

一、出國目的

近年來國內經濟發展迅速，促使人民生活水準大力提升，相對於電力能源需求量亦逐年增高。為紓解用電尖峰電力之不足，且兼顧環保問題，本公司規劃中之大潭發電計畫，即採用了近十幾年來相較於傳統火力發電方式，效率更高、建造時程更快速、啟動更迅速且兼顧環保的發電系統 - 複循環發電系統。而氣渦輪機組為大潭發電計畫中之主要設備，其安裝以至試運轉之良窳，影響建廠之成敗甚鉅，為確保建廠品質，於是派赴廠家實習氣渦輪機組之安裝、測試、試運轉及維護等技能。

二、研習過程

(一) 行程

89.11.22.~89.11.23. 往程(台北-巴黎-柏林)

89.11.24.~89.11.30. 於柏林 Siemens Headquarters 研習

89.12.01.~89.12.02. 行程(柏林-阿姆斯特丹-台灣新聞報社北-東京)

89.12.03.~89.12.20. 於東京 MHI Headquarters 研習

89.12.21.~89.12.21. 返程(東京-台北)

(二) 實習內容：

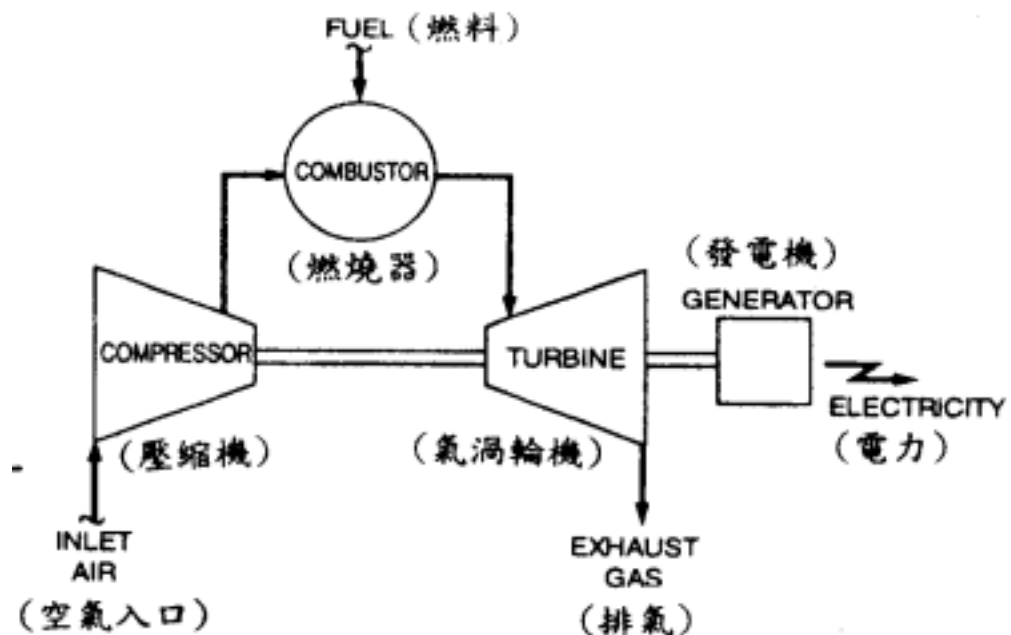
赴國外廠家實習氣渦輪機組之安裝、測試、試運轉及維護等技術。主要研習內容如下：

1. 氣渦輪機發電原理概述。
2. 氣渦輪機組組件及附屬設備等概述。
3. 機組安裝、測試及試運轉。
4. 維護及保養技術。
5. 氣渦輪機聯結熱回收設備、蒸汽輪機作複循環發電原理概述。

