

出國報告（出國類別：實習）

## 興復一至複四機氣渦輪機核心組件升級改善之維護保養技術研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：許顯瀨 課長

派赴國家：德國

出國期間：112年09月08日至112年09月21日

報告日期：112年11月13日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

興複一至複四機氣渦輪機核心組件升級改善之維護保養技術研習

頁數 24 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

許顯濇/台灣電力公司/興達發電廠/氣渦輪機課長/07-6912811#2691

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：112.09.08~112.09.21 出國地區：德國

報告日期：112 年 11 月 13 日

分類號/目

關鍵詞：核心組件升級改善工作、西門子能源、能源轉型科技中心、製氫電解器模組、  
淨零排碳

內容摘要：(二百至三百字)

興達複一至複四機氣渦輪機為符合高雄地方環保空污法規加嚴排放標準(15ppm)，且機組已運轉逾 20 年，根據計畫於民國 108 年底至民國 112 年 1 月初，利用大修期間陸續完成 15 台氣渦輪機核心組件升級改善工作(3 台 Core Engine+12 台 Repowering)，除了更新各機組的氣渦輪機 Repowering 外，也陸續於民國 119 年底對既有複循環機組(包含 ST、發電機等設備)依序進行延壽更新工程，以達設定之延役年限(民國 126 年)。

利用此次出國實習機會，除實地參觀氣渦輪機組裝及測試流程外，也參訪了西門子能源公司「能源轉型科技中心(Competence Center for Energy Transition Technologies)」，提升職本身對氣渦輪機的維護及保養技術，期在日後機組運轉及預防保養上能有所貢獻。另外更有幸聆聽西門子公司的新產品:最新製氫電解器模組(Silyzer 300)的應用。創新經驗亦可作為未來公司發展淨零排碳技術的參考與借鏡。

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

# 摘要

興達複一至複四機氣渦輪機為符合高雄地方環保空污法規加嚴排放標準(15ppm)，且機組已運轉逾 20 年，根據計畫於民國 108 年底至民國 112 年 1 月初，利用大修期間陸續完成 15 台氣渦輪機核心組件升級改善工作(3 台 Core Engine+12 台 Repowering)，除了更新各機組的氣渦輪機 Repowering 外，也陸續於民國 119 年底對既有複循環機組(包含 ST、發電機等設備)依序進行延壽更新工程，以達設定之延役年限(民國 126 年)。

利用此次出國實習機會，除實地參觀氣渦輪機組裝及測試流程外，也參訪了西門子能源公司「能源轉型科技中心(Competence Center for Energy Transition Technologies)」，提升職本身對氣渦輪機的維護及保養技術，期在日後機組運轉及預防保養上能有所貢獻。另外更有幸聆聽西門子公司的新產品：最新製氫電解器模組(Silyzer 300)的應用。創新經驗亦可作為未來公司發展淨零排碳技術的參考與借鏡。

關鍵字：核心組件升級改善工作(Repowering)、西門子能源(Siemens Energy)、能源轉型科技中心(Competence Center for Energy Transition Technologies)、製氫電解器模組(Silyzer 300)、淨零排碳(Net Zero Emissions)

核心組件升級改善工作(Repowering)，西門子能源(Siemens Energy)，能源轉型科技中心(Competence Center for Energy Transition Technologies)，製氫電解器模組(Silyzer 300)，淨零排碳(Net Zero Emissions)

# 目錄

壹、出國目的 .....	-3-
貳、研習行程 .....	-4-
參、心得 .....	-4-
一、興達電廠複循環機組介紹 .....	-4-
二、SIEMENS Gas Turbine 工廠參訪 .....	-6-
(一) 氣渦輪機製造及維修流程參觀 .....	-6-
(二) 氣渦輪機 SGT6-2000E 介紹 .....	-8-
三、氣渦輪機組 Repowering 改善目的、範圍及效益 .....	-9-
(一) 氣渦輪機組 Repowering 改善目的 .....	-9-
(二) 氣渦輪機組 Repowering 改善範圍及過程 .....	-9-
(三) 氣渦輪機組 Repowering 改善效率 .....	-12-
肆、西門子能源最新製氫電解器模組(Silyzer 300)產品應用探討 .....	-14-
一、質子交換膜純水電解製氫技術(PEM)原理介紹 .....	-15-
二、Silyzer 300 產品規格簡介 .....	-17-
三、台電混氫應用的未來挑戰及展望 .....	-19-
伍、心得與建議 .....	-22-
參考文獻 .....	-24-

## 壹、出國目的

依據興達複循環機組延役至民國 126 年為目標，經簽准上級執行氣渦輪機延壽計畫，本廠氣渦輪機已商轉 20 年，主要組件軸流空氣壓縮機(含氣機-空壓機轉子及空壓機葉片)估計運轉至民國 115 年(原除役年限)，均已接近 200kEOH 原廠家建議之使用年期，為延役至民國 126 年必須汰換更新，以確保機組運轉安全。複一至四機配合機組延役進行 Repowering 工作，可提高效率及提升出力、為達能源轉型之目標，同時滿足空氣品質與供電穩定的要求，已於民國 112 年初大修期間完成複一至四機氣渦輪機核心組件升級改善工作(Repowering)，加上民國 109 年初複五機改善完成的 3 台 GT(Core Engine)，一共完成 15 台 GT 的核心組件升級改善，新組件改善效益為：

1. 降低 NOx 排放量至 8 ppm 以下。
2. 提升複循環機組效率，可增加約 38MW 發電量。
3. 提高運轉可靠度，機組定檢時程由 4,000EOH 延長為 8,000EOH，預估每台 GT 每年可增加運轉 5 天。

為邁向 2050 年「電力淨零」目標，繼 2023 年 4 月與西門子能源公司簽署混氫發電示範合作備忘錄 (MOU)，為我國淨零排放目標踏出關鍵一步。本次計畫將透過升級改造興達既有機組(GT33)，打造國內首部可混燒氫氣的發電機組，預計 2023 年底可正式投入混氫試燒運轉。

為對此次 Repowering 後之機組有進一步瞭解，並建立日後氣渦輪機組維護及保養機制，故職擬前往德國西門子能源公司(SIEMENS Energy)汲取原廠經驗，並學習了解其氣渦輪機組裝及設計概念，以加強日常維護策略及技術，有幸參觀最新製氫電解器模組(Silyzer 300)應用介紹，以期未來在「興達混氫發電示範計畫」及 SGT6-2000E 運維技術上能有具體貢獻。

