

含生物難分解有機物放流水再生規劃-以石化產業放流水為例

# 石化廢水回收再生節流減廢效益兼具

盧文章、楊子岳/工研院能資所水資源室

全國國土及水資源會議明訂「工業用水平均回收率應由現行 31% 提升到 65% 以上」，若要將目前之工業用水平均回收率提升到 65% 以上，除了製程用水循環或再生利用、提高冷卻水濃縮倍數、回收鍋爐排水與收集冷凝水、逆滲透系統濃縮液再利用、尋找替代水源（如雨水與中水之回收利用）等等之外，未來之可能節水空間即為將工廠大量排放水予以回收再利用，唯有此方法可大幅提高回收率。至目前為止，逆滲透程序被視為最快速且有效之回收程序，然以逆滲透程序進行管末廢水回收再利用時，常遭遇的困難即為難分解性有機物所造成薄膜表面之吸附阻塞及其濃縮廢液無法排放等問題。因此，本篇以石化產業放流水為例子，對富含生物難分解性有機物之放流水產業，依據其放流水特性，經由實際測試分析探討，並以逆滲透作為再生主要程序，提出完整之回收方案（包括前處理、濃縮液處置及回用點評估等），達到廢水回收再利用之目的。

## 一、簡介

環境保護在台灣已伴隨經濟發展而受到相當之重視，新興工業之增加也使工業用水量快速提昇，水資源合理利用已成為國家施政重點。鑑於國內水資源缺乏問題日益嚴重，帶來民生或工業發展上種種困擾，因此開源、節流、回收與防污等為解決水資源不足問題之四大方向，產業界在水資源匱乏情況下，及污水排放費提高之政策，已逐漸思考排流水回收再利用之可行性，並尋求節省製程用水或實施效率用水管理。因此將來產業界在廢水處理流程中，除了使放流水水質能達到環保署 87 年排放標準外，並考慮投資更高級之廢水處理設備，使放流水得以回收再利用，進而達到減少污水排放費，同時減少水權費或即將提高的水費。

### 1. 薄膜程序

薄膜程序運用於水處理已日趨普遍，其中較為常用之薄膜程序包括逆滲透 (Reverse Osmosis, RO)、超過濾 (Ultrafiltration, UF) 及微過濾 (Microfiltration, MF)，這些薄膜程序皆以壓力為驅動力 (driving force)，並利用薄膜孔徑大小或薄膜表面之特性進行溶劑與溶質之分離，以達處理或純化水質之目標，表 1 為各薄膜程序可去除之物種 (Weber, 1999)。

▼ 表 1 各薄膜程序可去除之物種

| 薄膜程序 | 平均薄膜孔徑大小 (nm) | 目標污染物   |
|------|---------------|---|
| MF   | 200           | 懸浮固體物、濁度、致病菌(Cryptosporidium, Giardia, bacteria)。 |
| UF   | 2-50          | 大分子有機物、病毒、膠體、蛋白質。                                 |
| NF   | <2            | 色度、有機農藥、金屬離子。                                     |
| RO   | <1            | 溶解物體物、硝酸根、放射性物核種。                                 |

### (1) 微過濾與超過濾

微過濾(MF)主要是以孔徑大小來分離水中之懸浮固體物質，微過濾之薄膜孔徑大小通常在 0.05  $\mu\text{m}$ ~5  $\mu\text{m}$  之間，因此對於水中較大之懸浮粒子及微生物有去除之效果，通常 MF 薄膜程序之操作壓力介於 30~300 kPa 之間，屬低壓之薄膜程序。MF 通常被使用於去除懸浮固體物及微生物(microorganisms)，根據 Letterman(1991)研究顯示，經 MF 處理後之濾液，對於 2  $\mu\text{m}$  以上之粒子有 99% 以上之去除效果，其濁度小於 0.1 NTU；Olivieri(1991)等以 0.2  $\mu\text{m}$  之 MF 處理飲用水，可去除約 15%的有機物(Total Organic Carbon/TOC)，Yausa (1998) 研究以混凝單元配合 MF 薄膜程序，應用於飲用水之處理，對於濁度有相當的去除效果。另外 MF 配合逆滲透程序於飲用水處理，可增加整系統之處理效率，在生活污水回收處理上，也有研究報導(Sadr Ghayeni, 1996)。

超過濾(UF)之過濾機制與 MF 相同，主要為篩除機制(sieving)，其薄膜孔徑較 MF 略小，操作壓力在 50~700kPa 之間。

超過濾技術發展之初乃應用於移除水體中之粒子(particulates)或較大分子物種(macromolecular materials)；然而發展至今，超過濾程序之應用範圍包含化學製程(chemical processing)(如超純水)、食品製程(Food processing)(如 cheese 提煉或果汁濃縮)及生化科技(如酵素濃縮)。

