

# 工業區廢水處理技術及 水回收策略

中原大學環境工程系

林志麟 助理教授

107年11月13日

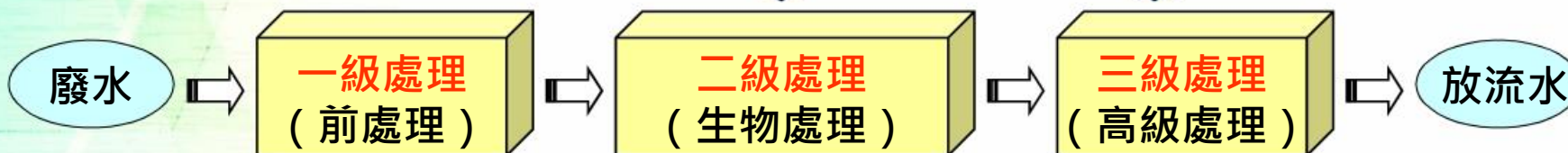


# 工業廢水處理技術及發展

# 事業放流水標準之演進及對應廢水處理技術

事業放流水標準 → 76 標準 → 82 標準 → 87 標準 → 未來標準

- |                  |                  |                  |         |
|------------------|------------------|------------------|---------|
| * COD : 250 mg/L | * COD : 200 mg/L | * COD : 100 mg/L | * 合理化修訂 |
| * BOD : 80 mg/L  | * BOD : 50 mg/L  | * BOD : 30 mg/L  | * 總量管制  |
| * SS : 100 mg/L  | * SS : 50 mg/L   | * SS : 30 mg/L   | * 平均值管制 |
| * ...            | * ...            | * ...            | * 水污費徵收 |



功能：  
去除懸浮固體物、  
去除油脂、pH調整

功能：  
去除溶解性有機物 (以  
COD或BOD為指標)

功能：  
去除殘留溶解性有機污染物、重  
金屬、有害物質、去除懸浮固體  
物，符合更高的水質要求

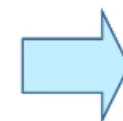
- 技術：
- \* 篩除
  - \* 混凝
  - \* 沉澱
  - \* 浮除
  - \* pH調整
  - \* 調勻

- 技術：
- \* 上流式厭氣污泥 (UASB)
  - \* 厭氣流體化床 (AFB)
  - \* 厭氣濾床 (AF)
  - \* 活性污泥法 (AS)
  - \* 批式活性污泥法 (SBR)
  - \* 固定生物法膜 (FF)

- 技術：
- \* 混凝
  - \* 沉澱
  - \* 浮除
  - \* 砂濾
  - \* 化學氧化還原
  - \* 活性碳吸附
  - \* 離子交換

# 水處理市場發展

- 全球人口成長與新興國家經濟成長，用水需求質量提升
- 水資源有限與氣候變遷造成穩定供水需求成長
- 由於自來水市場較封閉，應及早布局高成長新興市場(廢污水再生、海水淡化)與高產值市場(生活污水處理)



加速水處理創新技術應用與市場發展

## ➤ 全球水資源市場規模(億美元)

市場區隔	2010	2020	CAGR (年成長率)
半鹹水與其他脫鹽	41	89	8.1%
海水淡化	69	151	8.2%
生活污水再生	50	108	8.0%
工業廢水處理與再生	167	357	7.9%
工業用水處理	112	192	5.5%
其他公共用水等*	3,897	5,355	3.2%
合計	4,336	6,252	3.9%

高成長新興市場

\* 其他公共用水包含自來水opex (操作成本)34%，自來水capex (初設成本)23%，生活污水opex 22%，生活污水capex 21%，

- 海水淡化/半鹹水脫鹽、工業廢水/生活污水再生為成長率較高之新興市場



# 我國工業用水回收技術及推動現況

# 工業用水現況

◎ 工業用水集中於六大高耗水產業：**(佔工業用水總量85%)**

◆ 化材業、電子業、造紙業、基本金屬業、紡織業、石油業

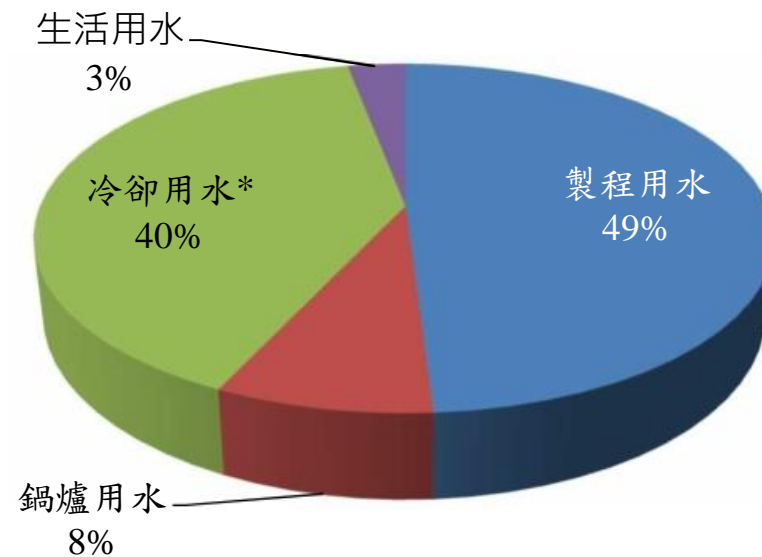
◆ 化材業、電子業用水量佔工業用水總量超過50%

二位碼	行業別	佔總用水量比例		
		合計	1,000CMD以上	2,500CMD以上
18	化材業	30.8%	29.5%	27.9%
26	電子業	22.5%	16.5%	11.3%
15	造紙業	12.2%	11.9%	11.4%
24	基本金屬業	8.4%	7.6%	7.0%
11	紡織業	6.2%	4.5%	3.2%
17	石油業	4.9%	4.8%	4.8%
	小計	85%	74.8%	65.6%

# 工業用水特性

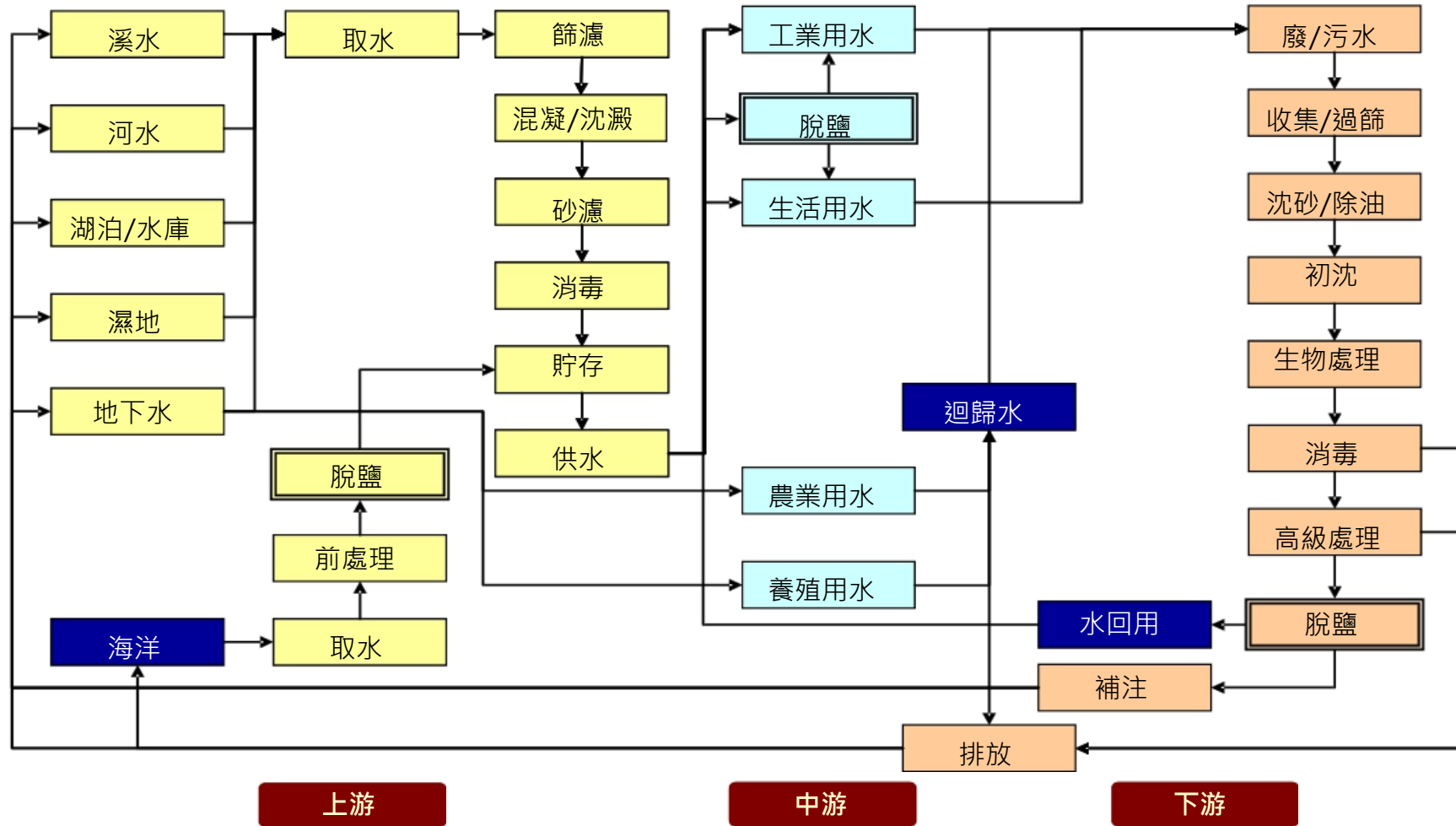
◎ 工業用水量集中於廠內特定用途：49% 用水供應廠內製程用水使用，40% 作為廠內冷卻用水。

業別	主要製程耗水用途
電子業	各階段製程加工成品清洗、空調、淨水系統
化材業	冷卻、成品與桶槽清洗，蒸氣加熱
基本金屬業	冷卻、各階段製程加工成品清洗
石化業	冷卻、合成反應、成品清洗，蒸氣加熱
化學製品業	冷卻、成品與桶槽清洗，蒸氣加熱



工業區各產業用水標的百分比  
(冷卻用水不含循環水量)

