

第二十一屆旺宏科學獎
成果報告書

參賽編號：SA21-383

作品名稱：探討渦流處理表面汙染源

姓名：楊侑

關鍵字：水面渦流、汙染源、漂流物收集

摘要

漂流物一直是影響大型水域環境的問題之一，現在處理大型水域的漂流物多以人工打撈或清漂船的方式，這些清理水面漂流物的方式耗時且人力成本高。我們參考現實中水面渦流匯聚漂流物的例子，如：墨西哥灣漏油事件及太平洋垃圾島，試圖利用水流及渦流輔助現在漂流物清除的方式，增加清理大型水域中漂流垃圾的效率。我們用水池模擬大型水域，並設置三個固定柱裝載輸水裝置，並將固定柱設定為正三角形，用三頂點輸出水流製造渦流，並改變流速及夾角，藉以討論不同流速、水流夾角對於聚集垃圾的效率。我們的初步發現，當水流流速為0.39m/s及水流角度向內15°的方式收集效果較佳，且若考慮抽水因素能更增加收集的效率。若以此方式輔助現行的清理模式，將對大型水域中清除漂流物的效果有很大的幫助。我們未來將討論收集液態漂流物及懸浮微粒的可能性。

壹、研究動機

我們在新聞中看到：「2010年4月，英國石油公司(BP)在美國路易斯安那州外海租用的深水地平線(Deepwater Horizon)油井大量漏油。在漏油期間，墨西哥灣弗羅里達州西岸受到一種隱形且一直存在的分水嶺保護，科學家稱這些看不見的水牆為「輸運障壁(Transport Barrier)」。(馬肯紀，2021)。由於墨西哥灣漏油擴散速度並不如科學家原本預期的一樣快速，因此引起我們的好奇。經過資料查詢後發現，此結果似乎是墨西哥灣流生成渦流後，產生輸運障壁所導致的。墨西哥灣的渦流將油汙給困住，可有效阻止油汙的擴散。

以此為基礎，我們想到了水庫的水面經常有浮木或者是漂流垃圾汙染，這些固態漂流物可能造成水庫水質汙染進而影響民生用水以及水庫生態。由於現在對於水庫中固體漂流物的清除多以人工捕撈為主，或是趁著早期時，水庫水位較低，利用怪手及卡車挖除垃圾，此汙染源清除的方式不僅效率不高還十分消耗人力。因此我們想利用類似墨西哥灣漏油事件的模式，以投入成本較少的方式製造水庫表面渦流，將水庫汙染源集中並且收集，以降低收集水庫汙染源的成本並增加其效率。因此我們利用三個不同方向的水柱，試著使水庫產生渦流，並討論水庫汙染源聚集的情形。

貳、研究目的

1. 探討三個不同方向的水流在流速不同的情況下對渦流生成及汙染源搜集的影響。
2. 探討三個不同方向的水流在水流間夾角不同的情況下對渦流生成及汙染源搜集的影響。
3. 探討於水面下抽水對渦流生成及汙染源搜集的影響。

參、研究設備

程式軟體：Microsoft Excel、Tracker。

表一 實驗器材。

<p>充氣水池</p>	<p>木製水箱</p>	<p>抽水馬達</p>
		
<p>直流電源供應器</p>	<p>抽水幫浦</p>	<p>2分管管(內徑0.65cm、外徑0.9cm)</p>
		
<p>投射燈</p>	<p>攝影設備</p>	<p>PVC水管</p>
		
<p>塑膠瓦楞紙</p>	<p>鋁條</p>	<p>熱熔膠</p>
		

肆、研究過程

一、研究背景探討：

(一)、臺灣的主要水庫及其清汙方式

水庫是利用壩、堤、水閘、堰等工程於山谷、河道或者是低窪地區所形成的人工水域。透過水庫，我們可以將河流的水在高流量時蓄水以防洪災。相對地，我們可以在河川低流量時緩慢放水。水庫即是如此透過調節逕流的方式達到自然水資源分配的目的(黃兆慧，2002)。水庫依照其蓄水的方式又可再區分為地面水庫及地下水庫。其中地面水庫較廣為人知，例如：天然湖泊、池、潭、人工湖、蓄水庫等。

目前臺灣的水庫總計有 95 座，其中 20 座為防汛重點水庫(表二)，但因地形及集水區等多重原因，臺灣水庫的滿水位水庫面積差異甚大。在主要水庫中表面積最大的為曾文水庫，其面積約為 17.1 km²，而水庫中表面積最小的為寶山第二水庫，約 0.602 km²。(經濟部水利署，2021)。

表二 臺灣防汛重點水庫滿水位面積。

水庫名稱	滿水位面積(km ²)	水庫名稱	滿水位面積(km ²)
石門水庫	8.0	集集攔河堰	2.42
翡翠水庫	10.24	湖山水庫	2.02
寶山第二水庫	0.602	仁義潭水庫	2.32
永和山水庫	1.65	白河水庫	1.97
明德水庫	1.62	烏山頭水庫	9.0
鯉魚潭水庫	4.32	曾文水庫	17.1
德基水庫	4.54	南化水庫	5.37
石岡壩	0.645	阿公店水庫	2.9
霧社水庫	3.5	高屏溪攔河堰	4.54
日月潭水庫	8.4	牡丹水庫	1.42

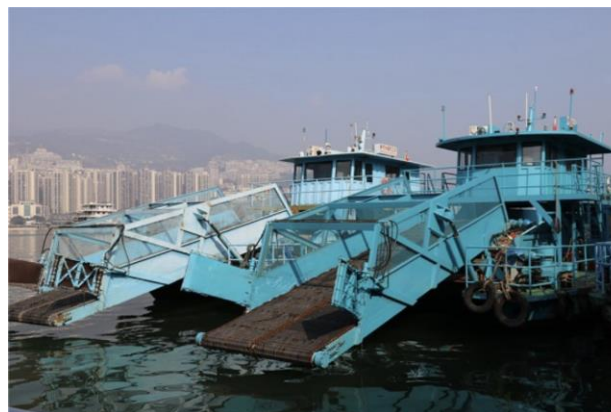
資料來源：經濟部水利署(2021)。

現今收集水庫垃圾及漂流物的方法多是以人工打撈或是以清漂船的方式為主。人工打撈是人力駕機具將漂流物移除(圖一)，其方式雖可較仔細地清理水庫上的垃圾，但是當山洪暴發後，自集水區帶下來的垃圾量多，水庫的水面垃圾分布範圍就會較廣泛，若以人工逐一撈起則效率不佳，增加人力成本。若以清漂船(圖二)的方式清除垃圾，由於清漂船有寬度約為1.5公尺的輸送帶，較人工打撈的方式更有效率地打撈垃圾，有些清漂船甚至配置了不需人力操控的自動化裝置，可降低人力成本與增加打撈水面污染物的效率，但由於清漂船上的輸送帶寬度有限，若要清除大範圍的水面垃圾，清漂船所消耗的時間成本亦很龐大。



圖一 人工移除水庫垃圾。

資料來源：台北翡翠水庫管理局(2014)。



圖二 清漂船。

資料來源：<https://reurl.cc/6E13Oy>。

(二)、水面渦流的形成

渦流(Vortex)是流體運動的一種現象，在流體中有渦量源，就會產生渦度(趙軍方，2016)。流體的旋轉是由於一側的流體給予另一側流體剪切力產生的力矩造成的，因流體的黏滯性造成兩側的流體流速差異而產生旋轉的水流。較常因黏性而產生渦流的區域大致有三種，分別為：固體的邊界處、流體內部黏性係數不連續的介面處和自由表面處(趙軍方，2016)。

引起渦度變化的性質包括：渦線的伸縮與扭曲、流體的可壓縮性、流體的斜壓性、流體的黏滯性以及體積力的無勢性。而其中黏滯性的作用是造成流體擴散的主要因素，而斜壓性和實體力的旋度則可以產生渦度(趙軍方，2016)。而渦流又可依照其形式再細分為自由渦流以及強制渦流(林奕汝等人，2012)。

1. 自由渦流：自由渦流的流線(Stream Lines)為同心圓狀，等位線(Equipotential Lines)則由中心向外呈輻射狀。由於渦流中流體的運動並無外加扭力，因此流體的角動量守恆且其為無旋轉渦流，流速離中心愈遠愈小。
2. 強制渦流：當流體受外加扭矩而旋轉時，即為強制渦流，因其旋度不等於零，故不適用白努力效應，且內圈流速小於外圈流速。

(三)、水面渦流阻隔污染源案例

1. 太平洋垃圾帶(Great Pacific garbage patch)