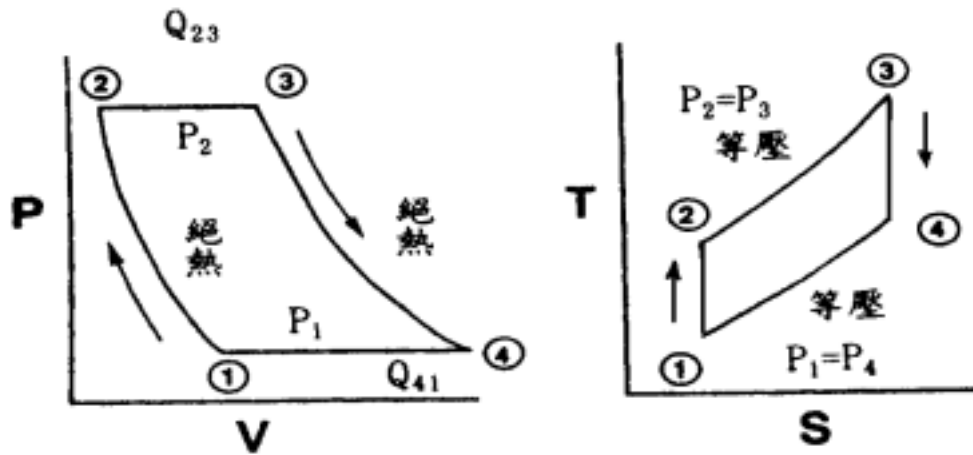
三、氣渦輪機組安裝、測試、試運轉及維護等技術實習心得與報告

(一) 氣渦輪機發電原理概述

簡單而言,氣渦輪機之發電方式係直接以燃料(可為輕柴油、重油、天然氣)噴入燃燒室內與高壓空氣混合,經燃燒後產生高溫高壓之熱氣推動氣渦輪機,並聯結帶動發電機而運轉發電。



在熱力學上,理想氣渦輪機循環(屬單循環)稱為布雷登循環(Brayton Cycle),如下圖所示 1-2-3-4 循環。



熱力學穩流能量公式為：

$$Q = m(h_2 - h_1) + 1/2m(v_2^2 - v_1^2) + W$$

將此應用於氣渦輪機循環：

$$W_{12} = -m(h_2 - h_1) = -m c_p (T_2 - T_1)$$

$$Q_{23} = m(h_3 - h_2) = m c_p (T_3 - T_2)$$

$$W_{34} = m(h_3 - h_4) = m c_p (T_3 - T_4)$$

循環效率 之定義為：

$$= \frac{\text{net work output}}{\text{heat supplied}} = \frac{c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)}$$

$$\text{壓縮比 } r = P_2/P_1 = P_3/P_4$$

$$\text{且 } T_2/T_1 = T_3/T_4$$

$$\text{可得 } = 1 - (1/r)^{(k-1)/k}$$

其中 Q: 輸入熱量(kJ)

W: 輸出功(kJ)

m: 氣體質量(kg)

h: 焓 I (單位:kJ/kg)

: 循環效率

c_p : 氣體定壓比熱(kJ/kg . K)

r : 壓縮比

k : 氣體絕熱係數

(二) 氣渦輪機組組件及附屬設備等概述

1. 氣渦輪機組主要係由空氣壓縮機多級葉片組、燃燒室、氣渦輪機多級葉片組、聯軸器及發電機組等組件所組成(如附件一)。附屬設備則包含進氣、潤滑、冷卻、起動、燃料、控制、消防、排氣、注水等系統(如附件二)。

2. 機組組件概述：(如附件三)

(1) 空氣進氣道(Air-Intake Duct)：

位於氣渦輪機最前端,其中包含有進氣室、空氣導管、消音器及壓差指示器等,主要係用作將過濾器(如附件四)過濾後之乾淨空氣(如附件五)導入壓縮機內,並由 Guide Vane 來控制進入之空氣流量大小。

(2) 壓縮機(Compressor,如附件六)：

目前大部份設計均採軸流式壓縮機(Axial Compressor),即該壓縮機與氣渦輪機同軸聯動(如附件七),利用一連串交互排列之動葉片與靜葉片轉子將空氣壓縮(如附件八~十),再將此高壓空氣送至燃燒室內與燃料混合後燃燒。