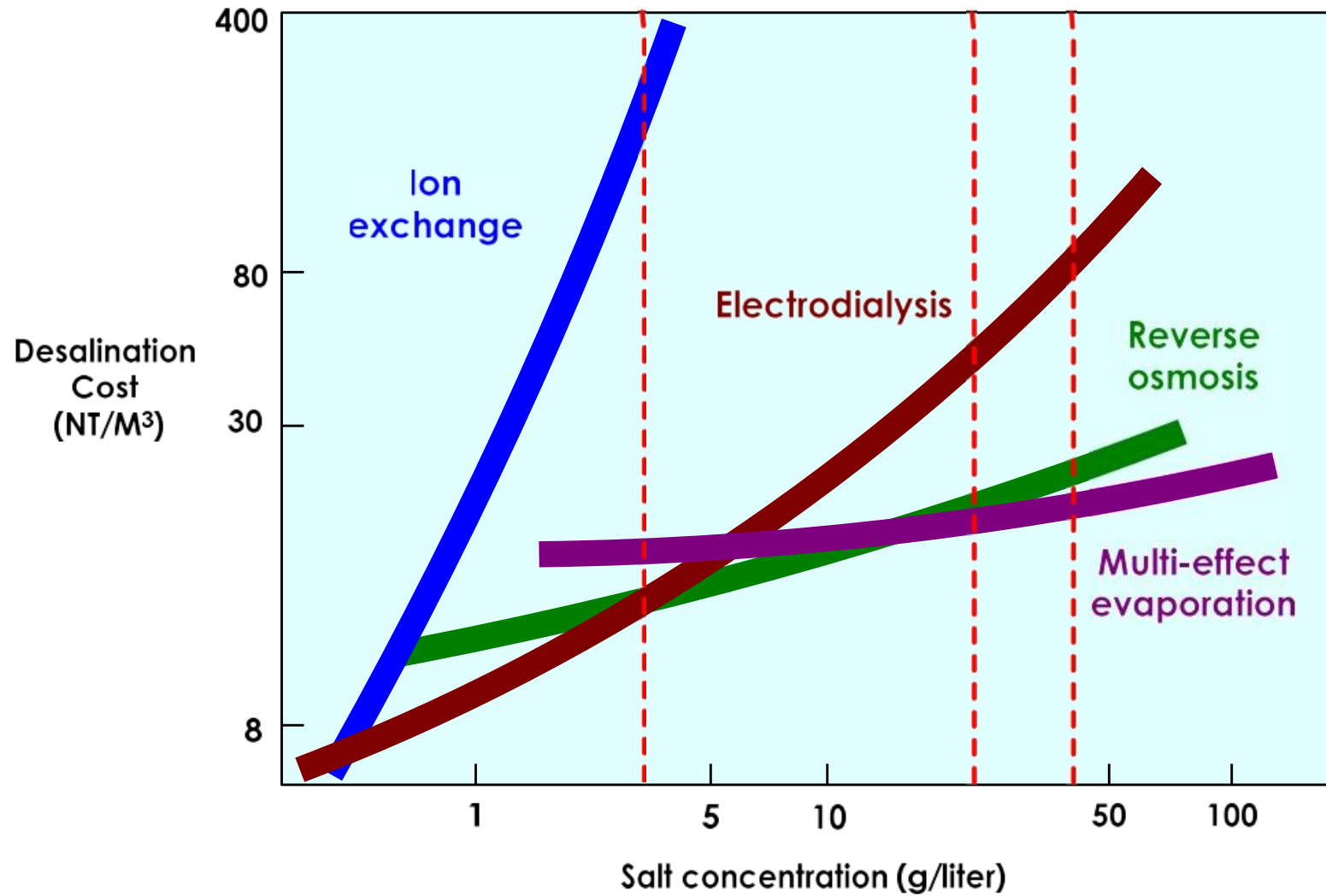
# 回收/再生水源



資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所



# 脫鹽成本比較

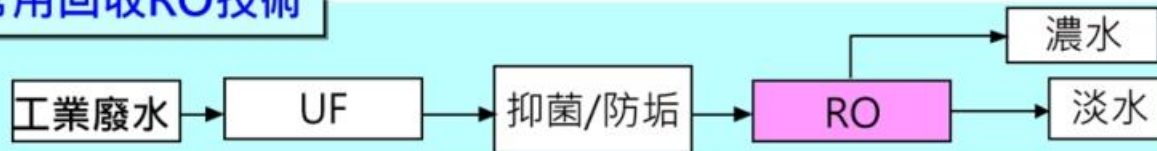


脫鹽成本與原水濃度關係圖

資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所

# 水回收處理技術現況

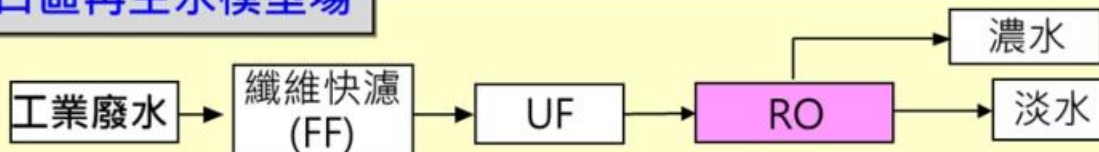
## 國內外常用回收RO技術



### 問題點：

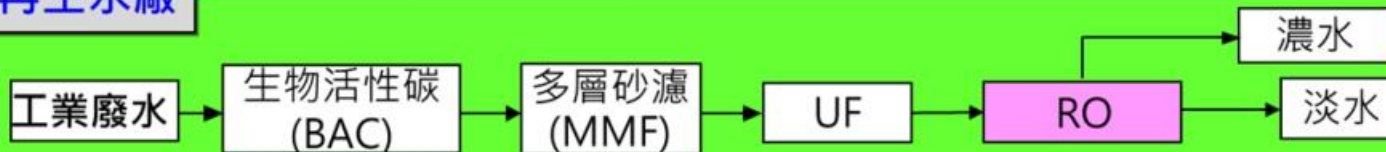
1. 無適當生物及前處理流程造成RO薄膜易結垢，維修頻繁，甚至須時常更換膜管
2. 水中微量及難分解有機物、氨氮處理不易，造成回收系統操作成本增加，產水去化問題
3. 產水成本:約22~28元/噸，使水回收不易推動

## 某加工出口區再生水模型場



1. 最大產製1,800噸/天再生水，目前產水200噸/天
2. 產水成本(不含設備攤提)：28-32元/噸

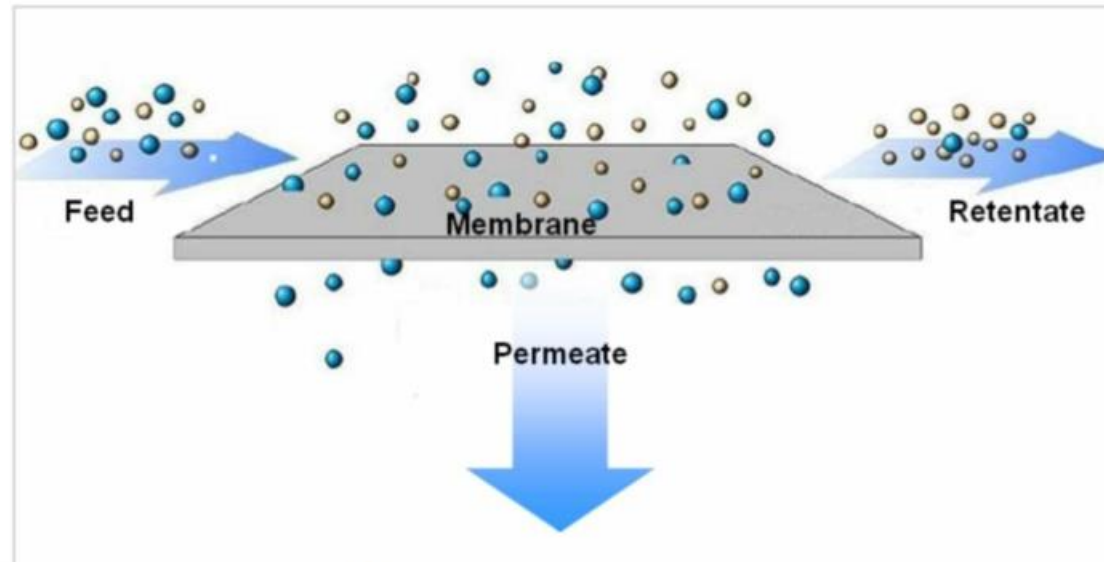
## 高科技業再生水廠



1. 第一期產水9,500噸/天，全期產水20,000噸/天
2. 產水成本(不含設備攤提)：26-28元/噸

資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所

# 回收/再生水薄膜分離技術

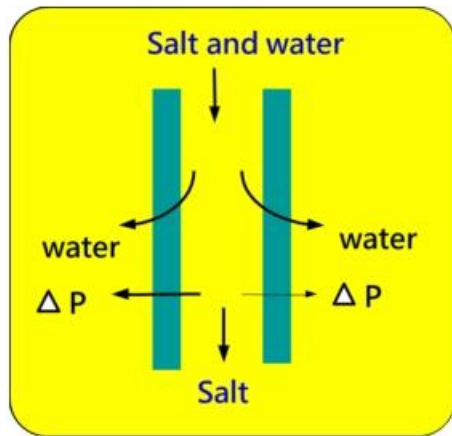


驅動力	分離技術
壓力差	RO、NF、UF、MF
電位差	EDR、CDI
濃度差	FO
溫度差	MD

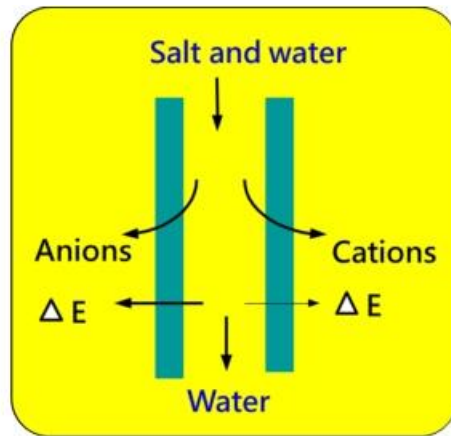
# 倒極式電透析(EDR)

## •倒極式電透析(electrodialysis reversal, EDR)

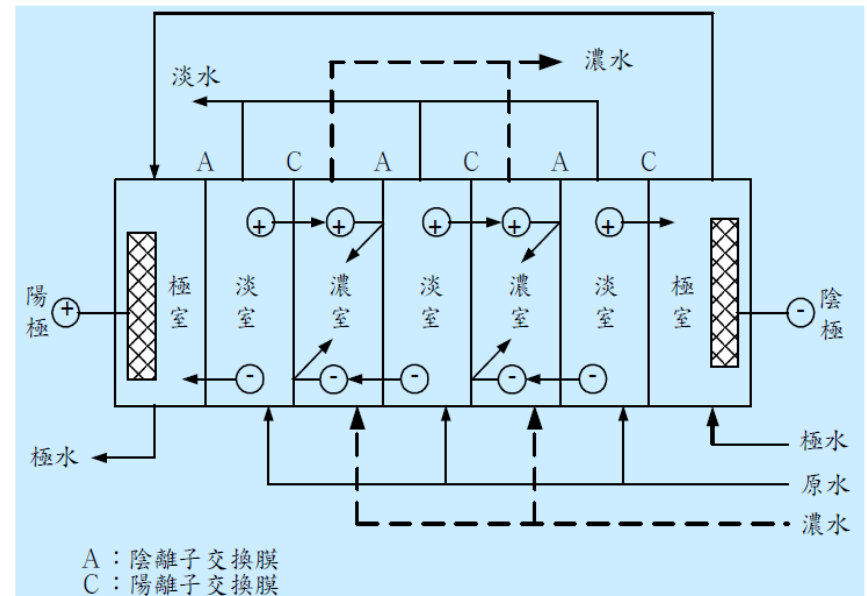
倒極式電透析是將電透析處理技術作進一步修正，乃利用直流電正負極和內部導流的切換來延長薄膜使用壽命。



