

第 18 屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA18-515

作品名稱：含銀多孔洞材料吸附海水中離子之研究

姓名：張益絃

關鍵字：孔洞材料、銀離子、海水淡化

目錄

壹、摘要	P.1
貳、研究動機	P.1
參、研究目的	P.1
肆、研究過程及方法	P.1
研究一、鹽度測定比較	P.3
研究二、孔洞材料與分子篩淡化海水程度比較	P.7
研究三、孔洞材料經酸化處理後對海水之過濾效能探討	P.11
研究四、孔洞材料經鹽化處理後對海水之過濾效能探討	P.14
研究五、孔洞材料經鹼化處理後對海水之過濾效能探討	P.18
研究六、取最佳化條件進行不同條件的淡化效果比較	P.21
研究七、取得之最佳化條件與市售之陽離子交換樹脂比較	P.23
伍、討論與應用	P.24
陸、結論	p.25
柒、未來展望與應用	p.28
捌、參考文獻	p.28

含銀多孔洞材料吸附海水中離子之研究

壹、摘要

本研究中，首先找出海水鹽度的最佳測定方式，再使用多孔洞材料進行海水中離子吸附，並以簡易針筒取代傳統層析管，降低成本並增加攜帶便利性。實驗中發現多孔洞材料中孔徑為 0.345nm 孔洞材料的吸附效率較高，由於孔洞材料表面可藉由酸化前處理使其帶正電荷提升離子吸附量，並探討溫度、時間、溶液種類及濃度等變因的影響找出最佳化結果。除此之外孔洞材料也可透過離子交換增加吸附能力，利用鹽化前處理將孔洞填入鈉離子後再與銀離子進行交換，提升吸附力。從實驗結果中，我們得知酸化與鹽化前處理的機制雖然不同，但都能有效降低海水鹽度，且與市售陽離子交換樹脂比較，淡化海水的能力大幅提升。期望能藉此基礎在未來開發便利且低成本的海水淡化法。

貳、研究動機

臺灣由於特殊的地理因素，即使降水量是世界平均的 2.5 倍，人均用水量卻只有世界平均的 0.18 倍，再加上氣候變遷日益嚴重，臺灣水庫連年爆出面臨歷年最低水量的噩耗，身為海島國家，若能利用周遭海水，也許能改善此嚴重的民生問題，因而對海水淡化的方法及應用產生興趣，希望能藉由此研究更了解相關科技及原理運用，進而改良市面上產品。

參、研究目的

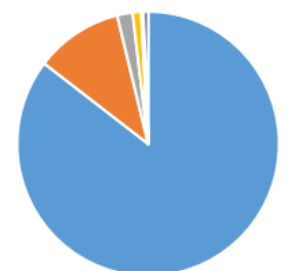
- 一、測試鹽度最佳量測方式。
- 二、不同結構比例孔洞材料無處理時淡化效果比較。
- 三、酸化孔洞材料淡化效果比較。
- 四、鹽化孔洞材料淡化效果比較。
- 五、鹼化孔洞材料淡化效果比較。
- 六、淡化效果最佳化條件篩選。
- 七、孔洞材料淡化機制探討。
- 八、研發出新型淡化海水材料。

肆、研究過程及方法

一、海水成分分析

- (一)目的：得知海水成分，了解淡化海水欲除去之離子，海水組成成分複雜且以離子化合物占比最高，而氯化物更是所

地球海水元素構成百分比



有化合物中最多的，占海水中的 19.3%。

(二)以下為我們查尋之海水元素百分比：

元素	O	H	Cl	Na	Mg	S	Ca	K	Br	C	其他
百分比	85.4	10.8	1.9	1.05	0.135	0.0885	0.04	0.038	0.0065	0.0026	0.5394

二、海水中鹽度

(一)定義：ICES 提出的定義為：「每一千克的水內，將溴和碘化物計算為氯化物，將碳酸鹽計算為氧化物，將所有有機化合物計算為完全氧化的狀態，溶解物質的克數。」

(二)表示法

1. 氯度換算：將溴、碘化物計為氯化物、碳酸鹽計為氧化物，而有了根據氯離子含量而推算出的鹽度公式： $S (\%) = 0.03 + 1.805Cl (\%)$ 。
2. 實用鹽度 (Practical Salinity Unit, PSU) 定義：指利用導電度的測量方法，在定溫下測得海水樣本與國際海洋物理科學協會認可之標準海水的導電比。
3. 折射率：利用曲折度計量測溶液之折射率，再透過折射率與鹽度換公式。

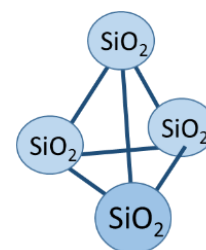
三、多孔洞材料特性

(一)孔徑為 0.4nm 的孔洞材料：

1. 定義：是一種具單一孔徑的多孔材質，主要由矽、鋁、鎂、鋅、鈷、鋅、鈹等等四面體配位的原子之結晶氧化物構成，其氧化鈉、氧化鋁及二氧化矽的比例為 1 : 1 : 2，可吸附特定的液體或氣體，常使用於乾燥劑。
2. 實驗設計：當目標分子進入孔洞中，分子篩上的金屬離子對於極性大的分子產生作用力，吸附目標分子。因此可利用其吸附海水中離子，降低離子濃度。

(二)孔徑為 0.345nm 的孔洞材料：

1. 定義：主要為二氧化矽為主體的正四面體結構之多孔洞材料。
2. 實驗設計：由於製作過程使其孔洞中含有少許陽離子，所以當過濾時，離子通過孔洞，海水中陰離子被吸附，降低海水中離子濃度。

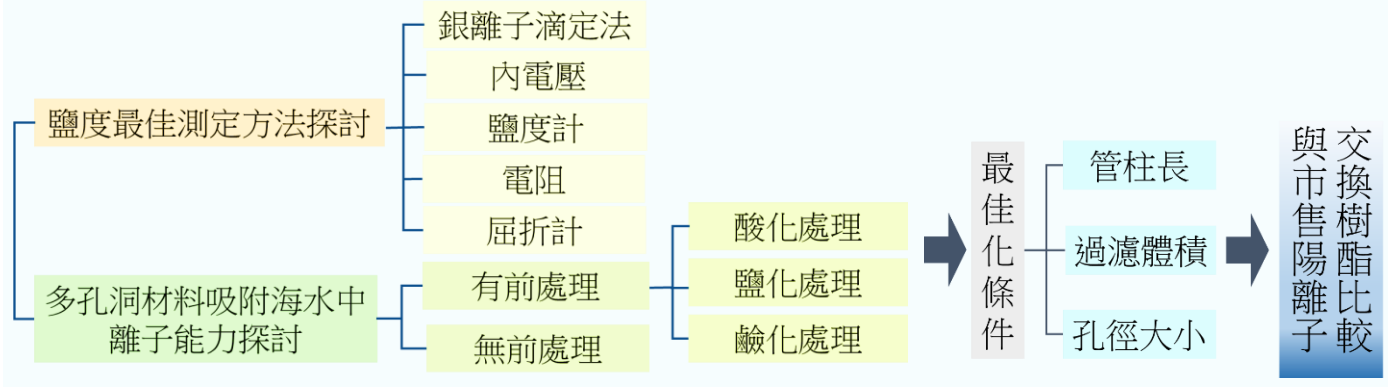


圖二：孔徑 0.4nm 孔洞材料結構圖

2

圖三：孔徑 0.345nm 孔洞材料結構圖

圖四、實驗架構圖



研究一、鹽度測定比較

目的：使用不同的鹽度測定方式，以求出最佳的鹽度檢測方法。

實驗一、銀離子滴定法

(一)目的：使用硝酸銀進行滴定，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：取海水 25mL，用硝酸銀滴定至沈澱產生，烘乾。

(三)實驗結果：為灰紫色片狀沉澱物，有細微粉末，沈澱物含量大約為 3g。

(四)討論：

1. 沉澱物質顏色為灰紫色與氯化銀顏色有明顯差異，由於海水是由多種不同離子所組成，其成分較為複雜，因此沉澱物質可能不是純的氯化銀。
2. 氯化銀和氧氣反應產生氧化作用，導致無法準確測量氯化銀質量。
3. 作為滴定指示劑的酚酞鉀有毒並容易危害環境，因此本研究的銀離子滴定實驗對於是否為滴定終點無法判斷。
4. 我們認為此方法容易受到海水中其他離子影響實驗結果，無法精確檢測鹽度。



圖五：氯化銀沉澱

實驗二、屈折計測量

(一)目的：使用屈折計檢測不同濃度化合物之折射率，以測試能否精準測量離子濃度。

(二)步驟：1. 取蒸餾水滴入屈折計，觀測並進行校正。

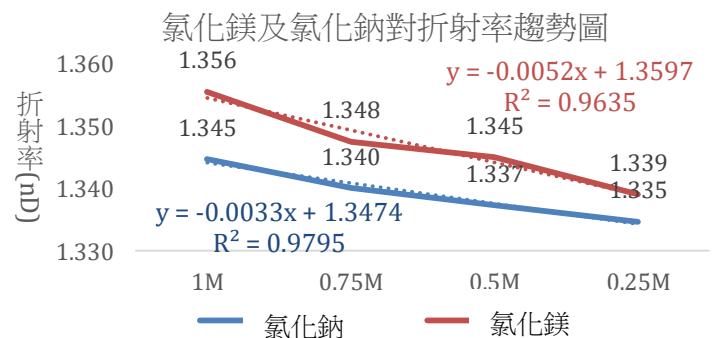
2. 擦乾後，用滴管滴入約 3mL 不同濃度之化合物，並進行觀測。

(三)實驗結果(圖六)：

氯化鎂的濃度越高，所測得知折射率越高，而氯化鈉也呈現相同趨勢。

圖六：氯化鎂及氯化鈉對折射率趨勢圖

氯化鈉及氯化鎂的濃度和折射率趨勢呈現正比關係。



(四)討論：從數據來看，氯化鈉和氯化鎂之數據大約為等比關係，證明溶液中之離子濃度和折射率具固定比例，因此可知離子濃度和粒子數成正比線性關係。

實驗三、鹽度計測量

(一)目的：使用鹽度計測量不同濃度離子化合物之鹽度， 測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：鹽度計測量部分用蒸餾水沖洗擦乾，將待測物倒入 50mL 燒杯並測量。

(三)實驗結果(圖七)：

氯化鎂的濃度越高，所測得知鹽度越高，且氯化鈉也呈現相同趨勢。

(四)討論：氯化鈉解離方程式：



總數高於氯化鈉，氯化鈉鹽度在0.5M為2.26，1M為4.367，基本為兩倍關係，而氯化鎂鹽度在0.5M為4.367，1M為7.033，也幾乎為兩倍關係，因此得知鹽度和離子濃度為等比關係，所以可精準測量鹽度。

實驗四、內電壓測量

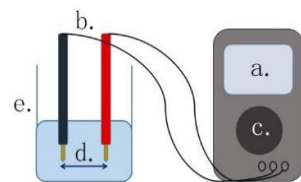
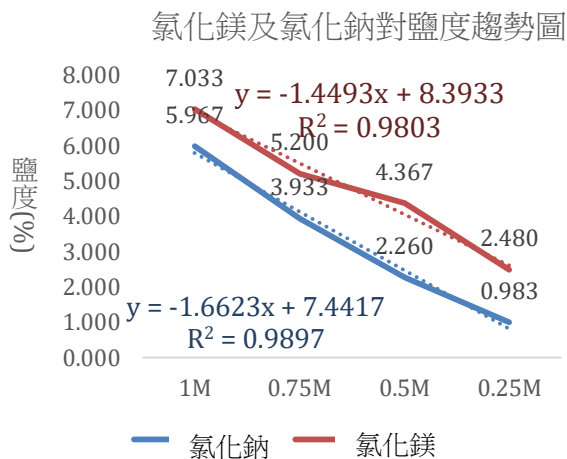
(一)目的：使用三用電錶檢測不同濃度離子化合物之內電壓測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：1.取 50mL 燒杯倒入不同濃度的離子化合物。

