

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第二名

051904

潮鳴電摯

學校名稱：高雄市立新莊高級中學

| | |
|---|------------------|
| 作者： 高二 洪崇富 高二 莊竣亦 高二 劉育希 | 指導老師： 林佳賢 |
|---|------------------|

關鍵詞：鹽楔型河川、鹽度差、發電

摘要

本研究主要探討台灣西部鹽楔型河川是否能進行鹽度差發電。首先找出最適合的電極材質，並運用不同鹽度搭配 RO 水，模擬上下游之鹽度差發電與不同鹽度的搭配組合，模擬表底層之鹽度差發電。實驗顯示此方法可行且我們又從中調整發電設置，配合潮汐調查愛河河段鹽度後，選定中都橋、願景橋、龍心橋，觀察表底層鹽度與實際運用愛河河水進行鹽度差發電實驗，考量發電功率與穩定性，最終選址於願景橋，進行表底層之鹽度差發電，並計算愛河河段鹽度差發電之經濟效益。最後我們比較前鎮河、愛河及淡水河在大潮時從乾潮至滿潮河川沿岸表底層鹽度分布，並實際進行河水表底層鹽度差發電，比較兩者發電功率及經濟效益。

壹、前言

一、研究動機

在《2021 年全球可再生能源現況報告》中，提到全球 610 多座城市制定了 100% 可再生能源的供電目標。但現今距離目標，還有很長一段距離，世界各國呼籲再生能源的重要性，目前大部分國家多為太陽能或風力發電，但太陽能無法在夜間發電，而風力發電會產生低頻噪音且具有季節限制。臺灣四周環海，應可考量潮汐能，其中鹽度差發電引起我們的注意，如何運用潮汐與鹽度差發電並儲存電能，是我們想要研究的主題。

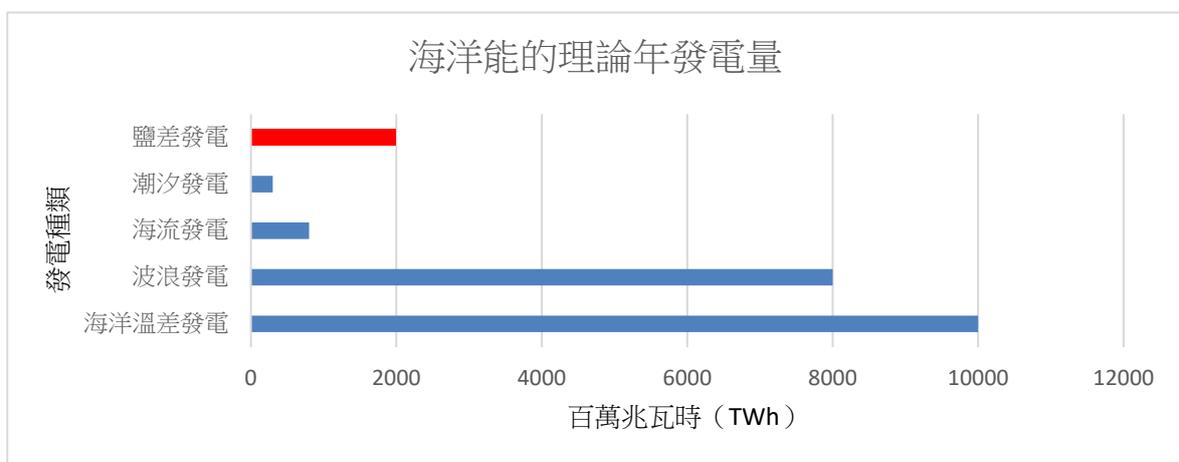
二、研究目的

- (一)探討鹽楔型河川是否可使用鹽差能發電與適合的河段。
- (二)藉由模擬與實際實驗探討鹽差能發電之可行性。
- (三)探討愛河、前鎮河、淡水河進行鹽度差發電所帶來的經濟效益。

三、文獻回顧

隨著全球環境污染，不可再生資源逐漸枯竭。各國都開始進行能源改革，積極發展可再生能源，其中除了廣為人知的太陽能及風力發電外，鹽差能更是一種極具研發潛力的新興能

源（葉愛玲等，2015）。海洋鹽差能發電的反電滲析（reverse electrodialysis, RED）技術具有清潔、可持續、無污染、能量密度高等優點（鄧會寧等，2017）。鹽差能是指鹽水與淡水兩種不同濃度的溶液中所產生出的化學電位能，全球海水與河水所能產生出之總能量約為 20 億瓩，儘管鹽差能在海洋能中所蘊藏的能量並不是最多的（圖一），但它的能量密度是海洋能中最大的，這對於工程實際當中的作用具有重要意義（洪俊濤，2014）。目前從事鹽差能發電之研究不在少數，以上文獻僅止於模擬實驗，2019 全國科學探究競賽中以「鹽」之名，行「發電」之實的實驗中使用的碳-碳電極，經過我們實際測試後發現並不是最有效率的，因此經過多次試驗後我們選出最有效率的電極並實際使用台灣西部鹽楔型河川之河水來進行本次實驗。



圖一：海洋能的理論年發電量

註：圖一資料來源參考 http://scitechreports.blogspot.com/2015/05/blog-post_26.html

電壓（V）是測量兩點間的電位差，電壓的單位為伏特（V），每庫侖有 1 焦耳的電能稱為 1 伏特。

電流（I）是指單位時間內通過導線某一截面的電荷，電流的單位為安培（A），每秒通過 1 庫侖的電荷量稱為 1 安培。

功率（P）是指單位時間內所產生的能量，功率的單位為瓦特（W），每秒產生 1 焦耳的能量稱為 1 瓦特。公式如下：功率（P）=電壓（V）× 電流（I）

貳、 研究設備及器材

一、鹽度比重計（圖二）、陰陽離子交換膜（圖三）

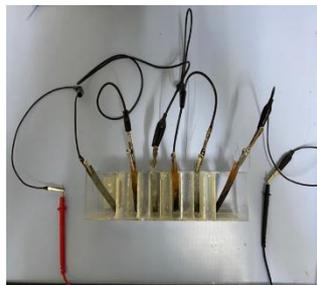


圖二：鹽度比重計



圖三：陰陽離子交換膜

二、自製發電裝置（圖四）、三用電錶（圖五）



圖四：自製發電裝置

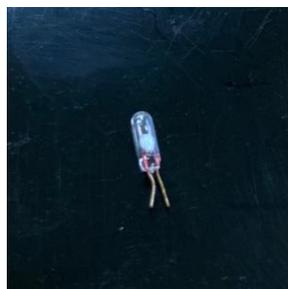


圖五：三用電錶

三、1.2V 電池（圖六）、1.2V 燈泡（圖七）

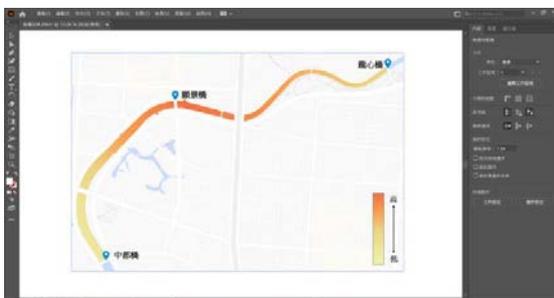


圖六：1.2V 電池



圖七：1.2V 燈泡

四、Adobe Illustrator（v25.2.3）軟體（圖八）、實地裝置架設（圖九）

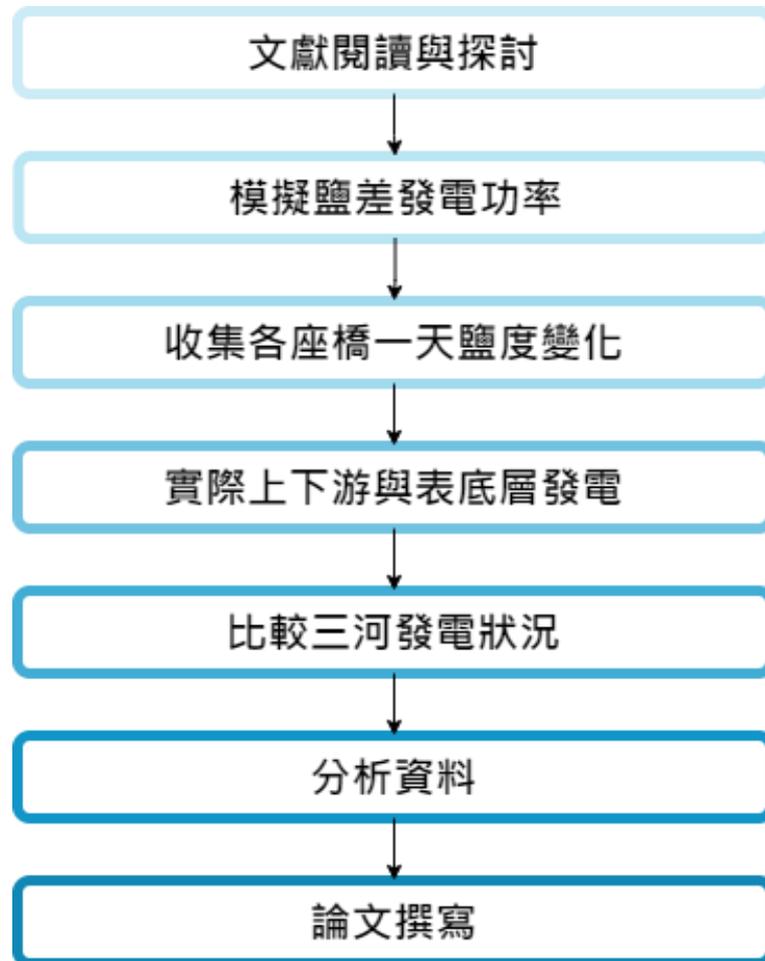


圖八：Adobe Illustrator 軟體（v25.2.3）



圖九：實地裝置架設

參、 研究過程或方法

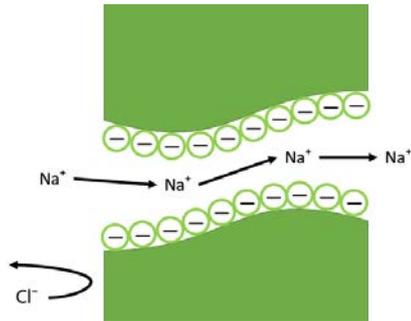


肆、研究結果

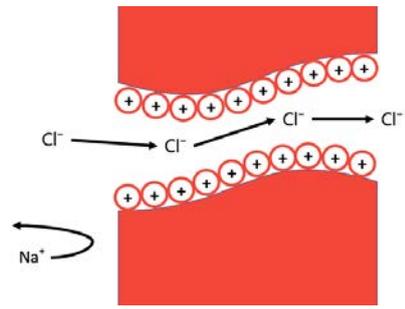
一、裝置介紹

(一) 陰陽離子交換膜介紹

1. 陽離子交換膜（圖十）：為一種對陽離子具有選擇作用之膜。本身帶負電荷，使正電荷之陽離子通過，而負電荷之陰離子無法通過。
2. 陰離子交換膜（圖十一）：為一種對陰離子具有選擇作用之膜。本身帶正電荷，使負電荷之陰離子通過，而正電荷之陽離子無法通過。



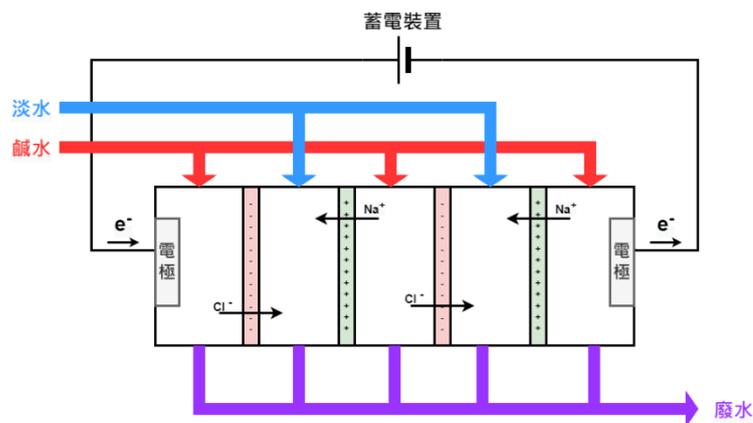
圖十：陽離子交換膜示意圖



圖十一：陰離子交換膜示意圖

(二) 鹽差能發電裝置介紹:

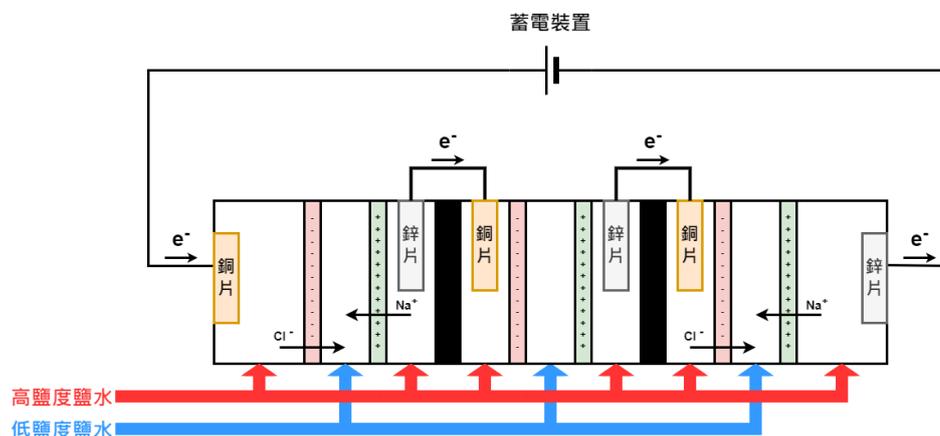
圖十二為運用反向電滲析(RED)的發電裝置示意圖，具有多個獨立的鹽水腔室、多個獨立的淡水腔室、陽電極腔室、陰電極腔室。鹽水腔室與淡水腔室交替設置，以離子交換膜分隔相離兩腔室，須以陽離子交換膜和陰離子交換膜交替設置。陽電極腔室與陰電極腔室各自設立在裝置兩端，並放上電極，接上蓄電裝置成為封閉迴路。



