

出國報告(出國類別：實習)

台中電廠新建燃氣機組計畫

海水電解系統之 規畫設計及運轉維修技術研習

服務機關：台灣電力公司 核能火力發電工程處中部施工處

姓名職稱：熱回收設備組 機械工程專員 阮文祺

派赴國家/地區：新加坡

出國期間：114 年 7 月 27 日至 114 年 8 月 9 日

報告日期：114 年 8 月 21 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數 31 含附件：☐是 ☒否

出國報告名稱：台中電廠新建燃氣機組計畫

海水電解系統之規畫設計及運轉維修技術研習

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

阮文祺/台灣電力公司/核能火力發電工程處中部施工處/機械工程專
員/(04)2639-6002#6533

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☒4 實習 ☐5 其他

出國期間：114 年 7 月 27 日至 114 年 8 月 9 日 出國地區：新加坡

報告日期：113 年 8 月 21 日

分類號/目：G3/電力工程

關鍵詞：海水電解

內容摘要：(二百至三百字)

台中新建燃氣機組計畫海水電解系統係由新加坡商 KALF Engineering Pte Ltd 負責設計、製造及後續試運轉測試。海水電解系統主要設備有過濾器、海水增壓泵、次氯酸鈉產生器、氫氣旋風分離器、氫氣水封裝置及酸洗設備，本文中將介紹各設備之規格、作用與系統流程。

本次赴新加坡 KALF 原廠參加「台中新建燃氣計畫海電系統訓練研習」，學習海電系統原理與各設備運作流程，並前往廠家工廠參觀設計、製造、安裝等過程，以了解海電系統及後續運轉維護所需相關知識。期能透過此次參訪，將學習經驗回饋於本報告中，並有助於海水電解系統於本計畫現場工作執行與技術之傳承。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 <https://report.nat.gov.tw/reportwork>

目錄

壹、出國實習目的.....	1
貳、研習內容與過程.....	2
一、研習內容.....	2
二、研習過程.....	2
參、研習內容心得報告.....	4
一、海水電解系統概述及原理.....	4
二、設備介紹及流程.....	9
三、系統操作及運轉.....	25
四、系統維護及故障排除.....	26
肆、感想與建議.....	29
一、心得感想.....	29
二、問題與建議.....	30

圖目錄

圖 1. 生物淤積圖.....	4
圖 2. 海水電解反應示意圖.....	7
圖 3. 次氯酸鈉產生示意圖.....	8
圖 4. 海水電解室配置圖.....	10
圖 5. 電極板上白色沉積物.....	11
圖 6. 12.5%次氯酸鈉儲存槽.....	11
圖 7. 海電系統介面點.....	13
圖 8. 進口過濾器 GA 圖及實體照.....	15
圖 9. 手動過濾器 GA 圖及實體照.....	15
圖 10. 海水增壓泵 GA 圖及實體照.....	17
圖 11. 次氯酸鈉產生器實體照.....	18
圖 12. 氫氣旋風分離器 GA 圖及實體照.....	19
圖 13. 氫氣水封裝置 GA 圖及實體照.....	20
圖 14. 酸洗流程 1.....	22
圖 15. 酸洗流程 2.....	22
圖 16. 酸洗流程 3.....	22
圖 17. 酸/鹼儲槽區.....	24

表目錄

表 1. 過濾器比較表.....	14
表 2. 酸洗系統設備.....	23
表 3. 原廠建議日常維護項目表.....	26
表 4. 故障排除與問題分析表.....	27

壹、出國實習目的

台中新建燃氣機組計畫預計興建兩部各130萬瓩的複循環燃氣機組，將引入海水作為冷卻發電餘熱之用。然而，海水中蘊含的微生物、海生物等會自然附著於管路及設備表面並生長，形成「生物淤積（Biofouling）」。這種淤積會導致管路阻塞、海水供給及流量減少，進而降低熱傳導效率，甚至引發管路及設備腐蝕。這些負面影響將嚴重衝擊機組的發電效率與設備使用壽命，因此，預防生物淤積成為確保機組可靠運轉的關鍵課題。

為有效應對生物淤積問題，火力及核能發電廠常採用海水電解法產生次氯酸鈉（NaOCl）來抑制海生物附生。此方法透過海水、鹽分及電能，現場製造足量且安全的次氯酸鈉殺菌劑，具備高經濟長期成本的優勢且無貨源不穩或保存不易等問題。本次台中新建燃氣計畫的海水電解系統，由新加坡廠商KALF Engineering Pte Ltd負責設計、製造與後續試運轉測試，該系統目標產出最小濃度達1500 mg/L的次氯酸鈉，並持續注入循環水渠道以維持1.5 mg/L的濃度來抑制海生物生長。

本次出國實習目的，在於深入學習並掌握海水電解系統的相關技術，以確保未來機組海水電解系統的順利運轉與維護。具體而言，實習內容涵蓋學習海水電解系統加氯設備的原理與流程，參觀廠家預製組件的製造與安裝過程，並熟悉各項設備及其後續的運轉維護知識。本次研習旨在落實技術轉移，透過吸取原廠的實務經驗，確保未來海電系統現場工作推動順利與專業技術延續傳承。

貳、研習內容與過程

一、研習內容

台中新建燃氣計畫海電系統訓練研習

二、研習過程

起訖日	研習地點及內容	備註
114 年 7 月 27 日	台北→新加坡	
114 年 7 月 28 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統(P&ID Drawing、General Arrangement Drawing、Process Flow Diagrams)	
114 年 7 月 29 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統(Technical Data Sheet、Process Description and Control Philosophy)	
114 年 7 月 30 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統(Equipment Datasheet、Equipment GA drawing)	
114 年 7 月 31 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統(Foundation Layout and Loading Plan、Piping Arrangement Drawings)	

114 年 8 月 1 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (Piping Isometric Drawings)	
114 年 8 月 4 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (One Line Diagram、Motor Data Sheets、Instrument List)	
114 年 8 月 5 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (Cause and Effects Diagram、Alarm and Trip Set Point List、Instrument Data Sheet)	
114 年 8 月 6 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (Logic and Functional Diagram、Logic and Functional Diagram、Quality Manual)	
114 年 8 月 7 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (O&M Manual)	
114 年 8 月 8 日	於新加坡 Kalf Engineering Pte Ltd 公司研習海電系統 (O&M Manual、Test)	
114 年 8 月 9 日	新加坡→台北	

參、研習內容心得報告

一、海水電解系統概述及原理

(一)生物淤積(Biofouling)的影響與預防

生物淤積(Biofouling)指的是微生物、藻類、貝類、海藻、藤壺等海洋生物附著並逐步堆積在各種水接觸面（如海水管路、冷卻水管、船體、海水過濾器 etc）上的現象。



圖 1. 生物淤積圖

這些生物會形成黏性生物膜（biofilm），使原本乾淨的表面變得粗糙、堵塞甚至腐蝕。這對許多產業都造成負面影響，例如增加船隻的航行阻力、影響海水冷卻系統效率、加速腐蝕等，造成設備效率下降、成本上升，甚至導致電廠或工業冷卻系統失效。

