



工業區廢水廠放流水再生為 工業用水之可行性探討

財團法人中興工程顧問社
環境工程研究中心 朱敬平
100年9月30日

簡報大綱

1. 背景介紹
2. 可用之放流水再生程序
3. 「砂濾-超濾膜-逆滲透膜」試驗：放流水直接再生
4. 薄膜生物反應器試驗：廢水處理廠改建
5. 逆滲透膜濃排水之處理
6. 國內案例：楠梓加工出口區揚水站放流水再生科專計畫
7. 再生水廠設置相關法規、界面問題與推動模式
8. 結論



一、背景介紹

背景

- ❁ 傳統水資源主要來自於河川、水庫及地下水，惟因近年來氣候變遷，導致河川豐枯不定，加上部分地區大量超抽地下水，導致地層下陷或海水入侵，且水庫興建又迭遭保育團體質疑及抗議，致使傳統水資源面臨供給不足的壓力
- ❁ 在各種天然條件限制及環境保育政策考量下，傳統水資源已不易開發，經濟部水利署因此尋求「新興水源」作為輔助性水源，以供應水利法規定之第三順位「工業用水」（主要為新開發案）；其中，「廢污水回收再利用」即為新興水源之一環

新興水源利用分類

	一	二	三	四	五
	都市污水	工業廢水	農業水源	海水	雨水
回收 (取用模式)	建築物內 中水回收	事業製程 節水 (工業節水)	農田 迴歸水 利用	--	--
再生 (取供模式)	都市污水 處理廠 放流水再生	工業區廢水 處理廠 放流水再生	農業灌區 末端排水 (灌區尾水) 回收	海水 淡化	雨水 貯留 處理

新興水源利用分類 (續)

再生處理 (取供模式)

- 針對原本已要排放至河川水體之廢水 (已符合放流水標準之放流水)，進一步提升水質，以符各類用途，再送至他處使用
- 經常指送至其他事業或其他非特定事業之用途 (如區域民生次級用水)

循環與回收 (取用模式)

循環利用

- 在特定一個用途單元 (系統) 內部循環的水量
- 如冷卻水塔系統中大量的水循環利用

回收利用

- 已經在某單元 (系統) 用過的水，提升水質後再用於其他用水單元 (系統) 的水量
- 屬於跨用途單位之間的水再利用

水再生示意圖

回收（取用模式）

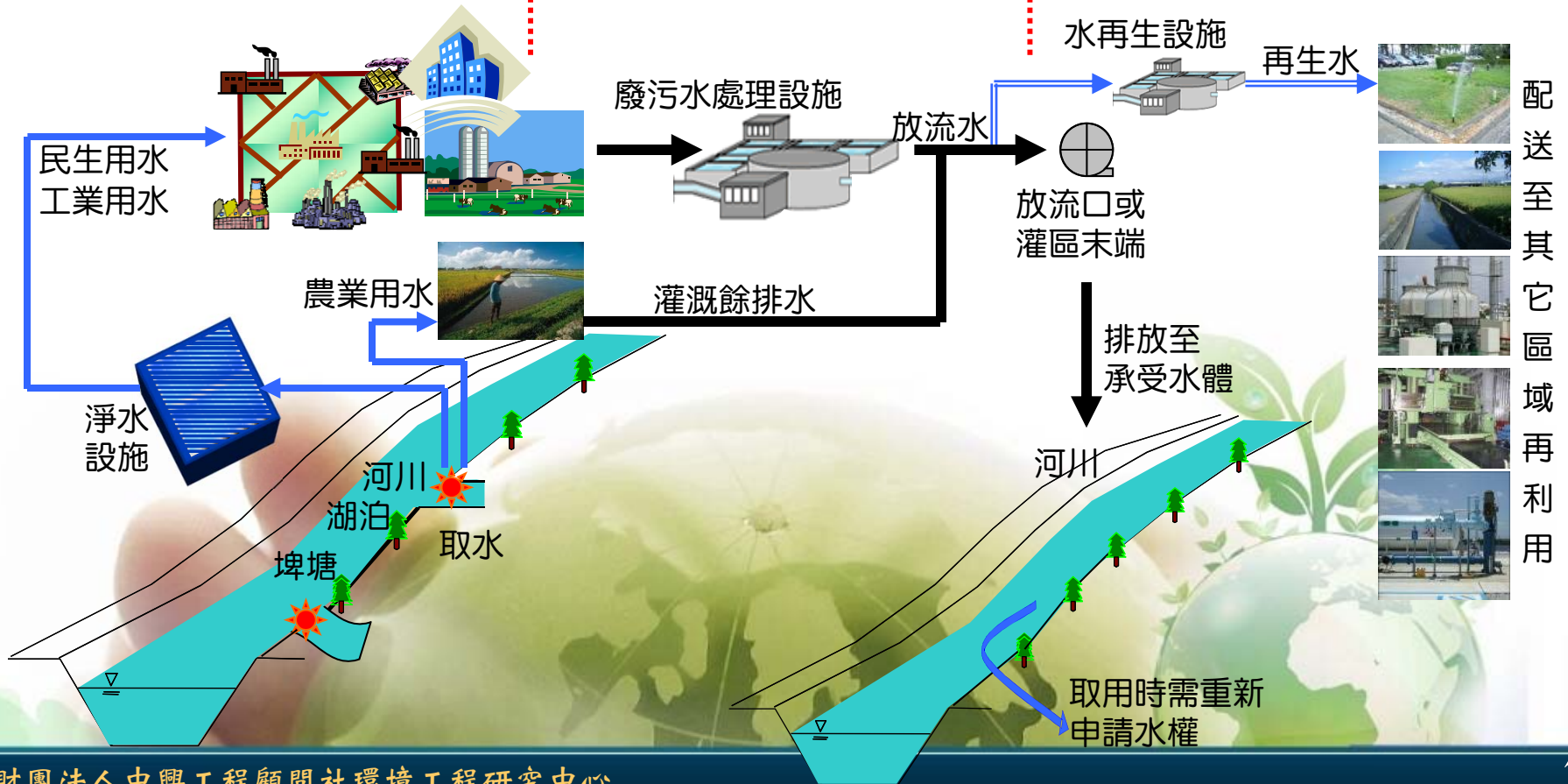
事業/家戶於建築物內產生之廢水，符合放流水標準後可進行內部回用

處理

事業/家戶使用後之廢污水處理至符合放流水標準後排放至承受水體

再生（取供模式）

事業/家戶排放前處理至符合各類用途法規標準，送至其他用戶端使用

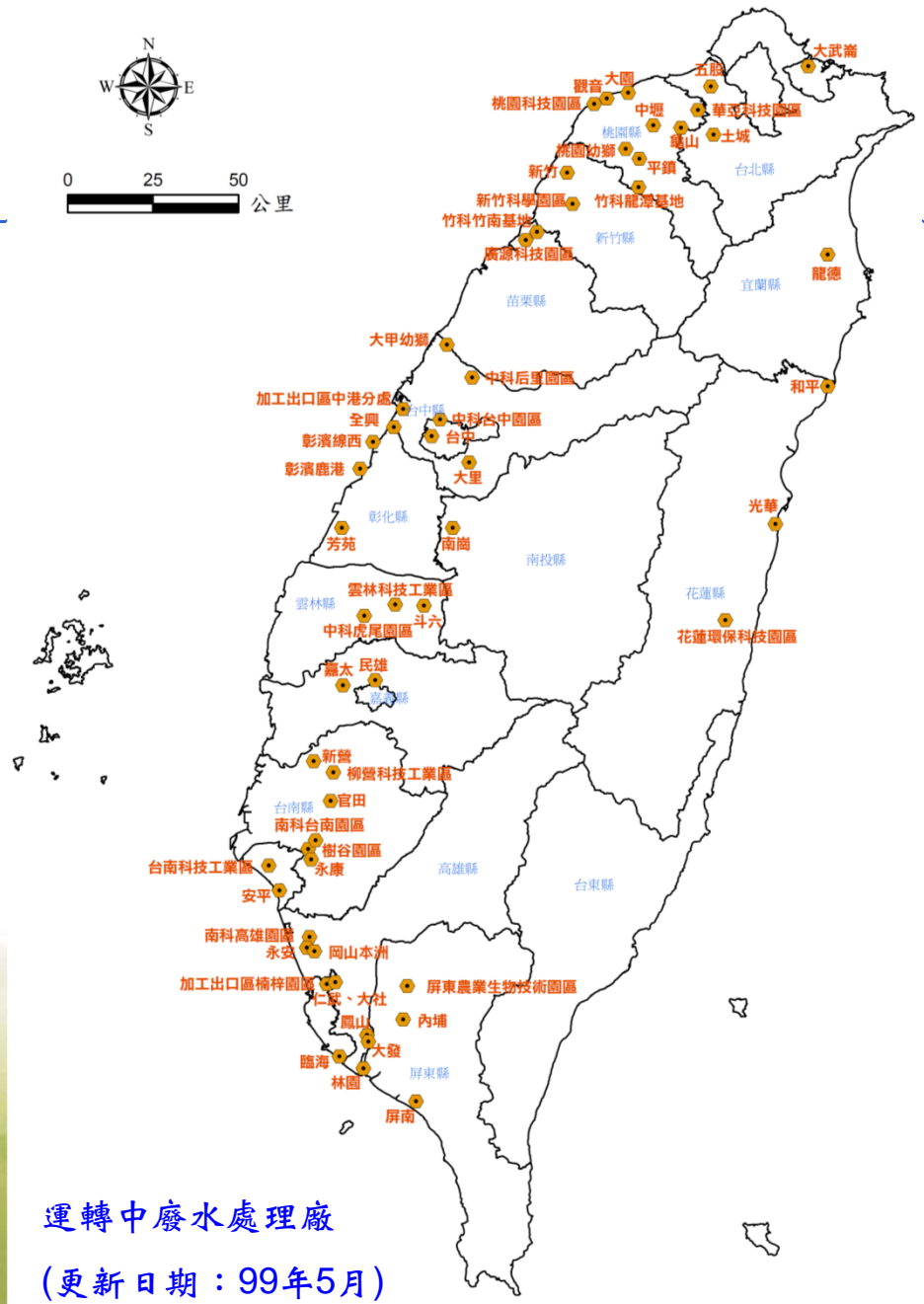



國內近期案例

縣市	廢污水處理廠	供給用途	再生水量(CMD)	放流水再生程序	備註
高雄市	楠梓加工區揚水站 (廢水處理廠)	區內廠商製程用水	1,800 (第一期)	前處理+超過濾膜+ 逆滲透膜	100年初 開始產水
高雄縣	林園工業區 廢水處理廠	區內廠商製程用水	5,000 (第一期)	前處理+超過濾膜+ 逆滲透膜	先期 規劃階段
高雄市	臨海污水處理廠	鄰近工業區冷卻用水	未定	超過濾膜+ 逆滲透膜 (暫訂)	尚在評估
高雄縣	鳳山溪污水處理廠				
台中市	福田水資源 回收中心	台中港工業專業區用水	未定	未定	尚在評估
新竹縣	竹北污水處理廠	鄰近工廠用水	未定	未定	尚在評估
	竹東污水處理廠				
金門縣	太湖污水處理廠 金城污水處理廠	太湖污水處理廠放流水 已供鄰近區域林業用水	數十~數百	無	未來將規劃 供作其他環 境景觀用水

廠區分布圖

- 全國56座工業區廢水處理廠放流水總量每年約2億 m^3
- 距離潛在用水者(區內納管廠商)甚近
 - ☞ 距離一般少於10 km
 - ☞ 廢水處理廠與用水單位目的事業主管機關相同，推動協調較為單純
- 放流水導電度偏高，必須經過除鹽方可進一步作再利用，使得再生成本偏高

