

第十五屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA15-160

作品名稱：轉動黑勢力

姓名：黃祈諭

關鍵字：黑潮、再生能源、渦輪機

壹、研究動機

石油遲早有用盡的一天，所以尋找替代能源成了現今最重要的事。我們曾在課堂上看過黑潮發電的介紹，靠著渦輪竟能產生那麼龐大的電量，那渦輪背後的秘密，激發了我們的好奇心，想進一步了解洋流發電，揭開其神秘的面紗。

貳、研究目的

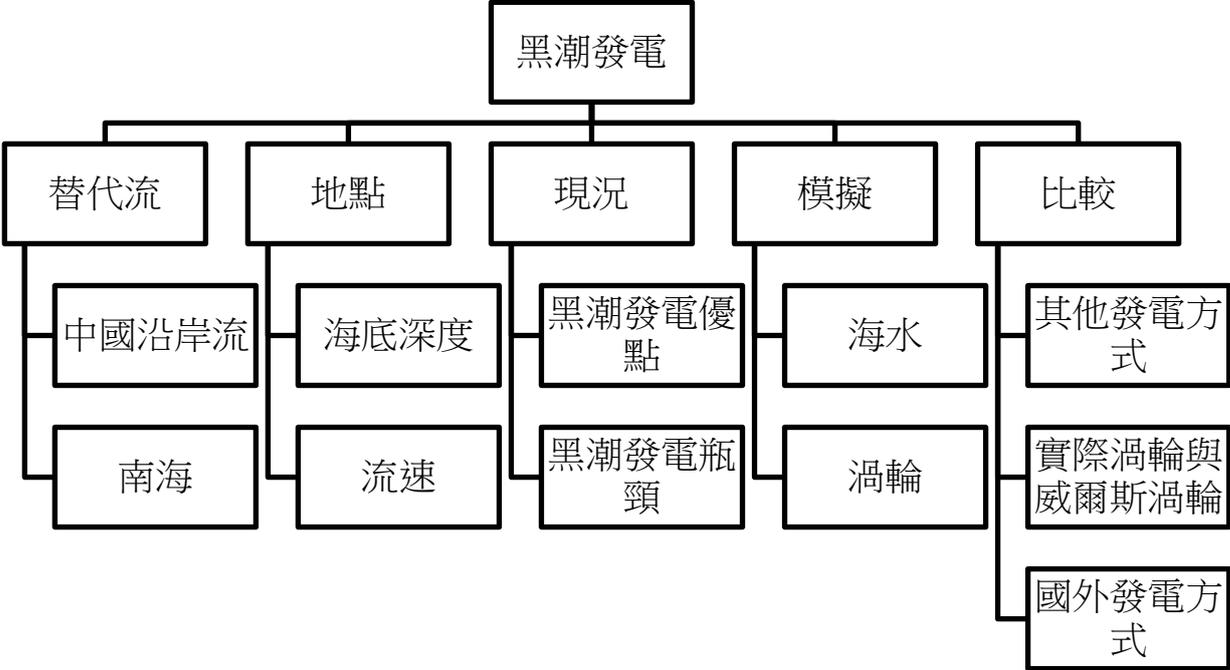
- 一、 了解黑潮發電的原理。
- 二、 了解渦輪機和海水性質對發電量的影響。
- 三、 探討黑潮發電的限制條件與優缺點。

參、研究設備及器材

- 一、 威爾斯渦輪：軟磁鐵、吸管、螺絲、筆芯頭、小寶特瓶、大容量寶特瓶、三秒膠、膠帶、雙面膠、氣球、剪刀、美工刀、紙黏土。
- 二、 實驗器材：量筒、碼錶、手機、電子天秤。
- 三、 軟體： Microsoft Word、Microsoft Excel、慢速播放器。

肆、研究過程或方法

一、研究概念圖



二、 研究過程

(一) 渦輪機製作

1. 渦輪：以軟磁鐵依照威爾斯渦輪的模型剪下後黏合，並以原子筆的筆尖作為轉軸。為了方便觀察，我們將氣球套在其中一片葉面上，完成後將其放入等半徑的寶特瓶內。



圖一 威爾斯渦輪葉片

2. 水箱：用大容量的寶特瓶與裝有渦輪的寶特瓶相連並將紙黏土黏在交接處。
3. 擋板：將氣球塞在小寶特瓶內，做為水箱與裝有渦輪的寶特瓶間的擋板，以控制能短時間同時進水。



圖二 自製威爾斯渦輪機

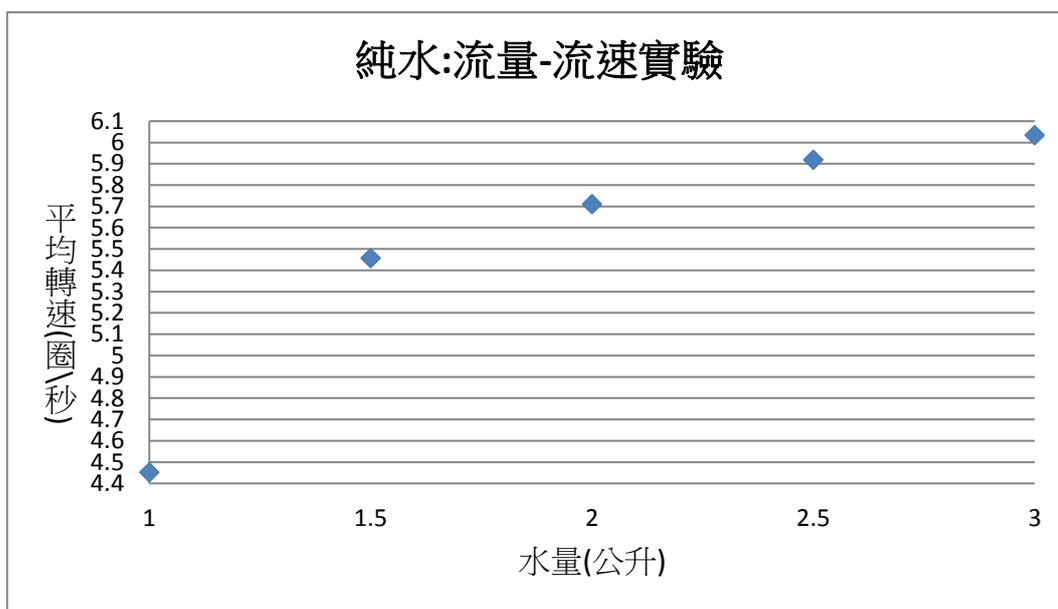
(二) 過程

1. 將水放在上端的水箱裡，並戳破寶特瓶內的氣球讓水在與渦輪同面積的情況下流過渦輪。
2. 計算渦輪轉動圈數，利用時間及轉動圈數去推算轉速〈單位：圈/秒〉。
3. 在分量實驗中我們利用氣球堵住入水口，然後同學用手拉氣球的方式來把水量分成 3 次流入，並在水箱中分別畫兩條線，讓水流流到該位置時堵住水流。

