

極微濾薄膜模廠操作與積垢控制技術之探討

陳重男¹、倪振鴻²、黃財榮³

摘要

本研究以「模型廠試驗」(pilot plant testing)進行極微濾(Nanofiltration; NF)薄膜的操作,並以新竹第一淨水廠為研究場址,作為NF薄膜程序在台灣北部自來水廠之本土化實地研究。本研究參考美國環保署訂定之“Information Collection Rule(ICR) Manual for Bench- and Pilot-Scale Treatment Studies”作為研究設備之參考。流程圖參考圖1。根據ICR Manual對RO及NF薄膜模廠的設計規範,模型廠所需之段數至少二段(2 stages)。每段之壓力槽數在ICR中要求至少要2-1 array,每段壓力槽中可設1~6支薄膜,但至少要有三支薄膜。單段之回收率被每單支薄膜之最小流量所限定,一般在二段式薄膜模廠中為30~50%;系統之回收率在ICR模廠試驗中要求至少75%。本模廠使用之薄膜為Dow Chemical公司所生產之NF-70(Filmtec-4040)薄膜。水質分析方法則主要依照環保署公告之標準檢測方法及美國水及廢水檢測標準方法Standard method 19版(1996)。

本研究主要針對NF膜長時間操作下產生之堵塞(Fouling)問題進行探討,同時評估各堵塞控制技術。探討之技術包括間歇性薄膜沖洗(Flush),管路注入藥洗與薄膜藥洗(Chemical cleaning),並以水質傳係數(Mass Transfer Coeff. Of Water; MTCw)為參考指標,進行薄膜清洗效能之評估。另外,針對不同控制技術下操作可能產生之廢水水質進行分析,以瞭解可能產生之污染效應。本試驗共設計七個試程,其中一至三試程主要測試水洗膜體(flush)與清洗水種類之效能。模廠操作過程中,必須定期將可逆之積垢清除,方可延長操作時程。本實驗得到的結果為水洗膜體(flush)確有其必要性,而其水源的選擇以水廠砂過濾水為佳,間隔時間為30分鐘。動作時間為1分鐘。流程四添加鹽酸使pH值下降、流程五則添加抑垢劑,其功能皆在防止污垢(Scaling)的產生,操作時程分別為41.5、20、38小時,並無發揮其應有功能。流程六中添加焦亞硫酸鈉當作化學式前處理,其去除餘氯之效果良好,顯示使用焦亞硫酸鈉不僅能有效去除餘氯,且其成本較為划算。藥洗膜體的選擇經由流程一至七的實驗結果得知,以0.051M的磷酸和0.025M的氫氧化鈉合併使用為佳,其水質量傳輸係數(MTCw)分別可回復22.38%、19.64%;而磷酸之清洗乃針對無機鹽類和金屬氧化物,氫氧化鈉之清洗乃針對硫化物、無機膠體、砂土、生物積垢、有機物。另外,分析排放水質,其中濃縮液和水洗廢水可符合自來水廠廢水排放標準,而藥洗廢水則不可,但若將三者混合之,則混合廢水可直接排放水體;雖然濃縮液和水洗廢水之SAR可符合農業灌溉用水標準,但三者之導電度均不符合標準,故不能做為灌溉用水。

關鍵詞：極微濾薄膜、模型廠試驗、抑垢劑、水洗膜體、藍氏飽和指標

1. 國立交通大學環境工程所教授
2. 國立交通大學環境工程所博士候選人
3. 國立交通大學環境工程所碩士

一、前言

近年來，由於社會大眾對於飲用水水質的要求逐漸提升與相關法規標準的日趨嚴格，僅靠傳統的淨水程序處理已逐漸感受到不足。一般傳統的處理流程對去除生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand, BOD)、化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD)、濁度、色度與細菌等，大部份雖有一定的效果，但對原水中所含微量之天然有機物 (Natural Organic Matters, NOMs)、農藥及殺蟲劑與金屬離子等有機、無機類污染物質之去除卻極其有限，因此高級淨水程序之開發日益迫切。

薄膜應用於水及廢水處理的有微過濾 (Microfiltration, MF)、超過濾 (Ultrafiltration, UF)、逆滲透 (Reverse Osmosis, RO) 等技術。其中 MF 及 UF 孔徑較大只能截留分子量較大的物質，多用於工業廢水處理及二級處理水再利用方面；而 RO 由於孔徑極小，所需壓力大，操作成本高，故多用於海水淡化及家戶用淨水器。1985 年製造廠商提出一種新發展出來的薄膜技術 --- Nanofiltration membrane，這種新的 NF 薄膜，由於孔徑極為適合去除天然水體中所存在之微量有機物與影響適飲性物質 (如硬度、總溶解固體等)，且薄膜表面有帶電性，可利用離子和薄膜之間靜電的相互作用，去除傳統程序不易處理之污染物，因此目前被廣泛用於國外許多淨水廠之高級處理程序。國內對此一薄膜之研究仍屬萌芽階段，因此，不論是因應未來法規標準之需要，或是淨水處理設備、程序之汰新，發展薄膜程序以應用於自來水處理之高級程序已是日漸迫切。

