

出國報告（出國類別：實習）

天然氣複循環機組維護研習

服務機關：台中發電廠

姓名職稱：林義乾 工程師

派赴國家/地區：美國/休士頓

出國期間：112年10月21日至112年11月3日

報告日期：112年12月13日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：天然氣複循環機組維護研習

頁數 26 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

林義乾/台灣電力公司/台中發電廠/鍋爐主機專員/(04)26302123#3011

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：112 年 10 月 21 日至 112 年 11 月 3 日

派赴國家/地區：美國/休士頓

報告日期：

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

台電公司發電及環保政策以減碳、增氣之發展方向為原則，因此大潭電廠 8、9 號機以及台中電廠、興達電廠目前皆有奇異公司擴建或新增機組計劃進行中，未來複循環機組數量及發電量將與日俱增，其運轉維護的可靠度、穩定度、韌性就顯得相當的重要，而台中電廠原為燃煤電廠對於複循環機組之運維較為陌生，藉由赴複循環機組廠家實習，進行熱回收鍋爐(HRSG)及電廠輔助設備(Balance of

Plant, BOP)相關介紹及實習，學習關鍵之運轉維護及大修技術，加強台中電廠技術人員參與新機組的建造、試運轉等流程，將有助於未來電廠營運及維護檢修策略制訂，提升設備可靠率，降低運維成本。

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

目 次

壹、出國目的及行程.....	1
(壹)、出國目的.....	1
(貳)、出國行程.....	2
貳、熱回收鍋爐運轉及維護.....	3
(壹)、熱回收鍋爐介紹及主要壓力元件.....	3
(貳)、熱回收鍋爐保安設備及環保設備.....	12
(參)、熱回收鍋爐蒸汽溫度與水位控制方式介紹.....	14
(肆)、熱回收鍋爐檢查與維護.....	16
參、電廠輔助設備運轉及維護.....	19
(壹)、輔助設備的高壓、再熱與中壓及低壓蒸汽系統.....	19
(貳)、冷凝水系統、鍋爐飼水系統及循環水系統.....	21
(參)、除礦水系統、壓縮空氣系統及汽機潤滑油兩室油槽.....	23
肆、心得與建議.....	25

壹、出國目的及行程：

(壹)、出國目的：

因應近年來環保意識的高漲，台電公司遂以「增氣、減煤、展綠、非核」做為未來電源開發策略，這點由大潭 8、9 號機擴建計劃跟台中及興達電廠的新增複循環機組正緊鑼密鼓的進行可看出台電公司對於「增氣」的重視，而這幾個電廠的擴建及新增計劃皆由歷史悠久、赫赫有名的奇異公司得標(General Electric, GE)，該公司於發電工業深耕多年，與本公司的合作也是相當密切，不論是設計技術、產品品質與交貨期程、現場安裝及施工、試運轉與調校及問題點改善與保固等均能達成本公司的期望，故安排至奇異公司進行實習能學得最新且符合本廠需要之技術與經驗。

眾所周知，台中電廠一、二號機即將除役且奇異公司的新複循環機組正在進行新建，唯台中電廠原為燃煤電廠並無天然氣複循環機組之運轉與維護保養經驗，為使電廠技術人員參與新機組之建造、試運轉、及了解營運維護檢修相關機制並增加維護策略擬訂之能力，確有派員赴奇異公司進行技術經驗交流之必要，經由這難得的實習機會，將有助於未來電廠營運及維護檢修策略制訂，提升設備可靠率及人員核心技術，降低運維成本，確保供電穩定與安全。

(貳)、出國行程：

起始日	迄止日	機構名稱	國家城市名稱	詳細工作內容
1121021	1121022			往程（台北－舊金山－休士頓）
1121023	1121027	GE	美國休士頓	天然氣複循環機組維護實習-HRSG設備介紹與維護
1121028	1121101	GE	美國休士頓	天然氣複循環機組維護實習-複循環機組運轉與維護
1121102	1121103			返程（休士頓－舊金山－台北）

貳、熱回收鍋爐運轉及維護：

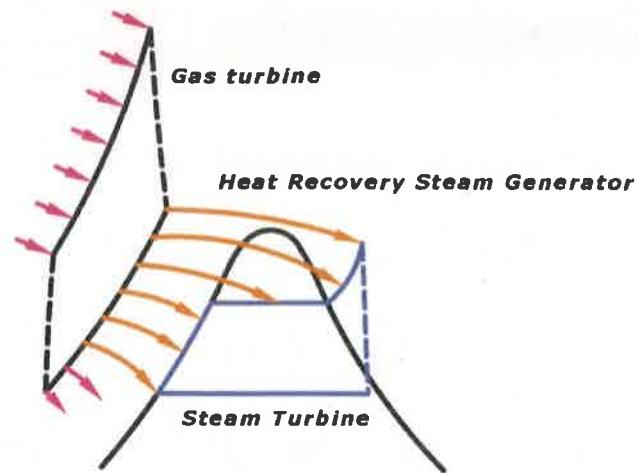
(壹)、熱回收鍋爐介紹及主要壓力元件：

複循環機組是由多組氣渦輪機組及一組汽力機組組合而成，氣渦輪機組帶動發電機發電後，利用氣渦輪機高溫排放之熱氣再經過熱回收鍋爐回收部分熱能後，廢氣再予排放，熱回收鍋爐產生之蒸汽則送至汽機帶動發電機再次發電。用這樣原理運轉的複循環機組具有高效率、起停快速、負載反應快之優勢，因以天然氣或輕柴油為燃料，具環保排放優點，雖然發電成本較燃煤汽力機組及核能發電高，但近年來為保護地球環境，台電公司調整環保策略以「增氣、減煤」為目標並致力降低對環境的衝擊，故複循環機組數量及總發電量持續增加，已然是台電公司供應穩定電力不可或缺的主要來源。

複循環機組中的氣渦輪機相對單純，主要由壓縮機、燃燒室及渦輪組成，大部分以天然氣做為燃料，新鮮空氣由進氣道進入氣渦輪機後，經壓縮機加壓成高壓氣體，接著在燃燒室內與燃料混合並燃燒成為高溫高壓燃氣，然後進入渦輪段推動渦輪，將熱能轉換成機械能輸出，即熱力學中的布雷登循環，藉此機械能推動發電機產生電力，若為單循環設計之氣渦輪機會直接將作完功的高溫燃氣由煙囪排出。

