

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：實習)

大潭複循環發電機組汽輪機  
設計安裝運轉維護訓練

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：九等機械工程師

姓名：潘元章(670202)

出國地區：日本

出國日期：93年9月15～93年10月12日

報告日期：93年11月12日

## 行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：大潭複循環發電機組汽輪機設計安裝運轉維護訓練	
出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司 核能火力發電工程處	
出國人姓名/職稱/服務單位：潘元章/機械工程師/北部施工處氣機課	
出國計畫 主辦機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整 <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.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以 <input type="checkbox"/> (3)內容空洞簡略容 <input type="checkbox"/> (4)未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> (5)未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.其他處理意見
層轉機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 退回補正，原因：_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位 主管：	主管處 主管：	總經理 副總經理：
------	-----------	------------	--------------

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大潭複循環發電機組汽輪機設計安裝運轉維護訓練

頁數\_\_\_\_\_ 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司核能火力發電工程處

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：潘元章/北部施工處氣機課/機械工程師/03-4737767-604

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：93.09.15~93.10.12 出國地區：日本

報告日期：93.11.12

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

本次研習之主要任務為「大潭複循環發電機組汽輪機設計安裝運轉維護訓練」。職奉派於93年9月15日至93年10月12日間赴日本三菱重工研習有關大潭複循環發電機組汽輪機組發電設備之設計、安裝、運轉、維護等相關訓練。期間除了接受課堂講授並至其製造工廠內現地實際觀察大潭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，對其工業水準之進步與管理技術之完善等印象深刻，也讓職對於大潭發電計畫的順利裝機與運轉深具信心。

## 目 錄

壹、國外公務之內容與過程 -----	4
一、出國任務 -----	4
二、內容與過程 -----	4
貳、國外公務心得與感想 -----	4
一、汽輪機的設計 -----	4
二、汽輪機的安裝與試運轉 -----	8
三、汽輪機的運轉 -----	13
參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項 -----	22
肆、對本公司的具體建議 -----	22

## 壹、國外公務之內容與過程：

一、出國任務：大潭複循環發電機組汽輪機設計安裝運轉維護訓練

二、內容與過程：

### (一)、前言：

依大潭發電廠建廠合約規定，本公司須指派相關人員赴廠家接受短期訓練，學習廠家所提供設備之設計原理、安裝、運轉及維修等經驗，以利機組設備安裝、試運轉等工作之順利進行與如期完成。本次職奉派前往 MHI 公司研習，其內容為大潭複循環發電機組汽輪機組發電設備之設計、安裝、運轉、維護等相關訓練，除了先在高砂廠接受相關課程之訓練及實地觀摩機組設備製造現況外並赴日本橫濱 MHI 總部繼續接受汽輪機之研發與設計理念、安裝程序與方法、機組測試與試運轉步驟、運轉與維護等課程之訓練。

### (二)、實習期間及前往機構：

- 1、93.9.15 去程
- 2、93.9.16~93.9.17 赴 MHI 高砂廠研習設備製造流程、品管、測試等。
- 3、93.9.18~93.10.11 赴 MHI 橫濱總部研習發電設備之研發與設計理念、安裝程序與方法、機組測試與試運轉步驟、運轉與維護等課程。
- 4、93.10.12 返程

## 貳、國外公務心得與感想：

大潭複循環發電計畫分為兩階段(STAGE-I & STAGE II)進行，兩階段之主設備採購均由日商 MHI 公司得標，因此機組規格統一，界面整合問題較少，有利於整個計畫之進行。第一階段共有兩部機，每部機包括三部 M-501F 氣渦輪機、三部氣渦輪發電機、三部熱回收鍋爐及一部汽輪機、一部汽輪發電機。每部機發電量約為 742,700KW(燃氣)。第二階段共有四部機，每部機包括二部 M-501G 氣渦輪機、二部氣渦輪發電機、二部熱回收鍋爐及一部汽輪機、一部汽輪發電機。每部機發電量約為 724,700KW(燃氣)。此次出國任務主要內容為汽輪機之設計、安裝與運轉，詳述如下：

### 一、汽輪機的設計

本計畫汽輪發電機組為「兩缸串聯複合、雙流排汽冷凝再熱式」，包括高、中壓複合汽機及一雙流排汽低壓汽機。

#### (一)、高、中壓複合汽機

高、中壓汽機與低壓汽機同缸形成一緊緻而完整之汽輪機組，MHI 高、中壓複合式汽機的設計可消除當汽機起動與負載變化時過度的熱應力與熱應變。

MHI 複合式高、中壓汽機包括下列組件：

- 1、高、中壓汽機葉片

高、中壓段汽機葉片為高性能之反動式葉片設計

## 2、高、中壓汽機轉子

高、中壓汽機轉子由具有抵抗潛變破裂 (Creep-Rupture) 之強度特性。在汽機端 (Governor End) 另以螺栓銜接控制軸 (Stub Shaft) 藉以固定推力軸承推力環 (Thrust Bearing Collar) 並帶動超速跳脫機構 (Over Speed Trip Device)。各段轉軸外徑為了提供從運轉到臨界足夠的速度而有所不同。轉軸表面平滑的設計可減少因易變的熱應力與彎曲應力而產生之應力集中現象。

