

中華民國第 53 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

030511

「風」迴路轉

—以氣流與水流模擬颱風過山的路徑變化

學校名稱：臺中市立長億高級中學(附設國中)

作者： 國二 謝仁祥 國二 劉琨庭	指導老師： 蘇毓智
---------------------------------	------------------

關鍵詞：弱風尾流區、副低壓、狹管效應

得獎感言

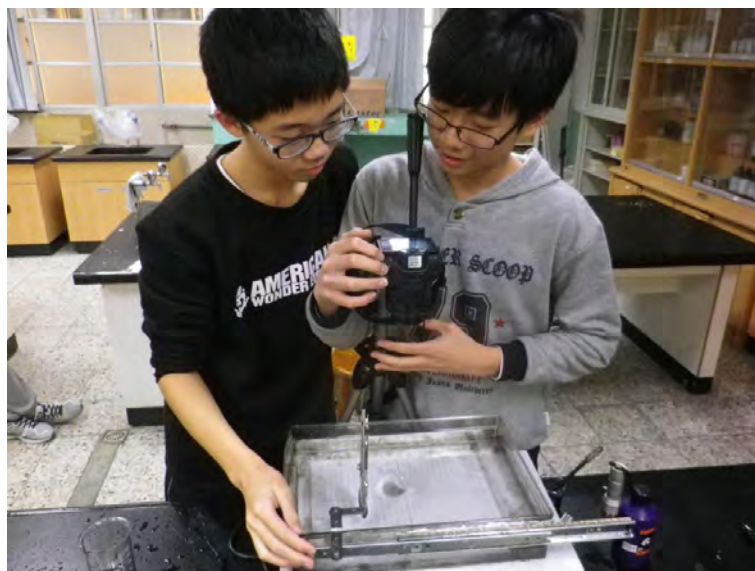
回首科展之路

這是一段漫長，卻充滿回憶的旅程……上台領獎時，心情是激動、難以言喻的。經歷過科展才曉得，榮耀的背後是無數的汗水及努力，再加上許多人的協助，才得以完成這份作品，獲得殊榮。

剛開始做實驗時，我們就遇到許多困難，實驗中的氣流在我們的螺旋型氣流場裡，無法如預期般有規律的流動，只好一試再試。實驗的過程是枯燥單調的，一再的失敗，令我們心灰意冷，真想放棄，幸好蘇毓智老師不厭其煩教導我們、鼓勵我們，才得以堅持下去。但實驗進度嚴重落後，我們只好加倍努力，利用每一個下課、週末、寒暑假，每天熬夜寫報告，這過程十分辛苦，但感謝老師，他雖然很嚴格，卻很有耐心的陪伴我們，能獲此殊榮，老師功不可沒！

通過台中初審時，我們信心大增，原來，老師沒有唬我們，我們真的做到了！但即使通過，老師還是一樣嚴厲指導，並邀請許多老師、主任，甚至是校長來聽我們報告，給我們許多建議。終於到了市賽，我們無法忘記當晚公告全國賽入圍名單，我們學校三組都進軍全國，那種喜悅，太震撼了。全國科展，我們有機會可以與各縣市的菁英交手，這是一場硬仗。老師要我們補充知識的不足，所以我們持續加強颱風的知識、補實驗、重打報告。全國賽的日子終於來臨，我們通過層層關卡，最後一天的頒獎典禮，宣布我們得到第一名時，我們高興到傻掉了，不敢相信，我們真的成功了！

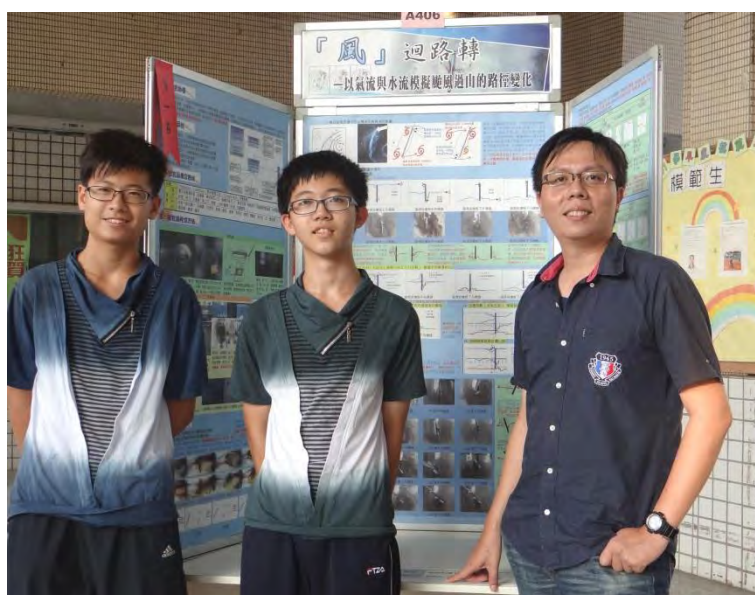
這一年來，毓智老師教導我們許多做人處事的道理和實驗態度，雖然有時會罵我們，但這都是為我們好，我們很感謝他，也覺得很幸運，能成為老師的學生。也要感謝校長及全校師生，在我們練習報告時，提供了我們寶貴的意見。參加科展，不只增長知識、訓練口才，電腦能力也提升許多，最重要的，還結交許多一輩子的好朋友。謝謝評審、謝謝大家。



整整一年，我們一起瘋狂的玩著煙、玩著水



全國展會場上對民眾解說，是我們最驕傲的一刻



謝謝長億的夥伴們，謝謝老師，謝謝大家！

摘要

本實驗以氣流場模擬：氣流撞到不同角度之障礙物、及擋板可移動之水流場模擬：颱風通過台灣的偏移情形，並與實際颱風路徑比對、找尋原因。

氣流場實驗發現，氣流與障礙物夾角 90 度時，會有最大的尾流區並產生渦流，夾角降至 20 度以下時則無渦流，顯示副低壓不易生成。水流場實驗發現，障礙物較深、漩渦移動速度慢、轉速小或範圍大者漩渦路徑偏移會越大；此外，漩渦進入障礙物的角度也影響漩渦路徑， <90 度時易直接通過，角度大不易通過，易被副低壓取代過山；大致而言，漩渦從北方通過時，常因漩渦被破壞及副低壓而南落，中央通過時因狹管效應而南落，再由背風側副低壓取代過山，下方通過時會因漩渦遭破壞而略為北抬；此結果與許多颱風實際路徑吻合。

壹、研究動機

「颱風」是台灣每年都會遭遇到的氣候災害，平均每年都有 3~4 個颱風造訪台灣，雖然總是造成我們生活上一些干擾，卻也成為我們生活中重要的一部分，對於這樣的氣候災害，我們希望再更深入的了解，努力發現颱風蘊含的知識價值。

我們知道，台灣有氣候資料以來，從沒有過兩個颱風走了相同的路徑，特別是當颱風靠近台灣時，小尺度的地形變化、氣流轉變、大氣環境改變都足以使颱風的路徑預報更加困難，台灣雖然不大，但高聳的山脈卻會使颱風的氣流轉彎、打轉甚至產生多個副低壓中心，這造成了颱風路徑呈現多樣的變化，為了瞭解颱風，我們下了一番功夫了解颱風（因為我們國二自然沒有學過颱風這個單元），閱讀許多颱風相關的科展報告後，設計製作了新的氣流場與動態水流場來模擬氣流與颱風路徑的變化。

請教老師與閱讀網路上的文獻後，我們認為颱風能自由過山可能與地形、颱風行進速度、強度和侵台時角度等的因素有關，因此，我們以氣流與水流來模擬颱風，以擋板模擬台灣山脈，希望能模擬颱風撞山時的路徑變化。

貳、研究目的

一、利用氣流場、水流場模型，了解各種障礙物造成的影響

（一）直線型氣流場受障礙物影響的情形

1. 圓形障礙物
2. 方形障礙物
3. 可旋轉的擋板造成的背風氣旋

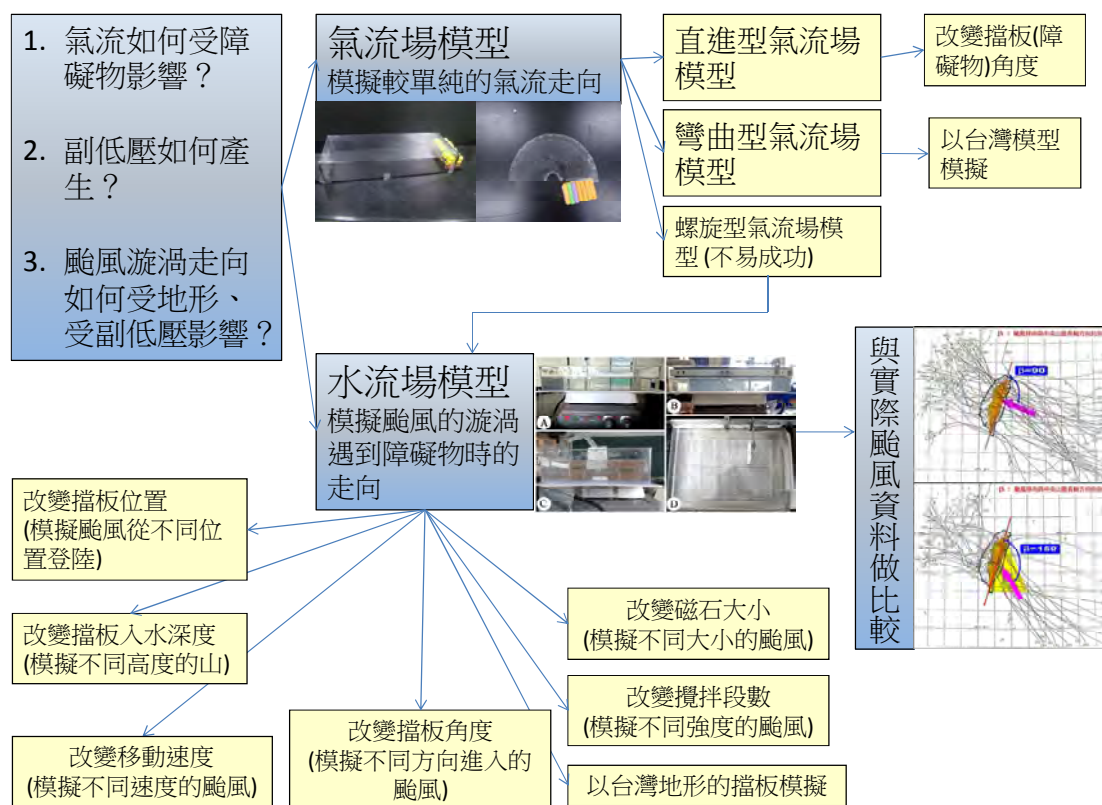
（二）彎曲型氣流場中的台灣地形對氣流的影響

（三）漩渦形水流場受障礙物影響的情形

1. 段數、磁石大小與中心水位下降的關係
 - （1）下降深度
 - （2）漏斗形水流範圍
2. 以擋板模擬漩渦遇到障礙物的情形
 - （1）觀察擋板後方的漩渦（副低壓）

- (2) 移動擋板觀察副低壓（或取代原中心的過程）
 - a. 改變擋板入水深度（模擬不同高度的障礙物）
 - b. 改變擋板移動速度
 - c. 改變段數
 - d. 改變磁石
 - e. 改變擋板角度
 - f. 模擬台灣地形的障礙物

(四) 與實際氣候資料做比較



圖一、研究架構圖

參、研究設備及器材

一、軟體部分：photoshop、CorelDraw（學校購買正版）、Google Earth（免費軟體）

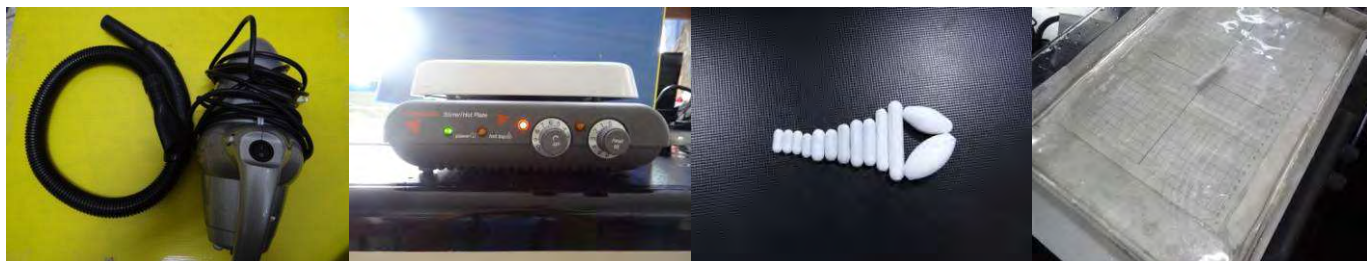
二、硬體部分：

器材		耗材	
電子加熱攪拌器	針筒	吳竹墨汁	長尾夾
吸塵器	剪刀	秤紙	膠帶
棒狀磁石×11	釘書機	宣紙	標籤紙
橄欖狀磁石×2	美工刀	泡綿膠	珍珠板
數位相機	滴管	塑膠瓦楞板	尺
相機角架	10ml 量筒	角鐵	雙面膠
收納櫃塑膠抽屜	保麗龍膠	螺絲	護貝膜
抽屜軌道		螺帽	線香
		鐵片	紅磷

表一、本實驗使用的各種器材

本實驗使用的各種器材型號：

- ◎ 電子加熱攪拌器(CORNING MODEL PC-620)
- ◎ 磁石規格棒狀：1.5、2、2.5、3、4、5 公分 橄欖形 3、4 公分
- ◎ 吸塵器(金鳳梨手提式吸塵器 110V 60HZ 功率 600W)
- ◎ 數位相機(SONY DSC-HX100V)



圖二、本實驗所用的各種實驗器材：左起為吸塵器、電子加熱攪拌器、磁石（攪拌子）、收納櫃抽屜

肆、研究過程或方法

一、氣流場模型

（一）製作直進行氣流場

1. 把塑膠瓦楞板裁成長 36.7 cm，寬 11 cm 的長方形
2. 把 A4 大小的厚投影片折成 U 字形，高為 5 公分，圍住塑膠瓦楞板
3. 4 cm 長的吸管排好並用雙面膠固定在一側，作為風洞穩定煙的氣流
4. 開口側裝上吸塵器

（二）製作彎曲型氣流場

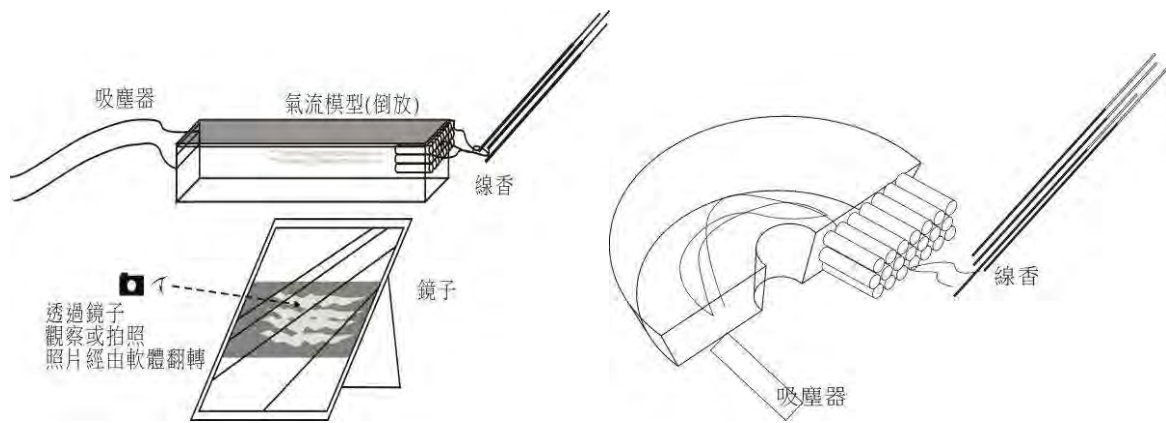
1. 把塑膠瓦楞板裁成直徑 22cm 的圓形，在正中央裁一個 4cm 的半圓
2. 把 A4 大小的厚投影片剪寬 5cm 的長方形，並用保麗龍膠黏在周圍，剪一塊長 22cm 寬 7.3cm 的塑膠瓦楞板，黏在底部
3. 剪長 5cm 寬 5cm 的投影片黏在小洞的周圍，4.5 cm 寬的吸管排好並用雙面膠固定在一側，作為風洞穩定煙的氣流

