

出國報告（出國類別：開會、實習）

**參加第 22 屆電力事業研討會(CEPSI)
暨研習先進氣渦輪機組維護測試製
程及研習火力機組測試設備**

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳浩平 綜研所能源研究室機械工程專員

派赴國家/地區：馬來西亞、德國

出國期間：107 年 9 月 17 日至 107 年 9 月 30 日

報告日期：107 年 11 月 29 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加第 22 屆電力事業研討會(CEPSI)暨研習先進氣渦輪機組維護測試製程及研習火力機組測試設備

頁數 42 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人事處/陳德隆/ 2366-7865

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

吳浩平/台灣電力公司/綜合研究所/能源室機械工程專員/ 8078-2295

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：107 年 9 月 17- 30 日

派赴國家/地區：馬來西亞/吉隆坡、德國/慕尼黑、阿亨

報告日期：107 年 11 月 29 日

關鍵詞：亞太電協，風能評估，冷噴技術，氣機測試分析

內容摘要：(二百至三百字)

- (一) 2017-2018 年 AESIEAP 活動係由馬來西亞電力公司(TNB)主辦，會議主題為「重新構思未來電業方向」。綜研所吳浩平以林口風場之風能評估與風機噪音評估為題發表論文。
- (二) Impact Innovation 為冷噴焊設備製造商，而冷噴鐳又必須配合材料性質以達到有效將材料噴塗魚工件表面，進而達到有效運用填料加工的目的，故該公司除生產設備外亦針對材料特性做探討以改善設備的目的。
- (三) Ingenieurbüro 為 Ayed 博士成立之工程公司，主要針對旋轉機械如氣渦輪機、汽輪機做各種分析改善顧問，並適時提出機組解決方案協助客戶端克服機組運維上的問題，並針對機組現況做後續運維的建議。

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

目錄

壹、出國任務與行程	1
1.1 出國任務.....	1
1.2 出國行程.....	2
貳、開會及研習內容	3
2.1 開會：第 22 屆電力事業研討會(CEPSI).....	3
2.1.1 技術論壇.....	3
2.1.2 技術參訪.....	8
2.2 實習：先進氣渦輪機組維護測試製程及火力機組測試設備	21
2.2.1 研習先進氣渦輪機組維護測試製程：Impact Innovation 公司	21
2.2.2 研習火力機組測試設備：Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司	30
參、心得與建議.....	35
3.1 開會心得.....	35
3.2 實習心得.....	39
3.2.1 Impact Innovation 公司.....	39
3.2.2 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司.....	40

圖目錄

圖 1 風機位置分布	3
圖 2 測風塔	5
圖 3 應用於風場量測之光學雷達	5
圖 4 風機與量測儀器之相對位置	6
圖 5 CFD 計算範圍	7
圖 6 研究中心外觀	9
圖 7 TNB 中心的定位、提供的服務以及相關的客群	9
圖 8 TNB 研究中心之太陽能電站	10
圖 9 TNB 研究中心電動車充電站之充電流程	11
圖 10 TNB 研究中心提供之示範電動車	12
圖 11 TNB 研究中心展示用生態魚池	13
圖 12 TNB 研究中心使用之 VenBFlow 儀器	14
圖 13 TNB 公司所使用之現有水力渦輪	14
圖 14 改良後之水力渦輪	15
圖 15 TNB 研究中心落雷實驗室的相關介紹	16
圖 16 TNB 研究中心油品實驗室	17
圖 17 TNB 研究中心油品檢測套組	17
圖 18 鍋爐爐管厚度測試設備	19
圖 19 鍋爐爐管破損案例	19
圖 20 鍋爐爐管測試平台	20
圖 21 Impact Innovation 公司	22
圖 22 Impact Innovation 公司營運宗旨	23
圖 23 Impact Innovation 公司內加工設備	24
圖 24 冷噴原理說明	25
圖 25 Impact Innovation 公司產品	25
圖 26 冷噴材料特性試驗	26
圖 27 (a)冷噴噴槍內部情形 (b)噴槍外部套筒	27
圖 28 冷噴於不鏽鋼表面、噴槍 nozzle-diffuser 及噴塗粉末	27
圖 29 冷噴於斷路器組件之應用	28
圖 30 以冷噴方式製造之鍋子	28
圖 31 冷噴後仍需精加工的工件	29
圖 32 以玻璃為母材做冷噴處理	29
圖 33 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司	30
圖 34 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司提供之工程服務	31
圖 35 葉片的模擬分析以決定葉片的維護周期	34
圖 36 不同熱應力分佈決定葉片晶粒大小	34

表目錄

表 1 出國行程	2
表 2 林口風場 Vestas 風機設置規範	4

壹、出國任務與行程

1.1 出國任務

(一) AESIEAP 係成立於 1975 年，已成為亞太區域規模最大、最具水準的電力專業協會，所舉辦之研討會議亦成為全球各國電業主持人、顧問、專家、學者、電力設備廠商、技術人員交流與合作的最佳平台。2017-2018 年 AESIEAP 活動係由馬來西亞電力公司(TNB)主辦，會議主題為「重新構思未來電業方向」，技術論壇主題則分為永續與綠色能源、發電與未來的選擇、輸電與未來電網、配電與先進網路、智慧電網與新技術、資通訊技術與創新、零售與客戶服務、企業轉型與其他等 8 大類，本公司亦有 4 篇文章獲大會接受發表，而職以 The Linkou windfarm evaluation and verification with noise measurement for safety operation 為題發表於永續與綠色能源之技術論壇。本公司為 AESIEAP 之 Full Member，董事長為 AESIEAP 之常務理事暨執行委員會成員，而此屆會議由鍾總經理炳利率團參加。

(二) Impact Innovation GmbH 公司為一複合型之工業解決方案供應商，主要針對需進行複雜製程的工業標的提供解決方案，在相當多的領域有其應用性，本公司大型組件為數甚多，針對不同的組件有其相應的製程，Impact Innovation GmbH 公司能夠針對不同零件需求的標的工件提供不同的製程選擇，使客戶的以選擇最適合的方式完成維護的任務。

(三) Ingenieurbüro Dr. Eng. Anis Haj Ayed 公司專注於氣渦輪機機組設備性能的探討與測試，其於德國阿亨地區具有一套氣渦輪機測試及試驗平台，結合數值計算技術可深入了解氣渦輪機相關工作原理及重要性能參數，提供運維端在機組運作上的改善建議。

過去本公司綜研所針對現場運轉的設備，對於相關渦輪機械設計及模擬分析均無經驗，基於建立本所核心技術之需要，故由職前往先進國家研習此一技術，並擬藉由本次機會了解國外專家對於數值計算結合驗證之相關經驗應用於公司之相關研究，可提升本所自行分析之實力，進而應用至公司設備之相關運維流程與方式，達到提升設備運轉性能之目的。

1.2 出國行程

表 1 出國行程

	日期	活動內容
開會部分	9月17日(一)	台北→馬來西亞吉隆坡(往程)、報到及歡迎茶會
	9月18日(二)	大會開幕式、執行委員會暨第44屆理事會會議、會員大會、技術論壇、文化之夜
	9月19日(三)	技術論壇
	9月20日(四)	技術論壇、閉幕式、歡送晚宴
實習部分	9月21日(五)	技術參訪
	9月22日(六)	吉隆坡→德國慕尼黑
	9月23日(日)	休息日
	9月24日(一)	研習先進氣渦輪機組維護測試製程 (impact innovation 公司)
	9月25日(二)	
	9月26日(三)	
	9月27日(四)	研習火力機組測試設備 (Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司)
	9月28日(五)	
	9月29日(六)	德國阿亨→荷蘭阿姆斯特丹→台北(返程)
	9月30日(日)	

貳、開會及研習內容

2.1 開會：第 22 屆電力事業研討會(CEPSI)

