

出國報告（出國類別：實習）

奇異新型氣渦輪機與航改型小氣機檢修 技術研習

服務機關：電力修護處

姓名職稱：楊喬仁 工程師

派赴國家/地區：美國 / 亞特蘭大 休士頓

出國期間：自 112 年 05 月 21 日 至 112 年 06 月 03 日

報告日期：112 年 08 月 02 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：奇異新型氣渦輪機與航改型小氣機檢修技術研習

頁數 32 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

楊喬仁/台灣電力公司/電力修護處/機械工程專員/ (03) 328-1713 #2208

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05月21日至112年06月03日

派赴國家/地區：美國/亞特蘭大/休士頓

報告日期：112年08月02日

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

我國能源轉型以減碳、增氣之發展方向為規劃原則，將來大潭電廠#8、#9 機以及台中電廠、興達電廠皆有奇異公司的機組，加上今年初通霄電廠上線運轉的6部 LM2500XPRESS，未來台電公司的氣渦輪機數量及種類非常可觀，其運轉維護的可靠度、穩定度、韌性就顯得相當的重要，藉由赴原廠實習，氣渦輪機部門(Greenville Service Center)及航改型小氣機部門(Houston JPORT)，獲取其機組最新之

發展資訊，並與各廠幹部座談，了解其機組大修服務內容，學習關鍵之大修技術。此次實習順道參訪位於亞特蘭大的監診中心(Atlanta M&D Center)，藉由座談會議的形式來了解各機組遠端監控及智能診斷的方法，透過雙方經驗回饋與交流，可望未來提升氣渦輪機的運轉與維護效能。

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	頁碼
出國行程表	3
亞特蘭大監診中心實習	4
氣渦輪機維修中心實習	9
航改型小氣機實習	21
實習心得與感想	25
建議事項	28
致謝	29

出國行程表

項次	起始日	迄止日	前往機構	機構所在國家城市	詳細工作內容
1	1120521	1120521			去程(台北→舊金山→亞特蘭大)
2	1120522	1120522	Atlanta M&D Center	亞特蘭大	監診中心
3	1120523	1120527	Greenville Service Center	格林維爾	奇異氣渦輪機設備修護實習
4	1120528	1120601	JPort Shop	休士頓	奇異航改型小氣機設備修護實習
5	1120602	1120603			返程(休士頓→台北)

題目：亞特蘭大監診中心實習

時間：112 年 05 月 22 日 (美國時間)

地點：亞特蘭大監診中心 **Atlanta M&D Center**

地址：**4200 Wildwood Pkwy, Atlanta, GA 30339 USA**

目的：了解未來維護趨勢及先端科技診斷技術

內容：

從亞特蘭大市中心開車需要 25-30 分鐘左右的車程，路上景色由市區冷冰冰的高樓大廈漸漸的轉變，突然間進入環境生態保護完善的科學園區，環境優美，景色宜人，一進到 M&D 中心，迎接我們的是負責美區的副總 **Rahul Chadha**，且為我們介紹各個專業的負責人 **Ben**、軟體開發負責人 **Thomas**、環保能源負責人 **Aaron**，之後進入會議室，大家輕鬆簡單自我介紹過後，由專業人士為我們一一介紹什麼是監診中心，為什麼需要監診中心，它的價值在哪裡，以及未來趨勢等等。

首先，**Ben** 帶我們來到監測中心的大螢幕及控制電腦前，投影片前段簡單介紹了目前全世界有多少國家，多少部機組使用了這套先進系統，再來講解這套系統的功能及軟硬體設施，其中印象最深刻的是看到空壓機葉片斷裂的畫面，投影片標題為 **Compressor Mass Loss**，這時我感到了興趣，因為有大潭七號機數次的維修經驗，GT7-2 曾發生過空壓機葉片斷裂而產生後續的損壞，那次檢修更換了 CDC 上、下半的外缸，以及整根轉子的動、靜葉片，身為第一線現場的維修維護人員，看到如此慘不忍睹的畫面，當下心情很複雜，也很難過，於是我跟大家分享了這段經驗，並且詢問以目前 M&D 的技術可以提早預判如此的事件發生並即時的反應問題嗎？當時 **Ben** 的解說為，系統可以偵測到已發生斷裂的空壓葉片，

因為它的斷裂造成訊號上的反應，也就是機組的振動值突然的跳變、異常，加上溫度的變化等等參數，及時通知停機??(機組自行跳脫??)，即時通知現場端的值班人員，請不要急著再次啟動機組，監診中心建議先做內視鏡，機組可能有問題，於是乎找到了葉片斷裂的痕跡，而防止了機組後續的擴大損壞。我當時聽完的想法為，這套系統目前還是沒有辦法提早發現葉片會斷裂這件事情，而覺得有點可惜，不過依然是很有潛力的系統，畢竟他一直在進步中，說不定哪一天它就及早偵測到了。

再來，我們進入會議室，由 **Rahul** 為我們詳細說明這套系統，簡單的 **Demo** 了一下，其實這套系統不局限於只能在 **M&D** 中心才可以開啟監控，只要通過有授權，有安全防護的網絡，就可以進入監看機組資料，且多半是自動化的，系統偵測到一定程度的異常時，會發訊息，訊息主要使用顏色來做區分，紅、橙、黃、綠，分別代表緊急、次緊急、警告、正常。一整部機下來，是有分權重的，專業術語為 **APM(Assets Performance Management)** 資產管理，以氣渦輪機來說，最重要的當然是主機，其次是輔機，及其他一些泵浦閥類等等，依這些來區分它的重要性，加上時間的成本、維護的成本等等；主機的成分很多，參數也很多，相對也較複雜，當然也沒有那麼容易診斷出那裡有問題；相較於閥類或泵浦，可能一部機有兩個可以使用，其中一個損壞了，另一個是好的還可以在線繼續運轉。

接著到了重頭戲，**M&D** 中心的主角核心，**Smart Signal**，前面所說的監診系統就是 **SS**，由 **Thomas** 為我們解說，並現場 **Demo**，這套系統可以預測未來，以線性或非線性，是基於機器學習的原理下去打造的，根據機組的歷史資料，使用者可以自行設定要學習或參考的運轉區間，然後去預測未來一週、一月、三個月、半年等等，當然時間軸拉越常會影響精準度，而精準度跟供給系統多少的原始資

