

出國報告（出國類別：實習）

研習林口電廠更新擴建計畫之除礦水處理系統及其附屬設備裝機、運轉及維護

服務機關：台灣電力公司

出國人	姓名	單位	職稱
團長	謝侑倫	林口發電廠	化學工程師

派赴國家：新加坡

出國期間：105年07月03日至105年07月30日

報告日期：105年09月05日

出國報告審核表

出國報告名稱：研習林口電廠更新擴建計畫之除礦水處理系統及其附屬設備裝機、運轉及維護		
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
謝侑倫	化學工程師	林口發電廠
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽)	
出國期間：105年07月03日至103年07月30日		報告繳交日期：105年09月05日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6..送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7..送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8..退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) .其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

報告人： 單位 主管處 總經理
 主管： 主管： 副總經理：

說明：
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
 二、審核作業應於報告提出後二個月內完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務報告資訊網為原則」。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習林口電廠更新擴建計畫之除礦水處理系統及其附屬設備裝機、運轉及維護

頁數 43 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/（02）2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

姓名	服務機關	單位	職稱	電話
謝侑倫	台灣電力公司	林口發電廠	化學工程師	(02)2606-2221#2551

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 07 月 03 日至 105 年 07 月 30 日

出國地區：新加坡

報告日期：105 年 09 月 05 日

分類號/目：

關鍵詞：除礦水、活性碳過濾器、2B3T、除氣塔、樹脂、RO 逆滲透、Mixed Bed

內容摘要：（二百至三百字）

現今林口火力發電廠正面臨更新擴建中時期，除礦水廠主要功能為提供發電機組穩定用水和確保產出水質良好並符合規範要求，也因此除礦水廠設備運轉維護和線上水質連續監測系統重視程度也逐漸提升。

林口除礦水廠是採用威立雅(Veolia)公司所設計製造的系統，採用兩串造水

系統其來源水為自來水，經活性碳過濾槽、2B3T 系統、RO 逆滲透、混床過濾分離，去除自來水中懸浮微粒、有機物、自由餘氯、陰陽離子等雜質，最後形成除礦水並儲存至除礦水儲存槽，提供發電機組純淨的水質以避免爐管及管線發生腐蝕、結垢、破管等情形發生。

本次實習訓練讓學習者了解除礦水廠的基本原理、系統設計規劃、運轉流程及概論、設備維護等程序，確保除礦水廠供水穩定及水質符合規範，使機組穩定運轉達到最大效能。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/>)

目 次

壹、研習目的與過程	1
貳、Veolia(威立雅)公司介紹	3
參、實習內容	4
(一) 除礦水製作流程和水質標準	4
(二) 除礦水廠設備介紹	5
(三) RO 逆滲透系統	20
(四) 混床	28
(五) 相關儀控設備	33
肆、工廠實習	37
(一) 威立雅樹脂再生工廠	37
(二) Grundfox 泵廠	37
(三) Soitec 晶圓廠純水系統	37
(四) JTC 廢水處理廠	38
伍、除礦水廠設計模擬計算軟體	39
陸、心得及建議事項	42

壹、研習目的與過程：

(一)目的：

本計畫奉派赴新加坡威立雅(Veolia)公司參加林口電廠更新擴建計畫之除礦水系統及其附屬設備安裝、操作及維護訓練，研習除礦水廠設備規劃設計及強化圖資審查設計能力，加強運轉和維護等專業訓練，協助解決裝機和協調試運轉期間之問題，確保工程進度及提升工程品質，並減少機組停機帶來的損失並增進運轉之安全。

(二)過程（實習日期、前往機構及實習內容）：

起 訖 日	機 構	實 習 內 容
105 年 07 月 03 日		赴新加坡
105 年 07 月 04 日至 105 年 07 月 17 日	Veolia	除礦水廠系統設計規劃、安裝操作及維護運轉
105 年 07 月 18 日至 105 年 07 月 24 日	各廠家 現場見習	Veolia 樹脂再生工廠 Grundfox 泵廠 Soitec 晶圓廠純水系統 JTC 廢水處理廠
105 年 07 月 25 日至 105 年 07 月 29 日	Veolia	除礦水廠設計模擬計算軟體演練示範 (RO 逆滲透、離子交換樹脂) Q&A 和測驗檢討(附完成訓練合格文件) 
105 年 07 月 30 日		返國

貳、Veolia(威立雅)公司介紹：

威立雅前身是1853年12月14日成立的法國通用水務公司，1998年公司更名為威望迪集團，於2003年改為威立雅環境集團。

威立雅環境集團主營4項業務:水務、廢棄物、能源和交通。這4項業務互為補充，為全球各地的客戶提供全方位和個性化的解決方案，滿足市政和工業客戶的各種需求。

威立雅水務公司旗下系統設備供應商，分佈全球橫跨五大洲涵蓋50個國家，包括北美地區、歐洲地區、法國地區及國際性區域。台灣威立雅公司為其子公司，負責超純水、廢水處理及回收、半導體海淡廠、電廠(冷凝水回收技術)等設備服務及維護操作工作。



圖1.威立雅(Veolia)全球辦公室分佈圖

而線上水質分析的項目有導電度Conductivity、鈉離子濃度Na⁺、氯離子濃度Cl⁻、硫酸根離子濃度SO₄²⁻、總有機碳濃度TOC (total organic carbon)、矽土濃度SiO₂，表2為除礦水製作流程中依合約規定各點水質保證值。

	導電度 (μ s/cm)	Na ⁺ (ppb)	Cl ⁻ (ppb)	SO ₄ ²⁻ (ppb)	TOC (ppb)	SiO ₂ (ppb)	CO ₂ (ppb)
陽離子 槽出口		50 ↓					
除氣塔 出口							5000 ↓
陰離子 槽出口	0.8 ↓					20 ↓	
混床出 口	0.1 ↓	3 ↓	3 ↓	3 ↓	100 ↓	10 ↓	

表2.除礦水製作流程中依合約規定各點水質保證值

二、 除礦水廠設備介紹

(一) 活性碳過濾槽ACF (Activated Carbon Filter)

活性碳過濾槽ACF外裝為碳鋼內襯以環氧樹脂塗裝，內部管線配置分配管使水流分散均勻過濾，濾材由底部至頂部主要分別為礫石層#1(10~20mm)、礫石層#2(5~10mm)、礫石層#3(2~5mm)、細砂層#1 (0.7~2mm)、細砂層#2 (0.5mm)、活性碳層(12~40mesh)，活性碳材質為G-840AC椰殼酸洗活性碳，活性碳過濾槽主要功能為過濾懸浮於水中的懸浮物質及大型有機物，利用活性碳多孔的表面及其活性，當自來水由頂部往下過濾時水中的自由餘氯通過活性碳過濾器時，活性碳便可將自由餘氯吸附去除，以保護後段之陽離子塔樹脂，以利後段設備造水。



圖3.活性碳過濾槽ACF外觀示意圖

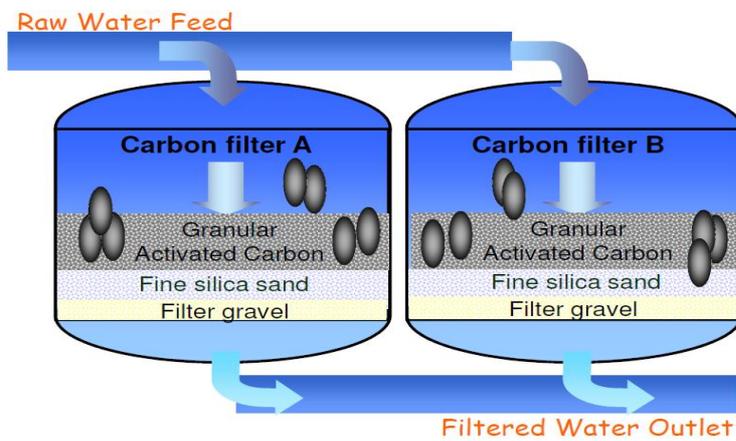


圖4.活性碳過濾槽內部濾材構造圖

當活性碳過濾槽ACF造水時間已達設定時間值或桶槽壓差過高或造水出口氧化還原電位過高，即須進行逆洗(backwash)功能，其流程為與造水方向相反，逆洗時水流由下往上開始反洗，清洗排除槽體內的污物。圖5為活性碳過濾槽ACF

操作中常見的流程，左圖Service Run(造水)水由Feed端進入桶槽，再由分配管均勻分佈水流過濾，避免產生隧道效應(channeling)過濾不均和偏流現象，再由Filtrate端流出；中間圖Backwash(逆洗)水由BW inlet端進入，由下往上通過濾材(礫石、細砂、活性炭層)再由BW outlet端出口，洗出雜質及污物；右圖Fast Rinse(快洗) 水由Feed端進入桶槽，再由分配管均勻分佈水流過濾，再由Drain(排水)排出清洗後的水。

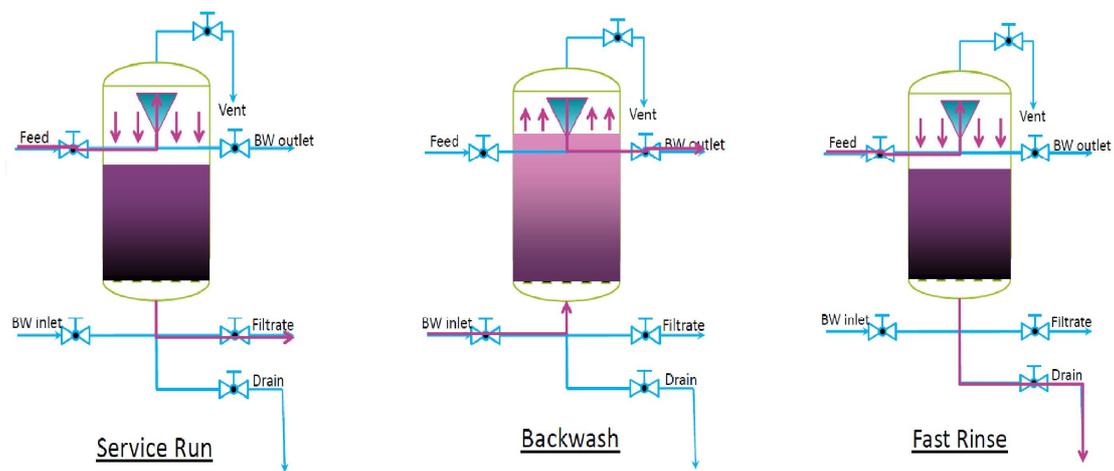


圖5.活性炭過濾槽常見的操作流程

(二) 2B3T系統造水及再生

林口除礦水廠的2B3T系統(2床3塔)，2B是陽離子床(Bed)、陰離子床(Bed)，3T是Tower 陽塔(陽離子交換槽)、除氣塔、陰塔(陰離子交換槽)。2B3T系統主要是利用陰陽離子交換樹脂來去除水中的陰陽離子。一般樹脂主體結構主要由Polystyrene(聚苯乙烯)、Polyacrylate(聚丙烯酸酯)及Phenol-formaldehyde組成，再經交聯反應(cross-linking)形成共聚物(copolymers)，其主體結構如圖6所示。

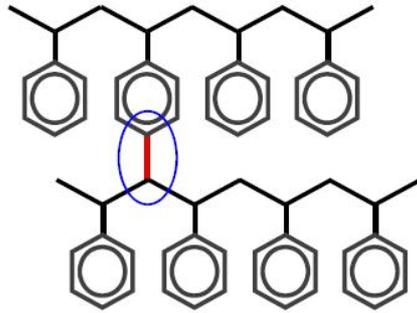


圖6. 一般樹脂主體結構

樹脂又可再區分為凝膠型(Gel matrix)及大孔型(Macroporous matrix)，凝膠型主要特點為半透明並有較好的再生能力和高交換容量(圖7)；大孔型為不透明樹脂，其樹脂圖如圖8所示：

CATION EXCHANGE RESINS	STRONG ACID		WEAK ACID	
	GEL	MACRO	GEL	MACRO
EQ/L (Na)	2.00	1.85	2.35	2.65
EQ/L (H)	1.85	1.75	4.40	4.20
EQ/KG (Na)	4.50	4.50	-	-
EQ/KG (H)	5.00	4.90	9.00	9.00

ANION EXCHANGE RESINS	STRONG BASE		WEAK BASE
	GEL	MACRO	MACRO
EQ/L (Cl)	1.40	1.15	1.05
EQ/L (OH)	1.15	1.00	1.40
EQ/KG (Cl)	3.90	4.00	3.80
EQ/KG (OH)	4.20	4.30	4.40

