

出國報告(出國類別：實習)

# 台中電廠中九、十號機鍋爐及附屬 設備相關技術研習

服務機關：台中火力發電廠

姓名職稱：李枝榮

派赴國家：英國

出國期間：95/10/15～95/11/26

報告日期：95/11/29

## 目 錄

壹、國外公務目的	.....	3
貳、國外公務過程	.....	3
參、公務出國內容紀要	.....	3
一、機組設備介紹	.....	4
二、燃燒控制與管理	.....	6
三、現場參觀	.....	10
肆、公務出國心得	.....	12
伍、建議事項	.....	14

# 台中九、十號機鍋爐及附屬設備規劃、設計及維護研習報告

## 壹·國外公務目的

此次奉派至英國實習的主要目的是針對中九、十機鍋爐，對於其設計、規劃、製造、安裝、維護等方面做一統合性的實習，將平日維護或運轉中九、十機時所常碰到的一些問題，藉由此次機會與英國 Mitsui Babcock 公司的專案工程師及經理人員做一個雙向式的溝通瞭解及探討，並汲取英國廠家對此方面的經驗與作法，以提昇在此方面的專業知識能更加深入，以瞭解整個鍋爐廠家之設計原理及控制方法，使未來在維護上能更加平順，得心應手。

## 貳·國外公務過程

由於中九、十機鍋爐原廠家係英國 Mitsui Babcock 公司，提供電廠相關設備之設計技術。在台中計劃／工程計劃經理 Mr. Martin Strang 細心的行程規劃下，此次研習過程中由 M.B 公司 Martin Strang 及 Loesche 粉煤機製造廠家之 Anthony Landers 兩位資深工程師全程陪同，提供了實習訓練的機會，並且共參訪了英國 3 家燃煤火力電廠，包括了 Tilbury power plant、Ratcliffe power plant and Drax power plant，藉由在現場實際的相互討論與意見交流，提供了相當多的技術與專業知識，使我們在此次研習中獲益匪淺，對個人在日後的維護工作上之技能提升有很大的幫助。

## 參·公務出國內容紀要

由於職現從事中一至四機鍋爐的維護，深切了解鍋爐燃燒對整個鍋爐的效率、鍋爐結渣及鍋爐運轉安全的重要性，因此研討的方向主要偏重於燃燒的控制原理及如何得到良好的燃燒效果，而內容概分如下三大部分：

- 一、鍋爐相關設備簡介。
- 二、燃燒控制與管理。
- 三、現場參觀。

## 一、鍋爐相關設備簡介：

### (一) 鍋爐本體，請參閱圖一

依 ASME、Power Boilers 設計之本體配件不外乎有爐體、過熱器、再熱器、省煤器等，其各部位之配件材料材質及厚度配合該溫度、壓力等件選用。簡述如下：

1. 汽水鼓橫置於鍋爐前端頂部(東西向)當作蒸氣產生迴路中水的儲存槽，汽水鼓包括螺旋臂汽水分離器、化學飼藥管路飼水分配管、乾燥器、連續沖放管路等；汽水鼓正常運轉水位是在汽水鼓中心線上方 51mm 處。
2. 爐膛: 蒸汽是在鍋爐本體方型爐膛的水牆內產生，爐膛由有管翼管排所焊接而成，爐膛的底部成漏斗狀，由前後牆管所構成，中間的空間是開放輸出底灰用 (SCC)。爐膛後牆有一爐鼻區可使燃氣均勻的分配至爐鼻上方的過熱器，爐鼻區由有管翼的後爐牆管組成，在爐鼻的上方，部份後牆管成隔間垂直延伸到爐頂形成柵狀通道，其柵狀通道管皆為裸管，以容許燃氣從爐膛至熱回收區。爐膛前牆有二排，後爐有三排水平燃燒器，每排各五只燃燒器，共計 25 只燃燒器。
3. 省煤器設於熱回收區底部，在過熱器與再熱器燃氣通路控制風門 (Biasing Damper) 之上。省煤器是一個熱回收的設備，利用離開過熱器與再熱器之較低溫的燃氣，來預熱將進入汽水鼓之高壓飼水。省煤器管排是位於後爐的底部，在一次過熱器與再熱器之下，由多重迴彎管排組成的陣列管排，省煤器的管子是由支撐板支撐，這些支撐板是繫在省煤器進口集管箱的下方，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 2 列的支撐管支撐。

為減少灰蝕的問題可利用下列方式處理：

- (1) 通過省煤器之燃氣流速，保持最小。
- (2) 在管排的第一支管及吹灰器所在之爐管的表面使用保護片。

燃氣在 IDF 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，然後回到汽水鼓。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 2 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水鼓，使汽水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循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。

4. 一次過熱器位於省煤器上方，在 HRA 後燃氣通道的上部，共有 150 排水平管排。
5. 省煤器再循環泵：由汽水鼓供給爐水至泵浦，泵送至 ECO 進口管，再經 ECO 回到 DRUM 內在 DRUM 水位  $>-350\text{mm}$  且出口閥全開下，可准許起動，當離開省煤器出口平均溫度  $>290^{\circ}\text{C}$  且蒸汽流量  $>100\text{kg/s}$  時則自動停用。
6. 板狀過熱器位於爐膛頂部，並介於爐膛前水牆與後水牆之爐鼻間，包括九排垂直懸吊的管排。
7. 末段過熱器位於爐膛頂部，後側爐膛水牆爐鼻的上方，由 24 排垂直垂直懸吊管排所組成。
8. 低溫再熱器位於 HRA 的前燃氣通道，共有 150 排；高溫再熱器位於末段過熱器下游側共 75 排。
9. 燃氣控制風門 (Biasing Damper) 位於 HRA 下方省煤器燃氣出口處，控制流經水平再熱器管排與一次過熱器管排之燃氣量比例。藉由調整通過再熱器的燃氣流量，來控制最後再熱蒸汽溫度，其餘的燃氣通過一次過熱器，然後自動地調節板狀過熱器與末段過熱器噴水流量以控制最後過熱蒸汽溫度。