高、中壓汽機轉子藉由剛性聯軸器與低壓汽機轉子連接。

## 3、支撐高、中壓汽機轉軸之一、二號頸軸承 (Journal Bearing)

採用傾斜塊非旋轉式 (Tilting Pad Non-whirling) 設計。

## 4、推力軸承則是採可自動平均分散負荷至許多推力塊上之 Leveling Plate Type 設計。

## 5、汽機外殼

汽機外殼的結構與支撐方式可因應溫度變化以使可能發生之變形減少至最小。

## 6、汽機台前方為自由端，以便能在基座上軸向滑動，但橫向移動則由置於汽機台與基座間橫向中心線上之定位鍵所限制。任何傾斜或頂升之運動趨勢將被配有足夠間隙以允許軸向自由運動之滑具所限制。

## 7、進汽管路

「撓性高壓汽機進汽管」連接高壓汽機控制閥與機殼。同樣的，「撓性中壓汽機進汽管」連接中間閥 (Intercept Valves) 與機殼。

這些管路藉由撓性汽封環與機殼連接，可減少蒸汽洩漏至最小量並吸收熱應變與熱應力。

## (二)、低壓汽機

### 1、低壓汽機具有兩側相同結構之雙流設計。

### 2、外缸與內缸分散掉進汽口與冷凝器間的溫度差以避免吸收過多的熱應力並防止汽缸變形。

### 3、擴散器導流板與大型排汽殼的設置可減低排汽損失。

### 4、低壓汽機葉片

初級為高性能反動式短葉片。低壓末級葉片有考慮到防沖蝕處理以配合更進步的性能所需。

對於葉片通路間的溼氣或水滴問題也已予以調查研究，其結論亦納入葉片通路之設計中。

除了這些重要的改善，以下的裝置被用來作為防止沖蝕的保護措施：

1). 最後一級動葉片前緣鑲上足夠長度之鉻、鈷、鎢合金防蝕

片。

2). 最後一級動葉片頂部蒸汽流路徑具有狹窄的孔隙可讓來自最後一級靜葉片之溼氣排至冷凝器。

#### 5、低壓轉子

低壓轉子藉一剛性聯軸器與發電機連接。

#### 6、低壓汽機外壳

低壓汽機外壳由鋼板結構組成，可防止因進汽與排汽溫差產生之變形。

低壓汽機外壳採雙流設計，由水平隔開的上蓋與下座裝配而成。

7、為了防止導因於轉子與機壳間之轉子電流流經軸承與軸頸，造成軸承損壞，在蒸汽輪機與發電機之間設有接地碳刷。

### (三)、汽機閥

#### 1、高壓關斷閥（HP Stop Valve）

每部汽機有兩個完全相同之高壓關斷閥，由液壓伺服機構驅動。圓筒狀蒸汽濾網包覆在閥上。閥具有部份行程測試設備，可在汽機運轉時作平順的部份關閉閥門動作，以確保關斷閥真正要關閉時，順利關閉。

#### 2、高壓控制閥（HP Control Valve）

每部汽機有兩個完全相同之高壓控制閥，由獨立液壓伺服馬達驅動。控制閥亦具有部份行程測試設備。

#### 3、再熱關斷閥（Reheat Stop Valves）

每部汽機有兩個完全相同之再熱關斷閥，由開—關型伺服馬達控制。再熱關斷閥亦具有部份行程測試設備。

#### 4、中間閥（Intercept Valves）

每部汽機有兩個完全相同之中間閥，由獨立液壓伺服馬達控制。此蒸汽閥為環封塞型，安置在肩式閥座上。中間閥亦具有部份行程測試設備。中間閥周圍裝有圓筒型濾網。

#### 5、低壓關斷閥（LP Stop Valves）

每部汽機有一個低壓關斷閥，由開—關型伺服馬達控制。低壓關斷閥亦具有部份行程測試設備。

#### 6、低壓控制閥（LP Control Valves）

每部汽機有一個低壓控制閥，由獨立液壓伺服馬達控制。低壓控制閥亦具有部份行程測試設備。低壓控制閥周圍裝有圓筒型濾網。

### (四)、控制油與潤滑油系統

以下分三部份介紹高壓油系統（High Pressure Oil System）、潤滑油系統（Lubrication System）及控制油系統（Control System）

#### 1、高壓油系統

主油泵驅動器安置在汽機轉軸前端，正常運轉下高壓油系統由

主油泵提供。在起動及停俾期間，高壓油系統需要之高壓油由 AC 馬達驅動之輔助油泵驅動。

正常運轉狀態下由主油泵排油之目的如下：

- 1). 作動油噴射器供油至主油泵吸入口端。離心式主油泵藉一個油噴射器在其吸入口端為正壓時將油送入。
- 2). 作動另一個油噴射器以提供軸承潤滑油。
- 3). 提供經過濾的高壓油。

使用過濾過的高壓油有下列目的：

- 1). 作動高壓關斷閥 (HP Stop Valves)、高壓控制閥 (HP Control Valves)、再熱關斷閥 (RSV)、中間閥 (Intercept Valves)、低壓關斷閥 (LP SV) 及低壓控制閥 (LP CV)。
- 2). 提供跳機系統用油。
- 3). 提供控制油系統用油。

## 2、潤滑油系統

軸承潤滑油系統用油自油噴射器供給，其循環流經油冷卻器並分流入主軸承、推力軸承及慢速迴轉機。

軸承油管線有一釋壓閥作為調節適當油量改變所需。

在起動及停俾期間，由 AC 馬達驅動之輔助油泵及慢速迴轉機油泵作動。

除了上述緊急用途之油泵外，亦有提供由 DC 馬達驅動之緊急油泵。

由兩個百分之百容量之油冷卻器以串聯方式連接，藉三通閥依需要相互切換作用。

## 3、控制油系統

所有控制均利用置於主油泵之轉軸提供之潤滑油以液壓方式操作。運用排油壓力來獲得作動伺服馬達柱塞所需之力。

同樣的排油壓力經過限流孔及各種控制器的調整而獲得所需低壓，藉由自動關斷油壓與控制油壓來監控伺服馬達的位移。

## (五)、軸封系統

轉子軸封蒸汽系統的功用為防止蒸汽自汽機內沿著軸與汽缸間之間隙漏出，或機內壓力低於大氣壓力時，空氣由此處進入汽機內。

軸封裝置包含下列元件：

### 1、軸封蒸汽控制器：

目的為提供汽機從起動、運轉及停俾期間定壓的軸封蒸汽。控制器在起動階段調節所有來自高壓管線並通過控制閥之蒸汽。當負載增加，高壓軸封洩漏逐漸減少所需額外之軸封蒸汽。當來自高壓軸封蒸汽的洩漏蒸汽超過低壓軸封蒸汽需要量時，控制閥調節高壓蒸汽關閉，溢出閥 (Spill-over Valve) 開啟並讓過剩蒸汽流通到低壓區域以保持所需軸封蒸汽壓力在壓力控制



