

壹、出國研習目的：

大潭計畫第二階段氣渦輪機組為日本三菱公司進步型 M501G，採用高度先進工業技術，具有高效率、低噪音、低污染、運轉容易、維護低廉之特性，其材料之使用、設計理念及安裝、運轉、維護等高級技術確有赴日本三菱公司實習並收集相關資料以作為機組規畫、安裝、運轉、維護之參考使用的必要性。

貳、出國研習內容與過程：

研習內容：

氣渦輪機組設計、安裝、維護、運轉。

研習過程：

94 年 10 月 13 日至 94 年 10 月 13 日－台灣→日本(往程)

94 年 10 月 14 日至 94 年 10 月 26 日－日本(三菱公司實習)

94 年 10 月 27 日至 94 年 10 月 27 日－日本→台灣(返程)

參、氣渦輪機組設計、安裝、維護、運轉實習報告

目錄

- 一、三菱公司 M501G 氣渦輪發電機組概述
- 二、氣渦輪機運轉
- 三、結論與建議

一、三菱公司 M501G 氣渦輪發電機組概述

(一)、氣渦輪發電機組

氣渦輪機組主機分為氣渦輪機與發電機，附屬設備有起動、燃料、氣機空氣進氣、氣機排氣、潤滑油、控制油、氣機冷卻空氣、氣機外殼冷卻空氣、燃氣導筒蒸氣冷卻、氣機壓縮機葉片清洗、發電機氫冷卻、慢車迴轉等系統、另加上控制盤（Control Panels/Cubicles）、馬達控制中心（Motor Control Center）、高壓開關盤（High Voltage Switch-gear Cubicles）、變壓器（Transformers）等成為一完整發電機組。

1、氣渦輪機（Gas Turbine Assembly）

三菱公司 M501G 氣渦機組有 17 級高效率軸流壓縮機（Axial Compressor）引擎由 16 支燃燒器以環狀排列形成，氣機（Turbine）為 4 級；氣機軸冷端與發電機軸以聯軸器連接，空氣由進氣歧管進入壓縮機經壓縮達 20 大氣壓力（Atmospheres）後導入燃燒器與燃氣（Fuel Gas）混合，點火後使燃燒器內混合氣之溫度提升再導入氣機膨脹作功，燃燒氣壓力與溫度下降，其所含熱能轉換為機械能推動氣機轉軸（Turbine Rotor）經聯軸器轉動發電機轉軸（Generator Rotor）發電，作功後之燃氣（Flue Gas）經由排氣道（Exhaust Duct）進入熱回收鍋爐（HRSG）氣機運轉流程如附圖一，氣機縱斷面圖如附圖二，氣機各部之材料如附表一。

(1).氣渦輪機（Turbine）

四級氣機係依電腦 3 象限（Three Dimension）氣流分析結果設計，使氣機具有高氣體動力效率（Aerodynamic Efficiency），同時增加氣體流量，以提升氣機出力；三菱公司 M501G 與 M501F 特性比較如附表二，附表三，而氣機動葉片與靜葉片冷卻方式之改進以及表面加上良好之隔熱層（Thermal Barrier Coating）使得氣機進氣溫度提升至 1500°C，對氣機之出力及效率有良好之助益。三菱公司氣機葉片改進與進氣溫度發展趨勢如附圖三，氣機各級動葉片及靜葉片運轉時之氣流與金屬溫度如附圖三。

(2).氣機外殼（Casing）為水平分開（Horizontal Split）利於維修，壓縮機端軸承殼（Bearing Housing）由徑向支柱支撐（Radial Struts）機殼外部（Casing）則以固定式支撐（Rigid Support）

如附圖四；氣機排氣端軸承殼則由六支切線支柱支撐（**Tangential Struts**）如附圖五，切線支柱可調節熱膨脹維持軸承中心，機殼外部則以吊耳方式支撐（**Trunnion Support**）來吸收氣機外殼軸向與徑向之熱膨脹（**Heat Expansion**）。

(3).轉子(Rotor)基本結構為軸螺栓（**Spindle Bolts**）連結氣機葉輪（**Turbine Disks**）壓縮機葉輪（**Compressor Disks**）以及轉矩管（**Torque Tube**）氣機軸與壓縮機軸間以轉矩管（**Tongue Tube**）連接，氣機葉輪（**Disc**）間設有接合齒（**Curvic Coupling**）壓縮機葉輪間設有轉矩梢（**Torque Pin**）來傳遞扭矩如附圖六、附圖七；第一級及第二級靜葉片及動葉片均有 TBC 遮覆表層（**Thermal Barrier Coating**）作為隔熱及防止腐蝕。

(4).壓縮機為 17 級 20 倍壓縮比軸流式，動葉片前 8 級葉片材質為 17-4 PH（**NiCrCu Steel**）第 9 至 15 級為 12% Cr Steel，第 16.17 級則為 CrMoWV Steel，壓縮機靜葉片 1 至 17 級均為 12% Cr Steel；壓縮機出口端設有 2 級導葉（**Guide Vanes**）用以導正出口氣流。

(5).燃燒系統（**Combustion System**）燃燒系統含 16 支燃燒器及燃料噴嘴（**Combustors & Fuel Nozzles**）點火系統（**Ignition System**）火焰偵測器（**Flame Detectors**）各燃燒器間以導火管（**Cross Flame Tubes**）連接以傳導火焰如附圖八，本系統配備乾式低氮氧化物 DLN(Dry Low Nox)燃燒器，並配有旁通閥（**Bypass Valves**）如附圖九，可直接引導空氣進入燃氣導筒（**Combustion Liners**）在啟動時可加強火焰穩定度，在加載時保持所需燃料空氣比（**Fuel/Air Ratio**）該閥在全載時（**Full Load**）為全開；燃氣導筒材質為鎳基超合金（**Nickel Base Super Alloy**）管壁使用蒸氣冷卻如附圖十；16 支燃燒器中 2 支(NO.2 & NO.3)裝有火焰掃描器（**Flame Scanners**）另 2 支（NO.10 & NO.11）裝有點火器（**Spark Plugs**）如附圖八，另為監視各燃燒室內之壓力與溫度而設有一套壓力變動監測系統（**Combustion Pressure Fluctuation Monitor System**）氣機基本上之控制系統有 Blade Path Temperature 監測及 Exhaust Gas Temperature 監測等提供氣機實質上之保護，而燃燒器壓力變動監測系統乃引用先進的偵測器，於每一燃燒器設一只壓力變動偵測器（**Pressure Fluctuation Sensor**）共 16 只，另於#3、#7、#11、#15 燃燒器各設 Acceleration Sensor 共 4 支，如附圖十一，來監測燃燒器內部以提供氣機更進一步之保護，此系統監測值可立即判定燃燒器內之情況並自動提供警告（**Alarm**）快速降載（**Run Back**）或跳機（**Trip**）來保護

氣機，避免燃燒器損壞碎片（Fracture）進入氣機而損及氣機葉片，另外一方面監測值可據以判定燃燒器異常之原因如燃燒氣（Combustion Air）不足（進氣系統堵塞） 燃燒器旁通氣閥（Bypass Valve）異常打開，壓縮機進口導翼（Inlet Guide Vane）異常關閉，甚至電力系統不穩定導致發電機輸出之突然改變所引起燃燒器內壓力變動等，除此之外監測值亦可做為機組運轉時燃燒器燃燒調整之依據將燃燒狀況調整（Tuning）至最佳狀況。

2、潤滑油系統（Lubrication System）

潤滑油系統提供氣機、發電機、勵磁機、轉動齒輪等所需之潤滑油，並供應發電機氫封油、氣機支撐腳（Turbine Supports）冷卻、機組跳脫油等系統用油，當低油壓、高油溫時氣渦輪發電機組保護系統使機組不能運轉；本系統設備裝置於潤滑油槽頂部，潤滑油經油泵加壓流經冷卻器、過濾器、壓力調節閥至氣機、發電機各軸承及轉動齒輪等，經回油管流入潤滑油槽。系統設有兩台 AC 馬達轉動之主油泵、一台做為備用，另設一台 DC 馬達轉動之緊急油泵，當主油泵出口壓力低於設定值時，備用油泵起動，若主油泵出口壓力仍低於設定值則 DC 緊急油泵自動啟動，在緊急油泵運轉狀況下，供給軸承之潤滑油管線油壓低於設定之最低值時，則潤滑油不經過冷卻器、過濾器、壓力調節器閥而經由旁通管直接供給各軸承潤滑及發電機氫封系統。

供油管線裝設有熱偶器（Thermal Couples）提供信號以控制潤滑油進入冷卻器之流量，使潤滑油溫保持於一定範圍內，在此範圍外之油溫氣機不得啟動。潤滑油槽空氣側裝設有油氣抽除機（Vapor extractor）抽取油氣，並使油槽空氣側呈少許真空（Vacuum）狀態，以利系統潤滑油回流，而油槽之空氣側與各供油軸承室之空氣側連接使之亦呈輕微真空狀態可避免潤滑油向大氣側洩漏。

當機組運轉時一台主油泵運轉供油、若泵出口壓力低於設定值時備用油泵啟動，而油集管上設有三支壓力開關、任一支壓力低時即提供警示訊號，油壓續降低於設定值並有任兩支壓力開關動作則氣機控制系統立即跳脫氣機，同時起動緊急油泵；在各軸承及軸承回油管均裝設熱偶器（Thermocouples）以傳送各點之溫度供氣機控制，並於溫度達設定值時起動警告訊號。

潤滑油系統主要設備及功能：

(1).主潤滑油泵—兩台同規格之 AC 主油泵，可於馬達控制中心任選

一台運轉、另一台為備用，以提供潤滑油、發電機封油、以及氣機超速跳脫油等。

- (2).警急潤滑油泵 – 由 DC 馬達運轉之離心式油泵、當兩台 AC 主油泵失能時運轉，以提供潤滑油至各軸承、慢車轉動齒輪、發電機封油。
- (3).止回閥 – 各油泵出口均設置以防止油倒流以及導致油泵反轉。
- (4).潤滑油槽 – 保持足夠油量以供運轉，油槽空氣側用抽氣機抽除油氣並使呈負壓，油槽空氣側與各軸承空氣側連通以抽除各軸承內之油氣。
- (5).潤滑油加熱器 – 潤滑油槽內設有兩支浸入式加熱器，由熱偶器傳送信號至 GT 控制系統來啟動或關閉加熱器，使潤滑油溫高於 GT 啟動所需之最低溫。
- (6).油槽油位計及開關 – 油槽設有油位顯示器及開關以傳送信號至 GT 控制系統提供低油位警告信號。
- (7).油槽洩放閥 – 設於油槽底部以洩放沉積物、水及油等。
- (8).油氣分離器 – 用以濾出潤滑油槽油氣抽除機排出油氣中之潤滑油並流回油槽。
- (9).油氣抽氣機 – 於油氣分離器下游設有兩台油氣抽氣機，一台運轉、一台備用，運轉時可使油槽呈負壓狀態。
- (10).真空傳送器 – 設於油槽以指示油槽內真空度並傳送至 DCDAS、低真空度（槽內壓力高時）可發出警告。
- (11).潤滑油冷卻器 – 設有兩只由冷卻水冷卻之冷卻器，一只運轉、一只備用，以使潤滑油保持適當油溫。
- (12).潤滑油溫控制閥 – 係一三通閥，設於潤滑油冷卻器出口端，用以控制流經冷卻器之油量，使油溫保持適當；所需信號由控制閥下游之溫度偵測器傳送溫度至 DCDAS 後傳達。
- (13).潤滑油蓄壓器（Accumulators） – 四只充氮氣囊式蓄壓器設於潤滑油供應管線上，可穩定油壓，防止因油泵切換運轉時油壓變動導致氣機跳脫。
- (14).潤滑油過濾器（Filter） – 為一立式併聯雙過濾器，二過濾器間設一切換閥，當一只過濾器使用中，另一只過濾器為備用，過濾筒為紙質 5 微米摺狀。過濾器上下游設置差壓開關、差壓器、隔離閥及平衡壓力用聯通管，聯通管設有隔離閥，每一過濾器亦設排氣管通往油槽。

