

讓產業生命泉源生生不息

# 廢水回收處理系統在彩色濾光片廠之應用

林正欣、王東垣/泰興工程顧問公司

廢水回收工程在近年來已成為光電半導體廠在水資源回收的重要工作，由於電子產業廢水種類複雜，對於處理水質的特性掌握尤其必要，適當的廢水分類才能獲得回收系統之穩定性。本文將以彩色濾光片(Color Filter)廠廢水回收設計為討論依據，探討廢水分類、特性及廢水可回收性，並根據實廠運轉結果，分析回收處理系統的各單元功能，進一步說明電子業廢水回收之入水水質需求、處理流程設計、設備選擇、配置方式及操作參數的選擇。

## 一、前言

廢水回收處理工程是半導體廠水資源再利用工作上極重要的一環，不論是晶圓廠或是光電廠，純水廠需求水量約佔全廠用水量的 60%~70%。若將使用過的純水輸送至廢水處理廠，以及經過一連串的处理流程後，卻未加以回收而排放掉，對現今各廠區惜水如金的情形而言，是最不樂見的現象。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，其回收率應可達全廠廢水量 70%以上。回收後的水，可當作工業用水再次循環使用，站在廢水減量及資源再利用的立場而言，此項工作是值得投資及應該予以重視的。

## 二、廢水入水水質需求及處理流程設計

彩色濾光片廠的製程廢水分類如表 1，台灣與日本在分類名詞上有所差異，但實質意義則相同。茲說明廢水特性如下：

1. 酸鹼廢水(日本：低濃度有機廢水)：此類廢水主要為玻璃機板清潔、各製程中末段水洗廢水，除製程廢水外，尚包含公用系統之超純水系統反洗再生排水及冷卻水塔濃縮水。
2. 含鉻廢水（日本：酸性廢水）：此類廢水為鉻蝕刻之廢液及水洗廢水。
3. 有機廢水（日本：高濃度有機廢水）：此類廢水為顯影、剝膜廢水及含清潔劑之廢水（含染料）。
4. 回收水：此類廢水主要為玻璃機板清潔及各製程末段水洗廢水( 未含清潔劑 )。

▼ 表 1 台灣與日本彩色濾光片廠廢水分類

分類		質量	
台灣	日本	化學需氧量	離子種類
酸性/腐蝕性廢水	低有機廢水	<30ppm	陽離子：鈉離子，鉀離子，鈣離子，鎂離子 陰離子：氯離子，硫酸鹽，碳酸氫根
含鉻廢水	酸性廢水	<10ppm	六價鉻
有機廢水	高濃度有機廢水	>1000ppm (含染料廢水)	陽離子：鈉離子，鉀離子 陰離子：碳酸氫根，碳酸根
回收水	一般廢水	<5ppm (不含清潔劑)	陽離子：鈉離子，鉀離子 陰離子：碳酸氫根

