

出國報告（出國類別：實習）

氣渦輪機設計安裝運轉維護訓練研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳志豪 興達電廠-氣渦輪(二)課長

林祐陞 興達電廠-電氣組 電機維護專員

楊承旻 南部施工處-氣機組 機械工程師

派赴國家：美國

出國期間：112年10月29日至112年11月30日

報告日期：113年01月09日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：氣渦輪機設計安裝運轉維護訓練研習

頁數___ 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳志豪/台灣電力公司/興達發電廠/氣渦輪(二)課長/07-6912811#2692

林祐陞/台灣電力公司/興達發電廠/電氣組電機維護專員/07-6912811#2311

楊承旻/台灣電力公司/南部施工處/氣機組機械工程師/07-6912510#2353

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：112.10.29~112.11.30 出國地區：美國

報告日期：113年01月09日

分類號/目：能源/國家發展及科技

關鍵詞：GE·複循環機組(Combined Cycle Unit)·氣渦輪機(Gas Turbine)·DLN 燃燒筒 (Dry Low NO_x Combustor)·冷卻及氣封系統(Cooling and Sealing Air)

內容摘要：(二百至三百字)

依據政府能源政策規劃，燃氣機組占比將達50%，目前興達一期新建計畫於興達發電廠建置之三部複循環機組，每部機組包含2台氣渦輪機(7HA.03型)對1台汽輪機(D654型)，單一部機組裝置容量約1,282MW，淨熱效率達64%。

7HA.03型是GE公司目前世界上最新設計之氣渦輪機組，本公司依合約規定分批安排各系統(儀資、汽輪機、鍋爐及氣渦輪機)人員至GE公司位於美國休士頓的訓練中心進行為期2周至1個月不等之基礎訓練，本批氣渦輪機組基礎運轉維護實習課程由三人共同參訓並撰寫研習報告。

本報告彙整所習之內容包括氣渦輪機本體、燃燒器、冷卻系統、天然氣系統、

潤滑油系統、發電機封油系統等進行分享，提供後續參訓同仁及未來新建機組運轉維護參考，期能對未來新建機組營運帶來正面效益。

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

目次

壹、實習目的	4
貳、實習行程.....	4
參、實習內容	6
一、氣渦輪機規格及架構簡介.....	6
二、燃燒系統.....	12
三、CSA系統.....	20
四、IBH系統.....	28
五、HDAS系統.....	29
六、VIGV&VSV系統.....	30
七、LCI靜態頻率轉換器.....	32
八、封油系統.....	34
九、水霧消防系統.....	38
十、潤滑油系統簡介.....	40
肆、心得及建議	44
伍、參考文獻	45

壹、實習目的

依政府能源政策規劃，未來天然氣發電佔比將達50%，建置高效率複循環機組成為台電公司電源開發重要任務之一，未來預計將有相當數量之氣渦輪機(Gas Turbine，簡寫GT)，GT作為複循環機組前端驅動設備，其妥善維護及穩定運轉係將來供電穩定之重要因素。

美國GE公司為國際上氣渦輪機(GT)製造大廠，目前興達電廠建置中新建機組計6台GT均為GE 7HA.03機型(Turbine SN's：299658-299663)，本次赴美國奇異 (GE) 公司休士頓訓練中心(Houston Learning Center) 研習「興達一期新建計畫」中最新型氣渦輪機(7HA.03)運轉及維護相關基礎訓練，期能將原廠講師教授有關運轉及維護相關概念彙整供未來派訓與新機組之同仁參考，使未來新氣渦輪機組之運轉維護技術更臻完備。

貳、實習行程

一、實習行程

起 始 日	迄 止 日	地 點	工 作 內 容
112/10/29	112/10/29		往程（台北桃園機場－美國休士頓 IAH 機場）
112/10/30	112/11/10	GE Houston Learning Center	Gas Turbine Operation 課程
112/11/13	112/11/28	GE Houston Learning Center	Gas Turbine Maintenance 課程
112/11/29	112/11/30		返程（美國休士頓 IAH 機場－台北桃園機場）

表2.1 實習行程表

二、實習地點

本次實習地點位於美國德州休士頓市之訓練中心(Houston Learning Center)，係奇異(GE)公司進行各系統(儀資、鍋爐、汽輪機及氣渦輪機)訓練之重要機構。



圖2.1 休士頓訓練中心外觀



圖2.2 休士頓訓練中心大廳

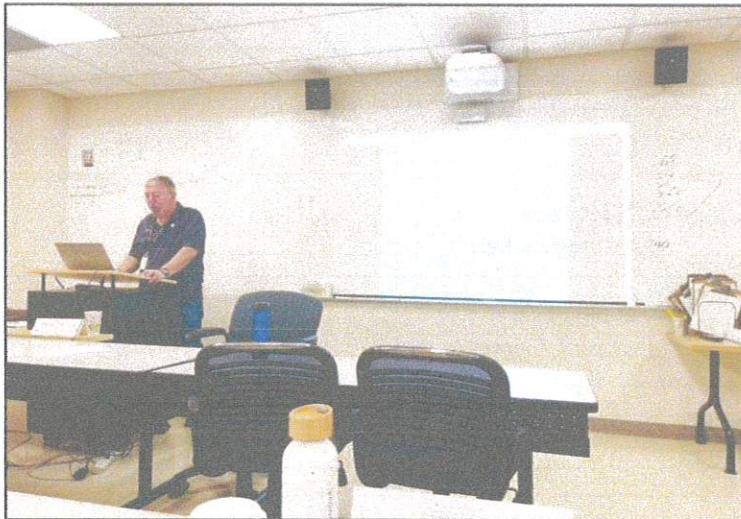


圖2.3 休士頓訓練上課教室



圖2.4 訓練工廠實習



圖2.5 訓練工廠實習

三、實習講師

課程	期間	講師
Gas Turbine Operation	10/30~11/10	Stephen Brasseaux
Gas Turbine Maintenance	11/13~11/28	Coy Jackson

表2.2 實習課程講師名單

參、實習內容

一、氣渦輪機規格及架構簡介

(一) H等級氣渦輪機沿革：

奇異(GE)公司自1949年將發電用氣渦輪機(GT)投入商轉以來，至1992年發展出H系列機型，2003年完成9H機型(50 Hz)商轉，2008年完成7H機型(60 Hz)商轉。

2014年GE發展出HA系列氣渦輪機(GT)，其燃燒筒採用空氣冷卻，可精進起動時間，目前7HA系列主要有7HA.01、7HA.02及最新型的7HA.03(參表3.1)，均標榜熱機條件下在30分鐘內即可達到複循環滿載，目前大潭電廠建置中的GE機組屬7HA.02機型，而台中和興達電廠則屬7HA.03機型。

7HA.02和7HA.03機型整體設計架構大致相同，惟7HA.03機型有提升其規格，包括葉片加長、提高空氣進氣量等設計，使其裝置容量、升載率相較7HA.02均有部分提升，7HA.03機型並使用GE的DLN 2.6e燃燒系統(首次用於GE 60Hz氣渦輪機)，目的在提供更高更穩定的燃燒溫度，同時能符合環保法規所規定之排放標準，以下將7HA.03氣渦輪機組本體基本架構分三部分(不含發電機)進行簡介。

		7HA.01	7HA.02	7HA.03
SC Plant Performance	SC Net Output (MW)	290	384	430
	SC Net Heat Rate (Btu/kWh, LHV)	8,120	8,009	7,897
	SC Net Heat Rate (kJ/kWh, LHV)	8,567	8,450	8,332
	SC Net Efficiency (% , LHV)	42.0%	42.6%	43.2%
1x CC Plant Performance	CC Net Output (MW)	438	573	640
	CC Net Heat Rate (Btu/kWh, LHV)	5,481	5,381	5,342
	CC Net Heat Rate (kJ/kWh, LHV)	5,783	5,677	5,636
	CC Net Efficiency (% , LHV)	62.3%	63.4%	63.9%
	Plant Turndown - Minimum Load (%)	33.0%	33.0%	33.0%
	Ramp Rate (MW/min)	55	60	75
	Startup Time (RR Hot, Minutes)	<30	<30	<30
2x CC Plant Performance	CC Net Output (MW)	880	1,148	1,282
	CC Net Heat Rate (Btu/kWh, LHV)	5,453	5,365	5,331
	CC Net Heat Rate (kJ/kWh, LHV)	5,753	5,660	5,624
	CC Net Efficiency (% , LHV)	62.6%	63.6%	64.0%
	Plant Turndown - Minimum Load (%)	15.0%	15.0%	15.0%
	Ramp Rate (MW/min)	110	120	150
	Startup Time (RR Hot, Minutes)	<30	<30	<30
NOTE: All ratings are net plant, based on ISO conditions and natural gas fuel. Actual performance will vary with project-specific conditions and fuel.				

表3.1.1 GE 7HA機型規格表

(二) 7H.03機型基本架構：

7H.03氣渦輪機基本架構參考

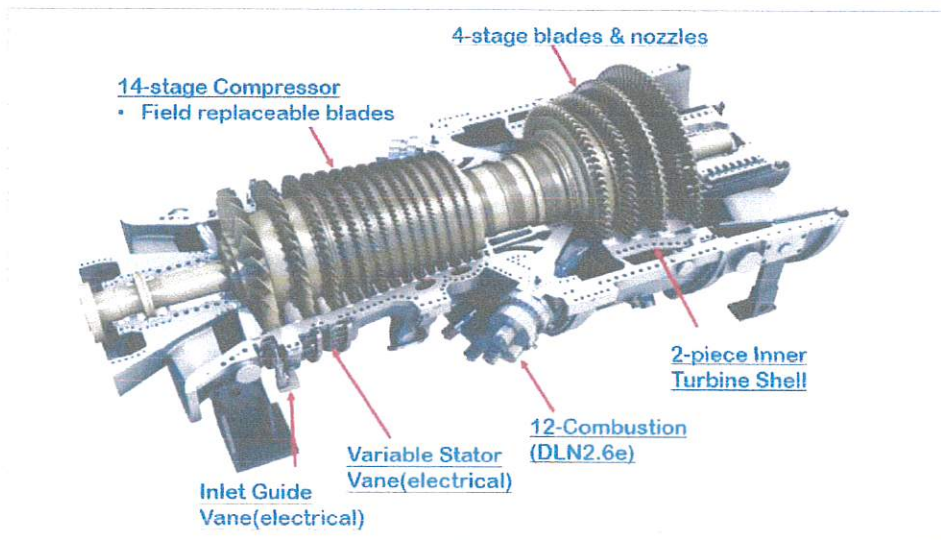


圖3.1.1 GE 7HA 機型內部基本構造圖

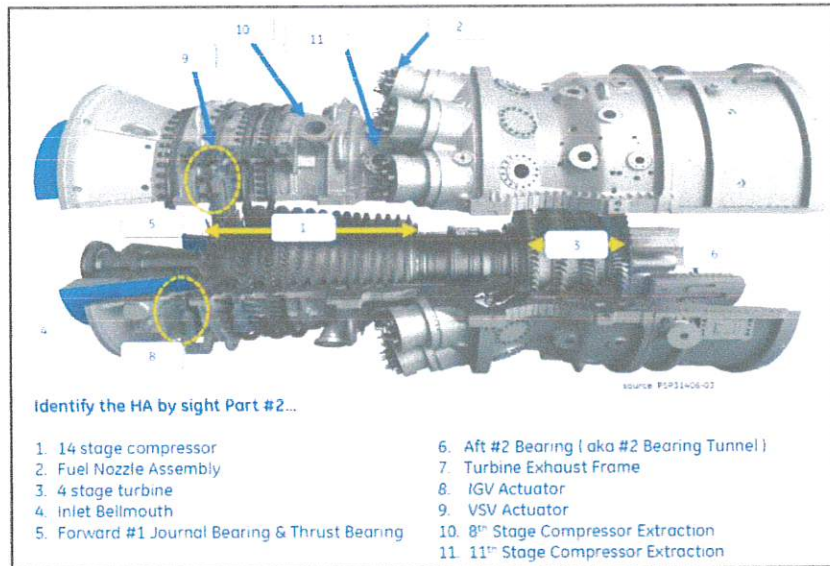


圖3.1.2 GE 7HA 機型內部基本構造圖

(三) 空壓機架構簡介：

1. 空壓機段有14級動葉片及14級靜葉片，其中第1~3級靜葉片為VSV(Variable Stator Vane)，空壓機第一級動葉片前尚有IGV(Inlet Guide Vane)，空壓機第14級靜葉片後方尚有EGV(Exit Guide Vane)設計，壓縮空氣主要提供燃燒器進行燃燒所需空氣以及熱元件冷卻等功能使用。

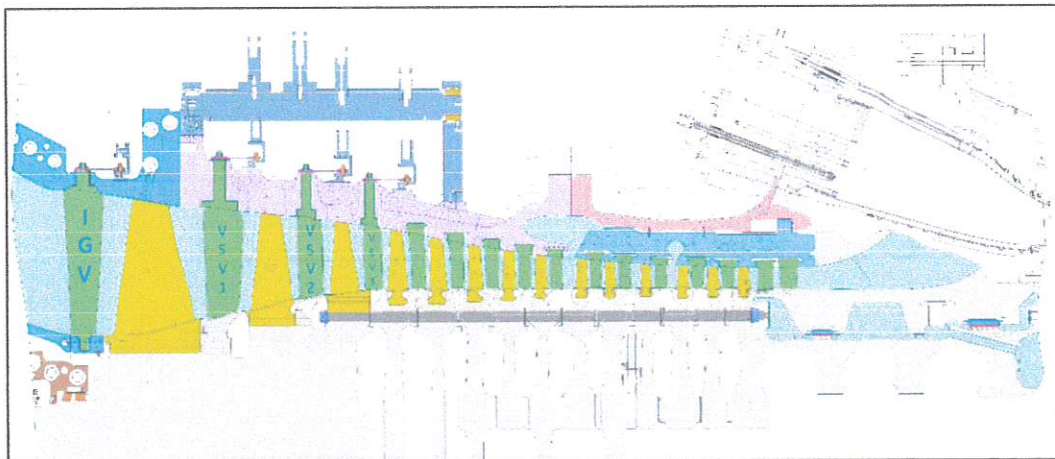


圖3.1.3 空壓機段內部基本構造

2. 進氣導翼系統(IGV&VSV)均由電動驅動器控制，IGV有兩組驅動器(左/右各一組)，VSV亦有兩組驅動器(左/右各一組)，IGV&VSV主要功能如下：
 - (1) 因應機組需求以調節空氣進氣流量(Air Flow)。
 - (2) 避免機組起動(Startup)和停機(Shutdown)期間空壓機產生之波動(如Surge)的保護。
 - (3) 機組部分負載(part load)下的排氣溫度控制(exhaust temperature control)。
 - (4) IGV位於空壓機第一級靜葉片前，兩邊各有一台馬達驅動之致動器，當任何一邊致動器失效或相關感應器失效則GT將停機，IGV調整角度為60° (close)至 -12°(open)。

- (5) 空壓機第1~3級靜葉片為VSV，兩邊各有一台馬達驅動之致動器並同時操控此3級VSV，當任何一邊致動器失效或相關感應器失效則GT將停機，VSV調整角度為 28° (close)至 -7° (open)。

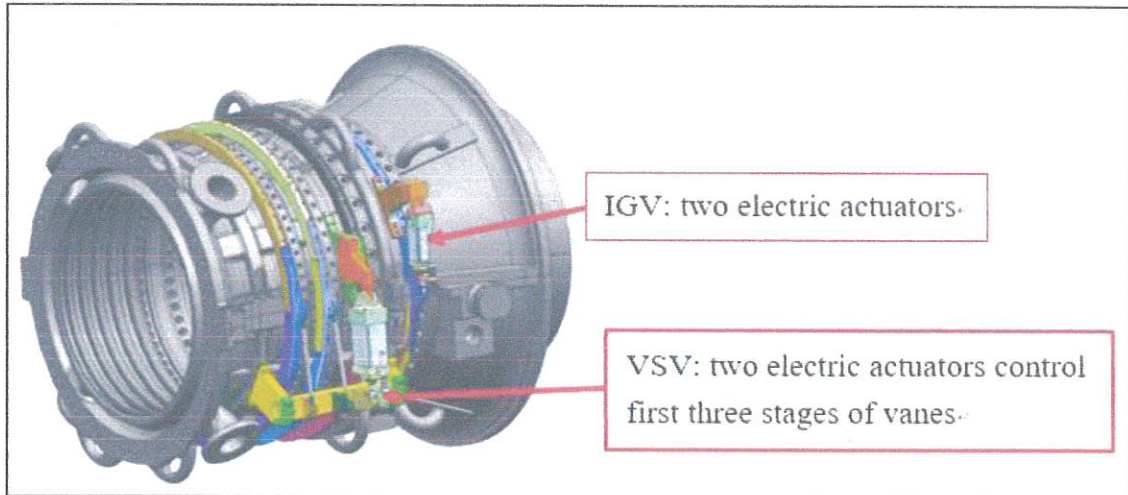


圖3.1.4 空壓機段IGV&VSV

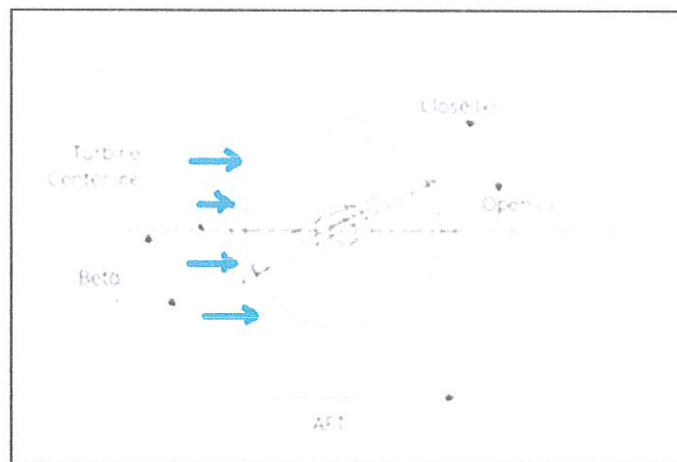


圖3.1.5 IGV&VSV開關方向

3. 出口導翼EGV(Exit Guide Vane)位於空壓機第14級靜葉片後方，主要功能為穩定的引導空壓機出口壓縮空氣流動至後方。

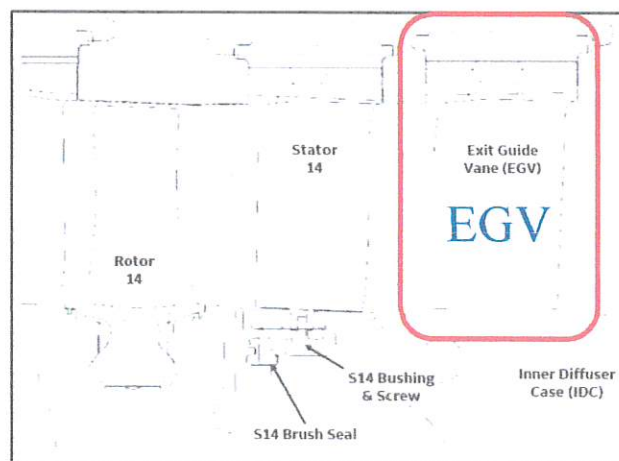


圖3.1.6 空壓機段後段剖面圖

(四) 燃燒器(combustor)架構簡介：

GE 7HA.03機組燃燒系統為環罐式燃燒器，共有12只DLN 2.6e(Dry Low NOX Combustor & Micromixer噴嘴設計)+AFS燃燒器，燃燒器本體大致可區分為頭端模組(Head End Module)及本體模組(unibody Module)兩大部分，每組有獨立的點火系統(Torch Ignition System)及火星塞(Spark Plugs)，但並無穿火管(crossfire tube)之設計，此點與與7HA.02機型(大潭電廠機組)不同，此外僅有四組燃燒器裝設火焰偵測器(flame detector)。

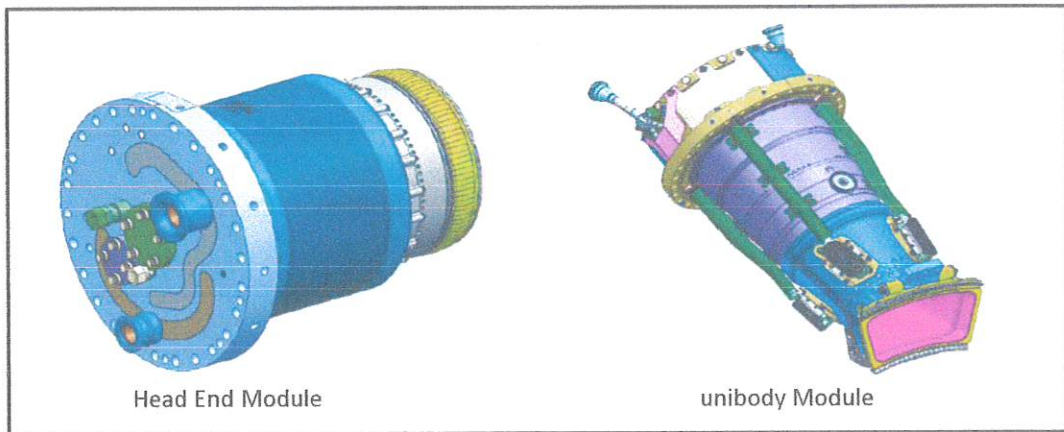


圖3.1.7 DLN 2.6e+AFS燃燒器

(五) 渦輪機段(turbine)架構簡介：

1. GE 7HA機組尺寸重量：

The technical drawing shows a side view of the turbine section with dimension lines indicating 'GT Height to floor', 'GT Length', and 'Diffuser Length'.