Reverse Osmosis



Electrodesialysis



# EDR脫鹽水回收系統之應用案例



地下水水脫鹽  
(50 m<sup>3</sup>/d)



RO濃縮水脫鹽  
(300 m<sup>3</sup>/d)



RO濃縮水脫鹽回收  
(300 m<sup>3</sup>/d)



工程螺絲製造廢水脫鹽  
回收 (450 m<sup>3</sup>/d)



PCB廢水回收  
(1200 m<sup>3</sup>/d)



河川水混凝脫鹽  
(2400 m<sup>3</sup>/d)



虎生電子冷卻水回收  
(550 m<sup>3</sup>/d)



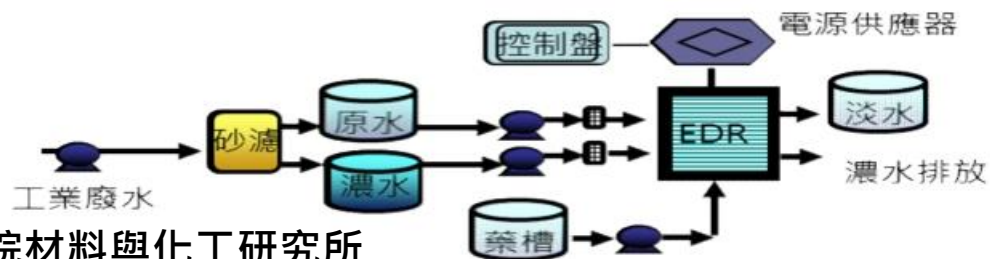
RO濃縮水脫鹽  
(200 m<sup>3</sup>/d)



精密螺絲製造業廢水  
脫鹽回收 (350 m<sup>3</sup>/d)



鋼品直接冷卻水回收  
(550 m<sup>3</sup>/d)



資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所

# EDR水回收應用案例 ( 1 )

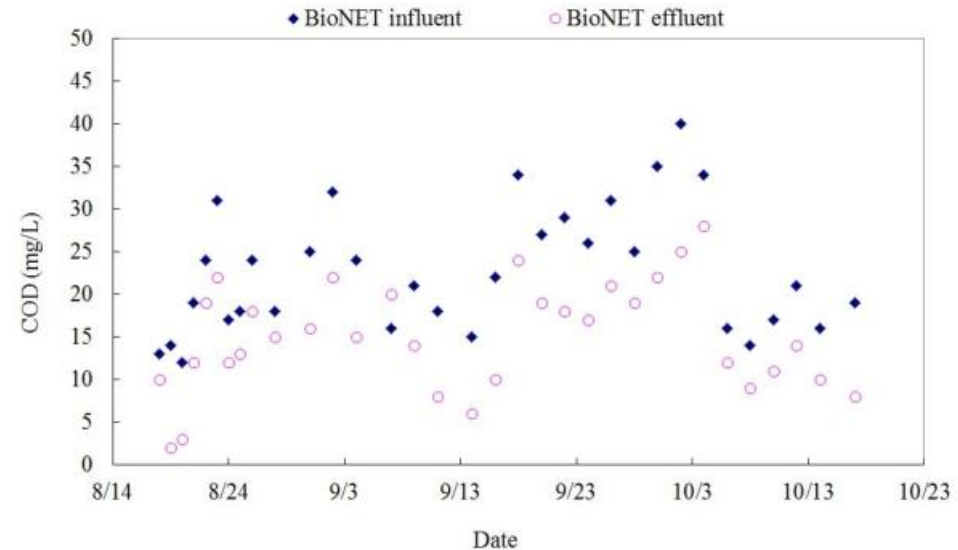
## ( 綜合廢水 )

廢水特性：

- 重金屬
- 有機物
- 氨氮
- SS
- 無機離子

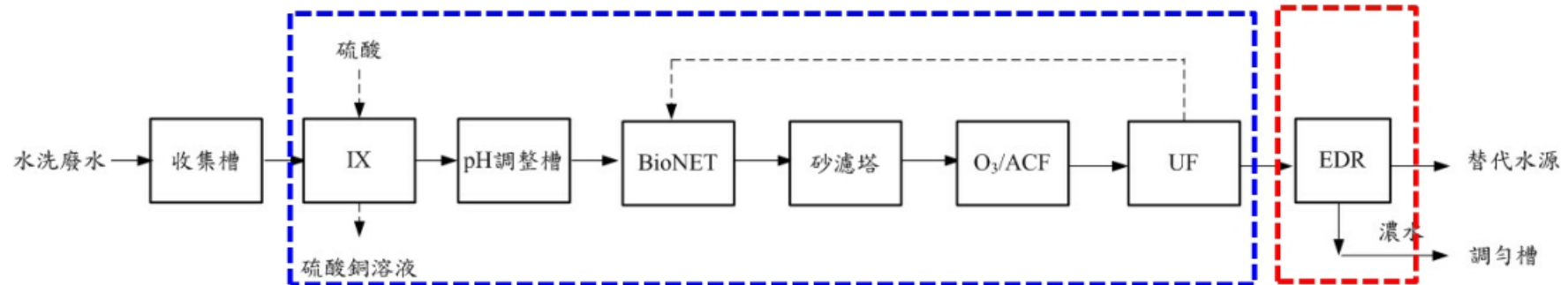
設計基準：

- 進流量量：1100 CMD
- 原水導電度： $<1500 \mu\text{S}/\text{cm}$
- 淡水導電度： $<600 \mu\text{S}/\text{cm}$
- 水回收率：70%



前處理單元

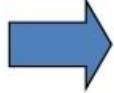
脫鹽單元



# EDR水回收應用案例 ( 2 )

( 高科技綜合廢水放流水 )

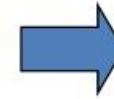
原水  
(化混放流水)



BioNET處理單元



沉浸式薄膜過濾槽(MF)



ED進流槽



電透析膜組  
(4級4段·共80對膜)



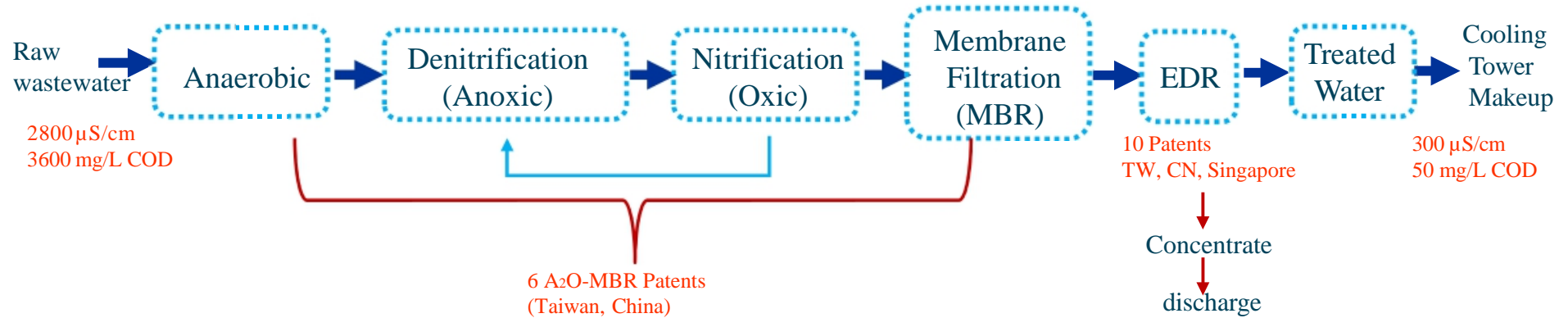
淡水槽  
(回收水槽)



移動式EDR模型廠 ( 產水量12 CMD )

資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所

# 有機廢水處理及回收案例



Flow rate: 1200 CMD  
Biological system  
(A<sub>2</sub>O/MBR)



Clean water : 600 CMD  
Concentrate: 600 CMD  
EDR system

\*Cost saving NT\$12,600,000/year

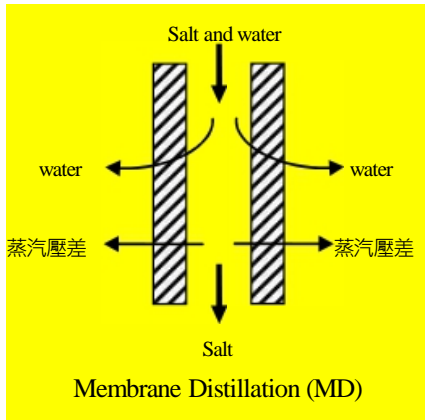
The plant (集盛實業) is located in Kuaneen industrial park, Taoyuan County

資料來源:工業技術研究院材料與化工研究所

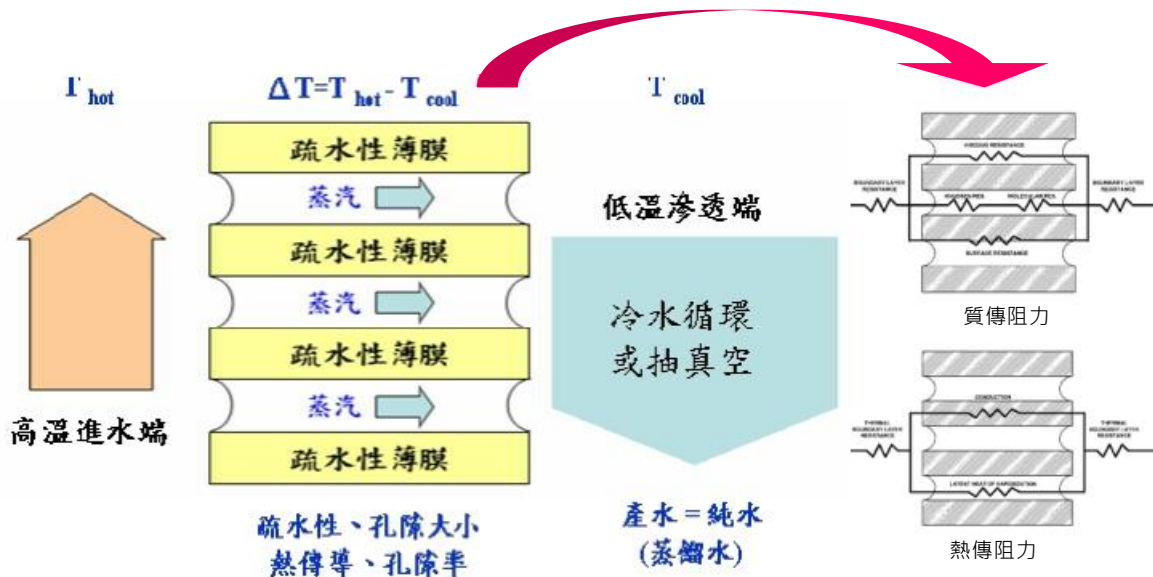
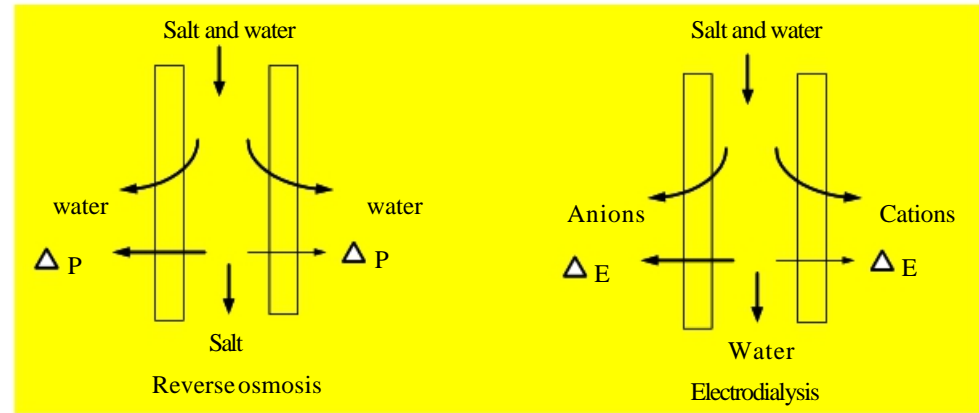


