

出國報告（出國類別：實習）

# 西門子新建複循環氣渦輪機與汽輪機組 大修技術研習

服務機關：電力修護處南部分處

姓名職稱：陳信宏 經理

陳致融 工程師

葉冠成 工程師

派赴國家/地區：德國 / 柏林、米爾海姆

出國期間：自 113 年 08 月 14 日 至 113 年 08 月 26 日

報告日期：113 年 10 月 21 日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

西門子新建複循環氣渦輪機與汽輪機組大修技術研習

頁數 41 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳信宏/台灣電力公司/電力修護處南部分處/機械工程監/(07)2510195#530

陳致融/台灣電力公司/電力修護處南部分處/機械工程專員/(07)251-0195#536

葉冠成/台灣電力公司/電力修護處南部分處/機械工程專員/(07)251-0195#526

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 08 月 14 日至 113 年 08 月 26 日

派赴國家/地區：德國/柏林/米爾海姆

報告日期：113 年 10 月 21 日

關鍵詞：西門子、複循環機組、氣渦輪機、汽輪機

內容摘要：(二百至三百字)

IPP電廠為配合能源轉型政策新增電源開發計畫，其中森霸電力公司豐德電廠由西門子能源公司承造SGT6-9000HL氣渦輪機及SST6-5000汽輪機二對一的新建複循環機組，總裝置容量約1100MW，已於民國113年接受調度，未來若達到原廠家規定之運轉時數，需進行開蓋大修，本單位同仁須深入了解機組特性，以利未來爭取承作豐德電廠大修業務。另南部與興達電廠共8部複循環機組，相繼於民國108年起進行氣渦輪機與汽輪機組件更新升級；此次實習參訪西門子能源公司位於柏林的訓練中心、氣渦輪機工廠、米爾海姆的汽輪機工廠、能源轉型中心，並藉由與西門子氣渦輪機與汽機人員進行大修技術研討會議，達成經驗回饋與交流，學習西門子氣渦輪機與汽輪機之更新後核心組件大修技術，期望未來提升氣渦輪機與汽輪機的維護技術與品質。

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

# 目錄

壹、 實習目的 .....	1
貳、 實習行程表： .....	1
參、 實習內容： .....	2
一、 西門子柏林訓練中心實習.....	2
二、 西門子柏林氣渦輪機工廠實習.....	6
三、 興達及南部電廠西門子複循環 GT 更新後大修技術議題研討..	9
四、 西門子米爾海姆汽輪機工廠實習.....	12
五、 興達及南部電廠西門子複循環 ST 更新後大修技術議題研討	19
六、 西門子新建複循環機組汽輪機 SST-5000 簡介 .....	22
肆、 心得與建議： .....	28
伍、 致謝： .....	30
陸、 參考文件： .....	30
附件一：耐火磚安裝流程工作指導書 .....	31
附件二：SGT6-2000 氣渦輪機轉子分解用加壓油泵特殊工具操作說明 .....	36

## 壹、實習目的

興達電廠及南部電廠西門子複循環機組陸續於 109 年起更新氣渦輪機及汽輪機內部重要組件，其汽輪機及氣渦輪機由德國西門子公司提供，使用之技術亦與舊有機組不同，大修所涉之工項、工法及機具，亦較現行有所不同；另外 IPP 電廠豐德二期新建複循環機組為「西門子公司」SGT6-9000HL 最新之氣渦輪機組搭配 SST-5000 之汽輪機，總裝置容量為 1100MW，預計於今年度(113 年)商轉，未來若達到原廠家規定之運轉時數，需進行保固及開蓋大修，本隊人員為了更進一步了解機組特性及維修技術，本次派員出國前往西門子能源公司學習及研討相關維修技術與知識，以爭取未來電廠委託本分處之大修業務。

## 貳、實習行程表：

項次	起始日	迄止日	前往機構名稱	機構所在國家 城市名稱	詳細工作內容
1	1130814	1130815			往程 (桃園-法蘭克福-柏林)
2	1130816	1130820	西門子能源股份公司 (柏林)	德國 柏林	西門子氣渦輪機更新升級 之大修技術研習及新建機 組
3	1130821	1130821			路程(柏林-杜塞道夫)
4	1130822	1130823	西門子能源股份公司 (米爾海姆)	德國 米爾海姆	西門子汽輪機更新升級之 大修技術研習及新建機組
5	1130824	1130826			返程 (杜塞道夫-法蘭克福-桃園)

## 參、實習內容：

### 一、西門子柏林訓練中心實習

(一) 時間：113年08月16日(德國時間)

(二) 地點：柏林西門子能源訓練中心

**Siemens Energy AG Mixed Reality Development & Experience Center Technology Education and Competency Center**

(三) 地址：**Motardstraße 54, 13629 Berlin, Deutschland**

(四) 目的：了解西門子公司的培訓技術以及了解特殊治具

(五) 實習內容：

一早從柏林(Berlin)市中心搭車往訓練中心，車程約 30 分鐘，到達西門子能源的訓練中心，到達後須先於門口更換證件，需要提供護照進行換證，進入訓練中心後，映入眼簾的是一個很大的廠房，牆壁上用貨架將各種備品分類置放，非常整齊(圖一)，在進入廠房後，有一專人作為我們這次的導覽講師，在進入廠房前，先於入口側邊進行安全講解，更換安全鞋及戴安全帽，訓練中心牆上也隨時備有醫療箱(圖二)，地上有用黃色線條標示出行走路線，人員行進都須依照黃色路線內空間，外側即為工作區域，足以見得西門子公司對於現場工安的注重。



圖一、訓練中心貨架分類置放



圖二、訓練中心牆上備有醫療箱

導覽人員先講解訓練中心主要是進行西門子內部員工及有購買設備的客戶派員來此地進行訓練，於此中心可先學習到相關的技術知識及解決問題的方法，於導覽的第一站，立刻看到現場正在以一部 SGT6-8000H 機型的氣渦輪機進行安裝，現場設置工作台，將機組分為上下兩部位，兩部位均有學員正進行機組零件的安裝訓練。(圖三)

我們立刻注意到機組安裝現場有一些特殊工具，並且有導火筒(Transition Piece)及點火器(Igniter)正安裝於特殊工具上，經詢問後，我們知道那就是西門子設計用來安裝點火器及

導火筒的特殊工具(圖四)，並且在訓練機組上，還有環形齒輪狀的特殊工具也安裝於訓練機組上，此即為西門子公司為了安裝燃燒筒(Combustion Basket)設計的特殊工具(圖五)，此特殊工具是我們第一次看到，以前在安裝導火筒及燃燒筒的方法，都是需要依靠起重人員利用鍊條吊車及手搖吊車將導火筒及燃燒筒以吊裝的方式吊至適當的位置，再以翹棒或是導桿慢慢將導火筒及燃燒筒調整靠近到螺栓可以鎖固的距離再進行鎖固(圖六)，然而導火筒及燃燒筒都是重量非常重的部件，用鍊條吊車及手搖吊車進行安裝存在許多潛在工安問題，而且在進行位置調整時需要許多重新調整的重複動作，常常會因為進行調整過程中，造成手部夾傷或是被導火筒及燃燒筒壓傷的情況，因此這套新的特殊工具可以將導火筒及燃燒筒先置放於台車上，安裝時安裝位置也已經經由環狀軌道固定，可避免使用吊車進行微調動作，大大的減少工安發生的情況。



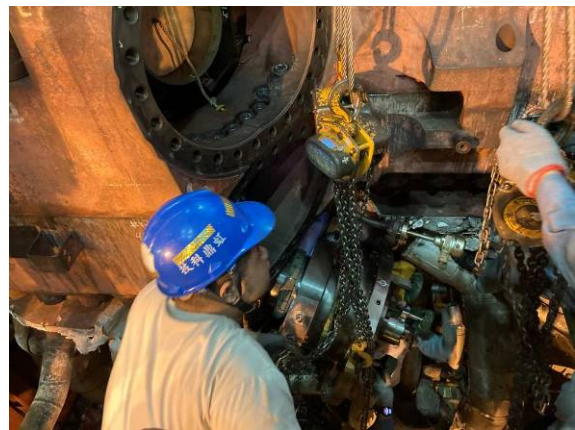
圖三、SGT6-8000H 氣渦輪機工作台



圖四、安裝點火器及導火筒的特殊工具



圖五、安裝燃燒筒的特殊工具



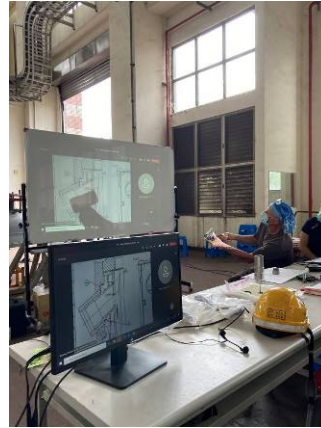
圖六、現行以鍊條吊車進行燃燒筒的吊裝作業

進入第二站看到 SGT6-2000 型的火焰筒部件，有學員正在學習如何安裝耐火磚，另外也有不同機型的火焰筒部件，都是要讓學員進行耐火磚拆裝練習用，另一側則置放了 SGT6-2000E 型的機組本體，也是要讓學員進行拆裝訓練用； 110 年度大修期間，當時為

了符合空氣排放的提升需求降低 NOx 排放，興達電廠 GT1~GT4 號機的燃燒筒均進行升級為冷卻空氣降低系統(Cooling Air Reduction CAR)，我們有跟西門子公司配合以 GT4 號機的燃燒筒進行耐火磚安裝的培訓課程(圖七)，當時是在興達電廠的 SCR 廠房進行培訓，西門子公司派遣技師進行指導，另外還與德國連線指導拆裝細節(圖八)，在當時參加訓練的同仁也都有取得西門子公司的認證證明，因此這次實地到德國的訓練中心看到西門子公司的火焰筒練習用部件，向西門子能源公司取得相關訓練資料，以利將此技術文件化。



圖七、110 年西門子派遣德國技師進行耐火磚安裝訓練



圖八、110 年與德國技師連線進行耐火磚安裝細節解說

進入第三站，看到較小型的轉子及動葉直立起來，外部有設立西門子公司設計的專用施工架(圖九)，施工架搭設好可將轉子包圍起來，外側共分為三層，人員可於各層進行拆裝動葉片作業，且整體施工架底部為硬質優力輪設計，施工架搭好了可以進行位移再固定；這個施工架預計 114 年南部發電廠會添購 2 組，興達發電廠會添購 3 組，以前沒有這個專用施工架的時候，我們都是直接請外面的包商進行現場搭架作業，但是現場搭的架子常常會有高度、寬度不固定的情況，每次搭設起來都略有不同，常因空間設計不良，又再度請包商進行施工架修改，而且現場搭設的施工架也無法位移，且無專業技師評估確切的承重能力，在安全性及方便性都比較差(圖十)，而這個專用施工架在空間上、護欄及爬梯都有完整規劃，而且承重力也都有經過專業技師設計計算過，而且底部還有輪子可移動，提高安全性及方便性。





圖九、安裝轉子及動葉直立式專用施工架



圖十、舊式的安裝轉子及動葉直立式施工架

第四站為閥類檢修、測試訓練區，在此區有各式閥類設置用來進行拆裝及壓力測試，另一側則是小型零件組裝訓練區，可看到學員正在進行小型零件組裝訓練；最後一站是管路系統檢測訓練區，現場有一整個油槽及油管系統，可配合電腦進行狀況模擬讓學員找出問題並學習將問題解決，另一側為氫氣管路模擬區，整體是一個密封櫃封住，防止氫氣外洩。

在全部訓練中心都導覽完畢後，最後西門子展示了最新的技術，就是應用微軟的AR眼鏡，將大修工件的模型導入，可讓人員在沒有實物的情況下，透過AR眼鏡可完整看到實物的模型(圖十一)，其大小、細節、零件構造都跟實物完全相同，未來甚至可應用於機組零件拆裝的判別上，戴上AR眼鏡，可看到需要安裝的零件被模擬出應該安裝的位置，看到這個AR技術的應用，讓我想到我們公司也是大力在推行知識管理Knowledge Management (KM)的系統，若能夠將此知識管理內的資料也都導入AR技術，相信未來在人員培訓上也會有相當大的助益。



