

出國報告(出國類別：實習)

台中新建燃氣機組計畫 海電系統訓練研習

服務機關：台灣電力公司 台中發電廠

台灣電力公司 核能火力發電工程處中部施工處

姓名職稱：許朝昇 煙氣化學分析專員

林柏崴 機械工程專員

派赴國家/地區：新加坡

出國期間：113年5月19日至113年6月1日

報告日期：113年7月8日

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數 36 含附件：是 否

出國報告名稱：台中新建燃氣機組計畫海電系統訓練研習

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

林柏歲/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#6532

許朝昇/台灣電力公司/台中發電廠/煙氣化學分析專員/(04)2630-
2132#3311

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：113 年 5 月 19 日至 113 年 6 月 1 日 出國地區：新加坡

報告日期：113 年 7 月 8 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)

台中新建燃氣計畫海水電解系統係由新加坡廠商 KALF Engineering Pte Ltd 負責設計、製造及後續試運轉測試，本次特赴原製造產地參加「台中新建燃氣計畫海電系統訓練研習」，學習海水電解系統加氯設備原理與系統流程，並參觀廠家預製組件製造、安裝，以熟悉各項設備及後續運轉維護所需相關知識。

本報告分為：系統概述及原理、設備概述及流程、系統操作及運轉與系統維護及故障排除等四大主題，將此次參訪過程及習得經驗回饋本報告之中，期能有助於本計畫於海水電解系統現場工作之推動與專業技術傳承。

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、系統概述及原理.....	4
(一)生物淤積(Biofouling)	4
(二)海水電解系統簡介與應用	5
(三)海水電解系統原理	7
二、設備介紹及流程.....	10
(一)設計規範需求	10
(二)設備流程	10
(三)設備介紹	13
三、系統操作及運轉.....	23
(一)設備啟動	23
(二)負載運轉	24
四、系統維護及故障排除.....	30
(一)系統維護	30
(二)故障排除	31
(三)補充電廠常見故障意外與排除.....	32
肆、感想與建議.....	33
一、心得感想.....	33
二、問題與建議.....	35

圖目錄

圖 1 管路內產生物淤積	5
圖 2 發電廠與海水電解系統示意圖	6
圖 3 海淡廠與海水電解系統示意圖	6
圖 4 微軟資料中心實驗「Project Natick」出水	7
圖 5 天然氣接收站與海水電解系統示意圖	7
圖 6 海水電解反應示意圖	8
圖 7 電極板附著白色沉積物	9
圖 8 海水電解主要流程圖	11
圖 9 海電系統介面點	12
圖 10 海電室設備配置圖	12
圖 11 過濾器(Scraper type)各部件圖	14
圖 12 Basket type 過濾器外觀圖	15
圖 13 Automatic and manual strainer skid 實拍圖	15
圖 14 海水增壓泵剖面圖	16
圖 15 單極板式(mono-polor plate type)	19
圖 16 雙極板式(bi-polor plate type)	19
圖 17 雙極管式(tubular type)	19
圖 18 接地環	20
圖 19 氫氣旋風分離器(左)及氫氣水封裝置(右)示意圖	21
圖 20 海水電解室防爆區域	22
圖 21 極板因電解副產物異常增生阻塞損毀	26
圖 22 配製 5%稀鹽酸示意圖	28
圖 23 注入 NaOCl 發生器示意圖	29
圖 24 新加坡城市規劃展覽館(Singapore City Gallery)	34
圖 25 新加坡城市五大系統	34

表目錄

表 1 過濾器比較表	14
表 2 次氯酸鈉產生器型式比較表	18
表 3 酸洗各式設備表	26
表 4 原廠建議日常維護項目表	30
表 5 故障排除與問題分析表	31

壹、出國實習目的

台中新建燃氣計畫將於台中發電廠9號和10號燃煤機組之南側規劃興建2部130萬瓩燃氣複循環機組，涵蓋面積大約13.4公頃，並使用循環水泵將海水引入汽機冷凝器以及廠用水熱交換器等設備，作為冷卻機組發電所產生之餘熱，但於海水中所含大量微生物、海生物等，可能附著於管路或設備中，除了可能引起阻塞而熱傳導效率下降，也可能引起管路及設備腐蝕，而影響發電品質。

為了避免上述問題發生，基於長期成本考量，國內火力及核能發電廠皆採用電解海水產生次氯酸鈉(NaOCl)，來抑制海生物在循環水渠道及管路之附生，另海水電解系統應用甚廣，除了國內發電廠外，液化天然氣(LNG)儲槽及海水淡化廠等皆須以海水電解系統來防止海水中微生物和貝類等海洋生物附著。

綜上所述，各廠所興建之海水電解設備對於主要設備正式運轉已成不可或缺之重要角色，本次前往國外廠家參加研習，除了學習本系統之規劃、設計及流程外，並吸取原廠之維護、實務經驗與最佳化操作方式，期許能落實技術轉移，確保海電系統運轉操作安全無虞。

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
113年5月19日	台北→新加坡	
113年5月20日	P&ID Drawing、General Arrangement Drawing、Process Flow Diagrams	
113年5月21日	Technical Data Sheet、Process Description and Control Philosophy	
113年5月22日	Equipment Datasheet、Equipment GA drawing	
113年5月23日	Foundation Layout and Loading Plan、Piping Arrangement Drawings	
113年5月24日	Piping Isometric Drawings	
113年5月27日	One Line Diagram、Motor Data Sheets、Instrument List	
113年5月28日	Cause and Effects Diagram、Alarm and Trip Set Point List、Instrument Data Sheet	
113年5月29日	Logic and Functional Diagram、Logic and Functional Diagram、Quality	

	Manual	
113 年 5 月 30 日	O&M Manual	
113 年 5 月 31 日	O&M Manual	
113 年 6 月 1 日	新加坡→台北	

參、研習內容心得報告

一、系統概述及原理

(一)生物淤積(Biofouling)

1.什麼是生物淤積(Biofouling)？

生物淤積(Biofouling)，是微生物、植物、藻類或動植物在船舶和潛艇船體、進水口、管道、格柵等表面上的積累，導致結構或其他功能缺陷。生物淤積(Biofouling)有兩個類型：微污垢和宏觀污垢。

微污垢是指礦泥、細菌黏附在表面的生物膜(slimes)的形成。宏觀污垢是指藤壺、軟珊瑚和海藻等生物附著而產生的污垢群落。而海水溫度、地理位置、物種多樣性和太陽輻射量皆會影響生物淤積(Biofouling)發展程度。

2.生物淤積(Biofouling)帶來之影響

由於生物污垢幾乎可能發生在有水的任何地方，而海水用於各種陸上和海上應用和製程需要可靠且充足的進水供應，但海水中含有大量的海洋生物，對於火力電廠而言，這些生物體會自然地附著在海水冷卻系統中並生長，最終導致系統堵塞、海水供給及流量減少、性能下降並最終降低熱傳效率、金屬管材腐蝕、冷凝管易破損等負面影響。

3.如何預防或減緩生物淤積(Biofouling)

可以透過持續使用消毒劑來預防，包含液氯法、次氯酸鈉法、強力漂白粉法、海水電解法等，其中氯氣法的運輸、儲存管理成本高，且具有危險性，目前火力電廠皆已使用海水電解法作為最佳解決方案，海水電解法具高安全性、長期成本較為經濟及無貨源不穩、保存不易等問題。



圖 1 管路內產生物淤積

(二)海水電解系統簡介與應用

海水電解系統(Seawater Electrolysis System)，是利用現場設備透過電氯化(Electrochlorination)方式，將海水電解，製造出足量且安全的殺菌劑一次氯酸鈉供產業或工業使用，如今海水電解系統技術已非常成熟，並應用於各種產業領域上：

