

崑山科技大學
環境工程系
碩士論文

再生水處理系統操作技術探討

Operation technology of reclaimed water purification system

研 究 生：魏暉倫 Student: Wei-Lun Wei

指導教授：林龍富 Advisor: Long-Full Lin

Department of Environmental Engineering

Kun Shan University

Tainan, Taiwan, R.O.C

Thesis for Master of Science

July 2016

中華民國 105 年 7 月

崑山科技大學碩士學位
論文考試委員會審定書

本校 崑山科技大學環境工程所 碩士班 魏暉倫 君

所提論文 再生水處理系統操作技術探討

業經本委員會審查及口試及格，特此證明

論文考試委員

林 龍 富 _____
黃 良 敬 _____
潘 定 中 _____

指導教授：林 龍 富 _____

系所主任：林 龍 富 _____

中華民國 105 年 7 月 22 日

**Operation technology of reclaimed water
purification system**

by

Wei-Lun Wei

A Thesis Submitted to the Graduate Division in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Engineering

Kun Shan University
Tainan, Taiwan, Republic of China
July 2016

Approved by:

Long-Full Lin

Lin-Chun Wang

Ting-Chung Pan

Advisor: Long-Full Lin

Chairman: Long-Full Lin

再生水處理系統操作技術探討

魏暉倫* 林龍富**

崑山科技大學環境工程研究所 研究生

崑山科技大學環境工程系研究所 教授

摘 要

為解決水資源缺乏的問題，立法院於 104/12/14 三讀通過再生水資源發展條例，臺灣正式進入再生水利用新紀元，本研究係探討利用雙薄膜系統淨化中水為再生水之操作技術，以經過活性污泥系統處理後的校園生活汙水(中水)做為水源，研析操作參數及水質淨化效能。中水純化設備包括一疊片過濾前處理單元，超過濾(ultra filtration, UF)單元及逆滲透(reverse osmosis, RO)單元，操作水量為 1.6 CMH(cubic meter per hour)，監控之操作參數包括各單元產水量、廢水量、總用電量、各單元操作壓力、各單元反沖洗頻率及線上清洗(cleaning in place, CIP)頻率；監測之水質參數包括導電度、pH、濁度、懸浮固體物及化學需氧量等。

研究結果顯示，適當之操作參數可減少 CIP 頻率，UF 單元以操作 20 分鐘後再進行反洗有最佳操作效能。目前生產一噸純水若不計人工及設備折舊之操作成本為 11.29 元，其中耗電量平均值為 3.21 kWh(RO 非低壓膜)，在逆滲透(RO)單元操作逾 2 年，仍未曾進行離線清洗狀態下，導電度去除率平均值雖已降為 93%，但還在可接受範圍，且已超過一般估算再生水 RO 膜 2 年就需換膜的初設費成本攤提方式，研究成果對於再生水之成本效益具有高度參考價值。

關鍵詞：再生水、中水純化、UF 超過濾、RO 逆滲透

Operation technology of reclaimed water purification system

Wei-Lun Wei* Long-Full Lin**

* Graduate School of Environmental Engineering, Kun Shan University

** Department of Environmental Engineering, Kun Shan University

ABSTRACT

Taiwan has entered a new era of using reclaimed water officially after the Legislative Yuan of R.O.C. passed the third read bill of water resources regulations since December 14, 2015. In this study, campus sewage after activated sludge treatment (reclaimed water) was used as the feed and the operation parameters and the performance of water purification were expected to be studied in this research. The purification processes consist of three units, a disk filtration, ultrafiltration and reverse osmosis, with a capacity of 1.6 cubic meter per hour. The operation parameters investigated include water production rate, water recovery ratio, the total electricity consumption, operating pressure, backwash frequency and on line cleaning (cleaning in place, CIP) frequency. Water quality parameters monitored including conductivity, pH value, turbidity, suspended solids and chemical oxygen demand. The results showed that, different operating parameters may affect the frequency of CIP, and the best performance was the backwash after 20 minutes' operation. The average cost for producing one ton of pure water was NT 11.29 excluding labor and equipment depreciation. The purification system still work after long period operation (28 months). The experimental results show that the average electricity consumption is 3.21 kWh per cubic meter of pure water produced after more than two years operation, while the RO columns never been cleaned off-line. Although the removal efficiency of conductivity dropped down to 93%, but it was still acceptable and it met the criteria of

two-year life cycle. The result shows that this research is of great value in cost benefit of purifying the reclaimed water.

Keyword: Reclaimed water 、 Water Purification 、 Ultrafiltration 、 Reverse osmosis



誌謝

兩年的研究生涯即將接近尾聲，非常感謝指導教授林龍富教授細心指導，並且提供最好的設備、藥品讓我做研究，讓學生能盡情地做實驗，並且邀請到黃俊仁博士協同指導，黃博士細心指導，親力親為的一步一步教導著我，當我遇到問題時都能迎刃而解，有兩位指導老師的指導，使我研究上順利許多，有更多資源可以去詢問。

在此也感謝和我一起奮鬥的蔡承軒同學，一個人實在無法照料這一整套系統，有蔡承軒的加入，減少我許多工作量，並且一起解決許多問題。在研究這段期間，謝謝許明揚、張緯銘、黃景詮學弟的幫助，讓再生水系統繼續順利運作，非常感謝大家幫忙。

最後我要感謝我的家人對我碩士生涯的支持，有你們的支持才能讓我順利結束這兩年的碩士生涯，在我遇到困難時，有你們的加油打氣是我的動力，也感謝我的碩士班同學的幫助，讓我們能夠順利完成論文順利畢業。

目錄

摘 要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	viii
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
第二章 文獻回顧.....	2
2.1 臺灣地區用水概況.....	2
2.2 國內再生水潛勢.....	2
2.2.1 都市汙水再生潛勢.....	3
2.2.2 工業廢水再生潛勢.....	4
2.2.3 農業迴歸水再生潛勢.....	5
2.2.4 臺灣再生水模廠.....	6
2.3 中水回收.....	7
2.4 國內常用的中水再利用技術.....	7
2.5 薄膜程序.....	9
2.5.1 薄膜材質.....	9
2.5.2 薄膜模組.....	10
2.5.3 薄膜過濾方式.....	12
2.5.4 薄膜積垢.....	13
2.5.5 薄膜清洗.....	14
2.5.6 鐵及錳汙染影響.....	15
2.6 臺灣自來水價調整.....	15
2.7 水污費徵收.....	17
2.7.1 民生污水處理費.....	17
2.7.2 工業廢水水污費.....	17
2.8 再生水成本評估.....	19
2.8.1 國外海水淡化成本評估.....	19
2.8.2 國內再生水成本評估.....	20

第三章 研究設備與研究方法.....	21
3.1 研究設備.....	21
3.2 再生水淨化流程.....	23
3.3 線上清洗 CIP	24
3.3.1 疊片過濾器清洗.....	24
3.3.2 UF 薄膜清洗	24
3.3.3 RO 逆滲透清洗.....	25
3.3.4 藥劑濃度使用.....	26
3.4 水質分析項目及方法.....	29
第四章 結果與討論.....	30
4.1 超過濾單元操作參數與產水效能.....	30
4.2 再生水系統之水質淨化效能.....	31
4.2.1 原水酸鹼度(pH).....	31
4.2.2 導電度.....	32
4.2.3 化學需氧量.....	34
4.2.4 濁度.....	35
4.2.5 懸浮固體物.....	36
4.3 線上清洗操作條件與產水效能.....	37
4.3.1 UF 薄膜線上清洗條件與產水效能	37
4.3.2 RO 薄膜線上清洗條件與產水效能	39
4.3.3 RO 單元對於鐵錳之去除效能	42
4.4 再生水系統耗電量分析.....	43
4.5 再生水系統操作成本分析.....	45
4.5.1 CIP 成本分析	45
4.5.2 操作成本.....	45
第五章 結論與建議.....	46
5.1 結論.....	46
5.2 建議.....	46

圖目錄

圖 2-1 臺灣地區民國 103 年度各標的用水概況	2
圖 2-2 平板式薄膜	11
圖 2-3 螺捲式薄膜	11
圖 2-4 管狀式薄膜	12
圖 2-5 中空纖維式薄膜	12
圖 2-6 垂直過濾(Dead-end Filtration)與掃流過濾(Cross-flow Filtration) 示意圖	13
圖 3-1 再生水淨化流程圖	23
圖 3-2 鹼洗流程圖	27
圖 3-3 酸洗流程圖	28
圖 4-1 超過濾單元操作參數與產水量的關係	30
圖 4-2 進流水酸鹼度變化	31
圖 4-3 崑山湖一日酸鹼度變化	31
圖 4-4 進流水導電度變化	32
圖 4-5 RO 產水導電度變化	33
圖 4-6 RO 導電度去除率變化	33
圖 4-7 再生水系統各單元化學需氧量變化	35
圖 4-8 再生水系統各單元濁度變化	36
圖 4-9 再生水系統各單元懸浮固體物濃度變化	37
圖 4-10 使用 0.25% NaOH + 400 ppm NaOCl 進行 CIP 成效	37
圖 4-11 使用 0.25% NaOH + 500 ppm NaOCl 進行 CIP 成效	38
圖 4-12 RO 薄膜進行 CIP 時機與產水效能	40
圖 4-13 RO 單元產水量與操作壓力之間的關係	41
圖 4-14 鐵及錳檢量線	43
圖 4-15 單位產水耗電量	44

表目錄

表 2-1 各縣市都市污水處理廠 2016 及 2021 年放流量估算	3
表 2-2 各縣市工業區廢水廠 2016、2021 年放流水總量與實際可再生總 量估算.....	4
表 2-3 全國農業迴歸水水量調查	5
表 2-4 薄膜分類與功能	8
表 2-5 臺灣自來水水價	16
表 2-6 臺北地區用水費	16
表 2-7 廢水水污費徵收項目費率	18
表 2-8 各國海水淡化成本	19
表 2-9 雙薄膜技術國內應用案例	20
表 3-1 疊片過濾器規格	21
表 3-2 超過濾膜規格	22
表 3-3 逆滲透膜規格	22
表 3-4 鹼洗濃度配製	26
表 3-5 酸洗濃度配製	26
表 3-6 水質檢測項目及方法	29
表 4-1 超過濾單元操作參數與產水效能	30
表 4-2 再生水系統化學需氧量變化	34
表 4-3 再生水系統濁度變化	35
表 4-4 再生水系統各單元懸浮固體物濃度變化	36
表 4-5 鐵及錳離子濃度	42
表 4-6 線上清洗項目及其費用	45
表 4-7 產水成本	45

第一章 前言

1.1 研究動機

台灣地區地狹人稠，又因多高山，使得河川急流且較短，無法有效蓄水(吳，2011)。都市化與產業結構改變，用水需求量逐年增加，就供給面而言，已面臨「缺水」的臨界點(黃，2015)。台灣是全球排名第十八的缺水國家，再加上台灣經濟仍蓬勃發展，農業、民生、工業、養殖、畜牧等……都需要使用大量的淡水資源，也產生不少廢污水，然而台灣水資源的匱乏，只靠天然的淡水資源是無法支撐台灣產業發展，因此水資源短缺與水質的惡化，將會成為阻礙台灣產業發展的主要問題之一。

國內為使水利產業知識化與水利知識產業化，水利署推動「輔導知識型水利產業發展方案」，其中「水再生利用」與其他核心替代水資源項目已粗具形成產業之契機，再生水之發展及運作可增加多元化供水來源，減少自來水供水之壓力，減緩傳統水資源供應受氣象水文變異之影響(黃，2010)，預定 2031 年再生水使用達到每日 132 萬噸目標。

薄膜處理程序近年來廣泛應用於淨水處理中，其優點為占地面積小、擴建容易、操作方便以及出水水質較佳，且對水中藻類、致病性原蟲及大分子均有不錯的去除效果(姚，2012)。

1.2 研究目的

本研究係接續之前的研究，以崑山科技大學校內的崑山湖湖水做為進流水進行純化，經由前處理疊片過濾器進行初過濾，而後經由超過濾(ultra filtration，UF)膜去除水中有機物、藻類、細菌等，最後再經過逆滲透(Reverse osmosis，RO)膜進行更進一步的純化處理。經由週一至週五每日二次的紀錄數據，探討其產水成本、處理前與處理後的水質變化，以及使用化學藥劑對薄膜進行線上清洗 CIP(Cleaning in place)的間隔時間、次數與化學藥劑濃度，藉此來了解產製再生水所需成本及成效。

第二章 文獻回顧

2.1 臺灣地區用水概況

臺灣地區水資源的使用標的主要為農業用水、民生用水及工業用水等，依據內政部人口統計資料，民國 103 年底臺灣地區總人口數為 2343 萬 3750 人，而該(103)年度全臺民生、農業及工業等各標的年用水總量為 177.31 億立方公尺，其中民生用水總量為 30.50 億噸，農業用水為 130.46 億噸，工業用水為 16.35 億噸，如圖 2-1 所示。(經濟部水利署)

