

出國報告（出國類別：實習）

超臨界鍋爐及其壓力組件維護

技術之研習

服務機關： 台灣電力公司
姓名職稱： 汪立群 機械工程師
派赴國家： 英國
出國期間： 97.12.03~97.12.17
報告日期： 98.02.02

出國報告審核表

出國報告名稱：超臨界鍋爐及其壓力組件維護技術之研習		
出國人姓名	職稱	服務單位
汪立群	課長	深澳發電廠
出國期間：97年12月03日至97年12月17日		報告繳交日期：98年02月04日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input checked="" 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"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 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. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 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"/> 2. 退回補正，原因： _____ <input type="checkbox"/> 3. 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 	徐博 98.2.20
---	---	--	--	------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：超臨界鍋爐及其壓力組件維護技術之研習

頁數：32 含附件：是否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話

台灣電力公司人資處／陳德隆／02-23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話

汪立群／台灣電力公司／深澳發電廠／機械工程師／02-24968311~241

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97.12.03~97.12.17

出國地區：英國

報告日期：98.02.02

分類號/目：

關鍵詞：超臨界鍋爐，壓力組件

內容摘要：

超臨界機組因燃料消耗量較亞臨界機組低，整體效率又高，營運成本及環境汙染程度都較低，故使用大型超臨界機組成爲已開發國家電力設備之主流。目前國內發電機組，只有台塑集團已引進超臨界機組運轉，本公司（台電）擬計畫利用最近多部機組面臨汰舊換新之時機，將全部新建機組均轉換爲超臨界機組，以符合時代潮流。

超臨界機組與亞臨界機組鍋爐及壓力組件比較，除超臨界鍋爐無汽水鼓裝置外，兩者其餘基本構造均相同；但超臨界鍋爐所使用壓力及溫度較高，各鍋爐製造廠家爲避免傳統鍋爐碳鋼管材因而產生較大的熱應力及金屬疲勞，影響鍋爐可用率，故提升鍋爐管材材質，改用合金鋼材質管材。譬如：ASME T91 成爲超臨界鍋爐在設計過（再）熱器不可或缺之鋼種；P91 爲超臨界鍋爐集管箱及主蒸汽管主要材質；而 T23 爲水牆管主要材質。

至於鍋爐及壓力組件維護，除在修護時要注意材質一定要符合 ASME B&PV CODE 標準外，其它如焊接品質、焊接技術，焊前預熱、焊後熱處理都不可疏忽，此外如水質處理、運轉操作、溫度控制等，均會影響到鍋爐及壓力組件性能，不可不慎。

建議：1. 台電應先制訂定 800MW 超臨界貫流式機組之標準，以減少設備維護及人員訓練成本。

2. 相近兩廠機組同時開國際標，使機組有相同規範，增加人員流通性，減少庫存量及庫存資金積壓。

3. 建廠之初，即行規畫模擬器建造，務必於第一套機組商轉前完成模擬中心設置，使人員儘早完成職前訓練，減少操作失誤；同時相同標準容量機組只須設置一套模擬器即可，且採集中訓練方式，以節省設備設置、維護、人員訓練編制等成本。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

壹、目的

- 一、出國緣起 4
- 二、出國計劃任務 4

貳、過程

- 一、預定出國行程 5
- 二、實際行程 5

參、實習心得

- 一、Doosan Babcock Energy 公司大事紀 7
- 二、超臨界鍋爐介紹 8
- 三、貫流鍋爐設計及運轉理念 10
- 四、超臨界鍋爐爐體之佈局 12
- 五、水牆管構型設計 13
- 六、過熱器、再熱器和省煤器 17
- 七、超臨界鍋爐壓力組件常見故障及維護要點 20
- 八、鍋爐壓力組件材質之選用 24
- 九、鍋爐壓力件佈局設計之改進 26
- 十、貫流鍋爐輔機設備選用 27
- 十一、超臨界鍋爐建廠里程碑 28

肆、出國甘苦談 29

伍、具體建議 30

超臨界鍋爐及其壓力組件維護技術之研習

壹、目的

一、出國緣起：

鑑於石化能源的日益短缺及電力科技發展日新月異，新建電廠皆朝向大型化、高效率化發展；同時在電力工業蓬勃發展下，超臨界機組之可靠性與以往所慣用之亞臨界機組比起來，一點也不遜色；且因其燃料消耗量較低，機組整體效率較高，營運成本以及環境污染程度都較低，故使用大型超臨界發電機組成爲目前已開發國家電力設備的主流。

電力工程爲工業之母，火力發電在推動台灣地區經濟發展的過程中扮演極爲重要的角色。雖然台灣電力公司一向站在國內發電工業樞紐之地位，但卻一直停留在亞臨界火力發電階段；反倒是台塑集團早已引進 7 部 600MW 超臨界火力發電機組，並於 1997 年起商轉迄今。故台灣電力公司計畫利用此次多部機組汰舊換新時機，將深澳、林口、彰濱、大林…等電廠新建機組全部改採用超臨界貫流式 800MW 機組，所以說超臨界貫流式火力發電機組將是本公司未來發電的主流。

但大多數火力電廠員工對超臨界貫流式火力發電機組之技術，因從未接觸而感覺陌生。另外本廠目前也已規畫興建兩部 800MW 超臨界貫流式火力發電機組，分別預定在民國 103、104 年商轉，目前新機組規範正在審查中，爲配合公司未來大量興建超臨界貫流式火力發電機組計畫，須派員赴國外超臨界發電機組製造廠家實習，以掌握超臨界發電機組關鍵技術及專業知識領域，強化本公司對於超臨界發電機組之維修技術。

二、出國計劃任務：

此次赴英商 Doosan Babcock Energy 公司實習，希望能達成下列任務：

1. 瞭解超臨界鍋爐及壓力組件設計與製造技術。
2. 瞭解超臨界鍋爐及壓力組件常見故障及維護要點。
3. 瞭解超臨界貫流鍋爐爐管材質之選用。
4. 瞭解超臨界貫流鍋爐建廠相關時程。

貳、過程：

一、預定出國行程：

預計 97 年 12 月 03 日至 17 日（共計 15 日）參訪，簡略行程如下：

1. 12 月 03 日由台北→倫敦。
2. 12 月 04 日由倫敦→科羅里。
3. 12 月 04 日至 15 日在科羅里研習。
4. 12 月 16 日至 17 日由科羅里→倫敦→台北。

二、實際行程：

參訪日期：97 年 12 月 03 日~97 年 12 月 17 日共計 15 日

日期	城市或機構	工作內容
12/3	台灣台北 → 英國倫敦	去程
12/4~12/5	英國倫敦→科羅里 英商 Doosan Babcock Energy 公司總部	Visited Construction Department and Meeting 瞭解超臨界機組規範與機組可用率 Metted with System Engineer Mr. Xun Ouyang and discussed the interested field 瞭解超臨界機組規範、機組可用率 與超臨界機組控制、吹灰等系統介紹
12/8~12/9	Didcot A & B Power Station	Operation Study at Site 觀摩先進的發電設施與技術交流 Metted with Operators, Controllers and Doosan Staff (System Engineer Mr. Xun Ouyang & Station Manager Mr. John Rainford) to study the interested field 學習機組運轉操作技能、維修技術 、運轉相關經驗及事故處理等交流

12/10~12/11	英商 Doosan Babcock Energy 公司總部	Metted with Principal Design Engineer Mr. Mark J. Upton and discussed the interested field 瞭解超臨界機組鍋爐壓力組件設計規範與材料選用，設計圖應用及審查
12/12	英商 Doosan Babcock Energy 公司總部	Metted with Technical Authority and Section Manager—boiler Mechanical Design Mr.David I. Anderson and learned the interested field 瞭解超臨界鍋爐及壓力組件常見之故障和維護要點，建廠關鍵時間點討論
12/15	英商 Doosan Babcock Energy 公司總部	Visited Doosan Babcock Energy Headquarters and Meeting 資料再確認及討論
12/16~12/17	英國科羅里→ 倫敦→ 台灣台北	返程

參、實習心得：

一、Doosan Babcock Energy 公司大事紀

- 1891 年－在英國創立 Babcock & Wilcox (UK) 有限公司。
將生產之鍋爐販售於全球各地（除美國及古巴外）。
成爲往後 Babcock 在世界各地（不含美國）之母公司。
- 1932 年－在英國產製世界第一座以熔焊技術製造之汽鼓。
- 1960 年－在英國產製世界第一組板狀過熱器。
- 1960 年－英國超臨界電廠具有超超臨界之蒸汽條件-250Bar/600°C/568°C。
- 1988 年－英國部份電廠在設計時改採用 P/P91 管材。
- 1995 年－被 Mitsui Babcock Energy Limited 合併。
- 2002 年－世界第一座 POSIFLOW™ 垂直貫流式鍋爐在大陸使用。
- 2006 年－被 Doosan Heavy Industries & Construction 集團收購。
- 2007 年－改名爲 Doosan Babcock Energy。