## 貳、研習行程

日期	行程	工作摘要
9/8~9/9	台北 → 阿姆斯特丹 → 柏林	啟程
9/11~9/14	Siemens Energy GT 工廠參訪	1. GT 組裝及測試平台介紹 2. 最新製氫電解器模組(Silyzer 300) 產品介紹
9/15~9/16	Siemens Energy 能源轉型科技中心參訪	1. Siemens Energy 能源轉型科技中心介紹 2. 西門子能源倉儲中心參觀
9/17~9/19	Siemens Energy 氫能發電設備工廠導覽	最新製氫電解器模組(Silyzer 300)生產/組裝/測試流程參觀
9/20~9/21	法蘭克福 → 台北	賦歸

【表 1】：德國研習行程

## 參、心得

### 一、興達電廠複循環機組介紹

興達複循環機組(圖1)，由西門子能源公司所設計是設計為全基載機組，核心組件升級改善工作(Repowering)後的機組(圖2)總發電容量可達 $5 \times 480\text{MW} = 2400\text{MW}$ ，佔公司整體裝置容量約4.9%。共有5組複循環機組，每一機組包含3台氣渦輪機(SGT6-2000E 燃氣渦輪機(前身型號為V84.2))、1台蒸汽渦輪機(Steam Turbine(ST);SST6-4000)、3台氣渦輪發電機(Gas Turbine Generator;SGen6-1000A 發電機(前身型號為TLRIM))，三部廢熱回收鍋爐(Heat Recovery Steam Generator, HRSG)，及一台汽輪發電機(Steam Turbine Generator;SGen6-1000A)，其發電量將近295MW(3台GT)和185MW(1台ST)共約480MW。

本廠所使用燃料為天然氣，經由管閥控制導入燃燒筒與壓縮空氣混合燃燒後，產生高溫高壓的燃氣來推動GT帶動發電機產生電力，此為「布雷登循環(Brayton Cycle)」；爾後將GT做功後的排氣餘熱排放於熱回收鍋爐(HRSG)並加熱飼水產生蒸汽，再推動另一汽輪機帶動之發電機產生電力，此為「朗肯循環(Rankine Cycle)」；結合此兩種循環之發電機組稱為「複循環發電機組(Combined Cycle Power Plant:CCPP)」。



圖 1：興達複循環機組



圖 2：興達 Repowering 後機組實景



## 二、 SIEMENS Gas Turbine 工廠參訪

2020 年 4 月，西門子能源 (Siemens Energy) 作為獨立於西門子的 Siemens Energy AG 成立西門子能源股份公司 (Siemens Energy AG) 是西門子將旗下天然氣和電力部門與可再生能源業務合併後成立的擁有完全的獨立性和企業自主權的上市公司，為德國的大型跨國企業，全球總發電量的約六分之一是基於西門子能源的技術，西門子能源被認為是全球領先的能源技術公司，其西門子能源在全球擁有約 91,000 名員工，其產品包括燃氣輪機、蒸汽輪機、發電機、變壓器和壓縮機等是全球業界先驅，由 Werner von Siemens 於 1847 年所創立，總部位於德國慕尼黑和柏林；旗下的柏林工廠建立於 1904 年，最初只生產汽輪機，目前則是氣渦輪機(Gas Turbine)專責生產工廠。



圖 3：西門子能源第一代 GT



圖 4：柏林工廠參訪合影

### (一) 氣渦輪機製造及維修流程參觀

前往參訪實習的西門子柏林工廠雖然已有119年的歷史，工廠著有古色古香的紅磚色外牆，空氣中淡淡的機油味透出第一次世界大戰前的歷史班跡，廠區環境相當乾淨整齊，內部動線規劃得宜而不雜亂壅擠，呈現出百年工匠之味令人印象深刻。此外



有幸目睹來自世界各地買家的GT製造整備狀況，及參觀西門子能源公司最新製氫電解器(Silyzer 300)，初步了解製氫設備從綠電轉換成氫能系統的應用概念，當下耳聞GT訂單已滿單到2026年後，令職實感受益良多、大開眼界。



圖 5: GT 組裝測試平台

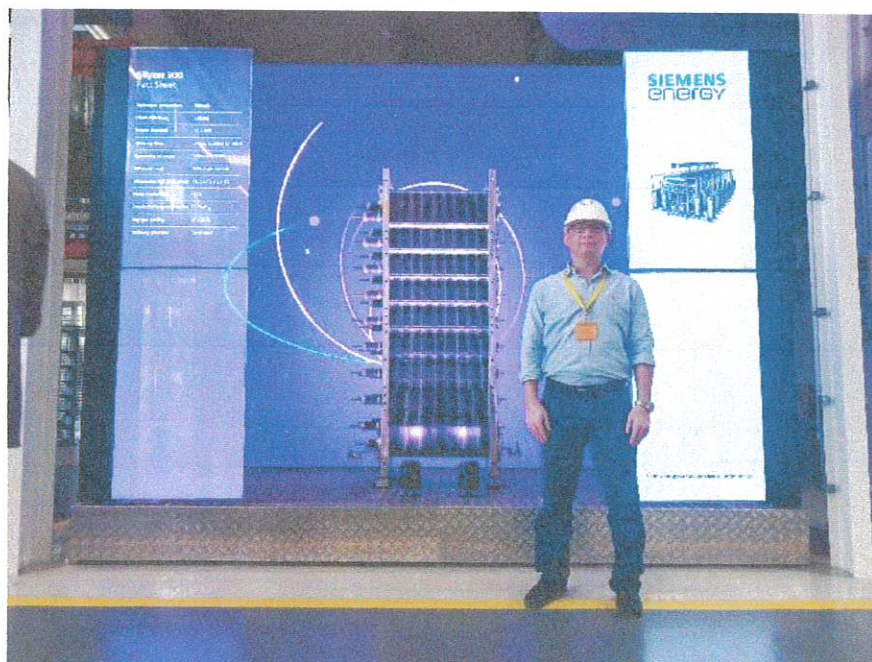


圖 6: Silyzer 300 產品介紹

## (二) SGT6-2000E 介紹

SGT6-2000E (圖 7) 燃氣渦輪機是一款經過驗證的、堅固耐用的燃氣發動機組，適用於 60 Hz 市場，全世界至今已銷售超過 300 台實績，全球已累積運轉超過 2100 萬 EOH 等效運轉時數，同時可應用於單循環或複循環運轉模式，它適用於所有負載範圍，包括峰值負載，並具有卓越的運轉靈活性，快速啟動能力，只需大約 10 分鐘即可達到滿載，其憑藉著快速的負載變化能力，可滿足最嚴格的電網要求，以穩定最佳頻率運轉調度。此外 SGT6-2000E 具有雙燃料功能和出色的燃料使用靈活性，可以使用低熱值氣體或含有 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和 N<sub>2</sub> 的混合氣體或原油和其他高黏度液體燃料，最大的特色就是能夠燃燒高達 30 vol% 的氫氣 (H<sub>2</sub>)，即使在部分負荷範圍內，它也能提供較低的 NO<sub>x</sub> 排放量。另外 SGT6-2000E 的設計易於維修拆裝，可減少停機時間，機組內檢周期由原本 V84.2 舊型機組的 4000EOH 延長到 8000EOH 才需執行，有效降低人物力的維修成本，預估每台 GT 每年可增加運轉 5 天，提高供電穩定性。

