

出國報告（出國類別：實習）

大潭電廠增建計畫-8號機氣渦輪機設計安裝運轉維護訓練研習

服務機關：北部施工處

姓名職稱：林耕葆 機械工程監

派赴國家/地區：美國/休士頓

出國期間：112年11月14日至112年11月30日

報告日期：113年1月12日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

大潭電廠增建計畫-8及9號機氣渦輪機設計安裝運轉維護訓練研習

頁數 18 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

核能火力發電工程處/王瑄鴻/0223229676

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林耕葆/北部施工處/燃料給水課/機械工程監/034737726-6310

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：112/11/14-112/11/30

派赴國家/地區：美國/休士頓

報告日期：112/11/10

關鍵詞：GAS TURBE CONTROL AND PROTECTION RELAY PANEL(GCRP)、
DIGITAL AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR(D-AVR)

內容摘要：(二百至三百字)

本次研習目的在於學習 8 號機擴建複循環發氣渦輪機設計安轉維護系統，氣渦輪機及其附屬設備由奇異公司設計提供，現場建造工作及相關測試由奇異公司及丸紅公司統共同執行。

學習內容主要分成三個部分，分別為(一)氣渦輪機本體設計原理、構造、試運轉及維護；(二)附屬設備設計原理、構造、試運轉及維護；(三)施工說明。了解氣輪機及其附屬設備設計原理和構造，對未來建造、試運轉及設備維護有極大的助益，以確保機組設備運轉安全。

目錄

一、 研習目的.....	1
二、 研習過程.....	1
三、 研習內容.....	1
第一節 工程概述.....	1
第二節 氣渦輪發電機.....	1
(一) 起動系統.....	4
(二) 進氣系統.....	4
(三) 排氣系統.....	7
第三節 附屬設備.....	5
(一) 潤滑油系統.....	5
(二) 冷卻水系統.....	6
(三) 氣機葉片冷卻系統.....	7
(四) 燃料系統.....	8
(五) 高壓空氣清鎗系統.....	9
第四節 設備安裝.....	10
四、 心得與建議.....	13
五、 參考資料.....	14

一、研習目的

學習大潭電廠 8 號機增建複循環發電機組之氣渦輪機及其輔助設備之設計、製造以瞭解安裝及測試流程等相關知識，以確保建造工程品質符合電廠運轉需求。

訓練操作及維護人員對於日後所使用設備之構造、安裝測試程序及日常檢修概要，培養維修能力以面對長期運轉之需求，參訪廠商設計中或已上線實際運轉之氣渦輪機，作為後續工程引進或修改之參考；現場觀察氣渦輪機的製造流程，並且與技師請教設計理念如何實踐於製造，對比合約規範，了解實際製造與規範之間的關聯性，以利合約執行。

二、研習過程

起訖日	研習地點	研習內容
112.11.14	台北→美國休士頓	往程
112.11.15~112.11.28	Gas Power Training Houston Learning Center	進行大潭計畫氣渦輪機及附屬設備之規劃設計、製造、測試及運轉維護等實習訓練
112.11.29-112.11.30	美國休士頓→桃園	回程