在飲用水處理上，應用 UF 程序，可減少致癌性(三鹵甲烷)消毒副產物前驅物(precursor)，提升飲用水之水質，並且亦可降低水中之致病菌，提升飲用水之安全性(Schimmoler, 1995)，UF 程序於飲用水處理之目的乃針對降低水中有機物或消毒副產物及提昇系統處理效能，降低飲用上之風險。UF 程序在工業製程方面，由於近幾年半導體業(semiconductor)及電子業(electronics industries)蓬勃發展，所需之製程水水量及水質之需求相對提高，UF 薄膜程序經常作為超純水系統之最後一道防線，移除超純水中之微量微生物或微粒子，以確保超純水純度，其重要性不可言喻。在廢水處理應用上，如在汽車烤漆工業，利用 UF 回收高價值之染漆原料(屬濃縮液)，又可利用潔淨的過濾液潤洗烤漆成品，如此不但減少原料

使用，又可節省用水。UF 程序也應用在污泥減量上，可減少污泥最終處置之問題。

## (2) 逆滲透

薄膜程序(Reverse Osmosis)於廢水回收主要面臨薄膜阻塞之問題，逆滲透被視為薄膜回收主要單元，根據國內外研究顯示，薄膜程序於水處理上主要阻塞物(foulants)包括微粒子、膠體物質、有機物、氧化物、微生物及無機鹽類，而工業廢水處理上，人工合成有機物、微生物、蛋白質及膠體粒子是造成阻塞的主要物種(Takizawa, 1996)。當 RO 薄膜於操作中遭受到各式物種阻塞時，對於薄膜有不同之影響，表 2 為常見 RO 薄膜經常面臨之各式阻塞及其解決之道。一般而言，對於有機物或微生物所造成的阻塞以氫氧化鈉、EDTA、次氯酸鈉即可有效清除，阻塞物以無機鹽類為主時，酸系溶液(如硫酸、檸檬酸及鹽酸)為良好的清洗藥劑，此對於控制薄膜阻塞扮演重要的角色。

▼ 表 2 阻塞物對 RO 之影響及對策

| 阻塞物                             | 物種描述   | 對RO之影響   | 對策   |
|---------------------------------|--|--|--|
| 積垢<br>(scaling)                 | 難溶性之無機鹽類沈積於薄膜進流面阻止水流通過。常見物種有：<br>$\text{CaCO}_3$ , $\text{CaSO}_4$ , $2\text{H}_2\text{O}_2$ ,<br>$\text{BaSO}_4$ , $\text{SiO}_2$ 。 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主要降低對鹽類之去除率。</li> <li>2. 升高淨穿透壓。</li> <li>3. 緩慢減少產率。</li> <li>4. 通常發生於末段。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低回收率。</li> <li>2. 調整pH。</li> <li>3. 使用抗垢劑。</li> <li>4. 酸洗或含EDTA溶液清洗。</li> <li>5. 針對矽化物以鹼洗化或氯系溶液。</li> </ol>   |
| 膠體<br>(Colloidal<br>clays/silt) | 懸浮固體物沈積於薄膜進流端表面。有： $\text{SiO}_2$ , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,<br>$\text{Al}(\text{OH})_3$ , $\text{FeSiO}_3$ 。                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 快速填塞淨穿透壓。</li> <li>2. 減少產率。</li> <li>3. 減少去除率。</li> <li>4. 通常發生於前段。</li> </ol>       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 進行前處理。</li> <li>2. 降低回收率。</li> <li>3. 增高離子強度。</li> <li>4. 電荷穩定化。</li> </ol>  |
| 微生物                             | 形成生物膜(biofilm), 包括：<br>細菌、微組織(micro<br>algae)、真菌類。   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主要降低產率。</li> <li>2. 降低鹽類去除率。</li> <li>3. 可能增加淨穿透壓。</li> <li>4. 緩慢地發生。</li> </ol>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加入<math>\text{NaHSO}_3</math>。</li> <li>2. EDTA系之鹼性溶液清洗。</li> <li>3. 移除活性碳濾床。</li> <li>4. 間斷性加入<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>或<br/>peracetic acid。</li> <li>5. 次氯酸鈉。</li> </ol> |
| 有機物                             | 聚電解質、油脂(oil,<br>grease)、腐植質(humic<br>substance)、高分聚合物<br>(polymer)。  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 快速且主要造成產率降低。</li> <li>2. 鹽類去除率緩慢增加。</li> <li>3. 穩定緩慢地造成淨穿透壓之增加。</li> </ol>           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 粒狀活性碳(GAC)過濾。</li> <li>2. Isopropanol 或<br/>proprietary溶液清洗。</li> <li>3. NaOH化學清洗。</li> <li>4. 次氯酸鈉。</li> </ol>  |

## 2. 石化產業排放水

石化產業在上、中、下游的工廠種類多且製程複雜，所產生之廢水種類複雜也具相當地污染性或毒性，不利於較為經濟的生物處理。以 PTA(1,4-benzene dicarboxylic acid)製造業為例，由於下游人纖業之快速發展，聚絲、尼龍絲、加工絲之產量達世界第一(1991~1998)，因而促使 PTA 大量製造，然而卻產生苯甲酸(benzoic acid, BA)、對苯二甲酸(Terephthalic acid, TA)等苯環類有機物之廢水大量產生，以傳統生物處理此類廢水之成效有限，需高級處理如高級氧化程序加以配合處理，造成處理技術的困難度的增加。然而石化廢水在處理上並非全部需礦化成二氧化碳及水，因廢水成分中有些具有經濟性的物種，如：高分子乳膠，礦化成無機物實為可惜，應可加以回收利用，且相當具有回收的價值。因此有效地處理石化產業產生的廢水或加以回收再利用，將是石化產業未來在環保課題上，必須面臨的課題。

