

工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

# 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

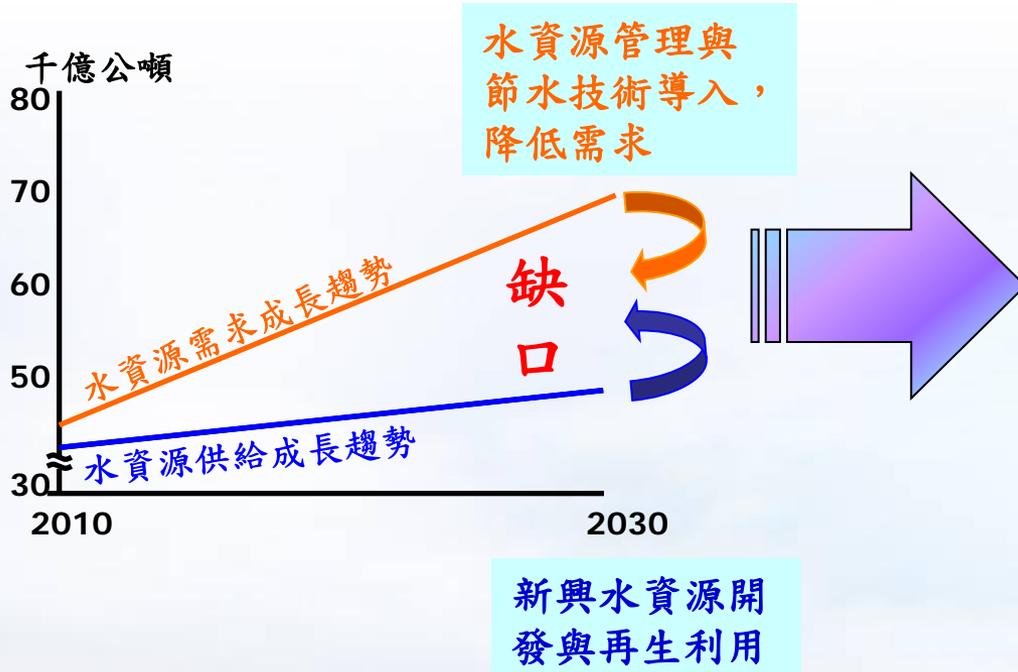
中華民國103年6月18日

- 前言
- 水回收再利用規畫原則
- 水回收再利用處理技術
- 案例介紹

# 一、前言

## 水資源現況

### 全球水資源 缺口逐漸擴大



### 台灣水資源 面臨問題

- 旱澇加劇82% (1949~2010)
  - 豐枯水年差2000mm(2010)
  - 高耗水產業產值 (石化與高科技) 佔GDP比重約1/2, 用水量佔48%
  - 地下水超抽
  - 水庫淤積嚴重
  - 工業用水成長135%以上 (2006~2021)
- 水資源供給波動影響風險提高

- 在現有發展情境下全球水資源供需缺口將逐漸擴大。
- 用水管理/節水技術與新水源開發為解決缺口之重要解決方案，水處理技術與產業扮演重要角色。

紡織業、食品業、造紙業、化學原料業、金屬基本業與電子業等六大行業，被列為台灣地區六大耗水量工業，而必須加強水源開發及節約用水，以節省水資源，使產業能夠永續經營。

# 水回收再利用規畫原則

- 節約用水為最佳水回收策略
- 減少製程異常現象發生
- 分流規劃與處理
  - 避免污染物之衍生
  - 回收水用途

# 水回收處理技術篩選原則

- 將溶解性污染物轉換成非溶解性固體物，以利污染物去除。
- 將微細固體物變成大型固體物，以利固液分離。
- 儘量避免化學藥品添加，以免增加回收水電導度或其他污染物。
- In-situ (decentralized system) 回收處理單元。

例如：染整廢水

廢水種類	導電度 ( $\mu\text{s/cm}$ )	採取策略
原廢水	500	
生物出流水	600	
化學混凝出流水	1300	有機混凝劑取代無機混凝劑 ( $650 \mu\text{s/cm}$ ) 以 MBR 取代化學混凝單元 ( $600 \mu\text{s/cm}$ )

# 水回收污染物處理技術篩選

污染物	處理方法	
	物理化學	生物
有機物 (如 COD)	混凝沈澱/浮除、砂濾、活性碳、氧化 (化學或電解)、薄膜	活性污泥、接觸氧化、生物網膜 (BioNET)、生物活性碳 (BAC)
無機鹽類 (如鈣、鎂硬度)	混凝沈澱/浮除、砂濾、結晶 (FBC)、離子交換樹脂、薄膜	
重金屬 (如鐵、銅、鉻)	混凝沈澱/浮除、砂濾、結晶 (FBC)、離子交換樹脂、薄膜、電解回收	
懸浮物質 (如 SS)	混凝沈澱/浮除、砂濾、薄膜	
色度	混凝沈澱/浮除、砂濾、活性碳、氧化 (化學或電解)、薄膜	生物網膜 (BioNET)、生物活性碳 (BAC)、厭氣處理
電導度	薄膜、離子交換、電透析	

# 回收水用途及其處理方式原則

回收水用途	處理方式
景觀用水	二級處理+過濾+消毒
非製程洗滌水	二級處理+過濾+消毒
冷卻水塔補充水 (低電導度)	二級處理+高級處理+過濾+離子交換樹脂或 <b>薄膜</b> +消毒
冷卻水塔補充水 (高電導度)	二級處理+高級處理+過濾+ <b>薄膜或電透析 (ED)</b> +消毒
製程冷卻及洗滌水	二級處理+高級處理+過濾或 <b>薄膜</b> +消毒
製程用水	二級處理+高級處理+過濾+活性炭+ <b>薄膜</b> +消毒
其他 (消防用水)	過濾 (雨水)

二級處理+過濾=MBR

# 冷卻水水質影響

表 3.1 冷卻水水質之影響<sup>(3)</sup>

影響之水質項目	腐蝕	結垢	積垢	菌藻困擾
溶氧	×	—	—	◆
氨	×	—	—	×
氯離子	×	—	—	—
硫酸根	×	—	—	—
磷酸根	◆	×	—	—
懸浮固體物	◆	—	×	—
鈣鎂硬度	●	×	—	○
二氧化矽	—	×	—	○
低 pH 值	×	●	—	○
高 pH 值	●	×	—	○
鹼度	●	×	—	○
高溫	×	×	—	○
低溫	○	○	—	○
高流速	×	○	○	○
低流速	—	—	×	◆

×：主要影響

◆：次要影響 ●：主要抑制效果

○：次要抑制效果

—：無明顯之影響

表 3.2 冷卻水塔水質建議值<sup>(3)</sup>

項目	單位	建議值
pH		6.5~7.8
Alkalinity	mg/L(as CaCO <sub>3</sub> )	50~200
Ca-H	mg/L(as CaCO <sub>3</sub> )	50~250
SiO <sub>2</sub>	mg/L	<50
T-Fe	mg/L	<0.5
TDS	mg/L	<500
Bacteria	Organisms/ml	<100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	<200
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	<1
COD	mg/L	<20
SS	mg/L	<3
Turbidity	NTU	<10

# 薄膜水回收技術種類

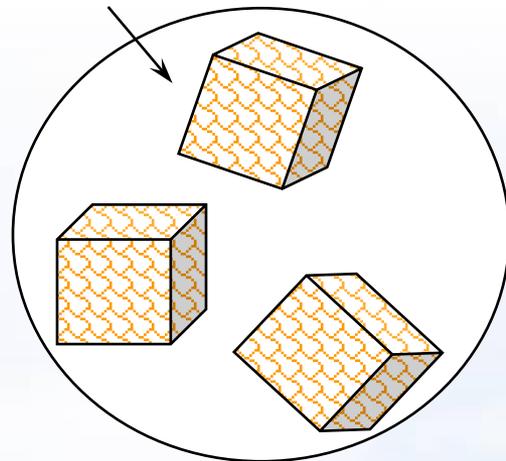
- 微過濾(Microfiltration, MF)
- 超微過濾(Ultrafiltration, UF)
- 奈米過濾(Nanofiltration, NF)
- 逆滲透(Reverse Osmosis, RO)
- 倒極式電透析(ElectroDialysis Reverse, EDR)
- 薄膜蒸餾(Membrane distillation, MD)
- 正向滲透(Forward Osmosis, FO)
- 薄膜生物反應器(Membrane Bioreactor, MBR)

# BioNET水回收再利用前處理技術

# BioNET處理技術

BioNET<sup>®</sup>：生物網膜技術（**B**iological **N**ew **E**nvironmental **T**echnology）