# 薄膜蒸餾(MD)分離技術

薄膜蒸餾以薄膜兩側流體接觸面的**蒸氣壓差**為驅動力



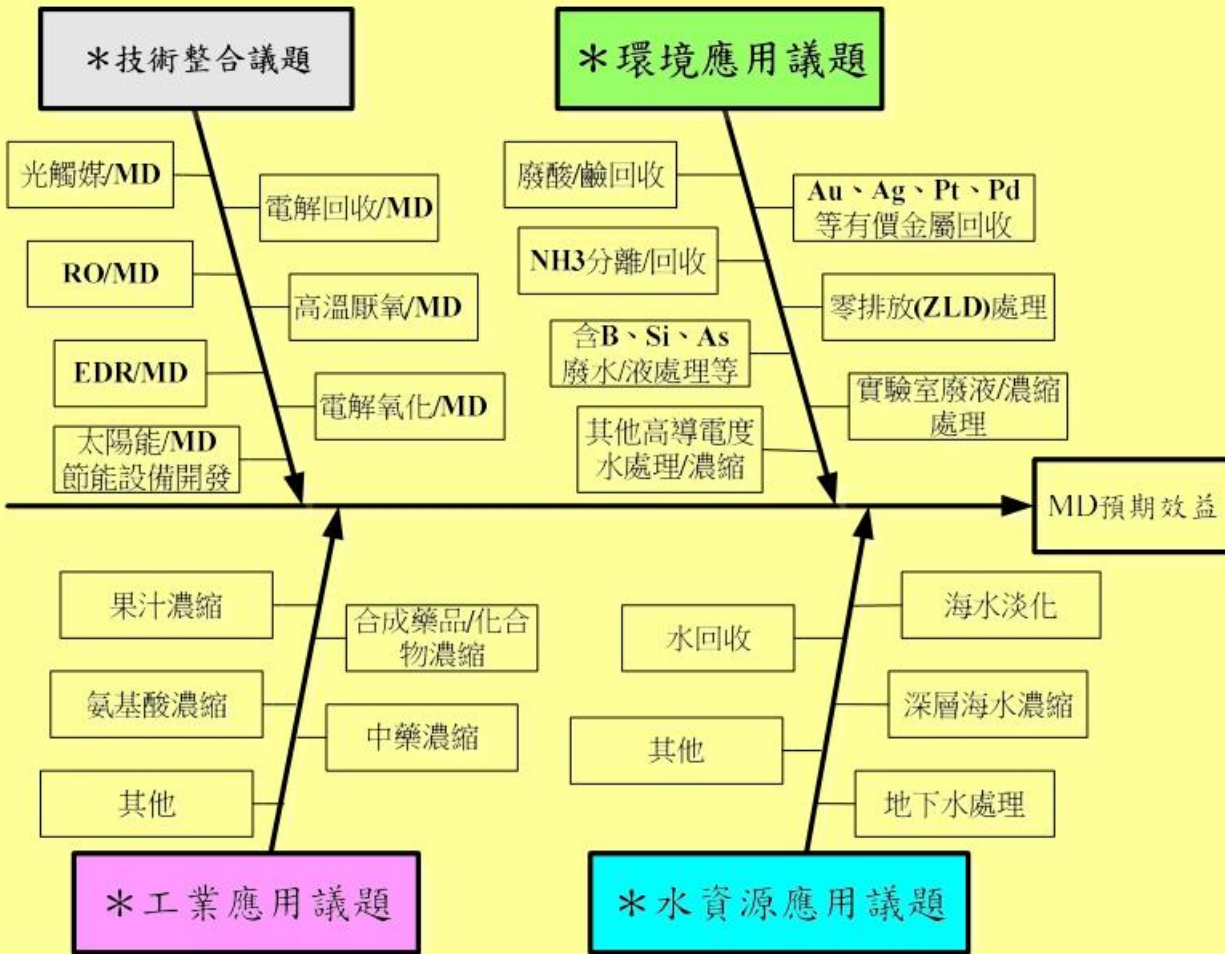
逆滲透(RO)及電透析(EDR)等技術分別使用**壓力**及**電力**為驅動力



## 水在不同溫度時的飽和蒸氣壓

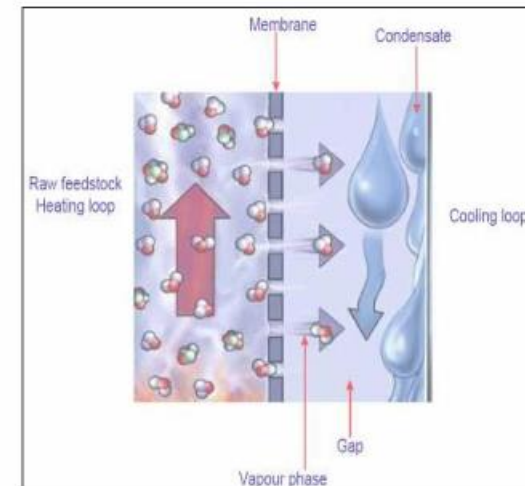
溫度 (°C)	壓力 (mmHg)	溫度 (°C)	壓力 (mmHg)
0	4.6	40	55.3
5	6.5	50	92.5
10	9.2	60	149.4
15	12.8	70	233.7
20	17.5	80	355.1
25	23.8	90	525.8
30	31.8	100	760.0

