

行政院及所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

氣渦輪機組製造、安裝、測試及運轉技術

實習報告

服務機關：台灣電力公司

出國人：職 稱：迴轉機股長

姓 名：張劉國

姓名代號：701096

行政院研考會／省（市）研考會 編 號 欄

出國地區：德國

出國日期：91年06月04日至06月24日

報告日期：91年07月

出國計畫：91年度第82號

93/
C09102631

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：氣渦輪機組製造、安裝、測試及運轉技術

頁數 22 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話 張劉國/台灣電力公司/北部施工處

迴轉機股長/034737767-613

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：91年6月4日至6月24日 出國地區：德國

報告日期：91年7月

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

壹、出國研習目的

目前氣渦輪發電機組日新月異，舊的機型也不斷的在改進，許多技術更因須符合越來越嚴格的環境法規標準來修正，尤其大潭天然氣發電計畫發電容量達四百萬瓩，發電機組的特性及效率攸關供電的穩定及運轉、維修的成本。為期能熟悉新的氣渦輪發電機組相關技術，需前往國外廠家研習其製造、安裝、測試及運轉等技術，並蒐集各項相關資料，以作為氣渦輪發電機組規劃、設計、建造及組裝維修之參考。

貳、出國研習內容與過程

研習內容：氣渦輪機組製造、安裝、測試及運轉技術

研習過程：德國西門子公司實習

參、報告書提要：

- 一、氣渦輪機概述
- 二、氣渦輪機安裝人力與工期
- 三、氣渦輪機運轉程序
- 四、氣渦輪機定檢及大修週期
- 五、氣渦輪機電廠之特性
- 六、結論與建議

壹、出國研習目的

目前氣渦輪發電機組日新月異，舊的機型也不斷的在改進，許多技術更因須符合越來越嚴格的環境法規標準來修正，尤其大潭天燃氣發電計畫發電容量達四百萬瓩，發電機組的特性及效率攸關供電的穩定及運轉、維修的成本。為期能熟悉新的氣渦輪發電機組相關技術，需前往國外廠家研習其製造、安裝、測試及運轉等技術，並蒐集各項相關資料，以作為氣渦輪發電機組規劃、設計、建造及組裝維修之參考。

貳、出國研習內容與過程

研習內容：氣渦輪機組製造、安裝、測試及運轉技術

研習過程：

91.06.04~91.06.05-----台北 ——▶ 德國(往程)

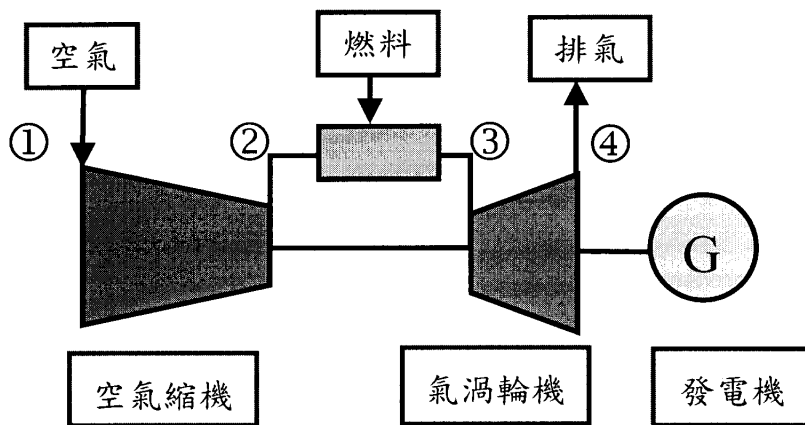
91.06.06~91.06.22-----德國西門子公司研習

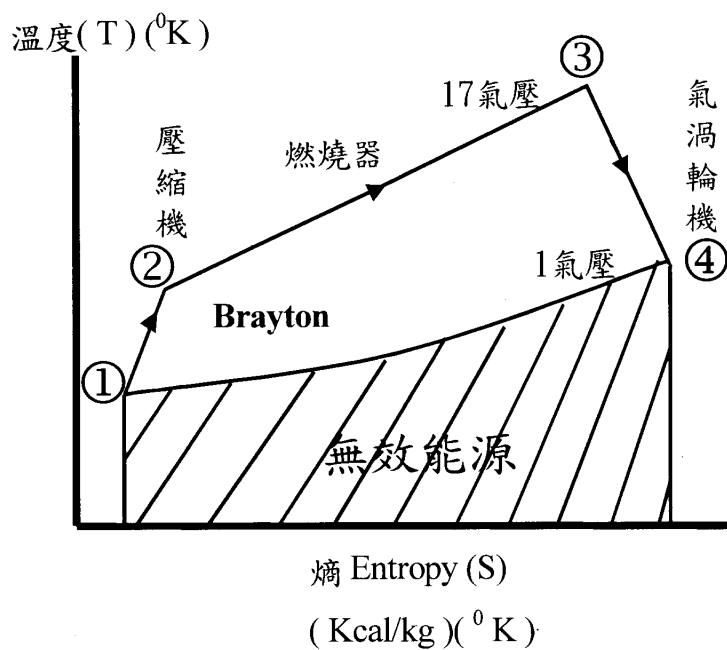
91.06.23~91.06.24-----德國 ——▶ 台北(返程)

