

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030108

舞動熱流-探討熱量在流體中的傳播

學校名稱： 臺北市立敦化國民中學

作者：  國一 呂宣潔	指導老師：  陳清圳
-------------------	------------------

關鍵詞： 熱對流、冷對流、低壓中心的零風點

# 摘要

本研究探討熱區與冷區在水中造成的對流與擴散現象，並以水蒸氣柱模擬氣旋中心熱氣流及颱風眼內部結構。結果顯示，熱區擴散速度隨溫差顯著上升，冷區則變化較小，呈現不同的對流型態。進一步量測蒸氣柱風速與垂直溫濕度分布，發現風速於一定高度出現「零風點」，其高度與蒸氣柱直徑呈比值約為 7。此區為熱對流動能轉弱之處，對應氣旋眼牆的無風層。最後導入外圍切線風，成功建立具對稱性之旋轉風場，重現類似颱風眼牆的氣流結構，為理解熱帶氣旋的垂直環流提供可驗證的實驗依據。

## 壹、前言

### 一、研究動機

颱風是台灣常見且具破壞性的天氣系統，對民生與環境造成重大影響。雖然氣象學上對颱風的形成已有基本認識，但實際上許多細部機制，特別是熱流如何驅動氣流運動、渦流結構如何生成，以及颱風眼中心為何出現「零風點」等現象，仍有待進一步釐清。

回顧相關研究，有學者以旋轉水槽模擬科氏力影響，探討颱風的旋轉方向；也有研究分析海水溫度與熱對流對颱風生成的關聯，或以霧化模型模擬整體風場。然而，這些研究多著眼於大尺度的氣流分佈，較少深入探討「水蒸氣冷凝釋放潛熱」、「氣壓梯度與局部風速變化」等微觀因素如何促成風場的形成與轉變。尤其「零風點」的生成與變化，在現有文獻中極少以實驗方式呈現。

本研究以此為出發點，嘗試透過冷熱水對流實驗，觀察熱區與冷區對水流擴散與對流方向的影響，並以熱水蒸氣柱模擬颱風眼的低壓核心。進一步透過風速測量與變因控制，探討熱氣流範圍、蒸發速率、切線風介入等條件下，氣流如何產生旋轉、形成風渦，以及是否能重現類似颱風眼牆的結構。期望藉此驗證文獻中的理論假設，補足現有研究對「颱風眼內部氣流動力」的不足，並提出新的解釋觀點。

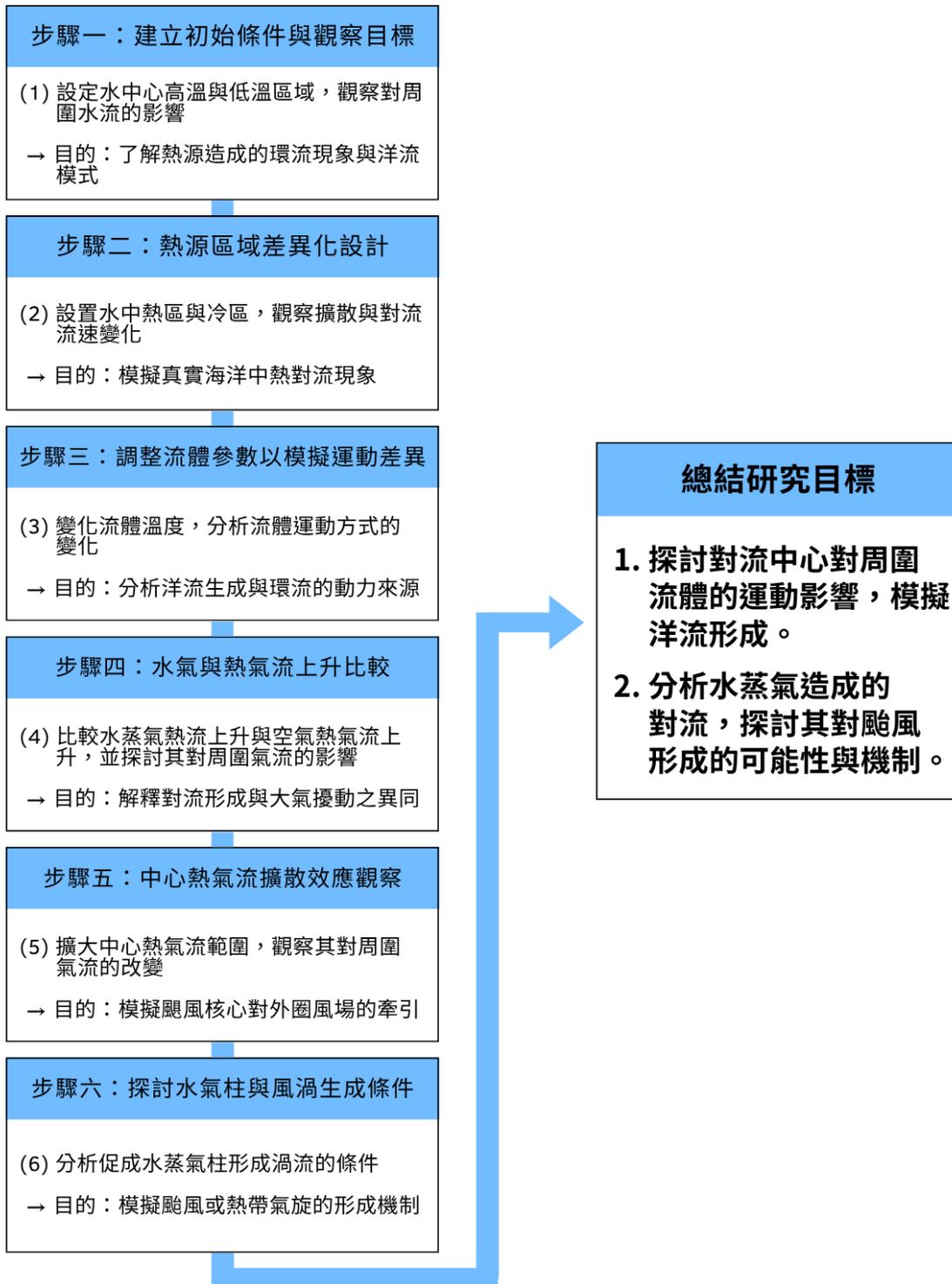
## 二、 研究目的

- (一) 探討水中熱區與冷區對流體運動的影響。
- (二) 分析不同水深與溫差條件下，熱區與冷區的擴散速度變化。
- (三) 觀察熱氣流來源（火焰與水蒸氣）對周圍空氣流動的影響。
- (四) 以水蒸氣柱模擬颱風中心的上升氣流，量測不同加熱範圍與蒸發速率下氣流的垂直速度變化，並辨識風速消失或轉折的「零風點」出現高度。。
- (五) 結合風速量測與垂直溫濕度數據。
- (六) 模擬外圍切線風與中心熱氣柱交會時的氣流偏折與渦流形成現象。
- (七) 整合氣壓梯度、潛熱釋放、向心力與科氏力等理論基礎，推演熱帶氣旋中心環流結構的形成條件。

### 三、文獻回顧

研究名稱	研究重點	研究方法	與本篇的關係
大風怎麼吹？－颱風旋轉方向之研究與模擬（文獻四）	颱風的旋轉方向，探討科氏力、氣壓變化、風向對颱風的影響	旋轉水槽實驗、低氣壓模擬、水流漩渦實驗	本篇更進一步探討「颱風眼形成」，並使用水蒸氣柱模擬低壓中心與環流結構，比單純研究颱風旋轉更深入。
颱風與海水溫度的關係（文獻五）	海水溫度對颱風形成與發展的影響	熱對流實驗、溫度變化數據分析	本篇關注颱風能量來源（熱帶海洋），但進一步分析氣流結構與壓力變化，補充了過去研究未討論的風速變化與颱風眼形成機制。
凌「雲」馭「風」－以霧化水分子氣流場模型模擬颱風風場與路徑變化（文獻六）	研究颱風在不同環境下的風場與路徑變化，模擬風場不對稱、狹管效應、副低壓影響等	電子霧化器模擬氣流場，改變風速與障礙物來觀察影響	本篇與此研究有相似的模擬方法，但更專注於颱風眼的形成機制與內部流場結構，特別是零風點的探討。

#### 四、研究流程工作圖



(作者自製)

## 貳、研究設備及器材

### 一、本實驗使用的器材和其他材料

項目	內容			
器材	燒杯、瓦斯爐、鐵容器、溫度計、塑膠水盆、相機、尺、鐵茶壺、酒精燈、風速計、大口徑鐵盆、吹風機、計時器、快速瓦斯爐。			
藥品	自來水、冰塊、色素			
重要 器材圖片				
	瓦斯爐	溫、濕度計	量筒	色素
				
	鐵容器	溫度計	風速計	風速計
本研究中所有圖片及照片皆由作者親自製作或拍攝				

## 參、研究方法

### 一、本實驗涉及到的相關科學原理與定律：

#### (一) 流體動力學

研究流體的運動模式，解釋水蒸氣上升、氣流運動，以及颱風的形成機制。

#### (二) 對流原理

熱對流：溫暖的水蒸氣上升，遇冷凝結，釋放潛熱，增強上升氣流。

冷對流：冷空氣下降，驅動深層海洋洋流，模擬颱風外圍的空氣循環。

#### (三) 低壓中心與氣壓梯度

水蒸氣上升後密度降低，形成低壓區，使周圍氣流向中心流動，驅動颱風環流。

氣壓梯度力：空氣從高壓區流向低壓區，導致風的流動。

#### (四) 伯努力定律

在高速流動的空氣區域，壓力較低，有助於形成颱風的低壓核心。

#### (五) 向心力與科氏力

向心力讓颱風內的氣流維持旋轉運動。

科氏力：影響氣流方向，使北半球颱風逆時針旋轉，南半球順時針旋轉。

#### (六) 潛熱釋放

水蒸氣凝結時釋放潛熱，進一步加熱上升氣流，增強颱風的發展。

#### (七) 零風區

颱風眼內部風速極低，因為內部下降氣流抑制對流活動，形成「零風點」。

## 二、實驗項目

### (一) 研究水中出現熱區及冷區，對水產生的流動影響

1. 在水盤中加水並靜置五分鐘。
2. 分別放入裝熱水及冰水的塑膠管於中心處。
3. 滴入色素觀察色素流動。
4. 滴入色素到均溫水中觀察色素流動。(不改變中心溫度)

