

出國報告（出國類別：實習）

# 通霄計畫汽輪發電機規劃設計、製造、測試及運轉維護訓練

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：郭清華 / 11 等機械工程監

派赴國家：日 本

出國期間：105.08.21~105.09.17

報告日期：105.11.05

## 出國報告審核表

出國報告名稱：通霄計畫汽輪發電機規劃設計、製造、測試及運轉維護訓練		
出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
郭清華	11等機械工程監	通霄發電廠
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：105年8月21日至105年9月21日		報告繳交日期：105年11月5日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告 2. 格式完整 (本文必須具備「目的地」、「過程」、「心得及建議事項」) 3. 無抄襲相關資料 4. 內容充實完備。 5. 建議具參考價值 6. 送本機關參考或研辦 7. 送上級機關參考 8. 退回補正, 原因: <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> (4) 抄襲相關資料之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> (5) 引用相關資料未註明資料來源 <input type="checkbox"/> (6) 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外, 將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> (1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會), 與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> (2) 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> (3) 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10. 其他處理意見及方式:

報出人：郭清華  
 主管：郭清華  
 主管處：郭清華  
 副經理：陳建益  
 副經理：陳建益

說明：  
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。  
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：通霄計畫汽輪發電機規劃設計、製造、測試及運轉維護訓練

頁數 36 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/ (02) 2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

郭清華/台灣電力公司/通霄發電廠/機械工程監/037-752054 分機 340

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 08 月 21 日至 105 年 09 月 17 日

出國地區：日本

報告日期：105 年 11 月 5 日

分類號/目

關鍵詞：複循環發電機組、氣渦輪機、蒸汽輪機

內容摘要：（二百至三百字）

通霄更新擴建計畫所採用之氣渦輪機型為 M501J 型，其燃氣進口溫度可達 1600°C，燃氣複循環發電機組共三部，每部燃氣複循環發電機組採二台氣渦輪機及一台蒸汽輪機之組合設計，每部機裝置容量為 892.6MW，機組淨熱效率可達 60.7%，本次研習之主要任務為「通霄複循環發電機組汽輪機設計、安裝、運轉、維護等訓練」。

有關通霄複循環發電機組汽輪機設備之設計、安裝、運轉、維護等課程訓練，實習地點為日本三菱日立電力系統公司(MHPS)位於日本兵庫縣高砂市廠區，除了接受課堂講授並至其製造工廠內現地實際觀察通霄計畫相關設備在工廠內之研發過程、製造流程、品質管理與工廠安全等措施與制度。

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

## 內容

1	前言.....	1
1.1	研習目的及過程.....	1
2	通霄更新機組汽輪機設備.....	3
2.1	蒸汽輪機主機設備.....	3
2.2	汽輪機設計及結構.....	4
2.3	蒸汽輪機主汽閥.....	14
2.4	汽輪機檢修保養.....	17
2.5	格蘭蒸汽及洩放系統.....	19
3	通霄更新機組汽輪機控制系統.....	24
3.1	汽輪機控制器控制功能.....	27
3.2	汽輪機自動起動.....	30
3.3	汽輪機自動停機.....	32
3.4	全廠自動起動、停機系統.....	32
4	心得與建議事項.....	36

# 1 前言

為符合政府節能減碳政策，採購高效率之機組，通霄更新擴建計畫所採用之氣渦輪機型為 M501J 型，其燃氣進口溫度 (TIT) 可達 1600°C，每部燃氣複循環發電機組採二台氣渦輪機及一台蒸汽輪機之組合設計，其單機裝置容量為 892.6MW，機組淨熱效率可達 60.7%，複循環發電流程如圖 1。

為了解汽輪發電機之規劃設計、安裝、運轉及測試相關知識，並熟悉廠家規劃之設計理念，提昇設計規劃之瞭解度，以利後續機組規劃之參考及訓練運轉維護人員對於日後使用設備之運轉、維護，確有必要前往相關製造廠家研習。

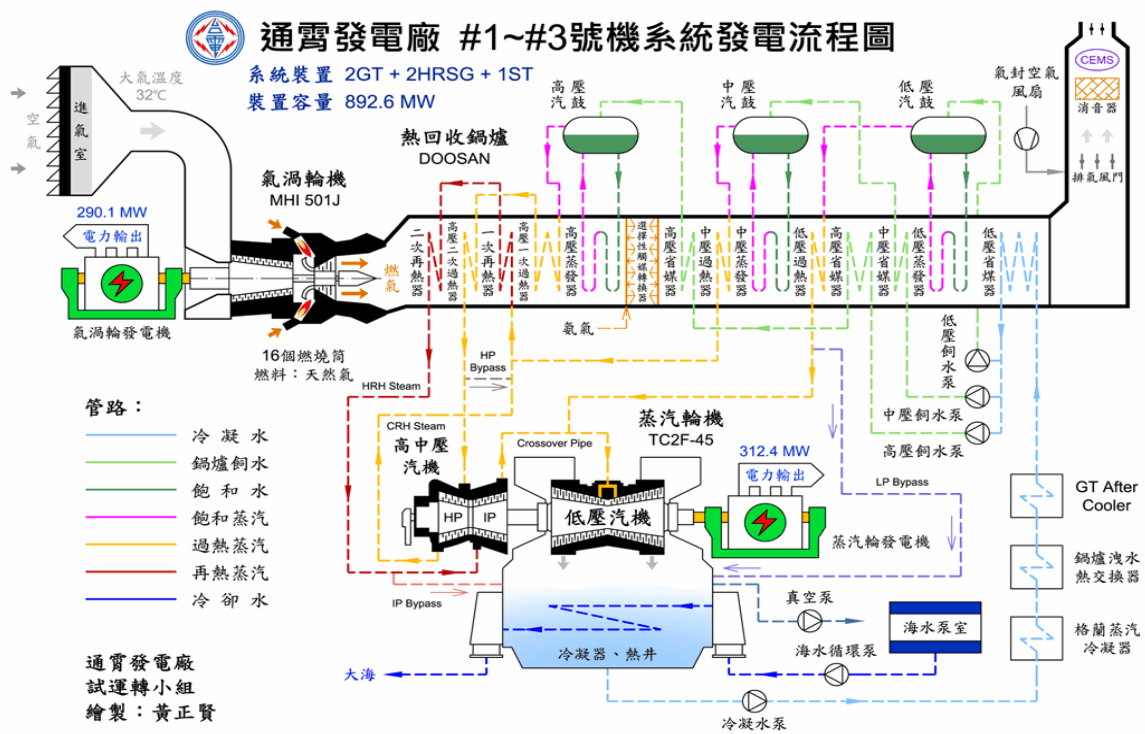


圖 1 複循環發電流程圖

## 1.1 研習目的及過程

高砂製作所 (Takasago Machinery Works) 建立於 1962 年，位於日本兵庫縣高砂市荒井町，工廠佔地面積 873841 m<sup>2</sup>，由神戶市出發可搭乘山陽電鐵在荒井 (Arai) 站下車，步行 10 分鐘 可抵達大門口，如圖 2。

高砂製作所主要為生產大容量的電力設備和機械式渦輪機製造工廠，產品包括高性能的燃氣渦輪機、汽輪機，以及其他相關產品，其 J 系列燃氣輪機是目前效率最高的燃

氣複循環發電機組。

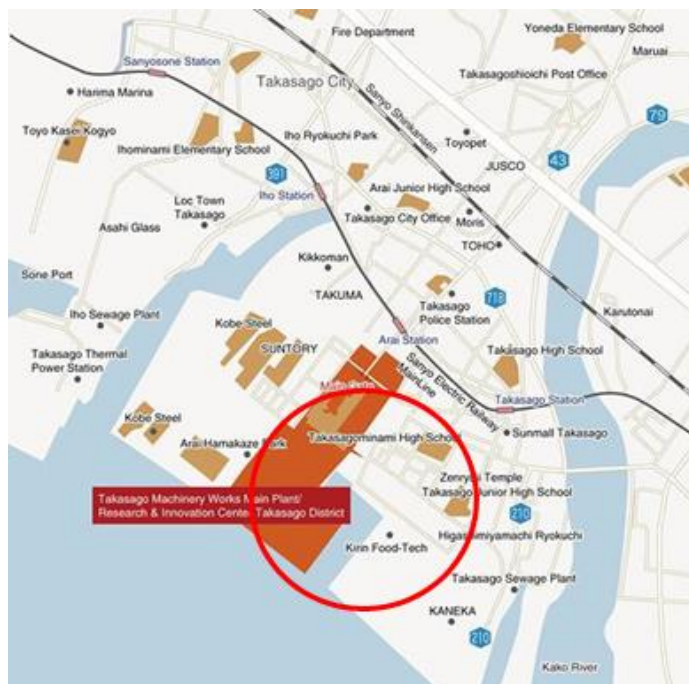


圖 2 三菱高砂製作所位置圖

本次實習在三菱人員帶領下，參觀所內葉片鍛造工廠、鍛造葉片加工廠、GT/ST 組裝、測試工廠、研發中心、實証發電設備機組(T Point)等區域。而實証發電設備機組(T Point)在廠內為重要角色，其目的將設計階段中之元件利用實機實體驗證測試，並將結果反映在詳細設計上，待完成實際驗證後，再轉為商業機型。2010 年 10 月進行 M501J 型式改造工作，2011 年 2 月 M501J 開始試運轉，經調整測試按計劃循序進行，於 2 月 23 日達到 1600°C 渦輪進口溫度。經由執行各種測試，確認各組件狀態良好，現今仍於高砂製作所中長期可靠性示範運轉。M501J 型商用機型，已交付姬路第二發電廠開始商業營運，目前通霄電廠更新計畫亦採用 M501J 機型。

本次研習自 105 年 8 月 21 日至 105 年 9 月 17 日，行程及內容如下出國行程如表 1

表 1 出國實習行程

起訖日期(105 年)	機構名稱及實習內容
8 月 21 日	赴日本高砂(三菱日立公司高砂製作所)
8 月 22 日至 9 月 16 日	研習「通霄電廠更新擴建計畫」汽輪機設備之設計、安裝、運轉、維護等課程訓練。
9 月 17 日	返回台灣

## 2 通霄更新機組汽輪機設備

### 2.1 蒸汽輪機主機設備

通霄更新擴建機組係由日本 MHPS 公司製造，為 TC2F-45 型，串聯複合式雙流冷凝再熱汽輪機，主要機械設備包括一個高/中壓汽輪機和一個雙流向低壓汽輪機(如圖 3)，容量為 312.4MW，轉速 3,600RPM；控制油系統、潤滑油系統及格蘭汽封系統為汽輪機之輔助系統。(蒸汽輪機規格如表 2)。

表 2 蒸汽輪機規格

Type	TC2F-45
Output	312400 kW
Rated Speed	3,600rpm
HP Steam	155.0 barg × 600.0°C
IP Steam	34.7 barg × 585.1°C
LP Steam	5.0 barg × 252.5°C
Exhaust Pressure	50mmHg abs.

HRS(廢熱鍋爐)之高壓蒸汽經由兩只 HP Stop Valve 及 HP Control Valve 進入汽機之高壓段。在汽輪機內，利用蒸汽膨脹通過汽輪機之葉片路徑，將熱能轉變為轉軸的機械能。蒸汽於高壓段膨脹作功後，再由冷端再熱管路(CRH)送回鍋爐之再熱器。再熱後之蒸汽為中壓蒸汽，中壓蒸汽經過兩只再熱關斷閥(RSV)及兩只中間控制閥(ICV)進入汽機中壓段作功。

來自 HRS 之低壓蒸汽，經過 LP Stop Valve 與 LP Control Valve 後，於跨管與中壓汽機出口之蒸汽滙合，然後進入低壓汽機，低壓汽機出口之蒸汽則排入冷凝器。如圖 3。

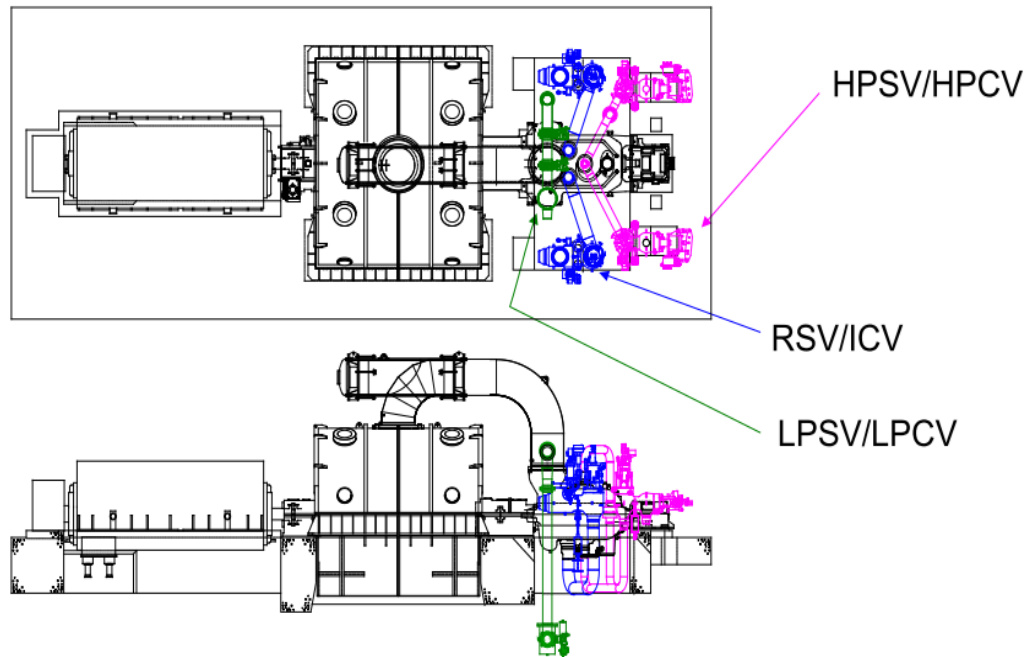


圖 3 汽機主要管閥佈置圖

## 2.2 汽輪機設計及結構

主要的功能就是將通過汽機蒸汽中的熱能轉變成機械能，而汽機一般由三大類設備所組成，即汽機本體、控制系統及其附屬設備。三菱重工 TC2F 型汽機結構為雙汽缸再熱冷凝式，單軸直列，高、中壓汽機組合於同一汽缸，低壓汽機為雙流式。