1.石油和天然氣產業：海上業者使用海水電解系統來對抗石油和天然氣設施中的生物污垢，它有助於保持設備的效率並防止海洋生物引起的阻塞。

2.能源生產：海水電解系統應用於能源生產領域，包括核能和火力發電廠。它確保可靠的水消毒並防止冷卻系統中的生物污垢。

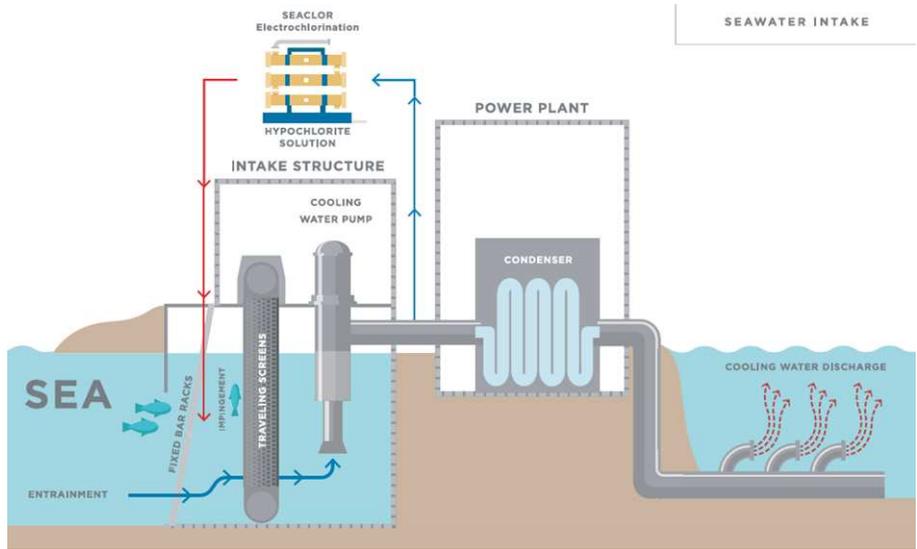


圖 2 發電廠與海水電解系統示意圖

3.海水淡化廠：海水電解系統可防止進水和排放系統中的海洋生物生長，從而有助於維持海水淡化廠的性能。

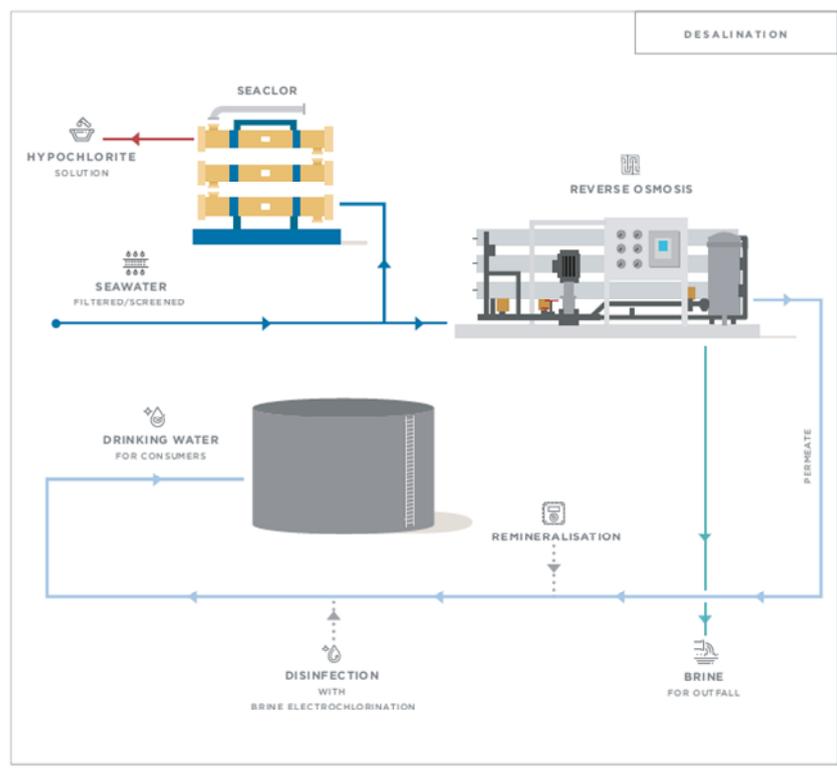


圖 3 海淡廠與海水電解系統示意圖

4.資料中心：資料中心使用這些系統來保護其冷卻基礎設施免受生物污染，確保高效散熱。



圖 4 微軟資料中心實驗「Project Natick」出水

5.液化天然氣(LNG)接收站：LNG接收站採用海水電解系統，以防止海洋生物污染熱交換器和其他設備。

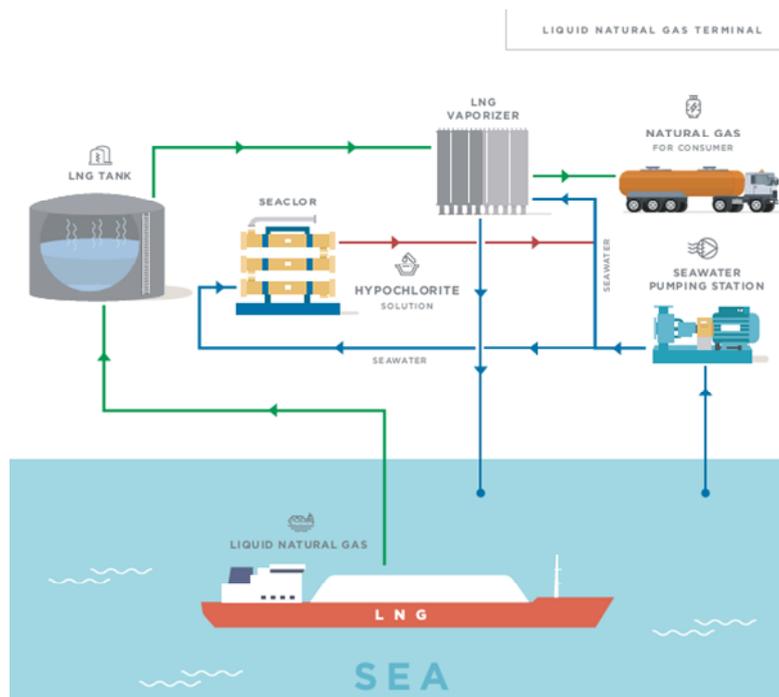


圖 5 天然氣接收站與海水電解系統示意圖

(三)海水電解系統原理

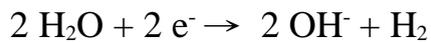
電解（electrolysis）是指利用電能轉變成化學能的原理將電流通

過電解質溶液或熔融態物質，而在陰極和陽極上引起氧化還原反應的過程。

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。



整體反應，最終陽極（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。

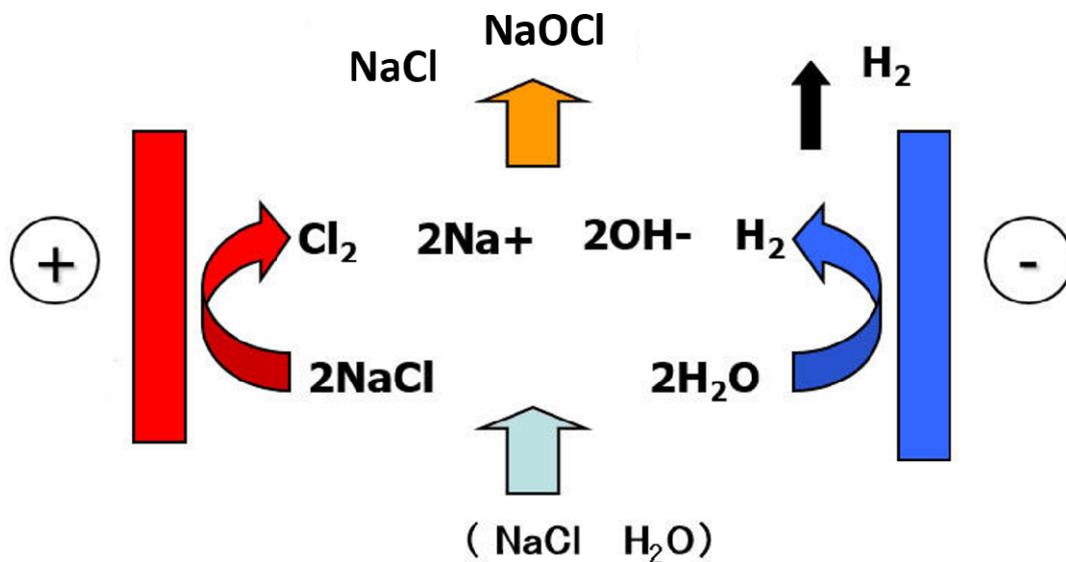
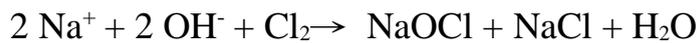


圖 6 海水電解反應示意圖

但海水是複雜的溶液，其所含成分含有 MgCl_2 、 MgSO_4 、 CaSO_4 等電解質，與氫氧化鈉反應生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等白色物質，會附著沈積於陰極上。當發生電解副反應時，將消耗較大電流，並降低電解

效率，故設備運行一段時間後，必須進行酸洗(Acid Cleaning)程序。

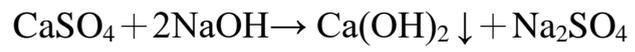
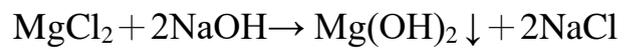


圖 7 電極板附著白色沉積物

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 Part VI-28-6 Sec. 28.4.2.1)需求如下所示：

1. 循環冷卻水流量……………27 m³/s
2. 冷卻水中次氯酸鈉最小濃度需求……1.5 mg/L
3. 次氯酸鈉產生器產出最小濃度……………1500 mg/L
4. 次氯酸鈉最小產量……………90 kg/hr
5. 次氯酸鈉產生器最小流量……………60 m³/s
6. 次氯酸鈉投放點數量……………6 points

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：

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

(二)設備流程

海水電解設備流程並不複雜，主要是由1.過濾器(strainer)、2.海水增壓泵(seawater booster pump)、3.次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)、4.氫氣旋風分離器(H₂ cyclone separator)及氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)組成。

海水電解所需海水取自於海水渠道—平壓塔(TP-M036)(詳圖 9)，進入海水增壓泵(seawater booster pump)前會先經過進口過濾器(inlet

strainer)，再進入海水增壓泵加壓，其運轉壓力約為 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ ，再經由自動過濾器(automatic strainer)濾除海水中超過 0.5mm 固體物，為了避免自動清洗時，排水時造成的流量及出口壓力下降，再進入次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)前，會以流量控制閥(FCV)穩定流量。

海水進入次氯酸鈉產生器，而變壓器-整流器(transformer-rectifier)提供產生器直流電將海水電解產生次氯酸鈉，其濃度應為 1500 mg/L 以上，同時產生副產物—氫氣(H_2)，為將氫氣從液體中去除，必須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，分離後含次氯酸鈉之海水將送至迴轉攔污柵外(TP-M034)(詳圖 9)投放。另分離出的氣體經氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)後排放至大氣。

