



工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

# 水處理回收技術-以紡織染整廢水處理為例

Industrial wastewater treatment and recycle case studies

莊雅茹 博士

材料與化工研究所 水科技研究組

okj@itri.org.tw

用水管理人員教育訓練  
2020.06.17



# 台灣

## 全球先進國家中年雨量第一



## 全球排名第19名的缺水國家

平均年降雨：

全球陸地：900毫米

臺灣：2,500毫米 (全球平均的2.8倍)

平均人年水分配使用率：

全球：22,628 立方公尺/人年

台灣：4,595 立方公尺/人年(全球平均的1/7)

## 水危機 Water Crises

連續7年被World Economic Forum (WEF)列入全球前五大危機

“Water Crises: A significant decline in the available quality and quantity of fresh water, resulting in harmful effects on human health and/or economic activity.”

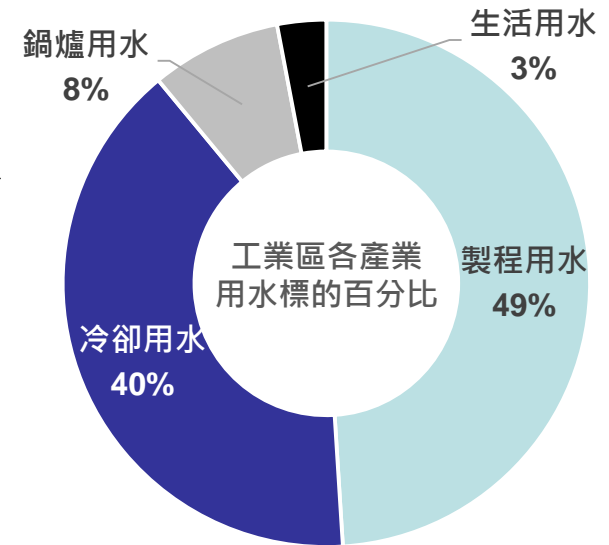
– WEF Global Risks Report 2018

乾旱及氣候變遷已為地球帶來警訊，因應經濟發展，用水需求會持續增加。水資源短缺將成為全球下一個危機，因此如何有效利用水資源將成為當前最重要之課題。

工業廢水：工業生產過程中產生的廢水、污水和廢液，其中含有隨水流失的工業生產用料、中間產物和產品以及生產過程中產生的污染物。主要來自科技業、石油化學工業、煤炭化學工業、酸鹼工業、化肥工業、塑料工業、製藥工業、染料工業、橡膠工業等排出的生產廢水。

## 工業用水集中於六大高耗水產業

行業別	佔工業總用水量比例		
	合計	> 1,000 CMD	> 2,500 CMD
化材業	<b>30.8%</b>	<b>29.5%</b>	<b>27.9%</b>
電子業	<b>22.5%</b>	<b>16.5%</b>	<b>11.3%</b>
造紙業	<b>12.2%</b>	<b>11.9%</b>	<b>11.4%</b>
基本金屬業	<b>8.4%</b>	<b>7.6%</b>	<b>7.0%</b>
紡織業	<b>6.2%</b>	<b>4.5%</b>	<b>3.2%</b>
石油業	<b>4.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.8%</b>
小計	<b>85%</b>	<b>74.8%</b>	<b>65.6%</b>

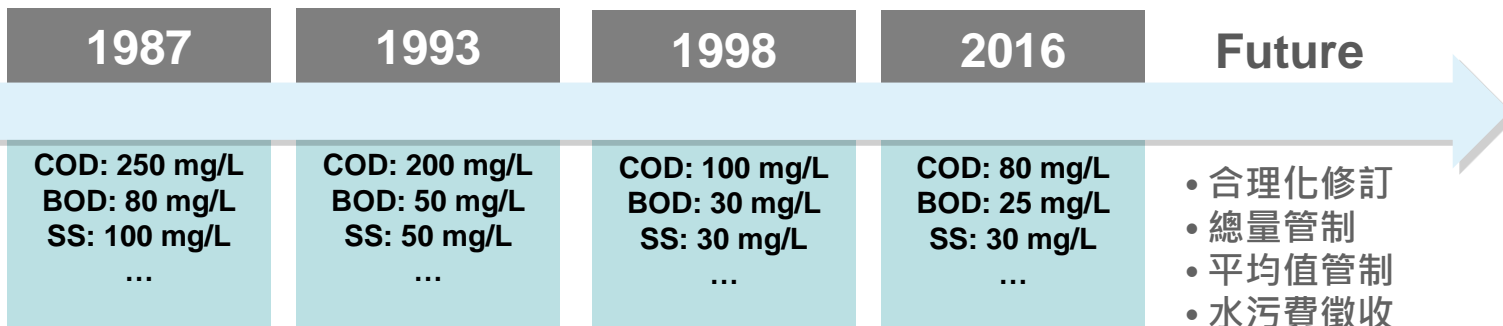


- 冷卻、成品與桶槽清洗，蒸氣加熱
- 各階段製程加工成品清洗、空調、淨水系統
- 冷卻、各階段製程加工成品清洗
- 各階段製程排水
- 冷卻、合成反應、成品清洗，蒸氣加熱

數據來源: 財團法人環境與發展基金會

# 事業放流水標準之演進及相關廢水處理技術

## 事業放流水標準之演進



廢水



去除水中懸浮固體物、膠體物、油脂等。

處理技術  
物理篩除  
中和(pH調整)  
沉澱  
混凝  
浮除  
調勻  
過濾(砂濾)



去除水中溶解性有機物，(降解COD or BOD)

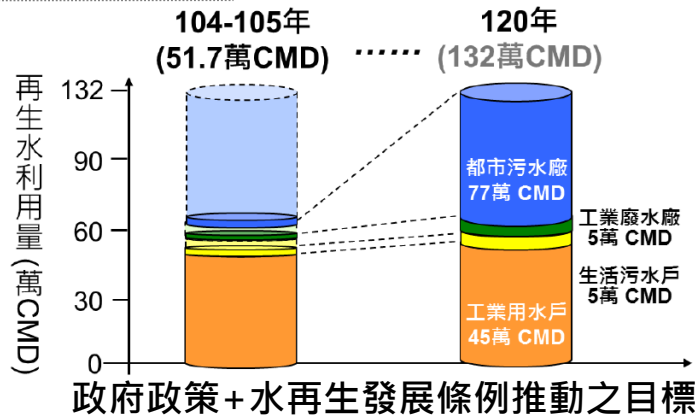
處理技術  
活性污泥(AST)  
接觸曝氣法(搭配濾料)  
上流式厭氧污泥(UASB)  
厭氣流體化床(AFB)