### (1) 石化產業廢水水質來源與特性

石化工業產生的廢水一般來說可分為一般廢水及製程廢水。一般廢水包括製程區、儲槽區、公共區與空地等廢水。製程區的廢水則以冷卻水為主，此水質多含大量之鹽類或聚電解質，有時則含些許之油份。儲槽區污水來源主要為清洗儲槽之廢水，此廢水性質含多量之油份。公用區之廢水主要為公共設施排出之廢水，含多量之懸浮固體物；空地之污水以雨水為主。製程廢水為製程中含進料或反應產物之廢水稱之。製程廢水之性質則因不同原料(進料)，經不同反應下而產生各式廢水，高分子工業常產生之毒性污染物通常以 Aromatics 或 Phenol 等物種較為常見。石化產業廢水中常含有許多毒性污染物(priority pollutants)，這些污染物常會影響污水處理廠的成效好壞，甚至有時會造成污水處理廠之系統異常，在處理上應審慎留意其進入廢水廠濃度高低。除此之外，石化廢水之污染物亦包含酸、鹼、鹽、重金屬、硫化物、油脂類、酚、氰化物及有機溶劑等。

### (2) 石化廢水之處理方法

一般廢水處理廠在整個公司的定位並不高，因此在處理上通常抱著最少的成本達到符合排放之標準的心態，基於此原則下，法規標準及處理成本成為污水處理廠管理者第一考量的因數。因此，如何將廢水處理所需處理成本降至最低，為污水處理廠管理者首重之要務。由經驗得知，廢水的分流處理將有助於廢水的管理，一般石化廢水通常含高量的有機物，因此在處理上，乃依廢水中有機物之

性質加以分門別類，將不適合直接進入生物處理廠之廢水，先行加以處理後，再進入生物處理程序。如：將廢水分成高度污染、中度污染及輕度污染廢水，並加以分流處理，先將有利於廢水回收的水系統，以簡單的物化處理後，回收至次級用水，如此可以減少工廠用水量，對於高度污染的有機廢水，常以 BOD5/COD 之比值作為以耗氧生物處理適用性之判斷，比值高時則適合以耗氧生物處理(一般來說生活污水約為 0.4 ~ 0.8)。若比值低者，則此類之廢水需以通常以厭氧生物處理，或以物理、化學處理程序(如：Advanced Oxidation Processes/AOP)來降低廢水之毒性或提升耗氧性生物之可分解性，之後再以耗氧生物程序處理 (Scott, 1994, Adams, 2000)，如此則可降低以高級氧化直接將有機物礦化成 CO<sub>2</sub> 或水之處理成本。另外，石化廢水廠除含複雜的有機廢水外，若水中含毒性物質或重金屬等，則有如圖 1 所示之下列處理程序分類 (Eckenfenfelder, 1996)。

## 二、石化廠排放廢水回收實廠驗證

### 1. 石化產業試驗廠家簡介

試驗廠址位於中部某石化公司，於本工業區內計有 12 生產工廠。此 12 廠區所產生廢水統一排入該廠石化工程中心之廢水處理廠，並由該中心公用處負責處理各廠區所排入之廢水。此廢水處理廠設計處理流量為 12,804 CMD，其中包含各廠區排出廢水 6,765 CMD、生活污水 2,500 CMD 及冷卻水塔排放廢水 3,539 CMD。處理廠採用二段式活性污泥深層曝氣法，其目的為增加活性污泥之處理效率。經處理廠處理後之放流水水質化學需氧量(COD) < 100 mg/L、懸浮固體物 (Suspended Solids) < 30 mg/L，符合 87 年放流水標準。在放流水回收模組試驗中，此放流水為再生系統之水源。

### 2. 管末廢水回收程序

本管末廢水回收試驗是利用薄膜程序回收排放廢水。主要採用之薄膜為 RO(逆滲透)程序，用來去除水中之有機物及離子，以降低處理後水中之有機物及水中溶解性之物種。因 RO 程序需有良好之前處理，以避免 RO 薄膜嚴重阻塞，影響處理效率，因此評估以修正式線上混凝、MF 及 UF 程序作為 RO 薄膜程序之前處理，以延長 RO 薄膜之使用年限或維持 RO 的處理效率。

圖 2 為管末廢水回收試驗流程圖。處理流程如下：排放水先經修正式線上混凝、MF 或 UF 等程序處理後，再經 RO 薄膜程序處理，而 RO 處理後之濾液即為目標回收水，因 RO 程序處理並非將放流水完全回收，會產生一部份的 RO 濃

