



財團法人
環境與發展基金會
Environment and Development Foundation



經濟部工業局
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

用水效能提升輔導說明會

主辦單位：經濟部工業局

執行單位：財團法人環境與發展基金會

協辦單位：經濟部工業局觀音工業區服務中心
台灣區棉布印染整理工業同業公會
桃園縣觀音工業區廠商協進會

中華民國103年6月18日



議程表

時間	活動內容	演講人/貴賓
9:00 ~ 9:20	報到	
09:20 ~ 09:30	主席致詞	
09:30 ~ 10:10	水回收再利用技術 -薄膜技術及積垢指標-	朝陽科技大學 環境工程與管理研究所 莊順興 教授
10:10 ~ 10:50	薄膜技術於水處理的應用	中原大學 生物環境工程系 游勝傑 教授
10:50 ~ 11:00	休息	
11:00 ~ 11:40	廢水回收再利用案例分享 -以紡織業為例-	工業技術研究院 材料與化工研究所 洪仁陽 經理
11:40~12:00	意見交流及綜合討論	
12:00	散會	



103年度 用水效率提升輔導說明會

**水回收再利用技術-薄膜技術及
積垢指標**

莊順興

朝陽科技大學環境工程與管理研究所

103.06.18 (桃園)



簡報大綱

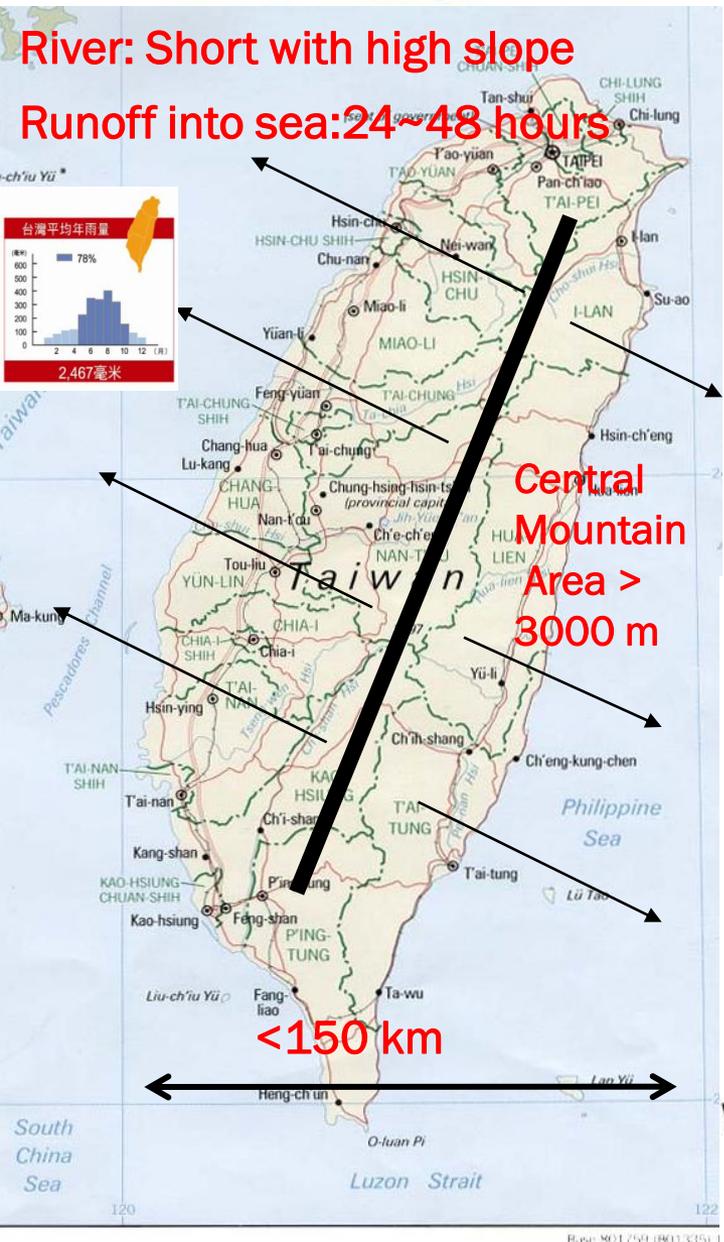
一、廢水回收再利用技術評估

二、薄膜技術介紹

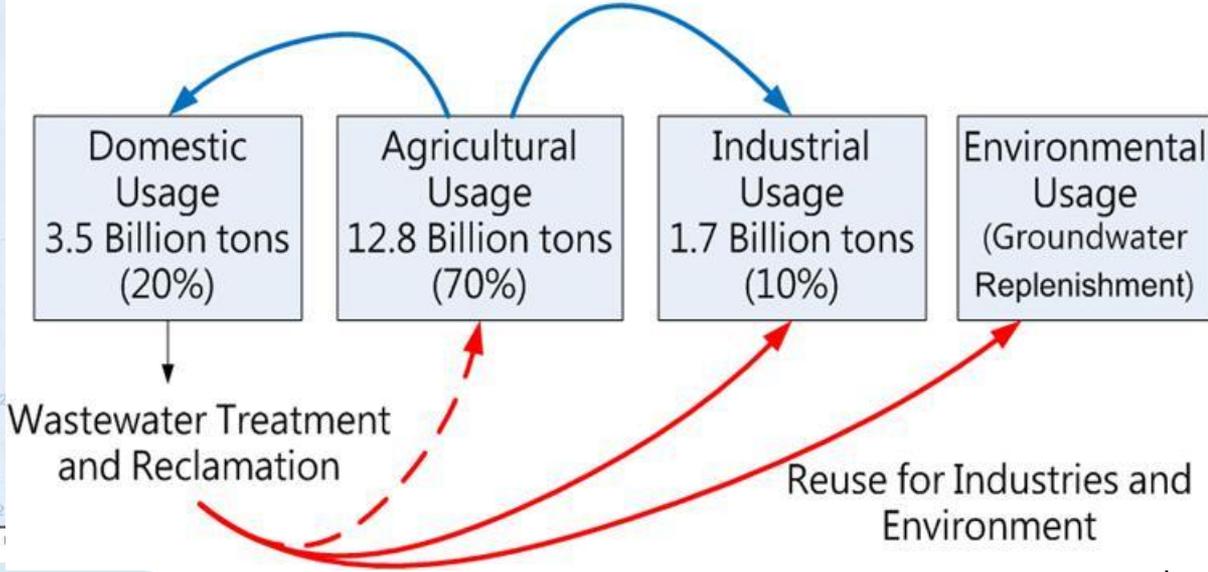
三、薄膜積垢指標應用

背景-水文與水量分配

➤ **台灣水文**：降水量 930 億噸/年，用水量 180 億噸/年；**豐水暴雨期**與**枯水期**常現缺水危機，尋求**豐水暴雨期與枯水期之穩定水資源管理對策**為當前要務。



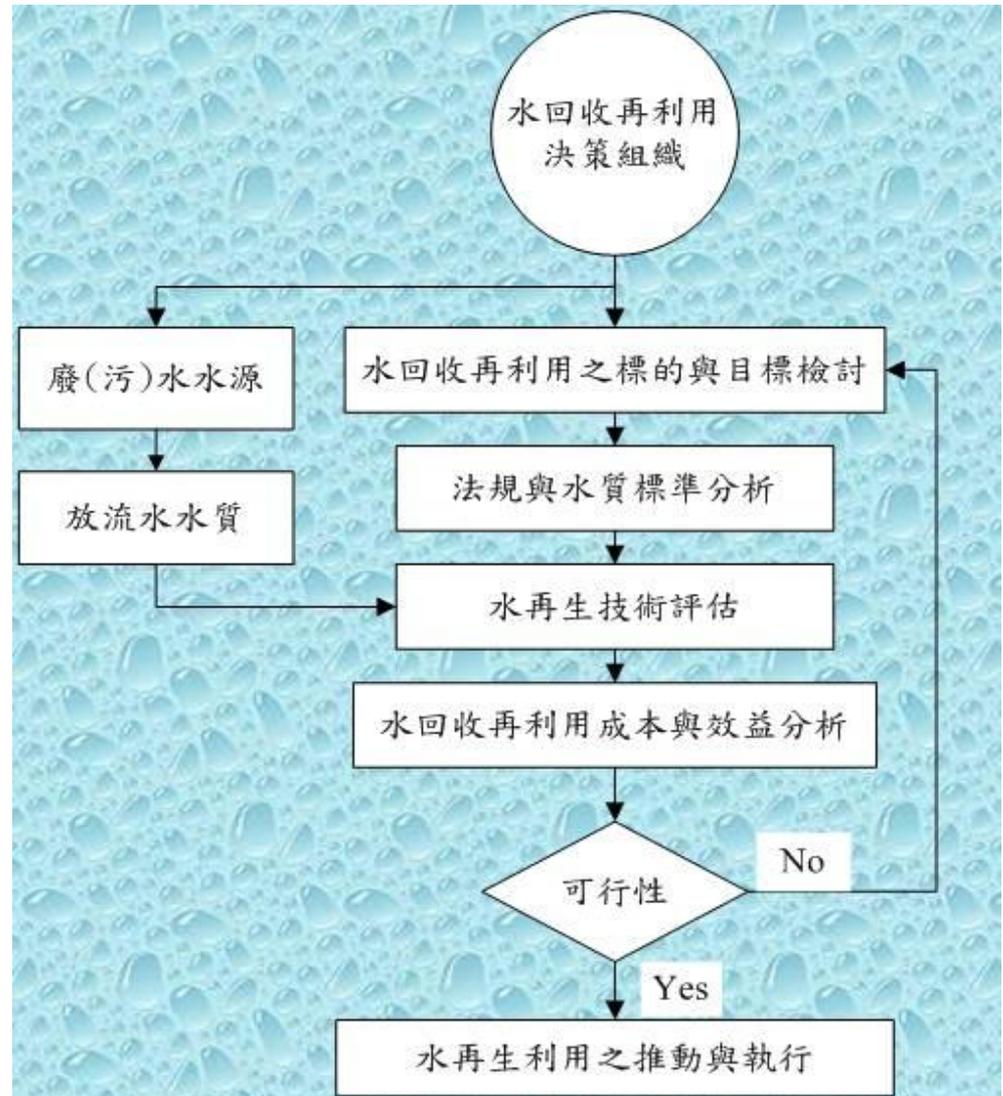
Substitution and Reclamation of water
Raw water substitution



一、廢污水回收再利用技術評估

▶ 廢污水回收再利用技術評估系統架構包括：

- ▶ **管理層面**成立水回收再利用決策組織，宣示水回收再利用之決心，並主導水回收再利用之推動策略。
- ▶ **技術層面**包括廢污水來源、回收再利用用途、特殊水質要求、技術特性與需求、操作及維護、成本效益分析等。



廢污水回收再利用技術評估系統-廢污水來源

- ▶ **廢污水來源:**生活污水、事業廢水**水質特性不同**，**社會接受度不同**，影響其再利用用途。
- ▶ **典型生活污水處理廠放流水質：**
 - ▶ **Cond.<800 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , **TDS<600 mg/l**, **TN<32 mg/l**, **TP<8 mg/l**, **Cl⁻<250 mg/l**, **SO₄²⁻<140 mg/l**.
- ▶ **工業廢水處理廠放流水質：**
 - ▶ **Cond.<5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , **TDS<3000 mg/l**, **TN<33 mg/l**, **TP<55 mg/l**, **Cl⁻<1260 mg/l**, **SO₄²⁻<880 mg/l**.
 - ▶ 工業廢水因產業別之不同，雖均符合放流水標準，但水質之差異大。