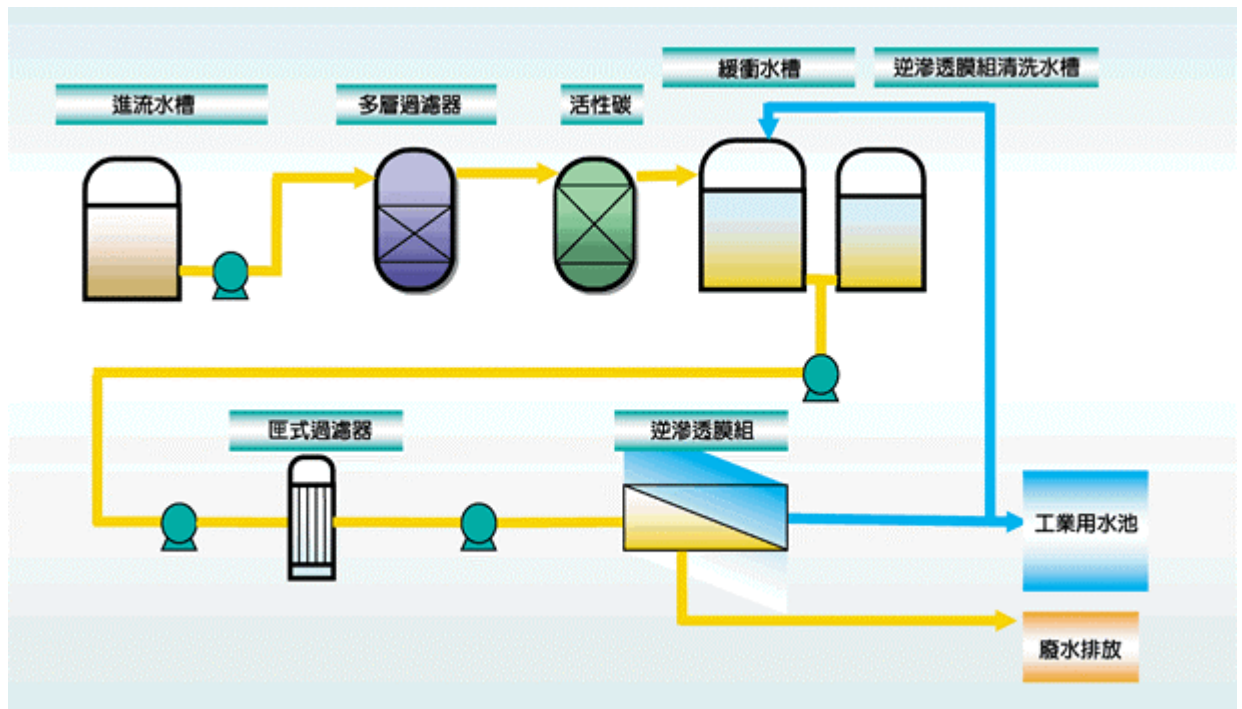
由廢水之性質來看，有機廢水、含鉻廢水在特性上，較不易經由簡易處理就可達到回收水質的入水需求，因此較不具回收價值。至於製程機台使用過而排放的較潔淨純水，即回收水(DI water Reclaim)，現均予以回收、處理後再利用，該回收再利用的技術係屬高級處理流程，在本文中不加以詳述。至於酸鹼廢水及一般性廢水的混合水，基於水資源或放流水排放量之限制，有回收再利用的價值，該類廢水當作回收來源是最適當的。表 2 為典型彩色濾光片之酸鹼廢水之水質，主要離子種類為鈉離子、鉀離子、鈣離子、鎂離子、氯離子、硫酸鹽、碳酸氫根，其中鈉離子、鉀離子、碳酸氫根主要來自於製程，鈣離子、鎂離子、氯離子、硫酸鹽則大部分來自於公用系統之排水，而濃度最顯著之離子則為鈉離子、氯離子。其他水質資料二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)濃度約為 30mg/L、總有機碳(TOC)為 7mg/L，在處理程序設計上必須一併考慮。而處理程序設計另重要考慮因數為處理後之目標水質，一般建議廢水回收處理後水質以自來水為目標。

▼ 表 2 彩色濾光片廠酸鹼廢水水質分析

水質項目	單位	廢水水質	目標水質
酸鹼值		9.55	7.85
導電度	$\mu$ S/cm	1062	310
氯鹽	mg/L	167.36	6.03
硫酸鹽	mg/L	23.91	68.3
氫碳酸根	mg/L	--	90.28
硝酸鹽	mg/L	--	0.62
鈉離子	mg/L	189	17.6
鉀離子	mg/L	3.6	1.55
鈣離子	mg/L	--	37.52
鎂離子	mg/L	--	7.7
二氧化矽	mg/L	39.36	6.48
P鹼度	mg/L	94.8	--
M鹼度	mg/L	226.83	--
總硬度	mg/L	26.91	--
濁度	NTU	4	--
懸浮固體物	mg/L	8	--
總有機碳	mg/L	7	4

