

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

單位：發電處

姓名職稱：林于媿 發電處 化學工程師

派赴國家：新加坡

出國期間：103年6月9日至103年7月4日

報告日期：103年8月12日

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 36 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

林于媿/台灣電力公司/發電處/化學工程師/02-23666551

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習 5 其他

出國期間：103 年 6 月 9 日至 103 年 7 月 4 日

出國地區：新加坡

報告日期：103 年 8 月 12 日

分類號/目

關鍵詞：除礦水系統、活性碳槽、2B3T、脫氣塔、RO 過濾系統、
Mix Bed

內容摘要：(二百至三百字)

林口更新擴建計畫之除礦水處理系統及其附屬設備，採用的是 Veolia 公司所設計製造的系統，包含前處理的活性碳槽 ACF、主要純水系統 2B3T、RO 逆滲透過濾及最後的 Mix Bed。為符合新建機組除礦水水量與水質穩定，以利後續提供超臨界鍋爐水質要求，新的除礦水廠皆搭配 RO 系統作更進一步的過濾，超純水系統採用 2B3T 的流程，使得 RO 的進流水導電度小於 $0.2 \mu\text{s}/\text{cm}$ ，且 $\text{SDI} < 3$ ，因此可將 RO 產水率提高至 95% 以上。Mix Bed 更可將 RO 系統處理過之一次純水再次處理成為二次純水，即達到我們所要求的水質，確保機組穩定運轉。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://report.nat.gov.tw/reportwork/>)

目 錄

壹、目的與過程	1
貳、Veolia 公司介紹	2
參、實習內容	4
一、除礦(demineralization)原理.....	4
二、除礦水系統流程.....	6
三、除礦水設備介紹.....	7
(一) 活性碳過濾器 ACF.....	7
(二) 2B3T 系統：	10
(三) RO 逆滲透過濾系統：	17
(四) 混合樹脂床 Mix Bed(MB)：	21
(五) 樹脂還原.....	22
四、故障排除.....	30
五、維修及注意事項.....	32
肆、實習心得及感謝	35
伍、建議事項	36

壹、目的與過程

水質的前處理單元，通常為系統穩定的關鍵，為維護新建機組除礦水水量與水質穩定，以利後續提供超臨界鍋爐水質要求，確保運轉安全與效率，藉由本次前往海外相關廠商研習，可充分了解廠商除礦水處理設備之設計規劃概念、製造流程、測試、安裝、操作及維護程序的理念及學習國際技術之進展。

為符合政府節能減碳政策，除需確保採購高效率機組，更需藉由正確運轉操作與維護以實現高機組效率之目標，厚植本公司未來新興火力機組開發規劃、工程採購、日後運轉維護之核心技術能力。

本次赴新加坡實習過程如表 1 所示，實習期間由 103 年 6 月 9 日開始，至 103 年 7 月 4 日為止，為期 26 天。

表 1 出國實習日期及內容

起迄日	機構	實習內容
103 年 6 月 9 日		赴新加坡
103 年 6 月 10 日至 103 年 6 月 29 日	Veolia	除礦水系統設計規劃概念、安裝、操作及維護訓練
103 年 6 月 30 日至 103 年 7 月 3 日	Veolia	現場觀摩
103 年 7 月 4 日		返國

貳、Veolia 公司介紹

Veolia Environment(威立雅環保)集團排名世界前 50 大，為國際上規模最大的環保及公用事業服務公司，其業務範圍包括自來水供應及污水處理、廢棄物管理、能源管理、大眾運輸、營建及電信通信事業，服務地區分布於 100 多個國家地區，員工人數超過 28 萬人，Veolia water 是 Veolia Environment 最重要成員，目前為全球首屈一指之水處理公司，Veolia water systems(簡稱 VWS)威立雅水務系統公司係為 Veolia water 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(USFilter)、歐洲地區、法國地區及國際性區域，營業範圍包括廢污水、超純水系統設備之提供並配合 Veolia water Operation 威立雅操作服務公司聯合承攬 BOO 或 BOT 公共工程或工業水處理合約，在亞洲地區分別有台灣、新加坡、香港、大陸、馬來西亞、菲律賓、泰國及印尼等事業單位，台灣威立雅公司目前為期下之在台子公司，從事水處理設備設計製造工作，亦從事有關污水及用水處理系統操作維護管理工作。

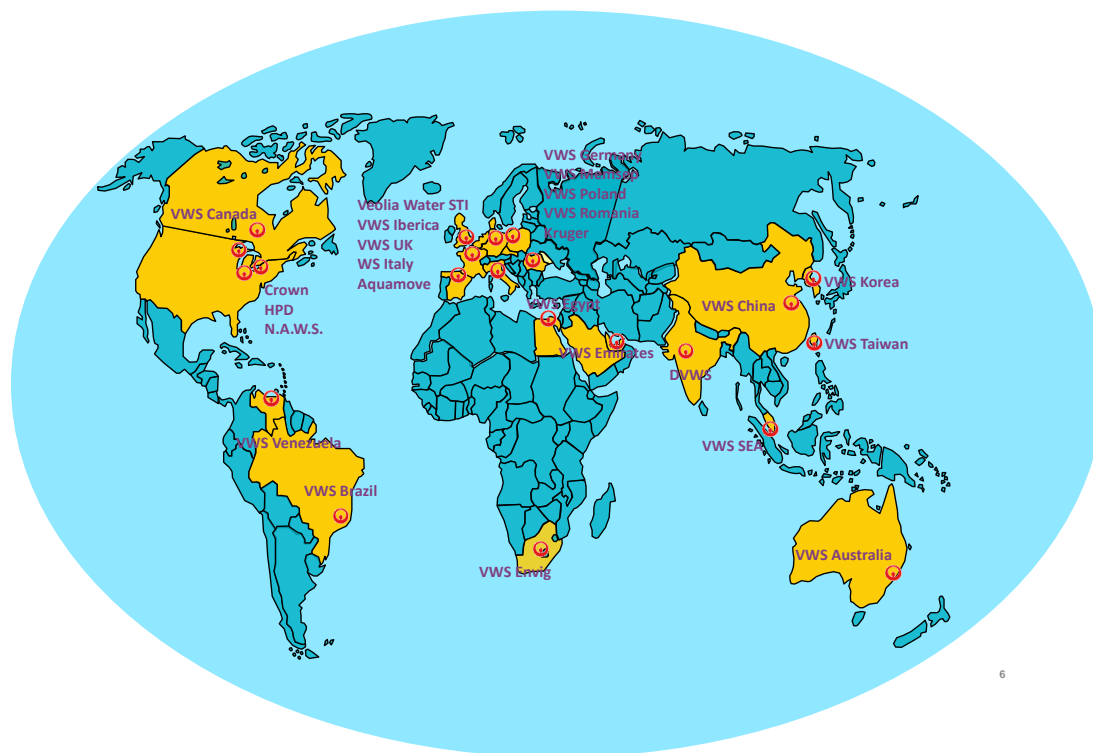


圖 1 Veolia 全球辦公室分佈圖

本次林口更新擴建計畫—除礦水系統的國外訓練，係由 veolia 所舉辦，受訓皆位於新加坡。上課內容有關除礦水系統的設計原理、運轉、維護部分，主要是由 Jim HULME、Djuwita TANDJO、CHONG King Hwa、QUOK Ngee Seng 及 Hiram Sung 為我講授。另外，在現場觀摩的部分是由 Jim HULME 負責，感謝 Veolia 公司安排結合了理論與實務的實習課程，讓對我對除礦水系統有了更進一步的認識與瞭解。

參、實習內容

一、除礦(demineralization)原理

• 天然水中因存在有許多雜質物質，故需依照用水目的適時適法的作水質處理以達最佳用水標準。天然水中成分組成十分多元，而只要不是 H^+ 或 OH^- 或 H_2O 我們都當作是不純物。

不純物種類如下

1. 氣體

如 CO_2 、 O_2 、 NH_3 等.....有時也會有 SO_2 。

2. 溶解固體物

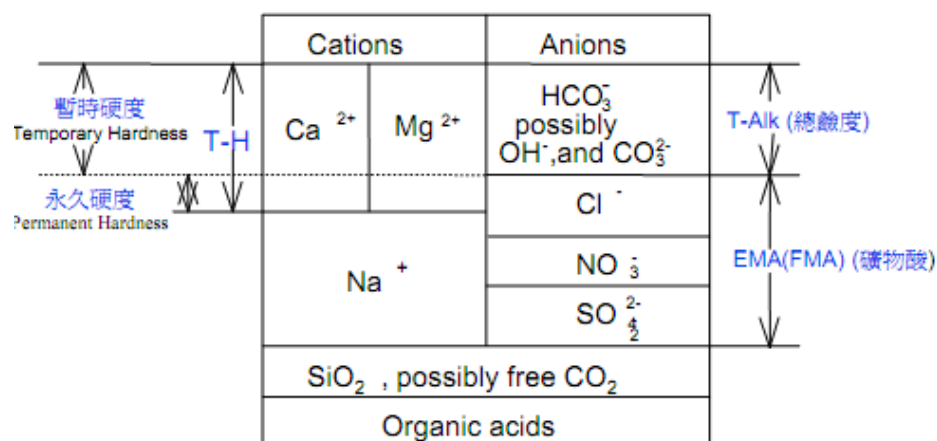
如鈣鎂的重碳酸鹽(暫時硬度)、鈣鎂的硫酸鹽類(永久硬度)

非水垢性鹽類、矽酸鹽等溶解鹽。

3. 固體夾雜物

如泥土、沙、有機微生物、油脂等。

水中離子組成如下圖:



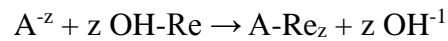
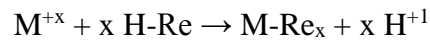
T-H : Total Hardness (總硬度)
T-Alk : Total Alkalinity (總鹼度)
EMA : Equivalent Mineral acidity (礦物酸)
FMA : Free Mineral Acidity (礦物酸)

圖 2 水中離子組成

爐水處理必須有效地阻垢和緩蝕兩作用；阻垢主要是指對鍋爐本體，而緩蝕則包括鍋爐本體以及蒸汽所通過的管道，熱交換器和凝結水管道。

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是主要之鍋垢離子，目前使用離子交換器去除之。鍋爐用水的除礦方法以去離子法為主流，該法利用離子交換樹脂原理，將溶解於水中的無機離子排除；陽離子交換樹脂利用氫離子(H^+)來交換陽離子；而陰離子交換樹脂則利用氫氧根離子(OH^-)來交換陰離子，最終氫離子與氫氧根離子結合成中性水。

反應方程式如下:



(註:Re 代表樹脂)

上式中的的 M^{+x} 表陽離子， x 表電價數， M^{+x} 陽離子與陽離子樹脂上 H-Re 的氫離子交換， A^{-z} 則表陰離子， z 表電價數， A^{-z} 與陰離子交換樹脂結合後，釋放出 OH^- 離子， H^+ 離子與 OH^- 離子結合後即成中性的水。

二、除礦水系統流程

林口更新擴建計畫所採用的除礦水離子交換樹脂系統為 2B3T 系統(舊機組常為 3B4T)，也就是包含陽離子樹脂交換槽(WAC/SAC)、脫氣塔(DEG)及陰離子樹脂交換槽(WBA/SBA)，主要使用於中、大型水處理系統。

圖 3 為林口更新擴建除礦水系統流程圖，包含前處理的活性炭槽 ACF、主要純水系統 2B3T、RO 逆滲透過濾及最後的 Mix Bed。為符合新建機組除礦水水量與水質穩定，以利後續提供超臨界鍋爐水質要求，新的除礦水廠皆搭配 RO 系統作更進一步的過濾，超純水系統採用 2B3T 的流程，使得 RO 的進流水導電度小於 $0.2 \mu\text{s}/\text{cm}$ ，且 SDI(solid density index) < 3 ，因此可將 RO 產水率提高至 95% 以上。

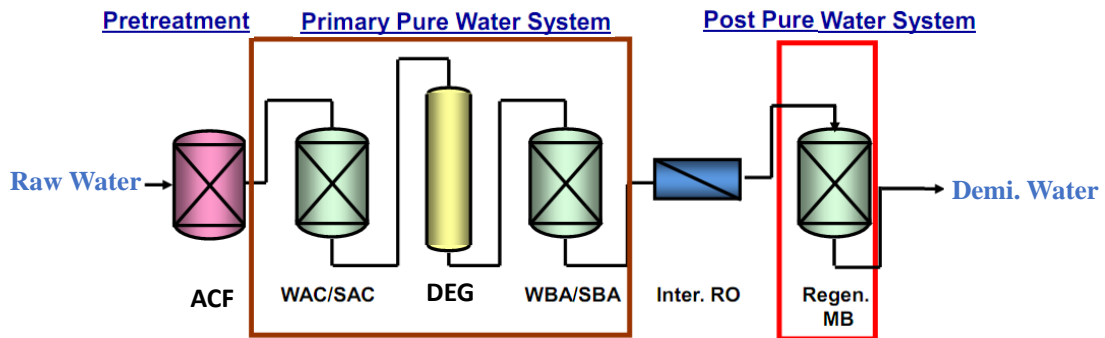


圖 3 除礦水系統流程圖

三、除礦水設備介紹

(一) 活性炭過濾器 ACF

林口更新擴建的活性炭槽共有兩個 train，規格如表 2，材質由碳鋼及環氧樹脂構成，流量設計為 211 m³/hr。生水動力由 raw water transfer pump 而來，共有 3 台，一台供 service，一台為 backwash，另一台為 service stand by，因此同時會有兩台 raw water transfer pump 運作。

表 2 活性炭過濾器設備規格

設 備	規 格
活性炭過濾器	型式 : 圓筒型
	尺寸 : φ5200×SH2100×2組
	材料 : 碳鋼+焦油環氧樹脂塗裝
	流量 : 211 m ³ /hr

活性炭過濾器其主要功能是利用多孔性質的活性炭(如圖 4)，將水中餘氯與有機物吸附，以免水中餘氯(氧化劑)對後段的離子交換樹脂樹脂與 RO 膜造成傷害。原水中的大型顆粒與懸浮固體物，也會被活性炭槽過濾，懸浮於水中的大型有機物或微生物，可以利用活性炭多孔的表面及其活性所吸附。自來水中多餘的 NaOCl 在水中形成自由餘氯且通過活性炭過濾器時，活性炭便可將其吸附去除。

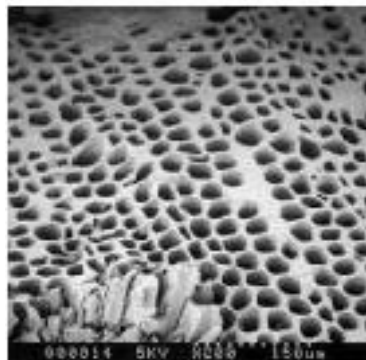


圖 4 活性炭多孔的表面

如圖 5，活性炭槽過濾網總共分為三層：分別為底層用來支撐的 filter gravel，即一種小石子，中間的 fine silica sand 及最上層的 activated carbon filter，silica sand 為更細緻的組成，可讓經過上層的 activated carbon filter 的生水再過濾一次。每層設計的填充量是以生水進入的 contact time 及 Back wash expansion 來考慮，生水由上往下進入，要求的設計 flow 速率為 $211 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，而在活性炭槽裡線性過濾速度不超過 10m/h 。

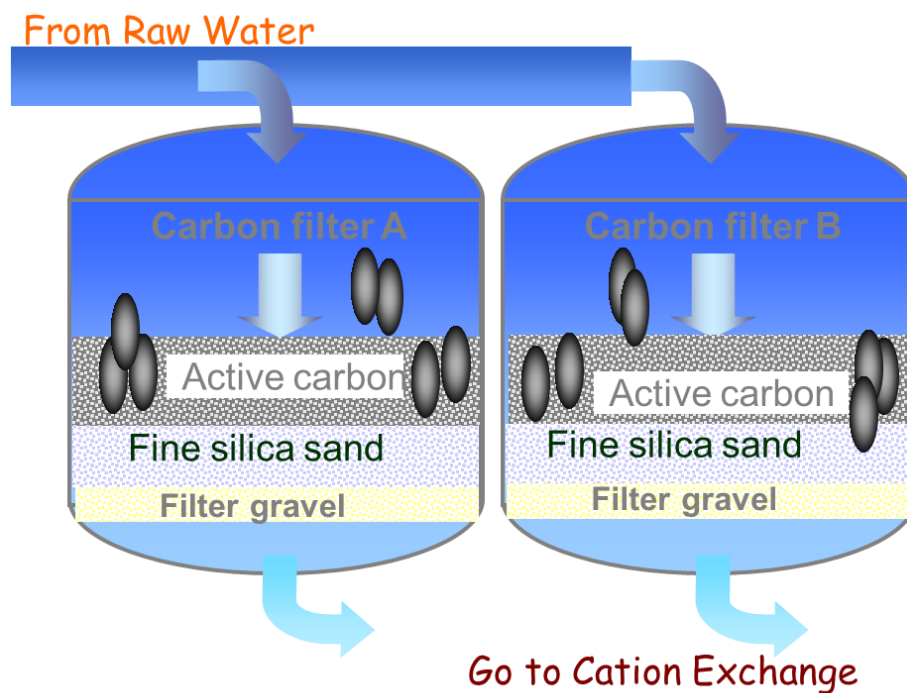


圖 5 活性炭過濾器內部構造

活性炭的使用壽命與進水的餘氯與有機物濃度相關，生水中的懸浮固體會積在活性炭層的上部，造成上下壓差升高，因而在此安裝了 DPIT(Differential Pressure Indicator and Transmitter)來監控壓差，當 ΔP 大於 138kPa 時會啟動 backwash。而活性炭層設計約 2~3 年需更換一次。

活性炭過濾器正常採水程序由塔頂往下輸送至底部，而逆洗則是由塔底往上，藉由反沖洗將過濾下的污物與雜質給排出(如圖 6)，約 42 小時候需作再生逆洗，一次約 30 分鐘。逆洗程序如表 3。因此當在逆洗時，Raw water pump 之設計 water flow 為 741 m³/hr，其中 530 m³/hr 供逆洗使用，主要 service 為 211 m³/hr。