圖7. 凝膠型(Gel)及大孔型(Macro)離子交換容量比較

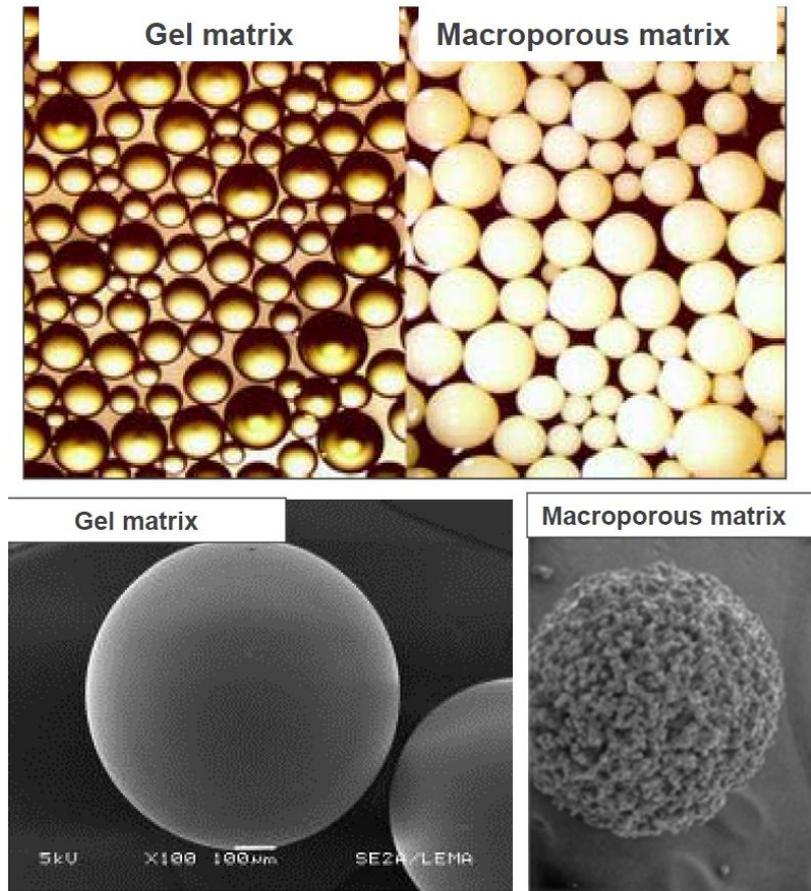


圖8.凝膠型(Gel matrix)及大孔型(Macroporous matrix)顯微鏡下影像

樹脂因帶有不同的官能基(functional group)可分成弱陽離子交換樹脂(WAC)、強陽離子交換樹脂(SAC)、弱陰離子交換樹脂(WBA)、強陰離子交換樹脂(SBA)及其他用途樹脂。其官能基及特性如表3所示，強陽離子交換樹脂(SAC)帶有磺酸根官能基、弱陽離子交換樹脂(WAC) 帶碳酸根官能基、強陰離子交換樹脂(SBA)帶四級銨官能基、弱陰離子交換樹脂(WBA) 帶三級銨官能基，其主要目的皆為去除水中的陰陽離子以淨化水質。

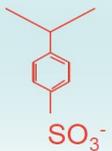
強陽離子交換樹脂(SAC)		弱陽離子交換樹脂(WAC)	
<p>Strong Acid Cation (SAC) Exchange Resin</p> $\text{-(SO}_3^- \text{ - H}^+$  <p>Removes: Na⁺, Ca²⁺ Mg²⁺, Fe²⁺ etc.</p>		<p>Weak Acid Cation (WAC) Exchange Resin</p> $\text{-(C(=O)O}^- \text{ H}^+$ <ul style="list-style-type: none"> • High total exchange capacity • High chemical efficiency <p>Removes: Cations present with alkalinity</p>	
強陰離子交換樹脂(SBA)			
<p>Type 1 anion exchange resin</p> $\text{-(N}^+ \text{(CH}_3\text{)}_3 \text{ OH}^-$ <ul style="list-style-type: none"> • High Chemical Stability • High Silica Removal <p>Remove: Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, HSiO₃, etc</p>		<p>Type 2 anion exchange resin</p> $\text{-(N}^+ \text{(CH}_3\text{)}_2 \text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH OH}^-$ <ul style="list-style-type: none"> • Lower basicity than Type 1 • High Operating Capacity/ regeneration • Lower Silica Removal than Type 1 • Sensitive to temperature <p>Remove: Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, HSiO₃, etc</p>	
弱陰離子交換樹脂(WBA)			
$\text{-(N(CH}_3\text{)}_2 \text{ HCl}$ <p>Only Removes Acids: HCl, H₂SO₄, Formic acid, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • High Operating Capacity • High Regeneration Efficiency • Good for organics removal 			

表3.陰陽離子交換樹脂官能基結構及特性

圖9為樹脂進行離子交換及樹脂再生示意圖，造水流程中(左圖)原水中鈉離子經過陽離子樹脂交換後，釋放出氫離子；再生流程中(右圖)大量氫離子將鈉離子交換出來，達到樹脂再生目的。

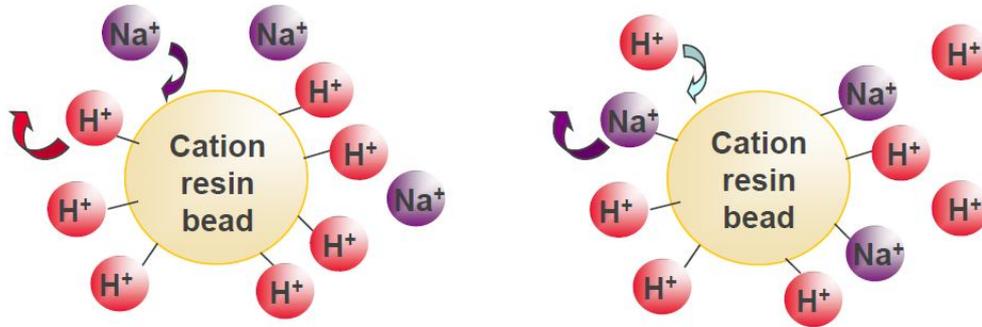


圖9為樹脂進行離子交換及樹脂再生示意圖：左圖造水流程、右圖再生流程

表4為強陽離子交換樹脂對一價及二價各離子的選擇係數，表5為強陰離子交換樹脂對各陰離子的選擇係數，數字愈高表示對該離子吸附愈好，DVB(divinyl benzene)表示交聯程度，DVB越高交換容量越高、化學性及物理性較穩定但再生能力及有機物吸附能力會下降。

一般樹脂對離子選擇性高低有幾個特性，如離子電荷愈大吸附性愈高 ($Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$) ($SO_4^{2-} > Cl^-$)、原子尺寸愈大吸附性愈高 ($Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$) ($Br^- > Cl^- > F^-$)，以型號Marathon C強陽離子交換樹脂為例(SAC)吸附性 $Ba > Pb > Sr > Ca > Ni > Cu > Mg > Ag > Cs > K > NH_4 > Na > H > Li$ ，型號Marathon A強陰離子交換樹脂(SBA)吸附性 $SO_4 > CrO_4 > NO_3 > CH_3COO > I > Br > Cl > F > OH$ ，因此樹脂一般失效洩漏時，陽離子最先出來的是鈉離子，陰離子最先出來的是 SiO_2 ，因此在陽塔和陰塔出口分別會設置鈉離子和矽土分析儀以追蹤離子交換樹脂判斷即將失效需進行再生。

ION VALENCE	DEGREE OF CROSS-LINKAGE		
	4% DVB	8% DVB	16% DVB
MONOVALENT IONS			
H	1.0	1.0	1.0
Li	0.90	0.85	0.7
Na	1.3	1.5	1.9
NH ₄	1.6	1.95	2.5
K	1.75	2.5	3.3
Cs	2.0	2.7	3.4
Ag	6.0	7.6	17.0
DIVALENT IONS			
Mn	2.2	2.35	2.7
Mg	2.4	2.5	2.8
Zn	2.6	2.7	3.0
Cu	2.7	2.9	3.6
Ca	3.4	3.9	5.8
Pb	5.4	7.5	14.5
Ba	6.15	8.7	16.5

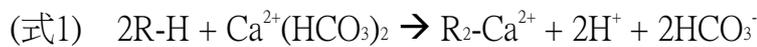
表4.強陽離子交換樹脂對一價及二價各離子的選擇係數

	TYPE 1	TYPE 2
OH	1.0	1.0
FLUORIDE	1.6	0.3
ACETATE	3.2	0.5
BICARBONATE	6.0	1.2
CHLORIDE	22	2.3
BISULFITE	27	3
NITRATE	65	8
CITRATE	220	23
SALICYLATE	450	65
LIGNOSULFONATE	>500	75

表5.強陰離子交換樹脂對各陰離子的選擇係數

陽塔(CEX):

陽塔主要是由弱陽離子交換樹脂weak acid cation exchange resin (WAC)和強陽離子交換樹脂strong acid cation exchange resin(SAC)組成，林口除礦水廠採用Amberlite IRC86 RF為弱陽離子交換樹脂，Amberjet 1200Na為強陽離子交換樹脂，弱陽離子交換樹脂主要目的為降低水中的硬度即移除降低水中鈣離子(Ca²⁺)、鎂離子(Mg²⁺)，並且再生所需使用的鹽酸較少，容易再生回復，反應化學式為：



R: weak acid cation exchange resin

造水流程如圖10所示，原水中大部分的鈣鎂離子(Ca²⁺、Mg²⁺)被弱陽離子樹脂交換去除產生氫離子(H⁺)(式1)，並且碳酸氫根離子(HCO₃⁻)和氫離子(H⁺)形成二氧化碳和水(式2)，因此總反應最終產生出二氧化碳和水(式3)後進入強陽離子交換樹脂槽(SAC)去除水中其他陽離子。

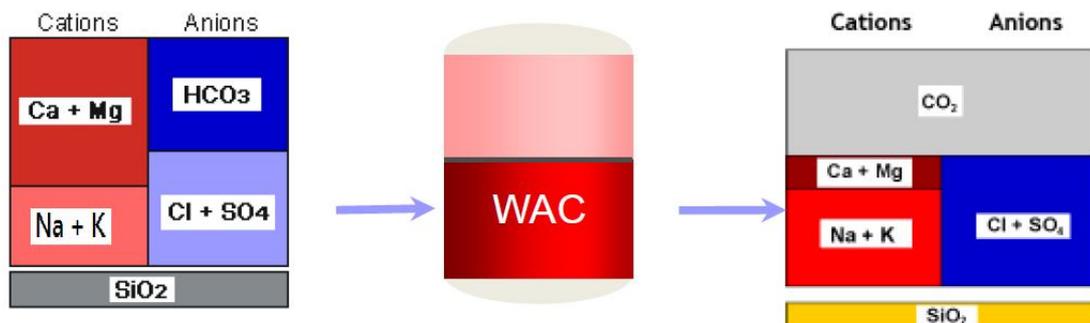
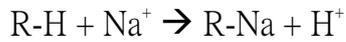


圖10.弱陽離子(WAC)造水流程示意圖，左圖為原水，中間為弱陽離子樹脂交換槽，右圖為出口產水水質。

強陽離子交換樹脂主要是去除水中所有的陽離子，以去除鈉離子為例，其化學式如下：



R: strong acid cation exchange resin

當原水從弱陽離子交換樹脂出口再經強陽離子交換樹脂流程如圖11所示，原水中其他的陽離子如(Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})等被置換成氫離子 H^+ 出來後，再進入除氣塔去除水中的二氧化碳。

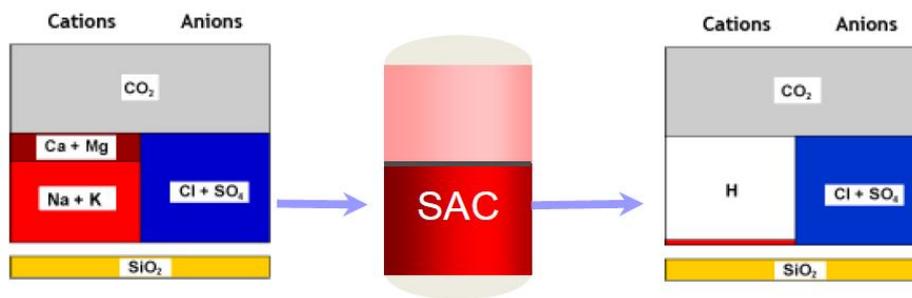


圖11. 強陽離子(SAC)造水流程示意圖，左圖為原水，中間為強陽離子樹脂交換槽，右圖為出口產水水質。

除氣塔(DG)

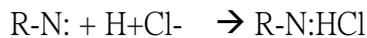
除氣塔主要用途為去除水中大部分的二氧化碳，降低陰塔負荷，利用數個packing rings將水流分散增加與空氣的接觸面積，並且用鼓風機(air blower)引進空氣將水中的二氧化碳去除。



圖12 packing rings照片圖

陰塔(AEX)：

陰塔主要是由弱陰離子交換樹脂weak base anion exchange resin (WBA)和強陰離子交換樹脂strong base anion exchange resin(SBA)組成，採用Amberlite IRA96 F為弱陽離子交換樹脂，Amberjet 4200CL為強陽離子交換樹脂。其主要功能是将原水中陰離子如(HCO_3^- 、 F^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等)置換成氫氧根離子(OH^-)，而弱陰離子交換樹脂(WBA)主要去除較強的酸，如： HCl 、 H_2SO_4 ，其反應化學式如下：