以下是常見且有效的防治生物淤積策略，依據場域不同而調整使用：

1. 海水電解系統（Electrochlorination）

- 利用電解產生次氯酸鈉（NaOCl）或氯氣（Cl₂），在進水處投加。

- 抑制微生物與貝類孳生，是發電廠、工業冷卻水系統常見方法。

- 優點：無需儲存危險藥劑，現場即時製備。

2. 化學處理（Chemical Dosing）

- 使用氯、次氯酸鈉、雙氧水、銅劑等殺菌藥劑。
- 需控制劑量與接觸時間，避免副作用或環境污染。

3. 機械清洗（Mechanical Cleaning）

- 使用刷子、刮刀、海綿球（如冷凝器管線中的海綿球系統）定期清洗表面。

- 可減少已附著的污垢堆積。

4. 防污塗料（Anti-Fouling Coating）

- 船體、管內壁塗上含銅或矽基的防污塗層，降低生物附著力。

- 特殊塗層也可阻擋紫外線，抑制藻類生長。

5. UV 紫外線殺菌

- 對於小型系統或水族館，紫外線燈可殺死水中的微生物。
- 不適用於大規模系統，成本較高。

6. 設計優化與操作控制

- 控制流速（高速水流不利於生物附著）
- 避免死水區，維持管線通暢
- 定期檢查與維護

在火力發電廠的冷卻水系統中，海水常被用作循環冷卻水來源，電廠普遍採用海水電解系統解決生物淤積（Biofouling）問題。此系統利用海水電解原理，產生次氯酸鈉（NaOCl）等具有殺菌效果的氧化劑，並投加至冷卻水系統中，形成微量但持續的消毒環境，有效防止生物附著與繁殖。此方法具有即時製備、藥劑需求低、安全性高等優點，是目前火力電廠控制生物淤積的主要解決方案之一。

（二）海水電解系統概述

海水電解系統(Seawater Electrolysis System)是一種利用電解原理，從海水中產生化學物質（如氯氣、次氯酸鈉、氫氣等）的設備或系統。它的基本原理是將海水通電，利用電流分解水和其中的鹽分，進而產生可用的化學物質，廣泛應用於殺菌、除垢、消毒、水處理等領域。

主要應用領域：

1. 電廠冷卻水系統：防止海水冷卻系統中微生物、貝類等附著，避免堵塞與腐蝕。
2. 海水淡化廠：預處理階段，抑制微生物生長。
3. 泳池與水族館：水質消毒。
4. 船舶與離岸平台：海水管路防腐蝕與消毒。
5. 工業製程：需要氯氣或次氯酸鈉的製程。

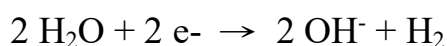
(三)海水電解系統原理

電解(electrolysis)指的是將電流通過電解質溶液或熔融態物質，在陰極和陽極上引起氧化還原反應的過程。簡單來說，就是利用電能使物質發生化學變化

陽極 (Anode)：接到電源的正極。溶液的陰離子會移向此極移動，發生氧化反應而失去電子。



陰極 (Cathode)：接到電源的負極。溶液的陽離子會移向此極移動，發生還原反應而獲得電子。



總反應，陽極 (正極) 與陰極 (負極) 產物與 Na^+ 反應，相當於氯氣溶於氫氧化鈉水溶液產生次氯酸鈉、氯化鈉及水。

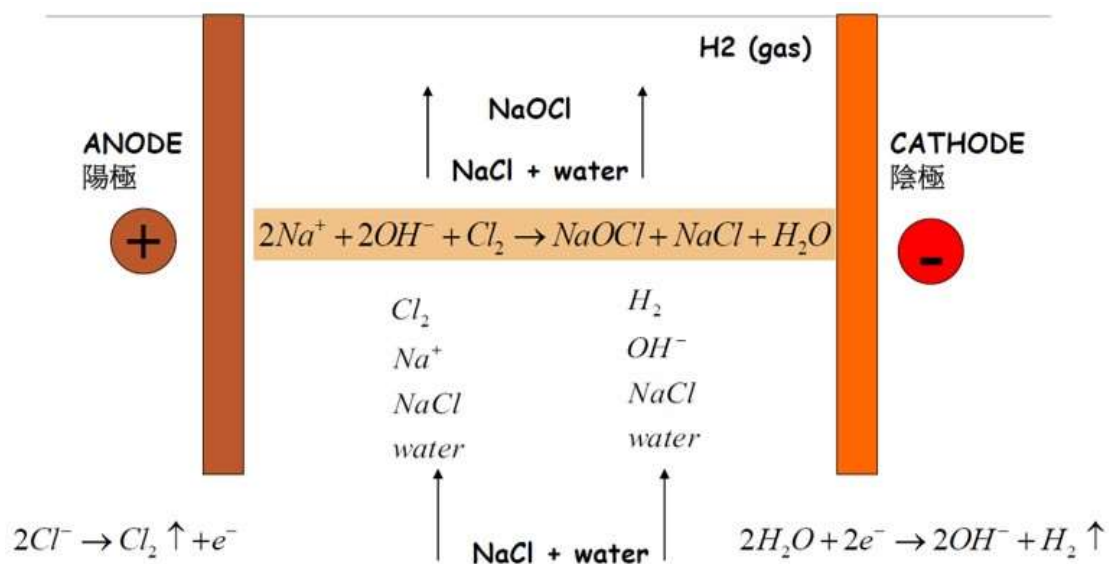
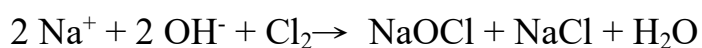