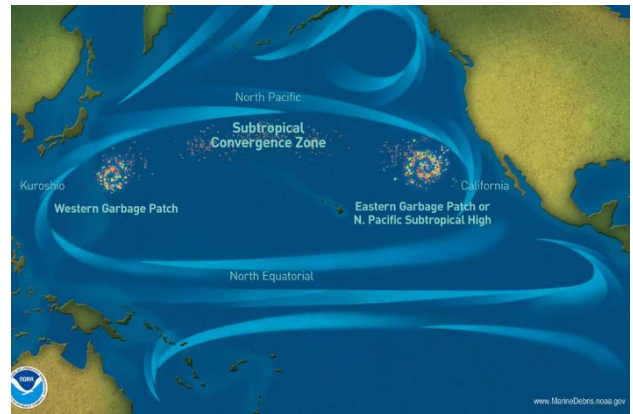
太平洋垃圾帶亦稱為太平洋垃圾島(圖三)，是位於夏威夷兩側的巨型垃圾聚積處，東側的垃圾帶稱為東太平洋垃圾帶，其範圍自夏威夷東側向東延伸到美國加利福尼亞州；而西側的垃圾帶稱為西太平洋垃圾帶，其範圍自夏威夷西側向西延伸到日本(圖四)。

太平洋垃圾帶是由太平洋環流所造成，太平洋環流中的北赤道洋流、黑潮、北太平洋海流、加利福尼亞洋流受到科氏力的影響，在副熱帶海面上會有兩個順時針旋轉的子環流，這兩個子環流將垃圾聚集於太平洋的北緯 20 到 40° 之間(圖四)，形成東西兩側的太平洋垃圾帶(MICRO-PC 點點塑環保科技股份有限公司，2021)。



圖三 太平洋垃圾帶。

資料來源：Scott Snowde, 2019。



圖四 太平洋垃圾帶與洋流關係。

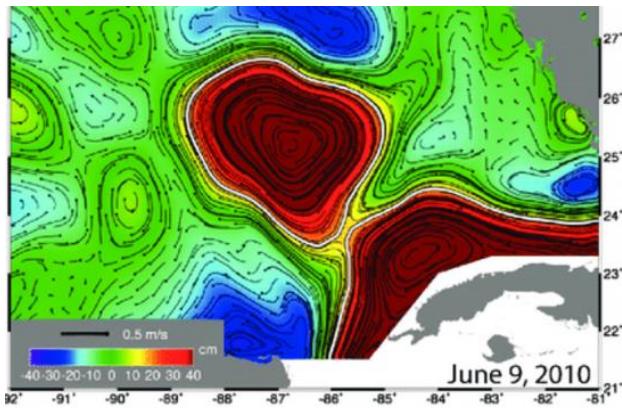
資料來源：National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA,2022]。

2. 墨西哥灣漏油事件

2010 年 4 月 20 日，美國墨西哥灣外海發生一起鑽油井爆炸事件，此鑽油井名為「深水地平線」(Deepwater Horizon)，為美國政府租借給英國石油公司(BP)的鑽油平台。此事件每天漏出的原油量約為 16 萬 2000 桶，前後總共漏出了 490 萬桶原油，讓此事件成為歷史上最大規模的漏油事件。原油漫延了大約 1070 公里的海岸線，整體面積更超過 2500 平方公里海面，造成相當嚴重的生態危機。三個月後英國石油公司以漏斗形的控油設備，控制住該油井的漏油狀況(Seboxhong, 2016)。

但是墨西哥灣漏油事件的海表油汙擴散速率似乎比預期的慢，其可能的原因為此次漏油事件的發生時間也剛好是富蘭克林渦流(圖五)的形成時間。漏油期不尋常的強勁西南風把原油推向北方，遠離墨西哥灣流的套流(Loop Current)。此外富蘭克林渦流(Eddy Franklin)與套流分離，把套流推向南方，在原油和套流間產生屏障(圖六)，形成一道隱形的水牆，稱為輸運

障壁(Vukovich and Maul, 1985, Sturges and Leben, 2000, Leben, 2005)。若原油流入套流，將污染美國東岸海灘(Dana Mackenzie, 2021)，因此富蘭克林渦流的阻隔，有效將污染降低。我們若能用相似方法製造渦流，則可以將大部分污染源聚集，進而增加收集水表面污染源的效率。



圖五 富蘭克林渦流。

資料來源：<https://reurl.cc/12OkYp>。



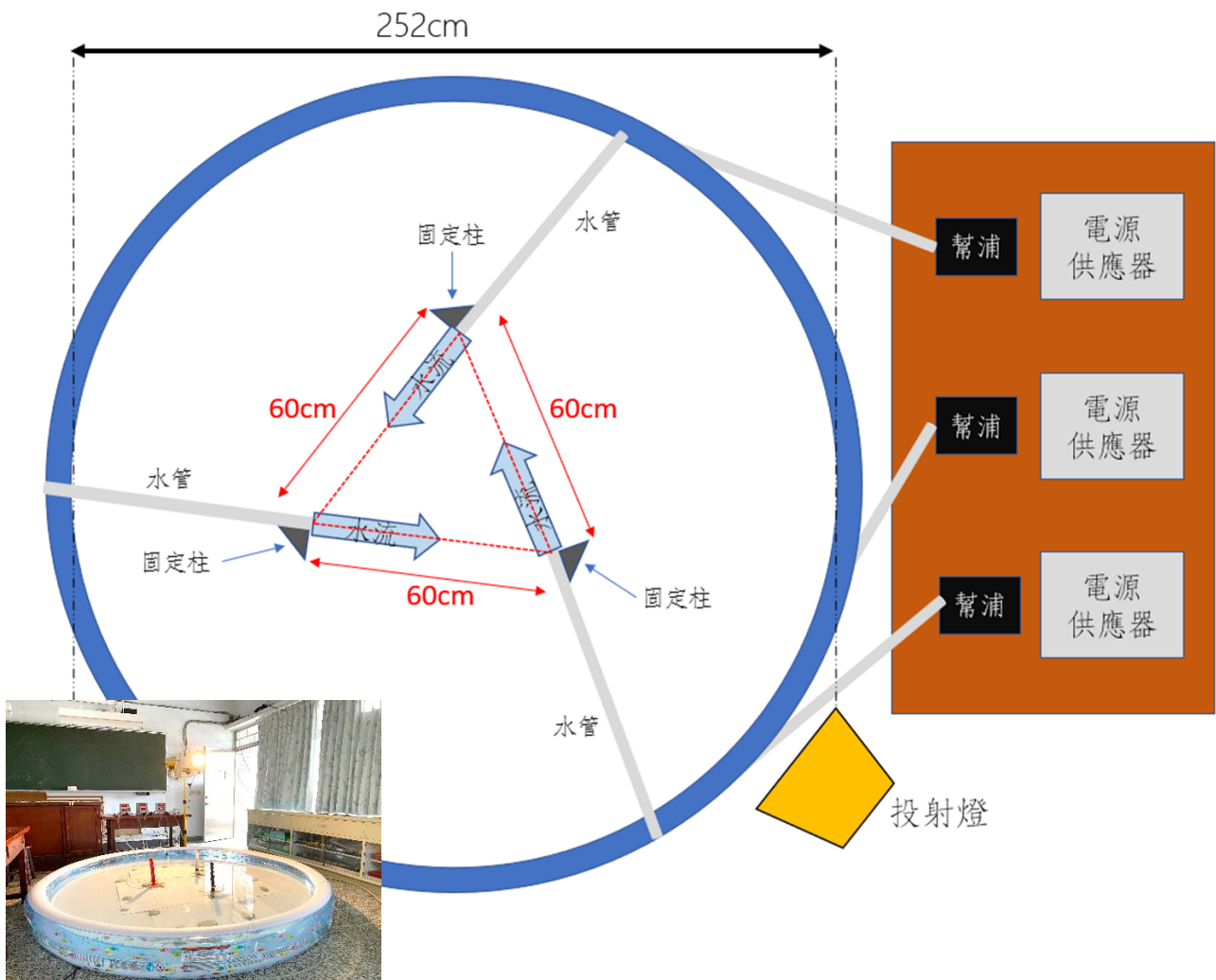
圖六 富蘭克林渦流形成。

資料來源：<https://reurl.cc/MbzMZn>。

二、實驗方法與過程

(一)、實驗裝置

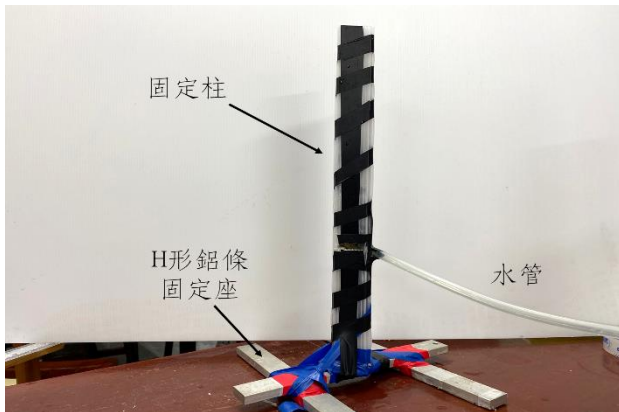
我們使用直徑 252 cm 的圓形充氣水池來當我們實驗的水域(圖七中藍色圓環)，並使用水池的中心區域進行實驗，以確保水池邊界的影響降至最低。我們使用三個水柱，水管口間彼此相距 60 cm，呈正三角形(圖七中紅色虛線)，在實驗中若我們假設在真實情況下放大 150 倍，則於真實情況下水柱間彼此管口距離約為 90 m。為了使水流能穩定流出，我們以直流電源供應器接上抽水幫浦(圖七中右側)以控制水流的流速，為了使水管能穩定的以某方向流出，我們設計了水流固定柱(圖七中黑色三角形)，並將 2 分水管(內徑0.65cm、外徑0.9cm)固定其上(圖七中灰色)，經放大後，水管的口徑約為 1 m，我們將水流的輸水管設定於水表之下。由於水流影響深度不深，因此我們將我們的水深設定在 17cm 深，避免底部摩擦對於表面水流的影響。為避免日光燈反射影響實驗記錄，我們使用投射燈相對於水面以入射角約為 60° 的角度照射(圖七中黃色)。