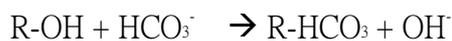


造水示意圖如圖13，強酸根離子如 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等．．．被置換出氫氧根離子(OH^-)後，再進入強陰離子交換樹脂。



圖13. 弱陰離子交換樹脂(WBA)造水示意圖

強陰離子交換樹脂 (SBA)主要是將所有陰離子包含 SiO_2 (矽土)置換成氫氧根離子(OH^-)，其反應化學式如下：



其中 H^+ 由陽塔產生出來，造水流程如圖14所示，原水中的 SiO_2 等剩餘陰離子被強陰離子交換樹脂除去，最終形成純水。



圖14. 強陰離子交換樹脂(SBA)造水示意圖

林口除礦水廠採用疊床式將弱陽離子樹脂床和強陽離子樹脂床做成陽塔，弱陰離子樹脂床和強陰離子樹脂床做成陰塔。造水方向由下往上流、逆向再生，並以數個PP材質的過濾器(strainer)隔離樹脂並使水流均勻通過。圖15.為陽塔及陰塔造水圖(Service Run)，來源水從底部注入feed端至頂部出口，陽塔出口形成去陽離子水(decationized)及陰塔出口形成除礦水(demi water)。

當陰塔出口水質SiO₂超過20ppb或導電度超過0.8 μ s/cm或運轉超過設定時間時即須進行樹脂再生程序，樹脂再生步驟主要有注藥(injection)、置換(displacement)、快洗排水(fast rinse to drain)、循環潤洗(circulation rinse)。

注藥：將5%HCl注入陽塔(WAC/SAC)、4%NaOH注入陰塔(WBA/SBA)進行失效樹脂再生，其中5%HCl及4%NaOH由32%HCl和45%NaOH於管線中與稀釋水稀釋調配，並且由上向下分別注藥於陽塔及陰塔。置換：當注藥完成後，停止注藥泵，稀釋水持續開啟，將殘存藥液沖洗至廢水坑(regen waste)，注藥及置換如圖16所示。

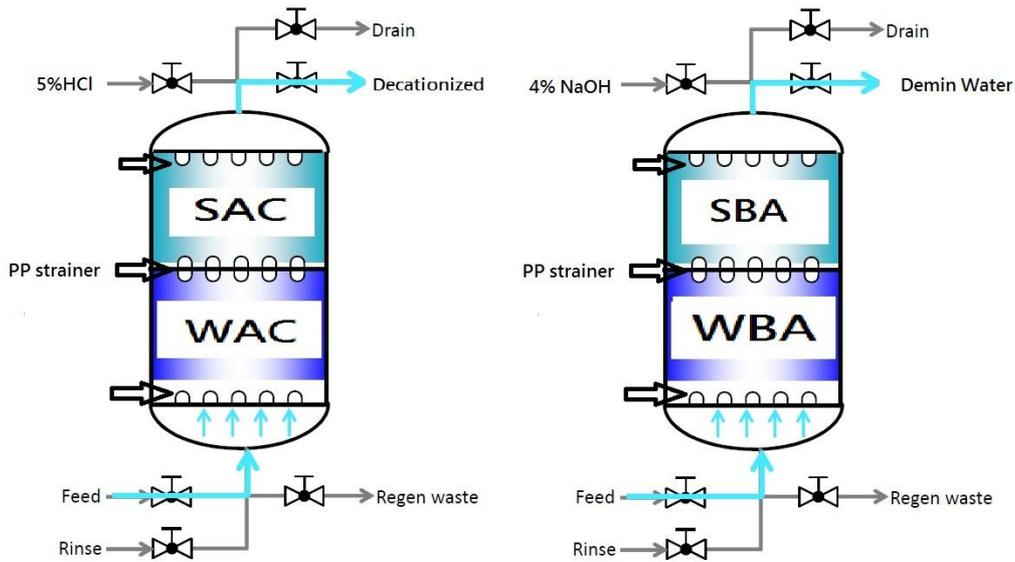


圖15.陽塔(左圖)及陰塔(右圖)造水圖

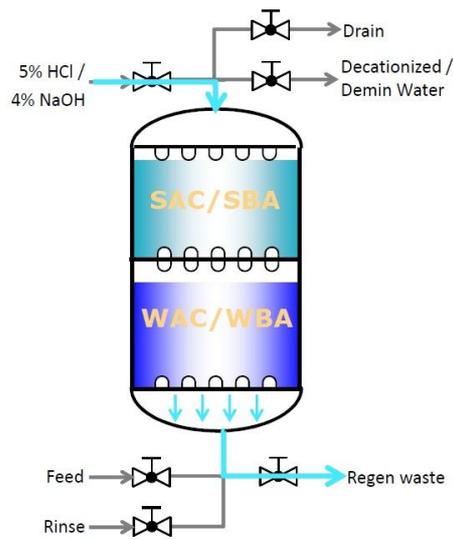


圖16.注藥及置換圖

快洗排水：水流由下往上，水量與造水量相同，從Feed端注水至排水(Drain)端，將殘留化學藥劑清洗排出，如圖17所示。循環潤洗：水由陽塔→除氣塔→陰塔，再由陰塔直接回到陽塔進行循環潤洗一段時間或水質達標準後即完成再生程序，如圖18所示。

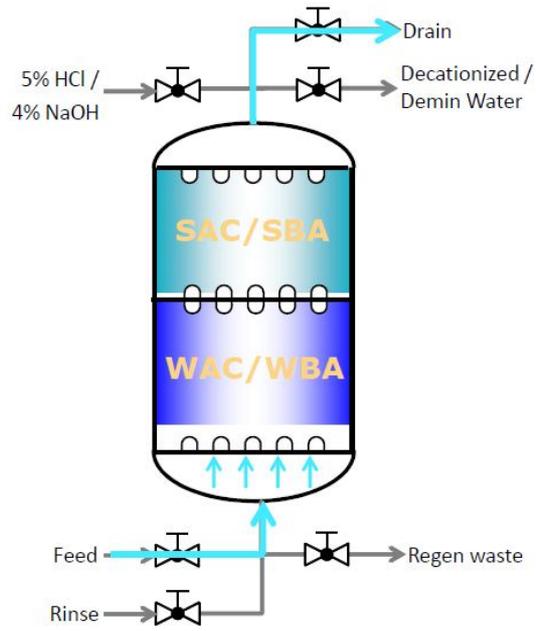


圖17. 快洗排水(fast rinse to drain)圖

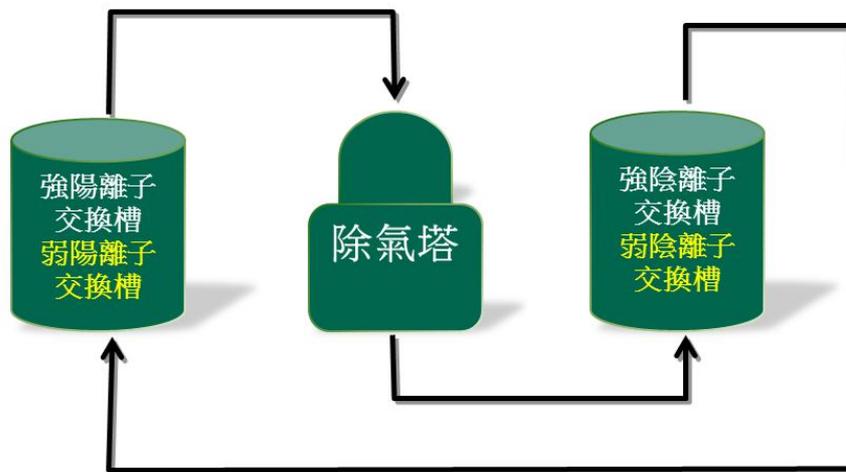


圖18. 2B3T循環潤洗圖

Operation Sequence

Operation	Step	Flowrate	Duration	Control Mean
Service Run		211 m ³ /h	21 hour	Run time or water quality whichever comes first
Regeneration	1. Chemical Injection			Timer
	• 5% HCl Injection	42.1 m ³ /h	35 minute	
	• 4% NaOH Injection	64.6 m ³ /h	30 minute	
	2. Displacement Rinse			Timer
	• Cation Exchanger	36.3 m ³ /h	93 minute	
	• Anion Exchanger	60.6 m ³ /h	99 minute	
	3. Fast Rinse			timer
	• Cation Exchanger	211 m ³ /h	5 minute	
	• Anion Exchanger	211 m ³ /h	5 minute	
	4. Circulation Rinse	211 m ³ /h	15 minute	timer

表6.2B3T系統操作程序表

(三)RO逆滲透系統 (Reverse Osmosis)

逆滲透，英文Reverse osmosis，又稱RO逆滲透或反滲透，淨化水質的方法，其原理為將淡水和海水置於U形管中，中間以半透膜分開只允許水通過，水會從滲透壓低的地方流向滲透壓高的地方，此現象為滲透。若在海水側施加壓力，則可見水由滲透壓高的地方(海水側)流向滲透壓低的地方(淡水側)，如圖19所示。

滲透壓公式 $\pi = iC_MRT$ (其中 π ：滲透壓 (atm)； i ：凡荷夫因子，其值視離子解離度而定， C_M ：體積莫耳濃度 (mol/L)； R ：理想氣體常數 (0.082 atm L / mol K)； T ：絕對溫度 (K)； V ：體積 (L))

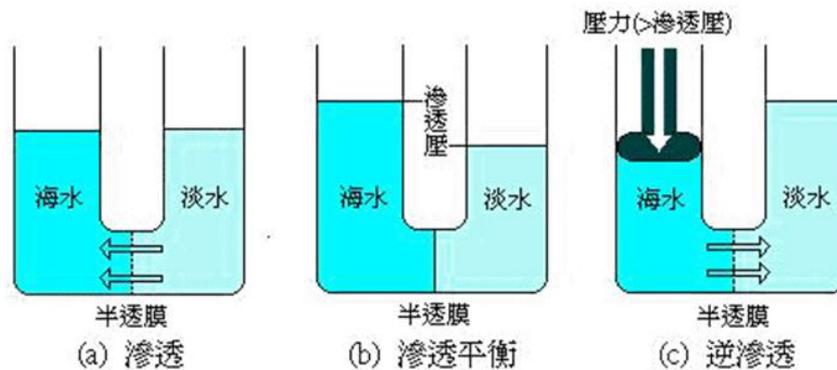


圖19.逆滲透原理示意圖

圖20為粒子顆粒大小和對應適用過濾方法，其中以逆滲透(Reverse Osmosis)方式過濾可分離較小顆粒的粒子(如有機物、鹽類物質等)，可有效降低水中總有機碳濃度(TOC)。

RO系統可將來源水分離出RO水(permeate water)及濃縮水(reject water)，RO水供發電機組使用，而濃縮水部分供2B3T系統樹脂再生時使用的稀釋水使用，分離設備示意圖如圖21