- (15).迴轉齒輪 – 由 AC 馬達轉動使氣渦輪發電機組轉軸以 3rpm 轉速轉動，避免轉軸因靜止彎曲。
- (16).潤滑油壓力調節閥 – 設於過濾器下游，為一彈簧負荷式，膜片作動調壓閥，可保持供給軸承之油壓穩定。
- (17).潤滑油溫熱偶器 – 設於軸承潤滑油集管上，於油溫達上限時可啟動警告。
- (18).氣機支撐冷卻 – 潤滑油系統提供一部份潤滑油至氣機支撐作為冷卻劑，最終流回油槽。
- (19).軸承熱偶器 – 於發電機、氣機、勵磁機之各軸承金屬及潤滑油回流處設有熱偶器以傳送油溫信號，並於油溫超出設定值時啟動警告。
- (20).壓力開關、壓力指示計、壓力傳送器 – 於兩台主油泵之出口管路設置壓力指示計及壓力開關。
- (21).軸承供油管壓力傳送器 – 提供油壓至氣機控制系統並顯示於顯示器上，低油壓時出示警告並啟動備用油泵。
- (22).軸承供油管壓力開關 – 三只壓力開關設於軸承供油管。功能如下：
 - a.三只壓力開關其中任二支動作時、氣機出示警告並跳脫。
 - b.三支壓力開關均指示油壓正常時方可啟動氣機。
 - c.三支壓力開關任二支指示低油壓會啟動緊急 DC 油泵。

3、氣機超速跳脫系統

當氣機控制系統失能(Failure)氣機轉速增加時跳脫氣機，本系統由潤滑油泵加壓，並以縮孔板(Orifice)限制流入油量，當三只洩油閥任一只開啓時因流入油量被縮孔板限制導致系統油壓下降，使得燃氣關斷閥關閉停止燃氣供給，並開啓燃氣通氣閥，使氣機停機。

當氣機啟動時超速跳脫電磁閥關閉以加壓本系統使燃氣關斷閥開啓，燃氣通氣閥關閉。

- (1).跳脫油系統壓力下降(跳脫氣機)之三因素：.
 - a.當電磁閥失效時即開啓洩油。
 - b.當設於氣機排氣端軸承上機械跳脫機構因氣機超速時動作使油洩放。

c.緊急時因手動操作洩油。

(2).系統主要構件：

a.超速跳脫油系統壓力開關—三只開關任兩只測得油壓未達設定值氣機無法起動。

b.機械超速跳脫裝置—裝置於氣機轉軸，當轉軸超速時離心力量使偏心之重錘克服定位彈簧壓力向外移而起動洩油機構，達到跳脫氣機。

c.超速跳脫電磁閥（Overspeed Trip Solenoid Valve）—設於超速油管上，機組啓動運轉時爲關閉狀態以使系統油壓建立，在停止運轉(Shut Down)時該閥打開釋放超速跳脫油。

d.超速跳脫引導閥（Overspeed Trip Pilot Valve）—當機組停機（Shutdown）或超速時，超速跳脫油經洩放系統飼服機構打開此 閥洩放高壓控制油（Control Oil）使燃氣流量控制閥（Flow Control Valve）關閉。

e.其他尚有過濾器（Filter）防止固體微粒（Solid Particles）進入本系統。充氮囊型（Bladder Type）蓄壓器（Accumulator）以穩定系統油壓。

4、氣機冷卻系統

氣機冷卻系統（Turbine Cooling Air System）—氣機冷卻空氣具有兩個功能，除了冷卻暴露於高溫熱氣之組件外，並保持氣機運轉時定點工作環境所需之溫度、壓力，故有相當比例之冷卻空氣用作封氣如附圖十二、附圖十三。

M501G 氣機有著與 M501F 相似之冷卻系統，其包含一條轉子冷卻通路及四條定子冷卻通路如附圖十四、附圖十五；轉子冷卻空氣由燃燒器外殼（Combustor Shell）引出經冷卻器（Air-to-Water Cooler）冷卻過濾後一部分供作封氣，一部分作爲氣機葉片盤（Discs）及第一、二、三級動葉片（Blades）之冷卻用並於葉片表面及葉輪表面形成一熱氣隔離層（Thermal Boundary）隔離熱氣如附圖十六、附圖十七；氣機冷卻空氣冷卻器係引用高壓鍋爐飼水泵（HP Boiler Feed Water）出口端之飼水來冷卻，飼水流經冷卻器後併入由高壓節熱器（HP Economizer）流出之飼水進入高壓氣鼓（HP Drum）第二級靜葉片冷卻空氣則由壓縮機第十四級引出經冷卻器（2C Cooler）冷卻後導入氣機外殼由 Shroud 進入葉片再由

排氣端點 (Trailing Edge) 進入熱氣流中。由壓縮機第六、十一級引出之壓縮空氣分別導入第四、第三級葉環孔 (Blade Ring Cavities) 及靜葉片、葉片環 (Vane Segments & Ring Segments) 作為冷卻空氣如附圖十六，第一級靜葉片 (Vane) 則直接引用壓縮機出口端之空氣經 Shroud 進入空心的靜葉片，再由葉片排氣端點 (Trailing Edge) 進入熱氣流中，如附圖十八。空氣冷卻器冷卻水之流量控制閥由氣機控制系統依設定之冷卻空氣溫度控制流量大小。

冷卻空氣系統主要組件：

- (1). 空氣冷卻器 (Cooling Air Cooler) — 用以冷卻轉子用冷卻空氣、冷卻器空氣側底部設三只水位開關、當任兩只偵測到水位達設定值則跳脫氣機。
- (2). 空氣過濾器 (Cooling Air Filter) — 用以過濾轉子用冷卻空氣。
- (3). 第二級靜葉片冷卻空氣冷卻器 (2C Cooler) — 冷卻從壓縮機第 14 級抽出之壓縮空氣用以冷卻第二級靜葉片，冷卻空氣之溫度於初次運轉時由手動控制冷卻水流量調整閥調整，運轉時不需再調整。

5、啓動系統

利用閘流 (Thyristor) 技術將發電機作為馬達以轉動氣機轉子 (Turbine Rotor) 來起啓動氣機，本系統含有具變壓、變頻之閘流啓動設備，控制盤、發電機轉子角度監視器。

6、慢車迴轉系統 (Turning Gear System)

為馬達及齒輪機構使氣渦輪機組轉軸於慢速迴轉中作為停機時使氣機均勻冷卻，待機迴轉則可協助氣機起動時克服轉子由靜止狀態迴轉所需扭距；當迴轉馬達無正常電源供應時，緊急柴油機發電系統起動供給後備電源。

7、控制油系統

本系統為一密閉循環系統 (Closed Loop System) 由兩只 AC 馬達驅動之主油泵 (一只為備用) 供給正常運轉所需控制油，主油泵

故障則由輔助油泵供油，經過濾後提供高壓控制油予氣機燃料系統 7 只燃料控制閥飼服機構（Fuel Gas Control Valve Servos） 燃燒器旁通閥驅動器（Combustor Bypass Valve Actuator）以及氣機壓縮機進氣導葉驅動器（Inlet Guide Vane Actuator）作為驅動介質。

(1).系統運轉（Operation） 當系統啟動時主油泵啟動運轉，使控制油供給至前述機構如壓力低於設定值備用油泵啟動以維持油壓。

(2).系統主要構件：

- a.兩只軸向塞泵（Axial Piston Pumps）—提供系統所需高壓油，一只運轉時另一只為備用。
- b.供油釋壓閥（Relief Valve）—當系統供給油壓超過設定值時打開釋壓並使油回流至油槽。
- c.回油釋壓閥（Relief Valve）—當回油油壓高於設定值打開釋壓，以保護油冷卻器（Control Oil Cooler）。
- d.蓄壓器（Accumulator）—三只充氮蓄壓器用以穩定系統油壓，尤其當備用油泵啟動時。
- e.供油過濾器（Filter）—兩只全流量過濾器（一只為備用）用以濾除雜物、防止飼服機構堵塞並設有壓差開關及壓力指示器。
- f.壓力傳送器—設於過濾器下游用以傳送油泵出口油壓，當低油壓時啟動備用油泵。
- g.壓力開關—設於過濾器下游用以偵測油壓，當三支中任兩支偵測到低油壓將跳脫氣機。
- h.飼服閥—依氣機控制系統訊號調節控制油至各控制閥及驅動器，如氣機超速時，超速油被釋放，控制油被關斷使燃料流量控制閥關閉，停止燃料供應。
- i.回油過濾器—設於油冷卻器上游用以濾除回油之雜物。
- j.油冷卻器—設於回油路進油槽前，由冷卻水流量來控制油溫。
- k.油槽—用以接收回流控制油，設有油位開關、加熱器、加油過濾器/呼氣器。
- l.清潔組（Cleaning Unit）—係一靜電淨油組，用以收集油中微粒，充電後可將油中微粒（Fine Particles）吸附於收集筒（Collector Cartridge）。

8、燃氣系統（Fuel Gas System）

M501G 氣機使用 Dry Low NDx (DLN) 燃燒技術以天然氣為燃料。燃氣依機組運轉所需經由控制油控制之燃氣關斷閥、壓力控制閥、流量控制閥後進入氣機燃燒器。本系統含有流量計（Fuel Gas Flow Meter）加熱器（Fuel Gas Heater）過濾器（Strainer）及其附屬儀控設備。

天然氣進入氣機 B 架(B Rack)分爲 The Pilot Line、Main Line、Tophat Line 三條供氣管線；各供氣管線由壓力控制閥及流量控制閥以控制適當壓力流量之天然氣進入各燃氣噴嘴。

在氣機啓動時氣機控制系統使燃氣關斷閥（Fuel Gas Shut Off Valve）開啓，同時關閉排氣閥（Fuel Gas Vent Valve）並使燃氣 Pilot 及 Main 壓力控制閥（Pressure Control Valve）於控制狀態，而流量控制閥（Flow Control Valve）於點火開度位置（Ignition Lift Setting）此時燃氣 Tophat 之壓力及流量控制閥則為關閉狀態。