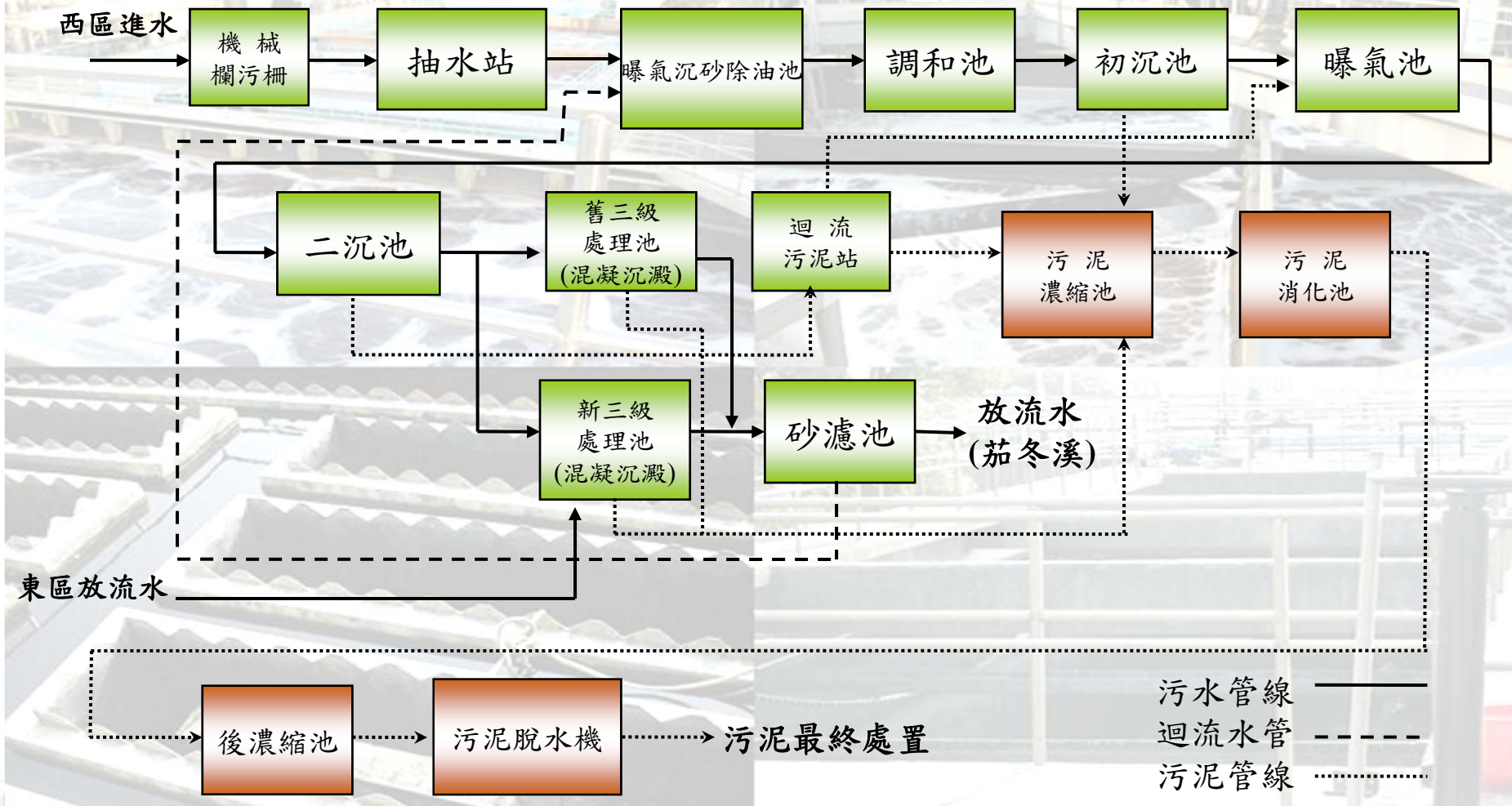




二、可用之放流水再生程序

典型工業區廢水處理廠處理流程

新竹工業區西區廢水處理廠



典型廢水處理廠放流水水質

廢水廠 水質項目	工業 (初級)	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)
	林園工業區 廢水廠放流水	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	6680 ~ 6860	2700 ~ 3700	870 ~ 895	3,500 ~ 5,420	1,538 ~ 2,040	2630 ~ 3020
TDS	3300 ~ 3680	2000 ~ 2400	390 ~ 444	1,610 ~ 3,040	867 ~ 916	1380 ~ 1660
F ⁻	1.12 ~ 3.93	*	1.96 ~ 2.05	1.68 ~ 4.60	0.1 ~ 0.15	4.2 ~ 4.6
Cl ⁻	210 ~ 1190	280 ~ 480	96.9 ~ 239	950 ~ 1260	236 ~ 688	628 ~ 654
SO ₄ ²⁻	17.46 ~ 943	520 ~ 880	75.23 ~ 106	44.72 ~ 447	69.25 ~ 200	70.5 ~ 207
總硬度	513 ~ 710	220 ~ 700	104 ~ 124	352 ~ 361	112 ~ 128	256 ~ 266
濁度	4.0 ~ 7.0	3.7 ~ 6.9	3.8 ~ 6.3	2.8 ~ 9.7	3.2 ~ 7.7	2.6 ~ 3.2
總氮	12.3 ~ 12.6	16 ~ 25	21.80 ~ 23.2	12.9 ~ 22.55	13.04 ~ 18.8	32.3 ~ 33
NO ₃ -N	8.1 ~ 10.0	15 ~ 23	6.87 ~ 16.50	0.03 ~ 18.20	5.45 ~ 12.8	13.9 ~ 15.4
NO ₂ -N	0.1 ~ 0.88	<0.01	0.31 ~ 0.48	0.04 ~ 0.22	0.02 ~ 3.32	0.20 ~ 0.28
NH ₃ -N	1.1 ~ 2.5	0.08 ~ 0.12	4.43 ~ 15.8	3.68 ~ 8.64	0.07 ~ 0.26	16.3 ~ 18.8
TP	1.93 ~ 6.76	3.4 ~ 15	8.40 ~ 8.93	4.24 ~ 6.56	0.22 ~ 1.18	19.9 ~ 54.7
As	ND ~ 0.004	*	ND ~ 0.024	ND ~ 0.013	ND	ND
Cd	ND ~ 0.0004	0.01	ND ~ 0.0004	ND ~ 0.0003	ND ~ 0.0004	ND ~ 0.0006
Cr	0.0038 ~ 0.0045	0.04	ND ~ 0.0017	0.0041 ~ 0.017	0.0048 ~ 0.009	0.0027 ~ 0.0028
Cu	0.01 ~ 0.0487	0.11	0.036 ~ 0.0665	0.0036 ~ 0.017	0.057 ~ 0.0603	0.0044 ~ 0.0047
Ni	0.0268 ~ 0.0272	0.18	0.022 ~ 0.0472	0.041 ~ 0.056	ND ~ 0.0236	ND ~ 0.0152
陰離子型 界面活性劑	0.08	0.2 ~ 0.32	0.07 ~ 0.11	0.08 ~ 0.17	0.46 ~ 0.53	ND ~ 0.06
CN ⁻	ND ~ 0.009	0.008 ~ 0.01	ND ~ 0.025	ND	ND ~ 0.002	ND ~ 0.012

廠商對放流水再生後使用意願

排名 \ 研究	A	B	C	D	E	F
1	生活雜用 (32.4%)	冷卻 (41.5%)	製程 (68.3%)	製程 (68.3%)	生活雜用 (68.0%)	製程 (92.3%)
2	冷卻 (23.8%)	製程 (40.4%)	冷卻 (21.1%)	冷卻 (21.1%)	冷卻 (14.0%)	冷卻 (3.8%)
3	製程 (11.4%)	鍋爐 (13.4%)	鍋爐 (5.5%)	鍋爐 (5.5%)	鍋爐 (9.7%)	生活雜用 (3.3%)

- 研究A: 蔣本基 (2004), 各工業區
- 研究B: 水利署 (2003), 新竹工業區
- 研究C: 水利署 (2005a), 桃園地區之工業區
- 研究D: 水利署 (2005b), 台南地區之工業區
- 研究E: 水利署 (2004), 觀音工業區
- 研究F: 水利署 (2006), 大園工業區

廠商對放流水再生後使用意願 (續)

🌈 經濟面 (再生水成本)

- 📁 廠商分攤之操作營運費用不高於現行自來水價，以符合經濟效益，若未來採浮動價格，建議與自來水價調整幅度同步
- 📁 廠商分攤之操作營運費用，會隨著再生水廠之營運期程不同而有所不同，希望採固定價格供應

🌈 技術面 (供水穩定性)

- 📁 再生水水質與自來水相同或更佳，以銜接目前製程，並降低廠商純水系統負擔
- 📁 建議設置線上監控系統，確保供水水質
- 📁 規劃緊急備用水源，確保供水量穩定
- 📁 應避免再生水廠產生之濃排水，對既有廢水處理設施造成負擔

水再生利用需符合法定水質標準

水質項目	景觀用水	自來水 (水利署)	灌溉用水	注入地下水
導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	--	--	750	--
生化需氧量 BOD_5 (mg/L)	< 15	--	--	1
總溶解固體TDS (mg/L)	--	800	--	800
氟離子 F^- (mg/L)	--	0.8	--	0.8
氯離子 Cl^- (mg/L)	--	250	175	250
硫酸根 SO_4^{2-} (mg/L)	--	250	200	250
總硬度(mg/L)	--	400	--	--
大腸菌群 (CFU/100mL)	不得檢出	6	--	50
濁度 (NTU)	<5	2	--	--
總氮(mg/L)	--	--	3.0	--
硝酸鹽氮 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	--	10	--	10
亞硝酸鹽氮 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	--	0.1	--	不得檢出
氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	--	0.5	--	0.1
總磷TP (mg/L)	--	--	--	--
砷As (mg/L)	--	0.05	0.05	0.05
鎘Cd (mg/L)	--	0.005	0.01	0.005
鉻Cr (mg/L)	--	0.05	0.1	0.05
銅Cu (mg/L)	--	1.0	0.2	1.0
鎳Ni (mg/L)	--	--	0.2	0.1
陰離子型界面活性劑 (mg/L)	--	0.5	5.0	0.5
氰化物 CN^- (mg/L)	--	0.05	--	0.01

國外相關水質標準

水質項目	美國環保署建議之循環冷卻系統用水標準 (Montgomery, 1985)	美國環保署建議之中等壓力鍋爐用水標準 (150~700 psig) (USEPA, 1992)
pH	--	8.2 ~ 10.0
SS (mg/L)	100	5
BOD ₅ (mg/L)	--	--
COD (mg/L)	75	5
Color (--)	--	--
<i>E. Coli</i> (CFU/100mL)	--	--
NO ₃ -N (mg/L)	--	--
NH ₃ -N (mg/L)	--	0.1
Turbidity (NTU)	--	--
TDS (mg/L)	500	500
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	130	1.0
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	20	100
Silica (mg/L as SiO ₂)	50	10
Calcium (mg/L)	50	0.4
Magnesium (mg/L)	--	0.25

各種單元對污染物之去除潛力

單元 污染物	加藥沉澱	砂濾	超微細篩機	表面過濾	活性碳吸附	浮除	硝化脫硝	加氯	臭氧	UV殺菌	芬頓法	MF	UF	NF	RO	離子交換樹脂	電透析	加藥軟化	奈米活性碳電極
細菌	+	O	O	O	+	O	*	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	*	*
原蟲	+	+	+	+	+	+	*	O	+	+	*	+	+	+	+	*	+	*	*
病毒	*	*	*	*	O	*	*	+	+	+	O	O	+	+	+	*	+	*	*
SS (>10μm)	+	+	+	+	+	+	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+	O	*
SS (<10μm)	O	O	+	+	+	+	*	*	*	*	*	+	+	+	+	O	+	*	*
色度	+	*	*	*	+	*	*	O	+	O	+	O	O	+	+	*	O	*	*
BOD	+	O	O	O	+	*	O	O	O	O	O	O	O	+	+	*	O	*	*
COD	+	O	O	O	O	O	O	O	+	O	+	O	O	+	+	O	O	*	*
氮	*	*	*	*	O	O	+	O	O	*	O	*	*	+	+	+	O	*	*
磷	+	O	O	O	O	O	O	*	*	*	*	+	+	+	+	*	+	+	*
重金屬	+	*	*	*	*	O	*	*	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+
鹼度	O	*	*	*	*	O	*	*	*	*	*	*	*	+	+	+	+	*	+
二價以上離子	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+
一價離子	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	O	+	+	+	*	+

註：「+」可有效移除 「O」：具移除效果但較不顯著 「*」：不具效果或缺乏研究資料

各種單元對污染物之去除潛力 (續)

消毒※	除碳脫硝※	一般過濾※ (10μm以上顆粒)	精密過濾※ (10μm以下膠體)	除鹽	高級氧化
加氯 臭氧 紫外光	無氧/好氧法 土壤處理 人工濕地	砂濾 活性炭 表面過濾	外掛/沉浸式 微/超濾 薄膜生物 反應器	加藥軟化 奈米過濾 逆滲透 電透析 離子交換	UV-O ₃ UV-H ₂ O ₂

←----- 廢污水處理 ----- 放流水再生 ----- 用戶端純水處理 ----->

生活雜用



灌溉



工業冷卻



地下水補注



工業製程



間接飲用



選定放流水再生程序之關鍵問題

需降低TDS與溶解性COD

可採用RO、NF、EDR等

需降低薄膜膠體性阻塞之趨勢

可採用砂濾、濾芯、濾袋、超微細篩機等

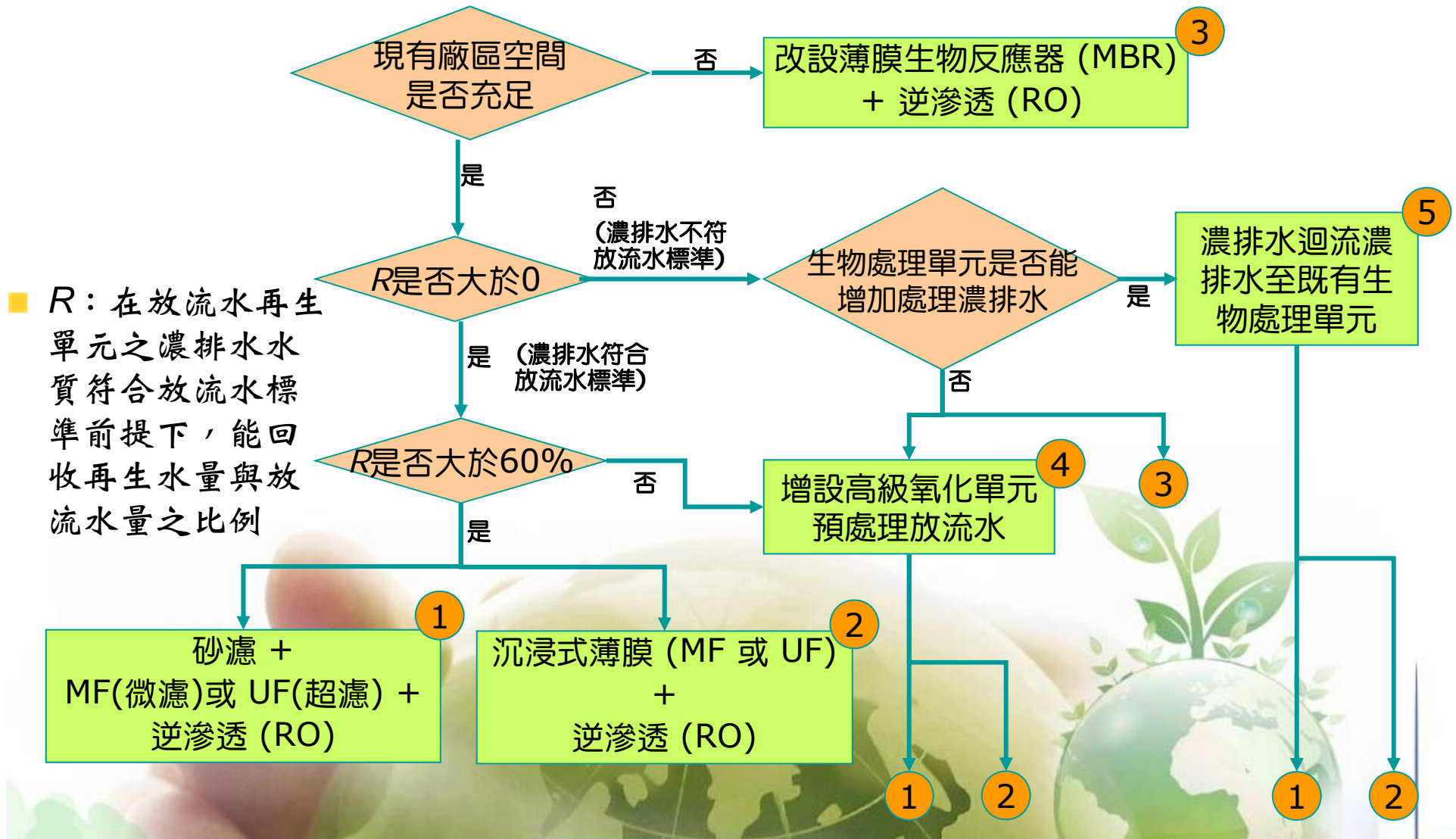
需考慮RO濃排水的處理

可採用高級氧化、化學沉澱、迴流至前端生物處理單元等措

廢水處理廠內空間受限

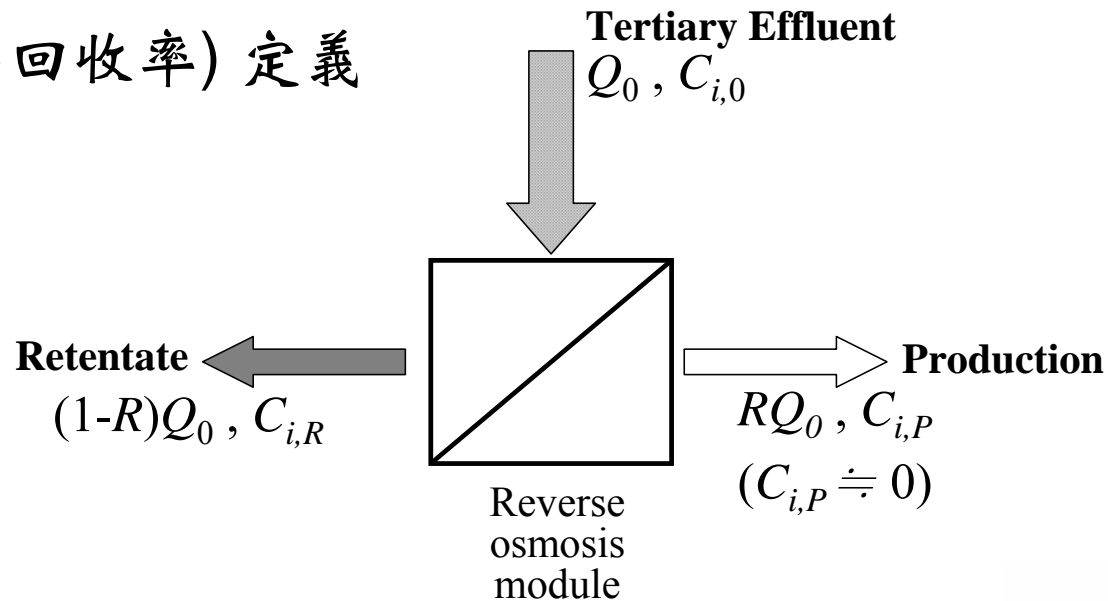
薄膜生物反應器 (MBR)

選定放流水再生程序之關鍵問題 (續)



選定放流水再生程序之關鍵問題 (續)