# Membranedistillation技術應用



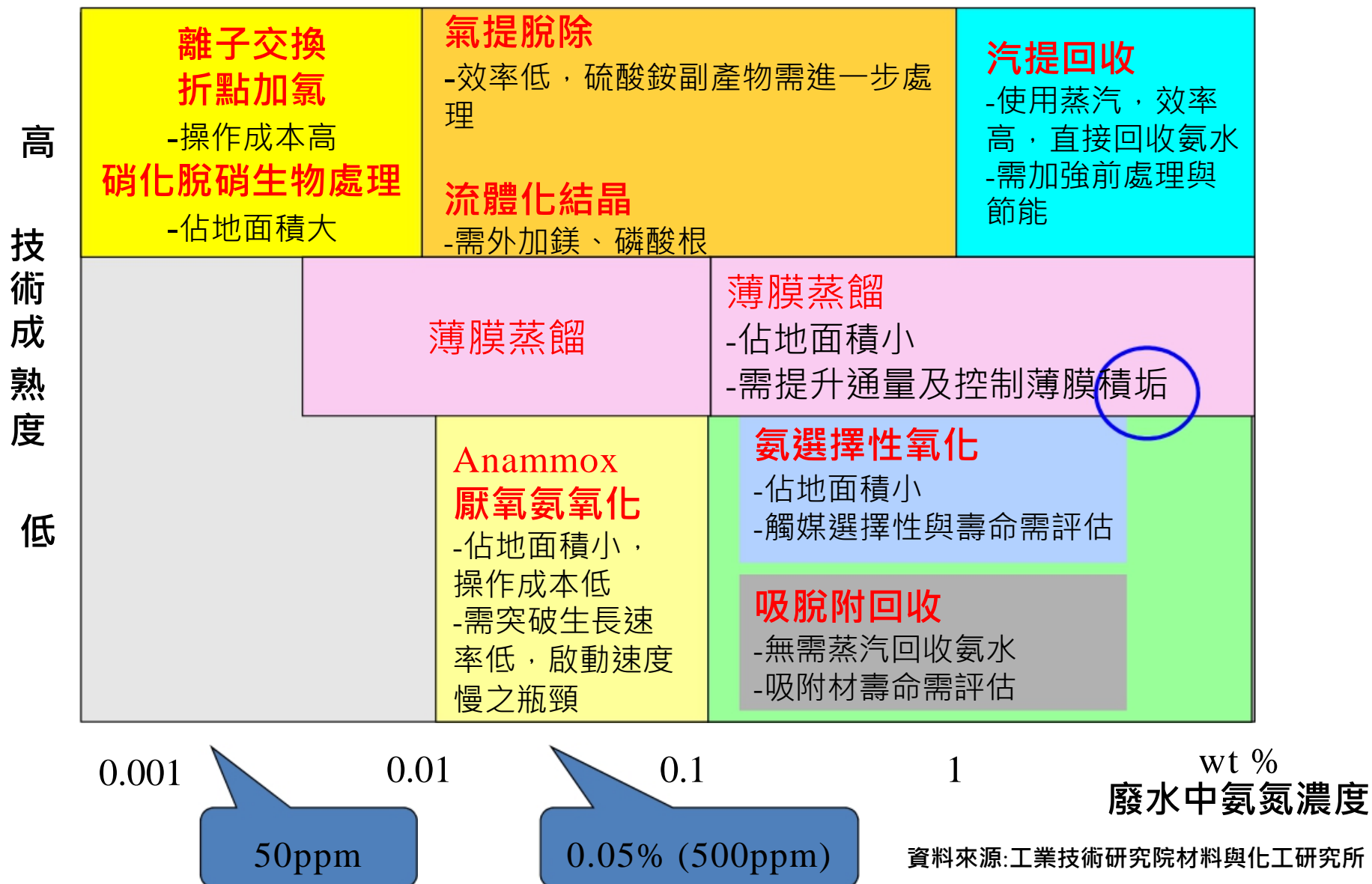
## MD應用於水回收主要議題

- 水中有機物必須先行去除，以避免薄膜積垢現象發生
- 加熱來源問題

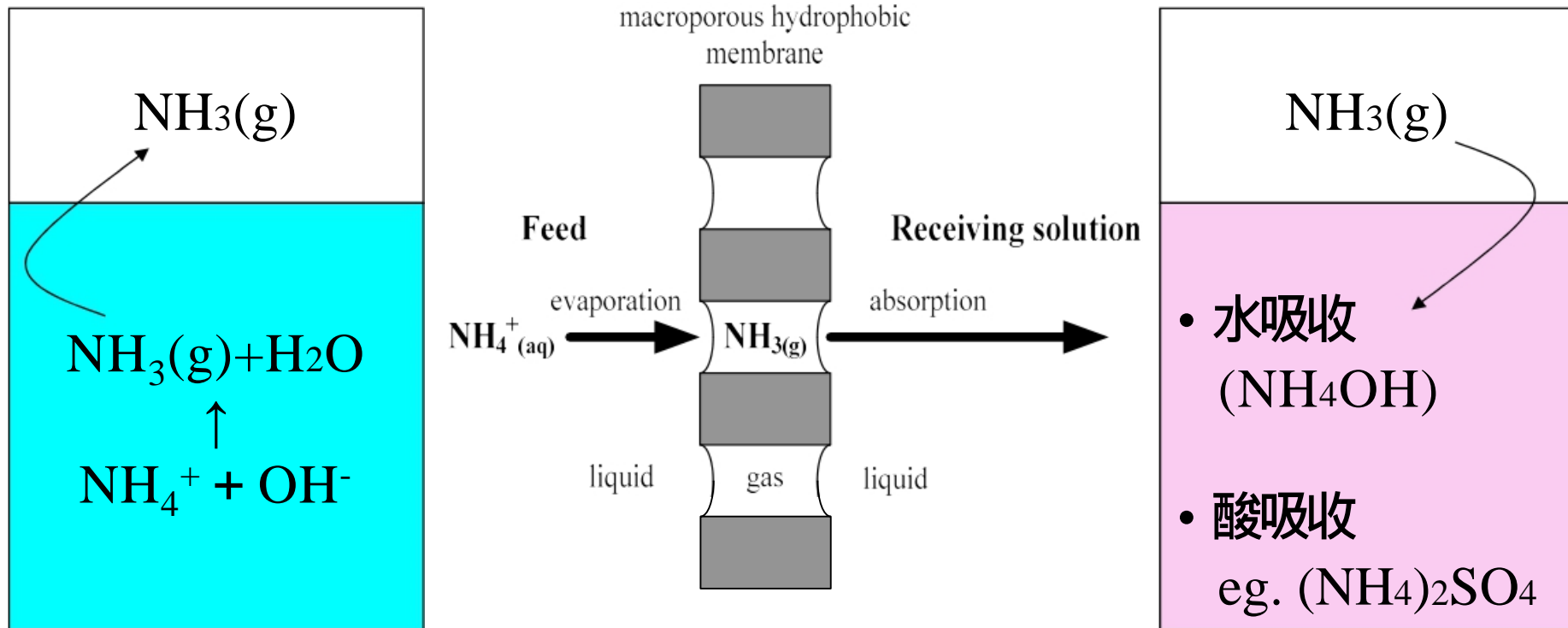
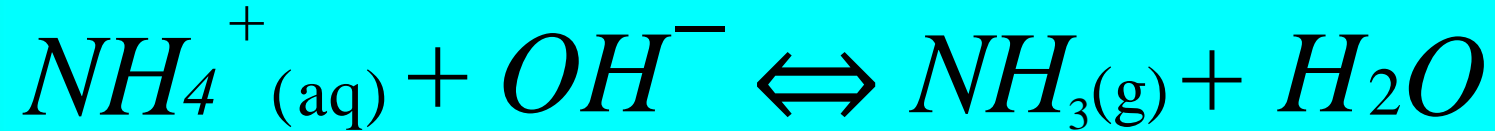


MD過濾機制示意

# 氨氮廢水處理與回收技術



# 薄膜蒸餾分離氨氮之機制



薄膜蒸餾氨氮分離/濃縮機制示意圖

# 工業節水目標

■ 延續過去10年之動能，將工業用水回收率由70%提升至80%

- 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

民國120年工業用水  
取水量約12.1億噸/年  
節省4.3億噸/年

總用水量  
60.8億噸/年(成長9%)

目標回收80%  
循環用水43.9億噸  
回收用水4.8億噸

現工業用水取水量  
約16.4億噸/年

總用水量55.3  
億噸/年

現況回收70%

循環用水34.6億噸  
回收用水4.3億噸

總用水量56.4  
億噸/年

目標回收72%

循環用水36.2億噸  
回收用水4.4億噸

總用水量57.5  
億噸/年

目標回收75%

循環用水38.6億噸  
回收用水4.5億噸

節約用水常態化行動  
方案(草案)(104.11)

建構智慧  
管理水資源  
政策  
(104.10)

104年

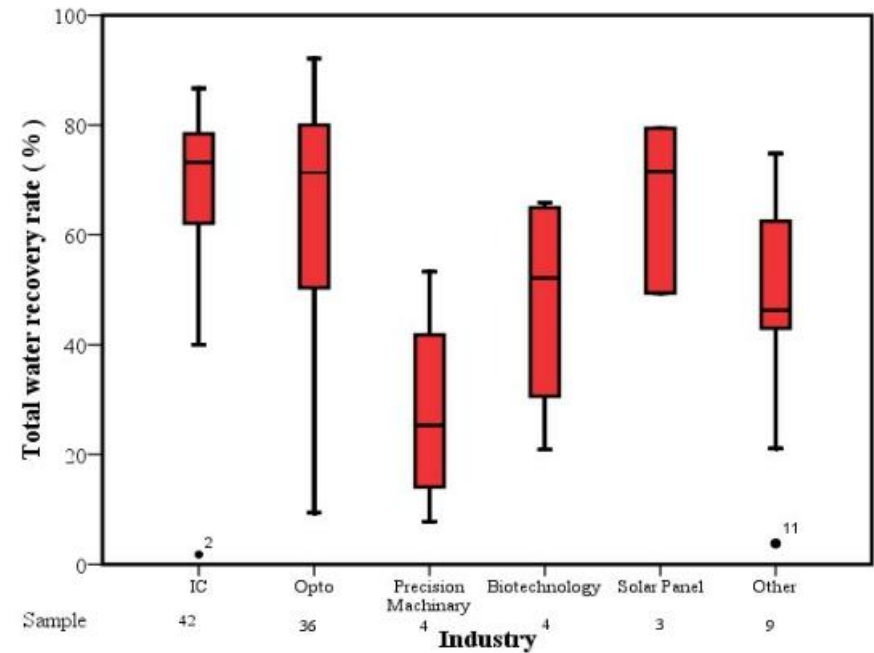
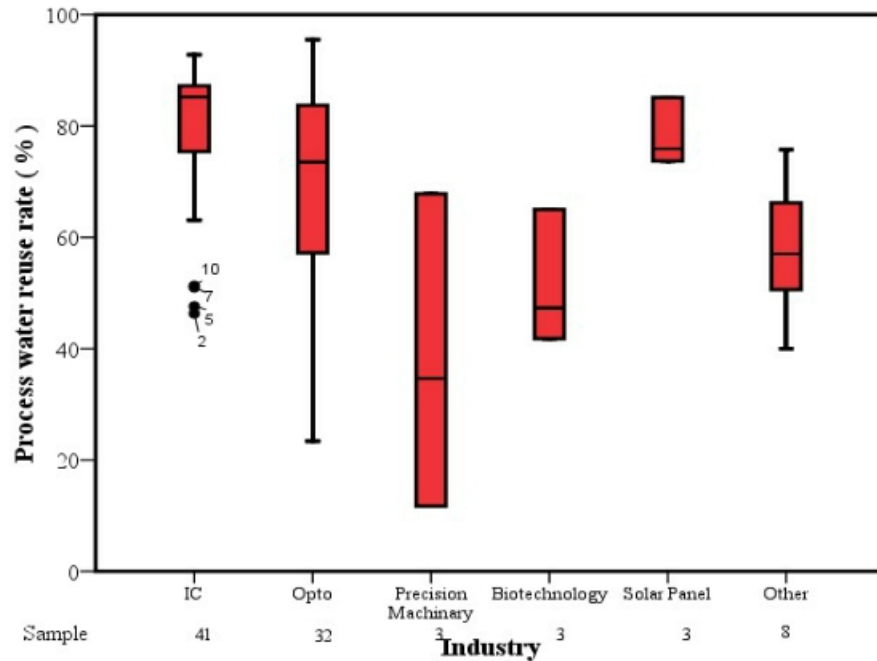
107年

110年

120年

資料來源:財團法人環境與發展基金會

# 電子產業別水回收率



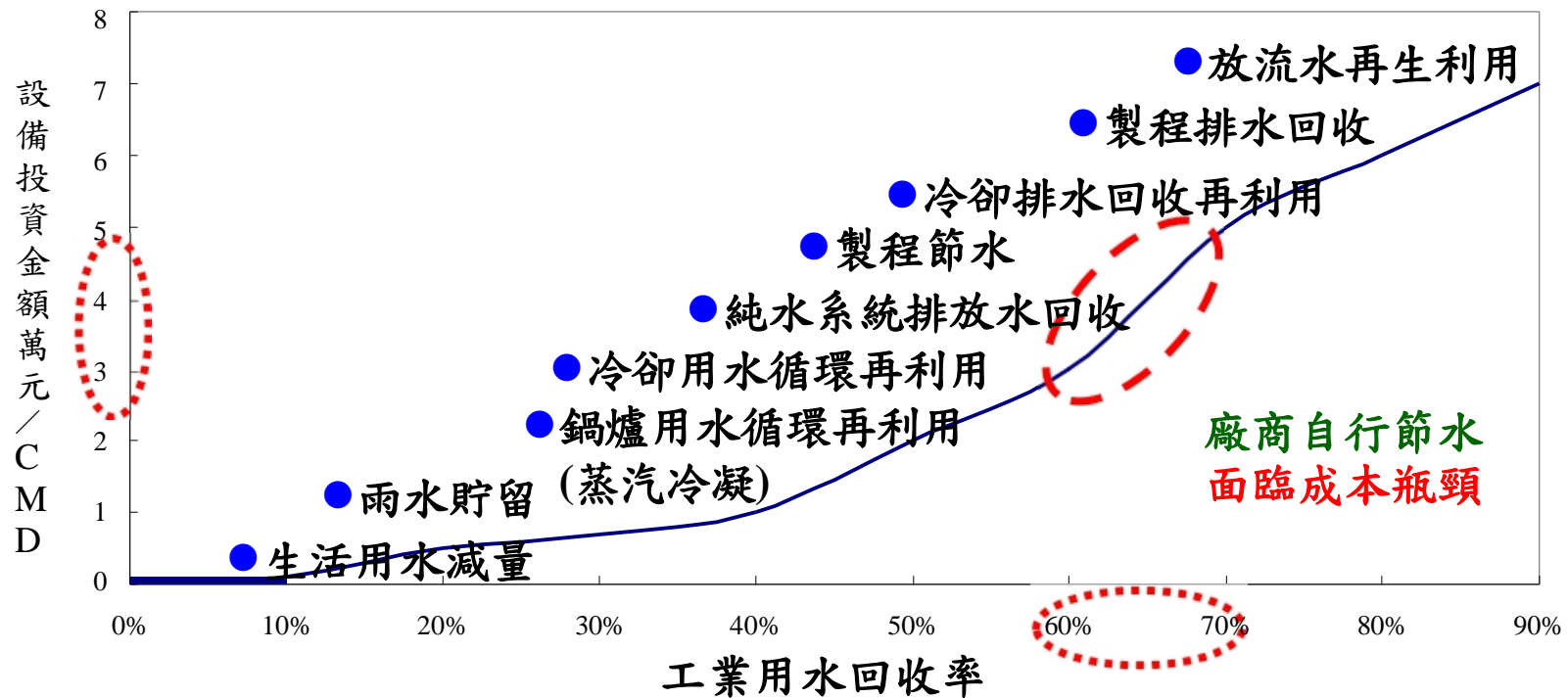
資料來源：鄧宗禹，CONSULTANCY SERVICES FOR WATER USE EFFICIENCY STUDY IN ELECTRONICS SECTOR，2013

