



工業節水現況及節水技術簡介

莊連春 教授

萬能科技大學 環境工程系



簡報內容



- 引言
- 工業節水現況
- 節水與水回收目標
- 水中物質對節水標的之影響
- 用水清查與節水量界定
- 節水技術簡介
- 企業節水降低營運風險



一. 引言

澇旱交替頻繁



91年

中部以北水庫逼近呆水位

92年

七月份平均雨量二年來最低

95年

春季少雨 桃竹苗旱災一級

98年

七月前全臺雨量少於平均值

100年

春雨偏少 中北部旱災

101年

中部水庫水位低於以往
58年來春雨最少

102年

臺灣西部水情吃緊

103年

高屏溪15年來最吃緊
石門水庫10年來最吃緊

104年

近67年來最嚴重旱災



93年

海馬 納坦
敏督利 艾利

94年

0612豪雨 海棠馬莎

95年

碧利斯

96年

卡玫基 辛樂克

98年

莫拉克

99年

凡那比 梅姬

100年

南瑪都

101年

0610水災 蘇拉 天秤

102年

0519豪雨水災 天兔
潭美 西馬隆 蘇力

103年

麥德姆

104年

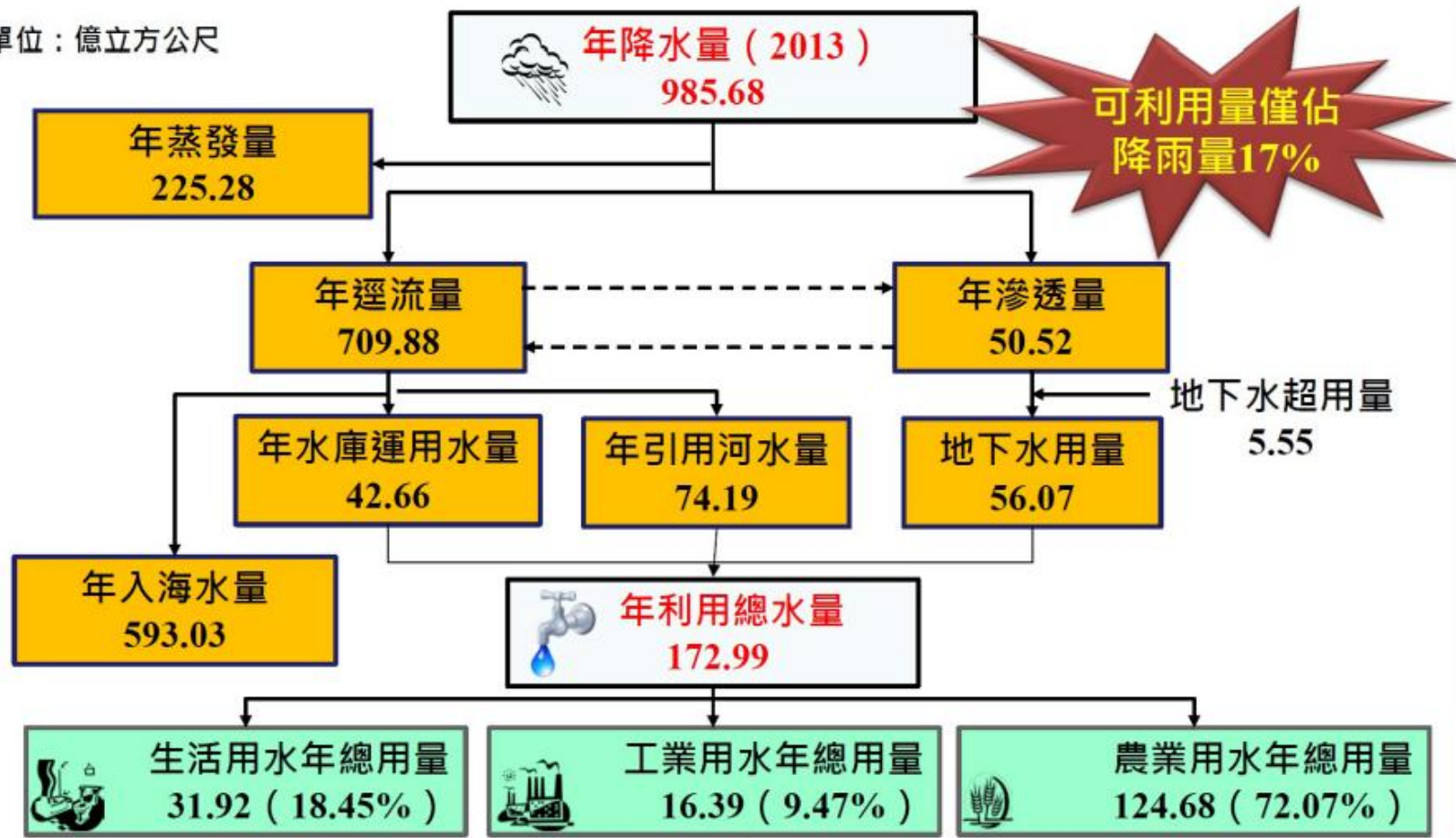
蘇迪勒

台灣水資源運用現況

真的缺水嗎？



單位：億立方公尺



缺水風險與調適



供水危機

- 乾旱：水太少時會缺水
地面水源遽減，蓄水設施無力支援
- 洪水：水太多時也會缺水
濁度飆高，淨水處理設施取水量遽降

調適策略

- 節流
節約用水、提升用水效率
- 開源
未來的水～污廢水再生利用、海淡水、貯留雨水



二. 工業節水現況



節約用水政策推動20年 已初具成效

	過去		現在
平均 每人每日用水量	291公升	→	268公升
省水器材市佔率	省水馬桶 68.5% 省水洗衣機 14.5% (民國96年)	→	省水馬桶 86.8% 省水洗衣機 72.5%
工業用水回收率 (R2回收率)	47.7% (民國92年)	→	69.8%
自來水漏水率	北水 26.70% 台水 23.78% (民國92年)	→	北水 16.72% 台水 18.04%

