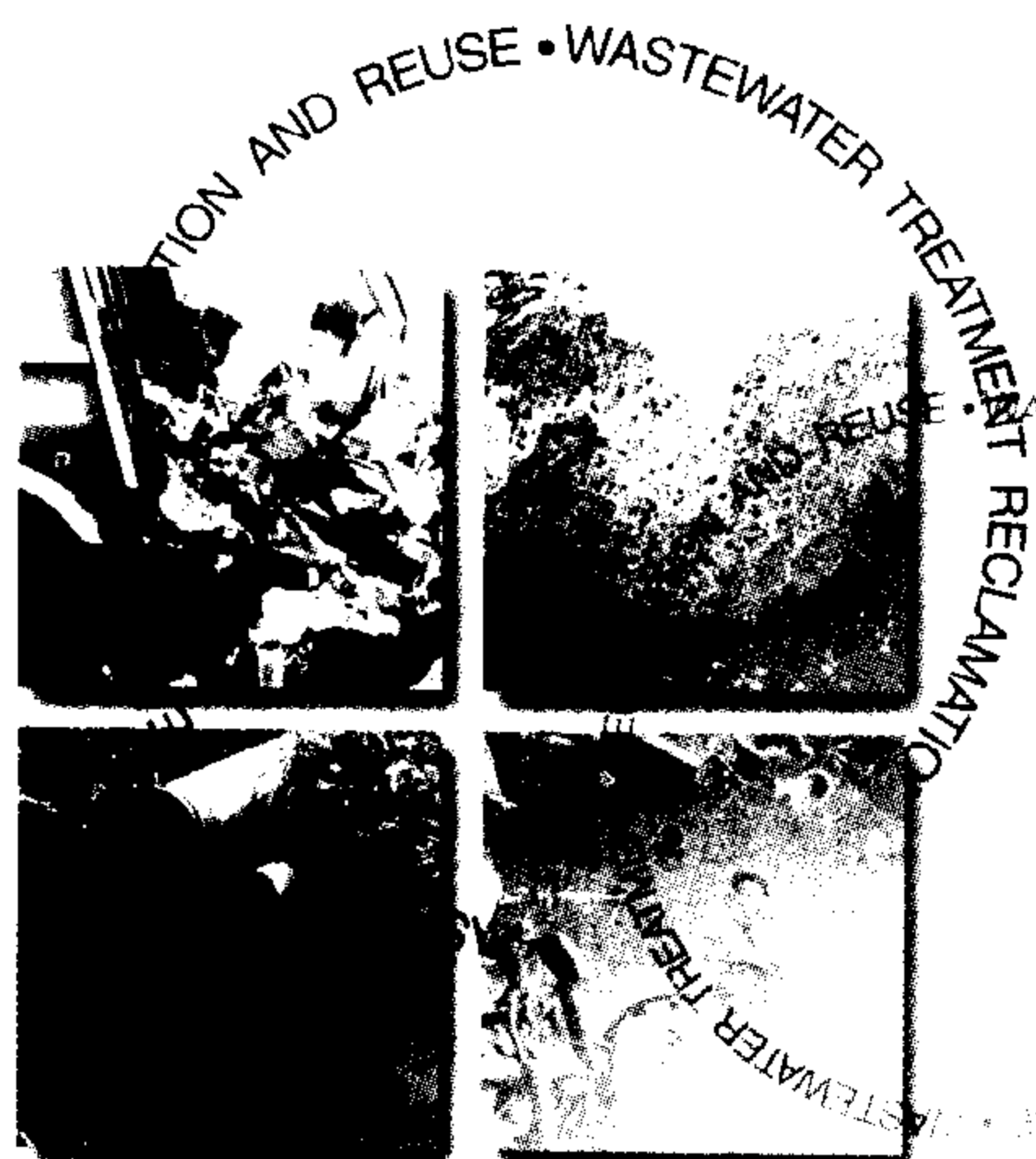




製造業放流水回收 再利用案例探討

鄭建南 · 陳見財

前 言

水資源回收再利用為近年來產業界之重要工作，不但能節省水資源同時對於降低生產成本亦具有正面之幫助。水資源回收之方向很多，包括非接觸水之回收（如冷卻水）、低污染性之水回收（如薄膜系統之反洗水）及經處理系統處理後之放流水等；不同之水源回收時，須依照回收用途之不同採取如過濾、離子交換或薄膜等高級處理系統之處理。

