

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080101

「海浪大力士」—沿岸海浪能量取得的探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者： 小五 林楷宸 小五 段怡叡 小五 李柏宣 小五 楊健安	指導老師： 黃柏鴻 蔡承璋
---	---------------------

關鍵詞：海浪發電、海水運動、水輪

## 一、摘要

台灣四面環海，相當適合大規模建置海浪發電，若我們能在海岸邊興建發電機，不僅可以降低海浪發電的成本，同時也能保護海浪對海岸的侵襲。本研究中，我們使用水輪機盒來獲取波浪的動能，然後藉著改變水輪機盒的結構，以及海浪及海岸狀態，可依據(1)水輪上緣切齊水面且與海岸維持一小段距離；(2)將水輪機盒建置在海浪較大及斜度約 40 度之海岸；(3)水輪機盒使用導流板、4 片扇葉、凹入距離較大及適當高度的水輪；(4)使用數量適當的水輪排列等四項結論，提升獲取能量效益。本研究為能分析細微之能量差異，以水輪拉動物體來表示其能量取得之能力，探討高效益的水輪機盒雛形及沿岸海浪發電的可行方法。

## 二、研究動機

能源是人類文明發展與社會運作重要的資源，而我們仰賴已久的石化燃料有耗盡的一日，所以尋找穩定的永續能源成為當務之急，每當我們看到海浪猛烈的拍打海岸時，總是覺得沿岸海浪一個可運用的龐大能源，因此若能善用這些能量，也許可以間接的減少海浪對沿岸的破壞，並且將發電機建置在岸邊，可降低建造的許多成本，最後，我們認為可以利用水力發電的水輪機，提升發電效能，因此我們決定要自己動手來研究海浪發電，為開發永續能源貢獻一份心力。



哇!!我們自製的  
波浪很壯觀吧!

### 三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的探討，包含了海浪成因、海浪運動方式、海浪發電方式等三個主題，以下分段敘述。

#### (一) 海浪成因

海浪的能量來源有三種，分別是風、潮汐以及地震，其中以風為最主要來源，也代表其能量主要來自於太陽能量帶動大氣中空氣的循環，所以當季風較明顯或颱風來襲時，海浪就會變得較為明顯或劇烈，但是即使無風的時候，海水仍然會累積微小風力而形成海浪[1]。另外潮汐的週期太長，而地震並非穩定出現，所以與平時我們所觀察到的海浪沒有關聯。

#### (二) 海浪運動方式

海浪前進時，如果是距離岸邊相當大的距離，在理想狀態下，大部份的海水並不會向前移動，而是在原地進行圓周運動[3]，只有能量會以湧浪的方式向前傳遞。當波浪距離海岸相當近時，會產生破碎崩潰，且波浪與海床摩擦後，底層部分前進速度就會變慢，但頂層部分的速度仍然保持不變，導致波浪溢出及崩潰[4] (圖 3-1)。

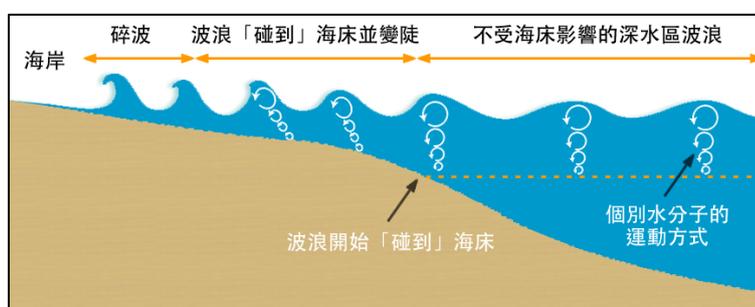


圖 3-1 海浪靠近海岸形成溢出及崩潰

引自 <https://swelleye.com/blog/birth-of-a-wave/>

#### (三) 海浪發電方式

海浪發電與潮汐發電及洋流發電皆是利用海水的移動來發電，但是模式相差很大，海浪發電因未被廣泛運用，也形成多種不同樣式(圖 3-2、3-3)，我們以二個面向來說明各式海浪發電可能的樣式，(1)使用水或者空氣等不同傳遞介質來推動渦輪，在本研究中，我們認為用水來推動渦輪應可獲得較大的能量。(2)使用水的浮力及衝力等不同力的種類，大部份開發之發電機是採用浮力的變化來取得能量[2][5]，在本研究中，為簡化機械結構，我們採用衝力的形式。



圖 3-2 易吉益公司研發之海浪發電機

引自 <http://www.epochtimes.com/b5/13/3/26/n3831924.htm>



圖 3-3 Pelamis 海浪發電機

引自 <https://kknews.cc/news/e345amr.html>

## 四、研究目的

我們在進行完文獻探討的資料蒐集後，大致獲得海浪發電的相關知識，並形成欲探討的問題，接著我們將本研究的目的分為二個主要項目，共計九項子實驗，條列如下：

項目一：海浪及海岸狀態對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 1：水輪機盒的深度對取得能量的影響

實驗 2：水輪機盒的離岸距離對取得能量的影響

實驗 3：海浪頻率對水輪機盒取得能量的影響

實驗 4：海底坡度對水輪機盒取得能量的影響

項目二：機盒結構對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 5：導流片角度對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 6：扇葉數量對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 7：扇葉形狀對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 8：扇葉高度對於水輪機盒取得能量的影響

實驗 9：水輪排列方式對於水輪機盒取得能量的影響

## 五、研究設備及器材

表 5-1 實驗設備所需工具及材料

器材名稱	種類	項目
實驗水箱	材料	壓克力板、氣仿、圓盤鋸、長尾夾、海綿，矽利康
	工具	水彩筆、膠帶
實驗水輪機盒	材料	3D 列印線材、直徑 3mm 鐵棒、壓克力板、氣仿、圓盤鋸、強力磁鐵
	工具	3D 列印機、SketchUp2019 pro 軟體、壓克力加熱器、水彩筆、膠帶、電烙鐵
能量輸出裝置	材料	塑膠輪、定滑輪組、彈性線、L 型鐵架、油性黏土、長尾夾
	工具	剪刀
海浪產生裝置	材料	小馬達、齒輪組、塑膠冰棒棍、鐵軸、壓克力板
	工具	鐵剪
水流探測模組	材料	壓克力板、保麗龍球、油土、白鐵網、熱融膠
	工具	熱融膠槍

## 六、研究過程及方法

### (一) 研究流程

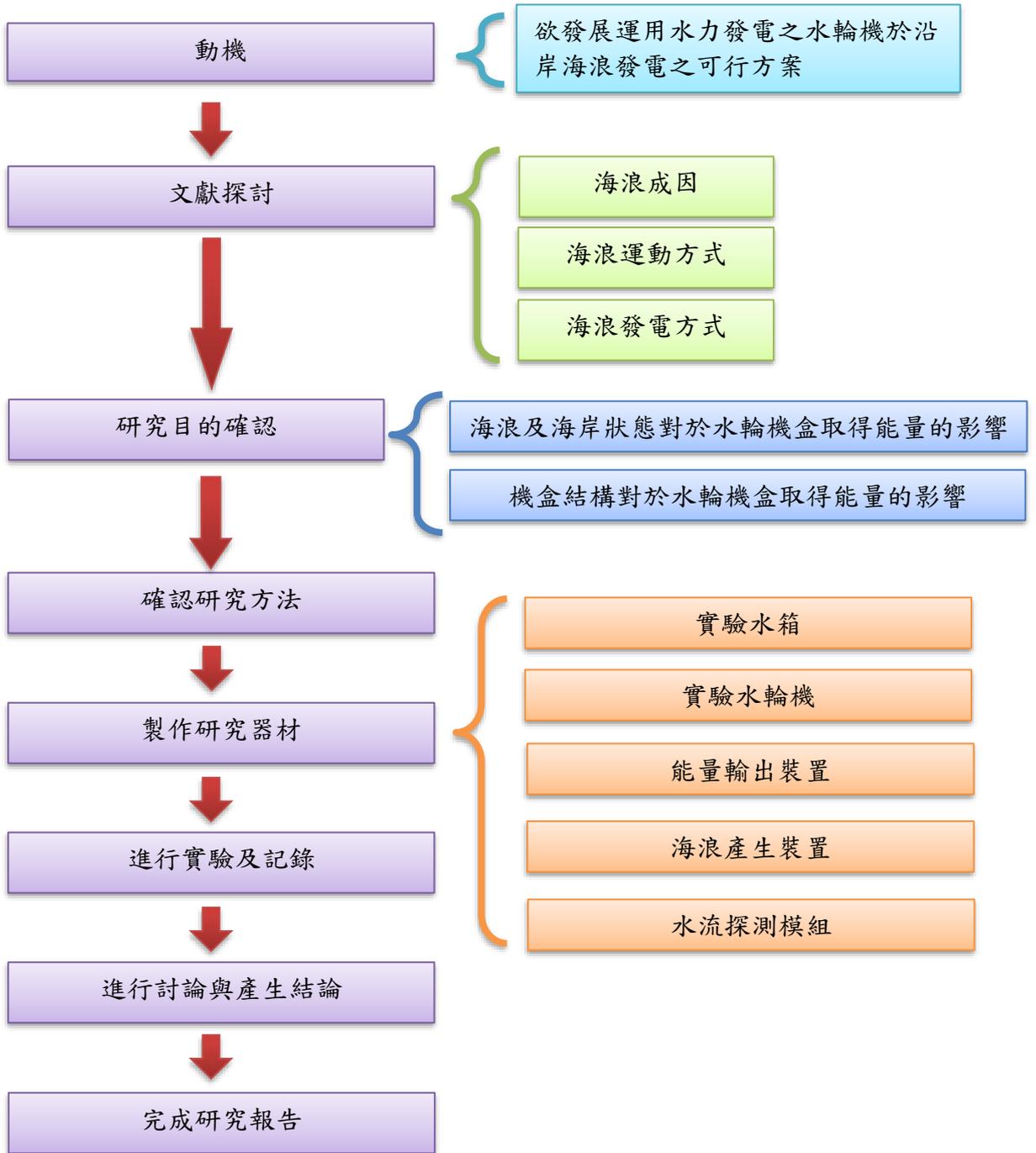


圖 6-1 研究流程圖

## (二) 研究設計

研究的主要實驗設備有 5 項，分別為實驗水箱、實驗水輪機盒、能量輸出裝置、海浪產生裝置及水流探測模組等，如圖 6-2 為各項器材的放置方式，以下詳述製作過程。

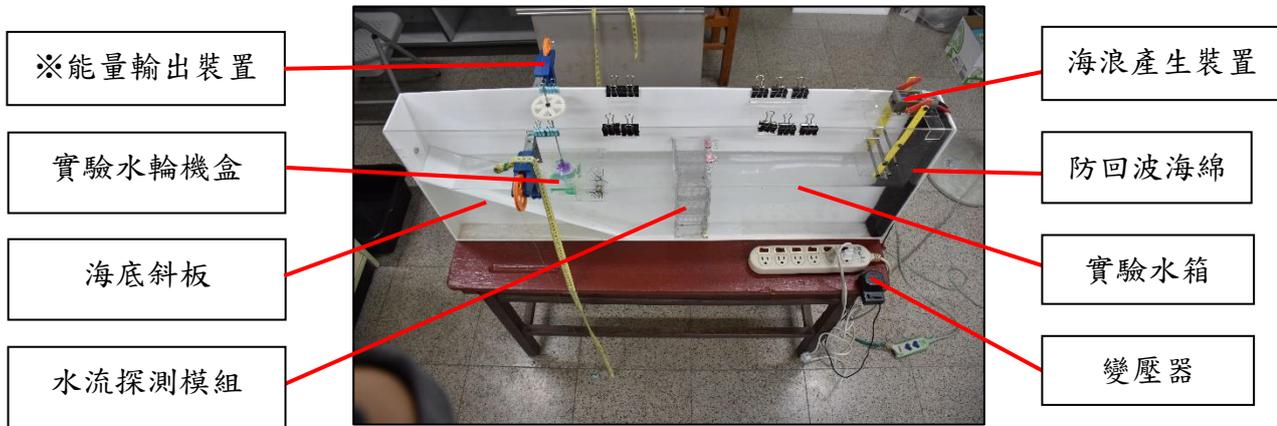


圖 6-2 整體實驗設備配置介紹

1. 實驗水箱：為了能模擬海浪的運動狀態，並且配合海水多以向前單向移動的特性，我們設計了一個寬大而扁平的水箱，除了方便我們進行實驗的變因操作，還可以達到省水的功能，並且我們採用透明的壓克力板，以利我們進行實驗觀察。
  - (1) 我們先進行討論，了解實驗所需的水箱大小，然後購買適當尺寸的壓克力板，除了正面採用透明材質，其餘採用白色材質，方便我們觀察與記錄。
  - (2) 我們先使用氯仿來進行壓克力板的連接(圖 6-3)，等待壓克力板固定好，接著使用矽利康來塗抹接縫處，預防箱子漏水。
  - (3) 等待矽利康乾了，接著我們試著放入自來水(圖 6-4)，以確認是否有需要補強的縫隙，進行再一次的塗抹。
  - (4) 最後，為了避免實驗時的波浪碰到另一面水箱壁而產生反彈的波浪，干擾實驗結果，我們取一塊大小適當的海綿貼在水箱壁上(圖 6-5)，減少反彈波浪的形成。



圖 6-3 使用矽利康來塗抹水箱接縫

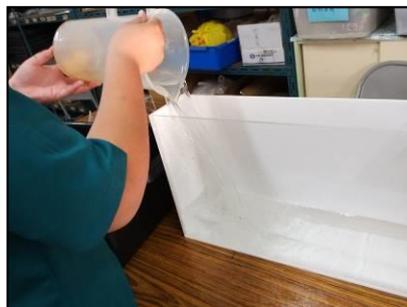


圖 6-4 倒水測試水箱是否緊密



圖 6-5 在水箱壁貼上防回波海綿

2. 實驗水輪機盒：水輪機盒是本研究中相當重要的器材，為了能將海浪動力轉換成機械轉動能量，我們使用 3D 列印機來精確製作各式水輪，探討水輪最佳的狀態。

(1) 首先確認水輪的大小，然後我們使用 SketchUp 2019 軟體(圖 6-6)，依據實驗變因，設計了許多不同數量葉片、不同彎曲角度葉片以及不同高度葉片的水輪，並利用 3D 列印機列印水輪模型(圖 6-7、6-8)。