器設定之壓力。

上述軸封設備為自動控制作動，但也可手動控制。

#### (六)、洩水系統

汽輪機運轉時，最重要的是絕不能讓水份進入汽機。

在汽機起動或低負載時可能產生之冷凝水藉由冷凝器或其他一連串洩水限流器及可在起動及停俾階段操作之氣動洩水閥分流出去。

#### (七)、低壓汽機排汽噴水系統

自動噴水系統控制高排汽溫度。

用來控制來自冷凝水泵排水端之溫度控制閥安裝在汽機壳環內。汽機轉子軸封環塊為彈簧支撐迷宮式設計。外環可在不需掀開汽機上蓋的情況下拆卸。

### 二、汽輪機的安裝與試運轉

#### (一)、檢測基礎螺栓與埋件之位置及高程

- 1、設定汽輪機軸向與橫向中心線及裝機高程基準點 (Benchmark)，高程基準點不能設在鋼架上，而應設在汽機台上並避免在裝機過程受到干擾。
- 2、依據中心線及高程基準點，利用鋼琴線 (Piano wire) 與光學儀器來檢測基礎螺栓與各項埋件之位置及高程，若有偏差必須做修正。

#### (二)、安裝關斷閥、控制閥與蒸汽管路

- 1、高壓、中壓、低壓之關斷閥與控制閥之安裝工作可在汽輪機安裝開始之前展開，如此可使蒸汽管路之安裝工作與汽輪機安裝工作同時進行。
- 2、利用汽輪機之中心線 (軸向與橫向) 與高程基準點來設定蒸汽閥之位置及高程。
- 3、安裝閥之支撐架，然後安裝蒸汽閥總成。
- 4、開始安裝蒸汽管路。

#### (三)、安裝潤滑油與控制油系統總成及油管

- 1、主潤滑油設備包括油槽、輔助油泵、慢俾迴轉油泵，緊急油泵、排氣扇、油霧分離器、蓄壓器、油過濾器、濾油機及冷卻器，整個在工廠組裝在一個構架上後送工地。
- 2、油系統總成吊放在基礎上後，調整其位置、水平及高程，再以螺栓鎖固。
- 3、開始安裝油管，油管安裝之前要做氣壓試驗

#### (四)、基礎表面整理

- 1、基礎需要灌漿的地方要打毛，打毛深度與範圍須依圖說規定，打毛後用真空吸塵器清除乾淨。
- 2、基礎螺栓管套突出基礎之部份要切除，管套上蓋也要切除。

#### (五)、安裝水平座板 (Leveling Plate) 與水平楔 (Leveling Wedge)

- 1、長方形水平座板安裝在高壓軸承台座板下，低壓汽缸之支撐用圓形水平座板與水平楔，這些座板與水平楔可在設備運抵工地之前安裝完成，座板與水平楔之位置、水平、傾斜與高程須依照轉子對心圖及其他相關圖說之規定施作。有兩種施作方法，分別為以水泥砂漿 (Heavy Mortar) 施作及以不收縮水泥施作。
- 2、低壓汽機兩端軸承台座 (包括慢速迴轉機台座) 之基礎座板利用水平楔及圓形水平座板來支撐，為了保留旋轉水平楔調整螺栓時板手、萬向接頭及延長桿之空間，水平楔之定位可以成一角度。水平楔與低壓圓形水平座板同時灌漿。
- 3、水平座板之位置要盡量靠近基礎螺栓，以避免鎖緊基礎螺栓時基礎座板變形。高/中壓水平座板上要放 3.2mm 厚之墊片，水平座板定位後要決定每一座板之高程，水平座板要向外傾斜，依照轉子對心圖設定座板之高程在 Final grade line 之下 1.6mm，以減少調整台座高程時墊片之需要量。

(六)、安裝與調整基礎座板

汽輪機基礎座板坐在支撐座板上，然後灌漿與基礎結合。安裝基礎座板之前要確定支撐座板之水泥塊已養生完成。

(七)、安裝並調整高/中壓與低壓軸承台座

高/中壓與低壓軸承台座皆在工廠組裝完成，軸承台座安裝之前要準備足夠之墊片 (約 0.3mm)，將軸承台座之基礎座板調整至適當之高程

(八)、安裝冷凝器膨脹接頭

(九)、在低壓汽機開口四周安裝灌漿檔板，以利最後灌漿

(十)、安裝低壓汽機外缸下半 (冷凝器要先就位)

- 1、吊裝低壓汽機外缸下半部
- 2、設定低壓外缸之水平
- 3、依據低壓汽缸之軸向、橫向中心線來調整冷凝器之位置及高程

(十一)、安裝高/中壓汽輪機

安裝高/中壓汽輪機之前要先將其下方之蒸汽管吊裝在大略之位置 (稍低)

(十二)、低壓汽輪機內缸下半組件之安裝

葉片環 (blade rings)、平衡環 (dummy rings) 與軸封裝置 (gland assemblies) 要安裝在低壓汽輪機內缸下半，安裝時必須注意組件之清潔，工作人員要穿沒有口袋之工作服，所使用之工具要列表登記，安裝完成後要清點，以確認無工具掉入汽輪機內