本文比較離子交換、電透析（ED）及逆滲透系統回收處理放流水之機制及特性比較，並介紹逆滲透系統故障因素與排除對策；同時，摘要說明國內一家製造廠利用逆滲透系統回收其放流水之歷程與成效，以提供讀者在進行水資源回收時之參考。

水資源回收系統

水資源回收系統之選擇主要考慮用水水質要求、回用水水質（TDS、電導度）、系統處理成效、經濟效益、系統維修程度等因素，在經過完善之評估後選擇適當種類之處理設施。目前業界常用之處理系統有過濾吸附系統、離子交換、超過濾（UF）及逆滲透系統等。

1. 離子交換系統（IX）

水中之鹽類包含無機性之陽離子及陰離子成分，而經處理之處理水含有各種不同類型之離子，因此可採用分床式之離子交換系統進行電導度之處理。使用離子交換系統處理水之電導度限制在 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，處理後則可達 $5.0\mu\text{S}/\text{cm}$ ；樹脂飽和時須以酸鹼劑進行再生，不僅廢液體積增加，且再生廢液因濃度高，需以廢棄物型式處理為其最大缺點。

2. 逆滲透法（RO）

逆滲透法雖較其他薄膜技術開發較晚，但目前已被世界各國廣泛使用，主要原因是在薄膜材質及能源回收改良技術已達成成熟階段，不

但處理成本已大幅降低且不僅造水率、除鹽率均高，亦具有膜管平均使用壽命長並且可應用在工業廢水處理；同時系統之興建時程短、占地面積小與模組化組裝簡易等優點。

逆滲透系統之薄膜種類眾多，已能符合多項不同特性之工業廢水處理，且可容許電導度15000 μ S/cm之原水；在良好之前處理系統、模組系統規劃設計及操作維護下，RO除鹽率可達96%。濃縮液因含鹽分高，適合與其他液體工業廢棄物進行焚化。

3. 電透析法 (ED)

電透析法乃是利用交互排列之陰陽離子膜，以間隔分開，在兩端直流電動式驅使下，陽離子往負極位移，並只能通過陽離子膜；陰離子則往正極位移，只能通過陰離子膜，因此形成交互純水/濃縮水之分離水道，匯集為純水及濃縮水。電透析法可容忍較差水質（雜質）之原水，原水之電導度須低於3000 μ S/cm，但除鹽率較差僅約為80%。

上述三種高級處理系統之綜合性比較如表1所示。

逆滲透系統故障因素與排除對策

(一) 高鹽通過率

1. 高滲透液流量

(1) 薄膜氧化：主要原因可能是發生膜遭氧化傷害。進水中若含自由氯、溴、臭氧或其他氧化劑，通常前端的膜元件較其他的元件易受影響，在中性及鹼性pH下對薄膜的傷害會加大。一旦薄膜受氧化傷害，只能全部更換，沒有任何補救的辦法。

(2) 洩漏：膜元件或滲透液管線的嚴重機械傷害會造成進水或濃縮液滲入滲透液中，特別是高壓操作時，真空測試會顯示一強烈的反應。

2. 正常滲透液流量

(1) O型環的洩漏：在暴露於某些化學藥品或機械式磨損後，O型環可能受損。（例如：水錘造成膜元件移動）有時，則因未裝置O型環或未適當地裝置或在裝置膜元件時將其移出了適當的位置。宜更換老舊和

表1 高級處理系統特性比較

項目	離子交換 (IX)	電透析法 (ED)	逆滲透法 (RO)
原水電導度限制 (μ S/cm)	< 1,000	< 3,000	< 15,000
產水電導度 (μ S/cm)	< 5.0	< 600	< 600
除鹽率 (%)	> 95	80左右	> 96
造水率 (%)	水質愈差，造水率愈低，約50~80	約50~80	> 50~80
設置成本	20萬元/ m^3 (含前處理系統)	6萬元/ m^3	0.5~1.5萬元/ m^3 (含前處理系統)
操作成本	30~40元/ m^3 (含前處理系統)	3~4元/ m^3	4元/ m^3 (含人事費)
綜合說明	1. 設置及操作成本偏高 2. 需設置適當前處理設備 3. 有再生酸鹼廢液處理問題	1. 可容忍較差水質（雜質）之原水 2. 適合回收低濃度酸鹼廢液等資源回收用途，或低電導度廢水之回收 3. 原水濃度太高或級數太多，除了高耗電量，除鹽效率也會降低 4. 有濃縮液排放問題，膜清洗容易，不易堵塞	1. 可處理高電導度原水 2. 需注意前處理成效、堵塞及淤塞等問題 3. 有濃縮液排放問題 4. 經濟效益較高

