

國立成功大學
水利及海洋工程學系
碩士論文

面板廠高有機回收水系統

最佳化運轉策略之研究

High organic research panel plant operating
strategy to optimize water recycling system

研究生：黃榮信

指導教授：呂珍謀 教授

中華民國 一〇五年一月

國立成功大學

碩士在職專班論文

面板廠高有機回收水系統最佳化運轉策略之研究
High organic research panel plant operating
strategy to optimize water recycling system

研究生：黃榮信

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

呂珍謀
李明聰
王裕民
簡仲和

指導教授：呂珍謀

系(所)主管：(張心峰)

中華民國 104 年 12 月 19 日

中文摘要

面板產業的製造過程中除了使用大量化學品進行製程反應外，同時需要大量超純水進行面板清潔及洗淨，因此製程設備會產生含有化學品的廢水排放，大量含有化學品的廢水需要再建造回收水系統進行回收水的回收再利用。

本研究對象為南部科學工業園區某面板製造廠 5 代廠的高有機廢水主要來源為 TFT 製程及 CF 製程的高有機廢水，處理有機回收水的方式為高溶氧生物固定床接觸曝氣法，處理流程包含前處理 Bio-polisher、MMF、再經 RO 過濾。

研究對象的回收水系統現有技術運轉時發現許多的問題，例如前處理濾袋更換頻繁、過濾器濾心更換頻繁、RO 藥洗頻率增加、回收率降低等，大大的影響回收水系統運轉的效率及效能，因此對於回收水系統運轉技術的提升有著迫切的需求，本研究經實廠實際進行高有機回收水系統運轉改善後，最佳化高有機回收水系統流程，可採用混凝膠凝 + 沉澱調整 + MMF + ACF + RO，此系統架構 TOC 去除率 > 90%，水回收再利用率 > 80%，回收水量增加 2,103 CMD，實驗廠自來水使用量由 7,883 CMD 減少至 5,780 CMD，自來水使用率降低 26%，用水使用成本降低 52,575 元/天，每年可節省 19,189,875 元/年。

關鍵詞：生物固定床接觸曝氣法、生物精鍊單元、多層過濾單元、逆滲透、活性炭吸附、總有機碳。

Extended Abstract

High organic research panel plant operating strategy to optimize water recycling system

Ben Huang

Jan-Mou Leu

Department of Hydraulic and Ocean Engineering&National Cheng Kung University

SUMMARY

The study was actually a real high organic recycling plant water system improved after the operation, optimized high organic recycling water system flow, can be used to adjust the coagulation sedimentation gelling + Adjustment precipitation + MMF + ACF + RO, this system architecture TOC removal efficiency > 90 % water recycling rate > 80%, increase water recycling 2,103 CMD, experimental plant water use was reduced from 7,883 CMD to 5,780 CMD, reduce water usage by 26%, water use costs 52,575 yuan / day, annual savings of 19,189,875 yuan / year.

Keywords: MMF, RO, ACF, TOC.

INTRODUCTION

Chemical species in the process of industrial development panel used in many and the numbers are very large, how to source reduction of chemicals Control Manager, has become the subject of panel makers continued to improve. Therefore, in addition to a variety of process improvement chemical reduction, the various chemicals recovery systems are starting to build the plant in the panel, such as stripping liquid recovery system (Stripper Reclaim System; SRS), photoresist diluent recovery system (PGMEA Reclaim System; PRS), glass cleaner recovery system (NMP Reclaim System; NRS) and so on, build chemical recovery system in addition to lower production costs, but also reduce hazardous industrial waste and resource recycling.

However, the manufacturing process of the panel industry, in addition to a large number of chemicals using a reaction process, but at the same time requires a lot of ultra-pure water to clean and wash the panel, so the process equipment will produce

wastewater containing chemicals, waste water containing a large amount of chemicals need to construction of water recycling system for recycling water recycling.

The main source of research object of high organic waste water is high organic wastewater TFT process and CF process, the annual amount of water 2,052,030 m³, water quality pH: 4 ~ 9, TOC: 50 ~ 100 mg / l, conductivity: <300 μ S / cm , Temp: 22 ~ 27 °C table 1 high organic waste raw water quality is shown in Table, processing organically recycled water is high dissolved oxygen in contact with biological fixed bed aeration, process flow Figure 1 high organic wastewater recycling system flow chart shown, including pre-treatment Bio-polisher, MMF as table 2 at the high organic wastewater system shown in tables, etc. and then the RO water quality after filtration, recycling water treatment costs 11.83 yuan / m³ as shown in Table 3 high organic wastewater system operating costs, the quality of pH: 6 ~ 9, TOC: 2 ~ 3 mg / l, conductivity: <50 μ S / cm, Temp: 22 ~ 24 °C table 4 high organic wastewater system water table shown, can replace part of the water and the use of cooling towers water quality as shown in Table 5 cooling water to add water quality after treatment, to reduce the amount of tap water use study.

MATERIALS AND METHODS

The study of a family in southern Taiwan Science Park production of TFT-LCD company High Five plants process organic waste recycling systems, process water and wastewater characteristics in accordance with the concentration of triage and be numbered, the study of organic recycling system for the high water recovery system. Wastewater source for TFT Array process of recycling water with high organic CF high organic recycled water , recycled water by mixing two shares after collectively W18 recycled water.

TFT and CF are a high TOC organic recycling water (TOC 50 ppm), administered by the Test and control samples recovered conductivity, pH gather to Bio Tank after tank to the coagulation and PAC and NaOH is added to reach a coagulation effect, treated water pH control at 6.8, collected in Bio Treated Tank, and finally into the MMF filter, in accordance with the set flow rate discharged into the RCW Tongcao or returned to the Bio Tank and then the RO, processed back to filter Water Tank.

Organic wastewater of high organic mainly on the photoresist, etching processes arising, etching processes arising, the general use of organic material comprises an organic solvent, the organic material comprises an organic solvent is generally used, photoresist, acetone, etc., will also use to surfactant-containing wash water, the will to use to wash water containing a surfactant, the present, many biological contact aeration

treatment to, the current multi-contact aeration biological treatment to remove the organic matter in water.

The W18 recycled water system water production reduces the induction within the fishbone analysis chart improvement theme, setting improvement targets, and then based on effectiveness, degree of difficulty and cost by weight analysis and expert analysis, giving the relevant authority after heavy fraction sequentially according to the set improvement objectives improvement confirmed chart in order to facilitate subsequent improvements to improve co-induction four directions and 16 confirmed breakdown, then 16 to confirm a breakdown of your confirmation in order to facilitate subsequent optimization improvements.

RESULTS AND DISCUSSION

After real high organic recycling plant actually work to improve the water system, come 5:00 the following conclusions: (1) system optimized to reduce system operating costs and make the system more cost-effective operation. (2) optimize the system, the degree of success of the reasons for blocking control.(3) RO membrane wash drug development of new technologies, the RO membrane wash program and drug type and concentration of the drug to wash Pharmacy institutionalized, plus RO membrane wash properly medicated rate rose 25 percent to 87 percent, an annual saving of about 300 drug wash costs million. (4) Best of high organic recycling water system flow, can be used to adjust the coagulation sedimentation gelling + Adjustment precipitation + MMF + ACF + RO system architecture, real factory operation test TOC removal> 90%, water recycling rate> 80 %. (5) The best of the high organic recycling process water systems to improve the efficiency of wastewater recycling 81%, reduce water usage by 26%, reduce the use of water costs 52,575 yuan / day, annual savings of 19,189,875 yuan / year.

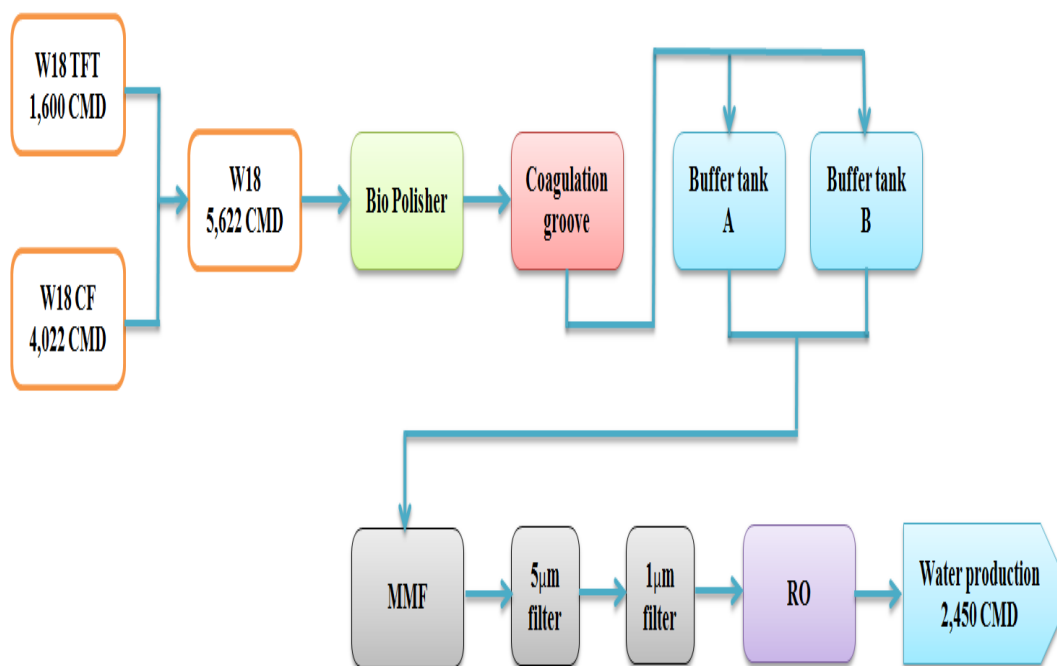


Figure1. high organic wastewater recycling system to the flow chart

Test items	Test data
Wastewater	5,622 CMD
pH	4~ 9
TOC	50 ~ 100 mg/l
Conductivity	< 300 μS/cm
Temp	22 ~ 27 °C

Table 1. high organic waste raw water table

Test items	Test data
pH	6 ~ 9
TOC	10~15 mg/l
Conductivity	< 150 μS/cm
Temp	22 ~ 27 °C

Table 2. high quality pre-treatment of organic wastewater system table

Operating costs	Bio-polisher (元/m³)	ACF (元/m³)	RO (元/m³)	total (元/m³)
Electricity	5.4	—	3.5	8.9
Drug costs	2.85	—	0.004	2.85
Sludge handling charges	—	—	—	0
Filter	—	—	0.08	0.08
Total cost	8.25	0	3.58	11.83

Table 3. High organic waste water system operating costs

Test items	Test data
pH	6 ~ 9
TOC	2 ~ 3 mg/l
Conductivity	< 50 μ S/cm
Temp	22 ~ 24 °C

Table 4. high organic wastewater system treated water table

Test items	Test data
pH	6 ~ 9
TOC	70 mg/l
Conductivity	< 300 μ S/cm
Temp	22 ~ 24 °C

Table 5. as cooling water quality

誌謝

本論文得以完成，首先要感謝指導教授呂珍謀老師。感謝老師這兩年多來為學生在論文指導上所花費的精力與時間，謝謝您孜孜不倦的教導，也給予很多鼓勵，使我有動力繼續往前邁進，至此之後，也會繼續努力的遵循和實踐老師所給予的教誨。

口試期間感謝口試委員簡仲和老師、王裕民老師及李明靜老師特地撥冗，於論文口試時給予指正與建議，使本論文能夠更加完善，同時也給我許多啟發與收穫，感謝老師們對學生論文的肯定，學生於此衷心感謝。

另外感謝班上各位同學們的一路相伴及協助，公司同事於碩士學習期間的鼓勵及支持，沒有大家的協助及幫忙這一路很難這麼順利的挺過來。

最感謝的是家人背後給我的支持及鼓勵，更是讓我在求學過程中，能夠一路走來始終如一的重要支柱。我摯愛的另一半曉娟，謝謝你在我背後無怨無悔的付出，因為你的支持與鼓勵，我才能毫無後顧之憂的在學業上打拼，並且對自己充滿了信心，沒有你們大家就不可能成就今日的我。

黃榮信 謹致

中華民國 105 年 01 月

目錄

中文摘要.....	I
Extended Abstract.....	II
誌謝.....	VII
目錄.....	VIII
圖目錄.....	X
表目錄.....	XII
符號表.....	XIV
專有名詞.....	XV
第一章 緒論.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 研究目的.....	13
1-3 研究方法.....	14
1-4 文獻回顧.....	16
1-4-1 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)產業結構.....	16
1-4-2 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)原理及製程.....	18
1-4-3 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程簡介及常用原料.....	24
1-4-4 回收水處理系統流程及簡介.....	27
1-4-5 資料分析方法.....	33
1-5 本文架構.....	36
第二章 高有機廢水來源及特性.....	38
2-1 高有機廢水來源.....	38
2-2 水質來源分析.....	40
2-3 高有機廢水特性.....	41
第三章 研究方法與設備.....	43
3-1 研究對象.....	43
3-2 回收水水質與水量.....	47
3-3 系統運轉問題.....	49
3-4 運轉問題收集及分析.....	50
3-4-1 利用魚骨圖收集整合資料.....	50
3-4-2 利用關鍵成功因素法評估分析.....	51
3-5 執行運轉問題改善.....	52
3-5-1 改善主題：來源分析.....	52
3-5-2 改善項目：藥洗成效不佳.....	57
3-5-3 改善項目：RO 膜問題.....	60
3-5-4 改善項目：RO 前過濾不佳.....	68

3-6 真因判斷及改善可行性評估.....	76
第四章最佳化運轉策略.....	77
4-1 最佳化運轉策略彙整.....	77
4-2 最佳化運轉策略.....	78
4-2-1 增加水中餘氯.....	78
4-2-2 回收水不經生物處理.....	84
4-2-3 提升混凝槽的混凝效果.....	90
4-2-4 改善緩衝槽沉澱效果.....	94
4-2-5 增加 RO 膜清洗效果.....	99
4-3 最佳化運轉.....	105
第五章 結論與建議.....	109
5-1 結論.....	109
5-2 建議.....	111
參考文獻.....	112



圖目錄

圖 1-1	台灣年平均雨量分布圖.....	5
圖 1-2	台灣與各國每人平均分配比較圖.....	5
圖 1-3	南部科學園區用水平衡圖.....	6
圖 1-4	高有機廢水回收系統流程圖.....	7
圖 1-5	研究步驟流程圖.....	15
圖 1-6	LCD 產業結構圖.....	16
圖 1-7	影像顯示產業之產業範疇圖.....	17
圖 1-8	TFT-LCD 結構.....	18
圖 1-9	TFT-LCD 製程流程.....	19
圖 1-10	薄膜電晶體製程(TFT).....	20
圖 1-11	彩色濾光片製程(CF).....	21
圖 1-12	面板組裝段(Cell).....	22
圖 1-13	...模組組裝(Module).....	23
圖 1-14	逆滲透法原理圖.....	30
圖 1-15	魚骨圖(Fishbone Diagram).....	34
圖 3-1	研究廠用水平衡圖.....	48
圖 3-2	RO 產水量變化圖.....	49
圖 3-3	W18 回收水系統產水量降低魚骨分析圖.....	50
圖 3-4	RO 膜藥洗設備管路圖.....	57
圖 3-5	浸泡液鹼(pH12).....	63
圖 3-6	浸泡鹽酸(pH 2).....	64
圖 3-7	儲桶浸泡鹽酸(pH 2)及液鹼(pH12).....	65
圖 3-8	RO A、B 產水量變化圖.....	66
圖 3-9	實驗廠 RO 保存方式.....	68
圖 3-10	濾心 A.....	69
圖 3-11	濾心 B.....	70
圖 3-12	W18 回收水系統有機性阻塞.....	75
圖 4-1	不同 pH 值下次氯酸(HOCl)及次氯酸離子(OCl ⁻)比例.....	79
圖 4-2	水中餘氯實驗配置圖.....	81
圖 4-3	高有機廢水回收系統流程(By pass bio-polisher).....	87
圖 4-4	活性炭過濾床去除.....	89
圖 4-5	膠凝劑添加實驗.....	93
圖 4-6	高有機廢水回收系統流程(新增 polymer 管路).....	94
圖 4-7	理想沉澱池示意圖.....	95
圖 4-8	高有機廢水回收系統流程(緩衝槽管路修改).....	97

圖 4-9	RO 膜清洗技術實驗數據.....	102
圖 4-10	RO 膜管解剖圖.....	103
圖 4-11	RO 膜內部構造圖.....	103
圖 4-12	RO 新膜與阻塞膜比較圖.....	104
圖 4-13	最佳化高有機廢水回收系統流程圖.....	106



表目錄

表 1-1	研究對象面板廠資料.....	6
表 1-2	高有機廢水原水水質表.....	7
表 1-3	高有機廢水系統前處理水質表.....	8
表 1-4	高有機廢水系統運轉費用.....	9
表 1-5	高有機廢水系統處理後水質表.....	10
表 1-6	冷卻水補充水水質.....	10
表 1-7	103 年自來水用水量統計.....	11
表 1-8	TFT-LCD 面板製程氣體化學品彙整.....	24
表 2-1	W18 水質分析表.....	42
表 3-1	W18 回收水 Bio Tank 規格.....	44
表 3-2	W18 回收水 MMF 規格.....	45
表 3-3	W18 回收水 RO 規格.....	46
表 3-4	W18 回收水入水水質表.....	47
表 3-5	W18 回收水系統產水量降低關鍵成功因素法評估分析.....	51
表 3-6	CFDV 01~17 機台排放水質分析.....	53
表 3-7	回收水 TOC 分析.....	54
表 3-8	回收水 RO 膜測試.....	54
表 3-9	PAC 瓶杯實驗.....	56
表 3-10	廠內線上藥洗效果比較表.....	61
表 3-11	廠外 Off-line 藥洗效果比較表.....	63
表 3-12	成大藥洗效果比較表.....	64
表 3-13	廠內藥洗效果比較表.....	65
表 3-14	1 μ m 圓桶過濾器濾心測試表.....	70
表 3-15	PAC 用量測試表.....	73
表 3-16	W18 水回收系統改善方向表.....	76
表 4-1	W18 水回收系統改善方向彙整表.....	77
表 4-2	水中餘氯實驗結果.....	83
表 4-3	水中餘氯降低 TOC 實驗結果.....	83
表 4-4	活性炭過濾床規格.....	86
表 4-5	新回收系統測試效率.....	87
表 4-6	舊回收系統 RO 進水.....	88
表 4-7	新回收系統 RO 進水.....	88
表 4-8	活性炭過濾床去除效率.....	89
表 4-9	最佳膠凝劑添加實驗結果.....	93
表 4-10	原緩衝槽數據.....	98

表 4-11	改善後緩衝槽數據.....	98
表 4-12	RO 膜清洗技術實驗條件.....	101
表 4-13	最佳化高有機回收水系統回收水水質.....	107
表 4-14	最佳化高有機回收水系統運轉費用.....	108



符號表

π	滲透壓(kPa)
C	離子濃度(ppm)
R	理想氣體常數($8.20574587 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)
T	操作溫度($^{\circ}\text{C}$)
Φ	膜通量(m^3/h)
K_w	滲透係數(m/d)
Δp	膜壓差(kPa)
$\Delta \pi$	滲透壓差(kPa)
R_w	回收率(%)
μ	百萬分之一(10^{-6})
Q_p	出水量(m^3/h)
Q_F	進水量(m^3/h)
H	揚程(m)
μ	黏度($\text{mPa} \cdot \text{s}$)

專有名詞

TFT-LCD	薄膜電晶體液晶顯示器(Thin-film transistor liquid crystal display)
SRS	剝離液回收系統(Stripper Reclaim System)
PRS	光阻稀釋液回收系統(PGMEA Reclaim System)
NRS	玻璃清洗劑回收系統(NMP Reclaim System)
TOC	總有機碳(Total Organic Carbon)
MMF	多層濾材過濾(Multi Media Filter)
ACF	活性碳吸附過濾(Activated carbon filters)
RO	逆滲透膜(Reverse Osmosis membrane)
Array	陣列基板製程(The array substrate process)
Cell	陣列基板組裝(The array substrate assembly)
CF	彩色濾光片製程(Color filter)
CVD	化學氣相沉積(Chemical vapor deposition)
EBR	晶邊清洗劑(Edge Bead Remover)
EDTA	二胺四醋酸(Ethylenediaminetetraacetic acid)
TDS	總溶解固體(Total dissolved solids)
PAC	多元氯化鋁(Poly Aluminum Chloride for Water Works)
NPDOC	非氣提溶解性有機碳(Non-Purgable Dissolved Organic Carbon)
MBR	薄膜生物反應器(Membrane bioreactor)

第一章 緒論

1-1 前言

國內高科技產業如半導體(Semiconductor Industry)、薄膜電晶體液晶顯示器製造廠(Thin-film transistor liquid crystal display ; TFT-LCD)等，兩兆雙星產業已發展成為台灣科技之主體，雖半導體晶圓廠(Semiconductor Industry)及薄膜電晶體液晶顯示器製造廠(Thin-film transistor liquid crystal display ; TFT-LCD)等業者其用水量較大，但每公噸用水所創造之產值約為鋼鐵業的 15 倍、石化業的 10 倍。為節約用水增加單位用水之產值，高科技產業業者投入大量的資金與人力來積極進行節水方案與製程廢水回收技術之開發，目前科學園區大部分廠商的製程用水回收率已達 70% 以上，而對整體供水則將採取總量管制，也就是趨向固定總供給量之管理(廖威智,2012)。

日前台灣持續乾旱，因台灣的土地南北長約 600 公里、東西最寬約 150 公里，中央山脈由北到南互越全島，因此河川多呈東西流向，加上位處於亞熱帶地區，平均降雨量高達 2,467 毫米，是世界平均值的 2.5 倍，但因其特殊之地理條件，降雨量分配不均，約有 80% 的降雨集中於 5 到 10 月之豐水期如圖 1-1 所示，且大部份為颱風暴雨居多，因此使水資源開發與調配相當不容易，加上人口稠密及工商產業發達，每人每年平均分配可用之雨水量僅達世界平均的 1/6 左右，其實是降雨豐沛的缺水國家如圖 1-2 所示，因此惟有積

極提升用水效率，並且降低整體水資源消耗量，方能達成「水資源永續利用」的目標(楊偉甫,2011)。

國內高科技產業面臨嚴重缺水可能引發減產之瓶頸；因國內水資源嚴重缺乏、水源取得困難，以及工業製程廢水回收率提高等法令要求下，高科技業如何透過提高廢水回收率，甚至排放水質提升回用至純水系統，進而達到節約用水之環保政策目標，可謂是國內高科技薄膜電晶體液晶顯示器製造廠當前提高營運競爭力之重要課題。

面板產業發展的過程中所使用的化學品種類多且數量也很大，如何進行源頭控管進行化學品減量，已成為面板廠持續改善的課題。因此除了製程改善進行各種化學品減量外，各種化學品的回收系統也陸續於面板廠內建置，如剝離液回收系統(Stripper Reclaim System；SRS)、光阻稀釋液回收系統(PGMEA Reclaim System；PRS)、玻璃清洗劑回收系統(NMP Reclaim System；NRS)等，化學品回收系統的建置除了可以降低生產成本外，亦能減少有害事業廢棄物及資源回收再利用(李明勳,2014)。

然而面板產業的製造過程中除了使用大量化學品進行製程反應外，同時需要大量超純水進行面板清潔及洗淨，因此製程設備會產生含有化學品的廢水排放，大量含有化學品的廢水需要再建造回收水系統進行回收水的回收再利用。

本研究對象為南部科學工業園區某面板製造廠 5 代廠相關資料如表

1-1 所示，科技部南部科學工業園區管理局為促進輔導園區內各廠商善用水資源、節約用水以降低水資源日益短缺的壓力，在南部科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點中大力推動園區節約用水之措施，依下列方式為之：

- 1、為促進水資源之有效利用，管理局得宣導或輔導廠商採用省水機台及加裝回收利用設備，及（或）雨水貯集利用設施。
- 2、年度節水成效卓著之廠商，管理局得就其事績，予以公開表揚並推薦節水績優廠商之徵選。
- 3、年度節水成效不彰之廠商，管理局得就其事實，列入節約用水優先輔導對象，並協助該廠商接受節約用水輔導，提出用水改善方案。
- 4、廠商之節水成效將列入缺水時期各廠商合理配水量之考量重點。

在南部科學工業園區節約用水輔導計畫執行要點中亦有要求廠商提出的投資規劃書中需提供工廠用水計畫書，在用水計畫書綱要中須將製程廢水回收率設計並操作在回收率 $>85\%$ (如圖 1-3 所示)。

研究對象的高有機廢水主要來源為 TFT 製程及 CF 製程的高有機廢水，年水量為 $2,052,030\text{ m}^3$ ，水質為 pH：4~9、TOC：50~100 mg/l、導電度： $<300\text{ }\mu\text{S/cm}$ 、Temp：22~27 °C 如表 1-2 所示，處理有機回收水的方式為高溶氧生物固定床接觸曝氣法，處理流程如圖 1-4 所示，包含前處理 Bio-polisher、

MMF 等再經 RO 過濾後水質如表 1-3 所示，回收水處理費用 11.83 元/m³ 細項如表 1-4 所示，處理後水質為 pH:6~9、TOC:2~3 mg/l、導電度:<50 μS/cm、Temp:22~24 °C 如表 1-5 所示，可取代部分自來水及冷卻水塔用水使用水質，冷卻水塔用水使用水質如表 1-6 所示，以減少研究對象自來水的使用量。依經濟部水利署統計 103 年自來水用水量如表 1-7 所示可看出，台南市 103 年總用水量為 174,298,049 m³，用水人數為 1,864,431 人，平均每人每日用水量為 256 L，研究對象針對每年的高有機廢水回收再利用水量為 1,662,210 m³，約等同於可供應台南市自來水生活用水 1.45 天。

若技術及理念能平展至台灣所有面板廠提升回收水效能，以台灣主要面板業，友達光電 10 座 TFT-LCD 廠、群創光電 11 座 TFT-LCD 廠、華映光電 3 座 TFT-LCD 廠、瀚宇彩晶 2 座 TFT-LCD 廠共 26 座廠，以實驗廠每年高有機廢水回收的回收水量 1,662,210 m³ 估算，面板業每年高有機廢水回收為 43,217,460 m³，換算成自來水供水約可節省約半個南化水庫(南化水庫有效蓄水量 97,134,800 m³)的有效蓄水量，可緩解台灣缺水的危機。