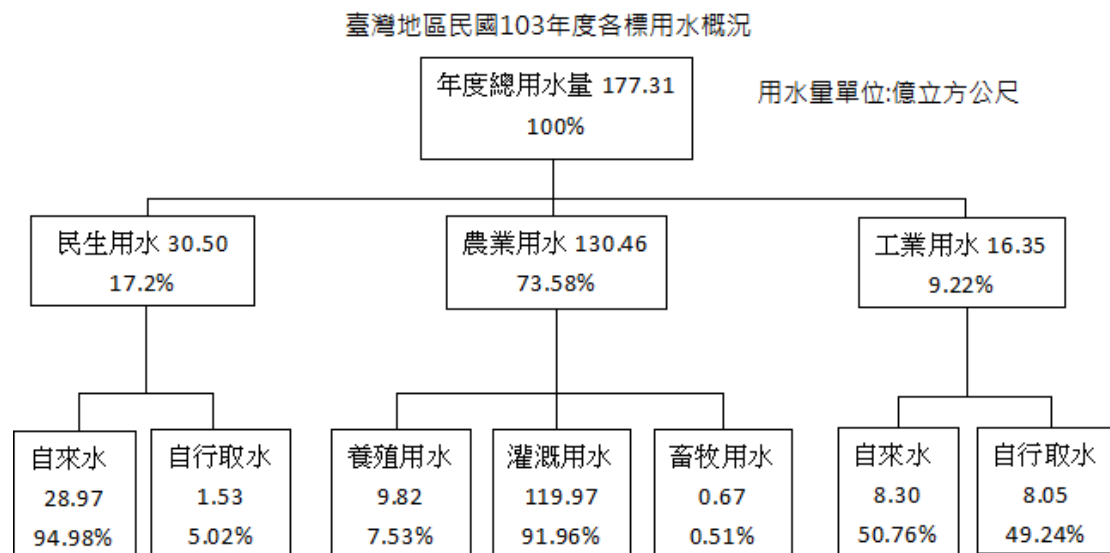


圖 2-1 臺灣地區民國 103 年度各標的用水概況

2.2 國內再生水潛勢

我國再生水源可分為都市污水、工業廢水及農業迴歸水等三項，本節將概述三種水源之再生潛勢，以揭露國內水再生發展之方向：

2.2.1 都市污水再生潛勢

都市污水廠之放流水導電度多低於 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，總溶解固體含量亦低於 500 mg/L，無需另行除鹽，回收率甚高，再生水量幾可等同於該廠之總放流量。表 2-1 為各縣市都市污水處理廠於 2016 及 2021 年之放流總水量估算。

2016 及 2021 年最具再生潛勢之前五名分別為台北市、新北市、高雄市、台南市及台中市，尤以台北市、新北市及高雄市為最，該三市 2016 及 2021 年之放流量已分別占全台都市污水處理廠排放總量之 84%與 73%，占比例之大，為都市污水再生最具潛力之三個縣市。(於等，2011)

表 2-1 各縣市都市污水處理廠 2016 及 2021 年放流量估算

單位:CMD

年度 區域(縣市)		2016 年 放流水總量	2021 年 放流水總量
北部	基隆市	49,100	49,100
	台北市、新北市	1,316,905	1,316,905
	桃園縣	15,488	82,536
	新竹縣、市	36,300	36,300
小計		1,417,793	1,484,841
中部	苗栗縣	0	15,675
	台中市	69,538	149,338
	彰化縣	3,720	48,720
	南投縣	3,796	20,656
	雲林縣	11,000	38,630
小計		88,054	273,019
南部	嘉義縣、市	5,135	63,005
	台南縣、市	126,617	207,821
	高雄縣、市	821,903	886,730
	屏東縣	12,631	18,991
小計		966,367	1,117,147
東部	宜蘭縣	25,554	25,554
	花蓮縣	30,000	30,000
	台東縣	0	6,540
小計		55,554	62,094
離島	澎湖縣	0	7,560
	金門縣	3,919	3,919
	連江縣	390	1,140
小計		4,309	12,619
總計		2,532,077	3,009,720

2.2.2 工業廢水再生潛勢

工業區廢水經處理後，仍含有高濃度溶解性鹽類、殘留製程之化學物質及高色度等特性，於再生利用時需再經逆滲透或電透析等單元加以去除該類物質，故僅可回收一定之比例。經濟部水利署水規所於 2008 年推算 2016 年與 2021 年各縣市工業區廢水處理廠之放流水總量與實際可再生總量，如表 2-2 所示。

就全台各縣市廢水廠之實際可再生總量來看，2016 及 2021 年最具再生潛勢之前四名為新竹縣市、高雄市、台中市及台南市，尤以新竹縣市與高雄市未來之廢水再生利用前瞻性為最優，2016 及 2021 年該兩縣市之廢水實際可再生總量分別占全台之 43% 及 45%，為最具潛力之兩縣市。

表 2-2 各縣市工業區廢水廠 2016、2021 年放流水總量與實際可再生總量估算

單位:CMD

年度 區域(縣市)		2016 年		2021 年	
		放流水總量	實際可再生總量	放流水總量	實際可再生總量
北部	基隆市	961	769	961	769
	台北市、新北市	12,647	5,153	12,647	5,153
	桃園縣	120,807	27,634	127,507	27,823
	新竹縣、市	137,495	86,873	138,995	87,828
小計		271,910	120,429	280,110	121,573
中部	苗栗縣	17,600	11,915	17,600	11,915
	台中市	84,353	61,226	93,953	72,400
	彰化縣	28,144	12,690	33,214	14,504
	南投縣	6,828	1,707	6,828	1,707
	雲林縣	18,442	12,529	18,442	12,529
小計		155,367	100,103	170,037	113,091
南部	嘉義縣、市	7,258	3,944	7,258	3,944
	台南市	102,907	59,190	102,907	60,943
	高雄市	155,521	63,038	189,271	91,658
	屏東縣	3,221	1,697	3,221	1,697
小計		268,907	127,869	302,657	158,241
東部	宜蘭縣	2,500	1,458	2,500	1,458
	花蓮縣	1,480	893	1,830	893
	台東縣	0	0	0	0
小計		3,980	2,350	3,980	2,350
離島	澎湖縣	0	0	0	0
	金門縣	0	0	0	0
	連江縣	0	0	0	0
小計		0	0	0	0
總計		700,164	350,751	756,784	395,255

2.2.3 農業迴歸水再生潛勢

農業迴歸水量隨降雨量增加而上升，係因降雨造成農地排水量增加或區域河川之基流量增加所致。水利署調查 2008 年 8 月至 2009 年 7 月間全國農田水利會之農業迴歸水之水量，如表 2-3 所示，全國農業迴歸水量排名前五之縣市分別為彰化縣、雲林縣、台南市、花蓮縣及屏東縣。

表 2-3 全國農業迴歸水水量調查

單位:CMD

年度 區域(縣市)		2009 年 放流水總量
北部	台北縣	22,464
	桃園縣	77,760
	新竹市	4,320
小計		104,544
中部	苗栗縣	26,784
	台中市	28,512
	彰化縣	800,064
	南投縣	17,280
	雲林縣	304,128
小計		1,176,768
南部	台南市	228,096
	高雄市	84,672
	屏東縣	120,960
小計		433,728
東部	宜蘭縣	21,600
	花蓮縣	168,480
	台東縣	40,608
小計		230,688
總計		1,945,728

2.2.4 臺灣再生水模廠

(1)臺南市永康再生水資源廠

全球暖化、氣候變遷導致旱澇交替之水環境日益顯著，臺南市政府水利局為穩定大臺南供水情勢，提供穩定的產業永續發展環境，積極向經濟部水利署爭取永康水再生利用可行性規劃經費以作為中期供水應對方案，預計於民國 109 年開始運轉後每日初期可提供 1.5 萬噸再生水，終期最大可提供近 4 萬噸再生水，以有效解決南科臺南園區及樹谷園區中長期供水需求。

經濟部水利署訂定 120 年再生水使用達 132 萬噸目標，現階段臺南市民生及工業用水每日約 90 萬噸自來水，期望到 120 年臺南市能提供每日 9 萬噸再生水，達到 10%的供應水準。(臺南市水利局)

(2)日月光再生水廠

日月光投資新台幣 7.5 億元興建完成 K14 中水回收廠，為臺灣第一座每日可處理 2 萬噸廢水，並產生至少 1 萬噸潔淨回收水的工廠，回收廠第一期已完工；第二期工程預計民國 106 年上半年完工運轉，未來中水回收廠全期完成後，每日可處理約 4 萬噸放流水，回收使用約 2 萬噸，未來每年節水效益約 700 萬噸。(日月光集團)

2.3 中水回收

所謂中水系統，係指將生活雜排水或輕度使用過之廢排水匯集，並經過淨化處理，控制於一定的水質標準後，再重複使用於非飲用水及非與身體接觸之生活雜用水。「中水」是自日本引入的外來用語，因為日本稱自來水、污水為上水、下水，當然稱次等水質的水為中水。中水在歐美國家則稱之為「灰色的水 gray water」。(吳，2012)

中水利用供水系統的回收設置，較適用對象為集合式住宅、學校等，並且可依其所在的地理位置、中水的用水量、附近下水道設施狀況及城市污水處理廠等因素來決定回收方式。

中水利用於製程用水、冷卻用水、環境澆灌及非接觸用水。(劉，2004)

2.4 國內常用的中水再利用技術

(一)快砂濾系統

快砂濾系統的去除機構主要分為傳送(Transport Mechanism)和吸著(Attachment Mechanism)將懸浮物質捕捉。傳送機構包括截留作用、重力沉降及布朗擴散運動等物理性的去除機制，吸著作用則因電雙層與架橋作用等物理-化學作用吸附而去除。

(二)消毒系統介紹

中水使用，一般採用氯、紫外線(UV)或臭氧消毒，臭氧消毒價格過高因此較少使用。

(三)膜處理系統介紹

各用途的薄膜管包括 MF(Microfiltration)、UF(Ultrafiltration)、NF(Nanofiltration)、RO(Reverse Osmosis)等。薄膜處理的去除機制，主要是以壓力讓水強行通過膜，利用膜的微小孔徑去除污染物達到淨化，隨不同孔徑差異，去除效果也不同，如表 2-4 所示，用 RO 逆滲透來處理，可得到相當高品

質的中水，不過成本相對提高。

表 2-4 薄膜分類與功能

薄膜形式	孔隙大小	功能用途
Microfiltration(MF)	0.1~2 micrometer	去除懸浮固體物
Ultrafiltration(UF)	0.01~0.1 micrometer	去除大分子有機物、細菌 去除膠體物質 去除懸浮固體物 去除大分子染料
Nanofiltration(NF)	0.001~0.01 micrometer	去除病毒細菌 去除大分子無機性離子 去除分子量 300~1000 有機物 去除鹽類 去除小分子染料
Reverse Osmosis(RO)	0.0001~0.001 micrometer	去除病毒、細菌、病原菌 去除所有有機物 去除溶解鹽類 去除小分子染料

2.5 薄膜程序

以薄膜分離技術(Membrane separation technology)應用在不同水及廢水處理上已日趨重要，薄膜處理程序可用來處理不同來源背景的水，包括表面水(surface water)、井水(well water)、苦鹹水(brackish water)與海水(sea water)等。薄膜分離程序是施加一個驅動力(driving force)於選擇性的薄膜，阻隔特定分子、離子、粒子，達到分離的目的。而薄膜程序的選擇會以進流水(feed water)水質、操作條件與處理水水質要求做為考量(Nicolaisen, 2002)。

2.5.1 薄膜材質

薄膜材質可分為高分子及無機材質兩大類，在目前市面上有機薄膜材質以下列幾種最常見：醋酸纖維(Cellulose acetate, CA)、聚醯胺鹽(Polyamide, PA)、聚磺酸鹽(Polysulfone, PS)、聚丙烯(Polypropylene, PP)、聚偏氟乙烯(Polyvinylidene fluoride, PVDF)及聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)。

CA 薄膜為親水性膜，可減少與水接觸角及溶質的吸附，以降低薄膜阻塞的程度，其適用環境條件要求較低(如：溫度、抗氯性等)，適用 pH 值範圍 4-7 之間，但容易被生物分解。

PA 薄膜為疏水性材質，易被生物分解及抗氯性差，適用 pH 範圍為 4-11 之間，耐 39°C 以下之溫度，同時具有較高化學及物理穩定性。

PS 薄膜亦為疏水性材質，pH 操作範圍在 2-13 之間，其結構較強韌，可用來處理高溫溶液，並用於商業大量製造 UF 及 MF 薄膜。

PVDF 為疏水性材質，適用 pH 範圍為 1-11 之間，可耐 75°C 之高溫且不易被分解(Munir, 1998)。

PVC UF 膜與其他 UF 膜相比，具有原料便宜、耐化學性及抗菌性能好等優點，同時也有耐熱性較差的缺點。

2.5.2 薄膜模組

薄膜模組可分為平板式(Plate and Frame)、螺捲式(Spiral Wound)、管狀式(Tubular)及中空纖維膜(Hollow Fiber)。

平板式薄膜組件之組裝密度(packing density)為 $100\text{--}400\text{ m}^2/\text{m}^3$ ，具有易於清洗及更換的優點，每組件之表面積可達 100 m^2 ，如圖 2-2 所示。

螺捲式薄膜之構造，包含一 feed spacer、薄膜及 permeate carrier，並且如三明治般地組合而成，再合捲成桶狀。而 feed spacer 主要為增加水力上之紊流(turbulent)，以減少濃度極化(concentration polarization)之現象。此組件之組裝密度在 $700\text{--}1000\text{ m}^2/\text{m}^3$ ，與平板式相較下，有較低之水頭損失，如圖 2-3 所示。

管狀式薄膜乃將薄膜製成管狀，內徑約為 6–40 mm。每一組件約由 3–151 個管模組合而成，所提供之表面積約為 $0.2\text{--}7.4\text{ m}^2$ 。操作時，掃流速度可達 6 m/s，因此對前處理之要求較低，而且有易於清洗之優點，如圖 2-4 所示。

中空纖維膜亦為管狀式，但其內徑較小，約為 0.2–3 mm 之間 (Carroll & Booker, 2000)。中空纖維膜組件係由數千條中空纖維平行排列而成，兩端為以 epoxy 密封而成之過濾裝置。依照進流水進流方式可區分為 inside-out 與 outside-in 兩種過濾方式。其中 inside-out 對於水力之控制優於 outside-in，且 inside-out 易於反洗(backwash)，但 outside-in 之操作方式則有較低之水頭損失，中空纖維膜之密度可從 $1,000\text{--}10,000\text{ m}^2/\text{m}^3$ ，屬於組裝密度較大的薄膜，如圖 2-5 所示。

在應用上，管狀式和平板式模組，常用於食品工業的廢水處理，而螺捲式及中空纖維膜則常用於飲用水的淨化。在系統的費用上，管狀式及平板式的模組較耗費成本。在設計上，螺捲式模組有較高的彈性，

而管狀式模組則最差。在清洗上，平板式模組有易於清洗的優點，中空纖維膜則最難清洗。在空間的運用上，管狀式模組會需要較大的空間，而中空纖維膜則具有不佔空間的優勢；阻塞的程度以中空纖維模組最容易阻塞，管狀式模組則較不易阻塞。