圖十一、AR技術應用於機組零件拆裝展示

本次實習，我們也取得冷卻空氣降低系統的燃燒筒安裝指導文件，由於未來於興達電廠進行大修時，本工作隊即須執行此部機組的燃燒筒維修工作，因此本人翻譯耐火磚(Ceramic heat shield CHS)的安裝流程作為日後大修的工作指導書，請參閱附件一：耐火磚安裝流程工作指導書。

## 二、西門子柏林氣渦輪機工廠實習

(一) 時間：113年08月19日(德國時間)

(二) 地點：柏林西門子能源氣渦輪機工廠

**Siemens Energy AG Berlin Gas Turbine Factory**

(三) 地址：**Huttenstraße 12, 10553 Berlin, Deutschland**

(四) 目的：了解西門子公司氣渦輪機的生產能力及品質

(五) 實習內容：

西門子的氣渦輪機工廠是坐落於柏林的工業區，從市中心開車過去大約 30 分鐘的時間，當我們到達氣渦輪機工廠時，一開始需先將進場申請書及護照交給門口守衛確認及工換證件，接著西門子公司會安排一個導覽員進行講解，導覽員會於廠區大門開始進行講解，稍微敘述西門子公司的歷史背景，且強力要求在廠區內禁止進行任何拍攝及錄音，在此深刻地感受到西門子公司對於氣渦輪機的製造流程與細節是視為他們公司的重要資產，非常保護且預防任何可能被竊取資訊的情況，確認清楚後導覽員便帶我們進入辦公室領取安全帽及耳機接收器，全程導覽員會用麥克風講解，我們由收音器收聽內容，在進入廠房內之前，導覽人員先對我們講解廠房的設計，屬於全玻璃是廠房，如此可靠外部採光，增加廠房內的明亮度。

第一站先進入加工廠，所有 50HZ、60HZ 西門子發電設備的零件、機組均在此加工廠進行加工製造，因此在此場內看到許多機械加工的加工機，如車床、銑床、CNC 自動加工機、鑽床、清洗機...等等；在加工廠中可看到靜葉環、靜葉片的組裝；赫氏鍵的溝槽加工、動葉輪盤的外型及溝槽加工過程，在各部件加工完成後，還須再以機械手臂進行導角加工、CNC 鑽孔機進行鑽孔及人工表面研磨處理，最終還須送入自動清洗機進行部件清理，其中比較特別的是他們進行鑽孔作業時，除了一般表面鑽孔是使用加工機進行之外，於曲面位置的鑽孔作業，他們是利用蠟將部件固定，固定後再進行鑽孔，經過他們的測試發現，這種方法可以有效降低部件位移及振動，可非常完美的進行曲面鑽孔作業，所以他們工作的核心價值是以簡單的方法解決困難的問題，有時候好方法不見得是複雜且困難的，可能只是一些簡單的方法或是隨手可得的材料就能有效解決問題。

第二站是參觀組裝廠，組裝廠之出入口是設計在貫穿位置，即前方為入口，後方即為出口，整個廠區為挑高設計，其目的是可讓聯結車完整開入廠房內，上方空間含吊車距離足夠可讓整部機組吊運至聯結車上，等置放穩固完成後，即可由後方將機組載運出廠，經由聯結車載運機組至海港，再將機組船運至世界各國；組裝廠有 6 個組裝平台，廠房內可同時組裝 6 部氣渦輪機，在每個組裝台前都有電子看板顯示此部機組的機型及購買國家，廠房內各組裝台前都有設置一部 3 噸的小吊車，而在組裝廠房最上方有設置一部可吊重 350

噸的固定式起重機；在組裝廠的最後一區為測試區，設置有天然氣管路，機組組裝完成後，均須進入測試區進行運轉測試，由於各機組都有其各自的燃燒模式，因此各種燃燒模式都須進行測試，在測試階段也需確認機組的各部件運作情況，一次測試平均需花費一周左右，在進行完整測試確認機組沒問題後，才能將機組進行包裝並載運出廠，我們在離開西門子公司前，剛好就看到一部 SGT6-2000E 型的機組載運出廠。

在整個工廠導覽結束之後，西門子公司邀請我們於廠房的門口處拍照(圖十二)，後來才知道西門子公司會在訪客到達工廠參觀的當天，特別將訪客的國旗懸掛於廠房門口處，在德國看到中華民國台灣的國旗飄揚真的會有種感動，也感受到西門子公司對於訪客的尊重與用心。

雖然在氣渦輪機廠房內都禁止拍照，但是我們仍然提出需求，希望能夠取得豐德電廠二廠所建置的SGT6-9000HL型氣渦輪機新建機組的資料，藉由提前了解機組結構與資訊，以利未來爭取電廠大修作業之委託，而我們本次實習也順利取得SGT6-9000HL型氣渦輪機的資料，以下為資料內容：

西門子能源公司提供廣泛範圍的氣渦輪機機型，發電能力包含2至593MW，且各分為50HZ跟60HZ的電源頻率(圖十三)，以滿足廣泛的要求和環境兼容性，其中SGT6-9000HL屬於重型氣渦輪機的機型範圍，是專為大型的復循環發電廠設計，可適用於尖載、中載或基載之應用，屬於堅固且靈活的發動機。



圖十二、於西門子氣渦輪機廠房門口與國旗合影



圖十三、西門子公司提供的氣渦輪機機型列表

西門子HL級的氣渦輪機機型在各個零件部位上提供更高水準的效率和性能，在於葉片和輪葉的部件提供超高效的內部冷卻功能以及在先進燃燒系統的部件提高燃燒溫度，在復循環效率(combined cycle efficiency)上提升至超過64%，具有33,000個等效基本小時(Equivalent Base Hours EBH)/1,250個等效啟動時間(Equivalent Starts ES)的服務模式(service model)，其具備液壓間隙優化(Hydraulic Clearance Optimization HCO)以減少間隙損失及退化，具有優秀的冷啟動和熱重啟動能力，在葉片上的設計也提供超高效率的冷卻功能和先進的多層熱障塗層(multi-layer thermal barrier coating)，可使運轉效率提高並降低營運成本，所有葉片均可在轉

子不用吊起的情況下進行更換，在渦輪機第一級和第四級的動葉片也可在無須拆除外蓋的情況下拆解，轉子檢查也可直接在現場執行，達到最大限度地減少停機時間和維護成本，在空壓機的部件也重新設計3D葉片以提高空氣效率(aero-efficiency)，其先進的燃燒系統可實現更高的燃燒溫度及更大的操作靈活性。

SGT6-9000HL氣渦輪機單機的電力輸出能力達440-593MW，復循環的電力輸出更達655-880MW，升降速率(ramp rate)達85MW/min，最小環境負荷(minimum environmental load MEL)小於30%，氮氧化物的排放下降至2ppm，一氧化碳排放量降至10ppm，氫氣共燃能力(hydrogen co-firing capability)也提高到50% vol.，機組排氣溫度為670°C (1238°F)，詳細的設計參數如圖十四至圖十六所示。

Simple cycle power generation	Combined cycle power generation: SGT5-9000HL, SGT6-9000HL	Physical dimensions
<b>SGT5-9000HL, SGT6-9000HL: Simple cycle power generation</b>		
	<b>SGT5-9000HL</b>	<b>SGT6-9000HL</b>
Power output	593 MW	440 MW
Fuel	Natural gas, LNG, distillate oil, other fuels on request	
Frequency	50 Hz	60 Hz
GT ramp-up	85 MW/min	85 MW/min
Gross efficiency	>43%	>43.2%
Heat rate	<8,375 kJ/kwh (<7938 Btu/kWh)	<8,333 kJ/kwh (<7898 Btu/kWh)
Turbine speed	3,000 rpm	3,600 rpm
Pressure ratio	24.0 : 1	24.0 : 1
Exhaust mass flow	1,030 kg/s (2,315 lbs/s)	760 kg/s (1,676 lbs/s)
Exhaust temperature	670 °C (1,238 °F)	675 °C (1,247 °F)
Emissions	NOx emissions down to 2 ppmvd with SCR; CO emissions: 10 ppm	

圖十四、SGT6-9000HL及SGT5-9000HL單循環動力參數表

Simple cycle power generation	Combined cycle power generation: SGT5-9000HL, SGT6-9000HL	Physical dimensions		
<b>SGT6-9000HL, SGT5-9000HL: Combined cycle power generation</b>				
Siemens combined cycle power plant	SGT5-9000HL CC 1x1/1S	SGT5-9000HL CC 2x1	SGT6-9000HL CC 1x1/1S	SGT6-9000HL CC 2x1
Frequency	50 Hz	50 Hz	60 Hz	60 Hz
Gross plant power output	880 MW	1,760 MW	655 MW	1,310 MW
Gross plant efficiency	>64%	>64%	>64%	>64%
Gross plant heat rate	<5,625 kJ/kwh (<5331 Btu/kWh)	<5,625 kJ/kwh (<5331 Btu/kWh)	<5,625 kJ/kwh (<5331 Btu/kWh)	<5,625 kJ/kwh (<5331 Btu/kWh)
Number of gas turbines	1	2	1	2
Pressure/reheat	Triple/yes	Triple/yes	Triple/yes	Triple/yes
Steam temperature	>600 °C (>1,112 °F)	>600 °C (>1,112 °F)	>600 °C (>1,112 °F)	>600 °C (>1,112 °F)

圖十五、SGT6-9000HL及SGT5-9000HL復循環動力參數表

Simple cycle power generation	Combined cycle power generation: SGT5-9000HL, SGT6-9000HL	Physical dimensions
<b>SGT6-9000HL, SGT5-9000HL: Physical dimensions</b>		
	<b>SGT5-9000HL</b>	<b>SGT6-9000HL</b>
Approx. weight	497,000 kg (1,095,700 lb)	305,000 kg (672,400 lb)
Length	13.0 m (42.6 ft)	10.8 m (35.4 ft)
Width	5.3 m (17.4 ft)	5.0 m (16.4 ft)
Height	5.5 m (18.1 ft)	4.3 m (14.1 ft)

圖十六、SGT6-9000HL及SGT5-9000HL機組物理參數表

### 三、興達及南部電廠西門子複循環 GT 更新後大修技術議題研討

(一) 時間：113年08月20日(德國時間)

(二) 地點：柏林西門子能源氣渦輪機工廠

**Siemens Energy AG Berlin Gas Turbine Factory**

(三) 地址：**Huttenstraße 12, 10553 Berlin, Deutschland**

(四) 目的：興達及南部電廠複循環氣渦輪機更新為SGT-2000E後之大修技術研討。

8月20日於西門子柏林工廠會議室進行本公司西門子複循環GT更新後大修技術議題進行問題研習與討論，研討會場如 (圖十七)所示。

整個會議主要分為兩個主軸，第一個是討論有關於大修工作中我們遇到的技術問題，以及本次實習對於西門子是否有什麼問題，第二是討論現行台電公司的大修排程時間，由於西門子有派人員參與要共同大修的工地，因此他們的人員細部安排時間也須在此次會議提出討論，整個會議討論時間約5小時，以下列出當日大修相關技術研討議題：

1. 台電公司有添購SGT6-2000E新型的轉子(Rotor)分解用加壓油泵，請問新型工具與舊款的加壓水泵有什麼改善處?是否有操作影片教學或是資料?

西門子公司答覆如下：

西門子公司沒有新型轉子分解用加壓油泵的影片，但是有非常全面的操作手冊，西門子公司將會寄送操作手冊(圖十八)的電子檔給修護處。



圖十七、與西門子人員進行GT工廠實習會議



圖十八、西門子提供的SGT6-2000E新型轉子分解用加壓油泵操作手冊

2. 此次我們在訓練中心看到的氣渦輪機轉子分解作業專用施工架，南部電廠預計114年會購入2組、興達電廠後續會購入3組SGT6-2000E型施工平台，請問上述液壓拉伸器及施工架有沒有使用限制或是需要注意的地方?是否有安裝教學資料?