在進出流水質決定後，必須進一步考慮廢水回收率，以目前廢水回收技術，回收率 70%左右是較合理且穩定的，至於整個酸鹼廢水之合理回收量，則必須對整個污水廠放流水水質做評估，因回收之結果會造成濃縮效應，放流水之水質濃度會提高，回收水量應以不影響廢水排放為依歸，一般建議酸鹼廢水回收率為 40~50%。根據表 1 之廢水水質資料，規劃設計回收處理系統如圖 1，包括：多層過濾器(Multi Medium Filter，以下簡稱 MMF)、活性炭塔(Active Carbon Filter，以下簡稱 ACF)、卡夾式過濾器(Cartridge Filter)及逆滲透膜組，處理產水量 22m<sup>3</sup>/h (528 CMD)，處理後可達供自來水標準，並當作工業用水使用。

▼ 圖 1 彩色濾光片廠廢水回收系統流程圖



以下茲將廢水回收處理系統各處理單元分述如下：

#### 1. 前處理系統(Pre-treatment system)

前處理系統主要為去除原水中所含懸浮固體(Suspended solid)、部份有機物及抑制細菌生長，以避免逆滲透膜組遭懸浮固體及細菌阻塞，其處理單元包含多層過濾器(Multi Medium Filter)及活性炭塔(Active Carbon Tower)：

##### (1) 廢水緩衝槽

利於對進水水質採樣分析，調整進水 pH 及導電度，以減輕對後段活性炭塔及逆滲透膜組的影響。

##### (2) 多層過濾塔

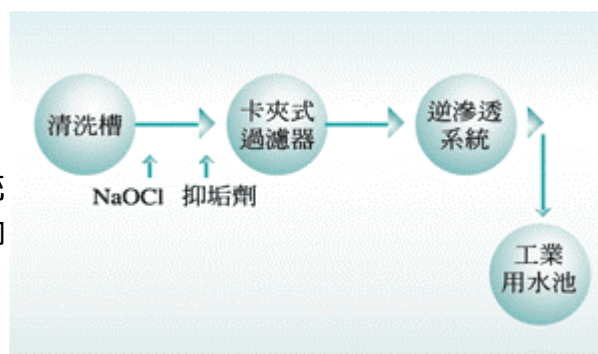
以石英砂及無煙煤濾材過濾進水中的細石、泥砂及鐵銹等顆粒物質，以減輕其後活性炭塔及卡夾式過濾器濾心的負荷。

##### (3) 活性炭塔

以活性炭濾材吸附進水中的有機物質，以降低水中總有機碳(TOC)及化學需氧量(COD)，減緩逆滲透膜表面發生有機質污塞的可能性。

## 2. 主處理系統

主處理系統主要為去除水中大部份無機離子、部份有機物及前處理系統漏出之懸浮微粒。其處理單元包含抑垢劑加藥、卡夾式過濾器(Cartridge Filter)及逆滲透膜組：

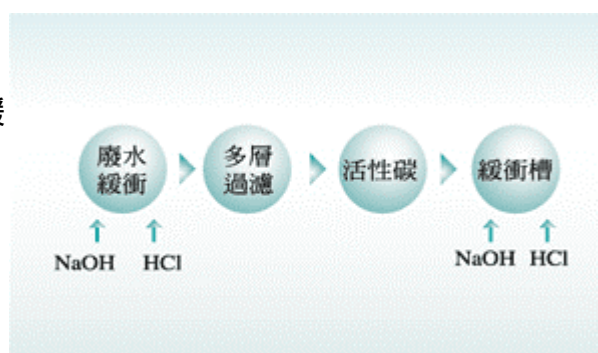


### (1) 抑垢劑加藥

利用抑垢劑抑制逆滲透膜表面發生結垢和有機污垢，同時也能有效減緩膠體及生物污垢（Bio-fouling）的發生。

### (2) 卡夾式過濾器

逆滲透系統主要是由高壓泵和逆滲透膜組（Module）所組成，附屬組件如壓力表、流量計等，為了避免逆滲透膜組的水流通道被堵塞（Plugging）及異物流進泵浦內造成馬達過載，在高壓泵之前裝置卡夾式過濾器（或稱快速過濾桶）是必要的，濾心的孔徑以  $5\ \mu\text{m}$  為佳。



