

出國報告（出國類別：實習）

台中複循環機組發電機組裝機及維護技術 研習

服務機關：台電電力修護處中部分處

姓名職稱：黃致凱/機械工程師

派赴國家/地區：美國

出國期間：112 年 10 月 2 日 ~ 112 年 10 月 15 日

報告日期：112 年 11 月 23 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

台中複循環機組發電機組裝機及維護技術研習

頁數 30 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃致凱/台灣電力公司/電力修護處中部分處/機械工程專員
/(04)7363666#337

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112 年 10 月 2 日 ~ 112 年 10 月 15 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：112 年 11 月 23 日

關鍵詞：

複循環機組(Combined Cycle Unit) 、氣渦輪機(Gas Turbine)、蒸汽輪機(Steam Turbine)

內容摘要：(二百至三百字)

配合政府能源政策，台灣電力公司採取減煤增氣的方針應對，陸陸續續增建不少複循環燃氣機組，其中分別在桃園大潭電廠、台中發電廠、及高雄興達發電廠興建奇異公司(General Electric Company)的複循環機組，而其氣渦輪機(Gas Turbine)皆採用奇異 7HA 系列機組，因此在奇異公司的協助及安排下，有機會到奇異公司位在美國 Greenville Service Center 實習，該中心為全球最大 HA 氣渦輪機新機組裝及維修工廠，透過此次實習經驗，提升本公司對氣渦輪機維修技術。

有鑑於 Bently Nevada 公司所生產的儀器設備，為本公司電廠控制室內重要的監控設備，因此在 Bently Nevada 安排下，順道前往位在休士頓的 Training Center 實習，了解儀控設備在電廠控制室內的應用，及目前最新的 Bently Nevada 設備發展狀況。

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

目錄

壹、 出國目的	1
貳、 出國行程	2
參、 實習內容	3
一、 Greenville Service Center.....	3
(一)、 7HA.03 機組介紹	3
(二)、 Advance Manufacturing Works	6
(三)、 Gas Turbine Technology Laboratory	9
(四)、 Gas Turbine Outage Simulator.....	9
(五)、 Test Stand 7	12
二、 Bently Nevada 訓練中心	15
(一)、 Rotor Kit	16
(二)、 Anomaly Detection Software	17
(三)、 System 1.....	18
(四)、 手持式藍芽無線平譜分析儀	19
(五)、 技術交流	20
肆、 心得及建議	25
伍、 參考文獻	27

壹、出國目的

配合政府能源政策，台灣電力公司採取減煤增氣的方針應對，陸陸續續增建不少複循環燃氣機組，其中分別在桃園大潭發電廠增設 2 部、台中發電廠增設 2 部、及高雄興達發電廠增設 3 部複循環機組燃氣機組，這些複循環機組中的氣渦輪機，皆為奇異公司的 7HA 系列氣渦輪機(上述發電廠之氣渦輪機相關資訊如表 1 所示)由此可知，未來公司的發電總量，7HA 系列氣渦輪機佔有一席之地，因此妥善的運轉，以及維護的可靠度也相對重要。

有鑒於此，在奇異公司的協助及安排下，有機會到奇異公司位在美國的 Greenville Service Center 實習，該中心為全球最大 HA 氣渦輪機新機組裝及維修工廠，透過此次實習經驗，提升本公司對氣渦輪機維修技術。

發電廠名稱	氣渦輪機型號	每部機發電量(MW)	數量(部)
大潭發電廠	7HA.02	382	6
台中發電廠	7HA.03	430	4
興達發電廠	7HA.03	430	6

表 1 奇異 7HA 系列氣渦輪機於台灣電力公司的分布狀況

增進機組營運安全方法，除了提升維修技術，運轉期間的監控儀器，也佔有其關鍵性的角色，而 Bently Nevada 公司所生產的儀器設備，為本公司電廠值班控制室內常見且重要的監控設備，因此在 Bently Nevada 公司安排下，順道前往位在休士頓的 Training Center 實習，了解儀控設備在電廠控制室內的應用，及目前最新的 Bently Nevada 公司設備發展狀況。

貳、出國行程

本出國計畫實際出國日期為 112 年 10 月 2 日至 112 年 10 月 15 日，共計 14 天。(如表 2 所示)

時間	參訪地點	工作概要
112 年 10 月 2 日 至 112 年 10 月 3 日		去程： 台北－洛杉磯－亞特蘭 大
112 年 10 月 4 日 至 112 年 10 月 7 日	GE： Greenville Service Center	實習氣渦輪機之組裝及 維護的相關技能
112 年 10 月 8 日 至 112 年 10 月 13 日	Bently Nevada： Houston Training Center	實習及交流 Bently Nevada 儀器設備於複循 環機組之應用
112 年 10 月 14 日 至 112 年 10 月 15 日		返程： 休士頓－台北

表 2 出國行程

參、實習內容

一、Greenville Service Center

計畫實習參訪的地點，第一站為 Greenville Service Center，這裡是奇異全球最大 HA 氣渦輪機新機組裝及維修工廠，是由許多工作站所組合而成的聚落，這次在奇異公司的安排下，共參訪 5 個據點，分別為 7HA.03 機組介紹、Advance Manufacturing Works (AMW)、Gas Turbine Technology Laboratory (GTTL)、Gas Turbine Outage Simulator (GTOS)及 Test Stand 7，以下將依序介紹參訪的過程。(相關地理位置如圖 1 所示)