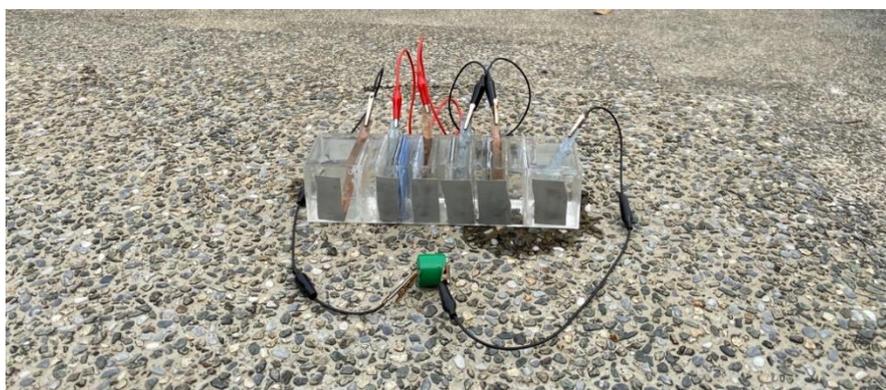
圖十二：鹽差能發電裝置示意圖

(三) 實際發電裝置介紹

本研究使用三組獨立的鹽度差發電裝置（圖十三）（圖十四），將各自獨立之電極相互串聯，原因為一組獨立的鹽度差發電裝置之電壓小於蓄電裝置之電壓，不足以將電能存入蓄電裝置。



圖十三：自製鹽差能發電裝置示意圖

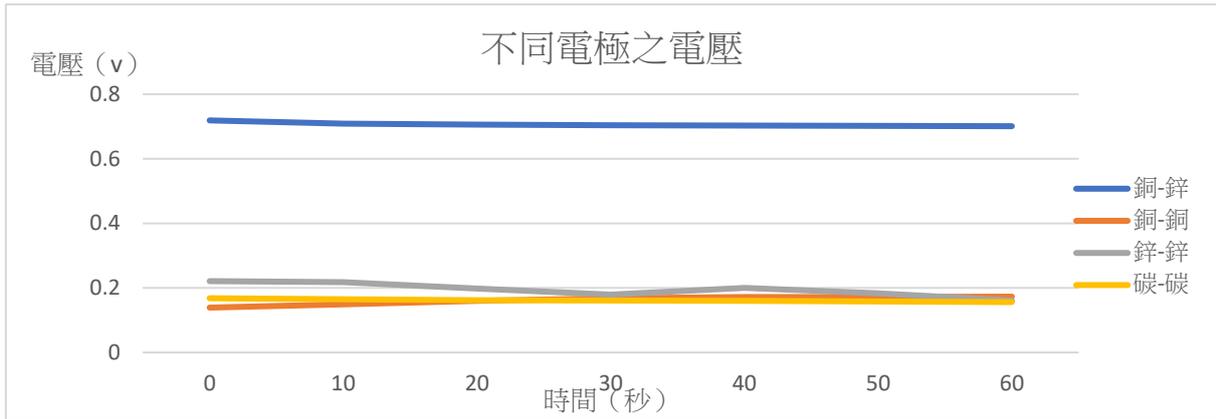


圖十四：自製鹽差能發電裝置

二、電極材料實驗

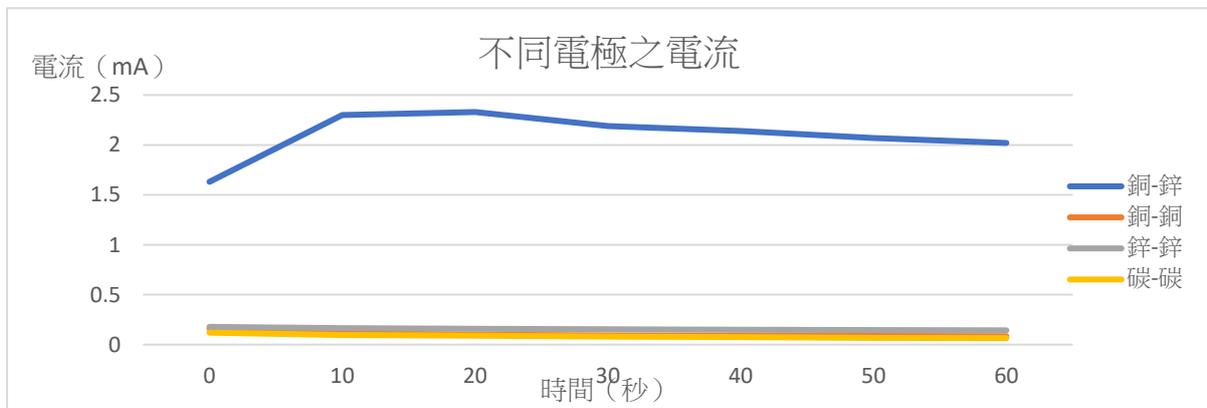
使用不同的電極材料，會達到不同的發電功率。本次實驗使用鹽度 30‰ 的食鹽水與 RO 水，記錄一分鐘內每十秒數據變化，探討不同的電極材料，2019 全國科學探究競賽-這樣教我就懂-以「鹽」之名，行「發電」之實(林婉榆、謝緯寬，2019)中使用的碳-碳電極並非最佳的電極組合，而電化學實驗(蔡文元等，2018)中所使用的銅-鋅電極能帶來的發電功率較佳。

(一) 不同電極一分鐘之電壓變化



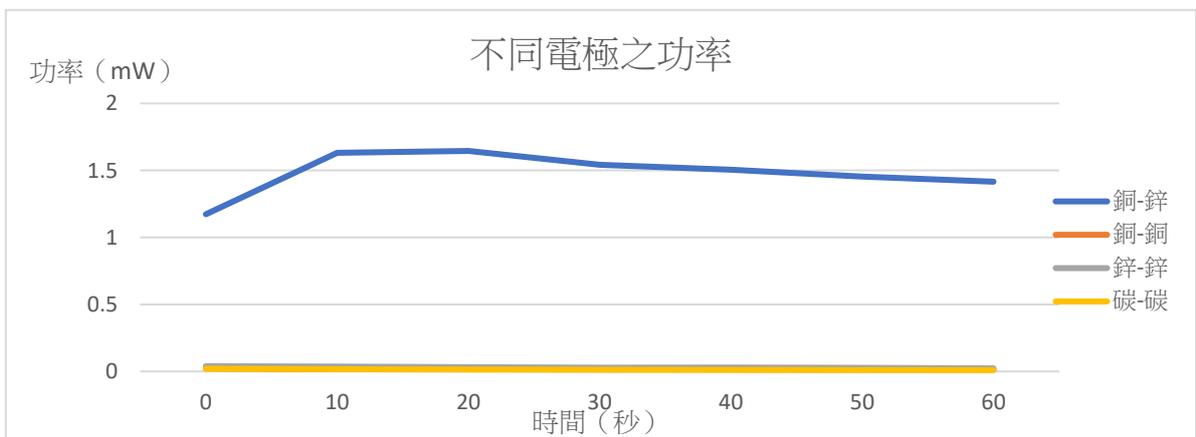
圖十五：不同電極之電壓

(二) 不同電極一分鐘之電流變化



圖十六：不同電極之電流

(三) 不同電極一分鐘之功率變化



圖十七：不同電極之功率

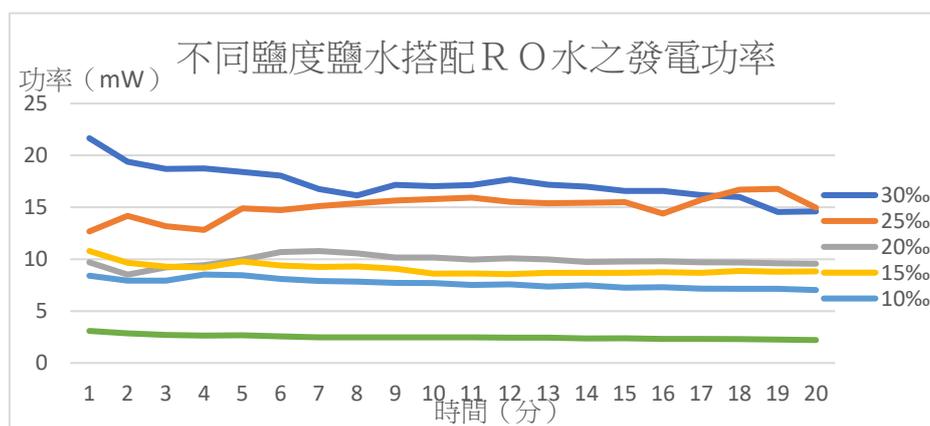
由圖十五、圖十六、圖十七可知，在電極材料為銅-鋅時，不論電壓或電流都遠高於

其他電極組合且可達到最佳發電功率。我們發現「鹽」之名，行「發電」之實(林婉榆、謝緯霓，2019)中所使用的碳-碳電極並非最佳選擇。在電極材料實驗的結果中，與電化學實驗(蔡文元等，2019)較為吻合。

三、不同鹽度鹽水搭配 RO 水之實驗

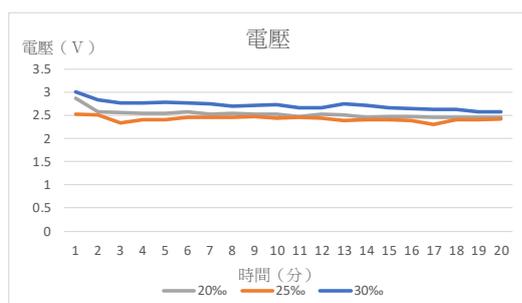
對於不同的鹽度，對於發電的功率也會有影響，我們分別用了鹽度 30‰、25‰、20‰、15‰、10‰、5‰ 的食鹽水，搭配 RO 水來進行發電實驗。

(一) 根據圖十八，發電的功率最高的為鹽度 30‰ ($\approx 17.28\text{mW}$)，再來依序為鹽度 25‰ ($\approx 15.04\text{mW}$)、鹽度 20‰ ($\approx 9.85\text{mW}$)、鹽度 15‰ ($\approx 9.07\text{mW}$)、鹽度 10‰ ($\approx 7.67\text{mW}$)，最低的為鹽度 5‰ ($\approx 2.49\text{mW}$)。將鹽度前三高和後三高的分為兩大組，分別觀察其電壓和電流。

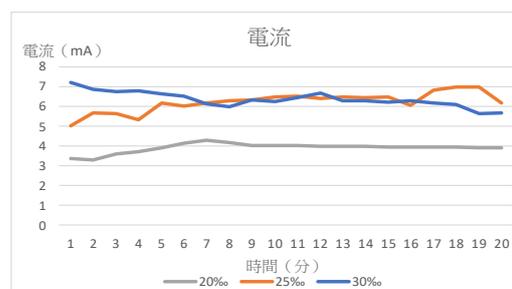


圖十八：不同鹽度鹽水搭配 RO 水之發電功率

(二) 根據圖十九，鹽度 30‰所產生的平均電壓為 2.72V，鹽度 25‰所產生的平均電壓為 2.42V，鹽度 20‰所產生的平均電壓為 2.52V。根據圖二十，鹽度 30‰所產生的平均電流為 6.35mA，鹽度 25‰所產生的平均電流為 6.21mA，鹽度 20‰所產生的平均電流為 3.90mA。

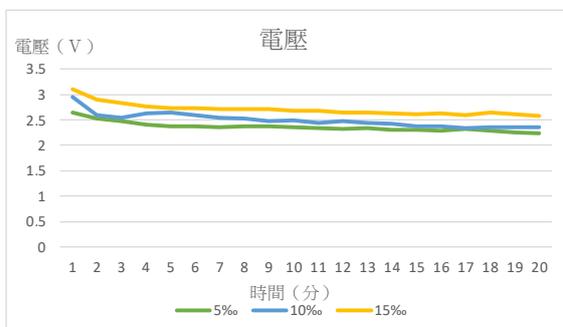


圖十九：不同鹽差發電之電壓

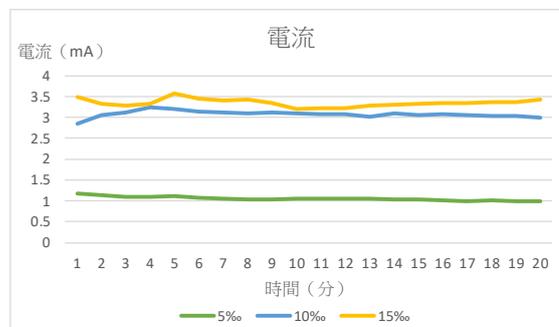


圖二十：不同鹽差發電之電流

(三) 根據圖二十一，鹽度 15‰所產生的平均電壓為 2.71V，鹽度 10‰所產生的平均電壓為 2.49V，鹽度 5‰所產生的平均電壓為 2.36V。根據圖二十二，鹽度 15‰所產生的平均電流為 3.35mA，鹽度 10‰所產生的平均電流為 3.08mA，鹽度 5‰所產生的平均電流為 1.06mA。