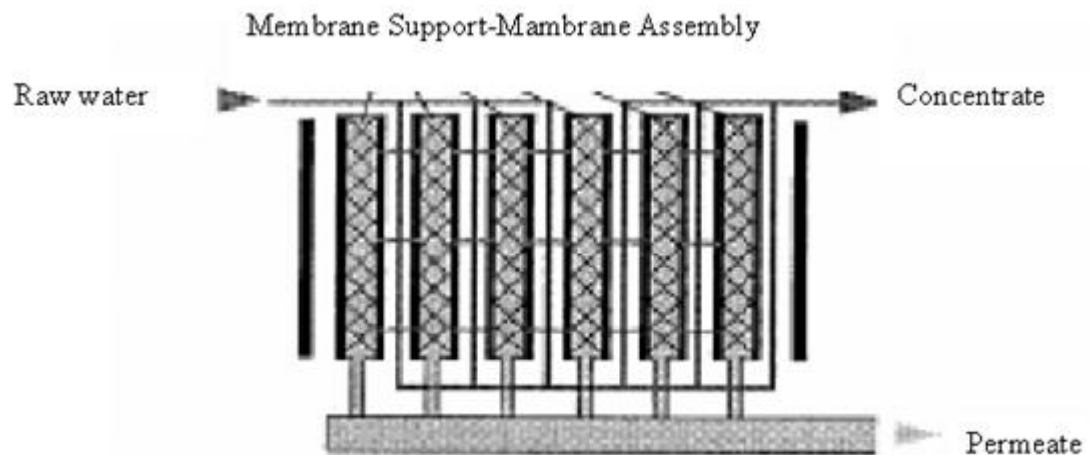


圖 2-2 平板式薄膜

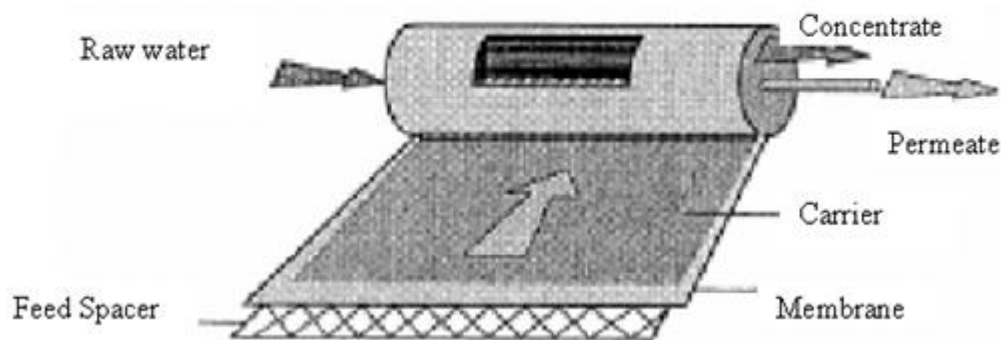


圖 2-3 螺捲式薄膜

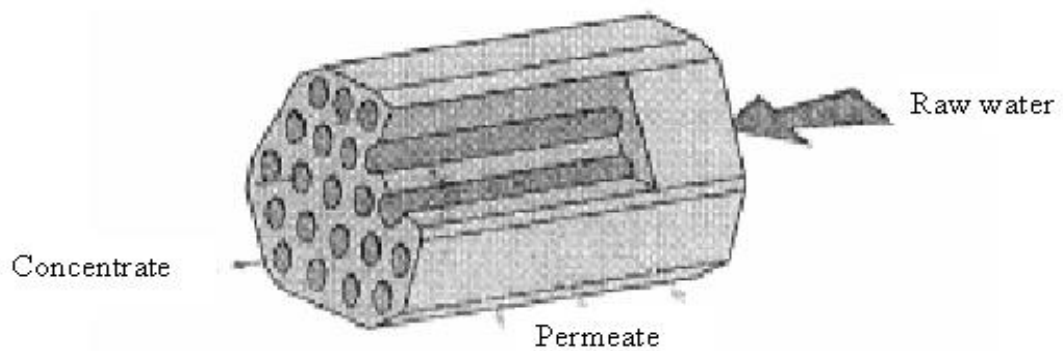


圖 2-4 管狀式薄膜

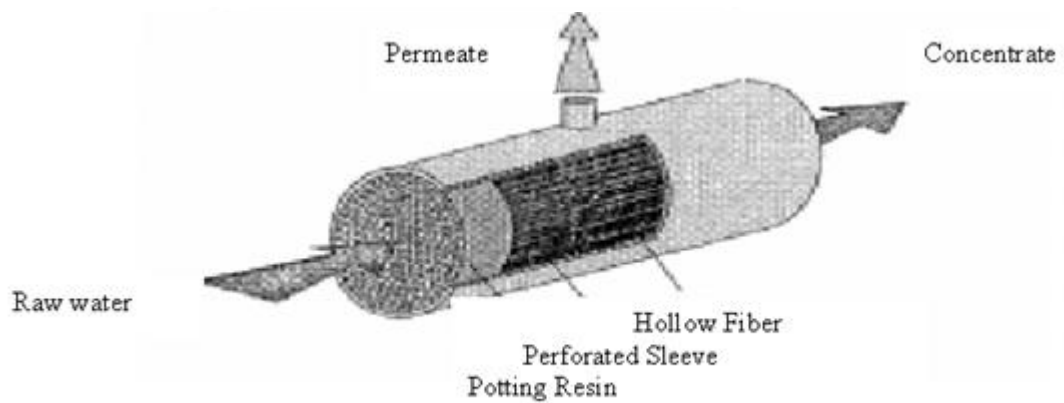


圖 2-5 中空纖維式薄膜

2.5.3 薄膜過濾方式

薄膜程序依過濾之水力狀況可分為垂直過濾跟掃流過濾。垂直過濾 (Dead-end Filtration) 為過濾之進流水流方向與薄膜垂直，而過濾之進流水流方向與薄膜平行者為掃流過濾 (Cross-flow Filtration)。掃流過濾與垂直過濾相較之下有減少濃度極化或濾餅形成之優點，並且可以提高過濾之速率。圖 2-6 即為垂直過濾與掃流過濾示意圖 (Cheryan, 1998)，可以看出垂直過濾隨著時間的增加會造成較多的顆粒累積於薄膜表面形成較厚的

濾餅，造成濾速快速的衰減，薄膜之清洗頻率需較頻繁。而掃流過濾具有自行清洗之功能，吸附或沉積於薄膜表面的物質可藉由流體流動產生之渦流自薄膜表面移除，使溶質不易在薄膜表面累積。

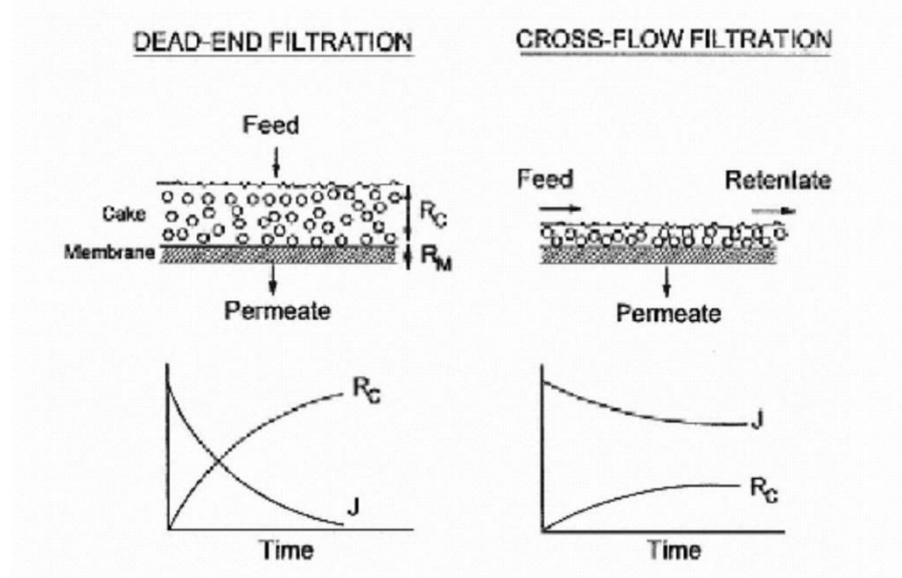


圖 2-6 垂直過濾(Dead-end Filtration)與掃流過濾(Cross-flow Filtration)示意圖

2.5.4 薄膜積垢

水體中的無機離子如鈣離子、鎂離子、硫酸根離子達一定濃度時易形成沉澱，而水體中若含較大之膠體粒子及鐵、錳等物質會有阻塞頻繁之現象產生，造成薄膜阻塞的物質大致分為六大類：懸浮固體之積垢(Suspended Solids Fouling)、膜面積垢(Scale Formation)、金屬氧化物沉澱(Metal Oxide Deposition)、膠體阻塞(Colloidal Fouling)、生物積垢(Biofouling)、溶解性有機物(Dissolved Organic Matter)。

- (1) 懸浮固體之積垢：此種積垢可由 $5\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 孔徑之捲筒式過濾器移除。
- (2) 膜面積垢：此種積垢如 CaCO_3 、 CaSO_4 、 BaSO_4 、 SiO_2 等。為防止膜面沉積，可降低回收率，以避免離子超過溶解度而產生膜面沉澱。水中碳酸鈣積垢之數值可用 LSI(Langelier Saturation Index)來

表示，LSI 為負值時，代表無積垢生成，而 LSI 為正值時，代表可能產生積垢。可藉由前處理以控制積垢，如可先將進流水軟化去除 Ca^{2+} 等離子、進流水加酸降 pH 以降低 CO_3^{2-} 濃度或加抑垢劑以降低沉澱物之生成。

- (3) 金屬氧化物沉積：Fe、Mn、Al 之氧化物在膜面上沉澱會阻塞水流。這些氧化物部分來自水中存在的離子，部分則是管線腐蝕造成。
- (4) 膠體阻塞：膠體是來自地面水之顆粒黏土物質，可穿透前處理設備，沉積於膜面，造成阻塞。SDI(Sludge Density Index)為目前用來評估水中膠體可能引起積垢程度之指標。
SDI<3.0 輕微積垢
3.0<SDI<5.0 中度積垢，需加入適當前處理，為避免膠體阻塞一般進流水之前處理可使用混凝、膠凝、過濾等單元。
- (5) 生物積垢：水中微生物之滋生與溫度、pH、有機及無機之養分、氧氣及日光等有關，在溫度愈高、pH 7~9、水中養分過多情況，微生物易滋生。微生物之存在會導致壓損、鹽去除率下降、及薄膜永遠損壞等問題，故須設法抑制微生物之生長。
- (6) 溶解性有機物：小分子的有機物會吸附在薄膜孔徑間，形成標準阻塞；而大分子有機物會直接堵死薄膜孔徑，形成完全阻塞。

2.5.5 薄膜清洗

薄膜之清洗方法一般分為三種：物理、化學及生物方法，而三種之中最常使用的為化學方法。化學方法係利用化學藥劑來去除位於薄膜表面或膜孔內之阻塞物，至於清洗藥劑的選擇上，最適合的清洗藥劑取決於進流水的成分及阻塞之物質，不同清洗試劑可能對某種阻塞物質

有較好之清洗效率，洗劑是要能去除沉積在膜面上的積垢，而不會損害薄膜表面，另外清洗藥劑與薄膜材質之相容性也必須考量，所以慎選清洗藥劑在薄膜化學清洗上是非常重要的。

常使用的清洗藥劑種類有：酸、鹼、界面活性劑(Dodecyl sulfate sodium salt, SDS)、螯合劑(Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)等。當使用這些物質為洗劑時，要注意一些變數，如 pH、清洗藥劑濃度、時間、溫度及操作條件如掃流速度、壓力等都必須考慮在內(Crozes et al., 1997)。

2.5.6 鐵及錳污染影響

中鋼公司曾發生 RO 膜表面被黑色固體物污染，導致 RO 膜受到不可清洗恢復之損傷，經中鋼新材料研發處淨水技術小組協助分析後，確定為錳離子及二氧化錳所污染，此種污染物一旦進入 RO 系統，會因顆粒形狀造成物理性割破 RO 膜、化學性持續氧化造成 RO 膜破孔，使得雜質滲透至產水端造成產水水質大幅變差。大量鐵離子、鐵氧化物會導致 UF 系統透膜壓 (TMP) 下降幅度增快，而縮短 UF 酸洗週期。

2.6 臺灣自來水價調整

表 2-5 為全臺自來水價，民國 105 年 3 月 1 日起實施水價調漲，臺北地區共 152 萬用水戶，有六成、94 萬戶平均每月用水量在 20 度以下，未在調整之列，不受影響，其他四成約近 58 萬的用水戶，多是營業的用水大戶，採用加大累進價差，依用水量分成四個級距收費，用量越大者單價越高，如表 2-6 所示。臺北市自來水水價調整後每度平均 12.14 元，較臺灣省自來水每度平均 10.96 元略高，不過台水因長年虧損，也有意調漲水價。

表 2-5 臺灣自來水水價

段別		第一段	第二段	第三段	第四段
每度單價		7.35	9.45	11.55	12.075
每月抄表	實用度數	1-10 度	11-30 度	31-50 度	51 度以上
	累進差額	0	-21	-84	-110.25
隔月抄表	實用度數	1-20 度	21-60 度	61-100 度	101 度以上
	累進差額	0	-42	-168	-220.05

資料來源：台灣自來水事業統計年報第 38 期(2016)

表 2-6 臺北地區用水費

各用水級距(度)	0-20	21-60	61-200	201-1,000	1,001 以上
用戶數(萬戶)	94.1	51.6	5.4	0.79	0.18
原單價(元)	5	5.2	5.7	6.5	7.6
新單價(元)	5	6.7	8.5	14	20
累進差額	-	34	142	1,242	7,242

資料來源：臺北自來水事業處

2.7 水污費徵收

2.7.1 民生污水處理費

政府為減少環境污染，將家戶內浴室、廁所、廚房及洗地等使用後的污水，經由地下所埋設的污水管線，統一收集至污水處理廠並處理至符合國家放流標準再排放。而污水下水道使用費就是為建設、維護污水廠及污水管線等設施所需的費用。