2.三用電錶調至電壓 20 伏特檔位，固定兩探棒間距為 1.5cm 後測量(圖八)。

(三)實驗結果(圖九)：

氯化鎂在 1M 及 0.5M 時其數據較高，而氯化鈉在.5M 時數據較高，雖不同濃度的數據有些微的起伏但彼此的差異並不大。



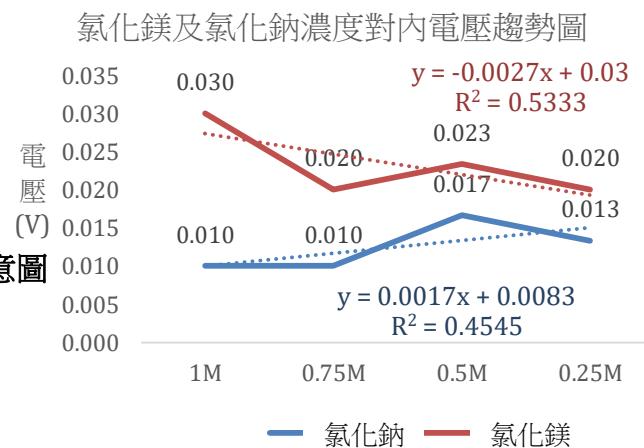
圖八：內電壓測量示意圖

a.三用電錶、b.探針、

c.檔位：200kΩ、

d.探針間距：2.5 公分、

e.燒杯



圖九：氯化鈉及氯化鎂濃度對內電壓趨勢圖

由測量趨勢得出氯化鈉之濃度越高，內電壓越低，氯化鎂之濃度越高，內電壓越高。

圖七：氯化鈉及氯化鎂濃度對鹽度趨勢圖

兩者的趨勢皆顯示濃度和鹽度呈現正比關

(四)討論：

- 1.離子化合物解離會產生陰離子與陽離子，電子的移動使電路產生電壓，所以濃度越大的離子化合物溶液，產生的電壓越大。
- 2.由於三用電錶與溶液間的電路為封閉迴路，亦無接外接電池，故用電錶所測得的電壓為溶液之內電壓，但同時也會測量到內電阻，所以會影響其測量結果，使測量之數據低於溶液實際電壓。

實驗五、電阻測量

(一)目的：使用三用電錶檢測不同濃度離子化合物之電阻，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：1.取 50mL 燒杯倒入不同濃度的離子化合物。

2.將三用電錶轉至 200kΩ，固定兩探針間距為 1.5cm 後測量(圖十)。

(三)實驗結果(圖十一)：

從實驗結果顯示氯化鈉及氯化鎂濃度越高，所測得的電阻倒數越低。

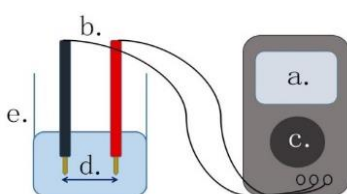
(四)討論：不論是以氯化鈉或氯化鎂作

為待測溶液，濃度越高時，溶液中所含的離子數目會越多，所以導電度會越好，而前述導電度的定義為電阻倒數，因此電阻倒數與離子濃度呈正比，亦可說明濃度和導電度呈正比。

(五)問題：

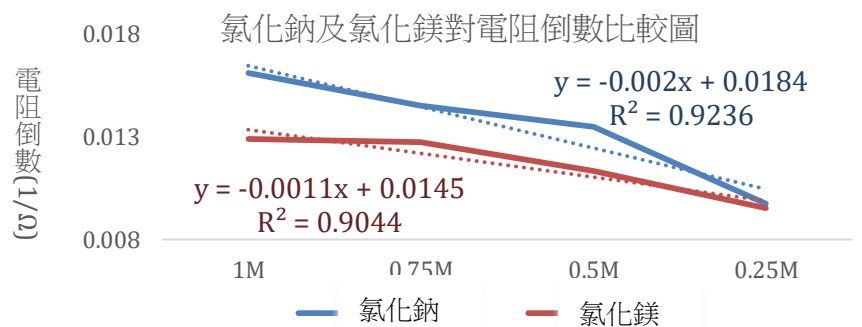
1.三用電錶雖容易取得且便於操作，但由於量測溶液濃度較小，測量之電壓不穩定，數據時常跳動，使紀錄的紀錄之數據變動大。

2.使用三用電錶測量時，是將待測溶液視為一迴路，在測量時所量測之數值含離子



圖十：電阻測量示意圖

- a.三用電錶、b.探針、c.檔位：200kΩ、
d.探針間距：2.5 公分、e.燒杯



圖十一：氯化鈉及氯化鎂濃度對電阻倒數趨勢圖

由測量趨勢得出氯化鈉及氯化鎂之濃度越高，電阻倒數越低。

通過機器時產生之電阻，不是精確的溶液電阻，較為無法精確測量鹽度。

3.原本所使用之關於電導度換算鹽度的數據以電阻倒數為換算數據，但由於使之三用電錶所測量之電阻也含有儀器本身的內電阻，不適精確的溶液電阻，所以我們決定改使用電導度計測量，所以延伸進行實驗六。

實驗六、導電度測量

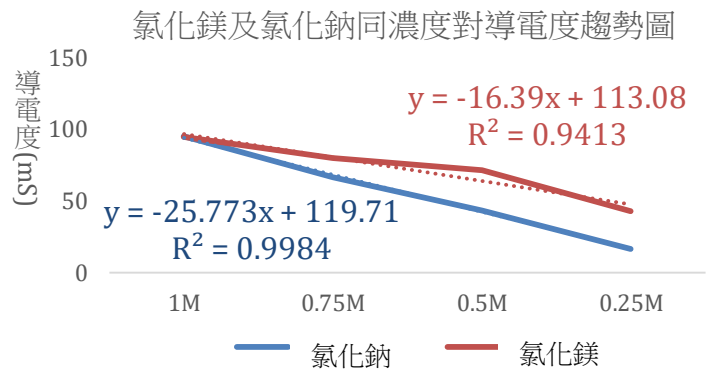
(一)目的：使用實驗用多功能測量儀測量導電度，以檢測能否精確測量鹽度。

(二)步驟：取50mL燒杯倒入不同濃度的離子化合物，並將實驗用多功能測量儀調整電導度模式進行測量。

(三)實驗結果(圖十二)：

氯化鈉及氯化鎂的濃度越高，所測得知導電度越高，氯化鈉的上升幅到較高。

(四)討論：由氯化鎂及氯化鈉對導電度趨勢圖可看出，氯化鈉及氯化鎂濃度與導電度皆呈線性關係且1M和0.5M呈現倍數關係，代表其離子濃度和電導度具比例關係，較能精確量測鹽度。



圖十二：氯化鈉及氯化鎂濃度對導電度趨勢圖

由測量趨勢得出濃度越高，導電度越高。

研究二、多孔洞材料對海水吸附離子能力之研究

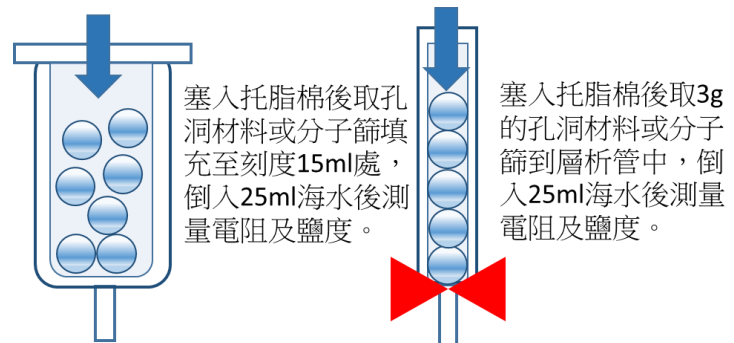
一、目的：為降低海中離子濃度，所以取多孔洞材料過濾海水，以測試其吸附海水中離子能力。

實驗一、多孔洞材料吸附離子能力

(一)目的：測試不同多孔洞材料在無前置處理時吸附海水中離子之效果。

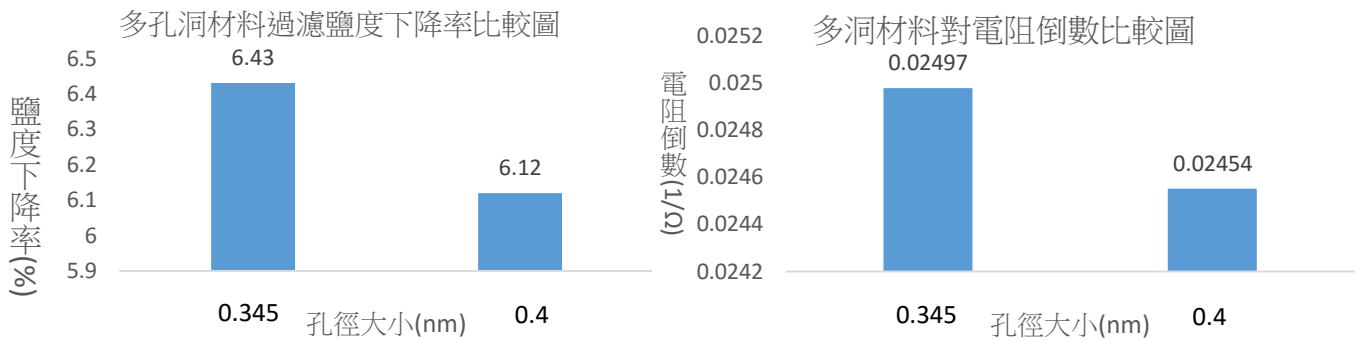
(二)步驟：

- 1.使用層析管：以層析管進行過濾。
- 2.使用針筒：以針筒進行過濾。



圖十三：過濾方式比較圖

(三)結果：

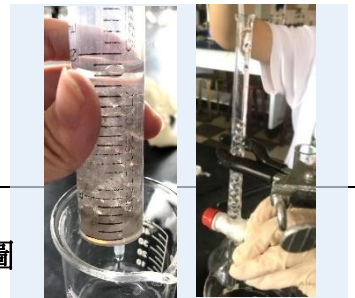


1. 孔徑 0.345nm 之孔洞材料海水鹽度下降率高於孔徑 0.4nm 之孔洞材料 0.31%，電阻倒數也高於。

(四)討論：

- 1.從數據看孔徑 0.345nm 孔洞材料能使海水鹽度下降幅度高於 0.4nm 的，且所測量出之電導度也低於 0.4nm 孔徑的，所以我們可以推知經孔徑 0.345nm 孔洞材料過濾後的海水離子數較少，也就是說相同質量下孔徑 0.345nm 的吸附離子較多。
- 2.孔徑0.345nm孔洞材料為以二氧化矽為結構主體的正四面體，空隙中含有陽離子，所以過濾海水時，空隙中之陽離子吸附海水中陰離子，使得鹽度下降。
- 3.因0.4nm的孔洞材料孔徑大於海水中大部分離子，而其孔洞中的金屬離子(例：矽、鋁、鎂等)會對離子產生分子間作用力（凡德瓦力或靜電力等等），使海水中的離子能附著於孔洞而鹽度下降。
- 4.由於海水中的氯離子含量最多，因此希望透過浸泡硝酸實驗，使孔洞中吸附硝酸銀，以增加氯離子的吸附量，以提升淡化效果。

(五)問題：



(I)改善過濾器材：

圖十四：針筒及層析管過濾圖

- 1.使用層析管進行過濾時，因為學校層析管管徑為 5mm，管徑太細，導致過濾緩慢，且過濾結束後孔洞材料取出困難，造成操作上的阻礙。
- 2.為了改善層析管操作之不便，我們利用針筒進行過濾實驗，發現針筒能夠改善過濾速度緩慢