西門子公司答覆如下：

因為這個轉子分解作業專用施工架是預計114年才會出貨的產品，將於出貨時一併附上其操作手冊。

3. SGT6-2000E型的機組更新過後，排氣擴散器(Exhaust Diffuser)上蓋襯板要連大端蓋螺栓面

外緣水平處切開才能分解(如圖十九所示)，請問是否有更好的拆解方式?

西門子公司答覆如下：

目前西門子的技師沒有辦法提供更好的拆解方法，我們會將此問題保留並詢問公司內部，得到問題的解答後將由大修現場的技師進行回覆。

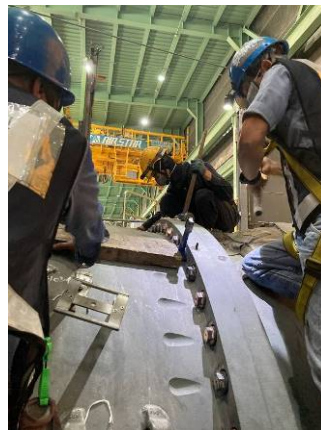
4. SGT6-2000E型排氣擴散器和氣機外缸垂直面螺栓(圖二十)回裝螺栓磅鎖扭力是多少(現在是鎖690Nm，但是我們在設計圖面沒有看到這個資訊)?

西門子公司答覆如下：

西門子公司將會確認設計圖面的資訊，或許是當初給我們的資訊缺少了此相關數據的頁面，之後將由大修現場的技師進行回覆此問題。



圖十九、SGT6-2000E型更新過後排氣擴散器上蓋襯板變成連起來的位置

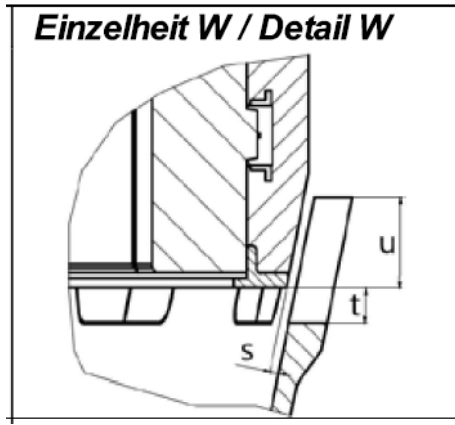


圖二十、SGT6-2000E 型排氣擴散器和氣機外缸垂直面螺栓位置

5. SGT6-2000E型城堡環(Castle Ring)的t值位置(圖二十一)在更新的機組是擋住的(圖二十二)，請問這樣的目的是什麼?

西門子公司答覆如下：

由於台電公司有要求SGT6-2000E型的機組能夠降低其氮氧化物的排放量，因此進行了降低冷卻空氣(Cooling Air Reduction CAR)的燃燒筒升級，所以在火焰筒(Flame Tube)與混燒室(Mixing Chamber)之間的氣孔有部分進行封閉，若要恢復尺寸，可能需要切割和去除材料並隨後進行焊接，西門子目前正在討論在什麼情況下需要進行此類修復，我們將及時提供維修建議。



圖二十一、SGT6-2000E型火焰筒與混燒室之間的氣孔位置(t值)

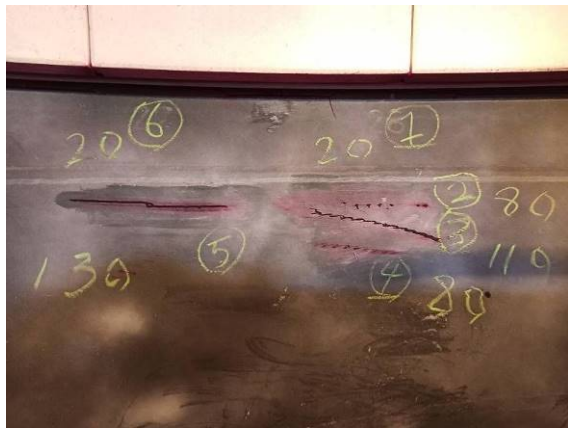


圖二十二、SGT6-2000E型火焰筒與混燒室之間的氣孔擋住情況

6. SGT6-2000E型的燃燒筒(Combustion Chamber)更新CAR系統後，混燒室有發生龜裂現象(圖二十三)，請問是什麼原因造成?未來是否有考慮在混合室增加塗層?

西門子公司答覆如下：

西門子公司對於此問題探討後認定根本原因是熱機械疲勞(Thermal Mechanical Fatigue TMF)，西門子公司目前沒有計劃開發帶有塗層的SGT6-2000E型混燒室，但西門子公司獲悉，台電公司綜研所有計畫將興達電廠的混燒室進行塗層處理，西門子公司對台電公司綜研所的噴塗技術與效果很感興趣。



圖二十三、SGT6-2000E型混燒室龜裂情況

由於本分處在114年度的南部火力電廠複循環機組MI大修需要使用新型轉子分解加壓油泵，以進行氣渦輪機轉子與葉輪之分解，在本次出國獲取西門子提供的新型轉子分解用加壓油泵操作手冊，已將其翻譯並將操作步驟擷取出來，作為中文操作說明書，以供現場同仁於大修工作時參考，詳附件二。

## 四、西門子米爾海姆汽輪機工廠實習

(一) 時間：113年08月22日(德國時間)

(二) 地點：米爾海姆西門子能源ST工廠

**Siemens Energy AG Mülheim Steam Turbine Factory**

(三) 地址：**Rheinstraße 100, 45478 Mülheim an der Ruhr, Deutschland**

(四) 目的：了解西門子公司汽輪機的生產能力及品質、ST大修技術研討與森霸公司新建複循環機組ST構造及簡介

(五) 實習內容：

### 1. 米爾海姆 ST 廠介紹：

廠區緊鄰魯爾河，有自己的港口，因成本因素，95% 貨物經由河運再出海，包含今年 4 月從興達運回的發電機轉子，港口整修時，採陸運需要德國及荷蘭政府許可，且需要封路，只能晚上運送，費用較高。德國境內運輸亦可透過鐵路。米爾海姆工廠員工約 4200 人，15% 女性，56 種國籍，平均年齡 44.7 歲。管理階層佔 9%，學徒 303 名，從事製造人員佔 19.2%，廠區面積 175,000 平方公尺。

主要業務包含如下：

- (1) 發電設備: 米爾海姆以生產複循環發電機組之汽輪機及發電機為主。
- (2) 電網技術，如: 柏林廠生產無六氟化硫(SF6)的開關設備(switchgear)。
- (3) Power-to-X，如：智利廠將風場，轉換成汽車用的合成燃料(e-fuel)。
- (4) 工業製程零排碳。
- (5) 儲能，等等



圖二十四、米爾海姆 ST 廠外觀



圖二十五、米爾海姆 ST 廠外觀

### 2. 機械加工廠：

機械加工廠區主要進行汽輪機與發電機組件的加工，內包含車床、葉根槽銑削、立式車削、臥式鑽銑等，產線設備配置圖(圖二十六)所示，我們沿著地面劃設



的綠色動線移動。

- (1) 葉根槽銑削區(圖二十七)，使用臥式銑床，加工 LP 轉子最末級輪盤(blade disc)及典型 LP 轉子(如興達及南部)。
- (2) 車床區(圖二十八)，LP 轉子重量大於 70~75 噸，但車床的加工精度可達 0.01mm。本廠區的許多加工機於 1970 年裝機，後續有進行控制器更新。
- (3) 飛輪(flywheel)亦在此廠製造，因為有這項產品，米爾海姆工廠被稱為西門子能源轉型技術的先驅(圖二十九)。
- (4) 堆放區(圖三十二)有不同轉子：如：核能 LP 轉子，後續送組裝廠進行輪盤套縮。LP-IP 複合轉子，LP 部為低等級(low grade)材料，IP 部為高等級(high grade)材料，再將兩者焊接。亦發現存在哥利茲(Görlitz)廠出廠的發電機轉子，非米爾海姆廠設計。當西門子能源別廠滿載時，米爾海姆廠為其做加工。
- (5) 複循環 ST 9000HL 系列及 8000HL 系列內缸。(圖三十三)
- (6) 動葉片、靜葉環一些來自捷克製造，大部分來自西門子能源匈牙利布達佩斯(Budapest)廠。布達佩斯廠供應葉片至米爾海姆廠、柏林廠、及國內其他廠。從小型級葉片到大型級葉片。
- (7) 立式車削區的立式車床是廠內的最大加工機，可加工大型較高的零件。(圖三十六)



圖二十六、機械加工廠設備配置圖



圖二十七、使用成形刀進行葉根槽銑削



圖二十八、大型車床車修轉子



圖二十九、飛輪車修



圖三十、葉根槽銑削



圖三十一、吊具堆放區排列整齊



圖三十二、轉子半成品暫置區



圖三十三、K-type 外缸



圖三十四、鋼索置放架



圖三十五、K-type 汽輪機外缸



圖三十六、立式車削



圖三十七、臥式鑽銑

### 3. 製氫電解設備廠：

參觀完加工區後，來到製氫電解設備製造廠，由 Mr. Inothor 接待解說。從其口中得知發展史，2011 年於埃爾蘭根(Erlangen)開發出實驗室尺寸模型機。2015 年推出 Silyzer 200，該型號目前已停產，售後服務至 2034 年。此外，因西門子能源從 AG 獨立出，位在埃爾蘭根的製造、調整及測試大尺寸產品的設施皆已關閉，製氫設備之生產轉移至米爾海姆，少數實驗室人員及研發仍在埃爾蘭根。因 Silyzer 200 大壓力存在共板(co-plates)問題，故 2018 年推出 Silyzer 300。

	Silyzer 200	Silyzer 300
耗能	1.25 MW	1 套(含 24 電解池組) 17.5 MW
產能	20 公斤/小時於壓力 35 bar	330 公斤/小時於壓力 0.3 bar

Silyzer 300 所製造的氫氣可被直接使用，例如:在 GT 裡燃燒，或智利 Haru

Oni 廠，電解器先利用風能將水分解為氧氣和氫氣。隨後，氫氣與從空氣中過濾的二氧化碳結合，形成合成甲醇。Silyzer 300 興建實績如下：

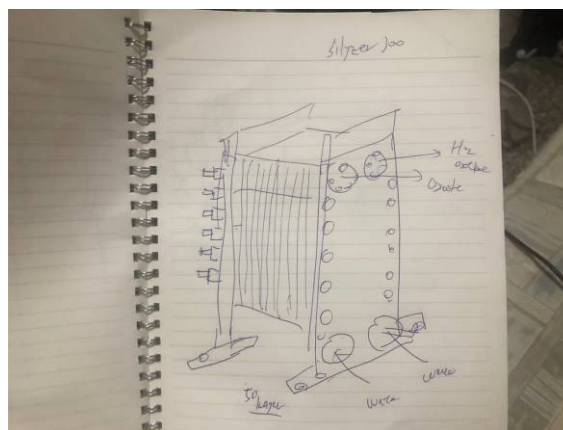
興建日	2023	2024	2024	2024
地點	德國奧伯豪森 (Oberhausen)	德國巴斯夫路德維希港 (BASF Ludwigshafen)	丹麥卡索(Kassø)太陽能發電園區	德國埃姆登 (Emden)
數量	1 套	3 套~50 MW	3 套~50 MW	280MW
氫氣用途	工業用氫	化工廠原料	生產甲醇(MAERSK) 燃料混合(Circle K)	

電解槽主要由 3 個部件構成：電極板(main plate)、GBL 溶劑、質子交換隔膜(proton exchange membrane)。Silyzer300 電解池組(stack)堆疊共 50 層。每層電壓 1.5~2.2 伏特，整體約 100 伏特(圖三十八、三十九)。水從下方兩孔流進，分解成氧氣和氫氣，個別從上方兩孔流出。

此設備的最大問題不是洩漏至外部，而是內部洩漏。因為水分解成氧氣與氫氣，而氧氣會傾向與氫氣結合，有爆炸風險。為防止內部洩漏，必須做好保護和隔離。每個電解池組(stack)組裝好後，會進行洩漏測試，因為只要嵌入一根頭髮就會造成洩漏。此外，必須控制系統，使系統有合適的水位、適當的電力、適當的溫度、適當的水。然後把它們都放在正確的狀態，讓它生產氫氣。



