

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

苦鹹水在逆滲透淡化程序中薄膜阻塞之研究：評估以電化學
分離法去除二氧化矽之策略

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2622-E-029-001-CC3

執行期間：93年05月01日至94年04月30日

執行單位：東海大學環境科學系

計畫主持人：鄧宗禹

計畫參與人員：王家駿

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 94 年 7 月 7 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精簡報告

學門領域：環境工程

計畫名稱：苦鹹水在逆滲透淡化程序中薄膜阻塞之研究：評估以電化學分離法去除二氧化碳之策略

計畫編號：NSC 93-2622-E-029-001-CC3

執行期間：93/05/01~94/04/30

執行單位：東海大學環境科學系

主持人：鄧宗禹

參與學生：王家駿

姓名	年級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩士論文)	工作內容
王家駿	碩士班	苦鹹水在逆滲透淡化程序中薄膜阻塞之研究：以電解混凝法為前處理策略	薄膜、水質採樣分析、實驗執行、數據整理、進度報告授寫

合作企業簡介：

合作企業名稱：德鎮盛工程股份有限公司

計畫聯絡人：林上全(原聯絡人柯建成離職)

資本額：3600 萬元

產品簡介：廢棄物處理、淨水工程、廢水工程等設計施工操作

網址：

電話：04-22080986

研究摘要(500 字以內)：

由德鎮盛工程股份有限公司負責營運之澎湖成功(苦鹹水)淡化廠近年來製水成本提高，因其逆滲透(Reverse Osmosis, RO)系統濾心發生阻塞的時程過快。就時間方面，時常尚未達到設計上所需更換耗材時間的一半即發生阻塞，因此需要大量更換耗材。濾心阻塞時間過快，為了達到所需出水量，往往需要更大的成本。目前在進入 RO 前採取加入抑垢劑的方式，來減少阻塞的產生。然而添加藥劑也逐漸成為營運成本的一大負擔，且尚未確定添加抑垢劑對於抑制薄膜阻塞的效果。因此，本計畫之前步驟進行廠商提供的抑垢劑之效率評估工作。

本研究針對(Hypersperse MSI 300 和 Molykem PC-191T)兩種不同抑垢劑進行二氧化矽溶解度與最佳加藥量之研究，在低飽和濃度(250mg/L)時添加 15ppm 之抑垢劑，MSI 300 相對 PC-191T 具有較佳的抑制效果。本研究也利用電化學法去除澎湖淡化廠實際逆滲透濃縮液中的溶解性二氧化矽，以鋁板做為陽極，利用偶極排列方式進行電解混凝法去除實驗，在 0.5A、電解時間 20 分鐘、板距 4 公分下可將濃縮液中約 100mg/L 之溶解性二氧化矽濃度去除至約 30mg/L，已可有效防止其經 RO 濃縮後聚合化而造成永久性阻塞的問題。目前正進行 RO 之長期測試，以確認此策略之可行性。

人才培育成果說明：

本計劃投入碩士班研究生一名，並有大專生參與實驗進行。由於合作期間須與廠商進行進度報告，使研究生直接與實務相聯，獲得寶貴的經驗。

技術研發成果說明：

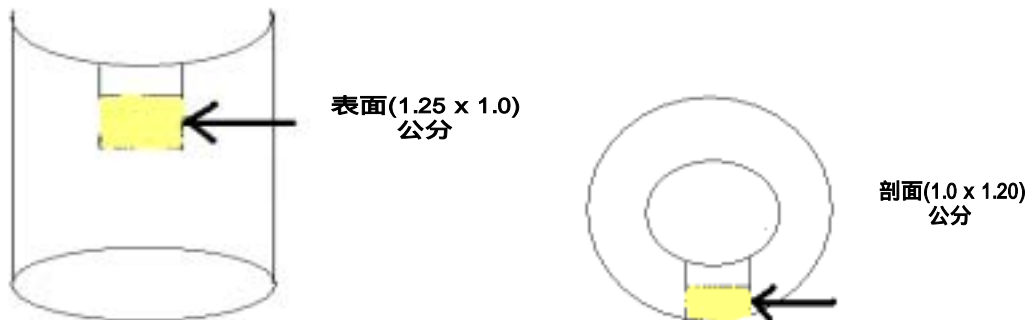
成果說明包含了研究方法、研究結果、初步結論、目前進度四部份。

1. 研究方法

此研究分成薄膜結垢性質探討與水處理效能評估試驗兩方面來進行。

1.1 薄膜結垢性質探討

本研究利用場發式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, FE-SEM)進行本研究對於苦鹹水前處理濾膜($1\ \mu\text{m}$)的阻塞原因詳加探討，下圖為薄膜樣本取樣示意圖。使用廠方提供的濾膜分別在剖面和表面各裁剪一塊來做為分析樣本，剖面的尺寸為 1.0×1.20 公分，表面的尺寸為 1.25×1.0 公分來分析，圖一(a)為表面截取的示意圖，圖一(b)為剖面截取的示意圖。之後就利用 SEM 掃描表面及剖面的樣本和利用 X 光偵測器做元素分析。