圖七 實驗裝置俯視示意圖。

1. 水流固定柱

為了使水管的流出方向固定，我們利用塑膠瓦楞紙設計了水流固定柱(圖八)，其形狀為三角柱狀，以便出水水管及抽水水管固定於固定柱上的三角柱邊緣，另為了使水流固定柱能穩定的在水中不受水流的反作用力影響，我們在三角柱中塞入小石子，並且將三條鋁條黏在固定柱的下方呈H形(圖九)，以增進水流固定柱在水中的穩定性。



圖八 水流固定柱。



圖九 水流固定柱下方H狀鋁條。

2. 水中污染源追蹤

為了追蹤水表的渦流以及水流的運動狀態，因為電火布能漂在水面上，且平均重量較輕，也不容易彼此聚集，因此我們使用電火布仿造水面上的固體漂流物(圖十)。我們設定的漂流物垃圾長寬大約為 1~2 cm、平均重量約為0.15 g(圖十一)，若經放大則約為 1.5~3 m的漂流物，為了符合真實世界水面的污染源大小可能不一，因此我們設定水中漂流物的形狀及大小不規則以試圖仿造真實中水面漂流物的特性。



圖十 水面上放置漂流物。



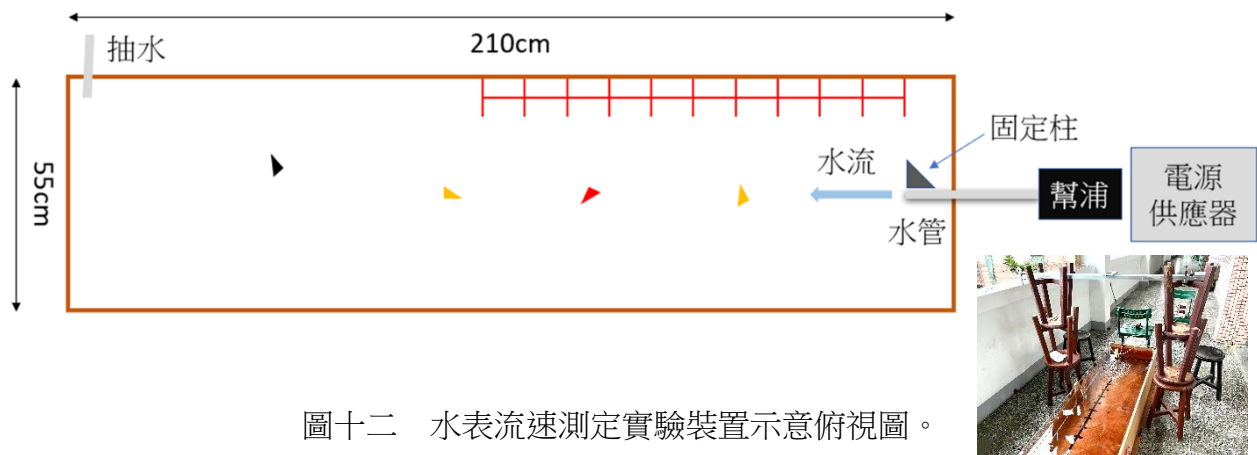
圖十一 電火布漂流物。

(二)、實驗方法

1. 水面初始流速測定：

由於我們利用直流電源供應器來控制水流流速，而直流電源供應器輸出的物理量為電壓(伏特)，因此我們需要事先測定在不同電壓時出水水流的流速。因我們觀察到當直流電源供應器輸出為 9 伏特時，水表的水流有較顯著的流動，因此我們選擇測定 9、10、11、12 及 13 伏特測定。

因我們僅測量水表的流速，所以當周圍邊界相較於出水水管很遠及水深相較於出水水管深很多時，容器的形狀不會影響到水表的流速，因此我們選用一個長 210 cm，寬 55 cm 的木製水箱進行測量(圖十二)，並在木製水箱上放上長尺標示比例，於木箱上方進行錄影紀錄，再利用 Tracker 進行分析。

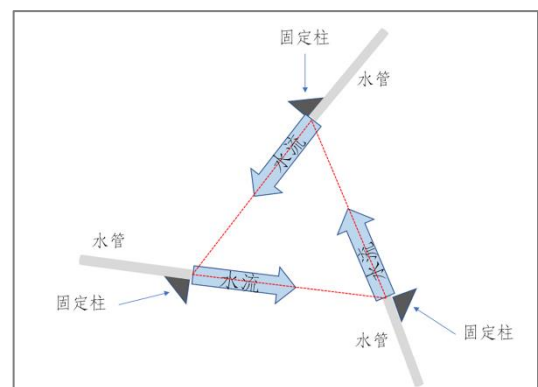


2. 水流流速實驗：

為了解水流流速對渦流的生成的影響，我們將三個固定柱設定為邊長為 60 cm 的正三角形，水流沿著三角形的邊流動(圖十三)，並改變水流的流速。

實驗步驟如下：

- (1) 將漂流物撒至三角形範圍周圍(圖十三紅色虛線)，同時開啟直流電源供應器輸送水流。
- (2) 將水流流速設定為：0.39 m/s(電源供應器 9V)、0.42 m/s(電源供應器 10V)、0.45 m/s(電源供應器 11V)、0.51 m/s(電源供應器 12V)、0.55 m/s(電源供應器 13V)。
- (3) 以攝影機紀錄水流，並紀錄渦流持續時間以及影響範圍。
- (4) 進行實驗 5 分鐘後，將三個電源供應器同時關閉，重複進行 3 次實驗。

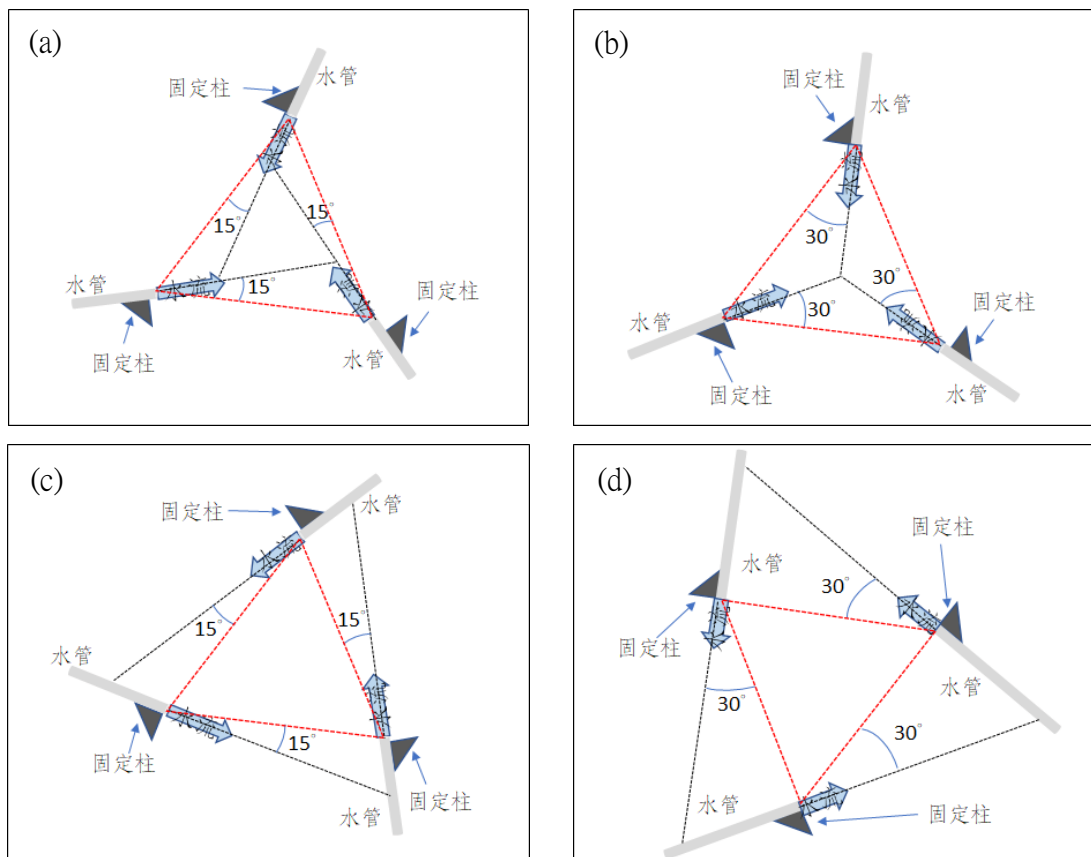


3. 水流夾角實驗：

我們認為水管的出水方向不同對於渦流的形成有密切的關係，所以我們變更水管出水的角度，試著找出形成渦流最適當的出水角度，我們以三個固定柱擺放為邊長 60 cm 的正三角形，並以此三角形的三邊為參考(圖十四紅色三角)。因為於流速實驗中發現水流流速在 0.39 m/s 時漂流物留在三角範圍內的時間最長，而且從軌跡可以看出外圍的漂流物有機會回到三角範圍內，所以我們以水流流速 0.39 m/s 為基礎，改變水流與正三角形三邊的夾角，觀察漂流物的聚集情況。