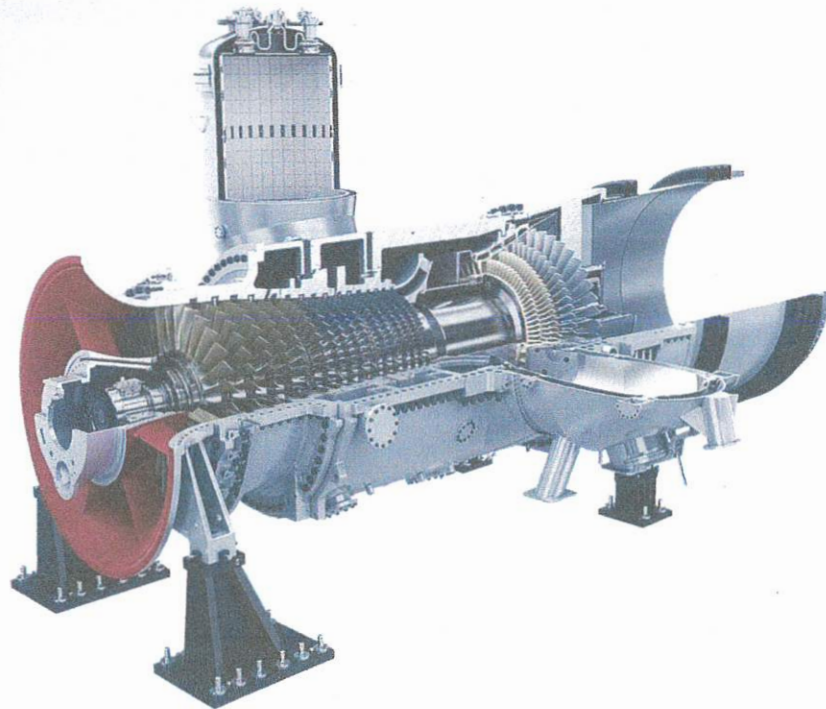


圖 7：SGT6-2000E 示意圖

### 三、 氣渦輪機組Repowering改善目的、範圍及效益

#### (一) 氣渦輪機組Repowering改善目的

為符合民國110年7月所實施高雄市電力設施空氣污染物排放標準，第一階段(實施後1年)氮氧化物需從40ppm降至20ppm，第二階段(實施後3年)氮氧化物需再降至15ppm，本廠於民國108年底至112年初期間陸續完成複五機(Core Engine)及複一至四機(Repowering)氣渦輪機核心組件升級改善工作，改善後複循環機組除了可將NO<sub>x</sub>降至8ppm以下，同時也提昇發電量，對穩定供電及節能減碳方面貢獻頗大。

#### (二) 氣渦輪機組 Repowering 改善範圍及過程

興複一至複四機氣渦輪機核心組件升級改善採用 Siemens Energy 公司 SGT6-2000E 型之氣渦輪機，主要改善為：

主機部份：(圖8)

1. 空壓機升級套件，提升壓縮比(10.65→12)及空氣流量。
2. 渦輪機1~4級Si3D型動靜葉片。
3. 採用快速響應液壓控制可變進口導翼(IGV)。
4. 進步型內殼及CAR型混燒室採用新塗層硬化處理。

輔機部份：(圖9)

1. 燃料控制系統(Fuel Gas Skid)更新。
2. 高壓液壓油控制系統(High Pressure Hydraulic)更新。
3. 模組化保溫。
4. 空壓機第三支撐柱。
5. MPR 冷卻系統更新改善(含MPR冷卻鱗片更新、新增板式熱交換器(PHE)冷卻系統)。

有關興達氣渦輪機Repowering改善的各項運轉數據及過程詳(圖10)及【表2】所示。



驗收標準(Performance Guarantees)		
運轉標的	條件	保證值
GT 運轉效率	滿載(100% Load)、進氣溫度(TT1)=1080°C、 低熱值(LHV)、大氣溫度 32°C	≥ 33%
NOx 排放	滿載(100% Load)、進氣溫度(TT1)=1080°C、 15% O <sub>2</sub> 、大氣溫度 32°C、相對溼度 90%	≤ 8ppm
GT 排氣溫度	滿載(100% Load)、進氣溫度(TT1)=1080°C、 15% O <sub>2</sub> 、大氣溫度 32°C、相對溼度 90%	≥ 555.6°C
運轉指標數據差異(Performance Indicator)		
	V84.2(Repowering 前)	SGT6-2000E(Repowering 後)
TT1 (GT 進氣溫度)	1065°C	1080°C
Output(per GT)	89MW	100 MW
Output(3GT+1ST)	440 MW	480 MW
效率 (LHV, per GT)	31%	33%
效率 (LHV, 3GT+1ST)	52.11%	53.56%
NOx 排放	15~12ppm (HR3 行燃燒器@1065°C) (#1/2 Si3 動/靜葉片)	8ppm (HR3 行燃燒器@1080°C) (#1/2/3/4 Si3 動/靜葉片)
其他差異(others)		
M.O. 大修間隔	25K EOH	33K EOH
M.I. 內檢間隔	4K & 8K EOH	8K EOH
TT2 (GT 排氣溫度)	550 °C	555.6 °C
MT2 (GT 排氣流量)	328.35 kg/s	339.30 kg/s
天然氣流量(per GT)	26,092.02Nm <sup>3</sup> /h (5.72kg/s*3600/密度 0.78920671)	26,092.02Nm <sup>3</sup> /h (5.72kg/s*3600/密度 0.78920671)
空壓機進氣流量 (per GT)	324.251 kg/s (TT1=1065°C /Temp=32°C)	333.1 kg/s (TT1=1080°C /Temp=32°C)
空氣進氣室濾網 級數	初效(G4)+中效(F8) 共兩級濾網	初效(M6)+中效(F9)+高效 (HEPA E12)共三級濾網 共兩級濾網
空氣進氣室濾網 數量	270 只/每級	341 只/每級