（三）氣流場裝置設置

1. 將氣流場模型倒置（因為煙會往上飄，倒置後可使煙平貼底板）
2. 在氣流場模型下放置平面鏡，調整角度並拍照；並將照片水平翻轉
3. 開口側裝上吸塵器，在暗室中實驗，於煙霧處打光



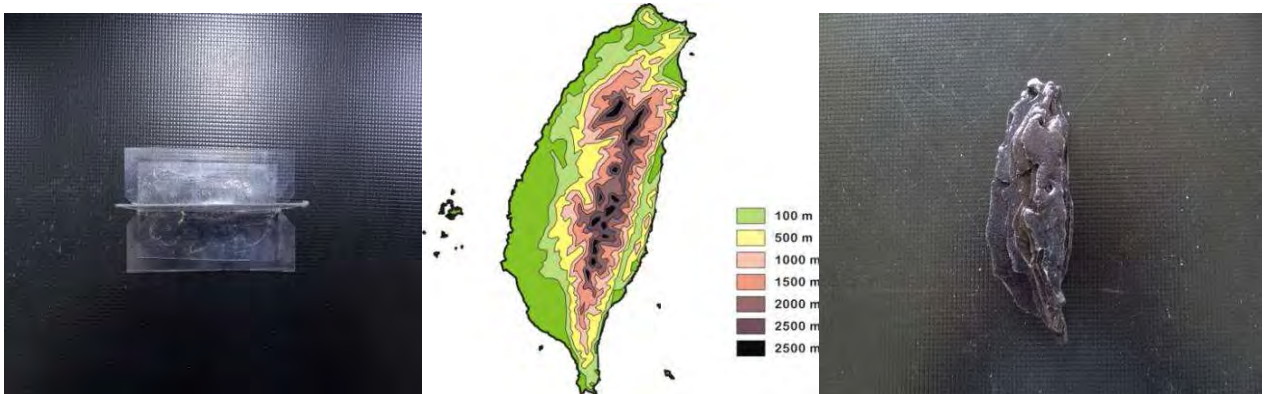
圖三、直進型氣流場模型（左）、氣流場裝置(中)、彎曲型氣流場模型（右）



圖四、實驗裝置說明：左為直進型氣流場裝置圖、右為彎曲型氣流場

(四) 氣流場模型障礙物製作

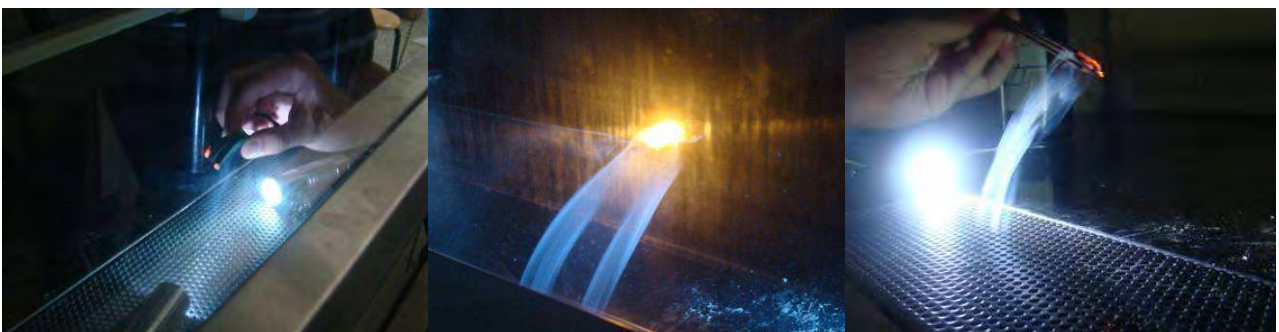
1. 擋板：以投影片製作長 7.5 cm、高 5 cm，底板長 9 cm、寬 5.3 cm 的擋板
2. 台灣：從網路上列印台灣的等高線地圖（要分層設色圖），從最大面積到最小面積依序剪下在黏在保麗龍板上剪下，再依分層設色圖疊起來，再將組裝好的台灣塗黑，以便觀察煙的流動情形



圖五、氣流場模型障礙物：左起為擋板、中圖為台灣等高線地圖、右圖為台灣形狀障礙物

(五) 氣流場煙霧選擇

1. 蚊香：煙不多，且味道很噏鼻，因此捨棄
2. 紅磷：優點：煙非常多；缺點：燒得很快，且會造成氣流場模型污損，因此捨棄
3. 線香 8 支：優點：燃燒時間長；缺點：煙不多

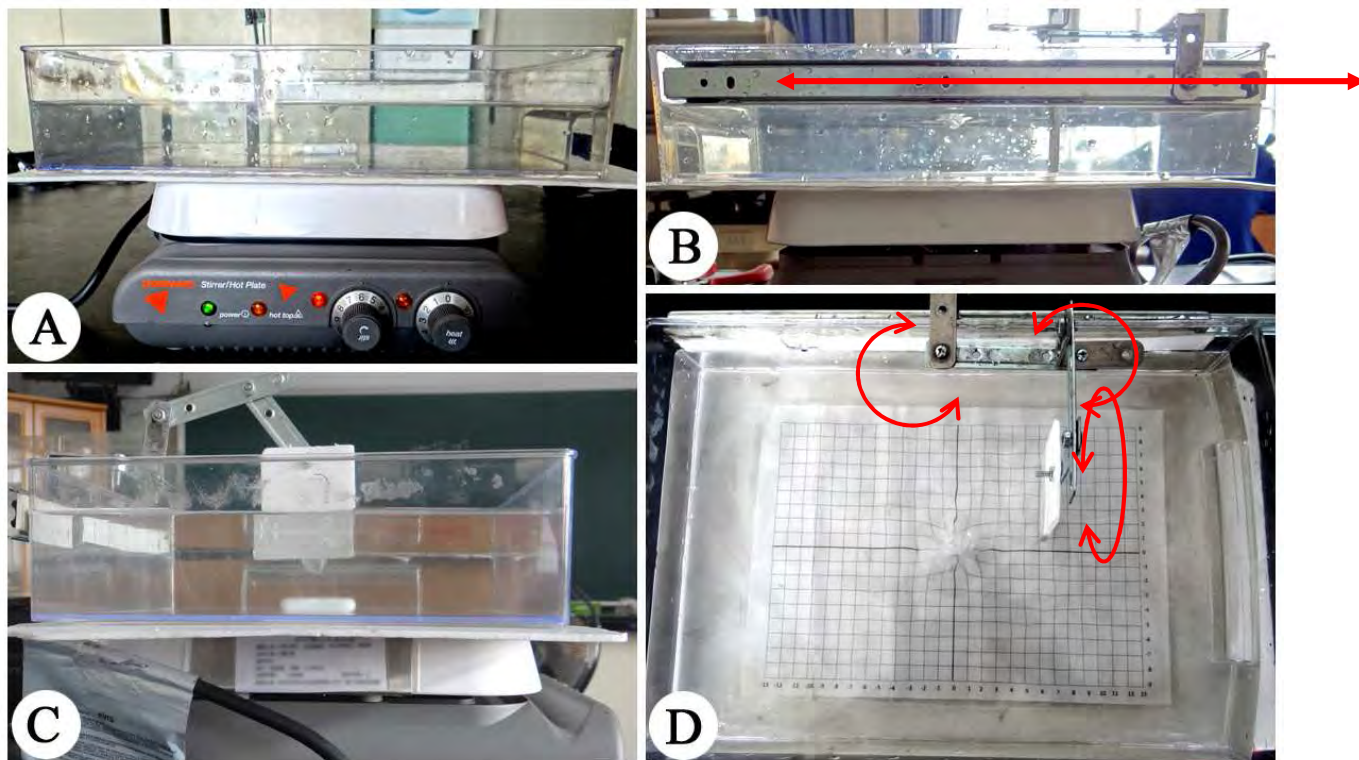


圖六、各種煙霧的效果：左起為蚊香、紅磷、8 支線香燃燒的煙霧

二、水流場模型

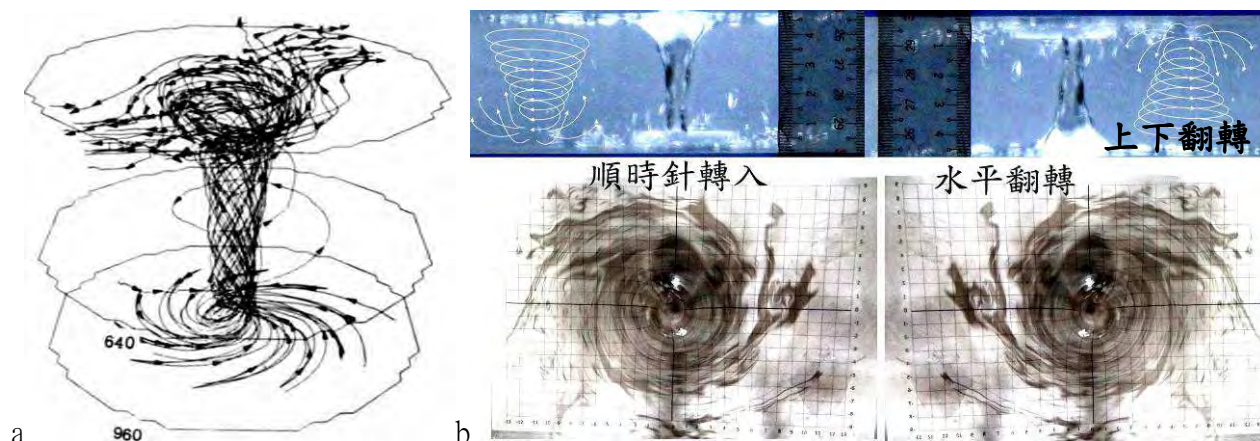
(一) 製作水流場模型

1. 使用透明塑膠收納櫃做為水槽，架在電子加熱攪拌器上。
2. 在水槽下方貼上座標方格，用以記錄漩渦位置的改變
3. 選用 1.5、2、2.5、3、4、5 公分棒狀磁石和 3.5 及 4.5 公分橄欖形磁石。
4. 軌道製作：將抽屜軌道黏在水盆上，加上角鐵、鐵片，以螺絲和螺帽做成多個可動關節。鎖上障礙物後再滑動，用以模擬漩渦遇到障礙物的情形。



圖七、水流場模型設計及軌道裝置：A 正面、B 背面、C 側面、D 俯視圖

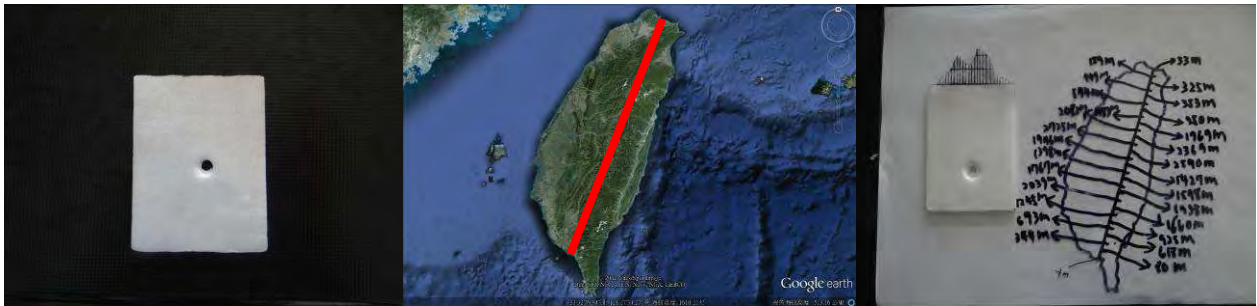
- (二) 浮水印：在坐標軸 (0, 4) 處滴下 3 c.c. 墨汁，因為磁石是順時針旋轉，且水往下旋入，而颱風是逆時針旋轉，氣流上升的低氣壓，並在高空輻散，因此可將本實驗模型視為顛倒的颱風，拍得的照片也要左右翻轉 180 度。



圖八、a. 颱風立體構造 (戚啟勳, 1976) 與 b. 本實驗水流模型：左為實際操作圖，右為左右翻轉圖 (模擬颱風逆時針旋轉)

(三) 水流場模型障礙物製作

1. 擋板：將珍珠板割成高 8cm、寬 6cm，將中間用螺絲拴緊
2. 台灣山脈擋板：從 google 地球裡找到台灣，用量角器找出夾角 20 度，找裡面山脈最高的一條線，以寫出山脈的高度變化，再以 1000 公尺換算成 1cm 做成擋板。



圖九、水流場障礙物：左起為平板形障礙物、google earth 截圖、台灣地形障礙物

(四) 漩渦中心位置換算

1. 因為電子加熱攪拌器產生的漩渦無法移動，因此我們改成移動擋板（障礙物）
2. 將擋板中心視為座標原點 (0, 0)
漩渦相對位置 = (0 - 擋板 X 座標, 漩渦 Y 座標不變)
3. 因為我們的電子加熱攪拌器製作順時針旋轉的水流，所以所有數據都左右翻轉 ((-1) × (0 - 擋板 X 座標), 漩渦 Y 座標不變)

