

100 年度「園區廠商節水節能減碳輔導計畫」-節水教育訓練

EDR水處理技術之運用與案例介紹

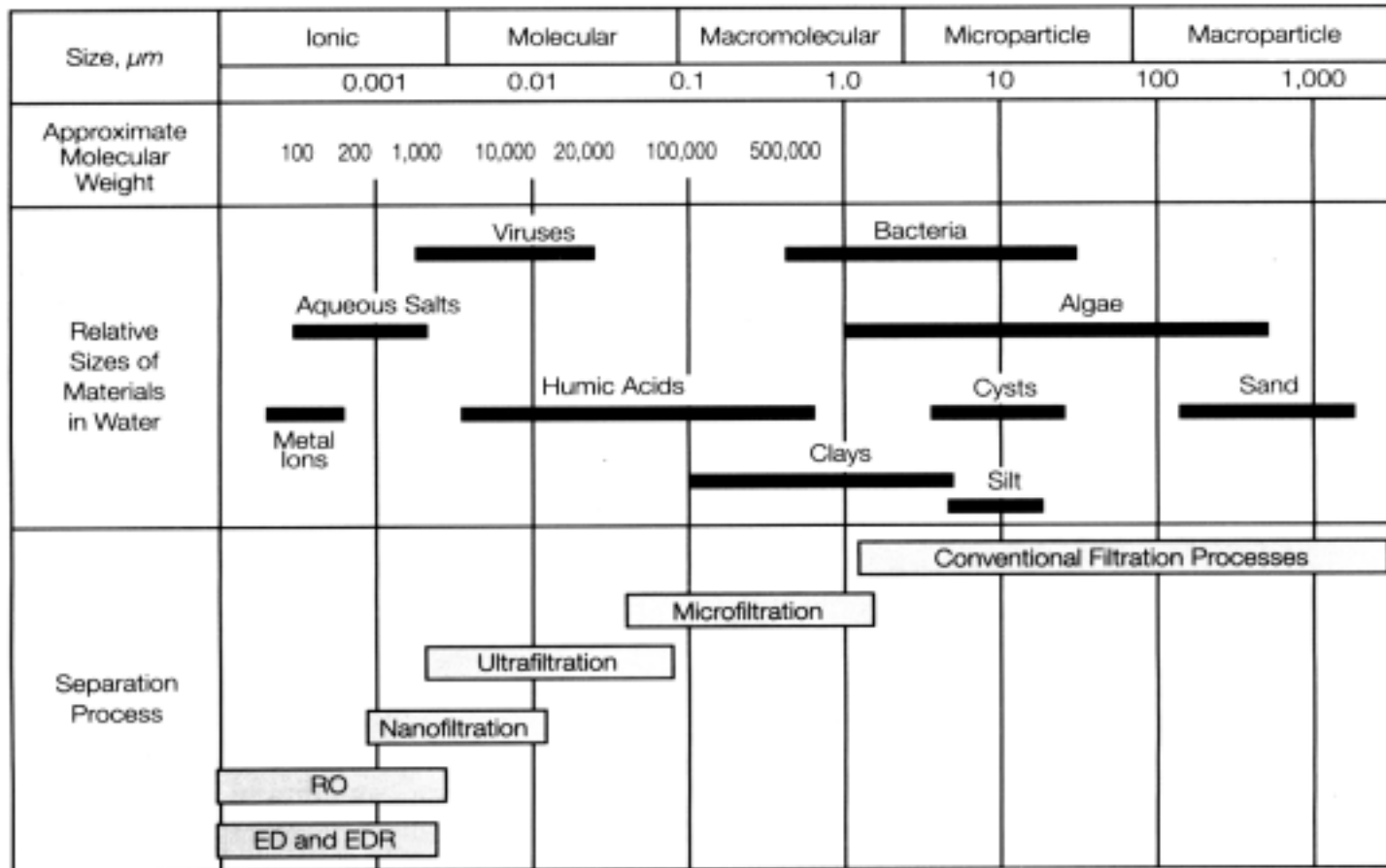
報告人：梁德明

工研院能環所

水科技組

100年10月21日

薄膜程序應用



Metal Ions
Antimony
Arsenic
Nitrate
Nitrite
Cyanide

Aqueous Salts
Sodium Salts
Sulfate Salts
Manganese Salts
Aluminum Salts

Viruses
Infectious
Hepatitis

Humic Acids
Trihalomethane
Precursors

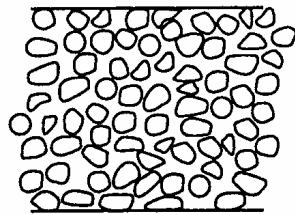
Bacteria
Salmonella
Shigella
Vibrio cholerae

Cysts
Protozoa
Giardia
Cryptosporidium

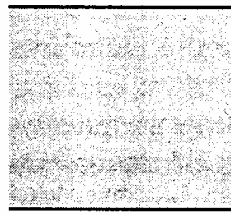
薄膜種類

Isotropic membranes

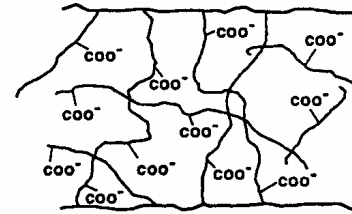
Isotropic microporous membrane



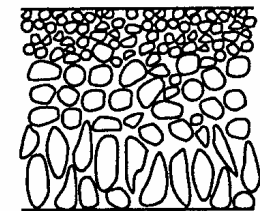
Nonporous dense membrane



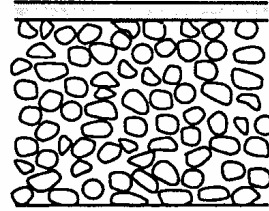
Electrically charged membrane



Anisotropic membranes



Loeb-Sourirajan anisotropic membranes



Thin-film composite anisotropic membranes

Supported liquid membrane

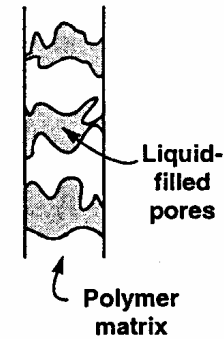
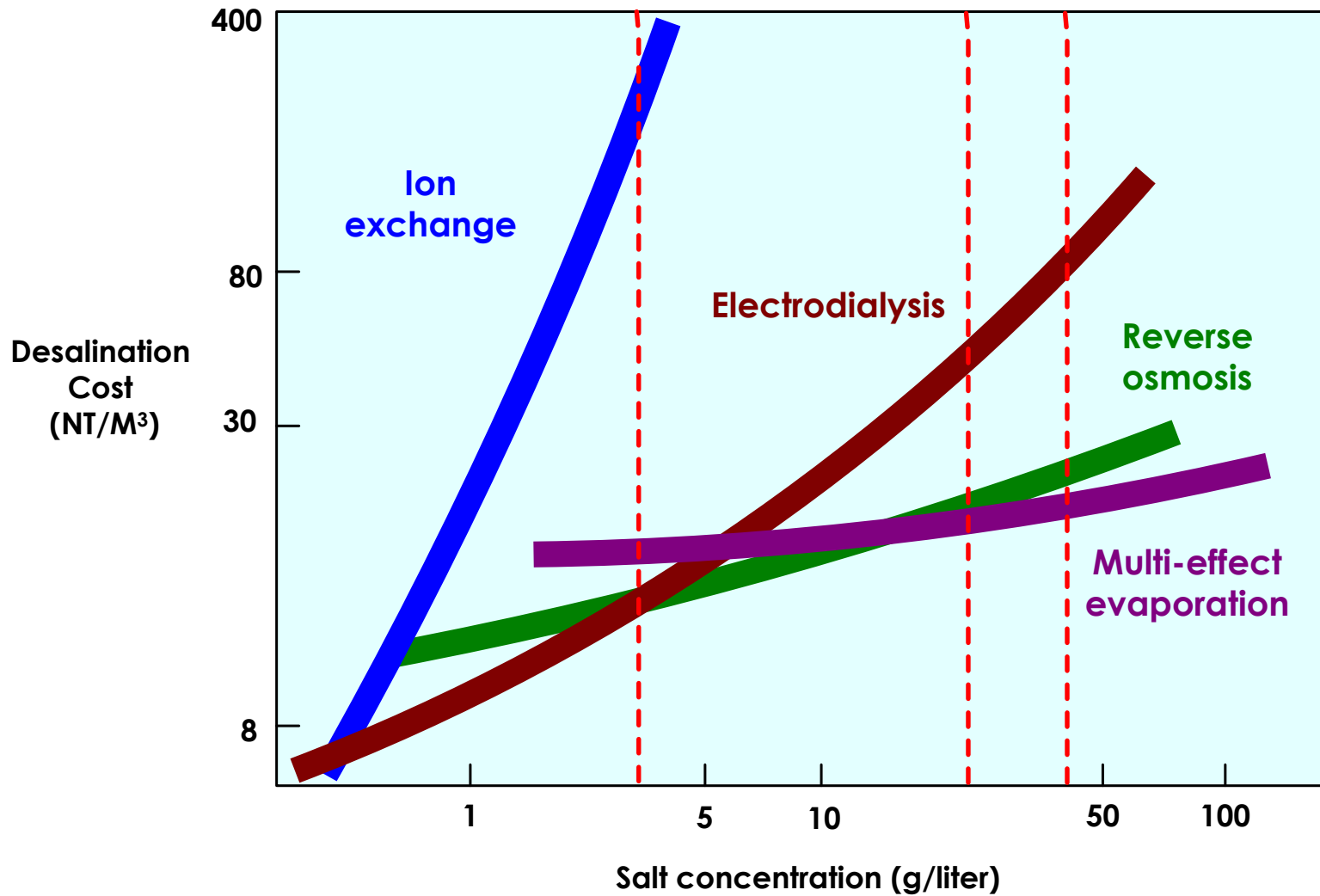


Figure 1.1 Schematic diagrams of the principal types of membranes.

薄膜技術脫鹽成本



分離原理

- **電透析(electrodialysis, ED)**

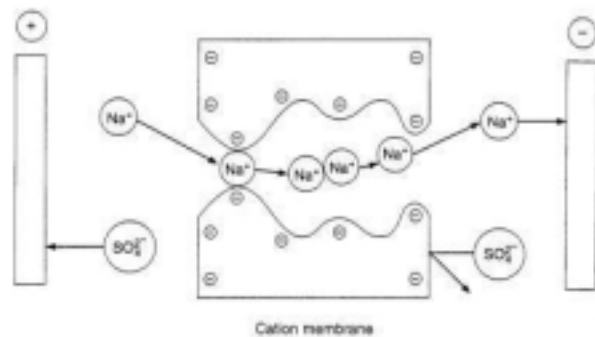
電透析處理技術是利用不同特性的薄膜對水中的離子作分離選擇，水中離子的移動則是靠正負直流電來當吸引的驅動力

- **倒極式電透析(electrodialysis reversal, EDR)**

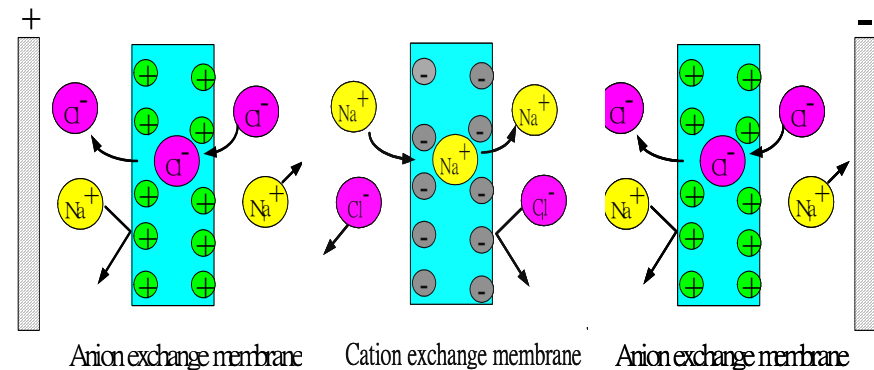
倒極式電透析是將電透析處理技術作進一步修正，乃利用直流電正負極和內部導流的切換來延長薄膜使用壽命

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



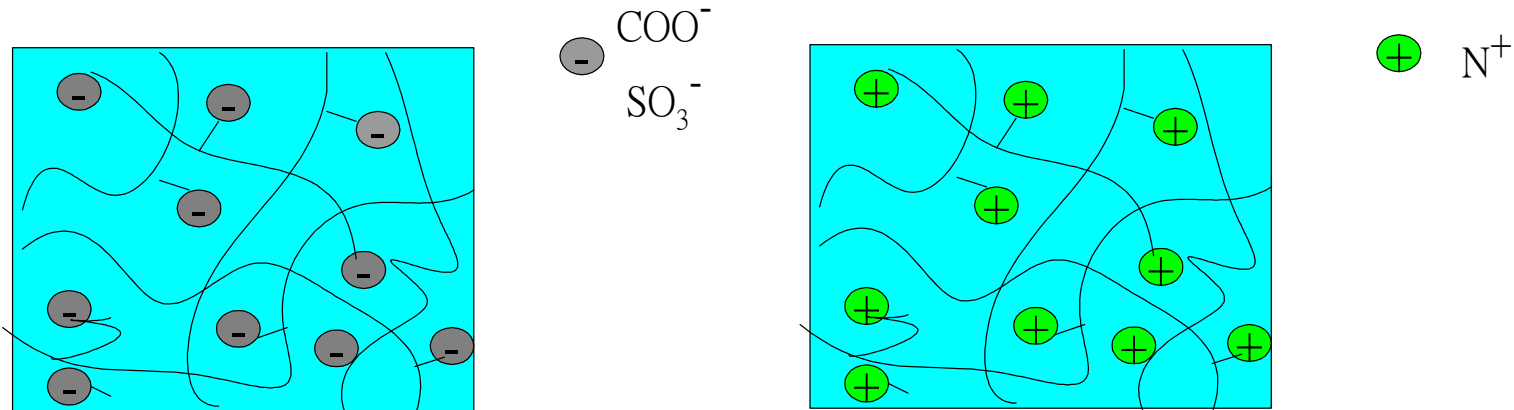
Ionic permselectivity
of ion-exchange
membranes



