

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫六：颱風軸對稱化動力及眼牆結構之水工模擬(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2119-M-002-007-AP1

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：朱錦洲

共同主持人：張建成

計畫參與人員：陳弘正，黃世霖，謝秉昇

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 29 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 颱風重點研究-子計畫六： 颱風軸對稱化動力及眼牆結構之水工模擬(II)

計畫類別： 個別型計畫       整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2119-M-002-007-AP1

執行期間：93年8月1日至94年7月31日

計畫主持人：朱錦洲

共同主持人：張建成

參與人員：陳弘正、黃世霖、謝秉昇

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告     完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學應用力學所

中華民國 94 年 10 月 29 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

颱風重點研究-子計畫六：

## 颱風軸對稱化動力及眼牆結構之水力模擬(II)

### Laboratory simulations on the axisymmetrization dynamics and eyewall structure of typhoons

計畫編號：NSC 93-2119-M-002-007-API

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

執行單位：國立台灣大學應用力學所

主持人：朱錦洲

Email: [chucc@iam.ntu.edu.tw](mailto:chucc@iam.ntu.edu.tw)

共同主持人：張建成

Email: [changcc@iam.ntu.edu.tw](mailto:changcc@iam.ntu.edu.tw)

計畫參與人員：陳弘正、黃世霖、謝秉昇

#### 一、中文摘要

本計畫主要目的是經由水力模擬實驗，來探討在具有一背景渦度下雙渦旋彼此之間交互作用現象，並進一步藉由大小與強弱不同的二渦旋之交互作用，來嘗試在旋轉水槽中產生出類似颱風雙眼牆的結構。實驗上利用吸入及攪動二種不同的方法來產生渦旋，且針對如何增加渦旋的半徑大小與改變渦度值加以研究，同時分別對二渦旋的不同強度及不同初始距離等因素加以測試，經由染料注入法及雷射光切頁顯像法觀察渦旋流場的運動情形，配合DV及CCD擷取流場影像後，再由粒子追跡測速法(PTV)加以分析。在實驗結果方面，由吸取方式所產生的雙渦旋在產生過程中即會互相受到干擾，且在強弱不同或距離改變的情況下皆會影響渦旋之間彼此的交互作用。而經由攪動法可成功產生出半徑較大的渦旋，且兩渦旋的渦度比可超過六倍以上。在具有 $\beta$ 效應的影響下，大渦的移動速度較小渦快，故在雙渦的交互作用上是屬於主導的地位。最後經由比較得知，由吸入法與攪動法所產生的渦旋在雙渦交互運動上有很明顯的差異。

**關鍵詞：**科氏力、雙渦旋合併、攪拌法、吸入法、粒子追跡測速法

#### Abstract

The objective of this project is to investigate the interactions of a pair of

vortices with different strengths in a large rotating tank whereas the associated flow behaviors are similar to those of double eyewall embedded in the super-typhoons. The generations of vortices with different structures on relative locations or latitudes are carefully conducted by combining the stirring and sucking methods. In particular, we successfully generate a pair of cyclonic vortices with six-fold Rossby number ratio on a parabolic f-plane; the resulting binary vortex system evolves to a larger cyclonic vortex with clear double eyewall. On the other hand, the vortex merger processes on a sloping bottom, which mimics the planetary beta-effect, show a series of more complicated track patterns which are interwoven by many factors: the cyclonic orbiting motion, the planetary beta effect, relative locations and latitudes, as well as the initial vortex structure. The flow fields are qualitatively visualized by a dye-injection method whilst the quantitative information such as the velocity and the vorticity of the fluid flow is obtained by a particle tracking velocimetry method.

**Keywords:** coriolis force, vortex merger, stirring method, sucking method, particle tracking velocimetry method (PTV)

#### 二、研究背景與目的

雙颱風問題的研究，最早可追溯自1921年Fujiwhara所提出雙渦旋的合併現象，即

今日吾人所熟知的藤原效應；近年來，由於觀測技術的進步，相關的颱風合併的證據及現象亦陸續被發現或報導(Lander and Holland 1993; Lander 1995; Kuo et al. 2000)；在這些論文中發現，在雙颱風合併的過程中存在許多複雜的流場結構的演變，如氣旋式互繞(orbiting)、颱風雲帶拉伸(straining-out)、颱風捲入、合併渦漩增強等。除了衛星雲圖觀測之外，關於雙颱風的研究，泰半藉由數值模擬來進行相關學理的探討；並且，有趣的是，在雙颱風研究的背後，更涉及許多理論上相當重要且影響深遠的議題，諸如：一、多渦漩交互作用，二、颱風眼對稱化動力及眼牆結構演變等。