	7HA.02-18	7HA.03
GT Length (ft)	31.8	33.3
GT Weight* (lbs)	587,000	630,000
GT Rotor Weight (lbs)	137,000	153,000
Diffuser length (ft)	15	11
Diffuser Wt. (lbs)	20,000	18,000
GT Height, floor to centerline (ft)	16	18

表3.1.2 GE 7HA機型尺寸重量表

2. 渦輪機本體主要由4級3D aero airfoils設計之靜葉片 (nozzle)、動葉片 (buckets)及動葉輪、氣封環等組件所組成。

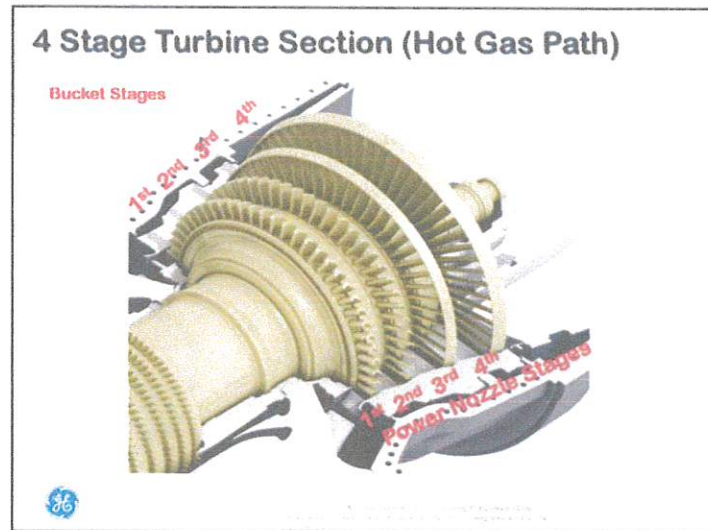


圖3.1.8 渦輪機段動/靜葉片

3. 渦輪機動葉片 (Bucket) 固定安裝於動葉輪 (Wheel/Disk) 上，動葉輪則安裝於轉子 (Rotor)，於第1/2、2/3及3/4級動葉片 (Bucket) 間設有 Spacer (間隔環) 及 NFPS (near flow path seal)。

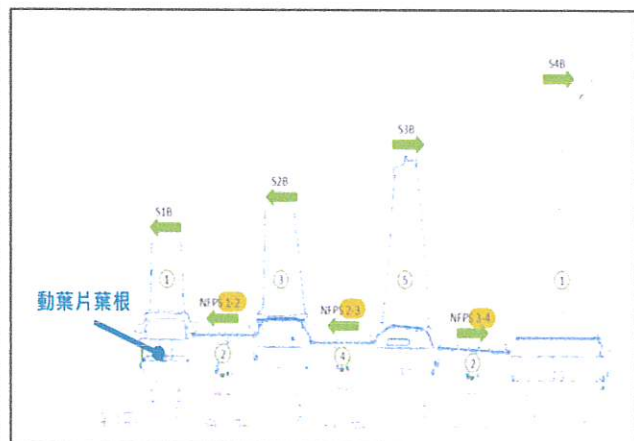
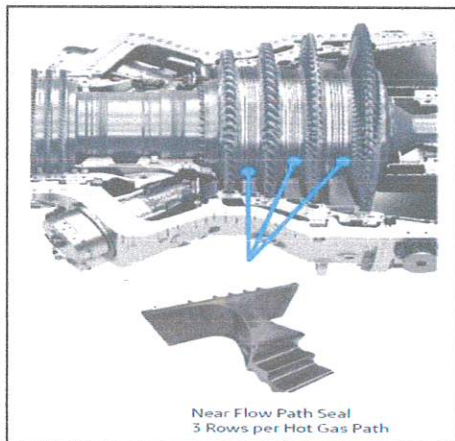
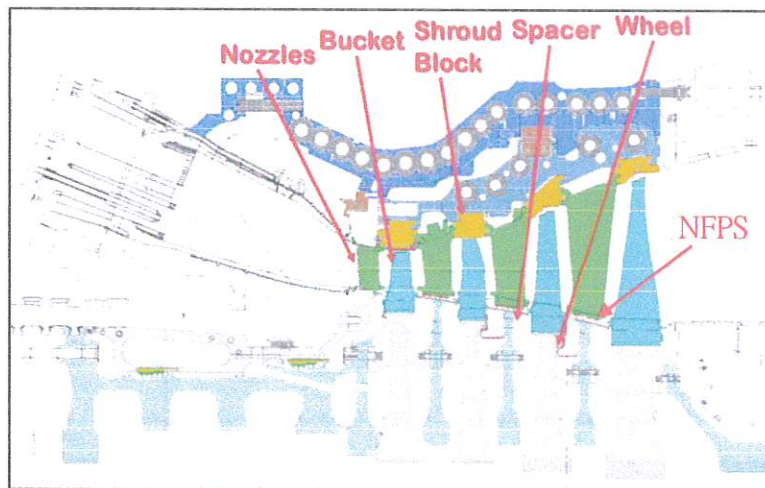


圖3.1.9 渦輪機動葉片組成

4. 渦輪機第2~4級靜葉片(Nozzles)葉梢設計Honey Comb Seal，其作用是與NFPS形成氣封，避免熱燃氣進入渦輪機葉輪之間的空間以保護動葉片鳩尾葉根。

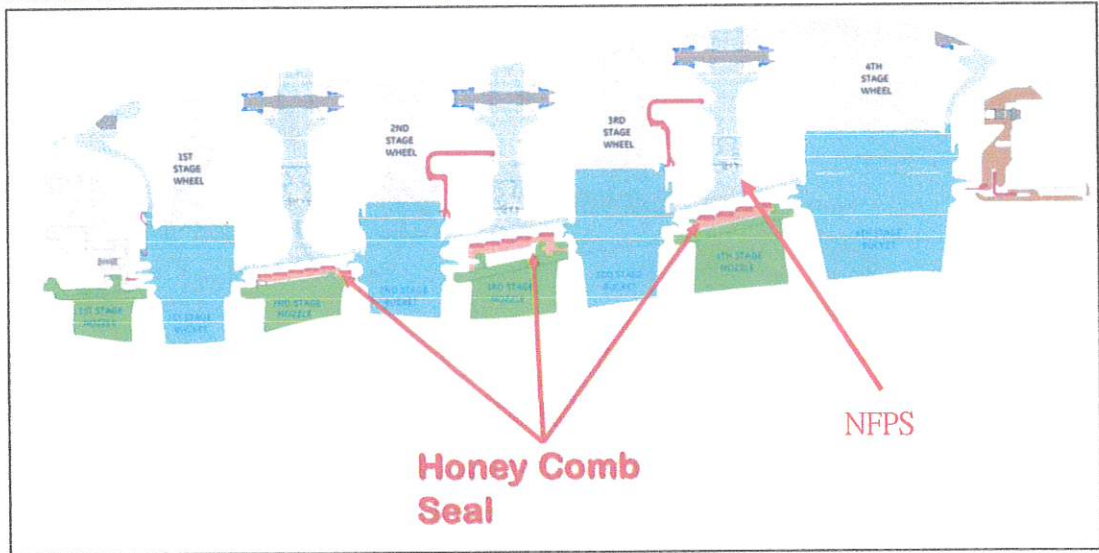


圖3.1.10 靜葉片(Nozzle)葉梢Honey Comb Seal & NFPS組成

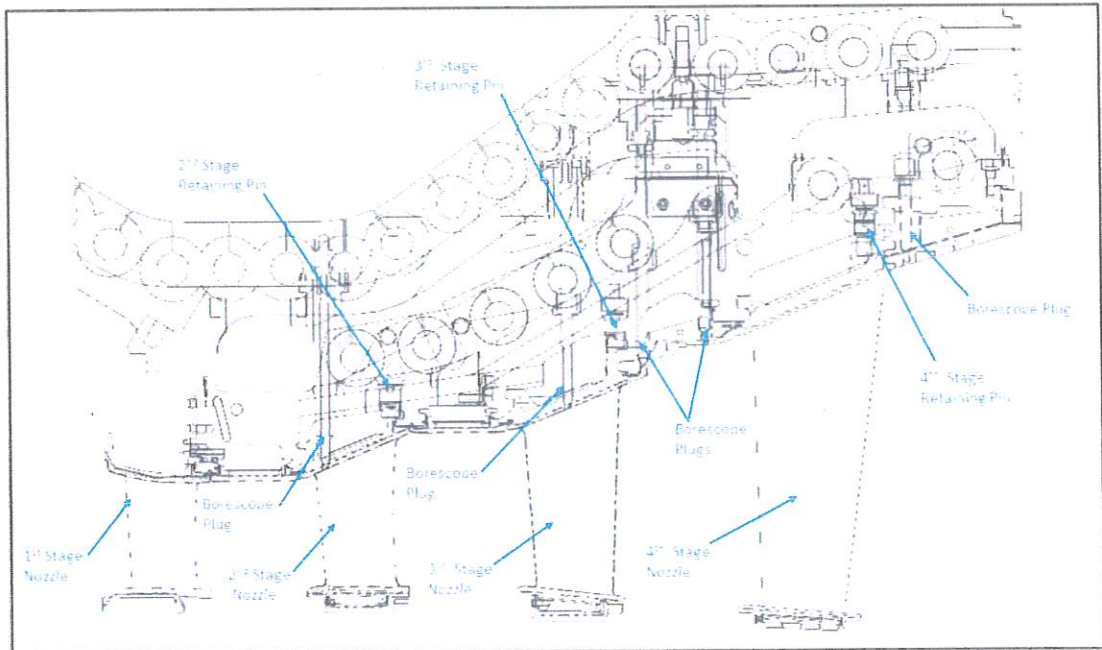


圖3.1.11 渦輪機靜葉片(Nozzle)組成

5. Thermal Barrier Coatings(TBC)：

氣渦輪機熱通道(Hot Gas Path)包括燃燒器(combustion) 即渦輪機段(turbine sections)均有TBC耐熱塗層設計，使熱元件材料能夠承受更高的熱燃氣溫度，其中渦輪機段第1~3級動/靜葉片有TBC塗層，僅第4級動/靜葉片因燃器溫度相較之下較低，經原廠工程部門計算後可不使用TBC塗層。

二、燃燒系統：

(一) DLN 2.6e+AFS (Axial Fuel Staged)：

1. GE 7HA.03機組燃燒系統為環罐式燃燒器，共有12組DLN 2.6e(Dry Low NO_x Combustor &

Micromixer噴嘴設計)+AFS (Axial Fuel Staged)燃燒器，搭配AFS系統在軸向分階段提供燃料有效控制火燄溫度，並減少NO_x之排放。每組燃燒器連接五個燃料系統歧管，分別提供給 Premix 1 (PM1)、Premix 2 (PM2)、Premix 3 (PM3)、AFS1 (Axial Fuel Staging) 及AFS 2。

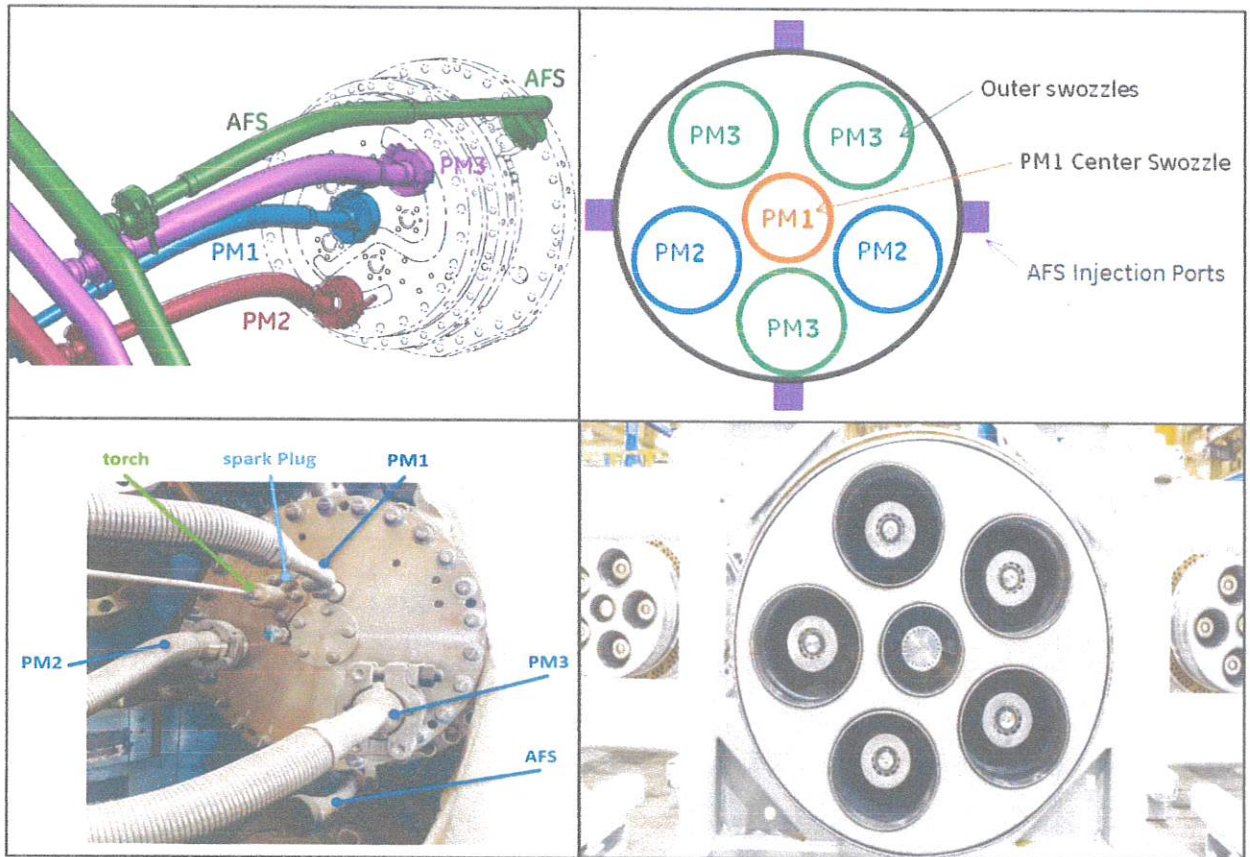


圖3.2.1燃燒器DLN 2.6e+AFS組成

- PM1~PM3設置於Head End Module上，並採用Micromixer(圖3.2.2)取代7HA.02 Swirler設計，目的在增進燃氣與空氣混合度，此升級使機組在低載時(最低33%負載，Plant Turndown – Minimum Load (%))能保持良好NO_x 排放濃度控制；AFS系統則是提供純燃氣，目的在於增強燃燒穩定度及延長火焰，並由Gas Control Valves (GCVs) 調節各燃料歧管燃料流量。

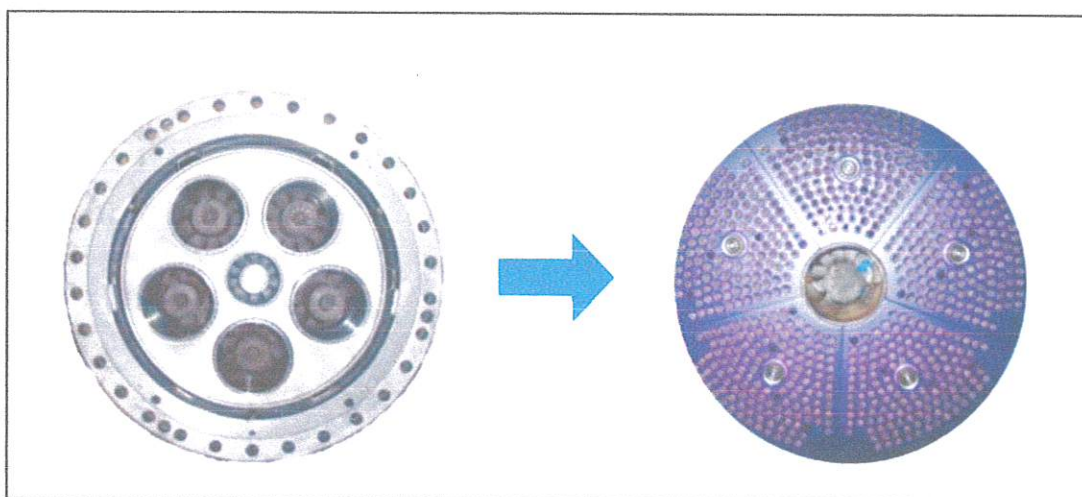


圖3.2.2 DLN 2.6+ Swirler to DLN2.6e Advanced Premixer

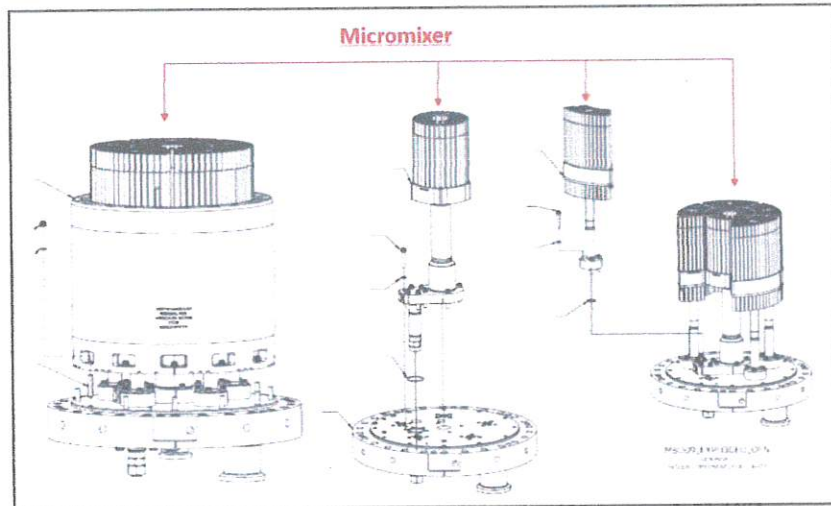


圖3.2.3 DLN2.6e燃燒器Micromixer

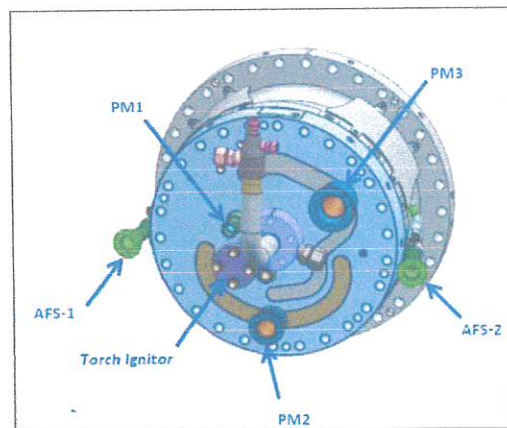
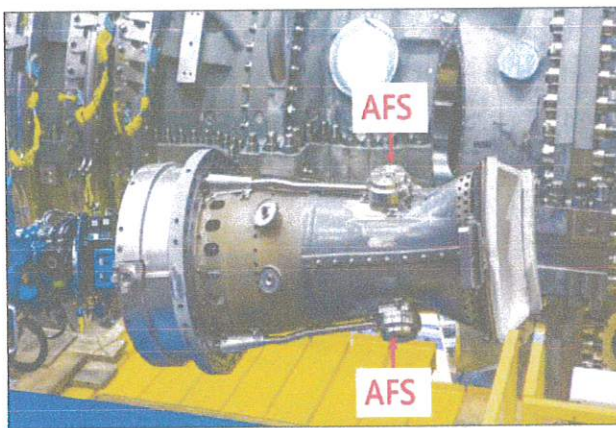


圖3.2.4 燃燒器AFS配置圖

3. 空壓機壓縮後之空氣回流至燃燒器模組(圖3.2.5)，經由本體模組(Unibody Module)上的孔洞(圖3.2.6)以及頭端模組(Unibody Module)邊緣的孔洞(圖3.2.7)進入燃燒器與天然氣進行預混。