2.1.1 技術論壇

今年度以位於本公司林口火力發電廠鄰近之林口風場的風能評估做為報告主題發表。林口風場在林口電廠旁之煤倉完成建置後，該地區之風機經常會發生轉向環(yaw ring)或轉向齒輪(yaw gear)發生破裂或是損壞的情形，因此必須針對這些問題發生的原因進行探討；而分析這些破損的原因發現，極有可能是因為林口火力電廠之煤倉及相關設備造成了風機的損毀，故針對林口風場之風況做一個重新分析，風機位置分布如圖 1 所示。



圖 1 風機位置分布

公司目前於林口風場具有三架風機，製造廠家均為 Vestas，屬於依照 IEC61400 安全等級 IA 設計的風機，切入速度及切出速度分別是 4m/s 及 25m/s，而根據 IEC61400 的規範，風場的紊流強度不能超過 0.16 以維護風機的安全運轉，其他相關的設置規範參考表 2 所示。

表 2 林口風場 Vestas 風機設置規範

風機參數	值	備註
設計安全等級	IEC IA	--
裝置容量(KW)	2000	--
轉子直徑(M)	80	--
輪轂高度(M)	78	--
切入速度(M/S)	4	--
額定風速(M/S)	16	--
切出速度(M/S)	25	--
年平均空氣密度(KG/M3)	1.225	--
風切係數	0~0.2	根據 IEC 設計標準
韋伯分布之形狀參數	2	
入流角 (°)	-8~+8	
50 年回歸期之 10 分鐘平均極限風速 (M/S)	50	
50 年回歸期之 3 秒平均極限風速(M/S)	70	

風場量測採用電腦輔助計算(CFD)的方式來得到風場的風況，並輔以測風塔及雷射光達做為量測結果的驗證使用，本研究使用之測風塔與光達分別如圖 2 及圖 3 所示，相對的分布位置如圖 4 所示。在 IEC 的規範中，對於測風塔與光達的設置位置均有一定的標準，同時在量測時必須考慮塔影效應對量測造成的影響。除風場量測之外，同時也針對風機產生的噪音做一系列的數值模擬，並利用相關的軟體進行分析。在噪音的分析中風機被設定為是噪音的產生源，也因此可以預期噪音的分佈會以風機做為噪音的中心向外擴散，最終的目標是要分析出該地區的噪音地圖。



圖 2 測風塔



圖 3 應用於風場量測之光學雷達



圖 4 風機與量測儀器之相對位置

而風場的數值模擬方面，由於風場屬於複雜地形，計算範圍如圖 5 所示，因此在軟體的選用上必須使用非線性計算的軟體才能夠較精準預測風流場的流況，故一般線性的軟體如 Wasp 或 WindPro 就較不適合作為林口風場的風況分析之用。在網格的劃分方面，包含風機的位置的網格必須要做細化的處理，較遠離風機的區域則保持原來的設定即可，因此劃分的方式為選擇包含三部風機的正方形區塊做細化的網格，而計算域的其他位置便使用原本的大小即可。垂直網格方面同時也考慮到接近地表需要較精細的計算，因此在地面上 18 層左右的網格相較之下高度較小。

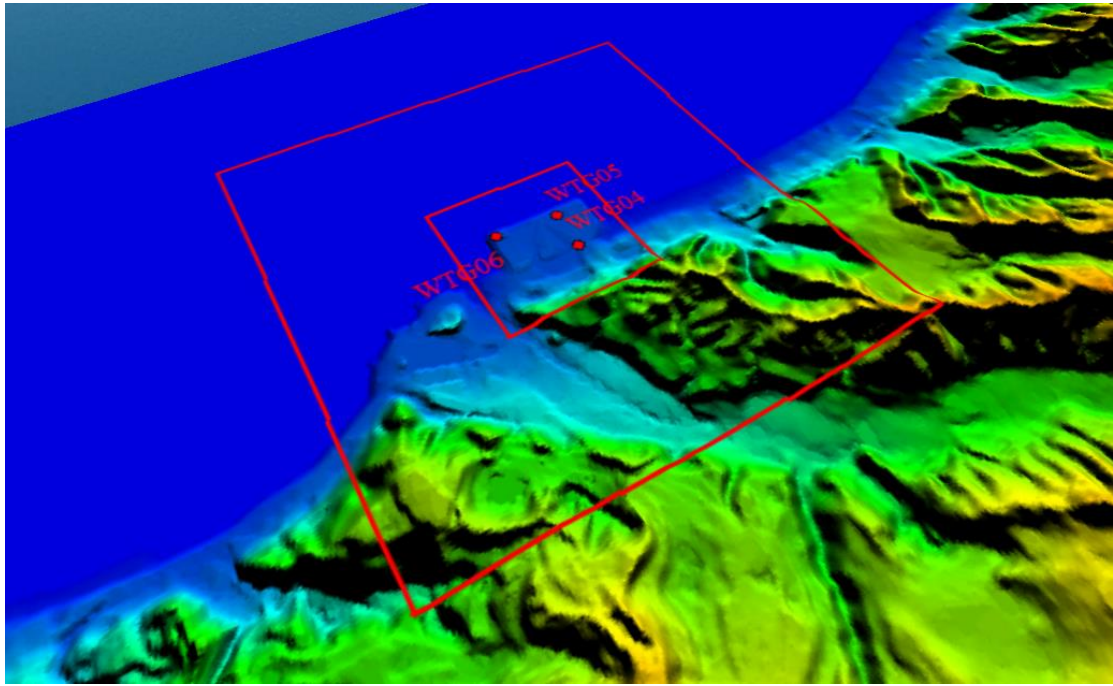


圖 5 CFD 計算範圍

風場分析的結果則是針對 IEC61400 規範裡面對於風機設置有限制的參數做分析。在極限風速方面，由於使用獨立風暴法搭配公司的 SCADA 系統所預測的 10 年回歸期極端風速之樣本空間過小，因此並不被認為具有相當參考價值，故改以 WMO 方法推算輪轂(Hub)高度的 10 年回歸期極端風速，計算的結果小於 IEC61400 的規定，因此在此參數方面風機是可以安全運轉的；入流角方面林口風場也合於 IEC 的規定；韋伯分布要求在高風速區的風速必須低於 IEC 的標準，而計算的結果發現風場也能夠符合相關的要求；而在等效紊流強度方面，IEC 規範要求風場的紊流強度在 0.6 倍的標定風速與切出風速間必須要小於 IEC 的標準，然而因林口風場屬於複雜地形，因此在計算上將切入速度與切出速度間的紊流強度均納入考慮，得到的結果發現 4 號風機與 5 號風機在特定的速度下會高出 IEC 規範的標準，因此在這些速度段下是無法安全運轉的；另外對於平均風切

係數，三台風機處的風切係數均高過 IEC 的標準，因此在這個參數條件下是無法安全運轉的。

針對不安全的運轉條件，在不移動風力機組的情況下能夠採用扇區管理 (sector management) 的方法來提生安全運轉的可能性，所謂扇區管理即是針對無法安全運轉的來風風向停止風力機組的運轉，針對林口風場的風機我們也提出了相對應的扇區管理策略，然而相對應的發電量也會降低，根據扇區管理後的計算結果和扇區管理前相較之下每部風機的年發電量大概都會減少 25%到 26%左右，因此在後續運維的處理上仍是一個必須考慮的課題。

而針對噪音量測的部分對於林口風場也提供了一份噪音地圖，由該份地圖可以發現噪音基本上是由風力機組為中心向外散開，量測該地區的噪音值，基本上均小於我國的法規標準，故噪音對於該地區產生的影響不具有太大的衝擊。