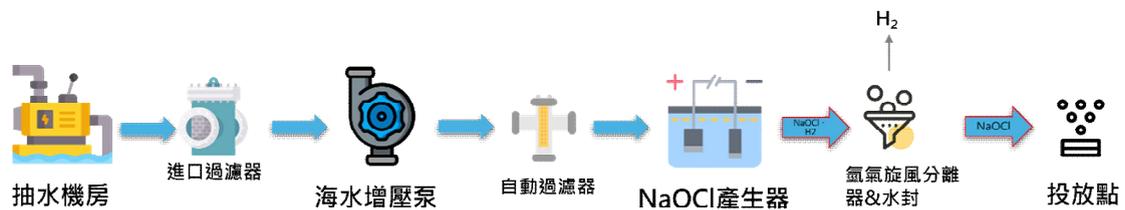


圖 8 海水電解主要流程圖

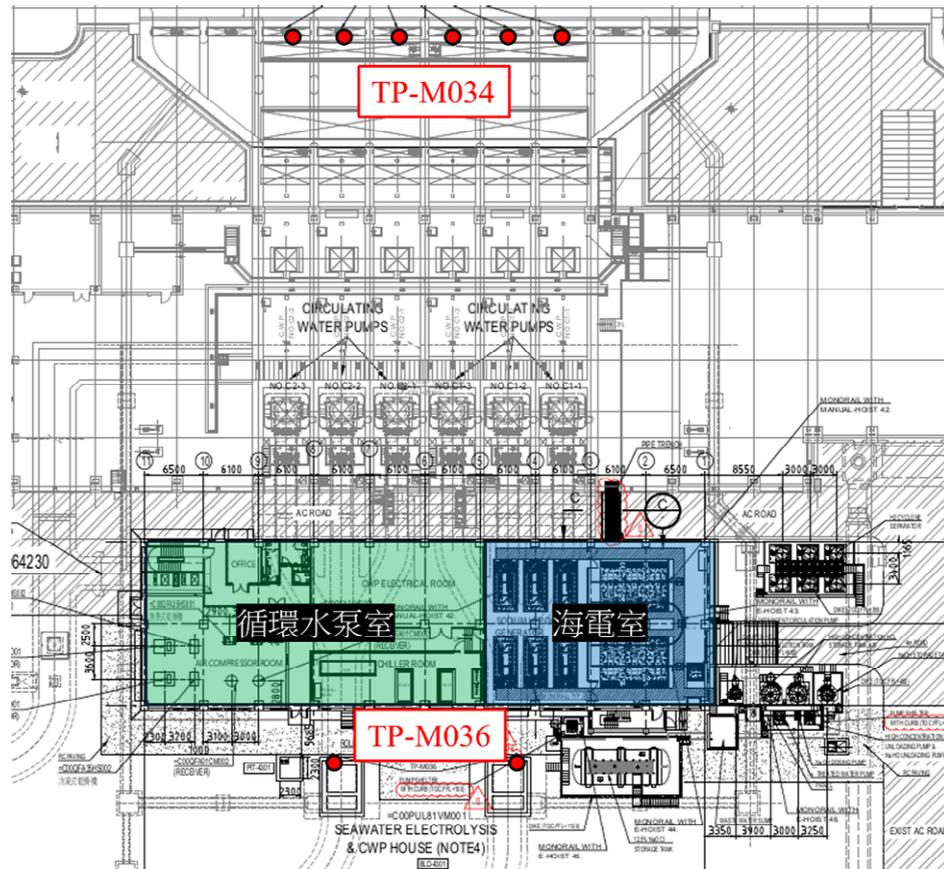


圖 9 海電系統介面點

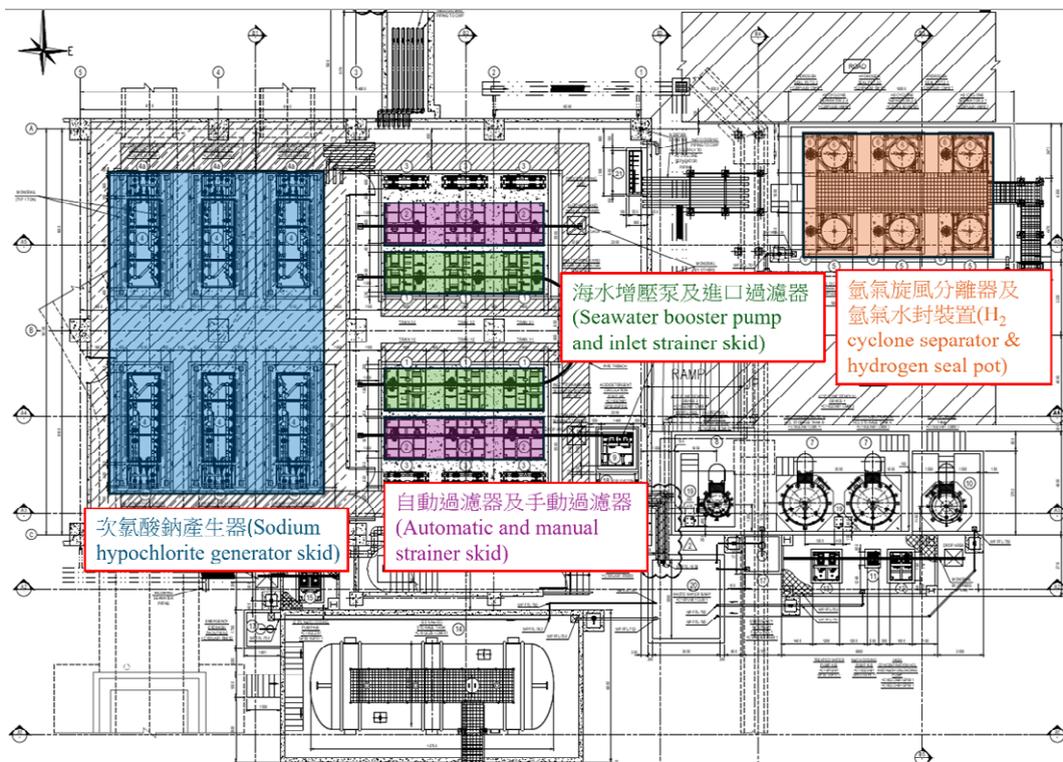


圖 10 海電室設備配置圖

(三)設備介紹

1. 過濾器(strainer)

本系統於海水增壓泵前後端皆會設置過濾器，分別為：1.進口過濾器(inlet strainer)、2.自動過濾器(automatic strainer)及3.手動過濾器(manual strainer)。因過濾器流體為海水，故過濾器材質皆採用雙相不銹鋼(Duplex stainless steel 2205)，這類鋼材鉻、鉬、鎳，故具有極佳的耐腐蝕性及高強度應力。

進口過濾器(inlet strainer)係為過濾前段海水中雜質或懸浮固體物，避免異物入侵影響泵浦運轉，進口過濾器與自動過濾器相同，也具備自動清洗功能。

自動過濾器(automatic strainer)及手動過濾器(manual strainer)為並列設置，當自動過濾器阻塞需維護時，可手動蝶閥切換至手動過濾器，以避免影響海水電解流程運行。其濾網篩孔比進口過濾器為小，用以過濾增壓泵海水後段細微物質，以保護後端次氯酸鈉產生器順利運行，避免流量異常下降促使產生器溫度升高。

當自動過濾器運行超過6小時或差壓超過0.05MPa，過濾器將會啟動自動清洗程序，洩水閥自動打開，馬達將帶動轉軸及刮片繞行一圈，將濾網上雜質刮除，濾網雜質將隨流體壓差自動排出，一次完整清洗程序耗時約15至30秒，且自動清洗程序並不影響整體海水電解流程。假設當次清洗流程仍超過差壓下限值，將再啟動一次清洗程序，若仍未能將差壓降至預設值以下，將回饋訊號至DCDAS，供系統操作員做適當調整及運維，以確保系統順利運行。

表 1 過濾器比較表

	手動過濾器 (manual strainer)	自動過濾器 (automatic strainer)	手動過濾器 (manual strainer)
1.Type	Scraper type	Basket type	Scraper type
2.Material	Duplex stainless steel 2205	Duplex stainless steel 2205	Duplex stainless steel 2205