圖 2. 海水電解反應示意圖

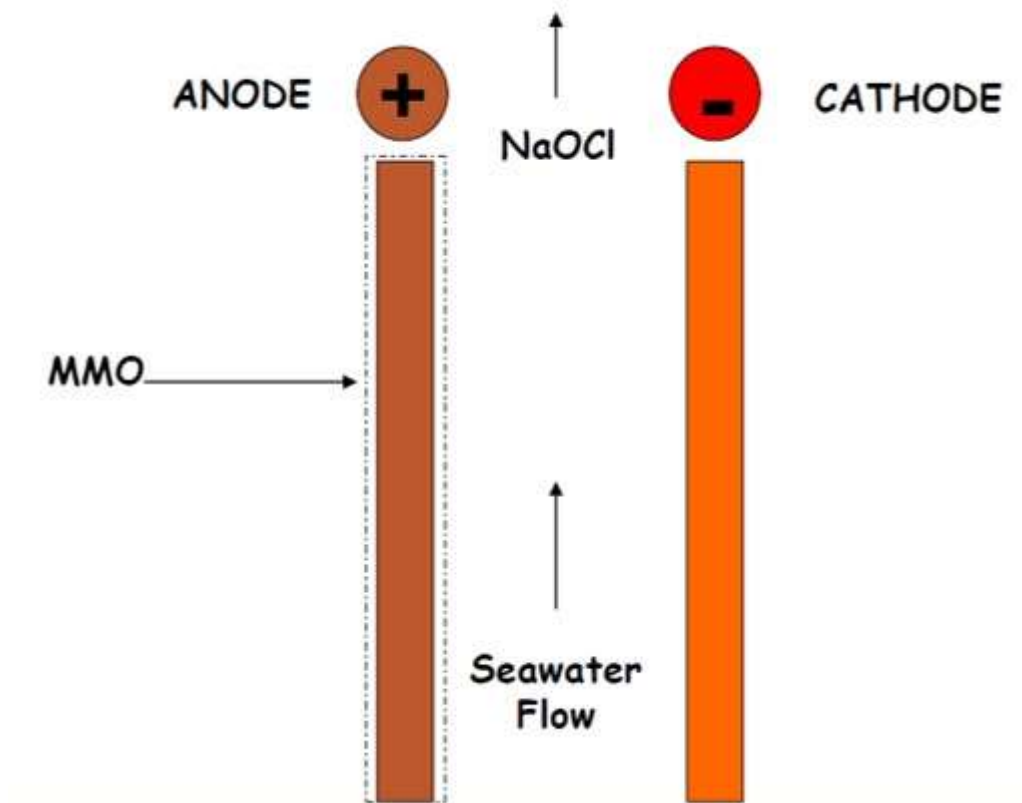


圖 3. 次氯酸鈉產生示意圖

海水內所含的 MgCl_2 、 CaCl_2 、 CaSO_4 等電解質，會與陰極極板產生的氫氧根反應生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等物質，附著沈積於陰極上。當發生電解副反應時，沉澱物會隨時間逐漸累積，造成海水阻塞並降低電解效率。且沉澱物的堆積會造成陽極板與陰極板之間距離下降，因過熱造成短路而毀損極板。該區域產生的高鹼度亦加速陽極塗層的磨損，故設備運行一段時間後，必須進行酸洗(Acid Cleaning)程序。

酸洗為使用5%的鹽酸清洗電極板，反應式如下：



二、設備介紹及流程

(一)設計規範需求

依據合約設計規範(1007-141-MS-01 PartVI-28-6 Sec. 28.4.2.1)需求如下所示：

1	單一機組冷卻水流率(cooling water flow)	30 m ³ /s
2	海水中次氯酸鈉最小需求濃度	1.5 mg/L
3	次氯酸鈉產生器出口最小次氯酸鈉需求濃度	1500 mg/L
4	次氯酸鈉產生器最小產量	90 kg/hr
5	海水分析	參照 Part II, Section No. 6.2
6	單一機組次氯酸鈉於進水口投放點	3 個
7	最低海水高度 最低海水高度	參照 Drawing No. C0-P-ZP-003

台中新建燃氣機組計畫新1、2號機海水電解系統由新加坡廠商 KALF Engineering Pte Ltd 依據合約設計、製造，其各項設計值如下：

1. 次氯酸鈉每小時最小投放量……………166.86 kg/hr
2. 海水增壓泵設計流量……………75 m³/s
3. 次氯酸鈉產生器串數……………6 trains(4 duty, 2 standby)

(二)海電系統流程

海水電解系統流程主要是由過濾器(strainer)、海水增壓泵(seawater booster pump)、次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)、氫氣旋風分離器(H₂ cyclone separator)及氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)所組成，各設備實際配置位置如圖4所示。

另外因海水內所含的MgCl₂、CaCl₂、CaSO₄等電解質，會與陰極

極板產生的氫氧根反應生成 $Mg(OH)_2$ 、 $Ca(OH)_2$ 等物質，附著沈積於陰極上(如圖5)，因此需要定期用5%的鹽酸清洗電極板，此為酸洗系統。酸洗後產生的廢酸液，再由中和系統處理完後，排至綜合廢水場。

海電室南方的12.5% NaOCl儲存槽(如圖6)係用於運轉初期，海電系統尚未正式建立完成，但渠道內已需要添加次氯酸鈉時，採用直接外購現成次氯酸鈉藥品，先存於次氯酸鈉儲存槽中，再連接管路至海水渠道入口之投藥點。待海電系統完成試運轉並可正式投入產生次氯酸鈉時，即使用次氯酸鈉產生器利用電解方式產生次氯酸鈉。

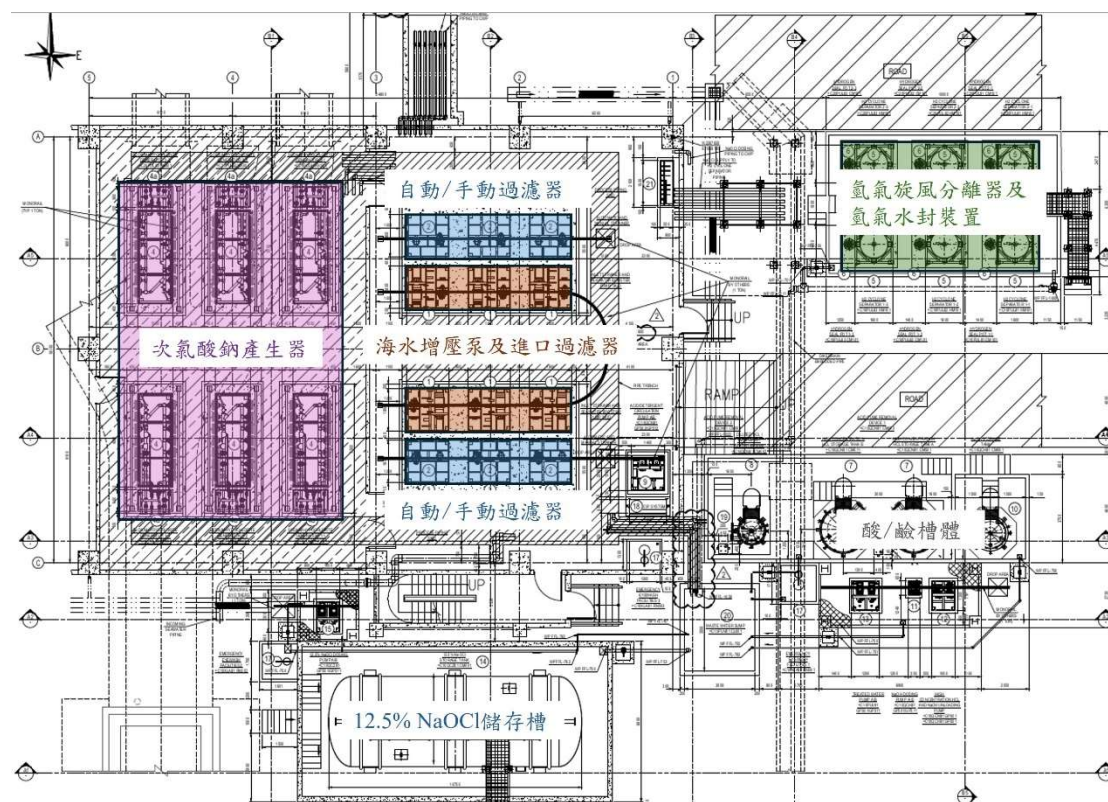


圖 4. 海水電解室配置圖



圖 5. 電極板上白色沉積物



圖 6. 12.5%次氯酸鈉儲存槽

海水電解系統所需之海水取自於海水進水渠道的平壓塔(TP-M036)(詳圖7)，先經過可過濾 $>1.5\text{ mm}$ 雜質的進口過濾器(inlet strainer)

後，進入海水增壓泵(seawater booster pump)作為提供系統之壓力，其運轉壓力約為 6 kg/cm^2 。出海水增壓泵後會經過自動過濾器(automatic strainer)或手動過濾器(automatic strainer)，以過濾水中 $>0.5\text{ mm}$ 之固形物，而後進入次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)。