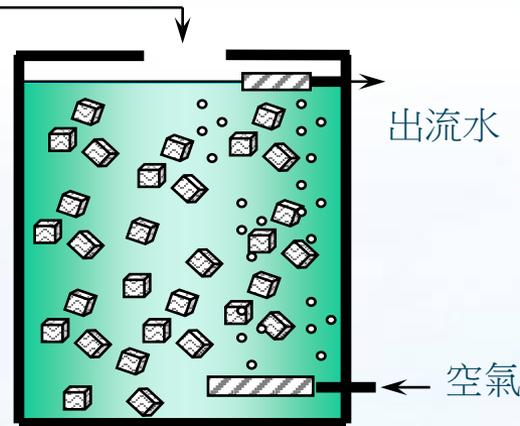
微生物截留在網狀結構中



高分子發泡擔體



進流水



不織布擔體



## 技術重點

- 處理槽設計
- 曝氣方式
- 擔體規格化
- 流力控制
- 微生物控制

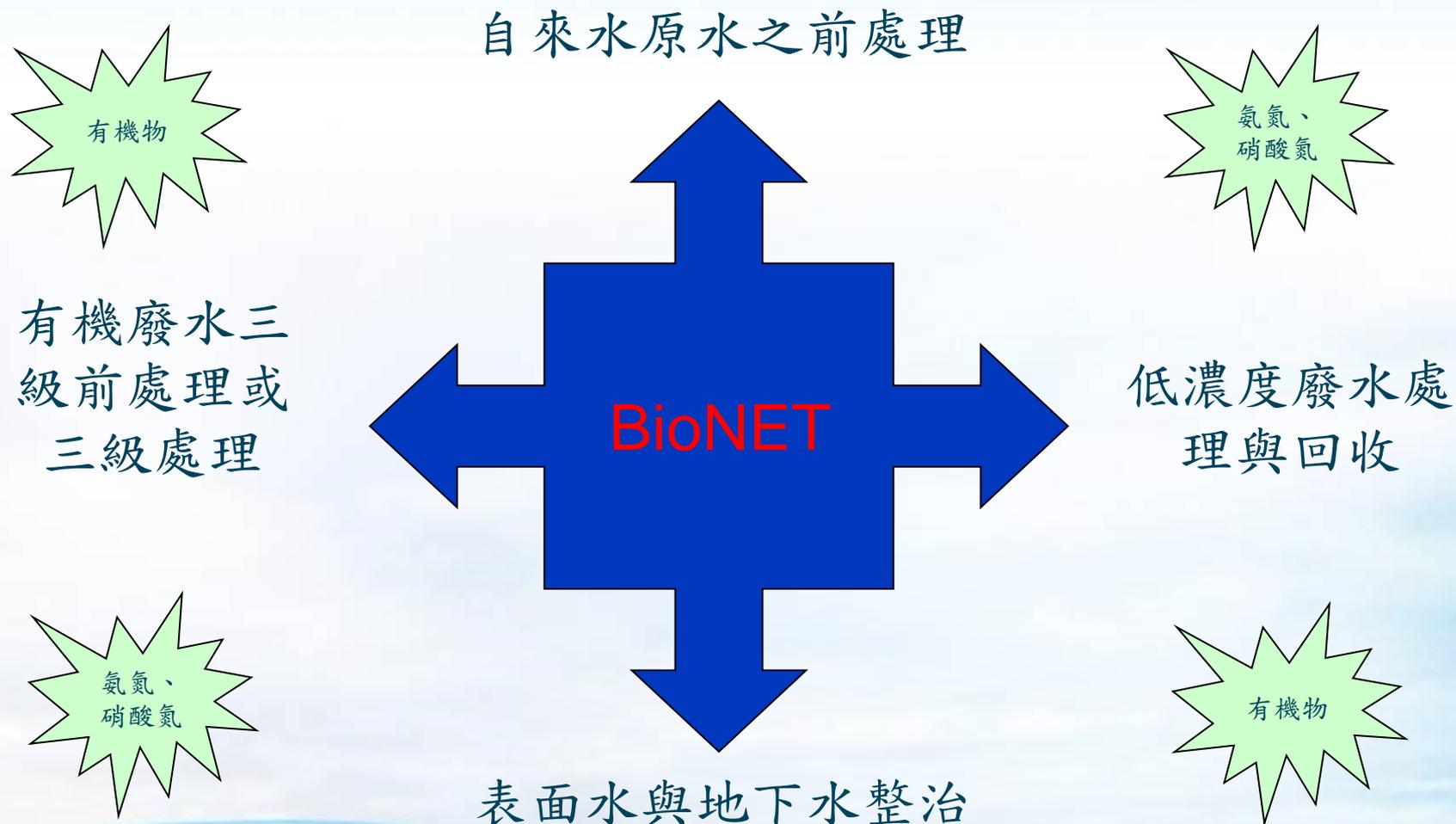
## 技術優點

- 處理槽內污泥濃度高
- 特別適用低濃度廢水，在高水力負荷下操作
- 對環境變異的忍受性強
- 污泥固液分離簡單
- 氧氣利用效率高
- 操作成本低

# BioNET技術特點

- 採用**多孔性擔體**作為反應槽之介質，提高懸浮固體物攔截之機會，同時，由於擔體屬於開放性孔洞，有助於水流流況之穩定。
- 多孔性擔體提供廣大表面積作為微生物附著、增殖之介質，可**累積大量生物膜微生物**，有助於達到去除各種污染物之目的。
- 多孔性擔體上成長大量微生物，反應槽具有**高負荷、高效率、高穩定性**的優點。
- 成長於多孔性擔體之生物膜型態，有助於**特定族群微生物**之馴養。
- 採用固定床/膨脹床方式操作，具有**操作簡易**之特點。
- 對於有機污染物之處理，多孔性擔體之**成本**與浸水濾床材質相近，但其處理**功能**為浸水濾床之二倍。

# 技術應用範圍及對象





化工業二級放流水)  
250 m<sup>3</sup>x2



生活污水  
350 m<sup>3</sup>



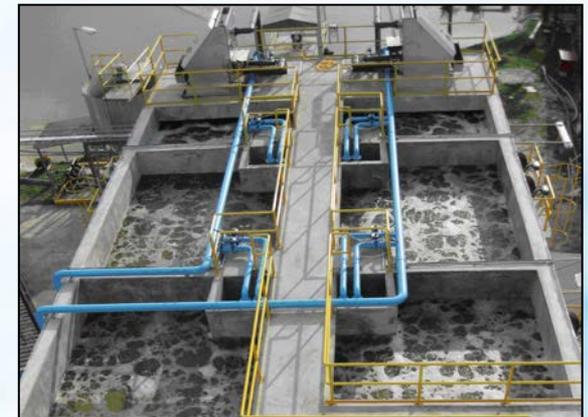
食品廢水  
50 m<sup>3</sup>



生活污水  
450 m<sup>3</sup>x2



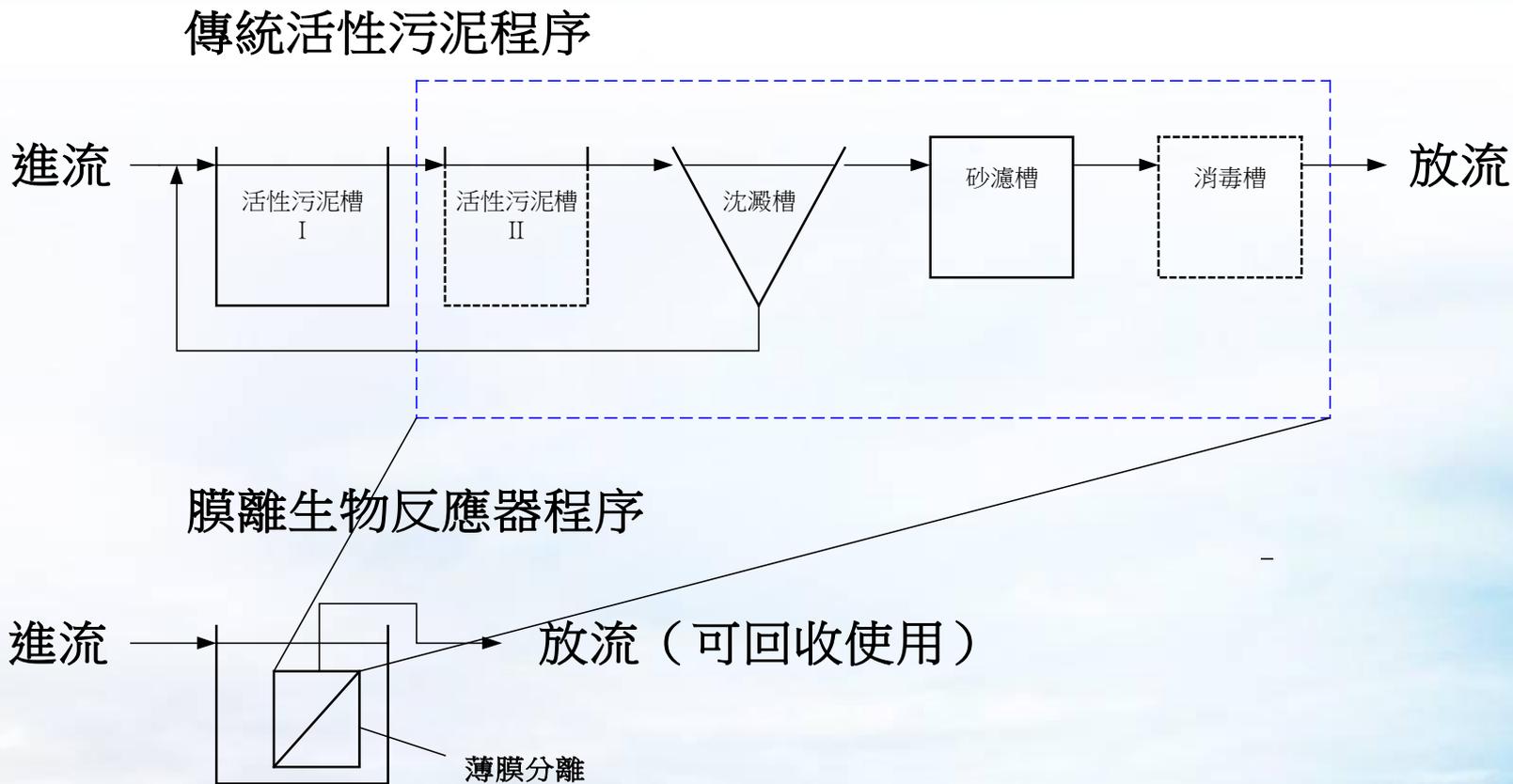
原水處理  
(Indonesia)  
150 m<sup>3</sup>x2



化工業廢水  
(Malaysia)  
100 m<sup>3</sup>x6

# MBR水回收再利用之技術

# MBR與傳統活性污泥程序比較



# MBR應用於水回收再利用

- 有機廢水回收再利用可行性增加
  - 濃度
  - 成分
- 高級水回收處理單元之前處理
  - UF
  - NF
  - RO

# MBR應用於水回收再利用

不同去除標的選擇不同薄膜

**Non-woven membrane: suspended solid**

**MF membrane: colloids**

**UF membrane: solutes**

**NF membrane: soluble**

# MBR應用於水回收再利用

不同污染物MBR處理技術

**C:Anaerobic , aerobic or hybrid MBR**

**N&C:A/O (anoxic/ oxic) MBR**

**P&C:A/O (anaerobic/oxic) MBR**

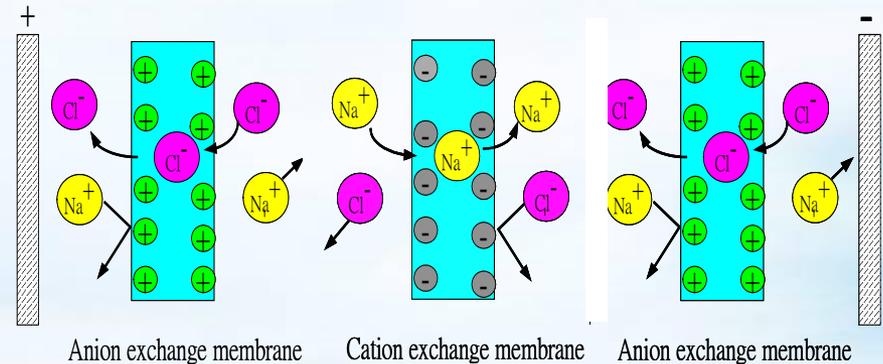
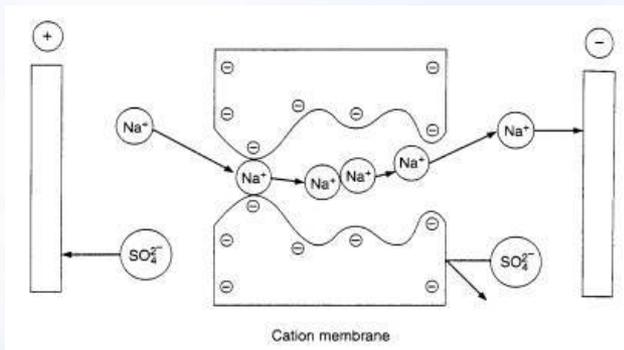
**N & P&C : A<sub>2</sub>/O (anaerobic/anoxic/oxic) MBR**