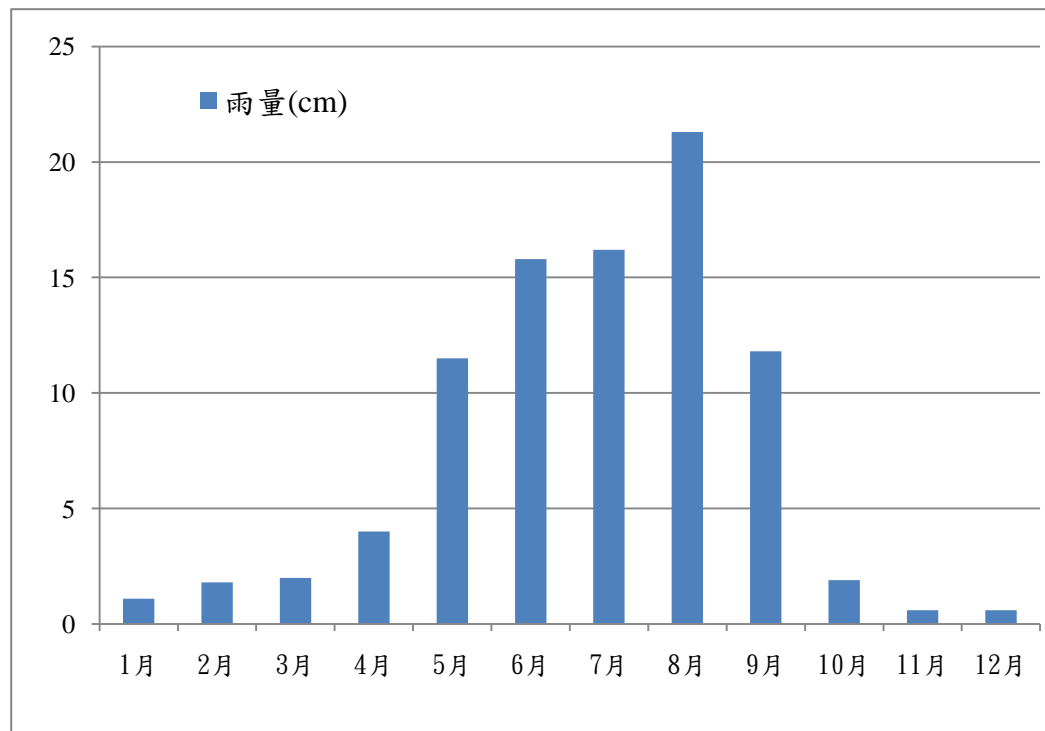


圖 1-1 台灣年平均雨量分布圖(統計期距 1981~2013)

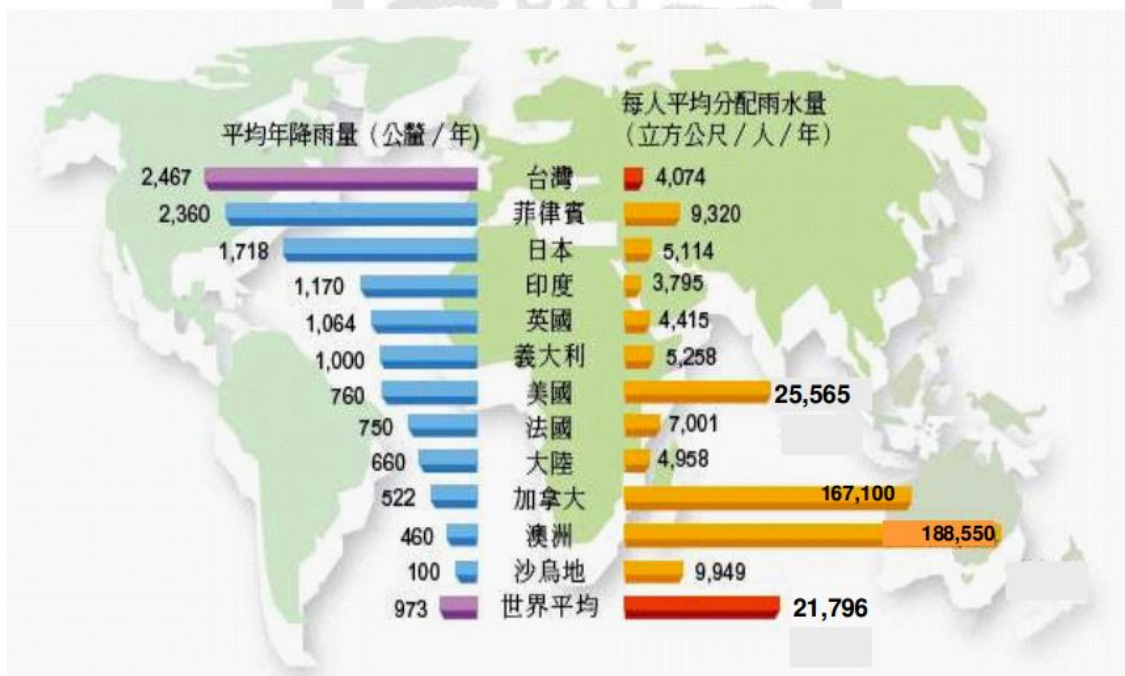


圖 1-2 台灣與各國每人平均分配比較圖(2013 年統計資料)

表 1-1 研究對象面板廠資料

項目	產能資料/數據
世代	五
玻璃尺寸	110 cm × 130 cm
無塵室面積	85,000 m ²
產量	140,000 片/月
使用水量	7,900 CMD
廢水排放量	2,700 CMD

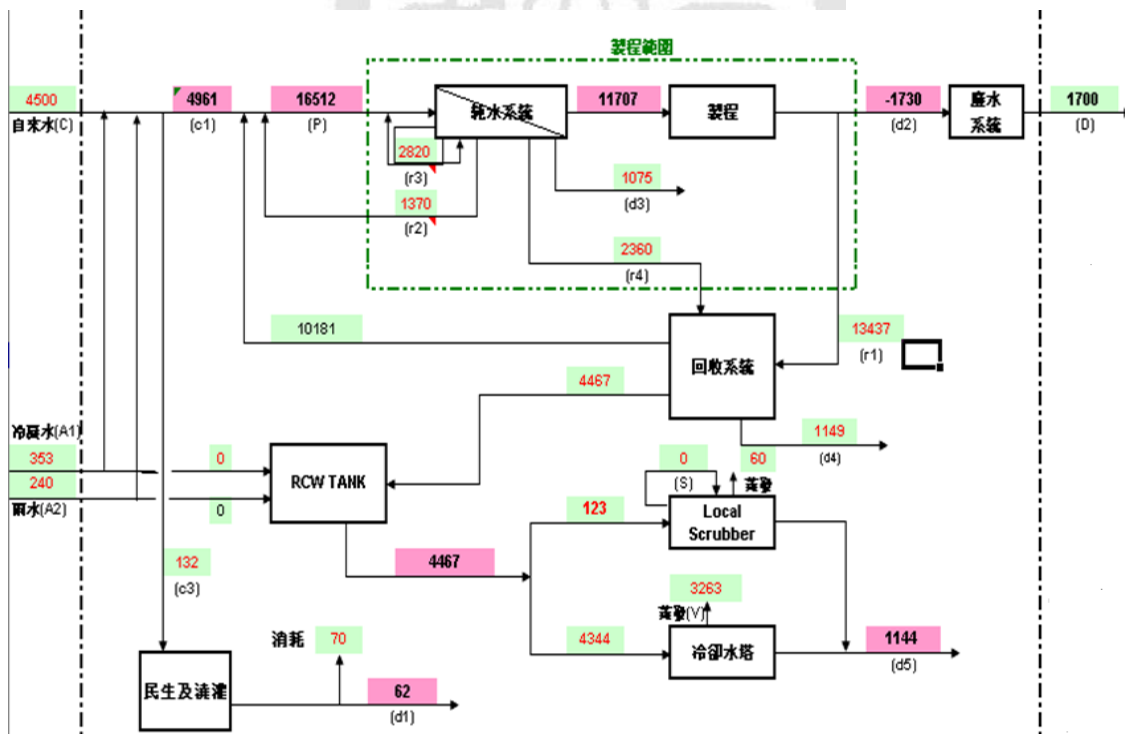


圖 1-3 南部科學園區用水平衡圖

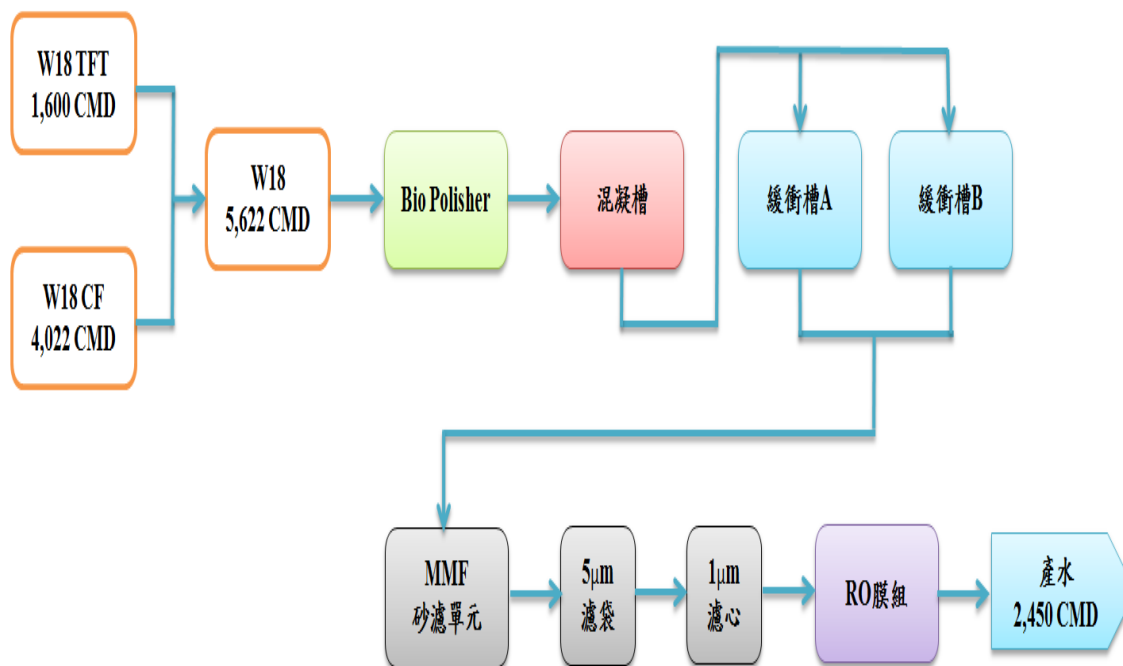


圖 1-4 高有機廢水回收系統流程圖

表 1-2 高有機廢水原水水質表

檢測項目	檢測數據
廢水量	5,622 CMD
pH	4~ 9
TOC	50 ~ 100 mg/l
導電度	< 300 μ S/cm
Temp	22 ~ 27 $^{\circ}$ C

表 1-3 高有機廢水系統前處理水質表

檢測項目	檢測數據
pH	6 ~ 9
TOC	10~15 mg/l
導電度	< 150 μ S/cm
Temp	22 ~ 27 $^{\circ}$ C



表 1-4 高有機廢水系統運轉費用

運轉成本	生物處理 單元(元/m ³)	活性碳過濾 單元(元/m ³)	RO 單元(元/m ³)	合計 (元/m ³)
電費	5.4	—	3.5	8.9
藥品費	2.85	—	0.004	2.85
汙泥處理費	—	—	—	0
濾袋/濾心	—	—	0.08	0.08
總費用	8.25	0	3.58	11.83

備註：

生物處理單元：共 2 組；容積 166 m³；添加 PAC、Polymer、NaOCl 等藥品。

活性碳過濾單元：共 1 組；容積 11 m³ 需使用加壓泵過濾。

RO 單元：前置過濾有 0.1μm 濾心及 5μm 濾袋；RO 藥洗需添加 NaOH；RO

單元共有三套需使用加壓泵。

表 1-5 高有機廢水系統處理後水質表

檢測項目	檢測數據
pH	6 ~ 9
TOC	2 ~ 3 mg/l
導電度	< 50 μ S/cm
Temp	22 ~ 24 $^{\circ}$ C

表 1-6 冷卻水補充水水質

檢測項目	檢測數據
pH	6 ~ 9
TOC	70 mg/l
導電度	< 300 μ S/cm
Temp	22 ~ 24 $^{\circ}$ C

表 1-7 103 年自來水用水量統計

自來水生活用水量統計			
中華民國 103 年			
縣市別	生活用水量 (立方公尺)	年中供水人數 (人)	每人每日生活用水量 (L)
總計	2,179,082,802	21,773,845	274
新北市	418,016,885	3,862,949	296
臺北市	327,020,637	2,687,780	333
桃園市	189,290,596	1,951,533	266
臺中市	253,403,867	2,541,593	273
臺南市	174,298,049	1,864,431	256
高雄市	264,805,556	2,655,691	273
宜蘭縣	39,987,501	431,271	254
新竹縣	39,481,772	437,681	247
苗栗縣	37,969,001	445,990	233
彰化縣	90,045,532	1,203,136	205
南投縣	36,533,602	402,528	249

雲林縣	59,024,369	664,685	243
嘉義縣	40,224,131	472,475	233
屏東縣	36,507,759	402,014	249
臺東縣	16,648,480	177,790	257
花蓮縣	28,033,998	281,240	273
澎湖縣	7,581,201	94,295	220
基隆市	39,593,162	371,595	292
新竹市	47,526,880	425,628	306
嘉義市	27,549,531	270,405	279
金門縣	4,826,427	117,376	113
連江縣	713,866	11,762	166

1-2 研究目的

薄膜電晶體液晶顯示器製造廠(Thin-film transistor liquid crystal display ; TFT-LCD)在面板製造過程除了需使用很多不同種類及大量的化學品進行製程反應外，同時需大量使用超純水做為面板的清潔，因此製程設備機台會產生含有化學品的廢水排放，大量含化學品的廢水排放，需再建造回收水系統進行水的回收再利用。

TFT-LCD 的製程大致含面板、偏光板、濾光片、背光模組、IC 驅動等五大製程，細部製程可分為：玻璃基板清洗(Glass substrate cleaning)→薄膜製程(Thin film)→光阻塗布(Resist coating)→曝光(Exposure)→顯影(Development)→蝕刻(Etching)→光阻去除(Resist remove)→測試(Test)。其中來自 T F T 製程及 CF 製程之 Develop Rinse 及 REET REST LR 機台排水約佔全廠總廢水量 15~20%，水質確認($\text{TOC} < 100\text{ppm}$)，並以分流方式將高有機廢水與其他廢水分開儲存，再經 Bio-polisher、MMF、RO 做處理回收，以生物處理進行回收水中之有機物及介面活性劑去除工作，若能針對廢水特性予以分類收集，則廢水回收系統在完善規劃下，將有助於有效提升製程用水回收率，研究對象的回收水系統運轉時有發現許許多多的問題，例如前處理濾袋更換頻繁、過濾器濾心更換頻繁、RO 藥洗頻率增加、回收率降低等，大大的影響回收水系統運轉的效率及效能，因此對於回收水系統運轉技術的提升有著迫切的需求。

本研究對象，藉由回收水系統運轉找出影響系統穩定運轉的異常點加以改善優化提升系統回收率及水質，有效地回收水資源可解決水源開發不易與水資源不足之問題。如何有效處理不同之水質，且回收使用水質符合標準再利用，如冷卻水塔用水、間接冷卻用水、生活用水、公共設施用水與其他用水等次級用水，甚至進一步提升回收水水質以符合至純水處理系統。

1-3 研究方法

研究方法如圖 1-5 所示，首先收集系統相關資料，再來召開專案檢討會議成員包含廠務各級長官及資深工程師、運轉工程師等，透過團體腦力激盪方法及魚骨圖及關鍵成功因素法確認改善方向及項目，進行各改善項目實驗及測試，最後統整改善方法及改善成果確認最佳運轉策略。

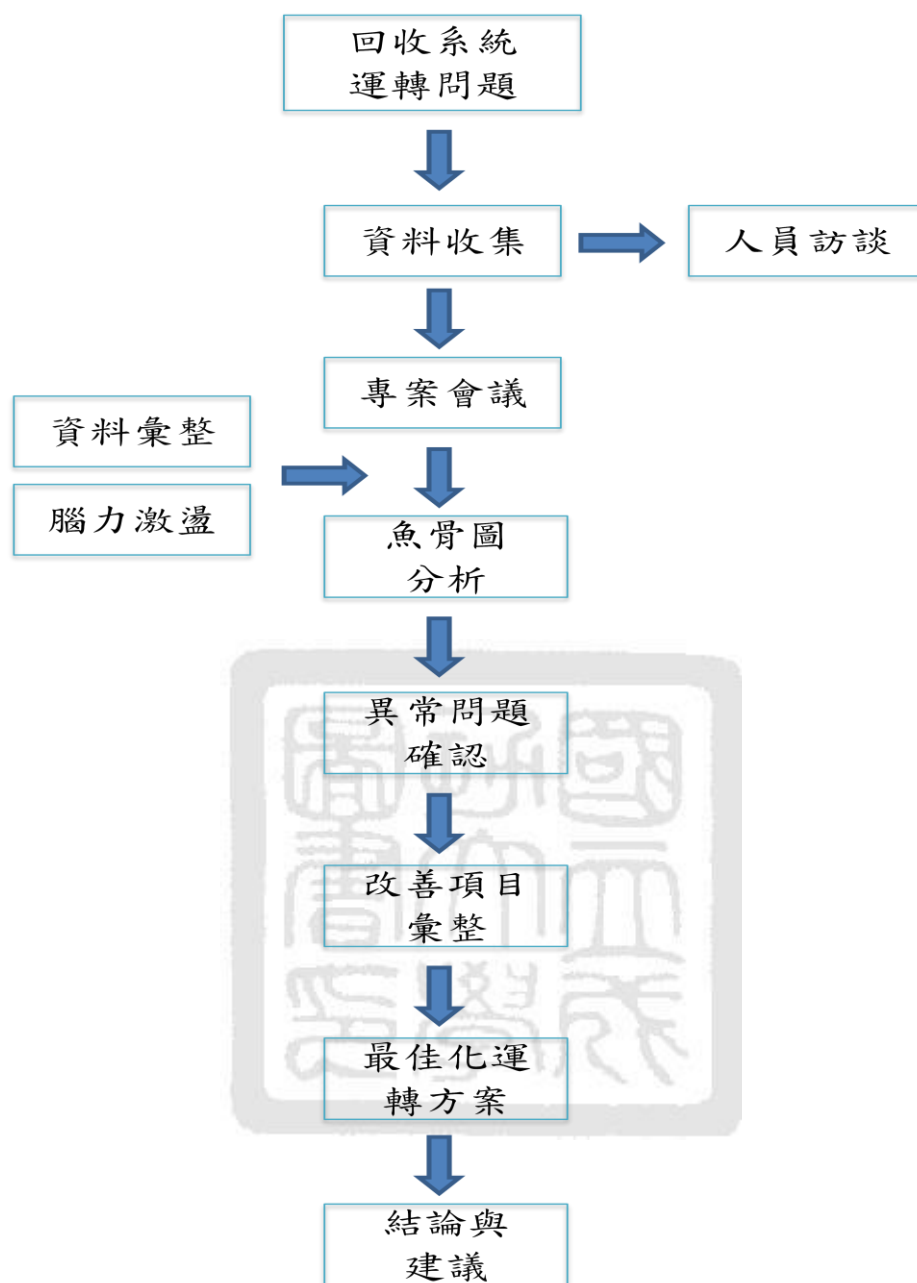


圖 1-5 研究步驟流程圖

1-4 文獻回顧

1-4-1 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)產業結構

台灣目前 LCD 相關行業的員工人數已超過 10 萬人以上，若再加上海內外相關下游組裝廠，整個相關從業人數可達 30 萬人，液晶面板站了一台液晶電視製造成本的 60% 以上、佔了筆記型電腦製造成本 30%、手機的 30%、液晶監視器 70%，而這些產品均是台灣目前引以為傲的科技產品，產品結構如圖 1-6 所示。

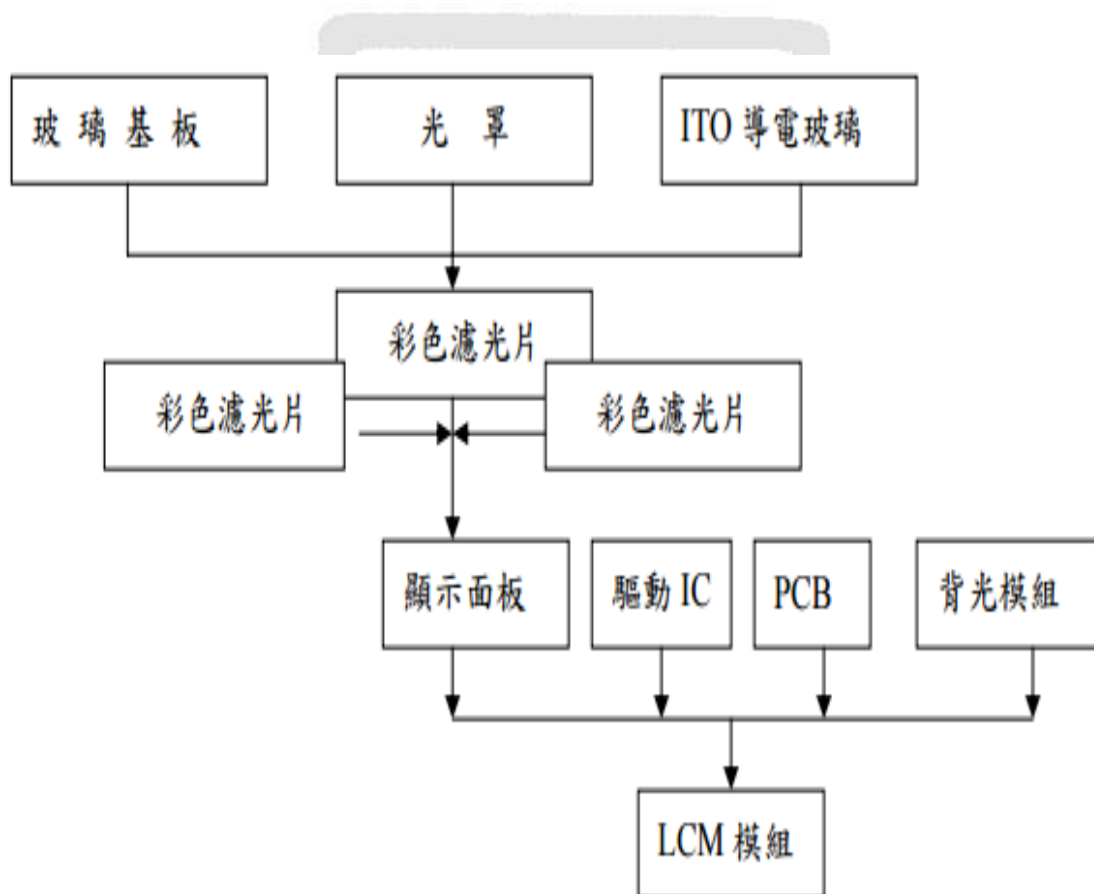


圖 1-6 LCD 產業結構圖

（資料來源：經濟部工業局；網頁 <https://www.moeaidb.gov.tw/external>）

目前國內共有友達、群創、華映、瀚宇彩晶等五家廠商投入TFT-LCD領域，其中友達、群創係生產大小尺寸兼具之TFT-LCD面板廠商，華映、瀚宇彩晶、元太以生產中小尺寸產品為主。

隨著TFT-LCD面板產業快速發展，吸引國內廠商投入上游零組件之開發及生產，主要包括彩色濾光片、驅動IC、背光模組、LED、偏光板等，國內廠商因地利之便，自製率快速攀升達九成以上，使得我國TFT-LCD之產業結構漸趨完整，產業範疇如圖 1-7 所示(產業情勢,2000)。

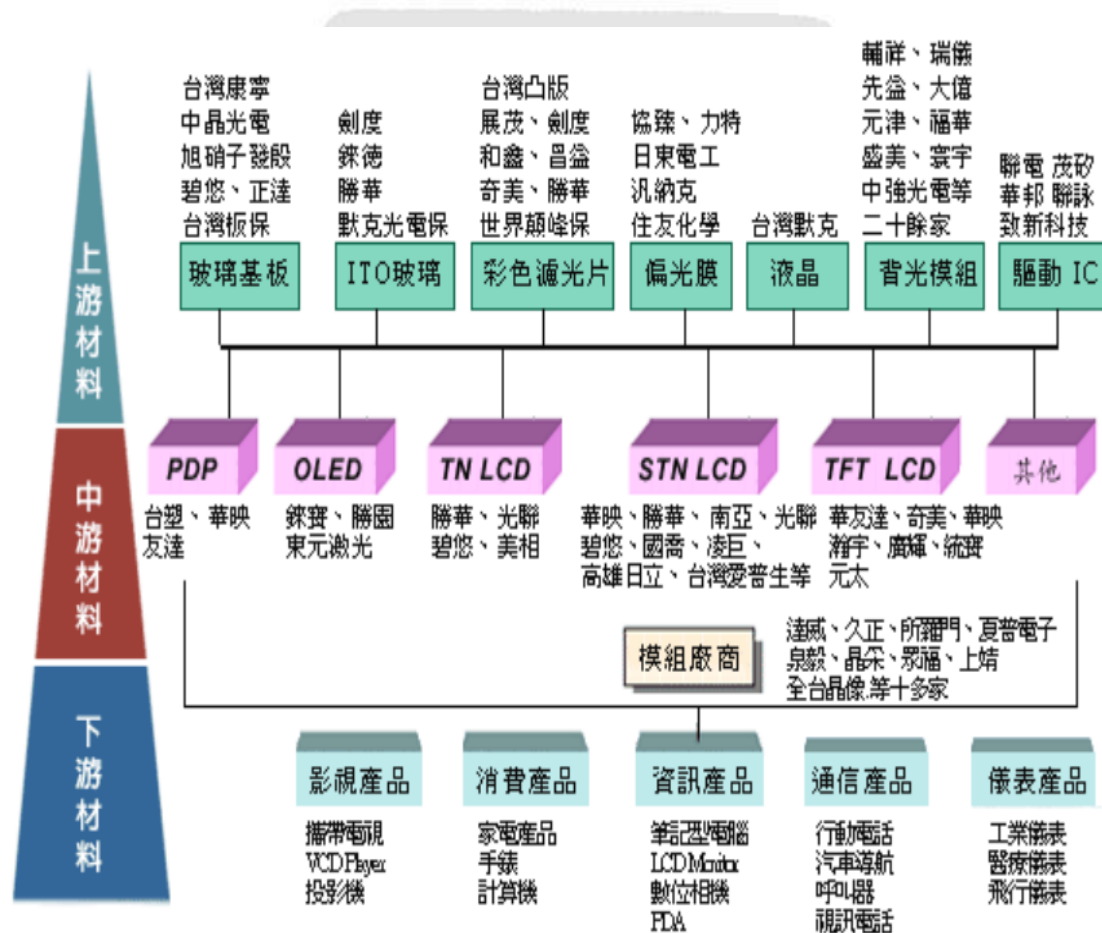


圖 1-7 影像顯示產業之產業範疇圖

(資料來源：經濟部工業局；網頁 <https://www.moeaidb.gov.tw/external>)