### (二) 水中出現熱區及冷區，對水產生的擴散流速影響。

1. 在水盤中加水並靜置 5 分鐘。
2. 測量水深並記錄。
3. 分別放入裝熱水及冰的塑膠管於中心處。
4. 滴入色素，測量色素流動速度。

### (三) 在水中央出現熱區及冷區，在不同的水溫下，溫差對水產生的流動影響。

1. 保持 4cm 水深，分別放入裝熱水及冰水的塑膠管
2. 在管邊滴入色素觀察色素流動速度。

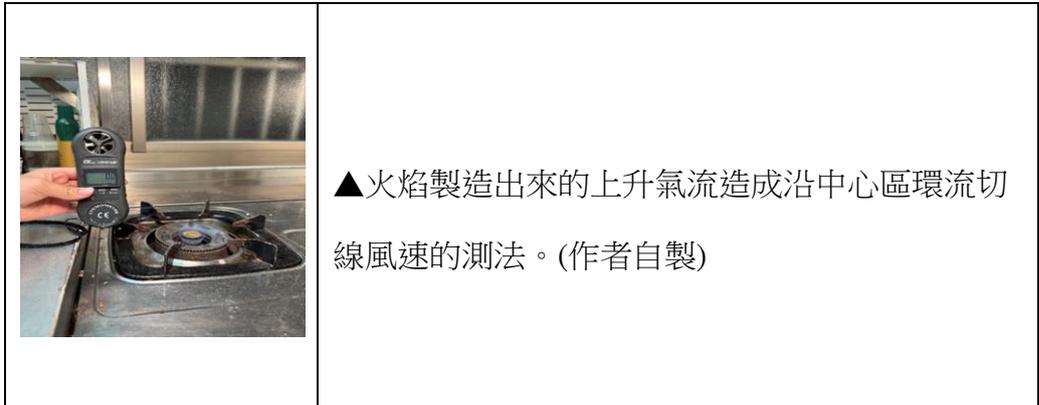
### (四) 探索中心熱氣流對周圍氣流的影響

1. 開啓瓦斯爐，將風速計平行上升熱流，測水準向心風速。  
以探討火焰產生的向上熱流，是否造成法線向內的氣流。

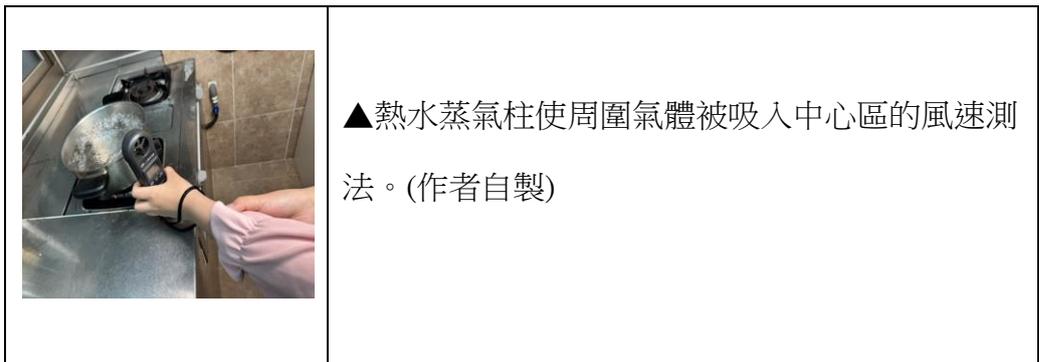


▲火焰製造出來的上升氣流使周圍氣體被吸入中心區的風速的測法。(作者自製)

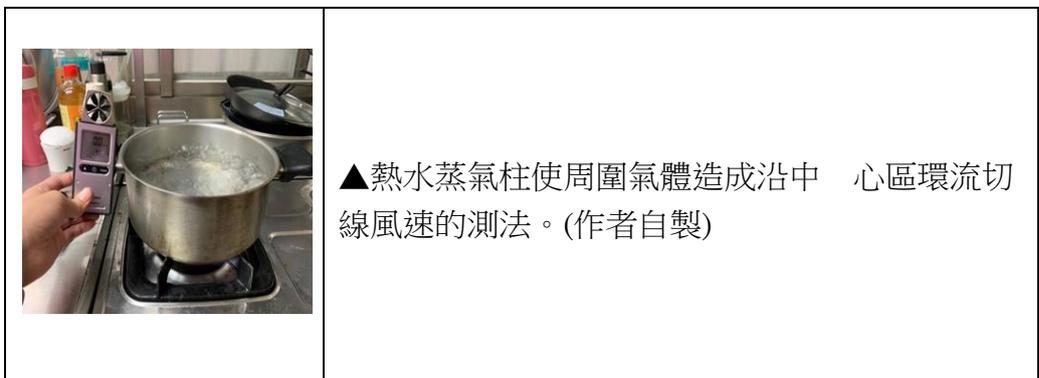
2. 開啓瓦斯爐，將風速計平行上升熱流，測周圍的**切線**風速。  
以探討火焰產生的向上熱流，是否造成切線向內的氣流。



3. 開啓瓦斯爐，加熱裝滿水的鐵鍋再將風速計平行上升熱流，測熱流周圍**向心**風速。探討水蒸氣的向上熱流，是否造成法線向內的氣流。



4. 開啓瓦斯爐，加熱裝滿水的鐵鍋再將風速計平行上升熱流，測熱流周圍**切線**風速。探討水蒸氣的向上熱流，是否造成切線向內的氣流。



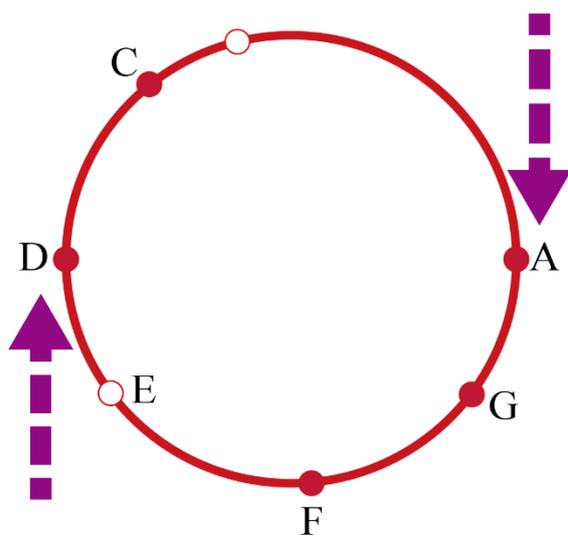
(五) 了解不同口徑與不同水平高度下向上風速的差異

1. 鐵容器裝水在瓦斯爐上加熱到沸騰。
2. 風速計測量中心不同高度〈距水面的距離〉上升氣流流速。

	▲風速計測量中心上升氣流流速。(作者自製)
	▲調整風速計高度，測量中心上升氣流流速。 (作者自製)
	▲不同口徑所造成不同範圍的蒸氣柱，以風速計測量中心上升氣流流速。(作者自製)

### (六) 形成風渦的可能性

1. 將水加熱
2. 將吹風機風口平行相對，調整風速
3. 在平行中心處放熱水蒸氣柱，測沿中心熱水蒸氣柱切線風速。
4. 比較不同加熱範圍區，及不同的蒸發速率，所造成的切線風速



▲俯視圖與各測量點的對應位置  
(作者自製)

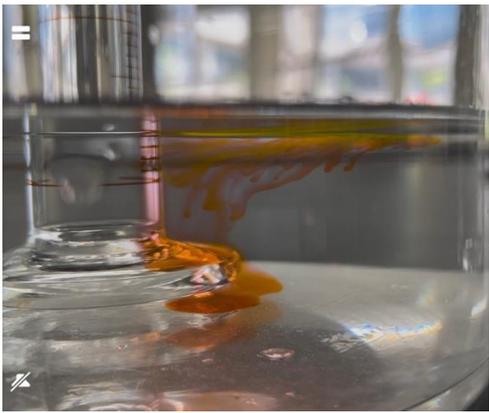
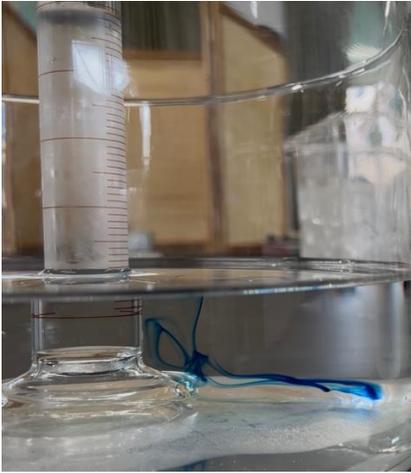


▲將吹風機風口平行相對。  
(作者自製)

## 肆、實驗結果

### 一、研究水中出現熱區及冷區，對水產生的流動影響

#### (一) 實驗現象圖片

中心為熱區	
	
側視圖（色素在表面處流動）(作者自製)	俯視圖（色素在表面處擴散）(作者自製)
中心為冷區	
	
側視圖（色素在底部處流動）(作者自製)	俯視圖（色素在底部擴散）(作者自製)

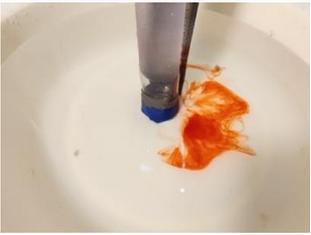
### 小結論：

1. 熱水管使深層色素集中於管邊，水表面色素向外輻射。
2. 冰水管使深層色素向外輻射，水表面色素集中於管邊。
3. 熱區的水因加熱而上升，擴散到水面後，外圍的水流向中心補回，因而形成旋轉的流場；冷區的水則下沉後向四周擴散，外層水流同樣會往中心回流，也會出現旋轉現象。這兩種情況都是因為水的密度不同，產生上下對流，再加上補流方向的交會，導致水中出現渦流。

### (二) 實驗過程現象圖片水中心為熱區時的擴散

		
圖 1-1	圖 1-2	圖 1-3
		圖片均由作者 重新實驗拍攝
圖 1-4	圖 1-5	
圖 1-1~1-4 熱水管使深層色素集中於管邊，色素在水表面向外輻射		
圖 1-5 熱水管水面色素向外輻射後會出現渦狀		

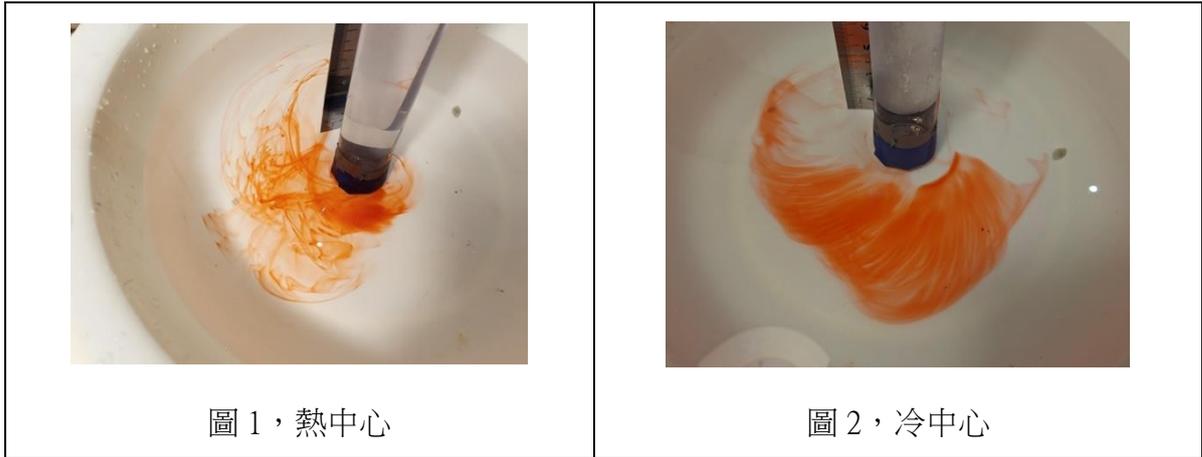
(三) 實驗過程現象圖片水中心為冷區時的擴散

 <p>圖 2-1</p>	 <p>圖 2-2</p>	 <p>圖 2-3</p>
 <p>圖 2-4</p>	 <p>圖 2-5</p>	圖片均由作者 重新實驗拍攝
圖 2-1~2-4 冰水管使深層色素向外輻射，水面色素集中於管邊。		

(四) 均溫水的擴散

 <p>圖 3-1</p>	 <p>圖 3-2</p>	 <p>圖 3-3</p>
圖 3-1 滴入色素在均溫水中，色素在水中均勻散開，無集中在水面或水底現象。圖 3-2~圖 3-3 滴入色素在色均溫水中，色素在水中均勻散開，無集中在水面或水底現象，且溫度愈高（圖 3-3）擴散愈快。		
圖片均由作者重新實驗拍攝		