3.Filtration Size	1500 μ m	500 μ m	500 μ m
4.Filtration Area	0.447m ²	0.447m ²	0.18m ²



圖 11 過濾器(Scraper type)各部件圖

Basket Filter



圖 12 Basket type 過濾器外觀圖



圖 13 Automatic and manual strainer skid 實拍圖

2. 海水增壓泵(seawater booster pump)

海水增壓泵(seawater booster pump)為海水電解系統唯一提供穩定水壓之轉動設備，從海水渠道—平壓塔(TP-M036)引入部分海水，泵入本系統中，經氫氣旋風分離器後至迴轉攔污柵外(TP-M034)投放。

海水增壓泵採用水平離心式泵浦，流體為海水，額定流量為75m³/hr(包含系統設計流量60 m³/hr以及自動過濾器逆洗流量7.4 m³/hr)，揚程為60m，為防止流體—海水鹽分腐蝕，泵浦主要部件採用抗腐蝕材料，例：葉輪、泵殼、軸套—FRP、泵軸—Hastelloy-C276。

PUMP CROSS SECTION VIEW

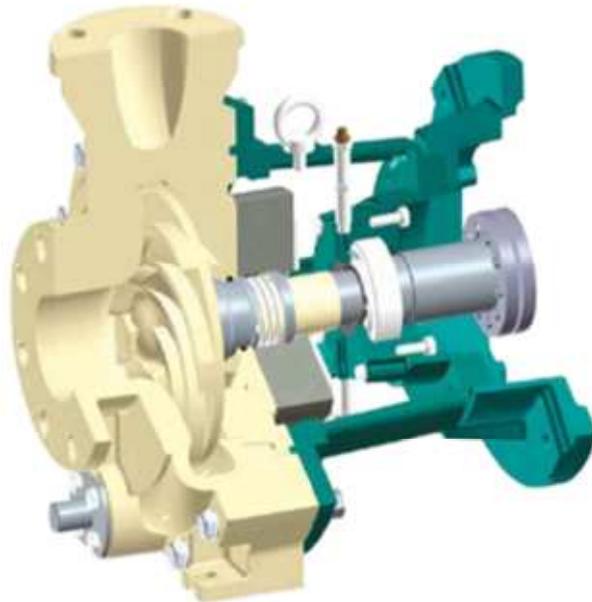


圖 14 海水增壓泵剖面圖

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

次氯酸鈉產生器(sodium hypochlorite generator)為電解海水最關鍵設備，由變壓器-整流器(transformer-rectifier)產生之直流電使次氯酸鈉產生器使極板帶電解海水產生次氯酸鈉，而產生器型式於市面上最常見分為三種類型(詳表2)，分別為：1.單極板式(mono-polor plate type)2.雙極板式(bi-polor plate type)3.雙極管式(tubular type)。

本計畫次氯酸鈉產生器採用型式為單極板式(mono-polor plate type)(詳圖15)，陽極採用網狀鈦板鍍上MMO(Mixed Metal Oxide)塗層，陰極則採用Hastelloy-C276板材，網狀鈦板再裝設PVDF塑膠之隔離鈕，以保持陽、陰極板2mm間距，防止接觸短路。產生器外殼母材為PVC，為一體成型，另槽蓋使用透明壓克力，可以清楚看到產生器實際運轉情形、氫氣泡、結垢狀況等，並可掌握酸洗除垢過程是否完全。