NF 驅動力量為壓力，且其為介於小孔徑和非孔性薄膜間之薄膜，因為其質傳關係式皆包含溶液擴散與電化學效應，表 1

則為壓力驅動式薄膜之分類與功能。薄膜在操作一段時間後會產生積垢造成水通量下降，而積垢的定義為未經處理過的水中含有之污染物質其經沉降或吸附進入薄膜表面上或其內部 (W.S.Winston HO, 1992)，可初步分類成兩類：

1. 可逆的污垢 (Short-term build-up of Gel/Cake)：可藉由反沖洗 (如：Air blowing) 或 Crossflushing 去除之。

2. 不可逆的污垢 (Long-term deposition) 藉由化學清洗 (Chemical Cleaning) 或更換薄膜 (Membrane Replacement)。

影響積垢的因素有三大點，一為薄膜孔隙度、孔隙大小分佈、表面粗糙度和電荷，且過濾液量對大孔徑的數目非常敏感，因為其會藉由堵塞或吸附使得通量快速下降；二為薄膜本身材質物理和化學的特性，若薄膜為親水性和表面帶電者，則大分子量膠體物質不吸附，具有不積垢特性；三為溶質的大小、電性、天然特性，如膠體、懸浮固體、大分子量溶質、小分子量溶質能阻塞或吸附在薄膜表面。

積垢一般分為兩類：Fouling (薄膜污垢)，包括懸浮物質 (Suspended matter)、膠體物質 (Colloidal matter)、溶解性有機物質 (Dissolved organic matter)、金屬 (Metals) (Fe^{2+} 、 Mn^{2+})、細菌和生物性可分解有機物 (Bacteria & biodegradable organics)；Membrane Scaling (薄膜結垢)，包括碳酸鈣等 (Calcium carbonate)、二氧化矽 (Silica)、硫酸鈣或硫化鈣等 (Calcium sulfate)、硫酸鋇或硫化鋇等 (Barium sulfate)、氟化鈣 (Calcium fluoride)、磷酸鹽等 (Phosphate salts)。

薄膜積垢控制原理及方法根據國外之經驗認為薄膜能成功地長期操作應用在廢水或自來水處理場時必須考慮到以下三個

因素：前處理、系統設計、清洗方式。其中前處理效能對薄膜裝置更有決定性之影響，若不設置前處理設備，幾乎所有的薄膜裝置都會因膜面積垢及惡化而快速的降低操作效能，而前處理裝置的設計，其變因很多，必需因應進水水質及薄膜之特性。而薄膜控制積垢的各種前處理方法如表二所示，在清洗方式上，不同的積垢形式則有不同的清洗藥劑，其考量依據如表三所示。

二、設備與方法

根據 ICR Manual 對 NF 薄膜模廠的設計規範，模型廠所需之段數至少二段 (2 stage)，每段之壓力槽數在要求至少要 2-1 array (就是先兩支並聯，再與一支串聯之型態)，每段壓力槽中至少要有三支薄膜，設 1~6 支薄膜亦可以。單段之回收率被每單支薄膜之最小流量所限定，一般在二段式薄膜模廠中為 30~50%；系統之回收率在 ICR 模廠試驗中要求至少 75%，此外，規範每單支薄膜之表面積，直徑 2.5 英吋的薄膜應有 20 ft²，而直徑 4.0 英吋的應有 80 ft²。而 NF 水的質傳係數則在 0.20~0.50 gfd/psi 之範圍。每單支薄膜飼流水支流率，雖會隨不同的薄膜廠商生產而有所不同，但對直徑 2.5 英吋的薄膜其值應在 0.5~4 gpm，對直徑 4.0 英吋的應在 3~16 gpm。每支薄膜的壓損約在 3 psi；而每段薄膜進、出之壓損則在 5 psi。ICR Manual 中甚至規定 TDS 之去除率，NF 在 30~90% 之間。模廠之設計圖及壓力和流量監測點如圖 1 所示。

三、結果與討論

1. 處理水質

依據第一年的研究證明 NF 具有極佳之去除率，NF 薄膜在系統沒有回流的情況下其對總硬度、鈣硬度與 TDS 在低濃度之飼流水下，有高達 96.2%、95.7% 及 89.6% 以上之去除率，同樣地，THMs 及 THMFp 之飼流水濃度亦極低，去除率則分別有約 50% 及 76.8%。而對濁度、鹼度及導電度亦平均有 93.8%、81% 及 77.9% 之去除率，對 NPDOC 則有 83.7% 以上之去除率，對 A₂₅₄ 與色度則有 56.1% 與 51%。

而本年度流程一至五之操作有加入第二段濃縮液回流至第一段薄膜進流液的控制條件，其對總硬度、鈣硬度、鎂硬度與 TDS 在低濃度之飼流水下，達 77.1%、78.4%、75.8% 及 74.3% 以上之去除率，同樣地，THMs 及 THMFp 之去除率則分別有約 34.3% 及 60.9%。而對濁度、鹼度及導電度亦平均有 98.7%、70.2% 及 73.9% 之去除率，對 NPDOC 則有 72.1% 以上之去除率，對 A₂₅₄ 則有 49.5%。所有水質項目之薄膜去除率整理成表 4。綜合兩年度之薄膜去除率的結果，可知不論操作條件為何，NF 薄膜對總硬度、適飲性物質、濁度和有機物依然具有良好的去除率。而在“澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究”中，其 NF 薄膜對總硬度和 TDS 分別有 90 和 85% 左右之去除率，NPDOC 之去除率約為 75%，濁度平均值只有 0.02NTU，THMFp 值低於偵測極限。