圖三十八、製氫電解設備之發展



圖三十九、Silyzer300 構造

#### 4. 組裝廠：

觀摩完氫氣電解設備廠後，來到了 ST 與發電機之組裝廠，映入眼簾的是發電機組裝區(圖四十)，由 Martin Grosse-Dresselhaus 進行解說。

- (1) 發電機定子區：依序進行定子堆疊(core stacking)→定子繞線(core winding)→GBPI 絕緣(insulation)，就是將纏繞好的定子吊進絕緣室，定子於室內旋轉時導入絕緣漆(resin)→送入旁邊的烤爐中烘烤4~5天(確保絕緣漆以乾燥及定

子機構內沒有濕氣殘留)→最後進行高壓測試(high voltage testing)。以上 5 種作業皆於此區進行。

- (2) 發電機轉子繞線(rotor winding)區：人員將線圈(coil)裝到轉子裡面。
- (3) 發電機矽鋼片(laminate)堆疊區：共 5 個堆疊坑(stacking pits)可同時作業。對於燃煤電廠的大型發電機，坑會低於地表。鋼片每片厚度約 0.5mm，一台發電機 6 萬~12 萬層。一般複循環機組使用機械手臂，最大的需使用手工堆疊。(圖四十一、四十二)
- (4) 發電機組裝區：將上述部件組裝在一起。
- (5) 電氣測試區：測試發電機、電解槽、飛輪同步調相機。(圖四十三)
- (6) ST 轉子輪盤套縮區：輪盤(blade disc)熱處理後變成黑色，利用感應加熱將輪盤套縮(shrinking)於轉子上(圖四十四)。由於美國核能 ST 業務增加，本區排程滿載到 2029 年。
- (7) ST 轉子葉片安裝區(圖四十五)。
- (8) 出貨裝載區：在此區緊鄰河港，組裝出貨的發電機很重，起重機容量達 600 噸，包裝好後僅需吊一次可直接上駁船。(圖四十六)
- (9) 高速動平衡機(spin bunker)：此動平衡機為全世界最大，可進行額定轉速的 110~120%轉速的高速動平衡測試及調校。(圖四十七)



圖四十、發電機定子區



圖四十一、發電機矽鋼片堆疊區



圖四十二、發電機組裝區



圖四十三、電氣測試區



圖四十四、ST 轉子葉片安裝區



圖四十五、ST 轉子輪盤套縮組裝區



圖四十六、出貨裝載區



圖四十七、高速動平衡機

## 五、興達及南部電廠西門子複循環 ST 更新後大修技術議題研討

(一) 時間：113年08月23日(德國時間)

(二) 地點：米爾海姆西門子能源汽輪機工廠

### Siemens Energy AG Mulheim Steam Turbine Factory

(三) 目的：興達及南部電廠複循環汽輪機更新，目前南部電廠已更新ST30及ST10；興達電廠已更新一部ST50。本次出國就後續ST更新及更新後所需探討的一些大修、工具等技術議題與西門子ST團隊進行研討。(圖四十八)。

研討議題節錄如下：

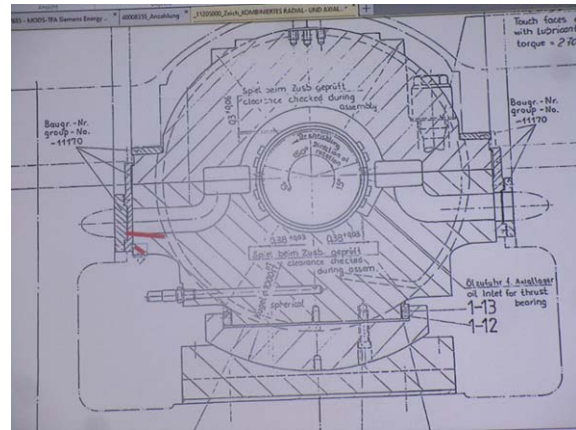
1. #1 新軸承與軸承座密合度不佳。#1 軸承下方球型底座與新品軸承座無法 100%接觸，甚至倉庫領出三組新品皆無法 100%接觸，請問可否提供球座曲面尺寸，方便於本公司大修期間送外部加工廠加工，以節省大修工期。

西門子公司答覆如下：

因新軸承與軸承室內部存在干涉，導致軸承無法順利地旋入和旋出。軸承加工後，並以研磨機對軸承下半 45 度角位置進行磨修，除去干涉因素後接觸核測結果良好。會後西門子已提供球型座與軸承座的加工圖面尺寸予本分處。



圖四十八、與米爾海姆廠的人員進行會議



圖四十九、新軸承與軸承室安裝過程中存在干涉

2. 低壓#1、#5 級先用超長厚薄規量測(此時內缸下半 4 腳沒墊片)，之後再放入 2mm 墊片後再量測一次，目的為何？西門子能否提供此厚薄規廠牌型號？由 TPC 自行購置。

西門子公司答覆如下：

- (1) 目的是確認內缸與轉子間有足夠間隙，作業流程是：先使用修前舊墊片→抽走 2mm 墊片→安裝每件東西→使用厚薄規檢查(第一次)→放回 2mm 墊片(即舊機台運行條件)→使用厚薄規檢查(第二次)→使用分厘表作 BUMP Check→對心。墊片 1.5~3mm 皆可。
- (2) 厚薄規供應商的名稱是 Klaus Dannenberg，但沒有型錄，只有對應的西門子料號

(material number)。可向興達及南部電廠建議請求，將本特殊工具與其他備品放入統購合約購入。

3. BUMP Check 與量測軸徑向間隙(Radial and axial Clearance check)的差異何在？ Bump check 量測的精密度可至 0.05mm 或多少 mm，能否符合原廠設計之公差值(for example, Tolerance： +/- 0.05mm or smaller?)

西門子公司答覆如下：

BUMP Check 也是用來確認間隙是否足夠，此時內缸是固鎖完成狀態，與運轉狀態相似，較汽機內缸打開後執行轉子動葉與靜葉間隙量測的開放狀態更為精準，最小精度為 0.01mm（即分厘表精度）。

4. 機組的 Anchor Bolt 需先放鬆再拉至口頭告知指定壓力，比照南火更新各機組，相同螺栓規格，但指定壓力卻不相同，見下表。不知道是否有標準。

西門子公司答覆如下：

南火和興達機組圖面上的力（單位 kN）相同，但由於使用不同液壓設備，油壓缸大小不同，對應的拉伸油壓值也不同。

5. 興達 ST50 更新後之新轉子 23 級、舊轉子 26 級，動靜葉間隙值也有些許差異。新轉子設計上存在哪些差異？

西門子公司答覆如下：

新設計是 3D 流體力學優化的結果。舊轉子葉片反作用力是固定，且各級壓力係數 (pressure coefficient) 不同。新渦輪機反作用力是可變，壓力係數大致固定。壓力係數分佈 (pressure coefficient distribution) 對效率而言有一個最佳的區域。例如，當最末級葉片長度稍微增加，不影響效率情況下，就會導致級數減少。舊轉子葉片有兩種材料，前 5 級一種，後 21 級另一種。新轉子使用相同材料，但級數變化，因蒸汽路徑及翼型曲面重新設計而使效率有所提升。

6. 對心在高低壓外缸皆在 Close 狀態進行。西門子 TA 於 A 聯軸器對心時兩聯軸器法蘭間隙約 0.50mm，以往修護處作法會將間隙設定在 2.0mm 左右。

西門子公司答覆如下：

(1) 西門子一般使用的聯軸器間隙為 0.3~0.4mm，因為一般厚薄規量可測範圍是 0~0.5mm，會包含厚度 0.33mm、0.34mm、0.35mm、0.36mm 的間隙片，所以可很輕易且精確地量測。使用 0.3~0.4mm 不是準則(guideline)，僅是量測方便。

(2) 轉軸結合面有凸緣(Spigot)，凸緣長度僅 8mm，其周圍有徑向間隙，公稱值為 0.03~0.05mm，對心期間兩聯軸器不會互相擦碰。但如果凸緣較長，例如阿爾斯通(Alstom)有些機組的凸緣長度 20mm，對心可能需要較大聯軸器間隙。

7. #1 軸承底部球型座是原本就裝 1.8mm 厚之墊片，本次更新最後裝入仍 1.80mm 墊片，#1 軸位(轉子正下方量到油封環底部中央位置)為 117.20mm，仍以拆前(117.37mm)為依據，TA 指示不做調整。裝機值(117.40mm)。一號軸軸承下面的墊片 1.80mm 是必要的嗎？還是可調高或降低？另外電廠回報，本次 ST50 更新後振動值良好，為五台



ST 中最佳。

西門子公司答覆如下：

是的，根據圖面，如果沒放，軸承負載(bearing load)太小，為增加負載，需要放置墊片。設計部門需要考量旋轉行為(rotation behavior)及轉子動力學(rotor dynamics)，才能決定軸承負載的最佳值，1.80mm 是建議值。

8. 本次 HP-CV 閥座更新銲補前只使用氧乙炔火焰加熱預熱，而銲補後沒有進行回火，直接車修。請問加工方式不會造成閥座爾後的損壞？已知焊接殘餘應力是由於焊接引起焊件不均勻的溫度分佈，焊縫金屬的熱脹冷縮等原因造成的，所以伴隨焊接施工必然會產生殘餘應力。消除殘餘應力的最通用的方法是高溫回火。

西門子公司答覆如下：

根據 WPQR0593 焊接程序，不需要銲後熱處理。同意提供 WPQR0593 焊接程序。

9. 豐德電廠新建複循環機組並開始運作。裝置的型號可能是 SGT-9000HL 和 SST6-5000。台電修護處是否有機會與西門子合作維修燃氣渦輪機和汽輪機？修護處可以提供資源，如精熟的人力、工具和設備來完成維護工作。

西門子公司答覆如下：

森霸是營運方，他們與西門子在氣渦輪機運轉與維護部分有簽長期服務合約，ST 部分則沒有，屆時大修，會請西門子的技師支援指導，維修團隊之選擇需由豐德電廠決定。同意提供 SST6-5000 相關資料與介紹(見本報告第七章)。

## 六、西門子新建複循環機組汽輪機 SST-5000 簡介

### 1. 前言

西門子能源公司於豐德電廠二期項目(Sun Ba Power Phase II)提供的發電設備為 SGT6-9000HL 2+1(SST-5000)型複循環蒸汽輪機培訓材料編制而成。本次出國針對新建之 SST-5000 汽輪機進行資料收集，並聽取西門子公司之簡介課程，以利未來爭取豐德電廠二期新建複循環汽輪機的維修業務。本報告就機組之類型、結構、主要部件以及閥系統等內容，說明運維人員應瞭解之基本知識。

### 2. SST-5000 規格介紹：

	複循環電廠(CCPP)	燃煤蒸汽發電(SPP)
功率範圍	120~650 MW	200~500 MW
效率	61.5%	亞臨界 43%，超臨界 46.4%
頻率	50 或 60 Hz	50 或 60 Hz
進口壓力	最高 177 bar	最高 260 bar
進口溫度	最高 600°C	最高 600°C
再熱蒸汽溫度	最高 610°C	最高 610°C
50 Hz 末級葉片長度	66~142 cm	66~142 cm
60 Hz 末級葉片長度	66~95 cm	66~95 cm

### 3. SST-5000 汽機基本架構：

本機配置高/中壓汽機 1 組、低壓汽機 1 組、軸承 3 只、聯軸器 2 只、轉子 2 只(HIP\*1、LP\*1)、軸承基座 3 處(前座、中間座、LP 座)、低壓跨管 1 組、慢車齒輪 1 組、高壓控制閥 1 只/關斷閥 1 只、中壓控制閥 1 只/關斷閥 1 只、低壓控制閥 1 只/關斷閥 1 只及其他。(圖五十)

### 4. 汽機蒸汽路徑設計：

SST-5000 將高壓及中壓整合為一獨立汽缸，低壓部分則為一只對稱雙向流汽缸。(圖五十一)