料量也有關聯；用以上，來給出一個模擬機組正常情況下的未來走向趨勢，並形成兩道警示防線，來跟現在當下機組的運轉參數做監測，聽了許久的介面操作，我提了一個問題，假若我們未來購買了這套系統，你們能否提供我們這套系統背後運作的秘密呢？像是演算法之類的呢？這時 Rahul 笑了，並說這才是 Engineer 該問的問題，且接著回答，我們很樂意提供你們這些資訊，甚至在 Demo 的同時打開演算法程式的內容讓我們參閱，還展示機器學習的投影片，很多很多的數學式以及矩陣，我當下感受到他們副總深深的誠意，他說這些都可以傳承，但是，在英文 "There's always a but"，這套系統將會一直不斷的更新進步，且不定期的，因為它是 Smart Signal。不過初步使用這套系統的話，會有專人駐地親自指導，訓練到可以上線的時間至少需要一年。

再來由環保能源走向的專人 Aarron 為我們解說，奇異數位部門的努力方向及未來趨勢，減少排放碳足跡、走向環保乾淨、以及再生能源的提升，如何做到優化；最後由 Rahul 為我們做總結，Smart Signal 可以為我們降低設備損壞所造成的維修成本，監診中心藉由大量的資料庫，可以有效的管控資產，減少人為的誤判，等等相關議題，這些都是我們團隊正在努力的方向及目標。

※提問及原廠回覆：

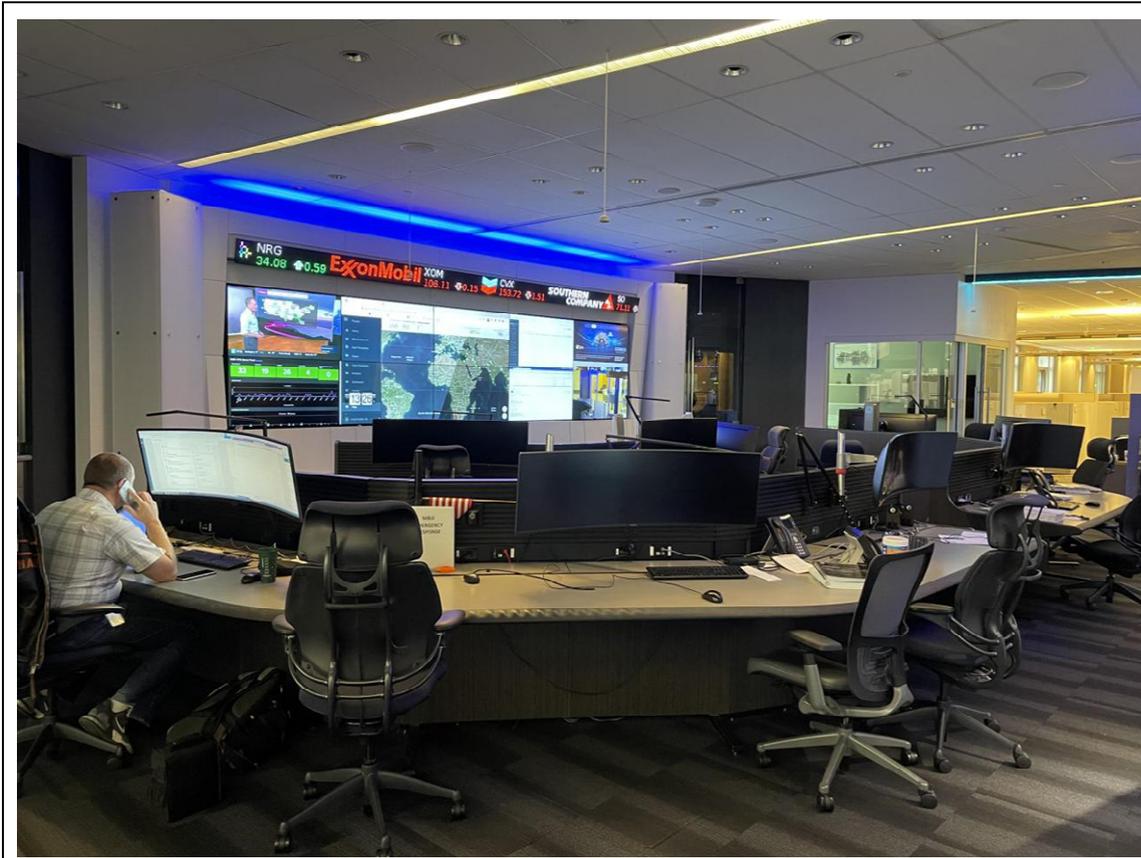
1. 自我介紹時有提到，我們台電不僅有奇異的機組，還有三菱、西門子等其他廠牌的機組，假若未來我們蓋監診中心，能否一同監診他牌機組呢？答：我們過去有跟三菱合作的案子，有這方面的經驗，加上氣渦輪機、發電機設備、電廠運作、原理都大同小異，差別在使用不同的硬體設備，是有辦法整合的。
2. 能否請您提供客戶端分別為”願意使用這套系統的客戶”及”拒絕使用這套系統的客戶”呢？以及其中的原由呢？答：我們可以提供正在使用這套系統的客戶，且

分為兩種形式，一、在當地蓋監診中心，資料不上傳，僅限當地維護使用；二、上傳機組資料至奇異監診中心，即時監控回饋。將提供給台電的客戶端國家為希臘，詳洽 GE Sales Kayne Huang。

3. 最後的問題，請問這樣下來一整套蓋下來的價格如何呢？答：現在談錢傷感情，台灣奇異先前有跟你們報價過了，未來有機會請他們提供，謝謝。

照片分享

	
<p>從左至右：Aaron, Thomas, Me, Edward, Kayne, Rahul.</p>	<p>從左至右：Kayne, Edward, Me, Rahul, Aaron, Thomas.</p>
	
<p>監診中心中控台(Central Control Room)</p>	<p>與升級案負責人 Lee An</p>



監診中心中控台(Central Control Room)

題目：氣渦輪機維修中心實習

時間：112 年 05 月 24 日、25 日 (美國時間)

地點：氣渦輪機維修服務中心 **Greenville Service Center**

地址：300 Garlington Rd, Greenville, SC 29615 USA

目的：透過與原廠家交流，了解新型氣渦輪機(7HA.02、7HA.03)的檢修技術

內容：

從亞特蘭大市中心開車至格林維爾需要至少 2.5 到 3 個小時，美國的高速公路跟台灣差不多，但道路品質比台灣低略許多，尤其舊金山轉機的空檔，出境透氣時，行經的高速公路更是有感，一路上垃圾、輪胎皮隨處可見。