Doosan Babcock Energy 公司目前專注在電力事業發展，電力事業又可分爲電力系統及電力服務兩大部門。電力系統涵蓋燃氣、燃煤、燃油、核能等領域，包括蒸汽鍋爐、空氣污染防治設備、控制系統等發電相關主體設備之開發研製及整廠統包建置、機組現代化改善、維護與運轉工作支援，其在全球所裝置之發電主體設備，在電力設施之裝機容量及市場佔有率均有一定地位。

電力服務則涵蓋機組大修、設備建造安裝、機組設備試運轉及監督管理等工地服務，技術支援、機組設備狀況評估、教育訓練、監視與錯誤診斷、性能分析等諮詢及支援服務；機組升級、升速、現代化、最佳化、延壽等效率提升、運轉維護及經營管理等；提升資金流動、降低支出、提升機組出力及效率、降低燃料消耗量、改善營運彈性等電廠整合工作。

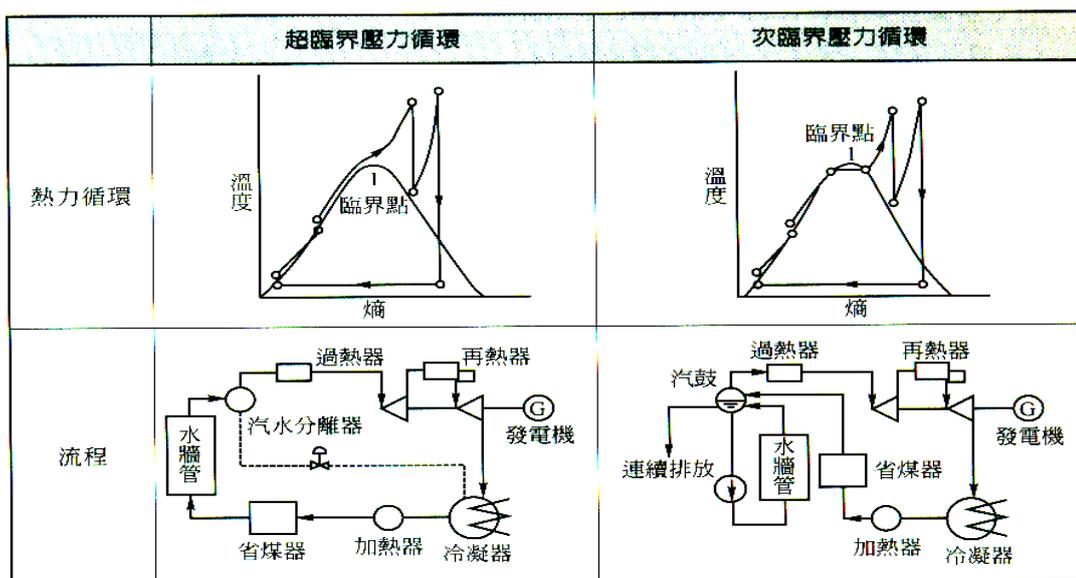
Doosan Babcock Energy 公司提供先進的技術及系統整合，終生維護服務，其所開發出之創新、環保領先技術已成爲全球發電業之基準。該集團目前正全力研發主要溫室氣體-二氧化碳低價補捉技術，並已具有初步成果，對於全球電力需求不斷成長，溫室氣體不斷增加之不利情況下，提供環境保護的重大解決方案。

二、超臨界鍋爐介紹

我們如果把水裝入容器內，在一定之壓力下加熱時，水溫會慢慢上升；直到水溫達到相當於該壓力下之一定溫度時，溫度停止上升而開始沸騰，此時溫度叫做該壓力下之飽和溫度；而此時之壓力稱為該溫度下之飽和壓力。在標準氣壓下水的飽和溫度為 100°C，隨著壓力升高，飽和溫度也會隨之增加，各個壓力下之相對飽和溫度是一定的。

水達到飽和溫度時開始沸騰，一直到水全部轉化為蒸汽為止，所添加之熱都消耗在水之蒸發，所以開始沸騰後水溫均不會改變。飽和溫度下的水為飽和水，蒸發出來之蒸汽叫做飽和蒸汽。

壓力越高，蒸發熱越少，到達某種壓力時，蒸發熱就等於零，那時之壓力叫臨界壓力，溫度則稱之為臨界溫度。水之臨界壓力為 221.2bar，臨界溫度為 374.2°C，當水在此狀況下加熱時，液汽兩相密度 (0.32195g/cm^3) 趨近於相同，於飽和狀況時將不再有液汽兩相共存的情況，飽和水和飽和蒸汽之差異已全部消失，而直接轉化成乾度 100%之飽和蒸汽，在熱力學上此壓力被稱為臨界壓力。如果壓力或溫度超過此臨界點，無論壓力如何增加均無法使之液化，液相在定壓下被加熱到臨界溫度時立即被汽化，不再經由兩相共存之飽和蒸汽區，且溫度會持續上升，並無定溫潛熱變化之蒸發乾度變化，可大幅減少蒸發所需時間，顯著提升鍋爐負載變化率，減少鍋爐啓停及升降載所需時間。超過此一運轉參數運轉之鍋爐，則稱為超臨界 (Supercritical) 鍋爐。



超臨界亞臨界鍋爐壓力及熱平衡圖

亞臨界鍋爐和超臨界鍋爐比較

	亞臨界鍋爐	超臨界鍋爐
蒸汽壓力	<22.1MPa (蒸汽臨界壓力)	>22.1MPa
循環系統	汽鼓式或貫流式	貫流式
熱效率	~38%	38~43%(未來可達 50%)
再熱次數	一次	一次或兩次
水牆管尺寸	基準	較小
爐膛壓力	平衡或微負壓	相同
燃料	燃煤/燃油/天然氣	相同(惟消耗量較少)
對環境影響	基準	較小
爐水排放	汽鼓式—有；貫流式—無	無
旁路系統	汽鼓式無需汽水分離器 或閃化槽	機組啓動或低載時， 需汽水分離器或閃化槽
水質要求	基準	嚴格
爐管管材	傳統管材	使用合金成份高之管材

三、貫流鍋爐設計及運轉理念

在超臨界運轉壓力下，於飼水完全轉化成蒸汽過程中，其一切之物理性質（如密度、溫度、黏度、比熱等）均在鍋爐水牆管內產生連續而急速變化，使原本具有調節及暫存飽和液（飽和汽）之汽水鼓處於無作用之地，因之於超臨界壓力運轉的鍋爐均以貫流方式運轉。最具代表性之發電用貫流鍋爐為 Benson 鍋爐及 Sulzer 鍋爐。

貫流鍋爐運轉特性如下：

1. 蒸汽壓力不受任何限制，不論是亞臨界或超臨界鍋爐均可使用。
2. 鍋爐體積較相同容量之汽鼓鍋爐小而輕（較自然循環鍋爐可省鋼材約 20%—30%），可以節省鍋爐建造費用。
3. 由於沒有厚重之汽水鼓裝置，升溫及升壓不必受限制，故可以適應負載急遽變動之運轉模式。
4. 對變壓運轉有良好地適應性，可減少節流損失。
5. 由於儲水量少，停機後冷爐時間較短，可提早進入爐內搶修。
6. 升壓速度快，併聯到滿載所需時間大幅壓縮。

運轉超臨界貫流鍋爐有下列必須注意之點：

1. 水質要求嚴格
貫流鍋爐由於未設汽水鼓裝置，除無法利用汽水鼓將爐水做汽水分離，更無法將爐水中之鹽分以連續沖放方式排除，這些鹽分如果沉澱在傳熱面上，使受熱面壁溫可能超過金屬許可溫度而造成破管，故對水質之要求更為嚴厲，對冷凝水需先做 100% 之淨化處理，以盡量降低其導電度；同時由於其爐管管徑，飼水流量大壓力又高，避免爐管內徑因強大水流流經而沖蝕，Doosan Babcock Energy 及歐系鍋爐製造廠家，主張於除氧器下游管線添加氧氣，以使爐管內壁能形成一層硬質保護膜層，延長爐管壽命。
2. 飼水泵消耗動力大
因為爐管管徑小，飼水流量大，飼水在爐管內部流動差壓大，飼水泵之揚程又須隨著鍋爐蒸氣壓力提高而增加，故飼水泵消耗動力亦增大。
3. 控制儀器精準度要高
貫流鍋爐由於無汽鼓裝置，且蒸發受熱面管徑小，蓄熱能力低。當負荷變化時，依靠自身爐水和金屬蓄熱或放熱來減緩蒸氣壓力及溫度波動能力較低。