於點火期間點火器 Turn On，點火完成或點火時間終了，點火器 Turn Off；氣機加速至負載運轉，各管線燃料之流量（Flow Rate）依氣機運轉狀況供給，Main 及 Pilot 在運轉過程中皆有燃料流量而 Tophat 僅於 35% 至 100% 階段供燃氣。

氣機控制系統依據氣機出力需求控制流量控制閥（Flow Control Valve）流量，而上游之壓力控制閥依已設定值來控制各管線燃氣之壓力；當氣機控制系統需關斷燃料供應時，氣機跳脫油失壓使燃料關斷閥（Fuel Gas Shut Off Valve）及流量控制閥（Flow Control Valve）因 O.S.T（Over Speed Trip）油失壓而關閉，停止燃料供應，關斷閥及流量閥同時關閉可確保燃料不流入氣機，並於同時打開通氣閥使關斷閥至流量閥間之燃氣排放至安全之大氣中。本系統設流量計以計算流量；燃氣加熱器加熱燃氣來提高氣機效率，燃氣加熱器所需熱源由中壓節熱器（Economizer）出口之中壓飼水提供，中壓飼水經燃氣加熱器再進入後端冷卻器（After Cooler）後併入冷凝水（Condensate Water）流入低壓節熱器（LP Economizer）溫度控制閥以控制流經加熱器之燃氣而控制進入氣機燃燒室之天然氣溫度；天然氣過濾器以濾除天然氣中含有之粒狀物；溫度熱偶器以偵測溫度經 DCDAS 控制天然氣溫度控制閥之開度（Position）使天然氣溫度達氣機所需溫度，當天然氣溫度超過氣機 Runback 設定溫度時，氣機迅速 Runback 降至半載；壓力開關以偵測燃氣壓力，當壓力低於設定值可跳脫氣機。

燃氣系統（Fuel Gas System）主要設備及功能：

- a.壓力傳送器－提供燃氣壓力至氣機控制系統以監視供氣壓力，於壓力低於設定值啓動警告訊號。
- b.燃氣關斷閥－由 OST 油壓控制，當系統需關斷燃氣時 OST 油失壓、關斷閥即迅速關斷燃氣。
- c.燃氣通氣閥－於燃氣關斷閥關斷時開啓來排放關斷閥至流量控制閥間之燃氣。
- d.燃氣壓力控制閥－由流量控制閥上下游之差壓值經 DCDAS 以控制燃氣壓力控制閥之開度。
- e.差壓傳送器（Differential Pressure Transmitters）－於各供氣管線之流量控制閥均裝設差壓傳送器，提供差壓值予氣機控制系統以決定壓力控制閥之開度（Position）。
- f.燃料流量控制閥－依氣機控制系統控制 Pilot、Main 及 Tophat 三管線之燃氣流量至氣機燃燒系統；當氣機停機或跳脫時（超速跳脫油失壓）全部流量控制閥立即關閉。
- g.燃氣歧管壓力傳送器－傳送進入燃燒器前之燃氣歧管壓力供氣機控制系統監視燃氣壓力。
- h.點火器－一台氣機設有兩支點火器以供氣機啓動時程中點燃天然氣，分別設於第 10 及第 11 燃燒器，由空氣驅動器驅動進入燃燒器，點火完成時關斷驅動器空氣，點火器由彈簧縮回，離開火焰區避免高溫損毀。
- i.火焰偵測器－於氣機第 2 及第 3 燃燒器內各設有兩支，當 4 支均測得火焰，氣機控制系統認定點火完成。
- j.燃燒器壓力變動偵測器－16 只燃燒器各配設乙支以偵測燃燒器內壓力變動信號至氣機控制系統，依壓力變動頻率之區分可啓動警告（Alarm）迅速降載（Runback）跳脫（Trip）等控制。
- k.天然器加熱器水位開關－設有兩支水位開關，當加熱器內凝結水位高時發出警告並開啓天然氣旁通閥，關斷加熱水，若達一定水位則氣機快速降載（Runback）。

9、點火系統（Ignition System）

當氣機啓動時設於燃燒筒（Combustor Basket）上之 2 只火星塞點燃燃氣，各燃燒筒間之導火管（Cross Flame Tube）將火焰傳導

至各筒。

10、控制系統（Control System）

控制系統可分為三部份：

- (1) .速度調整及溫度控制（Speed Governing and Temperature Control）系統，具有速度控制、負載控制、葉片通路（Blade Path）溫度控制、排氣溫度控制、燃料限制控制、進氣導葉控制、燃燒器旁通閥控制、燃氣導管冷卻蒸汽控制等功能。
- (2) .保護（Protection）系統，設有多點溫度監測功能，提供信號予控制系統作為超溫警告或跳脫之判定，另有轉軸超速跳脫、軸承振動警告/跳脫、燃燒器火焰監測等保護。
- (3) .程序（Sequential System） 微處理控制系統加上開關接觸訊號等之接收經邏輯功能來控制氣渦輪機組之啟動、加速、加載、卸載、跳脫，控制系統所需之訊號由現場之壓力開關、壓力監測器、溫度監測器、速度監測器、振動監測器、極限開關、按鈕等傳入接收經程式處理後執行輸出，驅動機組各系統運作。

11、空氣進氣系統（Inlet Air System）

氣機進氣系統（Inlet Air System）含有三層過濾網之進氣過濾室用以濾除空氣中微粒（Particles）供氣機燃燒所需空氣，並於進氣通道內裝消音器（Silencer）以減低氣體流動所生噪音，空氣經過濾後由空氣導管導入氣渦輪機壓縮機。

系統主要構件：

- a.空氣過濾器（Filter）— 分為初濾網（Pre-filters） 高效能濾網（High Efficiency Filters）及後端高效能濾網（Final High Efficiency Filters） 三層濾網用以濾除空氣中之微粒，避免壓縮機葉片為污染物附著及腐蝕（Fouling & Erosion）。
- b.差壓開關（Differential Pressure Switchs）— 每一級過濾器均設有壓差開關，當差壓開關達設定壓力時提出警示，表示過濾器堵塞。
- c.差壓傳送器（Differential Pressure Transmitters）— 過濾器室內三級過濾器均設有差壓傳送器，將壓力值傳至氣機控制系

統。

d.空氣旁通門（Bypass Door）—過濾氣室三級過濾器下游通道壁設有多只反平衡式（Counterbalanced Type）旁通門，當通氣道內因過濾器堵塞而產生負壓（真空）時，大氣壓力將旁通門向入開啓使空氣進入通氣道，防止通氣道及壓縮機損壞。

12、排氣系統（Exhaust Gas System）

排氣系統（Exhaust Gas System）由排氣管、膨脹接頭、鋼結構等組成，將氣機排氣（Flue Gas）導入熱回收系統（Heat Recovery System）排氣導管上游接近第 4 級靜葉片（Vane）裝設 16 支熱偶器（Thermocouples）用以偵測並傳輸氣機控制系統所需之溫度及警告，另於較下游設 6 支熱偶器傳輸溫度予控制系統作為排氣溫度控制（Exhaust Temperature Control）時負載之控制。前述 16 支熱偶器之偵測值經控制系統可得知燃燒器燃燒情況，超出設定值可發出警告或緊急降載（Runback）或跳機（Trip）而每支熱偶器對應著特定之燃燒器可供檢修之依據。排氣道亦裝設有壓力傳送器（Pressure Transmitter）以供氣機控制系統來監視排氣壓力，過大之排氣背壓，會使熱排氣進入排氣端軸承室，故當排氣壓力大於設定值控制系統會發出警告訊號；另設有三只壓力開關當任兩只測得排氣壓力達設定值，氣機控制系統將氣機跳脫（Trip）。

13、氣機壓縮機進氣導葉及空氣排放閥

為改善氣機壓縮機啓動時之湧流（Surge）以及在啓動或停機時之失速（Stall）氣機壓縮機進氣口裝設有可變角度之進口導翼（Inlet Guide Vanes）並於壓縮機第 6、第 11 及第 14 級處分別設置空氣排放閥（Bleed Valves）進氣導翼由高壓控制油控制，初步加速時位置在半開狀態直至氣機轉速達 2700rpm 再漸關，氣機轉速 3100rpm 至機組負載 110mw 保持全關，負載達 110mw 以上則全開，停機時（Shutdown）全關。

空氣排放閥由儀用空氣控制，當氣機啓動時第 6 級第 11 級空氣排放閥為全開狀態直至氣機轉速達 3600rpm，此時速度訊號控制使空氣排放閥關閉，當氣機停機（Shutdown）燃料關斷時空氣排放閥打開，壓縮機空氣由管路排放至氣機排氣道內，而第 14 級之空氣排放閥僅於氣機停機時（Shutdown）開啓以排放高壓氣流來避

免壓縮機之湧流（Air Surge） 無論是正常停機或緊急停機當燃料關斷時，空氣排放閥開啓，同時進口導翼關閉。本系統含有進口導翼驅動器（IGV Actuator） 位置指示器（Position Indicator） 壓縮機空氣排放閥（Compressor Pressure Bleed Valves）。

14、氣機包封（Enclosure）

爲鋼板內襯以隔音(熱)材料及穿孔板(Perforated Liner)以隔絕噪音及熱氣，其室頂(Roof)則爲可拆式，於機組大修時拆除以利工作，包封設有進出門以利日常之巡視及維修，並設自動通風機系統以維持機組之一定溫度，並於消防系統起動時自動關閉。

15、壓縮機葉片清洗系統（Cleaning System）

爲一濕式手動操作模組，供 4 部氣機壓縮機葉片（Rotating & Stationary Blades）清洗；可清除附著於葉片上之灰塵、油氣等不潔外來物，來維持壓縮機效率，清洗模式分爲機組運轉中及停機（On-line & Off-line）清洗，每一模式有一組歧管（Manifold）及噴嘴（Spray Nozzles） 噴入點爲壓縮機進氣導葉（IGV）前之進氣總成（Plenum） 系統含 2 台 AC 馬達驅動之水泵、水槽、過濾器、清潔劑槽等。

16.燃氣導筒蒸汽冷卻系統

當氣機運轉時氣機進氣溫度達攝氏 1500 度，爲保護燃氣導筒（Combustion Liners） 需連續供應蒸汽來冷卻，蒸汽主要來源爲中壓過熱器（IP Superheater） 當中壓過熱器未能供給時由輔助蒸汽管線提供，而高壓蒸汽則於氣機啓動或中壓蒸汽不足時補充供給蒸汽。冷卻蒸汽經燃氣導筒後流回再熱蒸汽管進入中壓蒸汽渦輪機(IP Steam Turbine)，若蒸汽渦輪機未運轉則蒸汽洩入冷凝器（Condenser）系統。氣機啓動前冷卻蒸汽管及燃氣導筒需引用輔助蒸汽先行加溫(Warm Up)，加溫完成後氣機點火啓動程序繼續至並聯，輔助蒸汽流回至冷凝器，氣機並聯後當高壓蒸汽建立時改由高壓蒸汽來冷卻燃氣導筒。當中壓蒸汽建立則轉由中壓蒸汽冷卻，高壓爲備用狀態。

當氣機停機 (Shutdown) 蒸汽供給閥關斷，導入儀用空氣作為燃氣導筒冷卻蒸汽清靜空氣 (Purging Air) 將殘留蒸汽清除至閃化 (Flash) 系統避免蒸汽凝結；本系統設有壓力控制閥 (Pressure Control Valves) 過濾器、壓力傳送器 (Pressure Transmitters)、溫度熱偶器 (Thermocouples)。