離子交換膜的分類

膜中所含官能基的種類

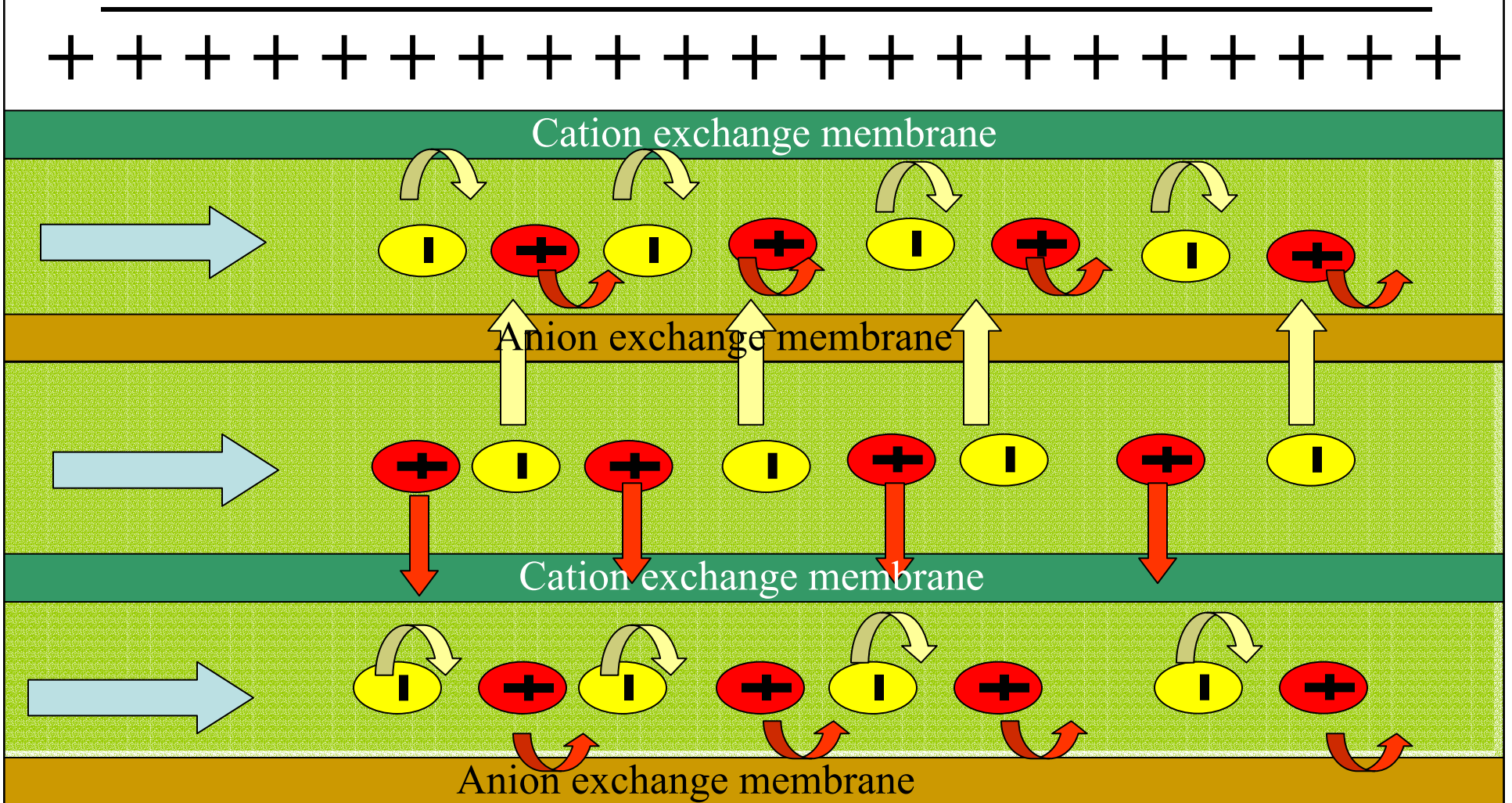
- (1)陽離子交換膜：含酸性官能基的膜，如強酸性磺酸型。
- (2)陰離子交換膜：含鹼性官能基的膜，如強鹼性季銨型。



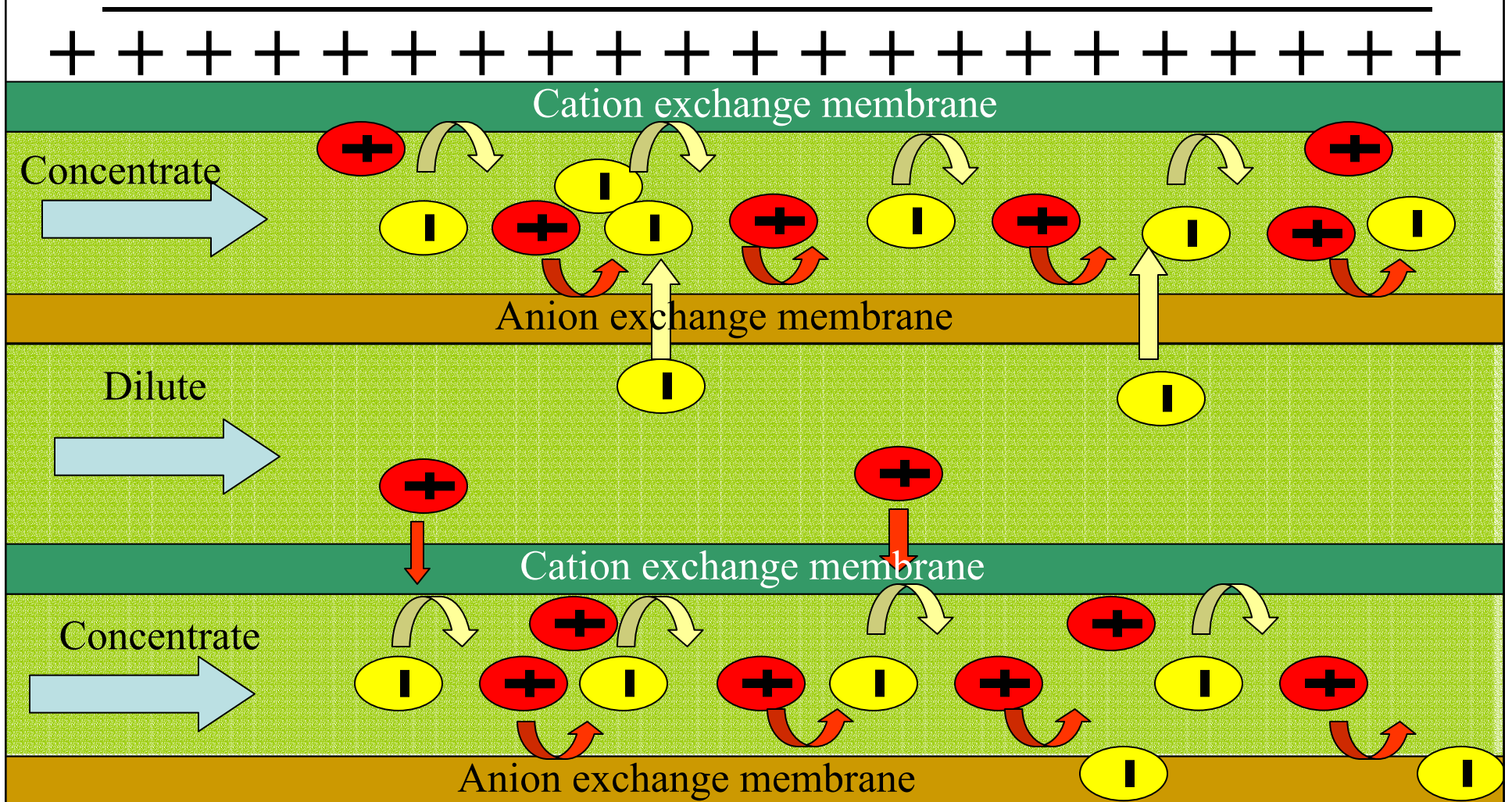
Cation exchange membrane

Anion exchange membrane

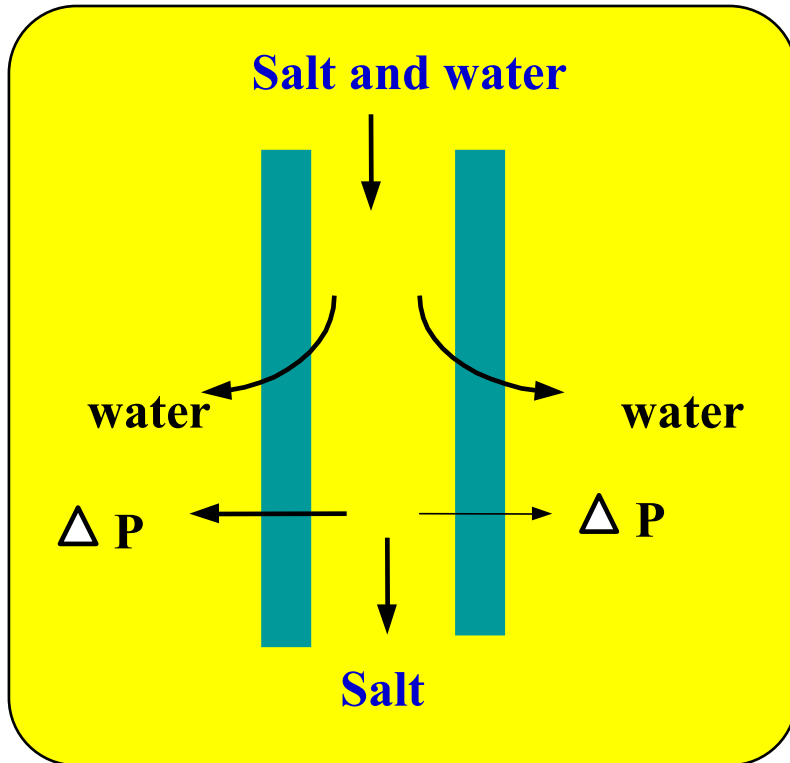
分離原理



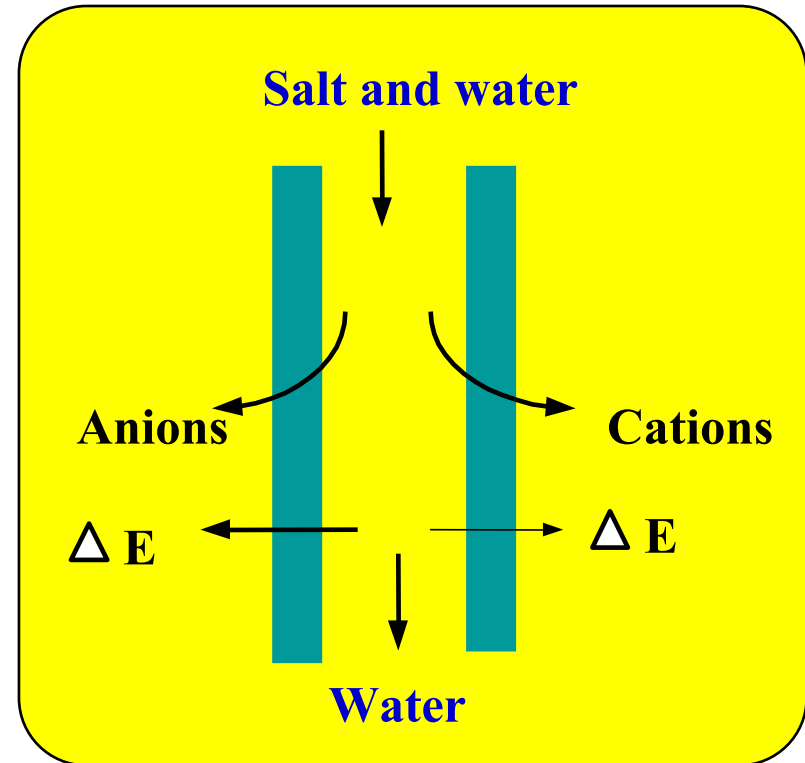
分離原理



分離機制



Reverse Osmosis



Electrodialysis

允許進水水質差異

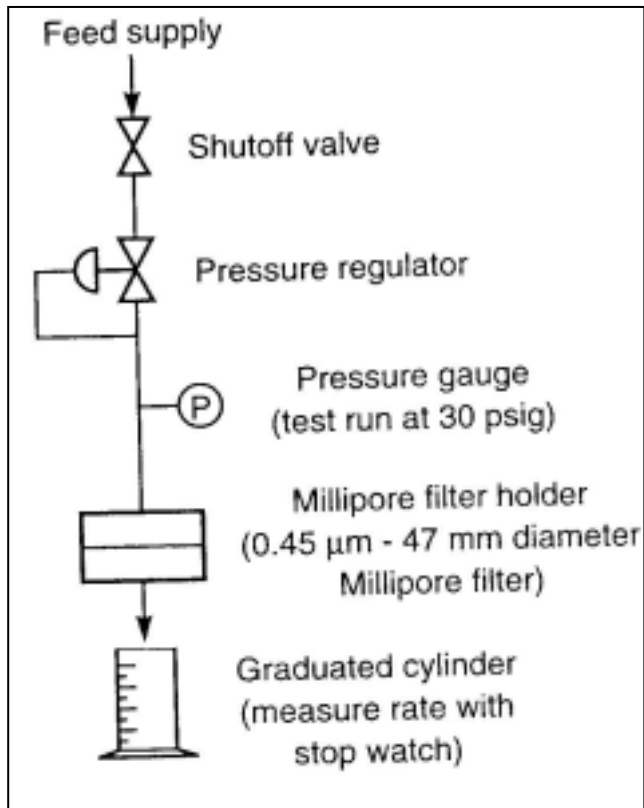
TABLE 13.4 Feedwater Turbidity and SDI Limits Recommended by Manufacturers for RO, NF, and ED/EDR Systems

	RO and NF		ED/EDR
	Spiral wound	Hollow fiber	
Maximum turbidity, ntu	1*	—	2 to 3
Maximum SDI (15 min)	3 to 5	3 to 4	—
Maximum SDI (5 min)	—	—	15

*Recommended turbidity less than 0.2 ntu.

Sources: Spiral-wound RO data based on product literature from Dow-FilmTec, Koch Fluid Systems, Hydranautics, and TriSep. Hollow-fiber RO data based on product literature from the DuPont Company. EDR data based on Ionics, Inc., Bulletin No. 121-E, *EDR—Electrodialysis Reversal*, March 1984.

SDI test



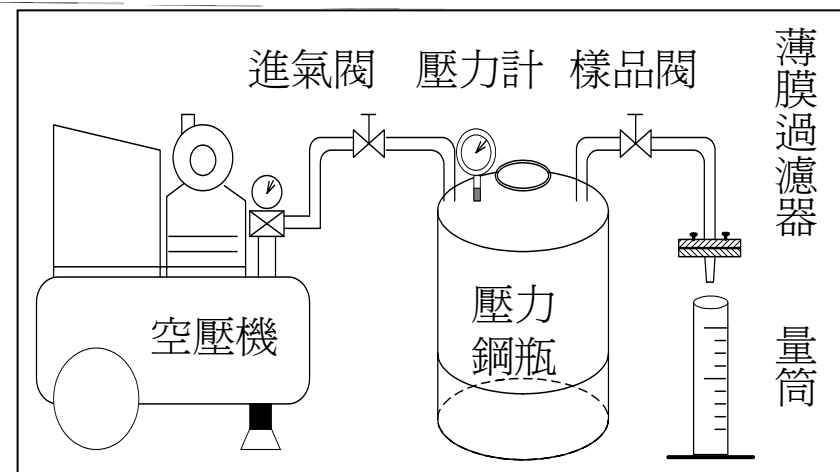
Measure the amount of time required for 500 ml of feed water to flow through a 0.45 micrometer Millipore filter (47 mm in diameter) at a pressure of 30 psig.

Allow the feed water to continue flowing at 30 psig applied pressure and measure the time required for 500 ml to flow through the filter after 5, 10 and 15 minutes.