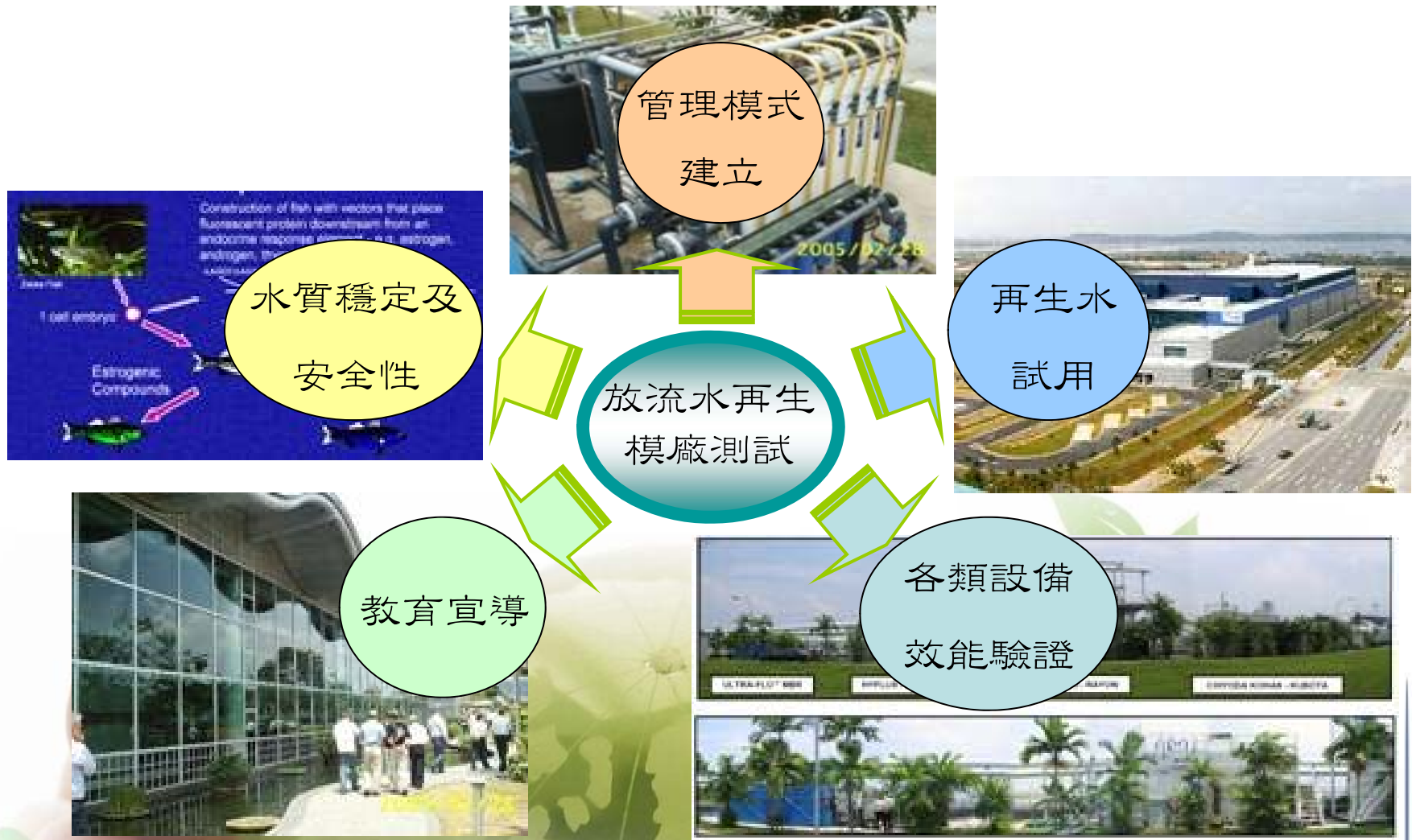
R (潛勢回收率) 定義



$$Q_0 C_{i,0} = RQ_0 C_{i,P} + (1-R) Q_0 C_{i,R} = (1-R) Q_0 C_{i,R}, \quad R = 1 - \frac{C_{i,0}}{C_{i,R}}$$

$$R = \min \left[\left(1 - \frac{SS}{30\text{mg/L}} \right), \left(1 - \frac{BOD_5}{30\text{mg/L}} \right), \left(1 - \frac{COD}{100\text{mg/L}} \right), \left(1 - \frac{Color}{550} \right), \dots \text{etc.} \right]$$

預先設置模廠進行評估



預先設置模廠進行評估 (續)

🌈 觀察進流水量長期變化


- 📄 廢污水處理放流水再生程序：依 Q_{99} 進行單元設計
- 📄 灌溉餘排水再生程序：依 Q_{90} 進行單元設計

🌈 觀察進流水質長期變化

- 📄 取 C_{95} (95%的時間均小於此濃度) 或濃度平均值加2倍標準差 (假設水質為常態分布, 95%之水樣濃度均小於此值) 進行單元設計

🌈 評估各單元設計參數與操作問題

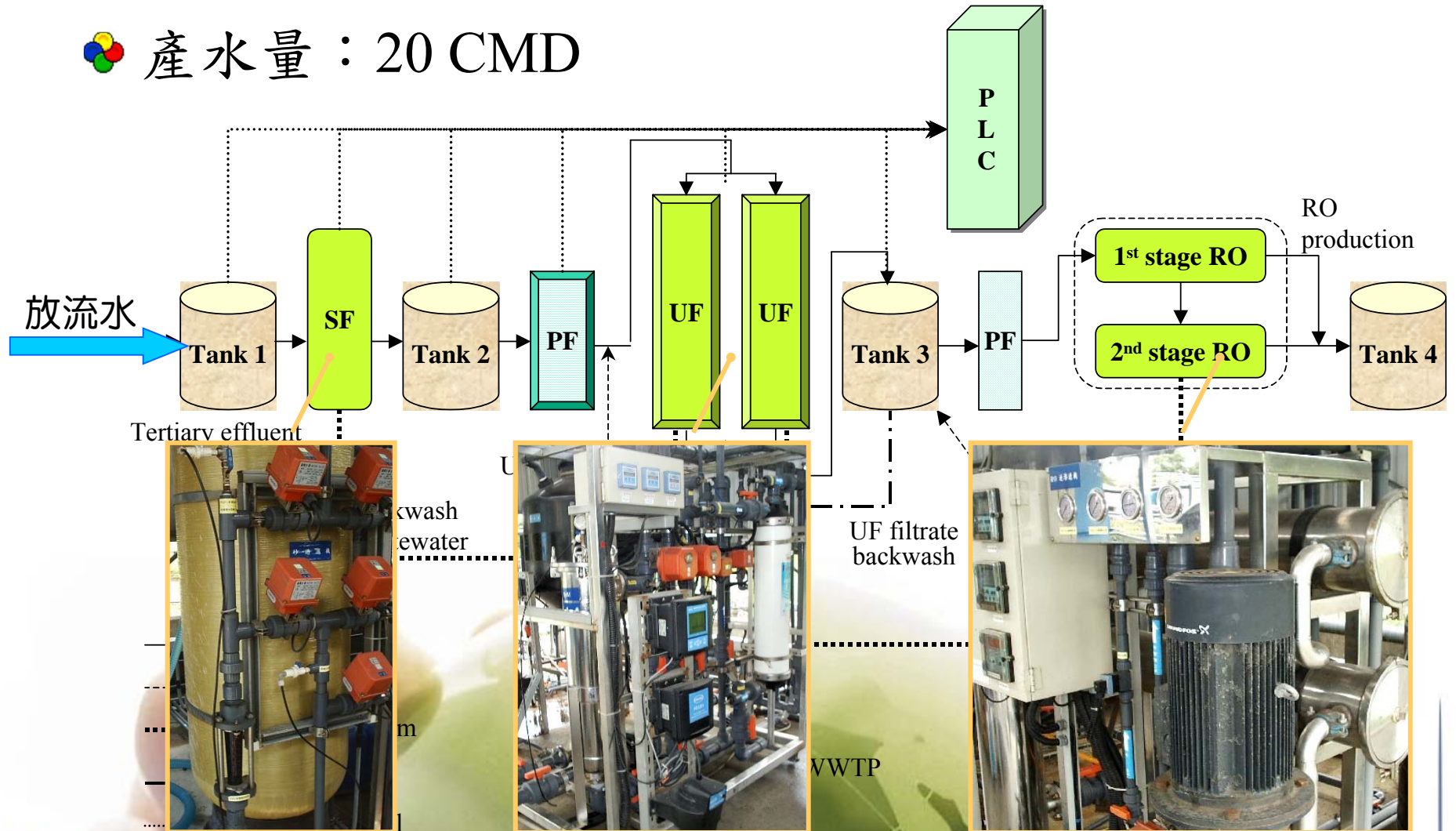
- 📄 各段貯留槽所需容積
- 📄 產水通量 / 穩定度
- 📄 污染物去除效率 / 穩定度
- 📄 藥品用量 / 其他耗材用量 / 膜材壽命
- 📄 濃排水產生量與水質 / 廢棄物產生量
- 📄 反洗頻率 / 清洗頻率 / 反洗與清洗產生廢水
- 📄 前端進水波動 / 加藥 (如加氯、混凝劑、絮凝劑) 對系統影響
- 📄 其它測試 (腐蝕 / 積垢 / 毒性等)