(三) 測量

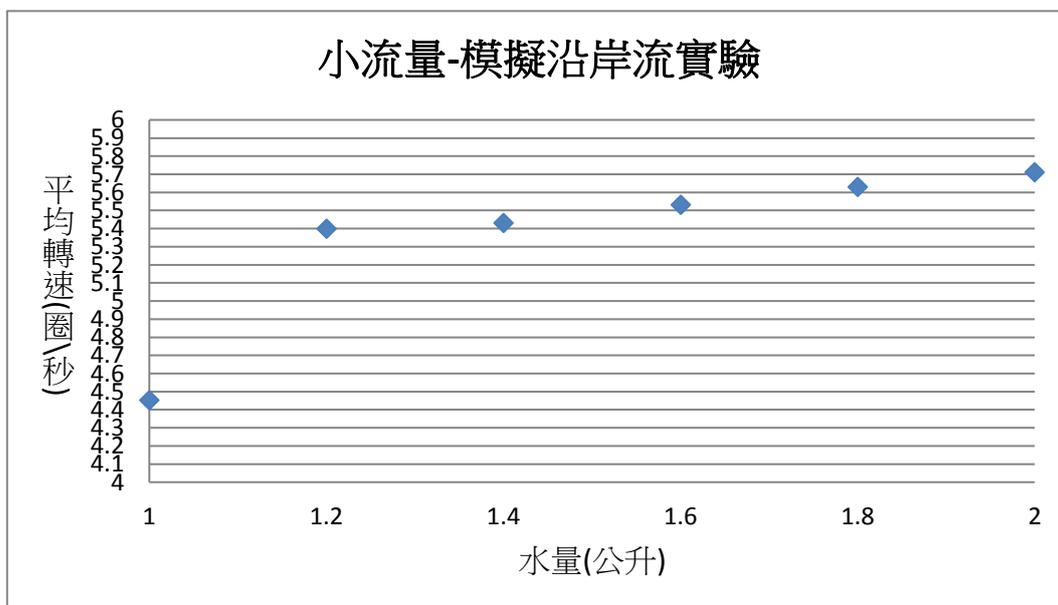
1. 我們的測量方式是將水倒入渦輪機，用手機錄下過程，再以應用程式慢速撥放影片，以做上記號的葉片為準去計算圈數。
2. 首先我們分別倒入 1、1.5、2、2.5、3 公升的純水，透過入水量去改變流速，計算在何種流速下渦輪功率最佳。
3. 另外我們先以鹽度為變因，用相同水量但鹽度分別為 10、20、30、40、50 克/升的鹽水去測量圈數，探討在何種鹽度下渦輪功率最佳。
4. 分量是為了製造水流變化的不穩定，以 2L 模擬沿岸流、3L 模擬黑潮，好讓我們觀察兩者在不穩定時的發電狀況。

伍、研究結果

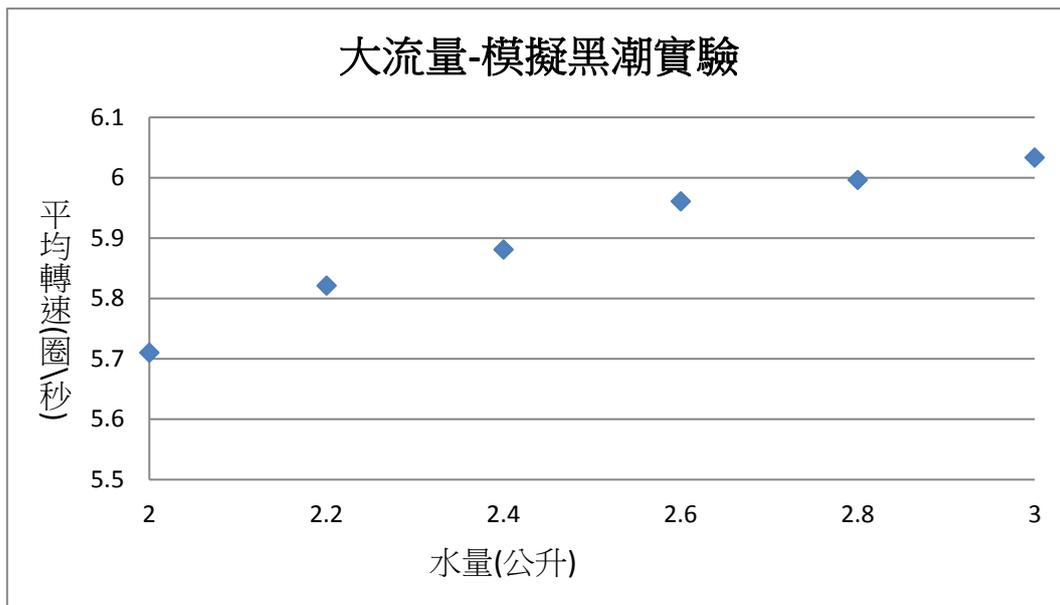


圖三

由圖三可知水量越多轉速越大。因為我們實驗的水流方向是由上往下流，所以我們推論這與水的位能與動能的變化有關，且 1 公升和 1.5 公升時數據之所以和其他數據落差這麼大，我們認為是因為受最大靜摩擦力所影響，突破最大靜摩擦力後，其他數據分布呈線性。