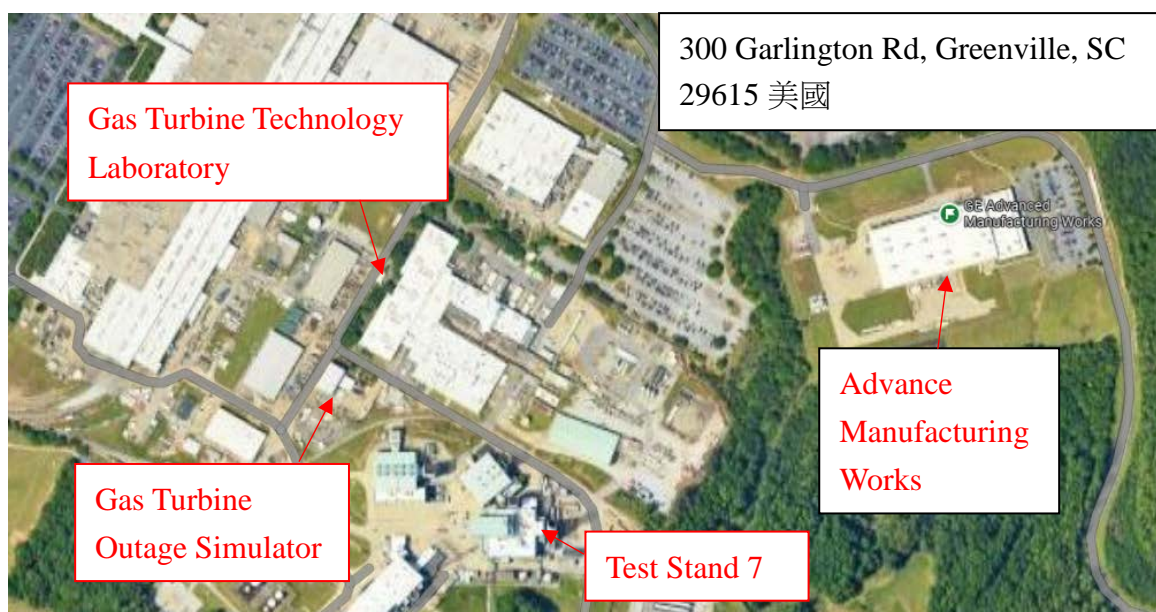


圖 1 各站地理位置參考圖
(圖片來源：Google Map)

(一)、7HA.03 機組介紹

參訪當天與 60 Hz Platform Leader Steve McHugh 及 7HA.01 Platform Manager Noemie Dion Ouellet 先在 Advance Manufacturing Works 大樓門口會面，隨後 Steve McHugh 在 Advance Manufacturing Works 大樓內的會議室以投影片介紹 7HA 系列氣渦輪機組的演變及 7HA.03 氣渦輪機組的特色，過程中，可得知早期 H 系列的特色為燃燒桶冷卻形式是以蒸汽冷卻，奇

異公司於 2014 年推出氣冷式冷卻的 HA 系列，全部改採用空氣冷卻，不需額外使用蒸汽冷卻，可使機組起機更為快速，熱起機可以縮短至 30 分鐘內完成，此外，7HA.03 因為有較長且先進的葉片設計，故其發電量由 7HA.02 的 380MW 提升至 430 MW，而在環保方面，因為燃燒系統的改善，在環保數據如 NOx 的排放，有更佳的數據。

在 Steve McHugh 報告結束後，我們跟 Steve McHugh 及 Noemie Dion Ouellet 請教了一下問題，問題整理如下：

問題一：

當 7HA.03 氣渦輪機應用在複循環機組 2 對 1 時，若汽輪機發生異常無法正常運轉時，7HA.03 氣渦輪機是否能夠單獨運轉發電？

答：

每座複循環發電廠在建廠規劃時，不一定會考慮到當汽輪機發生異常，需氣渦輪機單獨運轉發電的狀況，故每個發電廠的輔助設備並不相同，需視當時是否有加裝相關的輔助設備，使得氣渦輪機運轉後，廢氣有地方可以排放。(例如旁通閥，但是加裝旁通閥時，會產生其它問題，例如熱能散失的問題，將會影響到運轉的效率。)

問題二：

9HA 氣渦輪機和 7HA 氣渦輪機的差別？

答：

兩者構造大致相同，唯 9HA 為 50 Hz 機組，而 7HA 為 60 Hz 機組。

問題三：

在簡報介紹的過程中，有提到特殊維修工具，其中燃燒桶對心工具最引起我們興趣，因為以往在台電的發電廠或 IPP 發電廠的三菱 501F、501G 及 501J 機組，在燃燒桶回裝時，都需要花不少時間在對心的工作上，因此洽詢是否有販售這套設備，及如果沒有這套設備，是否有辦法進行大修？

答：

這套設備目前沒有在販售，只可以租用，另外在沒有這套特殊的對心工具協助下，也可以進行大修工作，但可能需花費更多的大修時間。

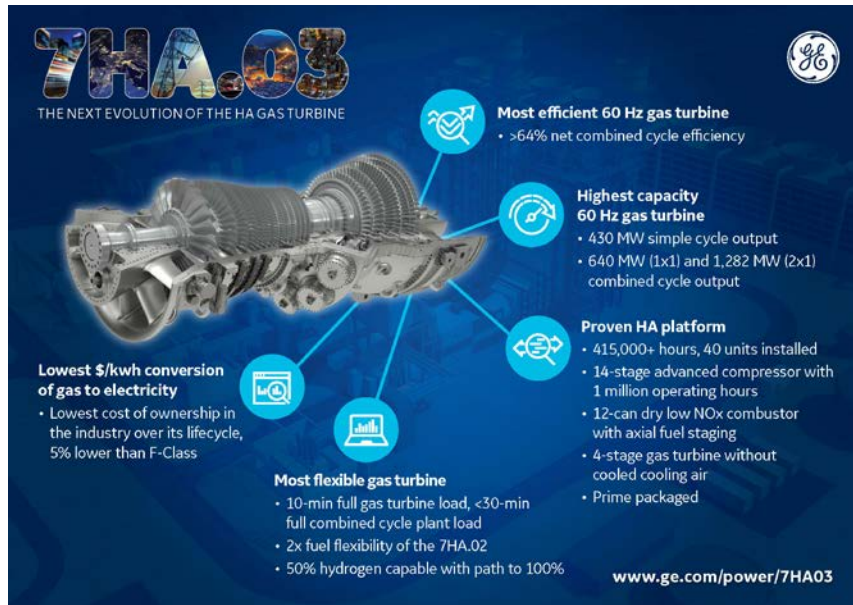


圖 2 7HA.03 氣渦輪機特色介紹

(圖片來源：奇異氣渦輪機網頁：<https://www.ge.com/gas-power>)