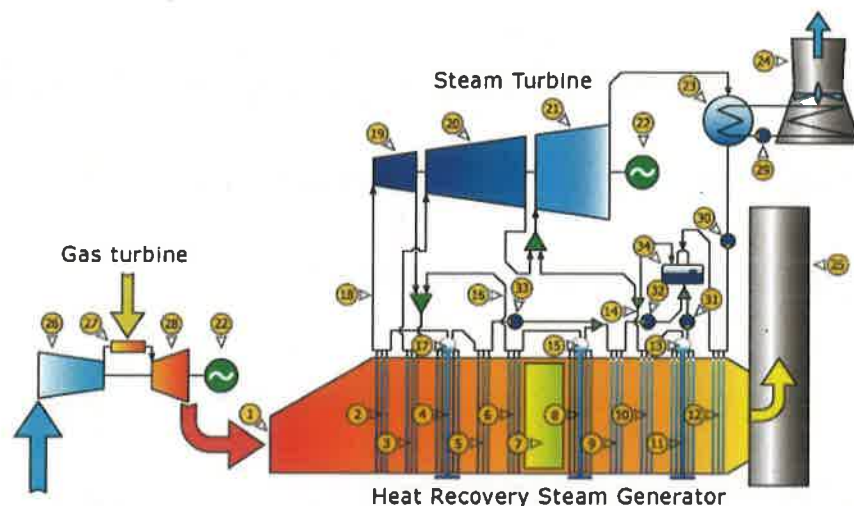
前述之高溫燃氣若直接排放至大氣中將造成能量損失、降低機組的效率及環境的危害，故建置熱回收鍋爐將此高溫燃氣中的熱能加以回收，將鍋爐內的水加熱成高溫高壓之蒸汽，用來推動汽機及發電機發電，即為與傳統燃煤汽力機組相同的熱力學即肯循環，這樣的組合方式即為複循環機組，也就是將使用布雷登循環的氣渦輪機組及肯循環的汽力機組結合在一起，其組成示意圖如下圖一所示。

HRSG – Combined Cycles



圖一、複循環示意圖

熱回收的效率與總能量的多寡取決於熱回收鍋爐的設計，良好的設計可提高汽力機組的效率，相同的，可增加電廠效率，為了達成這個目的，熱回收鍋爐的設計至關重要。氣渦輪機與汽力機組之組合如下圖二所示。

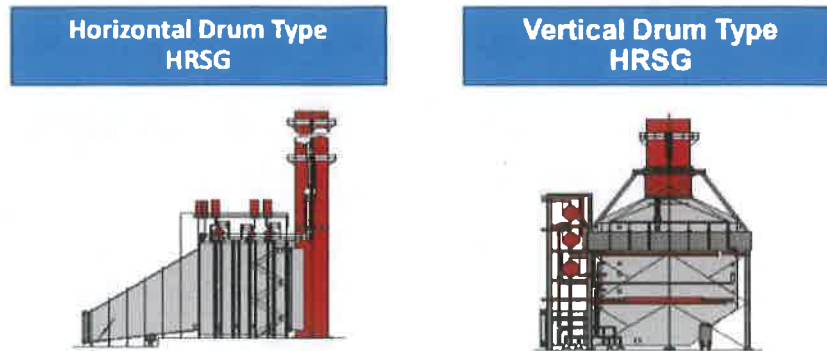


圖二、氣渦輪機與汽機組合

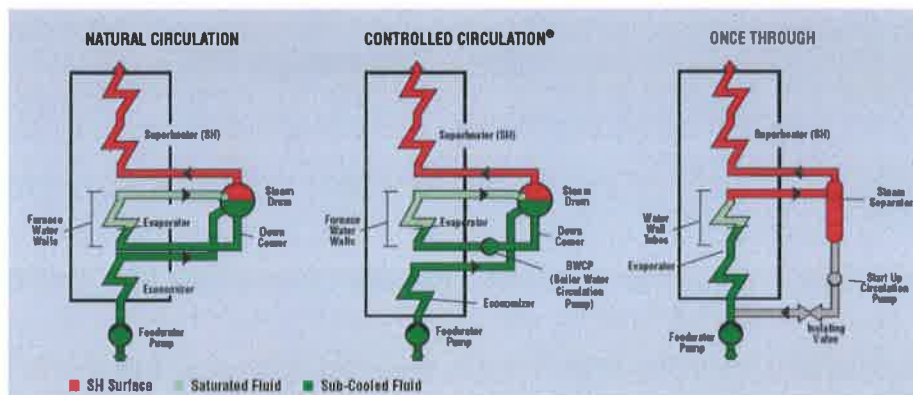
熱回收鍋爐的種類五花八門，以燃氣或汽鼓排列方式可分為水平式及垂直式，若以爐水循環方式來分類則有自然對流式、強制循環式及貫流式鍋爐，再則以汽鼓壓力級數來看

則有單級及多級壓力式鍋爐，例如台中更新擴建計劃是採用水平貫流三壓式鍋爐而大潭

8、9號機擴建計劃則是水平自然循環三壓式鍋爐。



圖三、水平式及垂直式鍋爐



圖四、自然循環、強制循環及貫流式鍋爐

典型的熱回收鍋爐是由省煤器或稱預熱器(Economizer or Preheater)、汽鼓(Drum)、蒸發器(Evaporator)及過熱器(Superheater)組成，每一級的壓力因其溫度設定不同可能會有多組的蒸發器或過熱器，取決於燃氣與蒸汽溫度條件不同而設計，但不論這些熱交換器如何稱呼及命名，說到底這些熱交換器便是由一排一排的爐管所組成，依照不同的設計溫度及壓力選擇適當的材質，常見的爐管材質如圖五所示，越接近氣渦輪機的區域燃氣的溫度越高，需選用較耐高溫的材料，例如 T91、T22，在特殊的熱回收鍋爐內，像是台中新增之貫流式

熱回收鍋爐因燃氣溫度極高，甚至選用不鏽鋼 TP304H 做為最接近氣渦輪機高壓過熱器的爐管材料，相反的在較低溫的區域如低壓省煤器等，則可選用 106B 等相對較便宜的管材以節省成本，避免不必要的浪費。

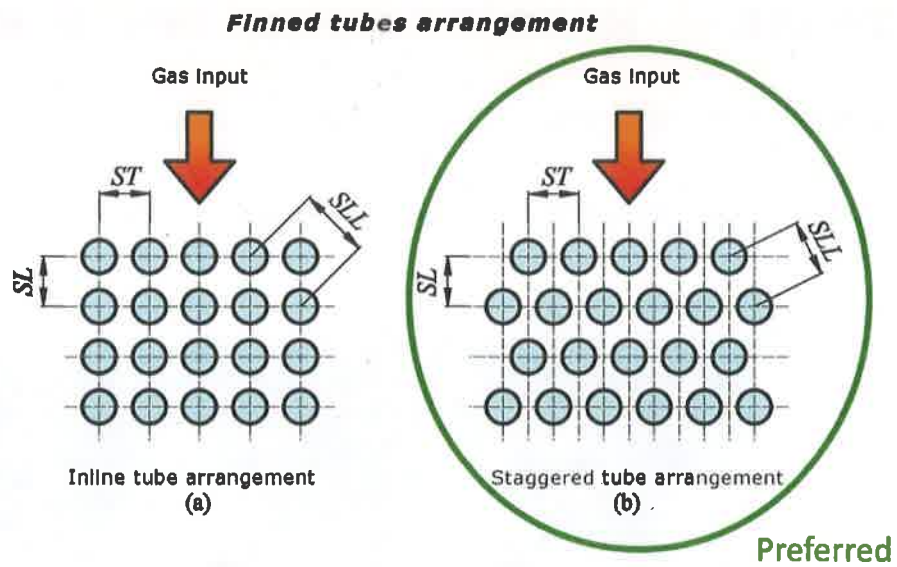
Maximum Outside-Surface Metal temperatures			
ASME Code Alloy Specification	Nominal Composition	Oxidation Limit,	
		°C	°F
SA-213	Carbon Steel	454	850
SA-213 T-1	Carbon-1/2 Mo	482	900
SA-213 T11	1-1/4 Cr – ½ Mo	551	1025
SA-213 T22	2-1/4 Cr – 1 Mo	579	1075
SA-213 T-9	9 Cr – 1 Mo	635	1175
SA-213 TP 304 H	18 Cr – 8 Ni	704	1300
SA-213 TP 347 H	18 Cr – 10 Ni	704	1300
SA-335 P91	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <div> 8 – 12% C 8 – 9.5% Cr 0.85 – 1.05% Mo 0.4% Ni </div> </div>	658	1218

