

出國報告（出國類別：實習）

# 大潭發電廠#7 氣機 Spacer Zero 破斷 面分析見証相關實習工作

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：詹文榮；熱機二組經理

派赴國家：美國

出國期間：112 年 5 月 20 日至 5 月 28 日

報告日期：112 年 07 月 26 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大潭發電廠#7 氣機 Spacer Zero 破斷面分析見証相關

實習工作

頁數 15 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電 人資處/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

詹文燊/台灣電力公司/大潭發電廠/熱機二組經理/(03)473-3777-7500

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：112.5.20~112.5.28 出國地區：美國

報告日期：112 年 07 月 26 日

分類號/目

關鍵詞：氣機

內容摘要：(二百至三百字)

本廠#7 氣機原廠為美國奇異(GE)公司，於 106/9 起商轉，配合擴建複循環機組工程需求，於 111/12~112/1 月展開停機及封存工作，期間經拆出轉子檢查發現 Spacer Zero 處皆出現裂縫，1 部機由 Spacer Zero 最外側裂縫延徑向往轉子中心成長後再延圓周向成長，另 1 部機則相似在 Spacer Zero 最外側出現裂縫延徑向往轉子中心成長，經邀集原廠及本公司各相關單位會議討論後決定，轉子寄回原廠並於其格蘭維爾工廠(Greenville)進行破斷面分析，本廠召集各單位組織團隊進行分析見証，協助後續肇因分析及展開後續轉子修復工作，期望轉子可於 113 年初回抵本廠，供解封回裝及擴建複循環工進如期。

相關分析位置、項目及方法皆事先會議決定，本次見証工作已依計畫時程完成所有項目見証。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

# 目 錄

出國報告提要.....	I
目錄.....	II
一、 出國緣由、行程及主要任務 .....	1
二、 美國奇異公司見證參訪 .....	3
三、 心得與建議.....	15
四、 參考.....	15

## 一、 出國緣由、任務及行程

本廠#7 氣機原廠為美國奇異(GE)公司，於 106/9 起商轉，配合擴建複循環機組工程需求，於去年底展開停機及封存工作，期間經拆出轉子檢查發現 Spacer Zero 處皆出現裂縫，1 部機由 Spacer Zero 最外側裂縫延徑向往轉子中心成長後再延圓周向成長，另 1 部機則相似在 Spacer Zero 最外側出現裂縫延徑向往轉子中心成長，原廠完成現場調查，並無發現異物入侵撞擊或備件鬆脫，故提出建議需交運回原廠進行檢查及破斷面分析以供肇因確認。

氣機轉子交寄回原廠，期間本公司各單位協助原廠進行數次會議，討論訂定破斷面分析位置、項目及相關時程，以供原廠展開裂縫破斷面分析之先期準備工作，並派員於原廠奇異公司格蘭維爾工廠完成計劃見証工作。

本次出國期間為 112.05.20~112.05.28，共計 9 天。5 月 20 搭乘飛機，於 5 月 21 日抵達美國格林維爾，5 月 22 日至 5 月 25 日分別參訪奇異公司格蘭維爾轉子組件製造加工及修理工廠、熱元件再生工廠、燃燒室實驗測試工廠、先進技術工廠及氣機轉子 Spacer Zero 裂損破斷面分析見証；5 月 25 日下午搭車自格蘭維爾前往亞特蘭大，5 月 26 日參訪奇異公司位於亞特蘭大遠端監

測及診斷中心，了解及全球遠端運轉監測服務之作法。5月26日至28日為返程，自美國亞特蘭大機場轉機安大略機場再飛返抵台北，詳細行程如下：

5/20~21	往程(台北→洛杉磯→亞特蘭大→格蘭維爾)
5/22~25	奇異公司(格蘭維爾) 參訪氣機製造工廠 氣機轉子 Spacer Zero 龜裂破斷面分析見證
5/25	往程(格蘭維爾→亞特蘭大)
5/26	奇異公司遠程監測與診斷中心(亞特蘭大)
5/26~28	返程(亞特蘭大→安大略機場→台北)