典型工業廢水處理廠放流水水質

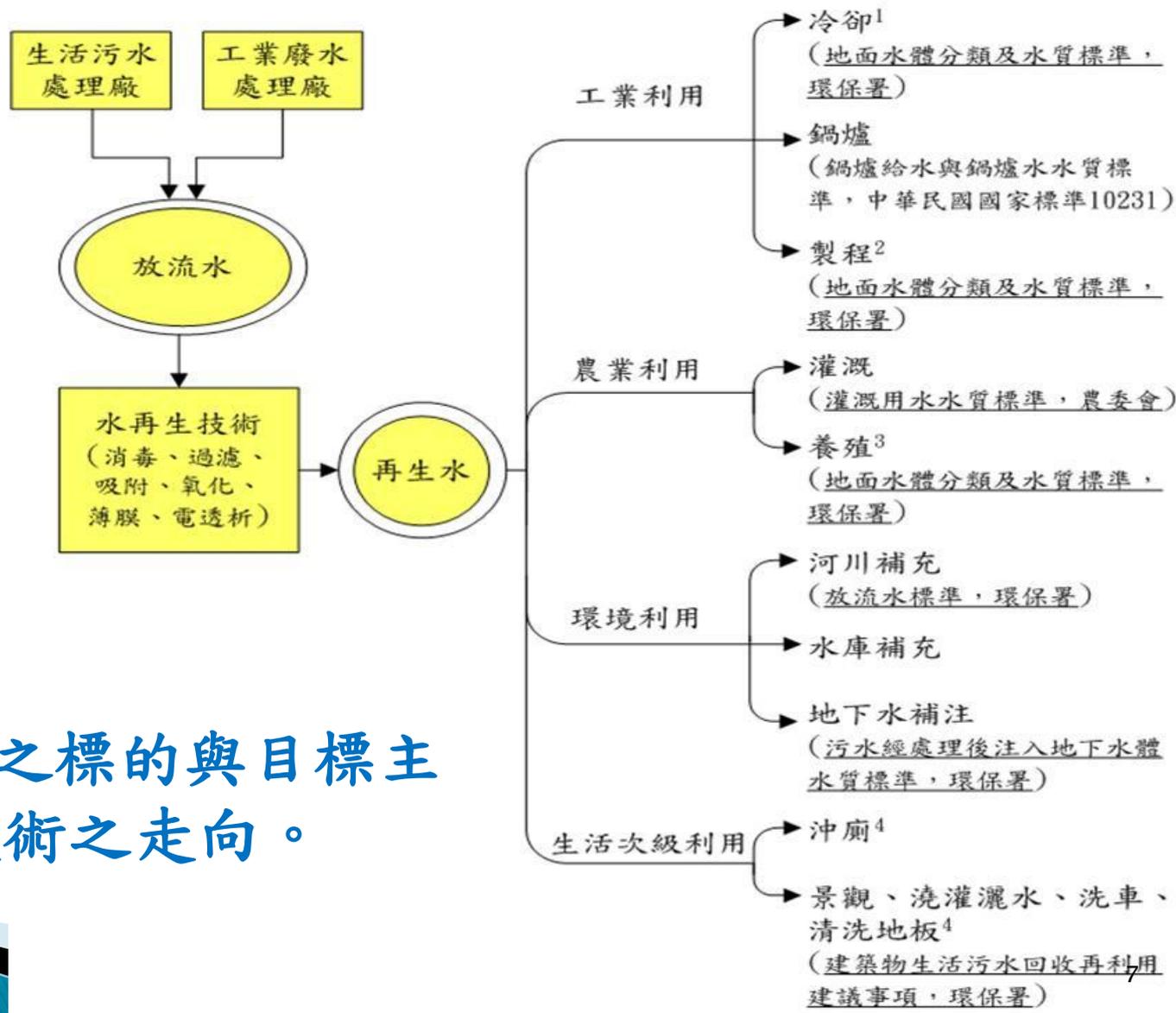
廢水廠 水質項目	工業 (三級/綜合)	工業 (三級/科技園區)	工業 (三級/綜合)	工業 (三級/綜合)	工業 (三級/科學園區)
	新竹工業區 廢水廠放流水	華亞科技園區 廢水廠放流水	臨海工業區 廢水廠放流水	龜山工業區 廢水廠放流水	中科台中基地 廢水廠放流水
導電度	2700 ~ 3700	870 ~ 895	3,500 ~ 5,420	1,538 ~ 2,040	2630 ~ 3020
TDS	2000 ~ 2400	390 ~ 444	1,610 ~ 3,040	867 ~ 916	1380 ~ 1660
F ⁻	*	1.96 ~ 2.05	1.68 ~ 4.60	0.1 ~ 0.15	4.2 ~ 4.6
Cl ⁻	280 ~ 480	96.9 ~ 239	950 ~ 1260	236 ~ 688	628 ~ 654
SO ₄ ²⁻	520 ~ 880	75.23 ~ 106	44.72 ~ 447	69.25 ~ 200	70.5 ~ 207
總硬度	220 ~ 700	104 ~ 124	352 ~ 361	112 ~ 128	256 ~ 266
濁度	3.7 ~ 6.9	3.8 ~ 6.3	2.8 ~ 9.7	3.2 ~ 7.7	2.6 ~ 3.2
總氮	16 ~ 25	21.80 ~ 23.2	12.9 ~ 22.55	13.04 ~ 18.8	32.3 ~ 33
NO ₃ -N	15 ~ 23	6.87 ~ 16.50	0.03 ~ 18.20	5.45 ~ 12.8	13.9 ~ 15.4
NH ₃ -N	0.08 ~ 0.12	4.43 ~ 15.8	3.68 ~ 8.64	0.07 ~ 0.26	16.3 ~ 18.8
TP	3.4 ~ 15	8.40 ~ 8.93	4.24 ~ 6.56	0.22 ~ 1.18	19.9 ~ 54.7
Cd	0.01	ND ~ 0.0004	ND ~ 0.0003	ND ~ 0.0004	ND ~ 0.0006
Cr	0.04	ND ~ 0.0017	0.0041 ~ 0.017	0.0048 ~ 0.009	0.0027 ~ 0.0028
Cu	0.11	0.036 ~ 0.0665	0.0036 ~ 0.017	0.057 ~ 0.0603	0.0044 ~ 0.0047
陰離子型 界面活性劑	0.2 ~ 0.32	0.07 ~ 0.11	0.08 ~ 0.17	0.46 ~ 0.53	ND ~ 0.06

廢污水回收再利用技術評估系統-回收再利用用途

➤再生水用途分類，依使用標的分為四大類：

- 工業利用
- 農業利用
- 環境利用
- 生活次級利用。

➤回收水使用之標的與目標主導了水再生技術之走向。



廢污水回收再利用技術評估系統-回收再利用用途

再生水來源	灌溉利用	生活次級利用	工業冷卻及製程
生活污水	<u>水質控制關鍵</u> TN < 3 mg/l Cl < 175 mg/l SAR < 6	<u>法規基準關鍵</u> 訂定生活污水回收再利用水質之建議值	<u>區位配合關鍵</u> 都市污水周遭有適合之工業區及工廠
工業廢水	<u>水質疑慮關鍵</u> 殘留有機物、鹽類及重金屬不應使用於灌溉上。	<u>水質疑慮關鍵</u> 殘留有機物、鹽類及重金屬不應過度使用於澆灌及土壤上。	<u>水質控制關鍵(冷卻)</u> TDS < 500 mg/l SO₄ < 200 mg/l Cl < 500 mg/l SiO₂, Al, Fe, Mn, Ca.

廢污水回收再利用技術評估系統-水再生技術

▶ 水再生技術單元

- 混凝沈澱、過濾、薄膜過濾(MF, UF)、逆滲透(RO)、電透析(ED, EDR)、吸附、離子交換、高級氧化、蒸餾、消毒(HOCl, O₃, UV)。

▶ 水再生處理四大類對象物質

- **膠體及懸浮固體物(Colloid&SS)** : colloidal, suspended solids, organic matters (particulate)
- **溶解性有機物質(DOM)** : TOC、refractory organics, VOC
- **溶解性無機物質(DIOM)** : ammonia, nitrate, phosphorus, TDS
- **生物性物質(BIO)** : bacteria, protozoon cysts, virus

水再生處理四大類對象物質

放流水殘留成份

影響

1. 無機性及有機性懸浮

固體與膠體

- 懸浮固體
 - 可能造成污泥沉積或影響承受水體之澄清度
 - 影響消毒成效
- 膠體
 - 可能造成放流水濁度

2. 溶解性有機物質

- 總有機碳
- 難分解性有機物
- 揮發性有機物
- 醫藥衛生有機物
- 清潔劑
- 可能消耗溶氧
- 具潛在毒性與致癌性
- 具潛在毒性與致癌性，形成光化學氧化劑
- 影響水生生物(如內分泌干擾，性別反轉)
- 造成泡沫且可能干擾混凝反應

3. 溶解性無機物質

- 氮
 - 增加氮使用量
 - 能轉變為硝酸鹽消耗溶氧
 - 與磷同時存在將造成水生植物大量成長
 - 對魚類具毒性
- 硝酸鹽
 - 刺激藻類及水生植物成長
- 磷
 - 造成嬰兒疾病(藍嬰症)
 - 刺激藻類及水生植物成長
 - 干擾混凝反應、干擾石灰軟化反應
- 鈣、鎂
- 氯鹽
- 總溶解固體物
 - 增加硬度與總溶解固體物
 - 造成鹽度
 - 影響農業與工業使用

4. 生物性物質

- 細菌
 - 可能造成疾病
- 原生動物及孢子
 - 可能造成疾病
- 病毒
 - 可能造成疾病

廢污水回收再利用技術評估系統-水再生技術

▶ 水再生技術單元

- **過濾**：過濾用以去除無機性及有機性懸浮固體與膠體。
- **薄膜過濾(MF, UF)**：去除無機性及有機性懸浮固體與膠體，屬壓力驅動型薄膜分離技術，MF孔徑大於 $0.1\ \mu\text{m}$ ，UF孔徑範圍在 $0.01\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 。
- **吸附**：去除無機性及有機性懸浮固體與膠體及溶解性有機物質，當吸附劑達到飽和時須進行再生。
- **高級氧化**：用以去除溶解性有機物質，污染物在加入氧化劑後，由污染物與藥劑氧化反應。