2. 堵塞控制技術探討

本年度實驗主要針對 NF 薄膜長時間操作下產生之堵塞 (Fouling) 問題進行探討，同時評估各堵塞控制技術。探討之技術包括間歇性薄膜沖洗 (Flush)，管路注入藥洗與薄膜藥洗 (Chemical cleaning)，並以水質傳係數 (Mass Transfer Coeff. Of Water;

MTCw)為參考指標，進行薄膜清洗效能之評估。另外，針對不同控制技術下操作可能產生之廢水水質進行分析，以瞭解可能產生之污染效應。

本試驗共設計七個試程，改變之操作條件參考表 5。其中一至三試程主要測試水洗膜體 (flush) 與清洗水種類之效能。流程四至七則探討不同化學式前處理及不同藥洗對系統整體操作的影響。

模廠操作過程中，必須定期將可逆之積垢清除，方可延長操作時程。本實驗得到的結果為水洗膜體 (flush) 確有其必要性，而其水源的選擇以水廠砂過濾水為佳，間隔時間為 30 分鐘。動作時間為 1 分鐘，詳細的內容如表 6 所示。

另外流程四添加鹽酸使 pH 值下降，流程五則添加抑垢劑，其功能皆在防止污垢 (Scaling) 的產生，操作時程分別為 41.5、20、38 小時，並無發揮其應有功能。流程六中添加焦亞硫酸鈉當作化學式前處理，其去除餘氯之效果良好，顯示使用焦亞硫酸鈉不僅能有效去除餘氯，且其成本較為划算。

實驗流程一至七中，以流程六操作情況最佳，總操作時數為 166 小時，總累積濾液量為 452.5 噸，若水廠每天出水時數為 10 小時，則此試程可經半個月再進行藥洗，雖離理想值三個月有一段距離，但已是所有流程中的最佳情況。

流程一至五有迴流，堵塞速率 Stage1 較 Stage2 快；而流程六和七無迴流，堵塞速率 Stage2 較 Stage1 快，而系統之堵塞速率介於兩者之間。

清洗頻率 (Cleaning Frequency) 之理論值和實際值相差甚遠，由表 7 可知。理論值由水質傳係數衰減圖 (MTCw v.s time) 斜率計算得知，其時間比較久，但實際操作時間都很短，不管是否為連續性

操作或間歇性操作，其原因可能是進水水質情形每時每刻都不同，且前處理之處理效能亦會逐漸下降，使得理論上之控制條件大為不同，進而影響到實際上的情況。

3. 藥洗之探討

本實驗之藥洗劑共有 10 種，大略分成酸 (檸檬酸、鹽酸、磷酸、商用 Argo 103A)、鹼 (氫氧化鈉、十二烷基硫酸鈉、EDTA 四鈉鹽、Argo 511)、還原劑 (低亞硫酸鈉、胺基磺酸)，每個流程從開始操作到需要藥洗的判斷方式為總 MTCw 衰減 15%。流程 4-1 有化學式前處理，即添加鹽酸，平時操作已有酸洗的動作，故在本試程中利用檸檬酸藥洗其 MTCw 只恢復 3%，沒有效果。流程六有化學式前處理，即添加焦亞硫酸鈉，平時操作對氧化性金屬已有控制其積垢的動作，故在本試程中利用具相同屬性之 0.057M 低亞硫酸鈉藥洗其 MTCw 不升反降，沒有效果。所以可知前處理已有的動作，在藥洗時重複做則無效。而在流程七中，0.1031M 胺基磺酸藥洗後，MTCw 回復 43%，表示有效，但因其成本較氫氧化鈉貴五倍，故不建議使用。

藥洗膜體的選擇經由流程一至七的實驗結果得知，以 0.051M 的磷酸和 0.025M 的氫氧化鈉合併使用為佳，其水質量傳輸係數 (MTCw) 分別可回復 22.38%、19.64%；而磷酸之清洗乃針對無機鹽類和金屬氧化物，氫氧化鈉之清洗乃針對硫化物、無機膠體、砂土、生物積垢、有機物。

4. 排放水質分析

另外，分析其排放水質，其中濃縮液和水洗廢水可符合自來水廠廢水排放標準，而藥洗廢水則不可，但若將三者混合之，則混合廢水可直接排放水體，其詳細

數據如表八、九、十所示；雖然濃縮液和水洗廢水之 SAR 可符合農業灌溉用水標準，但三者之導電度均不符合標準，故不能做為灌溉用水。

5. 藍氏飽和指標(LSI)

在出水品質上，NF 過濾液之 LSI 平均值為-2.74，如圖四所示，表示其具有腐蝕性，後置處理需添加小蘇打恢復其穩定性。而各流程 NF 飼流水、過濾液、濃縮液的 LSI 比較如圖三所示，所以若將傳統處理之過濾水和 NF 過濾液混合出水，不但可節省藥費，且符合日本厚生省標準。