**S&C:A/O<sub>2</sub> (anaerobic/oxic (slightly)/oxic)  
MBR**

# 倒極式電透析(EDR) 廢水再生

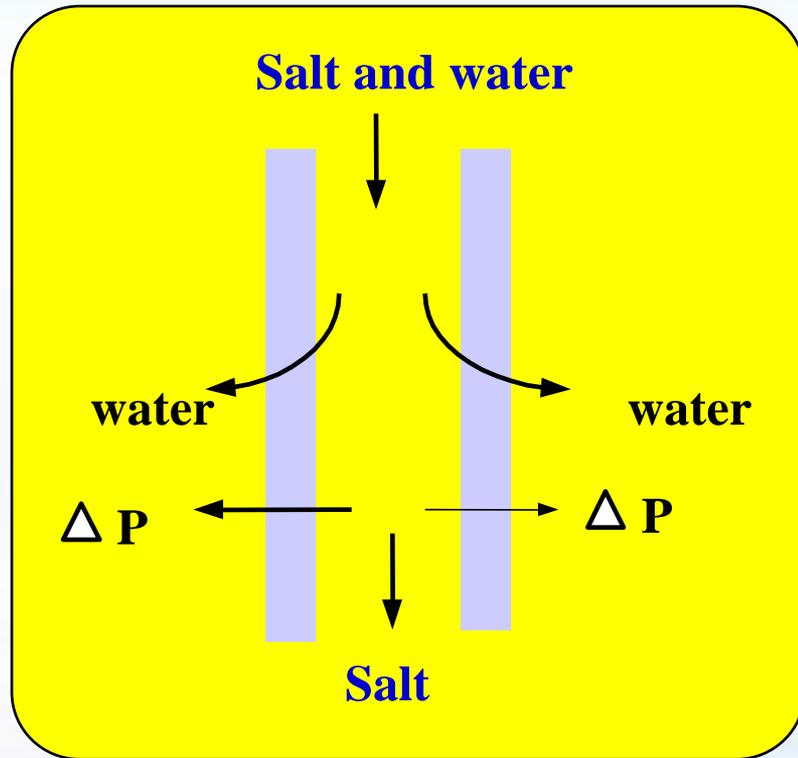
# EDR分離原理

利用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的特性，在外加直流電場的作用下，水中的陰離子移向陽極、陽離子移向陰極，最後得到淡水及濃水，達到淡化除鹽的目的

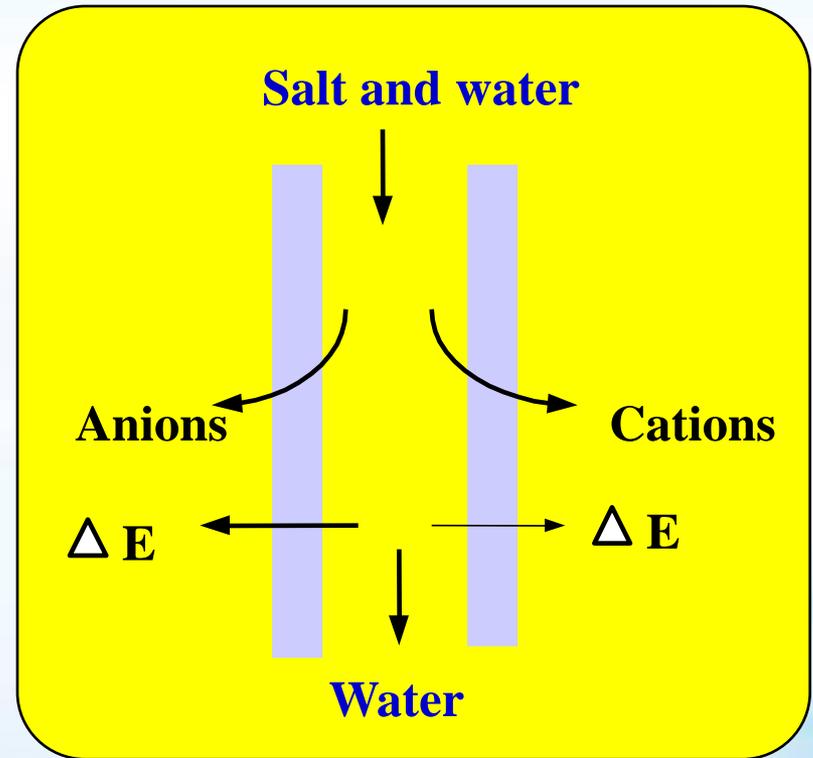


Ionic permselectivity  
of ion-exchange  
membranes

# 分離機制



## Reverse Osmosis

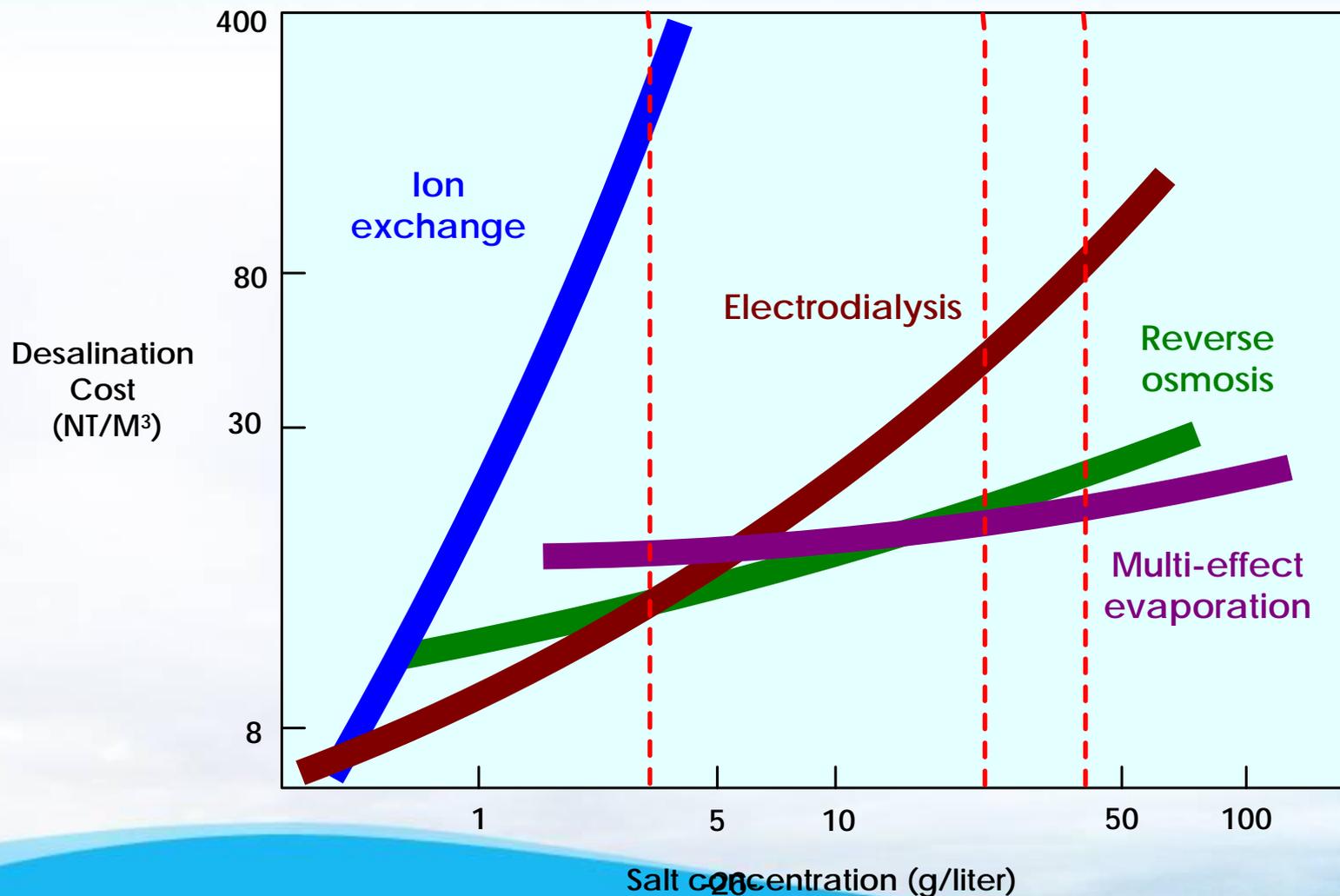


## Electrodialysis

# RO及EDR適用特性比較

適用特性	EDR	RO
進流水電導度, $\mu\text{S}/\text{cm}$	200~ 8,000	> 1,000
前處理方式	砂濾/微過濾/超過濾	超過濾
SDI	< 15	< 2
抗結垢	適當/倒極切換/鹽酸	不良/化學藥劑
抗生物附著滋生	適當/次氯酸鈉	不良/化學藥劑
清洗藥劑	鹽酸	化學藥劑
驅動力	電力	壓力
水流流力	切線流	部分切線流/垂直流
水回收率, %	~ 90	~ 70
脫鹽率, %	> 85	> 90

# 脫鹽成本比較



**Industrial treated effluent**



- Industrial process water
- Cooling water

**ITRI Electrodeialysis Reversal(EDR): 8 patents(Taiwan, China, Singapore), 2 pendings**



EDR desalination of Ground water for rinsing water ( 50 m<sup>3</sup>/day)

EDR desalination of RO reject for rinsing water (electronics) (300 m<sup>3</sup>/day)

Recovery of wastewater from screw manufacturing factory for rinsing water by EDR process (450 m<sup>3</sup>/day)

Recovery of wastewater from PCB manufacturing factory for cooling tower by EDR process (1200 m<sup>3</sup>/day)

Recovery of fluoride-containing wastewater from wafer factory for scrubber by EDR process (1200 m<sup>3</sup>/day)

EDR desalination of high conductivity river water for process water ( 2400 m<sup>3</sup>/day)

Desalination and reuse of RO concentrate stream (Food industry) (300 m<sup>3</sup>/day)



Recovery of cooling water from electronics manufacturing factory by EDR process (Tiger company) (550 m<sup>3</sup>/day)



Desalination and reuse of wastewater from precious screw manufacturing factory by EDR process (Nitto company, 350 m<sup>3</sup>/day)



Desalination and reuse of direct cooling water from steel rolling by EDR process (China steel company, 550 m<sup>3</sup>/day)



Recovery of wastewater from chemical company for cooling water by EDR process (800 m<sup>3</sup>/day)