變壓器-整流器(transformer-rectifier)為提供次氯酸鈉產生器將海水電解所需之直流電，其產生濃度 1500 mg/L 以上之次氯酸鈉的同時會產生副產物-氫氣(H_2)。氫氣一種易燃性氣體，在常溫常壓下，只要遇到火源，就可能引發燃燒爆炸。為將氫氣從液體中去除，可透過氫氣旋風分離器(H_2 cyclone separator)利用離心原理將液、氣體分離。分離後將含次氯酸鈉之海水注入耙汙機外的海水進水渠道(TP-M034)(詳圖7)，借此殺滅海生物並消除海生物在循環水渠道及管路滋生之可能。另外，氫氣旋風分離器分離出的氫氣，經過氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)後排放至大氣。

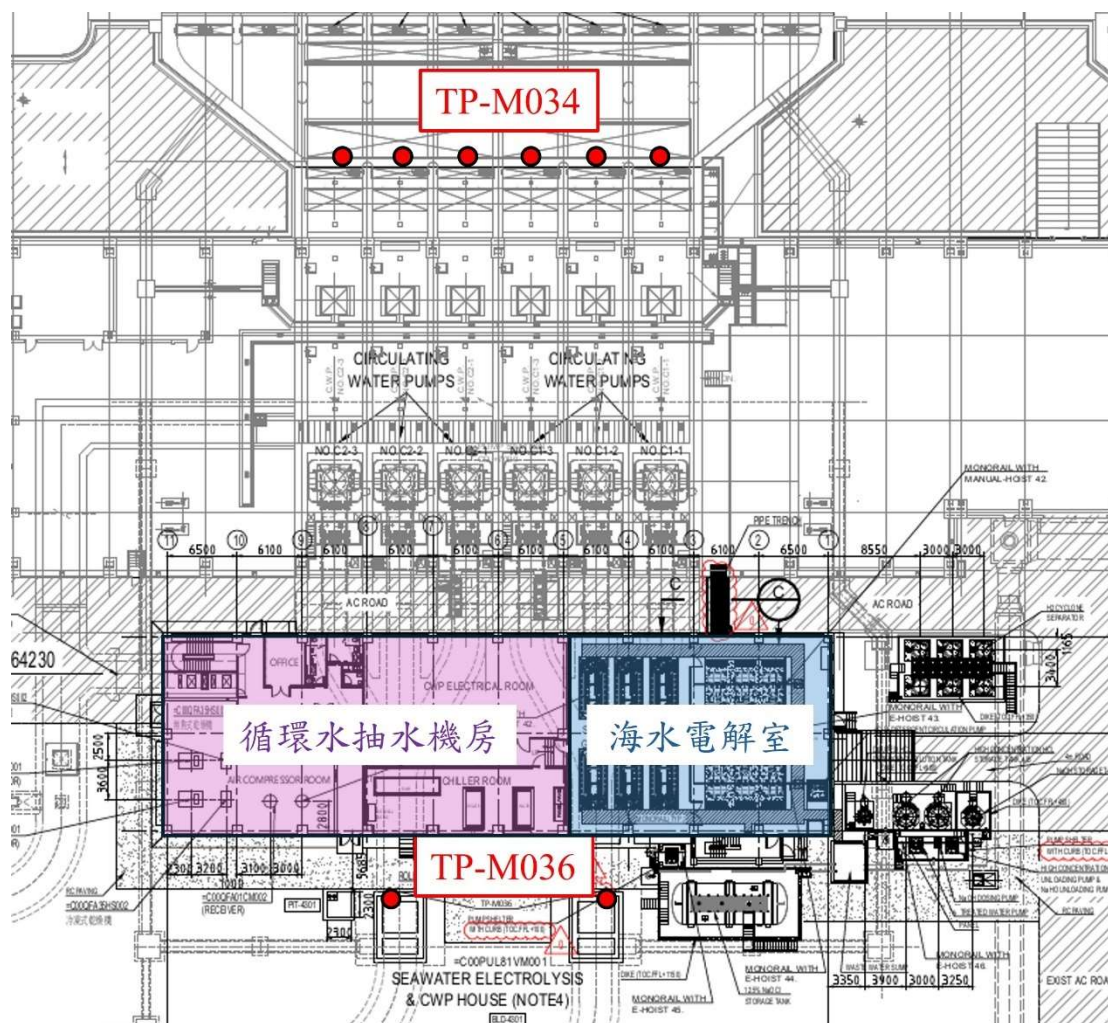


圖 7. 海電系統介面點

(三)海電設備介紹

1. 過濾器(strainer)

因海水中雜質、各種微小固形物甚多，故進入海水增壓泵前會先經過一進口過濾器(inlet strainer)(詳圖8)，可過濾 $>1.5\text{ mm}$ 的雜質。海水增壓泵出口會再經過自動過濾器(automatic strainer)或手動過濾器(manual strainer)，可過濾 $>0.5\text{ mm}$ 的雜質。因流經過濾器的流體為海水，故過濾器材質皆採用具有極佳的耐腐蝕性及高強度應力的雙相不銹鋼(UNS S32205)。

表 1. 過濾器比較表

	進口過濾器 (inlet strainer)	自動過濾器 (automatic strainer)	手動過濾器 (manual strainer)
1.Material	UNS S32205	UNS S32205	UNS S32205
2.Filtration Size	1500 μ m	500 μ m	500 μ m
3.Filtration Area	0.447m ²	0.447m ²	0.18m ²
4.Flow (Rated)	75 m ³ /hr	75 m ³ /hr	75 m ³ /hr
5.Flow (Operation)	60 m ³ /hr	60 m ³ /hr	60 m ³ /hr
6.Operating Pressure	80 kPa	500 kPaG	500 kPaG
7.Power Supply	460VAC/3phase/ 60HZ/0.37KW	460VAC/3phase/ 60HZ/0.37KW	NA

進口過濾器(inlet strainer)位於海水增壓泵前端，用以過濾海水中 >1.5 mm的雜質或各種固體物，避免異物入侵影響泵浦運轉。自動過濾器(automatic strainer)及手動過濾器(manual strainer)(詳圖9)為並列設置，設置於海水增壓泵後端，可過濾>0.5 mm的雜質。當自動過濾器阻塞時，可手動切換至海水流經手動過濾器，以維持電解流程運行的連續性，避免電解系統暫停或中止。自動過濾器及手動過濾器可過濾海水增壓泵後段細微雜質，以保護次氯酸鈉產生器。