6. 造水混合比例探討

在法國 Mery-Sur-Oise 水處理廠中，其傳統處理程序的出水量為 20 萬 CMD，而極微濾薄膜 (Nanofiltration) 處理的水量為 14 萬 CMD，其混合比例為 1.43。本水廠之原出水量設計為 62466CMD，現已不敷使用。利用模擬的方式將不同比例之混合清水其導電度、鈣硬度、鎂硬度、pH 值、總鹼度、UV₂₅₄、NPDOC、THMs、THMFP、LSI 等整理如表 11 所示，最後決定為符合第三階段水質標準，即總硬度小於 150mg/l、總溶解性固體物小於 250mg/l，故建議選用混合比例為 4 的方式作為建議的混合比，且將其 LSI 值和有加 0.03M 小蘇打的過濾液做比較，可發現若採用砂過濾水和薄膜過濾液混合的方式為一較佳且成本較低的方式，故本水廠可加上一出水量為 15617 CMD 的極微濾薄膜處理廠，不但總出水量可增加至 78083CMD，且出水品質也較好。

本模廠操作的回收率為 75%，此乃 ICR 所規範。利用” FilmTec Reverse Osmosis System Analysis, Version 4.10 “去分析不同回收率的操作情況，發現當回收

率為 60%時，薄膜通量為 31.8 L/M²/H，回收率為 75%時，薄膜通量為 39.7 L/M²/H，回收率為 85%時，薄膜通量為 45.2 L/M²/H，而薄膜通量最好小於 40 L/M²/H，不然會對薄膜造成傷害，且易形成積垢，故發現 85%不符合通量要求，在本模場不適用。而回收率只有 60%的話，則每小時有 1.44 噸的水排放掉，其成本恐怕太高，故本試驗經由模擬結果發現回收率仍以 75%為佳，不適合再提高回收率。

四、結論

1. 本實驗得到的結果為水洗膜體 (flush) 確有其必要性。
2. 添加焦亞硫酸鈉當作化學式前處理，其去除餘氯之效果良好，顯示使用焦亞硫酸鈉不僅能有效去除餘氯，且其成本較為划算
3. 以 0.051M 的磷酸和 0.025M 的氫氧化鈉合併使用為佳，其水質量傳輸係數 (MTCw) 分別可回復 22.38%、19.64%。
4. 分析排放水質，其中濃縮液和水洗廢水可符合自來水廠廢水排放標準，而藥洗廢水則不可，但若將三者混合之，則混合廢水可直接排放水體
5. 建議選用混合比例為 4 的方式作為建議的混合比，不但總出水量可增加，出水品質好，成本亦較低。

五、參考文獻

1. S.Minegishi, N-Y.Jang, Y.Watanabe, S.Hirata and G. Ozawa, 2000, "Fouling Mechanism of Hollow Fiber UF Membrane with Pretreatment by Coagulation/Sedimentation Process", Conference, IWA, pp.228-235.
2. Dow Chemical Company, June

- 2000, "Cleaning Procedures for Filmtec FT30 Elements", Filmtec Membranes.
3. Sangho Lee and Chung-Hak Lee, 2000, "Effect of Operating Conditions On CaSO₄ Scale Formation Mechanism in Nanofiltration for Water Softening", *Wat. Res.* Vol. 34, No. 15, pp.3854-3866.
 4. Nancy Mulhern, 1995, "Death, Taxes and ROMembrane Fouling", *Osmonics Technical paper*, <http://www.osmonics.com/products/Page701.htm>.
 5. Lakshminarayan P. Raman, M. Cheryan and N. Rajageopalan, 1994, "Consider Nanofiltration for Membrane Separation", *Chemical Eng. Prog.*, Vol. 90, pp.68-74.
 6. Abdelkader Gaid, Guy Bablon, Greg Turner, Jacques Franchet, and Jean Christophe Protasis, 1998, "Performance of 3 years' operation of nanofiltration plants", *Desalination* 117, pp.149-158.
 7. Aligeler, S. C. and Summers, R. S., 1995, "Evaluating NF for DBP Control with the RBMST", *Journal AWWA*, Volume 87, Issue 3, pp.87-99.
 8. American Water Works Association, 1999, "Reverse Osmosis and Nanofiltration", Denver Colo.: AWWA
 9. American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, and Water Research Commission of South Africa, 1999, "Water Treatment Membrane Processes", McGraw-Hill
 10. W.S. Winston HO and Kamallesh K. Sirkar, 1992, "Membrane Handbook", Chapman & Hall, New York, NY 10119, pp. 265-390.
 11. Amy E. Childress and Menachem Elimelech, 1996, "Effect of Solution Chemistry on the Surface Charge of Polymeric Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes", *Journal of Membrane Science* 119 253-268
 12. Anne Braghetta, Francis A. DiGiano, and William P. Ball, July 1997, "Nanofiltration of Natural Organic Matter: pH and Ionic Strength Effect", *Journal of Environmental Engineering*
1. 陳重男、倪振鴻、林俊德、黃財榮, "薄膜程序在自來水工程上之應用(第一年)", 中華民國自來水協會 89 年度研究報告
 2. 陳重男、盧明俊、楊順豪、林俊德, "高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質之調查與處理技術之評估(2/2)", 環保署 88 年度研究報告 (EPA-88-U1J1-03-004)
 3. 陳重男、盧明俊、林坤道、鄒鄉銘、楊順豪, "高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質之調查與處理技術之評估", 環保署 87 年度研究報告 (EPA-87-E3J1-09-04)
 4. 葉宣顯、鄭幸雄、曾怡楨、黃志彬...等, "澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究(第二年)", 台灣省自來水股份有限公司 89 年度期末報告
 5. 葉宣顯、鄭幸雄、曾怡楨、林財富...等, "澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究(第二年)", 台灣省自來水股份有限公司 89 年度期中報告
 6. 葉宣顯、鄭幸雄、曾怡楨、林財富...等, "澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究(第一年)", 台灣省自來水股份有限公司 88 年度期末報告
 7. 樓基中、謝宗勳、孫英尹, "飲用水中有機物(含揮發性有機物)管制項目及管制標準之合理性分析(II)", 環保署 85 年度研究報告 (EPA-85-J102-09-04)
 8. 林財富、傅君彥、廖偉登、洪旭文, "飲用水中有機物(含揮發性有機物)管制項目及管制標準之合理性分析", 環保署 86 年度研究報告 (EPA-86-J102-09-06)