底圖02



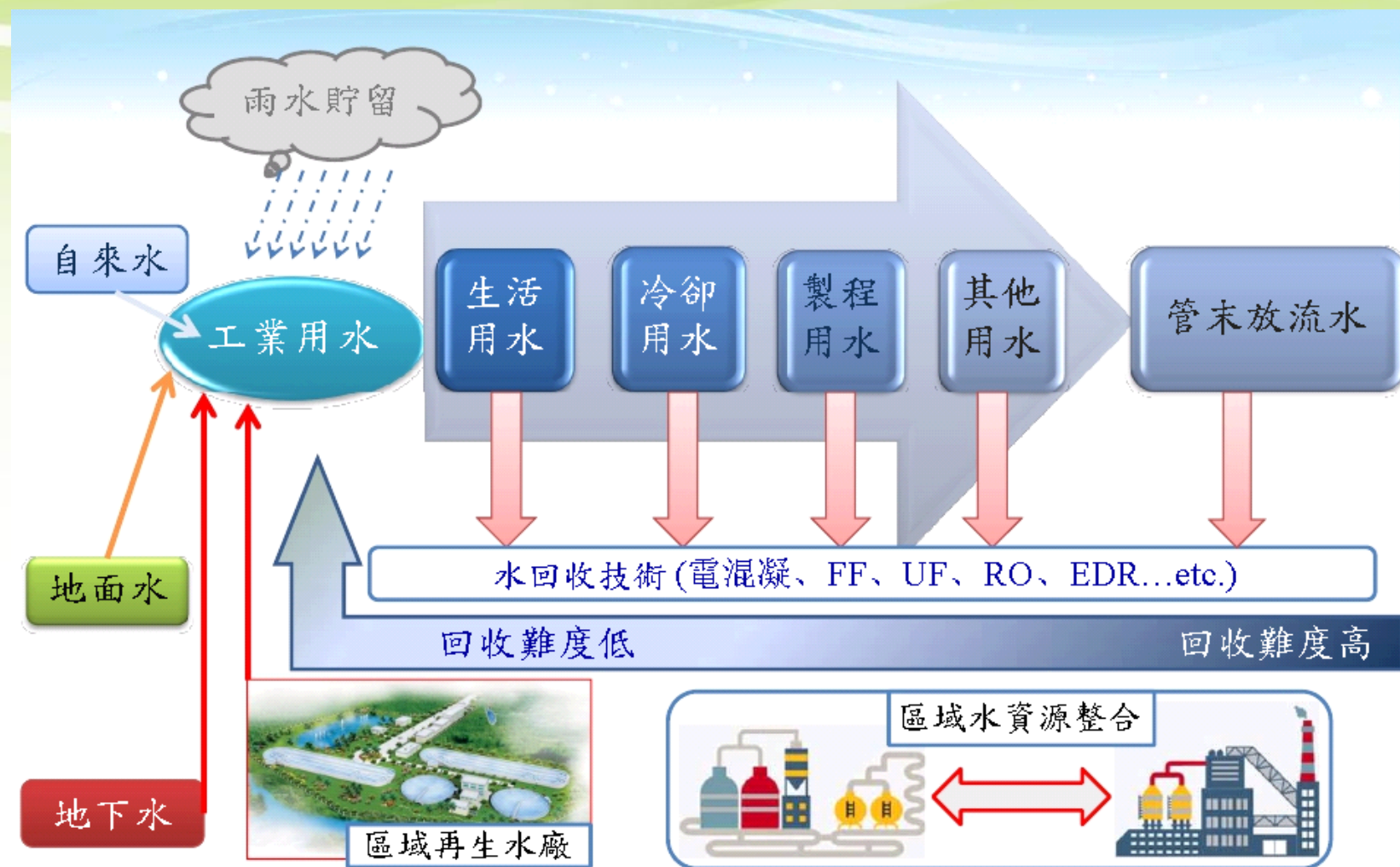


要達成節約用水下一階段目標 我們必須有新做法

	現在		民國110年
平均 每人每日用水量	268公升	➡	250公升
省水器材市佔率	省水馬桶 86.8% 省水洗衣機 72.5%	➡	省水馬桶 100% 省水洗衣機 100%
工業用水回收率 (R2回收率)	69.8%	➡	80%
自來水漏水率	北水 16.72% 台水 18.04%	➡	12.0%



用水來源類別



三、工業用水節水目標

■ 延續過去10年之動能，將工業用水回收率由70%提升至80%

民國120年工業用水
取水量約12.2億噸/年，
節省5.3億噸/年

- 因應未來產業發展需要，需持續提高用水重複利用率，降低總用水量，為產業永續發展之關鍵
- 回收率每年成長0.6%，預期民國120年前達成此目標

現工業用水取水量
約17.5億噸/年

總用水量58.3
億噸/年

現況回收70%
循環用水35.8億噸
回收用水5.0億噸

總用水量59.2
億噸/年

目標回收72%
循環用水37.4億噸
回收用水5.2億噸

總用水量60.0
億噸/年

目標回收75%
循環用水39.0億噸
回收用水5.4億噸

節約用水常態化行動
方案(草案)(104.11)

總用水量
61.2億噸/年(成長5%)

目標回收80%
循環用水43.0億噸
回收用水6.0億噸

建構智慧
管理水資
源政策
(104.10)

103年

107年

110年

120年

四、水中物質對節水標的之影響

桃園地區自來水水質



檢驗項目	單位	飲用水水質標準	平鎮淨水場	大湳淨水場	石門淨水場	龍潭淨水場
自由有效餘氯	mg/L	0.2-1.0	0.65	0.66	0.61	0.65
濁度	NTU	2	0.50	0.35	0.40	1.1
色度	鉑鈷單位	5	<5	<5	<5	<5
臭度	初嗅數	3	<1	<1	<1	<1
總鹼度	mg/L	-	66.3	61.4	65.5	51.8
pH值	—	6.0-8.5	7.6	7.4	7.5	7.4
氯鹽	mg/L	250	3.7	6.9	4.5	7.0
硫酸鹽	mg/L	250	35.8	35.6	32.1	31.2
氨氮	mg/L	0.1	0.02	ND	ND	0.02
亞硝酸鹽氮	mg/L	0.1	ND	ND	ND	ND
硝酸鹽氮	mg/L	10	0.38	0.61	0.42	0.94
總溶解固體量	mg/L	500	131	140	131	135
氟鹽	mg/L	0.8	0.09	0.10	0.09	0.07
總硬度	mg/L	300	96.4	101	98.5	96.0
鐵	mg/L	0.3	0.04	0.03	0.03	0.05
錳	mg/L	0.05	ND	ND	ND	ND



四、水中物質對節水標的之影響



桃園地區自來水水質 (續)

檢驗項目	單位	飲用水水質標準	平鎮淨水場	大湳淨水場	石門淨水場	龍潭淨水場
總菌落數	CFU/mL	100	<1	<1	<1	<1
大腸桿菌群	CFU/100mL	6	<1	<1	<1	<1
總三鹵甲烷	mg/L	0.08	0.00628	0.0172	0.00812	0.00654
鉛	mg/L	0.05	0.00033	0.00040	0.00032	0.00076
硒	mg/L	0.01	ND	ND	ND	ND
砷	mg/L	0.01	0.0003	0.0004	0.0002	0.0002
汞	mg/L	0.002	ND	ND	ND	ND
鋅	mg/L	5	0.00087	0.00220	0.00119	0.00542
銀	mg/L	0.05	ND	ND	ND	ND
銅	mg/L	1	0.00046	0.00073	0.00064	0.00387
鉻	mg/L	0.05	ND	ND	0.00512	ND
鎳	mg/L	0.1	ND	0.00058	0.00356	0.00042
鎘	mg/L	0.005	ND	0.00001	0.00001	ND
鉍	mg/L	2	0.00785	0.0108	0.00892	0.0121
銻	mg/L	0.01	0.00021	0.00027	0.00021	0.00020
陰離子界面活性劑	mg/L	0.5	ND	ND	ND	ND



直接送回製程端使用 (作為純水系統原水)



微細顆粒

- CMP顆粒 (10 ~ 200 nm)