2.1.2 技術參訪

本次會議最後一天為大會提供之技術參訪行程，我們於是日參訪馬來西亞國家能源公司(TNB)之研究中心(如圖 6 所示)，台電公司綜合研究所即類似該組織於馬來西亞國家能源公司所扮演之角色，組織內部部分單位也和台電綜合研究所有相類似的部門。因參觀人數較多，TNB 研究中心將參觀的動線分成三組，而內部設有多個站點分別介紹 TNB 研究中心研究的內容。在參觀 TNB 研究中心的研究主題之前先由 TNB 研究中心提供簡報介紹該中心的定位、提供的服務以及相關的客群等等，如圖 7 所示。



圖 6 研究中心外觀

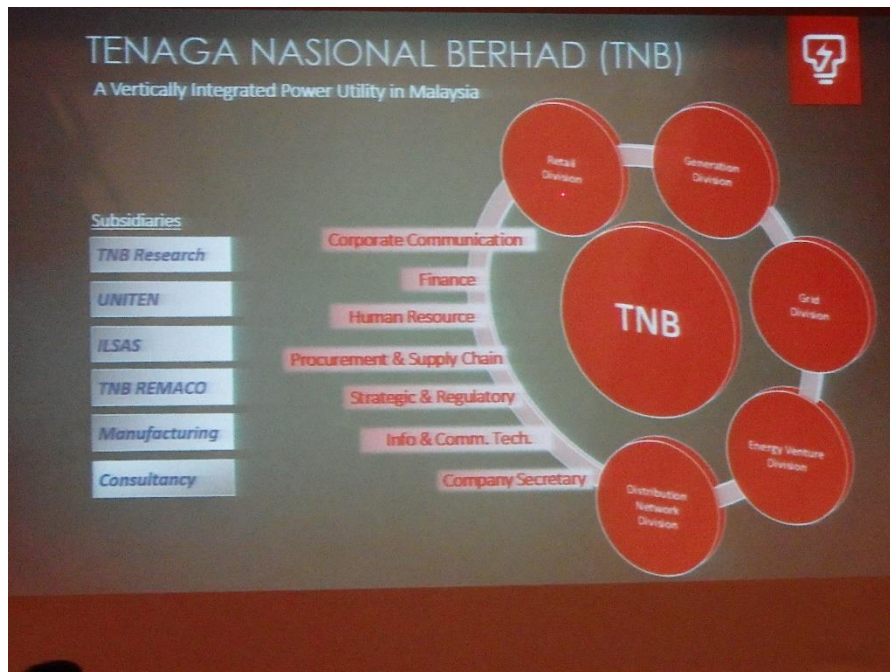


圖 7 TNB 中心的定位、提供的服務以及相關的客群

我們首先由戶外的研究站點開始參觀，幾個比較重要的站點分述如下：

1. 戶外太陽能電站

TNB 研究中心的太陽能電板建置在戶外的池塘中，如圖 8 所示，同時在池塘旁邊提供相關的參數敘述太陽能發電裝置基本的資訊，包括總裝置容量、發電量多寡、減少的二氧化碳排放以及可以避免砍伐的樹木數量，太陽能發電產出的電則利用來提供後面電動車充電站的電力來源之一，而之所以建置在池塘內部一來是為了對現有空間的有效利用，二來則是提供乾淨的電力供研究中心使用。



圖 8 TNB 研究中心之太陽能電站

2. 電動車充電站

電動車充電站主要提供電能驅動的車輛一個補充能源的位置，電力流程圖如圖 9 所示，電力來源主要為混合市電及太陽能電板，其中太陽能電板的位置除

了前一站提及之太陽能電板外，在停車場的屋頂也有太陽能電板轉換太陽光電提供給充電站使用。除此之外，在這個充電站也加入了鋰鐵電池儲能系統調節電力使用尖峰及離峰時段的用電；而充電的部分提供快速充電及慢速充電兩種充電的形式可以選擇，車主可根據車輛的需求及提供的充電街頭介面來選擇適合車輛的充電模式。這邊提供兩台電動車做為示範使用，如圖 10 所示。



圖 9 TNB 研究中心電動車充電站之充電流程



圖 10 TNB 研究中心提供之示範電動車

3. 水域資源管理計畫

TNB 研究中心的這個計畫主要是用兩種魚類做試驗，此兩種魚類為當地之生態指標，藉以監測水質是否良好，這個計畫同時還兼具復育的任務，因為此兩種魚類皆為當地瀕危的魚類；而這個計畫跟台電公司綜合研究所化環室在林口電廠附近海域所做的海洋牧場計畫其實有幾分相像，不同的是 TNB 研究中心的實驗地點是在屬於山區溪流的位置，而我們在 TNB 研究中心所看到的魚池僅做為展示及教育之用，如圖 11 所示。



圖 11 TNB 研究中心展示用生態魚池

4. 水力機組渦輪改良研發

水力機組是重要的電力來源之一，然而水力機組的渦輪也會有老化及破損的問題存在，TNB 研究中心使用 VenBFlow 儀器(如圖 12)來測試水力渦輪的水力性質，如入水量、出水量及水頭高度等等，配合模擬分析改善水力渦輪的效率，如圖 13 為 TNB 公司現有之水力渦輪，而改良後的水力渦輪如圖 14 所示。



圖 12 TNB 研究中心使用之 VenBFlow 儀器



圖 13 TNB 公司所使用之現有水力渦輪



圖 14 改良後之水力渦輪

5. 落雷預測系統(Lightening Detection System, LDS)

落雷是影響輸電線路電壓的因素之一，因此藉由預測落雷發生的位置可以提早預防避免輸電線路產生壓力波動影響電路的穩定性，而 TNB 研究中心結合氣象預報對可能發生落雷的地區做及時警示，量測範圍為馬來半島。預測系統可以由環境噪音中分辨出雲層對地的閃電現象，並量測落雷的位置、時間、極性以及振幅等參數；此外，落雷頻率也能夠在地圖上顯示，提示哪個地方有較高的機會產生落雷的現象，整體的介紹如圖 15 所示。

6. 油類測試分析

TNB 研究中心的油類實驗室專門做變壓器油的分析，該實驗室為 IEC17025 之認證實驗室，實驗室內部情形如圖 16 所示，要進入該實驗室操作都必須先經過認證單位的認證才能夠進入操作；而該實驗室也將變壓器油品的優劣比較陳列於實驗室外，並提供一套油品顏色對照的樣本，可以利用外觀顏色辨別油品的劣化程度；此外如圖 17 所示，該實驗室也有一套移動式的油品檢測系統提供需檢測的油品快速檢測油品的內容成分或劣化情形等。



圖 15 TNB 研究中心落雷實驗室的相關介紹



圖 16 TNB 研究中心油品實驗室



圖 17 TNB 研究中心油品檢測套組

7. 鍋爐爐管分析

TNB 研究中心爐管分析包含兩部分，一部分是鍋爐內部爐管厚度檢測，另一部分是爐管破損分析，破損分析的部分在台電綜合研究所內已有相當多的實務經驗，然而厚度分析是在國內較少看到的部分。TNB 研究中心的爐管厚度分析是利用一個如圖 18 的設備繞爐管一圈，便可得知爐管內部金屬大約有多厚，藉以判斷爐管內是否有過分氧化造成爐管內壁脫落的情形，經詢問現場人員應是利用超音波的原理來達到監測的目的，這個設備在大修的時候做監測應該是蠻有用處的；另外如圖 19 所示，TNB 研究中心也展示些許破損的爐管，以及提供一些分析的方式及儀器，經過詢問分析的方式應與台電公司綜合研究所採用的方式一致無太大差別。另外 TNB 研究中心有建置一套爐管實驗室如圖 20 所示，這個實驗室能夠模擬鍋爐運作的情形，測試爐管架設於測試平台上通過高溫高壓的蒸氣來測試爐管內壁的變化情形，然而這個測試平台並無法達到如實際運作鍋爐一般的溫度與壓力，因此測試的結果還需要加以評斷才能夠得知是否爐管的變化情形在實際運作的鍋爐上是否會得到可比較的結果。