表 1 壓力驅動式薄膜之分類與功能

薄膜形式	孔隙大小 (μm)	驅動力 (psi)	去除機制	功能用途
Microfiltration (MF)	0.1~2	<15	篩濾	<ul style="list-style-type: none"> ● 去除懸浮固體物 ● 去除梨形鞭毛蟲 (cyst)；其大小為 8-12 μm ● 去除隱孢子蟲 (oocyst)；其大小為 4-6 μm
Ultrafiltration (UF)	0.01~0.1	15-100	篩濾	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	50-200	篩濾+ 溶解擴散+ 電性排除	<ul style="list-style-type: none"> ● 去除病毒、細菌 ● 去除大分子無機性離子 ● 去除分子量 300~1000 Dalton 有機物 ● 去除鹽類 ● 去除小分子染料
Reverse Osmosis (RO) (hyperfiltration)	0.0001~0.001	200-800	溶解擴散+ 電性排除	<ul style="list-style-type: none"> ● 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

表 2 薄膜前處理方法

積垢類型	前處理方式
懸浮固體和顆粒 (Suspended solids and particulates)	Coarse screening Use of Hydrocyclones Use of cartridge filters Use of multimedia filters
膠體積垢 (Colloids)	Coagulation / flocculation followed by filtration Ultrafiltration
鹽類所形成之結垢 (Scale-forming salts)	Acidification Water softening using lime and lime soda Use of antiscalants
金屬氧化物 (Metal oxides)	Acid cleaning Selection of proper materials
生物積垢 (Biological foulants)	Chlorination Ozonation Exposure to ultraviolet light Use of concentrated sodium bisulfite Use of copper sulfate
有機物形成之積垢 (Organic foulants)	Coagulation followed by filtration Carbon adsorption Chemical oxidation Ultrafiltration Microfiltration

表 3 薄膜堵塞與清潔劑使用對策

清潔物	氫氧化鈉溶液 (0.025M) 或 EDTA 四鈉鹽 (0.026M)	氫氧化鈉溶液 (0.025M) 或十二烷基硫酸鈉 (Na-DSS) ($8.68 \times 10^{-4} M$) ; 最大溫度上限為 30°C, pH 值為 12	鹽酸溶液 ($5.47 \times 10^{-3} M$) 或檸檬酸溶液 (citric acid) ($0.211 M$)	低亞硫酸鈉溶液 ($Na_2S_2O_4$) (0.057M)	磷酸溶液 (H_3PO_4) (0.051M)	胺基磺酸溶液 (NH_2SO_3H) (0.1031M)
阻 塞 物						
無機鹽 (例如：碳酸鈣)			優先考慮	替代方案	替代方案	
硫化鈣、硫化鋇...等	唯一考量					
金屬氧化物 (例如：鐵)				優先考慮	替代方案	替代方案
無機膠體 (淤土)		優先考慮				
砂石 (SiO ₂)	替代方案	優先考慮				
生物積垢	替代方案	優先考慮				
有機物	替代方案	優先考慮				