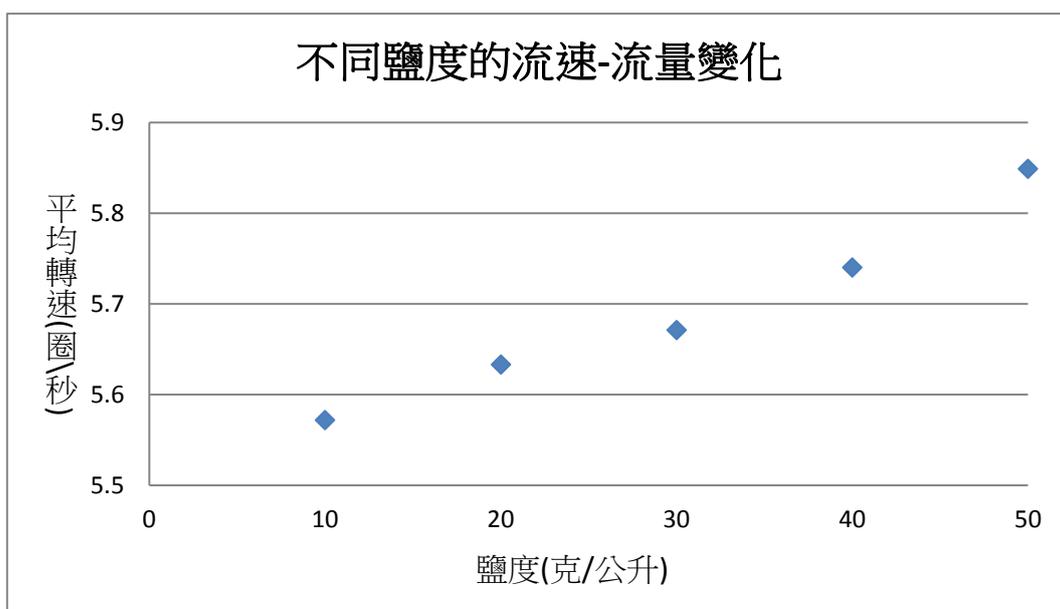


圖四



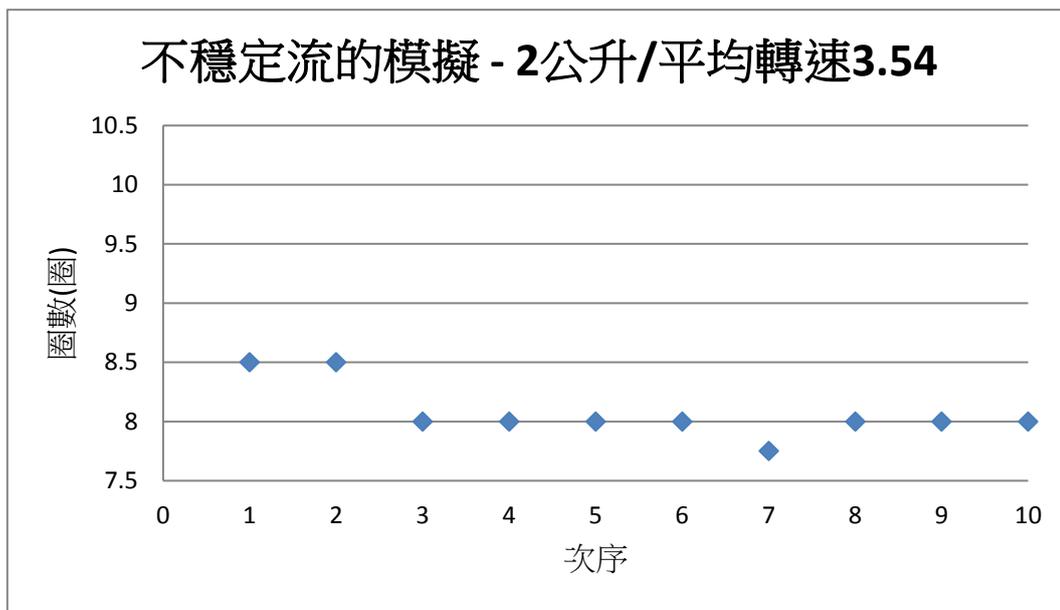
圖五

為了瞭解不同流量和渦輪機轉速的關係，並模擬黑潮和沿岸流。我們將水量再次區分為小流量和大流量的實驗，並繪製如圖四和圖五。由圖四我們可以發現除了 1 公升到 1.2 公升的區段外，水量增加與流速有正向的線性關係。我們推測這是因為渦輪的阻力在這之間從最大靜摩擦力變成動摩擦力，因而在後段為線性。在圖五中就沒有這樣的現象，推測是已突破了最大靜摩擦力，所以大水量的流速間較無太大的落差，流速變化隨流量的增加而變快。

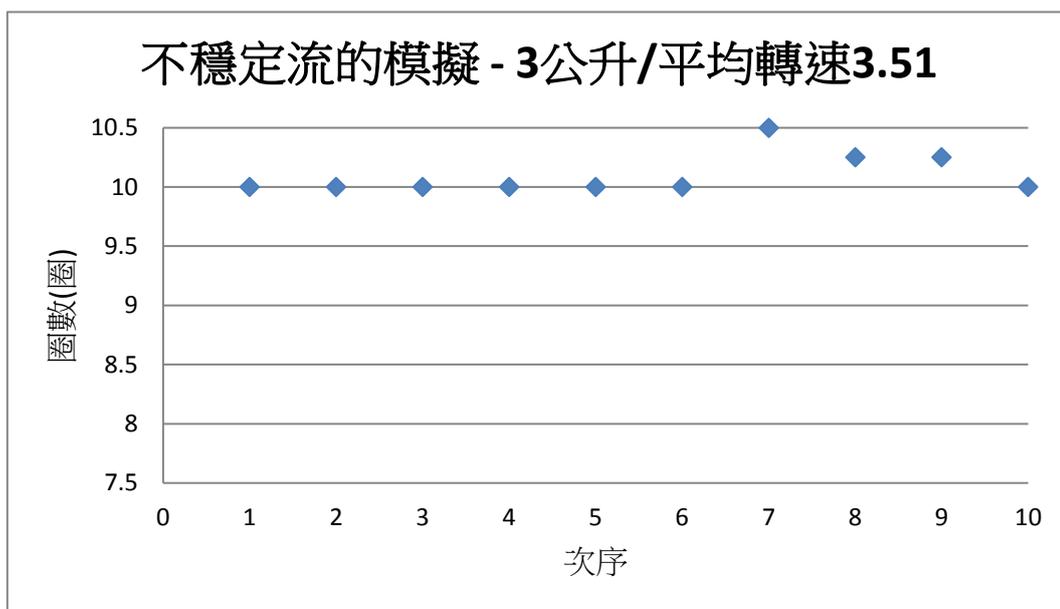


圖六

若改變鹽度測試流速和流量的變化會發現水的鹽度越大渦輪的轉速也越大，但變化並不明顯。實驗中為求便於觀測，我們所模擬的鹽度遠大於海流實際的鹽度 35‰。在鹽度那麼大的情況下，實驗數據中的轉速仍然變化不大，所以我們推測在實際狀況中鹽度對洋流發電的效率並無太大影響。