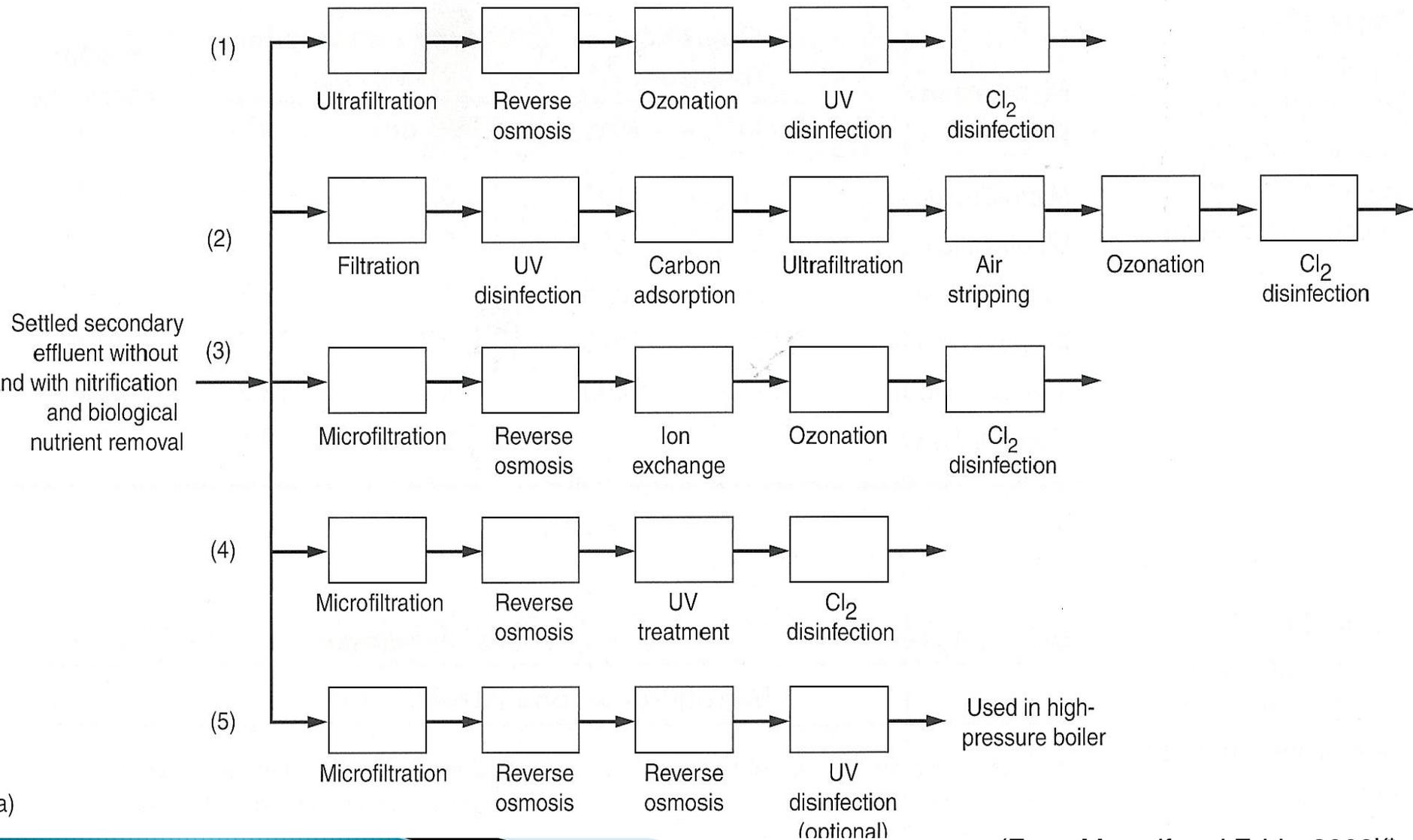
廢污水回收再利用技術評估系統-水再生技術

▶ 水再生技術單元

- 逆滲透(RO)：將二級放流水中的水和離子分離，達到純化和濃縮之目的。逆滲透是在壓力1~10 MPa下，截流住0.1~1 nm小分子溶質。
- 電透析(ED, EDR)：利用電流來誘導離子與溶劑部份分離的一種薄膜處理法，其係將陽離子和陰離子膜交互排列，並通以電流使離子向二極運動。
- 消毒(HOCl, O₃, UV)：去除放流水中生物性物質之活性，確保水質符合公共衛生安全。

放流水殘留成份	水再生技術單元							
	過濾	MF/UF	吸附	氧化	逆滲透 (RO)	電透析 (ED)	離子交 換(IE)	消毒
1. 無機性及有機性懸浮固體與膠體								
● 懸浮固體	√	√	√		√	√	√	
● 膠體	√	√	√		√	√	√	
2. 溶解性有機物質								
● 總有機碳			√	√	√	√	√	
● 難分解有機物			√	√	√	√		
● 揮發性有機物			√	√	√	√		
3. 溶解性無機物質								
● 氨					√	√	√	√
● 硝酸鹽					√	√	√	
● 磷					√	√	√	
● 總溶解固體物					√	√	√	
4. 生物性成分								
● 細菌		√			√	√		√
● 原生生物及孢子	√	√	√		√	√	√	√
● 病毒					√	√		√

廢污水回收再利用技術評估系統-技術建議



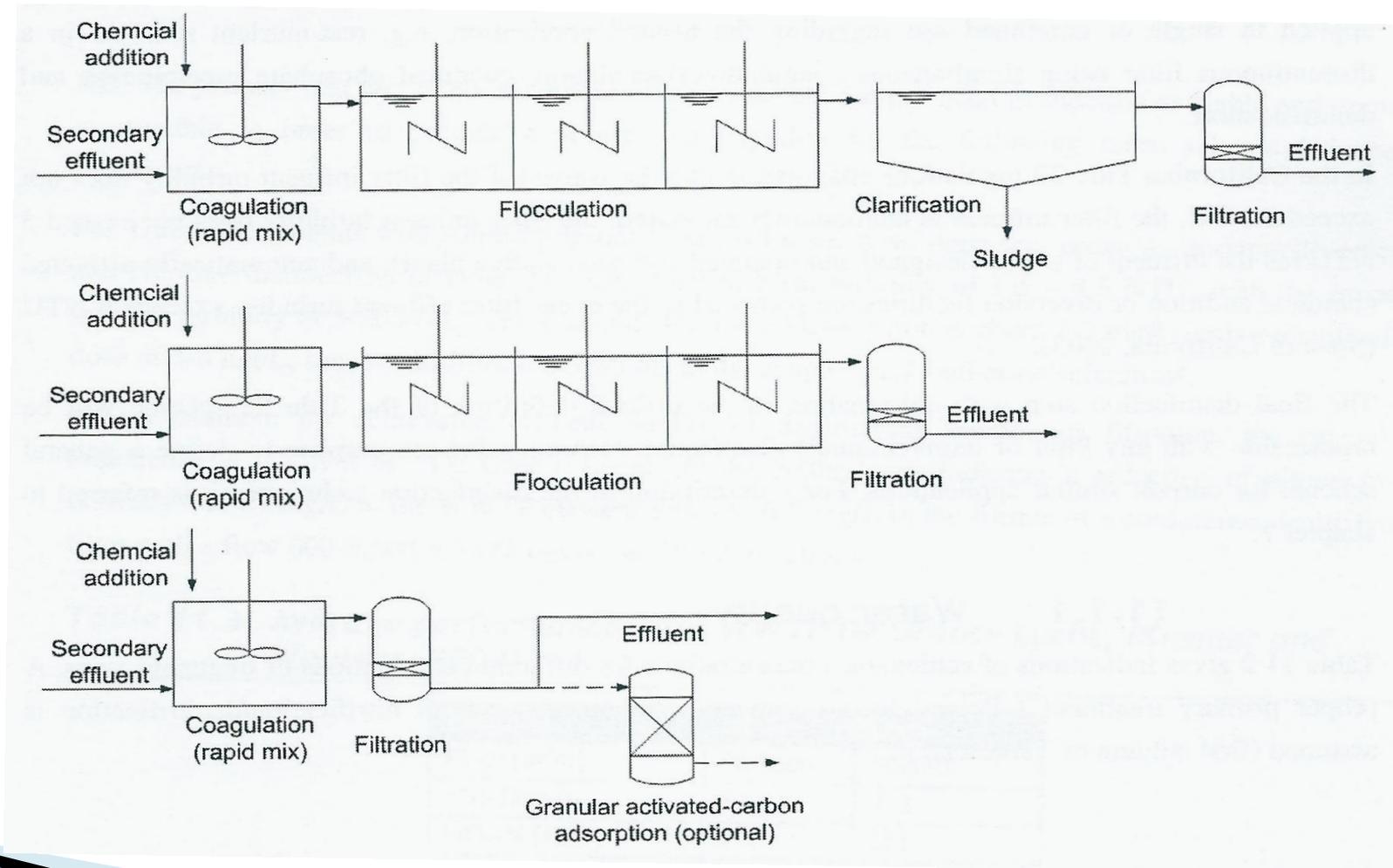
(From Metcalf and Eddy, 2003)⁺

廢污水回收再利用Benchmark技術

▶ Title 22 Benchmark技術(美國加州廢水再生準則)：

- ▶ 二級放流水經再生以**符合不受限制使用**之要求。
- ▶ 處理流程為**混凝 / 過濾接續加氯消毒 / 脫氯**，以**符合0 FC/100 mL** 之要求。
- ▶ 過濾單元可以任何相當功能之過濾技術替代。

廢污水回收再利用Benchmark技術-Title 22



廢污水回收再利用Benchmark技術

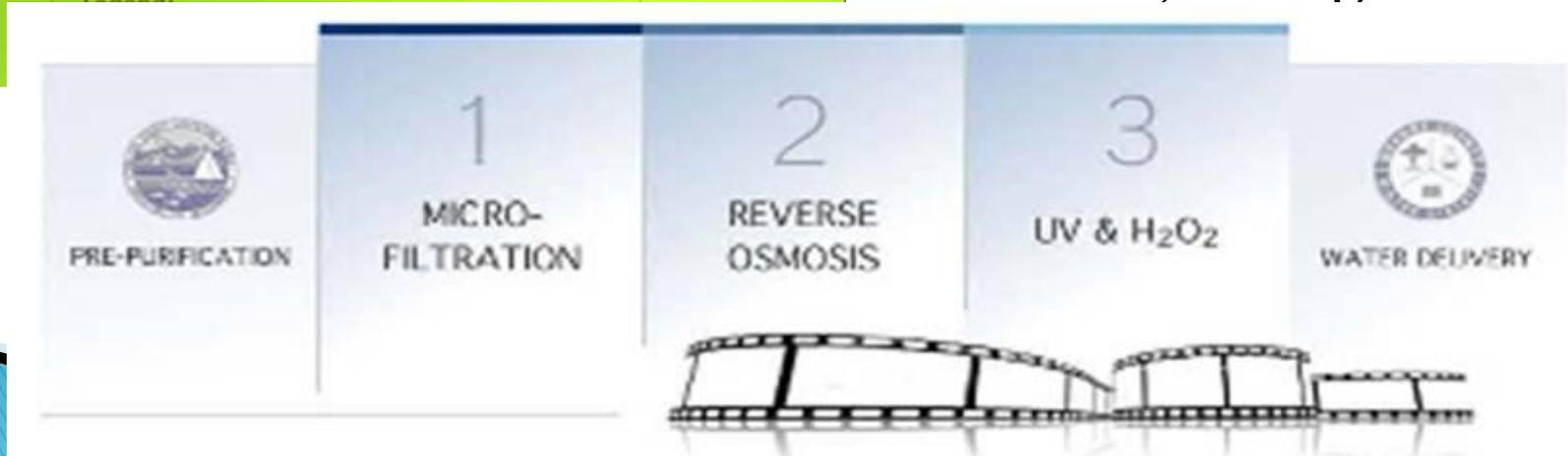
- ▶ **Double membrane system Benchmark 技術：**
 - ▶ 二級放流水先進流至**MF/UF系統**，接著才進入**RO薄膜與UV消毒系統**。
 - ▶ **RO薄膜**，微細之膠體與**溶解性物質被去除**，如二價離子與部分一價離子。
 - ▶ 消毒單元則設置於配水再利用前。
 - ▶ 回收再利用之等級相當高，可應用於**地下水補注、直接與間接飲用、微電子產業程序用水及鍋爐用水**等用途上。

廢污水回收再利用Benchmark技術-Double membrane system



NEWater, Singapore.