三、「砂濾-超濾膜-逆滲透膜」試驗： 放流水直接再生

UF-RO模廠系統

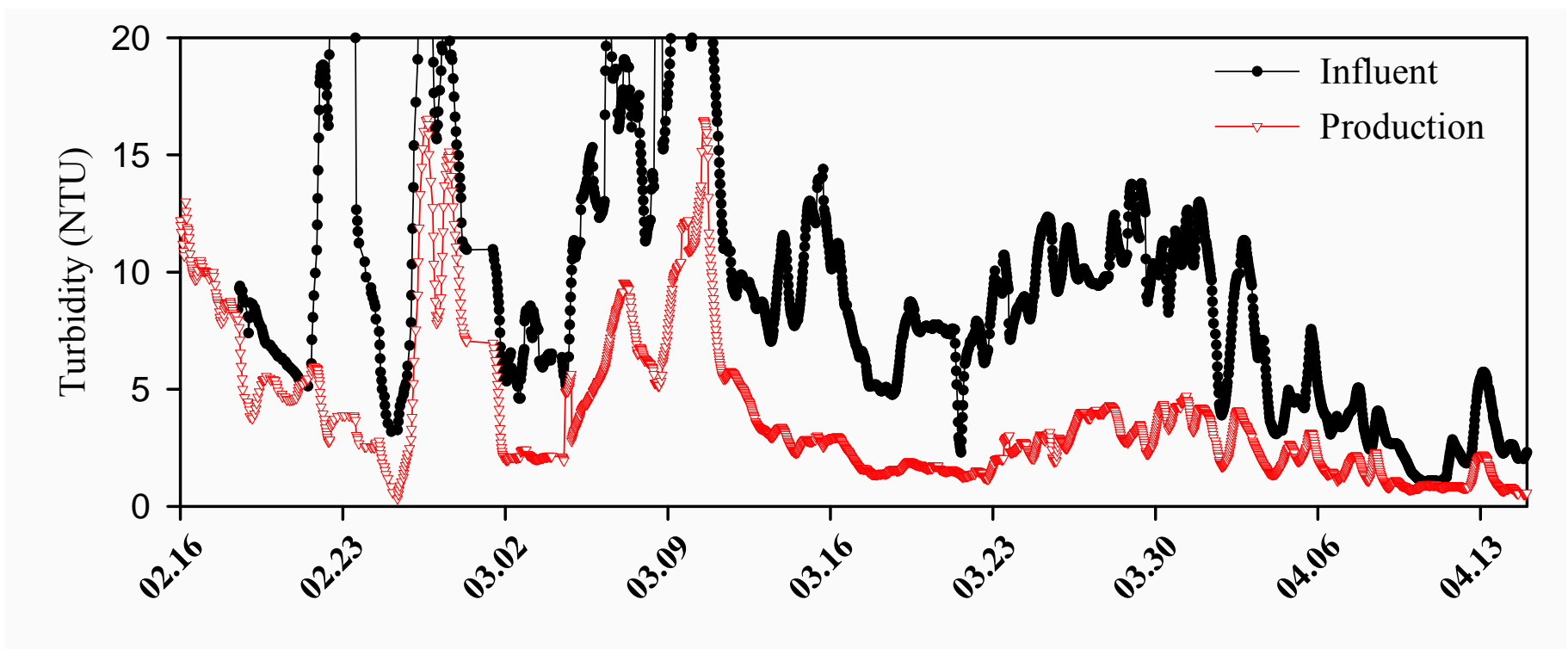
產水量：20 CMD



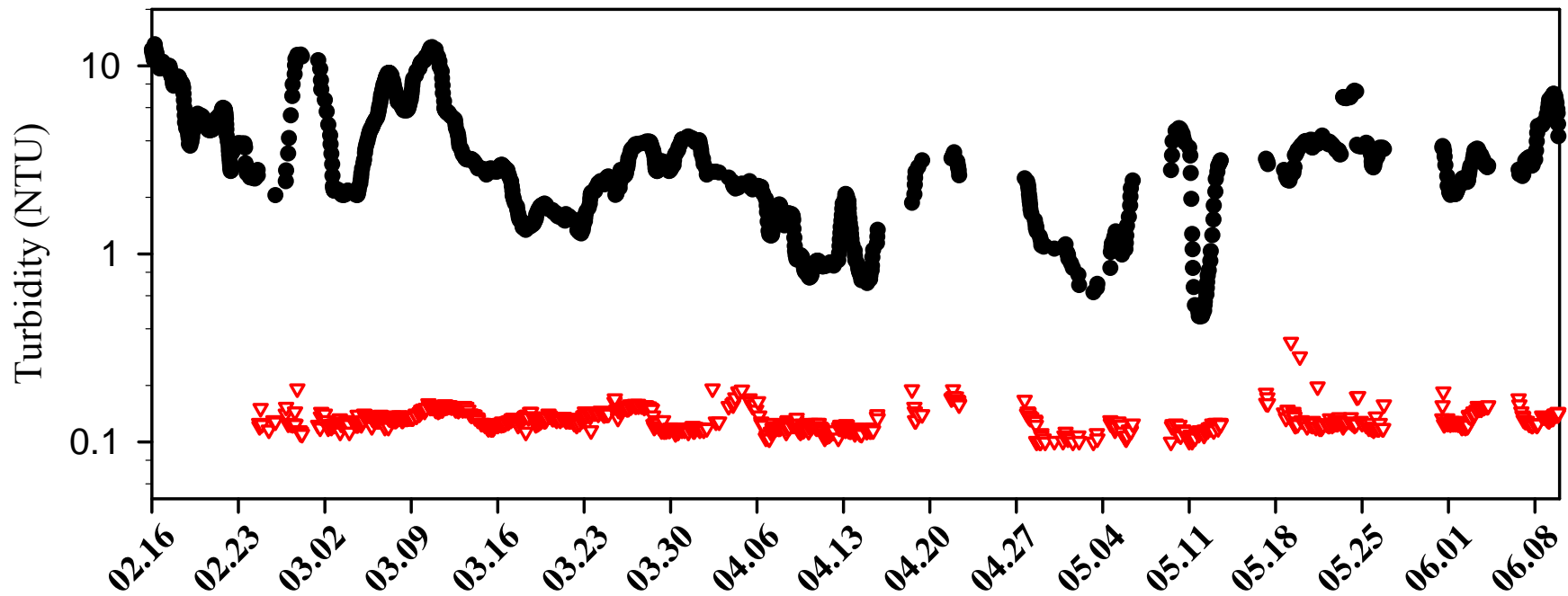
PES材質，膜面積30 m²

一段式設計，兩支8040膜管

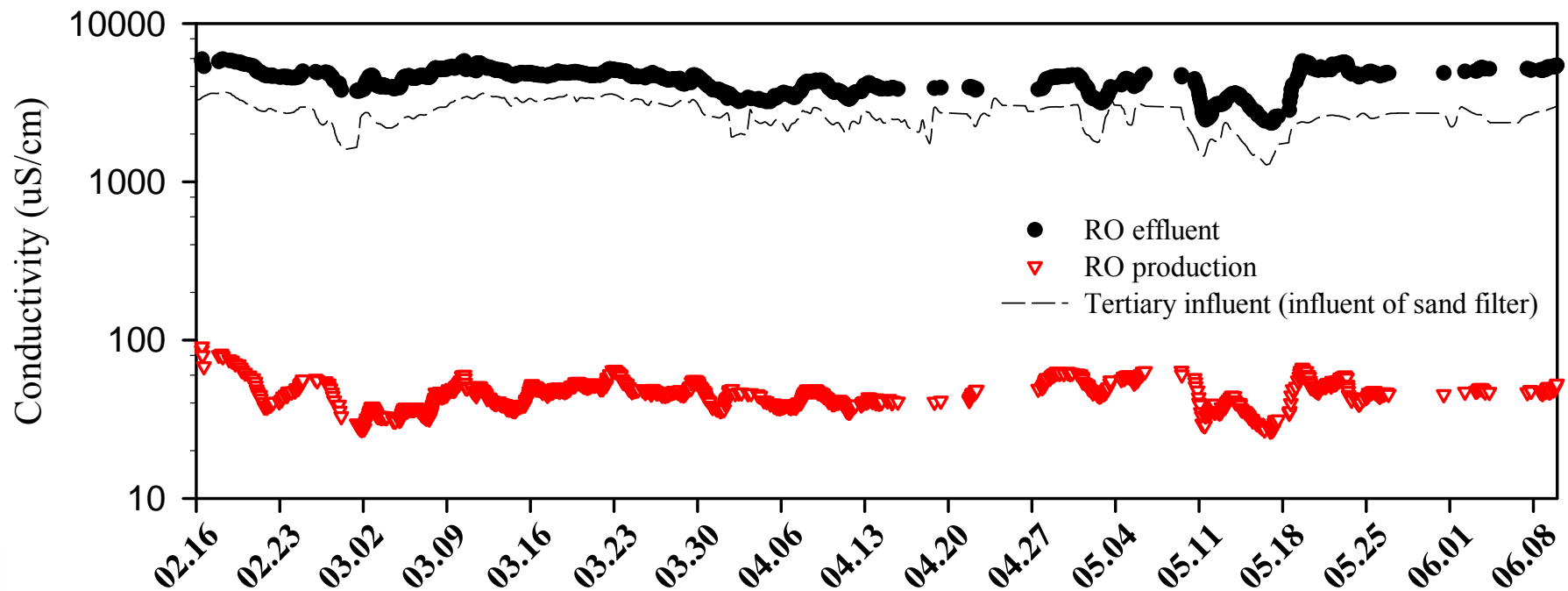
砂濾：濁度移除



中空絲UF：濁度移除



卷式RO：導電度移除



再生水水質

	<i>Effluent</i>	<i>Reclaimed water</i>
pH (—)	6.7 ~ 7.6	6.2 ~ 6.5
Conductivity (μS/cm)	2700 ~ 3700	50 ~ 70
COD (mg/L)	23 ~ 33	1 ~ 3
SS (mg/L)	8 ~ 12	ND
Turbidity (NTU)	3.7 ~ 7.3	0.1 ~ 0.2
Color (—)	40 ~ 80	< 5
Oil & Grease (mg/L)	1.1 ~ 2.7	ND
Anionic Surfactant (mg/L)	0.2 ~ 0.3	ND
E. Coli (CFU/100 mL)	1.6×10^2	ND
TOC (mg/L)	4.7 ~ 8.3	< 0.5

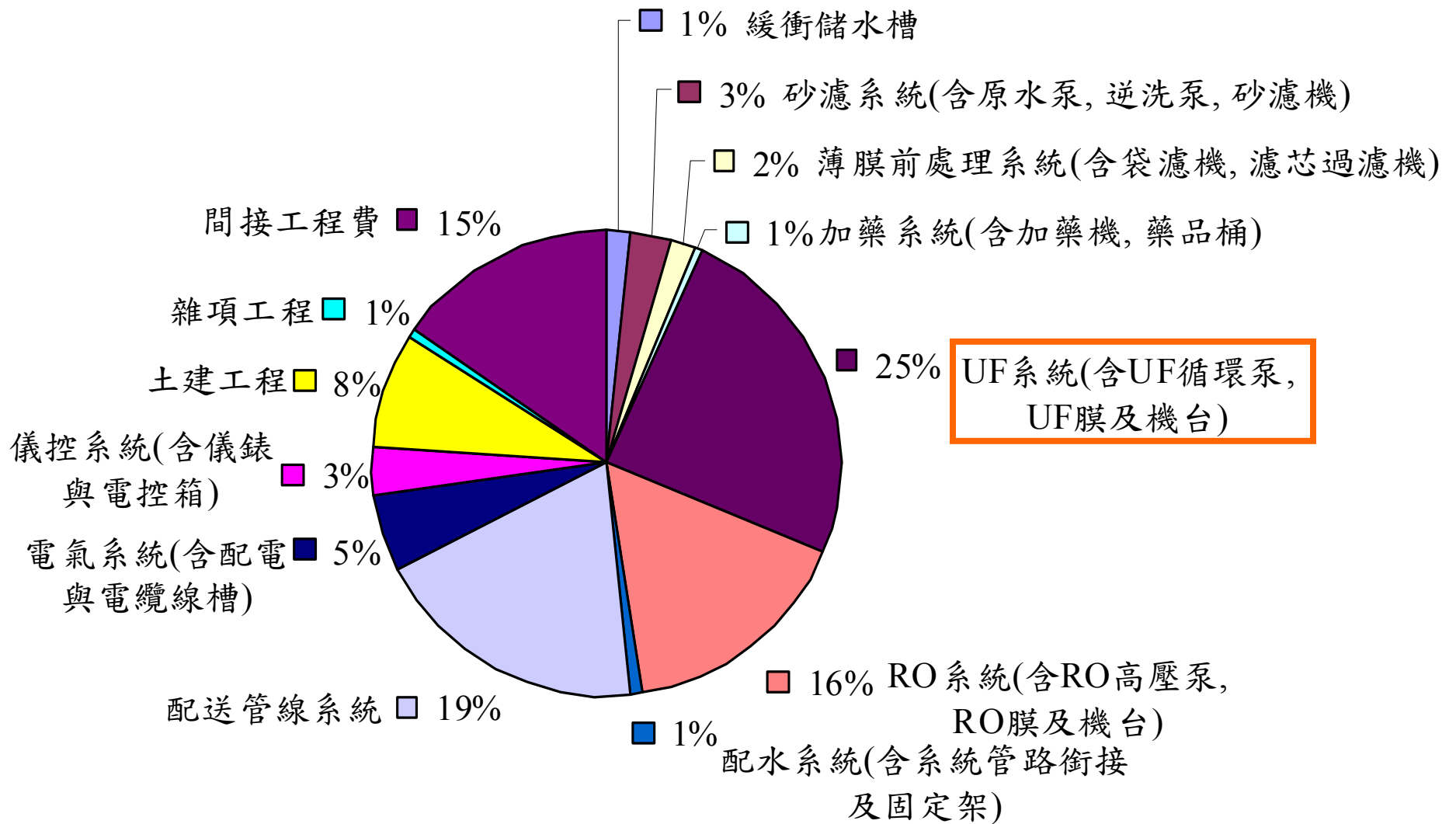
註：可符合美國環保署建議之中等壓力鍋爐用水標準

成本分析

項目	砂濾 + 中空絲UF + RO
5,000 CMD廠建設成本 (NT\$)	198,000,000
單位產水建設成本 (NT\$/m ³ production)	13
單位產水操作維護成本 (NT\$/m ³ production)	15
單位產水總成本 (NT\$/m ³ production)	28

- 註：
1. 以六個月之模廠測試結果為基準
 2. 以5,000 CMD之產水量預估，RO回收率設58%

建設成本之項目拆解



系統操作維護

🌈 中空絲膜UF線上清洗

- 🚰 以薄膜產水進行洗滌，每20~60分鐘一次
- 🚰 用水量：沖洗流量可控制在產水量的5~10倍，每噸產水約需使用0.2~0.4噸洗滌水
 - 次氯酸鈉 (廢水應高於5~10 mg/L)
 - 檸檬酸 (1~5 mg/L)
- 🚰 亦可使用RO濃排水作為反洗與線上清洗之用水，以節省UF產水

系統操作維護 (續)

RO進水加藥

除垢劑：

- 與陽離子形成螯合物，抑制鹽類結晶速率，避免產生鹽垢
- 種類有聚羧酸類、無機磷酸鹽類、有機磷酸鹽類、磺酸鹽類、聚丙烯醯胺類等
- 添加劑量一般建議為3 ~ 10 mg/L

亞硫酸氫鈉 (NaHSO₃)：

- 中和餘氯，避免傷害RO膜，或可用硫酸鈉或硫代硫酸鈉
- $\text{NaHSO}_3 + \text{NaClO} \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{NaCl}$ (餘氯劑量之1.4倍)
- 高劑量亞硫酸氫鈉同樣具抑菌效果

鹽酸：

- 調整pH值於酸性，避免產生碳酸鈣結垢，或可使用硫酸

系統操作維護 (續)

RO線上清洗

- ❏ 卷式膜為正向沖洗 (產水與迴水端關閉，沖出洗滌液)，中空絲膜則可反洗
- ❏ 洗滌液可採用UF產水或RO膜濃排水
- ❏ 頻率：一般每1~6小時一次
- ❏ 用水量：沖洗流量可控制在產水量的5~10倍，每噸產水約需使用0.1噸洗滌水

線上清洗加藥

- ❏ 同進水加藥種類

系統操作維護 (續)


藥洗


- 🕒 時間點：視產水率、膜管進出端壓差、或濁度去除率變化而定 (如偏移正常值10~15%)
- 🕒 頻率：一般每1~3個月一次

藥劑	去除標的
0.5% NaOH + 1.5%四鈉 EDTA (pH 12 與 25°C)	有機物、生物膠體
0.5% NaOH + 1.5%四鈉 EDTA (pH 12 與 40°C)	有機物、生物膠體、SiO ₂
3%檸檬酸	有機物、生物膠體、無機鹽類沉積
0.5% HCl (pH > 1)	無機鹽類沉積
1%甲醛	殺菌
3%亞硫酸氫鈉	殺菌、薄膜保存

系統操作維護 (續)

薄膜壽命評估

 薄膜廠商一般預估薄膜壽命為3~5年


 在正常操作情況下，清洗頻率(線上清洗或藥洗)成為決定薄膜壽命之關鍵因素

- 於模廠測試中，若在第一次藥洗後無法回復原本效能，則薄膜壽命可能大幅縮短
- 若藥洗所需頻率偏高，代表薄膜線上清洗頻率太低或負擔太高，壽命可能大幅縮短



系統操作維護 (續)

薄膜的保存

 目的：避免微生物於膜面上繁殖造成破壞，並防止薄膜發生水解等

 短期停止運轉 (一週內)

- 沖洗30分鐘以上，確保膜管與管道中均充滿水 (pH <6)
- 關閉所有閥門，避免空氣進入
- 溫度較高時應每兩天重複操作

 長期停止運轉 (一週以上)

- 以0.5~1.0%亞硫酸氫鈉或甲醛溶液連續沖洗 (30分鐘以上)
- 關閉所有閥門，避免空氣進入
- 每個月重複操作一次

小結

🌈 砂濾產水

- 📄 砂濾主要為去除 $10\mu\text{m}$ 以上之膠體
- 📄 需經UV消毒或次氯酸鈉殺菌，在SS或致病菌項目上已符合景觀用水之標準，然偏高之色度仍需進一步處理

🌈 UF產水

- 📄 UF可去除所有SS、25 %的COD以及約50 %色度
- 📄 UF成本偏高，有待尋求成本更低之廠牌

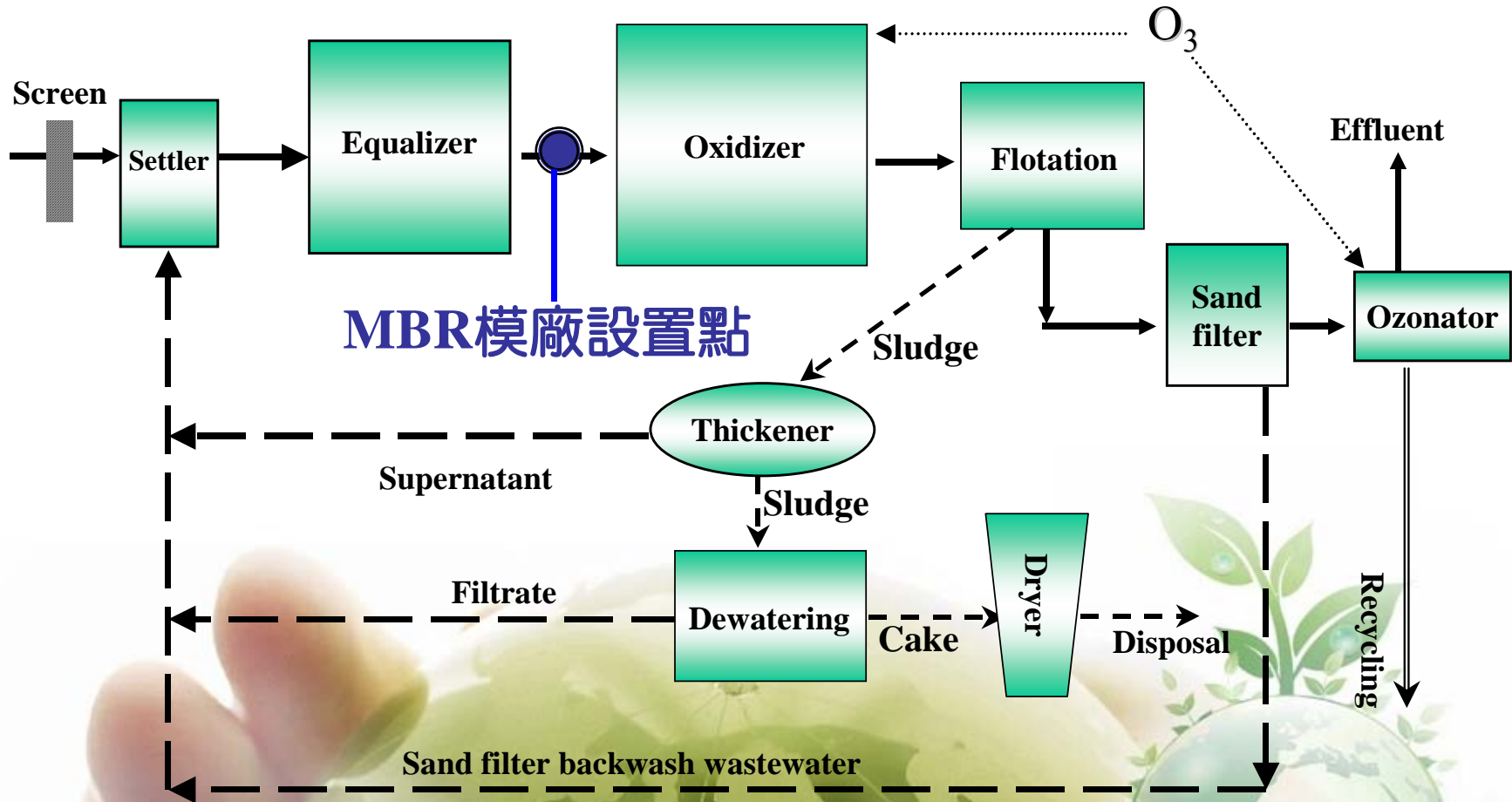
🌈 RO產水

- 📄 已大致符合循環冷卻補充用水與中等壓力鍋爐用水水質項目需求，並能作為純水系統水源
- 📄 對水質標準較寬鬆的循環冷卻用水，以RO產水調配UF出水，即可符合該類用水需求，且可節省造水成本



四、薄膜生物反應器試驗： 廢水處理廠改建

MBR模廠系統



MBR模廠系統 (續)