該風門共有四組之燃氣調整風門，二組在再熱器煙道，另二組在過熱器煙道，風門的每一葉片由連桿來做連接，並由液壓驅動器統一帶動，同時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而造成煙氣無出口之情況發生。

10. 吹灰器及爐膛燃氣溫度探測器：在爐膛區裝有短程吹灰器 24 支，板狀過熱器、末段過熱器及熱回收區裝有長程吹灰器 34 支，做為清吹水牆管之結渣及爐管積灰；爐溫探測器 2 支設於爐膛，用以測量進入過熱器的燃氣溫度。

## (二) 燃燒系統

中九、十機爐膛設計係對牆式點火燃燒器型，該鍋爐配有 25 支低氮氧化物軸流旋渦燃燒器 (Low NOx Axial Swirl Burner, LNASB) 和 10 個火上空氣口 (Over Fire Air Ports)，依前後爐各有二列及三列之燃燒器排列方式來安置。另外在前、後爐燃燒器上方則各有一排對向之火上空氣孔 (OFA)，每排各有 5 個在燃燒器最上排上方形成一單列且交互以順時針漩渦或逆時針漩渦之排列，火上空氣口提供了維持完全燃燒所需要之空氣，此空氣允許經過兩個氣流孔以高速進入鍋爐，空氣之中央部分以衝擊方式高軸向速度穿過，而空氣之外部部分則經過空氣口產生漩渦進入鍋爐與燃氣混合。鍋爐燃燒設備，其最大連續出力 (Boiler Maximun Continuous Rating) 時需要運轉使用 20 支燃燒器。

燃燒器控制風門 (air registers)：

雙重系列控制風門包含有二個風道，每一風道有一組控制風門，內層控制風門排列在外層控制閘門之內，因此，外層控制風門，即是控制燃燒空氣量的主幹，已對於火焰的形狀，與燃燒後產生之排放物，有莫大的影響，由於內層風門之空氣較接近，燃燒器分火噴頭出口之煤流，因此它對於火焰之穩定性的控制相當靈敏。

調節燃燒器控制風門之主要目的是：

- (1) 穩定火焰
- (2) 使 LOI 降至最低
- (3) 調整使 LOI 在可接受之範圍

上述之目的彼此間是相互衝突，在產生擾流狀的火焰是短而散開，因而產生較低的 LOI，但 NO<sub>x</sub> 的量會達到最高，因此需調節外層風門，以使燃燒後之排放物在限制的範圍內。

由上述，外層風門可影響火焰之形狀，一般在開度為 30%~40% 時，火焰呈擾流狀，短而散開，與燃燒器中心線成較大角度展開。在此設定下，噴入的空氣有較大的漩渦，而將煤流沖散，產生擾流的作用，而且，在燃燒器附近，產生強大的軸向迴流區，這種開度的結果，可增進燃燒的穩定性及降低 LOI，但卻會使 NO<sub>x</sub> 升高。

外層風門開度在 60% 或更大時，火焰會有較小的擾流，在軸向方向會變得長，火焰散開角度較小，在這種開度下，漩渦的程度較小，使得煤流維持較久，空氣延後加入燃燒較多，如此使得 LOI 上，而 NO<sub>x</sub> 量減少。

內層控制風門的空氣，最靠近煤流，當風門全關時，只有一點空氣會洩漏過去，若在開度 10% 左右時，進入此區域的空氣會產生很強的漩渦，風門開度的變大。也使進入的風量增加，由於空氣具有漩渦，量也增加，又是如此接近煤流，所以此時，內層控制風門對於火焰之穩定度的影響相當敏感，同時由於煤流被漩渦之空氣所破壞，LOI 降低了，而當內層控制風門開度大於 20% 以上時，由於風門葉片角度與氣流方向較一致，使得空氣漩渦減少了，總之，風門開度 0~20% 火焰是擾動，短而散開，超過此開度，火焰變得較為軸向噴出，這是由於較多的無漩渦的空氣加入所致，這個結論對於外層控制風門也可適用（外層控制風門在 30% 的火焰，短而散開，在 70% 的火焰為軸向噴出）但由於較靠近煤流的關係，內層控制風門顯得較敏感（內層控制風門在 10% 的火焰短而散開，在 40% 的火焰呈軸向噴出）。

## 二、燃燒控制與管理。

爐內 NO<sub>x</sub> 的生成機制與原理：在實際爐內燃燒過程中，NO<sub>x</sub> 的生成主要可分 3 部份，即快速 NO<sub>x</sub>、熱力 NO<sub>x</sub> 和燃料 NO<sub>x</sub>，但三者間的比例是不一樣的。