及過濾後材料不易取出之困擾，所以後續實驗我們決定以針筒進行過濾。

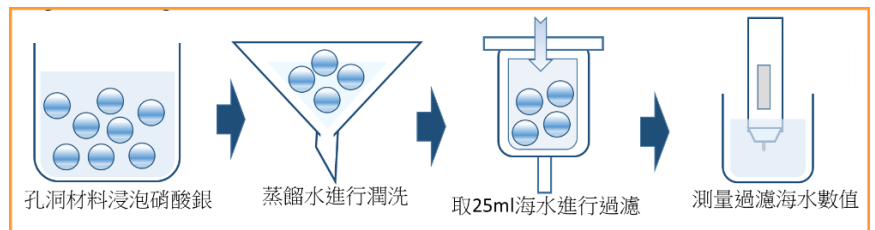
(II) 折射率的討論：

1. 進行過濾後折射率上升 0.0002，數據差異小，說明以折射率看來過濾後的海水離子改變，並不足以影響光的折射速率。
2. 不論是哪一種孔洞材料過濾後之海水，折射率經換算後皆為 1.3388，雖然和海水之折射率 (1.3382) 不同，但差距小，可能因海水離子成分複雜，抓取的離子對溶液的折射率影響不大，所以無法藉由折射率判斷海水鹽度的比較，因此決定後續實驗不採用此標準。

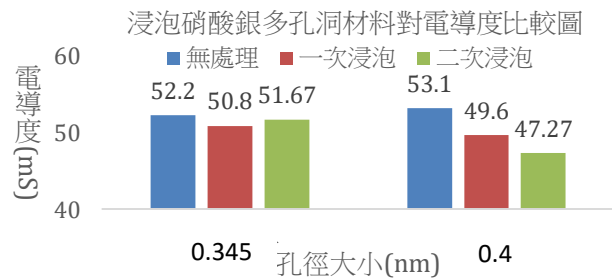
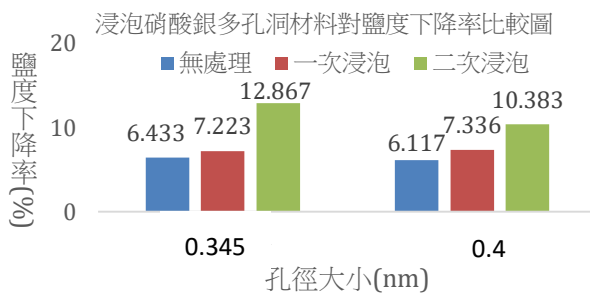
實驗二、將多孔材料浸泡硝酸銀實驗

- (一) 目的：將多孔洞材料表面攜帶銀離子後增進多孔洞材料吸附海水中離子能力。
- (二) 步驟：取實驗一過濾後之多孔洞材料，浸泡硝酸銀(如圖十八步驟)，並重複兩次。

圖十五：孔材料浸泡硝酸銀實驗示意圖



(三) 實驗結果：



多孔洞材料過濾及兩次的浸泡硝酸銀實驗，海水鹽度皆下降，且幅度逐漸提升。

從電導數據來看，孔徑 0.345nm 孔洞材料一次浸泡時電導度最低，但三者間差距不大，而孔徑 0.4nm 孔洞材料隨實驗進行電導度逐漸下降。

(四) 討論：

1. 一次浸泡硝酸銀後，兩種孔洞材料皆使海水鹽度下降，且孔徑 0.345nm 孔洞材料的下降幅度提升 0.79%，0.4nm 的則提升 1.22%，除了海水中的陰離子吸附於孔洞中，

因為浸泡在硝酸銀而附著孔洞材料的上銀離子也會跟海水中的氯離子結合使氯離子數減少，因此鹽度較無處理時更低。

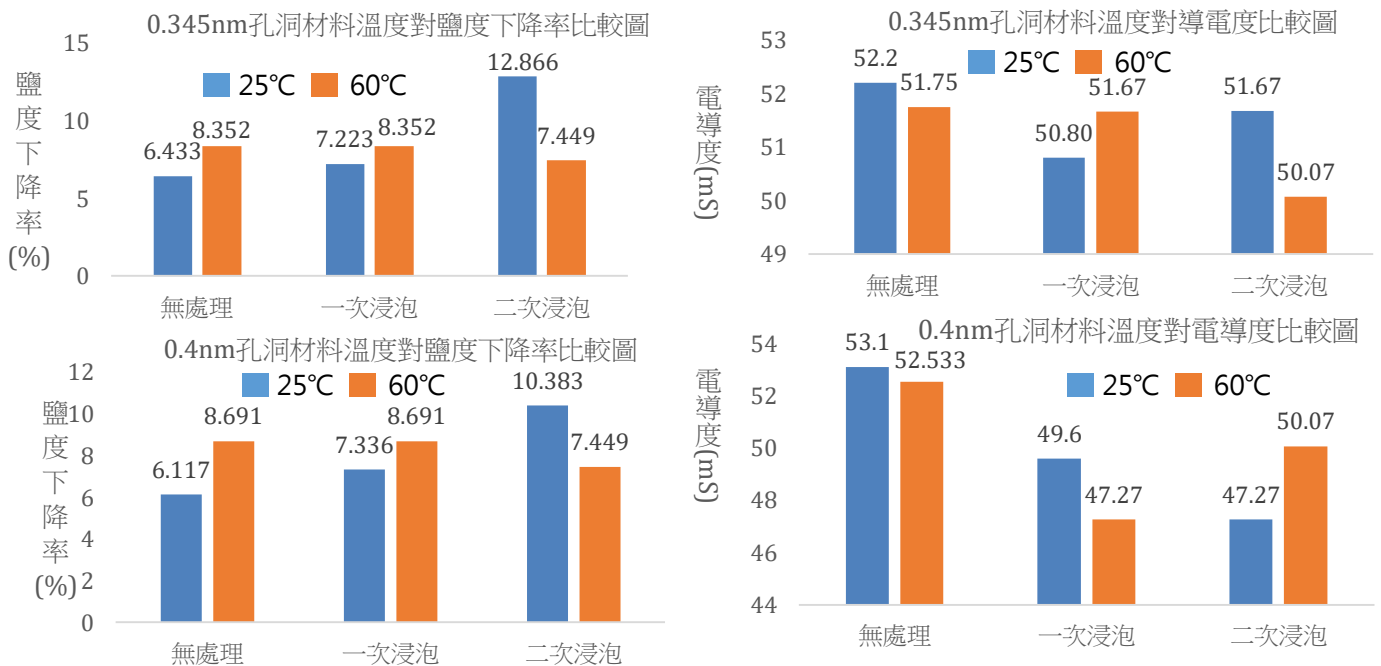
2.在第二次浸泡硝酸銀時，因已進行兩次海水過濾，使孔洞中能和銀離子交換的陽離子數增加，銀離子吸附量提升，當過濾海水時，能抓取的氯離子變多，鹽度更低。

實驗三、溫度對多孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：比較不同溫度時多孔洞材料吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：將多孔洞材料放入 60°C 的烘箱後進行過濾，接著浸泡硝酸銀並放入 60°C 烘箱 24 小時過濾，浸泡硝酸銀實驗重複二次。

(三)實驗結果：



0.345nm孔洞材料常溫於一次浸泡硝酸銀時鹽度下降率較60°C低0.03%，而二次浸泡硝酸銀時60°C的鹽度下降率則較常溫低0.16%，0.4nm孔洞材料的常溫組一次浸泡硝酸銀時鹽度下降率較60°C低1.35%，二次浸泡硝酸銀60°C的鹽度下降率較常溫組低2.94%。

(四)討論：60°C 的條件可以提升無處理及一次浸泡實驗的過濾效果，因為溫度提升所以離子移動速度增加，經過多孔洞材料通道的機率上升，因此附著離子數也跟著

提升，導致鹽度下降，而二次浸泡時 60°C 的鹽度下降率低於常溫的，是因為 60°C 的多孔洞材料之孔洞在之前已被填滿，能吸附的離子數較少。

研究二結論：

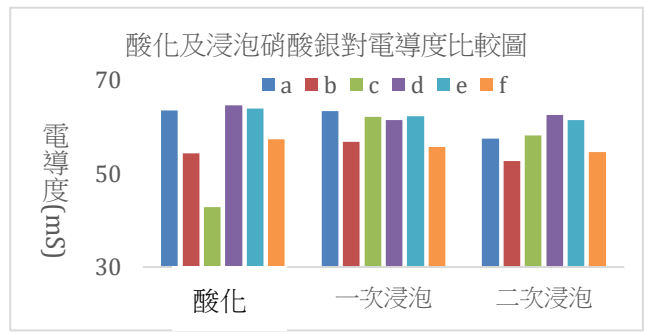
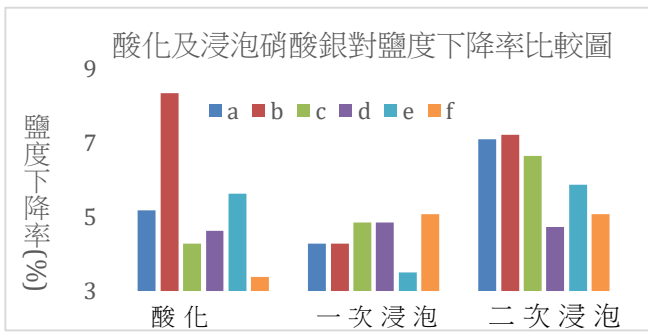
- 1.無處理之多孔洞材料的確造成鹽度下降，但下降幅度最大為 12.87%，因此我們接著思考假使在多孔洞材料表面製造適當環境是否使其吸附效果更佳，因為海水中氯離子所含的比例最多，所以如果讓孔洞材料帶正電則可以吸附更多氯離子，因此我們想到可以讓孔洞材料浸泡酸性溶液附著正電荷以增加氯離子吸附率，因此接續進行孔洞材料酸化實驗。
- 2.雖然 0.4nm 的孔洞材料鹽度也呈現下降趨勢，但過濾海水時約有 5mL 會被其吸收，且其孔洞材料填充入銀後容易破裂，因為我們使用的孔洞直徑為 0.4nm 而銀離子直徑為 0.268nm，所以當銀離子附著時，可能因為通道產生的作用力彼此擠壓而使通道壓力過高產生破裂。
- 3.因 0.4nm 孔洞材料本身結構及孔徑大小因此特性傾向先吸附水分子而非海水中離子，因此在後續利用孔徑 0.345nm 孔洞材料進行實驗，並先將其孔洞材料浸泡酸性溶液後進行過濾效果的比較後，再進行浸泡硝酸銀之實驗。

研究三、孔洞材料經酸化處理後對海水之過濾效能探討

目的：孔洞材料浸泡酸性溶液後，使其表面帶正電，進而增加吸附海水中離子效果。

實驗一、酸化及浸泡硝酸銀實驗

- (一)目的：將孔洞材料浸泡不同酸性溶液並接著浸泡硝酸銀，比較孔洞材料吸附海水中離子之效果。
- (二)步驟：
 - 1.取適量孔洞材料分別浸泡六種酸性溶液，浸泡 24 小時後潤洗並過濾海水。
 - 2.測量過濾後海水導電度及鹽度。
 - 3.進行浸泡硝酸銀之實驗並重複兩次。
- (三)實驗結果：