關於多渦漩交互作用，主要是考慮在具背景渦度或不具背景渦度條件下，渦漩間彼此的交互作用。這方面的研究，主要是藉由所謂的圍線動力學(contour dynamics, CD)或更進一步的圍線手術(contour surgery, CS)的計算得以探討各種渦漩間交互作用的流場物理。針對雙渦漩而言，不論是相同結構渦漩或不同結構渦漩之間的交互作用，皆呈現令人驚訝的流場型態(Melander et al. 1988; Waugh 1992; Dritschel and Waugh 1992)。其中，以 Dritschel and Waugh (1992)所進行不同結構渦漩交互作用結果最具代表性；他們根據 126 個數值實驗的結果歸納出五大類雙渦漩交互作用的型態：一、彈性互繞(elastic interactions, EI)，二、部份拉伸(partial straining-out, PSO)，三、完全拉伸(complete straining-out, CSO)，四、部份合併(partial merger, PM)以及五、完全合併(complete merger, CM)等。

近年來在台灣地區觀測到具有雙眼牆結構的颱風如 Typhoon Bilis(2000)、Typhoon Lekima(2001)、Typhoon Dujuan(2003)等，但對其結構是如何形成的則還在研究的階段中，其中 H-C Kuo 等人(2004)便提出想藉由雙渦漩相互之間交互作用的影響來探討雙眼牆形成的機制。他們經由改變不同的實驗參數進行一連串的數值模擬實驗後，最終提出三點在形成雙眼牆上可能有利的條件：(1)中心渦漩與外圍渦漩的渦度比至少在六倍以上，(2)外圍渦漩的渦度面

積大於中心渦漩，(3)兩渦漩之間的距離與中心渦漩的半徑比約為在 3 至 4 倍之內。

另外，關於雙渦漩的水工實驗方面，無論是具背景渦度或不具背景渦度，雙渦漩的產生一直都是學術上高度的挑戰；就不具背景渦度的雙渦漩產生而言，泰半由二維機翼擺動產生一柱狀渦漩，但由於缺乏背景渦度的支持下，渦漩很容易被流體的黏滯力所耗散而解構；近年來，吾人曾嘗試以一具適當相對位置的平板，配合同步地擺動以產生穩定之雙渦漩，在雙渦漩渦心距及實驗條件均能配合的情形下，吾人可以在水槽中產生一穩定且持久的水工渦漩。此外，對於旋轉水槽環境下所產生的雙渦漩實驗，相關文獻亦極其有限，可見者僅 1987 年 Griffiths and Hopfinger 所進行的渦漩合併實驗，以及 2001 年 Fuentes 所作關於兩個有限區域渦漩的混沌平流(chaotic advection)現象。

吾人的研究方向由原本實驗室的單一渦漩轉為雙渦漩之間的交互作用，希望在這方面的研究也能有所進展。同時並思考在旋轉水槽中是否可由雙渦漩的交互作用進一步來產生類似於雙眼牆結構的渦漩，並且利用粒子軌跡測速法來分析其合併後的性質與合併前的有何差異性，以期對雙眼牆結構的颱風能夠有更進一步的認識。本文中所進行的水工實驗，是以一旋轉水槽作等角速度旋轉，其工作流體為水，經由在適當的類比條件下於旋轉水槽中產生二個類似於颱風渦漩流場，再由不同的渦漩產生方式比較雙渦漩相互之間的運動情形，並且經由改變不同的渦漩產生方式以創造出大而弱與小而強的不同渦漩，其渦度比要在六倍以上，半徑比大於二倍等，以嘗試是否可以在實驗室的水工模擬上產生出類似自然界中雙眼牆的現象。在流場的觀察上，吾人利用染料的施放以做定性的觀察，再藉由雷射光切頁及顯影細微顆粒的使用並配合 CCD 攝影機及影像擷取卡來擷取吾人所要分析的渦漩流場影像，最後利用粒子軌跡測速法來對影像加以分析以得到流場定量的資訊。

### 三、研究方法

以下針對本實驗產生雙渦漩結構實驗

之架構與量測技術說明如下：

### 3.1 雙渦漩產生法

本實驗的工作環境是在邊長 200 公分、高 45 公分的正方形透明水槽中進行，工作流體為水、工作溫度為室內常溫。因為實驗的需求是要在具有一背景渦度 (background vorticity) 下的運動，意即要考慮到科氏力所產生的影響，故將水槽置於旋轉平臺上，由旋轉平臺的馬達帶動中心主軸旋轉使得正方形水槽跟著轉動進而達到所需求的條件。在水槽底部可放置拋物面型的壓克力底板使得產生的渦漩停留在水槽中心以方便觀察，而若要考慮  $f$  或  $\beta$  效應，則可將底部換成一平的壓克力底板，藉由將一端固定讓另一端可自由的調整高度來模擬出地球上緯度效應的影響。渦漩產生方式有吸取及攪拌二種不同的方法。

### 3.2 渦漩產生機構

#### a. 吸用法：

將裝有逆止閥的兩吸水管伸入水中，另一端則接到各別沉水馬達的吸水口，設法讓此段水管內先完全充滿水，待水槽達到剛體轉動 (solid-body rotation) 後，啟動馬達的電源，藉由水的連體特性便可順利的吸取水。藉由漸關閥與時間控制器再加上逆止閥，來精確的控制吸取的流量，以產生一穩定之正渦漩。