圖五、常見鍋爐爐管材質

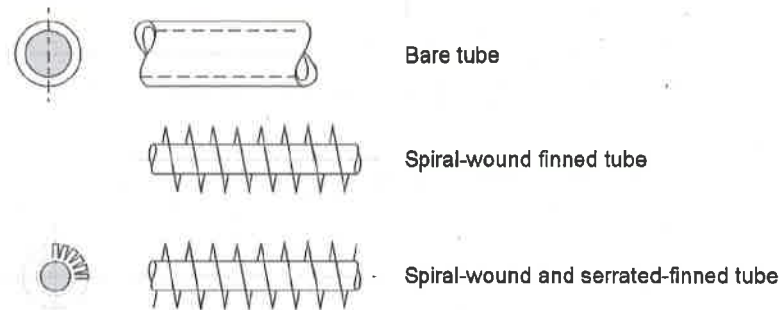
選定適當的爐管材質後，在若大的鍋爐本體內，爐管的排列方式也相當重要，主要的排列方式有兩種，分別為直線式(In-line)及交錯式(Staggered)，排列示意圖如圖六所示，交錯式排列具有較高的熱交換效率，但相對的壓降也會比直線式排列大一些，因為兩種排列方式熱交換效率不同，故會影響到爐水的溫度進而對整體蒸汽產生量造成改變，是故爐管排列的選擇是需要經過精密的評估及計算才能確定。

爐管的外型也是複循環機組的熱回收鍋爐與傳統燃煤鍋爐很明顯的不同處，因煤炭中含有灰份，這些灰份於燃燒後會散發出來，隨著燃氣流動並附著於爐管上，因此燃煤鍋爐不但需要設置大量的吹灰器清吹爐管，以保持表面清潔維持熱交換效率，爐管的外形也是選用表面光滑的爐管(Bare Tube)為主；反觀複循環機組的熱回收鍋爐，多半採用天然氣或輕柴油作為燃料，其燃料本身並不含有灰份，當然燃氣中包含的灰份也是少之又少，而此一特性使熱回收鍋爐的爐管選擇是以有鱗片的爐管(Finned Tube)為大宗，即為在原本光滑的

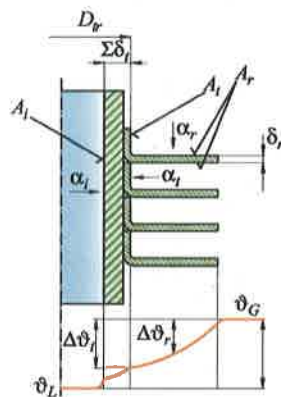
爐管外表面增加鰭片，藉此增加熱交換的面積與效率，如圖七所示。



圖六、爐管排列示意圖



Temperature profile in finned tube



圖七、鰭片爐管表面溫度示意圖

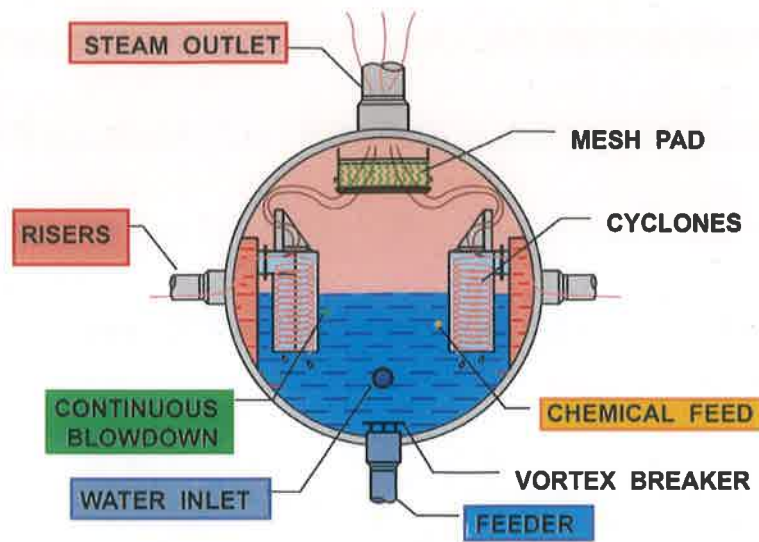
鰭片式爐管最早以無空隙鰭片(Solid Finned Tube)為主，而後為增加更多的熱交換面積開發出鋸齒式鰭片管(Serrated Finned Tube)，因爐管外型不若無空隙鰭片爐管那麼規則，高

溫燃氣流經表面時會產生擾流，增加燃氣流經爐管表面的時間使熱交換的效率增加，為了進一步使此效應最大化，輔以流體力學的設計與模擬，考量每一個小鰭片的流場後將鋸齒式鰭片管改良成為鋸齒扭曲式鰭片管(Twist Finned Tube)以最大化每根爐管的熱交換效率，據研究顯示鋸齒扭曲式鰭片管效率比鋸齒式鰭片管高出約 16%。

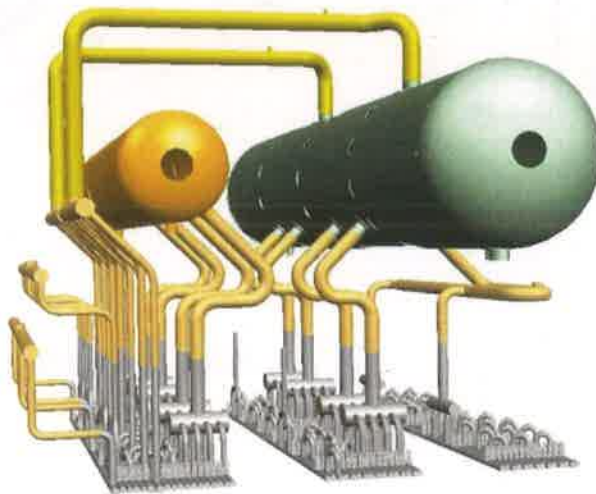


圖八、各式鰭片爐管圖

熱回收鍋爐內密密麻麻的爐管連接到爐外的汽鼓(Drum)，現在新機組的設計以三級壓力為主，依其工作壓力可分為高壓、中壓及低壓汽鼓，不論是那一級的汽鼓基本工作原理與燃煤機組之汽鼓相似，來自省煤器的飼水注入汽鼓內，而汽鼓內基本上是維持著汽液共存的飽和狀態，液態水會在經由降水管回到爐內蒸發器繼續加熱後再到汽鼓內直到接近飽和狀態，而經由分離器分離出飽和蒸汽經由管線送到過熱器加熱以增加過熱度，最後過熱蒸汽再到汽機作功。汽鼓的體積因其不同的設計壓力與作用需要精確的計算，除了用來容納運轉時使用的鍋爐水，當機組增加或減少負載時也會因蒸汽使用量不同導致汽鼓液位變化，好的設計必須能因應這些變化使機組運轉穩定。此外汽鼓亦設有沖放管線以維持鍋爐水水質及注藥管線可用來添加必要的化學物質確保水質符合運轉要求。