必須同時調整給水量和燃料量，以保證物質平衡和能量平衡，以便在負載變動期間能迅速有效穩定蒸氣壓力及溫度，要達到此目的，控制儀器精準度要高。

4. 停機熱損大

因無汽水鼓裝置，鍋爐儲水能量低，故停機後冷爐速度快，縱使封爐亦無法維持爐溫，對於容量低之鍋爐，若晚間停爐，次日清晨點火啓動時，已成冷爐狀況，故對停機啓動操作熱損失大。

5. 鍋爐啓動或低載時要保持有足夠之飼水流量

爐管配製須注意爐水流動之安定性，在鍋爐啓動過程或負載低於 30%MCR 時，爲確保鍋爐水牆管仍能維持最小及平穩地流量，需在蒸汽通往汽機前，即在爐體內建立足夠之飼水流量，以免鍋爐爐管因過熱燒損，因此，只要是鍋爐在低負載運轉時，都需設立旁路系統。

飼水水質	汽鼓式（亞臨界）	貫流式（超臨界）	
		鹼性處理	複合水處理
導電度（25℃） $\mu s/cm$	≤ 0.3	≤ 0.2	
固體懸浮物	最大 50	—	—
pH 值（25℃）	8.8~9.2	最小 9.0	8.0~8.5
氧，ppb	10	<10	
矽，ppb	≤ 20	≤ 20	
鐵，ppb	≤ 10	≤ 10	
銅，ppb	≤ 5	≤ 2	
硬度	微量	~0	

超臨界和亞臨界鍋爐水質差異表

四、超臨界鍋爐爐體之佈局

超臨界鍋爐爐體之佈局方式可分為塔式爐體 (Tower Type Furnace) 或單路通爐體 (One Pass Furnace)、雙路通爐體 (Two Pass Furnace)、及橫臥式爐體 (Horizontal Furnace)。

1. 塔式或單路通爐體

其設計特點是將省煤器、過熱器及再熱器等對流受熱元件，全部集中佈置在單一爐體中，且所有之受熱元件均以水平排列佈置，易於排水，可減少停爐後因蒸汽凝結造成爐管內壁之腐蝕，並可避免鍋爐啓動期間之水流阻礙。塔式爐體佔地面積小，但爐本體較高，煙氣向上流動地過程中，因距離及時間較長，故大顆粒飛灰易受重力影響而下墜，使煙氣中所含大顆粒灰粒可望降低。因爐體高大，安裝及運轉維護費用較高，較適用於地震頻率低或弱震地區，故為歐系鍋爐製造廠家所廣用。

2. 雙路通爐體

與本公司目前運轉之所有燃煤鍋爐相同，其對流受熱元件多佈置於爐體向下彎折之後端通路，而其煙氣流路較為曲折，使煙氣流速較為適當。除爐鼻 (ARCH) 及喉部轉角處較易積灰或結渣，另外過熱器及再熱器以垂直方式佈置，使部份凝結水不易排除，是雙路通爐體在設計上顯著的缺點。廣為美國、英國及日本鍋爐廠家所採用。

3. 橫臥式爐體

其水牆管、過熱器、再熱器及省煤器等所有對流受熱面佈置方式同雙路通爐體，除降低爐體高度，且爐體向後爐延伸，所需飼水、蒸汽及煙道較短，安裝及運轉維護費用相對降低，造價亦為三種爐體中最低，其缺點為煙氣滯留時間較久，僅適於低灰份煤，且因爐體為橫臥式，需要較大之建地。

由於台灣本島位於地震帶，且夏季均有強颱風來襲，加上火力電廠因考慮海水冷卻問題，多設置於海岸邊緣，終年在強勁海風吹蝕下，較不適用於塔式或單路通鍋爐設置；另外由於本島腹地狹小，不易取得大規模建地，故亦不適用橫臥式爐體。在綜合以上考量，以及過去燃煤鍋爐操作經驗及市場上供貨能力，本公司仍以採用雙路通爐體為宜。

五、水牆管構型設計

貫流鍋爐受熱面是由許多併聯之爐管所組成，以受熱狀況說，若鍋爐燃燒不良導致爐壁的熱偏差，不僅使蒸發管內流量不平均現象更為嚴重，且會造成停滯、倒流或熱傳惡化等問題。流量分配不均，肇因於壓力組件佈局及結構形式、工作流體壓力所造成。由於各水牆管受熱及流量分配是不可能均勻地，所以溫度分配也是不可能完全相同的；某些爐管內部熱水降低並會受到汽膜阻隔，在管壁上形成膜態沸騰，使熱傳能力變差，管路溫度急遽上升，爐管因此被燒損，鍋爐無法正常運轉。

為防止上述情勢發生，最好方式就是提高管內質量流率，不僅可增加穩定度，且可有效抑制管內氣泡發生，減少管內阻力的發生，降低可能發生的脈動現象。早期 Sulzer 鍋爐均於水牆管入口處加裝節流閥，並由水牆管出口處的壓力傳送器傳回鍋爐控制器來決定節流量，以提高水牆管內穩定度；目前大部分廠家則以流孔板 (Orifice) 來取代。超臨界貫流鍋爐係以水牆管做為蒸發器，故其管徑必須限制在一定尺寸以下，除避免高壓破管外，並須避免因管壁太厚所造成之熱傳不佳，飼水流量必須維持最小流量以上，使飼水除能在此區域完成單相相變化，還要有足夠之流量將熱量帶走，以冷卻爐膛燃燒區域之熱釋放，且可避免因為膜沸騰現象，造成爐管過熱破損。超臨界貫流鍋爐水牆管構型可分為垂直水牆管或蝸旋環繞水牆管。

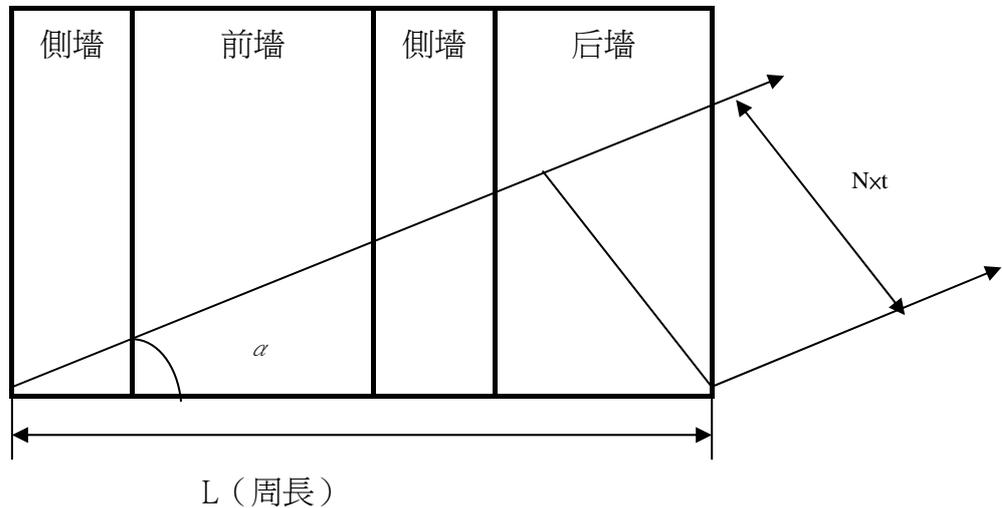
1. 垂直水牆管

傳統亞臨界汽鼓鍋爐之水牆管大多使用平滑管並採用垂直佈局，除提供飼水加熱外，同時還負起機構上懸吊支撐爐體功能。它的缺點是於爐膛中央及四處角落部份水牆管接受之熱負荷高低不同，因此熱力偏差較大，水牆管內因液汽共存而產生之多值流動，將產生流動不穩定現象，使管壁金屬容易疲勞，強度降低，進而造成爐管破漏，機組被迫停機搶修；優點是管內流體阻力小，減少飼水泵耗電量，它的質量流速比蝸旋環繞水牆管低(垂直水牆管約為 $1500 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$ ，蝸旋環繞水牆管約為 $3100 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{s}$)，管子總長度也短。

2. 蝸旋環繞水牆管

針對垂直平滑水牆管缺點，Doosan Babcock Energy 和歐系鍋爐製造廠家，開發出與水平呈現若干小角度圍繞爐體上升各種蝸旋環繞水牆管，以連續盤旋上升的型式最具代表性，可以均勻吸收熱量。同時，由於蝸旋管排水牆管，各支爐管長度均差不多，水力偏差小，同時都有機會通過負荷高之爐膛中間部位及負荷低之爐膛角落部位，因此熱力偏差小。超臨界壓力鍋爐螺旋管排