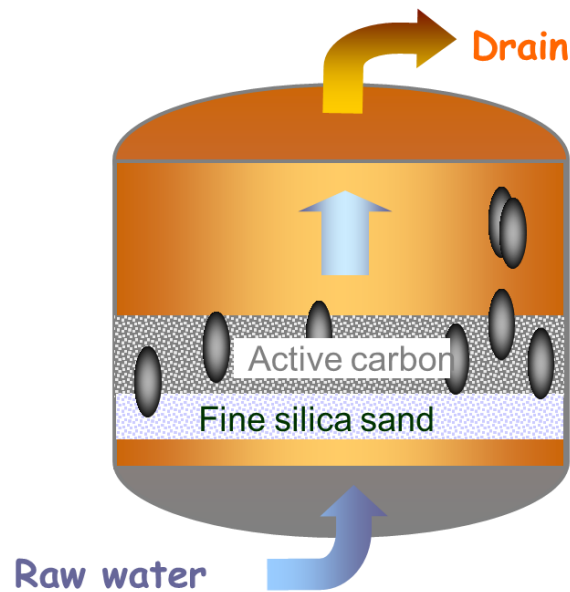


圖 6 活性炭過濾器逆洗示意圖

表 3 活性炭過濾器逆洗程序

操作程序	內容說明
1 逆洗	利用逆洗泵將水自下而上注入塔內，清洗塔內污物 1) 流量：530 m ³ /h 2) 時間：15分鐘 3) 動力：原水輸送泵 (啟動2台Pump)
2 靜置	因逆洗而懸浮之過濾層，使之沈降 1) 時間：5分鐘
3 清洗	清洗於逆洗過程中之殘留異物 1) 流量：211 m ³ /h 2) 時間：10分鐘 3) 動力：原水輸送泵

(二) 2B3T 系統：

林口新機組的 2B3T 系統共有兩組 train，一組 train 包含 1.弱/強酸陽離子樹脂交換槽、2.脫氣塔、3.弱/強鹼陰離子樹脂交換槽。

本系統是由陽離子床、脫氣塔（DEG）與陰離子床組成，利用陰陽離子交換樹脂來去除水中離子，大致操作原理如下

(1)陽離子床：其內裝用來交換水中陽離子（+離子）的陽離子交換樹脂

(2)脫氣塔：能去除重碳酸鹽離子（ HCO_3^- , CO_2 ）

(3)陰離子床：其內裝用來交換水中陰離子（-離子）的陰離子交換樹脂

而設計標準我們要求陰離子塔出水水質 Specific conductivity < 0.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ， SiO_2 < 0.02 ppm，處理水流量(Service)：211 m^3/hr ，逆向採水，處理時間(Service time)約 21 小時要再生一次。

整個 2B3T 系統設備規格如表 4，當開始造水時，動力來源為 degasified water transfer pump，會先經由 Circulation 程序確認水質後才開始造水。

表 4 2B3T 系統設備規格

	設 備	規 格
1	陽離子床	型式：圓筒直立式，鋼板製內面橡膠內襯
		尺寸： $\phi 3400 \times 5200\text{SH} \times 2$ 組
		SC樹脂：32000L/組
		WC樹脂：5900L/組
2	脫氣塔	型式：圓筒直立式
		尺寸：塔： $\phi 2100 \times 3000\text{SH}$ 槽： $\phi 3800 \times \text{SH}2500$
		數量：2組
		鼓風機：風量：5000 m^3/hr 風壓：75 mmH_2O
3	脫氣水泵浦 數量：3台	水量：211 m^3/hr
		揚程：30 m
		動力：480V, 60HZ, 3 ϕ
4	陰離子床	型式：圓筒直立式，鋼板製內面橡膠內襯
		尺寸： $\phi 3200 \times 5200\text{SH} \times 2$ 組
		SA樹脂：20000 L/組
		WBA樹脂：20300 L/組

1. 弱/強酸陽離子樹脂交換槽

林口新建機組共有 2 個弱/強酸陽離子樹脂交換槽，1 個槽有兩層樹脂層，弱酸陽離子樹脂(WAC)在下，強酸陽離子樹脂(SAC)在上，兩者之間用材質為碳鋼及硬橡膠的 strainer 分隔，如圖 7 所示。

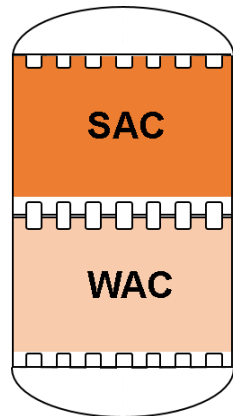


圖 7 弱/強酸陽離子樹脂交換槽

WAC 弱酸陽離子樹脂槽填裝的弱酸陽離子樹脂，類型為 R-COOH，可去除有關碳酸鹽之陽離子，產生二氧化碳(如圖 8)。

例如 Ca 離子的交換反應式如下

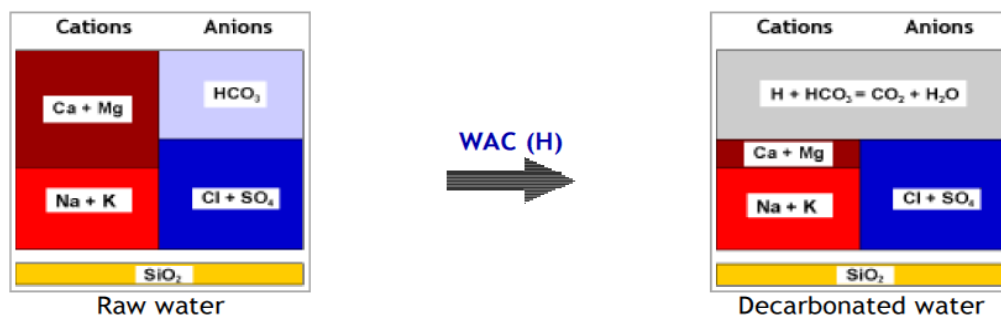
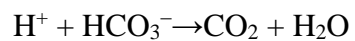
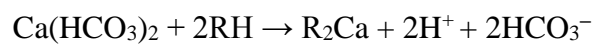


圖 8 弱酸陽離子樹脂槽交換示意圖

SAC 強酸陽離子樹脂槽填裝的強酸陽離子樹脂，類型為 R-SO₃H，可去除水中所有陽離子，產生礦物酸。(如圖 9)。

例如 Na 離子的交換反應式如下

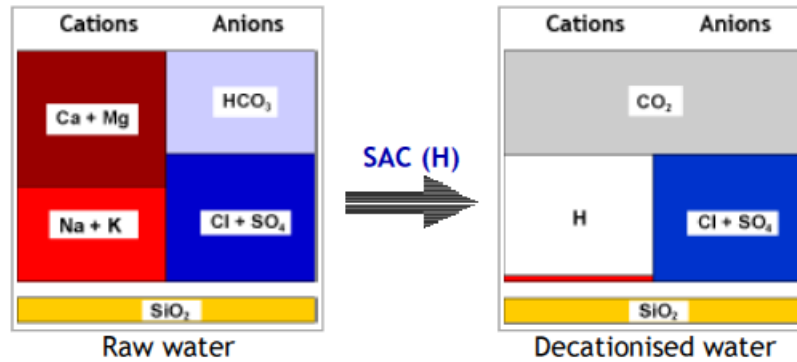
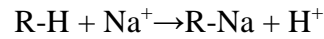
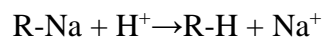


圖 9 強酸陽離子樹脂槽交換示意圖

弱/強酸陽離子樹脂交換槽為逆向採水、正向再生，設計流量為 211 m³/hr，因水中的陽離子全被樹脂槽交換，釋出 H⁺，因此此時水質為酸性，而在酸性環境下，對於接下來進入脫氣塔移除 CO₂ 的反應是有利的。

當樹脂槽再生時，原理為利用濃度差異使離子交換的反應逆向，使用稀釋的 HCl 由塔頂往下約 40 m³/hr flow rate 正向再生，反應式如



而再生的順序為：(1) HCl injection (2) acid displacement (3) fast rinse and drain (4) circulation rinse

2. 脫氣塔(Degasifier)

脫氣塔的設計原理是依據亨利定律，在常溫下且密閉的容器中，溶於某溶劑的某氣體之體積莫耳濃度，會正好與此溶液達成平衡的氣體分壓成正比。因此，如果在某溶劑中溶解的 A 氣體跟周遭空氣中的 A 氣體濃度相比太高，則該氣體就會從溶劑中釋出到周遭氣相環境，在平衡時，溶解在溶劑中的 A 氣體濃度不等於氣相中的 A 氣體濃度，而是與氣相中 A 氣體分壓成正比，如圖 10，溶解在水中的二氧化碳因濃度太高，因此會從水中釋出到周遭環境中，在周遭環境裡引入空氣(大部分皆為 N₂ 及 O₂)，可使 CO₂ 分壓(與濃度成正比)降低，讓更多溶解在水珠中的 CO₂ 得以排出，並隨後排出脫氣塔到大氣中。

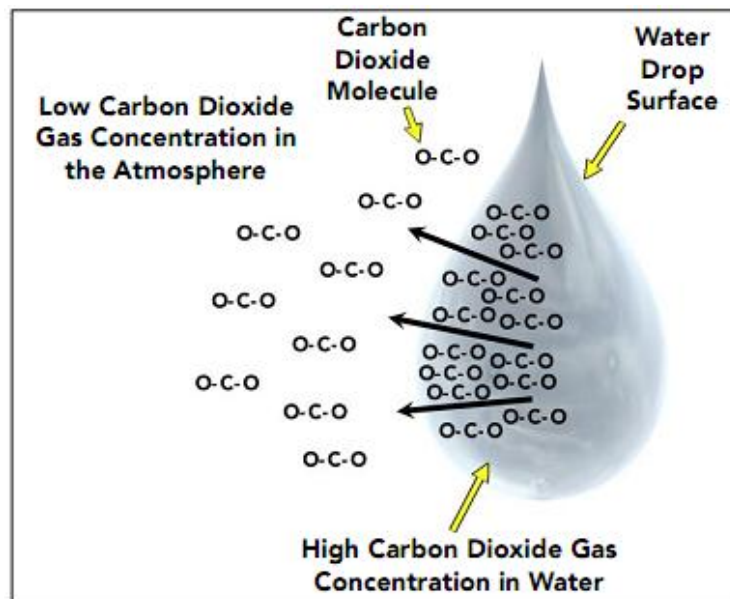
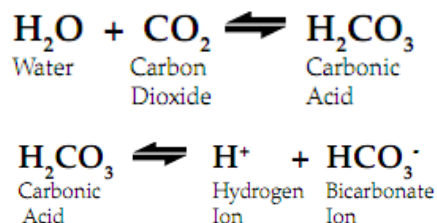