實驗步驟如下：

- (1) 將漂流物散於固定柱內及周圍，並同時開啟直流電源供應器，輸送 0.39 m/s (9V) 的水流。
- (2) 將水流夾角設定為：和正三角形邊向內夾 15° (圖十四(a))、和正三角形邊向內夾 30° (圖十四(b))、和正三角形邊向外夾 15° (圖十四(c))、和正三角形邊向外夾 30° (圖十四(d))。
- (3) 以攝影機紀錄水流，並紀錄渦流持續時間以及影響範圍。
- (4) 進行實驗 5 分鐘後，將三個電源供應器同時關閉，重複進行 3 次實驗。

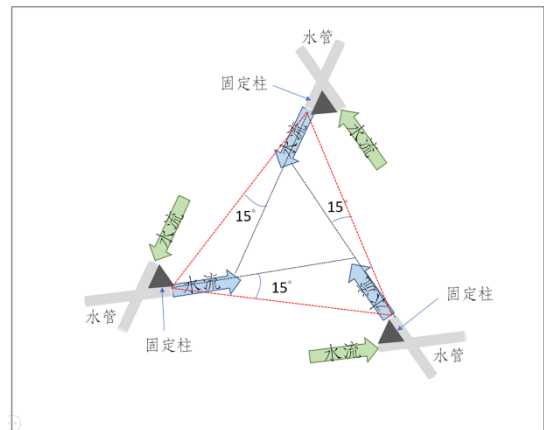


圖十四 水流夾角實驗示意圖。

4. 水面下抽水實驗：

在真實情況下，要有水流的輸出就需要從大型水域中抽水，為了使實驗更符合真實的狀況，我們試著加入抽水的因素加以討論。

透過前述實驗得知當電壓為9V及向內 15° 時，外圍的漂流物都有機會繞回三角形範圍中，但形成渦流的強度較弱，漂流物聚集的成效不佳，若考量抽水，則可加以探討抽水水管產生的自由渦流是否能幫助漂流物的聚集，因此我們在固定柱上額外加設了水面下抽水的水管。



圖十五 水面下抽水實驗示意圖。

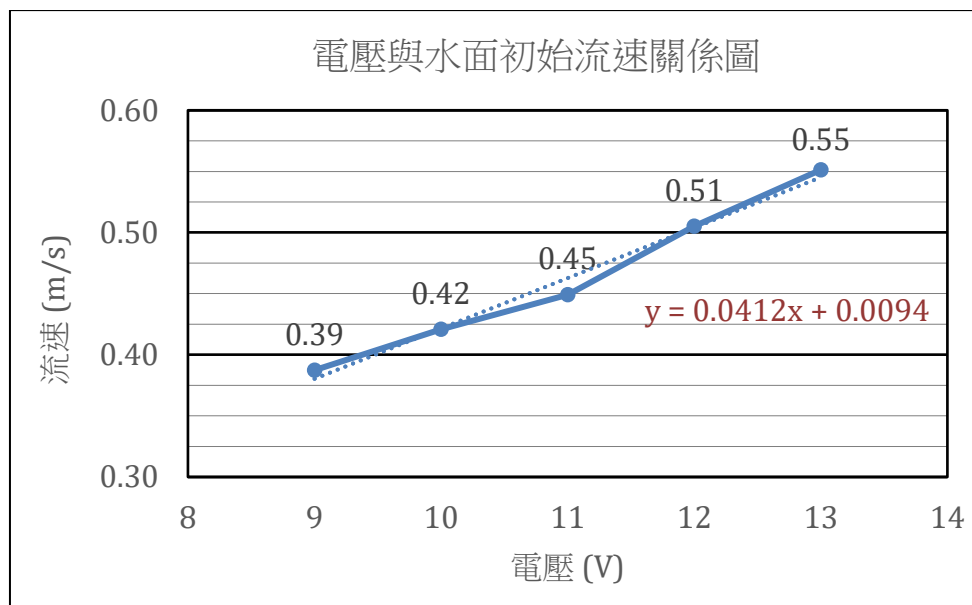
實驗步驟如下：

- (1) 將漂流物散於固定柱內及周圍，並同時開啟直流電源供應器，輸送 0.39 m/s (9V)的水流，將出水口之間夾角設定為與正三角形三邊向內夾 15° ，設定抽水口與正三角形的三邊向外夾 15° (圖十五)。
- (2) 以攝影機紀錄水流，並紀錄渦流持續時間及漂流物的軌跡。
- (3) 進行實驗 5 分鐘後，將三個電源供應器同時關閉，重複進行 3 次實驗。

伍、討論及應用

一、水面初始流速測定：

我們進行水面初始流速測定十次，並將實驗影像利用Tracker追蹤漂流物對不同時間的位移量(每秒30個影格)。因漂流物會受水的阻力影響，導致速度減慢，為了了解幫浦出水的水面初始流速，我們選定前 0.21 秒的位移量計算初始平均流速，繪出電壓與水面初始流速的關係圖(圖十六)。由圖十六中可以發現電壓和水面初始流速呈正相關，迴歸線的斜率為0.0412，若在未來的實驗中更改不同的電壓輸出水流，則可以藉由此線性關係，得知不同電壓的水面初始流速。