損壞的O形圈，

(2)望遠鏡效應：此種效應為元件外層的薄膜鬆開而往另一方延伸，套過其餘的薄膜層。望遠鏡效應導因於進水至濃縮液過大的壓降，宜更換受損害的元件，並改正其導因。

(3)薄膜表面磨損：此非個別膜元件的不良，而是前端元件通常最容易受進水中一些結晶體或具尖銳外緣的金屬性懸浮固體的磨損。應改變前處理的設計，確定無顆粒由高壓管線釋放出，事後所有損壞的薄膜皆需更換掉。

(4)滲透液背壓：當滲透壓超過進水/濃縮液壓0.3bar (5psi) 時，薄膜可能會被撕破；應控制適當之壓力。

(5)中央摺層之破裂：中央摺層破裂通常在不當操作一年以上才會發生，且通常祇發生於開機/關機頻率高的系統，導致鹽通過率因而增加。開始操作時的水力急速變化、由結垢或污堵發生的剪力、應力或磨損、滲透液反壓，均會造成中央摺層之破裂。

3. 低滲透液流量

(1)膠體污堵：主要發生在第一排。檢查SDI過濾膜與過濾器濾心是否有沈積物，依其結果清洗薄膜並修正前處理系統。

(2)金屬氧化物污堵：主要亦發生在第一排，檢查水中鐵和鋁的含量，檢查薄膜上游結構材質，檢查SDI過濾膜與濾心是否有沈積物、清洗薄膜，並分析使用過之清洗金屬物質的溶液以檢定原因，更正前處理或材質的選擇。

(3)結垢：結垢的產生首先在最後一排沈積，然後漸漸往上游管排發生，分析濃縮液中鈣、鎂、鋁、硫酸鹽、氟化物、矽酸鹽、pH與LSI (海水則為S & DSI) 的程度。計算這些鹽類的質量平衡，同時分析進水

與滲透液之濃度。

以酸或鹼性EDTA溶液清洗，再分析使用過之溶液也有助於鑑定結垢的種類。處理碳酸鹽結垢，可調整前處理之pH值，對其他鹽類，則可使用合適的抗垢劑或其他恰當的前處理技術或降低回收率，確定不超過設計的回收率，同時需考慮水值最差時的進流水成分，以合適的藥品清洗薄膜。

(二)低滲透液流量

1. 正常鹽通過率

(1)生物污堵：

下列操作參數的改變顯示薄膜生物污堵的產生，特別是在系統的前端：滲透液流量、進水流量減少、需增加進水壓力、壓差增大、鹽通過率增加。修正的辦法包括裝置或改善前處理系統，以應付原水產生污堵的可能性，為有效地清洗薄膜，必須對包括前處理系統的整體殺菌，不定期清洗與消毒將會導致系統快速地再污染。

(2)陳年的保存液：

保存於亞硫酸氫鹽溶液之膜元件或逆滲透系統也可能產生生物污堵，如果保存液太久、太熱或被氧化，以鹼液清洗通常可以幫助回復膜元件之滲透液流量。

(3)不完全的潤濕：

已乾燥過的薄膜元件，可能由於聚石風層的細孔尚未濕潤，而會有太低的滲透液流量。

2. 低鹽通過率

(1)壓緊：

高進水壓、高溫、水錘作用均會造成壓緊現象。以特殊薄膜厚度測驗可證明薄膜壓緊，通常可看見薄膜伸入滲透液管道間隔布。因發生壓緊現象而損壞的膜元件必須更換或在容器之尾端加入新元件。

(2)有機污堵：

進水中的有機物質吸附在薄膜表面，造成

流通量損失，特別是第一排最容易發生；另外，高分子量且帶有疏水或正電荷基者會造成此種效應，例如油滴或有時用於前處理的正電荷聚電解質化合物皆屬此類。油性污堵可以鹼性清洗液去除，例如NaOH（pH 12）。正電荷之聚電解質如不與其他化合物如抗垢劑沈澱，可以酸性pH清洗。

3. 高壓差

(1)彈筒型過濾器之繞流：

當彈筒型過濾器之濾心不緊密地裝置在其架構內，或無中間連結器連接，或完全不相連時也會發生阻塞的狀況。應避免使用纖維素材質為主的過濾網，因為他們會變化，然後阻塞薄膜元件。

