



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

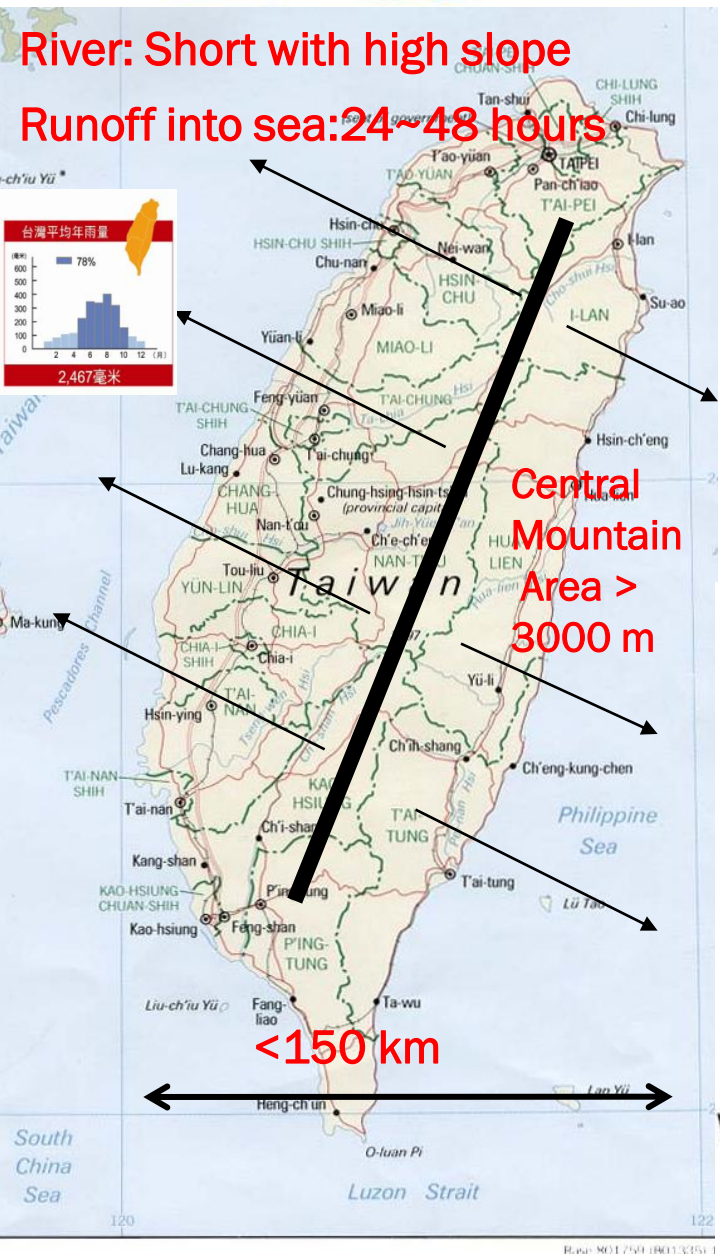
一、廢水回收再利用技術評估

二、薄膜技術介紹

三、薄膜積垢指標應用

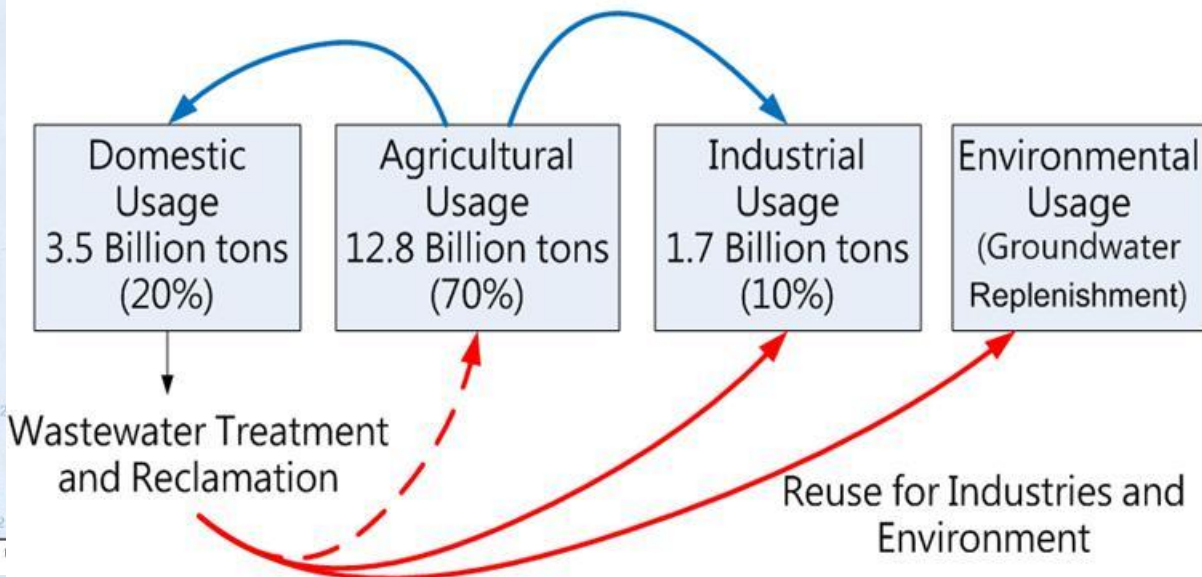
# 背景-水文與水量分配

➤ **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

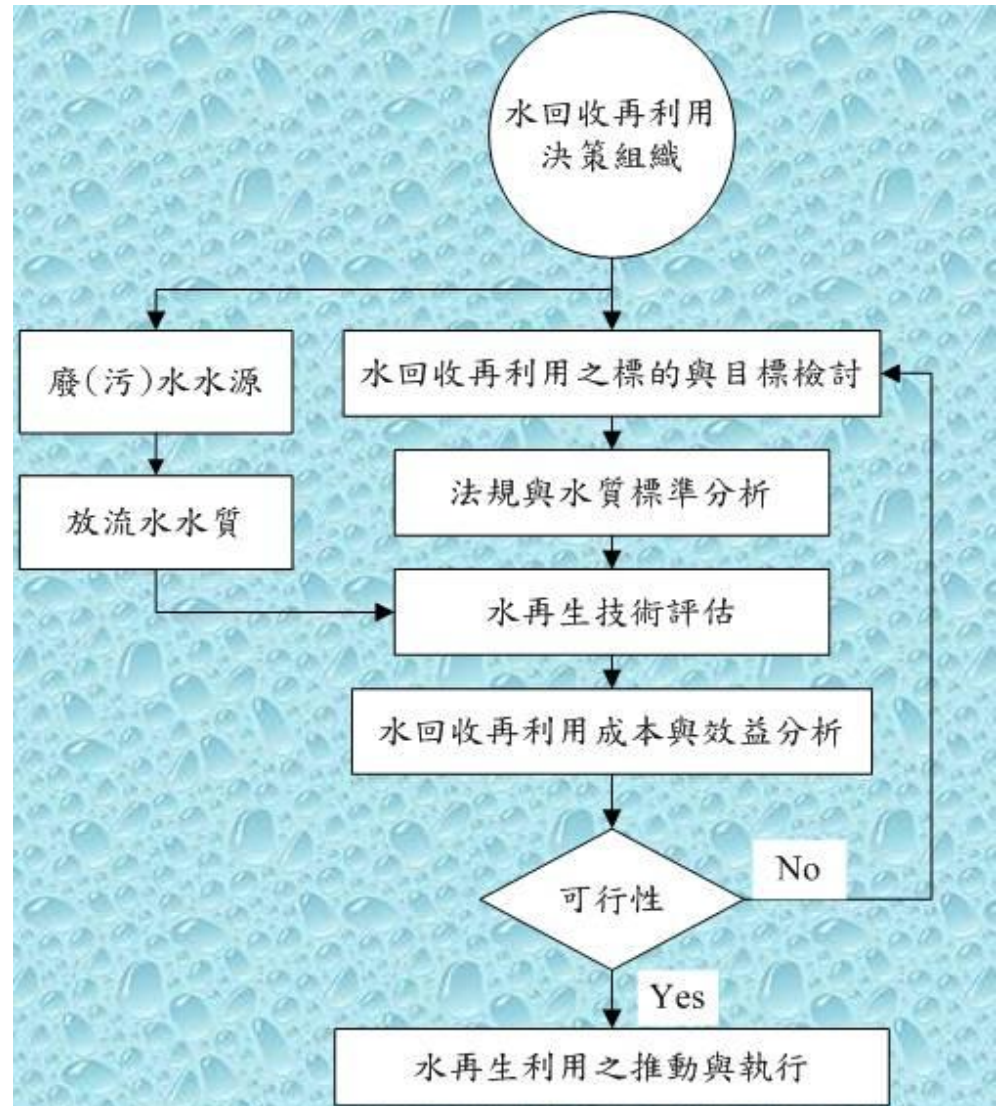
Raw water substitution



# 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<sup>-</sup><250 mg/l**, **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup><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<sup>-</sup><1260 mg/l**, **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup><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 <sup>-</sup>	*	1.96 ~ 2.05	1.68 ~ 4.60	0.1 ~ 0.15	4.2 ~ 4.6
Cl <sup>-</sup>	280 ~ 480	96.9 ~ 239	950 ~ 1260	236 ~ 688	628 ~ 654
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	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 <sub>3</sub> -N	15 ~ 23	6.87 ~ 16.50	0.03 ~ 18.20	5.45 ~ 12.8	13.9 ~ 15.4
NH <sub>3</sub> -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