(1) 對於快速 NO<sub>x</sub> 是使爐內處於  $\alpha > 1$  的狀況下，由於局部區域混合不一定均勻，也可能出現富燃料區域 ( $\alpha < 1$ )，此時在該區域內還是會有快速 NO<sub>x</sub> 的生成，但由於其生成時間極短，故其生成量僅為總量的 5% 以下，基本上可以忽略。

( $\alpha$ ：過剩空氣係數)

(2) 熱力 NO<sub>x</sub> 的生成情況則較為複雜，如爐內混合狀況、溫度、氧濃度、煤種、爐內熱傳情況等因素皆會影響其生成。一般而言，在燃煤火焰中，熱力 NO<sub>x</sub> 約占 20% 左右，而且溫度對其生成有較大的影響。

(3) 燃料 NO<sub>x</sub> 則約占 NO<sub>x</sub> 總量的 75%~80% 左右，由於燃料 NO<sub>x</sub> 又分為揮發份 NO<sub>x</sub> 和焦炭 NO<sub>x</sub>，在此兩部份中，揮發份 NO<sub>x</sub> 佔主要部份，它在燃燒初始階段形成，即在離燃燒器很近的地方生成，故整個運轉狀況對其影響很大，而焦炭型 NO<sub>x</sub> 則受運轉狀況之影響較小。

在 NO<sub>x</sub> 控制技術方面，為了能降低 NO<sub>x</sub> 的污染，目前所採行措施有兩種：(1) 是控制燃燒過程中 NO<sub>x</sub> 的生成(2) 是對生成的 NO<sub>x</sub> 進行處理；由此所發展出降低 NO<sub>x</sub> 技術兩大類別分別為低 NO<sub>x</sub> 燃燒技術和燃氣處理降低 NO<sub>x</sub> 技術。

#### (1) 低 NO<sub>x</sub> 燃燒技術，請參閱圖二

它是降低燃煤 NO<sub>x</sub> 排放的最主要也是較經濟的技術措施，主要有：

1. 空氣分級燃燒：根據 NO<sub>x</sub> 的生成原理，燃燒區的氧濃度對各種類型的 NO<sub>x</sub> 生成濃度影響很大，當過量空氣係數  $\alpha < 1$  時，燃燒區處於“貧氧燃燒”狀態時，對於一直在該區 NO<sub>x</sub> 的生成量有明顯的抑制效果。因此，第一級燃燒區的主要作用就是抑制 NO<sub>x</sub> 的生成，並將燃燒過程延遲。而燃燒所需的其餘空氣則藉由通過燃燒器上方之火上空氣孔送入爐膛內再與第一級“貧氧燃燒”所產生的燃氣混合，以完成整個燃燒過程，此時第二級的燃燒過程是在  $\alpha > 1$  的條件下進行的，故稱分級燃燒法。
2. 低 NO<sub>x</sub> 燃燒器，從 NO<sub>x</sub> 的生成機制來看，佔 NO<sub>x</sub> 絕大部份的燃料型 NO<sub>x</sub> 是在煤粉著火階段生成的，因此，透過特殊設計的燃燒器結構及改變通過燃燒器的風煤比例，使在燃燒器的著火區的燃燒過程中達到空氣分級，燃料分級等效果，儘可能降低著火區的溫度和降低著火區的氧濃度以最大限度地抑制 NO<sub>x</sub> 生



成，使燃燒器不僅能保證粉煤著火和燃燒的需要，且能有效地抑制 NO<sub>x</sub> 的生成。

## (2) 燃氣處理降低 NO<sub>x</sub> 技術

控制 NO<sub>x</sub> 的排放，除了透過改進燃燒過程外，還可透由淨化燃燒產物來控制，煙道中燃氣處理技術包括了選擇性非觸媒還原技術 (SNCR) 和選擇性觸媒還原技術 (SCR)，在此則不再贅述。

Mitsui Babcock 公司 Mr. Martin Strang 宣稱該低氮氧化物軸流式旋渦燃燒器 (Low NO<sub>x</sub> Axial Swirl Burner, LNASB) 是為達到降低 NO<sub>x</sub> 生成所研發之一種方法，在設計上 LNASB 被要求需能符合：

- (一) 在揮發性成份最大比率下可加以利用，以獲得更大的揮發性效益。
- (二) 可提供一個初次缺氧區，使 NO<sub>x</sub> 形成最小量，但同時可提供充份氧氣以維持火焰的穩定。
- (三) 改善在該爐膛內之燃燒環境下所留置時間和溫度間的條件與關係，使其形成最小量的 NO<sub>x</sub>。
- (四) 燃料充足下延長焦炭在爐內的留置時間，以降低氮氧化物。
- (五) 加入剩餘空氣的方式，可更確保燃料能完全地燃燒。

而利用空氣分階段供應之目的是為了：請參閱圖三

《1》藉由供應燃燒器小於它的正常所需之空氣量，使燃燒器減少 NO<sub>x</sub> 的產生。

《2》火上空氣孔提供了使燃料可充份混合完全燃燒並延長留置時間，使現存的 NO 被破壞而改變。

每個燃燒器和火上空氣口由一個手動操作之總空氣量調整風門控制，燃燒器和火上空氣口預先操作在  $\lambda = 0.9$  之燃燒器區域量，但系統之設計區域量則在 0.85 到 1.00 之間，端視實際燃燒狀況，隨

時做調整，而使得到最佳空氣量以分配給燃燒器和火上空氣口，進而使爐膛內氮氧化物和未燃碳降低，以達到環保及運轉效率要求。

另一方面，在英國 Drax power plant 電廠參訪時，正巧該電廠在做 De-Nox 改善；在整個研習過程中，Mitsui 公司人員，向我們作該廠之改善工程案設計原理之介紹，其概述如下：