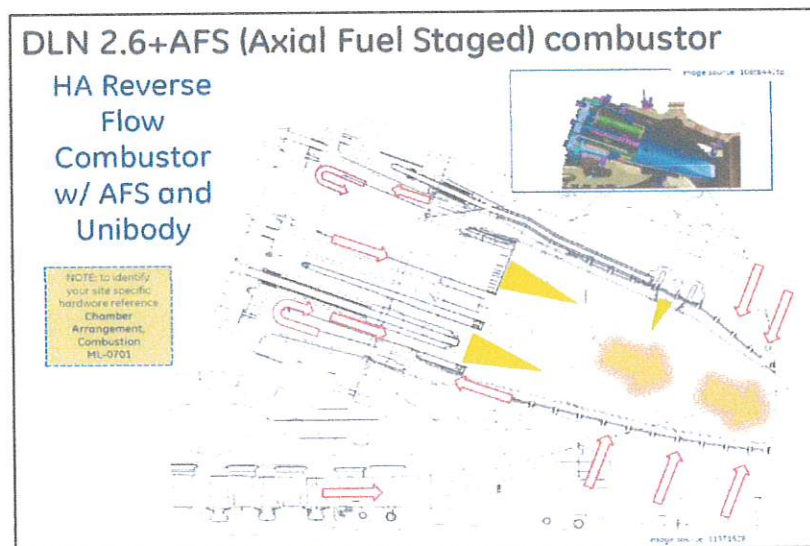


圖3.2.5 壓縮空氣流向圖



圖3.2.6 壓縮空氣導入口(Unibody Module)



圖3.2.7 壓縮空氣導入口(Head End Module)

(二) 天然氣控制系統設備簡介：

1. GE 7HA.03機組為環罐式燃燒室系統，為達到燃燒最佳化，其燃燒系統控制與本廠已運轉20多年的西門子V84.2機組(Silo式燃燒室系統)相較之下更為精密且複雜；因應機組起動與運轉的不同階段與不同負載情況下，由各燃氣控制閥(GCVs)將天然氣分配至各個燃燒歧管及噴嘴(PM1~ PM 3、AFS1、AFS2)，以達到兼顧機組效率與環保規定的運轉需求。
2. 天然氣控制模組主要是由Gas Stop Valve(VGS1)及Startup Control Valve (VSC-1)調節輸送到燃氣渦輪機的總燃料流量；再利用五個獨立的燃氣控制閥Gas Control Valve (VGC-1、VGC-2、VGC-3、VGC-4、VGC-5)來控制流向多噴嘴燃燒系統的天然氣(圖3.2.8)。

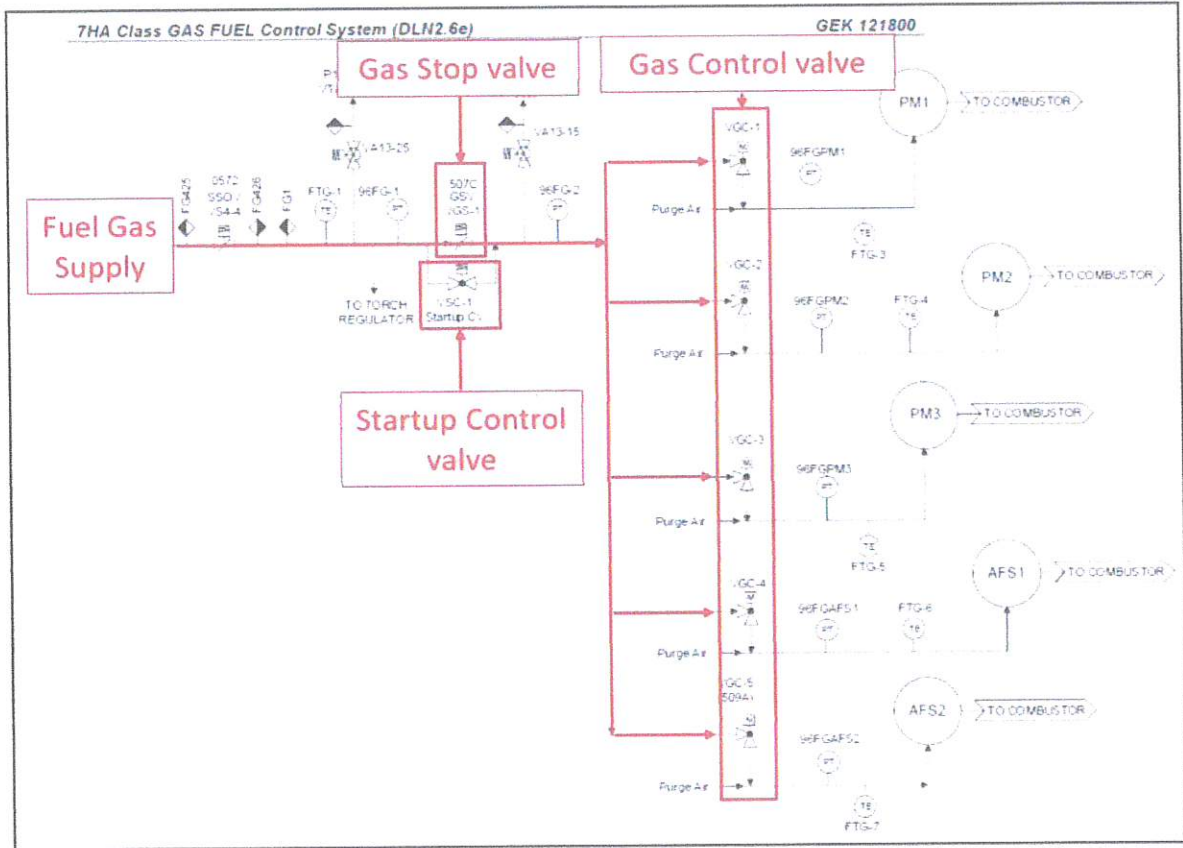


圖3.2.8 天然氣控制模組

3. Gas Stop Valve(GSV)根據控制系統中的控制燃料指令(control system fuel command)控制各運轉階段所需的燃料流量。此控制指令稱為燃料行程參考(Fuel Stroke Reference (FSR))。
4. 在機組起動及升速期間，Gas Stop Valve(GSV)的下游(Gas Control Valve(GCVs)的上游)壓力(P2)，會透過調節Startup Control Valve(SCV)的開度來進行控制，控制器根據TNH(The turbine acceleration signal sensors (77NH-1, 2 and 3))和P2壓力感測器 (96FG-2A/B/C)的回饋來計算 SCV開度，當 SCV 達到最大行程的 95%，或觀察到SCV上下游(P1/P2)的壓力差異可以忽略不計時，GSV 即會開啟， GSV 完全開啟時SCV即關閉。當裝置繼續使用氣體(天然氣)燃料運作，GSV將保持開啟，SCV 保持關閉狀況。(圖3.2.8)

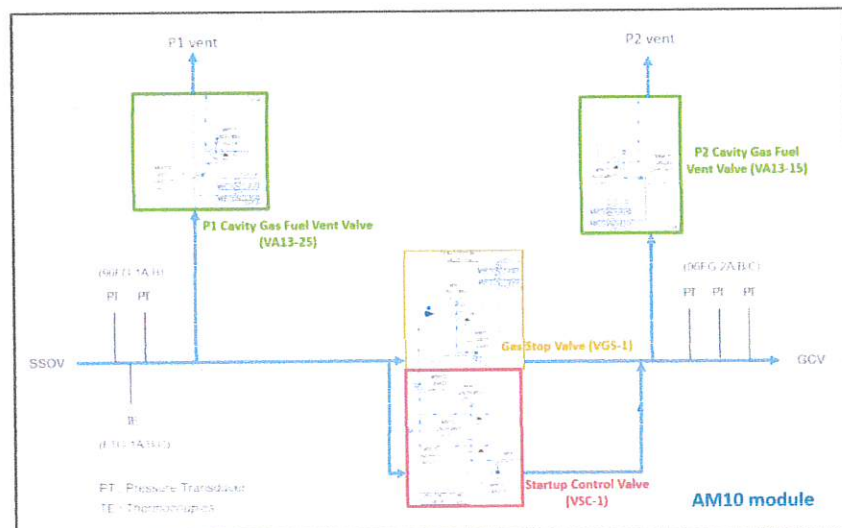


圖3.2.8 天然氣SCV上下游壓力控制

(三) 天然氣模組控制閥簡介：

1. Safety Shutoff Valve (SSOV、VS4-4)(圖3.2.8)：

SSOV的功能即為緊急關斷閥(Emergency Shut off Valve)，SSOV 在機組期間保持開啟狀態，GT跳機或停機待機時保持關閉，SSOV是使用氣動電磁閥 (20VS4-4) 控制的隔離閥，通電時電磁閥會將儀用空氣引導至 SSOV驅動器，斷電時電磁閥將從 SSOV 驅動器中排出空氣，並允許其安全復位彈簧關閉閥門，SSOV為Failure close設計。

2. 燃氣截止閥(Gas Stop Valve(GSV)， VGS-1) (圖3.2.8)：

(1) GSV在跳機、停機待機期間保持關閉，GSV與SCV並聯安裝，這兩個閥都是保護系統的一部分；GSV是使用氣動電磁閥 (20VGS-1) 控制的隔離閥，通電時電磁閥會將儀用空氣引導至 SSOV驅動器，斷電時電磁閥將從 SSOV 驅動器中排出空氣，並允許其安全復位彈簧關閉閥門，GSV為Failure close設計。

(2) 在機組起動過程中，GSV最初保持關閉，GT升速時，SCV將打開調節流量及上下游壓力，以保持SCV下游壓力P2跟隨速度線性增加，當SCV上下游壓力(P1/P2)相等或SCV開啟達到最大開度的95%時，GSV將會開啟，在正常情況下，SCV將在 GSV 全開後 1 秒開始關閉。

3. 起動控制閥(Startup Control Valve(SCV)， VSC-1) (圖3.2.8)：

(1) SCV作為隔離閥運作，為保護系統的一部分，如果升速過程中發生跳機，SCV將關閉，與此同時，安全關斷閥 (SSOV) 也會關閉，防止燃料氣入 P1 和 P2 及下游。

(2) SCV 是由數位閥門控制器(Digital Valve Controller (DVC)) 控制的氣動閥，DVC是接受來自渦輪控制器的衝程參考值，並調節閥門驅動器中的氣壓以控制開度。

4. P1氣體燃料排放閥(P1 Cavity Gas Fuel Vent Valve， VA13-25) (圖3.2.8)：

(1) P1氣體燃料排放閥用於排放SSOV到GSV/SCV上游間管路的燃氣，當機組正常運轉期間，排氣閥維持關閉，若閥門故障或失效則開啟(Failure Open)。

(2) 機組跳機或停機，SCV、GSV及SSOV將關閉，排氣閥打開將SSOV到GSV/SCV上游間管路燃氣排放至大氣。

(3) 當機組於待機狀態，排放閥保持打開狀態，因為GSV、SCV和SSOV具有閥塞及閥座為金屬材質，隨著時間的推移，會有少量的燃氣洩漏到P1腔室中，因此保持排氣閥打開可以防止氣體燃料在腔體中積累壓力，以維護機組安全。

5. P2氣體燃料排放閥(P2 Cavity Gas Fuel Vent Valve， VA13-15) (圖3.2.8)

(1) P2排放閥用於排出 GSV和SCV下游至GCVs之間的燃氣，在機組正常運轉期間，排氣閥將關閉，若閥門故障或失效則開啟(Failure Open)。

(2) 機組跳機或停機，GCVs、SCV和GSV關閉後，排氣閥打開將SCV/GSV下游至GCVs間管路中的燃氣排放至大氣。

(3) 當機組於待機狀態，排氣閥將保持開啟，防止因GSV和SCV閥座洩漏而導致P2腔中燃氣壓力增大，避免待機狀態下燃氣進入燃燒室和渦輪機。

(4)如果排放在機組正常運轉期間發生故障而打開，GCV上游壓力會下降，但機組仍將繼續運轉，只要燃氣供給仍維持一定值以上壓力，機組不會立即跳機或shutdown。

(四) 天然氣模組控制簡介：

1. 當燃氣通過燃氣控制閥(GCVs)後，會依據當前所需模式供給燃料給各系統歧管，未使用的歧管將由Fuel Gas Purge System進行管路Purge，Purge Air來源是從空壓機(壓縮機)排氣口引入空氣，經由冷卻器(purge cooler) 進行冷卻，再經過Purge Valve引入至燃料系統歧管；目的是提供Purge Air以防止燃料蓄積以及燃氣管道內的燃料回流而有回火風險。運轉速度高於95%的情況下，Purge Air會通過未加燃料的燃氣管段，因此GE 7HA.03機組只有PM2/AFS1/AFS2三組歧管配有Purge Air設備。

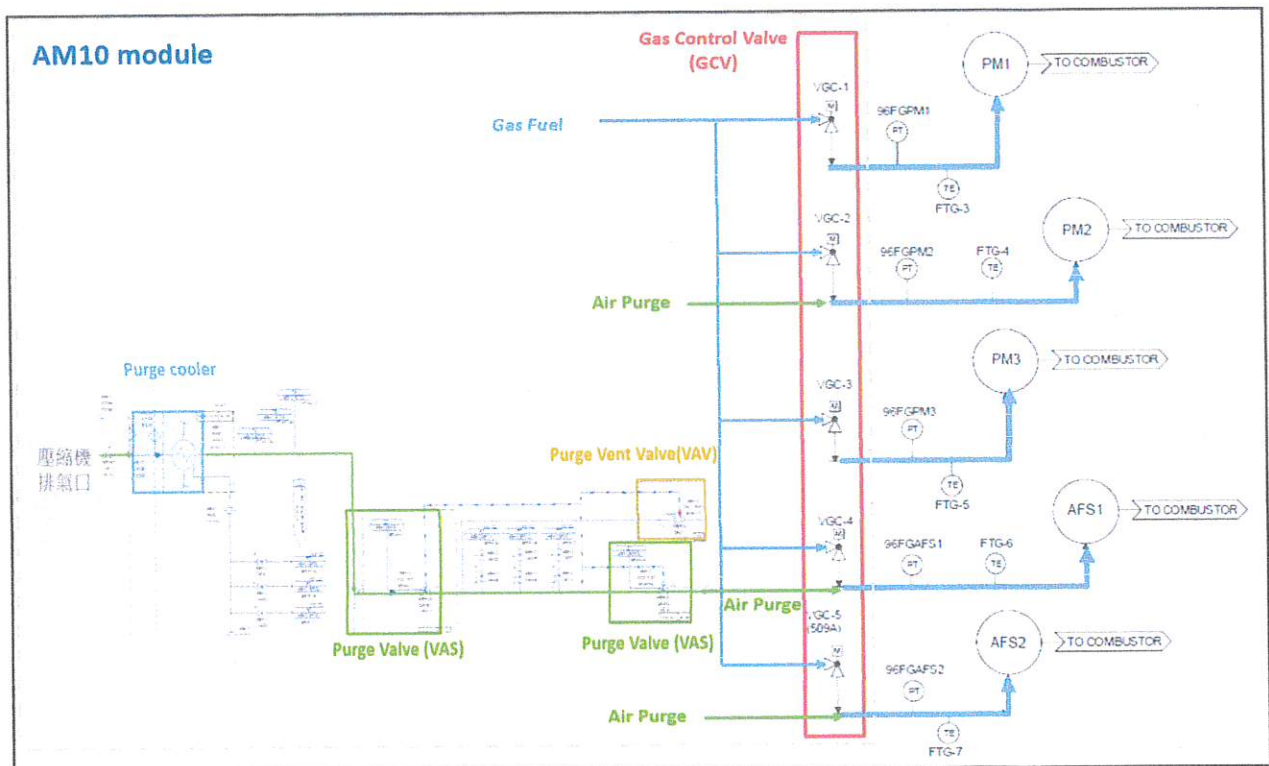


圖3.2.9 天然氣控制模組Purge Air配置

2. DLN2.6+AFS燃燒模式定義：

- (1) 機組運轉時，若由PM1(1個噴嘴)和PM2(2個噴嘴)供給燃氣，則操作畫面顯示燃燒模式為「mode 3」，數字3為燃料供給噴嘴的總和(圖3.2.10)。
- (2) 「mode 4」：由PM1(1個噴嘴)和PM3(3個噴嘴)供給燃氣(圖3.2.10)。
- (3) 「mode 6」：由PM1、PM2和PM3供給燃氣(圖3.2.10)。
- (4) 「mode 6A」：由PM1+PM2+PM3+AFS1+AFS2供給燃氣(圖3.2.10)。
- (5) 「mode 6A2」：由PM1+PM2+PM3+AFS2供給燃氣。

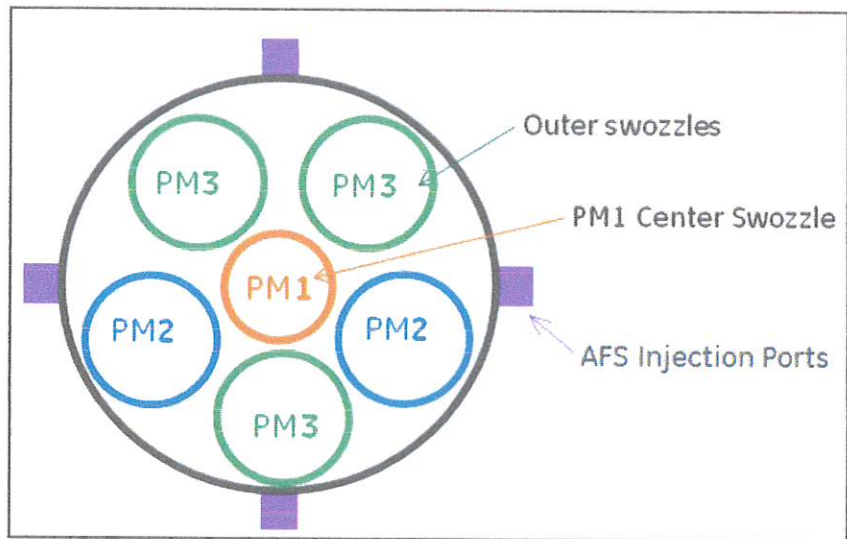


圖 3.2.10 燃燒器噴嘴配置

3. 參考7HA.03 GT模擬器在不同狀態下之燃燒模式(實際情況仍以現場機組設定為準)：

Status	DLN Mode	Speed(RPM)
起動(Cracking)	(由LCI帶動機組升速)	0~1080
起動(Cracking)	(降速準備點火)	1080~482
點火(Ignite)	Mode3S(Speed Ctrl：速度控制)	480~2400
FSNL	Mode4S	2400~3610(100.3%)
Synchronization(併聯)	Mode6L(Load Ctrl：負載控制)	3600
Base Load	Mode6A、Mode6A2	3600