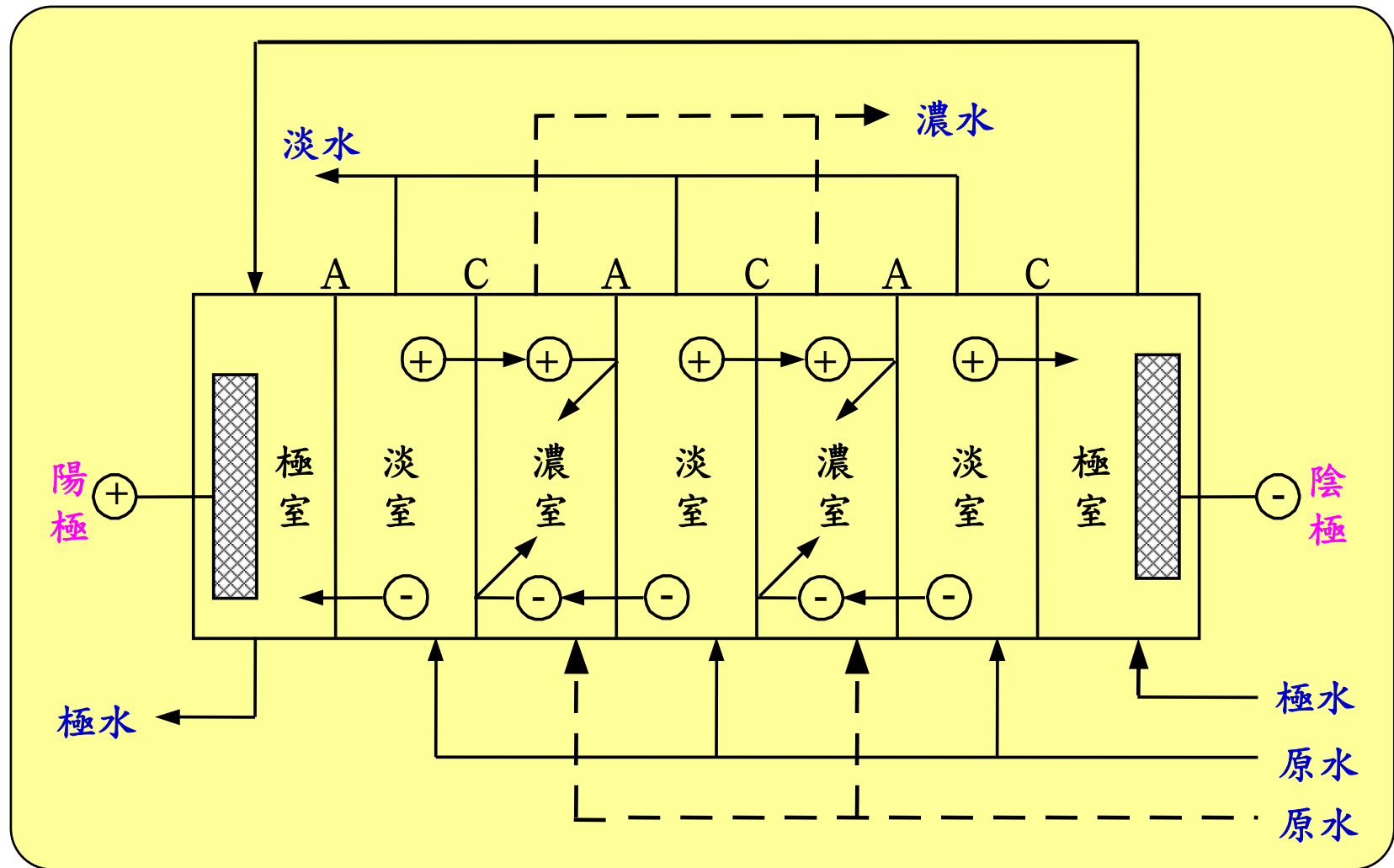
After completion of the test, calculate the SDI by using the equation below.

$$SDI = \frac{100 (1 - T_f/T_i)}{T_i}$$

where SDI = Silt Density Index
 T_i = Total elapsed test time (either 5, 10 or 15 minutes)
 T_f = Initial time in seconds required to collect the 500 ml sample
 T_f = Time in seconds required to collect the second 500 ml sample after test time T_i (normally after 15 minutes).



電透析模組示意



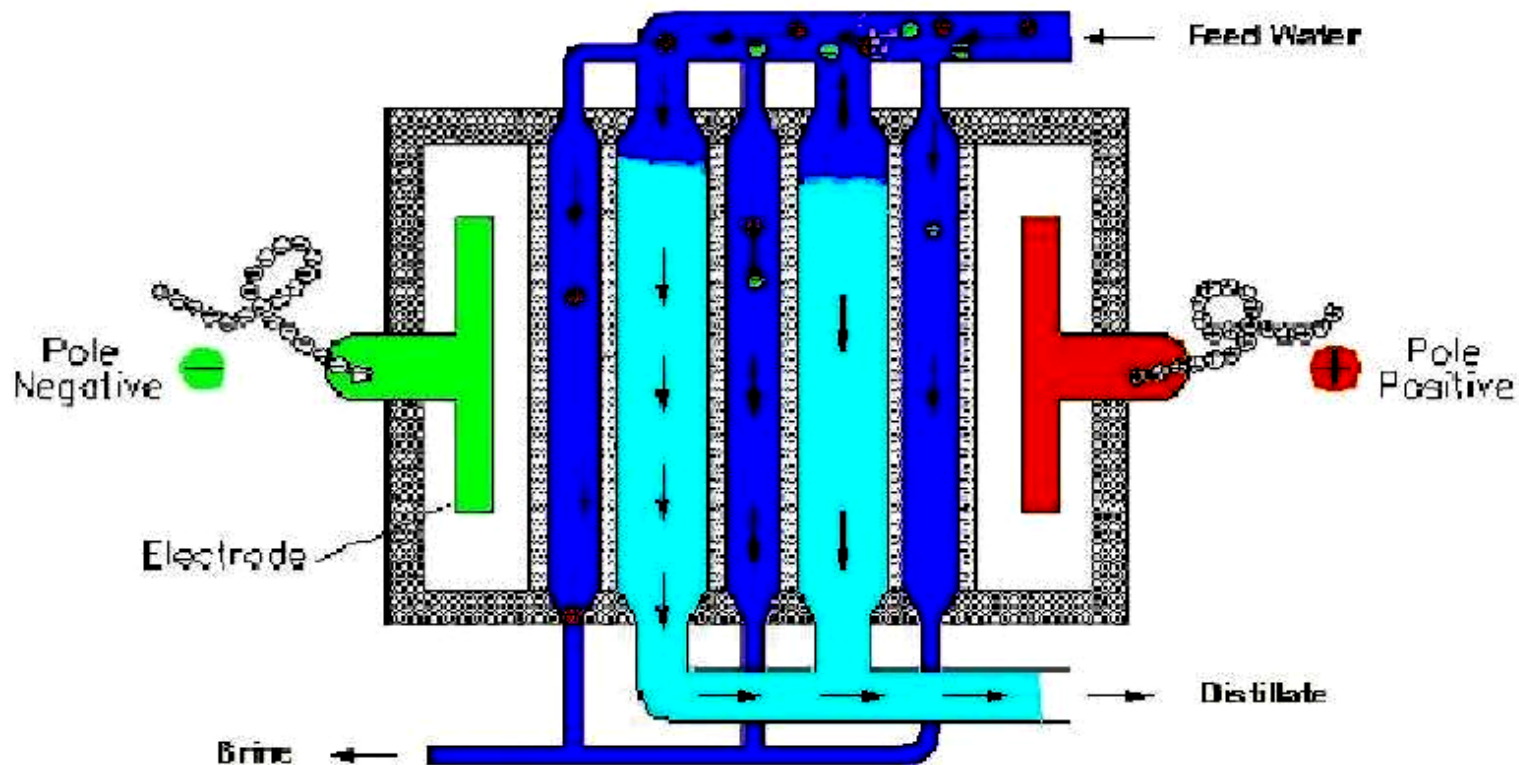
A : 陰離子交換膜

C : 陽離子交換膜

電透析

Electrodiaysis ED

Brackish Water $0.7 - 2.5 \text{ kWh/M}^3$



EDR技術研發

實驗室研究

- EDR 薄膜面積：
20cm x 40 cm
- EDR 薄膜對數：
20 對
- 處理量：
100 l/hr



模型廠試驗

- EDR 薄膜面積：
30 cm x 60 cm
- EDR 薄膜對數：
100 對
- 處理量：
20 m³ /day

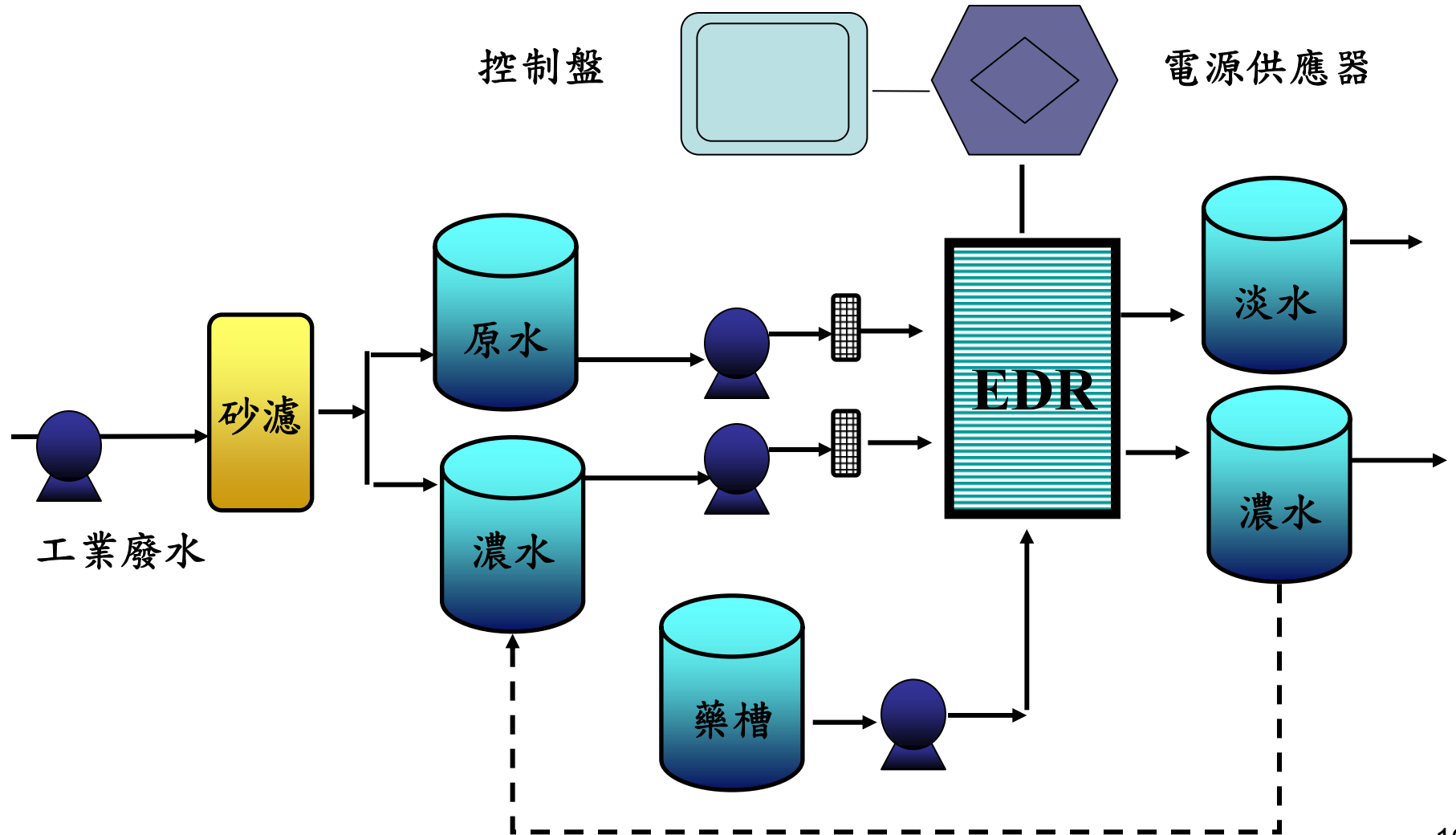


實廠驗證

- EDR 薄膜面積：
80 cm x 160 cm
- EDR 薄膜對數：
450 對
- 處理量：
450 m³ /day



EDR 系統





不溶性陽極(在網板內)



離子交換膜



膜組 (500 m³/day)



電源供應器



電腦自動操作記錄



倒極控制器



膜堆

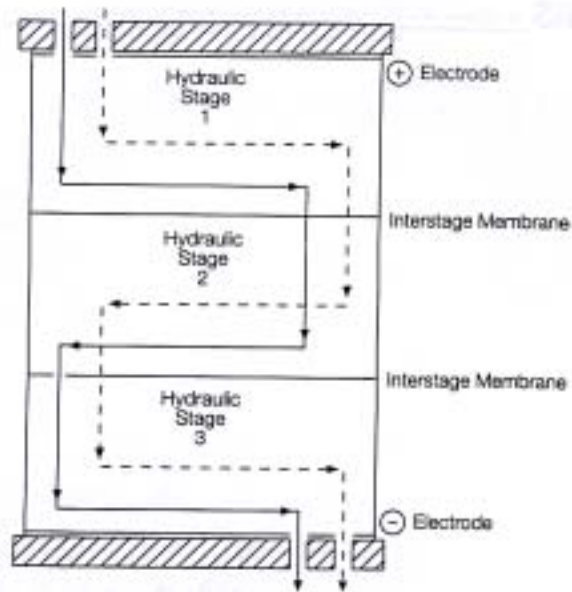
實場 EDR設備

三級三段EDR 膜組



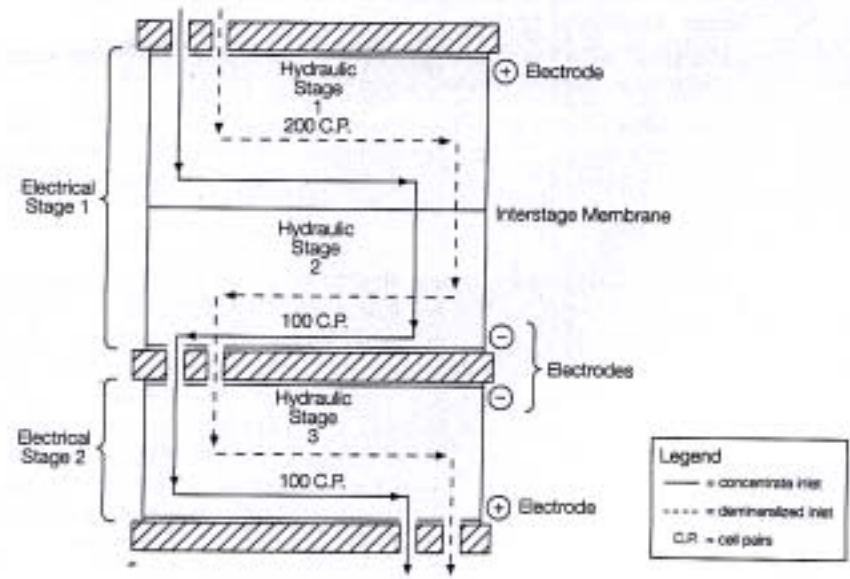
級/段	總膜對數	產水量	膜面積	極限操作電壓
3 級 3 段	450	200m ³ /day	160cm x 80 cm	160-180V

實場 EDR設備



Source: Ionics Inc.