## 二、 美國 GE 公司參訪見證

本廠轉子運抵 GE 格蘭維爾工廠前，期間本公司各單位協助原廠進行數次會議，討論訂定裂縫破斷面分析位置、項目及相關時程，以供原廠展開先期準備工作，本公司派出 2 員，於 112/5/20 ~112/5/28 原廠奇異公司格蘭維爾工廠完成計劃見證工作。

另因格蘭維爾工廠旁尚有熱元件再生工廠、氣機燃燒室實驗測試工廠、先進檢修技術工廠，經討論後原廠同意派員協助導覽。考量本案轉子經原廠檢修，並於保固期中機組相關運轉情形需傳回原廠位於亞特蘭大之監診中心(Monitoring & Diagnostics Center)，故亦參訪該中心，了解其傳輸、監控流程及日後資訊傳遞等先期準備。

本次行程主要在依計畫執行相關破斷面分析見證及取回相關分析資料，供後續肇因分析時進行佐證。

圖 1 為 HA 級氣渦輪發電機於全世界運轉及正在安裝數量。本公司未來新型燃氣渦輪發電機約 14 部為 GE 公司 7HA 型號，本廠 #7 的 2 部機為 GE 7HA.02 (FL-16)、#8、#9 的 4 部機為 GE 7HA.02 (FL-18)，台中及興達發電廠則共有 10 部 GE 7HA.03 型號。

## HA GT Installed Base

Updated 28 Apr 2023

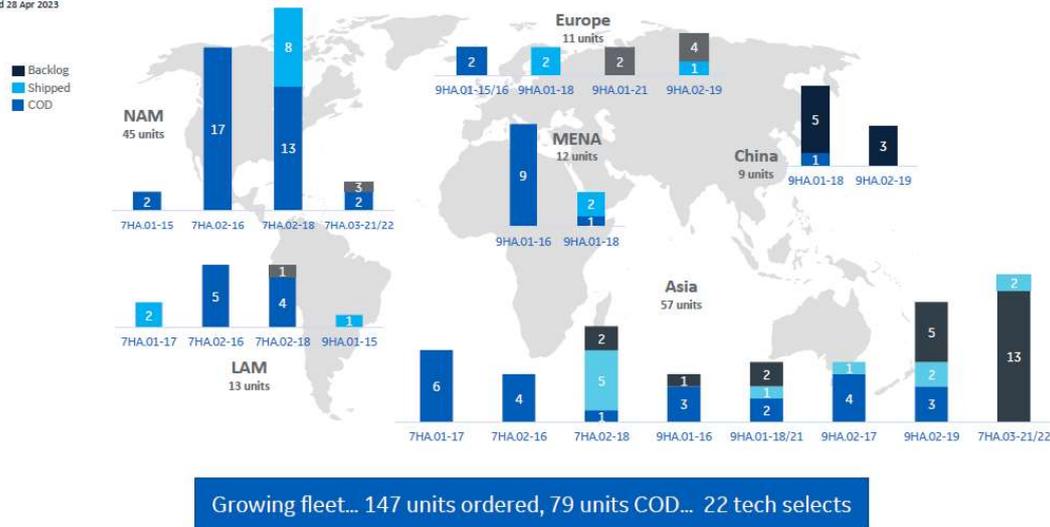


圖 1 HA 級氣渦輪發電機於全世界運轉及正在安裝數量

### (一)、格蘭維爾工廠(氣渦輪機研發中心及製造工廠)

格蘭維爾工廠為位於南卡羅萊納州格林維爾(Greenville, South Carolina)，是 GE 氣機研發中心及製造工廠。本次主要任務為參加本廠#7 氣渦輪機轉子 Spacer Zero 裂損破斷面分析見証工作，另外參訪氣渦輪機再生工廠、氣機燃燒實驗測試工廠、先進技術中心。

氣渦輪機製造工廠主要從事新品氣渦輪機動葉、靜葉、燃燒噴嘴等相關組件的製造與組裝、大尺寸元件(轉子、外缸等)的加工、修復、除新品製造外 GE 公司於維修服務中心提供有需求的客戶進行葉片再生，動葉及靜葉的再生分別在不同區域，此外，燃燒組件主要於燃燒組件工廠製造與維修。