本系統配置6 trains(4 duty,2 standby)，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($6.5 * 14 = 91 \text{kg/hr}$)。設計電流為6100A DC，設計電壓為66V DC。次氯酸鈉產生器前後皆需配置接地環(詳圖18)，防止電解槽內於電解過程中產生之電子(e⁻)影響儀表(如：流量計等)測量數值。

※ MMO(Mixed Metal Oxide)塗層：又稱 Dimensionally Stable Anodes (DSA)，於材料上塗覆鈳、銱及鉑貴金屬氧化物(RuO_2 、 IrO_2 或 PtO_2)而製成的陽電極塗層，可以導電並催化所需的反應，例如產生氯氣。此塗層可保護鈦陽極免受腐蝕並延長其壽命，提高了反應效率並降低能耗和運行成本。

表 2次氯酸鈉產生器型式比較表

	單極板式(mono-polor plate type)	雙極板式(bi-polor plate type)	雙極管式(tubular type)
1.陽極	Titanium Mesh with MMO coating	Titanium Plate with MMO coating	Titanium tube with MMO coating
2.陰極	Hastelloy-C276 Plate	Titanium Plate	Titanium Tube
3.NaOCl 產量/cell	中，最高 8kg/hr	高，最高可達 30kg/hr	低
4.總製造成本	高	低	中
5.所需電流	高，約 6~7 千 A	低，約 1.5 千 A	中，約 3~4 千 A
6.優點	A. 透明壓克力蓋板，可清楚看見結垢或運轉狀況等 B. 配置簡單，維修方便	A. 透明壓克力管，可清楚看見結垢或運轉狀況等 B. 產量高，所需組數低 C. 成本相對低，且好維護	A. 流速快，不易結垢，酸洗頻率低 B. 電解效率較為均衡
7.缺點	A. 沉澱物易沉積角落，酸洗頻率高 B. 耐壓程度低	電解槽為向上堆疊方式，維修較單極板式不便	無法透過透明壓克力了解管內實際運轉情形
8.實例	台中燃氣#1.#2	大潭#8.#9	通霄#1.#2.#3



圖 15 單極板式(mono-polor plate type)



圖 16 雙極板式(bi-polor plate type)

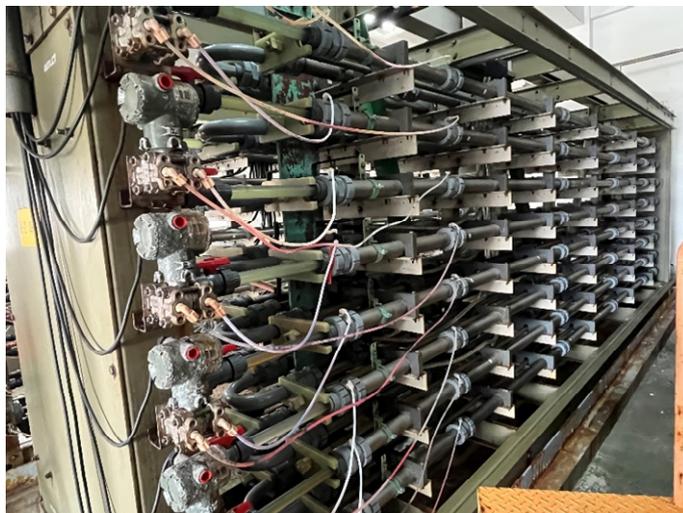


圖 17 雙極管式(tubular type)



圖 18 接地環

4. 氫氣旋風分離器(H₂ cyclone separator)及氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)

電解後的海水，除了產生次氯酸鈉，同時也會產生易燃之副產物—氫氣，其爆炸上下限值為4.0%~75.6%，如果氫氣在空氣中的體積濃度在4.0%~75.6%之間時，遇火源就會爆炸；反之，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，故需於海水電解室室外設置氫氣旋風分離器(H₂ cyclone separator)及氫氣水封裝置(hydrogen seal pot)以去除95%製程所產生之氫氣。同時於海電室屋頂需設置氫氣監測器(hydrogen gas dectector)，當氫氣濃度超過20%LEL時，將連動並緊急中斷所有NaOCl產生器、變壓器-整流器及海水供應系統。

氫氣旋風分離器是透過離心力產生渦流原理，將液體(含NaOCl海水)與氣體(氫氣)分離，海水由於桶體直徑收縮而逐漸向中心流動，離心力降低，沿筒壁由下部出口排出進入次氯酸鈉注入管(NaOCl diffusing piping)，而氫氣會隨內部二次渦流向上排出至氫氣水封裝置

(詳圖19)。

氫氣水封裝置是為避免氫氣回流至原管路及產生器中，故將氫氣再打入自進口分離器前引入之純海水，以確保氫氣將全部逸散至大氣，此時氫氣迅速與空氣混和達到氫氣爆炸下限(LEL)以下，無任何爆炸疑慮。

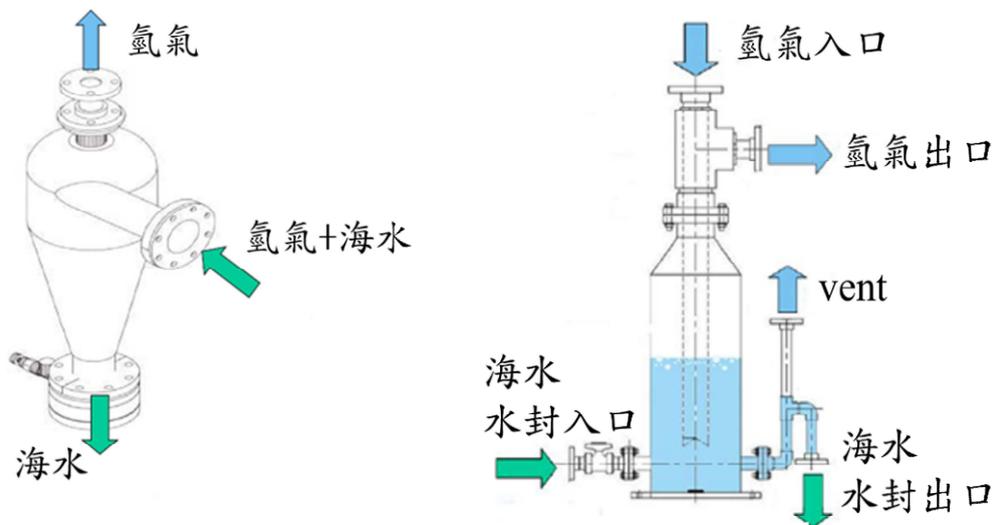


圖 19 氫氣旋風分離器(左)及氫氣水封裝置(右)示意圖

※危險區域(Hazardous Area)：在電氣設備使用場所中，瀰漫混合著可燃性氣體或物質時，其濃度有可能達到因為電氣火花或表面高溫而引爆或燃燒之慮的區域，謂之危險區域。

本計畫海水電解室次氯酸鈉產生器製程區域(詳圖20)，依據CNS 3376-10危險場所之分類屬於2區(Zone 2)：爆炸性氣體環境在正常操作下不太可能發生，如果發生亦只偶爾且只存在短期間之場所。亦即易燃性氣體氫氣在製造過程時，通常在密閉容器或密閉系統中，只有在意外破裂或容器失效或設備不正常操作處理時氣體才可能洩漏。