矽

- 自來水中甚少，僅有特定地下水中有
- 二氧化矽在水中溶解度約 120 mg/L

硼

- 自來水中甚少，海淡水中可能因處理程度而有 10^{-1} mg/L

貢獻TOC之有機氮

- 難以為一般純水系統完全去除

Fe、Al、Mn、P

- 鹽垢問題
- 經常與Ca、Mg一起發生

THMs

- 大量加氯時會生成，逸散造成員工吸入

退伍軍人症菌

- 在冷卻循環水中經常存在



工業冷卻用水水質標準



項 目	美國環保署 冷卻用水標準		大陸冷卻用水標準		中鋼公司冷卻 用水標準	水質意義
	單循環	循環補充	大陸冷卻 用水標準	迴圈冷卻水 系統補充水		
水溫(°C)	40	40	--	--	--	影響物質溶解度及反應動力常數
pH	5.0~8.3	--	6.0~9.0	6.5~8.5	7.0~8.5	pH 值小於7時，水質即具有腐蝕作用 pH 值大於7，則會溶解有機物成為溶解質或膠體， 增加水中的色度及提高生化需氧量
懸浮固體 SS	5,000	100	30	--	--	係指水中會因攪動或流動而成懸浮狀態之有機或無 機性顆粒，一般包含膠懸物、分散物及膠羽
溶解固體 TDS	1,000	500	1,000	1,000	--	為測量水中含溶解物質多寡之指標之一，主要包含 鈣、鎂、鈉、鉀等之氯鹽、硫酸鹽、碳酸氫鹽等無 機鹽類及少量可溶性有機物
化學需氧量 COD	75	75	--	50	5	一般用於表示水中可被化學氧化之有機物含量
濁度 (NTU)	5,000	--	--	3	5	其來源為黏土、砂土、淤泥、無機及有機微粒、浮 游生物細菌等
生化需氧量 BOD ₅	--	--	30	10	3	係指水中易受微生物分解的有機物質，在某特定時 間及溫度下，被微生物分解氧化作用所消耗的氧量
總磷 TP	--	--	--	1	--	係指正磷酸鹽、焦磷酸鹽及有機磷所組成，水中的 磷幾乎全部以磷酸鹽型式存在
氨氮 NH ₃ -N	--	--	--	10	0.5	含氮有機物分解時先形成胺基酸，再依氨氮、亞硝 酸鹽氮及硝酸鹽氮程序而漸次穩定。因此當水體中 存在氨氮可表示該水體受污染時間較短
硫酸鹽 SO ₄ ²⁻	680	200	600	250	105	水中溶有可溶性鈣、鎂、鐵等二價金屬氯化物、硫 酸鹽或酸式碳酸鹽的水，稱為硬水
碳酸氫鹽 HCO ₃ ⁻	600	25	--	--	--	



工業冷卻用水水質標準 (續)



項 目	美國環保署 冷卻用水標準		大陸冷卻用水標準		中鋼公司冷 卻用水標準	水質意義
	單循環	循環補充	大陸冷卻 用水標準	迴圈冷卻水 系統補充水		
氯化物 Cl^-	600	500	250	250	75	係指水中氯離子，一般在天然淡水中的含量不多，其來源主要為海水入侵、鹽層滲出及工業廢水等
氟化物 F^-	600	500	--	--	--	氟常以簡單氟化物或錯合物型式存在
硬度 $[\text{CaCO}_3]$	850	130	450	450	225	鈣鹽及鎂鹽是水質硬化主要因素，硬度過高的水不適宜工業使用
鹼度 $[\text{CaCO}_3]$	500	20	500	350	75	係指水中和酸的能力，大部分重金屬離子於鹼度大的水中，會形成穩定的氫氧化物沉澱
鋁 Al	--	0.1	--	--	--	鋁於自然水體中會形成可溶性鹽、膠狀物質或不可溶性化合物，亦可能存於用明礬混凝沉澱處理後之水中
鈣 Ca	200	50	--	--	--	鈣鹽及鎂鹽是水質硬化主要因素，硬度過高的水不適宜工業使用
鐵 Fe	--	0.5	--	0.3	--	於水域中在有氧情形下，鐵化合物易以三價鐵的形式存在，缺氧時則以二價鐵存在
錳 Mn	--	0.5	--	0.1	--	水中含有過量的鐵和錳，不宜用於生活飲用和工業生產
二氧化矽 SiO_2	50	50	--	--	15	二氧化矽在水中溶解度和溫度及pH值有關，pH值愈高，則溶解度愈大，而在中性時，溶解度最低
陰離子界面活性劑	--	--	--	0.5	--	界面活性劑中，以陰離子性之清潔劑使用量最多，對環境之污染最大
大腸菌類 (CFU/100mL)	--	1	--	--	6	其在水中無法直接繁殖，因此若於水中發現大量大腸桿菌，可表示水體在短時間內曾受人類或動物排泄物污染
總菌落數 (CFU/mL)	--	1	--	--	100	判斷水體中有機污染的程度，數值高可表示受有機物污染之程度



國內各再生水案供水水質



水質項目	單位	台中福田案 ^(註1) 預期供水水質	台南永康案 ^(註2) 設計供水水質	高雄鳳山溪案 ^(註3) 設計供水水質
導電度	μS/cm	-	200	200
總有機碳	mg/L	-	1.0	5.0
懸浮固體	mg/L	7.35	1.0	3.0
濁度	NTU	-	0.3	0.2
總溶解固體物	mg/L	-	110	-
總硬度	mg/L	-	50	20
氨氮	mg/L	2.46	0.5	0.5
硫酸鹽	mg/L	-	45	-
氯化物	mg/L	-	100	-
磷酸鹽	mg/L	-	4.0	-
COD	mg/L	3.98	4.0	-
砷	mg/L	-	0.05	-
總鉻	mg/L	-	ND(<0.001)	-
鎘	mg/L	-	ND(<0.001)	-

註1：內政部營建署，民國104年，「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動計畫先期作業」第二至第四階段檢討報告。

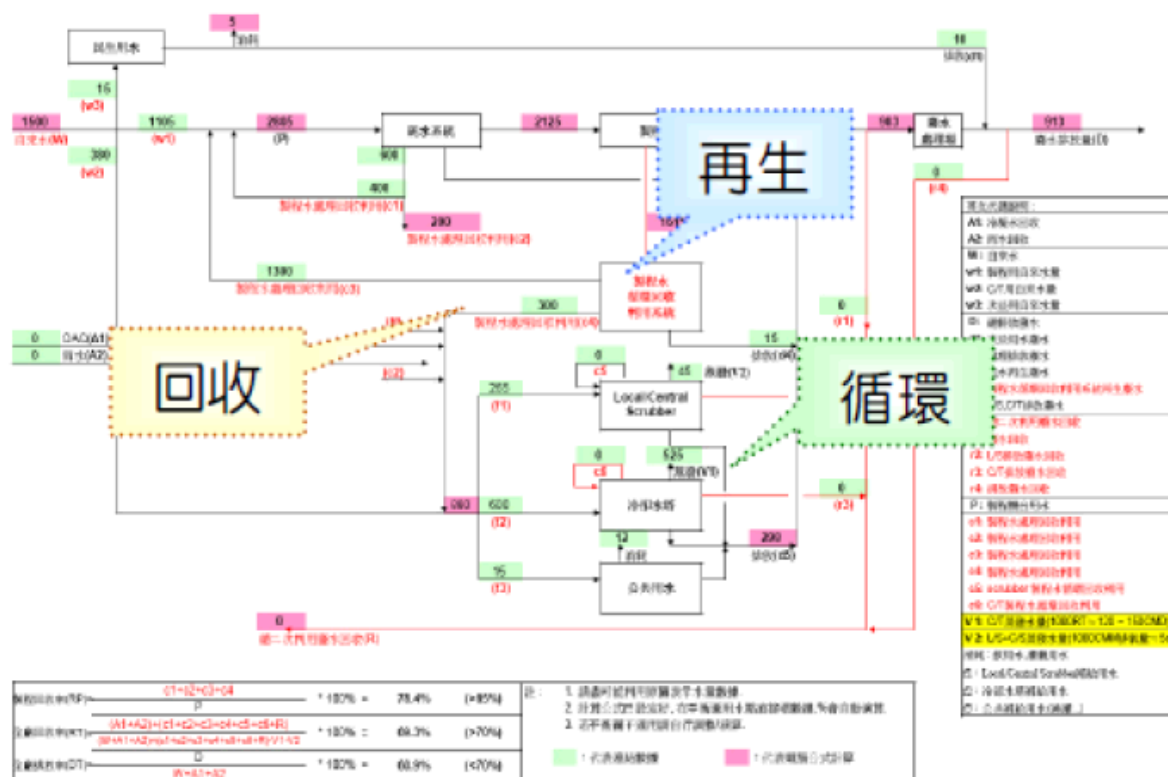
註2：民國104年5月5日「台南永康水資源回收中心放流水回收再利用之進放、流水質說明會」，另有尿素與硼協議中。