(2)前處理介質過濾貫流：

前處理過濾器挾帶下來的微細介質可能進入逆滲透進水中，濾心可阻擋大部分的大分子。應分別清洗各元件以免將除掉的顆粒送至其他的元件。

(3)泵輪葉之損壞：

當發生泵之軸心未對準的問題時，輪葉會被破壞而散出一些小的塑膠削片，這些削片可能進入系統而阻塞了前端的元件。逆滲透泵的輸出壓在控制閥之前應固定地偵測並做定期維護。

(4)結垢：

結垢可造成末端壓差的上升，當發現結垢時應以適當的化學藥品清洗薄膜，確定不超過設計的系統回收率。

(5)沈澱的抗垢劑：

當聚合性有機抗垢劑與類似鋁等之多價陽離子，或殘餘正電荷的聚合混凝劑接觸時，會生成膠狀之沈澱，嚴重地惡化前端元件，很難清洗此種污堵，應連續重覆地使用鹼性EDTA溶液。

滲透液流量、鹽通過率及壓差的改變為大多數問題致因的症狀，雖然不同原因可能有重複相同的症狀，某些症狀則多少在某些特殊情況下較明顯，表2為一些症狀、可能的致因及解決方法。

製造工廠應用RO系統案例

某公司為推動工業減廢及水資源回收工作，從建立製程線上之用水需求、廢水水量、污染特性等相關特性資料，並在確保產品品質之前提下，研擬並推動多項節水與水資源回收方案，其成果不僅節省可觀的用水量（約25000 m³/年），亦節省大量的廢水污染防治成本。

1.放流水回收再使用於極板水洗用水

表2 薄膜故障排除與解決方法

滲透液 流量	鹽通 過率	壓差	直接原因	間接原因	解決方法
↑	↗	→	氧化傷害	自由氯、臭氧、KMnO ₄	更換元件
↑	↗	→	薄膜滲漏	滲透液背壓；磨損	更換元件改善濾心過濾
↑	↗	→	O形圈洩漏	不正確的安裝	更換O形圈
↑	↗	→	產品水管洩漏	元件裝置時損壞	更換元件
↓	↓	↓	結垢產生	結垢控制不夠	清洗；結垢控制
↓	↓	↓	膠狀污堵	前處理不夠	清洗，改善前處理
↓	→	↗	生物污堵	原水遭污染，前處理夠	清洗消毒，改善前處理
↓	↓	↓	有機污堵	油；陽電性聚電解質	清洗改善前處理
↓	↓	→	壓緊	水槌	更換元件或加元件

↑ 增加 ↓ 減少 → 不變 ↗ 主要症狀

(1)清查並建立各製程單元之用水需求量

為檢討水資源回收用途，該廠於不同日期進行三次製程線之清水單位時間用水量之測量，以作為推估每日用水量之基準，並根據每日用水量之資料計算日平均值用水量，以提供規劃設計之參考。經測得製程線之用水平衡圖如圖1。