圖一(a) 表面截取處

圖一(b) 剖面截取處

1.2 實廠水處理效能評估試驗

(1) 實驗室電解混凝架構

電解混凝步驟分為兩部份，第一部份利用人工配置苦鹹水進行電解混凝試驗，以取得最佳操作條件。第二部份則是利用第一部份所取得之最佳操作條件進行實廠水樣電解混凝試驗，藉此得到最佳處理效果。

(2) 電解混凝法之極板排列方式選擇試驗

一般電解混凝極板排列方式分成單極串聯、單極並聯及偶極並聯式，本研究

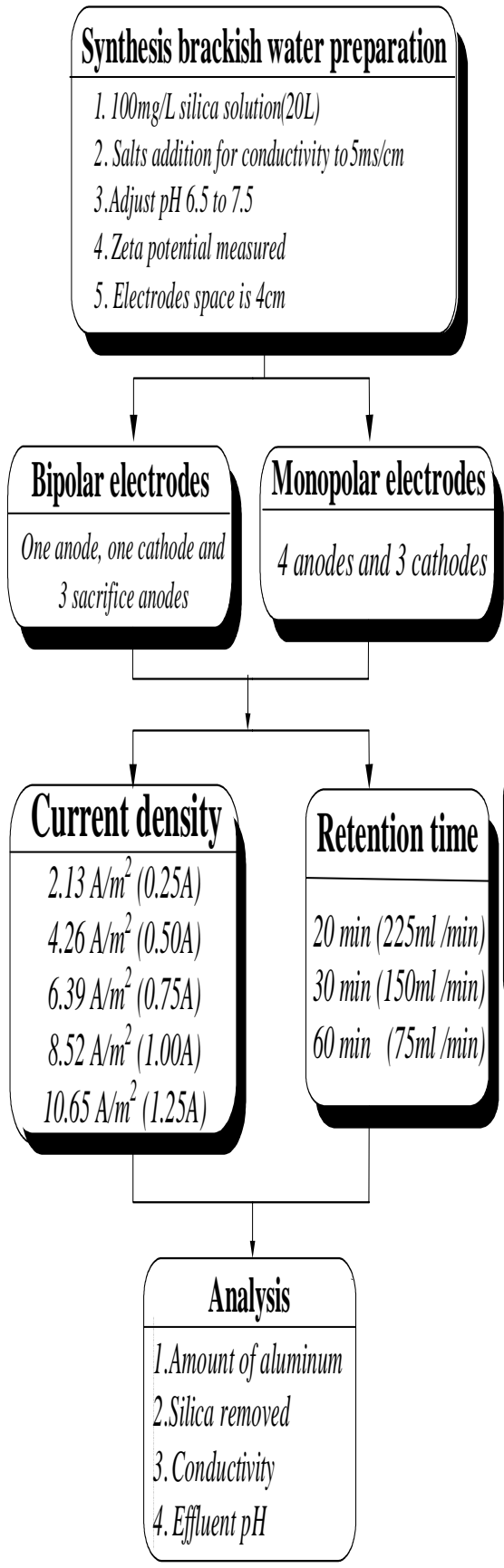
利用單極並聯及偶極並聯式兩種排列方式，進行初步電解混凝實驗，來決定極板排列方式，實驗流程如圖二所示，分別選取板距 4 公分利用單極並聯與偶極並聯兩種排列方式進行二氧化矽去除試驗，比較其去除效果來決定使用極板排列方式。