表 3.2.1 不同狀態下之燃燒模式列表

三、CSA(Cooling and Sealing Air)系統：

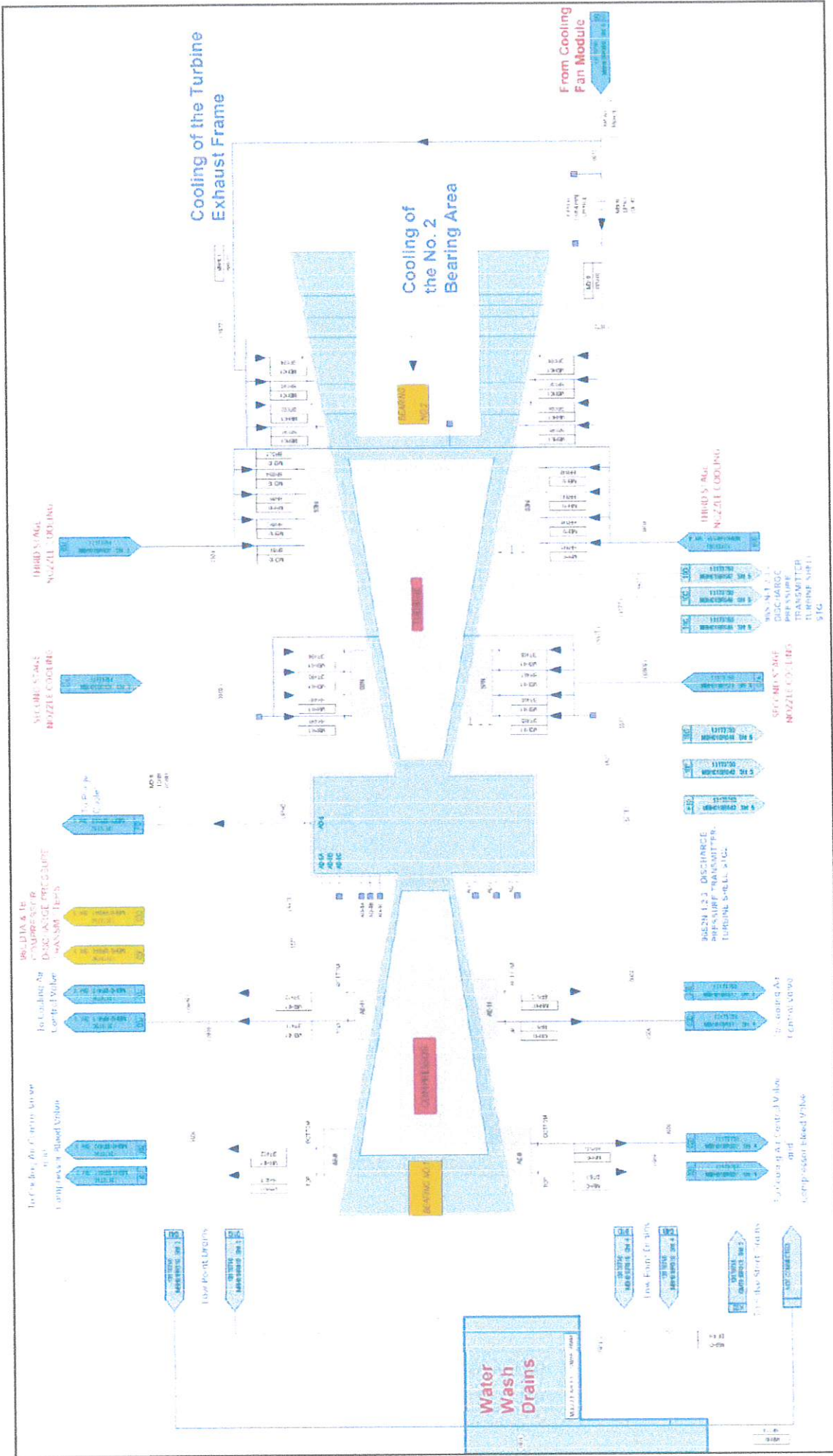


圖3.3.1 冷卻及氣封空氣P&ID圖

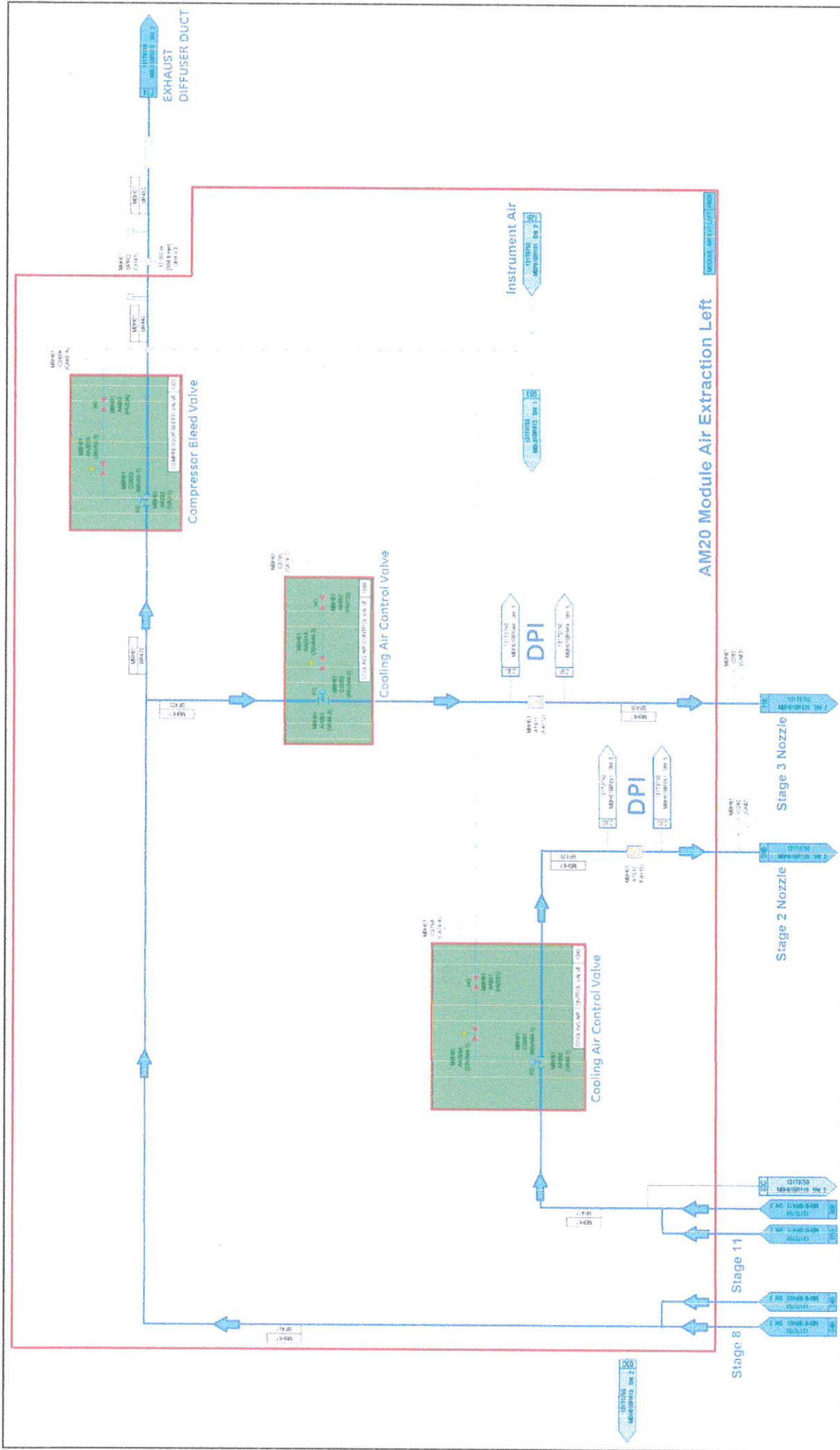


圖3.3.2 外部迴路P&ID圖

(一) 氣渦輪機本體冷卻：

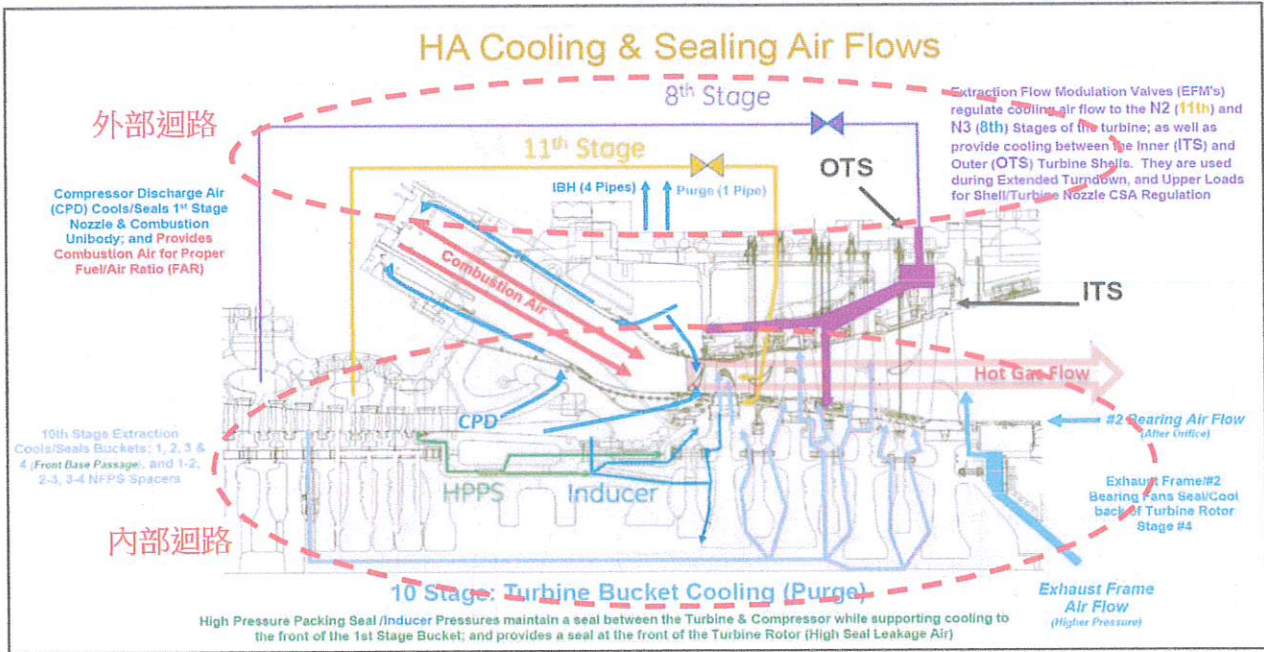


圖3.3.3 冷卻及汽封空氣流路圖

氣渦輪機冷卻流道由外部迴路和內部迴路組成，主要由空壓機提供冷卻和氣封空氣至渦輪機轉子和定子熱元件，目的在於機組正常運轉時下對熱元件進行冷卻以防止過熱且防止壓縮機發生 Surge(脈動、湧流)：

(1) 外部迴路：

外部迴路由位於空壓機殼體上第 8 級抽氣管、第 11 級抽氣管和渦輪機殼之間的管路所組成；第 11 級空壓機抽氣管道系統將冷卻空氣輸送到第 2 級渦輪機殼體及第 2 級靜葉片，第 8 級壓縮機抽氣管道則將冷卻空氣用於冷卻第 3 級渦輪機靜葉片。(參圖 3.3.4~3.3.6)

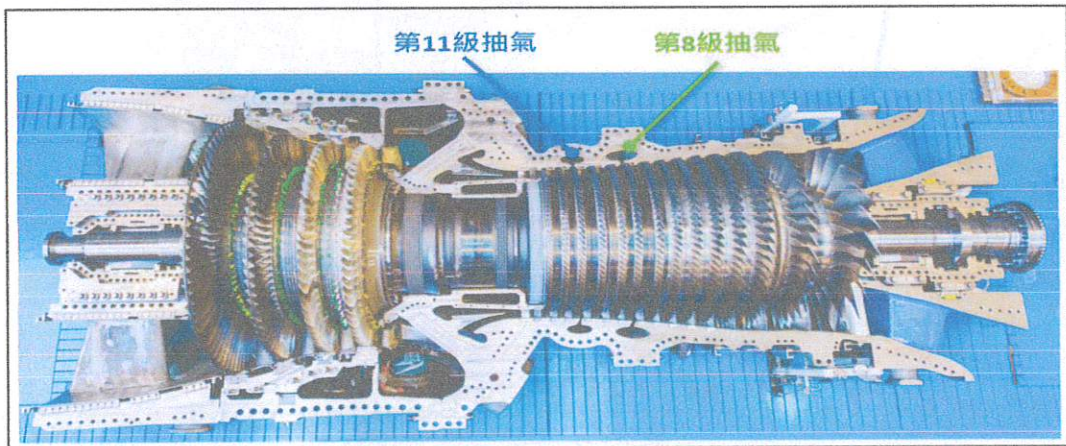


圖3.3.4 壓縮機第8與第11級抽氣孔(外部迴路)

(2) 內部迴路：(參圖3.3.5~3.3.6)

- (a) 內部迴路由壓縮機第 10 和 14 級轉子及壓縮機末端經由 HPPS(High-Pressure Packing Seal)與導流片(inducer)導入冷卻空氣以冷卻渦輪機動葉片(Turbine buckets)。
- (b) 第一級渦輪機動葉片冷卻主要由在第 14 級壓縮機葉輪處向內流動的壓縮空氣提供，透過穿出軸向冷卻孔，流過第一級渦輪葉輪的前表面；冷卻空氣流過第一級渦輪葉輪

的孔後再進入第一級渦輪機動葉片和第二級渦輪機動葉片之間的空間(腔室)，該迴路還提供空氣來加熱第二級和第三級葉輪的孔並淨化葉輪腔室的空間。

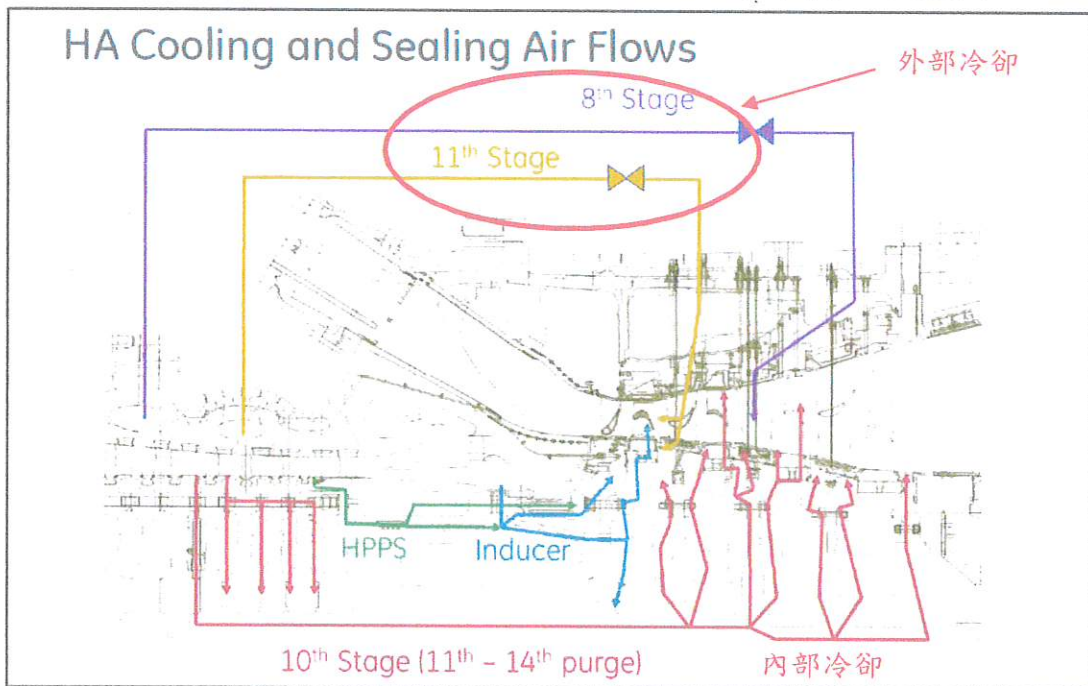


圖3.3.5 冷卻空氣流路圖

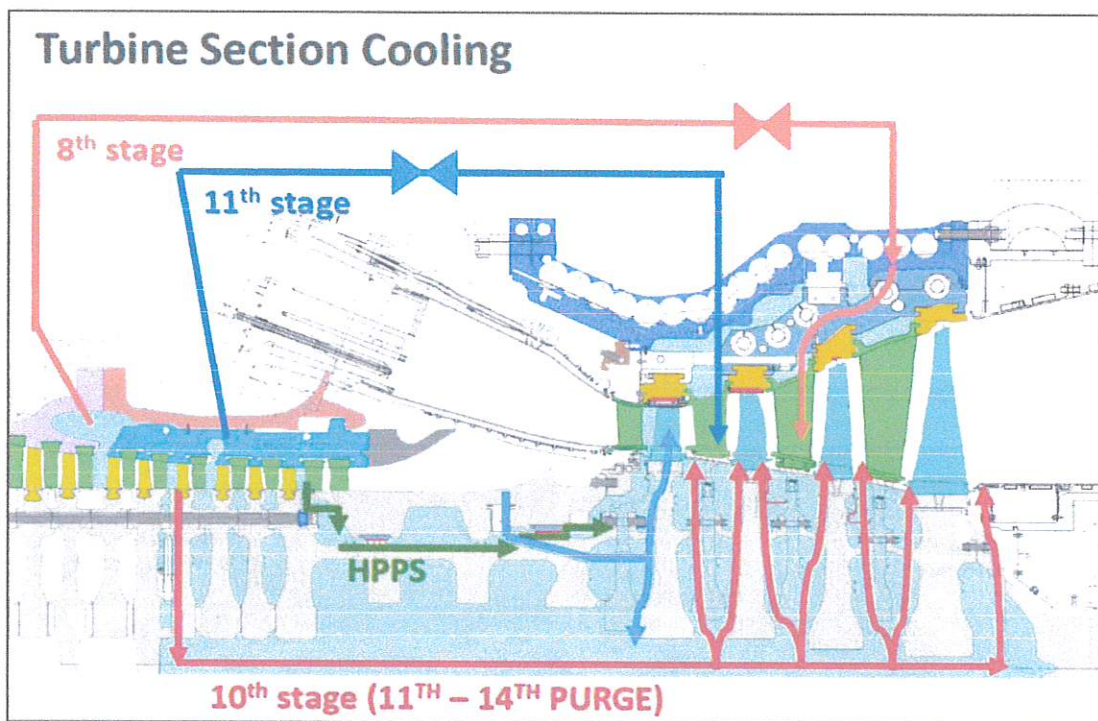


圖3.3.6 冷卻空氣流路圖

(二) 燃燒器(筒)冷卻：

燃燒筒冷卻使用的冷卻空氣則流動於燃燒室外的襯套，這種襯套是雙層設計，可使空氣產生渦流而達到較佳的冷卻效果，在本體(Unibody)模組上方較大的孔主要功能是將壓縮空氣導入燃燒器與燃料預混燃燒用，較小的孔則用來導入冷卻空氣。(圖 3.3.7)

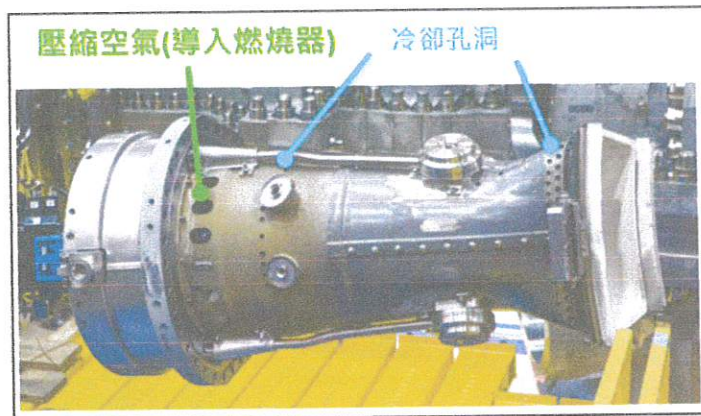


圖 3.3.7 燃燒筒冷卻空氣

(三) 排氣端#2軸承冷卻

1. 冷卻風扇模組(Cooling Fan Module)由兩個交流電馬達驅動的離心式冷卻風扇組成，進氣端含過濾器以去除空氣粉塵，其位置坐落於排氣端隔音罩內，為排氣端和二號軸承區域提供冷卻空氣。
2. 每組冷卻風扇都可各自提供 100% 所需的冷卻流量，氣渦輪機運轉時一次維持一台冷卻風扇運轉(one work, one stand by)。
3. 每個馬達均配備空間加熱器(space heater)用於在不運作時控制濕度。

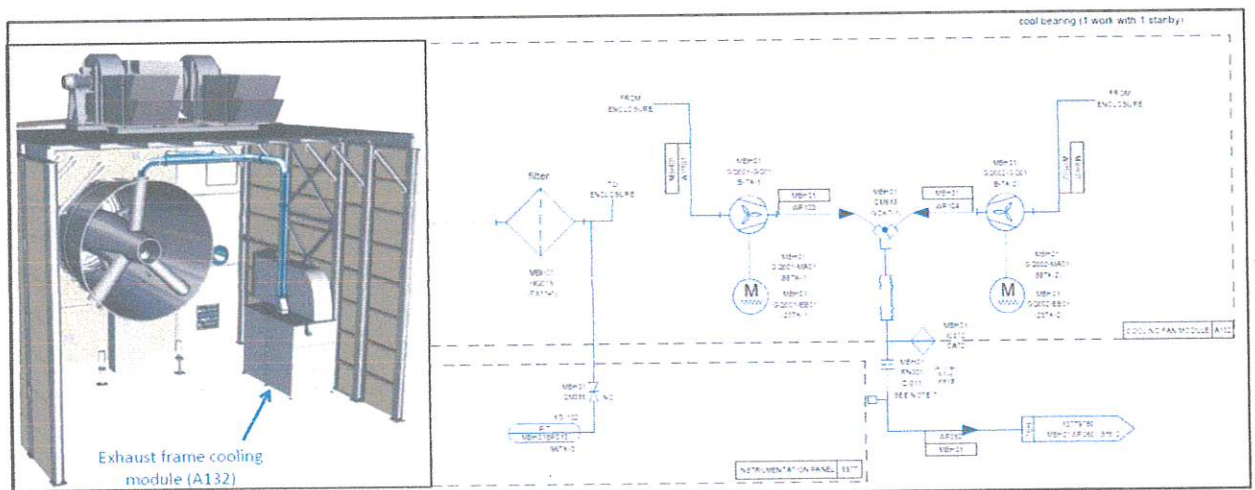


圖 3.3.8 冷卻風扇模組

(四) 壓縮機排氣系統(Compressor Bleed system)