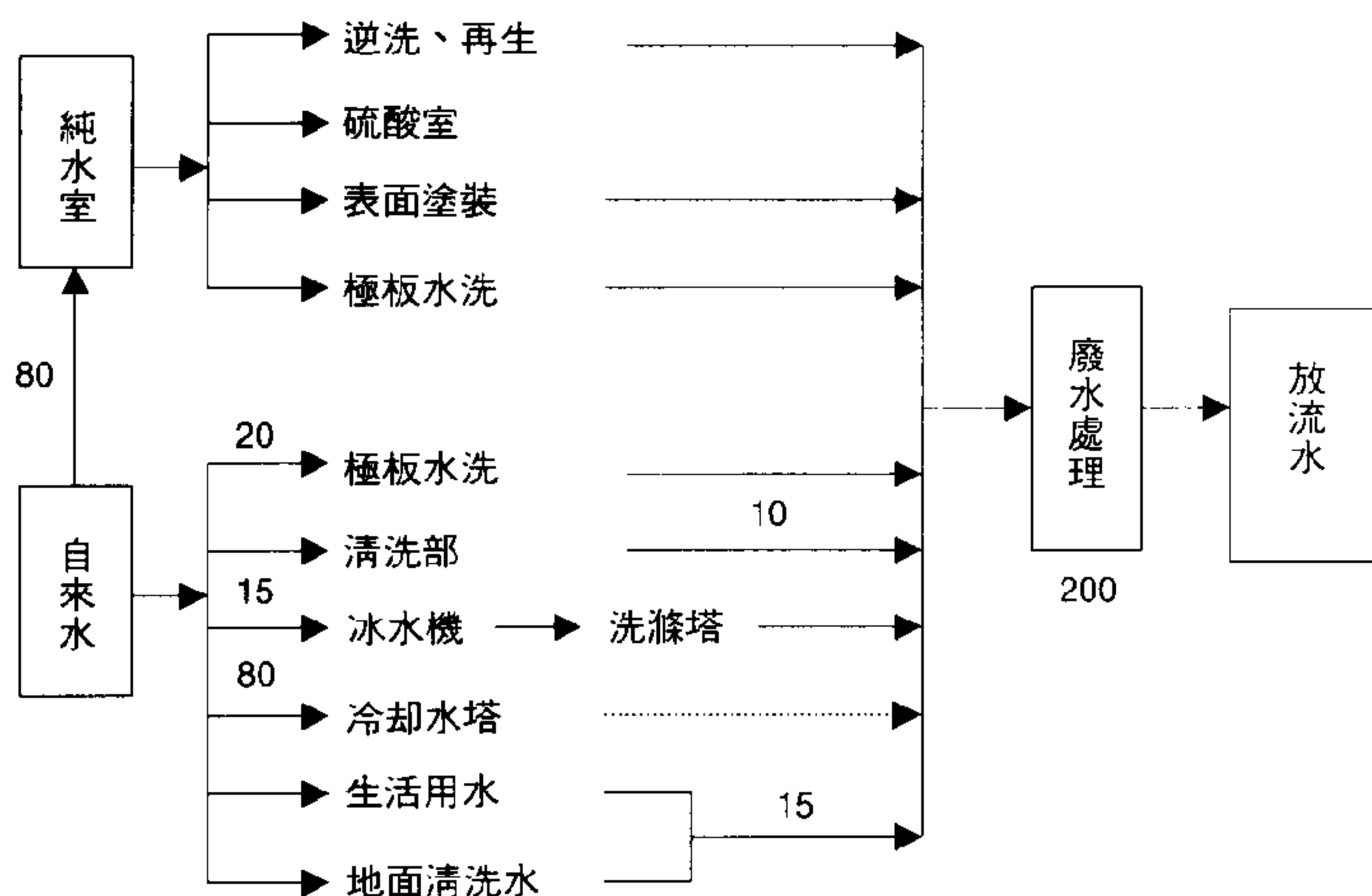
(2)建立極板製程清洗水水質

建立極板清洗用水水質為規劃、推動水資源回收方案之首要工作；任何水資源回收方案之推動，均不得影響產品品質，因此該廠針對可能對產品品質產生影響之用水水質因子，配合該廠應用之相關檢驗量測基準，針對自來水及井水水源之水質進行長時間之比對、分析，

並確認水源中足以對產品品質產生影響之因子（電導度），如Si、Cu²⁺、總鐵、Cl等項目訂定容許濃度標準，用水水質需求如表3。

(3)分析與排除對回收水水質產生影響之因子

建立製程用清洗水水質基本需求後，針對欲做為回收用水之廢水處理廠放流水進行相同項目之水質檢測。經檢測發現，放流水水質之Si、Cu²⁺、總鐵等水質需求，均能符合清洗水水質要求，惟Cl含量偶有高達300mg/L以上之現象。因此，乃針對Cl之來源進行清查。清查結果發現，Cl來源為廠內製造純水之離子交換系統再生時所添加之鹽酸以及廢水處理時所添加之多元氯化鋁（PAC）。因此遂規劃、設計可行之替代方案：



註：用水量單位m³/日；.....▶表部分蒸發

圖1 案例工廠用水需求量平衡圖

表3 案例工廠極板清洗用水水質與水源水質比較

項目	pH	Si	Cu ²⁺	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	O	Cl
極板清洗用水標準	5.8~8.6	500 ↓	1 ↓	0.3 ↓	10 ↓	ND	0.3 ↓	10 ↓	200 ↓
井水	8.14	8.8	ND	0.48	-	NH ₃ -N 0.19	0.1	-	10.8
自來水	7.0	ND	ND	ND	-	0.13	ND	-	4.7