三、實際颱風資料分析

(一) 印下中央氣象局颱風資料庫中的歷年颱風警報單（特別針對 1~5 號路徑分析）

(二) 將颱風路徑加以分類

1. 路徑

(1) 自由過山 (2) 分裂過山

2. 偏移方向分類：從大部分暴風圈接觸陸地後開始，觀察颱風中心偏移情形

(1) 山前南落 (2) 山後南落 (3) 特殊

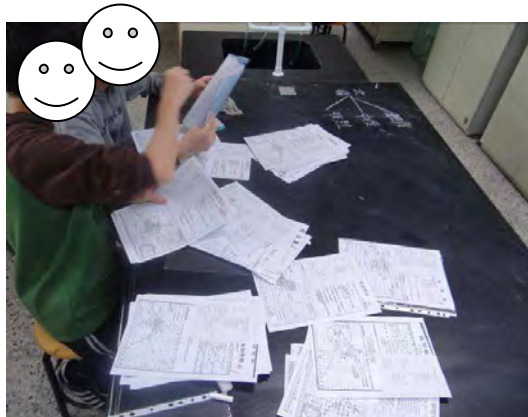
3. 速度：記錄颱風偏移前的速度

4. 強度：記錄颱風偏移前的強度

(1) 輕度 (2) 中度 (3) 強烈

5. 暴風半徑：記錄颱風偏移前最大七級風暴風圈

(三) 呈現路徑偏移的可能原因。



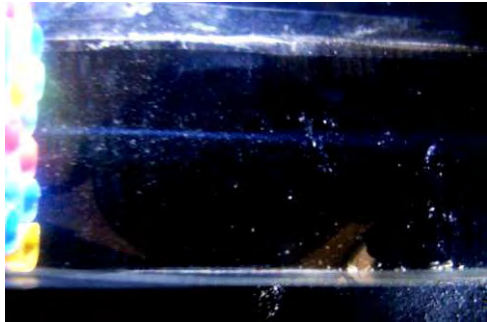
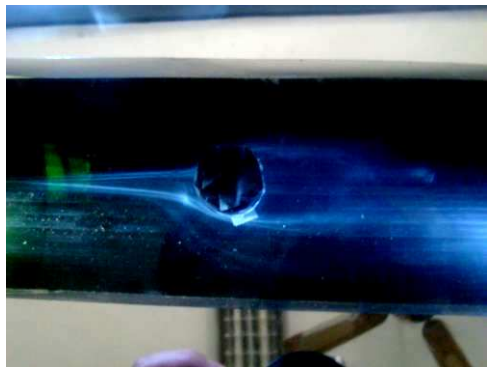
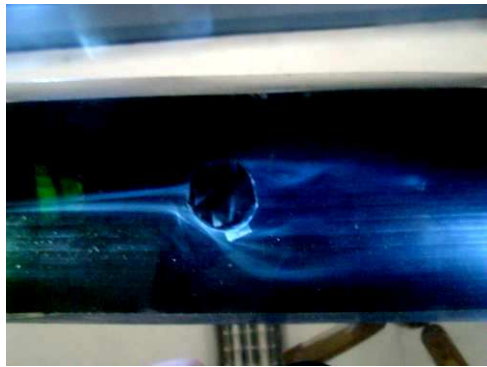
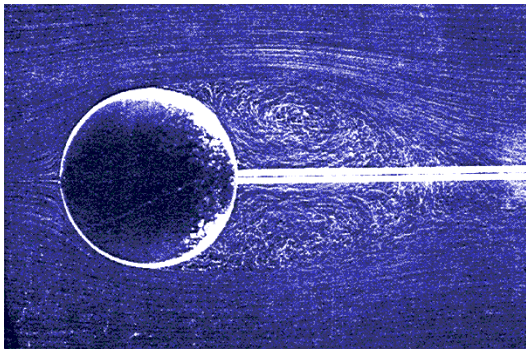

圖十、颱風路徑分析情形

伍、研究結果

一、利用氣流場、水流場模型，了解各種障礙物對氣流造成的影響

(一) 直線形氣流場受障礙物影響的情形

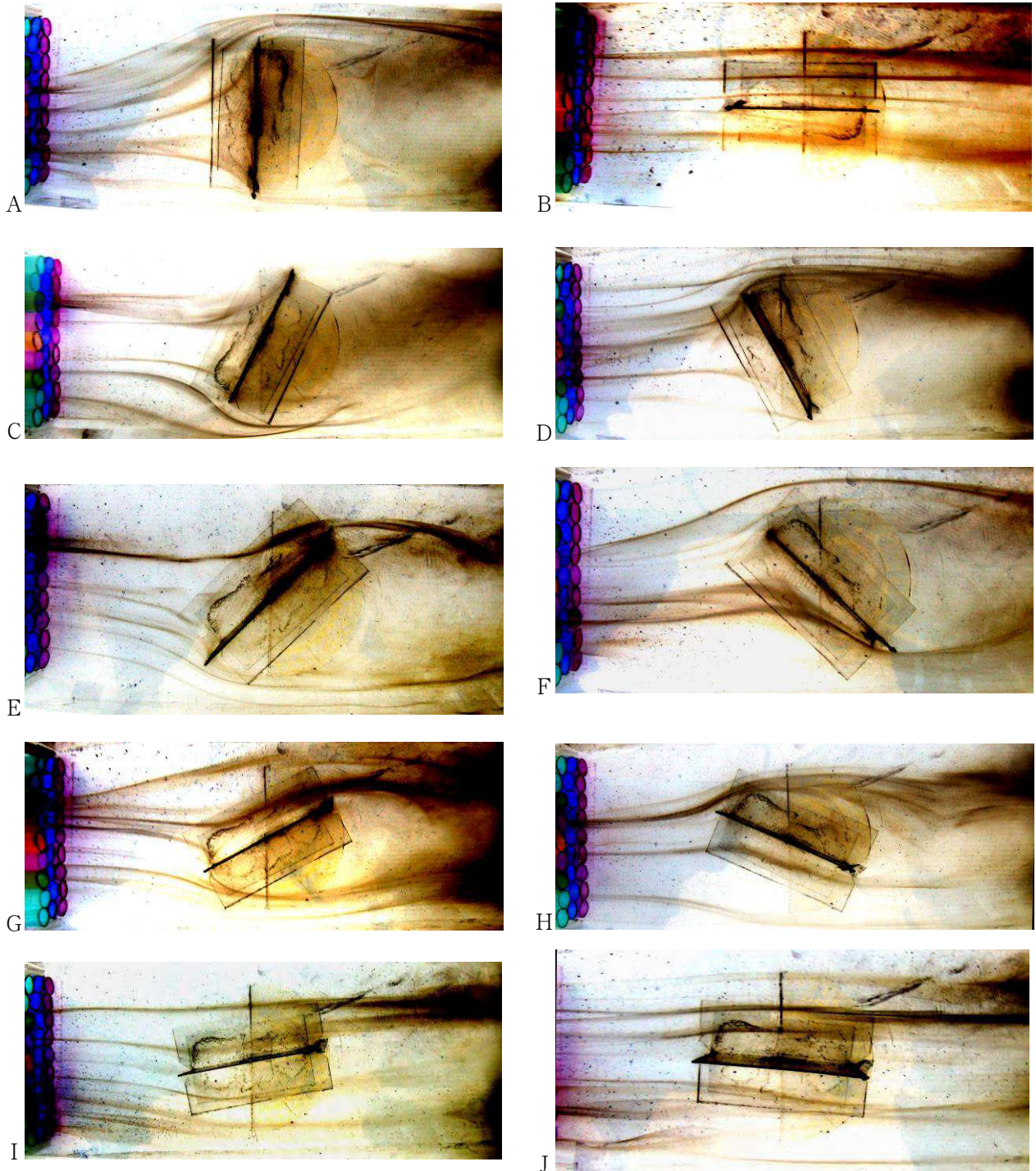
1. 圓形障礙物
2. 方形障礙物

障礙物類型	實際操作照片	說明
未加障礙物		調整線香及吸塵器位置，使煙霧濃密的從吸管直線流出。
圓形障礙物	 	<p>煙撞到圓形障礙物後會往兩側分開，並在障礙物後形成一個風力較小的區域（尾流區），且不時形成小型漩渦。</p>  <p>（圖自中央氣象局對尾流的說明）</p>
方形障礙物		煙撞到方形障礙物後，呈現比較大角度的轉彎，障礙物的尾流區較大。我們認為障礙物的角度可能影響渦流的產生。

表二、直線型氣流場受障礙物影響的情形

3. 可旋轉的擋板：

我們將塑膠投影片做成的擋板調整成各種不同的角度進行拍照觀測（圖；照片負片化方便觀察），發現擋板與風向夾角 $0\sim 10^\circ$ 時阻力小，氣流不太會改變；擋板與氣流夾角是 30° 時，風速較慢的一側氣流容易折回產生渦流；擋板與氣流夾角是 50° 時，在背風側產生明顯渦流；夾角 70° 時，背風側偶爾有渦流產生；擋板與氣流垂直時，氣流從兩側加速移動，尾流區最大，障礙物兩側都會產生渦流。



圖十一、擋板與氣流夾角產生的氣流變化情形：A 氣流與擋板夾角 90° 、B 夾角 180° （平行）、CD 夾角 70° 、EF 夾角 50° 、GH 夾角 30° 、IJ 夾角 10° （B~J 左為擋板順時針轉，右為擋板逆時針轉）

4. 背風氣旋出現位置

1. 風向與障礙物夾角 80 度

氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	12	4	11	-4
6~10 秒	12	2	10	-2
11~15 秒	13	3	12	-4
16~20 秒	13	3	12	-2
21~25 秒	14	1	9	-4
26~30 秒	10	3	12	-3
平均	12.33	2.67	11.00	-3.17

表三、風向與障礙物夾角 80 度（投影片調製 10 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置

2. 風向與障礙物夾角 70 度

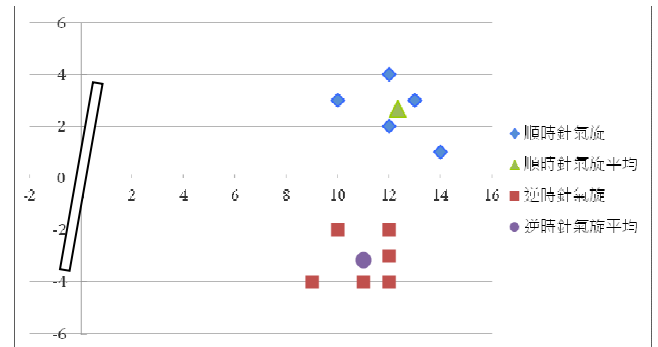
氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	11	3	11	-2
6~10 秒	12	2	12	-4
11~15 秒	9	2	10	-2
16~20 秒	11	3	11	-4
21~25 秒	11	2	10	-3
26~30 秒	12	3	11	-2
平均	11.00	2.50	10.83	-2.83

表四、風向與障礙物夾角 70 度（投影片調製 20 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置

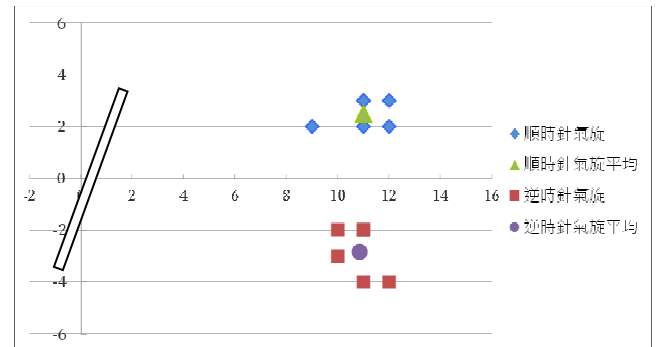
3. 風向與障礙物夾角 60 度

氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	11	2	9	-2
6~10 秒	11	2	9	-4
11~15 秒	13	1	11	-2
16~20 秒	11	1	11	-2
21~25 秒	10	2	9	-4
26~30 秒	12	3	11	-2
平均	11.33	1.83	10.00	-2.67

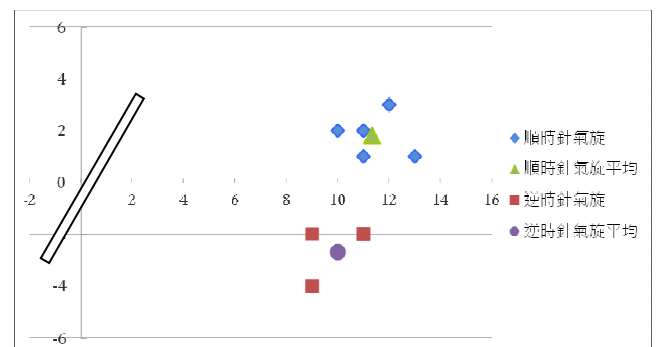
表五、風向與障礙物夾角 60 度（投影片調製 30 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置



圖十二、風向與障礙物夾角 80 度（投影片調製 10 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置



圖十三、風向與障礙物夾角 70 度（投影片調製 20 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置



圖十四、風向與障礙物夾角 60 度（投影片調製 30 度）
時,煙在背風側產生的氣旋所在位置

4. 風向與障礙物夾角 50 度

氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	12	3	8	-3
6~10 秒	13	2	12	-2
11~15 秒	10	4	7	-4
16~20 秒	9	3	9	-3
21~25 秒	11	3	9	-3
26~30 秒	8	2	6	-3
平均	10.50	2.83	8.50	-3.00

表六、風向與障礙物夾角 50 度（投影片調製 40 度）

時，煙在背風側產生的氣旋所在位置

5. 風向與障礙物夾角 40 度

氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	8	2	8	-2
6~10 秒	9	4	8	-2
11~15 秒	8	2	8	-2
16~20 秒	8	2	7	-2
21~25 秒	8	1	7	-3
26~30 秒	6	3	8	-2
平均	7.83	2.33	7.67	-2.17

表七、風向與障礙物夾角 40 度（投影片調製 50 度）

時，煙在背風側產生的氣旋所在位置

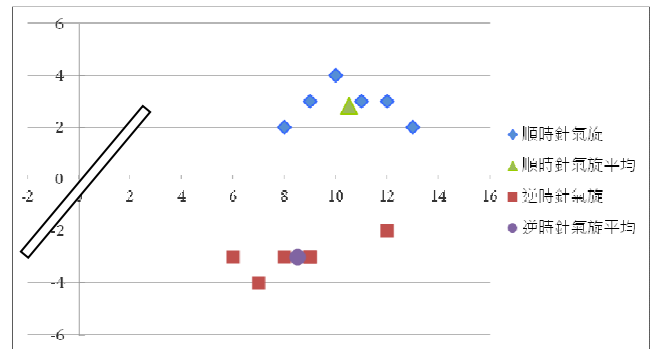
6. 風向與障礙物夾角 30 度

氣旋位置 觀察時間	順時針氣旋		逆時針氣旋	
	X	Y	X	Y
0~5 秒	6	2	9	-2
6~10 秒	6	2	9	-3
11~15 秒	7	2	8	-1
16~20 秒	5	1	8	-2
21~25 秒	7	-1	9	-1
26~30 秒	7	2	8	-2
平均	6.33	1.33	8.5	-1.83