### (1)HIP 汽缸(Casing):

高、中壓汽機合併於同一個汽缸，由汽缸中間部位進汽，往兩頭膨脹作功。對稱流向的設計，可以將起動及運轉期間的熱應力、熱變形降至最低。（由 Cold Condition 到 Operation Condition，溫度可增加大約 600°C，壓力高達 150barg）。

### (2)HIP Casing Support

HIP Casing 由四只 Lug 跨在基座(Pedestal)上，左右對稱，產生熱膨脹時，支撐點可以自由滑動，使得汽缸於運轉及升速階段產生變形的可能性降至最低。

HIP Casing 高壓側 Lug 跨坐於 HP Pedestal 上，Lug 下方墊有一只長條鍵(Key)，限制 Lug 與 Pedestal 間之軸向相對運動。HP Pedestal 與 HIP Casing 間也以 Centering Beam 固定。Pedestal 下方設有滑座，滑座之設計，僅能延軸向滑動，無法橫向移動及頂起，當 HIP Casing 產生熱膨脹時，高壓側之 Centering Beam 與 Pedestal 同步滑動。



穿過 Lug、Key 固定於基座上之螺栓，其螺帽與 Lug 間留有約 0.2mm 之間隙，以利膨脹時之滑動，及避免 HIP Casing 下方之蒸汽管路產生熱膨脹時，將汽缸頂起，或產生傾斜。

### (3) Steam Inlet Pipe

高、中壓進汽溫度高達  $585^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，將進汽管作成 U 型以利釋放熱應力。管路與汽缸接合處，設有撓性汽封環(Stack Ring)，吸收熱變形、熱應力，並有效降低蒸汽洩漏。

### (4) HIP Casing 冷卻系統

#### 1. HP Turbine Inlet Cooling

高壓汽機末端葉片排汽(約  $378^{\circ}\text{C}$ )經由汽機內部送至中壓汽機葉片後排出，已達到冷卻 HIP 汽缸的效果。

#### 2. HIP 汽缸空氣冷卻系統(HIP Turbine Cooling Cell)

Cooling Cell 功用：避免汽機停機時，汽缸上、下缸溫差過大 因此通入空氣冷卻汽機上半部汽缸，以免造成汽缸變形。如圖 4。

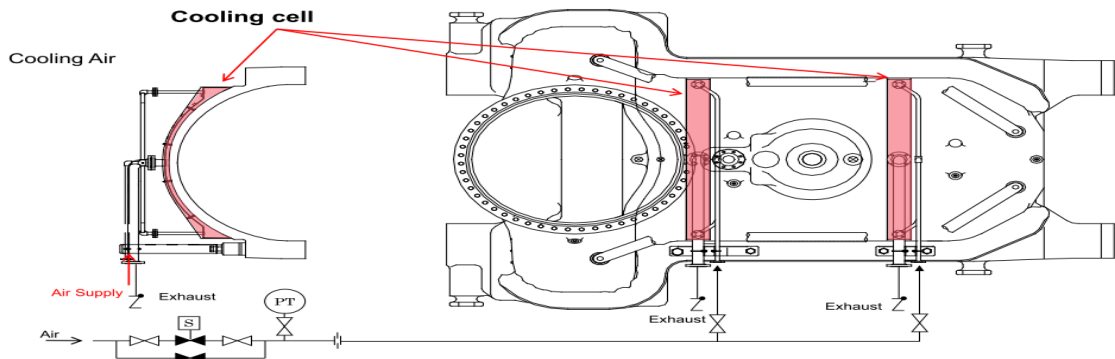


圖 4 HIP 汽缸空氣冷卻系統

### (5) 汽封條

汽封條目的為防止汽機內之蒸汽沿軸向洩漏，可提升汽機作功效率。依應用可分為 Spring Back Type、Abradable ACC Type、Leaf Type。

Spring Back Type：汽封條背面有板狀彈簧，當間隙不足時，汽封條會壓縮板狀彈簧。  
Abradable ACC Type：為動態間隙控制 (Active Clearance Control)，隨著蒸汽壓力動態調整汽封間隙。當機組剛啟動或停機時，汽封間隙因彈簧力作用變大；當機組正運轉時，汽封間隙因蒸汽壓力擠壓彈簧而變小。應用區 HIP No.1 Dummy ring、HIP

Inner gland ring。如圖 5。

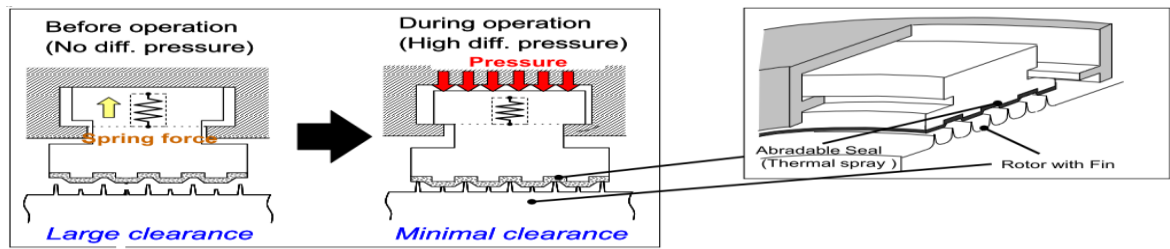


圖 5 Abradable ACC Type 原理示意圖

3. Leaf Type：MHI 公司專利，利用轉子旋轉所產生流體動力形成汽封間隙。優點：軸向面積大，剛性強；各頁扇面間距僅  $8\mu\text{m}$ ，汽封間隙小效果佳。Leaf Type 裝置區有壓力限制，應用區 HIP No. 2 Dummy ring、HIP Inner gland ring。如圖 6。

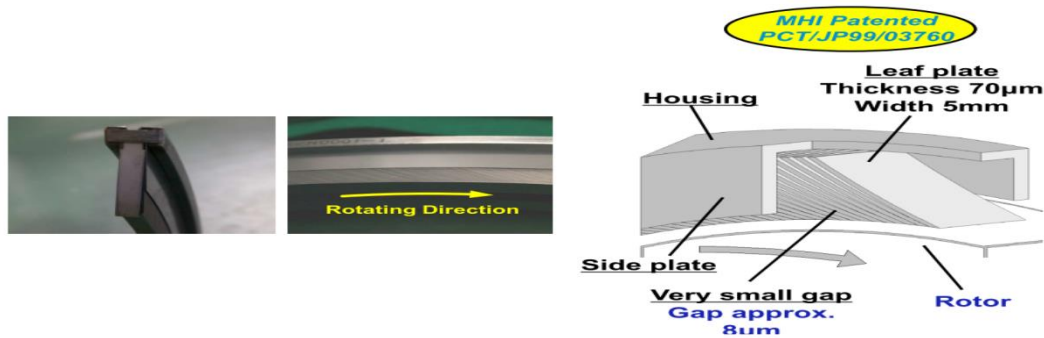


圖 6 Leaf Type 原理示意圖

### (6)LP 汽缸

LP 汽缸組成如下：LP NO. 1 內汽缸、LP NO. 2 內汽缸、LP 外汽缸、釋壓膜片 (Rupture disk)，內外缸結構可將蒸汽可分散溫度及壓力區間，以降低汽機外缸變形及熱應力衝擊。

#### 1. LP Casing Support

外缸基座設計為支撐整個低壓汽機的重量，外缸支撐腳圍繞外缸，以錨釘分別固定軸/橫向 4 個位置，使重量傳遞至汽機基座。內缸是由外缸基座所支撐，靜葉環、靜葉片設置其中並有導引進汽及排汽之功能。

安裝低壓汽機時內外缸與轉子間需對心準確，並維持所有組件間之不同的熱膨脹。

#### 2. LP Casing 非對稱式出口導流板

出口導流板設計成上、下非對稱式，以減少蒸汽流動時所產生之擾動，導引蒸汽從兩邊末段葉片等量的流入冷凝器，將汽流損失降至最低。如圖 7。

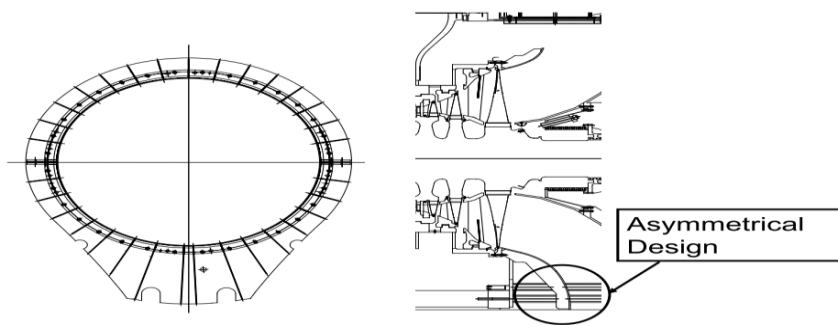


圖 7 LP Casing 非對稱式出口導流板

### 3. 釋壓膜片(Rupture disk)

由於低壓汽機運轉中處於負壓狀態，為防止低壓汽機壓力過高傷及葉片，於低壓汽機外缸上設有兩只釋壓膜片，當低壓汽機出口壓力升至 30kPa 時，該膜片會破裂而允許蒸汽逸出於大氣，減少可能之損傷。

### 4. 跨管(Cross Over Pipe)

中壓汽機出口排汽經由跨管送至低壓汽機進口，來自鍋爐低壓過熱器之過熱蒸汽於跨管滙入主蒸汽。跨管中設計有膨脹接頭相互連結，防止跨管因中/低壓蒸汽端因熱膨脹變形損壞。如圖 8。

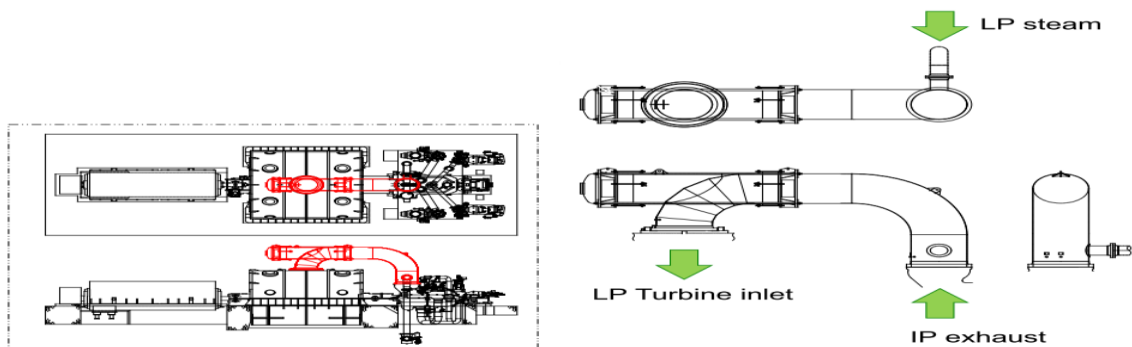


圖 8 中壓汽機跨管配置圖

### (7)HIP 轉子

HIP 轉子是由兩種不同合金鋼加工銲接而成，長約 6.8m，重達 21ton，高溫高壓區使用 Cr-Co-W-Mo-V-Nb-N-B 合金鋼；低溫低壓區則使用 Cr- Mo-V 合金鋼，三菱公司建議於每次主要大修【48000 EOH(Equivalent Operating Hours)三菱經驗約六年】進行銲接處 NDE 檢測，項目包含 PT、MT、UT。三菱公司建議如果第一次主要大修 UT 檢測確認沒有裂紋，從第二次主要大修開始 UT 檢測可以列為非必要項目。

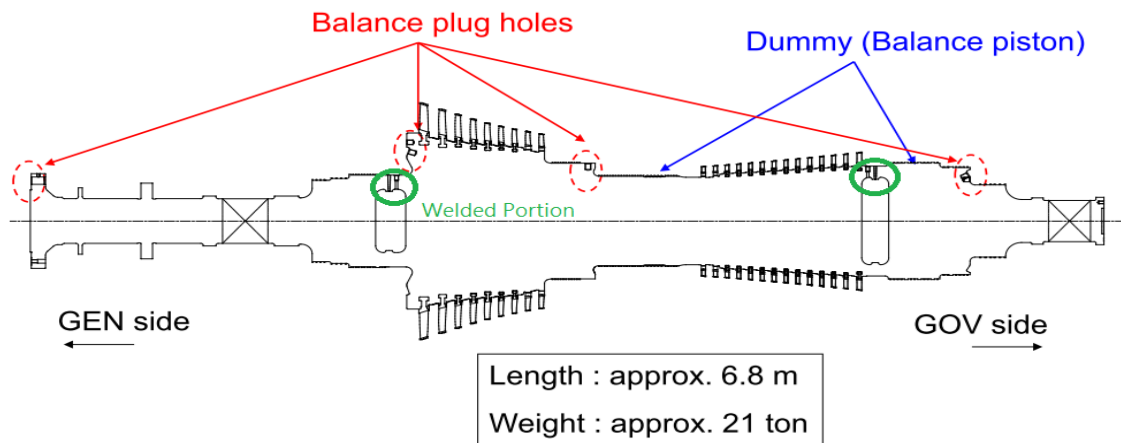


圖 9 HIP 轉子圖

(8). HIP 轉子推力的平衡

在蒸汽膨脹通過汽輪機葉片路徑，會產生一軸向推力使轉子往汽流方向移動，稱為轉子推力。為了降低轉子之軸向推力，減輕推軸承負荷，高壓汽機與中壓汽機之流向安排為對稱式，於 HIP Casing 內設計有 No. 1 & No. 2 Dummy Ring，及平衡汽輪機不同區域之壓力配管。雖此設計可減少作用於轉子之推力，它們並不恰好使之平衡。最後殘留之轉子軸向推力是由推力軸承吸收，並將推力經由軸承殼傳遞至基座。運轉中，轉子所承受之推力朝向發電機側。