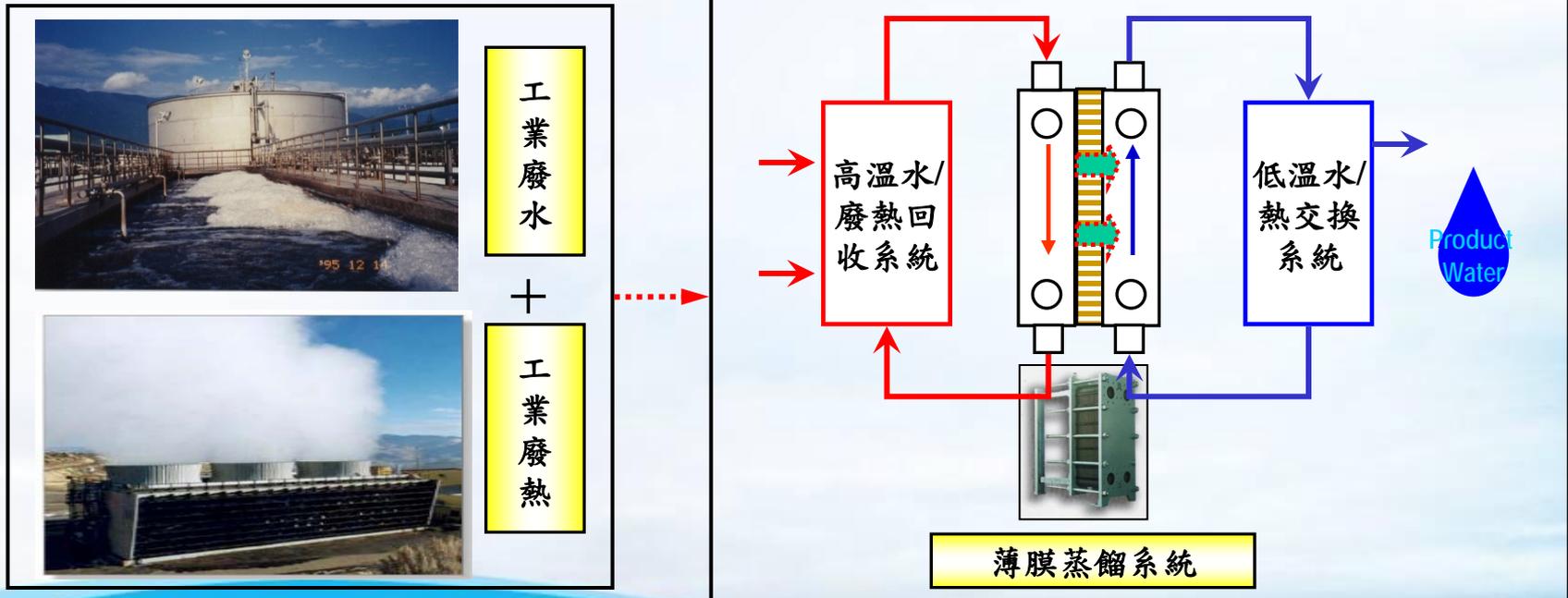
Recovery of wastewater from zinc-plating process for rinse water by EDR process ( China steel company, 700 m<sup>3</sup>/day)



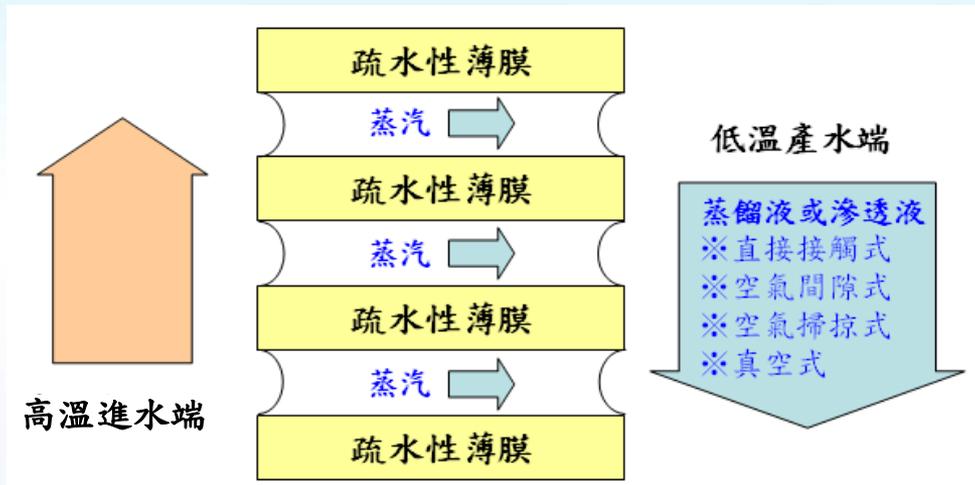
Recovery of wastewater from nylon fiber manufacturing company for cooling water by EDR process ( 800 m<sup>3</sup>/day)

# 薄膜蒸餾 (MD) 技術用於水回收再利用

- 利用廢熱將廢水加溫過多孔性薄膜製造出純水技術。
- 2R(reuse of wastewater and recovery of wasted heat )節能型水再生技術。



# 薄膜蒸餾技術原理



薄膜蒸餾 (membrane distillation) 示意圖

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

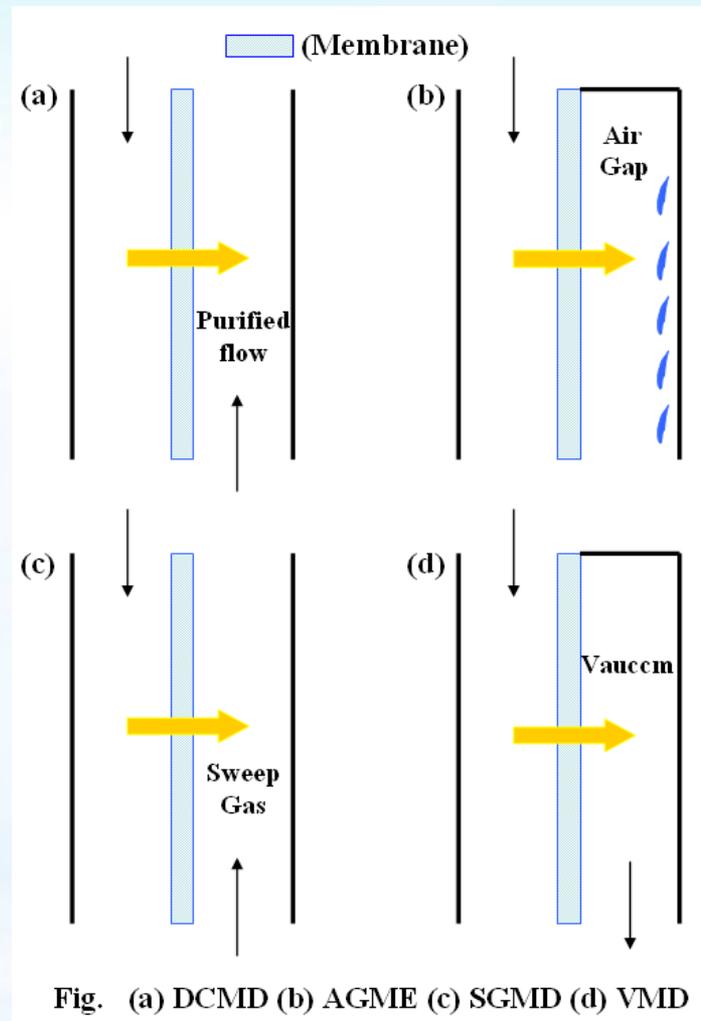
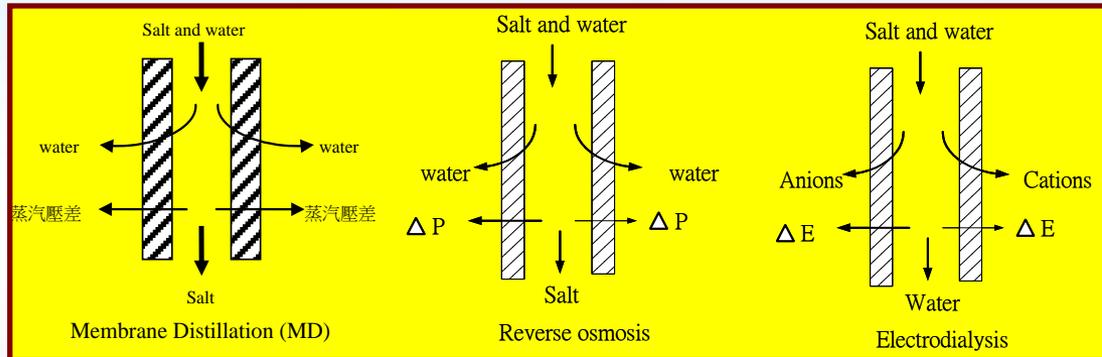


Fig. (a) DCMD (b) AGME (c) SGMD (d) VMD

薄膜蒸餾四種形式示意圖

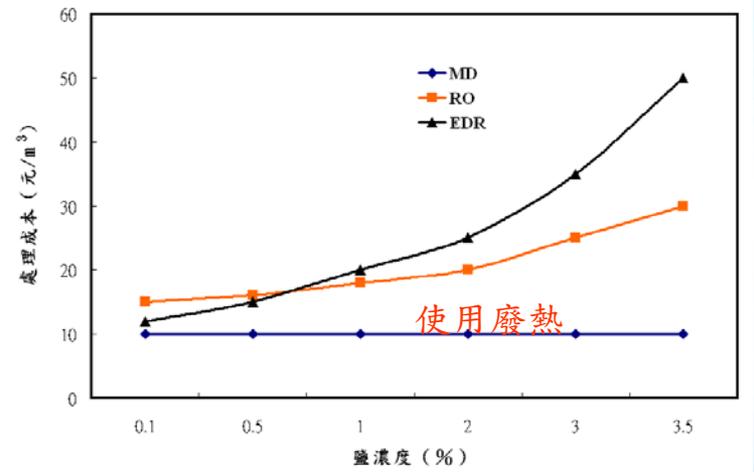
# 與商業化水處理技術比較

## 處理機制與性能

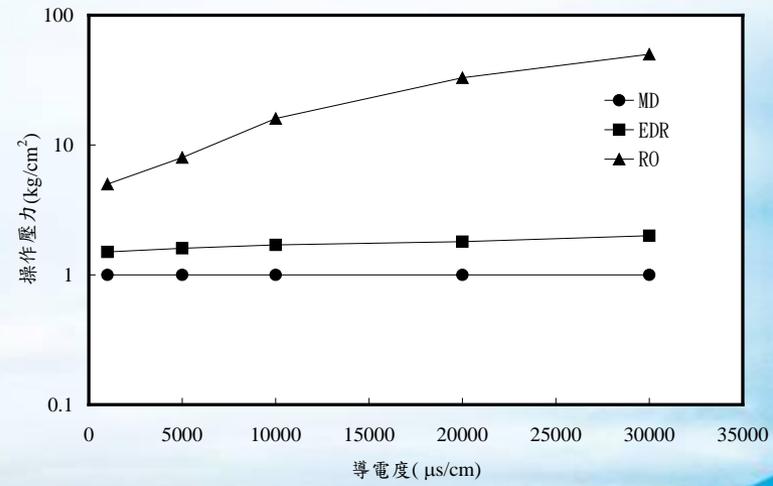


技術別	薄膜蒸餾 (MD)	逆滲透 (RO)	電透析 (EDR)
驅動力	蒸汽壓差	幫浦動力加壓	電吸引驅動
型態	多孔性膜	非多孔性	非多孔性 陰陽離子膜
特點	常壓操作， 可使用廢熱， 發展中技術	耗電量高 (1.5~2 Kwh/m <sup>3</sup> )技術 成熟	耗電量高 (1.1~2.5 Kwh/m <sup>3</sup> )技術 成熟
應用對象	適用於各種 濃度	適用於各種濃 度	低濃度 < 5000 mg/L TDS