#### b. 攪拌法：

利用小型的伺服馬達連接減速齒輪來帶動攪拌棒，並藉由旋鈕控制器來控制馬達的轉速，而使用來攪動流體使其產生渦漩的攪拌棒可分為二種：第一種為實心圓柱體，在流場達到剛體轉動狀態後，以逆時針、等角速度旋轉方式旋轉圓柱體，利用圓柱邊界的摩擦效應來擾動流體，使其產生一正渦漩。

### 3.3 流場顯影技術

本實驗中，為了能完整觀測雙渦漩交互作用的過程，分別採用三種方式觀測整體流場：

#### 3.3.1 染料平鋪法：

係利用兩種不同顏色食用染料，利用細針頭將之注入至靠近平行板翼旁底部，藉由渦漩底部黏性邊界層引致垂直二次流帶動，可觀察雙渦漩垂直結構。

#### 3.3.2 雷射光頁顯影法：

雷射光切頁顯影法是藉由觀察發光粒子 (particles) 在流體中的運動情形而得到所要的流場。工作流體水中先加入適量的微小塑膠顆粒，直徑為  $50\mu\text{m}$ ，密度與水相當接近故會懸浮於流場中，使粒子可以均勻的懸浮於整個流場中，則可將懸浮的粒子視為流體質點 (fluid particles)。藉由 CCD Camera 與影像擷取系統便可將觀察到的流場影像拍攝下來，再經由程式的處理即可得出渦漩的速度分佈及渦度分佈量值。

#### 3.3.3 染料液面釋法：

於雙渦漩產生之平板旁架設針筒，在平板未啟動時，將不同顏色染料分別注入其水面上，以觀察其合併現象，此方法可清楚觀察雙渦漩水平結構之演變。

## 四、結果與討論

### 4.1 強弱比固定下，改變不同的距離

圖(1)為利用染料觀察兩初始距離 26 公分，吸取水量各為 4L 與 1.5L 的雙渦漩交互運動示意圖，其中藍色染料代表的是吸取 4L 的強渦，紅色染料代表的是吸取 1.5L 的弱渦。經由吸取方式所產生的渦漩由於在產生過程中流體不斷的被帶走，由質量不減可知外圍的流體會一直的流入以補充，所以會產生一輻合的效應，因此兩渦漩在產生的過程中即會互相的受到影響。在圖(2)中兩渦漩初始距離縮小為 18cm，由圖(2 a)中可看到紅色染料已被帶到藍色強渦的外圍，在  $t=0\text{s}$  時可看到藍色強渦生成，但無法觀察到紅色弱渦的存在，故可知紅色弱渦在生成的過程中即已被藍色強渦破壞而併入其外圍環流中，所以在生成後只會看到單一藍色強渦的存在。由此可知在強弱比固定不變下，隨著二渦漩之間距離的縮短，在生成時其相互之間因為輻合效應的關係影響會更大，且



