

出國報告（出國類別：實習）

# 台中九、十號機鍋爐及附屬設備 規劃設計及維護

服務機關：台灣電力公司台中施工處

姓名職稱：楊正昌 機具股長

派赴國家：英國

出國期間：94年10月26日至94年11月6日

報告日期：94年12月19日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：台中九、十號機鍋爐及附屬設備規劃設計及維護

頁數 25 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

楊正昌/台灣電力公司/台中施工處修配課/機具股長  
/(04)26396002-271

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：94 年 10 月 26 日至 94 年 11 月 6 日 出國地區：英國

報告日期：94 年 12 月 19 日

分類號/目：G3/電力工程

關鍵詞：鍋爐

內容摘要：(二百至三百字)

台中火力發電廠九、十號機為兩部五十五萬瓩機組，其鍋爐主設備及附屬設備由英國 Mitsui Babcock Energy Limited (MBEL) 公司得標，該公司負責設計、製造、安裝、啟動和併聯商轉等工作。

鍋爐房設備包含有鋼樑結構、鍋爐壓力容器及輔助設備、主蒸汽管和再熱蒸汽管、煤倉和燃料(油、煤)供給設備等。鍋爐主設備是一種自然循環、平衡通風，55 萬瓩的設備，主要燃燒經過研磨的煤粉。一座鍋爐配備五台粉煤機(pulverising mills)。

主要的設備及系統：

1. 鍋爐壓力配件及爐體
2. 鍋爐外殼及絕緣
3. 鍋爐鋼構
4. 空氣及排氣系統
5. 燃燒系統
6. 粉煤系統
7. 吹灰器和吹灰空壓機
8. 底灰操作系統

# 報 告 內 容

## 台中九、十號機鍋爐及附屬設備規劃設計及維護

一、研習目的 .....	4
二、研習過程 .....	4
三、研習心得及報告 .....	4
(一) 主要的設備及系統 .....	4
1-1、鍋爐壓力配件及爐體	
1-2、鍋爐外殼及保溫絕緣	
1-3、鍋爐鋼構	
1-4、空氣及排氣系統	
1-5、燃燒系統	
1-6、粉煤系統	
1-7、吹灰器和吹灰空壓機	
1-8、底灰操作系統	
(二) 鍋爐蒸汽與水循環 .....	9
2-1 省煤器	
2-2 汽鼓	
2-3 過熱器	
2.3.1 一次過熱器	
2.3.2 板狀過熱器	
2.3.3 末段過熱器	
2.3.4 噴水保溫器	
2-4 再熱器	
2-5 鍋爐空氣與燃氣系統	
2.5.1 空氣系統	
2.5.2 燃氣系統	

(三) 鍋爐燃燒設備 .....	22
3-1 低氮氧化物軸流旋渦燃燒器	
(四) 粉煤系統 .....	24
4.1 粉煤機	
(五) 超臨界蒸汽鍋爐設備探討 .....	27
5.1 超臨界流體	
5.2 超臨界裝置過去的問題探討	
四、建議事項 .....	29

## 一、研習目的

台中火力發電廠第九、十號機由英國 **Mitsui Babcock** 公司提供設計、製造、安裝。依合約規定派赴該公司接受研習訓練，提昇對火力發電設備機械結構設計概念之了解，對製造安裝上邁遇困難問題及缺失之修護、改善及維護保養等方面專業知識。並請廠商提供鍋爐方面之相關資料，提昇對彰工計劃大型超臨界鍋爐機組型式的認識，使未來在施工上可以更加順利。

## 二、研習過程

英國 **Mitsui Babcock** 為一家高科技技術公司，提供火力發電設備設計技術。其總部位於英國倫敦南方之科羅里，負責機組的設計、頒圖等工作，此次研習過程中由多位高級工程師提供實習訓練。

感謝

台中計劃/工程計劃經理 **Mr. Martin Strang**

程序工程師 **Mr. Mark Upton**

技術服務工程師 **Mr. Charles Young**

燃料及燃燒工程師 **Mr. David Hough**

系統及控制工程師 **Mr. Jon Whaler**

上列工程師提供吾等在英國科羅里時的技術、專業知識支援，使我們在此次研習中得到很大的收穫。

此次的研習計劃在完成計劃表排定日程後，才知悉台中電廠另有研習計劃赴該公司受訓，我們排定的日程恰好相差一天，因此我們相約在英國科羅里會合一齊赴訓。大家在一齊研究討論，提昇對問題的了解，並獲得了滿意的解決答案，使我們獲益良多。

## 三、研習心得及報告

台中火力發電廠九、十號機為兩部五十五萬瓩機組，其鍋爐主設備及附屬設備由英國 **Mitsui Babcock Energy Limited (MBEL)** 公司得標，負責設計、製造、安裝、啟動和併聯商轉等工作。鍋爐房設備包含有鋼樑結構、鍋爐壓力容器及輔助設備、主蒸汽管和再熱蒸汽管、煤倉和燃料（油、煤）供給設備等。

鍋爐主設備是一種自然循環、平衡通風，55 萬瓩的設備，主要燃燒經過研磨的煤粉。一座鍋爐配備五台粉煤機（**pulverising mills**）。

### （一）主要的設備及系統

- 1、鍋爐壓力配件及爐體 (Boiler Pressure Parts and Furnace)。
- 2、鍋爐外殼及絕緣 (Boiler Casing and Insulation)
- 3、鍋爐鋼構 (Boiler Structural Steelwork)
- 4、空氣及排氣系統 (Air and Flue Gas System)
- 5、燃燒系統 (Combustion System)
- 6、粉煤系統 (Coal Pulverising System)
- 7、吹灰器和吹灰空壓機 (Sootblowers and Sootblower Compressors)
- 8、底灰操作系統 (Bottom Ash Handling System)

### 1-1、鍋爐壓力配件及爐體 (Boiler Pressure Parts and Furnace)

鍋爐壓力配件有爐體 (furnace)、過熱器 (superheater)、再熱器 (reheater)、省煤器 (economiser)、連接管 (integral tubing) 等皆依 ASME-Section 1 Power Boilers 設計。材料材質及厚度配合設計之溫度、壓力等條件選用。爐體以水管牆圍成，管內液體以往上的方向流動，爐頂為蒸汽管，蒸汽在其中流通。水管牆及蒸汽管皆在工廠內組合成平板狀，當與支撐系統組合起來即成為一個氣密的爐體。鍋爐頂空間 (penthouse) 在鍋爐上方，從前面至後面延伸至整個爐體，它包含有汽鼓 (steam drum)、水上昇管 (riser pipes)、及蒸汽出口管 (steam take-off pipes) 及各種歧管。

三組省煤器管排由進口集管箱分出，兩組成串聯排列，一組為並聯排列，配置於後爐前方及後煙道內。為避免省煤器進口管在鍋爐低載時氣化，提供一只省煤器再循環泵，使汽鼓熱水得以流到省煤器入口。主要一次過熱器在後爐後半部含有二組水平管排及一組垂直出口管，管排由多重迴彎組成，兩者流向相反。

板狀過熱器 (platen superheater) 安裝於鍋爐體上方由單迴彎垂直懸吊管組成，每一組件排列成一線。末段過熱器 (final superheater) 由單迴彎垂直懸吊管組成。

再熱器系統由兩組水平管排及一組直立懸吊管排組成。水平管排為多重迴彎管排組成。內部流體及煙氣兩者流向相反。

### 1-2、鍋爐外殼及保溫絕緣 (Boiler Casing and Insulation)

鍋爐牆外殼由成形鋁薄皮組成，再用不會銹蝕之釘固定。為減少熱流失、熱吸收、形成一次氣封、減少腐蝕和保護外殼板及防止人員灼傷，耐火材料安裝在任何需用之處。熱保溫絕緣 (Thermal insulation) 使用在鍋爐外部表面

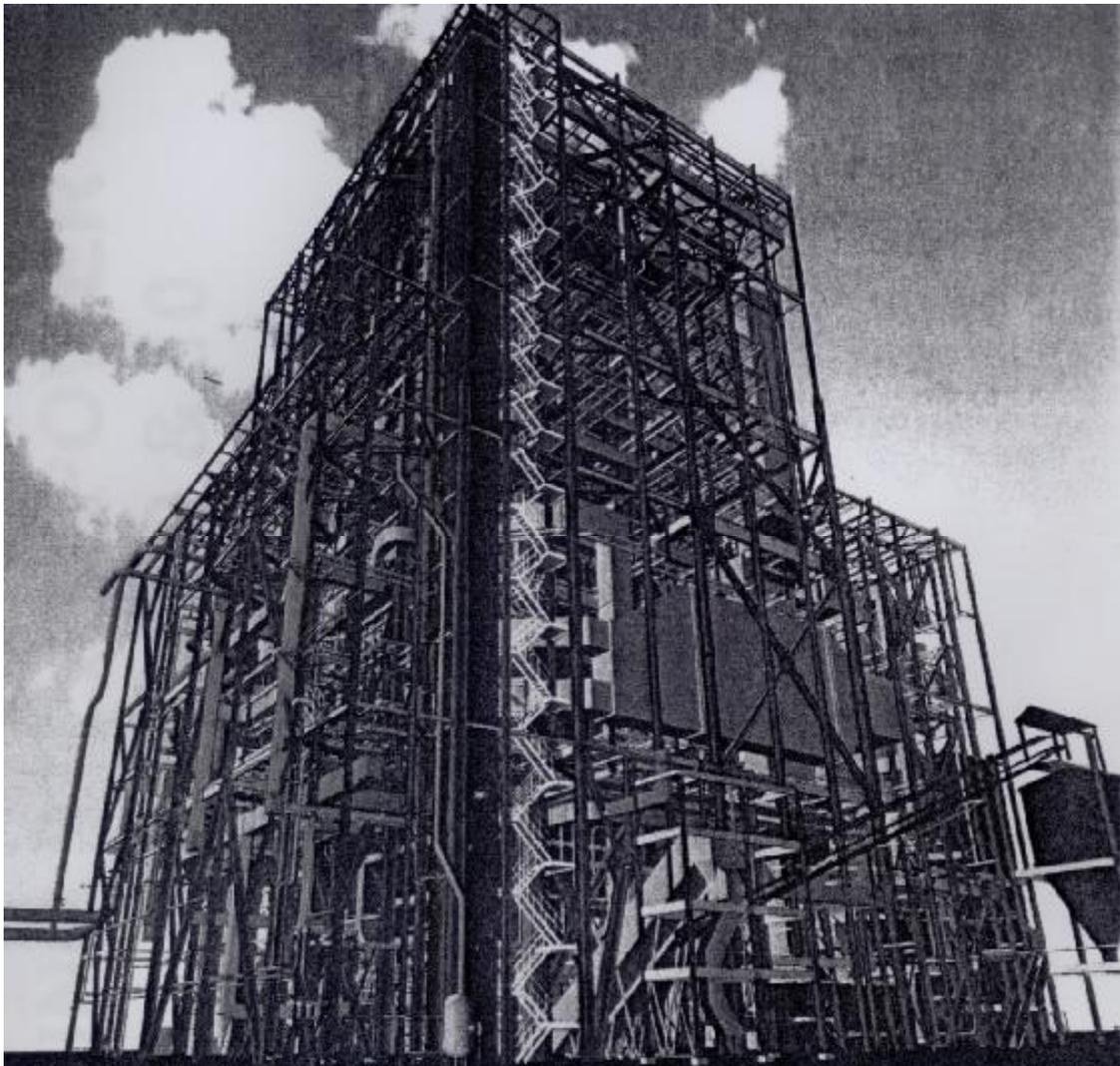
防止熱流失，以增進機組熱效率，和保護設備及人員隔離過熱區。鍋爐保溫棉含礦物毛類（**mi neral wool**）以焊接叉形釘固定於鍋爐及組件表面。在不可焊接處如汽鼓端（**drum ends**）、加熱器（**heaters**）等處，保溫棉以束帶（**tie-wires**）固定。管的保溫絕緣以細帶或束帶固定。