縮廢液，然而這些廢液所含之有機物通常不易被生物所分解，且濃縮廢液之 COD 濃度可能高於 COD 放流水管制值 100 mg/L，不可直接放流。因此於本試驗中，預定以高級氧化程序處理濃縮廢液，以提高此濃縮廢液的 BOD5/COD，增加其生物可分解性，以利於將此濃縮廢液回至處理廠之生物處理系統處理，如此則可避免在管末回收產生濃縮廢液無法排放的問題。

### 3. 處理單元

#### (1) 修正式線上混凝

本試驗所設計的『修正式線上混凝法』與傳統混凝不同之處在於本方法之目的為使懸浮微粒聚集成膠羽後，其顆粒只要大到可以被多介質砂濾去除即可。因此設計上所需的快混與慢混時間可以較傳統混凝所需的時間縮短許多。其流程如圖 3 所示。

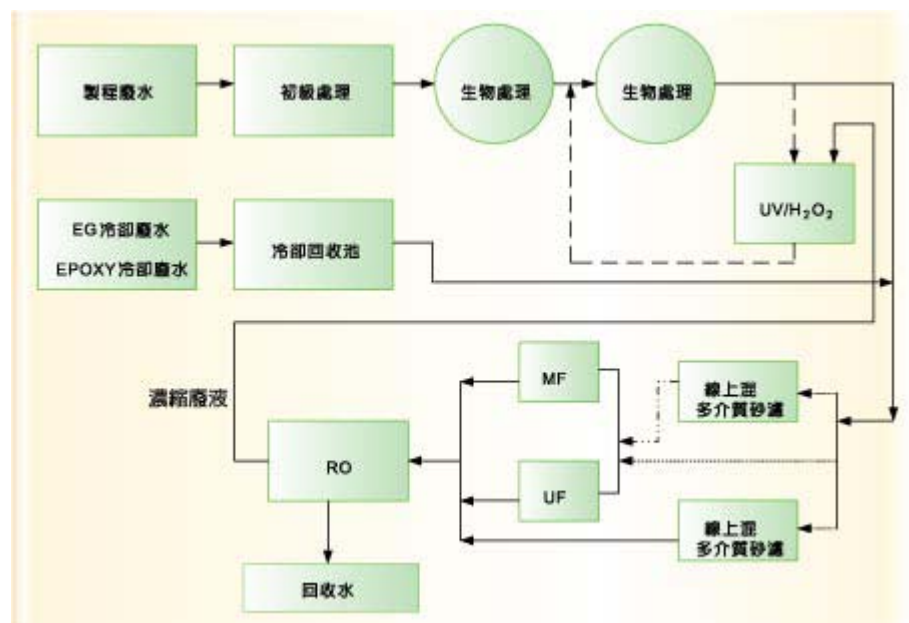


▲ 圖 1 不同物種所適用之處理程序

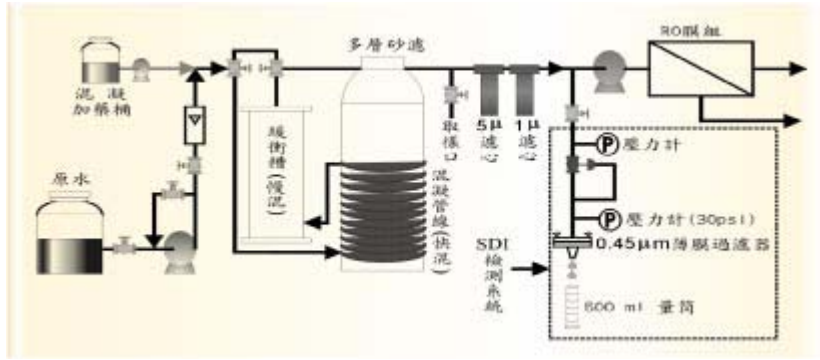
#### (2) 薄膜系統

MF 或 UF 能有效去除水中膠體粒子及大分子有機物，已廣為熟知，然於管末廢水回收處理上，在國內運用並不廣泛。本試驗之第二階段即是評估以 MF 及 UF 作為 RO 前處理的可行性。

本試驗所使用薄膜之基本資料如表 3 所列，實廠架設如圖 4 所示。



▲ 圖 2 廢水回收流程圖



▲ 圖 3 修正式線上混凝模擬系統流程圖

#### 4. 結果與討論

##### (1) 修正式線上混凝

修正式線上混凝法應用於本測試之石化廠排放水回收上顯示，經  $1\mu\text{m}$  過濾後對於濁度之去除率約 40% 以上，對於 COD 之去除並不明顯，顯示此廢水中之有機物不易被混凝而去除；對於 SDI 值之影響中，雖可



▲ 圖 4 現場模組現配圖

降低 SDI 值(圖 5)，但仍無法達到 RO 進流水

之標準( $\text{SDI} < 4$ )，若直接為 RO 程序之進流水，可能造成 RO 薄膜之膠體阻塞。

##### (2) 薄膜程序

在此試驗中，UF 及 MF 程序為 RO 程序之前處理，主要目的在於去除水中的膠體粒子，避免 RO 遭受阻塞，RO 操作中對於膠體微粒濃度之控制常以 SDI 指數表示，一般 RO 進流水 SDI 需小於 4。於模廠測試期間，該廢水綜合處理廠接受各生產工廠所排放水質變異性大之廢水，造成處理後之排放水質變化亦大，於前處理中，MF 及 UF 程序多次遭受阻塞，卻可適時添加次氯酸鈉加以控制，同時經薄膜阻塞物分析後，主要物種為有機物，推測應與生物之多醣體、胞外物與水中多價離子(如鈣 鎂離子)錯合有關，試驗期間，雖面臨數次阻塞，但經 UF、MF 後之過濾水 SDI 皆小於 4，符合 RO 進流水規範，顯示 UF、MF 對於膠體粒子去除效果良好。