1. 功能：氣渦輪機軸流式壓縮機產生的壓力、速度和流量特性需要特殊設計來防止機組在起動及停機時壓縮機內氣流產生擾流及擾動(Surge)。
2. 壓縮機排氣閥 (Compressor Bleed valve, VA2 -1, -2)為氣動蝶閥設計，用於將第 8 級壓縮機

空氣排至排氣口，Bleed valve 在起動及停機時打開，在機組達額定轉速時關閉；當該系統故障時閥門會開啟(failure open)，以利空壓機置於安全停機模式。

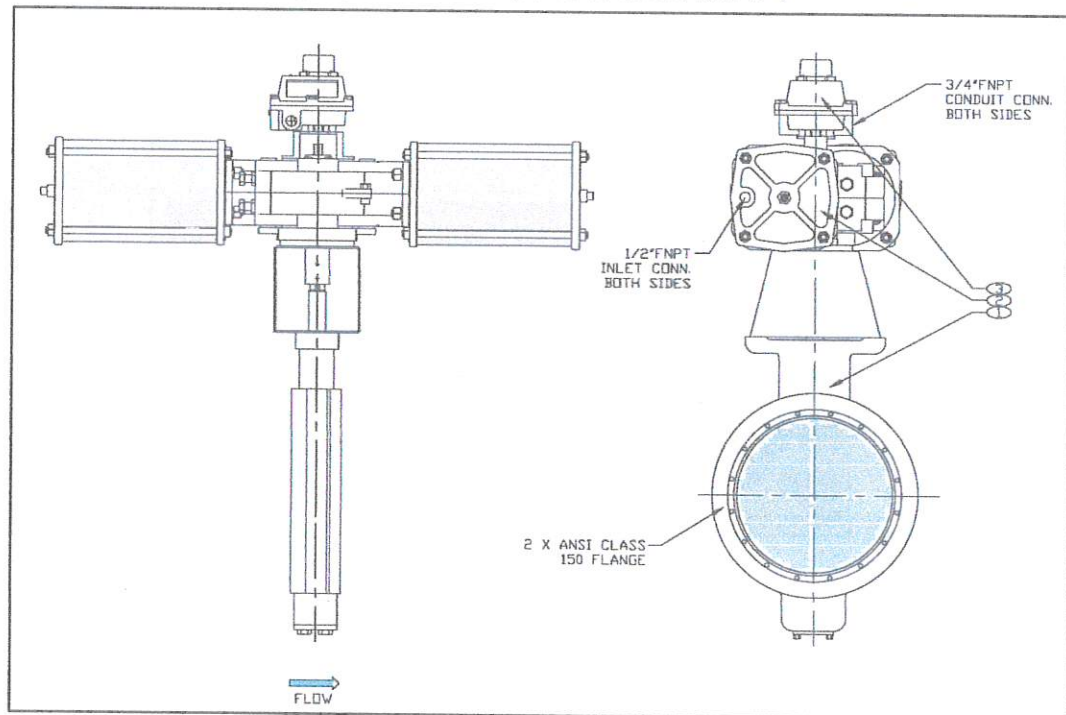


圖 3.3.8 Compressor Bleed valve

3. 起動期間：

- (1) 機組起動時第 8 級空壓機 Bleed valve 打開，將部分壓縮空氣排放至排氣擴散管(exhaust diffuser)，防止壓縮機內氣流產生擾動(surge)；遠端安裝的數位定位器提供回授訊號，用作起動邏輯中的許可條件，確保在渦輪機點火之前排氣閥保持全開。
- (2) 第 8 級空壓機 Bleed valve 於機組正常運轉期間維持全關，如果任一 Bleed valve 在正常運轉期間打開，則數位定位器回授也可用於提供警報(註:僅提供警報但不會造成跳機)。
- (3) 當系統故障或任何原因導致排氣閥開啟，將導致空壓機第 8 級抽氣之冷卻空氣不足，如當下環境溫度較低，機組仍可維持正常運轉，若環境溫度較高則系統會計算並自動調整 IGV 開度以補足冷卻空氣，當 IGV 已達全開位置冷卻空氣仍不足，則機組會降載因應以保護機組設備安全。

4. 停機或跳機期間：當發電機(GTG)斷路器打開之後，電磁閥打開並且使壓縮機空氣再次排放到排氣擴散管以防止渦輪機減速期間壓縮機內氣流產生擾動(surge)。

(五) 冷卻空氣流量調節和增加Turndown調節 (Extraction Flow Modulation (EFM) and Extended Turndown Enhancement) :

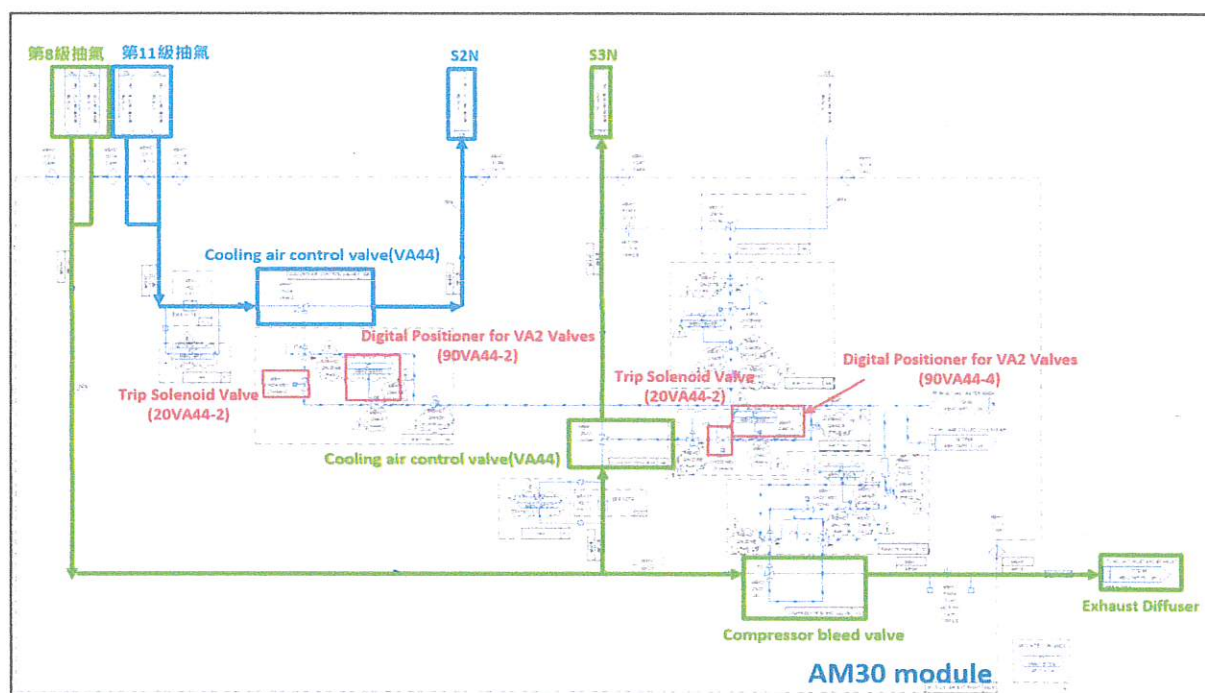


圖 3.3.9 Compressor Bleed valve

1. 功能：

渦輪機第 2 級靜葉片 (S2N)及第 3 級靜葉片(S3N)的冷卻管路各配置兩只 EFM 閥 (VA44-1~4)，以控制氣渦輪機冷卻空氣流量，並增強氣渦輪機的 Turndown 調節；在機組起動期間，第 8 級和第 11 級 EFM 閥將保持在最小開度(非完全關閉)，直至偵測到燃燒系統點火，閥門會全開以實現調節條件，在調節條件下，閥門打開可以增加壓縮機到冷卻迴路的總流量並減少到燃燒器的氣流，燃燒器氣流的減少可以提高燃燒溫度，從而增加符合排放標準的負載範圍，此即為增加機組 Turndown 能力(或範圍)。

2. 設備運作：

(1) 冷卻空氣控制閥 (Cooling air control valve /Extraction Flow Modulation valve)：

故障時將全開(failure open)，以防止溫度過高造成損壞。每個閥門上都有一個機械限動器，並且在控制系統中有電氣訊號控制，因此閥門不會完全關閉。

(2) 數位定位器(digital positioners, 90VA44-1, -2, -3, -4)

智慧閥門定位器將持續傳輸訊號確定閥件在運作。如果定位器狀態指示「good」狀態以外的任何狀態、或閥門無法以訊號追蹤，則相關 S2N/S3N 冷卻迴路中的所有閥門將被命令完全打開，且其相關電磁閥 (20VA44-1~4) 將斷電保持後開度全開。

(六) 起動間隙控制系統(Startup Clearance Control System)：

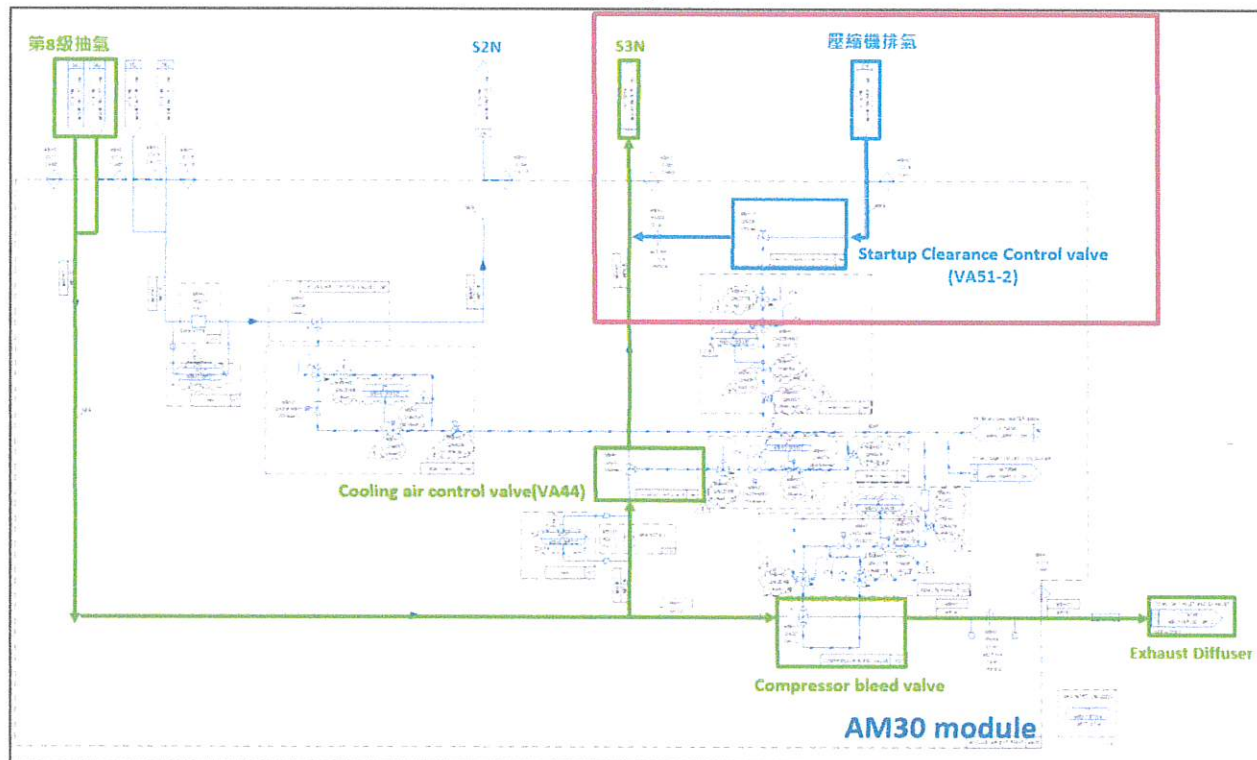


圖 3.3.10 Compressor Bleed valve

1. 功能：

起動間隙控制(SCC)的主要功能是控制經由第 3 級渦輪機靜葉片(S3N)迴路進入內渦輪殼的熱空氣流量，空氣來源為空壓機出口，這些熱空氣用以加熱渦輪內殼(Inner Turbine Shell-ITS)，為轉子葉片尖端(tips)和靜葉片護罩(shrouds)間提供安全間隙以避免接觸摩擦損傷葉片，同時提供氣封功能來保持燃氣渦輪機效能。(圖 3.3.10)

2. SCC 運作：

當 SCC 閥(VA51-1、-2) 打開，S3NEFM 閥(VA44-3、-4) 將關閉，使壓縮機排出的空氣流經第 3 級靜葉片(S3N)迴路，在 SCC 運作期間，空壓機機排放閥 (Compressor Bleed valve) 將開啟至預設位置，以防止壓縮空氣回流，如果壓縮機放氣閥運作不正常，將無法啟用 SCC。

四、進氣加熱系統(Inlet bleed heat system , IBH)

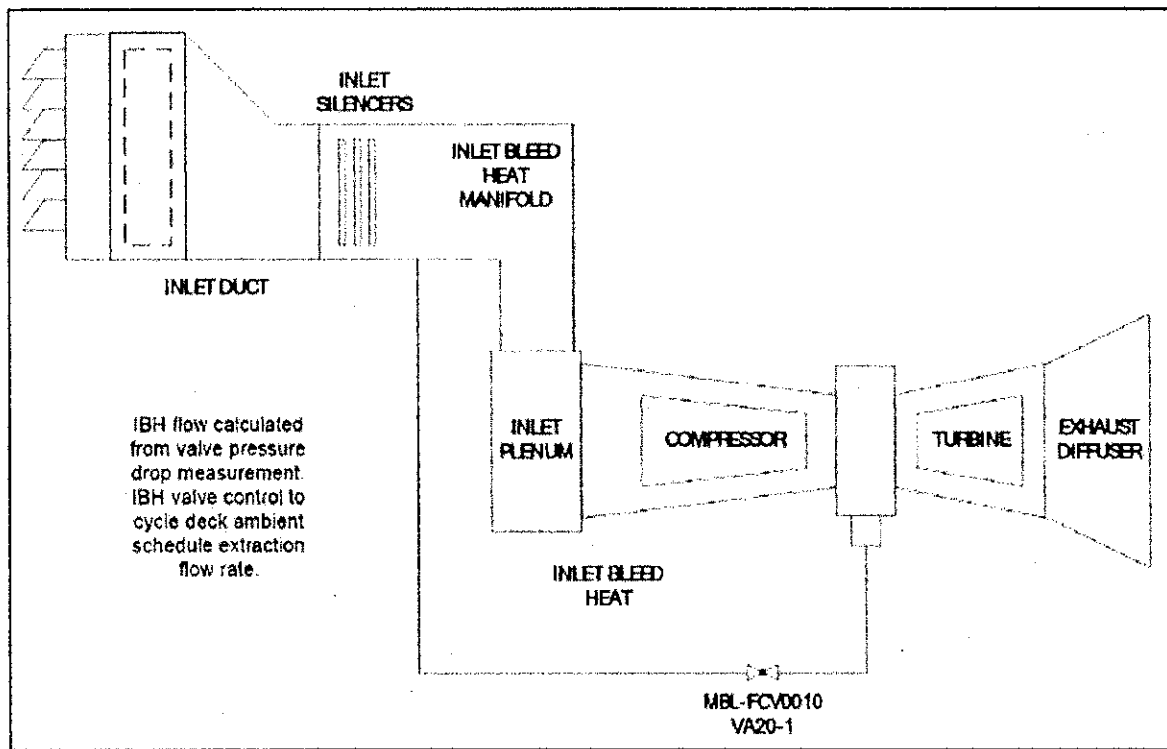


圖 3.4.1 IBH 系統示意簡圖

(一)IBH 系統係將一部分空壓機出口排出之熱氣流再循環到空壓機入口，其功能如下：

1. 協助空壓機進行部分排氣(Bleed)。
2. 增加 DLN (Dry Low NO_x)調節範圍以符合氮氧化物排放法規。
3. 防止防止 IGV 後端空氣中水分產生結冰現象(依本廠所在氣候應無發生結冰機率)。

(二)運作：

1. 功能運作：

- (1)IBH 系統控制閥主動調整開度來控制機組運轉符合最小排放邊界(minimum emissions compliance boundary)，簡言之，可協助 GT 在較低負載(7HA.03 為 33%負載)至 base load 階段的 NO_x 均符合環保規定。
- (2)IBH 系統亦可協助降低 IGV 作動頻率(不必大量使用 IGV 調整進氣)。
- (3)可降低 IGV 的最小開度，使燃燒器在足夠高的燃燒溫度下運轉以達到最佳排放狀態，而當 IGV 的角度減小時，使用 IBH 系統可降低排氣壓力來防止空壓機發生 Surge。
- (4)如果壓縮機入口溫度和 IGV 角度在可能結冰的條件內，IBH 控制閥將進行調節，將壓縮機入口溫度維持在結冰條件外。

2. 機組跳機時運作機制：

如果閥位回授訊號未能在指定時間誤差內跟隨指令，則 IBH 控制閥將跳閘，該控制閥在跳機及故障時全開；如果閥門命令設定點與實際閥門位置不同，則會發出警報，當閥門指令設

定值與實際閥門位置的差異超過跳閘極限，則 IBH 閥門將跳閘打開。

五、Hot Day Augmentation System (HDAS)：

(一) 功能：

該系統係 GE 公司於 7HA.03 機型(興達&中火為此機型)新設計的系統，其功能是在空壓機排氣溫度超過設定溫度的情況下，將空壓機部分排氣抽出，經由熱交換器進行冷卻後傳輸至渦輪機組中間區域(gas turbine midshaft)進行降溫以保護該中間區域各元件，此系統冷卻空氣之流量隨負載和環境條件而進行變化。

(二) 系統運作：(圖 3.5.1)

1. 此系統的冷卻空氣來源是從空壓機排氣區域而來，空氣在殼管式熱交換器 (HX-700) 中進行冷卻，其冷卻介質來自熱回收鍋爐 (HRSG) 的 HP 飼水，空氣走殼側、HP 飼水走管側，抽取的空氣分別使用兩個調節閥 (VA-700-旁通閥 和 VA-701-調節閥) 調節冷卻空氣的溫度以確保正確安全的操作，其中 VA-700 係將抽取的冷卻空氣直接旁通至輸入端口，VA-701 則是將經過熱交換器冷卻後的空氣排出至輸入端口。
2. HDAS 系統起動：
在氣渦輪機起動時，VA-700 旁通閥將開啟到最大開度，VA-701 調節閥閥門則置最小開度以預熱熱交換器。
3. HDAS 系統運轉
 - (1) 當壓縮機排氣溫度 (compressor discharge temperature, Tcd) < 設定值時不需要冷卻，此時旁通閥(VA-700)維持最大開度，VA-701 調節閥設置在最小開度。
 - (2) 當 Tcd > 設定值時，系統使用 VA-700 旁通閥和 VA-701 調節閥進行調節，在允許的壓降內以目標溫度向空壓機提供冷卻空氣，當 Tcd 增加時，HDAS 溫度必須降低，溫度應盡可能平穩的調節，避免 GT 零組件溫度急遽變化。
 - (3) 氣渦輪機停機階段：
當氣渦輪機執行停機時，Tcd 將隨著負載的減少而降低，當 Tcd 低於設定值時，該系統將停止作動，VA-700 旁通閥將開啟到最大開度，VA-701 調節閥閥門將關至最小開度。
 - (4) 氣渦輪機跳機階段：
如果機組跳機，閥門將自動置於安全故障位置：VA-700 旁通閥完全打開，VA-701 調節閥完全關閉。