圖 10 溶解在水珠中的 CO₂ 排出到周遭環境

經過陽離子交換樹脂的水質內含有 CO₂ 氣體，水中的平衡反應為



由上式可知，水中有適量的 H^+ ($pH < 4.5$) 可幫助形成水中的 free CO_2 ，增加水中與周遭環境的 CO_2 濃度差；而當溫度升高時也可以降低 CO_2 在水中的溶解度，因溫度升高時，水的蒸氣壓也同時增加，使氣體水分子逸散到周遭環境，降低了 CO_2 的分壓(濃度)，因此可使更多溶在水中的 CO_2 排出；另一個可降低 CO_2 在水中的溶解度，使其更易排出的因素就是增加水珠的表面積，如圖 10 中的 water drop surface 越大，則跑出的 CO_2 會越多，如何使 water drop 最有效率的增加則是要在脫氣塔內使用適合的 packing 材質，如圖 11 為脫氣塔的透視圖，可看到上半部 Tower 的部份為 packing material，下面有個支撐，而 centrifugal fan 會從底部將空氣往上吹，進水則是由頂部的 inlet distributor 往下噴灑，除去水中溶解之二氧化碳。

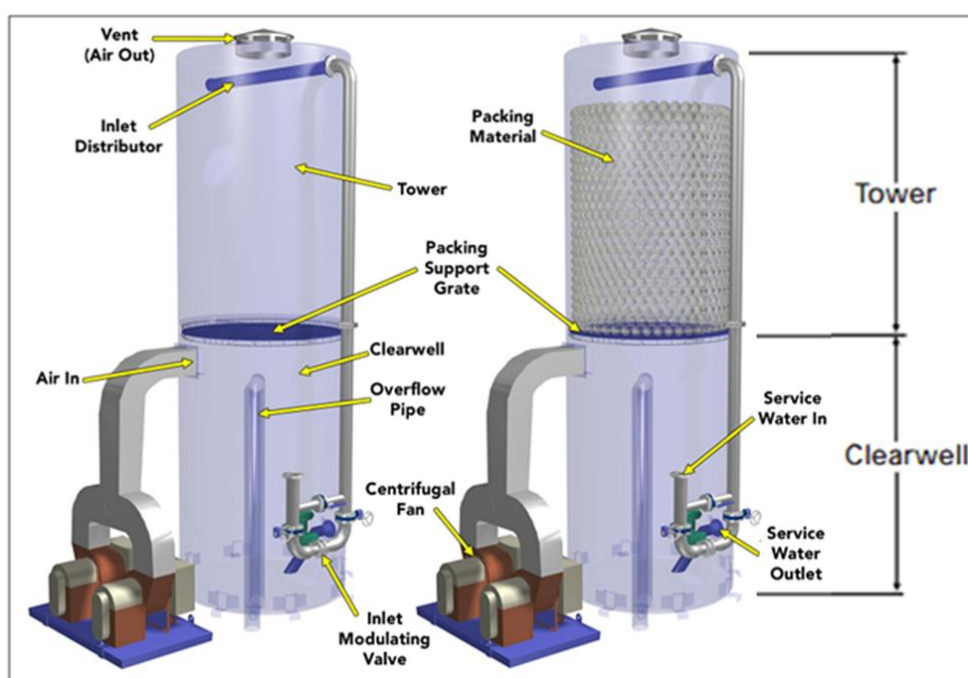


圖 11 脫氣塔透視圖

圖 12 為脫氣塔脫氣詳細的流程圖，進水由頂部往下噴灑，經過 packing material，使水珠表面積不斷增加，風機再由下往上送入空氣，降低 CO₂ 在水中的溶解度，使 CO₂ 被除去。

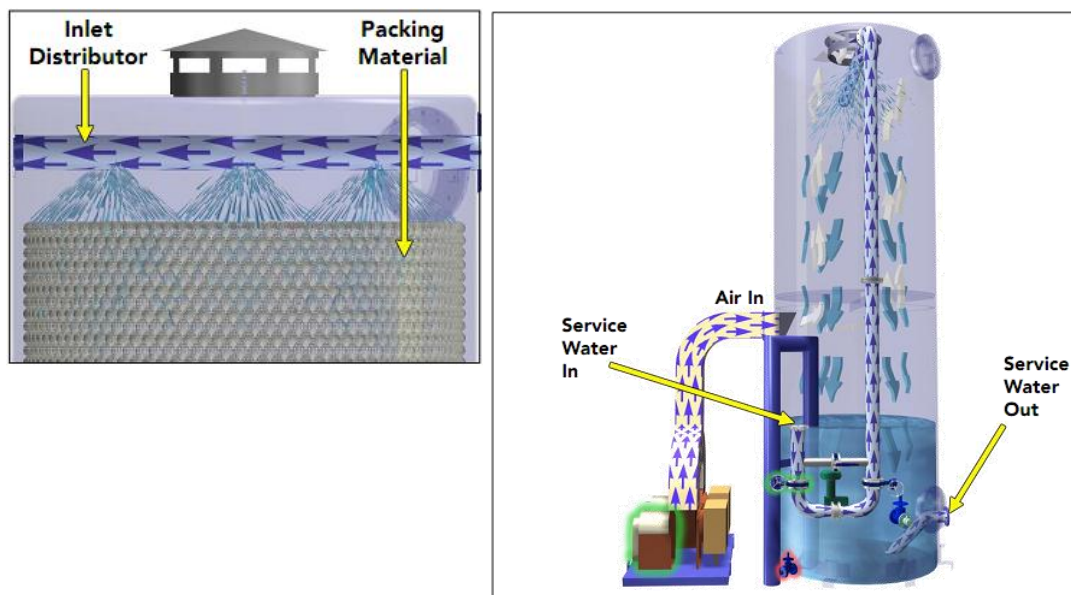


圖 12 脫氣塔脫氣流程

因此經過脫氣塔的作用，已經可以降低水中溶解之二氧化碳至 5ppm 以下，如此便可降低陰離子交換樹脂負荷。

3. 弱/強鹼陰離子樹脂交換槽

弱/強鹼陰離子樹脂交換槽與弱/強酸陽離子樹脂交換槽一樣有 2 個，1 個槽有兩層樹脂層，弱鹼陰離子樹脂(WBA)在下，強鹼陰離子樹脂(SBA)在上，兩者之間用材質為碳鋼及硬橡膠的 strainer 分隔，如圖 13 所示。

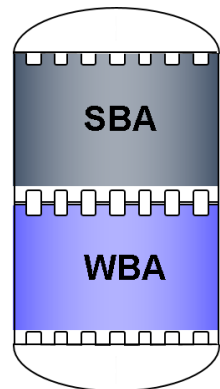


圖 13 弱/強鹼陰離子樹脂交換槽

WBA 弱鹼陰離子樹脂槽填裝的弱鹼陰離子樹脂，只能去除強酸之陰離子，如 HCl 的 Cl^- ，而弱酸性的 SiO_2 及 CO_2 則要靠 SBA 強鹼陰離子樹脂槽才能去除，槽內反應如圖 14 所示。

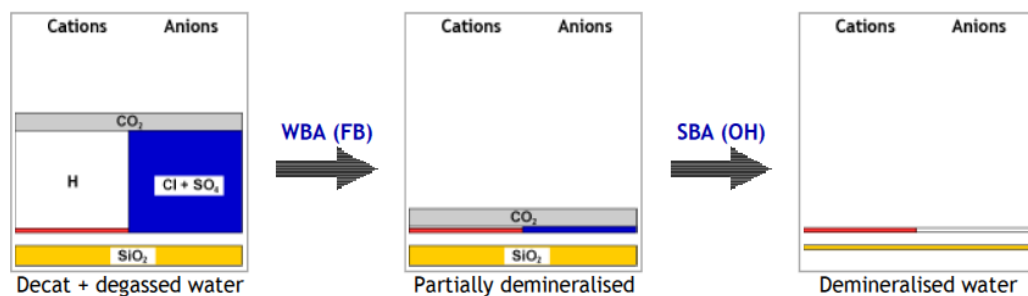


圖 14 弱/強鹼陰離子樹脂槽交換示意圖

弱/強鹼陰離子樹脂槽一樣為逆向採水、正向再生，設計流量為 $211 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，而再生的順序為：(1) NaOH injection (2) Caustic displacement (3) fast rinse and drain (4) circulation rinse

(三) RO 逆滲透過濾系統：

更新擴建機組為因應超超臨界水質要求，除礦水系統流程多了一道 RO 逆滲透過濾系統把關，因逆滲透比起其他的過濾方法，不只過濾的範圍廣，更可處理 1~10Å 的微小粒子(如圖 15)，而 RO 進水先經過 2B3T 的流程，使得 RO 的進流水導電度小於 0.2 μs/cm，且 SDI < 3，因此可將 RO 產水率提高至 95% 以上。