目前高雄市污水下水道使用費費率核算結果為非事業用戶為 9.1 元/度、事業用戶為 18.2 元/度，經減徵後非事業用戶為 5 元/度、事業用戶為 10 元/度。

2.7.2 工業廢水水污費

環保署於 2015 年 3 月 31 日修正發布「水污染防治費收費辦法」，並定於 2015 年 5 月 1 日開徵水污染防治費。第一年的徵收對象為畜牧業以外之事業及工業區專用污水下水道系統，約有 5000 家廠商都在徵收之列，而徵收項目則包括化學需氧量、懸浮固體、鉛、鎳、銅、總汞、鎘、總鉻、砷、氰化物等物質。開徵第一年費用打 5 折，第二年 6 折，逐年往上調，直到第六年才會全額徵收。徵收對象之徵收項目費率如表 2.7 所示。

表 2-7 廢水水污費徵收項目費率

徵收對象	徵收項目	費率(新臺幣元/公斤)
一、事業	化學需氧量(COD)	12.5
二、工業區污水下水道系統(含石油化學專業區、科學園區、農業生物技術園區及其他工業區等)	懸浮固體(SS)	0.62
	鉛	625
	鎳	625
	銅	625
	總汞	31,250
	鎘	6,250
	總鉻	1,250
	砷	1,250
	氰化物	6,250

2.8 再生水成本評估

2.8.1 國外海水淡化成本評估

海水淡化一向被認為是成本昂貴、高耗費能源、多污染的水資源開發方法，事非得已，不輕言採納，實際應用上，由於第二代「逆滲透」海水淡化技術的成熟，當今海水淡化的成本已逐漸降到可以商業化的水平。在 2005 年的技術開發程度，以色列海水淡化成本已降到生產每立方公尺淡水只要 0.53 美元，如表 2-7 所示。

表 2-8 各國海水淡化成本

Summary of production and water prices for several large seawater RO desalination plants.			
Plant location	1st year of production	RO production capacity (m ³ /day)	Water price (\$/m ³)
Galder-Agaete, Spain	1989	3500	1.94
Jeddah, Saudi Arabia	1989	23,000	1.31
Ad Dur, Bahrain	1990	45,000	1.30
Lanzarote III and Agragua, Spain	1991	10,000 × 2	1.62/1.34
Santa Barbara, California, USA	1992	25,000	1.51
Dhkelia, Cyprus	1997	40,000	1.46
Mallorca and Marbella, Spain	1998	42,000/56,400	1.03/1.00
Eilat, Israel	1998	10,000	0.72
Larnarca, Cyprus	2001	56,000	0.83
Eilat, Israel	2003	10,000	0.81
Tampa Bay, Florida, USA	2003	94,600	0.55
Fujairah, United Arab Emirates	2005	170,500	0.87
Ashkelon, Israel	2005	320,000	0.53

2.8.2 國內再生水成本評估

國內採用薄膜系統將工業廢水再生至製程用水、鍋爐用水或冷卻用水之大型成功案例，如圖表 2-9 所示。

表 2-9 雙薄膜技術國內應用案例

事業	再生水程序	再生水量 (CMD)	用途	成本 (NT\$/m ³)	折舊(年)
中鋼	UF+RO	4,500	冷卻/	17.3	15
	UF+RO+IE	9,000	製程用水	26.6	
			鍋爐用水		
南亞	MF+RO	1,500	製程用水	30-40	8
台化	MBR+RO+IE	6,000	製程用水	25.5	-
中油	MBR+RO+IE	3,900	純水系統	30	20
楠梓加工區	UF+RO	1,800	製程用水	15.2	不含折 舊

資料來源:永續產業發展季刊 57 期

第三章 研究設備與研究方法

本研究以崑山科技大學校內的崑山湖湖水做為進流水進行純化，經由前處理疊片過濾器進行初過濾，而後經由超過濾(ultrafiltration，UF)膜去除水中有機物藻類、細菌等，最後再經過逆滲透(Reverse osmosis，RO)膜進行更進一步的純化處理。經由週一至週五每日二次的紀錄數據，探討其產水成本、處理前與處理後的水質變化，以及使用化學藥劑對薄膜進行線上清洗(Cleaning in place, CIP)的間隔時間、次數與化學藥劑濃度，藉此來了解產製再生水所需成本及成效。

3.1 研究設備

(一)前處理-疊片過濾器

前處理疊片過濾器由西班牙阿速德公司製造，其產品規格如表 3-1 所示。

表 3-1 疊片過濾器規格

廠商	西班牙阿速德公司
型號	AZUD 疊片過濾器 M300
材質	聚丙烯
疊片數量	300 片
過濾孔徑	100 μm
出水量	80L/min
數量	1 套
加壓泵浦	南方 CHL2-30 (1HP)

(二)超過濾 UF

第二道過濾為超過濾，由立昇公司製造，其產品規格如表 3-2 所示。

表 3-2 超過濾膜規格

廠商	立昇公司
型號	LH3-1060V
材質	聚氯乙烯
過濾方式	Inside-out
過濾孔徑	0.01 μm
裝絲量	9100 支
膜絲內徑	0.85mm
有效面積	40m ²
加壓泵浦	過濾：南方 CHL4-20 (1HP) 反沖洗：南方 CHL8-10 (1HP)

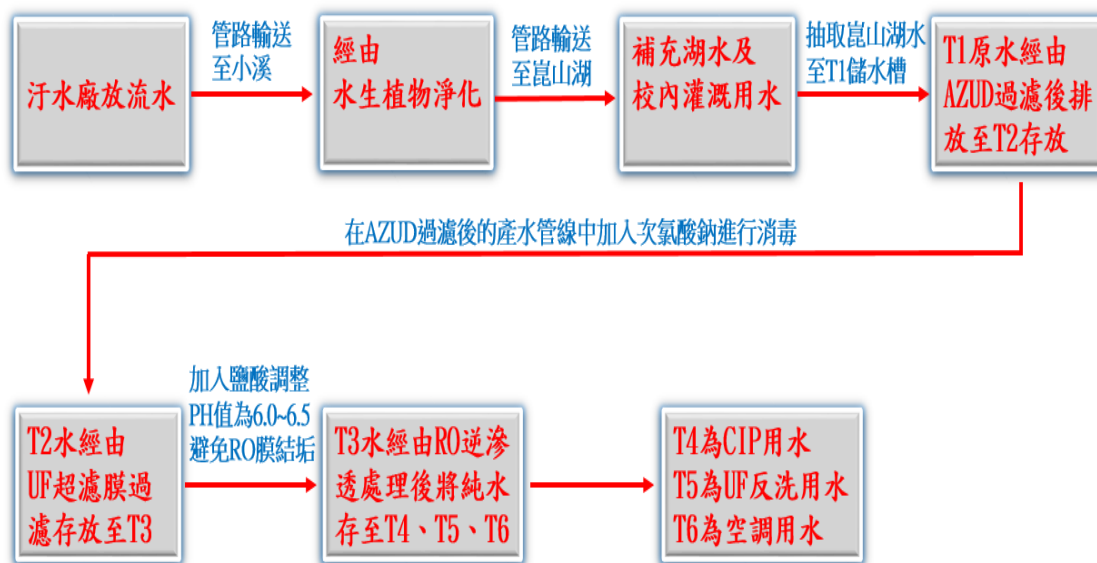
(三)RO 逆滲透

最後一道過濾為逆滲透，由唯賽勃公司製造，其產品規格如表 3-3 所示。

表 3-3 逆滲透膜規格

廠商	唯賽勃公司
型號	WAVE-300E-4
最大操作壓力	300 PSI
溫度操作範圍	-7°C~49°C
加壓泵浦	第一段：南方 CDL2-130(2HP) 第二段：南方 CDL2-30(1.5HP)

3.2 再生水淨化流程



將污水廠二級處理放流水經過水生植物淨化，減少水中營養鹽，再注入崑山湖，取湖水做為中水來淨化，針對崑山水質搭配不同過濾孔徑大小的過濾單元進行過濾，先經由疊片過濾器(AZUD)進行初過濾，再到超濾膜(Ultra filtration)，最後一道為逆滲透 RO(Reverse osmosis)，並在過程中加入次氯酸鈉抑制水中藻類、細菌等微生物生長，以及使用鹽酸調整 pH 值，維持在 6.5~7.0 之間，調整 pH 值於酸性，避免產生碳酸鈣結垢，再生水則用於校內空調冷卻水塔補充用水使用，達到廢水回收再利用的本意。

3.3 線上清洗 CIP

薄膜之所以要進行線上清洗，主要是為了消除不可逆的汙染。清洗頻率依靠監測流量來判斷，當各單元出水量低於設定值即需進行線上清洗。

3.3.1 疊片過濾器清洗

疊片過濾器隨時間增加會造成疊片阻塞，使流量降低，需定期拆下一片片分離清洗乾淨，使用次氯酸鈉加水稀釋浸泡，清洗後方可裝上。

在正常操作下流量大於 80 L/min，當流量小於 70 L/min 時，水量無法滿足後續單元的需求，需進行清洗，使流量恢復到原本的通水流量。

3.3.2 UF 薄膜清洗

本研究所採用的 UF 薄膜為 inside-out 方式的正壓過濾中空纖維，隨著時間的增加會造成顆粒的累積，形成較厚的濾餅，最後形成阻塞，需定期進行反沖洗，利用疊片過濾水予以清洗，再使用再生水儲存槽內的再生水進行物理性反洗 1 分鐘，淨水由出水口進入，將阻擋於薄膜表面的可逆性積垢，如大顆粒物質等等，將其反沖刷出來，帶走沉積在膜表面的物質。

UF 膜在操作時的壓力為 0.6~1.0 kg/cm²，流量則需大於 40 L/min 以保持 RO 設備正常運轉，當 UF 產水流量低於 RO 產水及排水所需流量，壓力也爬升超過規範值時，代表有機性的阻塞導致過濾效率降低，需要先使用 NaOH + NaOCl 藥劑進行鹼洗，由於清洗時間較長，故浸泡一天，方便操作，將主要的有機污染物質溶解軟化洗出，再使用檸檬酸進行酸洗，將無機物及金屬氧化物洗出，使 UF 膜恢復到接近於原本的流量，其清洗情形如圖 3-2 所示。



圖 3-2 UF 清洗狀況

3.3.3 RO 逆滲透清洗

在設備運轉時，RO 膜第一段與第二段的壓力分別約為 9 kg/cm^2 與 9.5 kg/cm^2 ，產水流量約為 26 L/min ，每小時產水量在 1.6 噸上下，當流量降低低於 20 L/min 時即須進行 CIP，先配製 250L 之 $\text{NaOH} + \text{NaOCl}$ 藥劑進行鹼洗，再配製 250L 檸檬酸進行酸洗，以使其流量能夠正常，RO 膜也較不會受到損害，其清洗情形如圖 3-3 所示。



3-3 RO 清洗狀況

3.3.4 藥劑濃度使用

原水經由疊片過濾器過濾後，在其輸送至產水儲存槽的管中加入次氯酸鈉，以便抑制水中的細菌及藻類生長，濃度則為 0.5%，才能使 UF 出水餘氯保持在 0.3~0.5ppm 的濃度，避免生物在薄膜中或是桶槽表面生長形成生物膜，可延長膜之壽命。

原水的 pH 值約為 7.0~9.0，對於 RO 膜操作的 pH 值範圍來說偏高，故需加入 0.3% 的 HCl 以降低淨水 pH 值為 6.5~7.0，達到 RO 膜的最佳操作範圍。

本研究探討使用不同濃度化學藥品清洗薄膜之成效，進而找出較好之清洗濃度。表 3-4、3-5 分別為 UF 及 RO 膜 CIP 用藥濃度。圖 3-2、3-3 分別為鹼洗、酸洗程序圖。

表 3-4 鹼洗濃度配製

設備	濃度配製
UF	(1) 0.25% NaOH + 500 ppm NaOCl
	(2) 0.25% NaOH + 400 ppm NaOCl
RO	(1) 0.2% NaOH + 4 ppm NaOCl
	(2) 0.2% NaOH + 6 ppm NaOCl