Boosted Over-Fire Air (BOFA) 係一可降低氮氧化物的技術，將燃燒時所需之空氣量由風箱抽取一部份經增壓風扇後，再以約 80m/s 之貫穿速度注入於爐鼻與頂層燃燒器上方間之爐膛內，利用 BOFA 所注入動能及速度特性，使燃氣與火上空氣之混合效果強化，增加擾動並使其燃氣分布更為均勻，同時亦可增加燃氣留置時間而使粉煤內之焦炭燃燼以降低氮氧化物。該增壓後之壓力約為 10~15" WC 且溫度約 600°F 的 Air 的主要作用是提供適切階段性所需的空氣量於爐膛內，而使得整體的 NOx 降低，同時 LOI 未燃碳亦可有效地改善，而此貫穿速度對於維持可接受之 LOI 和出口 CO 排放濃度是相當具有決定性的。

燃料中的碳，若未完全燃燒，會隨著灰離開爐膛，而形成未燃碳之熱損失，致影響鍋爐效率。此未燃的碳，可能出現在飛灰中或底灰中，一般常出現在飛灰中。未燃物之熱損失多寡，端視燃煤之種類、燃燒的方式、空氣與燃料比之維持以及燃燒器之調整是否得當等而定。當鍋爐負載變動中，可能因空氣與燃料比暫時的不平衡，致未燃碳起大的變化，適當的調整空氣與燃料比，會減少未燃碳之熱損失。未燃碳的損失，亦可能在正常運轉中發生，起因於爐膛數個燃燒器之空氣與燃料比不平衡，致部份燃燒器的空氣太多，部份的燃燒器則太少。噴入爐膛燃燒之粉煤顆粒，若太粗，會使離開爐膛之未燃碳增加，並可能造成爐膛結渣，故粉煤細度應定期做檢查。

一般而言當燃燒不完全時，其未燃碳變化不大，然而當燃燒率由 99.5 降至 99% 時，該未燃碳便會急速地上昇，其變化由 4% 昇至 8%，故運轉人員須正視此問題點。

再者關於爐內易結渣問題，除燃燒因素外，由於本廠所燃用之煤源變化極大，故亦須列入評估。評鑑煤之黏結性有幾種不同的方法，通常以灰的熔點測定。而灰之熔點或軟化點，常取決於灰份中之鈉與鉀的含量。防止結渣的措施可由避免爐溫過高和防止灰熔點降低兩個方面著手；主要的觀念是煤灰離開爐膛之溫度要低至可防止對流區爐管表面黏灰。實際上，高結渣性煤之灰熔點是低的，故對流區要足夠大以防止積灰或結渣。而過熱器和再熱器的管束空間、數量、位置及吹灰器的吹灰頻率等所有因素皆與其息息相關。

整座鍋爐各部位爐管之實際運轉金屬溫度，關係著所選用之爐管是否能長期的安全使用，並可據以評估爐管之剩餘壽命。爐管金屬溫度數據對於高溫潛變、苛性腐蝕、氫之損害、火側腐蝕等破壞機制之認識與採取因應對策可提供相當可靠之判斷。故增加一些風量、壓力、爐管金屬溫度等之量測與控制，相信應可改善目前的結渣與鍋爐的運轉安全問題。

二、現場參觀：陪同人員如下：

•Martin Strang

-Mitsui Babcock Energy Limited

-Engineering Project Manager, Taichung Project

•Anthony Landers

-Loesche Energy Systems Limited

-Project Manager

參訪電廠如下：

• Tilbury

- Owned and operated by npower, part of RWE npower

- 3 Units in operation - 340 MW each

- Boilers supplied by Foster Wheeler

- Mitsui Babcock Energy Limited involvement

• Long term extensive maintenance and

refurnishment contracts

- Retrofit of Low NOx burners
  
- Ratcliffe-on-Soar--1968
  - Owned and operated by E.ON UK.
  - 4 Units - 500 MW each
  - Boilers supplied by Mitsui Babcock Energy Limited
  
- Drax---the largest single electricity generator in UK.
  - 歐洲第二大燃煤電廠
  - Owned and operated by Drax Power Limited
  - 6 Units - 660 MW each.1974.1986
  - Boilers supplied by Mitsui Babcock Energy Limited
  - Mitsui Babcock Energy Limited recent involvement
    - Retrofit of Low NOx burners
    - BOFA Design, Supply and Installation
  - 煙囪為全英國最高 259 公尺
  - 全英國最新、效率也最高之燃煤電廠

#### 肆、公務出國心得

火力電廠是屬一相當龐大且複雜的系統，任一系統發生故障，就會影響整個發電之運作，甚至造成機組停機或發生工安事故，所以評估、及早規劃改善設備，使其更具可靠度就顯得相當重要。

這次出國至中九、十機鍋爐原廠家英商 Mitsui Babcock 公司研習鍋爐之規劃、設計及維護技術，透過 M B 公司安排參訪英國當地之電廠，並討論交換心得；歸納有下列幾點：