空氣進氣室濾網 前端裝置	慣性濾網 (初始壓損>400pa)	A 及卻水氣 (初始壓損<72pa)
維修拆裝方式	葉片不可單獨更換，需吊離轉子 才可拆卸靜葉片托架	葉片可單獨更換，無需吊離 轉子且可利用特殊工具即 可拆卸靜葉片托架

【表2】： V84.2 與 SGT6-2000E 規範比對表

### 核心組件改善範圍

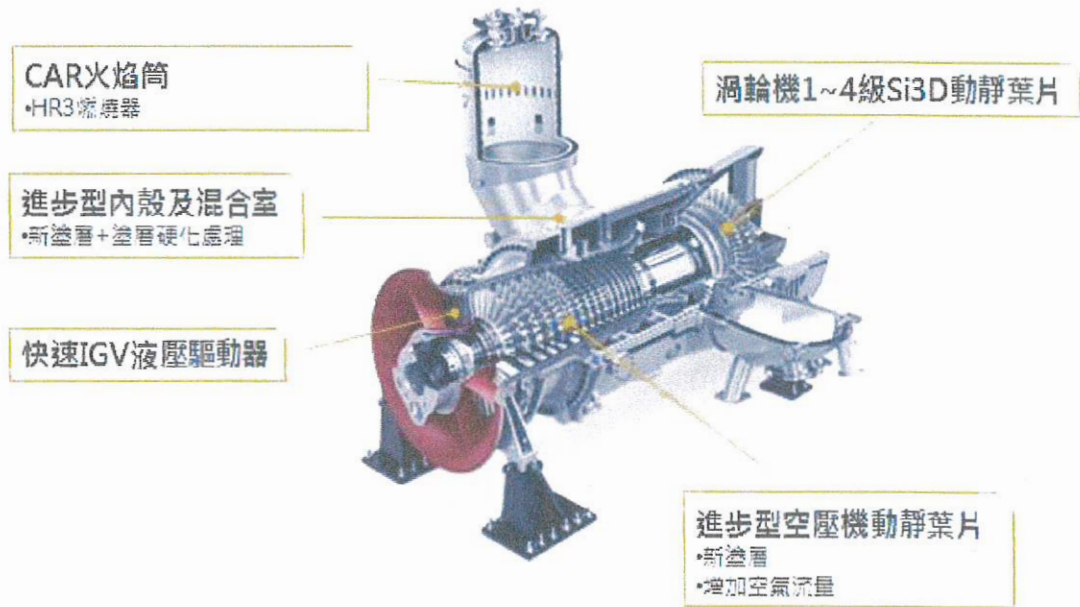


圖 8： SGT6-2000E 主機改善範圍

### 周邊設備改善範圍

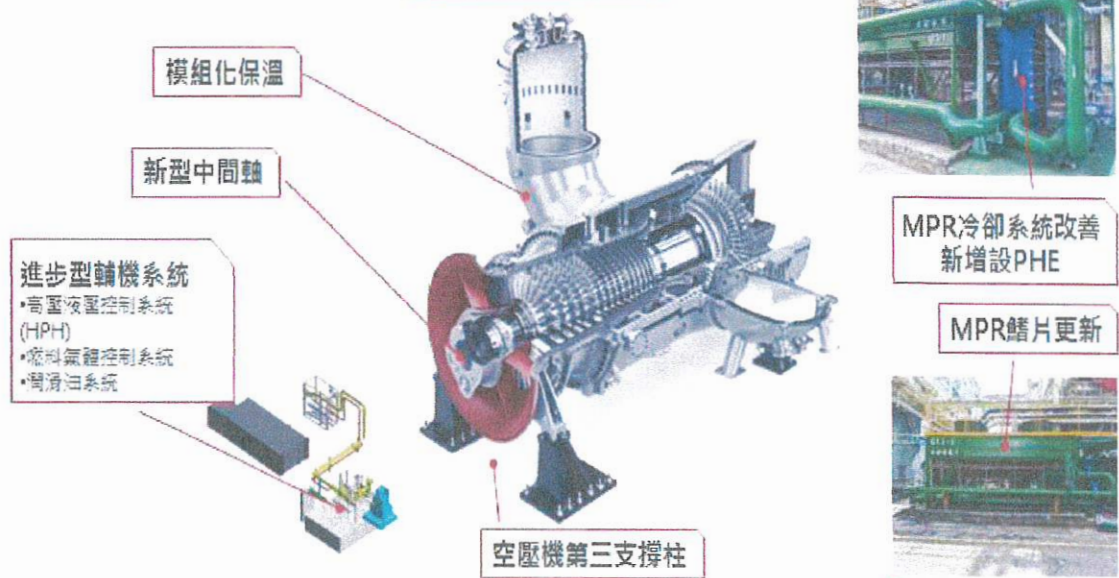


圖 9： SGT6-2000E 輔機改善範圍



## 氣渦輪機組Repowering改善過程



圖 10：興達氣渦輪機Repowering 改善過程

### (三) 氣渦輪機組 Repowering 改善效率

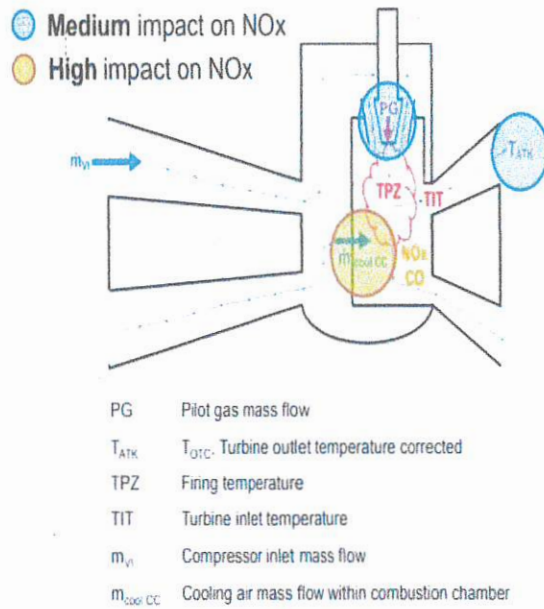
眾觀興達 Repowering 後 SGT6-2000E 機型相較原 V84.2 機型的改善效益可分下列幾點分析探討：就貢獻層面分別有：1. 環境保護、2. 運轉安全、3. 穩定供電、4. 節約能源、5. 提高出力、6. 混氫減碳。

1. 環境保護面即是改善氮氧化物(NOx)，從原本平均 23ppm 可下降到 8ppm 以下，不僅符合空氣污染物排放標準，亦可減少空污規費。主要是利用減少進入火燄筒的冷卻空氣，使燃燒溫度降低(不降低負載條件下)，進而降低 NOx 的排放量，設計原理如(圖 11)所示。
2. 運轉安全面是指原舊機組熱元件的使用年限已達原廠建議使用壽命，基於設備運轉安全考慮，即利用此次 Repowering 改善全面更新所有熱元件，包含 17 級空壓機動/靜葉片、4 級渦輪機動/靜葉片、轉子、內殼、熱通道、燃燒筒(含耐火磚、燃燒器、混合室)等。