去除廢水中難以生物降解之有機物、溶解性無機物

處理技術  
活性碳吸附  
離子交換  
膜分離技術  
電透析  
臭氧氧化法  
Fenton法

放流水



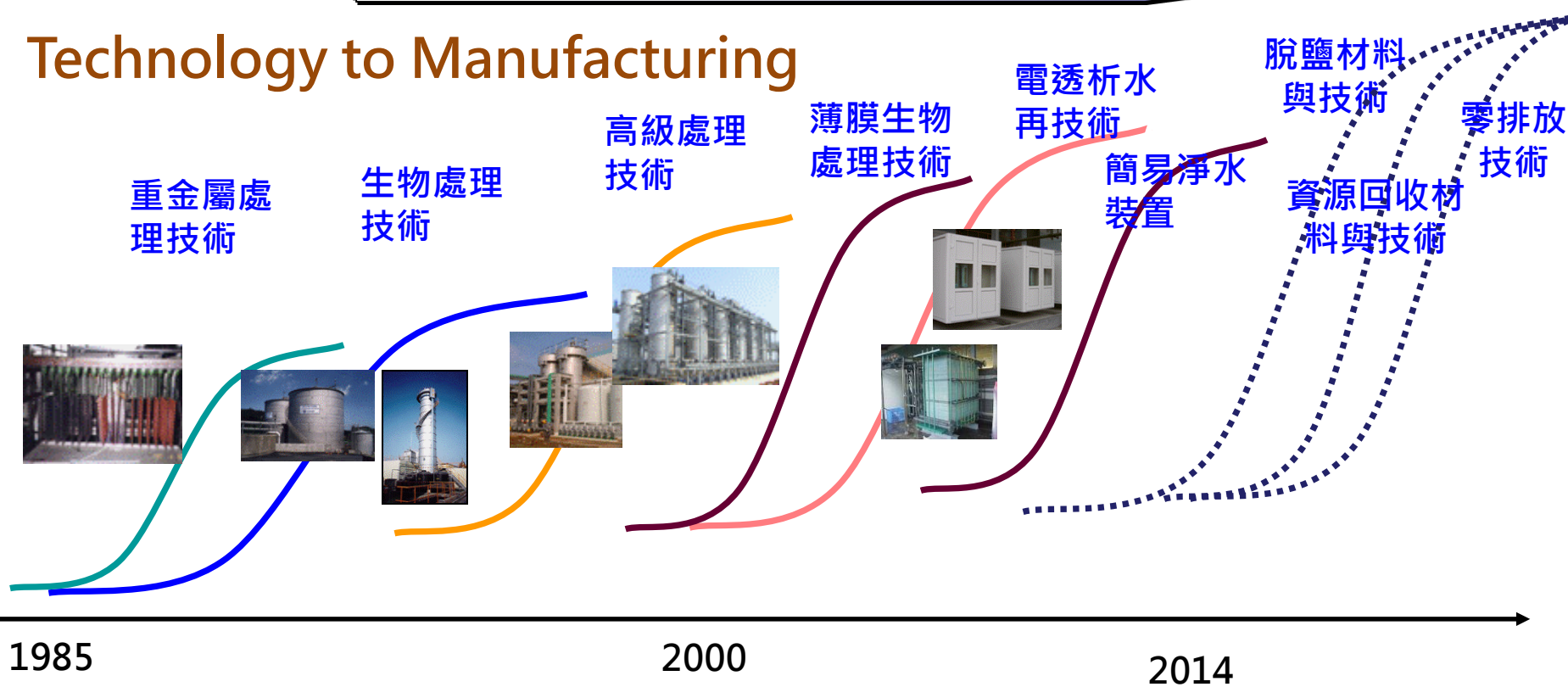
評估合適之水回收處理技術，將可提高水資源回收再利用率，並補足用水缺口

環保法規越來越嚴格, 永續發展需求愈來愈強烈

傳統工業如食品、石化、化工、人纖、紡織...

新興工業如半導體、LCD、LED、Solar cell...

## Technology to Manufacturing



紡織工業量大面廣，產生的廢水量多，濃度高，是對水環境污染構成嚴重危害的重點行業之一。

由於印染行業的特殊性，印染廢水具有**水質變易度大**、**有機污染物含量高**、**色度高**、**鹼度大**等特點，其廢水的處理不僅要去除**COD**，同時還要考慮**色度**等污染物的去除，是當前工業廢水處理的難點之一。

目前紡織染整廢水治理多選用預處理後，以**生物處理技術**為主，**物理化學處理技術**為輔的綜合處理技術。

- **預處理技術**採用格柵、中和、水質水量調節和氣浮等;
- **生物處理**採用水解與好氧結合的處理工藝，好氧處理技術採用活性污泥法、生物接觸氧化技術、生物活性碳(BAC)和曝氣生物濾池(BAF)技術等;
- **物理化學處理**採用混凝沉澱、砂濾技術和膜分離技術等。

# 紡織染整廢水污染特性

項目	汙染來源
鹼性/酸性	精練、染色過程中使用鹼及醋酸，使得排放廢水呈 <b>偏鹼性或偏酸性</b>
高BOD、COD	廢水中含有澱粉、白明膠及油脂等有機物質，其生化需氧量(BOD)頗高。 染色過程中，未能為纖維全部吸收而排出之殘餘染料造成高COD
高色度	染色過程中，未能為纖維全部吸收而排出之殘餘染料，其廢水呈 <b>極鮮明之顏色且低透視度</b> 。
泡沫問題	製程中使用之助劑，大都為 <b>界面活性劑</b> ，當以生物處理法處理廢水時， <b>泡沫問題</b> 常造成操作上的困擾。
有毒物質	染料及助劑可能 <b>含有毒性或抑制性物質</b> 如鉻、酚等。 廢水中常含有 <b>不易被微生物分解</b> 之物質。
氮化物	廢水中含有機性或無機性之 <b>氮化物</b> 。
高導電度	<b>無機鹽類</b> 含量相當高。
高溫	精練及染色通常都在 <b>高溫</b> 下進行，故其排放廢水溫度較一般廢水高。

技術	原理	優缺點	適用範圍
水解酸化	將厭氧生化作用控制在水解與酸化階段，將難分解大分子有機污染物分解為較易生物降解之小分子有機污染物，以利後續好氧生物處理，減輕後續處理系統之負荷	可改善廢水可生物分解性，降低色度，並有一定之有機物去除效果	適用於 <b>有機污染物濃度較高</b> ， <b>難生物降解</b> 之紡織染整廢水預處理
活性污泥法	藉由活性污泥中微生物生化作用將可生物降解有機污染物轉化為二氧化碳等無機物	技術成熟，經濟實用，應用廣泛	適用於各類紡織染整廢水處理
缺氧/好氧(A/O)	指在好氧池前設置缺氧池，缺氧池中反硝化細菌將 $\text{NO}_3^-$ -N轉化為 $\text{N}_2$ 實現脫氮	技術成熟，脫氮效率高，經濟實用，應用廣泛	適用於 <b>氮含量</b> 較高之紡織染整廢水處理



技術	原理	優缺點	適用範圍
生物接觸氧化法	採用 <b>生物填料</b> 作為微生物的載體，生長有微生物的載體浸沒在廢水中，在微生物的代謝作用下去除水中有機污染物	<b>微生物量大，處理效果好，且殘餘污泥量少</b>	適用於各類紡織染整廢水處理
生物活性碳 (BAC)	在好氧池中投加 <b>粉狀活性碳</b> ，利用活性碳之高孔隙率及比表面積使微生物大量聚集在其表面，不僅增加了微生物量，亦提高了污泥沉降特性，有利於後續泥水分離	可提高難降解有機污染物之去除效果，抗衝擊負荷能力高，污泥沉降性佳	適用於各類紡織染整廢水處理
曝氣生物濾池 (BAF)	本技術為集生物接觸氧化與吸附過濾為一體	具有處理流程短，處理效率高，出水品質佳之優點	適用於各類 <b>染整廢水之深度處理</b>