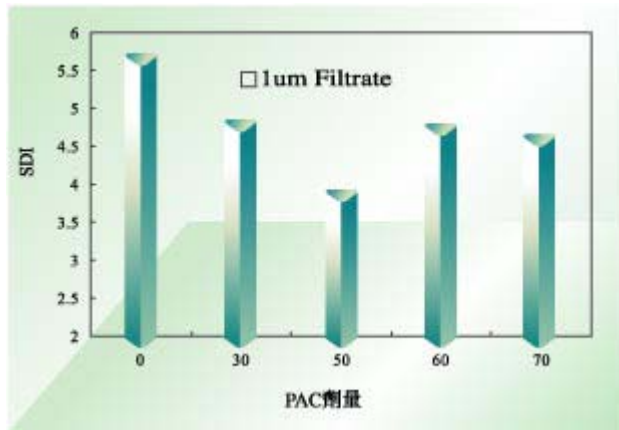
而在 RO 程序中，因有 UF 或 MF 良好之前處理，測試期間出水量並無降低之現象，且產水導電度佳，可證實 RO 於管末排放水回收上確有其可行性。表 4 為各薄膜程序試驗結果。由試驗結果中得知，整系統之回收率(RO 回收水/總進流排放水)約為 45~50%，在此範圍操作下，RO 可順利操作，並無結垢或阻塞的現象，回收水之水質初步評估應可作為冷卻水塔補充水，並優於該廠使用之工業水。對於 RO 前處理程序之選擇上，薄膜材質抗化性之良窳，決定回收程序操作之彈性，此對廢水回收極為重要。

面臨變異性大之排放水水質，MF、UF 經常面臨不同物種造成阻塞，然而選擇抗化性材質優之薄膜可以增加避免薄膜阻塞之對策選擇，尤其在生物處理後之排放水，含大量微生物及生物代謝物，此類物種被視為薄膜主要之阻塞物種，在本試驗中發現，適時添加 NaOCl 可以有效消除有機物阻塞維持 MF、UF 正常運作，若前處理程序選擇抗氧化力差之薄膜材質(如聚丙烯，PP)，則可能降低 MF、UF 操作之彈性，經 MF 及 UF 程序之適用性評估，依據產水耗能及降低 RO 薄膜阻塞程度判斷，顯示 MF 為較適之前處理程序，主要原因在於 MF 能有效降低 RO 阻塞且具有耗能較低之優點。

經 MF 前處理後之濾過水直接進入 RO 系統中，RO 進流水 pH 以硫酸控制在 6.2~6.5 之間，用以防止碳酸鈣積垢，降低 RO 薄膜阻塞之風險。當 RO 操作之水質傳送係數[流量/(膜過濾面積 x 淨驅動壓力)]於 0.027 m/(hr MPa)左右時，並無明顯的阻塞情況發生，顯示廢水經 MF 薄膜處理後，可有效降低 RO 薄膜處理時之阻塞發生。在處理後水質方面，對於溶解固體物之去除率達 93%以上(以導電度去除效果表之，如圖 6 所示)，而 COD 之去除率則略低，在 75~98%之間(圖 7)，此可能與水中物種帶電強度有關。根據 RO 薄膜之去除機制中，RO 對於物種之去除主要以靜電排斥力而去除水中物種，因水中離子帶有正電荷或負電荷，故去除率較高，而廢水中之有機物在 pH 6.2~6.5 之間，可能有部分有機物以分子型態存於水中，因此而降低薄膜對於有機物之去除。

在此廢水回收試驗中，經 MF 及 RO 程序處理後之水質相當良好(表 4)，由表之水質項目初步評估處理後之水質應可回收成為冷卻水之補充水，至於其可行性，需做進一步之探討。