(五) 本組發現的渦流現象



熱水管水面色素向外輻射後會出現渦狀，而冰水管深層色素向外輻射也出現渦狀。

圖片均由作者重新實驗拍攝

項目	熱中心	冷中心
主流方向	自底部向上升	自表面向下沉
形成機制	熱膨脹，由浮力驅動	密度變大，由於重力驅動
渦旋條件	上升後水面擴散 + 外圍補流 形成旋轉	下沉後底部擴散加上補流剪切形成 旋轉
模擬	對應熱帶氣旋上升核心	對應深層洋流、冷卻對流

二、水中出現熱區及冷區，對水產生的擴散流速影響（中心區固定為 100°C/0°C）。

（改變不同水的深度）

(一) 實驗現象圖片

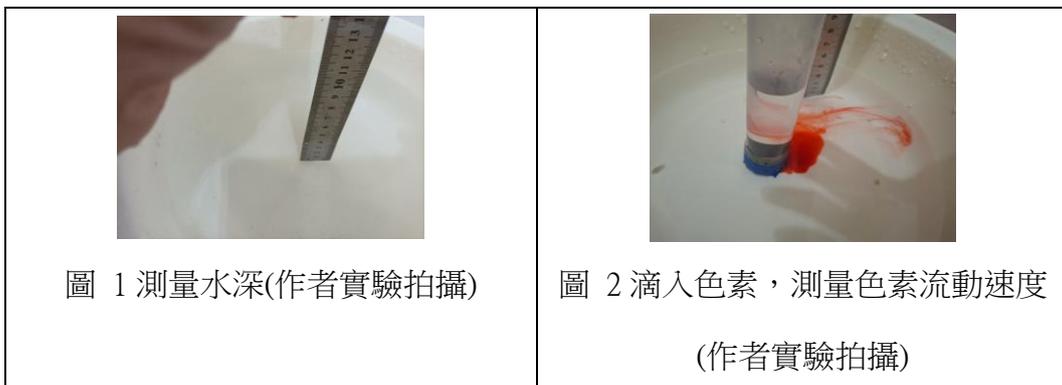




圖 3 水面的流動追蹤  
(作者實驗拍攝)

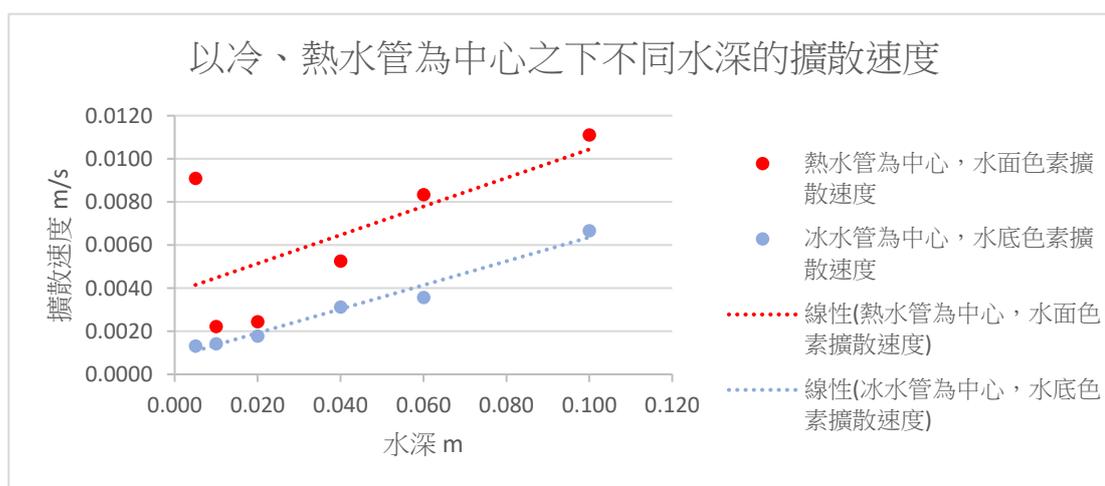


圖 4 水底的流動追蹤  
(作者實驗拍攝)

## (二) 實驗結果

熱水 (100°C) 管為中心，水面色素散速度			冰水管(0°C)為中心，水底色素擴散速度		
水深 m	到邊界時間 sec	擴散速度 m/s	水深	到邊界時間 sec	擴散速度 m/s
0.005	11.00	0.0091	0.005	76.00	0.0013
0.010	45.00	0.0022	0.010	70.00	0.0014
0.020	41.00	0.0024	0.020	56.00	0.0018
0.040	19.00	0.0053	0.040	32.00	0.0031
0.060	12.00	0.0083	0.060	28.00	0.0036
0.100	9.00	0.0111	0.100	15.00	0.0067

(作者自製)



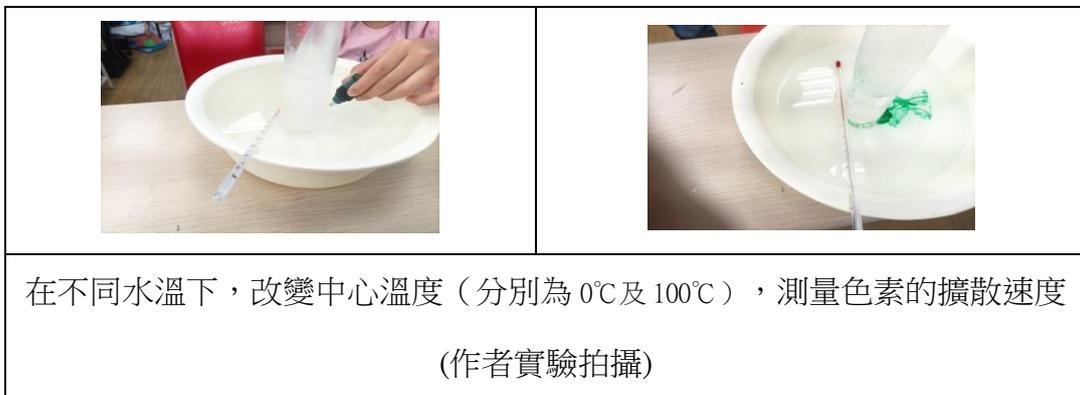
(作者自製)

### 小結論：

1. 熱水管中心的水面擴散速度，整體高於冰水管中心的水底擴散速度，顯示熱對流的推動力較強。
2. 無論熱區或冷區，擴散速度皆隨水深增加而上升，代表水體越深，對流越明顯。
3. 熱區因水流由底部上升至表面，浮力作用強，擴散面積大，導致擴散速度明顯提升。
4. 冷區則因水流自表面下沉，底部空間受限，回補流速較緩，擴散速度相對較慢。
5. 從趨勢線可看出，熱區的速度增幅大於冷區，顯示熱對流在深水中對流行為更顯著。
6. 在熱水管中心，水深僅 0.5 公分時，雖然水深較淺，但熱區因熱能集中且浮力反應迅速，使熱水直接上升並快速擴散，加上水量小、擴散距離短，因此即使在淺水中也出現明顯的擴散速度。

三之一、在水中央出現熱區及冷區，在不同的水溫下，溫差對水產生的流動影響。

#### (一) 實驗現象圖片

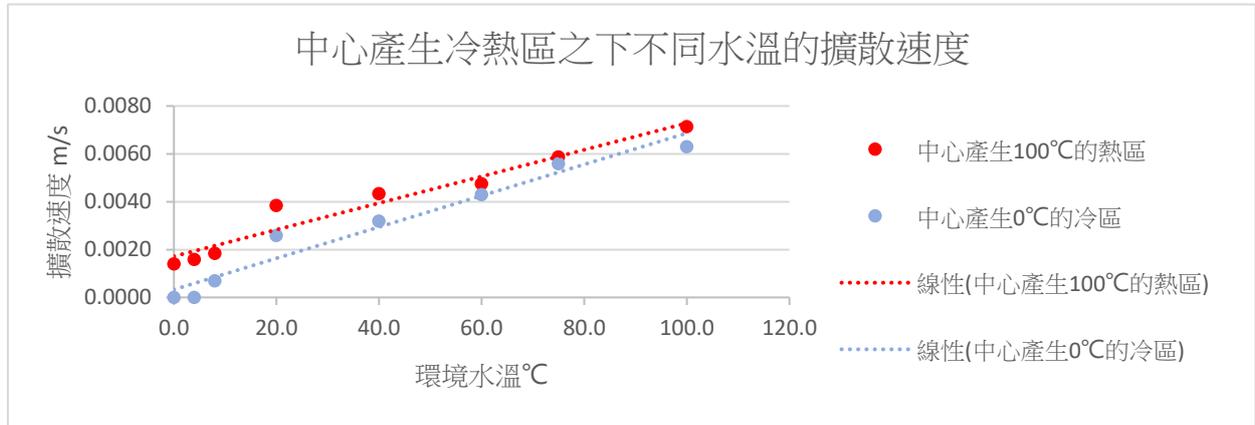


#### (二) 實驗結果

表格 1.中心產生 0°C 的冷區			表格 2.中心產生 100°C 的熱區		
水溫 °C	底部色素擴散 0.1m 時間 sec	換算速度 m/s	水溫	水面色素擴散 0.1m 時間 sec	換算速度 m/s
0.0	200.00	-	0.0	71.00	0.0014
4.0	200.00	-	4.0	63.00	0.0016
8.0	143.00	0.0007	8.0	54.00	0.0019
20.0	38.00	0.0026	20.0	26.00	0.0038

40.0	32.00	0.0032	40.0	23.00	0.0043
60.0	24.00	0.0043	60.0	21.00	0.0048
75.0	19.00	0.0056	75.0	17.00	0.0059
100.0	15.00	0.0063	100.0	14.00	0.0071

(作者自製)



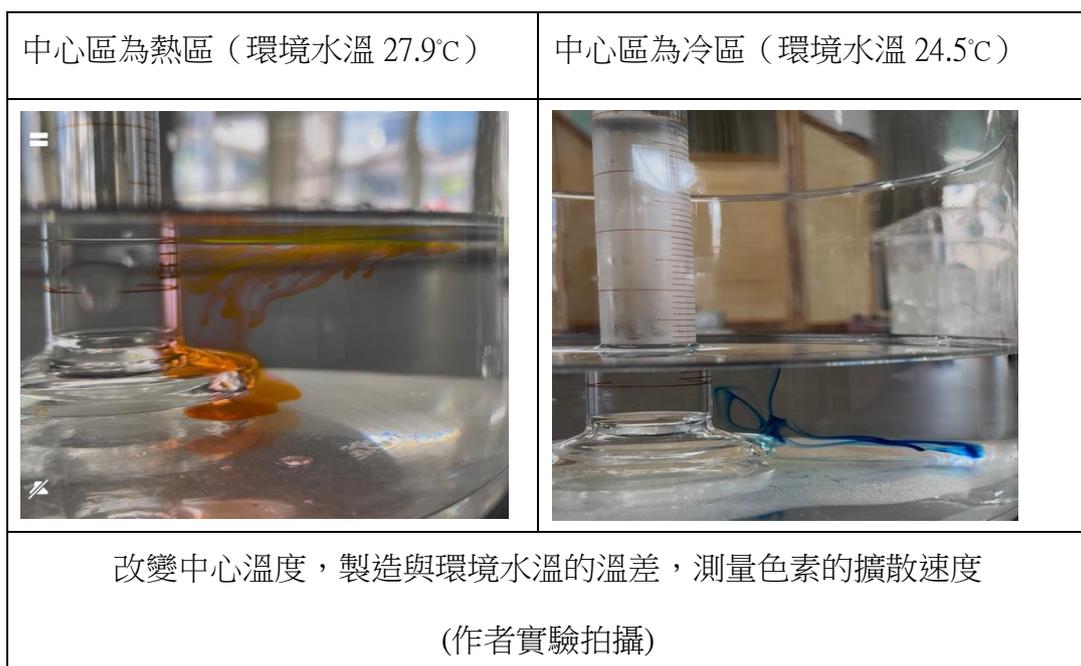
(作者自製)