■：磷酸、■：鹽酸 2M、■：硫酸 3M、■：甲酸、■：乙酸、■：硝酸 6M

(四)討論：

無處理時鹽酸的鹽度下降率最高，硝酸的最低，一次浸泡時，不同酸間差距不大，二次浸泡時都較一次浸泡時提升，而導電度除三次浸泡中都差異不大。

(四)討論：

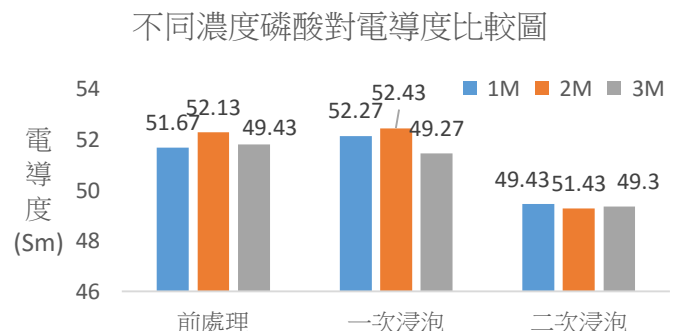
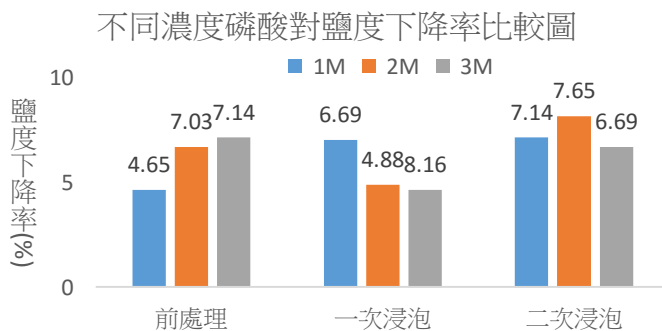
- 1.酸化孔洞材料的鹽度下降率大致落在 4~5%之間，但是硝酸 6M 卻較其他的低，可能是硝酸的濃度太濃，破壞了孔洞材料中的晶體結構，導致離子吸附效果下降。
- 2.鹽酸鹽度下降率會較其他的高的原因是因為鹽酸解離度高，所以能讓較多 H⁺離子附著於孔洞材料，因此在過濾時能吸附更多陰離子。
- 3.一次浸泡硝酸銀時，除硝酸和鹽酸外，其他酸性溶液的鹽度都呈現下降趨勢，會提升的原因可能是因過濾時孔洞中含鈉離子，所以和銀離子交換後，過濾海水時吸附氯離子，使得鹽度下降。

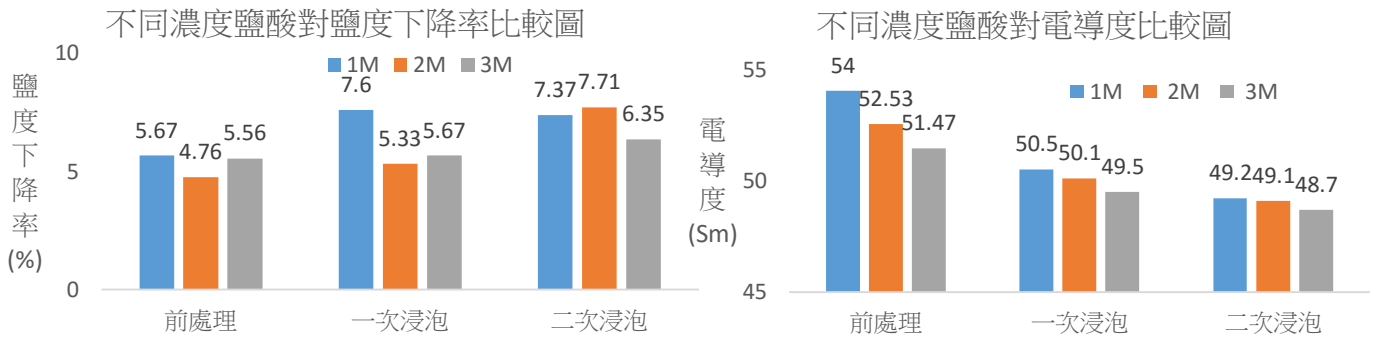
實驗二、濃度對酸化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：取淡化效果較佳的磷酸及鹽酸進行對不同浸泡濃度的比較。

(二)步驟：將孔洞材料浸泡不同濃度之磷酸及鹽酸並進行浸泡硝酸銀實驗。

(三)實驗結果：





從實驗結果發現，浸泡磷酸的濃度越高其淡化效果越好，而電導度在二次浸泡硝酸銀時達到最低，浸泡鹽酸以濃度 2M 的效果最好，但仍不及磷酸，而鹽酸濃度和電導度呈現反比關係。

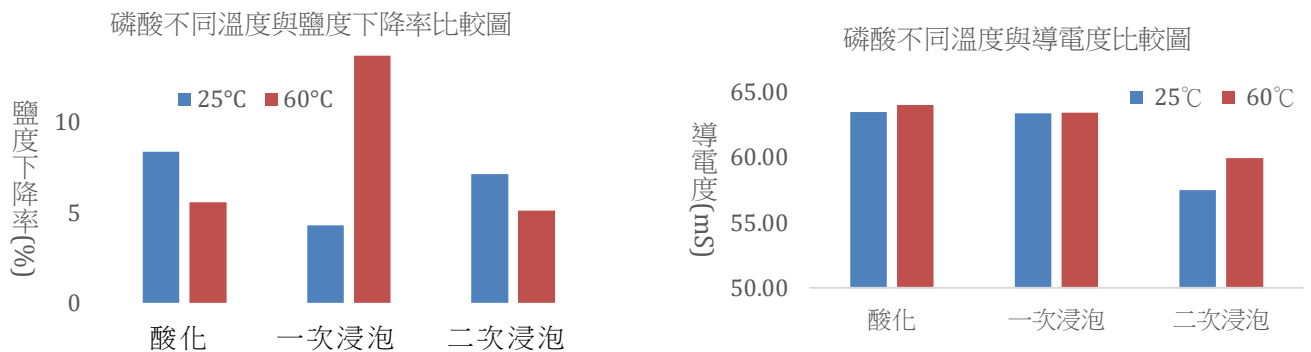
(四)討論：因為濃度越高，所以能和孔洞材料反應的離子數目越多，因此能吸附的離子量也上升，使淡化效果提升。

實驗三、溫度對酸化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：比較不同溫度時孔洞材料吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：孔洞材料浸泡酸性溶液及硝酸銀時放入 60°C 烘箱，比較與 25°C 的差異。

(三)實驗結果：



由於篇幅問題，只取效果最好之磷酸進行比較。除磷酸一次浸泡的 60°C 的鹽度下降率高於常溫，其餘的兩者皆低於常溫。而導電度方面，磷酸 60°C 高於常溫。

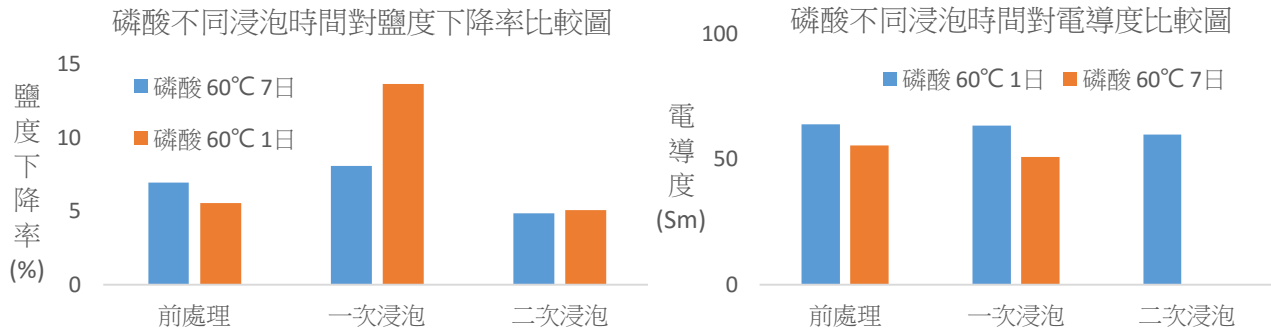
(四)討論：從兩種溫度的導電度中我們可以發現兩者溫度的差異並不明顯，所以孔洞材料對導電度較不會受到溫度的影響。

實驗四、時間對酸化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：取淡化效果較佳的磷酸 60°C 進行對不同浸泡時間的比較。

(二)步驟：將孔洞材料浸泡 1 日及 7 日 60°C 磷酸並進行浸泡硝酸銀實驗。

(三)實驗結果：



(四)討論：

1. 浸泡硝酸銀後不論浸泡時間長短皆提升了淡化效果，推論銀離子有著進酸化孔洞材料花費時間較短。

研究三討論：

1. 將孔洞材料浸泡酸性溶液時，會與孔洞材料產生反應： $M-OH + H^+ A^- \rightarrow MOH_2^+ + A^-$ ，使得孔洞材料表面帶正電，而能抓取陰離子。
2. 浸泡硝酸銀時，孔洞材料孔洞中因酸化實驗過濾海水而具有海水中之陽離子會和硝酸銀中的銀離子發生離子交換： $M-OH^+ + C^+ \rightarrow MOC^+ + H^+$ ，讓銀離子能附著於孔洞材料孔洞中，在過濾海水時 Ag^+ 離子和 Cl^- 離子結合，所以鹽度會下降，但因為 MOH_2^+ 濃度較高且海水為鹼性，根據勒沙特列原理，反應傾向逆反應方向： $M-OH + H^+ A^- \rightleftharpoons MOH_2^+ + A^-$ ，釋出離子，導致電阻下降。
3. 二次浸泡硝酸銀時，孔洞材料中的孔洞大部分已被填滿，所以能再吸附的離子減少，鹽度下降幅度和一次浸泡硝酸銀相近，但孔洞材料中已恢復了酸鹼值，所以帶走海水中的氯離子後並沒有釋出其他離子，整體離子濃度下降，電阻上升。
4. 從實驗中發現，浸泡硝酸銀的離子附著效果可以提升，因為浸泡硝酸銀時，陽離子會與銀離子產生離子交換，而讓更多氯離子可以吸附，因此我們假設讓孔洞材料提升吸附陽離子，便可增加離子交換的數量，而海水中最多的陽離子為鈉離子，因此我們決定進行

浸泡氯化鈉和海水的鹽化實驗。

研究四、孔洞材料經鹽化處理後對海水之過濾效能探討

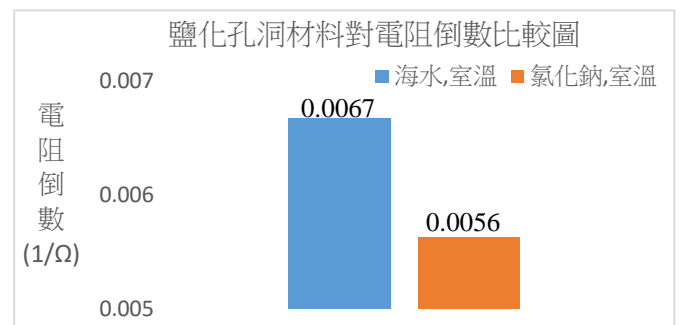
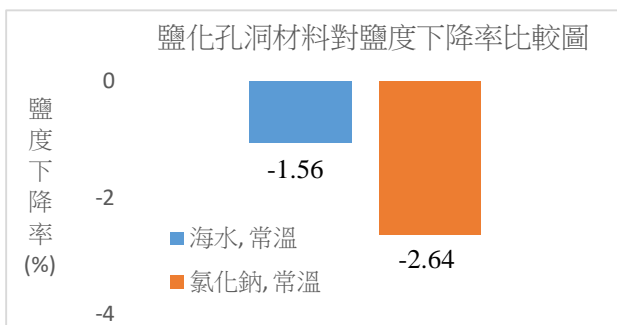
目的：利用海水及氯化鈉溶液中的陽離子提升孔洞材料吸附氯離子能力

實驗一、鹽化實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡海水及氯化鈉溶液，後測試過濾海水之效果。

(二)步驟：取孔洞材料浸泡氯化鈉及海水，浸泡 24 小時後過濾並測量導電度及鹽度。

(三)實驗結果：



以鹽度下降率及電阻倒數而言，海水高於氯化鈉

(四)討論：

1.鹽化時氯化鈉溶液中的鈉離子附著於孔隙內，並使氯離子也吸附於孔洞，但因鈉離子以金屬離子之吸附力吸附於孔洞內，而氯離子則以較弱之分子間作用力吸附於孔洞內並於過濾時溶於濾液，根據鹽度定義，氯離子濃度上升，使得鹽度也上升，同時因為吸附於孔洞內的氯離子溶於濾液，吸附空間增加，海水中陽離子得以吸附於孔隙內，使得過濾後海水導電度下降。