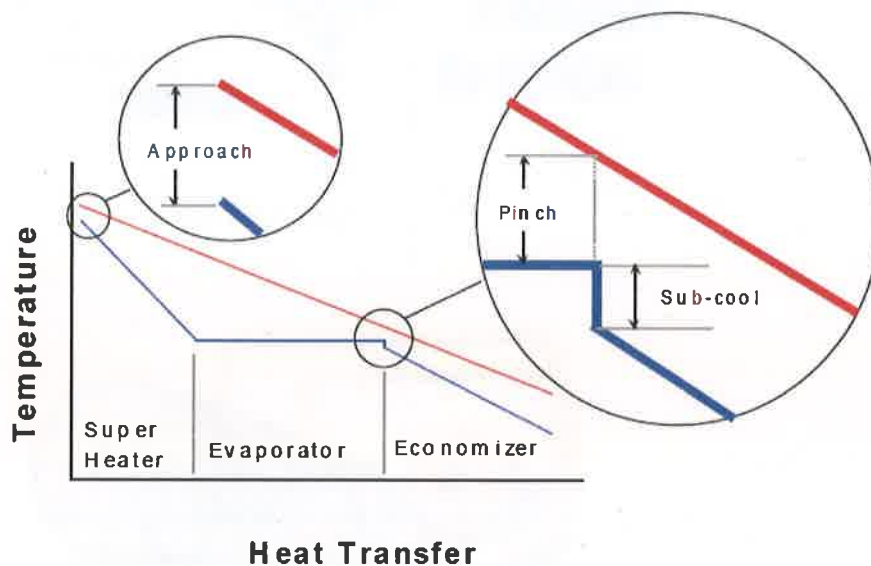
圖九、汽鼓內部設計



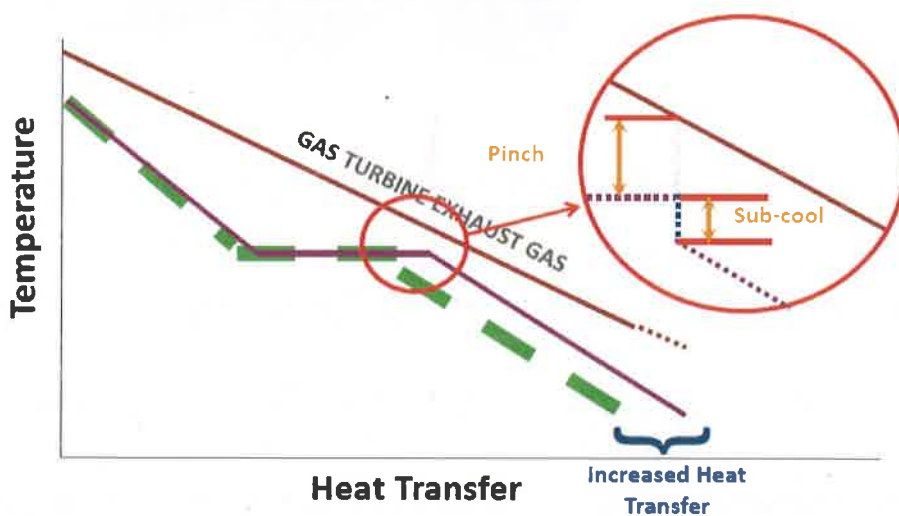
圖十、中壓與低壓汽鼓及其連接管線示意圖

前述設備包含省煤器、蒸發器、過熱器及汽鼓通稱為壓力元件，其內部有高溫高壓的水或蒸汽，是熱回收鍋爐重要且不可或缺的元件，而這些元件與爐內燃氣熱交換的條件設計更是熱回收鍋爐的精髓所在，首先說明選用三壓式設計的原因，爐內燃氣溫度隨著往煙囪方向排放將熱交換給爐管內的流體而溫度逐漸下降，相反的爐管內的流體溫度則是不斷上升，如圖十一所示，紅線是燃氣溫度，而藍線則是爐管內流體的溫度，其中有三個專有名詞會在此圖中揭露，分別為 Approach、Pinch 及 Sub-cool，由圖中可知 Approach 為燃氣溫

度與離開過熱器的蒸汽溫度差異；Pinch 為飽和溫度與離開該段蒸發器的燃氣溫度差異；Sub-cool 為省煤器出口水溫與飽和溫度的差異；這三項為熱回收鍋爐設計重要指標，設計適當與否會影響熱交換的效率乃至影響汽機的出力及發電量。例如 Pinch 及 Sub-cool 若能有效縮小，如圖十二的綠虛線變成紫線，則能很明顯看到藍色部分熱交換的增加。



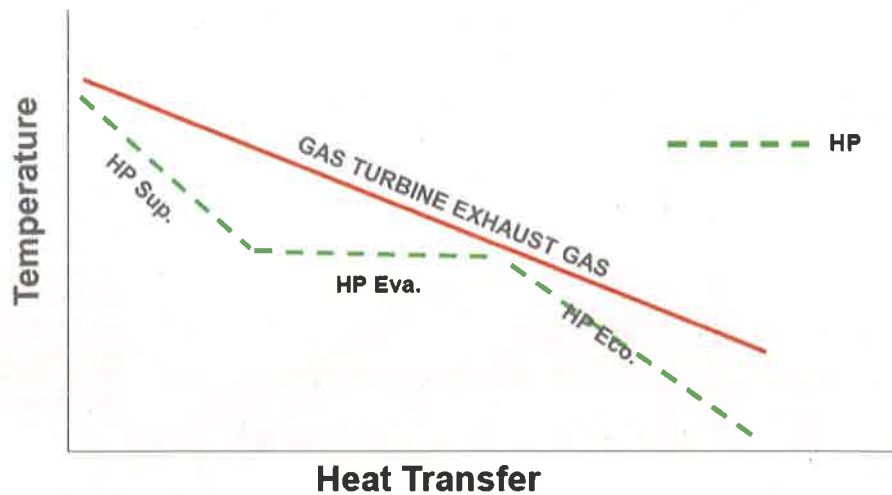
圖十一、單壓式鍋爐溫度圖



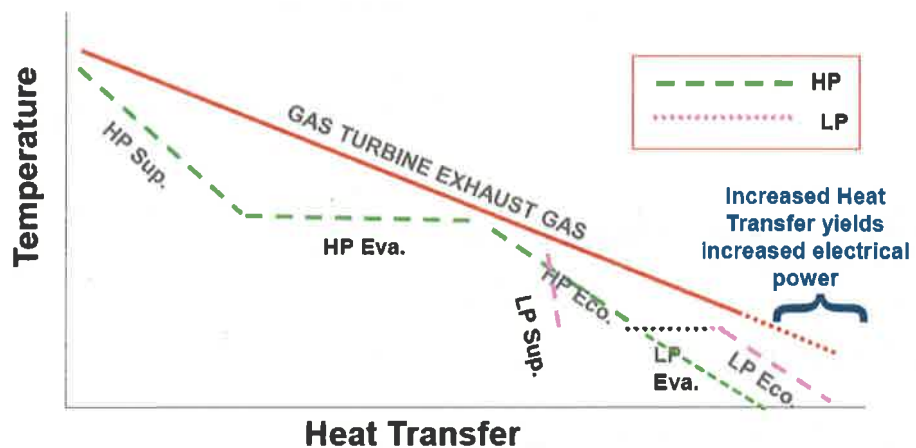
圖十二、Pinch 與 Sub-cool 對效率的影響

圖十三與圖十四分別為單壓式與三壓式鍋爐熱交換的示意圖，由圖十三可看出，流體

溫度增加的斜率與燃氣溫度下降的斜率並不相同，故採用單壓式鍋爐會形成較多的熱量浪費，為減少此熱量浪費，採用多級壓力設計是很好的解決方案，如圖十四所示，雙壓力鍋爐除原本以綠色線表示的高壓段，另增加以紫色線表示的低壓段，由兩個線條差異可看出增設低壓段可有效增加熱交換與發電量，亦可減少熱損失，如圖十四藍色線所示。