## Correlation between Cooling Air Reduction and NOx emissions

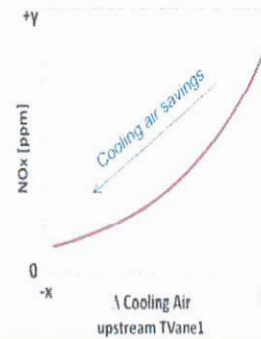
SIEMENS

Ingenuity for life



Physical Effects:

- ↓ Cooling air mass flow
- ↑ Mass flow through burner
- ↓ Firing Temperature [w/o power derating]
- ↓ NOx emissions



Highest NOx reduction can be achieved by cooling air reduction within combustion chamber

圖 11：CAR 型火鋸筒降低 NOx 原理示意圖

3. 穩定供電方面係指 Repowering 後的機組每年定檢周期，可由原本每運轉 4000EOH 時需停機 5 天進行內檢工作，延長至每運轉 8000EOH 時需停機 12 天進行內檢工作，故由原本 V84.2 機組每年需進行 2 次內檢(4000EOH 及 8000EOH 各一次)，共 5+12=17 個工作天，降低至現今 SGT6-2000E 機組每年只需進行 1 次內檢(8000EOH)，共 12 個工作天，如此一來每年每台 GT 可減少 5 天的停機時間，不僅可提高機組運轉可用性及可靠度，同時也降低維修成本。
4. 節約能源方面意指機組複循環效率(LHV)由 48% 提升至 53%，可有效節省燃料成本及伴隨減碳效益。
5. 提高出力面意指可提高一部複循環發電量 440MW 提升至 480MW，經計算每部複循環機組平均每年可增加約 4278 萬度電。
6. 混氫減碳方面即燃燒器可混燒氫氣，GT33 規劃混燒 H<sub>2</sub>(5%vol.)，可達到空汙排放 NOx ≤ 8ppm 及不影響負載發電的驗證。



## 肆、西門子能源最新製氫電解器模組(Silyzer 300)產品應用探討

面對 2050 年淨零排放的目標是全球經濟最重要的挑戰之一，其中的關鍵點是要不斷地發展再生能源及多維度能源的綜合應用，最主要的解決方案即是通過綠氫 (Green Hydrogen)，將可再生能源與工業連結、並有效應用於能源產業及交通基礎設施中。西門子能源使用“質子交換膜電解製氫(PEM;Proton exchange membrane)”純水電解技術，利用可再生能源生成“綠色無碳”的氫氣，以這樣的方式為全球能源轉型做出重要貢獻。Silyzer 產品系列可以利用太陽能及風能等間歇性能源，透過設計整合成模組化發電製氫系統(圖 12 為 Silyzer 300 實體)。



圖 12：製氫電解器模組實品(Silyzer 300)

## 一、質子交換膜純水電解製氫技術(PEM)原理簡介

質子交換膜電解水製氫 1966 年，在美國太空計畫架構的支持下，通用公司開發出第一個基於固態聚合物電解質（固態磺化聚苯乙烯膜）概念的電解槽（圖 13），克服了鹼性電解槽鹼液腐蝕、污染的缺點。固體聚合物薄膜也稱為質子交換薄膜，可提供高導電性，具有高密度設計、可高壓操作、體積小及快速反應等特性【表 3】。薄膜厚度低（90~300  $\mu\text{m}$ ）是質子交換膜有許多優點的原因之一。

圖 14 展示了一個 PEM 水電解槽的截面。PEM 單級結構配置相當緊密，主要由陰陽極端板、陰極擴散層、陰極陽極催化層、質子交換膜等構成，一般厚度為 5~7 mm，每個單電池以兩端的 Ti 端板分隔。催化劑層可直接塗抹在膜上，或塗抹多孔傳輸層（3-3'）上，以均衡電流分佈。液態水透過陽極流道（4'）泵送，為反應提供原料，並排出反應過程中產生的多餘熱量。與其他電解水技術相比，PEM 電解製氫技術已被證明具有以下關鍵優勢：高電流密度（一般 2~3  $\text{A}/\text{cm}^2$ ，也可高達 10  $\text{A}/\text{cm}^2$ ）、超高純度產氫（可達 99.999%）、高負載靈活性（運行範圍可達 5%~120%）以及提供電網平衡服務的能力。

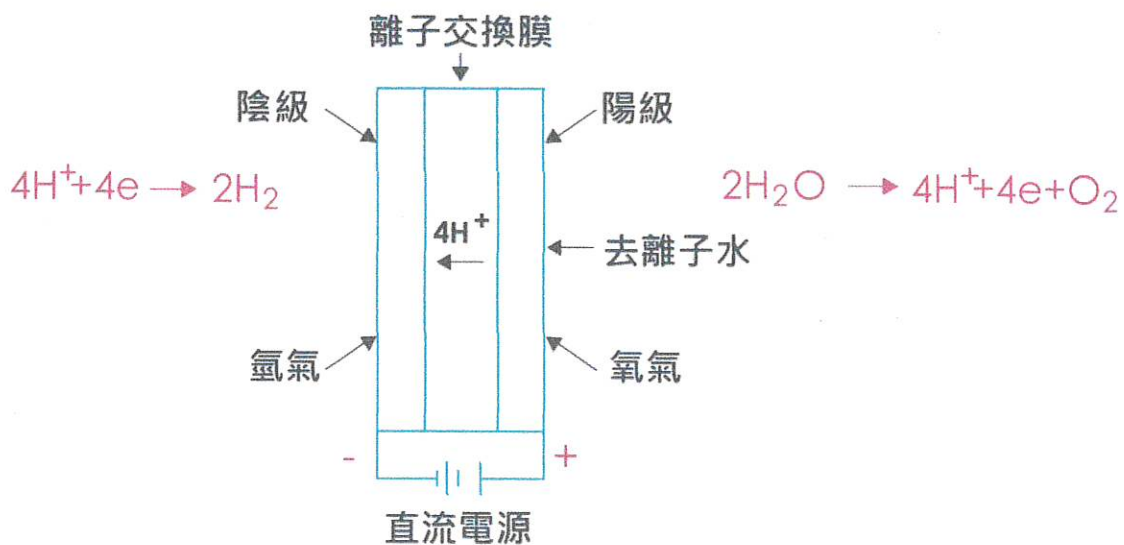
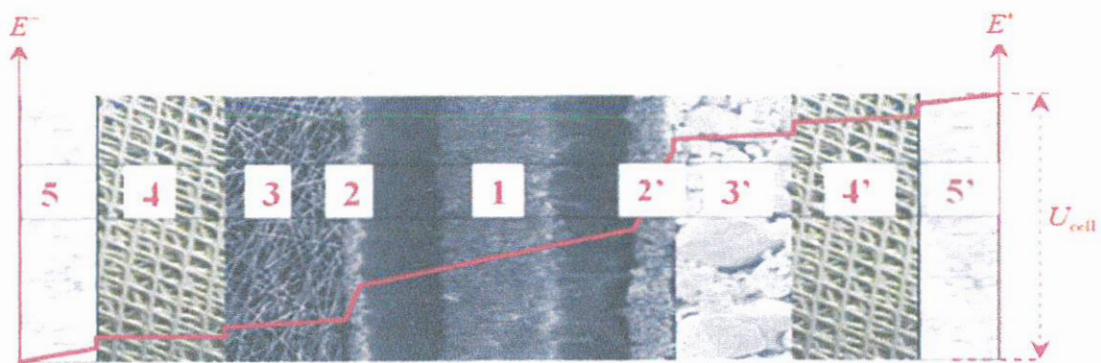


