

出國報告（出國類別：實習）

新型發電機組之核心組件維護實習

服務機關：電力修護處

姓名職稱：涂仁傑 機械工程監

姓名職稱：張瑋謙 機械工程專員

派赴國家/地區：瑞士 / 德國

出國期間：自 113 年 09 月 14 日 至 113 年 09 月 27 日

報告日期：113 年 11 月 27 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：新型發電機組之核心組件維護實習

頁數 20 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

張瑋謙/台灣電力公司/電力修護處/機械工程專員/ (03) 328-1713 #2216

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：113 年 09 月 14 日至 113 年 09 月 27 日

派赴國家/地區：瑞士/比爾、德國/柏林

報告日期：113 年 11 月 27 日

關鍵詞：

內容摘要：（二百至三百字）

本文包括赴奇異能源公司(GE Vernova)瑞士廠、西門子能源公司(Siemens Energy)德國廠進行新型發電機組之核心組件維護實習。台中電廠及興達電廠陸續新建複循環機組為「奇異公司」7HA.03 最新之氣渦輪機組，總裝置容量為 1300 MW，預計於明年度(114 年)商轉，未來若達到原廠家規定之運轉時數，需進行保固及開蓋大修。興達電廠

及南部電廠西門子複循環機組陸續於 109 年起更新氣渦輪機及汽輪機內部重要組件，其汽輪機及氣渦輪機由德國西門子公司提供，使用之技術亦與舊有機組不同，大修所涉之工項、工法及機具，亦較現行有所不同。本計畫派員前往原廠學習相關維修技術與知識，以爭取發電機組維護業務之精進。

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

一、 出國行程表.....	5
二、 瑞士奇異服務工廠(GE Vernova, Birr, Switzerland Service Center)實習.....	6
三、 德國西門子能源-訓練中心(Siemens Energy Training Center)實習.....	11
四、 德國西門子能源-氣渦輪機工廠(Siemens Energy Gas Turbine Plant)實習.....	16
五、 實習心得與感想	18
六、 建議事項.....	19
七、 致謝	19
八、 參考文獻.....	20

一、出國行程表

日期	起訖地點	參訪紀要	接待人員
113/9/14-9/15	台北-曼谷(轉機)-蘇黎世機場-瑞士, Birr	往程	
113/9/16-9/20	GE Vernova, Birr, Switzerland	於 GE Vernova 複循環氣渦輪機熱元件製造再生工廠及轉子製造再生工廠實習。	1.Igor Zebec (Hot Gas Parts Repair Workshop) 2.Tobias Bücklers (Hot Gas Parts New Make) 3.Philipp König (Rotor Factory)
113/9/21-9/22	搭機前往德國柏林		
113/9/23-9/25	Siemens Energy, Berlin, Germany (Gas Turbine Factory & Training Center)	於 Siemens Energy 柏林氣渦輪機工廠及訓練中心實習	1.Michael Neudecker (Training Center and Gas Turbine Plant)

二、瑞士奇異服務工廠(GE Vernova, Birr, Switzerland Service Center)實習

時間：113 年 9 月 16 日~9 月 20 日

地點：GE Vernova, Birr, Switzerland

地址：Zentralstrasse 40, 5242 Birr, Switzerland

實習內容：

位於瑞士 Birr 城市的 GE Vernova Service Center，主要為生產複循環氣渦輪機組(Gas Turbine)之熱元件及其再生以及發電機轉子線圈重繞與轉子修復等。該工廠前身為法國 Alstom 公司旗下全球發電機與電力事業部所擁有之工廠，2014 年 GE 公司收購 Alstom SA 旗下全球電力業務，2024 年 GE 公司拆分為 GE Aerospace、GE Vernova、GE Healthcare 三家公司。

工廠主要業務分三區塊：

1. 熱元件修復區(包含舊 Alstom F/H 型熱元件及燃燒組件再生、舊 GE 6F.01 型熱元件及燃燒組件再生)
2. 熱元件製造區(包含氣渦輪機熱元件及燃燒組件製造)
3. 轉子再生修復及製造區(包含轉子線圈重繞，轉子維修及轉子製造)

抵達歐洲時，恰逢「鮑里斯風暴」(Storm Boris)的低壓系統影響中歐地區，造成接連一周天氣不穩，幸好工廠所在地 Birr 小鎮未有強降雨情形發生。到達工廠後由 Igor Zebec(熱元件修復作業區經理)，引導我們進行安全設備著裝及安全接談。