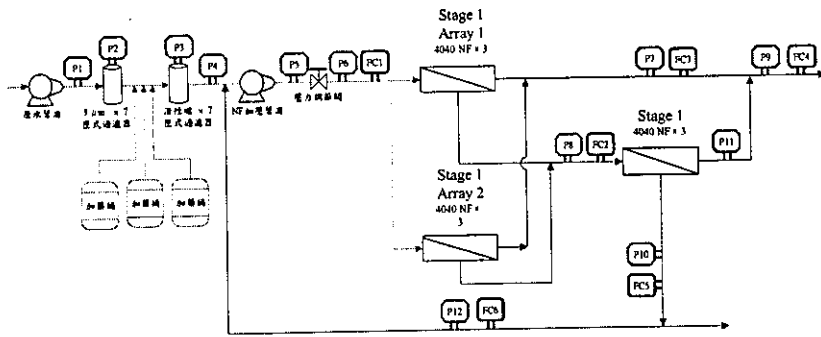


圖 1 NF 薄膜壓力及流量監測點分佈圖

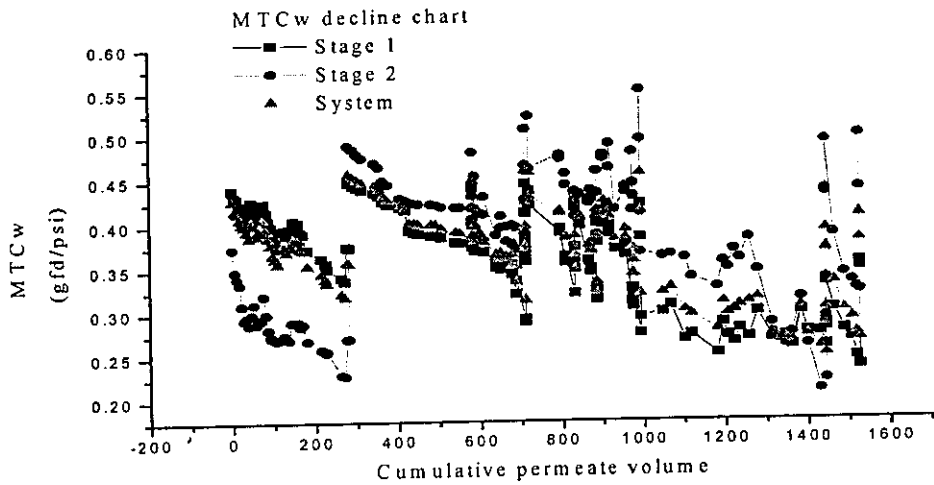


圖 2 流程一到流程七總水質量傳輸係數對累積濾液量衰減圖

表 4 流程一到流程七模廠水質分析總整理

水質分析項目 及不同採樣點	飼流水 (Feed Water)			經前處理後飼流水 (Pretreated feed water)			薄膜進液 (Influent Water)			過濾液 (Permeate)			薄膜去除 率 (%)	系統去除 率 (%)
	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave	Max	Min	Ave		
導電度 (us/cm)	441	275	345.8	458	287	366.2	747	518	625.5	163	47.7	93.2	78.2-90.8	63-82.7
TDS (mg/l)	298	187	236.4	311	195	245	703	195	401	111	32	63	83.6-84.2	62.8-82.9
濁度 (NTU)	3.4	0.78	1.77	1.32	0.06	0.39	1.47	0.08	0.50	0.02	0.02	0.02	75-98.6	97.4-99.4
總鹼度 (mg/l)	112	81	95.2	109	62	91.1	181	79	130.1	40	20	29	74.7-77.9	64.3-75.3
總硬度 (mg/l)	160.9	107.9	138.9	164.8	105.9	140.3	290	105.9	215.6	51	14.7	30.7	82.4-86.1	68.3-86.4
鈣硬度 (mg/l)	62.9	36.2	44.5	48.8	34.6	43.3	95.9	34.6	69.7	13.4	4.1	9.2	86-88.2	78.7-88.7
鎂硬度 (mg/l)	28.5	16	22.5	30.1	17.3	23.6	48	17.3	35.6	13	2.4	6.1	72.9-86.1	54.4-85
pH 值	7.87	7.48	7.69	7.84	6.18	7.40	7.98	6.28	7.43	7.04	5.75	6.56		
UV ₂₅₄ (Abs)	0.0400	0.0074	0.022	0.031	0.0082	0.017	0.06	0.0082	0.027	0.02	0.0016	0.010	66.7-80.5	50-78.2
NPDOC(mg/l)	4.65	0.95	2.32	4.12	0.80	2.50	5.89	1.89	3.12	0.64	0.14	0.28	89.2-92.4	84.9-86.2
THM ₄ (mg/l)	69.4	16.1	27.2	55.6	14.9	25.7	20	22.4	20.9	42.9	9.86	20.1	50.7	38.2-38.7
THMFP(mg/l)	118.1	26.2	55.1	79.8	2.7	43.8	53.4	29.5	42.6	40.3	2.9	18.7	24.5-90.2	65.9-88.9