# 工業用水效率提升限制(1/2)

## ➤ 節水技術之限制

### • 節水設施成本瓶頸

- 隨著回收率提高，處理難度提高，再進一步提高回收率所需**投資金額較龐大**
- 節水設施多為**進口設備**，若無法降低節水成本，則無法顯著提升回收率



# 工業用水效率提升限制(2/2)

## ➤ 低水價環境之限制

- ◆ **水價偏低**導致用水回收再利用之利基薄弱，**廠商不願投入製程設備改善或進行廢水回收再利用之投資。**
- ◆ **缺乏水價合理分級制度。**

## ➤ 法規環境之限制

- ◆ **缺乏用水效率行政管制**，無法強制高耗水產業採行節水措施。
- ◆ 在目前法令下，**不易管控關鍵產業或廠商用**水。
- ◆ **缺乏工業用水BAT及總量管制等相關規定。**



# 工業節水八大策略



擴大辦理廠商用水效率  
提升輔導



推動創新服務模式



推動工業區廢水回收創造  
新興水源



研擬產業聚落工業用水  
效率提升策略



推動水資源整合



完善相關法規配套措施



鼓勵關鍵產品研發



加強節水宣導

提高產業  
用水效率

# 工業節水輔導

- 工業局自92年起即針對**用水密集**、**高耗水產業**與**用水大戶**進行節水輔導作業，積極提升工業用水回收率。

**目標：提升產業用水效率，達到工業用水零成長**



- 在低水價的環境下，回收率提升已達瓶頸，因此必須擴大辦理**節水**、**創造新興水源**及**行政管制**等積極作為，工業用水回收率才能持續提升。

# 節水方案建議 (1/3)

## ➤ 方案一：軟水系統樹脂塔後段逆洗水回收供廠內清洗使用

- 一 後段清洗水水質等級優於前段清洗水水質，建議將後段清洗水收集後回收廠內清洗使用。
- 一 預估每次沖洗時間約120分鐘，總再生水量約為進水量628 CMD的5%約30 CMD，而沖洗水量又佔總再生水量的**30 %**約**10 CMD**。



離子交換樹脂



CIP



鍋爐

# 節水方案建議 (2/3)

## 方案二：雨水貯留回收

- 全廠佔地面積大，建議本廠設置雨水貯留設施再設計簡易處理設施，利用廠內已有的雨水收集槽，可將雨水截流儲存再利用。



雨水收集管線



建議回收設備-儲水裝置



項目	公式
雲林地區日集雨量	$\text{平均日降雨量(mm)} \times \text{集雨面積}^*(\text{m}^2) \times \text{平均日降雨概率}$ $= 5.45 \times 13,500 \times 0.256$ $= 18.835.2 \text{ L/天} \approx 15 \text{ CMD (打八折計算)}$
雨水利用設計量	<p><b>廠內清潔=15 CMD</b></p> <p><b>其他儲存於回收水槽備用</b></p>
儲水槽容量	$\text{預備3天蓄水量} + \text{日集雨量} - \text{雨水利用設計量}$ $= 3 \times 15 + 15 - 15$ $= 45 \text{ 噸} \times 1.1 (\text{加10\%安全係數})$ $= 50 \text{ 噸}$
集雨面積估算為13,500平方公尺(概估值)	

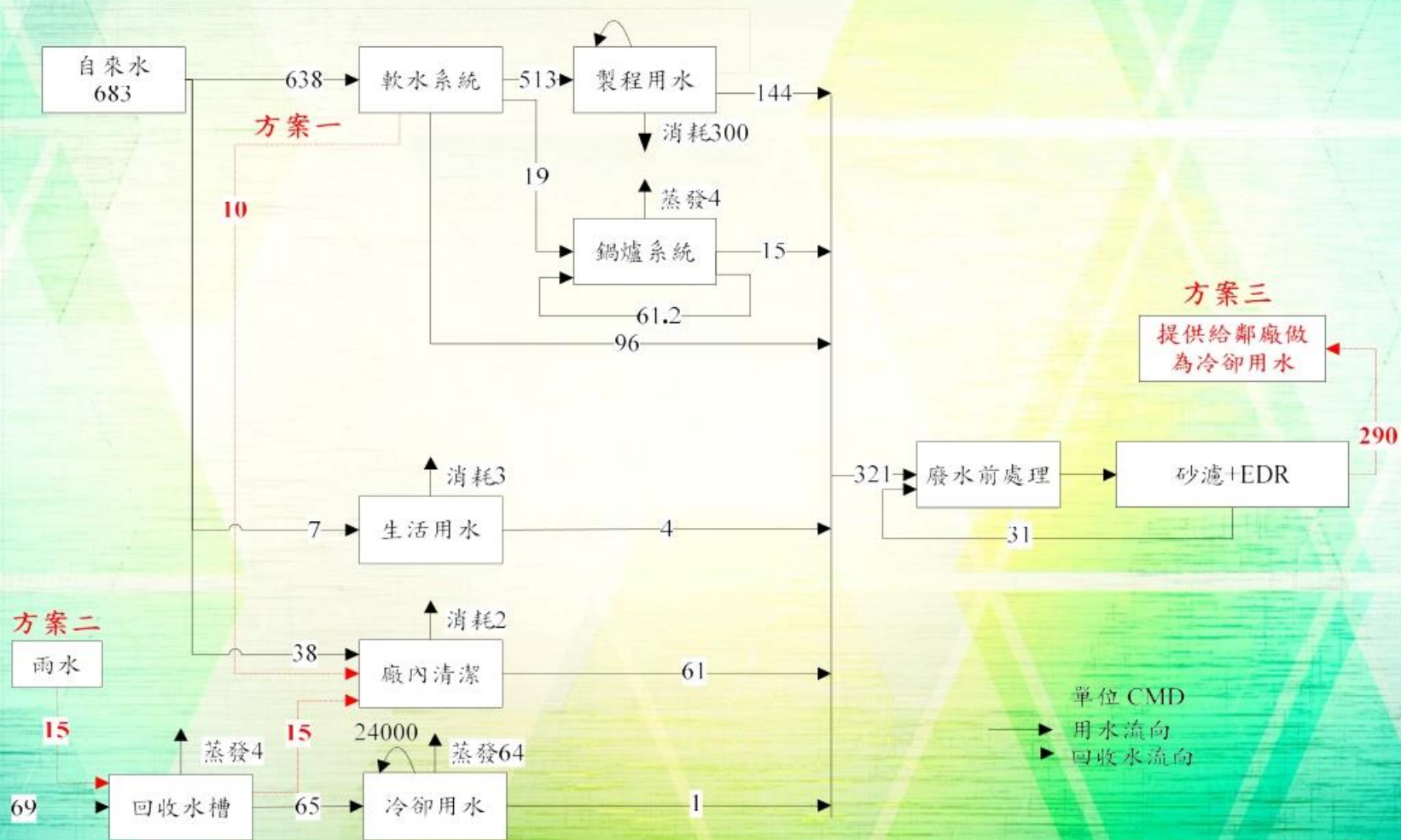
# 節水方案建議 (3/3)

## ➤ 方案三：區域水資源整合

- 一 本廠為飲料業，建議納管水經砂濾及EDR(倒極式電透析)處理，降低導電度、氯鹽、COD、SS後，提供給鄰近工廠作為鍋爐或冷卻用水使用，產水量約**290 CMD**。
- 一 納管水水質：COD約140 mg/L、SS約85 mg/L、**導電度約2,230 $\mu$ s/cm**、氯鹽約1,000mg/L、pH約6.6。



# 水平衡圖

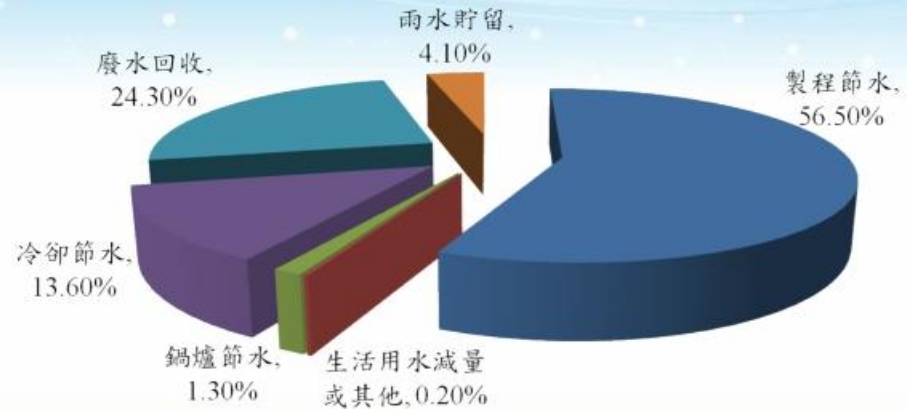


單位 CMD  
 用水流向  
 回收水流向

資料來源:財團法人環境與發展基金會

# 節水輔導成果(1/2)

年度	輔導家數	節水績效 (萬噸/年)	經費 (萬元)
92	190	762	2,350
93	66	461	2,014
94	60	631	2,090
95	50	429	1,522
96	45	445	1,359
97	22	192	666
98	46	484	600
99	45	496	1,086
100	157	772	3,650
101	100	671	2,610
102	101	538	2,528
103	82	713	1,880
104	101	944	1,616
105	71	360	1,570
合計	1,136	7,898	25,541



## ■ 工業節水診斷廠商家數

✓ 92至105年度輔導家數：1,136廠家

➤ 提升工業節水量逾26.3萬CMD (7,898萬噸/年)，省下水量超過烏山頭水庫容量。

節水輔導經費  
逾2.5億元

帶動廠商投入44億元  
購置設備

減少26.3萬CMD 水源開發  
節省開發經費約263億元

# 節水輔導成果(2/2)

## 某電子零組件製造業(中壢工業區)－駐廠輔導

一般輔導

深入輔導

水回收系統發包與興建

水回收系統營運

103.07

103.07

103.07-104.08

104.08-

### • 二廠回收系統：

- 酸鹼廢水經RO系統處理，回收水量約600 CMD。
- 切割廢水(含ROR)經砂濾+ACF+RO處理，回收水量約600CMD。
- 研磨廢水經MBR處理，回收水量約200 CMD。