### (3) 逆滲透膜組

逆滲透膜組採用 FLUID SYSTEM ROGA HR 醋酸纖維膜，二段式，回收率 70%。

## 三、廢水回收系統設備及操作參數的選擇

### 1. 多層過濾器

採用圓筒型儲槽方式設計，儲槽材質以碳鋼加上焦油環氧樹脂塗裝，多層過濾塔的操作程序分為「產水」、「逆洗」及「順洗」等 3 個步驟。「逆洗」的作用為鬆動石英砂及無煙煤，使懸浮物及沉積之雜質脫離濾材，逆洗水由濾材底部進入而由上方流出。順洗的作用為壓密濾材因逆洗所造成的鬆動，並將殘留在濾材中的雜質沖洗出來，以避免產水初期流入其後的過濾設備，適當的逆洗頻率視原水水質而定，通常設定為每日逆洗 1 次。石英砂及無煙煤濾材每年至少應更換 1 次，以維持過濾水的水質。

## 2. 活性炭塔

採用圓筒型儲槽方式設計，儲槽材質以碳鋼加上橡膠內襯，活性炭過濾塔的操作程序分為「產水」、「逆洗」及「順洗」等 3 個步驟。「逆洗」的作用為鬆動活性炭濾材，使懸浮物及吸附之雜質脫離活性炭顆粒，逆洗水由濾材底部進入而由上方流出。順洗的作用為壓密活性炭濾材因逆洗所造成的鬆動，並將殘留在濾材中的雜質沖洗出來，以避免產水初期流入逆滲透系統，適當的逆洗頻率視原水水質而定，通常設定為每日逆洗 1 次。活性炭濾材每半年至少應更換 1 次，但如進水中的有機物質含量較高時，可能導致活性炭濾材提前失效。

## 3. 抑垢劑加藥

薄膜系統應用於廢水回收，必須特別注意積垢(Fouling)問題，因此在薄膜之選擇及前置加藥必須經過特別之設計，本系統選擇之薄膜為抗氯性高之醋酸膜，操作上可作前置加入次氯酸鈉，以避免薄膜之生物積垢，而其他積垢問題可利用抑垢劑或調整回收率來克服。

## 4. 逆滲透膜組

系統設計所用的逆滲透膜組是屬於醋酸纖維素 ( Cellulose Acetate, CA ) 材質的螺旋捲式膜組，與純水系統所使用的膜組材質相去甚遠，其建議操作條件範圍如表 3。

雖然在逆滲透系統前加裝前處理設備及注入抑垢劑可以減緩逆滲透膜表面發生結垢和有機污垢的程度，但要完全避免則幾乎不可能。因此當逆滲透系統清洗系統之設計非常重要。

▼ 表 3 逆滲透膜組操作條件

### 四、廢水回收系統操作結果及維修改善措施

#### 1. 操作結果

操作壓力	< 600 psi	耐氯性	1 ppm 以下
操作溫度	< 40 °C	酸鹼值	4 ~ 6
淤泥密度指數(SDI)	< 5	濁度	< 1 NTU

廢水回收系統運轉結果如圖 2，導電度進流水在 2000  $\mu$  S/cm 以下，處理後水導電度約在 200  $\mu$  S/cm，而進流 pH 隨製程排放及純水系統再生步驟不同，變化很大，經過 pH 調整及逆滲透處理後，產水 pH 在 5 左右。詳細處理水水質資料如表 4，系統運轉後出水水質皆優於自來水水質要求，可直接補入工業用水池回收再利用。