三、研習內容

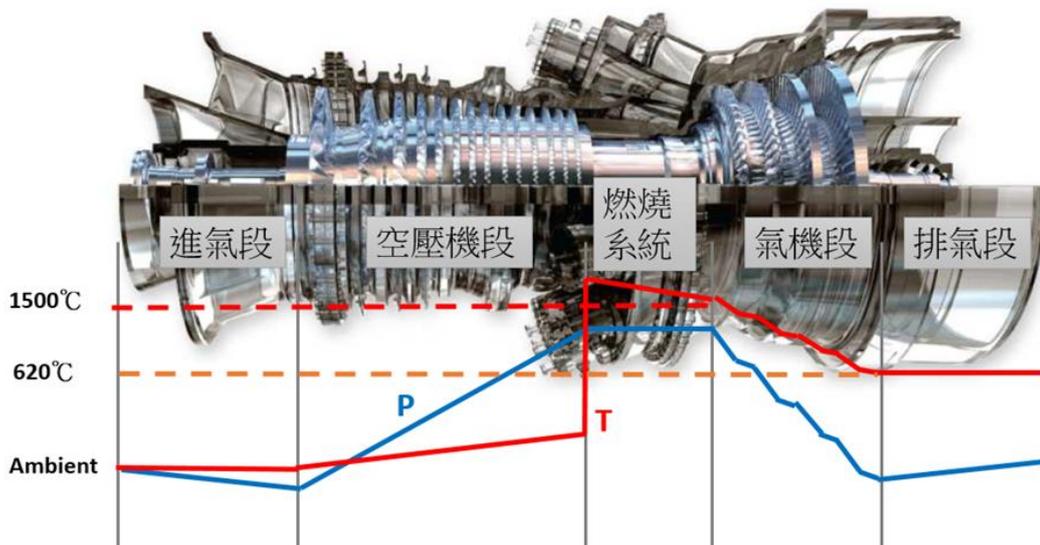
第一節 工程概述

台灣電力公司肩負提供台灣地區充裕電力之責任，依據台電公司檢討台灣本島區域電力供需平衡關係，北部地區電源不足日趨嚴重，而不足電力需由中、南部地區補充，形成南電北送，除增加輸電損失外，亦降低供電可靠性。為減少輸電投資及線路損失，大潭燃氣火力發電計畫實屬亟需。

本發電計畫廠址位於桃園縣觀音鄉台 15 號公路西側，北鄰桃 92 鄉道南至新屋溪之大潭濱海特定工業區內，附近有大園及觀音等已開發工業區及正將開發之觀塘工業區。機組燃料為天然氣。以下是複循環機組的基本介紹。

大潭複循環發電計畫 1 到 9 號機，其中 1-6 號機複循環機組已於民國 100 年前商業轉。主發電設備採購案由日本三菱重工及三菱公司商事公司聯合承攬自 92 年 12 月開工。8, 9 號機由奇異及九紅公司聯合承攬，民國 110 開工。

新建之 8 號機計畫中主要設備為兩台氣渦輪機組 (GT)、兩台熱回收鍋爐 (HRSG) 及一台汽渦輪機組 (ST)。在配置上方向由東向西分別為主、輔助變壓器、啟動裝置、勵磁機、發電機、氣渦輪機、旁通煙囪、熱回收機組及汽渦輪機組。以及其他輔助設備。氣渦輪機組為奇異公司 7HA.02 機型，燃氣進口溫度為 1550°C，出口溫度為 670°C。在大氣溫度 32°C，101.3Kpa 及濕度 90% 條件下，燃氣機組單台氣渦輪機組發電容量為 35.87 萬千瓦，汽渦輪機組為 38.26 萬千瓦。複循環燃氣機組發電量約為 110 萬千瓦 (2GT+1ST=38.87*2+38.26*1=110)。單循環效率超過 41%，複循環時效率高於 61%。



圖一 7HA.02 運轉溫度與壓力分佈

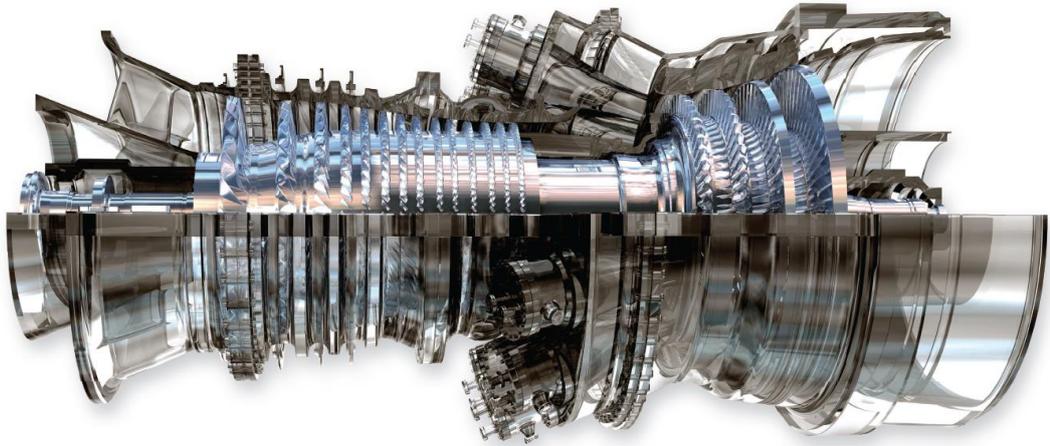
第二節 氣渦輪發電機

大潭 8 發電計畫之 7HA.02 型號氣渦輪機(如圖一)，為單軸式氣渦輪機，代號 H 為燃燒溫度高於 1,430°C 的機型，A 為燃燒筒採用全空氣冷卻方式，02 為透過增加壓縮機入口和渦輪機出口區域，以獲得更多空氣流量，提升功率輸出。本氣渦輪機其為轉速 3600rpm，壓縮機級數為 14 級，壓縮比為 22:1，氣機級數為 4 級，12 只燃燒器+低氮氧化物 DLN2.6+AFS 雙燃料燃燒系統，GE 7HA.02，可使用於單循環及複循環系統，輸出可達 35.87 萬千瓦以上的發電量，起動發電只需 10 分鐘及 NO_x(氮