一、要做到完全燃燒，其原則性的條件為：

- (一) 供應充足而又合適的空氣量—這是燃料完全燃燒的必要條件，倘過剩空氣係數  $\alpha$  過小，即空氣量供應不足，則會增大不完全燃燒熱損失，使燃燒效率降低，反之若  $\alpha$  過大，會降低爐溫，也會增加乾煙氣熱損失。
- (二) 適當高的爐溫—因燃燒反應速度與溫度成指數關係，因此爐溫對燃燒過程有著極其顯著的影響。爐溫高、著火快、燃燒速度快，燃燒過程便進行猛烈，燃燒也易于趨向完全。但是爐溫也不能過分的提高，因為過高的爐溫不但會引起爐內結渣，同時因為燃燒反應是一種可逆反應，過高的爐溫當然會使正反應速度加快，但同時也會使逆反應（還原反應）速度加快，使較多燃燒產物又還原為燃燒反應物，而等同燃燒不完全。
- (三) 空氣和粉煤的良好攪動和混合—粉煤燃燒是多相燃燒，燃燒反應主要在粉煤表面進行。燃燒反應速度主要取決於粉煤的化學反應速度和氧氣擴散到粉煤表面的擴散速度。因此要做到完全燃燒，除須保證足夠高的爐溫和供應充分而又合適的空氣量外，還必須使粉煤和空氣充分攪動混合，及時將空氣輸送到粉煤的燃燒表面去，使粉煤和空氣接觸而發生燃燒反應。要達到此目的，須要求燃燒器的結構特性，使一、二次風混合良好，並能提供良好的爐內空氣動力場。粉煤和空氣不但要在著火燃燒階段充分混合，而且在燃燼階段也要加強擾動混合，因為在燃燼階段中，可燃性物質和氧的數量已很少，而且粉煤表面可能被一層灰分包裹著，妨礙空氣與粉煤可燃性物質的接觸，故此時若加強擾動混合，可破壞粉煤表面的灰層，增加粉煤和空氣接觸機會，而有利于燃燒完全。而 LNASB 和 BOFA 的組合即是源自於此之設計理念所發展出的技術。
- (四) 在爐內要有足夠的停留時間—在一定的爐溫下，一定之粉煤細度要有一定的時間才能燃燼。粉煤在爐內的停留時間是從粉煤自燃燒器出口一直到爐膛出口這段行程所經歷的時間，請參閱

圖四。在此段行程中，粉煤要從著火一直到燃燼，才能燃燒完全，否則將會增大燃燒熱損失，同時若在爐膛出口處粉煤還在燃燒，會導致爐膛出口燃氣溫度過高，使過熱器容易結渣和過熱，而影響鍋爐的運轉安全。

二、電廠的維護工作相當繁瑣，需倚賴著有效可靠的維護策略，才能確保電廠的正常運作，一般而言，電廠設備或系統，其發生故障或效益不彰的原因相當複雜，依其原因大致可歸納為 3 項：

- (一) 操作程序不當或誤操作，而造成系統設備故障：此可由建立標準操作程序 (S.O.P) 或加強人員訓練、管理來改善。
- (二) 系統設計不良或保護裝置不足，造成機組跳機或過負荷：此可由改善週邊設備，加裝保護裝置或利用員工提案等技術工作來達成。
- (三) 設備組件功能退化：由於疲勞、磨耗、腐蝕等現象所造成，導致系統失效，這可由適當的維護作業來確保系統正常運作，使其發揮最大功效。

三、一般描述組件之生命變動週期，可藉由圖五之破壞“浴缸曲線”

(Bathtub curve) 來加以參考判斷；設備之失效率隨使用時間增加的變化，大致上可分為下列 3 個時期：

- (一) 早期故障或試用時期 (Infant mortality Period) — 失效率函數呈遞減狀態，主因為裝機或品管不良所導致，隨著使用時間增加經過維修或更換不良品，而使其失效率下降，而趨於正常之設計失效率。
- (二) 有效壽命時期 (Useful Life Period) — 在浴缸曲線的中間部分，失效率最低而且幾乎保持常數。此段時期設備失效原因，大多不是因設備本身的缺陷所致，乃是源於意外事故的發生。

(三) 耗損時期 (Wear-Out Period) – 此時期位於浴缸曲線的右方，失效率隨時間的增加而遞增，主要是受老化或累積損傷的影響，例如腐蝕、疲勞及磨耗等造成設備機械強度或硬度的退化。

隨著配件老化，維護方式亦必須有所改變因應。而身為工程師所應努力的目標要點，是要在設備失效發生之前，檢測出失效的初期癥候，並利用大修停機來採取必要之處理，以期將損失降至最低，確保發電機組的正常運轉。