表 3-5 酸洗濃度配製

設備	濃度配製
UF	1% 檸檬酸
RO	1% 檸檬酸

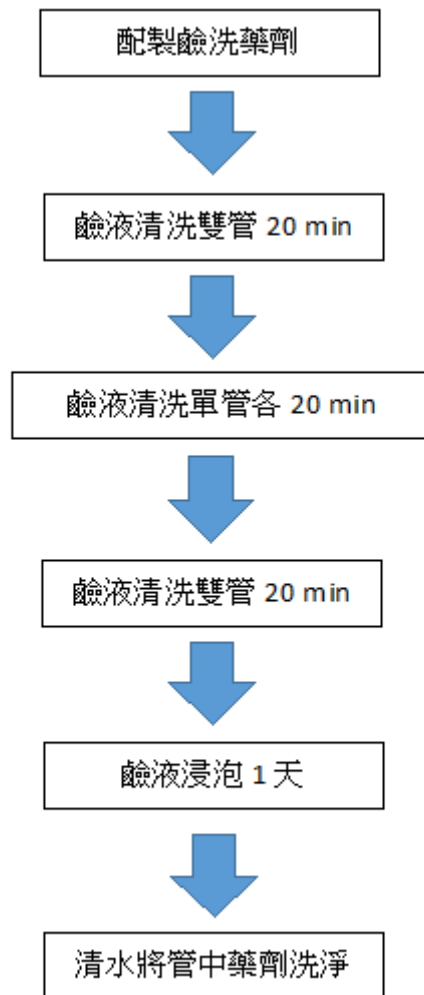


圖 3-2 鹼洗流程圖

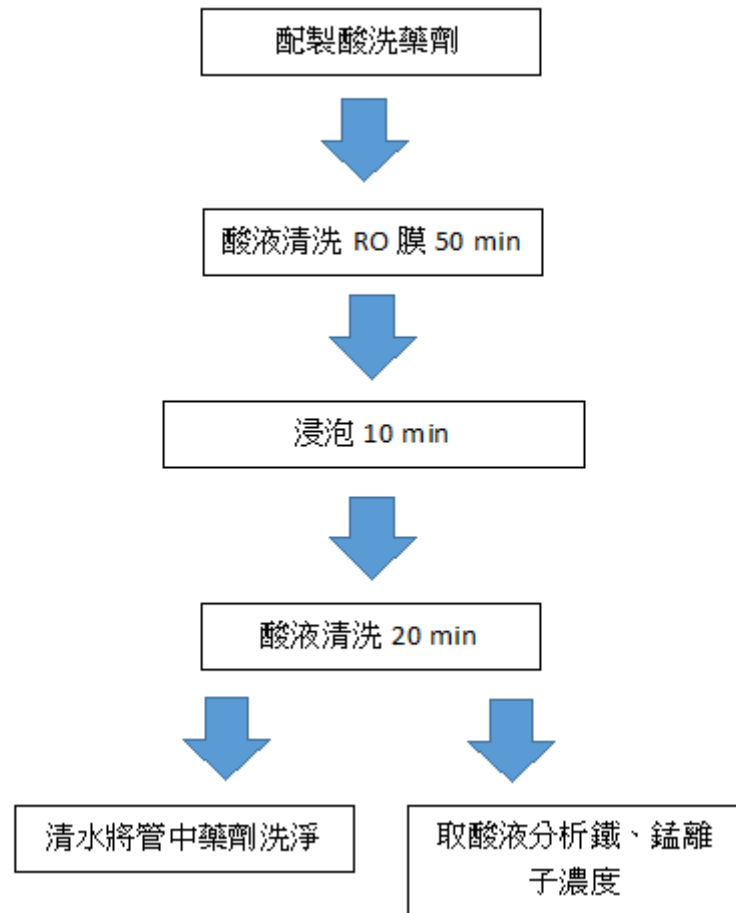


圖 3-3 酸洗流程圖

3.4 水質分析項目及方法

以每週一次的頻率對崑山湖原水、疊片過濾器初過濾水、UF 出水、RO 產水進行水質分析試驗，檢驗項目為:化學需氧量、水中懸浮固體物、導電度、濁度、pH，其中導電度、pH 為線上監測，每分鐘監測一次，每小時手動紀錄一筆，並且於週一至週五紀錄水、電表以統計每噸產水所需耗費的操作電量。表 3-6 為水質檢驗項目及方法。

表 3-6 水質檢測項目及方法

檢驗項目	分析方法
化學需氧量	環檢所公告之密閉式重鉻酸鉀迴流法 NIEA W517.52B
懸浮固體	環檢所公告之水中總溶解固體及懸浮固體檢測 NIEA W210.58A
導電度	環檢所公告之水中導電度測定方法 NIEA W203.51B
濁度	環檢所公告之水中濁度檢測方法 NIEA W219.52C
鐵、錳	環檢所公告之火焰式原子吸收光譜法 NIEA M111.01C

第四章 結果與討論

4.1 超過濾單元操作參數與產水效能

本研究將超過濾操作時間分別設定為 20、25 及 30 分鐘再進行反沖洗，反沖洗流量為 145 L/min 進行反下洗及反上洗各 30 秒。當流量低於 40 L/min 進行 CIP 清洗，進而找出較佳的操作時間，其操作時間及流量變化如表 4-1 及圖 4-1 所示。由此可知，增加反沖洗頻率可以減緩流量下降速度，在 20 分鐘操作下，其操作天數最長且產水量最高，為三組操作參數中最佳的選擇。

表 4-1 超過濾單元操作參數與產水效能

操作時間	操作日期	操作天數	平均流量 (L/min)	產水量 (L)	反洗水量 (L)	淨水總 量(L)
20 分鐘	5/11 至 5/26	15 天	49.3	2958	435	2523
25 分鐘	4/20 至 5/2	12 天	47.4	2844	348	2496
30 分鐘	6/6 至 6/17	11 天	45.5	2730	290	2440

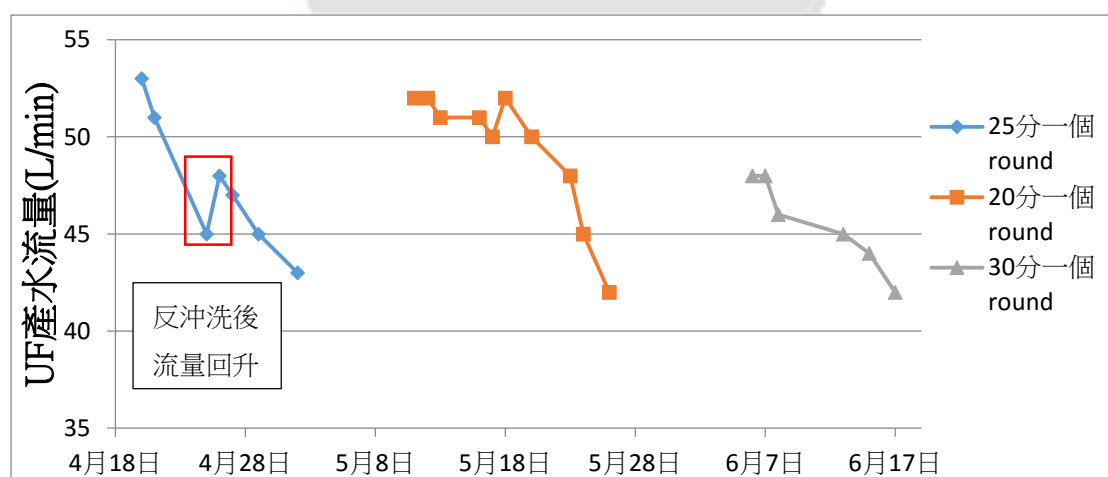


圖 4-1 超過濾單元操作參數與產水量的關係

4.2 再生水系統之水質淨化效能

4.2.1 原水酸鹼度(pH)

研究期間，崑山湖水(進流水)酸鹼度的變化如圖 4-2 所示，進流水 pH 值介於 6.48 至 8.95 之間，平均值為 7.86(RSD=8.47%，n=2115)，其中以 5 月 11 日 pH 值最低，因此需降低鹽酸使用量，3 月 31 日 pH 值最高，需添加較多的鹽酸，使 RO 進流水 pH 值介於 6.5 至 7 之間，避免產生碳酸鈣結垢，堵塞 RO 膜。

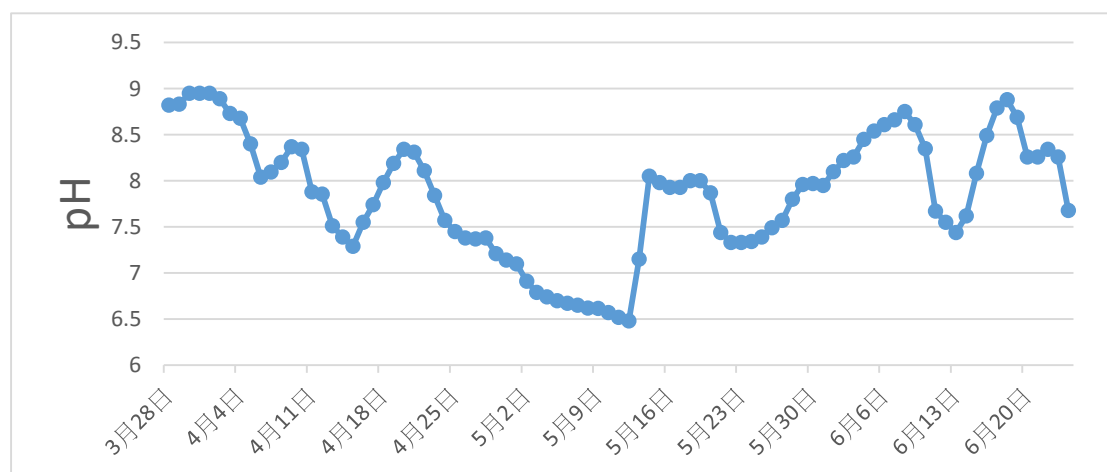


圖 4-2 進流水酸鹼度變化

一天中之酸鹼度變化以每天的中午 12 點至下午 18 點 pH 值為最高，在凌晨時 pH 值最低，如圖 4-3 所示。原因為水中藻類行光合作用和呼吸作用，因水中藻類中午行光合作用消耗二氧化碳，使池水 pH 值升高，而夜間池中植物行呼吸作用產生二氧化碳而使池水 pH 值下降。

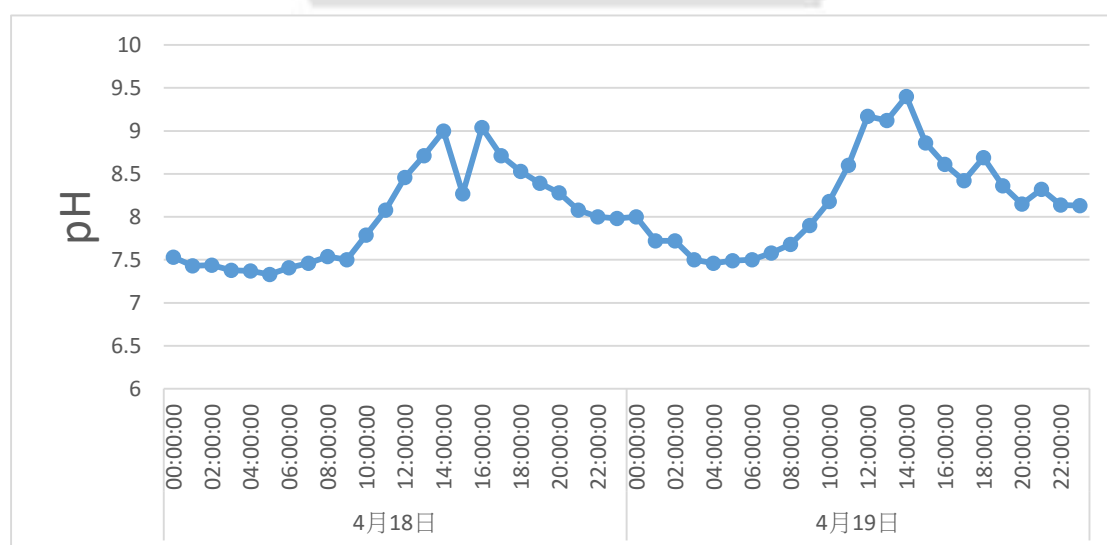


圖 4-3 崑山湖一日酸鹼度變化

4.2.2 導電度

(一) 原水導電度

研究期間，崑山湖水導電度四季平均值之變化如圖 4-4 所示，崑山湖水之導電度介於 652 至 751 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之間，平均值為 713 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (RSD=10.4%， $n=106$)，其中以冬季導電度最高，秋季導電度最低。

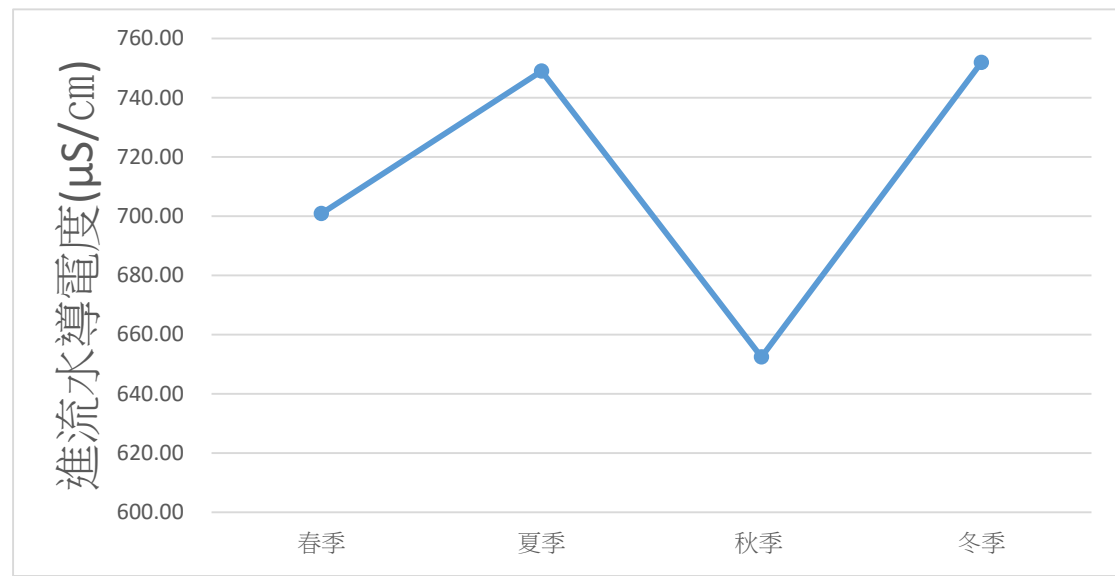


圖 4-4 進流水導電度變化

(二) RO 產水導電度

研究期間，RO 產水導電度變化如圖 4-5 所示，RO 導電度介於 24 至 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 之間，平均值為 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (RSD=37.87%， $n=106$)，其中 2 月至 4 月導電度偏高，其原因為較少降雨以及天氣較熱，導致崑山湖水質惡化，使其導電度偏高，去除效果較差。

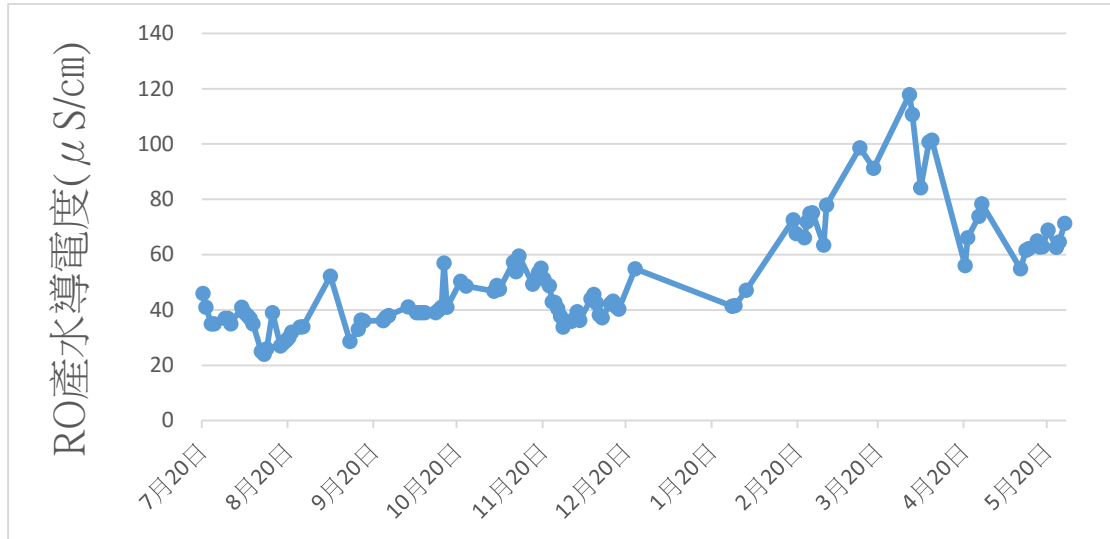


圖 4-5 RO 產水導電度變化

(三) RO 單元除鹽率

研究期間，RO 單元導電度去除率變化如圖 4-6 所示，導電度去除率介於 84 至 96 %，平均值為 93%(RSD=2.3%，n=106)，由圖可知，RO 膜效能已降低，其原因為 RO 膜操作 30 個月未進行離線清洗，導致其效能不佳，經過 CIP 後可將去除率回升至 93%，但無法回升至原先去除效能。