1-4-2 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)原理及製程

1-4-2-1 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)原理

TFT-LCD 主要由兩塊玻璃基板，一塊為彩色濾光片(Color filter)一塊薄膜電晶體(Thin film transistor)，並在中間注入液晶後壓密而成，於背後加入背光模組提供光源，藉由 TFT 改變電壓控制液晶的排列，調節光的強度，而彩色濾光片上含有紅藍綠三原色，光線通過後即顯示該顏色，一個 TFT 代表一個像素，而眾多的 TFT 陣列即可顯示具有色彩的畫面，TFT-LCD 結構如圖 1-8 所示。

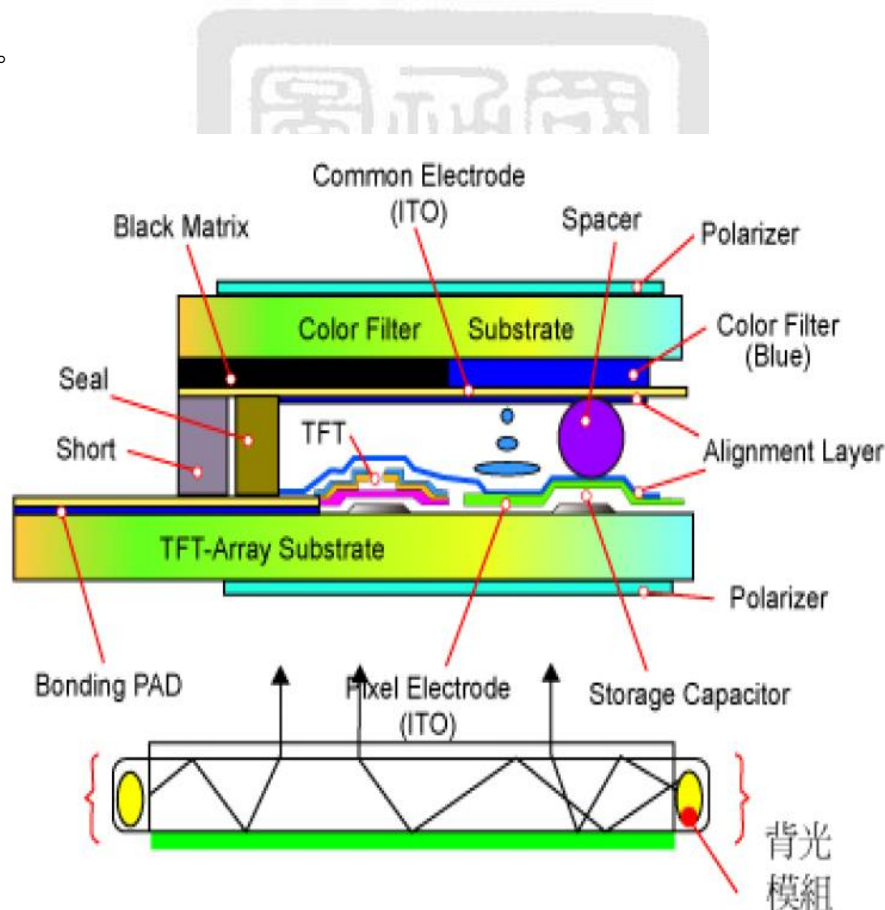


圖 1-8 TFT-LCD 結構

(資料來源：友達光電；網頁 <http://auo.com.tw/?sn=47&lang=zh-TW>)

1-4-2-2 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程

TFT-LCD 面板製造流程(如圖 1-9 所示)可分為陣列基板製程(Array)、陣列基板組裝(Cell)、模組組裝(Module)等，以下分別介紹之。



圖 1-9 TFT-LCD 製程流程

1、陣列基板製程(Array)

(1) 薄膜電晶體製程(TFT)

薄膜電晶體製程是將玻璃基板透過類似半導體前段製造技術清洗(鍍膜、曝光、顯影、蝕刻等技術)，再進行多層薄膜成膜製程(Thin Film Process)製作薄膜電晶體和透明電極層，而後再經光阻塗佈、曝光、顯像、蝕刻及光阻剝離等程序，反覆多次即可逐層堆疊出所需之線路與元件，在基板上形成為數眾多的薄膜電晶體 TFT(Thin film Transistor)之陣列基板，製程如圖 1-10 所示。

由於台灣 LCD 產業之薄膜製程相關人才大都來自半導體產業，經驗豐富且技術成熟，故一般而言，製造良率皆可達 96% 以上。

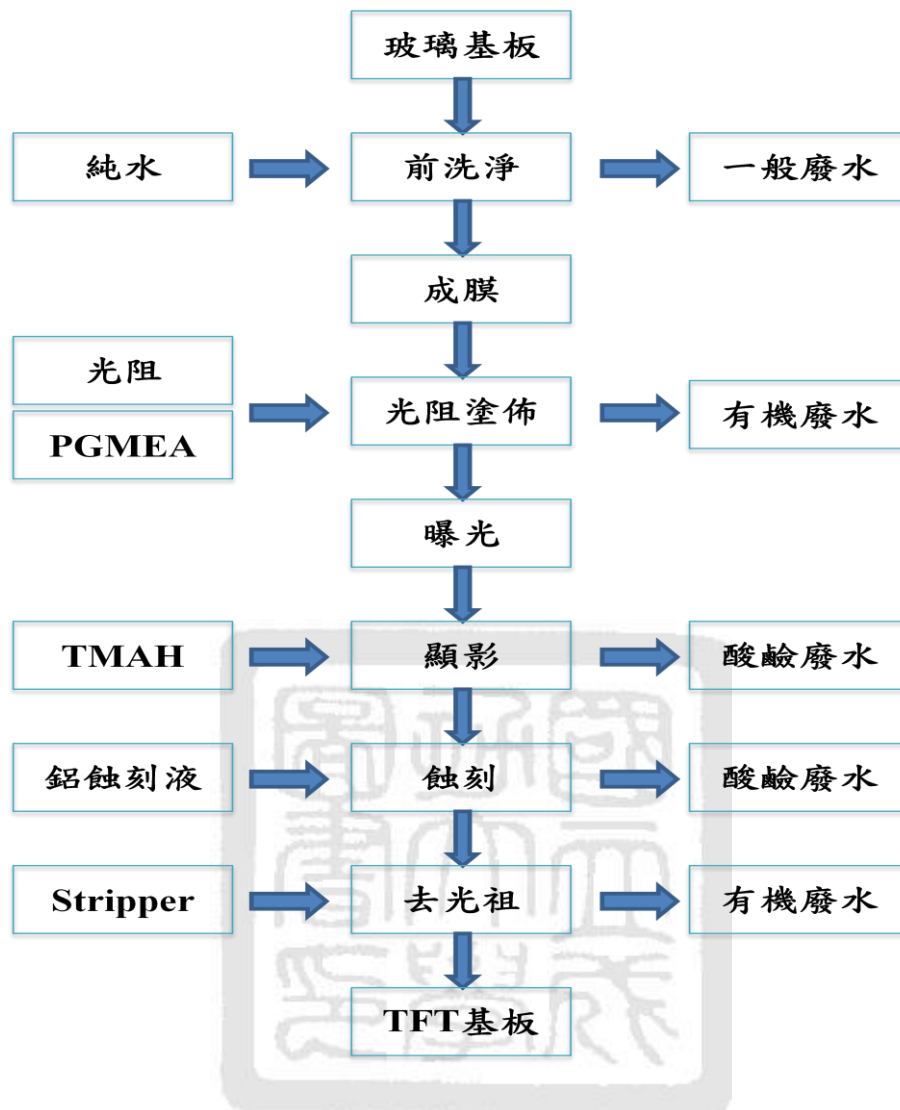


圖 1-10 薄膜電晶體製程(TFT)

(2)彩色濾光片製程(CF)

彩色濾光片(Color Filter)是在玻璃基板上製作出許多紅、綠、藍的圖素，每個圖素對應液晶顯示器上的一個畫素。當白色背光通過這些圖素後，變成紅、綠、藍光，而構成三原色光。其結構為玻璃基板（Glass Substrate）上製作防反射之遮光層，即為BM層（Black Matrix），再依序製作上具有透光

性紅、綠、藍（R、G、B）三原色之彩色濾光膜層（濾光層之形狀、尺寸、色澤配列，依不同用途之液晶顯示器而異），然後在濾光層上塗佈（Coating）一層平滑之保護層（Over Coat），最後濺鍍上透明導電膜（ITO），在基板上形成為數眾多的薄膜電晶體 TFT(Thin film Transistor)之陣列基板，製程如圖 1-11 所示。由於台灣 LCD 產業之薄膜製程相關人才大都來自半導體產業，經驗豐富且技術成熟，故一般而言，製造良率皆可達 90% 以上。

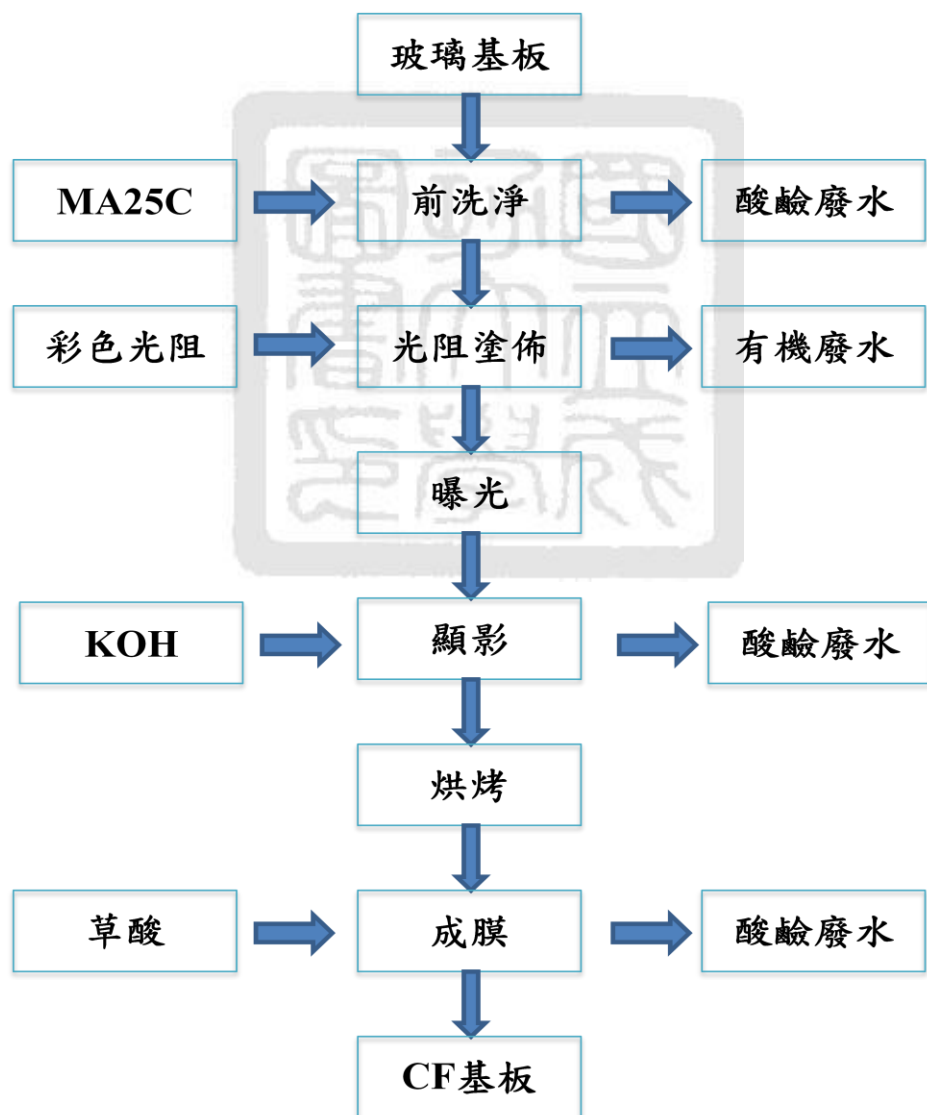


圖 1-11 彩色濾光片製程(CF)

2、面板組裝段(Cell)

面板組裝段主要是將列陣製程完成的基板與彩色濾光片基板分別作配向處理，並透過檢準機械對位壓合，再進行框膠燒成，切割成預定尺寸面板，再注入液晶，並將偏光板貼附並作檢測工作此製程難度甚高，製程如圖 1-12 所示，面板組裝段工程故學習曲線較長，目前此階段之良率 85%(廖威智,2012)。

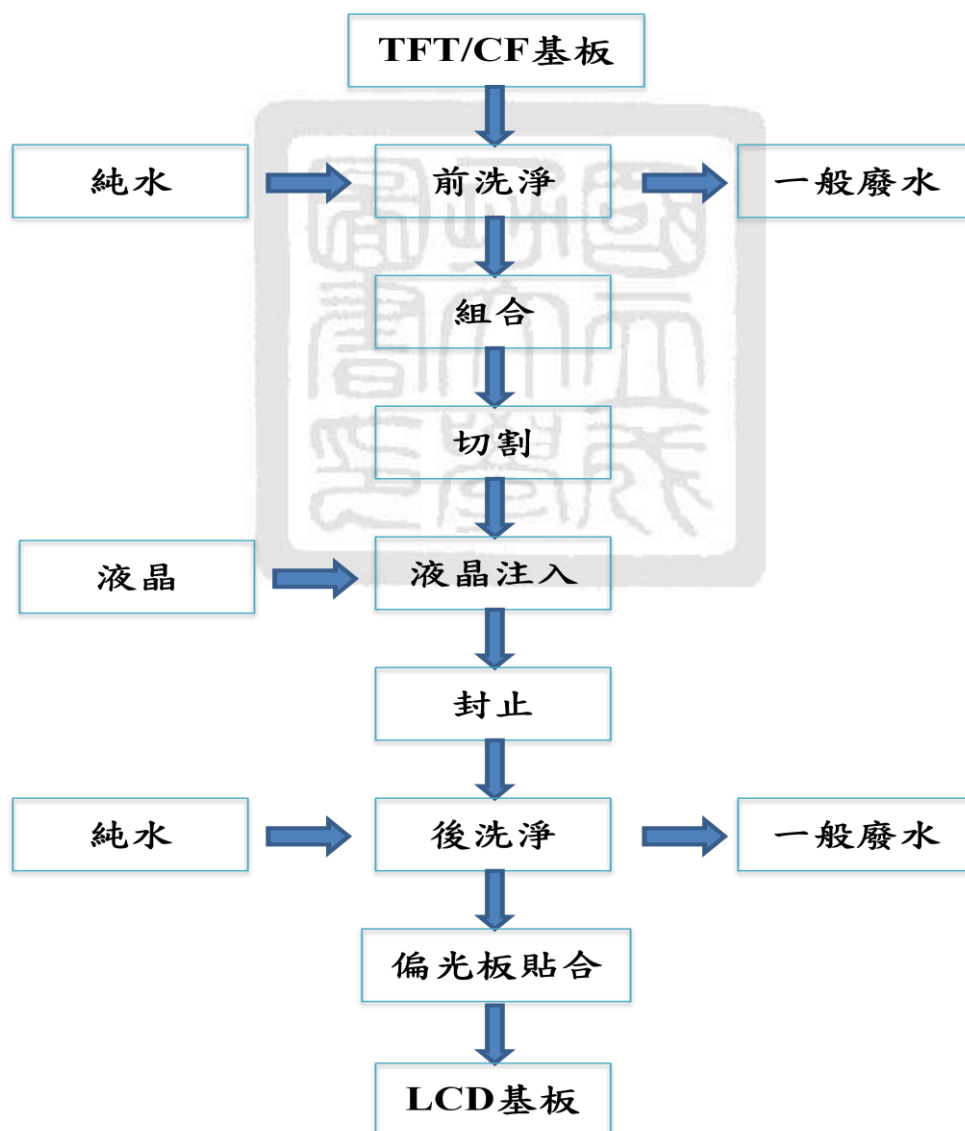


圖 1-12 面板組裝段(Cell)

3、模組組裝(Module)

最後將組裝完成的 TFT-LCD 面板與驅動 IC (Drive IC)、印刷電路板 (PCB) 連接，並裝上背光源(backlight Module)及固定框架(Farme)即完成液晶顯示器模組組裝如圖 1-13 所示，國內多年來亦已累積相關的裝配技術，一般而言，總體良率已幾乎可達 99%。

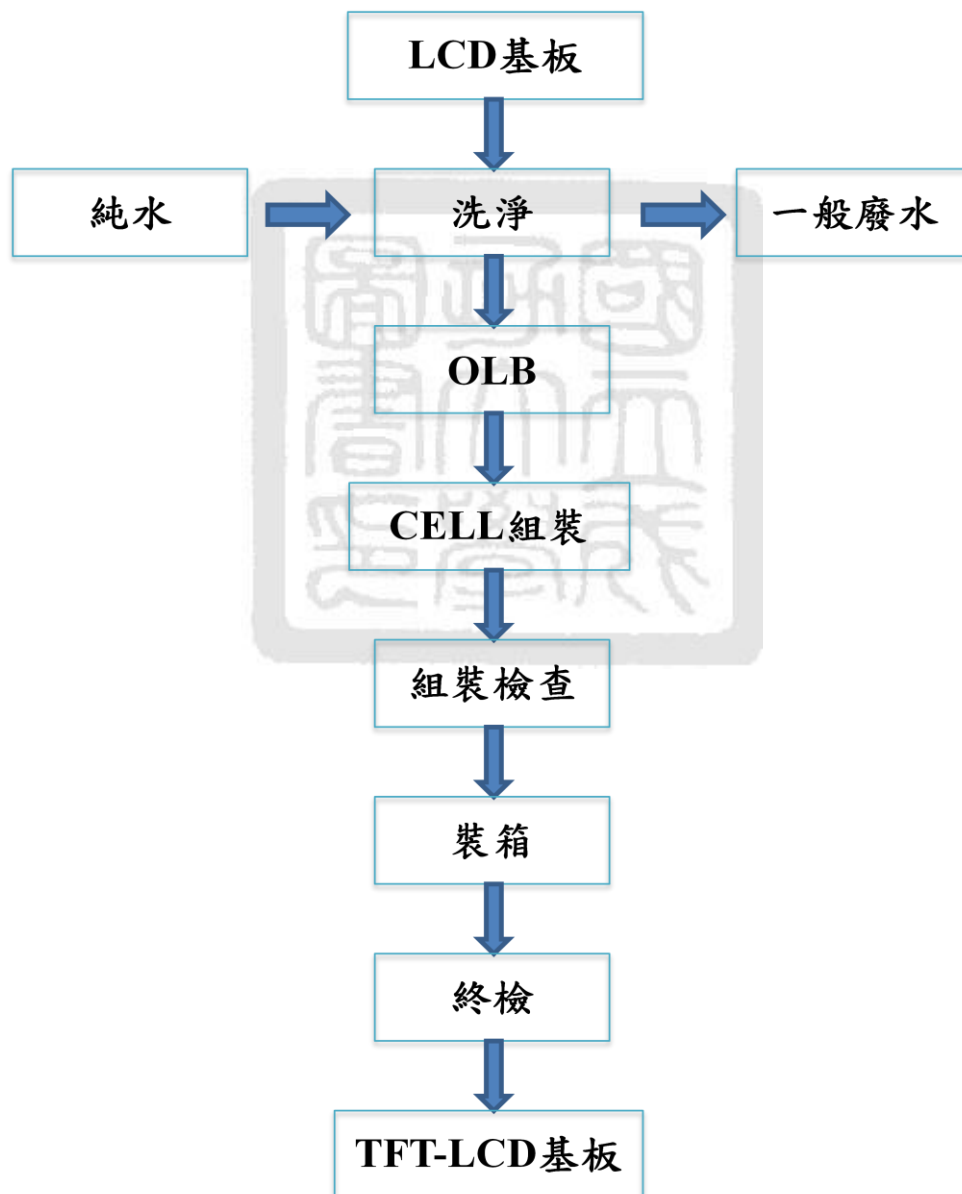


圖 1-13 模組組裝(Module)

1-4-3 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程簡介及常用原料

1、薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程常用原料

薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程使用多種不同的氣體化學品，詳細氣體化學品如表 1- 8 所示，要處理製程廢水或回收水皆要先了解各製程使用之原料，才可以預先分流、儲存、再處理，以利廢水回收系統及回收水處理系統效能增加。

表 1- 8 TFT-LCD 面板製程氣體化學品彙整表

TFT-LCD製程使用之氣體化學品彙整表		
製程名稱		氣體/化學品
T F T 製 程	洗淨	CO ₂
	薄膜	N ₂ 、PH ₃ 、SiH ₄ 、H ₂ 、NF ₃ 、O ₂ 、Ar
	光阻塗佈	光阻、PGMEA
	曝光	N ₂
	顯影	TMAH、PGMEA
	蝕刻	鋁蝕刻液、HNO ₃ 、CH ₃ COOH、ITO、SF ₆ 、He
	光阻剝離	Stripper、MEA、DMSO
C F 製 程	洗淨	CO ₂
	光阻塗佈	BM光阻、R光阻、G光阻、B光阻
	曝光	N ₂
	顯影	KOH、界面活性劑
	烘烤	O ₂
	薄膜	ITO
C E L L 製 程	洗淨	CO ₂
	組合	無
	切割	無
	液晶注入	液晶
	封止	無
	貼合	無
模 組 組 裝	洗淨	丙酮
	組合	無
	裝箱	無
	終檢	無

2、薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)製程簡介

TFT-LCD 可分為薄膜電晶體(TFT)及彩色濾光片(CF)，以下為製程步驟簡介(馮育澤,2012)：

(1)清洗

目的是將玻璃基板清洗乾淨，使用的清潔劑大多為純水及 CO_2 混合。

(2)化學氣相沉積(Chemical vapor deposition, CVD)

此製程使用化學氣相沉積製作高純度的一層膜於玻璃基板上，反應後的氣體會被抽出，由 Scrubber 把氣體處理完成後才放至廢棄尾氣處理系統，此氣體主要為無機氣體，例如 N_2 、 NH_3 、 H_2 、 PH_3 、 NF_3 、 SiH_4 。

(3)光阻塗佈

光阻液主要成分為感光劑、樹酯及溶劑。感光劑於曝光後發生化學變化，易溶解於顯影劑被清洗掉，以利顯影製程進行。樹酯的功能是作為蝕刻或離子植入時的阻障層，一般正型光阻大多採用一種名為 Novolak 的酚醛樹酯，其主要是由甲酚及甲醛所聚合而成的高分子。溶劑用來使樹酯及感光劑均勻分散，讓光阻塗佈製程得以順利進行，溶劑為酒精或丙酮，大多會於製程時揮發掉，經由 Scrubber 收集後排入廢水系統。晶邊清洗劑(Edge Bead Remover；EBR)在光阻塗佈完成後，一般會先進行減壓真空乾燥去除部分溶劑，同時會將玻璃基板邊緣殘餘之光阻，利用晶邊清洗劑清除，以利後續曝光流程。而 EBR 主要成分為環己酮、PGME 與 PGMEA 等有機溶劑。

(4)曝光

一般光阻劑被分為正、負型兩大類；正型光阻暴露在光線照射的部分易溶於顯影液中，一般被應用在 TFT Array 製程、BM (Black Matrix)均屬此類光阻；而負型光阻被光罩遮蔽的部分，分子間因沒有產生交連作用，將被溶解於顯影液中，目前在 TFT-LCD 產業中，應用於彩色濾光片的 R、G、B 彩色光阻。

(5)顯影

曝光後的光阻由於官能基的改變(產生 COOH^-)於鹼性顯影液的溶解度會比未曝光的光阻高出許多，顯影液依據溶解度的差別將曝光後的光阻溶解掉，一般顯影液成分為 TMAH 、 KOH 等。

(6)濕蝕刻

鋁蝕刻主要是利用硝酸(HNO_3)氧化，形成氧化鋁再由磷酸(H_3PO_4)來分解氧化鋁，醋酸(CH_3COOH)則是作為緩衝劑來抑制硝酸的解離。氧化銦錫(ITO)的蝕刻製程，目前主要是利用草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)溶液來進行 ITO 薄膜的移除，再配合是當的界面活性劑，以調配出最佳的蝕刻率及蝕刻均一性。

(7)去光阻(stripper)

使用光阻剝離液將完成蝕刻之基板上的光阻去除，去光阻液成分為 DMSO、MEA，濃排分流進行回收，稀排則進入廢水回收系統進行回收處理。

1-4-4 回收水處理系統流程及簡介

1、回收水處理系統流程

因水質特性不一廢水回收系統也有差異，但主要以四大單元為主，分別為生物處理單元、生物處理後過濾單元、活性碳單元、逆滲透單元，流程如圖 1-4 所示。

2、回收水處理系統流程簡介

(1)生物處理單元(Bio-polisher)

主要以生物分解有機物的方式進行水中 TOC 的降解，其一方式為生物固定床接觸曝氣法(Bio-polisher)採用生物附著床，操作上可不需生物污泥迴流。另一項為傳統活性污泥法(ASP; Activated Sludge Process)需搭配污泥迴流的設計，以有效維持生物池中微生物數量，穩定有機物去除率(Dawson R. N. and K. L. Murphy, 1973)。

原水流經此設備，其所含之 TOC 藉生物濾材上之生物，去除 TOC，當生物層太厚時，則利用逆洗方式來去除生物濾材上之生物層並排出之，如此重覆操作可獲得低 TOC 之水質。同時於 BIO 處理水中加入 PAC 與 NaOCl 將水中之懸浮物凝集成較大之膠羽供 MMF 使用(Bonnelye, V. M. A. Sanz, J.-P. Durand, L. Plasse, F. Gueguen and P. Mazounie , 1997)。

(2)多層濾材過濾單元

生物處理後的過濾，其主要是攔除生物處理後產生的生物膠羽，避免

阻塞後續的 RO 產水單元。為多層濾材過濾方式(MMF；Multi Media Filter)如砂濾塔，分別以不同粒徑的礫石及石英砂、無煙煤來進行過濾。

原水流經此設備，其所含之雜質、TOC 藉過濾機之活性炭，濾除雜質與吸附 TOC，當雜質積存很多時或採水時間到達時，則利用逆洗方式來鬆動活性炭與去除濾材上之雜質並排出之，如此重覆操作可獲得清潔與低 TOC 之水質，供 RO 使用。

(3)活性碳單元

利用活性炭吸附過濾 ACF(Activated carbon filters)的能力來降低水中的有機物，活性炭的另一主要功能為保護 RO 遭受氧化性物質(如 NaOCl)的氧化損害。

原水流經此設備，其所含之雜質、TOC 藉過濾機之活性炭，濾除雜質與吸附 TOC，當雜質積存很多時或採水時間到達時，則利用逆洗方式來鬆動活性炭與去除濾材上之雜質並排出之，如此重覆操作可獲得清潔與低 TOC 之水質，供 RO 使用。

(4)逆滲透單元

逆滲透膜(RO；Reverse Osmosis membrane)原理如下，一般水的流動方向為由低濃度流往高濃度，但廢水一經過加壓後，可由高濃度流向低濃度，亦即逆滲透，RO 膜的孔徑約為 0.0001 微米，是頭髮的百萬之分五是無法由肉眼看出，而細菌及病毒是它的 5,000 倍，因此 RO 膜是可有效去除細菌、病