若強弱比夠大，則弱渦幾乎在生成的同時也已被破壞掉。

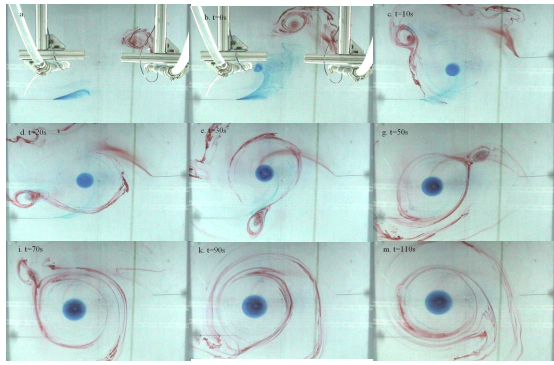


圖 1 兩初始距離 26CM，吸取水量各為 4L 與 1.5L 的雙渦漩之交互作用。

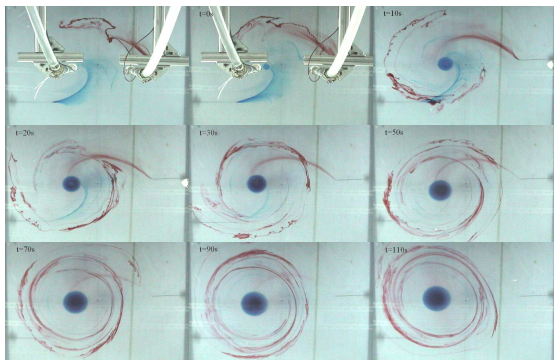


圖 2 兩初始距離 18CM，吸取水量各為 4L 與 1.5L 的雙渦漩之交互作用。

#### 4.2 等距離下，不同強度比

圖(3)、圖(4)與圖(5)為在相同距離 26cm 下，藉由吸取不同的水量以改變渦漩的強度來觀察雙渦漩之間的相互運動。在圖(3)中吸取的水量各為 3.5L 與 1.5L，由圖中觀察可得知兩渦漩在生成時即互相影響，生成之後紅色弱渦圍繞在藍色強渦的外圍跟著一起旋轉並且逐漸被拉扯成細絲捲入其外圍環流中，至  $t=220s$  時紅色弱渦的結構被完全的破壞掉且完全的併入藍色強渦之中成為外圍的環流。圖(4)中強渦吸取的水量減小為 3L，因為藍色強渦的強度減小，所以在剛形成時不會有拉扯紅色弱渦的現象產生，取而代之的是互繞的現象。直到  $t=80s$  時，紅色弱渦的形狀逐漸變為橢圓形，其尖端才開始有被慢慢的拉扯成細絲狀的趨勢圖。(5)中再將強渦的吸取水量減小為 2.5L，故強度變的更小。由圖中可觀察到二渦漩持續互繞的現象，且二渦漩彼此之間在其尖端質量的轉換也一直在進行，由於藍色強渦的強度不足，所以無法像圖(3)及(4)中將紅色弱渦拉扯成

細絲並合併掉，兩渦漩僅能持續互繞的運動。由此可知在距離不改變的情況下，不同的渦漩強度會使得雙渦漩的運動方式不同，若兩渦漩強度差距不大，則會持續互繞並且有質量交換的現象；若兩渦漩的強度差距夠大，則最終會合併為單一的渦漩。

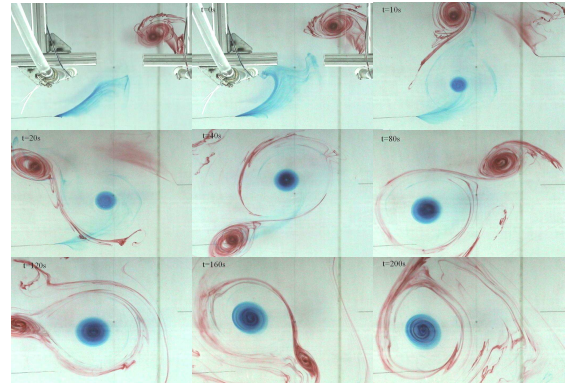


圖 3 兩初始距離 26CM，吸取水量各為 3.5L 與 1.5L 的雙渦漩之交互作用。

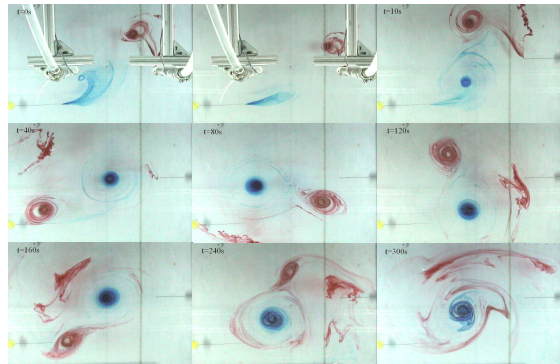


圖 4 兩初始距離 26CM，吸取水量各為 3L 與 1.5L 的雙渦漩之交互作用。

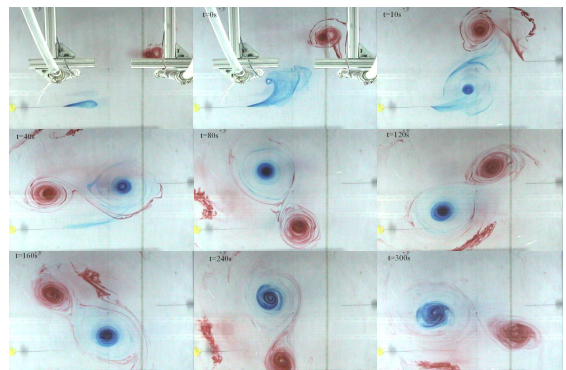


圖 5 兩初始距離 26CM，吸取水量各為 2.5 與 1.5L 的雙渦漩之交互作用。

#### 4.3 不同渦漩產生方式的比較

在 4.1 節中主要針對由吸入法所產生的雙渦漩其彼此之間的相互運動作一探討。此節則藉由比較不同的渦漩產生方式以探討在何種方式下較有可能達到有利雙眼牆產生的條件。

首先兩渦漩皆利用吸入的方法來產生



時，可發現兩渦漩形成的過程中即開始相互的影響，如圖(6)所示，在吸入過程中流體一直被帶走，由於質量不減故外圍的流體會一直的進來而產生輻合的效應，因此兩渦漩若相距在適當的範圍內彼此在產生過程中即會互相干擾，且若此兩渦漩的強弱差距愈大此干擾現象愈嚴重。所以在產生較強渦漩的一邊加上一套筒罩著，希望可降低二渦漩在產生過程中彼此的影響，但如圖(7)所示，二渦漩之間由於底部依然有輻合的效應，所以在產生過程中仍然會受到干擾，且外圍弱渦幾乎在形成的過程中即已被破壞。此外經由吸入方式所產生的渦漩其半徑約為固定在 2~2.5cm 之間，因此無法產生二個半徑比值較大的渦漩，故吾人思考藉由攪動法來產生性質較為獨立的渦漩，並利用套筒來控制渦漩半徑的大小。為了產生渦度比在六倍以上的渦漩，所以小而強渦漩的產生上利用一槳與半徑較小的套筒，大而弱渦漩則使用圓柱與半徑較大的套筒，如圖(8)所示，但結果發現大而弱渦漩的半徑並不如預期的大且渦度值無法降低，主要是因為用來攪動的圓柱其半徑不大，故速度的遞減會太快而導致渦度值很大。所以將圓柱改為一面積更大的槳，且使用半徑更大的套筒來降低大渦的渦度值。