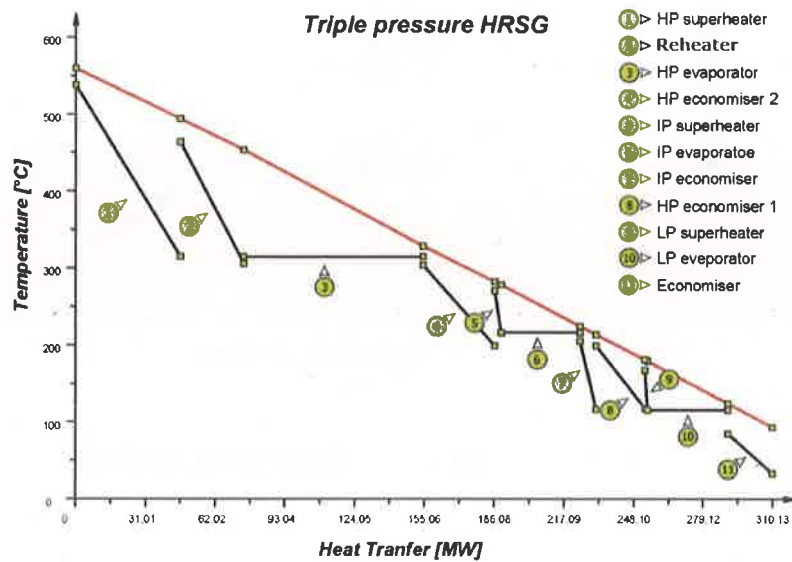
圖十三、單壓式鍋爐溫度圖



圖十四、雙壓式鍋爐溫度圖

在大潭及台中更新擴建計劃皆採用三級壓力設計的熱回收鍋爐，其溫度與熱量傳遞示意圖如圖十五所示，其中紅線為燃氣溫度，黑線為流體的溫度，從最右邊也是最低溫的地方為省煤器，接著分別為低壓蒸發器、低壓過熱器、高壓第一省煤器、中壓省煤器、中壓

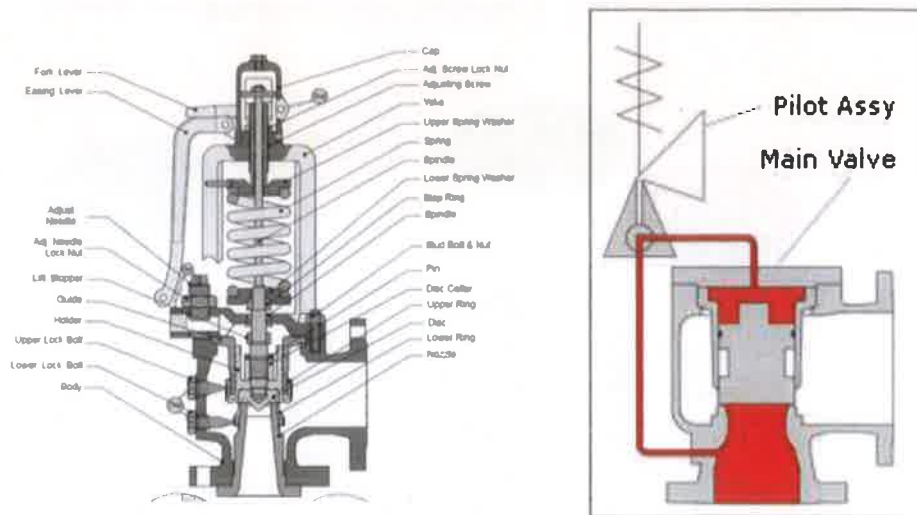
蒸發器、中壓過熱器、高壓第二省煤器、高壓蒸發器、再熱器及高壓過熱器。此為典型的設計方式，各部機組間仍會因設計條件不同存在些許差異，例如台中新建機組是採用三壓貫流式鍋爐，包含高壓第一及第二過熱器、中壓省煤器設計兩級式加熱、兩級式再熱器，四級飼水加熱器(或稱省煤器)等，因應不同的負載及燃氣溫度條件，爐管設計亦隨之改變，但基本溫度變化驅勢如圖十五所示。



圖十五、三級式熱回收鍋爐溫度變化示意圖

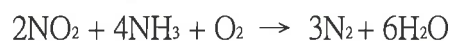
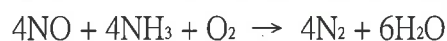
(貳)、熱回收鍋爐保安設備及環保設備：

當熱回收鍋爐的關鍵設計有了初步的規劃後，除了鋼構、外部蒙皮、走道、電梯等便利性設備外，在保安設備方面，因爐內的流體具有相當高的壓力，為避免任何異常導致爐內超壓甚至爆裂等情況，如同其它的高壓容器一樣要在壓力管路上設置適當設定之安全閥，安全閥主要有彈簧式安全閥及先導式安全閥兩種，前者係以彈簧的壓力作為保持閥門關閉的動力來源，具有機構簡單容易維護的優點；先導式安全閥是用類似平衡管原理，引導一小部分流體到閥的背面，形成背壓來壓住閥體，如圖十六所示。



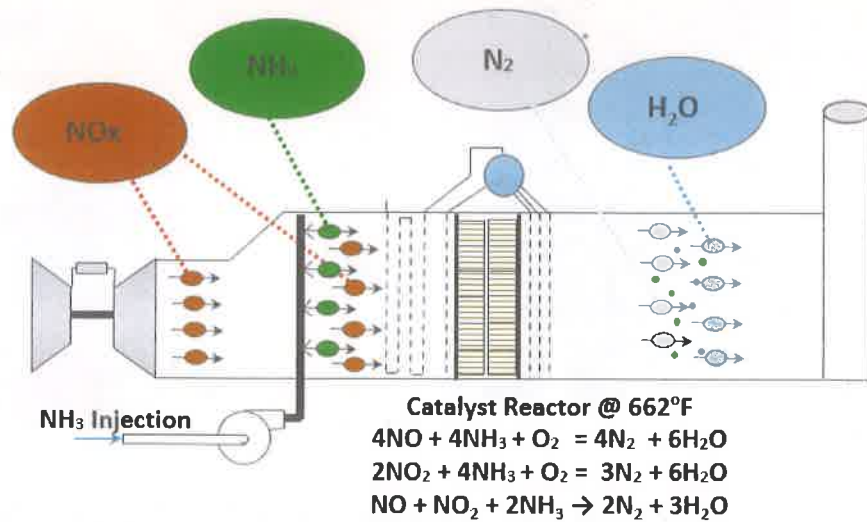
圖十六、彈簧式安全閥及先導式安全閥

天然氣稱為較為乾淨的能源主要是因為它不像煤炭含有氮、硫及灰份等組成，以上成份在劇烈燃燒後會產生大量氮氧化物、硫化物及飛灰，這些副產品對於環境有很大的不良影響並造成污染，故燃煤機組需要設置許多的環保設備來降低對環境的衝擊。天然氣複循環機組在燃燒天然氣的同時亦燃燒空氣，而空氣仍含有接近 80%的氮，故在燃燒的過程亦會產生氮氧化物，但其濃度比傳統燃煤機組要小很多，本著降低環境衝擊的想法，熱回收鍋爐內部亦設置脫硝觸媒設備(Selective Catalytic Reduction, SCR)，輔以氣氨將氮氧化物還原成氮氣跟水，做為消除氮氧化物的解決方案，化學式如下所示