毒及重金屬等雜質，其並廣泛應用在海水淡化及廢水回收再利用上(Chen K. L. and M. Elimelech ,2011)。

RO 設計參數

(A)逆滲透壓(π)

逆滲透壓越高，所需的穿透膜壓就越大。

$$\pi = C R T$$

π ：滲透壓(kPa)；C：離子濃度(ppm)；R：理想氣體常數；T：系統操作溫度(°C)。

(B)膜通量(Φ)

$$\Phi = K_w (\Delta p - \Delta \pi)$$

Φ ：膜通量(m^3/h)； K_w ：滲透係數(m/d)； Δp ：膜壓差(kPa)； $\Delta \pi$ ：滲透壓差(kPa)。

(C)回收率(R_w)

回收率與RO膜實用性有關，回收率太高會使汙染物濃度過高易造成RO模阻塞，回收率太低不具經濟效益。

$$R_w = Q_p / Q_F$$

R_w ：回收率(%)； Q_p ：出水量(m^3/h)； Q_F ：進水量(m^3/h)。

逆滲透法原理：

逆滲透法(Reverse Osmosis)為利用一能透水之半透膜(Semi-Permeable

Membrane)來排斥其他離子而進行除鹽操作。當兩種不同濃度的溶液以半透膜(Semi-Permeable Membrane)隔開，此半透膜僅容許溶劑通過，而不允許溶質通過。由於兩端之濃度梯度產生化學勢(Chemical Potential)不平衡，導致溶劑由稀濃度一方移向高濃度一方，此現象稱為滲透(Osmosis)。滲透為自然發生現象，此現象將持續達平衡為止，此時濃度液端之液面將高出稀溶液端之液面 P 高度，靜水壓力差 P 即為濃溶液滲透壓(Osmosis Pressure)；現若在濃溶液端施一大於 P 之壓力，則溶劑分子之滲透方向將相反如圖 1-14 所示，改由濃溶液流向稀溶液，可藉此濃縮成分離溶質，此即為逆滲透(Reverse Osmosis)原理(Bartels, C.R.M. Wilf, K. Andes and J.Iong, 2005)。

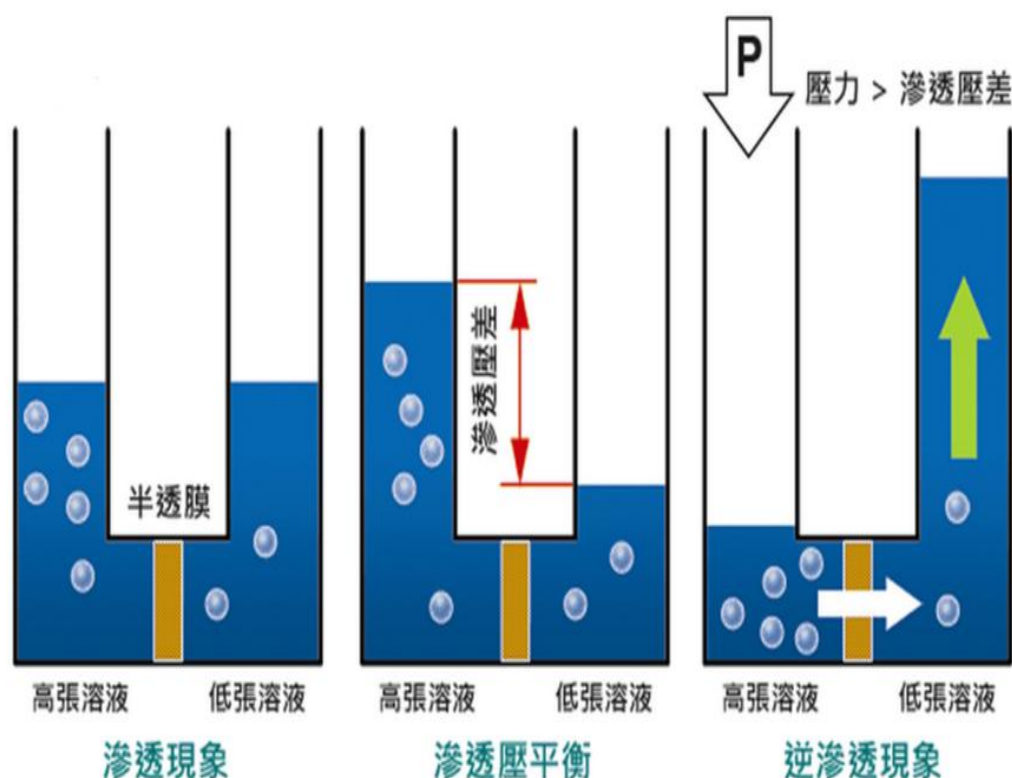


圖 1-14 逆滲透法原理圖

逆滲透膜之去除機制：

一般薄膜過濾上的截留分子量是決定分子能否透過的標準，但分子量只是便於估算分子的大小；而造成分子去除與否，除了大小分子因素外，還需考慮其形狀、電荷及變形度等。例如對於相同分子量的溶質，分子結構者比線性結構者容易被排拒。當溶液中含有兩種以上之溶質，其中之小分子溶質的去除率會比單獨存在時增加，因大分子溶質被薄膜阻隔面在原来的薄膜表面形成另一層近似膜的結構，此第二層膜會阻礙小分子溶質的通過(林獻銘,2012)。

(a)篩分機制 (Sieving Mechanism)

薄膜中的空隙是無機及有機化合物通過薄膜的通道，它具有一定的大小，因此還能對大小不同組成的化合物進行分離，這種作用稱為篩分作用。只有當膜孔徑大於離子的水合半徑時，離子才能透過薄膜。

(b)溶解擴散效應 (Dissolution and Diffusion Mechanism)

溶液之主成分溶解於膜上，而後受到壓力作用擴散通過薄膜。由於不同物質對於膜之溶解度不同，因而造成分離之現象。即因溶劑溶解於膜之限度比溶質大，且擴散也比溶質快，而造成分離之作用。這種通過吸附-解離-傳遞的方式將離子從膜孔隙的一端輸送到另一端，過程稱為溶解擴散過程。

(c)選擇性吸附-毛細管流機制 (Preferential Sorption Capillary Flow Mechanism)

認為薄膜唯一多孔性構造，這些孔隙成為毛細孔(Capillary Pores)，因

薄膜為親水性(Hydrophilic)材質，能夠選擇性的將溶劑（一般而言指水）吸附在膜之表面，於是在溶液與薄膜之間形成了水膜界面(Interface)，溶質則在水膜之外層，當施壓力於溶液側時，溶劑便能通過毛細孔。

當吸附的水膜層厚度為 t ，而薄膜孔徑直徑 $d < 2t$ 時，則因孔徑內充滿了水分子，導致溶質無法通過孔隙；若薄膜孔徑直徑 $d > 2t$ 時，則有某些溶質便能經孔隙通過。雖然當薄膜孔隙直徑 $d < 2t$ 時，其分離效率可達 100%，然而透過量(Permeate Flux) 也隨著孔隙變小而減少，因此便有一最適宜之薄膜孔隙直徑，稱之為臨界孔徑(Critical Diameter, d_c)，其值 $d_c = 2t$ 。



1-4-5 資料分析方法

1-4-5-1 魚骨圖 (Fishbone Diagram)

魚骨圖 (Fishbone Diagram) 如圖 1-15 所示有許多不同稱謂。有人稱他為石川圖 (Ishikawa Diagram)，因為這方法是日本品管大師石川馨 (Kaoru Ishikawa) 所創。也有人稱為因果圖 (Cause-and-Effect Diagram)，因為魚骨圖的魚頭通常表示某一特定結果 (或問題)，而組成此魚身的大骨，即是造成此結果之主要原因。其他也可稱為樹狀圖 (Tree Diagram)，因為魚骨形狀與樹狀結構接近。然而，不論稱謂為何，魚骨圖都與問題解決思考流程脫不了關係，並且是一個簡單呈現結果與成因圖形表示法 (David, 2007)。

魚骨圖的使用很簡單，並且通常搭配腦力激盪法 (Brain Storming) 進行。首先在魚頭紀錄或寫下待解決之問題 (例如不良率增加是一個問題)，或是某一表徵觀測現象 (例如公司營收下降)。之後，召開會議，並透過團體腦力激盪寫下大家認為造成此結果之主要原因。實際操作上，會議主持人可要求與會成員，每人先憑空想像 3 個原因，之後再經由小組成員系統化的分類這些原因。將相關原因歸納後之主原因即是大骨、子原因即是中骨、孫因素即是小骨。需要注意，魚骨圖繪製過程，各原因之間需要彼此獨立，且互無遺漏，如本研究將依據高有機回收水系統運轉所產生之問題在第三章繪製相關魚骨分析圖。

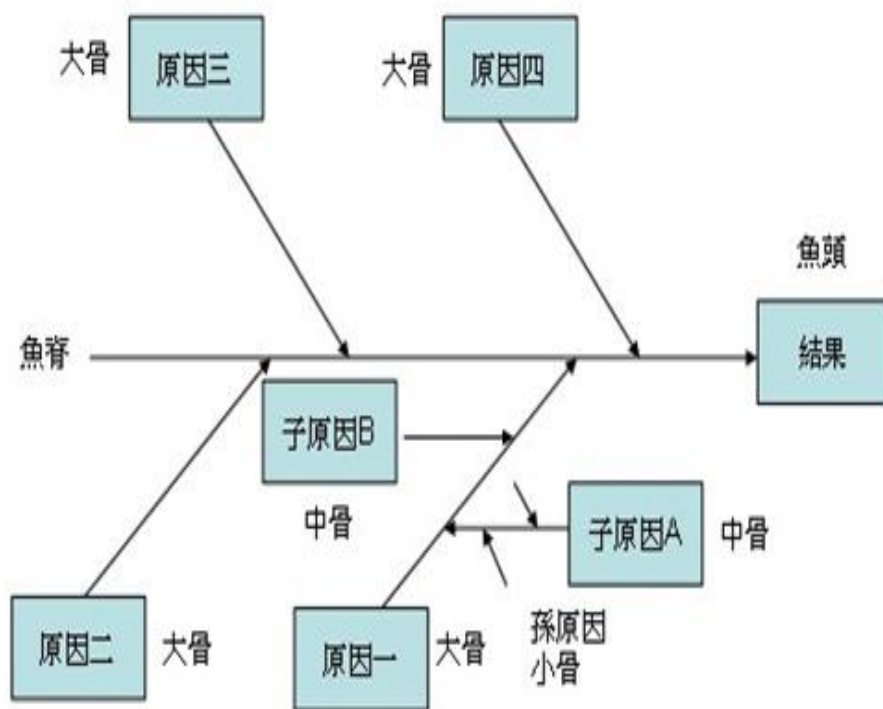


圖 1-15 魚骨圖 (Fishbone Diagram)

1-4-5-2 關鍵成功因素分析法(key success factors，KSF)

關鍵成功因素法（key success factors；KSF）是信息系統開發規劃方法之一，由 1970 年由哈佛大學教授 William Zani 提出。關鍵成功因素(key success factors；KSF)，關鍵成功因素是在探討產業特性與企業戰略之間關係時，常使用的觀念，是在結合本身的特殊能力，對應環境中重要的要求條件，以獲得良好的績效。關鍵成功因素法是以關鍵因素為依據來確定系統信息需求的一種 MIS 總體規劃的方法。在現行系統中，總存在著多個變數影響系統目標的實現，其中若干個因素是關鍵的和主要的（即成功變數）。通過對關鍵成功因素的識別，找出實現目標所需的關鍵信息集合，從而確定系統改善的優先次序。

關鍵成功因素指的是對系統成功起關鍵作用的因素。關鍵成功因素法就是通過分析找出使得系統成功的關鍵因素，然後再圍繞這些關鍵因素來確定系統的需求，併進行規劃(台灣 Wiki,2013)。

1-5 本文架構

本文將分成五個章節說明，依序為緒論、高有機廢水來源及特性、研究方法與設備、最佳化運轉策略、結論與建議，各章節大致分述如下：

第一章 緒論：此章節介紹研究對象的高有機廢水主要來源為 TFT 製程及 CF 製程的高有機廢水，年水量為 $2,052,030 \text{ m}^3$ ，水質為 pH:4~9、TOC:50~100 mg/l、導電度： $< 300 \text{ }\mu\text{S/cm}$ 、Temp:22 - 27 °C，處理有機回收水的方式為高溶氧生物固定床接觸曝氣法。

第二章 高有機廢水來源及特性：此章節分別介紹高有機廢水兩種來源 W18 TFT 及 W18CF 進水的水質特性如 pH、濁度、DOC、導電度以及金屬離子都會影響薄膜阻塞特性。

第三章 研究方法與設備：將 W18 回收水系統產水量降低魚骨分析圖內所歸納之改善主題，設定改善目標，再依據效益、困難度、成本等經權重分析及專家分析，賦予相關的權重分數後依序照設定的改善目標進行改善確認，製成圖表以利後續改善，共歸納四大改善方向及 16 項確認細項，再將 16 項確認細項逐一確認以利後續最佳化改善。

第四章 最佳化運轉策略：有機回收水系統設計產水量(單座) 54 CMH 下降至 25 CMH 降幅達 50%，與 RO 設計產水率 80% 亦有 30% 差距，所以才有此研究專案的啟動。單位主管及工程師經收集資料及腦力激盪方式，經確認各種原因釐清與檢討歸納出表 4-1 所示之五項改善方案，希望依據這五項方案的

執行能提升高有機回收水系統產水率及系統操作能更有效率。

第五章 結論與建議：經實廠實際進行高有機回收水系統運轉改善，得出以下

幾 5 點結論：(1)系統最佳化後，降低系統操作成本，使系統運轉更具經濟效

益。(2)系統最佳化後，成功控制阻塞程度的原因。(3) RO 膜藥洗新技術開發，

將 RO 膜藥洗程序及藥洗藥劑種類及濃度制度化，加 RO 膜藥洗妥善率由 25%

上升至 87%，每年可節省藥洗成本約 300 萬元。(4)最佳化高有機回收水系統

流程，可採用混凝膠凝 + 沉澱調整 + MMF + ACF + RO 此系統架構，實廠

運轉測試 TOC 去除率 $>90\%$ ，水回收再利用率 $>80\%$ 。(5)最佳化高有機回收

水系統流程提高廢水回收的效率至 81%，自來水使用率降低 26%，用水使用

成本降低 52,575 元/天，每年可節省 19,189,875 元/年。

第二章 高有機廢水來源及特性

2-1 高有機廢水來源

薄膜電晶體液晶顯示器 (TFT-LCD) 製程廢水來源因 TFT-LCD 在製程中皆需使用大量之水及化學用品，所產生之廢水依性質可分為清洗製程產生之氟系廢水、蝕刻製程產生之酸鹼無機廢水、清洗、曝光、顯影、剝離及固膜等製程產生之有機廢水及一般生活污水等。以下即針對各股廢水組成作簡介(廖威智,2012)：

1、氟系廢水

氟系廢水主要來自濕式蝕刻及清洗製程，常見藥品包括 HF 及 NH_4F 等，目前多以高、低濃度分流進行混凝沉澱處理，高濃度氟系廢水濃度多在 800 mg/L 至數千 mg/L，低濃度氟系廢水濃度約在 500 mg/L 以下。

2、酸鹼無機廢水

酸鹼無機廢水主要是蝕刻及清洗製程所使用之雜酸及大量超純水所產生，一般使用之雜酸包括硫酸、硝酸、鹽酸及氟酸等，多以添加酸、鹼劑作中和處理後排放。

3、有機廢水

有機廢水主要為清洗、曝光、顯影、剝離及固膜等製程中所產生，一般使用之有機物包含有機溶劑、光阻劑、去光阻劑及顯影劑等，亦會使用到含界面活性劑之清洗水，目前多以生物接觸曝氣法處理以去除水中之有機物，

對於水中氮類物質則多未妥善處理。

(1)低有機廢水：水量 6,815 CMD、TOC < 3 ppm 經 Reclaim 設備處理後回收至原水池。

(2)高有機廢水：水量 5,622 CMD、TOC < 100 ppm、導電度 < 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，經 Reclaim 設備處理後作為補充冷卻水池，其餘回收至過濾水池。

(3)無機回收水：水量 4,073 CMD、TOC < 3 ppm、導電度 < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，經處理後回收至過濾水池。

(4)生活污水：生活污水來源為廠區員工所產生之一般廁所及生活污水，其性質與一般都市廢水相似，多以活性污泥法處理。

2-2 水質來源分析

高有機有機廢水主要為上光阻、蝕刻等製程中所產生、蝕刻等製程中所產生，一般使用之有機物包含有機溶劑，一般使用之有機物包含有機溶劑、光阻劑、丙酮等，亦會使用到含界面活性劑之清洗水，亦會使用到含界面活性劑之清洗水，目前多以生物接觸曝氣法處理以，目前多以生物接觸曝氣法處理以去除水中之有機物。

高有機有機廢水依據來源可分為如下兩種：

1、W18 TFT

W18 TFT 主要為收集 TFT 廠機台清洗過程所排放之高濃度有機類廢水，經 Sample Tank 取樣 Test 並且控制回收水質 $2 < \text{pH} < 11$ 、導電度 $< 200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 收集至 W18 TFT Tank 後送至 ACF，再經 $5\mu\text{m}$ (袋濾式) $\rightarrow 1\mu\text{m}$ (濾心式) 過濾後，再進入 RO Unit，於出水端設置導電度分析儀，並監控處理水之導電度，當回收水之導電度 $< 50 \mu\text{S}/\text{cm}$ (可視運轉狀態修改) 送至 Filter Water Tank，不合格水則排至 W18 Bio Water Tank，W18 TFT 屬於 TFT 高 TOC 有機回收水 (TOC 50 ppm)，來源為 Develop 機台 First-Rinse 及 ITO 蝕刻液 Last-Rinse 排放之高濃度有機廢水。

2、W18 CF

W18 CF 來源主要為收集 CF 廠機台清洗過程排放之高濃度有機類廢水，經 Sampling Drain Tank 取樣 Test 並且控制回收導電度 $< 2,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 收集至

W18 Bio Tank 後送至 Bio Polisher，利用生物處理方式去除水中 Pigment，之後再流至混凝槽，以 HCl 及 NaOH 調整 pH，並加入 PAC 及 NaOCl 達成混凝及消毒效果，處理水 pH 控制於 6.8，收集於 Bio Treated Tank，最後送入 MMF 過濾，出水端設置 TOC 分析儀監控，W18 CF 屬於 CF 高 TOC 有機回收水 (TOC 30~50 ppm)，來源為 Develop 機台 First-Rinse / Last-Rinse 排放之高濃度有機廢水。

2-3 高有機廢水特性

進水的水質特性如 pH、濁度、DOC、導電度以及金屬離子都會影響薄膜阻塞特性如表 2-1 所示，因此對系統各個單元出水進行水質分析，並從近水的特性推測可能之阻塞物。為回收系統的原水分析，W18 為 W18CF 與 W18TFT 的合流。W18 原水的導電度很低，顯示水中的離子很少，水中 TOC 約在 50 mg/L 左右，濁度約在 4.4 NTU。W18 混和槽中沉澱分析結果來看，水中主要以溶解性物質為主，且因為導電度不高，推測溶解性物質主要是有機物。無機物方面，原水中主要金屬以 K^+ 為主，可能來自於顯影所用的 KOH。 Al^+ 、 Na^+ 的含量有升高的情形是因為添加 PAC 混凝並以 NaOCl 氧化所致。

回收系統的各段水質分析，可以注意到在 MMF 及 $1\mu m$ 過濾器出水會有濁度升高的現象，TOC 也有上升的現象，顯示這兩個單元並未發揮作用，且可能去除能力已達飽和，有貫穿的現象。RO 系統經過高壓清洗後，可將薄膜阻塞的顆粒性物質沖出，降低系統的壓差，延遲 RO 藥洗的時間，這些現

象皆顯示 RO 系統有顆粒性阻塞的問題，水質特性顯示系統有顆粒性阻塞問題。

表 2-1 W18 水質分析表

原水來源	pH 值	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	濁度 (NTU)	SS (mg/L)	TOC (ppm)
W18 TFT	9	56	6.6	7	50
W18 CF	7.7	50	10	15	30~50
W18	7.1	48	4.4	10	50

第三章 研究方法與設備

3-1 研究對象

研究對象為南部科學園區某家生產 TFT-LCD 公司五代廠的製程高有機廢水回收系統，製程廢水依照廢水特性及濃度進行分流並予以編號，研究的回收系統為高有機回收水系統。廢水來源為 Array 製程的 TFT 高有機回收水與 CF 高有機回收水，兩股回收水經混合後統稱 W18 回收水。

TFT 及 CF 皆屬於高 TOC 有機回收水(TOC 50 ppm)，經管中取樣 Test 並且控回收導電度、pH 收集至 Bio Tank 後送至混凝槽，並加入 PAC 及 NaOH 達成混凝效果，處理水 pH 控制於 6.8，收集於 Bio Treated Tank，W18 回收水 Bio Tank 規格如表 3-1 所示，最後送入 MMF 過濾，W18 回收水 MMF 規格如表 3-2 所示，依照設定的流量排進 RCW 桶槽或回流至 Bio Tank 再經 RO，W18 回收水 RO 規格如表 3-3 所示，處理後排至 Filter Water Tank。

表 3-1 W18 回收水 Bio Tank 規格

項目	規格
過濾器形式	生物接觸式濾床
數量	2 set
面積	12.25 m ²
容積	166 m ³
處理水量	92.5 CMH
水力停留時間	43 min

表 3-2 W18 回收水 MMF 規格

項目	規格
過濾器形式	壓力式多層濾料快砂濾床
面積	12.25 m ²
容積	166 m ³
處理水量	92.5 CMH
水力停留時間	43 min
濾材	
上層濾材	無煙煤
粒徑	0.9 mm
體積	45 m ³
中層濾材	石英砂
粒徑	0.4~0.45 mm
體積	2.7 m ³
下層濾材	礫石
粒徑	2~20 mm
體積	1.8 m ³

表 3-3 W18 回收水 RO 規格

規格	數據
型式	螺捲式
廠商	Dow Filmtec
型號	BW30
材質	表層：聚酰胺 Polyamide
	中間層：聚砜 Polysulfone
	支撐層：聚酯纖維 Polyester
pH 容許範圍	2 ~ 11
最大操作壓力	600 psi
最大操作溫度	45 °C

3-2 回收水水質與水量

進行廢水回收前需確認廢水水樣，本篇研究取 W18 廢水暫存槽量測水質(pH、TOC、導電度)，水質如表 3-4 所示及研究廠用水量平衡如圖 3-1 所示，做為系統改善的初始值，以確認最佳化運轉改善項目的成效。

於純水系統使用水中，自來水約佔 30%，回收水約佔 70%，自來水比重偏高，實驗廠三種回收水有 15,442 CMD 加上友廠支援水 1,068 CMD 共有 16,510 CMD，而 W18 回收水系統回收水共有 5,622 CMD，佔總回收水比重 34%，若能提升回收量即可減少原水使用量，提升企業形象，友善環境。

表 3-4 W18 回收水入水水質表

檢測項目	檢測數據
廢水量	5,622 CMD
pH	4 ~ 9
TOC	50 ~ 100 mg/l
導電度	< 300 μ S/cm
Temp	22 ~ 27 $^{\circ}$ C

3-3 系統運轉問題

2012 年進行高有機回收水系統運轉觀察時發現 RO A、B、C 套實際產水量下降至 20 CMH/套，比較 RO 設計產水量 54 CMH/套效能降低僅剩原設計值的 37%，系統效能降低使回收水產水量下降，原水使用量增加導致使產成本上升及製程回收水率無法達到管制標準。觀察 2012 年 6/1~6/30 日回收水產水量如圖 3-2 RO 產水量變化圖所示，RO A、B、C 套 實際產水量 20 CMH/套，較 RO 設計產水量 54 CMH/套僅達到 37% 效能。

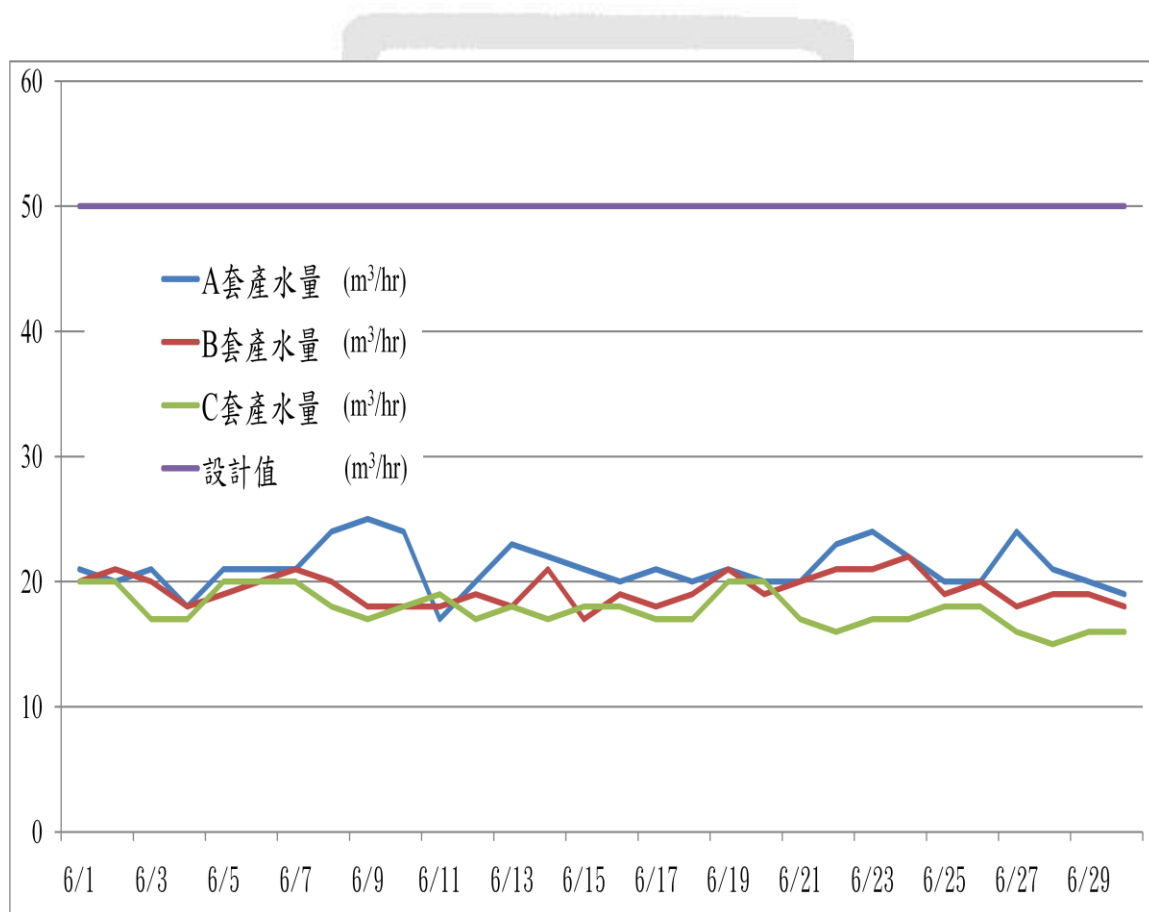


圖 3-2 RO 產水量變化圖

3-4 運轉問題收集及分析

透過相關專家諮詢會議，群體腦力激盪結果，本研究初步判定造成高有機回收水系統效能降低的可能原因，並以魚骨圖收集資料，再以關鍵成功因素法通過分析找出使得高有機回收水系統效能提升的關鍵因素，然後再圍繞這些關鍵因素來確定系統的改善需求，確認最佳化運轉的策略。