長途跋涉後，終於來到氣渦輪機維修中心，在這裡總共會參觀六個工作站。

第一站是位在客戶服務中心後面的巨大產線維修工廠，**Standera Building (Factory)**，為我們做介紹的人員 **Davis** 遲到了幾十分鐘，進入主工廠前，我們戴上了安全眼鏡、耳麥，裝備齊全，就開始了主講人劈哩啪啦 CNN 模式的連環介紹，再來帶我們繞廠，首先氣機動葉片，有來自各個地方各個機組的，分門別類的裝載在車籃子上，有著各式各樣的標籤，也是以顏色來區分，等待做不同的再生處理流程；再生的葉片會經過一系列一連串的大型機器，從清潔冷卻孔，自動檢查冷卻孔的良率，葉片表面的特殊處理檢查，葉片品質的檢驗，氣流模擬實驗室，葉片噴砂室，最後到計算同一級別葉片的 **Moment Weight** 的實驗室，經過計算且出產的葉片會直接裝箱，並附上葉片的安裝排序表，就像大修中常見的那樣，原來是經過這樣一連串縝密的流程才能得到的成果。接著我們來到拆解轉子 **Wheel** 的地方，有的步驟需要把轉子立起來才能進行逐步的拆解，**Davis** 帶我們看了看那些工作平台、還有平台以下的深度，都是各種巨大、驚嘆的過程，其中

講解到維修的轉子若葉片拆不下來，則會有機台可以平整的切除葉片，再進行細部的鳩尾槽(Dove Tail)處理，Davis 提到每片葉片的價值媲美一台新車等級的價值，非常的可觀！途中我們看到空壓機段無裝載葉片的轉子在機台上做低速動平衡、Run Out 調整，機台轉速約在 360 rpm 左右，沒有高速動平衡的機台，接著 Davis 帶我們來到新機組裝機的產線，可以看到一連串的流程線，每經過一個平台就有著不同的安裝進度，逐步有序的安裝起來，每一動都一清二楚，整條走道走完組裝就圓滿完成了，看似簡單，但要做到這規模這等級，還真的是不容易啊！羅馬真不是一天造成的；最後，Davis 稱讚我們是優良的遊客，問我們需不需要拍個合照，畢竟我們很尊重，一路上都沒有時間拍照，都很認真的聽他講解介紹，第一站主工廠就這樣匆匆忙忙地結束囉！

接著來到我們的第二站，RDC (Repair Development Center)，這一站的主講人是 Jonathon，簡單的投影片為我們介紹一下這個部門，這個部門主要是研發與改良機組上的組件，組件例如 HGP (Hot Gas Path)的部分，如燃燒筒、燃氣導筒、氣機動葉片、靜葉片，藉由改良這些組件，來達到提升機組整體效率的過程，他們會嘗試著做各種不同的實驗，來測試效果及其性能，也就是說，更新升級案的來源幾乎都是經由他們團隊之手，整合而產生出來的。

※交流中提到的問題及回覆：

1.以我們目前大修過的氣渦輪機機組廠牌，我發現奇異機組的燃燒筒、導火筒都相對的重量比較重、體積也比較大，是什麼原因讓你們走向這個發展趨勢的呢？

答：這跟燃燒的溫度有關係，因為要經得起高溫的考驗，效率才能更上層樓，高溫意味著材質的進步、及結構體上的加強改善，等等諸多因素綜合在一起。

2.你們做這些實驗的想法、方向、靈感都是來自哪裡呢？ 答：有些來自現場人員

在維修上的回饋，他們會跟我們反應，哪個部分環節拆裝下來就變形不好安裝回去，這時候就是我們集思廣益的時候，又或者有些客戶有想法，想要嘗試新的作為，這時候也會給我們一些發想和更多的動力來做更新，滿足客戶的需求。

第三站，Test Stand 7，這一站的負責人是 Cordy，這個測試平台很巨大，堪比電廠裡一部氣渦輪機機組的規模，進入到工廠，從入口處開始布建的設備依序南、北向為：起動馬達、58 MW 驅動馬達、扭力轉換器、齒輪箱、CVR (Compressor Validation Rig)、氣渦輪機主機(7HA.03)、排氣道，工廠地板上配置鐵道作為廠內設備的移動樞紐，而工廠內東、西兩側則是佈滿管路、輔機及潤油槽的部分；其中設備較特別的為 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 IGV、VSV，到送天然氣點火爆炸測試，進行燃調等標準流程，我們參訪的那天，剛好燃燒器組件全部被拆除，移回工廠做細部調整；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 TS 測試運轉平台，經過一系列的運轉模擬測試，確認原裝機組狀況良好，沒有問題才會出貨。Cordy 很有自信地跟我們分享他的工作團隊，每一次的專案，在主機運轉測試前，會先經歷兩到三個月的工作時程，一切從無到有，遇到狀況時的問題解決，當機組順利啟動，達到額定轉速的那一刻，一切訊號皆顯示數值穩定合格，所有參與運轉測試的工作人員，都感到心喜、激動且撼動人心！大家的心血及努力沒有白費，這台機組合格了，可以保證出貨。

※提問及原廠回覆

1.組裝完成的機組，經過 TS 測試合格後，運送到客戶端有沒有可能會有變動?

答：是有可能的，但我們會盡量降低這些因素，會造成的因素有當地的氣溫、溼

度、空氣及土壤品質、跟蓋廠區時的施工品質都有所關聯。

這時讓我想到在大潭電廠工作時，跟三菱技師配合發電機與慢車馬達的對心經驗，當天晚上對心數據已經進標準範圍，數值很漂亮，聯軸器還沒有時間連接起來，大家帆布蓋蓋收工下班，經過了一個周末，回來準備接起來前，再次確認一次對心數據，結果發現整座慢車馬達，還需要再往前推 1 mm 左右，這時候大家感到非常困惑，紛紛討論，有人說到會不會周末發生地震，是地震所造成的偏移，我印象很深，當時技師給了一個非常玄妙的可能原因，技師說有機會是日月潮汐改變所造成的影響。所以相對地來說，TS 測試運轉平台的測試結果是保證機組在出廠的前一刻都不會有問題，但到了客戶端，可能因為種種不定因素，而產生了其他變化。