17. 儀用空氣系統 (Instrument Air System)

氣渦輪機組運轉時輔助設備、氣動閥 (Pneumatic Valves) 所需儀用空氣由整廠之儀用空氣系統供給。系統氣壓過低時由壓力開關 (Pressure Switch) 提供控制系統發出警告訊號；本系統提供氣機 NO.1 軸承震動偵測器之冷卻用空氣，同時作為 NO.1 軸承封氣備用氣源以及氣機燃燒器冷卻蒸汽管之清潔空氣 (Purge Air)。

18. 氣機外殼冷卻系統 (Casing Cooling System)：

當氣機停機 (Shut Down) 時外殼溫度很高，上殼 (Upper Casing) 不易降溫而下殼則較容易降溫，如此上熱下冷使機殼有如貓背般彎曲之現象稱為貓背 (Cat Back) 在此一狀況下氣機不得啟動，為減緩貓背由機殼冷卻風機送冷卻空氣進入氣機使上殼與下殼冷卻速度接近而不產生貓背狀況，如本系統不能運轉時可以氣機轉軸轉動 (GT Cooling Spin) 來減低貓背狀況。

系統主要構件 (Components)：

- a. 冷卻風機 (Cooling Fan) — 1 台 100% 供一部 G/T 使用、為 AC 馬達帶動之離心風機，風機進口端設一活頁導翼 (Flap Type Vane) 用以控制空氣流量。
- b. 冷卻空氣關斷閥及供氣閥 (Cooling Air Shut Off Valve & Supply Valve) 當停止供氣時，兩閥一齊關斷防止 Cooling Air 進入氣機，而氣機運轉時防止氣機壓縮空氣進入本系統。

(二)、氣渦輪機運轉：

M501G 氣渦輪機組以能提供最大運轉可靠度 (Reliability) 彈性 (Flexibility) 以及簡易性 (Simplicity) 來設計，可由遠距控制區自動控制或由現場控制室 (LCP—Local Control Package) 之控制盤按鈕來啟動或停止，運轉模式如下：

1、待機（Stand-by）

電氣設備所需電源由既有電網（Utility grid）提供，輔助設備控制開關（Control Switch）置於自動（Auto）位置，設備於如下待機狀態（Stand-by Condition）：

- (1).潤滑油系統運轉中，潤滑油循環流通於各需潤滑油系統。
- (2).電池保持於充滿狀態（Full Charged）。
- (3).氣機及發電機轉軸由慢車迴轉機轉動中。

2、啓動（Starting）：

啓動程序是自動的，當系統於待機狀態啓動信號燈亮，啓動按鈕按下後，啓動設備起動，將氣機轉動至點火速度 720 rpm，燃料注入燃燒器並點火，且持續加速至設定轉速，起動馬達停止運轉，氣機保持短暫運轉使氣機熱機（Warming）後，機組可加載信號燈亮起。

3、運轉（Running）：

機組自動併聯並加載至設定負載值，機組可由手動操作併聯及增加負載。

4、停機（Shutdown）：

當 stop 按鈕按下機組負載逐漸下降至最低負載時，發電機主斷路器（Generator breaker）打開。氣機機組脫離系統而以少許燃料運轉來冷卻氣機（Cooling Down）隨即切斷燃料，氣機轉速下降至待機狀態。氣機機組保護系統跳脫(Trip)或手動跳脫則發電機主斷路器立即打開，燃料供應立即切斷使氣機轉速下降至待機狀態。

三、結論與建議

（一）、結論：

大潭發電計畫於第一階段一號機及二號機裝設三菱公司 M501F 氣渦輪機組，第二階段第三號機至第六號機裝設三菱公司 M501G 氣渦輪機組，氣機基本構造無甚差異，主要不同點如下：

- (1)M501G 氣機第一級靜葉片進氣溫度提昇至攝氏 1500 度，燃燒器至第一級靜葉片間之燃氣導筒 (Combustion Liner) 必須用蒸汽冷卻。
- (2)M501G 氣機啓動方式改由發電機加裝閘流設備 (Thyristor) 當起動馬達來加速氣機轉子。
- (3)M501G 氣機輔機設備冷卻系統用水由廠用水提供，不設獨立之冷卻循環水系統。
- (4)發電機改以氫冷式。
- (5)M501G 為單一燃料-天然氣 (LNG) 亦裝設燃燒器壓力變動監測系統 (Combustion Pressure Fluctuation Monitor System) 以保護氣機。
- (6)M501G 設有兩只 AC 潤滑油泵，一只為備用。

(二)、建議事項：

大潭計畫第一階段六部 M501F 機組主潤滑油泵由氣機轉子帶動，另僅設一輔助油泵，輔助油泵若故障則機組不能啓動，影響氣渦輪機組能快速啓動併聯發電之效能，故於三菱公司與其技術人員討論此問題是否有改善對策，惟因大潭合約僅述明設有由氣機主軸帶動之主油泵則設一輔助油泵即可，且目前 M501F 機組啓動模組 (Package) 內空間不足，加裝一輔助油泵不可行，故建議每三部氣機購備一台輔助油泵存庫以備不時之需。

- ## (三)、職奉派赴 日本三菱公司實習
- 大潭計畫氣渦輪機並參觀製造廠對氣渦輪機有更深之認識與瞭解，獲益良多，對大潭計畫氣機之裝機及運轉有所助益，並感謝各級主管之提攜與指導順利完成實習任務。

Major Material used in Gas Turbine



		Row	Material
Turbine	Disk	1~4	3.5 NiCrMoV (Alloy Steel)
	Blade	1~4	MGA 1400
	Vane	1~4	MGA 2400
Compressor	Disk	1~10	3.5 NiCrMoV (Alloy Steel)
		11~17	2 $\frac{1}{4}$ CrMoVNb (Alloy Steel)
	Blade		17-4PH (Alloy Steel) 12% Cr (Alloy Steel)
	Diaphragm		12% Cr
Torque Tube			3.5NiCrMoV (Alloy Steel)
Spindle Bolt			NiCr (IN718, Super Alloy)
Casing	Compressor Inlet Casing		FCD450 (Cast Iron)
	Compressor Casing		SB46 (Cast Steel)
	Comp. & Combustor Casing		SCPH21 (CrMo Steel)
	Turbine Casing		SCPH21 (CrMo Steel)
	Exhaust Casing		CrMo (Alloy Steel) ASTM A387
	Exhaust Manifold		SUS410, Martensitic Stainless Steel
Combustor	Basket		Hastelloy X
	Transition Piece		Tomilloy



Performance Comparison

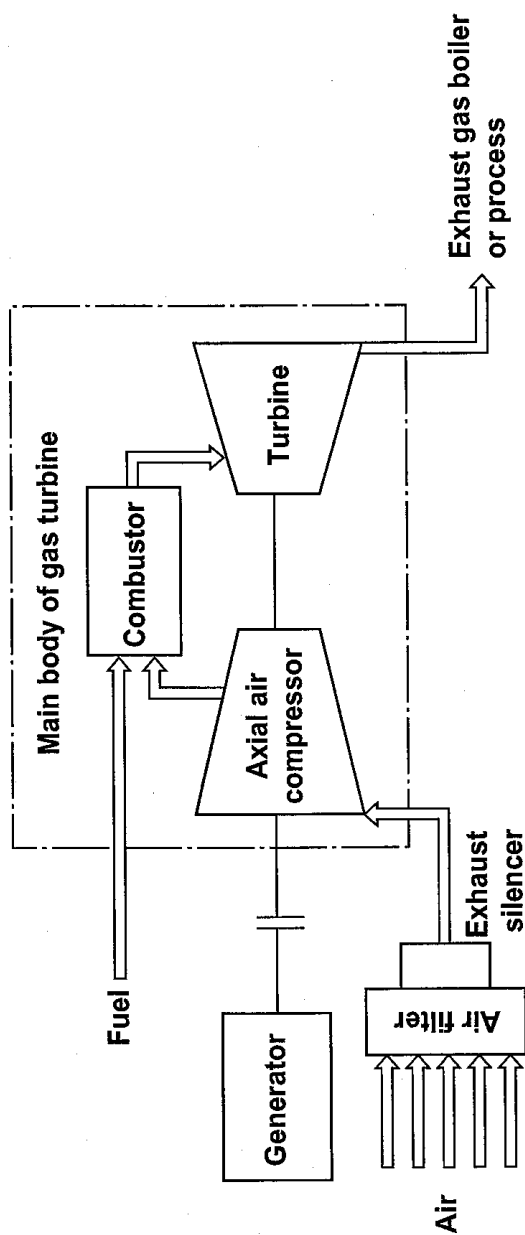
		50Hz (3000rpm)			60Hz (3600rpm)		
		M701D	M701F	M701G	M501D	M501F	M501G
Air Flow (kg/s)		445	651	737	346	453	585
Pressure Ratio		14	17	21	14	16	20
Turbine Inlet Temp. (°C)		1250	1400	1500	1250	1400	1500
Exhaust Temp. (°C)		542	586	587	543	607	602
G T	Output (MW)	144	270	334	114	185	267
	Efficiency <%>	34.8	58.2	39.5	34.9	37.0	39.1
No. of Stages	Compressor	19	17	14	19	16	17
	Turbine	4	4	4	4	4	4
No. of Combustor		18	20	20	14	16	16

Performance Table (DAH-TARN Condition)

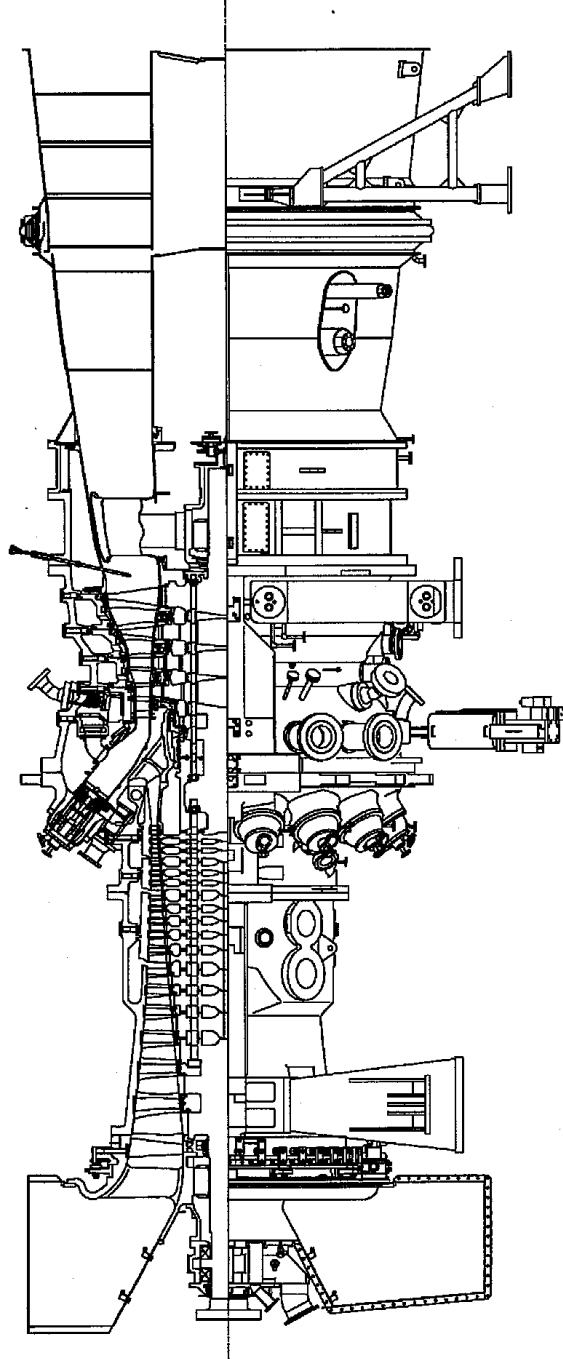
	STAGE I (M501F)		STAGE II (M501G)
	Oil Firing	Gas Firing	Gas Firing
Turbine Inlet Temp. (°C)	1340	1400	1500
Water Injection Ratio (W/F)	0.3	-	-
Exhaust Temp. (°C)	596	637	622
Exhaust Flow (kg/s)	430	426	547
GT Output (MW)	145.3	153.5	233.9
CC Efficiency (kJ/kWh)	7,566	7,237	6,969
GT Efficiency (kJ/kWh)	11,475	11,315	