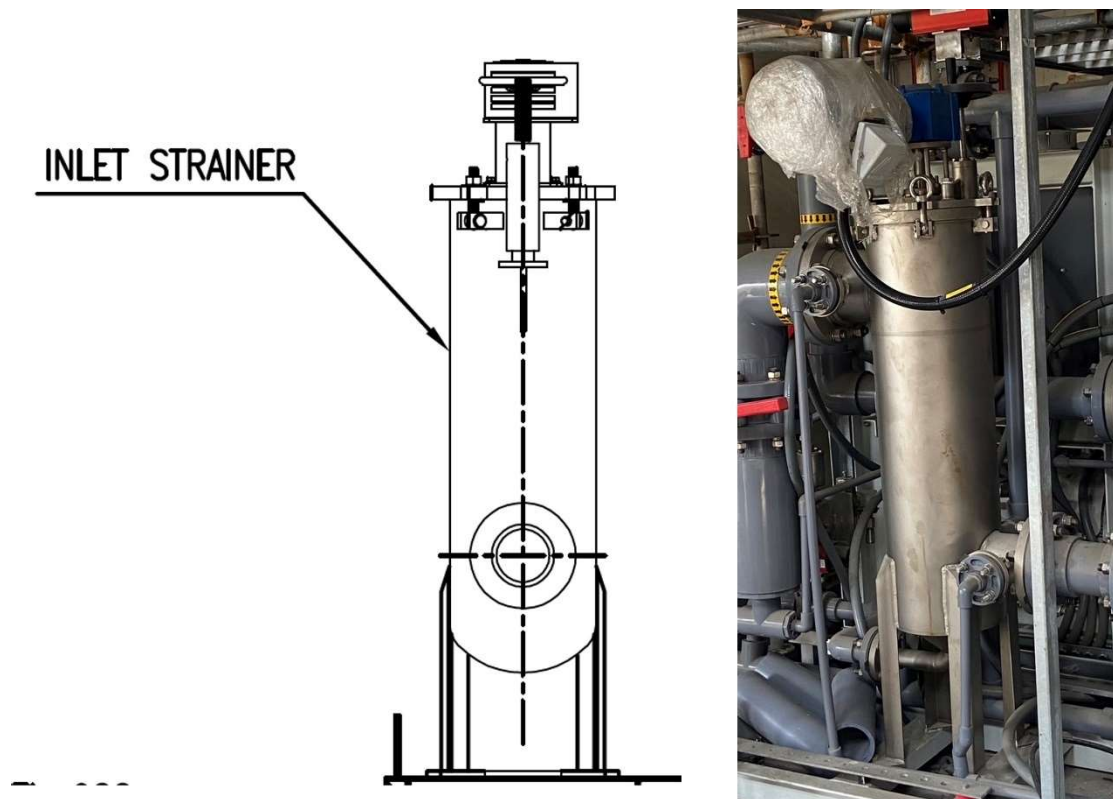


圖 8. 進口過濾器 GA 圖及實體照

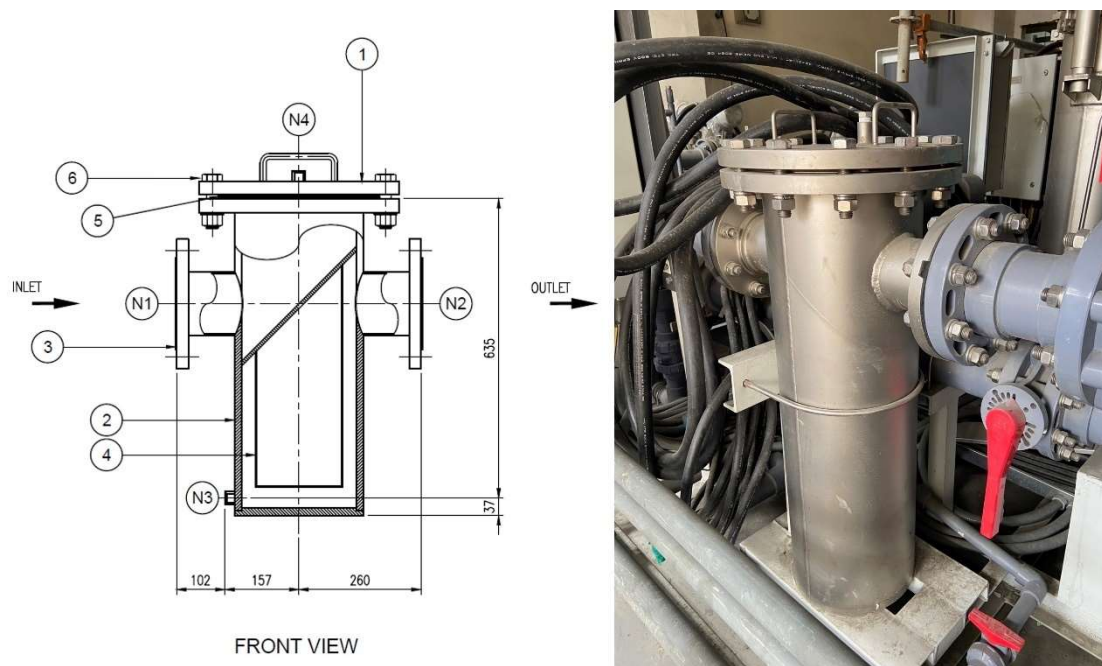


圖 9. 手動過濾器 GA 圖及實體照

當自動過濾器運行超過4小時或差壓超過0.05MPa，過濾器將會啟動自動清洗程序，自動清洗程序可以一邊執行，一邊繼續過濾海水。

其執行原理如下:過濾器內側有一環型濾網，海水注入環型濾網內側，透過濾網隔絕雜質，比濾網網目小的顆粒可透過濾網流出過濾器，比濾網網目大的顆粒即會被濾網攔截。當過濾器運轉超過4小時或濾網阻塞，上下游之壓差過大，馬達將帶動轉軸及刮片刮除濾網內側雜質，挾帶雜質的海水由下方洩水閥移除，一次清洗程序約需耗時15至30秒。假設清洗程序完成一次後，差壓仍超過下限值，將再啟動一次清洗程序。若仍未能將差壓降至預設值以下，將傳送訊號至DCDAS，供系統操作員做調整。若壓差在4小時內過高2次，將執行人工清洗。

2. 海水增壓泵(seawater booster pump)

海水被循環水泵(CWP)吸入進水渠道後，會在平壓塔(TP-M036)被引入部分海水進入海水電解系統，將海水吸進海水電解系統的動力來源即為海水增壓泵(seawater booster pump)(詳圖10)。而後海水經過次氯酸鈉產生器產生高濃度次氯酸鈉並溶於水中，經氫氣旋風分離器及水封裝置後，將排放至耙汙機外側之海水進水渠道(TP-M034)。

海水增壓泵為水平離心式泵浦，操作流體為海水，額定流量為75m³/hr(包含系統設計流量60 m³/hr以及自動過濾器清洗流量7.4 m³/hr)，操作壓力0.6 MPaG。使用電源為460VAC/3phase/60HZ/30KW。為防止海水腐蝕，泵浦主要部件採用抗腐蝕材料，泵殼、葉輪及軸套採用FRP製成，泵軸材質為Hastelloy-C276，軸承為不鏽鋼。

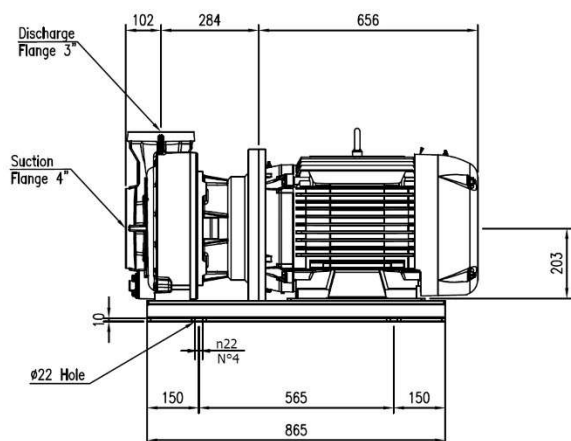


圖 10. 海水增壓泵 GA 圖及實體照

3. 次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)