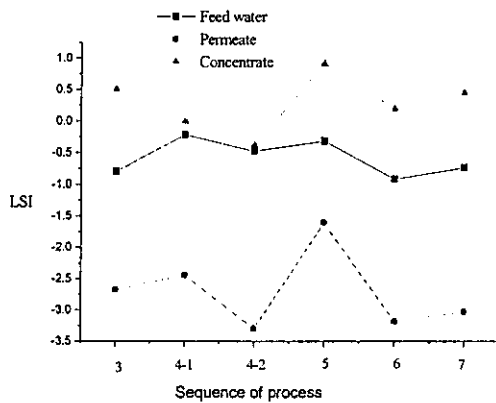


圖 3 各流程 NF 飼流水、過濾液、濃縮液的 LSI 比較

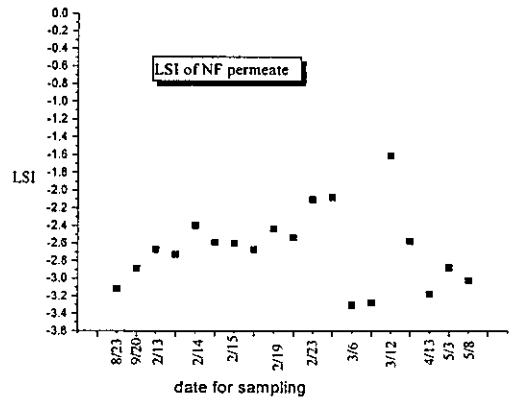


圖 4 各流程 NF 過濾液之 LSI 值

表 5 各試程操作條件說明

流程序號	操作日期	控制變因	操作變因 (即探討因子)	總操作時間 (小時)	總累積濾液 量(噸)	藥洗劑種類
一	2000.8.15 ~ 2000.9.19	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	無水洗膜體	108	282	檸檬酸
二	2000.10.15 ~ 2000.11.25	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	砂過濾水水洗膜體	118	300	鹽酸 檸檬酸
三	2001.2.13 ~ 2001.2.16	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	薄膜過濾液水洗膜體	49	129.5	氫氧化鈉 Argo 103A Argo 511
四之一	2001.2.19 ~ 2001.2.21	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	添加鹽酸使薄膜 進流液之 pH 值為 6.8	41.5	121.3	NaDSS 檸檬酸 氫氧化鈉
四之二	2001.3.6 ~ 2001.3.7	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	添加鹽酸使薄膜 進流液之 pH 值為 6.2	20	54	檸檬酸 Argo 103A Argo 511
五	2001.3.12 ~ 2001.3.14	操作壓力 100psi 回收率 75% 有迴流	添加抑垢劑	38	105.5	Argo 103A Argo 511
六	2001.4.12 ~ 2001.5.7	操作壓力 100psi 回收率 75% 沒有迴流	添加還原劑(焦亞 硫酸鈉)	166	452.5	EDTA 四鈉鹽 磷酸 低亞硫酸鈉
七	2001.5.8 ~ 2001.5.15	操作壓力 100psi 回收率 75% 沒有迴流	同時添加抑垢劑 和還原劑	29	81.3	胺基磺酸 氫氧化鈉

表 6 水洗膜體 (flush) 結果與討論

操作變因	水洗膜體 (flush) 之有無	水洗膜體之進水源選擇	間隔時間 (小時)	動作時間 (分鐘)
說明	流程一沒有水洗膜體, 流程二有水洗膜體 (砂過濾水); 而流程一總操作時數為 108 小時, 流程二為 118 小時, 故證明有水洗膜體的效果比較好; 從水質分析上亦可佐證之。	流程二有砂過濾水 (filtrate) 水洗膜體, 流程三有薄膜過濾液 (Permeate) 水洗膜體; 從便利性和成本考量上以前者為佳; 同時從水質分析上亦可證明並無不同之處。	流程二中水洗膜體 (砂過濾水) 之間隔時間為 1 小時, 流程六中水洗膜體 (砂過濾水) 之間隔時間為 0.5 小時; 由總操作時間前者為 118 小時, 而後者為 166 小時可知選用後者為佳。	在流程七中, 設定動作時間為 1 分鐘, 其水質傳係數 (MTCw) 在七小時中衰減 3.19%; 而在同一個流程中, 把動作時間改為 0.5 分鐘, 在相同時間內水質傳係數 (MTCw) 衰減 8.43%, 衰減幅度較前者大, 因選用前者。
結果	有水洗膜體效果較好。	選用砂過濾水 (filtrate) 水洗膜體較為實用且成本便宜。	水洗膜體之間隔時間以 0.5 小時為佳。	水洗膜體之動作時間以 1 分鐘為佳
綜合後之結果	在極微濾薄膜模廠操作中, 選用水廠砂過濾水做水洗膜體的動作較佳, 且其控制條件為每 0.5 小時, 沖洗 1 分鐘的方式較佳。			

表 7 流程一至七清洗頻率比較

流程序號	一次回歸線	水質傳係數基準 (gfd/psi)	由公式所得清洗頻率	實際操作所得清洗頻率
流程一	$Y=-0.0007x+0.4084$ $R^2=0.7694$	0.4274	21.62 天	4.50 天
流程二	$Y=-0.0006x+0.4537$ $R^2=0.9519$	0.4570	26.98 天	4.92 天
流程三	$Y=-0.0014x+0.396$ $R^2=0.836$	0.3856	9.75 天	2.01 天
流程四之一	$Y=-0.0022x+0.4579$ $R^2=0.8733$	0.4599	7.40 天	1.73 天
流程四之二	$Y=-0.0042x+0.4254$ $R^2=0.985$	0.4230	3.57 天	0.83 天
流程五	$Y=-0.0025x+0.4333$ $R^2=0.8459$	0.4158	5.89 天	1.58 天
流程六	$Y=-0.0004x+0.3265$ $R^2=0.6034$	0.3200	33.33 天	6.92 天
流程七	$Y=-0.0039x+0.3735$ $R^2=0.9155$	0.3929	3.57 天	1.21 天