Figure 2-10 Hydraulic staging within a single membrane stack



Source: Ionics Inc.

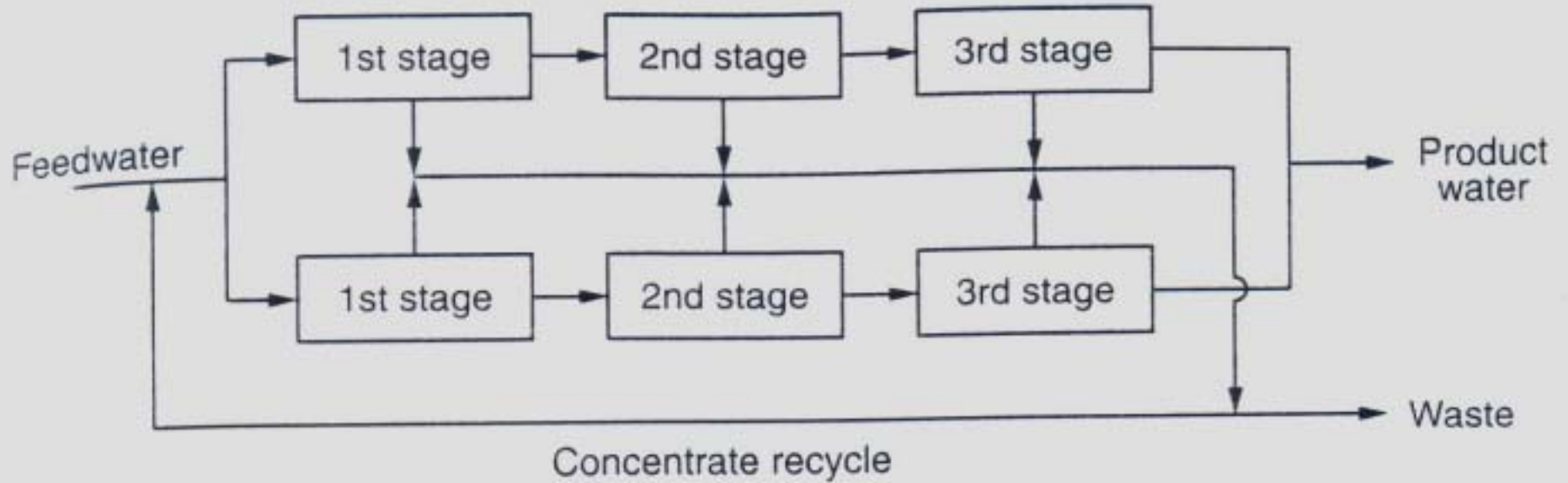
Figure 2-11 Membrane stack with two electrical stages and three hydraulic stages

EDR 操作參數

Parameter	Unit	Range
Flux rate	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	0.8–1.0
CD/N ratio	mA/cm^2	500–800
Membrane resistance, Ω	Ohms	4–8
TDS removal	%	50–94
Current efficiency	%	85–95
Concentrate stream flow	% of feed	10–20
Energy consumption ^a	kWh/m^3	1.5–2.6
Approximate energy per kg of salt removed	$\text{kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{kg}$	1–1.2

^aBased on treating reclaimed water with a TDS concentration in the range from 1000 to 2500 mg/L. Not recommended for TDS concentration values beyond 10,000 to 12,000 mg/L.

EDR 膜組串連與並聯



EDR設計與操作

水質/水量

用途

回收率、脫鹽率

模組安排

pH控制

電流與電壓

倒極頻率

斷面流速的控制

酸洗週期

搭配前處理技術

On-line 監測與控制

生物滋生沉積防止

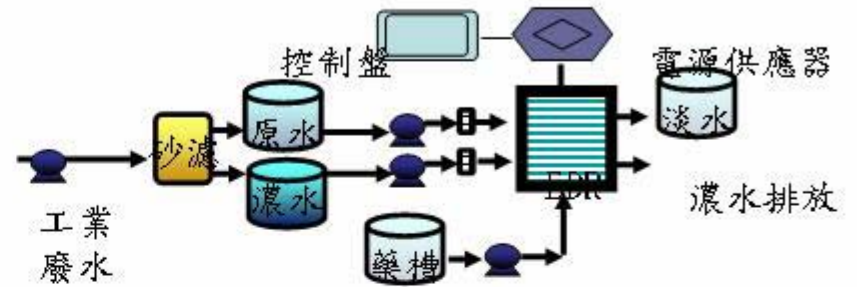
結垢防止

應用實績

- 地下水脫鹽工程(50CMD,2003)
- 河川水混凝沉澱脫鹽工程 (2400 CMD,2003)
- 冷卻循環水脫鹽循環使用工程 (500 CMD, 2003)
- RO濃縮水EDR脫鹽回收工程(300CMD, 2004)
- RO濃縮水EDR脫鹽回收工程(300 CMD, 2005)
- 工業廢水脫鹽回收 (200 CMD, 2006)
- 晉億公司螺絲製造廢水脫鹽回收 (450 CMD, 2007)
- 日東精密螺絲製造業廢水脫鹽回收 (350 CMD, 2007)
- 瑞升電子含銅清洗水回收(1000 CMD, 2008)
- 含氟清洗水脫鹽再生回收(600 CMD,2008)
- 中鋼公司直接冷卻水脫鹽回收(560CMD,2008)
- 義芳化學工業用水脫鹽回收(400 CMD, 2010)
- 集盛實業公司廢水回收 (1200 CMD, 2011)

實績照片

EDR模組系統設計與工程整合



地下水水脫鹽
(50 m³/d)



RO濃縮水脫鹽
(300 m³/d)



RO濃縮水脫鹽回收
(300 m³/d)



工程螺絲製造廢水脫鹽回收 (450 m³/d)



PCB廢水回收
(1200 m³/d)



河川水混凝脫鹽
(2400 m³/d)



虎生電子冷卻水回收(550 m³/d)



RO濃縮水脫鹽
(200 m³/d)



精密螺絲製造業廢水脫鹽回收 (350 m³/d)



鋼品直接冷卻水回收 (550 m³/d)

案例

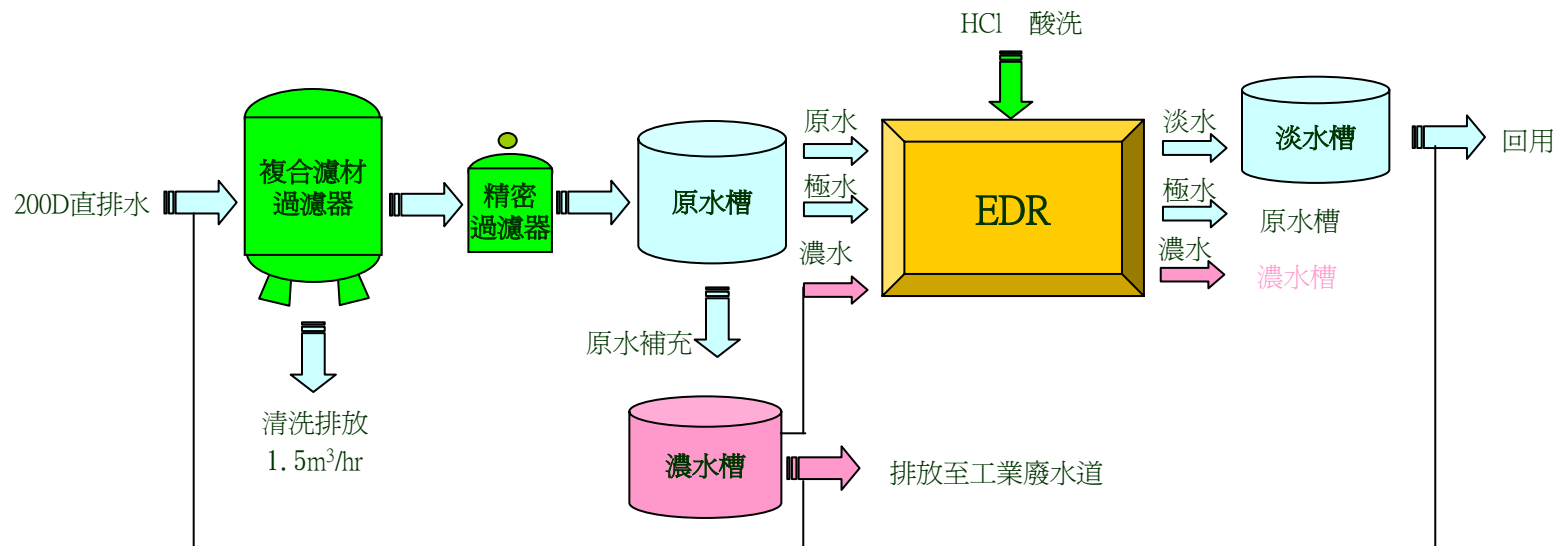
1. 鋼材直接冷卻水塔循環水
2. 電器業冷卻水塔循環水
3. 電鍍業冷卻水塔循環水
4. 石化業廢水與冷卻水回收
5. 西班牙都市污水回收灌溉

案例1

中國鋼鐵股份有限公司 200D直排水回收設備EDR實場照片



EDR應用 直接冷卻水回收



原水水質			
流量	:	35	m³/hr
PH	:	8.5	
電導率	:	1800	μ S/cm
總硬度	:	400	mg/L
Cl ⁻	:	280	mg/L
SO ₄ ²⁻	:	340	mg/L

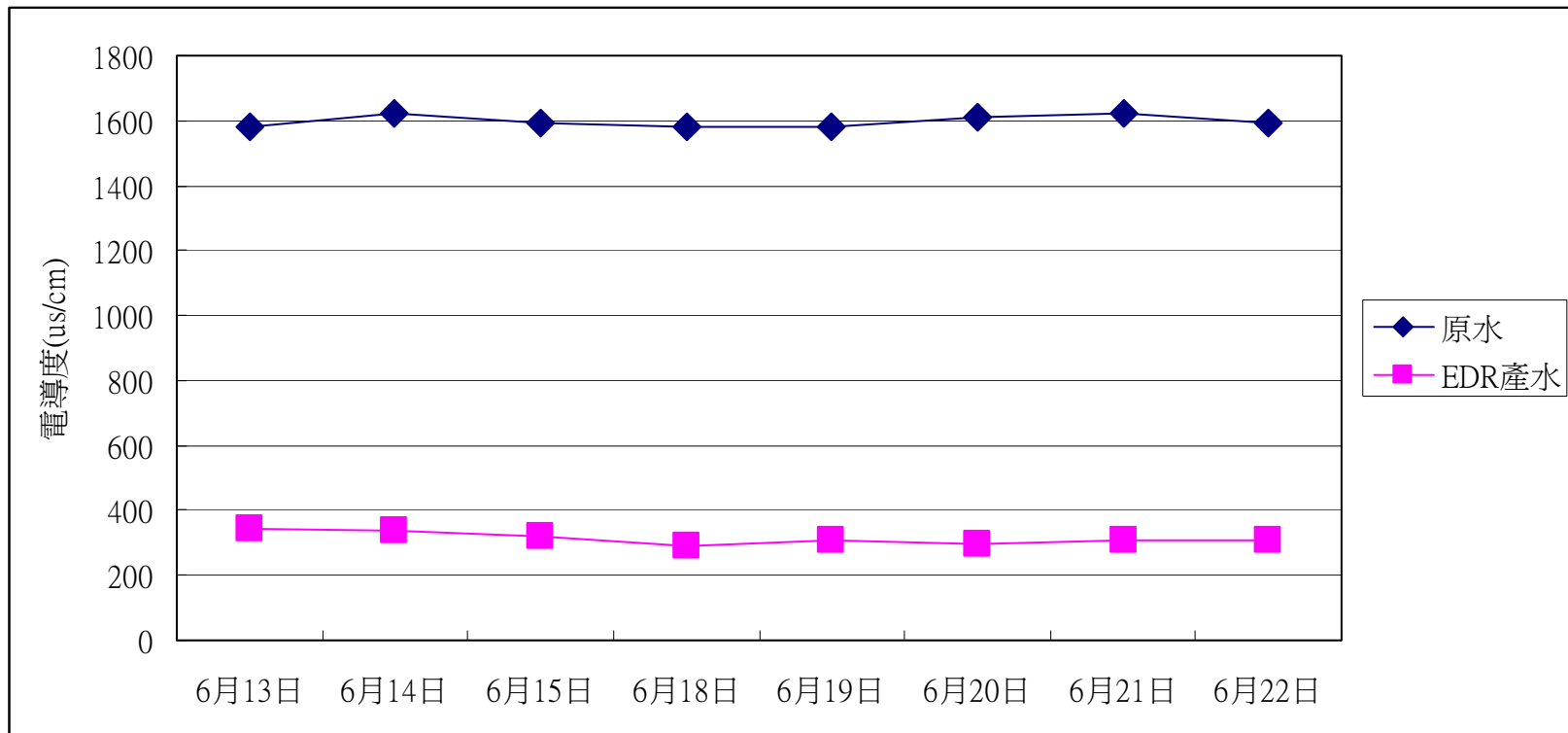
濃水水質			
流量	:	8.5	m³/hr
PH	:	8.5	
電導率	:	6100	μ S/cm
總硬度	:	1500	mg/L
Cl ⁻	:	1100	mg/L
SO ₄ ²⁻	:	1000	mg/L

處理後水質			
流量	:	25	m³/hr
PH	:	7.5~8.5	
電導率	:	≤350	μ S/cm
總硬度	:	≤50	mg/L
Cl ⁻	:	≤30	mg/L
SO ₄ ²⁻	:	≤120	mg/L

案例1

鋼材直接冷卻循環水水質結果

樣品名稱	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
原水	8.5	24	4	316	298	124	12	188
淡水	6.2	11	--	112	21	11	0.5	42