常用的傾斜角度為 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，隨著設計容量增加，所使用的傾斜角度亦增加。常用的管外徑為 28.6~ 31.1mm。由於維持高質量流率及考慮均勻受熱小口徑水牆管管路，落差大，鍋爐飼水泵的動力將大增。蝸旋環繞水牆管只用於爐內輻射區域，在爐膛上部之對流區域位置仍安排為垂直之直立管。



上圖為蝸旋管圈的幾何原理，若管子數量為 N

$$N = L \sin \alpha / t$$

其中 N 為並列管子數量 L 為爐膛周界

$\sin \alpha$ 為蝸旋管上升角 t 為水牆管管間節距

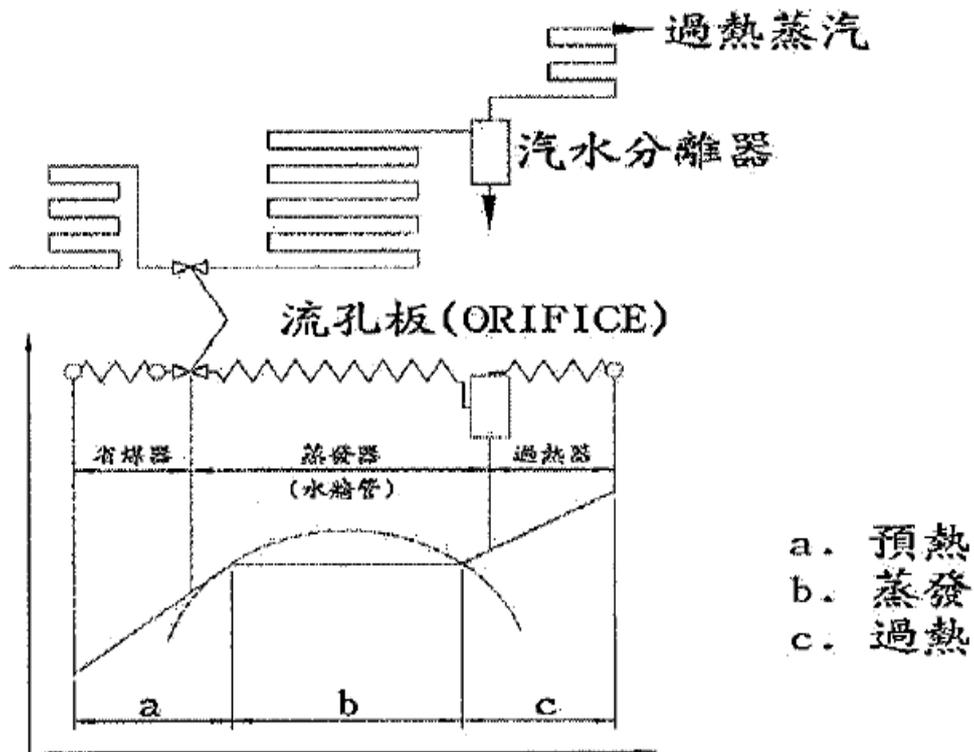
在管間節距不變的情況下，若要保持蝸旋管數量不變，那爐膛周界 L 減少，蝸旋角 α 要增加；若要保持爐膛周界不變，蝸旋角 α 要減少，管數量減少。在管徑一定條件下，管子數量 N 決定水牆管質量流速。當蝸旋角 α 達到最大值 90° 時，蝸旋管就變成垂直管了。

項 目	直 立 管 圈	蝸 旋 管 圈
管子規格/mm	§ 28.6x5.7	§ 38x5.6
管子節距/mm	43	54
管子數量 N	1645	316
質量流速 (BMCR) / (kg/m ² .s)	1316	2808
質量流速 (37%BMCR) / (kg/m ² .s)	458	982

上表為蝸旋管和垂直管質量流速之比較

很明顯採用垂直管，在低負載時，水牆管質量流太低，較不安全。

典型的飼水流程為省煤器出口，先進入爐底環狀集管箱，再經內含流孔板之管接進入蝸旋環繞水牆管，後在板式過熱器附近通過分配集管及分插管，再轉換至上排垂直管排水牆管，上排水牆管引出之流體則送至汽水分離器，於低載時，汽水分離器分離出來的爐水經鍋爐飼水泵或鍋爐循環泵，流入省煤器再循環，蒸氣則送入爐頂過熱器後，送至汽機做工；高載時，汽水分離器通過微過熱之蒸汽，而無水份。



流孔板及裝設位置示意圖

蝸旋環繞水牆管因構造較為複雜，不論是預製或組裝，其難度及造價均較垂直水牆管為高。針對傳統垂直水牆管缺點—水動力不穩及受熱不均問題實施改善，如小口徑爐管提高質量流率、強制循環、設置中間混合集管箱及水牆管入口集管出口增設流孔，依各爐管受熱程度不同調節各爐管之質量流率，其中最重要改良設計是在爐管內增設膛線 (Rifle)，利用增強管內流場的紊流強度，增加對流熱傳效果，以防止在超臨界壓力時所產生之膜態沸騰現象，但水牆管入口集管的出口流孔板可能存在結垢堵塞問題，以致飼水流量不均造成水流動力不穩定問題，所以部份製造廠商仍堅持使用蝸旋環繞水

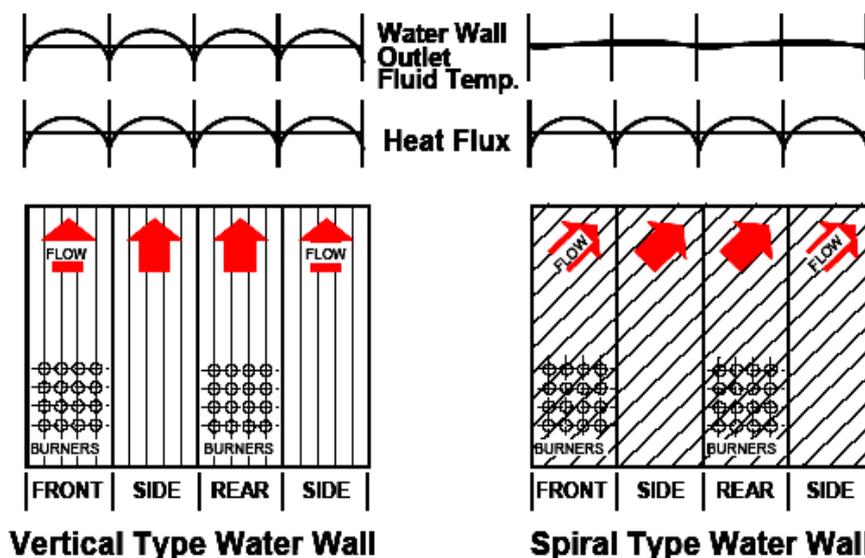
牆管設計。另外採用切線火燄燃燒系統之超臨界鍋爐，因蝸旋環繞水牆管在該區域無論製造或安裝均頗有困難，故較偏好採用垂直式水牆管佈局。

垂直式水牆管在爐膛高熱輻射區內，主要是靠著它管內之膛線結構，方可使水牆管在低飼水流量下仍能發揮冷卻效果，單膛線管雖然顯著增加管內飼水亂流，對防止管內膜沸騰現象效果極佳，但因而也增加飼水泵動力，且管內膛線結構須以機械加工製造，價格昂貴。另外發展出來之多膛線管，雖然可以抽拉方式製造加工，大幅降低製造成本，卻無法在管內產生足夠之飼水亂流，致使在低飼水流量下防止管內膜沸騰現象效果較差。

針對上述缺點，爐管製造廠家發展出最適化多膛線管，不管是膛線數、膛線寬度、膛線深度乃至於膛線角度均予以最適化，如此在不使管內壓力過高下，仍可產生適度的亂流，對防止管內膜沸騰現象效果極佳，本身又可以抽拉方式製造加工，大幅降低製造成本，此關鍵技術之研究發展，值得我們予以密切注意。

綜合上述，我們知道膛線水牆管特性如下：

1. 通常為改善蝸旋環繞水牆管缺點，而使用在直立管牆。
2. 在流體亂流之擾動下，縱使在較低飼水或蒸汽流量下，熱傳效果仍極佳。
3. 膛線最適化可進一步提升熱傳效果。
4. 蝸旋環繞水牆管在高溫區亦可使用膛線水牆管，以提昇大型貫流鍋爐可用率。
5. 不利之處，是它製造比平滑管費時費工。