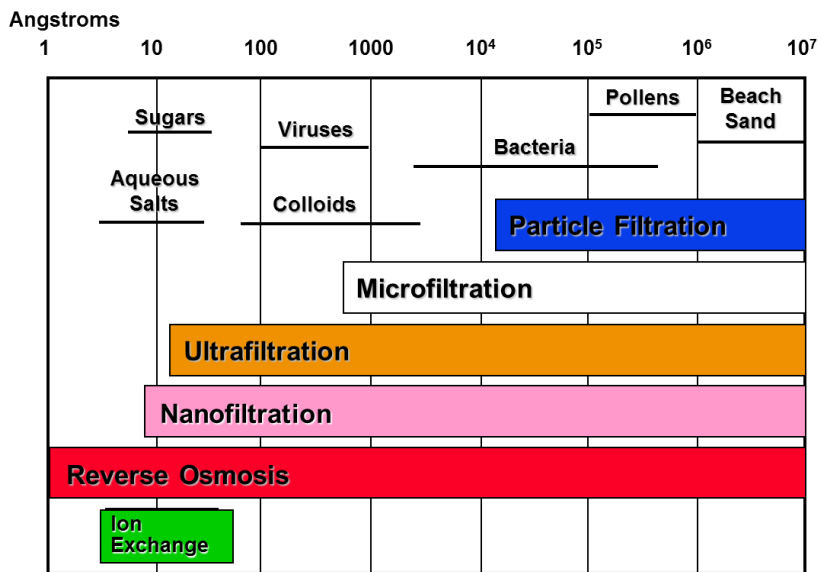


圖 15 各種過濾方法的過濾範圍

逆滲透的原理為利用含有不純物的進水與超純水之間的滲透壓差，加壓使進水經過滲透膜過濾純化水質，如圖 16。

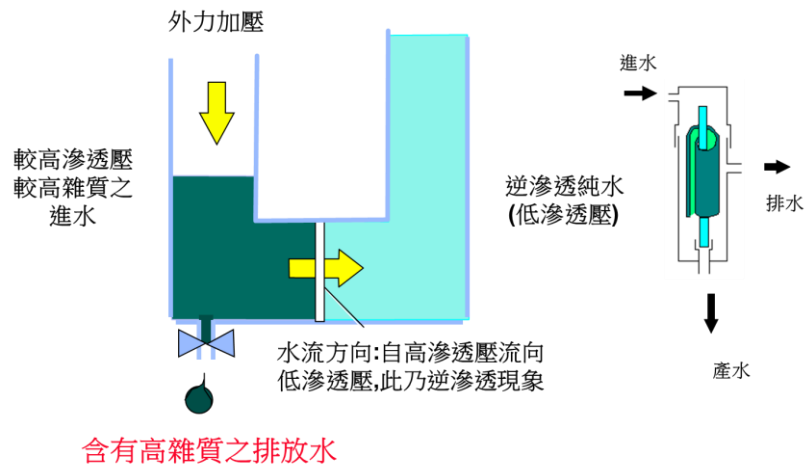


圖 16 逆滲透的原理示意圖

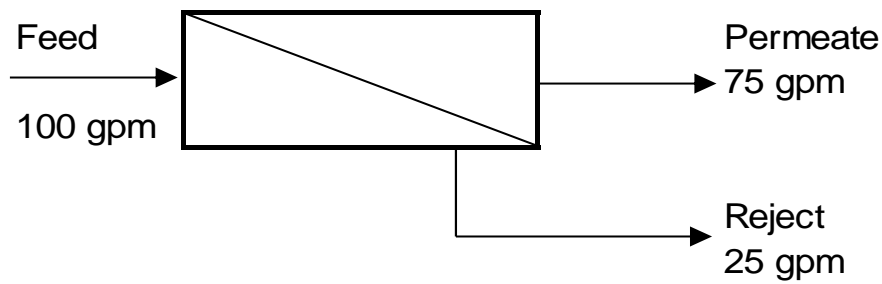
新機組 RO 的設計壓力為 1500 kPa(25°C 時)，進水會先經過 RO pre-filter，去除軟水裡存在的粒子，RO 系統一樣分為 A、B 兩個 train，A train 造水時，B train stand by，而一個 train 有 3 個 RO unit，1 個 unit 有 7 個 vessel，1 個 vessel 有 6 個 membrane，圖 17(左)為 1 個 membrane 的 sample，實際約 1 米左右，所以 1 個 vessel 約 6 米多(如圖 17 右)。



圖 17 左：RO membrane sample

右：RO vessel

如圖 18，RO 的產水率計算為產水量除以進水量的百分比，稱作 RO 系統的回收率(RO recovery)，林口新機組的設計流量為 211 m³/hr，而一個 RO unit 設計的製造水量約為 66.8 m³/hr，3 個總共 200.4 m³/hr，所以產水率為 95%。操作時可以濃縮水出口閥來調整濃縮水流量，使 RO 系統的回收率保持在 95%。



$$\begin{aligned} \text{RO \% Recovery} &= \frac{\text{Permeate}}{\text{Feed}} \\ &= 75\% \end{aligned}$$

圖 18 RO recovery 計算方法

RO unit 中的 7 個 vessel 是以 5:2 的搭配來造水，也就是進水先進入 5 個 RO unit，過濾之後產生產水跟濃縮後的 reject water，產水會送到 RO water tank，而濃縮的 reject water 會再進入剩下的 2 個 vessel 進行第二次的過濾，再次產生產水與濃縮的 reject water，但這次的產水則是送到 RO cleaning tank，預備用來進行 RO 半透膜的清洗再生，而濃縮水則是送到 RO reject tank，用來當作陰陽離子塔再生時的水來源。RO 產水流程如圖 19。

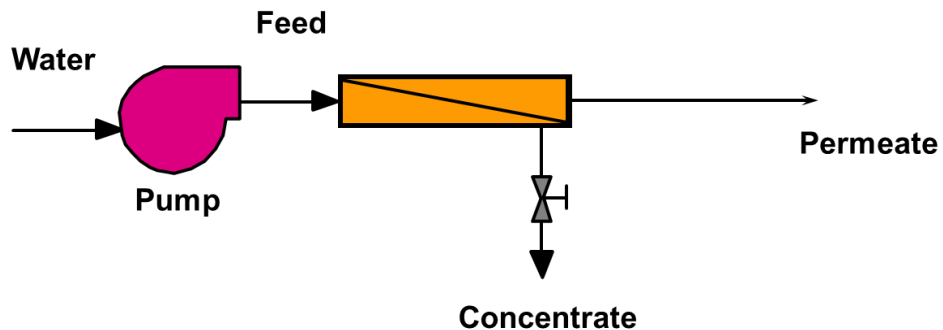


圖 19 簡易的 RO 產水流程

當 RO 系統運作一段時間之後，可視 RO 半透膜的壓差、產水品質來決定何時清洗，約半年到一年一次，洗一次約 6 個小時，RO 模組上的差壓計若上升到初始運轉之壓差達 115%時，須進行化學清洗。

RO 單元設計規格如下表 5：

表 5 RO 單元規格表

RO單元規格	
RO型號	ESPA2 MAX
製造水品名	純水
製造水量	66.8 m ³ /hr/set，共6 sets
採水率	95%
RO排列組合	並聯排列數目：5:2 (每座容器有6支RO膜)
高壓泵數目	6台
RO水源	軟水 (2B3T產水)
流量	200.4 m ³ /hr (每一Train產水量)
逆滲透組件	
元件結構	螺旋式
膜片類型	芳香族聚胺樹脂化合膜

(四) 混合樹脂床 Mix Bed(MB)：

本系統乃將 RO 系統處理過之一次純水再次處理成為二次純水，混合樹脂去離子系統包含了強酸陽離子交換樹脂及強鹼陰離子交換樹脂(陽離子在下，陰離子在上)。其原理為由陰陽離子交換樹脂以均勻混合方式與一次純水中少量殘留之陰陽離子同時進行交換，Mix Bed 可視為多層 2B2T 之串聯，主要目的為提升水質純度。如圖 20，基本上一次純水經 MB 處理後水中應無任何離子。

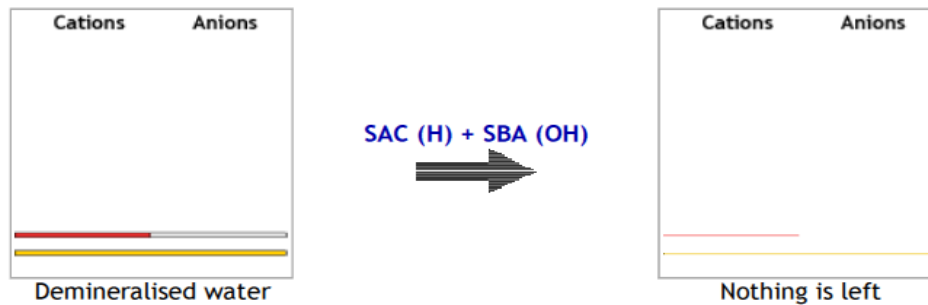


圖 20 MB 離子交換示意圖

而我們新機組要求在 MB 出口的水質如表 6，TDS < 0.01 ppm、Na⁺ 與 Cl⁻ < 0.003 ppm、導電度 SC < 0.1 μs/cm、SO₄²⁻ < 0.003 ppm 以及 TOC < 0.1 ppm。