## 操作成本



## 操作壓力



# 案例說明

- 案例一：染整業水回收前處理案例研究
- 案例二：化學纖維廠廢水回收再利用處理技術實廠案例（資料來源：松喬公司）
- **MD**技術應用介紹

## 案例一背景說明

- 案例廠為梭織染色之專業染整加工廠，其中PET布染色約佔70%及Nylon布染色約佔30%，主要為衣著用布及匹頭用布
- 染整加工過程所產生廢水經過收集後，即進入廢水處理系統，廢水水量約為11,000至12,000 CMD，廢水經過生物處理（生物固定膜）及化學混凝處理後，即可符合現行排放標準，除少部份回收再利用外，其餘直接進行排放

## 案例一水質特性（放流水）

項目	最小值	最大值	平均值
pH	6.1	8.1	6.9
TCOD (mg/L)	33	260	69
SCOD (mg/L)	23	259	66
SS (mg/L)	ND	60	19
色度 (ADMI)	10	100	60
電導度 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	745	1943	1117

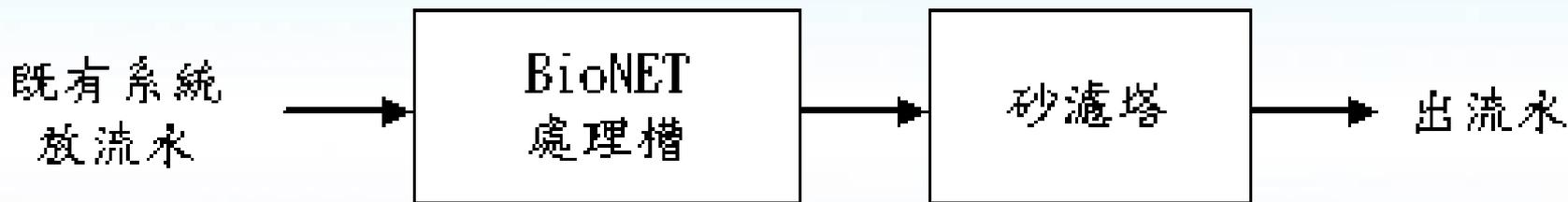
# 案例一：BioNET模型廠設備外觀



# 案例一：BioNET各試程之結果（平均值）

試程		試程一(HRT=12hrs)		試程二(HRT=6hrs)		試程三(HRT=4hrs)		試程四(HRT=2hrs)	
項目	單位	進流水	出流水	進流水	出流水	進流水	出流水	進流水	出流水
pH		6.9	8.0	6.9	8.1	6.8	7.9	7.1	7.8
CODt	mg/L	79	49	63	38	56	40	51	43
CODs	mg/L	78	49	59	37	49	36	47	37
SS	mg/L	31	14	16	5	14	6	9	7
CODt 去除率	%		37.9		39.7		28.6		15.7
CODs 去除率	%		37.2		37.3		26.5		21.3
SS 去除率	%		54.8		68.8		57.1		22.2
電導度	$\mu\text{s/cm}$	1217	1175	914	964	1218	1078	1144	1160

# 案例一：BioNET水回收處理流程示意圖



- 水力停留時間為4小時的操作條件下，對COD及SS的去除效果良好
- 案例廠未來需求量為8,000 m<sup>3</sup>/day的二級出流水作為設計基準，搭配砂濾塔處理方式，使處理水SS濃度確保在5 mg/L以下

# 案例廠一：BioNET處理廠操作費用預估

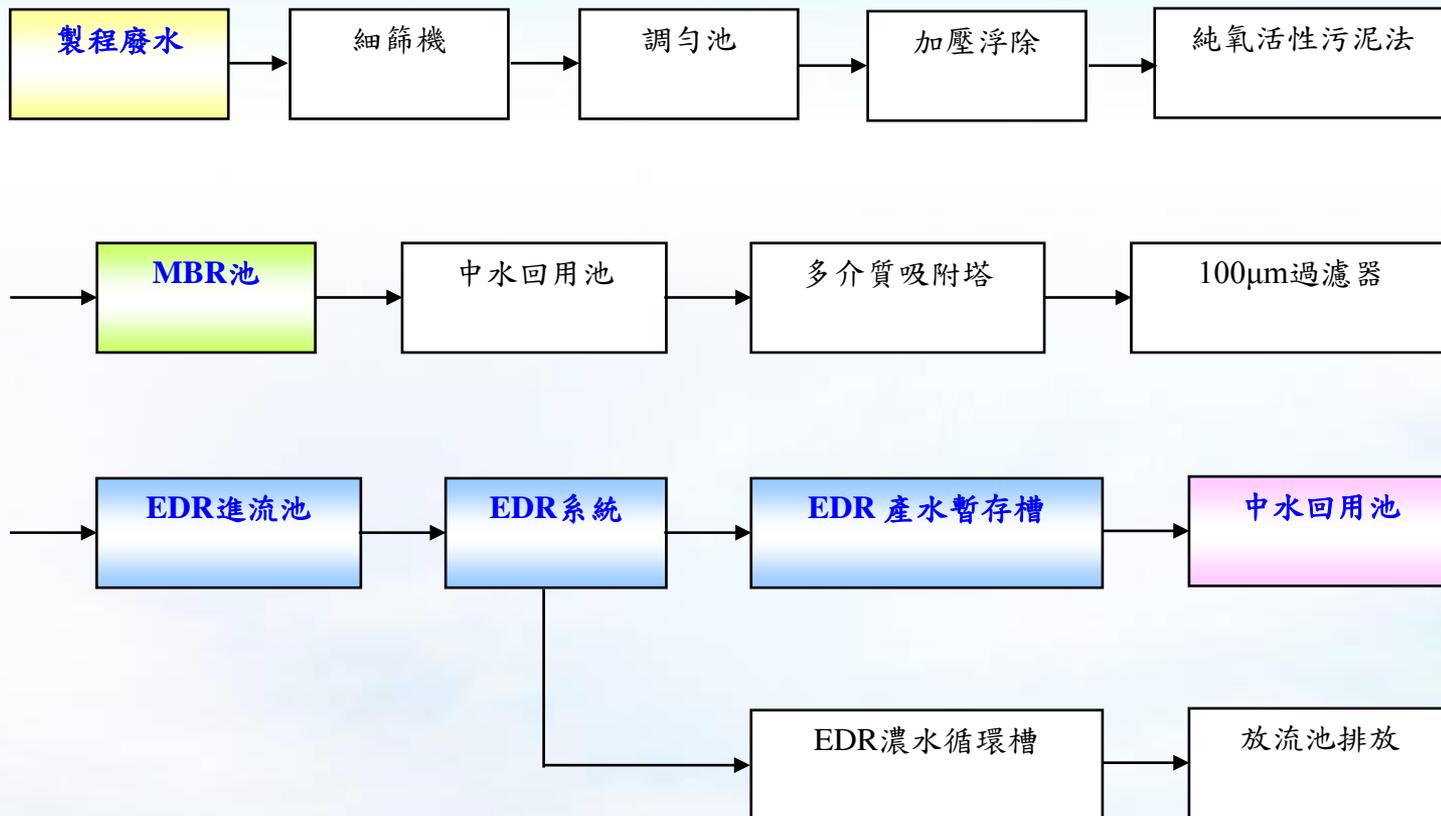
類別	計價基準	費用(元/天)
設備折舊費	2700萬元，5%（年利率），5年（攤提）	18,400
電費	曝氣用：632 kg COD/day*1.2 KWH/kg CODremoved*1.8 NT\$/KWH	1,300
	Pumping用：8000CMD*0.24/m <sup>3</sup>	1,900
污泥處理費	294 SS kg / day*20NT\$/kg 乾污泥	5,800
人工費	30000元/人月*3人月/30天	3,000
合計		30,400

•單位成本：3.8 元/m<sup>3</sup> (1.5元/m<sup>3</sup>(不含設備折舊費))