保溫棉固定完成外部再用成形或平板鋁薄板包封，鋁薄板依使用處決定厚度不同，厚的材料使用在人員可能會踏踩處。

### 1-3、鍋爐鋼構（Boiler Structural Steelwork）

鍋爐鋼構主要功能在支撐鍋爐體及其附屬設備，限制鍋爐在許可範圍內移動及可對設備作維修及檢查。

鍋爐構造是一個鋼樑支撐框架結構，鍋爐頂部以懸吊鋼構組成，懸吊住鍋爐構件等。如此結構讓鍋爐可朝垂直和水平方向膨脹，而不會傳輸熱負荷至鋼構上。



### 1-4、空氣及排氣系統（Air and Flue Gas System）

鍋爐操作設計在平衡通風條件下有二台送風機 (**Forced Draught Fans**) 供給空氣給燃燒器燃燒用，及二台引風機 (**Induced Draught Fans**) 抽取排氣送至煙囪。二台一次風機 (**Primary Air Fans**) 的功能在供給熱風來乾燥粉煤，再將粉煤自粉煤機輸送至燃燒器。二台全效能電動馬達帶動離心式風扇供給每一具燃燒器清淨空氣給火焰監測器和火焰觀察管。磨煤機高壓氣封風扇結合分煤器 (**Classifier**) 和飼煤機 (**Coal Feeder**)，由二台全功能電動馬達帶動離心式風機供氣。

#### 1-5、燃燒系統 (**Combustion System**)

爐膛設計為對牆點火，25 支燃燒器排成五列。其中二列的燃燒器在爐膛前牆，三列安裝在後牆，每一水平列有 5 支燃燒器。另外在前、後爐燃燒器上方各有一排對向火上空氣口 (**After Air Ports**)，每排各有 5 個。一台粉煤機供給一列的燃燒器，每具燃燒器配備有油槍供點火、火焰穩定及負載 25% 之鍋爐出力，一支高能量點火炬安裝在燃燒器內，用來點燃霧化油燃料。

#### 1-6、粉煤系統 (**Coal Pulverising System**)

粉煤系統在加壓下直接點火和操作。五台直立式紡錘式粉煤機 (**Coal Pulverising Mills**) 由各自的煤倉供給煤給飼煤機 (**Coal Feeder**)。一次熱空氣由一次風扇 (**Primary Air Fans**) 供給，用來乾燥和輸送粉煤通過粉煤燃料管至燃燒器。

選擇性觸媒還原脫硝系統 (**Selective Catalytic NOx Reduction System**) 來自省煤器之排氣經過選擇性觸媒還原反應器 (**SCR**) 主要在減低 **NOx** 濃度。每個鍋爐安裝二個反應器，反應器採用平行通路，**SCR** 垂直接流動型式。排氣經過 **SCR**，氣氨 (**Ammonia Gas**) 噴入排氣流中，氣氨和 **NOx** 起作用，產生氮氣 (**N<sub>2</sub>**) 和氧氣 (**O<sub>2</sub>**)。

#### 1-7、吹灰器和吹灰空壓機 (**Sootblowers and Sootblower Compressors**)

吹灰器配置用來清潔鍋爐表面及空氣加熱器元件 (**Gas Air heaters**)，避免運轉時產生燃燒堆積物。全部的吹灰器都可伸縮自如，由可程式化控制系統控制，使得鍋爐內部加熱表面和空氣預熱器保持乾淨，當鍋爐和輔助設備在使用時。如此可避免運轉時產生燃燒堆積物。微處理器 (**Microprocessor**) 控制系統提供吹灰器自動連續控制。充足數量的吹灰器安置在爐膛 (**Furnace**)、超熱器 (**Superheater**)、再熱器 (**Reheater**)、省煤器 (**Economiser**) 等處。

三台獨立空壓機平行排列和供應壓縮空氣給九、十號機二座鍋爐之吹灰器

系統。

### 1-8、底灰操作系統 (Bottom Ash Handling System)

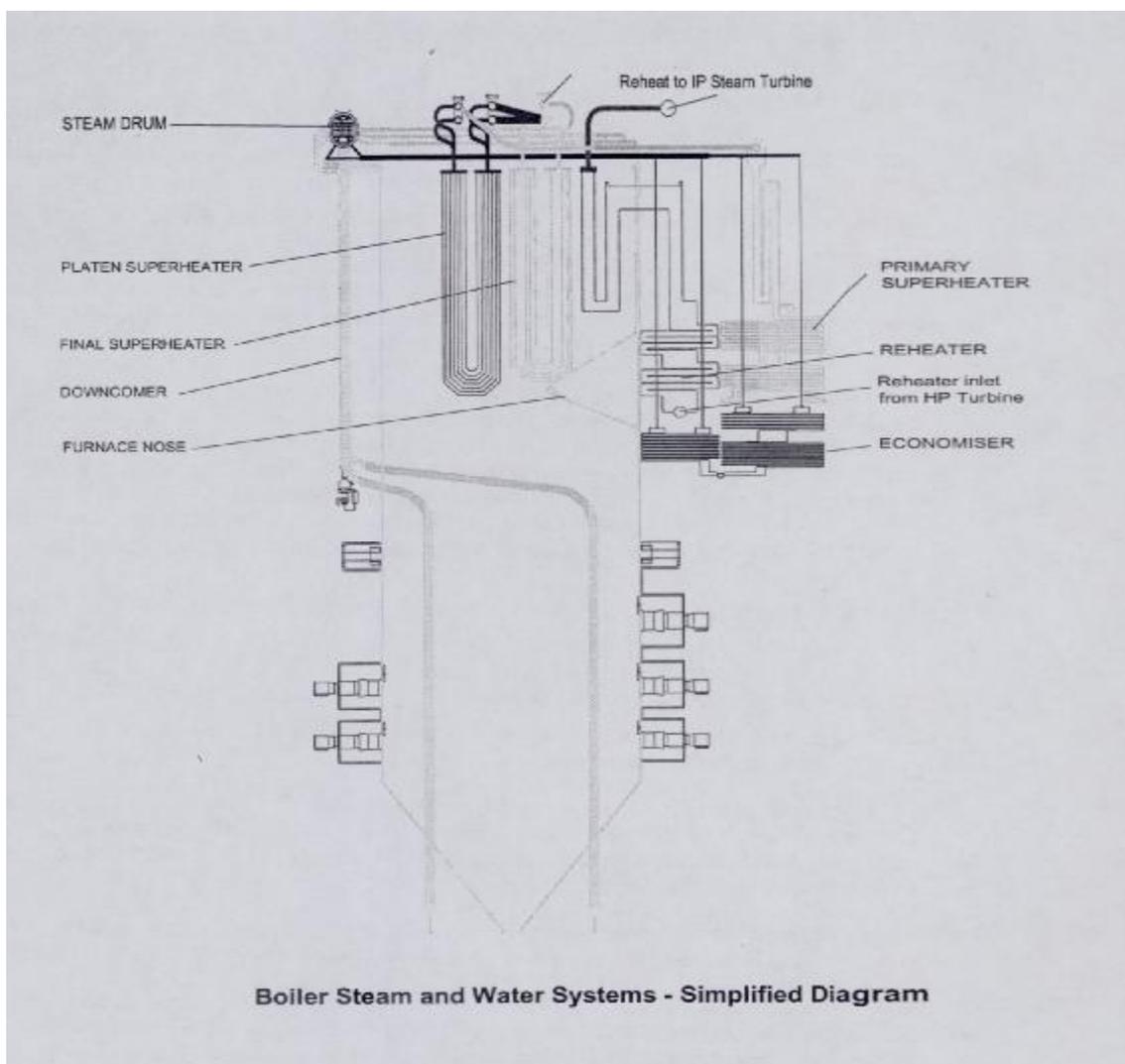
底灰操作設備在鍋爐爐膛底部提供收集和傳輸爐膛內煤灰堆積物，底灰被送至灰倉儲存，路上運輸工具再運走。底灰移除裝置在底灰斗之下有六個水力操作排放門，沉入水中之刮具鏈運送裝置 (Scraper Chain Conveyor)，煤渣軋碎機 (Clinker Crusher)，一個輸送帶在煤渣軋碎機下方和一個底灰倉。一個密閉循環冷却水再循環系統給 SCC 供應和維持抑制水。灰利用重力供應 SCC，給軋碎機來減小物體尺寸。灰自軋碎機排放至輸送帶，再送至灰倉，該系統可以當面控制或遙控控制。

## (二) 鍋爐蒸汽與水循環 (Boiler Steam and Water Circuits)

高壓飼水從主飼水泵和高壓飼水系統流經省煤器 (Economiser) 及支撐管，與煙氣流動方向相反下作用吸收熱量。這些高壓飼水進入汽鼓 (Drum)，通過內部分配管系統再分佈於汽水鼓內 (Drum Water Pool)。

鍋爐水從汽鼓下方降水管流至爐底水管牆進口水箱 (Inlet Headers)，這些進口水箱分配爐水至爐牆水管。從該處爐水往上流，通過爐牆水管時吸熱，有一部份變成蒸汽，蒸汽和水的合成液一齊回到汽鼓，在汽鼓蒸汽和水分離，水的部份自汽鼓中回收再循環。

飽和蒸汽離開汽鼓從上方到爐頂進口集管箱，由此再分配至爐頂管。通過爐頂管蒸汽進入轉換集管箱 (Cage Transfer Header)，再分配至後爐中間的分隔牆，後牆管及側牆管。蒸汽往下流至底部進入集管箱【分隔牆出口集管箱 (Division Wall Outlet) / 一次過熱器管箱 (Primary Superheater Inlet Header and Cage Wall)】。蒸汽沿著一次過熱器管流動與煙氣方向相反，至一次過熱器出口集管箱 (Primary Superheater Outlet Header)。由此二側引出二支蒸汽管至鍋爐另一側。一支成爲板狀過熱器進口上歧管 (Platen Superheater Inlet Upper Manifold)，另一支成爲板狀過熱器進口下歧管。第一階段保溫器 (Attemperator) 在每一支引出的蒸汽管上，位於一次過熱器出口集管箱和板狀過熱器進口歧管之間。



蒸汽經過板狀過熱器直立管排後，過熱蒸汽即進入上、下皮狀過熱器出口歧管，兩支歧管的端頭各有一支連接管，連接至末段過熱器進口歧管，第二階段保溫器位於每一支連接管上。末段過熱器進口歧管之前連接管上各接一支輔助蒸汽管，用以引出過熱蒸汽至輔助蒸汽系統（**Auxiliary Steam System**）。過熱蒸汽經末段過熱器直立管排至末段過熱器出口集管箱，在此過熱蒸汽離開鍋爐，進入蒸汽管路連接至高壓段汽輪機（**Turbine HP Cylinder**）及鍋爐飼水泵驅動汽輪機（**Boiler Feed Pump Turbines**）。

末段過熱器之溫度由二段之噴水保溫器來控制蒸汽溫度。低溫再熱蒸汽（**Cold Reheat Steam**）回到鍋爐再熱器進口集管箱，再進入再熱器爐管內，蒸汽進入再熱器管並吸收熱，匯集到再熱器出口集管箱，成為高溫再熱蒸汽（**Hot Reheat Steam**）離開鍋蓋，進入汽輪機中壓段汽輪機。再熱蒸汽之噴水保溫器則位於低溫再熱蒸汽進入再熱器進口集管箱前，這個噴水保溫器只有在不正常的過渡情況下使用。正常的溫度控制是由燃氣風門來控制，控制流經水平再熱器管排與一次過熱管排之燃氣量的比例。