### • 回收效益：

- 規劃之節水方案皆實施後，回收水量約**1,400 CMD**，所節省之費用每年約**1,371萬元**。



項目	輔導前	輔導後	效益
自來水用水量(CMD)	2,546	1,146	減用1,400
R1(%)	15.8	35.9	增加20.1
R2(%)	30.2	66.8	增加36.6





# 我國再生水推動現況及發展策略

# 再生水推動政策

## 開發再生水有其必要性



### 開發優勢

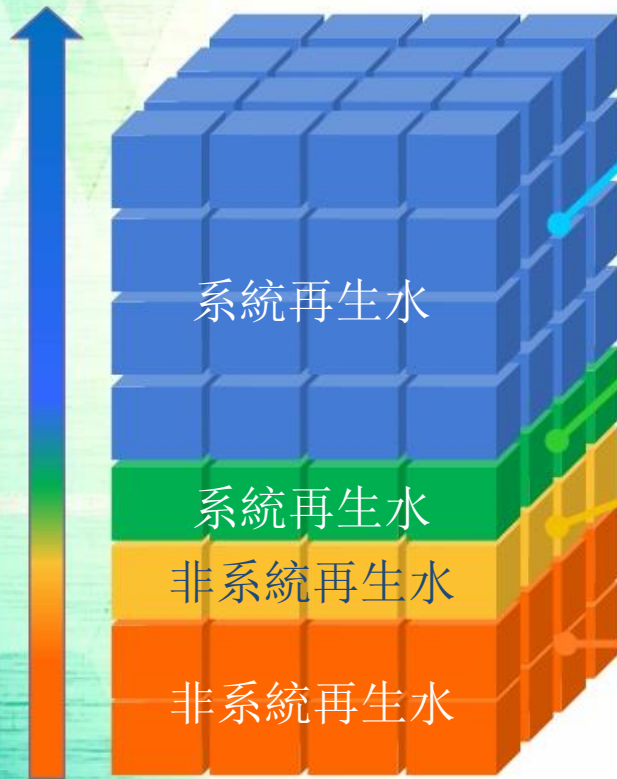
- ✓ 能耗較海淡低
- ✓ 產業用水穩定不受枯旱影響
- ✓ 提高區域供水穩定性

### 開發限制性

- ✓ 用途具特定性
- ✓ 供水採客製化及專管專送
- ➔ 開發原則採以需定供
- ✓ 不適合作為區域水資源調度

# 再生水利用量推動目標

民國120年再生水  
使用量132萬CMD



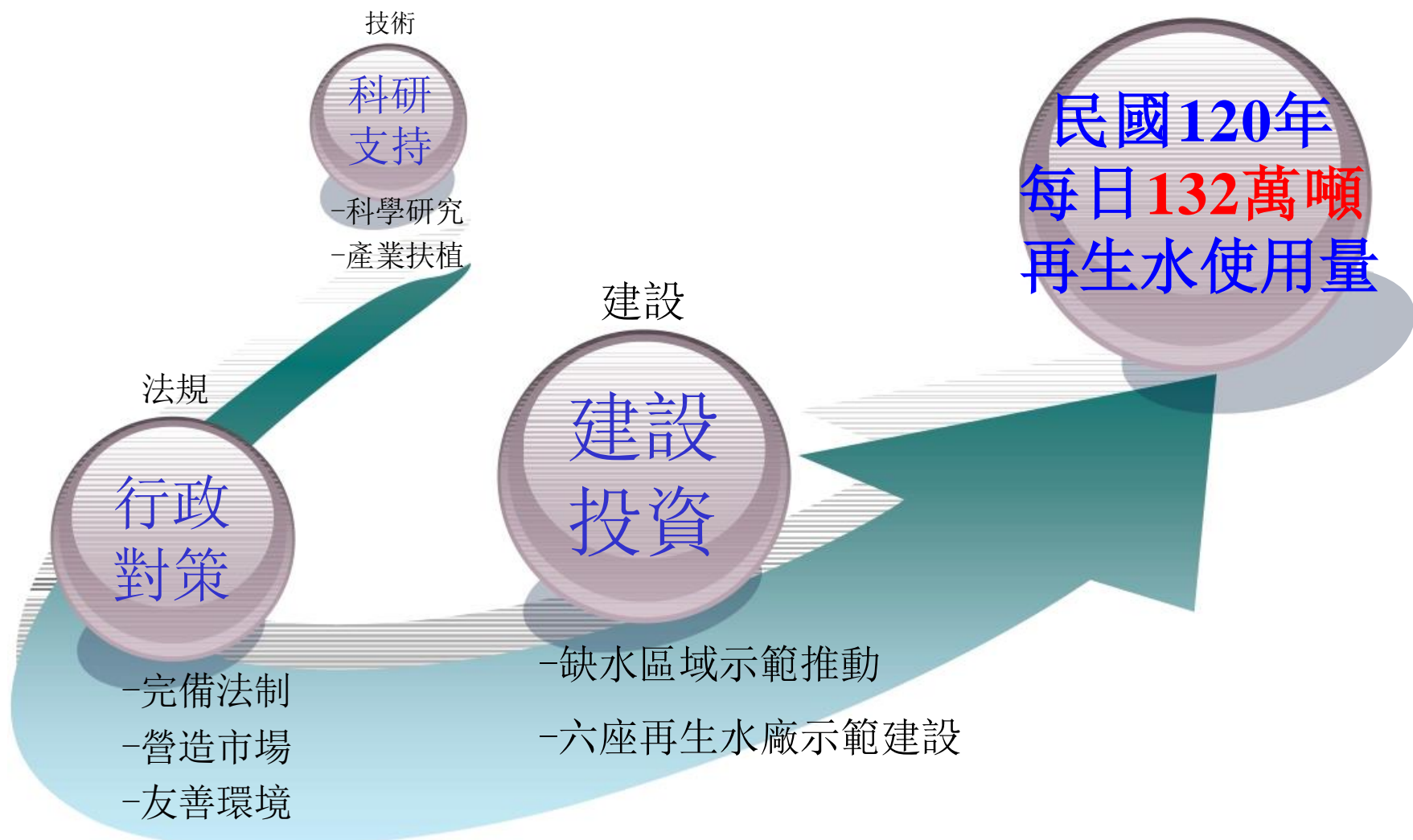
都市污水處理廠放流水 *key*  
再生利用目標77萬CMD

工業區廢水處理廠放流水  
再生利用目標5萬CMD

生活污水戶  
再生利用目標5萬CMD

工業用水大戶  
再生利用目標45萬CMD

# 再生水政策推動配套措施



資料來源:經濟部水利署

# 再生水推動效益

現況



未來節水中成長

民國  
120年



生活污水再生  
供工業使用

年供**2.8億噸**再生水  
(77萬CMD)