圖 18 鍋爐爐管厚度測試設備



圖 19 鍋爐爐管破損案例



圖 20 鍋爐爐管測試平台

2.2 實習：先進氣渦輪機組維護測試製程及火力機組測試設備

2.2.1 研習先進氣渦輪機組維護測試製程：Impact Innovation 公司

Impact Innovation 公司為一位於德國慕尼黑東北近郊的公司，該公司專注於冷噴鍍技術的實踐，亦即從開發到生產完全於自家的工廠內完成。冷噴技術有別於一般高速火焰，其最大的特色在於不需將帶噴塗的粒子加熱，而是以超音速流的方式將待噴塗的粒子衝撞向基材而使粒子產生塑性變型而形成皮膜，由於用在噴塗的粒子不經過加熱的過程，因此可將粒子氧化的程度控制在較小的範圍內，較不易改變粒子的特性。該公司規模不大，如圖 21 所示，目前由三位經理人共同掌管公司的營運，而該公司的營運宗旨如圖 22 所示，由客戶端的需求出發，針對不同的需求製程開發相對應的冷鍍機具，並在公司內完成研發、測試及組裝後出或至客戶端，同時針對客戶端使用上的意見回饋至公司內，針對不同的製程或是材料再做不同的測試。

公司成立於 2010 年年中，由也是做冷噴鍍的 CGT 公司改組而來，也因此該公司在冷噴鍍的領域已有超過 10 年的經驗，截至 2017 年已經在全世界裝置了 38 部新公司的冷噴設備，並於 2017 年單年度銷售了 9 部設備，所有設備均由德國 impact innovation 完成組裝並整機出貨至世界各地，再由各地的代理商轉手給客戶端並做後續的運維建議與保固。

該公司的實驗室包含電腦輔助工程設計製造的部分及冷噴鍍機具測試兩部分，冷噴鍍的機具會先藉由 3D 繪圖生成相關的圖面，並能夠針對機具生成技

術文件及機電文件，同時能夠對機具進行危險分析(Risk analysis)。同時在實驗室內也有可供金相或元素分析的實驗設備，如電子顯微鏡等。去的時候實驗室內主要是工程師兩人，一人主要負責圖面的設計和繪製，另一人則針對材料的部分做實驗，因此在該公司也有針對噴鋸材料進行分析，並有一些相關的資料能夠參照。



圖 21 Impact Innovation 公司

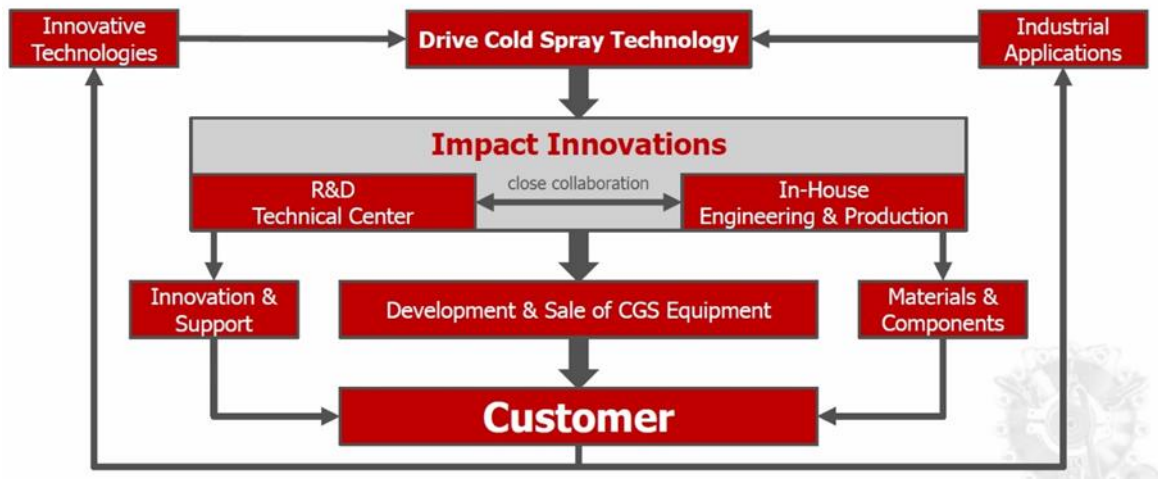


圖 22 Impact Innovation 公司營運宗旨

而在現場製作的部分，由於該公司本身即為生產工廠，因此辦公室後方即為該公司之工廠與測試中心，由於所有該公司生產之冷噴焊設備均由該公司自行製造再出貨至世界各地，因此這邊會有整條產線的生產過程，整體生產線的面積約為 400 平方公尺，在這個空間內基本的機械車床銑床都是標準配備，如圖 23 所示。此外為了較精密的加工冷噴鋸噴槍元件，該公司也具有相關的 CNC 設備以加工較精細的元件。



圖 23 Impact Innovation 公司內加工設備

冷噴的原理如圖 24 所示，冷噴其實分成高壓與低壓兩種，兩種的差異在於，高壓冷噴即為圖示的配置，材料由 nozzle-diffuser 的前端加熱後與氣體一同噴出，而低壓冷噴的材料入口則由 nozzle-diffuser 的喉部後方送料，送氣體的位置不變。高壓冷噴在送料前會先將氣體加熱，因此在後端 impact 公司先行設計一個加熱氣體的腔室，並有壓力感測器監測壓力的大小；腔室後端即為送料口，噴焊粉末從這邊被送入噴槍中，再通過 nozzle-diffuser 噴出到工件表面；量外再噴槍尾段 impact 公司也有設計一個冷卻的流道方便噴槍降溫。所有的參數都會由一個該公司自行開發的控制系統來控制，然而針對不同壓力和溫度的需求，對於粉末的需求量也會有所不同，因此在該公司的產品中，主要針對不同壓力和溫度需求的大小而推出兩種產品，如圖 25 所示。

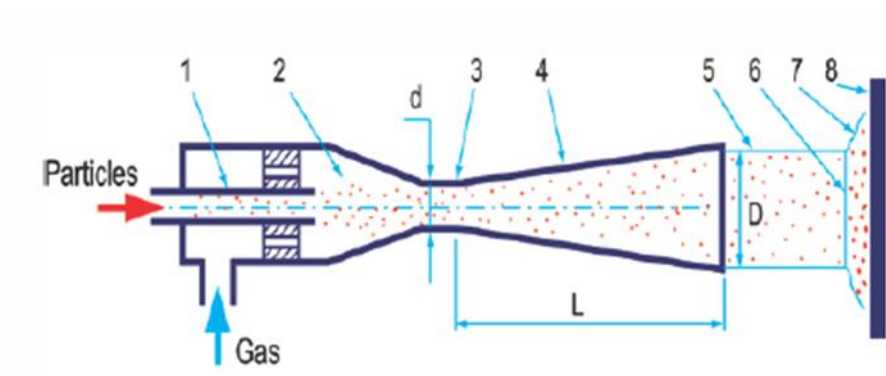


圖 24 冷噴原理說明



Impact Spray System 5/11



Impact Spray System 5/8

圖 25 Impact Innovation 公司產品

針對可噴焊的材料，該公司也做了一系列試驗來確定材料本身是能夠做為噴塗的材料或是作為底材，如圖 26 所示，所有的材料都會有噴塗速度的上限和下限，噴焊速度若小於該下限值，則噴出來的材料則無法黏附於底材上，則噴塗的材料就會變得毫無作用，而若噴塗的速度大於上限值，則材料噴塗到底

材之後就會影響到底材的材料及機械性質，甚至會破壞底材，造成整個材料或結構在使用上會出現問題，因此每個噴塗的材料都必須做過試驗確定噴塗速度的上限和下限值，然而不同的噴塗材料與底材都會有不同對應的噴塗速度，每種材料之間可噴塗的速度範圍也彼此不同，因此控制噴塗的速度以配合材料的特性就變得很重要，故 Impact 公司也以自家的實驗設備對不同的材料做一系列的試驗以驗證不同料的噴塗特性，作為公司開發產品的參考。