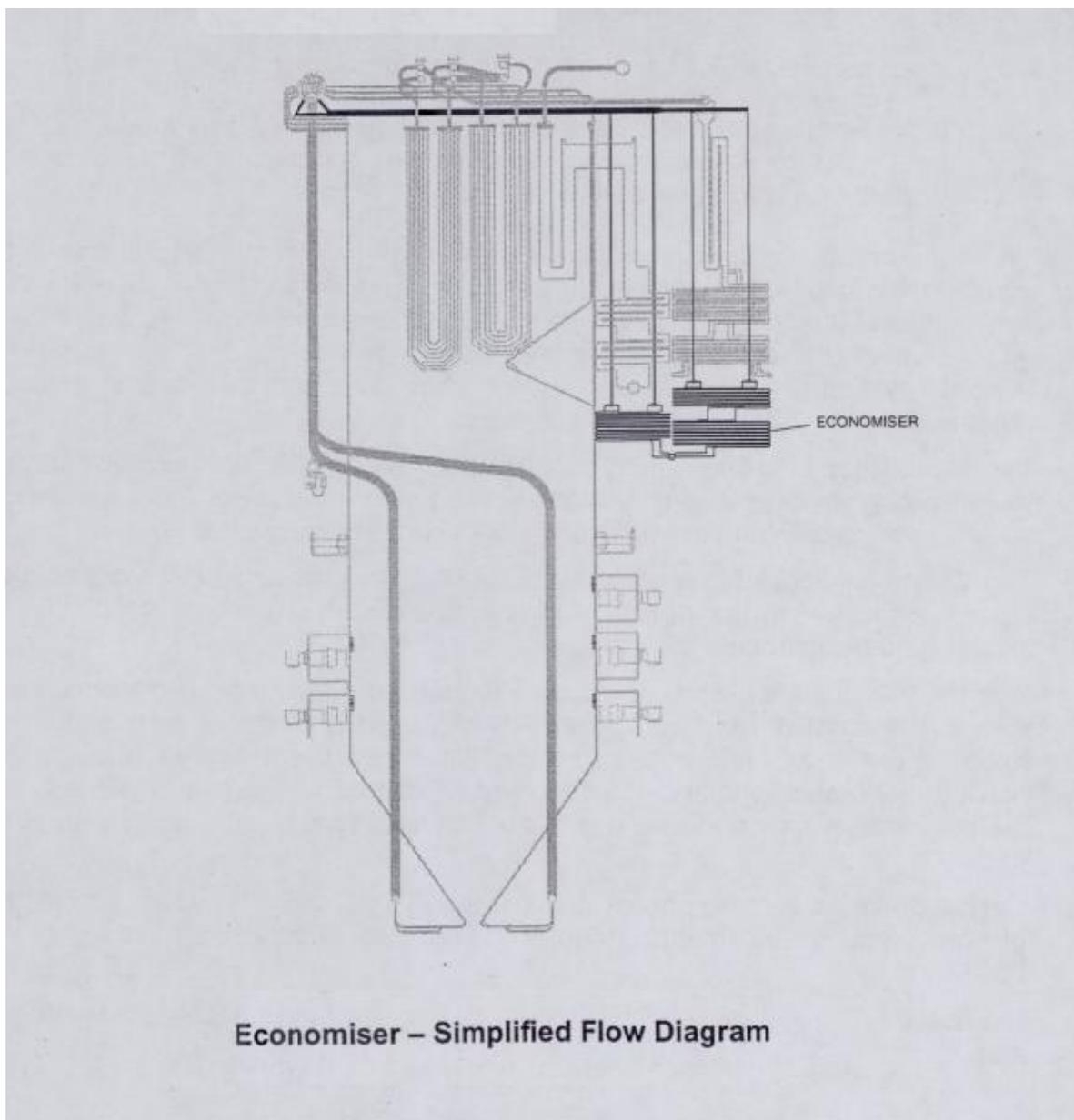
## 2-1 省煤器 (Economiser)

省煤器是一個熱回收備，利用離開過熱器與再熱器之較低溫的燃氣，來預熱將進入汽鼓之高壓飼水。

省煤器管排位於後爐底部，在一次過熱器與再熱器之下，由多重迴彎管排組成陣列管排，省煤器管子由支撐板支撐，這些支撐板是繫在省煤器進口集管箱下方，進口集管箱上方有支撐管連接至爐頂室，支撐管分布於再熱器燃氣通道與一次過熱器燃氣通道，每只進口集管箱則由二列的支撐管支撐。

為減少灰蝕的問題可以下列方式處理：

- 1、通過省煤器之燃氣流速保持在最小。
- 2、在管排的第一支管及吹灰器所在之爐管表面使用保護片。



燃氣在引風機 (Induced Draught Fans) 的吸引下通過省煤器，飼水的流向與之相反，由省煤管爐管及支撐管進行與燃氣之熱交換，然後回到汽鼓。

飼水由飼水泵加壓後，經飼水加熱器及飼水管路直到省煤器進口管箱，為監視飼水水質，在省煤器進口集管箱之前，有樣品取樣管經二只隔離閥連至水質取樣系統。在水質取樣連接管之上游的飼水管路上有一只省煤器電動隔離閥及旁通管、排氣閥與止回閥。

省煤器再循環管路是從水質取樣管下游之飼水管路連接到汽鼓，使汽鼓的水可以再流回省煤器進口管，在這個再循環管路上有省煤器再環泵及平時關閉之電動隔離閥，泵浦馬達則由一組水冷式熱交換器冷卻。省煤器再循環泵是用在鍋爐低載時，避免省煤器進口集管箱的拱起及使到達 SCR 之燃氣溫度更為平均，以利 SCR 脫硝的作業，此泵浦尚有一暖機閥，當泵浦停用而鍋爐仍在運轉時，此閥用以維持泵浦及管線在飽和蒸汽溫度下。

## 2-2 汽鼓 (Drum)

汽鼓位於鍋爐水循環系統的最高點，提供一個介面作為從省煤器進來之鍋爐飼水進口，鍋爐循環水之進出口及連接至過熱器之飽和蒸汽出口的一個交會點。

汽鼓主要作用有二：

- 1、鍋爐水循環系統中鍋爐爐水的儲存槽。
- 2、內部汽水分離設備，使不含蒸汽的爐水回到水循環系統，提供乾度達要求之飽和蒸汽至過熱器 (Superheater)。

汽鼓是由內徑 1830 mm，長 20936 mm 之圓柱管與兩端為半球形之端板焊接而成，半球形端板上留有接管 (Nozzle) 以安裝安全閥、水位計、水位開關、水位傳送器與警報及化學加藥注入系統等，此外每一端板上有向內開的人孔。

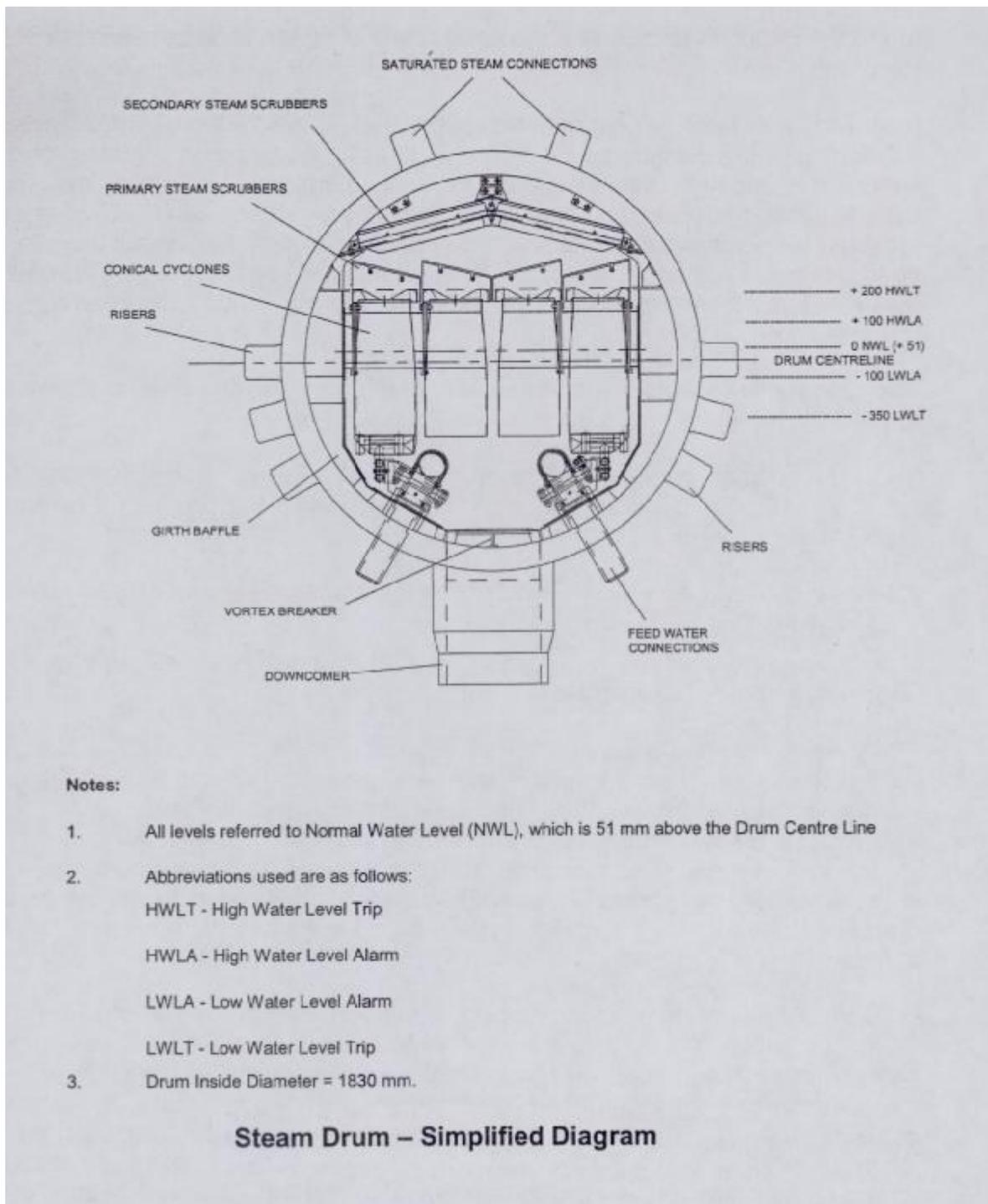
汽鼓之圓柱管有四支大的降水管接管，飼水進口管的接管配有熱套筒。水循環系統之上升管的接管及連接飽和蒸汽的接管。

汽鼓底部安裝有已穿孔之飼水分配管，使進入汽鼓之飼水能沿著穿孔之飼水分配管均勻分布於汽鼓內。

為達汽水分離的目的，汽鼓內部有四排每只直徑為 298 mm 的圓錐旋風汽水分離器，經分離後的蒸汽，往上流經傾斜而有孔洞一次蒸汽清潔器 (Primary Scrubber Units)。

二次蒸汽清潔器位於汽鼓最頂端，在飽和蒸汽進口連接管之前，其型式為 TF25。

汽鼓由吊架懸吊於鍋爐鋼樑最高點之下，以允許其自由熱膨脹。



## 2-3 過熱器

過熱器系統的目的是將鍋爐汽鼓產生之飽和蒸汽，進一步加熱以提高其熱焓及溫度，使達到過熱的程度，作為高壓汽輪作功的蒸汽來源。

過熱系統含三個階段：一次過熱器、板狀過熱器及末段過熱器，此外尚有以蒸汽管作為冷卻用途之爐頂管、柵狀管及後爐之汽牆管等，有二段 1 的噴水保溫器，分別位於板狀過熱器之前、後，用以控制蒸汽最後溫度。

對於鍋爐壓力上的保護，是靠汽鼓上的四只安全閥，與末段過熱器出口管路上的二只安全閥及二只電動釋壓閥。

### 2.3.1 一次過熱器 (Primary Superheater)

一次過熱器位於後爐後半部之省煤器上方，包含二組多迴彎之水平管排及一組直立管排，水平管排水平方向有 150 排，水平間距為 115mm，每一管束由四支管組成，靠近進口管箱之水平管排，其上、下管間距為 71.1mm，而第二組水平管排其管束間上、下管之間距為 67mm，在直立管排部份，水平方向有 75 排，其水平間距為 230mm，而每一管束由八支管組成，其管束間前、後之間距為 67mm。