(9)LP 轉子

低壓汽機轉子是由鎳鉻鉬鈮合金鋼(Ni-Cr-Mo-V Alloy)鍛造加工而成，成雙流對稱式，長約 10.1m，重達 68 ton。

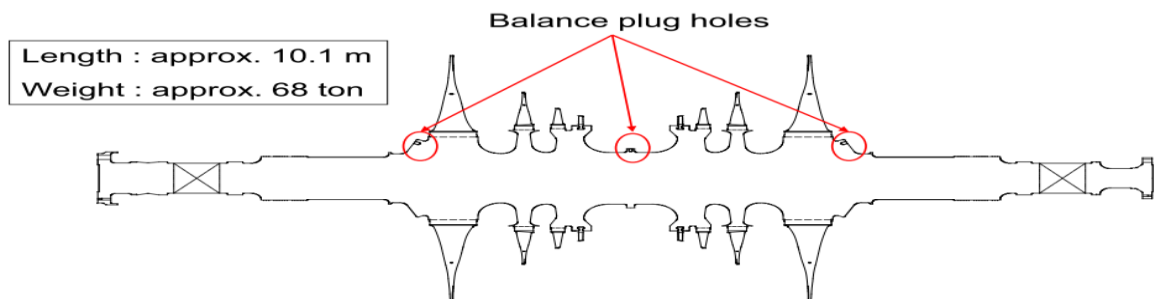


圖 10 LP 轉子圖

低壓汽機轉子加工葉片溝槽，安裝成排的動葉片。葉片逐級增加長度以容許蒸汽之膨脹作功，葉片包括葉根、流線形葉片、及護板。一體成型之護板與靜葉環之汽封形成阻隔可以減少蒸汽之旁通洩漏及擾流，以維持汽機效率。

## (10) 軸承

TC2F 型汽機運用 4 組軸頸軸承及 1 組推力軸承支撐汽機轉子。

### 1. 軸頸軸承

軸頸軸承為傾斜式自動對心軸承，軸承殼的外徑作為球面形與支撐軸架的球座面相吻合。鍵與軸承殼間以襯墊調整軸承的位置(對心)與間隙。軸承分為上、下兩部分，於水平位置以定位銷連接。軸承塊位於軸承內，由樞紐塊支撐，使得軸承可以自行對心。

### 2. 推力軸承

汽機推力軸承為自動調整型，能自行將負荷平均地分佈於軸承塊上。汽機軸透過軸承環(Collar)將軸向推力施於推力軸承上，於軸承環之兩面均設有推力軸承塊。

## (11) 聯軸器

HIP 轉子與 LP 轉子間之聯軸器法蘭與轉子一體鍛造成型，法蘭間設有間隔環(Spacer Ring)，以利法蘭對心，兩只法蘭以螺栓接合。

LP 汽機側之聯軸器法蘭與轉子一體成型，而發電機側則為冷縮配合，法蘭面之間隔環圓周面上為齒輪，與慢車機構嚙合。

轉子法蘭面之對心非常重要，確認對心完成後，再吊入間隔環，裝上螺栓。

## (12) 慢車迴轉齒輪

功用：汽機停機時，以低轉速(3.6 rpm)帶動轉子，防止因汽機各部冷卻不均導致轉軸彎曲；在檢查維修期間，可作為轉軸需要轉動少許之驅動機構。

慢車齒輪的組件包括一個驅動馬達及一組減速齒輪。當轉軸轉速達到「零」轉速時自動起動，並與轉軸嚙合(engage)，汽機加速時，慢車齒輪自動脫離(disengage)轉軸。注意：不允許反向迴轉，會造成 Leaf Type 汽封條損壞。

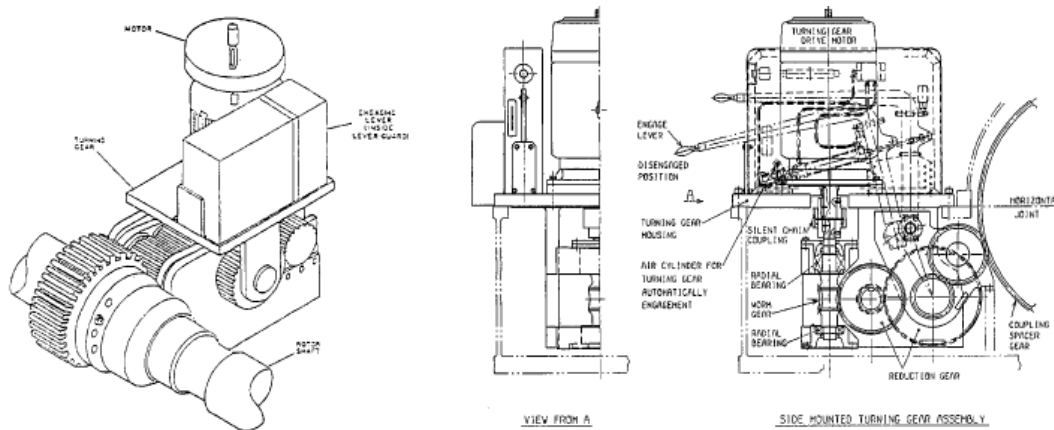


圖 11 慢車迴轉齒輪圖

(13) 汽機葉片

汽機主要的功能就是將通過汽機蒸汽中的熱能轉變成機械能。葉片是整個汽機中，唯一將蒸汽中熱能轉換成機械能的機件。

汽機葉片可分為兩種，一種是安置在轉軸上面，藉由蒸汽能帶動轉子，稱為動葉片 (rotating blade)；一種是安置在鋼環上而後再置於汽缸內，此種葉片不會動，也不做功，為控制蒸汽流動路徑，稱為靜葉片 (stationary blade)。靜葉片裝置於靜葉環上，靜葉環相對於動葉片位置設計有汽封片，靜葉片相對於轉子之內面則裝有汽封環，汽封環上嵌有汽封片，以減少蒸汽之旁通損失。

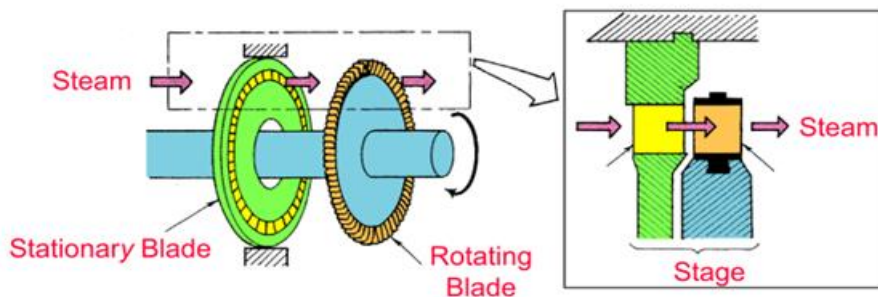
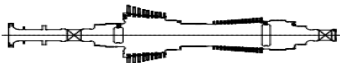


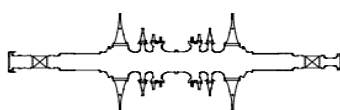
圖 12 靜/動葉片旋轉示意圖

TC2F 型汽機葉片：

HIP Rotor



LP Rotor



Blade design

- F3D (Fully 3 Dimensional)
- ISB (Integral Shroud Blade)

	Stage Number	Type	Blade structure
HP turbine	14	Reaction	ISB
IP turbine	9	Reaction	ISB
LP turbine	4 x 2	Reaction	ISB

圖 13 汽輪機 TC2F 型汽機葉片

1. 高壓汽機葉片 14 級(反動式葉片，ISB Structure)。

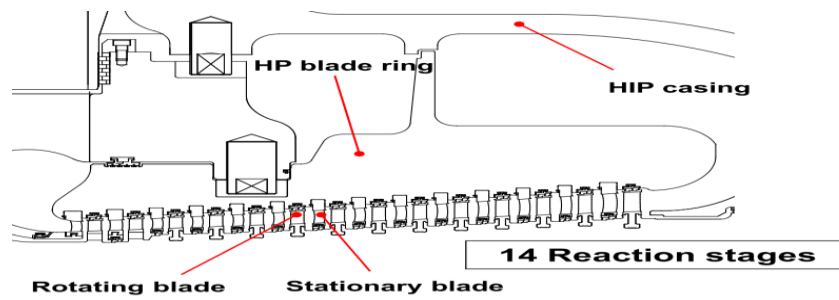


圖 14 汽輪機高壓汽機葉片

2. 中壓汽機葉片 9 級(反動式葉片，ISB Structure)。

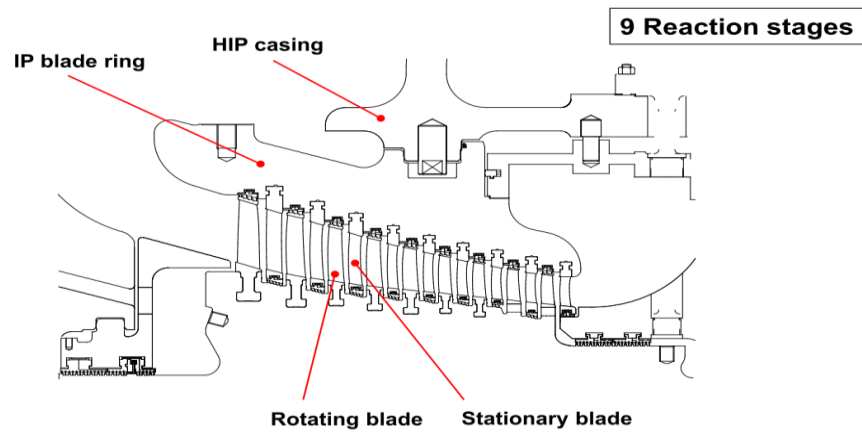


圖 15 汽輪機中壓汽機葉片

3. 低壓汽機葉片 4x2 級(反動式葉片，ISB Structure)。

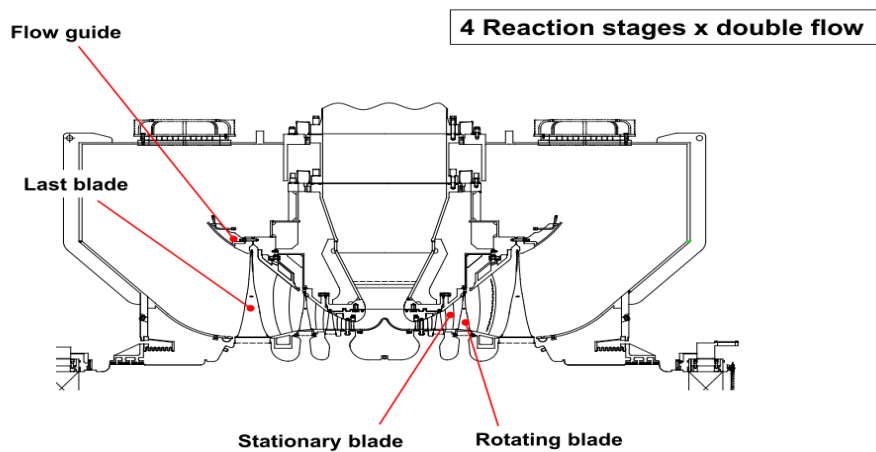


圖 16 汽輪機低壓汽機葉片

#### 4. MHI 設計反動式葉片 (Fully 3 Dimensional)

傳統葉片設計為直筒式，蒸汽沿切線方向流動，產生較大之旋渦擾流損失及二次流。三菱新型 F3D 葉片設計(Twisted & Bowed)，使蒸汽二次流及旋渦擾流損失大幅下降，可獲得較高之汽機效率。如圖 17。

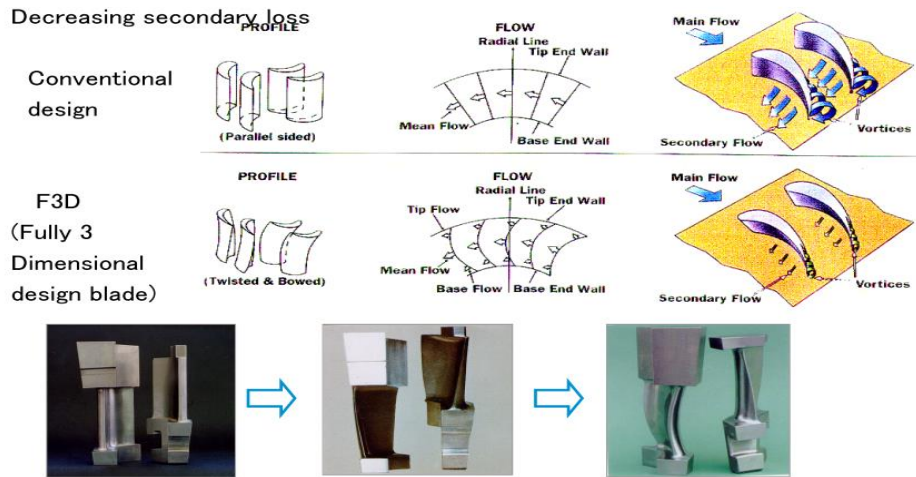


圖 17 汽輪機反動式葉片設計

Integral Shroud Blade (ISB) Structure 特點：

- 1.葉片和護板 (Shroud) 一體鍛造而成，可避免不必要之接合件。
- 2.護板和葉片間無間隙存在，可提供較佳之 Damping 值。
- 3.和鄰近葉片間無任何聯結，故葉片受力時可不受限制自由伸展。
- 4.單一鍛件，故其所遭受之局部應力亦較低。
- 5.因無鉚釘或電焊固定護板，故葉片品質易於管控。
- 6.可精準計算出葉片產生振動之模態

將護板與葉片本體整合為一體，可大幅縮短葉片拆、裝時程，轉子高速旋轉時，因離心力作用，反動式葉片會稍微旋轉，護板間相互頂緊，產生較低的振動應力。

低壓汽機後段動葉片設計 (ISB Structure)：

低壓汽機動葉片於葉片中間設有減振塊 (snubber)，再配合一體成型之護板，及離心力之作用，大幅改善振動現象。如圖 18。



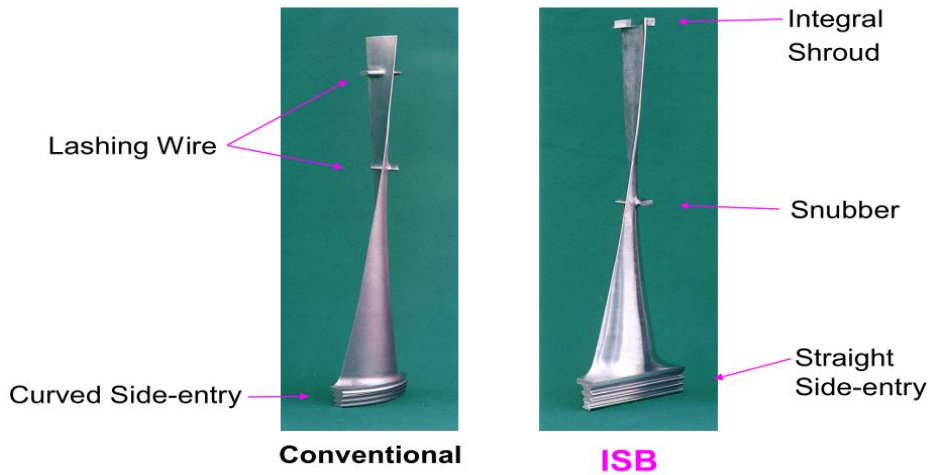


圖 18 低壓汽機葉片 ISB 設計

傳統低壓汽機後段動葉片末端無護板設計，擾流損失及蒸汽損失均較為明顯，改為 ISB Type 後大為改善。如圖 19。

後段葉片防蝕設計，通過後段葉片之蒸汽為濕蒸汽，已有部份水珠生成，為了避免後段葉片腐蝕，將 Stellite 合金防蝕片以表面銲接技術覆於 L-0/L-1 葉片末端。