GWRS, Orange County



二、薄膜技術介紹 薄膜孔徑與物質尺寸

離子 分子	Ionics			Molecular		Macro- Molecular		Micro- Particle		Macro- Particle					
Molecular Weight (MW) in Daltons	100	200	1,000	10,000	20,000	100,000	500,000								
尺寸 μm	0.001			0.01		0.1		1.0		10		100		1000	
物質 名稱				Virus			Bacteria								
	Aqueous salts						Algae								
	Metal ions	Humic acid					Silt		Sand						
							Clays								
高級 水處理 方式	RO · ED/EDR									傳統過濾程序					
	NF														
				UF											
							MF								

薄膜技術介紹

- ❖ 薄膜程序包括逆滲透(Reverse Osmosis, RO)、超過濾(Ultrafiltration, UF)及微過濾(Microfiltration, MF)
- ❖ 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。
- ❖ 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 $30\sim 300\ \text{kPa}$ 之間，屬低壓之薄膜程序。
- ❖ 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 $0.1\ \text{NTU}$ ；以 $0.2\ \mu\text{m}$ 之MF進行水處理，可去除約15%的有機物(TOC)。

薄膜技術介紹

- ❖ 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。
- ❖ 超過濾主要應用於移除水體中之粒子(particulates)、大分子(macro-molecular)，UF膜規格常以Molecular Weight Cut-Off (MWCO)表之；然而，超過濾程序之應用範圍亦包含化學製程、食品製程(如cheese提煉或果汁濃縮)及生化科技(如酵素濃縮)等。另外UF程序也應用在污泥減量上，可減少污泥最終處置之問題。
- ❖ UF程序在工業製程方面，由於近幾年半導體業及電子業蓬勃發展，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。

薄膜技術介紹

- ❖ 近幾年來，NF (Nanofiltration) 薄膜程序亦逐漸應用於水處理上。NF程序也屬以壓力驅動式之薄膜程序，操作壓力略低於RO，介於350~1000 kPa之間，有省能源之優點。
- ❖ NF對於高價離子(二價或以二價以上之離子)有95%以上之去除率，對於單價離子約有80%以上之去除效果，從另一個觀點上來看，NF薄膜程序對單價及高價離子具有分離能力，未來應可利用在分離技術上。NF程序在飲用水應用上主要是除鈣、鎂離子，具有軟化水質之功效。

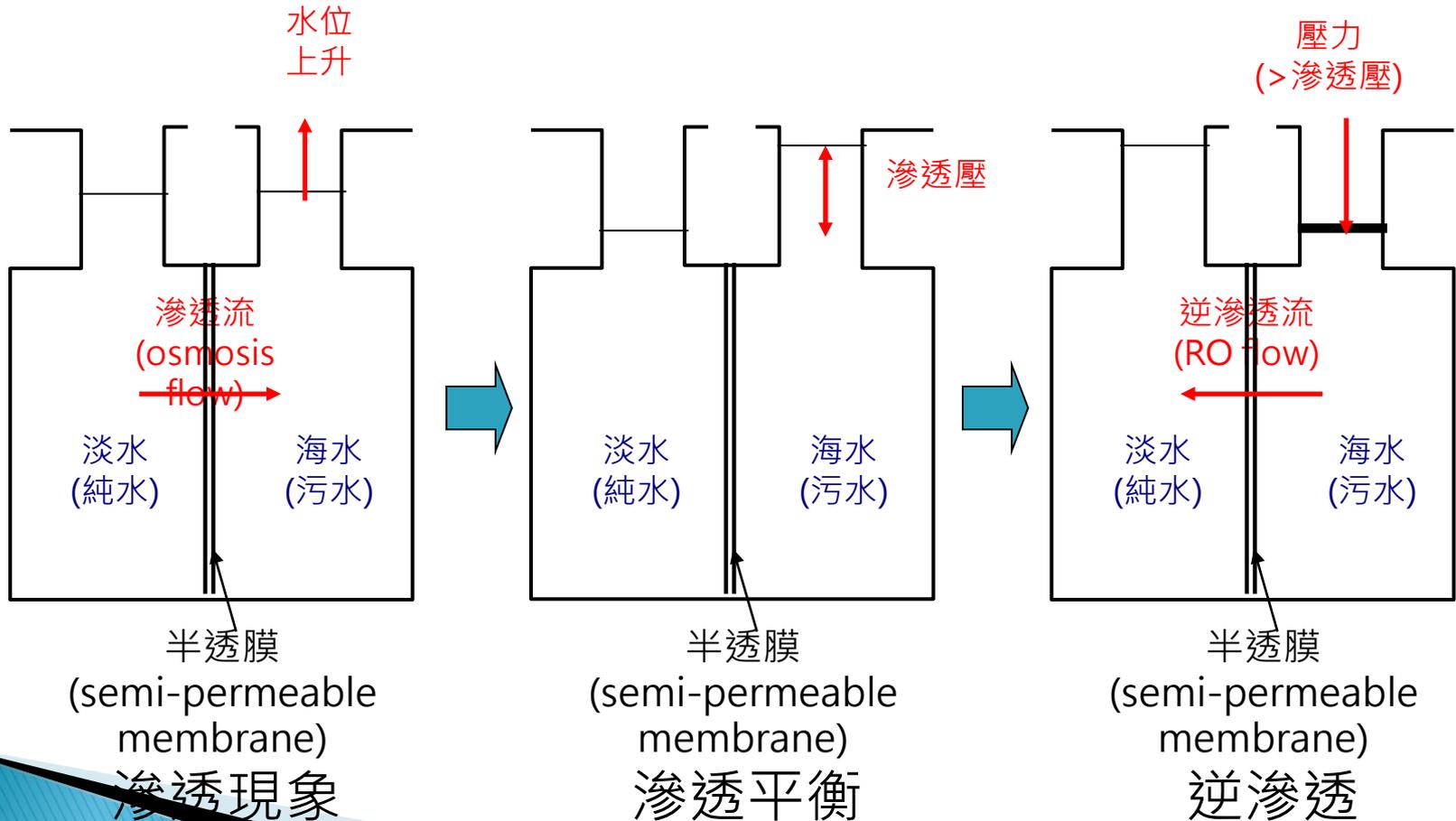
薄膜技術介紹

- ❖ 逆滲透(RO)為薄膜程序中薄膜孔徑最小者，其薄膜孔徑在0.1 nm以下，因RO孔徑甚小，通常RO之MWCO小於200 D(道爾敦)。RO其操作壓力在800~8,000 kPa，於溶液中溶質濃度較高者，其操作壓力可能更高，以便克服在物種分離時，因半透膜(RO)兩側之濃度差所造成滲透壓(osmosis)之阻力。
- ❖ 由於RO之薄膜孔徑甚小，因此RO對於溶離子有分離之效果。對於二價以上之高價離子，如： Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 等，有99%以上之去除率，而單價離子方面，如： Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 亦有95%以上之去除效果。
- ❖ 於廢水回收/回用上，薄膜程序常因薄膜阻塞造成產水率降低或增加操作成本，以及濃縮液(concentrate)處理或處置等問題，是RO程序在發展上必須克服之關鍵。

薄膜技術介紹

逆滲透法(0.4nm~6nm)

► 滲透與逆滲透

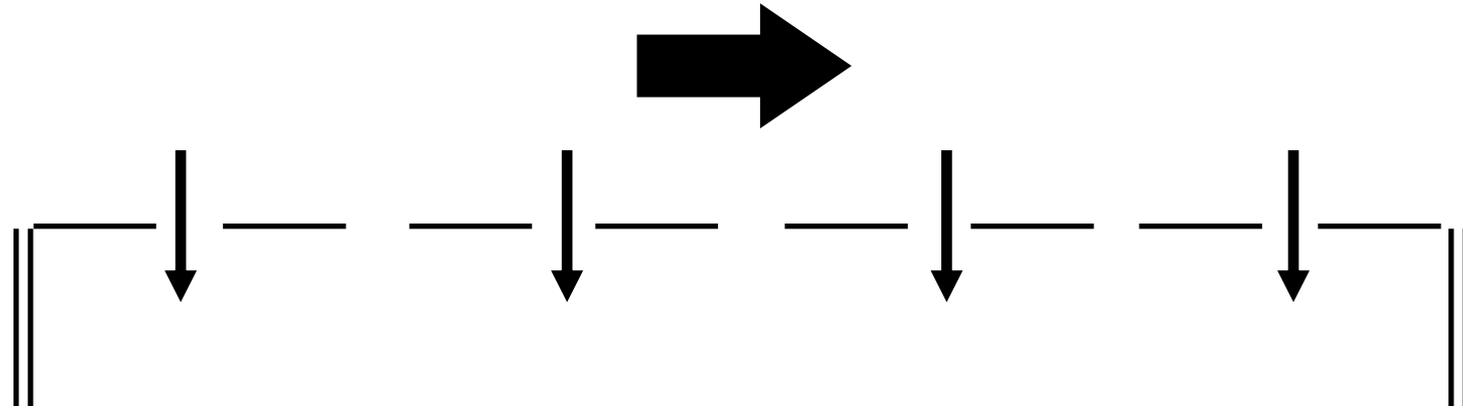




Pressure Driven Membrane Processes – Pressures

Membrane Process	Typical Operating Pressure Range (PSI)
Reverse Osmosis seawater	800–1200
brackish water	100–600
Nanofiltration	50–225
Ultrafiltration	30–100
Microfiltration	2–45

Cross-Flow Filtration



Required for reverse osmosis

- A. Sweeps away membrane foulants.
- B. Minimizes concentration polarization (maintains $\Delta P - \Delta \pi$ difference).
- C. Generates a concentrate stream and a permeate stream.

Membrane Technologies

薄膜類型	可去除物質	相當之傳統水處理方法
MF	bacteria, larger colloids, separation of precipitates and coagulates	UV/O ₃ , chlorination, sand filters, bioreactors, coagulation-settling tanks
UF	all the above, virus, high MW proteins, organics	sand filter, bioreactors, activated carbon
NF	all the above, divalent ions, larger monovalent ions, color, odor	lime-soda softening, and ion exchange
RO	all the above, monovalent ions	distillation, evaporation, ion exchange
ED/EDR	dissolved ionic salt	ion exchange

廢污水回收再利用技術評估系統-水再生技術

以薄膜技術為核心單元之再生技術分類

預先處理單元	前處理單元	核心處理單元	後處理單元
混凝	微濾	逆滲透	pH 調整
過濾	超濾	電透析	消毒
	氧化	離子交換	
	吸附		





薄膜技術

- ▶ 薄膜在操作過程中易受水中懸浮物、膠體、微生物及有機物等引起薄膜阻塞，造成薄膜性能下降。
 - 1. **薄膜本身的化學變化**，包括薄膜的水解、游離氯等的氧化以及強酸、強鹼的作用。
 - 2. **薄膜本身的物理變化**，包括壓密與反作用而使薄膜被破壞。
 - 3. **薄膜受污染**，主要包括**結垢物、微生物、膠體、懸浮物、有機物**等在膜表面及內部發生堵塞。

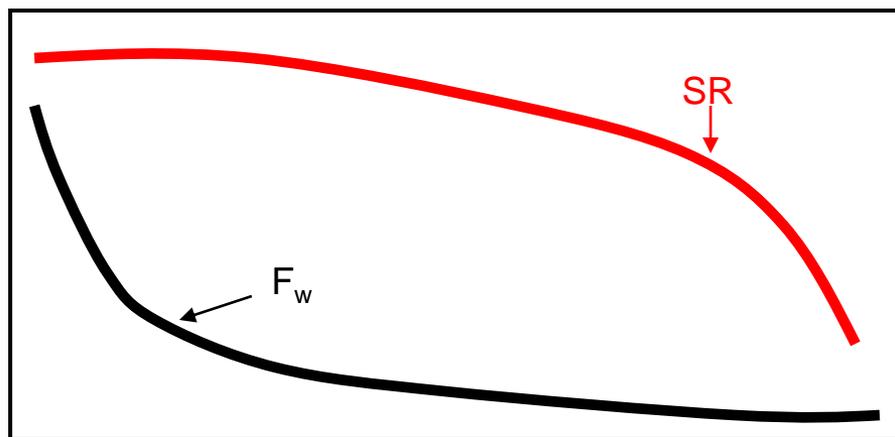
薄膜技術 操作特性

◆ 操作參數

- 進流水TDS濃度(C_f)
- 進流水壓力(P)
- 進流水溫度(T)