圖七



圖八

我們假設將渦輪機架在不穩定的黑潮跟不穩定的沿岸流中來比較，2 公升代表沿岸流，3 公升代表黑潮，實驗數據製圖為圖七、圖八。由圖得知在不穩定水流中，水量大推動渦輪的圈數較多，但數據顯示兩者的轉速相近，因此不穩定流的發電量由流量決定。

陸、討論

一、常見發電比較

方式比較	黑潮能	風力	水力	火力	核能	地熱
發電功率(%)	20~45	20~40	90	36.8	33	30
維修	困難	困難	簡單	困難	困難	困難
發電費用(元/度)	6.25	1.86	1.32	1.59	1.94	7.77
環境影響	魚類	噪音污染	在河川土築水壩，破壞河川生態	空汙、酸雨、溫室效應	核廢料處理	破壞地表自然景觀、產生有毒性氣體
碳排放量(g CO ₂ /kWh _e)	5	12	4	1001	16	13-380
建造費用(美元)	2 億	180 萬	100~500 萬	6.5 億	30 億	2.3 億
可再生能源	是	是	是	否	否	是
運轉成本	低	低	低	高	高	低

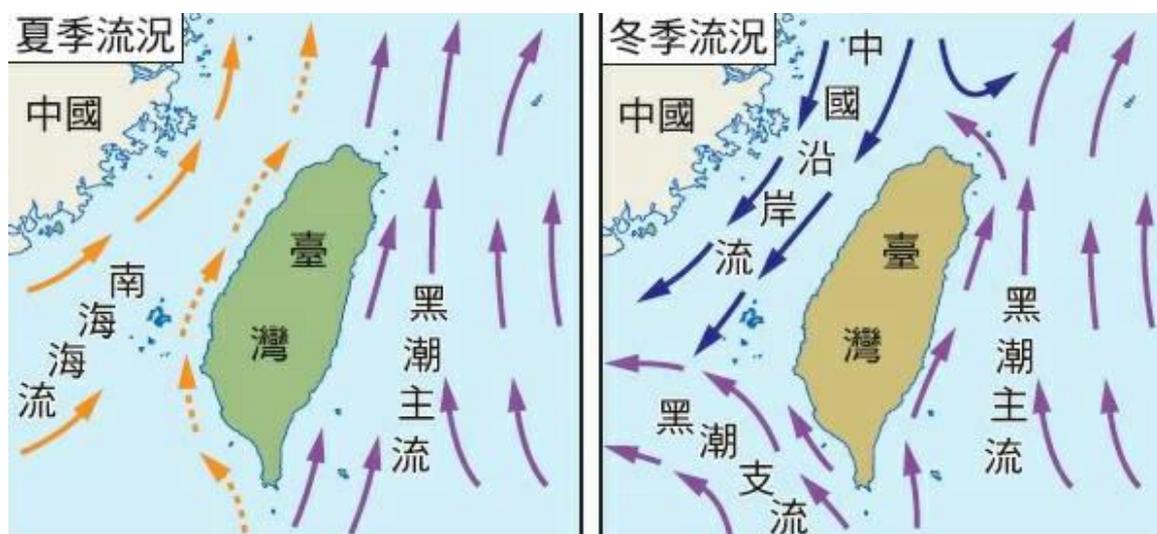
表一

(出處：<http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>)

收集資料製表可以大致看出目前台灣最常用的核能和火力發電共同困難為造價高，且對環境影響過大。逐漸推動中的風力，雖為可再生能源，但風力和風向時常改變，能量無法集中，以至於供電量十分不穩定。就整體來說，黑潮能效益遠低於水力發電，但對於台灣來說，河川水位變率大，在冬季低水位時根本無法提供民眾龐大的用電量，相

較之下黑潮流量大而穩定，是黑潮發電的一大優勢。計算成本若只以經濟來看，黑潮發電所需成本較高。但若計算環境成本，仍是划算的發電方式。

二、黑潮的主流與支流



圖九

(出處: <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=30806>)

黑潮主流一年四季皆流過台灣東部，而在西部有中國沿岸流、南海海流和黑潮支流，由圖九可知夏季有南海海流與微弱的黑潮支流流經；冬季有中國沿岸流和黑潮支流，但因為受到東北季風影響，黑潮支流會順著海底地形折返。所以在架設渦輪機的地點來看，主流的位置較好。

三、威爾斯渦輪與常用洋流發電機的比較

台灣目前使用的洋流發電機是由國立臺灣海洋大學自行研發的「全沒水式潮流發電機組」。其特色是可隨潮流方向改變而自動轉向，不管是漲潮或是退潮時的海流都能夠有效發電，最高功率可達每小時 1325 瓦。不過目前由於許多核心技術所以仍無法廣泛推廣。

實驗中所使用的威爾斯渦輪葉扇的特殊處在於其迎風兩面對稱的曲線，使得正反兩面都可以帶動葉片轉動，所以常用於波浪能發電，讓進入和排出的浪都可有效的用來發電，發電效率高。威爾斯渦輪還有一特色，就是葉片數愈多能夠與風作用的面積就愈大，能產生的總力矩也愈大，但葉片愈多，風進入的面積就愈小。在水柱式發電實際的應用