單位：mg/L，pH除外

①以RO系統替代離子交換系統，以避免再生時產生大量廢水與放流水中Cl⁻偏高之困擾。

②以其他藥劑替代PAC，以減少Cl⁻之干擾。

經完成相關改善程序後，測得放流水水質資料如表4。

(4)推動放流水回收再利用

在不影響產品品質之情形下，以經處理後之放流水取代既有極板清洗程序用水、廁所沖洗水及地板清洗用水之自來水源，如此，每日可回用80m³之放流水替代自來水，其回用流程如圖2。

2. 使用RO系統替代離子交換系統

為克服離子交換樹脂於飽和再生時所產生之大量再生廢液及Cl⁻偏高問題，經評估後改採RO系統製造純水，雖初設成本稍高，但其無廢水處理上之困擾，濃縮液則用於地面清洗水或洗衣用水，逐年攤提結果，仍值得投資，

其設計處理流程如圖3。公司為更進一步回收水資源，長期而言將規劃回收放流水作RO系統之水源。

經濟效益評估

如表5-表6。

結 論

水資源之有效利用為國內日益重要之工作，而在處理系統之選用上應經過詳細之用水水質調查、分析規劃，並針對系統進行測試與評估，同時對於處理系統之操作維護應具有正確之認知，方能獲得良好之成效。本文中所論述之處理系統及操作維護作法僅能供讀者做一般性之參考，詳細之應用技術仍待讀者多方收集參考資料為之。■

表4 案例工廠改善後放流水水質與用水水質基準對照

單位：mg/L，pH除外

項目	pH	Si	Cu ²⁺	Fe ²⁺	NO ₃	NH ₄ ⁺	Mn ²⁺	O	Cl ⁻
極板清洗用水標準	5.8~8.6	500 ↓	1 ↓	0.3 ↓	10 ↓	ND	0.3 ↓	10 ↓	200 ↓
井水	8.14	8.8	ND	0.48	-	NH ₃ -N 0.19	0.1	-	10.8
自來水	7.0	ND	ND	ND	-	0.13	ND	-	4.7
放流水	7.0	4.2	ND	ND	-	1.30	0.15	-	122.9