一、氣渦輪機概述：

(一)、氣渦輪機原理

氣渦輪機係以高溫熱燃氣為作功介質之原動機，其用於發電的過程為：大氣中之空氣(約 1bar)經過濾室過濾成清潔空氣，經軸流壓縮機壓縮後在燃燒室與燃料混合燃燒，燃燒後之熱燃氣流經內殼並進入渦輪機，因氣體膨脹作功而產生機械能，促使氣渦輪機轉子轉動以帶動發電機輸出電力。如此之過程，將空氣等熵壓縮後與燃料一起等壓燃燒產生熱能，熱燃氣之熱能在等熵轉換成機械能，然後排入大氣，在熱力學上稱為卜瑞登(Brayton)循環。如下圖：





(二)、西門子 V84.3A 型氣渦輪機性能資料

氣輪機機型	西門子 V84.3A
頻率 (Hz)	60
轉速 (r/min)	3600
ISO 基載出力 (MW)	180
熱耗率 (BTU/ KWh)	8865
(KJ/KWh)	9350
熱效率 (LHV%)	38.5
壓力比	17
排氣流率 (lb/s)	980
(kg/s)	445
排氣溫度 $^{\circ}\text{F}$	1070
$^{\circ}\text{C}$	577

(三)、西門子 V84.3A 型氣渦輪機設備(Combustion Turbine Assembly)

1、軸流式壓縮機(Axial Flow Compressor)：

壓縮機為 15 級軸流式，壓力比為 17 個大氣壓，葉片全部使用「控制擴散翼形」(CDA)，可有效地抑制氣流之剝離現象，可變式入口導翼(Inlet Guide Vane IGV)，在機組啟動停機空載以低負載運轉時關小開度，以減少空氣流量，同時配合洩放閥之開啟或關閉，以減少壓縮機葉片之負荷。(如附圖一)

2、燃燒室(Combustion Chamber)：

燃燒室為共通環狀(Ring Combustor)，配置 24 只雙燃料燃燒器(Burners)，每一燃燒器設一點火器，環式燃燒室配合氣機第一級入口，形成一碗狀的空間結構。(如附圖一)

3、氣機(Turbine)：

氣機為 4 級，仍保持傳統的反動式氣機，如(附圖一)，全部靜葉圈每一葉片均為獨立狀的結合，可以減輕溫度分佈不均所形成的熱膨脹，動葉片採自由定位葉片結構，運轉中可以產生自律平衡的效果，避免機械震動現象發生，葉片根部採聖誕樹形結構，由各葉片輪盤插入。氣機之動、靜葉片，除第 4 級動葉片無冷卻空氣外，其他各級均採用空氣冷卻方式。氣機轉軸由單一 Central Tie Rod 固定壓縮機及氣機 DISKS，各 Disk 以 Hirth Facial Serration 齒合，除了

提供自動對準(Alignment)外，並有傳導動力及自由徑向膨脹之功能。如(附圖二)。

4、發電機(Generator)：

西門子發電機採氣冷式(Air Cooled)發電機，並配備以水為冷媒之 Air Cooler，冷空氣由轉子上之軸流風扇驅動冷却發電機。

5、氣渦輪機輔助系統：

(1) 起動設備(Starting System)

西門子公司以 Static Start System 控制發電機當作起動馬達來加速氣機，並在氣機轉軸加速至 2500RPM 時 Static Start System 自動跳脫。

(2). 慢車迴轉設備(Turning Gear System)：

西門子公司 V84.3A 在壓縮機進氣端之轉軸上裝置 Pelton Impeller，以 6 支潤滑油噴嘴衝動來轉動轉軸。

(3). 進氣系統(Inlet Air System)

空氣經過濾器(Filter)過濾後經導管進入空氣壓縮機，本系統設備有進氣室、空氣導管、消音器、膨脹接頭、肘管、結構鋼料等並設有壓差指示計(Pressure Differential Indicator)及壓差警報器(Pressure Differential Alarm)，空氣清潔過濾器之自動清潔設備(Self-cleaning Pulse System)為選購配備。

(4). 排氣系統(Exhaust System)

於氣機內膨脹作功後之熱排氣經排氣歧管(Exhaust Manifold)，膨脹接頭(Expansion Joint)、排氣道(Duct)、煙囪(Stack)排至大氣，而於複循環機組則由導管進入蒸氣產生器(Heat Recovery Steam Generator)。

(5). 潤滑油系統(Lubrication System)

西門子公司 V84.3A 系統以 2X100%AC 油泵為主油泵及輔助油泵，而該油系統另設一 AC 頂心油泵(Jacking Oil Pump)提供高壓頂心油供氣機轉軸於低轉速時頂起轉軸，防止轉軸與軸承之磨損。

(6). 控制油系統(Contral Oil System)

控制油系統提供燃料壓力與流量控制、關斷閥所需控制油，內含 2X100%油泵，一台為 Stand-by，內含過濾器、蓄壓器、冷卻器、油槽、管路及相關儀控設備等。

(7). 冷卻系統(Common Colling Water System)

系一密閉循環系統(Closed Circuit)，以水為冷卻媒介作為潤滑油、控制油、發電機冷卻空氣、清淨空氣之冷卻，內含 Fin Fan Air Coolers、Circulating Pumps、Valves、Chemical Injection Tank 等。

(8). 控制系統(Instrumentation And Control System)

- a. 速度/溫度控制—根據 Load 狀況設定控制。
- b. 保護系統—根據廠家設定值設定控制。
- c. Sequential System—根據設定程式由監測系統所得數據來

執行 Logic Sequence。

(9). 燃料系統(Fuel System)

a. 燃氣系統

本系統一般含有控制閥、關斷閥、過濾器、管路、流量計、壓力計及相關控制設備等、以供應氣渦輪機所需燃氣。

b. 燃油系統(Liquid Fuel System)