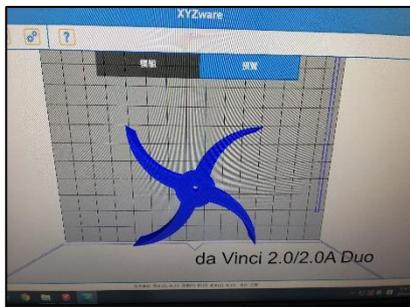


圖 6-6 利用軟體設計所需水輪模型

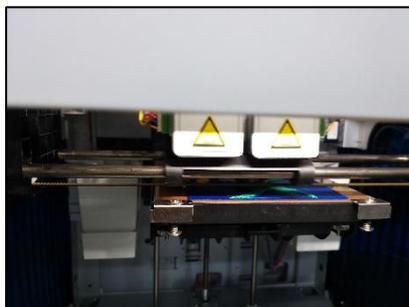


圖 6-7 利用 3D 列印機製作設計的水輪模型

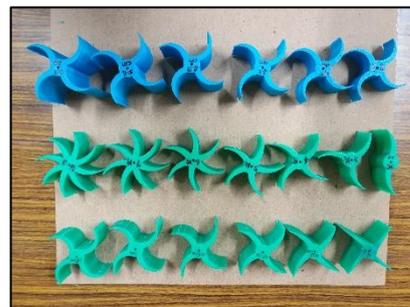


圖 6-8 列印完成的各式水輪模型

(2) 接著，我們取適當大小的壓克力板，利用加熱器來彎曲(圖 6-9)，做為水輪機的外盒。

(3) 然後，我們將粗細適當的鐵軸穿過水輪模型中央的小孔(圖 6-10)，並在鐵軸上套上塑膠輪，做為能量輸出用途，並將鐵軸底部靠在水輪機盒的底部。

(4) 為了實驗方便，我們將二顆強力磁鐵固定在機盒的側面上，並在水箱外面放置另外二顆強力磁鐵，以控制水輪機盒的位置(圖 6-11)。

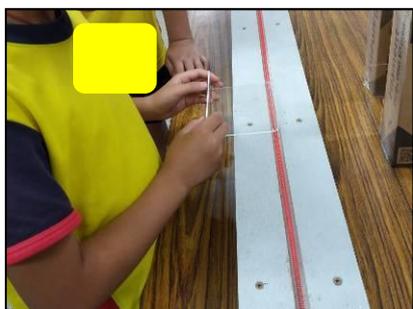


圖 6-9 將壓克力板加熱彎曲做為外盒

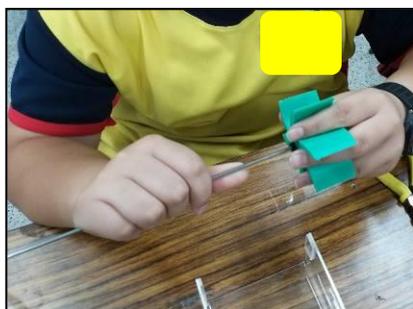


圖 6-10 將鐵軸穿過水輪模型中央小孔



圖 6-11 完成的各式水輪機盒

3. 能量輸出裝置：為了探討波浪所能產生的能量，我們將水輪機盒的轉軸套上塑膠輪，然後利用滑輪來拉動物體，便可比較在不同狀態下，水輪機盒所能輸出的能量大小。

(1) 首先製作固定滑輪所需的 L 型鐵架，然後將定滑輪固定在 L 型鐵架上(圖 6-12)。

(2) 接著，配合水輪轉軸的位置，用長尾夾將定滑輪固定在水箱上方(圖 6-13)，兩側各裝一組。

(3) 最後，取一段長度適當的彈性繩，繞過二個定滑輪及鐵軸上的塑膠輪，並在繩子兩側上綁上等重物品(圖 6-14)，在不受外力時，繩子不會被拉動，當水輪機盒的轉軸轉動時，一端的物體被拉向上，另一端的物體則向下。



圖 6-12 將定滑輪組固定在 L 型鐵架上

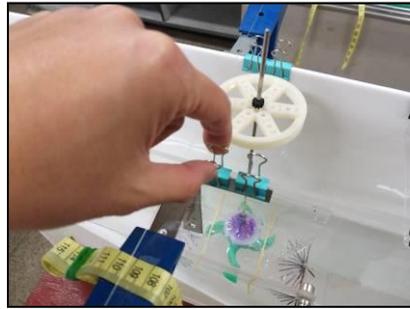


圖 6-13 利用長尾夾固定定滑輪的位置



圖 6-14 用彈性繩來傳送水輪機的動力

4. 海浪產生裝置：我們想藉著模擬沿岸海浪，來探討海浪發電的新模式，從文獻探討中，我們了解到海浪多由於風吹拂所形成，並且主要是傳遞能量，而非傳遞物質，因此我們決定上下拍打水面來產生波浪，以更接近真實海浪的運動情形，以下分項介紹製作流程。

- (1) 我們運用機器人課程所使用的馬達組，結合塑膠冰棒棍，完成裝置的大致架構(圖 6-15)。
- (2) 接著，利用加熱器將壓克力板彎曲，做為海浪產生裝置的拍打平面。
- (3) 我們在機械手臂的二側固定四支鐵棒(圖 6-16)，讓馬達原本的圓周運動轉換成上下直線運動，達成上下拍打水面的功能。
- (4) 最後，製作馬達組的支架，讓馬達組能固定在水箱上方的一側，然後利用變壓器取代電池(圖 6-17)，當成電力的來源，以達成電力穩定及可控制的目的。



圖 6-15 裝上馬達組的曲軸



圖 6-16 於機械手臂兩側固定四支鐵棒



圖 6-17 利用變壓器來提供馬達電力

5. 水流探測模組：在完成了水箱、海浪產生裝置及放入海底斜板後，為了了解模擬的波浪之運動情形，我們設計了水流探測模組，利用比重與水相同的小球，可以探測出不同位置的水流方向與速度。

- (1) 首先，利用比重大的油土包覆比重小的保麗龍球，放入水中調整其比例，使小球能不浮不沉的停留在水中(圖 6-18)。
- (2) 將壓克力板彎曲成長方形，符合水箱內的高度及寬度(圖 6-19)。
- (3) 為了避免模組影響原本水的流動，我們使用鐵網來做分隔材質，觀看格子中的小球之運動狀況(圖 6-20)，了解水的流動情形，做為實驗推論之參考。
- (4) 從實驗後，我們發現離表面較近的水向海岸移動的速度較快，而較深層的水則靜止或緩慢的遠離海岸，與文獻探討之內容相近。

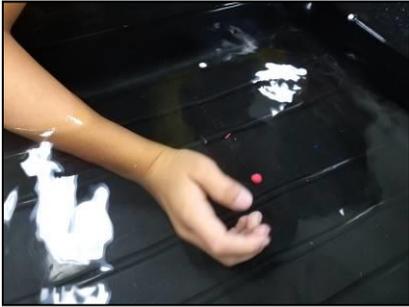


圖 6-18 利用油土與保麗龍球製作比重與水相近的小球



圖 6-19 製作水流探測模組之外框



圖 6-20 從小球的運動來了解水流情形

(四) 實驗方法：為了清楚的探討我們設計的沿岸海浪發電水輪機盒之效能，讓實驗結果更加正確，我們需在實驗前進行一系列的檢查，以及妥善的實驗流程。

1. 實驗前檢查：我們所要進行的檢查項目共計八項，等同於是實驗的控制變因。

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| (1)水箱中水位的高低維持一致(圖 6-21)。 | (2)海底斜板的位置維持一致(圖 6-22)。 |
| (3)水輪機盒的位置維持一致(圖 6-23)。  | (4)水輪在機盒中的位置維持一致。       |
| (5)馬達齒輪盒運轉正常。            | (6)定滑輪組對應塑膠輪的位置。        |
| (7)水輪機盒之轉軸呈現垂直向上。        | (8)導流片的位置與角度維持一致。       |

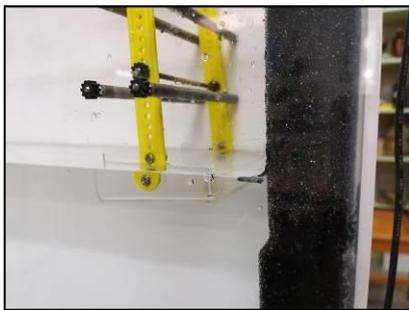


圖 6-21 水面對齊標記



圖 6-22 海底斜板對齊標記

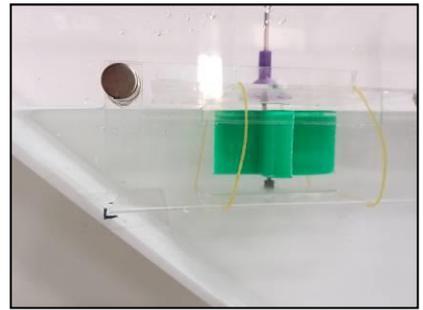


圖 6-23 水輪機盒對齊標記

2. 實驗流程：不同的實驗項目之實驗流程會略有不同。

- (1)依據實驗項目調整實驗器材之狀態。
- (2)將能量輸出裝置上彈性繩的一端之長尾夾拉至地面，並用重物壓住。
- (3)開啟馬達約 10 秒鐘，讓波浪呈現穩定的起伏狀態。
- (4)接著拿走長尾夾上的重物，等待 20 秒後，確認長尾夾上升的高度。
- (5)相同的實驗進行多次，去除最大及最小值，取 5 次穩定數值進行平均。



圖 6-24 用重物壓住長尾夾



圖 6-25 計時 20 秒實驗時間



圖 6-26 確認長尾夾上升的高度

## 七、研究結果及討論

以下針對各實驗的方法進行說明，並討論其實驗結果

### (一)實驗 1：水輪機盒的深度對取得能量的影響

從文獻探討及水流探測實驗中，我們了解到海浪前進過程中，愈淺的區域中，水分子的運動愈明顯，因此我們想要藉著調整水輪上緣與水面距離 1.5 至 -3.0 公分(負值代表超出水面)，探討水輪機盒的深度與取得能量的關係，實驗結果如下。

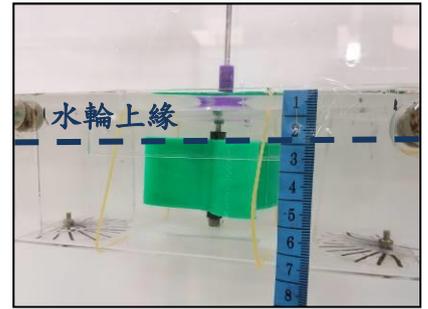


表 7-1 實驗 1 實驗結果

深度	-3.0cm	-2.5cm	-2.0cm	-1.5cm	-1.0cm
物體上升高度	0 cm	8.4 cm	28.2 cm	31.2 cm	38.6 cm
圖片					
深度	-0.5cm	0cm	0.5cm	1.0cm	1.5cm
物體上升高度	48.2 cm	58.2 cm	19.6 cm	3 cm	0 cm
圖片					

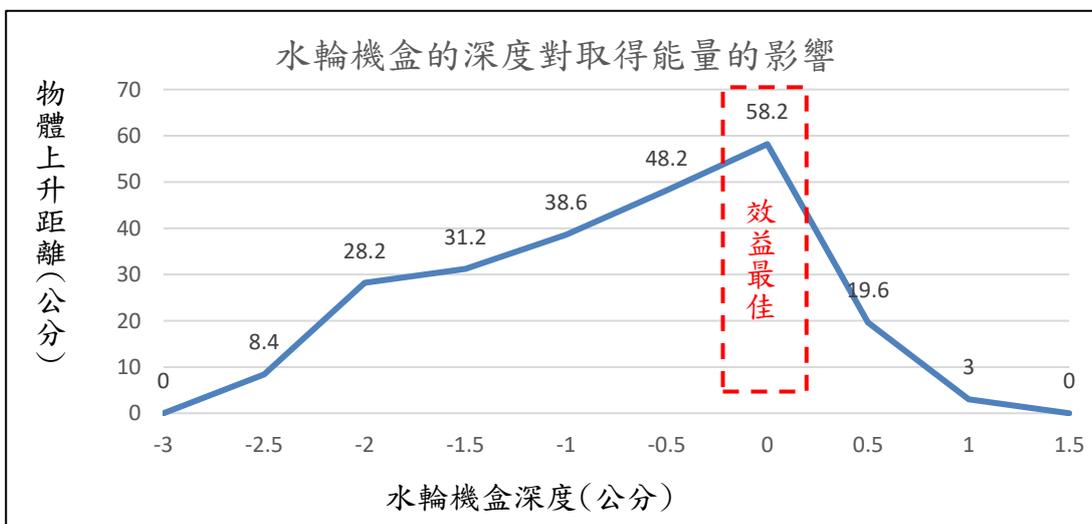


圖 7-1 實驗 1 折線圖

討論：

從圖 7-1 中的折線變化發現，當我們改變水輪機盒的深度位置時，明顯影響了取得能量的狀態，在水輪上緣剛好切齊水面時，效益最佳，可以於 20 秒內將物體拉動約 58.2 公分，而水輪繼續向上或向下調整時，效益皆會明顯的下降。

我們認為可能的原因為二點，其一是波浪來臨時，接近水面的水分子較深層的水分子移動的更為劇烈，如同我們在水流探測實驗所獲得的結果，因此當水輪在較深的深度時，不易獲得動能(圖 7-2)；其二是水輪從波浪獲得能量，若有一些部位離開水面，則會減少能量的取得(圖 7-4)，而水輪上緣剛好切齊水面時，則能獲得最大的動能(圖 7-3)。

