

交互式電透析系統在純水及廢水回收之應用

許永昌

前言

交互式電透析系統 (Electrodialysis Reversal, EDR) 乃是藉由選擇性離子膜以分離鹽類，其化學組成與離子樹脂類似，功能也相同，但卻沒有諸多樹脂效能控制及再生之困擾，也沒有二次污染問題。在強調減廢的今天，不論是純水系統改善或廢水回收，EDR 應是很好的選擇。

ED/EDR原理

傳統電透析法 (electrodialysis, ED) 乃是交互排列之陰陽離子膜，以間隔 (spacer) 分開，在兩端直流電動勢驅使下，陽離子往負極位移，並只能通過陽離子膜；陰離子則往正極位移，只能通過陰離子膜，因此形成交互純水/濃縮水之分離水道，匯集為純水及濃縮廢水，如圖1，圖2。

EDR 乃根據ED原理，每隔一特定時間(約15分)，兩端電極極性互換，純水/濃縮水控制閥亦隨之轉換，如此反覆交換，能自動清洗離子膜表面可能遭受之污染 (fouling) 及阻塞 (plugging)，以確保離子膜效率之長期穩定性及純水品質。其典型EDR架構，如圖3。

EDR 為水流流過膜面，僅離子透過膜，而非水透過，故操作壓低。

EDR系統簡介

EDR系統乃是由液壓輸送系統，直流電源及離子膜套組 (stack) 所構成，每一套組可能由一

個或數個段組 (stage) 所裝配而成，而段組則由一連串之膜組 (cell pair) [註] 組成，每一段組可部分除礦 (partial demineralization) 50%，如以段組串聯，則純化能力以等比級數提高，如二段組串聯，純化可達75%，餘類推。如圖4、圖5、圖6。

(註：膜組為最基本單位，即間隔、陽離子膜、間隔、陰離子膜。)