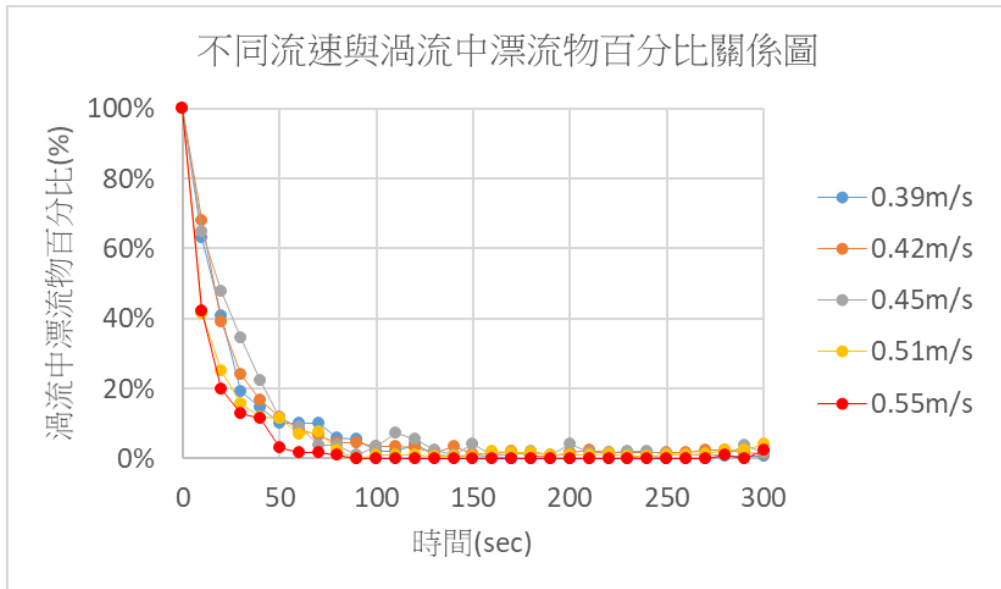


圖十六 電壓與表面流速關係圖。

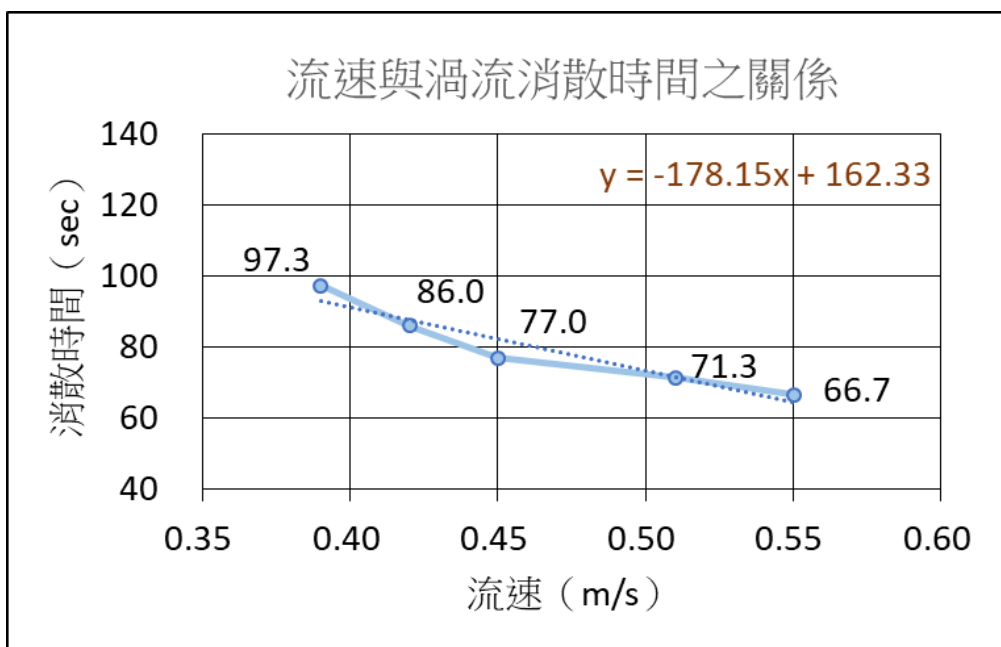
二、水流流速實驗：

我們以三個固定柱互成正三角形，並且設置水流沿著正三角形三邊流動，持續輸水五分鐘，以攝影機記錄漂流物的流動並進行Tracker分析，觀察在不同流速下漂流物於渦流中的移動情形，並繪製軌跡圖。數據分析步驟如下：

- (1) 以固定柱的正三角形為範圍，間隔10秒計算正三角形中的漂流物數量，與初始在三角形中的漂流物做比較，計算數量百分比(圖十七)。
- (2) 觀察並記錄漂流物流出三角形中心的時間，並定義渦流消散為全漂流物流出(圖十八)。
- (3) 以Tracker選定其中三個漂流物並繪製其軌跡(圖十九)。

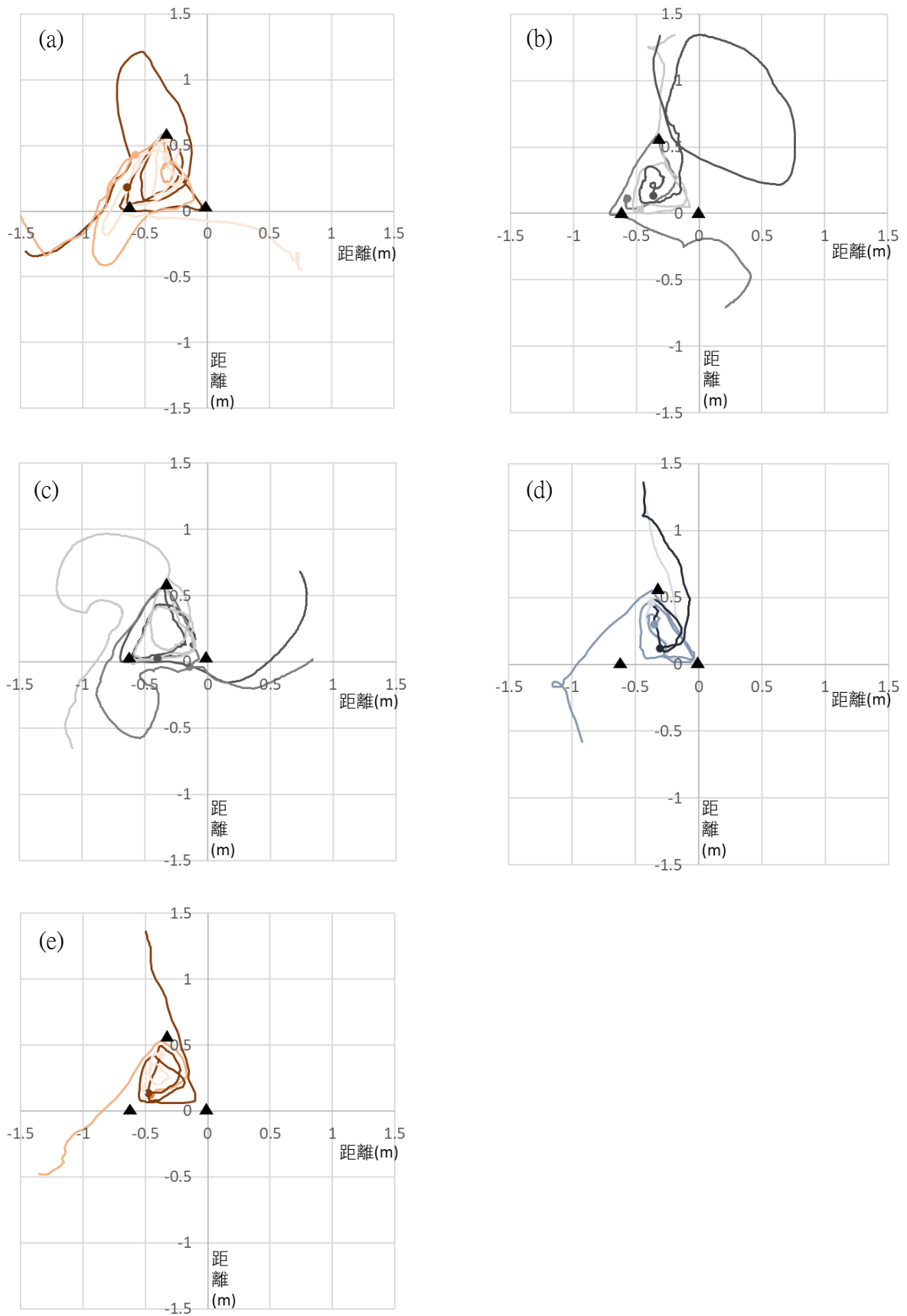


圖十七 不同流速與渦流中漂流物百分比關係圖。



圖十八 流速與渦流消散時間關係圖。

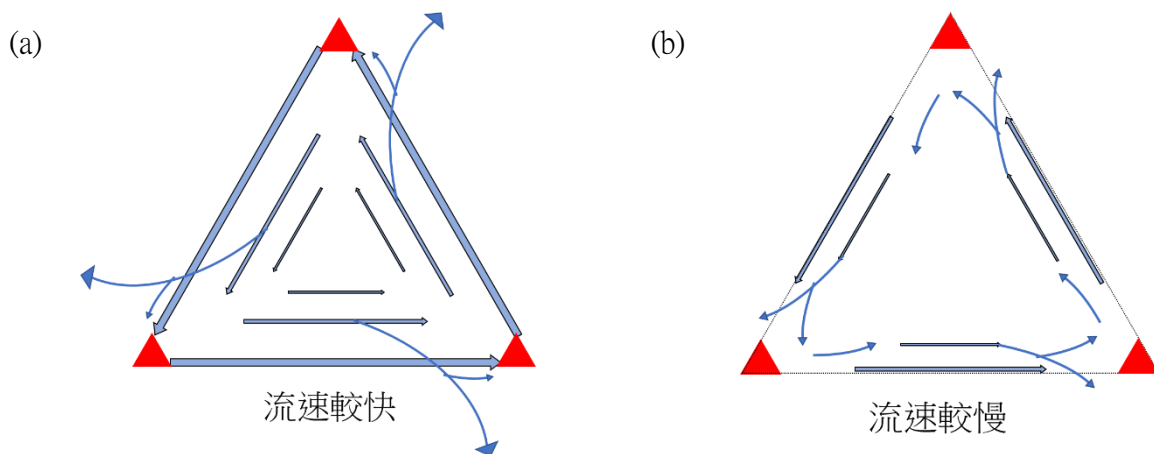
由圖十七、圖十八可發現不論流速為何，大部分的渦流內的漂流物幾乎都會在100秒內流出渦流外。其中當流速為 0.39m/s (9V)時，約於 97.3 秒後漂流物於範圍內的百分比達0%、0.42m/s (10V)在水流開始後 86 秒到達0%、0.45m/s (11V)實驗在 77 秒至0%、當流速為0.51m/s (12V)和0.55m/s (13V)時，實驗開始後第 71.3 及 66.7 秒渦流中漂流物全數漂離。



圖十九 不同流速軌跡圖。 (a) 0.39 m/s (9V)、 (b) 0.42 m/s (10V)、 (c) 0.45 m/s (11V)、 (d) 0.51 m/s (12V)、 (e) 0.55 m/s (13V)。

圖十九為在正三角形沿邊出水，在不同初始水流速下的軌跡圖，我們取其中一次表示。其中每張圖不同顏色的線代表不同漂流物的流動方向，每次實驗我們隨機選用三個漂流物進行追蹤，黑色三角形為固定柱所在的位置。我們發現，當水流流速越快時，漂流物在渦流內流動較少圈，且漂流物的軌跡接近三角形範圍。另在實驗進行100秒之後也較少漂流物再次流進正三角形內。當流速大於0.45 m/s (11V)後，漂流物即無法在100秒後再回流回水流區域內，水流速相較 0.45 m/s (11V)小時漂流物可能在100秒後再次被外圍水流帶回正三角形中(圖十七、圖十八)。