## 2. 系統檢討

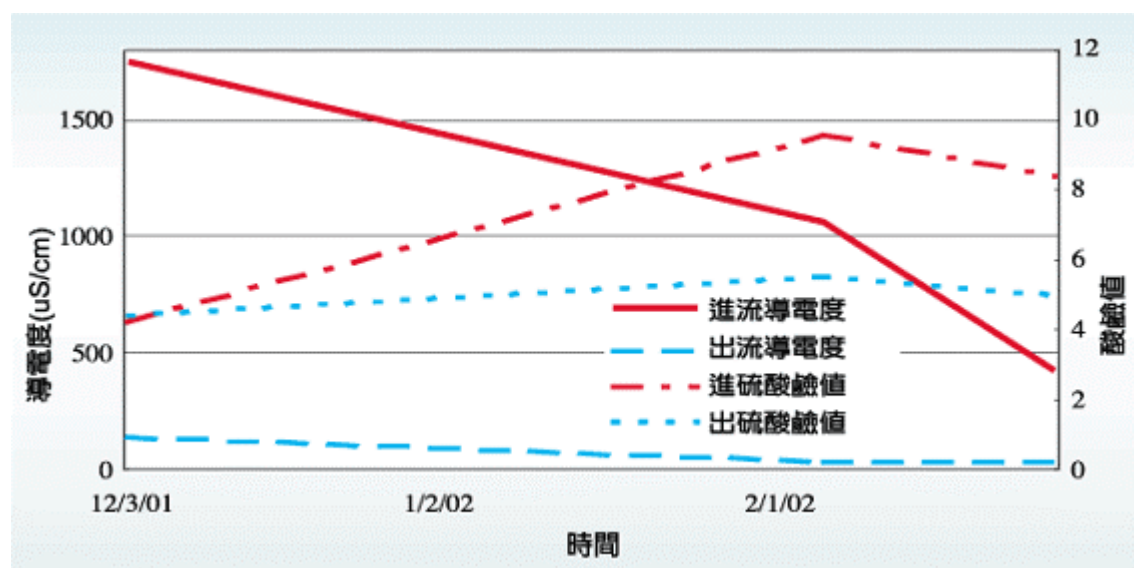
### 廢水調勻槽之酸鹼控制

廢水處理系統的調勻槽，常因排放廢水之變化產生極酸或極鹼的狀況，例如純水系統的樹脂再生步驟，大量的酸鹼廢液及污染物離子排入酸鹼廢水槽中，當作廢水回收水來源，系統入水水質 pH 的變化會呈現 2~11 的巨幅振盪，離子濃度也急速上昇，對系統的操作判定上都會造成很大的困擾。雖然在廢水處理系統的調勻槽多會裝設酸鹼加藥設備，但是為了確保系統穩定起見，應在廢水調勻槽安裝酸鹼加藥設備，先行調整酸鹼值。

### 卡夾式過濾器

卡夾式過濾器內使用的濾心為孔徑  $5\ \mu\text{m}$  的紡繞式深層濾心，不可改用顆粒物質濾除效率較差的繞線式濾心，以避免顆粒物質堵塞逆滲透膜組的水流通道。當深層濾心初期使用時，入、出口的壓力降約為  $0.1\sim 0.2\ \text{kg}/\text{cm}^2$ ，當壓力降增加至  $0.5\ \text{kg}/\text{cm}^2$  時即應更換濾心，如增加至  $1.0\ \text{kg}/\text{cm}^2$  以上時，應立即停機檢查。

▼ 圖 2 回收水處理水質趨勢圖



### 逆滲透膜組

當逆滲透膜組發生以下的情形時，必須立即停機並清洗逆滲透膜組：

- (1)入、出水口壓力降比初始值增加 10% ( $2.5\ \text{kg}/\text{cm}^2$ ) 以上時。
- (2)產水量比初始值下降 10% 以上時。(由於逆滲透膜組的產水量會隨進水溫度變化，故產水量須校正為 25 時的流量)

(3) 出水導電度超過目標水質導電度時。

逆滲透膜組清洗的程序首先為讓膜組浸泡在清洗液中，浸泡的時間依膜組污塞的程度而定，從 1 小時（輕微污塞）、6 小時（中度污塞）至 12 小時（嚴重污塞），浸泡的時間愈久清洗的效果愈佳。為了維持清洗液的溫度以增加清洗的效果，在浸泡的過程中可以啟動清洗泵並調整節流閥的開度，使循環流量維持在約 4,000 升/小時左右。清洗液的溫度愈高清洗的效果愈佳，但須注意不可使清洗液的溫度上升至 35 以上，以免破壞逆滲透膜的化學結構。浸泡之後為「快洗」的步驟，快洗時循環流量應維持在 40,000 升/小時左右，時間為 30~60 分鐘，之後打開進水電動閥再啟動加壓泵，以進水將清洗液押出逆滲透系統，洗淨押出的時間約需 10 分鐘，被押出的清洗液先流至廢水收集桶，再以泵抽取至廢水處理系統。