上風是雙向進出的，但是要將威爾斯渦輪發電機放到海面上，在發電效率上，和其他發電機無太大差別，但在擾動的洋流中佔優勢。

四、國外的洋流發電方式

目前美國和日本皆有洋流發電。與黑潮同規模的墨西哥灣洋流，利用名為「可里奧利里 1 號」發電機，其具有逆方向旋轉的 2 枚大型螺旋轉的巨大洋流發電系統。深海洋流發電利用移動式洋流發電渦輪機，可找到灣流隨著季節與氣候變動的流速和最高峰速值出現的地點，因此將錨具與海床連結，或者懸掛於移動式平台，在有限範圍內移動，可尋覓洋流發電的最有利點。

至於日本使用水下漂浮式海流渦輪機系統，裝有兩台反向轉動渦輪機的發電裝置，利用海流推動螺旋槳轉動，進而驅動後方的渦輪機進行發電。特殊設計的弧形板可讓浸沒在水中的部分捕獲來自任何方向的潮流，以致發電效率高，估計為 60-70%，不過造價高，且架設條件多，難以選擇架設地點。但是日本也是使用黑潮來發電，海底地形也與台灣相似，所以此種也是最近台灣的構想。

五、台灣附近適合的發電點

(一) 適合放置黑潮發電機的地點

地 點	條 件	海底深度	流速
蘇澳外海		100~500m	1.53 m/sec
花蓮外海		>200m	>1.2m/sec
蘭嶼		1000~2000m	>1.2m/sec
綠島		100~500m	1.5m/sec

表二

(出處: <http://conan1917.pixnet.net/blog/post/370903040>)

就深度而言，渦輪最佳設置深度為 200 公尺左右，所以我們可以從這項數據找出適合放置的地點，如表二。但黑潮流流速較快，且深度過深時，對於渦輪的錨固會是一大考驗。在此看來，蘇澳外海和綠島會是目前最適合的地點。

(二) 替代流的可能性

比較	洋流	中國沿岸流	南海海流
流速		0.284m/s	0.3 m/s
流量		1.65 Sv	0.1 Sv
鹽度		34.4 psu	33.75 psu
地形		較平緩	坡度較大、地勢複雜 封閉為四周淺中央深 的大海盆
溫度		20°C	27.5°C

表三

(出處: <http://www.odp.ntu.edu.tw/adcp/?p=204>)

台灣附近適合的替代流，為中國沿岸流和南海海流，其數據如表三。由於兩者流速接近，我們以流量作為變因，透過圖七和圖八不穩定流的模擬實驗，來探討兩者的可行性。在實驗中我們發現，對於不穩定的水流來說，轉速並非影響發電的主要因素，反而是水流的流量才是關鍵，且南海海流流經的地勢較為顛簸，以至於水流較中國沿岸流不穩定，就此我們推論中國沿岸流比南海海流更具發電優勢。

六、黑潮發電的優缺點

儘管黑潮發電的環境成本低於其他發電且它也是綠色能源之一，但有許多人不贊同開發，我們可以先了解黑潮發電的優缺點，來討論黑潮發電是否適合台灣發展。

(一) 優點

1. 低汙染：黑潮發電碳排放量幾近為零，且發電機不佔用土地空間，故在土地利用上可獲得良好解決方案。對於景觀不會造成衝擊，洋流發電可永續利用且對環境污染很低。
2. 穩定：黑潮一大特色就是流速強勁穩定、可預測性高、發電量大，發電裝置容量可達 60GW（台灣目前總發電裝置容量約 34GW），其利用價值不容小覷。且

黑潮水量極大，比世界最大的亞馬遜河還多了 360 倍，這就是其蘊藏的無窮能量。

(二) 缺點

1. 孔蝕：當流速大於 8 m/s 時，渦輪機可能會產生孔蝕現象，會傷害渦輪機組；且海水具腐蝕性，渦輪機的抗腐蝕度、承軸及密封系統將會面臨一大挑戰。
2. 維修：機組位於海裡，進行維修及維護須由潛水員進行，這也是洋流發電高維護成本所在，以至於洋流發電成本無法降低。
3. 天災：黑潮位於深水區、離岸遠，台灣又多颱風，設備的錨固及供電的穩定都有技術問題待克服。洋流雖然穩定且容易預測，但會影響環境溫度和溼度，所以過度大規模運用可能造成氣候紊亂。
4. 環境：台灣東岸為「侵蝕海岸地形」，海底若遇上颱風所帶來的大浪擾動，海底電纜有被扯斷的可能，且附近一帶海砂被掏空後對海底結構影響大，電纜也不易固定。渦輪機的設置還會影響到迴游海洋生物，不僅影響海洋生態，生物殘骸捲入機組內會傷害到機組，因此又會牽涉到渦輪機的維修問題。且貝類易附著於渦輪機上，須使用無人潛艇用高壓水柱清除。

七、威爾斯渦輪的功率和海水性質相關性

在鹽度方面，水的鹽度越大，渦輪的轉速也越大。為求便於觀測，我們在鹽度的實驗中所模擬的鹽度是遠大於海流實際的鹽度，而且在鹽度那麼大的情況下，實驗數據中的轉速仍然變化不大，所以我們推測在實際狀況中鹽度對洋流發電的效率並無太大影響。我們利用公式 $P = 1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A C_p$ 來討論電功率 P ，其中 ρ 是水密度， V 是海流進入葉輪前的速度，而 A 是葉輪的圓盤面積， C_p 是轉換功率係數，即轉換效率，一般軸流式葉輪的轉換功率係數約在 0.42~0.45 之間，若考慮到軸系、齒輪和發電機的損失，它的值大約只有 0.35。由此可知，鹽度越大，密度就會越大，所以由公式可知密度會造成渦輪轉速的不同。