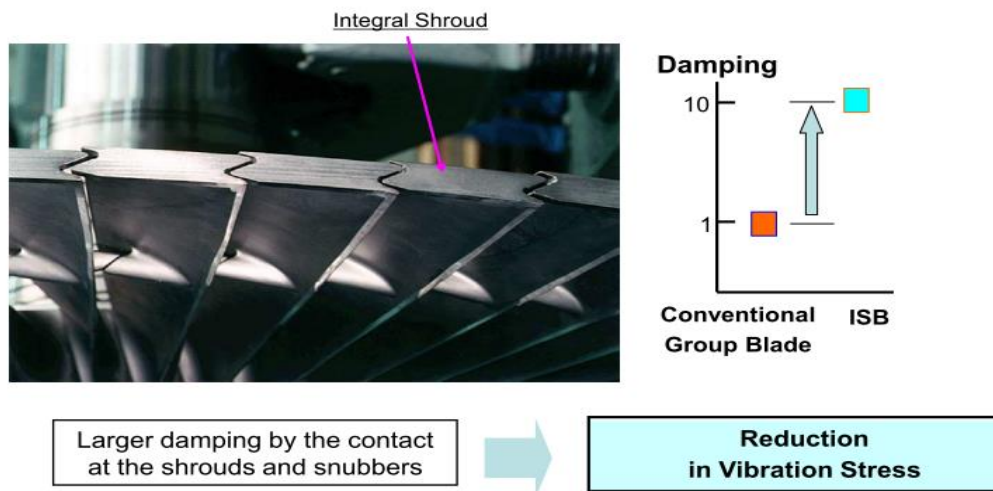


圖 19 Steam Turbine Last Blade 設計圖

## 2.3 蒸汽輪機主汽閥

功能：控制汽機的速度、負載及安全。

高壓蒸汽經由兩只 HP Stop Valve 及 HP Control Valve 進入汽機之高壓段。在汽輪機內，利用蒸汽膨脹通過汽輪機之葉片路徑，將熱能轉變為轉軸的機械能。蒸汽於高壓段膨脹作功後，再由冷端再熱管路(CRH)送回鍋爐之再熱器。

再熱後之蒸汽為中壓蒸汽，中壓蒸汽經過兩只再熱關斷閥(RSV)及兩只中間控制閥，(ICV)進入汽機中壓段作功。

來自 HRSG 之低壓蒸汽，經過 LP Stop Valve 與 LP Control Valve 後，於跨管與中壓汽機出口之低壓蒸汽滙合，然後進入低壓汽機，低壓汽機出口之蒸汽排入冷凝器。如圖 20。

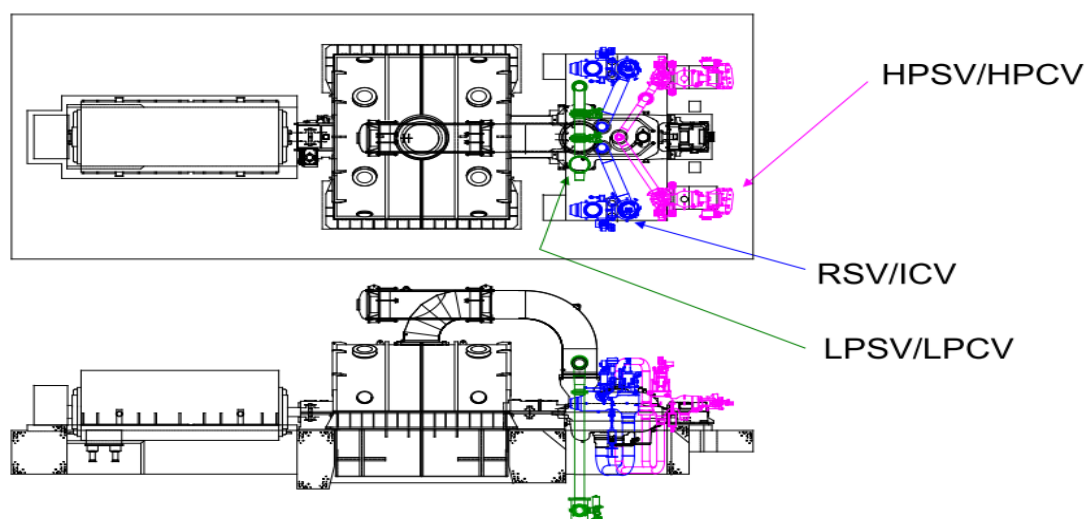


圖 20 主汽閥佈置圖

	Size (in.) x Qty.	Type	Application
HPSV	φ228.6 x 2	Plug type	Modulating
HPCV	φ216.0 x 2	Plug type	Modulating
RSV	φ463.6 x 2	Swing type	On-off
ICV	φ431.8 x 2	Plug type	Modulating
LPSV	φ457.2 x 1	Butterfly type	On-off
LPCV	φ457.2 x 1	Butterfly type	Modulating

圖 21 TC2F 型汽機-主汽閥列表

### (1).高壓關斷閥（ HP Stop Valve ）

HPSV 由主閥及嚮導閥(Pilot Valve)組成，液壓伺服閥控制油壓驅動，主閥是屬於柱塞閥的型式，閥桿在套筒內移動，其前端為(Pilot Valve)在主閥襯套內移動。

HPSV 主閥之閥座環形接觸面之嵌入片之材質為 Stellite。於機組起動時，由該 Pilot Valve 控制蒸汽流量。當機組由慢車加速至額定速率期間，HPCV 置於全開位置，進入高壓汽機的蒸汽流量由 HPSV 內之 Pilot Valve 控制，當 Pilot Valve 全開時之蒸汽流量已能使汽機加速至額定轉速。

當機組升速至額定轉速後，HPSV 與 HPCV 角色互換，此時，HPSV 全開，而高壓汽機進汽流量則由 HPCV 控制。停機時，HPSV 關閉，停止供給蒸汽到高壓汽機。如圖 22。

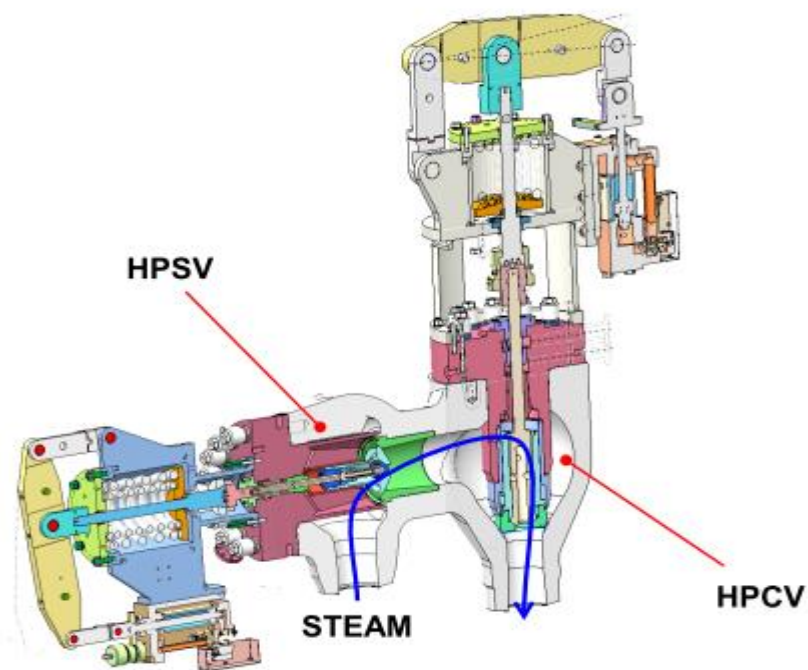


圖 22 高壓蒸汽-HPSV/HPCV 控制示意圖

### (2).高壓控制閥（ HP Control Valve ）

HPCV 是柱塞式閥，有兩只彈簧裝設於彈簧座；一個支架裝於閥體，其上裝有引動器，以連桿聯接。

HPCV 是以液壓伺服閥控制油壓開啟，藉由彈簧壓力關閉。當油壓增加閥桿上升打開閥塞，允許蒸汽通過而前往高壓汽機。當油壓減壓少時，彈簧的壓力使得閥快速移

向閉合位置。

### (3).再熱關斷閥 ( Reheat Stop Valves )

RSV 為盤閥式關斷閥，它是由高壓控制油驅動。主要部分為 RSV 閥體及跳脫前導閥。RSV 為全開/全關之關斷閥。

當機組由慢車加速至額定速率期間，RSV 置於全開位置，進入中壓汽機的蒸汽流量由 ICV 內之 Pilot Valve 控制，當 Pilot Valve 全開時之蒸汽流量已能使汽機加速至額定轉速。當機組升速至額定轉速後，RSV 全開，而中壓汽機進汽流量則由 ICV 控制。

RSV 為汽機安全裝置之一，當發生超速或緊急狀態時，跳脫前導閥打開，RSV 將快速切斷供應到中壓汽機及低壓汽機之蒸汽。防止因 ICV 無法作動時，來自再熱器之蒸汽會繼續驅動中壓及低壓汽機，使汽機轉子超速。如圖 23。

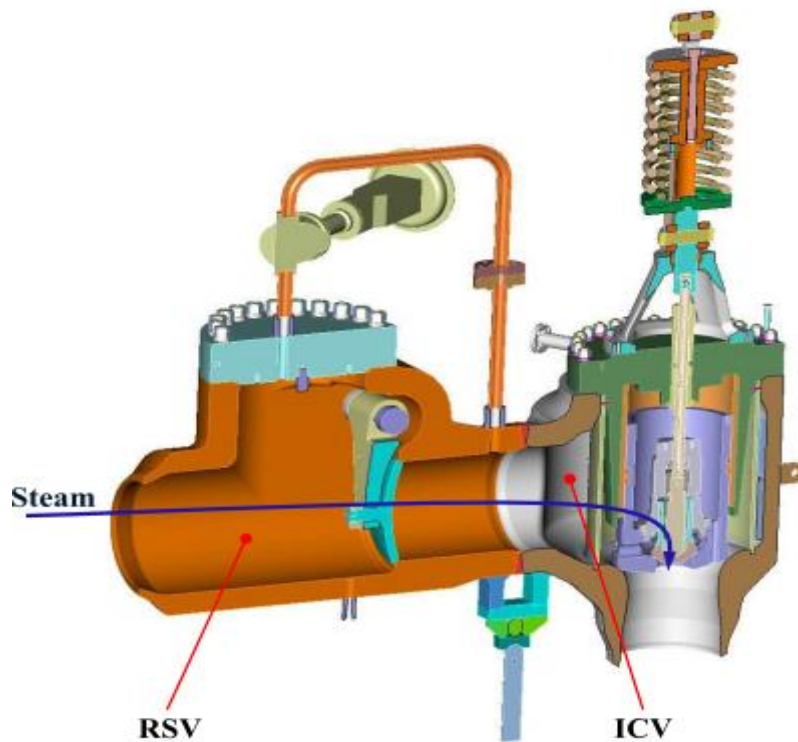


圖 23 中壓蒸汽-RSV/ICV 控制示意圖

### (4) 中間閥 ( Intercept Valves )

ICV 位於 RSV 的下游側，為雙柱塞式控制閥，於主閥內部置一平衡用之內閥，兩者均為單閥座。ICV 靠彈簧施力於閥桿上，將閥塞緊緊壓於閥座上。ICV 出口蒸汽管連

至中壓汽機進汽室。

當 ICV 開啟時，ICV 內閥先開啟，當內閥閥塞環頂住 Retainer 時，主閥開始開啟。汽閥之開關由液壓伺服閥操作。

當主閥全開時，內閥 Retainer 上升頂住閥桿之內緣，防止蒸汽經由閥桿間隙洩漏。因為，內閥 Retainer 上方之閥桿間隙內之蒸汽經由蒸汽排放管排至格蘭蒸汽。

#### (5) 低壓關斷閥 (LP Stop Valves) & 低壓控制閥 (LP Control Valves)

低壓汽機各有一個低壓關斷閥及低壓控制閥，由液壓伺服閥控制油壓決定開度，並於蒸汽入口端裝有圓筒型濾網。當機組加速至額定速率期間，LPSV 置於全開位置，LPCV 則置於全關位置。當機組升速至額定轉速後，LPSV 依然保持全開，而低壓汽機進汽流量則由 LPCV 控制。如圖 24。