(3) 燃燒室(Combustion Chamber)：

燃燒室中包含有燃料噴嘴、火星塞點火器、火焰感測器等(如附件十一),高壓空氣在此處與燃料混合後燃燒產生高溫高壓之熱燃氣。其型式計有 Annular、Can Annular(如附件十二)及 Silo Type 等(如附件十三)。

(4) 燃料燃燒器(Fuel Burner)：

燃料燃燒器亦稱為燃料噴嘴(Nozzle)，計有燃油、天然氣、燃油及燃氣兩用等型式(如附件十四)。依廠家設計及發電容量之不同，各廠牌氣渦輪機組燃燒器之數量亦不盡相同。由於燃燒時產生高溫，因此火焰管外殼係以耐熱鋼板作成，內面並覆襯有耐火磁磚，不然將十分容易被燒毀。

(5) 熱氣進氣口外殼(Hot-gas Inlet Casing)：

燃燒後之高溫熱氣經此外殼噴入氣渦輪機多級葉片組內作功，故該外殼須採用耐高溫材料。

(6) 氣渦輪機本體(Power Turbine)：

氣渦輪機本體主要分有：

a. 氣機轉子(Turbine Rotor)：

該轉子上主要由多級動葉片所組成，而其葉片尺寸係隨級數之增加而增大(如附件十五)，其目的在增加葉片環帶面積，藉以調節高溫燃氣於每一級葉片處作能量轉換時所造成之壓降。位於較前級之葉片通常承受較高溫度，因此前幾級葉片上均設計有空氣通路以冷卻葉片(如附件十六)。一旦該空氣冷卻孔遭堵塞，則該葉片將十分容易因過熱而龜裂。

b. 氣機靜子(Turbine Stator, 如附件十七) :

氣機外殼與排氣外殼為組成氣機靜子結構之主要部份。氣機外殼主要用來定位 Shroud 與噴嘴軸向、徑向位置,並決定氣機間隙及噴嘴與氣機動葉片的相對位置。Shroud 主要功能為減少葉片尖端間隙之洩漏量,並提供良好之隔熱作用,以確保外殼不變形。

c. 聯軸器(Coupling) :

聯軸器係將壓縮機、氣渦輪機本體、發電機等轉動軸,聯結成同一軸心運轉,因此聯軸器對心工作十分重要,若對心不完全,將會造成轉動軸軸承不當震動而致毀損。

(7) 擴散器(Diffuser) :

該擴散器位於氣渦輪機本體尾端,屬排氣系統(Exhaust System)組件之一。排氣系統其它組件包含排氣歧管、膨脹接頭、排氣道、消音器、煙囪。

(8) 中間轉軸(Intermediate Shaft) :

其功用係將壓縮機與發電機之聯軸器聯結在一起。

(9) 發電機(Generator) :

氣渦輪機啟動運轉後,經由聯軸器聯結帶動發電機運轉發電,而其冷卻方式,一般均採空氣冷卻式較多。

(10) 潤滑油槽(Lubrication Oil Tank) :

壓縮機、氣渦輪機本體、發電機等各軸承之潤滑油,均來自此油槽,為獲得最佳潤滑效能,潤滑油系統之壓力控制、冷卻裝置、過濾器、除油霧器及轉軸之油封等維護保養工作,均十分重要。

2. 附屬設備、系統概述 : (如附件二)

(1) 起動系統(Starting System) :

起動系統係利扭矩轉換器,將起動器之動力聯結帶動氣渦輪機、壓縮機。該起動器型式有起動馬達、柴油引擎、壓縮空氣等。

(2) 潤滑油系統(Lubricating System) :

潤滑油系統(如附件十八)包含有主油泵、輔助油泵、緊急油泵、油槽、冷卻器、過濾器、除油霧器(如附件十九)等設備,其功用係提供氣渦輪機組各部組件所需之潤滑油,亦設計供作液壓控制用油(如附件二十)。