六、過熱器、再熱器和省煤器

提高蒸汽溫度和壓力可提高電廠循環效率，但是蒸汽溫度提高受到金屬材料耐熱性能限制，需採用較好之合金鋼材，過熱蒸汽溫度才可進一步提高。過熱蒸汽溫度若能進一步提高，亦可提高電廠循環效率，但受到汽機排汽溫度限制，需採用再熱器以提高循環效率及減少排汽溼度。通常再熱蒸汽壓力為過熱蒸汽壓力之 20%，而兩者之溫度是相貼近的。機組若採用一次再熱可使熱循環效率提升 4%~6%，採用二次再熱可使熱循環效率進一步提高 2%。

過熱器和再熱器內流動的為高溫蒸汽，傳熱性能差，且過熱器和再熱器又位於高溫煙氣區，故管壁溫度較高，而為了降低鍋爐成本，過熱器和再熱器選用管材金屬幾乎都接近其溫度極限值，此時微許超溫亦會使其容許應力下降很多。

在過熱器和再熱器的設計及運轉中，應特別注意下列問題：

1. 運轉中要保持蒸汽溫度穩定，波動值不得超過 $-10\sim+5^{\circ}\text{C}$ 。
2. 要有可靠調整溫度方法，使運轉在一定範圍內變化時，均能保持額定溫度。
3. 盡量防止或減少平行管子間之熱偏差。

根據不同的傳熱方式，過熱器可分為對流式、輻射式及混合式。

1. 對流過熱器：是指佈置在對流煙道內主要吸收煙氣對流放射熱的過熱器。
根據煙氣和蒸汽流動方向，又可分順流、逆流及混合流三種。
順流過熱器將蒸汽溫度高處置於煙氣低溫區，管壁溫度低，平均傳熱溫差小，需較大受熱面，管材耗量大，不經濟。通常佈置於高溫過熱器（出口端）。
逆流過熱器將蒸汽溫度高處置於煙氣高溫區，管壁溫度高，平均傳熱溫差大，受熱面可小些，較經濟。通常佈置於低溫過熱器（進口端）。
混合流過熱器，低溫端為逆流佈置，高溫端為順流佈置，使低溫端有較大之平均傳熱溫差，高溫端管壁溫度也不致太高。
2. 輻射過熱器：是指佈置在爐膛中直接吸收爐膛輻射熱的過熱器。通常使受熱面遠離熱負荷最高之火焰中心，過熱器置在遠離火焰中心之爐膛上部；作為低溫級受熱面，以較低溫度蒸汽流過受熱面，以達到冷卻金屬目的；過熱器內採較高的蒸汽質量流速，以提高管內工質的放熱系數。

3. 混合過熱器：是指佈置在爐膛上部或爐膛出口煙氣處，既吸收爐內的直接輻射熱，又吸收煙氣對流放射熱的過熱器。

再熱器的結構與工作特性與過熱器相類似，它的進汽為汽機高壓排汽，故壓力約為主蒸汽壓力 20% 左右，溫度稍高於相對應之飽和溫度，流量為主蒸汽流量 80% 左右，離開再熱器溫度約等於主蒸汽溫度。

再熱器和過熱器相比有下列特點：

1. 再熱蒸汽壓力低，再熱蒸汽對流放熱係數僅過熱蒸汽 25%，再熱蒸汽對管壁冷卻效果差，而再熱蒸汽出口溫度與過熱蒸汽相同，為使再熱器管壁不超溫，在出口段採高級合金鋼，並將再熱器盡量佈置在煙氣溫度較低區域。
2. 雖然再熱蒸汽流量為主蒸汽流量 80% 左右，但由於再熱蒸汽壓力低、溫度高、比容大，因此再熱蒸汽連接管道直徑要比主蒸汽管道大。
3. 再熱器蒸汽側阻力大小直接影響機組效率，因此再熱蒸汽連接管道和再熱器本身阻力越小越好，再熱器本身阻力一般限制在 0.2MPa 左右，再熱器內工質質量流速一般在 $250\sim 400\text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$ 。
4. 再熱蒸汽比熱容比過熱蒸汽比熱容比低，因此，在相同的熱偏差下，再熱器出口汽溫偏差比過熱蒸汽大。
5. 當機組起停，汽機無負荷時，再熱器無蒸汽流經冷卻，為避免燒損，可在過熱器和再熱器間裝高壓旁路，將過熱蒸汽經高壓旁路上快速減溫減壓裝置引入再熱器，以達到保護再熱器功能。

維持穩定的過熱蒸汽溫度和再熱蒸汽溫度是機組安全、經濟運轉的重要保證，蒸汽溫度過高會引起管壁超溫、金屬蠕變壽命降低，會影響機組安全性；蒸汽溫度過低，將引起循環熱效率降低。過熱器在超溫 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 下長期工作，其壽命將縮短一半以上；汽溫每降低 10°C ，循環熱效率降低 0.5%，且汽溫過低，會使汽機排汽溼度增加，從而影響汽輪機末級葉片之安全。

過熱蒸汽溫度和再熱蒸汽溫度調節方法如下：

1. 噴水減溫器：將水直接噴入過熱蒸汽中，水被加熱、汽化和過熱，吸收蒸汽中的熱量，達到調節汽溫目的，是大型鍋爐主要調溫設備。
2. 煙汽再循環：將省煤器後溫度約 $250\sim 350^\circ\text{C}$ 的部分煙氣，由再循環風道送入爐內，改變各受熱面吸熱量比例，以調節汽溫，通常用於再熱蒸汽溫度調節。一般每增加 1% 再循環煙氣量，可使再熱蒸汽溫度提高 2°C ，若再循環率為 20%~25%，可調溫 $40\sim 50^\circ\text{C}$ ，調溫幅度較大。

3. 分隔煙道擋板：將煙道末端用隔牆分開，分別將再熱器及省煤器佈置在兩個並聯煙道中，在煙道出口處設可調煙氣擋板，改變流經兩個煙道中煙氣流量，從而調節再熱汽溫。一般在 0~40%開度範圍內有效，為防止擋板變形，應將其佈置在煙氣溫度不超過 400°C 區域內，並注意盡量減少煙氣流對擋板之磨損。
4. 調節燃燒火焰中心：調節擺動式燃燒器傾角，可改變爐內高溫火焰中心位置，從而改變爐膛出口煙氣溫度，達到調節汽溫目的。若上傾角過大，會增加灰中之未燃碳，下傾角過大易造成底灰斗處結渣，通常燃燒器擺動角度為 $\pm(200\sim300)$ ，調溫範圍為 40~60°C。

由於省煤器為預熱受熱面，管內工質為液相水，水溫和管外煙氣溫度都較低，所以其金屬工作條件比過熱器和再熱器要好，受熱面不易因超溫而燒毀。但煙氣中的水蒸汽和硫酸蒸汽有可能在受熱面上凝結，從而使受熱面金屬產生低溫腐蝕。同時，由於煙氣溫度較低，造成其攜帶之灰粒硬度較大，當煙氣以一定速度沖刷受熱面時，還會造成受熱面磨損與積灰；考慮灰粒磨損保護，除通過省煤器的煙氣平均流速設計值不超過 10m/s 外，省煤器管束與四週牆壁間裝設防止煙氣偏流的導流板，管束上還設有防磨裝置。

省煤器一般為鋼管組成，故多保持水流由下往上流動，以便排除水中氣體，避免造成管內局部氧化腐蝕，煙氣一般自上而下流動，既有自身吹灰作用，又能保持煙氣相對於水的逆向流動，以增大傳熱溫差。因此，省煤器通常置於煙氣下行的對流煙道中。

七、超臨界鍋爐壓力組件常見故障及維護要點

一般所謂鍋爐壓力組件包括有：省煤器、水牆管、汽水分離器、過熱器及再熱器。火力發電廠事故，絕大部分是由鍋爐事故引起的，而鍋爐事故又佔非計畫停機事故的一半以上，且又以鍋爐壓力組件（省煤器、水牆管、過熱器及再熱器）洩漏發生次數最多；雖然目前部分國家已規定大型鍋爐主要承壓部件使用壽命為 30 年，受煙汽磨損的受熱面使用壽命為十萬小時，對鍋爐壓力組件維護，已有所依據，但我們仍要積極預防事故發生，加強維護作業，才能減少事故發生。

一、過熱器管、再熱器管洩漏及維護

過熱器及再熱器通常均置於鍋爐煙汽溫度較高的區域，部分受熱面還置於爐膛上方，承受爐膛火焰直接輻射，工作條件惡劣，很容易就會超溫破管。再熱器中蒸汽壓力較低，所以再熱蒸汽對再熱器管冷卻效果更差，再熱器通常置於煙溫較低區域，並採用大直徑管。