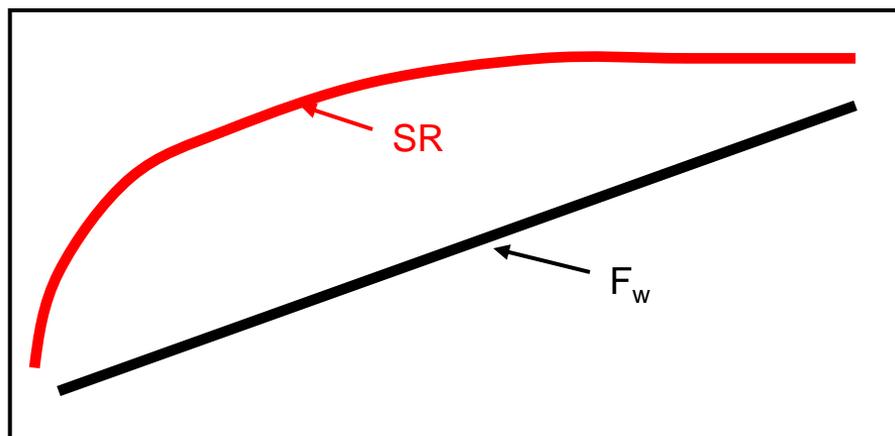
操作參數	操作條件	除鹽率(SR)	流通量(F_w)
進流水 TDS 濃度(C_f)	增加	微量下降	明顯下降
進流水壓力(P)	增加	微量上升	線性上升
進流水溫度(T)	上升	微量下降	線性上升(T 上升 5 °C , F_w 上升 10%)

操作特性



C_f →

進流水濃度對薄膜處理效果之影響



P →

進流水壓力對薄膜處理效果之影響

三、薄膜積垢指標

1. 淤泥密度指數(Silt density index, SDI)

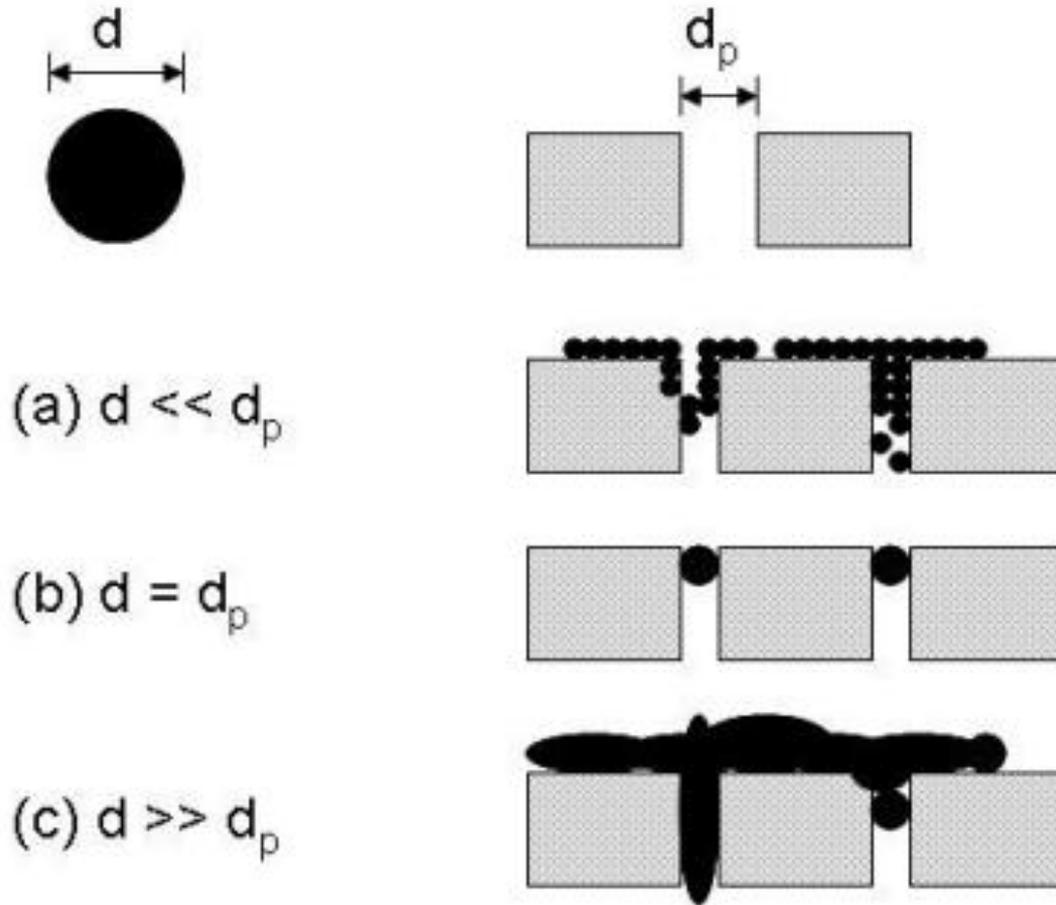
阻塞指數(plugging index, PI)和污泥密度指數(silt density index, SDI ; 又稱fouling index, FI)

實驗方法：以0.45 μm 孔徑濾膜，在2.1atm (30psig)壓力下，測定500ml溶液通過的時間 t_i ，15分鐘後，再測定500ml通過的時間 t_f 。則：

$$SDI_T = \frac{(1 - \frac{t_i}{t_f}) \times 100}{T}$$

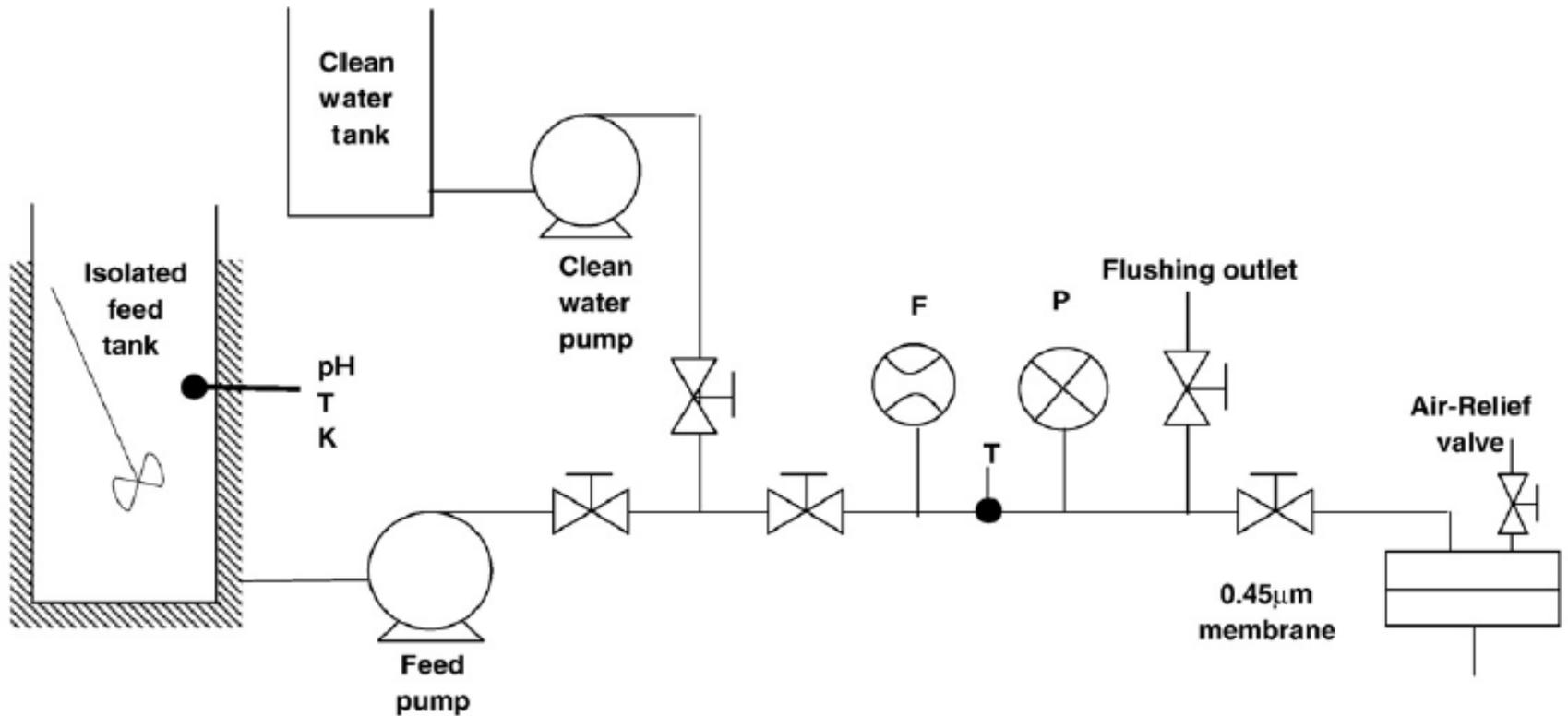
- SDI指標與膠體顆粒濃度並沒有成線性之關係，與通量下降變化也沒有很明確的定義。
- SDI指標無法在試驗期間區別出積垢機制(孔徑過濾、塊狀過濾以及壓縮塊狀過濾)。