氧化物濃度)可低至 9ppm 以下等均為 7HA.02 型氣渦輪機之特色。

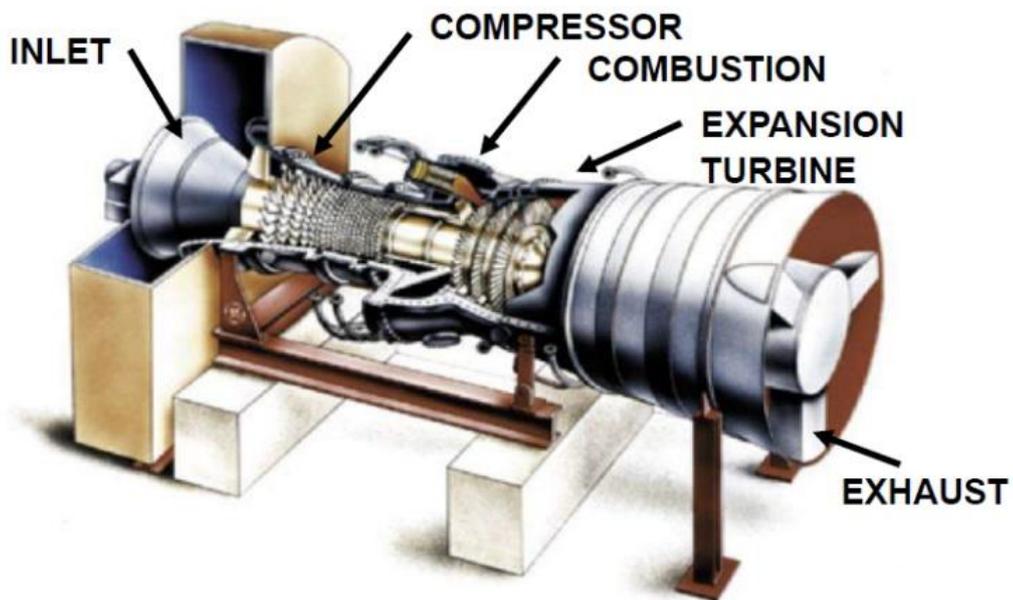
7HA Heavy-Duty Gas Turbine

World's largest, most efficient gas turbine in its class



圖二 7HA GT

當氣渦輪機啟動時，外部空氣經由進氣過濾系統(Inlet filter house)、進口外殼(Inlet casing)被吸入壓縮機，在空壓機(Compressor)內被壓縮後送入燃燒室，讓燃料和壓縮空氣在燃燒器內混合燃燒，燃燒後產生的熱燃氣則送入氣機內作功，新型的燃燒器系統設計可以減少氮氧化物(NOx)產生。當熱氣流經氣機時，高壓、高溫的熱氣會將熱能轉換成機械能，氣機產生的部份動能用來驅動壓縮機，其餘動能則用來驅動發電機和勵磁機。廢氣經排放系統在排放至大氣中。



圖三 7HA 空壓機

(一)起動系統

起動設備係於發電機之一端設一 1850KW 之起動馬達，再帶動扭矩轉換器，以加速氣渦輪機，在氣機轉軸加速至 2400RPM 時自動停止，氣渦輪機再繼續點火後的燃氣經氣渦輪機膨脹壓縮將氣機再加速至 3600RPM。其中起動馬達設備規範為：

設備名稱	設備規範/型式	8 號機總數量
起動馬達	型式：水平式 功率：1850KW	2 (台)

氣機轉軸係以 AC 馬達經齒輪組(Gear Train)及叉頭離合器(Jaw Clutch)以 6RPM 的轉速來帶動氣渦輪機轉子，使機組在待機狀態或停機後不會因轉軸靜止冷卻轉軸變形。其中慢車齒輪設備規範為：

設備名稱	設備規範/型式	8 號機總數量
慢車齒輪組	Gear box	2 (套)

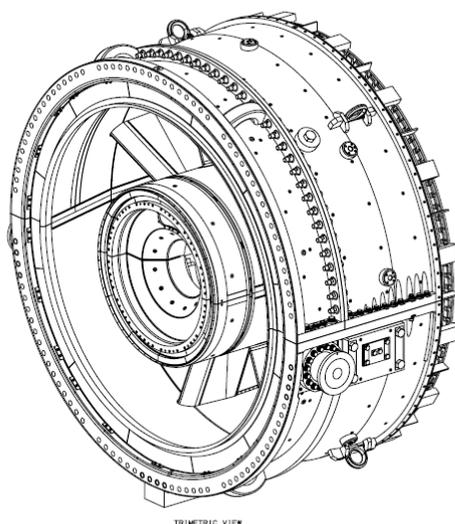
(二)進氣系統

空氣經過濾器(Filter)過濾後經導管 (Air Intake Duct) 進入氣機，本系統設備有進氣室、空氣導管、消音器、膨脹接頭、肘管、結構鋼料等並設有壓差指示計 (Pressure Differential Indicator)及壓差警報器(Pressure Differential Alarm)。其中 3 級過濾器設備規範為：