過熱器超溫破管主要原因為：一是過熱器長期在高溫下工作，由於高溫蠕變使管壁變薄，當累積到一定程度隨即發生破管；另一原因即為經常性超溫，使管子蠕變過程加快而在短期內發生破管。

影響過熱器（再熱器）超溫原因有：熱偏差、爐膛火焰中心上移、燃煤性質變差（揮發性變差、粉煤變粗）、爐膛洩漏、燃燒配置不當、爐膛高度設計偏低等。另外過熱器本身積灰或結渣，或管內結垢，均會造成熱傳變差，管子超溫。

過熱器（再熱器）破管現象：過熱器（再熱器）區域有大量蒸汽噴出聲音，蒸汽流量不正常的大於飼水量，鍋爐補水量增加，引風機出力增加，煙道兩側有較大煙溫差，洩漏側煙溫較低，另外再熱器破漏時，汽機中壓缸進口壓力會降低。不管過熱器或再熱器破管，均應立即停機檢修，以免事端擴大。

過熱器或再熱器破管防治方法：

1. 控制過熱器管壁溫度在 560°C（亞臨界鍋爐 540°C）以下，減輕高溫腐蝕程度，以延長爐管使用壽命。
2. 鍋爐設計保持爐膛一定高度，運轉中注意燃燒器配置，內外二次風旋流強度，爐膛負壓不能太大，造成洩漏，同時要及時清除受熱面之積灰或結渣，更應注意為鍋爐不可長期超載運轉，管材材質一定要符合要求。

3. 爲防止過熱器磨損破管，過熱器區煙速不得超過 14m/s。同時在過熱器製造、安裝、檢修過程中，需特別注意焊接品質；在運轉中，需特別注意過熱器運轉狀況，發現異常要及時調整及處理，以保證過熱器運轉正常。

二、省煤器管洩漏及維護

省煤器管洩漏原因有：給水含氧量多，造成管內壁氧化腐蝕損壞，給水溫度和流量變化，引起管壁溫度變化，造成管子熱應力，如熱應力過大會引起管子損壞；此外焊接品質不良，飛灰磨損，都會造成省煤器管洩漏。

省煤器管洩漏現象爲：汽鼓水位降低，給水流量遠大於蒸汽流量，省煤器區有異聲，省煤器灰斗下方有濕灰或冒汽，省煤器後兩側煙氣溫差增大，洩漏側煙溫明顯偏低。

省煤器管壽命一般定爲十年，每年磨損量應不大於 0.2 mm，同時爲防止受熱面堵灰，煙汽流速在額定負荷時不得低於 6m/s。

爲保障省煤器吸熱量，提高鍋爐效率，又可降低煙氣流速，減少磨損，所採用方法如下：

1. 採用肋片或鰭片式省煤器，可增加傳熱能力及省煤器橫向節距，減少管排，達到降低煙速目的，減少省煤器磨損速度。
2. 省煤器管上直接安裝保護片，防止磨蝕。
3. 鍋爐燃煤使用設計用煤，以免使飛灰濃度及煙氣速度增加過多。
4. 鍋爐在額定負載下運轉，避免超載。
5. 控制粉煤細度，避免顆粒過大，飛灰濃度增加，顆粒變硬。
6. 燃燒調整，將飛灰可燃物的大小及飛灰濃度控制在許可範圍內。
7. 鍋爐洩漏會降低鍋爐效率，且使煙速提高，造成爐管磨損；除需提高鍋爐本體施工、檢修品質外，運轉中，並須控制鍋爐負壓不能過大，關好各處門、孔，防止冷風漏出。

三、水牆管洩漏及維護

水牆管管壁溫度並不高，但若燃燒調整不當，爐水品質不良，不但易引起水牆管結渣，產生膜態沸騰，使爐管超溫破管。另外在一次風入口，由於每公斤空氣約含 0.2~0.8 kg 粉煤，當一次風噴入爐內時，若燃燒器安裝角度不對，燃燒器噴嘴結渣、燒損或變形時，都會使粉煤汽流沖蝕爐管，導致洩漏；吹灰器未在吹灰前洩水，亦會使爐管龜裂破損。

水牆管洩漏現象：汽鼓水位下降，蒸汽壓力和給水壓力均下降，爐膛呈正壓，煙汽從爐膛噴出。若破管嚴重，無法維持正常水位，應立即停機。

為提高水牆管運轉安全性及可靠性所採取方法為：

防止超溫破管，可降低受熱面熱負荷，在運轉中調好火焰燃燒中心。設計時，可採取減少水牆管管徑，增加降水管截面積，提高水牆管內工質流量；亦可在蒸發受熱面管內加裝擾流子，採用來福線或內螺紋管，使流體在管內產生旋轉及擾動邊界層。

腐蝕防治：提高給水品質，減少給水中雜質及爐水中 NaOH 含量，防止冷凝器洩漏。另外改善燃燒，煤粉不得太粗，避免火焰直接沖刷爐牆，以降低水牆管腐蝕速度。

防止磨損破管：燃燒器設計安裝角度要正確，燃燒器噴嘴及附近結渣需及時清除；燃燒器損壞或變形，隨時修復或換新；吹灰器吹灰前應先洩水，吹灰蒸汽壓力控制在設計範圍內。

其它防治：鍋爐點火、停爐時，應嚴格依規定進行；為保證受熱面升溫自由膨脹，在安裝及檢修時，在水牆管自由膨脹下端應留有足夠自由空間，並採取措施防止異物進入，以免爐管膨脹被頂或卡住使之破壞。

並應注意防止錯用或選用不合格管材，在製造及安裝、檢修時，特別注意焊接品質要求，以確保水牆管運轉安全。

四、爐管與固定耳（lug）或支撐件（clip）異質金屬焊接（DMW）維護：

爐管管排間一般利用固定耳或支撐件固定，以保持爐管管排平直，但爐管材質為肥粒鐵系列，固定耳或支撐件常使用耐熱之不鏽鋼材質，但因為這些固定件無蒸汽冷卻流通，易和肥粒鐵系合金鋼發生下述 DMW 問題。

1. 熱膨脹係數差異：因該兩者熱膨脹係數不同，焊接後將導致較大熱應力產生。
2. 碳原子擴散情形：不鏽鋼含碳量極低，與肥粒鐵系列合金鋼焊接時，碳原子擴散進入不鏽鋼中，造成肥粒鐵組織缺碳及形成空孔組織，降低肥粒鐵組織潛變強度。
3. 抗氧化能力不同：於焊道肥粒鐵側會形成較厚氧化層組織，有利於殘餘應力形成。

上述異質金屬焊接，一般採用 type309、310 不鏽鋼為焊料或使用肥粒鐵合金鋼為焊料（成分約為 T22 質），但均非最佳之選擇；應選擇高鎳基合金質，因鎳膨脹係數接近肥粒鐵組織，焊接引發之熱應力較小；且鎳不會與鐵、鉻元素形成碳化物，故不會導致肥粒鐵中碳化物分解，而降低其潛變強度；需考量處為高鎳基合金之氧化層較薄，於焊道肥粒鐵側會形成較厚氧化層組織，有利於殘餘應力形成。

八、鍋爐壓力組件材質之選用

機組熱耗率改善，主要受到過熱蒸汽壓力、溫度及再熱蒸汽溫度影響，但實際上，溫度又較壓力來的敏感，當蒸汽溫度每上升 25°C，熱耗率便可降低 1.25%。目前世界各主要廠商也以先提高機組溫度，再提升機組壓力，來作為提升機組性能的手段之一。鍋爐爐管以合金鋼材質組成，攸關提升鍋爐操作溫度可能性，故鍋爐材質選用將會影響日後機組的可用性。

貫常汽力機組之燃煤鍋爐鋼材，主要採用 Austenitic 與 Ferritic 兩大類，在 1960 年代，首批超臨界鍋爐當初選用材料，在 T22/P22 材料等級上即為 Austenitic 不鏽鋼系列，也就是在高溫受熱面管子選材用 TP22/TP304H/TP347H 為設計。不過後來在製造及運轉過程中均發生了一連串問題，追究起來，都是選用材料不當所造成。就材料性能而言，Austenitic 不鏽鋼系列膨脹係數較大，如果設計處壁厚較厚，必然會造成較大的熱應力及金屬疲勞。就當時冶金品質限制及不當使用傳統上化工用抗腐蝕之材料 TP304H 為主，其應力腐蝕敏感度較高，受爐管迎火面高溫煙氣腐蝕和內部蒸汽氧化的運轉隱憂，並且出現 Austenitic 與 Ferritic 間異類鋼材焊接接頭早期失效問題。