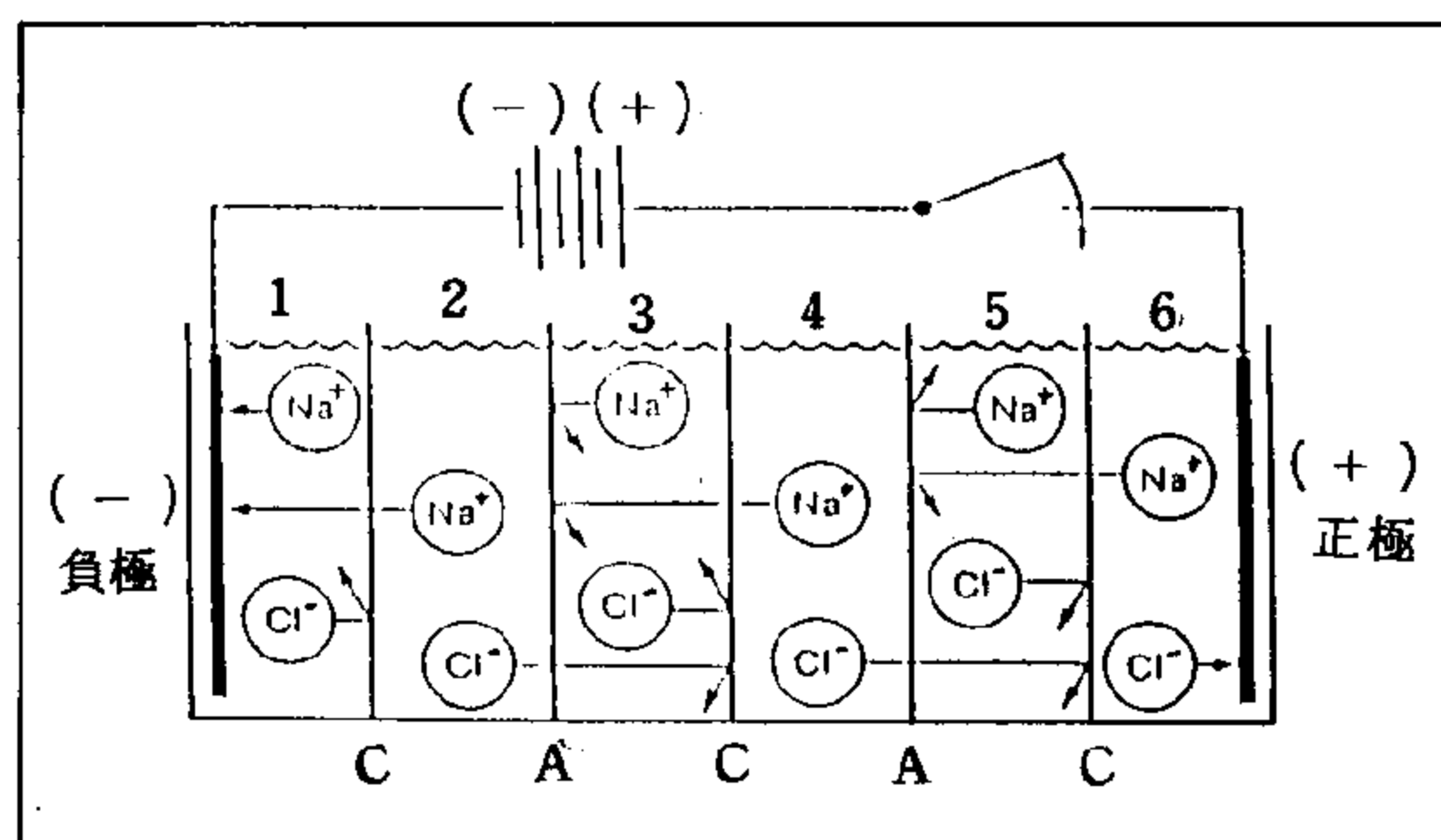


圖1 傳統電透析法結構圖，C：負極，A：正極

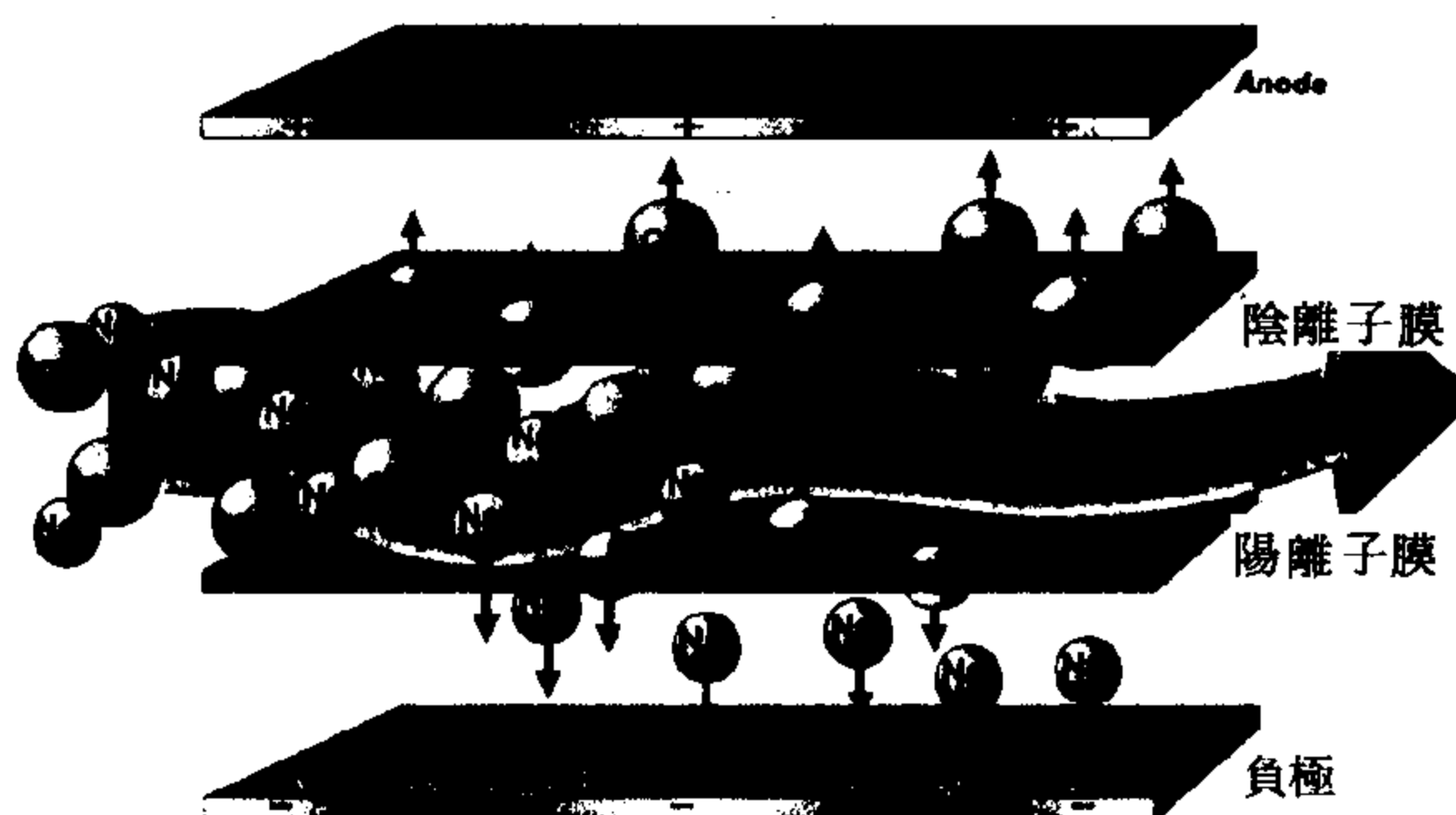


圖2 電透析法立體說明圖

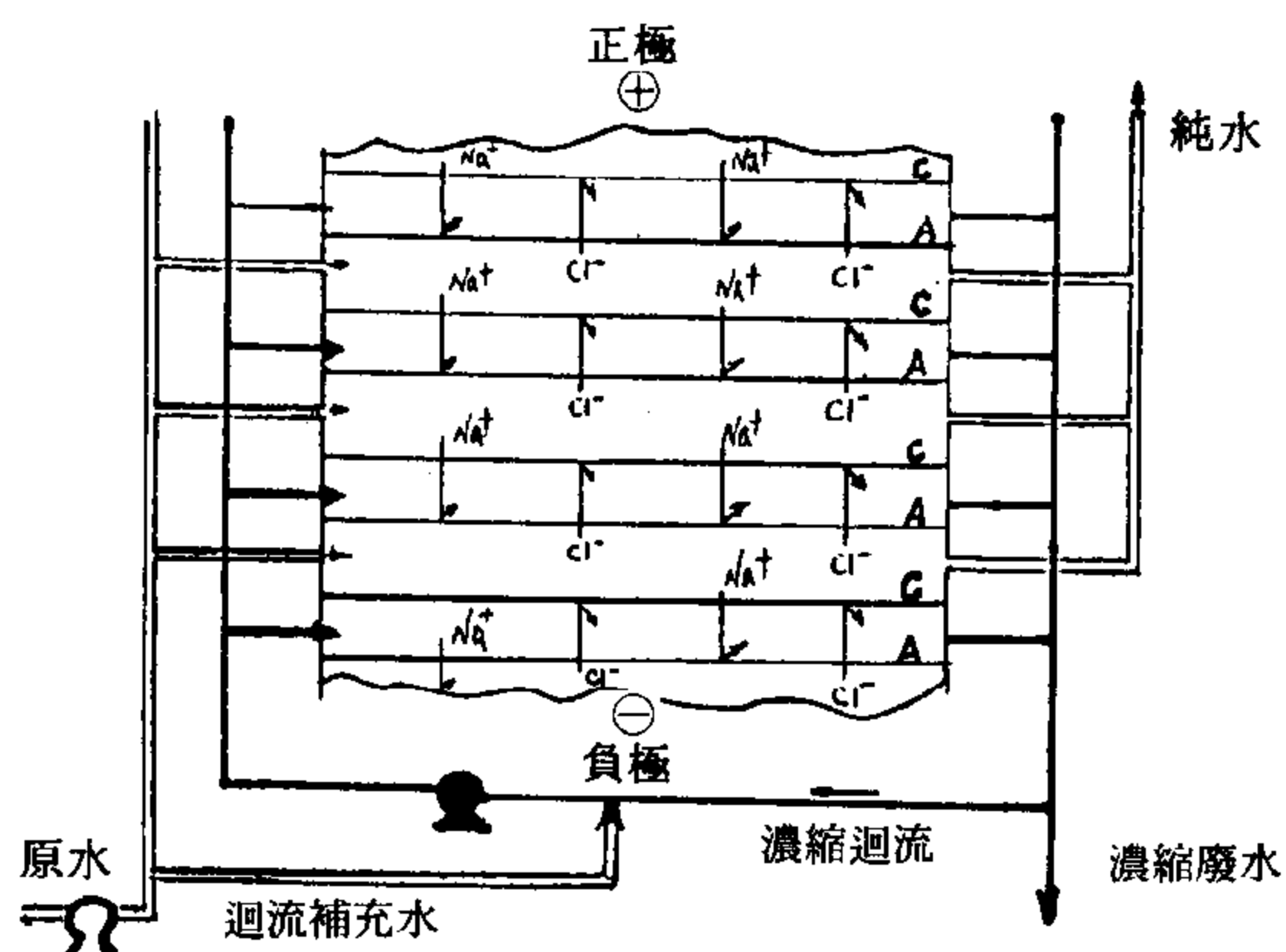


圖3 典型EDR架構，C：負極；A：正極

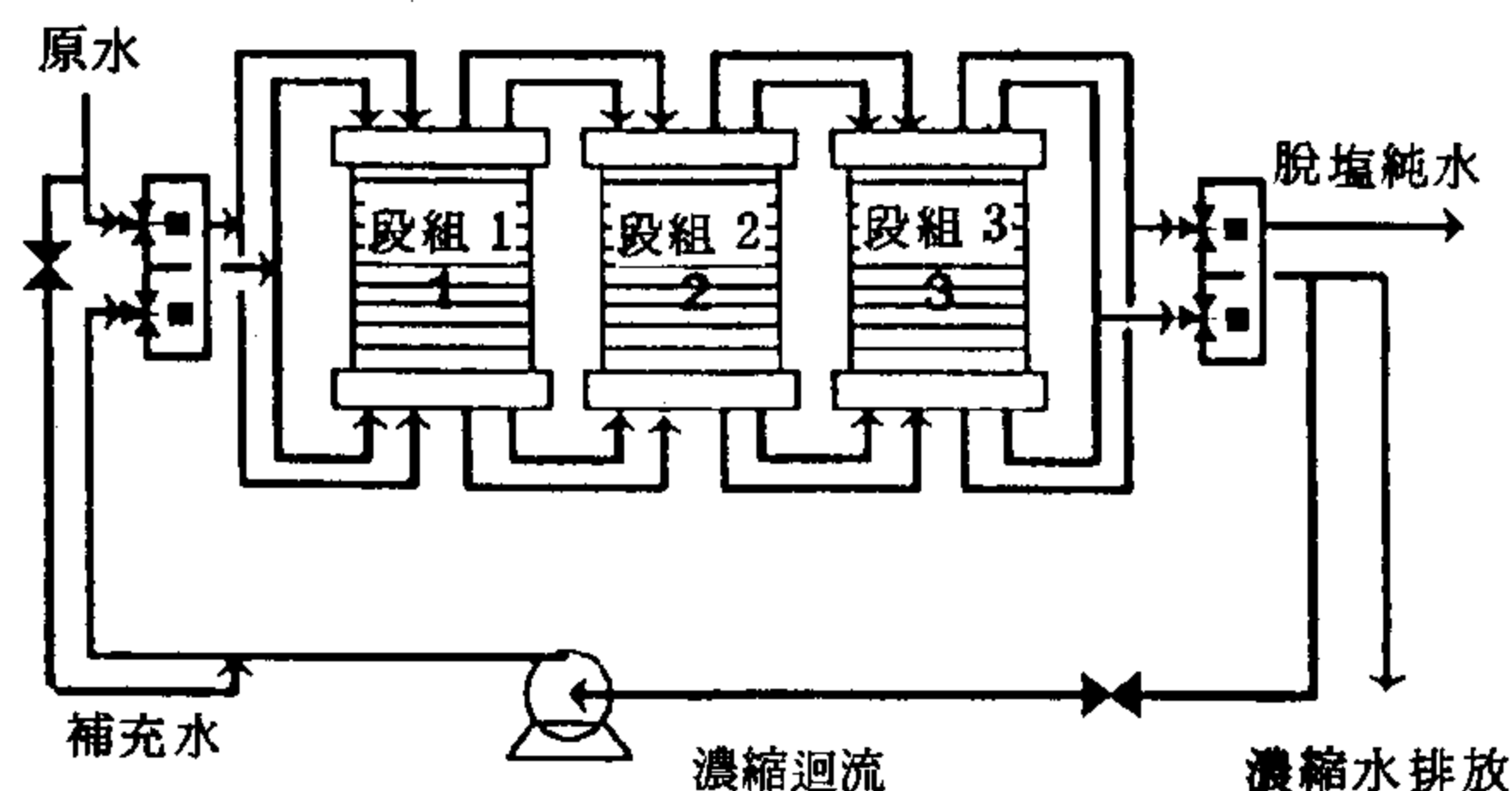


圖6 EDR 串聯流程圖

如圖3所示，EDR系統有濃縮水迴流設計，旨在提高造水率，可達95%，為其他分離膜（如ED，RO（reverse osmosis））所不及，相對地提高其商業價值。