本系統含有 AC 油泵、控制閥、關斷閥、過濾器、流量計、壓力計、管路及相關控制設備等以提供氣機所需燃油。

c. 西門子公司以 Solenoid 或 Limitorque 操控其他燃料系統輔助閥。

(10). 氣機壓縮機水洗設備

(a). 壓縮機為什麼要水洗

氣機運轉時氣流中之灰塵，油氣、水份等易附著於壓縮機前幾級葉片形成一層髒沈積物(Fouling Deposits)，而影響壓縮機之氣流，導致效率低落，亦有腐蝕葉片之可能，故以除礦水加清潔劑(Detergent)來清洗壓縮機，假如以重油為燃料可能產生飛灰(Ash)則氣機葉片亦應清洗。清洗壓縮機除了可恢復氣機之效率又可避免葉片受腐蝕而延長壽命。

(b). 壓縮機水洗時機之決定

壓縮機清洗頻率隨廠址空氣狀況而定，在一些空氣較污染地區，連續運轉一個月後因葉片沈積物可能使效率降低 4%，當然使用高效率之進氣過濾器可減低壓縮機之沈積物。一般清

洗頻率為 On-Line 清洗每星期一次，Off-Line 清洗每月一次。是否清洗可以目視檢查或氣機效率監測來判定。一般目視檢查可由壓縮機空氣進口喇叭口(Bell Mouth)，進口導翼(Inlet Guide Vane)之表面是否積塵或油膜沈積物(Filmy Deposits)來判定是否要清洗，若有油污則以清潔劑水清洗，如僅灰塵則以水洗(不加清潔劑)即可。而氣機效率監測係在 Base Load 下每日之效率監測值與機組 Base Line 值來比較亦可判定是否需清洗壓縮機。

壓縮機水洗可於運轉中(On-Line)進行。通常為額定轉速部份負載(Full Speed & Some Percentage of Load)，其效果不及停機(Off-Line)清洗，停機清洗通常在 Cranking Speed(約 25% Rated Speed)可徹底清洗壓縮機。

(c). 水洗設備—包含有管路、泵、槽、閥等，並設有清洗水加溫器。

(11). 注水系統(Water Injection System for NOx Reduction)

為抑制氣渦輪機燃燒系統生成 Nox 可以下列方法達到效果：

(a). 使用 DLN 燃燒器(Dry Low Nox Combustor)，於燃天然氣時不需噴注水或蒸汽而達到低氮氧化物之排放。

(b). 一般燃燒器(Conventional Combustor)以噴注水或蒸汽來抑制氮氧化物生成。一般複循環機組用蒸汽以得較高之效率。

(c). V84. 3A 配備 DLN 燃燒器，燃天然氣時 Nox 為 27.5ppm(vol.)，燃輕柴油時 Nox 為 47ppm(vol.)

(d). 本系統設備含有 AC 水泵，控制閥，流量計，管路及相關

儀控設備。

二、氣渦輪機安裝人力與工期

(一). 每部氣渦輪機自基礎埋件開始至商轉所需人力

約 2300 人日，工別如下：

項次	工別	數量	單位	備註
1	工程師	210	人日	
2	監工員	100	人日	
3	鉗工	510	人日	
4	冷作工	235	人日	
5	配管工	350	人日	
6	電氣工	560	人日	
7	雜工	335	人日	
合	計	2300	人日	每部機所需人力

(二). 相關作業項目與工期

相關主要作業項目包括：基礎、氣渦輪安裝、發電機安裝、潤滑油系統、排汽系統、迴轉機對心、管路系統、儀電系統、

運轉前檢查、並聯、運轉檢查及測試、商轉等如(附圖三)所示。

三、氣渦輪機運轉程序

(一)、待機(Stand-by)

1. 潤滑油系統保持起動運轉中。
2. 電池組保持充(滿)電狀態。
3. 氣渦輪機轉軸慢速迴轉中。

(二)、起動：(Starting)

起動系統轉動氣渦輪機轉軸至點火速度，燃料注入燃燒室燃燒加速氣機至 70% Rate Speed(2500RPM)，起動馬達脫離並停止，較多燃料噴入燃燒室氣機轉軸增速至 Rate Speed (3600RPM)，保持短暫之暖機(Warming)時間後，機組即可加載(Loading)，此段時間約 20 分鐘。

(三)、負載運轉(Load Running)

當氣渦輪機轉速達 Rate Speed，加載(Loading)指示燈亮，機組在自動模式下即自動併聯並逐漸增載至設定之負載，亦可以手動併聯、增載或減載，此段時間約 15 分鐘。

(四)、停機(Shutdown)

當” Stop” 按鈕被操作，負載即自動逐漸降低最後發電機 Breaker 跳脫，氣機經短暫冷卻(Cool down)後，停止供給燃料，轉速下降，轉軸停止，隨即由 Turning Gear 帶動轉軸轉動，氣渦輪機處於待機(Stand-by)狀態。

(五)、氣渦輪機運轉模式(如附圖四)所示。

四、氣渦輪機定檢及大修週期

氣渦輪機運轉一段時間後，必須作定期檢修，因對於任何機組而言，運轉會導致磨損及裂傷，維修的主要目的就在於檢測磨損與裂痕，找出原因並加以修護。

一般定檢及大修週期決定於等效運轉時數(EOH)，檢修工作間格25000小時等效運轉時數，相當於連續運轉之機組每三年檢修一次的週期。檢修週期如下表：

等效運轉時數 EOH	25,000	50,000	75,000	100,000	125,000	150,000
定檢 (inspection)	每 25000 小時 2 至 5 次(視運轉模式而定)					
中間檢查 (hot-gas-path inspection)	(X)	X	(X)	X	(X)	X
大修 (major inspection)	X		X		X	