海水被海水增壓泵(seawater booster pump)吸入海水電解系統，經過過濾器(strainer)至次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)(詳圖11)，利用電解海水產生次氯酸鈉。次氯酸鈉產生器由變壓器-整流器(transformer-rectifier)產生之直流電使電極板上帶電，在陽極及陰極上進行氧化還原反應，藉此電解海水產生次氯酸鈉。

本計畫使用單極板式(mono-polor plate type)次氯酸鈉產生器，陽極網狀鈦板鍍上KALF公司專利之MMO(Mixed Metal Oxide)塗層，陰極使用Hastelloy-C276板材，陽陰極板間保持2mm間距，防止接觸短路。產生器外殼為PVC一體成型，槽蓋使用透明壓克力，方便直接觀察產生器內部運轉情形，並可確認酸洗後電極恢復清洗狀況。

本系統配置6 trains(4用2備)，每train配置14 cells，每cell由12片陽極板及11片陰極板堆疊而成，並可以產生約6.5kg/hr的次氯酸鈉，以符合合約次氯酸鈉最小產量90 kg/hr之標準($6.5 * 14 = 91 \text{ kg/hr}$)。操作壓力0.32 MPaG，設計電流6100A DC，設計電壓66V DC。使用材料Titanium & Hastelloy C276(uncoated)。



圖 11. 次氯酸鈉產生器實體照

MMO(Mixed Metal Oxide)塗層為KALF公司專利設計之技術所在，於陽極板上塗覆鈦、鉍及鉑貴金屬氧化物(RuO_2 、 IrO_2 或 PtO_2)，可幫助電解反應之進行，提高反應效率並降低運轉成本。此塗層可保護鈦陽極免受腐蝕並延長其壽命，唯MMO會隨運轉時間逐漸薄化，薄化到一個程度即無法發揮其效益而需將整個極板換新，目前KALF公司針對極板為保固5年之時間。

驅動次氯酸鈉產生器作動的變壓器-整流器(transformer-rectifier)使用電源為480VAC/3phase/60HZ/780KVA。Capacity為7000A DC/80V DC。使用材料electro-galvanized steel。

4. 氫氣旋風分離器 (H_2 cyclone separator) 及氫氣水封裝置 (hydrogen seal pot)

海水電解後，除了產生次氯酸鈉，同時也會產生副產物-氫氣。氫氣，化學式為 H_2 ，是一種無色、無味、無臭的氣體，由兩個氫原子構成，具有易燃性及爆炸性。其爆炸上下限值為4.0%~75.6%，也就是說，當氫氣在空氣中的體積濃度介於4.0%~75.6%之間時，遇火源就可能會爆炸。4.0%稱為爆炸下限(Lower Explosive Limit - LEL)，75.6%稱為爆炸上限(Upper Explosive Limit - UEL)，當氫氣濃度小於4.0%或大於75.6%時，即使遇到火源，也不會爆炸，意即只要將氫氣濃度控制在爆炸下限以下或爆炸上限以上，即沒有爆炸之安全疑慮。為此，於海水電解室東側室外設置氫氣旋風分離器(H_2 cyclone separator)(詳圖12)及氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)(詳圖13)以去除製程所產生之氫氣，避免氫氣蓄積造成爆炸之危害。基於安全考量，於海電室屋頂設置氫氣監測器(hydrogen gas dectector)，當氫氣濃度超過20%LEL時，將緊急中斷海電系統運作，避免持續生成氫氣。



圖 12. 氫氣旋風分離器 GA 圖及實體照

由氫氣旋風分離器上方流出的氫氣會進入氫氣水封裝置 (hydrogen seal pot)。氫氣水封裝置外觀如圖13所示，氫氣由上方入口沿著一垂直管直接將氫氣往下注入海水中，無法溶解於海水中的氫氣自然從海水中釋出並往上由出口處移除。此處使用的海水為自進口分離器前引入之純海水。設置氫氣水封裝置的原因至少有以下三點，一、避免氫氣在出口處被風倒灌入回流至氫氣旋風分離器中。二、氫氣水封裝置可隔絕火緣。三、吸收氫氣中挾帶的氯氣，減少氯味。

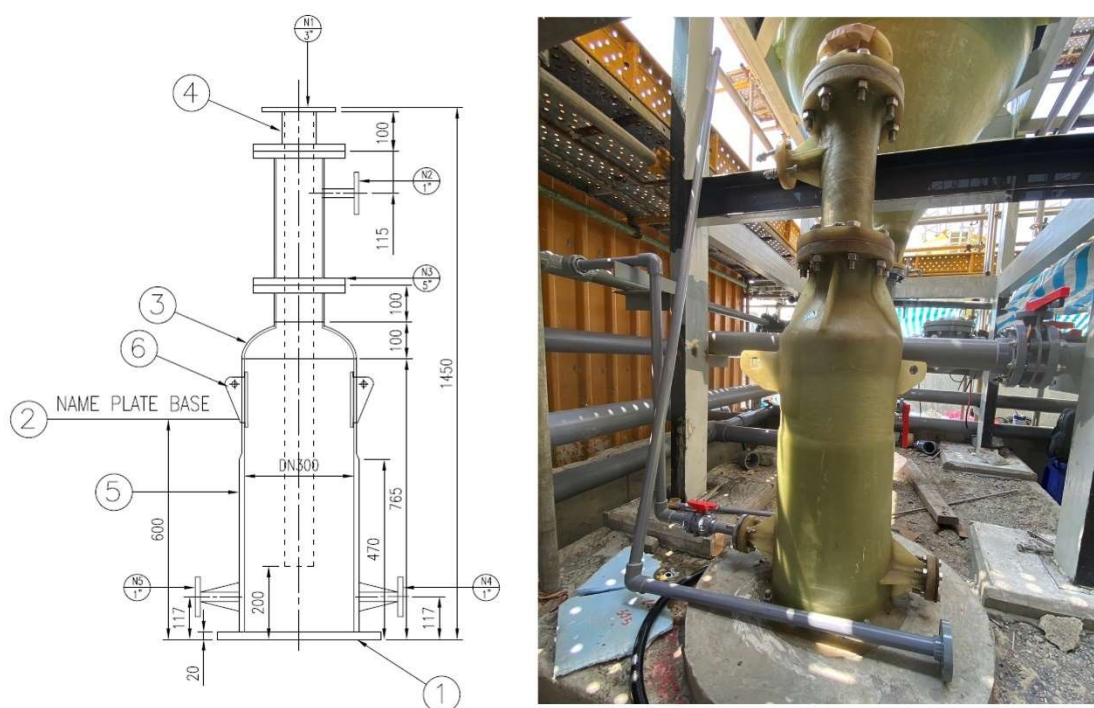


圖 13. 氫氣水封裝置 GA 圖及實體照

5. 酸洗系統

海水內所含的 MgCl_2 、 CaCl_2 、 CaSO_4 等電解質，會與陰極極板產生的氫氧根反應生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等物質，附著沈積於陰極上，因此需要定期用5%的鹽酸清洗電極板。