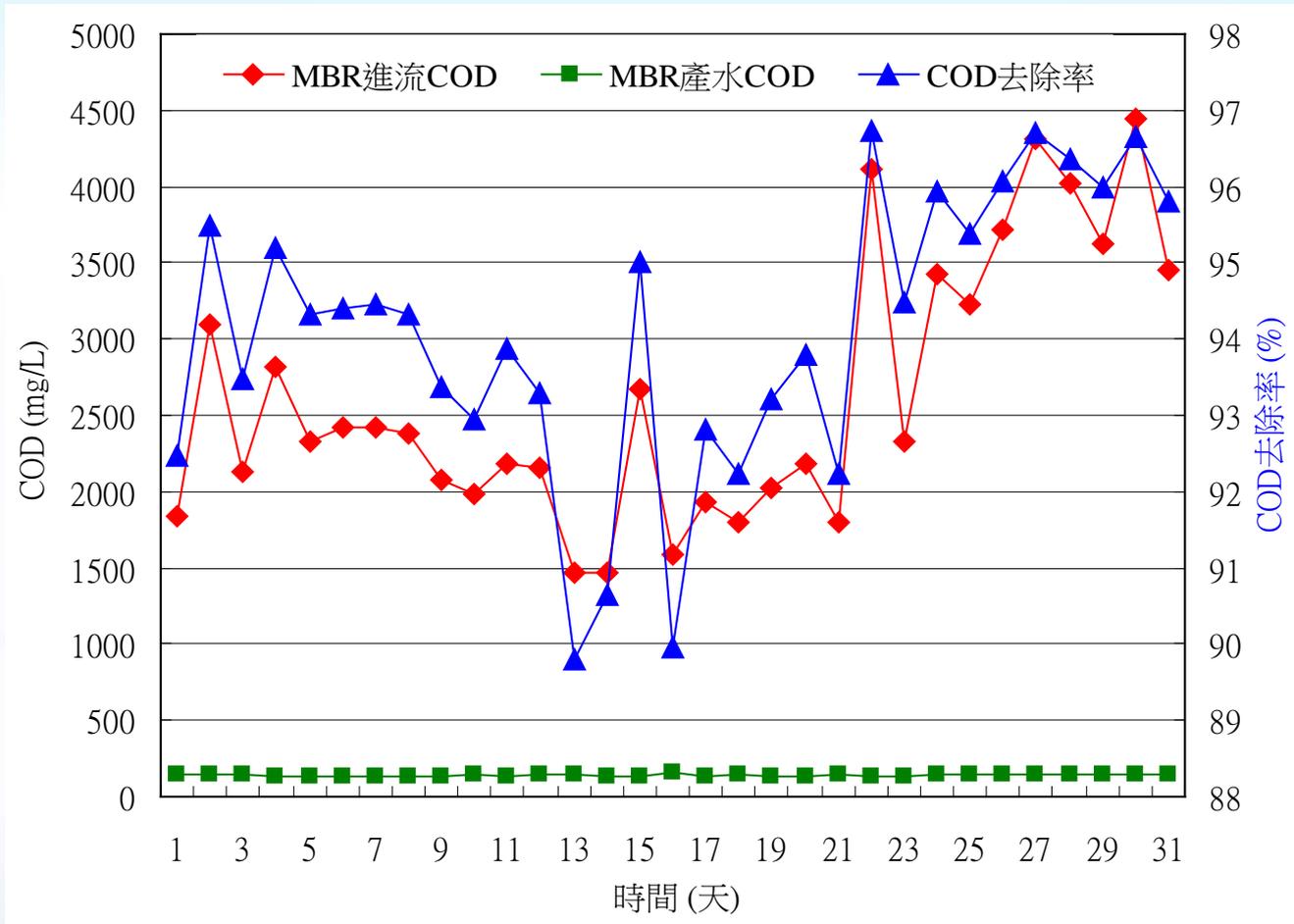
## 案例二：背景說明

- 本案例是將化學纖維廠所排放的廢水，先經既有廢水廠流程中的調勻、浮除及純氧活性污泥法等程序處理後，再採用膜生物反應器與倒極式電透析系統，使產水電導度 $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。
- 原水水質特性
  - 水量：1,200 CMD
  - COD：2,200 mg/L
  - BOD：1,320 mg/L，
  - SS：1,200 mg/L
  - $\text{NH}_3\text{-N}$ ： $<200 \text{ mg/L}$
- 回收水水質特性（冷卻水塔補充用水水源）
  - 水量：600 CMD
  - COD：70 mg/L
  - BOD：5 mg/L
  - SS： $<5 \text{ mg/L}$
  - $\text{NH}_3\text{-N}$ ： $<10 \text{ mg/L}$
  - 電導度 $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$
  - $\text{pH}<7$

# 案例廠二：廢水處理流程規劃示意圖

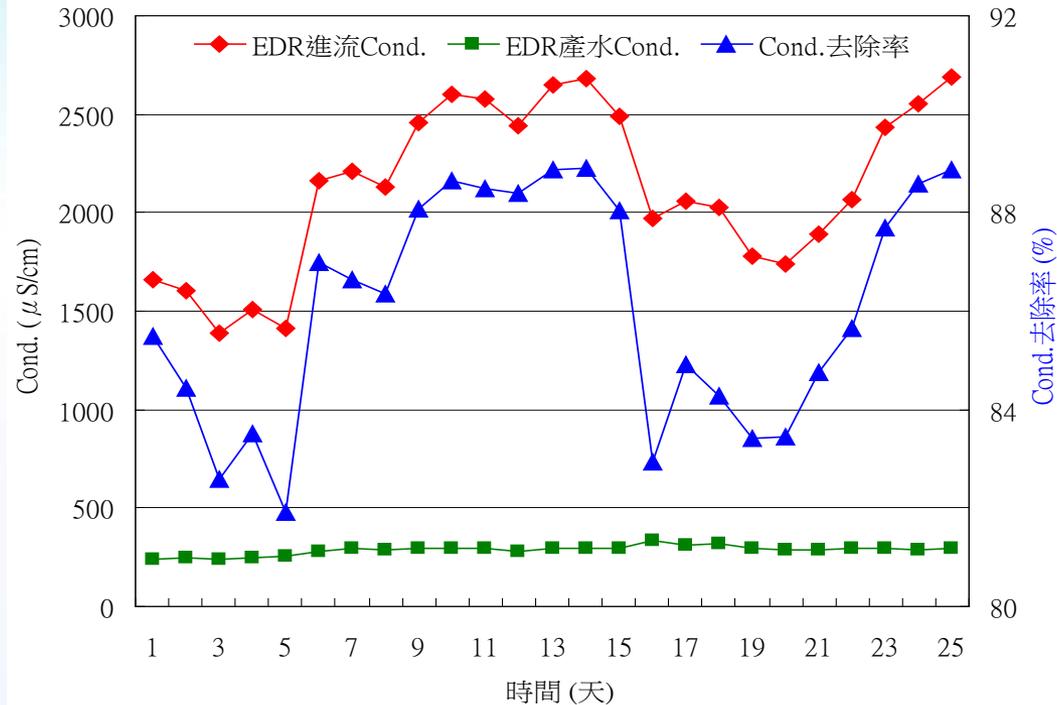


# 案例廠二：MBR進水與產水COD濃度變化



COD介於1470~ 4450 mg/L之間，經過膜生物反應器系統處理後，其COD則介於128.9~159.1 mg/L之間，COD的去除率介於90~97 %之間

# 案例廠二：EDR系統進水與產水電導度變化



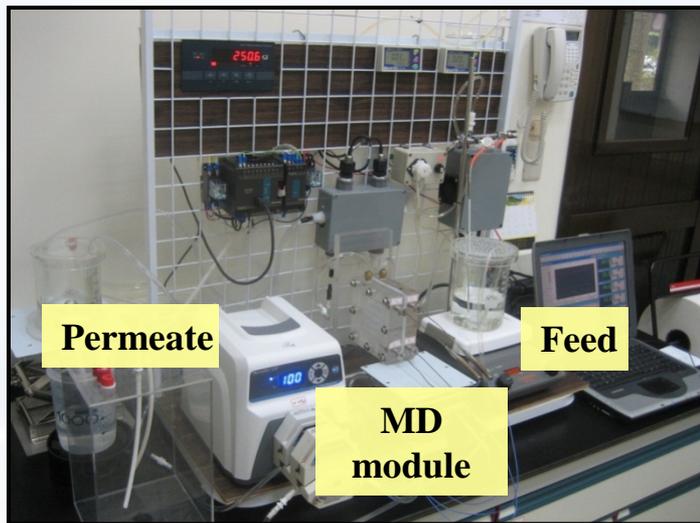
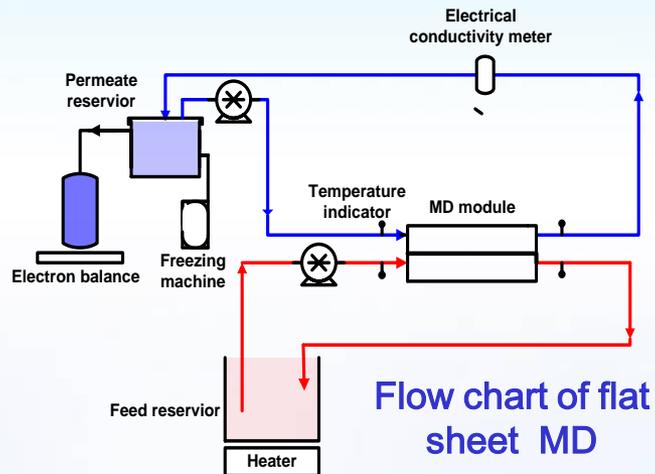
- 進水電導度介於1,390~2,690  $\mu\text{S/cm}$ 之間
- 產水電導度則介於216~336  $\mu\text{S/cm}$ 之間
- 脫鹽率介於82~89 %之間

# 案例廠二：實廠產水量與產水成本估算

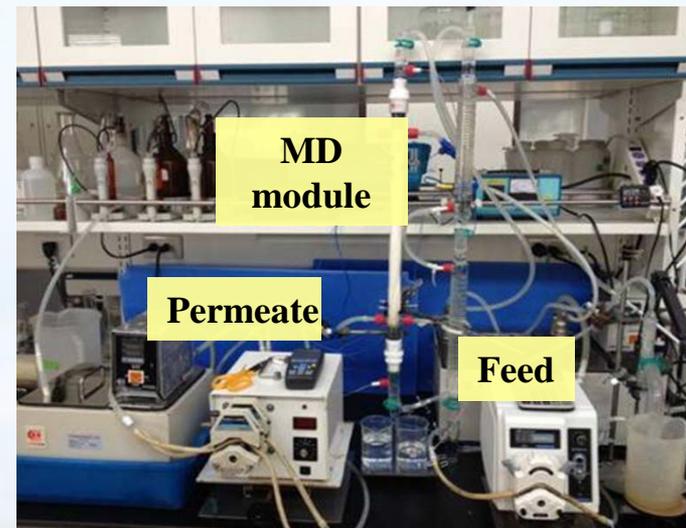
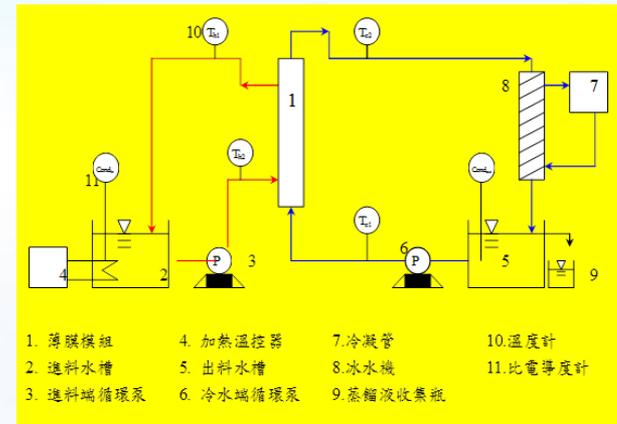
處理系統	產水量(m <sup>3</sup> /hr)	產水成本(元/m <sup>3</sup> )	回收水量(CMD)
膜生物反應器	55	11.5 (含污泥清運) 9.8 (不含污泥清運)	-
倒極式電透析	25	7.8	600