1. 熱元件修復區 (Repair Workshop)：

工廠內可見各作業區由輕隔間區隔開來，並且於隔間外白板寫著工作人員、工作進度、目標等，嚴格並遵守著精實生產(Lean Manufacturing)

原則，於作業管理上能夠快速地整合各作業區之進度。值得一提的是，所見到的工作人員並不多，大多為全自動化流程，僅有少數技術人員配合操作機械手臂進行作業。經理為我們解釋，廠內原先為 Alstom 旗下發電事業所屬工廠，併入 GE 公司後，公司策略考量，進行大量人員整併及人事調動，致使產線及營運方向大為更改，才造就現今的模樣。

來到熱元件修復區(Repair Workshop)，目前主要業務為動、靜葉片之修復，於此作業區中經理為我們說明各站區所負責工項，以及修復作業流程，其步驟大致如下：

- (1)舊品表面整理清潔、塗層移除(Cleaning & Chemical Stripping)
- (2)表面及深層探傷(Inspection)
- (3) FIC 處理與硬銲修補(FIC/Structural Brazing)
- (4)雷射自動填料銲接(Laser Welding)
- (5)多軸 CNC 加工(CNC Milling Machine)
- (6)冷卻流道孔檢測及鑽孔加工(Drilling)
- (7)塗層噴塗(Thermal Barrier Coating (TBC) Systems, LVPS, APS, HVOF)
- (8)孔道雷射加工/雷射剝蝕(Laser Cooling Hole Re-Opening (Laser Ablation))

其中較為特殊的製程為，修補缺陷作業中有項製程方式為使用管狀工具注射材料入瑕疵裂縫中，並將再生品送入真空爐中加熱處理，推測其為使用真空硬銲爐進行硬銲處理。經理表示此一方式能使缺陷修復後幾乎與原始母材強度一致，當然，其中的材料配方及製程參數等屬於機密。

於塗層噴塗作業中，經理提到，以往塗層噴塗後開孔作業需要極為精密的人為操作鑽孔作業，於自動化的現在，在特殊鐵氟龍材質(PTFE)做為阻絕層，可使自動放電加工(EDM)氣孔更為快速且精確地完成。

顯而易見地，作業區中充斥著自動化的設備，連同搬運等作業皆靠機械手臂完成，在公司策略改變的狀況下形成如此高度自動化的生產線。如此，將使作業流程、品質控制在可視化的掌握中，且大幅降低人為因素的瑕疵及疏忽導致的安全漏洞。

2. 熱元件製造區(New Make HGP Workshop)：

於熱元件製造區中，可見其生產作業大致如修復區，也是高度自動化作業。其作業流程大致如下：

- (1)熱元件鑄造(HGP Casting)
- (2)多軸 CNC 加工(CNC Milling Machine)
- (3)冷卻流道孔鑽孔加工(Drilling)
- (4)塗層噴塗(Thermal Barrier Coating (TBC) Systems, LVPS, APS, HVOF)
- (5)孔道雷射加工/雷射剝蝕(Laser Cooling Hole Re-Opening (Laser Ablation))
- (6)熱處理(Heat Treatment)
- (7)氣流測試及產品驗證(Airflow Test & Inspection)

熱元件製造區主要業務為動、靜葉片的新製生產，由其他廠區鑄造的葉片母材運送至廠區，後進行加工及包裝處理。

此作業區中有較多人力進行作業，經理表示此區域需進行較為精密的作業，尚有部分無法使用自動化替代。在良好的工作流程安排下，各

作業人員互相配合得井然有序，且現場落實的 5S 管理制度使得生產流程達到快速且精確化的目標。

觀察作業區中的工作模式，從中思考到本處目前承攬的電廠大修作業，其作業流程尚有待優化的空間。於時空背景不同的狀況下，現今各大修、檢修皆要求精進工期，以期能達到電網穩定供電的要求。精確落實維修現場的管理制度已刻不容緩，建製一套更佳完善的作業流程及檢修設備，不僅能使大修作業流程更為快速且品質上也能得到相當的保障。其次，在精進工期的要求下，對於大修品質的容錯空間也受到壓縮，完善一套標準作業流程能使工程進展更佳確實且順利。

