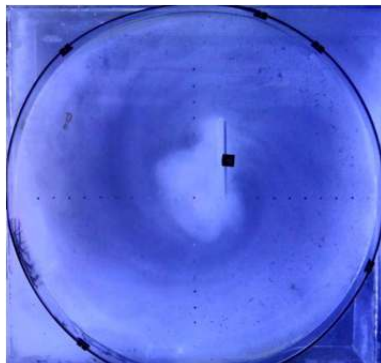
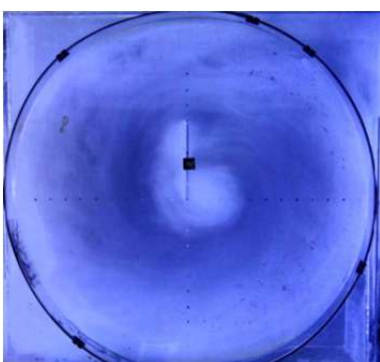
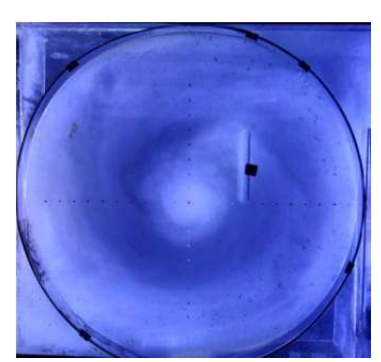
模擬漩渦從中部擋板通過



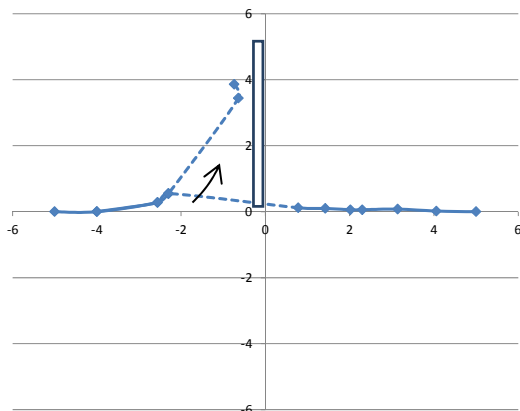
圖二十五、漩渦從擋板（10cm 高）中央通過路徑圖

擋板位置在 (1, 0) 時，漩渦卡在擋板東側。推測是原低壓靠近擋板時，因狹管效應影響，導致颱風過山前往南偏，且在背風側產生副低壓。原低壓因過不了山，所以在東側的原低壓會漸漸消散，由西側的副低壓取代過山。

2. 漩渦從擋板（10cm 高）南方（下方）通過（表十六）

位置	圖例	位置	圖例
擋板位置 (-3, 2.5)		擋板位置 (1, 2.5)	
擋板位置 (-1, 2.5)		擋板位置 (2, 2.5)	
擋板位置 (0, 2.5)		擋板位置 (3, 2.5)	

模擬漩渦從南部通過擋板

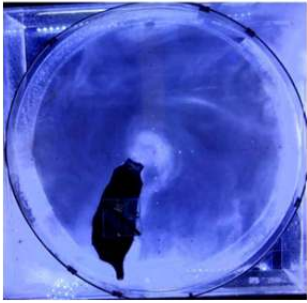
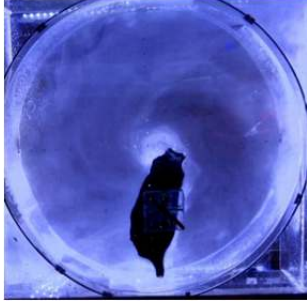

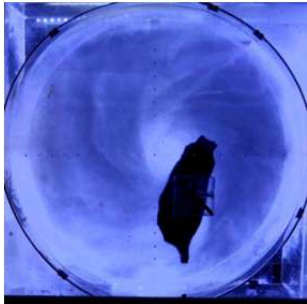
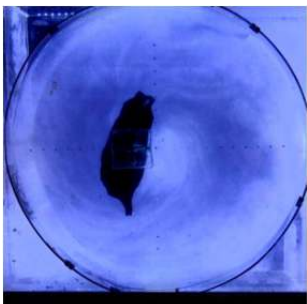
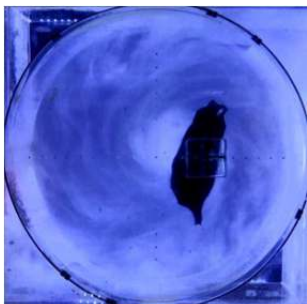
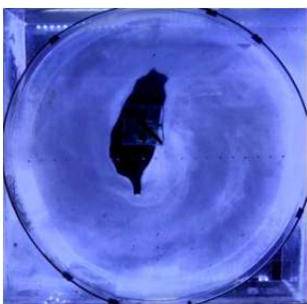
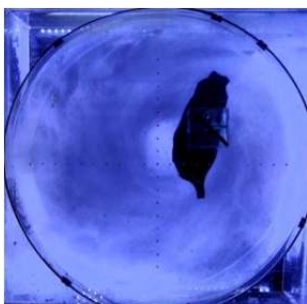
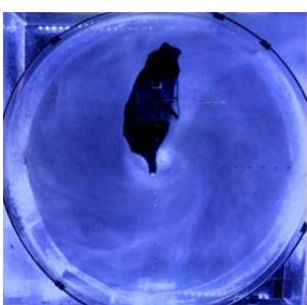
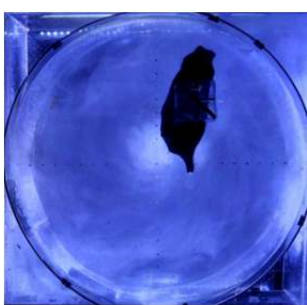