(3) 人工水樣電解混凝試驗流程

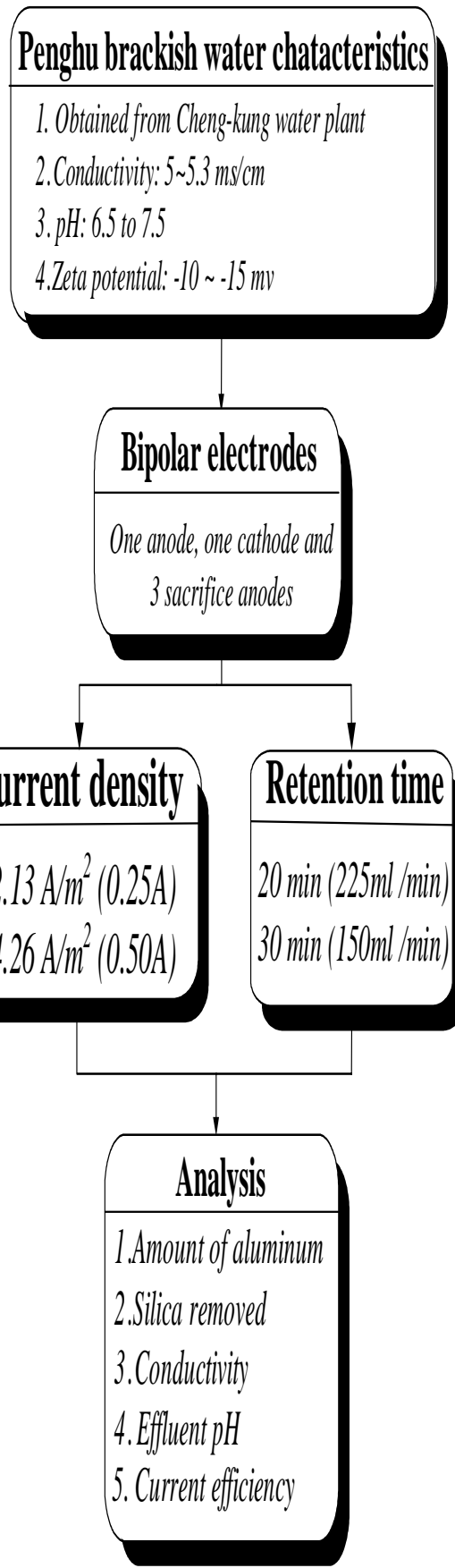
實驗流程如圖三所示，首先將配置好的人工水樣取約 4.5L 置入電解混凝槽內，剩餘人工水樣置於入流桶內，利用蠕動幫浦將水樣抽取至電解混凝槽內，依據不同水力停留時間調整幫浦流量，分別於入流口和出流口設置一球閥，利用球閥開關控制出流水水量，使得出流水流量和入流水流量一致，維持槽內液面之平衡。於出流端放置一收集桶收集出流水，並可定時擷取出流水，量測水質變化。在電解混凝試驗中，人工水樣於不同電解水力停留時間(20、30、60 分鐘)、不同電流大小(0.5A、0.75A、1A、1.25A 等)，再搭配極板間距 4 公分。藉此找出水力停留時間、給與電流及極板間距三種關係的最佳處理條件。且極板連接方式採取偶極極板並聯連接法，可節省整體操作成本。

(4) 澎湖實廠水樣電解混凝試驗流程

實驗流程如圖三所示，改以澎湖實廠水樣進行電解混凝試驗。其操作條件則利用人工水樣電解混凝試驗之結果取得。本實驗之操作條件為偶極極板並聯式、極板間距 4 公分、供給電流為 0.25、0.5 安培、水力停留時間為 20、30 分鐘，以上述操作條件進行實廠水樣電解混凝試驗取得水體中二氧化矽濃度去除效果。