(十三)、低壓轉子之安裝

- 1、在量測低壓轉子間隙時，低壓轉子要吊裝好多次
- 2、低壓汽缸定位
- 3、量測轉子間隙

(十四)、初步對心

- 1、轉子之對心必須依據轉子對心相關圖說
  - 2、發電機轉子與低壓汽機轉子之對心
  - 3、調整汽缸水平接合面之水平度在公差範圍內
  - 4、利用油石或細砂布來檢查聯軸器是否有毛頭或突出？若有則磨除
  - 5、在 coupling 連結之前，軸承必須先對心，使 coupling face 平行又同心，首先設定低壓軸承，以此作為其他軸承調整之參考點
  - 6、平行檢查（parallelism check）
  - 7、同心檢查（concentricity check）
  - 8、對心之調整→垂直方向之調整，可將汽缸頂升，然後調整基礎座板下方之墊片厚度。左右方向之調整，可用油壓千斤頂頂住 jacking post 來調整
  - 9、高／中壓汽機與發電機可移動，不要移動低壓汽機
  - 10、將低壓汽機轉子固定在“K”位置，量測低壓轉子法蘭面與發電機轉子法蘭面之間隙（此處安裝慢速迴轉機之齒輪）
- (十五)、低壓汽機上半內缸組件及內缸之安裝
- 1、為了確認內缸內部組件與內缸能夠順利安裝，內缸上半必須被翻轉過來。為了量測葉片環之徑向間隙與汽機葉片之徑向間隙，低壓內缸上半要拆、裝好多次
  - 2、安裝低壓內缸上半內部組件
  - 3、安裝低壓內缸上蓋
- (十六)、安裝低壓汽機外缸上半部
- 當內部間隙都已量測並記錄完成時可安裝汽機外缸上半部。
- (十七)、冷凝器膨脹接頭與低壓汽機排汽壳之焊接
- 此項焊接必須將應力減至最小，以免膨脹接頭變形，如此可減少低壓汽缸之對心與高程所受到之影響。
- (十八)、灌漿
- 1、待灌漿之基礎表面要整理乾淨，灌漿前要用水浸泡 24 小時
  - 2、安裝木模，灌漿高度要達座板上緣
  - 3、用軟水泥漿先灌基礎螺栓之管套
  - 4、灌漿區若太大可分成幾區
  - 5、灌漿後其表面要保持 2 至 3 天的溼潤以免龜裂
  - 6、灌漿時要取試塊以測試其強度
- (十九)、最後對心檢測
- 1、灌漿後必須做最後對心檢測，若有偏差必須調整
  - 2、些微之調整可抽換軸承之墊片，但必須考慮轉子間隙
  - 3、發電機之對心可調整其永久性之墊片
- (二十)、安裝跨管
- 1、最後對心檢測沒問題後才能安裝跨管

- 2、清潔並檢查接合面後塗上潤滑劑
- 3、安裝跨管，設定鎖桿（Tie bars），必要時需調整
- 4、開始保溫工作

#### (二十一)、聯軸器安裝

- 1、轉子最後對心完成才能安裝聯軸器螺栓
- 2、安裝發電機與低壓汽機間之齒輪（Gear spacer）與其連接螺栓，再將螺栓鎖固
- 3、在兩支轉子法蘭上分別做八點記號（每點相隔 45 度）
- 4、安裝針盤指示錶，指針桿垂直壓在法蘭上，緩慢旋轉轉子，當法蘭上之記號轉至指針桿之位置時讀取錶之讀數並做記錄
- 5、若讀數合乎規範之規定則表示該聯軸器安裝完成
- 6、聯軸器安裝前要檢查並清潔（包括法蘭表面與螺栓孔），將毛頭與突出部份磨除
- 7、聯軸器之螺栓要對號安裝並塗抹潤滑劑，螺栓鎖固扭力要根據規範

#### (二十二)、安裝輔助設備

- 1、汽輪機主要組件安裝完成後才能安裝輔助設備（熱電偶、軸封蒸汽管路與保溫）
- 2、安裝慢速迴轉機
- 3、安裝外軸封裝置與封油環
- 4、安裝電氣與控制設備
- 5、安裝聯軸器保護蓋與檔板（必須注意其與轉子之間隙）
- 6、安裝軸封系統

#### (二十三)、安裝外罩

- 1、汽機外罩有隔熱與隔音作用並附有防火系統，在工廠做成塊狀後運交工地組合
- 2、兩旁之外罩先安裝，二氧化碳滅火、照明、通風等系統安裝在外罩上。

#### (二十四)、先期試運轉

- 1、在機組真正試運轉之前，某些先期試運轉工作必須要完成

##### 1). 潤滑油系統

潤滑油系統之管路安裝前必須清潔並檢查合格，每一組件都必須經過壓力試驗，所有之焊接接頭都必須做 X-Ray 或非破壞性檢驗，當所有之檢驗結果皆合格後即可開始油洗。每一個軸承皆要裝旁通管路與濾網，油洗期間也由各軸承處取油送去檢驗，油洗一段時間且油之清潔度經檢驗合乎要求後，將潤滑油系統中之“油洗專用油”抽光，然後灌入“運轉用潤滑油”並繼續油洗，直到運轉用油之清潔度合乎要求後，拆除臨時之旁通管路，並回裝正式之油管。

##### 2). 控制油系統

在關斷閥與控制閥安裝完成後即可開始安裝控制油管路，控制油系統管路安裝前必須清潔並檢查合格，每一組件都必須經過壓力試驗，所有之焊接接頭都必須做 X-Ray 或非破壞性檢驗，當所有之檢驗結果皆合格後，將關斷閥與控制閥之伺服閥進、出口封死，管路旁通，即可開始油洗，油洗一段時間且油之清潔度經檢驗合乎要求後，將控制油系統中之“油洗專用油”抽光，然後灌入“運轉用油”並繼續油洗，直到油之清潔度合乎要求後，拆除臨時之旁通管路，並回復伺服閥之進、出口。

3). 廠用與儀用空氣管路

當主要設備定位以後可以開始安裝空氣管路，空氣管路安裝之前必須清潔並檢查合格，管路襯墊（Gasket）與壓力配件之選用要正確。

4). 軸封蒸汽系統

軸封蒸汽系統管路安裝之前必須清潔並檢查合格，每一組件都必須經過壓力試驗，所有之焊接接頭都必須做 X-Ray 或非破壞性檢驗，當所有之檢驗結果皆合格後，利用壓縮空氣吹出管路中之異物再作最後之接合。