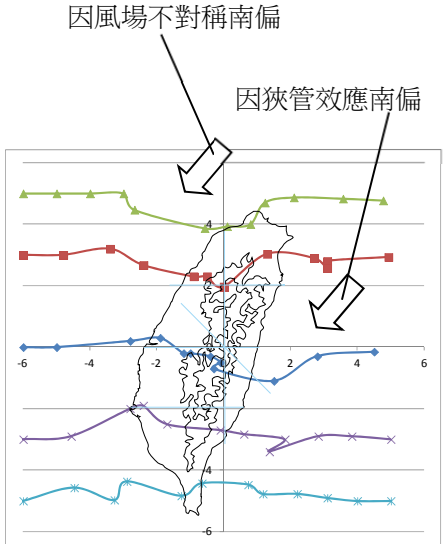
圖二十六、漩渦從擋板（10cm 高）下方通過

擋板位置在 (1, 2.5) 時，漩渦靠近擋板時，漩渦中心被擋在東側，且通常會在背風側產生另一個小漩渦，但強度很弱，所以最後只能由原低壓快速繞過擋板下方，完成過山。

七、 改變臺灣地形障礙物位置，模擬各種過山情形

(一) 模擬颱風以小角度（與山脈夾角  $70^\circ$ ）進入臺灣（表十七）

	登陸前	出海後
北端登陸		
北部登陸		
中部登陸		
南部登陸		
南端登陸		

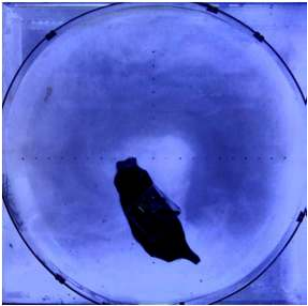
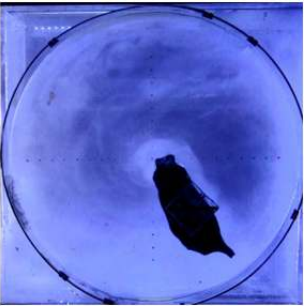
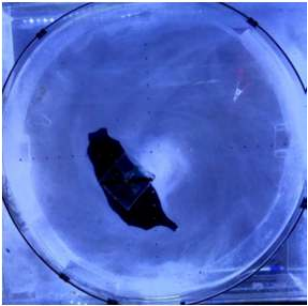
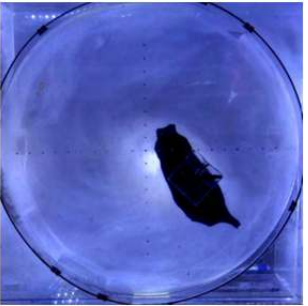
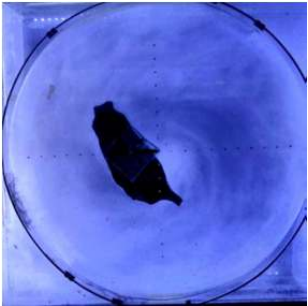
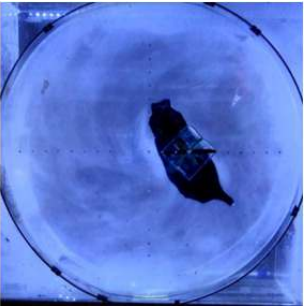
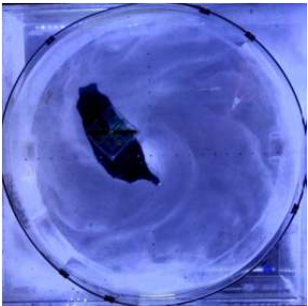
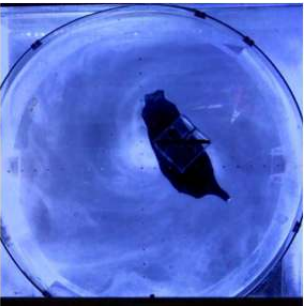
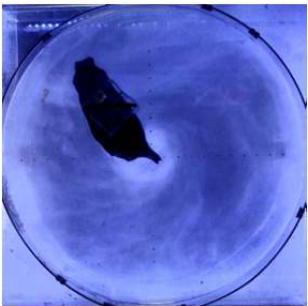
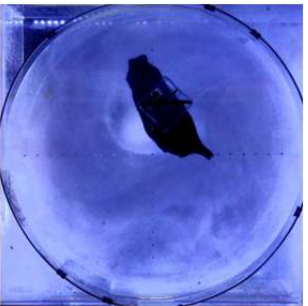