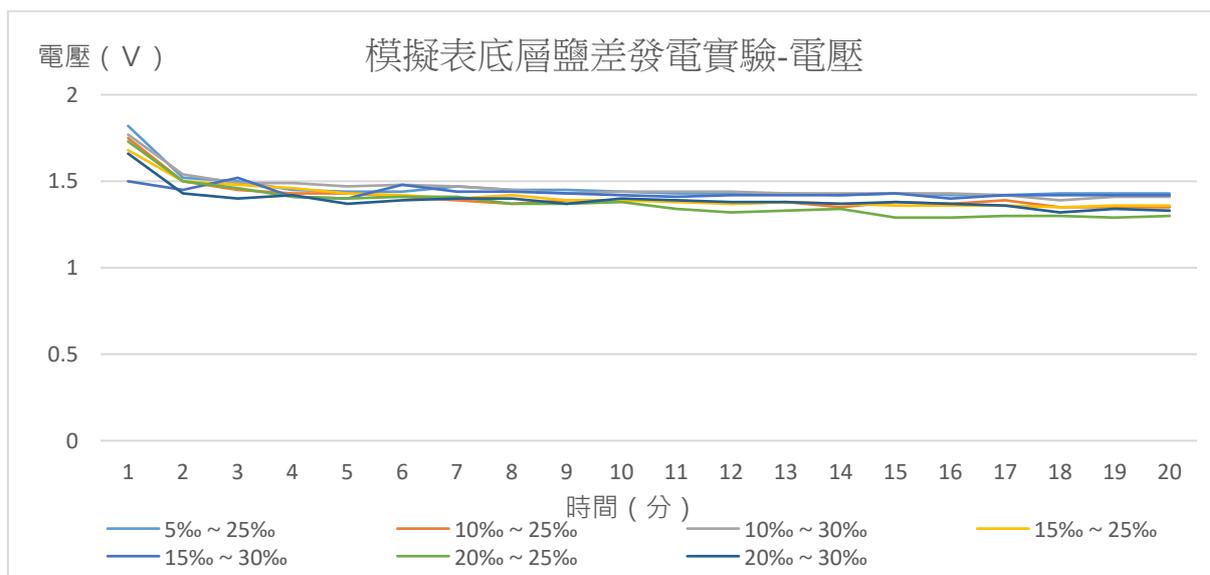
圖二十一：不同鹽度發電之電壓



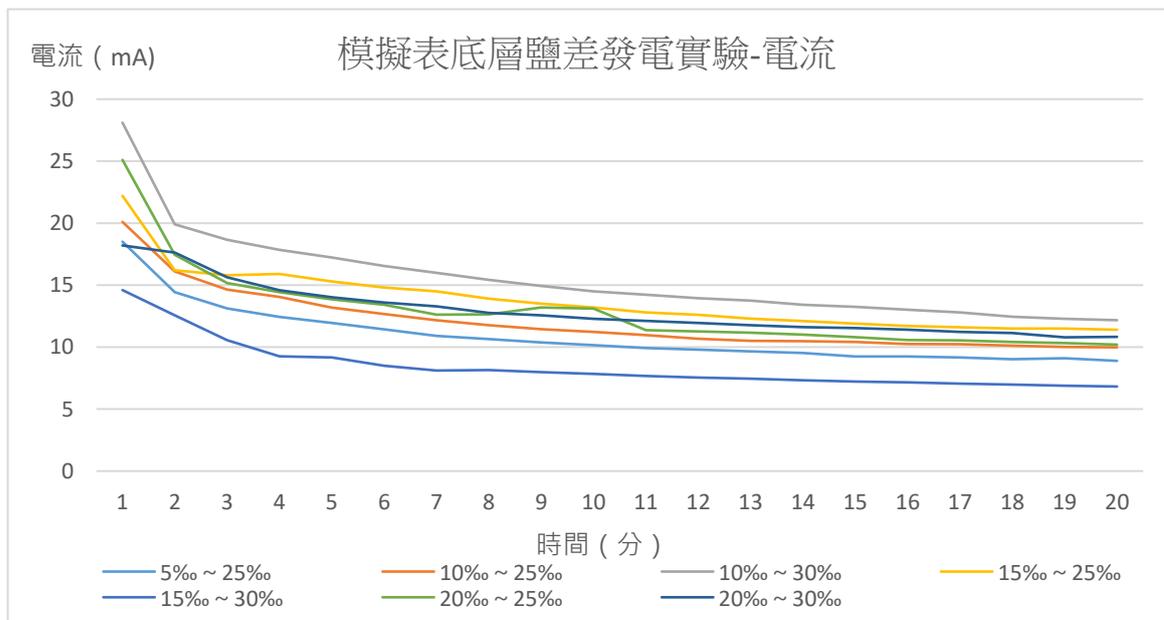
圖二十二：不同鹽度發電之電流

四、模擬表底層鹽度差之發電實驗

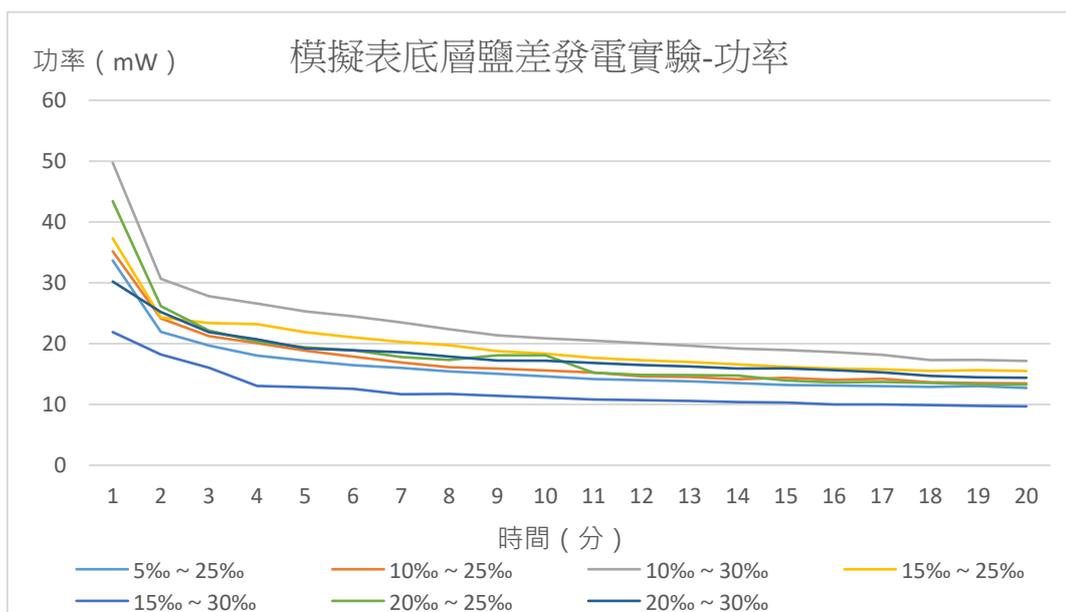
(一) 不同的表底層鹽度差，發電的功率會有影響。本次實驗模擬鹽度 5‰搭配鹽度 25‰、鹽度 10‰搭配鹽度 25‰、鹽度 10‰搭配鹽度 30‰、鹽度 15‰搭配鹽度 25‰、鹽度 15‰搭配鹽度 30‰、鹽度 20‰搭配鹽度 25‰、鹽度 20‰搭配鹽度 30‰。



圖二十三：模擬表底層鹽度差發電實驗-二十分鐘電壓變化圖



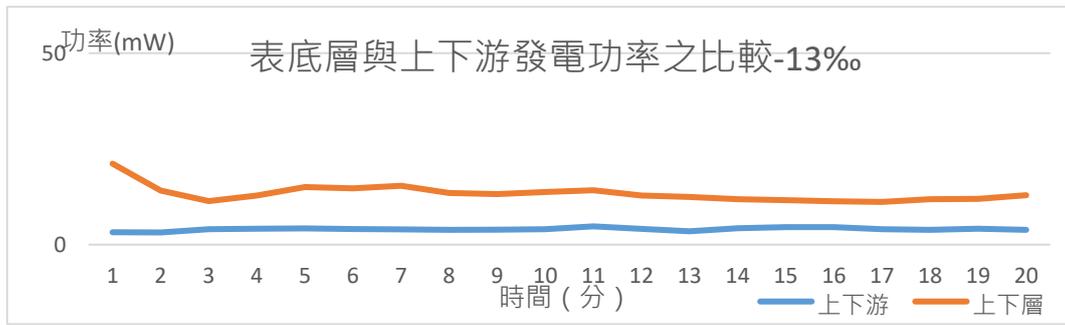
圖二十四：模擬表底層鹽度差發電實驗-二十分鐘電流變化圖



圖二十五：模擬表底層鹽度差發電實驗-二十分鐘功率變化圖

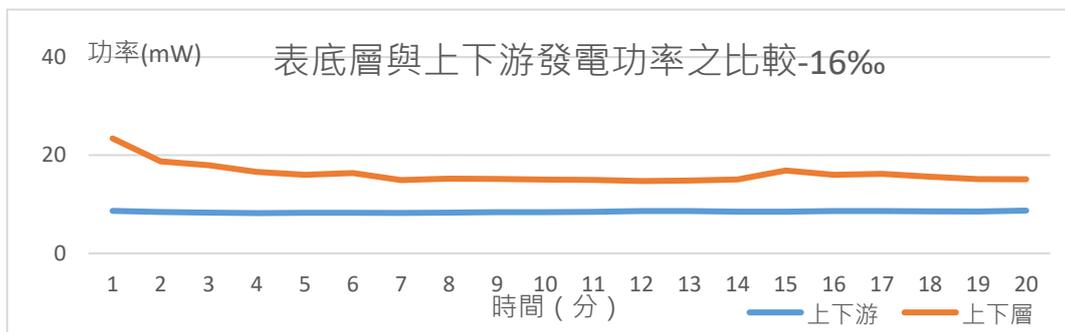
五、比較表底層之鹽度差發電與上下游之鹽度差發電

圖二十六為願景橋之表底層鹽度差發電功率-鹽度差 13‰與願景橋鹽度 13‰之河水搭配上流鹽度 0‰之河水鹽度差發電功率



圖二十六：表底層與上下游發電功率之比較-13%

圖二十七為願景橋之表底層鹽度差發電功率-鹽度差 16‰與願景橋鹽度 16‰之河水搭配上流鹽度 0‰之河水鹽度差發電功率



圖二十七：表底層與上下游發電功率之比較-16%

由圖二十六與圖二十七可知，表底層之鹽度差發電之功率大於上下游之鹽度差發電功率，且如運用上下游之鹽度差發電，需要使用上下游之河水，若未來開發至大型發電，需設置人工運河，較無經濟效益。為此我們選定進行表底層之鹽度差發電實驗。

六、愛河鹽度分析

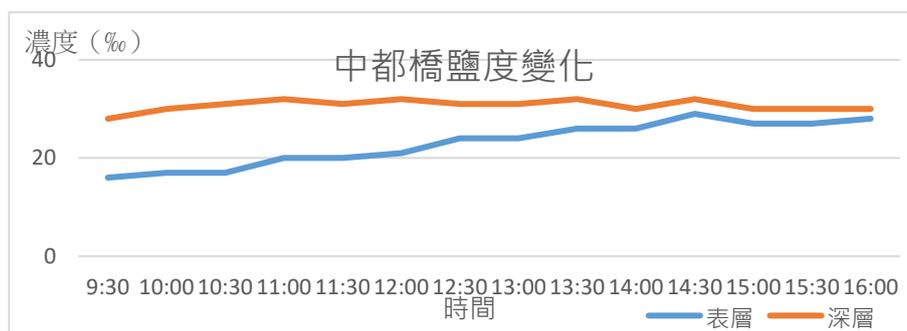
依據愛河之水文研究(蔡致維，2004)，表層河水的鹽度均小於底層河水的鹽度,鼎新橋上游的河段則屬於淡水域,完全不受潮汐之影響。



圖二十八：各座橋之地理位置

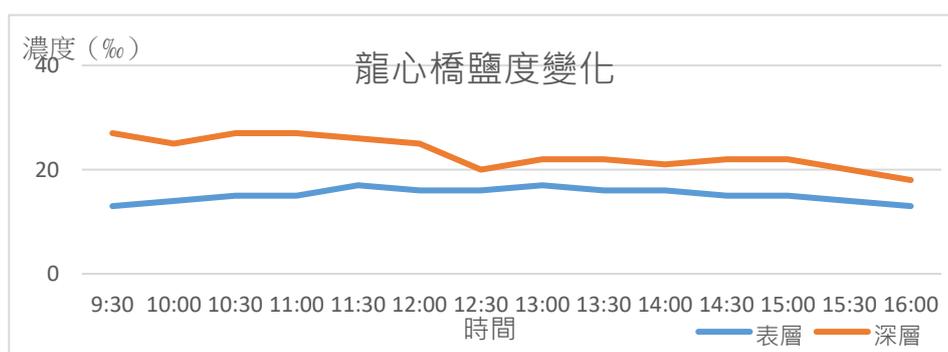
(一) 2022/03/05 愛河中都橋、願景橋、龍心橋實地進行量測表層與底層的鹽度之數據。

中都橋離出海口較近，表層與深層的鹽度差並不明顯（圖二十九），不適合深淺層之鹽度差發電。且取之上游水不易，也並不適用於上下游之鹽度差發電。



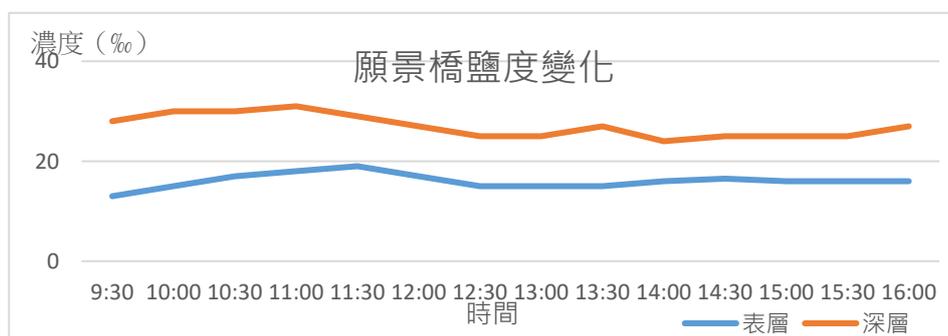
圖二十九：中都橋鹽度變化

龍心橋表底層鹽度差不均且鹽度差差易小於願景橋之表底層鹽度差(圖三十)，不選用於表底層之發電實驗。



圖三十：龍心橋鹽度變化

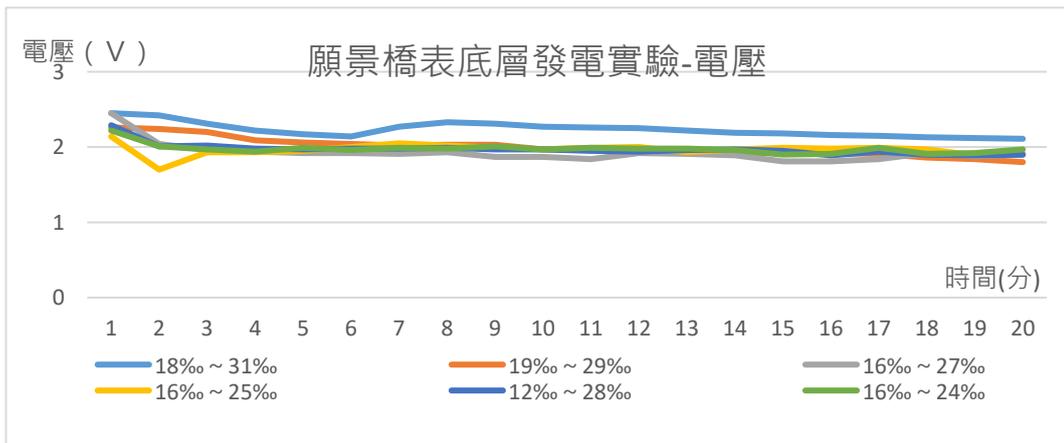
願景橋表底層鹽度差較為穩定(圖三十一)