在鍋爐集管箱及主蒸汽管的設計上，由於以 P22 材料為主，所設計元件壁厚過厚，導致熱疲勞問題明顯（如本廠於 2006 年，#3 機 2" 厚之主蒸汽管焊道破裂，機組被迫停機搶修，造成運轉損失），使元件工作壽命不足。因此早期超臨界機組可用率低，幾乎所有電廠又回復以亞臨界機組運行。

經過一連串地改善後，ASME T91 在金屬溫度 620~650°C 條件下，部份可取代 Austenitic，成為亞臨界鍋爐和超臨界鍋爐在設計過熱器及再熱器時不可或缺之鋼種。同時 P91 亦成為超臨界鍋爐集管箱及主蒸汽管的主要材料，在不直接接觸火源條件下，可長期在蒸汽溫度 593°C 下穩定工作。因為 P91 材料具有較佳之潛變強度，且於 1983—1986 年通過 ASME B&PV CODE 認證，目前已廣泛應用於世界各電廠集管及蒸汽管路（特別是歐洲地區）。但由於 P91 材料適用於蒸汽溫度低於 593°C 的厚件集管及蒸汽管路，日本又研發出 NF616 (P92) 及 P122 材料，歐洲研發出 E911 材料，均可應用在蒸汽條件 620°C / 34MPa 的環境。

傳統材料 (P22) 在 520°C 以下使用較具優勢，超過 550°C / 31MPa 以上時，使用 P91 甚至 P122 較具成本優勢，因為高溫高強度的材料，可設計較薄的管壁厚度，有利於後續地製造、焊接等製程，可以有效節省成本。

由於超臨界鍋爐操作壓力達 24–32MPa，上層水牆管金屬溫度最高可能達 500–525°C，對於以往傳統水牆管所使用之 T11 材料，其潛變強度無法再適用在此高溫下，然 T91 雖為高潛變強度材料，但須施以焊後熱處理，並不適合水牆管區域施工，近來研發之 T23 管材，潛變強度相當於 T91，但不需焊後熱處理，故目前普遍使用於鍋爐水牆管爐管。

鍋爐壓力組件材質選用需注意之點為以下幾點：

1. 蒸汽條件決定鍋爐熱吸收分布，縱使設計高等級耐溫材料，無經驗或不良之鍋爐設計，都將加速耗損高溫材料使用壽命。
2. 鍋爐設計取決於燃用的煤質，而爐膛設計參數，影響爾後運轉順利與否（需防止異常結渣、過熱、偏流等情形），因此在鍋爐採購規範訂定及驗收時，需注意是否符合需求。
3. 超臨界鍋爐及壓力組件所使用材料，應使用 ASME 鍋爐及壓力容器標準所核定材料，其採購規範、製造、加工、焊接等程序均有規定可供依循。
4. 現場人員對於高溫壓力組件檢修（同質或異質金屬焊修），需建立正確高溫材料使用觀念及執行程序（如預熱、層間溫度、焊後熱處理及焊材之選擇等）。

Material	Composition	Oxidation Limits, °C
T22/P22	2.25 Cr – 1.0 Mo	593/585
T23	2.25 Cr – 1.6 W – V	593
T91/P91	9.0 Cr – 1.0 Mo – V	635/621
T92/P92	9.0 Cr – 2.0 W	649/621
T122/P122	12.0 Cr – 2.0 W	649/621
T12	1.0 Cr – 0.5 Mo	552
T1A	Carbon Moly	482
TP304H	18.0 Cr – 8.0 Ni	760
TP347H (Fine Grain)	18.0 Cr – 10.0 Ni	760

九、鍋爐壓力件佈局設計之改進

燃煤鍋爐在過熱器及再熱器之佈置若有不當，會影響其工作流體流動之均勻性，造成其熱傳量不同，使蒸氣之焓差不同，而產生所謂之「熱偏差」。造成熱偏差之主要原因為受熱面之污染以及爐內溫度場及速度場不均勻所造成；另外壓力件配管連接方式所造成流量不平均，亦會造成熱偏差。如蒸氣於每組集管箱前後若採用「先進先出」，則因每只管路壓降不同，連帶造成壓力不平衡；若採用「後進先出」，則因每只管路壓降趨向一致，可得到較合理地流量分佈，但機組愈大，集管箱管路愈長，即使是採用「後進先出」，亦不可保證每只管路壓降趨向一致，故有多管連接方式予以改進，改進方式如下：

1. 將過熱器（或再熱器）分級佈置，級間採用中間集管箱進行中間混合。
2. 燃氣沿著煙道進行左右交叉流動，以消除兩側煙氣熱偏差。
3. 連接管與過熱器（或再熱器）進出口集管箱採多管引入或多管引出。
4. 同一級過熱器分兩組，中間不設集管箱，將前一組內圈管中轉為外圈管，以平衡各管吸熱量。
5. 減少屏前或管束前煙氣空間。
6. 將分隔屏壁過過熱器分隔成若干組，使其能均勻受熱防止熱偏差。

十、貫流鍋爐輔機設備選用

貫流鍋爐機組在瞬間出力增減快慢，成爲其性能要求地重點之一，故在鍋爐燃料供應系統規劃，必須特別注意以下幾點：

1. 粉煤管：粉煤管直徑大小、長度及彎頭角度、多寡爲影響粉煤進料的重要因素，路徑愈短愈直接對煤流反應愈快。
2. 粉煤細度調整：粉煤細度受一次風量及磨煤滾輪壓力的影響，粉煤細度調整是利用粉煤分配器來調整。但不論在煤流速度、細度及粉煤機壓差，採用轉速控制之動態粉煤分配器效果均遠優於調整葉片開度之靜態粉煤分配器，但必須注意轉速控制須與飼煤量作適當匹配，以免影響機組出力。
3. 磨煤滾輪壓力的調整：傳統磨煤滾輪是以固定彈簧來調整磨煤滾輪的壓力，一旦變化運轉負載，將造成粉煤機過量積煤，拉長粉煤燃燒時間，使機組出力升載率下降。若以可調整油壓來調整磨煤滾輪的壓力，將可配合下煤量來隨時調整磨煤及清煤能力，而提供均勻細度粉煤進入爐內燃燒。
4. 引風機選用：台電燃煤火力機組所採用之引風機，在傳統上均爲離心式風機，因爲離心式風機構造簡單、價錢便宜以及易於維修保養，但爲求達到最有效狀況下運轉，需使用液壓聯軸器或變頻器來控制，由於液壓聯軸器體積龐大又佔空間，系統複雜造成額外負擔，又需大量液壓油冷卻系統，就成本統計頗不經濟。故建議以軸流式風機，配以可變節距控制方式來控制流量，可以減少風機耗電量，提高機組整體效能。

十一、超臨界鍋爐建廠里程碑

我們知道台灣電力公司雖然一向站在國內發電工業樞紐之地位，但卻一直停留在亞臨界火力發電階段；故大多數火力電廠員工對超臨界貫流式火力發電機組之技術，因從未接觸而感覺陌生。所以此次，趁著深澳廠、林口廠等機組汰舊換新時機，終於決定全面改用 800MW 超臨界機組；本公司核火工處對於興建亞臨界機組（如台中發電廠）或核能機組（如核四廠）雖然經驗豐富，但從未興建過超臨界機組，故對其建廠時程規劃，應會略感陌生，故趁此次出國實習機會，特別取得其建廠相關里程碑，提供參考。

項 目	間 隔 時 程	累 計 時 程
開始設計構思	基 準	
得到建廠許可	17 個 月	17 個 月
開始整地	17 個 月	17 個 月
開始鍋爐廠房土木基礎	2 個 月	19 個 月
開始鋼構組裝	5 個 月	24 個 月
開始鍋爐壓力件組裝	6 個 月	30 個 月
開始汽機組裝	4 個 月	34 個 月
鍋爐開始水壓測試	12 個 月	46 個 月
首次鍋爐點火（天然氣）	8 個 月	54 個 月
首次鍋爐點火（粉煤）	3 個 月	57 個 月
機組首次併聯	4 天	57 個 月
機組商轉	3 個 月	60 個 月

※此里程碑為其最近國外從建廠到完成商轉時間之參考數據，惟近來不論是國內、國外環保意識均高漲，使取得建廠許可時間拉長，同時由於目前為賣方市場，故建廠時間更大幅增加。