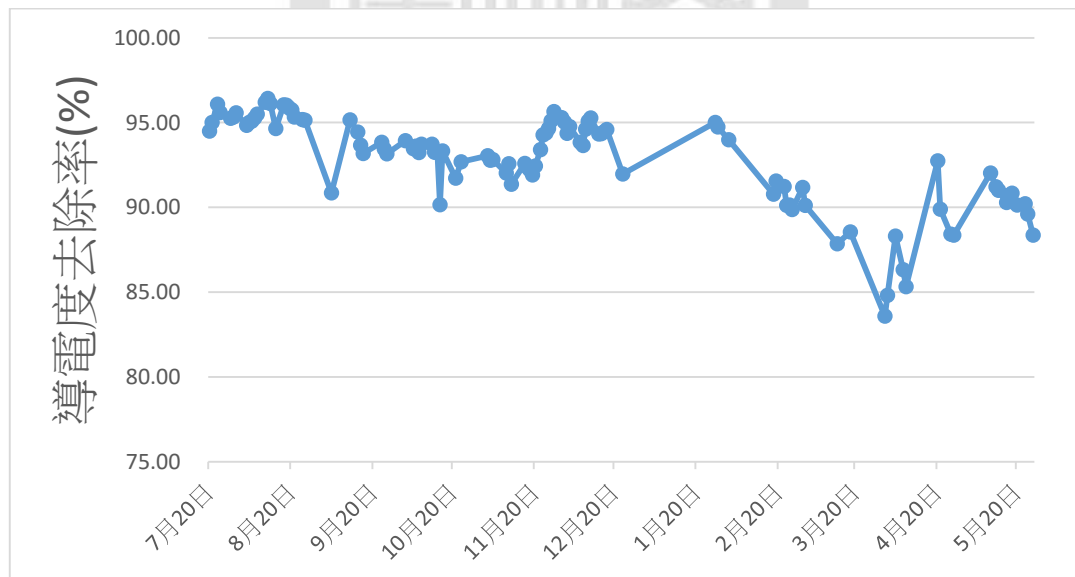


圖 4-6 RO 導電度去除率變化

4.2.3 化學需氧量

研究期間，水中化學需氧量變化如表 4-2 及圖 4-7 所示，進流水之化學需氧量介於 28.6 至 44.1 mg/L 之間，平均值為 35.7 mg/L(RSD=34.7%，n=20)，其中進流水以 2016 春季最高，2015 秋季最低，經過不同過濾孔徑之淨水單元過濾後，其化學需氧量變化如表 4-2，疊片過濾器無法有效去除水中化學需氧量，需經 UF 及 RO 過濾才可有效去除水中化學需氧量。

表 4-2 再生水系統化學需氧量變化

季節	水中化學需氧量(mg/L)			
	進流水	AZUD 產水	UF 產水	RO 產水
2015 夏季	37	25	15	N.D.
2015 秋季	28.6	25.3	9.7	N.D.
2015 冬季	32.8	35.5	9.5	N.D.
2016 春季	44.1	43.3	8.1	N.D.
平均值	35.7	32.3	10.5	-
RSD(%)	34.7	36.9	61.62	-
n	20	20	20	20

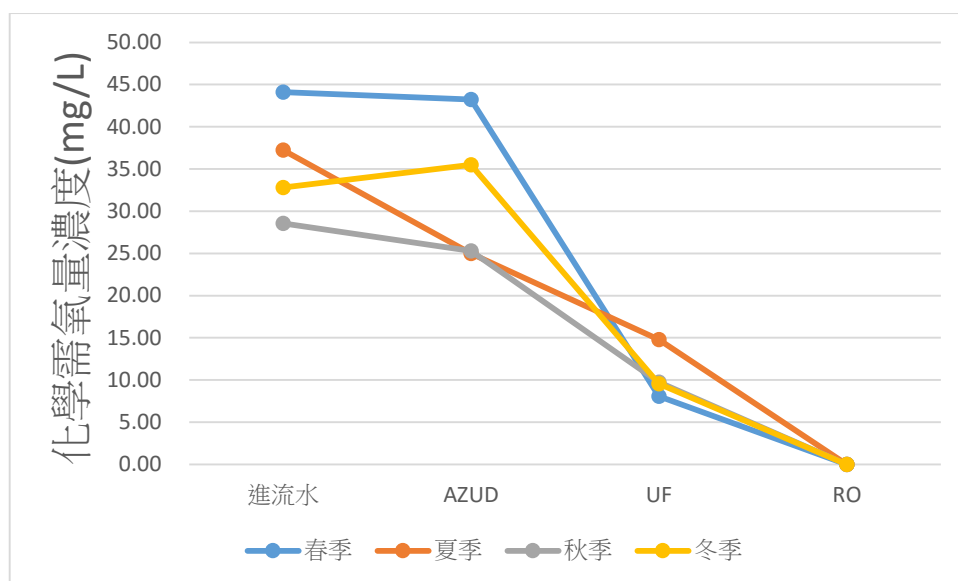


圖 4-7 再生水系統各單元化學需氧量變化

4.2.4 濁度

研究期間，水中濁度變化如表 4-3 及圖 4-8 所示，進流水之濁度介於 18.5 至 71.8 NTU 之間，平均值為 37.6 NTU(RSD=37.27%，n=20)，其中以 2016 春季濁度最高，其原因為崑山湖水質惡化，導致水質較混濁。經過各單元過濾後其濁度如表 4.3 所示，經過 UF 過濾可去除 98%以上濁度，再經過 RO 過濾後可將 99%濁度去除，其水質已相當清澈。

表 4-3 再生水系統濁度變化

季節	濁度(NTU)			
	進流水	AZUD 產水	UF 產水	RO 產水
2015 夏季	23.9	22.2	0.35	0.15
2015 秋季	34.1	34	0.41	0.16
2015 冬季	31	33.9	0.32	0.1
2016 春季	53.1	56.7	0.36	0.11
平均值	35.5	36.7	0.4	0.1
RSD(%)	37.27	40.93	42.03	53.47
n	20	20	20	20

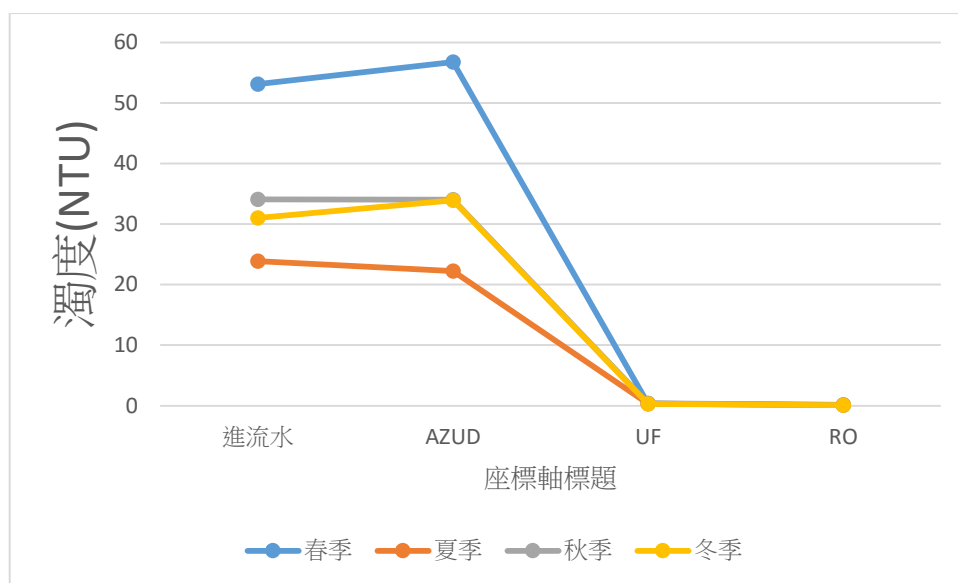


圖 4-8 再生水系統各單元濁度變化

4.2.5 懸浮固體物

研究期間，水中懸浮固體物變化如表 4-4 及圖 4-9 所示，進流水之懸浮固體物介於 10.5 至 64.5 mg/L，平均值為 34.6 mg/L(RSD=54.1%，n=20)，其中以 2016 春季懸浮固體物最多，經過各單元過濾後其懸浮固體物如表 4-4 所示，疊片過濾器在去除懸浮固體物上並無明顯效果，經 UF 過濾後懸浮固體物已低於偵測極限。

表 4-4 再生水系統各單元懸浮固體物濃度變化

季節	懸浮固體物(mg/L)			
	進流水	AZUD 產水	UF 產水	RO 產水
2015 夏季	15.5	13.8	N.D.	N.D.
2015 秋季	26.6	28.2	N.D.	N.D.
2015 冬季	29.2	34.0	N.D.	N.D.
2016 春季	55.5	56.3	N.D.	N.D.
平均值	35.7	32.3		
RSD(%)	54.1	52		
N	20	20	20	20

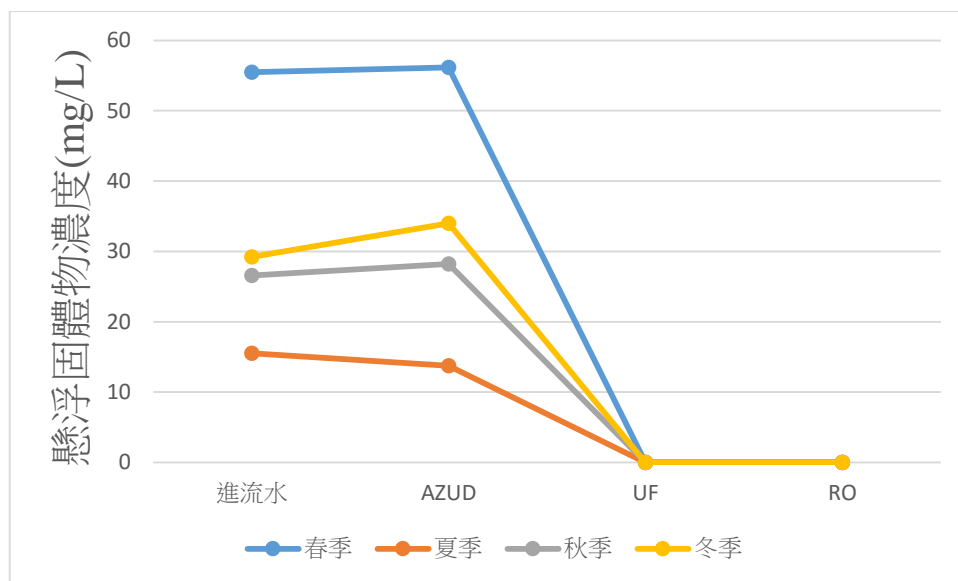


圖 4-9 再生水系統各單元懸浮固體物濃度變化

4.3 線上清洗操作條件與產水效能

4.3.1 UF 薄膜線上清洗條件與產水效能

UF 薄膜主要攔截有機物，所以使用鹼液進行清洗，使用不同濃度之漂白水進行鹼洗，分別使用 0.25% NaOH + 400 ppm NaOCl 及 0.25% NaOH + 500 ppm NaOCl 進行鹼洗，分析產水量對操作時間的變化，如圖 4-10 及 4-11 所示。