第四站，GTTL (Gas Turbine Technology Laboratory)，這一站的主講人是 Diana，這個實驗室主要專注在燃燒器效能開發與改善的部分，他們的測試系統是採單一顆燃燒器的測試，測試新型的燃燒器，並將其效能發揮至極限；工廠內部設置了中央控室與 6 間測試實驗室(Test Cell)，分別測試著不同機型的燃燒器，在實驗室使用的燃燒筒、燃氣導筒比起一般大修所使用的組件，外觀多了許多外接感測器以及線路，簡單介紹後，Diana 帶我們經過了中央控制室，讓我們看到目前有在測試的實驗室，螢幕上顯示了總總參數，以及最重要的燃燒火焰，拍攝火焰所使用的是一般的攝像機加裝外殼保護，這使得我們驚訝，此外殼竟然能承受如此高溫高熱及高壓，但我們沒有過多停留於這一塊上面；接著 Diana 就帶我們進到其中一間測試實驗室參觀及解說，到了現場，測試機台非常巨大，現場也非常乾淨，吊掛工具都整齊齊的吊掛在牆上，一部測試機台的兩側可以各安裝一顆燃燒器組件，安裝介面上大小有些微的差異，代表著測試著不同形式的燃燒器，首

先，Diana 為我們講解擺放在眼前的一些待測試分解組件，其中一個組件是我沒有看過但卻是最重要的精華，就是隱藏在燃燒筒裡面的 Mixer Chamber，這個組件主要功能為混和空氣及燃料的比例，透過研發這個 Mixer Chamber 的材質、物理模型、排列組合等等，達到了目前最新尖端的燃燒技術，並且持續進步當中。在過來，Diana 帶我們從頭到尾走過這個測試平台，讓我們見證這台單體燃燒器的酷炫之處。燃燒實驗室參觀結束後，Diana 帶我們看了這 6 間燃燒實驗室所需要的壓縮空氣機機房，但因為有實驗室正在進行測試，機房內部運轉中，安全因素，不方便參觀，大約解說到需要 3 大台的空壓機來提供每個燃燒測試平台，接著帶我們穿越了其他設備的測試平台，印象中最深刻的是風機的葉片根部裝載在巨大的轉輪上，最後看到架上擺放許多裝載感測器的燃燒器，結束了燃燒器實驗室之旅。

第五站，GTOS (Gas Turbine Outage Simulator)，這一站的主講人為 Christopher，這一站跟我們工作隊最有連結感，這是現場大修所使用的特殊工具的研發中心，僅僅 5 個人的研發團隊，可以發想如此多樣性的大修特殊工具，真的非常驚人，Christopher 一開始帶我們來到一樓的門面，看見許多 3D 列印的機台，發給我們 3D 列印的小禮物後，邊解說到，所有的特殊工具，從發想到將要實踐的第一步驟，都要先經過這個 3D 列印，將列印出來的成品拿到現場主機上合裝看看，看尺寸上合不合，安裝過程順不順手，會不會卡到其他的感測器或其他組件，第一步驟過關後，才開始打造特殊工具，使用符合現場狀況的材質材料，經過一連串測試工具的基本機械性能，確認其安全係數，完成後，就是我們在大修現場所聞所見的特殊工具。接著帶我們跟團隊打招呼後，便上到了二樓，二樓乍看下像是員工休息吃午餐的地方，牆邊的櫃子上放著許多關於氣渦輪機組件的 3D 列印模

型，Christopher 解釋，歡迎來到工程師的遊樂園(Engineer Kindergarten)，每當大家聚在一起，集思廣益，討論專案，都會有不同的點子出現，接著指著掛在牆上 1 比 1 的部分 Unibody，我們常說俗稱的魚尾的部分，那是個值得紀念的模型，它是第一個使用 3D 列印出來的成品，現在成了裝飾品，想起當初很是感動。在陽台外有一部退役主機 7E 型，打開陽台那一刻，順道開啟了我的問題之門。

※提問及原廠回覆

1.我們現在所使用的機械手臂 ALA、PLL 都是從 7HA 才開始出產的工具，你們當時花了多少時間研發這套工具呢？答：依機械手臂的案子來說，當時這個想法從無到有，經過了三到四個月的不斷發想及討論，慢慢的到從前面我們提到的步驟到測試到上線，前前後後花了將近三年的時間，才打造出現在你們現場所使用的 ALA、PLL。

2.我想知道你們是怎麼發展到這一步的？從使用天車配吊索，直接吊掛燃燒筒、燃氣導筒到使用機械手臂？這個改變的契機在哪裡？答：因為機組不斷的更新，現在的燃燒筒、燃氣導筒重量都比先前的機型還要重、體積也更加龐大，我們考量工作中安全性、可靠性、穩定性，才有此發想產生。

3.關於大修中的狀況，燃燒筒的前端有 Hula Seal，這個部分常常在安裝時撞傷損壞，有好的安裝方法來避免這類情況發生嗎？答：還是要請你們多加熟練機械手臂的操作。

4.如果在沒有機械手臂的支援下，可以吊掛燃燒筒、燃氣導筒嗎？以我們大修的經驗來說，ALA 的部分我們會以空中接力的方式，先以吊索吊掛燃氣組件，直到接近 ALA 的時候才轉接給它。答：不建議這麼做。還是要以人員的安全性為主要考量。盡量避免單純使用吊索吊掛組件，以你們的大修例子，我們建議直接將

裝載在架子上的燃燒器組件推到 ALA 身邊，使用 ALA 直接夾取。

5.為什麼以 7E 型的機組來說就不需要使用機械手臂呢? 答：因為重量、體積原因，再加上燃氣導筒的部分 7E 型跟 7HA 型設計上的不同，7E 型的燃氣導筒是可以逐一分解成小組件，而 7HA 則是一體成形，你沒辦法現場做分解。

6.ITS 的下半外缸要旋轉出來，在我們的實際操作經驗上，Counter Weight 的驅動器帶不太動，你們有收到消息，並且改善他嗎? 答：我很開心能收到客戶端在大修上使用工具後的反應，但目前我們尚未對此做進一步的改善。

7.ITS 的對心工具也很厲害，完全使用天線及感測器來取數據，為什麼要這樣做呢?如果在沒有對心機器，逼不得已的情況下，該怎麼做呢? 答：科技在進步，我們思維也要跟著進步，有這個發想，主要是要減少因為人為量測間隙所導致的錯誤，誤看、個人手感、亦或者是同級別，有多位人員同時輪流量測，這些種種都會降低 ITS 對心的品質。當然我們不樂見，但在沒有對心工具的情況下要完成工作，就只能請專業技師下去量測數據。

8.為什麼有些機型的氣機段只需要 OTS 而不需要 ITS 呢? 答：根據機組作功溫度、壓力的不同，而有不同的設計。

9.目前我們已經有 7HA.02 的機組，將來我們會有 7HA.03 的機組，請問特殊工具的部分可以交互使用(Interchangeable)嗎? 答：不能直接交互使用，各自有各自的特殊工具，但兩部機型的特殊工具在使用方法上及設計構造都是相似的，差別在尺寸上稍微不同，所以不能通用。