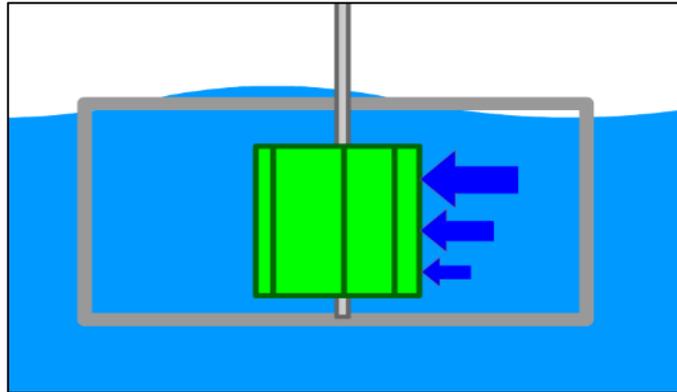


圖 7-2 水輪在水面下

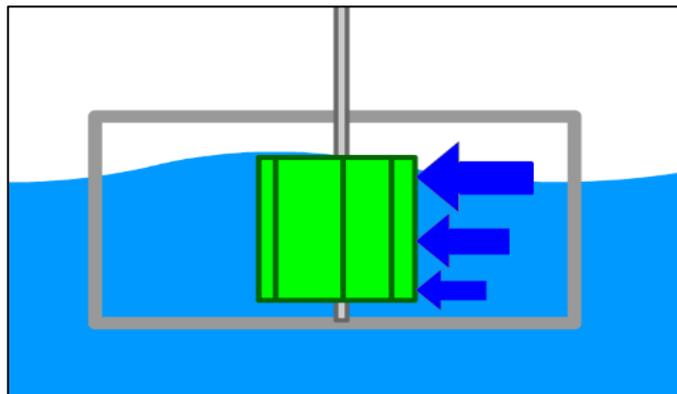


圖 7-3 水輪上緣切齊水面

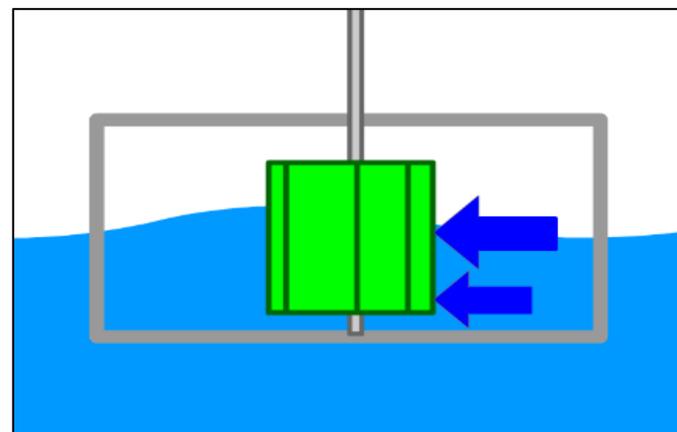


圖 7-4 水輪超出水面上

(二)實驗 2：水輪機盒的離岸距離對取得能量的影響

延續實驗 1，我們繼續探討水輪機盒與海岸的相對位置，於是我們將水輪機盒緊靠海底斜板，也就是離岸距離為 0 公分，接著每移動 2 公分，進行一項實驗。

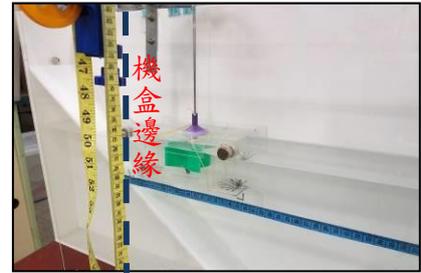


表 7-2 實驗 2 實驗結果

離岸距離	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
物體上升高度	27.2 cm	33.8 cm	35.6 cm	65.0 cm	57.2 cm
圖片					
離岸距離	10 cm	12 cm	14 cm	16 cm	/
物體上升高度	65.4 cm	68.2 cm	69.2 cm	62.4 cm	
圖片					

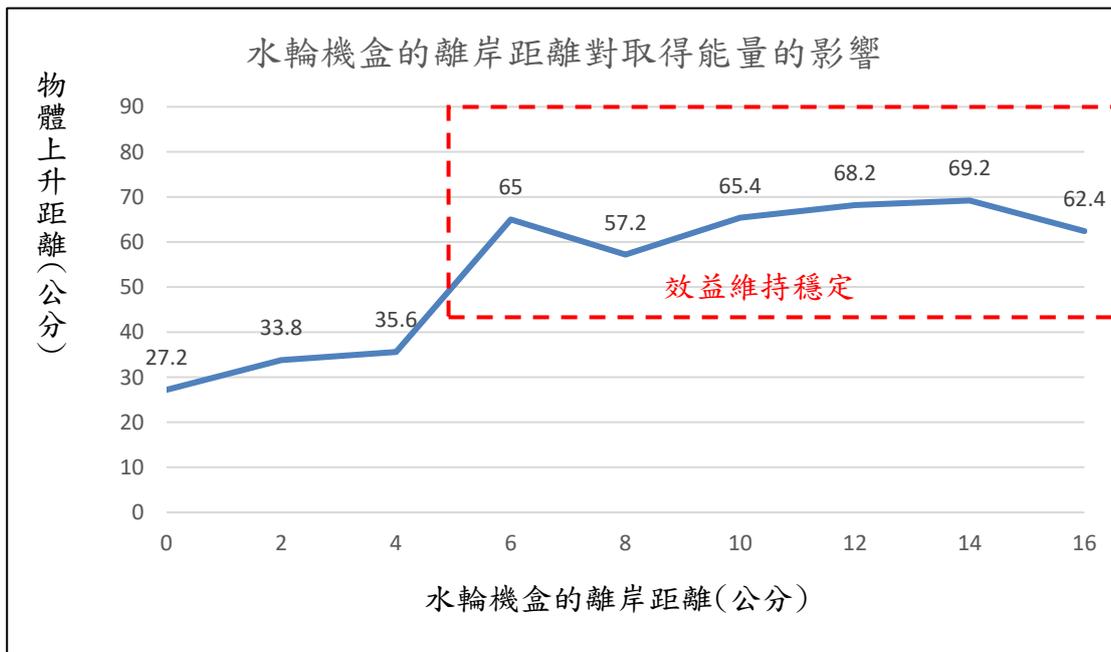


圖 7-5 實驗 2 折線圖

討論：

從實驗結果我們發現，水輪機盒的邊緣距離斜板 6 公分以上，則物體上升的距離便會維持在一個較佳的狀態，大約 57~69 公分之間，若小於 6 公分以內，則會減少，緊靠岸邊的最為不佳，為 27.2 公分。

我們認為可能的原因是海浪朝向海岸拍打時，如果水輪機盒與海岸太靠近，會因為空間受限，而導致波浪的前進受阻，產生反作用力，抵消了原方向的力(圖 7-6)；而當水輪機盒與海岸維持一段距離以上，水流受阻的情形便會大幅降低，獲取能量的效益就能維持在穩定狀態(圖 7-7)。

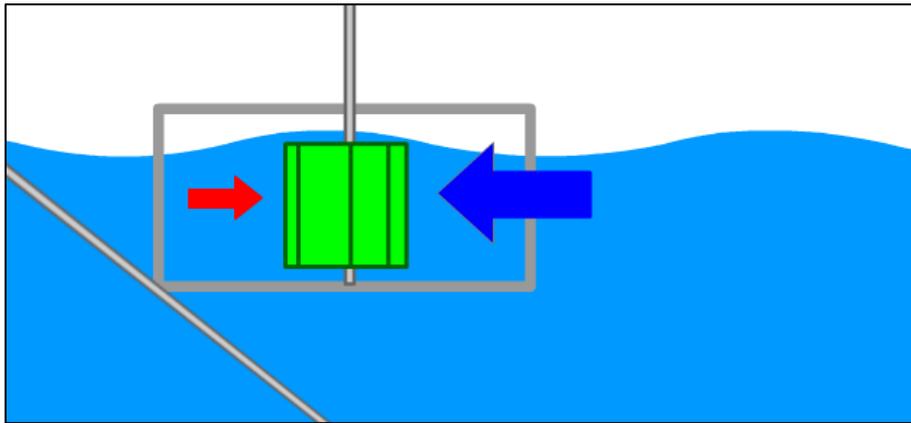


圖 7-6 水輪機盒緊靠岸邊

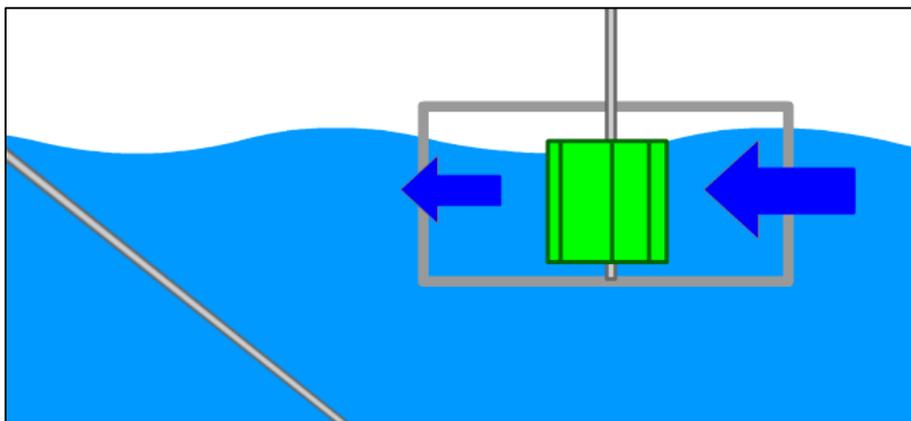


圖 7-7 水輪機盒與岸邊有一段距離

(三)實驗 3：海浪頻率對水輪機盒取得能量的影響

接著，我們認為海浪的強度也許會對水輪機盒取得能量造成影響，於是我們藉著改變提供馬達組電力的變壓器之電壓，來改變馬達的運轉速度，同時也產生不同頻率的波浪，在表 7-3 中，我們可看到不同頻率的馬達，形成的波浪有兩種差異，馬達快時，除了波浪的起伏變大，而且波浪的頻率也變高了。



表 7-3 實驗 3 實驗結果

電壓	3 V	4.5 V	6.0 V	7.5 V
物體上升高度	15.8 cm	69.2 cm	0 cm	0 cm
圖片				

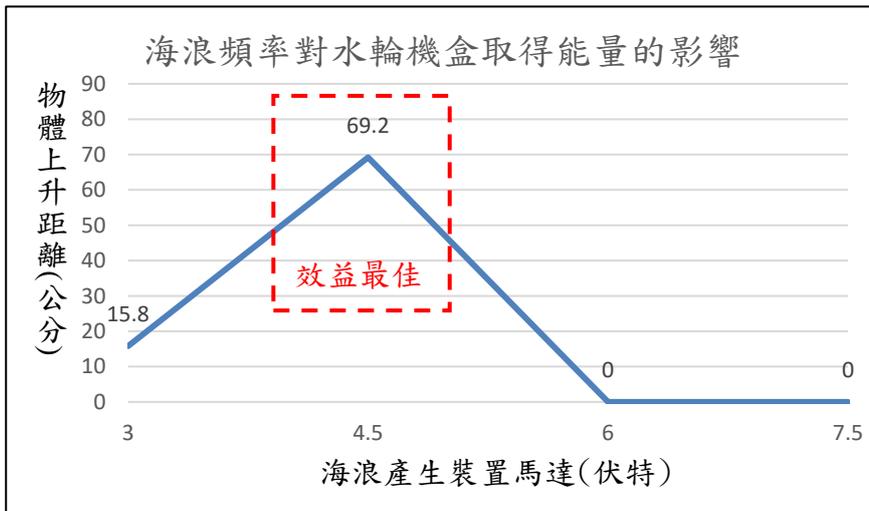


圖 7-8 實驗 3 折線圖

討論：

從圖 7-3 的實驗折線圖，可以明顯發現電壓在 4.5 伏特時獲取能量的效益最佳，物體上升距離為 69.2 公分，而 3 伏特時，則減為 15.8 公分，但是令人感到訝異的是，電壓調高到 6 伏特及 7.5 伏特時，物體上升的距離皆為 0 公分。

這個結果雖然與原來我們的預期不一樣，但是從我們實驗時的波浪可以觀察到一個特殊現象，就是當電壓較小時，如本實驗的 3 伏特電壓，波浪的強度較小，的確使推動水輪的力量減小(圖 7-9)，但是當電壓大到 6 伏特以上時，波浪的前進波形不是呈現向前狀態，而是在原位跳動(圖 7-11)，導致並沒有實際向前的波浪來推動水輪，我們觀察到這個狀態在自然界的海浪中並不存在，所以我們只採納 3 伏特提升到 4.5 伏特時，獲取能量效益是呈現提升的關係，代表海浪愈大(圖 7-10)，水輪機盒的獲取能量效益愈好。

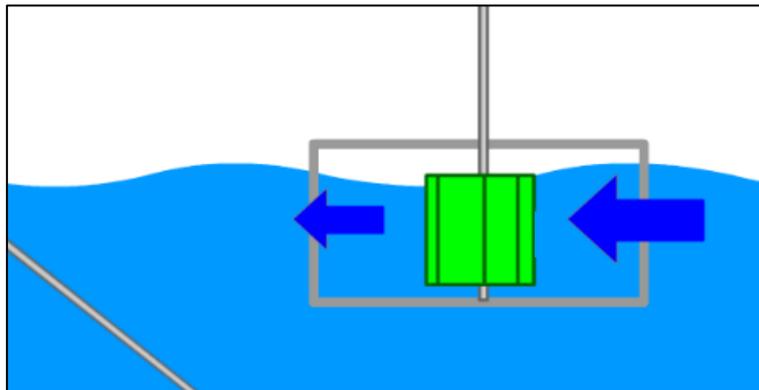


圖 7-9 波浪頻率較小

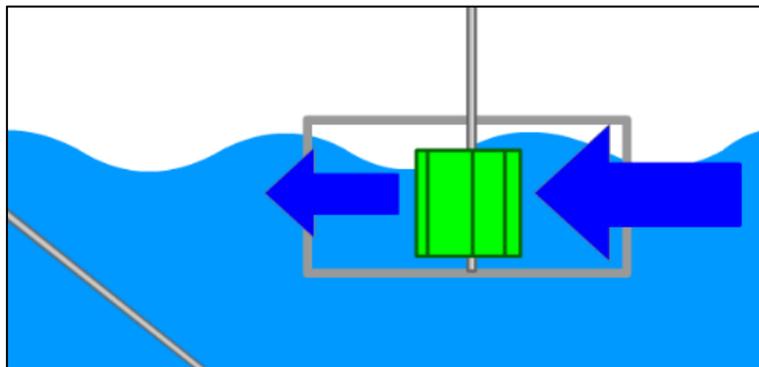


圖 7-10 波浪頻率較大

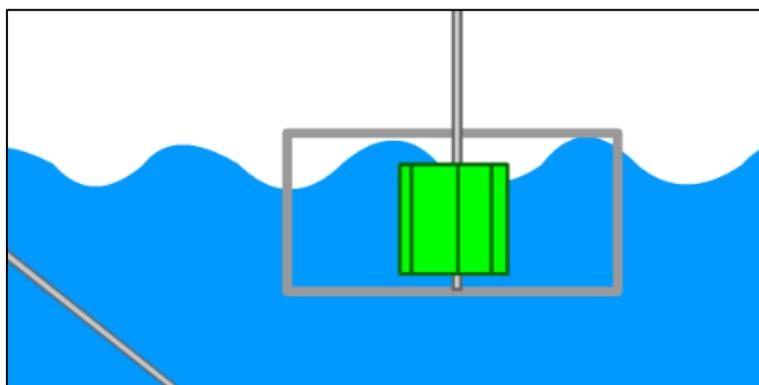
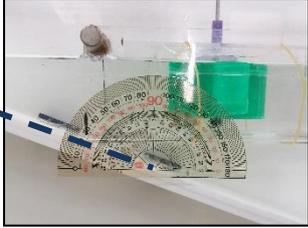
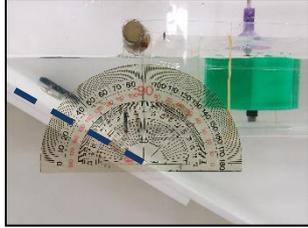
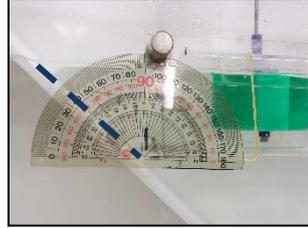
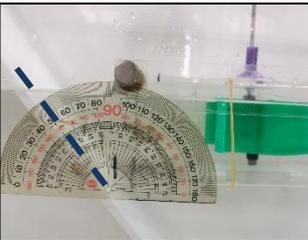
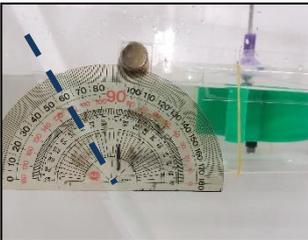
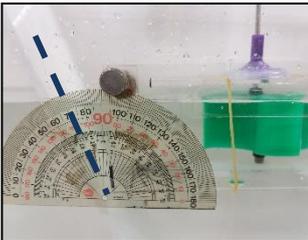