設備名稱	設備規範/型式	每一級數量
過濾器	1、 Coalescing Filter : 過濾等級:袋式, M5 at 1000 Pa 2、 Pre Filter : 過濾等級:F9 at 450 Pa 3、 FINAL Filter : 過濾等級:E12	540 (個)

(三) 排氣系統

氣渦輪機之高溫燃氣於氣機內膨脹作功後排氣經排氣歧管(Exhaust Manifold)，膨脹接頭(Expansion Joint)、排氣道(Duct)、旁通煙囪(By Pass Stack)排至大氣；而於複循環模式時則由排氣道進入熱回收鍋爐(Heat Recovery Steam Generator)去產生供應汽渦輪機做功的蒸汽。排氣氣缸是由內外圓錐殼所組成的，熱燃氣會通過內外圓錐殼。排氣氣缸內截面積設計採連續增加方式設計，使背壓產生降至最低。外圓錐殼可避免氣缸殼過熱，內部圓錐殼則保護軸承室，以免軸承室接觸到熱燃氣。軸承室是排氣氣缸的一部份。在排氣氣缸周圍有 27 支熱電偶經由導管插入排氣氣缸內，透過伸入熱燃氣通道的熱電偶可以監視葉片通道溫度 (BPT; Blade Path Temperature) 和排氣溫度。葉片通道上溫度的熱電偶則被用來判斷氣機的負載。葉片通道平均溫度或是實際排氣溫度皆可被用來當做溫度指示，而通常會選擇兩者溫度較高的。



圖四 7HA 排氣氣缸

第三節 氣渦輪發電機附屬設備

一、潤滑油系統

潤滑油系統提供氣機及發電機軸承，輔助輪齒，扭矩轉換器等所需潤滑油，其設備含有由氣機軸經變速齒輪傳動之主潤滑油泵，AC 輔助油封泵、DC 緊急油泵、油槽、油冷卻器、過濾器、油位開關、油壓調節器、溫度控制器、油槽抽氣扇及除霧器、管路、閥、相關儀控設備等。而該油系統另設一 AC 頂升油泵(Jacking Oil Pump)提供高壓頂升油供發電機轉軸於慢車迴轉時頂起轉軸防止轉軸與軸承之磨損。其中油泵設備規範為：

設備名稱	設備規範/型式	8 號機總數量
主潤滑油泵	型式：離心式 容量：3.33 KL/min 轉速：3600RPM 馬達：125HP	4 (台)
緊急滑油油泵	型式：離心式 容量：1.38 KL/min 轉速：1750RPM 馬達：20HP	2 (台)
輔助油封泵	型式：離心式 容量：0.496KL/min 轉速：3600RPM 馬達：25HP	2 (台)
緊急油封泵	型式：離心式 容量：0.84KL/min 轉速：2980RPM 馬達：36HP	2 (台)
頂升油泵	型式：離心式 容量：0.0871KL/min 轉速：1800RPM 馬達：60HP	4 (台)

二、冷卻水系統

大潭 8 號機設有廠用水系統，發電系統冷卻使用，為一密閉循環系統(Closed Circuit)，以水為冷媒作為潤滑油、發電機冷卻器之冷卻，含有 Cooling Air Coolers、Cooling Water Pumps、Valves、Chemical Additive Tank 等。其中冷卻水泵設備規範為：