表八、風向與障礙物夾角 30 度（投影片調製 60 度）

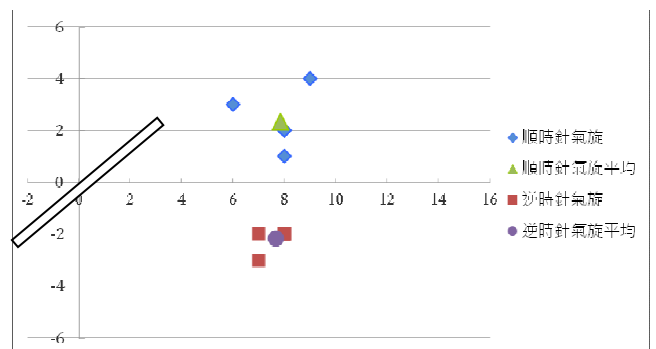
時，煙在背風側產生的氣旋所在位置

我們發現風向與障礙物夾角 20 度（投影片調製 70 度）以下的背風氣旋已看不見，因此，無法分析出數據。



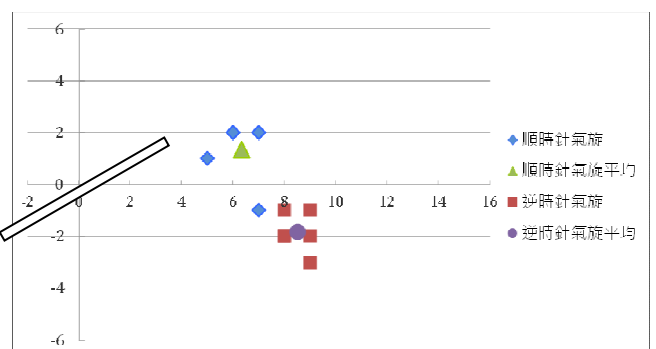
圖十五、風向與障礙物夾角 50 度（投影片調製 40 度）

時，煙在背風側產生的氣旋所在位置



圖十六、風向與障礙物夾角 40 度（投影片調製 50 度）

時，煙在背風側產生的氣旋所在位置

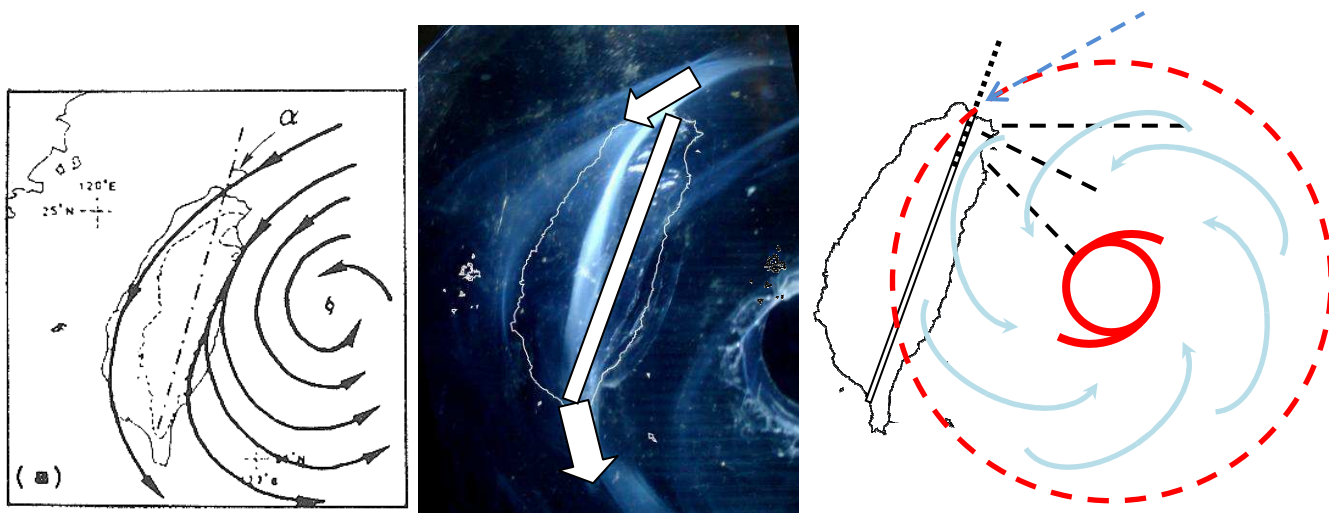


圖十七、風向與障礙物夾角 30 度（投影片調製 60 度）

時，煙在背風側產生的氣旋所在位置

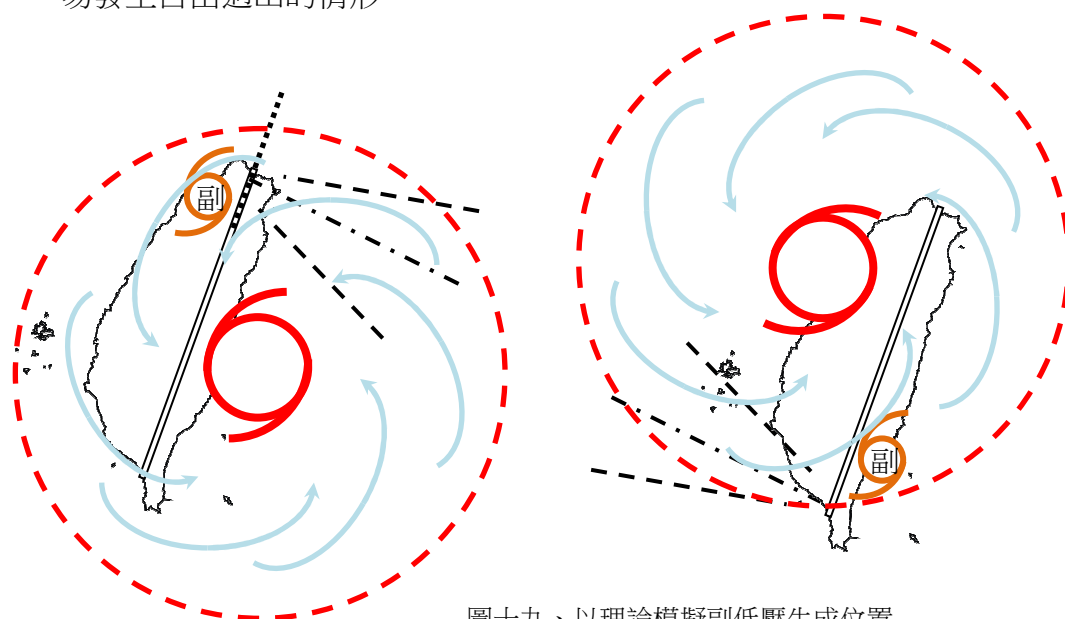
(二) 彎曲型氣流場中的台灣地形對氣流的影響

1. 由前一個實驗我們發現，風向與山脈夾角 20° 以下時比較不會產生背風氣旋，而台灣以中央山脈為主要山脈，走向約為北偏東 20° ，因此我們認為，當颱風在台灣北部東偏南 $0\sim40^\circ$ 度夾角之間進入台灣時，逆時針的氣旋與台灣山脈夾角較小，台灣西部不易產生副低壓，而較容易產生沿山流（圖十八），但颱風在接近陸地時未必維持正圓形，且可能受地形破壞而變形，因此仍須看當時的氣候條件。



圖十八、以氣流場模型模擬颱風產生沿山流的機制：左為中央氣象局說明，中為氣流場模擬，右為模擬圖

2. 副低壓產生位置：當颱風中心位在北部東偏南 40° 以上的位置時，可能在台灣西北部產生副低壓；當颱風中心在台灣南部西偏北 40° 以上的位置時，可能在台灣東南部產生副低壓。
3. 根據氣象局的資料指出，若颱風氣流與台灣山脈長軸夾角（ α 角）大於 70° 時，較容易發生「分裂過山」，原中心被背風側的副低壓取代；反之，若颱風氣流與台灣山脈長軸夾角（ α 角）小於 70° 時，氣流受到地形的破壞小，也比較容易發生自由過山的情形。



圖十九、以理論模擬副低壓生成位置

(三) 漩渦形水流場受障礙物影響的情形

1. 段數、磁石大小與中心水位下降的關係：

我們發現，段數越大，中心水位下降越多，漏斗形水流範圍也越大；磁石越長，水流範圍越廣，因此，要模擬強的颱風，應該調整段數，要模擬大的颱風，要選擇長的磁石，但段數太強，磁石可能跳開。因此我們選擇 5 公分棒狀磁石，第四～七段轉速（第四段浮水印明顯，第七段水流強勁）進行模擬颱風的後續實驗，另外，為了觀察更明顯的表面水流，我們在座標（0,4）處滴墨汁並觀察浮水印。

(1) 漏斗形水流下降深度

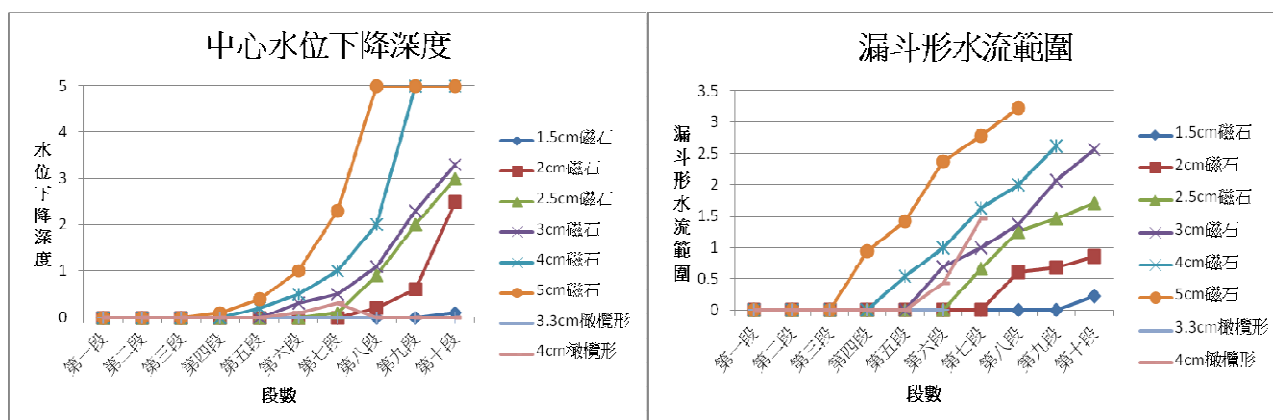
磁石 \ 段數	第一段	第二段	第三段	第四段	第五段	第六段	第七段	第八段	第九段	第十段
棒狀磁石	1.5cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
	2cm	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6
	2.5cm	0	0	0	0	0	0.1	0.9	2	3
	3cm	0	0	0	0	0.3	0.5	1.1	2.3	3.3
	4cm	0	0	0	0.2	0.5	1	2	5	5
	5cm	0	0	0	0.1	0.4	1	2.3	5	5
橄欖形磁石	3.3cm	0	0	0	0	0	跳開	跳開	跳開	跳開
	4cm	0	0	0	0	0.1	0.3	跳開	跳開	跳開

表九、中心水位下降深度

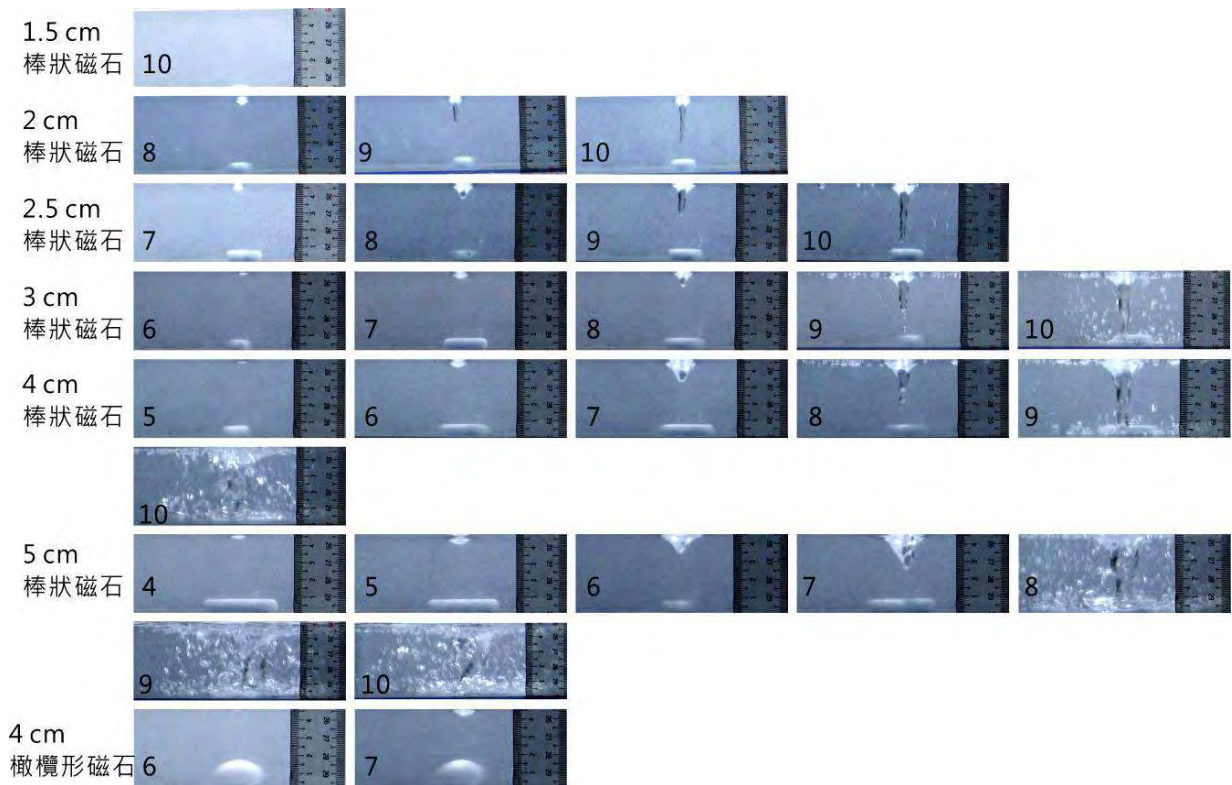
(2) 漏斗形水流範圍

磁石 \ 段數	第一段	第二段	第三段	第四段	第五段	第六段	第七段	第八段	第九段	第十段
棒狀磁石	1.5cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22
	2cm	0	0	0	0	0	0	0.614	0.681	0.862
	2.5cm	0	0	0	0	0	0.667	1.261	1.458	1.703
	3cm	0	0	0	0	0.688	1	1.362	2.065	2.562
	4cm	0	0	0	0.536	1	1.63	2	2.609	起泡
	5cm	0	0	0	0.942	1.413	2.362	2.783	3.217	起泡
橄欖形磁石	3.3cm	0	0	0	0	0	跳開	跳開	跳開	跳開
	4cm	0	0	0	0	0.427	1.466	跳開	跳開	跳開