技術	原理	優缺點	適用範圍
混凝沉澱	透過 <b>混(膠)凝劑</b> 之添加使水中懸浮膠體及顆粒在分作用下生成絮狀體，經 <b>沉澱</b> 達分離效果	設備簡單，易實現 處理後水質佳	適用於 <b>高SS</b> 之紡織染整廢水的 <b>預處理與深度處理</b>
化學脫色	於廢水中投加 <b>具氧化性的脫色劑</b> ，氧化紡織染整廢水中之顯色有機物，破壞其結構以達脫色目的	設備簡單，易實現 但處理成本較高	適用於經生物處理後仍有色度之紡織染整廢水的 <b>脫色處理</b>
砂濾	以 <b>石英砂、錳砂或無煙煤</b> 作為濾料的水過濾處理技術	處理成本低，但處理效果不穩定，易阻塞	適用於紡織染整廢水之 <b>深度處理</b>

技術	原理	優缺點	適用範圍
<b>膜技術-超濾 (UF)</b>	利用一種壓力活性膜在外加壓力條件下截留水中膠體、顆粒和大分子物質，而水和小分子溶質則可透過膜之分離過程	系統簡單，操作方便，佔地小，低投資成本，出水水質優	可滿足各類RO裝置之進水需求
<b>膜技術-逆滲透 (RO)</b>	利用逆滲透膜之特性於膜兩側之壓差為動力，使溶劑通過而截留溶質，以達分離效果	無相變，佔地面積小，無污泥，出水水質佳，惟操作費用高	適用於各類紡織染整廢水處理後回用於染整製程之用途



# 工業廢水處理技術

活性炭吸附、離子交換、生物處理、膜分離技術、電透析、高級氧化處理技術

- 活性炭是一種**多孔性具有極大表面積**的材料，當空氣或水中的微量有機污染物接觸活性炭時，會被活性炭所吸引，進而停留在碳表面，達到去除污染的目的。
- **應用:** 用於廢水中餘氯、色度、染料、揮發性及半揮發性有機物、農藥、清潔劑及重金屬等之去除。若處理一般放流水更換頻率較高，建議用於純水系統

種類	尺寸/特色	應用
粉狀活性炭 (powdered activated carbon, PAC)	< 200 mesh (0.075 mm)	可添加於 <b>快混池或活性污泥曝氣池</b> 中，對於水中生物難分解或對微生物有害的物質可以加以吸附，以增加生物處理的效率及污泥沉澱速率。
粒狀活性炭 (granular activated carbon, GAC)	目前使用最廣 > 0.1 mm	常用於廢水處理中的管柱吸附，或厭氧生物流體化床中作為 <b>微生物生長及支撐微生物</b> 的介質。
活性炭纖維 (activated carbon fiber, ACF)	以人造纖維作為活性炭的原料、成本高、品質均勻	成品作成布料的形式，具有良好的吸附效果及低壓降的特性，通常用於 <b>空氣污染控制設備</b> 或價值較高之溶劑回收設備。



- 目的: 係藉由具有離子交換特性之材料或交換樹脂, 將水溶液中之離子進行可逆之交換反應, 而將溶液中之帶電荷離子去除(除鹽)。
- 應用: 處理水質TDS不宜超過500 mg/L(需頻繁再生)、可單獨搭配活性碳槽應用、或設於RO後段處理RO出水以獲更低電導度之純水
- 分類: (1)陽離子交換樹脂-去除正電荷離子進行水質軟化  
(2)陰離子交換樹脂-去除帶負電之無機鹽類

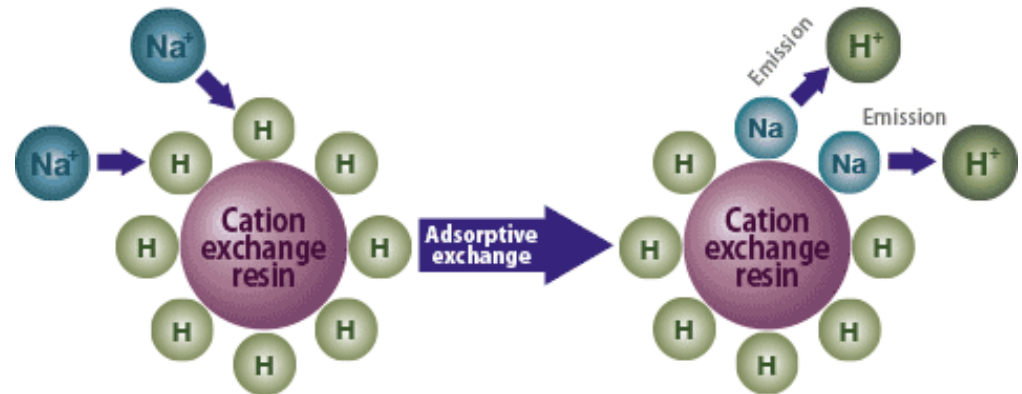


Figure 2 Ion exchange resins

以陽離子交換樹脂為例



# 薄膜過濾程序

MF/UF/NF/RO

有別於傳統過濾，過濾顆粒包括溶解性物質  
過濾顆粒粒徑範圍一般在0.0001至1.0 $\mu\text{m}$ 間

## 薄膜孔徑可依大小區分為MF、UF、NF與RO。

通常以分子截留量(molecular weight cut-off, MWCO) 作為界定孔徑之單位(Da)