小結論：

1. 環境水溫越高，無論是熱區或冷區，擴散速度都隨之增加，顯示高溫有助於加強對流。
2. 在相同環境水溫下，熱區（100°C）所造成的擴散速度明顯大於冷區（0°C），表示熱對流推動效果較強。

三之二、改變中央熱區/冷區溫度，探討溫差對水產生的流動影響。

(一) 實驗現象圖片



## (二) 實驗結果

表格 1.中心熱區			表格 2.中心冷區		
水溫 $^{\circ}\text{C}$	底部色素擴散 0.1m 時間 sec	擴散速度 m/s	水溫 $^{\circ}\text{C}$	底部色素擴散 0.1m 時間 sec	擴散速度 m/s
70 $^{\circ}\text{C}$	14.70	0.0068	1.1 $^{\circ}\text{C}$	48.44	0.0021
80 $^{\circ}\text{C}$	12.54	0.0080	10 $^{\circ}\text{C}$	69.09	0.0014
90 $^{\circ}\text{C}$	10.37	0.0096	18.7 $^{\circ}\text{C}$	98.53	0.0010
100 $^{\circ}\text{C}$	8.3	0.0120			

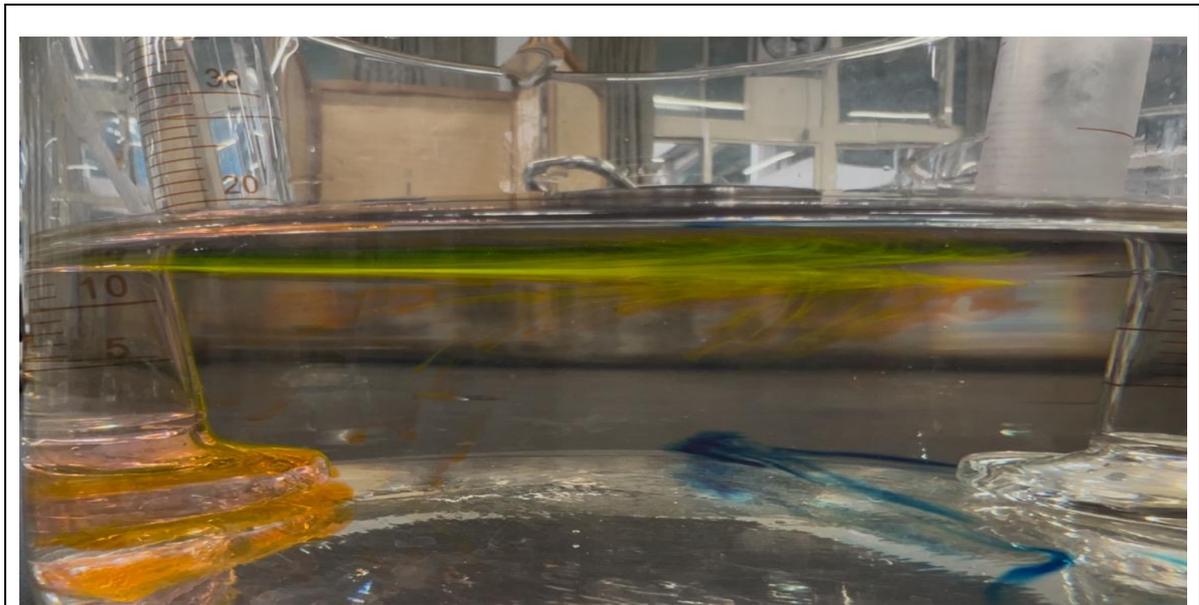
  

中心熱區時溫差與擴散速度關係		中心冷區時溫差與擴散速度關係	
<p>Y-axis: 擴散速度 (m/s) X-axis: 溫差 (<math>^{\circ}\text{C}</math>) Equation: <math>y = 0.0002x - 0.0007</math> <math>R^2 = 0.9757</math></p>	<p>Y-axis: 擴散速度 (m/s) X-axis: 溫差 (<math>^{\circ}\text{C}</math>) Equation: <math>y = 6\text{E-}05x + 0.0006</math> <math>R^2 = 0.9899</math></p>		

(作者自製)

### 小結論：

1. 兩者皆呈正相關：溫差越大，擴散速度越快，兩區皆呈線性增加趨勢。
2. 熱區影響較顯著：熱區的擴散速度對溫差變化反應較敏感，變化幅度大（斜率大）。
3. 冷區影響較緩和：冷區的擴散速度變化較小，斜率明顯較熱區低。
4. 綜合結論：溫差對擴散速度的影響在熱區明顯大於冷區，顯示熱對流在熱區中主導擴散效應，而冷區主要為微弱對流或分子擴散所主導。

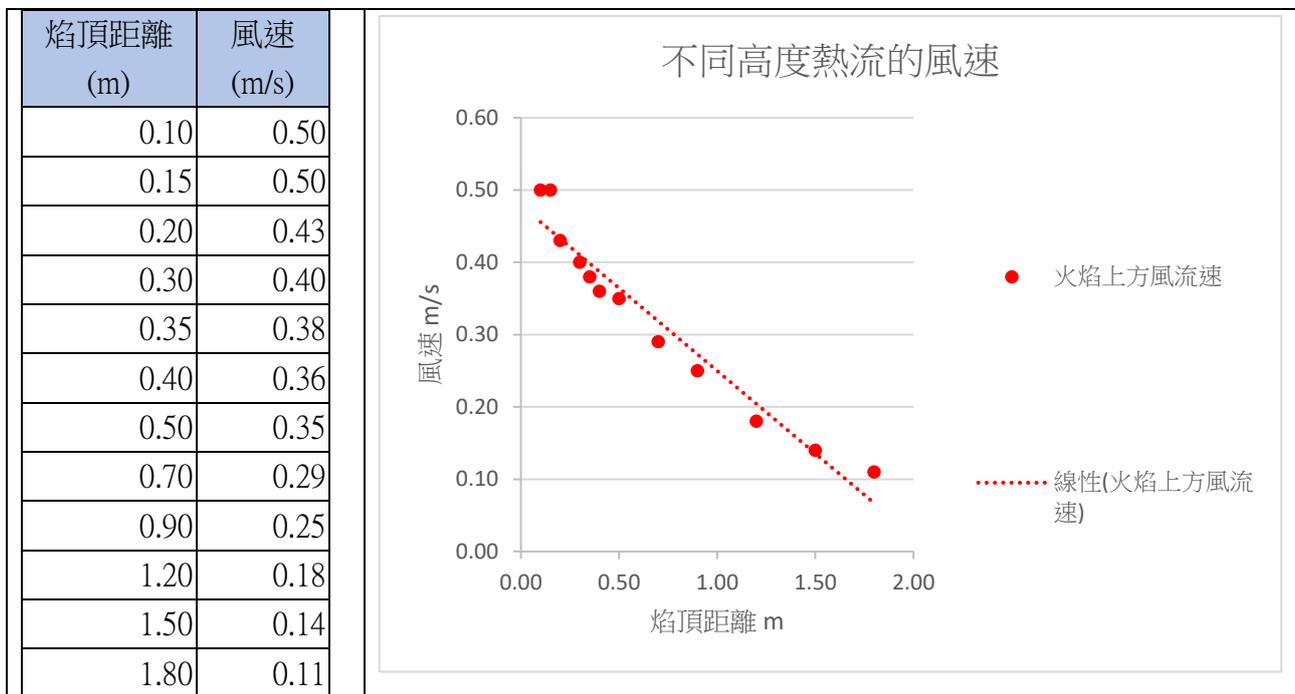


圖片說明：左邊為熱區，右邊為冷區，由此圖可以明顯驗證熱區的擴散速度大於冷區的擴散速度（作者實驗拍攝）

#### 四、探索中心熱氣流對周圍氣流的影響

##### （一）實驗結果

##### 1. 在焰頂上不同高度與風速的關係



(作者自製)

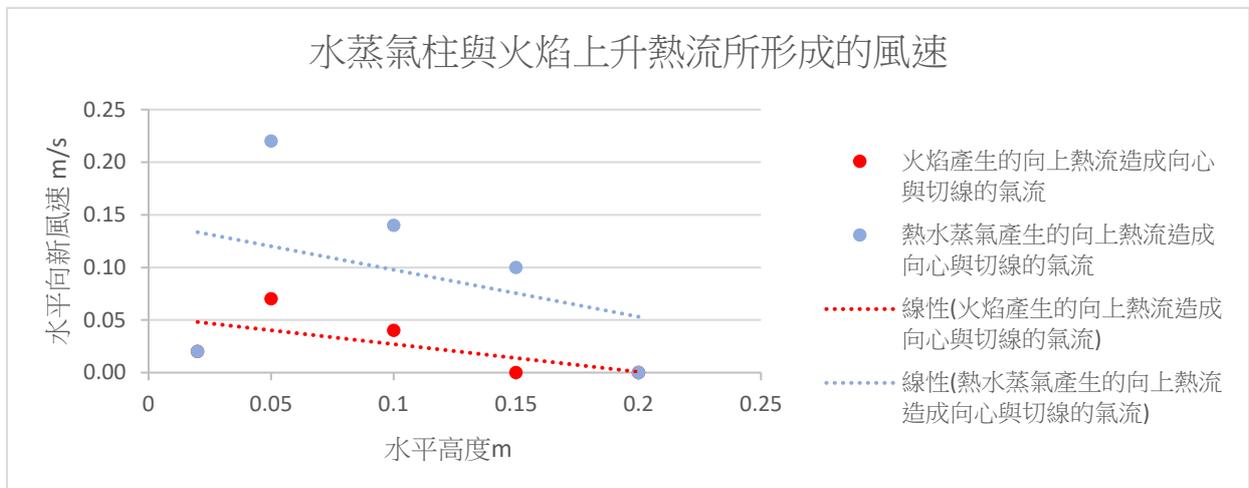
##### 小結論：

火焰上方的風速會隨著測量高度增加而明顯下降，呈現明確的負相關趨勢。且隨高度增加，熱能擴散與空氣密度逐漸均勻，導致浮力驅動減弱，風速逐步下降。

## 2. 火焰/熱水蒸氣產生的向上熱流造成向心與切線的氣流

火焰產生的向上熱流造成向心與切線的氣流			熱水蒸氣產生的向上熱流造成向心與切線的氣流		
距火焰高度 m	水平向心風 速 m/s	水平切線 風速	距水面高度 m	水平向心風 速 m/s	水平切線風 速
0.02	0.02	0	0.02	0.02	0
0.05	0.07	0	0.05	0.22	0
0.1	0.04	0	0.1	0.14	0
0.15	0.00	0	0.15	0.10	0
0.2	0.00	0	0.2	0.00	0

作者自製



(作者自製)

### 小結論：

1. 熱水蒸氣產生的上升熱氣流，其造成的向心與切線氣流速度，明顯大於火焰產生的熱氣流，表示吸附周圍空氣的能力更強。
2. 兩種熱源在越靠近下方的位置（低高度）時，水平風速越快，表示吸氣效果最明顯。
3. 水平高度越高，風速越低，代表吸氣能力會隨高度上升而逐漸減弱。
4. 線性趨勢線顯示，水蒸氣熱流的吸氣衰減幅度較緩，維持時間與範圍均優於火焰熱流。
5. 由此可推論出熱水蒸氣柱模擬低壓中心的效果更穩定、更有利於產生類似颱風眼牆的環流結構。
6. 在本實驗中無論是火焰中心或熱水蒸氣中心，均無法測得切線於熱區周圍的風。