薄膜積垢指標

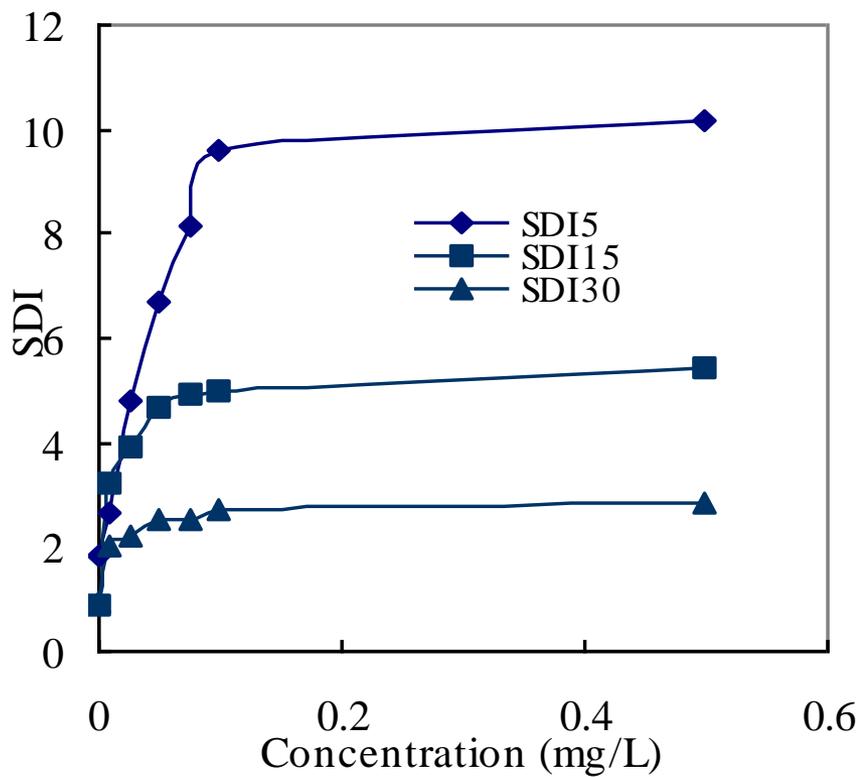


薄膜積垢模式(a)完全阻塞(b)標準阻塞
(c)膠羽層/濾餅層阻塞

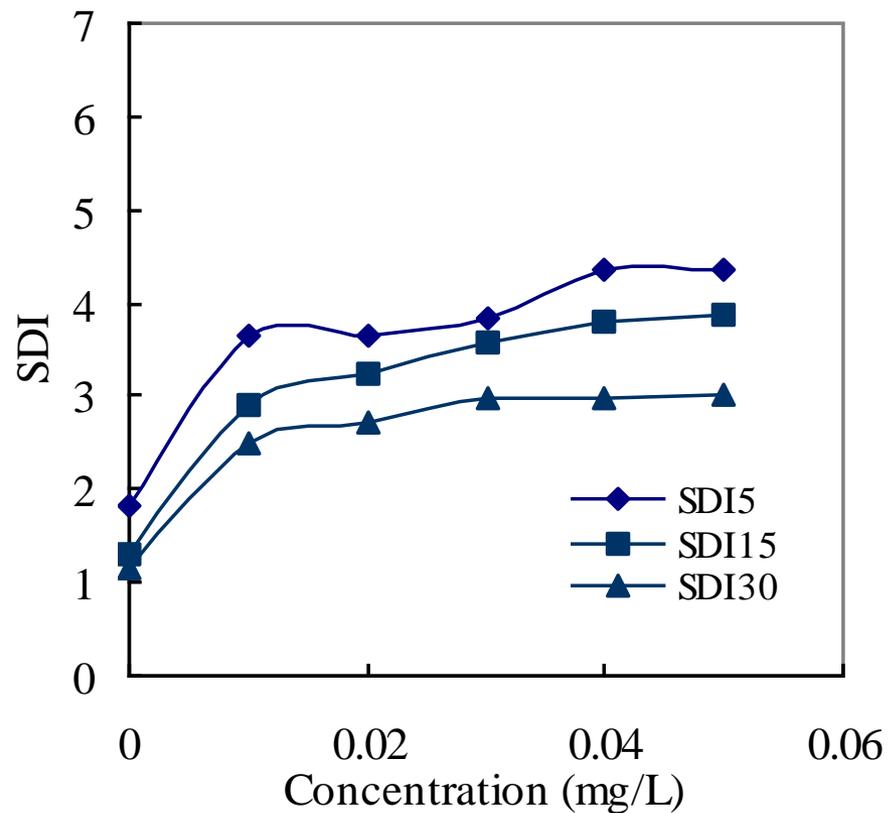
淤泥密度指數(SDI)試驗裝置



Note : 若 $1-t_i/t_f > 0.75$ 則 T 選用 10 或 5 分鐘。如選用五分鐘 $1-t_i/t_f$ 仍 > 0.75 ，則不適用SDI 測定，SDI 參考上限值為 6.67。



腐植酸各濃度之SDI



葡聚糖(MW 5~40million)
之SDI

薄膜積垢指標

2.修正阻塞指數(Modified Fouling Index · MFI)

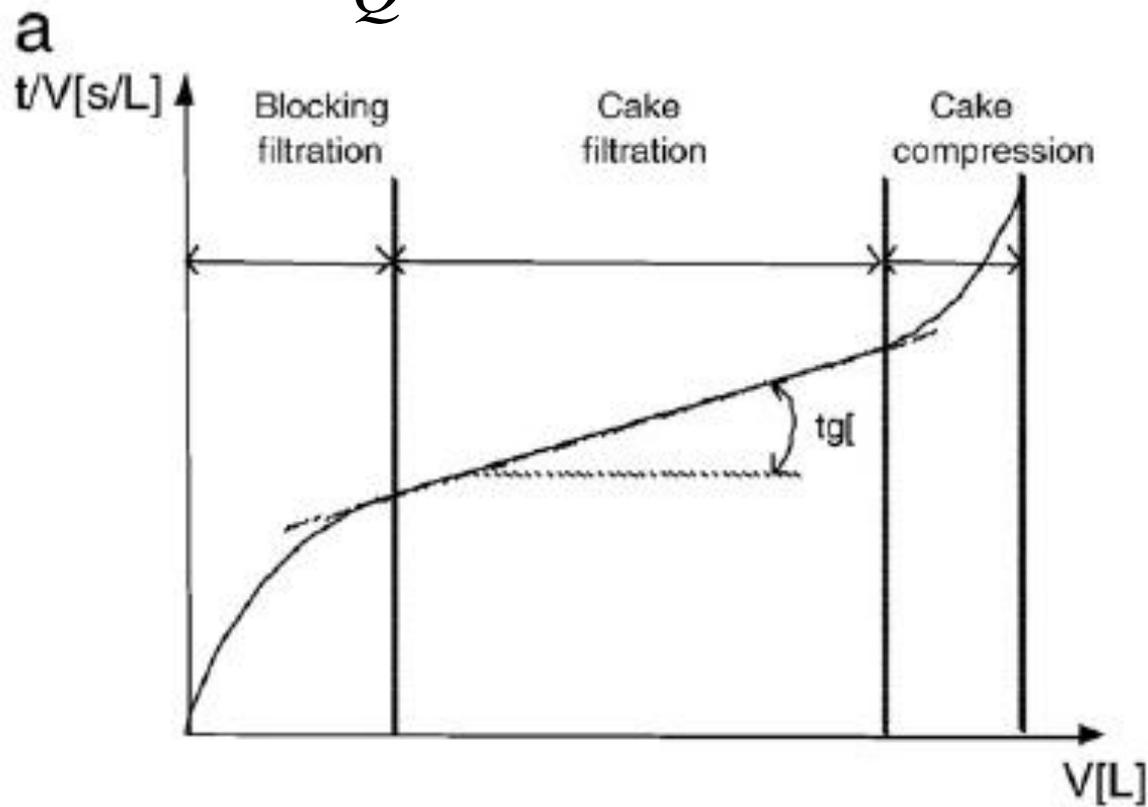
MFI指標與進流水之顆粒濃度具有良好的線性關係，可更進一步的探討積垢指標在薄膜積垢影響的意義。

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot R_M}{dP \cdot A} + \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot \Delta P \cdot A_M^2} \cdot V \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{Q} = a + MFI \times V$$

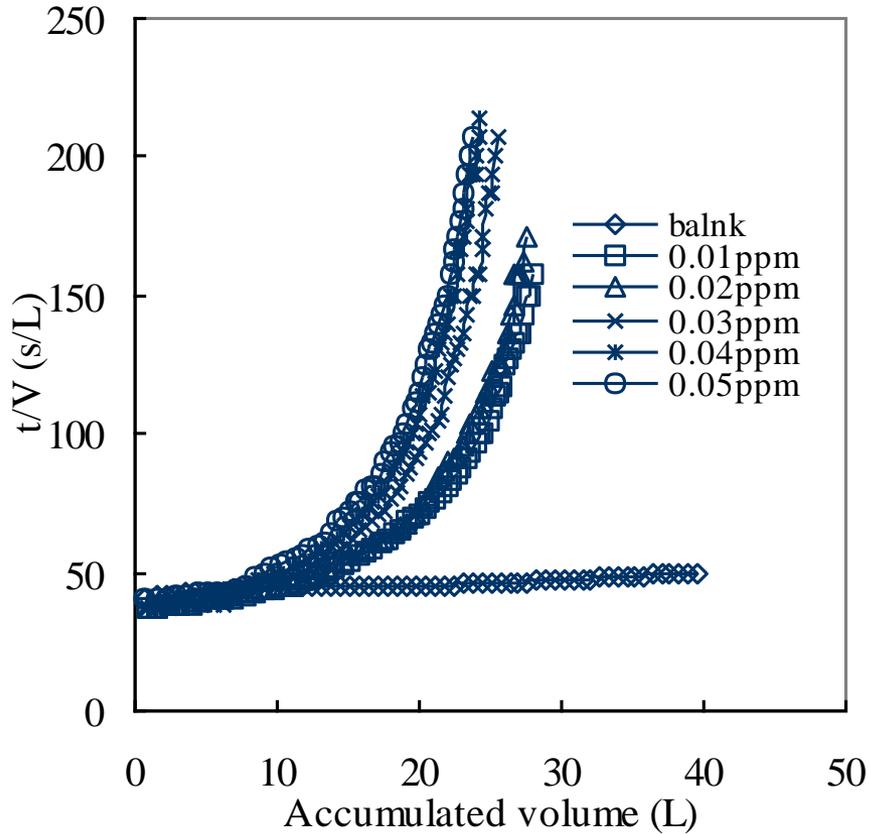
V	accumulated filtrate volume (L or m ³)
t	time (s)
A_M	membrane area (m ²)
dP	applied pressure (Pa)
μ	water viscosity (Pa s)
R_M	clean membrane resistance (m ⁻¹)
I	fouling potential index (m ⁻²).

修正阻塞指數(MFI)基礎理論

$$\frac{1}{Q} = a + MFI \times V$$

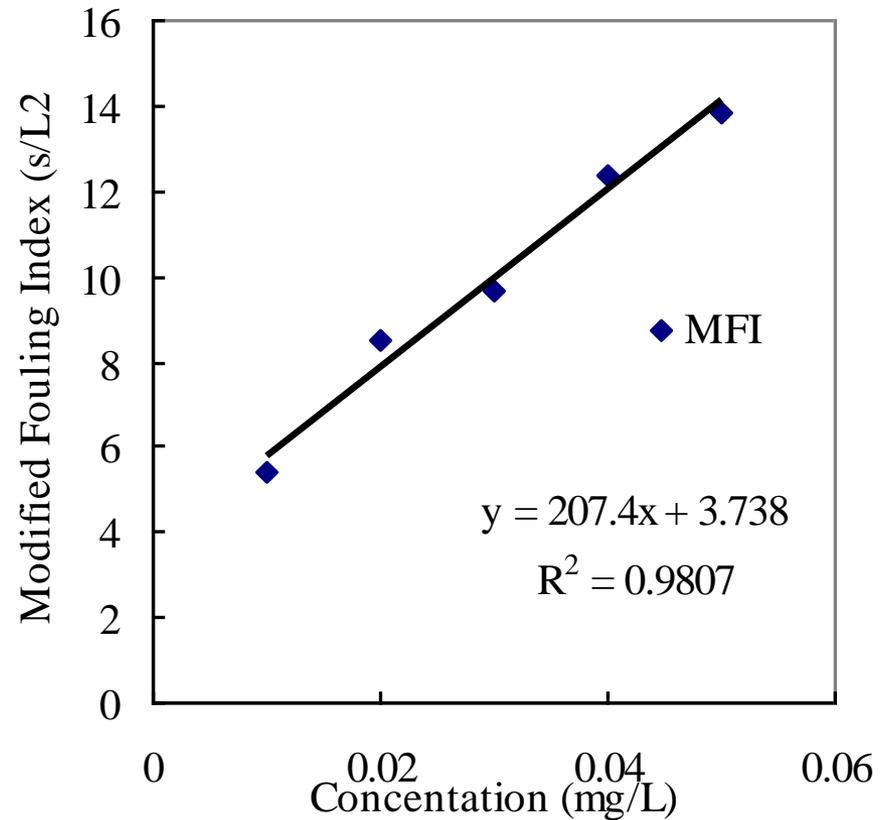


Filtration curve of Humic acid



腐植酸各濃度t/V與累積
體積曲線

MFI Distribution and Variation of Humic acid



腐植酸各濃度MFI相關性

薄膜積垢指標

3.微阻塞指數 (Mini Plugging Factor Index · MPFI)