圖二十七、模擬颱風小角度進入台灣從不同地方登陸路徑圖

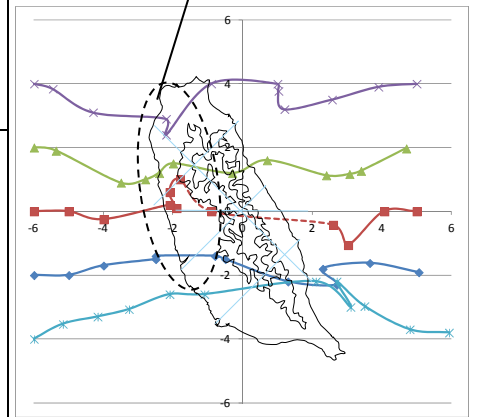
模擬颱風小角度登陸北端和北部實驗，登陸前受狹管效應往南偏，登陸後左側速度較快，繼續往南偏，出海後偏北。中部和南部，先受狹管效應往南偏，登陸後受背風低壓影響開始往北偏，出海時，右側被破壞，中心往南偏。南端登陸前左側被破壞而略偏北，出海時，則是右側被破壞，往南偏。



(二) 模擬颱風以大角度（與山脈夾角  $110^\circ$ ）進入臺灣（表十八）

	登陸前	出海後
北端登陸		
北部登陸		
中部登陸		
南部登陸		
南端登陸		





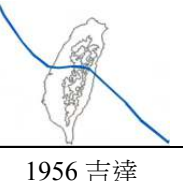

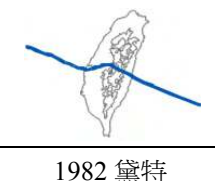
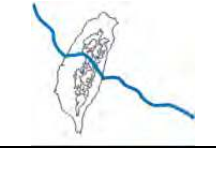



尾流區，容易產生背風副低壓




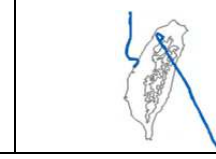
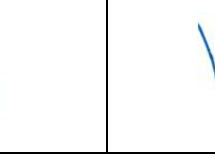
圖二十八、模擬颱風大角度進入臺灣  
從不同地方登陸路徑圖

模擬颱風大角度從北端、北部、中部登陸的實驗，登陸前因狹管效應南偏，後來在背風測產生偏北或偏南的副低壓取代右側中心。南端比較特別的是，在登陸前左上側受到破壞而往東北偏，過山後再因背風低壓影響略北偏。

(三) 與實際颱風資料做比較 (表十九)

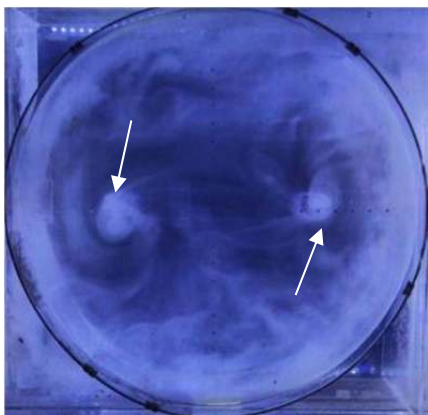
自由過山代表颱風				說明	
北部通過	1971 貝絲 	1990 楊希 	1996 賀伯 	1996 賀伯 	一開始先因狹管效應南偏，再因為右側被破壞，而繼續往南偏，出海後才偏北。
中部通過	1953 克蒂 	1959 瓊安 	1992 歐馬 	2008 鳳凰 	登陸前因狹管效應南偏，再因背風低壓北偏，過山後右側被破壞再往南偏。
南部通過	1956 吉達 	1982 安迪 	1982 黛特 		南部通過的颱風路應較不規則，有些登陸前左側被破壞而北偏，或過山時因背風側低壓吸引而往北偏，出海後南偏。

分裂過山代表颱風			說明
1955 艾瑞絲 	1959 路易絲 	1965 哈莉 	因為颱風左側被破壞較嚴重颱風右側則較強而偏北，被風側副低壓取代原低壓，北偏出海。

我們找了與實驗八(一)、(二)類似的實際颱風路徑資料比對，發現模擬結果與實際情形類似。自由過山北部通過一開始會南偏的原因，可能受到狹管效應影響，接著過山後漩渦右側被破壞繼續南偏，然後北偏出海。中部及南部一開始會北偏可能是左側受到山脈破壞而北偏，過山後因為右側破壞而南偏。分裂過山一開始會嚴重北偏的原因可能是颱風左半側受到山脈破壞較嚴重而導致北偏，之後在背風側的副低壓取代然後出海。