Da為1個原子質量單位Dalton之簡寫，1 Da=1個碳12原子核質量之1/12，約等於 $1.661 \times 10^{-27}$

污水處理

# MF

0.1 - 3 bar

0.1 - 5  $\mu\text{m}$

通常 > 0.01  $\mu\text{m}$

對分子大小篩除(篩分)之方式進行過濾

都市飲用水  
廢水再利用  
RO前處理

# UF

2 - 10 bar

20 nm - 0.1  $\mu\text{m}$

MWCO: 1,000-300,000 Da

對分子大小篩除(篩分)之方式進行過濾

軟化  
有毒物質去除

# NF

5 - 30 bar

$\gg$  1 nm

MWCO < 500 Da

電性排除+篩分，去除水中二價離子

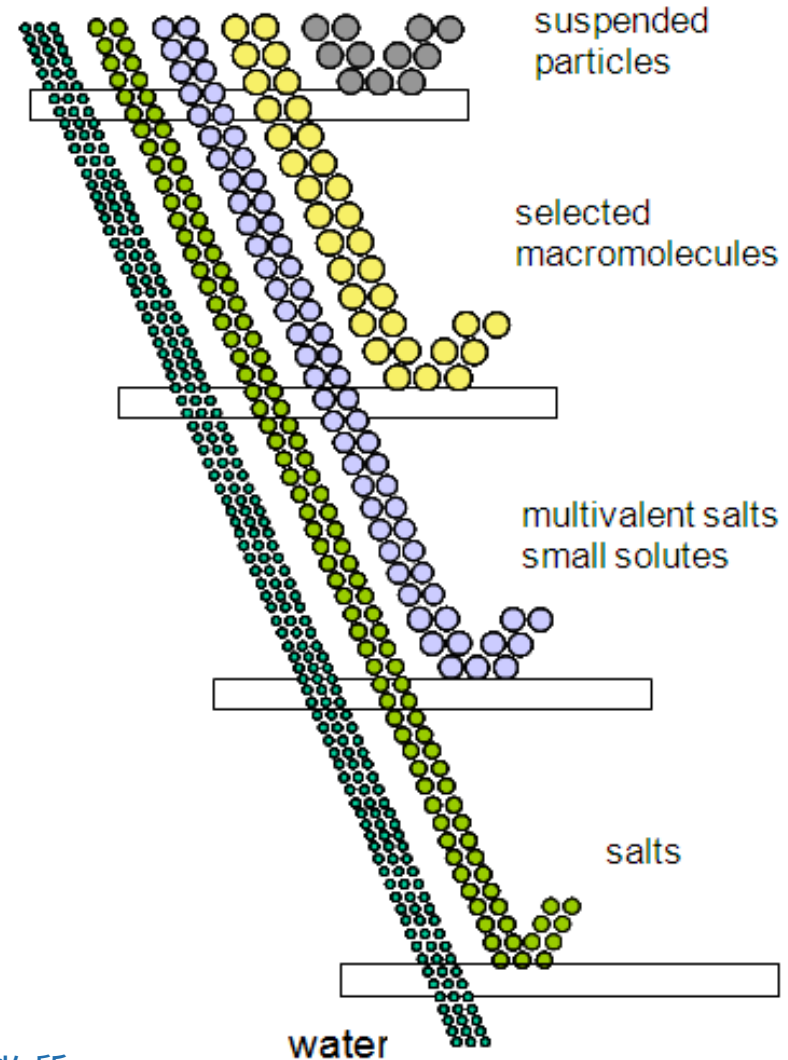
超純水  
海淡  
先進水處理

# RO

10 - 100 bar

0.1 - 1 nm (close)

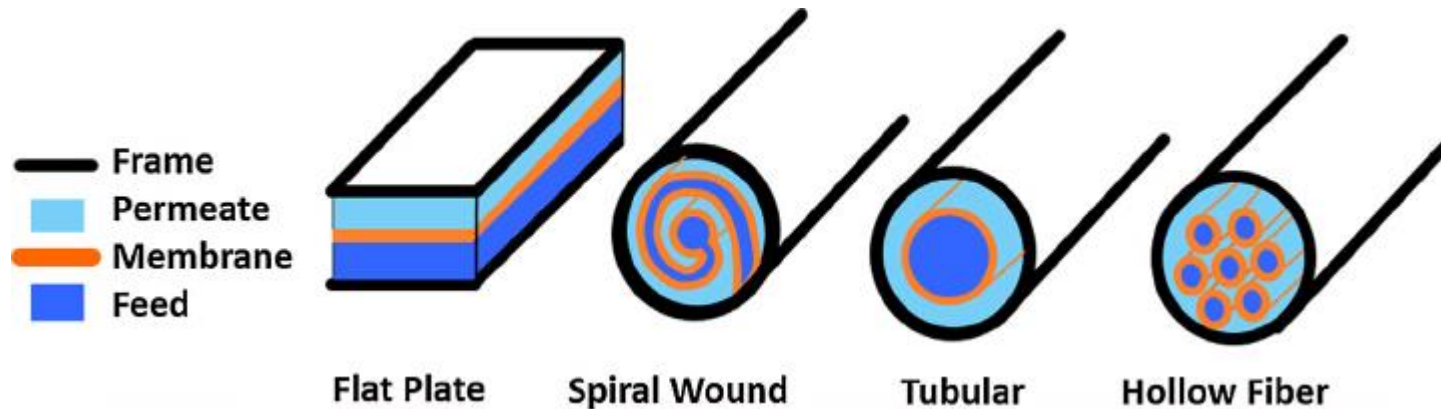
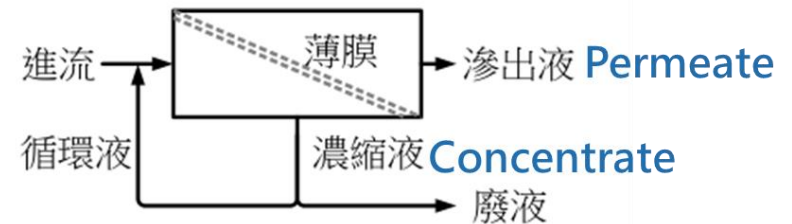
視為無孔洞薄膜，可截流水分子以外之物質





- ① 平板式薄膜 (flat plate)
- ② 螺旋捲式薄膜 (spiral wound)
- ③ 管式薄膜 (tubular)
- ④ 中空纖維式薄膜 (hollow fiber)

單位時間、單位面積通過薄膜的滲出量則稱為**通量 (flux)**，常見單位為 $L/m^2 \cdot d$



## MF/UF (micro-filtration/ultra-filtration)

- 可於RO之前處理，去除水中懸浮固體物，避免顆粒物質阻塞RO
- 於半導體業中，UF可置於RO之前，去除水中溶解性及懸浮態的二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )，以延長後續RO使用期限

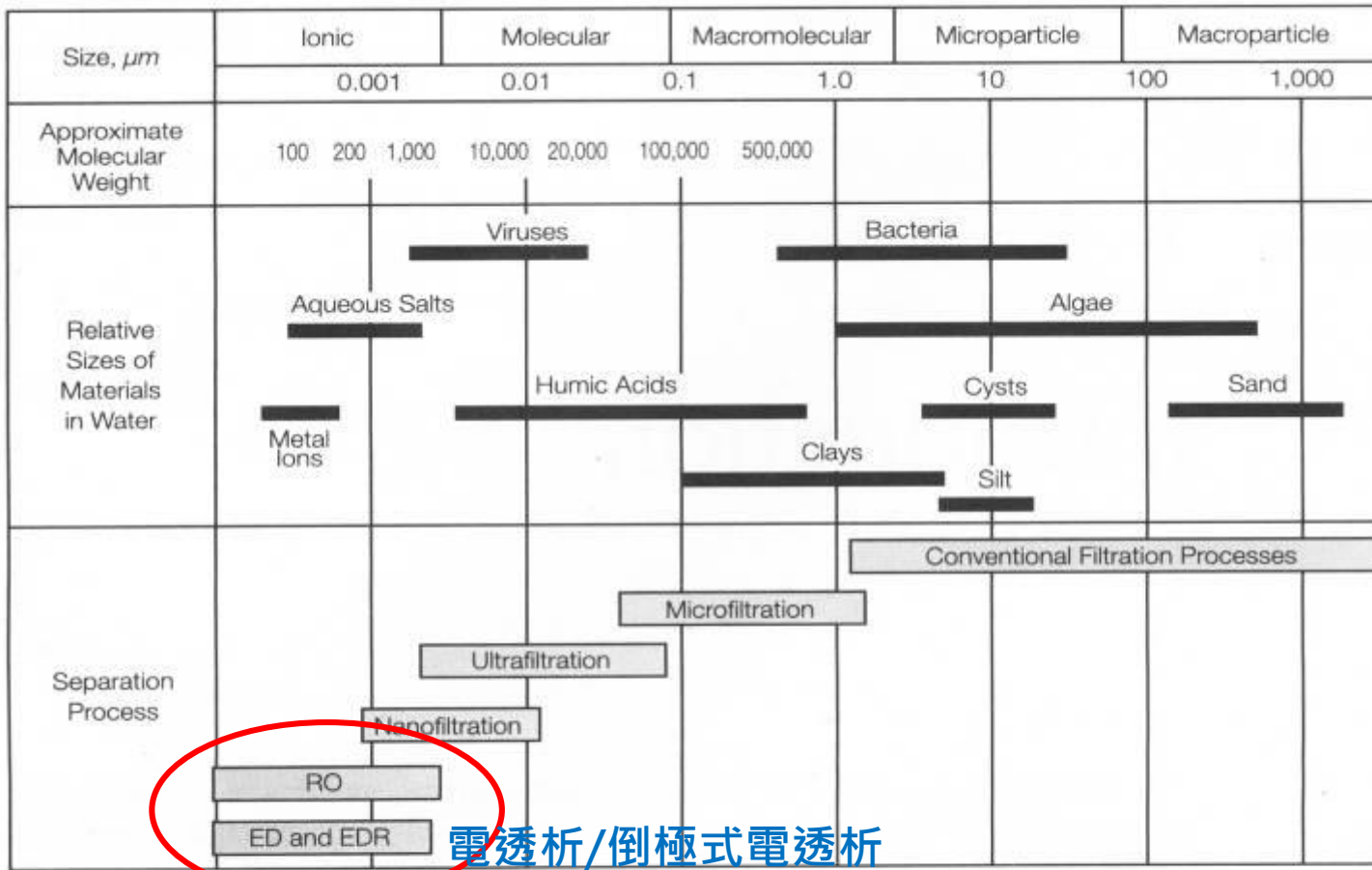
## NF (nano-filtration)