3-4-1 利用魚骨圖收集整合資料

集合 W18 回收水工程師透過腦力激盪法，提出針對影響系統效能的可能原因，再以魚骨圖分析如圖 3-3 所示，依據各個因素分門別類，確認改善項目及改善細項，以利後續個因素確認及改善。

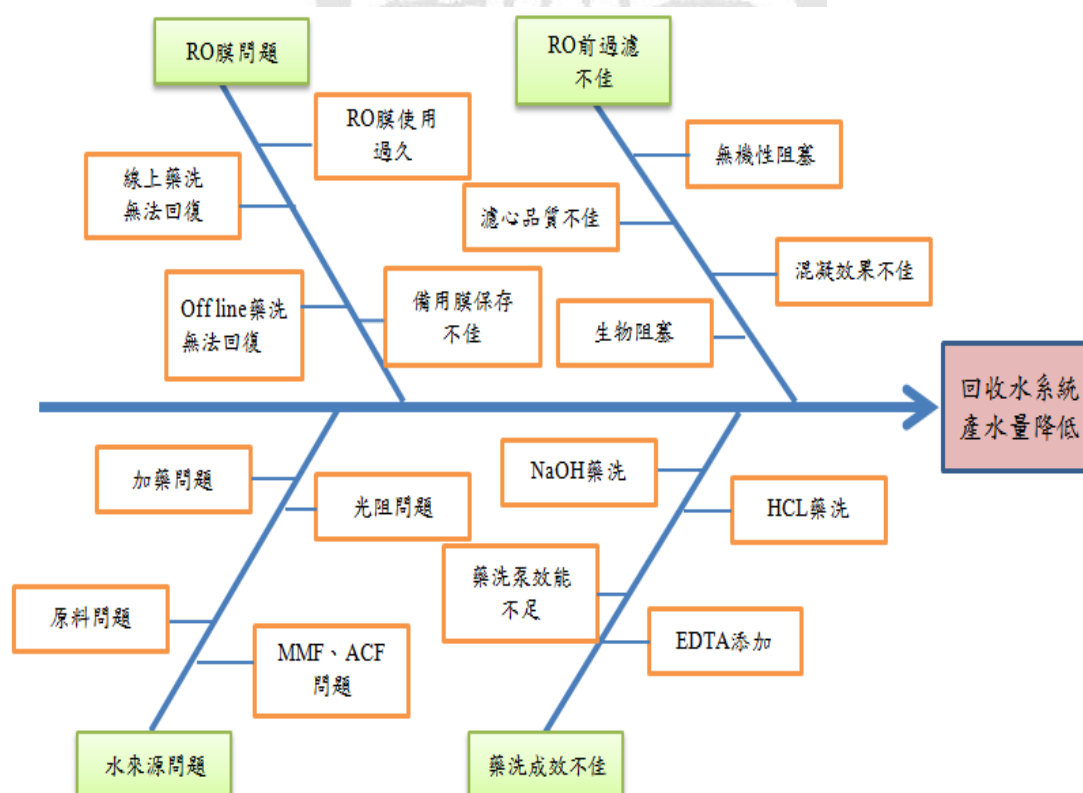


圖 3-3 W18 回收水系統產水量降低魚骨分析圖

3-4-2 利用關鍵成功因素法評估分析

將 W18 回收水系統產水量降低魚骨分析圖內所歸納之改善主題，設定改善目標，再依據效益、困難度、成本等以 1~5 分評分，經權重分析及專家分析，賦予相關的權重分數後，依序照設定的改善目標進行改善確認，製成圖表以利後續改善如表 3-5 所示。

表 3-5 W18 回收水系統產水量降低關鍵成功因素法評估分析

改善主題		改善目標	效益性	困難度	成本
來源有問題	光阻問題	驗證光阻成分	5	1	5
	原水問題	水來源送RO膜原廠檢驗	4	1	5
	加藥問題	改善PAC、NaOCL加藥量	3	1	4
	MMF、ACF問題	檢查濾心是否有MMF、ACF濾材	4	1	5
藥洗成效不佳	HCL藥洗	測試HCL藥洗成效	3	2	3
	NaOH藥洗	測試NaOH藥洗成效	3	3	3
	EDTA添加	測試EDTA添加藥洗成效	3	3	3
	藥洗泵效能不佳	更換合適藥洗泵	5	2	3
RO膜問題	線上藥洗無法回復	進行Off line藥洗作業	5	4	3
	Off line藥洗無法回復	送廠外藥洗或化驗	4	2	1
	RO膜使用年限過長	更換新膜	5	3	3
	備用膜保存不佳	防塵保護	3	2	4
RO前過濾不佳	濾心過濾效果不佳	更換合適濾心	3	3	2
	混凝效果不佳	混凝劑PAC調整	3	3	3
	無機性阻塞	尋求廠外協助	4	2	5
	生物阻塞	尋求廠外協助	3	3	3

3-5 執行運轉問題改善

改善目標的確認，除了廠內自行實驗分析外，亦有請協力廠商及學術單位協助進行各項改善目標的確認及分析，以確保後續改善方法是正確的。

以下分別以四個改善主題逐一確認(黃淑君,2006)。

3-5-1 改善主題：來源分析

此改善主要是確認原水水質、製程光阻殘留、藥劑添加量、回收水設備妥善度等問題分別確認。

1、光阻問題

2、原水問題

3、加藥問題

4、MMF、ACF 問題



3-5-1-1 光阻問題

取 W18 各機台光阻送成功大學環工所實驗室進行離子檢測，成大針對 W18CF 排液機台(CFDV 01~17)各光阻做離子分析發現 K^+ 過高分析結果如表 3-6 所示，因製程使用之顯影液為 KOH 所以會有 K^+ 殘留。

表 3-6 CFDV 01~17 機台排放水質分析

Sample	Ca	Al	Fe	K	Mg	Na	Si
CFDV-1 (BM)	N.D.	0.1	0.1	302	N.D.	0.5	0.8
CFDV-2 (BM)	N.D.	0	0.1	350	N.D.	0.6	0.5
CFDV-3 (RGB)	N.D.	0.1	0.1	387	N.D.	0.6	0.7
CFDV-4 (RGB)	N.D.	0.1	0.1	412	N.D.	0.6	0.2
CFDV-5 (RGB)	N.D.	N.D.	N.D.	279	N.D.	0.4	0.1
CFDV-6 (BM)	N.D.	N.D.	N.D.	326	N.D.	0.5	0.2
CFDV-7 (RGB)	N.D.	N.D.	N.D.	290	N.D.	0.4	0.1
CFDV-8 (RGB)	N.D.	0.2	0.1	316	N.D.	0.5	0.2
CFDV-9 (RGB)	N.D.	N.D.	N.D.	286	N.D.	0.5	0.1
CFDV-10 (RGB)	0.1	N.D.	N.D.	280	N.D.	0.5	0.1
CFDV-11 (RGB)	N.D.	N.D.	N.D.	276	N.D.	0.4	0.1
CFDV-12 (MVA)	N.D.	0.2	0.1	341	N.D.	0.5	0.4
CFDV-13 (MVA)	N.D.	0.1	N.D.	387	N.D.	0.8	0.3
CFDV-14 (PS)	N.D.	N.D.	N.D.	265	N.D.	0.4	0.2
CFDV-15 (PS)	N.D.	N.D.	N.D.	286	N.D.	0.4	0.3
CFDV-16 (PS)	N.D.	N.D.	N.D.	385	N.D.	0.6	0.6
CFDV-17 (RGB)	0.1	N.D.	N.D.	312	N.D.	0.5	0.3

3-5-1-2 原水問題

取 W18 TFT、W18 CF、RO Inlet、DP205 原液等 Sample 送至 RO 膜
 原廠日本 NITTO 公司進行檢查分析，如 TOC、RO 膜測試等，測試結果如下
 表 3-7 及表 3-8 所示。

表 3-7 回收水 TOC 分析

Sample	TOC (mg/L)
Source1 W18 CF	42
Source2 W18 TFT	49
RO inlet	1.6

表 3-8 回收水 RO 膜測試

Soaking test results on flat-sheet membrane n=3			
Membrane type	Sample solution	Rej [%]	Flux [m ³ /m ² · d]
PROC10	New membrane (*1)	99.8	1.20
	Source1 w18 CF	99.7	1.14
	Source1 w18 TFT	99.6	1.19
	RO inlet	99.8	1.15
	DP-205 1ppm solution	99.7	1.15
	DP-205 10ppm solution	99.8	1.19
LFC3-LD	New membrane (*1)	99.8	1.20
	Source1 w18 CF	99.7	1.13
	Source1 w18 TFT	99.7	1.22
	RO inlet	99.7	1.17
	DP-205 1ppm solution	99.7	1.15
	DP-205 10ppm solution	99.7	1.18

Test condition:

PROC10 : 2000ppm NaCl (pH6.9), pressure 1.55MPa, circulation flow rate 5L/min

LFC3-LD : 1500ppm NaCl (pH6.8), pressure 1.55MPa, circulation flow rate 5L/min

*1 A result of the membrane is a factory reference value

原廠分析結果有以下兩點：

- (1)原水 W18CF、W18TFT、DP205、RO 進水 在 RO 產水測試均表現正常。
- (2)無法判斷 原水&DP205 有造成 RO 膜阻塞的問題。

3-5-1-3 加藥問題

藥劑添加對於系統穩定是一個非常重要的一環，所以產水量降低可能是藥劑添加不足或過量導致長菌或無機物阻塞。

無機物阻塞：化學混凝使用之 PAC 過量會造成有 Al^{+} 的阻塞，進行 PAC 瓶杯實驗找出最佳加藥量。

實驗目的：評估 W18 原水填加 PAC 去除水中色度的效果，以符合供應 Cooling Tower 使用。

樣品名稱：W18 原水，pH：6.5

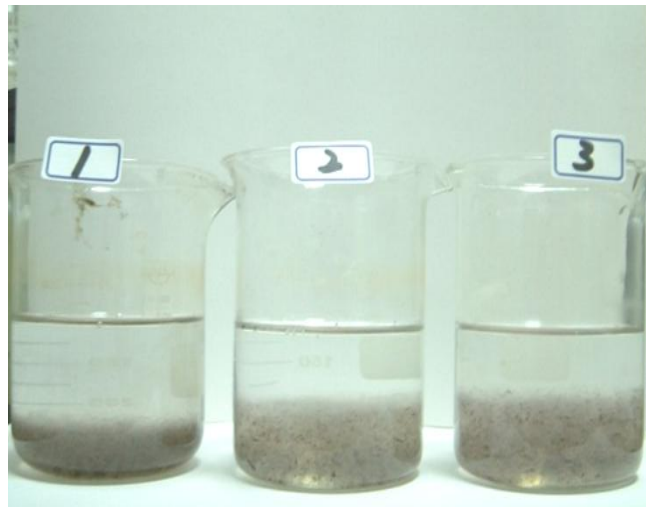
實驗條件：水樣：150 ml、主凝劑：PAC

實驗結論：

1、W18 CF 原水，直接填加 PAC 後水質透明清澈。

2、導致長菌：NaOCl 加藥量不足造成處理單元長菌阻塞，增加足夠 NaOCl，抑制生物滋長，降低後段處理系統(MMF、Filter、RO)阻塞頻率，並以純水系統餘氯計 on-line 監測水中餘氯，並保持水中約 0.1ppm 餘氯，測試結果如表 3-9 所示。

表 3-9 PAC 瓶杯實驗



編號	PAC(ppm)	pH	膠羽狀況	水質狀況
1	150	6.8	少許懸浮	透明有小膠羽懸浮
2	200	6.8	沉降扎實	透明清澈
3	300	6.8	沉降扎實	透明清澈

3-5-1-4 MMF、ACF 問題

MMF 為多層濾材過濾方式，分別以不同粒徑的礫石及石英砂、無煙煤來進行過濾，而 ACF 藉過濾機之活性炭，濾除雜質與吸附 TOC，若濾材有洩漏或設備破損可能阻塞後續的 RO 產水單元，所以為確保 MMF、ACF 運轉正常須確認以下二點。

(1)檢視 MMF & ACF 濾材並無洩漏情形。

(2)ACF 活性碳並無液化情形。

3-5-2 改善項目：藥洗成效不佳

RO 膜藥洗成效不佳有以下幾點可以辨別：

- 1、RO 膜組總壓差 $> 3 \text{ kg/cm}^2$ ，產水量下降 20%。
- 2、RO 入口壓 $> 17 \text{ kg/cm}^2$ 。

RO 膜藥洗程序：

使用一個潔淨容器，按照上述溶液的配比約 5~10 L（根據管路長短以及膜等的大小計算），充分攪拌溶解後，將隔膜泵進水管插入清洗藥劑溶液中，啟動隔膜泵，將藥劑吸入 RO 膜殼中，即可開始清洗循環操作如圖 3-4 所示。

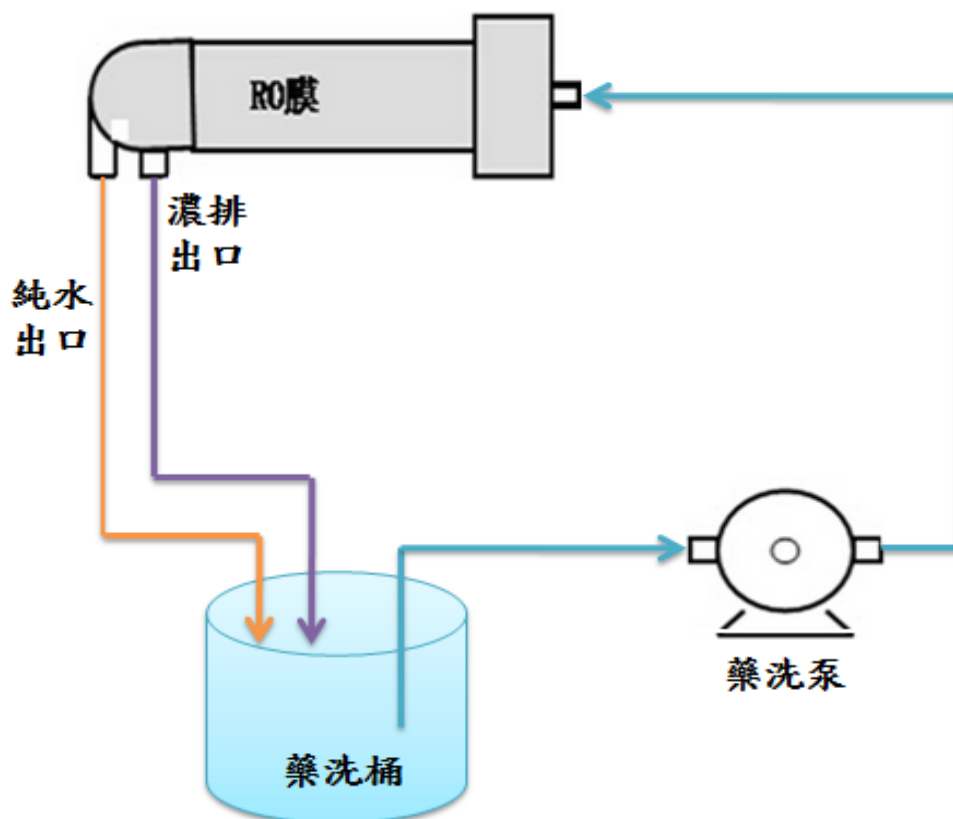


圖 3-4 RO 膜藥洗設備管路圖

(1)一次清洗的時間約為 1~2hr 為宜。

(2)清洗藥劑的選擇使用要根據當地自來水的情況。

(3)清洗操作完成後，把商務純水機 RO 膜等重新安裝復原，打開純水龍頭，通水運行 20min 以上，進行清洗之後即可恢復正常使用。

RO 膜藥洗注意事項：

(1)清洗藥劑在使用時，一次只能使用一種，不可混合使用。

(2)每種藥劑清洗時間建議不超過 2hr。一般經過清洗後 RO 膜的產水量會得到明顯的恢復。

(3)如果 RO 膜堵塞嚴重，或者經過清洗產水量恢復不明顯，可以將清洗藥劑重新泵入 RO 膜殼後，讓藥劑保留在膜殼中對膜浸泡 12hr，再進行清洗操作。

(Greenlee, L. F. D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot and P. Moulin , 2008)

(4)使用過的藥劑，不能重複使用。

(A) HCl 藥洗

(B) NaOH 藥洗

(C) EDTA 填加

(D)藥洗 pump 效能不足

3-5-2-1 HCL 藥洗

鹽酸 (HCl) 用純淨水配製成 0.2% 的溶液，用 pH 試紙測定 pH 值為 2~3 之間即可，根據使用量隨配隨用，主要針對無機性阻塞時執行(HCl)酸洗，HCl 藥洗。有以下幾點需注意(李明勳,2014)：

- 1、酸洗時 pH 控制在 2。
- 2、一般線上藥洗時，均以鹼洗為主，如連續 2 次鹼洗後成效不佳，再執行一次酸洗。

3-5-2-2 NaOH 藥洗

NaOH 藥洗用於清洗膜表面的有機物污堵清洗試劑，0.1 % 氫氧化鈉 (NaOH) 用純淨水配製成，pH 值調製到 11~12 即可，根據使用量隨配隨用。

- 1、針對有機性(生物)阻塞時執行(NaOH)鹼洗。
- 2、鹼洗時 pH 控制在 12。
- 3、一般線上藥洗時，均以鹼洗為主。

3-5-2-3 EDTA 添加

EDTA 的中文化學名為乙二胺四醋酸(Ethylenediaminetetraacetic acid)，它是抗氧化劑之一，具有螯合金屬離子的特質，於水處理系統中主要用於清理重金屬離子及 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 離子。

- 1、主要針對金屬物質阻塞藥洗時填加清理重金屬離子及 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 離子。

2、EDTA 於鹼洗時填加一起藥洗。

3、測試 EDTA 2Na 型 & 4Na 型。

3-5-2-4 藥洗泵效能不足

RO 膜於需藥洗階段 RO 入口壓 $>17\text{ kg/cm}^2$ ，揚程 $<50\text{m}$ 的藥洗泵洗淨效果經過實測藥洗效果只能回復 70%的產水，揚程 $>60\text{m}$ 的藥洗泵洗淨效果經過實測藥洗效果只能回復 95%的產水，所以高揚程、高壓力可以有效將 RO 膜阻塞清洗乾淨。

變更前後藥洗泵如下所示：

1、變更前 H(揚程)=45m & Q(流量)=108CMH。

2、變更後 H(揚程)=65m & Q(流量)=104CMH。

3-5-3 改善項目：RO 膜問題

RO 膜在經過一段時間的使用，表面受到外來物質的污染而產生污垢 (Fouling)，這些污垢的來源可能是 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等硬度沉澱、金屬氧化物、有機微生物等。當逆滲透造水量減少 20% 以上時或總溶解固體 (Total dissolved solids ; TDS) 增加 10% 以上或去除率小於 95% 時 或進水與廢水之間的壓差上升了 15% 時皆須進行藥洗， 以下為針對藥洗方式及 RO 膜保存方式進行確認及討論。

公式：去除率(%) = $100 - (\text{RO 純水}/\text{原水})$

1、線上藥洗無法回覆

2、Off-line 藥洗無法回覆

3、RO 膜使用年限過久

4、備用膜保存不佳

3-5-3-1 線上藥洗無法回復

一般預估薄膜壽命為 3~5 年 在正常操作情況下，清洗頻率（線上清洗或藥洗）成為決定 RO 膜壽命之關鍵因素 於 RO 膜廠測試中，若在第一次藥洗後無法回復原本效能，則 RO 膜壽命可能大幅縮短，若藥洗所需頻率偏高，代表 RO 膜線上清洗頻率太低或負擔太高，壽命可能大幅縮短，如表 3-10 所示，為廠內 RO 膜線上藥洗結果，經確認現行廠內 RO 膜藥洗機制已無法有效回復 W18 回收系統 RO 膜原本效能，如此 RO 膜壽命可能大幅縮短。

表 3-10 廠內線上藥洗效果比較表

場別		FAB5(W18回收水)		清洗時間：103年5月5日			清洗人員：水務值班人員			
				RO膜廠牌：多廠牌			RO膜型號：多型號			
鹼洗記錄		◎使用藥品：■NaOH(2%)+EDTA(0%)		□其他_____◎加熱：■有□無			◎沖洗時間：15min			
		◎藥洗時間：60min		◎靜置時間：360min			◎清洗溫度：27℃			
酸洗記錄		◎使用藥品：□檸檬酸(____%)		■32%HC1(2%)			□其他			
		◎藥洗時間：60min		◎靜置時間：480min			◎沖洗時間：10min			
藥劑保存		■不泡藥 □1%福馬林 □1%NaHSO ₃ □其他			包裝：	□塑膠袋裝□真空包裝 □紙箱 ■棧板 □其他				
項次	膜序號	RO膜編號	條件	進水壓力 (kg/cm ²)	進水溫度 (℃)	進水水質 (us/cm)	產水水質 (us/cm)	去除率 (%)	產水量 (LPM)	備註
1	1030501	Reclaim RO膜	藥洗前	10	23	450	200	55.6	阻塞	無效果
		Reclaim RO膜	藥洗後	10	23	450	0	100.0	阻塞	
2	1030502	純水 RO膜	藥洗前	10	23	450	8	98.2	20	效果不明顯
		純水 RO膜	藥洗後	10	23	450	10	97.8	23	
3	1030503	MBR RO膜	藥洗前	10	23	450	120	73.3	25	效果明顯
		MBR RO膜	藥洗後	10	23	450	150	66.7	39	

3-5-3-2 Off-line 藥洗無法回復

廠內 RO 膜線上藥洗結果經確認現行廠內 RO 膜藥洗機制已無法有效回復 W18 回收系統 RO 膜原本效能，如此 RO 膜壽命可能大幅縮短，於是委託廠外進行藥洗，藥洗結果如表 3-11 廠外 Off-line 藥洗效果比較表所示，經確認廠外 Off-line 藥洗 RO 膜機制亦無法有效回復 W18 回收系統 RO 膜原本效能。

後來經產學合作請成大環工實驗室進行 Off-line 藥洗測試，經測試將 RO 膜剖開浸泡液鹼(pH12)一天，可有效去除阻塞物如圖 3-5 所示，浸泡鹽酸(pH 2)一天，無法有效去除阻塞物如圖 3-6 所示，結果製成統計表如表 3-12 所示(Beltran F. J. Gonzales M. and Gonzales J. F. , 1997)。

比較組為於廠內已儲桶以 RO 膜管直接浸泡於浸泡液鹼(pH12))及浸泡鹽酸(pH 2)一天，現場如圖 3-7 所示，測試結果如表 3-13 所示，無法有效去除阻塞物。

表 3-11 廠外 Off-line 藥洗效果比較表

客戶名稱		群創光電(W18回收水)		清洗時間：102年3月4日			清洗人員：DIRK LEE			
				RO膜廠牌：多廠牌			RO膜型號：多型號			
鹼洗記錄		◎使用藥品：■NaOH(2%)+EDTA(0%)□其他_____◎加熱：■有□無			◎沖洗時間：10min					
		◎藥洗時間：50min			◎靜置時間：360min		◎清洗溫度：30℃			
酸洗記錄		◎使用藥品：□檸檬酸(____%)■32%HCl(2%)□H ₃ PO ₄ (0%)			□其他					
		◎藥洗時間：50 min			◎靜置時間：480min		◎沖洗時間：10min			
藥劑保存		■不泡藥□1%福馬林□1%NaHSO ₃ □其他			包裝：	■塑膠袋裝□真空包裝□紙箱□棧板□其他				
項次	膜序號	RO膜編號	條件	進水壓力 (kg/cm ²)	進水溫度 (℃)	進水水質 (us/cm)	產水水質 (us/cm)	去除率 (%)	產水量 (LPM)	備註
1	10112007	BW30-400	藥洗前	10	25	450	100	77.8	阻塞	Reclaim RO膜
		S161453B	藥洗後	10	25	450		100.0	阻塞	
2	10112008	KRO-2032	藥洗前	10	25	450	10	97.8	20	純水 RO膜
		60201318	藥洗後	10	25	450	10	97.8	23	
3	10112009	DOW-365FR	藥洗前	10	25	450	140	68.9	25	MBR RO膜
		101204A	藥洗後	10	25	450	200	55.6	39	



圖 3-5 浸泡液鹼(pH12)

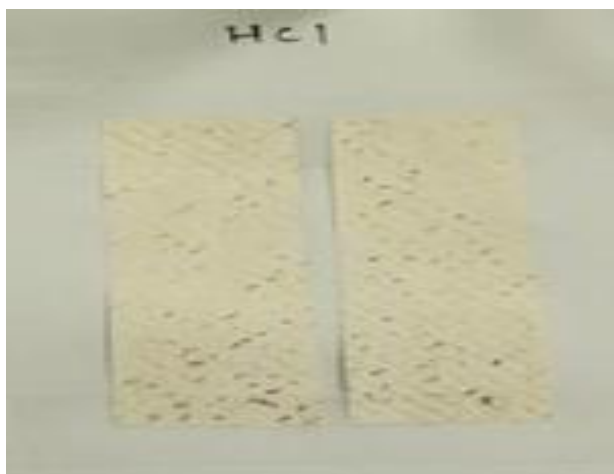


圖 3-6 浸泡鹽酸(pH 2)

表 3-12 成大藥洗效果比較表

元素	原液 (mg/L)	HCl (mg/L)	NaOH (mg/L)
Al	0	0	0
Ca	0.57	0.57	0
Fe	0.04	0.03	0
K	2	0.57	1.06
Mg	0	0	0
Na	0.2	0.19	43.29
Si	0	0	1.76



圖 3-7 儲桶浸泡鹽酸(pH 2)及液鹼(pH12)

表 3-13 廠內藥洗效果比較表

元素	原液(mg/L)	HCl (mg/L)	NaOH (mg/L)
Al	0	0	0
Ca	0.57	0.52	0.56
Fe	0.04	0.03	0.032
K	2	1.89	1.85
Mg	0	0	0
Na	0.2	0.19	43.29
Si	0	0	0

3-5-3-3 RO 膜使用年限過久

一般預估薄膜壽命為 3~5 年，研究廠 RO 膜已使用超過 5 年以上，但於 2014 年更換 RO 膜後，產水量由 20CMH 上升至 60CMH，但好景不長於 14 天後產水量又由 60 CMH 下降至 25 CMH 如圖所示，由此可以確定 W18 回收水系統阻塞原因主要是 RO 前處理單元，處理效能不佳導致 RO 壽命減短。