### 5. 軸系及軸承形式設計：

整個 ST 汽機軸系由 2 只轉軸組成，分別為 HIP\*1 只、LP\*1 只，各軸以聯軸器結合(CPL-A)，聯軸器 B(CPL-B)則聯結發電機轉子。當軸系結合後整體由 3 只軸承(T1~T3)支撐，其中 T2 及 T3 為軸頸軸承，T1 軸承為推力/軸頸複合軸承。(圖五十二)

### 6. 差膨脹(圖五十三)：

(1) 高中壓汽機：轉子與機殼最大的差膨脹約為 10.5mm

(2) 低壓汽機：轉子與機殼最大的差膨脹約為 27.6mm

7. SST-5000 額定轉速、臨界及跳脫轉速等及其限制(圖五十四)：

(1) 額定轉速(Rated speed)：3600 rpm。

(2) 暖機轉速(Warmup speed)：1050 rpm。

(3) 臨界轉速範圍(Critical speed range with no load conditions)：444rpm-1026rpm；1098rpm-3420rpm。以避開葉片共振頻率。

(4) 負載狀況下最低(Minimum)與最高(Maximum)轉速：最低 3420 rpm；最高 3708 rpm。

(5) 電氣跳脫設定轉速：110% 額定轉速( 3960 rpm)

(6) 慢車運轉：120 rpm。

8. 高/中壓汽機及轉子：

SST-5000 高/中壓汽機重要組件含外缸、內缸、高/中壓轉子、格蘭汽封及進出汽口等件(圖五十五)，介紹如下：

(1) 外缸：

分上下 2 半以螺栓相互結合。外缸上半設計延伸臂跨坐於前座與中間座。外缸下半則負責承載轉子、內缸、靜葉環等重件並經過固鎖螺栓將荷重傳遞至外缸上半。外缸下半設置右側高壓進汽口及中壓進汽口各一處。高壓排汽口位於外缸下半下方，中壓排汽口則位於外缸上半上方。

(2) 內缸：

分上下 2 半以螺栓相互結合，承載著靜葉環、格蘭汽封。

(3) 高/中壓轉子：

為整體鍛造式。重要特徵有中壓平衡筒、21 級高壓葉片、高壓平衡筒、14 級中壓葉片。高壓葉片較短，承受高溫高壓。中壓葉片長度中等，優化效率。葉根結構有 L 型、T 型、雙 T 型，其中雙 T 型可承受運轉時較大的離心力及扭力。(圖五十六)

(4) 汽封：

為防止蒸汽洩漏和空氣進入，SST-5000 高/中壓段包含 4 種類型的汽封(圖五十七)：

格蘭汽封 I (含互鎖迷宮 interlocking labyrinth、彈回盼	格蘭汽封 II (互鎖迷宮式)	格蘭汽封 III (透視迷宮式)	葉尖汽封 (blade tip seal)
--	-----------------	------------------	-----------------------

	更環、耐磨塗層)(圖五十七)		see-thru labyrinth)	
應用區域	高壓平衡筒、中壓平衡筒	高壓側外格蘭	中壓側外格蘭	高壓葉片葉尖 中壓葉片葉尖

#### 9. 低壓汽機及轉子：

SST-5000 配置有一只雙流式低壓汽機，重要組件有進口導引流道、外缸、內缸、靜葉環、轉子、出口導引片、軸承、低壓跨管、格蘭汽封座等，介紹如下(圖五十八、五十九)。

##### (1) 低壓跨管：

SST-5000 僅有單一跨管，來自中壓排汽口經過跨管通至低壓汽機。為避免運轉時各汽缸熱膨脹效應，於低壓汽機進汽口設置膨脹接頭。

##### (2) 外缸：

分上下 2 半以螺栓相互結合。外缸上半設置低壓進汽口。

##### (3) 內缸：

分上下 2 半以螺栓相互結合，承載著靜葉環、格蘭汽封。

##### (4) 低壓轉子：

主要特徵為非整體鍛造式而是由數組軸盤向互焊接結合而成。特徵為前後對稱各 7 級動葉片。與高/中壓葉片相比，低壓葉片長度最長，適合處理大體積低壓蒸汽。葉根結構有 L 型、T 型、雙 T 型，其中雙 T 型可承受運轉時較大的離心力及扭力。

##### (5) 排氣罩：

引導排氣蒸汽進入冷凝器。

##### (6) 低壓缸體噴水系統：防止低負荷運行時的過熱。

##### (7) 汽封：

為防止蒸汽洩漏和空氣進入，於低壓段，透視迷宮式格蘭汽封於兩側外格蘭，葉尖汽封用於低壓葉片葉尖。

#### 10. 高/中壓閥類：

SST-5000 特色在於，關斷閥與控制閥結合在一起，連結到高/中壓汽缸下半(圖六十)，因此易於保養，無需要花時間搭架。

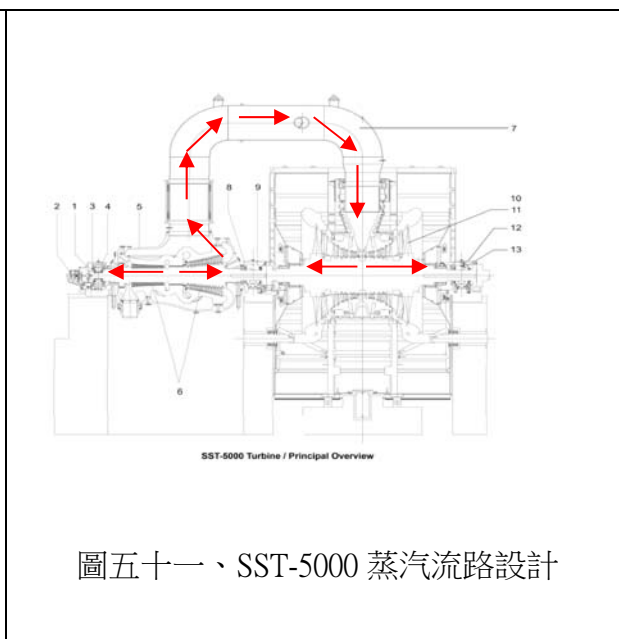
	高壓關斷閥 (HPSV)	高壓控制閥 (HPCV)	中壓關斷閥 (IPSV)	中壓控制閥 (IPCV)
功能	緊急情況下快速切斷主蒸汽。關閉時間<0.2 秒	調節主蒸汽流量，過程約 1.5 秒。	緊急情況下切斷再熱蒸汽。	調節再熱蒸汽流量

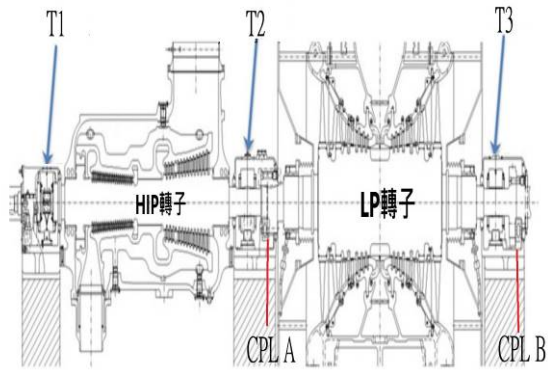
#### 11. 低壓閥類(圖六十一)：

	低壓關斷閥(蝶閥式)	低壓控制閥(蝶閥式)
功能	緊急切斷低壓蒸汽。關閉時間 0.8 秒。	調節低壓蒸汽流量，過程約 10 秒。

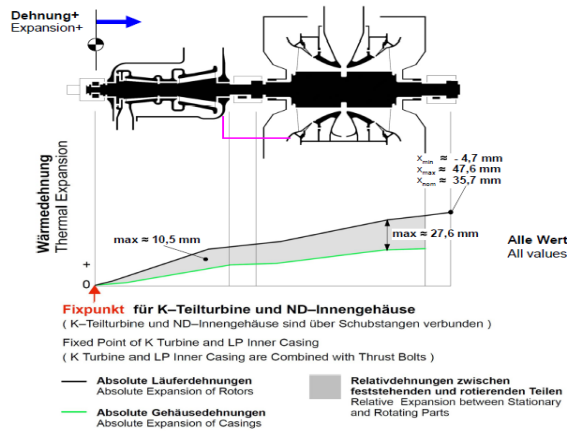
12. 旁路(Bypass)系統：

	中壓旁路系統	低壓旁路系統
功能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在汽機停機或用負荷時排放熱再熱蒸汽。</li> <li>2. 防止再熱器安全閥動作。</li> <li>3. 通過噴水降溫，使蒸汽溫度適合進入凝汽器。</li> <li>4. 在鍋爐啟動時確保再熱器最小流量</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在汽輪機停機或用負荷時排放低壓蒸汽。</li> <li>2. 防止低壓蒸汽安全閥動作。</li> <li>3. 通過噴水降溫，使蒸汽溫度適合進入凝汽器。</li> </ol>
主要部件	減溫減壓閥：控制壓力和流量(圖六十二) 噴水控制閥：調節噴水量(圖六十二)	減溫減壓閥：控制壓力和流量(圖六十三) 噴水控制閥：調節噴水量(圖六十三)
控制模式	自動設定點調整(ASA)模式：從鍋爐啟動到達到固定壓力。 壓力控制模式：設定點略高於汽輪機中壓控制閥設定點。	自動設定點調整(ASA)模式：從鍋爐啟動到達到固定壓力。 壓力控制模式：設定點略高於汽輪機低壓控制閥設定點。





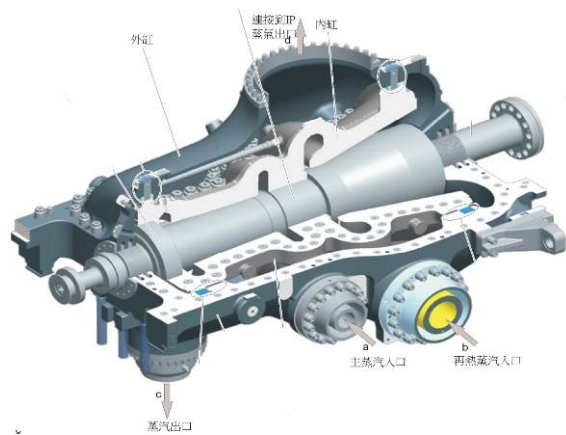
圖五十二、SST-5000 軸系及軸承型式設計



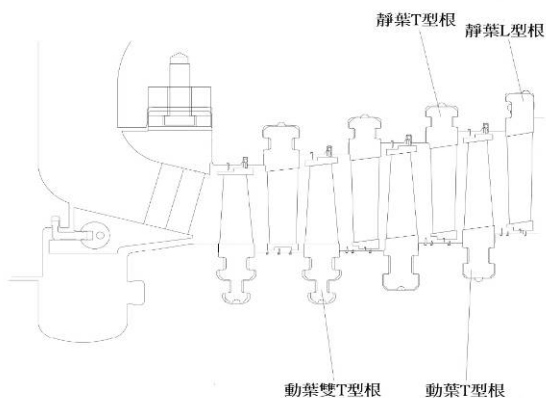
圖五十三、汽機差膨脹

Steam Turbines		Limits and Setting Values	
Technical Data		Speeds, Electrical Overspeed Trip Setting	
<b>Speed</b>			
Rated speed		60.0 s <sup>-1</sup>	
Warmup speed		17.50 s <sup>-1</sup>	
<b>Speeds during full load and auxiliary-load operation</b>			
Maximum speed without time restriction		61.80 s <sup>-1</sup>	
Minimum speed without time restriction		57.00 s <sup>-1</sup>	
Permissible speed for no more than 2 hours during load operation within the LP blading's lifetime		below: 57.00 s <sup>-1</sup> above: 62.40 s <sup>-1</sup>	
Critical speed range during operation under no-load conditions <sup>1)</sup> (due to possible blade vibration excitation)		7.40 s <sup>-1</sup> to 17.10 s <sup>-1</sup> 18.30 s <sup>-1</sup> to 57.00 s <sup>-1</sup>	
<sup>1)</sup> Unit must be accelerated through this critical speed range without any hold points to avoid blade damage due to resonant frequencies.			
<b>Standard electrical overspeed trip setting</b>			
Standard electrical overspeed trip setting	Multiple-Shaft-System CCP	110 %	
<b>Hydraulic Turning Gear with Hydromatic Gear Motor 10MAK01AE001</b>			
Turning gear operation		2.0	s <sup>-1</sup>