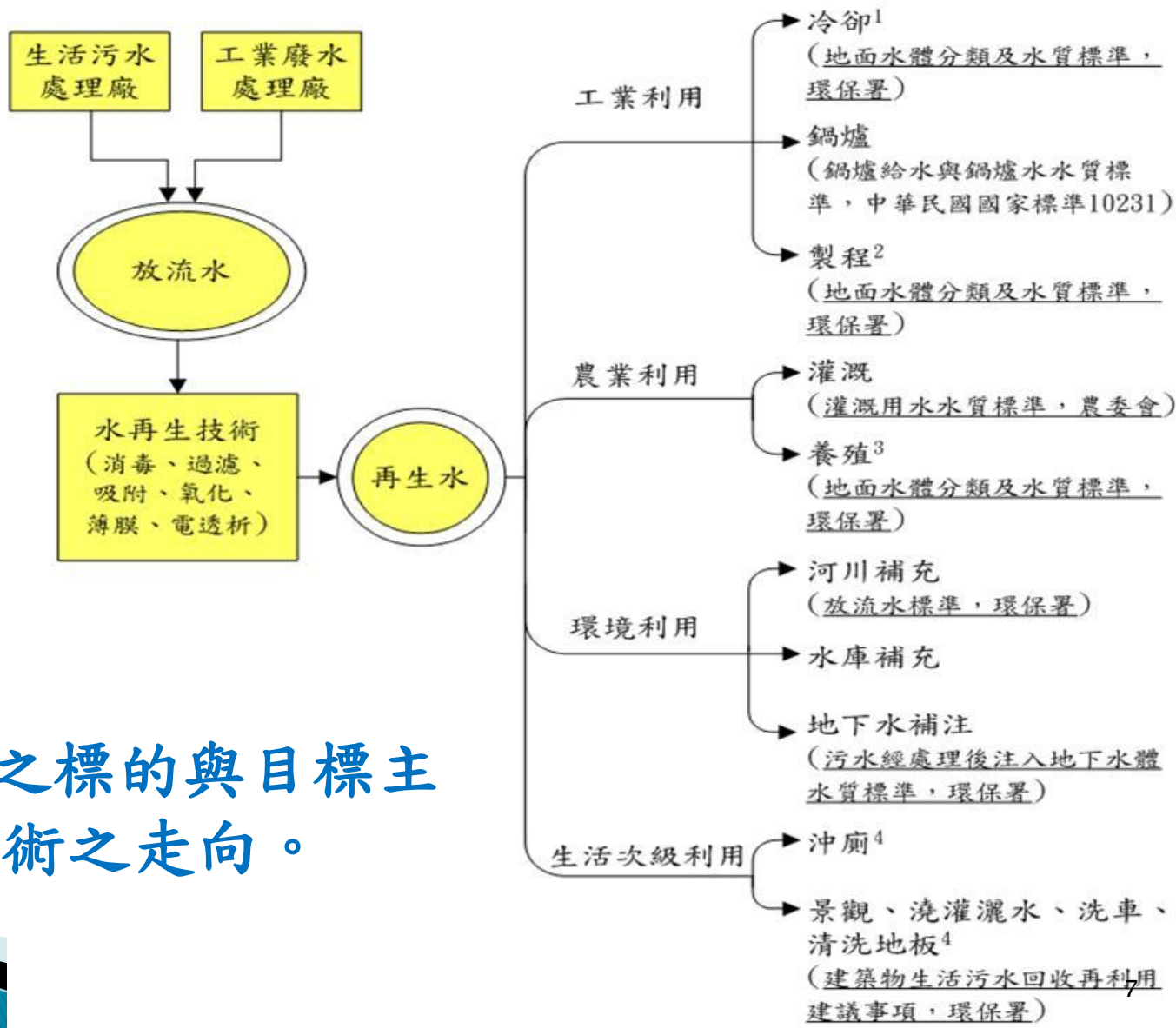


# 廢污水回收再利用技術評估系統-回收再利用用途

➤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 SO <sub>4</sub> < 200 mg/l Cl < 500 mg/l SiO <sub>2</sub> , 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, O<sub>3</sub>, 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。

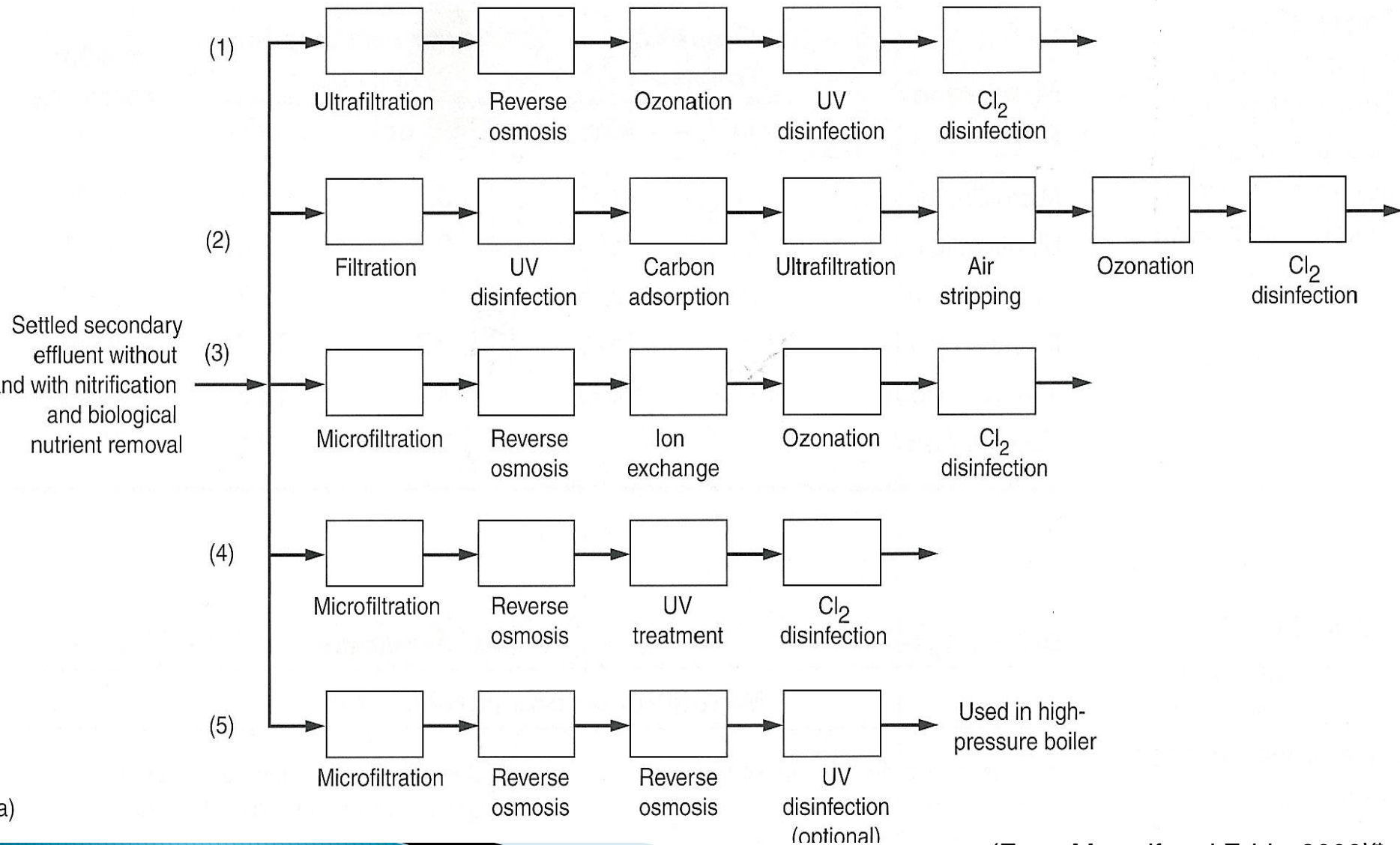
# 廢污水回收再利用技術評估系統-水再生技術

## ▶ 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, O<sub>3</sub>, 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
<b>1. 無機性及有機性懸 浮固體與膠體</b>								
● 懸浮固體	√	√	√		√	√	√	
● 膠體	√	√	√		√	√	√	
<b>2. 溶解性有機物質</b>								
● 總有機碳			√	√	√	√	√	
● 難分解有機物			√	√	√	√		
● 揮發性有機物			√	√	√	√		
<b>3. 溶解性無機物質</b>								
● 氨					√	√	√	√
● 硝酸鹽					√	√	√	
● 磷					√	√	√	
● 總溶解固體物					√	√	√	
<b>4. 生物性成分</b>								
● 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