(3)冷卻系統(Cooling System)：

冷卻系統型式有空氣冷卻、水冷卻、油冷卻等,冷卻部位主要為氣渦輪機本體葉片組(如附件二十一二十三)、發電機、各軸承處所用之潤滑油系統(如附件二十四)等。

(4)燃料系統(Fuel System)：

燃料系統概分有燃油系統與天然氣系統二種：

a.燃油系統(Fuel Oil System)：

本系統一般含有油泵控制閥、關斷閥、油路過濾器 油管路及 Forwarding Pump 等(如附件二十五),以供應氣渦輪機所用燃油。

b.天然氣系統(Natural Gas System)：

本系統一般含有控制閥、關斷閥、過濾器、加壓泵、後冷卻器及計量器等(如附件二十六),以供應氣渦輪機所用燃氣。

(5)水洗設備(Water Wash)：

壓縮機於運轉時,氣流中未濾淨之灰塵、油氣、水份等,十分容易附著於壓縮機前幾級葉片表面,形成一層沈積物,不僅影響壓縮機之效率,亦可能造成葉片腐蝕。故需利用水洗設備,以除礦水加清潔劑清洗壓縮機

葉片。

(6)注水系統(Water Injection System, DeNOx)：

注水系統之功用主要係為抑制氣渦輪機燃燒系統燃燒時所產生之 NO_x 生成量，而於燃燒區內注水(如附件二十七)。視採用之燃燒器型式，該系統有注水或注蒸汽兩種注入方式；注入水或蒸汽量之多寡，亦可影響氣渦輪機之輸出功率大小。

(7)消防系統(Fire Protection System)：

因氣渦輪機組屬高溫區域，較易發生火災，一般設計有 CO_2 自動噴灑系統。保護範圍有氣機室、輔機室、負載聯軸區、軸承區、發電機及控制室等。

(8)控制系統(Electrical Control System)：

控制系統設有儀電設備控制室、Power Logic 控制系統、馬達控制中心、發電機保護盤、消防系統、蓄電池組等，用作中央監控氣渦輪機組暨相關設備等運轉情形。

(三)機組安裝、測試及試運轉

1. 機組安裝過程概述：

- (1)基礎樣板製作及埋設 - 檢驗尺寸、固定。
- (2)Subsole Plate 安裝 - 檢查位置、高程、水平、保護措施、固定。
- (3)機組中心定位線。
- (4)主設備吊運(氣渦輪機、發電機、輔機室、變壓器)
- 吊車、大型拖板車、運輸路線規劃。
- (5)氣渦輪機及發電機 Shipping Pin 移除。
- (6)氣渦輪機水平調整 - 精密水平儀。
- (7)Base Plate 接觸試驗 - 千斤頂、枕木、砂輪機。
- (8)發電機吊裝至基礎台。
- (9)氣渦輪機組吊裝至基礎台,且以臨時支撐架支撐。
- (10)氣渦輪機支撐座安裝。
- (11)潤滑油槽吊裝至基礎台。
- (12)機組中心線對準基礎中心線。
- (13)中心導座安裝。
- (14)氣渦輪機組安置於支撐架上。
- (15)發電機固定。