由散布圖可見，入水量 1 公升的轉速遠小於其他入水量的數值，我們推估是受到最大靜摩擦力影響，由此可知，若要實際應用在洋流發電的話，必須考慮到此因素，不過

黑潮的優點就是流量大、流速快，所以這點倒是不太需要擔心。再者，我們發現之後的數據分布成線性，可見其有著一定的相關性，入水量越大，轉速則越快。

八、強行使用的應變措施

因為台灣現在還沒有真正用黑潮來發電，所以如果真的要開發的話必須先做好應變措施。以渦輪機來說，多點錨固配合浮動平台設計，可降低地震引起的坍塌、滑移對錨固系統的影響。為防止生物附著在纜繩上，在纜繩上設計有一個上下定時滑動的套環，可以清除附著在纜繩上的海洋生物，而臺灣東部沒有由淺入深的大陸棚，所以只能挑選離岸不遠的海下山脊，作為拉住渦輪機的基礎。纜繩錨固在 500 公尺深的海床上，而整座渦輪機將會穩定沉浮在約 80 公尺深的深水中，這個水深也是黑潮最強勁之處。若渦輪機布放在海面下 30 公尺處，則可避開颱風浪高 10 公尺的影響，且不與海面接觸，氧化程度大為降低，設備的腐蝕問題也容易解決，另外這裡的陽光很弱，除極少數大型哺乳魚類外，少有生物活躍其中，不易產生生物附著的問題，對大型魚類如海豚則可用聲納驅離，因此對海底生態的影響只有在施工時存在，完工後復原快。

柒、結論

經過多方面的比較，我們分析出最適合發電的位置、時間、方式、主流或支流等有關黑潮發電的設置。

根據我們變因為入水量的實驗數據可知，由於我們實驗的水流方向是由上往下流，水由位能轉換成動能($mgh=1/2mv^2$)，於水箱的水量越多 m 和 h 則越大，造成沖下時的 v 越大，再利用公式 $P=1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A C_p$ ，其中 ρ 、 A 固定，又發電量和 V^3 成正比，所以 V 越快功率越大，我們推論出利用黑潮發電的效率應該不低。至於以鹽度為變因的實驗，我們所用的鹽度比海水實際鹽度還大，但是在實驗中鹽度與轉速的變化只有些微差異，若由實驗結果推廣到實際狀況可知其影響度也不大。從大小流量的實驗來比較，我們得知流量越大轉速越快，且可以比較出小流量受最大靜摩擦力影響較大，以至於起初的流速變化很小，相較之下大流量的黑潮就無此問題。而且小流量推力小，導致小流量的流速變化量不大。如果要以沿岸流作為發電，我們推估發電量會不及黑潮發電。另外我們做了假設水流在不穩定情況下的實驗，我們透過分批入水來製造擾動。可從實驗中看出：在擾動狀況下，轉速對發電量的影響不大，發電量是由流量決定。故如果同在水流不穩定的狀況下，應選擇架設在黑潮主流。

主支流方面，我們分析台灣東西部的海流，得知主流比較適合放置渦輪機。因為由我們實驗數據可以得知流量越大發電量越大，而主流不管在哪個季節都比支流的流量大，所以黑潮主流適合發電。

雖然沿岸流發電量會不及黑潮發電，但有必要的話，替代流方面中國沿岸流與南海海流的流速接近，而不管在流量還是鹽度來看，就潮流本身而言，前者是較利於發電的。至於裝置渦輪需要海底深度較淺、地形較平緩處，以此方面來說，台灣海峽為連接中國與台灣的大陸棚，比起南海的海底盆地地形，相較之下必定是中國沿岸流較具優勢。

經過深度和流速的分析，我們推測在蘇澳外海較適合設置黑潮發電的渦輪機，因為洋流渦輪發電機最適合在深度是 200 公尺左右，如果在太深的海底，錨固的問題會很大，所以在蘇澳或綠島附近最適合。在台灣發展黑潮發電，就必須克服錨固方面的問題，因為我們要架設的位置於台灣東部海岸，此處海底地形險要，最好的地點於海平面下 30 公尺處，可以克服機械氧化腐蝕及哺乳魚類捲入等問題，且為防止貝類附著纜繩上，陳發林教授表示：只要在

纜繩上加上可活動式的套環，即可清除纜繩上的附著物。

拿黑潮發電與台灣目前其他發電方式做比較，現今使用比率最高的是燃煤發電，燃煤所產生的電雖便宜，但產生的環境汙染甚高，對於講求環保的現代社會來說，燃煤已逐漸失去其優勢。其次的核能發電更是備受爭議，核能也是具有便宜的優點，但經過日本 311 大地震核電廠爆炸後，關於核電廠建設安全性的隱憂隨即浮上檯面；關於核廢料的處理更是人民所關注的一大問題所在；還有建廠的成本過高，能否符合經濟效益實在是個謎。再來是水力發電，水力的能量轉換功率是最高的，而且建廠成本低，維修又容易，照理說應為台灣最該極力發展的發電方式，不過缺點就在於興建水壩對生態影響過大，這是目前應改善的問題點。接下來談到風力發電，台灣雖有季風吹拂，但風力的穩定性實在太低，無法產生足夠的電量提供人民使用，且發電機轉動時產生的噪音不僅讓周遭民眾不堪其擾，甚至連動物也避走遠之。最後談到黑潮發電，黑潮主流一年四季皆有流經台灣，穩定性是不容置疑的，黑潮本身也具有多項發電優勢，對於環境影響也不算太大，但目前就卡在渦輪的設置技術，由於東部一帶為斷層地形，台灣在深海渦輪機組的錨固技術仍尚未成熟，又缺乏相關專業人員，所以現今的黑潮發電發展對海洋生態造成衝擊，在經濟與環境間的利害關係仍有待探討，而且黑潮能的發電成本過高，要讓民眾接受可能性並不高。