- 可去除水中二價離子，如硬度離子(鈣、鎂)以達水質軟化之要求
- 經MF前處理後進入NF膜，再加以消毒，出流水可進行再利用。

## RO (reverse osmosis)

- RO之離子去除率:
  - 單價離子 (monovalent ions): 90~98%
  - 雙價離子 (divalent ions): 95~99% (可防止分子>200 Da物質通過)
- 工業廢水：二級處理之後及高科技產業之廢水回收再利用
- 飲用水處理：海水淡化

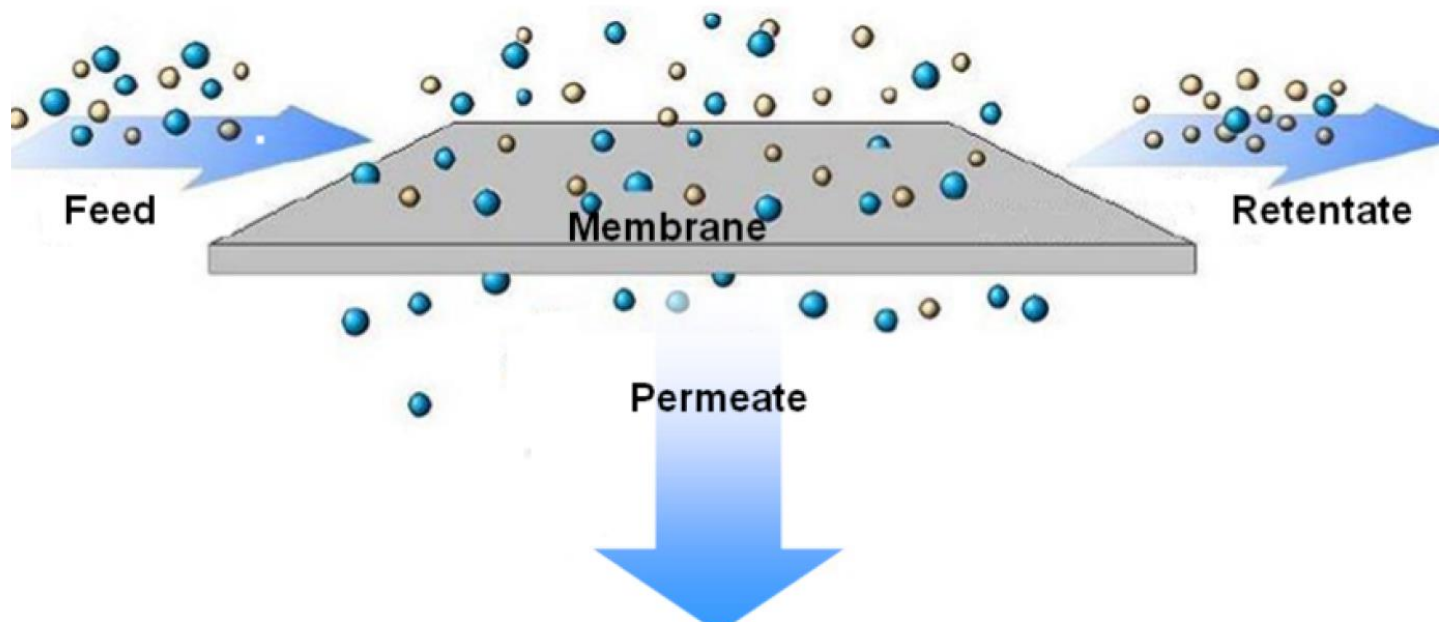
# 分離技術之比較



電透析/倒極式電透析

分離程序	應用範圍 (um)
重力沈降	0.1~1000
MF	0.03-15
UF	0.002-10
RO	0.0004-0.06
<b>ED</b>	<b>0.0004-0.1</b>

- Metal Ions**: Antimony, Arsenic, Nitrate, Nitrite, Cyanide
- Aqueous Salts**: Sodium Salts, Sulfate Salts, Manganese Salts, Aluminum Salts
- Viruses**: Infectious Hepatitis
- Humic Acids**: Trihalomethane Precursors
- Bacteria**: *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*
- Cysts**: Protozoa, *Giardia*, *Cryptosporidium*