## 五、了解不同口徑與不同水平高度下向上風速的差異

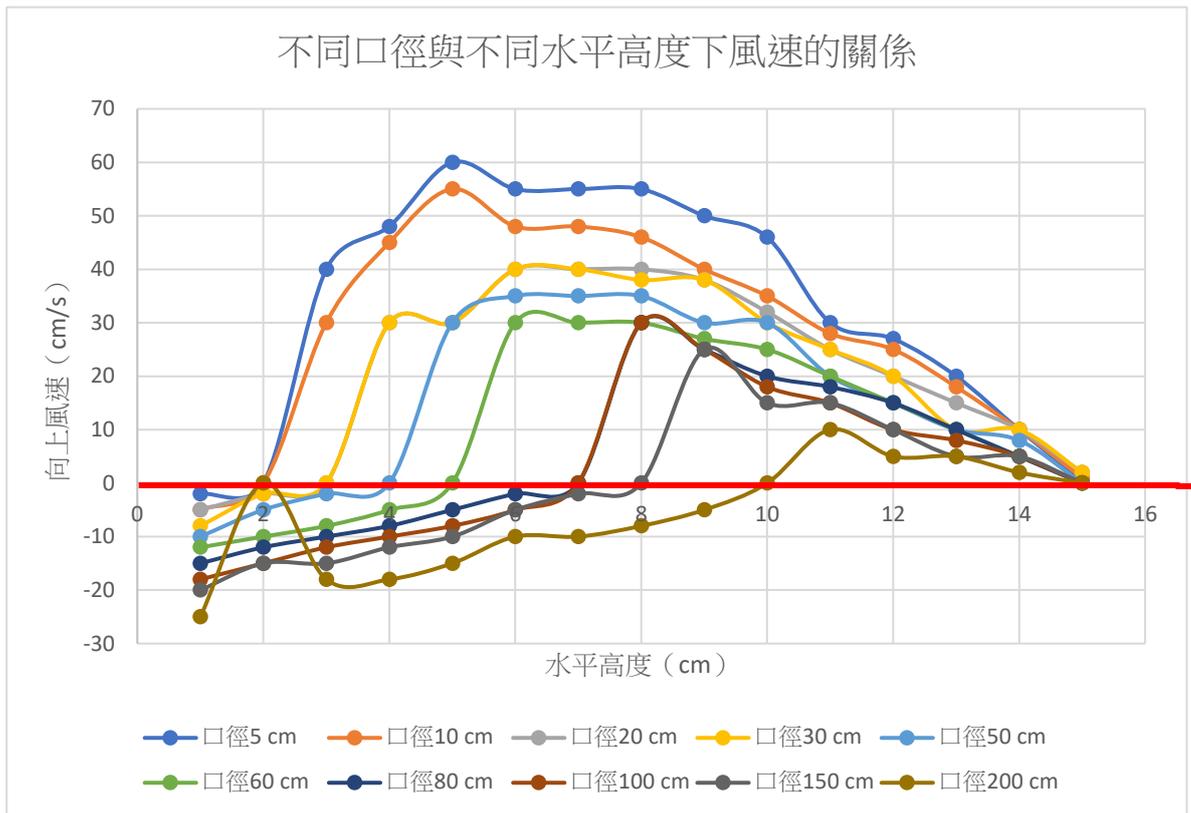
## (一) 實驗結果

表格 1.不同口徑，測中心位置不同高度處〈距水面的距離〉的向上風速

口徑 高度	5cm	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
0.5cm	下微 轉	向下 5cm/s	向下 5	向下 8	向下 10	向下 12	向下 15	向下 18	向下 20	向下 25	向下 28
1.5	0	0	下微 轉	下微 轉	向下 5	向下 10	向下 12	向下 15	向下 15	向下 20	向下 24
3	40	30	0	0	下微 轉	向下 8	向下 10	向下 12	向下 15	向下 18	向下 20
5	48	45	30	30	0	向下 005	向下 8	向下 10	向下 12	向下 18	向下 20
7	60	55	30	30	30	0	向下 5	向下 8	向下 10	向下 15	向下 18
10	55	48	40	40	35	30	下微 轉	向下 5	向下 5	向下 10	向下 15
12	55	48	40	40	35	30	0	0	下微 轉	向下 10	向下 15
15	55	46	40	38	35	30	30	30	0	向下 8	向下 10
20	50	40	38	38	30	27	25	25	25	向下 5	向下 8
25	46	35	32	30	30	25	20	18	15	0	下微 轉
32	30	28	25	25	20	20	18	15	15	10	0
50	27	25	20	20	15	15	15	10	10	5	10
100	20	18	15	10	10	10	10	8	5	5	5
150	10	10	10	10	8	5	5	5	5	上微 轉	上微 轉
200	上微 轉	上微 轉	上微 轉	上微 轉	0	0	0	0	0	0	0

本表格由作者重新實驗，並以新的風速計在不同位置多次測試，以量取最佳數據。並增加 30、50、80、200 公分寬口徑，及測量更高的高度（200 公分）。以上數據有關長度單位皆為公分。

(作者自製)



(作者自製)

#### 小結論：

1. 熱氣流在上升過程中，風速會先增加後減少，在某高度出現風速為零的轉折點，稱為零風點。此現象代表上升氣流的能量消散至極限，並可能轉為下沉流。
2. 實驗觀察顯示，熱源口徑越大，零風點出現的高度越高；口徑越小，零風點位置越低。表示熱源的擴散範圍會影響熱氣流集中程度與垂直推升能力。
3. 透過數據整理可推得：零風點高度與熱源直徑之間約略呈線性關係，實驗中發現兩者的比值約為 1:7 (直徑/高度  $\approx 7.02$ )。
4. 零風點現象與颱風中心低壓結構中無風帶的位置相似，具有模擬熱帶氣旋內部氣流分佈的重要意義。

## 六、形成風渦的可能性

### (一) 實驗結果

1. 在沿加熱區周圍平行對吹的切風向情況下，於各測量點的水平切線風速。

位置	A	B	C	D	E	F	G
直徑 100cm	向下 60 cm/s	向右 5 cm/s	向右上 15 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 20 cm/s	向左 5 cm/s	向左下 10 cm/s
直徑 150cm	向下 60 cm/s	向右 10 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 10 cm/s	向左下 15 cm/s

(作者自製)

2. 在沿加熱區周圍平行對吹的切風向情況下，於各測量點的水平切線風速。

位置	A	B	C	D	E	F	G
中火 加熱	向下 60 cm/s	向右 10 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 10 cm/s	向左下 15 cm/s
大火 加熱	向下 60 cm/s	向右 15 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 15 cm/s	向左下 15 cm/s

(作者自製)

### 小結論：

1. 不論加熱範圍為直徑 100 公分或 150 公分，皆可觀察到氣流在中心點上升、兩側向左與向右旋轉，形成近似環流的氣流分布。
2. 直徑 150cm 時，兩側切向風速比 100cm 時更大（如左上風速由 20 上升至 30 cm/s），顯示加熱面積越大，對外圍氣流的吸附範圍與強度越強，有利於旋轉風場形成。
3. 加熱強度提升（由中火→大火），會使左右兩側的切線風速加快（如右側由 10→15 cm/s），中心吸力未變（皆為 60 cm/s），但外圍風速提升，代表整體環流推動力更強。
4. 實驗結果證實：當加熱中心與切風交會時，熱氣流會吸附外圍風造成偏折，形成順時針或逆時針的水平旋轉流場，與真實颱風眼牆的氣流結構相似。

## 七、測量熱區中央上方不同高度時溫度與濕度的變化，推測零風點的可能性

實驗裝置	實驗數據		
	高度	濕度(%)	溫度
	5cm	100	39.1°C
	10cm	100	44.5°C
	15cm	100	49.5°C
	20cm	100	43.1°C
	25cm	100	37.5°C
	30cm	84	30.2°C
	35cm	68	30.6°C
	40cm	58	29.1°C
	45cm	55	28.7°C
	50cm	55	28.8°C
	55cm	55	28.9°C
	60cm	53	29.0°C
環境溫度 28.7°C			
鍋子口徑 18.5 公分			
水深 7.5 公分 (作者自製)			

### 小結論：

- 0 - 15 cm 高度：溫度持續升高，濕度保持 100% → 水蒸氣密集、上升氣流強，屬於熱對流上升區。
- 20 - 30 cm 高度之間，溫度明顯下降（43.1°C → 30.2°C），濕度從飽和 100% 開始下降（至 84%）。此區可能為上升氣流逐漸失速、對流動能最弱之處，可能是零風點高度區。
- 35 - 60 cm 高度：溫度與濕度趨近環境值，對流穩定或微弱下沉流 → 空氣交換少、擴散最慢。

## 伍、討論

- 一、針對水中熱區與冷區的擴散實驗結果顯示，熱區水流由下向上擴散，冷區則由上向下沉降，皆會形成明顯渦流。熱水在水面擴散時可見外圍回補水流，冷水下沉後於底部亦有向心回流，形成類似漩渦結構。這證實熱對流與冷對流皆能驅動旋轉流場，為後續風場結構模擬奠定基礎。
- 二、在水溫變化與擴散速度關係方面，熱區擴散速度隨水深與水溫上升而增強，冷區擴散速度亦會隨水深增加而變快，但變化幅度較小。圖表資料顯示，熱對流的反應強度與擴散速率明顯高於冷對流，說明熱能提供的浮力效應主導了整體對流行為。
- 三、比較不同熱源（火焰與水蒸氣）所產生的氣流，可以發現火焰熱氣流在靠近熱源處風速快但衰減迅速，而水蒸氣柱雖風速略低，但上升流更穩定且持久，且可產生「零風點」與「下降氣流」的層次變化，展現出模擬氣旋內部垂直氣流結構的潛力。本研究採用水蒸氣熱柱並結合風速儀器量測，使風場結構呈現更清晰且具可量化性。
- 四、針對火力大小與風場分佈的實驗，結果顯示中火與大火中心吸力相當，但大火條件下兩側切向風速更大，氣流環繞結構更明確，顯示加熱強度能影響熱氣流的吸附能力與環流形成效率。這些觀察與後續旋轉風場的模擬形成了連續性的關聯，有助於了解颱風眼牆強度與熱力供應之間的關係。
- 五、本研究第五項研究目的為：「模擬外圍切線風與熱氣柱交會時，中心氣流的變化與渦流形成可能性，並建立旋轉風場模型。」為探討旋轉風場的生成條件，實驗設計針對不同加熱範圍與火力，結合切線風的導入方式，觀察氣流偏折與風場分佈的變化。

（一）首先，在直徑 100cm 與 150cm 的加熱範圍中，水蒸氣熱柱均成功吸附外圍切線風，形成向右、右上、上、左上、左、左下方向的風向變化。加熱區周圍風速在兩側位置（B 與 F 點）達到最高（皆為 60 cm/s），顯示熱氣流的對稱吸附能力。150cm 口徑時，左右兩側切線風速較 100cm 時為高，並擴展至外圍點位，顯示加熱面積越大，熱氣流吸附範圍與旋轉結構越穩定。