(X)：包括在大修內

五、氣渦輪機電廠之特性

- (一). 設置容易：因排氣之控制良好污染少，廠地佔地不大，取得用地較容易，水的使用量不大。
- (二). 設廠成本較低：設廠前之前置費用較低，且燃料更可彈性使用燃油或天然氣。
- (三). 安裝工期短：所有設備均以模組式設計，可於製造工廠內儘可

能組裝完成，現場施工安裝工期縮短。

- (四). 調度性靈活：運轉之起動、停機快速，可適用於尖峰或連續運轉，而其軸向排氣(Axial Exhaust)有利於廢氣回收利用。
- (五). 運轉容易特性佳：準確有效率之微電腦程式數位控制系統可依靠需要迅速調整負載，且運轉時操作容易、安全。
- (六). 運轉可靠性高：重責型設計(Heavy Duty Design)耐用可靠、冷端帶動發電機(Cold End Drive)可有較穩定之轉軸對心效果。
- (七). 維修容易：氣輪機及壓縮機葉片均可個別的拆下做檢查或更換且不需吊起 Rotor、燃燒器、噴嘴等，工作人員接近容易；氣缸水平連接(Horizontal Cylinder Joints)設計可方便維修工作進行及有適當空間供巡視人員進出。

六、結論與建議

(一)、西門子公司 V84.3A 氣渦輪機組優點

1. 基本結構較簡單

- (1). V84.3A 之轉子由單支中心軸鎖固壓縮機及氣輪機 Disks，各 Disk 間有 Hirth Serrations 互相齒合，可自動對心並傳導動力及徑向膨脹，且安裝容易。
- (2). V84.3A 為壹共通環形燃燒室(Ring Combustion Chamber)配備 24 支可使用油、天然氣的混合式燃燒器(Burners)(如附圖五)，一方面可避免局部高溫現象，另一方面獲得更均勻的溫度分佈，使高溫氮氧化物衍生量減少，同時可提高

其燃燒效率。

2. 輔助設備簡單化

- (1). V84. 3A 以 SFC/SEE 轉控主發電機為 MOTOR 來起動(Cranking) 氣渦輪機，不另裝設啟動馬達，減少設備空間。
- (2). V84. 3A 於氣渦輪機轉軸上裝 Pelton Impeller，經 6 支油噴嘴衝動使氣渦輪機轉軸慢速迴轉，構造簡單。

3. 維修容易

V84. 3A 機組在機械觀點上其模組化設計，結構簡單，不但安裝快速容易，維護檢修也較容易，檢修壓縮機或氣渦輪機之靜、動葉片，甚至不用吊起轉軸，可降低安裝及維護營運成本。

(二)、氣渦輪機市場及需求

因氣渦輪機有裝機成本低、設置容易、安裝快速，運轉彈性大，可靠性佳，維修容易等優點，雖前市場熱絡，但各廠家因近幾年市場需求過於快速成長、預估經濟成長將趨緩及發電成本的因素，估計往後幾年氣渦輪機發電市場及需求將大幅度的降低。

(三)、新電源開發計畫應有的考量

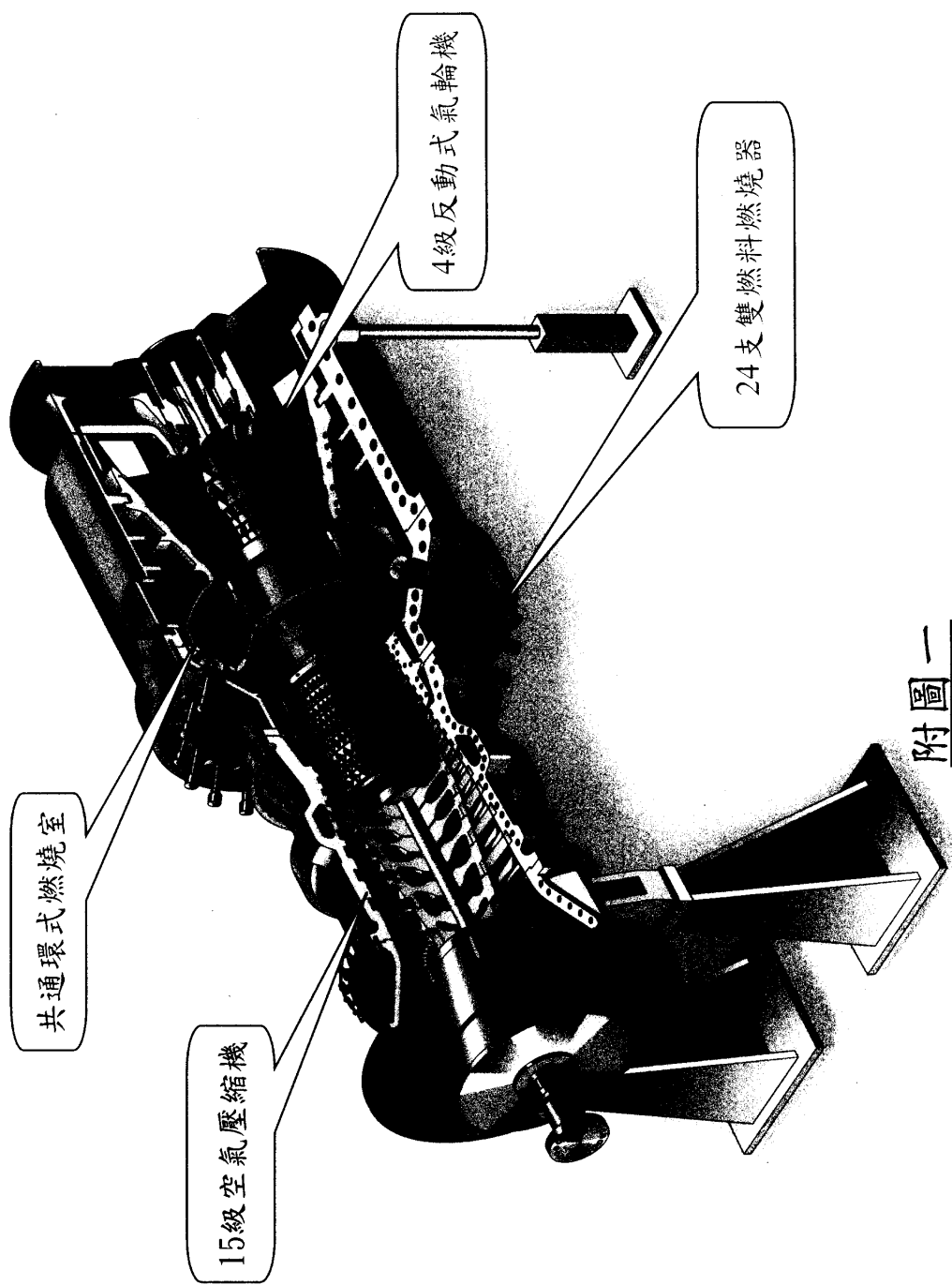
台灣目前有氣渦輪機發電的電廠包括台電的核一、核二、林口、通霄、台中、興達、大林、南部、核三及 IPP 的海湖、新桃，後續還有國光、星能(彰濱)、森霸(豐德)、嘉惠等將陸續完成。其配合而成的燃天然氣複循環電廠(附圖六)發電量，已約佔總發電量的 20%。在本公司面臨民營化及自由化的前提下，新電源開發計畫應有下列考慮：