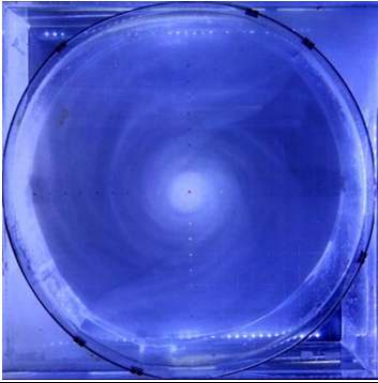
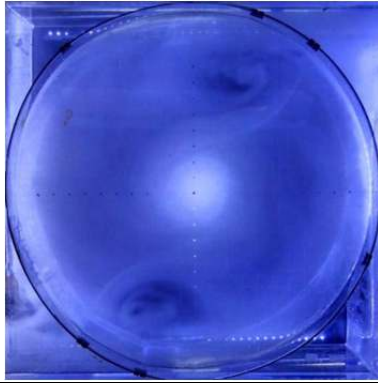
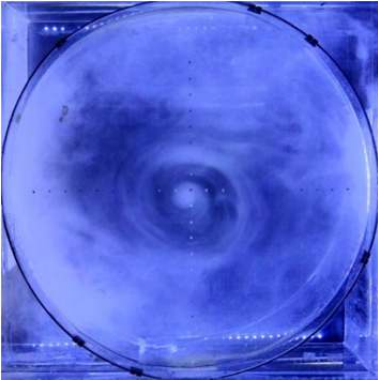
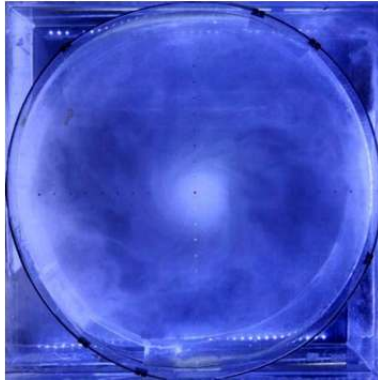
八、藤原效應的模擬

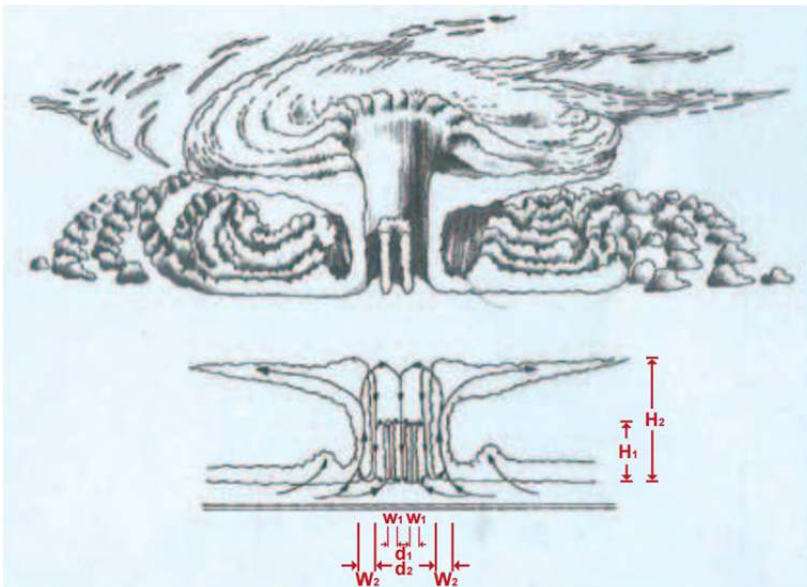


實驗結果顯示，右側的漩渦向北偏移，左側的向南偏移。兩漩渦位置有些微的互旋，右側漩渦向北偏移，左側漩渦向南偏移。與實際雙颱風藤原效應結果符合。

圖二十九、藤原效應模擬照片

九、改變通氣量，模擬颱風雙眼牆現象（表二十）

	1. 把電壓調整至風速最快的 24V，把抽風口蓋上，使氣流速度略微減慢。	2. 打開抽風口蓋子，使氣流瞬間變快。捲入一些乾空氣
圖例		
	3. 由於內外側短暫風速不同，導致眼牆切離。	4. 切離後，迅速復原，漩渦復合。
圖例		



圖三十、雙眼颱風構造示意圖

（圖自陳正改，2015）

目前為止，氣象科學界對熱帶氣旋產生「雙眼牆」的機制，仍不甚瞭解，但一般而言須具備幾個條件：

- (1) 颱風夠強（中度以上）
- (2) 颱風中心旋轉的速度要比外圍快六倍以上
- (3) 外圍對流區的範圍要比內圍大一倍以上。（陳政改，2015）

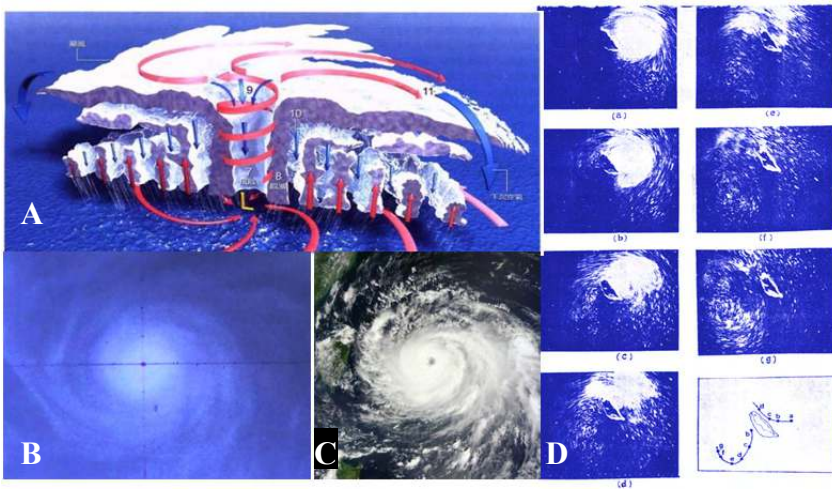
本實驗的作法是，一開始先將電壓調至 24V，蓋住抽風口，再突然將抽風口開啟，由於吸進了一些乾空氣，且內外速度不同，因此會看到內眼牆與外眼牆分離，類似雙眼牆的構造。