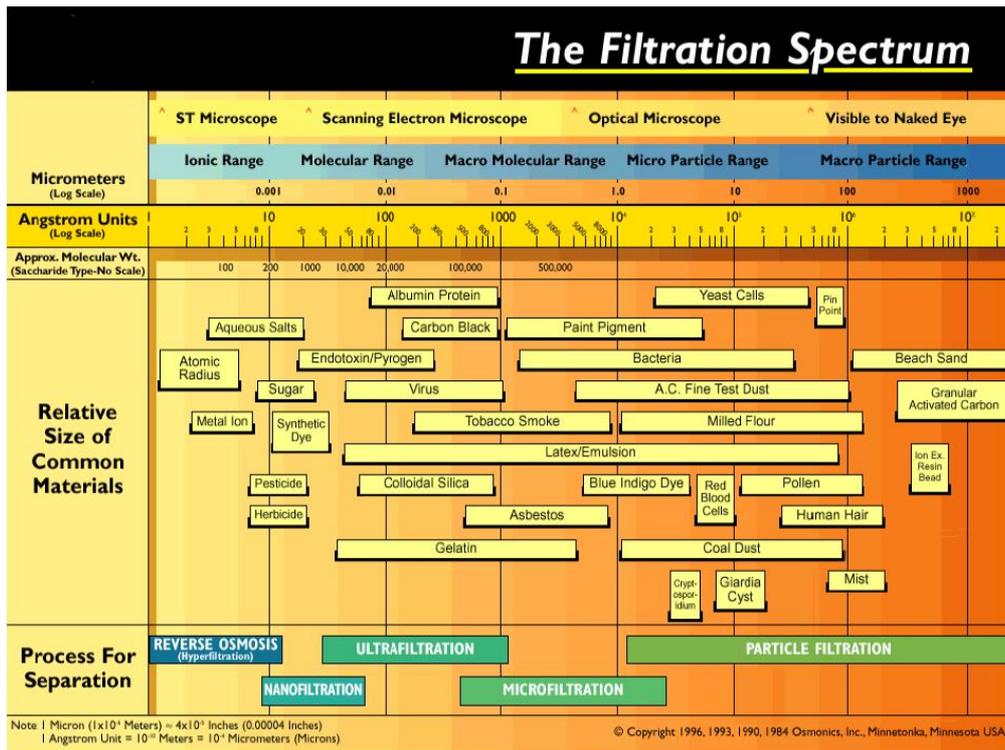


圖20. 粒子顆粒大小和適用過濾方式圖

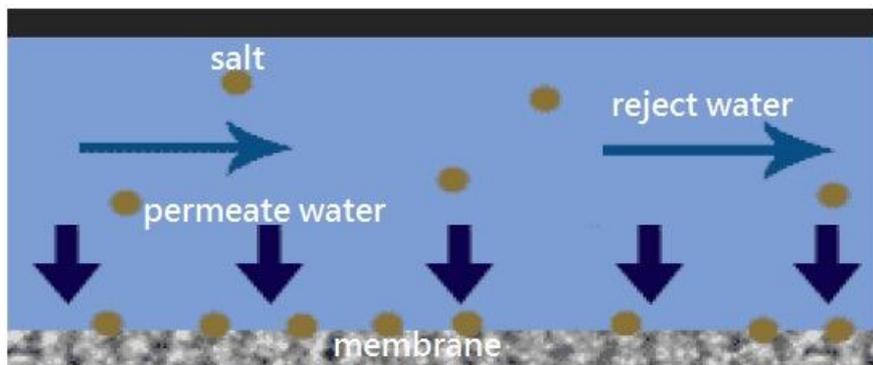
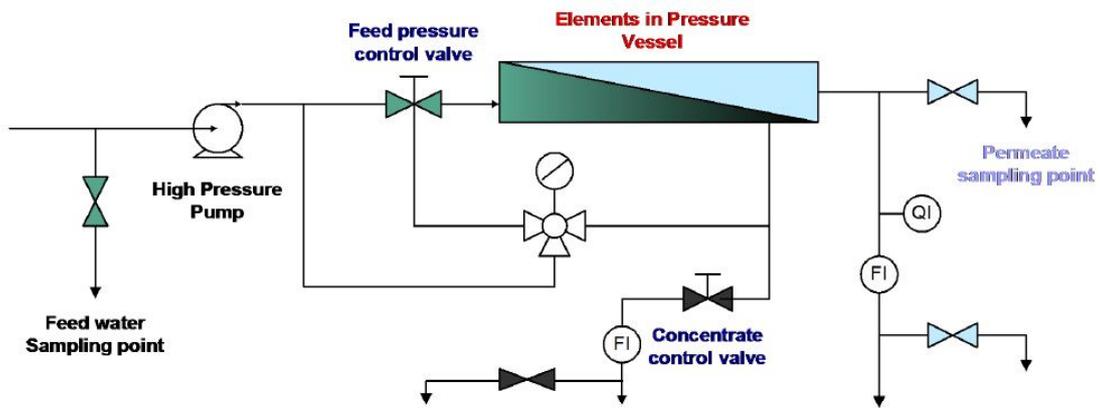


圖21. RO將來源水分離出RO水(permeate water)及濃縮水(concentrat) (reject water)

RO膜共有3層聚合物組成以polysulfone及polyester為支撐層，以polyamide(聚醯胺)為過濾層，如圖22所示，。

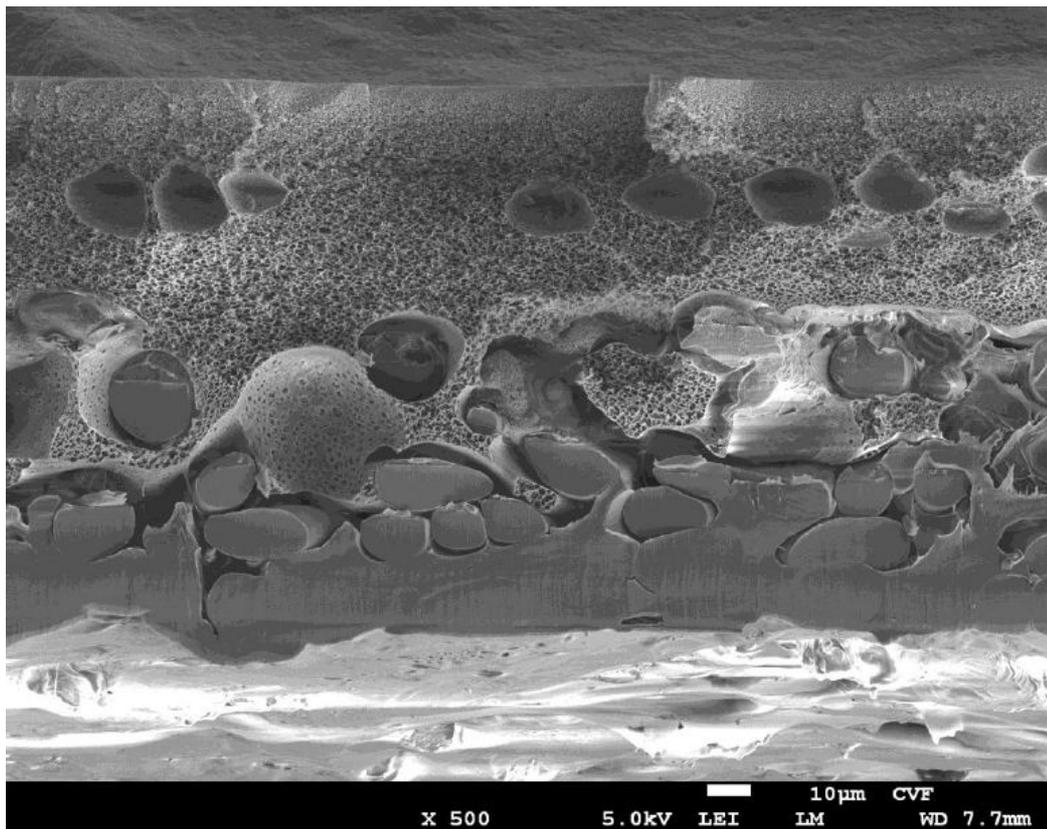
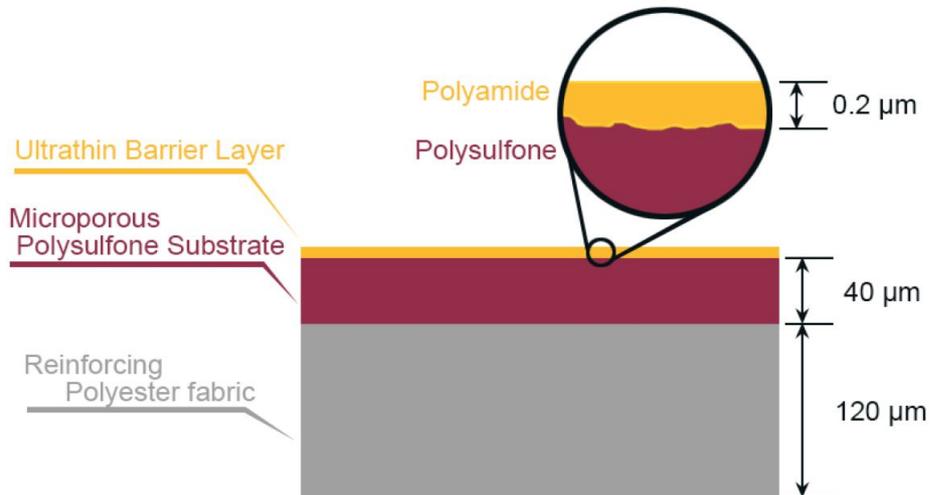


圖22.RO膜示意圖及SEM圖

林口除礦水廠採用螺旋式RO膜，其構造如圖23所示，來源水從Feed solution端進入，最後RO水從中心Permeate端和濃縮水從Concentrate端產出。

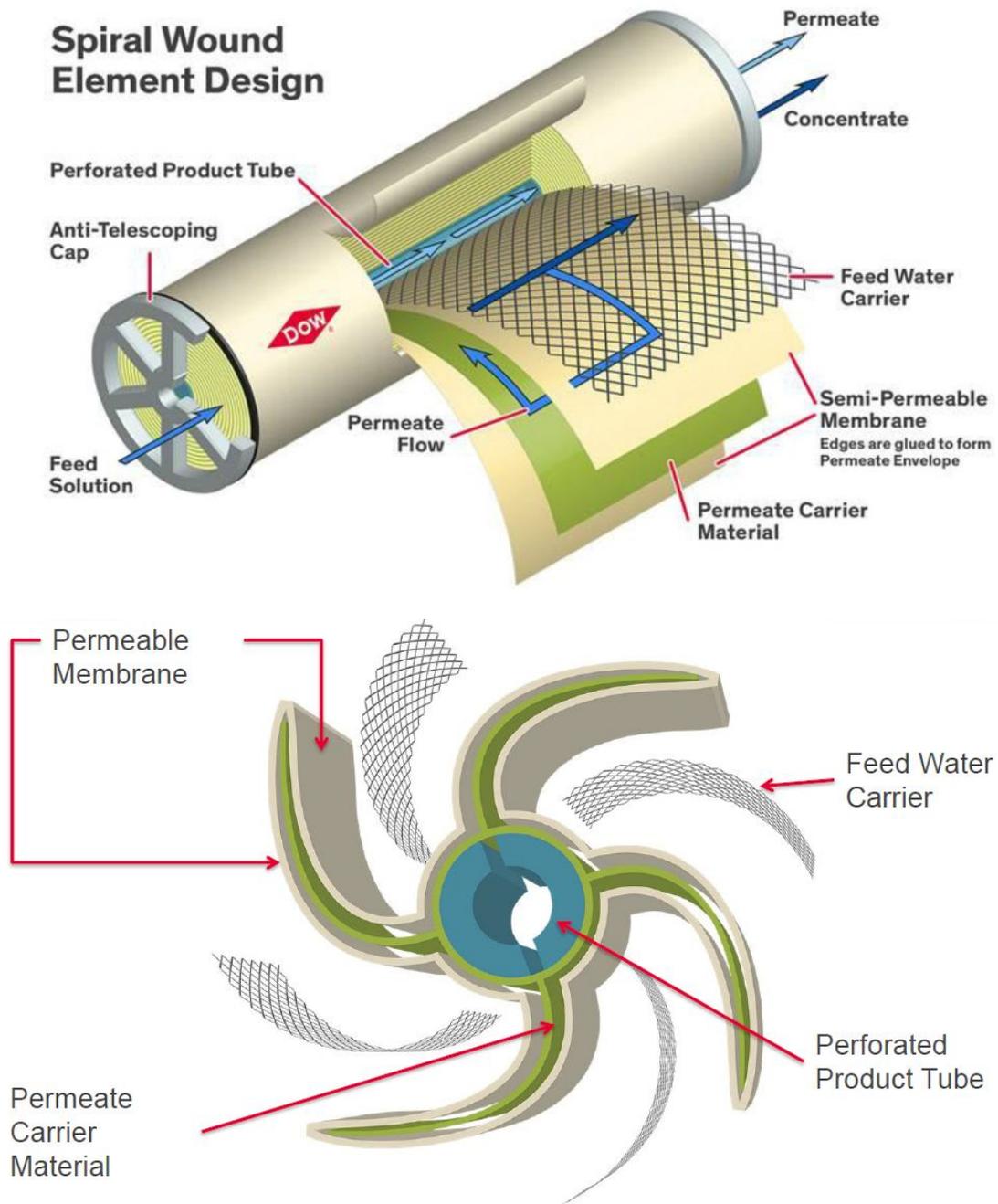


圖23. 螺旋式RO膜構造圖

林口除礦水廠使用的RO膜型號為(ESPA2 MAX) 其造水量為單串200.4m³/hr，回收率為95%，每串有3個RO unit，因此每個RO unit的流量為70.3m³/hr，其RO排列方式如圖24所示，採用兩階段式排列(5:2排列)，進口水量70.3m³/hr分配至5道RO膜管進行分離，95%水通過RO膜形成RO水(Permeate)；5%濃縮水再進行第二道過濾分配至2道RO膜管進行分離，最後得到流量66.8m³/hr RO水(95%)和3.5 m³/hr 濃縮水(5%)。