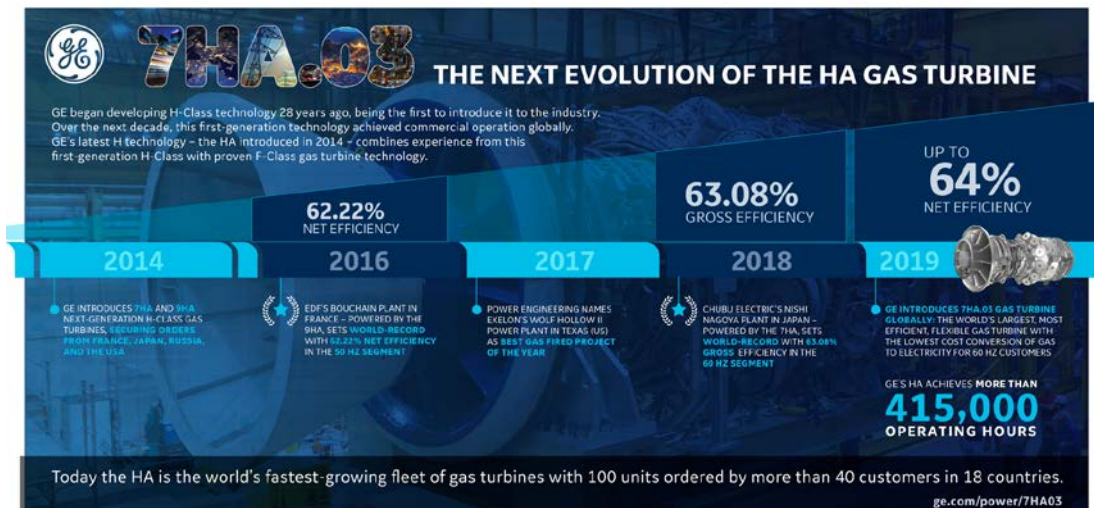


圖 3 HA 系列氣渦輪機演進的里程碑

(圖片來源：奇異氣渦輪機網頁：<https://www.ge.com/gas-power>)

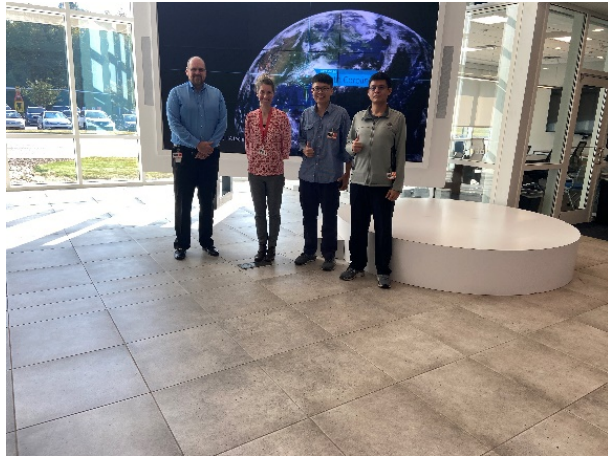


圖 4 與 60 Hz Platform Leader Steve McHugh 及 7HA.01 Platform Manager Noemie Dion Ouellet 合影



圖 5 Advance Manufacturing Works 大樓

(二)、 Advance Manufacturing Works

這一站的負責人，一開始先介紹擺放在桌上的不同時期動葉片，並說明動葉片的衍進過程，從最初的只有金屬的動葉片，演變至具有陶瓷塗層的動葉片，另外我們從展示的動葉片剖面模型(如圖 6 所示)中，不難發現越新一型的動葉片，有著越來越多的冷卻空氣孔。接著我們提議是否能夠進實驗室內參觀，但負責人回覆，由於關係到廠家專業技術機密的問題，故我們無法進入實驗室參觀，但可以隔著實驗室對外的透明玻璃窗面，跟我們介紹實驗室內每台加工機具，負責人在解說的過程中有提到，這些機械設備，都是為了製作葉片而特別設計開發出來的，都是獨一無二的。

解說結束之後，我們跟負責人請教了幾個關於動葉片維護及設計的問題，紀錄如下：

問題一：

動葉片表面有需多冷卻空氣孔，一旦發現堵塞時，有什麼解決的方式？

答：

可以利用 Electrical Discharge Machining (EDM, 電子放電加工)將異物移除，並隨後展示 EDM 部分的器具(如圖 7 所示)，但事後我們認為動葉片外觀形狀、曲度的變化及為數眾多冷卻空氣孔，如果利用 EDM 將異物移除，在機台定位及異物移除上，將花費不少時間成本，故這套施工手法的可行性，還需要在討論及研究。

問題二：

當動葉片表面的陶瓷塗層出現異常時，是否能在大修現場修復？

答：

建議直接跟換新的備品。

問題三：

7HA.03 氣渦輪機的動葉片相較於先前的機組，應用那些更先進的技術？

答：

7HA.03 的動葉片擁有最先進的塗層技術，而其動葉片的翼剖面的曲度也越大，冷卻孔也越大越多。這樣的改良是為了加強葉片冷卻的效能，同時這也意味著：

- a、 動葉片獲得更好的冷卻效果，因而使得動葉片的壽命延長。
- b、 當動葉片冷卻效率提升時，能夠承受的運轉溫度也跟著提升，故機組在有著更高的運轉溫度時，其發電量也跟著增加。