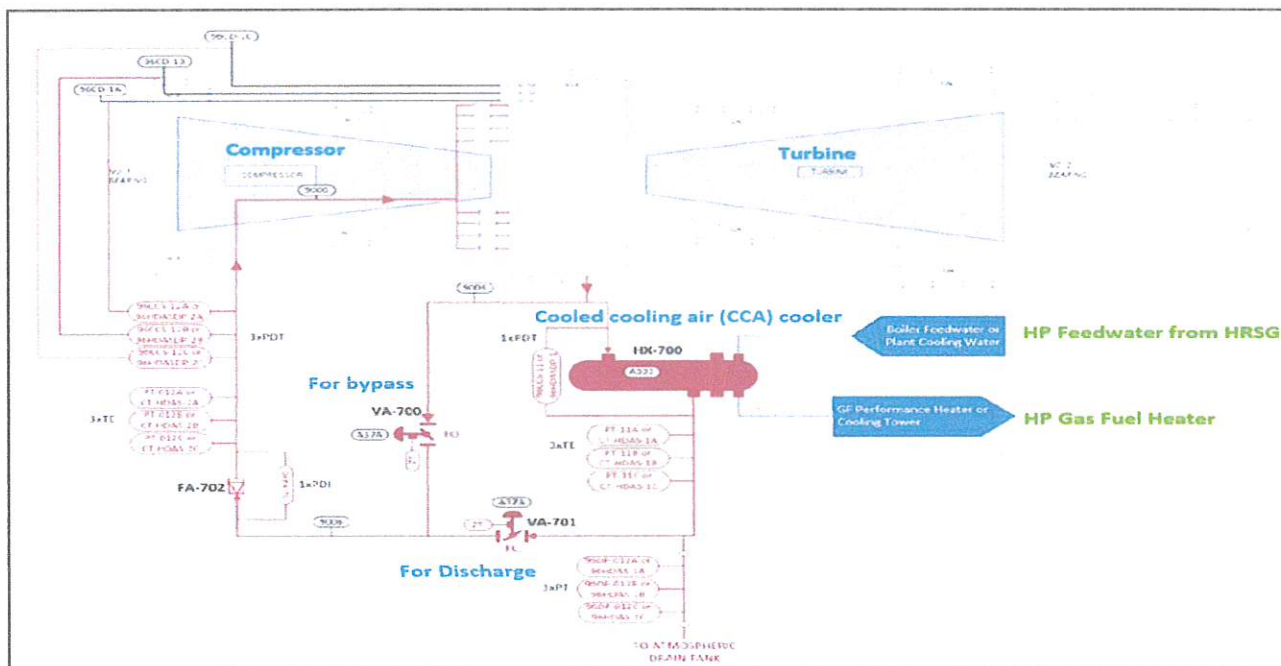


圖3.5.1 HDAS系統P&ID圖

六、空壓機進口導翼(VIGV/VSV)系統

(一) 概述：

軸流式空氣壓縮機段包含了轉子及空壓機機殼，機殼上裝置有 VIGV(Variable Inlet Guide Vane)及 VSV(Variable Stator Vane)、逐級縮減的靜葉片(配合動葉片)、空壓機出口導翼(Exit Guide Vane)與空壓機出口擴散器(Compressor Exit Diffuser)；VIGV 裝置於空壓機進氣殼(Inlet casing)尾端，藉由同步環(Unison Ring)及導翼臂(Vane Arm)連結動作器與連桿總成；空壓機機殼(Compressor Casing)包含 VSV 1~3 級及空壓機第 4~8 級靜葉片，每一級 VSV 藉由控制環(Unison Ring)及導翼臂(Vane Arm)連結動作器、扭力管及連桿總成，導翼位置影響了空壓機空氣流量。

(二) VIGV 及 VSV 主要功能：

1. 空壓機入口空氣流量調節。
2. 機組起動及停機時調節進氣以避免發生湧流(Surge)。
3. 部分負載(Partial load)時空氣流量控制。

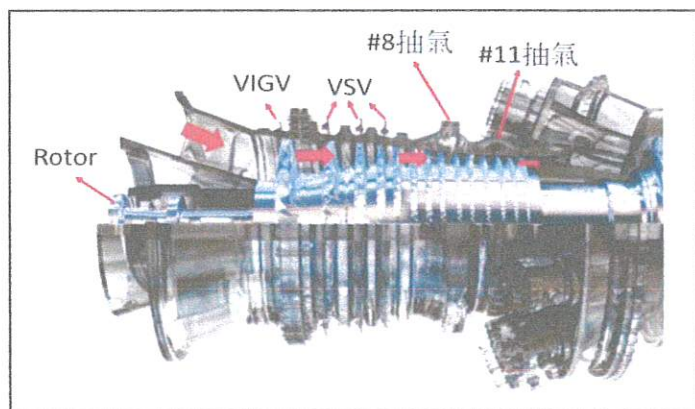


圖 3.6.1 VIGV 及 VSV 位置圖

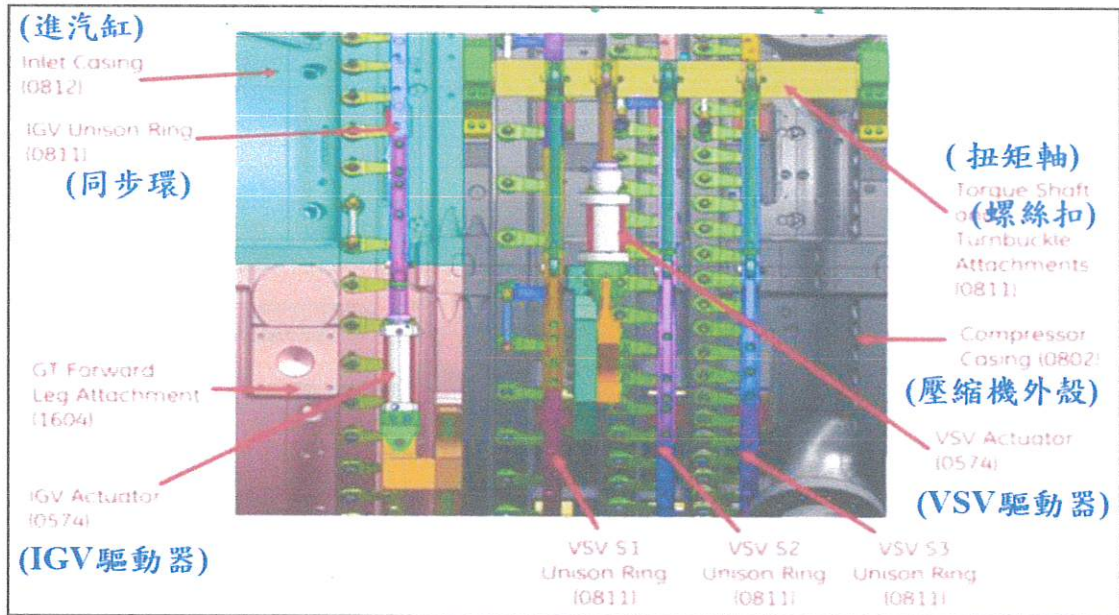


圖 3.6.2 VIGV 及 VSV 位置圖

(三) VIGV(Variable Inlet Guide Vane)及 VSV(Variable Stator Vane)作動模式：

1. VIGV 開關行程為 72° ，全開位置 -12° ，全關位置 $+60^\circ$ 。
2. VSV 開關行程為 35° ，全開位置 -7° ，全關位置 $+28^\circ$ 。
3. 順時針轉動為 OPEN 方向、逆時針轉動為 CLOSE 方向。

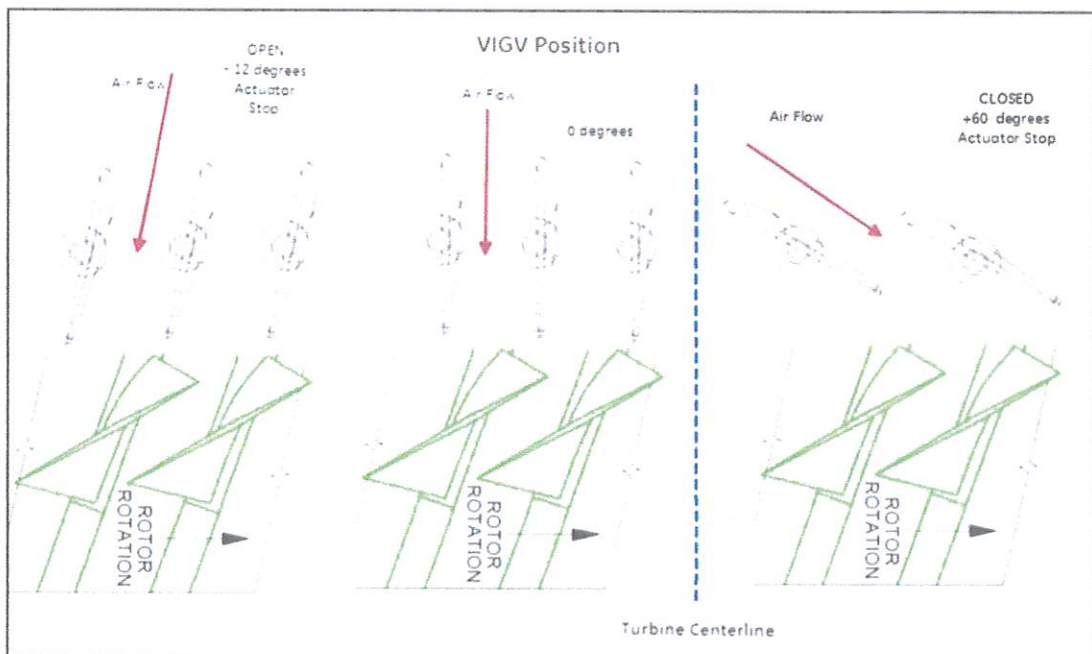


圖 3.6.3 VIGV 及 VSV 開關行程

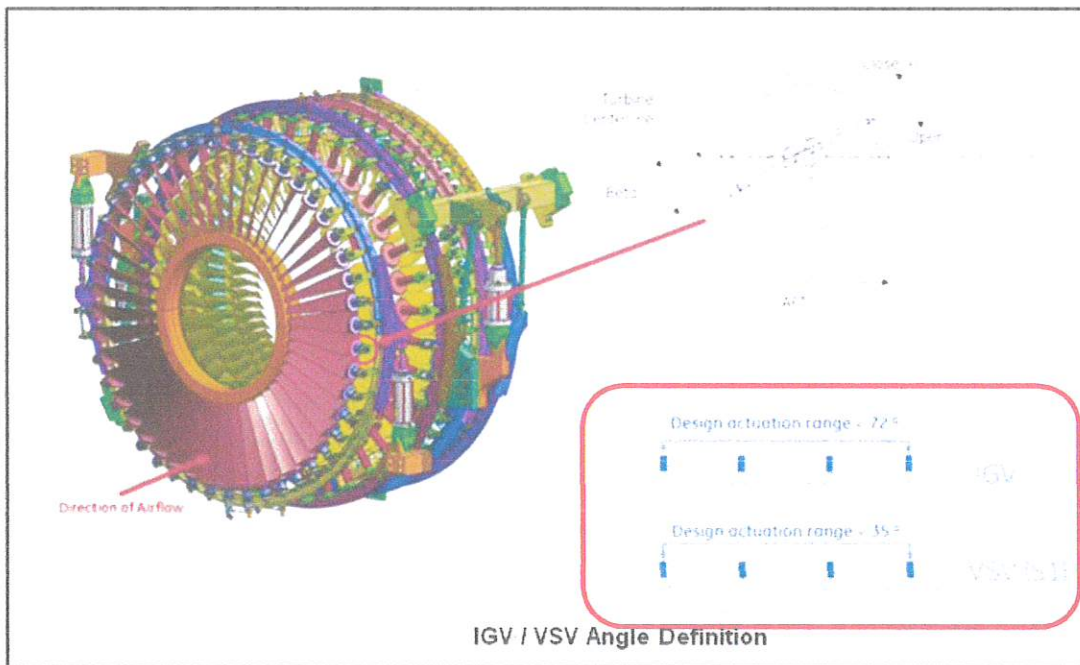


圖 3.6.3 VIGV 及 VSV 開關方向

七、負載轉接逆變器(LCI- Load Commutator Inverter)：

(一) 系統概述：

1. 目的及原理：

氣渦輪機組起動升速是指 GT 從慢車狀態(5~7 RPM)至額定轉速(FSNL)的過程，對 GE 7HA.03 機組而言，機組起動-點火-升速轉速到達自持的速度(90%額定轉速)，自持的速度也就是機組點火至產生足夠的動能帶動它繼續加速運行，達到機組要求的額定轉速。

GE 7HA.03 機組採用變頻方式將機組發電機作為同步電動機來執行機組的前段起動，對於 7HA.03 這樣的大型機組，如使用專門起動馬達，由於需要安裝扭力轉換器，將會使主機轉軸變長，除了需要較大的廠房來安裝之外，較長的轉軸會增加對心的難度，也可能引起運轉時振動大的問題。

由於機組本身的軸功率太大，外配起動電機已不可能，採用大功率變頻裝置是唯一的方法；機組的起動過程大致可分成：變頻起動裝置(LCI- Load Commutator Inverter)引動到達 GT PURGE-點火-加速，在 GT 與起動裝置(LCI)共同作用下升速到約 3240 rpm(90%額定轉速) 後起動裝置退出，GT 繼續自持升速到額定轉速等階段，LCI 功能即與目前興達西門子 V84.2 機組的 SFC(靜態頻率轉換器)相同。

2. 負載轉接逆變器(LCI)優點

- (1) 取代起動馬達，大幅節省使用空間。
- (2) 一套系統可帶動不同的氣渦輪機。
- (3) 減少動件設備，減少維護成本。

(二) 系統架構圖：

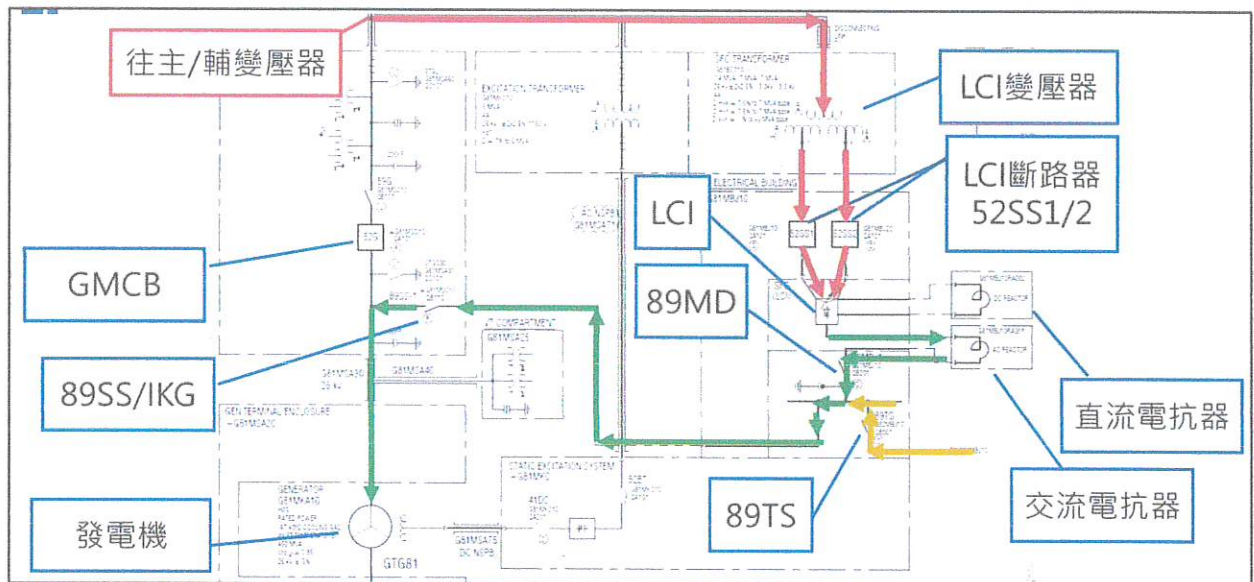


圖 3.7.1 LCI 系統架構圖

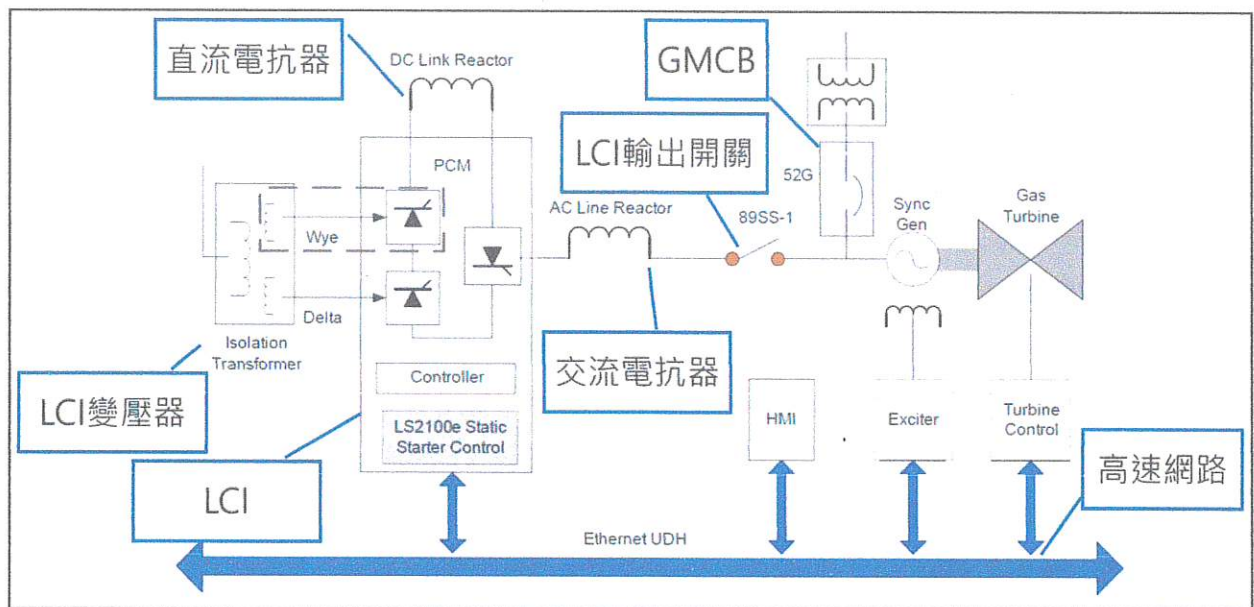


圖 3.7.2 LCI 系統架構圖

(三) 起動程序：

1. 初始起動階段：當所有起動條件滿足後，起動頂升油泵將靜止的轉子從軸承表面抬升，以大幅減少慢車馬達所需扭矩，慢車馬達將轉子轉動到約 6rpm(慢車轉速)，LCI 起動並帶動轉子加速到 23.6%的額定轉速(約 850 rpm)。
2. Purge(清掃)階段：LCI 維持轉速直到 Purge 結束。
3. 降速階段：待 Purge 結束後，LCI 從發電機上移除電源，使機組轉速從 23.6%降至 14%。
4. 點火階段：轉速降至 14%時並保持轉速 1 分鐘後點火。

5. 加速至額定轉速(FSNL)-LCI 切換至全速階段，將機組從 14%加速到 90%額定轉速，大約 5 分鐘後達到 90%轉速後 LCI 斷開。

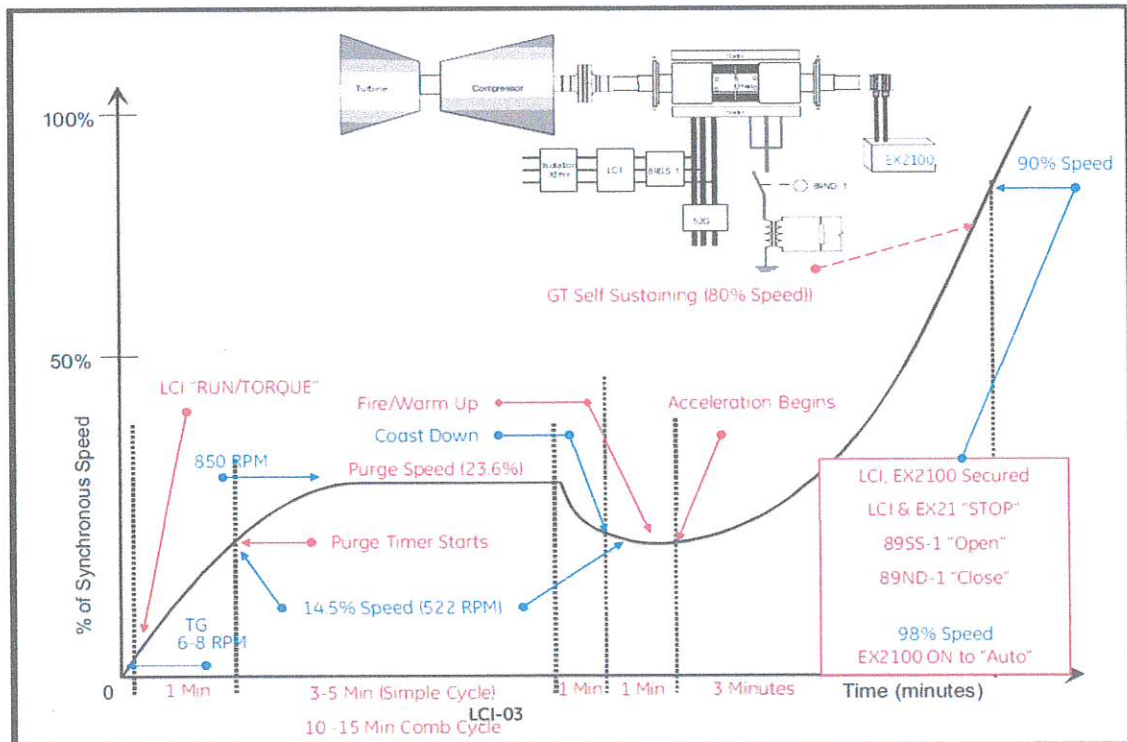


圖 3.7.3 LCI 起動程序

八、氫氣封油系統

(一) 氫氣、CO₂ 系統簡介：

1. 使用氫氣緣由：

發電機藉由氣體的對流來冷卻內部的部件，將熱量傳輸到發電機的氣體(或水)熱交換器進行冷卻，因氫氣的密度較小，使用氫氣作為發電機內部的冷卻氣體較空氣能大大的降低氣體在發電機內部流動時的風阻，此外，與空氣相比，氫氣有更佳的热傳導率與對流係數，冷卻效率更佳，使用氫氣相較空氣更能大幅減少電量引起的電樞絕緣劣化。