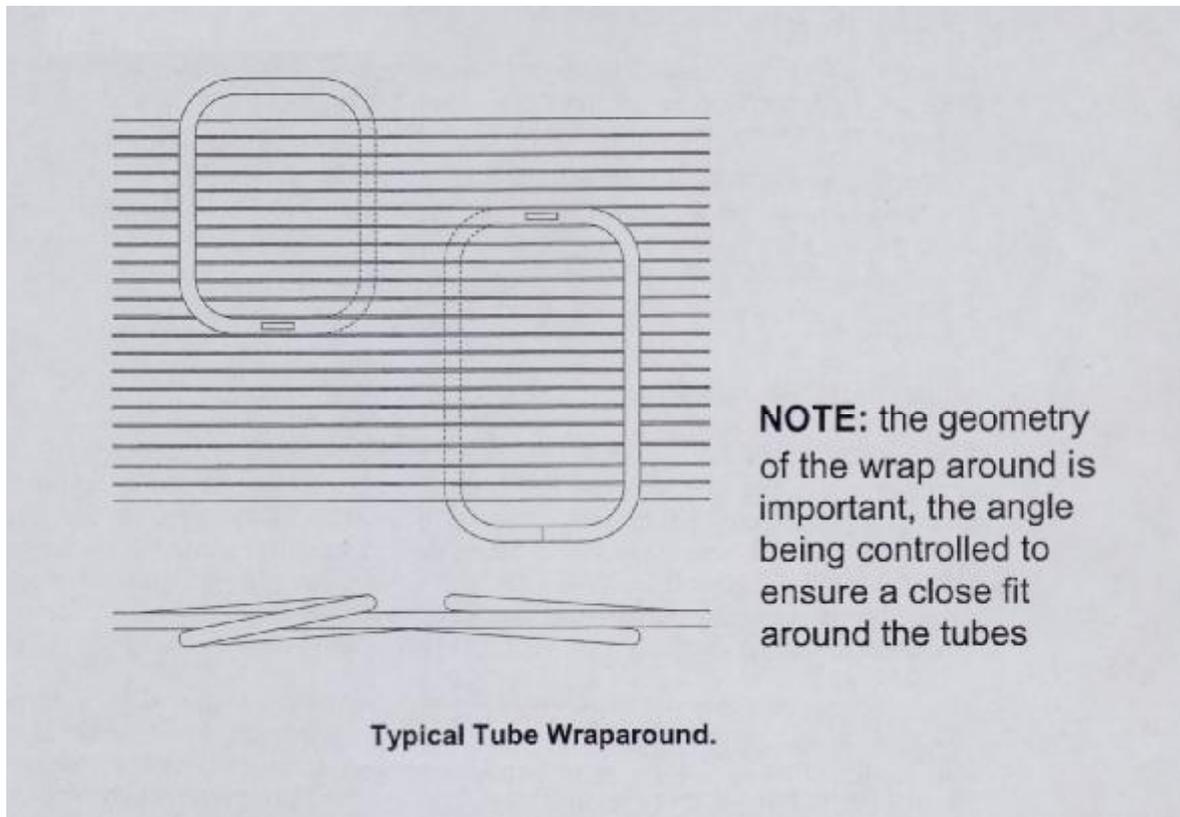
水平管排是由省煤器出口集管箱引出之支撐管支撐，支撐管內有鍋爐飼水加以冷卻，直立管排則由一次過熱器出口集管箱及爐頂管之支撐桿來支撐，管排的前後對齊則由間隔塊及前述之支撐桿加以維持。

飽和蒸汽由後爐汽牆底部之出口集管箱及一次過熱器進口環形集管箱引出後，經一次過熱器水平管排及垂直管排至一次過熱器出口集管箱，由於集管箱兩側接出二支連接管，沿鍋爐兩側至板狀過熱器進口歧管，在這二支連接管路上裝有兩只第一段噴水保溫器。

### 2.3.2 板狀過熱器 (Platen Superheater)

板狀過熱器每一管排是由具有一組迴之直立管排組成，管排平行排列於爐體上方，每一管排皆有各自的進口與出口集管箱，這些集管箱不在煙道內，且靠一些短管與其他進出口歧管相連接，板狀過熱器共有 24 組管排，管排之水平間距為 690mm，每一管排由 38 支管排列而成，管與管之間距為 41mm，利用管排固定管將每一管排內之管子固定，使前後排列整齊。

板狀過熱器的支撐是由鍋爐頂部之支撐鋼樑，利用支撐桿吊住管排進出口集管箱及連接管，管排在穿越爐頂位置焊有氣封片止漏。蒸汽從二支板狀過熱器出口歧管，分別沿著歧管兩側之連接管，流到鍋爐的另一端，即是末段過熱器進口歧管，第二段噴水保溫器即位於每一支連接管上。



### 2.3.3 末段過熱器 (Final Superheater)

末段過熱器每一管排是由具有單組迴彎之直立管組合而成，管排平行排列位於爐鼻上方及板狀過熱器煙道的下游，每一管排有各自的進、出口集管箱，這些集管箱不在煙上，且利用連接管與進、出口歧管相連，末段過熱器共有 24 排管排，管排之火平間為 690mm，每一管排由 27 支管子排列而成，管與管之間距為 62.3mm，利用管排固定管將每一管排內之管子固定排列整齊。和板狀過熱器一樣，在穿越爐頂部位焊有氣封板，也是由鍋爐頂部支撐鋼樑利用支撐桿以懸吊管排之進、出口集管箱。

末段過熱器進口歧管只有一支與鍋爐寬度相當，但由中間內部分開成兩截，出口歧管則只有一支，其長度與鍋爐寬度相當，過熱蒸汽由歧管一端流出即進到主蒸汽系統。

### 2.3.4 噴水保溫器 (Superheater Attenuators)

第一段與第二段噴水保溫器位於爐頂室內，當鍋爐出力在 70%至 100%的 BMCR 時，即利用噴水保溫器來控制末段過熱器出口溫度在  $541^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，它主要是靠適當的噴水至蒸汽內，使下游蒸汽溫度降低，達到維持末段蒸汽溫度的目的，噴入的水則由高壓飼水泵提供。

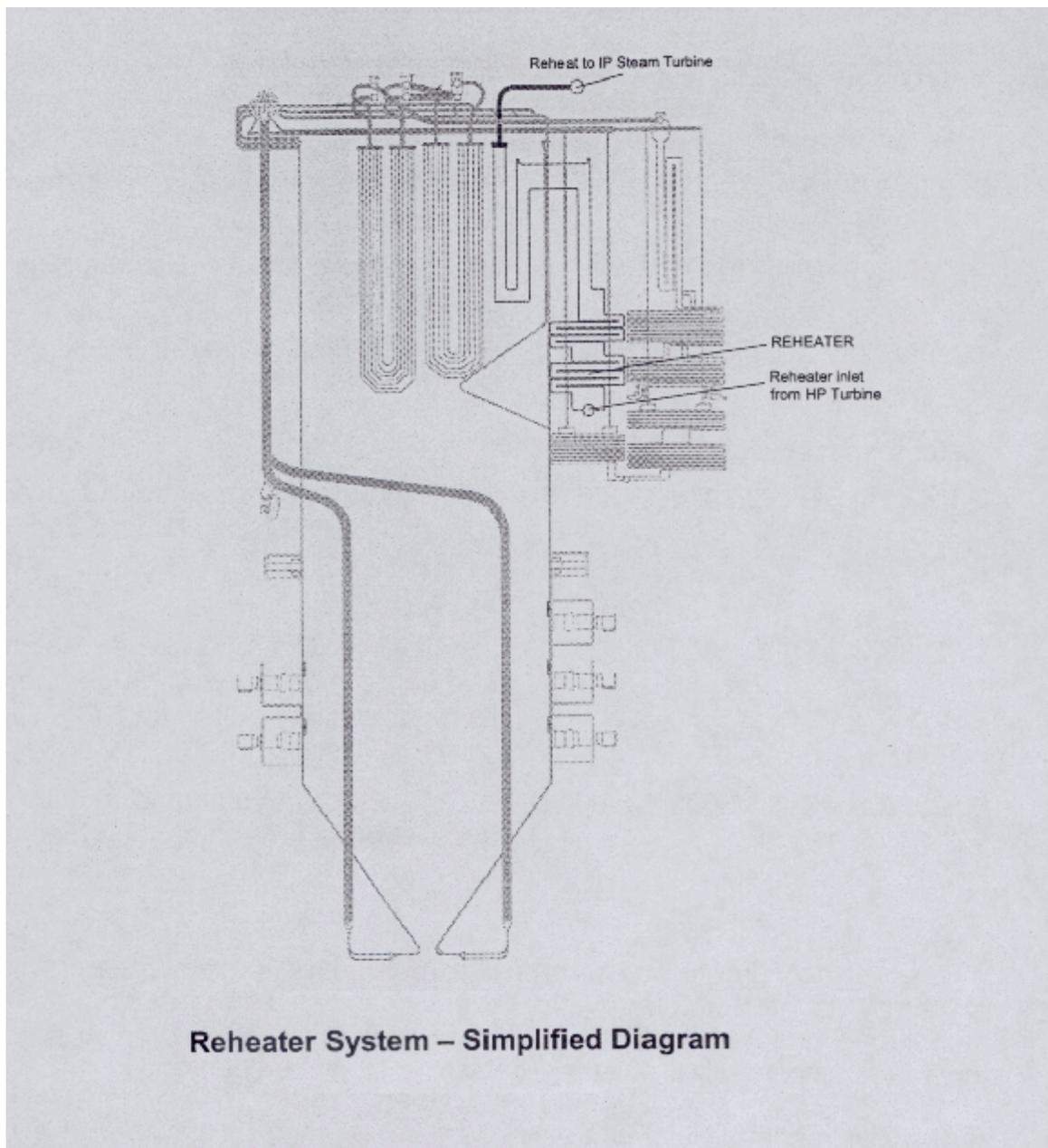
蒸汽溫度被分段來控制，主要是以控制第一段噴水為主，第二段噴水保溫

器只用以維持固定的溫度降。一個替代且簡便的控制方法，是只要確保在離開第一段噴水保溫器進入板狀過熱器之前的蒸汽溫度，足以使噴進去的水可以完全被蒸發為控制目的。

#### 2-4 再熱器 (Reheater)

由高壓汽輪機排出之已膨脹做功、冷卻之蒸汽，進入鍋爐再熱器再一步加熱以提高其熱焓及溫度，作為中壓汽輪機膨脹做功所需之再熱蒸汽。

再熱器是由二組水平管排一組位於後爐前半部通道之直立管排，及由此連接至柵狀管之前的高溫再熱器。管排中之管子以管夾固定對齊，直立之高溫再熱器出口管排則由爐頂之支撐鋼樑以支撐桿從集管箱吊起，而直立管排之迴彎管則由爐頂加以懸吊，所有穿越爐頂之管排都焊有氣封片加以止漏。



再熱器進口集管箱位於後爐前半部煙道之省煤器管上方，集管箱出口即再熱器一組水平管排，在低溫再熱蒸汽進口管上，有一多噴嘴頭之噴水保溫，其噴水由高壓飼水泵中間段引出使用。

經過部份膨脹作功之高壓蒸汽，進入再熱器集管箱後，經由再熱器之水平管排及垂直管排以獲得所需熱量，最後由出口集管箱連到中壓段汽輪機作功。

再熱蒸汽在鍋爐出力 70%至 100%BMCr 範圍，內其正常操作溫度控制在  $541^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  之內，它是利用風門調控燃氣流經水平再熱器區之燃氣量以達到溫度控制的目的，在機組尚未穩定或再熱器出口之蒸汽溫度超過預設值時，才使用噴水保溫器噴水，以降低再熱蒸汽溫度達所需的溫度範圍。