EDR之優異性

由於EDR離子膜比其他分離膜（如ED，RO）有較佳物理性及抗化性，對雜質、膠質、游離物及細菌容許度亦較高，主要特性及優點歸納如下：

1. EDR可獲取75%至95%去鹽（純化）、軟化或高鹽分水淡化之能力。
2. 原水總溶解固體（total dissolved solids, TDS）在某範圍內變動，EDR可藉操作條件之改變，而保持造水量及去除率。
3. 濃縮水道在長垢指數（Langlier index）+1.8以下，或 CaSO_4 飽和度175%以下，EDR均不必添加化學品，且造水率可達65—85%。若長垢指數脂1.8或 CaSO_4 飽和度為175—400%，則只需少許抗長垢劑（antiscalant）如SHMP，造水率可達90—95%。造水率愈高，原水補充需求（make-up）則愈低，排放水也愈少。
4. 僅電荷性（反應性） SiO_2 有去除能力。
5. 原水淤泥阻塞指數（silt density index） $\text{SDI}_{15} < 15$ ，RO為 $\text{SDI}_{15} < 5$ 。
6. EDR耐游離氯可達20PPM，故可用氯殺菌，或確保水系統不受細菌污染。
7. EDR耐溫達45℃，pH值1—10。清洗離子膜容易，用HCl，NaCl，NaOH即可。
8. EDR操作成本及維修費比其他分離系統低。