- (16)冷卻系統安裝。
- (17)中間聯軸器安裝、對心。
- (18)潤滑油系統安裝。
- (19)燃料系統安裝。
- (20)注水系統安裝。

2. 機組測試：

(1)廠試(Shop Test)：

在廠家工廠執行，包括材料測試、NDE 測試及迴轉性能測試。

(2)現場接收測試(Field Acceptance Test)：

a. 工地現場裝機測試。

b. 迴轉機械運轉測試，內容包含溫度、震動、噪音等項目。

3. 機組試運轉：

(1)於各設備安裝測試完成後，機組單機依序起動至併聯運轉。

(2)Reliability Test

當氣渦輪機併聯發電後，依合約規定進行 60 小時之滿載運轉以取得機組各項運轉數據，是否符合合約設計。

(3) Unit Performance Test

機組效率試驗在測試整廠之性能，測試可分為：

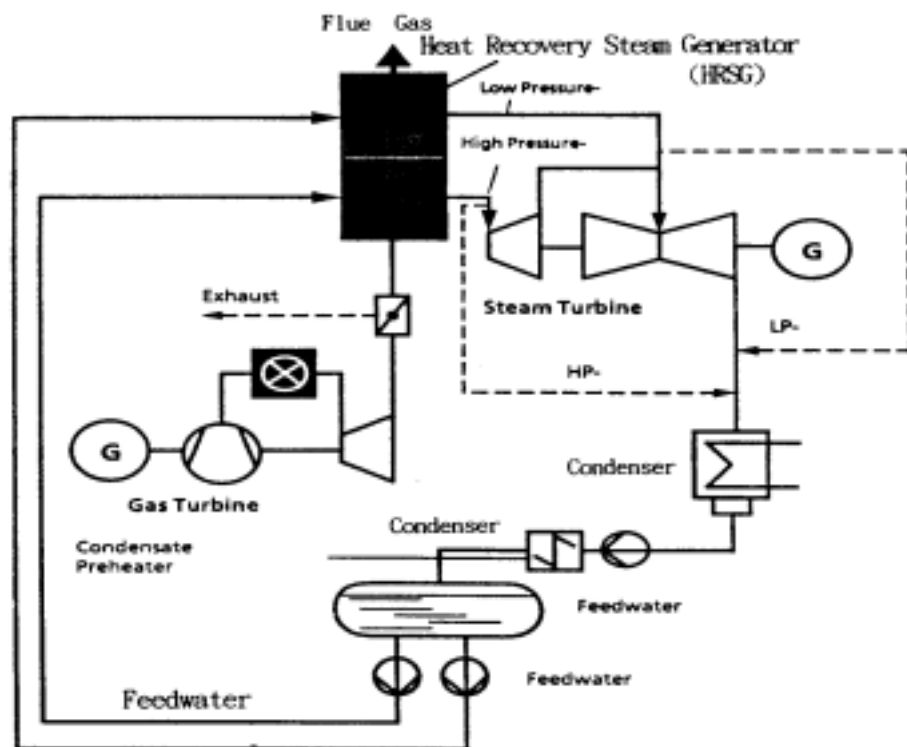
- a. Power Block Unit Output (kW)
- b. Power Block Heat Rate (kJ/kW . h)
- c. Start up time
- d. Fuel Gas Emission
 - NO_x
 - SO_x
 - Particulate
 - Opacity
- e. Noise Level
- f. Demin. Water Consumption
- g. Shaft Vibration