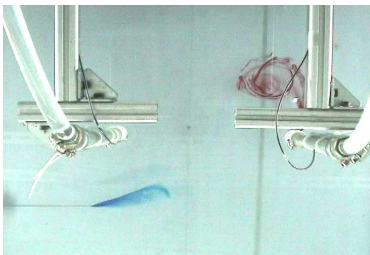


圖 6 吸入法產生渦漩過程。紅色較弱渦在形成過程中即已受到藍色較強渦影響而移動。

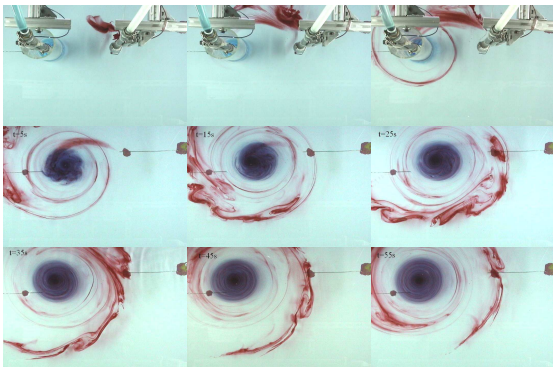


圖 7 較強渦漩外圍加一套筒示意圖。紅色弱渦在形成時即已被藍色強渦破壞。

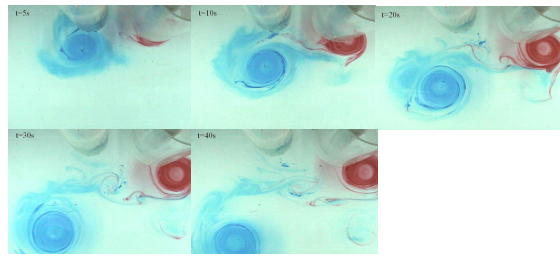


圖 8 一槳一圓柱產生渦漩的方法。

#### 4.4 具科氏力影響之渦漩之垂直結構<sup>[12]</sup>

本研究接續上一年計畫，關於一眼牆結構一之研究，吾人則著重在旋轉水槽上正壓渦漩三維結構的了解；在過去的研究文獻中，針對旋轉水槽中渦漩的運動雖已有相當豐碩的研究成果，但多數學者皆忽略渦漩的三維結構之討論與釐清；此渦漩三維結構的了解，可以在學理上幫助吾人更清楚的刻劃颱風眼牆內垂直流動對颱風整體環流及強度的影響。僅就本年度吾人所更進一步針對流場的三維結構所作探究之主要結果予以說明。

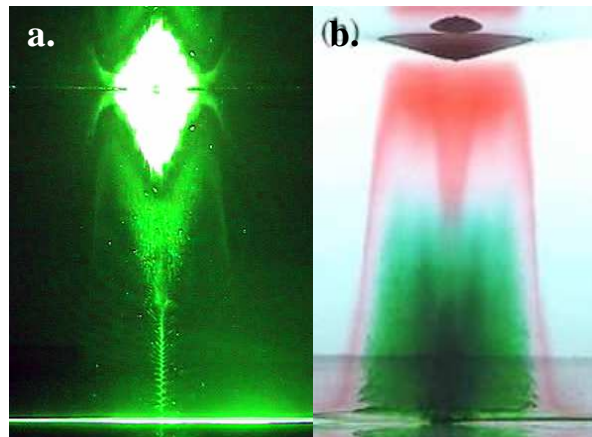


圖 9 旋轉水槽上正壓渦漩的垂直結構之顯影

圖 9 左顯示為該渦漩在發展末期垂直子午面方向的流動情形。主要流動方向為環狀的主流(primary flow)，與由下而上螺旋狀攀升的二次流(secondary upward flow)，與渦漩上部的 (inner core region flow)，其詳述在上次報告中已提及。而圖 9 右為該渦漩在發展初期垂直方向的染料顯影，該部分的流動起因於渦漩底部強大的徑向壓力梯度力，導致 Ekman 層內流體迅速以順時針方向往渦心處幅合 (在 Ekman 層內流體受科氏力影響往流動方向之右邊偏轉)，且近渦旋中心處的旋轉半徑縮小，使得此處因角動量守恆關係，旋轉速度相對增加，此快速的旋轉形成似剛體旋轉