第六站，AMW (Advance Manufacturing Works)，這一站的主講人為 Doug，首先 Doug 為我們介紹擺放在桌面上的熱元件，主要為燃燒器的關鍵部件，這些部件的製造是使用 3D 金屬列印機，使用金屬特殊材料，在機台裡一層疊一層的，

將燃燒熱元件打造出來，一部列印機台可以同時製造一定的數量，輸出成品維持在一定的良率內；近些年來，AMW 部門往 HGP 的熱元件去擴展，開始嘗試新的領域，例如：氣機第一級熱覆片的部件、第一級靜葉片，這部分的製造，在使用 3D 金屬列印機，相較前者有挑戰性，因為多了冷卻空氣孔及流道的存在，相對也是新的技術，目前機台產出的數量沒有問題，可是良率部分相較於燃燒熱元件還有很大的進步空間。接著，Doug 帶我們到下一間實驗室，這裡介紹氣機動葉片的設計方式，桌面上可以看出動葉片的發展史，從完全沒有冷卻孔發展到多了一些冷卻孔，逐漸往冷卻孔越來越大、翼剖面曲度越來越大的趨勢來發展，以及翼剖面內部冷卻流道的設計，從很單純的橫切式發展到現在細胞式的模樣，這樣的改良是為了加強葉片冷卻的效能，其中意味著，葉片冷卻效果越好，葉片壽命就越長，葉片冷卻效率越快，能夠承受的溫度也會越高，這些因素都是影響著機組效率的關鍵技術，一個都少不了。最後 Doug 為我們介紹動葉片內部流道的模具，因為動葉片是以鑄造方式下去成行，相對的模具的技術就顯得格外重要，從模具外觀可以清楚的看見動葉片內部的冷卻流道構造，相當的有意思。目前 7HA.03 的動葉片擁有最先進的塗層技術，翼剖面的曲度也越大，冷卻孔也越大越多。

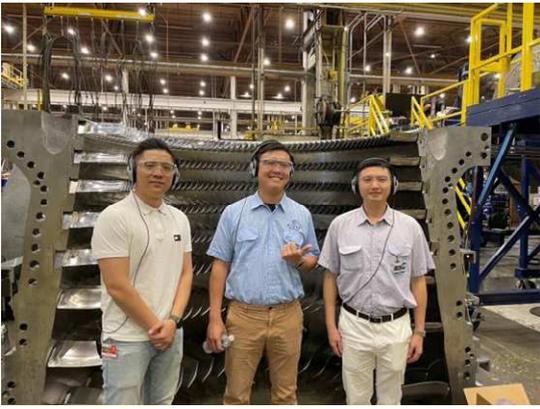
※提問及原廠回覆：

1. 為什麼動葉片的曲度越大越好呢？會不會有像空壓機葉片失速的現象產生呢？

答：翼面曲度大，表面層的冷卻空氣會因為內部與外部流速壓力差而產生天然的冷卻保護外層，就像是讓葉片穿上了一件保冷衣的概念，不會直接受到高溫高熱的影響而降低壽命；當然翼剖面的曲度也不是越大越厲害，還是有它的極限存在，這些都是根據計算與測試過後的成果。

2.我感到困惑，為什麼氣機第一級、第二級的熱覆片(Shroud)跟氣機第三、第四級的蜂槽式氣封(Honey Comb Seal)設計型態上會有所不同呢？答：因為各級所承受的溫度不同，殺雞焉用牛刀的概念；而在第三、第四級使用蜂槽式氣封的用意還有更深層的涵義，在設計理念上，為了降低損失，這裡指熱氣流從葉尖的流失，原理上使用蜂槽式氣封，是因為它的材質可以給動葉片的葉尖來稍微磨損，這樣子做的話，我們就可以減少熱氣流的損失。而第一、第二級的部分也有考量到這一塊，所以一整圈同級別的葉片裡，會安插少數幾片的葉片且平均分布，其葉片的長度稍長，用來防止熱氣流的流失。

照片分享

	
<p>氣渦輪機拆裝主工廠, GT Factory. 由左至右：Me, Edward, Kayne.</p>	<p>氣渦輪機拆裝主工廠, GT Factory. 由左至右：Kayne, Edward, Me.</p>
	
<p>測試平台 Test Stand 7.</p>	<p>GTOS, Gas Turbine Outage Simulator. Kayne, Edward, Me, Christopher.</p>

Me, Edward, Kayne.



GTTL, Gas Turbine Technology Laboratory.
Edward, Diana, Me.

AMW, Advance Manufacturing Works.
Kayne, Me, Edward.



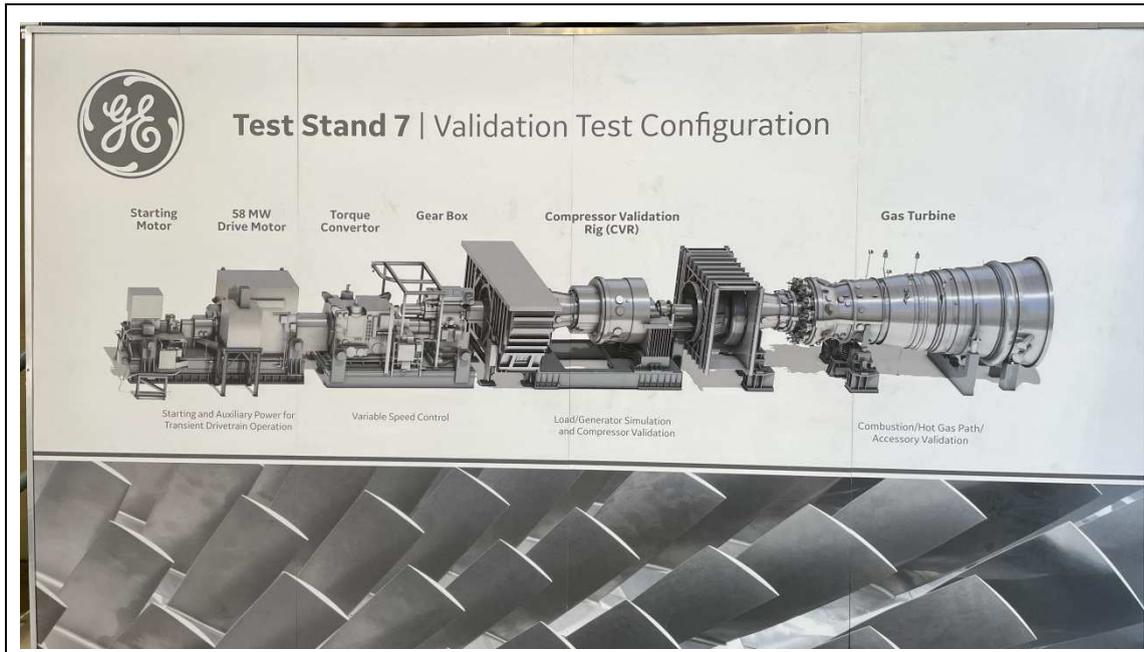
客戶服務中心.
Me, Edward.