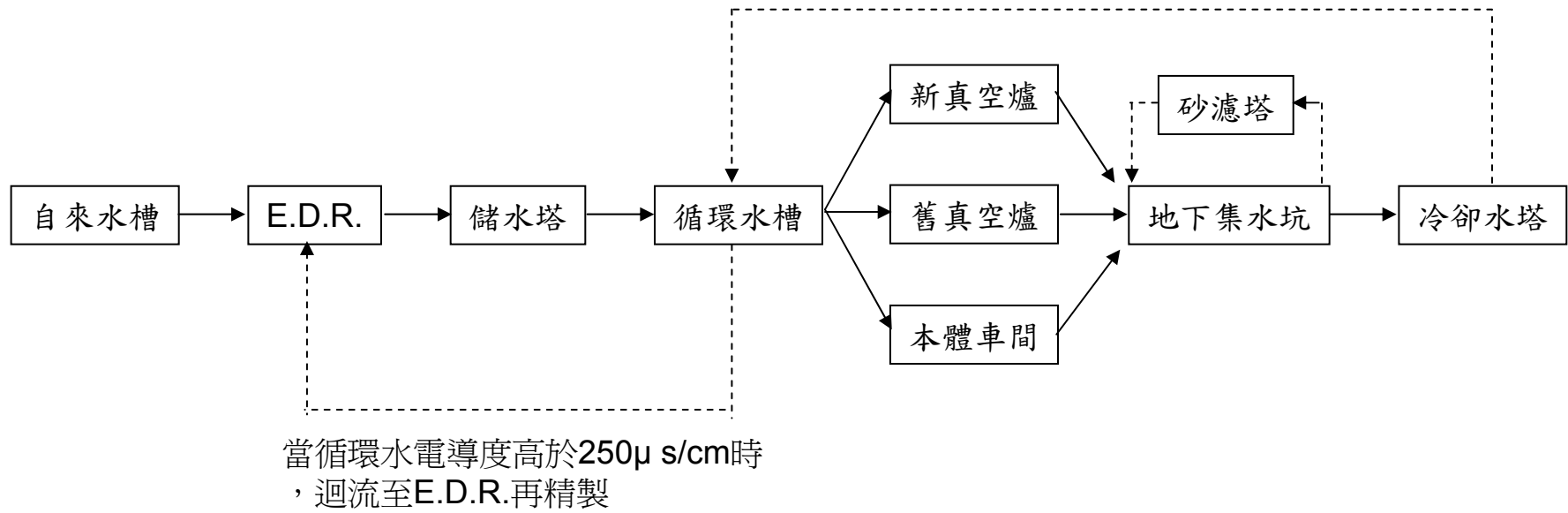
案例1

操作成本分析

	電費 (元/m ³)	藥品費 (元/m ³)	維修費用 (元/m ³)	設備攤提 (元/m ³)	合計 (元/m ³)
EDR	1.13	0.77	4.25	5	11.15

案例2

電器業冷卻循環水



電氣用品製程用水再利用處理流程圖

案例2

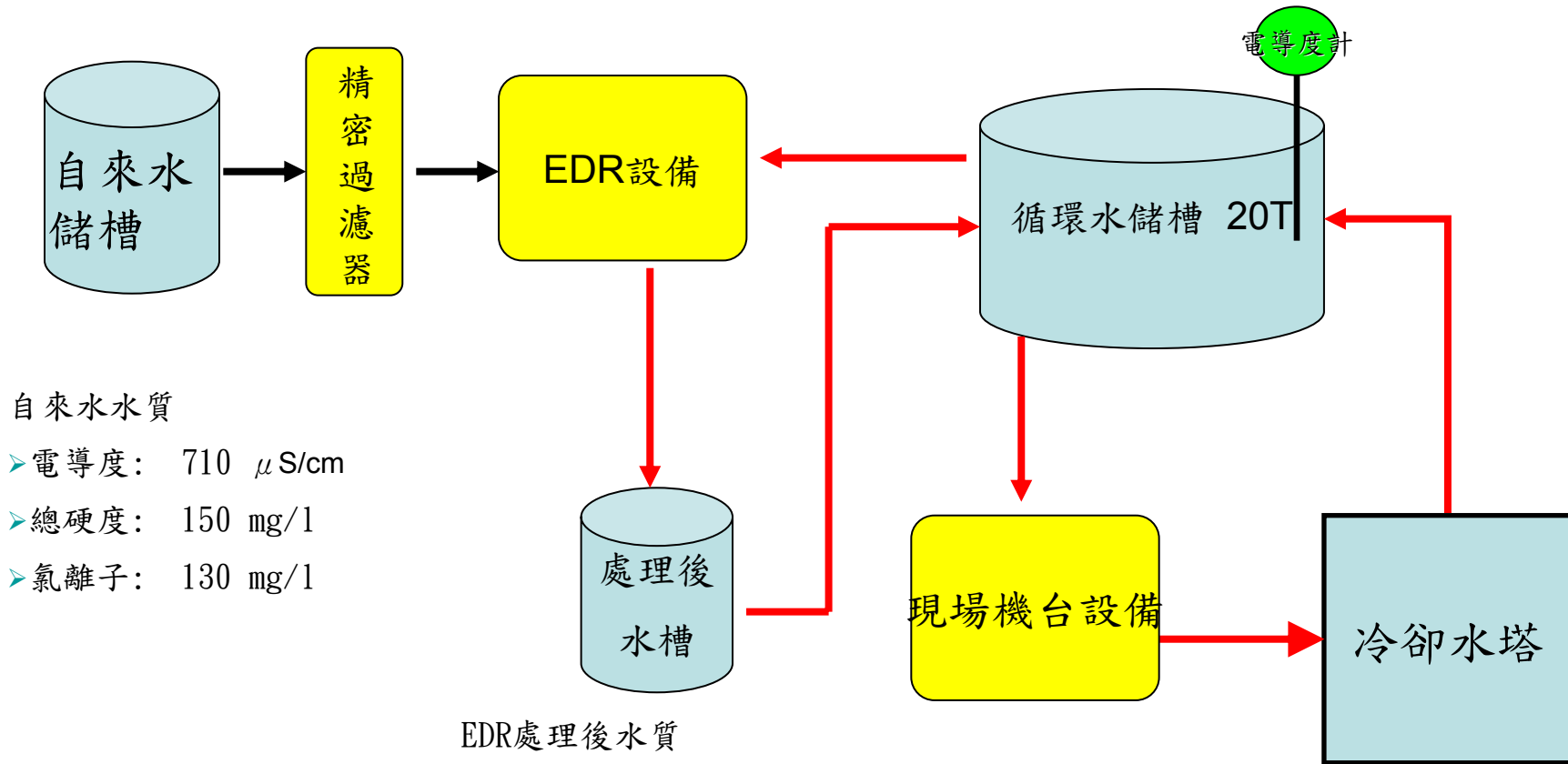
原水水質

EDR進水水源為：

- p H : 7.1
- M鹼度 : 78.3 mg/l
- 電導度: 710 μ S/cm
- 總硬度: 147 mg/l
- 全 鐵: 0.24 mg/l
- 氯離子: 60.1 mg/l
- SO_4^{2-} : 155 mg/l

案例2

EDR系統圖



自來水水質

- 電導度: 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 總硬度: 150 mg/l
- 氯離子: 130 mg/l

EDR處理後水質

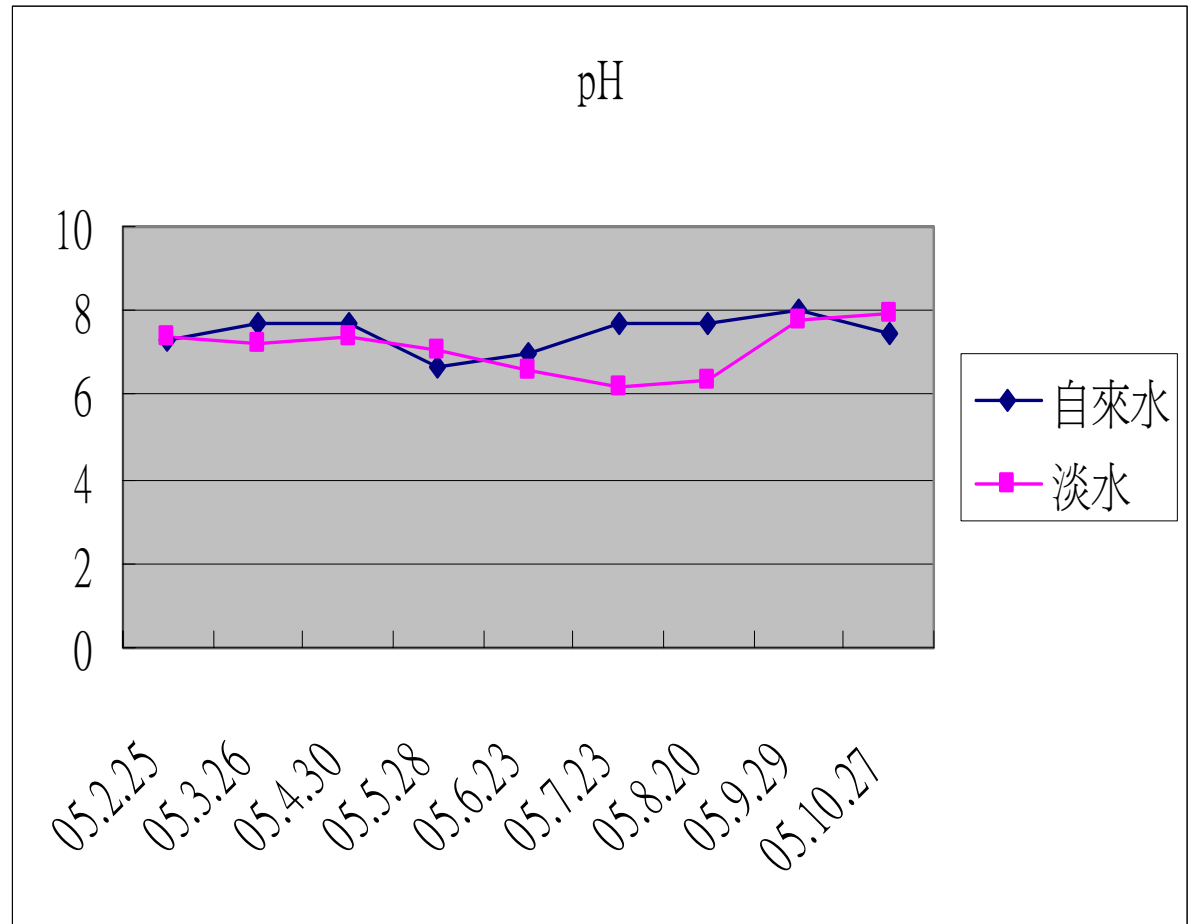
- 電導度: 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 總硬度: 50 mg/l
- 氯離子: 15 mg/l

當水質偵測器偵測到循環水質電導度偏高時, 會自動把水倒入EDR再做處理, 使電導度控制在 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ↓.

案例2

EDR分離功能

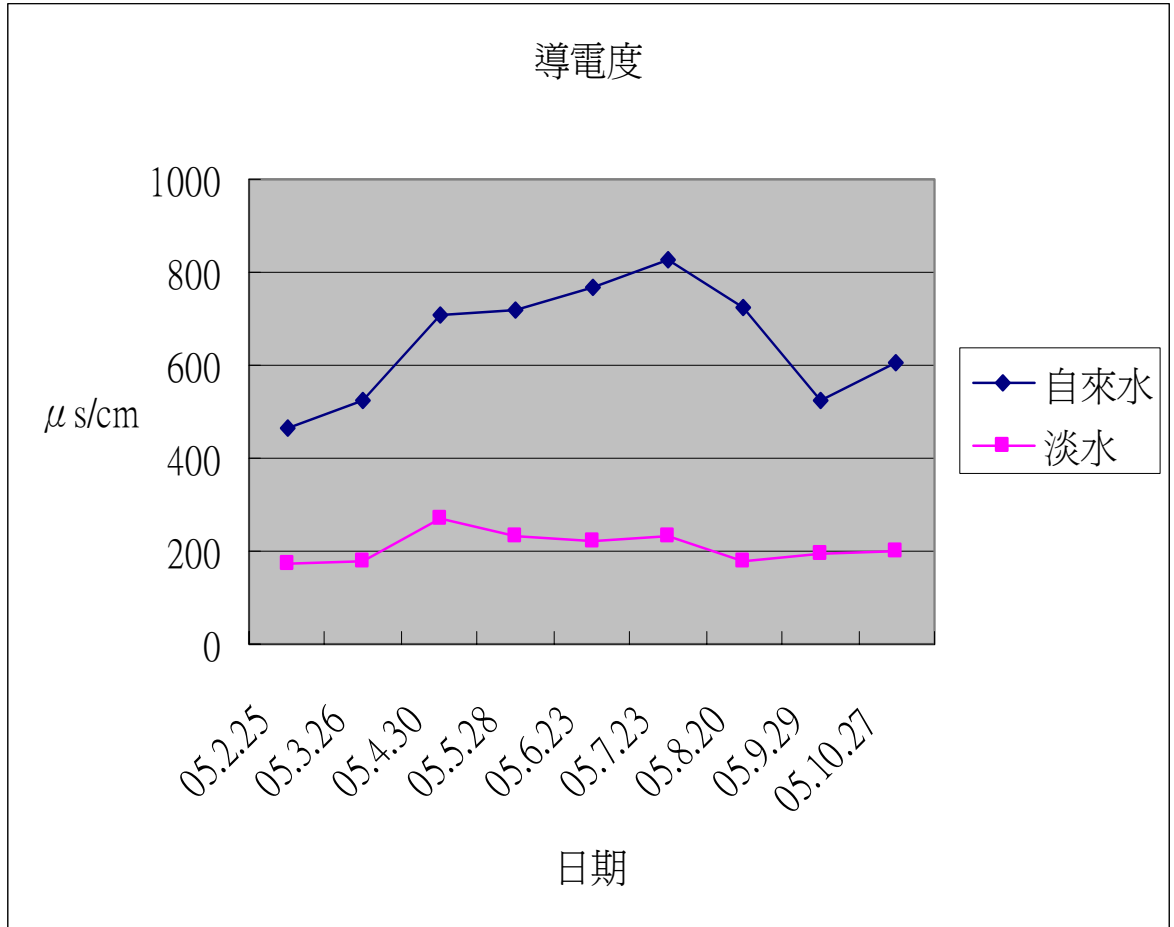
檢測項目	自來水	淡水
日期	pH	pH
05.2.25	7.28	7.36
05.3.26	7.68	7.23
05.4.30	7.68	7.4
05.5.28	6.68	7.08
05.6.23	6.97	6.55
05.7.23	7.72	6.18
05.8.20	7.66	6.32
05.9.29	8.04	7.74
05.10.27	7.5	7.9