▲ 圖 5 PAC 劑量與 SDI 關係圖

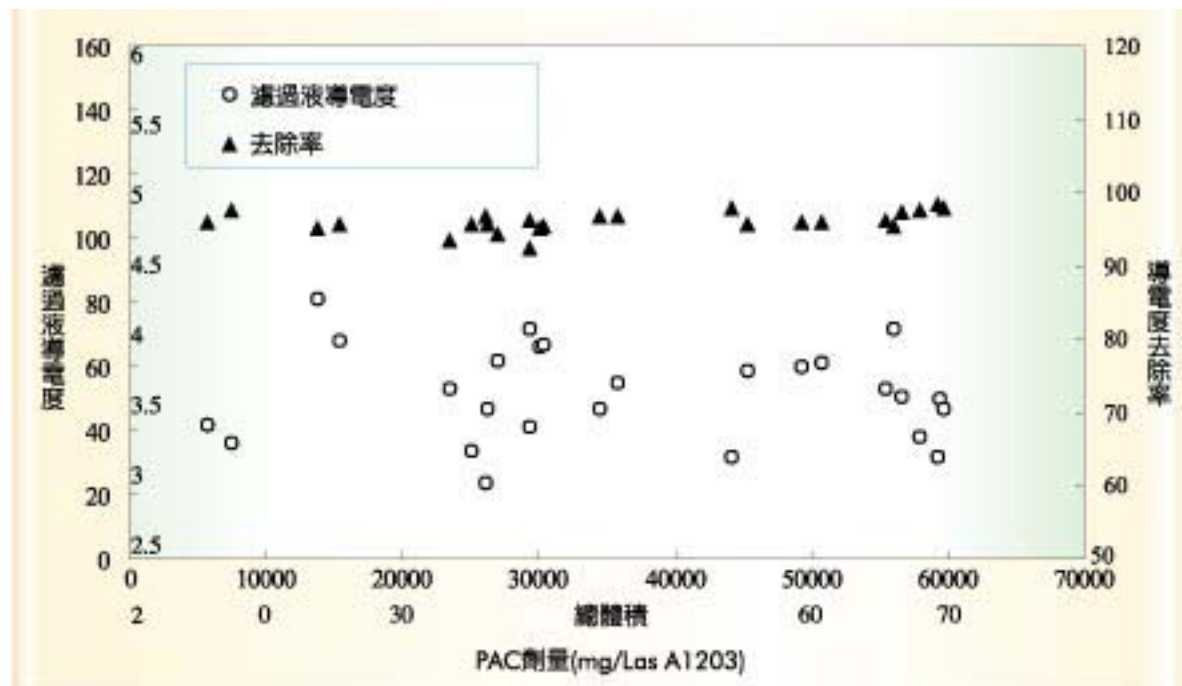
▼ 表 3 使用薄膜基本資料

|                                 | 前處理程序        |                   | 分離程序                 |
|---------------------------------|--------------|-------------------|----------------------|
|                                 | MF           | UF                | RO                   |
| 薄膜廠家                            | Microza      | Daicn             | Dow Chemical Company |
| 薄膜型號                            | USV-3003     | FE10-FUS          | BW30-2540            |
| 薄膜材質                            | PVDF         | Polyether-sulfone | TFC                  |
| 薄膜組件                            | Hollow Fiber | Hollow Fiber      | Spiral Wound         |
| 薄膜有效面積 /Module(m <sup>2</sup> ) | 7            | 5                 | 2.98                 |
| 過濾方式                            | Outside-in   | Inside-out        | Cross flow           |
| 薄膜孔徑                            | 0.1 μm       | 500,000 D         | --                   |
| 最大操作壓力(MPa)                     | 0.3          | 0.3               | 4.1                  |
| 最大溢流濁度(NTU)                     | 15           | 15                | 1                    |
| 設計溢流量(m <sup>3</sup> /hr)       | 0.5          | 3.8               | --                   |
| 最大承受SDI                         | --           | --                | 5                    |
| 最大承受溫度(°C)                      | 40           | 98                | 45                   |
| pH操作範圍                          | 1-11         | 1-13              | 2-11                 |
| 最大自由餘氯承受濃度(mg/L)                | 抗氯性極佳        | 抗氯性佳              | 0.1                  |