如經理所述，此一系統建置耗資且耗時，然其帶來的效益也是顯著的。透過精確分工、建立完善作業流程，能使目標達成率上升。如本處將其精神納入作業流程中，想必能使維護作業順利於目標時效內完成。

3. 轉子再生修復及製造區(Rotor Factory)

轉子再生修復及製造區中，望眼可見巨型的龍門型機台，如巨大的龍門型雷射電銲機(為轉子銲接所用)、大型的轉子翻轉用設備以及為發電機轉子繞線圈所設計之無塵室。

其主要業務為轉子製造及修復，包括蒸汽渦輪機(ST)轉子、燃氣渦輪機(GT)轉子以及發電機(GEN)轉子。廠區內布滿重件移動用軌道、轉子可藉由廠區旁的鐵路直接運送出廠。作業區大致可分為以下：

(1)發電機轉子線圈重繞(Generator Rotor Rewinds)

(2)轉子瑕疵修復(Repair)

(3)轉子大型 CNC 磨修(CNC Milling Machine)

(3)蒸汽渦輪機(ST)轉子、燃氣渦輪機(GT)轉子葉片組裝(Assemble Blades)

(4)轉子動平衡(Dynamic Balancing Machines)

※提問及原廠回覆：

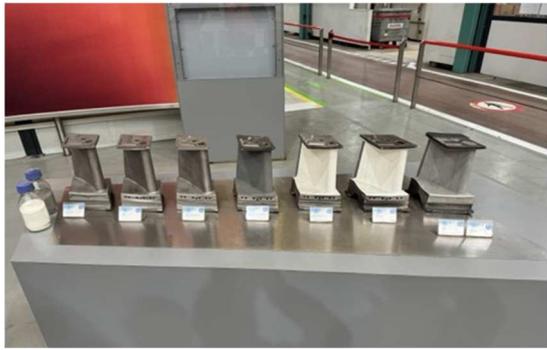
1.有關人力精簡問題，想請問在組織更動的過程中遇到甚麼樣的挑戰？

答：從勞力密集的作業，轉移至幾乎全自動化的廠房，過程中面臨許多挑戰。諸如，人力刪減後，個人所需負責的範圍更廣、更加需要統籌的能力。人力精簡後的結果，就是需要花費更多的時間做技術人才的培育訓練及現場實習。

藉此機會想到本處面臨的挑戰，現如今台電技術人員斷層較大，本處迫切需要對於維護經驗傳承。核心技術的保存，透過各方面資源的加入，逐步構成可納入現有教育訓練的系統內，使新進人員能夠更加快速的上手維修實務。並且在訓練階段即能夠將大修、檢修中可能發生的問題點進行模擬練習，可使各機組維護精進工期的狀況下，更快速地解決可能發生之狀況，在緊湊的時程內兼顧品質的完成作業。

照片分享



	
<p>與 Rotor Factory 經理 Philipp König 之合照</p>	<p>納沙泰爾燃氣渦輪機(GT 博物館)</p>
	
<p>動葉片製程模型</p>	<p>轉子修復分解示意</p>

三、題目：德國西門子能源公司實習-訓練中心(Siemens Energy Training Center)

時間：113 年 09 月 23 日~25 日

地點：Siemens Energy Training Center, Berlin, Germany

地址：Motardstraße 54, 13629 Berlin, Germany.

實習內容：

西門子能源公司(Siemens Energy)前身為西門子公司(Siemens AG)旗下西門子能源業務領域，於 2020 年公司結構調整中，分拆獨立出西門子能源公司，目前實際上屬於完全獨立營運的上市公司。

位於德國柏林西門子區(Siemensstadt)的西門子氣渦輪機訓練中心(Gas

Turbine Training Center)是近年新規劃的一處專為氣渦輪機檢修所設立的訓練基地，與之相仿的還有汽渦輪機及發電機檢修訓練基地。本次由 Michael 偕同訓練基地的專案負責人，與我們介紹此基地。

進入廠房前，於安全接談室內接受相關的安全宣導，並著裝安全護具，過程中能夠感受到西門子的企業文化相當嚴謹。Michael 於接談過程中耳提面命對於參觀現場作業應注意事項，也提到對於現場檢修作業中，西門子極為注重各項工作安全條件，任何作業程序都應以安全為第一要務。在實習過程中，也能夠感受到以人為本的企業文化深入各技術人員的工作態度中。