(四) 維護及保養技術

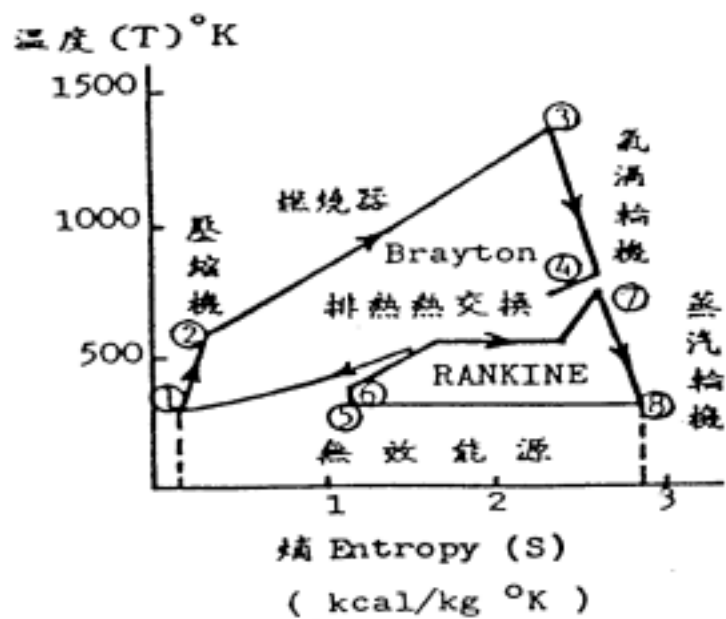
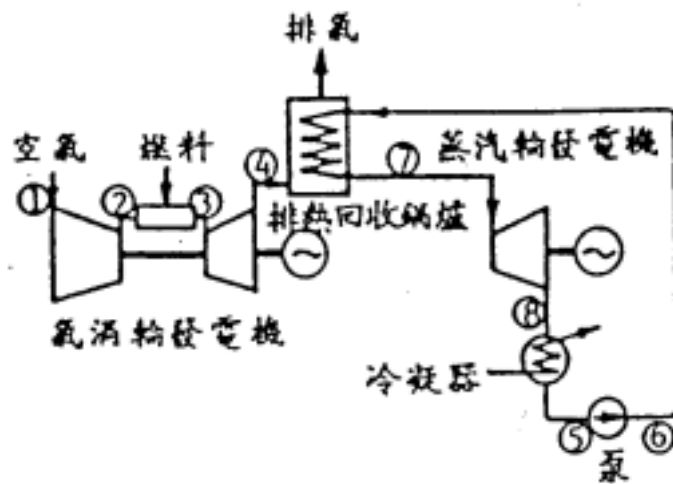
1. 氣渦輪機組設備保養維護工作,可分為平時、檢修及大修等三方面,一般則仍按廠家運轉維護手冊規定按時辦理,維護可依週期分為每日、每週、每月、每半年等。
2. 平時維護時須注意下列幾點：
 - (1) 過濾網清拭或更換。
 - (2) 壓縮機葉片之維護。
 - (3) 氣渦輪機本體葉片之維護。
3. 檢修時須注意下列幾點：
 - (1) 熱煙氣通道目視檢查：
 - a. 燃燒器。
 - b. 火焰管。
 - c. 混合室及內罩殼。
 - d. 壓縮機及氣機各級組件。
 - (2) 必要時須對所有葉片作內視鏡檢查。
4. 大修時須注意下列幾點：
 - (1) 壓縮機及氣機之動葉片得各別更換。
 - (2) 壓縮機及氣機軸承得與轉子一起拆除。
 - (3) 燃燒室組件(如隔熱片)必要時須更換。
 - (4) 氧化物須去除,並重新噴塗防蝕材料。

(五) 氣渦輪機聯結熱回收設備、蒸汽輪機作複循環發電原理概述

1. 雖然氣渦輪機起動十分快速(如附件二十八)、效率也不會太低,但排出之廢熱氣,其溫度仍然高達 500°C 以上,為能充份利用此高溫廢熱氣中之熱能,因而將其引入熱回收鍋爐(HRSG, Heat Recovery Steam Generator)內,經熱交換後產生高壓(HP)及低壓(LP)蒸汽,並推動高壓及低壓蒸汽輪機(Steam Turbine)作功,產生之動能並帶動發電機發電。在蒸汽輪機作功後之低壓低溫蒸汽,經過冷凝器(Condenser)冷卻而成冷凝水,再由 Feedwater Pump 送回熱回收鍋爐加熱成為蒸汽,如此循環之發電方式,即熱力學上所稱之朗肯循環(Rankine Cycle)。



2. 由氣渦輪機組與加裝熱回收設備之蒸汽輪機組組合而成一整組發電機組，其發電方式共應用了兩個熱力循環 (Brayton & Rankine Cycles)，因此稱之為複循環發電 (Combined Cycles Generation)。



3. 複循環發電機組中, 含有熱回收設備之蒸汽輪機組主要設備有 :

(1) 熱回收鍋爐(HRSG) :

- a. 預熱器(Preheater)。
- b. 節熱器(Economizer)。
- c. 蒸發器(Evaporator)。
- d. 過熱器(Superheater)。

(2) 汽水分離器(或汽水鼓)。

(3) 除氧器(Deaerator)。

(4) 蒸汽輪機(Steam Turbine) :