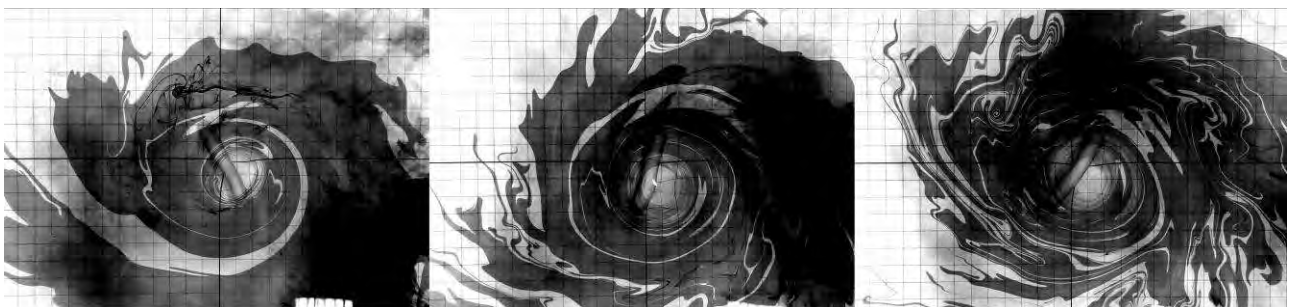
表十、漏斗形水流範圍



圖二十、將以上表的結果製成圖，左圖為水位下降深度，右圖為水流範圍



圖二十一、水流範圍與水流深度



圖二十二、使用 5 公分磁石，第 4 段攪拌強度，5 秒、10 秒、15 秒時的浮水印

2. 以擋板模擬漩渦遇到障礙物的情形

(1) 觀察擋板後方的漩渦（副低壓）形成

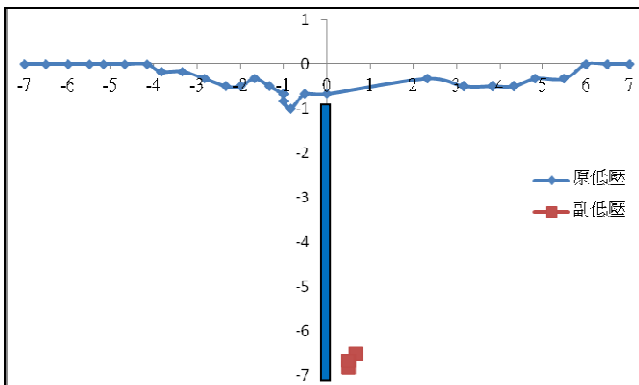


圖二十三、以直尺作為擋板模擬背風側副低壓形成：左：背面水位下降；中：背面產生漩渦；右：浮水印

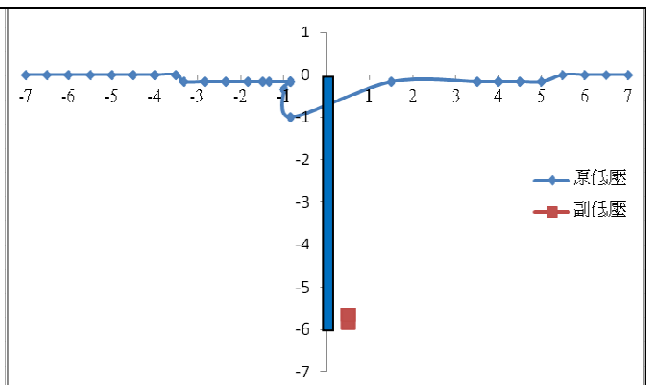
(2) 移動擋板觀察副低壓

a. 擋板入水 2 公分我們發現：

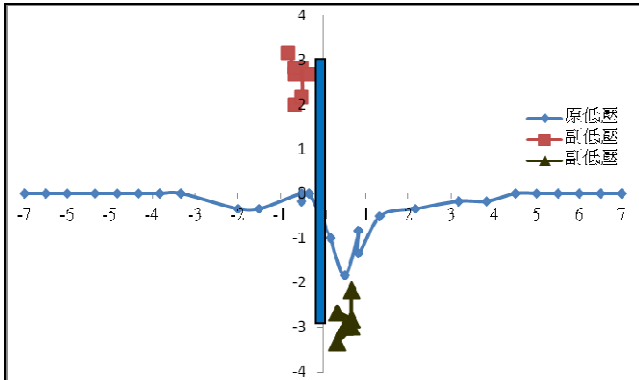
- 漩渦從擋板上方向繞過：漩渦通過擋板前稍往下可能是受到尾流區的低壓吸引，漩渦過山後往下可能是因為右半邊的漩渦受到擋板的破壞。
- 漩渦從擋板上方向通過：漩渦通過擋板後往下掉可能是右半邊的漩渦受到擋板破壞
- 漩渦從擋板中央通過：漩渦往下掉可能是因為狹管效應，當漩渦靠近擋板時，左邊水流變強，帶動漩渦往下掉，下面副低壓可能也有影響。
- 漩渦從擋板下方通過：漩渦往上升可能是因為撞到障礙物時，左半邊的漩渦會受到破壞，右側水流較強，漩渦上升。
- 漩渦從擋板下方繞過：漩渦往上升可能是因為漩渦撞到障礙物時，左半邊的漩渦會受到破壞，右側水流較強，漩渦上升。



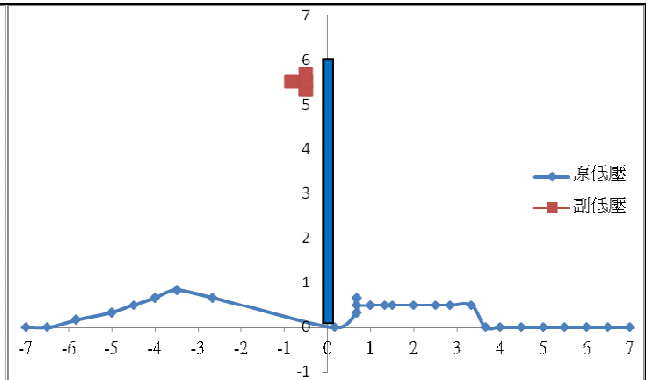
圖二十四、擋板入水 2 公分，漩渦從擋板上方向繞過



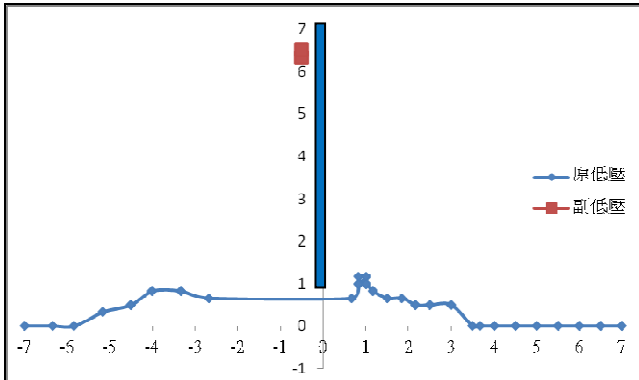
圖二十五、擋板入水 2 公分，漩渦從擋板上方向通過



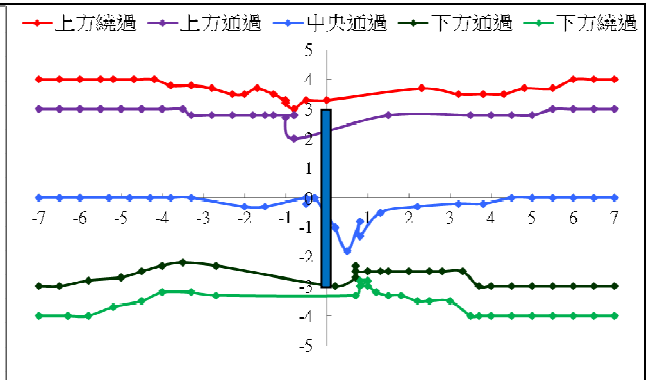
圖二十六、擋板入水 2 公分，漩渦從擋板中央通過



圖二十七、擋板入水 2 公分，漩渦從擋板下方通過



圖二十八、擋板入水 2 公分，漩渦從擋板下方繞過

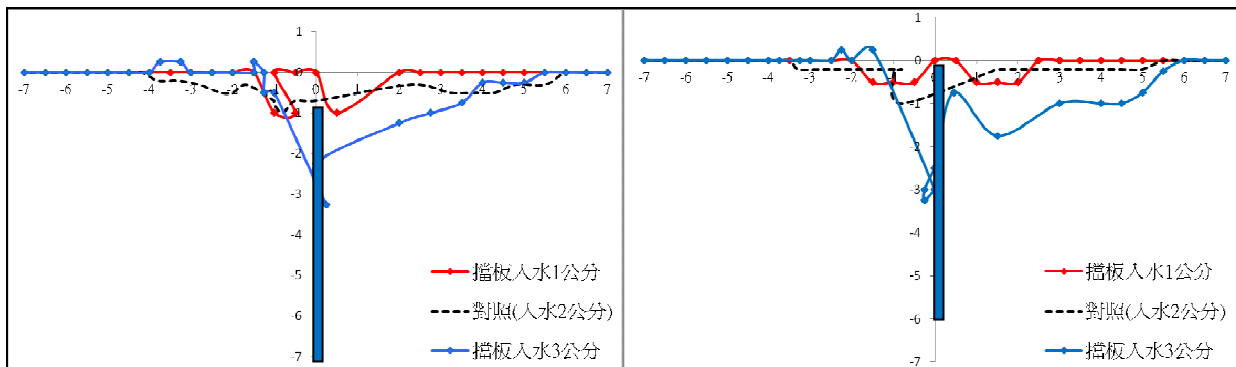


圖二十九、全部合併



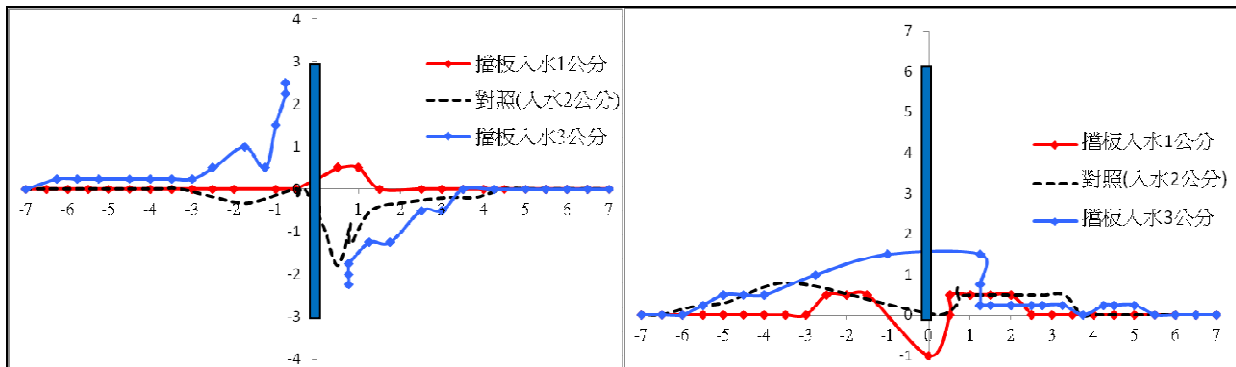
圖三十、漩渦遇到障礙物（擋板入水 2 公分）的偏移情形及副低壓生成圖，左至右為上方繞過、上方通過、中央通過、下方通過、下方繞過

a-2 擋板入水 1 公分、3 公分（並與入水 2 公分比較）我們發現：入水越深，漩渦水流與擋板的接觸面積越大，會使漩渦偏移越大。



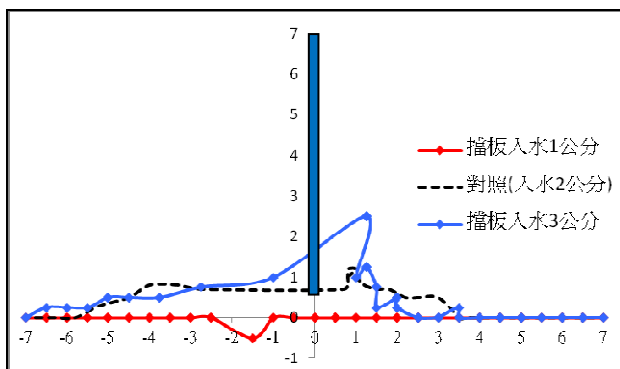
圖三十一、擋板入水 1、3 公分，漩渦從擋板上方向繞過

圖三十二、擋板入水 1、3 公分，漩渦從擋板上方向通過



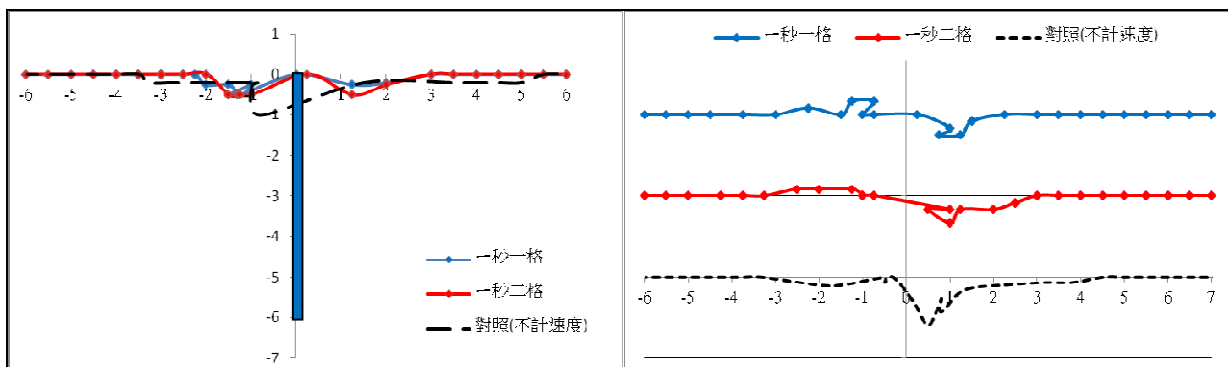
圖三十三、擋板入水 1、3 公分，漩渦從擋板中央通過

圖三十四、擋板入水 1、3 公分，漩渦從擋板下方通過

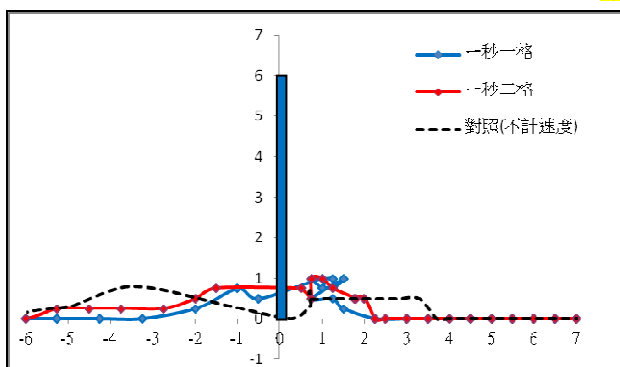


圖三十五、擋板入水 1、3 公分，漩渦從擋板下方繞過

b. 改變速度 (1 秒 1 公分、1 秒 2 公分) 我們發現：速度越快，偏移越小，原因是受障礙物破壞的程度比較小。

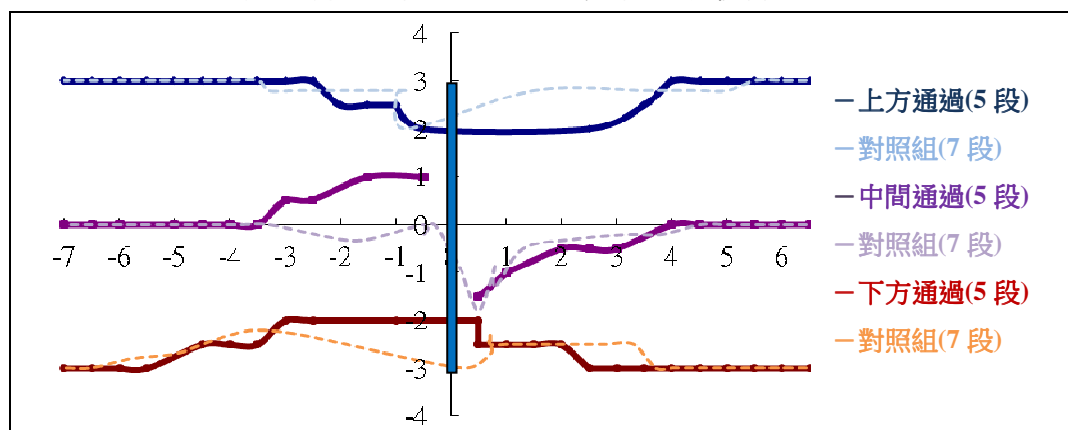


圖三十六(左)、利用入水 1 公分的擋板當障礙物，漩渦再以不同速度 1 秒 1 格、1 秒 2 格，從擋板上方向通過
圖三十七(右)、以 1 秒 1 格、1 秒 2 格，漩渦從擋板中央通過 (因線條凌亂不好辨識，所以畫三條線呈現)