註3：內政部營建署，民國103年，「促進民間參與高雄市鳳山溪污水處理廠放流水再利用示範之興建、轉移、營運(BTO)計畫先期計畫書」。

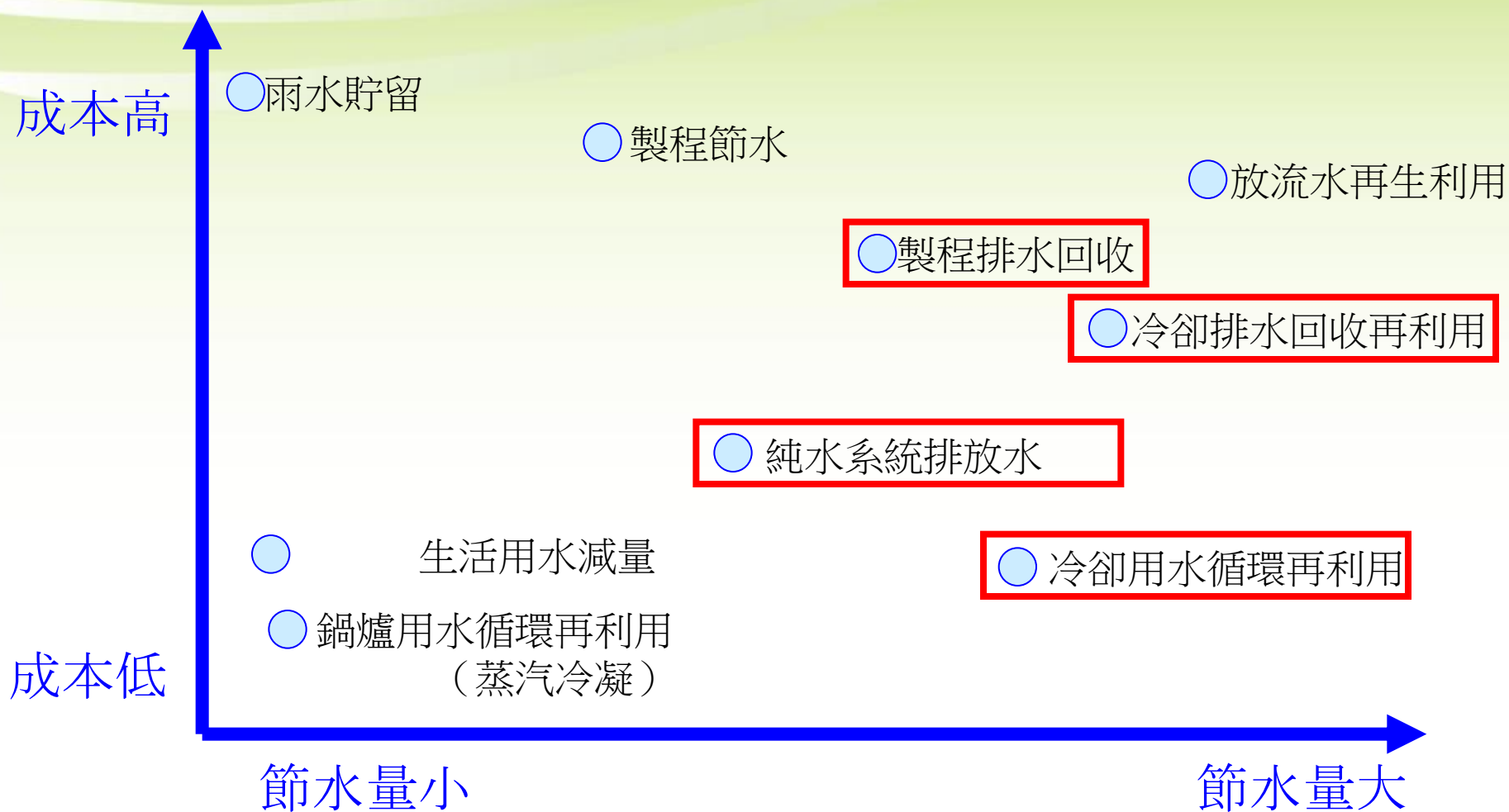




再生



界定節水空間



六、節水技術簡介

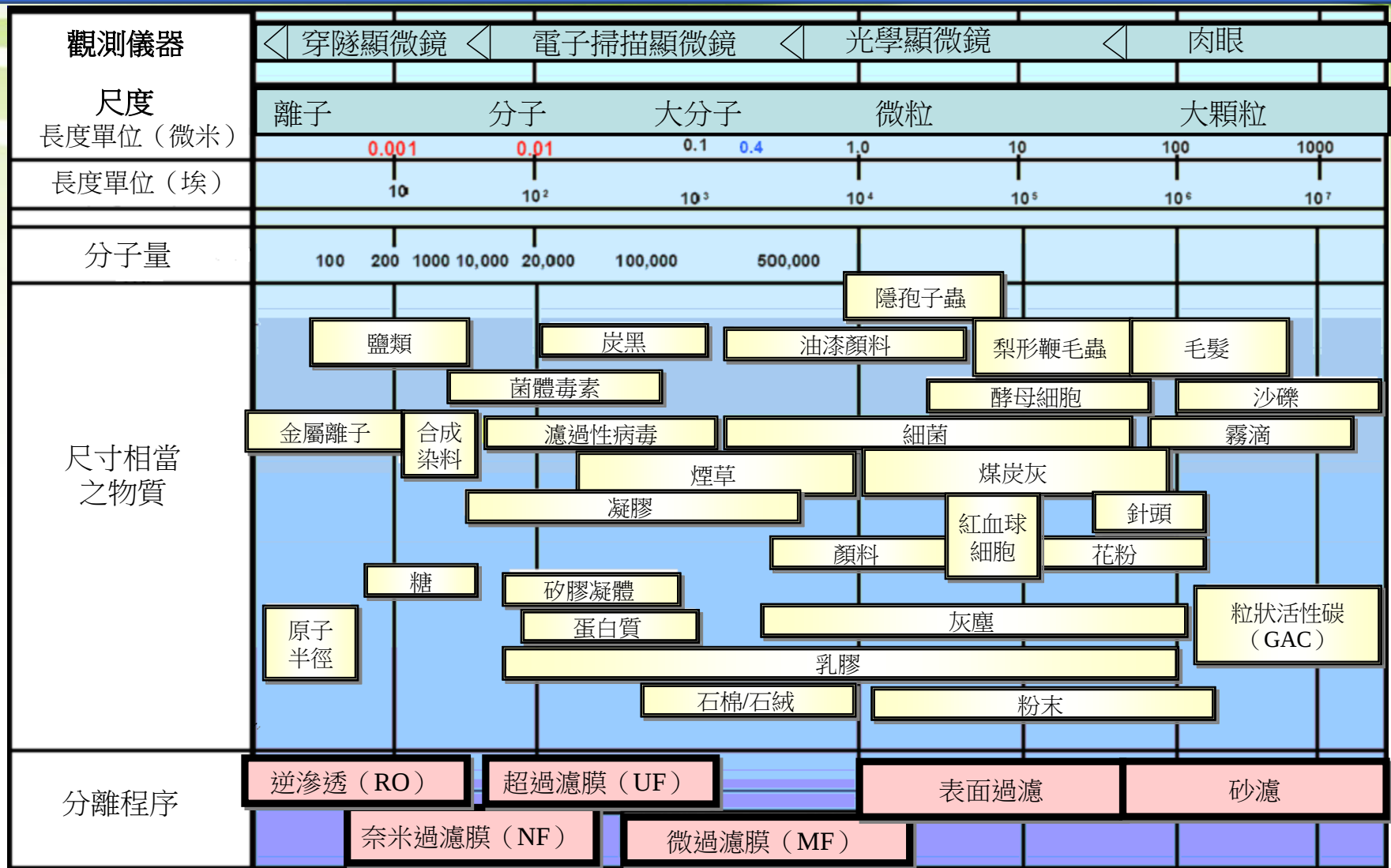


單元 污染物	加藥沉澱	砂濾	超微細篩機	表面過濾	活性碳吸附	浮除	硝化脫磷	加氯	臭氧	UV 殺菌	芬頓法	MF	UF	NF	RO	離子交換樹脂	電透析	加藥軟化	電容脫鹽
細菌	+	O	O	O	+	O	*	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	*	*
原蟲	+	+	+	+	+	+	*	O	+	+	*	+	+	+	+	*	+	*	*
病毒	*	*	*	*	O	*	*	+	+	+	O	O	+	+	+	*	+	*	*
SS (>10μm)	+	+	+	+	+	+	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+	+	O	*