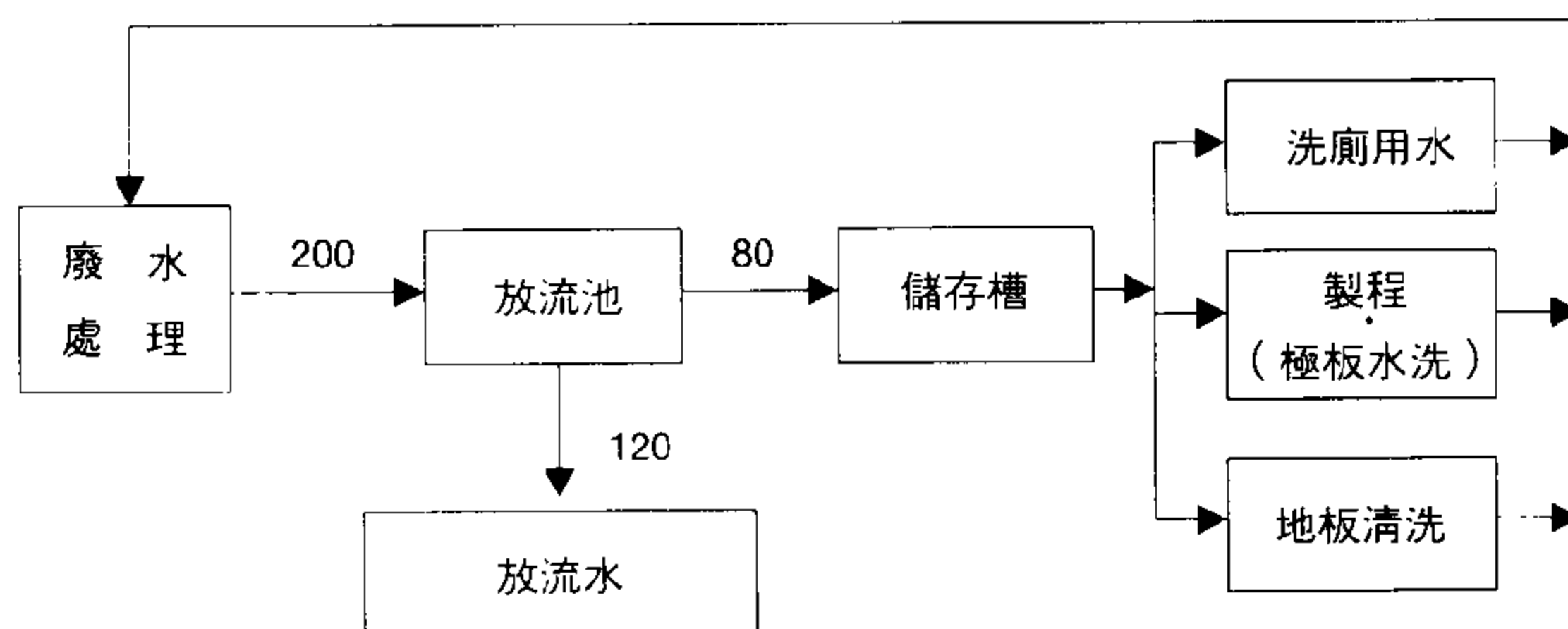


圖2 放流水回收使用流程

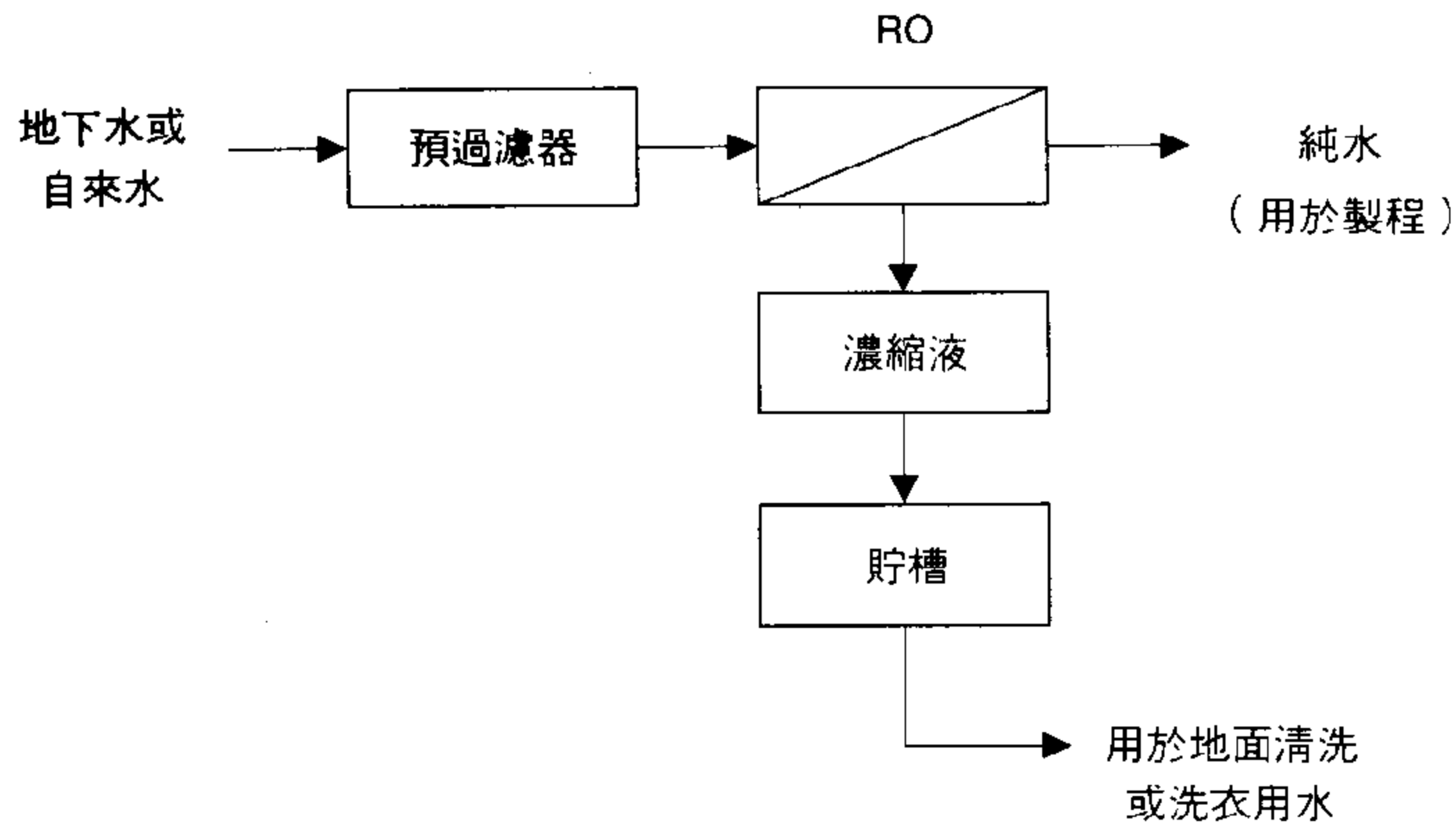


圖3 RO製造製程用純水之處理流程

表5 放流水回收作為陽板水洗水效益分析

效益分析	水資源	用水節省：25,000m ³ /年
	環境	1.廢水排放減少：25,000 m ³ /年 2.增加廢水處理穩定度
	經濟	1.節省用水：25,000 m ³ /年×10元/m ³ =25萬元/年。 2.節省工業區納管費用：2.5萬元/月×12月/年=30萬元/年。
投資	設備	設備投資成本30萬元。
	操作維護	1.設備維修：1.5萬元/年。 2.折舊費用：5萬元/年。 3.設備回收期限：30萬元÷（25萬元+30萬元-1.5萬元-5萬元）=7.5個月

表6 使用RO系統替代離子交換系統效益分析

(1)水質要求	離子交換系統	RO系統
• 濁度 (NTU)	≤2	≤2
• pH (25℃)	5.8~8.6	5.8~8.6
• 導電度 (μS/cm)	≤10	去除率95%以上
• 氯離子 (%)	≤0.0001	≤0.0001
• 硫酸根 (%)	≤0.0001	≤0.0001
• 鐵離子 (%)	≤0.0001	≤0.0001
• 過錳酸還原物 (%)	≤0.005	≤0.005
• 強熱殘留物 (%)	≤0.001	≤0.001
(2)設置成本		1,200,000元
(3)操作成本		
• 電費	37元/ m ³	17.7元/m ³
• 廢水處理 (每日產生20噸廢水費)	48元/m ³ ×20噸×30日 =28,800元/月	
(4)人員	需有人員操作	自動
(5)效益評估：		
1.節省操作人員：48,000元/月=576,000元/年		
2.節省操作成本：(37元/m ³ -17.7元/m ³) ×60 m ³ /日×30日/月 =34,740元/月		