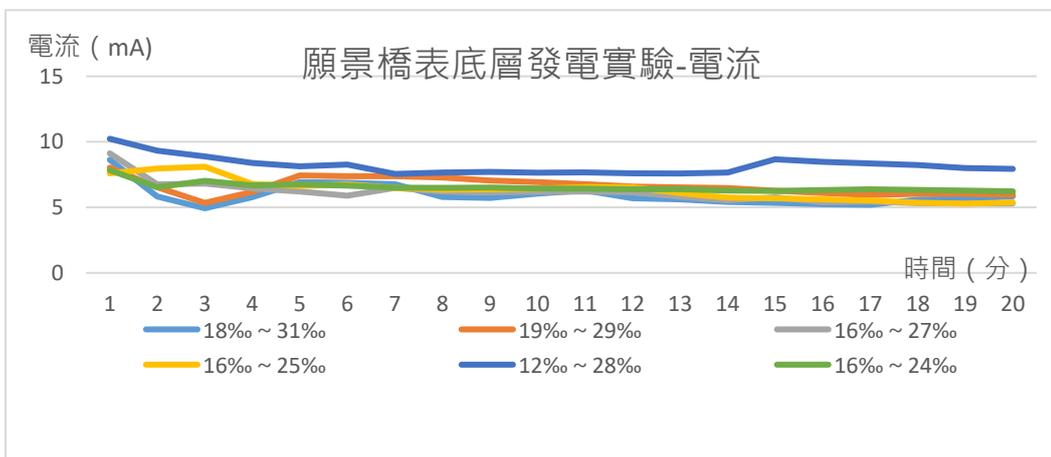
圖三十一：願景橋鹽度變化

(二) 經過比較後發現實驗最佳地點為願景橋，因此選定願景橋為表底層之鹽度差發電地點。

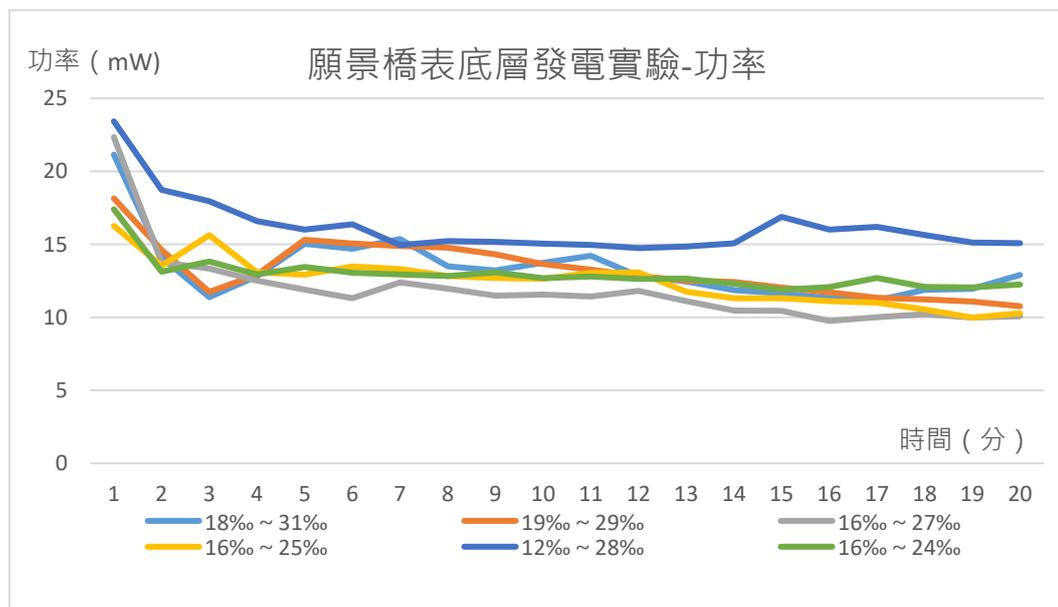
七、願景橋表底層真實河水之鹽度差發電實驗



圖三十二：願景橋表底層之鹽度差發電-二十分鐘電壓變化圖



圖三十三：願景橋表底層之鹽度差發電-二十分鐘電流變化圖

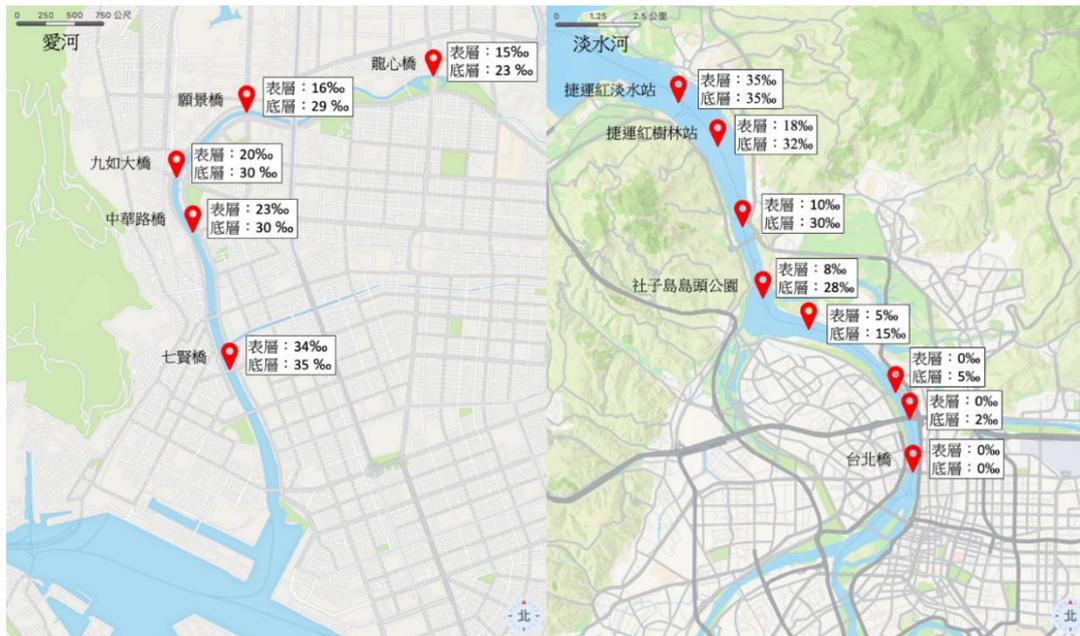


圖三十四：願景橋表底層之鹽度差發電-二十分鐘功率變化圖

經此實驗後，證實運用表底層發電20分鐘內功率是穩定的，並且電極的選用也合適，因此我們能應用到前鎮河以及淡水河來進行實驗。

八、南北河川發電實驗

為了解台灣西部鹽楔型河川南北之間差異，我們選定前鎮河以及南北最具代表性的愛河、淡水河，紀錄大潮時從乾潮至滿潮的河岸鹽度分布，並實際進行表底層鹽度差發電，討論發電功率差異及經濟效益。



圖三十五：愛河與淡水河表底層鹽度分佈圖

在淡水河中，以各點的鹽度差來看，從捷連紅樹林站至河濱公園的河段是較適合用來做發電的。因為淡水河的河寬比愛河來的寬廣許多，且流量也較大，所以淡水河的表層河水鹽度會比愛河還要來的低。又因為淡水河河川深度較深，所以底層鹽度也會比較高。因此淡水適合進行表底層鹽度差發電的長度約為 7km，約為愛河適合進行鹽差能發電長度(約 3.2Km)的兩倍。

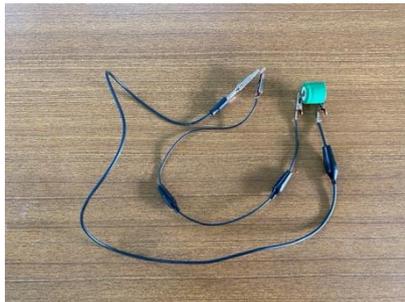


圖三十六
前鎮河表底層鹽度分佈圖

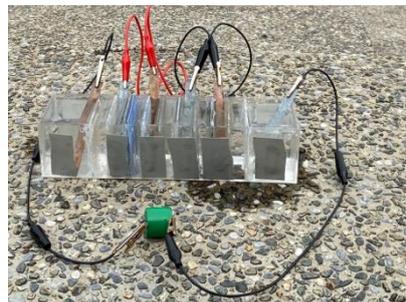
前鎮河因出海口有旗津阻擋，導致海水進出不易，底層河水鹽度大多小於愛河及淡水河底層鹽度；表層河水則因上游流速快，表層河水與底層河水混和較少，鹽度大多位於 5‰ 以內

九、燈泡發亮實驗

為了測試實驗裝置之發電功能是真實可行，我們將電池進行放電使之內部電力不足以驅動 1.2V 之燈泡（圖三十七），在連接上使用願景橋實際表底層河水之鹽差發電裝置進行 20 分鐘充電（圖三十八），成功使燈泡發亮後（圖三十九），測試燈泡發亮時間（表一）。



圖三十七



圖三十八



圖三十九

表一：不同鹽度差與發電與燈泡發亮時長

| 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均功率 | 1.2V 之燈泡發亮時長 |
|---------|-----|----------|--------------|
| 28‰~12‰ | 16 | 16.20 mW | 48.59 秒 |
| 31‰~18‰ | 13 | 13.36 mW | 40.02 秒 |
| 29‰~19‰ | 10 | 13.23 mW | 39.75 秒 |
| 25‰~16‰ | 9 | 12.93 mW | 38.68 秒 |
| 24‰~16‰ | 8 | 12.60 mW | 37.71 秒 |

伍、 討論

一、最適合使用表底層發電的位置

(一) 愛河潮汐情形

| | | |
|-------------------------------|--|-------|
| 03/05 (六) 農曆 02/03 潮差：小 | 乾潮  | 03:33 |
| | 滿潮  | 09:21 |
| | 乾潮  | 15:10 |
| | 滿潮  | 21:27 |

圖四十：3/5 愛河潮汐時間表

註：圖四十來源交通部中央氣象局。<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/M/tide.html>

表二：潮汐時間與鹽差變化對應表

| 橋名 | 乾潮時間 | 最小鹽度出現時間 | 滿潮時間 | 最大鹽度出現時間 |
|-----|--------|----------|--------|----------|
| 中都橋 | 3 : 33 | 9 : 30 | 9 : 21 | 14 : 30 |
| 願景橋 | | 9 : 30 | | 14 : 00 |
| 龍心橋 | | 9 : 30 | | 13 : 00 |

在表二中，乾潮的時間是 3 : 33，而三座橋最小的鹽度則是出現在 9 : 30，延遲了大約 6 個小時。滿潮的時間是 9 : 21，距離出海口由近到遠，出現最大鹽度的時間分別是 14 : 30、14 : 00、13 : 00，延遲時間大約為 5 個小時。

離出海口最近的中都橋，雖然較晚達到最大的鹽度，但所能達到的鹽度是最高的。離出海口最遠的龍心橋，是最快達到最大鹽度的，但最大鹽度只不過比乾潮時高了 4‰，且出現時間較短。

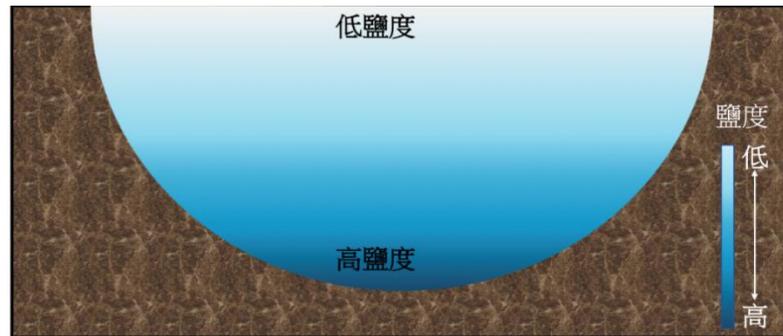
(二) 鹽楔型河段位置

若以鹽度差 10‰以上的河段為鹽楔型河段（圖四十二、圖四十三），並比較愛河、前鎮河、淡水河出現鹽楔型河段的位置以及長度。

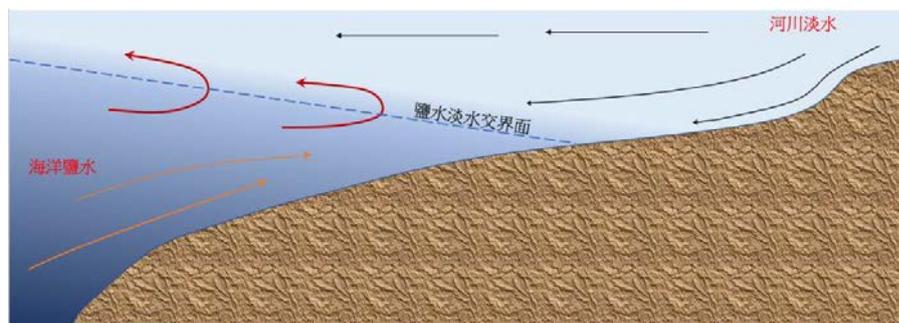
表三：鹽楔型河段位置

| 河川 | 起點 - 出海口(km) | 終點 - 出海口(km) | 鹽楔型河段長度(km) |
|-----|--------------|--------------|-------------|
| 愛河 | 2.49 | 5.44 | 2.95 |
| 前鎮河 | 0 | 1.56 | 1.56 |
| 淡水河 | 3.28 | 12.09 | 8.81 |

由表三可知，愛河以及淡水河再居離出海口約 2~3 公里處開始出現鹽度差，而前鎮河因受到旗津島阻擋，因此海水不易進入前鎮河，導致出海口就已經具有鹽度差。考量到河川的流量，流量愈大的河川，鹽楔型河川的特徵也會相較明顯。流量由大到小分別是：淡水河>愛河>前鎮河，因此鹽楔型河段的長度關係也是：淡水河>愛河>前鎮河。



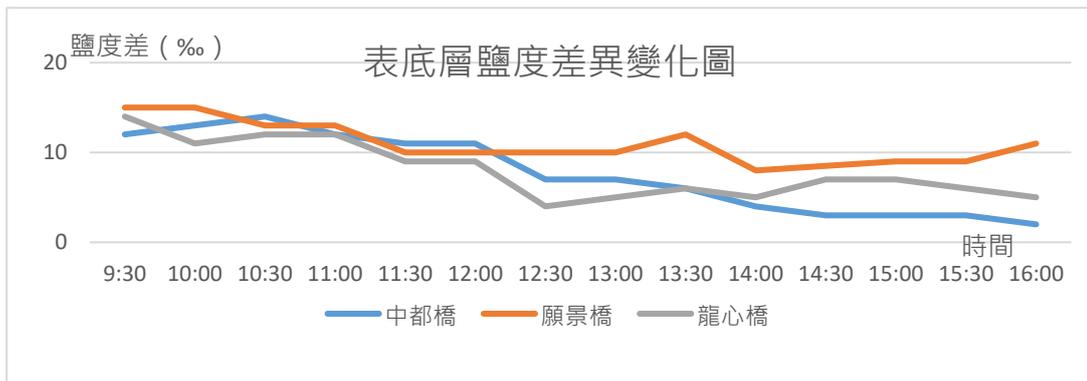
圖四十一：鹽楔型河川剖面圖(正面)



圖四十二：鹽楔型河川剖面圖(側面)

(三) 愛河鹽度差異變化

由圖四十一可知，平均鹽度差最大的是願景橋 ($\cong 10.96\%$)，再來是龍心橋 ($\cong 9.15\%$)，鹽度差最小的則是中都橋 ($\cong 7.71\%$)。我們發現退潮時 (10:00) 三座橋的鹽度差其實差異不大，但是到滿潮時 (14:30)，三座橋的鹽度差異就較為明顯。