SS (<10μm)	O	O	+	+	+	+	*	*	*	*	*	+	+	+	+	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	+	+	+	*	+

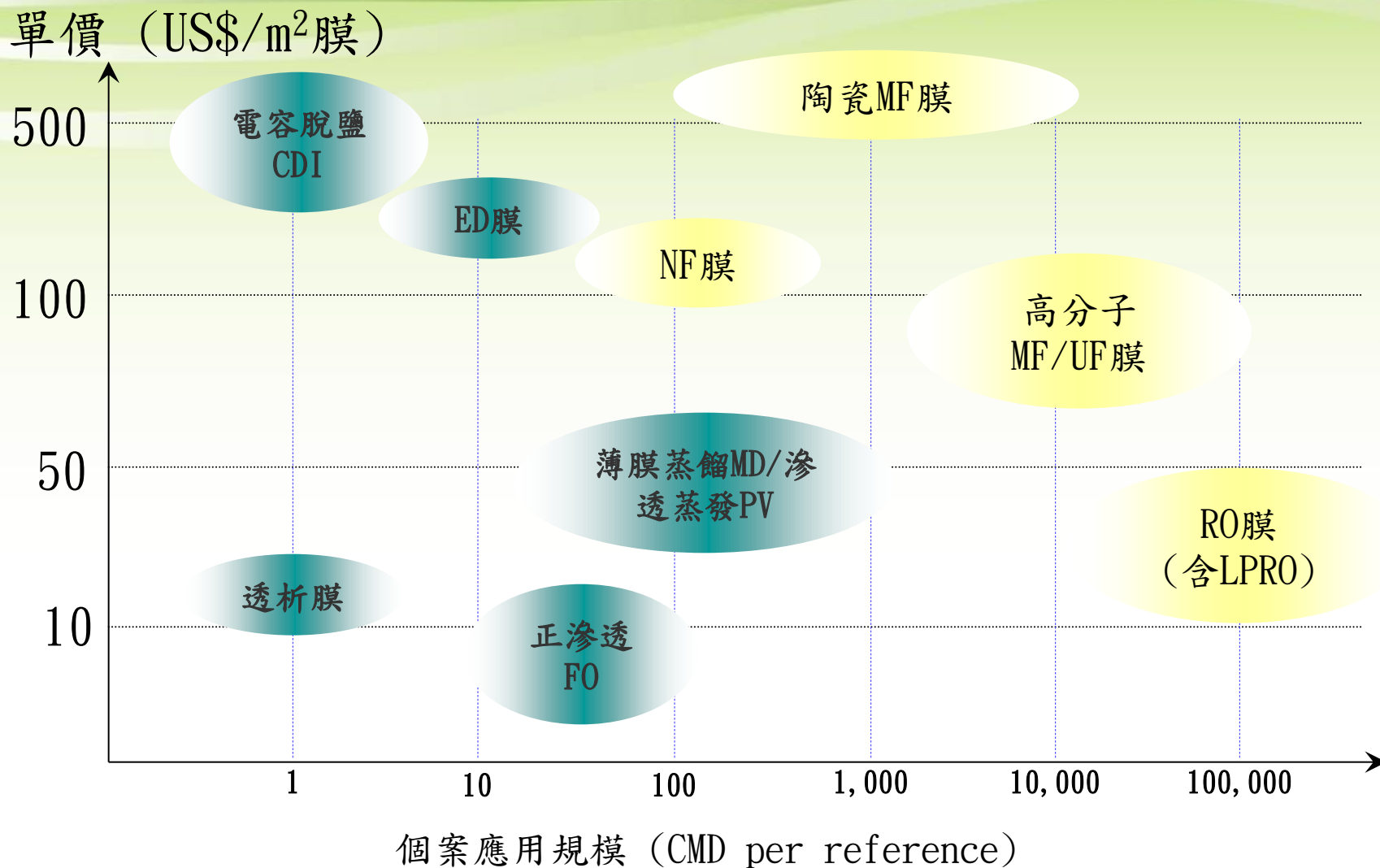
• 註：「+」可有效移除 「O」：具移除效果但較不顯著 「*」：不具效果或缺乏研究資料



薄膜與顆粒大小比較



水質調查與單元選擇 (續)



附著式生物膜單元 (Attached biofilm reactor)

設置目的

- 放流水中經常仍含有數mg/L之氨氮與10 mg/L以下的溶解性有機碳，仍可能造成微生物孳生問題
- 類似污染以上述物化處理成本時而偏高，此時可採用附著式生物膜單元去除之

型式

- 接觸式濾床
- 生物活性炭濾床



薄膜生物反應器 (Membrane bioreactor)

設置目的

- 包含曝氣槽 (生物反應) 與二沉池 (固液分離) 之功能
- 藉由薄膜阻攔，可提高生物處理單元內污泥濃度，提升處理效能；經微/超濾膜之過濾後，產水內已無懸浮固體
- 可濃縮污泥而節省二沉池空間，轉作裝設再生水設備之用地，適合用在缺乏用地的廢污水處理廠