圖三十八、利用入水 2 公分的擋板當障礙物，漩渦再以 1 秒 1 格、1 秒 2 格從擋板下方通過

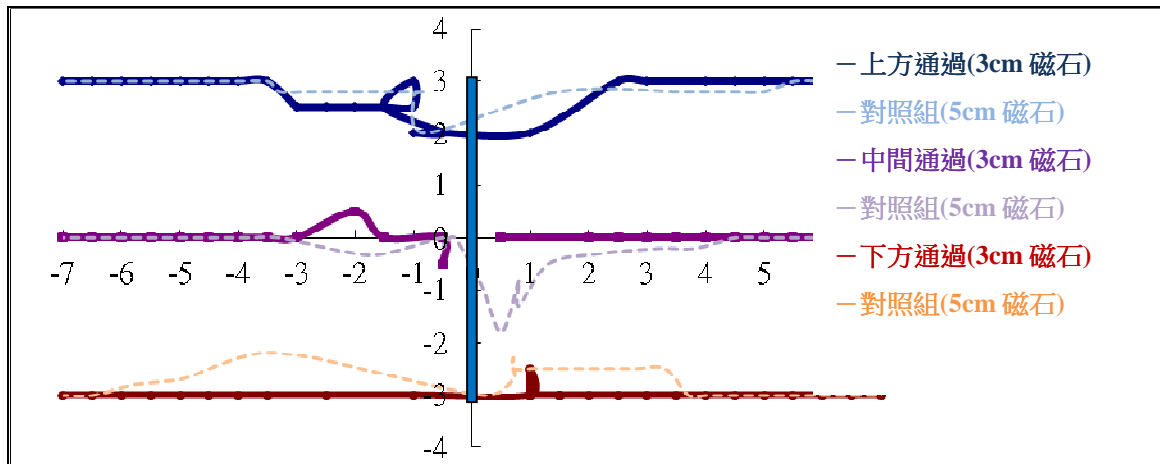
c. 改變段數 (改為五段)，模擬較弱的颱風 (對照組為七段)，我們發現：漩渦強度越弱，偏移越大，原因是較容易被障礙物破壞，中心也容易消失。



圖三十九、改成五段數 (強度較弱) (全)

d. 改變磁石 (3cm)，模擬範圍較小的颱風（對照組為 5cm 磁石）：

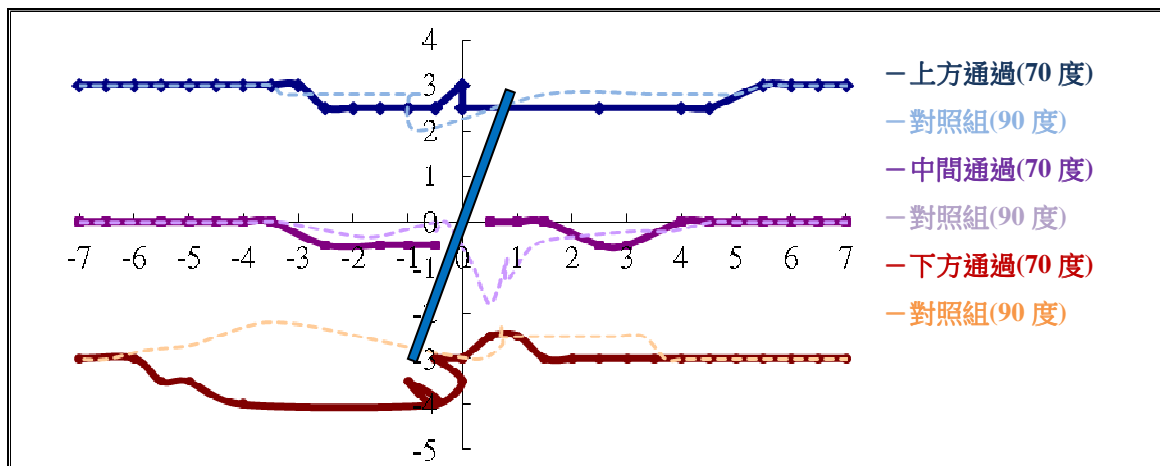
我們發現：漩渦範圍越小，偏移越小，可能是水流與擋板接觸面積較小。



圖四十、3 公分磁石（範圍較小）（全）

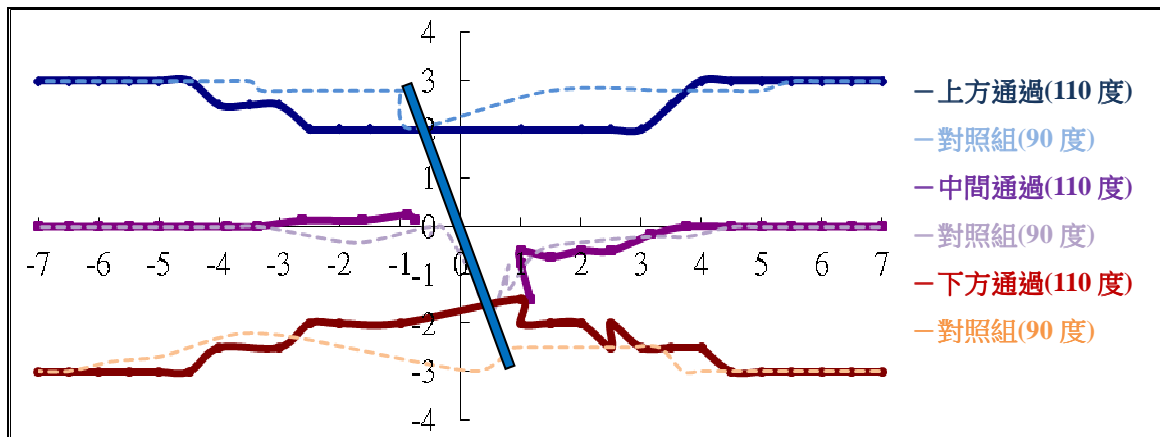
e. 改變擋板角度：

夾角 70 度，我們發現：角度 70 度時，中央通過的漩渦水流受破壞程度較小，因此偏移較 90 度小。



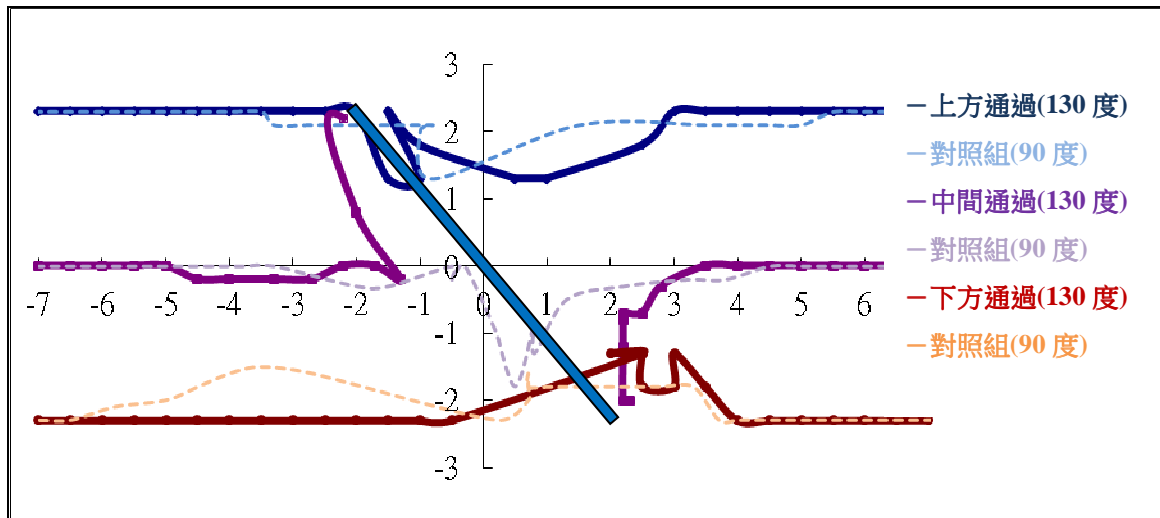
圖四十一、夾角 70 度（全）

夾角 110 度，我們發現：角度 110 度時，偏移較 90 度大。



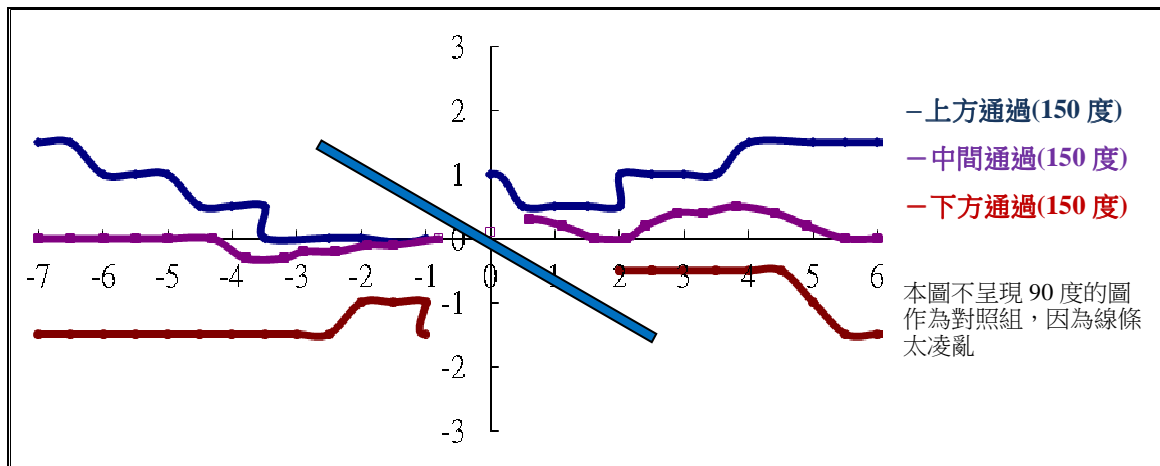
圖四十二、夾角 110 度（全）

夾角 130 度，我們發現：角度 130 度的偏移更大，特別是中央通過時，受障礙物前、後的副低壓影響都很大。



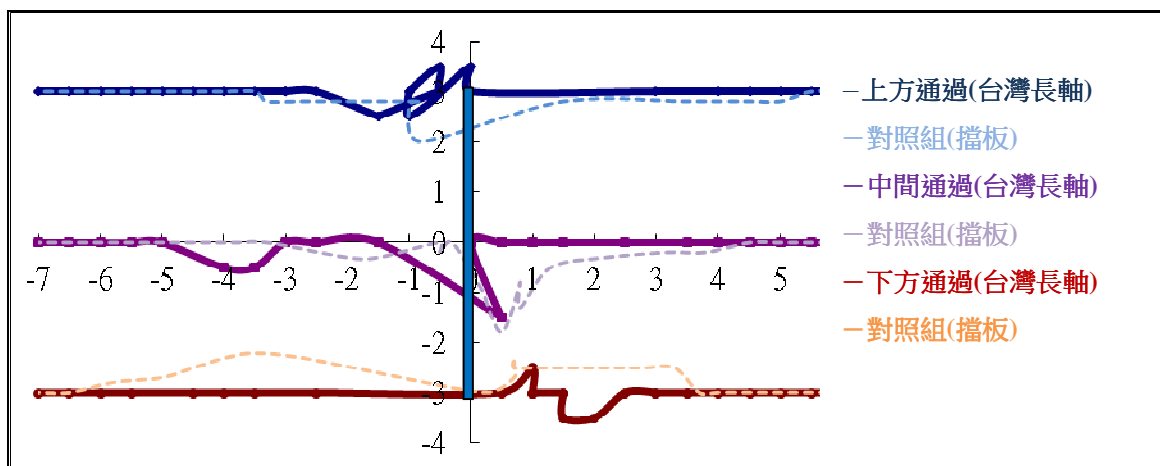
圖四十三、夾角 130 度（全）

夾角 150 度，我們發現：漩渦從上方通過擋板時，撞到擋板後往上無法通過，之後被副低壓取代繼續前進。



圖四十四、夾角 150 度（全）








- f. 模擬台灣地形的障礙物，我們發現：漩渦從台灣山脈長軸擋板上方與下方通過時，路徑偏折不明顯，原因是台灣北部以及南部的山不高。










圖四十五、模擬漩渦通過台灣地形（全）

(四) 實際颱風路徑資料

我們從中央氣象局「侵台颱風資料庫」中擷取自 1980 至 2012 年間的颱風路徑，我們分析了 **62 個颱風**，**無法過山 1 個**，**自由過山的颱風有 36 個**，**分裂過山的颱風有 25 個**，東行、特殊路徑扣掉 **10 個颱風**，其中自由過山走北台灣的有 **19 個**，中台灣 **5 個**，南台灣 **11 個**，沒過山 **1 個**。以下列出我們自訂的颱風路徑分類表（選出與本研究相關的颱風路徑），當中我們分類的颱風特徵說明中，有與台灣山脈夾角，我們所量的是颱風侵襲台灣前未偏移的 β 角

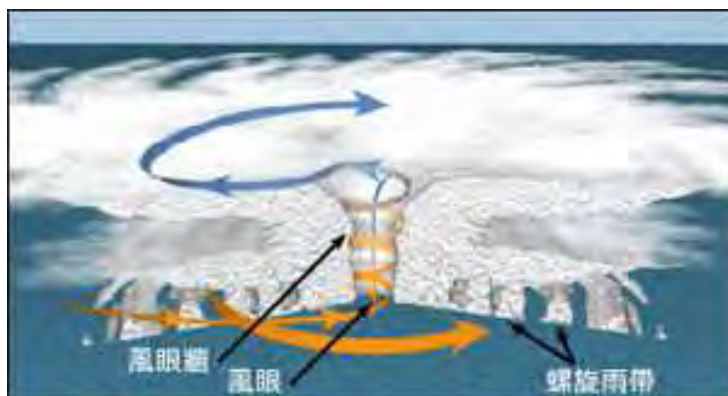
路徑說明	自由過山						
	北台灣						中台灣
	過山前偏南		過山後偏南		過山前後都繞圈	繞過台灣	過山後偏南
	沒繞圈	有繞圈	沒繞圈	有繞圈			
說明圖與颱風名稱							
	賀伯 1996	莎拉 1989 寶莉 1992 海棠 2005 科羅莎 2007	諾瑞絲 1980 碧利斯 2006 莫瑞 1981 芙瑞達 1984	楊希 1990	辛樂克 2008	愛麗 1991	歐馬 1992 碧利斯 2000 龍王 2005
颱風特徵說明	強烈，與山脈夾角 90 度，暴風半徑 350 km。	寶莉輕度，其他強烈，莎拉與山脈夾角 140 度，其他 82~105 度，暴風半徑 200~300km。	諾瑞絲中度，其他輕度，莫瑞與山脈夾角 70 度，其他 100~105 度。	中度，與山脈夾角 110 度，半徑 200km。	強烈，與山脈夾角 93 度，暴風半徑 250km。	中度，與山脈夾角 70 度，半徑 150km。	歐馬中度，其他強烈，與山脈夾角 70~115 度，暴風半徑 > 200km。
與水流場比較	與實驗上方繞過和通過類似，在障礙物前南落可能是受到副低壓吸引。		與實驗從上方繞過和通過的結果類似，在障礙物後下落可能是因漩渦右側被破壞，左側水流較強。		與實驗夾角 130 度、上方通過類似，打轉繞過	與實驗上方繞過類似，漩渦常繞過障礙物。	與實驗夾角 70 度中央通過類似，受狹管效應而往下落，漩渦破壞小自由過山。

路徑說明	自由過山			無法過山	分裂過山		
	南台灣			中台灣	中台灣		
	過山前北升	過山後北升	沒有太大的影響	無法過山	北方副低壓取代	南方副低壓取代	東台灣北上，副低壓取代
說明圖與颱風名稱							
	安迪 1982	黛特 1982 帕布 2007 耐特 1991	珀西 1980	梧提 2007	鳳凰 2008 奧托 1998	潭美 2001 黛特 1990	歐菲莉 1990 泰德 1992 亞力士 1984 敏督利 2004
颱風特徵說明	強烈，與山脈夾角 89 度，暴風半徑 300km。	暴風半徑 150~200 km	強烈，與山脈夾角 100 度，半徑 250km，時速 25km，速度快。	很弱的輕度，中心氣壓高，無法過山。	奧托輕度、鳳凰中度，與山脈夾角 85~130 度。	潭美輕度，與山脈夾角 121 度，暴風半徑 80km。黛特中度，與山脈夾角 102 度，暴風半徑 350km。	泰德輕度，其他中度，與山脈夾角 150~160 度，暴風半徑 200~250km。
與水流場比較	與實驗下方通過類似，漩渦左側被破壞，略往上偏。	與實驗下方通過類似，受副低壓吸引往上偏。	實驗中，快速通過的偏移較小。	段數太弱，漩渦會太小，很容易消失。	與實驗夾角 110~130 度、中間通過類似，障礙物上方的副低壓取代前進。	與實驗夾角 110~130 度、下方通過類似，在障礙物左下方產生地形性漩渦。	與實驗夾角 150 度、上方通過類似，漩渦網上偏，從障礙物左邊產生副低壓過山。