2.海水在鹽化的鹽度下降率及電阻倒數高於浸泡氯化鈉，根據先前的討論，吸附於孔洞內的氯離子因作用力較弱流入濾液，而推測因為海水中氯離子總個數低於 1M 氯化鈉氯離子總個數，因此浸泡海水之孔洞材料在過濾時較少氯離子流入濾液，過濾

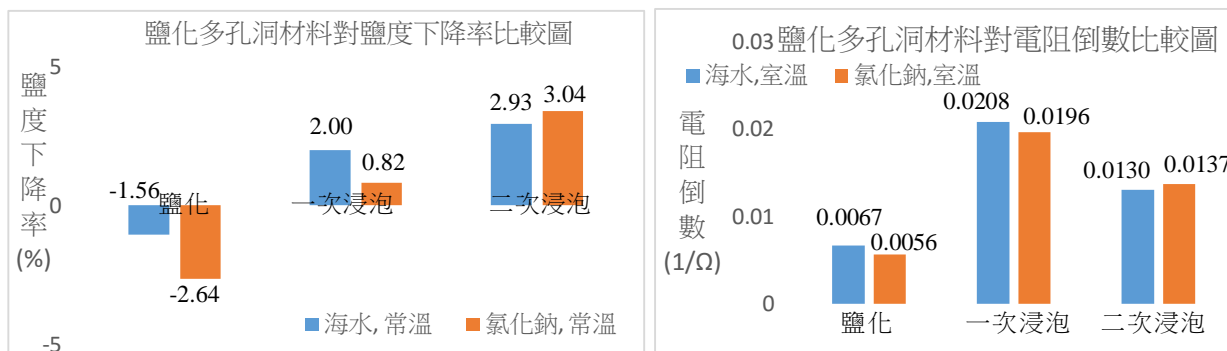
時也較少海水中陽離子吸附於孔洞內，使得鹽度下降率及電阻倒數較高。

實驗二、鹽化後浸泡硝酸銀實驗

(一)目的：將孔洞材料鹽化後浸泡硝酸銀溶液，後測試過濾海水之效果。

(二)步驟：重複實驗一之步驟後，浸泡硝酸銀 24 小時並重複兩次

(三)實驗結果：



以鹽度下降率及電阻倒數而言，海水一次浸泡高於氯化鈉，二次浸泡低於氯化鈉。

(四)討論：

- 1.以鹽度下降率而言，根據實驗一的討論，浸泡海水的孔洞材料在過濾時流出的氯離子數量較少，其孔洞內吸附之陽離子數量也較少，一次浸泡海水的鹽度下降率較低，但海水卻高於氯化鈉，推測是因為海水中的其餘陽離子，與銀離子產生之離子交換效率較氯化鈉中的鈉離子佳，使海水一次浸泡的鹽度下降率高於氯化鈉
- 2.以氯化鈉及海水一次浸泡及二次浸泡的鹽度下降率而言，在經過一次浸泡硝酸銀後，孔洞內吸附了銀離子，且二次浸泡後，鹽度下降率提升，皆比鹽化的孔洞下降率高，因此可推論浸泡硝酸銀有助於孔洞材料吸附氯離子。

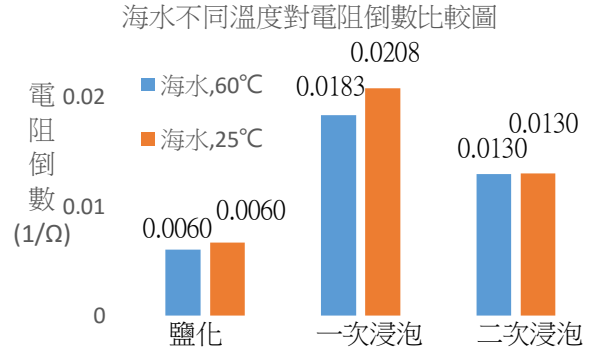
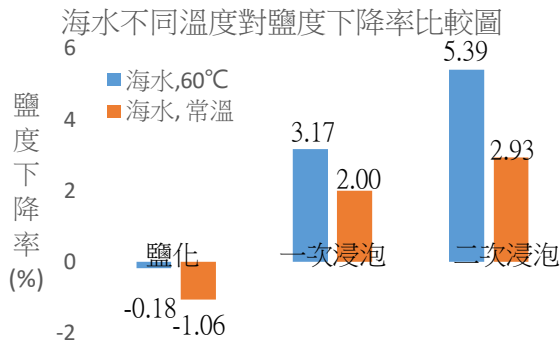
實驗三、鹽化孔洞材料比較不同溫度

(一)目的：比較溫度對鹽化孔洞材料淡化效果之影響。

(二)步驟：重複實驗一之步驟並分別存放於室溫下及 60°C 烘箱內

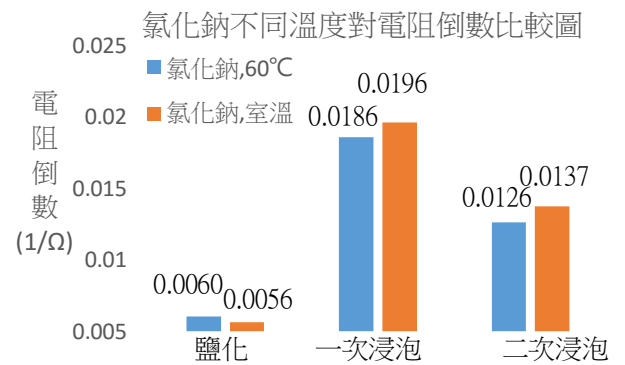
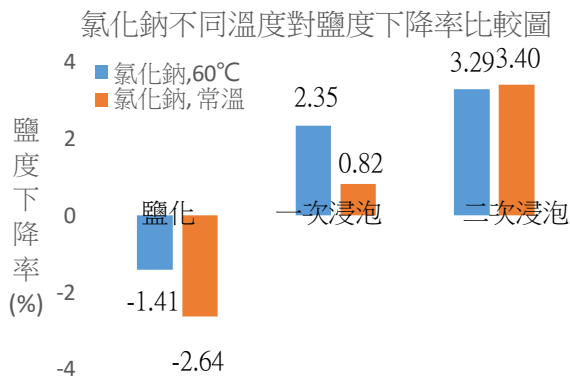
(三)實驗結果：

1.海水



以鹽度下降率而言，浸泡於 60°C 海水之孔洞材料效果優於浸泡常溫之孔洞材料

2.氯化鈉



從氯化鈉鹽度下降率而言，60°C 在鹽化及一次浸泡硝酸銀時優於常溫。

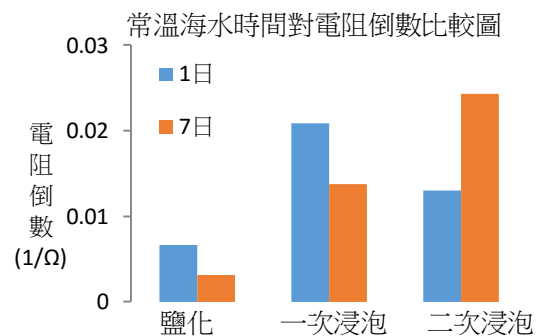
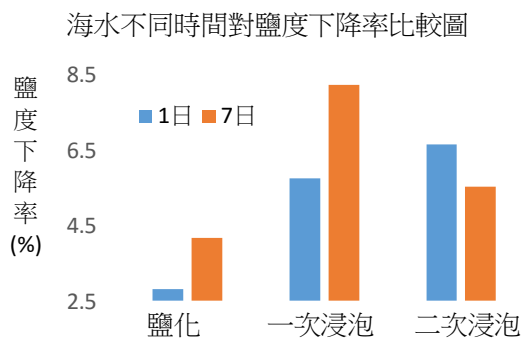
(四)討論：以鹽度下降率而言，浸泡於 60°C 海水效果優於浸泡常溫，推測是因為高溫提升了解離度，使得在高溫下浸泡的孔洞材料的孔隙內陽離子含量較高，於浸泡硝酸銀時與銀離子產生離子交換，使得鹽度下降率提升。

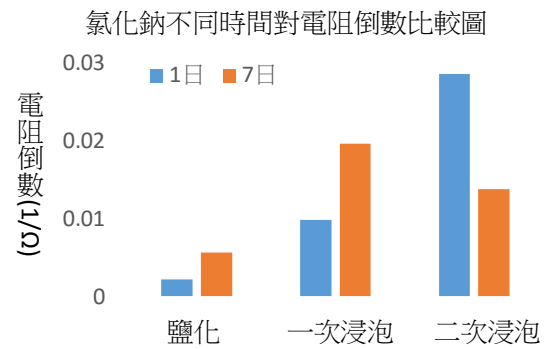
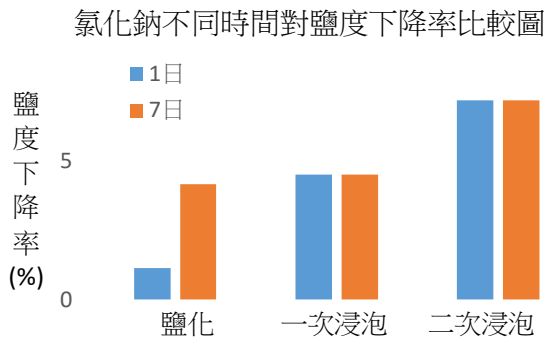
實驗四、鹽化孔洞材料比較不同溫度

(一)目的：比較時間對鹽化孔洞材料的淡化效果之影響

(二)步驟：將實驗一及二步驟重複並將浸泡時間延長至 7 日。

(三)實驗結果：





以鹽度下降率及電阻倒數而言，大部分隨時間增長而降低

(四)討論：

- 1.以海水及氯化鈉鹽度下降率及電阻倒數而言，長時間浸泡使得鹽化及一次浸泡的鹽度下降率提升，推測是因為長時間浸泡使得陽離子附著於孔隙內數量較多，使得鹽度下降率提升，電阻倒數降低。

研究四結論：

- 1.經海水及氯化鈉浸泡過之孔洞材料因氯離子以較弱之作用力吸附於，使得過濾時溶於濾液，造成鹽度上升，因此我們接著思考，若能使材料表面帶負電，便能更有利於陽離子吸附，而根據鹽化實驗結果，推測鈉離子對於孔洞材料吸附力較佳，因此接續進行浸泡氫氧化鈉的鹼化實驗。
- 2.在鹽化實驗中，過濾海水時因海水中陽離子吸附於孔隙內，於一次浸泡時溶液中銀離子與孔隙內陽離子進行離子交換，進而在過濾時吸附海水中氯離子，使鹽度下降。

研究五、孔洞材料經鹼化處理後對海水之過濾效能探討

目的：孔洞材料浸泡鹼性溶液後，使其表面帶負電，進而增加吸附海水中離子之效果。

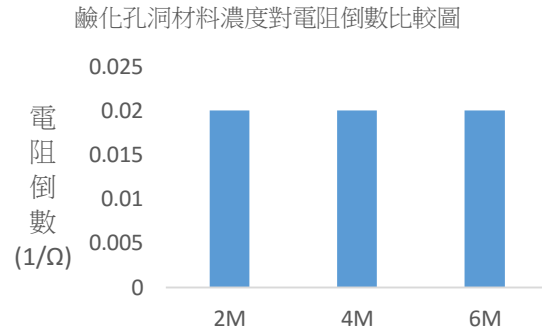
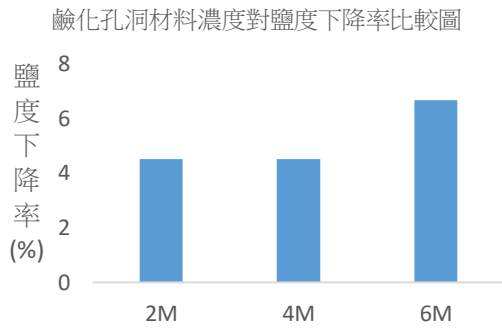
實驗一、不同濃度氫氧化鈉鹼化實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡不同濃度氫氧化鈉中比較孔洞材料吸附海水中離子效果。