## 伍、建議事項

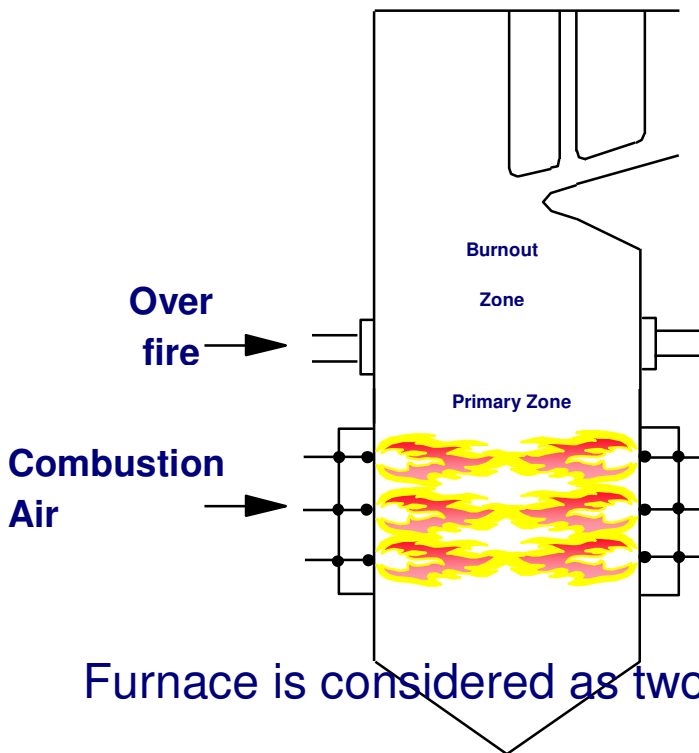
此次公務出國承蒙電廠主管及台電長官的厚愛核與研習，個人得以瞭解國外電廠之維護狀況與鍋爐設計廠家之設計概念，相信不僅在實務上能有更深之體認，對於日後機組的維護上深信將有所助益。在此提出幾點建議：

1. 英國電廠之廠房到處可見工安標語及告示牌，隨時提醒現場工作人員要做好防護具之準備，值得國內各企業公司作為借鏡與學習對象。
2. Boosted Over-Fire Air (BOFA) 之降低氮氧化物技術 **主要特性** 為利用注入爐膛內之動能及速度，可增加燃氣與火上空氣之混合效果，強化擾動以達到燃氣均勻分佈，同時亦可增加燃氣留置時間，而使燃燒更為完全。故建議針對台電現有火力機組，在不增加 Boosted Fan 設備情況下，委請顧問公司評估利用現有風扇等設備，是否即可適時調整來達到 BOFA 的特點（供給之燃燒空氣壓力足夠強，並可避免火焰回擊火上風門區而易結渣），而使整體 NOx 的降低更具成效，同時對於 LOI 及 CO 排放濃度亦能達到有效的控制。
3. 由於煤源多元化一直是公司所推行，在既有機組如何因應各種不同煤種亦是一大考驗，故建議在未來派員出國實習時，對各種不同煤源混燒相關議題做一探討，以深入瞭解問題癥結，並可回饋既有機組上。

4. 由於中九、十機鍋爐管許多部分是使用 X91 管材，而 X91 屬於高合金成分之材質，雖 X91 有強度高、管壁薄而可重量，以及增加耐用年限，故漸受鍋爐設計廠家所採用，然其焊接性不若其他管材，稍有疏失，易造成極大且難以彌補之損失；故焊接須嚴格管制，才能達到其特殊性能，尤其針對不同材質的焊接（如 X91 對 X22），更須特別注意，否則即一因未按焊接程序施作而產生裂痕。
5. 廠房規劃及動線上---英國電廠之廠房規劃較公司為遜色，各機組間不像台中電廠有明顯區隔，而且設備緊湊置放在一塊，整體參訪動線相當混亂。
6. 廠房清潔及設備維護上---在出國前幾天，課長特別交代要留意所參訪電廠之廠房清潔，故此次特地一窺究竟，但感覺上大失所望，整個廠房到處可見積一層飛灰，且部分地區甚至有漏空氣及滴水之情形發生，就連吹灰器上蓋與所經之走道鐵隔板上亦是灰塵滿地；此次 DIAMOND POWER COMPANY 派遣英籍顧問 MR. SCOTT 前來做中一機長程吹灰器增裝試轉工作，亦提及台中電廠廠房清潔維護上比英國要好出甚多；不過在聽了廠長至韓國電力考察報告後，發現我們仍有努力改進的空間。

附件一：





Furnace is considered as two regions – the primary zone (below overfire air ports) and the burnout zone (above overfire air ports).

A portion of the combustion air - Overfire Air (OFA) - diverted from the burners and introduced through ports, between top burner row and furnace arch.

附件二：

## Two stage Combustion (SOFA , BOFA)

**Main Process Parameters** Key Parameters---Primary zone

stoichiometry – lower IP leads to lower NO<sub>x</sub>. Deep staging (IP < 1.0) generally applicable to new plant

---Residence time – longer time at reducing conditions leads to lower NO<sub>x</sub>

---Mixing of the OFA – the high injection velocity generated by the BOFA system offers greater turbulence than normal OFA for rapid burnout.