圖 7-11 波浪頻率過大

(四)實驗 4：海底坡度對水輪機盒取得能量的影響

我們從文獻探討中，了解到海浪在接近岸邊時會改變水在原處的運動模式，轉變成向前的運動，所以海底的斜度可能影響水輪機盒取能量的重要因素，因此我們藉著調整海底斜板的的角度 20 度~70 度，來探討二者之間的關係。

表 7-4 實驗 4 實驗結果

海底斜板角度	20 度	30 度	40 度
物體上升高度	39.6 cm	54.8 cm	78.2 cm
圖片			
海底斜板角度	50 度	60 度	70 度
物體上升高度	76.6 cm	69.8 cm	69.4 cm
圖片			

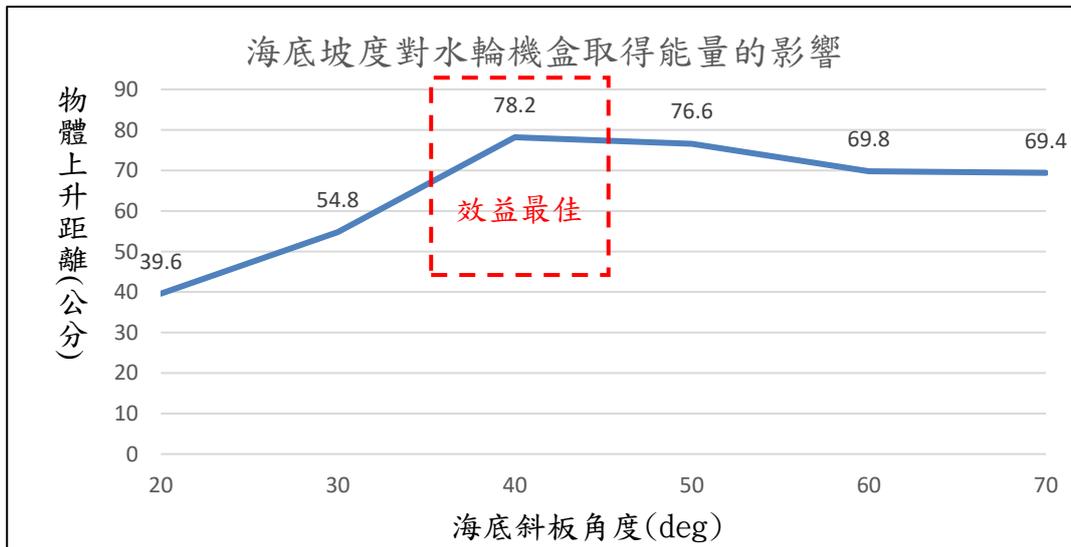


圖 7-12 實驗 4 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現海底斜板從 20 度增加到 40 度時，物體上升的距離由 39.6 增加至 78.2 公分，接著再增加其角度至 70 度時，則上升距離微幅下降的現象。

我們認為產生這個實驗結果的原因有二，其一是海底的斜度有利於將海浪中水分子的圓形軌跡運動方式轉變成向前的運動，所以斜度 20 度時，海水分子向前的傾向較小(圖 7-13)。其二是當斜度過大時，如本實驗之 50 度至 70 度，則可能因為機盒與斜板之間的空間過於狹小，而使水流的前進受到阻礙，導致水流速度降低(圖 7-15)，因此如實驗結果，我們可以將水輪機盒設置在 40 度或特定角度之海岸，效益最佳(圖 7-14)。

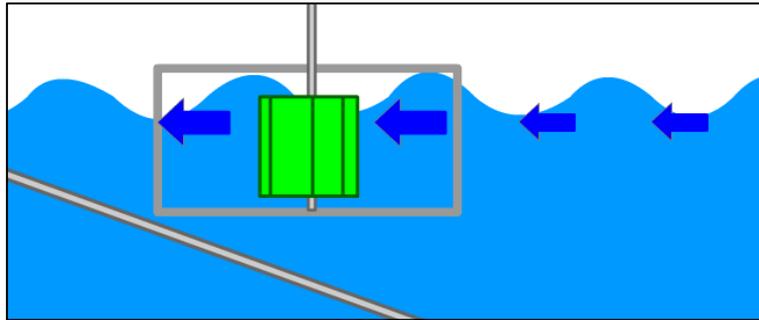


圖 7-13 海底斜度較小

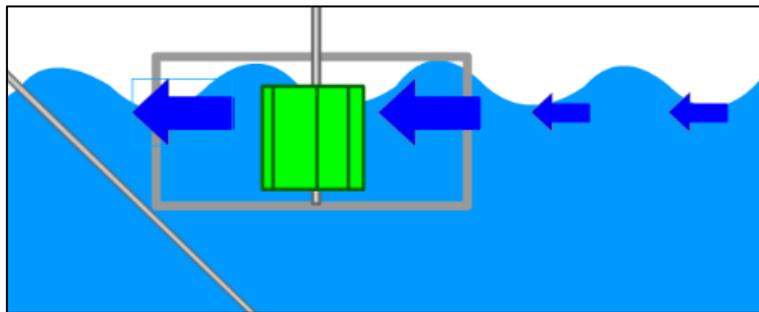


圖 7-14 海底斜度適中

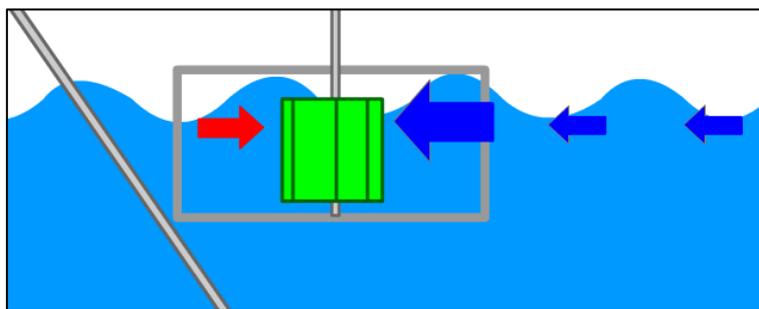


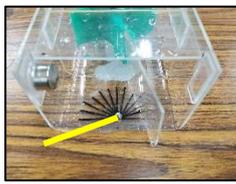
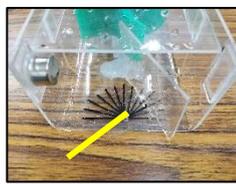
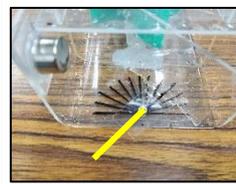
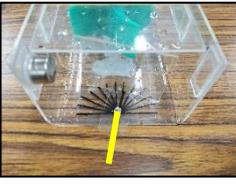
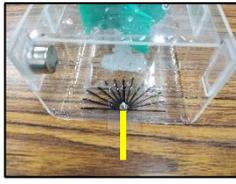
圖 7-15 海底斜度過大

(五)實驗 5：導流片角度對於水輪機盒取得能量的影響

本研究所採用的水輪原本被使用在水庫或河流的水力發電，而我們運用在沿岸海浪發電，其中最需要克服的是水流的方向並非固定，因為海浪是一下向前一下向後，所以我們想要製作導流板放置在水輪前方及後方，以引導二個不同方向的海浪，我們已先測試若不加導流片，則水輪完全無法運轉，因此以下只探討加導流片之能量取得狀況。



表 7-5 實驗 5-1 實驗結果

前導流板角度	0	15	30	45
物體上升高度	0	27.0	49.2	66.6
圖片				
前導流板角度	60	75	90	/
物體上升高度	79.8	20.4	0	
圖片				

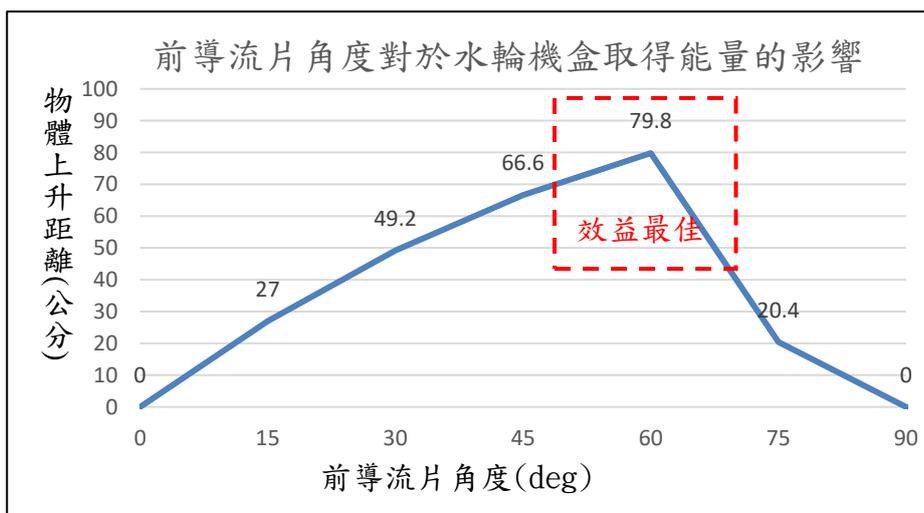


圖 7-16 實驗 5-1 折線圖

表 7-6 實驗 5-2 實驗結果

後導流板角度	0	15	30	45
物體上升高度	74.2	87.0	62.8	53.4
後導流板角度	60	75	90	
物體上升高度	51.6	46.0	44.6	

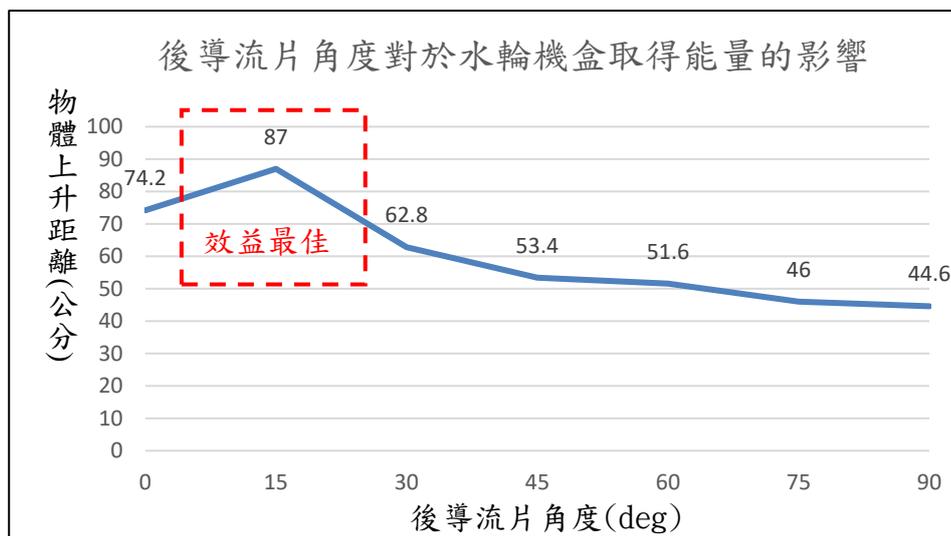


圖 7-17 實驗 5-2 折線圖

討論：

我們將實驗結果分成前導流板與後導流板二個面向來討論，在前導流板部份我們可以看到當導流板的角度由 0 度一直增加到 60 度時，水輪機盒的效益也由 0 公分上升到 79.8 公分，若再繼續增加角度，則效益會快速的下降至 0 公分。

經過我們討論後，認為前導板對於水輪的效益影響相當明顯，因為海浪接近海岸時向前的速度加快，因此若能妥善的引導水流集中在扇葉凹入側，則可以集中能量，並且可以減少向前的海浪去推動扇葉凸出側，造成反向的轉動力量(圖 7-18)。

而後導流板的影響性就比較小，當角度由 0 度增加至 15 度時，效益由 74.2 上升到 87 公分，若再繼續增加，則效益緩步下降至 44.6 公分。

我們認為後側的導流板除了是向前海浪流出的通道，也是倒退海浪進入通道，但是因為倒退海浪之速度遠小於向前海浪，因此如實驗結果，水輪機盒的效益相差不大。

我們從實驗的結果了解到，導流板是必須的，而前後導流板的角度則需視其水輪機盒的所在位置進行調整，才能達到最佳效益。

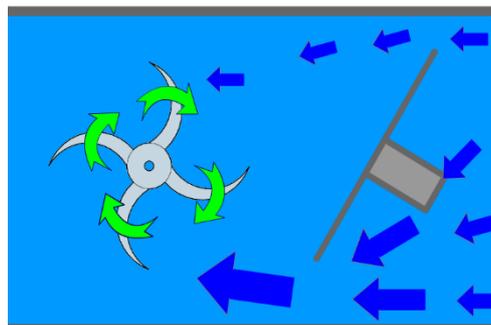


圖 7-18 導流板呈 60 度

(六)實驗 6：扇葉數量對於水輪機盒取得能量的影響

水輪是本研究相當重要的一項設備，其形狀勢必會影響到水輪機盒的效益，因此為了達到精確，我們利用 3D 列印機製作了不同扇葉數量的水輪，分別是 2 片到 8 片，如右圖。

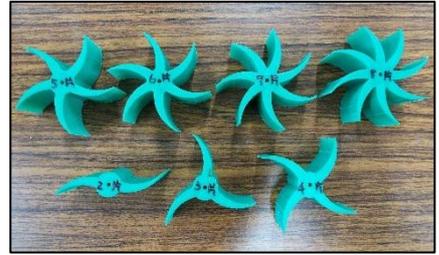
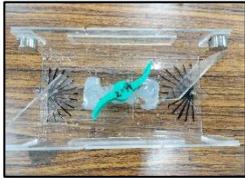
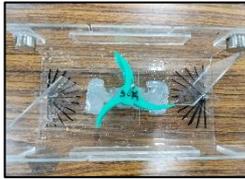
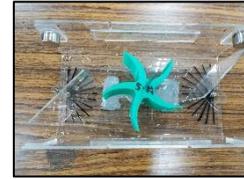
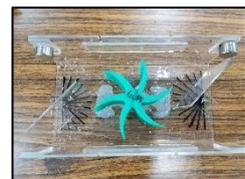