圖二 極板排列方式選擇試驗流程



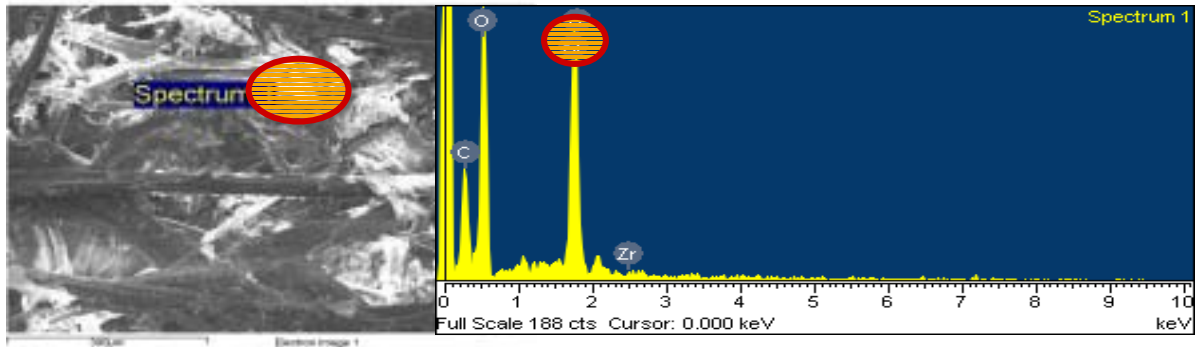
圖三電解混凝試驗流程

2. 研究結果

2.1 薄膜結垢性質探討

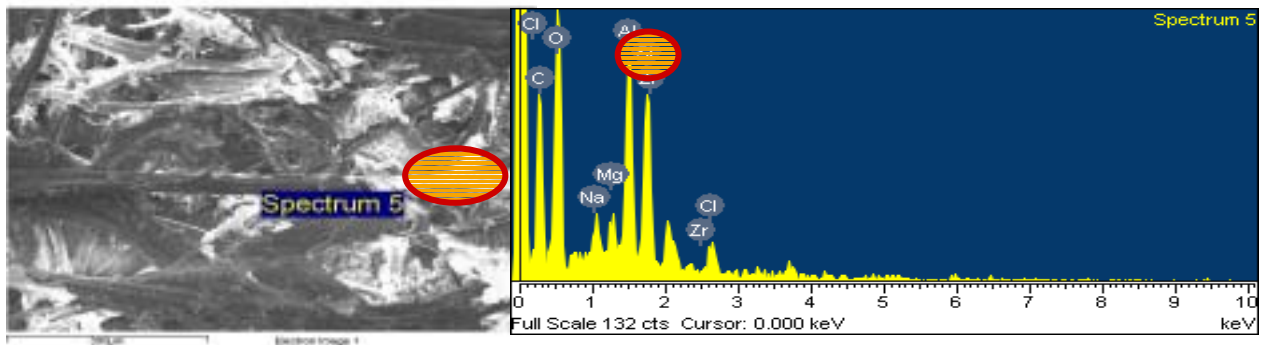
本研究對於苦鹹水前處理濾膜(1 μ m)的阻塞原因詳加探討，初步利用 FE-SEM 來分析濾膜表面的結垢情況，希望能藉由元素分析(EDS)所得到的數據，初步進行濾膜表面結垢物質的判斷，其性質是否以二氧化矽為主。

根據圖四(a)為薄膜表面 SEM 成像圖，藉由圖四(b)的元素分析發現含有矽(Si)、碳(C)、氧(O)、鋯(Zr)四種元素，因為有機物質都含有碳，以下的結果也將碳忽略不提，此點的阻塞物質可能是矽、氧和鋯。鋯一般來說不存在水中，不過有可能以二氧化鋯作為濾膜的材質，矽和氧的存在可能就是二氧化矽，或是其他含氧或含矽的化合物。圖四(c)為薄膜表面 SEM 成像圖，圖四(d)的元素分析發現含有多種元素(氧、鋁、鋯、鈉、鎂、矽、氯)，其中鈉的重量僅佔全部的 1.61% 而氯佔有 3.26% 所以並非全都是氯化鈉，也有可能是沒使用的 PACl，苦鹹水中也含有少量的鈣鎂離子，主要的阻塞物還是添加作為混凝劑的 PACl 和二氧化矽為主，其中鋯的含量升高，有可能測到濾膜本身的材質。