🌈 緩衝桶：250 L

🌈 活性污泥槽

👉 HRT：8 ~ 9 hr

👉 SRT：大於60天

🌈 薄膜槽

👉 材質：PES，沉浸式中空絲

👉 表面積：0.92 m²

👉 槽體體積：150 L

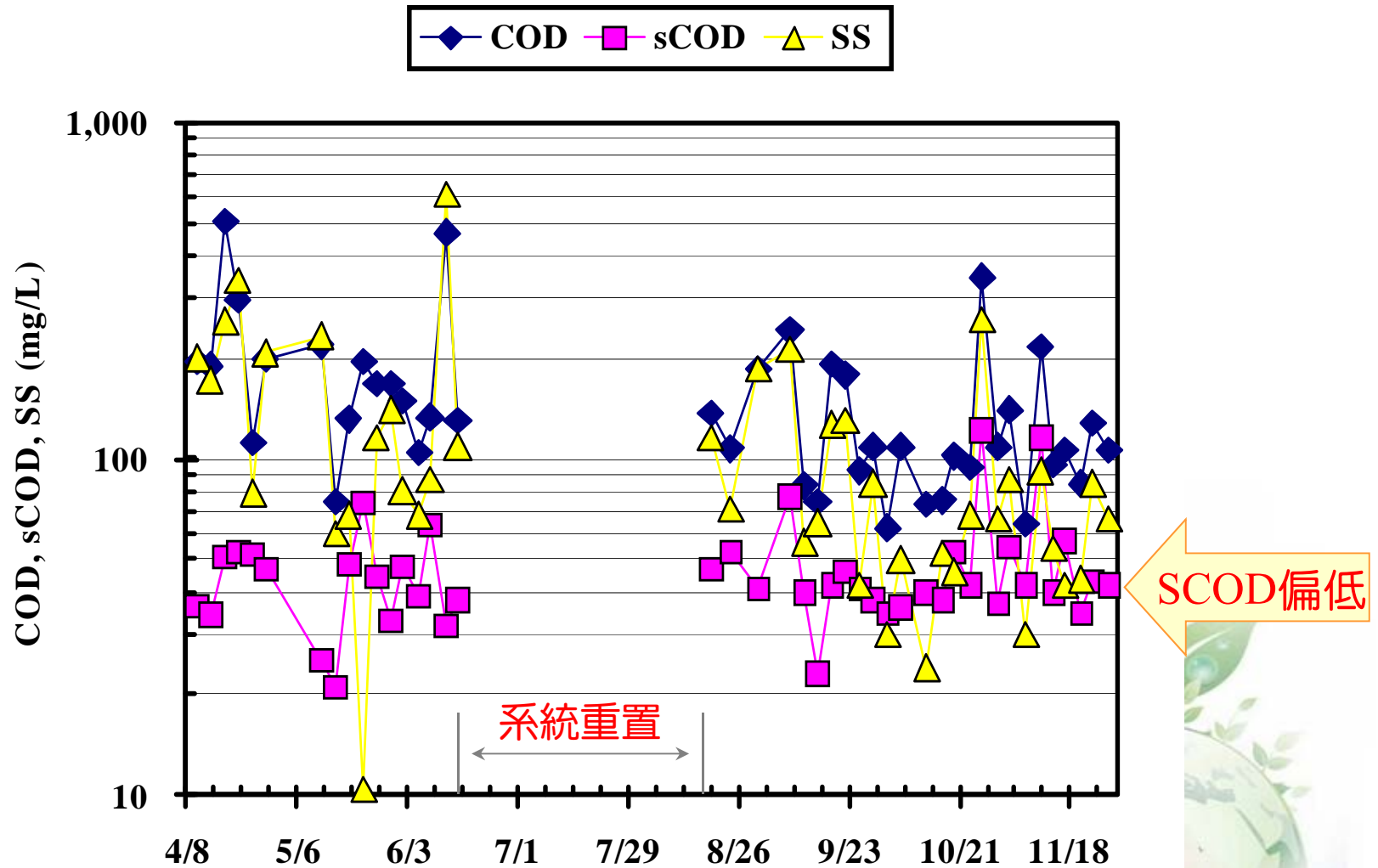
👉 設計處理量：1 CMD

👉 過濾周期設定：

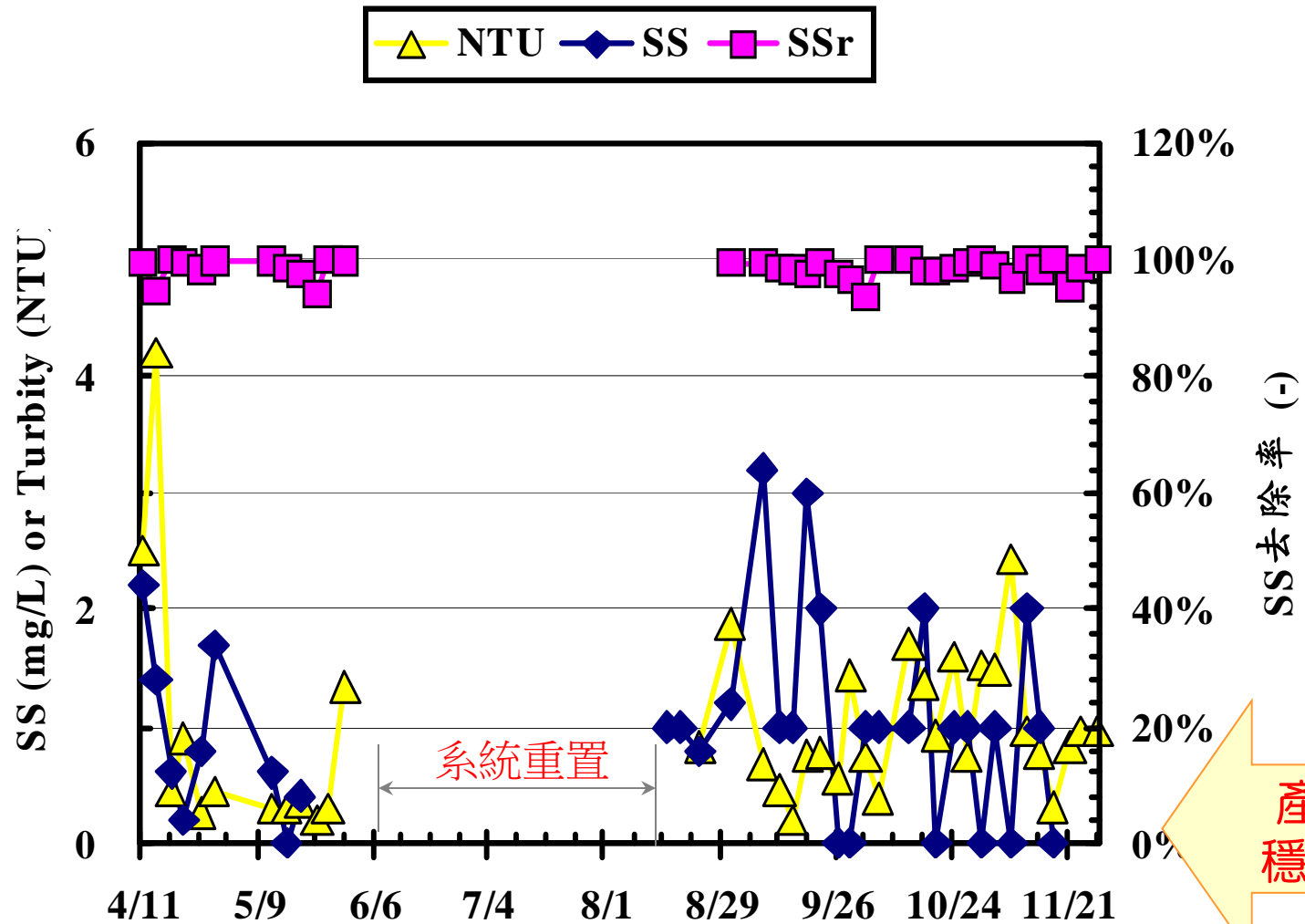
■ 每過濾15分鐘，反洗2分鐘

■ 線上清洗時添加NaClO

調勻池出水水質

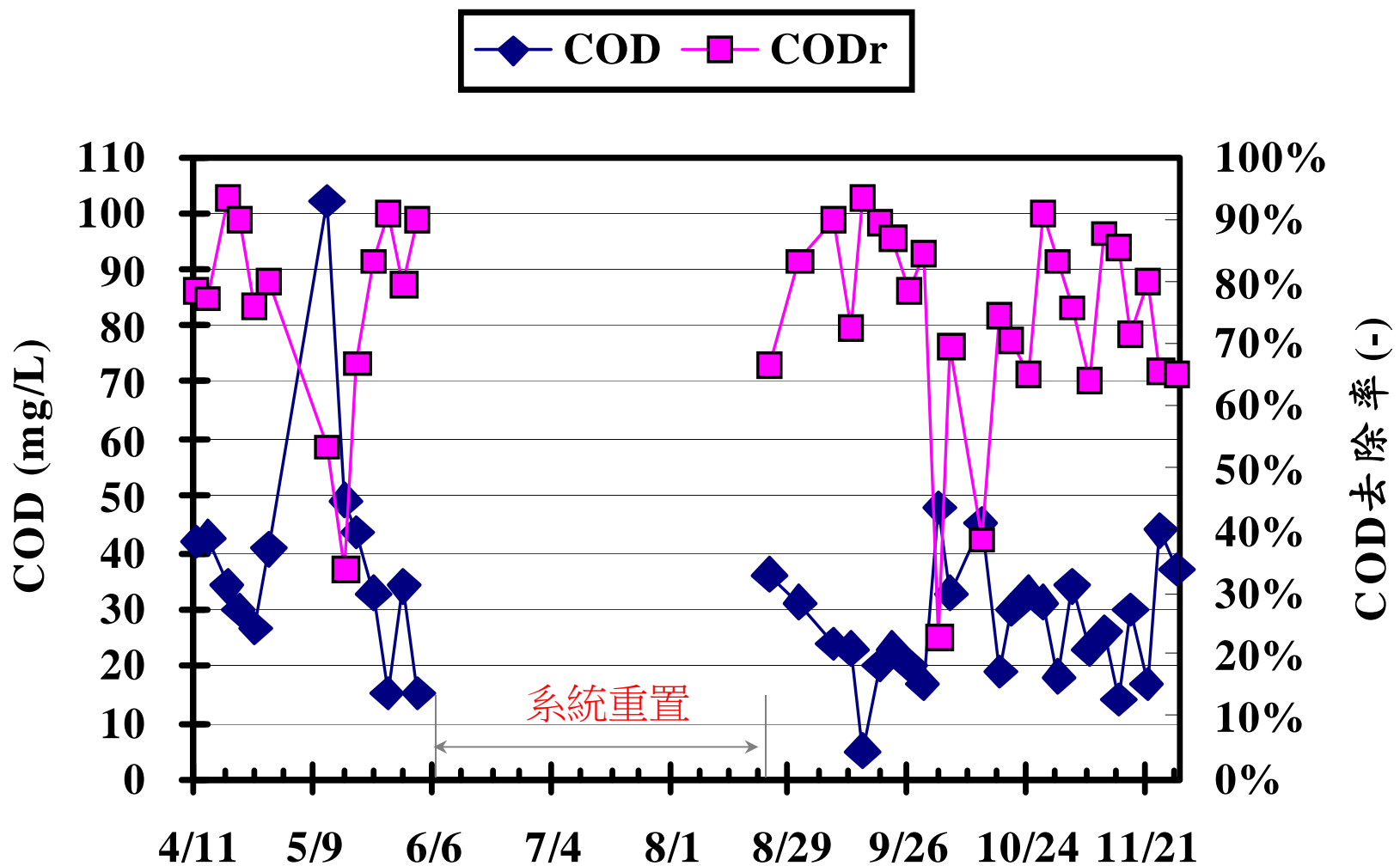


MBR產水水質

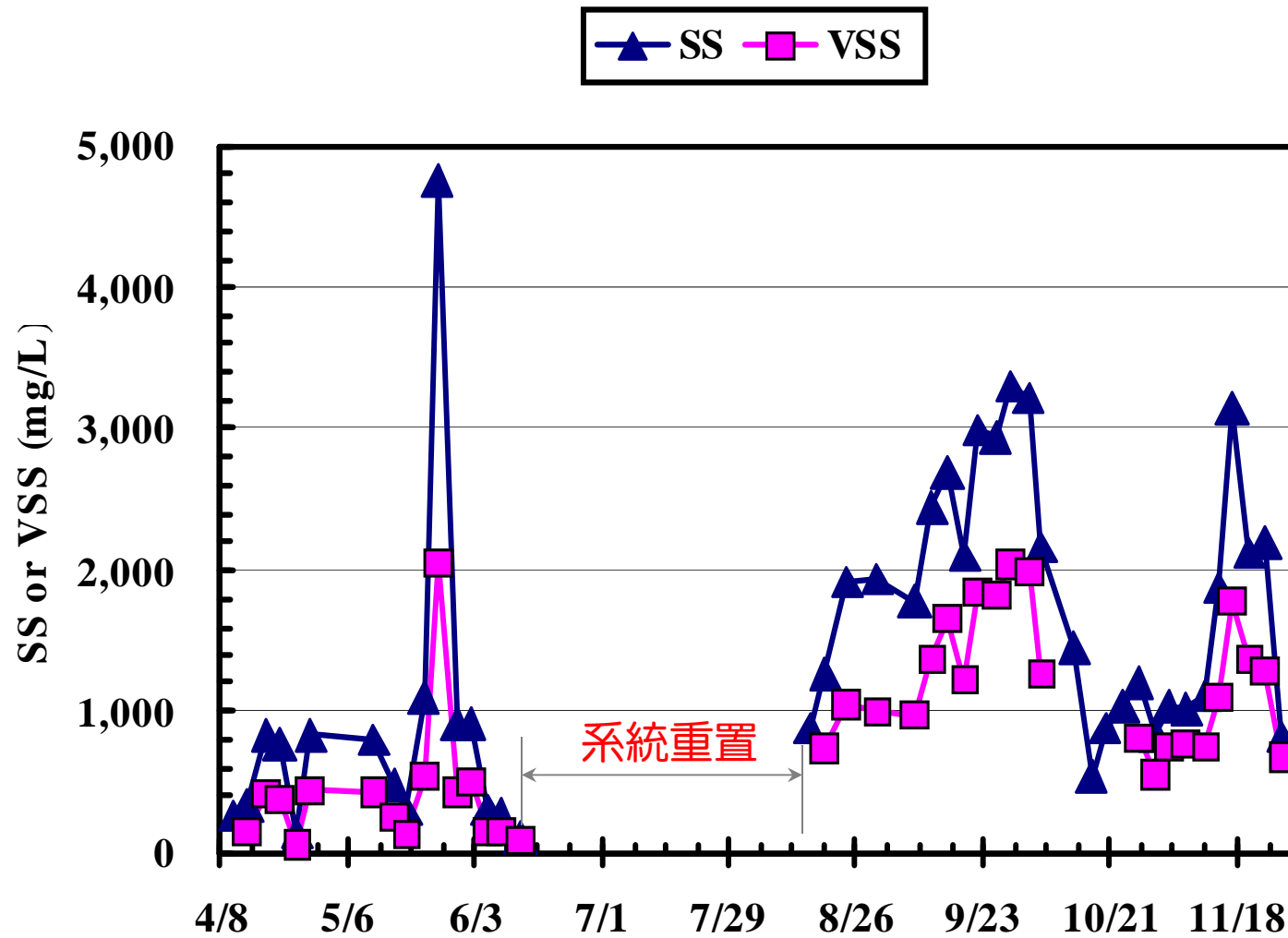


產水SDI
穩定低於5

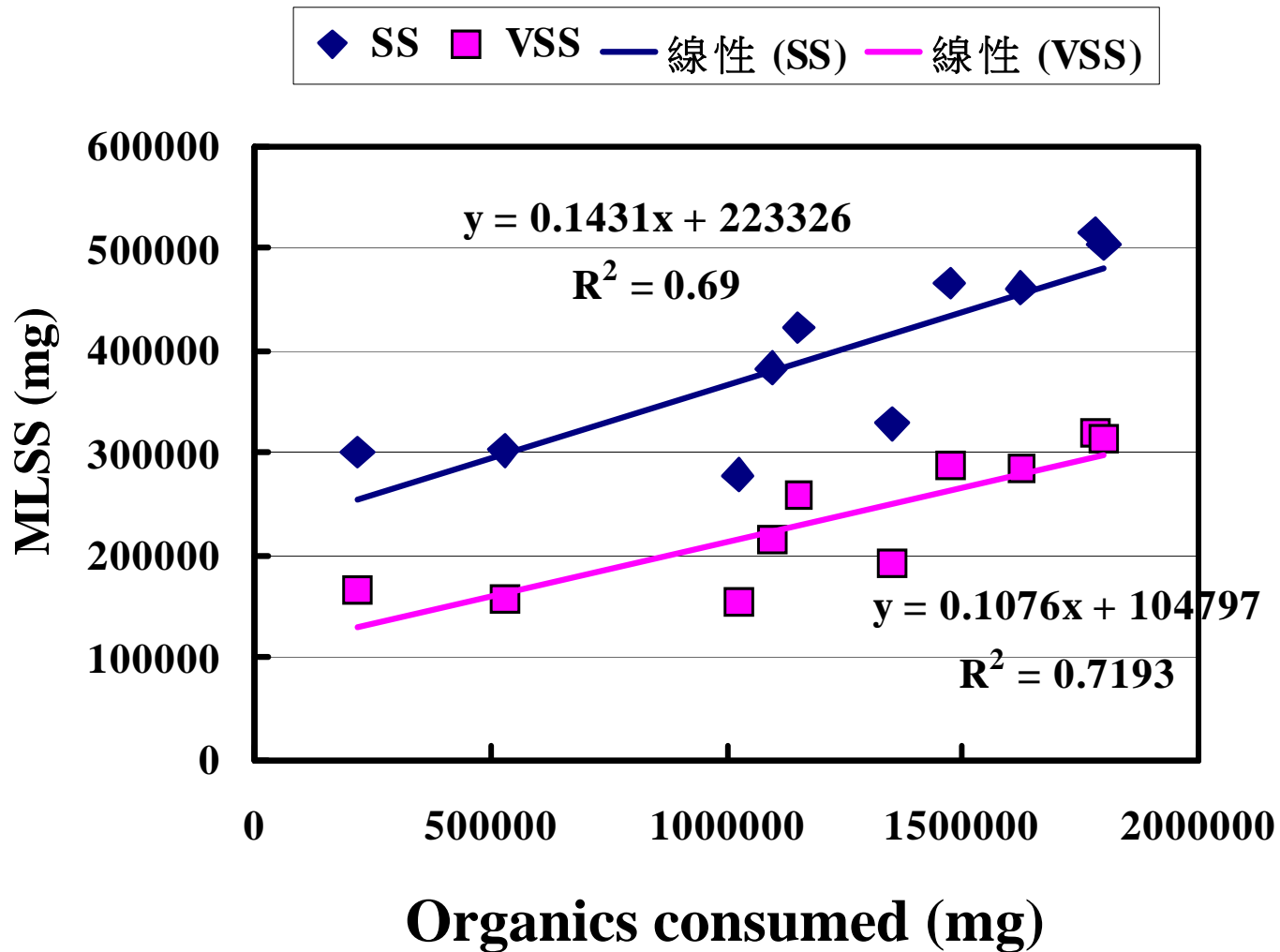
MBR產水水質 (續)



活性污泥生物效能



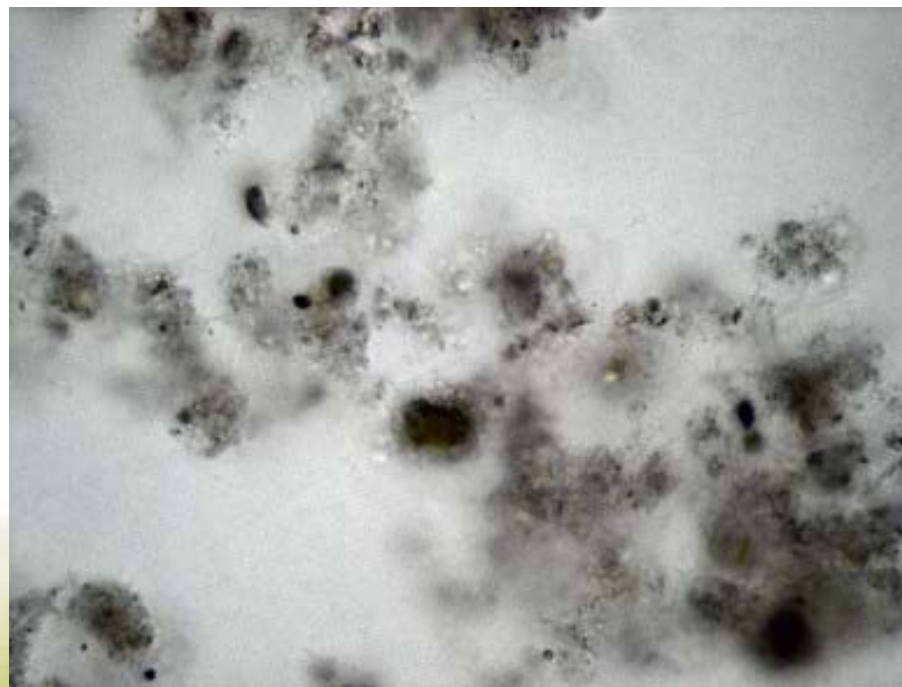
活性污泥生物效能 (續)



活性污泥生物效能 (續)







未馴化之污泥膠羽






馴化後之污泥膠羽

操作與效能參數彙整

薄膜

-  平均通量：0.50 m³/m²-d
-  最大通量：1.0 m³/m²-d
-  反洗通量：0.47 m³/m²-d
-  透膜壓力：0.45 ~ 0.50 kg_f/cm²

生物槽

-  MLSS：2,000 ~ 3,000 mg/L
-  體積負荷率：0.33 kg COD/m³-d
-  F/M：0.35 g COD/g VSS-d

成本分析

項目	MBR系統
5,000 CMD廠建設成本 (NT\$)	193,166,000
單位產水建設成本 (NT\$/m ³ production)	12.3
單位產水操作維護成本 (NT\$/m ³ production)	6.3
單位產水總成本 (NT\$/m ³ production)	18.6

- 註：
1. 以三個月之模廠測試結果為基準
 2. 以5,000 CMD之產水量預估

成本分析

成本項目 (NT\$/噸廢水)	廢水廠 + 砂濾-UF-RO	廢水廠初級處理+ MBR-RO + 污泥處理
廢水廠初級處理	3	3
廢水廠生物處理	4	18.6
廢水廠污泥處理	5	5
廢水廠三級處理	1	0
外掛式UF	5.8	0
RO	4.8	4.8
RO前置濾芯	0.2	0.1 *
加藥幫浦	0.1	0.02 *
單元間之聯結管線	0.2	0.08 *
用戶配水管線	1.5	1.5 *
電氣系統	0.4	0.1 *
控制系統	0.4	0.1 *
廠房設施	0.2	0.03 *
雜項工程	0.2	0.06 *
總成本 (NT\$/噸廢水)	26.8	33.4

* 係指MBR系統後端再加上RO後所增設

小結

🌈 MBR優點

- 📄 產水滲液幾乎不含SS，COD穩定低於 40 mg/L，SDI小於 5，可符合RO進水水質需求