1. 天然氣發電成本的考慮-複循環電廠每度發電成本約 1.8 元，競爭力差。(單一氣渦輪機發電成本更高達 6~7 元之多)
2. 天然氣供應穩定的考慮-天然氣使用量越來越大(含 IPP 電廠)，加以天然氣儲存不易，儲存槽不足，供氣穩定性無法自行掌控，容易造成供氣不足，突然須停機而發生限電的狀況。

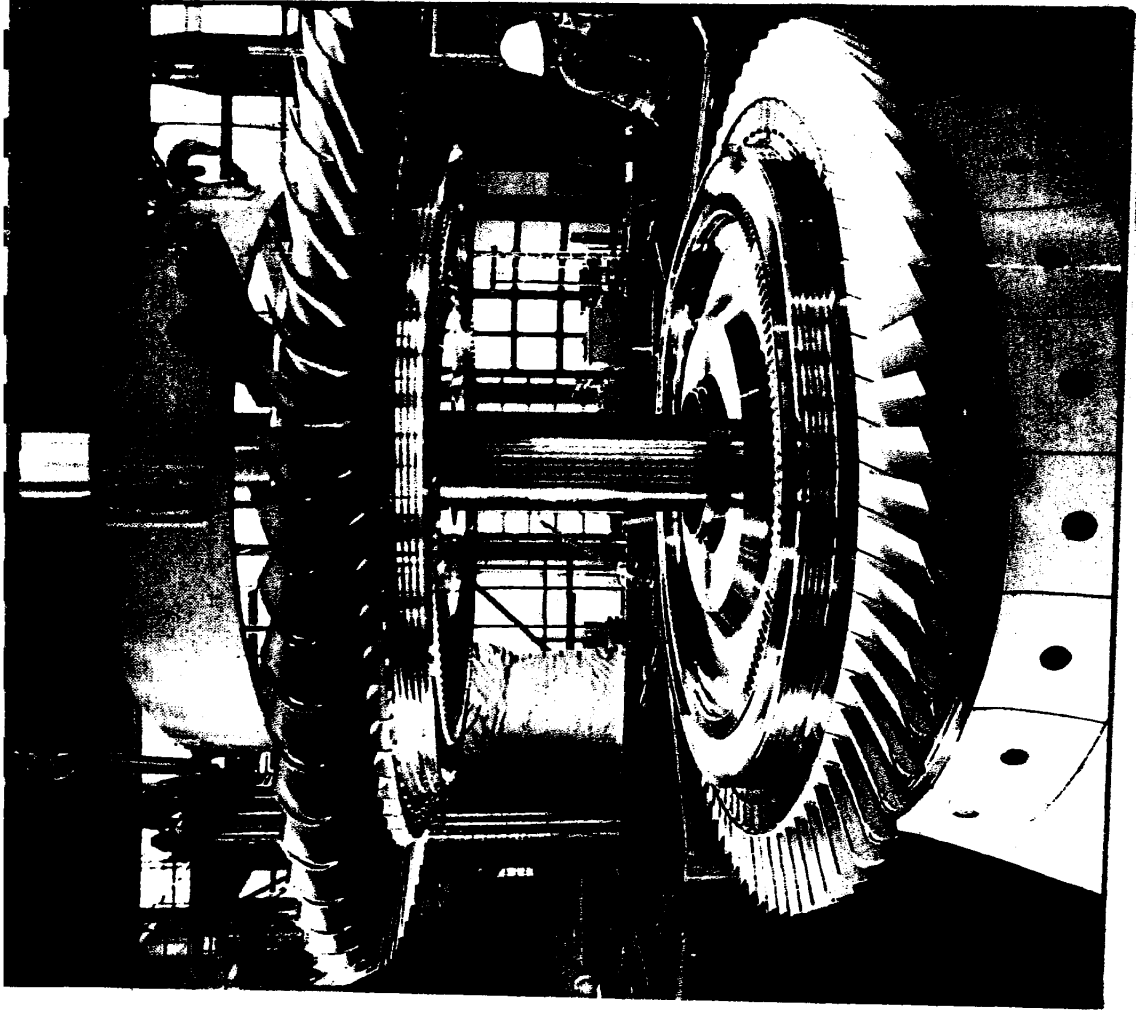
(四)、結語

職奉派赴西門子公司實習，從氣渦輪機主軸的車製、葉片輪盤鳩尾槽的製作、氣渦輪機的組裝、測試等，都有更深一層的認識及體驗，尤其廠家在氣渦輪機組裝階段，其對工作環境的要求特別嚴格，原因為氣渦輪機葉片上有許多大小不一保護葉片用的冷卻氣孔(附圖七)，不允許任何雜物進入，以免運轉時阻塞氣孔，造成局部溫度過熱致氣輪機葉片產生龜裂，這也是日後氣渦輪機安裝時應特別注意的地方。

最後特別感謝各級主管的提攜及在這段期間的指導，使順利完成本次大潭計畫氣渦輪機製造、安裝、測試及運轉技術的實習任務，除個人獲益良多外，對氣渦輪機更進一步的認識，相信對大潭發電計畫氣渦輪機之裝機、運轉及維修工作，將有很大的助益。