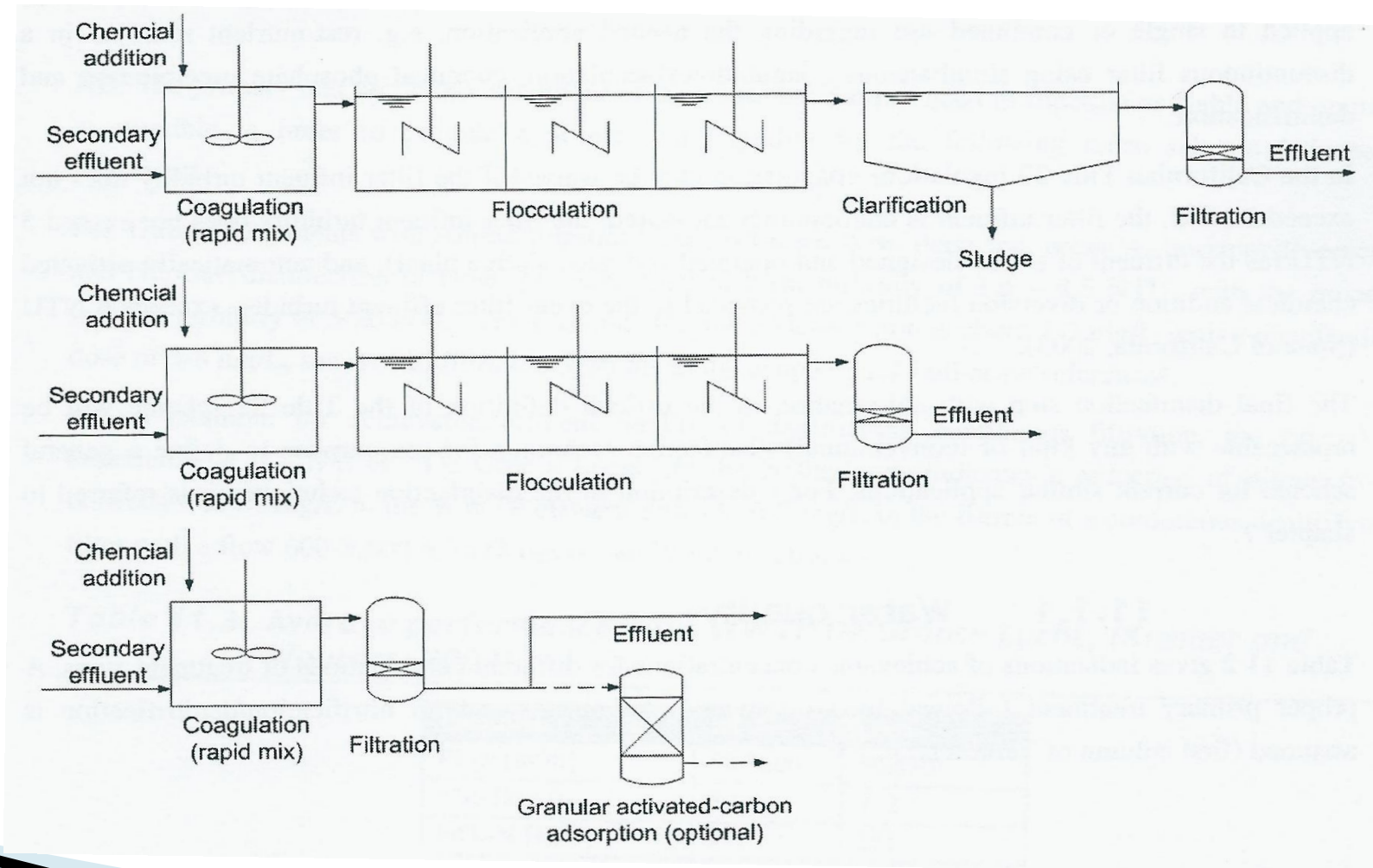


# 廢污水回收再利用Benchmark技術

## ▶ 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

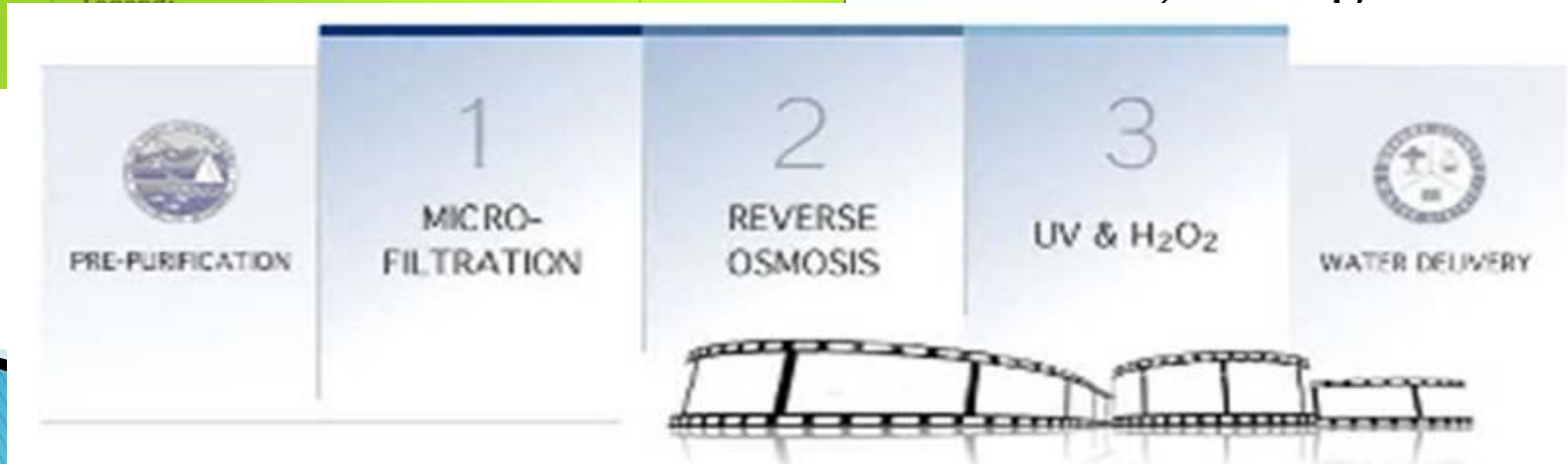
- ▶ **Double membrane system Benchmark 技術：**
  - ▶ 二級放流水先進流至**MF/UF系統**，接著才進入**RO薄膜與UV消毒系統**。
  - ▶ **RO薄膜**，微細之膠體與**溶解性物質被去除**，如二價離子與部分一價離子。
  - ▶ 消毒單元則設置於配水再利用前。
  - ▶ 回收再利用之等級相當高，可應用於**地下水補注、直接與間接飲用、微電子產業程序用水及鍋爐用水**等用途上。

# 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 $\mu\text{m}$	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。



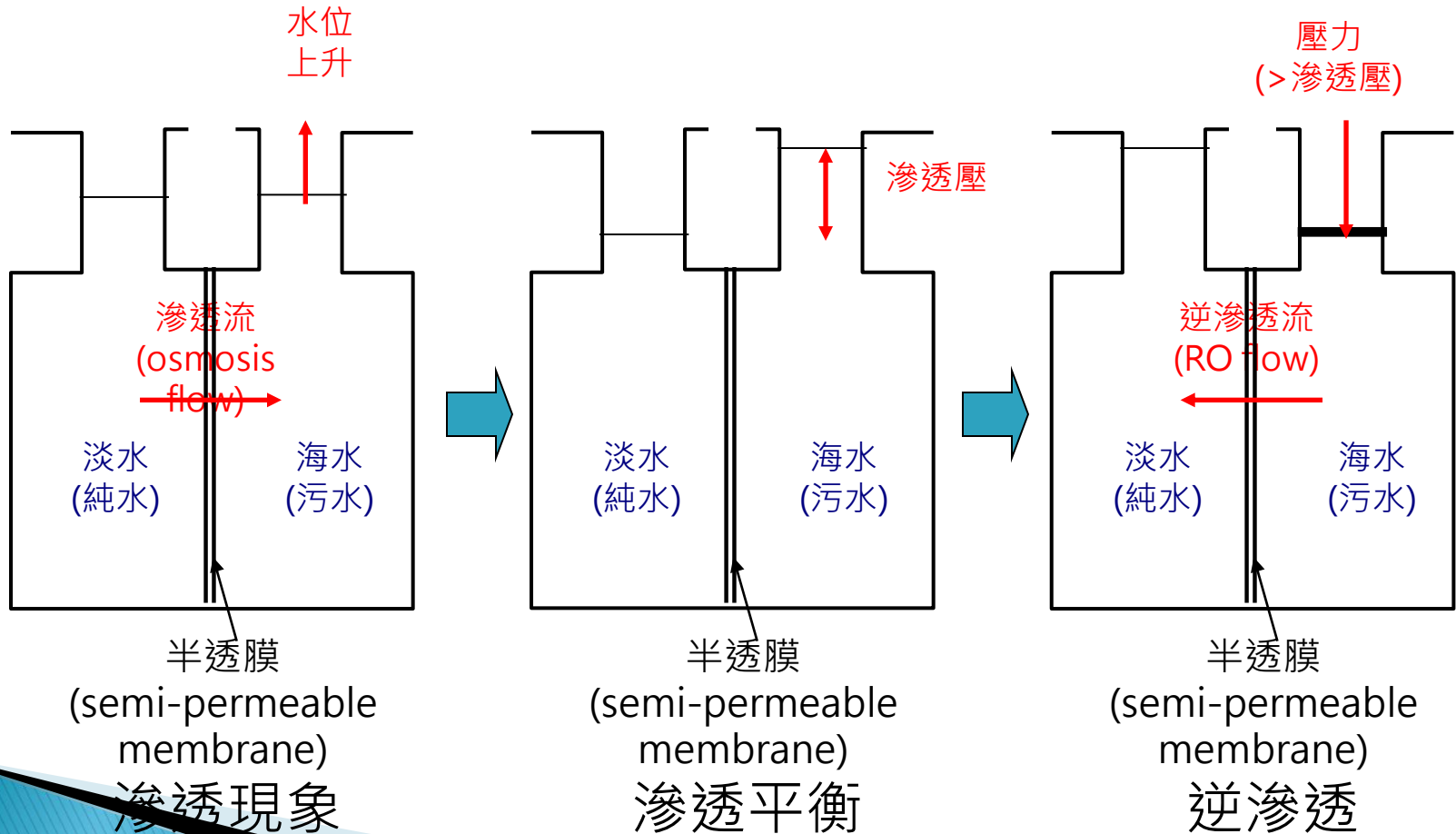
# 薄膜技術介紹

- ❖ 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： $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等，有99%以上之去除率，而單價離子方面，如： $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 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