主工廠規模龐大，各產線動線規劃整齊，帶領我們參觀的產線管理幹部對產線上所能見到的元件能詳述其特色，其介紹氣渦輪機改善為動葉旁加工能與 Spacer 配合的凹槽，可將高溫燃氣阻隔在外，除了可以提升燃氣渦輪機的效率以外，還可以減少葉根部分的冷卻處理；在葉片新製的部分，發現其冷卻流道使用深孔放電進行加工，加工完成後會依據需要進行水氣流試驗，確認葉片冷卻流道無阻塞問題。

後續跟著解說員參觀氣渦輪機轉子部件的製造及維護，在參觀的過程中，了解 GE 公司的氣渦輪機轉子是由多個轉盤(disk)以螺栓固定鎖在一起，各種大部件在工廠中等待加工及組裝，並可發現正在加工的轉子部件、等待安裝的空壓段轉子轉盤、HA 系列 Spacer Zero 新品、已經安裝葉片的 7HA.03 空壓段轉盤以及正在進行安裝測試的台中電廠 7HA.03 燃氣渦輪機(圖 2)；在主工廠內，除了 HA 級的燃氣渦輪機工件外，還有許多不同裝置容量的燃氣機工件，工廠能依訂單時程進行製造排程，管理非常有效率及有條理，為智慧工廠之重機加工應用。



圖 2 正在進行安裝測試的台中電廠 7HA.03 燃氣渦輪機

GE 公司再生服務中心主要是機動葉及靜葉的維修與再生，動葉與靜葉分別在不同區域，參觀時主要維修再生的葉片以 FA 級為主，現場產線規劃完整流暢，各製程工作區域相鄰，一個製程完成後旁邊就是下個製程，燃燒組件工廠主要是新製與維修燃燒組件，本次參觀主要以燃燒組件的 Unibody 為主，參觀過程中，發現 7HA.02 及 7HA.03 的燃燒組件最大的不同是其燃料噴嘴，7HA.02 使用的是 DLN-2.6 燃燒筒，採用六個噴嘴設計配合旋流器，7HA.03 使用的是 DLN-2.6e 燃燒器，採用 Micromixer 噴嘴，該噴嘴部分元件採用 3D 列印製造，此噴嘴使燃料與空氣具有優良的混合，相較於使用旋流器，Micromixer 噴嘴出口速度較高有助於減少火焰回火的風險。

氣機燃燒實驗測試工廠主要進行燃燒組件的測試，將一組燃燒器放入設計好的設備內，並於燃燒器各個位置安裝好所需的感

測器，在參觀的時候可以看到從控制室的監視器有觀察燃燒試驗時燃燒器內部火焰情況的實時影像；先進技術中心主要介紹葉片內流道的設計與創新、絕熱塗層、冷卻孔加工及燃氣渦輪機組件的 3D 列印，中心內部許多金屬 3D 列印設備及用於切割列印完成工件的 CNC 線切割設備，從參訪過程中可知 GE 公司投入大量資源於金屬 3D 列印上並應用在燃氣渦輪機先進組件製造之趨勢。

## (二)、本廠#7 氣機轉子 Spacer Zero 龜裂破斷面見證

本廠 GT#7 於 111 年進行轉子停機檢修時，發現其 Spacer Zero 有徑向轉周向之龜裂、112 年另一部機發現其 Spacer Zero 邊緣有的徑向龜裂，兩者龜裂樣態相似。

氣機轉子隨即安排運回 GE 公司美國南卡羅萊納州格蘭維爾氣渦輪機研發中心及製造工廠進行 Spacer Zero 的更換；另一部氣機轉子將包含龜裂部分之 Spacer Zero 塊材切下來寄回格蘭維爾氣渦輪機研發中心進行分析；本次出國主要任務為#7 氣機轉子 Spacer Zero 龜裂破斷面見證，取得轉子 Spacer Zero 破斷面相關資訊，分析破損肇因以便擬定防範與改善對策。