圖四(a) RO 薄膜表面 SEM 成像

圖四(b) 薄膜表面結垢物元素分析圖譜



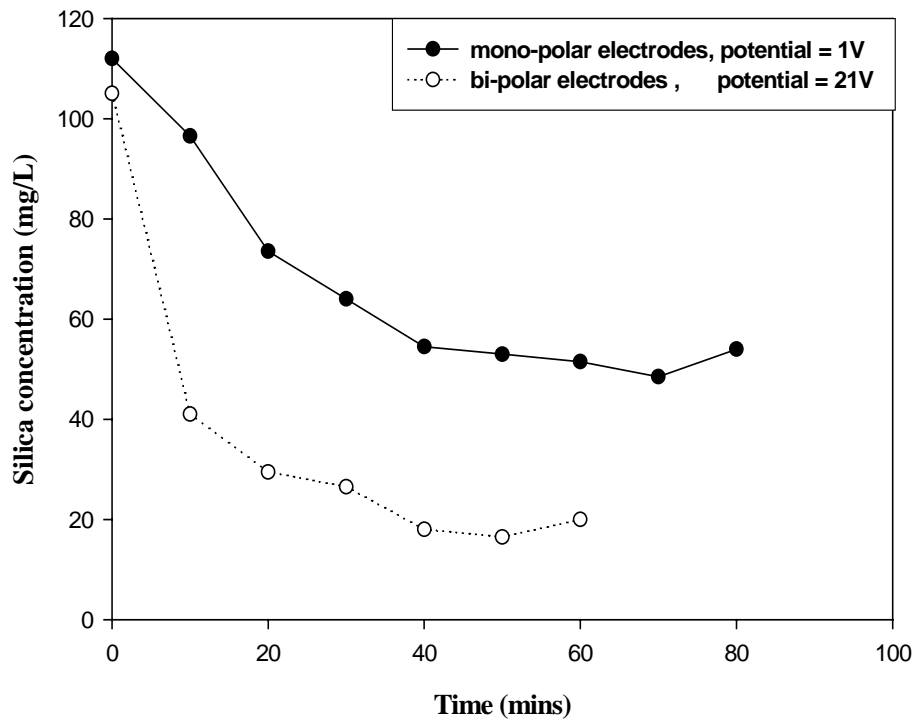
圖四(c) RO 薄膜表面 SEM 成像

圖四(d) 薄膜表面結垢物元素分析圖譜

2.2 實廠水處理效能評估試驗

2.2.1 極板排列方式選擇

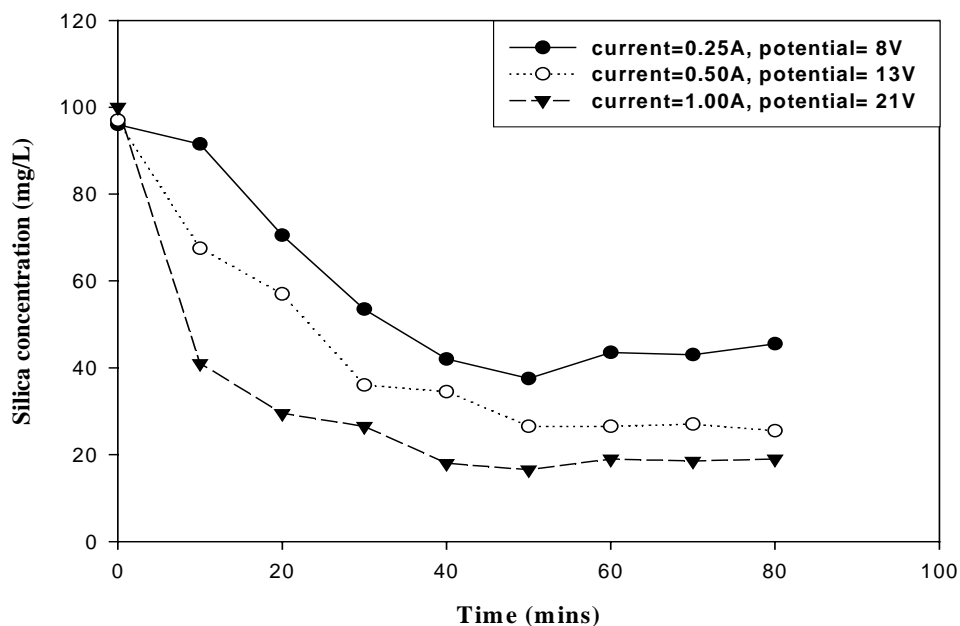
以單極並聯及偶極並聯式兩種極板排列方式，在相同操作條件下(通入電流、水力停留時間、極板數目)進行電解混凝效能評估。在相同電流條件下，因為極板排列方式不同，造成電壓大小有顯著的不同，也就是說偶極排列式因為電壓較高則具有較佳的電場強度，對於電泳的傳輸效率也較佳，可達到較好的電解混凝去除效果。而且以圖五為例，在操作電流為 1A 時，使用單極並聯式可將二氧化矽濃度去除至 54 mg/L，使用偶極並聯式可將二氧化矽濃度去除至 20mg/L。故本研究選擇偶極並聯式作為極板排列方式進行以下的電解混凝試驗。



圖五 偶極與單極排列方式(二氧化矽濃度 100mg/L,1A, 30min 水力停留時間)