訓練基地廠房內，依檢修排程依序分為各項練習工作站，主要可分為：

- (1)燃燒器組件檢修練習
- (2)轉子葉片拆裝檢修練習
- (3)轉子對心模擬練習
- (4)運轉測試操作練習
- (5)工件瑕疵檢測練習
- (6)MR(Mixed Reality)投影實境擴充輔助練習

訓練基地內主要為一部 Siemens SGT-8000H 型氣渦輪機(環形燃燒室-Annular Combustor)供練習人員進行檢修練習，另備有一組分離後的倉筒式(Silo-Type)燃燒室供檢修如 SGT-2000H 型機組練習。

受訓者無論是原廠招聘人員、客戶端、外部人員，接受為期 2~3 個月的練習後，可基本了解氣渦輪機檢修內容。

透過介紹各練習工作站的工作內容，清楚的瞭解到有一套完善的訓練以及教育系統，於大修、檢修作業是無比重要之事。本處電力修護處作為公司

事業體中重要的運轉維護核心團隊，近年來逐步完善相關技術傳承等教育訓練。誠然，與原廠家相比，資源、資料、系統等皆有落差，但透過相關資源等挹注，相信在維護作業訓練中，也能逐步與之相當。

實習過程中，Michael 多次提到有關維護作業中安全性的問題，現場作業與練習作業當然大不相同，可能發生各種意外事故。依 Michael 在韓國 8 年的現場經驗，小至現場臨時用電、用氣等管路鋪設、大至操作重型移動設備等，維護團隊皆在維護過程中不斷針對檢修之安全性、品質精進並改善。大修、檢修過程中，與生產線作業不同，經常發生非計畫狀況，一方面是維護品質的要求、另一方面是檢修排程的時間壓力，如何兼顧兩者是本處持續精進的議題。而在兩者之外最重要的是現場人員的安全，現場安全是整個團隊第一優先考量事項，為此需要持續改善現場作業環境及工法，使人員在安全的環境中順利完成作業。

於本次實習中，見識到了原廠團隊對於安全性的著重。在大修過程中，環形燃燒器的燃燒筒吊裝作業皆透過固定式起重機賴以吊掛作業人員的精細操作。原廠團隊設計出一套專為燃燒筒吊裝作業用的特殊工具，其操作原理為：在環形燃燒筒內外圈架設一齒軌軌道，並安裝上特殊夾具座，將欲拆卸之燃燒筒固定在夾具座上，透過技術人員簡易地操作，將燃燒筒透過齒軌移動至機組上方，便可輕易地將燃燒筒吊出，反之，回裝作業同樣能夠輕易地安裝。此一特殊工具，解決了燃燒筒吊裝作業中，環形燃燒室下半部燃燒筒需耗時且相當考驗吊掛操作人員經驗，最重要的是降低狹窄空間中操作吊掛作業的危險性。

當然，Michael 也提到此一系統造價上不斐，在台灣目前新購之 SGT6-

9000HL 機組(森霸二期)並未隨機組購買此套設備，且於拆裝效率上也尚須實際操作驗證。不過，以維護作業安全性為第一要務，此一精神應當納入本處維護業務中。

於實習最後一階段，專案經理為我們展現目前尚在開發階段中的 MR 投影實境擴充輔助設備。專案經理提到，前些年因 COVID-19 疫情因素，許多新進受雇者無法至現場實際操作練習。在疫情期間，訓練基地夥伴研發一套輔以虛擬實境作為訓練教材之系統，透過帶上 MR 顯示器，可於練習過程中實時展現當下訓練之過程步驟或所需工具設備等。此系統理想目標為，受訓者可先透過此套設備，進行為期一至兩週的模擬訓練，於實際練習時，同樣可透過此系統實時作為輔助，進而可縮短訓練時間及提高人員技術。此系統可使受訓者在任何所需提示時刻獲取正確的操作流程，達到差異化教學目的。

目前本處的訓練課程正透過技術傳承等，逐年累積相關的教材。與原廠家相比，本處所面臨之挑戰有：須面對全台各地不同廠家、型號種類的機組，在實務教學中尚無法針對各機組進行細部重點訓練；於大修精進工期的狀況下，同時須把握現場可實際操作機會傳授。近年有關資料收集及核心技術等取得保存有重點性的進行蒐集，配合各次大修、檢修等經驗保存，加上公司資源的幫助下，期望能夠達到與原廠家維護標準一致的目標。