離開這一站前，負責人跟我們提到，由於奇異公司組織改造的政策關係，他們這邊也開始著手研究風機葉片的相關議題，所以他們的研究內容也越來越豐富。



圖 6 各氣渦輪機動葉片展示

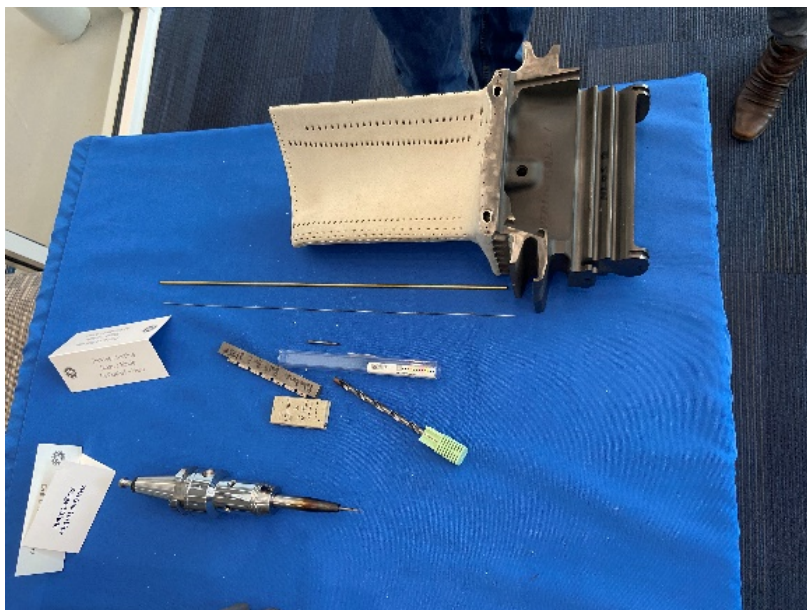


圖 7 EDM 部分工具展示



圖 8 風機葉片

(三)、 Gas Turbine Technology Laboratory

這一站並未開放我們進入參觀，雖然大樓四周有需多除役後拆解的奇異氣渦輪機零組件，但未經廠家允許下，並未拍攝紀錄，最後只能在門外與第一代的奇異氣渦輪機合影(如圖 9 所示)。



圖 9 與第一代的奇異氣渦輪機合影

(四)、 Gas Turbine Outage Simulator

這一站為現場大修所使用的特殊工具之研發中心，與我們修護處工作隊的性質較相關，一進大樓門口，就可以看到許多 3D 列印的機台，這一站的主講人 Christopher 跟我們說，這裡所有的特殊工具，從構思到應用到大修現場的過程中，都是先經過 3D 列印機列印出試驗品，並將列印

出來的試驗品帶到大修現場試裝，測試尺寸上是否合適或卡到其它零組件之類的，以及在安裝過程中，是否受限於作業空間的大小，造成使用上的不便。隨後 Christopher 展示為數不少利用 3D 列印機列印出來的試驗品給我們參觀，大部分的試驗品，都是利用頂升螺栓(Jacket Bolt)最為設計基礎，開發出鎖固(Tighten)或頂升(Jacket)的特殊工具，其中較為印像深刻的工具是類似如圖 10 所示的防螺栓旋轉扳手，這套工具很常在大修現場用到，另外由此反思，未來我們也可利用頂升螺栓的操作概念，開發出適合我們應用在大修現場的特殊工具。

接著 Christopher 帶我們去參觀已退役的 7E 型氣渦輪機，並一一的介紹他們的團隊曾經在 7E 型氣渦輪機的那些機組部位研發出特殊工具。

最後 Christopher 將我們帶到 Gas Turbine Outage Simulator 的特殊工具儲存倉庫，Christopher 告訴我們，平常都會將特殊工具整套整理成箱，大修時就可以直接整套運至大修現場使用，這個概念值得我們修護處效法學習，平時將各大修工項所需的特殊工具整理成箱，待臨時有突發狀況時，將可以加速機具動員及定位的速度，提升工作的機動性，另外我們也在現場看到一套類似如圖 11 所示的靜葉片拆裝設備，差異處在於奇異的特殊工具增加吊掛機構，可供吊車吊掛使用，避免拆解過程中，靜葉片掉落，壓傷施工人員，在注重工安防範未然這方面，是值得我們學習的。

Christopher 介紹結束後，我們跟他請教幾個問題，分別如下：

問題一：

現場是否有燃燒桶對心用機械手臂可以參觀，及為何會考慮到使用機械手臂動安裝燃燒桶？

答：

目前現場無燃燒桶對心用機械手臂可以供參觀，而之所以會有考慮開發機械手臂安裝燃燒桶的動機，是因為隨著氣渦輪機組的發電量越來越大，新

一代的燃燒桶在重量及體積，都比以往更重及龐大，故在考慮工作中的安全性、可靠性及穩定性，研發出機械手臂，取代傳統的天車吊掛回裝燃燒桶。

問題二：

現場大修，氣渦輪機與發電機的聯軸器心時，是否有特殊且快速的對心工具可以介紹給我們認識？

答：

Christopher 從他們的倉庫內取出一組雷射對心工具，並利用白板解釋雷射對心設備的架設及調整方式，這套設備的好處在於對心結果，可以直接利用與雷射對心工具搭配的手持式電腦計算出對心的結果，並提供建議的對心調整方式，但是我們認為，架設雷射對心機具所花費的時間成本，相對傳統只需利用量錶及平行塊即可以測量出對心數據(Face 及 RIM)，所需花費的時間更久，不符合時間成本。



圖 10 防螺栓旋轉扳手



圖 11 靜葉片拆解

(五)、 Test Stand 7

Test Stand 7 這一站是氣渦輪機出廠前的離網測試站，整棟測試平台的空間大小，相當於一部氣渦輪機廠房的規模，進入到工廠後，從入口處開始參觀的設備依序為：起動馬達、58 MW 驅動馬達、扭力轉換器、齒輪箱、Compressor Validation Rig (CVR)、氣渦輪機(7HA.03)、排氣道，相關設施擺置如圖 12 所示，而氣渦輪機兩側則是佈滿管路、輔機及潤滑油槽的部分。除此之外，我們可以發現，工廠內的地板上配置鐵軌，作為廠內設備的移動工具，而測試完成的氣渦輪機，也可以藉由工廠外的軌道運輸至場內的貨運集中場，再藉由貨車轉運到港口，並以船運的方式運送至目的地)。

在 Test Stand 7，是我們唯一看到氣渦輪機(7HA.03)主體的地方，7HA.03 整體外觀尺寸與目前修護處中部分處轄區內最新的氣渦輪機組(通霄發電廠新#1~#3 三菱氣渦輪機(501J)相比)，整體長度較短些，但寬度相對寬許多，因此日後若有道路運輸的需求時，須注意是否符合當地的運輸法規，另外比較可惜的是，參觀當日，燃燒桶皆自氣渦輪機上拆出，進行