Tamb:32°C, R.H.:90% HHV:54,207kJ/kg@gas 45,320kJ/kg@oil

Structure of Gas Turbine

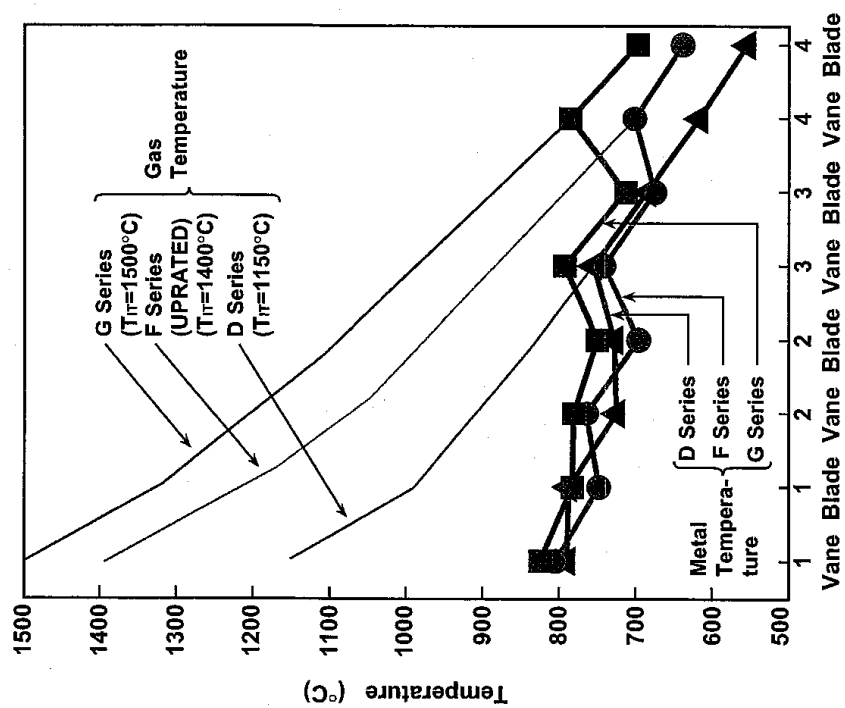


Longitudinal Section



附圖二

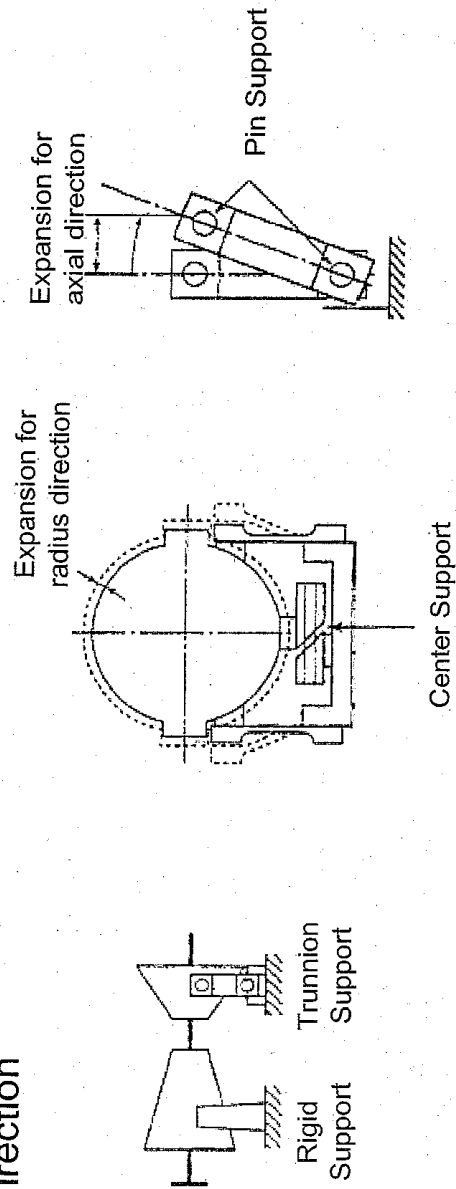
Advanced Turbine Cooling



**MHI BUSINESS
CONFIDENTIAL**

Design feature of MHI Gas Turbine (5/6) MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

- ④ Rigid support and Trunnion support
- Rigid support for compressor side and Trunnion support for turbine side is applied to prevent from miss alignment
 - Trunnion support absorb the heat expansion for axial and radius direction

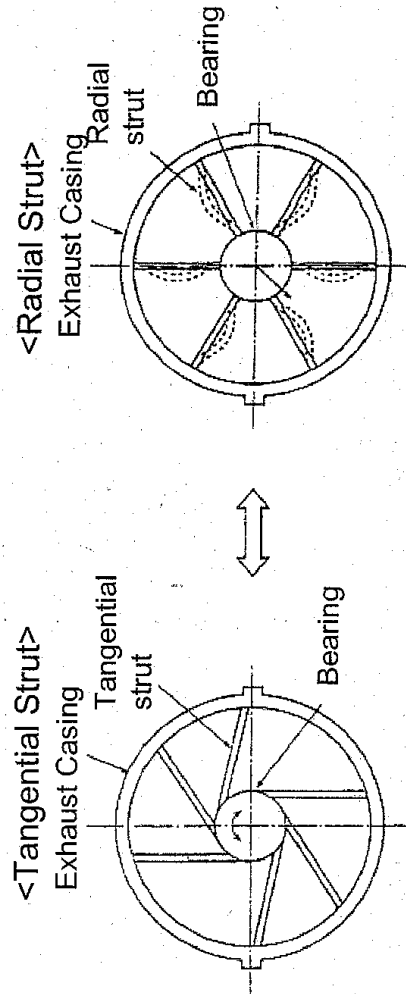


附圖四

Design feature of MHI Gas Turbine (6/6) MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

⑤ Tangential Strut

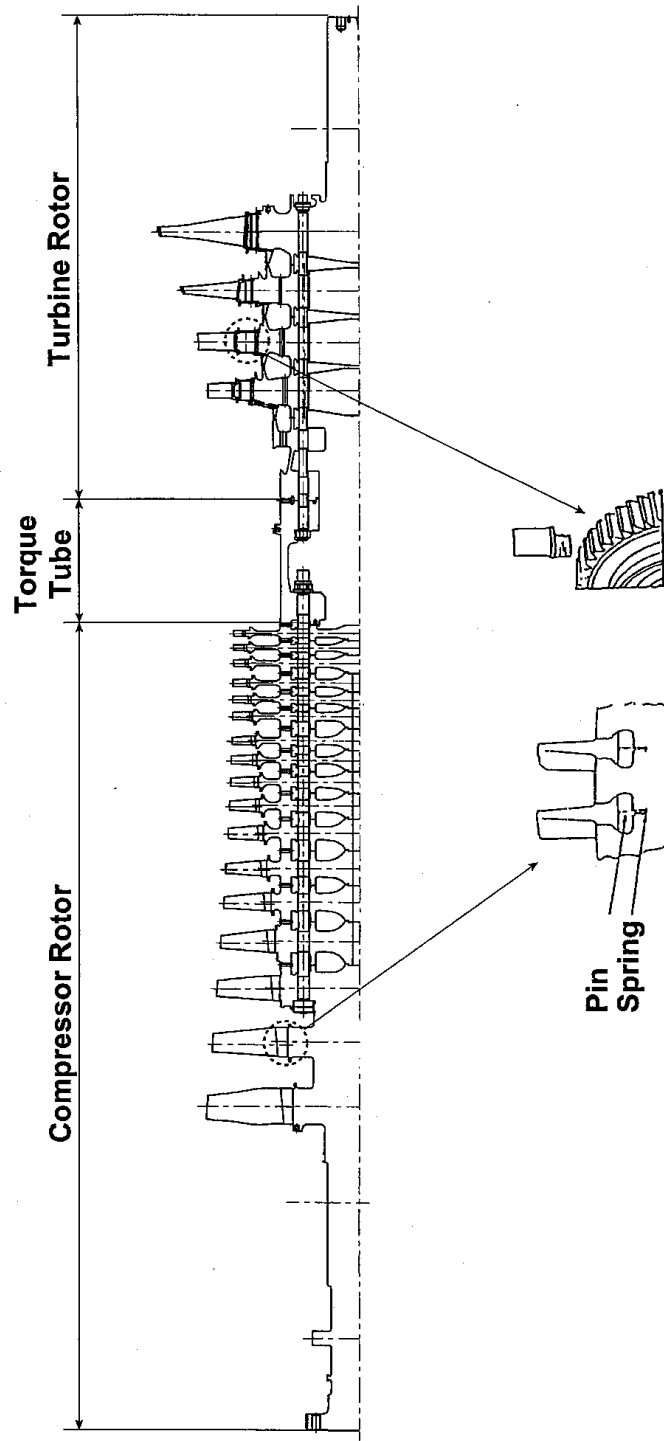
- Keep the exactitude alignment for load change and exhaust gas temperature verification
- Keep the exactitude alignment in spite of heat expansion different between exhaust casing and strut



This document contains information proprietary to Mitsubishi Heavy Industries, LTD. It is submitted in confidence and is to be used solely for the purpose for which it is furnished and returned upon request.
This document and such information is not to be reproduced, transmitted, disclosed or used otherwise in whole or in part without the written authorization of Mitsubishi Heavy Industries, LTD.
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
Takesago Machinery Works