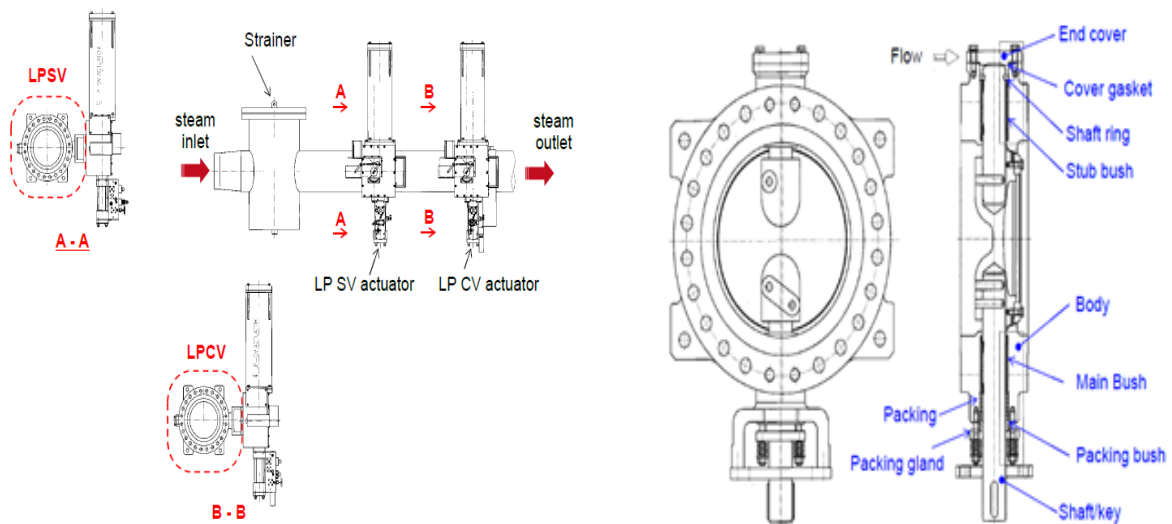


圖 24 低壓關斷閥及控制閥構造圖

## 2.4 汽輪機檢修保養

汽輪機維護保養主要分為兩面向執行：

- (1) 預防維護，指的是日常維護、檢查和運轉過程中監控儀器數據紀錄。
- (2) 定期檢修保養，於機組停止運轉進行大修檢查。

MHI 依照維護經驗分別針對 HIP 汽機、LP 汽機及主汽閥結構各部分其預防老化損壞機制提供下面列表，如表利於辨識參考。

HIP 汽機部分：如表 3 至表 5。

表 3 汽輪機 HP 維修部位列表

No	Location	Predicted aged deterioration
1	Rotating blades	Erosion or cracking of blade profile, Deposit of oxide scale
2	HIP casing horizontal joint	Steam leakage due to erosion
3	HIP casing internal surface	Cracking
4	Nut seating surface of casing or blade ring	Cracking or deformation, Seizing
5	Seal fins	Cracking, deformation, and Rubbing
6	Stack ring	Sticking
7	Journal bearing	Worn out of Babbitt metal
8	Seal rings	Sticking due to deposit of oxide scale
9	Bearing pedestal oil seal fins	Carbonized of oil, Deposited foreign object
10	Bearing Pedestal	Scratch

表 4 汽輪機 LP 維修部位列表

No	Location	Predicted aged deterioration
1	L-0 rotating blades	Erosion
2	LP casing horizontal joint	Steam leakage due to erosion
3	Special stationary blades welded portion	Lack of stationary blade due to erosion
4	Nut seating surface of casing or blade ring	Cracking of casing or blade ring
5	Seal fins	Cracking, deformation, and rubbing
6	Flow guide	Lack of material due to erosion
7	Outer Gland	Erosion of joint surface
8	Expansion joint of cross over pipe	Damage of expansion joint
9	LP-end rotating blades, side locking piece	Erosion at welding portion of side locking piece
10	Expansion joint between LP casing and condenser	Cracking due to steam higher temperature
11	Journal bearing	Worn out of Babbitt metal
12	Casing rib welded portion	Deformation of casing due to cracking and lack of rib

表 5 汽輪機主汽閥維修列表

No	Location	Predicted aged deterioration
1	Stem	Deformation, stick
2	Bonnet	Damage of female screw
3	Valve Seat	Crack
4	Pilot Valve	Crack, Erosion
5	Body	Crack
6	Main Valve	Erosion, crack of valve seat portion
7	Bushing	①Crack of contact portion of bushing ②Clearance decreasing due to thermal deformation and oxide scale

三菱機組大修維護（Overhaul Maintenance），依維護的運轉間隔、規模不同，可分為

下列項目：如表 6。

1. 主要大修 (Major Overhaul)，約 6 年一次。

項目包含: 高壓、低壓機組檢修、主汽閥 (Main valves)、潤滑油系統 (Lube oil systems)、機組所有軸承檢修等..

2. 次要大修 (Minor Overhaul)，約 3 年一次。

項目包含: 主閥 (Main valves)、潤滑油系統 (Lube oil systems)

3. 簡易大修 (Simplified Overhaul)，約 1.5 年一次。

項目包含：於運轉期間，檢修最小事故問題。

表 6 汽輪機維修周期列表

<b>Intervals of a periodical inspection</b>				
Periodical Inspection Schedule	<b>1<sup>st</sup></b>	<b>2<sup>nd</sup></b>	<b>3<sup>rd</sup></b>	<b>4<sup>th</sup></b>
Gas Turbine Periodical Inspection	C	T	C	M
<b>Steam Turbine Periodical Inspection</b>	Smp.	<b>Min.</b>	Smp.	<b>Maj.</b>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Preventive inspection is always required.</div>				

“Smp.”: Simplified Inspection, “Min.”: Minor Inspection, “Maj.”: Major Inspection

三菱公司 Steam Turbine 大修維護主要取決於 Gas Turbine 維護時程，如下表所示，根據 Gas Turbine 元件維護排程 (C: Combustor; T: Turbine; M: Major Overhaul) 分別進行簡易、次要、主要大修維護檢測。

## 2.5 格蘭蒸汽及洩放系統

格蘭蒸汽及洩放系統主要由以下子系統組成：Main steam system、Gland seal steam system、Main valve stem leak system、Drain piping system、Other system。

(1) Main steam system 可分為 HP Steam Line(高壓蒸汽管線)、Cold Reheat Line(冷端再熱管線)、IP Steam Line(中壓蒸汽管線)、LP Steam Line(低壓蒸汽管線)。

## (2) Gland seal steam system

格蘭汽封功用:

- 1.當汽機內部蒸汽壓力大於大氣壓力時，防止汽機內之蒸汽於軸封處沿軸向洩漏。
- 2.當汽機內部蒸汽壓力小於大氣壓力時，防止外部空氣滲入汽機內。

低負載運轉狀態：

從機組進汽至低負載狀態，高、中、低壓之格蘭蒸汽均由輔助蒸汽提供，當負載提升至 25%，格蘭蒸汽的來源切換至冷端再熱蒸汽(CRH)，來至 CRH 之格蘭蒸汽壓力控制於 30kPa。此時，輔助蒸汽轉為備用，當格蘭蒸汽壓力低於 25 kPag 時，輔助蒸汽控制閥將再開啟。當壓力大於 35 kPag 時，通往冷凝器之控制閥將會開啟，將多餘之格蘭蒸汽洩放掉。如圖 25。

格蘭汽封均有兩個汽封室(Chamber)，高壓側(內側)為 X-chamber，低壓側(外側)為 Y-chamber，無載或低載時，高、中、低壓之汽封蒸汽均由格蘭蒸汽提供，格蘭蒸汽由 X-chamber 流向汽缸內部，及 Y-chamber，於 Y-chamber 與外界空氣混合後，送往格蘭蒸汽冷凝器，以防止外部空氣進入汽機內。

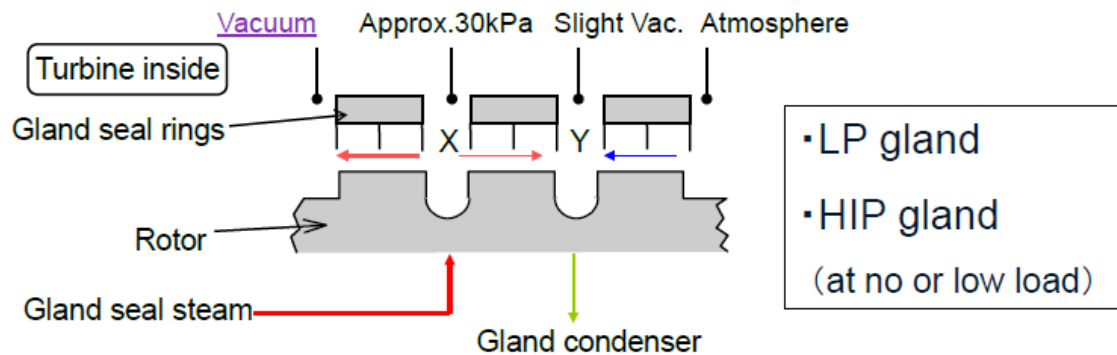


圖 25 格蘭蒸汽低負載運轉狀態示意圖

高負載運轉狀態：

當機組負載升至 70%~80%時，由高、中壓汽機洩漏至格蘭 X-chamber 之壓力大於格蘭蒸汽壓，其蒸汽流向為 X-chamber 流向格蘭蒸汽集管(Gland Steam Header)。此時，低壓側蒸汽流向維持不變。如圖 26。



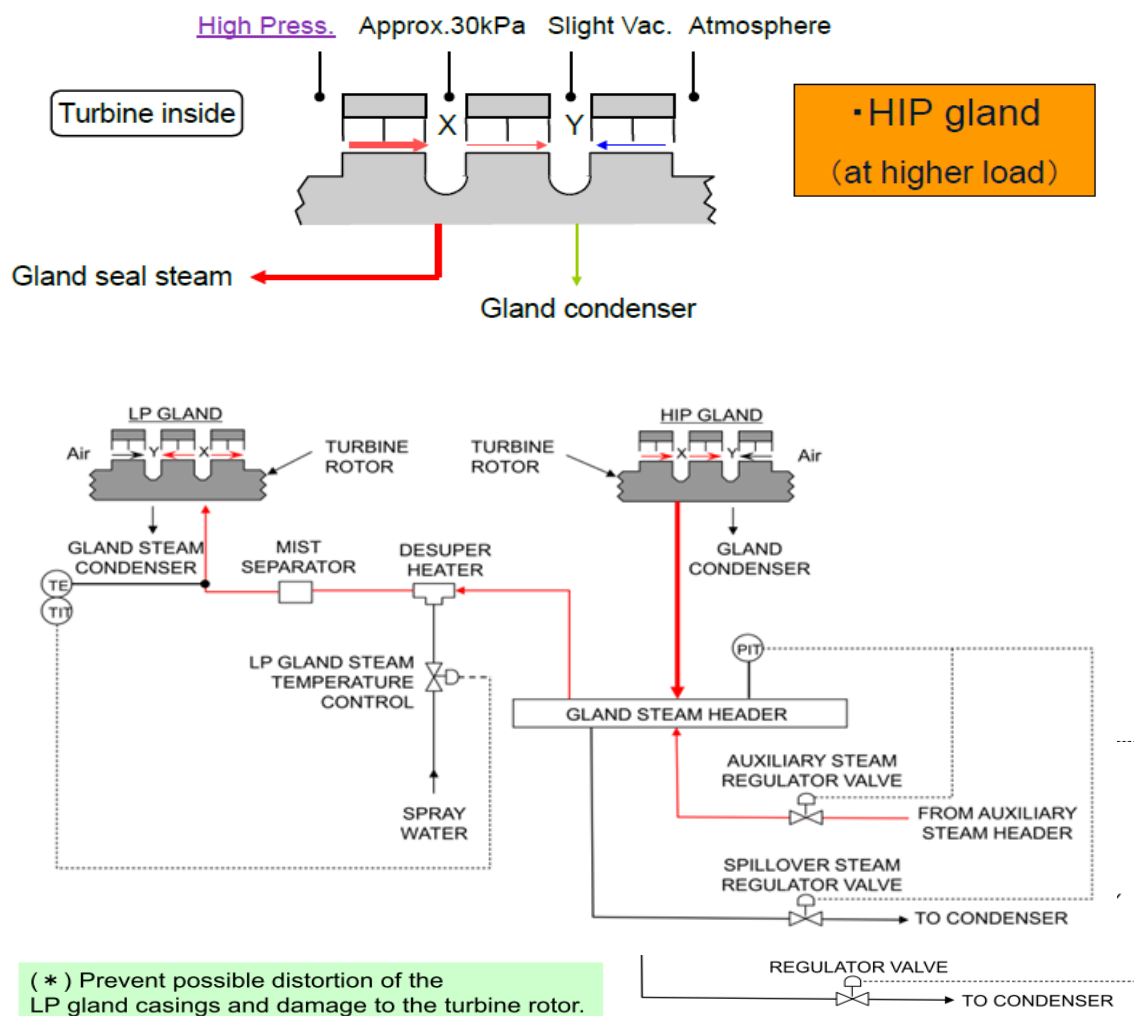


圖 26 格蘭蒸汽高負載運轉狀態示意圖

(3) Main valve stem leak system

為避免蒸汽沿閥桿間隙洩漏，於高壓關斷閥(HPSV) / 高壓控制閥(HPCV)及再熱關斷閥(RSV) / 中間控制閥(ICV)之閥帽上皆設有格蘭汽封，高壓側洩漏蒸汽(只有蒸汽)送 CRH 管路，低壓側洩漏蒸汽(蒸汽及空氣混合)送往格蘭蒸汽冷凝器。如圖 27。

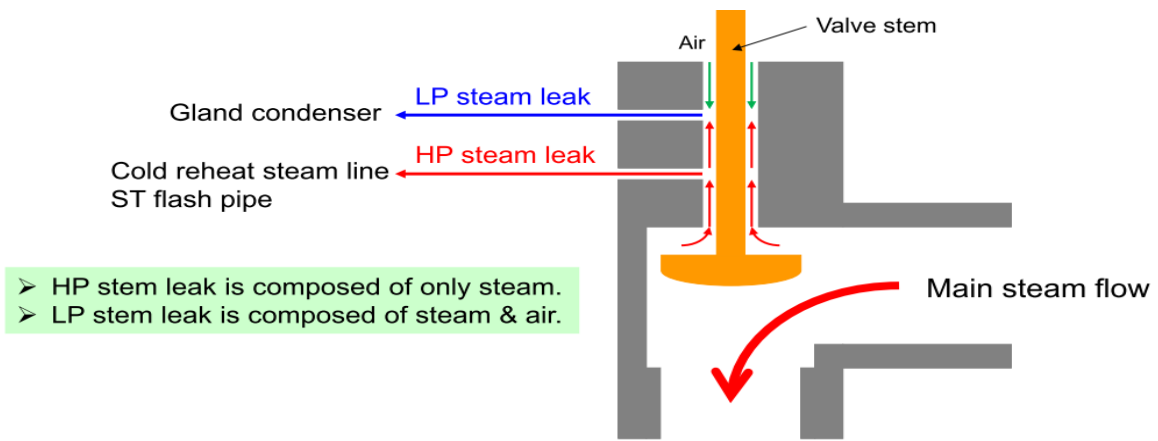


圖 27 閥桿間隙高/低壓蒸汽洩漏示意圖

#### (4) Drain piping system

洩水管路系統主要分為主汽閥洩水管路、進口端洩水管路、汽缸洩水管路。

洩水閥操作時機：當 ST load < 15%，洩水閥開啟；ST load > 20%，洩水閥關閉。

當 ST shut-down 期間，汽機周圍洩水閥皆開啟，避免水分注入汽機內部。

在於機組起動過程中，管路預熱時，將管內之凝結水排掉。其可分為兩部份，一部份排入冷凝器，另一部份則排入閃化槽(ST Flash Pipe)。如圖 28。

位於主汽閥下游側，及汽機汽缸之洩水管路連接至冷凝器，以回收冷凝水。而於機組起動前，冷凝器真空尚未建立之前，蒸汽管路必須先進行預熱(Warm up)，主汽閥上游側相關管路預熱過程所產生之洩水，均連接至閃化槽。