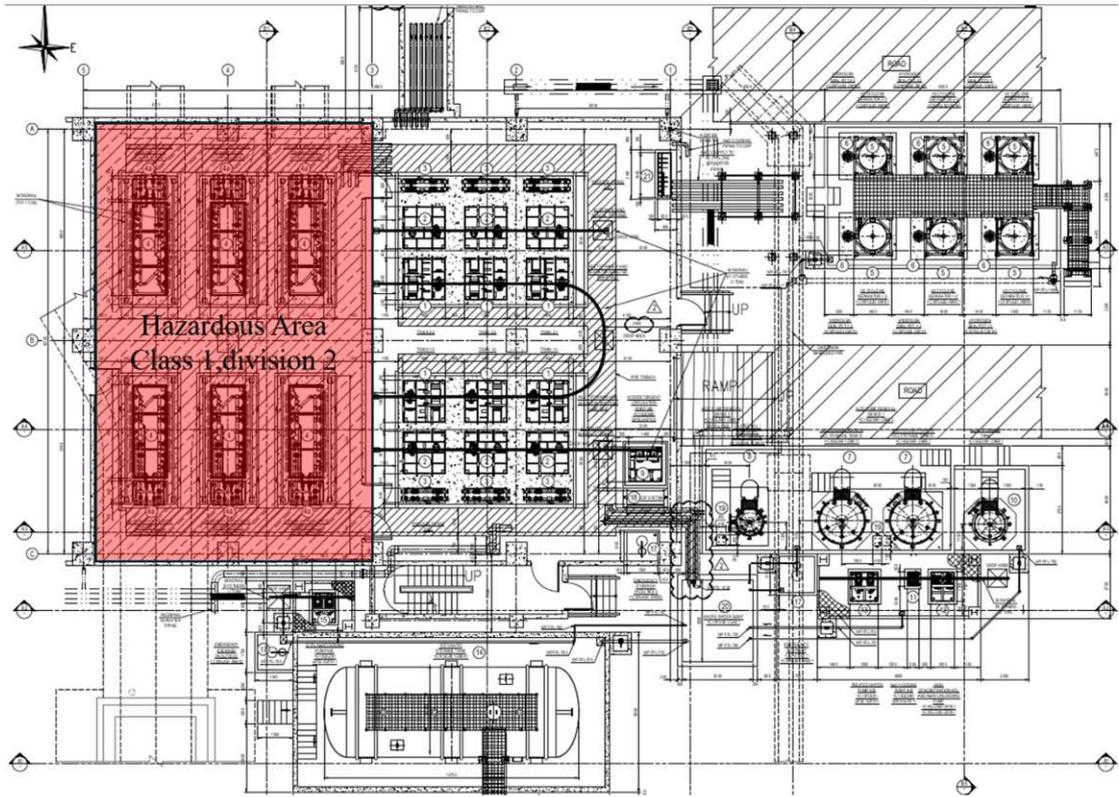


圖 20 海水電解室防爆區域

三、系統操作及運轉

有關海水電解系統操作運轉，除依設備規範建議運行外，尚參考台中發電廠原本#1-#10操作模式，待114年海水電解設備實際上線運轉時配合調整。本節依情況分為：(一)設備啟動、(二)負載運轉。詳述如下：

(一)設備啟動

海水電解設備於啟動之前，運轉操作人員需確認各項設備是否正常，包含檢查：

1. 海水渠道是否進水，機組海水循環泵(circular water pump)是否正常運轉。海水電解乃利用增壓泵(seawater booster pump)抽取渠道平壓塔之海水，並送至海水電解設備內進行電解。檢查水源乃避免設備因大修渠道隔離，無海水遭成增壓泵空抽損壞。
2. 確認設備檢修情況，各項設備是否因保養維修掛卡而停機，如有需排除掛卡原因始能操作。
3. 設備閥體是否切換於正確位置，避免誤操作。啟動流程均需需先開啟海水電解進流閥再開啟增壓泵，避免壓力蓄積於內造成破管。並確認NaOCl注入點管路已開啟。
4. 系統警報檢查，是否有未達啟動條件或有異常情況之警報。
5. 變壓器-整流器transformer-rectifier(電廠稱TR-SET)檢查確認。

海水電解供給之電力乃透過TR-SET將交流電轉換成直流電，供給來源穩定實屬重要。電廠中一至十機之變電設備已運轉較久時間，如一開始即設定較高電壓電流易不穩跳機。新設備無此問題，但仍至現場查看設定正確後於電腦控制盤面操作啟動。

(二)負載運轉

本計畫新燃氣機組之海水電解系統共配置6 trains(序列)，每train含14cells。為製造足夠次氯酸鈉產量抑制海生，系統將維持4 trains運轉，2 trains備用。後續將拆分新一二機各3 trains(運轉2備用1)，兩部機組均可互通支援。啟動前參考前述檢查項目後，並依規定切至AUTO → CHLORINE MODE流程啟動設備。

海水電解設備啟動後，值班人員每2小時需檢查並記錄海水電解設備各種參數，是否符合操作規範，若未符合則需檢查確認原因。如有異常，一般會先將設備隔離停機並啟用備用台。

參照中一至十機運維部分，值班人員檢查項目包含海水循環泵出口壓力、增壓泵出口壓力、增壓泵出口濾網差壓、儀用空氣壓力、次氯酸鈉產生器出口溫度/進口流量/進口壓力/出口壓力、直流電壓、直流電流、交流電壓、交流電流等。由於電廠中一至四機、五至八機、九十號機建造時間均不同，海水電解分成三種型式設備，各有不同監測數值，詳列如後表。

本案新建海水電解設備另設置2組NaOCl線上分析器與1組氫氣偵測器，各序列之NaOCl產生器均有取樣點連至分析設備(2組給6套產生器使用，每組有3道產生器抽樣水與1道乾淨背景水源進入，每30分鐘分析一道)，數據即時分析與連線控制室，確保次氯酸鈉產生量足夠(依規範每套產生器次氯酸鈉產生量需 $>1500\text{mg/L}$)。

氫氣偵測器乃為工作安全而設置，位於一樓產生器廠房頂部。當海水電解時會產生副產物氫氣，若未能即時排除蓄積於室內，氫氣濃度於4.0%~75.6%時恐產生爆炸危害。設計當氫氣濃度 $>20\%$ LEL時，

強制中止全部NaOCl產生器運行。

運轉初期因海水電解設備測試運轉中，若無法順利提供NaOCl，於後方如熱井鈦管、廠用水cooler內將增生大量海生物堵塞管路，影響冷卻效率。故須採購現成NaOCl藥品注入，待海水電解正常運轉後則可取代。於系統設置有NaOCl 12.5%桶槽，並設置管路注入海水渠道內抑制海生。

平常運行有數種包含過濾器自動清洗、切換設備酸洗。

1. 過濾器自動清洗：設備可自行沖洗設定，即未放電僅將海水通過發生器，將附著之沉澱物沖除，未來運轉設定原廠建議每4小時停止放電並沖洗短暫時間約15~30秒，可降低沉澱物累積。
2. 酸洗模式(Acid Cleaning)：如前述海水原理所述，因海水為複雜之混合溶液，電解運轉一段時間後，於次氯酸鈉發生器槽體內產生電解副產物如氫氧化鎂【 $Mg(OH)_2$ 】、氫氧化鈣【 $Ca(OH)_2$ 】等，若未定期酸洗可能導致：
 - (1)沉澱物堵塞電擊路徑。
 - (2)不均勻的流動和電流造成局部加熱。
 - (3)該區域的高鹼度加速陽極塗層的磨損。