兼顧經濟成長與節約用水

# 再生水建設投資

## 我國公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動案

- 102年奉行政院核定
- 6座示範案例
- 總再生水量共28萬噸/日
- 總經費151.63億元（102~109年）

區域缺水潛勢

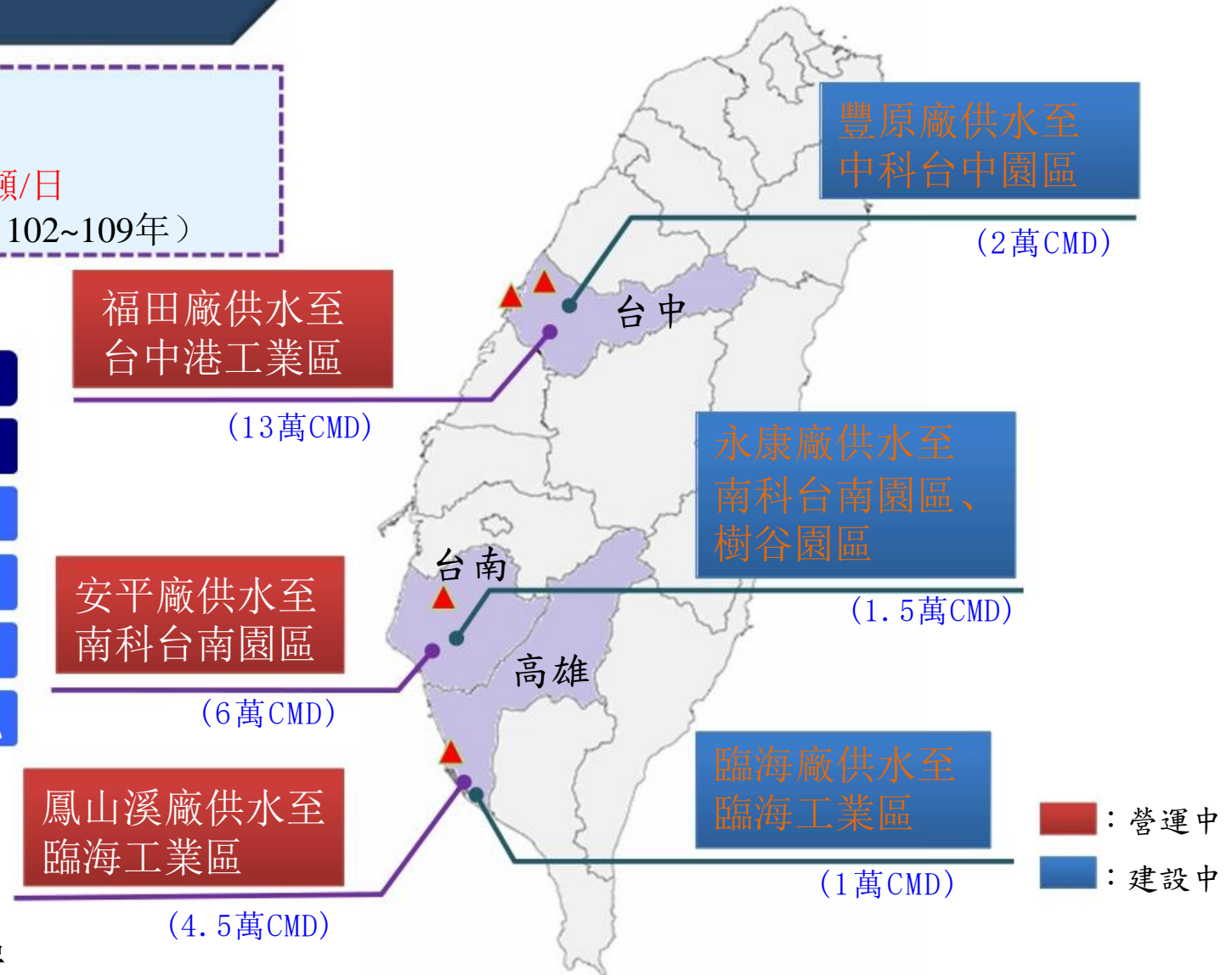
用水端意願

供需水量 > 1萬噸/日

高程 供 > 需

輸水距離 < 10 km

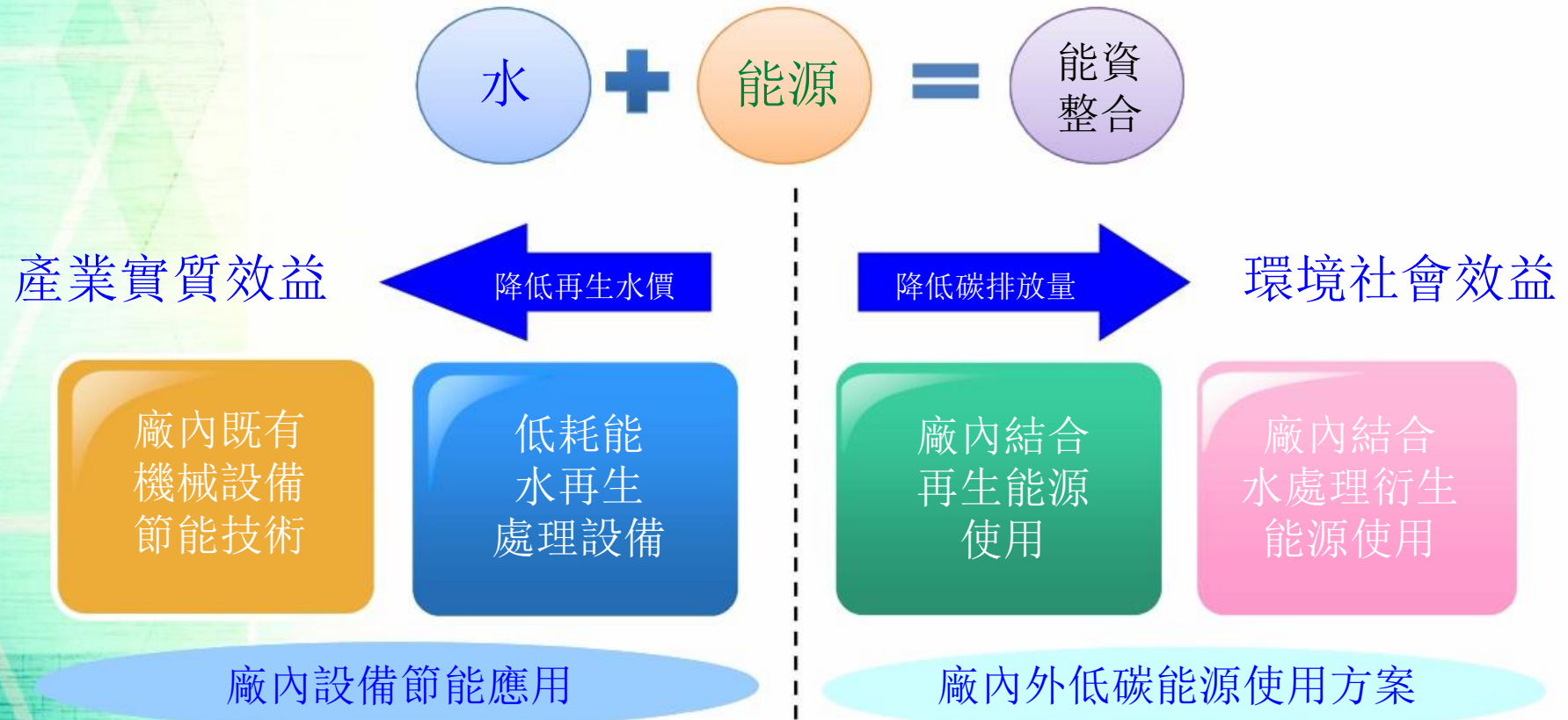
園區產值 高產值優先



資料來源:經濟部水利署

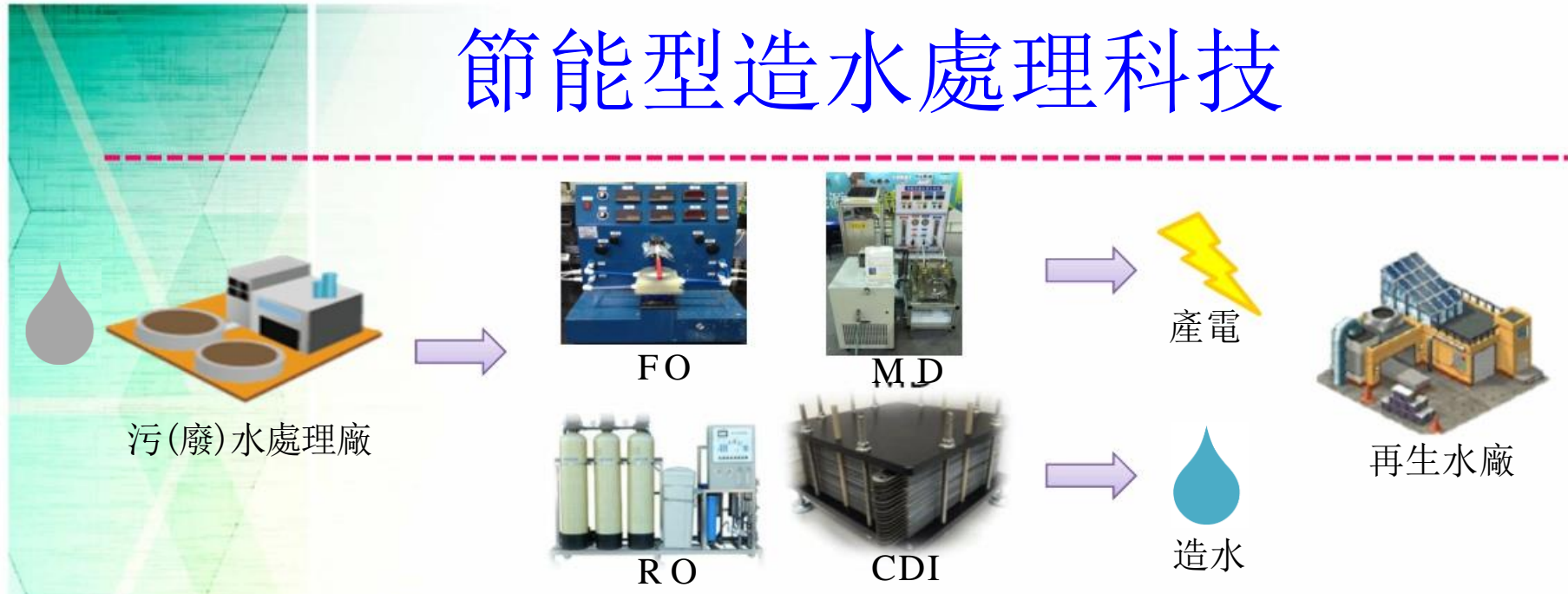
# 水回收再生研究重點

節能型水再生處理技術



資料來源:經濟部水利署

# 節能型造水處理科技



技術	能源需求	產水水質	單位產水能耗 (kWh/m <sup>3</sup> )	缺點
逆滲透 (RO)	電能驅動	僅能去除部分的三價砷(As)和硼(B)	2-3	溫度不適合高於50°C
薄膜蒸餾 (MD)	僅需低階熱源	砷(As)和硼(B)去除率近100%	0.75-1.75	不適合含有揮發性有機化合物(VOCs)之進料
電容去離子 (CDI)	低能耗需求, 可以綠能驅動	低導電度(< 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ )的高品質再生水	0.15~0.5	不適用於高導電度廢水
正向滲透 (FO)	無	與RO相同	<0.1	提取液需有效回收

資料來源: 經濟部水利署



# 碳中和全回收再生水廠



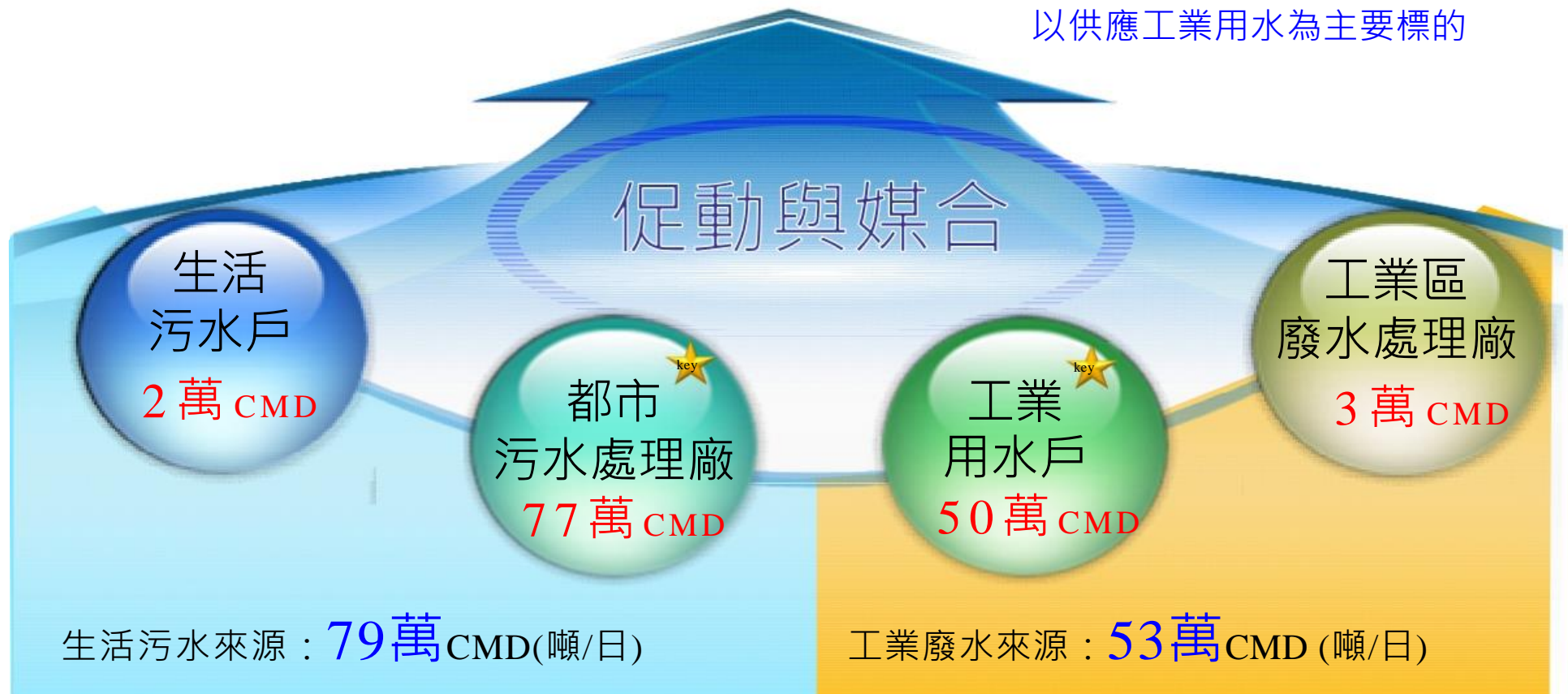
示範場域示意圖

資料來源:經濟部水利署

# 再生水將成為未來水資源重要一環

2031年再生水利用量132萬噸/日

以供應工業用水為主要標的



資料來源:經濟部水利署

# 國內再生水利用法制化



# 穩定產業用水需求供應機制

## 水回收再生促動策略

行政政策  
全力推動

策略1

法規立法  
輔助執行

策略2

政府投資  
全民參與

策略3

簡報完畢  
敬請指教