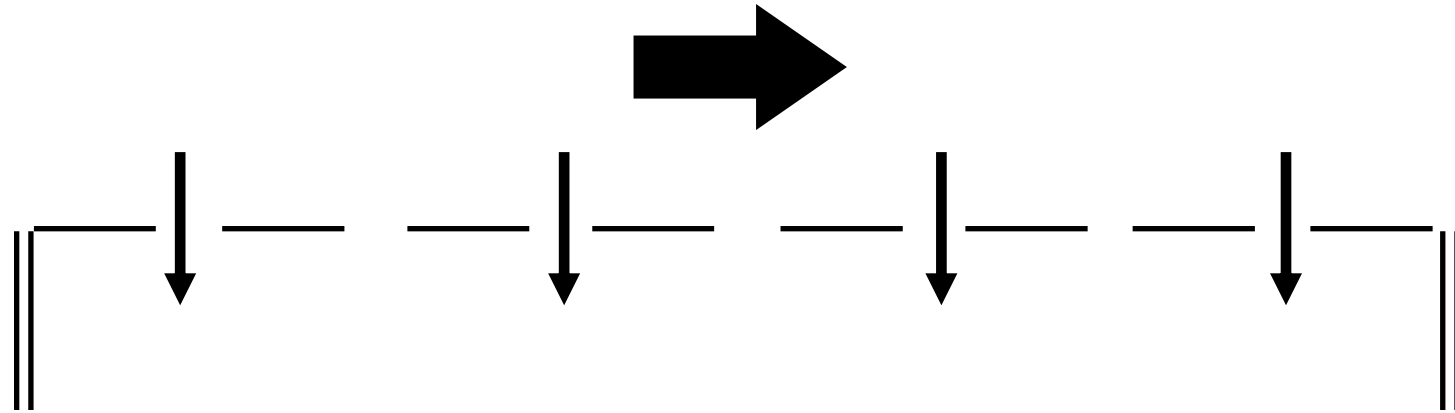




# Pressure Driven Membrane Processes – Pressures

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 <sub>3</sub> , 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。



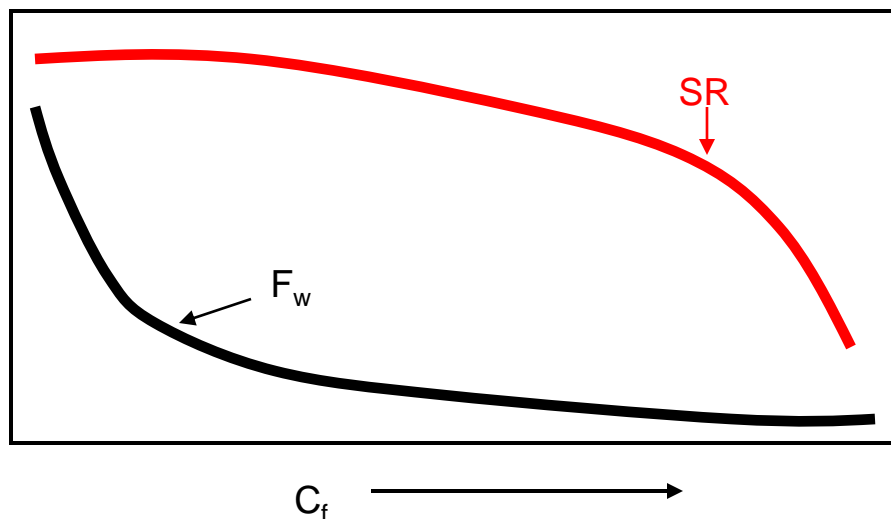
# 薄膜技術 操作特性

## ◆ 操作參數

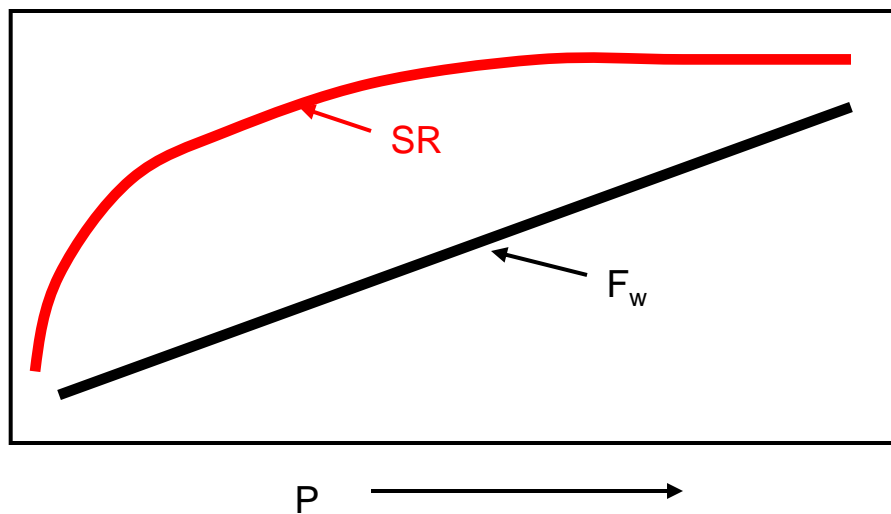
- 進流水TDS濃度( $C_f$ )
- 進流水壓力(P)
- 進流水溫度(T)

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



進流水濃度對薄膜處理效果之影響



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)

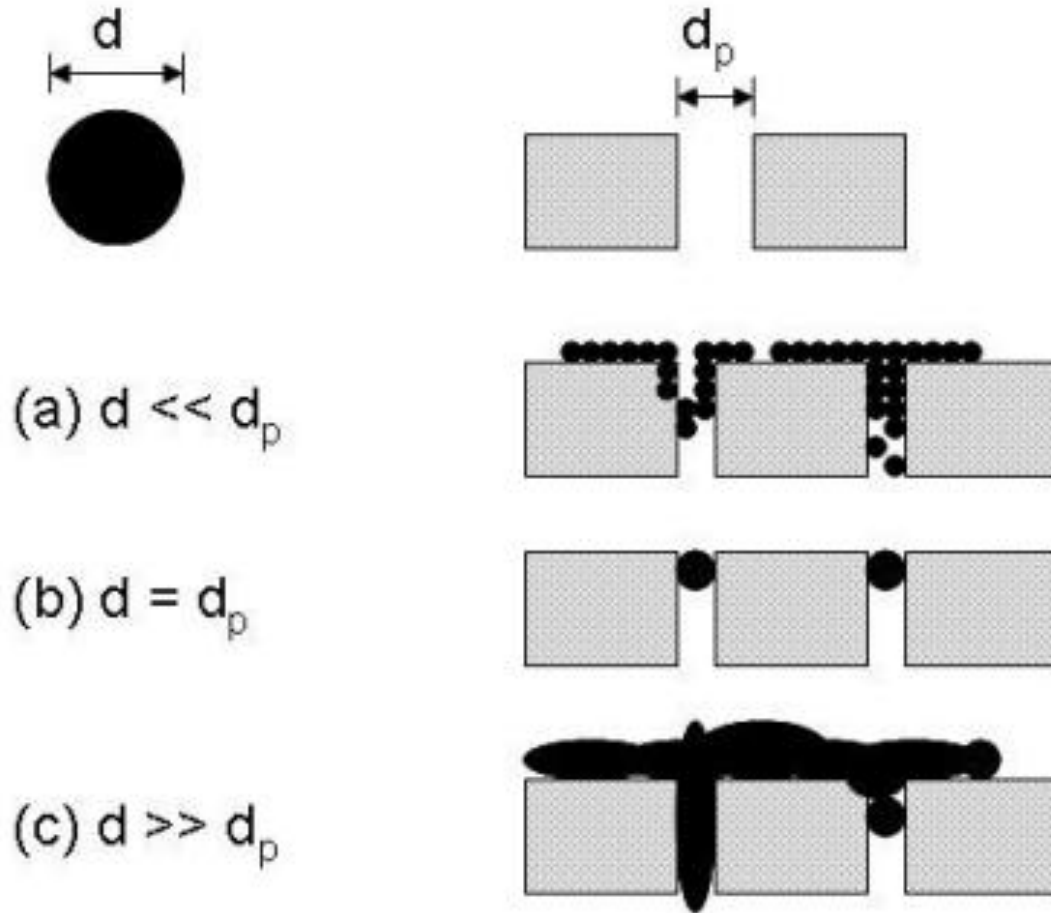
阻塞指數(plugging index, PI)和污泥密度指數(silt density index, SDI ; 又稱fouling index, FI)