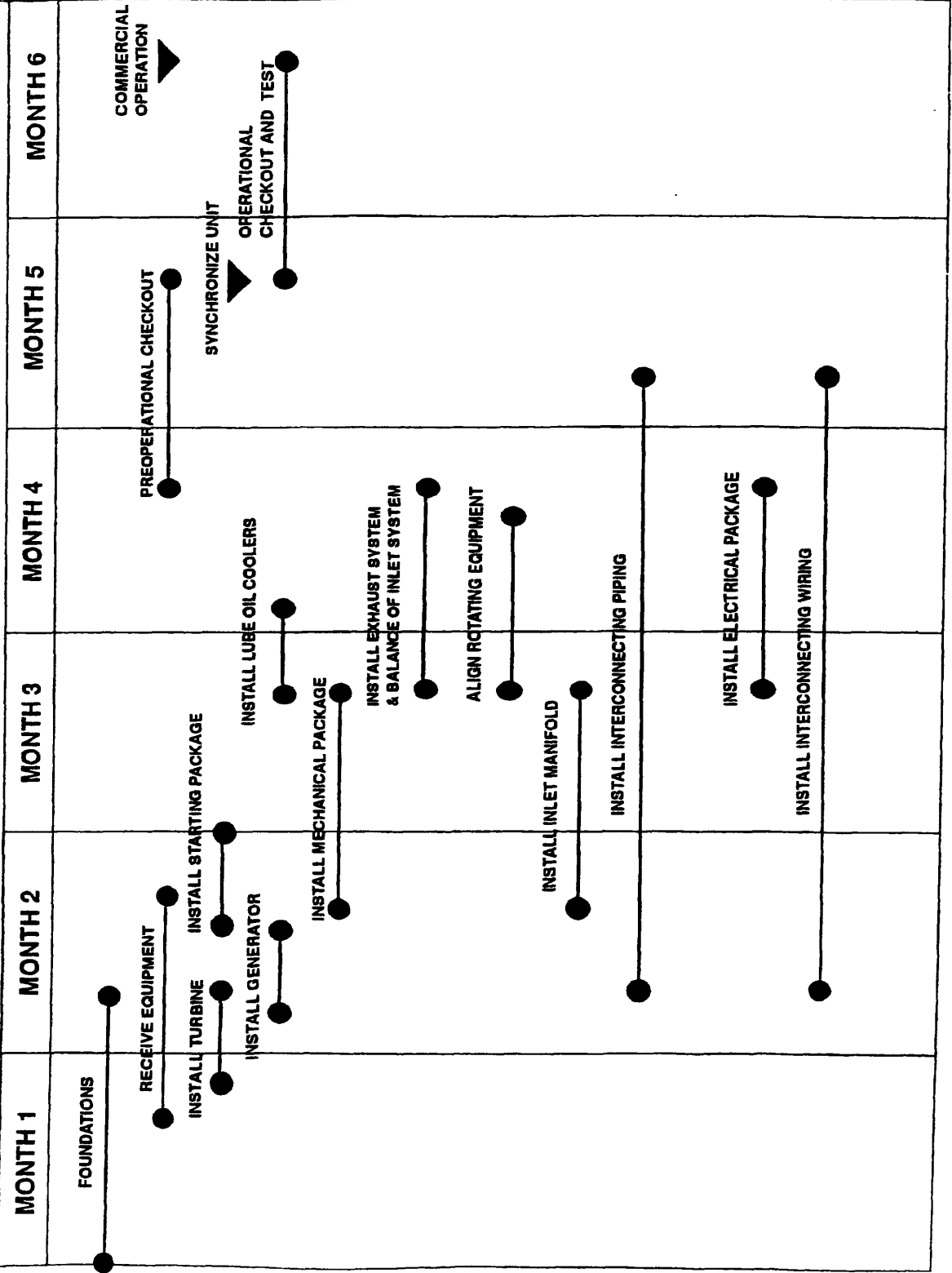


附圖一

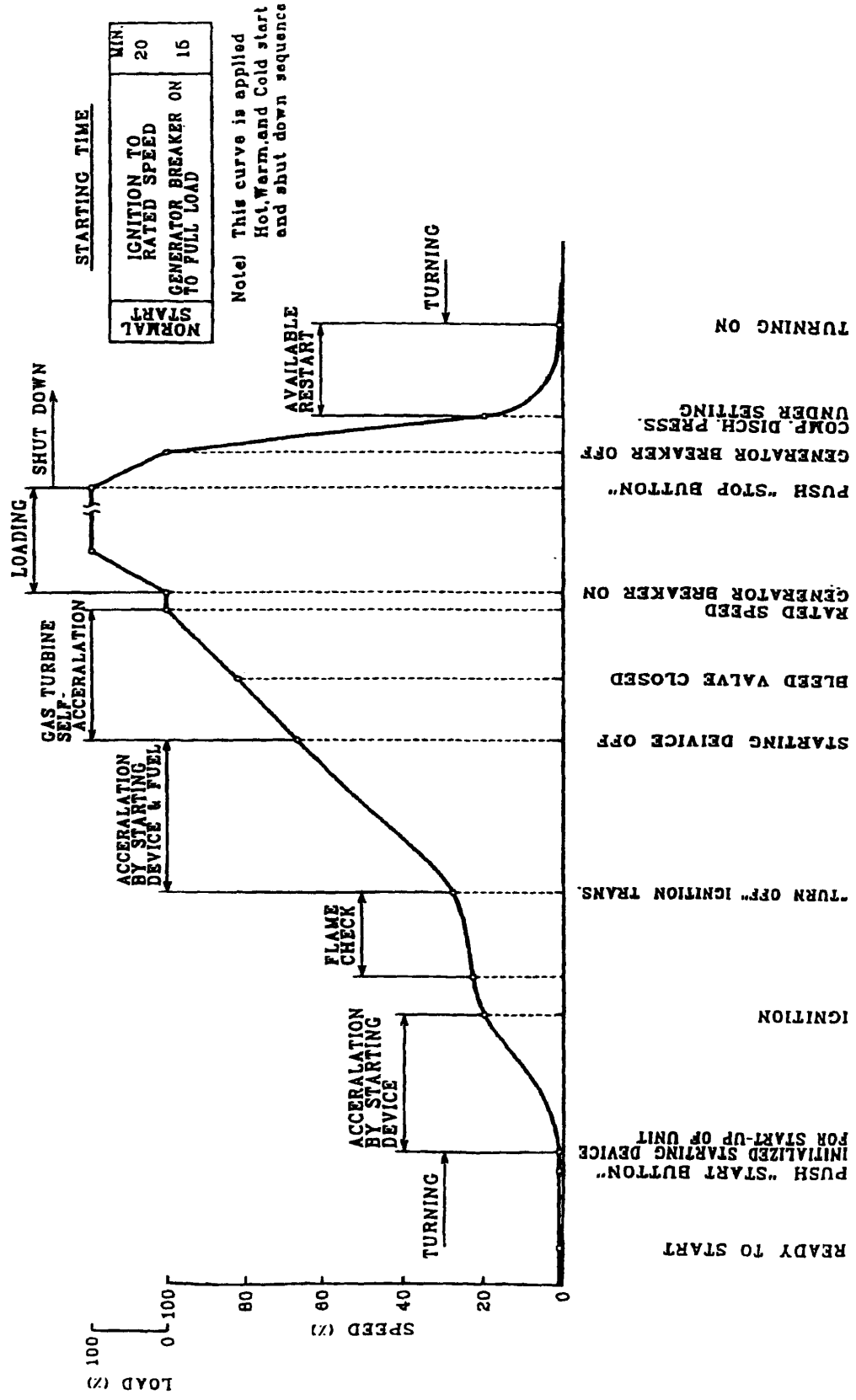


附圖二

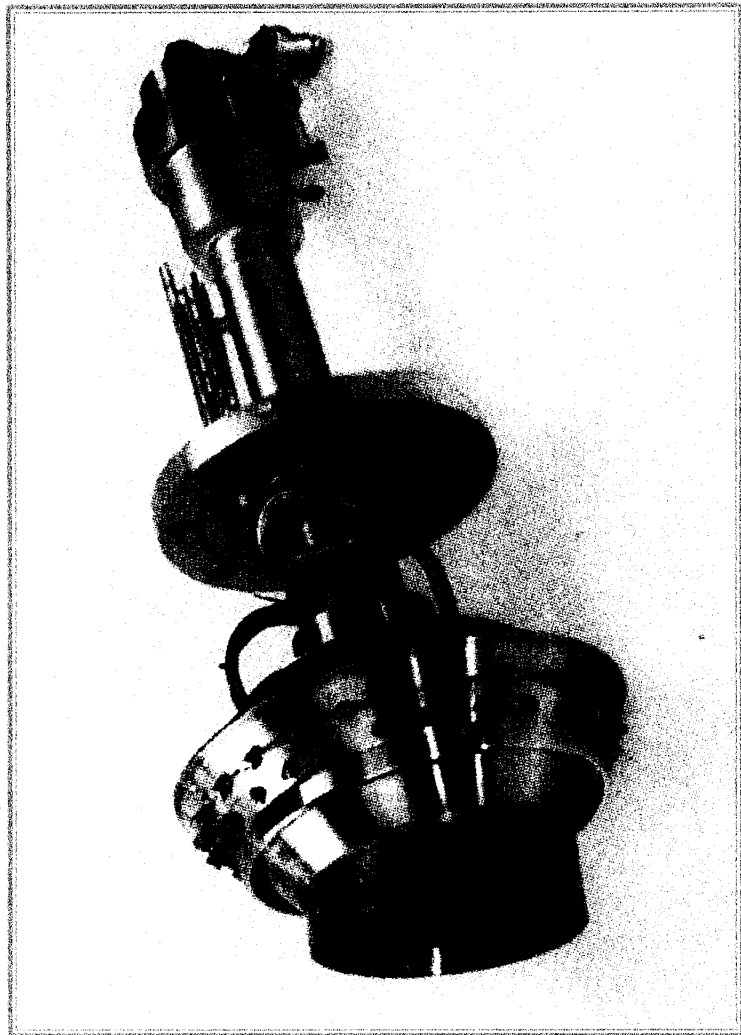