鹽酸槽車載送30%高濃度鹽酸至卸料口，快速接頭連接後，使用高濃度鹽酸卸酸泵(High Concentration HCl Unloading Pump)先將30%高濃度鹽酸儲存於高濃度HCl儲存槽(High Concentration HCl Storage Tank)。高濃度HCl儲存槽共有2個，每個容積10 m³，材質為FRP。儲存槽旁有一個酸煙消除器(Acid Fume Removal)，容積0.04 m³，材質為PP。

為避免高濃度鹽酸進行酸洗時，會傷害極板及鍍膜，原廠建議酸洗使用的鹽酸濃度為5%。調配稀鹽酸的流程請參考圖14，說明如下。

1.飲用水(potable water)由藍線注入稀釋鹽酸槽(Diluted HCl/Detergent Solution Tank)。2.啟動酸液/稀釋液循環泵(Acid/Detergent Circulation Pump)，使飲用水在紅線循環。3.從ejector處將32%鹽酸自動吸入，直到稀釋鹽酸槽內之鹽酸濃度達5%為止。

當稀釋鹽酸槽內之鹽酸調配好濃度為5%時，即可開始用酸液/稀釋液循環泵(Acid/Detergent Circulation Pump)將稀鹽酸打至次氯酸鈉產生器進行極板之酸洗，鹽酸流向如圖15所示。此階段約會進行20分鐘的鹽酸循環，透過酸液/稀釋液循環泵將稀鹽酸打至次氯酸鈉產生器，酸洗過後的鹽酸再回到稀釋鹽酸槽，如此週而復始。

當酸洗完成後，鹽酸之流向請參考圖16，使用酸液/稀釋液循環泵將次氯酸鈉產生器及管路中殘餘之鹽酸抽回稀釋鹽酸槽。

酸洗系統及廢水中和系統各設備及規格整理於表2。酸/鹼儲槽位於海電室東側室外區，現場實拍照請參閱圖17。

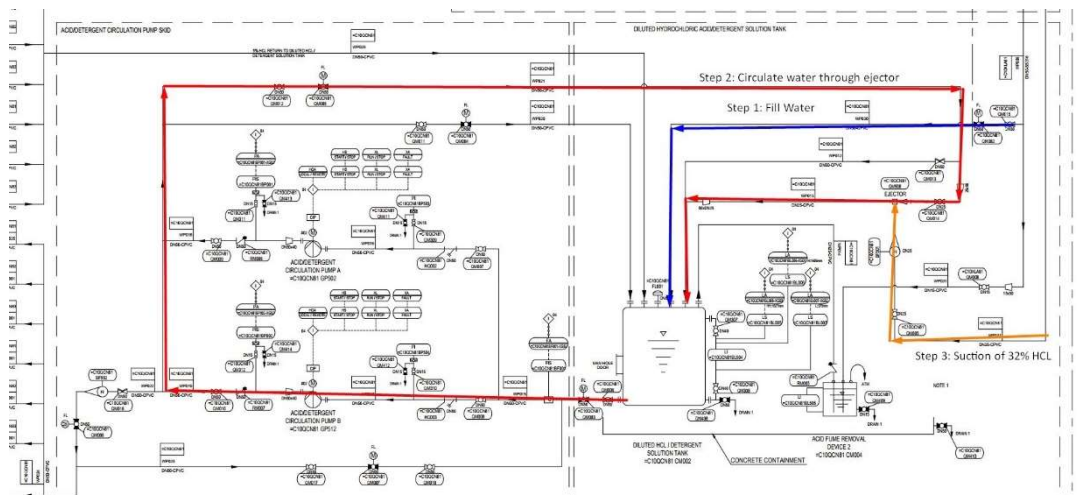


圖 14. 酸洗流程 1

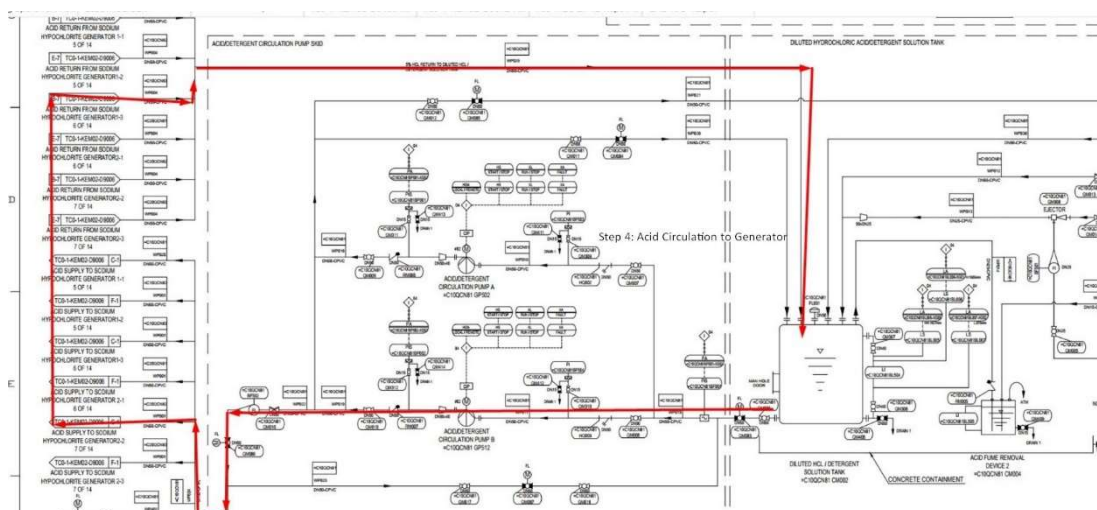


圖 15. 酸洗流程 2

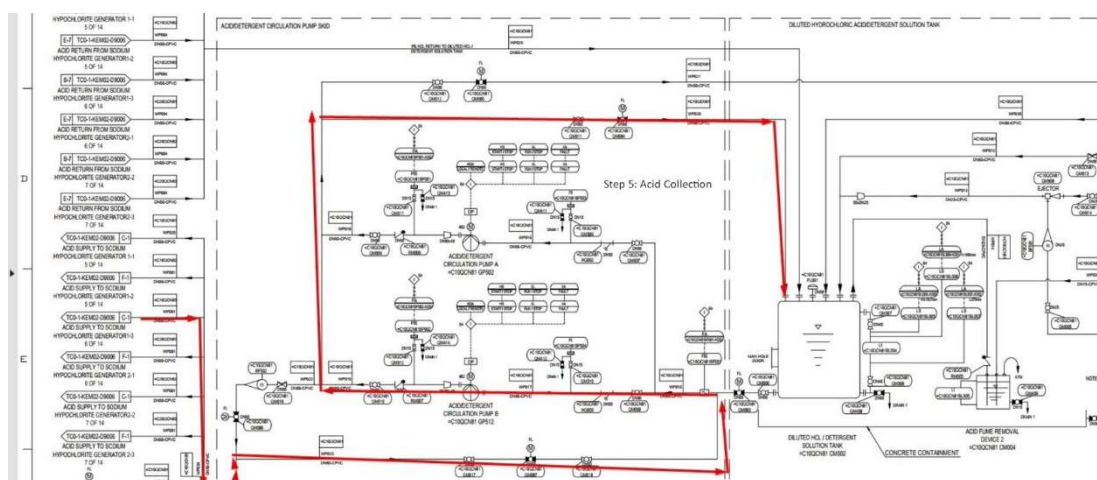


圖 16. 酸洗流程 3

表 2. 酸洗系統設備

設備名稱	容量	個數	材質
高濃度鹽酸儲存槽	10m ³	2	FRP
稀釋鹽酸槽	3m ³	1	FRP
氫氧化鈉儲存槽	5m ³	1	FRP
廢水坑	12.3m ³	1	
酸液/稀釋液循環泵	15m ³ /hr	2	GFRPP
高濃度鹽酸卸酸泵	30m ³ /hr	1	GFRPP
濃液鹼卸鹼泵	8m ³ /hr	1	GFRPP
液鹼注入泵	0.636m ³ /hr	2	PVC/PTFE
處理水泵	20m ³ /hr	2	GFRPP