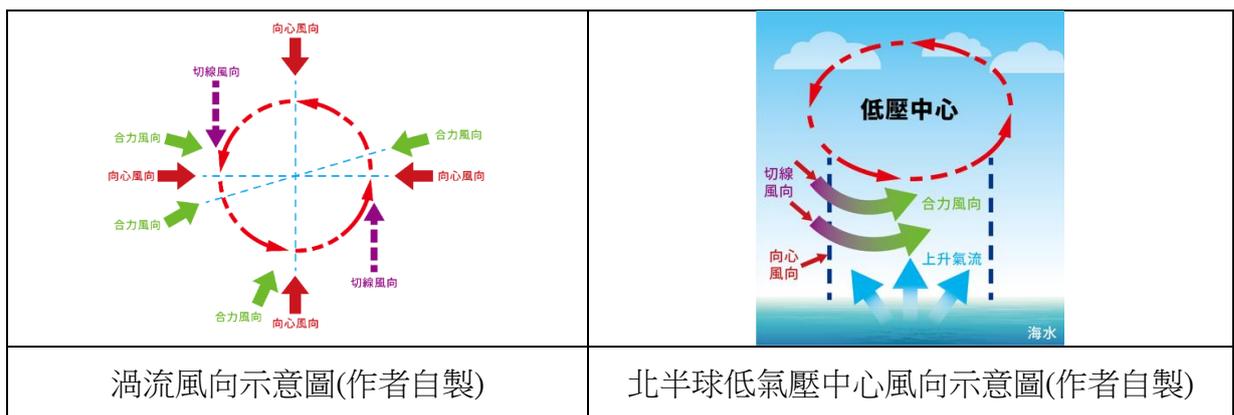
(二) 進一步比較中火與大火兩組設定，發現加熱強度增加時，雖中心吸力相同（60 cm/s），但兩側風速明顯增加（如右側從 10 cm/s 提升至 15 cm/s），顯示火力強度會增強環流推動力，使切風被吸引進中心更快速，渦旋結構也更清晰。

(三) 在旋轉氣場的對稱性上，水蒸氣熱源中心可吸引四周空氣，向中心流入。本研究透過七點量測與速度數據記錄，完整呈現左右切向的吸附，上升與轉折三維空間分佈，模擬了風場動態演化的結構特徵。

(四) 此外，風速方向的偏折角度也具規律性，B→D→F 點風向自右→上→左逐漸過渡，對應實際氣旋中氣流環繞中心旋轉之動態。

綜合以上觀察，本研究不僅證實熱氣流與切線風可產生旋轉風場，並量化其風速與方向分佈，建構出類似颱風眼牆的氣流模型，為解釋熱帶氣旋之環流結構提供更具體實驗依據。

六、以本實驗來模擬颱風，面臨的問題是條件上的不同，及開放空間在測量上的困難度，比如加熱方式，本組是以火源在底部加熱，生成颱風的海面是以太陽加熱。且本組在實驗中的加熱範圍也遠遠不如颱風範圍，此乃本實驗的最大限制。

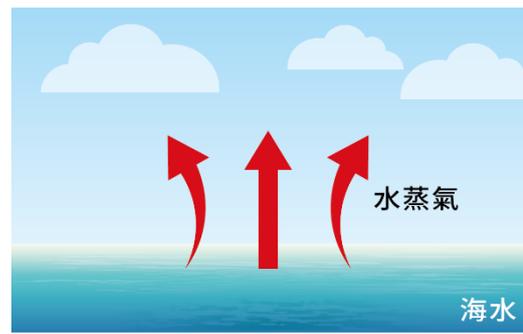


## 陸、結論

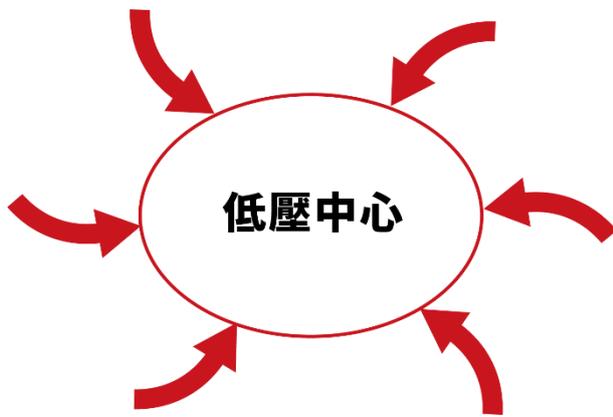
- 一、熱區與冷區皆可產生明顯對流與漩渦現象，熱區水流自底上升後向外擴散，冷區則由表層下沉並向底部擴散，證實流體密度差異與回補水流能形成穩定渦流結構。
- 二、水溫與水深越高，熱區擴散速度越快，冷區亦有提升，但幅度較小，說明熱對流的浮力效應較冷對流強，主導了對流速度與強度。
- 三、水蒸氣柱較火焰更能穩定產生持續性熱氣流，並在氣流上升過程中形成「零風點」與後續下沉區域，為模擬氣旋垂直風場提供更具層次的模型。
- 四、加熱火力會影響氣流的水平速度分佈，大火條件下切向風速更高，代表熱力供應強弱會直接影響旋轉風場的發展與範圍。
- 五、外圍切風與熱氣柱交會會使氣流偏折進入中心，產生順時針或逆時針環繞結構，且風速數據呈現空間對稱性與規律性的旋轉分佈，成功建立旋轉風場模型。
- 六、綜合模擬結果顯示，水蒸氣釋熱、低壓中心形成與氣流偏折結構高度對應颱風眼牆的形成條件，並可用實驗數據推導出直徑與零風點高度的比值（約為 7.02），為模擬熱帶氣旋內部環流提供可量化依據。
- 七、中心區如何造成，依據本實驗推論為：
  - (一) 海面上有一區形成熱區，因相對溫度較高，熱區上方氣流向上對流，開始吸入外圍空氣向中心流入。
  - (二) 以本組在水中出現熱中心的對流實驗發現，在對流柱上層所擴散出的水流，是以渦狀流出。上層的渦狀流出及在對流區邊界下降，且對流只是在流體中出現引導流體運動方向的作用。所以赤道空氣溫度本就較高，分子動能也比較大，一但出現引導氣流成風渦流動，速率也比較大而形成了颱風眼牆。



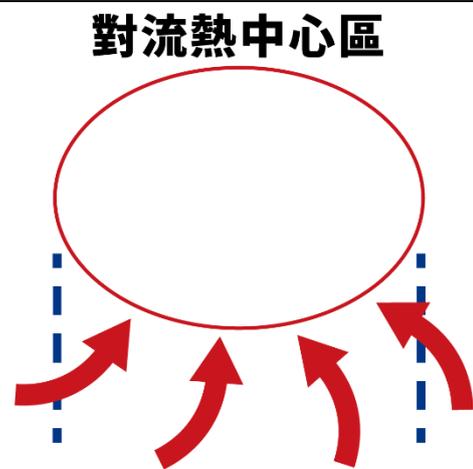
1. 高溫海水蒸發(作者自製)



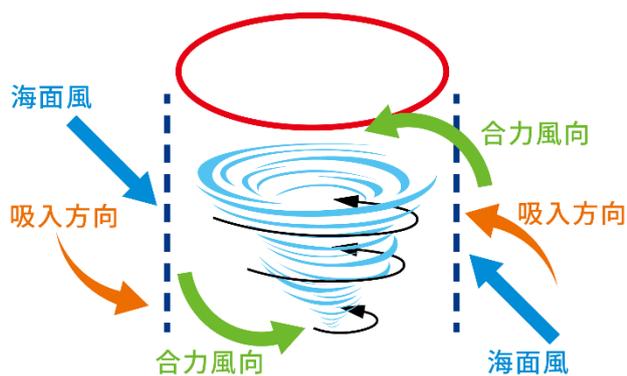
2. 水蒸氣向上流動，凝結放出熱量，使空氣溫度上升對流向上，形成中心低壓。  
(作者自製)



3. 周圍空氣因中心低壓而向內流入，  
(作者自製)



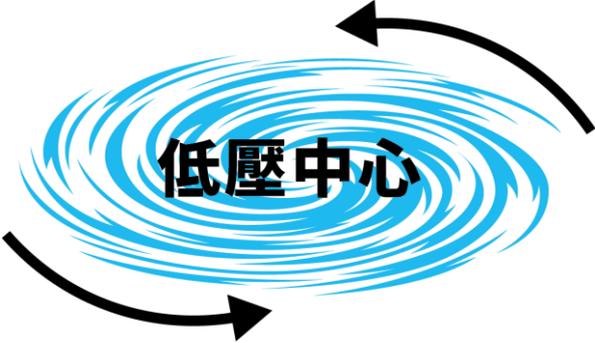
4. 因科氏力及向上氣流，使向心流入的氣流方向改變。(作者自製)



5. 海面上若有氣團或季風使向心流入的風流，因合力方向而轉向更易形成風渦。  
(作者自製)



6. 形成風渦(即眼牆)能始中心能量向外擴散變慢，而使不斷散發的水蒸氣冷凝。所放出的熱量用來加速空氣分子。  
(作者自製)

	<p>以上圖形皆由作者重新自製</p>
<p>7.形成颱風中心 (作者自製)</p>	

八、在對流模擬洋流的結論為:

- 甲、海面洋流為熱中心造成，白天時海面溫度較高並不利於中心區對流而是在熱區周圍，流至水面擴散形成引導水流。
- 乙、晚上時海面溫度較低利於中心區對流，中心區海水直接向上 流至水面擴散形成引導水流。
- 丙、海底洋流為冷中心造成，冷中水直接下沉或在有溫差的交界處形成冷水柱冷卻周圍熱水的效應使被冷卻的熱水形成向下方向的流動，流至水下接近 4°C 水交界擴散形成引導水流。

## 柒、參考文獻資料

- 一、國立自然科學博物館 (無日期) 熱能傳播，取自：  
[http://aeea.nmns.edu.tw/aeea/courses/2006\\_courses/lec10.html](http://aeea.nmns.edu.tw/aeea/courses/2006_courses/lec10.html)
- 二、中央氣象局 (無日期) 中央氣象局颱風百問，取自：  
<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/typhoon/index.html>
- 三、維基百科 (無日期) 颱風維基百科，取自：  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%B1%E9%A2%A8>
- 四、李名揚 (2007 年 8 月 5 日) 颱風：氣流旋轉的怪物。科學人，取自：  
<https://www.scitw.cc/posts/3268>
- 四、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 大風怎麼吹？－颱風旋轉方向之研究與模擬. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=39&sid=712>
- 五、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 颱風與海水溫度的關係. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=7128&sid=7689>
- 六、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 凌「雲」馭「風」－以霧化水分子氣流場模型模擬颱風風場與路徑變化. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12468&sid=12556>
- 七、呂宣潔 (2023)。風的故鄉－颱風生成原因探討 (未出版之科學展覽作品說明書)。臺北市第 56 屆中小學科學展覽會，國小組，物理科類別。

## 【評語】 030108

本研究以流體中的熱傳播為核心，探討熱對於水與空氣等流體行為的影響，並嘗試連結至如颱風等大氣現象的成因，展現出宏觀且具深度的科學視野。研究中關於風速計的截面積可能過大造成較大的偏差，若能進一步建立空間中的流場模型，將有助於更具體呈現熱流與風場之間的動態關係，提升研究的完整性。再者，本作品為延續性作品，也建議能補充新的實驗數據與具體結論，強化研究的進展與成果呈現。