2.2.2 電流密度

利用人工水樣進行不同電流條件(0.25、0.5、1.0A)、水力停留時間為 30 分鐘的電解混凝實驗。由圖六可觀察到電解時間越長，二氧化矽濃度有明顯的改變，最終濃度皆趨於平衡不再下降。圖中也察覺到隨著電流的增加二氧化矽去除效果也有明顯的提高，當電流為 0.5A 和 1.0A，二氧化矽濃度分別可降至 26 和 19 mg/L，當電流使用 0.25A 時則降至約 50 mg/L，因為當操作電流為 0.5 及 1.0A 時，二氧化矽去除效果接近，但 1.0A 需消耗較多的能源，故實廠水樣以 0.25 及 0.5A 進行電解混凝試驗。



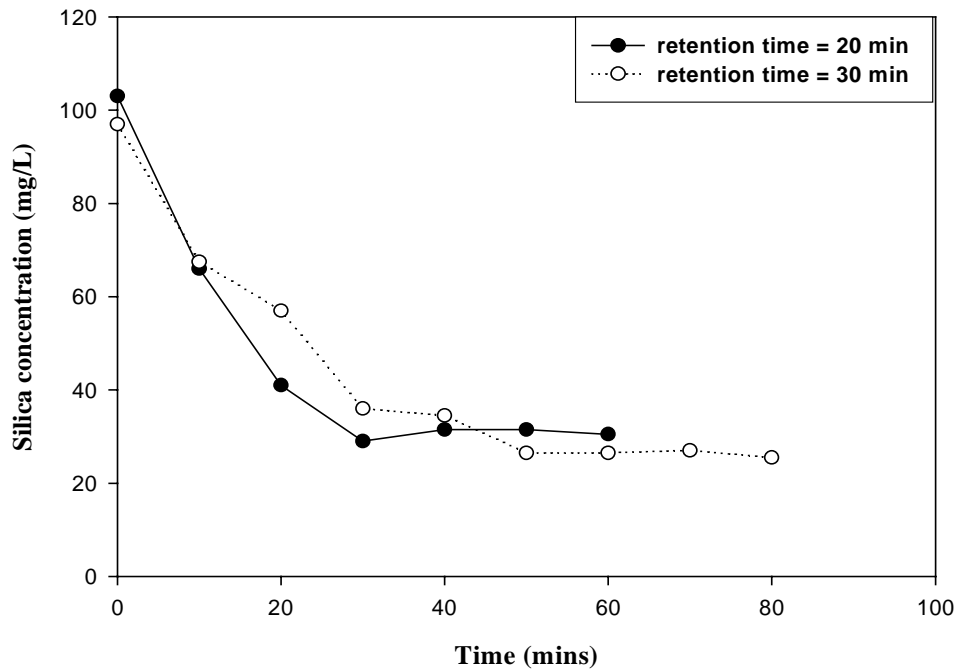
圖六 不同操作電流 V. S 二氧化矽去除效果(偶極並聯式排列、二氧化矽濃度 100mg/L, 0.25、0.5、1A, 30min 水力停留時間)