相關調校的作業，無實體可以觀看並與氣渦輪機(501J)比較有什麼不同之處。

在這一站，除了氣渦輪機之主機外，其中較特別的設備為 CVR，中文直譯為壓縮機驗證裝置，這個設備主要功能是調節主機的轉速，這裡使用它來取代發電機同時測試空壓機的性能，測試分成許多階段，單純進壓縮空氣調整空壓機段的 Inlet Guide Vane(IGV)及 Variable Vane (VV)，到送天然氣點火爆炸測試，進行燃調等標準流程，主工廠安裝完成的氣渦輪機主機，在移交給客戶端之前，都會先經過這個離網測試運轉平台，在經過一系列的運轉模擬測試後，確認裝機組狀況良好才會出貨。(由此可知，在氣渦輪機送達客戶端之前，已經運轉過一段時數，故其動葉片或靜葉片表面塗層的使用壽命是否會受到影響，是值得注意的。)

參觀完測試平台現場後，緊接著參觀測試平台旁的控制室，這邊可以監測到氣渦輪機各段溫度、壓力、燃燒室溫度、排氣溫度、NO_x 排氣與振動值等數據，規模相當於電廠控制室的大小。

參觀結束後，我們與這一站的負責人請教幾個問題，分別如下：

問題一：

氣渦輪機大修後，臨界轉速及 3600 RPM 時的振動值是試運轉是否順利的重要因素，在離網測試時，是否會進行相關測試？

答：

出廠前，機組的臨界轉速及 3600 RPM 時的振動值及其它訊號皆須顯示合格數值且運轉穩定，這樣才可以保證出貨。

問題二：

台灣電力公司目前有再嘗試天然氣混氫氣的發電測試，而這個離網測試站是否有相關的研究或測試？

答：

目前這個離網測試站沒有進行天然氣混氫氣的發電測試，但在奇異的其它機構有在進行相關的研究。

問題三：

雖然離網測試站可以監測氣渦輪機運轉後，排放的廢氣溫度和 NOx 的數據，但測試站運轉後的廢氣，直接由排氣煙囪排出，是否會有環保問題？

答：

這一站的負責人並未明確的回覆這個問題，但有提到可能會有環保問題的產生。

不論是在 Gas Turbine Outage Simulator 或是在 Test Stand 7 的參訪過程中，不難發現只要工作人員有在現場作業或使用維修工具，必定會戴上安全護目鏡，由此可見，工安防護的相關知識，已深入每一個工作人員心中，是值得我們借鏡及效法的。



圖 12 測試平台設備名稱說明

以上為這次在 Greenville Service Center 參訪的過程，參訪的過程中，因為有許多涉及到奇異公司機密的問題，所以在拍照部分有許多設限，只

能依記憶敘述當時的參訪過程，另外在參訪的過程中，我們發現奇異公司辦公室的門設計成如圖 13 所示，或許是因疫情所設置，因此讓我們想到，創新不只是應用在新的科技，也可以是在日常生活中。



圖 13 無接觸設施

二、Bently Nevada 訓練中心

這一站拜訪的 Bently Nevada 這間公司，在感測儀器及監控設備上的研究，相當出名，2002 年被奇異公司併購後，成為奇異公司 Oil & Gas 事業群的一員，直到 2017 年奇異公司又併購 Baker Hugh 公司後，從奇異公司 Oil & Gas 事業群中分割出來，並併入 Baker Hugh 公司，成為奇異公司的子公司之一，故當我們在與 Bently Nevada 公司接洽參訪行程的同時，Bently Nevada 公司及奇異公司雙方都知道我們即將到美國參訪。

Bently Nevada 訓練中心位於休士頓，距離下榻的旅館約 20 分鐘的車程，當天先與 William Trevino 及 Guerrero Ricardo 於 Energy II 大樓會面(地理位置及外觀分別如圖 14 和圖 15 所示)。以下將以敘述的方式介紹這段參訪過程。



圖 14 Bently Nevada 訓練中心位置圖

(圖片來源：Google Map)



圖 15 Energy II 大樓外觀

(一)、Rotor Kit

在 William Trevino 及 Guerrero Ricardo 簡單的自我介紹後，隨後介紹 Rotor Kit 這套設備(可參考如圖 16 所示)，我們修護處中部分處也有類似的設備(設備名稱為振動模擬器)，這套設備可以模擬不同轉速(3600 RPM 和臨界轉速時亦可)及潤滑油油速時，軸承的振動狀態，另外 William

Trevino 建議我們可以將設備擴充為多軸，如此將有助於模擬多軸設備(例如大型汽輪機)的振動分析。



圖 16 Rotor Kit

(二)、 Anomaly Detection Software

隨後 Michael Thevanh 加入 William Trevino 及 Guerrero Ricardou 一起介紹 Bently Nevada 的 AI 分析軟體，他們稱這套 AI 分析軟體為 Anomaly Detection Software，這套軟體可以藉由分析電廠所提供的機組運轉狀態，估算未來機組可能發生的異常狀況，並提供給業主解決的方法，不過 William Trevino 有提到目前 Anomaly Detection Software 的準確率只有達到 99 %，還是需要人工作最後的判斷，才能達到 100 % 準確度，也因為這 1% 的錯誤率，他的團隊才不至於失業。

關於 Anomaly Detection Software，我們提出了幾個問題，分別如下：

問題一：

台灣電力公司的發電機組廠牌很多，有奇異、三菱及西門子等等的廠家，Anomaly Detection Software 是否都能應用到這些廠牌的機組，且無相容性的問題？