RDC, Repair Development Center.
Joe.

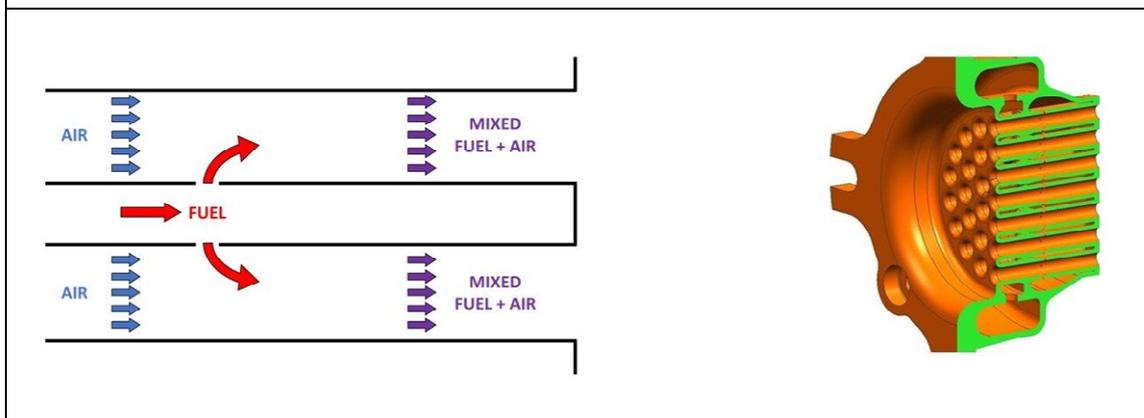


來自 GTOS 小禮物,
Sticker, 3D Printed Art.

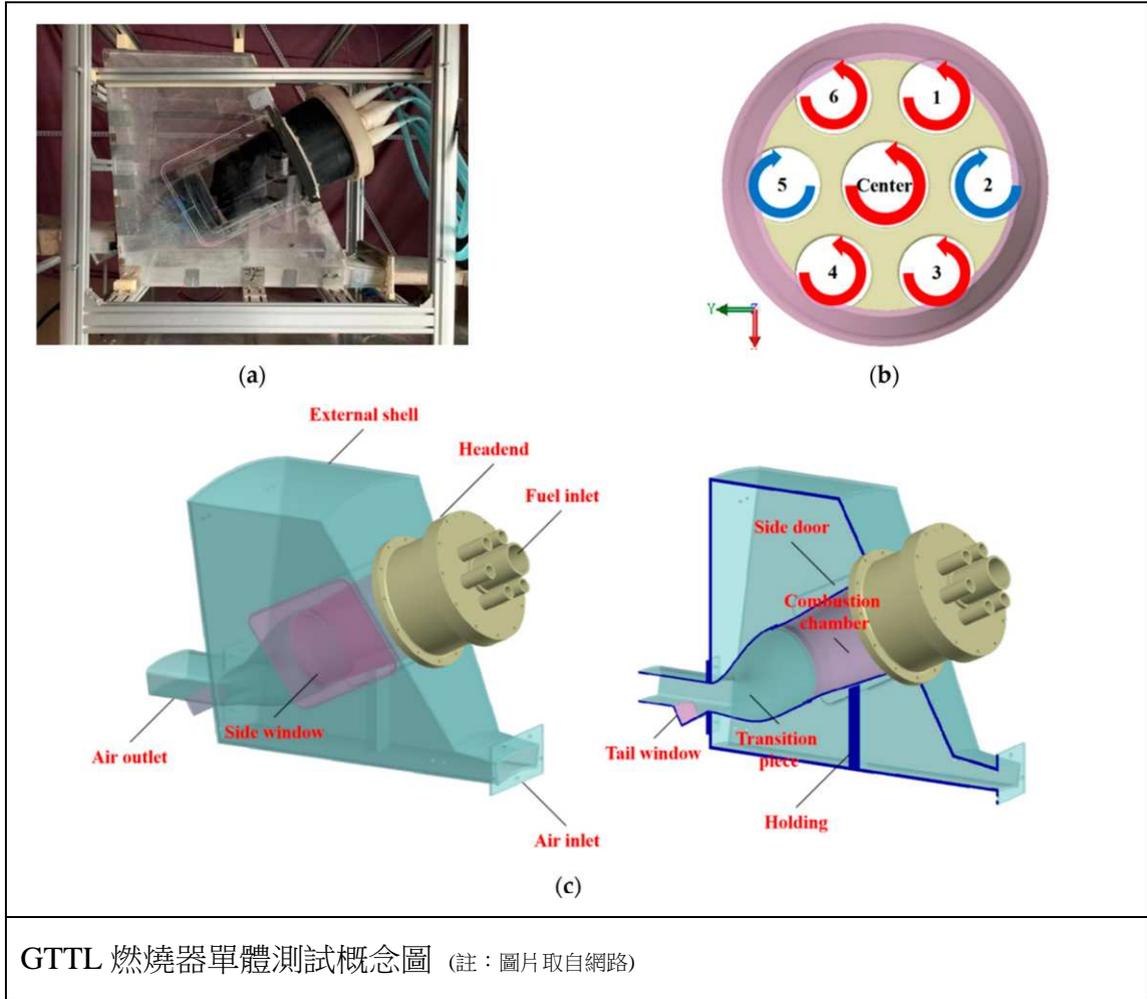
GTTL, 燃燒器中控室 (註：圖片取自網路)



TS7, 測試平台設備設置圖



Mixer Chamber 概念圖 (註：圖片取自網路)



題目：航改型小氣機實習

時間：112 年 05 月 30 日 (美國時間)