圖 13：質子交換膜電解製氫原理示意圖



1-質子交換膜，2/2' -催化層，3/3' -多孔傳遞層，

4/4' -隔板與流道，5/5' -端板

圖 14：PEM 水電解槽的截面圖

製氫技術	質子交換膜電解製氫
工作原理	如圖 13
電解質	質子交換膜（固體）
操作溫度(°C)	50~80
操作壓力(MPa)	<7
陽極催化劑	鉑 Pt、銱 Ir、鈦 Ru
陰極催化劑	鉑 Pt、Pt/C
電極面積(cm <sup>2</sup> )	1500
發電量(單組)	1 MW
電解槽直流耗電量（氫氣體積按 0 °C、標準大氣壓下計）/(kWh·m <sup>-3</sup> )	4.3~6
電解槽直流耗電量（氫氣體積按 0 °C、標準大氣壓下計）/(kWh·m <sup>-3</sup> )	4.5~7.5
電解槽壽命(h)	50000~80000
啟動時間/min	10~20
優點	設計簡單、結構緊湊、體積小、快速反應、高電流密度



缺點	貴金屬材料、雙極板成本高、耐久性差、酸性環境
----	------------------------

【表 3】：PEM 電解產氫技術規範

## 二、Silyzer 300 產品規格介紹

Silyzer 300 具有最新的大規模工業應用實例，是數十兆瓦級等級的 PEM 電解製氫產品。Silyzer 300 具有模組化設計特色【表 4】，利用最佳化設計提升氫氣產量及工廠效率，以最低的投資成本創造最大化的可用性，提供電解槽整合能源系統設計，富有彈性且客製化的智慧系統解決方案，強調整合再生能源及電網的操作模式及使用最先進的數據分析，可實現客戶特定的最佳化配置，這要歸功於高度的設計彈性及特色，系統在 0~100% 的負載動態內可調，回應速率可達每秒 10% 額定功率，此外由於其快速啟動/停止 (min 級) 和控制回應能力，另 PEM 水電解製氫對波動性能源的適應性較好，PEM 電解還可在高達 35 MPa 的自加壓電解模組中直接產生加壓的氫氣、氧氣，可省去壓縮儲存及運輸過程，降低了資本和營運成本，可用於給標準氣瓶充氣。

為何西門子能源設計部門會選擇質子交換膜純水電解技術 (PEM) 來製造氫氣，因為 PEM 電解技術在製氫過程中無任何二氧化碳排放，僅有純水、氫氣及氧氣的產生。並具有超高氫氣純度 (>99.999%) 的產出氫氣，另外無腐蝕性化學電解液 (例如鹼性電解製氫中的 KOH 鹼性溶液)，另占地面積小、設計簡單、易於維護及建置成本低等優點。在西門團隊根據市場需求並與客戶共同開發 Silyzer 產品組合，平均每 4~5 年即以擴大 10 倍的速度擴展開發 (圖 15)，以因應未來 2050 淨零排碳及碳中和的減碳目標。

氫氣生產量	335 (Kg/h) @ 24stacks/Unit
工廠效率(HHV)	> 75.5%
電力需求	17.5 MW
啟動時間	<1 分鐘
動態範圍	0 ~ 100% 範圍內(10%/s)
單模組最小負載	≥5%
模組陣列外觀尺寸	陣列 15.0 x 7.5 x 3.5 m
耗水量	10 L 海淡水 / Kg 氫氣
氫氣純度	超高純度(99.999% ~ 99.9999%)
氫氣輸送壓力	客製化