表十一、實際資料分析與水流場實驗比較

陸、討論

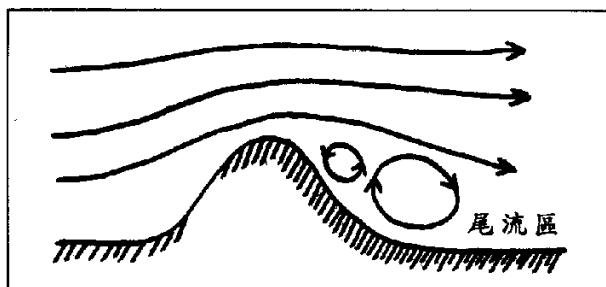
颱風是台灣一種常見的氣象災害，在海上吸收水氣而增強，當熱量和水分供應足夠時，造成上升氣流，水氣上升遇冷凝結成雲。凝結時放出熱量，這些熱量能增加運動的力量且不停循環，於是颱風變得更強烈。當颱風登陸之後，因為陸地的水氣供應較為不足，無法造成循環，而且地形起伏的阻力甚大，颱風會減弱，中心不明顯、氣流過山轉向、在背風側生成副低壓或造成焚風等。



圖四十六、熱帶氣旋的結構(圖來自維基百科)

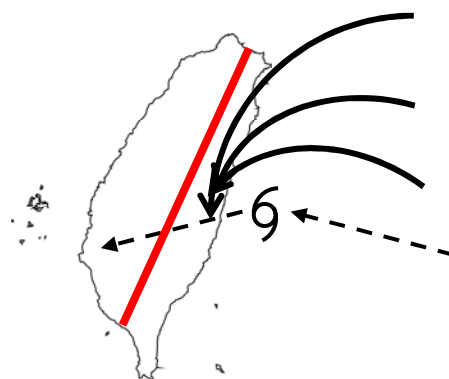
接著我們延伸探討尾流區，尾流區是颱風登陸時，環流受到地形影響，在背風側形成風力弱、氣流混亂的低壓區域，此地有時會產生多個環流，而這些環流稱為副低壓。副低壓通常在颱風中心通過台灣時便會消失。有時，副中心會取代原本的颱風中心，這種情況稱為分裂過山，但是分裂過山後的颱風通常減弱很多。

此外，在氣象報導中我們能聽聞颱風過山時南落的現象，是因為颱風接近台灣時會產生狹管效應，因接近台灣山脈時氣流空間縮小造成擠壓而加速前進，於是氣流在接近山脈的這段時間加速前進，造成颱風南偏。



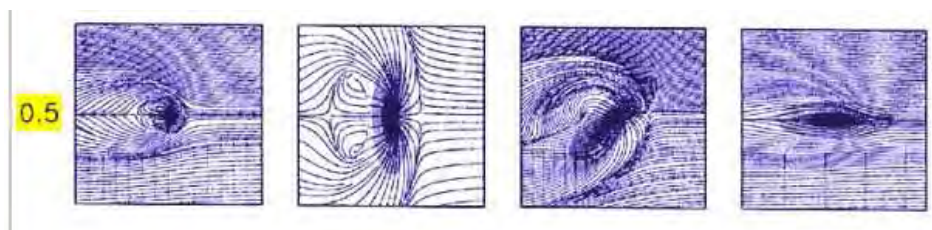
圖四：氣流過山在背風區產生尾流區。

圖四十七、弱風尾流區(圖自雷孟岳、李清勝)



圖四十八、狹管效應

本次氣流場實驗模擬直線前進的氣流通過不同角度障礙物時，在背風側產生背風氣旋的位置，實驗發現氣流與障礙物夾角越大，尾流區越大，若夾角小到 20 度以下，尾流區小，且不容易產生漩渦。在彎曲型氣流場中的煙十分不好控制，所以我們只有模擬出沿山流的情形。而水流場實驗可以模擬颱風通過不同角度、不同大小、不同高度的台灣山脈時的情形。因此關於颱風過山實驗，我們以水流場模擬。



圖四十九、圖自中央氣象局對尾流區的說明

一、擋板對漩渦路徑的影響

針對水流的相關議題，我們嘗試使用擋板（模擬山脈）對漩渦（模擬颱風行進方向）所造成的效果為何，實驗發現如下。

(一) 漩渦路徑與擋板夾角 90 度

漩渦從擋板上方向通過有以下情形發生（如右圖）

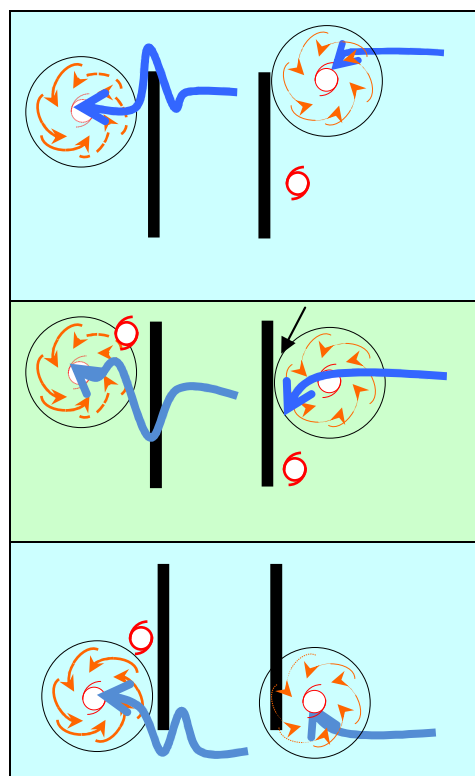
我們發現漩渦容易在未通過障礙物前往下掉，可能是因為受到下方副低壓吸引或是狹管效應。在漩渦繞過障礙物之後也往下掉，推測原因可能為漩渦在受到地形破壞後導致右側受損，左側水流因而變強而帶動漩渦中心往下掉。

漩渦從擋板中間通過有下述情形發生（如右圖）

在漩渦從擋板中間通過的實驗中，漩渦容易在通過障礙物時往下掉，可能是因為受到狹管效應或是副低壓吸引，在通過障礙物後，漩渦回到原本路線，甚至被障礙物左側新的漩渦（副低壓中心）取代。

漩渦從擋板下方通過有下述情形發生（如右圖）

當漩渦從擋板下方通過前，可能因為左側漩渦被破壞，因此使漩渦往上抬升，在繞過障礙物後，又受到副低壓吸引上升。



(二) 障礙物越深，偏折角度越大，這代表颱風如果穿過台灣較高聳的山脈時，會有比較大的偏移

(三) 速度越快，偏移越小，速度越慢，漩渦被障礙物破壞結構可能越明顯。

(四) 段數越弱，偏移越明顯，甚至漩渦在障礙物前消失，代表颱風強度太弱更可能被地形破壞

(五) 磁石越小，偏移越小，因為環流比較小；代表颱風暴風半徑可能也會影響偏移，但實際情況是，非常強的颱風，暴風半徑也不至於太小。

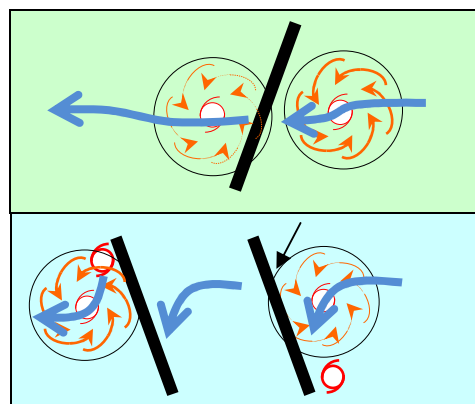
(六) 漩渦路徑與擋板夾角 70 度

漩渦從擋板中間通過有下述情形發生（如右圖）

我們發現漩渦從中央通過時，漩渦直直前進，偏移不大，可能是漩渦受破壞不明顯，通過障礙物後繼續前進，但一開始略偏下方，因為右邊環流被破壞。

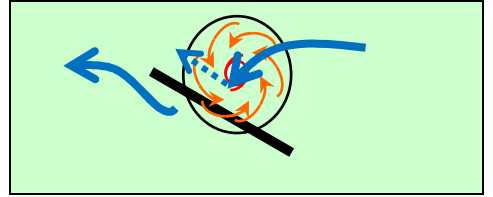
(七) 漩渦路徑與擋板夾角 110~130 度

漩渦從擋板中間通過有下述情形發生（如右圖），我們發現漩渦在通過擋板前會往下降，原因是漩渦受到下方副中心的吸引，然後由偏北的副低壓取代。



(八) 漩渦路徑與擋板夾角 150 度

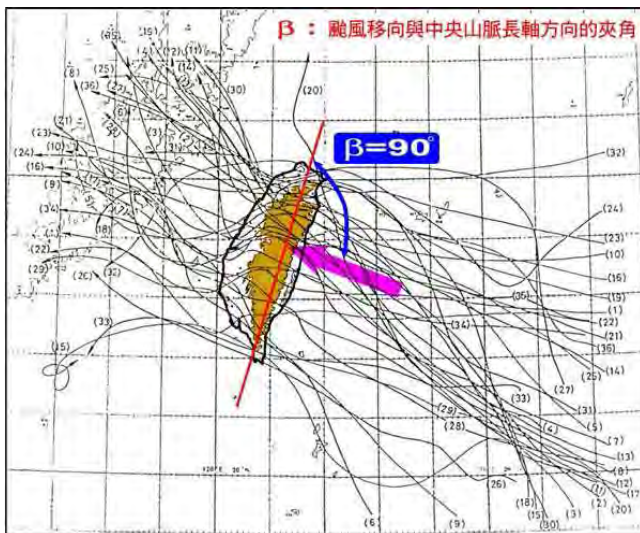
漩渦從擋板上方通過有下述情形發生（如右圖），我們發現漩渦在通過擋板前會往下偏移，原因是受到下方副低壓吸引，往上彈開消失。後來由擋板後方副低壓取代前進。



二、與歷年颱風路徑作比對

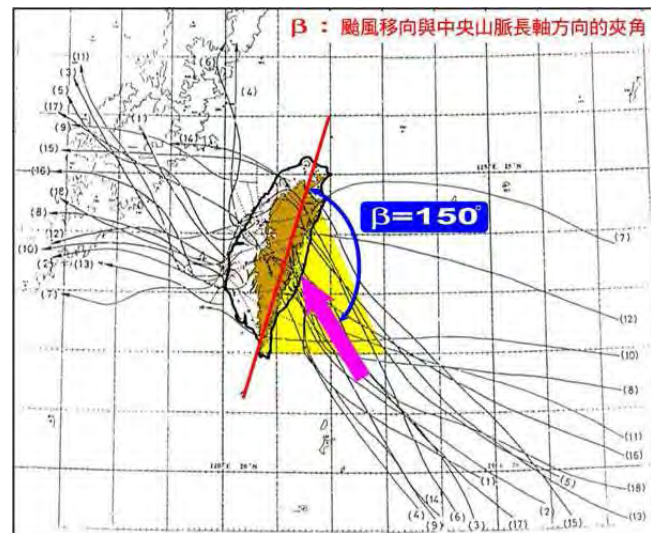
由圖五十（圖自颱風預報輔助系統）可知許多颱風路徑與台灣山脈長軸夾角 90 度左右時，容易發生自由過山的路徑，颱風過山會往南偏與我們的水流場實驗、漩渦與擋板夾角 70 度進入類似，是漩渦受障礙物破壞相對較小的路徑。

由圖五十一（圖自颱風預報輔助系統）可發現當颱風與山脈夾角很大時，容易發生分裂過山，有時是由偏南的副低壓取代，有時是由偏北的副低壓取代過山，這與我們的水流場實驗相似（ >110 度），大角度移向障礙物的漩渦，可能出現多種不同狀況的偏移。



圖五十、自由過山的條件

產生此路徑的條件為($70 \text{ 度} \leq \beta \text{ 角} \leq 110 \text{ 度}$)，指颱風的上下層可以直接通過台灣山脈。



圖五十一、分裂過山的條件

產生此路徑的條件為($110 \text{ 度} \leq \beta \text{ 角} \leq 170 \text{ 度}$)，分裂後可能會由偏北的副低壓或者是偏南的副低壓取代繼續前進。

三、基於上述討論結果，針對本研究，筆者提出下列幾項建議，以供未來相關研究之參考。

- (一) 建議在水流場方面的實驗能在追加模擬從西方過來的颱風與秀姑巒溪口，並以台灣山脈擋板做比較。也可以模擬不同地形對颱風的影響。
- (二) 以水流與擋板模擬颱風有其限制在，因為水流不等於氣流，在水流尺度與擋板深度的選擇上可以再深入探討與實際情況的對應程度。
- (三) 可將所有颱風路徑、強度、範圍等變數以檢索表方式呈現。
- (四) 可以將颱風帶來雨量與風向加入分析的考量裡，什麼樣的颱風在什麼地方登陸會帶來龐大雨勢與強風，更能更完整研究及實用性。

柒、結論

- 一、氣流場實驗中，擋板與風向夾角 0~20 度時，背風氣旋的所在位置不明顯，夾角 30~50 度時，風速較慢的那一側氣流容易折回產生背風氣旋，夾角 90 度時，在擋板後方有較大的尾流區。
- 二、彎曲型氣流場中，小角度進入台灣山脈的氣流，也比較容易形成沿山流。
- 三、水流場實驗中，段數的大小會影響到漩渦的中心水位下降的深度，磁石大小會影響到漩渦的環流範圍大小。
- 四、當擋板入水越深，越容易造成路徑偏移。漩渦無法通過時，會在擋板後方產生一個副中心，當原中心消失時，副中心會取代原中心繼續向前進。
- 五、環流越大的漩渦容易產生偏折。原因是外圍環流大的漩渦會較早受到擋板破壞。
- 六、段數越小，代表漩渦強度越弱，偏移越大，原因是強度弱的漩渦不易維持環流，無法直接通過擋板。
- 七、速度越快造成的偏移越小，原因是受地形破壞的程度較少；速度越慢造成的偏移越大，原因是受地形破壞的程度較多。
- 八、漩渦前進方向與擋板夾角會影響漩渦偏移，夾角 70 度時，漩渦路徑偏移小，90~130 度會在通過障礙物前往南偏，通過障礙物後，在 90 度會直接通過，夾角 110~130 度的路徑由偏北副低壓取代，夾角 150 度則在障礙物前略偏北，然後被障礙物後方的副低壓取代。
- 九、在台灣山脈長軸擋板實驗發現，漩渦從上方與下方通過，路徑偏移的情形不明顯，因為台灣北部的山與南部的山都沒有很高；漩渦從中間通過，路徑偏移的情形較明顯，因為台灣中部的山比較高，比較容易對漩渦造成偏移。
- 十、我們的實驗中發現當漩渦與擋板夾角 70 度時，漩渦破壞小，類似自由過山的情形；當漩渦與擋板夾角 110~150 度時，副低壓影響路徑更大，類似分裂過山的情形。
- 十一、實際資料中，自由過山的颱風通常都是從台灣南端或北端通過，原因是南端和北端的山不高，而也有少數的颱風是從中台灣登陸，那些颱風的強度都很強、與山脈夾角小（70~90 度）。
- 十二、本實驗的特色是：使用氣流場來做實驗，但氣流場仍有限制，因為很難模擬螺旋形的氣流。而水流場可以模擬漩渦，但漩渦無法移動，於是我們在水盆後方加裝軌道，使障礙物可移動，下方貼方格紙可記錄漩渦偏移的位置（國一下數學的座標），再藉由障礙物位置減掉漩渦偏移位置的方式換算（但是由於我們電子加熱攪拌器的漩渦是順時針旋轉，我們要模擬東行的颱風在實驗中必須變成擋板從「右移到左」，藉由換算 X 軸的方式可算出漩渦的路徑，且可將路徑水平翻轉，但是 Y 軸不能換算）。
- 十三、颱風，是台灣每年都會面臨到的自然災害，然而，台灣處於太平洋亞熱帶季風區，無可避免的，我們都必須要面對每年數次的颱風侵襲，唯有將颱風的動態、可能路徑以及威脅加以了解並掌握，才能真正擁有知己之彼，百颱百無害的生活環境，儘管颱風的狂風暴雨帶來莫大的威脅，但充沛的雨量卻也帶給臺灣無限的水資源，如能確切掌握，必對我們未來的生活發展有莫大的幫助。我們誠心地希望，這份研究能夠持續地進行下去，並且對我們生存的環境與空間有更大的助益。