我們推測當流速高時，因白努力效應影響，在水管間正三角形邊界的水流較快、壓力較低，壓力差大，使漂流物往水流的方向移動影響較多(趙書漢、洪連輝，2009)，再加上水流強勁所以容易將漂流物沖出。另外，因水流流速較快形成強勁的水牆，以致就算外圍的漂流物流至三角形範圍的周圍時，被水柱沖離固定柱之間，造成漂流物無法回到三角形範圍附近(圖二十(a))。

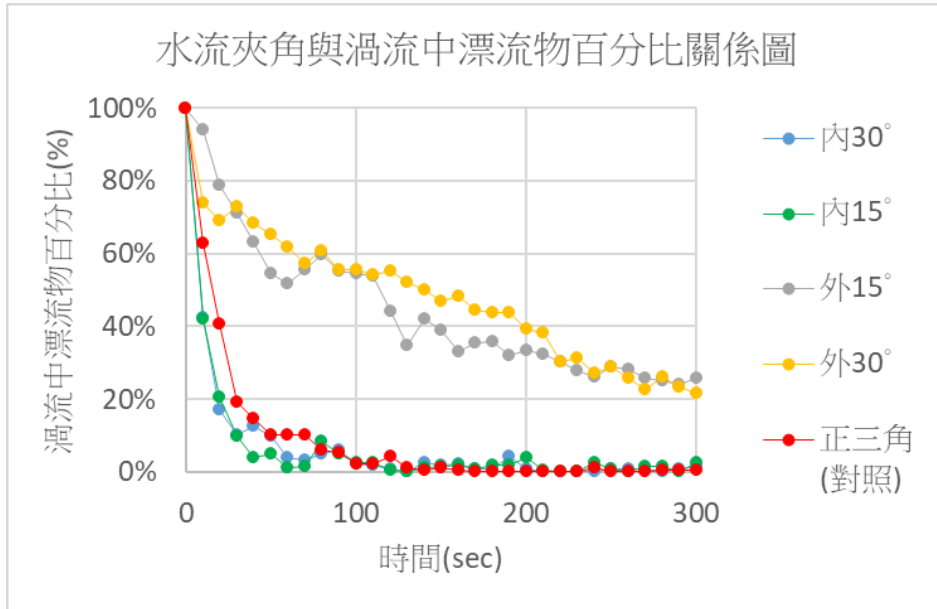


圖二十 水流速度快慢對漂流物流向影響。

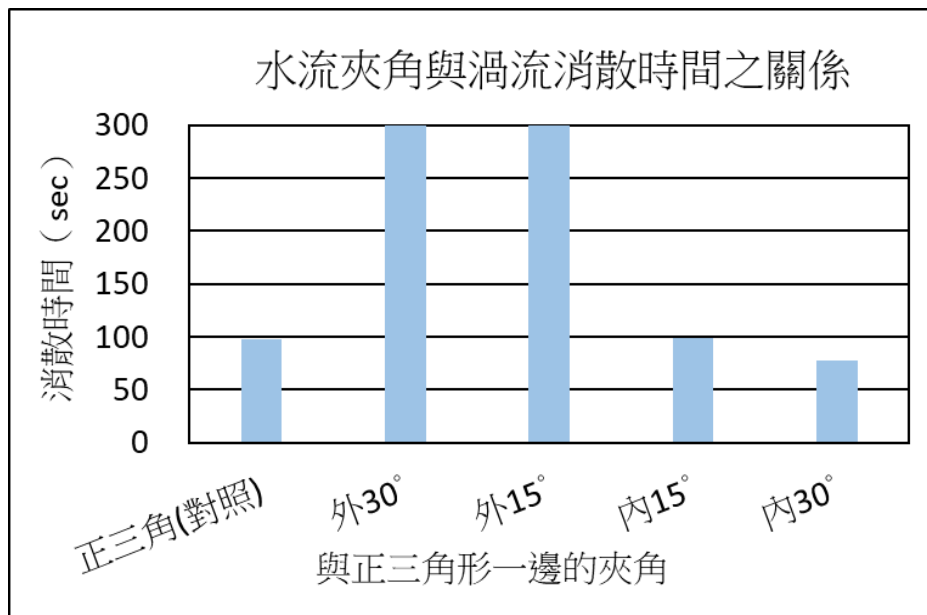
由軌跡觀察，當實驗中流速為 0.39 m/s (9V)時，我們發現漂流物可在區域內繞邊界旋轉較多圈(圖十九)，不過在漂流物繞範圍邊界數圈之後，還是會隨水流流出固定柱之間。我們推測相較於流速快的狀況，因水流較慢時水壓差較小，雖然同樣使正三角形範圍內漂流物向外流動，但向外流趨勢較緩，水流對漂流物的影響也較小，因此漂流物還是可能留於三角形區域內(圖二十(b))。但在固定柱外的漂流物也因白努力效應，水流較周圍靜止的水流速更快，因此壓力較低，會往水流的方向流動，所以可以將外圍漂流物向內帶進渦流。由圖十七以及圖十八可知，流速較慢可較易使漂流物留在渦流中，但是保留時間有限，效益依然不理想。

三、水流夾角實驗：

我們以三個固定柱互成正三角形，因在流速實驗中發現水流流速越慢，收集漂流物的效果越好，因此將水流流速控制為 0.39 m/s (9V)，並改變水流與此正三角形三邊的夾角，分別為向內30°、向內15°、向外15°與向外30° (圖十四)，持續五分鐘，以攝影機記錄漂流物移動並進行Tracker分析，觀察在不同水流夾角下漂流物於渦流中的移動情形，並繪製軌跡圖。每隔 10秒計算三角形範圍內的漂流物數量，並記錄漂流物全部流出的時間，最後比較各個角度的數據。