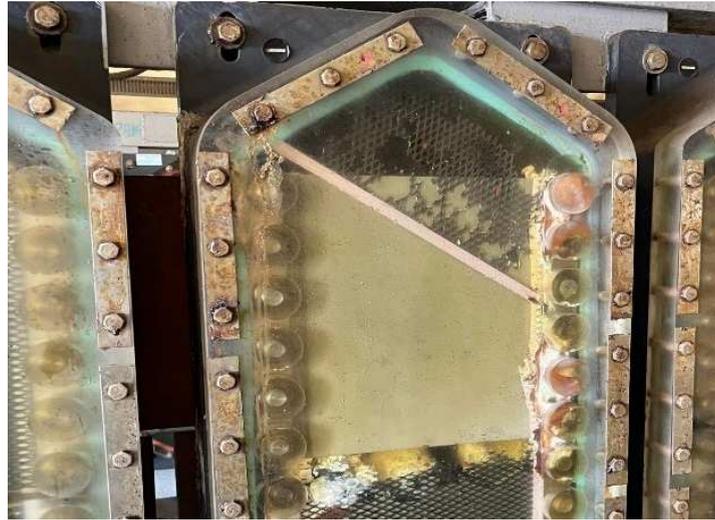


圖 21 極板因電解副產物異常增生阻塞損毀

為排除上述異常，定期酸洗乃為必要之工作。有關酸洗頻率原廠建議每4週進行酸洗乙次。

因 $Mg(OH)_2$ 等沉澱物可溶於酸性溶液中，於電廠電解設備一般使用鹽酸作為酸洗溶液，除經濟成本外，亦因其陰離子為 Cl^- ，於海水中即有大量存在，不會造成其他副反應。將稀釋之鹽酸溶液注入 $NaOCl$ 發生器清洗，沉澱物溶解後，後續將含沉澱物之廢酸排至廢水坑並送至綜合廢水場處理。

本次新燃氣機組海電計畫包含相關酸洗設備，列表如下：

表 3 酸洗各式設備表

設備名稱	容量	組數	備註
鹽酸槽	10m ³	2 組	
稀釋槽	3m ³	1 組	
12.5%次氯酸鈉槽	90m ³	1 組	僅海水電解上線初期使用
液鹼槽	5m ³	1 組	

廢水坑(sump)	12.3m ³	1 組	
12.5% 次氯酸鈉注入泵	5m ³ /hr	2 組	僅海水電解上線初期使用
酸液/稀釋液循環泵	15m ³ /hr	2 組	
濃鹽酸卸酸泵	30m ³ /hr	1 組	
濃液鹼卸鹼泵	8m ³ /hr	1 組	
液鹼注入泵	0.636m ³ /hr	2 組	
處理水泵	20m ³ /hr	2 組	

本系統酸洗流程簡述如下：

1. 配製稀鹽酸：工業用濃鹽酸為32%，原廠建議使用5%鹽酸進行清洗，避免濃鹽酸侵蝕極板與鍍膜造成不可回復傷害。原廠設計有稀釋槽稀釋至5%，首先系統將除礦水注至稀釋槽一定量後，接續啟動酸循環泵並緩速加入濃鹽酸至稀釋槽，直到達到濃度5%。(系統採控制注入時間調節鹽酸濃度，並以酸循環泵循環管線直到達到目標濃度)(詳下圖)

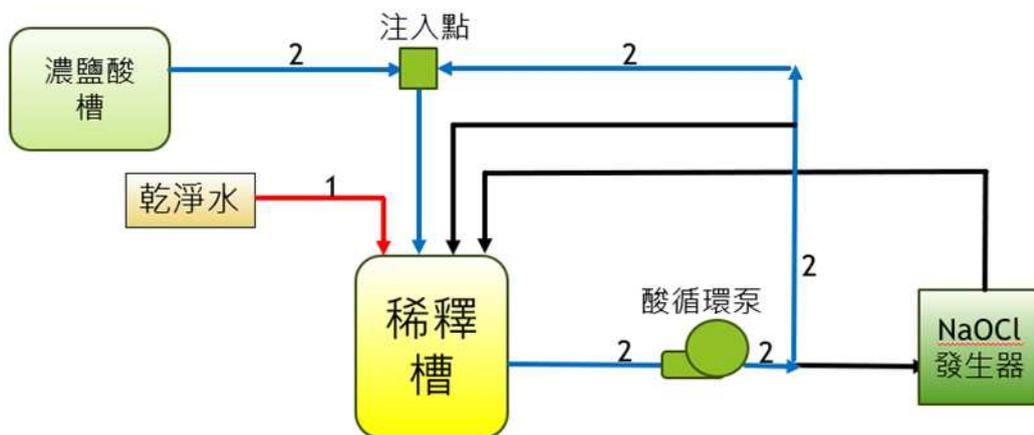


圖 22 配製 5%稀鹽酸示意圖

2. 注入NaOCl發生器：配製稀鹽酸完成後將稀鹽酸注入發生器。酸洗期間關閉其他進出口，稀鹽酸由發生器出口回送稀釋槽後再打至發生器以進行小循環，循環時間約20分鐘。酸洗後系統注入清水沖洗管路與cell，每train每次酸洗含配置與清洗時間約需耗時1小時。稀釋槽每配置一次稀鹽酸可供1 train(14 cells)清洗，系統設定酸洗管路每次洗完1train後將會自動沖洗，並將管路與稀釋槽內酸液排空。後續重複循環直至各train完成酸洗。於清洗期間，因各train獨立運作，其他train仍可正常操作不會影響。

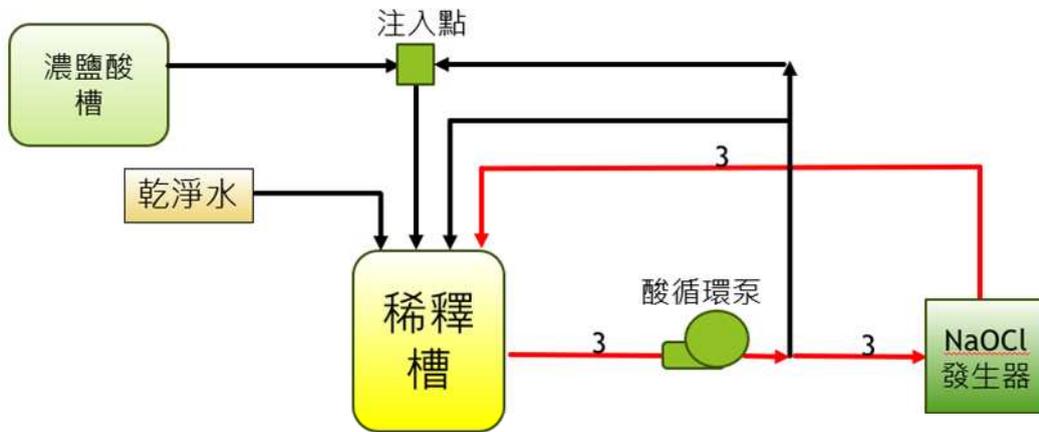


圖 23 注入 NaOCl 發生器示意圖

3. 排空廢液中和與處理：cell酸洗後含酸廢水排至廢水坑，於此處進行初步中和調整pH。廢水坑收集來自各處之廢水(含實驗室、酸洗、H2 seal pot與其他廢水等)，其設置pH計與水位警示器監測pH與水位高度。當水位達High level時，系統將緩慢注入液鹼將pH值調整至6.5~7.5後，由處理水泵送至綜合廢水場處理。