本次見證在格蘭維爾的氣渦輪機技術中心(GTTC)材料實驗室，使用高倍率立體顯微鏡及掃描式電子顯微鏡(SEM)搭配能量散佈光譜儀(EDS)進行觀察分析，分析見證項目為氣機 Spacer Zero 破斷面；除了使用顯微設備進行觀察的項目外，GE 公司提供 Spacer Zero 硬度測試結果、殘留應力試驗結果、Spacer Zero 材料出廠報告等資料供本公司參考。

### (三)、奇異公司遠程監測與診斷中心

美國 GE 公司的監控與診斷中心(Monitoring & Diagnostics Center)，位於喬治亞州亞特蘭大(Atlanta, Georgia)，監診中心主要工作配合世界各地為 CSA(Customer Support Agreement) 合約的電廠，提供 24 小時全年無休的運轉連線數據監控，使用數位工具分析機組的運轉資訊，根據監診系統警告提供可能造成的原因及其解決方式，如有任何問題，可致電至監診中心，圖 3 為世界各地的 GE 監診中心，位於不同時區，工程團隊隨時可以協助客戶解決問題。



圖 3 世界各地的 GE 監診中心

GE 公司監診中心結合電廠設備監診服務推出資產績效管理系統 Asset Performance Management(APM)，相較於監診服務依設計及經驗進行分析，APM 系統則是以監診服務之設備運轉資料

投入學習，預警事故發生前可能的潛在問題，可以依需求構建更好的監診方案。

監診中心以設計值資料加上運轉警報值作為監控邊界，其將各運轉資料傳回後經轉化成動態曲線，軟體自動監控運轉數據是否接近邊界，若由正常軌跡偏離，若有則出示警報，監診中心人員則接手判別及必要時洽設計部門澄清是否停機檢修，其優點是將大數據轉成圖表，且又建立動態曲線(依時間、或運轉變量)追蹤，

以設計值作邊界可縮短判定的時間，提升反應精確度。

#### M&D Infrastructure



圖 4 監診中心架構

在本次拜訪中，GE 監診中心有提供監診發現的相關案例，案例一為客戶氣渦輪機壓縮機軸承於冷啟動時振動增加，GE 監診中心發現後建議監測振動變化，如果振動幅度超警戒值，建議停機進行檢查，本次監診發現之處置防止氣渦輪機壓縮機可能造成機組

損傷的影響；另一案例為監測發現客戶壓縮機壓力比低於下限，GE 監診中心電廠建議監測壓力比變化，如果數值保持穩定，降低之壓力比可能是積垢影響，建議清洗壓縮機，本次及早發現壓縮機性能下降並給予客戶相關建議。

### 三、心得與建議

本次工作並非相關赴原廠學習新技術等訓練課程，而是原廠分析破斷面工作之見証，需有破斷面分析檢測儀器使用之專業能力，感謝本公司綜研所派出相關人員協助執行，相關意見皆能取得原廠人員理解，而使分析工作進展順利，也取回相關重要分析結果，可供綜研所自行分析另一邊破斷面有可供參考比對之基礎，對後續在和原廠的肇因分析會議中可提出較有利之證據。

組裝工廠部份，因應生產任務需求，故採年度計畫排程進行產線安排，也保留可配合彈性調整能力，如較重要之固定式吊車配置。燃燒室實驗測試工廠則為原廠就單筒燃燒室進行相關燃燒性能測試之目的，除了其對各型燃燒室之金屬溫度量測、排放濃度及燃燒火焰控制之實驗測試外，也可供進行改造項目之驗証，惟因受限行程時間，僅能初步了解其大致輪廓。

先進技術工廠則是原廠開發較新技術及交至生產線量產前之橋樑，負責完成機具程式、量化指標等細節，各種先進精密機具組合使用等皆由此工廠開發完成。

本案時程上挑戰在於轉子於 112/1 拆出發現有裂縫，但需有轉子回裝最慢是在約 113/1，方不影響#7 複循環機組起動，故相關轉子裂損肇因分析及後續檢修時程仍是較緊迫，故長交期之關鍵備

品仍是需儘早取得為宜，以供因應類似本案之突發損傷，由強制備品內含備用轉子，特別是在較新型氣機時是對公司較有利之方法。

#### 四、參考資料

[1] GE 公司提供參訪相關資料。