5). 蒸汽管路系統

機組在初次試運轉時，其主關斷閥之永久濾網外會另加一層臨時濾網（網目較細），以防止異物進入，該臨時濾網可在機組運轉七天或滿載運轉四天後拆除。

6). 蒸汽管路吹管步驟：

- a 拆除主關斷閥之閥帽（bonnet）與閥桿
- b 在主關斷閥之閥座上安裝盲板，並安裝附有管路之臨時閥蓋
- c 將蒸汽吹管之臨時管路與臨時閥蓋之接管連接，蒸汽吹管之臨時管路上要安裝關斷閥、壓力錶與試片架
- d 蒸汽吹管之臨時管路必須固定良好，以支撐蒸汽噴射之反作用力
- e 消音器也要安裝，以減少噪音
- f 檢查試片

(二十五)、測試與試運轉

- 1、在所有之先期試運轉工作已經完成，而且所有之系統與主要設備也完成準備，才可開始測試與試運轉工作。
- 2、所有之控制閥與系統皆要做動作測試（Operation Check）。
- 3、所有之操作系統皆要做測試，再做試運轉。
- 4、汽機進汽試運轉之前汽機外罩要安裝完成，防火系統要經過測試、試運轉完成並正式運轉

### 三、汽輪機的運轉

大潭複循環發電廠汽輪機組的運轉須配合氣渦輪發電機組與熱回收鍋爐等設備的運轉才可順利運轉發電，以下僅就 STAGE -I 機組起停模式作簡單介紹。

機組自動起、停系統 (APS → Auto. Plant Start-Up & Shut-Down Control) 提供四種起、停模式，由操作者按鈕選擇一種運轉。四種起停模式分別為機組起動模式(Block Start-Up Mode)、增加一台 G/T 與 HRSG 起動模式(Additional G/T and HRSG Start-Up Mode)、機組停機模式(Block Shut-Down Mode)、個別 G/T 與 HRSG 停機模式(Individual G/T and HRSG Shut-Down Mode)。

(一)、機組起動模式根據 S/T 進口金屬溫度之高低分為四類：

- 1、熱機起動(Hot Start)：停機時間少於 8 小時，S/T 進口金屬溫度大於 420°C，(屬夜間停機)。
- 2、暖機起動(Warm Start)：停機時間 8-32 小時，S/T 進口金屬溫度在 250°C - 420°C，(屬週末停機)
- 3、冷機起動(Cold Start)：停機時間超過 32 小時，S/T 進口金屬溫度小於 250°C，(設備在環境溫度)
- 4、快速起動 (Rapid Start)：機組跳脫後再起動
- 5、燃料選擇：操作者選定起動模式後，接著選擇燃料 (天然氣或輕柴油) 按下按鈕。
- 6、機組停機步驟：停機後保持 Hot Banking (由其他運轉中之機組提供輔助蒸汽作為本機組 S/T 之軸封蒸汽)

(二)、運轉要求與條件

1、運轉能力：

1). 氣渦輪機 G/T

- a 速率 Ramping Rate (升、降載速率 Max.10.2MW/min)，
- b 點火前要 Purge 5 分鐘。

2). 汽輪機 S/T

升速率 300 rpm/ min。

3). 複循環機組 Combined Cycle Unit

- a 負載範圍 25%至 100%額定負載。
- b 廠內供電運轉(House load Operation)：1 台 G/T 運轉供給廠內用電，其他 G/T 與 S/T 停俸。
- c 速率負載對照(Ramping Rate)：

(a)三部 GT 加一部 ST 運轉

G/T 負載	MW	48	64	103	135	153
CC 負載	Approx.%	34	45	65	83	100
HP MS Temp	deg°C	448	488	494	511	538
Ramping Rate						
UP	MW/min (%/min)	23 (3.0)		37.5 (5.0)		

DOWN	MW/min (%/min)	12 (1.5)	37.5 (5.0)
------	----------------	----------	------------

(b)二部 GT 加一部 ST 運轉

G/T Load	MW	48	64	103	135	153
CC Load	Approx.%	(22)	29	43	55	66
HP MS Temp	deg°C	449	489	496	517	538
Ramping Rate						
UP	MW/min (%/min)	16 (2.0)	25 (3.4)			
DOWN	MW/min (%/min)	8.0 (1.0)	25 (3.4)			

(c)一部 GT 加一部 ST 運轉

G/T Load	MW	—	64	103	135	517
CC Load	Approx.%	—	(13)	(20)	27	32
HP MS Temp	deg°C	—	(489)	(496)	517	538
Ramping Rate						
UP	MW/min (%/min)	—	12.5 (1.7)			
DOWN	MW/min (%/min)	—	12.5 (1.7)			

注意：氣渦輪機運轉最大速率高於複循環預期運轉速率。

4). 初始負載與發電機卸載(Initial load and generator off load)：

Initial load (for G/T 併聯)：7.7MW (大約 5% of G/T rated load)

Initial load (for S/T 併聯)：14MW (大約 5% of S/T rated load)

G/T Generator off load : 7.7MW (大約 5% of G/T rated load)

S/T Generator off load : 14MW (大約 5% of S/T rated load)

2、運轉需要條件

1). 正常情況下汽輪機起動所需之軸封蒸汽由其他運轉中之機組所提供之輔助蒸汽供給。

2). 若所有機組皆停機時，S/T 起動要利用 Steam Let-Down Operation，利用高壓蒸汽經調整後作為軸封蒸汽。

3、主蒸汽允許進汽條件：

1). 當熱回收鍋爐(HRSG)產生之高、中壓(HP/IP)蒸汽符合下列條件，則汽機允許進汽：

上限(Upper Limit)：

高、中壓(HP/IP)蒸汽溫度小於 430°C 或

高、中壓蒸汽不等溫度在高壓蒸汽溫度小於 110°C，中壓蒸汽溫度小於 170°C

下限(Lower Limit)：

高、中壓(HP/IP)蒸汽溫度大於過熱蒸汽溫度 56°C 而且

高、中壓蒸汽不等溫度—56°C

注意：高、中壓蒸汽不等溫度(Steam Mismatch Temp.) = 蒸汽溫度(Steam Temp.) — 汽機進汽金屬溫度(Metal Temp. At Turbine Inlet)