🌈 MBR缺點

- 📄 污泥容易阻塞在底部之排放閥，造成設備故障
- 📄 曝氣槽產生大量泡沫，泡沫飄浮會造成污泥的流失，以及現場衛生問題
- 📄 藥洗用之NaClO造成輕微的管件腐蝕問題
- 📄 薄膜清洗頻率應再提高

🌈 限制

- 📄 工業廢水(調勻池出水)所含BOD與SCOD偏低，使得污泥成長情形並不理想，MLSS僅約3,000 mg/L，無法達到預期值(6,000~8,000 mg/L)，就污泥減量以及後續污泥脫水性的改善效果並不如預期



五、逆滲透膜濃排水之處理

濃排水的特性

- 以RO與NF回收放流水而排放之濃縮廢液(簡稱濃排水)一般含有如下特性：
 - SS甚低(近於零)
 - 高TDS與導電度(主要為 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^-)
 - 高溶解性COD(一般為生物不可分解)
- 在回收再生工業區廢水廠放流水時，其所衍生的濃排水可以作為工廠內的設備清洗、反洗、抑或泡藥之用，但若需排放，則需符合現行放流水標準，否則需再處理或予以稀釋

濃排水之處理

🌈 高級氧化（降低COD）

💧 臭氧氧化

💧 臭氧氧化 + UV

💧 臭氧氧化 + H_2O_2

💧 Fenton處理 ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$)

🌈 迴流至前端生物處理單元（降低BOD）

💧 前提為生物處理單元容量尚有處理餘裕






高級氧化成本

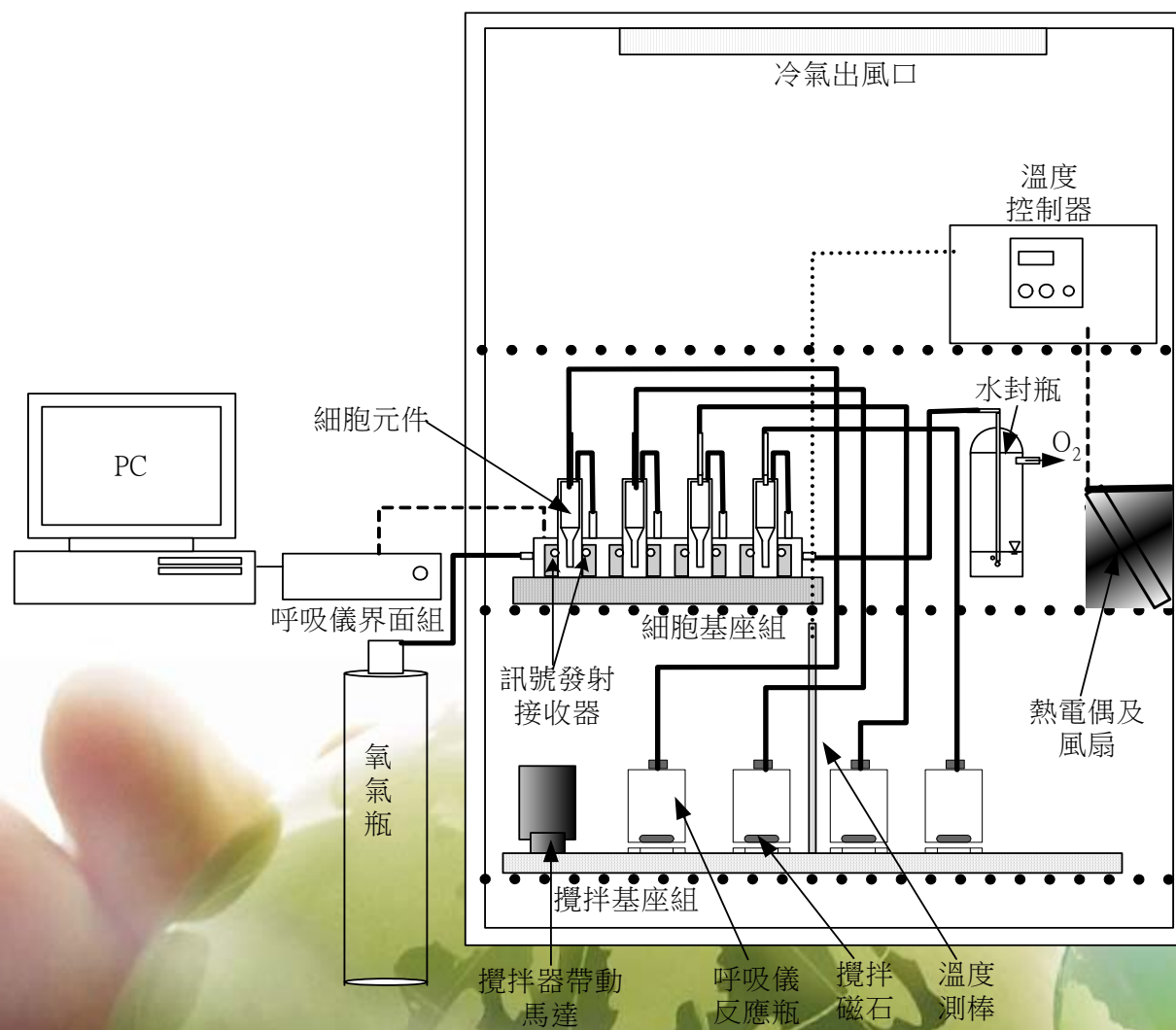
高級氧化方法	操作維護成本 (NT\$/kg COD)	氧化劑劑量	COD去除率
臭氧氧化	~ 80	0.5~1 mg O ₃ /mg COD	0.38 mg/mg O ₃
臭氧氧化 + H ₂ O ₂	~ 115	H ₂ O ₂ /O ₃ ~ 0.5-1.0 減少50%臭氧需求	0.68 mg/mg O ₃
臭氧氧化 + UV	~ 90	減少50%臭氧需求	0.52 mg/mg O ₃
Fenton	~ 380	[H ₂ O ₂]/[Fe ²⁺] ~ 1.0 - 2.0 H ₂ O ₂ /COD ~ 1.5 - 2.0	0.20 mg/mg H ₂ O ₂

迴流濃排水至前端生物處理單元

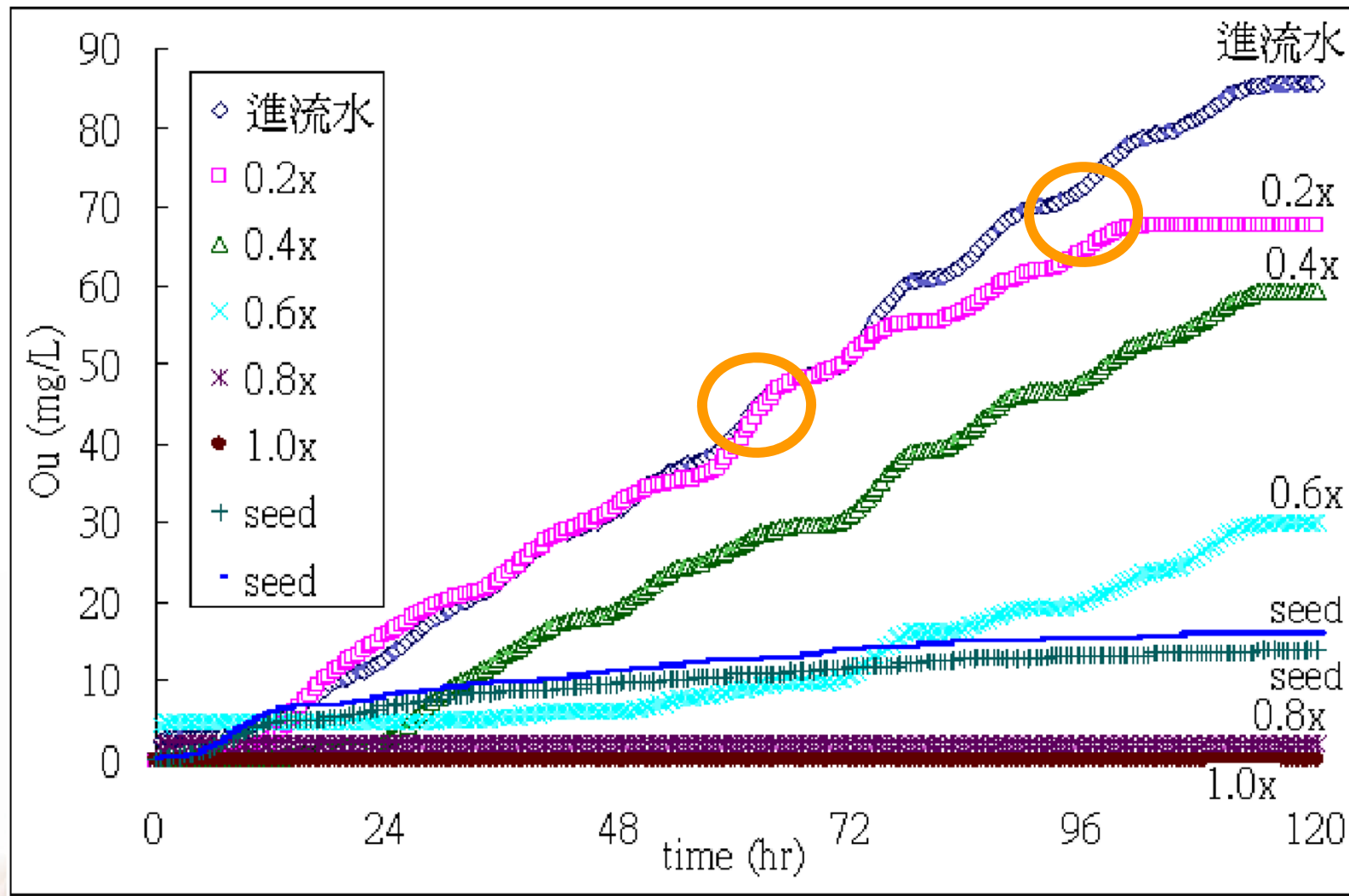
生物相容性測試

-  當生物系統處理容量尚有餘裕之前提下，迴流濃排水至前端生物處理單元之適當比例，建議可採生物相容性測試 (biological compactibility tests) 決定之
-  若迴流過多的濃排水至前端，曝氣槽內污泥的導電度會大幅增加，使得生物活性劣化
-  若以各種比例混合原廢水與濃排水，並分別量測其比攝氧率 (oxygen utilization rate) 的變化，則可定量評估濃排水迴流比例對生物活性之影響