## 陸、討論

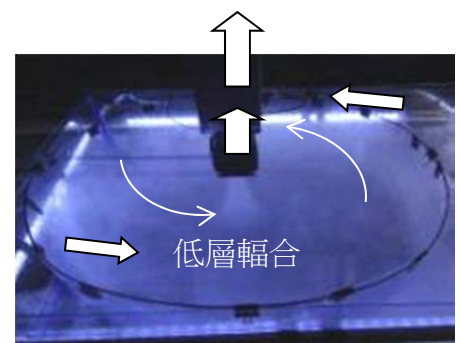
颱風是一強烈的熱帶性低氣壓，也叫颶風或強烈熱帶氣旋。在熱帶洋面上，高溫海水受熱大量蒸發，水氣向上抬升，引發對流。周圍空氣在水平方向上會趨向對流上升處集中，在北半球受科氏力影響後以逆時針方式旋入，此為低層大氣的輻合現象。如此反覆循環，最終形成熱帶性低氣壓。若原來的對流作用持續不斷且穩定增強，凝結時釋放的潛熱又再提供能量給整個低壓系統，當風速達 17.2 m/s 時，就被定義為颱風。

第 53 屆科展作品「風迴路轉－以氣流與水流模擬颱風過山的路徑變化」中提到，螺旋型的氣流場非常難模擬，所以他們選擇水流場做為模型。然而，以水流模擬大氣環境的真實性有待商榷，也無法模擬出實際颱風低壓的上升氣流。為了更貼近颱風的物理機制，並模擬與颱風相關的科學現象，我們**決定設計氣流場模型來模擬颱風**。

本研究選擇水霧為氣流場中的煙霧。考慮原因有三點：(一)水分子為颱風主要組成。(二)造霧器利用超音波原理霧化水分子，不會汙染大自然，也可重複使用。(三)水霧分子是一種天然氣溶膠，同時具有氣體與流體性質，黏滯力也不錯。



圖三十一、A 颱風垂直構造圖（圖自科學人雜誌 2004 年 11 月號）B 我們用氣流場模擬颱風 C 凡那比颱風（圖自 NASA 網站）D 水工實驗所模擬的颱風（圖自颱風預報輔助系統）。



圖三十二、本研究的氣流場水槽  
低層輻合與高層輻散示意圖

關於氣流場模型的發展，我們經歷了幾個階段：

階段一：設計可行的氣流場裝置。初期，我們使用強力馬達製造颱風。在馬達上方裝設水槽濾網，利用馬達旋轉使氣流被吸起，但上層的離心力干擾煙霧，無法順利模擬。中期，我們拿電腦的散熱風扇作為抽風工具。風扇可將水霧吸起，但不一定會出現螺旋狀雲帶，且旋入方向也不固定。考量北

半球的颱風受科氏力影響必為逆時針，我們須克服螺旋方向不固定的問題。多次測試後發現，只要外圍給予逆時針的起始氣流，抽風後所產生的螺旋雲帶必是逆時針。所以，我們在氣流場外設置引流板，使雲霧逆時針流入，配合抽風設備，成功使漩渦逆時針旋轉（如圖三十二）

階段二：設計合適的實驗觀測方法。我們對氣流場裝置進行改良。把大水盆改成透明壓克力水槽，水槽外加裝 LED 燈條，必要時以手電筒從外照光，解決亮度不夠的問題。再將兩張桌子倒置，用桌子下的橫槓支撐水槽，躺在水槽下拍攝和記錄（如圖三十三）。後來為改善實驗的安全性，我們改以平面鏡置於水槽下反射水底景象以便觀察。



圖三十三、先前的拍照方式(躺地上)

階段三：改善實驗精準度。我們增加了幾項設計。我們於水槽上方增加黑色或透明上蓋，避免被氣流場模型外的空氣干擾實驗；在壓克力底板上設置座標格點，每次實驗前必先校正，使漩渦中心落在座標原點，實驗時亦用座標記錄結果。必要時會從水槽垂直上方、側面等不同方向拍攝實驗結果，以掌握漩渦的立體結構。並將四周 LED 燈條顏色改為藍白光，再以手電筒照射漩渦中央，增加照片清晰度，以便觀察風眼的細節及雲霧流動的情形。