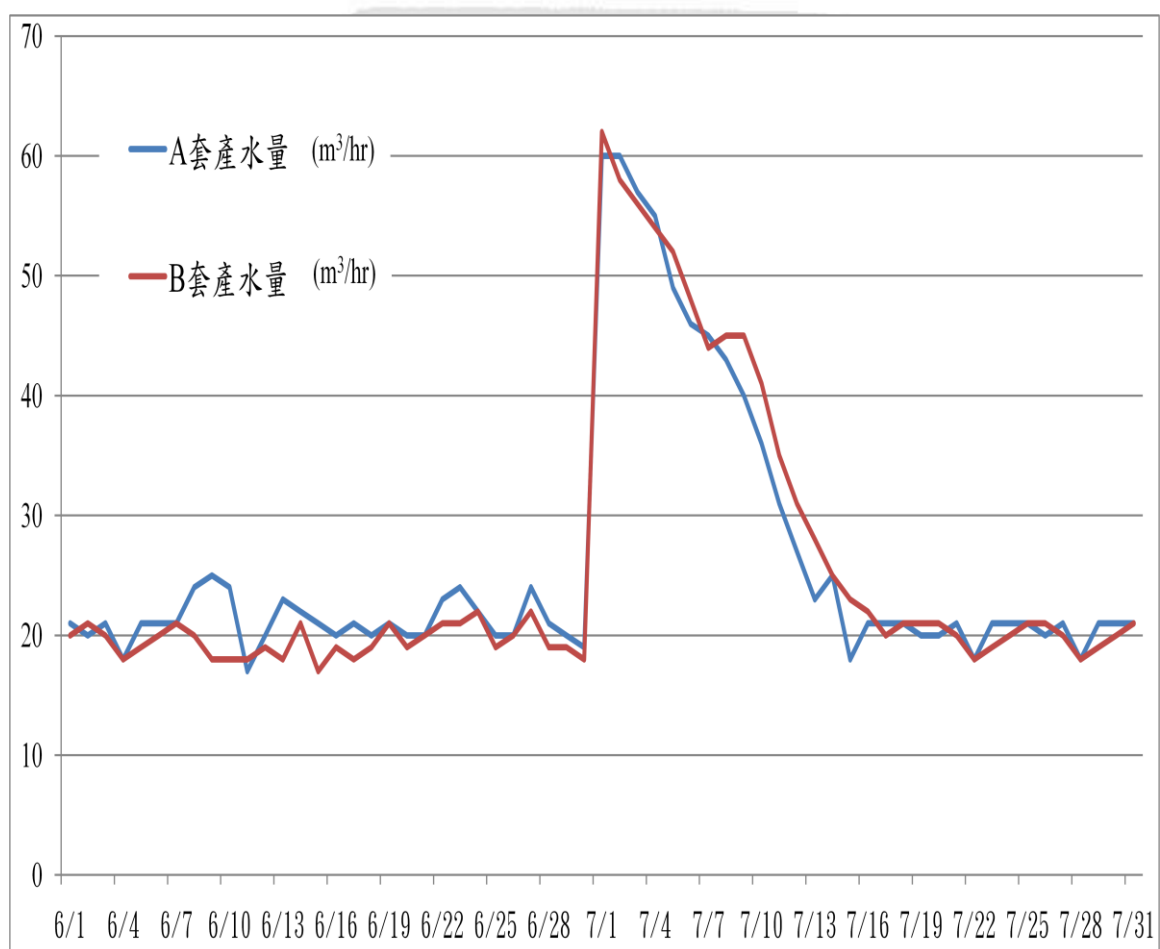


圖 3-8 RO A、B 產水量變化圖

3-5-3-4 備用膜保存不佳

水處理系統停運時，必須對 RO 膜進行保養。膜的保養分為短期停運保存和長期停用保護，如果 RO 設備有缺陷或正常備用而不啟動運行時(夏季超過 24 hr、冬季超過 48 hr 但最長不得超過 168 hr)，則應對設備進行低壓沖洗。短期保養方法適用於那些停止運行時間少於 168 hr 的 RO 系統。用水沖洗反滲透系統，同時注意將氣體從系統中完全排除；將壓力容器及相關管路充滿水後，關閉相關閥門，防止氣體進入系統；每隔 24 hr 按上述方法沖洗一次。

RO 膜的長期停運保養較為複雜，首先要對膜元件進行化學清洗，即酸性清洗劑、鹼性清洗劑、殺菌劑等藥劑清洗，然後用 1% 亞硫酸氫鈉密封保存，並且在重新啟動時必須對膜組件進行徹底清洗。實驗證明，採用化學藥劑對 RO 膜進行長期保養，可以節約資源，有較好的經濟可行性，保證了 RO 系統運行的可靠性，也避免了低壓沖洗時由於操作不當對設備造成損害。

實驗廠 RO 膜保存方式為酸性清洗劑、鹼性清洗劑、殺菌劑等藥劑清洗後以堆置方式或套袋方式集中保存，因保存方式不對容易造成 RO 膜發霉導致 RO 膜損壞如圖 3-9 所示。



套袋保存



平躺保存



直立保存

圖 3-9 實驗廠 RO 保存方式

3-5-4 改善項目：RO 前過濾不佳

RO 前處理單元若運轉操作不佳，會導致 RO 系統入水水質異常，長期運轉結果除了造成前過濾系統負擔增加，運轉成本增加，最後影響整個系統的穩定運轉，所以 RO 前處理單元若運轉操作不佳此重要問題須加以檢討。

- 1、濾心過濾效果不佳
- 2、化學混凝效果不佳
- 3、無機性阻塞問題
- 4、有機性阻塞問題

3-5-4-1 濾心過濾效果不佳

RO 系統前設有 2 組 $1\mu\text{m}$ 圓桶過濾器，主要功用為過濾原水里面大於 $1\mu\text{m}$ 的雜質，增加回收水系統的產水量及 RO 膜的使用壽命，但於實驗廠發現原使用之 $0.1\mu\text{m}$ 濾心如圖 3-10 所示，中心已有被穿透、變黑情形，此情形嚴重影響回收系統 RO 段設備妥善度及產水量，立即更換另一種濾心才不會有穿透之情形如圖 3-11 所示，兩種濾心比較結果如下表 3-14 所示，B 種濾心實測結果不會被穿透、變黑情形。

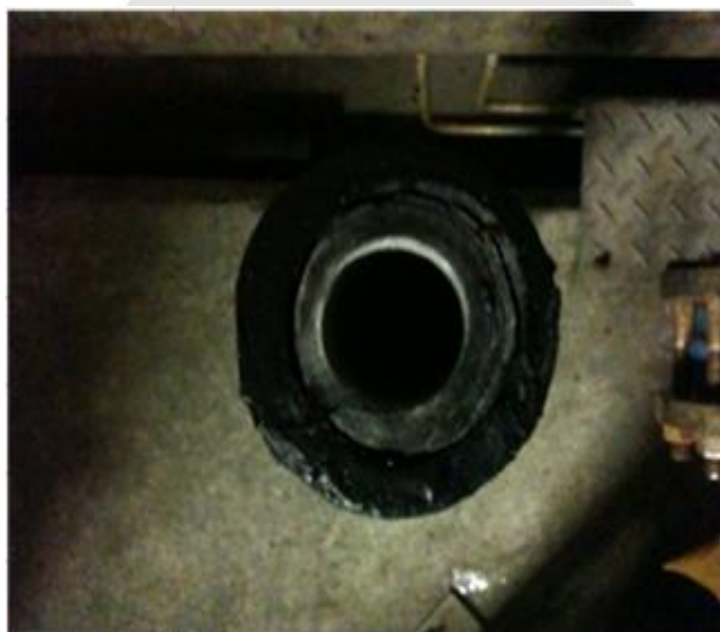


圖 3-10 濾心 A



圖 3-11 濾心 B

表 3-14 1 μm 圓桶過濾器濾心測試表

名稱	孔徑	材質	尺寸	製作方式	單價	內部構造	測試情形	判定
濾心 A	1 μm	PP	30 英吋	熔噴	50 元/ 支	鬆散 孔洞大	中心部有 穿透、變黑	不適用
濾心 B	1 μm	PP	30 英吋	熔噴	100 元/ 支	緊實 孔洞小	中心部無 穿透、無變 黑	適用

3-5-4-2 化學混凝效果不佳

混凝(Coagulation)與膠凝(Flocculation)為水處理工程上一個重要的程序，其是藉由加入一些可形成膠羽的藥劑，於水中結合固體顆粒後沉降，以達去除的效果。混凝與膠凝事實上是不同的作用，混凝是指破壞膠體與或顆粒間的穩定，使彼此間能靠近並凝集成核，而膠凝則是讓各個形成核心的膠體再進一步結合形成大的膠羽而加速沉降速度，目前回收水系統混凝劑 PAC 用量 120 LPM 混凝效果不佳，在加藥量方面，一般而言適當的加藥量即可達成一定的效果，加太多混凝劑除了會形成過多膠羽產生大量污泥外，也可能會形成過多的帶正電錯合物而使膠體形成再穩定化而影響混凝效果。因此混凝劑的加藥量通常有一適當的劑量，而此劑量則可藉由瓶杯試驗(Jar test)來提供參考資訊(何鴻哲,2011)。

在混凝程序中會消耗大量的鹼度，而此時 pH 就成為一個重要的影響因子。一般而言，硫酸鋁適合的混凝條件約在 pH4~8 間，而氯化鐵適合的混凝條件約在 pH3~6 間。雖然 pH 是重要的影響因子，但事實上除了 pH 外也要考慮鹼度的影響。對於不同的廢水其膠體適合混凝的 pH 不盡相同，因此亦可用瓶杯試驗(Jar test)來尋求適當的操作 pH 範圍。

攪拌速度也會影響混凝效果，在剛加入混凝劑時，主要目的為溶解擴散混凝劑並破壞膠體間的穩定，因此需要用較快的速度攪拌。若以槳板進行攪拌時就必須提供足夠的能量來驅動水流，攪拌所引起水流的速度梯度通常

以 G 值來表示。

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

其中 G 為速度梯度(單位距離流體的相對速度 S^{-1})

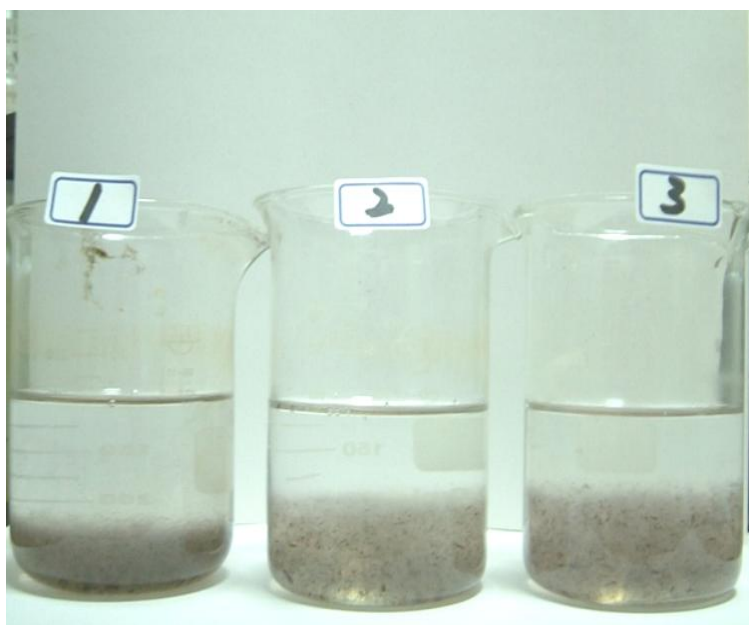
P 為能量 W

μ 為水的黏度(mPa·s)

V 為水池體積(m^3)

水中顆粒碰撞的機率隨 G 值增大而增加，因此 G 值越大越利於膠體間穩定的破壞，但是 G 值過大也會造成膠羽不易形成的負面影響，以瓶杯試驗測試混凝劑 PAC 用量由 120 LPM、200 LPM、300 LPM 進行測試，測試結果如表 3-15 所示 PAC 用量 120 LPM，透明有小膠羽懸浮，顯示為混凝效果不佳；PAC 用量 300 LPM，透明清澈膠羽量過大，顯示為加太多混凝劑形成過多膠羽會產生大量污泥；PAC 用量 200 LPM，透明清澈膠羽量適中為最佳添加量。

表 3-15 PAC 用量測試表



編號	PAC (LPM)	pH 值	膠羽狀況	水質狀況
1	150	6.8	少許懸浮	透明、有小膠羽懸浮
2	200	6.8	沉降扎實	透明清澈
3	300	6.8	沉降扎實	透明清澈

3-5-4-3 無機性阻塞問題

通常以硫酸鹽及磷酸鹽類的存在形式最明顯，如有效將含有硫酸根及磷酸根的廢水排除不進入系統為最根本之道，即可達到不形成無機鹽類結垢。

另一做法為進入 RO 單元進行前處理填加混凝劑(如多元氯化鋁、氯化鐵)，先行成無機鹽類混凝後排出，以避免留置 RO 產水單元，成大解剖 RO 膜檢測無機性阻塞物質有 Al、Si、Fe。

1、Al 來源為化學混凝時加入的多元氯化鋁(PAC)及鋁蝕刻製程帶出(李明勳,2014)。

2、Si 來源為玻璃基板於顯影或是蝕刻等製程被溶解出來。

3、Fe 來源是 CF REET 機台(FeCl_3)排液貢獻。

改善作法：降低含有 Ca、Mg 離子的廢水或化學品添加

3-5-4-4 有機性阻塞問題

因廢水前段的生物處理單元後，出流水會有大量的微生物污泥被帶出，如無法有效進行過濾攔阻，將嚴重影響 RO 產水單元如圖 3-12 所示。在生物處理後的過濾採用多層砂濾塔，必須在生物處理單元後填加大量 NaOCl，以防止後續 RO 產水單元長菌影響產水效率，如添加量不足時，RO 產水單元會有微生物滋長問題，一般 NaOCl 填加量控制在 0.2 ppm 以下，如濃度過高時 ACF 將無法有效吸附，會導致 RO 膜有被氧化穿透的風險(黃志彬,2002)。

W18 原水經過生物處理後，有機物分子量從小分子量轉變成大分子量

若這些大分子量的有機物是造成後續 Cartridge filter 或是 RO 阻塞的原因，則可能考慮不經生物處理單元，直接以 RO 進行處理之可行性。



3-6 真因判斷及改善可行性評估

經上所有改善細項分析及確認，W18 回收水系統回收前原水是沒有任何問題，主要經過分流及分段處理後的原水水質較穩定，但經生物處理 (bio-polisher) 系統後產生大量生物膠羽如圖 3-12 所示，此生物膠羽無法經由混凝槽、MMF、Safe Filter 有效去除，且造成 W18 回收系統內生物滋長情形嚴重，導致最後的 RO 處理單元 RO 膜嚴重阻塞，針對上述判斷~進行改善評估。

經魚骨圖及關鍵成功因素分析法的分析後歸納 W18 水回收系統有以下幾點須立即改善如表 3-16 所示：

表 3-16 W18 水回收系統改善方向表

項次	改善項目	改善方向
1	增加水中餘氯	添加殺菌劑，減少生物滋長。
2	回收水不經生物處理	修改生物處理系統。
3	提升混凝槽的混凝效果	修改混凝槽。
4	改善緩衝槽沉澱效果	修改緩衝槽進出水方式。
5	增加 RO 膜洗淨效果	增加 RO 膜使用週期。

第四章最佳化運轉策略

4-1 最佳化運轉策略彙整

有機回收水系統設計產水量(單座)50 CMH 下降至 25 CMH 降幅達 50%，與 RO 一般正常產水率 80% 亦有 30% 差距，經本研究確認各種原因釐清與檢討歸納出如表 4-1 所示之 5 項改善方案，希望依據這 5 項方案的執行能提升有機回收水系統產水率及系統操作能更有效率(張漢昌,1997)(石濤, 2000)。

表 4-1 W18 水回收系統改善方向彙整表

項次	改善項目	改善技術
1	增加水中餘氯	緩衝槽增設 NaOCL 添加，減少微生物滋長。
2	回收水不經生物處理	By-pass 生物處理系統，減少後續處理系統生物性阻塞。
3	提升混凝槽的混凝效果	混凝槽增設膠凝劑提升混凝效果，以有效去除水中 particle。
4	改善緩衝槽沉澱效果	緩衝槽原為並聯進出水方式，改為串聯進出水方式。
5	增加 RO 膜洗淨效果	開發 RO 膜清洗新技術，增加 RO 膜使用週期。

4-2 最佳化運轉策略

以下將依序進行實驗及測試以求得最佳化運轉策略或改善方式，以使高有機回收水系統能以最佳化的運轉策略運轉，5 項改善方案分別如下(林正欣、王東垣)：

- 1、增加水中餘氯。
- 2、回收水不經生物處理。
- 3、提升混凝槽的混凝效果。
- 4、改善緩衝槽沉澱效果。
- 5、增加 RO 膜洗淨效果。

4-2-1 增加水中餘氯

氯本身具有高氧化力，同時具有消毒、控制臭味，及防止藻類生長的效果，是廢水回收系統中常用的藥劑。當加氯至廢水系統中時，氯可能形成次氯酸鹽、次氯酸、次氯酸離子，這些產物即稱為自由餘氯(free available chlorine)。若水中 pH 值升高，次氯酸會形成離子型態的次氯酸離子如圖 4-1 所示，次氯酸離子的氧化力較次氯酸弱。

然而水中可能含有許多有機物質會與氯發生氧化反應，氯與氨反應形成氯胺：單氯胺、二氯胺及三氯胺等，這些氯胺稱為結合餘氯(combined available chlorine)。一般而言結合餘氯的氧化力較自由餘氯低，結合餘氯與自由餘氯合稱總有效餘氯。

於高有機廢水緩衝槽內添加增加足夠 NaOCl，能抑制生物滋長，降低後段處理系統(MMF、Filter、RO)阻塞頻率(黃志彬,2002)。

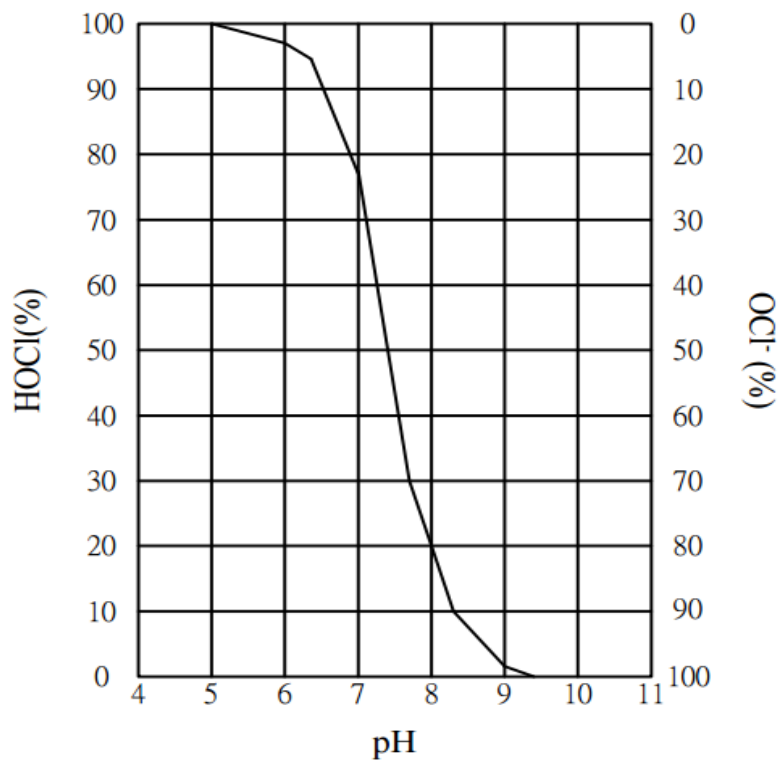


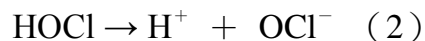
圖 4-1 不同 pH 值下次氯酸(HOCl)及次氯酸離子(OCl-)比例

漂白水：一般係指 10 ~ 12% 的液態次氯酸鈉(NaOCl)，當次氯酸鈉(NaOCl)溶於水時，它會解離成為液鹼 (NaOH) 與次氯酸 (HOCl)，如反應 1 所示：



而 NaOH 加入水中自然會使水中的 pH 呈現更高鹼性的水準。倘若中性的水加入了漂白劑則會使水中 pH 提高至 8 或 9。

次氯酸在水中最重要存在型態亦稱為餘氯 (Free chlorine)，它係為負責殺死微生物之主要藥劑。然而，HOCl 在水中係為弱酸，亦即它會部份解離成次氯酸鹽離子 (OCl^-)，如反應式 2 所示。與 HOCl 不同的是， OCl^- 係為非常弱的殺菌劑。



次氯酸係為強氧化劑且為有效的殺菌劑；而 OCl^- 則為較弱的氧化劑且為非常弱的殺菌劑。在水中通常會達到動態的平衡，漂白水會在 HOCl 型態與 OCl^- 型態之間因為 pH 值得變化而為可逆的左右移動。倘若水的 pH 低於 7 (酸性)， H^+ 濃度就高。會使 H^+ 與 OCl^- 結合形成更多的 HOCl，即漂白水的殺菌劑型態。相反地，倘若水的 pH 高於 7 (鹼性)， H^+ 濃度就低。這將改變反應式 2 的平衡方向，導致水中的 HOCl 產生解離，生成 H^+ 與 OCl^- ，即為漂白水的非殺菌劑型態。在 pH 7.5 時，水中 50% 的氯會呈 HOCl 型態，而另外的 50% 則呈 OCl^- 型態。

水中餘氯實驗

1、實驗地點

高有機回收水系統。

2、實驗設備

1. NaOCl 添加系統。

2. 餘氯計。

3.TOC 計。

3、實驗配置

高有機回收水系統緩衝槽新增一組 NaOCl 添加系統配置如圖 4-2 所示。

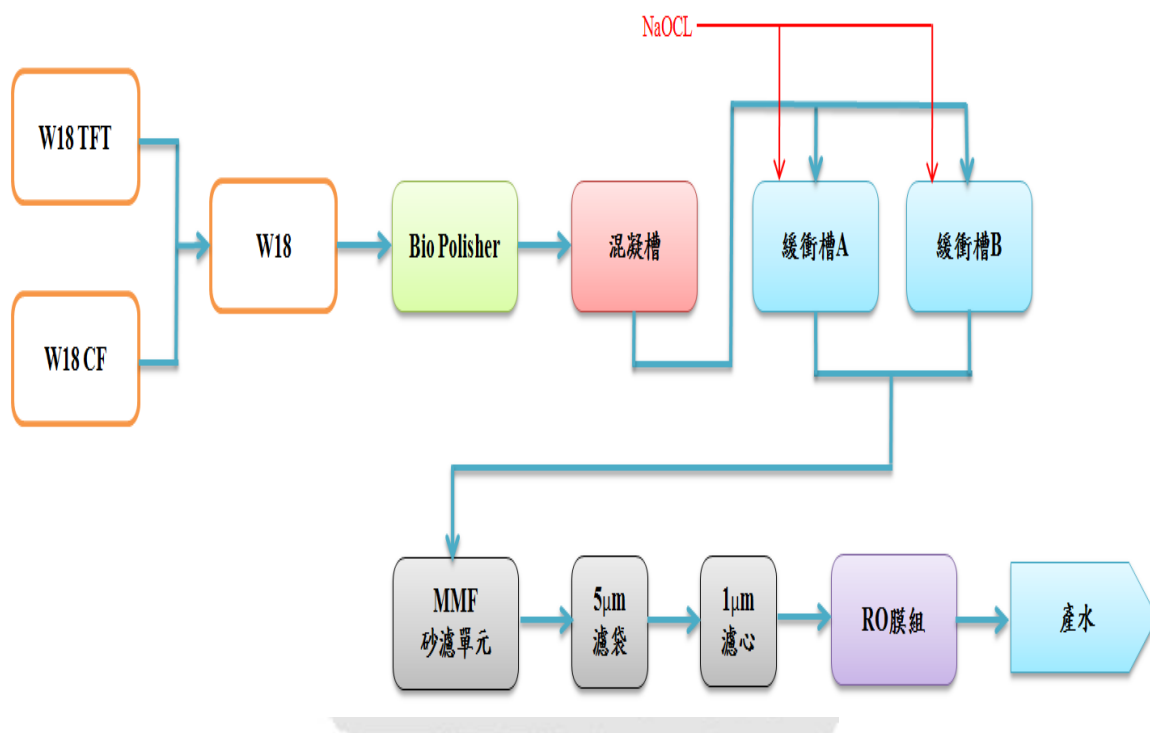


圖 4-2 水中餘氯實驗配置圖

4、實驗方式

添加 NaOCl 至回收系統內以餘氯計量測調整槽內餘氯濃度，分別以不添加及 0.05 ppm、0.1 ppm、0.2 ppm、0.3 ppm、0.4 ppm 等 6 組不同餘氯濃度進行實驗，並以後段 0.1 μm 濾心及 0.5 μm 濾袋更換週期比較，以及量測緩衝槽出水 TOC 以比較不同餘氯去除 TOC 效果。

5、實驗結果

(1)每增加 0.1 ppm 依實驗結果如表 4-2 所示，可以確認緩衝槽內增加足夠 NaOCl，保持水中約 0.1 ppm 濃度以上的餘氯，即可有效抑制生物滋長，減少 1 μ m、5 μ m 過濾器阻塞並降低 RO 阻塞頻率。

(2)每增加 0.1 ppm 濃度以上的餘氯，每日運轉成本會增加 1,170 元/天，1 μ m、5 μ m 過濾器每增加使用一天成本減少 735 元/天，由此可知 0.1 ppm 餘氯運轉較 0.2 ppm 運轉成本可減少 435 元/天。

(3) 0.1 ppm 濃度以上的餘氯 TOC 去除率皆約為 60% 驗結果如表 4-3 所示，餘氯濃度增加並未明顯增加 TOC 去除效率，為減少每增加 0.1 ppm 濃度以上的餘氯，每日運轉成本會增加 1,170 元/天，及保護後段因餘氯濃度過高 RO 膜材質有可能會被劣化腐蝕，餘氯濃度控制於 0.1 ppm 較佳。

表 4-2 水中餘氯實驗結果

監測項目	原設計	試驗一	試驗二	試驗三	試驗四
餘氯濃度 (ppm)	0	0.05	0.1	0.2	0.3
5 μ m 更換頻 率(day)	7	10	16	17	17
1 μ m 更換頻 率(day)	7	11	16	17	17

表 4-3 水中餘氯降低 TOC 實驗結果

監測項目	原設計	試驗一	試驗二	試驗三	試驗四
餘氯濃度 (ppm)	0	0.05	0.1	0.2	0.3
緩衝槽入水 TOC (mg/L)	30	30	30	30	30
ACF 入水 TOC (mg/L)	28.5	20.2	12.1	12.0	12.1
去除率(%)	5	33	59.6	60	59.6