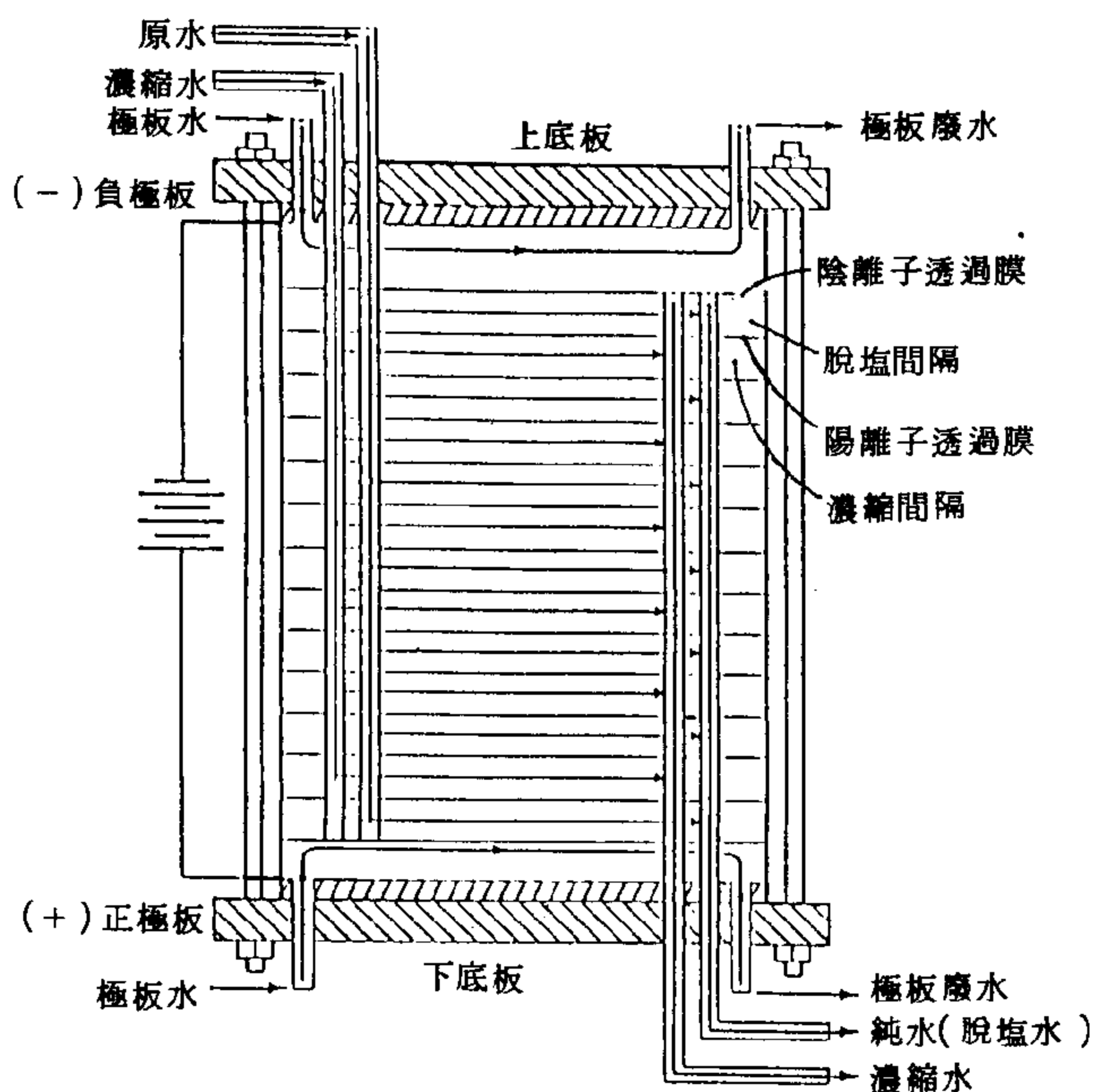


圖4 EDR設備圖

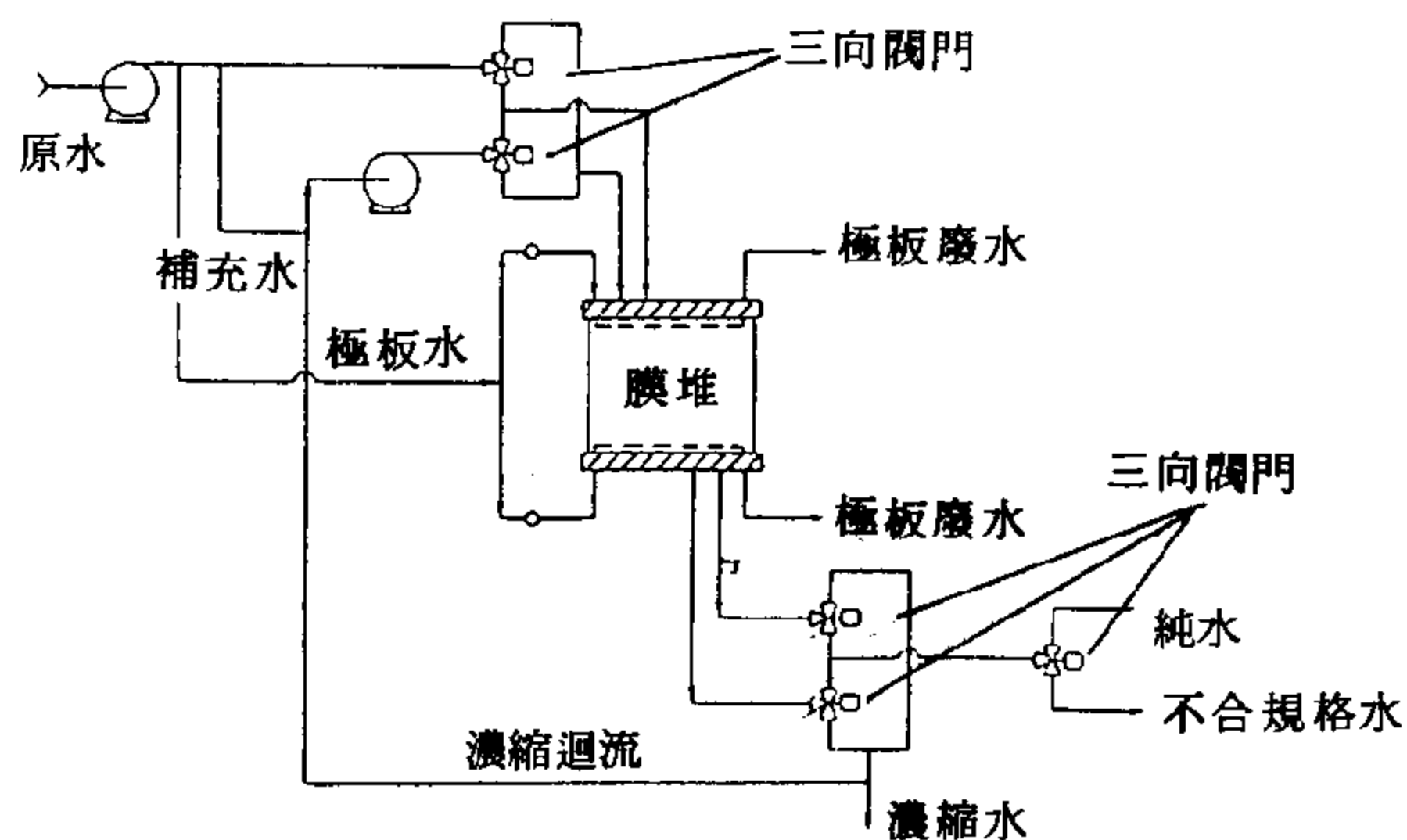


圖5 EDR應用流程圖

9. E D R 對離子膠狀物、低分子量有機物質 (MW < 200) 有良好去除率。
10. E D R 離子膜壽命在 5 年以上。
11. E D R 容許原水快速變化及不當操作 (mis-operation) 。系統安全保證性最高。

EDR 在純水系統之應用

傳統水純化系統通常經軟化，再以離子交換樹脂塔 (ion exchanger, I - X) 純化，以供應鍋爐用水或超純水之所需，然而水質日趨惡化，水源不足，廢水排放要求日高，及技術工人難求之下，使傳統樹脂系統倍感吃力，造成造水及管理困擾，造水成本亦日愈提高。所以如何提高樹脂系統效益，已是各類工廠所面臨問題。分離膜系統也因而漸漸被接受，即在 I - X 前先經 E D R 處理，可大大提高系統穩定性及降低 I - X 依賴性。其參考流程為：

原水 → 預處理 → E D R → I - X → 超純水

採用 E D R 系統有利時機為：

1. 原水 T D S 高 (> 200) 或全年水質變化大。
2. 離子交換負擔重，再生週期短。
3. 純水需求量增加。
4. 再生成本，廢水處理費用高。
5. 純水品質不穩定。
6. 降低再生廢水量。