案例2

EDR分離功能

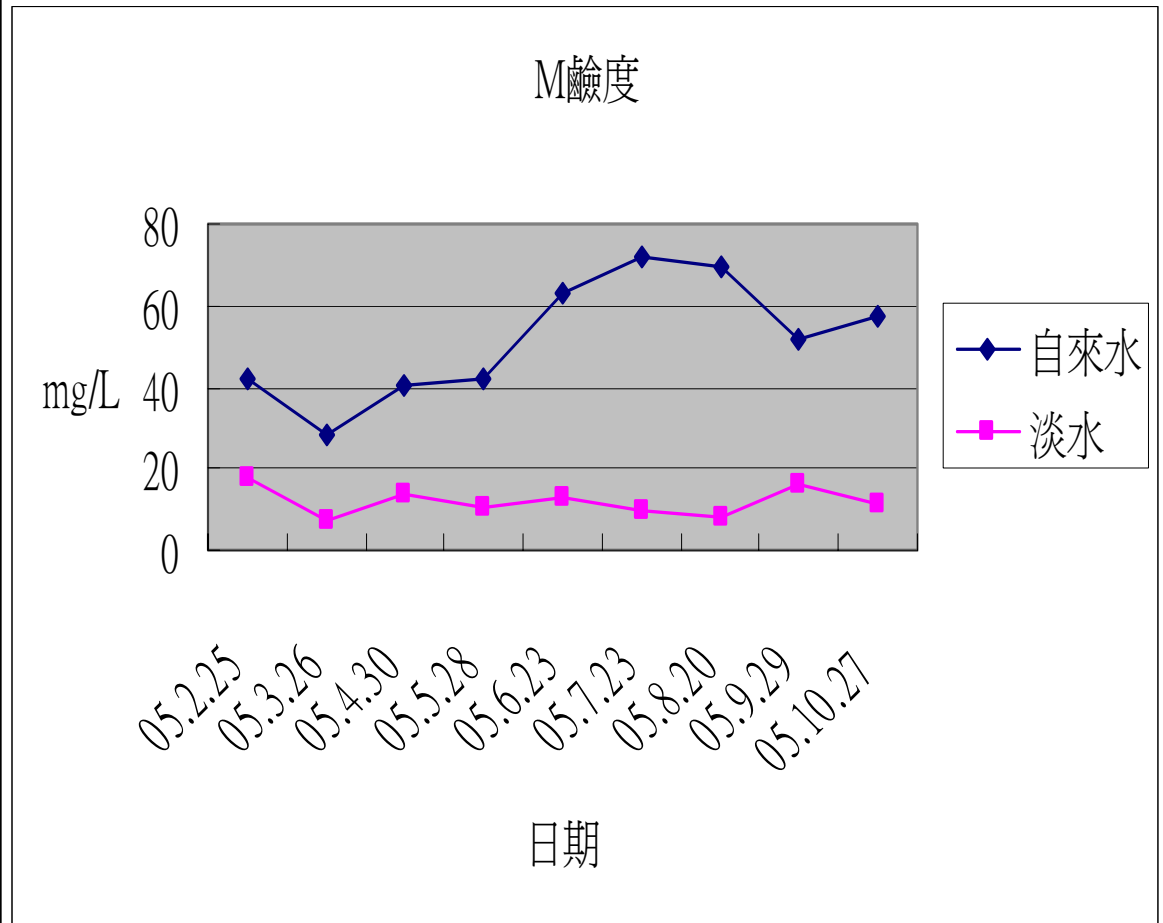
檢測項目	自來水	淡水
日期	導電度 (μ s/cm)	導電度 (μ s/cm)
05.2.25	465	172.2
05.3.26	525	177
05.4.30	710	271
05.5.28	719	233
05.6.23	765	224
05.7.23	826	233
05.8.20	722	176.8
05.9.29	524	195
05.10.27	603	198



案例2

EDR分離功能

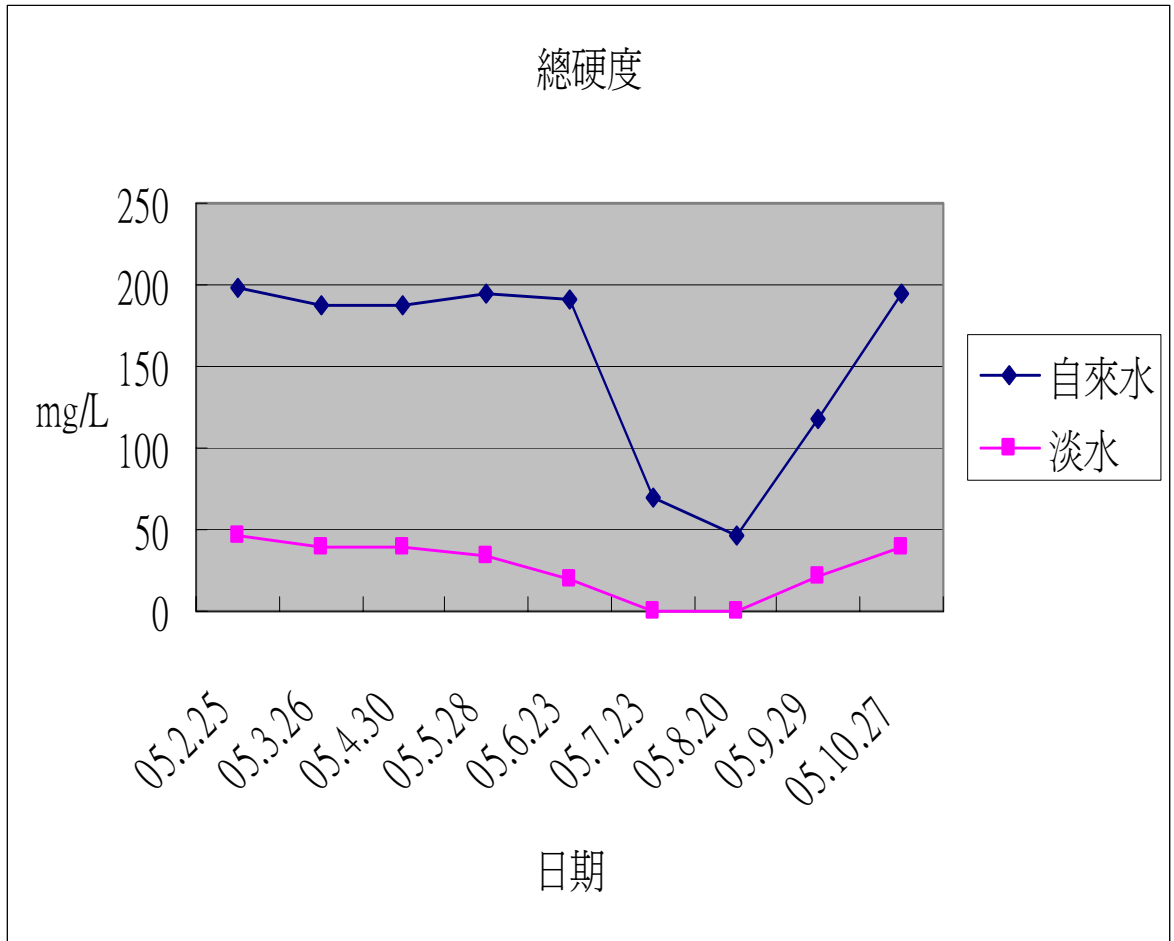
檢測項目	自來水	淡水
日期	M鹼度 (mg/L)	M鹼度 (mg/L)
05.2.25	41.8	17.7
05.3.26	27.89	6.97
05.4.30	40.67	13.94
05.5.28	41.99	10.9
05.6.23	62.71	12.54
05.7.23	72.26	9.56
05.8.20	69.68	8.03
05.9.29	51.8	16.1
05.10.27	57.4	11.2



案例2

EDR分離功能

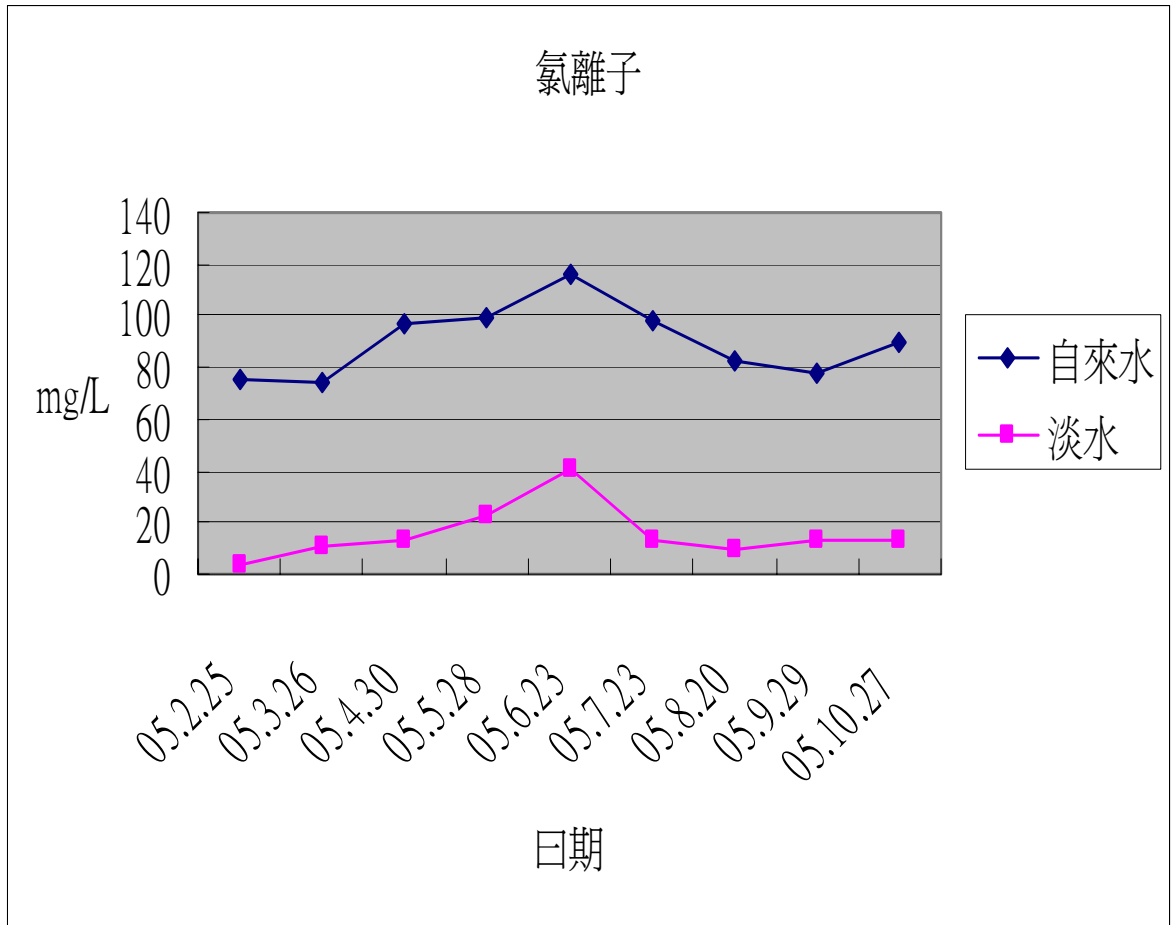
檢測項目 日期	自來水	淡水
	總硬度 (mg/L)	總硬度 (mg/L)
05.2.25	198.9	47
05.3.26	188.19	40.04
05.4.30	188.19	40.05
05.5.28	194.18	34.02
05.6.23	190.19	18.82
05.7.23	69.72	ND
05.8.20	45.82	ND
05.9.29	117	21.9
05.10.27	195	38.9



案例2

EDR分離功能

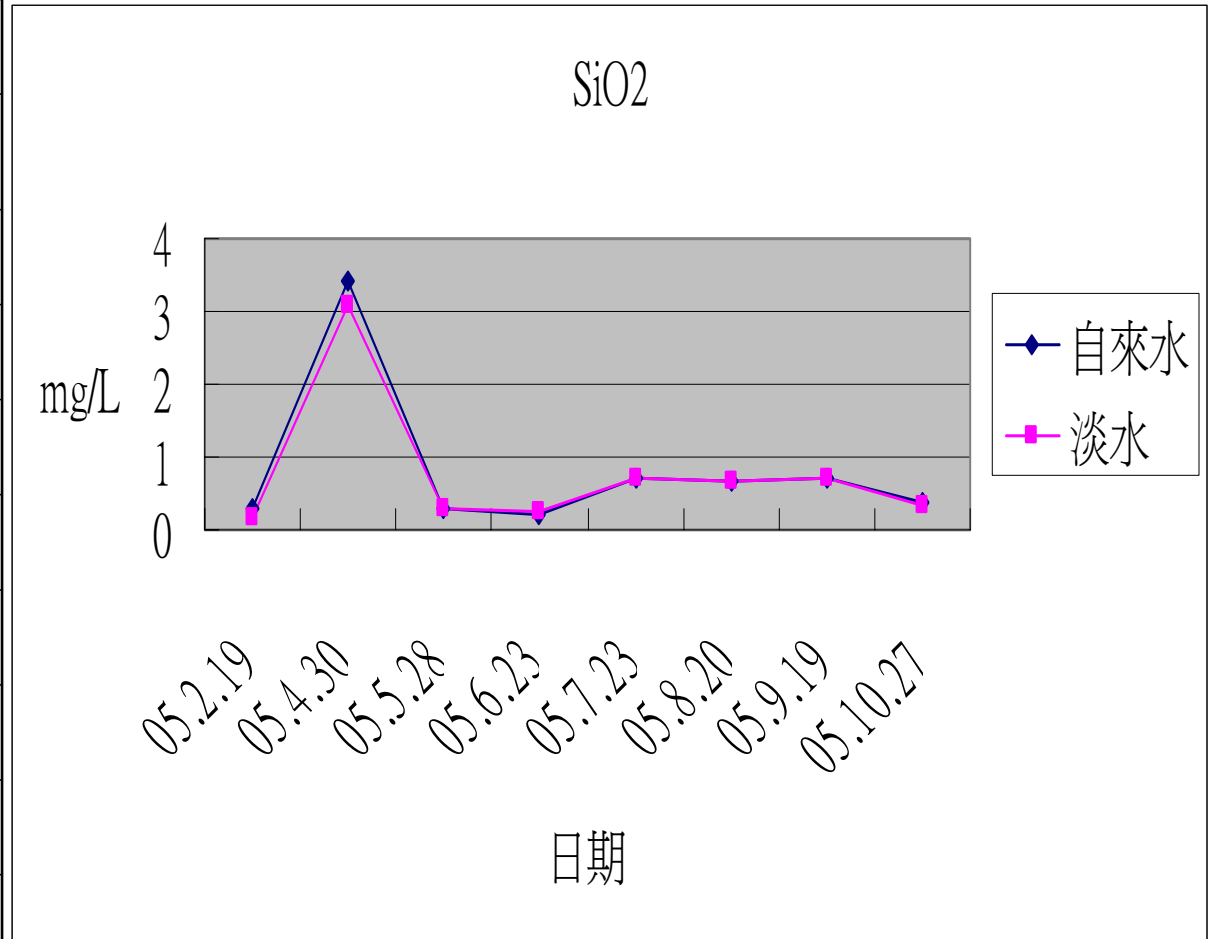
檢測項目	自來水	淡水
日期	Cl ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
05.2.25	75.4	3.8
05.3.26	74.49	11.32
05.4.30	96.86	13.34
05.5.28	99.3	22.8
05.6.23	116.17	40.26
05.7.23	98.589	12.63
05.8.20	83.05	9.97
05.9.29	77.3	12.7
05.10.27	89.8	13.7