(solid body rotation) 般運動，離心力與壓力梯度相互較勁，使得染料進不到渦心內，而沿著此剛體旋轉邊緣往上爬升，直至黏滯作用逐漸消散該渦旋旋轉速度能量，壓力梯度力勝過離心力，才能迫使染料流入渦心內，且逐漸由下往上堆積上去，形成如圖左般結構。

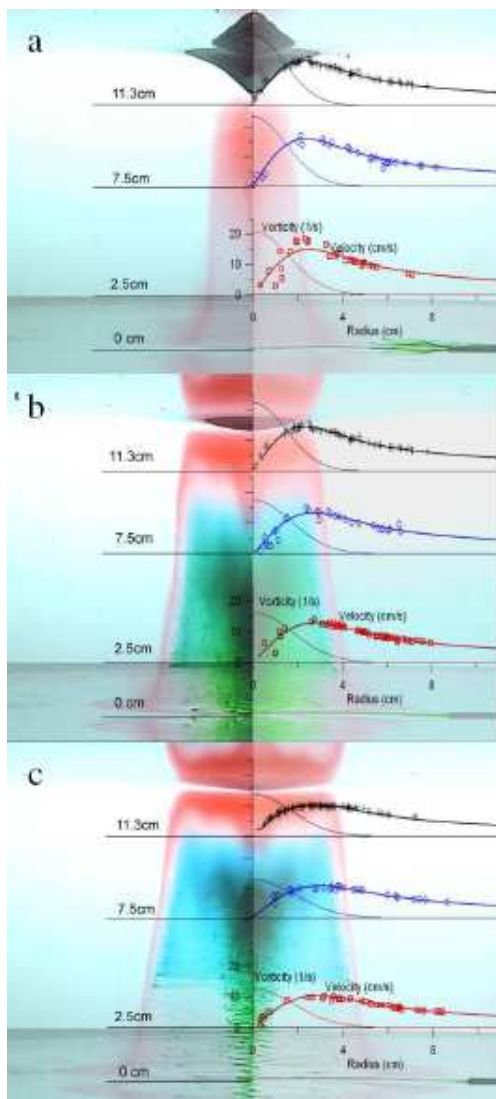


圖 10 旋轉水槽上正壓渦旋的垂直結構之顯影與不同高度（離底板 2.5cm、7.5cm、11.5cm）之速度、渦度分布

圖 10 顯示以 PTV 量測隨時間發展下不同高程之速度與渦度的分布與相對應時間下的染料顯影合成圖，其時間分別為 5s(圖 a)、15s(圖 b)、30s(圖 c)，與高度分別為 2.5cm、7.5cm 與 11.5cm。該渦旋產生條件為以吸入法吸取 25s 吸量 4L，初期(圖 a)之渦心最大切線速度為 17(cm/s)，最大渦度(vorticity)為 23(1/s)，且隨時間發展而逐漸遞減，其渦旋中心具有高集中渦度及近

中心有最大切線速度，其流場型態型態似自然界中的颱風與龍捲風。

為了證實圖 9 中在渦旋初期，染料進不到渦心內，而沿著此剛體旋轉邊緣往上爬升現象，吾人以水平雷射切頁來顯影由底部施放之螢光染料圖 11，其雷射切頁為離底板 6.5cm。圖中 a(5s)、b(6s)顯示螢光染料皆未流進渦心內，而沿著渦心外圍往上爬伸，圖 c(7s)中染料已部分進入渦心內，圖 d(10s)染料以完全進入渦心內，且不斷的往上堆積。

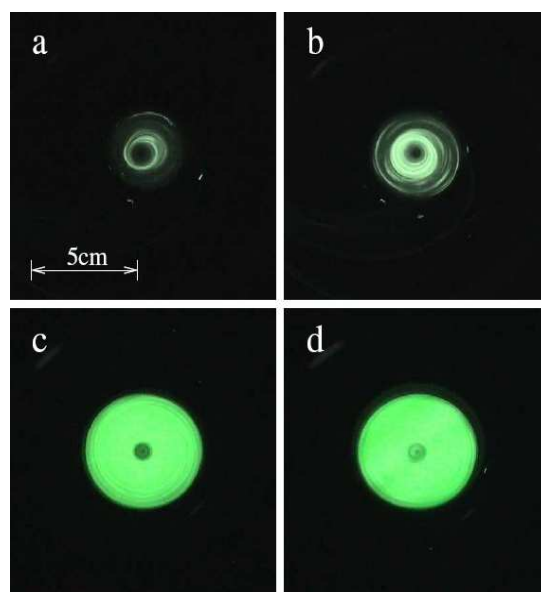


圖 11 旋轉水槽上正壓渦旋的水平切頁之顯影

吾人由實驗觀察結果，共歸納出渦旋發展中五個重要的階段，如圖 12：

(a) (stage of siphoning)：當吸取時，吸管附近的流體先被抽走，在科氏力影響下，造成附近流體的緩慢的旋轉運動，且隨著吸取量的增加，此影響逐漸往下延伸及往外擴大以至於形成一柱狀的氣旋式渦旋 (columnar cyclonic vortex)，且該渦旋不斷地增強，俟一段時間後（大約是 2 至 3 個背景旋轉週期）該渦旋發展完全為一柱狀且水平方向大小約 100 公分的渦旋。其中，由於上端虹吸仍持續進行，但由於類似於單胞龍捲風的動力管現象，僅有底部 Ekman 層內的流體能被吸取而往中心做順時針幅合，且此幅合上升的速度由層流快速的加速至紊流，平均上升速度可達到每秒 1 米，並構成一完整的單胞渦旋結構。