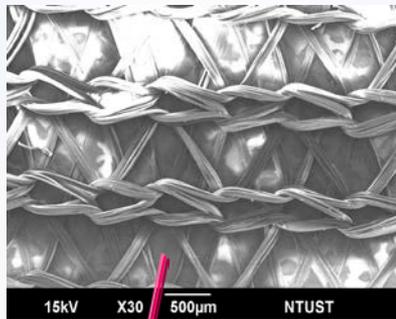
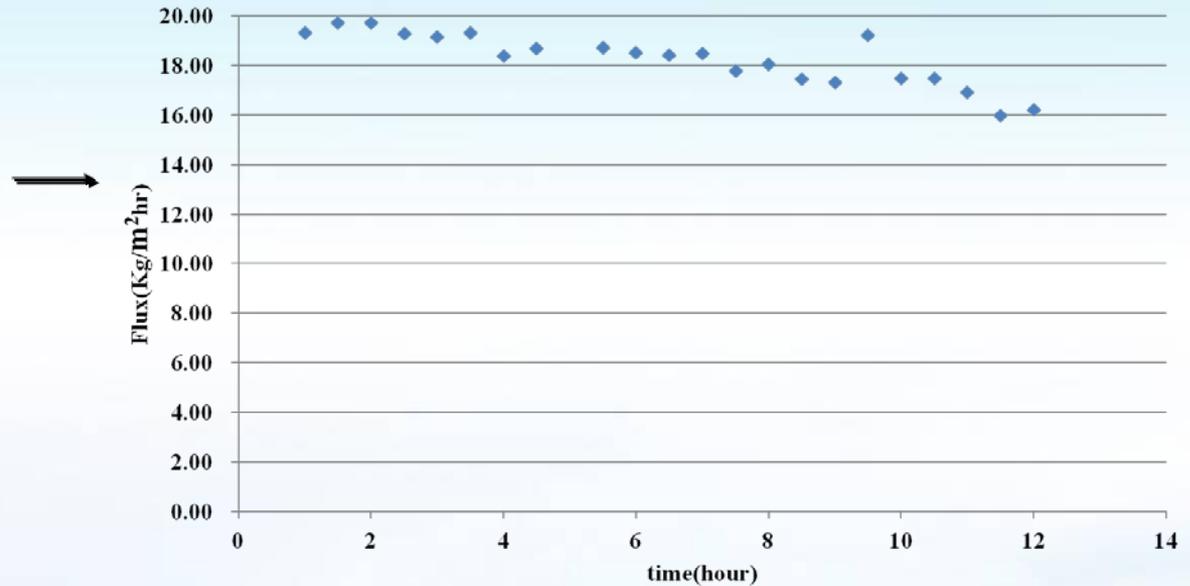
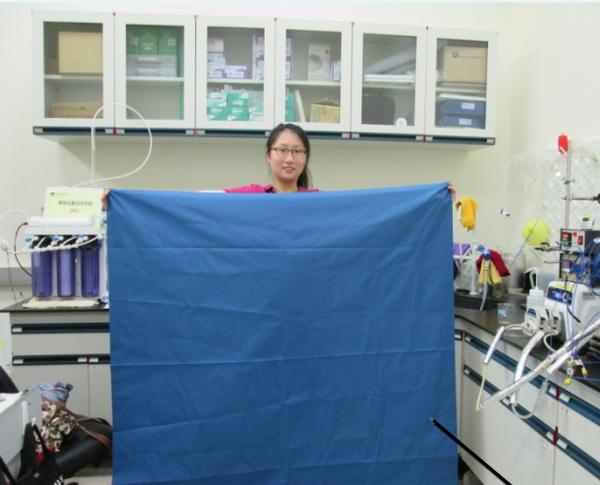
# MD技術應用介紹

## A. 平版

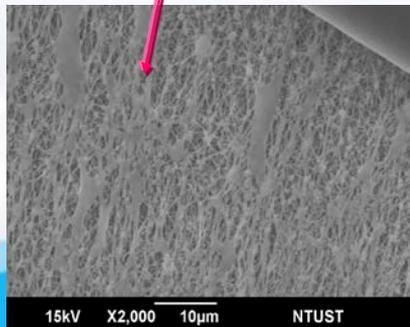


## B. 中空纖維





Mem. characteristics  
 Width :150 cm  
 Thickness:258 µm  
 porosity:65%  
 Avg. pore size:0.17 µm



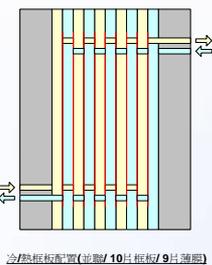
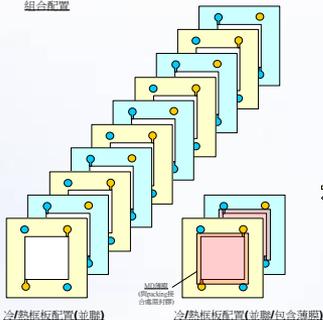
## Operation conditions

- cross flow velocity:0.045 m/sec
- area:0.0049 m<sup>2</sup>
- hot temp.:80°C
- Cold temp. :30°C
- Influent Cond.:3000 µs/cm
- Permeate cond.:1.40 µs/cm

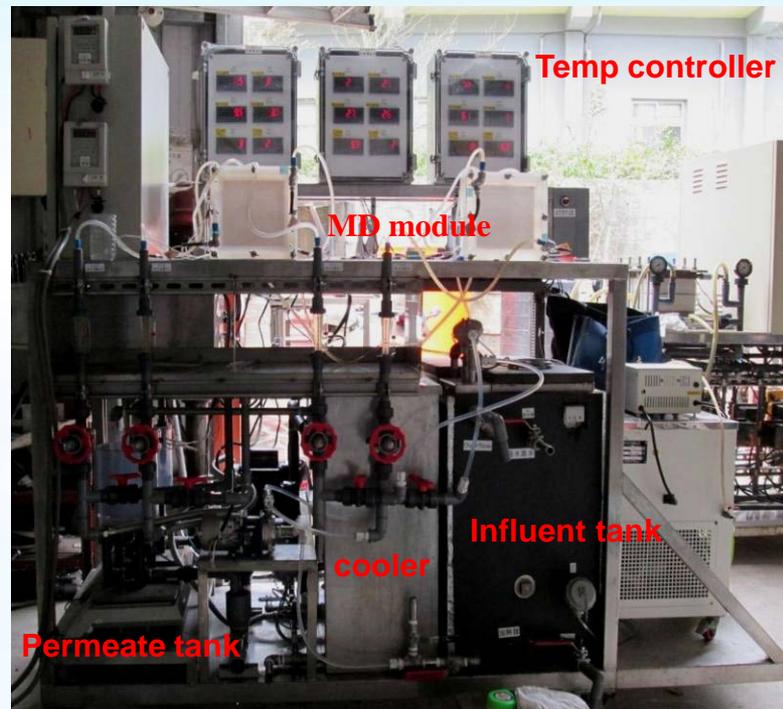
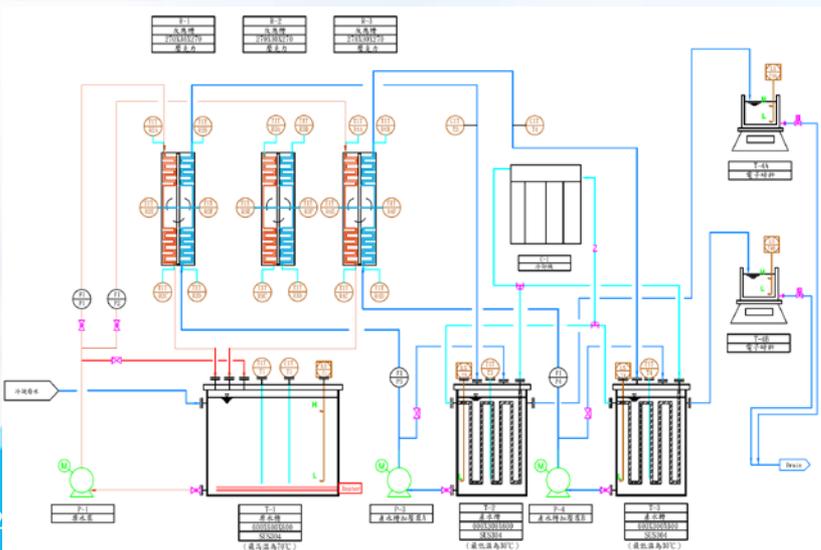
material	specification	flux	conditons
PP	pore: 0.1~0.3 $\mu\text{m}$ thickness: 0.045 mm Outer dia: 0.41 mm No. of fiber: 990 area : 0.638 $\text{m}^2$ Packing density: 1200 $\text{m}^2/\text{m}^3$ 	Flux=1.12 LMH	Crossflow velocity : 0.052 m/sec Temp. hot/cold : 70°C / 30°C Conductivity (inf.): 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (NaCl)
PTFE	pore: 0.2~0.25 $\mu\text{m}$ thickness: 0.6 mm Outer dia.: 2.2 mm porosity: ~30% No. of fiber: 25 area : 0.152 $\text{m}^2$ Packing density: 200 $\text{m}^2/\text{m}^3$ 	Flux(70°C)=2.34 LMH Flux(90°C)=4.95 LMH	Temp. hot/cold : 70 °C / 30°C Operating pressue : -300 ~-680 mmHg Conductivity (inf.): 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

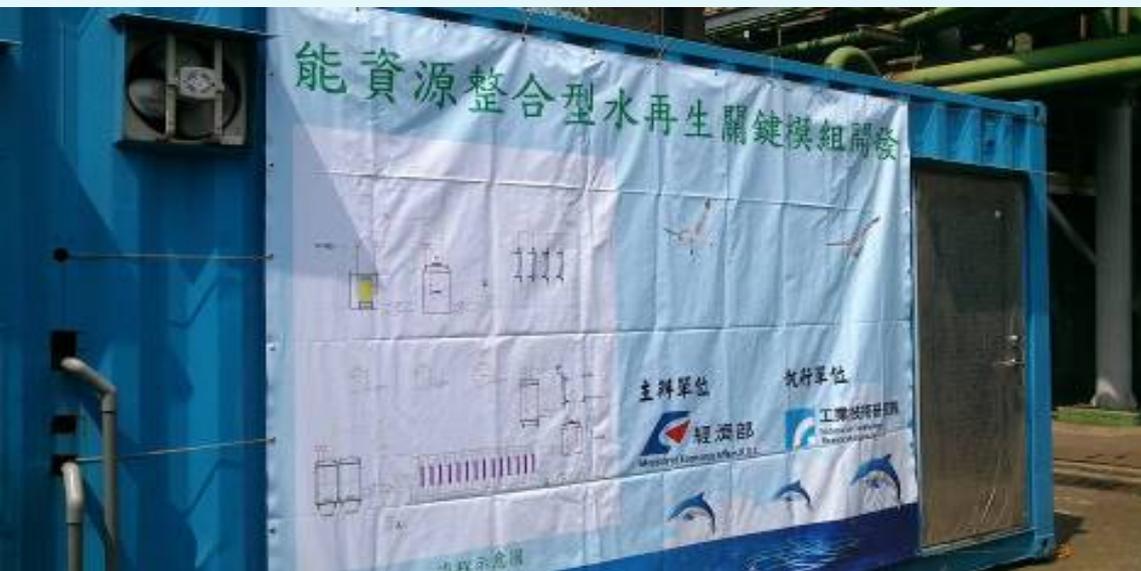
- System size : 1500 mm × 800 mm × 1800 mm
- Mem. size : 200 mm × 200 mm
- Influen flow rate : 8 L/min
- Operating temp : < 90 °C
- Permeate rate : ≥ 0.1 CMD

2013/05/20  
組合配置



冷熱板配置(並聯/10片板/9片預膜)