案例2

EDR分離功能

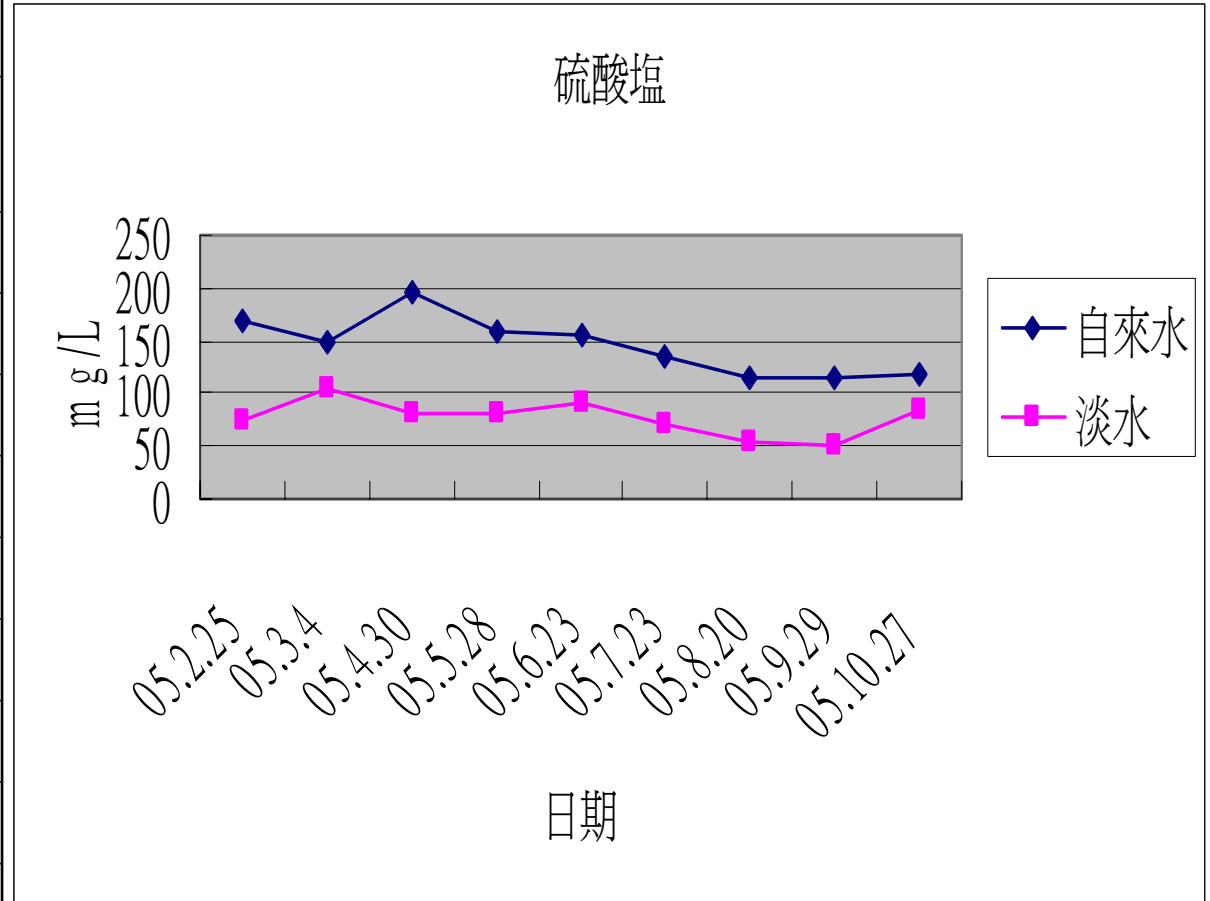
檢測項目 日期	自來水	淡水
	SiO ₂ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
05.2.19	0.3	0.15
05.4.30	3.4	3.1
05.5.28	0.3	0.3
05.6.23	0.212	0.233
05.7.23	0.711	0.703
05.8.20	0.648	0.68
05.9.19	0.71	0.7
05.10.27	0.36	0.34



案例2

EDR分離功能

日期	自來水	淡水
	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
05.2.25	170	75
05.3.4	150	105
05.4.30	195	81
05.5.28	158	82
05.6.23	154	90
05.7.23	136	72
05.8.20	114	54
05.9.29	116	52
05.10.27	118	86



案例2

操作成本分析

虎生電子電器有限公司

	電費 (元/m ³)	藥品費 (元/m ³)	維修費用 (元/m ³)	設備攤提 (元/m ³)	合計 (元/m ³)
EDR	1.5	0.45	0.36	3	5.31

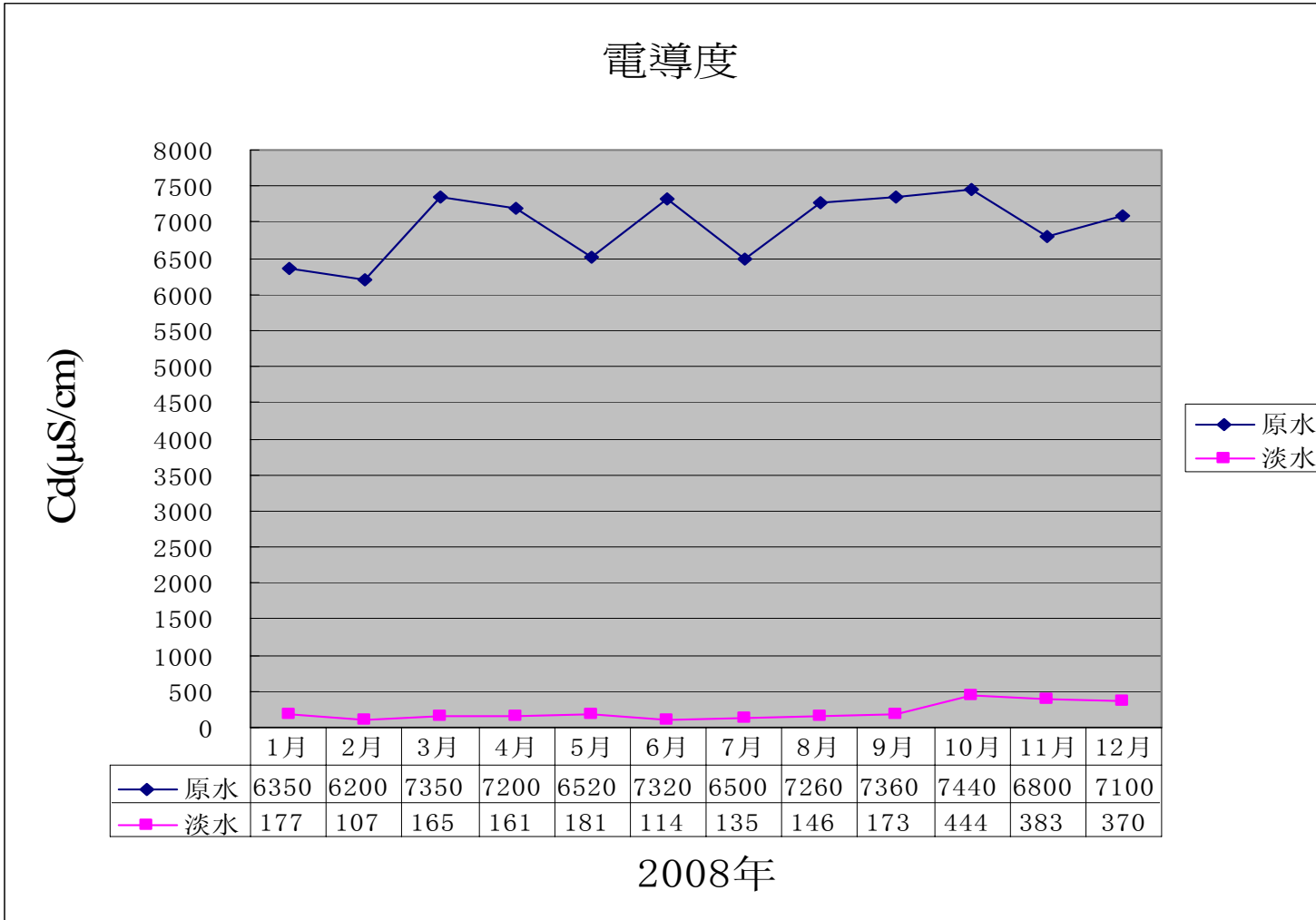
案例3

晉億實業股份有限公司EDR實場照片



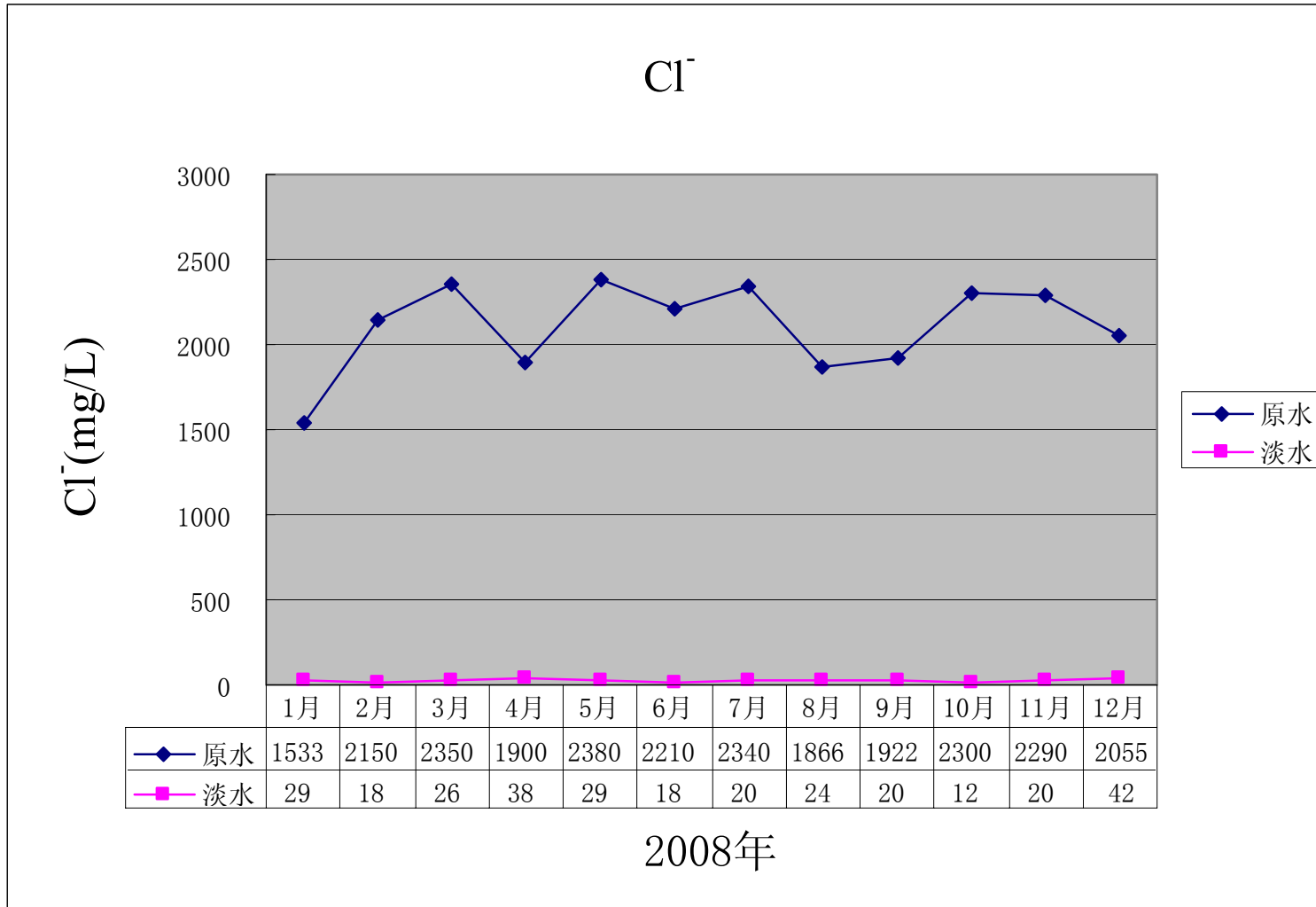
EDR應用

酸洗清洗水脫鹽



案例3

EDR應用 酸洗清洗水脫鹽



案例3

電鍍業廢水(回收300 CMD)

操作成本分析

	電費 (元/m ³)	藥品費 (元/m ³)	維修費用 (元/m ³)	設備攤提 (10年) (元/m ³)	合計 (元/m ³)
EDR	3.5	2.5	2.6	5	13.6