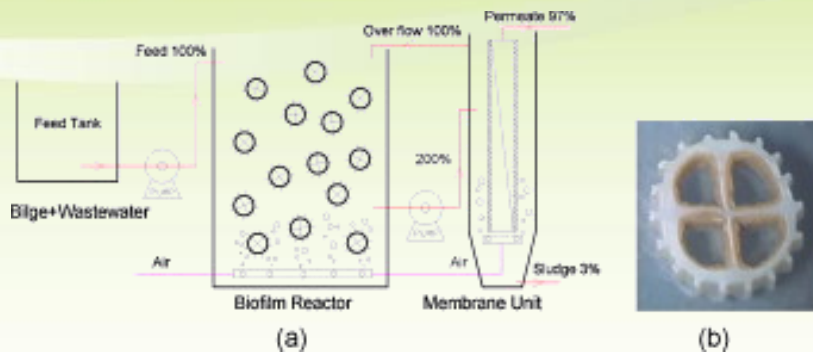
型式

- 依薄膜所在位置分成沉浸式（薄膜浸在曝氣池的污泥中）與外掛式（薄膜在曝氣池之外）
- 依薄膜型式分成中空絲與平板式

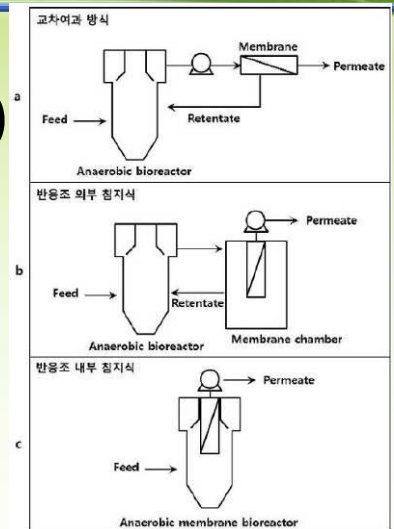


薄膜生物反應器 (Membrane bioreactor) (續)

生物膜(Biofilm)



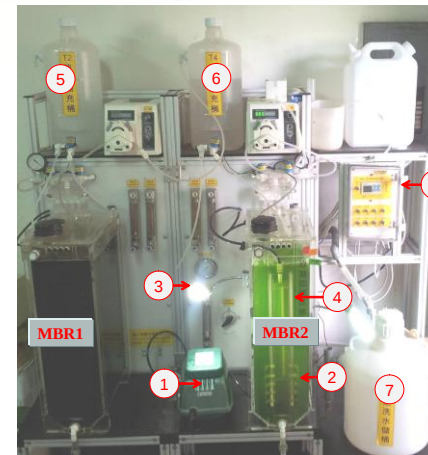
UASB (上流厭氧污泥) 或 AFMBR (厭氧流化床)



厭氧氨氧化菌 (Anammox)



微藻培養 (Chlorella)



- ① 曝氣源
 - ② 曝氣裝置
 - ③ 可分離清洗光照裝置
 - ④ 過濾薄膜
 - ⑤ MBR1進水補充桶
 - ⑥ MBR2進水補充桶
 - ⑦ 反沖洗水儲桶
 - ⑧ 人機控制介面
- 中華民國專利第M455723號
•發明專利105
年1月22日核定



超過濾膜 (Ultrafiltration)

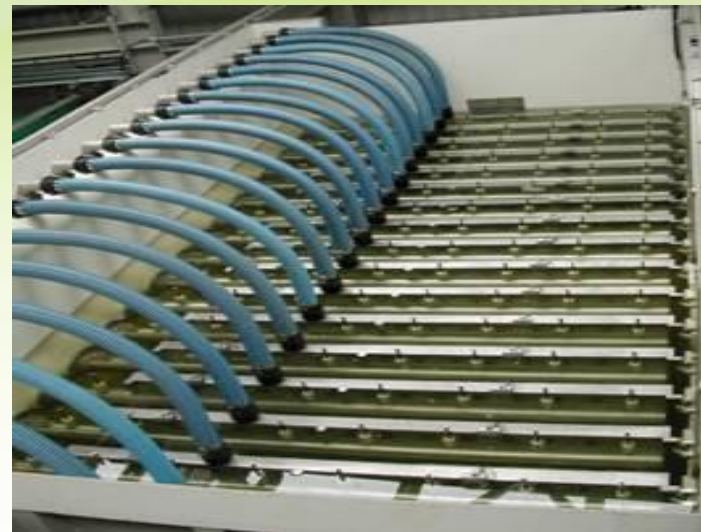


設置目的

- 屬於表面過濾的一種
- 去除水中微細膠體離子，從而降低膠體阻塞趨勢
- 經超過濾膜處理後之產水可直接導入逆滲透膜等除鹽單元再降低導電度

型式

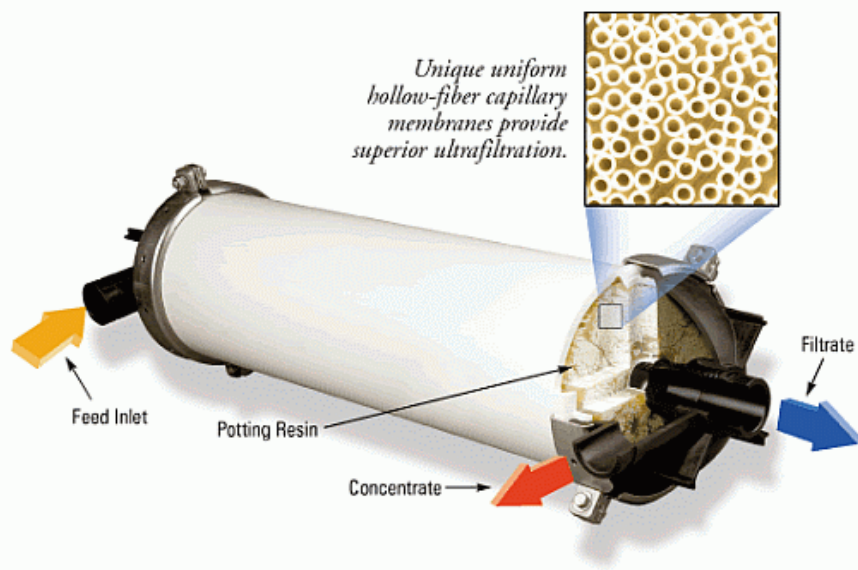
- 微過濾膜
 - 孔徑約數百nm
 - 去除細菌、原生動物、懸浮固體
 - 可作為RO進水之前處理
- 超過濾膜
 - 孔徑約數十nm
 - 去除細菌、原生動物、懸浮固體
 - 去除分子量為數萬以上之大分子
- 目前微過濾膜與超過濾膜在商用產品上已無太大區別



超過濾膜 (Ultrafiltration) (續)



中空纖維 (Hollow-fiber)



逆滲透 (Reverse osmosis)



設置目的

- 逆滲透膜僅讓水分子能通過，將離子與溶解性質阻截於濃縮側，形成濃排水 (retentate) 排出，從而取得低硬度／導電度／溶解性有機物之產水
- 除鹽率最高可達99%，價格自90年代後日趨下降，目前已成為最常用於放流水除鹽之單元
- 因最多僅能回收六成之產水，使得產水成本偏高