2.2.3 處理時間

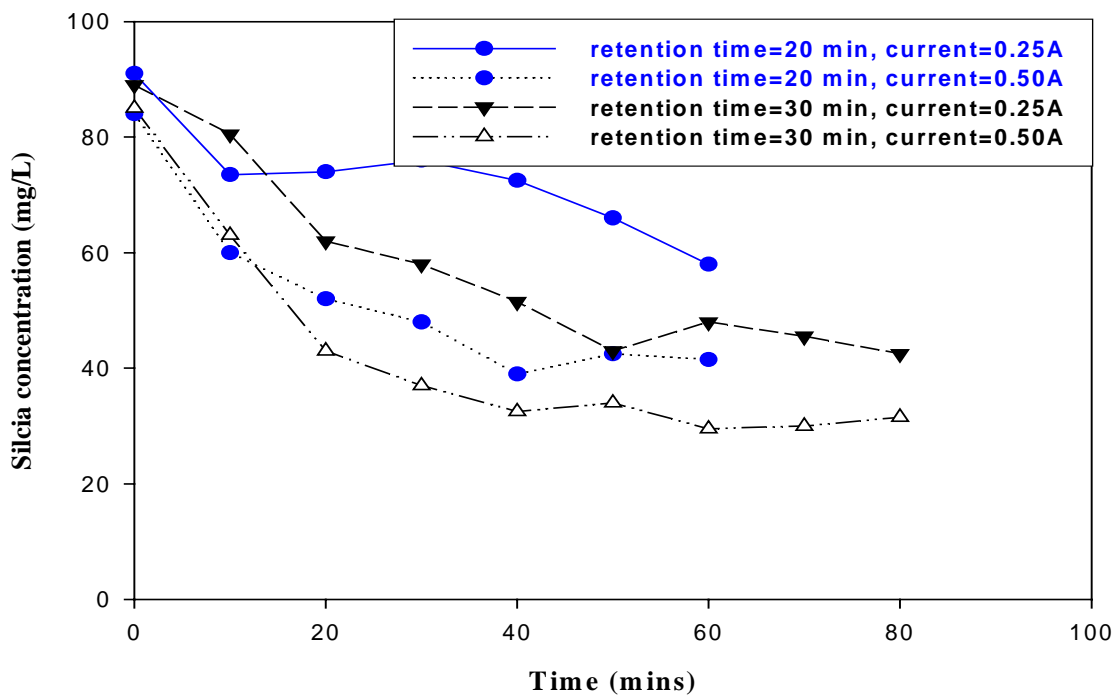
在相同操作條件下，若是水力停留時間越短，代表時間內可處理的水量越大，故本實驗比較水力停留時間和二氧化矽去除效果的關係。以圖七為例本實驗施以 0.5A 的控制電流、水力停留時間為 20 分鐘與 30 分鐘，其分別代表每分鐘可處理水量為 225 與 150ml，得到人工水樣之最終二氧化矽濃度皆在 30mg/L 左右，故實廠水樣以 20 分鐘水力停留時間進行電解混凝試驗。

2.2.4 澎湖實際水樣

經人工水樣模擬後所得到的較佳操作參數為操作電壓 0.25 與 0.5A、水力停留時間 20 與 30 分鐘進行實廠水樣電解混凝試驗，圖八表示水力停留時間為 30 分鐘時，施予 0.25 與 0.5A 的電流可分別去除二氧化矽濃度至 43 與 32 mg/L，當水力停留時間為 20 分鐘時，施予 0.25 與 0.5A 的電流可分別去除二氧化矽濃度至 58 與 42 mg/L，在上述操作條件下可使二氧化矽濃度低於原始進流水之濃度 (60mg/L)，使得 RO 薄膜不至於產生阻塞現象，具有較長的使用壽命。



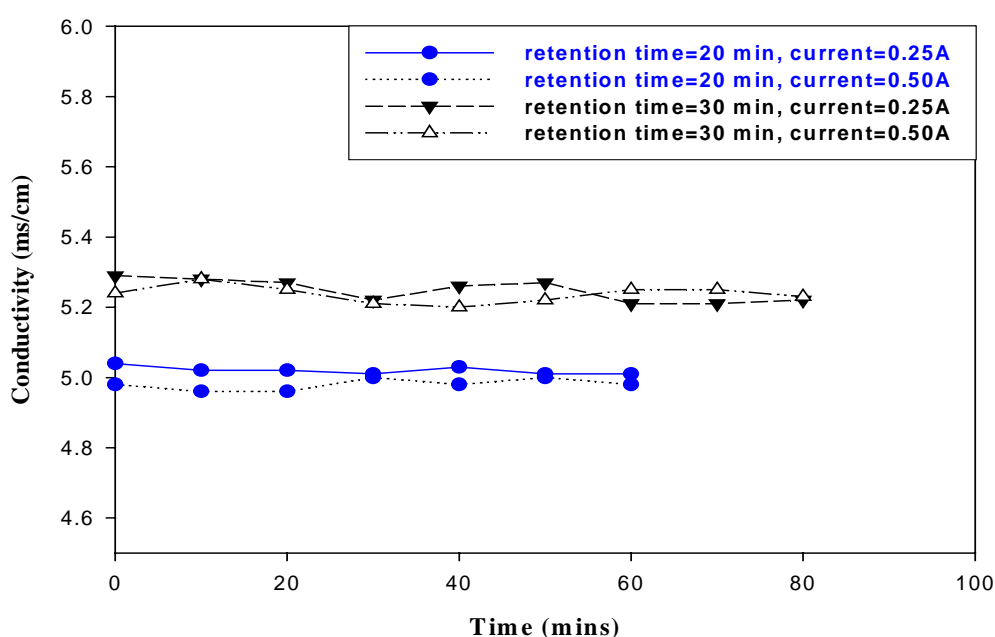
圖七 不同水力停留時間 V.S 二氧化矽去除效果(偶極並聯式排列、二氧化矽濃度 100mg/L, 0.5A, 20、30min)