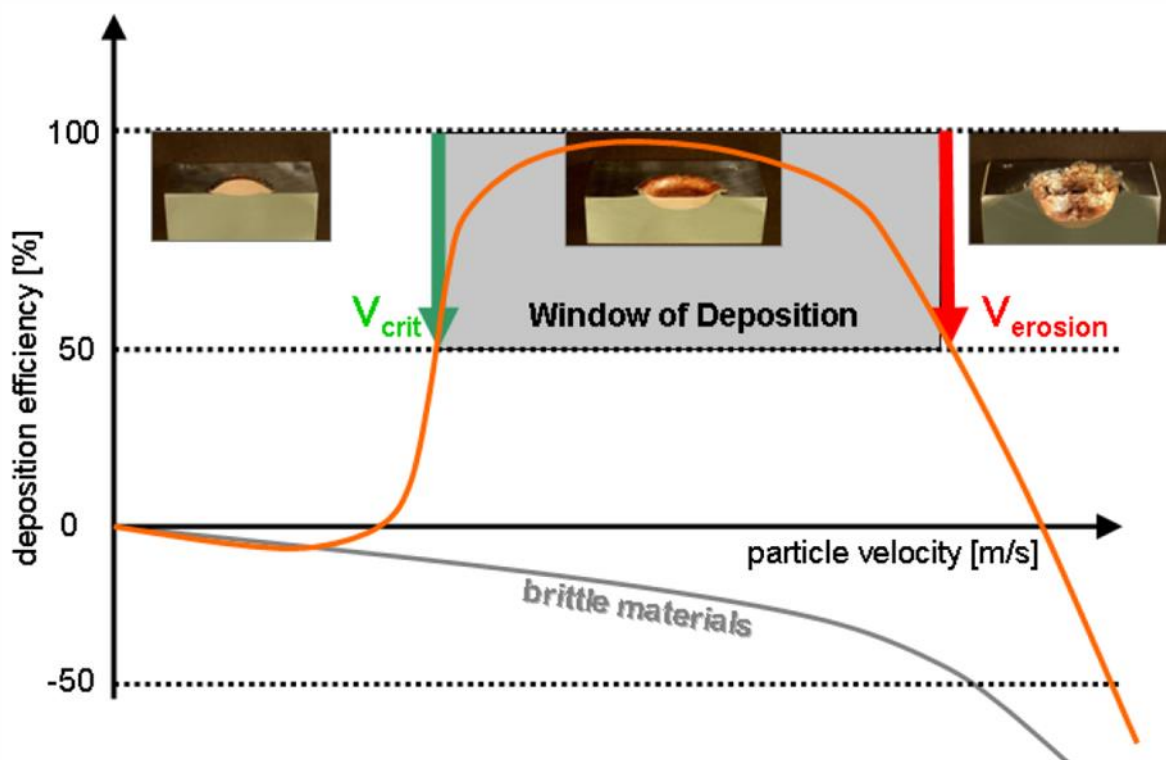


圖 26 冷噴材料特性試驗

Impact 公司除了生產冷噴焊的設備之外，也針對自家的技術實際作了一些示範提供客戶參考，圖 27(a)顯示了該公司的噴槍內部的情形，圖 27(b)則是套在噴槍外部的套筒；而圖 28 由左到右則是冷噴焊實際噴塗在不鏽鋼表面的情形、

冷噴噴槍的 nozzle-diffuser 橫斷面的幾何組成以及噴塗使用的粉末；除此之外該公司也有展示一些冷噴的應用，如公司內最常用到的斷路器組件噴塗(如圖 29 所示)、煮飯用的鍋子也可以用冷噴的方式來製造(如圖 30 所示)，另外圖則說明了冷噴後還需要精加工才能得到光滑的工件表面，如車削或是銑削等，而圖則說明了再如同玻璃的材料表面也可以應用冷噴的技術來加工等等。

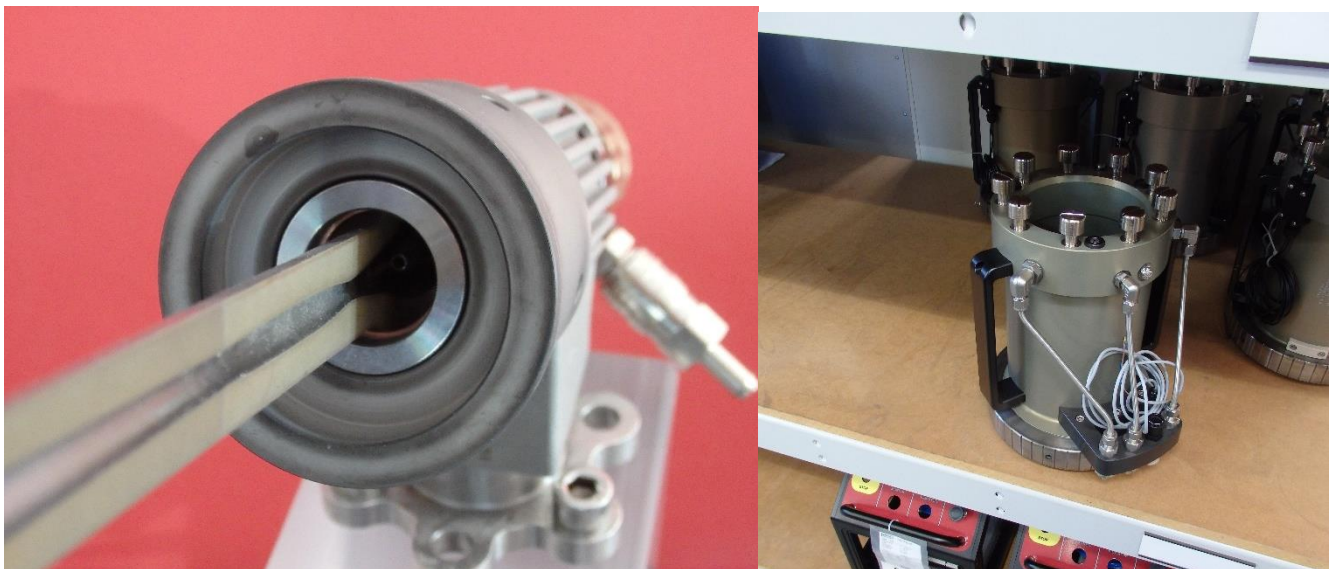


圖 27 (a)冷噴噴槍內部情形 (b)噴槍外部套筒



圖 28 冷噴於不鏽鋼表面、噴槍 nozzle-diffuser 及噴塗粉末



圖 29 冷噴於斷路器組件之應用



圖 30 以冷噴方式製造之鍋子



圖 31 冷噴後仍需精加工的工作



圖 32 以玻璃為母材做冷噴處理

2.2.2 研習火力機組測試設備：Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司

Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司成立的目的是為了要提供旋轉機械與電廠元件持續的設計與改善工程服務，特別是氣渦輪機、汽輪機、燃燒元件與熱交換器等，因此該公司的服務主要是由專家提供強而有力的氣渦輪機與汽機專業知識，在迴轉機械的空氣動力學及結構設計方面提供建議，以數十年來的電廠 OEM 經驗及歐洲先進的技術幫助客戶端最大化電廠元件的效率、可用性、可靠度，且持續與德國各實驗室與機構交流，以獲得最新的研究結果與實驗數據。此外，由於阿亨工業大學與其他歐洲機構的地利之便，該公司也能夠與其共同合作並利用這些實驗室的設備、人員及最新的工程方法與工具以協助客戶改善迴轉機械所遭遇到的問題。