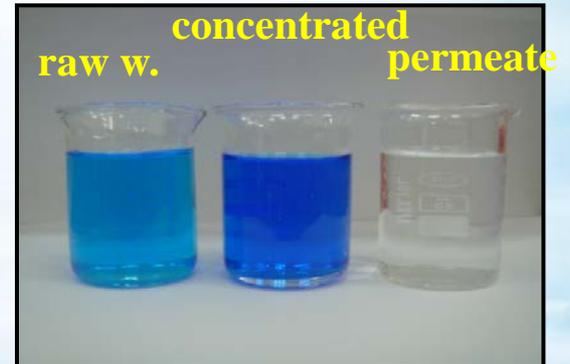
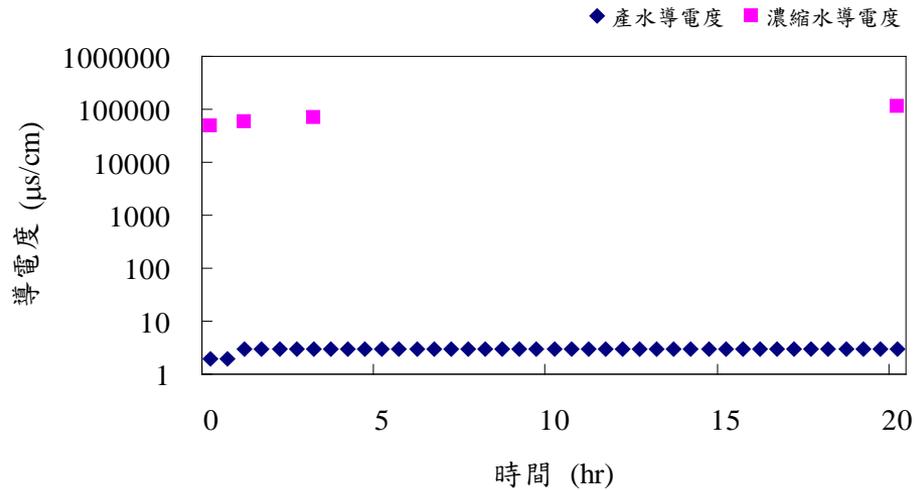
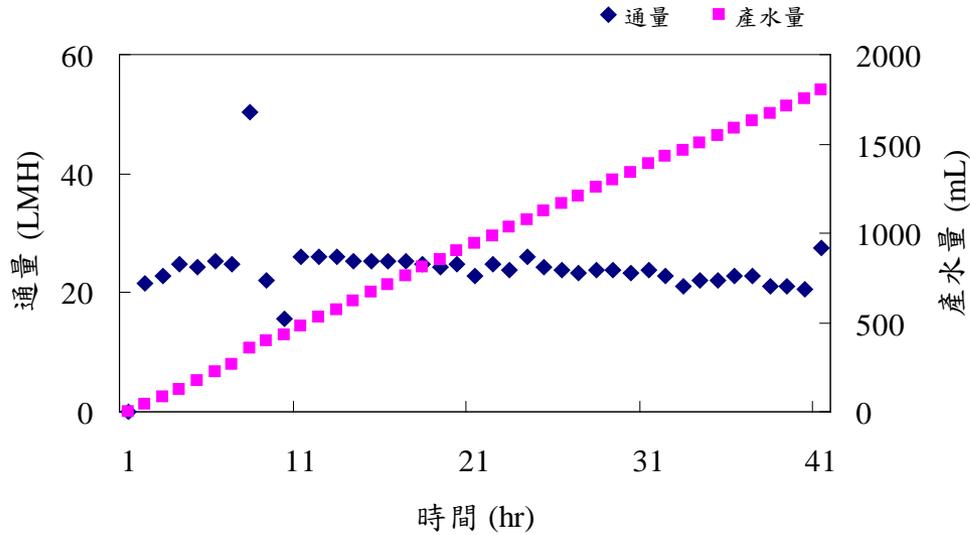


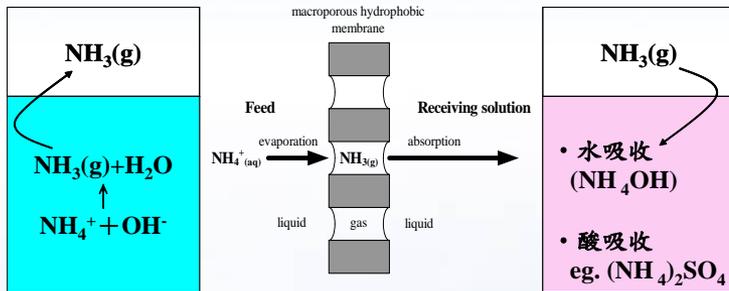
## Specifications :

- area : 5 m<sup>2</sup>/module\*14 modules
- Outside Dia. : 90 mm
- length : 100 cm
- type : hollow fiber
- material : PTFE

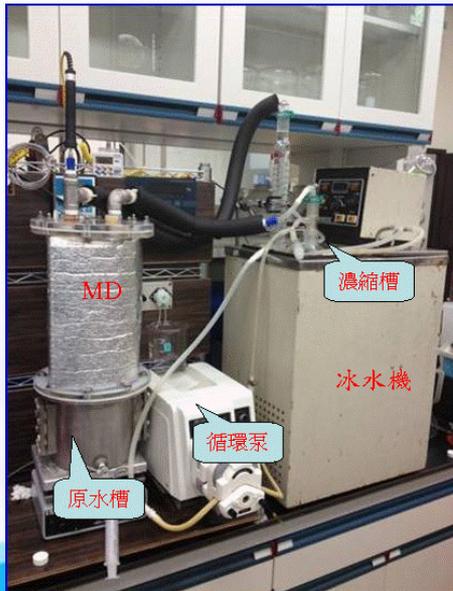
Picture of MD pilot plant

composites	pH	conductivity (ms/cm)
$\text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (Copper pyrophosphate)	8.43	47.18

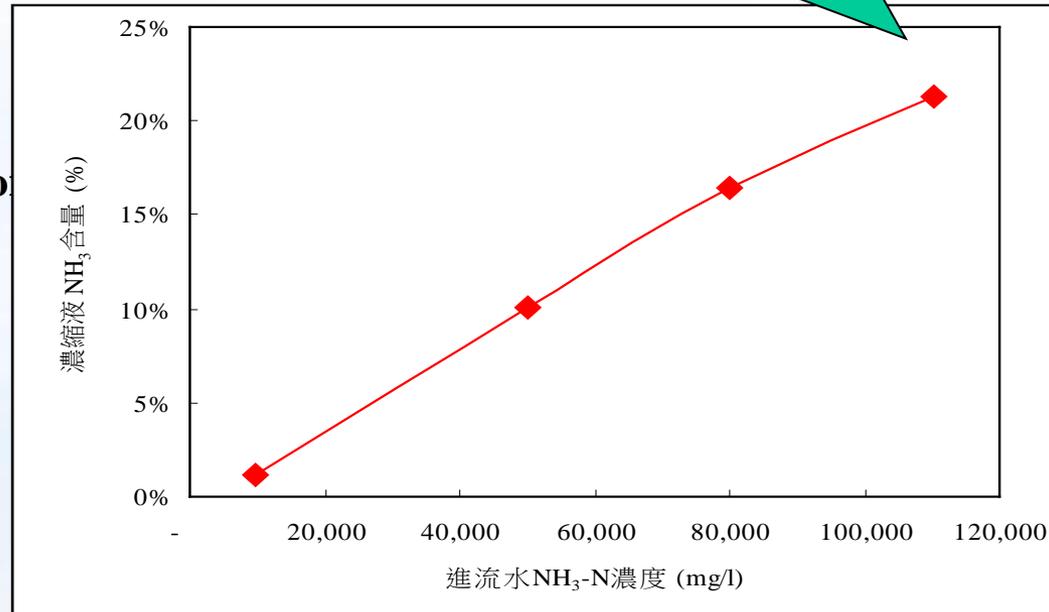




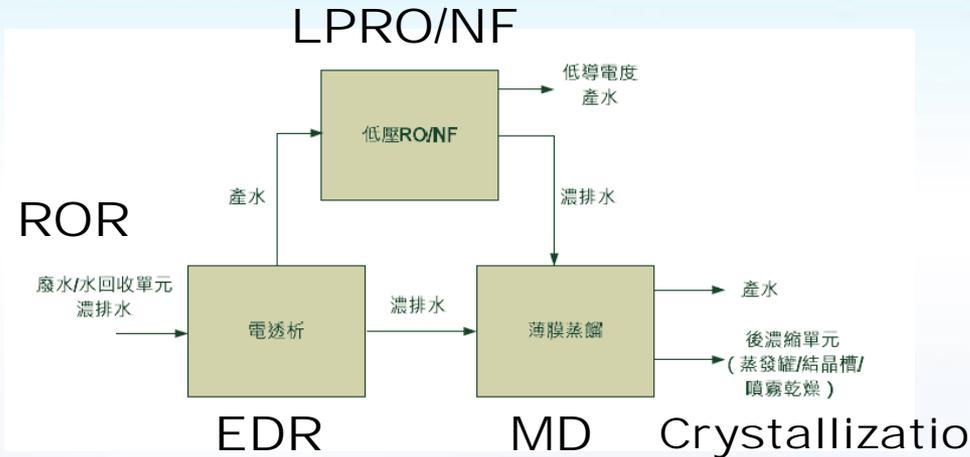
Schematic of MD for ammonia separation



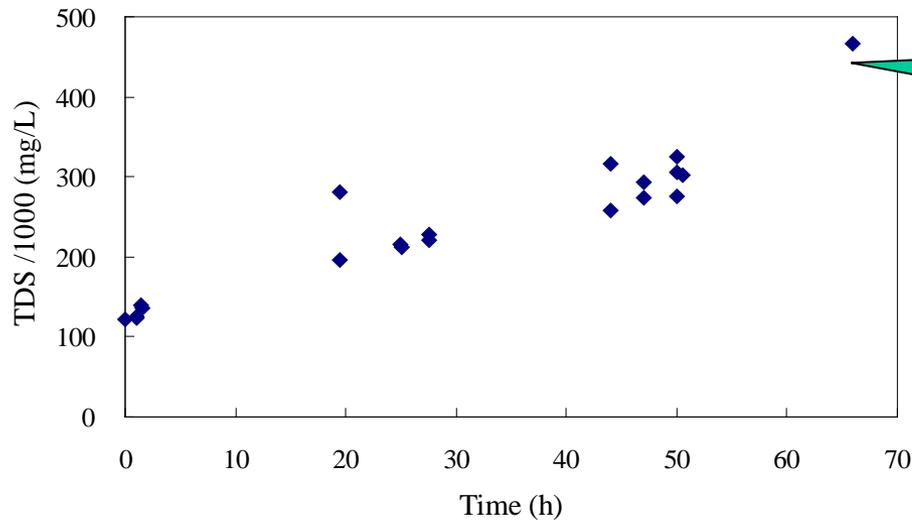
Concentrated ammonia hydroxide can be reached 20% or more



Influent ammonia conc. vs concentrated ammonia conc.



Schematic of MD for near zero discharge



Concentrated over 4 times in terms of TDS

TDS from 121,270 mg/L is concentrated to 466,900 mg/L after 66 hrs operating

謝謝聆聽