圖八 實際水樣之二氧化矽去除效果(偶極並聯式排列 0、0.25、0.5A, 20、30 min)

2.2.5 導電度

根據圖九、電解混凝程序前後，水體的導電度值並沒有明顯的變化，可能是代表電解產生之鋁離子並未溶入水體中，改變水體性質。而是以金屬氫氧化物($\text{Al}(\text{OH})_3$)或是膠羽形式存於水體中。二氧化矽去除機制乃是水中矽酸離子和氫氧化鋁以共沉澱作用(co-precipitation)進行電荷中和吸附反應，在中性或弱鹼溶液中進行。



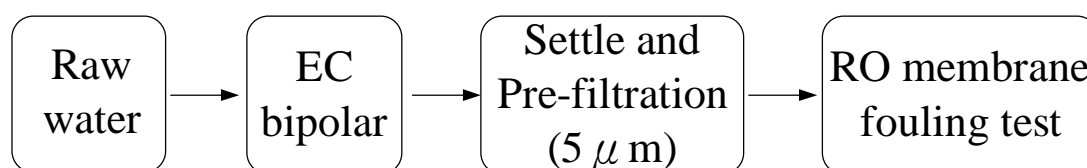
圖九 實際水樣水體導電度 V.S 電解混凝時間(偶極並聯式排列, 0.25、0.5A, 20、30min)

3. 初步結論

利用電解混凝法進行二氧化矽去除試驗，在 0.25、0.5A 及 20 與 30 分鐘水力停留時間的控制條件下，對於 100mg/L 的 RO 濃縮液之二氧化矽濃度皆可去除至低於原水進流濃度的 60mg/L 以下，而且水體導電度並沒有明顯改變，表示金屬離子並未溶入水體中改變水體特性。電解混凝法對於水中二氧化矽濃度有明顯的去除效果。

4. 目前進度

下圖為本研究預定架構。使用澎湖實際水樣作為原水(raw water)，進行偶極方式排列的電解混凝去除水中二氧化矽研究，再將電混後水樣先利用靜置(settle)分層後進行過濾(5 μ m)，濾後水樣利用 RO 薄膜進行結垢分析(fouling test)。目前進度僅剩 RO 薄膜結垢分析尚未完成。



圖十 RO 薄膜實驗流程圖

技術特點說明：

本技術為結合電泳作用與金屬界面現象的電化學法，以鋁板做為陽極，不銹鋼板作為陰極，施加直流電作為電源，將帶表面負電荷之二氧化矽膠體或離子集中於陽極附近，利用二氧化矽親金屬表面之特性，使之與陽極釋出之金屬離子產生混凝作用並沈積於上。本研究採取鋸齒狀流道設計，當溶液在流動時，會因為上下流道形成的剪力梯度，使得顆粒與極板接近的時間拉長，增加混凝的機率。此方法提供一簡單的前處理系統，將二氧化矽先行自水中分離，使矽垢不易在 RO 濃縮後形成。

此技術優點為佔地空間較化學混凝法為小、且操作中不須添加藥劑，因此產生的污泥量也不若化學混凝來的多、污泥脫水性高、污泥對酸之阻抗性大、具有較好的環境友善處理方式。

缺點在於需要掌握電能的消耗、極板要更換、需在高導電度的環境下進行電混凝效果較佳，故本方法使用操作條件之經濟效益仍需進一步評估。

可利用之產業及可開發之產品：

目前電解混凝法應用在水及廢水處理上可分成去除濁度、色度、COD 值、以及水中帶負電金屬離子(氟離子、鉀離子)等，常用來處理包括飲用水及工業廢水，工業廢水包括食品工業廢水、染整廢水、皮革廢水、油脂廢水等。因電化學法包含電解混凝及電聚浮除兩種反應，可有效去除廢水中的有機及無機物質。

本研究利用電解混凝法去除 RO 濃縮液中二氧化矽濃度，藉此取代抑垢劑在苦鹹水淡化中的角色，此技術將可減少化學藥劑的使用，同時也降低 RO 膜阻塞的發生。

推廣及運用的價值：

使用電解混凝法因為具有污泥量較化學混凝少，不須添加化學藥劑等優點，為具有環境友善的處理技術，故值得推廣。台灣與外島地區之供水不足，未來海淡廠的引進是值得注意的趨勢。來解決水質的不同而造成 RO 的損耗率，故投入相關之研究與成果可做參考。