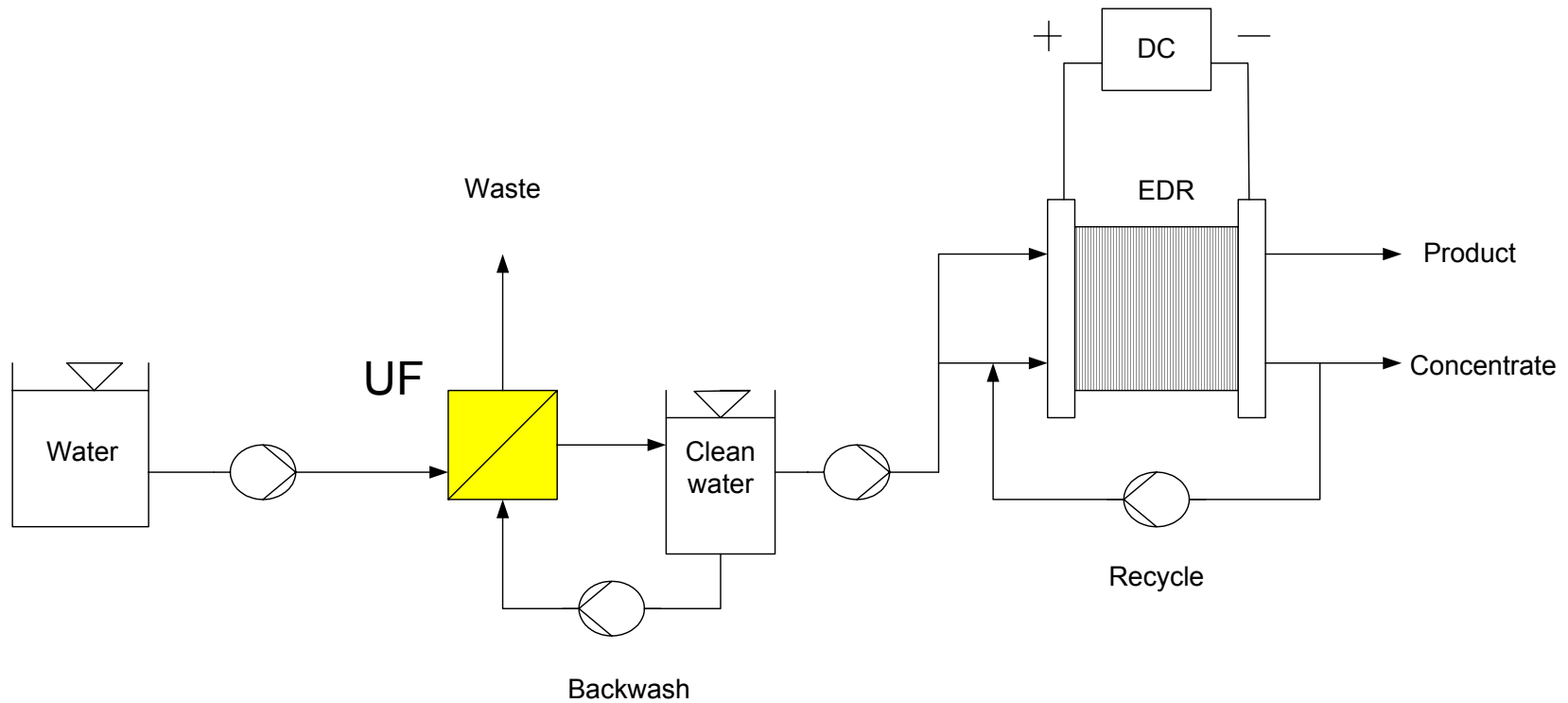
EDR實場照片

日東精密螺絲工業（浙江）有限公司EDR實場照片



案例4

石化廢水處理廠放流水脫鹽回收



Pilot plant of UF and EDR units

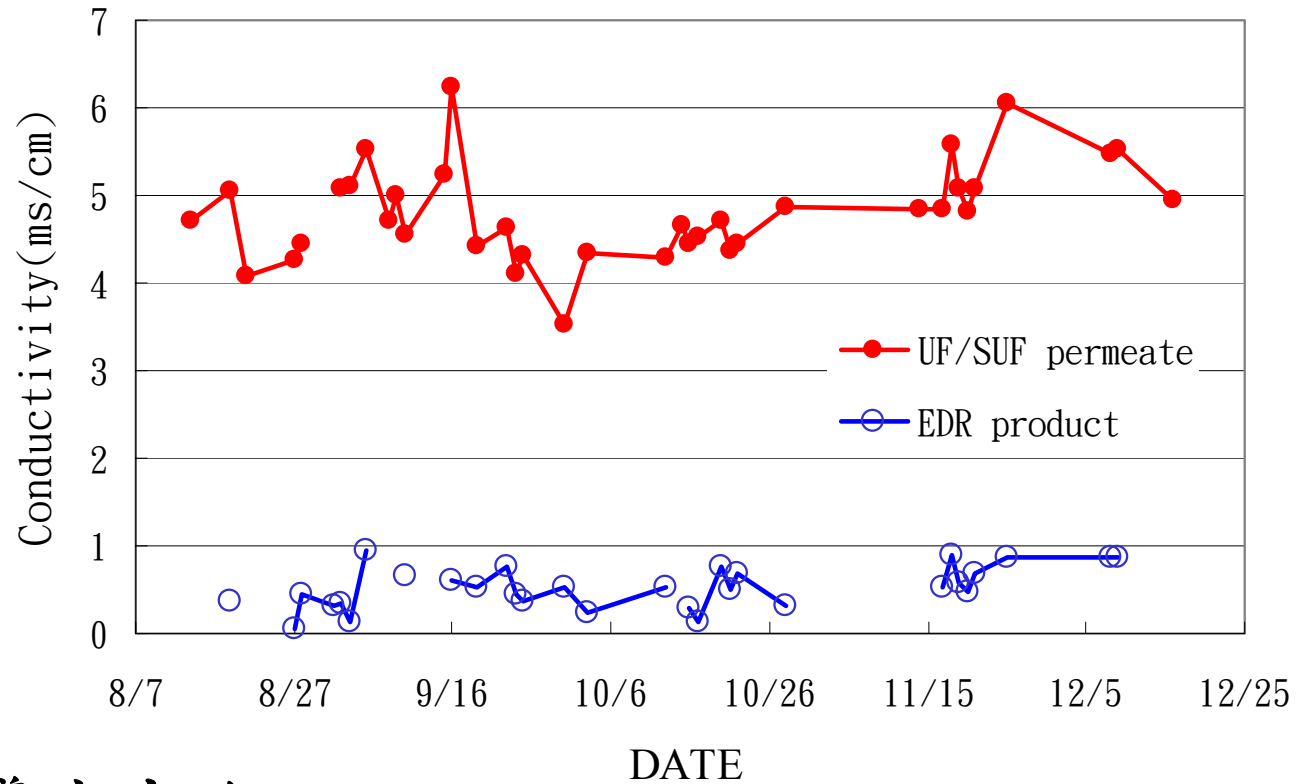
案例4

石化廢水處理廠放流水脫鹽回收

Item		Discharged stream from treatment plant	Water of EDR product
pH		8.1~8.3	7.1~7.5
SS	mg/L	42	-
Conductivity	μS/cm	3,240~4,100	440~640
COD	mg/L	56~80	45~75
Ca	mg/L	15~38	5~8.5
Mg	mg/L	12~19	2.5~4
Fe	mg/L	0.52	-
Na ⁺	mg/L	1,676~1,830	180~195
Cl ⁻	mg/L	182~220	46~69
NO ₂ ⁻	mg/L	76~92	15~32
NO ₃ ⁻	mg/L	42~105	10~35
PO ₄ ³⁻	mg/L	ND	-
SO ₄ ²⁻	mg/L	16~40	-
SiO ₂	mg/L	6.5	2.5
Hardness	mg/L as CaCO ₃	80~135	20~38
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	520~580	160~195

案例4

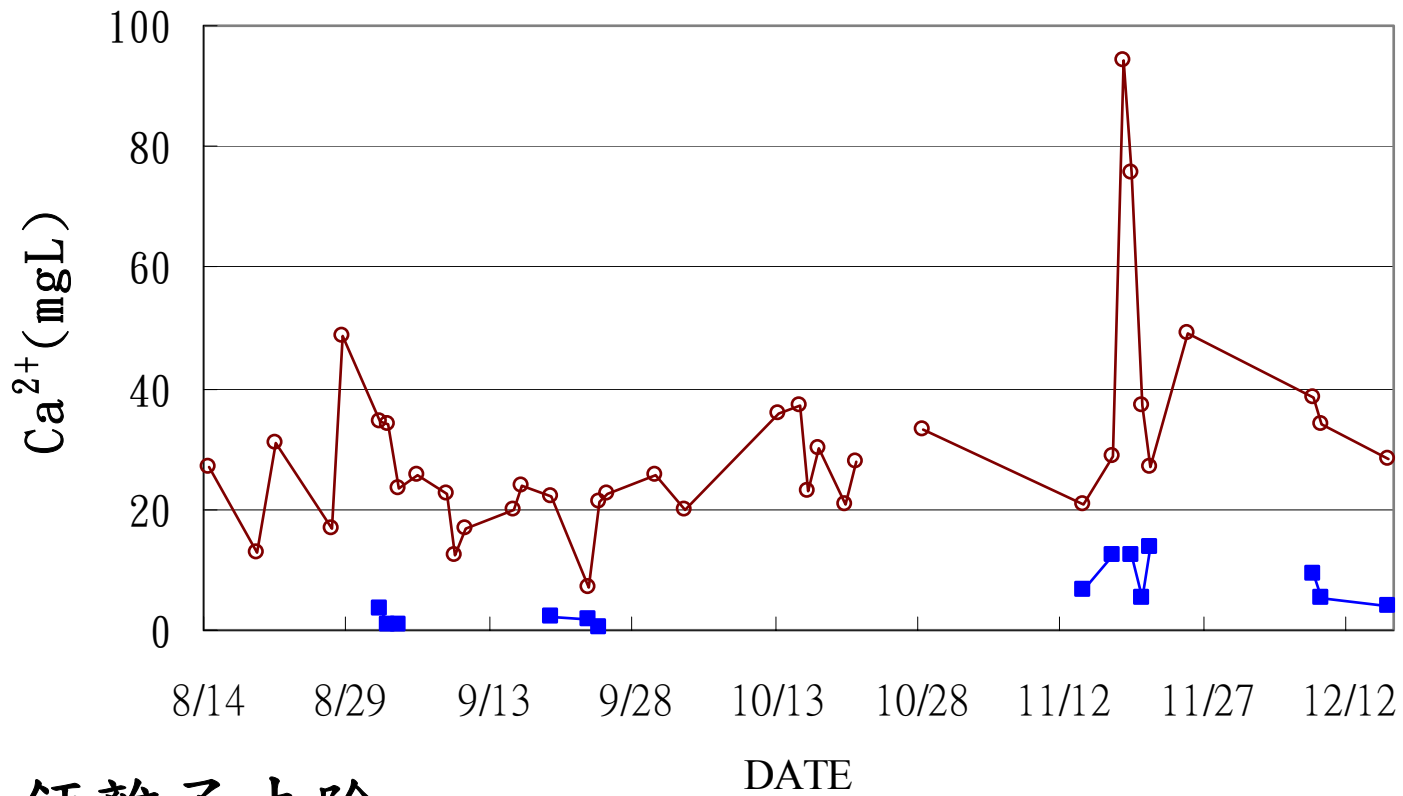
石化廢水處理廠放流水脫鹽回收



電導度去除

案例4

石化廢水處理廠放流水脫鹽回收



鈣離子去除

案例4

石化業冷卻水塔

冷卻排放水：

項目		5月2日	5月4日	5月7日	5月9日	5月10日	原水平均
PH		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
電導度	$\mu\text{S}/\text{cm}$	3060	3080	3100	3100	2990	3066
總硬度	ppm as CaCO_3	1733	1780	1733	1743	1657	1729
鈣硬度	ppm as CaCO_3	1093	1153	1150	1127	1083	1121
氯 鹽	ppm as Cl	97	97	99	104	101	100
硫酸鹽	ppm as SO_4	1649	1713	1679	1691	1515	1649
矽酸鹽	ppm as SiO_2	55.5	57.3	57.6	56.0	54.2	56.1

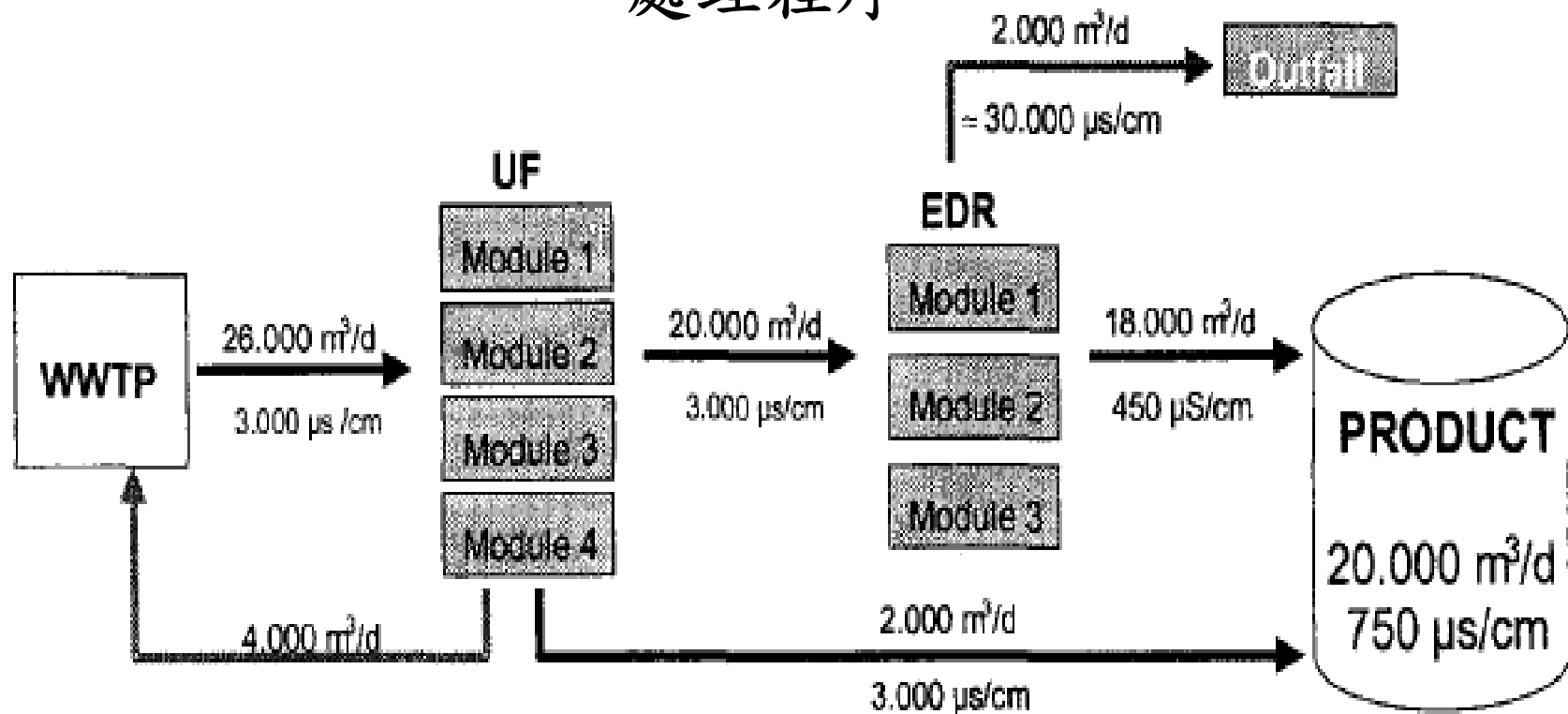
EDR產水

項目		5月2日	5月4日	5月7日	5月9日	5月10日	平均
PH		4.0	3.7	4.4	3.5	3.6	3.8
電導度	$\mu\text{S}/\text{cm}$	947	814	1086	869	1018	947
總硬度	ppm as CaCO_3	246	184	354	214	278	255
鈣硬度	ppm as CaCO_3	151	111	222	134	167	157
氯 鹽	ppm as Cl	8	7	11	10	10	9
硫酸鹽	ppm as SO_4	393	313	499	344	425	395
矽酸鹽	ppm as SiO_2	51.0	47.2	51.3	47.0	49.2	49.1

案例5

污水廠放流水脫鹽回收

處理程序



污水廠放流水脫鹽回收

設計資料

Table 1
Design data — UF installation

Total plant capacity	1,000 m ³ /h (6.3 mgd)
Number of UF units	4 (currently 3 in operation)
Number of membrane housings per skid	32
Number of housings filled with membrane modules	31
Number of membrane modules per housing	4
Number of membrane modules per unit	128
Membrane area per unit, m ²	4340

Table 2
Design data — EDR installation

Number of EDR modules	3
Number of lines in parallel per module	8
Number of stages in serie per line	2
Number of EDR stacks installed	48
Product flow per module, m ³ /d	6,000
Total product flow, m ³ /d	18,000
Recovery, %	90

污水廠放流水脫鹽回收

Typical water qualities

Parameter	Feed	Permeate
Temperature, °C	20	20
Turbidity, NTU	5–30	0.2
BOD, mg/l	10	5
COD, mg/l	25	20
pH	7–8	7–8

水質

Operational costs

Costs	€/m ³ of product
Manpower	0.030
Maintenance	0.07
Miscellaneous	0.004
Chemicals in UF	0.013
Chemicals in EDR	0.017
Consumables in UF	0.022
Consumables in EDR	0.021
Total	0.114

操作成本

比較 RO and EDR特性

	EDR	RO
Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	200~ 8,000	> 1,000
前處理方式	可用砂濾/UF/MF	最好用UF
SDI(水中微粒子密度指標)	< 15 (較耐高微粒子濃度)	<2 (不耐)
抗結垢(碳酸鈣碳酸鎂與硫酸鈣)	好/倒極控制/加酸	差/加酸/抑垢劑
生物性黏著與沉積物	好/添加次氯酸鈉	差/殺菌劑 (RO膜不耐氯)
SiO ₂ 沉積	濃水的濃度不會上升, 不沉積	濃水濃度大幅升高會沉積造成阻塞
膜清洗	HCl/NaOH	特殊清洗劑搭配酸鹼
分離機制	電荷驅動	壓力驅動
流力抗沉積作用	膜表面切線流流速大較佳	膜表面切線流速小較差
Recovery	70~90 %	~70%
Desalination ratio	high	high

自來水的SDI值通常>5

敬請指正
謝謝