※交流中提到的問題及回覆：

1.有關人員培訓過程中，有甚麼是重要的？

答：首先，最為重要的當然是安全相關的議題，針對各項檢修訓練，制定完整的訓練規劃及作業流程，能大幅降低發生風險可能。並且，盡量

減少人工搬運等可能造成的人因性危害，如設計搬運機械等設備輔助。

其次，對於各項檢修過程的了解，直接地影響檢修品質，舉凡維修零件、工具等準備、作業的排程、拆裝及量測方面的確實，皆會影響維修成果。

而透過進入 Siemens Energy 訓練中心對外開放的課程，同樣能夠得到完整的維修經驗。

照片分享



訓練中心外告示牌

燃燒筒吊裝作業用的特殊工具



MR(Mixed Reality)投影實境擴充輔助設備

四、題目：德國西門子能源公司實習-氣渦輪機工廠(Siemens Energy Gas Turbine Plant)

時間：113 年 09 月 23 日~25 日

地點：Siemens Energy Gas Turbine Plant, Berlin, Germany

地址：Huttenstraße 12-16, 10553 Berlin, Germany.

實習內容：

位於德國柏林莫阿比特區(Moabit)的西門子能源公司-氣渦輪機工廠其廠房原先為 AEG Turbine Factory，有超過百年的歷史，目前為受保護的歷史古蹟。廠房為西門子能源公司所有，其目前仍持續生產氣渦輪機組。

透過授權導覽員的解說，參觀氣渦輪機製造流程，並介紹有關 AEG 氣渦輪機工廠的歷史。西門子公司於此地紮根，深入與城市文化交流，不僅僅是單純地營運公司，也同樣反哺著當地人文，使企業文化與地方深入連結，儘管公司因策略文化分家，但也不減對於地方的回饋。

於各項製程作業區中，有電子可視化告示牌隨時供檢查作業進度。大修、檢修實務中，進度的掌握為相當重要的指標。檢修時程安排的確實，直接地影響電網供電穩定的供給。

此外，導覽員也提到，目前西門子能源也正積極開發有關氫發電機組，以目前現有的 SGT-9000HL 型機組架構，進行針對氫燃料的修改。興達電廠進行的 3-3 號機混氫示範即為一例，各家廠商也針對減碳方面進行各方面的研發。

實習的最後，導覽員帶領我們進入一特別的電力系統導覽廳，藉由操作

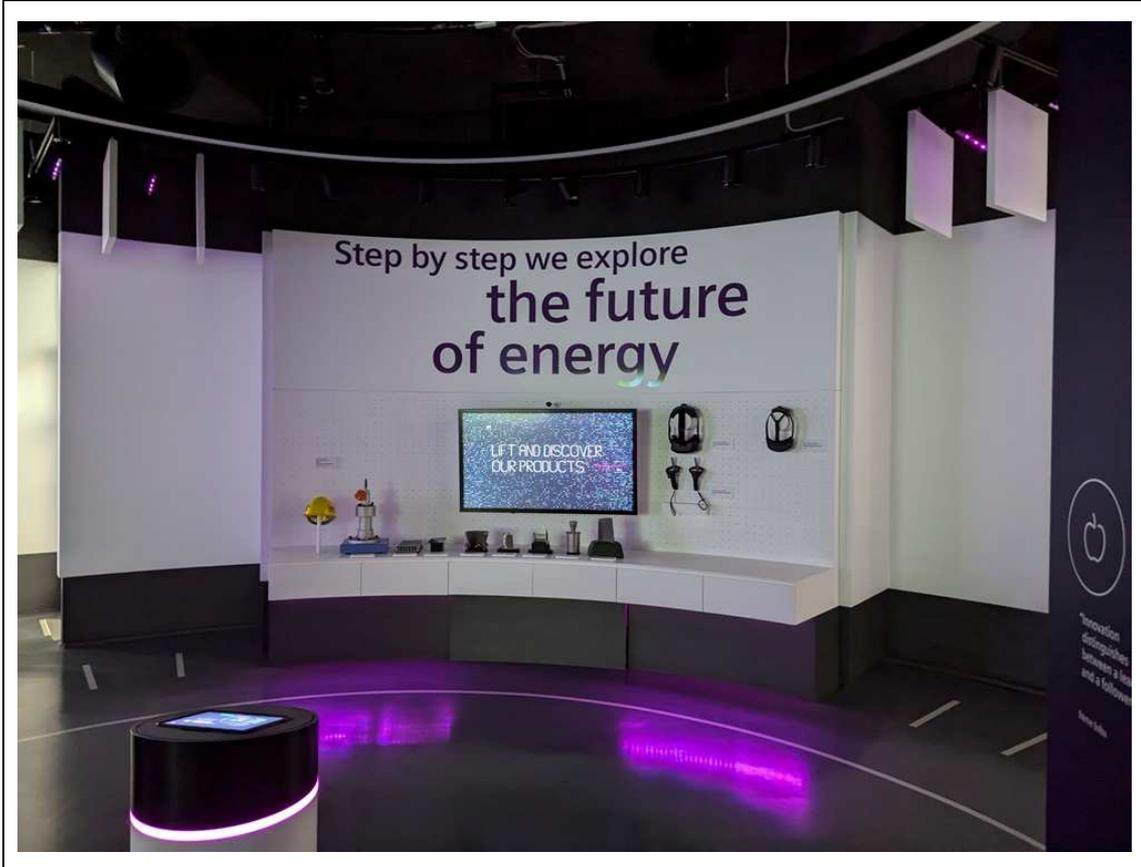
模擬介面，規劃各項能源政策在短、中、長期的變化影響，並且藉由實際電廠運作的大數據，進而推導出能源政策對未來的影響。