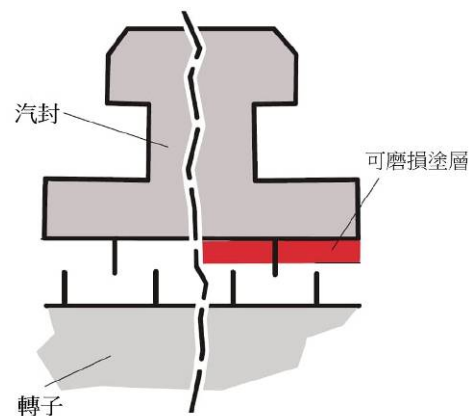
圖五十四、SST-5000 額定、臨界及超速跳脫參數表



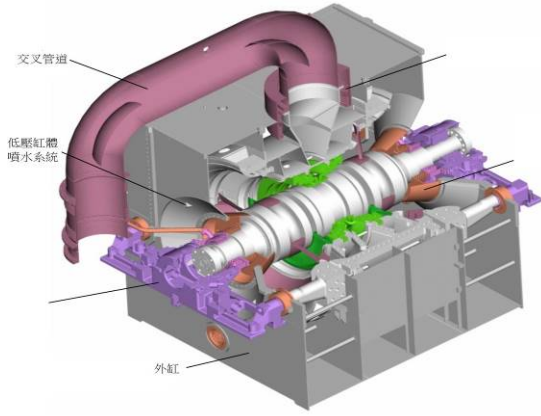
圖五十五、高/中壓汽機



圖五十六、高/中壓葉片葉根結構

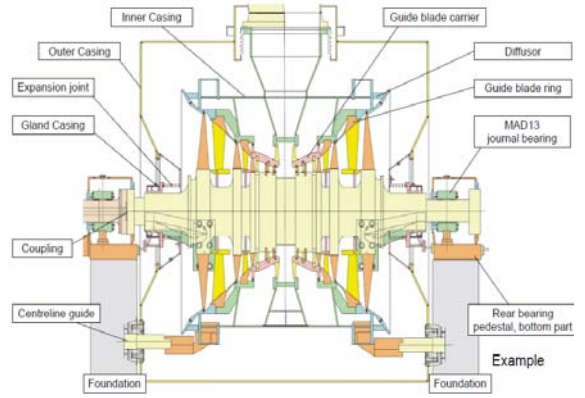


圖五十七、格蘭汽封 I (含互鎖迷宮 interlocking labyrinth、耐磨塗層)

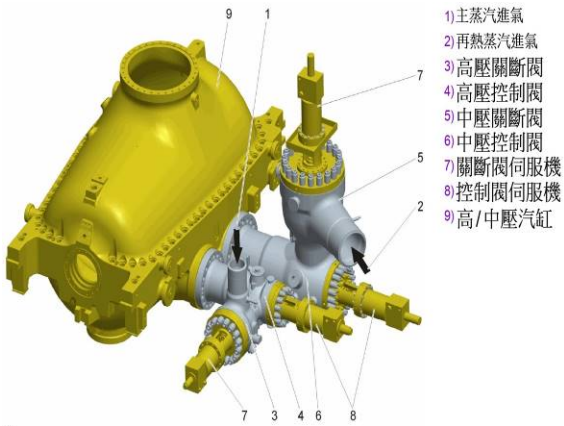


圖五十八、低壓汽機

LP Turbine: Sectional Drawing



圖五十九、低壓汽機剖面圖



圖六十、高/中壓閥類

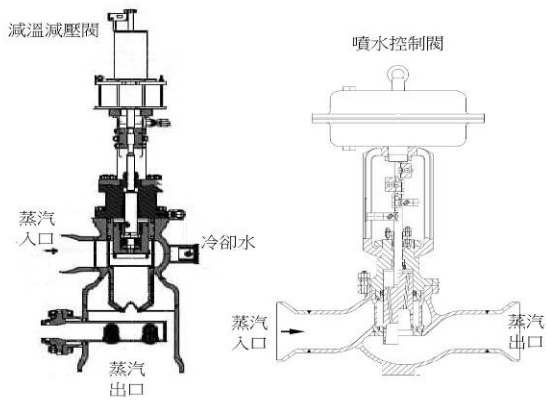
蝶閥式低壓關斷閥



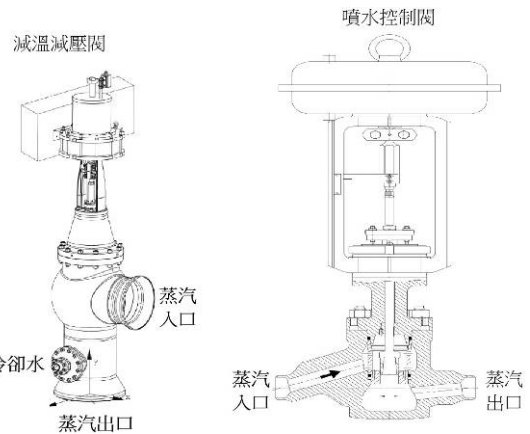
蝶閥式低壓控制閥



圖六十一、低壓閥類



圖六十二、中壓旁路系統



圖六十三、低壓旁路系統

## 肆、心得與建議：

### 1. 心得：

- (1)總結本次出國實習，在現有西門子氣渦輪及汽輪機組的維修技術上獲取了幾個重要的資訊與相關知識：如 SGT-2000E 筒倉式燃燒器耐火磚更新安裝、氣渦輪機轉子分解用液壓拉伸器操作方式、ST#1 軸承高程之設定與裝調要點、ST 汽輪機與發電機聯結之 B 聯軸器對心實務要點等。另外在大修技術的研討過程中了解到，很多現場裝調知識是前輩傳承下來的，我們都知其然而不知其所以然，經由資料收集閱讀並與原廠技師人員之討教，才能改正自己根深蒂固的觀念，讓自己的知識向外再擴充一小步。
- (2)另外在出國實習過程或大修現場與原廠技師溝通與交流，雖然有語言上的限制與隔閡，容易造成溝通上的誤會，所以必須將自己的理解進行覆誦，甚至寫下來，不厭其煩的原廠技師確認，才能做正確與精準的事，不會作白工，不浪費人力與工時。
- (3)未來希望結合本次學習到的內容，陸續將其中文化、文件化及實務化，應用於同仁的教育訓練中，並就修護處現有資源、設備與發電系統之大林模中或訓練所合作，開發氣渦輪機與汽輪機技術證照訓練班，以提升修護人員之技術並取得專業能力之認證。

### 2. 建議事項：

- (1)西門子能源公司柏林訓練中心設置有氣渦輪機訓練模擬平台，與本分處在小港區二橋倉庫內部設置之氣渦輪機與三菱 M501F 機組燃燒器模擬平台用意相同，旨在讓員工能於受訓或大修淡季期間，貼近現場真實的設備直接進行設備拆、裝與調等動作，以熟悉設備配置及各項技術。因此我們開始著手規劃南分處 114 年度氣渦輪機三菱 M501F 機組燃燒器拆裝、吊掛及燃燒筒對心之自辦訓練，除了能夠傳承資深工程師或領班的經驗技術外，也能提升工作隊整體的維修技術。
  - 預定辦理時程：114 年 7 月。
  - 預定課程內容：燃燒筒拆解、吊出及吊入與對心及固鎖。
  - 預定參訓對象：從事三菱 GT 大修之鉗工及起重人員。
- (2)本次在西門子訓練中心實習期間，看到西門子能源公司設計的燃燒筒安裝特殊工具，由於我們在進行實習前有收集公司內 GE 7HA.01,02 氣渦輪機燃燒筒安裝特殊工具，相較起來覺得西門子公司設計的特殊工具，具有安裝過程更加穩定、純機械式設計不須安裝電線、可購買且不須租借等特性，因此會深入探討此項特殊工具能不能也應用到公司內其他廠牌機組同樣設計為環狀配置的燃燒器上，做更廣泛的應用。
- (3)本次到德國西門子能源公司實習所取得的原廠技術資料，如燃燒器耐火磚安裝流



程及轉子分解液壓拉伸器等操作，一部分已進行翻譯跟研讀，日後會撰寫第二階的工作指導書(Working Instruction, WI)，作為大修技術文件，並於自辦訓練期間跟同仁分享，以增進工作隊的維修技術與量能。

- (4)經詢問西門子了解森霸電力公司豐德二期新建複循環機組為 SGT-9000HL 與 SST-5000 機型，今年度接受調度運轉，原廠規定每 1250 等效啟動次數(ES)或 25000 等效基本小時 (EBH) 後須進行燃燒室檢查(CI)大修，推估約需 5 年時間。每 2500 等效啟動次數(ES)或 50000 等效基本小時 (EBH) 包括燃燒器、渦輪機、空壓機和缸體及轉子之檢查(MI)大修，推估約 10 年時間。西門子對豐德二期 ST 並無統包維修專案。本次有收集豐德二期 ST 相關資料，日後可向豐德電廠索取更詳細之圖面，規劃維修方案，以利爭取未來豐德二期 ST 大修業務。

## 伍、致謝：

感謝修護處陳明安處長、修護處南分處呂元中主任、修護處南分處涂鴻興副主任，給予我們一行人這次可以出國實習的寶貴機會。

感謝修護處中分處林文吉副主任，分享先前的出國經驗(出國申請流程、重點和出國注意事項)，以及西門子能源公司的人脈傳承。

感謝修護處經營組詹信志課長以及人資處翁玉靜小姐、南分處人資蔡宛臻小姐，在辦理出國業務的期間，都會不厭其煩幫忙先審閱我們的文件內容，以及一些流程及報銷相關問題都給了許多幫忙。

感謝興達電廠氣渦課吳志豪課長以及修護處北二隊楊喬仁工程師，提供我們許多公務出國文件參考、重點提示和出國注意事項。

感謝西門子能源公司莊雅雯經理，費心安排實習地點、飯店事宜、在德國生活及安全上的叮嚀以及出國期間的照顧。

感謝台灣西門子能源公司，感恩本次實習德國配合的專業人士以及所有人員。

## 陸、參考文件：

1. ITH Bolt Tensioning System Large Scale Cylinder Operating Instruction.
2. Siemens Energy gas turbine portfolio.  
(<https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/gas-turbines.html>)
3. The Siemens Energy site Mülheim an der Ruhr Competence Center for Energy Transition Technologies.
4. Siemens Energy gas turbine plant Berlin.
5. Utility steam turbines– proven technology.  
(<https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/utility-steam-turbines.html>)
6. GT Portfolio Brochure 2023.
7. Siemens HL-class gas turbines for higher power plant efficiency.