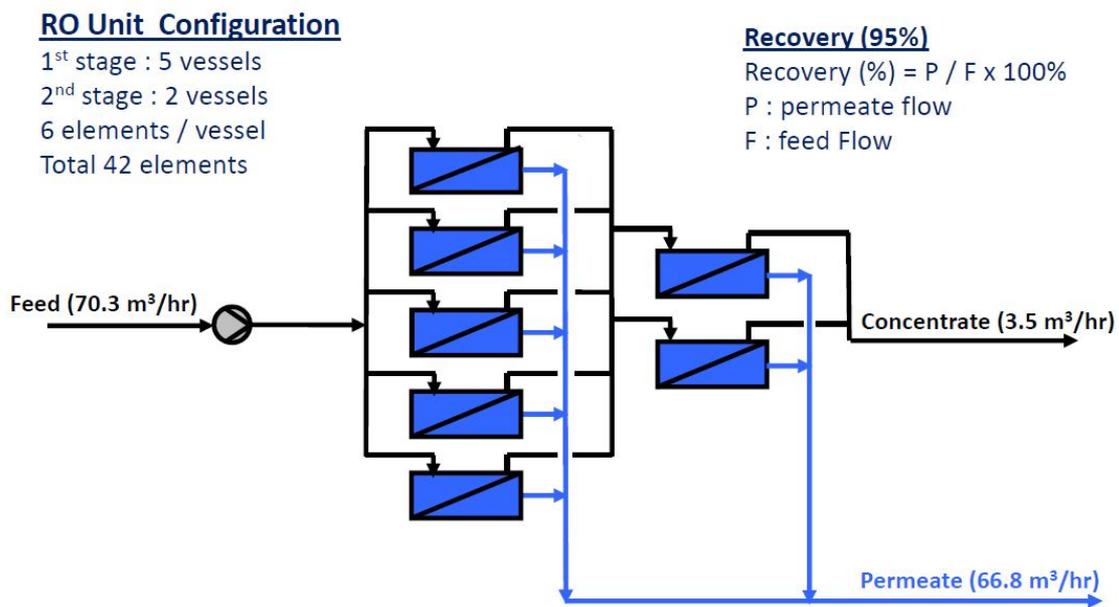


圖24. 林口除礦水廠RO兩階段式排列示意圖

RO系統的回收率(Recovery%)及Salt passage%和Salt rejection%可用下列式子計算：

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{Permeate flow}}{\text{Feed flow}} \times 100$$

$$\text{Salt Passage (\%)} = \frac{\text{Permeate Salt Concentration}}{\text{Feed Salt Concentration}} \times 100$$

$$\text{Salt Rejection (\%)} = 100 - \text{Salt Passage}$$

例如：當Feed flow(100 m³/hr)時，而Permeate flow(75 m³/hr)即回收率(Recovery%)為75%。當Feed salt水質導電度(100 μ s/cm)，而Permeate salt水質導電度(3 μ s/cm) Salt passage%即為3%，Salt rejection%為97%。

表6為流量水質壓力變化對應RO系統發生問題及故障排除整理表，在一般設備巡視上定期紀錄Permeate flow、Salt passage、Different Pressure(壓差)數據變化，可有效了解設備運轉情形及設備故障原因。

RO Membrane Trouble Shooting Guide

Permeate Flow	Salt Passage	Different Pressure	Direct Cause	Indirect Cause	Corrective Measure
↑	↑	→	Oxidation Damage	Free Chlorine, Ozone, KMnO ₄	Replace Element
↑	↑	→	Membrane Leak	Permeate Backpressure; Abrasion	Replace Element; Improve Cartridge Filtration
↑	↑	→	O-Ring Leak	Improper Installation	Replace O-Ring
↑	↑	→	Leaking Product Tube	Damaged During Element Loading	Replace Element
↓	↑	↑	Scaling	Insufficient Scale Control	Cleaning; Scale Control
↓	↑	↑	Colloidal Fouling	Insufficient Pretreatment	Cleaning, Improve Pretreatment
↓	→	↑	Biofouling	Contaminated Raw Water, Insufficient Pretreatment	Cleaning, Disinfection Improve Pretreatment
↓	→	→	Organic Fouling	Oil, Cationic Polyelectrolytes	Cleaning, Improve Pretreatment
↓	↓	→	Compaction	Water Hammer	Replace Element or Add Elements

↑ Increasing ↓ decreasing → Not changing ↑ Main symptom

Trouble Shooting Guide

	Observation	Possible Causes	Actions
1	High trans-membrane pressure	<ol style="list-style-type: none"> Low water temperature Membrane fouled Membrane scaling 	<ol style="list-style-type: none"> Re-adjust the operation parameters (a) Conduct RO CIP (b) Monitor SDI. Improve upstream performance (a) Conduct RO CIP (b) Check if antiscalant dosing pump run properly (c) Conduct feed water analysis. Ensure antiscalant dosage is adequate
2	Too high or too low permeate flow	<ol style="list-style-type: none"> Change in water temperature Recovery out of range 	<ol style="list-style-type: none"> Re-adjust the operation parameters Check water temperature and regulate the feed valve and concentrate valve to attain desired recovery
3	High permeate conductivity	<ol style="list-style-type: none"> Raw water quality / temperature change RO membrane defect 	<ol style="list-style-type: none"> Re-adjust the operation parameters if applicable See RO membrane corrective measures in the following table

表6.流量水質壓力變化對應RO系統發生問題及故障排除

RO膜常見主要有下列3個現象：

1. 淤積(Fouling)：

保養RO設備上為預防RO膜產生淤積(Fouling)，需量測淤泥密度指數Silt Density Index(SDI) 預測RO逆滲透膜被懸浮物或膠狀物質阻塞的情況，造成淤積的物質如：細菌生物、有機物、膠體物質、金屬物(鐵、鎂)等．．．，SDI計算式如下：

Silt Density Index (SDI)

$$SDI_{15} = [1 - T(0) \div T(15)] \times 100 \div 15$$

where $T(0)$: time taken to filter 500ml water with clean filter membrane
 $T(15)$: time taken to filter 500 ml water after 15 minutes

計算結果標準為 $SDI_{15} < 5$ 表示合格，進口水質較不易淤積，但需定期化學清洗程序CIP(chemical clean-in-place)， SDI_{15} 如果大於5即要進行更頻繁進行化學清洗， SDI_{15} 其測量方式示意圖及範例如下：

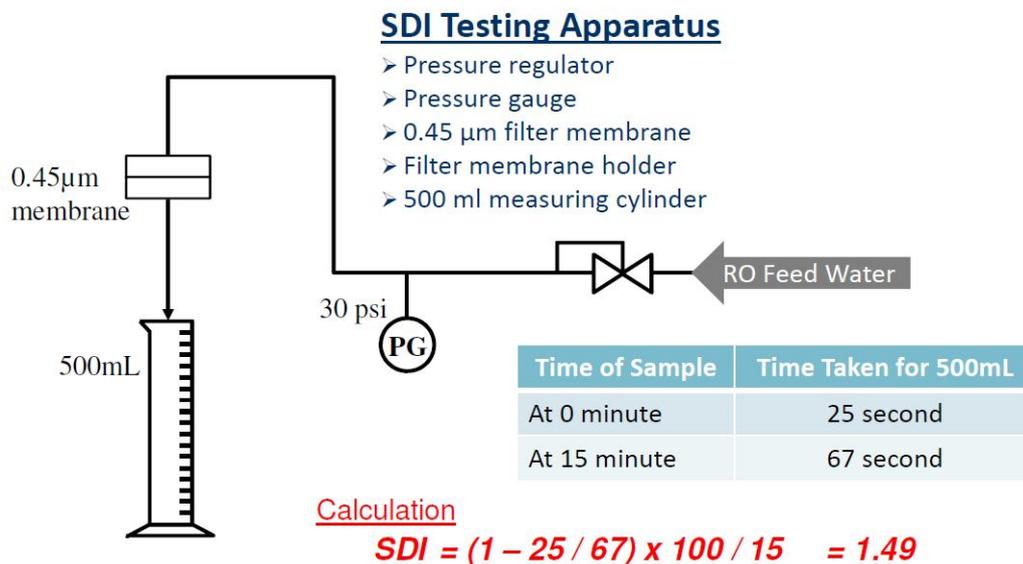


圖25.SDI₁₅其測量方式示意圖及範例

2. 沉積(Scaling):

另一項常見的問題為沉積，常見的沉積物如：CaCO₃、MgCO₃、CaSO₄、Mg SO₄、

BaSO₄、SiO₂等．．．，沉積產生常發生在濃縮水管線中，成因為水中鹽類的濃度已大於水中的溶解度即開始產生沉澱物，造成堵塞的現象。

3. 薄膜氧化(Membrane Oxidation)：

RO膜對於氧化劑化學耐性不佳，尤其水中含有自由餘氯(free chlorine)會氧化RO膜，造成RO膜損壞。當RO膜有氧化問題發生時，可添加焦亞硫酸鈉Sodium metabisulfite (SMBS) (Na₂S₂O₅)去除自由餘氯，一般3mg SMBS可去除1mg自由餘氯。

化學清洗 chemical clean-in-place(CIP)

化學清洗(CIP)主要是排除RO膜淤積和沉積的現象，清洗頻率可由進口水質和操作造水情形來決定，一般壓差超過20%或通過水流量減少超過10%或salt passage超過20%即須化學清洗(CIP)，化學清洗相關藥劑依RO膜淤積和沉積情形可向廠商購買適用的藥劑，一般進行化學清洗分2階段先個別鹼洗完後再個別酸洗，並且清洗完後須更換新的RO前置過濾器濾材(prefilter)。



圖26.林口除礦水廠RO系統設備圖

(四) 混床(Mix Bed)

混床(MB)主要是由強陽離子交換樹脂(Amberjet 1200Na)及強陰離子交換樹脂(Amberjet 4200Cl)和惰性樹脂組成，主要用途是將RO系統處理過的一次水再次淨化處理成二次水，提高水質的純淨度提供發電機組用水。

造水模式(Service Run)如圖27所示，來源水從頂部Feed端經混床樹脂層進行陰陽離子交換後，再從底部出口至Demin Water端進入除礦水儲存槽。

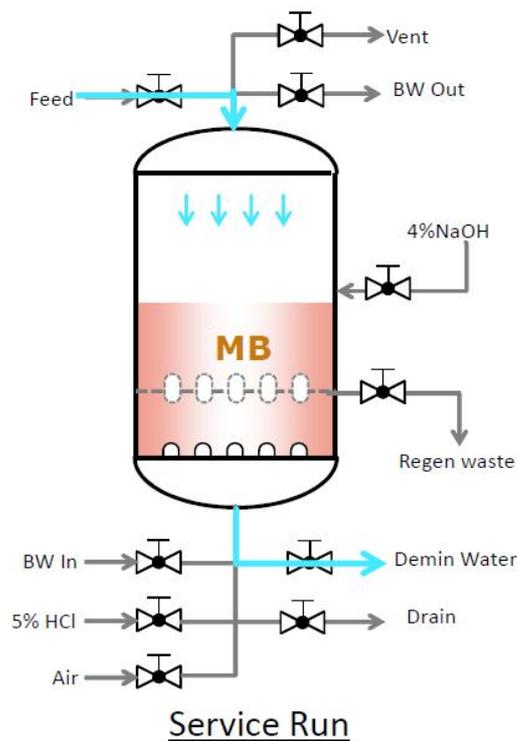


圖27. 混床(MB) 造水模式(Service Run)管線流程圖

當混床(MB)造水時間或造水量已達設定值，或造水出口無法達到水質設定標準時，即要進行混床樹脂再生。混床再生主要有幾個流程：逆洗(Backwash)、靜置(Settle)、注藥(chemical injection)、壓出清洗(Displacement Rinse)、排水#1(Drain#1)、氣混(Air Mixing)、排水#2(Drain#2)、補水(Fill water)、最後清洗(Final Rinse)。

逆洗(Backwash)如圖28(a)所示，水由下(BW In)端往上(BWout)注入混床，清洗混床內雜質並使陰陽離子樹脂完全分離，陰離子樹脂將被分離到上層，陽離子樹脂在

下層。靜置(Settle)如圖28(b)所示，利用陽離子樹脂比重較重,使樹脂沈降並分離。
 注藥(chemical injection)如圖28(c)所示，4%NaOH由上往下注入混床同時5%HCl由下往上注入混床，注入藥劑後由中間排水閥排出(Regen waste端)，將陰陽離子樹脂再生。
 壓出清洗(Displacement Rinse)如圖28(d)所示，將注藥泵浦關閉稀釋水泵持續開啟，將NaOH及HCl自混床內洗出。