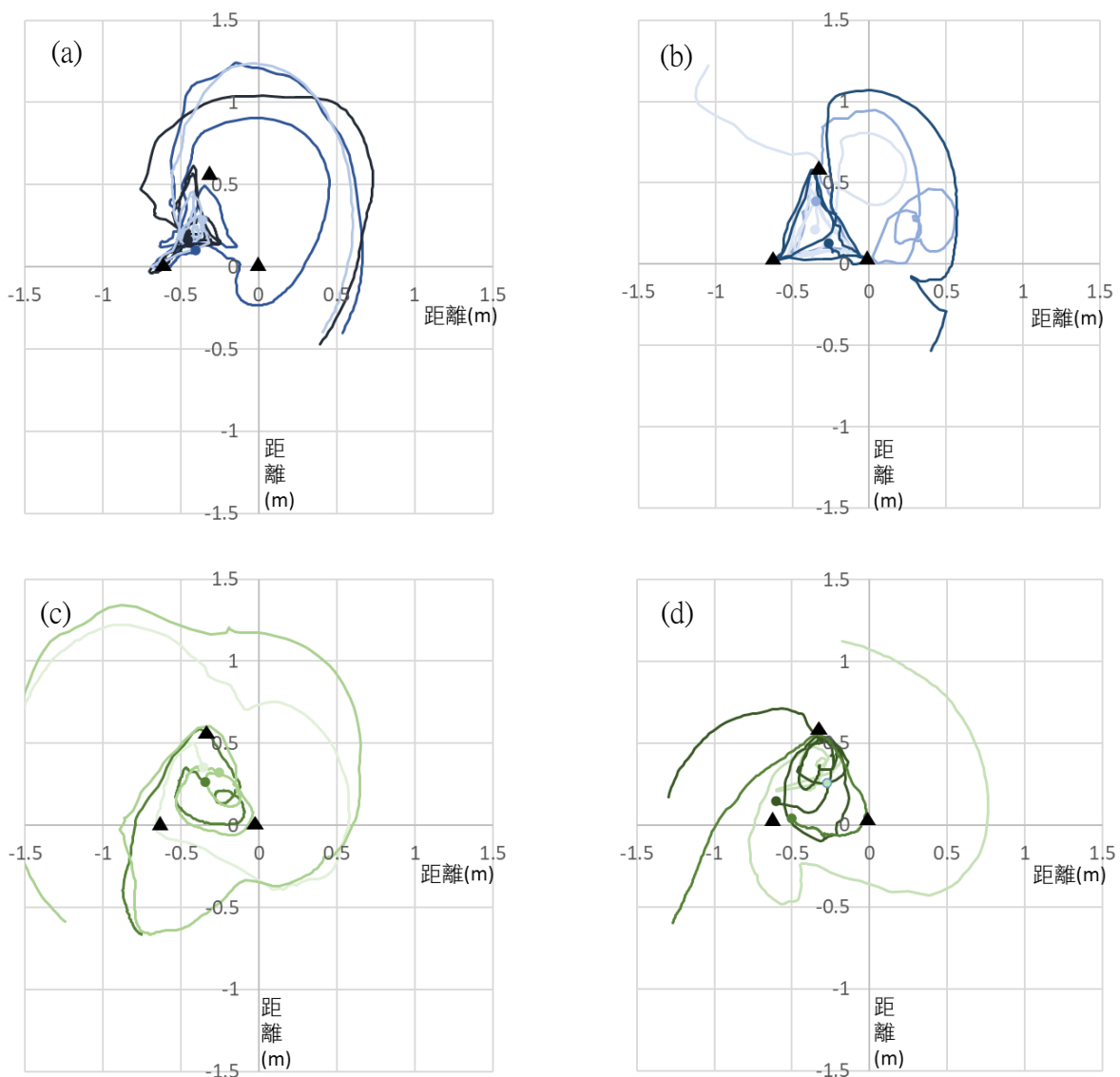
圖二十一 水流夾角與渦流中漂流物百分比關係圖。



圖二十二 水流夾角與渦流消散時間關係圖。

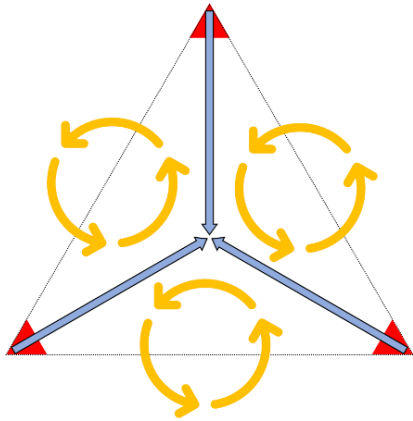
圖二十一中紅色線為沿正三角形邊(夾角 0°)出水的漂流物數量百分比，我們將此設定為對照組。向內輸水 15° 及向內 30° 的漂流物相較對照組於前100秒流出較多，但是在100秒後內 15° 及向內 30° 的漂流物於三角範圍中的漂流物相比對照組較多。由圖二十二可得，沿正三角形邊出水的對照組與向內 15° 的平均時間分別為97.3秒及98.7秒、向內 30° 為77秒，而水流向外之實驗中渦流至實驗結束時依然有漂流物留於固定柱之間。

圖二十三為其中一次改變不同水流夾角的軌跡圖，其中每張圖不同顏色的線代表不同漂流物的移動軌跡，黑色三角形為固定柱所在的位置。當水流向內時漂流物可在固定柱內繞行多圈，但當水流向外時，漂流物通常會隨著水流向外移動，而被帶離固定柱之間，但有些漂流物在五分鐘之後還是留在三角範圍之中。

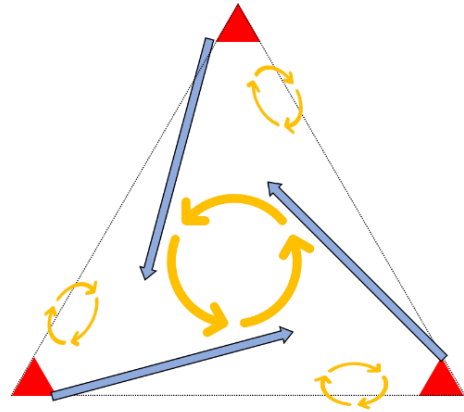


圖二十三 不同水流夾角軌跡圖。正三角形邊(a)向內 30° 、(b)向內 15° 、(c)向外 15° 、(d)向外 30° 。

當水流相較於三個固定柱的正三角形邊向內夾 30° 時，在實驗初期的最前100秒，由於水流會匯聚於同一個點上(圖二十四)，而將漂流物向外沖散，以致無法重新回到三角範圍內，我們推測為實驗初期時並未形成渦流，致使漂流物隨著水流向外流動。待至實驗中後期，即實驗開始100秒之後，漂流物會較隨機地於相鄰兩水流間流動，推測是三個水流互相影響產生渦流，使漂流物受小型渦流的影響，在水流交角處隨機流動。但若受渦流影響使得漂流物流至水流匯集之處，則漂流物會受到水流影響，被沖至固定柱範圍之外(圖二十四)。



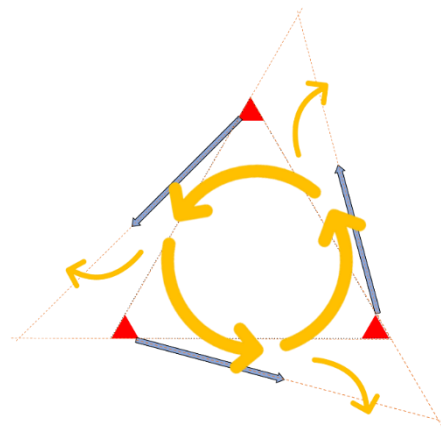
圖二十四 與正三角形邊向內 30° 示意圖。



圖二十五 與正三角形邊向內 15° 示意圖。

水流相較於三個固定柱的正三角形的邊向內夾 15° 時，一樣會因為初始水流的影響，將漂浮物沖散，我們推測一樣是因為實驗初期時並未形成封閉渦流，造成漂浮物被沖向外圍。待自實驗開始100秒之後，外圍的漂流物受到壓力差的影響靠近固定柱之間的三角形區域(圖二十五)，並受中心的渦流影響向三角範圍中央移動。由圖二十三(b)我們即可觀察到，當漂流物於正三角形範圍外側附近時，渦流的旋轉可將漂流物再帶回固定柱間的三角形區域。但由於渦流的強度不高，水流依然有機會將漂流物帶離，並自固定柱旁流出三角形的範圍，若能從固定柱旁收集漂流物，則可提高漂流物收集的效率。

當我們將水流方向設定為相較三個固定柱的正三角形邊向外 15° 以及向外 30° 時，實驗結果有大致相同的趨勢(圖二十一、二十二)。由於水流為向外流動，因此在實驗初期受水流沖離的漂流物較少，三角形範圍中的漂流物較其他水流向內的方式多(圖二十一)。因為水流角度向外，內圈流速慢，因此於固定柱間三角形區域內的渦流流速慢，



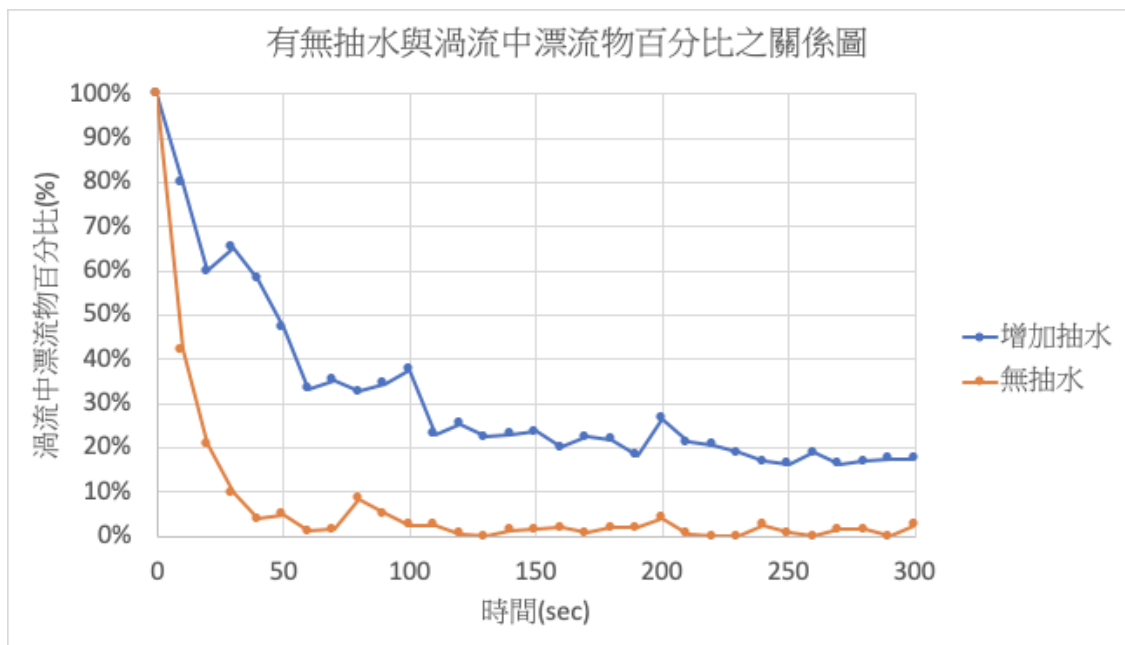
圖二十六 與正三角形邊向外夾角示意圖。

使漂流物緩慢流動。但於靠近水流的區域，因水流向外流動，受到白努力效應的影響，固定柱內的漂流物會往水流的方向移動(圖二十六)。因為水流方向向外，有部分漂流物便會隨著水流向外流動(圖二十六)。另外，因為水流為向外流動，則不易將外圍的漂流物帶進渦流當中(圖二十三(c)、(d))，因此無法達到我們預期的收集外圍漂流物的目標。