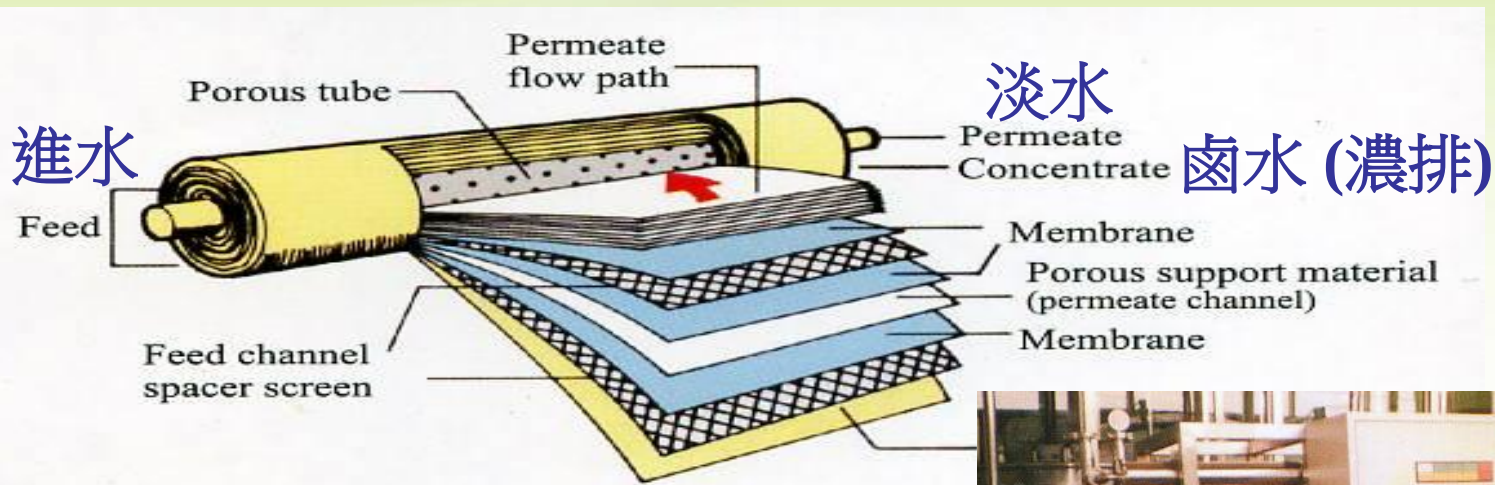
型式

- 逆滲透膜
 - 孔徑小於0.1 nm
 - 去除鹽類與有機物
 - 去除細菌與病毒
- 奈米過濾 (nanofiltration)
 - 功能同逆滲透膜，對二價以上鹽類去除效甚佳，對有機物與一價鹽類則較差



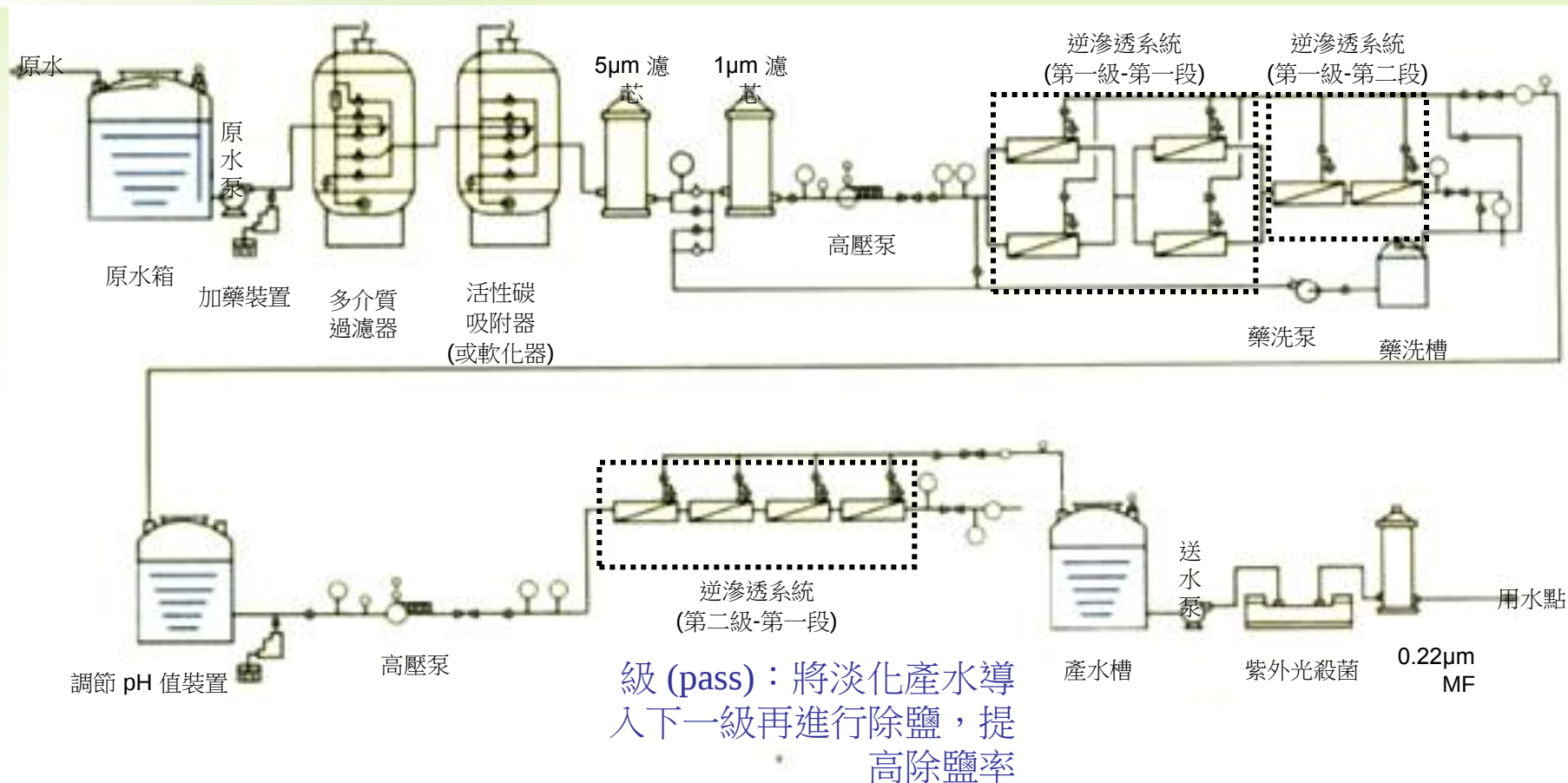
逆滲透 (Reverse osmosis) (續)

卷式 (Spiral-wound)



逆滲透 (Reverse osmosis) (續)

段 (stage)：將濃排導入下一段再進行除鹽，提高產水回收率



級 (pass)：將淡化產水導入下一級再進行除鹽，提高除鹽率



電透析系統 (Electrodialysis)



設置目的

- 採用陰、陽離子交換膜多層交替，使陽離子與陰離子分別移往陰極與陽極，而可得到淡水
- 除鹽效率不如逆滲透膜，處理水質一般TDS小於5,000 mg/L

型式

- 電透析 (Electrodialysis, ED)
- 電去離子 (Electro-deionization, EDI)
- 倒極電透析 (Electrodialysis reversal, EDR) (週期性地改變電極極性，以降低在電極上產生鹽垢之情形)，較適合用於放流水再生



電透析系統 (Electrodialysis) (續)

倒極電透析：

- 利用不同電性的薄膜對水中離子作分離選擇
- 陽離子只能穿透陽離子交換膜，而陰離子只穿透陰離子交換膜
- 電極極性於一段時間後可互換，藉以自動清洗離子交換膜表面結垢