實驗方法：以0.45 $\mu$ m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：

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

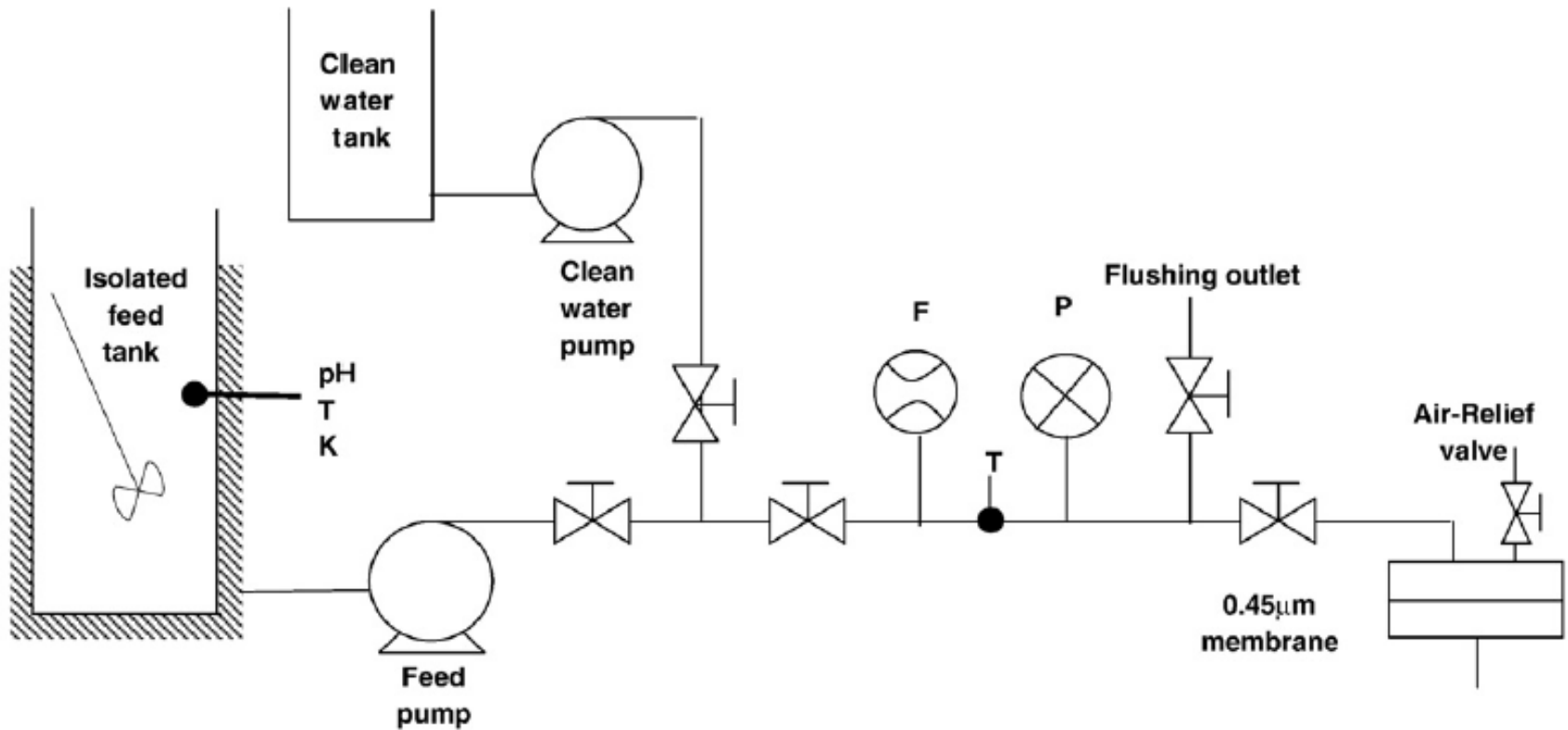
- SDI指標與膠體顆粒濃度並沒有成線性之關係，與通量下降變化也沒有很明確的定義。
- SDI指標無法在試驗期間區別出積垢機制(孔徑過濾、塊狀過濾以及壓縮塊狀過濾)。

# 薄膜積垢指標

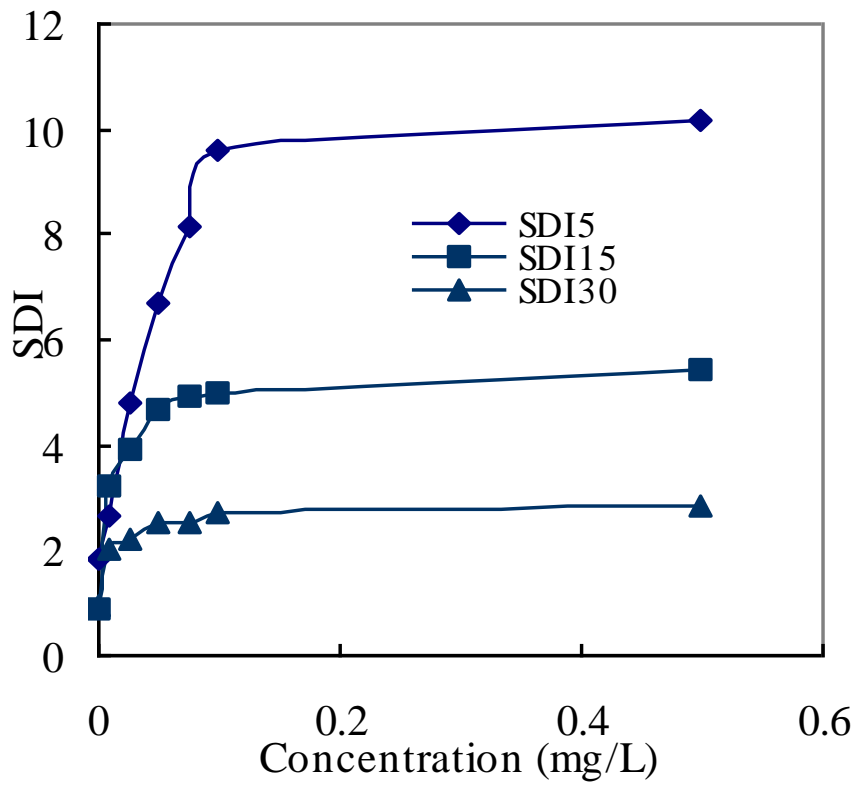


薄膜積垢模式(a)完全阻塞(b)標準阻塞  
(c)膠羽層/濾餅層阻塞

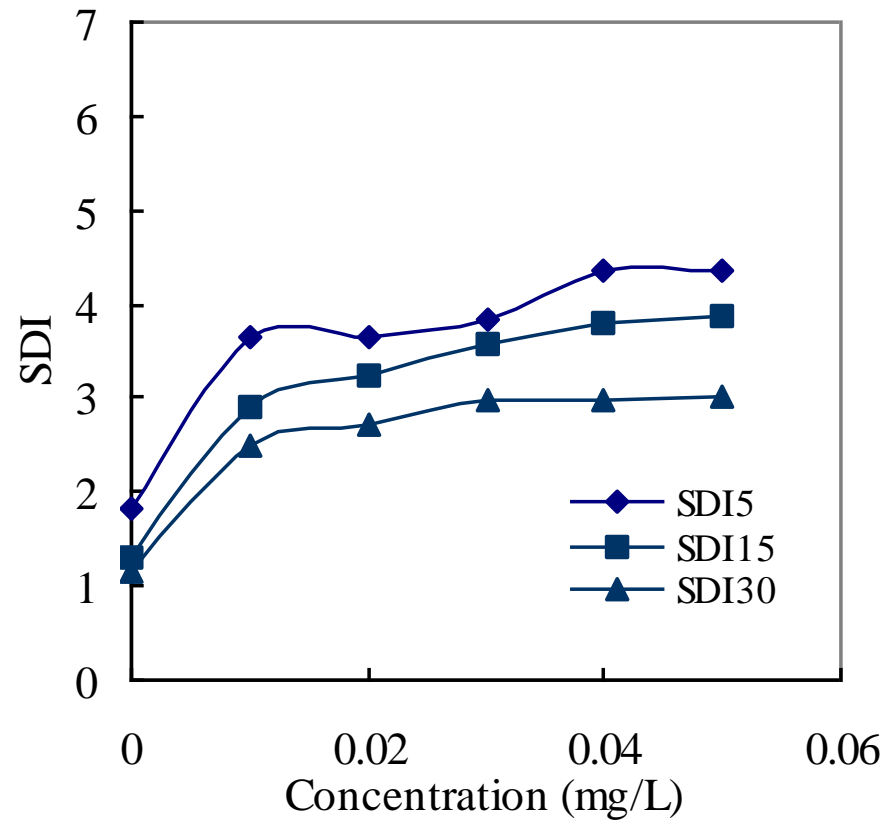
## 淤泥密度指數(SDI)試驗裝置



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)