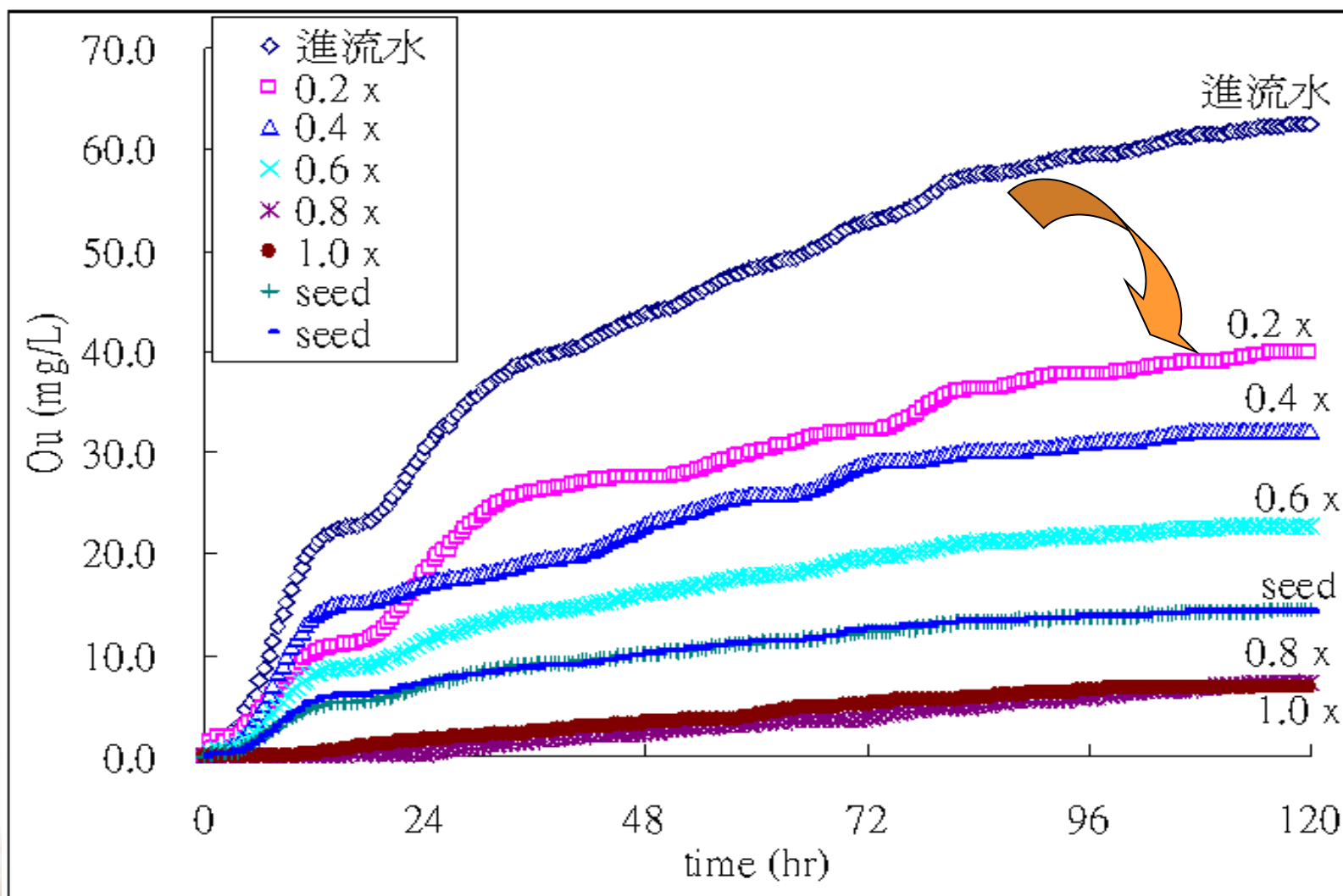
迴流濃排水至前端生物處理單元 (續)



混合調勻池出水與濃排水



混合調勻池出水與氧化後之濃排水



小結

🌈 以高級氧化處理RO濃排水

- 📄 在再生水系統之前對放流水預先予以氧化，比之後再對濃排水進行氧化來得更有效益；預氧化可降低放流水中有機物濃度，減少薄膜發生有機阻塞之可能性，所需使用的氧化劑劑量較低
- 📄 成本依舊偏高，應避免需增加此類單元處理濃排水

🌈 RO濃排水迴流至前端處理

- 📄 迴流量應控制在不使曝氣池之導電度增至超到原本值的120%，否則會抑制微生物活性
- 📄 經高級氧化處理後，濃排水之生物相容性並未改善，代表是否含有生物難分解有機物並非重點，導電度實為影響生物相容性之關鍵



六、國內案例： 楠梓加工出口區揚水站 放流水再生科專計畫

計畫背景

具有再生水使用者

- 具有積極使用再生水意願之廠商（如日月光），參與水利署科專驗證計畫

已設區內二元供水管線系統

- 區內已有二元供水管線系統，經協調後使用再生水廠商願意另設廠內二元供水管線系統

特殊之推動與營運模式

- 水利署編列科專經費興辦再生水模廠、輸配管線。

- 區內用水者只需攤提操作營運費用。

具誘因之水價

- 再生水模廠操作營運費用為13.26元/噸，管理處同意減少海排費支出(3.36元/噸)，轉成提供廠商再生水之優惠，最終再生水使用廠商僅需支付費用為每噸9.9元，低於自來水價。

承諾穩定之水質、水量

- 再生水符合自來水標準，且硬度與導電度均較低，為低導電度軟水，可減少廠商軟水系統負擔，對廠商為一種誘因。

承包商需協助廠商提升製程用水管理

- 輔導廠商提升廠內用水管理技術，包括超純水系統與冷卻系統維護等。

計畫目標

計畫概要

- 技術顧問計畫（含安全控管）（97-100）
- 模廠建置及驗證計畫（98規設、99建廠、100營運驗證）
- 處理海洋放流水4,000CMD，產出1,800CMD再生水
- 總經費約1億元

特色

- 國內第一座綜合工業廢水再生利用模廠
- 有別於國外水再生利用多以生活污水為主
- 可推廣台灣技術經驗至國外IDA(國際淡化協會)

目標

- 擴建成為1萬噸再生水實廠，提供全區1/3用水需求，有效節省水資源。
- 成為未來水再生利用之指標案例
- 逐步由相關部會推廣至國內科學園區及生技園區等，以減少缺水風險。

再生水模廠建置說明

再生水模廠

- 再生程序：放流水 → 前處理 → UF → RO → 產水
- 產水量1,800 CMD

試用再生水廠商

- 日月光、楠電

目前已完成工作項目

- 97年完成先期規劃
- 98年3月完成再生水模廠驗證
- 98年9月完成統包商招標
- 99年1月統包商提出模廠細部設計，總顧問進行審查
- 預定99年12月完成建廠及試俾

經費編列

- 先期規劃計畫：200萬元
- 技術顧問計畫：2,800萬元 (每年700萬元，總計4年)
- 建廠與一年營運 (統包商)：1億元 (不含中水道管線建設費)
 - 可擴增採購，每年1,000萬 (兩年，101與102年)

再生水模廠整體規劃

97年（先期規劃階段）

- 管理處委託成功大學進行先期調查與規劃（調查分析海放水水質、規劃預備實驗、用水端系統背景操作條件收集）
- 成功大學確認適合再生程序
- 成功大學辦理座談會確認再生水試用廠商名單
- 成功大學研擬總顧問招標文件
- 管理處完成總顧問招標（由京華工程得標）

98年（設計階段）

- 京華公司執行預備試驗計畫（海放水水質、RO膜的污堵問題研析、前處理技術可靠度驗證、用水端系統背景操作條件、安全機制模擬與控管機制研發/風險驗證模擬等）
- 京華公司進行模廠基本設計
- 京華公司辦理園區土地使用相關事宜
- 京華公司研擬統包工程招標文件
- 管理處完成統包商招標（由歐榮工程得標）

99年（建廠階段）

- 京華公司審查統包商細部設計
- 京華公司持續調查分析（海放水水質、用水端系統試水驗證操作條件、數據收集、建置安全機制模擬與控管機制驗證等）
- 京華公司演練安全機制
- 歐榮公司完成模廠建廠工程
- 管理處完成模廠驗收（預計99年底）

100年（營運階段）

- 歐榮公司開始模廠運轉
- 京華公司執行相關驗證工作（調整驗證攙配比率、安全機制可靠性、用水端安全測試、提高回收系統產水率）
- 京華公司提出總成果報告（營管驗證報告、模廠後續營運管理策略及擴廠初步規劃）

模擬驗證規劃

預備實驗驗證

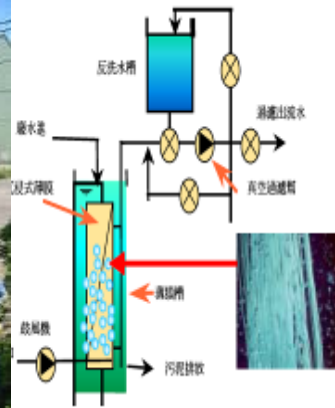
取代砂濾，加強前處理效果，保護UF薄膜，甚至能取代混凝達到免加藥前處理之理想製程