雖然黑潮發電仍在測試階段，但黑潮能可循環利用，對於環境影響比起其他的發電方式還小，總觀各項比較黑潮發電潛力無限，值得進一步發展。

捌、參考資料及其他

- 一、陳發林(2010)。 *Kuroshio power plant development plan*。取自：
http://140.111.56.210/file/merc/D24/data/D24_copyright.pdf
- 二、海洋學門資料庫(無日期)。海況流矢圖。取自：<http://www.odn.ntu.edu.tw>
- 三、海洋學門資料庫(無日期)。東經 120 度流速斷面圖。取自：<http://www.odn.ntu.edu.tw>
- 四、海洋學門資料庫(無日期)。15 分格海流資料。取自：<http://www.odn.ntu.edu.tw>
- 五、經濟部能源局(無日期)。發電方式的比較。取自：<http://web3.moeaboe.gov.tw>
- 六、柯永澤(2012)。海流變電流。取自：<http://ejournal.stpi.narl.org.tw>
- 七、聯合報(2008)。台大研究：黑潮發電 夠台灣用還有剩。取自：<http://city.udn.com>
- 八、NAOKI ASANUMA, *Nikkei staff writer*(2014)。 *Ocean currents, tides rise as new renewable energy candidates*。取自：<http://asia.nikkei.com>
- 九、自由時報(2014)。發電於無形?! 潛在海裡的未來發電廠。取自：<http://3c.ltn.com.tw>
- 十、陳慶盈、蔡原祥、廖建明、許朝敏、陳思樺(2011)。海流發電技術研析。取自：
<http://www.tsoe.org.tw>
- 十一、汪仔鰭、吳朝榮(2011)。洋流。取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw>
- 十二、呂錫民(2013)。新型深海洋流發電廠和系統。取自：<http://ejournal.stpi.narl.org.tw>
- 十三、彭書憶、吳朝榮(2009)。海流能。取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw>
- 十四、聯合報(2014)。台灣用黑潮發電，行不行。取自：
<http://conan1917.pixnet.net/blog/post/370903040>
- 十五、鍾金明(2015)。綠色能源科技。新文京出版社。
- 十六、彭明輝(2012)。2020 台灣的危機與挑戰。聯經出版公司。

附件:

水量(升)		1	1.5	2	2.5	3
時間(秒)	第一次	0.52	0.67	0.76	0.87	1.01
圈數(圈)		2	3.5	4.5	5	6
轉速(圈/秒)		3.85	5.22	5.92	5.75	5.94
時間(秒)	第二次	0.51	0.64	0.71	0.86	1
圈數(圈)		2	3.5	4.25	5	6
轉速(圈/秒)		3.92	5.47	5.99	5.81	6
時間(秒)	第三次	0.57	0.66	0.73	0.89	0.94
圈數(圈)		2.25	3.5	4.25	5	5.75
轉速(圈/秒)		3.95	5.3	5.82	5.62	6.12
時間(秒)	第四次	0.55	0.63	0.75	0.87	0.96
圈數(圈)		2.25	3.5	4.25	5	5.75
轉速(圈/秒)		4.09	5.56	5.67	5.75	5.99
時間(秒)	第五次	0.53	0.63	0.73	0.88	0.95
圈數(圈)		2.5	3.25	4.25	5	5.75
轉速(圈/秒)		4.72	5.16	5.82	5.68	6.05
時間(秒)	第六次	0.51	0.65	0.75	0.82	0.97
圈數(圈)		2.5	3.5	4	5	5.75
轉速(圈/秒)		4.9	5.38	5.33	6.1	5.93
時間(秒)	第七次	0.5	0.66	0.74	0.84	0.98
圈數(圈)		2.5	3.75	4	5.25	5.75
轉速(圈/秒)		5	5.68	5.41	6.25	5.87
時間(秒)	第八次	0.56	0.65	0.73	0.86	0.97
圈數(圈)		2.75	3.5	4	5.25	5.75

轉速(圈/秒)		4.91	5.38	5.48	6.1	5.93
時間(秒)	第九次	0.53	0.63	0.74	0.87	0.94
圈數(圈)		2.5	3.5	4.25	5.25	6
轉速(圈/秒)		4.72	5.56	5.74	6.03	6.38
時間(秒)	第十次	0.56	0.64	0.76	0.82	0.98
圈數(圈)		2.5	3.75	4.5	5	6
轉速(圈/秒)		4.46	5.86	5.92	6.1	6.12
平均轉速		4.452	5.457	5.71	5.919	6.033

附件一 純水:流量-流速實驗數據

水量(升)		1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
時間(秒)	第一次	0.52	0.54	0.63	0.71	0.78	0.76
圈數(圈)		2	3	3.5	4	4.5	4.5
轉速(圈/秒)		3.85	5.6	5.56	5.63	5.77	5.92
時間(秒)	第二次	0.51	0.57	0.65	0.74	0.76	0.71
圈數(圈)		2	2.75	3.5	4	4	4.25
轉速(圈/秒)		3.92	4.8	5.38	5.41	5.26	5.99
時間(秒)	第三次	0.57	0.55	0.61	0.69	0.78	0.73
圈數(圈)		2.25	3	3.25	3.75	4.25	4.25
轉速(圈/秒)		3.95	5.5	5.33	5.43	5.45	5.82
時間(秒)	第四次	0.55	0.57	0.63	0.7	0.77	0.75
圈數(圈)		2.25	2.75	3.5	4	4.25	4.25
轉速(圈/秒)		4.09	4.8	5.56	5.71	5.52	5.67
時間(秒)	第五次	0.53	0.54	0.65	0.71	0.75	0.73
圈數(圈)		2.5	3	3.5	4	4.25	4.25
轉速(圈/秒)		4.72	5.56	5.38	5.63	5.67	5.82
時間(秒)	第六次	0.51	0.56	0.62	0.73	0.77	0.75
圈數(圈)		2.5	3.25	3.5	4	4.5	4
轉速(圈/秒)		4.9	5.8	5.56	5.48	5.84	5.33
時間(秒)	第七次	0.5	0.58	0.65	0.7	0.76	0.74
圈數(圈)		2.5	3.25	3.5	3.75	4.5	4
轉速(圈/秒)		5	5.6	5.38	5.36	5.92	5.41
時間(秒)	第八次	0.56	0.58	0.64	0.72	0.78	0.73
圈數(圈)		2.75	3.25	3.5	4	4.5	4
轉速(圈/秒)		4.91	5.6	5.47	5.56	5.77	5.48

時間(秒)	第九次	0.53	0.56	0.67	0.71	0.75	0.74
圈數(圈)		2.5	3	3.5	3.75	4	4.25
轉速(圈/秒)		4.72	5.36	5.22	5.28	5.33	5.74
時間(秒)	第十次	0.56	0.56	0.64	0.73	0.78	0.76
圈數(圈)		2.5	3	3.5	4.25	4.5	4.5
轉速(圈/秒)		4.46	5.36	5.47	5.82	5.77	5.92
平均轉速		4.452	5.457	5.398	5.431	5.531	5.71