TYPICAL CONSTRUCTION SCHEDULE



SCHEMATIC DIAGRAM OF START-UP AND SHUT DOWN SEQUENCE

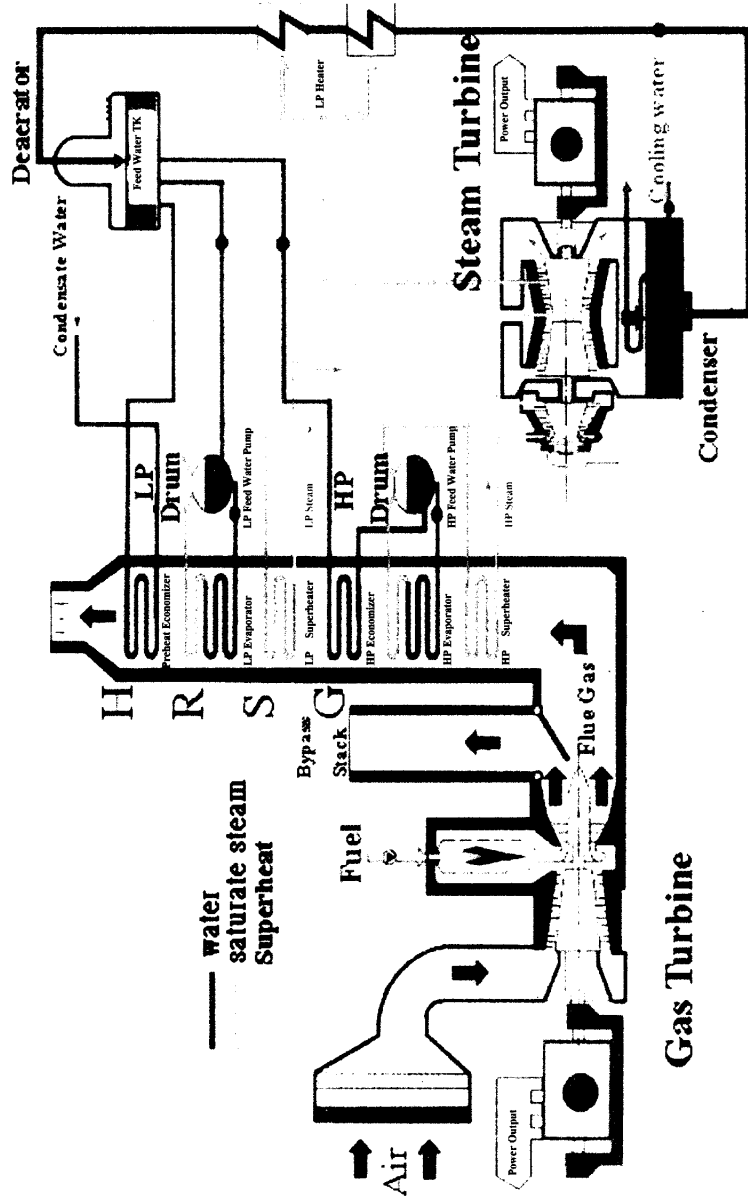