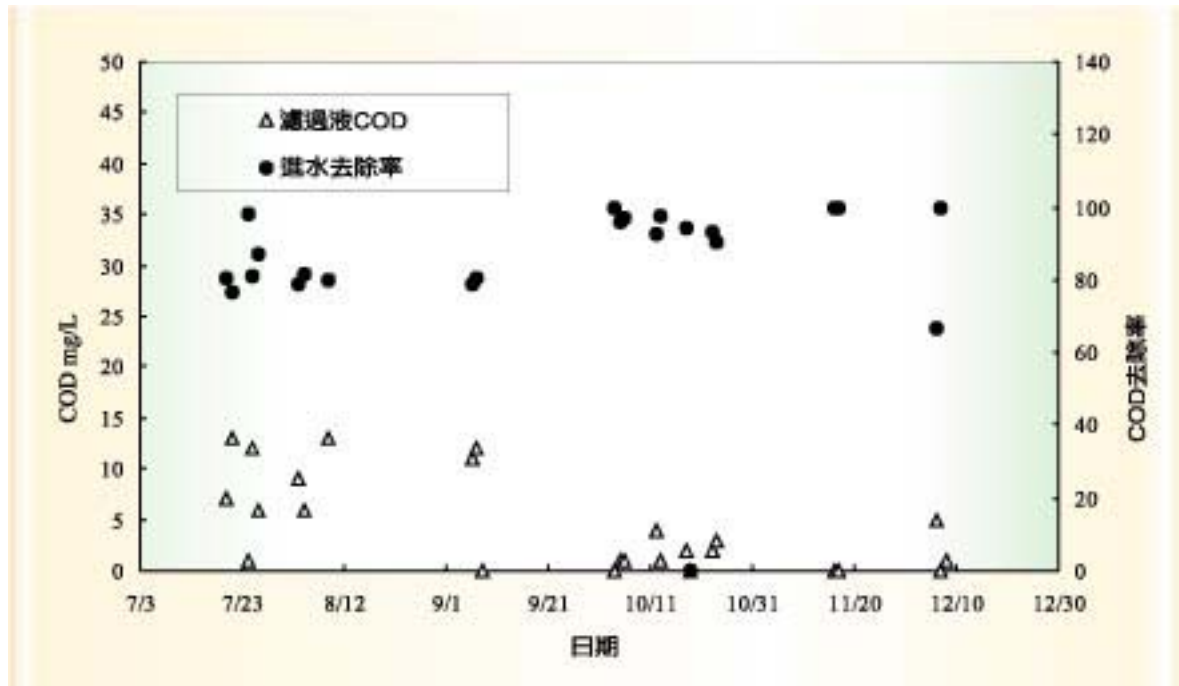
### 三、完整回收規劃建議

以薄膜程序回收排放廢水可得回收水質良好，然卻產生高濃度濃縮液之問題，其主要來源有二：一為 MF 及 UF 產生反沖洗廢液約為總設計處理量之 10%(前處理回收率約 90%)，且含大量之懸浮固體物，另一為 RO 程序產生濃縮液，含高量金屬溶解及有機物種，該廠排放水水質導電度在 900~1400 μS/cm 之間，經 RO 濃縮後，導電度約在 1600~2600 μS/cm，並含有高量之鈣、鎂離子(主要來自冷卻水塔排放水)，在 COD 方面，原水 COD 在 30~70 mg/L，試驗中濃縮後之 COD 約在 50~90 mg/L 之間，雖可直接排放，但當原水 COD 過高或薄膜對有機物種去除率增高時，致使 COD 值超過法規標準，則不容許排放。

針對此回收程序濃縮液處置問題，提出如圖 8 之完整管末排放水回收流程規劃圖，包含 MF、UF 濃縮液及 RO 濃縮液之處理。對含膠體粒子濃度較高之濃縮液，建議以混凝沉澱處理後再與 RO 濃縮液混合，處理上較為簡易。另一 RO 濃縮液因含較高的 COD，且此水質來源為生物處理後之放流水，可被生物所分解的有機物量不高，若直接進入生物處理，被生物所分解之量可能不高，因此，此股水建議先以高級氧化程序 (如：UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>) 以提高水質 BOD/COD 之比值，再回至生物處理單元處理，廢水量約為總處理量之 40~45%，此設計可減少高級氧化初設投資成本(相對於處理總回收水量)，同時，處理時不需將有機物完全礦化成二氧化碳，可減少氧化劑使用量，此完整回收流程可減少在濃縮液在排放之問題。



▲ 圖 6 RO 濾液導電度與去除率



▲ 圖 7 RO 濾液 COD 與 COD 之去除率

▼ 表 4 石化產業水回收實廠測試結果

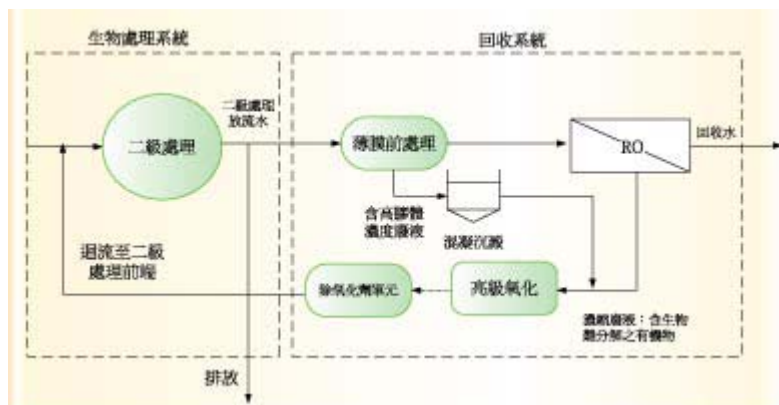
| 薄膜程序      |                         | MF(Asahi)  | UF(Daicen)   | RO1,2(Dow)   |
|-----------|-------------------------|--|--|--|
| 薄膜程序性質    |                         | RO程序前處理  |  | 管末廢水回收主要程序   |
| 程序主要功能    |                         | 去除膠體粒子、顆粒有機物。  | 去除膠體粒子、顆粒有機物、溶解態大分子有機物                                       | 小分子有機物、溶解性離子、溶解性分子。                                  |
| 薄膜型式      |                         | 中空絲  | 中空絲  | 螺旋式  |
| 薄膜材質      |                         | PVDF   | PES  | TFC  |
| 系統回收率(%)  |                         | 90   | 88   | 45~55  |
| 處理後之水質    | SDI                     | 0.5~4  | <1   | --   |
|           | 導電度                     | 不變   | 不變   | <100 $\mu$ S/cm                                      |
|           | pH                      | 不變   | 不變   | 5.6~6.7  |
|           | 總硬度                     | 不變   | 不變   | 去除率>95%  |
|           | COD去除率                  | 1~70%  | 30~62%   | 75~98%   |
|           | 濁度                      | <1   | <1   | <1   |
|           | SiO <sub>2</sub> (mg/L) | --   | --   | <1   |
| 管末排放水回收評比 |                         | 抗氧化性極佳為此薄膜最大優點，可適應變異性大之水質，易於控制微生物生長，並於薄膜化學清洗時限制性較低。經處理後避免RO阻塞。 | 抗氧化性佳，處理後水質優良，對於處理後避免RO阻塞，對有機物去除率高，可略為提昇RO產水率(降低有機物之濃度變化現象)。 | 對於有機物及溶解無機物去除率高，回收水質優良，初步評估可作為冷卻水塔補充水或進一步處理後利用至鍋爐用水。 |