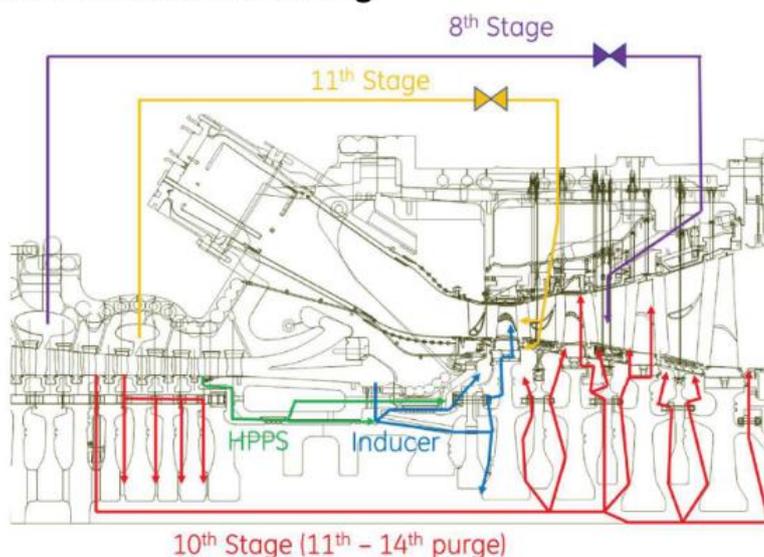
設備名稱	設備規範/型式	8號機總數量
廠用水泵	型式：離心式 流量：2707m ³ /HR 總揚程：32.4 m	2（台）

三、氣機葉片冷卻空氣系統

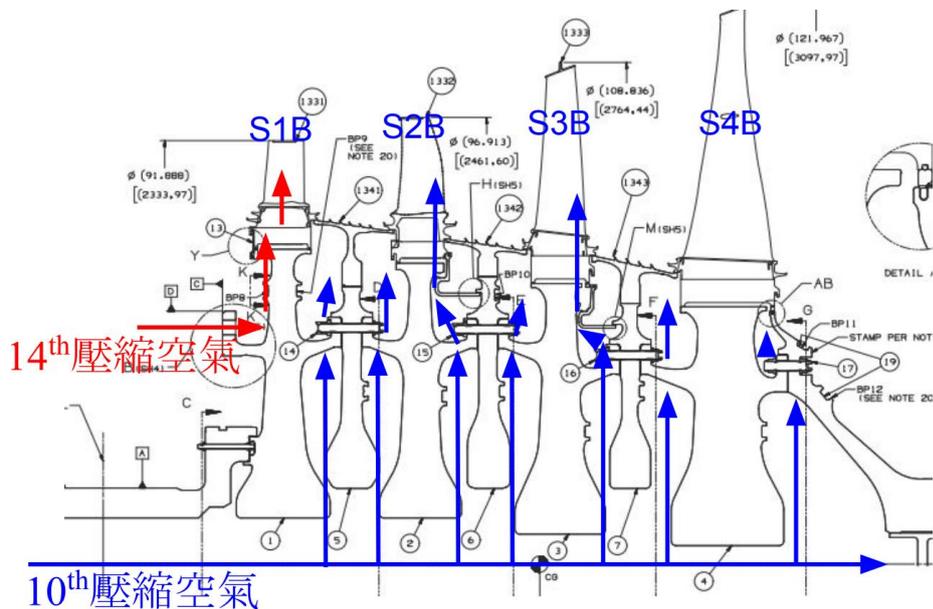
壓縮機部分由壓縮機轉子和壓縮機殼體組成。壓縮機外殼內有 VIGV、VSV、各級轉子及定子葉片、出口導引葉片和壓縮機出口擴壓器。在壓縮機中，空氣被限制在轉子和定子之間的空間中由一系列交替旋轉（轉子）和靜止（定子）翼型葉片分階段壓縮。轉子葉片提供每級壓縮空氣所需的力，定子葉片引導空氣，使其以適當的角度進入下一級轉子。這壓縮空氣經由壓縮機排氣殼排出到燃燒室。空氣從壓縮機中提取，用於渦輪冷卻和啟動期間的脈動控制。

渦輪部件的冷卻迴路由內部迴路和外部迴路組成，第一級和第二級動葉、第一級噴嘴和第一級護罩由內部冷卻空氣迴路冷卻，而第二和第三級噴嘴由外部冷卻空氣迴路冷卻。內部迴路由第 8 級、第 10 級和第 14 級供氣，外部迴路由第 8 級和第 11 級外部迴路抽氣供氣。動葉冷卻由空壓機葉輪第 14 級向內流動的壓縮空氣提供，然後是通過間隔件軸向鑽出的孔，然後在第一級渦輪葉輪的前表面上方。動葉冷卻空氣流過第一級渦輪葉輪的孔進入第一和第二級動葉之間的腔室。該迴路還提供空氣來加熱第二級和第三級輪的孔並淨化腔室空間。外部迴路由第 8 級排放管道、第 11 級抽氣管道和氣渦輪殼之間的管道組成。第 11 級空壓機抽氣管道系統用於將冷卻空氣輸送到第 2 級渦輪殼，第 8 級空壓機抽氣用於冷卻渦輪機第 3 級。