答：

Guerrero Ricardo 解釋這套系統應用在奇異、三菱及西門子等等廠家發電機組並無問題。

問題二：

使用 AI 分析軟體分析電廠所提供的機組運轉狀態，是否可能遭有心人士進行駭客入侵，提供錯誤的分析結果或劫持，造成電廠癱瘓無法運作？

答：

Guerrero Ricardo 解釋這套系統是在離網作業下運行及分析結果，所以不用擔心有駭客入侵的問題。

(三)、 System 1

Guerrero Ricardo 接著介紹 System 1 這套在電廠控制室內常見的監控軟體，一般我們只能在控制室的螢幕畫面，看到已經寫好控制頁面如圖 17 所示，而這次有機會看到控制頁面背後的程式設計碼，其撰寫方式與另一套自動控制軟體 Labview 類似，隨後 Guerrero Ricardo 有提到，System 1 目前可以做到電廠控制室內常見的監控軟體，可以將電廠運轉的資料藉由網路傳送到其他電廠或修護處單位如圖 18 所示，如此一來，維護人員就可以在第一时间得到電廠的運轉資訊，並減少維護人員通勤的時間，此外，不同電廠間的資訊也可以互相交流。

關於 System 1 我們提出了幾個問題，分別如下：

問題一：

台灣電力公司的發電機組廠牌很多，有奇異、三菱及西門子等等的廠家，System 1 是否都能應用到這些廠牌的機組，且無相容性的問題？

答：

Guerrero Ricardo 解釋這套系統應用在奇異、三菱及西門子等等廠家發電機組並無問題。

問題二：

台灣電力公司的資訊部門，對於資安要求很嚴格，利用網路傳輸電廠的運轉資訊，是否會傳送到第三方單位，這樣是否會有資訊洩漏的問題？

答：

Guerrero Ricardo 解釋這套系統，只會將資料傳送到台灣電力公司允許的單位，並不會傳送到第三方單位，顧並無資安的疑慮。

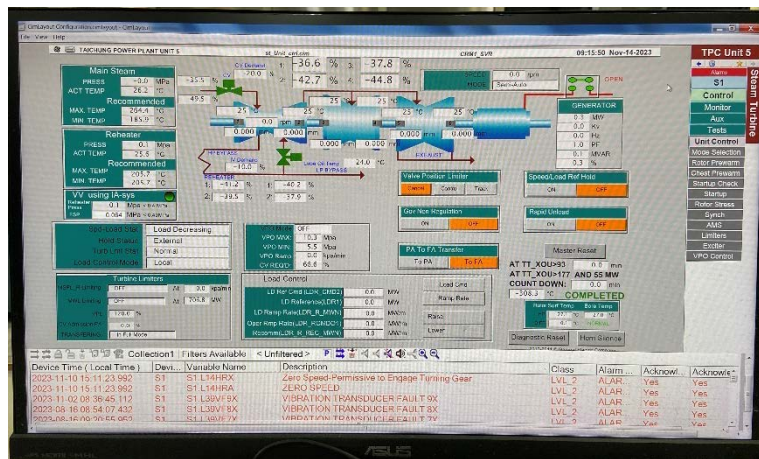


圖 17 System1 控制介面

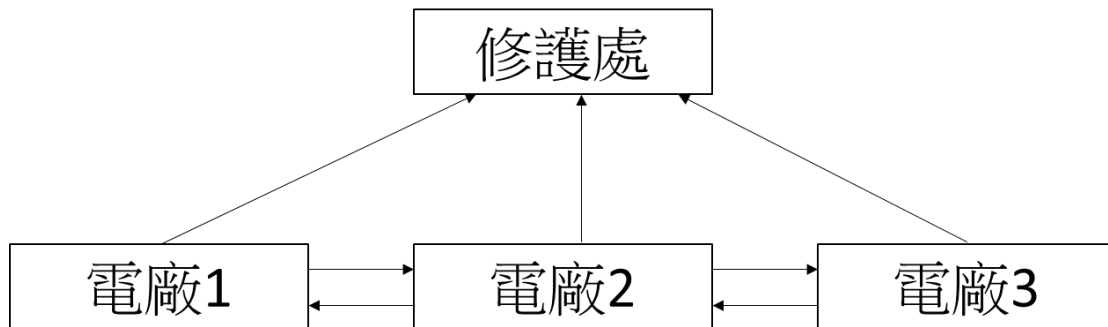


圖 18 Bently Nevada 公司建議電廠運轉資料傳輸概念圖

(四)、手持式藍芽無線平譜分析儀

Guerrero Ricardo 最後跟我們介紹手持式藍芽無線平譜分析儀，這套分析儀尺寸的大小，端看客戶端的需求而定，可以是平板或手機尺寸的大

小，這套設備的好處，在於安裝在待測量機組上的探頭，無須再接線到手持式藍芽無線平譜分析儀，可以減少工作人員在數據取得上的負擔。

設備都介紹完後，Guerrero Ricardo 提到 Bently Nevada 有許多訓練課程在休士頓的訓練中心開課，如果不便到美國本土上課，亞洲地區在中國大陸及新加坡也有相關課程，如果都不方便的話，也可聘請講師到台灣授課，但是機票跟住宿部分須由學員負擔。

(五)、技術交流

由於在出發前往 Bently Nevada 訓練中心前約一個月，我們有先跟台灣地區的曾經理俊嘉聯繫，提供給他，我們此行的目的及探討的問題，以便美國 Bently Nevada 訓練中心安排行程及回覆我們的疑問，因此最後 William Trevino 有將我們的問題整理後，回復如下：

問題一：

現場汽輪機大修時，曾發現軸承與軸頸有電腐蝕的狀況，Bently Nevada 公司是否有儀器或曾有相關的研究，可判斷這些異狀確實為電腐蝕所造成？

答：

William Trevino 表示他的團隊對陣這面相當有研究，他們稱這現象為 ESD (Electrostatic Discharge) 如圖 19 和圖 20 所示，他們認為這些現象是由於靜電釋放所造成的破壞，此外他們在利用 Bently Nevada 的 Proximity Transducer System 所讀取到的訊號軌跡和 Timebase Plot，獲得許多研究成果。(圖 21(a)和(b)分別為機組運轉期間有無靜電釋放現象發生的狀況比較，William Trevino 認為圖 21(a)的訊號之所以如此混亂，是由於靜電釋放造成)，這段異常訊號產生的同時，也被控制室中的 System 1 偵測到，並發出異常的警告，而在停機大修期間，也確實發現接地銅刷也磨耗用盡的狀況(如圖 22 所示)，但在更換接地銅刷後，運轉時異常訊號就不再發生。