【表4】 Silyzer 300 產品規格數據

Silyzer portfolio roadmap

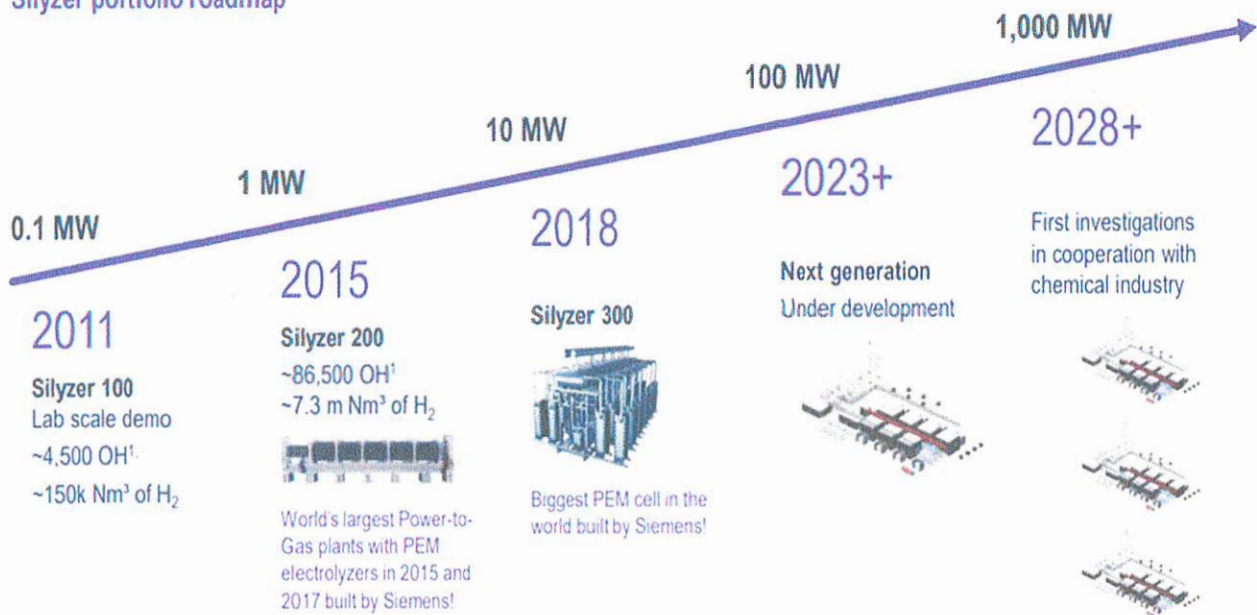


圖 15： Silyzer 系列產品開發路徑

### 三、台電混氫應用的未來挑戰及展望

綜觀興達電廠的發電機組歷程，起初是 4 部燃煤機組，而後於 1999 年完成 5 部燃氣複循環機組、2009 年開始興建太陽能發電系統（已移交再生能源處維護管理），從燃煤到燃氣、再到太陽能，都是循著電力減碳的路徑前行。為了降低既有燃煤機組的碳排，混氫發電成為近期重點任務。在行政院公布的 2050 年淨零排放政策中，氫能發電規劃佔比須達到 9-12%。

面對未來混氫應用的挑戰，氣渦輪發電機組規劃從階段性混氫(5%vol.)到 2050 年發展到可全燒氫氣(100%vol.)，但設備和氫氣來源仍需各界努力。現有設備需考慮混氫能力、防氫脆問題、成本高等；新建燃氣機組則可考慮納入燃氫能力，避免後續修改費用，並在地下專管建設時考慮輸送氫氣問題，未來可直接使用地下專管供氫或使用再生能源製氫(綠氫、藍氫)。



圖 16：不同製程來源的氫氣產出示意圖

氫氣在電力業中的主要角色是作為電力長時間的載體，但氫氣來源必須是綠氫和藍氫才能達到淨零排放的果效(圖 16)。未來台灣再生能源是否能產生足夠的綠氫是一個問題，且要產生足夠的藍氫供發電使用，需要再投入資金擴充設備，目前歐洲各國如德國西門子能源公司的 Silyzer 300 的再生製氫模組計畫，可參考納入國內綠氫發展方向之一。然而，為了達成 2050 年淨零排碳的目標，德國西門子能源與法國液化空氣集團共同合作，早在 1995 年即投入電解純水製氫研究開發，至今已將近 28 年之久；反觀，根據國發會提供之淨零路徑版本，電力業需於 2035 年前達到碳排放量減半的目標，比起各國能源政策，臺灣於 2050 年對氫能的依賴度相對高，也頗具挑戰，加上預計 2024 年國內即將開徵碳費政策的多重壓力下，台電公司對於氫能的定位與目標，主要對於再生能源之電力儲槽研發，規畫大量開發再生能源需要大量的儲能設施，可利用產氫與儲氫來儲能以平衡電網等規劃，且目前臺灣對於氫能技術發展列在世界評比尚屬研發階段，眾觀以上各點，台灣如何搭上世界的趨勢及氫能所帶來的重大商機，產、官、學需一起努力並加緊腳步，實在刻不容緩。

如圖 17 所示為 Silyzer 300 整合再生能源製氫模組系統，其中包含整合再生能源(風力或太陽能等綠能)的中壓變壓器、PEM 電解製氫模組(Silyzer 300)、氫氣及氧氣的冷卻器、緩衝儲槽、水精製處理裝置(海淡水)、空氣冷卻系統(冷卻水泵)、開關場、消防系統等。