肆、出國甘苦談

俗語說得好：讀萬卷書不如行千里路。所以出國實習，不僅可以研習到許多新知識，更快樂地是能夠利用假日（最重要是由公司出錢），在出國實習當地旅遊，又不用自己負擔機票。像這一次，我就利用假日做倫敦自由行，利用倫敦便捷的地鐵，穿梭於白金漢宮、大英博物館、倫敦眼等名勝古跡，甚至於遠赴劍橋、牛津學院參訪，學院中一股悠閒學術氣氛，加上宏偉的建築雕塑，劍橋裡面湖水水清如鏡，加上少許泛舟，組成一個多麼悠閒的畫面，不禁想起我的學子生涯，那是一個多麼美好回憶，雖然已經離我好遠好遠的年代。同時這又是我第二次因公赴英，倫敦處處依舊，只是當年的我，卻已是白髮蒼蒼了。

此次出國，雖在九月底就已接獲廠長通知通過推薦出國實習，出國區域限定為歐美。但公司規定出國需自行設法取得參訪對象之邀請函，於是趕快向三家歐美鍋爐製造廠家國內代理商提出參訪之要求，但由於本項計畫目前並沒有任何標案；加上接近年底，各廠家本身業務繁忙；且由於本廠老舊，多年未有設備更新升級計畫，與代理商接觸均為零，故遲至 10 月 31 日都無法取得任何一張邀請函。因出國任務需在年底前完成（年度預算），且又考慮時序進入冬季，歐美位處高緯度，氣溫都在 0°C 上下或更冷，對長期居住在亞熱帶地區的我，深恐無法適應氣候，因此內心早就在思考是否放棄此次出國實習機會。

感謝協和電廠鍋爐組薛經理幫助，在得知我的窘境後，即直接代我先向英商 Doosan Babcock 魏小姐聯繫，經魏小姐熱心協助，於 11 月初即取得出具邀請函之承諾，並妥善安排參訪行程，於是迅速辦妥英國簽證，為避免天候無法適應，決定儘速於 12 月 3 日即赴英參訪。但正因如此，使在辦理出國程序就感到非常緊迫，常常需要對承辦人員緊迫釘人，同時也感謝各級承辦人員的幫忙，雖然在出國前最後一個工作日公文尚未到廠，但承辦人員告知無問題，總算可以安心的出國。

因目前國籍飛機僅長榮航空直飛英國倫敦，故在確定赴英實習後，就早早請旅行社定好機位，但時間迫近時，泰國突傳出黃衫軍事件，造成曼谷機場臨時關閉，各航空公司各顯神通，航班大亂，每日緊盯航空公司班機通報，在 11 月 30 日發現原預定乘坐 12 月 3 日定期班機居然停飛，其它天班機僅更改飛航時間，真是中大獎。隨即一方面通知旅行社設法退票，並更改非國籍航班；另一方面，緊急申請改搭乘國泰航班，總算旅行社手腳快，才未延誤我的實習之旅。

伍、具體建議

綜合此次出國考察心得，提出下列幾點建議：

1. 前台電多部機組準備汰舊換新成 800MW 超臨界機組，卻未制定該類型機組之標準規範，各廠分別敦請 AE 編寫設備規範，導致細部規範可能不盡相同，影響日後廠際間統合工作。
2. 目前發電機組屬賣方市場，有錢不見得買得到設備；本公司在開建廠國際標時，不妨以相近兩廠（如深澳廠及林口廠）所需機電設備，聯合邀請廠家投標，再按兩廠建廠預估進度，分別訂定交貨期限，不但可壓低機組設備購置費用，且使鄰近兩廠設備相同，如此不僅在人員調度上更加靈活，專用配件等備品庫存量可以有效降低，減少庫存材料資金積壓，在技術及運轉經驗之交流也會更加密切。
3. 在購置機組同時加購模擬器一套，並要求統包商於建廠初期同步進行模擬訓練中心設置，如此可望在第一部機組商轉前，即可進行相關人員培訓，減少新機組之摸索過渡期，提早商轉。
4. 主動提供參訪電廠人員基本護具。

目前在審核深澳廠新機組規範時，發現深澳廠和林口廠雖然同時規畫要更新為 800MW 超臨界機組，但規範內容卻不盡相同，所聘請顧問公司亦不同，深深覺得似乎應該要標準化，如此設備才能單純化，也比較好去做運轉、保養工作。

800MW 超臨界貫流式機組之標準草擬與說明可參考發電通訊 424 期，由大林電廠前運轉經理林昌宏先生所草擬之「燃煤超臨變壓運轉貫流式鍋爐主要設備規範試擬」一文，而標準草擬與設置原則，以不涉及任何廠商及市場上有三家以上之廠商生產製造，且已有商業運轉實績為原則，如此應無綁標之嫌疑，在制定標準後，新廠發包前，將可免除新廠規範發包顧問費用。其他如購置相同標準容量之機組，很多設備相同，可減少備品的庫存，維修也較容易，人員訓練因模式相同，可減少訓練時數及成本。

目前對發電機組設備市場而言，屬於賣方市場，有錢不一定買得到設備，尤其是零星購買。所以我覺得應該至少聯合附近兩個廠（目前如深澳廠和林口廠），將所需要之機組設備（制定標準規範後），同時在市場公告購買，一方面可以減少設備購置費用，另一方面使台電設備單純化。兩廠設備相同，不但增加人員調動溝通、交流機會，同時設備備品由於可以互通有無，減少庫存備品資金積壓。

在機組決標同時，新機組所使用之各項設備亦同時決定，故機組性能亦也確定，模擬器型號應可決定。故在標購機組同時若能加購模擬器一套，並要求統包商在機組試轉前，即完成模擬訓練中心設置，如此即可在機組商轉前，即可先行調派人員完成前置訓練，不但可以減少新機組試運轉期間之誤操作，又可以藉由模擬器之運作，修正或調整機組操作模式，使機組控制系統能更趨於完善。

目前，本公司雖鼓勵民眾參訪電廠，但民眾參訪電廠僅提供安全帽乙頂借用。但至英國電廠參觀，除供借安全帽乙頂外，另外再提供耳塞及護目鏡等護具，防止噪音及粉塵侵入，給參訪民眾更深一層保護。

效益評估

有形效益：

1. 節省顧問費用：800MW 超臨界機組規範標準化後，本公司機組汰換有一標準可循，如此本廠及林口廠新建機組，就不需再各自聘僱顧問填寫機組規範，每廠估計可省下顧問費用約新台幣五百萬元。
2. 節省庫存備品費用：像本廠以前有三部機組，分由三個廠家製造提供，設備備品無法流用，每一種備品均需各自庫存，導致庫存資金積壓不下；若整廠甚至鄰近電廠之機組設備都相同，庫存備品購置數量將大大降低，若每部機組專用配件庫存費用以新台幣五百萬元計算，減購兩套，至少可降低新台幣一千萬元資金積壓。
3. 節省人員訓練費用：像本廠以前有三部機組，機組構造及控制盤均各不相同，人員調動崗位，均需另外訓練，否則無法適用。機組規範統一後，則可減少人員訓練費用，所以每人每年訓練時數，可從 20 小時降至約 12 小時，減少 8 小時，節省費用約為： $250 \text{ 元/小時} * 8 \text{ 小時} * 100 \text{ 人/年} = 200000 \text{ 元/年}$ 。
4. 節省模擬器費用：兩廠有相同設備，不需重複購置設備，僅須購置一套模擬器即可，少購一套，費用減少支出約新台幣一千萬元，再加上模擬中心營運人員，場地維護費用，每年又至少可省新台幣三百萬元，故省下新台幣一千三百萬元。
5. 節省機組誤操作跳機費用：若模擬器未能於事前裝置，並進行人員訓練，則在機組試運轉時，操作人員對設備不熟，易導致誤操作跳機，估計運轉

操作人員在未詳盡訓練，機組即行試運轉，商轉前，機組發生跳機機率至少在兩次以上，每次跳機，機組起停燃料費用損失估計為新台幣一百萬元，合計可節省新台幣二百萬元。

6. 有形效益合計為：500 萬+1000 萬+20 萬+1300 萬+200 萬=3020 萬。

無形效益：

1. 新機組制定標準規範後，本公司新建機組一律依照此標準建廠，對本公司設備標準化後，維護、運轉人員廠際交流更為容易，人員調動不需另行再加訓練，節省人員訓練費用。
2. 可以減少維修人員編制，各廠維護人員，比照修護處建置，統一集中派工，靈活調派人力。
3. 材料、配件集中存放，各廠依需求領用，減少庫存資金積壓。
4. 各廠設備相同，集思廣益，減少設備故障率發生；模擬中心訓練班次可加多，增加模擬器使用率，無形中降低其成本。
5. 機組試運轉時，減少誤操作發生，不但提升本公司形象，且可減少財務無謂之損失，一舉兩得。
6. 提供民眾足夠之安全護具，除能減少意外發生，並可有效提升本公司重視工作安全形象，一舉兩得。