## 2-5 鍋爐空氣與燃氣系統 (Boiler Air and Flue Gas Systems)

鍋爐使用平衡通風方式，燃燒用空氣由送風機 (Forced Draught Fans) 提供送至爐內，煙氣則由引風機 (Induced Draught Fans) 自鍋爐抽風從煙囪排出，這兩種風扇在其平衡出力之下，用以維持爐心風壓低於大氣壓力，如此可以確保沒有燃氣或煤灰會從爐內漏出，及只有極少的外界空氣會被吸入爐內，以免影響到鍋爐的效率。

由一次風機 (Primary Air Fans) 供給的一次風，進入粉煤機將研磨後之粉煤乾燥，並輸送至爐內燃燒。燃氣在爐內各個區域進行熱交換，如將熱量傳給鍋爐爐水及過熱器、再熱器之蒸汽，其次則是加熱省煤器之爐水，使進入鍋爐前得以預熱，最後則是在鍋爐本體之外的空氣預熱器，將送風機 (FDF) 與一次風機 (PAF) 送出之空氣先加以預熱。

在空氣預熱器之前，燃氣先通過選擇性觸煤轉換器 (SCR)，以降低煙氣  $\text{NO}_x$  之濃度。靜電集塵器 (EP) 位於空氣預熱器出口與引風機 (IDF) 進口之間，其作用在燃氣排出大氣之前，將煙氣中之灰份截取下來。

### 2.5.1 空氣系統

每一鍋爐有二條平行的空氣風通，而兩條空氣風道間設有連通風道。下列描述之空氣風道以 A 風道為主，B 風道與之相同。

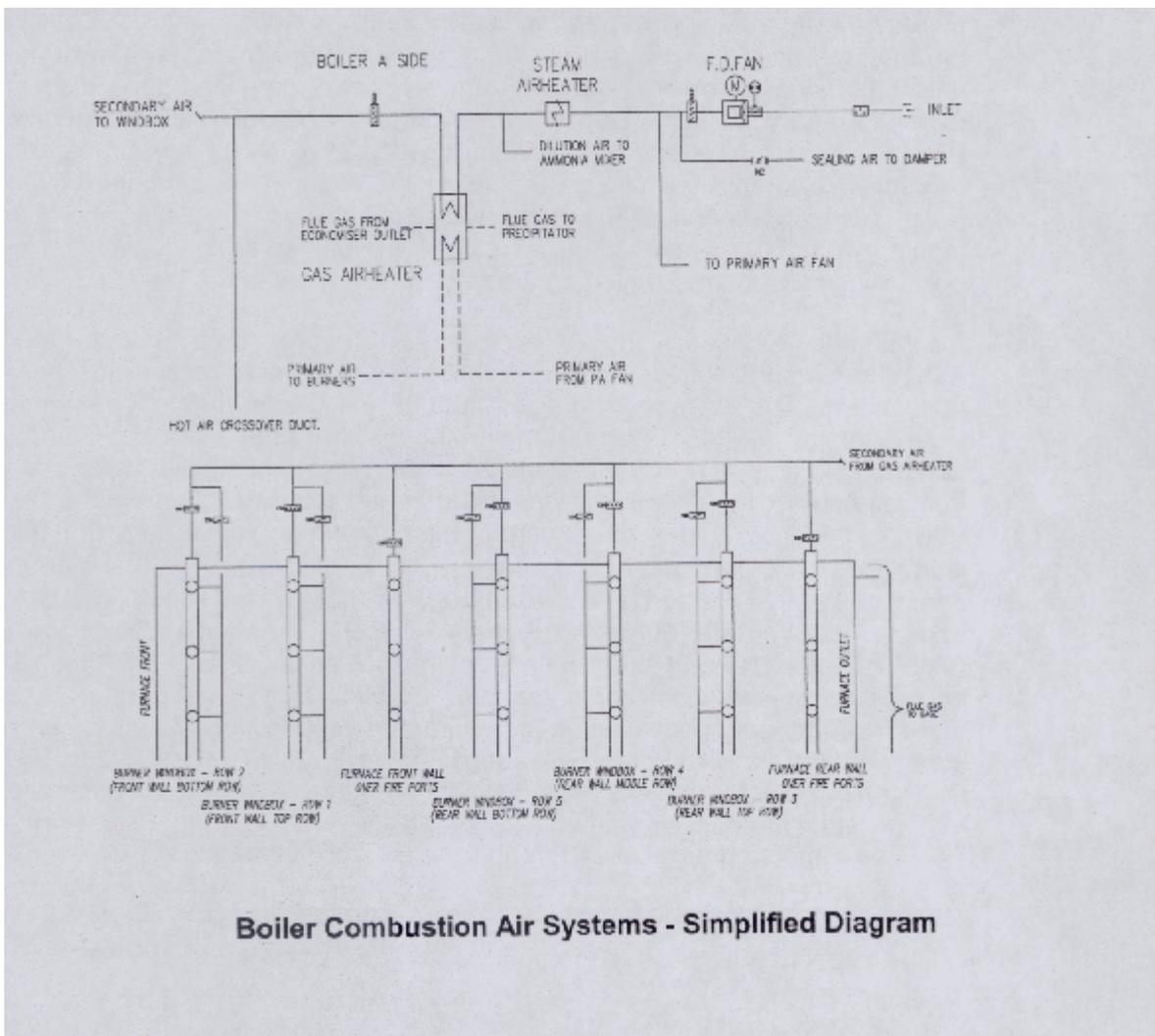
空氣由大氣經過防止鳥類進入的柵網及消音器後，即進入引風機的進口風道，再從風扇出口之擴散器進入鍋爐空氣系統，引風機風扇出口有一只出口風門在出口風門之後，風道被分為兩條，一只風道為主要空氣流即二次風風道，另一只風道則連至一次風扇的進口，而在風道分叉之前即先行接出一支空氣

管，當作空氣預熱器 A 台之進口隔離風門的氣封空氣，在 B 風道同樣有這條氣封空氣風道，且相互連通，使每一風道皆可提供氣封空氣供風門使用。

蒸汽空氣預熱器作為二次風之預熱用，以確保燃氣出空氣預熱器之溫度不低於預設值，在蒸汽預熱器之後，空氣風道引出一條風道作為氨氣混合用之稀釋空氣，稀釋空氣與氨氣混合後，由氨氣注入柵網噴入爐內燃氣中，再經 SCR 的反應器作用達到降低燃氣中 NOx 的濃度。

二次風在通過蒸汽空氣預熱器後，流經空氣預熱器吸收燃氣放出的熱量，在空氣預熱器出口側有一只二次出口風門，在出口風門之後即為 A、B 兩個二次風道的連通風道，這種配置可以允許一台送風機故障時，機組仍可達 50%MCR 的負載，二次風通過空氣預熱器後，進到鍋爐兩側熱風道，再進到鍋爐風箱。

二次風之連通風道上有偵測風壓的壓力傳送器，此量測值做為送風機 (FDF) 葉片開度的控制信號，在正常運轉下兩台送風機利用葉片開度，以控制二次風道上的空氣壓力。



在連通風道之後的 A、B 側二次風道，即各別傳送至鍋爐風箱，在風箱前

之風道分佈將二次風分配至燃燒器及火上空氣孔，在前爐共有二排燃燒器，後爐有三排燃燒器，而在前、後爐燃燒器之上則有相對的兩排火上空氣孔。

### 2.5.1.1 送風機 (Forced Draught Fan)

送風機 (FD Fan) 二台位於鍋爐的前面，負責提供鍋爐燃氣所需的空氣量。馬達驅動中心軸附聯軸器傳輸動力，風扇轉速固定，風量以液壓機構改變葉片節距 (開度) 來控制。風扇以潤滑油系統來循環潤滑軸承，並供液壓葉片調整系統使用。

風扇靜態元件包含三部份，風扇外殼 (Suction Box)、風箱 (Fan Housing)、擴散器 (Diffuser)，這些組件被固定在水泥基礎台上。驅動馬達馬力為 2200KW，六極，6600 伏，60Hz 感應電動機。

#### 風扇外殼 (Suction Box)

風扇外殼由上、下兩半組成。轉軸組件藉由中心法蘭置於風扇外殼下半部並對正，外殼上、下半藉由分法蘭連結，以銷鍵對正。

#### 風箱 (Fan Housing)

風箱位於風扇外殼和擴散器之間，為旋轉組件體，設置吸振膨脹接頭與風扇連結，採進口噴嘴使葉輪處低流量損失確保平順。風箱內裝有罩著中間軸的罩子，此軸罩定位於風扇外殼導流板組。中間軸罩的外法蘭安裝分割式氣封蓋，氣封蓋與中間軸間須保留間隙。

#### 擴散器 (Diffuser)

擴散器在風扇出口端，擴散器與外殼以膨脹接頭連結，流體流經葉片進入擴散器時，高動能轉換為靜壓及釋放能量。

### 2.5.1.2 一次風扇 (Primary Air Fan)

一次風扇 (PA Fan) 由馬達帶動提供粉煤機熱空氣，藉由空氣加熱器來乾燥粉煤過程中的燃煤和輸送粉狀燃料到燃燒器供燃燒。葉輪吸收空氣流經進口風箱、進口風門及控制機構、吸入噴嘴，並克服系統阻力，藉葉輪轉動增壓，渦形出口處動壓力轉變為靜壓力。風量控制採進口風門控制，藉驅動器轉動來調整。驅動馬達馬力為 1200KW，四極，6600 伏，60Hz 三相感應電動機。

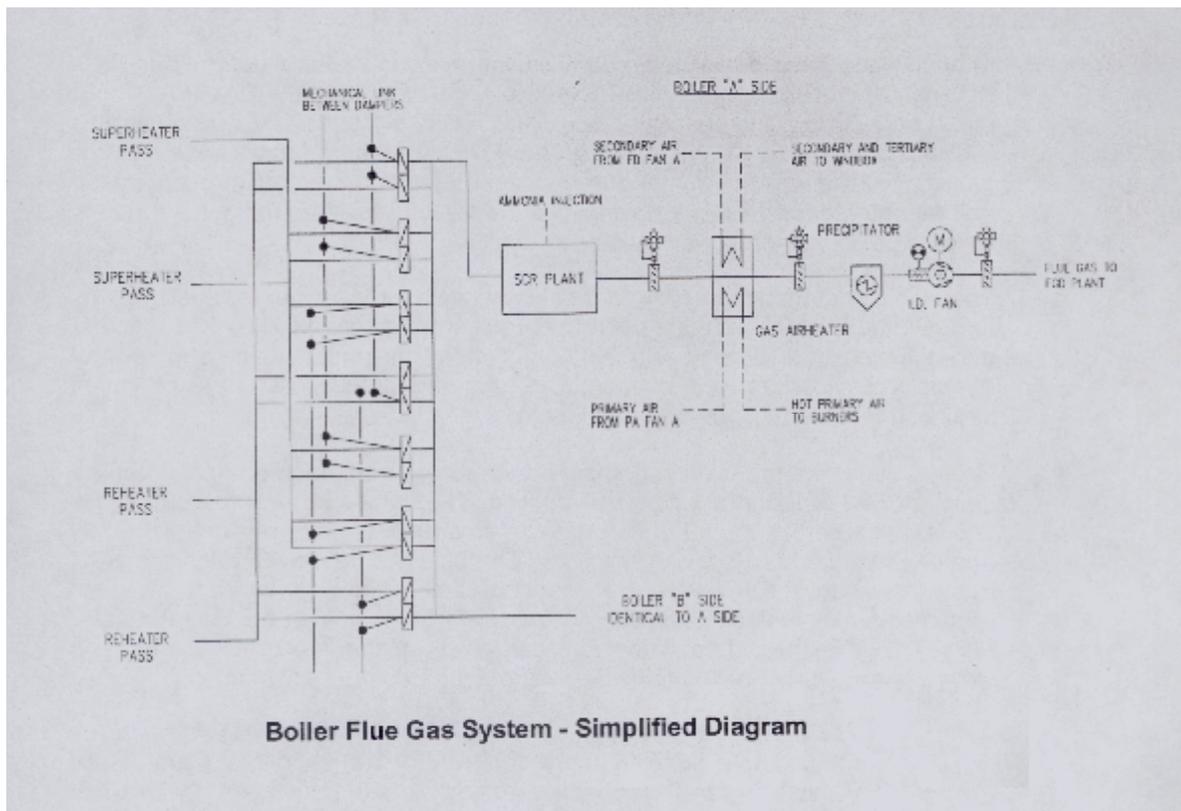
## 2.5.2 燃氣系統

爐內燃燒產生之燃氣在爐內先往上升，經過板狀過熱器、末段過熱器及再熱器出口管排後即進入後爐，在後爐燃氣煙道分為兩個，一個再熱器煙道，一個是過熱器煙道，燃氣通過每一煙道之燃氣量則由再熱器與過熱器之燃氣調整風門所控制，在過熱器煙道內有二組過熱器管排及省煤器管排，在再熱器煙道內也有二組再熱器低溫管排及省煤器管排。