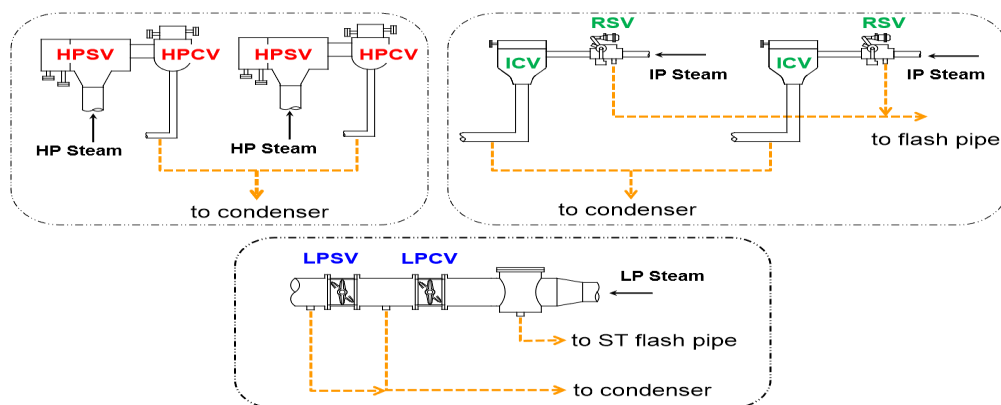


圖 28 主汽閥及進口端洩水管路圖

#### (5) Other system

##### 1. 低壓汽機排汽端噴水(LP Turbine Exhaust Spray)

為預防葉片過熱，利用此系統噴水冷卻排汽空間。汽機起動或低載時，扭力之輸出主要由高、中壓汽機提供，低壓汽機幾乎沒有作功，形成低壓葉片對蒸汽施壓，

低壓葉片與蒸汽間之摩擦力增加，LP Turbine 出口溫度與壓力均會上升，因此設計噴水管路避免低壓汽機排汽端溫度過熱。如圖 29。

噴水溫度設定：當溫度大於 70°C 時，開啟噴水關斷閥，低壓汽機排汽端開始噴水，至溫度小於 60°C 時停止。當溫度大於 80°C 則會有警報產生，若溫度持續上升至 120°C 則需手動跳脫。

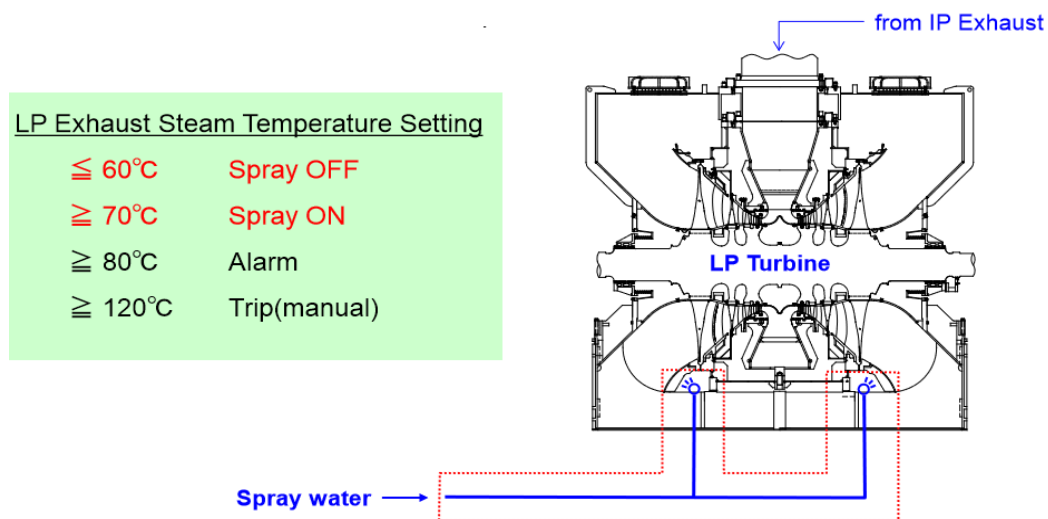


圖 29 低壓汽機排汽端噴水圖

## 2. 真空破壞閥(Vacuum Breaker Valve)

真空破壞閥功用：

- (1) 汽機停機後，打開此閥以平衡冷凝器內外之壓力。
- (2) 汽機尚未完全停止狀態，打開此閥，可破壞冷凝器內的真空，導致背壓上升，益於汽機減速。

注意：當汽機轉速高於 10% 時，不可開啟真空破壞閥，以免傷及汽機葉片。

為確保真空破壞閥的密封性，其閥帽側設計成水封型式，以確保空氣不會漏至冷凝器內。因水封水為手動添加，需定期檢視水封水液位錶。如圖 30、圖 31。

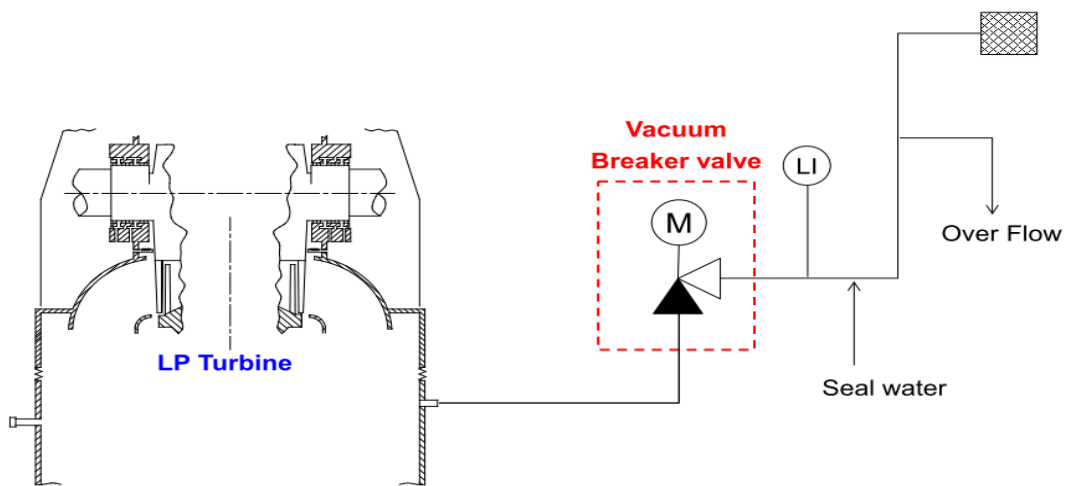


圖 30 真空破壞閥示意圖

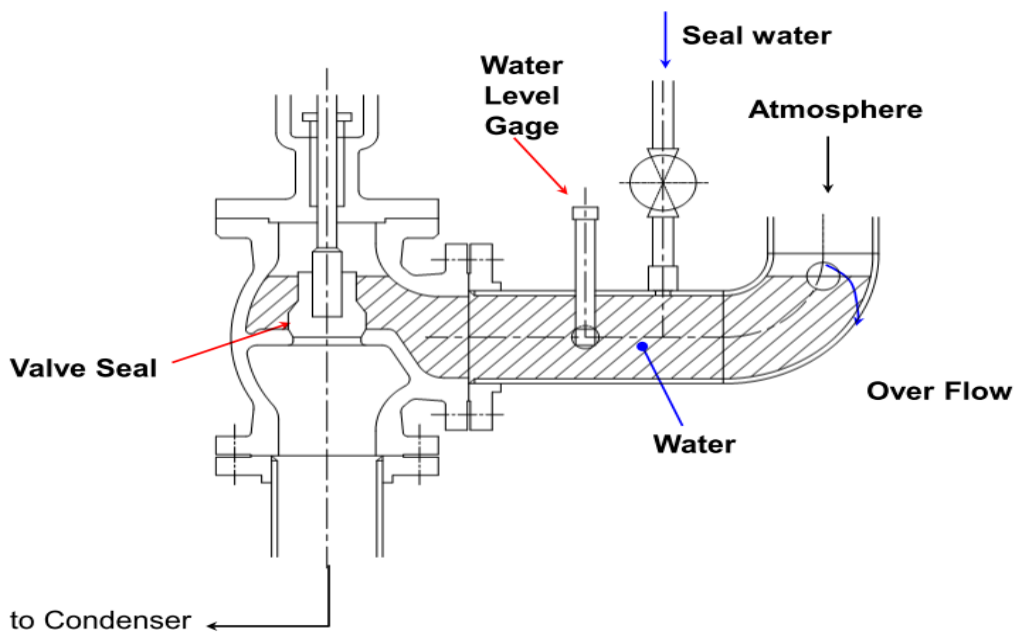


圖 31 真空破壞閥水封示意圖

### 3 通霄更新機組汽輪機控制系統

控制及潤滑油系統可分為兩部分：潤滑油系統( Lubrication Oil System)、控制油系統(Control Oil System)。

(1)潤滑油系統( Lubrication Oil System)組成如下：

1. 提供軸承、慢車齒輪潤滑
2. 提供頂昇油泵系統(JOP System)

潤滑油系統主要功能為提供充足的潤滑油給汽機軸承，避免汽機軸承因摩擦生熱而

受損。其潤滑油儲存於油槽，利用主油泵(Main lube Oil Pump A/B)或ST緊急軸承潤滑油泵(EOP)泵輸出，經潤滑油濾器及冷卻器後送至各軸承及慢車齒輪系統潤滑，潤滑後輸回流至油槽。

主油泵（Main Oil Pump）電源為 AC Power，共有 A/B 兩台，當一台主油泵運轉時另一台則為 Standby 作為備用；緊急油泵（Emergency Oil Pump）其電源為 DC Power，若因故所有 AC 電源消失時，此時主泵將無法運轉，可能造成汽機重大損壞，因此當 AC 電源異常時，仍有 DC 電源之緊急油泵可提供潤滑油給汽機軸承，避免汽機受損。

冷卻器（Oil Cooler）功用：當泵浦將潤滑油帶向軸承，會潤滑軸承同時帶走摩擦所產生之廢熱，因此潤滑油回流至油槽後將會造成油溫上昇，所以當潤滑油帶向軸承之前需經油冷卻器以降低油溫。該冷卻器包含 2 只冷卻系統，平常運轉 1 只、另 1 只備用，當需維護時可切換至另 1 只備用之冷卻系統。

潤滑油過濾器（Lube Oil Filter）功用：為避免潤滑油內微小雜質損及汽機，因此當潤滑油帶往汽機軸承之前，需經過濾器去除潤滑油內之雜質。該過濾器包含 2 組過濾系統，平常運轉 1 組、另 1 組備用，當過濾器因堵塞致差壓過高時，可切換至另 1 組備用之過濾系統進行維護工作。如圖 32。

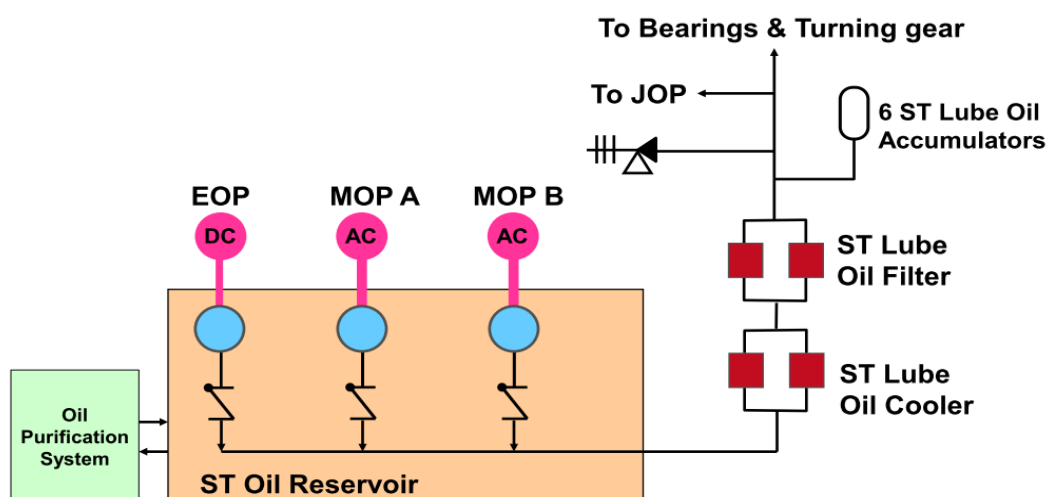


圖 32 潤滑油系統圖

(2) 控制油系統(Control Oil System)組成如下：

1. EHC 控制油系統(EH Control Oil System)
2. 汽機緊急跳脫系統(Emergency Trip Oil System)

### 3. 油洩放管路(Drain Oil Line)

#### 1. EHC 控制油系統(EH Control Oil System)：

控制汽機轉速及負載之高、中、低壓汽閥均由高壓油注入油壓缸，經 Servo-Valve 控制油壓驅動。HPSV、HPCV、ICV、LPCV 等汽閥可由輸入高壓油的多寡來控制主汽閥的開度，其控制油壓來自於輸入信號經放大器制傳至伺服閥利用伺服閥的開度控制油壓大小。透過信號的大小，來控制主汽閥的開度，而主汽閥油壓缸驅動閥桿之動力來源則為來自於控制油泵之高壓油(EH Oil)。

RSV、LPSV 汽閥操作為全開／全關模式，利用控制油泵之高壓油(EH Oil)為動力來源，可於緊急狀態時，瞬間關閉，避免過多的蒸汽持續進入中、低壓汽機，造成超速。如圖 33。