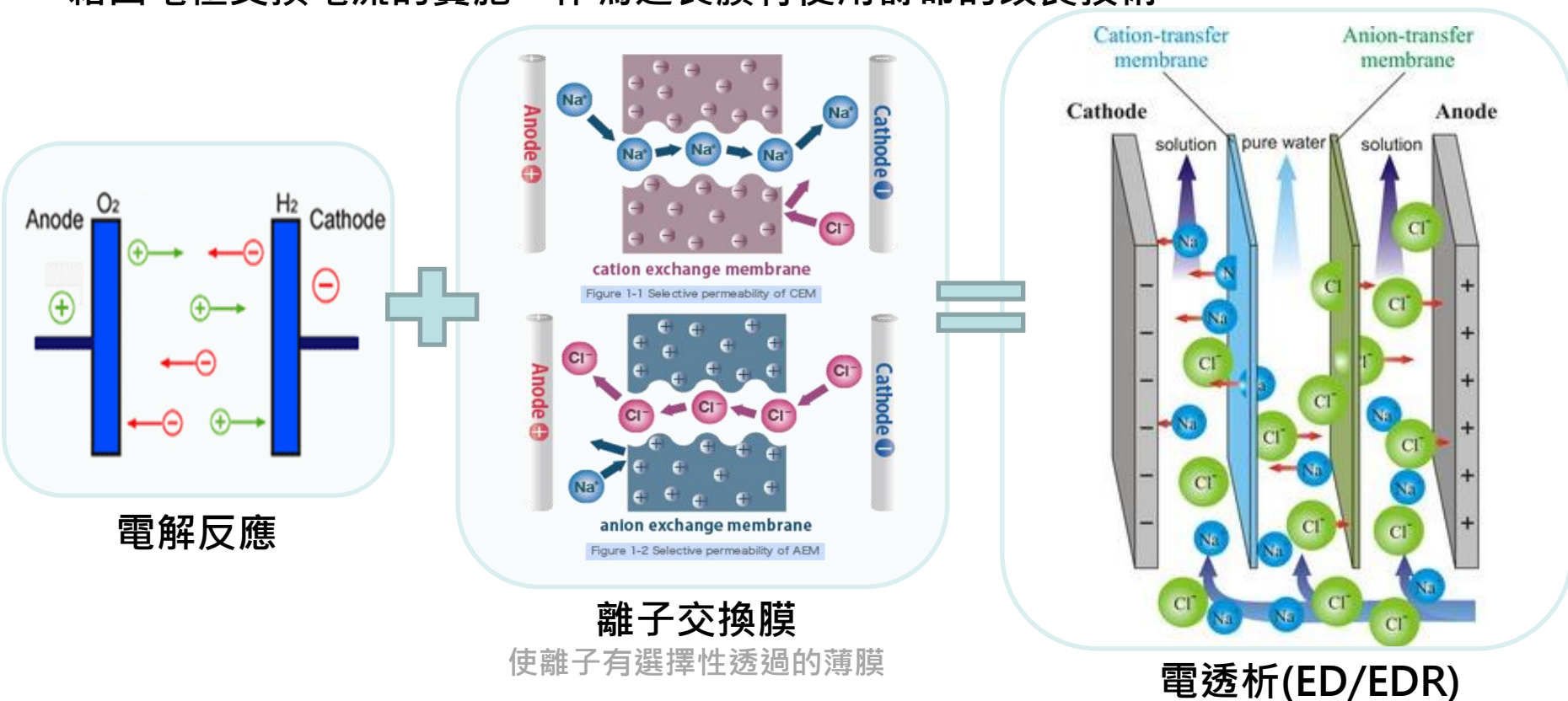
驅動力	分離技術
壓力差	RO、NF、UF、MF
電位差	EDR
濃度差	FO
溫度差	MD

## 電透析(electrodialysis, ED)

一系統於外部施加直流電，使水溶液中離子往相反電荷的電極移動，並藉由**離子交換膜**控制離子行為的程序

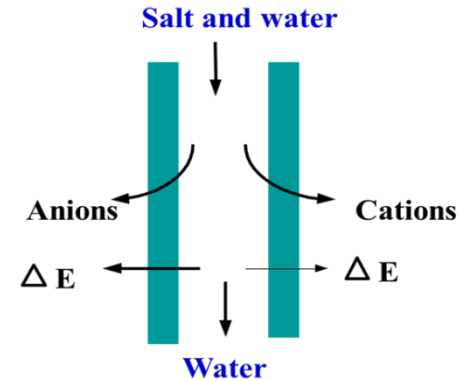
## 倒極式電透析(electrodialysis reversal, EDR)

藉由電極交換電流的實施，作為延長膜材使用壽命的改良技術



# 為何選擇EDR

- 技術特徵**
- ① 所有反應皆為液相中的行為
  - ② 目標物為能解離(導電)之離子
  - ③ 經濟效益在稀薄鹽水顯著
  - ④ 電能為驅動力
  - ⑤ 水回收的有效工具



- 進水水質要求較低，通常 $SDI_5 < 15$ ，僅需很少的前處理單元
- 操作壓力低( $< 2 \text{ kg/cm}^2$ )
- 高水回收率，對地下水源可達85%以上
- 倒極時結垢物連續去除，薄膜壽命較長，通常無須抑垢劑
- 對原水中二氧化矽含量超過 $30 \text{ mg/L}$ 時對膜仍不會傷害
- 對地下水源而言，可同時去除TDS、TH、硝酸鹽、氟離子、砷等



# EDR 脫鹽應用實績

⇒  
地下水  
/  
河水



地下水  
(50 CMD)



河川水混凝  
(2,400 CMD)

⇒  
工廠廢水



PCB 廢水  
(1,200 CMD)



含氟廢水  
(650 CMD)

⇒  
RO  
濃縮水



RO 濃縮水  
(300 CMD)



RO 濃縮水  
(300 CMD)



精密螺絲製造業廢水  
(350 CMD)



工程螺絲製造廢水  
(450 CMD)

⇒  
冷卻水



鋼品冷卻水  
(550 CMD)



電子業冷卻水  
(550 CMD)



鍍鋅場廢水  
(700 CMD)



尼龍廠廢水  
(800 CMD)



# 生物處理程序

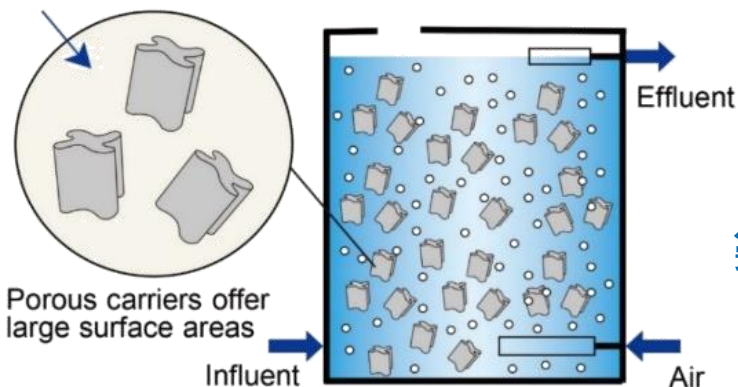
活性污泥濾膜法MBR, 生物網膜BioNET®





生物網膜 ( BioNET<sup>®</sup> ) 技術是國內所開發高效率生物處理技術，可廣泛應用於各種低負荷之COD處理、氨氮硝化與有效攔截SS。

Large amount of microorganisms retained in the net structure



Copyright © 2018 Industrial Technology Research Institute.