地點：航改型機組維修中心 J-Port

地址：16415 Jacintoport Blvd, Houston, TX 77015 USA

目的：透過與原廠家交流，了解航改型小氣機(LM2500XPRESS)的檢修技術

內容：

一早到了 J-Port，在入口處跟警衛換好證，過來迎接我們的是 PM 經理 Prieta，帶我們到會議室等待其他人員，等 Nam Tran 一到，就開始了我們的英文簡報，簡單介紹一下修護處在台電公司所扮演的角色，以及我們目前維護奇異機組的經驗分享回饋，在講到未來通霄電廠 LM2500XPRESS 的機組，希望透過這次的交流，可以獲得原廠給的寶貴維修經驗。

接著現場的負責人 David Joan 來到會議室為我們做參觀行前的說明，就帶我們到廠區參觀，參觀三個廠房，分別為組裝廠、拆解廠、運轉測試平台；走在廠區內，看見許多 Container 擺放在廠房外，尺寸比 20 呎的貨櫃還小一些，David 解說這些 Container 內部裝載的都是航改型小氣機，運送方式可以是卡車、火車、輪船、飛機，並指示我們注意看每只 Container 的底部支撐，分為兩種型式，灰色及藍色，一、單純結構體支撐，二、裝載氣壓支撐的底座可以承受運送時突來的衝擊，保護內部裝載的引擎不受損壞。

拆解廠與組裝廠，Disassemble Shop& Assembly Shop，一進入廠房內，映入我眼簾的皆是滿滿的動葉葉輪裝載著動葉片，尺寸比起 7HA 型小太多了，就好比來到了氣機小人國一樣的感覺，非常的新奇，非常的興奮，接著 David 解說到看到各種顏色變化的葉片，就可以大致知道這些零件是從那些地方來的，根據不

同地區有著不同的氣溫、濕度、以及隨著操作引擎的方式不同，都會有不同的變化產生。接著帶我們看正在檢修中的機組，分別為燃燒室檢修、空壓機段檢修、氣機段檢修，有些機組的檢修需要直立式的，例如轉子的拆解部分，大部分檢修則是橫躺式的，走到 LM2500 的機組旁，David 說到這台機型的空壓機第零級動葉片的製造方法，是使用一體成形鑄造而成的，多了這級葉片整體效率提升至將近 30 %，經過同意，我摸了摸它感到驚嘆！David 接著說明，空壓機段的 VSV 上游調節關節處，有著他們得意的軟件，有了這只軟件，關節與關節間可以更順暢有效的作動，且耐用不易損壞。拆解廠廠房外，附有工作平台，專門給鉗工人員作手工藝，修理組件。

接著來到了組裝廠，其型式規劃與拆裝廠內部差不多，轉子部分，我們看到了一根根的空壓機轉子排列整齊，等待放上機台做低速動平衡與 Run Out 檢測，接著 David 介紹氣機動葉片與外殼要合裝時的方法，現場呈現立式，最上頭裝載了驅動馬達，組裝時，馬達連結氣機轉子，馬達驅動給予轉速，然後外殼才慢慢的鎖上，目的是讓動葉片與蜂槽式氣封磨合，達到最佳的組合狀態。在廠房內，可以看到一片片迷你的氣機靜葉片，各個擺放整齊的放在各級別的籃子裡，準備回裝；燃燒筒的型式是環狀式的，跟大修常見的桶罐式不同，檢修方式也不同；廠房內部規劃的井然有序，檢修完成的機組與從拆解廠來待檢修的機組，都有妥善的倉儲管理系統；最後在離開廠房前，看到了一大巨大機器，David 解說這台機器的功能為計算單一級別的氣機的 Moment Weight，轉子葉輪放上去，機器藉由旋轉 Wheel w Buckets 計算出轉動量，達到平衡的目的。

運轉測試平台，Test Stand，David 解說這個測試平台，只有規劃一台發電機，這台發電機是雙向的，位在中間，而兩側單一連結將要運轉測試的引擎，非常有

效的運用空間，及節省成本，然後帶我們看現場擺放的機組，分成整台引擎測試，及部分引擎測試，其中部分引擎測試是指只有測試空壓機段及燃燒室的部分，氣機段後部不安裝，專有名詞稱 GG；接著就結束了廠房參觀的行程，我們跟 David 拍了張合照紀念，就回辦公室聽 Nam 接下來關於機組的簡報。

事後，我有寄信跟 Nam 提出請求，並且取得 J-Port 機組相關介紹的投影片，但基於我們一開始有簽屬 NDA (Non Disclosure Agreement) 保密合約，這邊就簡單稍作說明就好，詳細內容及資訊將會在口頭報告上敘述。Nam 主要介紹了 LM2500、TM2500 這兩種機型，從航改型機組的進化史，講到整部機組的安裝從無到有，花費的時程將近一個月，以及此機型後續維修保養的優勢，以及它的操作效能上與傳統大型機組的差別；機組的型號，其中根據排放科技，又細分為 SAC (Single Annular Combustor Water injected)、DLE (Dry Low Emissions)，以通霄目前的機組來看，是屬於 SAC LM2500+G4，一部機組發電量可以達到 37.3 MW；接著討論到維護保養的時程及項目，總共分成三個維修層級，Level 1、內視鏡檢測(12 hours)，Level 2、熱段元件檢修與更換(3-5 days)，Level 3、整體檢修(2-3 days)，其中唯有整體檢修的部分，需要運回休士頓 J-port 或在義大利的維修廠，其他 Level 1、Level 2 都是在現場做處理，三個層級的維修依據手冊上規定的 AOH (Actual Operating Hours)來安排，檢修時間相較於大型發電機組要來的縮短很多，機動性也大幅提升，基本上採取 Roll in Roll out 的維修策略；簡報最後，提及了一些客戶端使用後的心得與回饋分享，就圓滿結束了此趟的參訪行程囉！

照片分享

	
<p>J-Port, 航改型廠區入口處. Joe.</p>	<p>台電電力修護處簡報 Joe.</p>
	
<p>通霄電廠 LM2500XPRESS 機組 Joe.</p>	<p>台電電力修護處簡報 由左至右：Nam, Prieta, Edward, Me.</p>
	
<p>J-Port 組裝廠負責人. 由左至右：Edward, David, Me.</p>	

實習心得感想：

前面的參訪內容及過程的敘事方式，本人盡量以回顧當時的畫面及內容來書寫，主要以敘述故事的方式，來保護及尊重原廠家的重要資料，照片部分的分享也僅放相關人員的合照，請參閱人員見諒，接下來心得感想的部分將以條列式的方法來敘述。