## 作品海報

舞動熱流—

探討熱量在流體中的傳播

# 摘要

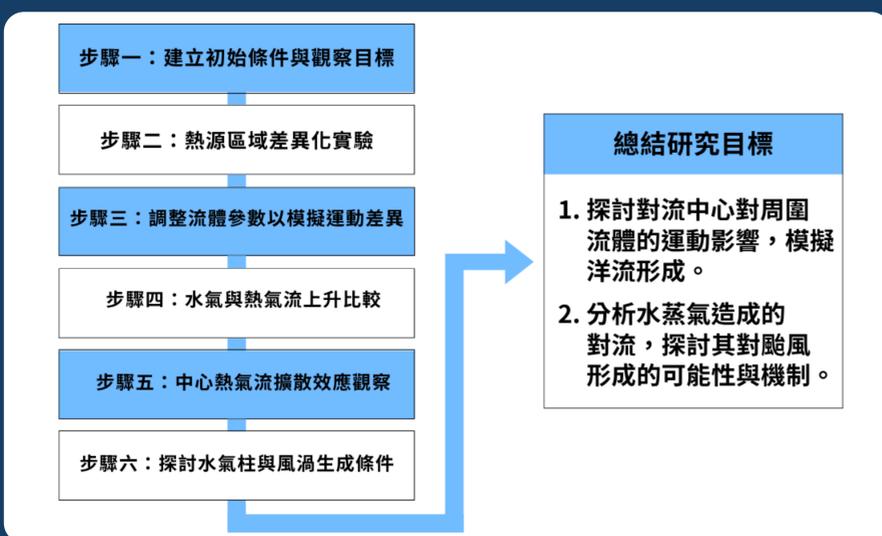
本實驗透過色素追蹤與水蒸氣柱模擬，展示流體溫差如何觸發類颱風現象。當熱中心流體上升擴散，與冷中心下沉流體形成對沖漩渦，其運動模式與颱風氣旋高度相似。水蒸氣柱上升時因密度降低產生低壓核心，吸入周邊氣體形成颱風眼結構，而水氣凝結釋放的潛熱更進一步加劇氣流垂直運動。

研究同時發現，冷對流可驅動深層水流，為海洋深層洋流提供新解釋；熱蒸氣柱內的「零風點」特徵，可作為颱風強度預測指標。實驗驗證漩渦生成三要素：溫差梯度引發對流、伯努利效應形成低壓、向心力維持角動量守恆，解釋颱風從能量累積到結構穩定的過程。

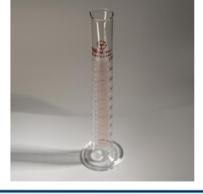
## 研究目的

- (一) 水中心出現溫度高低對周圍水流的影響。
- (二) 在水中出現熱區及冷區，對水產生的擴散流速影響。
- (三) 流體溫度改變，對流體運動方式的影響。
- (四) 瞭解水蒸氣熱流上升和一般空氣熱氣流上升，對周圍氣流的影響及差異。
- (五) 中心熱氣流範圍對周圍氣流的影響。
- (六) 哪些因素有利於水蒸氣柱形成風渦。
- (七) 整合氣壓梯度、潛熱釋放、向心力與科氏力等理論基礎，推演熱帶氣旋中心環流結構的形成條件。

## 研究流程



## 實驗器材

		
溫度計	瓦斯爐	鐵容器
		
風速計	色素	量筒

## 實驗一：水中出現熱區及冷區，對水的流動影響

▼ 實驗流程 ▼

1. 在水盤中加水並靜置五分鐘。
2. 放入裝熱水或冰水的塑膠管於中心
3. 滴入色素觀察色素流動
4. 滴入色素到均溫水中觀察色素流動

▼ 結論 ▼

若中心是熱區則流體會由底部周圍向上流動，並在流體表面輻射向外。

若中心是冷區則流體會由表面周圍向下流動，並在流體底部輻射向外。

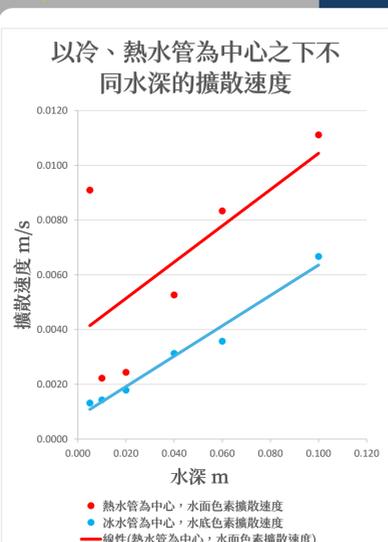
## 實驗二：水中出現熱區及冷區，不同水深對水的擴散流速影響

▼ 實驗流程 ▼

- 測量水深
- 滴入色素，測量色素流動速度
- 水面的流動追蹤
- 水底的流動追蹤

▼ 實驗結果 ▼

以冷、熱水管為中心之下不同水深的擴散速度



水深 m	熱水管為中心，水面色素擴散速度 (m/s)	冰水管為中心，水底色素擴散速度 (m/s)	線性(熱水管為中心，水面色素擴散速度)	線性(冰水管為中心，水底色素擴散速度)
0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.020	0.0020	0.0015	0.0020	0.0015
0.040	0.0040	0.0030	0.0040	0.0030
0.060	0.0060	0.0045	0.0060	0.0045
0.080	0.0080	0.0060	0.0080	0.0060
0.100	0.0100	0.0075	0.0100	0.0075

▼ 結論 ▼

1. 深度愈大的流體，對流現象愈明顯。且周圍流體向外的擴散速率愈大。
2. 由對流造成的流體輻射擴散流動，會呈渦狀。

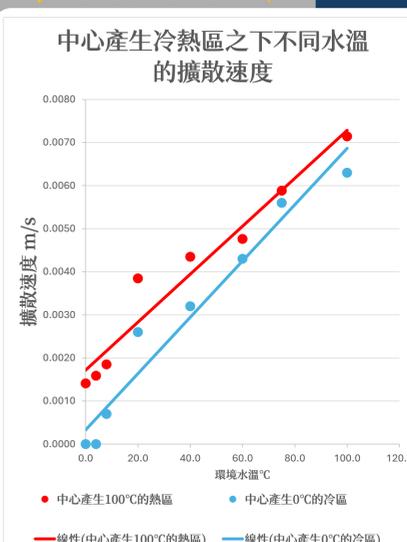
## 實驗三：水中出現熱區及冷區，溫差對水的流動影響

▼ 實驗流程 ▼

在不同水溫下，改變中心溫度，測量色素的擴散速度。

▼ 實驗結果 ▼

中心產生冷熱區之下不同水溫的擴散速度



環境水溫 °C	中心產生100°C的熱區 (m/s)	中心產生0°C的冷區 (m/s)	線性(中心產生100°C的熱區)	線性(中心產生0°C的冷區)
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20.0	0.0015	0.0010	0.0015	0.0010
40.0	0.0030	0.0020	0.0030	0.0020
60.0	0.0045	0.0030	0.0045	0.0030
80.0	0.0060	0.0040	0.0060	0.0040
100.0	0.0075	0.0050	0.0075	0.0050

▼ 結論 ▼

本組發現不論中央是冷區或熱區，色素的擴散速度皆與環境水溫成正比，且中心為熱區的擴散速度皆比中央冷區還要快，但是其差異在環境水溫的升高下漸漸縮小，直到環境接近沸騰時速度幾乎相同。

# 實驗四：探索中心熱氣流對周圍氣流的影響

## 實驗步驟

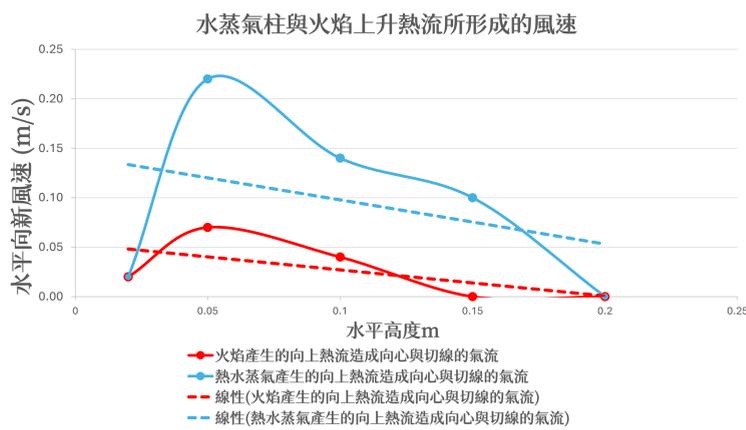


開啓瓦斯爐，加熱裝滿水的鐵鍋再將風速計平行上升熱流，測熱流周圍**向心**風速。



測熱流周圍切線風速。探討水蒸氣的向上熱流，是否造成**切線**向內的氣流。

## 實驗結果



## 結論

根據實驗結果，水蒸氣吸附空氣的效果遠好於火焰。

儘管如此，在本實驗中仍無法測得切線於熱區中心的風。

# 實驗五：了解不同口徑與不同水平高度下向上風速的差異

本實驗使用直徑0.5cm到150cm的容器表示不同加熱範圍區，並在不同高度下測量該區域的垂直風速，以此了解不同口徑與不同水平高度下向上風速的差異。

## 實驗步驟



風速計測量中心上升氣流流速。

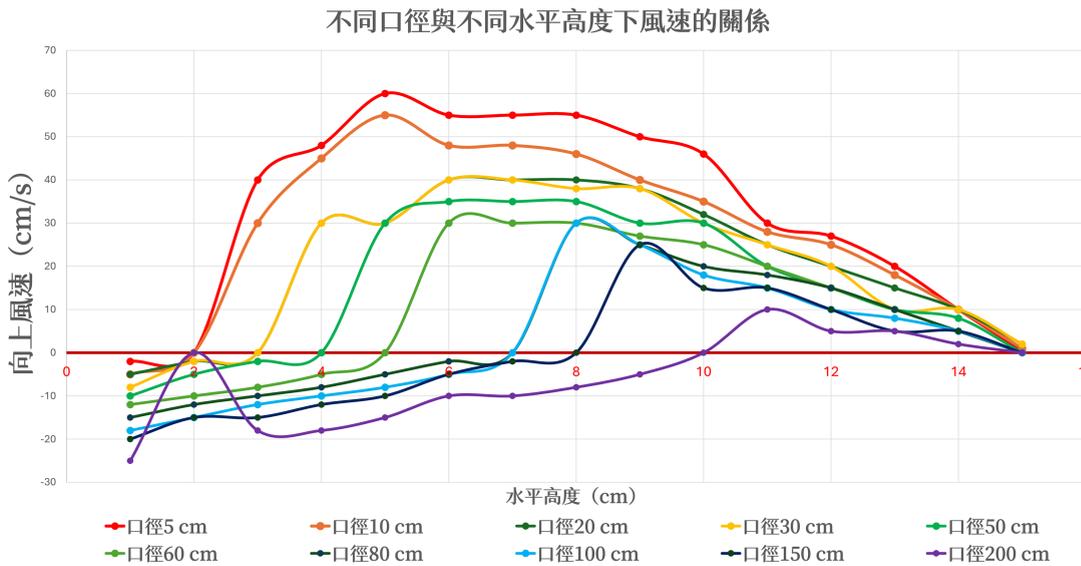


調整風速計高度，測量中心上升氣流流速。



不同口徑所造成不同範圍的蒸氣柱，以風速計測量中心上升氣流流速。

## 實驗結果



結論：紅線(風速為零時)為風向改變的高度，可以看見其高度隨著口徑而上升

# 實驗六：了解形成風渦的可能性

## 控制變因

本實驗使用直徑100cm與150cm的容器表示不同加熱範圍區，並以中火或大火加熱表示不同蒸發速率。

實驗證實，熱蒸氣柱會驅動周圍空氣向中心斜上方流動，形成向內聚合的風場。若在蒸氣柱外圍施加平行切線風流，配合中心吸力，可形成環形風渦。關鍵在於：蒸氣柱範圍需足夠大、蒸發速率夠高，使中心區半徑擴大，降低切線氣流轉向所需的向心力，促進渦旋穩定發展。