4-2-2 回收水不經生物處理

高有機廢水回收系統流程，因分析後發現經生物處理系統(bio-polisher)處理後有機物會轉變，原本溶解性有機物及小分子有機物因生物分解後轉變為大分子有機物。

另外觀察線上更換下之 0.5 μm 濾袋及 0.1 μm 濾心可發現阻塞物為黑色濕滑物質，顯示系統有生物阻塞的可能，為了減少 RO 系統發生生物阻塞，因此將高有機廢水回收系統流程變更，將生物處理系統(bio-polisher) by pass，新增活性炭過濾床(Activated carbon filter bed；ACF) 規格如表 4-4 所示，修改後的高有機廢水回收系統如圖 4-3 所示，運轉一段時間後觀察可發現，RO 阻塞情形減緩，藥洗頻率由 7 天/次可拉長至 30~40 天/次，且要洗後可以有效恢復通量。0.5 μm 濾袋及 0.1 μm 濾心阻塞更換頻率亦可減少結果如表 4-5 所示。

比較修改高有機廢水回收系統流程後 RO 進流水水質，如表 4-6 所示，可發現 RO 進水有機物從微生物代謝物為主轉變成製程有機物為主，為分解之大分子有機物較不易造成 0.5 μm 濾袋及 0.1 μm 濾心阻塞。濁度方面，修改程序後的濁度降低一半，可以確認修改程序後水質較穩定，較不會有太大的變動。

活性碳過濾也是系統阻塞減少的原因之一，研究顯示活性碳過濾床作為 RO 系統前處理可有效降低有機阻塞，從表 4-7 可以看出活性碳過濾床對

於回收系統的 NPDOC 非氣提溶解性有機碳有 60 % 去除率，而對濁度也有 53 % 去除率，顯示對回收水系統的回收水水質改善有很大的幫助。

回收水不經生物處理實驗

1、實驗地點

高有機回收水系統。

2、實驗設備

1.NPDOC 計。

2.濁度計。

3、實驗配置

(1) by pass 生物處理系統(bio-polisher)。

(2)新增活性炭過濾床(Activated carbon filter bed；ACF)新流程如圖 4-3 所示。

4、實驗方式

比較舊回收系統 RO 進水及新回收系統 RO 進水之 NPDOC 值及濁度，確認改善效果，及比較無 ACF 之回收系統及有 ACF 之回收系統之 NPDOC 值及濁度，確認改善效果。

5、實驗結果

新回收系統改善 0.5 μm 濾袋及 0.1 μm 濾心阻塞，可減少更換頻率如表 4-7 新回收系統測試效率所示。活性炭過濾床對於回收系統的 NPDOC 非氣提

溶解性有機碳有 60 % 去除率，而對濁度也有 53 % 去除率如表 4-8 活性炭過濾床去除效率及圖 4-4 活性炭過濾床去除所示。

表 4-4 活性炭過濾床規格

設備項目		規格
過濾器形式		壓力式活性炭濾床
面積		4.52 m ²
容積		11 m ³
濾 材	材質	活性炭
	體積	6.7 m ³
	材質	礫石
	粒徑	2 ~ 5 mm
	體積	0.46 m ³

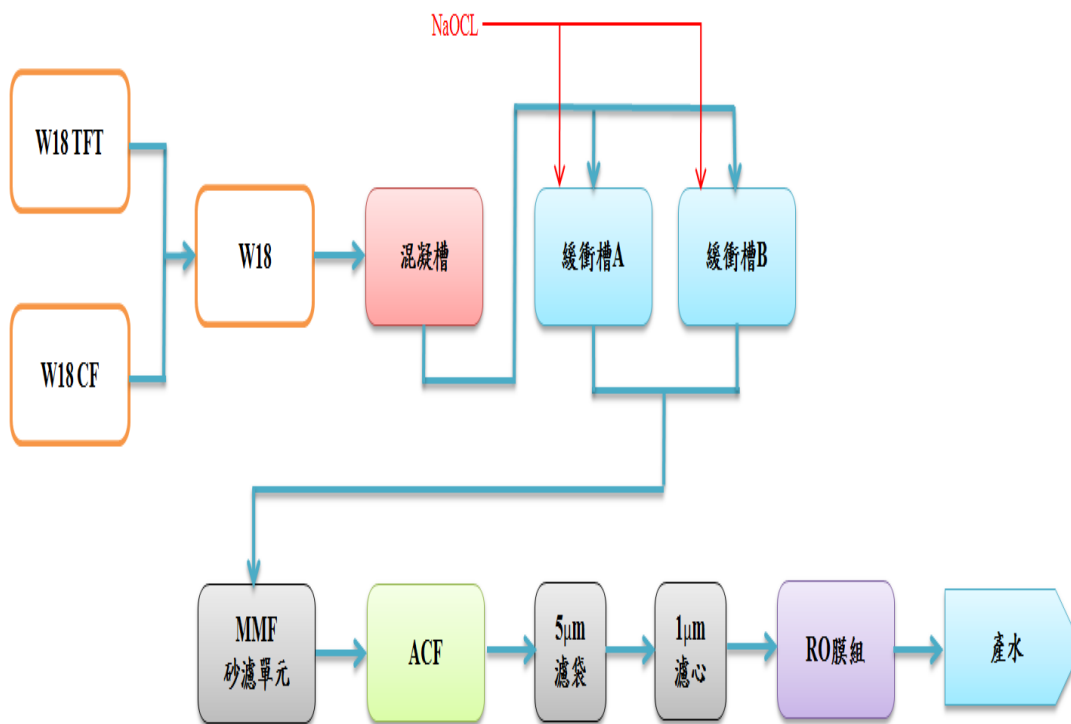


圖 4-3 高有機廢水回收系統流程(By pass bio-polisher)

表 4-5 新回收系統測試效率

監測項目	原設計	新設計
5μm 更換頻率(day)	7	30
1μm 更換頻率(day)	7	30
RO 藥洗頻率(day)	10	30 ~ 40
RO 回收率(%)	25	70

表 4-6 舊回收系統 RO 進水

測試日期	8/19	9/12	10/10	11/2	11/15	12/24	1/25	平均
NPDC (mg/L)	3.55	2.98	3.57	3.25	3.56	3.78	3.24	3.42
濁度 (NTU)	1.4	1.45	2.01	2.07	1.56	2.11	2	1.8

表 4-7 新回收系統 RO 進水

測試日期	3/19	4/11	5/12	6/3	6/16	6/25	7/2	平均
NPDC (mg/L)	1.97	1.9	2.21	2.5	2.14	1.98	1.89	2.08
濁度 (NTU)	0.56	0.41	0.25	0.26	0.27	0.26	0.3	0.33

表 4-8 活性炭過濾床去除效率

測試項目	日期	ACF 入水					ACF 出水					去除率
		3/19	3./29	5/22	6/5	平均	3/19	3/29	5/22	6/5	平均	
	NPDOC (mg/L)	7.56	7.95	7.89	8.21	7.90	3.22	2.65	3.78	2.95	3.15	60 %
	濁度 (NTU)	4.1	2.56	1.56	1.59	2.45	1.22	1.65	0.56	1.22	1.16	53 %

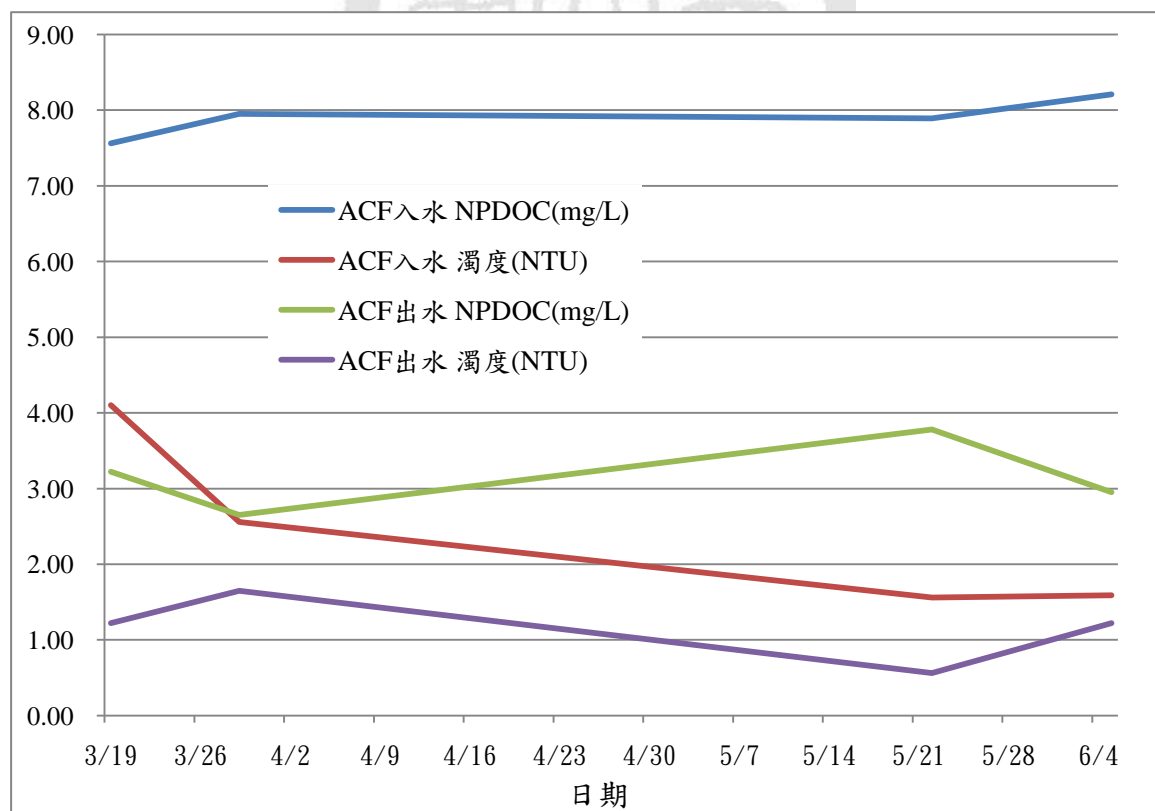


圖 4-4 活性炭過濾床去除

4-2-3 提升混凝槽的混凝效果

混凝(Coagulation)與膠凝(Flocculation)為水處理工程上一個重要的程序，其是藉由加入一些可形成膠羽的藥劑，於水中結合固體顆粒後沉降，以達去除的效果。混凝與膠凝事實上是不同的作用，混凝是指破壞膠體與或顆粒間的穩定，使彼此間能靠近並凝集成核，而膠凝則是讓各個形成核心的膠體再進一步結合形成大的膠羽而加速沉降速度。一般而言，混凝為剛加入混凝劑時所進行反應過程，必須以快速攪拌進行，俗稱為快混(rapid mixing)；而膠凝則是在慢速攪拌中進行，俗稱慢混(slow mixing)，慢混可讓膠羽間在慢速混拌下彼此靠近結合。以往的廢水處理系統會以兩個處理單元分別操作，但是現在因為通常在混凝膠凝的程序中添加助凝劑，可減少膠凝所需的時間，因此現在許多的處理廠已將膠凝池省略以節省空間，而膠凝程序則在沉澱池中同步進行(黃淑君,2006)。

在穩定膠體系統中，大部分的教膠體帶有負電荷，因為彼此的同性電荷排的斥力而保持距離形成穩定懸浮系統。而這些帶負電荷的膠體離子也會吸引異性電荷的離子於其週圍，隨著距離膠體越遠則異性電荷量逐漸減少，這種現象在膠體的四週形成了所謂的固定層(Fixed layer，又稱為 stern layer)與擴散層，此兩者合稱為電雙層(electrolyte double layer)。固定層距膠體較近，滿佈帶正電荷的離子；而環繞在固定層外圍的離子層則為擴散層。由於膠體外圍滿佈著帶異性電荷的離子，因此具有靜電能，而當膠體移動時，膠體表

面附著水一併移動而形成剪力面，在此剪力面的靜電能稱為界達電位(Zeta potential)。一般而言，膠體的界達電位越大，表示膠體間的排斥力越大，膠體更不易聚集。

除了攪拌之外，水處理工程所使用的混凝劑多為金屬鹽類(多為鋁鹽或鐵鹽)，這些金屬鹽在水中會與-OH 基形成帶正電的錯合離子。因為帶正電的特性，混凝劑所形成的錯合離子可以接近帶負電的膠體，這樣即減少圍繞在膠體週圍的離子而降低界達電位。為幫助混凝效果，水處理廠常會加入有機聚合物(Polymer)，polymer 因為黏稠特性可在水中發揮架橋作用，幫助膠體凝聚。

在混凝與膠凝程序中，會影響其處理效果的因子有許多，其中最重要的有混凝劑的種類、加藥量、攪拌速度以及 pH 等等。因為價格便宜，混凝劑一般多用硫酸鋁或氯化鐵，如有必要時可再加助凝劑來幫助混凝效果。

在加藥量方面，一般而言適當的加藥量即可達成一定的效果，加太多混凝劑除了會形成過多膠羽產生大量污泥外，也可能會形成過多的帶正電錯合物而使膠體形成再穩定化而影響混凝效果。

提升混凝槽的混凝效果實驗

目前回收水系統之混凝槽僅填加混凝劑 PAC，評估添加膠凝劑 polymer，增加混凝效果如圖 4-6 所示。

1、實驗地點

實驗室。

2、實驗設備

1.燒杯。

2.攪拌器。

3.W18 廢水（已生物處理） pH=6.5 。

3、實驗條件

水樣：150ml、主凝劑：工業級 PAC。

助凝劑：廠區常用之 polymer。

1.陰性 polymer(型號:628)稀釋至 0.1%。

2.陽性 polymer(型號:065)稀釋至 0.1%。

4、實驗方法

取 150ml 水樣放置於 2 個燒杯內，於 2 個燒杯內各加入濃度約 300ppm 的主凝劑工業級 PAC，攪拌 1~5min 後在於 2 個燒杯內分別加入 2 種測試之助凝劑 polymer，繼續攪拌 10~30min 後，靜置 10~30min 後，觀察膠羽生成狀況，沉降速度，並分析上層澄清液水質如圖 4-5 所示，決定那種助凝劑適合回收系統。

5、實驗結果

使用陽性 Polymer (型號:065)，可形成大膠羽且沈降快速，實驗結果如表 4-9 所示。

表 4-9 最佳膠凝劑添加實驗結果

PAC(ppm)	pH	Polymer 型號/濃度	膠羽狀況	水質狀況
300	6.8	628 / 3ml (20ppm)	沈降	透明清澈
300	6.8	065 / 3ml (20ppm)	沈降較紮實	透明清澈

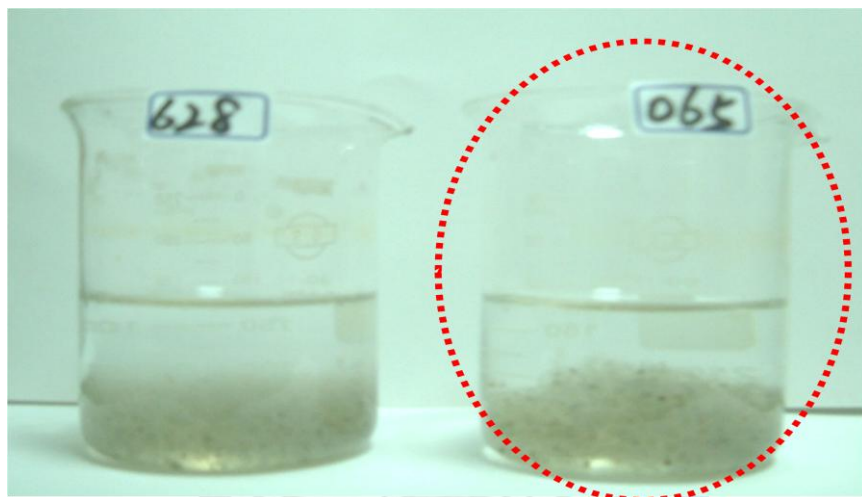


圖 4-5 膠凝劑添加實驗

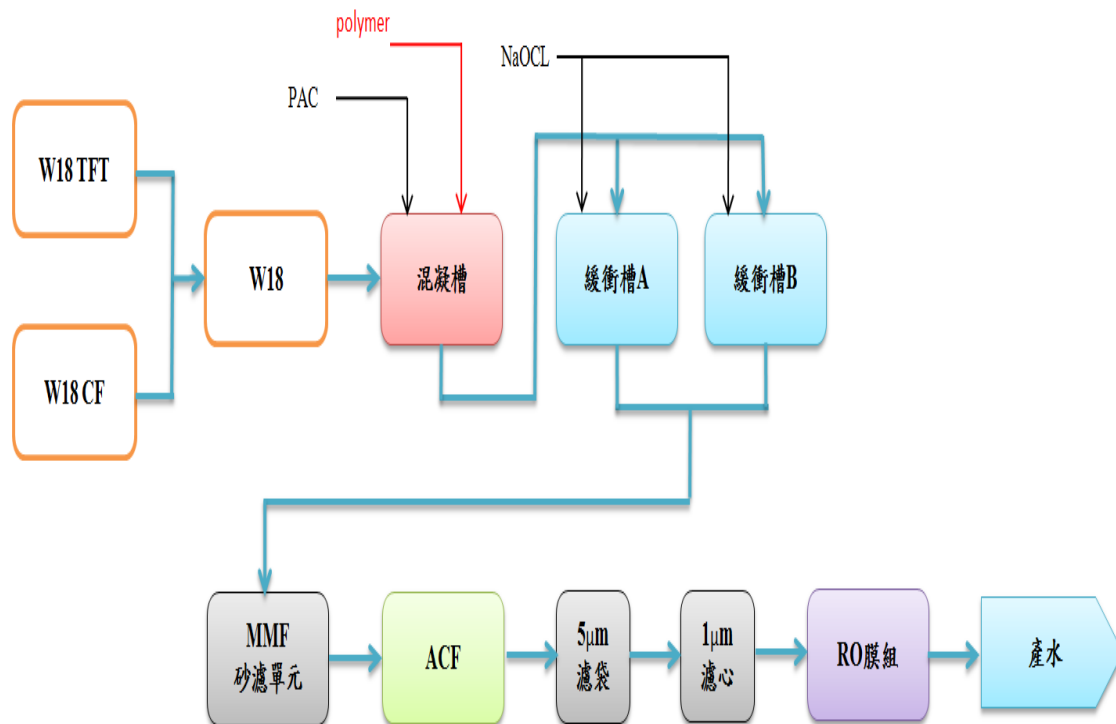


圖 4-6 高有機廢水回收系統流程(新增 polymer 管路)

4-2-4 改善緩衝槽沉澱效果

沉澱是利用重力原理使水中的固體物沉降於水底而去除，為一種固液分離程序。沉澱在水處理工程上的應用包括有砂礫的去除、混凝膠凝後膠羽的去除、鐵、錳的去除等等，是應用最廣泛的處理程序之一(林獻銘,2012)。

沉澱因為是水中固體顆粒的重力沉降作用，因此其進行非常緩慢，需要較長的停留時間來使水中固體顆粒有足夠時間沉降底部而去除，因此通常會以大型的水池來完成水中固體顆粒的沉降，而此即為沉澱池。

常見的可為長方型或圓型，長方型通常用於砂礫的去除(或稱為沉砂池)，而圓型沉澱池則通常用於混凝膠凝後所產生膠羽物質的沉澱去除。

理想沉澱池條件如下：

- 1、為單顆粒沉降。
- 2、進流、出流與池中水流為均勻。
- 3、分為進流區、出流區以及污泥區。
- 4、固體在進水區均勻分佈。
- 5、固體接觸到污泥區即視為去除。

假設一個長方型的理想沉澱池體積為 \bar{V} (m^3)，其長度為 L (m)、寬度為 W (m)、高度為 H (m) (不包括進出水區)，若進流水流量為 Q (m^3/hr)，水流向斷面流速為 V (m/sec)，顆粒沉降速度為 V_s (m/sec)，示意圖如圖 4-7 所示。

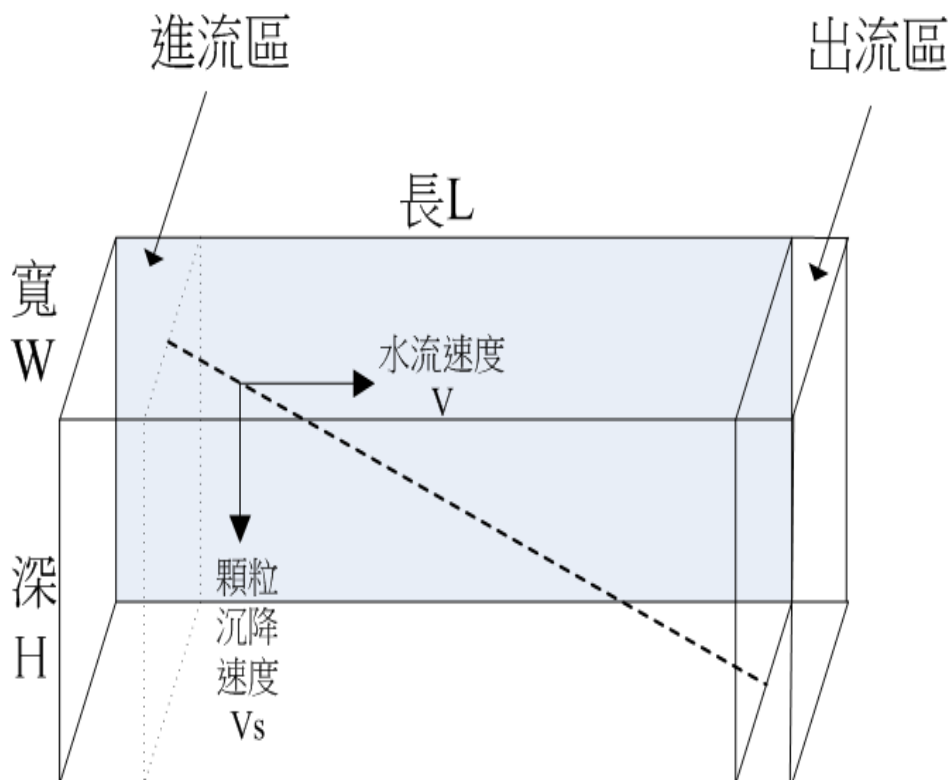


圖 4-7 理想沉澱池示意圖

則水流斷面流速 $V = \frac{Q}{H \times W}$

又水力停留時間 $HRT = \frac{L}{V} = \frac{L \times H \times W}{Q} = \frac{\bar{V}}{Q}$

顆粒所需沉降時間 $t = \frac{H}{V_s}$

則最後可被去除的顆粒其所需沉降時間恰等於水力停留時間，即 $t = HRT$ ，故可得到

$$\frac{H}{V_s} = \frac{L \times H \times W}{Q}$$

因此

$$V_s = \frac{Q}{L \times W} = \frac{Q}{A_p} = \text{溢流率}$$

其中 A_p 為沉澱池的上部表面積。

因此一理想沉澱池其固體去除率與表面溢流率，水力停留時間與池深 H 有關。

由上推測可知目前 W18 回收水系統流程如圖 4-6 所示因 W18 緩衝槽進流量過多，曝氣時間過短，槽體容量不足，造成汙泥沉澱效果不彰，應降低進流量。

要降低進流量需改變目前調整槽，檢視目前緩衝槽配置，將原本並聯入水配置變更為串聯入水配置，目前回收水系統之緩衝槽為並聯入水配置變更為串聯入水配置如圖 4-8 所示，改善緩衝槽進流量過多，曝氣時間過短，槽體容量不足，造成汙泥沉澱效果不彰的缺點。

調整槽改善前 W18 緩衝槽進流量 500 CMH，溢流率為 $61 \text{ m}^3/\text{day}$ 如表

4-10 所示，調整槽改善後 W18 緩衝槽進流量 250 CMH，溢流率為 $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 數據如表 4-11 所示，其中溢流率由 $61 \text{ m}^3/\text{day}$ 下降至 $28 \text{ m}^3/\text{day}$ 已經符合設計標準，標準的緩衝槽溢流率 $20\sim 30 \text{ m}^3/\text{day}$ 。

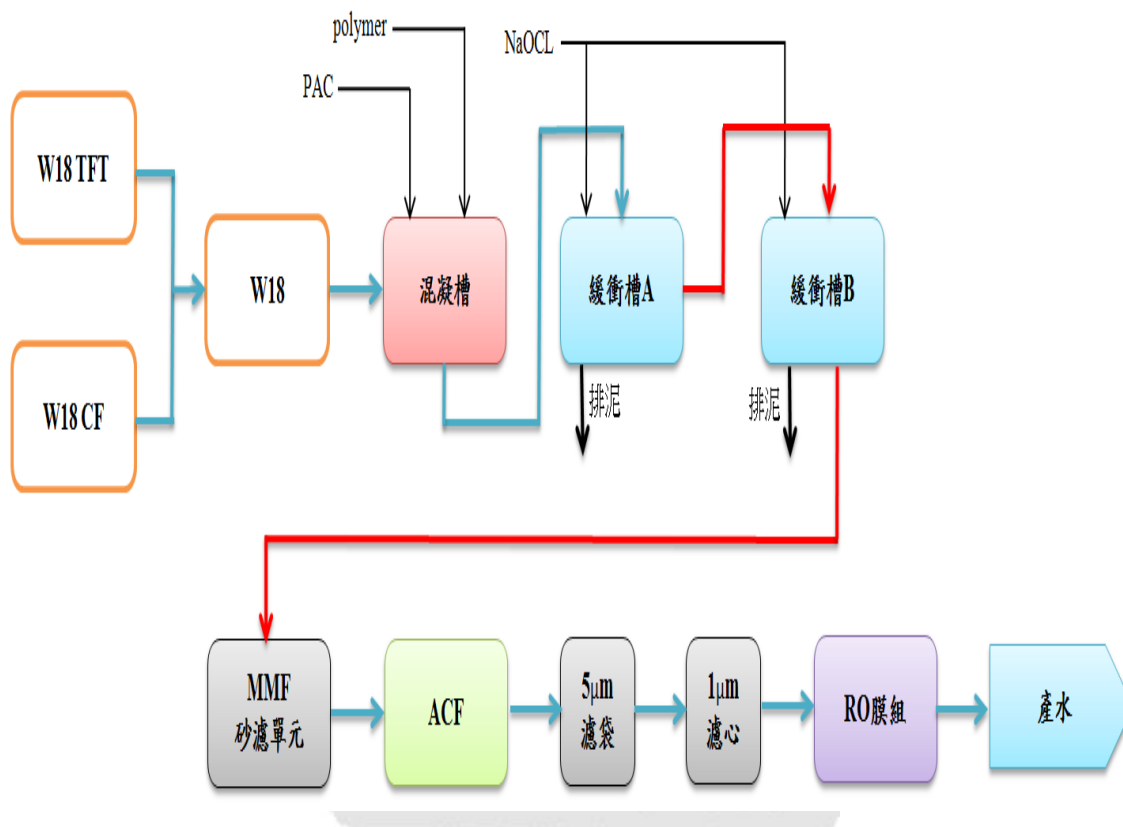


圖 4-8 高有機廢水回收系統流程(緩衝槽管路修改)