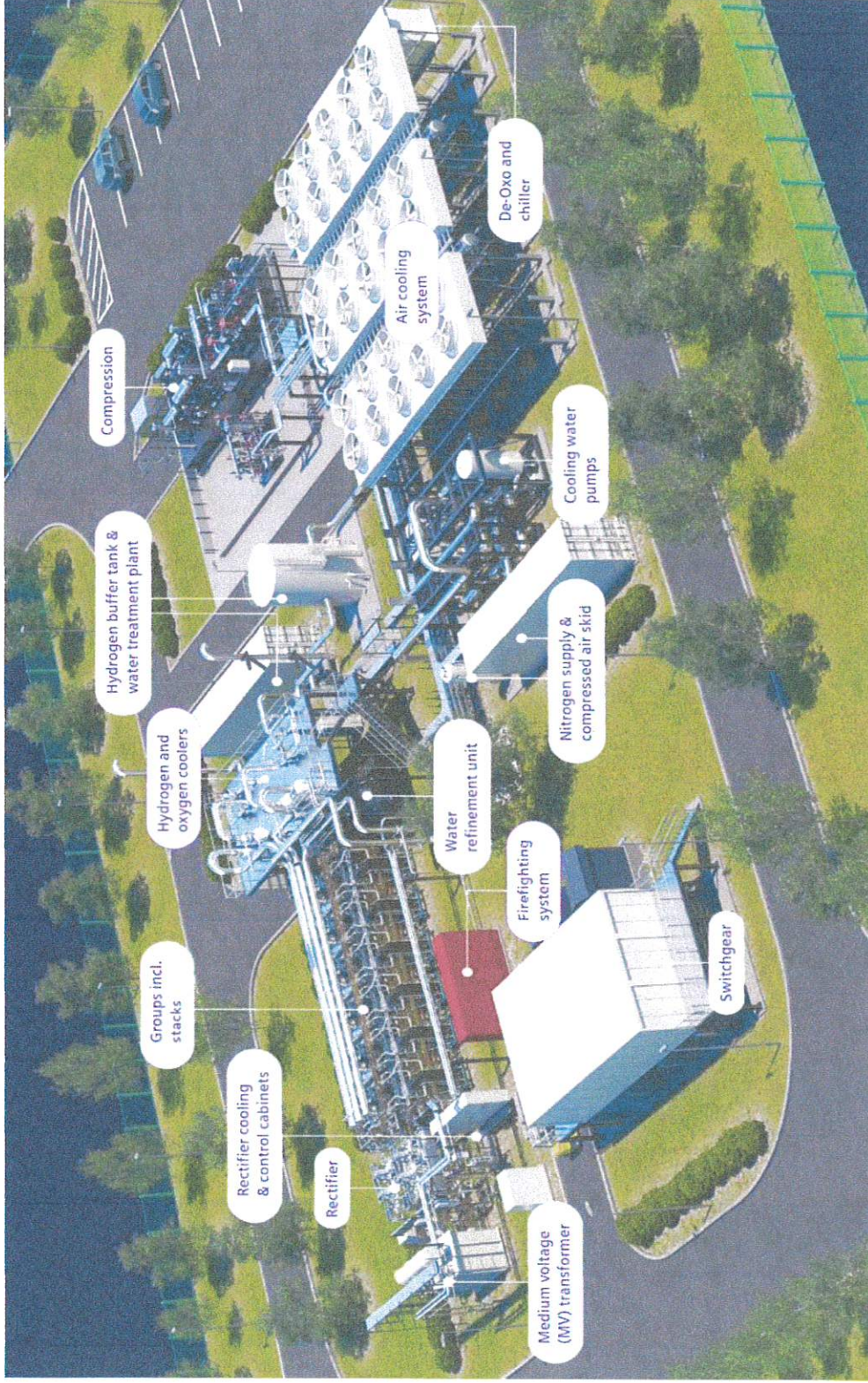


圖 17： Silyzer 300 整合再生能源氫氣模塊系統示意圖



## 伍、心得與建議

此次出國實習計畫原訂於 2020 年參訪德國西門子能源公司，因 covid-19 疫情致使計畫延宕至今年才開放如期執行，但也因如此，才使職能在全程參與興達複循環氣渦輪機核心組件升級改善工作完成後，帶著現場及試運轉所遇到的問題及經驗，與原廠技師一同探討如何建置 SGT6-2000E 的維護及保養機制。其中複 1~4 號機 CAR 燃燒室中混合室的裂痕問題，經由西門子能源公司及台電綜研所成立專家群，進行材料取樣分析及運轉數據收集得出 RCA 報告建議如下：

CAR 混合室裂痕肇因及對策：

1. 機械熱疲勞 TMF (Thermo-Mechanical Fatigue)：因運轉中溫度改變頻率過大，造成機械熱疲勞而致使混合室(mixing casing)產生裂痕現象。經原廠在混合室加裝溫度偵測器，收集混合室各局部溫度分析，結果發現在機組起停有溫度梯度過大的現象，為了降低此現象，建議機組起動時，需照標準運轉程序，升載勿過快，OTC 上升梯度勿過大;相對地，機組進行停機時，亦應按照標準停機程序，轉子需慢車 24 小時，且不可進行強制水洗冷卻模式，以避免造成混合室產生過大的形變及機械應力。
2. 混合室徑向冷間隙(s 值)設計偏小(圖 18)：為符合低 NO<sub>x</sub> 排放( $\leq 8\text{ppm}$ )，故原廠設計出組裝徑向冷間隙(s 值)為 3.5 mm，徑向熱間隙(s 值)比標準設計小約 1.5 mm (標準設計熱間隙：2.93 mm，CAR 設計熱間隙：1.38 mm)。因間隙過小，導致冷卻空氣不足，亦造成混合室頂端焊道周圍冷熱不均，亦使材料蠕狀變形而產生較大的接觸應力。故為此原廠技師已 2022 年底前完成 GT31/13 混合室檢修工作，其混合室回裝的間隙值調整至符合原廠家設計要求的公差最大值 3.5+1mm，以避免因間隙過小導致上述情況產生。
3. 後續待綜研所提出材料分析報告後，持續追蹤並要求原廠提供新品的熱處理及材料出廠證明，以確保 617 材質的品質可靠度。

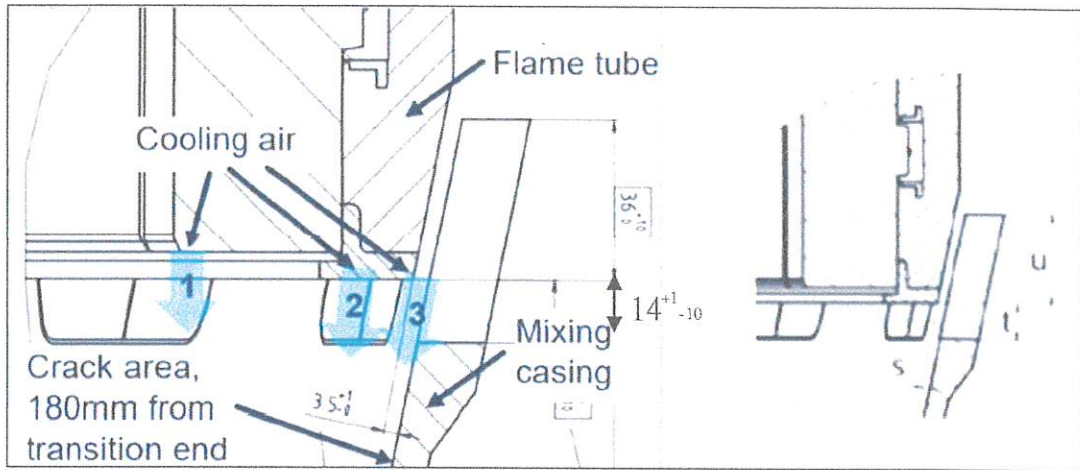


圖 18： CAR 混合室組裝間隙示意圖

除了上述實習經驗的分享，在此感謝公司總處與興達電廠長官給予機會，使職能肩負黃廠長及林經理叮囑的任務，有幸參訪西門子能源公司最新研發製氫電解器模組(Silyzer 300)的應用與汲取德國能源轉型的寶貴觀念，其創新經驗實可作為未來公司發展淨零排碳技術的參考與借鏡。在職撰寫此篇出國報告的當下，興達 GT33 正如火如荼進行興達混氫發電示範計畫的現場建置工作(圖 19)，期許年底 GT33 混氫試運轉工作能安全地如質如期完工，除打造國內首部可混燒氫氣的發電機組，也為台灣在 2050 年淨零排碳跨出重要的一步。



圖 19：興達混氫示範計畫卸氫槽車區實景圖

## 參考文獻

1. 西門子複循環機組發電機延壽維護研習出國報告，許家銘，2018.09
2. 氣渦輪機設備介紹 V84.2(SGT6-2000E)，林榮山，2020.05
3. 複五機氣渦輪機核心組件升級改善，林忠憲，2018.12
4. PEM electrolyser technology Flexible, efficient and scalable, Siemens Energy, 2021.07
5. 「雙碳」目標下電解製氫關鍵技術及其應用進展，趙雪瑩，2021.09
6. 智慧減碳與環境友善 譜寫淨零永續新篇章，台電綠網，2023.07
7. 台電氫能發展展望，楊明偉，2022.09.05
8. 臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明，國家發展委員會，2022.03.30
9. Overview Siemens Energy Transformation of Industries - Sustainable Energy Systems, Siemens Energy, 2023.09
10. RCA Hsinta mixing casing crack findings, Siemens Energy, 2023.05