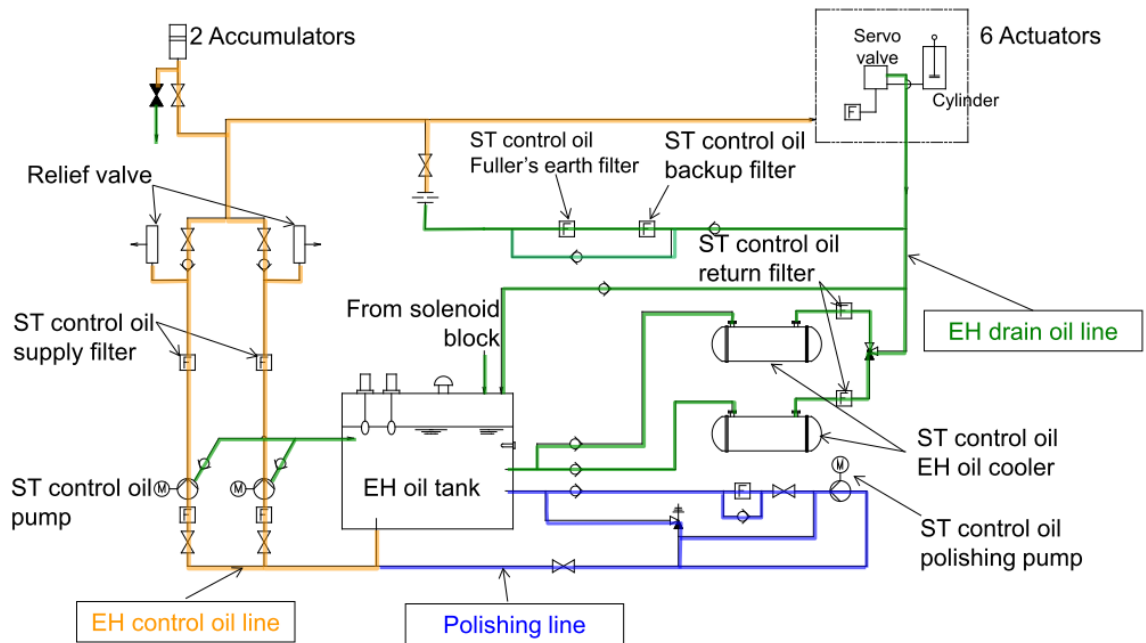


圖 33 ST 控制油系統圖

#### 2. 汽機緊急跳脫系統(Emergency Trip Oil System)：

汽機跳脫儀控面板內含 ST Trip Solenoid Block。當跳脫信號產生，跳脫電磁閥(ST Trip Solenoid)失磁，活塞閥則開啟，Emergency Trip Oil Line 管內壓力建立喪失，則汽閥關閉而汽機跳脫(ST Trip)。如圖 34。

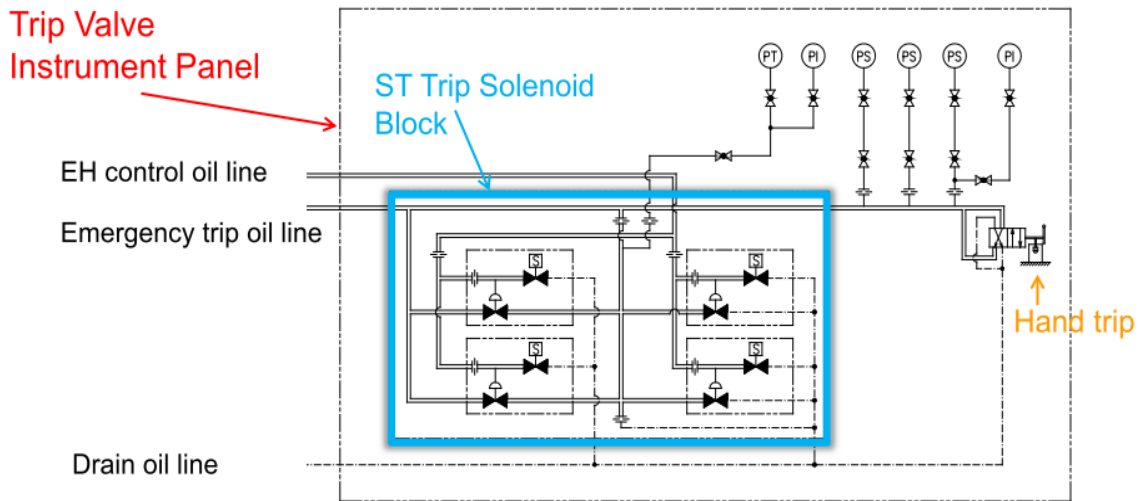


圖 34 汽機跳脫閥儀控面板控制模組

### 3.1 汽輪機控制器控制功能

高壓蒸汽從 HRSG 引出，經由 HP Stop valve(HPSV(RH)/HPSV(LH))及 HP Control valve(HPCV(RH)/HPCV(LH))進入至汽輪機高壓段作功，汽輪機高壓段 作功後之蒸汽及從 HRSG 之中壓蒸汽經由Reheat stop valve(RSV(RH)/ RSV(LH))及 Intercept control valve(ICV(RH)/ICV(LH)) 進入至汽輪機中壓段作 功，從汽輪機中壓段作功後之蒸汽及從 HRSG 之低壓蒸汽混合後，再經由 LP Stop valve(LPSV)及 LP Control valve(LPCV)進入至汽輪機低壓段作功。如圖 35 所示。

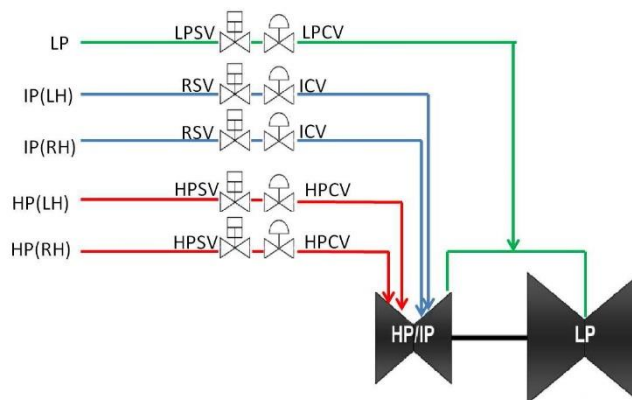


圖 35 汽輪機控制閥及對應蒸汽圖

汽輪機控制可分為控制、保護及測試等三種功能。如表 7。

表 7 汽輪機控制功能

	功能	項目
1	控制	1 速度控制(Speed up control) 2 壓力控制(Pressure control)(包括初始壓力調節(Initial pressure regulator, IPR))
2	保護	
3	測試	

控制功能

汽輪機圖控畫面如圖 36 所示。

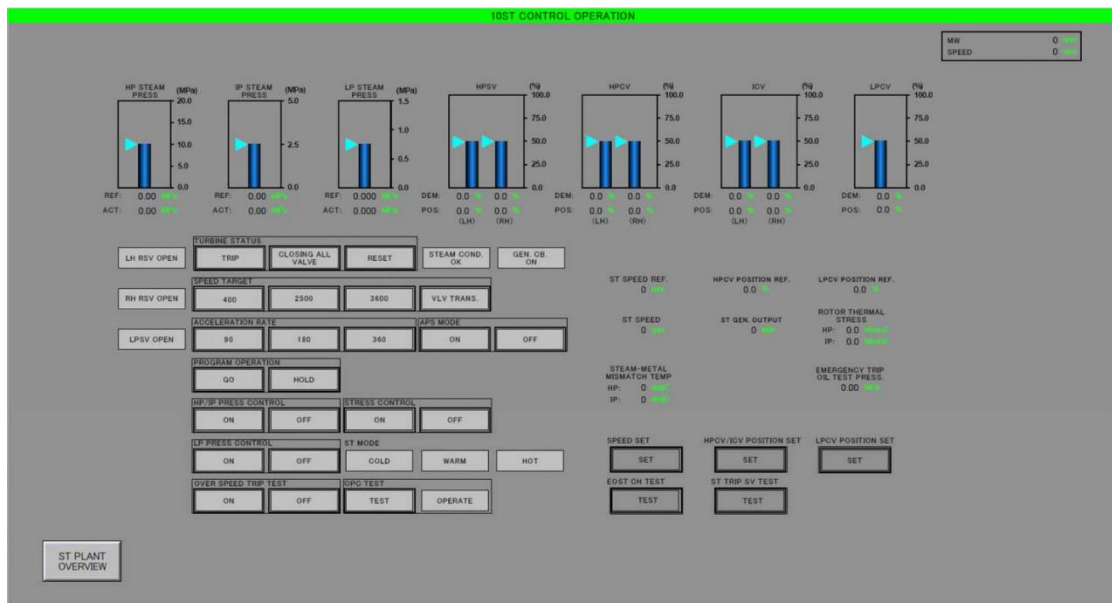


圖 36 汽輪機圖控畫面

汽輪機起動時，汽輪機轉速控制係由 HPSV 控制，藉由轉速設定器設定 汽輪機轉數目標值及速率限制器設定加速率後，經積分器累加速率信號，直至輸出與速度目標值相同。

轉速設定值(Speed target)

系統預設 3 段轉速值供操作人員於操作人員工作站中選擇。

0rpm：關閉所有閥

400rpm：抑制接觸磨擦檢查(Rub check) 2500 rpm：熱浸(Heat soak)



3600 rpm：額定轉速

加速率設定值(Acceleration rate)

系統預設3種轉速加速率供操作人員於操作人員工作站中選擇。

90rpm/min：低速率

180rpm/min：快速

360rpm/min：標準速率

控制

汽輪機控制器依據設定轉速及實際汽輪機轉速之偏差信號送至

HPSV 執行閉迴路控制。

程式執行(Program go)或程式暫停(Program hold)操作

當設定汽輪機轉數及加速度後，汽輪機開始啟動，當轉速到達設定值後，汽輪機轉速會維持在設定值。當汽輪機於加速期間，運轉人員可以於操作人員工作站中按下”Hold”鍵，將汽輪機停留於當前轉速值。然後可於操作人員工作站中按下”Go”鍵後，繼續加速。

壓力控制(Pressure control)

汽輪機於初步加載(Initial load)後，按下HP/IP 壓力控制鍵”IN”，將HP/IP 控制模式切換至HPCV/ICV 控制模式，此時HP/IP 壓力值會設定在最小壓力值。當汽輪機加載後，於正常運轉下，HP/IP 參考壓力值被設定低於實際壓力值且HPCV/ICV 控制閥處於全開狀態。

當HPCV/ICV 變換至HP/IP 壓力控制模式後，可藉由運轉人員於操作人員工作站中按下LP 壓力控制鍵”IN”，將LP 壓力控制模式投入至LPCV 控制。當汽輪機加載後，於正常運轉下，LP 壓力參考值一般設定低於實際壓力值且LPCV 控制閥處於全開狀態。此外，HP/IP/LP 壓力參考值皆可於操作人員工作站中改變設定值。

初始壓力調節(Initial pressure regulator, IPR)

HP 蒸汽壓力通常保持高於或接近於壓力設定值，然而如果HP 蒸汽壓力發生過度的下降，過濕蒸汽會被帶入汽輪機，為避免此現象發生，利用 IPR 來防止HP 蒸汽壓力過度的下降，以保護汽輪機，當IPR 偵測到HP 蒸汽壓力快速降低時，會關閉HPCV 直至HP 蒸汽壓力回復。

### 3.2 汽輪機自動起動

汽輪機自動起動(Automatic turbine start-up, ATS)

汽輪機自動起動程式可分為6步驟如圖 37 所示

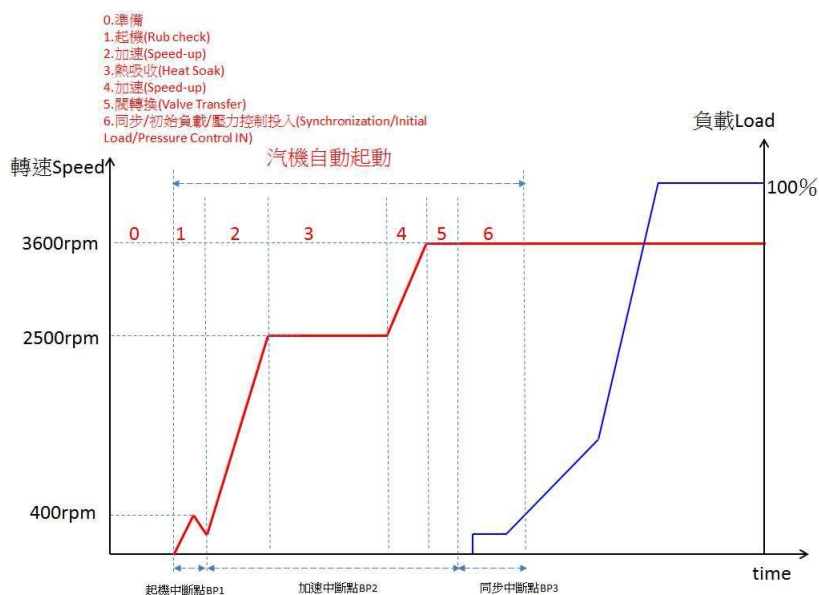


圖 37 汽輪機自動起動步驟

起動前準備條件

汽輪機蒸汽進汽允許條件：(1) Super Heater + 56°C < HP/IP Steam Temp < 430°C - 56°C < HP/IP Steam Temp Mismatch < 170°C (2) 蒸汽進汽允許條件(GT/HRSG side) (3) 冷凝器真空建立(4) ST 起動允許

抑制接觸摩擦檢測(Rub check)

ATS 起動中斷點開始：轉速設定400rpm，加速率：360rpm，HPCV/RSV 全開，HPSV/ICV 打開，當轉數大於350rpm 時，開始Rub check，HPSV/ HPCV /ICV 關閉，ATS 起動中斷點完成(Rub check 完成)：HPSV/ HPCV /ICV 開啟

加速Rub check 完成後，機組開始以速率360rpm 加速，直至2500rpm。

當轉速達2500rpm，汽輪機開始熱浸(Heat soak)，Heat soak 時間依汽輪機高壓金屬溫度決定。

當熱浸(Heat soak)完成後，汽輪機開始第2次加速，加速率為360rpm/min。

直至額定轉速3600rpm 完成第2 次加速。

.汽輪機完成第 2 次加速後，開始執行控制閥轉換(Valve transfer)，當轉換完成後 ATS 中斷點2 完成。如圖 38 所示。

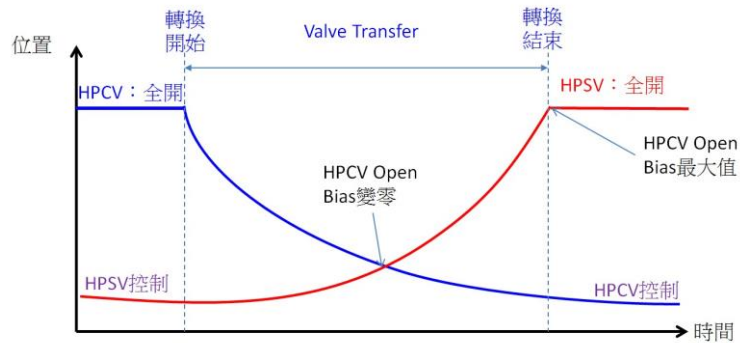


圖 38 控制閥轉換(Valve transfer)