表 7-6 實驗 6 實驗結果

扇葉數量	2	3	4	5
物體上升高度	2.6	16.6	22	15
圖片				
扇葉數量	6	7	8	/
物體上升高度	8.6	8.6	12.2	
圖片				

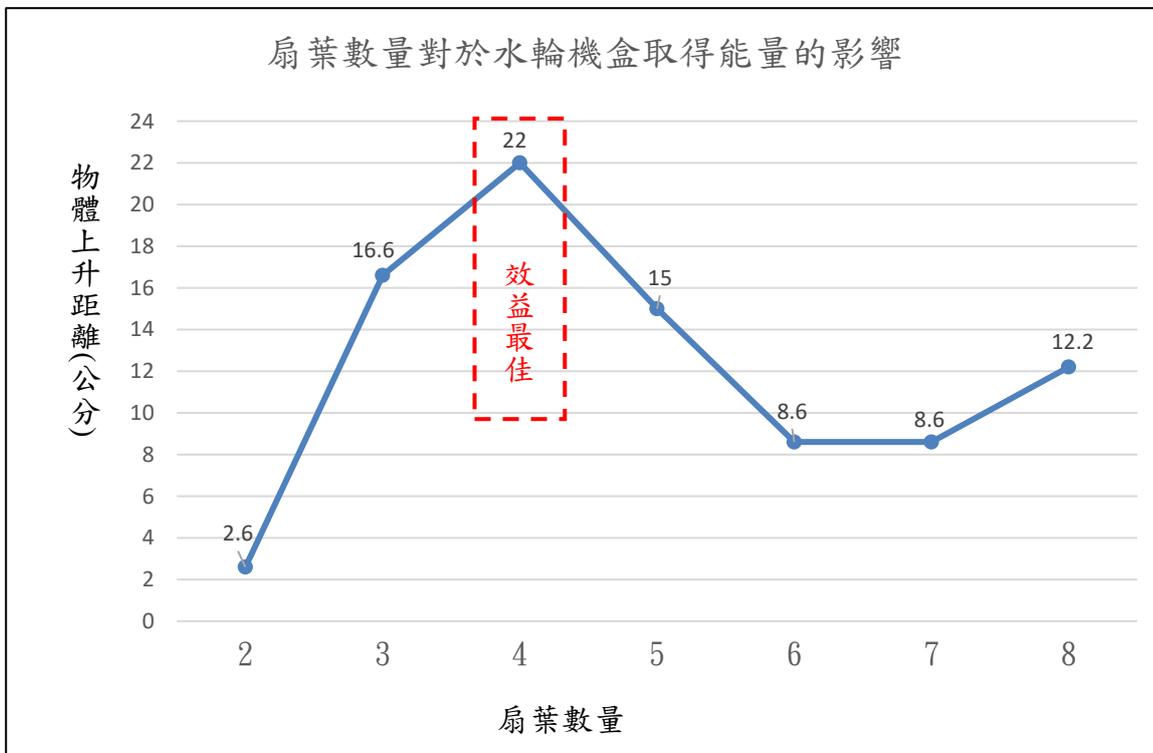


圖 7-19 實驗 6 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現葉片數量為 4 時，水輪機盒的效益最佳，若減至 3 片或 2 片時，則效益漸減，而增至 5、6、7 片時，也同樣導致效益降低，但是 8 片時又上升至 12.2 公分。

我們認為扇葉只有 2 片或 3 片時(圖 7-20)，有許多時間扇葉的方向與波浪的方向的平行時，使其無法被海浪推動，當 4 片扇葉時，則效果最佳(圖 7-21)；而當扇葉數量增加至 5 片、6 片甚至 7 片時(圖 7-22)，則水輪的重量隨之增加，所以導致能量被耗損，而當扇葉增加至 8 片時，可能是其水輪在各個方向皆擁有取得能量的扇葉，於是效益又微幅增加了一些。

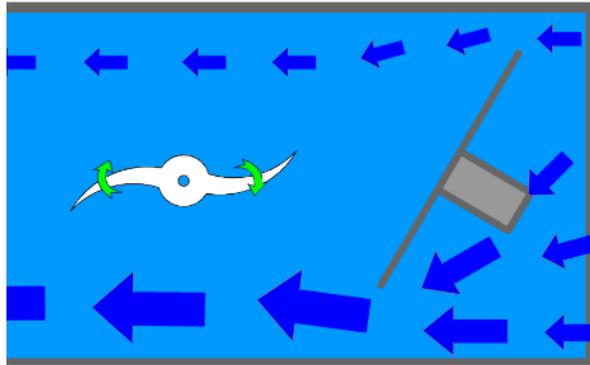


圖 7-20 2 片扇葉之水輪

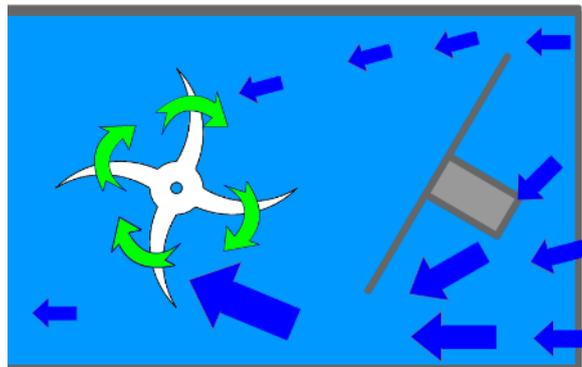


圖 7-21 4 片扇葉之水輪

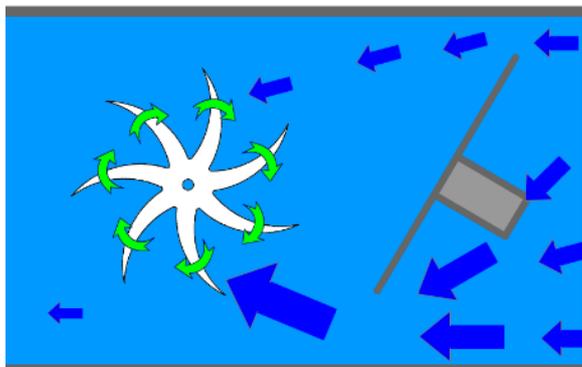


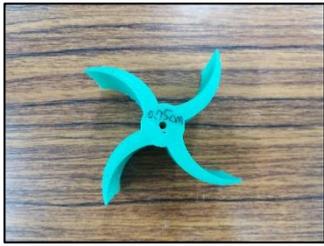
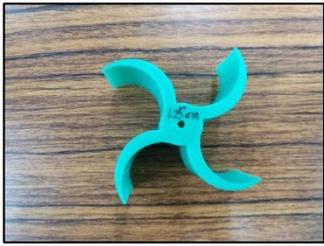
圖 7-22 7 片扇葉之水輪

(七)實驗 7：扇葉形狀對於水輪機盒取得能量的影響

延續實驗 6，我們想要再進一步探討水輪的扇葉形狀對於取得能量的效益，因此我們依循實驗 6 中效益最佳的扇葉數量 4 個的模型，運用 3D 列印機製作了各式凹入距離的扇葉，分別為 0 公分至 1.25 公分，如表 7-7 之圖片。



表 7-7 實驗 7 實驗結果

扇葉凹入距離	0 cm	0.25 cm	0.5 cm
物體上升高度	43.0	79.8	91.2
圖片			
扇葉凹入距離	0.75 cm	1.0 cm	1.25 cm
物體上升高度	109.2	119.8	118.4
圖片			

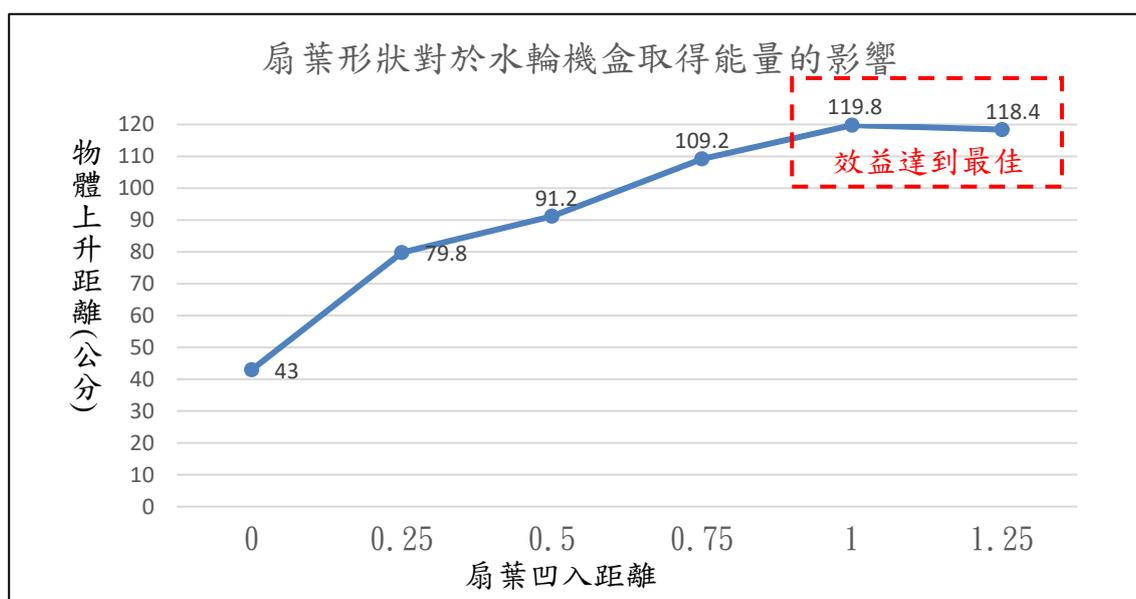


圖 7-23 實驗 7 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現扇葉凹入距離為 1.0 公分及 1.25 公分時最佳，可讓物體於 20 秒內上升約 119 公分，而扇葉凹入距離越小時，則獲得能量的效益就越小，尤其當扇葉呈現筆直的形狀時，則物體只上升 43 公分。

我們認為產生這樣的實驗結果之原因應該是使用不彎曲的扇葉時，則會導致許多的水量受阻後，從扇葉邊緣流走，降低能量取得效益(圖 7-24)；若使用愈為彎曲的扇葉，能攔住愈大量的波浪，也能從中獲得更大的動能(圖 7-25)。

另外，在本實驗中，可發現這個效益提升的趨勢是有其極限的，當扇葉凹入距離為 1.0 公分時，已達到最佳狀態，再增加其彎曲，也無法提升其效益。

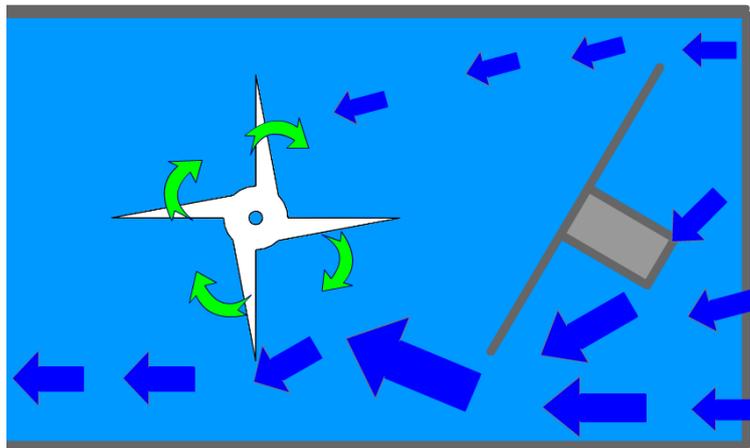


圖 7-24 扇葉凹入距離 0 公分之水輪

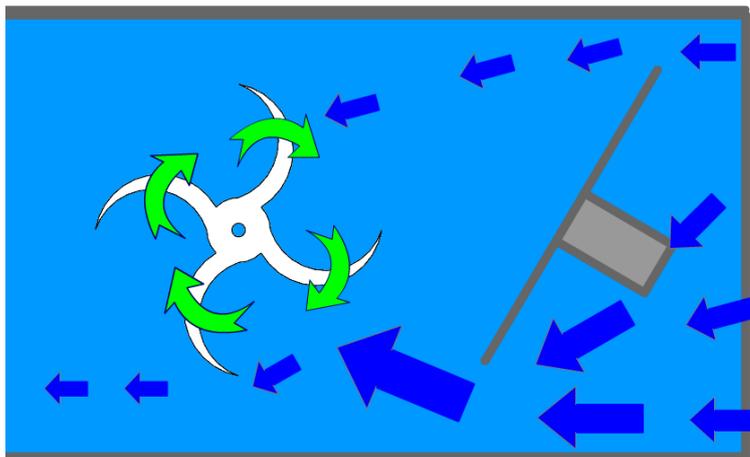


圖 7-25 扇葉凹入距離 1.25 公分之水輪

(八)實驗 8：扇葉高度對於水輪機盒取得能量的影響

為了能更進一步提升水輪機盒的效益，我們討論了一些改進的方法，其中一項就是增加扇葉的高度，藉此增加可以攔截的海浪水量，於是我們列印了多個相同形狀，但是不同高度的水輪，高度分別是 2.8、3.5、4.2、4.9、5.6、6.3 及 7.0 公分，並放置在此實驗特製的加高型水輪機盒。

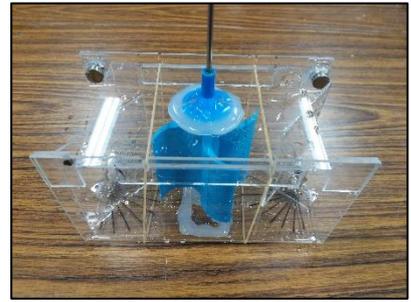


表 7-9 實驗 8 實驗結果

扇葉高度	2.8 cm	3.5 cm	4.2 cm	4.9 cm
物體上升高度	39.0	47.4	52.2	54.6
圖片				
扇葉高度	5.6 cm	6.3 cm	7.0 cm	/
物體上升高度	55.6	60.6	56.8	
圖片				