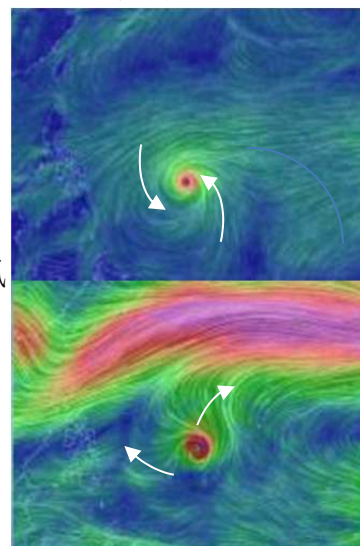
階段四：發展氣流場模型的應用。我們設計了一系列實驗模擬真實颱風的科學現象。比如，我們以 8cm~14cm 的擋板模擬不同高度的山脈；調整直流電源供應器的電壓大小，模擬不同強度的颱風；將擋板設置於不同的方向和位置，觀察漩渦的風場結構和路徑變化。為了增加模擬颱風的真實性，我們還製作了臺灣模型，模擬颱風通過臺灣會發生的現象。

透過實驗，我們發現影響氣流場中漩渦動向的因素很多。大氣環境更是瞬息萬變，即便現今氣象科技發達的年代，仍無法百分之百掌握颱風路徑。本研究探討了影響颱風路徑的幾項原因，在底下列點分段說明。

### 一、颱風輻合和輻散

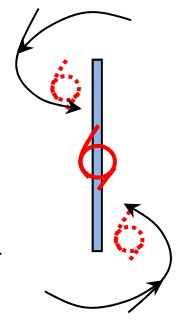
颱風強度與低層輻合和高層輻散的有關，輻合和輻散的效果越好，颱風會越強（如圖三十四）。而我們用了抽風設備模擬颱風高層輻散的作用，帶動下方輻合作用，當我們將抽氣風扇電壓升高至 12V 時，風眼就會出現，類似於實際狀況裡颱風眼較易出現在強度在中度以上的颱風。

圖三十四、梅莎颱風的低層輻合與高層輻散風場（網路照片）



## 二、障礙物背風側生成的副低壓

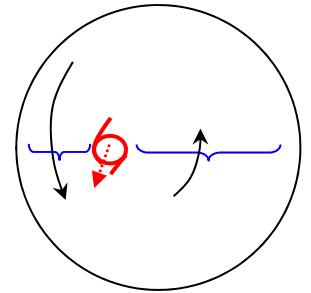
我們使用了擋板模擬障礙物，觀察背風側形成的副低壓。實驗顯示，當漩渦從擋板右側靠近時，擋板左上方和右下方出現角隅流，且在擋板的背風側形成一個逆時針漩渦，(如圖三十五所示)。有時由右向左行進中的漩渦被擋板卡住無法過山，這時副低壓的強度可能會慢慢變得比原低壓強，並取代低壓中心。這種現象與實際颱風通過臺灣時的分裂過山十分類似。



圖三十五、障礙物背風側生成的副低壓

## 三、狹管效應對颱風中心的影響

颱風接近臺灣地形時會先往南偏，登陸前再往北偏，此南偏行為可能是當颱風接近地形時，地形與颱風間空間尺度縮小，透過狹管效應造成颱風西側往南風速增強，導致颱風向南偏折。這種例子還算常見，特別是北部及中部登陸的颱風（郭鴻基，2009）。

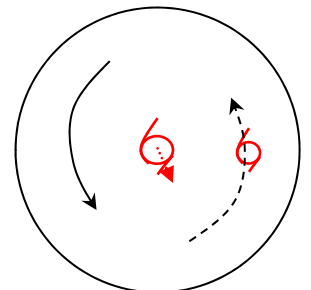


圖三十六、狹管效應對颱風路徑影響示意圖

我們使用了氣流場裝置來模擬狹管效應。我們讓漩渦中心不要位在氣流場水槽正中央，而是位在中央偏左處，發現當左邊水槽空間較窄時，產生狹管效應，導致中心被左側較強的北風帶動往南偏移（如圖三十六）。許多西行颱風很靠近臺灣時颱風登陸前略為偏南，可能是這種現象導致的。例如：1971 貝絲、1990 楊希、1996 賀伯、2013 蘇力等。

## 四、副低壓對原中心路徑的影響

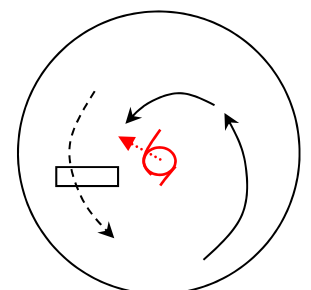
我們先將第一抽風設備擺在中心位置，並在右側擺第二抽風設備模擬副低壓，並移動第二抽風設備的位置。實驗結果顯示，原低壓被副低壓影響時，原低壓的位置會往東南方偏，可能是因為漩渦左側北風較強，且漩渦右側有些氣流被第二個風扇吸走，使得漩渦不平衡導致偏移（如圖三十七）。



圖三十七、副低壓對原中心路徑的影響

## 五、颱風兩側風力不對稱對中心路徑的影響

我們在漩渦左側不同位置放置擋板破壞漩渦，發現左側漩渦被破壞、受到角隅流的影響，時會帶動漩渦中心往上偏，且擋板越接近中心，偏移越明顯，可能也是受到背風側渦流影響而往左上偏（如圖三十八）。