### (三)、機組起動步驟 (Block Start-Up Procedure)

#### 1、機組起動前 APS 之準備工作

- 1). 在機組起動前，各類電源必須可用，各項公用設備起動並繼續運轉

天然氣進入 G/T Enclosure 之壓力為 4.8Mpa→燃氣時  
日用油槽與除硝水槽皆超過正常油（水）位 →燃油時  
冷凝水儲存槽超過正常水位。

空氣儲存槽壓力為 0.665~0.715 Mpa

- 2). 下列各項準備工作以手動完成

用冷凝水傳送泵打水入冷凝器

用冷凝器傳送泵打水入 HRSG、除氧器

用冷凝水傳送泵打水入冷凝水管路

起動兩部循環水泵(CWP)、一部廠用水泵(Service water pump)、一部冷凝水泵(CP)

- 3). APS 運轉前下列條件必須確認完成

所有控制與連鎖系統運轉中，G/T、S/T 潤滑油系統及慢速迴轉機運轉中。

HRSG 與發電機準備完成，G/T 隔音罩(Enclosure)通風系統與控制油系統運轉中。

- 4). 上列動作皆完成後可選定欲起動之 G/T 及欲使用之燃料，再來選定起動模式。

a 機組起動(Unit Start)

b 增加 G/T 起動(Addition G/T Start)

#### 2、APS 運轉包含冷機起動(Cold Start)、暖機起動(Warm Start)、熱機起動(Hot Start)、快速起動(Rapid Start)

- 1). 軸封蒸汽來源之條件

a 按下“S/T Preparation” 確認輔助蒸汽。

輔助蒸汽條件：在輔助蒸汽系統壓力指示器 (LBG02CP102) 的壓力大於 1.5 Mpa。

HP/CRH 蒸汽條件：在高壓蒸汽系統壓力指示器 (LBA32CP101) 的壓力大於 4.31 Mpa，而且在冷再熱端

壓力指示器(LBC01CP101)的壓力大於 0.897 Mpa。

如果高壓／冷再熱蒸汽(HP/CRH)條件大於上述值，冷凝器抽真空時可用高壓／冷再熱蒸汽(HP/CRH)當軸封蒸汽。

軸封蒸汽系統運轉時，要起動一台軸封蒸汽冷凝器排氣扇、兩台真空泵。如果輔助、HP/CRH 蒸汽條件皆不



足，則起動步驟要改為“Steam Letdown Start-Up”

## 2). 利用輔助蒸汽之起動步驟

a 按下“HRSG Preparation”以起動下列設備：

高壓飼水泵、中壓飼水泵、低壓飼水泵各一台、HRSG 排氣 Dumper 打開。

b 按下“GT/HRSG Start”以起動下列設備：

燃油傳送泵、主燃油泵，G/T 起動馬達（600 rpm purge 5 分鐘），如果為熱機起動時，則#1G/T 起動後兩分鐘，#2G/T 起動，再隔兩分鐘後#3G/T 起動。如果為暖機或冷機起動時，必須等到 S/T 進汽後，#2、3G/T 才能陸續起動。

在 G/T 點火完成後，第一部熱回收鍋爐之高壓蒸汽隔離閥要打開，熱回收鍋爐出口集管洩水閥與一些主蒸汽管洩水閥皆要打開，開始暖管。

高、中、壓汽機(HP/IP/L/P)旁通閥開始運轉

HP 旁通閥控制 HP 最小蒸汽壓力在 4.31Mpa

IP 旁通閥控制 IP 最小蒸汽壓力在 0.879Mpa

LP 旁通閥控制 LP 最小蒸汽壓力在 0.389Mpa

在上述壓力達到設定值時，熱回收鍋爐出口集管洩水閥與主蒸汽管洩水閥要關閉。

當熱回收鍋爐蒸汽壓力達到 0.2 Mpa 時每一個汽鼓之通氣閥要關閉。

c 氣渦輪機(G/T)升速到 3600 rpm 後準備並聯，GTG

Exciter ON，GTG Main CB Close。GTG 並聯以後由初負載依起動模式來提升負載，如下表：

Cold Start→38.5MW（25% of G/T rated load）

Warm Start→38.5MW（25% of G/T rated load）

Hot Start→61.5MW（40% of G/T rated load）

G/T 並聯以後，第一部起動 HRSG 之 IP、LP 蒸汽隔離閥要打開，CRH 隔離閥要作動。

IP、LP 蒸汽集管洩水閥要打開。

如果燃油時，LP 除氧蒸汽壓力控制閥要開始作動，使 LP 蒸汽壓力超過 0.4Mpa 之前除氧器壓力維持在 0.03 Mpa。

d 當高壓蒸汽達到 4.31 Mpa X Setting temp.（第(二)、3. 主蒸汽允許進汽條件敘述）而且 IP 蒸汽達到 0.879 Mpa 時，按下“S/T Start”與“S/T Speed Up”使 S/T 開始進汽並加速到 2100 rpm（必要時要做 Rub Check）。2100rpm soaking 時間乃依據轉子之溫度而定。