表 4-10 原緩衝槽數據

設備項目	數據
處理水量	500 CMH
面積	216 m ²
高度	4.5 m
體積	970 m ³
溢流率	61 m ³ /day

表 4-11 改善後緩衝槽數據

設備項目	數據
處理水量	250 CMH
面積	216 m ²
高度	4.5 m
體積	970 m ³
溢流率	28 m ³ /day

4-2-5 增加 RO 膜清洗效果

RO 膜構造如圖 4-10 所示從上面開始分別為分離功能層(RO 膜)、支撐層(UF 膜)以及基材(不織布)的 3 層構造如圖 4-11 所示。RO 膜孔徑大小約 0.5 nm~0.7nm，支撐層有約 10 nm 的孔隙。螺旋式 RO 膜管規格如表 3-3 所示，膜管組裝始將 2 片 RO 膜背對背中間放入滲漏載體，讓膜跟膜中間有空間讓濾液流動，此一片稱為 Leaf。將許多 Leaf 組合即為 RO 膜管(Bartels, C.R.M. Wilf, K. Andes and J.Iong., 2005)。

4-2-5-1 RO 膜阻塞問題

RO 膜阻塞如圖 4-12 R 所示是 RO 膜過濾程序所面臨的主要問題，阻塞會造成膜壓上升、通量下降，同時影響出水水質，此研究案例即是因為 RO 膜阻塞導致通量下降 75%，嚴重影響 W18 回收水系統運轉，阻塞會產生以下問題(馮育澤, 2012)。

- 1、增加過膜壓力，消耗更多能源。
- 2、增加藥洗頻率，運轉成本上升。
- 3、降低 RO 膜使用壽命。

RO 膜阻塞會受進水的特性、膜性質、系統操作與前處理等的影響，因此 RO 膜阻塞控制可從這些方向著手，當 RO 膜阻塞至一定程度時就需要藥洗，適當的藥劑可以有效清除阻塞物質使通量回復。RO 膜清洗可分為 2 種，一種是以進流水快速通過膜表面，此種方式稱為 Flush 僅能沖走表面沉積

物質。另一種為加入化學藥劑依一定清洗程序清洗，清洗的藥劑可分為 6 大類，鹼液、酸液、金屬螯合劑、界面活性劑、氧化劑及酵素等。

4-2-5-2 RO 膜阻塞分類

依阻塞物質特性可分成 4 大類：(Chen K. L. and M. Elimelech. , 2011)

1、鹽類結構

一般鹽類結晶為 CaCO_3 、 CaSO_4 、Silica 等。

2、顆粒性及膠體性阻塞

如有機性蛋白質、多醣體等，無機性鋁鐵顆粒、氧化鐵等。

3、溶解性有機物吸附

有機物會附於 RO 膜上形成有機物阻塞。

4、生物阻塞

為原水微生物附著於 RO 膜上生長，微生物會形成生物膜造成 RO 膜阻塞。

因回收水 RO 膜阻塞狀況嚴重，現行藥洗條件(NaOH 0.15% + 24hr 藥洗)無法有效提升產水量，為提升藥洗效率，故有發展新藥洗藥劑及手法之必要性需求，主要目的為回復 RO 膜產水通量，延長 RO 膜使用壽命。

4-2-5-3 RO 膜清洗技術實驗

於之前成大實驗得知，W18 回收系統 RO 膜有清洗效果的主要為 NaOH ，此次實驗主要以不同濃度之 NaOH 搭配 NF 膜清潔劑 (Na-DSS；十二烷基的鈉鹽)進行測試(馮育澤，2012)。

1、實驗條件

條件如表 4-12 所示。

表 4-12 RO 膜清洗技術實驗條件

藥劑品名	pH 範圍	溫度	浸泡時間	Flush 時間
0.15%NaOH+0.03%Na-DSS	12~12.5	25°C	24hr / 48hr / 72hr	6 hr
0.15%NaOH+0.06%Na-DSS	12~12.5	25°C	24hr / 48hr / 72hr	6 hr
0.15%NaOH	12~12.5	25°C	24hr / 48hr / 72hr	6 hr
0.03%Na-DSS	12~12.5	25°C	24hr / 48hr / 72hr	6 hr

2、實驗步驟

(1)清理前產水流量確認。

(2)加藥清洗。

(3)浸泡 72hr。

(4) Flush。

(5)清理後產水流量確認。

3、實驗數據

實驗數據換算公式如下

$$\text{去除率} = (\text{清理前產水流量} - \text{清理後產水流量}) \div \text{清理前產水流量}$$

4、實驗結果如圖 4-9 所示。

(a)阻塞物去除率，隨浸泡時間增加而增加。

(b)Na-DSS 濃度增加，阻塞物去除率亦增加

(c)Na-DSS 需搭配 NaOH 一起使用，效果更好。

(d)阻塞物去除率最佳為 0.15% NaOH + 0.06% Na-DSS 這一組。

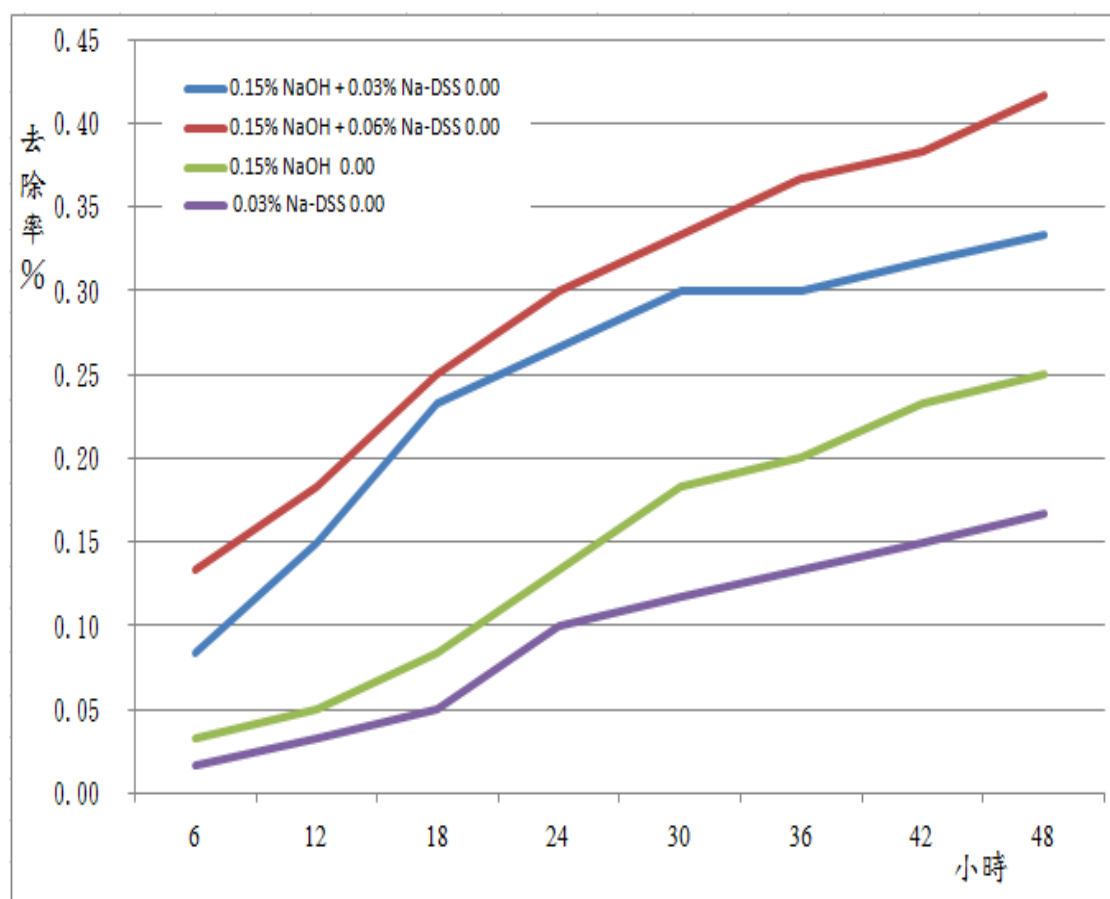


圖 4-9 RO 膜清洗技術實驗數據

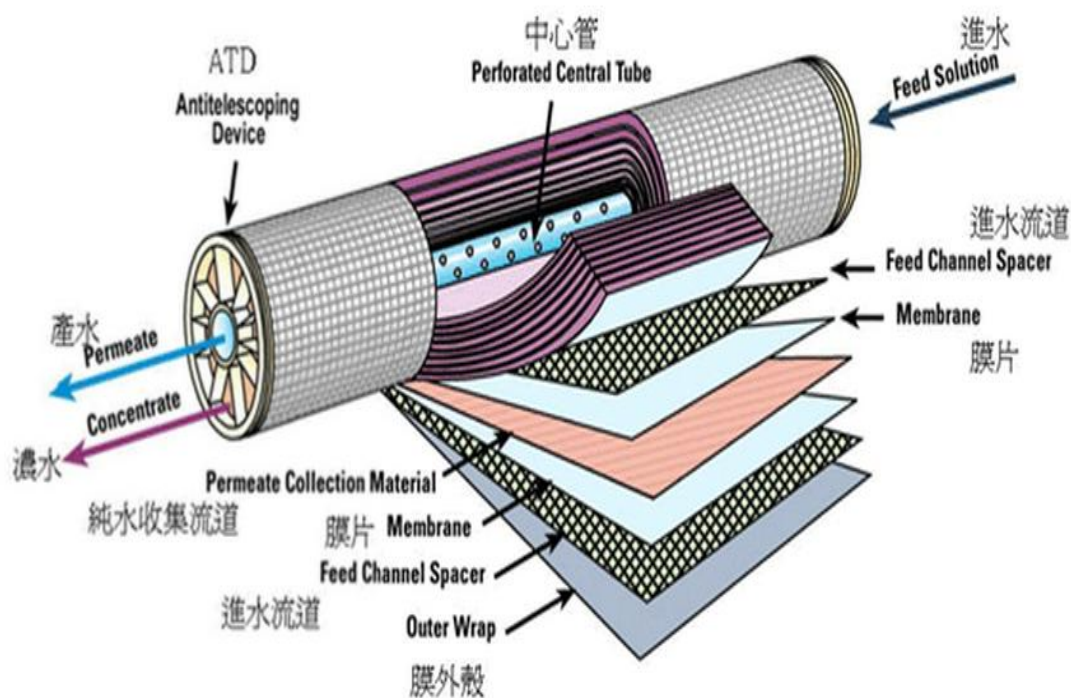


圖 4-10 RO 膜管解剖圖

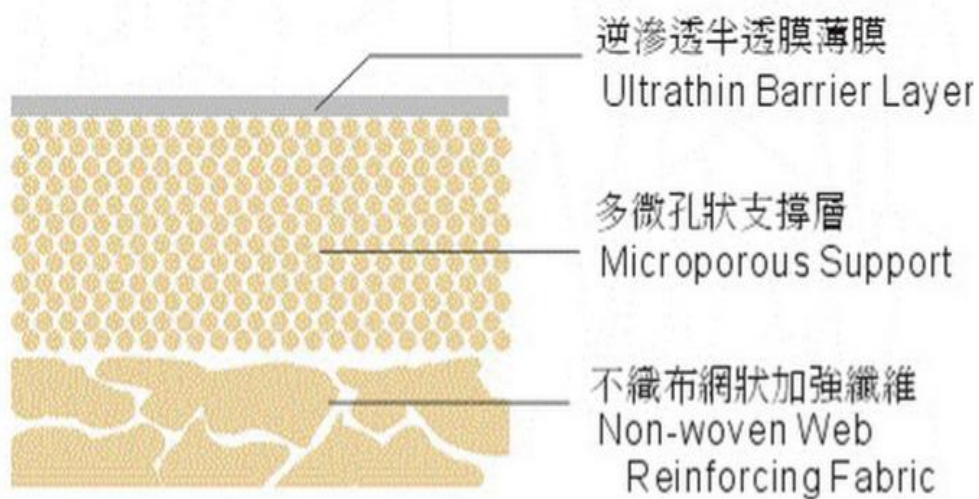


圖 4-11 RO 膜內部構造圖

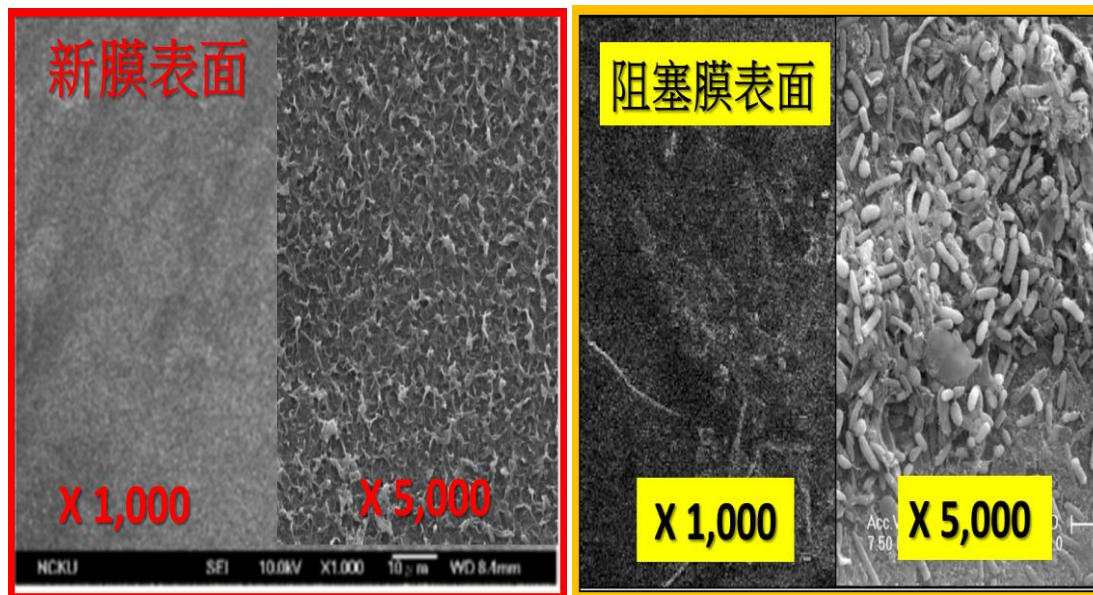


圖 4-12 RO 新膜與阻塞膜比較圖



4-3 最佳化運轉

本研究為利用高有機回收水系統運轉產生之問題加以研究，並經專家研討後確認系統改善方向及改善技術，經實地改善高有機回收水系統的流程或運轉方式後，確認高有機回收水系統最佳化運轉策略，提高系統運轉效率及提升回收率。

於研究結果中可看出原本回收系統如圖 1-4 所示，經最佳化後之最佳化高有機回收水系統如圖 4-13 所示，於流程上差異有以下幾點：

1、By pass 生物處理系統(bio-polisher)，改善 0.5 μm 濾袋及 0.1 μm 濾心阻塞，可減少更換頻率由 7 天延長至 30 天，RO 膜藥洗頻率由 10 天延長至 30 天，RO 膜回收率上升至 81%。

2、新增活性炭過濾床(Activated carbon filter bed；ACF)，對於回收系統的 NPDOC 非氣提溶解性有機碳有 60 % 去除率，而對濁度也有 53 % 去除率。

3、混凝槽增加 Polymer 添加管路，使用陽性 Polymer (型號:065)，可形成大膠羽且沈降快速。

4、緩衝槽增加 NaOCl 添加管路，緩衝槽內增加足夠 NaOCl，保持水中約 0.1 ppm 餘氯，即可有效抑制生物滋長，降低後段處理系統(MMF、Filter、RO) 阻塞頻率。

5、緩衝槽管路由並聯改為串連方式，改善後緩衝槽進流量由 500 CMH 下降至 250 CMH，溢流率由 61 m^3/day 下降至 28 m^3/day 已經符合設計標準，標準

的緩衝槽溢流率 20~30 m³/day。

原回收系統回收率及水質，經最佳化高有機回收水系統去除有機物及有機物阻塞後回收率及水質如表 4-13 所示，回收率上升 38%，TOC 下降 90%，NPDOC、濁度皆有下降，運轉費用上因為最佳化高有機回收水系統取消生物處理系統(bio-polisher)減少運轉費用 6.95 元/m³，減少生物阻塞情況減少更換濾心濾袋的次數減少運轉費用 0.06 元/m³，但因增加了活性碳過濾床單元增加運轉費用 0.29 元/m³，最佳化高有機回收水系統運轉費用為 5.11 元/m³ 如表 4-14 所示，較原回收系統運轉費用如表 1-4 所示減少 6.72 元/m³。

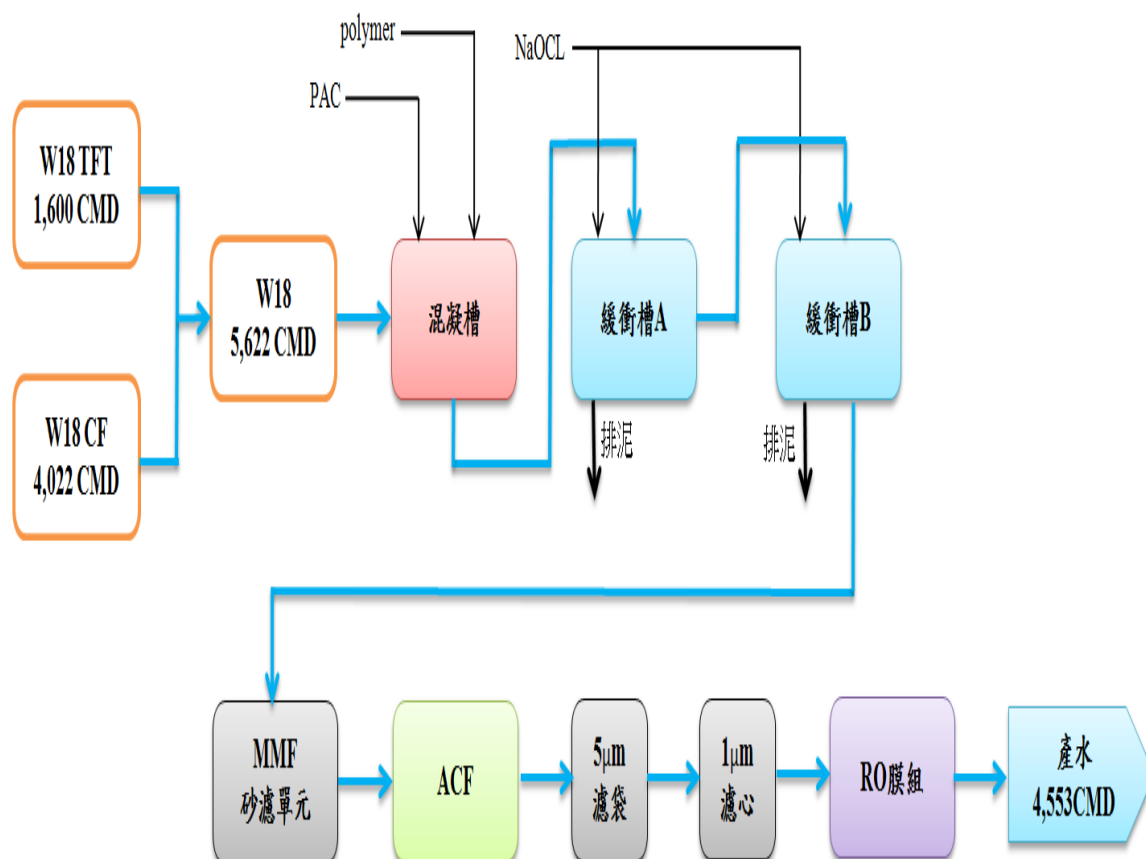


圖 4-13 最佳化高有機廢水回收系統流程圖

表 4-13 最佳化高有機回收水系統回收水水質

檢測項目	改善前檢測數據	改善後檢測數據
回收率(%)	43	81
pH	4~9	6~9
TOC(mg/L)	50~100	<5
導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<300	<50
Temp($^{\circ}\text{C}$)	22~27	22~24
NPDOC(mg/L)	7.9	3.15
濁度(NTU)	2.45	1.16

表 4-14 最佳化高有機回收水系統運轉費用

運轉成本	生物處理 單元 (元/m ³)	活性碳過濾 單元 (元/m ³)	RO 單元 (元/m ³)	合計 (元/m ³)
電費	0	0.29	3.5	3.79
藥品費	1.3	—	0.004	1.3
汙泥處理費	—	—	—	0
濾袋/濾心	—	—	0.02	0.02
總費用	1.3	0.29	3.52	5.11

備註：

生物處理單元：共 2 組；容積 166 m³；添加 PAC、Polymer、NaOCl 等藥品。

活性碳過濾單元：共 1 組；容積 11 m³ 需使用加壓泵過濾。

RO 單元：前置過濾有 0.1μm 濾心及 5μm 濾袋；RO 藥洗需添加 NaOH；RO

單元共有三套需使用加壓泵。

第五章 結論與建議

5-1 結論

本研究經實廠實際進行高有機回收水系統運轉改善，得出以下幾點結論：

1、系統最佳化後，RO 過濾單元阻塞程度降低，RO 膜藥洗從 7 天一次延長至 30~40 天一次，系統回收率也提高，RO 膜藥洗後通量回復程度也較好，而 0.5 μ m 濾袋及 0.1 μ m 濾心更換頻率也從 7 天一次延長至 16 天一次，這些改善都降低系統操作成本，使系統運轉更具經濟效益。

2、系統最佳化後，成功控制阻塞程度的原因，主要為取消生物處理系統 (bio-polisher)，減少進流水入回收系統後所含的溶解性有機物質及小分子之有機廢棄物，經生物處理系統(bio-polisher)內微生物分解成分子大的有機物所造成的生物阻塞，且 0.5 μ m 濾袋及 0.1 μ m 濾心前新增的活性碳過濾床單元對系統有機物吸附及降低濁度亦有很大的貢獻。

3、RO 膜藥洗新技術開發，將 RO 膜藥洗程序及藥洗藥劑種類及濃度制度化，將 RO 膜藥洗妥善率由 25% 上升至 87%，每年可節省藥洗成本約 300 萬元。

4、最佳化高有機回收水系統流程，可採用混凝膠凝 + 沉澱調整 + MMF + ACF + RO 此系統架構，實廠運轉測試 TOC 去除率 >90%，水回收再利用率 >80%。

5、最佳化高有機回收水系統流程提高廢水回收的效率至 81%，回收水量增加

達 2,103 CMD，實驗廠自來水使用量由 7,883 CMD 減少至 5,780 CMD，自來水使用率降低 26%，用水使用成本降低 52,575 元/天，每年可節省 19,189,875 元/年。



5-2 建議

1、高有機回收水雖直接使用於純水系統仍有許多爭議，但回收水的水質比冷卻水塔補充水水質如表 1-6 所示更佳，建議完全可以替代自來水作為冷卻水補充水使用(已於實驗廠執行)。

2、因廢水回收會因每個廠的時空背景不同，回收成本亦會有所不同，本實驗廠位於科學園區內，科學園區每排放 1m^3 廢水就需再補充 1m^3 的自來水，故每回收 1m^3 廢水的效益等於節省自來水費+節省廢水處理費= $12.7+12.3=25$ 元/ m^3 ，如果廢水回收系統的運轉成本低於 25 元/ m^3 是有投資效益，可考慮規劃廢水回收再利用，建議增設回收水系統或修改系統前，先評估該廠廢水回收系統可能運轉成本，以增加業者的投資意願。

3、高有機回收水系統內主要產水單元為 RO 單元，若能在 RO 單元前再增加 MBR 單元(薄膜生物反應器 (Membrane bioreactor, MBR))增加有機物去除效率，RO 單元產水效果是否可有效提昇，是一個值得再深入研究的問題。

文獻回顧

1. Bartels, C.R.M. Wilf, K. Andes and J.Iong. “Design considerations for wastewater treatment by reverse osmosis.” *Water Science and Technology*, 2005.
2. Bonnellye, V. M. A. Sanz, J.-P. Durand, L. Plasse, F. Gueguen and P. Mazounie “Reverse osmosis on open intake seawater: pre-treatment strategy.”, 2004.
3. Beltran F. J. Gonzales M. and Gonzales J. F.” *Industrial wastewater advanced oxidation. Part 1. UV radiation in the presence and absence of hydrogen peroxide*”, 1997.
4. Benefield L. B. and Randall C. W. “Biological Process Design for Wastewater Treatment.” *Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1980*.
5. Chen K. L. and M. Elimelech. “Fouling and cleaning of RO membranes fouled by mixtures of organic foulants” *Ang, W.S.A. Tiraferri, 2011*
6. Dawson R. N. and K. L. Murphy. “Factors Affecting Biological Denitrification in Wastewater.” *Advance in Waste Pollution Research Vol. 11, Pergamon Press, Oxford, 1973*.
7. David”魚骨圖、因果圖與問題解決思考流程” *產業策略評析 科技產業資訊室, 2007*.
8. Greenlee, L. F. D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot and P. Moulin “Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today’s, 2009.
9. Yang, H. L. C. Huang and J. R. Pan “Characteristics of RO foulants in a brackish water desalination plant.” *Desalination 220(1-3), 2008*.
10. 友達光電網頁”TFT-LCD 製程簡介” 友達光電, 2015.
11. 石濤”環境化學” 鼎茂圖書出版有限公司, 2000.

- 12.何鴻哲”工業廢水化學處理常見問題與對策-含衍生之空污防制” 網路文章,萬能科技大學,2011.
- 13.李明勳”面板廠製程剝離液廢水回收再利用技術探討” 碩士論文,國立成功大學研究所, 2014.
- 14.台灣 Wiki”關鍵成功因素分析法” 台灣 Wiki 百科分類, 2013.
- 15.林獻銘”工廠淨水常見問題與對策” 簡報,吉麒科技股份有限公司,2012.
- 16.林正欣、王東垣”廢水回收處理系統在彩色濾光片廠之應用” 泰興工程顧問公司.
- 17.財團法人環境與發展基金會”產業別節水技術分享” 用水效能提升輔導說明會,經濟部工業局,2014.
- 18.產業情勢 液晶顯示器(LCD) 業產業經濟, 2000.
- 19.黃志彬”高科技工業廢水處理操作效能提升研析,第一屆高科技工業環保技術及安全衛生學術及實務研討會論文集”, 2002.
- 20.黃淑君”不織布薄膜反應槽好氧生物分解 TFT-LCD 製程有機廢水程序功能及生態變化之研究” 碩士論文,國立成功大學研究所, 2006.
- 21.張漢昌”環境污染防治” 文京圖書有限公司, 1997.
- 22.馮育澤”TFT-LCD 製程廢水回收系統薄膜阻塞問題研究” 碩士論文,國立成功大學研究所, 2012.
- 23.經濟部工業局”經濟部工業局 100 年度專案計畫期末執行成果報告” 經濟部工業局, 2011.
- 24.楊偉甫”台灣地區水資源利用現況與未來發展問題” 網路文章,財團法人中技社,2011.
- 25.廖威智”薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD) 製程有機廢水處理與回收再利用之研究” 碩士論文,國立交通大學研究所, 2012.