圖三十八、颱風兩側風力不對稱對中心路徑的影響

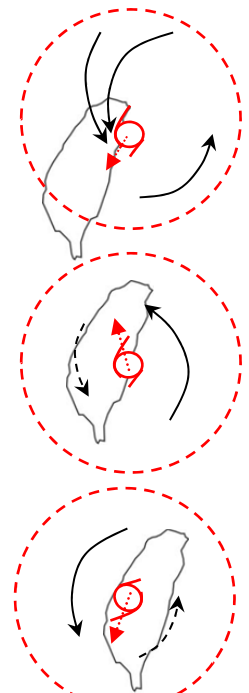
## 六、颱風遇到臺灣地形，因小尺度影響造成路徑偏移

依實驗結果，我們發現漩渦從北部及中部登陸時，中心會先偏南，

可能是因為狹管效應造成（如圖三十九上圖）。此外，臺灣山脈為南北走向，當颱風更靠近時，颱風左側的結構被山脈破壞，導致左半邊颱風威力較弱，右半邊颱風威力較強，右半邊南風大過左側北風，加上背風側角隅流產生的副低壓，因此將整個颱風往北帶（如圖三十九中圖）。過山後，颱風左側又強過被破壞的右側，因此南落（如圖三十九下圖）。

另外，我們模擬大角度進入臺灣的颱風，登陸前因狹管效應南偏，後來在背風側產生偏北或偏南的副低壓取代右側中心。南端比較特別，在登陸前西北側受到破壞而往東北偏，過山後再因背風低壓影響略偏北。

我們在颱風預報輔助系統上查到關於自由過山（颱風直接通過臺灣）和分裂過山（低層中心無法過山，背風副低壓取代前進）的資料（如圖四十）。整理發現，自由過山條件是颱風與臺灣山脈夾角  $\beta=70\sim110$  度（小角度）通常颱風可以直接過山，分裂過山是颱風與臺灣山脈夾角  $\beta=110\sim170$  度（大角度），颱風受到地形破壞相對嚴重，使得東部原颱風低層中心無法過山，由西部產生副低壓，取代原低壓繼續前進。我們有找到與我們實驗結果相似的分裂過山颱風路徑圖像 1955 艾瑞絲、1959 路易絲、1965 哈莉，都是西行，過山後偏北的分裂過山颱風。



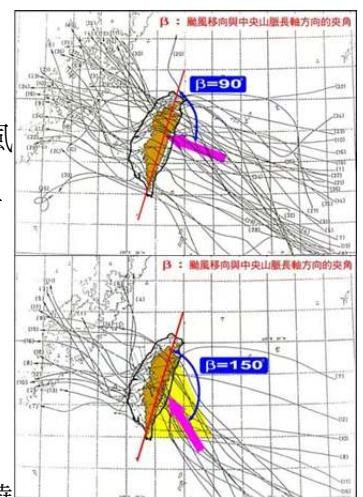
圖三十九、颱風遇到臺灣地形，小尺度影響造成路徑偏移

## 七、藤原效應

我們在藤原效應的模擬實驗中觀察到，兩漩渦確實出現逆時針互繞情形，我們做了幾點推測：（一）兩漩渦視為同一系統，在逆時針氣流中，繞系統質心逆時針旋轉。此為藤原效應的主要解釋。（二）因距離邊緣過近引發狹管效應，相互干擾。（三）漩渦邊緣互相破壞，導致兩漩渦未被破壞的一側帶動漩渦移動。在本實驗中，尚無法獨立分析每項推測的影響比重，故本實驗中漩渦偏移現象仍是待解之謎。

## 八、雙眼牆

在模擬雙眼颱風的實驗中，我們首先將抽風設備轉到 24V，接著將抽風口蓋上，讓氣流場內的風速變慢，維持一段時間，讓氣流場中雲層均勻流動。再將抽風口突然開啟，使漩渦中心附近的風速瞬間變快，目的是要模擬真實颱風中心轉速爆發性增強。此時漩渦內外風速不



圖四十、自由過山與分裂過山（圖自颱風預報輔助系統）

同，而出現內外眼牆分離的構造，類似真實颱風的雙眼牆。

我們的作品最大的創舉在於以氣流場模擬路徑多變的颱風，取代傳統的水工實驗，當第一次看到雲霧轉成颱風的樣子時，真的很有成就感，在參考許多研究報告後，陸續改良才使我們順利完成這件作品，希望我們的作品可以提供颱風研究新的啟發，也期望能對臺灣的颱風災害探究與防治有小小的貢獻。