捌、參考資料及其他

1. 戚啓勳（1976）。颱風季內話颱風。科學月刊。第七期。
2. 雷孟岳、李清勝（2002）。防範於未然——淺談空氣品質潛勢預報。科學月刊：270 期
3. 吳瑜芬、呂廷鈺、吳佳穎、林玉芳（2002）大風怎麼吹？—颱風旋轉方向之研究與模擬。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會國小組地球科學科。
4. 魏宏時、許育豪（2002）。颱風遇到山～談地形對侵臺颱風風速・雨量的影響。台灣 2002 年國際科學展覽會地球與太空科學科。
5. 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。中華民國第 45 屆中小學科學展覽會高中組地球科學科。
6. 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。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科。
7. 拱明哲、翁悠閑、張佑瑋（2011）。雙颱風效應與地形效應之模擬與探討。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會國小組地球科學科。
8. 中央氣象局的颱風常識 <http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/ty000.htm>
9. 颱風風力預報輔助系統 http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon_eye/forecastuse_wind.htm
10. 侵臺颱風資料庫 <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/mainpage.htm>

附錄一：水流場實驗，移動擋板觀察副低壓（或取代原中心的過程，相對位置數據經過換算）

（一）擋板入水二公分

1. 漩渦從擋板上繞過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	4.8	4.3	3.8	3.2	2.3	0	-0.5	-0.8	-1
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.7	-0.7	-1	-0.8
換算後	X														0.5	0.5	0.7	0.5
副低壓	Y														-6.8	-6.7	-6.5	-6.7
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	-1	-1	-1.3	-1.7	-2	-2.3	-2.8	-3.3	-3.8	-4.2	-4.7	-5.2	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	-0.7	-0.7	-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	
換算後	X	0.5	0.5	0.5	0.5													
副低壓	Y	-6.7	-6.8	-6.7	-6.7													

表十二、用入水 2 公分的擋板當障礙物，並讓漩渦從擋板上繞過

2. 漩渦從擋板上方通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	1.5	-0.8	-1	-0.8	-0.8
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-1	-0.3	-0.2	-0.2
換算後	X														0.5	0.5	0.5	0.5
副低壓	Y														-5.7	-5.7	-5.7	-5.8
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	-0.8	-0.8	-1.3	-1.5	-1.8	-2.3	-2.8	-3.3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	
換算後	X	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5												
副低壓	Y	-5.8	-5.7	-5.7	-5.7	-5.7												

表十三、用入水 2 公分的擋板當障礙物，並讓漩渦從擋板上方通過

3. 漩渦從擋板中央通過

低壓位置	擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	3.8	3.2	2.2	1.3	0.8	0.8	0.8
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-1.3	-0.8	-0.8
換算後 副低壓	X																-0.7	-0.5
	Y																2	2.2
換算後 副低壓 2																	0.5	0.7
																	-3	-3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	0.5	0.2	0.2	-0.3	-0.5	-0.5	-1.5	-2	-3.3	-3.8	-4.3	-4.8	-5.3	-6	-6.5	-7	
	Y	-1.8	-1	-1	0	-0.2	0	-0.3	-0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	
換算後 副低壓	X	-0.5	-0.5	-0.3	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8										
	Y	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	3.2										
換算後 副低壓 2		0.3	0.5	0.7	0.3	0.7	0.7	0.7										
		-3.3	-3	-2.8	-2.7	-2.8	-2.8	-2.2										

表十四、用入水 2 公分的擋板當障礙物，並讓漩渦從擋板中央通過

4. 漩渦從擋板下方通過：

低壓位置	擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.7	3.3	2.8	2.5	2	1.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
換算後 副低壓	X																	-0.5
	Y																	5.3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	1.3	1	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.2	-2.7	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.8	-6.5	-7	
	Y	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.3	0	0.7	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0	0	
換算後 副低壓	X	-0.5	-0.5	-0.5	-0.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5									
	Y	5.3	5.5	5.5	5.5	5.7	5.7	6	6									

表十五、用入水 2 公分的擋板當障礙物，並讓漩渦從擋板下方通過

5. 漩渦從擋板下方繞過：漩渦撞到擋板時無法直接通過，所以從下方繞過。

低壓位置	擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.7	3.5	3	2.5	2.2	1.8
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.7
換算後 副低壓	X																	-0.5
	Y																	6.3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	1.5	1.2	1	0.8	1	0.8	0.8	0.7	-2.7	-3.3	-4	-4.5	-5.2	-5.8	-6.3	-7	
	Y	0.7	0.8	1	1	1.2	1.2	1	0.7	0.7	0.8	0.8	0.5	0.3	0	0	0	
換算後 副低壓	X	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5									
	Y	6.3	6.3	6.5	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8									

表十六、用入水 2 公分的擋板當障礙物，並讓漩渦從擋板下方繞過

(二) 擋板入水 1 公分、3 公分（並與入水 2 公分比較）

1. 漩渦從擋板上繞過

低壓位置	擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	0.5	0
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	-0.5	-1	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表十七、用擋板入水 1 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板上繞過

低壓位置	擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	2.8	2	0	0.3	-1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.3	-0.3	-0.8	-1	-1.3	-2.3	-3.3	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	-1.3	-1.3	-1.5	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.3	-3.8	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	0	0.3	0	0	0	0	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0

表十八、用擋板入水 3 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板上繞過

2. 漩渦從擋板上方向通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	0	0	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表十九、用擋板入水 1 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板上方向通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	1.5	0.5	0	0	-0.3
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.8	-1	-1	-1	-1.8	-0.8	-2.5	-2.5	-3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	0	0	-1.5	-2	-2.3	-2.5	-3	-3.3	-3.8	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	-3	-3	0.3	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十、入水 3 公分的擋板，並讓漩渦從擋板中央通過

3. 漩渦從擋板中央通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	1.5	1	0.5
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十一、擋板入水 1 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板中央通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.3	3.5	3	2.5	1.8	1.3	0.8	0.8
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-1.3	-1.3	-1.8	-1.8
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	0.8	0.8	-0.8	-0.8	-1	-1.3	-1.8	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5.3	-5.8	-6.3	-7	
中心	Y	-2	-2.3	2.5	2.3	1.5	0.5	1	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0

表二十二、入水 3 公分的擋板，並讓漩渦從擋板中央通過

4. 漩渦從擋板下方通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2.5	2	1.5
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	1	0.5	0.5	0	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	0.5	0.5	0	-1	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十三、擋板入水 1 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板下方通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4.3	3.8	3.3	2.8	2.5	2	2
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-1	-2.8	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	1.5	1.5	1	0.5	0.5	0.5	0.3	0	0	0	0

表二十四、入水 3 公分的擋板，並讓漩渦從擋板下方通過

5. 漩渦從擋板下方繞過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	0.5	0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十五、擋板入水 1 公分當障礙物，並讓漩渦從擋板下方繞過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3.5	3	3	2.5	2
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0.3
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	2	2	1.5	1.5	1.3	1	1.3	-1	-2.8	-3.8	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0.5	0.5	0.3	0.8	1.3	1	2.5	1	0.8	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0	

表二十六、入水 3 公分的擋板，並讓漩渦從擋板下方繞過

(三)改變速度(1 秒 1 格與 1 秒 2 格，對照組：定格記錄)

1. 從上通過 1 秒 1 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2	1.25	0	-1.3
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.3	0	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	-1.5	-1	-1.3	-1.5	-2	-2.3	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 秒 2 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2	1.25	0.25	-1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.5	0	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	-1.3	-1.5	-1.3	-1.3	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十七、入水 2 公分的擋板當障礙物，漩渦再以不同速度，從擋板上方向通過

2. 從中通過 1 秒 1 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.25	1.5	1.25	0.75
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.8	-0.8
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	1	0.25	-0.8	-1	-0.8	-1.3	-1.5	-2.3	-3	-3.8	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	0	0	0	0.5	0.5	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1 秒 2 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.25	1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.5	-0.5	-1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	0.5	1	-0.8	-1	-1	-1.3	-2	-2.5	-3.3	-3.8	-4.3	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	-0.5	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表二十八、入水 2 公分的擋板當障礙物，漩渦再以不同速度從擋板中央通過

3. 從下通過 1 秒 1 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.25	1.5	1.25	0.75
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.5	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	1.5	1.25	1.25	1	0.75	1	1	1	-0.5	-1	-2	-3.3	-4.3	-5.3	-6	-7	
	Y	1	0.75	1	1	1	0.75	0.75	1	0.5	0.75	0.25	0	0	0	0	0	0

1 秒 2 格

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2.25	2	1.75
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	1.8	1.25	1	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	-1.5	-2	-2.8	-3.8	-4.5	-5.3	-6	-7	
	Y	0.5	0.75	1	1	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0

表二十九、入水 2 公分的擋板當障礙物，漩渦再以不同速度從擋板下方通過

(四)改變段數（改為五段），模擬較弱的颱風（對照組為七段）

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	2.5	-0.5	-1	-1	-1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-1	-1	-0.5	-0.5	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	-1	-1	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十、用入水 2 公分的擋板當障礙物，轉速較小的漩渦從擋板上方向通過

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	2.5	2	1	1	0.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-1.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
副低壓取代	X					-0.5	-0.5	-1.5	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-6	-6.5	-7	
	Y					1	1	1	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十一、入水 2 公分的擋板當障礙物，轉速較小的漩渦從擋板中央通過

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2.5	2	1.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-1	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0

表三十二、入水 2 公分的擋板當障礙物，轉速較小的漩渦從擋板下方通過

(五)改變磁石（3cm），模擬範圍較小的颱風（對照組為 5cm 磁石）

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	2.5	1	-0.5	-1	-0.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	-1.5	-1	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十三、3 公分磁石（水流範圍小），漩渦從上方通過

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	0.5	0.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X				-0.5	-0.5	-1.5	-2	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y				-0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十四、3 公分磁石（水流範圍小），漩渦從中央通過

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	1.5	1	1	1	1	1	-1	-2.5	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十五、3 公分磁石（水流範圍小），漩渦從下方通過

(六)改變角度：夾角 70 度

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	4.5	4	2.5	0	0	0	0	0	0
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後中心	X	-0.5	-0.5	-1	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表三十六、改變角度，夾角 70 度

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	2.5	1.5	1	0.5
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X						-0.5	-1	-1.5	-2.5	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6.5	-7
中心	Y						-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0

表三十七、改變角度，夾角 70 度

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	1	0.5	0.5	0	0	-0.5	-0.5	0	-0.5	-1	-0.5	-4	-5	-5.5	-6	-7
中心	Y	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	-0.5	-1	-0.5	-1	-1	-0.5	-0.5	0	0

表三十八、改變角度，夾角 70 度

(七)改變角度：夾角 110 度

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-1	-1	-1	-1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	-1.5	-1.5	-1.5	-2	-2	-2.5	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
中心	Y	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0

表三十九、改變角度，夾角 110 度

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	3.8	3.2	2.5	2.7	2	1.3
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.5	-0.3	-0.3	-0.8
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	1.2	-0.3	-0.3	-0.3	-1	-1.2	-2.2	-2.5	-3.3	-3.8	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
中心	Y	-2.7	2.3	2.3	2.3	-0.3	-0.3	-0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0

表四十、改變角度，夾角 110 度

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	4	3.5	3	2.5	2
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	1.5	2	1.5	1	1	-1	-2	-2.5	-3	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
中心	Y	1	1	1	1	1.5	1	1	1	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0

表四十一、改變角度，夾角 110 度

(八)改變角度：夾角 130 度

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	1	0.5
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	0.5	-1	-2	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7
中心	Y	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表四十二、改變角度，夾角 130 度

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	2.8	2.5	2.2	2.2
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.7	-0.7	-1.2
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
換算後	X	2.2	2.3	-2.2	-2	-1.3	-1.7	-2.2	-2.7	-3.3	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7
中心	Y	-2	-2	2.2	0.8	-0.2	0	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0	0	0	0	0

表四十三、改變角度，夾角 130 度

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	3	2.5	2.5	2.5
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0.5	1	1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	2	2.5	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表四十四、改變角度，夾角 130 度

(九) 改變角度：夾角 150 度

1. 從上通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4	3.5	3	2.5	2	2	1.5	1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	0.5	0	-1	-2	-2	-2	-2.5	-3.5	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-1	-0.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1	-1	-1	-0.5	-0.5	-0.5	0	0	

表四十五、改變角度，夾角 150 度

2. 從中通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	4.9	4.4	3.8	3.3	2.9	2.4	2.1	1.6	1.6
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.2	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	1.1	0.6	0	-0.8	-1.5	-1.9	-2.4	-2.9	-3.2	-3.8	-4.3	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0.2	0.3	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0	0	0	0	0	0	0

表四十六、改變角度，夾角 150 度

3. 從下通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2.5	2	2
中心	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後	X	2.5	2.5	-1	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
中心	Y	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表四十七、改變角度，夾角 150 度

(十) 模擬颱風經過台灣山脈

1. 漩渦從上方通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	0	0	-0.5	-0.5	-1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	-1	-1	-0.5	-1.5	-1.5	-2.5	-3	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0	-0.5	0	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表四十八、利用台灣山脈的擋板當障礙物，漩渦從擋板上方向通過

2. 漩渦從中央通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	2.5	1.5	0.5	0.5	1
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	0.5	1	0.5	0	0.5	0.5	-1.5	-2.5	-3	-3.5	-4	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	0	0	0	0	-1.5	-1.5	0	0	0	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	0

表四十九、利用台灣山脈的擋板當障礙物，漩渦從擋板中央通過

3. 漩渦從下方通過

低壓位置 \ 擋板位置		9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
換算後 中心	X	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3.5	3	3	2.5	2
	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5
		0.5	0	-0.5	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	
換算後 中心	X	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1	0.5	-2.5	-3.5	-4	-4.5	-5.5	-6	-6.5	-7	
	Y	-0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表五十、利用台灣山脈的擋板當障礙物，漩渦從擋板下方通過

【評語】 030511

1. 能針對研究問題設計實驗，進行有條理的分析。
2. 能以簡單的實驗模擬複雜的自然現象並做合理的推論。
3. 對颱風遇山後副低壓中心的模擬還有進一步的空間。