2. 惰性中間氣體-二氧化碳：

空氣中氫氣的濃度在 4.1%到 74.2%之間會形成高度爆炸的混合物，當以正確方式的組裝和操作，為使空氣與氫氣在發電機內部不會混合，充填氫氣的程序首先須充填二氧化碳以置換發電機內的空氣，然後充填氫氣以置換二氧化碳，接著繼續充灌氫氣使發電機內壓力上升，藉由控制閥保持壓力，發電機內的氫氣壓力在停機期間也可保持壓力，在進行發電機維護之前，先將氫氣減壓，然後充灌二氧化碳以置換氫氣，接著充灌空氣以置換二氧化碳，結束後即可打開端蓋，在緊急的情況下，必須充灌二氧化碳來排放發電機內的氫氣。

(二) 封油系統：

1. 目的：為了安全有效的使用氫氣進行發電機冷卻，有必要將氫氣留在發電機內，因此轉子延

伸到發電機的兩端皆需要軸封元件，所以使用了徑向油膜型(Radial Oil Film Type)密封件。

2. 設計特點

(1) 軸密封系統(Shaft Sealing System)：

發電機兩端的軸封元件由一個兩件式氫密封外殼(two-piece Hydrogen Seal Casing)組成，外殼包含了一對彎曲的鋼環，每個環分為兩部份，各為 180 度以方便將封油環裝入氫密封外殼，使用卡緊彈簧(Garter Spring)將封油環組裝在密封外殼的側壁上，密封油(Seal Oil)的液壓使其與轉子保持同心，但每個密封殼上半部有止動件防止其隨轉子旋轉，封油系統的供應至密封殼的油壓比發電機內的氫氣壓力高約 5.5 psi(37.9 kPa)，密封油從徑向流過環之間的空間，並沿著轉子與沿著轉子兩個方向的軸向空間，正是轉子表面和封油環之間的薄油膜將氫氣密封在發電機內(詳圖 2-3-1)。

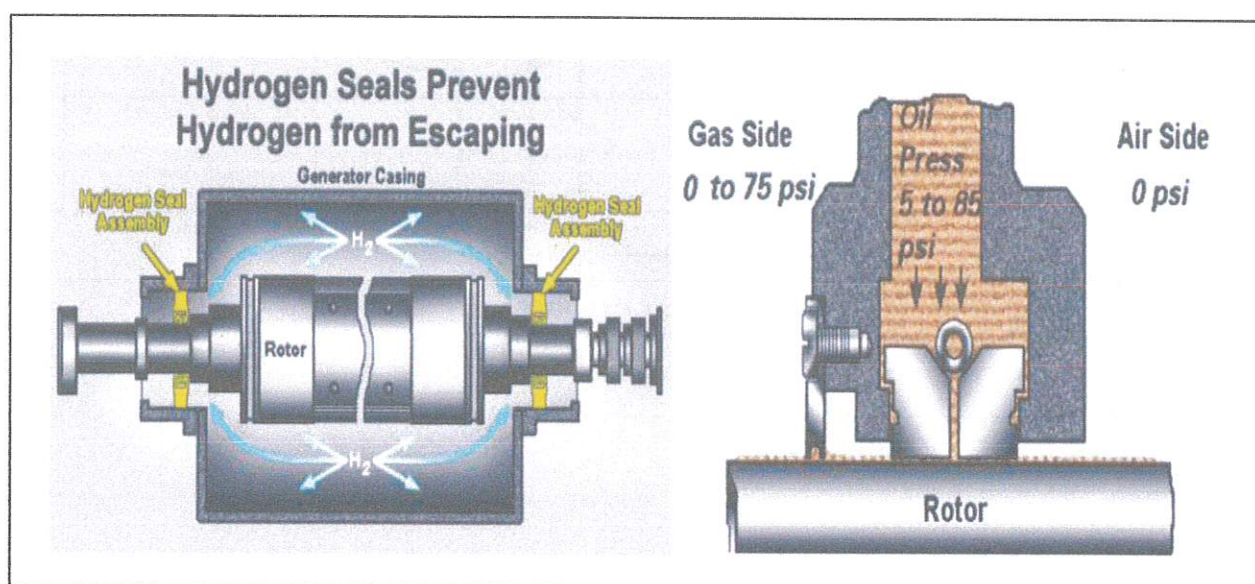


圖 3.8.1 軸密封系統

(2) 密封油供應：

密封油來源從主潤滑油系統供應至封油系統，密封油保持在 5.5 psi 的差壓(Seal Oil Pressure – H₂ Pressure ≥ 5.5 psi)，在此用差壓控制閥控制軸封處的封油壓力，差壓控制閥接收在發電機端罩(End shields)的差壓轉換器提供的封油壓差，差壓轉換器的高壓側連接到密封油的供應端，低壓側連接到與發電機殼壓相同的 SDE 油槽(Sealing oil Drain Enlargement Tank)，系統從三個差壓轉換器中選擇中間值向控制閥發送訊號以調節密封件上的差壓。(參圖 3.8.2)

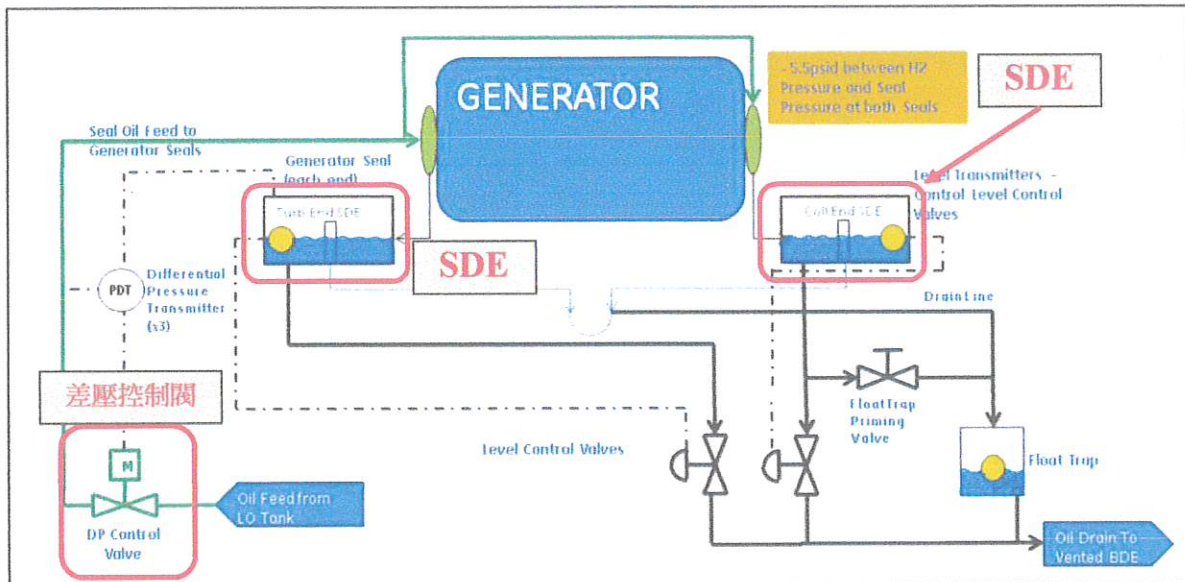


圖 3.8.2 Seal Oil System Overview

(3) 密封油的排放：

密封油系統使用 SDE 油槽(Sealing oil Drain Enlargement Tank)去除氫氣側密封油中夾帶的氫氣(圖 3.8.2)，位於發電機外殼下方與 BDE 油槽(Bearing oil Drain Enlargement Tank)上方，主動洩放控制系統由安裝在 SDE 槽內的液位傳送器、氣動液位控制閥與浮筒槽組成，槽內的油從 SDE 槽底部流至液位控制閥，密封油返回主潤滑油箱之前再從液位控制閥流至 BDE 油槽，每個排放槽都有一個液位控制閥，主控制排放系統使用導波雷達液位控制並保持 SE 槽的水位，液位傳送器向 Mark Vie 傳送訊號調節氣動液位控制閥以保持所需的油位，若主控制系統失效，則 SE 槽的油位由槽內的直立管(Stand Pipe)控制(詳圖 3.8.2 及 3.8.3)，密封油經由直立管流下，通過封油環然後沿著共管流向浮筒槽，密封油流回主潤滑油箱前，藉由浮筒槽除水後再從浮筒槽流至軸承排放擴大管(BDE)。浮筒槽是作為主控制系統之備份。

液位控制閥和浮筒槽安裝在與密封油控制單元分開的組件上(詳圖 3.8.3)，該組件安裝在靠近發電機的位置，位於密封排放擴大裝置(SDE)下方。

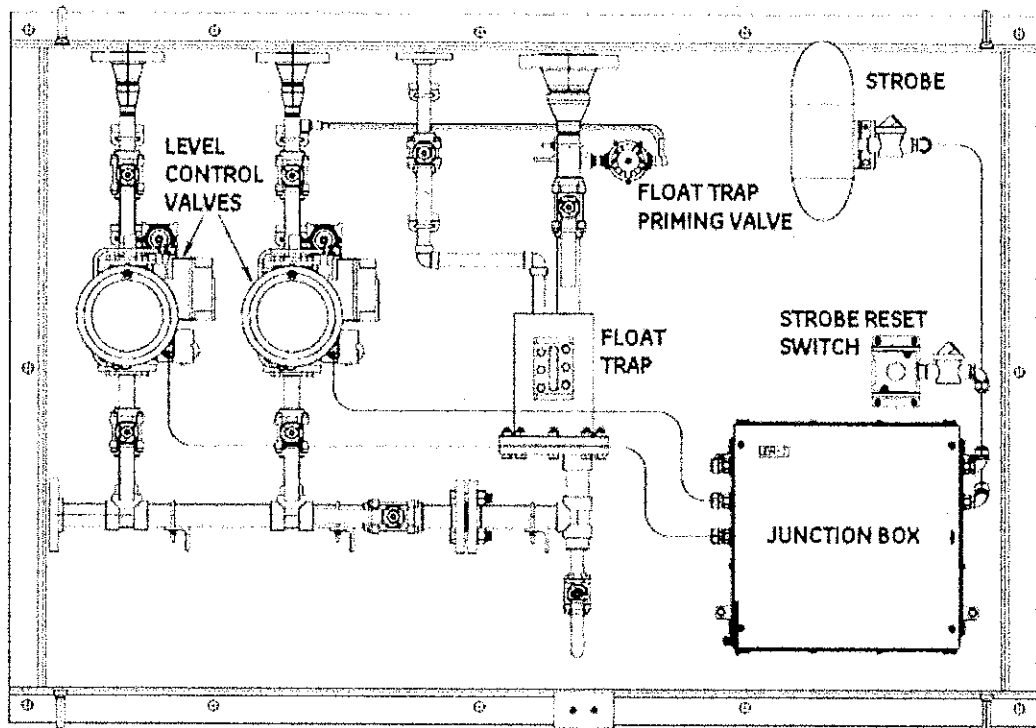


圖 3.8.3 Seal Oil Panel

(4) 軸承油排放擴大槽(BDE)

空氣側密封油、發電機軸承潤滑油以及氬氣測密封油((在通過 SDE 液位控制閥和(或)浮筒槽後)流至一發電機外殼上的腔室(軸承油排放擴大槽-詳圖 3.8.4)。在密封油通過油封環到潤滑油箱前，軸承排放擴大管提供了大的表面積使密封油進行消泡和卸放密封油。溶解在密封油中的氬氣壓力下降至大氣壓力被排放。而氬氣經由 BDE 頂部的排氣管排放到大氣中。若軸封供油發生故障，氬氣將會從發電機進到軸承排放擴大處(BDE)然後排放至大氣。油封環提供了屏障以防止氬氣進入主潤滑油槽。

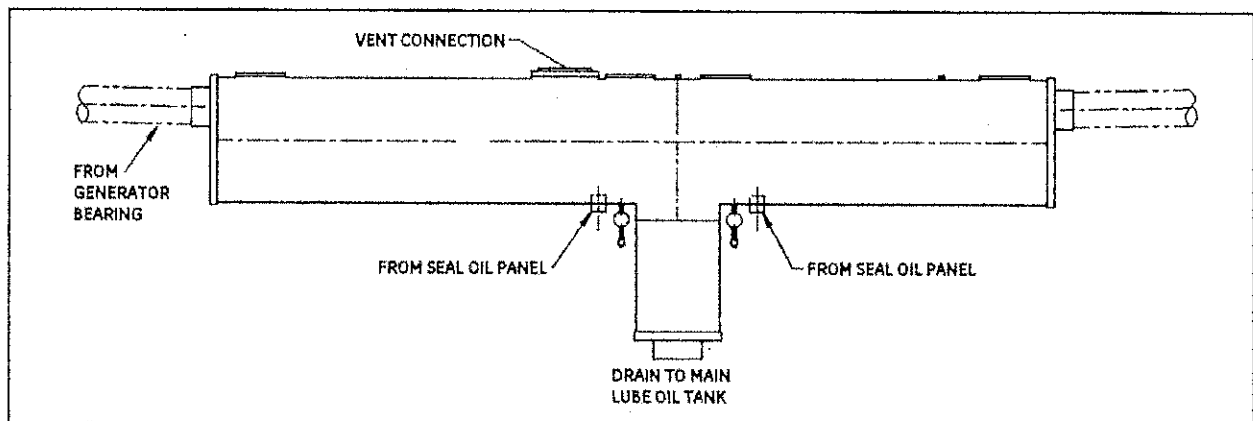


圖 3.8.4 Bearing Drain Enlargement Tank

九、消防水霧系統(Water Mist Fire Protection System)

(一)系統介紹：

1. GE 7HA.03 機組採用水霧消防系統，此系統為雙流體型，系統以水為滅火劑，壓縮空氣或氮氣為霧化介質，當系統啟動後，水霧立即被排放到指定區域以移除燃燒三要素-可燃物(可燃性物質)、氧氣(助燃物)、熱能(溫度)。

- (1) 透過水霧潤濕及冷卻可燃性物質：移除可燃物
- (2) 水霧降低局部氧氣濃度：隔絕氧氣(助燃物)
- (3) 水霧阻擋輻射熱：降低溫度(熱能)

2. 配置位置：

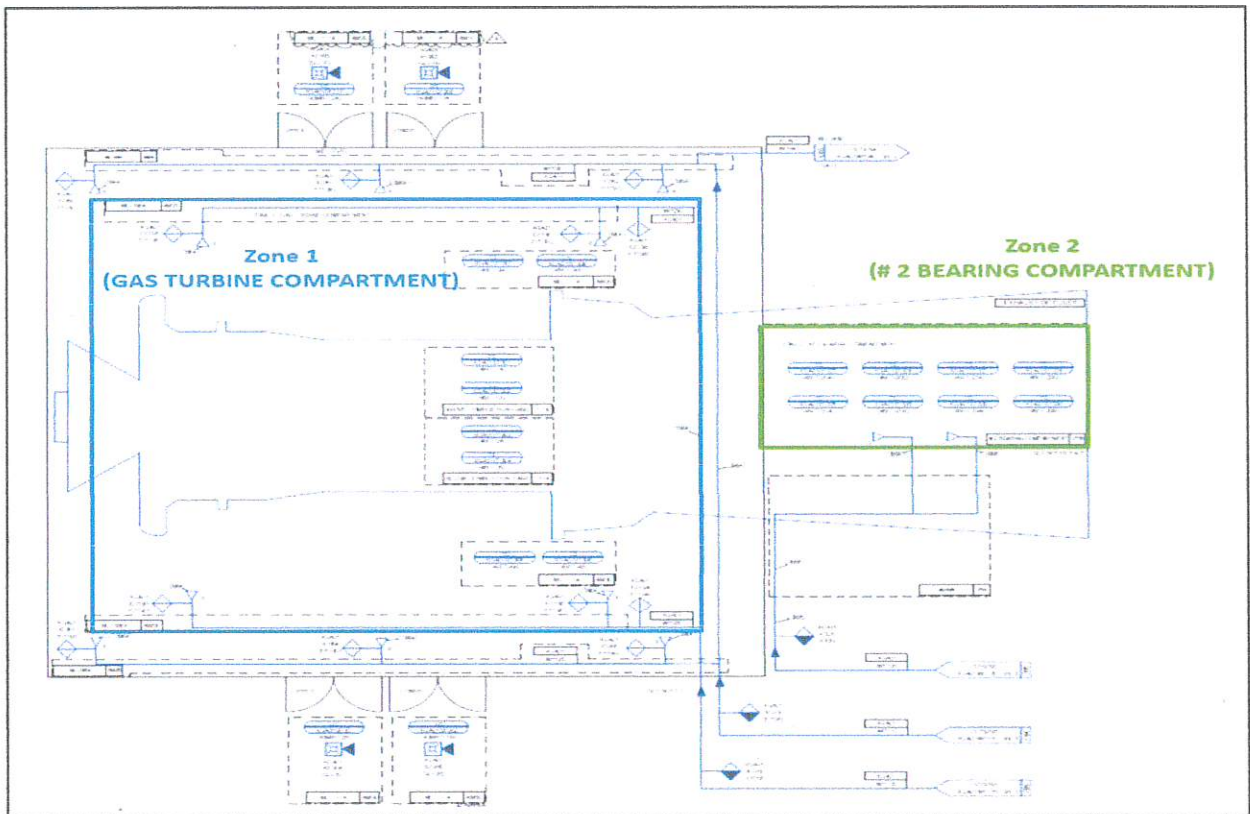


圖 3.9.1 Fire Protection System 區域示意圖

(1) 消防系統包含兩個區域：

Zone 1：氣渦輪機室

Zone 2：2 號軸承

(2) 消防系統允許每個區域獨立作動；一個區域發生火災，其他區域水霧不會排放。

3. 使用水霧消防系統優點：

- (1) 相對於二氧化碳消防系統會因逸散而導致滅火效果下降，水霧系統在隔音罩內即使處於有自然通風或小型開口的情況下仍然不影響滅火效果。
- (2) 相對於二氧化碳消防系統，水霧系統作動時不會造成人體危害，避免工安事故。