註：一次回歸線中的斜率又可稱為阻塞速率

表 8 各試程濃縮液及水洗廢水水質分析表

流程序號	3 (46.3 噸)						4-1 (42.8 噸)						4-2 (20.3 噸)		5 (36.9 噸)	
	2001/2/13		2001/2/14		2001/2/15		2001/2/19		2001/2/21		2001/2/23		2001/3/6		2001/3/12	
日期	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後	水洗前	水洗後
濁度	0.56	0.84	1.18	1.58	0.6	1.87	1.26	4.6	0.71	0.79	0.88	0.54	0.73	0.39	0.35	0.29
餘氯	0.28	0.16	0.31	0.18	0.27	0.09	0.1	0.17	0.64	0.54	0.33	2.4	1.7	0.7	0.2	0.3
pH 值	7.88	7.86	7.92	7.88	7.82	7.76	7.51	7.52	7.6	7.89	7.42	7.89	6.88	7.23	8.19	8.08
總鹼度	341	163	302	144	302	142	234	162	231	160	225	213	161	181	311	115
UV ₂₅₄	0.034	0.024	0.045	0.044	0.030	0.015	0.049	0.042	0.096	0.079	0.068	0.053	0.066	0.057	0.110	0.036
NPDOC	15.17	12.26	10.13	6.20	8.17	5.77	13.36	9.88	12.78	7.42	7.845	4.448	6.920	5.809	15.63	9.13
TDS	645	535	595	276	605	304	601	410	658	355	661	494	698	596	683	234
導電度	1075	892	993	460	1009	506	1002	683	1097	591	1100	824	1163	993	1137	390
鹽度	0.3	0.1	0.3	ND	0.3	ND	0.3	0.1	0.3	ND	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	ND
鈉離子	未檢測				1.34	0.71	3.03	3.35	11.8	2.34	5.06	1.47	4.89	1.89	6.77	2.38
總硬度	502	479	455	188	451	202	436	300	443	222	463	294	496	447	530	196
鈣硬度	168	164	146	56	156	65	127	90	62	50	118	71	154	127	173	56
鎂硬度	81	77	75	32	72	33	75	51	93	42	84	54	83	78	86.8	34
COD	ND	11.6	ND	23.6	ND	13.6	ND	5.6	ND	ND	ND	ND	45.6	33.6	49.6	29.6
懸浮固體	10	26	14	32	16	29	11	18	8	15	2	3	5	23	8	2
SAR	未檢測				0.126	0.101	0.301	0.399	1.34	0.345	0.503	0.186	0.449	0.187	0.594	0.337

表 9 試程五藥洗廢水水質分析表

藥洗 順序	水質分析 項目	COD	餘氯	懸浮 固體	pH 值	濁度	TDS	導電 度	鹽度	鹼度	UV ₂₅₄	NPDOC
一	Argo 103A blank	426	1.0	14	3.65	0.31	1504	2510	1.2		0.107	318
	Argo 103A 藥洗廢水 一	594	0.5	93	3.71	35	1925	3210	1.6		0.483	452
	水洗一	406	0.4	39	3.76	20	1350	2250	1.0		0.289	266
二	Argo 511 blank	882	0.7	13	11.78	0.47	1402	2340	1.1	812	1.555	538
	Argo 511 藥洗廢水 二	1001	0.4	70	11.65	32	1350	2250	1.0	480	1.546	508
	水洗二	465	0.6	15	11.07	11.3	590	983	0.3	295	0.751	393

表 10 流程五混合廢水水質推估

廢水種類	體積 (m ³)	COD	S.S	餘氯	導電度	NPDOC
濃縮液	36.9	49.6	8	0.2	1137	15.63
一般水洗廢水	2.28	50	15	0.6	912	15
藥洗廢水 1	0.1	594	93	0.5	3210	452
水洗廢水	0.31	406	39	0.4	2250	266
藥洗廢水 2	0.1	1001	70	0.4	2250	508
水洗廢水	0.37	465	15	0.6	983	393
混合液	41.06	58.49	9	0.22	1112	22.77

表 11 砂過濾水和 NF 過濾液適當的混合比例

分析項目	s1	s11	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7	R=8	R=9	R=10
TDS	199	32	116	143	157	166	171	175	178	180	182	184
導電度	293	47.7	170.4	211.2	231.7	243.9	252.1	257.9	262.3	265.7	268.5	270.7
總硬度	131.5	27.5	79.5	96.8	105.5	110.7	114.2	116.6	118.5	119.9	121.1	122.0
鈣硬度	44	8.7	26.4	32.2	35.2	36.9	38.1	38.9	39.6	40.1	40.5	40.8
鎂硬度	21.2	4.6	12.9	15.7	17.1	17.9	18.4	18.8	19.1	19.4	19.5	19.7
pH 值	7.56	6.44	7	7.19	7.28	7.34	7.37	7.4	7.42	7.44	7.45	7.46
鹼度	84	23	54	64	69	72	74	75	76	77	78	79
UV ₂₅₄	0.0114	0.007	0.0092	0.0099	0.0103	0.0105	0.0107	0.0108	0.0109	0.0109	0.0110	0.0110
NPDOC	1.101	0.267	0.684	0.823	0.893	0.934	0.962	0.982	0.997	1.008	1.018	1.025
THMs	20.3	9.86	15.08	16.82	17.69	18.212	18.56	18.81	19.00	19.14	19.26	19.35
THMFP	30.9	15.64	23.27	25.82	27.09	27.85	28.36	28.72	28.99	29.20	29.37	29.51
LSI	-0.73733	-3.02775	-1.67428	-1.33751	-1.18247	-1.0874	-1.03371	-0.99052	-0.95825	-0.92794	-0.90883	-0.8909