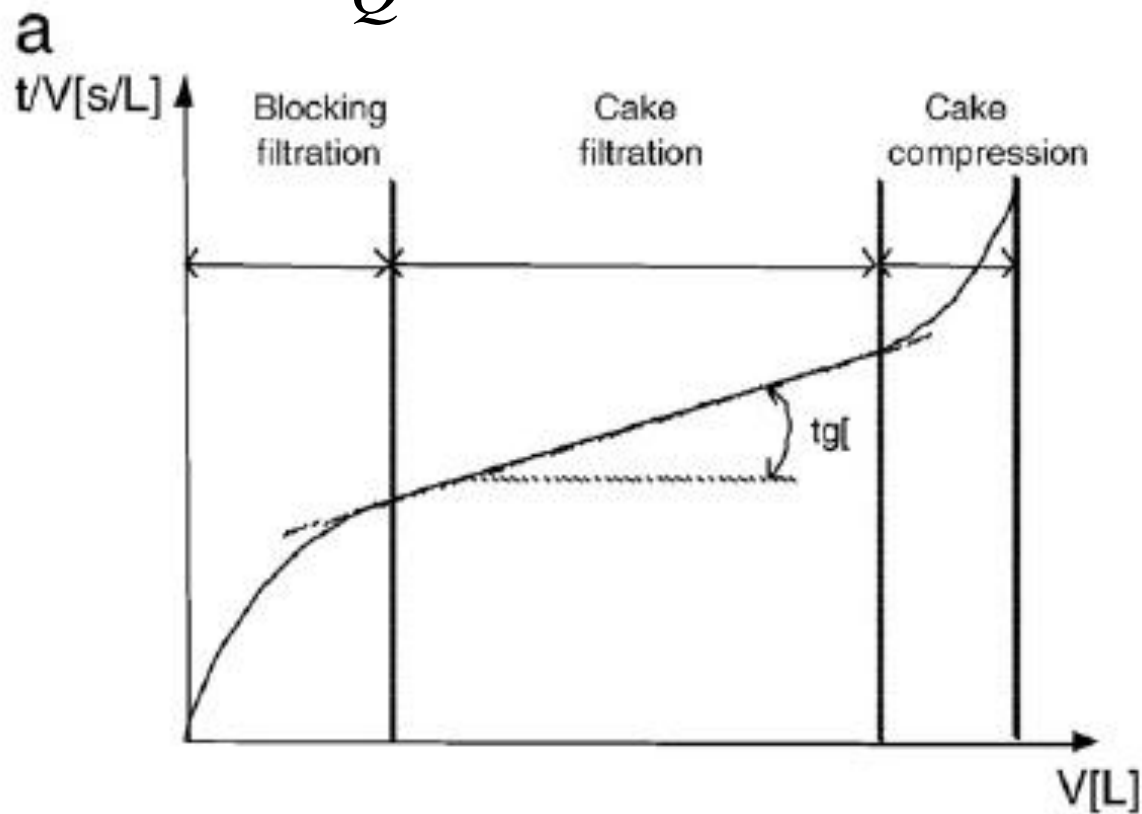
MFI指標與進流水之顆粒濃度具有良好的線性關係，可更進一步的探討積垢指標在薄膜積垢影響的意義。

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

$V$	accumulated filtrate volume (L or m <sup>3</sup> )
$t$	time (s)
$A_M$	membrane area (m <sup>2</sup> )
$dP$	applied pressure (Pa)
$\mu$	water viscosity (Pa s)
$R_M$	clean membrane resistance (m <sup>-1</sup> )
$I$	fouling potential index (m <sup>-2</sup> ).

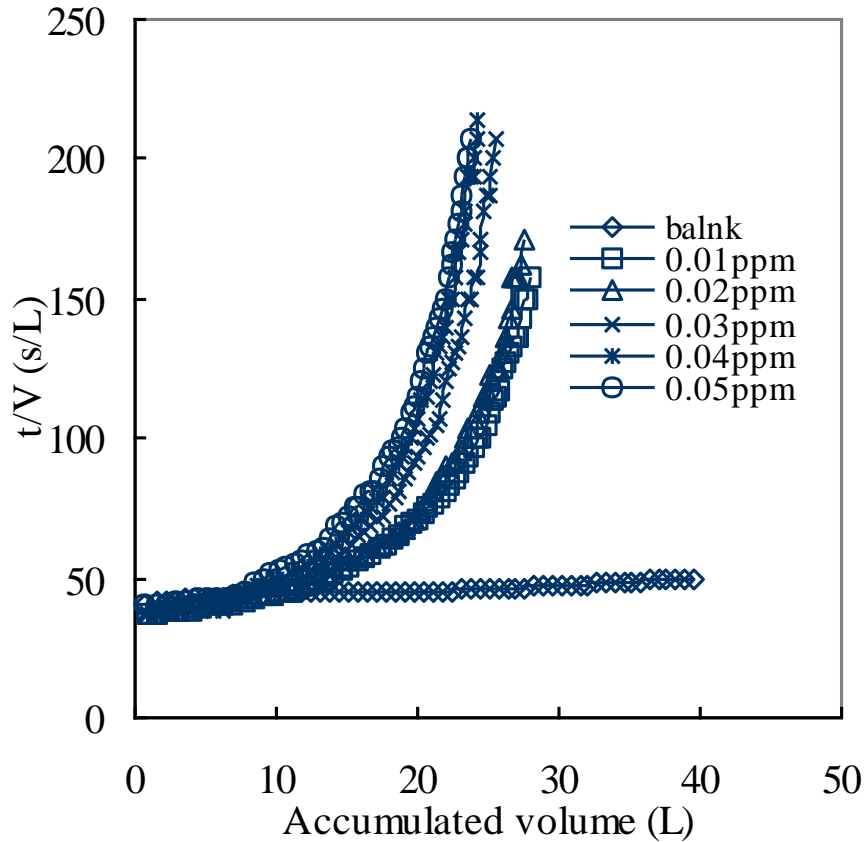
## 修正阻塞指數(MFI)基礎理論

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



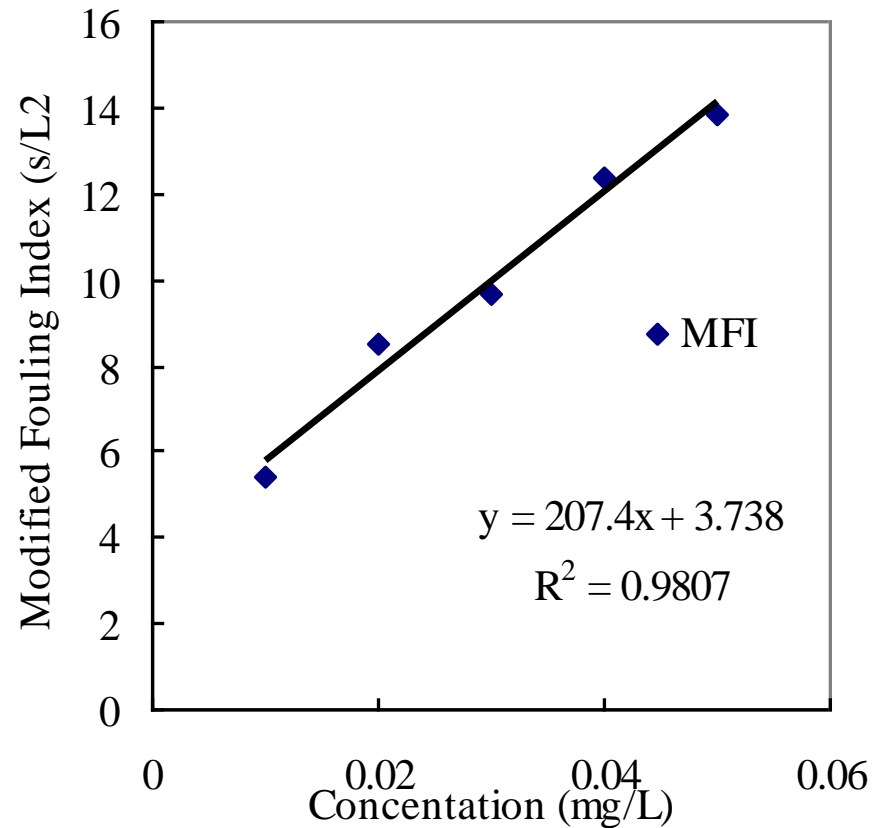


Filtration curve of Humic acid



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)