照片分享



Siemens GT1 遺跡

電力系統導覽廳-模擬介面



電力系統導覽廳

五、實習心得感想：

此次有幸受派出國實習新型發電機組之核心組件維護，近年因應供電需求提升，新興火力計畫發展，新建之發電機組陸續上線。新機組的維護檢修時程也即將到來，本處維護單位也需加緊腳步跟上。此次過程中最有感觸的是各家原廠對於檢修或製造的嚴謹態度，以及訓練機構其對於維護作業的傳承，兩者皆可以借鏡作為本處維護工作的提升。

西門子訓練基地的模式可作為本處建構專業人才培訓或是維護人員認證的參考。其中，模擬現場維護訓練的部分，本處已有規劃部分相關課程，如大型迴轉機維護系列證照班。受限於原廠機組模擬訓練機取得之困難，大修、檢修的過程於本處技術人員尤其珍貴，於維護過程中的經驗傳承有必要紀錄並保存得當。

本次獲悉西門子燃燒筒吊裝特殊工具的安全及可靠性，若有機會以此為借鏡改善本處目前吊裝方式，更甚者以此為方向去構思其他組件維護時降低風險以及提升檢修速度的方法，想必可使本處專業度提升許多。

透過與奇異及西門子能源公司的技術交流，不僅對於兩廠家最新型機組有更深入的瞭解。其次在接觸原廠家技師時，能夠針對以往大修經驗作探討，改善並增進大修品質，對於往後現場作業時遇到的困難點，可以更快速的解決。

照片分享



六、建議事項：

- 1.西門子訓練中心實習時，與原廠家談論到有關外部人員受訓事宜，未來若有機會派員赴西門子訓練中心完整完成培訓課程，對於本處人員進行機組維護有相當的幫助。
- 2.原廠於機組維護保養時，其物料管理部分現場與備品倉庫溝通較為通暢。本處於各電廠大修期間，如因修護過程產生之零件更換需求，往往需要透過多方溝通聯絡方能及時確認備品。若將來有機會整合材料倉庫等系統，於精進大修工期會有相當大的助益，而如各電廠材料備品能夠溝通無礙，想必於維護工作而言將是一大助力。

七、致謝：

感謝各主管幫助與提攜，能夠受派前往原廠家進行維護技術的深入交流。

感謝奇異公司洪美慧經理及西門子能源公司莊雅雯經理協助與原廠家聯絡交流事宜。

感謝原廠經理、專案負責人，與各位學習相當多的維護專業。

感謝人資處翁小姐，協助辦理出國業務。

感謝奇異能源公司、西門子能源公司。

感謝

八、參考文獻：

- 1.Learn more about GE Vernova , website: ge.com
- 2.Siemens reliable gas turbines , website: siemens-energy.com
- 3.Atmospheric plasma spraying APS , website: sulzer.com