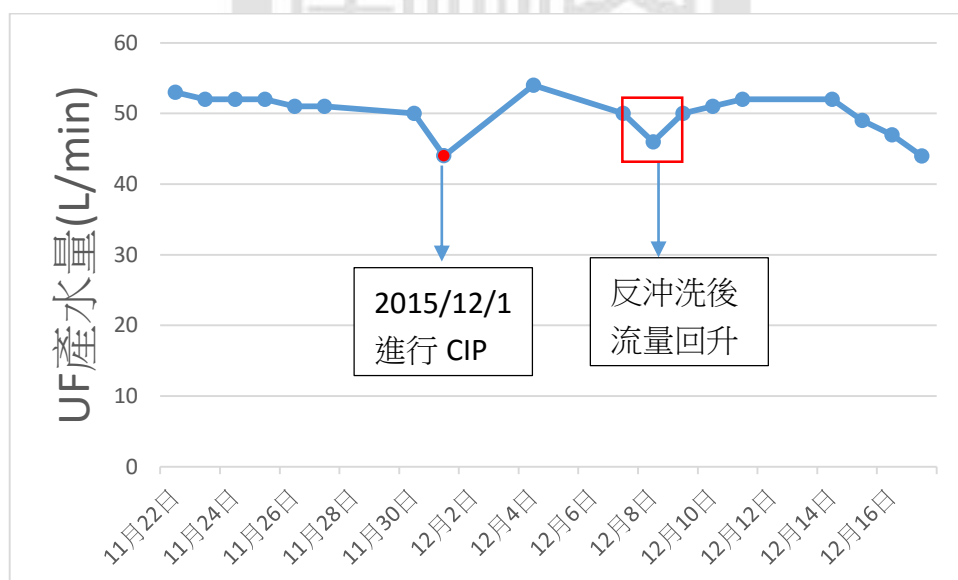


圖 4-10 使用 0.25% NaOH + 400 ppm NaOCl 進行 CIP 成效

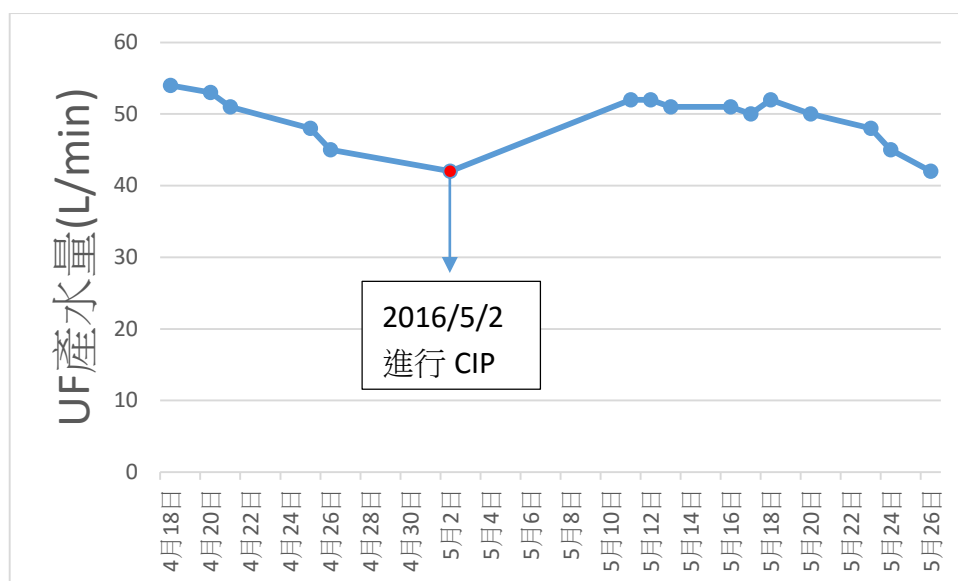


圖 4-11 使用 0.25% NaOH + 500 ppm NaOCl 進行 CIP 成效

圖 4-10 為使用 0.25% NaOH + 400 ppm NaOCl 進行 CIP 成效，由圖可知進行清洗過之 UF 膜起始流量為 53 L/min，經過 11 天操作後流量剩 44 L/min 時進行 CIP，使流量回到 54 L/min，持續操作 14 天後流量剩 39 L/min，平均 12 天進行清洗。

圖 4-11 為使用 0.25% NaOH + 500 ppm NaOCl 進行 CIP 成效，由圖可知進行清洗過之 UF 膜起始流量為 54 L/min，持續操作 15 天後流量剩 42 L/min 時進行 CIP，使流量回到 52 L/min，持續操作 16 天後流量剩 42 L/min，平均 15 天進行清洗。

目前為止進行 CIP 都還能將流量穩定恢復到起始流量，由此可知將藥劑濃度增加可將 UF 膜內有機物清洗更乾淨，不同時段的進水水質也會影響產水量，需試驗求得較佳清洗濃度來增長操作時間，減少操作成本。

4.3.2 RO 薄膜線上清洗條件與產水效能

RO 主要攔截無機鹽類及無機物，主要以酸液進行清洗，在此皆使用濃度 1% 檸檬酸進行酸洗，其產水量變化如圖 4-12 所示。

由圖可知，RO 膜會因過濾時間增加使產水量降低，需進行 CIP 清洗，使產水量恢復，在進行第二次 CIP 清洗時未進行酸液清洗，只進行鹼洗，但並沒有辦法有效將流量恢復，由此可知鹼洗對 RO 膜效果不大，主要阻塞物質需使用酸液清洗。

圖 4-13 為流量與壓力變化關係，當流量下降時壓力會升高，操作壓力為薄膜阻塞指標之一，可藉此判斷 CIP 時機。



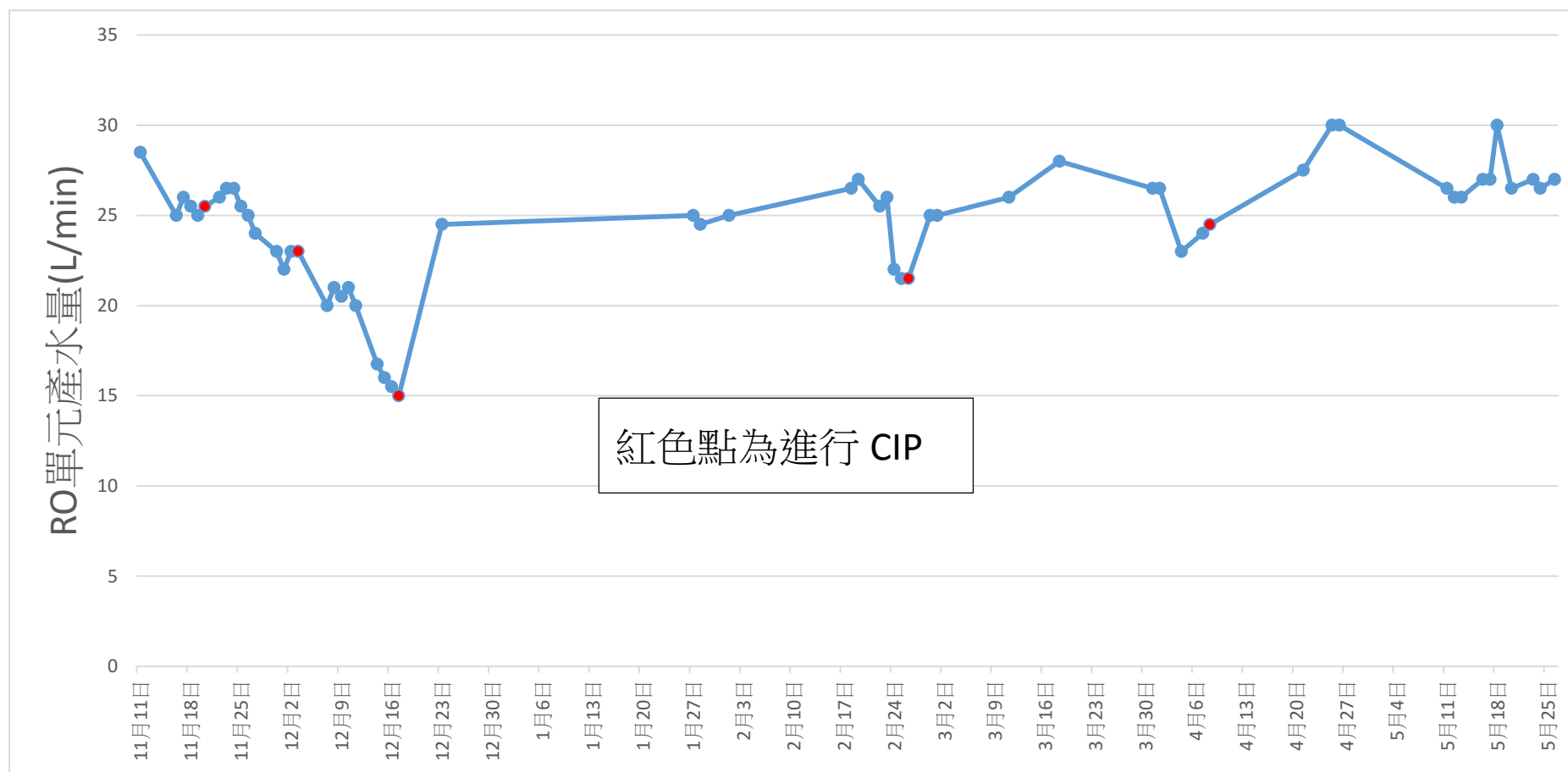


圖 4-12 RO 薄膜進行 CIP 時機與產水效能

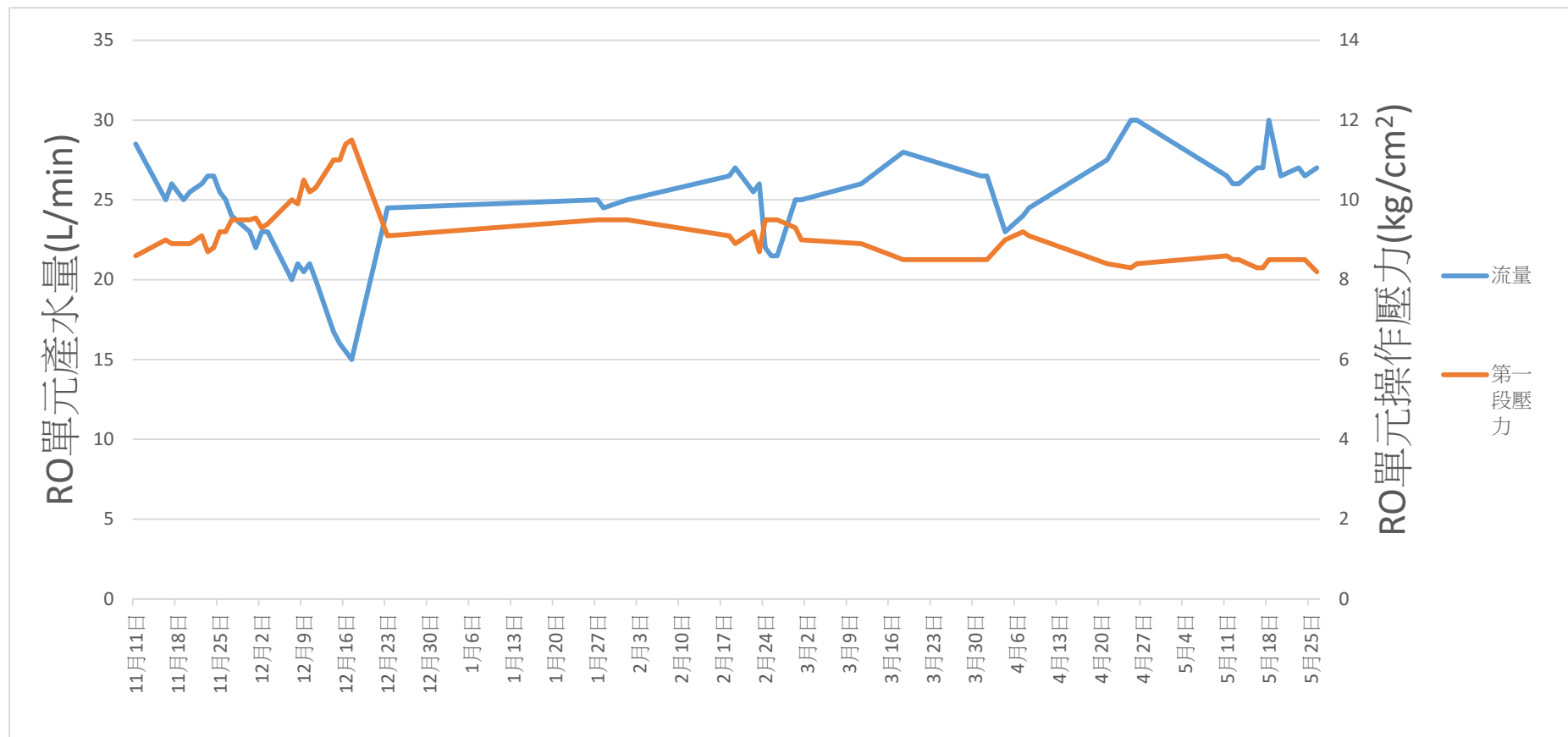


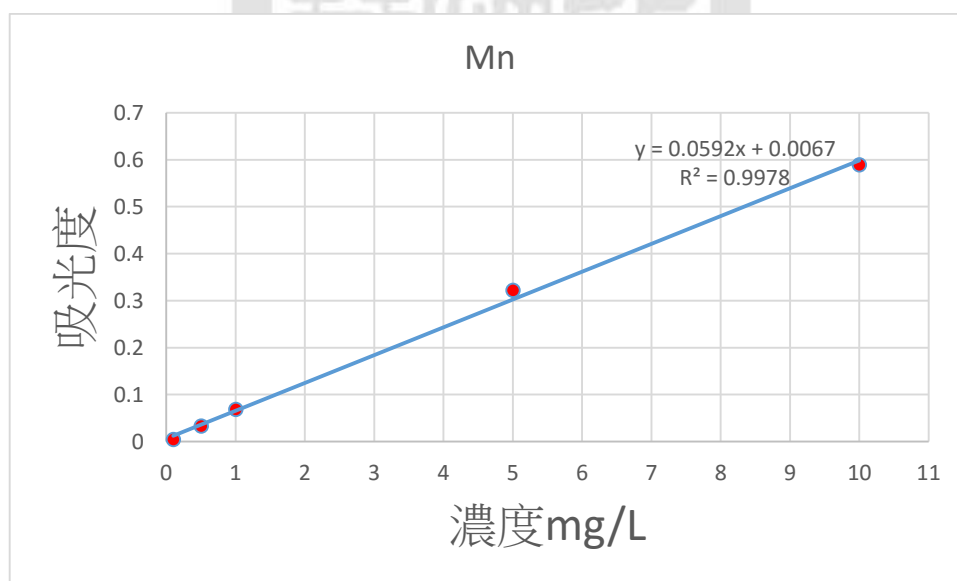
圖 4-13 RO 單元產水量與操作壓力之間的關係

4.3.3 RO 單元對於鐵錳之去除效能

將崑山湖水(進流水)及 CIP 酸洗液進行火焰原子吸收光譜儀分析水中鐵、錳濃度，其濃度如表 4-5 所示，由此可知崑山湖水鐵平均濃度為 1.152 mg/L(n=3)，錳平均濃度為 1.274 mg/L(n=3)，經過 RO 過濾後，其鐵、錳被攔截在 RO 膜，分析 CIP 酸洗液後發現鐵平均濃度為 5.2 mg/L(n=2)，錳平均濃度為 4.6 mg/L(n=2)，可得知其鐵、錳已累積在 RO 膜，當進行酸洗清洗時，可以將鐵、錳洗出，避免薄膜阻塞。圖 4-14 為標準品檢量線。