我們發現，由於我們每次實驗前將大部分的漂流物放置於固定柱中三角型區域內，因此當水流以正三角形的邊、向內15°及30°流動時，容易因水流的關係將漂流物沖散，往固定柱外圍流動，因此造成實驗初期固定柱內三角形區域的漂流物較少。但當水流相較於固定柱三角形邊0°、向內15°及30°實驗中，可發現當實驗時間超過100秒後，可將外圍的漂流物帶入固定柱之間的三角形區域，其中又以向內15°較好(圖二十一)。我們發現實驗生成的渦流強度不高，沒辦法將漂流物集中在三角形範圍中，不過當水流向內夾15°時，將外圍漂流物帶入固定柱之間的效果較佳，因此可以選用水流向內夾15°來幫助外圍漂流物的收集。

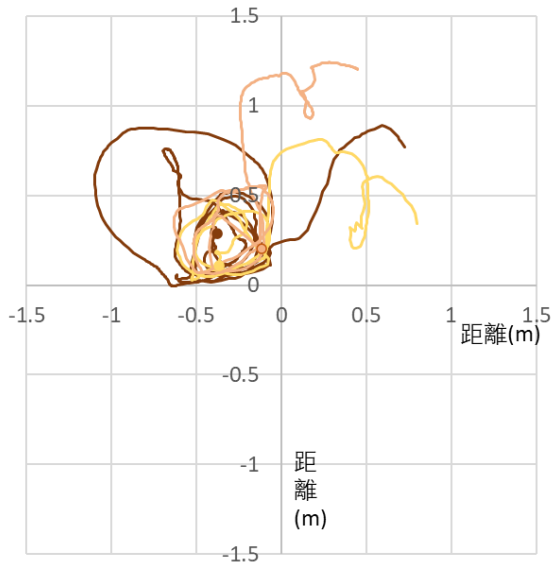
四、水面下抽水實驗：

因為在真實情況下，要有水流的輸出就需要從大型水域中抽水，為了使實驗更符合真實的狀況，我們試著加入抽水的因素加以討論，由於加入抽水後會對水面產生自由渦流，因此我們想利用自由渦流強化漂流物聚集的效益。我們選擇收集外圍漂流物效果最好的水流向內夾15°以及流速為 0.39 m/s (9V)，額外增加水面下抽水，持續五分鐘，以攝影機記錄漂流物移動並進行Tracker分析，觀察在漂流物於渦流中的移動情形繪製成軌跡，另每10秒計算在正三角形中的漂流物數量，並與沒有抽水的數據比較。

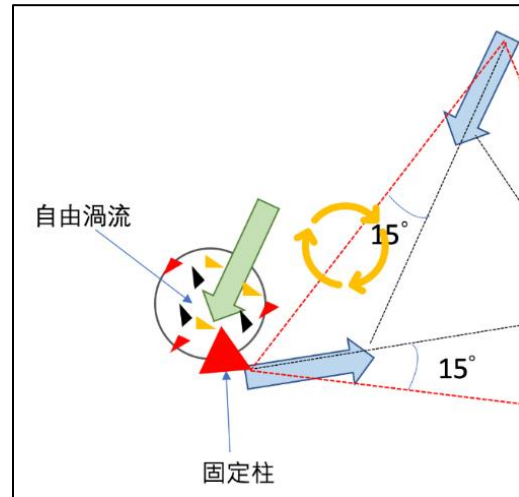


圖二十七 有無抽水與渦流中漂流物百分比關係圖。

增加抽水水管後，我們發現漂流物可能被聚集在因為抽水管所產生的自由渦流附近(圖二十八)，並將外圍的漂流物吸回三角範圍內。當實驗持續進行時，渦流中漂流物減少速度慢，自實驗開始100秒後，渦流內漂流物減少幅度小，並大致達穩定(圖二十七)。其中大部分會於三角形範圍中轉動，亦有可能自外圍將漂流物帶至固定柱的三角形範圍中。



圖二十八 有抽水軌跡圖。



圖二十九 加入抽水實驗示意圖。

由圖二十七可發現，若加入抽水(藍線)漂流物百分比下降的幅度較對照組小(橙線)，且在實驗開始後100秒，漂流物於三角形區域範圍內的數量占比就沒有明顯下降的趨勢，幾乎穩定達20%左右，代表漂流物可能長時間聚集在固定柱三角形範圍中，或是有漂流物從三角形範圍外移入。圖二十八可知漂流物相較於沒有抽水水管時(圖二十三(a))，在三角形範圍內繞行更多圈，並且軌跡的形狀較接近圓形，顯示此方式相較沒有加入抽水水管時受到水流的直接影響較小。

並且也可以從圖二十八發現，當漂流物流出三角形範圍外後，可能會有機會回到三角形範圍之中，我們推測是固定柱間正三角形的漂流物除了會受到向內夾 15° 的渦流影響，將外側的漂流物帶入三角形範圍外，還受到因為抽水而產生的自由渦流影響聚集在抽水口附近(圖二十九)。雖然漂流物收集的比例會高於20%，但我們依然發現漂流物仍可能離開三角形的範圍，如果能在收集漂流物時架設多組儀器，或許聚集漂流物的效果會更高。

五、應用效益評估：

現今水庫的集水區中，常有天然的垃圾，例如：漂流木以及動物屍體。又或是人為蓄意丟棄的人造廢棄物。這些垃圾容易堆積於生物體內造成對生物不好的影響，因此這些不論是天然或者人為的廢棄物，都容易造成水庫水質受到汙染。

現在清理水庫固體漂流垃圾的方式大多以人工打撈或清漂船，我們選用水面渦流來增進清理垃圾效益，我們認為此研究可以節省較多時間成本。於我們的方法中，試圖利用水流製造渦流，將大範圍面積的垃圾集中，輔助現在使用的清理方式，可有效減少人力打撈的人力成本以及清漂船需要開過水庫各區域所耗費的時間。

陸、結論

- 一、當水面初始流速為 0.39m/s (9V)，並且水流夾角向內夾 15° 時，漂流物受到水流影響較小，較不容易被沖至太遠。另受到生成的渦流影響，外側漂流物有機會回到實驗中三角形範圍中，但由於形成渦流的強度不夠，依然有可能造成大量漂流物流出範圍外，較無法有效的收集漂流物。
- 二、水面下抽水能額外製造出一個自由渦流，能將本來被帶離的漂流物再帶入渦流中，並且增強漂流物聚集的效果，以時間成本少的優勢輔助現行清理的方式，降低現在人工打撈及漂流船清理水面垃圾所需要的人力以及時間成本。
- 三、由於在加入抽水後，自由渦流效果明顯，許多漂流物吸到抽水管口附近，因此將來我們想試著探討抽水深度及角度對於渦流深度及漂流物聚集的影響。除了探討固態的汙染源，本研究將來想要探討渦流對於收集擴散性的液態汙染源及懸浮微粒的可能性，藉此加以評估對環境的效益。

柒、參考資料

1. Donohue, K., Watts, D.R., Hamilton, P., Leben, R., & Kennelly, M. (2016). Loop Current Eddy Formation and Baroclinic Instability. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 76(2), 195-216. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2016.01.004>
2. Mark Schleifstein (2018) 10-year, \$125 million study needed of Gulf Loop Current that feeds hurricanes, scientist say. 取自：<https://reurl.cc/MbzMZn>
3. National Oceanic and Atmospheric Administration (2022) Garbage Patches What and Where Are Garbage Patches? 取自：<https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html>
4. Scott Snowden(2019) 300-Mile Swim Through The Great Pacific Garbage Patch Will Collect Data On Plastic Pollution. 取自：<https://reurl.cc/6ErMV6>
5. 朱佳仁 第五章 理想流(Ideal flow)【上課投影片】。 取自：<https://reurl.cc/027VZk>
6. 古庭安、賴靜瑤(2009) 流麗奇跡-漩渦崩潰現象之探討。國際科學展覽會。 取自：<https://reurl.cc/VjkG6y>
7. 林奕汝(2012) “漩”機妙算。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。 取自：<https://reurl.cc/bk0ZR0>
8. 馬肯紀 (Dana Mackenzie) (2021) 隱形水牆：「輸運障壁」如何保護墨西哥灣免於油污污染？ 取自：<https://www.thenewslens.com/article/159551>
9. 賀晨曦(2008)臺灣主要水庫一覽。 取自：<https://reurl.cc/xOn4oV>
10. 黃靖純、吳佳倩、邱欣姿(2006)。渦流試驗：流體力學試驗報告。逢甲大學水利工程學系。 取自：<http://dspace.fcu.edu.tw/bitstream/2377/400/3/D935723095102.pdf>
11. 黃兆慧(2002) 台灣的水庫，遠足文化出版。
12. 趙書漢、洪連輝(2009)白努利原理。科學online-台灣大學。 取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1524>
13. 趙軍方 (2016) 渦是搓出來的嗎？力學與實踐,2017,39(6): 635-638
14. 魯皓平(2018)比台灣還大44倍的垃圾島？你看不見的海洋悲歌 遠見。 取自：<https://www.gvm.com.tw/article/43681>。
15. 董其桓(2012)Imagina「漩」。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。 取自：<https://reurl.cc/xOnYEL>
16. 轉角國際udn Global (2020)墨西哥灣的浩劫過後：「深水地平線漏油事件」的生態瘡疤10周年。 取自：https://global.udn.com/global_vision/story/8662/4508419