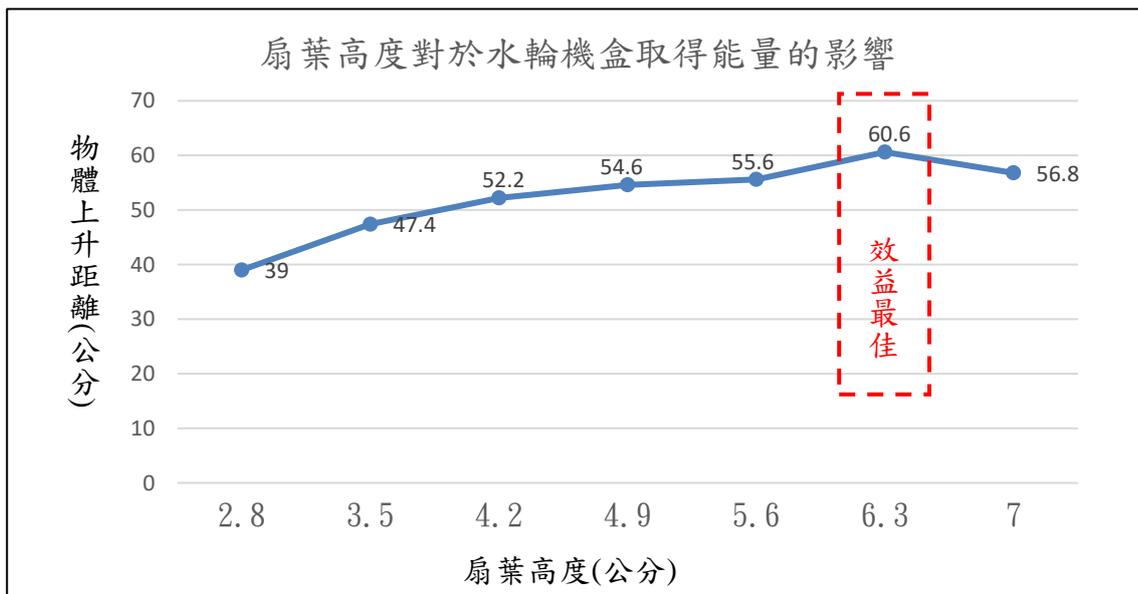


圖 7-26 實驗 8 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現扇葉的高度從 2.8 持續增高至 6.3 公分時，水輪獲取能量之效益呈現逐步上升的狀態，物體上升距離由平均 39.0 公分上升至 60.6 公分，但再增高至 7.0 公分時，則物體上升距離有些微下降的情形，降至 56.8 公分。

我們認為導致這個結果的原因有三，其一是水輪的扇葉愈低，如本實驗 2.8 公分高之水輪，水輪可以攔截的水量愈少(圖 7-24)，相對的，水輪的扇葉愈高，如本實驗 7 公分高之水輪，則水輪可以攔截的水量則愈多，代表可以獲得更多的動能(圖 7-25)；其二是水輪的扇葉愈高，也代表水輪的重量愈重，需要愈大的力量才能推動；其三是水輪愈高時，則會有許多部位在較深的水中，而較深的水之移動速度是較為緩慢的，因此所能獲得的動能也相對較少。綜合上述三點，在本實驗的高度 6.3 公分之水輪所能獲得之動能是最佳的。

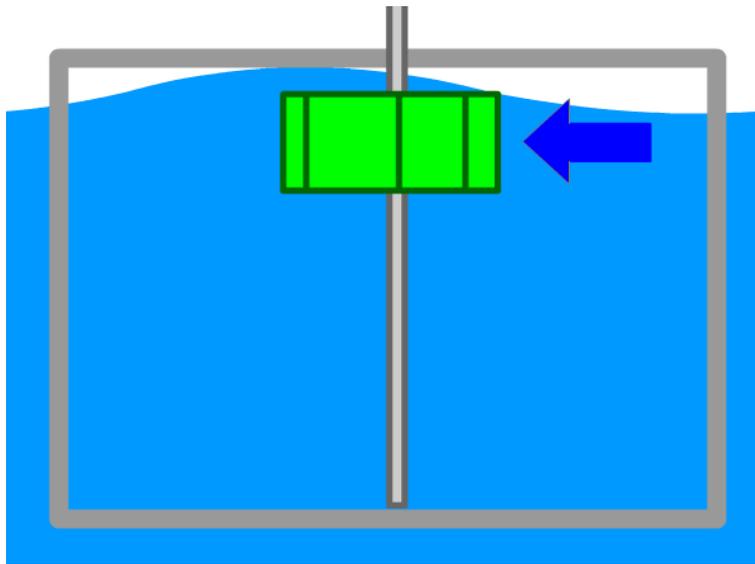


圖 7-24 扇葉高度 2.8 公分之水輪

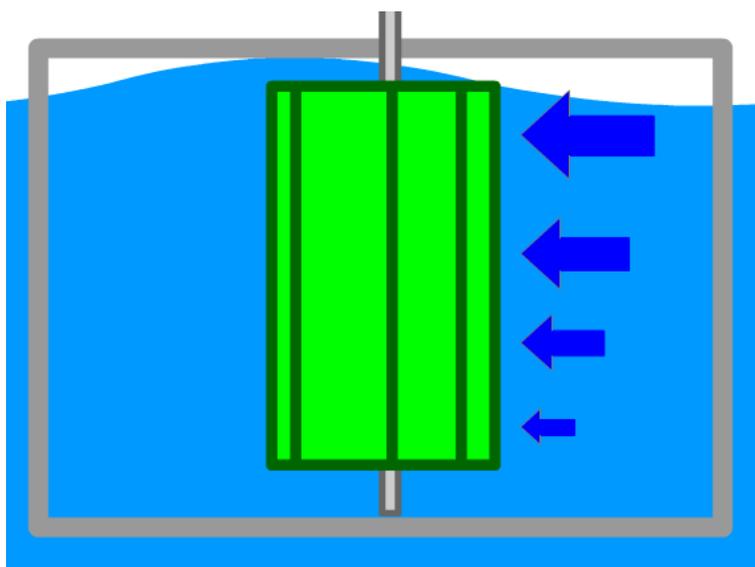


圖 7-25 扇葉高度 7.0 公分之水輪

(九)實驗 9：水輪排列方式對於水輪機盒取得能量的影響

承續實驗 8，我們討論的第二種增加水輪機盒效益的方法——增加水輪的個數，我們製作相同的三個水輪，並且製作一個加長的水輪機盒，在機盒中放置不同數量與排列方式的水輪，搭配三組的能量輸出裝置，如表 7-10，共 7 種狀況，因為使用三個水輪時會將力量分散，導致無法將原本的物體向上拉動，所以我們改成在沒有連接滑輪的狀態下，計算水輪 20 秒內所轉的圈數。

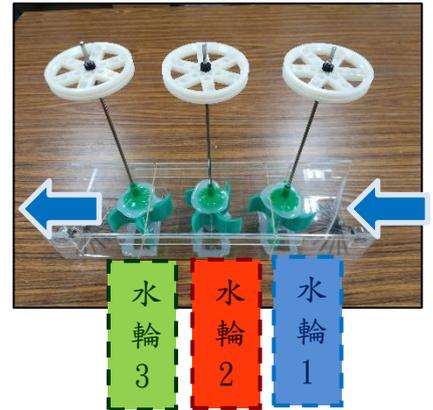


表 7-10 實驗 9 實驗結果

排列方式	排列一	排列二	排列三	排列四
轉動圈數	—、—、5.42	—、5.54、—	5.30、—、—	—、2.38、4.56
圖片				
排列方式	排列五	排列六	排列七	/
轉動圈數	4.58、—、2.2	2.10、4.34、—	0.96、1.98、3.84	
圖片				

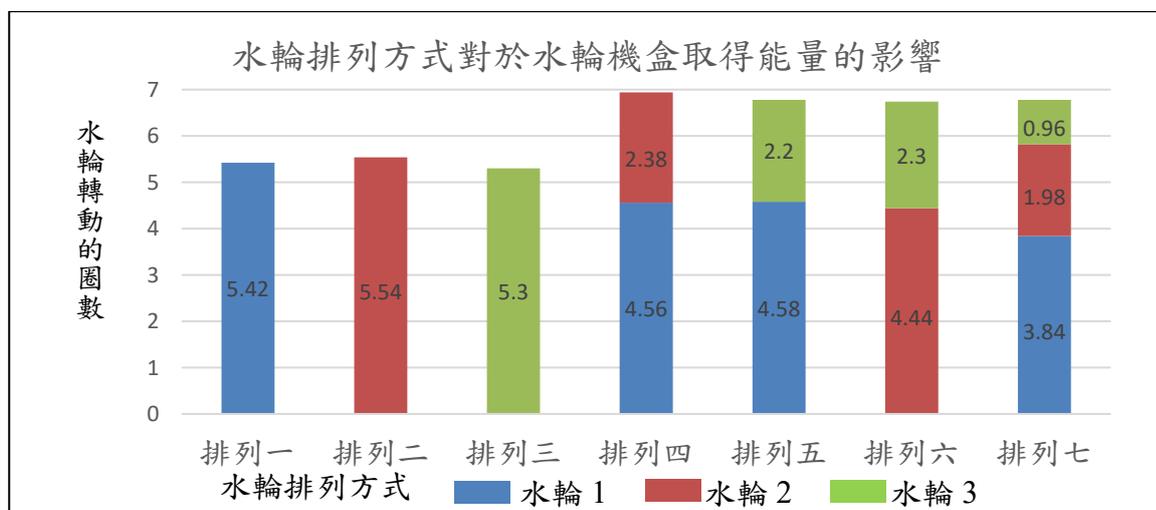


圖 7-26 實驗 9 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現在不同位置單獨使用一個水輪時(如排列一、二、三)，水輪轉動的圈數相當接近，大約 20 秒轉 5.4 圈；而當改成二個水輪時(如排列四、五、六)，前方的水輪的轉動圈數大概會降至 4.5 圈，而排在後方的第二個更降至 2.3 圈左右，三者同樣差異不大；最後若同時使用三個水輪時(如排列七)，則第一個水輪再降至 3.84 圈，第二個只有 1.98 圈，第三個只有 0.96 圈，若將所有水輪的轉動圈數相加，則可發現二個水輪較單獨一個好，但是三個水輪與二個水輪相當。

從實驗結果，我們可以歸納二個可能的原因，其一是排列在面對海浪的第一個水輪可以獲得最大的能量，而第二個水輪則因海水速度降低，而使轉速下降，第三個水輪所能獲取的能量更小；其二是排列在後的水輪會導致水流產生受阻，而使前面的水輪的轉速也連帶下降。

綜合二個原因，我們認為可兼顧海浪的強度及設備的成本來配置水輪的數量，達到相同海岸長度產生較高發電效益。

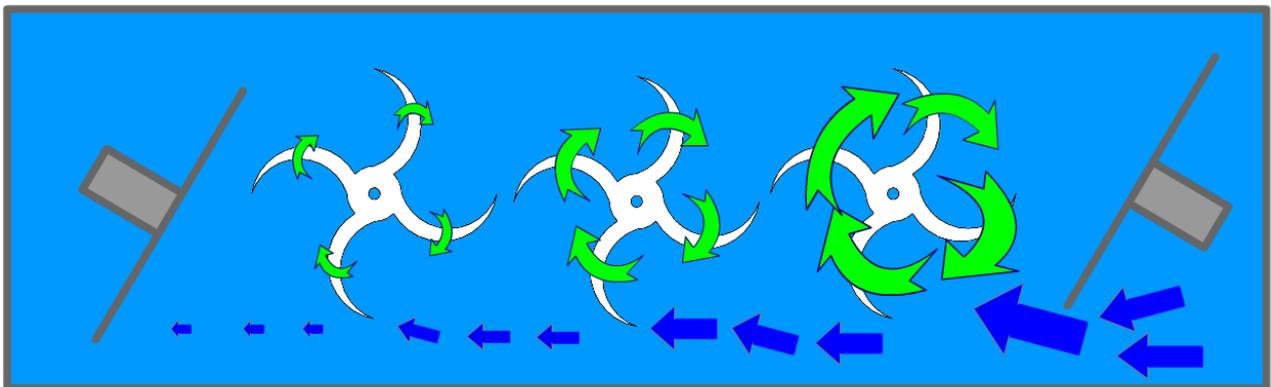


圖 7-27 使用三個水輪之水輪機盒

## 八、結論與建議

綜合本研究二大類別之九個實驗所獲得之結果及討論，我們總結出下列結論、作品貢獻及建議，以下依序說明。

### (一)結論：

1. 我們的水輪上緣與水面切齊，以及機盒與海岸維持一些距離，並且在海浪較大的海岸，能獲得較大的能量。
2. 將水輪機盒設置在 40 度左右的傾斜海岸，搭配 60 度角的前導流板和 15 度角的後導流板，以及 4 片凹入距離較大且高度適當的扇葉之水輪，效益較佳。
3. 使用愈多水輪組合，效益更好，只是增加的幅度愈來愈小。

### (二)作品貢獻：

根據以上結論，本作品之貢獻如下

1. 本實驗具有創新性，使用水輪拉升物體，並結合滑輪與配重結構，提供我們簡易且具體來分析水輪機盒各項變因對於能量取得所產生的影響。
2. 本實驗著重海浪發電之水輪種類、導流片、放置位置等變因探討，對於海浪發電效益提升具重要參考價值。
3. 本實驗提供海浪發電分析完整報告，讓我們更清楚海浪發電的可行性及未來近岸真實建造海浪發電機有更為清晰之方向。

### (二)對未來研究的建議：

1. 本研究的實驗受限於實驗水箱的尺寸，及控制實驗水量，所以能操作的變項較為有限，建議未來的研究者可以在更為寬大的空間進行實驗。
2. 本研究使用的波浪是用較易取得的器材進行模擬，可能會與真實的海浪之運動方式有些差異而影響實驗的結果，建議未來的研究者可以尋找更適合的方式進行模擬。
3. 因本研究水輪機盒獲得的轉動能量無法與真實海浪之能量相比，因此沒有轉換成電能，同樣希望未來的研究者可以實際進行測試，讓研究更具實用性。

## 九、參考資料

如何閱讀波浪預報圖，台灣衝浪網誌(民 108 年 10 月 8 日)。檢自 <https://swelleye.com/blog/how-to-read-a-surf-report/如何閱讀波浪預報圖.html>

世界上第一台海浪發電機，可以利用海浪發電，比風能更有優勢。每日頭條(民 108 年 10 月 1 日)。檢自 <https://kknews.cc/news/e345amr.html>

波濤。維基百科。檢自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/波濤.html> (Oct. 8, 2019)

海浪。百度百科。檢自 <https://wapbaike.baidu.com/item/海浪/10912.html> (Oct. 1, 2019)

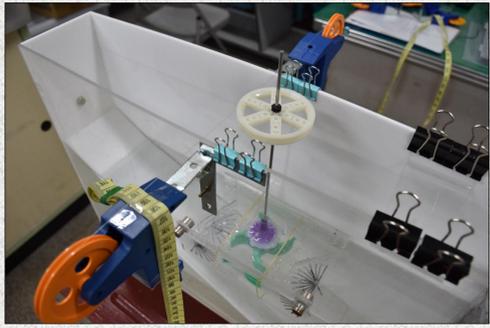
環保綠能再生海浪發電增產能。大紀元(民 108 年 10 月 1 日)。檢自 <http://www.epochtimes.com/b5/13/3/26/n3831924.htm>