燃氣調整風門共有四組，二組在再熱器煙道，二組在過熱器煙道，風門之每一葉片有連桿連接，由液壓驅動器統一帶動，再熱器與過熱器兩側之風門依相反方向動作，且限制其行程，以避免鍋爐被封閉造成煙氣無出口。

燃氣調整風門之後，兩煙道合而為一，由此共通的煙道再分為二個煙道，煙道 A 即連接至 A 側 SCR，在此降低煙氣中  $\text{NO}_x$  濃度，之後通過空氣預熱器 A 台之進口關斷風門，進入 A 台空氣預熱器，在空氣預熱器內，燃氣釋放出最後可用的熱量，以預熱一次風與二次風之空氣。

燃氣通過空氣預熱器之出口關斷風門，即進入靜電集塵器 A 台，將燃氣中之飛灰收集下來，之後通過引風機 A 台之進口風門及風扇加壓，再由引風機出口風門，連接至排煙脫硫設備，煙氣經脫硫後與另一股煙氣會流，經煙囪排至大氣。

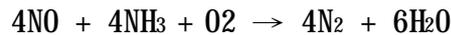


### 2.5.2.1 選擇性觸媒還原反應器(Selective Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction System)

選擇性觸媒還原反應器 (SCR) 的最基本功能是将鍋爐煙道氣中之氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 減少，以氨 (阿摩尼亞 NH<sub>3</sub>) 作為一個還原劑將其分解成氮和水。注意事項有：

在 SCR 系統中使用氨 (NH<sub>3</sub>)。操作/保養工作時需穿戴保護衣，手套和護目鏡/全罩式面罩。氨 (NH<sub>3</sub>) 在空氣中可能形成化合物造生爆炸。

反應原理：



SCR DeNO<sub>x</sub> 系統是由幾個輔助系統包含接觸反應、氨注入系統和空氣供應系統等組成。

#### 1. 燃氣通路

SCR 反應器位於鍋爐省煤器出口燃氣通道下游。氨 (NH<sub>3</sub>) 之注氨格柵則置於 SCR 反應器上游的一個適當位置。使氨/空氣混合物進入燃氣中可均勻分布並由導葉導入反應器。在反應器內氨將 NO<sub>x</sub> 反應轉換成無害的 N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub>，然後通過空氣預熱器做熱回收。

#### 2. 氨供給系統

A. 氨之供給：氨送到氨流量控制元件。注氨量是利用進口 NO<sub>x</sub> 總量之信號，由氨流量控制閥來控制。為避免氨/空氣混合氣體的爆炸，氨氣進入氨/空氣的混合器之內後，利用空氣稀釋，達成空氣/氨容積比大約為 19：1。

B. 稀釋空氣供應：稀釋空氣由送風機出口風道引出作為來源。

C. 氨/空氣的混合器：作為氣態和空氣混合用。

D. 清吹氮供給：氮作為氨注入系統停機檢修時，清除管線下殘留氨用。

#### 3. SCR 反應器

每個鍋爐安裝二個反應器，反應器為固定床，平行通路，垂直型式。反應器是自撐之鋼結構型（由底部支撐）。它由外殼和內部觸媒支撐結構組成，可耐內部壓力、地震負荷、觸媒層負荷和熱應力。外殼外部加裝保溫，可支持總荷重而且提供一個氣密煙道，內部觸媒支撐結構則直接地承受觸媒荷重。反應器外部結構則由強化鋼製外殼組成，並靠結構鋼件來作支撐。

#### 4. SCR 觸媒

每個反應器裝有二層觸媒層，採用平板型。特點為：高活性、壽命長、低壓降、高抗阻塞能力、緊密、堅固和容易搬運。

觸媒元件由支撐覆二氧化鈦基為主之活性觸媒材料於支撐底板上。煙氣流向與觸媒元件平行，以減少壓力降。許多片觸媒元件組成一個觸媒單元，再由觸媒單元組成觸媒集塊。每個反應器配置有 **110** 個觸媒集塊。

#### 5. 氨／空氣注入系統

氨和空氣在混合器和管路中充份混合，然後再引入氨分配歧管。注入系統包含有供給集管、注氨格柵和噴嘴。每個集管爲了要調整觸媒上游氨流量，安裝一個手動節流閥和縮孔。手動節流閥開度係根據注入氨量和 **SCR** 出口燃氣之取樣，分析燃氣中所含 **NOx** 量設定。

#### 2.5.2.2 引風機 (Induced Draught Fan)

二台馬達帶動引風機 (**ID Fan**) 連接爐膛，經由煙氣加熱器和靜電集塵器，傳輸到煙道再排放到煙囪。同時保持爐膛壓力在鍋爐運轉期間維持在希望值。風扇爲雙進口離心式，安裝在靜電集塵器下方，每座引風機進口與靜電集塵器出口單獨連接。出口風管安裝有獨立風門，經由出口風管煙氣排至排煙脫硫設備。

引風機爲雙進口，離心式風扇組件爲鍛造葉輪，由兩軸承支撐，葉輪軸藉全鋼連軸器連接到動力馬達。引風機使用馬達爲 **6500/3400KW**，**8/10** 極，**6600** 伏，**60Hz**，三相感應式。浮動端軸承裝於轉軸自由端，軸承爲油槽循環潤滑套筒軸承。

### (三) 鍋爐燃燒設備 (Furnace Combustion Equipment)

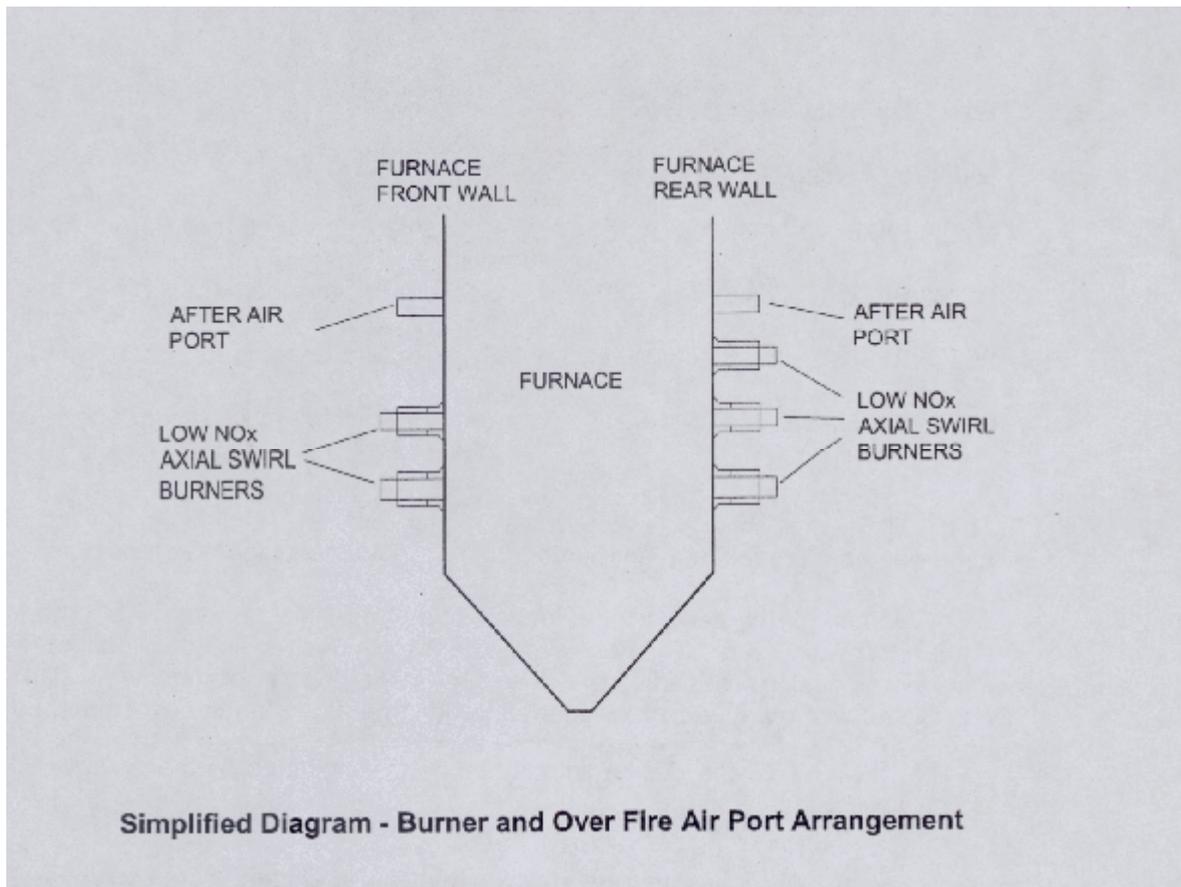
鍋爐燃燒使用 **25** 支低氮氧化物軸流旋渦燃燒器 (**Low NOx Axial Swirl Burner**) 和 **10** 個火上空氣口 (**Over Fire Air Ports**)，它們依相對燃燒型式安置，前牆及後牆各有二列及三列燃燒器。每一水平列有五支燃燒器 (**LNASB**)，最上排燃燒器上方在前後爐各有一排火上空氣口，其中每排有五個火上空氣口。鍋爐最大連續出力 (**Boiler Maximum Continuous Rating**) 時需要運轉 **20** 支燃燒器。

**LNASB** 和 **OFA** 口的組合允許鍋爐燃燒系統利用爐膛空氣分兩階段燃燒，這有效的使燃燒分開而進入兩個區域。

第一燃燒區是藉由提供少於正常燃燒需要空氣量來維持燃料充實，剩餘之燃燒空氣注入第二區火上空氣口，造成實質的 **NOx** 降低。

空氣階段之工作：

1. 藉由供應燃燒器小於它的正常需要空氣量，使燃燒器減少  $\text{NO}_x$  產生。
2. 火上空氣孔提供維持燃料充實延長留置時間，此延伸了含氮燃料在氧化不足的區域，使現存的  $\text{NO}$  被破壞而改變。