化學反應的進行最大的侷限在於溫度範圍，約於 350°C 會出現最佳之效率，考量此點脫硝觸媒設備設置的位置需匹配燃氣溫度，台中計劃是設計在高壓蒸發器與高壓第一省煤

器之間，以獲得最佳之脫硝效率。脫硝觸煤設備示意圖如圖十七所示。



圖十七、SCR 示意圖

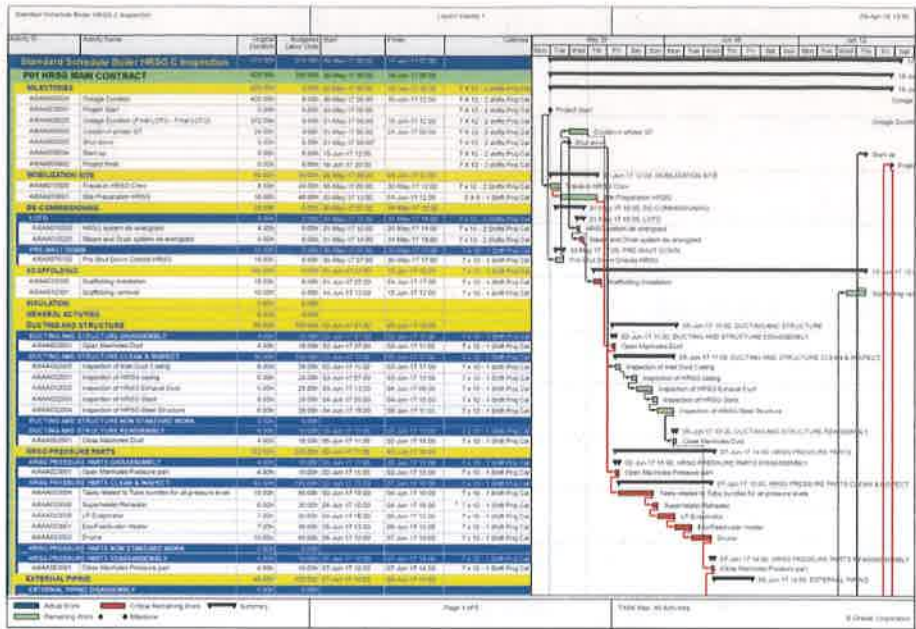
(參)、熱回收鍋爐蒸汽溫度與水位控制方式介紹：

前面提到許多天然氣複循環機組與燃煤機組在設備上及汽水流程上許多相似與相異處，在機組的控制方面也是有許多相似處，最大的不同點是熱回收鍋爐有多個汽鼓，這使控制的困難度更上一層樓，雖然汽鼓的數量變多，但各級汽鼓的作用卻是十分雷同的，當然控制也是；在水側最重要的莫過於水位的控制，進而衍生出流量及壓力的控制，在機組起動的初期為使控制單純化，且因水及蒸汽的流量尚低，此時的汽鼓液位控制是採用單一元件，也就是汽鼓水位做為控制的依據，稱為單元控制；待機組的負載增加，意味著水及蒸汽流量的增加，直到這兩個訊號的準確性是可靠時，便會加入成為控制汽鼓水位的第二及第三訊號，此時的控制稱為三元控制。使用三元控制可以有效且快速反應機組運轉狀態的變化，特別是負載快速變化導致蒸汽流量劇烈變化甚至是汽機緊急跳脫的情況，三元控制可提供比單元控制更好的汽鼓水位變化控制，如圖十八所示。

般檢查基本上可配合氣渦輪機或電廠本身的大修期程進行，而細部檢查包含壓力元件內部檢查或非破壞檢查、輔助設備檢修及試運轉等，大約需要兩個月的工期，視運轉情況最好每 5-10 年能執行一次，一般檢查與細部檢查所需檢查的項目與工項如表一所示，細部檢查的工項及期程示意圖如圖二十二。

	一般檢查	細部檢查 (僅列出額外增加工項)
進口煙道，外殼及結構		
煙道及結構	<ul style="list-style-type: none"> ● 內外部目視檢查 ● 內襯及保溫檢查 ● 導流板及人孔檢查 ● 進出口膨脹接頭檢查 	
壓力元件		
爐管	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃氣側檢查，冷端變形、結垢、腐蝕 	<ul style="list-style-type: none"> ● NDT 檢測
集管與連接管	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃氣側檢查 	<ul style="list-style-type: none"> ● 焊接處內外部檢查
外部管閥	<ul style="list-style-type: none"> ● 目視檢查 	<ul style="list-style-type: none"> ● NDT
汽鼓	<ul style="list-style-type: none"> ● 內部檢查、儀器接頭檢查 	<ul style="list-style-type: none"> ● 噴嘴及外部焊道 NDT
出口煙道及煙囪		
煙囪	<ul style="list-style-type: none"> ● 內外部鏽蝕目視檢查、洩水管路檢查 	
煙囪風門	<ul style="list-style-type: none"> ● 全開關測試及密封性檢查 	
輔助設備		
噴水減溫	<ul style="list-style-type: none"> ● 目視及洩露檢查 	<ul style="list-style-type: none"> ● 閥、噴嘴及內襯檢查 ● 上、下游管路檢查
鍋爐水循環泵	<ul style="list-style-type: none"> ● 依製造商手冊建議檢查 	
沖放系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 閥與驅動器檢查、洩露檢查 	<ul style="list-style-type: none"> ● 桶槽內部檢查
再啟動前檢查		
一般項目	<ul style="list-style-type: none"> ● 實地吊架、異音、震動查核 ● 儀器數據合理性檢查 ● 警報確認及水質檢驗 	<ul style="list-style-type: none"> ● 功能測試、保安及性能測試、儀器數據合理性量測

表一、一般檢查及細部檢查工項



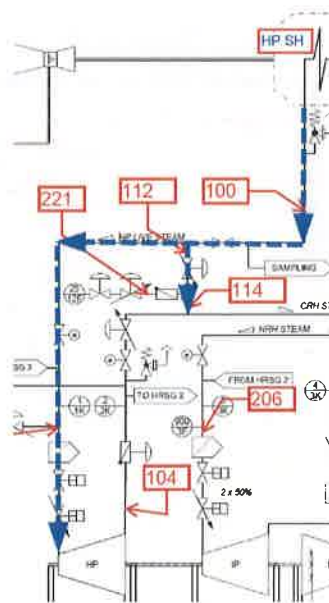
圖二十二、細部檢查的工項及期程示意圖

參、電廠輔助設備運轉及維護：

除了在上一章節介紹的熱回收鍋爐本體外，仍需許多的設備來輔助鍋爐及汽機運轉，這些設備主要有高壓蒸汽系統、再熱及中壓蒸汽系統、低壓蒸汽系統、輔助蒸汽系統、冷凝水系統、鍋爐飼水系統、空氣移除系統、循環水系統、補水系統、壓縮空氣系統等。