雙燃料燃燒器



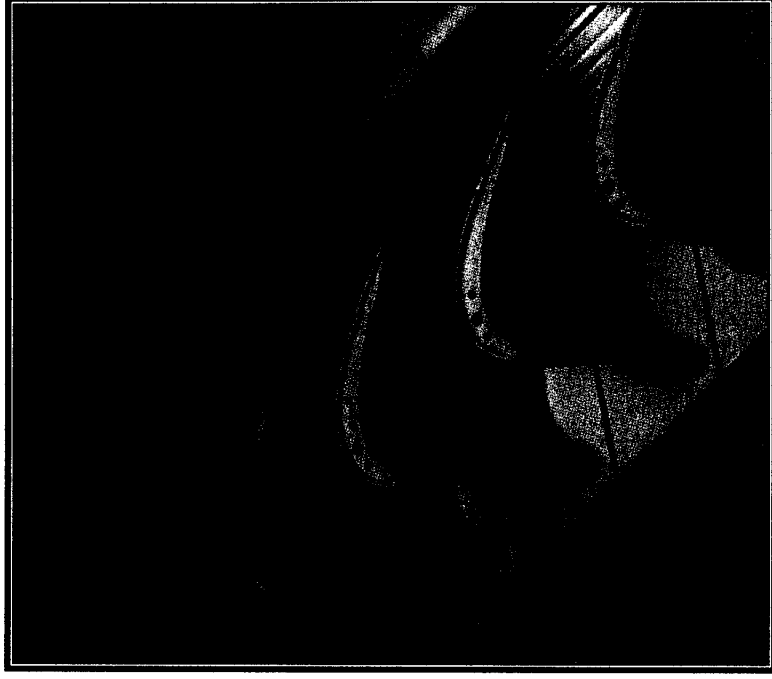
附圖五

Combined Cycle Flow Diagram



附圖六

氣機葉片冷卻氣孔(一)



氣機葉片冷卻氣孔(二)