▼ 表 4 回收系統處理後水質分析

水質項目	單位	水質
酸鹼值		5.54
導電度	$\mu$ S/cm	31.1
氯鹽	mg/L	9.61
硫酸鹽	mg/L	0
碳酸氫根	mg/L	--
硝酸鹽	mg/L	0.37
鈉離子	mg/L	6.1
鉀離子	mg/L	0.2
二氧化矽	mg/L	2.7
P 鹼度	mg/L	--
M 鹼度	mg/L	8.43
總硬度	mg/L	0
濁度	NTU	0.5
菌落數	群/ml	0
餘氯	mg/L	0.5
懸浮固體	mg/L	--
總溶解固體	mg/L	23
總有機碳	mg/L	1.4



清洗劑通常分為無機清洗劑及有機清洗劑兩大類，無機清洗劑主要用於清洗逆滲透膜表面的結垢物（碳酸鹽及硫酸鹽）及金屬氧化物，而有機清洗劑則主要用於清洗顆粒物、膠體、微生物黏泥及有機污染物。關於無機清洗劑及有機清洗劑的清洗順序，建議先使用有機清洗劑清洗逆滲透膜組，若清洗效果不佳，再用無機清洗劑清洗。

### 控制盤面上常見異常狀況排除

控制盤面在系統操作有異常狀態時，會有警報訊號(alarm)響起，列出較常見的異常訊號的成因及處理方式如表 5：

▼ 表 5 系統常見的異常狀況及處理方式

訊號及現象	可能原因	處理方法
水源不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 緩衝桶缺水</li> <li>● 進水電動閥關閉</li> <li>● 過濾器濾心堵塞</li> <li>● 過濾器內有空氣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 關機等待</li> <li>● 打開進水電動閥</li> <li>● 更換濾心</li> <li>● 打開排氣閥讓空氣排出</li> </ul>
逆滲透壓力過高	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 調壓閥開度太小</li> <li>● 逆滲透膜組堵塞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 增大調壓閥的開度</li> <li>● 清洗逆滲透膜組</li> </ul>
逆滲透壓力無法調高	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 節流閥開度太小</li> <li>● 過濾器濾心堵塞</li> <li>● 快沖電動閥未關閉</li> <li>● 快沖電動閥無法關閉</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 增大節流閥的開度</li> <li>● 更換濾心</li> <li>● 關閉電動閥</li> <li>● 更換或修理電動閥</li> </ul>
馬達過載	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 泵內有異物</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 檢查送修</li> </ul>
逆滲透產水量下降	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操作壓力降低</li> <li>● 進水溫度下降</li> <li>● 逆滲透膜組結垢</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 減小調壓閥的開度</li> <li>● 適度調高操作壓力</li> <li>● 清洗逆滲透膜組</li> </ul>
產水導電度上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 排水量太小</li> <li>● 逆滲透膜組結垢</li> <li>● 進水水質不良，例如pH或導電度等超出設計範圍</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 調大排水量</li> <li>● 清洗逆滲透膜組</li> <li>● 檢驗進水水質</li> </ul>

## 結語

穩定而經濟之廢水回收技術是目前電子業所迫切需要的，尤其在新竹科學園區近幾月遭遇甘旱之後，更顯現出節約用水與水回收的重要性，水資源單位應透過政策輔導電子業者及水處理系統廠商，進行相關水回收技術研究發展，讓產業發展與節水技術並行，以因應水資源問題限制電子產業之發展。

## 作者簡介

林正欣 先生

台灣大學環工博士，曾任職於工業技術研究院節水服務團，現任職於泰興工程顧問公司資深環境工程師。

專長：半導體廠務規劃、工廠節水規劃設計、超純水及廢水處理，薄膜系統應用技術。

王東垣 先生

淡江大學環工碩士，現任職於泰興工程顧問公司資深環境工程師。

專長：半導體廠務規劃、氣體供應設計、水純化及污染處理。