(二)步驟：1.取孔洞材料浸泡 2、4、6M 氫氧化鈉，浸泡 24 小時後過濾海水。

2.測量過濾後海水導電度及鹽度。

(三)實驗結果：



鹽度下降率隨濃度增加而提升，電阻倒數則隨濃度上升而下降

(四)討論：

1. 浸泡氫氧化鈉溶液的孔洞材料過濾海水後鹽度下降，因為在浸泡的過程中，氫

氧化鈉中的 OH 離子與孔洞材料表面的 OH 產生反應： $M-OH+OH^{-}\rightarrow M-O$

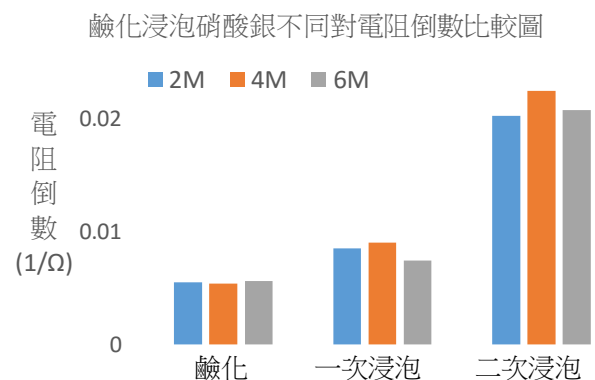
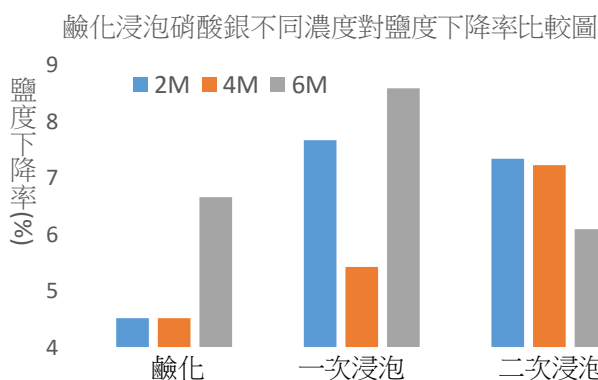
+H₂O，使更多鈉離子能吸附於孔洞材料孔隙內，以吸附更多海水中的氯離子

實驗二、鹼化後浸泡硝酸銀實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡鹼性溶液後浸泡硝酸銀測試並比較過濾海水之效果。

(二)步驟：重複實驗一之步驟後，浸泡硝酸銀 24 小時並重複兩次。

(三)實驗結果：



以鹽度下降率而言，大部分一次浸泡時最高；以電阻倒數而言，二次浸泡最高，趨勢提升。

(四)討論：

1. 鹼化一次浸泡硝酸銀孔洞材料，海水中離子濃度下降，因為在經過鹼化後孔洞材料表

面呈現帶負電的 M-O⁻，同時將硝酸銀中的銀離子與鹼化時吸附於孔洞材料孔隙內的鈉離子進行離子交換，使銀離子能更穩定地附著孔洞內，下降率可達 8.58%。

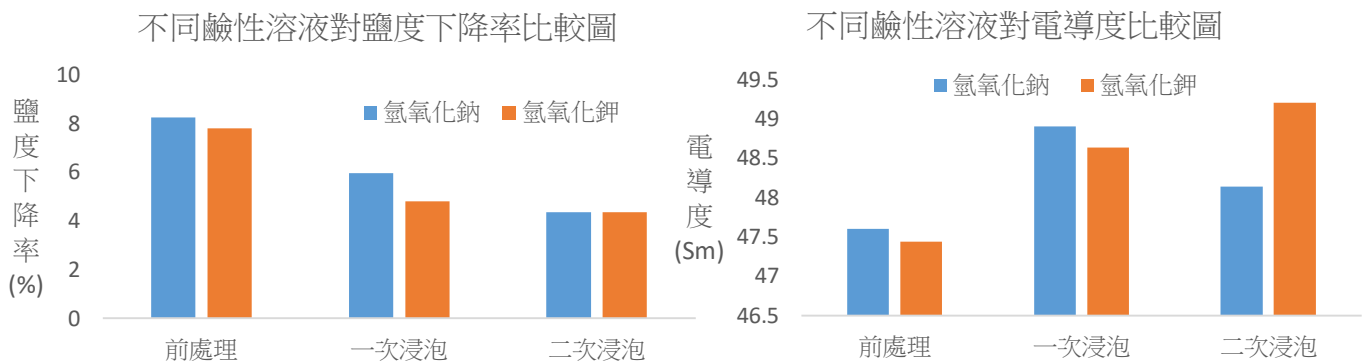
2.二次浸泡硝酸銀時，因鹼化時的 OH⁻離子幫助孔洞材料孔隙吸附更多鈉離子，在此時孔洞材料孔隙內的鈉離子數量已達飽和，因此效果與鹼化無太大的差別。

實驗三、不同鹼性溶液比較實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡氫氧化鈉及氫氧化鉀比較孔洞材料吸附海水中離子效果。

(二)步驟：將孔洞材料浸泡不同鹼性溶液後浸泡硝酸銀後進行測量。

(三)實驗結果：



從實驗結果發現氫氧化鈉的鹽度下降率較氫氧化鉀高，而在一次浸泡時的差距

最大，而從電導度來看，發現除二次浸泡硝酸銀外，氫氧化鈉皆高於氫氧化鉀。

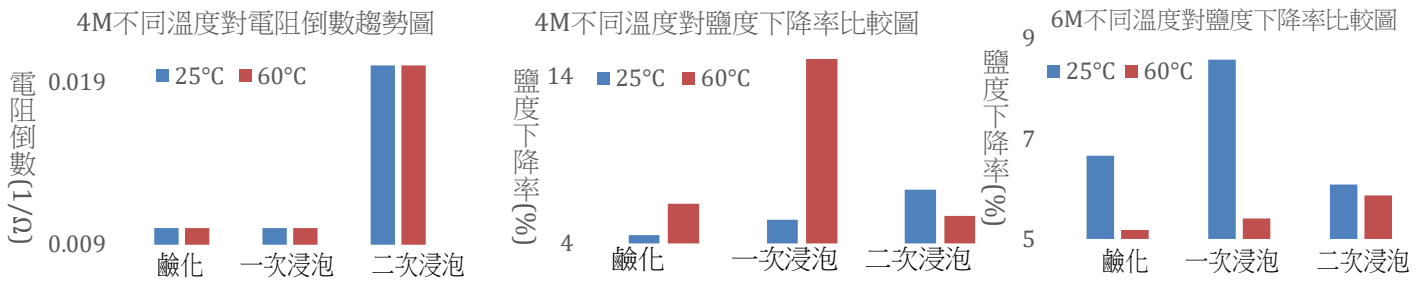
(四)討論：從實驗結果推測鈉離子對孔洞材料的吸附效果優於鉀離子，所以淡化效果較佳，而在浸泡硝酸銀後也能有較好的淡化效果。

實驗四、鹼化孔洞材料比較不同溫度

(一)目的：比較常溫及 60°C 時鹼化孔洞材料吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：孔洞材料浸泡氫氧化鈉及硝酸銀時放入 60°C 烘箱比較與 25°C 的差異。

(三)實驗結果：



1. 一次浸泡硝酸銀時氫氧化鈉 6M 25°C 的鹽度下降率高於 60°C 的，而 2M 25°C 的鹽度下降率低於 60°C 的 4.74%，4M 的則低於 10.84%。

2. 三種濃度的鹼化，檢測的電阻倒數都相差不大，二次浸泡硝酸銀是三者最高。

(四)討論：

- 除了氫氧化鈉6M的25°C鹽度下降率高於60°C的，其餘兩組所顯現的都是低於的，所以推知高溫對於鹼化孔洞材料確實能有幫助，但濃度太高則會造成反效果。
- 三種濃度的鹼化孔洞材料，所檢測出的電阻倒數都相差不大，二次浸泡硝酸銀是三者中最高，所以孔洞材料在進行二次浸泡硝酸銀時吸附離子的效果會因孔洞中被填滿而下降。

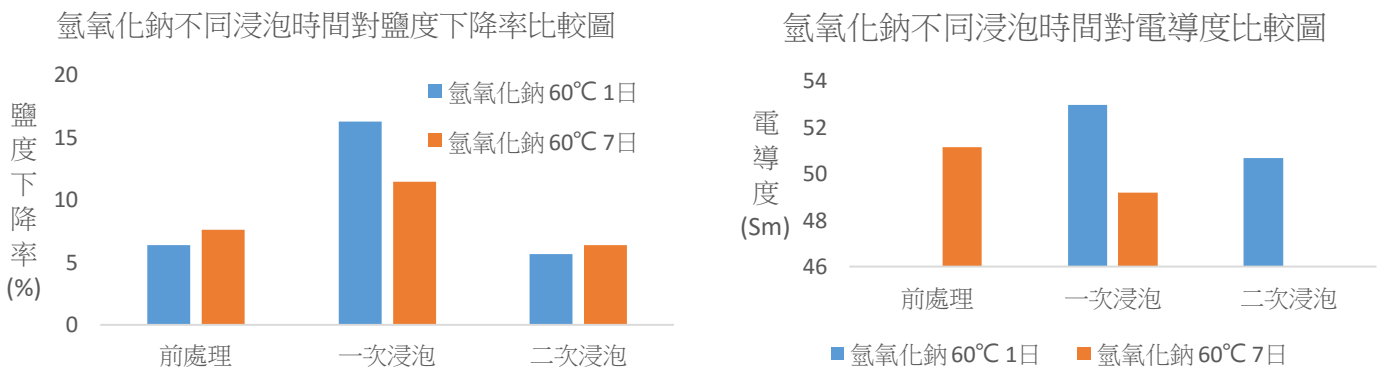
實驗四、鹼化孔洞材料不同浸泡時間比較

(一)目的：將孔洞材料浸泡 1 日或 7 日後測試過濾海水之效果並進行比較。

(二)步驟：

- 取適量孔洞材料浸泡氫氧化鈉 1 日及 7 日後過濾海水。
- 測量過濾後海水導電度及鹽度。

(三)實驗結果：



從鹽度下降率來看，除一次浸泡硝酸銀外，浸泡時間較長的效果皆較好，兩者效

果最好皆為一次浸泡硝酸銀時，而浸泡時間較長的高於時間較短的。

- 1.雖然浸泡 7 日的在前處理及二次浸泡硝酸銀皆高於浸泡 1 日的，但在效果最好的一次浸泡硝酸銀浸泡 1 日的卻較好，推測銀離子在短時間的附著效果較好，而二次浸泡時可能因為浸泡 1 日的孔洞以被填滿，所以淡化效果較差。

(四)討論：

研究五結論：

- 1.孔洞材料浸泡氫氧化鈉的過程中，氫氧化鈉中的 OH⁻離子可與孔洞材料表面的 OH 產生，反應式： $M-OH+OH^{-}\rightarrow M-O+H_2O$ ，使更多鈉離子能夠吸附於孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子。
- 2.一次浸泡硝酸銀鹼化孔洞材料，在經過鹼化後孔洞材料表面呈現帶負電的 M-O⁻，同時將 AgNO₃ 中的銀離子與鹼化時吸附於孔洞材料孔隙內鈉離子進行離子交換，使銀離子能夠更穩定地附著於孔洞材料表面。
- 3.二次浸泡硝酸銀時，因鹼化時的 OH⁻離子幫助孔洞材料孔隙吸附更多鈉離子，在此時孔洞材料孔隙內的鈉離子數量已達飽和，所以淡化效果較一次浸泡硝酸銀差。
- 4.浸泡氫氧化鈉時間較長不會提升淡化效果。