Turbine Section Cooling



圖五 氣機冷卻空氣



圖六 氣機壓縮空氣冷卻

四、燃料系統

本系統一般含有控制閥、關斷閥、過濾器、管路、流量計、壓力計、相關控制設備、天然氣加熱器等、以供應氣機所需燃氣(Fuel Gas)。

其中天然氣熱交換器為一鰭管式熱交換器，且置於氣渦輪機進氣前端。利用 feed water 放出的熱量來加熱天然氣，天然氣（進口溫度 32°C）經加熱器熱交換後出口溫度約為 210°C。因此增加燃燒熱能的使用並增加氣渦輪機效率。其中天然氣加熱器為 PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger)，利用高壓集中壓飼水來加熱天然氣來達成較好的燃燒效率。機組啟動初期，會先停留在 15% 負載直到天然氣達到 50°C 再繼續升載至 MECL。設備規範為：

編號	設備名稱	設備名稱(Name)
01	天然氣加熱器	PERFORMANCE HEATER
02	絕對分離器	ABSOLUTE SEPARATOR SKID
03	安全關斷閥	SAFETY SHUT OFF VALVE
04	PM3 排放閥-氣側	PM3 PURGE AIR VALVE-AIR SIDE
05	AFS 排放閥-氣測	AFS PURGE AIR VALVE-AIR SIDE
06	PM3 排放閥-燃氣側	PM3 PURGE AIR VALVE-GAS SIDE
07	AFS 排放閥-燃氣側	AFS PURGE AIR VALVE-GAS SIDE
08	PM3 排放閥-燃氣側	PM3 PURGE VENT VALVE

09	AFS 排放閥-燃氣側	AFS PURGE VENT VALVE
10	吹管空氣冷卻器	PURGE AIR COOLER
11	啟動控制閥	STARTUP CONTROL VALVE
12	燃氣關斷閥	GAS STOP VALVE
13	P1 逸氣閥	P1 VENT VALVE
14	P2 逸氣閥	P2 VENT VALVE
15	安全關斷閥	SAFETY SHUT OFF VALVE
16	AFS 燃氣控制閥	AFS GAS CONTROL VALVE
17	PM1 燃氣控制閥	PM1 GAS CONTROL VALVE
18	PM2 燃氣控制閥	PM2 GAS CONTROL VALVE
19	PM3 燃氣控制閥	PM3 GAS CONTROL VALVE

五、高壓空氣清鎗系統

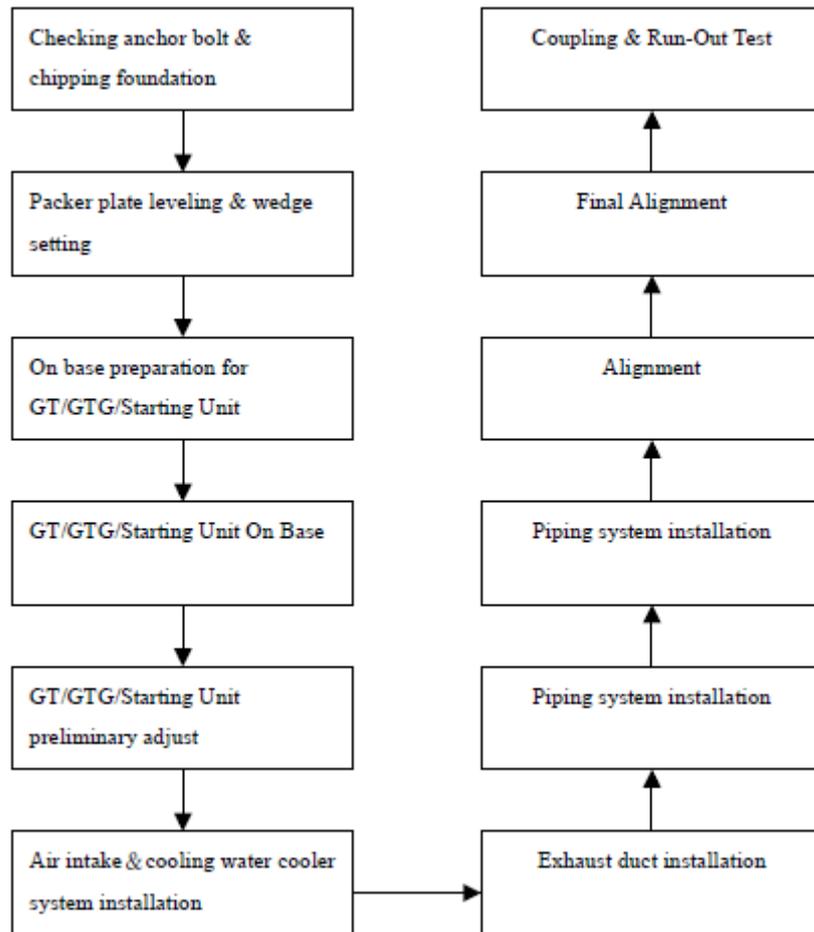
高壓清鎗空氣係提供燃油噴嘴及注水噴嘴清潔用，以避免流體從燃燒器中逆流回噴嘴情況發生。本系統含有高壓清鎗壓縮機、高壓清鎗儲存槽、控制閥、關斷閥、壓力計等設備。GT 運轉時，軸流壓縮機吸入的空氣，因其中的懸浮微粒，而使動葉片和靜葉片附著異物。這些附著物會降低壓縮機的效率，導致機組的出力降低，並對葉片造成腐蝕。藉由葉片水洗的方式清潔葉片，恢復壓縮機效率，並增加葉片壽命。水洗模式分為：線上清洗，GT 運轉於 90 ~ 100% 負載，不加清潔劑。離線清洗，GT 未點火，運轉於 Crank 轉速(約 972 rpm)，使用清潔劑。