## 實驗步驟



將水加熱，並將吹風機封口平行相對，調整風速



比較不同加熱範圍區大小及不同的蒸發速率，所造成的切線風速。

## 實驗結果

1. 不同加熱範圍平行對吹的切風向情況下，於各測量點的水平切線風速

位置	A	B	C	D	E	F	G
直徑 100cm	向下 60 cm/s	向右 5 cm/s	向右上 15 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 20 cm/s	向左 5 cm/s	向左下 10 cm/s
直徑 150cm	向下 60 cm/s	向右 10 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 10 cm/s	向左下 15 cm/s

2. 不同加熱程度周圍平行對吹的切風向情況下，於各測量點的水平切線風速

位置	A	B	C	D	E	F	G
中火加熱	向下 60 cm/s	向右 10 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 10 cm/s	向左下 15 cm/s
大火加熱	向下 60 cm/s	向右 15 cm/s	向右上 20 cm/s	向上 60 cm/s	向左上 30 cm/s	向左 15 cm/s	向左下 15 cm/s

# 實驗七：不同高度溫度與濕度的變化

## 控制變因

本實驗分別測量在乾、濕熱區上方不同高度下的空氣溫度與濕度(乾空氣則測量風速)，藉以推測零風點所在區域。

本組發現在低高度下，相對溼度維持飽和；至20到30公分高度時，濕度脫離飽和且溫度驟降，本組推測是因上升氣流逐漸失速，並可能是零風點高度處。而35cm以上高度，溫濕度逐漸趨近環境背景值，氣流趨於穩定或微弱下沉，空氣交換緩慢，擴散效率最低。

## 實驗裝置



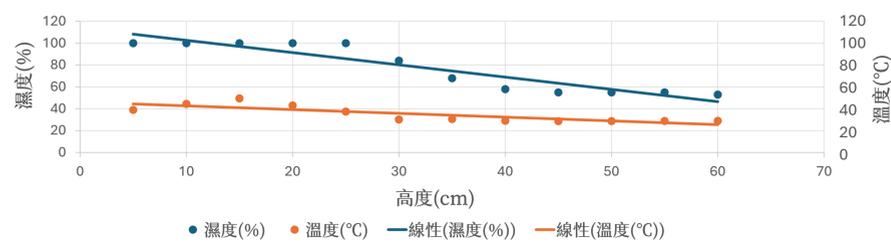
將水加熱，並沿加熱區正中心向上測量溫度、濕度。



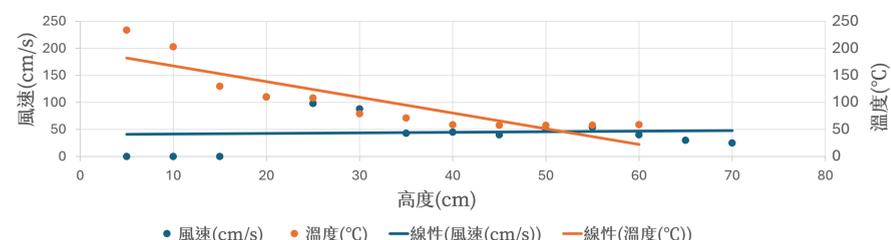
開啟火焰，並沿加熱區正中心向上測量溫度、風速。

## 實驗結果

1. 將水加熱，並沿加熱區正中心向上測量溫度、濕度



2. 開啟火焰，並沿加熱區正中心向上測量溫度、風速



# 討論

## 實驗一、二：對流基礎機制

任何溫差均會因密度差異引發垂直水流，**熱區**液體上升、**冷區**液體下沉，深水環境因流動空間充足，對流現象顯著強於淺水。

## 實驗三：擴散與洋流修正

高溫加速色素擴散源於分子動能提升，對流僅引導水流方向。洋流成因需綜合考量：地球自轉驅動洋流西向、地形限制流動路徑、鹽度差異引發密度變化，溫差並非單一主因。

## 實驗四、五：蒸氣柱與火焰熱流的矛盾

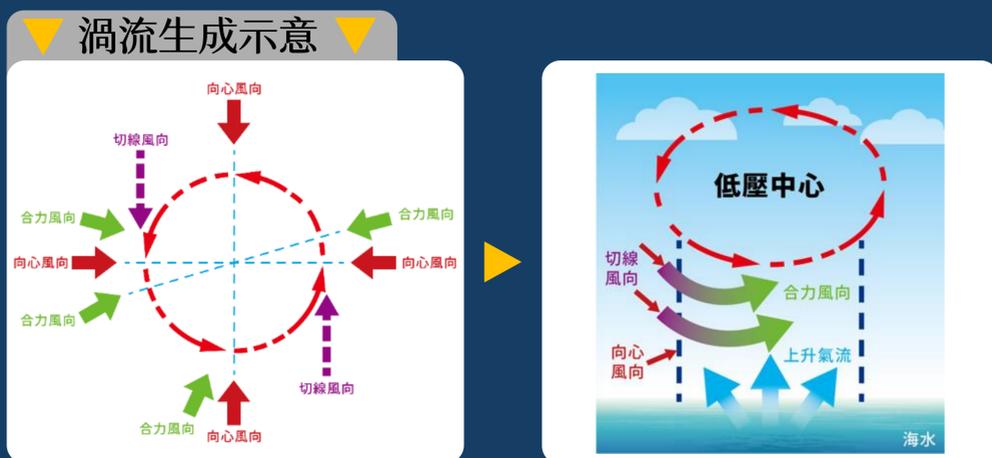
蒸氣柱與火焰熱流差異顯著：蒸氣柱上升氣流分佈非線性，水面因冷凝水滴下沉干擾，風速器誤判為向下氣流。**零風點**高度隨蒸發速率加快、加熱面積擴大而上升，反映冷凝效率與液滴集中度提升，此指標可評估颱風能量累積速度。

## 實驗六：渦流生成條件

蒸氣柱邊緣的切線風與向心吸入氣流交互作用，形成環狀渦旋。大面積加熱可強化吸入力與渦旋穩定性，但平行風過強將破壞中心熱能集中。颱風眼龐大規模有利邊緣切線風發展，符合實驗模擬條件。

## 實驗七：測量熱區中央上方不同高度時溫度與濕度的變化，推測零風點的可能性

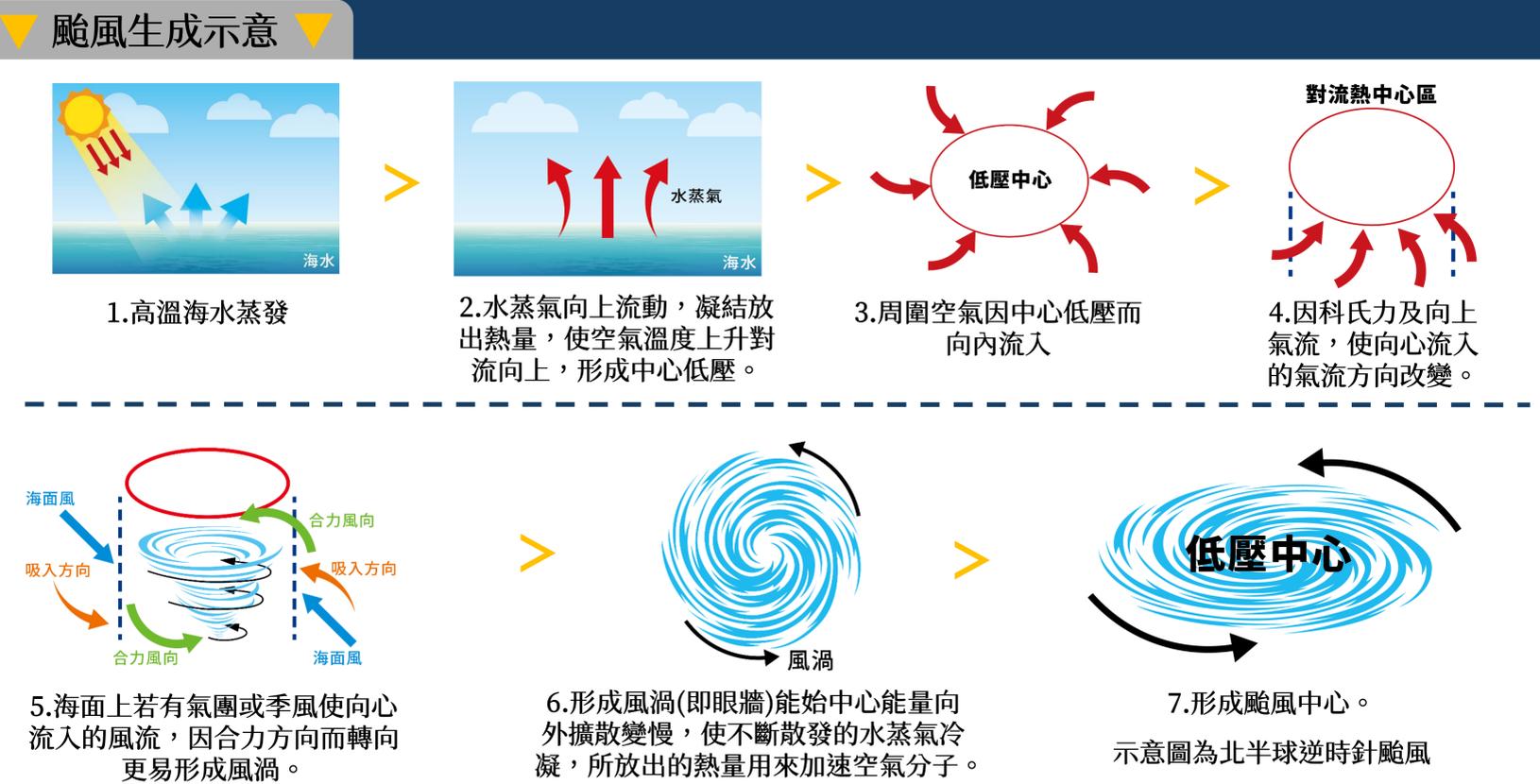
在低高度下，相對溼度維持飽和；持續升高時，濕度脫離飽和且溫度驟降，本組推測是因上升氣流逐漸失速，並可能是零風點高度處。而 35 cm 以上高度，溫濕度逐漸趨於背景值。



# 結論

我們可以瞭解到颱風的結構，颱風中心區為何較無風雨，是因為中心區仍可保有較高的溫度及較快的蒸發速率，中心形成了一個熱帶性低氣壓，但中心凝結速率快，使得水蒸氣凝結的液滴不易變大，就落下來，也造成風速器測得中心氣流向內。

事實上中心氣流並非向下。這較低的壓力吸引外圍較高壓的空氣向中心流入，但中心區氣流向上，流入的空氣無法通過中心點，就改變行進方向，流體的速度和方向突然發生變化造成了漩渦效應，也保護了中心區不被破壞，繼續吸引外圍較高壓的空氣向中心流入，中心區如何造成，依據我的實驗推論為：



## 參考文獻資料

- 一、國立自然科學博物館 (無日期) 熱能傳播，取自：[http://aeea.nmns.edu.tw/aeea/courses/2006\\_courses/lec10.html](http://aeea.nmns.edu.tw/aeea/courses/2006_courses/lec10.html)
- 二、中央氣象局 (無日期) 中央氣象局颱風百問，取自：<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/typhoon/index.html>
- 三、維基百科 (無日期) 颱風維基百科，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%B1%E9%A2%A8>
- 四、李名揚 (2007年8月5日) 颱風：氣流旋轉的怪物。科學人，取自：<https://www.scitw.cc/posts/3268>
- 五、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 大風怎麼吹？—颱風旋轉方向之研究與模擬. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=39&sid=712>
- 六、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 颱風與海水溫度的關係. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=7128&sid=7689>
- 七、國立臺灣科學教育館. (n.d.). 凌「雲」取「風」—以霧化水分子氣流場模型模擬颱風風場與路徑變化. 國立臺灣科學教育館科學探究網站. 取自 <https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12468&sid=12556>