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 4 原廠建議日常維護項目表

頻率	項目
每日	<ol style="list-style-type: none">1. 檢查並記錄各項參數(海水流量/直流電壓/直流電流等)2. 檢查是否漏水
每月	<ol style="list-style-type: none">1. 量測 TR-SET 交流電壓2. 清理 TR-SET filter 避免空氣中粒子造成短路3. 固定頻率酸洗 NaOCl 發生器
每年	<ol style="list-style-type: none">1. 檢查 pump 葉片2. 校正流量控制器3. 檢查電氣匯流排連接緊度4. 檢查保護設備是否正常5. 清理氫氣旋風分離器6. 更新泵浦軸封7. 更新接地線路
極板	<ol style="list-style-type: none">1. 監測極板電壓壓降情況2. 每 5-6 年建議更新電極極板

(二)故障排除

表 5 故障排除與問題分析表

項目	造成	可能問題點
海水進流水量不足(主進口)	海水循環泵壓力過低，會使 TR-set 跳開，並使 NaOCl 發生器停止。	檢查海水供給進口壓力，並檢查流量計是否正常。
海水進流水量不足(train)	海水流量過低會使 TR-set 跳開，並使 NaOCl 發生器停止。	檢查海水供給流量，或檢查是否有漏水情況。
酸洗槽體液位過低/過高	警報與 interlock 會停止所有相關酸泵運作	檢查液位開關是否正常
整流變壓器 (TR-SET)	低直流電壓輸出	<ol style="list-style-type: none"> 1. SCR(控制整流器)未運作 2. 驅動板異常 3. 指示錶異常 4. DCconductor 與電極間有短路
	高電壓/低電流	達設備最高直流電壓-電極活性降低
	整流器無法啟動	<ol style="list-style-type: none"> 1. 切至 LOCAL/或 REMOTE E-STOP 以啟動 2. 確認是否警報造成 3. 消除流程異常 4. DCDAS 未切換 ready

(三)補充電廠常見故障意外與排除

1. 發生器設備管路/由任/閥體/泵浦等各種漏水：檢查是否未鎖緊造成漏水。鎖緊螺絲觀察如仍持續漏水，檢查管路是否已受損，並配合檢查墊片O型環等，嚴重則需更換備品或管路。閥體與泵浦漏水則請維護組協助檢修排除。
2. 過濾器發生阻塞：可先由差壓警報確認是否阻塞。維護組每月亦會定期檢查auto/manual strainer內部並固定清理。
3. NaOCl發生器無法啟動：
 - (1)檢查警報，是否因未達啟動條件而鎖住。
 - (2)檢查設備檢修掛卡情況。是否因維修暫時停止設備啟動。
 - (3)檢查各項設備電源開關是否異常，設備有無供電。
 - (4)其他原因則檢查確認後排除。
4. 設備異常/閥體無法開啟等：委請維護組排除。

肆、感想與建議

一、心得感想

本次有機會赴新加坡實地參訪新加坡廠商KALF Engineering Pte Ltd，該公司承攬本次台中新建燃氣機組計畫海水電解系統，負責設計、製造及系統整體試運轉，藉由參觀KALF公司預製組裝廠房，發現廠商對於海水電氯化系統相當有經驗，於東南亞、中東等地皆有豐富實績，所製造設備模組單元(Skid)從採購、製造、組裝、分工等各項進度、品質皆有嚴格要求。廠家對於統包合約PART 6 28.0 Seawater Electrolysis System內容相當熟稔，各項設備數據符合契約要求，透過廠家實地與樣品介紹，除本案模組製造外，現場仍有他案設備現正組裝中，廠家亦同時介紹部分國家與台灣對於系統設備要求相異之處，對於本系統設備製造、安裝、測試、運轉維護更加熟悉外，也對系統相關知識更加寬闊。

趁公務之餘，獨自前去參訪新加坡城市規劃展覽館(Singapore City Gallery)，館內展示了新加坡從開埠到現在，一步步發展成擁有563萬人口的現代都市，同時擁有空間建置綠地、保存歷史古建築遺跡以及優閒的生活環境。而栩栩如生的市中心規劃模型是展覽館中最吸引矚目的看點，忍不住讚嘆新加坡對於城市之未來性、永續性及發展性皆有詳細且長遠規劃。新加坡把城市規劃分為五種層面，包含交通(Transport)、綠地(Green)、水資源(Water)、廢棄物(Waste)及能源(Energy)，看似不相同的五大系統，卻是各自環環相扣，在未來城市規劃上缺一不可，例如：透過綠建築科技與環境設計，以降低水資源及能源上的使用；透過公共交通運輸系統，也可降低大眾對能源消耗。

海水電解雖只是輔助系統，但在電業、能源生產及水資源海水淡化上扮演不可或缺角色，希望能將本次實習習得之技術及經驗，未來回饋於國內海水電解加氯設備製造、安裝、測試、運轉維護訓練等各項任務中。



圖 24 新加坡城市規劃展覽館(Singapore City Gallery)



圖 25 新加坡城市五大系統

二、問題與建議

1.在本案單極板式(mono-polor plate type)次氯酸鈉產生器陽極形狀為什麼為網狀(Mesh)?而非整塊板材(Plate)?另陰極為何採用哈式鎳合金(Hastelloy-C276)?而非如其他型式使用鈦(Titanium)材料?

鈦網是由鈦板使用自動網格擴張器切割和拉伸,形成具有均勻菱形開口的金屬網。鈦網主要可增加表面積,有利於散熱。此外,網狀電極提供良好的流體流動,故不易結垢,提高電解效率。

而陰極可使用Hastelloy-C276,除因單極型式可選用異於陽極之基材外,主要是鎳基電極(Hastelloy-C276)相較於鈦基電極(Titanium)有較好的電導性,且單極板式需要較高的導電性能,以降低電力消耗。

2.海水電解所產生之副產物—氫氣,僅利用氫氣旋風分離器及氫氣水封裝置排入大氣,是否有機會氫氣存儲做為未來能源使用?

海水電解後所產生之氫氣雖然純度很高,但仍隱含少許海水及其他混雜成分,若要將「工業餘氫」投入製程利用或存貯販售,通常需經過純化程序,才能讓燃料電池以最大的效率、最佳的運轉壽命進行發電。然而氫氣純化、天然氣混氫發電系統所需要投入的技術跟建置的設備,目前仍尚未符合成本及效益。

3.本次採購海水電解設備為單極板式(mono-polor plate type),電廠亦有相關類似設備(中一至四機),其優點為配置簡單、好維護、有視窗可看結垢程度,屬較成熟產品。然相較目前新類型雙極板式(bi-polor plate type)而言,單極板式則較耗電且產量亦較小,目前大潭電廠亦採用此新類型,未來台中電廠燃氣3-4號機海水電解合約亦可考

量新類型之海水電解設備。

4.製造產業常因成本考量，零組件由人事費用較低成本之國家設廠製造，再由總部組裝進行販售。本次參訪新加坡KALF公司即以此形式，其海水電解設備零件由其他國家製造，後續運至新加坡進行組裝測試後販售，如可確認品管正常、品質無虞，則無大礙，亦為降低成本之方式。

5.能了解相關產業的發展情況。本次去新加坡除學習本次計畫設備知識與操作經驗外，還與其他國家技術人員交流海水電解相關經驗，原來海水電解不僅電廠，如海上石油探勘避免海生物附著、或是資料中心等利用海水大量散熱之行業均有需求，未來還有很大發展空間。

6.新系統酸洗流程相較電廠原操作模式更加優化方便，並且可隔離獨自操作，不用全部停機後再行分別清洗。且設置稀釋槽調整鹽酸濃度較為方便，電廠舊型機組僅設置有單一鹽酸槽，以加入清水方式並用泵入桶裝鹽酸，利用觀察液位調整鹽酸量，較難精準掌握濃度。