 **MHI BUSINESS**
CONFIDENTIAL

Gas Turbine Rotor

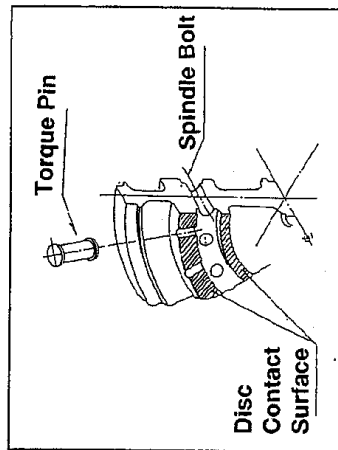


附圖六

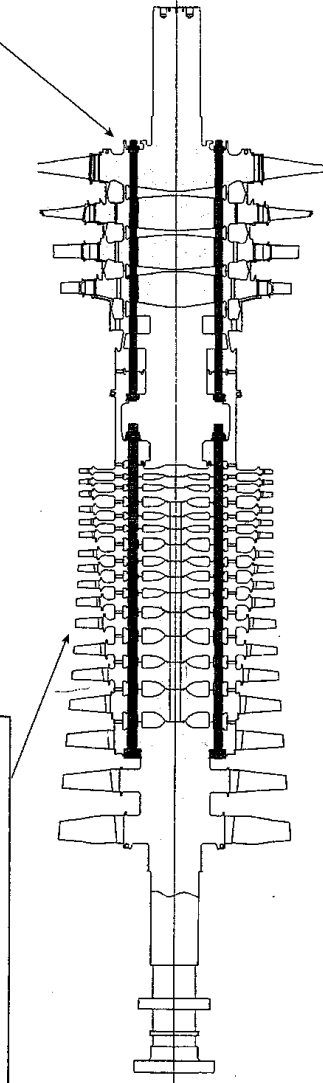
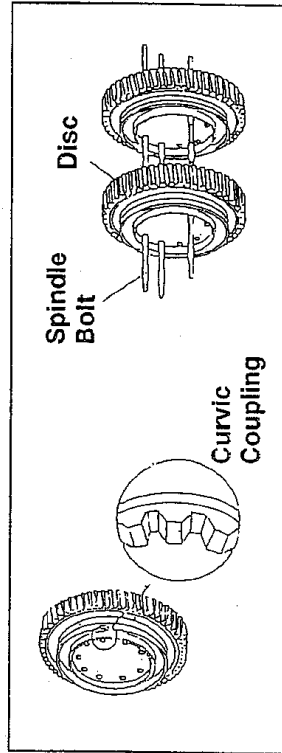
Stacked Disc Type Rotor

Discs are stacked by spindle bolts. The “torque pin” and “curvic coupling” are provided to transmit the torque, firmly.

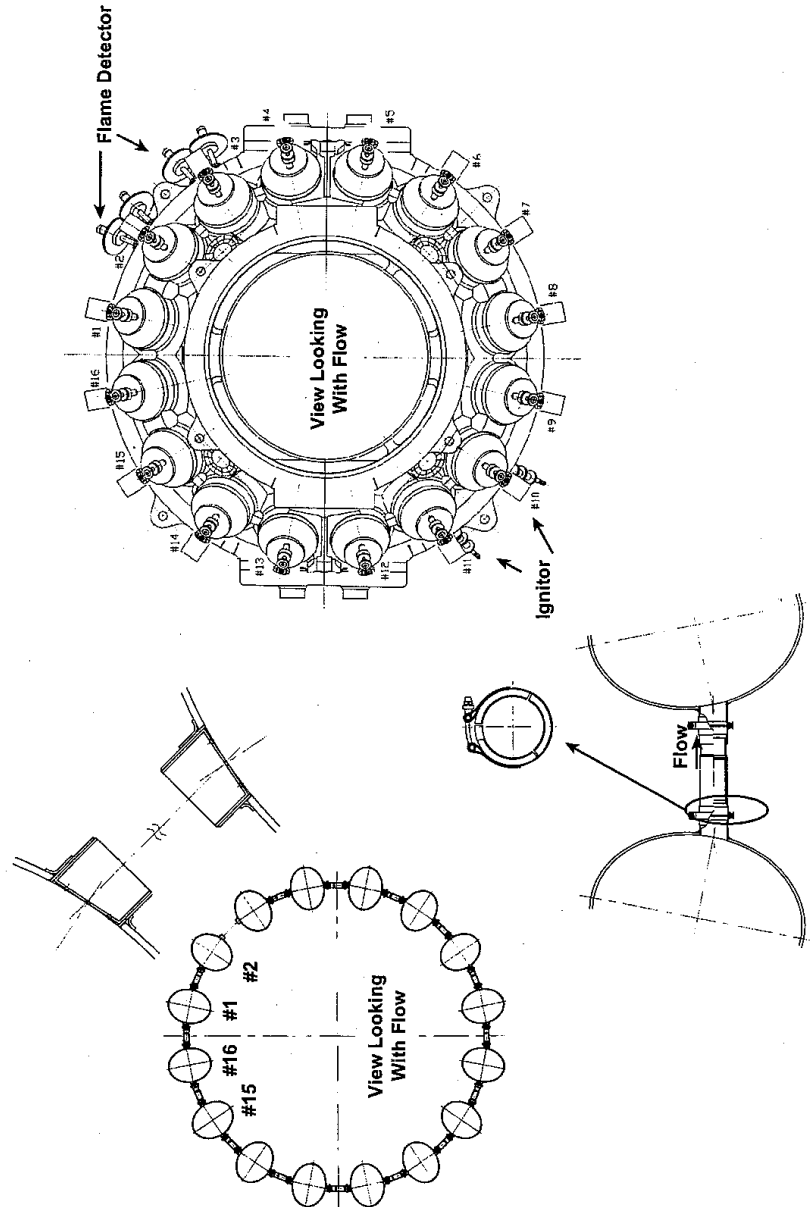
COMPRESSOR DISC



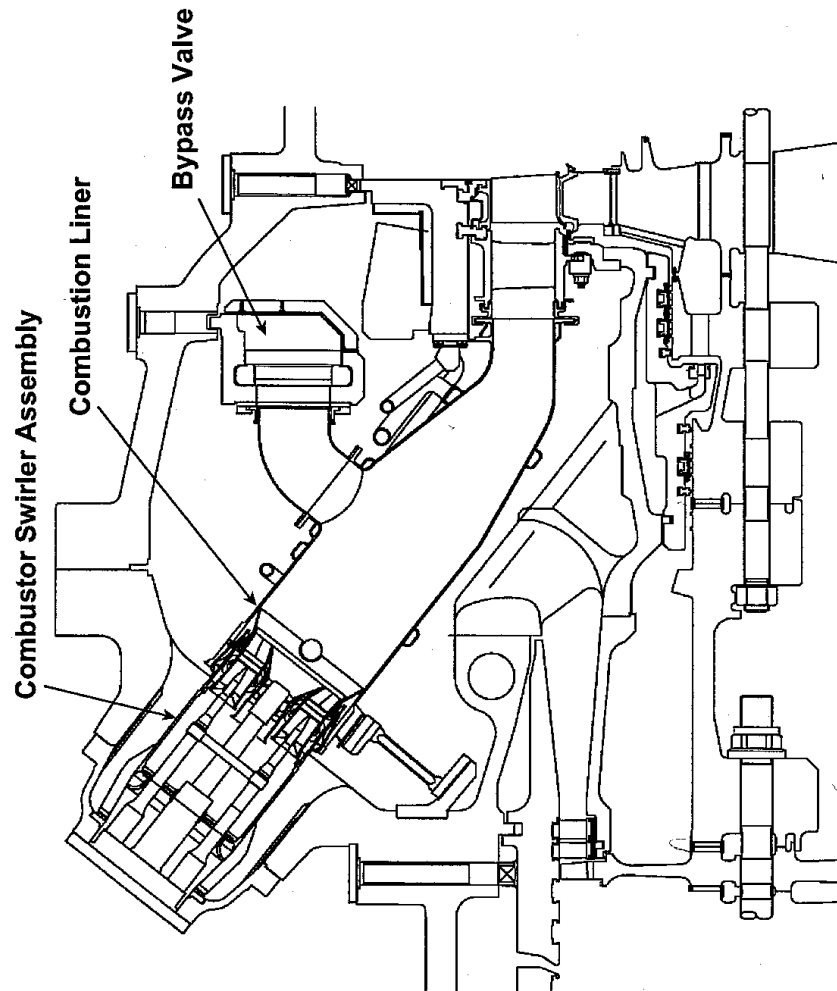
TURBINE DISC



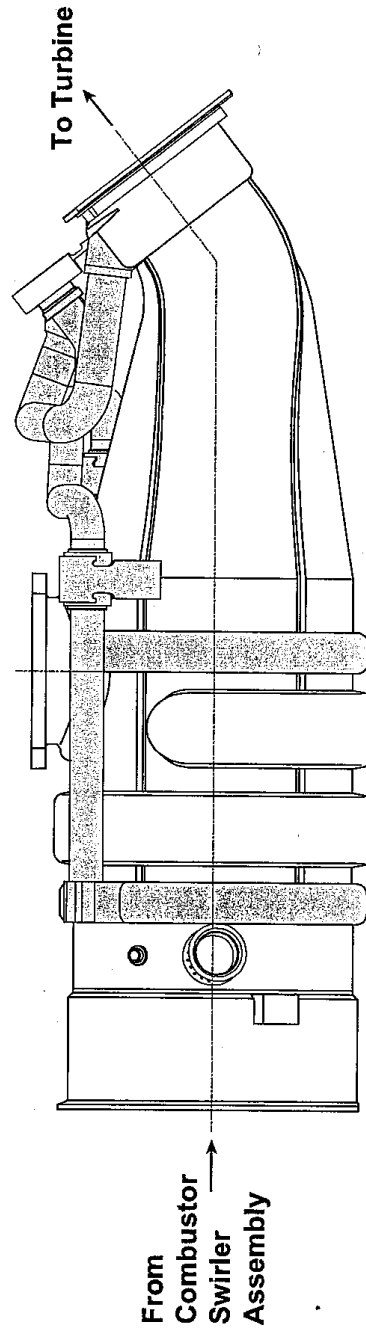
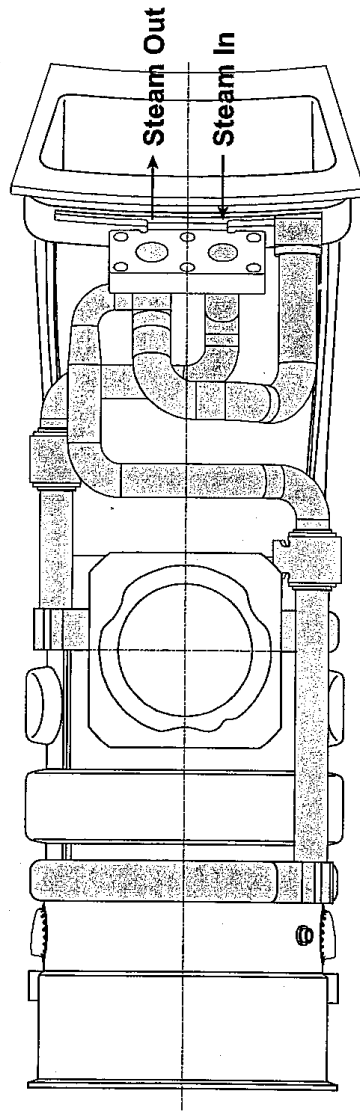
Combustor Arrangement