## 8. 附件一：耐火磚安裝流程工作指導書

### 1. 冷卻空氣降低系統的燃燒筒耐火磚安裝注意事項：

- 1.1 冷卻空氣降低系統的燃燒筒耐火磚是安裝在火焰筒內側壁面，以防止燃燒器中產生的高溫，耐火磚的一側由兩個固定的耐火磚支架固定，另一側由兩個浮動的耐火磚支架固定，由於耐火磚的設計會使耐火磚安裝完成後，耐火磚會覆蓋耐火磚支架，一旦熱氣路徑的整個內壁完全安裝，就無法接觸耐火磚支架，所以固定耐火磚支架必須始終安裝在浮動耐火磚支架之前。
- 1.2 耐火磚的安裝從K排開始，並於A排結束(參照設計圖面)，安裝是在上游流動方向上進行的，這樣可以更容易地對齊軸向固定的耐火磚。

### 2. 冷卻空氣降低系統的燃燒筒耐火磚安裝步驟：

#### 2.1 冷卻空氣降低系統的燃燒筒耐火磚單片包含零件如(圖一)，其中：

編號(1).耐火磚本體

編號(2).耐火磚支撐架

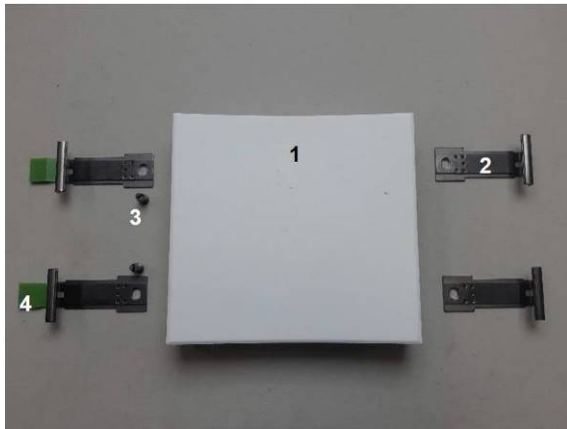
編號(3).定位銷

編號(4).撐高用蠟塊

- 2.2 在開始安裝工作之前，應清潔要插入 CHS 支架的插槽，如有必要，在室溫下使用浸過脫脂劑的布將溝槽擦乾淨，或用壓縮空氣吹乾淨，檢查冷卻空氣孔的位置、位置和直徑，並確保它們清潔及是否有損壞並根據需要加工。
- 2.3 將所有螺紋牙套擰入到位，螺紋牙套的柄腳必須切斷(圖二)。
- 2.4 鎖入所有定位銷，直到它們的尖端剛好在表面下方，確保它們不會突出(圖三)，如果鎖得過緊，會造成定位銷的螺紋端變形，在將定位銷鎖入到位之前，定位銷的螺紋應塗上潤滑劑，以方便拆卸時進行維護檢查。
- 2.5 在安裝耐火磚支撐架之前，必須使用11 mm檢測塊檢查支撐架夾頭的預緊力，因為每個耐火磚支撐架都具有些微的幾何形狀製造公差，所以要把耐火磚支撐架放入溝槽中，再以11 mm檢測塊檢查預緊力，檢測塊不會掉下來即代表預緊力合格(圖四)。
- 2.6 先裝入兩個支撐架，支撐架尾端孔口對準定位銷，將定位銷旋出固定支撐架，再將定位銷回轉調整，使一字頭凹槽呈水平，再用鑿子敲打支撐架尾端，確保兩個支撐架的尾端都已經頂住定位銷，支撐架夾頭呈現最小間隙(圖五)。
- 2.7 借助15 mm提升桿將耐火磚支撐架夾頭旋轉頂起(圖六)，這目的是要在預拉伸的耐火磚支撐架測量耐火磚冷氣側間隙，在頂起耐火磚支撐架夾頭後，仍需再確認支撐架尾端是頂住定位銷的情況。
- 2.8 使用厚薄規確認耐火磚支撐架夾頭間隙須大於15 mm(圖七)，如果間隙太小，則代表耐火磚安裝後耐火磚熱氣側間隙會不足，需要進行耐火磚研磨。
- 2.9 以治具確認耐火磚支撐架夾頭背側是否與衝擊冷卻空氣孔的開口完全重合(圖八)，火焰筒中的衝擊冷卻空氣孔在任何情況下都不應被阻塞，否則不能確保火焰筒能充

分冷卻。

- 2.10 將單邊定位銷旋入，使耐火磚支撐架呈自由狀態，並將耐火磚支撐架退出，放入蠟塊，目的是要讓耐火磚支撐架夾頭往上升，方便耐火磚安裝，接著使用鑿子將耐火磚支撐架夾頭移到蠟塊上(圖九、十)。
- 2.11 在確定耐火磚支撐架已經達定位，將定位銷旋出，直到抵到支撐架尾端孔口，再迴轉90~270°，調整定位銷一字開口為水平(圖十一、十二)。
- 2.12 使用一字起子將定位銷一字開槽端的尖頭撐開至10 mm，以防止定位銷旋轉(圖十三、十四)，而在定位銷一字開槽端的尖頭撐開過程中，有可能使耐火磚支撐架有些微移動，所以在定位銷一字開槽端的尖頭撐開固定後，須再用鑿子敲擊耐火磚支撐架尾部，確保耐火磚支撐架最後定位位置不變。
- 2.13 將耐火磚放入耐火磚支撐架中(圖十五)，由於使用了蠟塊來撐高支撐架的夾頭，因此不需要其他組裝或安裝工具。
- 2.14 耐火磚靠至支撐架夾頭處，再將另外兩個耐火磚支撐架滑到耐火磚下，再使用裝配楔治具插入耐火磚支撐架下方(圖十六)，此治具功能有兩個，一個是將耐火磚支撐架夾頭抬起，另一個是可在夾頭抬起情況下移動耐火磚支撐架，裝配楔治具插入耐火磚支撐架下方後，以膠槌輕輕敲擊將耐火磚支撐架進一步插入，直至到達耐火磚脊上的極限位置。



圖一、耐火磚單片零件示意圖



圖二、螺紋牙套的柄腳示意圖



圖三、定位銷尖端不要突出示意圖



圖四、用檢測塊檢查支撐架夾頭的預緊力示意圖



圖五、確保支撐架夾頭呈現最小間隙



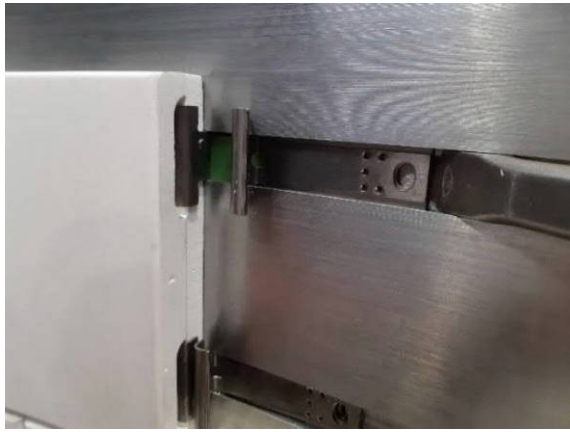
圖六、用提升桿將耐火磚支撐架夾頭旋轉頂起



圖七、用厚薄規確認耐火磚支撐架夾頭間隙



圖八、確認衝擊冷卻空氣孔的開口沒有阻塞



圖九、退出耐火磚支撐架並放入蠟塊



圖十、耐火磚支撐架夾頭放在蠟塊上



圖十一、定位銷旋出直到碰到耐火磚支撐架尾端孔口



圖十二、定位銷旋入90~270°並調整一字頭為水平



圖十三、使用一字起子將定位銷一字開槽端的尖頭撐開



圖十四、定位銷一字開槽端的尖頭撐開後示意圖



圖十五、將耐火磚放入耐火磚支撐架中



圖十六、使用裝配楔治具將耐火磚支撐架  
插入耐火磚脊上極限位置

## 附件二：SGT6-2000 氣渦輪機轉子分解用加壓油泵特殊工具操作說明

### 一、液壓螺栓拉伸系統由三個主要部件組成：

- 螺栓拉伸油缸
- 高壓軟管
- 高壓泵浦

其中螺栓拉伸油壓缸如(圖一)所示。

螺栓拉伸油壓缸之各項機構名稱如下：

編號(2). 缸體的高壓連接頭，有兩個：編號(2a)是出口接頭；編號(2b)是入口接頭

編號(3). 行程指示器(活塞上的紅色凹口)

編號(4). 活塞

編號(5). 汽缸

編號(6). 回程用活塞

編號(7). 手動棘輪

編號(8). 傳動齒輪組

編號(9). 測量儀

編號(10). 測量裝置

編號(11). 可更換式襯套

編號(12). 螺帽控制槽口

編號(13). 調節銷

編號(14). 開度調整開口

編號(15). 開啟設備

其中高壓泵浦及軟管如(圖二)所示。

螺栓拉伸油壓缸之各項機構名稱如下：

編號(16). 油位指示器

編號(17). 泵浦之高壓油管連接入口

編號(18). 泵浦之高壓油管連接出口

編號(19). 水箱通風螺栓

編號(20). 整合截止閥

編號(21). 壓力錶

編號(22). 壓力調節閥

編號(23). 遠端控制器

編號(24). 高壓軟管 1,500 bar，含兩條：編號(24a)為附2個出口接頭的軟管；編號(24b)為附有2個入口接頭的軟管

編號(32). 自動壓力控制多功能遙控器

使用編號(23)遠端控制器控制高壓系統時，會由於高壓軟管管線的擴大、閥門區域



的設置以及表面的平整造成輕微的壓力損失，此壓力損失對螺栓的連結結果會有影響，編號(32)的自動壓力控制器可以重新調整輸入的壓力，在15-30 bar的壓降下自動調整壓力，並確保螺栓連接處的高精度。

其中自動壓力控制多功能遙控器如(圖三)所示。

自動壓力控制多功能遙控器之各項機構名稱如下：

編號(32a). 緊急停止按鈕

編號(32b). 顯示螢幕

編號(32c). 鍵盤，內含停止鍵：返回上一步；輸入鍵：確認輸入；0-9數字鍵：數位輸入；箭頭鍵：選單導航

編號(32d). 用於連接多功能遙控器與高壓泵浦的控制電纜

自動壓力控制多功能遙控器之操作介面如(圖四)所示。

自動壓力控制多功能遙控器操作步驟如下(參考圖五~七)：

- (1) 將編號(32)多功能遙控器連接至高壓泵浦。
- (2) 透過鍵盤上的數字輸入輸入所需的壓力，另可以使用向左箭頭鍵(Home)更正鍵入錯誤。
- (3) 按(Enter)鍵確認壓力輸入。
- (4) 使用(Start)鍵或編號(23)遙控器產生壓力。
- (5) 一旦達到所需壓力，高壓泵浦就會停止；編號(32)多功能遙控器在壓力降為15-30 bar時會重新調整壓力，常見的壓力重新調整是螺栓拉伸系統出現錯誤的跡象(例如洩漏)，此時需檢查所有組件。
- (6) 注意編號(22)壓力調節閥的壓力限制，如果限制低於編號(32)多功能遙控器的壓力輸入，則功能會受損，編號(32)多功能遙控器將無法達到設定壓力。

## 二、使用注意事項：

(1) 在將螺栓拉伸油壓缸(圖一)安裝到螺栓上之前，請確保螺帽上方有足夠的螺紋突出部分，一般來說螺帽上方的螺紋突出量(h)應最小為1x直徑d(圖八)，h值之定義即M100螺栓之h值等於最小100 mm，若螺栓故障情況產生，將可能會有工具設備損壞與受傷之風險。

(2) 使用螺栓拉伸油壓缸前，請在螺栓螺紋上塗抹潤滑脂，螺母支撐面不得塗油脂。

(3) 檢查螺栓拉伸油壓缸是否已達到最大循環次數，或在即將進行的操作中將達到最大循環次數(圖六)，若螺栓拉伸缸的使用次數超出最大循環次數，可能會導致高應力零件斷裂，造成損壞或受傷的風險。

在產生約750 bar的壓力時，螺栓拉伸油壓缸循環次數計數器會進行紀錄，經過一定次數的循環後，必須更換高應力零件，這尤其適用於螺栓拉伸油壓缸編號(11)之襯套的更換。

(4) 螺栓拉伸油壓缸不得超過其最大行程，透過編號(3)行程指示器(可更換式襯套上的紅色凹口)可以看到已達到最大行程(圖七)，如果螺栓拉伸油壓缸的運行超過其最大

行程，則它們可能無法使用並且不再能夠運行。

- (5) 高壓軟管的使用期限不超過6年，其中儲存時間不超過2年，超過使用期限和儲存時間後，不得使用高壓軟管。

### 三、 起始前設定，參考(圖一、二)：

- (1) 編號(6)返程活塞會使活塞自動回到起始位置；起始位置是編號(4)活塞的底側與編號(5)汽缸齊平。
- (2) 檢查活塞是否處於起始位置。
- (3) 連接編號(24)高壓軟管、螺栓拉伸油壓缸和高壓泵浦。
- (4) 按下編號(23)遙控器上的黑色按鈕釋放壓力，然後活塞將移動到其起始位置。
- (5) 請參考操作器的協定資料表調節壓力。
- (6) 檢查螺栓連接是否有足夠的螺紋突出，一般來說螺帽上方的螺紋突出量(h)應最小為1x直徑d(圖八)，h值之定義即M100螺栓之h值等於最小100 mm。
- (7) 編號(3a)擰緊螺栓連接時(圖八)，必須將螺帽鎖緊(約50-80Nm)抵靠支撐表面(預緊)，這可以防止無意的轉動螺栓。