值得注意的是，我們在大修期間所發現的電腐蝕異常狀況(如圖 23 所示)，並不像 William Trevino 所提供的照片中，如此嚴重，故 Proximity Transducer System 如應用在我們的系統上，是否依然可以讀取到類似的訊號軌跡和 Timebase Plot，值得我們在三思。

問題二：

發電機組之勵磁機(Exciter)之軸承(Bearing)在臨界轉速(Critical Speed)振動高(Trip Level)但過了臨界轉速振動就正常，過程中其餘軸承都正常，單獨勵磁機在臨界轉速振動高，是否有相關經驗可以分享以及改善？

答：

William Trevino 認為這個案例類似是懸臂樑被懸空的例子，配重平衡可以改善這個狀況。

問題三：

我們在 Bently Nevada 的網站上有看到航空引擎發電機組(LM2500)的介紹網頁，是否有相關的議題可以深入介紹？

答：

William Trevino 表示 LM2500 是奇異公司共同合作產品，如果 LM2500 是安裝在發電廠的話，奇異公司為技術交流平台，若是安裝在石油產業，Baker Hugh 為技術交流平台，故這部分他無法提供任何技術資訊

最後我們與 Michael Thevanh、William Trevino 及 Guerrero Ricardou 在櫃檯前合照，結束在 Bently Nevada 訓練中心的行程。



圖 19 軸頸電腐蝕現象
(圖片來源：Bently Nevada 訓練中心資料)

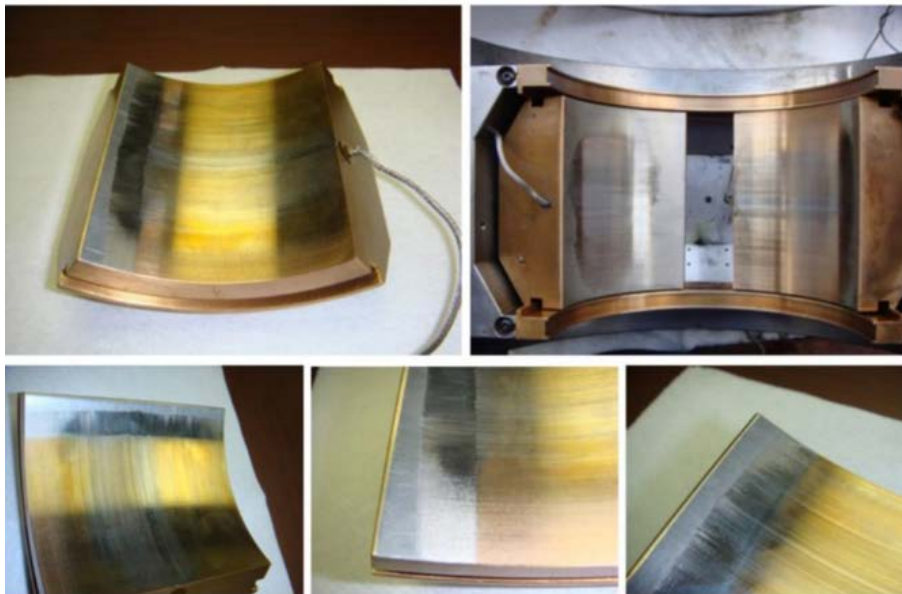


圖 20 軸承電腐蝕現象
(圖片來源：Bently Nevada 訓練中心資料)

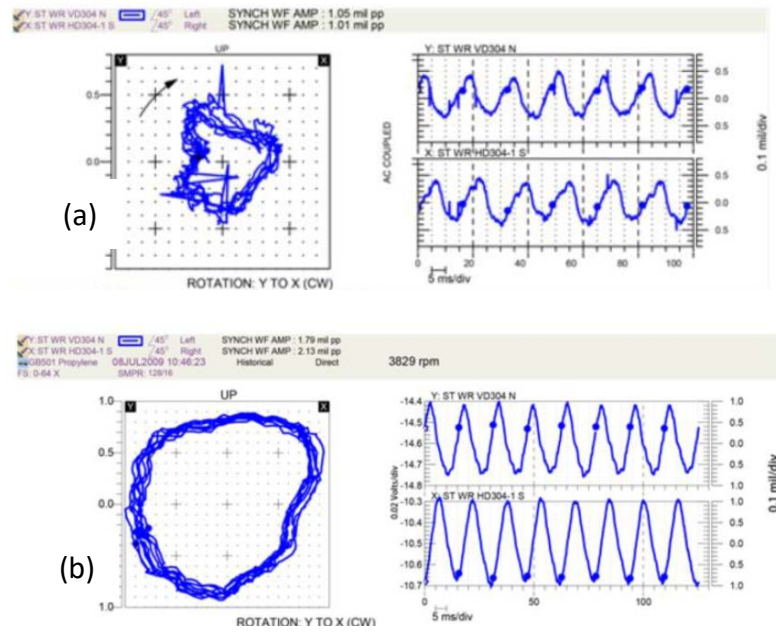


圖 21 訊號軌跡和 Timebase Plot
 (a) 靜電釋放的状态 (b) 無靜電釋放的状态
 (圖片来源: Bently Nevada 訓練中心資料)



圖 22 接地銅刷
 (圖片来源: Bently Nevada 訓練中心資料)