Combustor Section

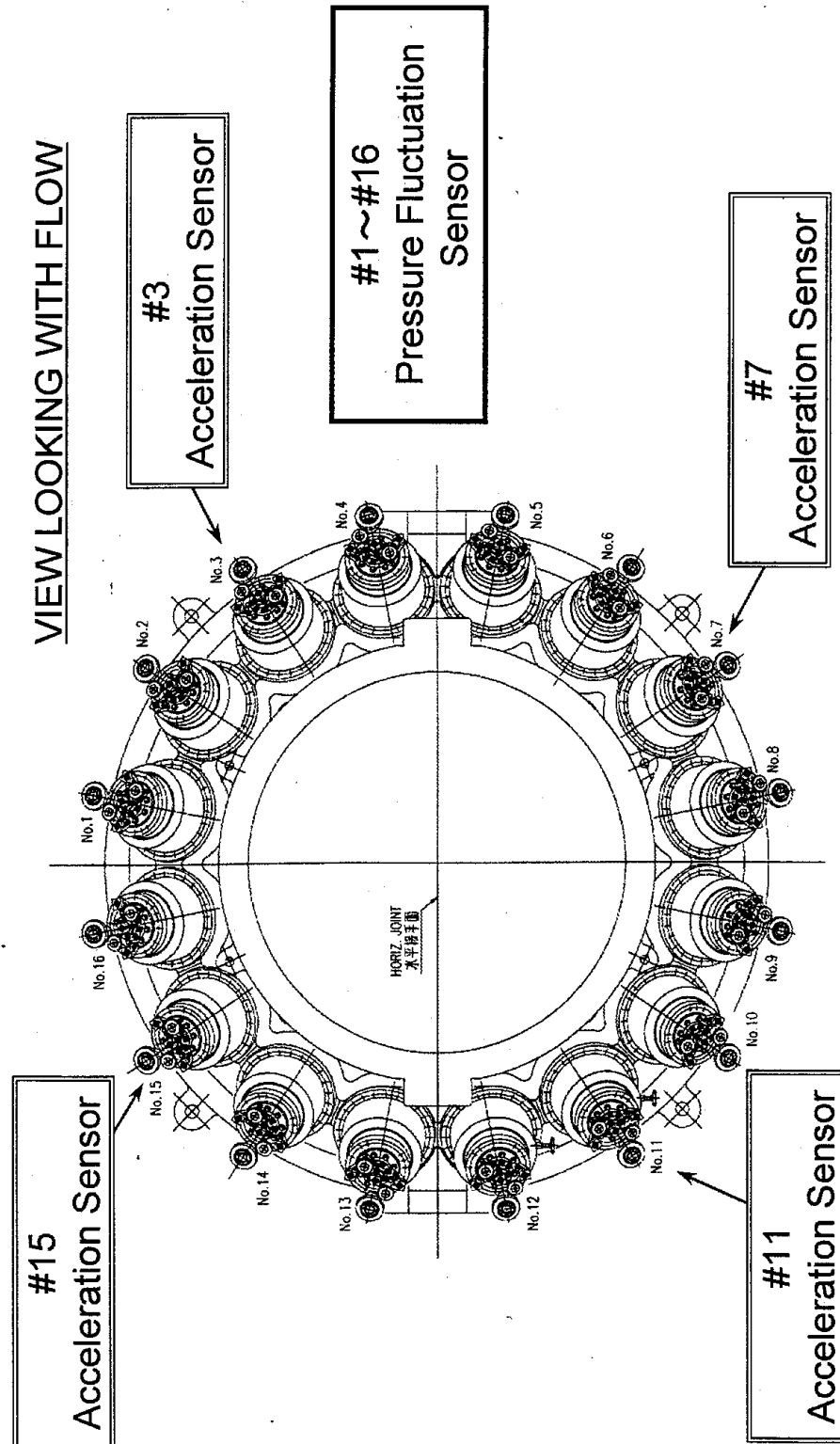


Combustion Liner



5.4 Configuration of CPM

— 5.4.4 Location of sensors



This document contains information proprietary to Mitsubishi Heavy Industries, LTD. It is submitted in confidence and is to be used solely for the purpose for which it is furnished and returned upon request.

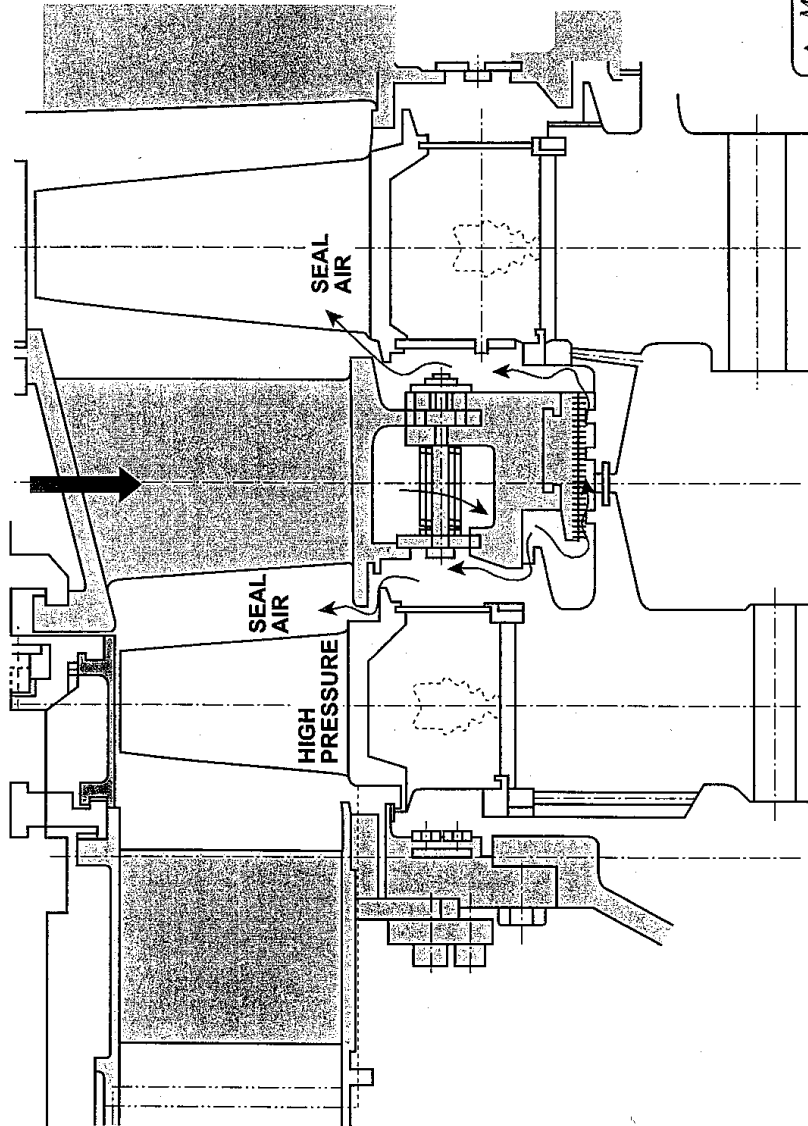
This document and such information is not to be reproduced, transmitted, disclosed or used otherwise in whole or in part without the written authorization of Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
Takesago Machinery Works