當蒸汽開始進入汽機後，HP/IP/LP 等蒸汽集管之洩水閥

要關。

- e 轉子 Soaking 完成後升速至 3600rpm
- f 按下”ST SYNCHRONIZE”後，將完成併聯及初負載。
  - (a)S/T Exciter On
  - (b)S/T Gen. Main CB Close，S/T 並聯。
  - (c)S/T 並聯之後，HP-CV、ICV、LP-CV 進入控制模式，其壓力分別設定在 4.31Mpa、0.879 Mpa、0.389 Mpa，當 S/T 由 Initial Load 開始升載時，第一台 HRSG 之 HP/IP 旁通閥開始慢慢關小，待全關之後，LP 旁通閥開始慢慢關小。
  - (d)當所有之旁通閥皆全關之後，旁通閥之壓力設定由最小壓力控制模式轉換為 Back Up 模式。
  - (e)在起動期間，軸封蒸汽由其他運轉中之機組來供給，待 CRH 之蒸汽條件達到後，軸封蒸汽自動轉換到由 CRH 供給。
- g 當第一部 HRSG 之 HP/IP 旁通閥全關之後，如果下列條件達成，則第二、三台 HRSG 之 HP/IP/LP 蒸汽隔離閥可打開：
  - 溫度條件：(在高壓關斷閥之前蒸汽溫度—HRSG 之高壓蒸汽溫度) $\leq 80^{\circ}\text{C}$
  - 壓力條件：(在高壓關斷閥之前蒸汽壓力—HRSG 之高壓蒸汽壓力) $\leq 0.1\text{Mpa}$
- h 汽輪機並聯之後，所有之氣渦輪機皆可升載至設定之負載，當所有之氣渦輪機負載皆達到 77MW 之後，G/T 之負載由自動負載控制器(APR)來控制。S/T 並聯之後，高壓汽機進汽管路之洩水閥可關閉。

### 3).利用 Steam Let Down 起動之步驟

利用 Steam Let Down 起動時，一台 G/T 起動（冷凝器沒有真空），此時 HRSG 產生之蒸汽排放到大氣，而不是經旁通閥排放到冷凝器。

- a 按下 “HRSG Preparation” 以起動下列設備：
  - HP/IP/LP 飼水泵各一台、HRSG 排氣 Dumper 打開。
- b 按下 “GT/HRSG Start” 以起動下列設備：
  - 燃油傳送泵（其他相關的泵）、主燃油泵（其他相關的泵）、G/T 起動馬達（600rpm purge 5 分鐘），如果為熱機起動時，則#2、3G/T 必須在冷凝器抽真空完成後才能起動，如果為暖、冷機起動時，則#2、3G/T 必須在 S/T 進汽後後才能起動，
  - 第一部 G/T 點火完成後，HP Steam 隔離閥要打開，HRSG 出口集管與主蒸汽管路洩水閥要打開，開始暖



之 CRH 蒸汽隔離閥開始操作，如果為燃油時，低壓除氧蒸汽壓力控制閥開始控制除氧器壓力在低壓蒸汽壓力超過 0.4Mpa 之前維持在 0.03Mpa。

f 當 HP 蒸汽壓力與溫度達到 4.31Mpa X Setting Temp.( 第二、3. 主蒸汽允許進汽條件敘述)、IP 蒸汽壓力達到 0.879Mpa 時，按下“S/T Start”與“S/T Speed Up”，S/T 開始進汽並升速到 2100rpm，2100rpm 停留之時間由轉子之溫度來決定，S/T 開始進汽後 HP/IP/LP 等蒸汽集管之洩水閥要關閉。

g 2100rpm 停留時間結束後升速到 3600rpm

h 按下”ST SYNCHRONIZE”後，進行併聯及初負載

S/T Exciter On

STG Main CB Close

S/T 並聯

S/T 進入 HP-CV、IP-CV、LP-CV 控制模式，將壓力分別控制在 4.31Mpa、0.879Mpa、0.389Mpa，再將第一部 HRSG 之 HP/IP 旁通蒸汽閥關閉。

當 LP 旁通蒸汽閥皆關閉後，旁通蒸汽閥之壓力設定將轉換為“Back Up Mode”再轉換為“Minimum Pressure Control Mode”

本汽機起動期間其軸封蒸汽由其他運轉中之機組供給，當 CRH 之蒸汽條件達到時，軸封蒸汽會自動轉換由 CRH 之蒸汽供給。

i 第一部 HRSG 之 HP/IP 旁通蒸汽閥關閉後，如果下列條件達成，則第二、三部 HRSG 之 HP/IP/LP 蒸汽隔離閥可打開，將蒸汽通至集管。

(a)溫度條件：( 高壓關斷閥前溫度—HRSG 高壓蒸汽溫度)  $\leq 80^{\circ}\text{C}$

(b)壓力條件：( 高壓關斷閥前壓力—HRSG 高壓蒸汽壓力)  $\leq 0.1 \text{ Mpa}$

j S/T 並聯之後，所有之 G/T 皆可加載至設定之負載，當所有之 G/T 負載皆達到 77MW 之後，G/T 之負載由 APR(Automatic Power Regulator)來控制。S/T 並聯之後，HP S/T 進汽管路之洩水閥可關閉。

(四)、另一台 G/T 與 HRSG 起動步驟

1、在選定“Additional G/T Start”後按下“HRSG Preparation”以起動另一台 HP-BFP，HRSG 排氣 Dumper 打開。

2、按下“GT/HRSG Start”，以起動下列設備：

1). 燃油傳送泵、主燃油泵及相關之泵（燃油時）

2). G/T 起動馬達（600rpm 保持 5 分鐘）

- 3). G/T 點火後，HRSG 出口集管與主蒸汽管洩水閥要打開，以開始暖管
  - 4). HP/IP/LP 旁通蒸汽系統開始運轉
    - a HP 旁通蒸汽閥控制 HP 蒸汽壓力在實際高壓關斷閥進口壓力。
    - b IP 旁通蒸汽閥控制 IP 蒸汽壓力在實際再熱閥斷閥進口壓力。
    - c LP 旁通蒸汽閥控制 LP 蒸汽壓力在實際低壓關斷閥進口壓力。
  - 5). 當蒸汽壓力達到設定值時，HRSG 出口集管與主蒸汽管洩水閥要關閉
  - 6). 當 HRSG 蒸汽壓力達到 0.2Mpa 時，汽鼓之通氣閥要關閉。
- 3、G/T 升速至 3600rpm 後，GTG Exciter ON，GTG Main CB Close，G/T 並聯。G/T 並聯之後，本台 G/T 由 Initial Load 升載至設定負載(Operated G/T Load or 69MW(45% of the G/T rated load)which is lower)