圖 33 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司

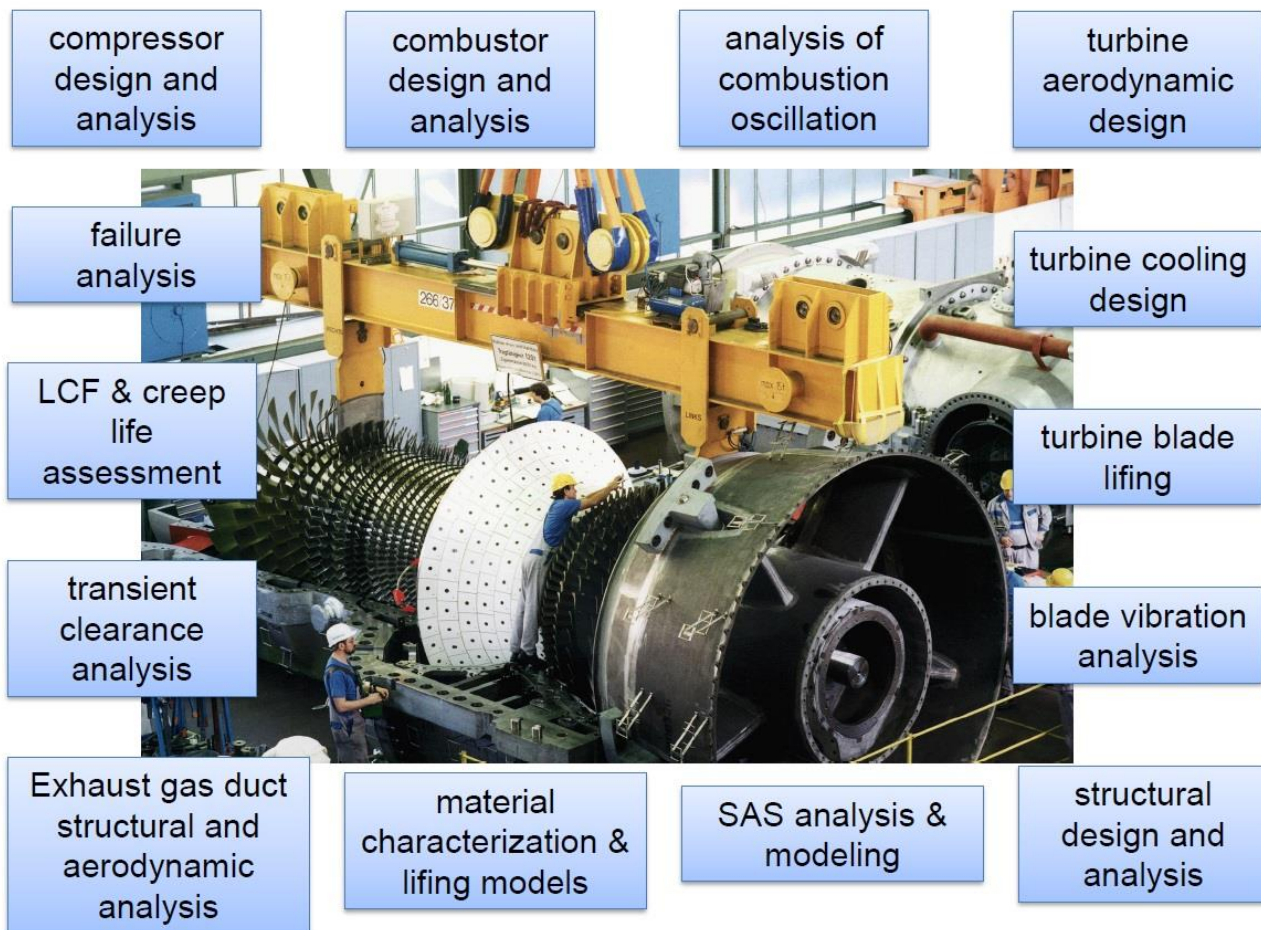


圖 34 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司提供之工程服務

由於接近阿亨工業大學的關係，阿亨大學內的資源與先進的測試設備在能源的研究上對於協助客戶改善渦輪機械是大有幫助的，像是以下的學院和其相關的專業及為公司長期合作的對象：

- Institute of power plant technology, steam turbine and gas turbines:應用高壓測試場測試相關燃燒科技
- Institute of Laser technology: 3D 列印相關科技
- Aachen center additive manufacturing
- The casting institute:先進鑄造技術、熱處理技術與鑄造製程模擬
- The Forschungszentrum Jülich:低熱傳絕熱塗層技術

先進氣渦輪機技術最主要是要達到最大化效率和最小化能源使用為目標，而在這個前提下通常會盡可能增加熱力循環中的參數以達到逼近材料的極限，在這種情形下必須系統性的探究氣渦輪機的設計與工程相關的議題。氣渦輪機在設計上為了最大化整機效率，每個不同的元件必須完美的配合，在初始設計階段就必須考慮到這個問題，但這卻極具挑戰性，在這邊需要考慮的一些設計極限如下：

- 主要元件間的流路交互作用及二次空氣系統
- 空氣動力學的 1D/2D 設計、二次空氣系統與熱力循環的交互作用
- 葉片冷卻設計與元件強度交互作用
- 二次空氣系統對燃燒器冷卻與排放交互作用的影響
- 邊界條件對氣渦輪機啟動的影響
- 暫態二次空氣系統表現對於系統及疲勞的影響

在這邊每個參數都必須在高準確度的模型下進行 3D CFD、共軛熱傳與有限元素分析等，而結果將可用來做為調整或配合初步的設計。而在工程面，如葉片振動、穿音速壓縮機葉片逆向設計及 3D 流道最佳化等則會再利用其他工具來協助分析。

而材料的極限則決定了熱力循環參數的極限，這些可經由下面的一些特性來描述：

- 依合金結構造成之潛變破壞機制
- 潛變裂痕初始與破壞模型
- TBC 強度與熱傳

- 疲勞破壞機制
- 疲勞裂痕初始與破壞模型
- 支撐對疲勞周期的影響

值得注意的是材料及現不僅影響熱力循環參數及效率，更會影響到氣渦輪機組的操作彈性，如啟動時間，而且動時間在現在競爭的氣溫輪機市場中是佔有極重要的角色的。而材料極限的探討是需要大量實驗的，因此在德國，氣渦輪機的 OEM 場家通常會和一些研究機構合作，這些研究機構各有所長，研究的領域也不盡相同，而這些研究機構通常會加入一個名為 FVV 的組織，這個組織是德國政府下的一個單位，德國政府不直接撥付研究經費給每個德國的研究機構，而是撥款給 FVV，由 FVV 再去分配研究款給每個研究機構；而 OEM 廠商則選擇需要做的研究並與相關的機構合作開發新的技術。而 Ayed 博士的公司也加入了這個機構並協助這些機構做一些研究案以相互交流最新的研究結果。

氣渦輪機的熱元件，特別是渦輪機前幾級的靜葉和動葉，通常會受到較複雜的熱負荷而難以評估該元件的壽命週期，因此，分析葉形的溫度及應力分佈可以幫助決定元件的壽命或剩餘壽命，使得運維人員能夠有效的制定維護周期及管理備品以降低成本，圖顯示了由葉片的模擬分析以決定葉片的維護周期，藉由共軛熱傳的方法能夠進行葉片的熱分析及力學分析，邊界條件的決定則藉由二次空氣系統及流路特性，配合工程上的經驗來決定。

熱元件的逆向工程在氣渦輪機葉片的設計也是很很重要的一環，而三維的熱分佈與應力分佈提供了製造要求的關鍵資訊。在葉片鑄造的過程中，合金結構的要

求可以是溫度與應力的函數，例如低周疲勞影響的區域的材料晶粒大小必須較小以成受低周疲勞對葉片的影響，而承受潛變影響的區域晶粒就必須較大，如圖所示；而根據這樣的概念，在進行動靜葉的逆向工程時就能夠較佳的控制製造過程以求製造出的葉片能夠達到 OEM 的水準。