3.每月節省廢水處理費：48元/m ³ ×20 m ³ ×30日=28,800元/月		
4.回收期限：1,200,000÷〔 48,000+34,740+28,800- (1,200,000：60) 〕=1,200,000÷91,540 =13.11月		

作者：陳見財

學歷：逢甲大學環境科學系、土木水利研究所
環工組

經歷：財團法人中技社綠色技術發展中心（前
身中國技術服務社工業污染防治中心）
工程師，迄今共計10年

現職：財團法人中技社綠色技術發展中心組長
專長／研究領域：工業廢水處理、水資源回收
使用

作者：鄭建南

學歷：中原大學化學工程系

經歷：精湛環境工程公司檢測師、中央大學環
工所研究助理、財團法人中技社綠色技
術發展中心（前身中國技術服務社工業
污染防治中心）工程師迄今共計10年

現職：財團法人中技社綠色技術發展中心工程
師

專長／研究領域：工業廢水處理、水資源回收
使用



化工技術

2月號第95期精彩內容介紹

微生物技術

專輯

～ 李文乾先生 主編 ～

- 建構基因表達質體以應用大腸桿菌來生產重組蛋白質
- 基因工程微生物之反應器操作評估—以噬菌體λ於大腸桿菌為例
- 高密度微生物細胞發酵培養
- 菌絲狀真菌之深層培養技術
- 木糖醇的生產～酵母發酵法～
- 微生物技術在廢水處理之應用
- 柴油的微生物分解

精選文章

- 定量泵浦

專欄

- 人生偶拾
 - 第三千紀的人類何去何從？

連載

- 方寸中的化學及化工技術之六十二
 - 德北萊納與鋅金屬

報導

- 化工人語
 - 雪梨的感動
- 工廠介紹
 - 日立粉末冶金 香取工場
- 新書介紹(1)～(3)
 - 2000年版 高功能包裝，材料市場的展望與戰略
 - 2000 新食品添加物標示的實務
 - 住家與白蟻
- 現場傳真
 - 在中國大陸開花結果聚酯纖維的一貫產銷事業
- 化工界動態

動態消息

- 化工技術第8屆金筆獎揭曉
- 新聞稿