APPROXIMATE WATER USAGE DURING COMPRESSOR WASHING		
OFFLINE WATER WASH TOTALS		
<u>Gas Turbine</u>	<u>Total Volume</u>	<u>Volume of Five Additional Rinse Pulses</u>
7HA.01	2440 gallons	305 gallons
7HA.02	3000 gallons	375 gallons
7HA.03	3500 gallons	450 gallons
ONLINE WATER WASH TOTALS		
<u>Gas Turbine</u>	<u>Total Volume</u>	
7HA.01	190 gallons	
7HA.02	230 gallons	
7HA.03	290 gallons	

圖七 氣機水洗用水量

第四節 設備安裝

機組安裝可分氣機基礎埋件安裝、安座、對心、管路安裝、管路試壓、清洗及吹管與試運轉等六部分。



一、氣機基礎埋件安裝

基礎埋件安裝影響日後工程進行甚遠，因此不可輕忽。基礎埋件安裝前須先審查設計圖，另外埋件進場時需進行品質查點，上述兩點確認無誤後則再進行安裝。安裝過程中須確認所依據的施工圖面是最新版且與設備圖面相關尺寸一致，方可進行安裝工程。工程進行須按審核完成之施工程序書規定施工，應依施工程序書進行自主檢驗合格後再依 I.T.P. (Inspection and Test Plan) 工作。提送報告通知本處進行 Witness。

二、安座

根據施工規範 1514-BS-5.4.4.2 一節中指出：「A.安置設備前，基礎混凝土表面及基礎螺栓需清潔乾淨。」、「B.轉動機械，如 pump、compressor 等需定位及對準中心及調整水平。且基礎螺栓需套上墊圈並使用填隙墊片或楔形塊 (EDEG) 調整水平，使基座表面各方面皆水平。填隙墊片或楔形塊大小及位置分佈需適當以利灌漿。」、「C.轉動機械之驅動機構和從動機構在不同一基座上時，須分開安裝，以便能設定冷機時兩軸間所需高度差。」、「D.除製造廠商特別指定的灌漿材外，基座灌漿需用無收

縮性灌漿材。」基礎埋件完成澆置混凝土後，機組進行 On Base 程序。工程進行前須先完成自主檢查，檢查項目包含中心線、垂直線、水平線、高程、施工吊具的功能性及安全性檢查等。得可進行施工程序。

三、對心

一般而言只要有幫浦、馬達、壓縮機等迴轉機械就須進行對心工作，以防止運轉中摩擦、振動的情形發生。各機組因其功能性不同，運轉時設備溫度不同而導致設備熱漲冷縮的程度不一致，為達到日後順利運轉在設備開始安裝時其連接軸位置及高程會有不同的位置設計。在氣渦輪機組中主要連接軸分別於（由東向西）啟動馬達及扭矩轉換器間、勵磁機及發電機間、發電機及氣渦輪機間。對心工作進行前機組須先完成水平校正，並依設計圖預留距離作為機組膨脹收縮用。再進行初對心的工作，俟設備與管路連接後進行複對心工作。

四、管路安裝

機組於初對心完成後進行管線裝配工作，安裝應照管路及管線支撐施工辦理。本機組為大型機組其管路多且管徑大，採用多段式連接。管子間連接使用銲接方式連接。銲工需據銲接執照，依據銲接施工程序書作業。並注意管材，對不同的管材依據銲接施工程序書實施不同的作業方式。管路銲接後，則派任具有非破壞檢測判片資格人員對管路隨機挑選檢查。檢查合格後進行管路試壓相關步驟，不合格則將管路重新整理再次銲接直到檢查合格為止。目前本處使用的非破壞檢驗方式為放射性元素照像法、目視檢測法及滲透法。