圖四十三：表底層鹽度差異變化圖

中都橋的鹽度差為三座橋中變化量最大的，最大的鹽度差為 14‰，最小的鹽度差則是只有 2‰，這是因為中都橋的地理位置距離出海口較近，易受到海水的潮汐影響，表層的河水的鹽度變化較大，而導致沒有相較穩定的鹽度差。

龍心橋的鹽度差變化剛好介於其他兩座橋之間，最大的鹽度差為 14‰，最小的鹽度差為 4‰，但是因為龍心橋的位置距離出海口較遠，容易被淡水沖淡，高鹽度差出現的時間也較短，整體河水的鹽度也較低，較不利於我們進行發電。

願景橋的鹽度差為三座橋中鹽度差變化量相較穩定的，最大的鹽度差為 15‰，最小的鹽度差為 8‰，最能夠代表鹽楔型河川（圖四十二）的特色，表底層海水密度相差大，導致上下分層之流域，台灣西部河川因坡度大、潮差小，屬於鹽楔型河川，也最適合我們來做表底層河水之鹽度差發電。

(四) 雨量對於愛河鹽差之變化

為了解降雨對於愛河鹽度之影響我們選定 5/11-豪雨、5/24-小雨（16.5mm）及一天無下雨進行各河段鹽度之測量。



圖四十四：愛河表底層鹽度分佈圖

由圖四十三可知，在無下雨時，愛河最適合進行表底層鹽度差發電之河段為願景橋。若下雨，表層河水流量會增加，導致表層河水鹽度降低，而出現表底層最大鹽度差之河段(即最適合表底層鹽度差發電之河段)會往出海口移動，雨量越大則移動距離越長，如 5/11 所下的豪雨，適合之河段則遷移至近出海口。而由於高雄雨季不長，藉由中央氣象局在 2021 年的雨量統計，經我們計算，雨量大而導致放置在願景橋的發電裝置發電功率不佳約為 24 天，由此可知，雨量對愛河進行表底層鹽度差發電實驗較無太大影響。

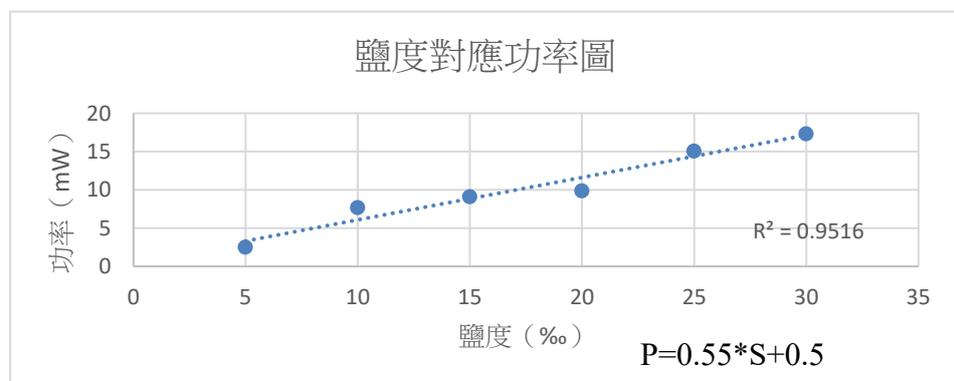
二、模擬與實際實驗表底層發電之差異

(一) 模擬實驗

1、不同鹽度之鹽水搭配 RO 水之上下游模擬實驗:

表四：上下游之鹽水在 20 分鐘內所產生的平均電壓、平均電流及平均功率

| 鹽度 (‰) | 平均電壓 (V) | 平均電流 (mA) | 平均功率 (mW) |
|--------|----------|-----------|-----------|
| 30 | 2.72 | 6.35 | 17.28 |
| 25 | 2.42 | 6.21 | 15.04 |
| 20 | 2.52 | 3.90 | 9.85 |
| 15 | 2.71 | 3.35 | 9.07 |
| 10 | 2.49 | 3.08 | 7.67 |
| 5 | 2.36 | 1.06 | 2.49 |



圖四十五：鹽度對應功率圖

表三為模擬上下游之鹽水在 20 分鐘內所產生的平均電壓、平均電流及平均功率。電壓的部分，在 6 種不同的鹽度中所收集到的數據，大約都在 $2.5\pm 0.2V$ 。電流的部分，依序從鹽度最高的開始遞減。因為對鹽度在 30‰內之實驗來說，電壓大致都相同，所以功率會與電流有高度的正相關，並且找出了鹽度 (S ‰) 與功率 (P mW) 之間的關係，而關係式如下： $P=0.55*S+0.5$ 。

2、不同鹽度之鹽水搭配 RO 水之表底層模擬實驗

表五：不同鹽度差在二十分鐘鹽度差發電實驗-平均電壓、平均電流、平均功率

| 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|---------|-----|--------|----------|----------|
| 5‰~25‰ | 20‰ | 1.46V | 10.87mA | 16.07 mW |
| 10‰~25‰ | 15‰ | 1.40V | 12.04 mA | 17.18 mW |
| 10‰~30‰ | 20‰ | 1.46 V | 15.51 mA | 22.97 mW |
| 15‰~25‰ | 10‰ | 1.41 V | 13.73 mA | 19.56 mW |
| 15‰~30‰ | 15‰ | 1.43 V | 8.44 mA | 12.13 mW |
| 20‰~25‰ | 5‰ | 1.37V | 12.93 mA | 18.13 mW |
| 20‰~30‰ | 10‰ | 1.39V | 12.94 mA | 18.14 mW |

表四為二十分鐘鹽度差發電實驗-平均電壓、平均電流、平均功率在 7 種不同的鹽度差中所收集到的數據，大約都在 $1.42\pm 0.05V$ 。對於實驗中所有的鹽度來說，電壓大致都相同，所以功率會與電流有高度的正相關。

(二) 實際愛河河水發電實驗

表六：實際表底層願景橋河水之發電實驗平均數據。

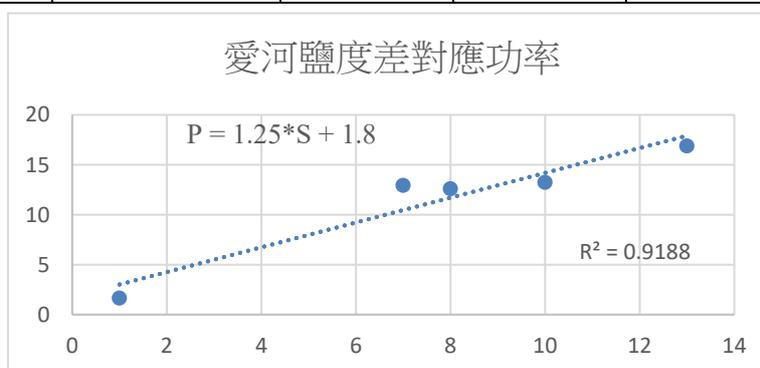
| 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|---------|-----|--------|---------|----------|
| 28‰~12‰ | 16 | 1.97 V | 8.19mA | 16.20 mW |
| 31‰~18‰ | 13 | 2.23 V | 5.95 mA | 13.36 mW |
| 29‰~19‰ | 10 | 1.99 V | 6.61 mA | 13.23 mW |
| 25‰~16‰ | 9 | 1.97 V | 6.53 mA | 12.93 mW |
| 24‰~16‰ | 8 | 2.03 V | 6.20 mA | 12.60 mW |

根據表五，願景橋河水之表底層發電實驗平均數據遵守鹽度差與平均功率呈正相關。而模擬實驗與實際實驗數據有些微落差，我們推測因水的狀態不同，如水中離子數、pH 值(當 pH 值越高，電壓越大。林婉榆、謝緯霓，2019)、溫度或內含物不同，導致實際表底層河水發電實驗之鹽度差與平均功率並無線性成長。

三、各河鹽差比較

表七：愛河河岸表底層鹽度分佈及發電功率

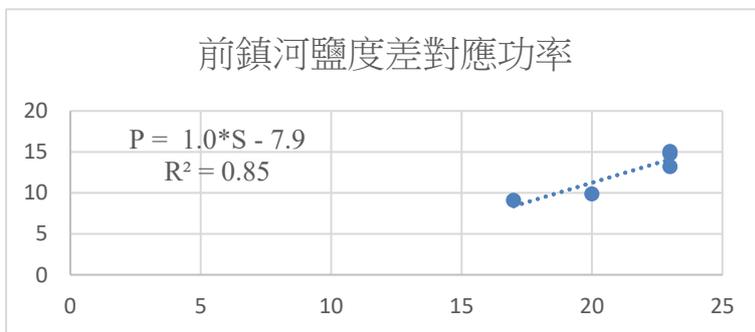
| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|-----|---------|-----|-------|--------|---------|
| 龍心橋 | 23‰~15‰ | 8‰ | 2.03V | 6.20mA | 12.60mW |
| 願景橋 | 29‰~16‰ | 13‰ | 2.00V | 8.43mA | 16.88mW |
| 九如橋 | 30‰~20‰ | 10‰ | 1.97V | 6.61mA | 13.23mW |
| 中都橋 | 30‰~23‰ | 7‰ | 1.97V | 6.53mA | 12.93mW |
| 七賢橋 | 35‰~34‰ | 1‰ | 2.02V | 0.82mA | 1.65mW |



圖四十六：愛河鹽度差對應功率圖

表八：前鎮河河岸表底層鹽度分佈及發電功率

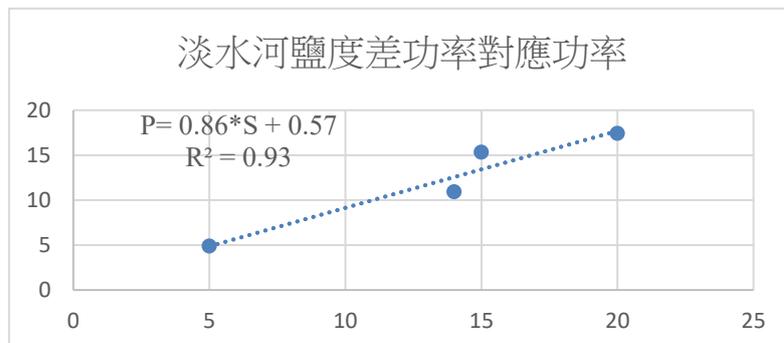
| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|------|--------|-----|-------|--------|---------|
| 海邦橋 | 19‰~2‰ | 17‰ | 2.70V | 3.35mA | 9.07mW |
| 翠亨橋 | 20‰~0‰ | 20‰ | 2.52V | 3.90mA | 9.85mW |
| 鎮興路橋 | 22‰~0‰ | 22‰ | 2.45V | 3.48mA | 8.84mW |
| 鎮東路橋 | 25‰~2‰ | 23‰ | 2.42V | 6.21mA | 15.05mW |
| 鎮榮橋 | 25‰~2‰ | 23‰ | 2.39V | 6.18mA | 14.7mW |
| 興仁橋 | 28‰~5‰ | 23‰ | 2.45V | 5.32mA | 13.19mW |



圖四十七：
前鎮河鹽度差對應功率圖

表九：淡水河河岸表底層鹽度分佈及發電功率

| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|---------|---------|-----|--------|--------|---------|
| 重陽橋 | 5‰~0‰ | 5‰ | 1.80V | 2.68mA | 4.88mW |
| 台北社子圖書館 | 15‰~5‰ | 10‰ | 2.42V | 6.30mA | 15.41mW |
| 河濱公園 | 20‰~5‰ | 15‰ | 2.43V | 6.27mA | 15.33mW |
| 關渡大橋 | 30‰~10‰ | 20‰ | 2.44 V | 7.14mA | 17.42mW |
| 捷運紅樹林站 | 32‰~18‰ | 14‰ | 2.43 V | 4.44mA | 10.91mW |



圖四十八：淡水河鹽度差對應功率圖

由表六、表七、表八可知，在相近的鹽度差，平均電壓大致上為前鎮河>淡水河>愛河，推測為水中含物不盡相同，導致電位差有所差異。而平均電流中，大致為愛河>淡水河>前鎮河，平均發電功率則大致相同。由此可知，無論是南北相距甚遠的愛河及淡水河，或人工運河-前鎮河，皆適合進行我們所研究的表底層鹽度差發電。

以愛河為例，其鹽度差與發電功率的 R^2 值為 0.91，淡水河為 0.93，前鎮河為 0.85。由此可知，表底層河水之發電實驗平均數據遵守「鹽度差與平均功率呈高度正相關」。

愛河所推算出來的關係式為 $P = 1.25 * S + 1.8$ ；前鎮河所推算出來的關係式為 $P = 1.0 * S - 7.9$ ；淡水河所推算出來的關係式為 $P = 0.86 * S + 0.57$ 。三河所推算出來的方程式大致相同，唯獨前鎮河的常數值為 -7.9，這是受到水中離子以及溫度的影響，需要更大的鹽度差才能驅動此裝置。

四、經濟效益

在實驗中，我們的裝置只不過是體積極小的一個壓克力盒，假設我們能充分利用了整條河川，所產生的電量將會很可觀。我們只要利用河段的長度以及實驗裝置的體積，便可推算出整體的發電量。利用各個位置所能產生的平均功率，利用內插法繪製出愛河、前鎮河、淡水河的單位面積效率圖。



圖四十九：愛河單位面積發電效率圖



圖五十：前鎮河單位面積發電效率圖



圖五十一：淡水河單位面積發電效率圖

表十：愛河、前鎮河、淡水河適合發電的河段長度及產能

| 河川 | 適合河段 (km) | 總功率(W) | 日產能(度) | 年產值(萬) |
|-----|-----------|----------|---------|---------|
| 愛河 | 2.95 | 95650.8 | 2295.62 | 418.95 |
| 前鎮河 | 1.56 | 46463.2 | 1115.12 | 203.50 |
| 淡水河 | 8.81 | 330904.0 | 7941.70 | 1449.36 |

以鹽度差為 10‰以上的河段做為適合發電的河段，利用河岸兩側寬 1 公尺和深度 1 公尺的體積、我們的實驗裝置體積 (6 cm × 22 cm × 6 cm = 0.000792 m³)、用內插法推算出各河段正中央的功率，即可計算出愛河、前鎮河、淡水河所能產生的經濟效益(表九)。

$$\text{總功率} = \sum [(\text{各河段體積} \div \text{實驗裝置體積}) \times \text{功率}]$$

假設在功率不衰減且能完全將電能完全存下來的情況下，以每度電 5 元的費率計算，愛河所能產生的總功率為 95650.8W，每日能產生 2295.62 度的電能，一年的產值約為 418 萬元。前鎮河所能產生的總功率為 46463.2W，每日能產生 1115.12 度的電能，一年的產值約為 204 萬元。淡水河所能產生的總功率為 330904.0W，每日能產生 7941.7 度的電能，一年的產值約為 1449 萬元。