纖維快速過濾
預防污堵

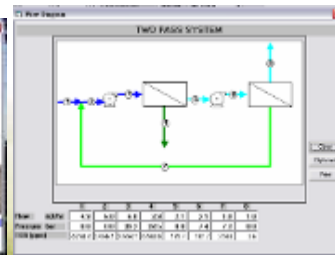


0.15CMH
UF/RO模組



負壓式模組

理論基礎支持



UF的材質及RO膜管的種類、支數、各管流量，以程式模擬選用膜管與產水水質之預估

再生水模廠用地

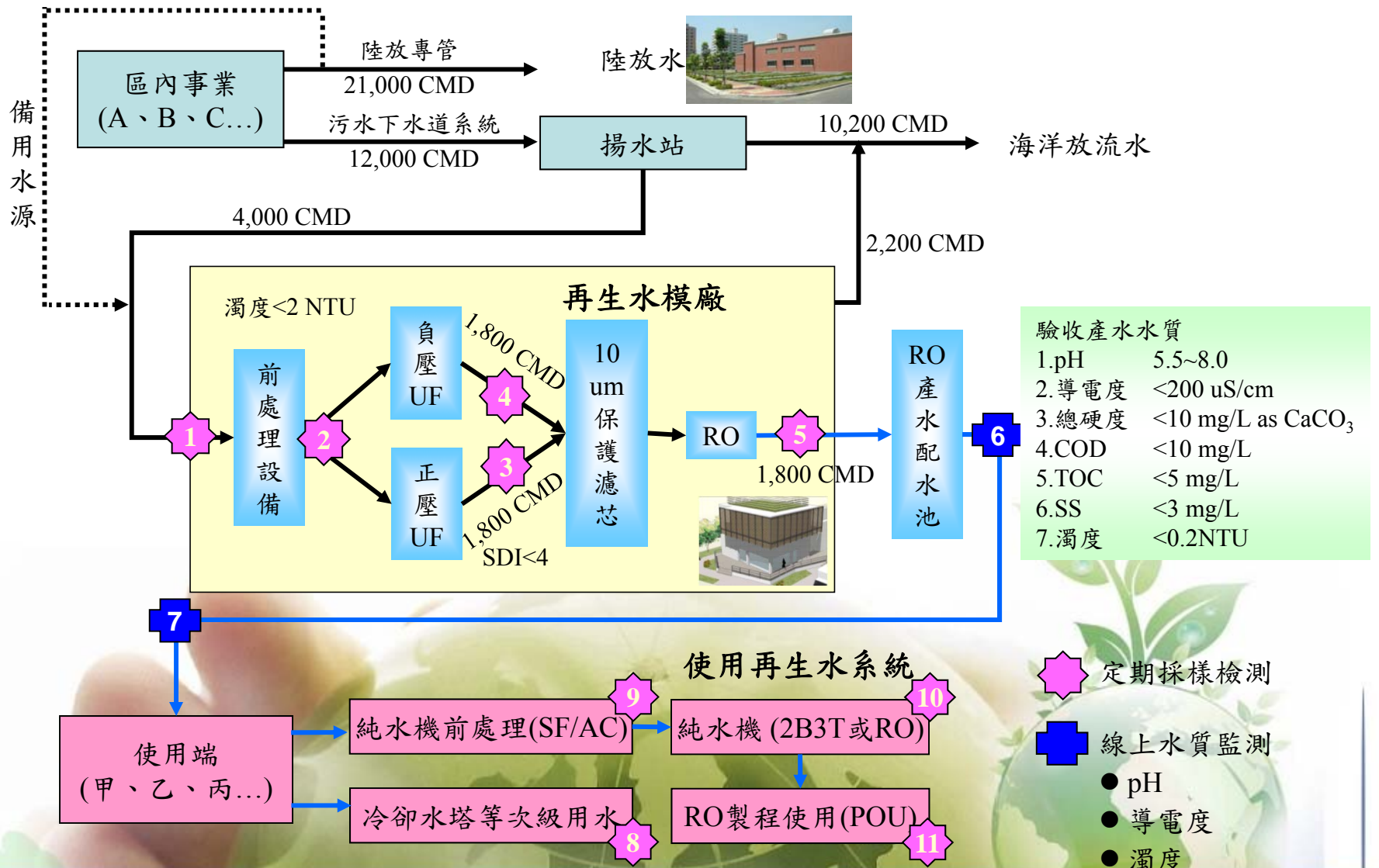
基地面積約2,200 m²，廠區基礎建設包括：

- 正壓式UF膜（外掛式）
- 負壓式UF膜（沉浸式）
- RO膜
- 噪音防治設備
- 行政及研究設施
- 景觀道路、階梯、鋪面、排水、燈具等公共設施



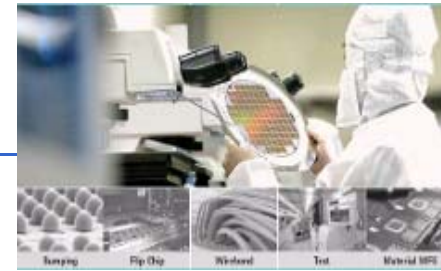
再生水模廠參觀示意圖

再生水模廠處理流程

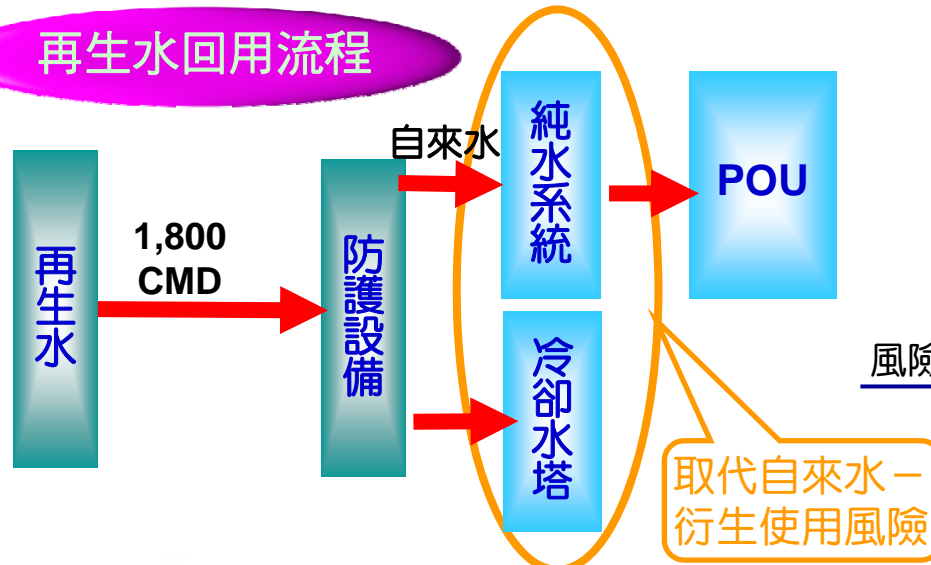


安全控管規劃

- 內容：
1. 收集擬使用再生水純水系統背景操作狀況
 2. 建立直接供水前端安全防護與緊急替換機制
 3. 評估不同再生水攙配比例衝擊風險與經濟分析



再生水回用流程



有效達成水資源再利用目標



PW系統



冷卻水塔



冷卻水塔



七、再生水廠設置相關法規、 界面問題與推動模式

環境影響評估

- ❁ 廢污水處理廠之放流水再生，其可視為原廠之擴建，或視為淨水處理廠或工業給水處理廠
- ❁ 目前於環境影響評估相關法規中並未給予明確定義
 - ❁ 若視為廢污水處理廠之擴建，則依「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」（民國95年2月20日修正）第十三條與第二十八條之規定，若非位於野生動物保護區或野生動物重要棲息環境、海埔地或山坡地，則無進行環評之必要
 - ❁ 若視為淨水處理廠或工業給水處理廠，則需視其每日處理量而定，需再生量超過**每日二十萬噸(立方公尺)**方需進行環評。

水污染防治措施相關規定

🌈 廢污水處理廠若採大規模再生回用，則會造成原登記於水污染防治措施申請書上放流量有所變動，需辦理相關變更作業：

- 📁 在流量計前回收，可視為原廠設施不用，申請新的水措
- 📁 擬變更前應依「水污染防治措施計畫及許可申請審查辦法」（民國95年10月16日發布）第19~21條規定辦理，並於期限內填具申請表及檢附與變更有關之文件資料送主管機關**申請許可變更登記**
- 📁 依「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」（民國95年10月16日發布）第41、42條規定，放流水回收作為沖洗作業等室內用水時，至少應符合放流水標準，**設置採樣口**監控水質，並且**避免與人體接觸**

水污染防治措施相關規定 (續)

- ❏ 依「水污染防治措施計畫及許可申請審查辦法」第43條規定，應設置**獨立流量計**，在回收使用前應有**處理設施與貯留設施**；若為全量回收，其貯留設施，應依「水污染防治措施計畫及許可申請審查辦法」第7條申請貯留許可
- ❏ 有放流水再生回收行為時，依「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」（民國95年10月16日發布）第79條，應就**水量、用途、每月監測資料**向主管機關申報
- ❏ 放流水再生回收配送至廢污水處理廠（作業環境）外時，若無專管配送而需以**桶裝或槽車配送**時，依「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第97條規定，應先於**24小時前以電話或傳真通知主管機關**始得為之。

再生水銷售

- 為鼓勵民間參與各類工業廢水再利用以及廢污水回收再生，在「促進民間參與公共建設法施行細則」(民國99年6月18日修正)第6-1條中已將「水再生利用」(都市污水或工業廢水)與「水淡化處理」(海水、半鹹水或高鹽度廢水之除鹽)視為水利事業
- 「民間機構參與重大公共建設適用免納營利事業所得稅辦法」(民國95年8月10日修正)第3條亦給予免納或抵減營利事業所得稅之獎勵
- 有關於廢污水處理廠放流水再生後向廠外用戶出售之行為，目前尚無明確規定，未來待「新興水源發展條例」(草案)通過後，即有明確法源

廢污水處理廠與放流水再生廠之界面

🌈 放流水再生廠興建期間之緩衝地帶

- 📁 興建期間承包商與目前代操作廠商分屬不同單位，需由縣市政府／工業區主管機關協調人員車輛進出、施工、用電、用水等相關事宜
- 📁 放流水再生廠多半預訂設置地點為廢污水處理廠之放流水池（加氯消毒池）旁，考慮既有廢污水處理廠可能預留擴建用地，兩者必須相隔一定距離，作為在興建放流水再生廠工程期間的緩衝地帶



廢污水處理廠與放流水再生廠之界面 (續)

🌈 廢污水處理廠前端穩定性對後端之影響

- 📁 廢污水處理廠**放流水水質之波動**可能對後端放流水再生廠操作造成影響
- 📁 廢污水處理廠之**加藥行為**（鋁鹽、高分子絮凝劑、次氯酸鈉）也可能造成再生端處理單元之問題
- 📁 在廢污水處理廠與放流水再生廠分屬不同單位時
 - 應增設放流水水質線上監測系統，如濁度、pH值、導電度、餘氯或氧化還原電位 (ORP) 等，若測得放流水有異常值，即應停止進水並檢查廢污水處理廠之問題
 - 放流水再生廠各段緩衝水槽也需要至少有3小時之儲量，俾利於問題發生時可爭取處理時間而不至於停止供水
 - 若併同放流水排放，如不符放流水標準，則有責任歸屬問題。如再生水模廠與廢水處理廠管理分屬兩個不同單位，將造成營運上的困擾

廢污水處理廠與放流水再生廠之界面 (續)

- 📁 廢污水處理廠與放流水再生廠若屬同一營運單位將較為適當
 - 可於廢污水處理廠進流前端進行監測，若發現異常可有較充足時間因應
 - 若再生水水質有異，亦可迴流到前端廢污水處理廠處理，或要求前端污水處理程序改變操作參數(如提高加氯量等)，在操作上將較有餘裕
 - 再生水廠產生廢水可與未回收之放流水混合併同排放，或再迴流處理(應注意再生水模廠產生濃排水水質含高導電度與高溶解性有機物，必須排回既有廢水處理程序，將影響處理效能)
- 📁 再生水廠應與客戶契約中應考慮**最極端狀況**(廢污水廠生物處理單元敗槽或完全停止運轉)，而有**備用水源**之規劃

廢污水處理廠與放流水再生廠之界面 (續)

🌈 放流水再生廠廢水與廢棄物之處理

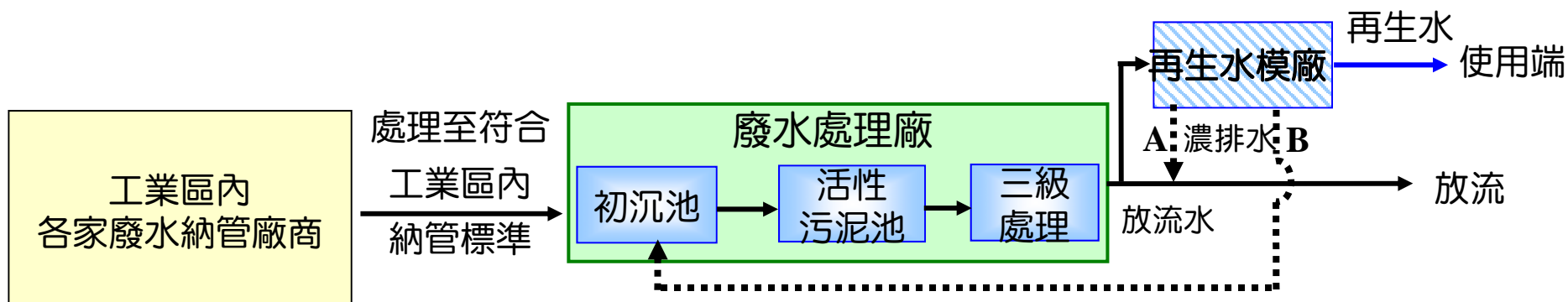
💧 再生水產製過程將產生廢水

- 以「砂濾－紫外光殺菌」為例，其廢水產生量約佔進水的**10%**（包括砂濾反洗水與UV清洗水）
- 「砂濾－超過濾－逆滲透」系統為例，其廢水產生量可能高達進水的**50%~60%**（包括砂濾反洗水、UF單元反洗水與RO濃排水）
- 在規劃時應使廢水經與原廠未回收放流水混合後符合放流水標準，而直接排放；若需由放流水再生廠若需自設廢水處理系統並不經濟

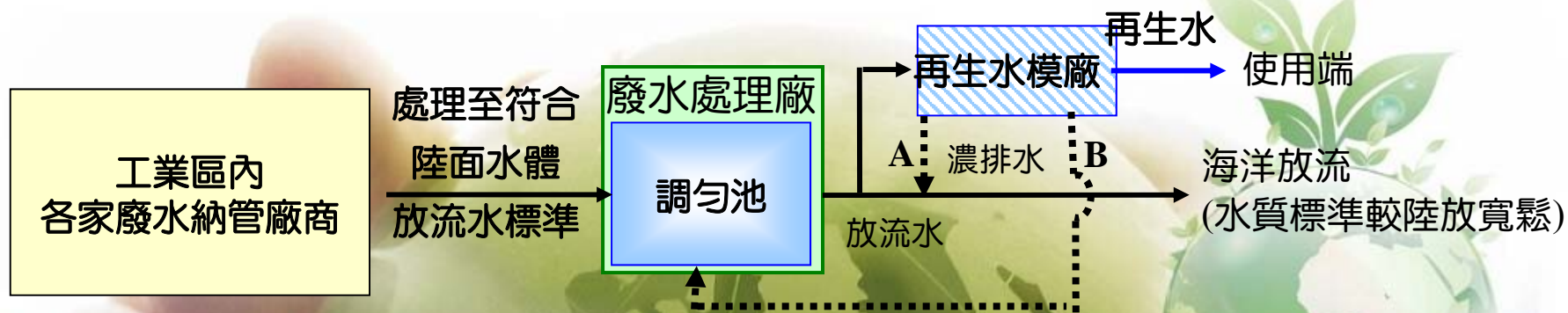
💧 再生水產製過程一般較少產生廢棄物

- 主要有濾芯或濾膜等消耗性濾材，產生量少
- 若以薄膜生物反應器與混凝沉澱等單元再生廢污水，則有產生污泥問題

廢污水處理廠與放流水再生廠之界面 (續)



- ✓ 排放方式A：再生濃排水與放流水混合放流
 - n 若未符合放流水標準，不易釐清責任
- ✓ 排放方式B：再生濃排水迴流至廢水處理廠最前端
 - n 濃排水導電度過高，將影響廢水處理廠生物處理效率





- ✓ 沒有營運管理界面問題





結論

技術面問題

放流水TDS過高

-  工業區廢水處理廠放流水雖符合現行放流水標準，但因含有高濃度之TDS，並不適合直接回收利用
-  薄膜程序已廣為用在污水廠放流水之再生，而最適組合端視各廠放流水水質良窳以及廠區既有面積是否充足

UF-RO系統

-  建議用於放流水水質良好且廠區面積足夠之污水廠的再生程序
-  經過RO去除TDS與COD、降低導電度後，再生水水質基本上符合美國環保署所建議的中等壓力鍋爐 (150~750 psig) 之進水水質，已優於自來水水質

技術面問題 (續)

🌈 MBR-RO系統

- 📁 建議用於廠區缺乏擴建面積之污水廠的放流水回收，或可用在效能有待提升之污水廠，亦即篩選程序中的「方案B」
- 📁 在MBR的模廠測試中，其產出濾液幾乎無SS，COD穩定低於 40 mg/L，SDI小於5，而可符合RO進水之水質需求
- 📁 雖然大多數的效能參數符合原廠建議，但生物反應器中的MLSS仍低於預期之6,000~8,000 mg/L，污泥減量效果與脫水性並不如預期

🌈 濃排水問題

- 📁 在排放前應處理或稀釋至符合現行放流水標準
- 📁 評估顯示，預先對放流水予以氧化比之後再對濃排水進行氧化有更多之效益
- 📁 根據生物相容性評估結果，濃排水迴流至前端生物反應單元之比例應控制在不使曝氣池內的污泥導電度超過原本之120%，否則生物活性會受到抑制

目前推動回收之障礙

- 🌈 推動工業區污水處理廠放流水回收再生可在缺水期間提供一穩定的水源，然目前廠商接受度仍偏低，主要原因在於：
 - 📁 我國目前水價偏低(每度約10元)。
 - 📁 廠商普遍對於再生水水質水量穩定度缺乏信心，即使實際上RO產水已優於自來水水質
 - 📁 接用再生水需另行設置中水道管線與桶槽，而目前法規制度並未對使用再生水有所獎勵或補助

目前推動回收之障礙 (續)

- 在再生水不與人體接觸之前提下，目前在各規劃案上都是以單一使用者（或工業區），必須鋪設專管，只能在小區域內（如工業區）作點狀調撥，而使得其營管單位除必須支付建廠折舊費用與操作維護成本，尚需個案獨立攤還管線成本，以及鋪設時的風險，成本自然偏高
- 目前處理程序係「以電換水」的前提下，一旦能源價格有所波動時，自然會影響產水規模較小的再生水供應廠

目前推動回收之障礙 (續)

心理層面

- 民眾對廢水、污水與海淡水之既有認知難以改變
- 台灣本島尚無大規模案例，且缺乏長期且系統性研究，民眾對新興水源認知有限
- 基於供水量等考量，水利工程規劃上仍期待採用傳統水資源設施（水庫、攔河堰）取水，對於新興水源泰半視為備案

工程層面

- 都市污水廠距離工業用水大戶過遠，配管費用昂貴
- 工業廢水廠放流水與海水需除鹽，回收率偏低，產水費用昂貴
- 廠商既有水處理單元多已經採用當地自來水或地下水水質為設計基準，難以接受其他水源
- 缺乏二元供水管線系統，額外設置有困難

經濟層面

- 我國自來水價偏低
- 開發單位經常可向農田水利會購得較低價之水源，自無意願使用新興水源
- 廠商使用新興水源涉及許多硬體投資，在無補助或法規限制下，缺乏經濟誘因
- 礙於離島海水淡化諸多失敗經驗，自來水公司無意願於本島經營海淡廠

政策層面

- 水管理分屬許多不同層級之政府主管機關
- 缺乏可依循之多元化水資源開發的母法
- 用水大戶在環評過程未被強力要求使用新興水源
- 政府規劃新興水源時缺乏市場導向，多半未由使用者角度思考，致使再生水更難為使用端接受



簡報完畢
謝謝聆聽指導