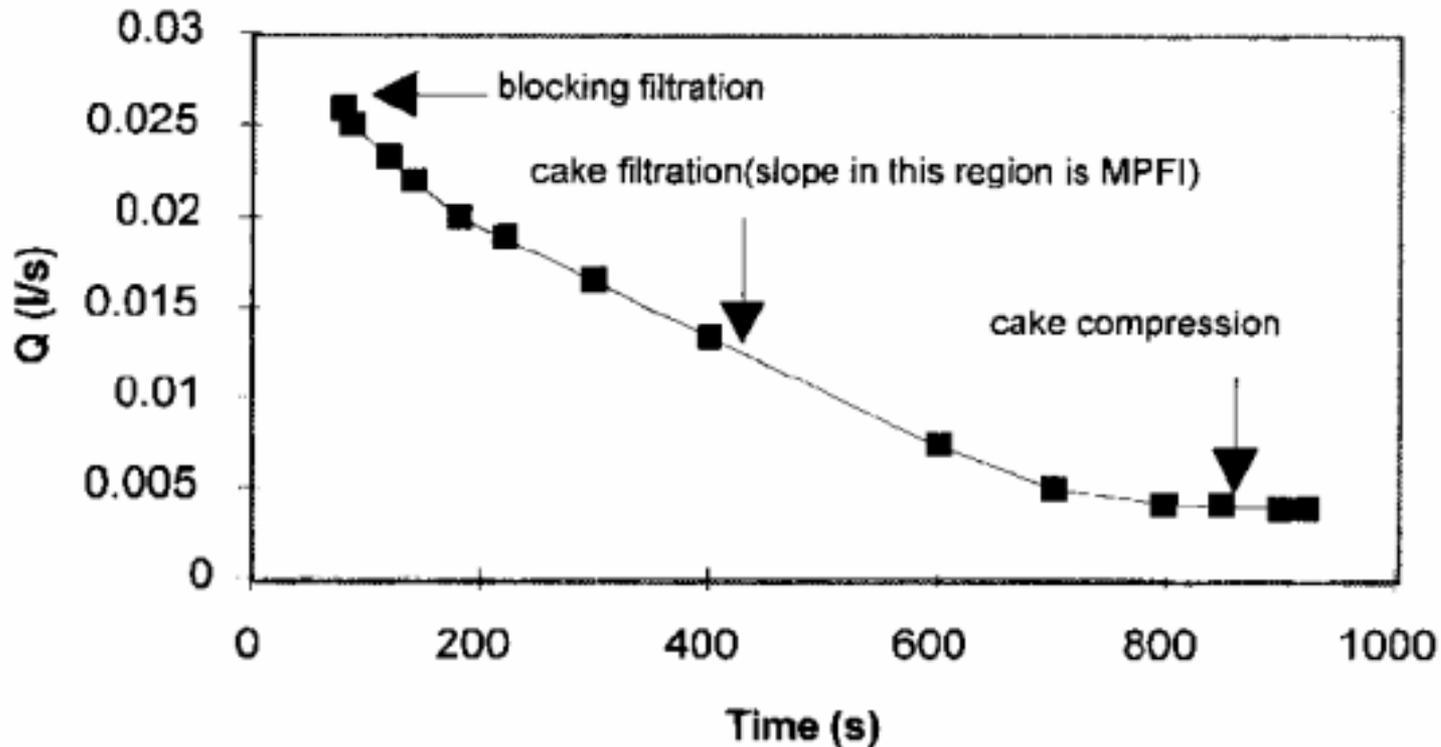
試驗期間內，每 30 秒記錄一次體積，**MPFI 為流量與時間關係圖中之斜率值。**

$$Q' = a + \text{MPFI} \times t$$

Q : 30 秒內之流量 (L/s)

a : 常數

t : 操作時間 (s)



薄膜積垢指標

4.飽和模式指數(Saturation Curve Fouling Index, SCFI)

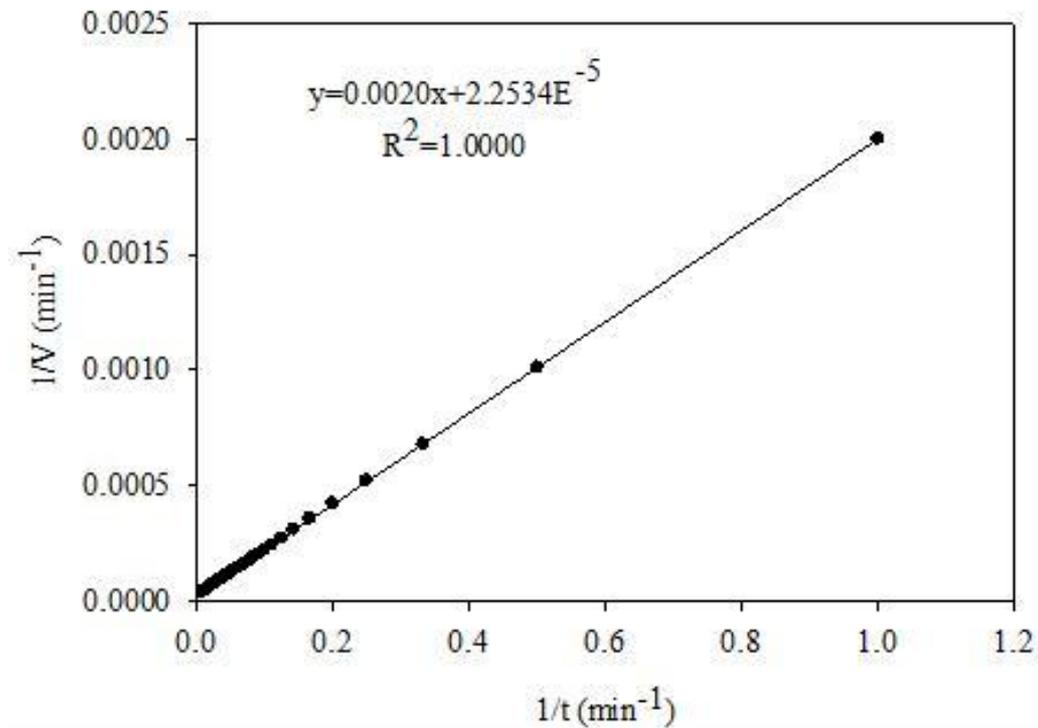
透過飽和曲線模式之應用，以分析 V_{\max} 及 K_f 值，做為積垢潛勢評估之參考。

$$V = V_{\max} \frac{t}{K_f + t}$$

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{K_f}{V_{\max}} \left(\frac{1}{t}\right)$$

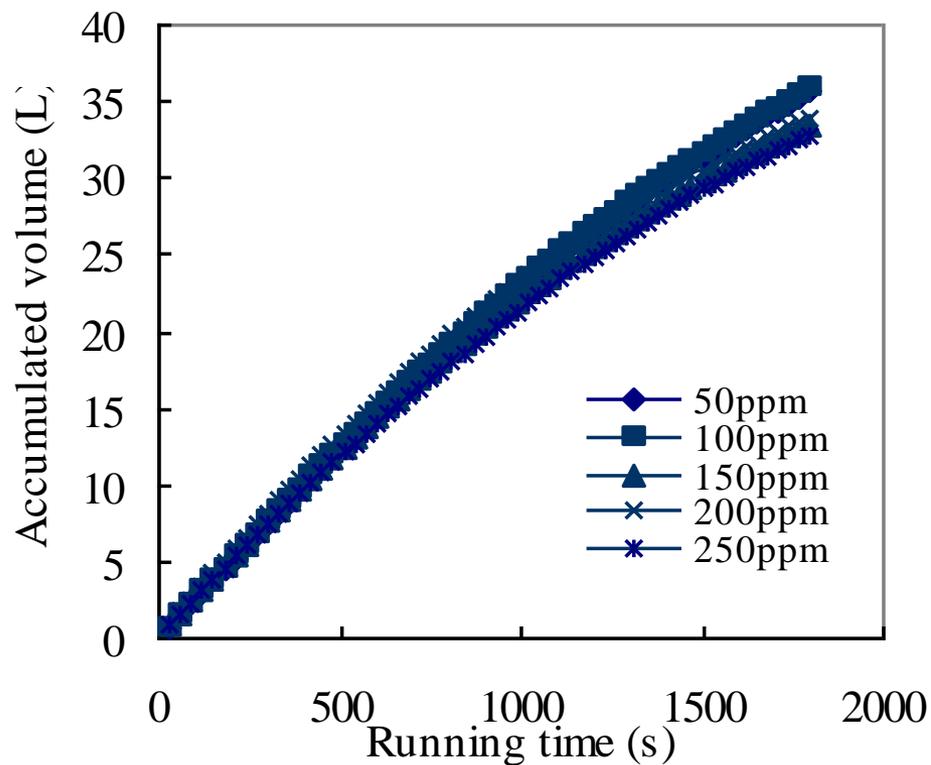
V_{\max} ：最大累積流量

K_f ：產生 1/2 最大累積流量所需之時間



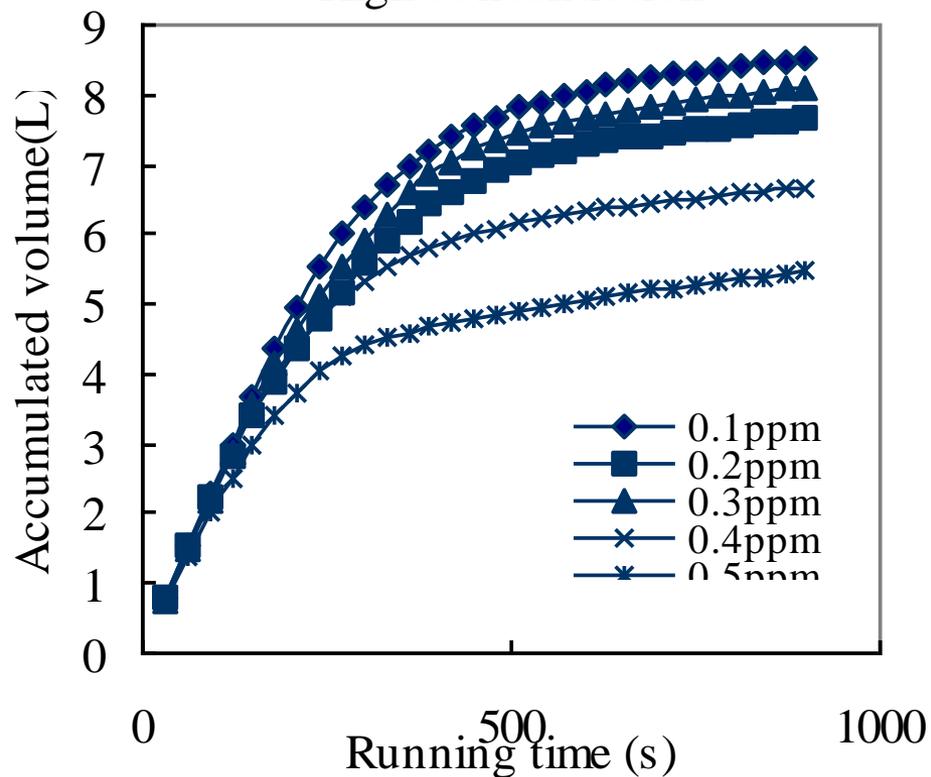


Saturation curve of Glucose



葡萄糖各濃度之飽和曲線

Saturation curve of Humic acid in High concentration



腐植酸各濃度之飽和曲線



5. **LSI** (Langelier Saturation Index)和**SDSI** (Stiff and Davis Scaling Index)

- a. $LSI = pH - pCa - pAlk - C > 0$ ，表具結垢潛力，會產生結垢。(半鹼水、工業水、自來水結垢潛力指數)
- b. $SDSI = pH - pCa - pAlk - K > 0$ ，表具結垢潛力，會產生結垢。(海水結垢潛力指數)