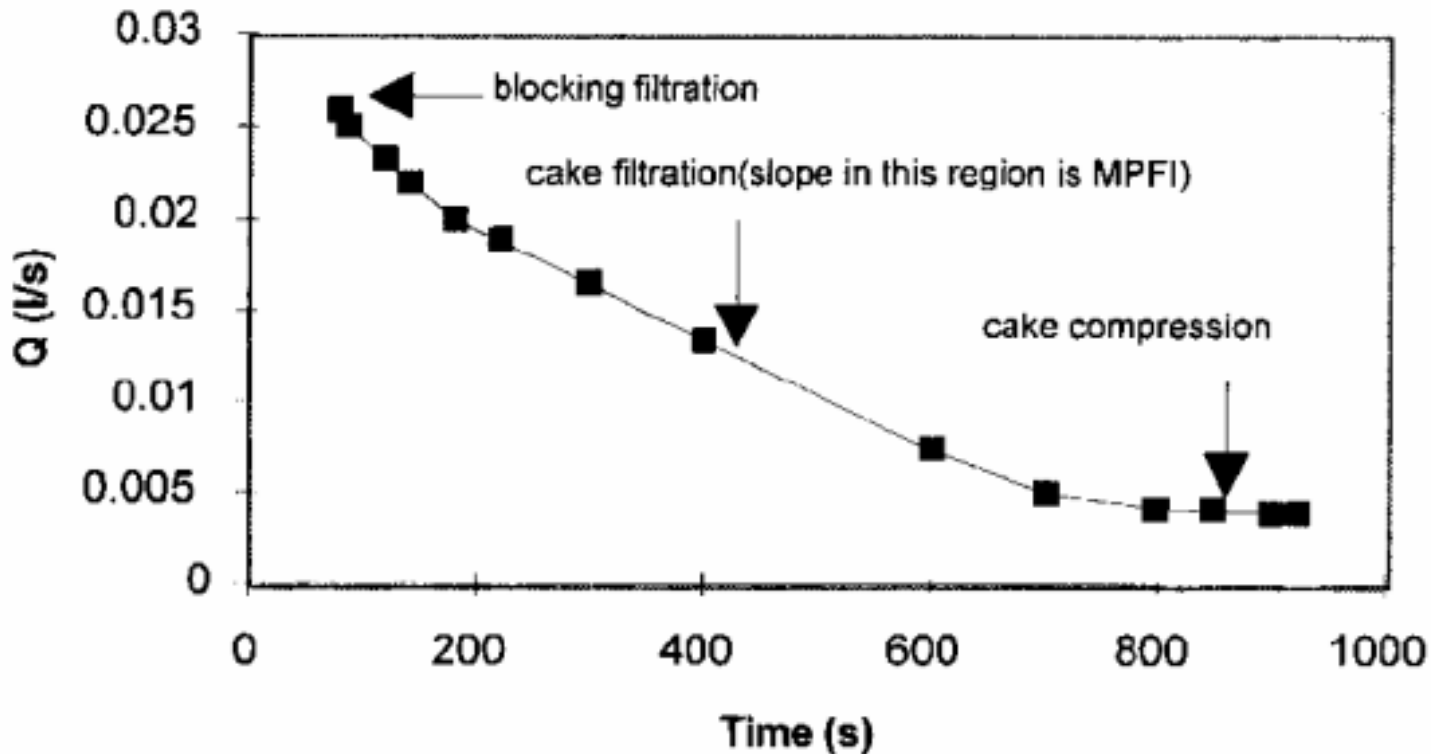
試驗期間內，每 30 秒記錄一次體積，MPFI 為流量與時間關係圖中之斜率值。

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

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)

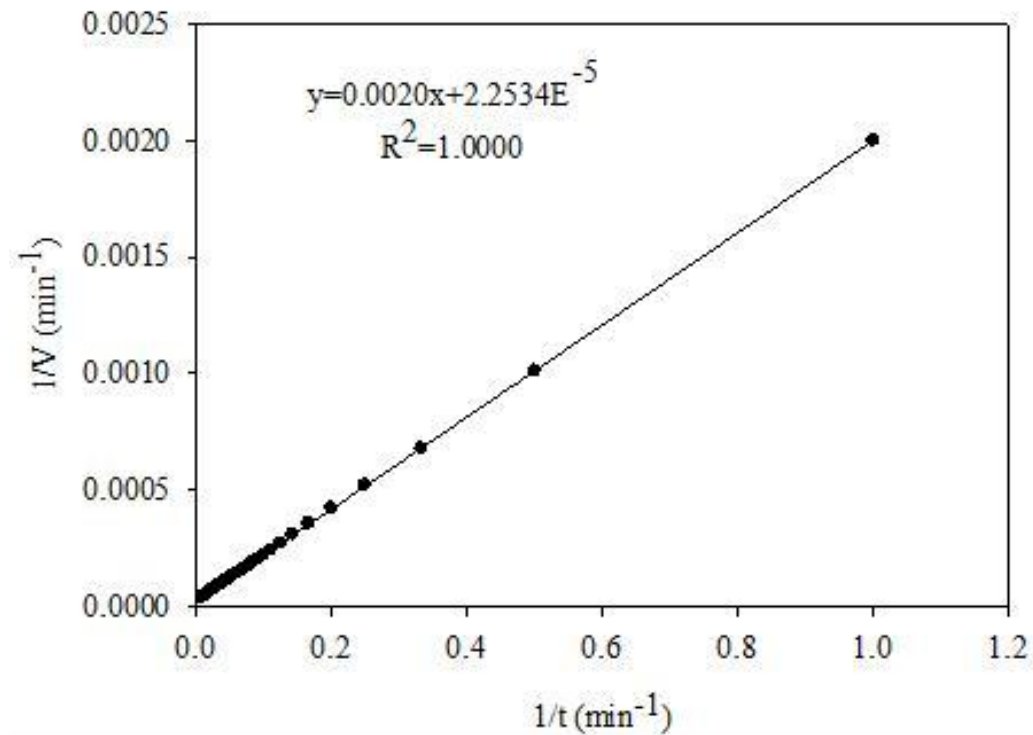
透過飽和曲線模式之應用，以分析  $V_{\max}$  及  $K_f$  值，做為積垢潛勢評估之參考。

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

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

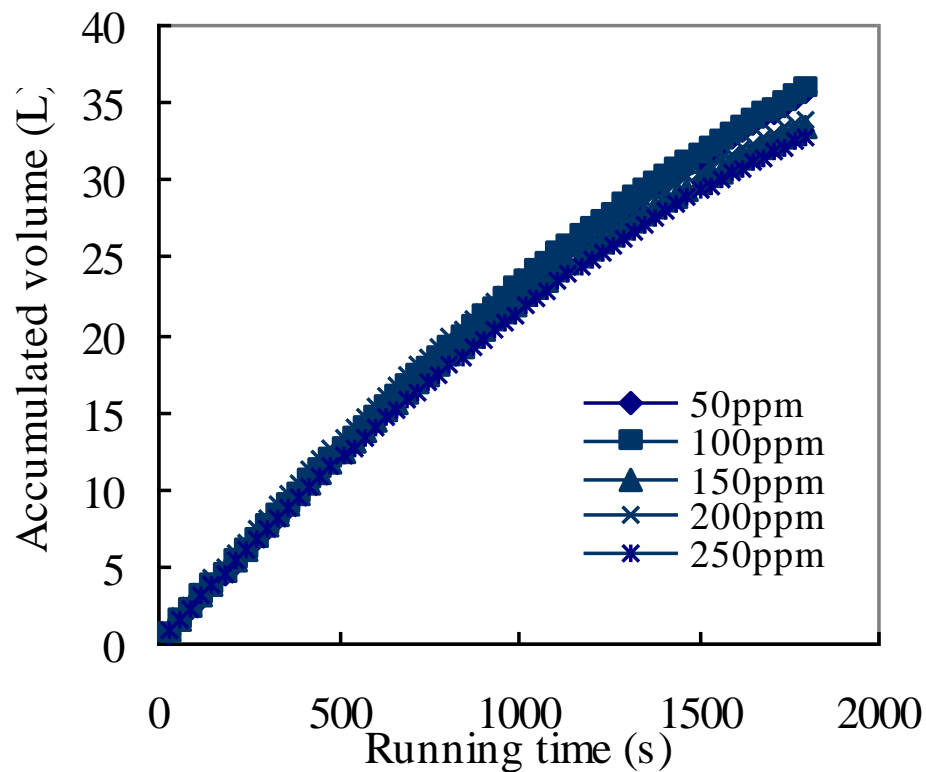
$V_{\max}$ ：最大累積流量

$K_f$ ：產生 1/2 最大累積流量所需之時間



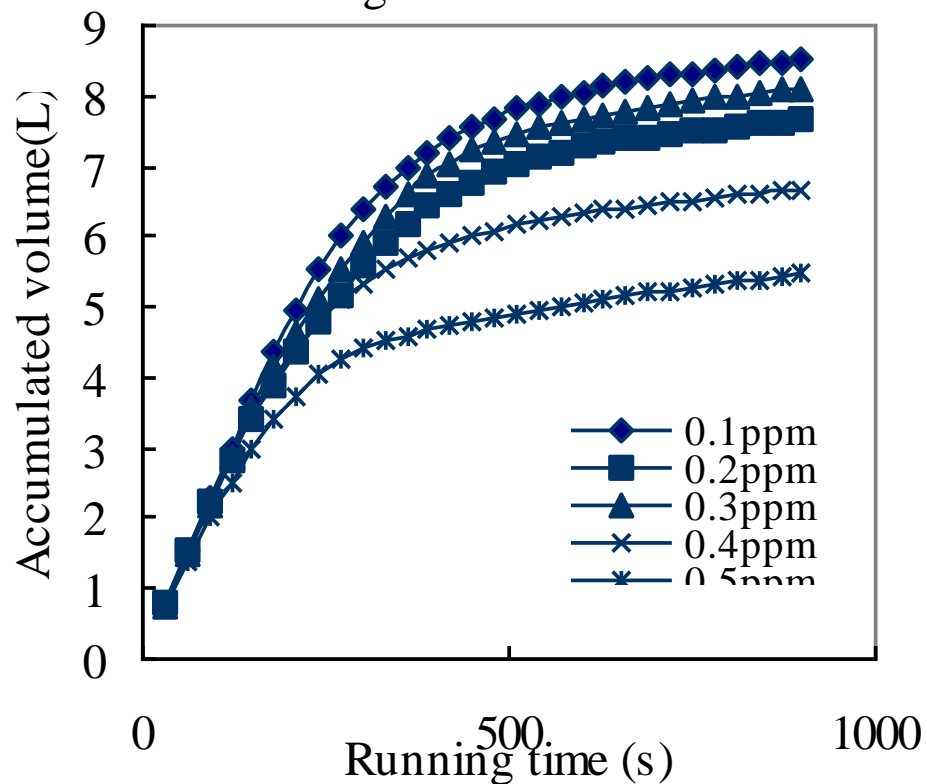


Saturation curve of Glucose



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：[Ca<sup>2+</sup>]的單位為M (mole/L)