- a. 低壓汽輪機(LP Turbine)。
- b. 高壓汽輪機(HP Turbine)。

(5) 冷凝器(Condenser)。

(六)發電效果比較

1.天然氣(LNG)式與燃油(Oil)式氣渦輪機組比較：

燃料使用型式 項 目	天然氣式	燃 油 式
機組起動容易度	較 高	較 低
機組淨熱耗率	較 低	較 高
每單位時間機組 運轉所需燃料成本	較 低	較 高
NOx、SOx、懸浮 顆粒等排放量	較 低	較 高
DeNOx 除礦水消耗量	較 低	較 高
對機組元件腐蝕性	較 低	較 高

2. 氣渦輪機組(單循環)發電與複循環機組發電比較：

發電型式 項 目	氣渦輪機組發電	複循環機組發電
施 工 期	較 短	較 長
冷機起動至滿 載併聯時間 (以 GT 100MW 出力, 2 對 1 為例)	較 短 (*約 30 分鐘內)	較 長 (*約 100~200 分鐘)
熱 耗 率	較 高	較 低
排氣溫度	較 高	較 低
機組效率	低 (**約 25%~40%)	高 (**約 40%~60%)
發電方式	氣渦機組發電	可由氣渦機組單獨發電、 或氣渦機組聯結汽輪機組 併聯發電

備註： * 參考附件二十九； ** 參考附件三十

四、結論與建議

- (一)經由八十八年間台灣地區發生的 729 事故及 921 地震所造成的全台大停電事件中,可以發現各電廠急需建立獨立一套的全黑起動系統與緊急發電機組,以應類似突發事件的發生。而氣渦輪機組的快速起動發電特性,正符合這項設計需求。
- (二)考慮國內電廠用地取得不易、日趨嚴格的環保規定以及世界電業發展趨勢,以天然氣作為氣渦輪機主要燃料之複循環發電機組,將是未來新建電廠發電機組最適當選擇。
- (三)考慮電廠現有發電效率及成本改善、未來與民營電廠之競爭力提升等因素,本公司現有之氣渦輪機發電機組(例如林口電廠新建之二部氣渦輪發電機組),應儘早規劃增建為複循環發電機組。
- (四)感謝鈞長及各級主管對職之提攜,得以奉派赴國外廠家實習,經由安排之一系列研習課程內容,進一步瞭解氣渦輪機組各項組件及設備,獲益頗多,期能在未來大潭發電計畫複循環氣渦輪機組設備施工、測試及運轉上,有所助益,且為本公司大潭發電計畫之順利完成,盡一己之力,

五、附件

- (1) Gas Turbine(Standard Arrangement for Dual Fuel Plant)
- (2) Overview of a Gasturbine Unit
- (3) 氣渦輪機組剖面圖
- (4) Self-Cleaning Filter Action
- (5) General Air Intake Pressure Measurement Arrangement
- (6) Compressor Stator Blade Carrier
- (7) Compressor / Turbine Rotor
- (8) Compressor Shaft Glands, Intake and Intermediate Stages
- (9) Compressor Rotor Blades
- (10) Compressor Stator Blades
- (11) Combustion Chambers
- (12) Can Annular Gas Turbine
- (13) Siemens Silo Type Gas Turbine
- (14) Burner Assembly
- (15) Turbine Rotor
- (16) Gas Turbine First Stage
- (17) Turbine Stator Blades
- (18) Lube Oil System(Simplified)
- (19) Oil Vapour Extraction(Simplified)

- (20) Oil System Connections
- (21) Cooling Sealing Air Pathes(Overview)
- (22) Cooling / Sealing Air Flow Through Gas Turbine
- (23) Turbine Stator Sealing and Cooling Air System
- (24) Air or water Cooled Lube Oil System(Simplified)
- (25) Fuel Oil System(Simplified)
- (26) Fuel Gas System(Simplified)
- (27) NO_x-Reduction System(Simplified)
- (28) Typical Gas Turbine Starting Characteristics
- (29) Time Curves
- (30) Thermal Performance of Different Power Plants