表 6 MB 出口的水質

•	Total dissolved silica, mg/L as SiO ₂ , mixed bed exchanger outlet	0.01 max
•	Sodium, mg/L as Na, mixed bed exchanger outlet	0.003 max
•	Chloride, mg/L as Cl, mixed bed exchanger outlet	0.003 max
•	Specific conductivity, μS/cm@25°C, mixed bed exchanger outlet	0.1 max
•	SO ₄ ⁻² , mg/L, mixed bed exchanger outlet	0.003 max
•	TOC, mg/L, mixed bed exchanger outlet	0.1 max

(五) 樹脂還原

廠商建議主要以造水時間判斷樹脂是否需要進行還原，當一組 2B3T 系統造水 21 小時後需進行還原再生，一次還原約 3 小時，此外也隨時監控陽離子交換樹脂的 Na^+ 含量及陰離子交換樹脂的 SiO_2 值，以判斷樹脂是否失效；而混合床 Mix bed 則是造水量達 48000 噸時才需還原，約 240 小時一次(十天)。

如圖 21 為之後新機組控制室圖面，system A 與 B 即 train A 與 B 的意思，regeneration 1 為活性碳過濾器(ACF)、陰陽離子樹脂交換器的還原程序，而 regeneration 2 為 Mix Bed 的還原程序。

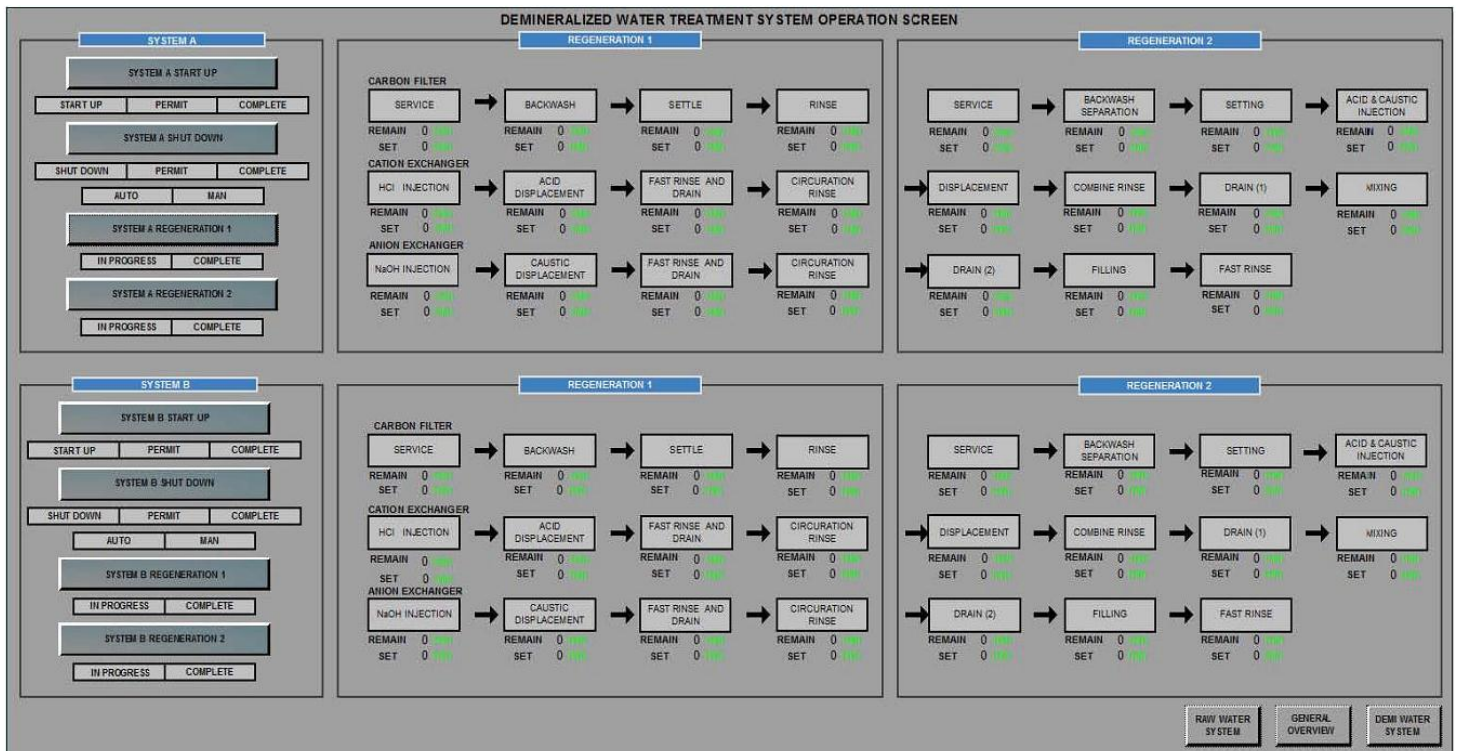


圖 21 除礦水系統再生控制面板

目前新機組的弱/強酸陽離子樹脂槽(WAC/ SAC)、弱/強鹼陰離子樹脂槽(WBA/SBA)及混合床 Mix Bed 交換器的樹脂均採用同槽還原、逆向再生的還原方式。

逆向再生指的是造水方向與還原劑還原方向相反。優點是還原劑最先從造水出口進入，可使頂層的樹脂被還原地更徹底，出口水質更為純化。而新機組的陰陽離子樹脂槽皆為逆向採水(造水向上流動)，正向還原(再生劑向下流動)的還原方式；MB 則為正向採水，逆向還原。

1. 弱/強酸陽離子樹脂槽(WAC/ SAC)還原程序：

1	HCl injection
2	Acid Displacement
3	Fast Rinse and Drain
4	Circulation Rinse

步驟如上表，再生時使用的是稀釋為 5% 的 HCl，從上至下用 40 m³/hr 流量注入，接著再從上至下隨著 36.6 m³/hr 流量進行 Acid displacement 動作，接著由下至上用 211 m³/hr 流量 Fast Rinse 及 Drain 流至化學廢水收集槽，最後由下至上用 211 m³/hr 流量進行 Circulation Rinse。

2. 弱/強鹼陰離子樹脂槽(WBA/SBA) 還原程序：

1	NaOH injection
2	Caustic Displacement
3	Fast Rinse and Drain
4	Circulation Rinse

步驟如上表，再生時使用的是稀釋為 4% 的 NaOH，加熱至 40 °C，從上至下用 64.6 m³/hr 流量注入，接著從上至下用 60.6 m³/hr 流量進行 Caustic displacement，再由下至上用 211 m³/hr 流量 Fast Rinse 及 Drain 流至化學廢水收集槽，最後由下至上用 211 m³/hr 流量進行 Circulation Rinse。

3. MB(混合床交換器樹脂) 還原程序：

因 MB 的原水水質來源為 RO 處理水，所以處理水量為 200.4 m³/hr，造水為順向採水，運轉時間約 240 hr(十天)要再生一次，再生時間約 2 個多小時，再生順序及步驟說明如下表：

	操作程序	內容說明
1	逆洗	利用MB再生泵將水自下而上注入塔內。清洗塔內污物並使陰陽離子樹脂完全分離，此時陰離子樹脂將被分離到上層，陽離子樹脂在下層
		1) 流量：45.8 m ³ /h
		2) 時間：15分鐘
		4) 動力：MB再生泵 =00GCP01GP101/102
2	靜置	利用陽離子樹脂比重較重,使樹脂沉降並分離
		1) 時間：10分鐘
3	注藥	利用MB再生泵將NaOH自上而下注入塔內及HCl自下而上注入塔內。注入之藥品由中間排水閥排出,目的是要將陰陽離子樹脂再生
		1) 流量 NaOH：21.1 m ³ /h、HCl：16.7 m ³ /h
		2) 時間：20分鐘
		3) 動力：MB再生泵、NaOH加藥泵、HCl加藥泵
4	押出	利用MB再生泵將NaOH及HCl自樹脂塔內洗出。
		1) 流量 NaOH：19.8 m ³ /h、HCl：14.4 m ³ /h
		2) 時間：46.7分鐘
		3) 動力：MB再生泵
5	排水	藥品清洗完成後，將塔內的水排到樹脂層上方約10公分的高度，準備做樹脂氣混
		1) 時間：由液位開關控制
6	氣混	排水完成後，開啟空氣入口閥，務必要將陰陽離子樹脂作均勻之混合
		1) 流量：330 Nm ³ /h
		2) 時間：20分鐘
		3) 動力：MB鼓風機
7	補水	氣混完成後，開啟MB再生泵，以較小的水量自NaOH注藥管線補入MB TOWER以避免樹脂層造成擾動
		1) 流量：19.8 m ³ /h
		2) 時間：22.4分鐘
		3) 動力：MB再生泵
8	最後清洗	以大水量將樹脂清洗乾淨，並將水質提升到<0.1μs/cm才可以停止清洗，進入備採狀態
		1) 流量：100 m ³ /h
		2) 時間：20分鐘
		3) 動力：MB再生泵

先逆洗樹脂，利用陰、陽離子樹脂顆粒大小及比重不同而沉降速度差異分層，分層後陰離子樹脂在上層陽離子樹脂則在下層。酸液從下方注入還原陽離子樹脂，而鹼液同時從上方注入還原陰離子樹脂，廢液從中間廢水管排出。如示意圖 22。