•BOFA 特性

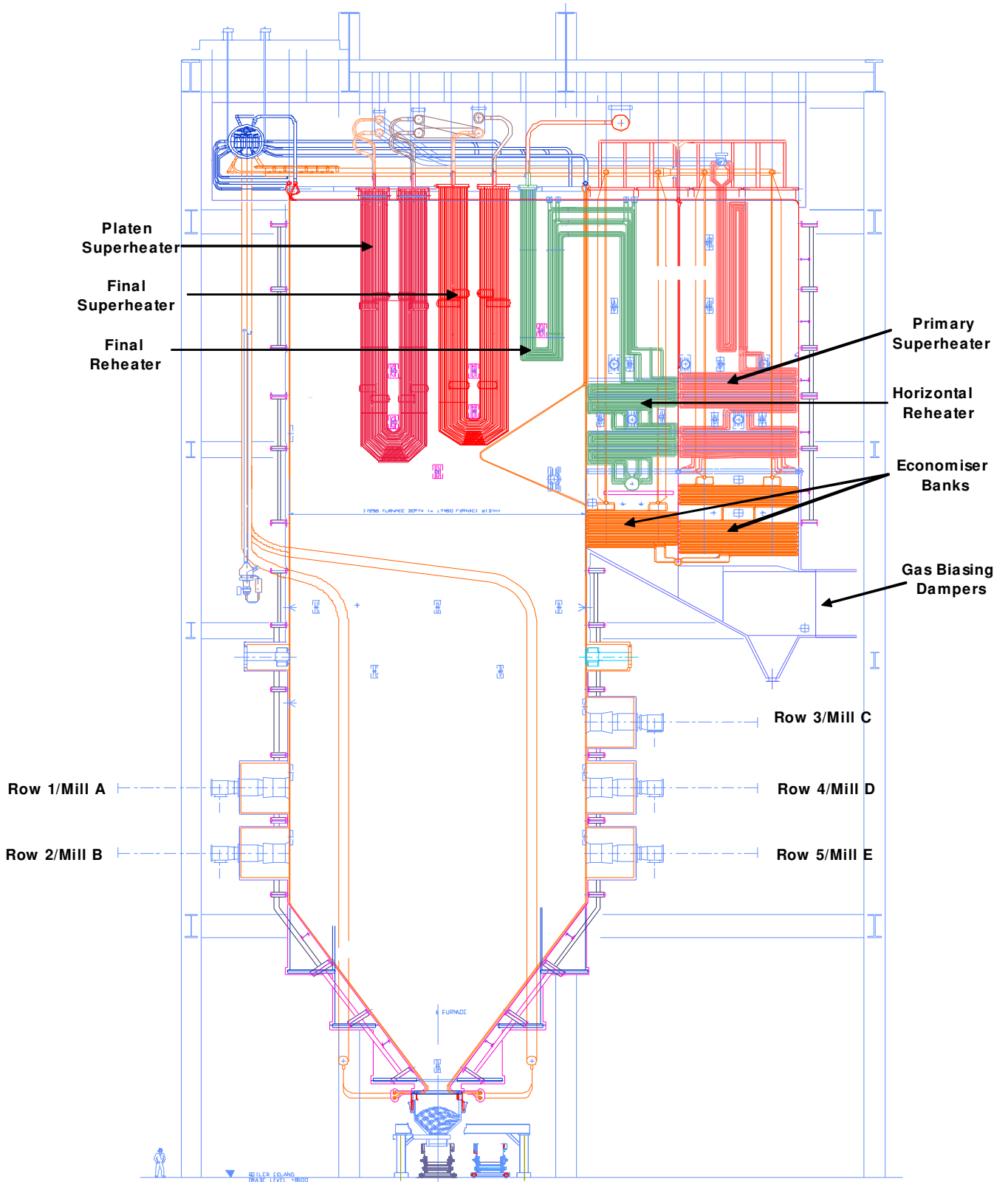
---Injection of overfire air at high velocity

---Increases turbulence and mixing of OFA with primary zone exit gases

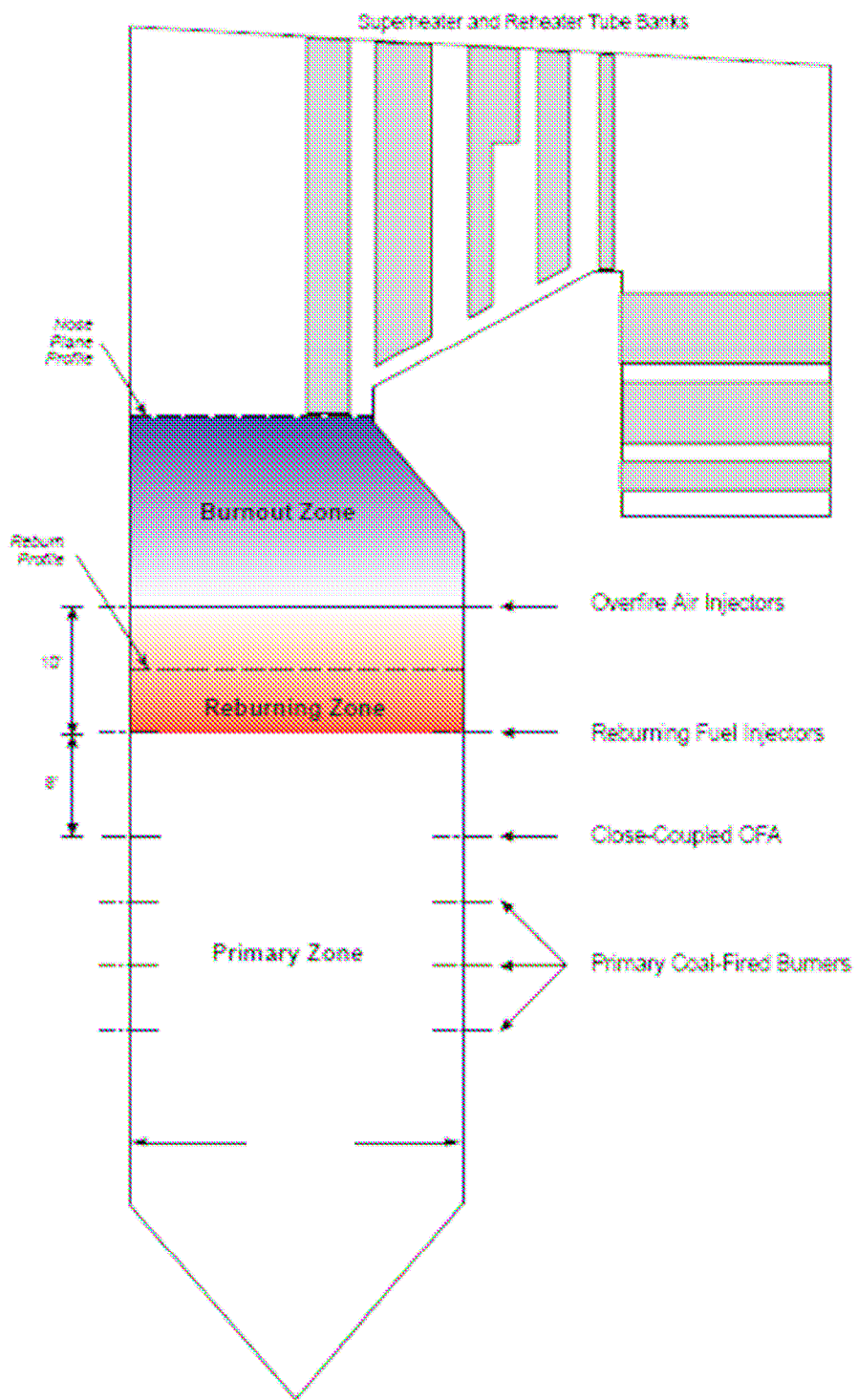
---Increases effective residence time at oxidising conditions in the burnout zone, leading to improved carbon in ash