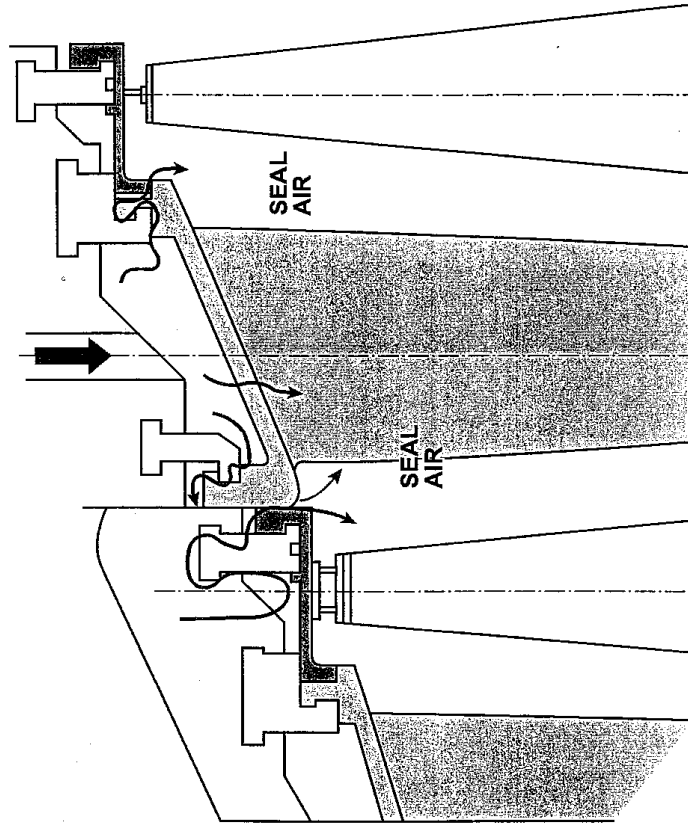
Turbine Inner Seal Flow

PREVENTION OF HOT GAS REVERSE FLOW

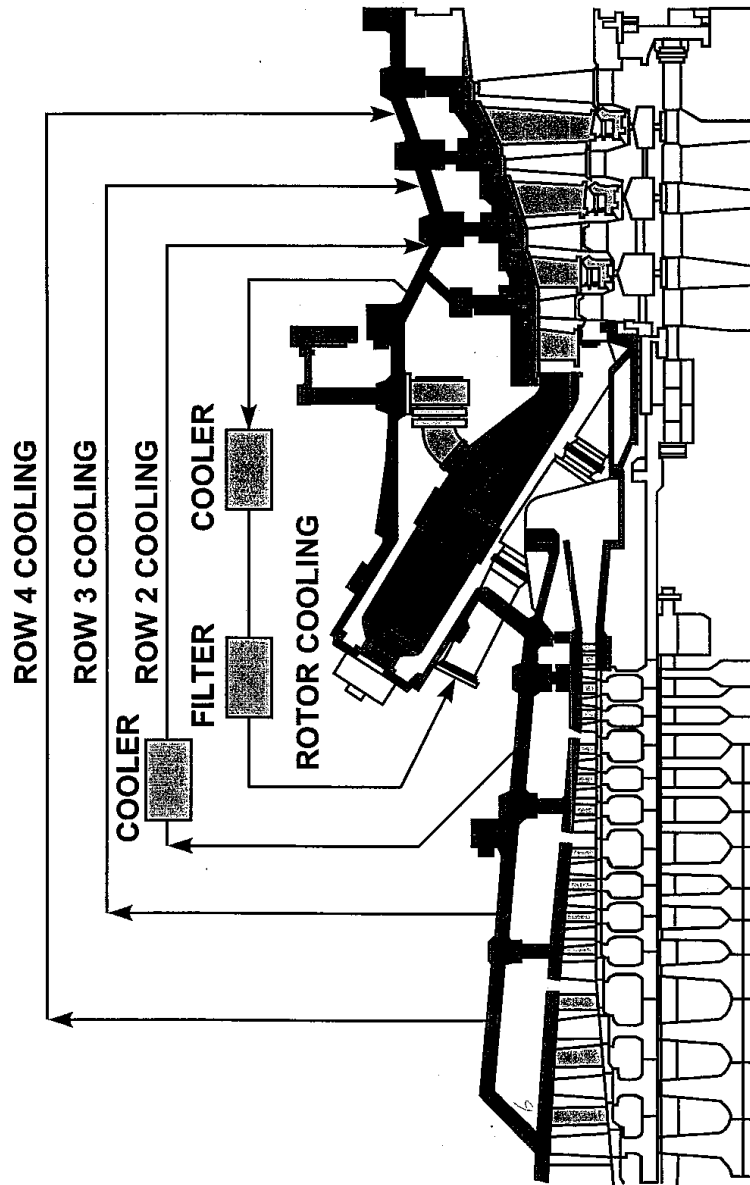


Turbine Outer Seal Flow

PREVENTION OF HOT GAS REVERSE FLOW

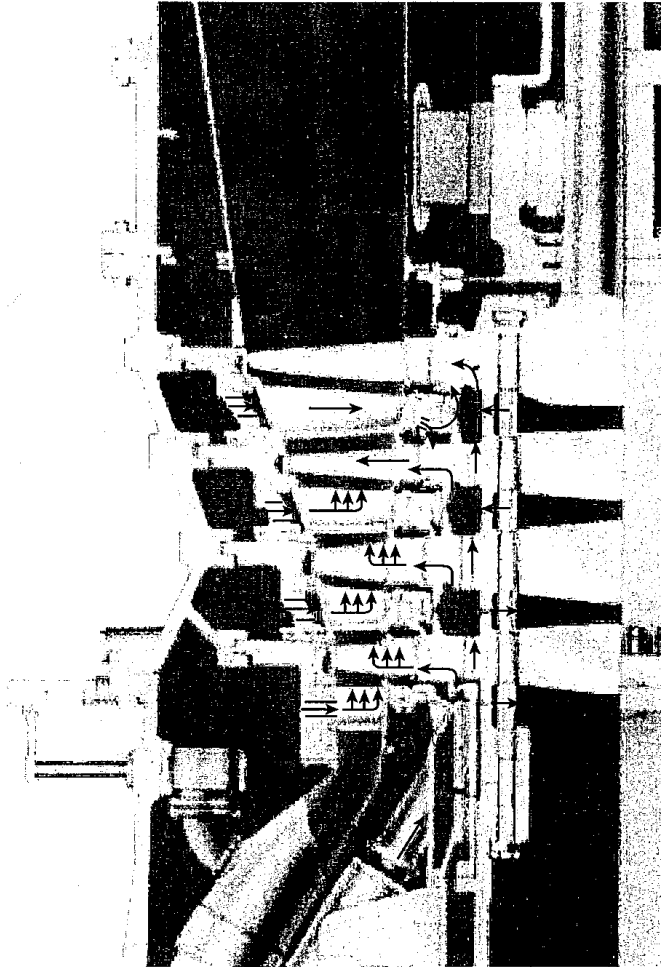


Secondary Flow System



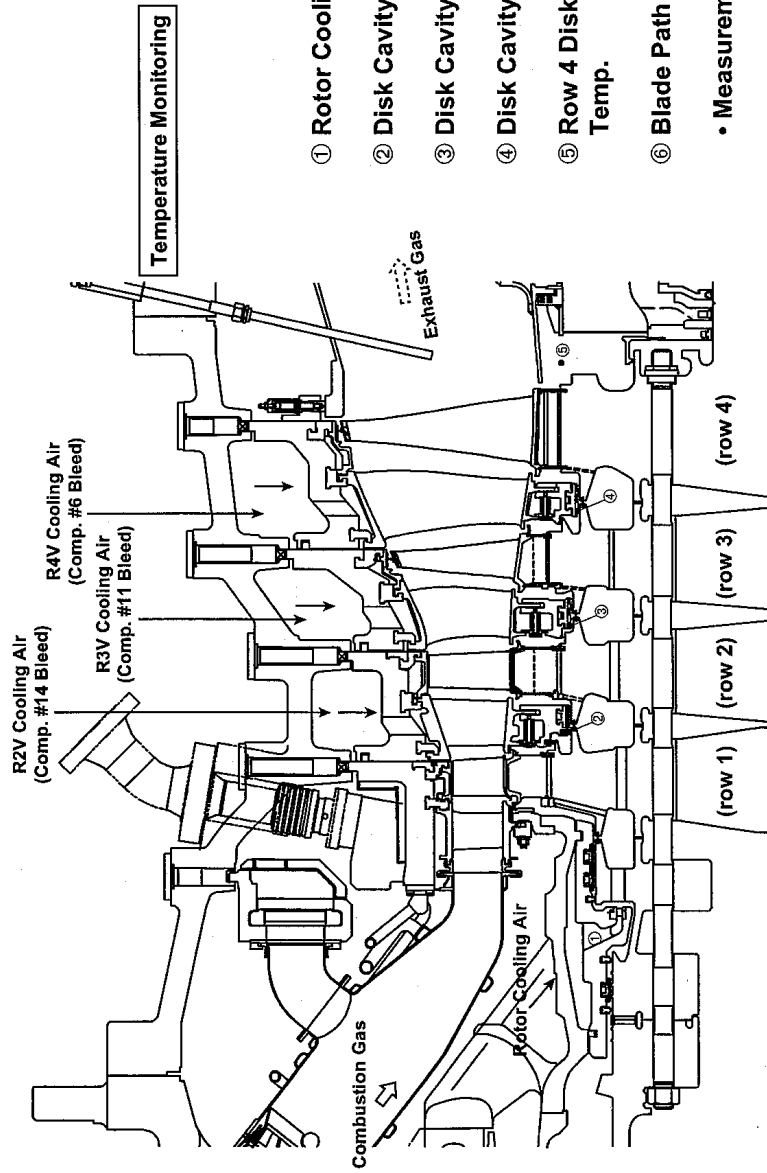
M501G GAS TURBINE COOLING AIR SYSTEM

Cooling Air Flow System



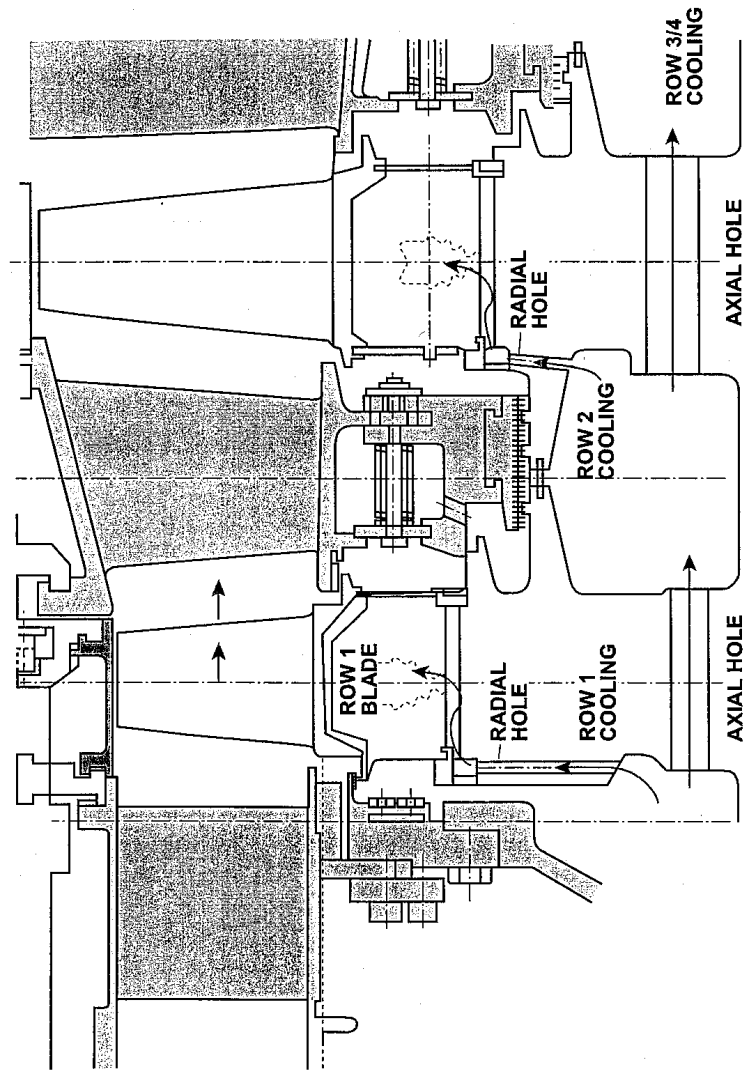
附圖十五

Temperature Monitoring Location

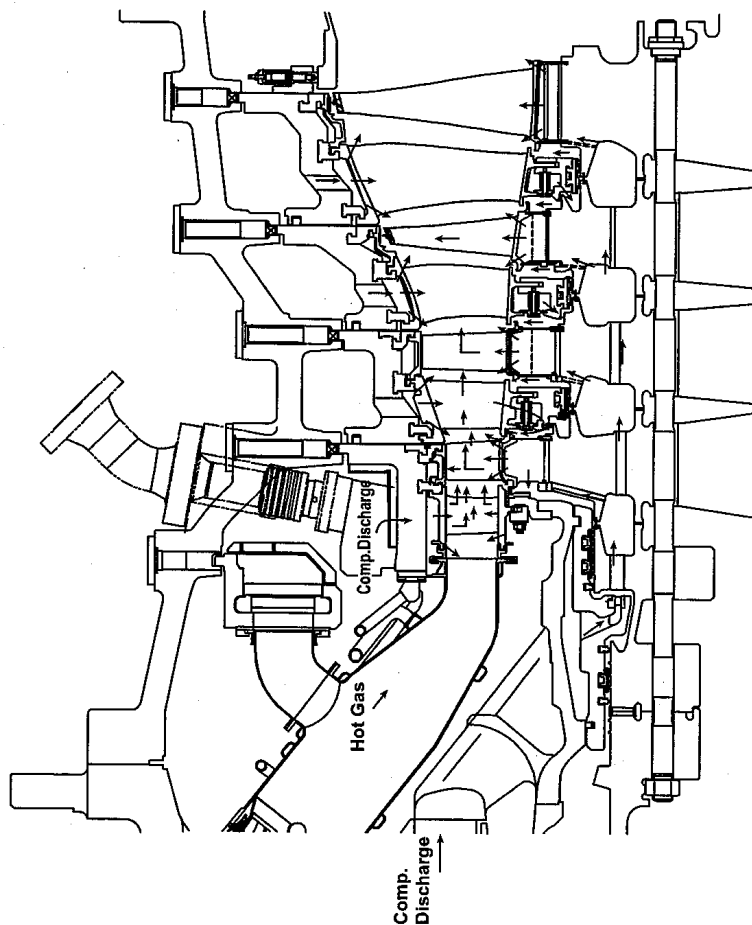


- ① Rotor Cooling Air Temp.
- ② Disk Cavity Temp. (#2)
- ③ Disk Cavity Temp. (#3)
- ④ Disk Cavity Temp. (#4)
- ⑤ Row 4 Disk Downstream Temp.
- ⑥ Blade Path Temp.
- Measurement Point

Turbine Rotor Cooling Air Flow



Cooling Air Flow System in Turbine



附圖十八