## 【評語】 080101

”海浪大力士”是以產生綠色能源為主要目的，設置模型研究海浪與海岸狀態對於水輪機和取得能量的影響；另一個部分是針對水輪機的水輪構造找出其最佳化的設計，其中設計了海浪產生裝置、利用 3D 印表機印製水輪，整個研究是一個不錯的構想。雖然在數據測量方面，的確有一些成果，但數據的分析方面，沒有顯示出測量的不準確度。海浪產生裝置設計方面，應該要考量海岸線無限寬的問題，畢竟實驗裝置的寬度不可能過大，但是在設計時應該加入寬度的考量。海水(沙岸或岩岸)和自來水的特性也不完全相同，如果海水與自來水結果類似，也是要呈現出來討論。海浪的頻率會在特定的範圍之內，因此海浪產生器的產生波浪的頻率可以參考真實的海浪頻率。在變因控制方面，例如頻率與強度，未能明確獨立控制。如果能實驗在不同的條件下產生了多少電能數據化，則會更有清楚的說服力。這個題目還有很多未來的發展性，值得繼續推展。

## 摘要

台灣四面環海，相當適合大規模建置海浪發電，若我們能在海岸興建發電機，不僅可以降低海浪發電的成本，同時也能保護海浪對海岸的侵襲。本研究中，我們使用水輪機盒來獲取波浪的動能，然後藉著改變水輪機盒的結構，以及海浪及海岸狀態，可依據(1)水輪上緣切齊水面且與海岸維持一小段距離；(2)將水輪機盒建置在海浪較大及斜度約40度之海岸；(3)水輪機盒使用導流板、4片扇葉、凹入距離較大及適當高度的水輪；(4)使用數量適當的水輪排列等四項結論，提升獲取能量效益。期望藉由本研究能深入探討高效益的水輪機盒雛形及沿岸海浪發電的可行方法。

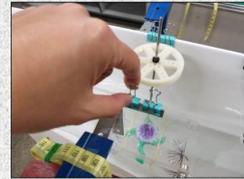


## 三、能量輸出裝置

為了探討波浪所能產生的能量，我們將水輪機盒的轉軸套上塑膠輪，然後利用滑輪來拉動物體，便可比較在不同狀態下，水輪機盒所能輸出的能量大小。首先我們使用定滑輪結合L型鐵架，並用長尾夾固定在水箱上，以彈性繩來傳送水輪機盒的動力。



將定滑輪組固定在L型鐵架上



利用長尾夾固定定滑輪的位置



用彈性繩來傳送水輪機的動力

## 四、海浪產生裝置

我們想藉著模擬沿岸海浪，來探討海浪發電的新模式，從文獻探討中，我們了解到海浪多由於風吹拂所形成，並且主要是傳遞能量，而非傳遞物質，因此我們決定上下拍打水面來產生波浪，以更接近真實海浪的運動情形，首先我們在馬達組裝上曲軸，再接上機械手臂，並使用變壓器來提供穩定電力。



裝上馬達組的曲軸



於機械手臂兩側固定四支鐵棒



利用變壓器來提供馬達電力

## 研究目的

### 項目一：海浪及海岸狀態

- 實驗1：水輪機盒的深度對取得能量影響
- 實驗2：水輪機盒的離岸距離對取得能量影響
- 實驗3：海浪頻率對水輪機盒取得能量影響
- 實驗4：海底坡度對水輪機盒取得能量影響

### 項目二：機盒結構

- 實驗5：導流片角度對水輪機盒取得能量影響
- 實驗6：扇葉數量對水輪機盒取得能量的影響
- 實驗7：扇葉形狀對水輪機盒取得能量的影響
- 實驗8：扇葉高度對水輪機盒取得能量的影響
- 實驗9：水輪排列方式對水輪機盒取得能量影響

## 五、水流探測模組

在完成了水箱、海浪產生裝置及放入海底斜板後為了了解模擬的波浪之運動情形，我們設計了水流探測模組，利用比重與水相同的小球，可以探測出不同位置的水流方向與速度，我們將特定比例油土包住保麗龍球，然後放入自製的外框中，接著將水流探測模組放入水中，觀察小球的流動情形。



利用油土與保麗龍球製作比重與水相近的小球

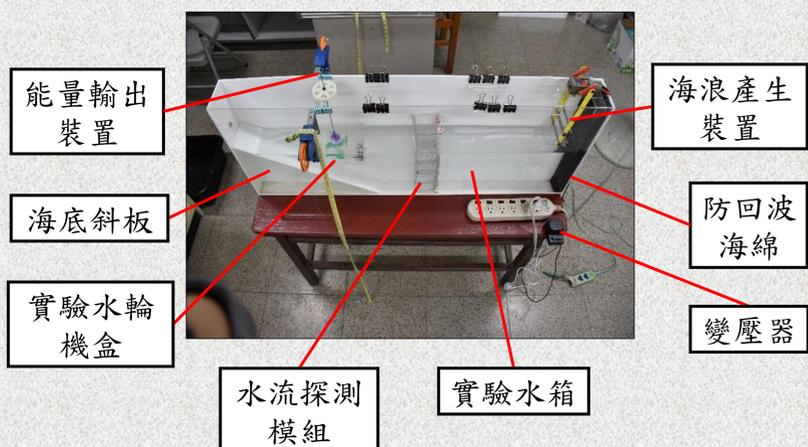


製作水流探測模組之外框



從小球的運動來了解水流情形

## 實驗設備介紹



## 研究設計

### 一、實驗水箱

實驗水箱：為了能模擬海浪的運動狀態，我們設計了一個寬扁的水箱，可以達到省水及方便觀察的目的，我們先將裁切好的板子固定好，接著在水箱壁貼上防回波海綿。



使用矽利康來塗抹水箱接縫



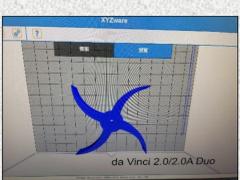
倒水測試水箱是否緊密



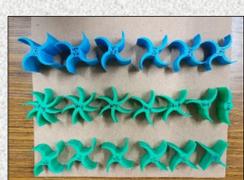
在水箱壁貼上防回波海綿

### 二、實驗水輪機盒

為了能將海浪動力轉換成機械轉動能量，我們使用3D列印機來精確製作各式水輪，探討水輪最佳的狀態。首先，我們利用軟體來設計各式實驗所需水輪，再用3D列印機製作水輪模型，接著將壓克力板彎曲，然後將鐵軸穿過水輪中央，以固定於機盒上，並且使用強力磁鐵將機盒固定在實驗水箱上。



利用軟體設計所需水輪模型



列印完成的各式水輪模型



完成的各式水輪機盒

## 實驗方法

1. 實驗前檢查：我們所要進行的檢查項目共計8項，等同於是實驗的控制變因。
  - (1) 水箱中水位的高低維持一致。
  - (2) 海底斜板的位置維持一致。
  - (3) 水輪機盒的位置維持一致。
  - (4) 水輪在機盒中的位置維持一致。
  - (5) 馬達齒輪盒運轉正常。
  - (6) 定滑輪組對應塑膠輪的位置。
  - (7) 水輪機盒之轉軸呈現垂直向上。
  - (8) 導流片的位置與角度維持一致。



水面對齊標記



海底斜板對齊標記



水輪機盒對齊標記

2. 實驗流程：不同的實驗項目之實驗流程會略有不同。

- (1) 依據實驗項目調整實驗器材之狀態。
- (2) 將能量輸出裝置上彈性繩的一端之長尾夾拉至地面，並用重物壓住。
- (3) 開啟馬達10秒鐘，讓波浪呈現穩定起伏狀態。
- (4) 接著拿走長尾夾上的重物，等待20秒後，確認長尾夾上升的高度。
- (5) 相同的實驗進行5次，將數值進行平均。



用重物壓住長尾夾



計時20秒實驗時間

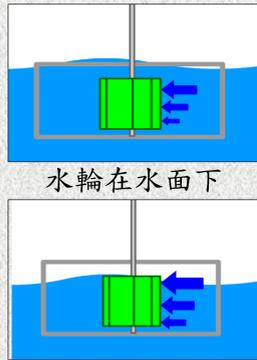
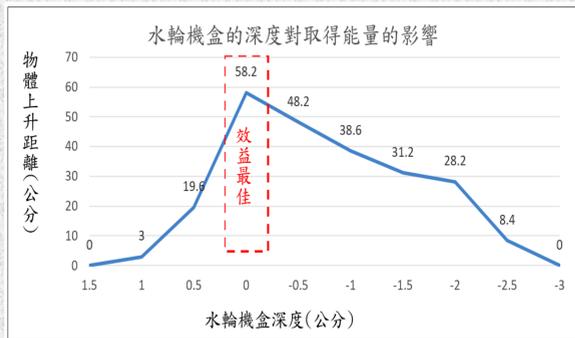
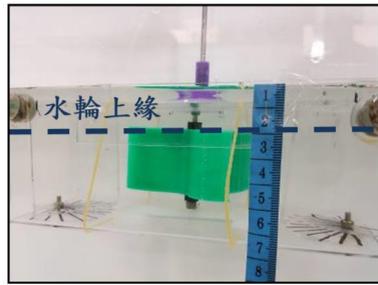


確認長尾夾上升的高度

## 研究結果及討論

### (一) 實驗1：水輪機盒深度對取得能量的影響

從文獻探討及水流探測實驗中，我們了解到海浪前進過程中，愈淺的區域中，水分子的運動愈明顯，因此我們想要藉著調整水輪上緣與水面距離1.5至-3.0公分，探討水輪機盒的深度與取得能量的關係，實驗結果如下。

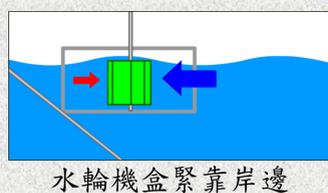
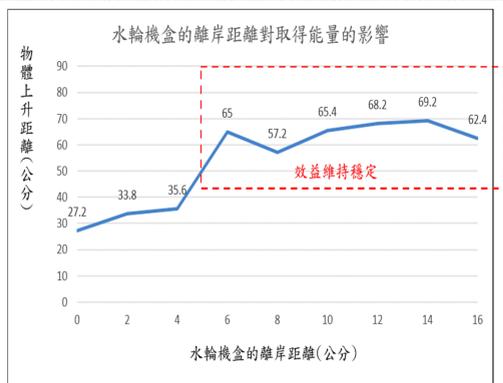
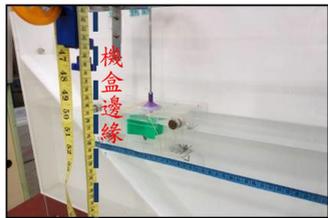


水輪上緣切齊水面

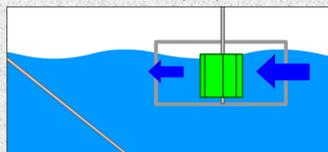
討論：從實驗結果發現，當我們改變水輪機盒的深度位置時，明顯影響了取得能量的狀態，在水輪上緣剛好切齊水面時，效益最佳，而水輪繼續向上或向下調整時，效益皆會明顯的下降。我們認為可能的原因有二點，其一是波浪來臨時，接近水面的水分子較深層的水分子移動的更為劇烈，如同我們在水流探測實驗所獲得的結果，因此當水輪在較深的深度時，不易獲得動能；其二是水輪從波浪獲得能量，若有一些部位離開水面，則會減少能量的取得，而水輪上緣剛好切齊水面時，則能獲得最大的動能。

### (二) 實驗2：水輪機盒離岸距離對取得能量的影響

延續實驗1，我們繼續探討水輪機盒與海岸的相對位置，於是我們將水輪機盒緊靠海底斜板，也就是離岸距離為0公分，每移動2公分，進行一項實驗。



水輪機盒緊靠岸邊

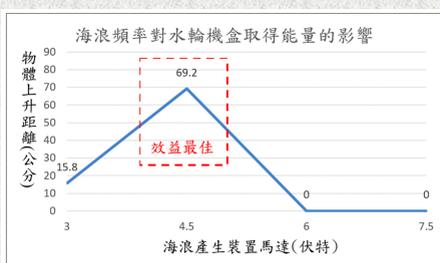


水輪機盒與岸邊有一段距離

討論：從實驗結果我們發現，水輪機盒的邊緣距離斜板6公分以上，則物體上升的距離便會維持在一個較佳的状态，大約57~69公分之間，若小於6公分以內，則會減少，緊靠岸邊的最為不佳，為27.2公分。我們認為可能的原因是海浪朝向海岸拍打時，如果水輪機盒與海岸太靠近，會因為空間受限，而導致波浪的前進受阻，產生反作用力，抵消了原方向的力；而當水輪機盒與海岸維持一段距離以上，水流受阻的情形便會大幅降低，獲取能量的效益就能維持在穩定狀態。

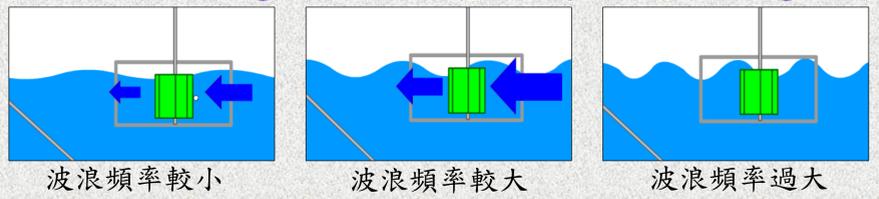
### (三) 實驗3：海浪頻率對水輪機盒取得能量的影響

我們認為海浪的強度也許會對水輪機盒取得能量造成影響，於是我們藉著改變提供馬達組電力的變壓器之電壓，來改變馬達的運轉速度，同時也產生不同頻率波浪，我們可看到不同頻率的馬達，形成的波浪有兩種差異，馬達快時，除了波浪起伏變大，而且波浪的頻率也變高了。



討論：從實驗發現電壓在4.5伏特時獲取能量的效益最佳，物體上升距離為69.2公分，而3伏特時，則減為15.8公分，但是令人感到訝異的是，電壓調高到6伏特及7.5伏特時，物體上升的距離皆為0公分。