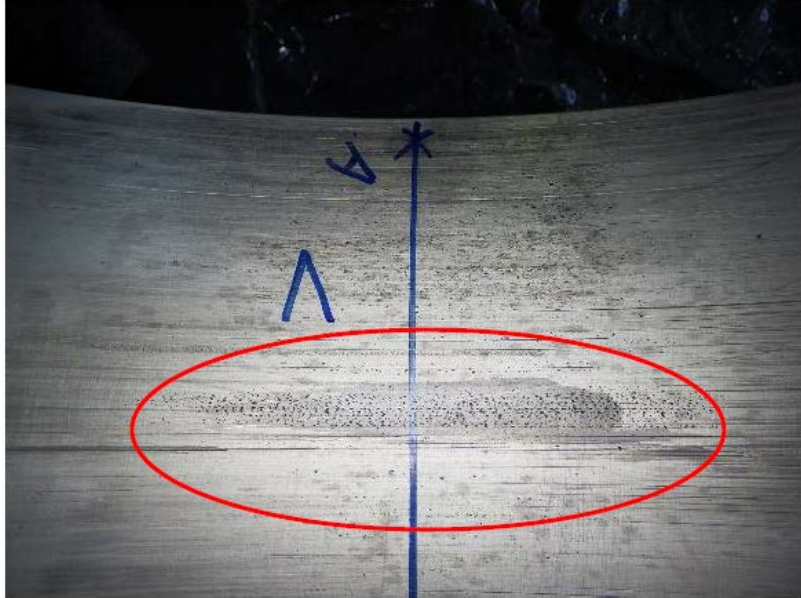


圖 23 大修期間發現的電腐蝕狀況

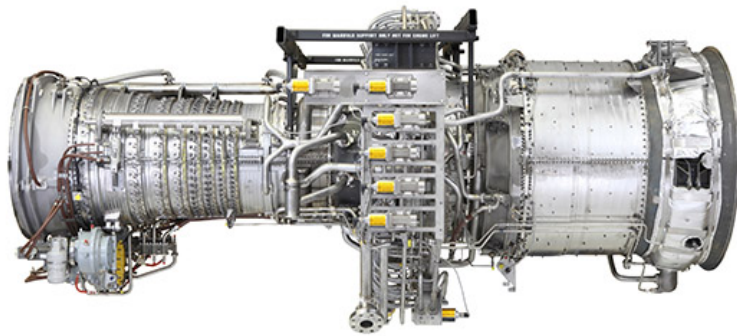


圖 24 航空引擎發電機組(LM2500)

(圖片來源：奇異氣渦輪機網頁：<https://www.ge.com/gas-power>)



圖 25 與 Michael Thevanh、William Trevino 及 Guerrero Ricardou 於櫃檯前合照

肆、心得及建議

這一次能藉由公務出國，實習參訪奇異公司和 Bently Nevada 公司，是相當難能可貴的經驗，不論是在行程安排、參訪的過程中，及與廠家交流所獲的回饋，都收穫匪淺，以下將以條列的方式，分享這次實習參訪的心得及建議。

1. 與原廠家洽談參訪地點時，在電子郵件書信來回的過程中，需要花費不少時間，需要耐心的等待及溝通，另外，一開始原廠家可能會提供不少地點供我們參訪，但最後同意邀請我們去參訪的地點，可能會因為各種因素而減少，故無需感到太大的意外及失望。
2. 雖然我們在出發前往美國前，有準備了許多議題，想藉由這次參訪的過程，與原廠家交流，但由於原廠家基於技術機密的因素，不一定會回覆所有提問的問題，即使是簡報時的資料也是如此，所以建議各位在提問及索取資料時，不要太為難接洽的人員，另外如果有要拍攝在現場設備、工具或景物時，務必先告知接洽人員，避免造成不必要的衝突，或原廠家不願意再度邀請台灣電力公司員工參訪的意願。
3. 這次在與原廠家的交流及美國食、住及行等日常生活方面，都需要利用英文溝通，只要不畏懼利用英文提問及溝通，即使是英文口說不流利，美國人也

會了解我們在口說的內容是什麼，即使他們聽不懂我們所說的英文，也會耐心地與我們溝通及確認。

4. 建議在行程的安排上，不要安排得太緊湊，由於美國地大物廣，在交通運輸方面以搭乘飛機較方便及迅速，但是各航空公司飛往各地的航班，可能每天就只有一班，一旦有班機延遲時，就可能延誤後續的行程，以這次行程為例，需轉乘兩次國內線班機，由於 LAX 機場飛往 IAH 機場的國內線班機因機械故障的因素，班機起飛時間延誤超過 2 小時，導致當我們抵達 IAH 時，來不及搭上後續行程的班機，因而在 IAH 機場多待一天，直到隔天才有班機飛往後續目的地，所幸當初在安排行程上，有將班機延誤的不可抗拒因素考慮進去，所有參訪行程都在飛機抵達目的地後一日才開始，才不會有行程耽誤的問題發生。
5. 建議日後還有出國參訪行程時，修護處北中南三個單位的派訓人員在時間的許可下，可以一同前往，原因如下：
 - (1) 方便原廠家安排時間及人力接洽台灣電力公司的同仁前往參訪。
 - (2) 原廠家可能會因為上次參訪人員的接洽及回饋，認為有些地點與我們單位較無關聯性，因此直接拒絕我們的參訪。
 - (3) 在美國本土，基本上都是需要藉由汽車來往訪食、住、行及參訪的目的地，光用步行是不可能的，所以在汽車的租借及 Uber 的搭乘上，需要不少的花費，多人同行的狀況下，可以減少交通運輸的花費。
6. 在美國很多地方都可以另用信用卡或簽帳金融卡消費，建議同仁可帶至少兩張不同的信用卡或簽帳金融卡出國，並且在出國前通知發卡單位，在什麼期間會到那一國旅行，減少海外刷卡失敗的機率，畢竟除了帶著大筆美鈔出國的不便和危險外，美國的商品結帳時，都還需再加上當地的消費稅，以現金結帳在找零時，有很大的機率會換到不少的硬幣，徒增旅行的不便。

7. 在這次參訪的過程中，不難發現修護處在公司前輩的努力下，在大修工具的開發及特殊工具使用的狀況，並不劣於奇異公司，值得我們持續精進和努力。
8. 由於目前的監控系統 System 1，已經能做到網路傳輸運轉訊息到指定的單位或地點，未來若在台灣電力公司資安部門的允許下，會許可以在修護處也增設資訊傳輸站，如此一來維修人員在第一時間就能得到電廠機組的運轉資訊，並根據運轉資訊做出正確的維護方針。

伍、參考文獻

1. 奇異氣渦輪機網頁：<https://www.ge.com/gas-power>
2. Google Map
3. Bently Nevada 訓練中心資料