## BioNET<sup>®</sup>技術特點

- 比表面積大：可累積大量微生物
- 半浮動床設計：可兼具過濾功能
- 可擠壓：反洗簡單有效
- 開放孔洞：水流質傳效果佳

氨氮處理

自來水

原水  
前處理

高級  
處理

再生水



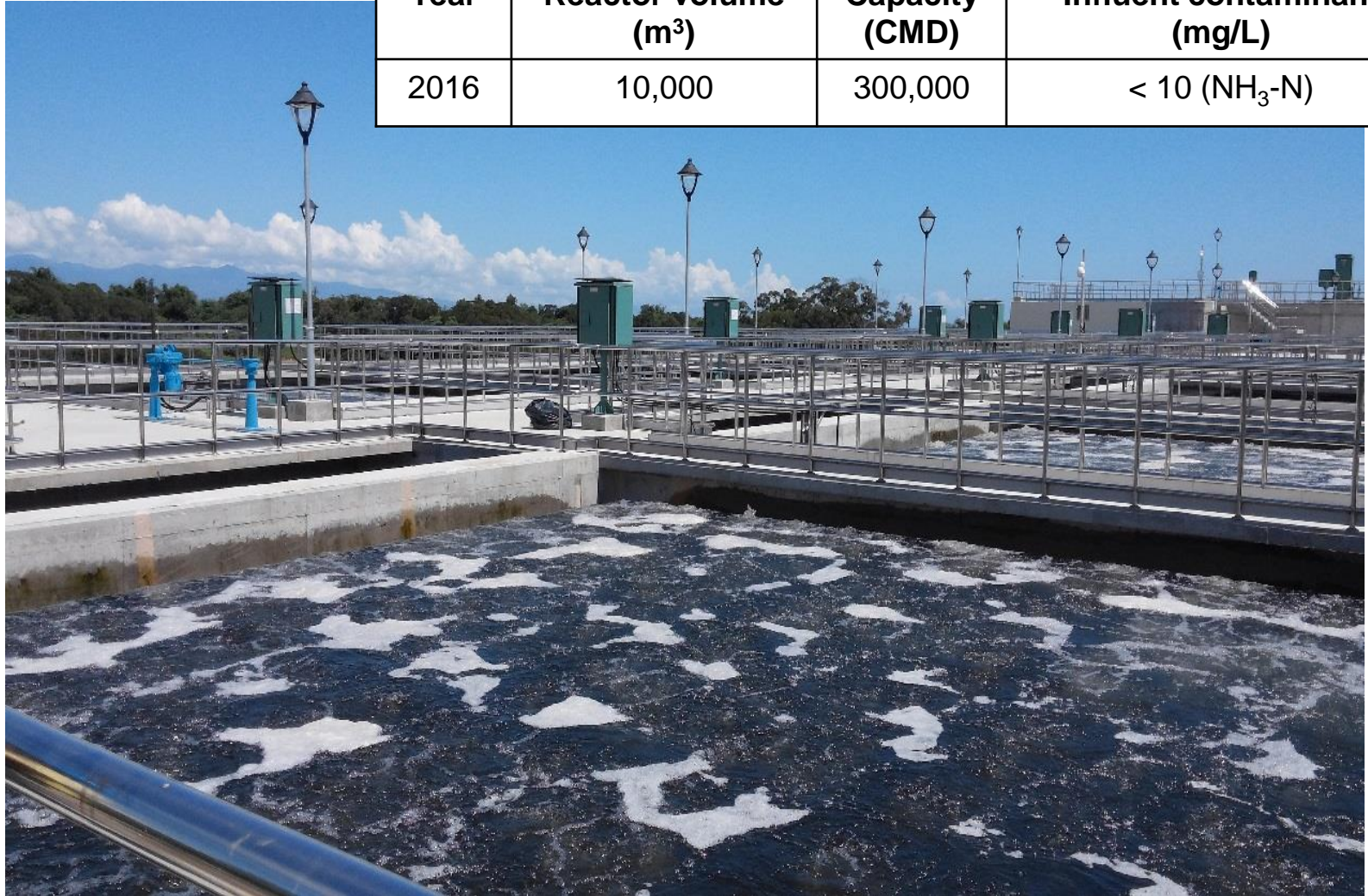
表面水與地下水整治



# Full Scale BioNET®

## Pre-treatment system for tap water in Donggang River (Taiwan)

Year	Reactor volume (m <sup>3</sup> )	Capacity (CMD)	Influent contaminant (mg/L)
2016	10,000	300,000	< 10 (NH <sub>3</sub> -N)

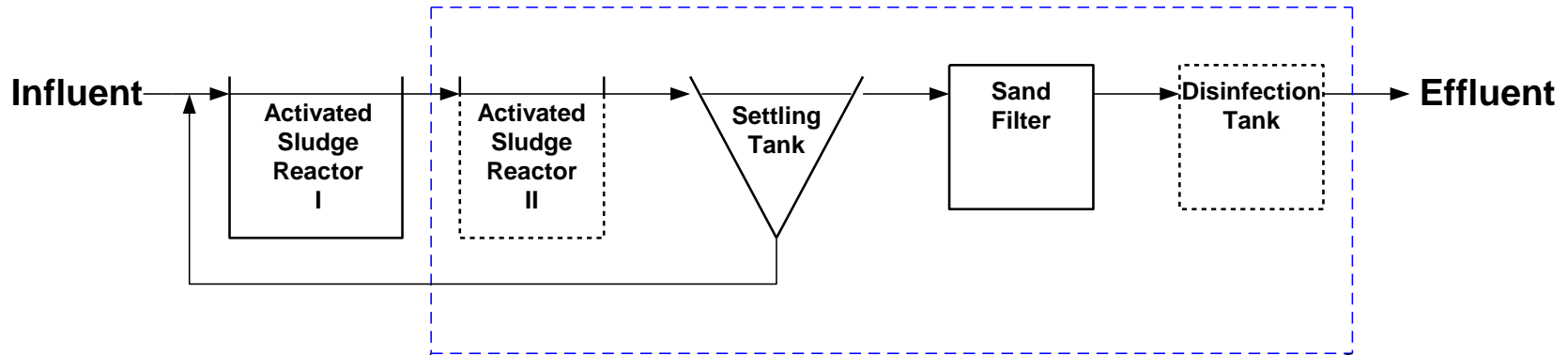


# 活性污泥濾膜法(MBR)

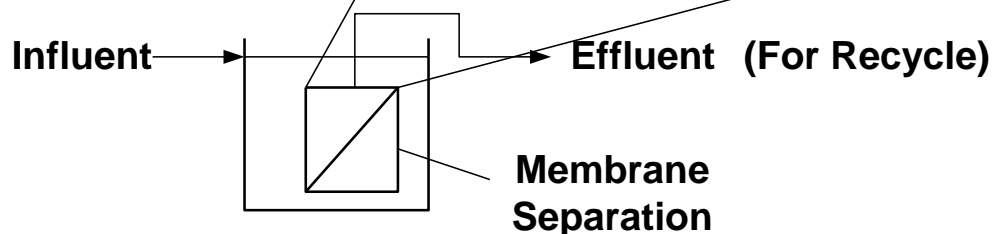
## MBR- Membrane Bio-Reactor (活性污泥膜濾法、薄膜生物工法)

將薄膜置於活性污泥系統中，作為分離污泥和水的介質，因膜的孔徑微細，不但污泥無法通過，細菌也被攔阻；更因為廢水的固液分離不再倚賴生物污泥的沉降性，操作變得很可靠，且透過膜的精密過濾，產水水質優異，使回收再利用之價值提高。

### Activated Sludge Process



### Membrane Bioreactor Process



MBR膜材常用的孔徑約在 $0.4\sim 0.03\mu\text{m}$ ，約略在MF和UF的範圍。

Note: from Gunder & Krauth, Wat. Sci. tech., 40(4-5), 311-320.