## 四、結論

薄膜程序運用於製程、飲用水或超純水處理已日趨廣泛，本篇提供薄膜程序應用於石化排放廢水管末回收模組實廠測試之實例，並提出完整廢水回收規劃概念，可作為未來「廢水回收」努力之方向。薄膜程序對於各式的物種皆有良好之去除率，但濃縮廢液為排放上限制之一，結合現有廢水處理程序、薄膜程序及高級氧化程序之回收方案，可降低處理成本及提昇處理水之品質，解決供水上之壓力，達到產業永續經營及發展之遠程目標。

石化廢水排放水回收之試驗中，進行試驗有：修正式線上混凝、微過濾、超過濾及逆滲透等試驗程序。試驗期間，架設不同薄膜處理程序，包括：微過濾、超過濾及逆滲透，在試驗廠址進行長時間的模組試驗，並比較各薄膜程序之特性，以深入瞭解薄膜回收石化排放水之可行性。

線上混凝試驗結果顯示，可降低 SDI 值至 4 左右。薄膜模組試驗結果顯示，經微過濾及超過濾處理後之水質，其 SDI 大致上約 3 以下，懸浮固體物或濁度均在偵測極限以下，對於 COD 約有 15% 以上之去除率，此水質並可有效降低逆滲透阻塞，而經微過濾及逆滲透程序處理後之水質，COD 約在 10 mg/L 以下，導電度值小於 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，評估此回收水水質可回收至冷卻水塔，且經處理後之水質更優於當地區所供應之工業用水水質，至於經處理後之回收水，回收至純水系統前，則需再審慎評估。



▲ 圖 8、完整管末排放水回收方案規劃

## 參考文獻

1. Weber, Jr. W. J., and LeBoeuf E. J., (1999) "Processes for advanced treatment of water," *Wat. Sci. Tech.* Vol. 40, No. 4~5, pp.11-19.
2. Schimmoler, L. J., et al., (1995) "Performance of A Flocc Blanket Reactor-PAC-UF System for DOC Removal," In *Proceeding AWWA Membrane Technology Conference*, Reno, Nevada.
3. Letterman, R. D., et al., (1991) "Evaluation of Alternative Surface Water Treatment Technology," Report to New York State Department of Health, Bureau of Public Water Supply Protection.
4. Olivieri, V. P., et al., (1991) "Continuous Microfiltration of Surface Water," *Proceedings of the AWWA 1991 Membrane Processes Conference*, Orlando, Fla., p.385.
5. Yuasa, A. (1998) "Drinking Water Production By Coagulation-Microfiltration And Adsorption-Ultrafiltration," *Wat. Sci. Tech.* Vol.37, No.10, pp. 135-146.
6. Adams, C. D., and Kuzhikannil, J. J., (2000) "Effect of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Preoxidation on The Aerobic Biodegradability of Quaternary Amine Surfactants," *Water Research*, Vol. 34, No.2, pp. 668-672 .
7. Sadr Ghayeni, S. B., Madaeni, S. S., Fane, A. G., and Schneider, R. P., (1996) "Aspects of Microfiltration and Reverse Osmosis in Municipal Wastewater reuse," *Desalination*, vol. 106, p. 25.
8. Takizawa, S. et al., (1996) "Membrane Fouling Decrease by Microfiltration with Ozone Scrubbing," *Desalination* vol. 106, pp. 423-426.
9. Eckenfenfelder Jr., W. W., et al., (1996) "Chemical/Petrochemical Wastewater Management-Past, Present And Future," *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 34, No. 10, pp. 1-7.
10. Scott, K., (1995) "Handbook Industrial Membranes," Elsevier Science Publishers, Oxford, UK.
11. 台灣區石化工業同業公會(1992), 中華民國的石油化學工業。
12. 行政院環保署(1991), "事業廢水之特性調查、管理及處理技術研究(事業廢水處理技術手冊)"。
13. 楊子岳 (1999), "桌上型快速薄膜試驗評估 NF 薄膜程序在表面水處理上之運用" 國立成功大學環境工程學系碩士論文。
14. 張振章 (1999), "染整產業排放水回收再利用技術開發" 經濟部八十八年度科技研究發展專案計畫研究報。
15. 盧文章等人(2000), "石化產業排放水回收技術" 經濟部八十九年度科技研究發展專案計畫研究報。