研究六、取最佳化條件進行不同條件的淡化效果比較

目的：得出最佳的孔洞材料淡化條件，以提淡化效果。

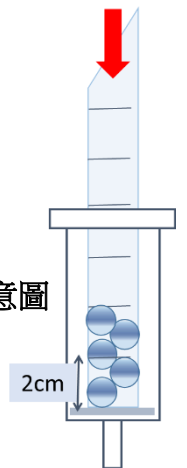
實驗一、最佳化條件不同管徑長比較

(一)目的：得出最佳過濾管柱長，提升淡化效果。

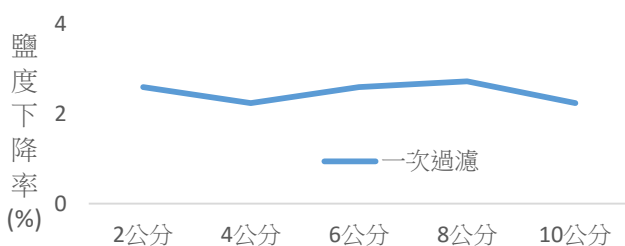
(二)步驟：將孔洞材料到入圖十三裝置並過濾海水。

(三)實驗結果：

圖十六：過濾裝置示意圖

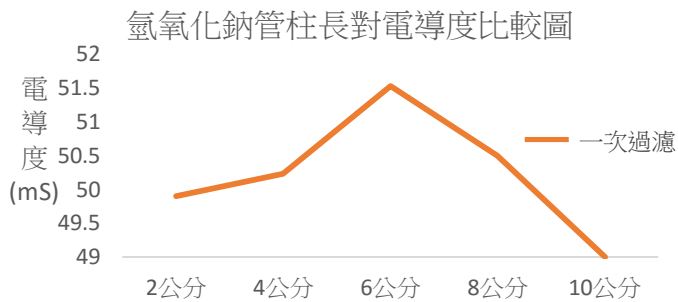
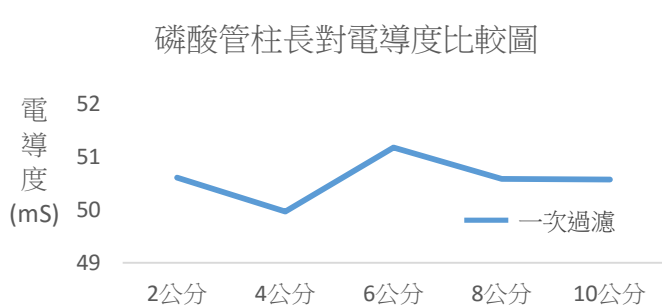


磷酸管柱長對鹽度下降率比較圖



氫氧化鈉管柱長對鹽度下降率比較圖





從鹽度下降率來看，酸化孔洞材料在不同管柱長的過濾效果接近，而鹼化則以 6 公分為分隔線，6 公分以上的淡化效果增加，從電導度來看，發現不同管柱長間的電導度差距皆相差不大。

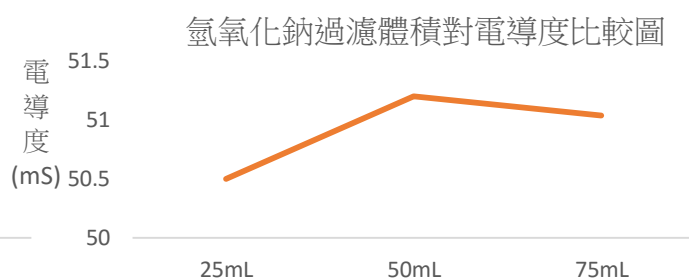
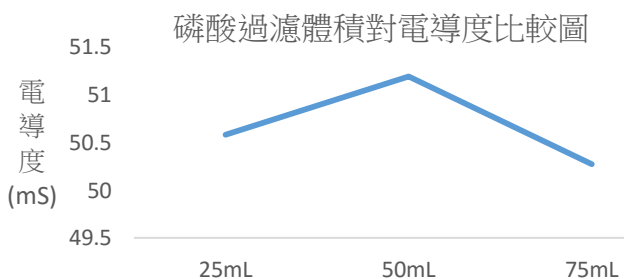
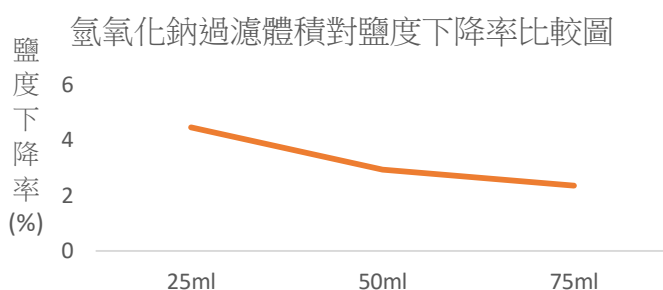
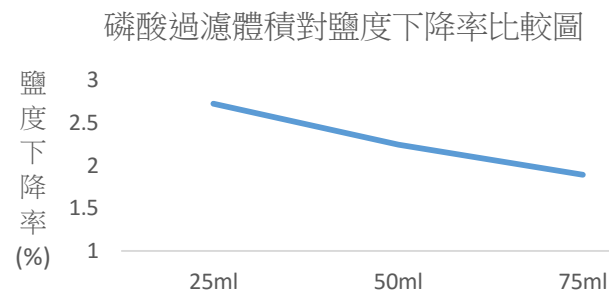
(四)討論：酸化條件下，對於不同管柱長影響較小，而鹼化條件在 6 公分以上的管柱長淡化效果提升。

實驗二、最佳化條件不同過濾體積比較

(一)目的：測量在不同過濾體積下孔洞材料的淡化效果。

(二)步驟：取定量孔洞材料並倒入多次相同體積海水後進行量測。

(三)實驗結果：



從鹽度下降率看來，兩者皆隨過濾體積增加而逐漸下降，從電導度來看，皆在 50ml 達到最高。

(四)討論：從實驗結果發現鹽度下降率會和過濾體積呈現反比關係，推測試因為孔

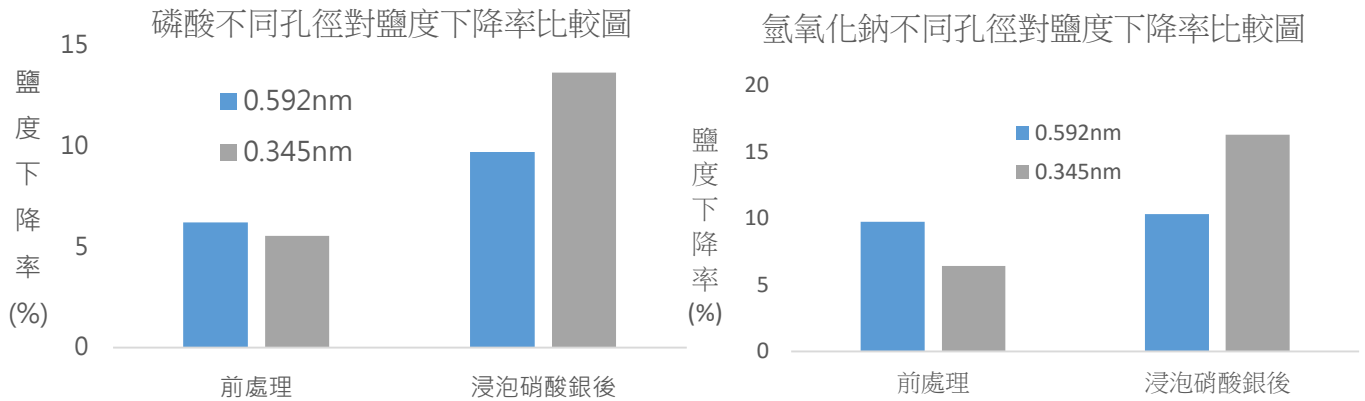
洞材料能吸附的離子量有限，所以當過濾體積較多時效果會下降。

實驗三、最佳化條件不同孔徑大小比較

(一)目的：不同孔徑大小的孔洞材料進行最佳化條件處理後淡化效果比較。

(二)步驟：取不同孔徑大小孔洞材料進行最佳化處理並過濾海水。

(三)實驗結果：



酸化及鹼化條件下孔徑較大的在浸泡硝酸銀後效果皆低於孔徑較小的，而前處理時則相反，其中鹼化條件效果優於酸化條件。

(四)討論：

- 1.從實驗發現孔洞材料孔徑較大在進行前處理後淡化效果較好，可能是因為能吸附的離子含量較多，所以使海水鹽度下降。
- 2.在浸泡硝酸銀後發現孔徑較小的淡化效果優於孔徑較大的，推測是因為孔徑較大的孔洞材料在前處理時孔洞內已吸附離子而降低了浸泡硝酸銀後的吸附量。

研究六結論：

- 1.酸化條件下孔徑長對淡化效果影響不大，而鹼化條件在管柱長 6 公分以上的淡化效果較好。
- 2.鹽度下降率和過濾體積成反比。
- 3.孔徑較小的孔洞材料在浸泡硝酸銀後淡化效果較佳。

研究七、取最佳化條件與市售之陽離子交換樹脂比較

(一)目的：從多次實驗結果中取得之最佳化條件與市售之陽離子交換樹脂比較。

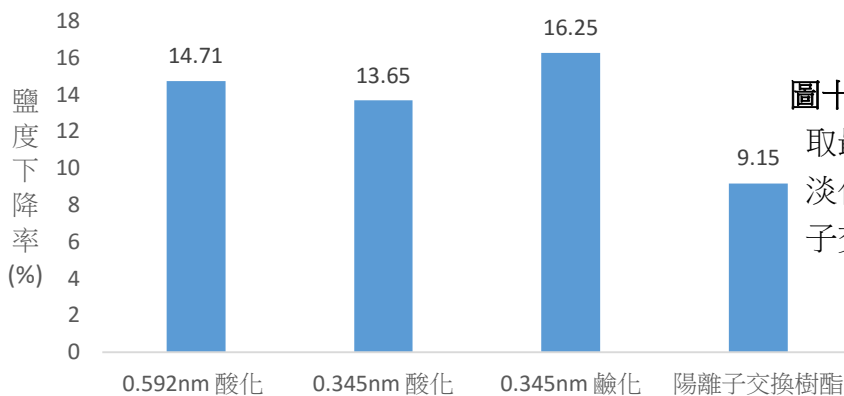
(二)步驟：1.取磷酸 60°C 一次浸泡硝酸銀、氫氧化鈉 4M 60°C 一次浸泡硝酸銀進行分析。

2.取 3g 陽離子交換樹脂放入層析管。

3.取 25ml 海水進行過濾，並測量鹽度及電阻，並進行比較。

(三)實驗數據：

最佳化條件與陽離子交換樹脂對鹽度下降率比較圖



圖十七：最佳化條件與陽離子交換樹脂比較圖

取最佳化條件和市售之陽離子交換樹脂進行淡化海水的效果比較，發現其皆由優於陽離子交換樹脂。

1.雖然鹽化及鹼化都是讓孔洞材料孔洞吸附鈉離子，但是鹼化的效果卻優於鹽化因為鹼化使用的 NaOH 中的 OH⁻離子可以在孔洞材料表面形成 M-O⁻而使得孔洞材料內部孔隙吸附之鈉離子含量更高。