6. 廢水中和系統

酸洗後的含酸廢水先排入廢水坑(Waste Water Sump)，再由液鹼注入泵(NaOH Dosing Pump)抽取氫氧化鈉儲存槽(NaOH Storage Tank)內的NaOH注入廢水坑內進行酸鹼中和調整pH值。廢水坑的廢水來源包含氫氣水封裝置的洩水、實驗室及泵室(CWP House)的廢水。廢水坑有水位及pH值監測系統，會在此處將廢水pH值調到6.5-7.5後，由處理水泵(Treated Water Pump)送至綜合廢水場處理。



圖 17. 酸/鹼儲槽區

三、系統操作及運轉

(一) 啟動操作系統

1. 確保所有隔離閥(isolation valves)及洩水閥(drain valves)皆已關閉。
2. 起機前確認海水已準備好。
3. 確認Transformer Rectifier Panel、Motor Control Panel及Acid Cleaning Panel已通電可使用。
4. 確認E-stop未壓下，且確認及重置所有alarm。
5. 選擇” Auto”
6. 選擇” Chlorine” 模式

(二) 系統停機

1. 操作人員開始停機動作。
2. 長時間停機
 - 停機前用海水將系統充份沖洗。
 - 關閉進出口閥(inlet/outlet valves)並開啟洩水閥以將系統內水份排乾。
 - 注意:次氯酸鈉產生器需保持清空。
 - 關閉所有Transformer Rectifier Panel、Motor Control Panel及Acid Cleaning Panel。
 - 用海水將氫氣水封裝置充份沖洗，而後清空。

四、系統維護及故障排除

(一)系統維護

有關系統維護部分，原廠建議日常維護相關項目，列表如下：

表3. 原廠建議日常維護項目表

頻率	項目
每日	- Δ 檢查並記錄以下各項參數 -海水流率 -NaOCl 產生器的直流電壓 -NaOCl 產生器的直流電流 -檢查是否漏水
每月	- Δ 量測 TR-SET 交流電壓(需在 supply nominal range 的$\pm 5\%$內) - Δ 清潔 TR-SET filter 避免空氣中粒子造成短路 - Δ 酸洗 NaOCl 產生器
每年	- Δ 檢查 pump 葉片 - Δ 校正流量控制閥 - Δ 檢查所有電氣匯流排連接緊度 - Δ 檢查所有保護設備是否正常作動 - Δ 清潔氫氣旋風分離器 - Δ 更新泵浦機械軸封 - Δ 更新接地線路
極板	- Δ 監測極板電壓壓降情況 - Δ 每 5-6 年更新極板

(二)故障排除

表4. 故障排除與問題分析表

項目	影響	可能問題點
海水流量不足 (main header)	海水供給壓力/流量過低，會使 TR-set 及次氯酸鈉產生器停止。	檢查海水供給壓力/流量傳感器是否正常。
海水流量不足 (each module)	海水供給壓力/流量過低，會使 TR-set 及次氯酸鈉產生器停止。	檢查海水供給流量開關，或檢查次氯酸鈉產生器是否有洩漏。
酸洗槽液位過低/過高	警報與 interlock 觸動，停止所有相關酸泵	檢查桶槽/MOV malfunction 液位開關是否正常
整流變壓器 (TR-SET)	低直流電壓輸出	1. SCR(控制整流器)未運作 2. 驅動板異常 3. 指示錶有誤 4. DC conductor 或電極間有短路
	高電壓/低電流(無法增加 DC AMPS)	達設備最高直流電壓-電極活性降低
	Thyristor 溫度過高	1.冷卻無效 2.溫度感測器異常
	整流器無法啟動	1. Local/或 Remote E-STOP 啟動

		2. 確認 Transformer Rectifier Panel 上警報顯示 3. 消除流程異常 4. DCDAS 未啟動 Plant Ready Signal
--	--	--

肆、感想與建議

一、心得感想

本次有機會前往新加坡 KALF 公司參訪，該公司是本計畫台中新建燃氣機組海水電解系統的供貨廠商。在此次參觀過程中，透過實地觀摩生產線與技術人員的說明，我對 KALF 在電解技術上的專業與其成品應用於實際工程的經驗有更深入的認識。

1. 設備設計與工藝

- 本計畫的次氯酸鈉產生器採用單極板式(Monopolar Plate Type)設計，結構清晰，維護上相對容易，對於需要穩定供應次氯酸鈉的電廠應用來說具備一定可靠性。

- 備整體配置簡潔，安全防護措施與自動化控制系統設計完善，展現出 KALF 在系統集成上的成熟度。

2. 製造與品質管理

- 在參觀過程中，能明顯感受到其對材料選擇及製程管控的重視，例如電極材料與耐腐蝕設計，皆符合電廠長期運轉的需求。

- KALF 展示了其在不同項目的應用實績，包含沿海發電廠的海水處理，顯示產品在實際運行中能達到穩定的氯產生效率，確保防止生物汙染的效果。

3. 實務成效

- 從分享的案例來看，KALF 的電解設備在多個國際電廠中已長時間運轉，具備良好的運行可靠度與維護經驗。

- 系統在降低生物附著、防止冷卻水管道堵塞等方面，皆發揮了顯著成效。

二、問題與建議

1. 電極設計的改良方向

目前合約規範採用的單極板式屬於較舊式的電解器，雖然結構簡單，但在能耗、電流分布均勻性以及設備占用空間上仍有提升空間。未來合約是否考慮採用更新型的雙極板式（Bipolar Plate Type）設計？此種設計在能效、模組化、減少電流損失等方面更具優勢，能進一步降低運轉成本。

2. 塗層保固與壽命

KALF 提供五年的電極塗層保固，代表其對材料耐久性有相當信心，也符合電廠常見的大修週期，這點值得肯定，因為能減少維護成本與非計劃停機風險。建議後續可蒐集實際運轉案例的數據，例如：在不同海水水質條件下（鹽度、溫度、生物附著程度），塗層壽命是否穩定？是否有持續研究新型塗層（例如含鈦、鉍等貴金屬氧化物）來提升耐用度並降低更換頻率？

3. 模組化與擴充性

若能進一步發展模組化電解槽，可提升系統擴充性與檢修便利性。例如某些模組出現性能衰退時，可以單獨替換，不需全面停機。這對於大型電廠、甚至未來台電推動的再生能源或海水淡化廠應用，都是可行的發展方向。

4. 智慧監測與數位化

建議在設備上增加遠端監控與數據收集功能（如電壓/電流監測、氣濃度監測、電極壽命預估），結合 AI 或大數據分析，能在塗層性能衰退之前預測維護時機。這不僅能降低維護風險，也能更系統化及數位化運轉參數。