產水量：每日最大4 m³

- 產水量與回收率及除鹽率有關

倒極頻率：60分鐘

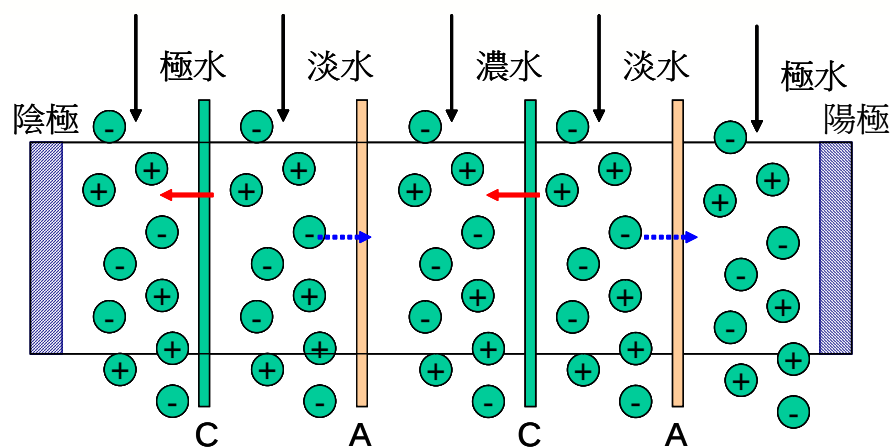
薄膜材質：

- 陽離子交換膜：強酸性磺酸型（含酸性官能基）
- 陰離子交換膜：強鹼性三級胺型（含鹼性官能基）

薄膜型式：

- 平板膜

膜面積：5.4 m²（105對薄膜）



離子交換 (Ion exchange)

設置目的

- 液相中的離子與固相（樹脂）中離子間互相交換，而達到除鹽效果
- 可單獨搭配活性碳槽運用，或設於RO後端處理RO出水，以獲得更低電導度之純水
- 處理水質TDS不宜超過500 mg/L，不適合處理放流水（再生頻率過高）

型式

- 離子交換樹脂一般呈現多孔狀或顆粒狀，其大小約為0.1~1mm
- 依交換特性可分為
 - 陽離子樹脂：可去除懸浮顆粒、有機物、以及正電荷離子，進行水質軟化
 - 陰離子樹脂：去除帶負電荷之無機鹽類



離子交換 (Ion exchange) (續)



離子交換係一可逆的反應過程，以天然沸石作離子交換劑為例，利用沸石之陽離子與廢水中的銨離子交換，達到脫氮的目的，1 g沸石約可吸附 16 mg 氨氮

- 低投資成本、操作簡單之優勢
- 主要操作成本為離子交換樹脂之再生，將衍生廢棄樹脂處理問題
- 再生溶液需進一步處理，避免造成二次污染
- 已有廠商提供回收樹脂與再生之服務 (針對鎳等重金屬)



本法亦可應用於鈾、鎂、鉬之去除，
惟需尋求合適之離子交換樹脂

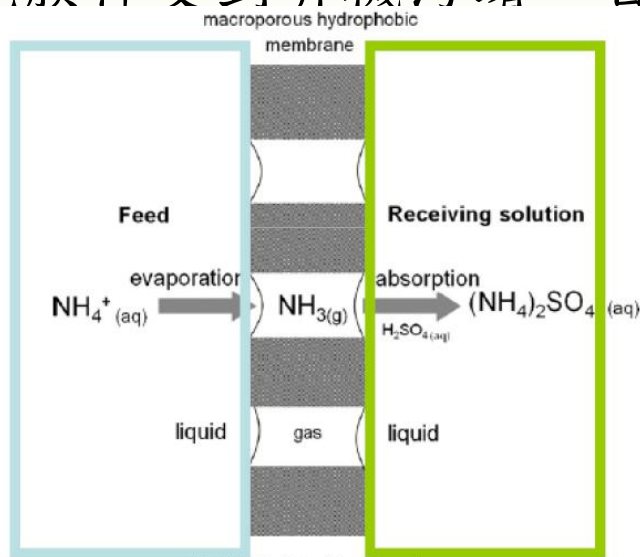


薄膜蒸餾 (Membrane distillation)

薄膜蒸餾利用薄膜構造與分子粒徑，使溶質/溶液分離

- 薄膜蒸餾法利用不同物質蒸汽壓差異，可將有機物與水加以分離 (尤其為高溶解度之有機溶劑)，

本法之處理效果佳，惟操作難度較高、維護成本較大，且需避免膜件受到有機污堵，目前提供廠商甚少



高級氧化系統 (Advanced oxidation)

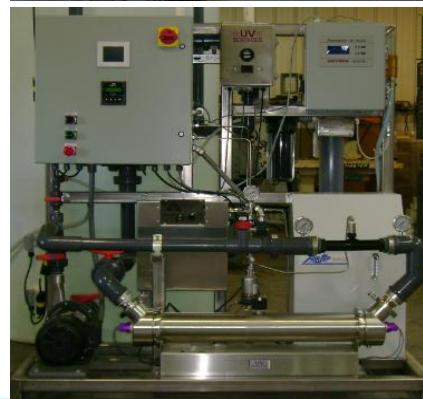


設置目的

- 以強氧化劑去除放流水中微量有機物（低於10 mg/L等級）或去除放流水中有毒物質（如環境荷爾蒙，0.001 mg/L等級）
- 可作最後階段之拋光處理（polishing），或作薄膜前處理（降低有機堵塞趨勢）

型式

- 臭氧
- 臭氧+紫外光
- 臭氧+過氧化氫
- 紫外光+過氧化氫



七、企業節水降低營運風險



- 原水來源未必是永遠有保障的
- 地下水井長年抽用後出現鹽化的情況日趨普遍
 - 地下水水質日漸變劣，對自來水之倚賴反而增加
- 氣候變遷，嚴重缺水不再是百年一遇
 - 同樣的生產量下，每減一分補水，就少一分風險
- 每節一噸自來水，可以省下：
 - 一噸取水成本
 - 一噸廢水廠內處理成本
 - 一噸廢水的納管費處理
 - 一噸廢水相當之水污費（已開徵）
- 降低產品「水足跡」將成為一種趨勢



參考資料



1. 工業用水效率提升策略-蔡人傑簡報105年11月17日
2. 高科技廠節水措施簡介-朱敬平簡報105年7月21日
3. 工業節水現況及展望-曾迪華簡報
4. 經濟部水利署，水資源政策規劃說明，104年9月21日
5. 經濟部水利署，耗水費規劃說明，104年7月09日
6. 黃濂純、張振章，製程節水及水回收再利用技術應用，水足跡及節水/水資源保育技術講習，104年5月
7. 張振章，103年度加工出口區節水技術輔導計畫，廢水回收技術系列講座（十七）－產業用水回收率探討，103年03月11/12日
8. 黃欣栩，工業廢水回收再利用案例介紹，102年9月26日
9. 林正祥，工業廢水減量與回收技術及案例介紹，103年12月5日
10. 黃欣栩，產業用水規劃、管理及節水成功案例分享，104年7月17日





敬請指教 歡迎聯絡

桃園市大學校院產業環保技術服務團
[Http://setsg.ev.ncu.edu.tw](http://setsg.ev.ncu.edu.tw)
萬能科技大學環境工程系

(03) 4227151 ext.34661
(03) 4515811 ext.55720
0935-406843