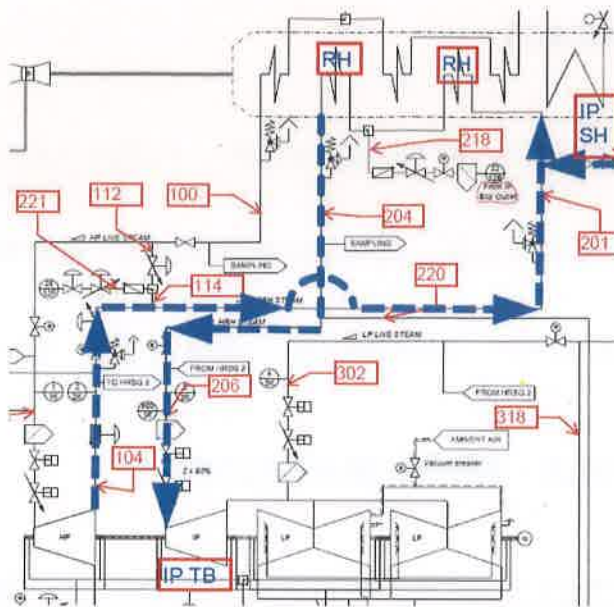
(壹)、輔助設備的高壓、再熱與中壓及低壓蒸汽系統：

這裡所說的高壓蒸汽系統是指將高壓過熱蒸汽傳送到汽機的關斷閥及控制閥或旁通到冷再熱蒸汽的管線部分，此系統的旁通閥可用來旁通百分之一百的額定容量高壓蒸汽到冷再熱蒸汽管線並附有噴水減溫可以控制其溫度與壓力條件，除旁通閥外管線上亦有許多的洩水閥，主要作為管線內有多餘水份時排出用的，特別是機組啟動初期暖管的時候。



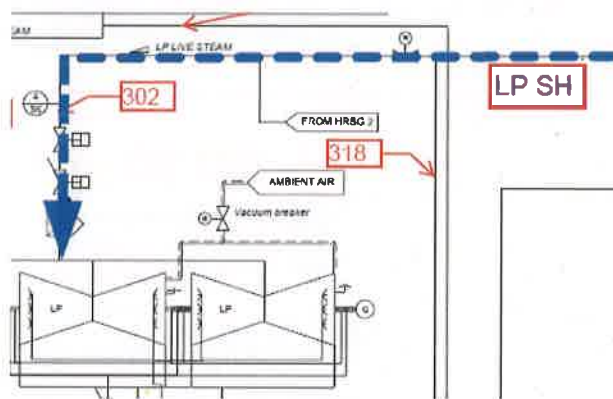
圖二十三、高壓蒸汽系統

再熱及中壓蒸汽系統包含將高壓汽機排汽引導到再熱器的冷再熱系統、將中壓過熱蒸汽引到再熱器進口的管線及將熱再熱蒸汽傳送到中壓汽機的管線，這部分一樣設計有洩水閥以排出多餘水份。



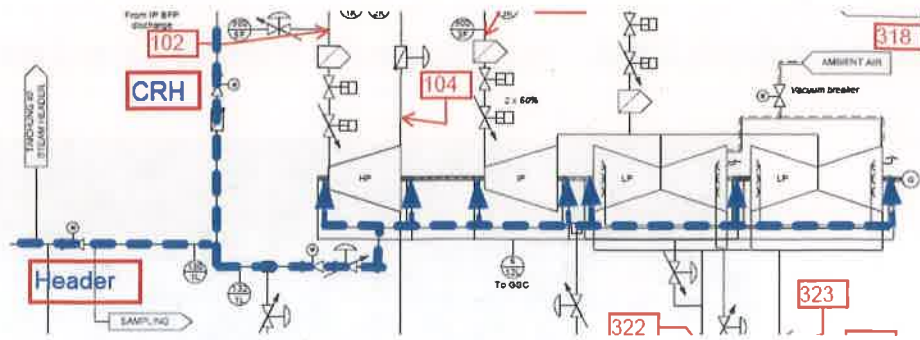
圖二十四、再熱及中壓蒸汽系統

低壓蒸汽系統則是將低壓過熱蒸汽傳送到低壓汽機使用，排水閥的設計可以保護設備避免過多的水份。



圖二十五、低壓蒸汽系統

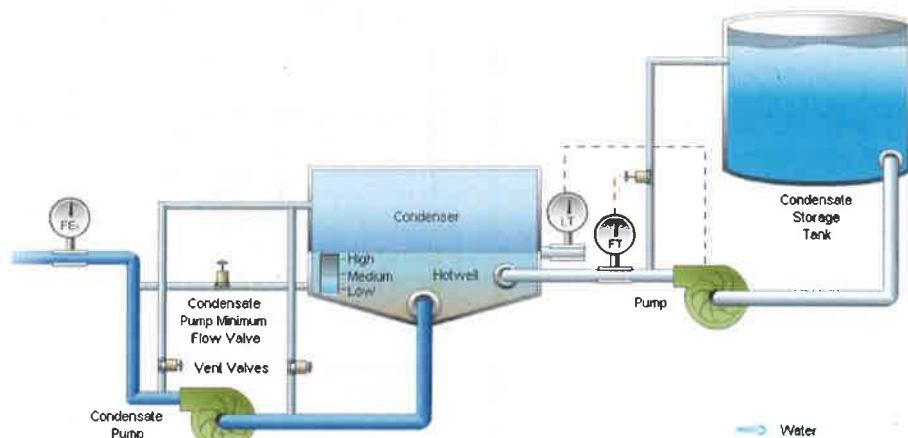
輔助蒸汽的來源是冷再熱蒸汽或其它機組的共用集管，主要用來作為汽機格蘭蒸汽使用，如此一來汽機才可密封並建立真空環境。



圖二十六、輔助蒸汽與格蘭蒸汽

(貳)、 冷凝水系統、鍋爐飼水系統及循環水系統：

冷凝水系統包括冷凝器與冷凝水管路及設備，冷凝器主要的功能為冷凝作完功的蒸汽、提供真空環境、相對低的溫度、除去氣體並作為汽態與液態的阻隔，並於緊急時透過壓力閥及噴水減溫作為蒸汽洩放處。蒸汽冷凝後透過冷凝水系統再次送到系統中循環，冷凝水管路設置三台 60%容量的七級垂直式離心泵，可將冷凝水泵送到系統中，因為汽水循環的水仍會有少量損耗，故需要冷凝水補水系統將處理後之除礦水源源不絕補充到冷凝器中，作為汽水循環使用。