這個結果雖然與原來我們的預期不一樣，但是從我們實驗時的波浪可以觀察到一個特殊現象，就是當電壓較小時，如本實驗的3伏特電壓，波浪的強度較小，的確使推動水輪的力量減小，但是當電壓大到6伏特以上時，波浪的前進波形不是呈現向前狀態，而是在原位跳動，導致並沒有實際向前的波浪來推動水輪，我們觀察到這個狀態在自然界的海浪中並不存在，所以我們只採納3伏特提升到4.5伏特時，獲取能量效益是呈現提升的關係，代表海浪愈大，水輪機盒的獲取能量效益愈好。



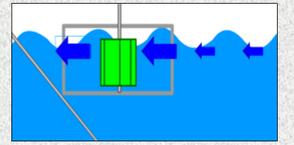
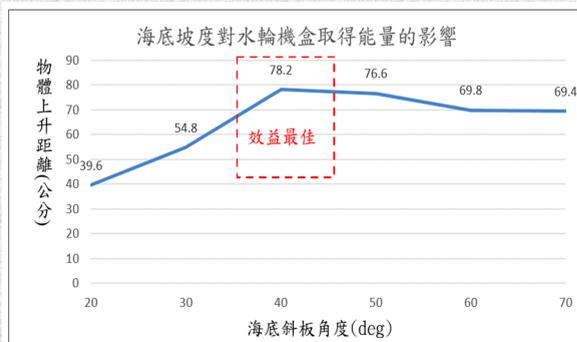
波浪頻率較小

波浪頻率較大

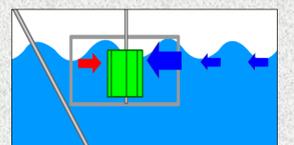
波浪頻率過大

### (四) 實驗4：海底坡度對水輪機盒取得能量的影響

文獻探討中，了解到海浪在接近岸邊時會改變水在原處的運動模式，轉變成向前的運動，所以海底的斜度可能影響水輪機盒取能量的重要因素，因此我們藉著調整海底斜板的角度20度~70度，探討二者之間關係。



海底斜度適中



海底斜度過大

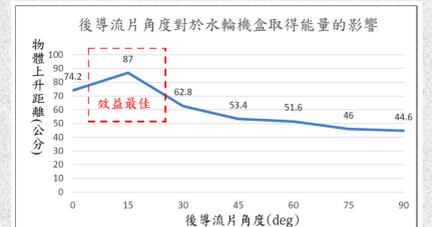
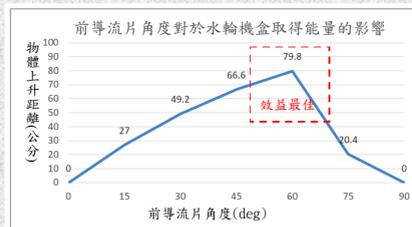
討論：

從實驗結果中，我們發現海底斜板從20度增加到40度時，物體上升的距離由39.6增加至78.2公分，接著再增加其角度至70度時，則上升距離微幅下降的現象。

我們認為產生這個實驗結果的原因有二，其一是海底的斜度有利於將海浪中水分子的圓形軌跡運動方式轉變成向前的運動，所以斜度20度時，海水分子向前的傾向較小。其二是當斜度過大時，如本實驗之50度至70度，則可能因為機盒與斜板之間的空間過於狹小，而使水流的前進受到阻礙，導致水流速度降低，如實驗結果，我們將水輪機盒設置在40度或特定角度之海岸，效益最佳。

### (五) 實驗5：導流片角度對於水輪機盒取得能量的影響

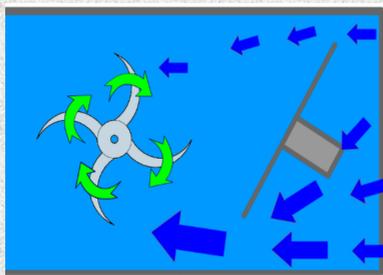
本研究所採用的水輪原本被使用在水庫或河流的水力發電，而我們運用在沿岸海浪發電，其中最需要克服的是水流的方向並非固定，因為海浪是一下向前一下向後，所以我們想要製作導流板放置在水輪前方及後方，以引導二個不同方向的海浪。



討論：

我們將實驗結果分成前導流板與後導流板二個面向來討論，在前導流板部份我們可以看到當導流板的角度由0度一直增加到60度時，水輪機盒的效益也由0公分上升到79.8公分，若再繼續增加角度，則效益會快速的下降至0公分。我們認為前導板對於水輪的效益影響相當明顯，因為海浪接近海岸時向前的速度加快，因此若能妥善引導水流集中在扇葉凹入側，則可以集中能量，並且可以減少向前的海浪去推動扇葉凸出側，造成反向的轉動力量。

而後導流板的影響性就比較小，當角度由0度增加至15度時，效益由74.2上升到87公分，若再繼續增加，則效益緩步下降至44.6公分。我們認為後側的導流板除了是向前海浪流出的通道，也是倒退海浪進入通道，但是因為倒退海浪之速度遠小於向前海浪，因此如實驗結果，水輪機盒的效益相差不大。

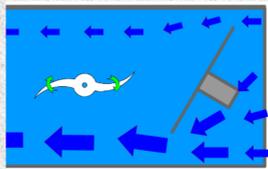
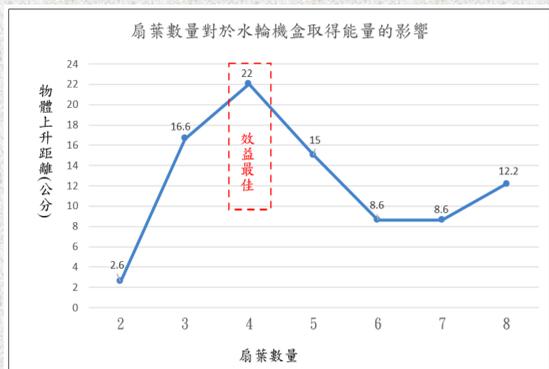
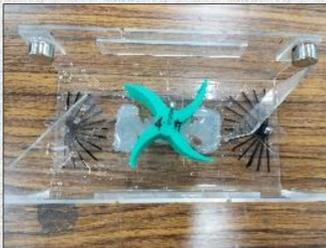


導流板呈60度

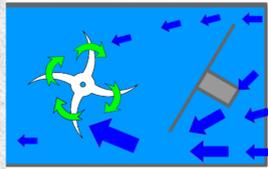
我們從實驗結果了解到，導流板是必須的，而前後導流板的角度則需視其水輪機盒的所在位置進行調整，才能達到最佳效益。

### (六)實驗6：扇葉數量對於水輪機盒取得能量的影響

水輪是本研究相當重要的一項設備，其形狀勢必會影響到水輪機盒的效益，因此為了達到精確，我們利用3D列印機製作了不同扇葉數量的水輪，分別是2片到8片。



2片扇葉之水輪



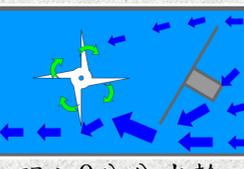
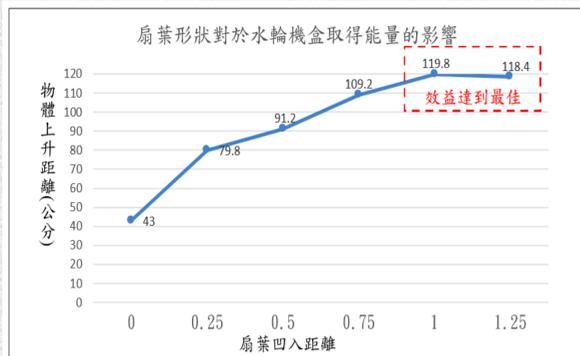
4片扇葉之水輪

討論：從實驗結果中，我們發現葉片數量為4時，水輪機盒的效益最佳，若減至3片或2片時，則效益漸減，而增至5、6、7片時，也同樣導致效益降低，但是8片時又上升至12.2公分。

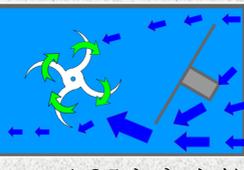
我們認為扇葉只有2片或3片時，有許多時間扇葉的方向與波浪的方向的平行時，使其無法被海浪推動，當4片扇葉時，則效果最佳；而當扇葉數量增加至5片、6片甚至7片時，則水輪的重量隨之增加，所以導致能量被耗損，而當扇葉增加至8片時，可能是其水輪在各個方向皆擁有取得能量的扇葉，於是效益又微幅增加了一些。

### (七)實驗7：扇葉形狀對於水輪機盒取得能量的影響

延續實驗6，我們想要再進一步探討水輪的扇葉形狀對於取得能量的效益，因此我們依循實驗6中效益最佳的扇葉數量4個的模型，運用3D列印機製作了各式凹入距離的扇葉，分別為0公分至1.25公分。



凹入0公分水輪



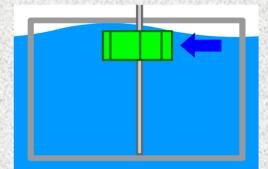
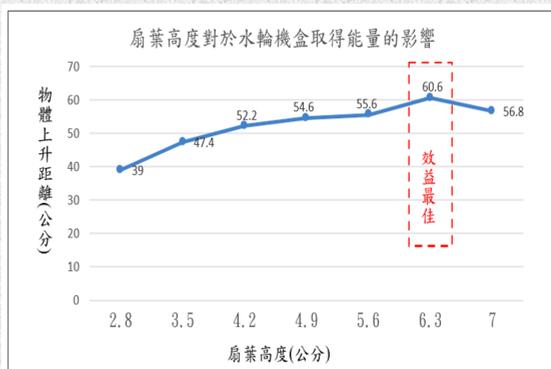
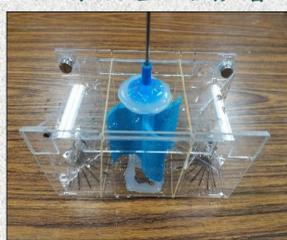
凹入1.25公分水輪

討論：從實驗結果中，我們發現扇葉凹入距離為1.0公分及1.25公分時最佳，可讓物體於20秒內上升約119公分，而扇葉凹入距離越小時，則獲得能量的效益就越小，尤其當扇葉呈現筆直的形狀時，則物體只上升43公分。

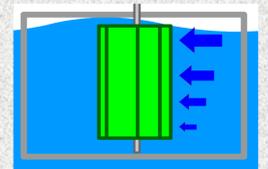
我們認為產生這樣的實驗結果之原因應該是使用不彎曲的扇葉時，則會導致許多的水量受阻後，從扇葉邊緣流走，降低能量取得效益；若使用愈為彎曲的扇葉，能攔住愈大量的波浪，也能從中獲得更大的動能。另外，在本實驗中，可發現這個效益提升的趨勢是有其極限的，當扇葉凹入距離為1.0公分時，已達到最佳狀態，再增加其彎曲，也無法提升其效益。

### (八)實驗8：扇葉高度對於水輪機盒取得能量的影響

為了能更進一步提升水輪機盒的效益，我們討論了一些改進的方法，其中一項就是增加扇葉的高度，藉此增加可以攔截的海浪水量，於是我們列印了多個相同形狀，但是不同高度的水輪，高度分別是2.8、3.5、4.2、4.9、5.6、6.3及7.0公分，並放置在此實驗特製的加高型水輪機盒。



高度2.8公分之水輪



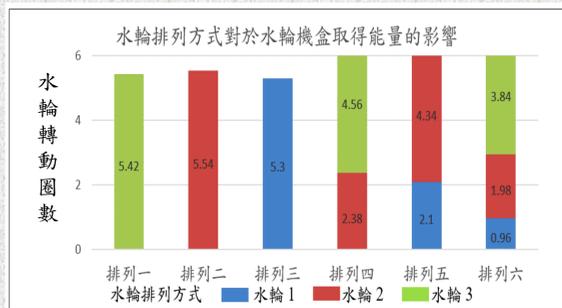
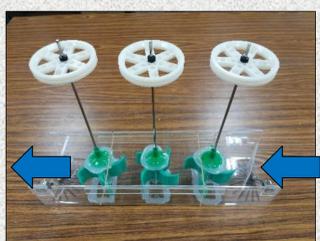
高度7.0公分之水輪

討論：從實驗結果中，我們發現扇葉高度從2.8持續增高至6.3公分時，水輪獲取能量之效益呈現逐步上升的狀態，物體上升距離由平均39.0公分上升至60.6公分，但再增高至7.0公分時，則物體上升距離有些微下降情形，降至56.8公分。

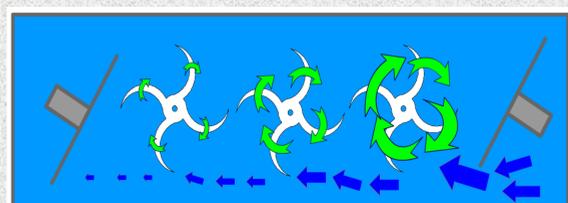
我們認為導致這個結果的原因有三，其一是水輪的扇葉愈低，如本實驗2.8公分高之水輪，水輪可以攔截的水量愈少，相對的，水輪的扇葉愈高，如本實驗7公分高之水輪，則水輪可以攔截的水量則愈多，代表可以獲得更多的動能；其二是水輪的扇葉愈高，也代表水輪的重量愈重，需要愈大的力量才能推動；其三是水輪愈高時，則會有許多部位在較深的水中，而較深的水之移動速度是較為緩慢的，因此所能獲得的動能也相對較少。綜合上述三點，在本實驗的高度6.3公分之水輪所能獲得動能是最佳的。

### (九)實驗9：水輪排列方式對水輪機盒取得能量影響

承續實驗8，我們討論的第二種增加水輪機盒效益的方法是增加水輪的個數，我們製作相同的三個水輪，並且製作一個加長的水輪機盒，在機盒中放置不同數量與排列方式的水輪，搭配三組的能量輸出裝置，共6種狀況，因為使用三個水輪時會將力量分散，導致無法將原本物體向上拉動，所以我們改成在沒有連接滑輪狀態下，計算水輪20秒內轉的圈數。



討論：從實驗結果中，我們發現不同位置單獨使用一個水輪時，水輪轉動的圈數相當接近，而當改成二個相鄰的水輪時，第一個水輪的速度大概會降至4.5圈，而第二個更降至2.2圈左右，最後若同時使用三個水輪時，則第一個水輪再降至3.84圈，第二個只有1.98圈，第三個只有0.96圈，若將所有水輪的轉動圈數相加，則可發現二個水輪較單獨一個好，但是三個水輪與二個水輪相當。從實驗結果，我們認為可能是排列在面對海浪的第一個水輪可以獲得最大的能量，而第二個水輪則因海水速度降低，而使轉速下降，第三個水輪所能獲取的能量更小；並且排列在後的水輪會導致水流產生受阻，而使前面的水輪的轉速也連帶下降。綜合二個原因，我們認為可兼顧海浪的強度及設備的成本來配置水輪的數量，達到相同海岸長度產生較高發電效益。



使用三個水輪之水輪機盒