至於採用 E D R + I - X 效益的案例介紹如下：

1. 一般原水之操作及維護之效益，如表 1。T D S 愈高，節省效益愈高。
2. E D R 在電廠之鍋爐給水應用實例，如表 2。

E D R 可依客戶之要求，設計符合經濟之造水率及去除率系統。由表知，經 E D R 預去鹽，大大降低了樹脂之負擔。該四案耗電量均低於 1 KWH / M³。

3. 賓州大學低壓鍋爐之經濟效益，如表 3。鍋爐水排放從 26.3 %，降為 5.8 %，燃料費也降為原來 18.5 %。以約 \$ 250,000 美金之 E D R 設備，其回收期少於三年。

EDR 在廢水回收之應用

在製程廢水及三級廢水回收之實績中，由於廢水水質複雜性及不穩定性，故通常先經試驗機評估，而 E D R 均因總效益優於其他方法 (如 RO, UF (Ultrafiltration) / RO, MSF) 而被選用。

其優點如下：

1. 高排放水濃度：E D R 處理之排放水濃度可達 T D S 100,000 P P M。
2. 排放水溫可達 45°C，且稍高溫對 E D R 效益有利。
3. 耐化學性優：pH 值為 1 — 10。可用 5 % HCl 清洗離子膜表面積污 (deposite) 或用 H₂O₂ 殺菌。
4. 淤泥阻塞指數要求，RO 為 S D I₁₅ < 5，E D R 為 S D I₅ < 15。
5. 高經濟性：低操作壓 (45 — 90 P S I)，能源耗損較低，回收水可再使用。
6. 離子膜不易受阻極性 (fouling) 及長垢 (scaling)。E D R 獨特間隔及電極極性互換設計，硫酸鈣飽和度可達 175 %，若添加抗垢劑於 E D R 濃縮迴流中，硫酸鈣飽和度更高達 400 %

表 1 E D R + I - X 在操作及維護之效益

原水 T D S, P P M	300		600		900	
純化方法	I - X	E D R + I - X	I - X	E D R + I - X	I - X	E D R + I - X
I - X O & M 成本	1.19	0.095	2.38	0.21	3.57	0.34
E D R O & M 成本		0.405		0.455		0.50
總成本	1.19	0.50	2.38	0.665	3.57	0.84
節省效益 %		58		72		76
註：單位為 US\$ / 100 Gal						

表2 EDR在鍋爐給水應用之效益

項 目	PP - 1		PP - 2		PP - 3		PP - 4	
	原 水	純 水	原 水	純 水	原 水	純 水	原 水	純 水
Na ⁺	116	17	32	4	85	20	42	6
Ca ⁺²	48	4	21	2	99	20	74	2
Mg ⁺²	52	7	14	2	29	4	19	1
K ⁺	10	1	4	—	14	2	—	—
Cl ⁻	225	27	13	1	92	13	43	4
HCO ₃ ⁻	218	45	120	20	184	36	167	5
SO ₄ ⁻²	80	9	48	5	266	60	148	4
NO ₃ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—
SiO ₂	32	32	6	6	11	11	11	11
TDS	781	142	258	40	780	166	504	33
Temp. (°C)	25	25	20	20	30	30	30	30
pH	7.7	7.3	7.9	7.4	8.2	7.7	7.7	6.4
D.C(KWH/M ³)	—	0.34	—	0.08	—	0.29	—	0.20
總 電 力 消 耗	—	0.98	—	0.71	—	0.98	—	0.92
處理量 (M ³ /D)	—	275	—	6000	—	1000	—	1800
造 水 率 , %	—	90	—	90	—	90	—	80
去 除 率 , %	—	82	—	85	—	79	—	94

表3 賓州大學應用例

PENN STATE BOILER OPERATION		
成本項目 (每天)	原系統	加 入
1. %排放	26.3	5.8
2. 燃料費	\$ 875	\$ 162
3. 水費	\$ 89	\$ 17
4. 廢水處理費	\$ 306	\$ 57
5. 化學品費	\$ 84	\$ 39
6. EDR 操作費	0	\$ 120
7. 加入 EDR 每天節省金額 (不含 EDR 設備費)		\$ 959
8. 每年淨節省金額	\$ 90,000	
9. EDR 設備回收期	< 3 年	