式中：pH為濃鹽水的pH

pCa：[Ca²⁺]的單位為M (mole/L)

pAlk：Alk的單位為equivalent/L

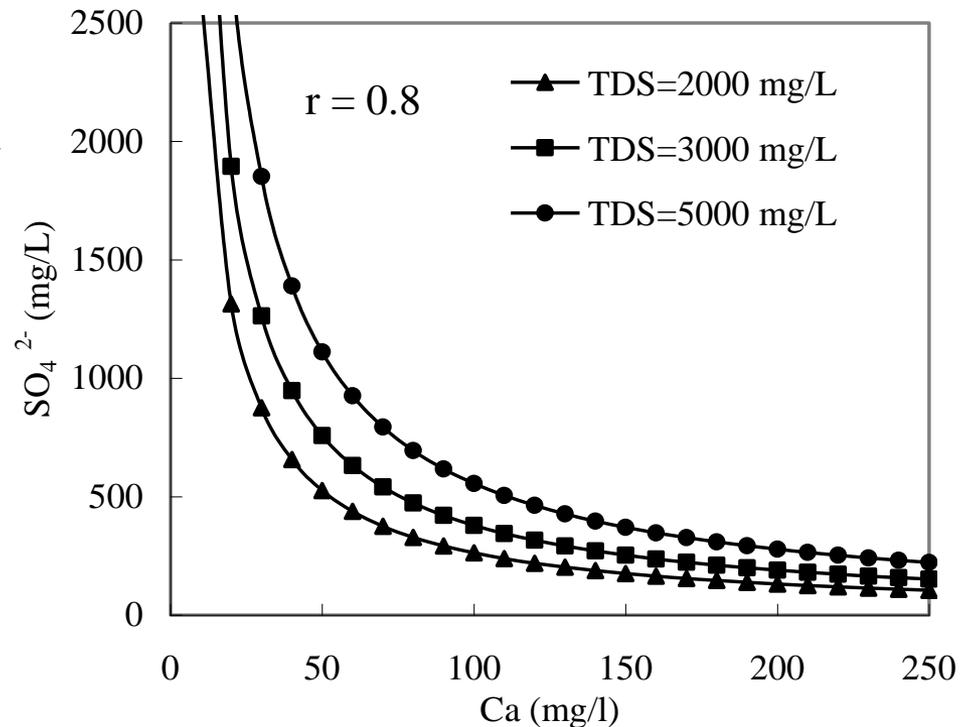
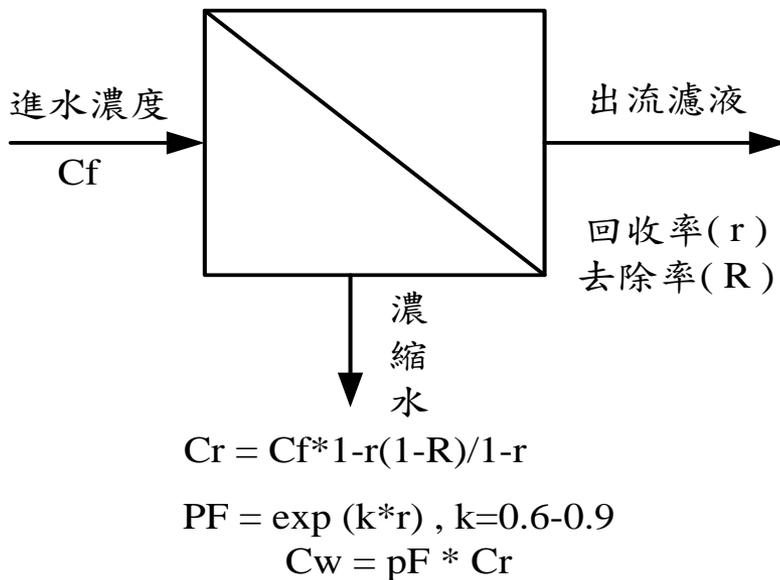
C, K為與溫度、離子鍵結力(ionic strength)、TDS有關的常數。

前處理水質要求

阻塞參數	範圍	適用薄膜程序
MFI	0~2 sec/L ²	RO
	0~10 sec/L ²	NF
MPFI	0~3×10 ⁻⁵ sec/L ²	RO
	0-1.5×10 ⁻⁵ sec/L ²	NF
SDI	0~2	RO
	0~3	NF
LSI	< 0	RO
	< 0	NF

廢污水回收再利用技術評估系統-技術特性與限制

- RO scaling 包括碳酸鈣(CaCO_3)、碳酸鎂(MgCO_3)、硫酸鈣(CaSO_4)、二氧化矽(SiO_2)、磷酸銨鎂(MgNH_4PO_4)等。



薄膜積垢指標應用

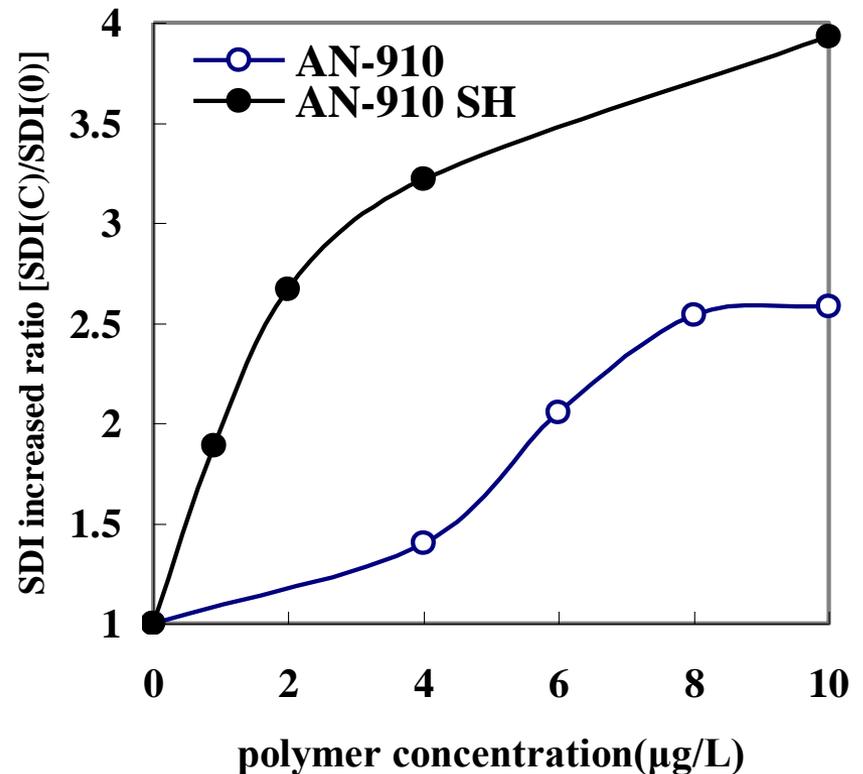
- ▶ RO fouling 明顯受水中殘留之**DOM** 種類與濃度影響，**humic acid** and **high molecular weigh dextran** 最為顯著。

Soluble organic matters	Concentration (mg/L)	SDI₁₅	V_{max} (L)	k_f (min)
glucose	50	1.5	192.3	124.3
nucleic acid	1.0	1.9	161.3	94.2
protein	1.0	2.0	103.1	78.9
humic acid	0.01	2.9	86.2	53.1
dextran (5-40 M)	0.01	3.2	59.9	27.2

薄膜積垢指標應用

- ▶ RO fouling 明顯受水中殘留之 **polymer** 濃度與分子量影響，高分子量之影響顯著。

AN-910 polymer			
Dosage ($\mu\text{g/L}$)	COD (mg/L)	SDI	MFI (sec/L^2)
0	—	1.7	1.0
4	4.5	2.4	2.8
6	5.9	3.6	4.9
8	7.8	4.4	12.1
10	8.9	4.5	18.2
30	11.4	5.2	114.7
50	14.4	5.4	144.5





薄膜積垢改善

影響RO處理效果之原因

(1). 薄膜產生質變

- a. pH值造成醋酸纖維(CA)膜水解。
- b. 餘氯和氧化劑造成聚醯胺(ARAMID或稱PA)膜分解。
- c. 高溫造成膜壽命減損(應 $< 35^{\circ}\text{C}$ 。 25°C ， $\text{pH}=4.7$ 時，相對水解速率最小)。
- d. 揮發性有機物與薄膜反應造成薄膜破壞。

薄膜積垢改善

(2). 薄膜結垢(scaling)及積垢(fouling)

- a. 高pH值(> 8)造成聚醯銨(PA)膜濾程產生 CaCO_3 、 CaSO_4 或 BaSO_4 等結垢。(membrane scaling)
- b. 濃度極化現象使鹽類沈澱。(membrane scaling)
- c. 金屬離子(Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等)被氧化而形成金屬氧化物沈澱。(metal oxide scaling)
- d. 非定型固體(如硫、 SiO_2 等)沈澱。(amorphous deposit scaling)
- e. 前處理混凝過濾效果不佳，造成泥與其他懸浮固體沈積。(colloidal fouling)
- f. 微生物滋長造成生物積污。(biological fouling)

薄膜積垢改善

(1).除SDI(或colloidal fouling)之前處理方式

方法	意見
UF	➤ 較貴，需反洗及定期清理，可去除大分子量有機物和顆粒，需高壓。
MF	➤ 與混凝去除同價，需反洗及定期清理，無法去除有機物，低壓操作即可。
多介質加壓過濾	➤ 需與混凝系統結合，效果相當顯著。
快砂濾和匣式過濾器	➤ 需與線上混凝系統結合，用於小濁度之情況。



薄膜積垢改善

(2).除結垢(scaling)之前處理方式

- a.加酸：可去除 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- (些許增加 SiO_2 溶解度，但會造成CA膜傷害)
- b.加抗垢劑：加入 $< 10\text{mg/L}$ ，與離子反應使不生沈澱。抗垢劑之用量可由進流水和濃鹽水水質狀況算出。一般使用聚磷酸鹽(polyphosphates)或聚丙烯(polyacrylates)。
- c.水先軟化：可去除陽離子(若陽離子濃度太高，離子交換不合用；鹼性軟化法則有污泥產生)
- d.降低造水率：可避免濃度極化造成的沈澱產生。抗垢劑無法解決 SiO_2 超飽和之問題，只有靠降低造水率或調整pH和溫度或電混凝法。

薄膜積垢改善

(3).控制微生物(biological fouling)的前處理方式

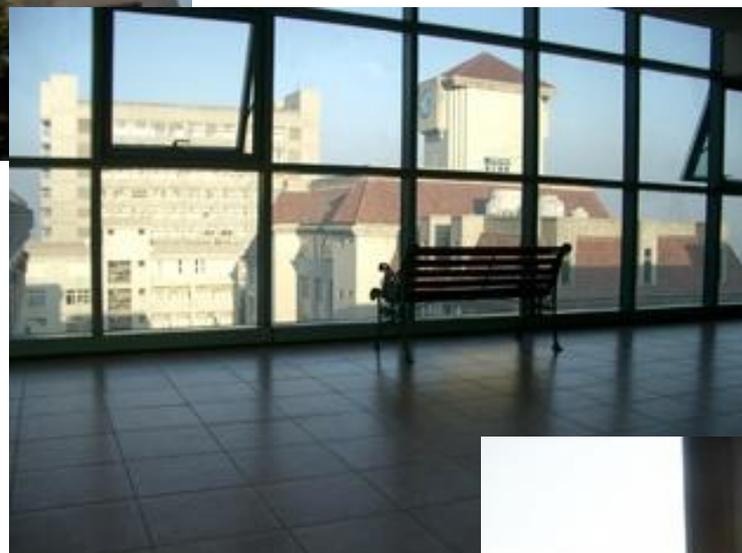
一般方法	意見
加氯(自由餘氯)	➤ polyamide 膜需除氯
加 CuSO ₄	➤ 對藻類有效，限於海水除藻
加氯銨(結合餘氯)	➤ 對 polyamide 膜較無害，但效果較差，接觸時間需長
快速方法	意見
加 NaHSO ₃	➤ 劑量 > 500mg/L，30 分鐘，對膜無害
加碘	➤ 劑量 < 15mg/L，對 polyamide 膜較不好
加 H ₂ O ₂	➤ 劑量 < 15mg/L，對 polyamide 膜較不好，若水中有金屬時，需限制使用

結 論

- ▶ 由法令面或社會面思考，**工業節水與水回收再利用**為我國**各產業持續發展**所須面對之重要問題，必須未雨綢繆，積極因應。
- ▶ **管理階層對水回收再利用之決心**，為水回收再利用之成功關鍵。
- ▶ 薄膜水回收技術之應用，需因應各類水質特性與用水目的之要求，**研擬並檢討操作因子以得到最適之操作條件**。
- ▶ **適當薄膜積垢指標之評估與應用**，將能達到長期穩定之操作目標。



簡報完畢 敬請指教



CHAORYANG
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