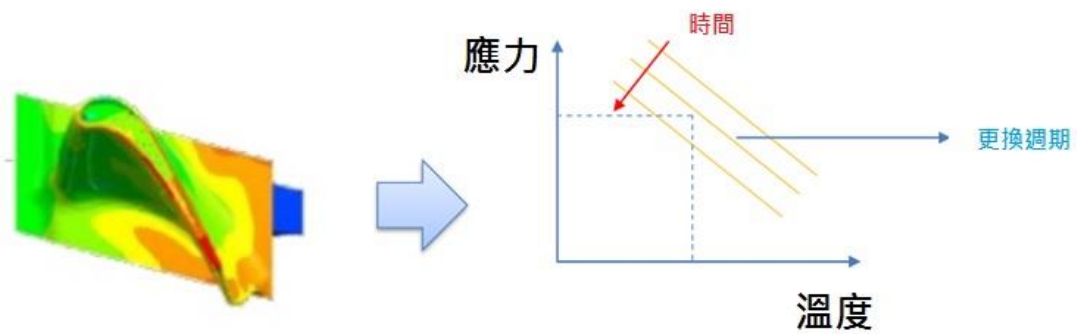


圖 35 葉片的模擬分析以決定葉片的維護周期

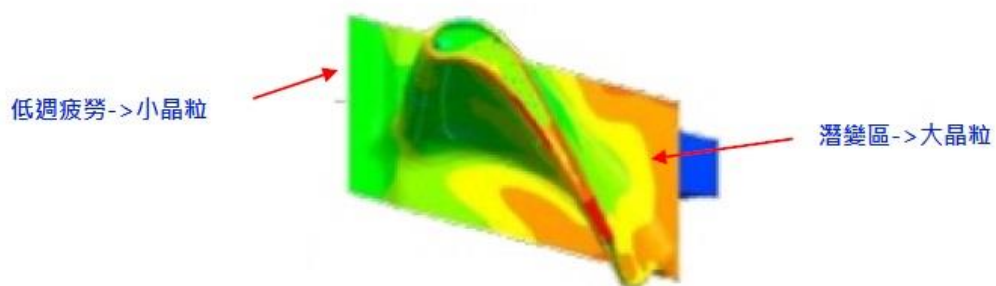


圖 36 不同熱應力分佈決定葉片晶粒大小

參、心得與建議

3.1 開會心得

有機會能夠到國外去參加研討會是蠻不容易的事情，尤其是國際的大型研討會更是需要一些背景知識才有辦法跟國外的一些專家學者對談，因此除了要有足夠的語言能力之外，還需要相當的專業知識才能夠應付參加大型研討會的需求。

CEPSI 在電業的領域中算是較大型的研討會，除了論文發表以外，還包括了 keynote session、廠商展覽及會後的技術參訪行程。在這邊其實也看到了偏學術的研討會和偏業界的研討會的區別，在 CEPSI 這個研討會裡面比較沒有深奧的公式和複雜的推導，比較多的是實際的應用和數據的分析，像是在第一天第一場到公司另一位同事的發表演講就發現有一間澳洲電力公司介紹偏重產品的特色和相關的應用，背後的理論則較少有著墨；而在我這邊的場次幾乎也都是公司來發表，除了電力公司以外大概就是大型的電力設備供應商如 GE 或西門子，他們的介紹也都偏重產品的穩定性和產品的效能測試，相對於純學術的研討會也會相對比較明瞭易懂些。

在論文發表方面，我發現這個研討會在電領域的論文相對於機械領域的論文多出非常多，可能是在電的領域需要較多的研究，因此要了解這部分的專家研究的主題對我來說相對較為吃力，也因此在此機械領域的論文發表時，很多會後的問題也比較偏電領域的問題，因此有些問題對機械的人來說就為沒那麼了解，可能就會比較沒辦法聽懂對方的問題在問什麼，也就難以有較適當的回答，也因此透

過研討會來增加一些自己領域外的知識也許就是研討會一個很重要的意義。而在我這個 session 的論文除了我發表的這篇做風場評估的以外，其他雖然也是和再生能源相關，但是幾乎都是與再生能源中「電網」相關方面的題目，可見在電網這塊應該是最近發展的趨勢。除此之外也到另一個做儲能同事的 session 去聆聽他和其他人的發表，儲能這塊研究的內容大致上每個研究者做的標的都不盡相同，但是目標我覺得是差不多的，像公司的同事是做穩定性的研究，這塊就對於離島的獨立電網系統會有比較實際面的應用，因為離島電網系統不可能建置較大裝置容量的大型機組，因此分散式的電源就會變得相當重要，而儲能在系統中便扮演這維持電源穩定的角色，因此一個儲能系統的優劣與否便成為電網系統是否穩定的重要課題。另外今年的論文數看起來好像在再生能源有最多的論文數，可見在東亞國家再生能源應該是個非常重要的議題，畢竟在現在能源短缺又環保意識抬頭的年代，能夠掌握越多的潔淨能源意味著更能夠兼顧環境的永續，對於國家發展而言也不啻是一件好事。

除了論文發表外，CEPSI 最重要的便是廠商的展覽，大會將吉隆坡會議中心的某個特定區塊劃成展覽的場地，所有的廠商和廠商的活動都會在這邊舉行，台灣這邊也有一家做靜電集塵袋的廠商參展，這個廠商主要是做燃煤鍋爐後端環保的設備，在東南亞也算是小有影響力，他們家的產品幾乎與環保有關，相信這也是現階段及未來一個很有市場的產品。除此之外許多大廠如西門子和 GE 也都各佔據一角展出他們比較有競爭優勢的產品，今年發現有個特色就是結合 VR 來做器渦輪機內部的檢視，一開始不知道 VR 應用在機組會有什麼樣的優勢，經過

廠商的講解以後發現其實工程師可以先利用 VR 來查看大型發電設備的內部，再根據手上的資料進行維護，可以大幅降低開蓋檢修的成本，不僅不需要花費太多開蓋的時間，有些不需要開蓋就能解決的問題也變得不需要白費工夫在開蓋的吊裝上，節省很多人力和財力成本。除此之外利用 VR 結合數值模擬可以約略了解氣渦輪機內部燃燒的狀況，讓工程師事先了解機組內部情形也有助於改善機組設計上的瑕疵，也有助於進行教育訓練。

除了一些大廠之外還有一些做小零件或軟體的小廠，這次印像比較深刻的是新加坡一家廠商，針對世界各地電力公司從發電到輸配電，建立一些評比的指標來圖形化評比每個電力公司，像是針對再生能源的比例、電網穩定度等等，台電公司在這些指標的評比並沒有得到很高的分數，低於很多其他的電力公司，但是我覺得這個其實沒有什麼關係，畢竟這個公司的資料來源是網路上任何人都能夠取得的資訊，因此這個分數對公司實質意義不大，但是重點是必需要去檢視我們在應該做到的項目上是不是足夠，那才是這些指標存在的意義。

另外在會後還有參訪行程，參訪行程這次是到馬來西亞國家能源公司的研究中心去參觀，他們的國家能源公司的整個園區包含了一個馬來西亞能源公司自己辦的大學城，研究中心就在這個大學城的一角，好處是能夠共享大學的資源，學生可以直接接觸到實務上會應用的東西，也因此很多學生從這個大學畢業以後就直接進入能源公司服務，對於該公司來說也是一個人才的保證；不過相對的這個成本應該是蠻高的。研究中心總占地面積比台電公司的綜研所小，做的一些研究題目其實也和綜研所在做的東西多少有些類似，但是有些題目感覺其實是