能量密度=發電電能/河川面積(此討論河川面積為河長*寬一公尺)

能量密度:淡水河(1121 度/平方公尺)>愛河(777 度/平方公尺)>前鎮河(714 度/平方公尺)

在這裡我們只使用實驗裝置的大小做推算，而且我們的裝置簡陋，若是按照比例放大、延長，並且使用更精密的裝置，還可以再產生更多的電能。

陸、 結論

- 一、表底層之鹽度差實驗為較佳的發電方案，而愛河、淡水河、前鎮河皆為鹽楔型河川，具有穩定的鹽度差，免去上下游取水的問題。且發電過程不產生熱、原地排放，較無生態破壞的問題，所以適合做表底層河水之鹽度差發電。鹽度差與平均功率呈高度正相關
- 二、模擬實驗中，對於鹽度 30‰以下之鹽水搭配純水進行上下游之鹽度差發電來說，電壓大致都相同，功率與電流高度正相關。鹽度（S ‰）與功率（P mW）關係式為： $P=0.55\times S+0.5$ 。在實際實驗中，數據與模擬實驗中的功率差異不大，三條河川適合發電之河段平均功率皆介於 11mW~15mW 之間。發電密度對高的為淡水河。
- 三、實際運用各河表底層之河水，進行 20 分鐘的發電，可使 1.2V 的燈泡發亮約 40 秒。表底層河水之發電實驗平均數據遵守鹽度差與平均功率呈正相關，鹽差愈大，功率越強，燈泡發亮的時間也越長。
- 四、此次研究證實鹽差能發電裝置設置在鹽楔型河川如愛河、淡水河、前鎮河，是可行且具有一定經濟效益的，並成功將電儲存，使燈泡發亮。2022 在高雄愛河灣舉辦的台灣燈會之精彩是千萬人有目共睹的，然而在這些五光十色的燈光秀及花燈背後隱藏的卻是十分龐大的能源消耗，若是能夠積極發展鹽差能發電來提供燈會的能源消耗，有朝一日若再次舉辦燈會活動並且完全使用我們研究的鹽差能這種永續能源時，不僅僅多了一層教育意義，也將使當地成為全世界的亮點。

柒、 參考文獻資料及其他

- 一、林華晉、廖于葆、許景翔（2018）。核電?NO!河電?YES!。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。
- 二、林婉榆、謝緯霓（2019）。以「鹽」之名，行「發電」之實。2019 全國科學探究競賽。
- 三、高雄市政府環境保護局（2018）。高雄市區域排水(愛河)水質現況探討。
- 四、葉愛玲、田江偉、緜成飛、羅正傑、張 挺（2015）。基於反電滲析法鹽差發電實驗研究。福州大學土木工程學院,福建 福州。
- 五、鄧會寧、馮 妙、田 明、何云飛（2018）。反電滲析法海水淡化副產濃水鹽差能利用。河北工業大學海洋科學與工程學院、河北工業大學化工學院，天津。
- 六、洪俊濤（2014）。基於鹽差發電系統的自驅型旋轉式壓力交換器的仿真及優化。中國海洋大學工程學院，山東。
- 七、交通部中央氣象局。<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/M/tide.html>
- 八、高雄市政府環境保護局環境檢驗科。
<https://lab.ksepb.kcg.gov.tw/kaqm/tw/WaterData.aspx?qitem=01>
- 九、蔡文元、于興唐、劉岳豪、陳惠雯、林宜萱、于淑君（2018）。電化學實驗。國立中正大學化學暨生物化學系。
- 十、范光龍（2009）。台灣大百科全書-河口。文化部。
<http://joemls.dils.tku.edu.tw/wp-content/uploads/2020/08/APA-7th-ed-0710.pdf>
- 十一、 工業技術研究院（2021）。世界能源展望報告（2021）。

【評語】 051904

1. 計畫概述：本研究想要測試及探討河流出海口，是否可以進行「鹽差」發電？本研究測試選取了最適合的電極材料，模擬高雄愛河三個區段的河水鹽度及潮汐變化，實際進行發電實驗，紀錄分析結果。
2. 綜評：
 - (1) 報告撰寫非常的詳盡完整。利用簡易的發電科學實驗，來進行河水鹽差發電，是個很好的想法。實驗數據結果的分析非常詳盡，問題的討論很有深度，是個很不錯的科學專題研究，也很有實用價值。
 - (2) 投影片的製作上，圖文穿插，簡明易懂。
 - (3) 口頭報告：三人分別都有角色發揮，言詞清晰，表達清楚。除了在利用鹽差的發電技術上，未來可能應用上，都有深度的涉入思考，同時在不同地區海岸河流的特性及可行性上，也有很好的補充說明。
 - (4) 實驗日誌：簡明扼要。
3. 建議：同學很有水電化學的技術天份，可以往這方面發展，很有潛力。

作品簡報

潮鳴電掣

組別：高級中等學校組
科別：地球與行星科學

前言

一、研究動機

在《2021年全球可再生能源現況報告》中，提到全球610多座城市制定了100% 可再生能源的供電目標。但現今距離目標，還有很長一段距離。目前大部分國家多為太陽能或風力發電，但太陽能無法在夜間發電，而風力發電會產生低頻噪音且具有季節限制。臺灣四周環海，應可考量潮汐能，其中潮汐能中發電密度最高的鹽度差發電引起我們的注意，如何運用潮汐與鹽度差發電並儲存電能，是我們想要研究的主題。

二、研究目的

- (一) 探討鹽楔型河川是否可使用鹽差能發電與適合的河段。
- (二) 藉由模擬與實際實驗探討鹽差能發電之可行性。
- (三) 探討愛河、前鎮河、淡水河進行鹽度差發電所帶來的經濟效益。

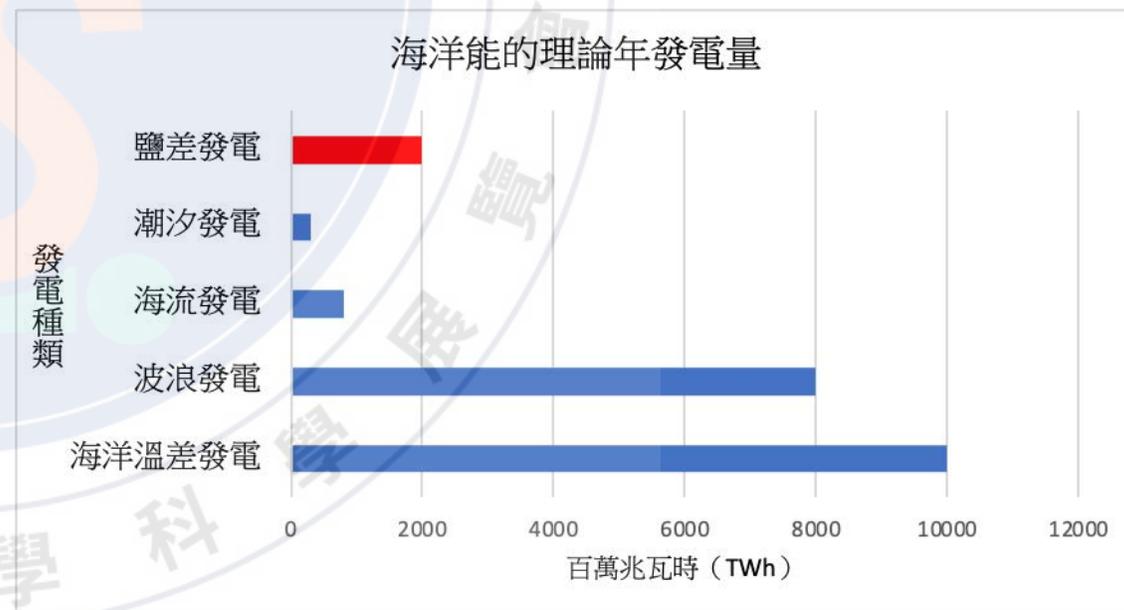
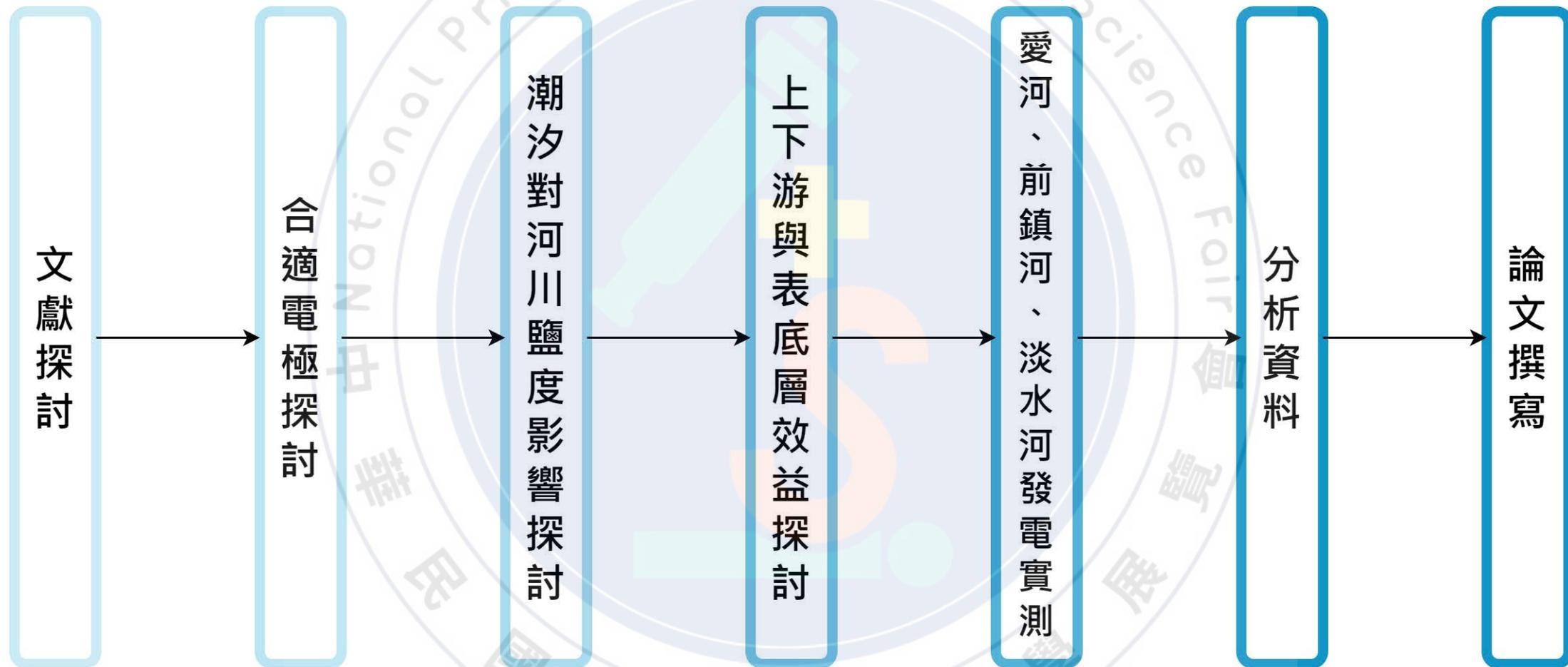


圖 1-1

研究過程或方法



研究結果 自製鹽度差發電裝置介紹

自製反向電滲析發電裝置(圖3-1)，具有多個獨立的鹽水、淡水腔室以陰陽離子交換膜(圖3-2、圖3-3)隔開並交替設置，並放上電極，接上蓄電裝置成為封閉迴路，並串聯三組以提升電壓。