附件二 小流量-模擬沿岸流實驗數據

水量(升)		2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
時間(秒)	第一次	0.76	0.85	0.85	0.93	0.95	1.01
圈數(圈)		4.5	5	5	5.5	5.75	6
轉速(圈/秒)		5.92	5.88	5.88	5.91	6.05	5.94
時間(秒)	第二次	0.71	0.86	0.84	0.91	0.93	1
圈數(圈)		4.25	5	5	5.5	5.75	6
轉速(圈/秒)		5.99	5.81	5.95	6.04	6.18	6
時間(秒)	第三次	0.73	0.85	0.87	0.94	0.94	0.94
圈數(圈)		4.25	5	5.25	5.5	5.5	5.75
轉速(圈/秒)		5.82	5.88	6.03	5.85	5.85	6.12
時間(秒)	第四次	0.75	0.85	0.86	0.93	0.99	0.96
圈數(圈)		4.25	5	5	5.5	6	5.75
轉速(圈/秒)		5.67	5.88	5.81	5.91	6.06	5.99
時間(秒)	第五次	0.73	0.86	0.87	0.91	0.94	0.95
圈數(圈)		4.25	5	5.25	5.5	5.5	5.75
轉速(圈/秒)		5.82	5.81	6.03	6.04	5.85	6.05
時間(秒)	第六次	0.75	0.82	0.88	0.89	0.97	0.97
圈數(圈)		4	4.75	5	5.25	5.75	5.75
轉速(圈/秒)		5.33	5.79	5.68	5.9	5.93	5.93
時間(秒)	第七次	0.74	0.86	0.88	0.92	1	0.98
圈數(圈)		4	5	5.25	5.5	6	5.75
轉速(圈/秒)		5.41	5.81	5.96	5.98	6	5.87
時間(秒)	第八次	0.73	0.87	0.85	0.93	0.94	0.97
圈數(圈)		4	5	5	5.75	5.75	5.75
轉速(圈/秒)		5.48	5.75	5.88	6.18	6.12	5.93

時間(秒)	第九次	0.74	0.83	0.89	0.9	0.95	0.94
圈數(圈)		4.25	4.75	5	5.25	5.75	6
轉速(圈/秒)		5.74	5.72	5.62	5.83	6.05	6.38
時間(秒)	第十次	0.76	0.85	0.88	0.88	0.98	0.98
圈數(圈)		4.5	5	5.25	5.25	5.75	6
轉速(圈/秒)		5.92	5.88	5.97	5.97	5.87	6.12
平均轉速		5.71	5.821	5.881	5.961	5.996	6.033

附件三 大流量-模擬黑潮實驗數據

鹽度(克/升)		10	20	30	40	50
時間(秒)	第一次	0.81	0.85	0.83	0.84	0.86
圈數(圈)		4	4	5	4.75	5.25
轉速(圈/秒)		4.94	4.71	6.02	5.65	6.1
時間(秒)	第二次	0.82	0.81	0.82	0.82	0.88
圈數(圈)		4.5	4.75	4.5	4.5	5.25
轉速(圈/秒)		5.49	5.86	5.48	5.49	5.97
時間(秒)	第三次	0.78	0.82	0.83	0.85	0.87
圈數(圈)		4.5	5	4.5	5	5
轉速(圈/秒)		5.77	6.1	5.42	5.88	5.75
時間(秒)	第四次	0.82	0.83	0.84	0.89	0.86
圈數(圈)		4.25	5	5.25	5.5	5
轉速(圈/秒)		5.18	6.02	6.25	6.18	5.81
時間(秒)	第五次	0.82	0.81	0.82	0.86	0.89
圈數(圈)		5	4.5	5	4.5	5.5
轉速(圈/秒)		6.1	5.56	6.1	5.23	6.18
時間(秒)	第六次	0.78	0.81	0.83	0.85	0.9
圈數(圈)		4.75	4.75	4.75	5	5.5
轉速(圈/秒)		6.09	5.86	5.72	5.88	5.11
時間(秒)	第七次	0.79	0.84	0.83	0.86	0.87
圈數(圈)		4.5	4.75	4.5	5.25	5
轉速(圈/秒)		5.7	5.65	5.42	6.1	5.75
時間(秒)	第八次	0.81	0.82	0.85	0.89	0.89
圈數(圈)		4.5	4.5	4.75	5	5.25
轉速(圈/秒)		5.56	5.49	5.59	5.62	5.9

時間(秒)	第九次	0.78	0.81	0.83	0.87	0.9
圈數(圈)		4.5	4.5	4.5	5	5.5
轉速(圈/秒)		5.77	5.56	5.42	5.75	6.11
時間(秒)	第十次	0.78	0.86	0.85	0.89	0.86
圈數(圈)		4	4.75	4.5	5	5
轉速(圈/秒)		5.13	5.52	5.29	5.62	5.81
平均轉速		5.572	5.633	5.671	5.74	5.849

附件四 不同鹽度的流速-流量變化實驗數據

水量(升)		2 公升	3 公升
第一次	時間(秒)	2.42	3.16
	圈數(圈)	8.5	10
	轉速 (圈/秒)	3.51	3.16
第二次	時間(秒)	2.51	2.98
	圈數(圈)	8.5	10
	轉速(圈/秒)	3.39	3.36
第三次	時間(秒)	2.22	2.82
	圈數(圈)	8	10
	轉速(圈/秒)	3.6	3.55
第四次	時間(秒)	2.12	2.8
	圈數(圈)	8	10
	轉速(圈/秒)	3.77	3.57
第五次	時間(秒)	2.17	2.69
	圈數(圈)	8	10
	轉速(圈/秒)	3.69	3.72
第六次	時間(秒)	2.34	3
	圈數(圈)	8	10
	轉速(圈/秒)	3.42	3.33
第七次	時間(秒)	2.12	2.96
	圈數(圈)	7.75	10.5
	轉速(圈/秒)	3.66	3.55
第八次	時間(秒)	2.33	2.82
	圈數(圈)	8	10.25
	轉速(圈/秒)	3.43	3.63

第九次	時間(秒)	2.46	2.8
	圈數(圈)	8	10.25
	轉速(圈/秒)	3.25	3.66
第十次	時間(秒)	2.18	2.84
	圈數(圈)	8	10
	轉速(圈/秒)	3.67	3.52
平均轉速(圈/秒)		3.539	3.505

附件五 不穩定流模擬