1.這次來到美國最讓人心喜的事情，其實並不全然是能代表公司出國，以及在年滿 30 歲前，終於踏上美國本土大陸，最開心的反而是平時在工作隊，大修時所累積的寶貴經驗，讓我在與國外原廠家交流當中，可以很有自信的侃侃而談，雙方進行很有效的溝通，專業方面，互相回饋，並給予我們寶貴的技術指導。這裡我要先感謝廖經理，在得知要辦理出國業務時，同時將 7HA.02 的程序書交給我處理，雖然出國前只有處理到 60%，但這 60%回顧，為我的專業打下了良好的基礎。

2.心境上的轉換，在出國前的準備，廖經理提醒我要先準備好想問的內容，我當時準備的問題比較傾向於技術方面的問題，例如：這個組件在安裝時很容易損壞，有沒有好的方法可以避免呢？，但都沒有得到很好的回答，後來我轉個方向，改問大方向的問題，例如：這個組件為什麼會這樣設計呢？原裡是什麼？，這時，就得到了許多寶貴的原廠專業知識，我心想這就對了，了解其設備真實的運作原理，將來運用在大修工作中，才可以清楚的知道什麼方面是最重要的，那些地方的工法可以再改進，朝向正確的方向邁進。

3.語言方面的突破，在出國之前，其實我已經有點半放棄英文了，雖然平時有在看空中英語之類的雜誌，但英文都沒有什麼大進展，這次出國連我自己也嚇到了，從一開始慢慢地聽、緩緩地問，到後來的可以不用看稿子就有能力跟外國人英文

簡報，簡報前甚至還可以侃侃而談，講講笑話；機場 Check In、點餐、飯店住宿、租車、購物，都可以很大方的跟外國人溝通，整個自信心大增，在這裡我要感謝奇異業務經理 Kayne 哥，他的一番話開啟了我的語言之門，他說：「語言就是這樣，多聽、敢說，說錯都沒關係、聽了之後再做修正，勇敢說出口，這樣不斷的循環，英文會進步的，但相對的環境很重要，好好把握這次的機會。」，且參訪的過程中，不斷的鼓勵我們提問交流，實在感恩。

4.與廠商交流的藝術，我們這次出訪比較沒有機會拍攝到什麼機組設備上的照片，甚至一開始到 M&D 中心，我還傻傻背著相機進入，就明顯感受到不同的氛圍，因為原廠家有原廠家的立場，但以我們身為公司的小蜜蜂，被派出國來，就是要盡可能地收集這些寶貴的資訊，才有機會突破未來會面臨的技術高牆，就這樣和原廠家在你攻、我守之間設法取得平衡，期間又不能撕破臉打壞交情，人身地不熟的，就這樣不斷的互相切磋、拉扯，我覺得很棒！這是非常難能可貴經驗，經過這次我看懂了許多事情，感覺自己也長大了一點，終於比較像 30 歲初頭青年人的樣子了。

5.勇敢向前行，我鼓勵大家不要有所畏懼，讀萬卷書不如行萬里路，這趟旅程有如醍醐灌頂般，在人際觀、事業觀、國際觀，視野方面都開拓許多，感謝台電公司的栽培，感恩上級長官給予如此寶貴的機會，讓喬仁大開眼界。最後，在 J-Port 的行程結束後，我們順道經過了位在休士頓的奇異公司訓練中心 HLC (Houston Learning Center)，下車拍照留個念想，希望未來公司能給予寄望，讓我們小蜜蜂們有機會再到美國受訓，感恩台電公司，我將這次參訪實習的精華、經過、問答都無私且貢獻於此報告作為小蜜蜂們應盡的義務與責任，我相信一切都是最美好的安排。

照片分享



HLC, Houston Learning Center.

HLC, 休士頓訓練中心.

Joe



Greenville Service Center.

工具自動販賣機

氣渦輪機工廠

工具自動販賣機

建議事項：

- 1.去美國不像去日本、歐洲，公車地鐵很方便，治安也沒有那麼好，亞特蘭大市中心基本上沒有路人在外面散步，這時交通方面就很重要了，光是從市中心要到格林維爾就要 3 個小時的開車時間，希望未來公司能審視、評估並加入關於租車費的預算，在合理合乎當地風情的範疇之下，放寬報支租車相關收取費的費用，畢竟國外租車費及油錢還有停車費都不便宜。
- 2.到美國的行程，建議至少 2 人同行，不管在國際機場辦理登機手續，等待轉機期間，有個夥伴同行，許多事情會方便且安全許多，外加上美國住宿的費用也不便宜，這次要感謝我的好室友南分處夥伴 Edward，幫忙一起分擔了旅館費用及租車費用，如果沒有 Edward，光是住宿費加租車費就要 10 萬多元台幣囉。
- 3.心得感想裡提到與原廠家交流的藝術，這時若有兩位同仁一同出國就可以擬定策略，譬如：一人負責專業發問，另一人負責觀察周遭環境設施及拍照，當然每次拍照得經過原廠家的同意，這樣子的話就有機會獲得更多寶貴的資訊。
- 4.工廠方面，在 Greenville Service Center 的工廠裡觀察到自動販賣機機台，但裡面賣的不是可口可樂，而是消耗性工作物品，例如：工作手套、安全眼鏡、耳塞、大修的消耗性備品等、小型的工具包，員工只需要刷員工證就可以拿到這些工具，使用完畢後有專門的回收箱，會有專門的廠商來處理。
- 5.現金、信用卡要準備足夠，美國是刷卡大國，很多地方都沒有現金付款，建議至少準備 3 張信用卡，備用以防萬一。

致謝：

感謝修護處邱處長、呂副處長，給予我們二隊寶貴的機會。

感謝二隊廖經理，無私地分享先前的出國經驗、出國辦理方法、重點提示、出國注意事項、以及奇異公司的人脈傳承。

感謝經營組葉課長、呂小姐、鄭小姐，在我出國前，提供我公司的英文簡報，且前來二隊辦公室聽我報告，並給予我最好的建議與指導，讓我在國外簡報時更有信心。

感謝經營組馬組長，在出國前緊急收到經濟部來函，組長及時的提醒及交代振研隊的王經理幫忙。

感謝振研隊王經理，在我出國前，跟我重點提示 M&D 中心以及過去修護處在這塊的努力。

感謝人資處翁小姐，在辦理出國業務的期間，不管我有什麼問題，都會全力幫忙。

感謝奇異業務經理 Kayne Huang，實習的地點安排、出國前的提點、以及出國期間的大力照顧，感恩。

感謝台灣奇異公司，感恩國外的專業人士。