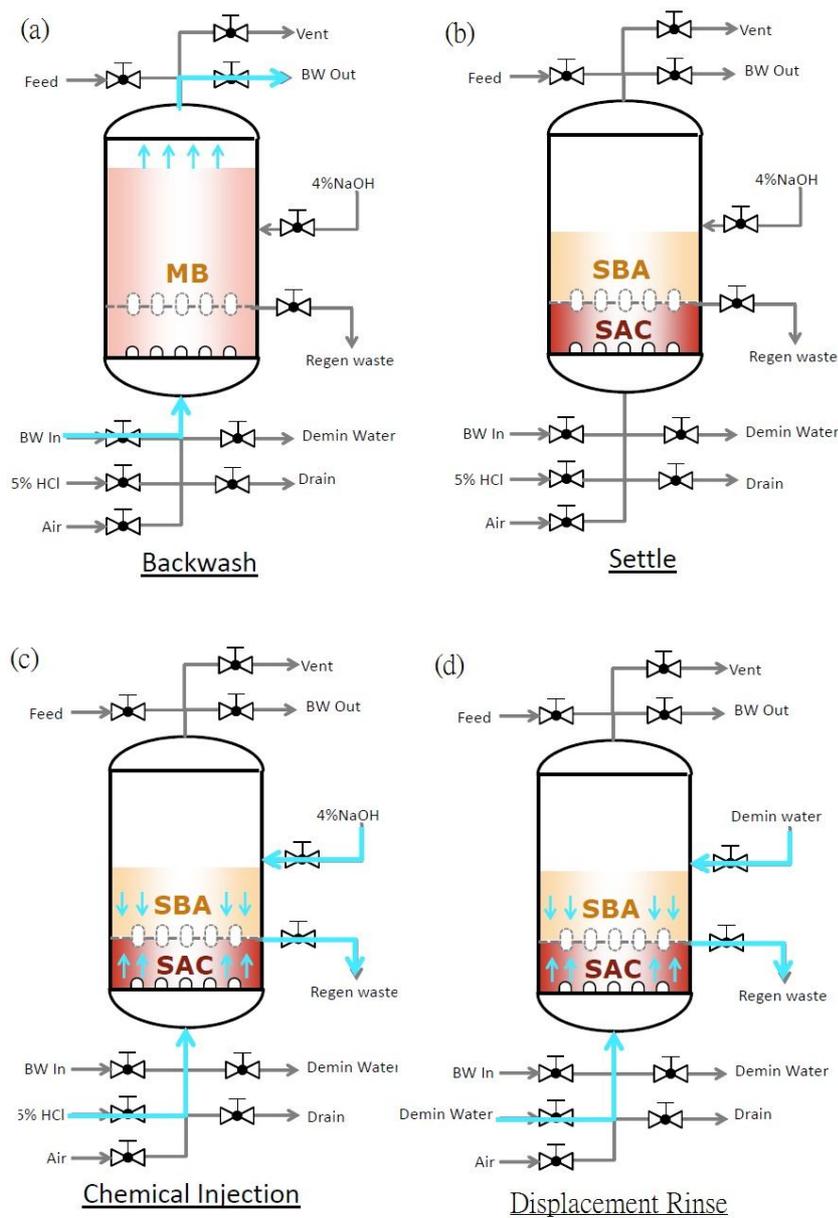


圖28.混床再生示意圖(a：逆洗 b：靜置 c：注藥 d：壓出清洗)

排水#1(Drain#1)如圖29(a)所示，開啟溢氣閥(vent)和排水閥(drain)，將混床內的水排到樹脂層上方約10公分的高度，準備做樹脂氣混。氣混(Air Mixing) 如圖29(b)所示，關閉排水閥(drain)，開啟空氣進口閥(Air)，將陰陽離子樹脂作均勻混合。排水#2(Drain#2)如圖29(c)所示，開啟排水閥(drain)繼續排水。補水(Fill water)如圖29(d)所示，關閉排水閥(drain)，開啟稀釋水閥(demin water)，以較小的水量補進混床以避免樹脂層造成擾動。

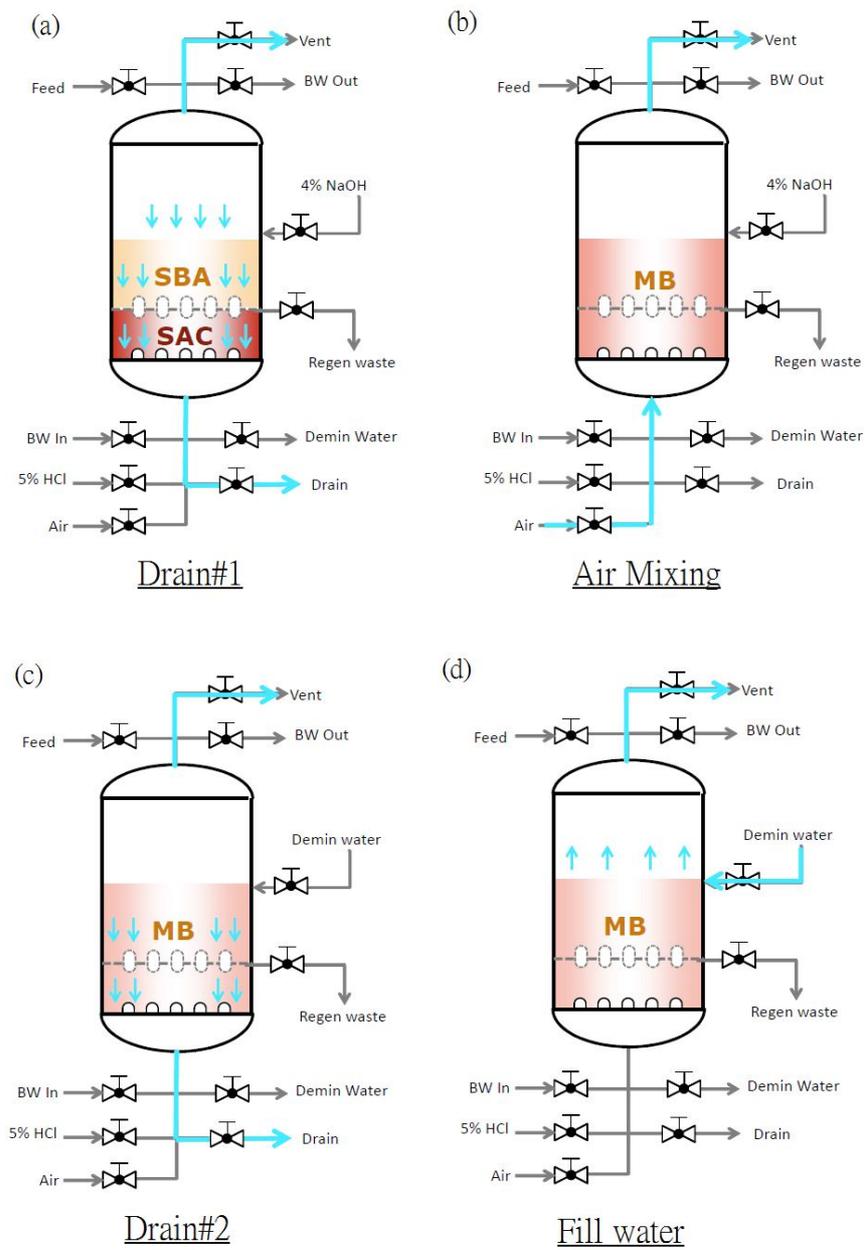


圖29.混床再生示意圖(a：排水#1 b：氣混 c：排水#2 d：補水)

最後清洗(Final Rinse)如圖30所示，以大水量將樹脂清洗乾淨，並將水質提升到 $<0.1 \mu s/cm$ 才可以停止清洗，進入備用狀態。

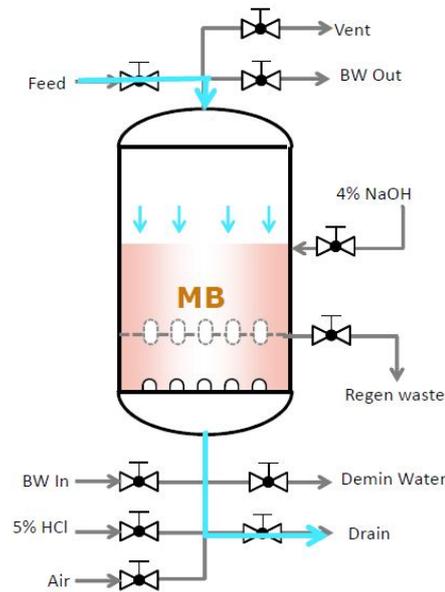


圖30.混床再生示意圖

Operation	Step	Flowrate	Duration	Control Mean	
Service Run		200 m ³ /h	240 hour	Run time or water quality, dP, whichever comes first	
Regeneration	1. Backwash	45.8 m ³ /h	15 minute	Timer	
	2. Settle		10 minute	Timer	
	3. Chemical Injection	• HCl Injection	16.7m ³ /h	20 minute	Timer
		• NaOH Injection	21.1 m ³ /h	20 minute	
	4. Displacement Rinse	• HCl displacement	14.4 m ³ /h	46.7 minute	Timer
		• NaOH displacement	19.8 m ³ /h	46.7 minute	
	5. Drain #1			5 minute	Level switch
	6. Air Mixing		330Nm ³ /h	20 minute	Timer
	7. Drain #2			1 minute	Timer
8. Fill Water		19.8 m ³ /h	22.4 minute	Timer	
9. Final Rinse		100 m ³ /h	20 minute	Water quality	

表7.混床造水及再生流程表

	Observation	Possible Causes	Actions
1	High Pressure Drop	<ol style="list-style-type: none"> Differential pressure transmitter faulty Accumulation of Suspended Solids Clogged distributor / strainers Resin breakdown 	<ol style="list-style-type: none"> Check and calibrate the instrument Backwash the resin. Monitor raw water characteristic and improve upstream operation Check the strainers. Clean or replace if needed Check for oxidant. Examine ACF performance. Replace carbon if needed
2	System Capacity Reduction	<ol style="list-style-type: none"> Increase in raw water salinity Inadequate resin volume Resin fouling Resin damage 	<ol style="list-style-type: none"> Conduct raw water analysis. Check against design worksheet. Re-adjust the operation parameters if applicable Resin bed is not topped up to the desired level Investigate the possible fouling. Clean the resin Collect resin sample for analysis. Replace resin if needed
	Observation	Possible Causes	Actions
3	Poor demin water quality	<ol style="list-style-type: none"> Inadequate regeneration Resin over exhaustion Same causes as system capacity reduction <u>For MB only</u> Bad resin separation Resins nNot thoroughly mixed 	<ol style="list-style-type: none"> (a) Check regeneration equipment if faulty. (b) Good quality and right amount of chemical used for regeneration Conduct double regeneration to recover the resin See item 2 Adjust Backwash and Air-mixing

表8.2B3T系統及混床運轉過程中常見的問題及故障排除整理表

(五)相關儀控設備

圖31及表9為林口除礦水廠壓力相關儀器使用的系列型號及安裝位置圖表。

圖32及表10為液位計及液位開關安裝位置圖表，林口除礦水廠水質線上分析儀器有pH計、導電度計、溫度計、ORP(氧化還原電位計)、鈉離子分析儀、矽土分析儀、離子層析儀。圖34及圖35分別為鈉離子分析儀及矽土分析儀。

- Rosemount 2051 Series – Pressure Transmitter
- Ashcroft B-Series – Pressure Switch



Rosemount 2051 Series

Ashcroft B-Series

圖31.壓力計及壓力開關圖

壓力計及壓力開關			
型號	用途	安裝位置	備註
Rosemount 2051T	Pressure Transmitter	<ul style="list-style-type: none"> • RO Units Inlet • Regeneration / Dilution Water Pump Outlet 	
Rosemount 2051CD	Differential Pressure Transmitter	<ul style="list-style-type: none"> • Raw Water Type Y Filter • Acid Cation Exchanger Outlet Resin Trap • Base Anion Exchanger Outlet Resin Trap • Mixed Bed Exchanger Outlet Resin Trap • Degasifier Pipe Y Filter 	

		<ul style="list-style-type: none"> • RO Unit • Active Carbon Filter • Acid Cation Exchanger • RO Pre-Filter 	
Rosemount 2051L	Level Transmitter	<ul style="list-style-type: none"> • Degasifier • Soft Water Storage Tank • RO Water Tank • RO Reject Water Tank 	
Ashcroft B-Series	Pressure Switch	<ul style="list-style-type: none"> • Raw Water Transfer Pump • RO Booster Pump • RO Unit • Mixed Bed Air Blower 	

表9.林口除礦水廠壓力計及壓力開關安裝位置表

- *Rosemount 5402 Series – Radar Level Transmitter*
- *Fine-tek – Side Mounting Float Switch*
- *Fine-tek – Magnetic Float Level Switch*



圖32.液位計及液位開關圖

液位計及液位開關			
型號	用途	安裝位置	備註
Rosemount 5402	Radar Level Transmitter	<ul style="list-style-type: none"> • Acid Storage Tank • Caustic Storage Tank 	
Fine-tek FF-Series	Side Mounting Float Switch	<ul style="list-style-type: none"> • Mixed Bed Exchange Tank • Dilution Water Heating Tank 	
Fine-tek	Magnetic Float Level Switch	<ul style="list-style-type: none"> • RO clean tank 	