值得學習的對象，像這次在這個研究中心看到的鍋爐測試設備，雖然個人感覺還不是說很完美，但是這個設備可以給台電公司一個鍋爐測試的一個參考，畢竟如果能夠先預判鍋爐可能會發生的問題，將可以大幅減低機組停機的時間，造成的損失也相對較小。另外有些他們在做的東西綜研所也有在做，像是落雷預警、再生能源與儲能系統及油品檢測等，這些部分我個人認為綜研所在這方面的質與量應該是比他們還要進一步的，不過若有機會交流相信應該也是非常好的。

除了研討會的活動以外，GE 公司也邀請我們參觀該公司的監診中心，他們的監診中心其實規模不算大，主要的功能就是收集世界各地 GE 機組的資訊來分析預判機組可能會發生的問題，或是針對停機的事故提出解決方案，GE 公司在美國、義大利和瑪蘭西亞各有一個類似的組織，在不同的時區連續的解決問題，一般來說當機組問題回傳到監診中心的時候便會有專家群會議討論解決方案並做成紀錄，當有解決方案出來的時候便提供現場運轉部門解決的建議，現場是否接受就是現場部門自行決定，監診中心無權也無法控制現場的機組，他們能做的就是扮演顧問的角色，預知問題並想辦法幫現場解決問題。

很謝謝馬來西亞能源公司用心舉辦這次的研討會，提供了一個很幫的交流平台。研討會的各個活動內容我想都是很有深度的，也藉這個機會認識了一些國外的專家，對於未來在電力問題的討論上相信會有更多討論的管道，也會有更多建設性的建議，也期待在 2020 菲律賓能看到不一樣的 CEPSI。

3.2 實習心得

這次實習的部分主要是去兩個地方，一個是位在德國慕尼黑的 Impact Innovation 公司，另一個是在德國阿亨的 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司，這兩間公司各有個專長的地方，也都各有其特色。

3.2.1 Impact Innovation 公司

Impact Innovation 公司是德國的一間小公司，這間公司是由其他公司改組而來，而原來公司的管理階層順理成章的就變成了新公司的管理階層，這間公司主要專注在冷噴設備的研發，在某個層面看來其實算是一個不錯的投資，畢竟如果外面沒有其他人做得比他們好，他們就可以獨霸一方，而且冷噴的特色是操作溫度不需要到一般高速火焰噴焊的高溫，也因此可以預見的這個設備應該也會比高溫填料設備還要節省能源，假如應用的範圍夠廣的話，相信對企業來說是一個不錯的投資；而事實證明了這項技術的確受到許多企業的青睞，因為該公司的總裁就說，很多大企業像是 GE、西門子等等都有採用他們的設備做為製程的一部分，因此相信這間公司在技術上是佔有一席之地的。

冷噴這個技術在我知道這間公司之前仍然是個新的名詞，只知道它就是一種填料的技術；當初曾經一度懷疑降低噴焊的溫度，材料是否能夠牢牢的附著在母材上面，事實後來發現我的擔心是多餘的，其一是這間公司已經做了很多年的技術，若不是有他實際的用途，應該早就在市場上被淘汰掉而不是很多大廠都採用；此外，公司的管理者也跟我解釋了這個技術背後的原理，其實也就是利用材料的特性來達到填料的效果，雖然在噴焊之後還需要再削除一部分的材料讓整個工

件看起來比較光滑，也比較像是平常在使用的設備的樣子，但是比起高速火焰，如果冷噴的方式能夠完成我們要的工件，相信多數人也會選擇冷噴的方式來做。

這間公司另一個特色就是他們堅持所有的產品都由自家的工廠完成，從生產、組裝到測試都由德國的工廠一手完成，再出貨到世界各地，從這點可以看到德國人對產品的堅持，因為既然是世界很多廠家都會用到的產品，理當可以到世界各地設廠生產以節省關稅及運輸的費用，然而他們卻寧願自己生產也不假手他人接手生產的過程，一方面可能是怕技術外流，另一方面我想應該也是不願意玷汙德國製造這個全世界都推崇的品質保證，也因此縱使出貨能力沒有很高，一部冷噴鐸的機器需要數個月才能生產完成，但是我想因為他們的堅持，才能夠為食產品的一個品質，所以對我們來說，不論做什麼東西都好，不要破壞自己招牌最好的方式就是在東西完成後最好自己能夠做最後的把關，也才不容易會有後續的問題發生。

最後能夠成行，我想需要感謝這間公司台灣代理商的牽線，讓我有機會能夠認識到和平常在做的東西不一樣的技術，我想養兵千日，用在一時，多走走多看看，哪天需要用到的時候可以直接派上用場那就真的是最好不過了，同時也很感謝 Impact Innovation 公司執行場 Richter 先生的接待，有機會可以看到許多一手的資訊，我想是一個非常難能可貴的經驗。

3.2.2 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司

在德國的第二個行程是到德國阿亨的 Ingenieurbüro Dr. Anis Haj Ayed 公司，阿亨位於德國、荷蘭和比利時的交界，是一個不大的小鎮，但是這邊以阿亨工業

大學為中心發展成為一個工業城，很多工業上先進的技術都是在這邊開發出來的。Ingenieurbüro 公司位在阿亨的近郊，是一間位於會展中心的辦公室，主持人 Ayed 博士主要做氣渦輪機及汽輪機等旋轉機械的改善及運維顧問，因此這間公司算是一間顧問中心。而公司主要利用商業軟體 Starccm+對渦輪機組件作分析，同時 Ayed 也會利用其工程上的實務經驗來解決運維端的相關問題。

這次過去那邊主要就是由 Ayed 博士簡報他們公司所提供的服務以及他們過去曾經做過的一些案子；由於渦輪機械牽涉到的議題很廣，所需要的背景知識量也非常龐大，加上 Ayed 博士不斷強調渦輪機就是所有的元件必須要緊密配合才會發揮出其最大的效率，因此在這部分相信 Ayed 博士花了不少工夫在研究這塊；另外 Ayed 博士也提到分析一個渦輪機械從修模到放到軟體裡面去計算他都有參與其中，也因此另外一位我們一起去的同事提出有關修模的問題，博士他能夠馬上說出相應的解決方案，後來回台灣實作後，也證實 Ayed 博士的方式是可行的。

Ayed 博士也有分享一些渦輪機的材料判定實務上的經驗，印象比較深的是用材料容易受到什麼樣的應力來決定該材料的處理方式，像是針對冷端的渦輪機葉片容易受到周期性的應力，因此在材料處理上會將該部分材料的晶粒組成處理成為較小的晶粒，而熱端的元件則需要將材料晶粒處理成較大的晶粒。過去在公司比較常聽到的是用切除下來的材料晶粒大小來判斷機組的材料劣化情形，而 Ayed 博士提供的這個方式比較像是逆向操作，兩者有異曲同工之妙，不過這部分我相信公司做材料這塊的同仁應該非常熟悉，也應該有很多這方面的經驗，可能由於我不是做材料這塊，因此第一次聽到用這種方式來判斷機組材料

的性質會覺得很新鮮，但是我相信帶回來的這些資訊應該也有助於像我這樣的門外漢進一步了解其他部門在做的事情，有機會深入的話應該也能夠多比較我們還有什麼不足的地方。

而由於我們過去的時候剛好遇到阿亨地區的 3D 列印展，這個展覽集合很多德國 3D 列印的廠商，包括機台製造商與使用者，印象比較深刻的是很多精細的元件都能夠用 3D 列印來成形，特別是一個位在阿亨工業大學校園內的實驗室生產的微型渦輪的模型，這個模型還能實際轉動，由於在我過去 3D 列印的印象中就是停留在普通模型的製造，做出來的成品也沒有到實際工業應用的水準，因此在這個展覽看到的東西真的蠻讓人大開眼界的。

在阿亨的幾天其實非常感謝 Ayed 博士的熱情接待，除了學到一些氣渦輪機分析的概念以外，也看到了平常比較看不到的成果，特別是有些概念真的是到那邊才第一次聽到，因此多和比自己博學的人交流，相信會有很大的收穫。