## 柒、結論

- 一、本實驗利用霧化水分子氣流場模型模擬颱風，取代傳統水工實驗，以解決水流場模型無法模擬颱風低層輻合、高層輻散的作用，更貼近颱風的實驗結構。
- 二、實驗設計上，我們以抽風設備模擬低氣壓上升氣流及高層輻散，以引流板創造逆時針的起始氣流來模擬北半球受科氏力的影響。在壓克力水槽下方架設平面鏡，從四面八方打光，方便觀察平面雲圖，也能換成透明蓋子，方便由垂直上方觀察雲層。
- 三、本研究發現抽風設備吸力越強（高層輻散越強），雲層越集中（低層輻合明顯）。風速增強到達一定的程度時，風眼出現。此現象與颱風發展類似（中度以上的強度才有颱風眼）。
- 四、我們在漩渦西側（-3,0）的地方放置 180 度（東西向）不同高度的擋板，或移動擋板的位置，破壞漩渦西側，模擬漩渦不對稱的影響。結果顯示，當擋板高度越高，漩渦左（西）側被破壞程度大，漩渦也就會越往西北偏。當擋板越接近漩渦中心時，漩渦受到的破壞越大，漩渦會越往西北偏。
- 五、我們將漩渦往氣流場左（西）側移動，使左側空間變窄模擬狹管效應。結果發現左側北風增強，漩渦中心往南帶。空間越窄、北風愈強時偏移狀況愈明顯，符合狹管效應原理。
- 六、氣流場中若增加一個 7.5V 的副低壓，當兩低壓距離較遠時，原漩渦會往東南方偏移，當距離較近時，漩渦會向東偏移。說明副低壓的確會吸引原低壓，影響原低壓路徑。
- 七、在氣流場中放置擋板時，常會在擋板背風側產生副低壓。擋板越高，副低壓越明顯。若移動中的漩渦無法跨越過擋板，背風側副低壓可能取代過山。
- 八、我們在漩渦中放置臺灣地形擋板，模擬颱風登陸到出海後的情形，北部登陸時，漩渦常可能因為狹管效應而南偏，中部登陸時，先因狹管效應南落再北偏；過山後，漩渦受副低壓中心影響先北偏再逐漸南落，最後再回到原路線。此結果類似許多實際案例。



- 九、我們模擬颱風大角度進入臺灣的情形，發現漩渦被破壞得比較嚴重，不太規律地偏北移動，可能是因為左（西）側漩渦被破壞。而過山後仍偏北，可能是受到背風側低壓影響。
- 十、我們將兩個 10V 抽風設備置於氣流場內，拉長內管製造獨立漩渦來模擬藤原效應。發現兩漩渦有繞系統質心逆時針偏移的現象，類似於真實雙颱風發生藤原效應的機制。
- 十一、我們先關閉、再開啟 24V 的抽風設備開口，瞬間提高抽風速率，模擬颱風的雙眼牆。成功觀察到內外眼牆切離的構造，此物理機制類似於真實的雙眼牆颱風。

## 捌、參考資料及其他

1. 邱郁婷、蕭慧岑、陳宜吟、林秋彰（2005）猜不透我的心——探討影響颱風路徑的原因，及不同颱風路徑造成的災害。第 45 屆全國科展。生物及地球科學科。
2. 張登翔、蔡綸、施尚辰（2005）把玩颱風漩！旋！炫！—藤原效應探討。第 45 屆全國科展。生物及地球科學科。
3. 許舒惟、張嘉珮、賴瑀庭、陳瑛婷（2006）『心』情萬種！—論地形效應對颱風副中心的形成與影響。第 46 屆全國科展。地球科學科。
4. 郭鴻基（2009）颱風侵臺期間移行速度之研究與預報。氣象局委託研究計畫 98 期末報告。
5. 陳宥睿、廖姿翔、蘇昱銓（2010）當哈利遇上莎莉！-論地形效應對颱風結構與路徑的影響。第 50 屆全國科展。地球科學科。
6. 林婉霓、林怡辰、孫瑜鎂（2012 年）仿真電子貢香。第 52 屆全國科展。生活與應用科學科。
7. 謝仁祥、劉琨庭（2013）「風」迴路轉—以氣流與水流模擬颱風過山的路徑變化。第 53 屆全國科展。地球科學科。
8. 陳正改（2015）「雙眼牆」颱風的探討。中華防災學刊。7:1。p.5-24。
9. 科學人雜誌。第 33 期 11 月號。掌握颶風。
10. 臺灣颱風預報輔助系統 [http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon\\_eye/about\\_need.htm](http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon_eye/about_need.htm)
11. 颱風資料庫- 颱風列表 <http://rdc11.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon>
12. 颱風百問-中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/typhoon.pdf>
13. 凡那比颱風高解析可見光雲圖 <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/gallery/>
14. 全球風場動畫圖 <http://earth.nullschool.net/>

## 【評語】

優點：

1. 實驗裝置的設計相當有巧思，對於渦旋及其受障礙物影響之流場變化趨勢具有相當不錯的定性模擬。
2. 台灣地形障礙物的製作頗為細緻。
3. 實驗模擬結果和實際發生個例有相當多相似之處。例如：狹管效應和背風副低壓形成等都有不錯模擬結果。
4. 從水工模擬演變到利用霧化水氣來模擬空氣運動，具相當原創性。
5. 渦旋過山行成不對稱結構特徵在實驗中可以清楚呈現。
6. 該實驗結果充分參考現有文獻，並和過去類似之實驗進行比較，具高度科學研究精神。

缺點：

1. 實驗涉及「渦旋中心位置」之量測，應考慮如何更精準確認。

建議改進事項：

1. 說明書內數處關於流場流速之敘述可以更清楚。