五、管路試壓、清洗及吹管

管路安裝電焊完成後依施工程序書進行放射性元素照像。經判片人員檢查合格後進行管路試壓工作。管路試壓主要目的為確認管路能在設計壓力下運作及無洩漏。將試壓介質灌進欲試驗的管路中，包商須先自主檢查試驗一小時，自主檢查完整且壓力穩定無下降現象後再由工程師會同到場見證一小時試壓，過程中若壓力保持穩定則試壓成功。試壓的介質不同其檢測的壓力值亦不同，一般而言試壓的介質為氣體時則其標準值為規格設計壓力值乘上 1.2 倍，而試壓的介質為水則其標準值為規格設計壓力值乘上 1.5 倍。

管路清洗可分為油洗跟水洗兩種。藉由清洗讓管路更乾淨。吹管為利用高壓空氣吹洗管路，將管路內部所有鐵屑、砂土、雜質等清除乾淨。因此吹管檢驗程序及標準為在管路出口處包覆一乾淨布，利用高壓空氣吹洗管路後將濾網或布拆下看有無雜質，無雜質即為通過。油洗則為連續清洗管路後，取其出口處的油量測其內容物重量及顆粒大小為判斷通過檢驗與否的標準。水洗則為利用除礦水清洗管路後，於管路出口處用一篩子（40 mesh）取水一分鐘看篩子上有無顆粒、雜質，無則通過反之則繼續清洗直到通過為止。

油洗判斷標準值：

階段 \ 系統	潤滑油		控制油
1 st	重量	$\leq 1\text{g} / 8\text{ hr}$	$\leq \text{NAS } 6.0$
	尺寸	$\leq \phi 0.25\text{mm}$	
2 nd	重量	$\leq 0.16\text{g} / 8\text{ hr}$	$\leq \text{NAS } 6.0$
	尺寸	$\leq \phi 0.25\text{mm}$	

四、心得與建議

本次前往美國休士頓奇異公司訓練中心，參加大潭新建計畫 8 號機的海外實習課程。課程上規畫除了室內課程之外，也安排至實習工場進行實務操作，在實習工場內設置許多氣渦輪機的實體模型，分門陳設如：氣渦輪機機轉子、定子，動靜葉片，壓縮機....等，有利於了解設備的內部構造及製造、安裝和測試過程，對未來 8 及 9 號機增建複循環發電機組之氣渦輪機及其附屬設備系統運轉操作及維護有很大的助益。

參觀工場期間，講師都會事先提醒接下來要到實習工場，請大家穿好安全設備，實習工場是一個相對安全的地方，但奇異公司卻仍然以最高工作安全標準面對，不斷要求進入廠內的人均須配合，時時提醒務必配戴及穿妥合格且正式的安全設備，從不馬虎。從小見大，體認到奇異公司是真的很實際且把人的安全列為第一重要事項，並將工安精神融入企業文化，從上到下透徹地傳達工安意識，每位員工的工安意被訓練成自然反射。時時工安，不斷注意到環境變化，隨時採取必要措施以避免危害的，對於危害預防及防護具的使用確實深深紮根在員工腦中。

大潭新建計畫 8、9 號機採用的氣渦輪機為奇異公司所設計生產，型號為 7HA.02。與大潭 3-6 號機氣渦輪機比較上，在起動的時間少了 8 分鐘，速度提升近 45%，熱效率降低約 800 kJ/kWh，降低達 12% 以上，在整體效率及耗能上 8、9 號機都遠優於以往的機組，對於在燃料有限狀態下想提升發電量最大化的發電公司，幫助實在不可小看。

最後感謝各級長官厚愛，讓我有這次海外訓練機會前往美國休士頓奇異公司訓練中心實習，學習氣渦輪機及其附屬設備。除了充實專業知識外，讓鮮少出國的我眼界大開，要在離台灣飛行時間超過 14 小時以上距離土地上停留兩週，為了平安生存，只能不斷嘗試不斷提起氣勇氣跟外國人對談，逼迫自己去了解不熟悉的人事物，真的是工作生涯中及人生中很難得的經驗。

五、參考資料

1. Training material for Oversea training (Gas Turbine 7HA.02 Operations & Maintenance)
2. TECHNICAL DATA SHEET OF Gas Turbine 7HA.02
3. 12067252085 TRAINING MANUAL
7. GT Operation and Maintenance Training Manual (Softcopy Only)