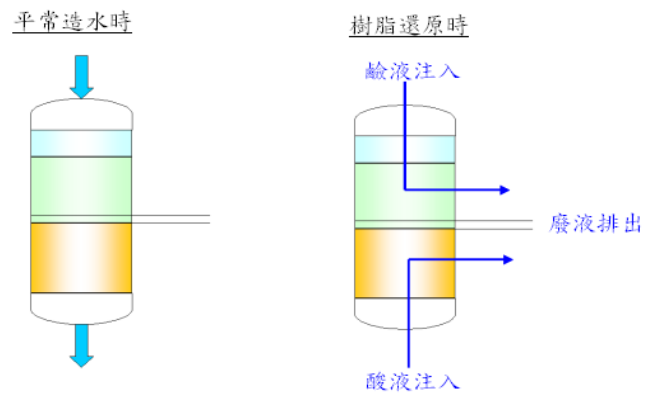


圖 22 Mix Bed 還原示意圖

等藥品清洗完成後，做陰陽離子樹脂氣混，利用空氣使陰陽離子均勻混合，接著以小水量補水，再以大水量將樹脂清洗乾淨，並將水質提升到 $< 0.1\mu\text{s}/\text{cm}$ 才可停止清洗，進入備採狀態。

4. 陰陽離子樹脂種類規格：

(1) 弱酸陽離子交換樹脂(WAC)

- 製造商：ROHM and HAAS
- 樹脂名稱：AMBERLITE™ IRC86RF
- 廠商提供樹脂性質如下表：

PROPERTIES	
Physical form _____	Clear amber spherical beads
Matrix _____	Gel polyacrylic copolymer
Functional group _____	Carboxylic acid
Ionic form as shipped _____	H ⁺
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 4.10 eq/L (H ⁺ form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	47 to 53 % (H ⁺ form)
Shipping weight _____	790 g/L
Particle size	
Uniformity coefficient ^[1] _____	≤ 1.5
Harmonic mean size ^[1] _____	0.600 to 0.800 mm
< 0.300 mm ^[1] _____	0.1 % max
Reversible swelling _____	H ⁺ → Na ⁺ ≤ 100 %
(total conversion)	H ⁺ → Ca ⁺⁺ ≤ 15 %
	H ⁺ → Mg ⁺⁺ ≤ 50 %
^[1] Contractual value	
Test methods are available on request.	

- 建議操作環境：

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS	
Maximum operating temperature _____	100°C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 70 BV*/h
Regeneration	
Regenerant _____	HCl H ₂ SO ₄
Level _____	104 to 110 % of operating capacity
Concentration (%) _____	2 to 5 0.5 to 0.7
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	2 to 4 BV at service flow rate
* 1 BV (Bed Volume) – 1 m ³ solution per m ³ resin	

(2) 弱鹼陰離子交換樹脂(WBA)

- 製造商：ROHM and HAAS
- 樹脂名稱：AMBERLITE™ IR96CRF
- 廠商提供樹脂性質如下表：

PROPERTIES	
Physical form _____	Tan opaque spherical beads
Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional group _____	Secondary amine : at least 85 %
Ionic form as shipped _____	Free base (FB)
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 1.25 eq/L (FB form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	57 to 63 % (FB form)
Shipping weight _____	670 g/L
Specific gravity _____	1.040 to 1.060 (FB form)
Particle size	
Uniformity coefficient ^[1] _____	≤ 1.50
Harmonic mean size ^[1] _____	0.630 to 0.830 mm
< 0.300 mm ^[1] _____	0.1 % max
Reversible swelling _____	FB → Cl ⁻ ≤ 15 %

^[1] Contractual value
 Test methods are available on request.

- 建議操作環境：

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS	
Maximum operating temperature _____	100°C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 40 BV*/h
Regeneration	
Regenerant _____	NaOH
Level _____	120 % of ionic load
Concentration _____	2 to 4 %
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	4 to 8 BV at service flow rate

* 1 BV (Bed Volume) = 1 m³ solution per m³ resin

(3) 強酸陽離子交換樹脂(SAC)

- 製造商：Dow
- 樹脂名稱：AMBERJET* 1200D

Product			
AMBERJET* 1200 D	Strong acid cation	Styrene-DVB gel	Sulfonic Acid

- 廠商提供樹脂性質如下表：

Typical Physical and Chemical Properties		Na ⁺ form	H ⁺ form
Total exchange capacity, min.	eq/l kg/ft ³ as CaCO ₃	2.0 43.7	1.8 39.3
Water content	%	42 - 48	50 - 56
Uniformity coefficient, max.		1.1	1.1
Mean Particle Size	µm	540 - 640	550 - 650
Whole uncracked beads, min.	%	95	95
Total Swelling (Na ⁺ --> H ⁺)	%	8	8
Particle density	g/ml	1.28	1.20
Shipping weight	g/l lbs/ft ³	820 51	800 50

- 建議操作環境：

Recommended Operating Conditions	
Maximum operating temperature:	120°C (250°F)
pH range	0-14
Bed depth, min.	800 mm (2.6 ft)
Flow rates:	
Service/fast rinse	5-60 m/h (2-24 gpm/ft ²)
Co-current regeneration/displacement rinse	1-10 m/h (0.4-4 gpm/ft ²)
Counter-current regeneration/displacement rinse	5-20 m/h (2-8 gpm/ft ²)
Total rinse requirement	2-5 Bed Volumes
Regenerant	1 - 8% H ₂ SO ₄ , 4 - 8% HCl or 8 - 12% NaCl

(4) 強鹼陰離子交換樹脂

- 製造商：ROHM and HAAS
- 樹脂名稱：AMBERJET 4200Cl
- 廠商提供樹脂性質如下表：

PROPERTIES	
Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional Groups _____	Type I quaternary amine
Physical Form _____	Insoluble, light amber beads
Ionic Form as Shipped _____	Chloride
Total Exchange Capacity _____	1.30 meq/ml minimum (Cl ⁻ form)
Moisture Holding Capacity _____	49 to 55% (Cl ⁻ form)
Shipping Weight _____	42 lbs/ft ³
Harmonic mean size _____	0.60 to 0.80 mm
Uniformity Coefficient _____	1.25 maximum
Maximum Reversible Swelling _____	Cl ⁻ → OH ⁻ : approximately 20 %

Test methods are available on request.

- 建議操作環境：

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

pH Range _____	0 to 14
Maximum Operating Temperature _____	140 °F (OH ⁻ form) / 170 °F (Cl ⁻ form)
Minimum Bed Depth _____	24 inches
Service Flow Rate _____	1 to 6 gpm/ft ³
Maximum Service Velocity _____	25 gpm/ft ²
Regenerant (100% basis) _____	NaOH
Maximum Regeneration Temperature _____	120 °F maximum
Flow Rate _____	0.25 to 1 gpm/ft ³
Concentration _____	2 to 5 %
Level _____	3 to 10 lbs/ft ³
Minimum Contact Time _____	20 minutes
Slow Rinse _____	15 gal/ft ³ at regeneration flow rate
Fast Rinse _____	25 to 50 gal/ft ³ at service flow rate

(5) Mix Bed 交換樹脂

- 製造商：Dow
- 樹脂名稱：DOWEX™ MONOSPHERE™ 600BB Inert Resin

Product	Type	Matrix	Functional group
DOWEX™ MONOSPHERE™ 600BB	Inert	Styrene-DVB-acrylate terpolymer	None

- 廠商提供樹脂性質如下表：

Typical Physical and Chemical Properties		
Particle density	g/mL	1.15
Shipping weight**	g/L	670
	lbs/ft ³	42

- 建議操作環境：

Recommended Operating Conditions	• Maximum operating temperature	60°C (140°F)
	• pH range	0 - 14
	• Bed depth, min.	150 mm (0.5 ft)

四、故障排除

以下為林口新機組除礦水系統裡各組成單元遇到狀況時可能發生的原因，及故障排除的方法，可讓現場人員及時找尋須檢查維修的點。

(一)活性碳過濾器

項目	產生問題狀況	原因	維修/檢查
1	高壓差	濾層阻塞	進行反洗
2	反洗時活性碳流失	反洗流量太大	檢查反洗出、入口閥 調整反洗流量
3	採水或清洗時濾材流失	集水管排破損	檢修下部集水管排
4	流量過低	原水輸送泵異常 濾層阻塞 閥開關異常 流量計異常	檢修泵 進行反洗 檢修ON/OFF閥 檢修流量計

(二)陰陽離子床系統

項目	產生問題狀況	原因	維修/檢查
1	採水總量減少	流量計異常	檢修或校正流量計
		前次再生異常，可能原因如下：	
		再生藥量太低或濃度不足	檢查再生設定時間或檢修濃度計
		再生注藥流量太高 & 接觸時間太短	檢查再生流量與時間設定
		再生清洗時間太短或流量不足	檢查再生清洗流量與時間設定
		樹脂流失	檢修樹脂過濾頭
2	採水流量過低	流量計問題	檢修或校正流量計
		壓差過高	須進行樹脂體外反洗
		ON/OFF閥或泵異常	檢修閥與輸送泵
		手動閥異常開或關	檢查手動閥是否在正確操作狀態
3	樹脂流失	內部樹脂過濾頭破損	檢查過濾頭並更換
		進行體外反洗時流量過大	進行體外反洗時調整反洗流量
4	脫氣水槽液位異常	陰離子床入口液位控制閥異常	檢修液位控制閥

(三) 逆滲透 (RO)