表10.林口除礦水廠液位計及液位開關安裝位置表

- *Rosemount 185 Series – Thermocouple*
- *Ashcroft Temperature Switch SS5500*



圖33.線上量測溫度計圖

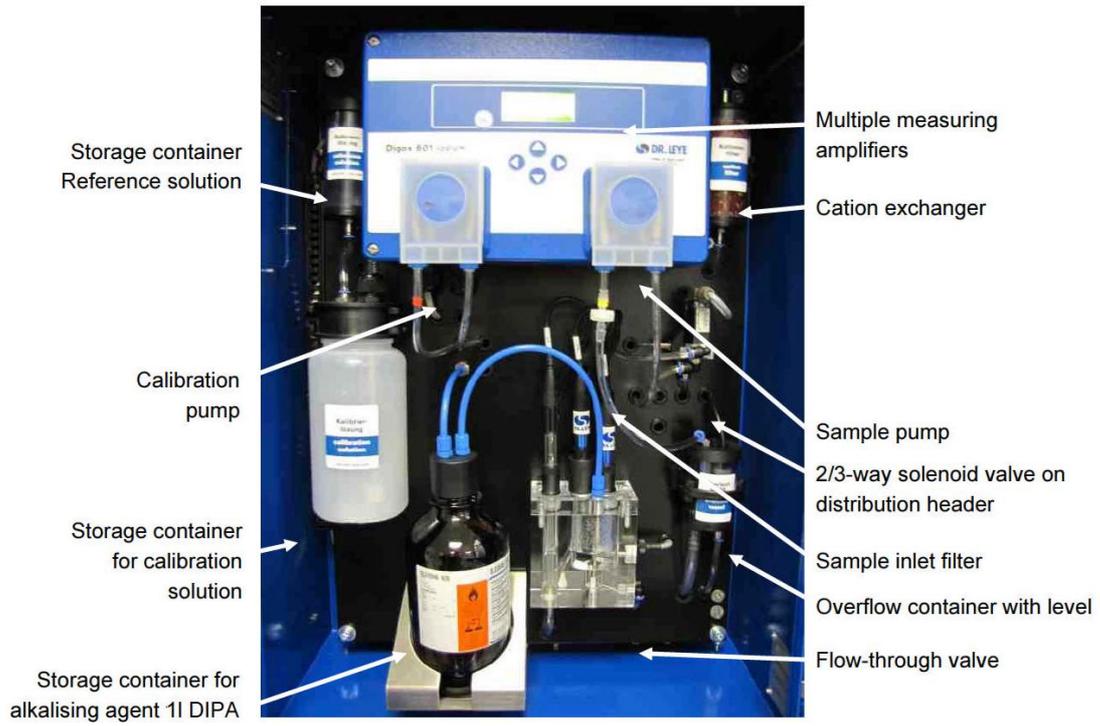


圖34.線上鈉離子分析儀

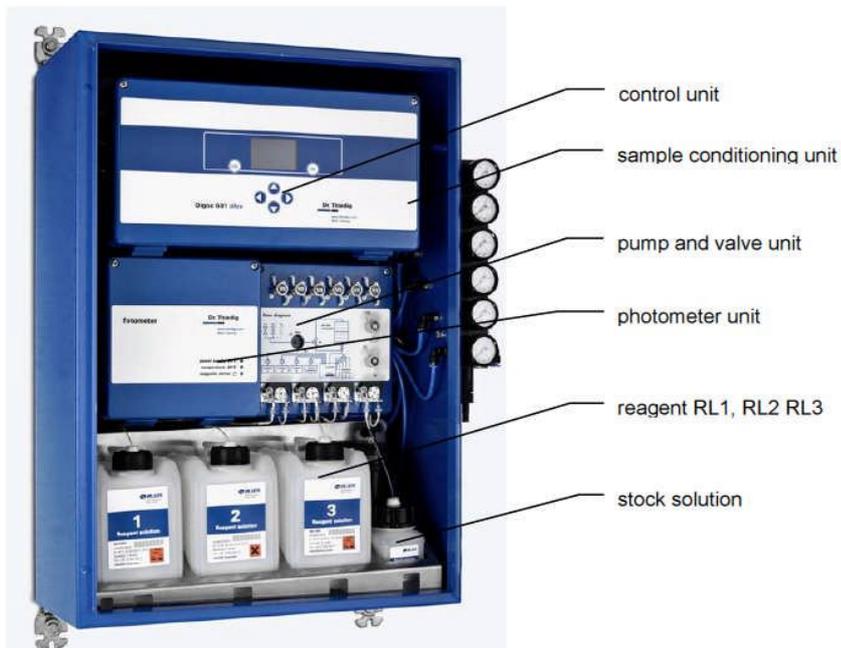


圖35.線上矽土離子分析儀

肆、工廠見習

(一)威立雅樹脂再生工廠

威立雅公司設立樹脂再生工廠幫客戶做離子交換樹脂做再生的工作，其流程為將失效 FRP 桶裝樹脂送回工廠，再將桶內的樹脂抽吸到樹脂接受槽，接受槽的樹脂再搬運到陽離子再生槽做分離，分離出的陰離子樹脂送到陰離子槽再生，陽離子樹脂在陽離子再生槽再生，最後將再生完成的樹脂混合後，再重新填裝至 FRP 桶。



圖 36.左圖樹脂抽出準備做交換；中上圖 FRP 樹脂桶；中下圖 RO 膜造水設備供水給樹脂做再生清洗用；右上圖桶槽照片；右下圖筆者造訪現場照片。

(二)Grundfox 泵廠

Grundfox 泵廠主要是負責生產、規劃設計、維修服務等．．．，林口除礦水廠安裝除氣塔水傳送泵(DG pump)即為該廠家所製造，該公司在海外有很多的據點可供維修及其他服務，其優點在台灣苗栗銅鑼有服務維修據點，不必一定要送到海外維修，對日後林口除礦水廠如發生泵浦故障、零件備品購買、維護保養方面處理問題方便許多。

(三)Soitec 晶圓廠純水系統

Soitec 為高科技電子廠，水質要求較林口除礦水廠高，其特點在於水體是持續流動不停止，所以無除礦水儲存槽，操作人員必須輪班操作水廠，因此其運轉維護成本較高。相較林口除礦水廠，其 RO 逆滲透裝置前端安裝紫外線 UV 燈殺菌，以延長 RO 膜的使用壽命，避免生物細菌生長，其設備如圖 37 所示。

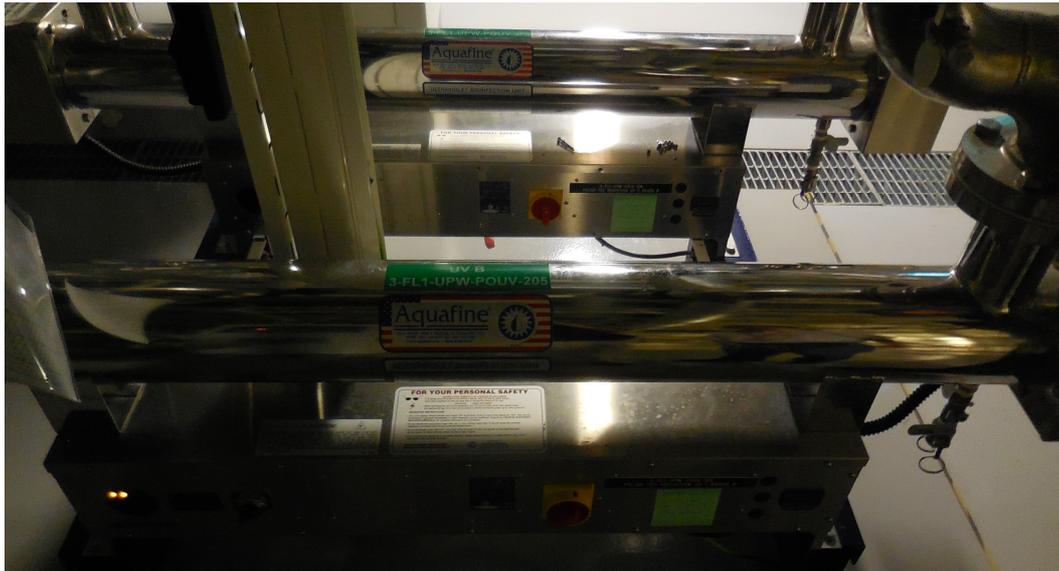


圖 37.紫外線 UV 燈裝置

(四)JTC 廢水處理廠

JTC 廢水處理廠為回收處理其他廠家產生的廢水，威立雅代為操作及維護設備，主要處理的廢水種類有三種(圖 38)，(1)WAI Line 負責一般金屬離子處理(鐵、銅等)，(2)WAC Line 負責處理含有氰化物(CN⁻)的廢水，(3)WAW Line 負責處理含有鉻(Cr)的廢水。按照來源水的分類予以處理後最終調整 pH 至中性後才予以排放。

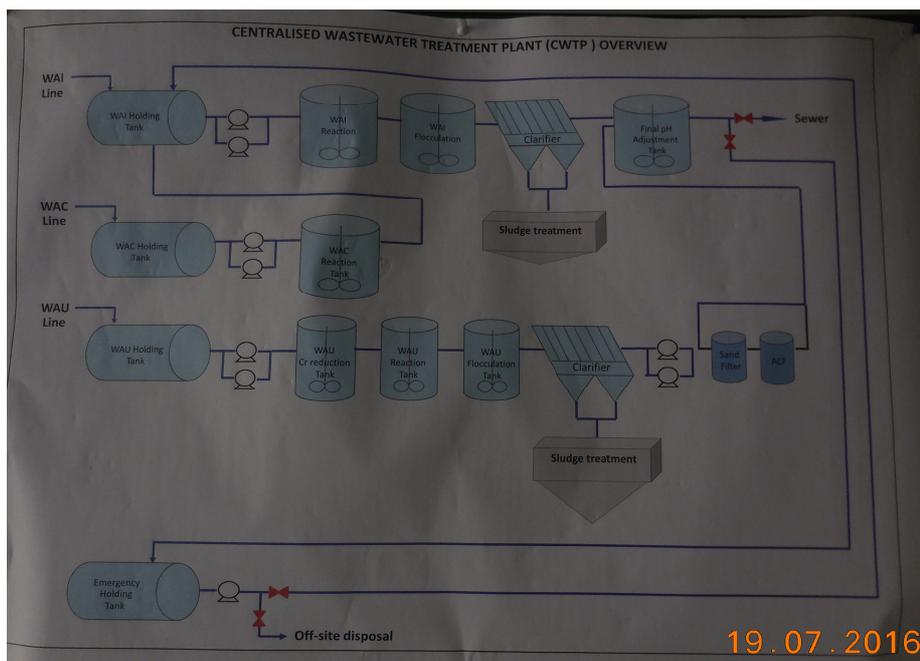


圖 38. JTC 廢水處理廠處理廢水流程圖

伍、除礦水廠設計模擬計算軟體

離子交換樹脂設計方面可由 Dow 樹脂供應商公司所提供給用戶端的軟體來做模擬計算，因此其軟體需向 Dow 公司洽詢並取得授權號碼才可使用。本次模擬計算軟體使用 IXCalc1.9.2 做模擬，其流程為(1)輸入來源水質濃度如(鈣、鎂、鈉、鉀、氯、硫酸根、硝酸根等．．．) 如圖 39。(2)系統會出現建議的組合形式如(強陽塔－除氣塔－強陰塔、弱陽塔－強陽塔－除氣塔－強陰塔等．．．) 取決於來源水品質，如圖 40。(3)系統會產生出推薦的交換樹脂型號及填充量(L)來做搭配組合，如圖 41。(4)最後細部調整根據樹脂的性能參數可設定(樹脂預度、排放廢水是否需接近中性等．．．)。