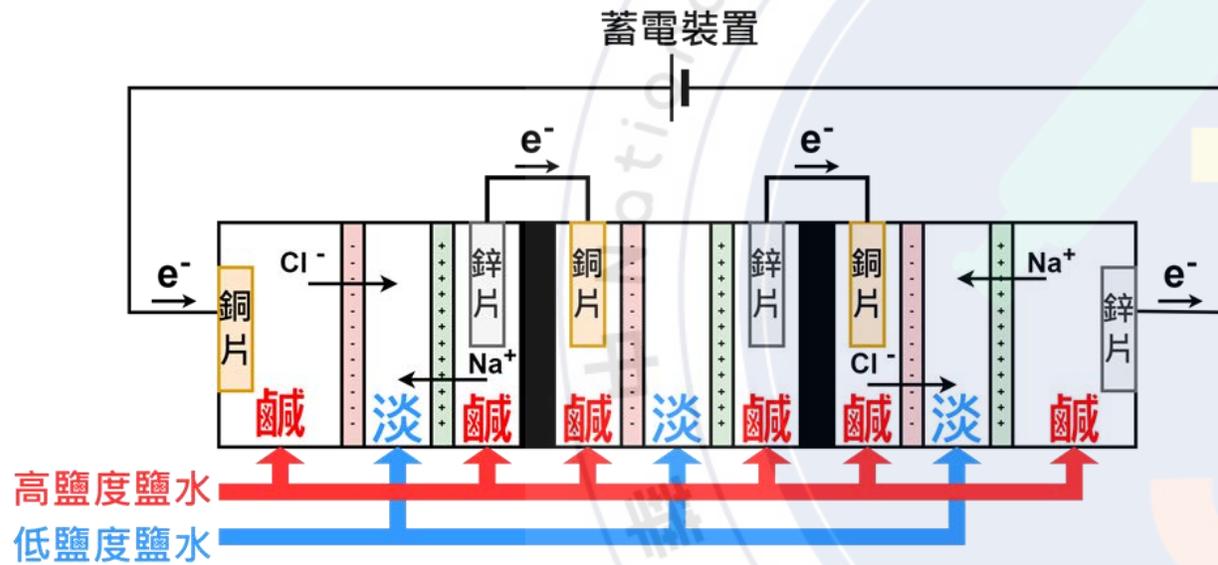


圖3-1:自製發電裝置示意圖

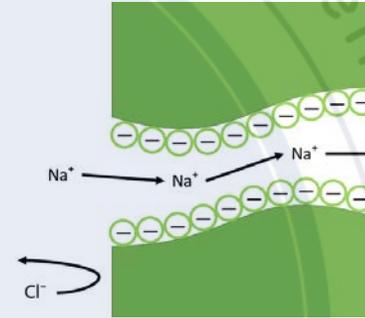


圖3-2:陽離子交換膜

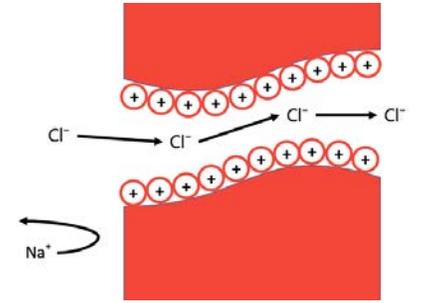


圖3-3:陰離子交換膜



圖3-4:實地架設圖

研究結果

以下為不同條件下所能產生的二十分鐘內功率變化圖。

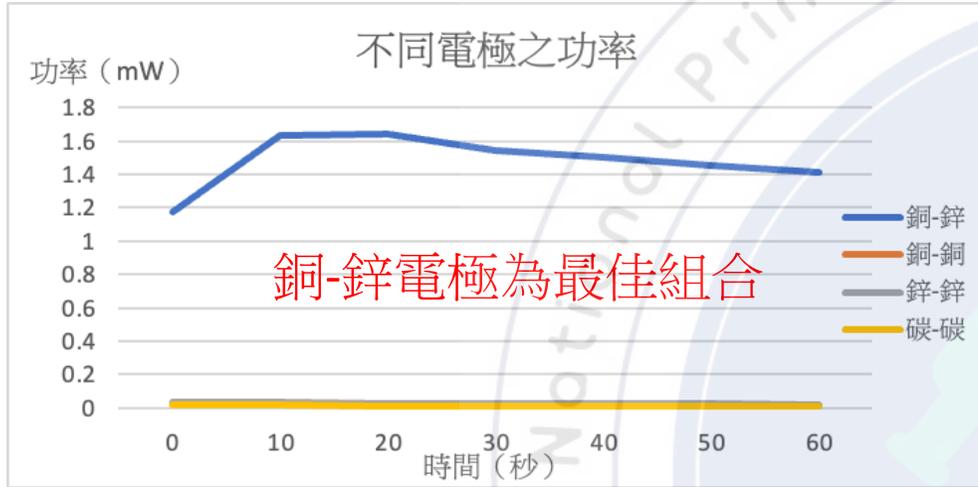


圖4-1:不同電極之發電功率

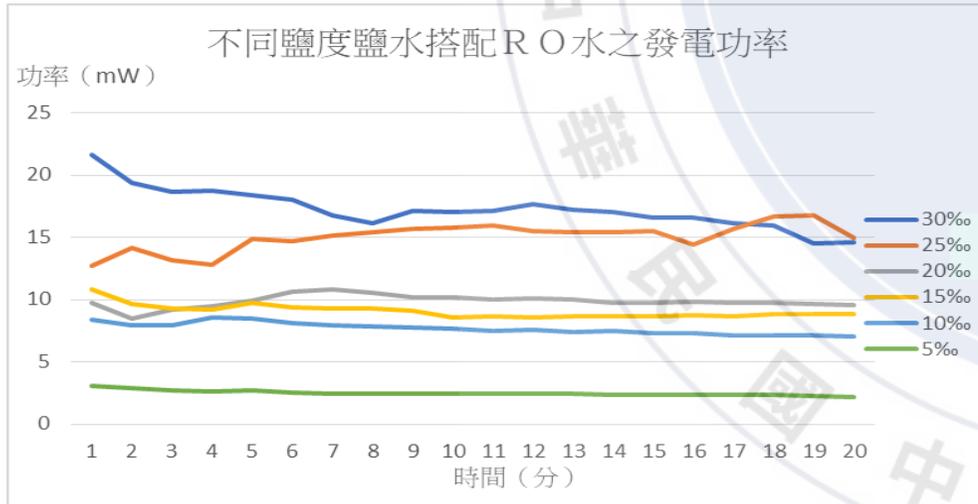


圖4-2:不同鹽度發電功率

表4-1:鹽度發電數據表

| 鹽度 (%) | 平均電壓 (V) | 平均電流 (mA) | 平均功率 (mW) |
|--------|----------|-----------|-----------|
| 30 | 2.72 | 6.35 | 17.28 |
| 25 | 2.42 | 6.21 | 15.04 |
| 20 | 2.52 | 3.90 | 9.85 |
| 15 | 2.71 | 3.35 | 9.07 |
| 10 | 2.49 | 3.08 | 7.67 |
| 5 | 2.36 | 1.06 | 2.49 |

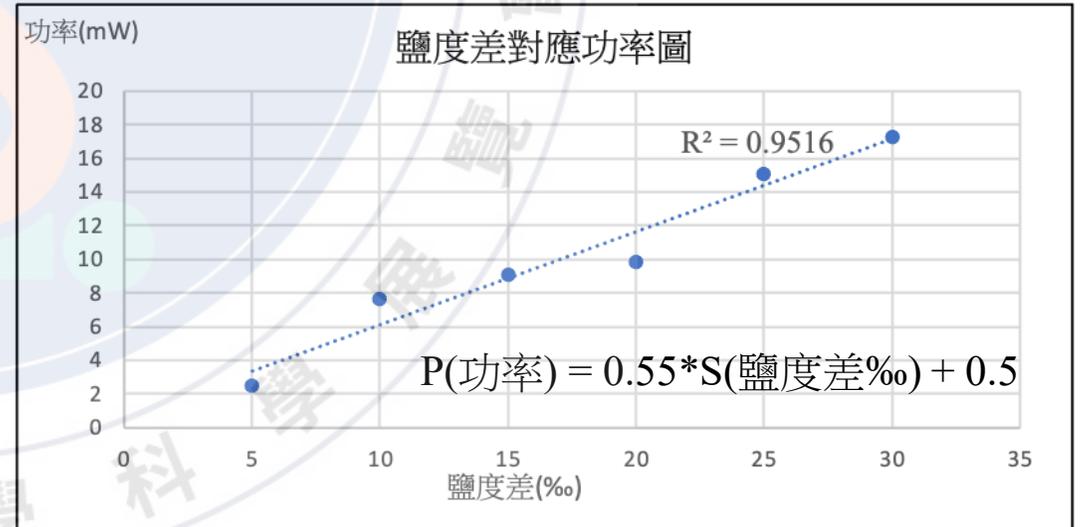


圖4-3:模擬實驗鹽度差對應功率圖

研究結果 發電方式比較

根據范光龍(2009)，鹽楔型河川鹽度表底不一，我們想知道在相同鹽度差的情況下，運用河水發電時，表底層鹽度差發電與上下游鹽度差發電何者發電功率較好。以下實驗為運用愛河-願景橋河水進行實驗。

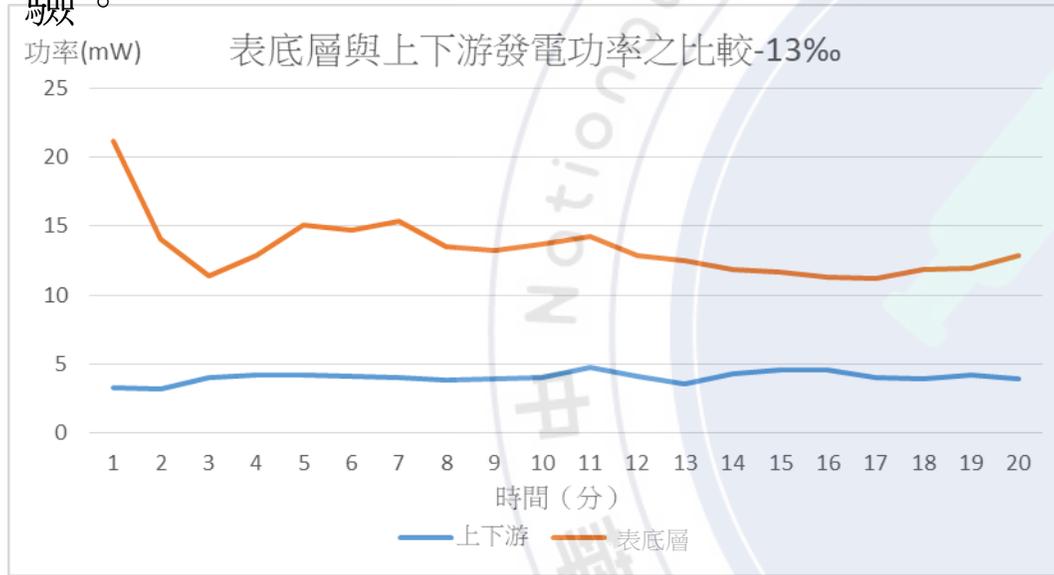


圖5-1:不同發電方式之發電功率

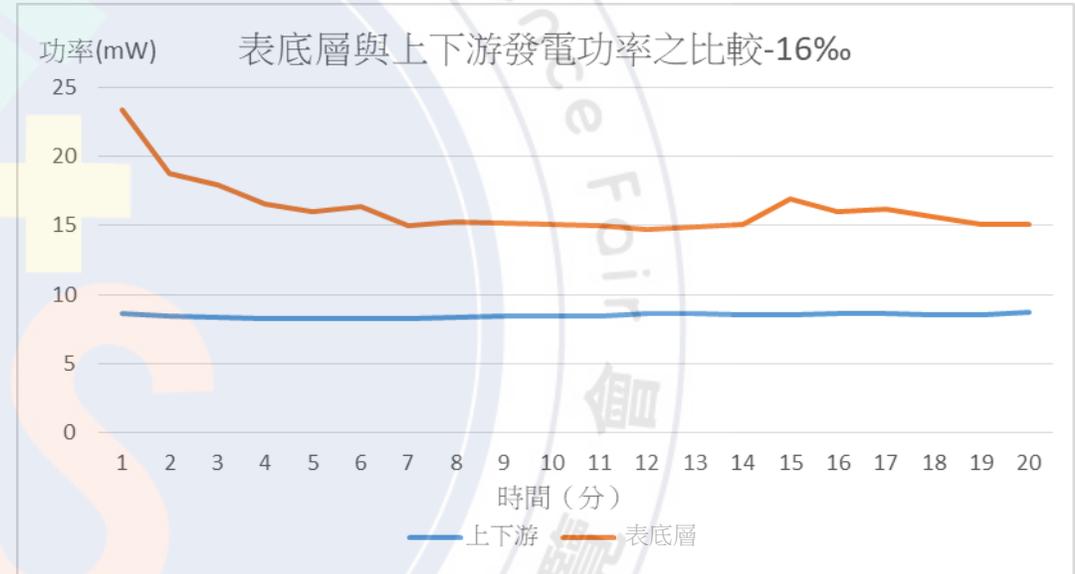


圖5-2:不同發電方式之發電功率

由圖5-1、5-2可知，在相同鹽度差並實際運用河水發電時，表底層發電功率>上下游發電

研究結果 愛河潮汐分析與鹽楔型河川

| | | |
|-----------|--|-------|
| 03/05 (六) | 乾潮  | 03:33 |
| | 滿潮  | 09:21 |
| | 乾潮  | 15:10 |
| | 滿潮  | 21:27 |

圖6-1:2022/3/5愛河潮汐資料圖

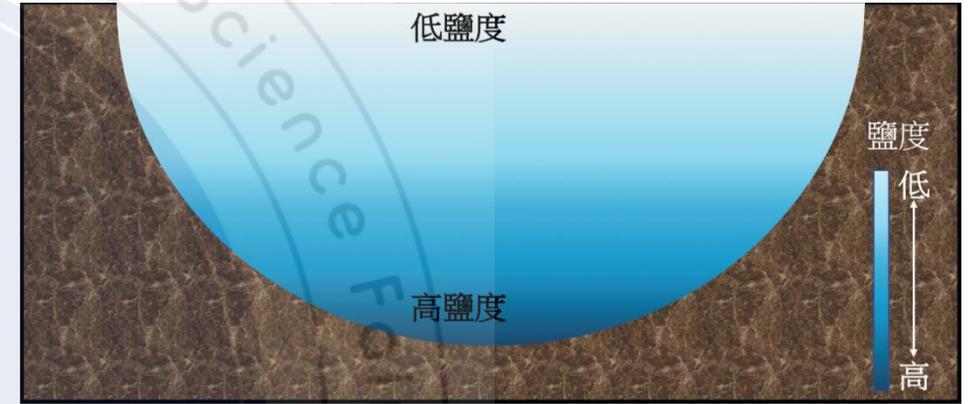


圖6-2:鹽楔型河川正面示意圖

表6-1:最大及最小鹽度出現時間

| 橋名 | 乾潮時間 | 最小鹽度出現時間 | 滿潮時間 | 最大鹽度出現時間 |
|-----|------|----------|------|----------|
| 中都橋 | 3:30 | 9:30 | 9:21 | 14:30 |
| 願景橋 | | 9:30 | | 14:00 |
| 龍心橋 | | 9:30 | | 13:00 |

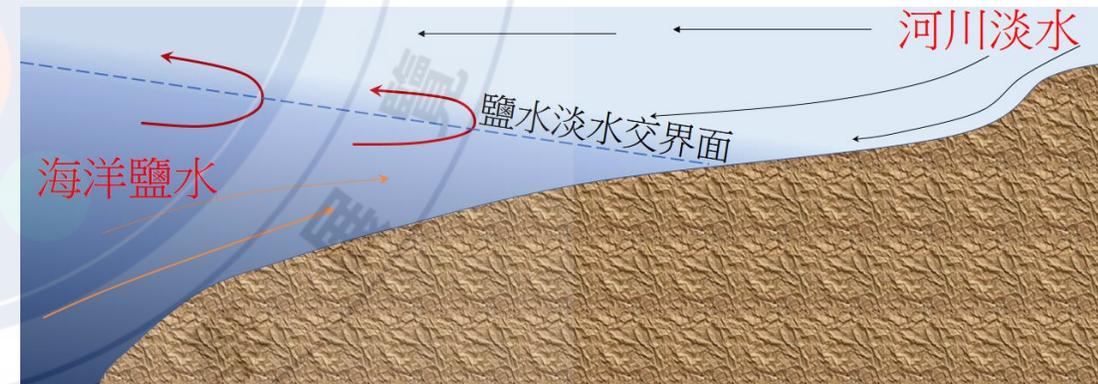


圖6-3:鹽楔型河川剖面示意圖

研究結果 愛河雨量分析與發電功率

為了解愛河哪一河段適合進行表底層發電，我們在2022/03/05大潮時進行愛河鹽度差分析，最終選定願景橋進行表底層發電實驗。為了解雨量對發電量的引響，我們分別在豪雨、小雨、無下雨時測量鹽度差。