項目	產生問題狀況	原因	維修/檢查
1	出口水質異常	RO回收率太高 > 95%	調整RO濃縮水之流量
		入水水質異常	檢查2B3T系統是否正常運作
		RO膜管中接頭O-ring脫落	停機並依RO供應商維修手冊檢修
		RO膜破損	檢查RO膜並更換
2	產水流量異常	流量計異常	檢修或校正流量計
		入口流量控制閥異常	檢修或校正流量控制閥
		RO高壓泵異常	檢修RO高壓泵
		回收率過低 < 95%	調整RO濃縮水流量
		手動閥異常	確認手動閥在正確操作狀態
		RO膜阻塞	進行化學清洗 (CIP)
3	壓差過高	壓差計異常	檢修或校正壓差計
		RO膜阻塞	進行化學清洗 (CIP)
4	產水端壓力過高	產水端壓力開關異常	檢修或校正壓力開關
		手動閥異常	確認產水端手動閥在全開位置
5	RO高壓泵入口壓力過低	壓力開關異常	檢修或校正壓力開關
		RO前置過濾器阻塞	更換前置過濾器濾心
		RO飼水泵異常	檢修RO飼水泵
		手動閥異常	確認泵入口閥全開狀態

(四) 混合樹脂去離子系統 (MB)

項目	產生問題	狀況原因	維修/檢查	
1	採水總量減少	流量計異常	檢修或校正流量計	
		樹脂	流失 檢查反洗時流量與底部樹脂過濾頭	
		樹脂交換能力降低	補充或更換樹脂	
		前次再生異常，可能原因如下：		
		再生藥量太低或濃度不足	檢查再生設定時間或檢修濃度計	
		再生注藥流量太高 & 接觸時間太短	檢查再生流量與時間設定	
		再生清洗時間太短或流量不足	檢查再生清洗流量與時間設定	
		反洗分層不完全	檢查反洗流量與分層效果	
		樹脂混合不完全	檢查空氣混合的氣體流量或檢修鼓風機	

2	採水流量過低	流量計異常	檢修或校正流量計
		壓差過高	檢查底部集水濾頭或出口樹脂捕捉器或確認反洗效率
		ON/OFF閥或泵異常	檢修閥與輸送泵
		手動閥異常開關	檢查手動閥是否在正確操作狀態
3	樹脂流失	反洗時流量太大	調整反洗水量
		內部樹脂過濾頭破損	檢查中間排水管排及底部集水過濾頭並更換

五、維修及注意事項

(一)維修及控制應特別注意下列事項以確保本系統以最佳狀態運轉

1. 活性碳過濾器(ACF)處理水的 Cl^- 濃度必須 $< 0.1ppm$
2. 2B3T 處理水的導電度必須小於 $0.8 \mu s/cm$
3. 逆滲透(RO)回收率不得大於 95%
4. 使用操作資料確保本系統最佳功能
5. 當系統停機超過 48 小時，將福馬林或 $NaHSO_3$ 注入逆滲透(RO)膜內
6. 請依照後續檢查表，務必定期及週期檢查設備，切實執行不能疏忽

(二) ACF

1.設備檢查表

設備	檢查重點	指示	更換週期
活性碳塔	1. 流量(原水進與原水出) 2. 壓差	建議每年更換活性碳， 每3年更換所有濾材	1次/三年

2.活性碳更換條件：

活性碳達到吸附終點時，產水端 ORP 氧化還原電位過高($> 250mV$)時，須更換活性碳

3. 活性碳充填方式

(1) 專業充填施工廠商需準備下列施工工具：

臨時捲揚機，軟管，侷限空間作業工具，扳手等其它手工具

(2) 充填作業順序如下：

(a) 打開活性碳槽上方人孔蓋

(b) 以臨時捲揚機將袋裝礫石&活性碳運至活性碳槽上方人孔，依序將礫石&活性碳倒入槽內，每一種濾料(礫石或活性碳)倒完後，作業人員需進入槽內將濾料層鋪平後再繼續倒入另一種濾料

(c) 待全數活性碳充填鋪平完畢後，再將人孔以螺絲鎖上

(三) 陰、陽離子塔及 MB

1. 設備檢查表

設備	檢查重點	指示	更換週期
陽離子塔 陰離子塔	1. 流量(採水與再生水)	每年必須補充10%離子交換樹脂	1次/10%
	2. 採水壓差 3. 處理水之電阻值及水質分析儀	每三年將全部樹脂更新	1次/三年
MB	1. 流量(採水與再生水)	每年必須補充10%離子交換樹脂	1次/10%
	2. 處理水之電阻值及水質分析儀	每三年將全部樹脂更新	1次/三年

2. 樹脂更換條件：

經再生或倍量再生後，樹脂交換能力依然無法回復時，須更換樹脂

3. 樹脂充填方式

(1) 專業充填施工廠商需準備下列施工工具：

暫存桶槽(桶槽體積約為 500~1000 L)、軟管、板手等其它手工具

(2) 充填作業順序如下

(a) RO 排水桶槽先注滿水

- (b) 臨時軟管一端投入暫存桶槽，另依端與 Maintenance Hopper 抽吸器之樹脂進流口連接
- (c) 將袋裝樹脂拆開後倒入“暫存桶槽”並加適當水量
- (d) 開啟 RO 排水泵將水與樹脂輸送至 Maintenance Hopper
- (e) RO 排水泵啟動期間需不斷將樹脂與水倒入“暫存桶槽”並時時攪拌之，以利抽吸器吸取樹脂
- (f) 待樹脂全數充填至 Maintenance Hopper 後，即可於 Maintenance Hopper 內利用 RO 排水泵進行反洗樹脂
- (g) 樹脂反洗完成後，再將臨時軟管一端連接 Maintenance Hopper 抽吸器之樹脂出口，另一端連接陰(陽)離子樹脂塔
- (h) 利用 RO 排水泵將 Maintenance Hopper 內之樹脂藉由抽吸器輸送至陰(陽)離子樹脂塔

(三) RO

1.設備檢查表

設備	檢查重點	指示	更換週期
逆滲透 (RO) 單元	<ol style="list-style-type: none"> 1. 流量 (製造水與濃縮水) 2. RO膜進出口壓差各單元的製造水之電阻值 3. 回收率 	大約每3年必須更換一次RO膜	1次/三年
泵浦	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運轉電流值 (檢查控制盤安培表) 2. 噪音或震動 3. 馬達運轉溫度 4. 機械軸封洩漏 5. 是否有漏水現象 6. 無須潤滑油 	建議一年一次拆解檢查幫浦葉輪	
壓力錶	<ol style="list-style-type: none"> 1. 指針振動異常 2. 其他 		
流量計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 流量指示是否有不正常，大幅度擺動，不穩定 2. 其他 		

肆、實習心得及感謝

- 一、除礦水系統在新機組為第一次採用 2B3T 系統(WAC/SAC、脫氣塔、WBA/SBA)，跟以往的 3B4T 相比，因塔槽變少，使用空間上更有效率，並且多了一層弱鹼陰離子交換樹脂把關，使得 2B3T 製造出來的產水水質導電度更小。
- 二、新建機組為因應超臨界水質要求，首次在除礦水系統流採用 RO 逆滲透過濾系統，因逆滲透過濾範圍可達 1~10Å 的微小粒子，而 RO 進水先經過 2B3T 的流程，使得 RO 的進流水導電度小於 0.2 $\mu\text{s/cm}$ ，且 SDI < 3，因此可將 RO 產水率提高至 95% 以上。
- 三、本次的實習除課堂上的教授外，並有安排至現場實地參訪，讓我們有機會可看到各單元的現場運作情況，觀摩海外公司的設備，此安排可以讓我們對除礦水系統有更進一步的認識。
- 四、本次的實習除了專業上的課程訓練，出國前的準備也是一大挑戰，感謝林口電廠同仁提供廠內新建機組除礦水系統資料，以及 Veolia 公司精心製作的上課教材，使我在行前能夠先作預習準備，並及時討論上課內容安排；同時也謝謝中鼎公司及 Veolia 公司協助訂房及海外交通事宜。
- 五、本次實習前往國家為新加坡，英語為官方語言，但也是一個華人占大多數的國家，感謝 Veolia 盡量安排華人講師，授課時可以用英文為主中文為輔的方式教學，使得上課時的溝通更加流暢，有問題時也能及時提出討論，表達也能更清楚，使雙方都了解對方語意。

六、此次能獲得如此難得的海外實習機會，首先要感謝台電公司的栽培，感謝鍾副總經理炳利如此重視海外實習項目，並積極培育新人，讓還是新人的我也有機會能夠出國實習；感謝發電處劉處長奇宗在處內積極推動同仁參加英文測驗以爭取出國參訓機會；感謝發電處劉副處長源隆在我出國前給予指導；感謝發電處環化組許家豪組長推薦，使我有機會出國實習；感謝環化組廖國誠課長、楊媛婷主辦在我出國期間幫忙辦理我的工作，使我能無後顧之憂；而在辦理出國手續期間，幸得發電處曾出國海外實習學長楊文傑、廖為琦、吳俊樺不厭其煩協助解惑，以及人資處、會計處等長官及承辦人員的配合，使我可以出國前及時辦好一切流程，順利出國，在此一併致謝。

伍、建議事項

- 一、本次參與訓練之人員背景為環保化學領域，但實習內容除有關環保化學之專業領域外，尚包含維護及運轉及儀控方面的課程，建議日後訓練內容如有涉及相關技術部門領域時，該部門亦可派員前往，藉此讓受訓人員互相交流請益，增加專業知識的寬廣度。
- 二、因新機組為安裝在林口電廠，本次出國實習若能有林口電廠現場同仁一同前往，相信更能獲得全面性的資訊交流，使海外訓練課程能充分發揮效益。
- 三、新機組除礦水系統為第一次使用 RO 過濾設備，因此運轉操作前人員的教育訓練應準備充足，熟悉操作流程，以免造成水質不良，影響機組運作，爾後的維護也應參照廠商建議在週期內做清洗或更換動作。