(3) 水霧消防系統設計符合 NFPA 750 標準。

4. GE 公司較舊型之機組有 CO₂ 消防系統及水霧消防系統設計可供選擇，新型機組已全部使用水霧系統，CO₂ 消防系統之滅火速度較快速，但系統啟動時如有人員在機組附近，在此環境下可能會造成窒息死亡。

(二)水霧系統模組成：

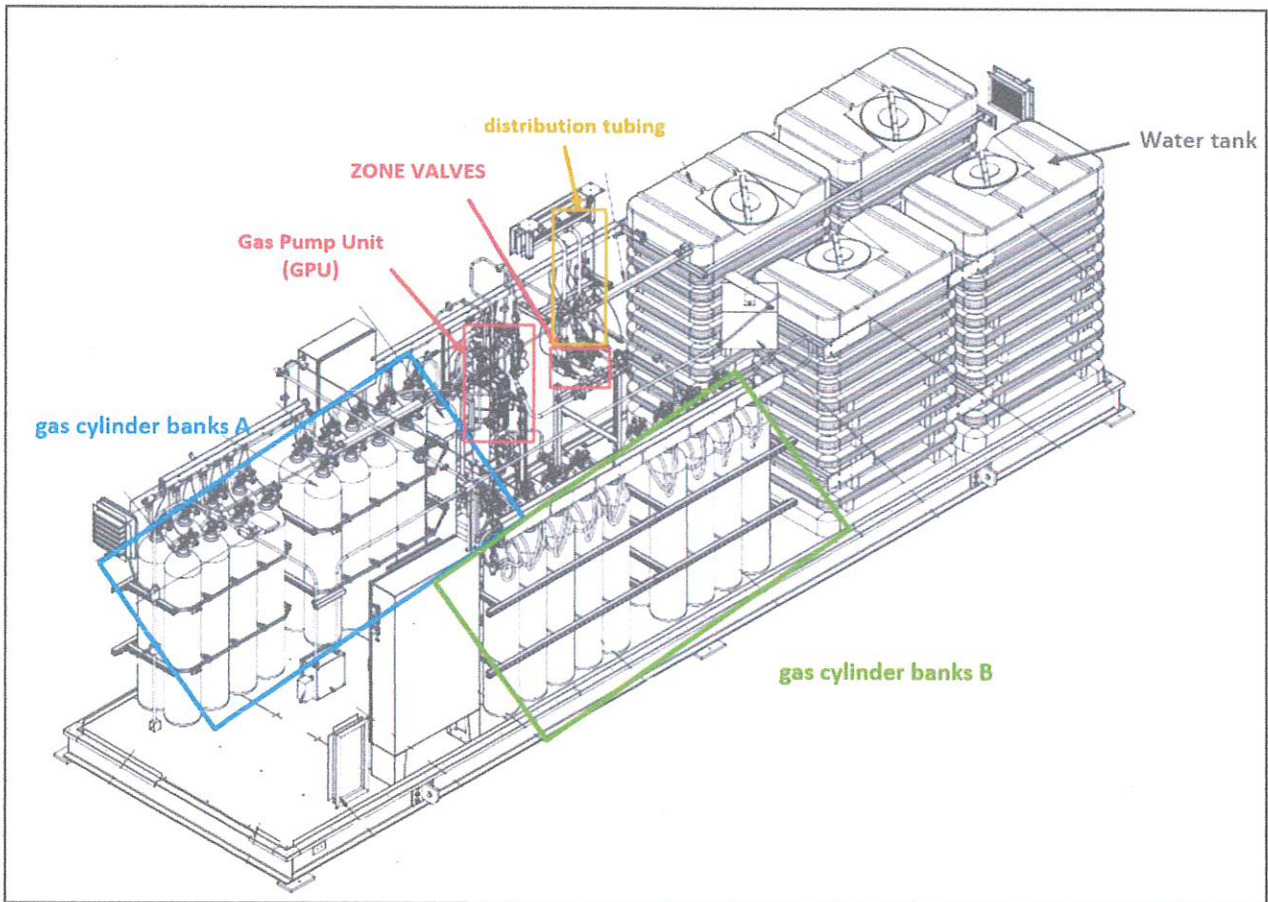


圖 3.9.2 Fire Protection System 模組圖

1. PUMP 總成：由機械活塞泵組成的氣泵單元 (GPU)，由加壓氣瓶提供動力，直接用壓縮氣體加壓，將水從水槽中推出。
2. 高壓氣瓶組 A 和 B(High pressure gas cylinder banks A and B)
3. 配備低液位開關電磁驅動閥的儲水箱(Water storage tank(s))
4. 電氣火災警報控制、監控和信號面板 (FACP)
5. 用於排放水霧的不銹鋼分配管及噴嘴(distribution tubing and spray nozzles)。

(三)運作模式：

1. Stand by (system not activated) mode 待機模式：
 - (1) GPU 到 zone valve 入口的管路注滿除礦水（已灌注並準備泵送）。
 - (2) Cylinder bank A 和 B 的高壓歧管加壓至約 180 bar (2600 psi)。
 - (3) Distribution tubing 保持乾燥（避免內部有水會結冰或腐蝕），並透過電磁閥與 GPU

泵單元隔離，在待機模式下，所有 Zone valve 均保持關閉。

- (4) 待機時待機泵浦維持系統在 25 bar (360 psi) 的壓力，待機泵浦安裝在 GPU 框架上，該泵浦的動力來源來自備用壓力氣瓶，在待機期間，泵浦將定期循環以維持備用壓力。
- (5) GPU 出口上的備用壓力(25 bar)將連接 bank A 和 GPU 的液壓釋放閥保持在關閉位置。

2. Activated mode 運作模式：

- (1) 水霧消防系統的偵測為雙迴路設計，雙迴路均偵測到火災訊號系統才會作動，且系統設計規格容量可對兩區域連續噴灑 30 分鐘以上。
- (2) 當 Zone valve 開啟，系統會產生壓降(從 25 bar 降至 17 bar)。
- (3) 氣瓶上的液壓安全閥將開啟，cylinder bank A 管線將與 GPU 連結，GPU 將氣瓶內氣體與水混合，並將混合物泵送經 distribution tubing 輸送至水霧噴嘴，此時系統壓力為 180 bar
- (4) 當系統持續運作且壓力從 180 bar 降至 70 bar 時，cylinder bank B 氣瓶上的閥件將開啟，此時 bank A 及 bank B 會同時作動。
- (5) 當系統切換至 bank B 之前，可以手動隔離 bank B。

十、潤滑油系統(Water Mist Fire Protection System)：

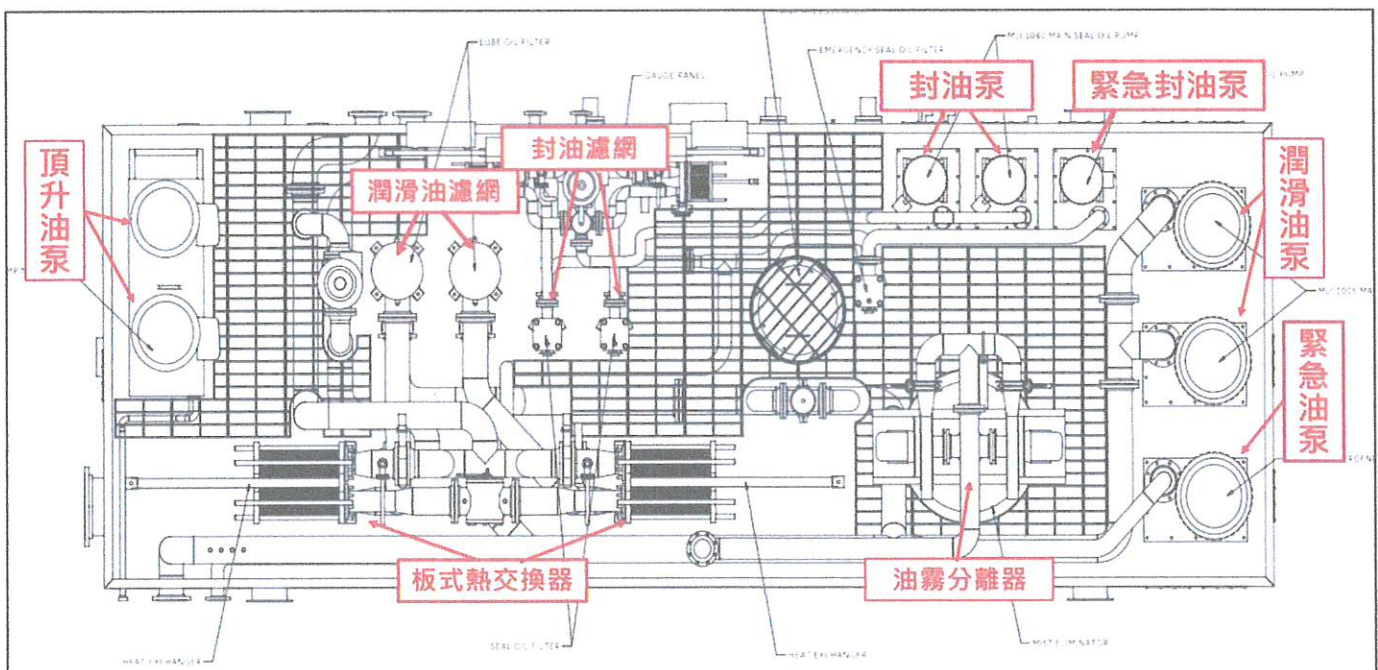


圖 3.10.1 潤滑油槽模組配置圖

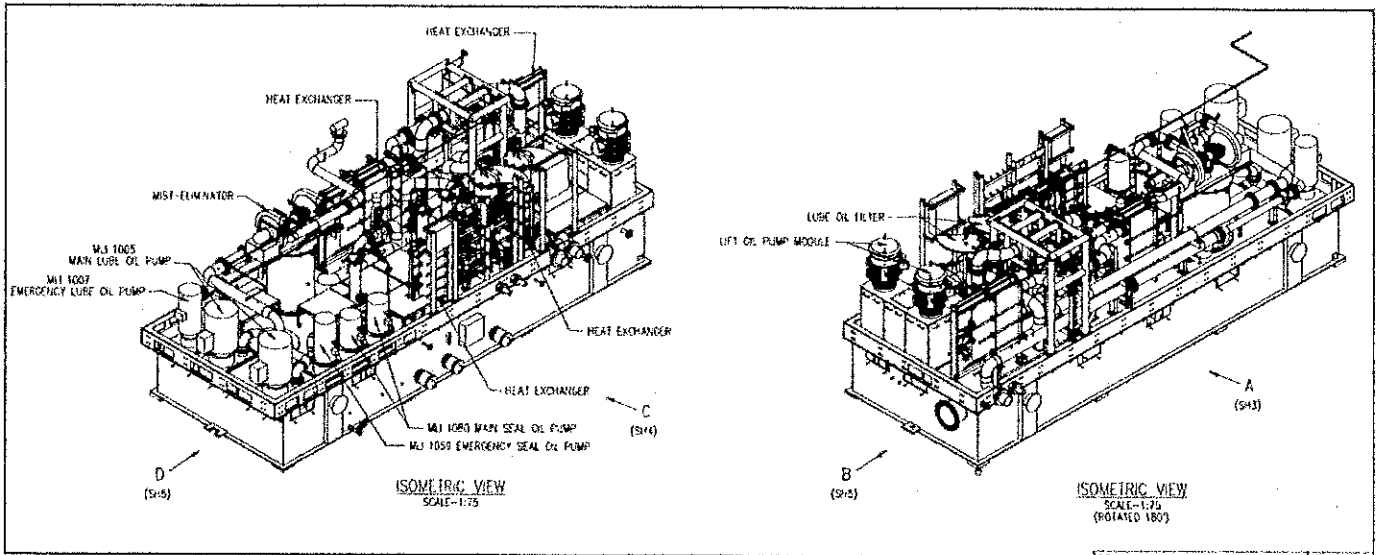


圖 3.10.2 潤滑油槽模組配置圖

(一) 系統概述：(參圖 3.10.2)

1. 潤滑油系統可供應乾淨潤滑油當作高壓介質在轉軸(Rotor)表面及軸承(Bearing)表面形成一定厚度之油膜，從而達到分離及潤滑之效果，並帶走轉子與軸承之間所產生的熱量，主潤滑油泵從油槽抽取潤滑油並加壓送出，經板式熱交換器、過濾器、壓力調整閥至氣渦輪機及發電機的軸承(4 只軸承)及慢車齒輪，最後流回到油槽。
2. 潤滑油系統共設有三台油泵：AC 主潤滑油泵(A)及(B)台及 1 台 DC 緊急油泵，當潤滑油泵出口壓力低於設定值時另一台主潤滑泵會自動起動，如果油壓低於最小設定值時，緊急油泵即自動起動。
3. 潤滑油抽氣扇從油槽抽氣，使油槽內保持負壓，避免潤滑油在軸承處洩漏也幫助油路流動順暢，在油槽與抽氣管路間則設油霧分離器，回收油氣中殘留的潤滑油。
4. 潤滑油槽同時提供潤滑油、封油、頂升油之油源。

(二) 設備簡介：

1. 潤滑油槽：

油槽是潤滑油模組的一部分，油槽內部表面塗有一層耐磨保護塗層，油槽上方平台設置油泵、熱交換器及過濾器等設備，油槽設有液位感測器量測油位高度，油槽負壓約為負 1.4kpa ~ 負 2.49kpa。

液位高度	警報
33.6 in (85.3cm)	high ALARM
28.6 in (72.6cm) / 17871 L	Normal
27.6 in (70.1cm) / 16133 L	low ALARM
9.6 in (24.4cm)	low low ALARM

表 3.10.1 潤滑油槽液位警報設定(依各廠配置或有差異)

2. 潤滑油泵：

潤滑油系統設置兩台主油泵(交流電(AC)驅動的離心泵)及一台緊急油泵(直流 DC 驅動的離心泵)，正常操作條件下，兩台 AC 油泵平常運轉一台，另一台備用，油泵出口管線均有止回閥，避免潤滑油透過未運轉的油泵流回油箱。(參表 3.10.2)

Sensor	警報動作
主油泵出口壓力96QA-1<105Psig	Alarm、主潤滑油泵換台。
主油泵出口壓力96QA-1<83 Psig、 發電機二號軸承進口壓力 96QT-2A、2B、2C<6Psig	機組Trip、令緊急油泵起動。

表 3.10.2 潤滑油槽壓力警報及動作設定(依各廠配置或有差異)

3. 油冷卻器：

共有兩組油冷卻器(板式熱交換器型式)，平時使用一組，另一組為備用，正常情況下，潤滑油的工作溫度應保持於 129°F-159°F (54°C-74°C)。

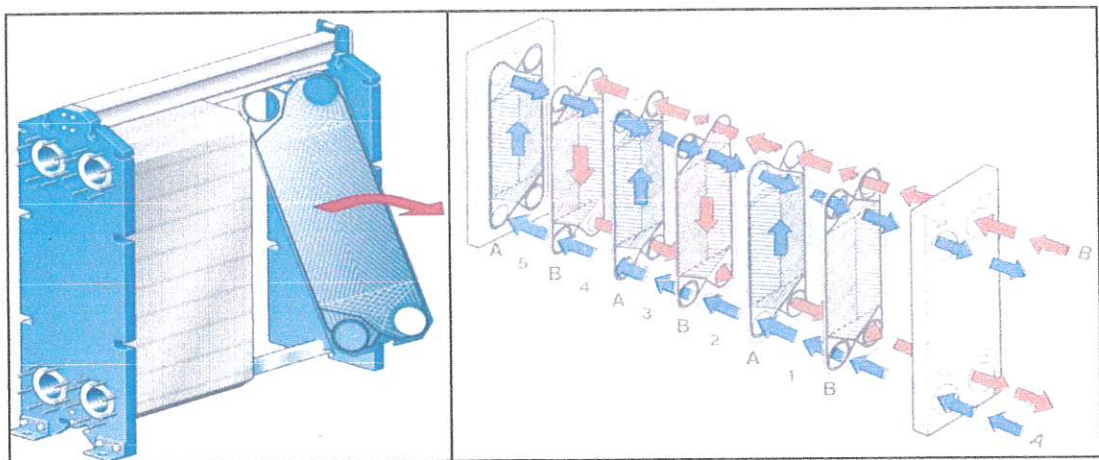


圖3.10.1 潤滑油冷卻器(板式熱交換器)

4. 潤滑油濾網：

共有兩組潤滑油濾網，平時使用一側，另一側為備用，以三通閥控制油路方向，以差壓計(96QQ-1)偵測濾網差壓，當差壓值達 20Psid(138kpad)~25Psid(172kpad)時須做更換。

5. 潤滑油濾網：

共有兩組潤滑油濾網，平時使用一側，另一側為備用，以三通閥控制油路方向，以差壓計(96QQ-1)偵測濾網差壓，當差壓值達 20Psid(138kpad)~25Psid(172kpad)時須做更換。

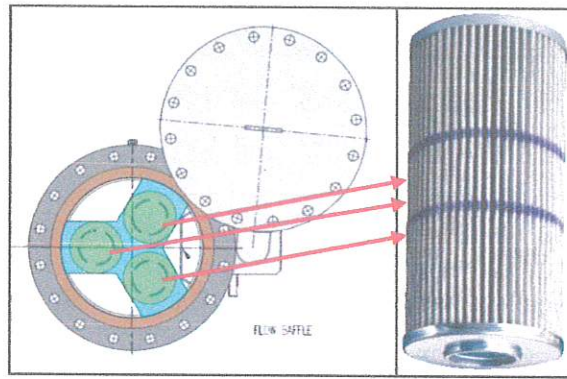


圖3.10.2 潤滑油濾網(筒式)

6. 油霧分離器(Mist Eliminator)：

共有兩路油霧分離器，由抽風扇及濾網組成，平常使用一邊抽風扇，使油槽保持負壓，使油路較順暢，讓油在軸承處時不會溢出，藉由操作抽風扇下游的閥來控制真空度，設有差壓計，當油槽差壓(負壓) $96QV-2 < 1.394 \text{Kpad}$ ，低差壓警報出示並自動換台運轉。

7. 壓力保護裝置(Pressure Protection Devices)：

由代號 96QA-1、96QT-2A、96QT-2B、96QT-2C 四支壓力傳感器所組成的保護裝置，若發生以下狀態，會執行 Trip 程序，並起動緊急油泵。

Sensor	警報動作
發電機二號軸承進口壓力(96QT-2A、2B、2C)任兩支感測器 $< 6 \text{Psig}$	Trip、令緊急油泵起動。
主潤滑油泵出口壓力(96QA-1 $< 83 \text{Psig}$)及 96QT-2A、2B、2C 任一 $< 6 \text{Psig}$	
96QT-2A、2B、2C，96QA-1 任兩支 Bad Quality	
96QT-2A、2B、2C，96QA-1 任一 Bad Quality 及任一低低壓力	

表 3.10.3 潤滑油壓力保護設定 (依各廠配置或有差異)

8. 封油(Seal oil)：

共設有兩台封油泵(AC 電源)，平時運轉一台，另一台備用；另有一台為 DC 電源緊急封油泵，若兩台封油泵故障、壓力不足或交流電源斷電，則緊急封油泵自動起動；封油系統來源為潤滑油槽，有一條獨立的封油管線提供封油系統使用。

9. 頂升油(Lift Oil)：

共有兩台頂升油泵，皆為 AC 電源，在轉子轉速在 1800 rpm 以下時，協助提供轉子一定的油膜高度，降低起停過程中，轉子接觸轉摩擦造成磨損。

Sensor	警報動作
頂升油泵起動限制	潤滑油集管壓力 96QH-1>10Psig(69Kpag)
頂升油低壓力警報	頂升油出口壓力 96QB-3<3465Psig(23890Kpa)
Turning Gear 起動限制	頂升油出口壓力 96QB-3>3400Psig(23442Kpa)

表 3.10.4 頂升油壓力保護設定 (依各廠配置或有差異)

肆、心得與建議：

(一)實習心得與建議：

依據政府能源政策走向，天然氣複循環發電機組在發電系統中所擔任的角色越來越重要，除了既有燃氣電廠每部複循環機組均以基載機組運轉使用外，國內電廠新建燃氣複循環機組也如火如荼興建中，包括大潭電廠八、九號機(GE 7HA.02機型，單機容量382MW)、興達電廠新建一~三號機及台中電廠的兩部機組(GE 7HA.03機型，單機容量430MW)，未來燃氣機組發電量將為發電系統之大宗。

燃氣複循環機組相較傳統燃煤機組有效率高、起停快速、負載反應快之優勢，以天然氣為燃料亦具有環保排放優點(低空氣污染物排放量)，未來要讓這些發電量龐大的機組處於最佳可用率，具備足夠能力且優秀的運轉及維護人員也是不可或缺的一環，因此良好紮實的訓練就顯得相當重要；本次負責訓練課程的美國GE HLC訓練中心，擅於以各國客戶需求與訓練主題安排合適優秀的講師與課程，且有實習工廠可供學員在理論與實務上做驗證，這次受訓期間也同時觀察到HLC為各國現場人員進行機組拆裝的訓練與考核過程，其中包括未來將參與興達電廠新建機組試運轉的GE技師，可見其訓練具備一定程度的水準。

因此建議公司可規劃安排更多相關訓練，若安排人員出國受訓所費不貲，也可考慮請GE指派HLC講師到廠進行運轉與維護相關訓練，對於同仁提升核心職能必定具備極大助益。

惟實習完成回國後因工作極為繁忙且時間有限，課程所學內容及觀念難以在報告中充分展現，且因上課教材多為7HA.02機型相關資訊，報告內容與實際現場情形或許有部分差異，未來還需要與新建機組現場做驗證，希望在結合現場實務後可建立更為完備的資訊供同仁參考。

(二)生活心得與建議：

我們有幸獲派接受本次訓練，長達30天的訓練以及和講師與在地人的交流，不僅因身處英語環境而對於語言能力有極大助益外，對於美國的工作觀念與生活文化亦有相當豐富及深入的

體驗，可見參加國際性之研習課程，確實可擴大視野、激發潛能並提升思考能力。

惟因受限於出國研習費用的相關規定，公派出國超過15日起，日支費用大幅縮減，因美國物價極高，研習人員生活費用相當短絀，可說均須自費以補足生活費用，建議公司如須派員參加較為長期的訓練(15日以上)，可研討有無妥適作為可協助研習人員減輕公派期間的生活負擔，對於同仁專心研習有莫大助益。✓

伍、參考文獻：

- (一) GE Gas Power," TRAINING MANUAL - D654 Steam Turbine Operations",2023
- (二) GE Gas Power," TRAINING MANUAL - D654 Steam Turbine&Generator Maintenance ",2023