# MBR Membrane Competition

Less space requirement and low cost

## Hollow Fiber

USFilter Memjet



Mitsubishi



Asahi



Koch / Puron



## Flat Plate



KUBOT

ITRI/NMFI

## Tubular

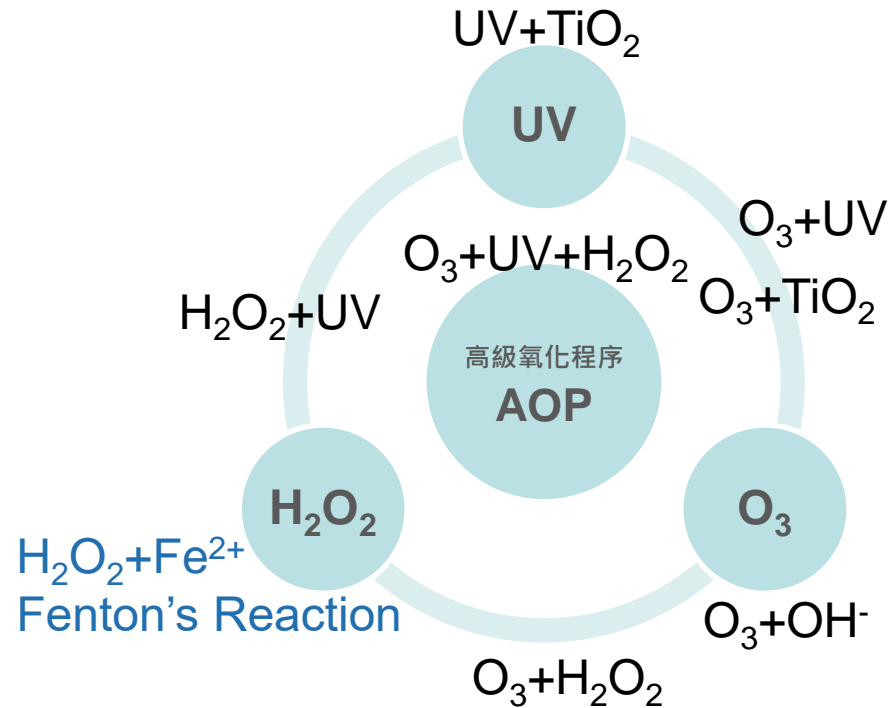


Koch



Dynatec / NORIT

- 高級氧化程序即利用具高氧化能力的**氫氧自由基 (hydroxyl radicals)** 氧化水中微量有機物(<10 mg/L)或有毒物質(如EDCs, 0.001 mg/L等級)。
- 應用: 最後階段之拋光(polishing) 或做薄膜前處理(有機物堵塞↓)



- Fenton試劑價位較為低廉、不具毒性，且鐵鹽於自然界含量甚多，較容易傳輸與控制，因此Fenton反應被發展為許多型態
- 主要為 $\text{H}_2\text{O}_2$ 與鐵鹽反應，產生大量具強氧化力之氫氧自由基 ( $\text{OH}\cdot$ )，進而與大部分之有機物反應使其礦化



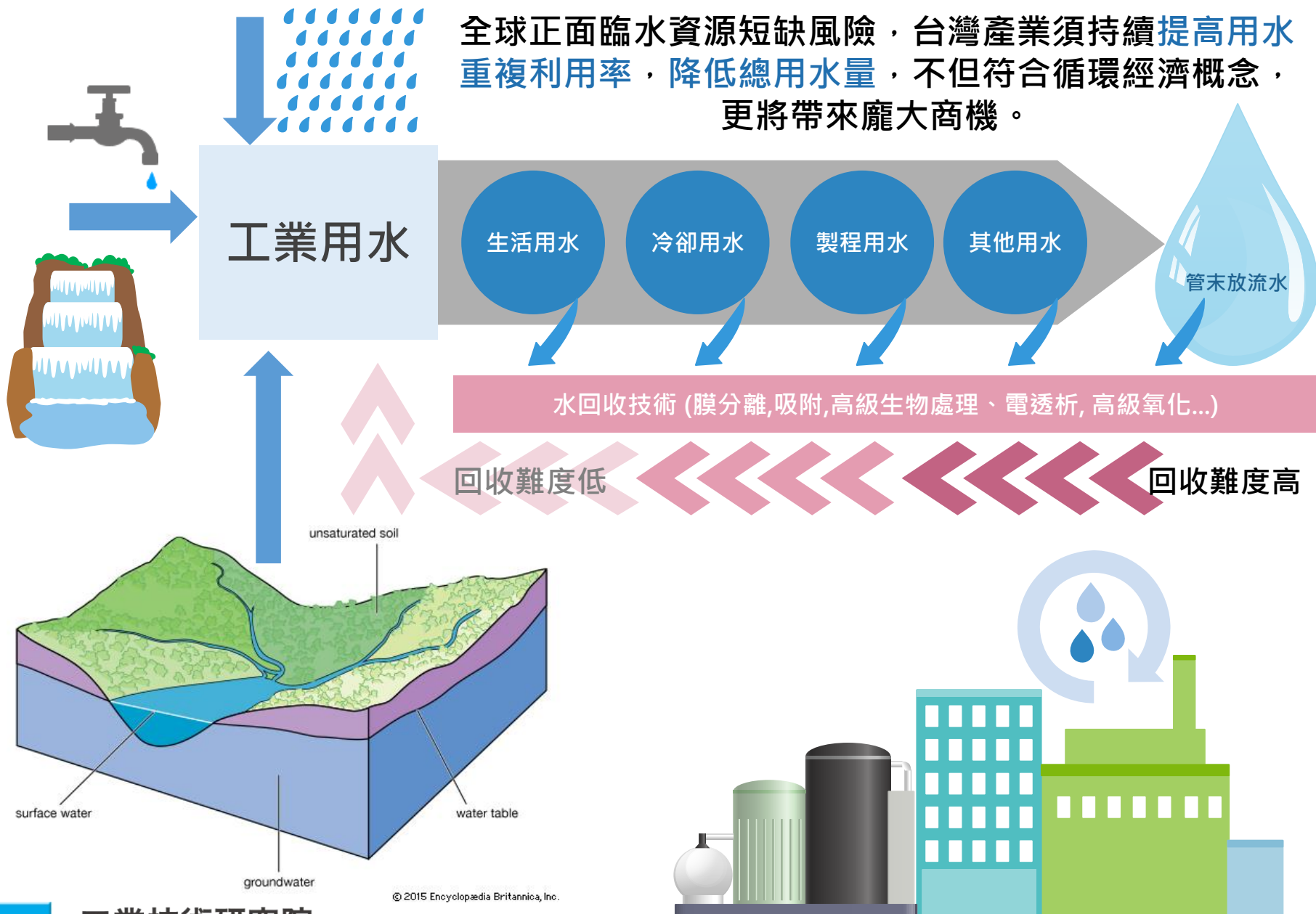
$\text{H}_2\text{O}_2$ 與 $\text{Fe}^{2+}$ 酸性環境下進行反應

二價鐵離子被氧化成三價鐵離子，同時產生氫氧自由基



污染物	處理方法	
	物化處理	生物處理
有機物 (如COD)	混凝沉澱/浮除、砂濾、活性炭 氧化(化學/電化學) 薄膜	活性污泥、接觸氧化 生物網膜(BioNET®) 生物活性炭(BAC)
無機鹽類 (如鈣鎂硬度)	混凝沉澱/浮除、砂濾 結晶(FBC)、離子交換樹脂 薄膜	
重金屬 (如鐵銅鉻)	混凝沉澱/浮除、砂濾 結晶(FBC)、離子交換樹脂 薄膜、 <b>電解回收</b>	
懸浮物質 (如SS)	混凝沉澱/浮除、砂濾 薄膜	
色度	混凝沉澱/浮除、砂濾、活性炭 氧化(化學/電化學) 薄膜	生物網膜(BioNET®) 生物活性炭(BAC) 厭氧處理
電導度	薄膜、離子交換、電透析	

全球正面臨水資源短缺風險，台灣產業須持續提高用水重複利用率，降低總用水量，不但符合循環經濟概念，更將帶來龐大商機。



© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute



## Industrial wastewater treatment and recycle case studies

Q&A

Thanks

莊雅茹 博士

材料與化工研究所 水科技研究組  
okj@itri.org.tw