ATS BP-3 執行條件為：當ATS BP-2 完成後，發電機控制盤(Generator control panel, GCP) 選擇為遠端(remote)，電壓調整器 (Voltage regulation) 控制信號會自動送至GCP。

當ATS 於同步模式下，汽輪機轉速增減由ASS(Auto synchronization system)控制，52G 斷路器投入，同步併聯後，初始負載控制開始加 載至5%額定MW，汽輪機初始負載暖機 (Initial load warming)時間 如表 8 所示。

表 8 汽輪機初始負載暖機(Initial Load Warming)時間

初始負載暖機(initial load warming)	
冷機模式(Cold Mode)	15 min
暖機模式(Warm Mode)	15-0 min
熱機模式(Hot Mode)	0 min

初始負載暖機完成後(HPCV/ICV Press. control IN, LPCV/Press. control IN)，ATS BP-3 完成，ATS 完成，系統解除ATS 操作。

### 3.3 汽輪機自動停機

汽輪機自動停機可分為4 步驟，如表 9 所示。

表 9 汽輪機自動停機步驟

Step-0	準備停機(由DCDAS 執行)
Step-1	LP 程式關閉命令
Step-2	HP/IP 程式關閉命令
Step-3	ST 跳脫命令

Step-0：

藉由減少GTG 負載及HRSG 蒸汽流量，降低STG 之負載。

Step-1：

經接受DCDAS 命令(LP 程式關閉(LP Program close))，汽輪機LPCV 將依程式規劃速率關閉

Step-2：

確認LPCV 完全關閉後，接受DCDAS 命令(HP/IP 程式關閉(HP Program close))，汽輪機HPCV 及IPCV 將依程式規劃速率關閉

Step-3：

確認 HPCV/ICV/LPCV 不在壓力控制模式且 STG 負載小於 5%(最低 負載)，DCDAS 會送出ST Trip 命令至STIP(ST Interlock panel)使汽輪機跳脫，汽輪機跳脫後，STG 保護機制將會偵測到逆相功率並且 觸發切斷52G

### 3.4 全廠自動起動、停機系統

全廠自動起動停機(Automatic plant start-up & shut-down system, APS)係廠家 MHPS 設計於全廠適當條件下，執行全廠自動起動停機，包括氣渦輪機(Gas turbine, GT)，熱回收鍋爐(Heat recovery steam generator, HRSG)及汽渦輪機(Steam turbine, ST)。在頻繁的運轉週期下，運轉人員通常承受運轉條件與設計 條件不同之風險壓力，APS 可用來降低運轉人員工作負擔，APS 提供全廠標準起停，以控制全廠運轉接近設計參數需求，並提供安全的運轉，避免潛在 跳脫情況發生。APS 起機圖控畫面如圖 39

所示。機組冷機起動時程如圖 40 所示。

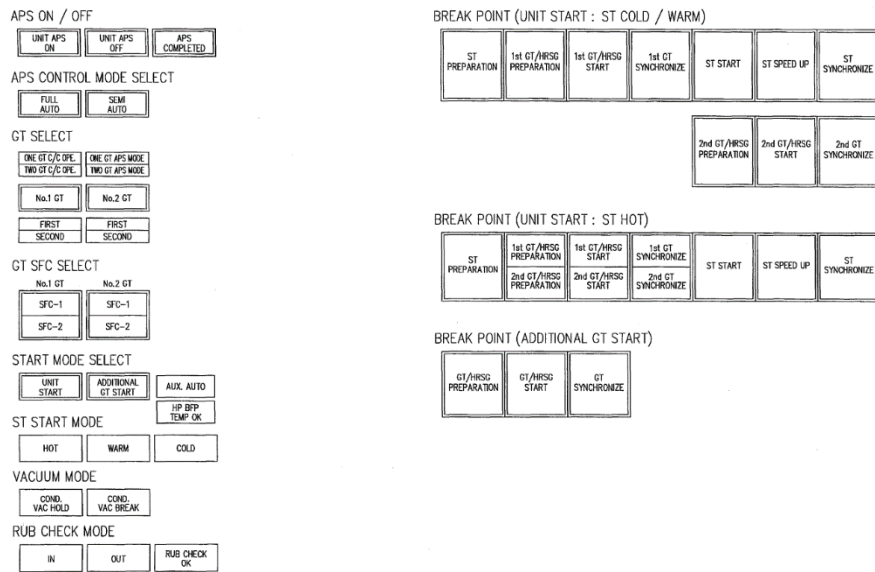


圖 39 全廠自動起停(APS)起機之圖控畫面

### FULL BLOCK START-UP MODE SELECT (COLD)

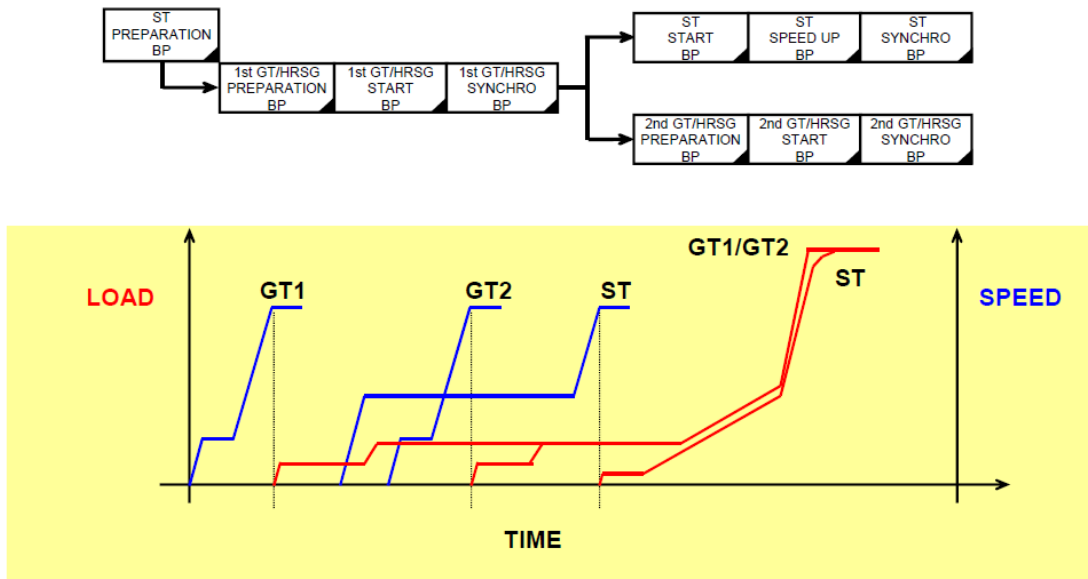


圖 40 機組冷機起動時程

#### APS 控制模式

APS 由數個中斷點(Break point, BP)組成，提供二個操作模式

全自動模式(Full auto mode)

當選擇”Full Auto”時，全廠可自動起機或停機從第1 個BP 至最後1 個 BP，期間運轉人員無須介入操作。

### 半自動模式(Semi auto mode)

當選擇”Semi Auto”時，全廠自動起機或停機程式分為數個 BP，每一個 BP 完成必須經運轉人員確認後，方能執行下一個BP。

如果ST 處於冷機模式(Cold mode)時，系統將不允許選擇Full Auto 模式，因為汽渦輪機必須於冷機模式起動下，人工執行抑制接觸摩擦檢測(Rub check)。

### APS 起動

APS 起動(Start-up)之控制模式可分標準起動模式(Normal start mode)及額外起動模式(Additional start mode)二種模式。

#### 標準起動模式(Normal start mode)

標準起動 模式(Normal start mode)使用時機為0→2 on 1 或0→1 on 1，也就是說提供有全區塊(Full block)及半區塊(Half block)，取決於最終所選擇的 GT 起動數，若選擇全區塊(Full block)時，操作人員可選擇第1 個優先起 動的GT。對於GT、HRSG 及ST 的控制執行，從冷凝器水及鍋爐飼水的 建立一直到ST 對應到2 部GT 總負載的初始負載運轉，中間包括GT 起動，真空度建立，ST 起動，HRSG 運行等等。

#### 額外起動模式(Additional start mode)

額外起動模式(Additional start mode)使用時機為1 on 1→2 on 1，假使機組 運轉在Half block(1 on 1)情況，操作人員可利用此模式將另一部GT 起 動，切換為Full block(2 on 1)。

### 起動完成條件

#### 汽渦輪機ST 起動模式

APS 提供3 種機組起動模式，此模式係由系統依ST 汽輪機高壓蒸汽進汽金屬溫度自動選擇，如表 10 所示。

表 10 汽輪機停機模式

模式(Mode)	汽輪機高壓蒸汽進汽金屬溫度
Hot(熱機)	450°以上
Warm(暖機)	310°-450°
Cold(冷機)	310°以下

## APS 停機

APS 提供下列2種停機模式供選擇

標準停機模式(Normal shut-down mode)

此模式下，HRSG、ST 及GT 之停機控制執行，從機組降載一直到GT 停機，包括飼水(Feedwater)及冷凝水系統(Condensate water system)。

個別停機模式(Individual shut-down mode)

此模式下，選擇欲停機之GT 及HRSG(從2 on 1 到1 on 1)，由所選擇之 HRSG 執行停機控制一直到對應的GT 停機，於此期間亦停止相對應的飼水泵(Feedwater pump)。

APS 停機圖控畫面如圖 41 所示。機組停機負載曲線如圖 42 所示。

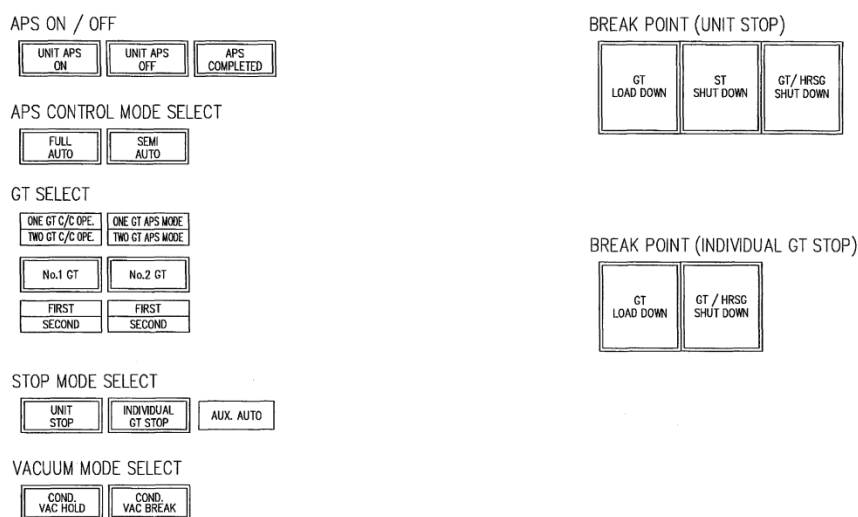


圖 41 全廠自動起停(APS)停機之圖控畫面

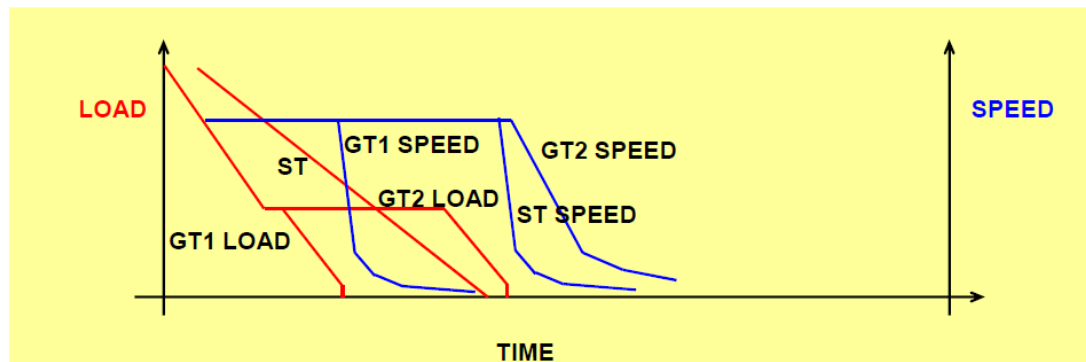


圖 42 機組停機曲線

## 4 心得與建議事項

能參加此次海外研習，要感謝電廠各級長官推薦及指導，對於此次實習吾等亦非常珍惜得之不易的學習機會，同時也肩負著建立核心技術及傳承的重責大任，尤其於公司面臨轉型之際，透過學習新知識、先進技術並運用於工作上激盪出新的工作層面、思維和方法，為工作注入活力、創造力，為公司開創新的價值。

此次出國實習，對於三菱高砂製作所內部生產製造與設備修護廠區之規劃、整潔與員工素養相當佩服。廠區內除保持機器及工作環境的乾淨，定期規劃執行對設備的維護保養；內部員工不僅儀容整潔，且講禮貌有紀律，徹底執行 5S 管理方法，使事故發生機率大大降低並創造一個良好的工作環境。

因應未來電力自由化開放後的市場競爭，建議加速本廠第二期更新擴建機組計畫之進行，藉以降低運轉燃料成本，提高機組運轉效率，以期提升本公司競爭力。

經由運轉資料分析可知，在未來機組全面更新完成後，因運轉效率提升，可節省為數可觀之燃料費用，預估每年高達 60 億元。如表 11 所示。

表 11 更新擴建後之機組節省燃料費用比較

機組別	熱效率 (%)	熱耗率 (KCAL/KWH)	燃料費 (元/度)	節省燃料費用 (億元/年)
通霄新機組	60%	1433	1.441	60.6
大潭機組	58%	1483	1.491	
通霄舊機組	45%	1911	1.922	
NG 價格 8.9649 元/m <sup>3</sup> , 燃料熱值單價以 1.006 元/CAL (LHV) 年發電量以 1,800,000*24*365*0.8=126 億度計算				

藉由實習的交流，可深刻了解原廠家運用在機組上設計理念及應用方針，也可體認三菱公司對於事情處理的嚴謹態度，不僅是事前的仔細規劃，對於任務執行後檢討也不遺餘力，如此的策劃力、執行力使得三菱公司於電力系統發展上占有一席之地，這方面都是值得台電公司參考與學習。