2.同樣是鹽化但是浸泡 NaCl 的效果卻高於海水，因為海水中含有的離子種類複雜，鈉離子的數量低於 NaCl 中的，所以鹽度下降率也低於 NaCl。

伍、討論與應用

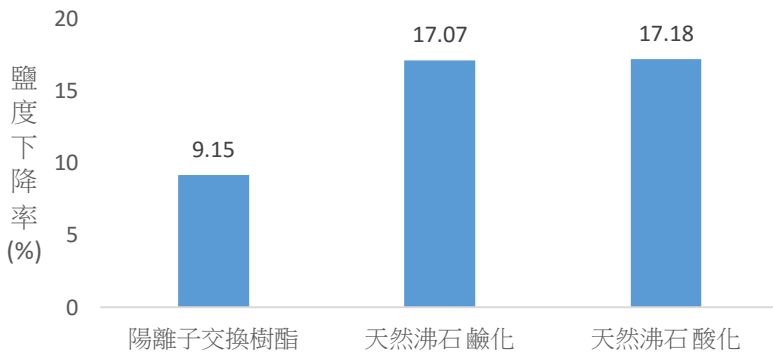
從本研究中，試著找出最佳化條件的前置處理方法，但其使用的孔洞材料並非市面上所常見的，考量本研究希望能大量開發並應用於市面上的最終目標，於是取市面上價格較便宜且容易取得天然沸石進行實驗並量測其淡化效果。

(一)目的：測試天然沸石在最佳化條件的淡化效果。

(二)步驟：取相同公克數之天然沸石進行最佳化前處理後過濾海水。

(三)實驗結果：

天然沸石與陽離子交換樹脂對鹽度下降率比較圖

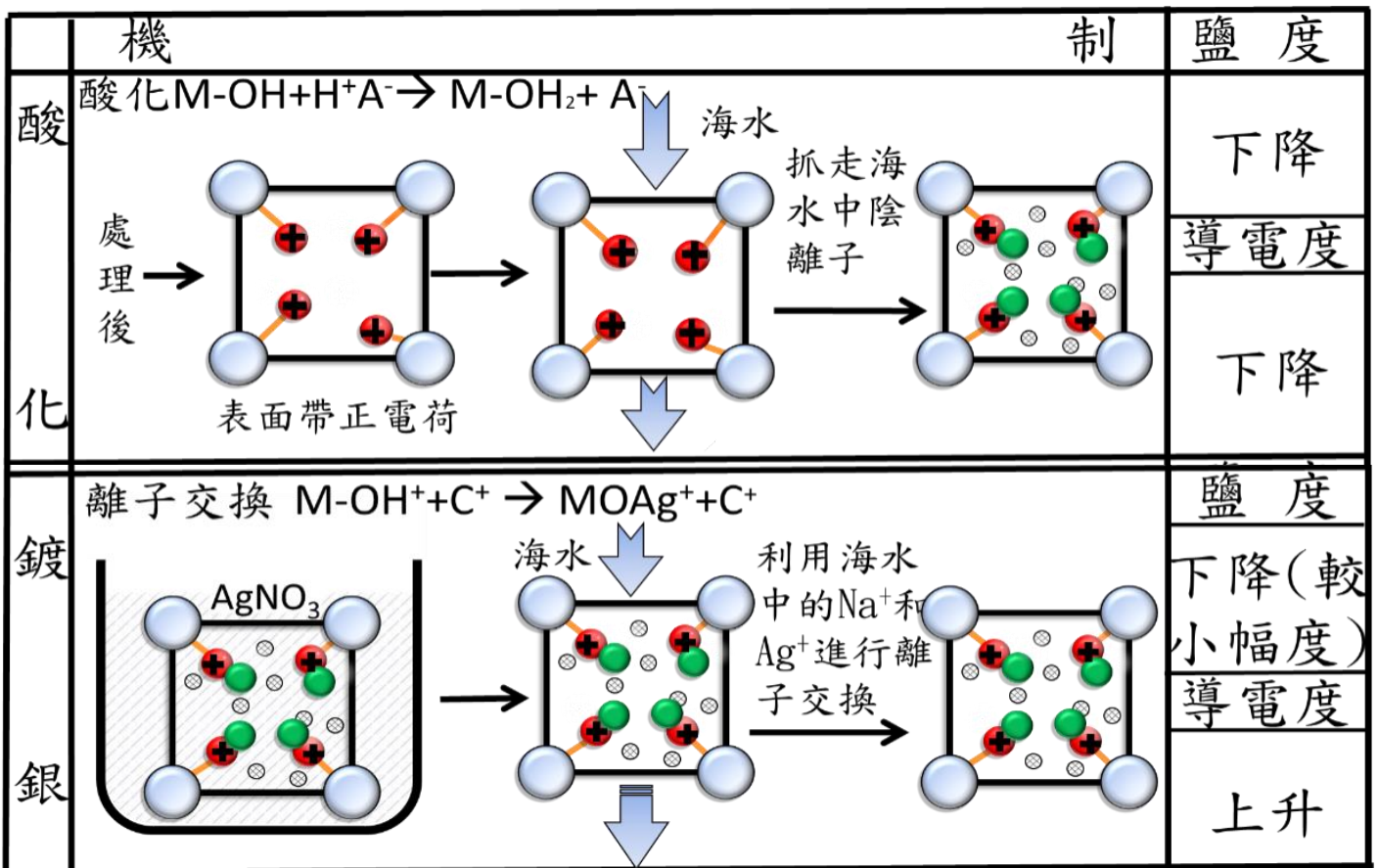


圖十八：天然沸石與陽離子交換樹脂比較圖

天然沸石經最佳化條件處理後，其淡化效果皆優於市售之陽離子交換樹脂，其中酸化條件又較鹼化條件高。

(四)討論：從實驗結果發現，天然沸石以實驗之最佳化條件處理後，的確能使淡化效果優於陽離子交換樹脂，經酸化及鹼化處理後浸泡硝酸銀的確能使孔洞材料吸附海水中離子。

陸、結論



一、從研究三中我們發現，當酸化後一次浸泡硝酸銀時，孔洞材料的表面會在鹼條件中傾向逆反應，使得沸石再生，且酸化的濃度越高，反應越顯著。

二、浸泡酸性溶液時，的確能使孔洞材料表面帶正電以吸附海水中的陰離子，而也參考文獻

的研究中得知，在酸化條件下會使得孔洞材料中的鋁離子含量下降，成為矽酸鹽，而在浸泡酸性溶液後，成為矽酸並釋出陰離子，讓孔洞材料表面帶正電，使其成為共軛酸。

	機	制	鹽度
酸化再生			下降
			導電度
			上升

三、從研究三、四、五中我們發現，孔洞材料的反應再生只發生於酸化一次浸泡硝酸銀時，因酸化後過濾海水時讓孔洞內有陽離子附著，浸泡硝酸銀時孔洞中的陽離子和銀離子發生離子交換： $M-OH^+ + C^+ \rightarrow MOC^+ + H^+$ ，因此銀離子附著於孔洞中，在過濾時銀離子和氯離子結合，所以鹽度下降，但因 MOH_2^+ 濃度過高所以當過濾鹼性的海水時，根據勒沙特列原理，反應式傾向逆反應： $M-OH + H^+ A^- \rightleftharpoons MOH_2^+ + A^-$ ，所以釋出離子使電阻下降。

	機	制	鹽度
鹽化			上升
			導電度
			下降
鍍銀			鹽度
			下降
			導電度
			上升

四、從研究五中我們發現，當鹽化的浸泡時間越長，離子吸附於孔隙內的效果越好。

機 制		鹽 度
鹼 化	$M-OH+OH^- \rightarrow M-O^-+H_2O$ 	下降
		導電度
		下降
鍍 銀	$M-OC^++Ag^+ \rightarrow MOAg^++C^+$ 	鹽 度
		下降(較小幅度)
		導電度
		下降

五、從酸化及鹼化實驗發現，當二次浸泡硝酸銀時，鹽度都與第一次浸泡硝酸銀時差距不大，是因為孔洞材料的孔洞已被離子填滿，所以能再進行吸附離子的空間不足。

六、我們從鹼化及鹽化實驗發現，雖然同樣是吸附鈉離子，但鹼化的效果卻優於鹽化，因為鹼化時氫氧化鈉中的OH⁻離子可與孔洞材料表面的OH產生反應，反應式： $M-OH+OH^- \rightarrow M-O^-+H_2O$ ，使得更多鈉離子能夠吸附於孔洞材料表面，進而吸附更多海水中的氯離子，使淡化效果提升，而海水則因為本身的鈉離子就低於NaCl 1M所以效果為三者最差。

七、從鹽度測定實驗中，我們發現海水不適合應用於銀離子滴定法，因為海水中離子成分複雜，以及沉澱物質非純的氯化銀，所以無法精確計算離子含量，而折射率則會因量測溶液中離子顆粒大小不同而產生差異，而內電壓量測時，會受到容易內電阻的影響而有偏差，所以我們決定以測量電阻及鹽度計作為鹽度的測定方式。

八、我們經由實驗二發現，分子篩在過濾海水時，由於結構問題，吸附離子前會優先吸附水

分子，且分子篩填充銀離子後容易破裂，因為我們使用的分子篩孔洞直徑為 4\AA 而銀離子直徑為 2.68\AA ，所以當銀離子附著時，可能因通道產生的作用力彼此擠壓而使通道壓力過高產生破裂，所以後續實驗中決定使用孔洞材料作為過濾材料。

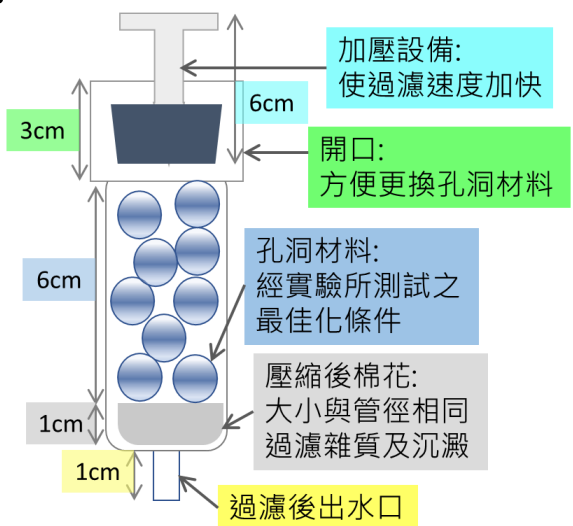
九、過濾管柱長度低於 6 公分時，會因過濾材料較少，所以無法較有效率地進行淡化，其中鹼化前處理的影響較酸化的明顯；且因孔洞材料吸附離子量有限，所以鹽度下降率和過濾體積成反比。

十、孔徑越大的材料在進行前處理後，因為能吸附離子較多所以淡化效果越好。

十一、酸化及鹼化離子交換機制不同，會因為所使用孔洞材料不同而有不同的影響。

柒、未來展望與應用

- 一、希望將多孔洞材料敲碎，讓孔洞材料的表面積增加，在浸泡及過濾時能產生反應及附著離子的面積提升，希望在同樣使用量的情形提升淡化效果。
- 二、將浸泡硝酸銀的時間延長，使銀離子附著率提高，讓鹽度下降率提升至少 20%，使其成為半鹹水，應用於養殖業等領域，並進行後續研究，希望開發為方便攜帶的海水淡化系統應用至臨海缺水地帶。



圖十九、過濾系統示意圖

捌、參考文獻

楊迎輝、鄭名洪(2008)。中孔洞分子篩 SBA-15 的製備。

Edy Wibowo, Sutisna, Mamat Rokhmat, Riri Murniati, Khairurrijal, and Mikrajuddin

Abdullah(2017). Utilization of natural zeolite as sorbent material for seawater desalination. *Science Direct*.

Candan CAN, Ayşegül KÖRLÜ et al. (2013, August 1). *USE OF SILVER-LOADED ZEOLITES IN THE ANTIBACTERIAL FINISHING OF COTTON FABRICS*. Science Direct.

沈劍平, 李悅, 孫鐵 等人(1995 年 6 月)。酸處理對 β 沸石結構和酸性的影響。高等學校學報, 16(6), 943~947。