圖7-1:愛河鹽度資料圖

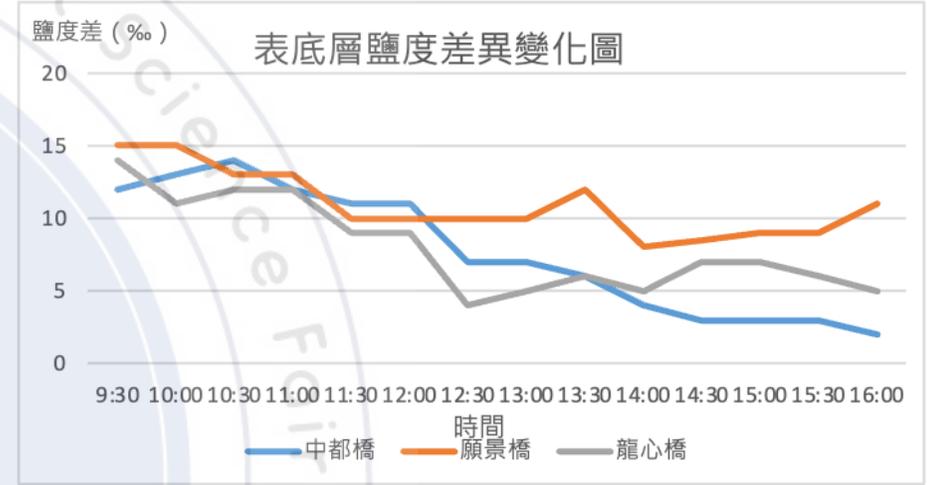


圖7-2: 2022/3/5愛河鹽度變化圖

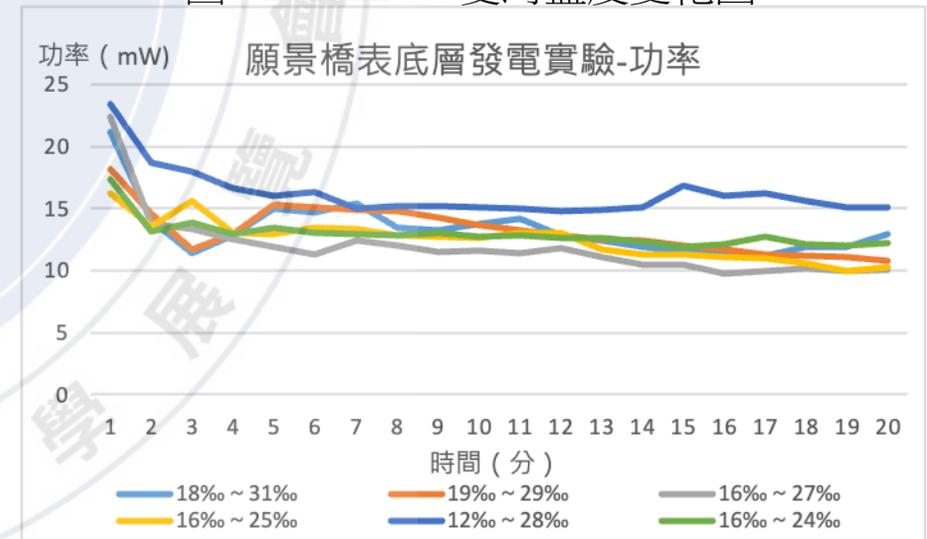


圖7-3:愛河願景橋發電功率圖

研究結果 愛河、淡水河發電數據

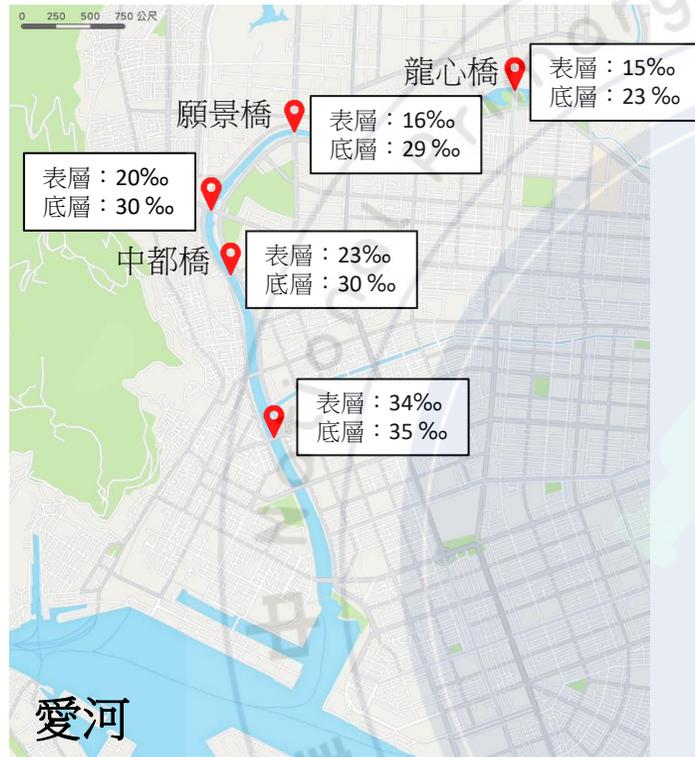


圖8-1:愛河鹽度分佈圖

表8-1:愛河實驗數據

| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|-----|---------|-----|-------|--------|---------|
| 龍心橋 | 23‰~15‰ | 8‰ | 2.03V | 6.20mA | 12.60mW |
| 願景橋 | 29‰~16‰ | 13‰ | 2.00V | 8.43mA | 16.88mW |
| 九如橋 | 30‰~20‰ | 10‰ | 1.97V | 6.61mA | 13.23mW |
| 中都橋 | 30‰~23‰ | 7‰ | 1.97V | 6.53mA | 12.93mW |
| 七賢橋 | 35‰~34‰ | 1‰ | 2.02V | 0.82mA | 1.65mW |

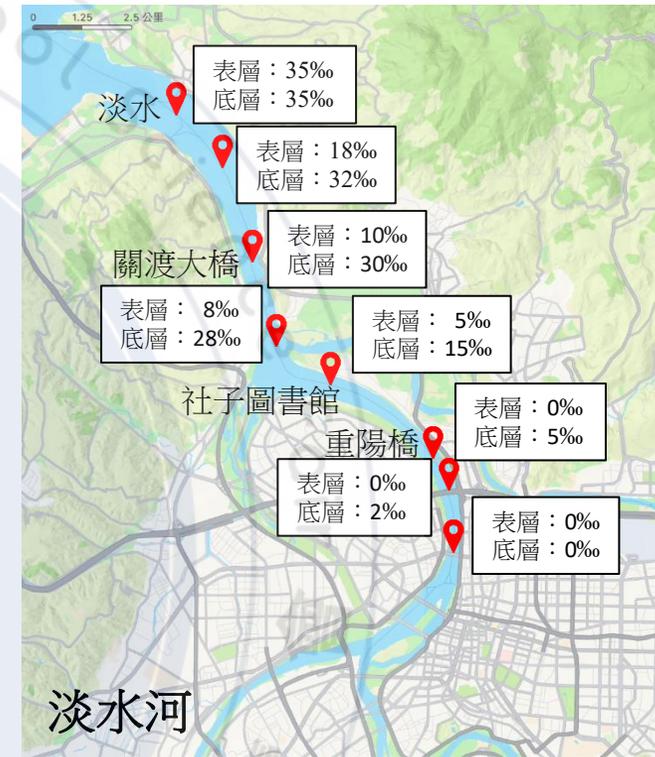


圖8-2:-淡水河鹽度分佈圖

表8-2:淡水河實驗數據

| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|---------|---------|-----|--------|--------|---------|
| 重陽橋 | 5‰~0‰ | 5‰ | 1.80V | 2.68mA | 4.88mW |
| 台北社子圖書館 | 15‰~5‰ | 10‰ | 2.42V | 6.30mA | 15.41mW |
| 河濱公園 | 20‰~5‰ | 15‰ | 2.43V | 6.27mA | 15.33mW |
| 關渡大橋 | 30‰~10‰ | 20‰ | 2.44 V | 7.14mA | 17.42mW |
| 捷運紅樹林站 | 32‰~18‰ | 14‰ | 2.43 V | 4.44mA | 10.91mW |

研究結果 前鎮河發電數據與各河發電功率關係式



表9-1:前鎮河實驗數據

| 地名 | 表底層之鹽度 | 鹽度差 | 平均電壓 | 平均電流 | 平均功率 |
|------|--------|-----|-------|--------|---------|
| 海邦橋 | 19‰~2‰ | 17‰ | 2.70V | 3.35mA | 9.07mW |
| 翠亨橋 | 20‰~0‰ | 20‰ | 2.52V | 3.90mA | 9.85mW |
| 鎮興路橋 | 22‰~0‰ | 22‰ | 2.45V | 3.48mA | 8.84mW |
| 鎮東路橋 | 25‰~2‰ | 23‰ | 2.42V | 6.21mA | 15.05mW |
| 鎮榮橋 | 25‰~2‰ | 23‰ | 2.39V | 6.18mA | 14.7mW |
| 興仁橋 | 28‰~5‰ | 23‰ | 2.45V | 5.32mA | 13.19mW |

圖9-1:前鎮河鹽度分佈圖

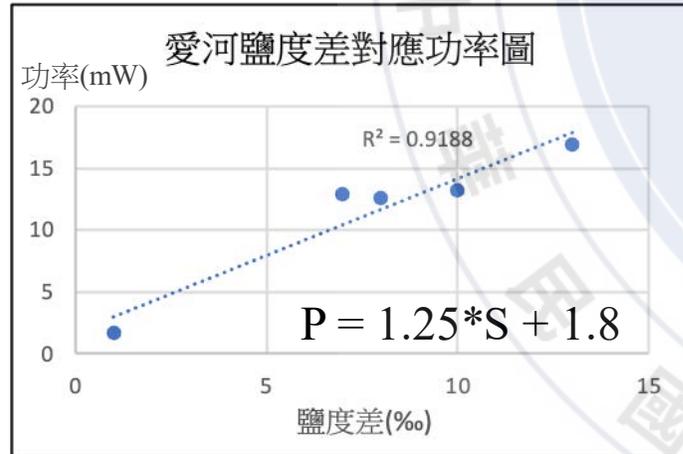


圖9-2:愛河鹽差對應功率圖

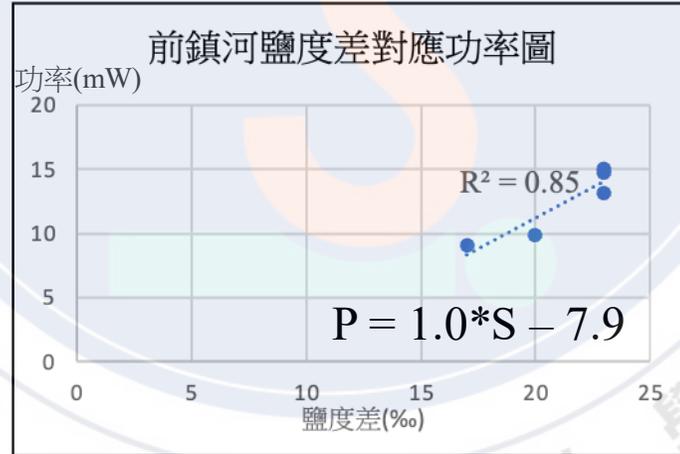


圖9-3:前鎮河鹽差對應功率圖

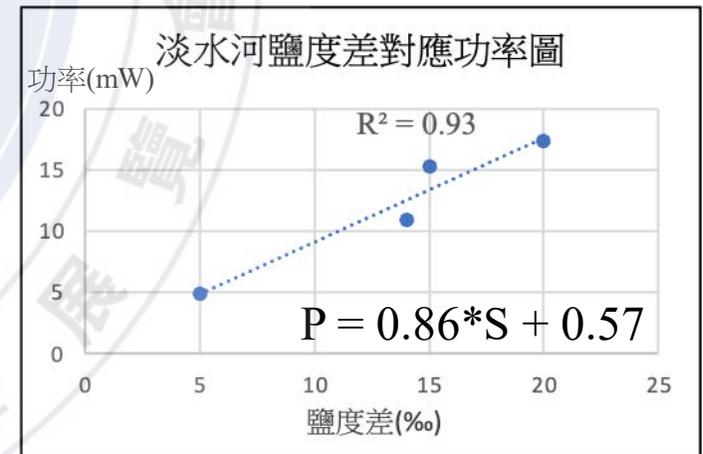


圖9-4:淡水河鹽差對應功率圖

P : 功率

S : 鹽度差‰

研究結果 經濟效益推算



圖10-1:愛河單位面積效益圖



圖10-2:前鎮河單位面積效益圖



圖10-3:淡水河單位面積效益圖

表10-1:各河鹽楔型河段範圍

| 河川 | 起點 - 出海口 | 終點 - 出海口 | 鹽楔型河段長度 |
|-----|----------|-----------|----------|
| 愛河 | 2.49(km) | 5.44(km) | 2.95(km) |
| 前鎮河 | 0(km) | 1.56(km) | 1.56(km) |
| 淡水河 | 3.28(km) | 12.09(km) | 8.81(km) |

表10-2:各河經濟效益推算

| 河川 | 適合河段 | 總功率 | 日產能 | 年產值 |
|-----|----------|-------------|------------|------------|
| 愛河 | 2.95(km) | 95650.8(W) | 2295.62(度) | 418.95(萬) |
| 前鎮河 | 1.56(km) | 46463.2(W) | 1115.12(度) | 203.50(萬) |
| 淡水河 | 8.81(km) | 330904.0(W) | 7941.70(度) | 1449.36(萬) |

三河年總產值可達2000萬元！

結論

一、表底層之鹽度差實驗為較佳的發電方案，而愛河、淡水河、前鎮河皆為鹽楔型河川，具有穩定的鹽度差，符合范光龍(2009)所述。且發電過程不產生熱、原地排放，較無生態破壞的問題，適合進行表底層河水之鹽度差發電。

二、在實際實驗中，與模擬實驗中的功率數據差異不大，三條河川適合發電之河段平均功率皆介於11mW~15mW之間，並找出了三條河川鹽差與功率的關係式。

三、實際運用各河表底層之河水，進行20分鐘的發電，可使1.2V的燈泡發亮約40秒。表底層河水之發電實驗平均數據遵守鹽度差與平均功率呈正相關，鹽差愈大，功率越強，燈泡發亮的時間也越長。

四、此次研究證實鹽差能發電裝置設置在鹽楔型河川如愛河、前鎮河、淡水河，是可行且具有一定經濟效益的，並成功將電儲存，使燈泡發亮。

參考資料

一、葉愛玲、田江偉、緱成飛、羅正傑、張挺(2015)。基於反電滲析法鹽差發電實驗研究。福州大學土木工程學院，福建 福州。

二、林婉榆、謝緯霓(2019)。以「鹽」之名，行「發電」之實。2019 全國科學探究競賽。

三、交通部中央氣象局。<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/M/tide.html>

四、范光龍(2009)。台灣大百科全書-河口。文化部。<https://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3359>