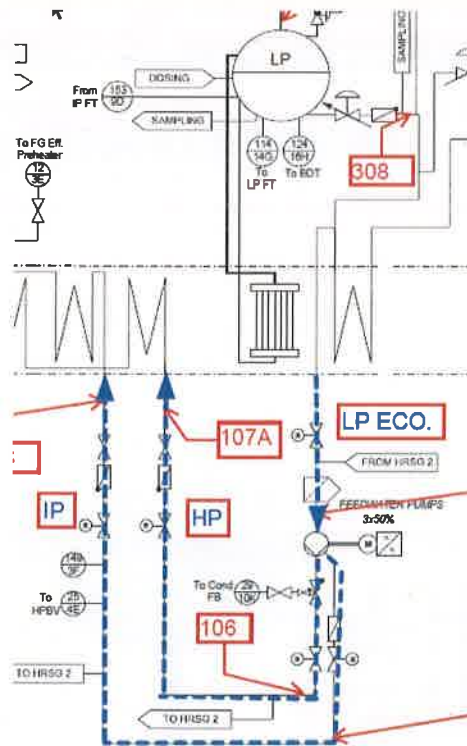
圖二十七、冷凝水系統及補水系統

經由冷凝水系統輸送的水在過了低壓省煤器之後的下一個系統便是鍋爐飼水系統，該系統主要功能便是將水透過 3 台飼水泵的加壓並送到中壓及高壓省煤器，除前述功能外飼

水系統尚需提供噴水減溫用水，包含高壓過熱器、高壓旁通、再熱器與再熱旁通。



圖二十八、鍋爐飼水泵安裝



圖二十九、飼水系統主管線

空氣移除系統是汽機運轉的重要系統，該系統可以移除汽機及冷凝器等設備內不可凝結之氣體，進而對此區域形成近真空的狀況除了可幫助蒸汽的流動也可降低汽機運轉的阻

力。此系統主要由三台真空泵組成，一般來說 2 台運轉 1 台備用，在機組啟動前及運轉中提供接近真空的環境以利汽機運轉。

循環水系統主要功能是冷卻，循環水泵將海水泵送至機組內主要分成兩分支，一邊送至冷凝器的管側，是將蒸汽冷凝成水最重要的媒介，吸完熱的海水則沿著海水渠道再流回大海；另一分支便是前往廠用水熱交換器，廠用水常用來冷卻不能直接用海水冷卻的設備，故廠用水的溫度亦會慢慢增加，也需要使用海水冷卻。循環水在作完熱交換後溫度會上升，在排入大海前為避免造成環境的衝擊，排放的溫度及成份都要經過嚴格的管制。因本廠的循環水是海水，為避免海水中的髒污及海生物堵塞冷凝器或廠用水熱交換器的管內影響效率，碎屑過濾器及管內清潔系統的設計並保持運作是很重要的。

(參)、除礦水系統、壓縮空氣系統及汽機潤滑油兩室油槽：

水作為複循環機組傳遞及轉換能量的媒介，系統中的水質要求是非常高的，必須完全符合系統的要求才可輸送到補水系統，包括除礦水槽及其管線，以不斷提供純淨除氣過的除礦水供系統使用。除礦水是由水處理系統產生並儲存在除礦水槽中，可用冷凝水傳送泵泵送至冷凝水系統中，當熱井水位過低等緊急情況時，另有緊急補水泵會啟動並將除礦水補到冷凝水系統中。除礦水除了作為冷凝水之補充外，廠用水系統也需仰賴除礦水系統透過共用除礦水傳送泵作補充。

另一項使熱回收鍋爐得以順利運轉的輔助系統是壓縮空氣系統，該系統分為廠用空氣及儀用空氣系統。前者主要做為一般維護或氣動工具使用，而後者主要用於驅動器或控制閥。兩者間最大的差異除了壓力的設定值之外，因為儀用空氣有著乾燥度的要求，去除水氣的設備在儀用空氣的系統是必然的。

汽機潤滑油兩室油槽為一個槽體內部分為儲存未使用過潤滑油的乾淨油室及使用過潤滑油的廢油室，此槽作為汽機潤滑油更換的緩衝槽，當潤滑油被檢測出油品質變差不敷使用時，可啟動廢油傳送泵將廢油自汽機潤滑油槽抽出，再用乾淨油泵將新的潤滑油自乾淨油泵送到汽機潤滑油槽使用。

肆、心得與建議：

這次的美國實習對我來說真是千載難逢的機會，個人於 103 年加入台電的行列，一開始在林口電廠擔任運轉人員，後來參與新機組的興建、試運轉，乃至擔任新機組鍋爐控制人員，這些經驗有助於對燃煤機組的整體運作方式有了全面的認識。而後調動職務到了台中電廠的鍋爐主機課擔任維護人員，開始認識爐本體、空氣預熱器、燃燒器、吹灰器及高壓閥等設備的維護技術，即使具備燃煤機組運轉與維護的經驗，我對於複循環機組仍停留在書面或影片資料的程度，這次實習讓我對熱回收鍋爐及輔助設備甚至整體複循環機組的運作有更深的認識與了解。

到了美國休士頓，即美國奇異公司的訓練中心所在，本次實習的講師 David Miller 從事複循環機組有三十年以上的豐富經驗，對於本次實習的主題：熱回收鍋爐及輔助設備也是相當熟悉，透過簡報內容進行系統化的教學，而不是逐字唸稿，使上課過程相當生動活潑，且講師常常以問答的方式確認我有真的聽懂他想傳達的資訊，輔以比手畫腳或在白板上繪圖解說，讓整體學習的成效加倍。

在這次實習中，我了解到熱回收鍋爐的運作方式及未來檢修的重點，與自身燃煤機組的工作經驗融會貫通後，我認為有兩個重點需要特別注意：首先是汽鼓，數量由一個增加為二個，高壓段改以汽水分離器取代汽鼓，這意味著檢修工作量的增加，不論是一般周邊的設備維護，像是水位計、洩水閥等等；大修工作方面像是內部清潔、外部搭架並測厚、內部設備檢修、壓力容器定檢等工作也會因此增加，特別是高壓段的汽水分離器，是台中電廠首次使用的設備，在檢修上需要借助原廠與友廠的技術與經驗。爐管部分因台中計劃熱回收鍋爐為水平式，內部有交錯排列鰭片式爐管，這部分與現有燃煤機組設備截然不

同，檢查與更換的工法也不一樣，從爐管的採購、搬運、存放都需建立另一套機制，遇到爐管損壞需更換時，施工架的搭設、爐管切除與焊接、非破壞檢查等都需要重新熟悉，故在前幾次的檢修時需準備多一點時間與人力，以因應檢修過程各種狀況。

在本次的實習機會中，從申請、出國及回國作業中，有幾個地方是需要特別留意的：申請過程太複雜冗長，依我的經驗從接獲任務指派到實際出國歷經 3 個月之久，光是機票費用隨著出國時間接近費用也不斷提高，一個月價差可以到 1 萬台幣，等於是機票費用的 10% 以上，若能縮短申請作業流程，也能節省一定程度的旅費支出。美國雖然看似很美好但期實高漲的物價及治安問題也是很嚴重，在當地建議盡量以汽車做為交通工具，但相對花費又會增加，如何在費用與安全上作取捨其實不太容易。另外建議出國實習盡量兩兩一組，主要是在國外遇到疾病等緊急情況可以互相照顧，此外於上課期間可以相互討論，課餘時間也有照應，甚至可以分攤飯店租車等生活費用，以確保出國實習平安順利。

在文章的最後，我要感謝公司及發電處各級長官的賞識，謝謝經理及課長協助安排分擔工作，也要向在這次實習計畫中提供協助的其它同仁們致謝，並感謝美國奇異及台灣奇異公司協助安排這次的實習機會。