### 四、 設備設定，參考(圖一、二)：

- (1) SGT6-2000E將編號(24)高壓軟管連接至編號(17)高壓泵浦的高壓連接入口。
- (2) 將編號(24)高壓軟管連接至編號(18)高壓泵浦的高壓連接出口。
- (3) 注意這些連接是否正確，如果高壓軟管配備鎖環功能，請在連接後關閉鎖環，另請注意，調整電動高壓泵浦的壓力時，高壓泵浦不得連接至螺栓預緊油壓缸，且不得超過操作棄預先設定的壓力(請參閱協定資料表)
- (4) 將高壓泵浦連接至電源。
- (5) 將編號(23)遙控器和編號(32)多功能遙控器與高壓泵浦連接。
- (6) 逆時針轉動編號(22)壓力調節閥。
- (7) 按住編號(23)遙控器上的白色按鈕，開啟高壓泵浦，使高壓泵浦產生壓力。
- (8) 順時針轉動編號(22)壓力調節閥，直到達到所需壓力。
- (9) 放開編號(23)遙控器上的白色按鈕，高壓泵浦即停止產生壓力。
- (10) 若要釋放壓力，請按下編號(23)遙控器上的黑色按鈕。
- (11) 檢查壓力調節，重複產生壓力2次，壓力必須達到調整值，需要注意的是，對於高油量操作，可能需要透過編號(22)壓力調節閥來進行重新調節。
- (12) 若要釋放壓力，請按下編號(23)遙控器上的黑色按鈕，然後重複壓力調節步驟。
- (13) 將螺栓拉伸缸安裝到螺栓連接上，使用平衡器來開啟。
- (14) 螺栓拉伸油壓缸內附齒輪組，確保內部轉動套筒包圍拉桿螺帽，如有必要，請使用內六角扳手或編號(7)手動棘輪來轉動編號(8)齒輪傳動裝置，直到轉動套筒封閉張力桿螺母。
- (15) 確保編號(2)高壓接頭和編號(8)齒輪組處於安全且易於操作的狀態位置，若要放鬆螺栓拉伸缸，後退螺栓拉伸缸，使支撐表面和螺栓拉伸缸之間有間隙，間隙的尺寸必

須至少等於螺栓的尺寸裝配時賦予的伸長率。

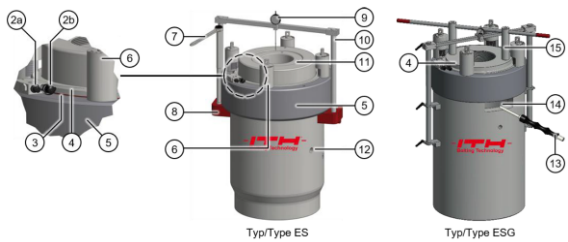
- (16) 將編號(24a)高壓軟管與編號(18)高壓泵浦的出口和編號(2a)螺栓拉伸油壓缸的出口連接。
- (17) 將編號(24b)高壓軟管與編號(17)高壓泵浦的入口和編號(2b)螺栓拉伸油壓缸的入口連接。
- (18) 確保所有壓力連接均正確連接。

#### 五、鎖緊螺栓操作步驟，參考(圖一、二)：

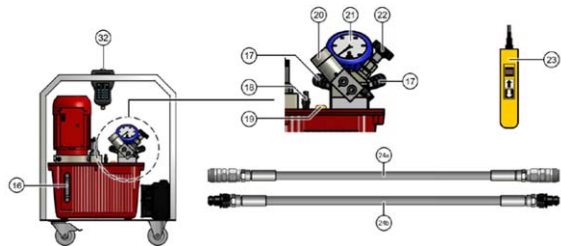
- (1) 一旦達到所需壓力，就停止加壓壓力。
- (2) 若使用含有編號(8)齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸，請使用編號(7)手動棘輪順時針轉動編號(8)齒輪驅動裝置，將拉桿螺帽轉動到螺栓拉伸油壓缸的支撐面上(圖三十二)，緊固扭力通常為50 Nm (35 ft lb)。
- (3) 若使用不含齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸，請使用編號(13)調整銷順時針轉動拉桿螺帽，將拉桿螺帽轉動到螺栓拉伸油壓缸的支撐面上(圖十)，緊固扭力通常為50 Nm (35 ft lb)。
- (4) 檢查編號(12)螺帽控制槽口，看拉桿螺帽是否靠在支撐面上，如有必要，請記下協定資料表中的伸長值。
- (5) 若要釋放壓力，請按下編號(23)遙控器上的黑色按鈕，使編號(6)活塞返回起始位置，起始位置是底側編號(4)活塞與編號(5)汽缸齊平。
- (6) 從螺栓拉伸油壓缸上斷開編號(24)高壓軟管。
- (7) 將螺栓拉伸油壓缸從螺栓連接上拆下。

#### 六、放鬆螺栓操作步驟，參考(圖一、二)：

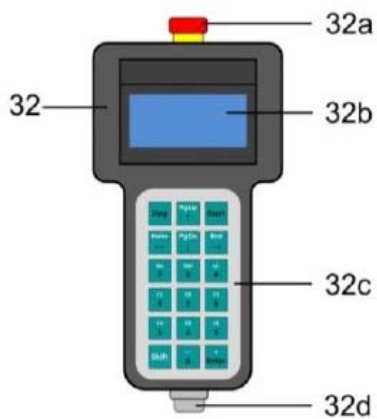
- (1) 一旦達到所需壓力，就停止加壓壓力。
- (2) 若使用含有編號(8)齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸，請使用編號(7)手動棘輪逆時針轉動編號(8)齒輪驅動裝置，將拉桿螺帽鬆開並轉離螺栓拉伸油壓缸的支撐面(圖十一)。
- (3) 若使用不含齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸，請使用編號(13)調整銷逆時針轉動拉桿螺帽，將拉桿螺帽鬆開並轉離螺栓拉伸油壓缸的支撐面(圖十二)。
- (4) 拉桿螺帽需要從支撐表面鬆開至少與螺栓之前拉伸的量一樣(通常是伸長長度+螺帽一圈)，不要將拉桿螺帽轉得離支撐面太遠，拉桿螺帽會接觸到編號(11)的可換式襯套，這樣螺栓拉伸油壓缸就無法從螺栓上鬆開。
- (5) 確保編號(8)齒輪傳動裝置能夠自由旋轉。
- (6) 若要釋放壓力，請按下編號(23)遙控器上的黑色按鈕，使編號(6)活塞返回起始位置，起始位置是底側編號(4)活塞與編號(5)汽缸齊平。
- (7) 成功鬆開後，油壓缸必須自由地立在螺栓連接上，拉桿螺帽必須能夠自由旋轉。
- (8) 從螺栓拉伸油壓缸上斷開編號(24)高壓軟管。
- (9) 將螺栓拉伸油壓缸從螺栓連接上拆下。



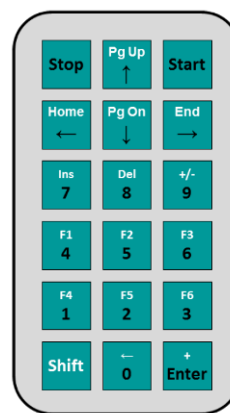
圖一、螺栓拉伸油壓缸之各項機構編號圖



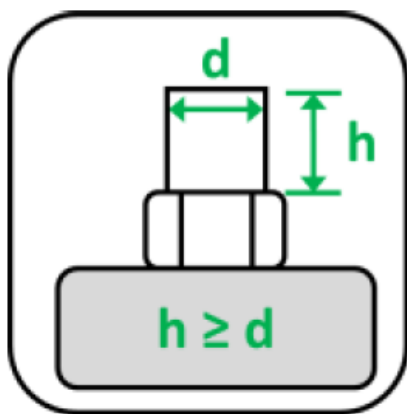
圖二、高壓泵浦及軟管之各項機構編號圖



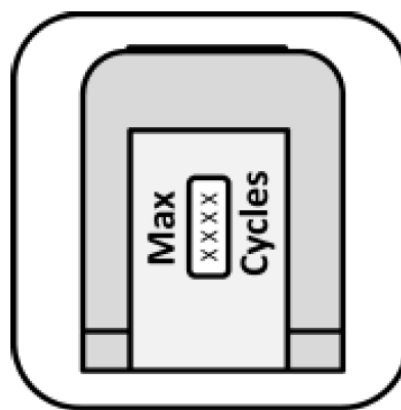
圖三、自動壓力控制多功能遙控器之各項機構編號圖



圖四、自動壓力控制多功能遙控器操作介面



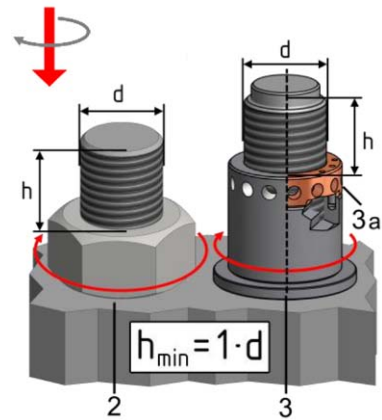
圖五、螺帽上方螺紋突出量與螺栓直徑關係



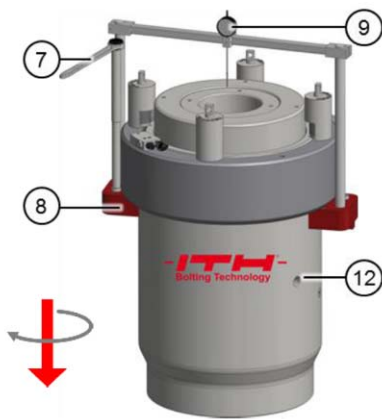
圖六、螺栓拉伸油壓缸循環次數計數器



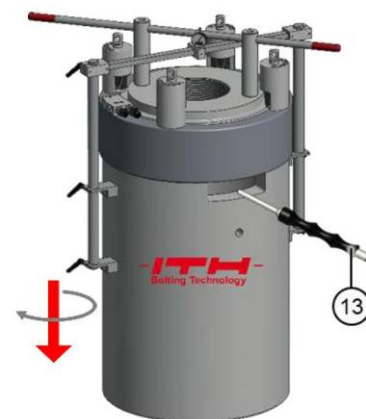
圖七、行程指示器可看到最大行程



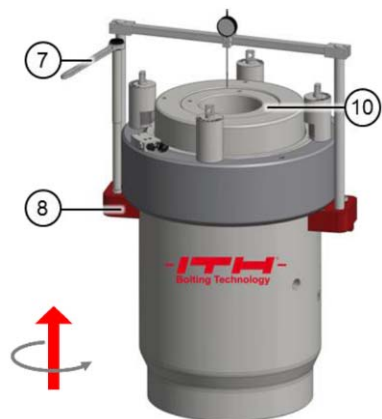
圖八、螺紋突出量(h)、直徑(d)、擰緊螺栓(3a)示意圖



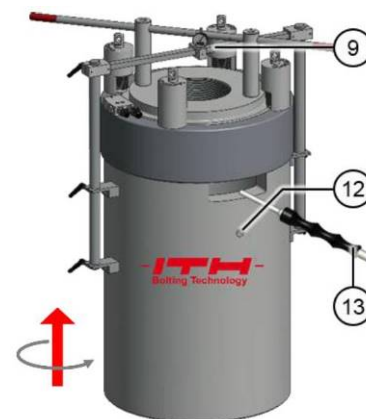
圖九、將拉桿螺帽轉動到有齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸支撐面示意圖



圖十、將拉桿螺帽轉動到沒有齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸支撐面示意圖



圖十一、將拉桿螺帽鬆開並轉離有齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸支撐面示意圖



圖十二、將拉桿螺帽鬆開並轉離沒有齒輪驅動裝置的螺栓拉伸油壓缸支撐面示意圖