pAlk：Alk的單位為equivalent/L

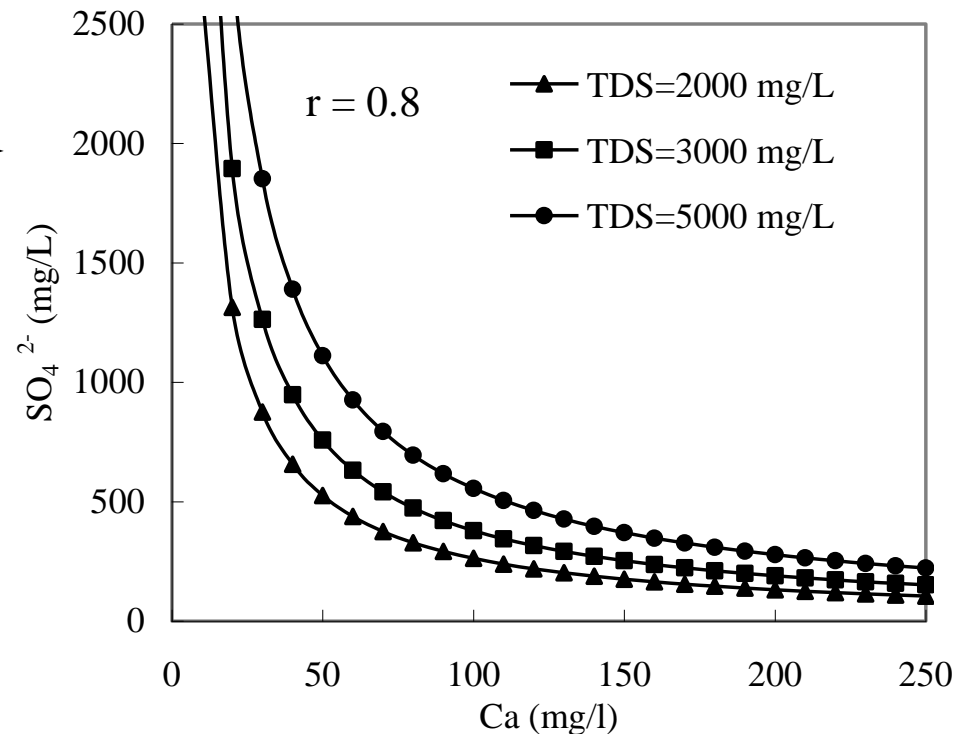
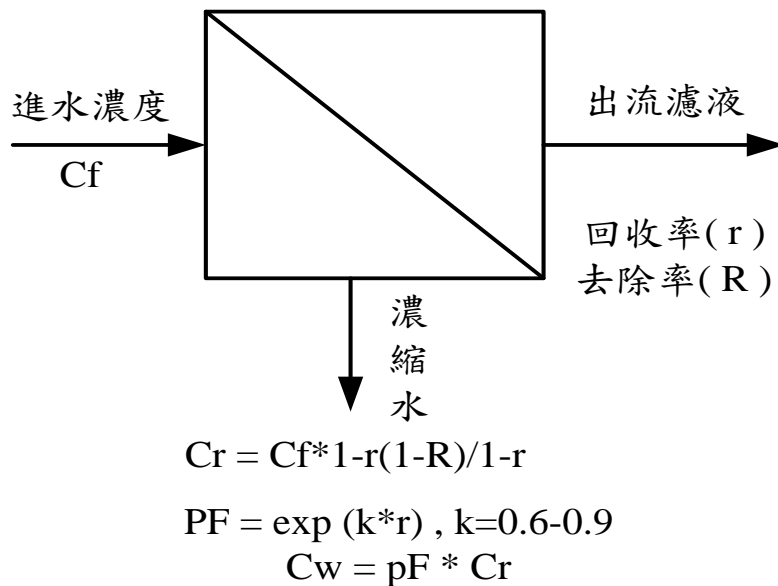
C, K為與溫度、離子鍵結力(ionic strength)、TDS有關的常數。

## 前處理水質要求

阻塞參數	範圍	適用薄膜程序
MFI	0~2 sec/L <sup>2</sup>	RO
	0~10 sec/L <sup>2</sup>	NF
MPFI	0~3×10 <sup>-5</sup> sec/L <sup>2</sup>	RO
	0-1.5×10 <sup>-5</sup> sec/L <sup>2</sup>	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( $\text{CaCO}_3$ )、碳酸鎂( $\text{MgCO}_3$ )、硫酸鈣( $\text{CaSO}_4$ )、二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )、磷酸銨鎂( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ )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。

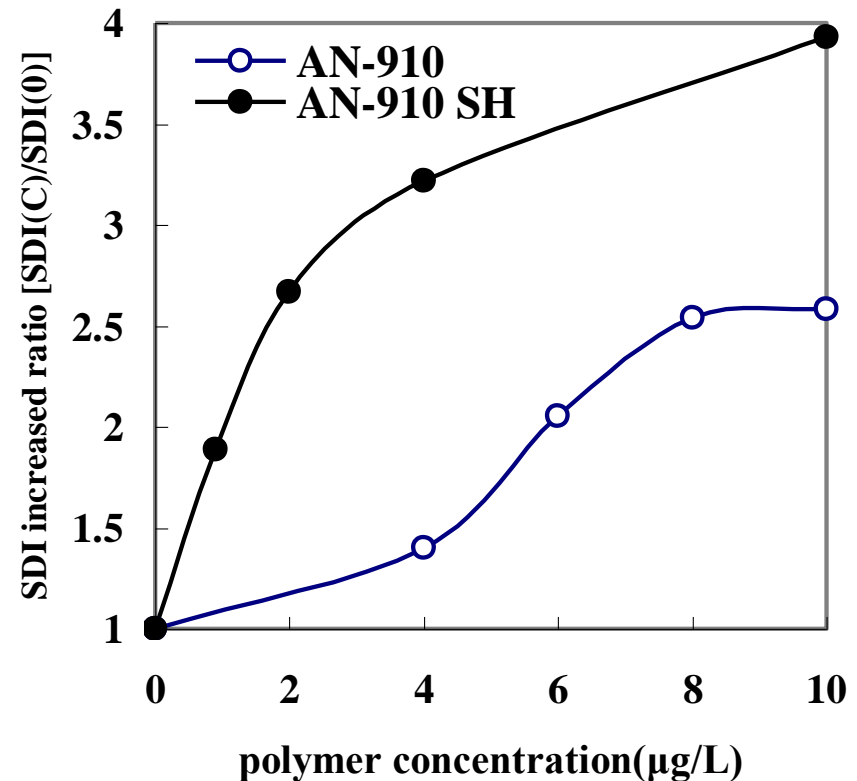
<b>Soluble organic matters</b>	<b>Concentration (mg/L)</b>	<b>SDI<sub>15</sub></b>	<b><math>V_{max}</math> (L)</b>	<b><math>k_f</math> (min)</b>
glucose	50	1.5	192.3	124.3
nucleic acid	1.0	1.9	161.3	94.2
protein	1.0	2.0	103.1	78.9
humic acid	0.01	2.9	86.2	53.1
dextran (5-40 M)	0.01	3.2	59.9	27.2



# 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 ( $\text{mg/L}$ )	SDI	MFI ( $\text{sec/L}^2$ )
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  $< 35^{\circ}\text{C}$ 。  $25^{\circ}\text{C}$ ，  $\text{pH}=4.7$ 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 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 或 $\text{BaSO}_4$ 等結垢。(membrane scaling)
- b. 濃度極化現象使鹽類沈澱。(membrane scaling)
- c. 金屬離子( $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 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、 $\text{SiO}_2$ 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 $\text{CO}_3^{2-}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ (些許增加 $\text{SiO}_2$ 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 $\text{SiO}_2$ 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 <sub>4</sub>	➤ 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 <sub>3</sub>	➤ 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 <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	➤ 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