#### (五)、機組停機 (Block Shut-Down)

##### 1、APS 準備

- 1). 機組停機之前要確定 S/T 所需之軸封蒸汽可由其他機組提供之輔助蒸汽供給
- 2). 如果是最後一個機組停機時，則在真空破壞之前軸封蒸汽由 HP 與 CRH 蒸汽供給
- 3). 停機之模式有兩個選項：機組停機與個別 G/T 停機

##### 2、APS 運轉

典型的夜間停機與週末停機都會在機組停機時盡可能使轉子維持在高溫。為了在機組重新起動時短時間內能由 HRSG 取得蒸汽，所以在機組停機(with HRSG Banking)之前，HP/IP/LP 蒸汽之壓力都會盡量保持在高檔。

- 1). 按下“G/T Load Down”，將 G/T Load 以設定之降載率降至 69MW (45% of the G/T rated load)
  - a 利用可程式控制將第一部 HRSG 之 LP 蒸汽旁通閥打開，在 HRSG 之 LP 蒸汽將比 LP-MSV 進口壓力低時，第一部 HRSG 之 LP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 LP 蒸汽隔離閥。
  - b 利用可程式控制將第一部 HRSG 之 HP/IP 蒸汽旁通閥打開，在 HRSG 之 HP 蒸汽將比 HP-MSV 進口壓力低時，第一部 HRSG 之 HP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 HP 蒸汽隔離閥。在 HRSG 之 HRH 蒸汽將比 RSV 進口壓力低時第一部 HRSG 之 IP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 HRH、CRH 蒸汽隔離閥。

- c 將第一、二部 G/T load 降至 7.7MW ( 5% of the G/T rated load )，利用可程式控制將低壓控制閥(LP-CV)關閉。
- 2). 按下 “S/T Shut-Down” 以使 S/T 解聯、停機。
  - a 利用可程式控制將 HP-CV、ICV 關閉
  - b 最後一部 HRSG 之 HP、IP 蒸汽旁通閥打開，旁通蒸汽設定在最小壓力控制。
  - c S/T Load 降至 14MW ( 5% of the S/T rated load )，STG Main CB 打開，S/T 解聯、停機。
  - d 最後一部 HRSG 之 CRH、HRH 蒸汽隔離閥關閉。
- 3). 按下 “GT/HRSG Shut-Down” 以使 G/T 解聯、停機。最後一部 G/T Load 降至 7.7MW。
  - a 所有 GTG Main CB 皆打開。
  - b 解聯後 G/T 繼續無載運轉 5 分鐘以冷卻 G/T。
  - c 然後切斷燃料，G/T 停機。
  - d 在 G/T 減速至慢俾迴轉期間，G/T 之排放閥( Bleed Valve ) 要打開。
  - e 最後飼水泵 ( BFP ) 停機。

#### (六)、個別 GT/HRSG 停機步驟(Individual GT and HRSG Shut-down Procedure)

當 3 組 GT/HRSG 與 1 台 S/T 或 2 組 GT/HRSG 與 1 台 S/T 在運轉時，個別之 GT/HRSG 可以個別停機。

- 1、在選擇 “INDIVIDUAL G/T STOP” 後，按下 “G/T Load Down”
- 2、G/T Load 降至 61.5 MW ( 40% of the G/T rated load )
- 3、利用可程式控制將 LP 蒸汽旁通閥打開，在 HRSG 之 LP 蒸汽將比 LP-MSV 進口壓力低時，LP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 LP 蒸汽隔離閥。
- 4、利用可程式控制將 HP/IP 蒸汽旁通閥打開，在 HRSG 之 HP 蒸汽將比 HP-MSV 進口壓力低時，HP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 HP 蒸汽隔離閥。在 HRSG 之 HRH 蒸汽將比 RSV 進口壓力低時，IP 蒸汽旁通閥要設定在最小壓力控制，並關閉 HRH、CRH 蒸汽隔離閥。
- 5、按下 “GT/HRSG Shut Down” 以使 G/T 解聯、停機
  - 1). G/T 降載至 7.7MW
  - 2). GTG Main CB 打開
  - 3). 解聯後 G/T 繼續無載運轉 5 分鐘以冷卻 G/T
  - 4). 然後切斷送往室之燃料，G/T 停機。
  - 5). 在 G/T 減速至慢速迴轉模式期間，G/T 之排放閥 ( Bleed Valve ) 要打開。
  - 6). 最後相對於該 HRSG 之高壓飼水泵停機。

參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項：

職首次奉派出國前往日本，在本計畫主設備供應商 MHI 高砂廠實際觀摩相關機組設備之製造實況，對於 MHI 整個產品製造、品管、運送等流程之流暢與高效率印象深刻。MHI 高砂廠就設在海邊，有專用的船運碼頭，產品經製造、品管、測試完成後，立即可裝船輸往全世界，其作業之連貫一氣呵成，令人嘆為觀止。

另一值得一提者為在高砂廠內就有一座複循環發電機組，除了不斷供其測試、驗證新研發之發電設備外，又可供應廠內用電之需，整個廠區的配置既簡潔又有效率。

肆、對本公司的具體建議：

在日本 MHI 受訓期間，授課講師除了教材及課程講授內容可事前準備與安排外，學員臨時於課堂提出之問題經常需由講師另在白板上書寫及畫圖解釋，而這些資料往往學員抄寫不及，無法獲得完整之資料。MHI 提供之白板可將書寫其上之資料完整的複印成書面資料供學員取用，這種設計的白板雖非最新科技，而是面市已有一段時間之產品，然 MHI 的貼心準備，幾乎萬無失。職並不刻意建議公司一定要去採購類似設備，然職寧可建議公司在往後的經營理念上效法此種服務至上、顧客至上的精神。