(b) (stage of downward jet impingement)：當



吸管瞬間離開時，因為上方邊界條件的改變，下方快速旋轉的流體立即感受到來自液面的強大壓力（相對於底板），此壓力差造成自由液面極度的凹陷，亦反應出因旋轉所造成的離心力與壓力梯度力間的平衡。自由液面瞬間的拉伸，造成強大空氣柱(air core)由上往下衝擊，除了將原先二次流的運動排開，且液面的扭轉變形亦帶動液面下方的流體運動。

(c) (two-cell structure): 當 air core 逐漸消失後，被 air core 所帶動的運動還很強勢時(順時針由上往下)，且與由底部而上的運動(順時針由下往上)相互抗衡。強勢的流動佔據原先二次流的位置直到底部，而後在底部向外反折與包在外圍的二次流同向由下往上流回液面形成完整的 two-cell 結構。

(d) (detachment of inner vortex): 由上而下的運動逐漸被減弱，原先的二次流又重新流入渦心處，此交界面的頂點為一停滯點，二次流動逐漸將此停滯點推回液面。

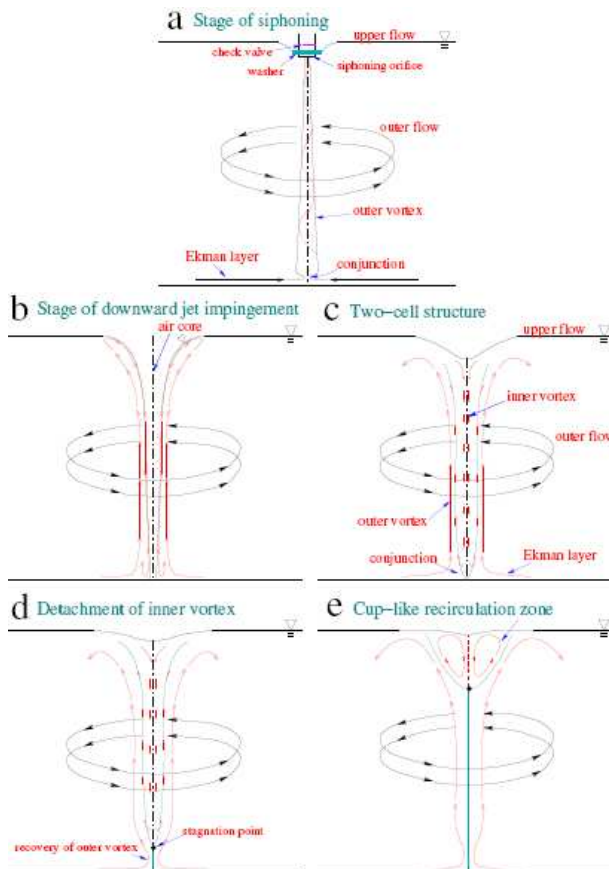


圖 12 正壓渦旋的子午面流場發展示意圖

(e) (cup-like recirculation zone): 渦旋發展的末期，此時速度與渦度以被消散的差不多，由上而下的運動被二次流推到液面

處，且被二次流所包圍，自成一環流結構。

上述渦旋三維結構的闡釋，科氏力在整個結構中所扮演的角色為何仍需進一步的學理分析；或者說，對於一主流方向為水平的渦旋而言，位於渦心之垂直的流動對於整體流動而言雖說只佔很小的一部分，但在吾人所觀察的流場中，此部分的流動（二次上升流）顯然藉著與渦心下沉流動的交互作用達到影響渦旋強度的事實。可以預期的是：對於同樣有著垂直流動的颱風眼牆內流動而言，相似的流動是否亦伴隨著類似的強度影響的機制呢？在此雖不宜過度臆測，卻不啻指出未來可以進一步努力的方向。

## 六、結語與討論

本水工實驗主要經由不同的渦旋產生方法在旋轉水槽中產生雙渦旋以觀察其相互之間交互作用的情形，藉由染料注入法及雷射光切頁顯影法來做定性及定量上的分析，同時利用攪動法及吸入法以創造出有利於雙眼牆結構形成的條件，吾人可歸納出下列幾點結論：