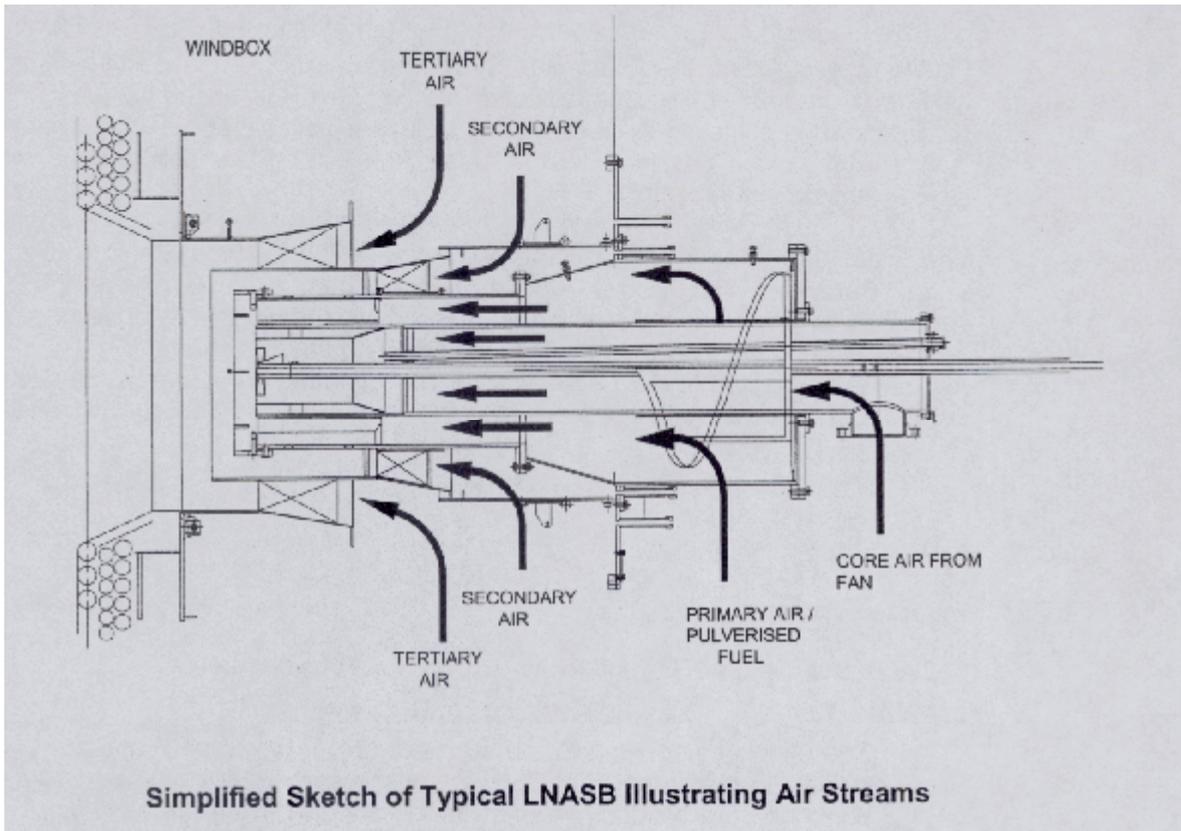
### 3-1 低氮氧化物軸流旋渦燃燒器 (Low $\text{NO}_x$ Axial Swirl Burner)

低氮氧化物軸流旋渦燃燒器 (LNASB) 已經被發展達到  $\text{NO}_x$  降低的需求成爲一種實際和經濟的方法。在設計上 LNASB 被要求須達成下列標準：

1. 在揮發性成份最大比率的被利用，獲得最大之揮發性效益。
2. 提供一個初次的缺氧區，使最小量之  $\text{NO}_x$  形成，但是同時提供充份氧氣維持一個穩定的火焰。
3. 改善在燃燒環境下留置時間和溫度的條件，使形成最小量的  $\text{NO}_x$ 。
4. 在燃料充足最大焦炭留置時間的狀態，使形成降低焦氮氧化物。
5. 加入剩餘空氣的方式確定可使燃料完全燃燒。

燃燒器區分燃燒空氣成三個氣流，爲一次、二次及三次。一次空氣 (PA) 由鍋爐一次風扇 (PA Fan) 供氣，在粉煤機內和粉煤 PF (Pulverised Fuel) 結合。PF 和 PA 混合物經過一個圓錐筒進入燃燒器內，從此進到鍋爐由一支 PA 管傳送。收集器鑄件被安裝固定在 PA 管之爐膛端，集中 PF 流，使優先進入爐

內。連同二次和三次空氣漩渦器及一個火焰維持器一起，確定穩定的火焰被維持在燃燒器的喉部。中心空氣管在運轉上有一支油槍及一支點火炬通過其中心。



#### (四) 粉煤系統 (Coal Pulverising System)

粉煤系統的目的為在控制速率下經由粉煤機和粉煤管路供煤給燃燒器。每座鍋爐由五台粉煤機供煤，其中必須有四台同時運轉才可使鍋爐達到最大連續出力(Boiler Maximum Continuous Rating)。燃煤需有 80% 小於 75 微米和 99.5% 小於 250 微米。熱的一次空氣被用來乾燥和傳送粉煤到燃燒器。

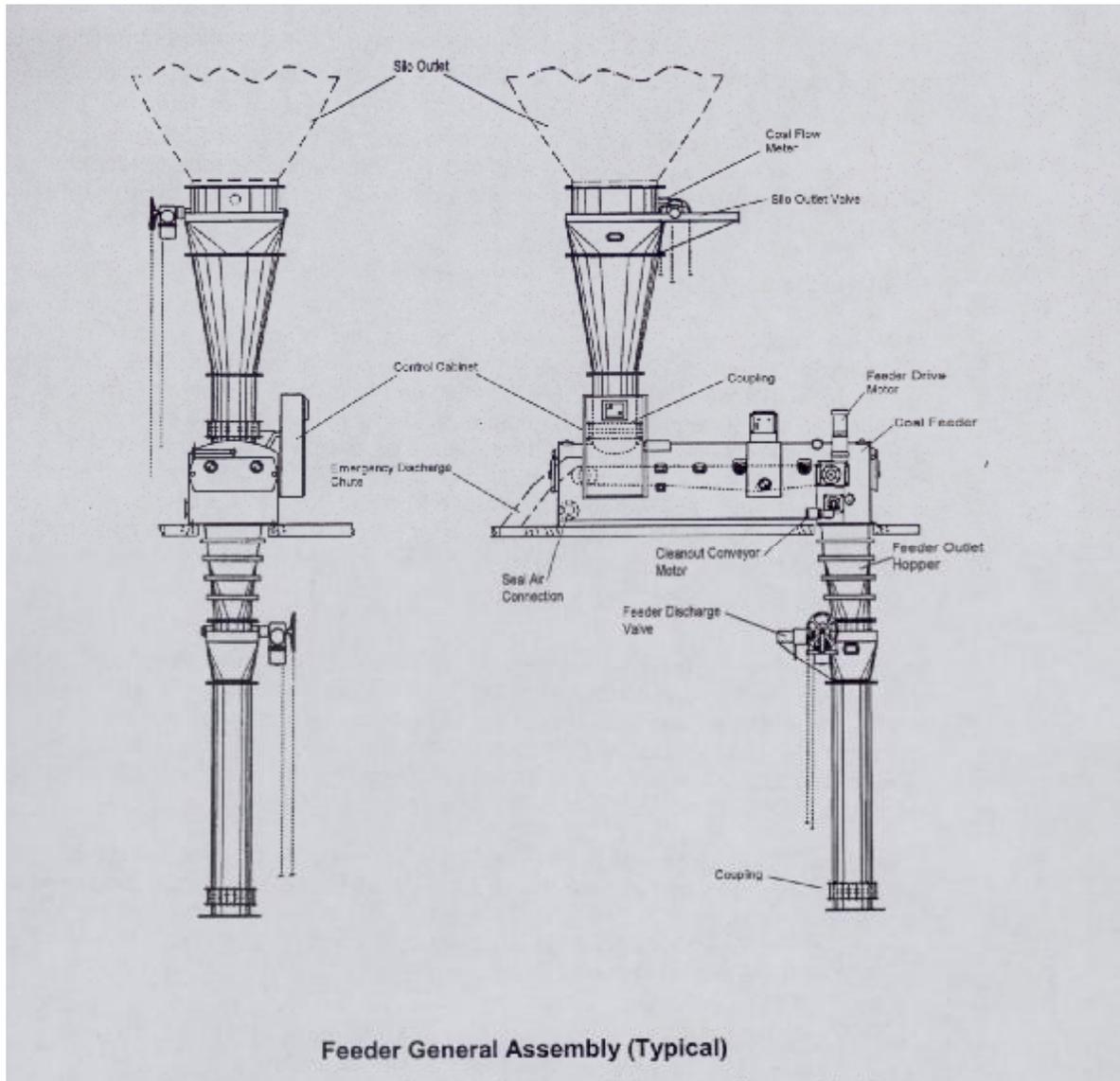
每座鍋爐之粉煤系統由五組單獨次系統組成，每組次系統由煤倉、飼煤機、粉煤機和五支低 NO<sub>x</sub> 燃燒器。從煤倉到燃燒器包含粉煤管路、管閥和附件。

未加工煤由飼煤器經由中央飼煤管供至粉煤機滾動研磨台座，由燃燒控制系統決定送煤速率。離心力使得煤呈放射狀地外移，通過二個對煤產生負載的旋轉滾筒，在研磨座和滾筒之間尺寸變小，離心力輸送粉煤到熱的一次空氣流內。熱的一次空氣 (PA) 和冷的調溫空氣 (TA) 由一次空氣系統供給。