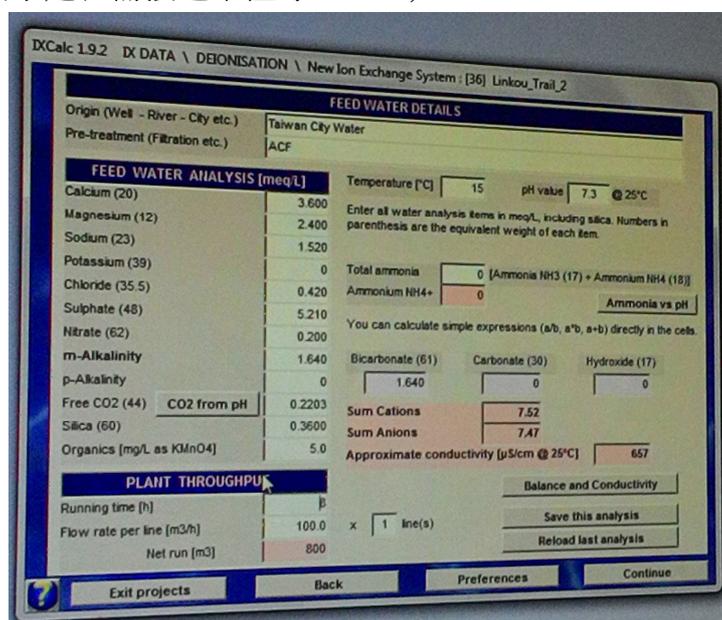


圖 39. 離子交換樹脂設計來源水輸入介面

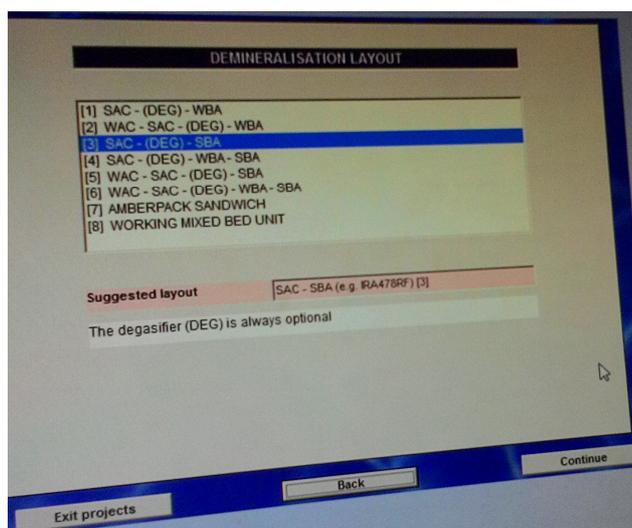


圖 40. 離子交換樹脂設計系統組合介面

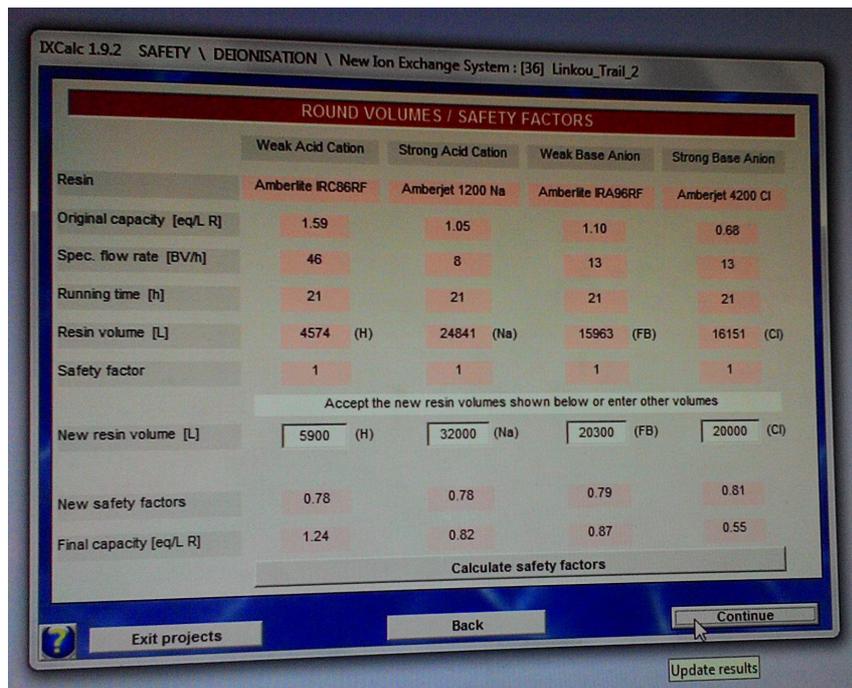


圖 41. 離子交換樹脂設計交換樹脂型號及填充量介面

RO 系統計算軟體可由 Dow 公司所提供計算軟體 ROSA 模擬計算，其軟體開放至官網可供下載，主要是模擬計算 RO 膜數量與管殼排列相關資料，輸入來源水質(圖 42)，再輸入欲購買的 RO 膜型號及其他相關參數(級數、膜數量、管殼數量、回收率)後(圖 43)，最後再點選 Report 產生報告(圖 44)，將設計報告中警告異常參數逐一調整修改至無警告即完成。



圖 42. ROSA 軟體來源水資料輸入。

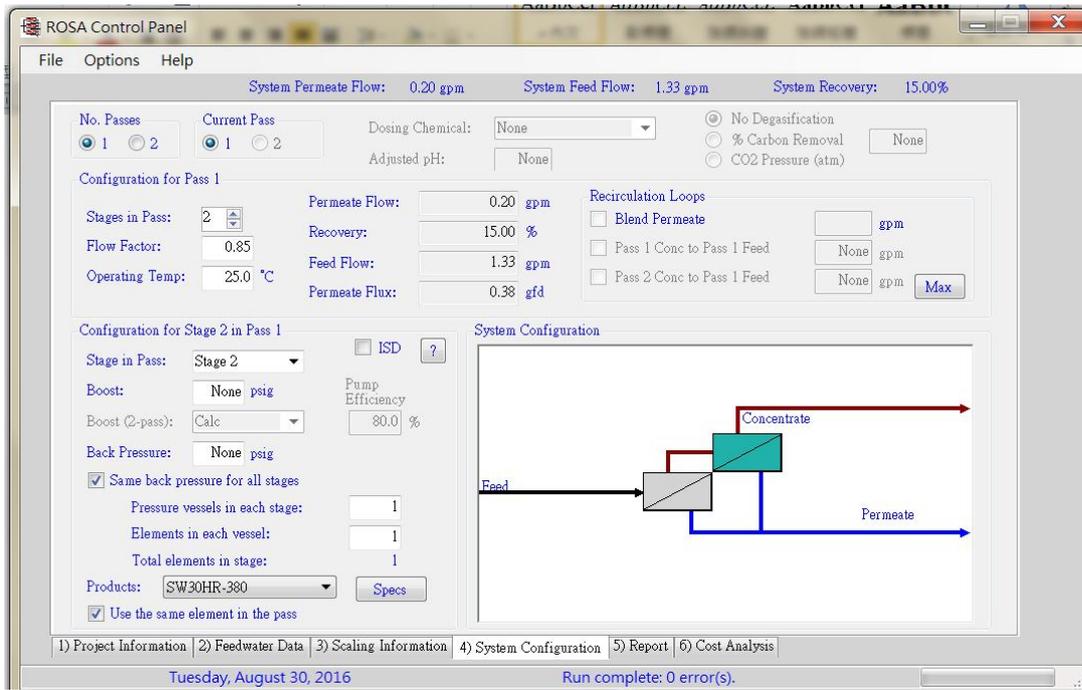


圖 43.ROSA 軟體管殼排列模擬

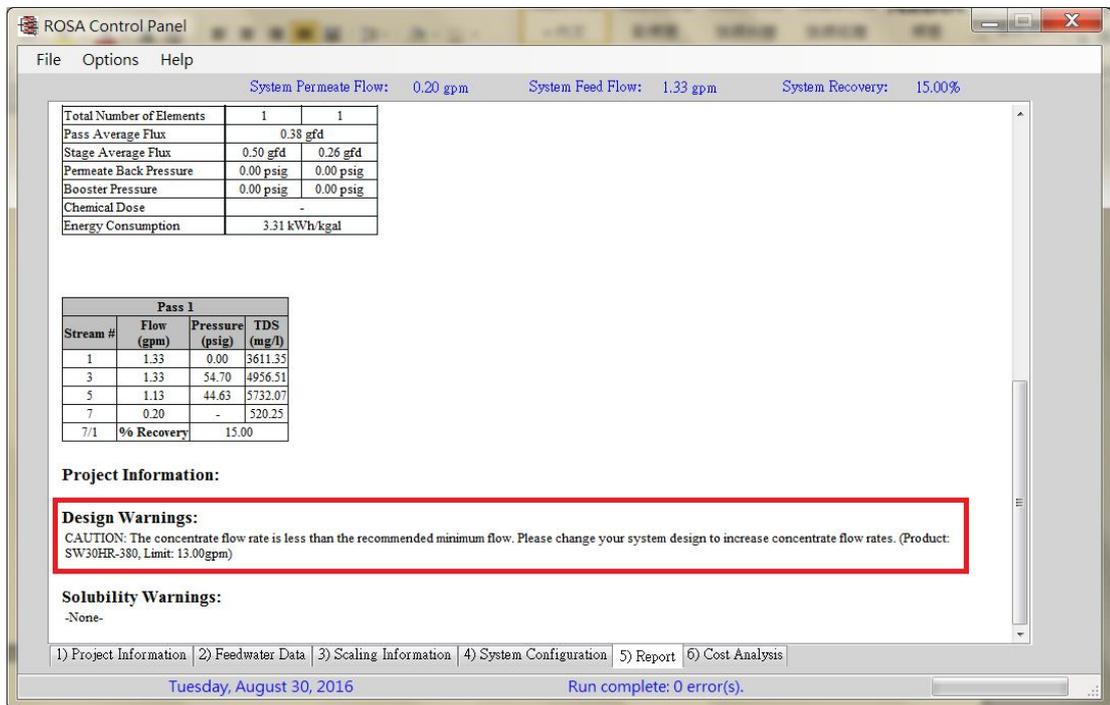


圖 44.ROSA 軟體模擬計算報告(紅框表示設計參數需修改)

陸、心得及建議事項

本次計畫有機會前往新加坡威立雅(Veolia)公司實習，衷心感謝公司各級長官的支持，提供海外實習訓練的機會，感謝朱廠長記民、湯副廠長榮清、周副廠長如卿積極培育電廠同仁給予教導和訓練，並且鼓勵同仁加強英文能力並通過外語檢定，感謝環化組高經理德發、陳課長魁能、陳胎雄大哥在平日專業訓練的指導和解說，感謝王瀚賢及陳胎雄大哥在出國期間幫忙辦理業務，最後感謝環化組各位同仁指導和多方面的幫忙，讓我在出國前先行閱讀相關設備資料和到現場了解目前工程最新進度，以便對海外訓練內容設備先有初步了解。

此次赴新加坡研習除礦水處理系統及其附屬設備裝機、運轉及維護訓練中，除了安排在室內進行授課討論教育訓練並且安排相關設備工廠見習，課程內容充實多樣化，並安排在每週五下午進行 Q&A 時間將當週上課內容有問題或不了解的地方加以討論，最後一週安排學科紙筆測驗，並測驗完後討論哪個環節不清楚或不了解的地方，讓學習者受益良多。工廠見習部分協助安排人員接送及相關事項聯絡，並且現場生產設備當場予以詳細解說使參訪者能夠了解，在學習者不甚了解或有疑問的地方都能在課程的隔天提出相關參考資料佐證，或應學習者要求彈性調整授課專業知識領域(儀電、機械、化工化學等)，讓各背景領域的學習者都能有所收穫，透過這次海外訓練機會，足見威立雅(Veolia)公司對海外訓練的重視。

而在海外訓練生活部分，新加坡和台灣在同一時區，所以沒有時差的問題，但由於新加坡國土面積小人口多在工業區、商業區、住宅區及軍事管制區均有明顯的劃分，並且水資源不足需仰賴進口水和海水淡化設備系統。其交通有大眾捷運系統和輕軌列車範圍涵蓋大部分的國土，在交通運輸上十分便利。國民以華人、馬來西亞人、印度人及歐裔亞洲人為主，多種族文化的國家，官方語言為英文，在當地語言可用中文或英文溝通，但專有名詞領域的部分因各國家及民族間稱呼不同，建議還是用英語比較方便了解。也因新加坡為多種族的國家，對彼此民族間的文化、宗教、生活方式的包容和尊重是值得學習的地方。

最後感謝新加坡威立雅 (Veolia) 公司安排 THE HING KOON (project manager)、HE Yue Mei、Willam SHIH 擔任本次訓練講師，提供專業知識和現場實務經驗，並且提供交通方式和協助聯絡相關設備工廠見習和接送，讓本次海外訓練計畫得以順利進行。

建議事項：

- 一、本次海外出國實習派遣相關現場設備人員受訓受益良多，建議公司多鼓勵相關設備現場維護或操作人員受訓，相信可以在設備操作維護上會有很大的幫助，並且也建議人員出國前希望先到相關設備現場先行了解設備情形和工程進度，受訓過程中比較容易理解並且掌握重點。
- 二、林口除礦水廠只有兩串造水設備，當一串造水設備進行大修，另一串造水設備發生故障時即產生無水可用的困境，因此建議造水設備須有三串以上，以避免無水可用的風險。
- 三、面對極端氣候的影響，台灣曾發生乾旱的現象導致缺水發生，當自來水無法供應給除礦水廠時即造成無水可用的困境，因而發電機組勢必要停機造成損失，在未來規劃上海水淡化設備的設置需納入考量。
- 四、新加坡因國土狹小，樹脂運送快速方便，因此成立樹脂再生工廠提供客戶樹脂再生。此方法比在現場工廠安裝再生設備，可減少蓋廠時土地的使用面積並減少設備的安裝維護成本，樹脂再生工廠的設置值得參考。
- 五、運轉設備的維護方面，當廠家在國內有維修工廠和服務處，在設備故障及消耗品購買維修速度上可縮短時程，因此在選用設備方面盡量避免買到特定規格的耗材及設備，以避免設備故障時無原廠技師支援須從國外找技師，或無足夠的備品替換因而拉長維修時程。