1. 在一適當的距離下，由吸取方式所產生的雙渦旋在渦旋產生的過程中即會因為底部 Ekman 層的影響而有一向內輻合的作用，所以兩渦旋在產生過程中即已互相受到干擾而並非兩獨立的系統，且若此兩渦旋彼此的強度差距太大，則較弱的渦旋在生成的過程中也同時的被破壞，故無法達到強弱比六倍以上的條件。
2. 吸入法所產生的雙渦旋在強弱不同或距離改變的情況下皆會影響雙渦旋之間的交互運動。
3. 實驗結果得知經由吸入法所產生的渦旋其半徑固定在 2~2.5cm 之間，因此若要產生半徑更大的渦旋必須使用攪動的方式，且經由攪動法所產生的渦旋其性質上較為獨立，二渦旋彼此之間比較不會互相干擾。
4. 由擾動所產生的二渦旋在渦旋剛形成時不會馬上相互吸引，反而是互相給對方一推力，使得兩渦旋初始會有一遠離的運動情形，且兩渦旋遠離後會再相互靠近的機會很小，故由攪動方式所產生的雙渦旋比較不容易會有合併的現象產

生。在  $\beta$ -plane 上大渦移動的較快，在雙渦漩交互作用上比較屬於主導的地位。

5. 由攪動方式所產生的雙渦漩其渦度比可達到六倍以上，且可產生半徑較大的渦漩，但由於攪動方式所產生的雙渦漩不易合併，故經由染料的觀察上在  $\beta$ -plane 上雖有合併的現象產生，但是否確實是則需要再進一步的探討與確認。

## 七、計畫成果自評

本計畫為吾人系列探討研究之第二年計畫，針對具科氏效應下雙渦漩之水工模擬，以比較上年度計畫中不具科氏效應下之雙渦漩合併，改變不同的渦漩產生法，以製造小而強、大而弱的渦漩特徵，且加入背景旋轉影響下，藉由染料與雷射切頁顯影的輔助，來觀察渦漩間的交互作用，亦成功的描繪出相關的流動特徵。再著，對於研究渦漩垂直結構中，各個階段流場的演變，其基本的流場物理現象，亦可進一步釐清颱風眼牆與龍捲風內部結構。

## 八、參考文獻

- [1] C. C. Wu and T. S. Huang and W. P. Huang and K. H. Chou, A new look at binary interaction: potential vorticity diagnosis of the unusual southward movement of tropical storm Bopha (2000) and its interaction with supertyphoon Saomai (2000), *Mon. Wea. Rev.* **131**, 1289-1300. (2003)
- [2] Dritschel, D. G. and Waugh, D. W.: Quantification of the inelastic interaction of two asymmetric vortices in two-dimensional vortex dynamics. *Phys. Fluids A*, **4**, 1737-1744. (1992)
- [3] Fuentes, V. O. U., Chaotic advection by two interacting finite-area vortices. *Phys. Fluids*, **13**, 901-912. (2001)
- [4] Griffiths, R. W. & Hopfinger, E. J., Coalescing of geostrophic vortices, *J. Fluid Mech.*, **178**, 73-97. (1987)
- [5] H. C. Kuo., G. T. J. Chen and C. H. Lin, A possible Mechanism for the Eye Rotation of typhoon Herb, *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1659-1673. (1999)
- [6] H. C. Kuo, L. Y. Lin and C. P. Chang and R. T. Williams, The formation of concentric vorticity structures in typhoons, *J. Atmos. Sci.*, **61**, 2722-2733. (2004)
- [7] Lander, M., The Merger of Two Tropical Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2260-2265. (1995)
- [8] Lander, M. and Holland, G. J., On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices. I: Observations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **119**, 1347-1361. (1993)
- [9] Melander, M. V., Zabusky, N. J. and McWilliams, J. C.: Symmetric vortex merger in two dimensions: Causes and conditions. *J. Fluid Mech.*, **195**, 303-340. (1988)
- [10] O. U. Velasco Fuentes, Chaotic advection by two interacting finite-area vortices *Phys. Fluids* **13** 901. (2001)
- [11] O. U. Velasco Fuentes and F. A. Velazquez Munoz, Interaction of two equal vortices of a  $\beta$  plane *Phys. Fluids* **15**, 1021. (2003)
- [12] P. Meunier and T. Leweke, Three-dimensional instability during vortex merging, *Phys. Fluids* **13**, 2747. (2001)
- [13] P. Meunier and U. Ehrenstein and T. Leweke and M. Rossi , A merging criterion for two dimensional co-rotating vortices, *Phys. Fluids* **14**, 2757. (2002)
- [14] 黃世霖，“運用粒子追跡法探討旋轉水槽中單一渦漩演變之流場結構”，國立臺灣大學應用力學所碩士論文(2003)。
- [15] 謝政達，“運用 PIV 與 PTV 量測技術於單一渦漩生成之研究”，國立台灣大學應用力學所碩士論文(2004)。
- [16] 謝秉昇，“背景渦度下雙渦漩交互作用之水工實驗”，國立台灣大學應用力學所碩士論文(2005)。