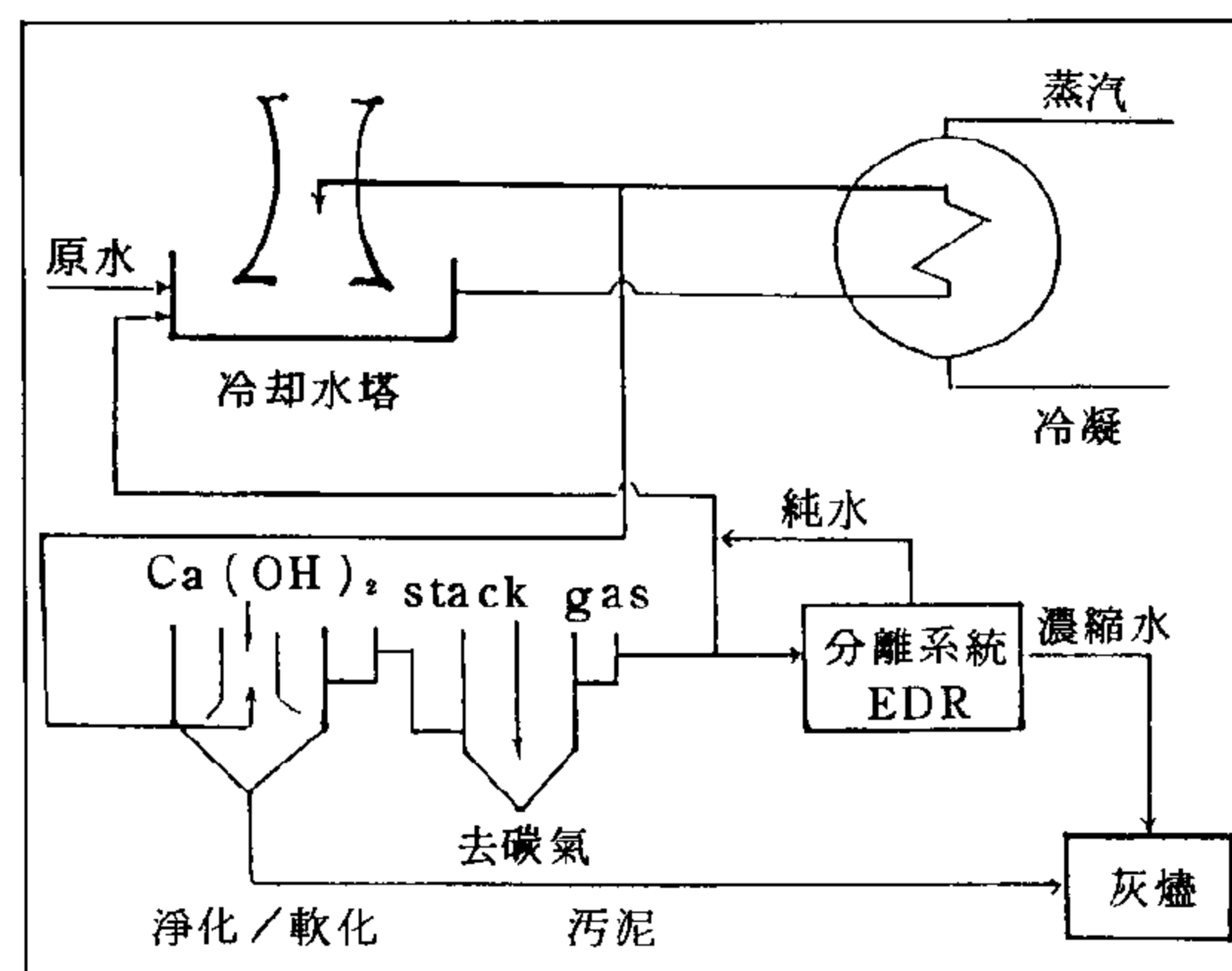


圖7 冷卻水回收系統參考流程

8. EDR 清洗維修週期長，且不怕不當操作。
9. EDR 服役壽命長，管理簡單。

以下為各應用實例：

1. 南非電廠冷卻水回收系統，如流程圖7。此為典

- ，大大提高 EDR 服役性能。
7. EDR 迴流設計，回收比可達95%。

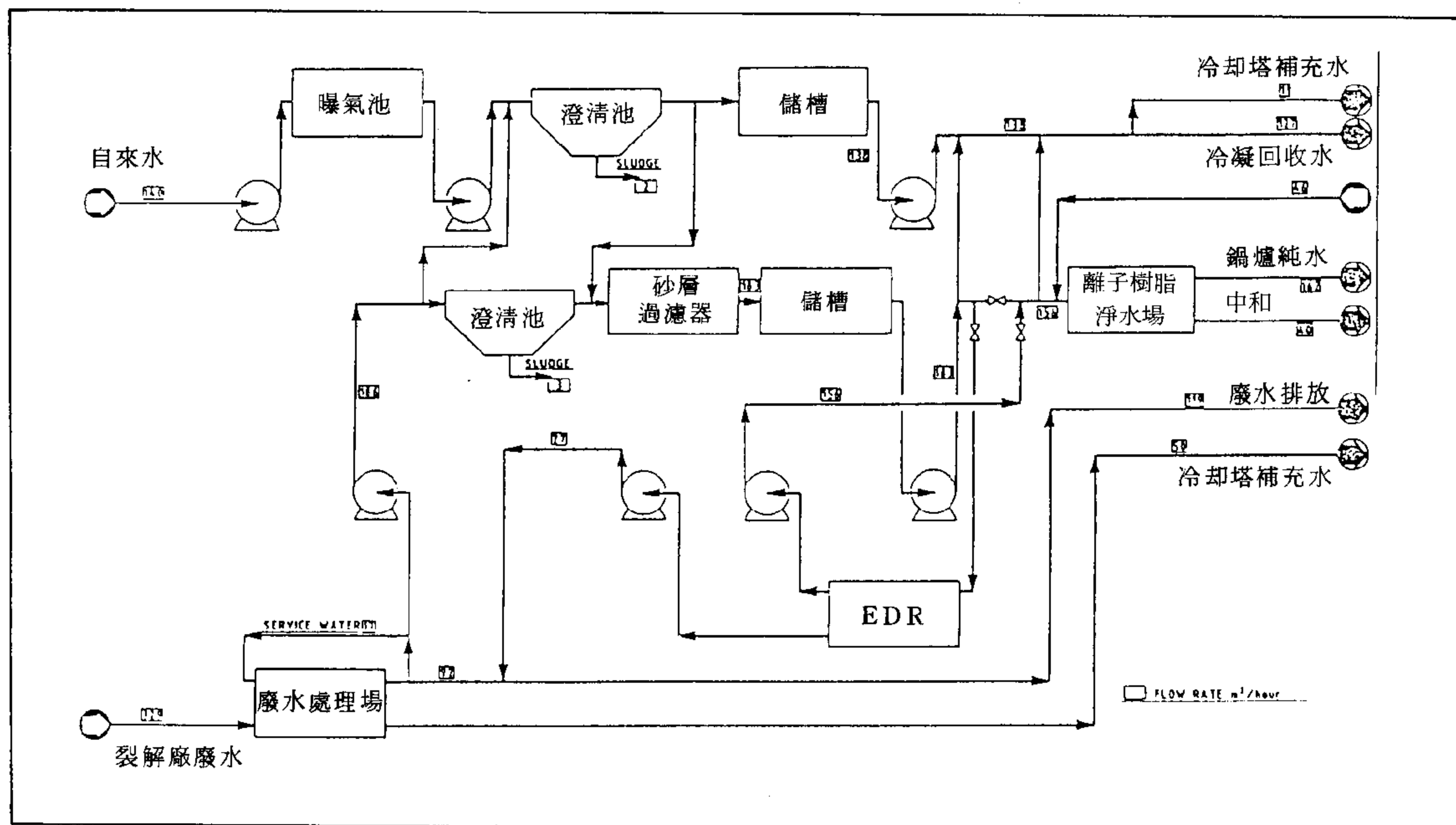


圖 9 義大利石油煉製廢水回收系統流程

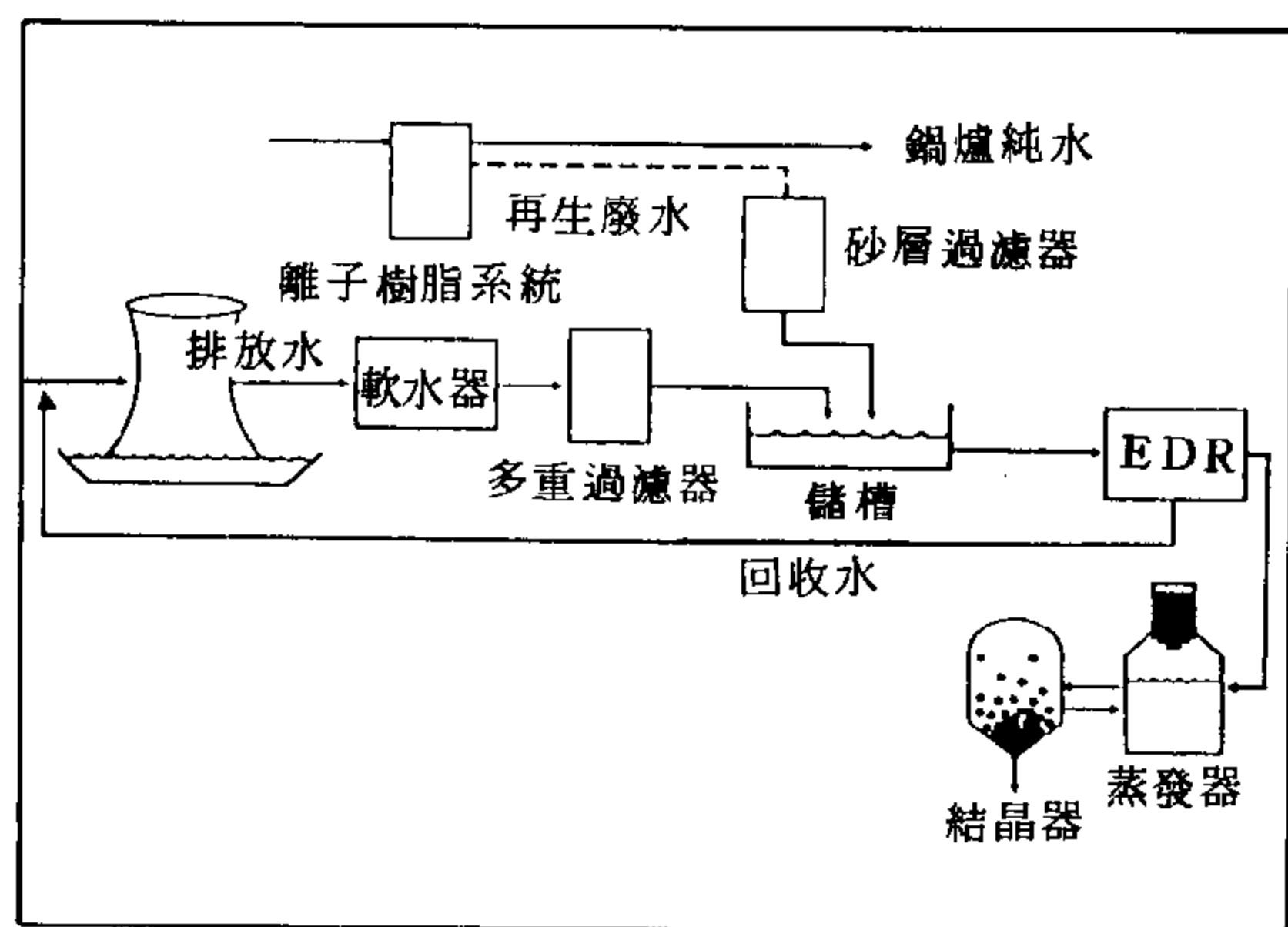


圖 8 「廢水零排放」簡易圖

益報告。廢水回收率達85%，同時濃縮排放水仍符合義大利環保要求，並以EDR純水作為I-X進水，再生週期延長2.5倍。大大提高EDR經濟效益。

結 論

EDR具有如上之特性，既沒有傳統ED之缺點，又沒有RO系統之難題，因此在水處理方面適用性非常的廣，如純水系統之預去鹽、廢水回收、冷卻水塔排放水回收、工業用水處理、飲用水處理、電鍍廢水處理等。美國分離膜科技之評估報告指出，未來十年的市場成長率，EDR系統將優於其他分離膜系統。

型EDR在冷卻水回收之應用，澄清單元 (clarifier) 旨在去除偏高之砂石。RO雖可去除砂石，然在此種高砂石排放水之應用，仍需先降低砂石。

2.美國OCEAN STATE 電廠零排放系統。如流程圖8。該廠乃經試驗機之評估比較，EDR + EVA (蒸發) 優於RO+EVA, ED+EVA 因而被採用。

3.義大利石油煉製廢水回收系統，如流程圖9及效

(許先生現任職於力洪實業股份有限公司)