表 4-5 鐵及錳離子濃度

樣品	平均鐵濃度(mg/L)	平均錳濃度(mg/L)
進流水	1.152	1.274
CIP 酸洗液	5.2	4.6



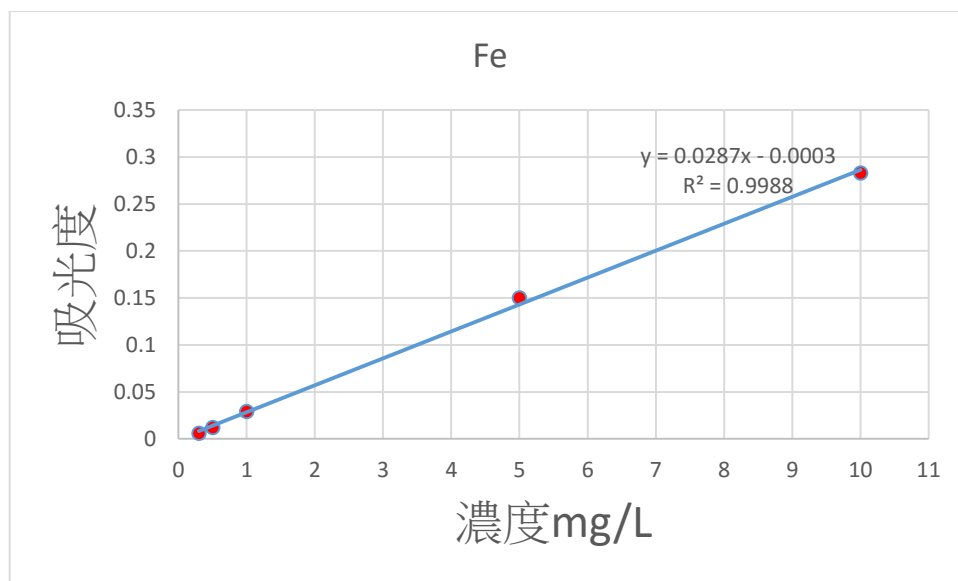


圖 4-14 鐵及錳檢量線

4.4 再生水系統耗電量分析

由圖 4-15 可知，產一噸純水耗電量介於 2.78 至 4.77 度之間，平均值為 3.21 度(RSD=11.61%，n=113)，其中以 12 月最高，其原因為 RO 薄膜阻塞，尚未進行 CIP 清洗，導致產水量降低，進而提高耗電量。再生水最主要成本來自耗電量，降低耗電量可減少操作成本。

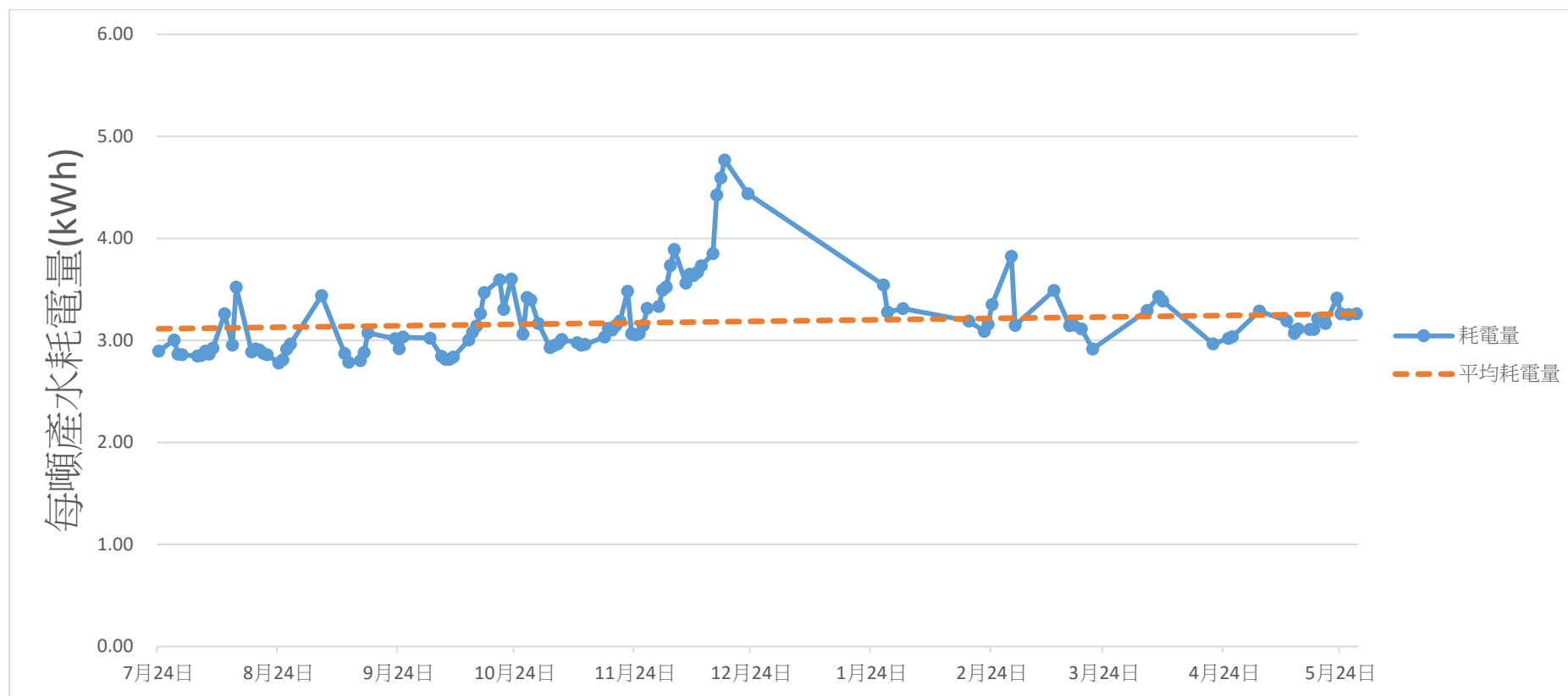


圖 4-15 單位產水耗電量

4.5 再生水系統操作成本分析

4.5.1 CIP 成本分析

表 4-6 為線上清洗項目及其費用，CIP 一次需花費 252 元，若能使用最佳操作模式，增加過濾操作時間，使 CIP 頻率降低，將可有效減少操作成本。

表 4-6 線上清洗項目及其費用

項目	用量	單價	金額(元)
NaOCl	1.388 L	15NT\$/L	21
NaOH	1 L	21NT\$/L	21
檸檬酸	2.5 kg	60NT\$/kg	150
電費	4 kWh	3NT\$/kWh	12
水費	4 噸	12NT\$/噸	48
合計			252

4.5.2 操作成本

表 4-7 為生產一噸純水所需成本，生產一噸純水需消耗 3.21 度電，共 9.6 元；生產一噸純水需分別使用 0.86 公升 0.5%NaOCl 及 0.65 公升 0.3%HCl，藥劑費用共計 1.03 元，其中 NaOCl 做為抑制水中微生物生長，HCl 做為調節 UF 產水 pH 值使用；CIP 費用為將 252 元除以產水量 382 噸，得到 1 噸需要 0.66 元。

本研究未將人事成本、設備折舊費列入計算，生產一噸純水 11.29 元，最主要成本來自於操作電費，如何減少薄膜阻塞以增加產水量同時降低耗電量，應為未來研究的重點。

表 4-7 產水成本

項目	每噸產水費用(元/噸)
電費	9.6
藥劑費用(包括 NaOCl、HCl)	1.03
CIP 費用	0.66
合計	11.29

第五章 結論與建議

5.1 結論

- (1) 研究結果顯示，反沖洗頻率增加，其流量下降趨勢較為緩慢，CIP 週期較長，其中以操作 20 分鐘進行反洗較佳。
- (2) 中水經過雙薄膜系統淨化後，其水中化學需氧量、懸浮固體物皆低於偵測極限，濁度去除率可高達 99%，淨化後的崑山湖水質已相當優良。
- (3) 目前生產一噸純水若不計人工及設備折舊之操作成本為 11.29 元，若在操作參數或過濾濾程上進行改良，還有進一步降低操作成本的空間。

5.2 建議

- (1) 次氯酸鈉自動加藥機操作一定時間後，容易有鈉結晶體阻塞管線，每個禮拜用清水清洗乾淨，將結晶沖出管線，使加藥機可正常加藥，避免水中無餘氯，無法抑制水中微生物生長。
- (2) 研究結果顯示，水中鐵、錳會累積在 RO 膜，故可在前端加裝錳砂過濾器，防止鐵、錳累積在 RO 膜，導致薄膜阻塞。
- (3) 本研究進行線上清洗時機以流量判定，建議可新增檢驗 SDI，做為薄膜清洗指標之一。

參考文獻

- [1].B. Nicolaisen, “Development in Membrane Technology for Water Treatment”, Desalination, vol. 153, pp. 353-360, 2002
- [2].C. Munir, “Ultrafiltration and Microfiltration Handbook”, Technomic Lancaster, 1998.
- [3].Aptel, P. & Buckley, C.A. “Categories of Membrane Operations”, Water Treatment Membrane Process, 1996.
- [4].Cheryan, M. “Ultrafiltration and microfiltration handbook ” , Lancaster, Pennsylvania : Technomic Publishing. 1998.
- [5].Crozes G. F., Jacangelo J.G., Anselme C., & Laine J. M. “Impact of ultrafiltration operating conditions on membrane irreversible fouling”, Journal of Membrane Science, vol. 124, pp. 63-76, 1997.
- [6].G.K. Pearce, “UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications:a comparison of energy costs”, Desalination, vol. 222, pp. 66-73, 2008
- [7].Irena Petrinic, Jasmina Korenak, Damijan Povodnik, Claus He'lix-Nielsen, “A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis(UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry”, Journal of Cleaner Production, vol. 101, pp. 292-300, 2015
- [8].C.J. Huang, B.M. Yang, K.S. Chen, C.C Chang, C.M. Kao, “Application of membrane technology on semiconductor wastewater reclamation:A pilot-scale study”, Desalination, vol. 278, pp. 203-210, 2011
- [9].Jian-Jun Qin, Maung-Htun Oo, Maung-Nyunt Wai, C.-M. Ang, Fook-Sin Wong, Hsiaowan Lee, “A dual membrane UF/RO process for reclamation of spent rinses from a nickel-plating operation—a case study”, Water Research, vol. 37, pp. 3269-3278, 2003
- [10].Ruth Ordonez, Daphne Hermosilla, Ignacio San Pio, Angeles Blanco, “Evaluation of MF and UF as pretreatments prior to RO applied to reclaim municipal wastewater for freshwater substitution in a paper mill:A practical experience”, Chemical Engineering Journal, vol. 166, pp. 88-98, 2011
- [11].Peter H. Wolf, Steve Siverns, Sandro Monti, “UF membranes for RO desalination pretreatment”, Desalination, vol. 182, pp. 293-300, 2005
- [12].C.K. Pearce. “The case for UF/MF pretreatment to RO in seawater applications”, Desalination, vol. 203, pp. 286-295, 2007
- [13].Shibam Mitra, Naphtali Claude Daltrophe, Jack Gilron. “A novel eductor-based MBR for the treatment of domestic wastewater”, Water Research, vol. 100, pp.

65-79, 2016

- [14].Eui-Jong Lee, Young-Hoon Kim, Chang-Ha Lee, Hyung-Soo Kim, Hyung-Sook Kim, "Effect of different physical conditions on fouling control in in-situ chemical cleaning in place(CIP) for flat sheet membranes fouled by secondary effluents", Chemical Engineering Journal, vol. 302, pp. 128-136, 2016
- [15].李棕蒼,「臺灣地區用水統計調查方式更新改善與彙編 99 年用水統計報告」, 2013。
- [16].於維芬、游勝傑、張添晉、歐陽嶠暉,「水再生利用推動現況與發展策略」, 永續產業發展季刊, NO.57, 第 52-61 頁, 2011。
- [17].吳家瑞,「何謂中水回收系統」, 台北市立教育大學附設實驗國民小學環境教育網頁, 2012 年。
- [18].劉乃菱,「校園中水應用與其績效評估指標」, 碩士論文, 國立東華大學環境政策研究所, 2004。
- [19].倪振鴻,「UF/RO 處理技術案例介紹」, 綠太環境科技股份有限公司。
- [20].林智偉,「RO 污排水回收系統運用在集合式住宅之研究-以高雄市為例」, 碩士論文, 國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所, 2014。
- [21].林隆甫,「薄膜化學清洗之研究」, 碩士論文, 國立成功大學環境工程學系, 2009。
- [22].吳大猷,「UF 薄膜系統應用於高濁度原水處理之可行性研究」, 碩士論文, 逢甲大學環境工程與科學學系, 2011。
- [23].黃才銘,「校園中水水質淨化系統效能評估-以崑山科技大學為例」, 碩士論文, 崑山科技大學環境工程系, 2015。
- [24].姚智元,「薄膜材質與混凝前處理對 UF 阻塞現象影響之研究」, 碩士論文, 國立成功大學環境工程學系, 2012。
- [25].莊順興,「新興水資源發展之技術趨勢與關鍵」, 永續產業發展季刊, NO.57, 第 62-69 頁, 2011。
- [26].宋昭瑩,「鈣離子對 UF 薄膜有機積垢之影響」, 碩士論文, 國立交通大學環境工程研究所, 2007。
- [27].沈榮津、戴瑞卿、沈龍志、嚴小梅、黃俊仁、王炳琳、黃仕憲、張振章、王曉明、黃淑君,「楠梓加工出口區再生水模型廠廢水回收再利用案例分享」, 永續產業發展雙月刊, 第 50 期, 第 133-151 頁, 2010。
- [28].曾震雄、何燦穎、趙幼梅、蘇禎勳、李添德、劉振中、林發恩、柳逸軒、陳忠義,「中鋼公司工業廢水回收設備實績說明」, 推動新生水水源開發成功案例分享, 第 27-47 頁。
- [29].王耀賢,「前氧化結合截留式微過濾處理含鐵錳地下水之研究」, 碩士論文, 國立交通大學環境工程研究所, 2010。

- [30].臺灣自來水股份有限公司，「臺灣自來水事業統計年報」，第 38 期，2016。
- [31].蕭英旺，「民生廢汙水再生應用於工業用水資源處理系統之研究」，碩士論文，國立成功大學理學院地球科學系，2014。