粉煤和空氣混合物往上通過一個旋轉的分煤器 (Classifier)，在此粗的煤掉落粗煤收集斗再掉落積於排放斗，當排放斗儲存相當重量的粗煤後以其重

量力打開排放斗下方之排放門，而使粗煤掉落磨台中心與飼煤混合再被磨成煤粉。煤粉細度隨著葉片角度而變，葉片角度可隨所需粉煤細度調整。

分煤器可旋轉式葉片組由一組馬達及皮帶輪帶動，使分煤器迴旋提昇效率。葉輪之速度可隨所需粉煤細度調整，速度越快，粉煤細度越細。



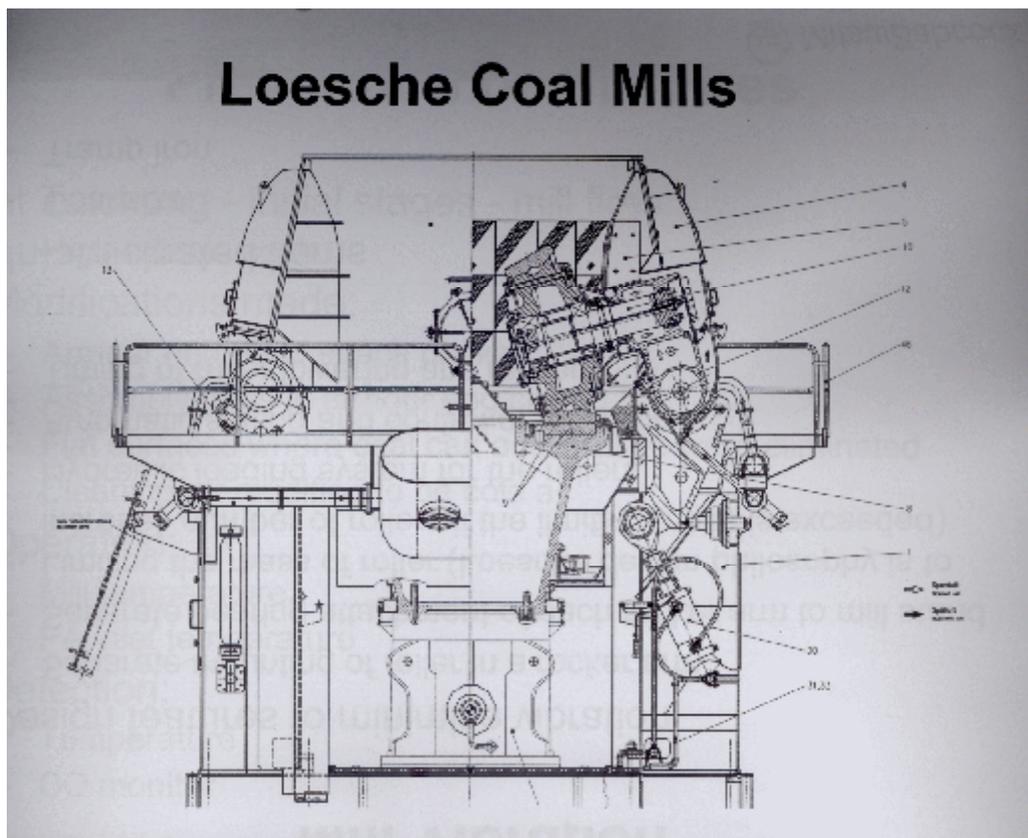
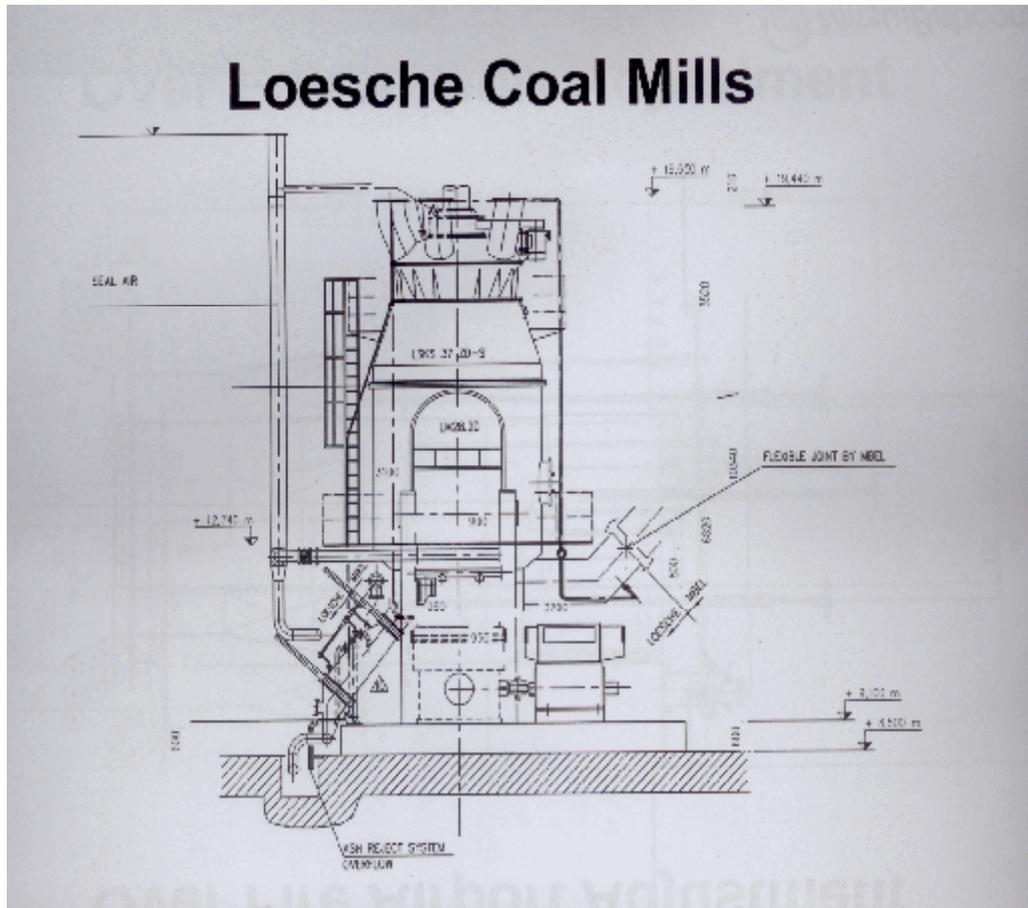
#### 4.1 粉煤機 (Coal Pulveriser)

每部機鍋爐有五座直立式環狀磨輪式粉煤機，每座粉煤機由獨自煤倉及飼煤機供原煤，並供給一組五支燃燒器燃燒。每座粉煤機含下列主要元件：

1. 旋轉磨台座 (Rotating Grinding Table)
2. 齒輪箱組合 (Gearbox Assembly)
3. 研磨機台和體 (Mill Stand/Body)
4. 滾軸負載系統 (Roller Loading System)
5. 旋轉分煤器 (Rotary Classifier)

磨台座以螺栓固定在研磨機齒輪箱上並以固定的速度旋轉，每分鐘 34.64

轉，由上向下看，磨台座之垂直轉軸是以順時針方向迴轉。



## (五) 超臨界蒸汽鍋爐設備探討 (supercritical steam boiler)

超臨界蒸汽鍋爐設備 (supercritical steam boiler) 的運用不僅可提高機組的效率，更可以提供一些好處，如由於其對負載變化狀況的快速回應使具易於操控負載的能力。

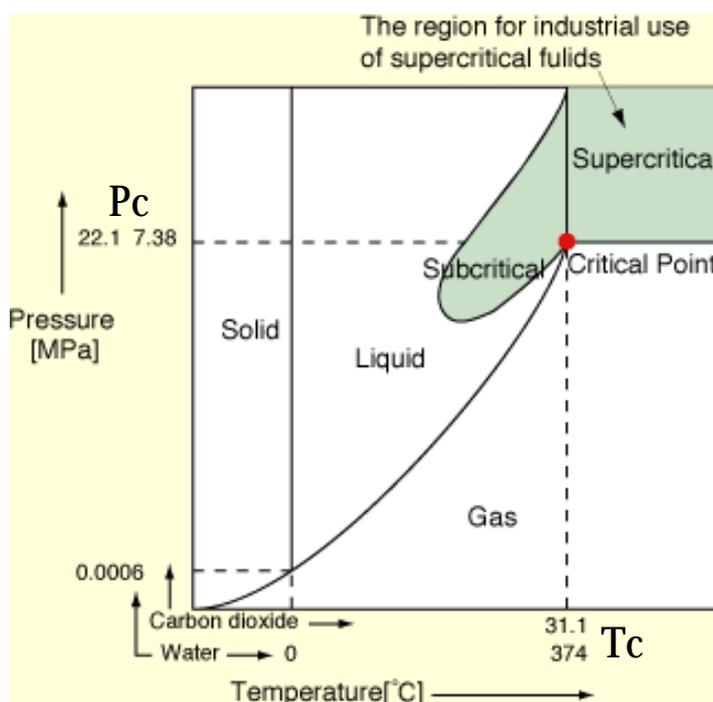
超臨界技術成功的主要因素，包含使用平順變化壓力的運轉方式，應用高強力材料，使用氧化飼水處理 (OWT)，進階數位控制系統，和高度的自動化運轉。

更乾淨、更有效率的發電方法是全世界工業國家追求的目標。煤是一種充足的燃料來源，但是它燃燒特性產生挑戰必須被提出，利用增大的超臨界蒸氣元件是接受挑戰的一個方法。

超臨界技術於 1950 年在美國最先發展出來，但是這些早期機組經歷了可靠性、操作上適應的談論。這技術現在被所有發電機組大容量鍋爐採用。世界上目前許多超臨界機組運轉中，最早機組安裝後已運轉超過 40 年。繼續進行的研究和發展增進了機組的可靠性。遍及亞洲及大洋洲的發電設備使用超臨界技術，因此它很快地成爲世界性大容量鍋爐的標準。一次通過鍋爐技術最早在歐洲起源，在超臨界蒸汽狀態發展形成最有效的應用。

### 5.1 超臨界流體 (SUPERCRITICAL FLUIDS)

超臨界流體定義爲在臨界溫度 ( $T_c$ ) 和臨界壓力 ( $P_c$ ) 以上的物質，臨界點代表物質同時呈現氣態和液態平衡狀態時的最高溫度和壓力。



## 5.2 超臨界裝置過去的問題探討

運轉和維護的問題：下表為舊式超臨界裝置所邁遇問題的總結，現在設計的解決對策如表所示。在現存機組運轉和維護的主要問題在於固定的壓力運轉，不適當的爐膛尺寸產生爐渣問題，和早期階段不適合的氣流循環造成爐管的失敗。

舊式超臨界裝置運轉和維護的問題比較表

舊式超臨界裝置邁遇的問題	原因	解決方法（新式超臨界裝置使用）
啓動閥腐蝕	高壓力差由於固定壓力運轉及複雜啓動系統造成	滑順壓力運轉 單純的啓動系統和低負載再循環系統
較長的啓動時間	複雜啓動系統和運轉（躍跳運轉需要，）	滑順壓力運轉 單純的啓動系統和低負載再循環系統
低負載變化率	汽輪機熱應力造成高壓汽輪機在負載變化時溫度改變（由於固定壓力運轉）	滑順壓力運轉
最小穩定運轉負載高	旁通運轉和壓力，負載變化運轉時需要	使用低負載再循環系統
爐渣	小尺寸爐膛和吹灰系統不適當的覆蓋	適當的機組散熱區和爐膛高度設計，沒有區隔牆吹灰設備和噴水供應系統
水牆管周圍分餽	由於內部鱗狀物堆積和火判焰端廢棄物造成金屬溫度上昇	氧化水處理（OWT） 爲高硫煤爐膛燃燒區設防護表面
需要經常酸洗	不適當的水化學性	氧化水處理（OWT）
效率比預期低	由於加壓的爐膛造成高的空氣洩漏 在雙重再熱循環結構的溫度變化	密封結構 高流溫與平行偏斜氣體調節閘溫度控制的單一再熱系統
低的可利用性	以上全部	以上全部

近代的發電機組在設計上不僅為經濟因素要求高效率，同時為增進環境績效，而減少燃料需求、減少灰燼的產生量，和減少污染物的排放。縮減二氧化碳 CO<sub>2</sub> 量亦是一個注目的焦點。為達這些目標，超臨界蒸汽設備被使用。最近二十年在歐洲建造的大型燃煤熱力發電機組大部份都使用超臨界蒸汽設備，同時以粉煤燃燒一次通過鍋爐技術為基礎。

最近二十年循環液床（**Circulating Fluidized Bed (CFB)**）鍋爐技術在自然循環的基礎上達到實用水準。這種技術的發展更進一步的運用在更大型機及超臨界蒸汽設備上。**CFB** 鍋爐的一個特性是對燃料混合比變化不敏感及對燃料的彈性。熱力輪的均勻燃燒特性確保在燃料變化下管溫變化較小。

- 1.對燃料的不挑剔，可使用較經濟便宜的燃料。
- 2.均勻的燃燒特性縮小管溫變化不平衡。
- 3.沒有排氣清潔設備減少了排氣排放量。
- 4.減低燃料的使用量。

由於經濟和環保因素：對能源管理和何種型式的能源應被使用仍是討論的主題。燃煤機組由於會對大氣造成污染，因此煤不受歡迎。

特性：1.超臨界壓力和高蒸汽溫度的結果，產生高效率的水/蒸汽循環。

- 2.蒸汽輸出和蒸汽溫度對燃料變動不敏感的特性。
- 3.由於可變化的壓力操作和短的啟動時間，使負載能力能急速的變動。

#### 四、建議事項

- 1、鍋爐設備附件眾多且複雜，機械原理、設計概念深奧。研習時間 12 天扣除搭機、放假日時間，實際研習時間有限，只能對廠家提供資料作了解，未能真正深入。稍延長一些研習時間應可有更好收穫。
- 2、在外國超臨界蒸汽鍋爐設備使用在大型發電機組已有多年經驗，且有多部機組運轉中，數據資料顯示該種鍋爐比傳統式有更多的優點。為提昇發電績效，節省成本，未來的發電機組應都會使用該設備，施工處同仁應對該設備有更深入的認識，以應付未來艱鉅的任務。
- 3、一個人初次赴陌生的國度心中是緊張又惶恐，對日常生活的一切作習方式都不清楚，若有二人同時赴訓，可在訓練課程上、生活作習上互相討論，彼此照顧。
- 4、英國人講話口音、速度和我們平常練習的英語有些差異，當他們講得太快時偶有聽不懂時，我們平時就必須加強英文聽說讀訓練。台電開辦的網路學院中的英文課程內容豐富，同仁宜善加利用提高英語實力。