---In practice, allows OFA ports to be located at higher elevation in furnace, so increasing available residence time in the reducing zone to minimise NO<sub>x</sub>---

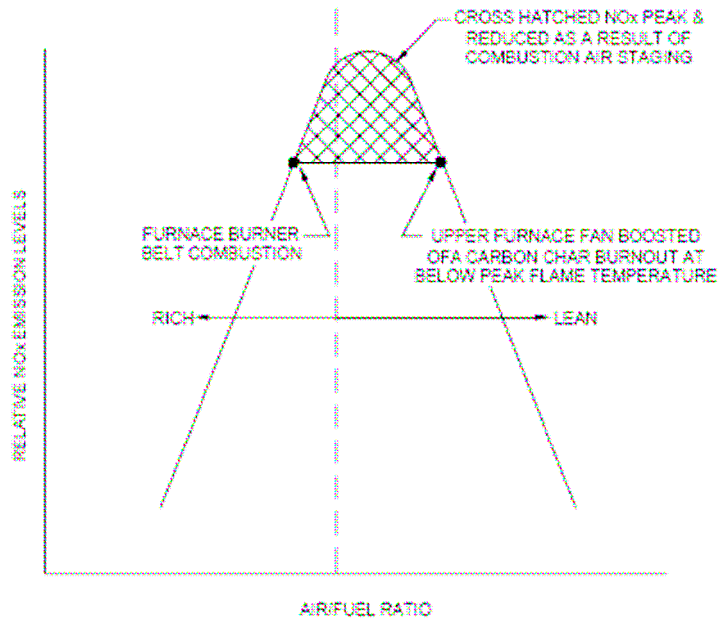
---Velocity required depends on furnace arrangement, thermal rating



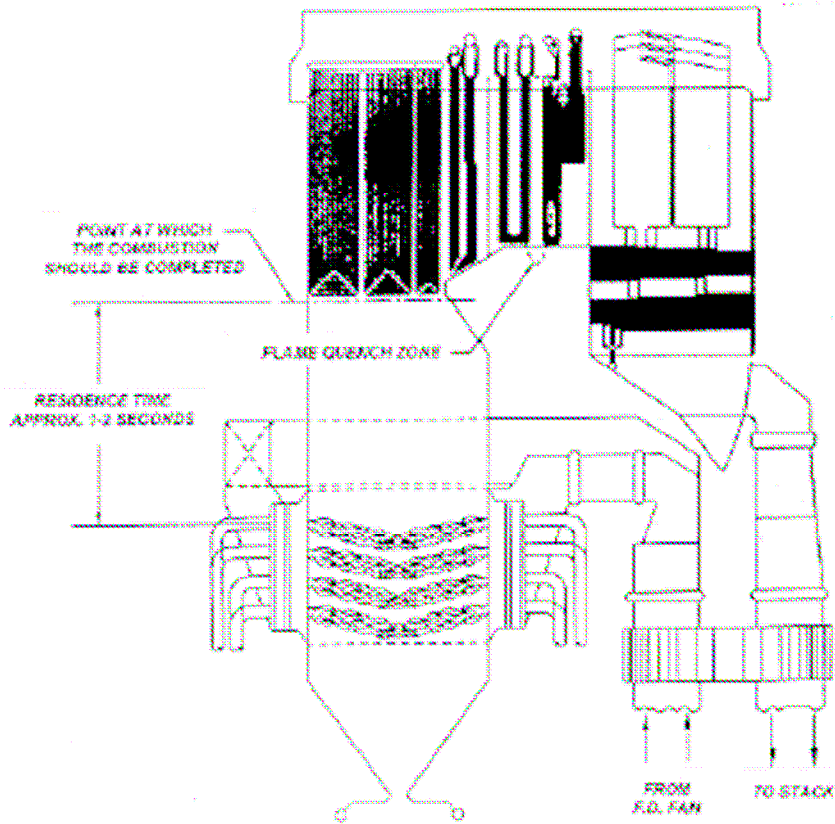
圖一：中九、十機鍋爐剖面圖



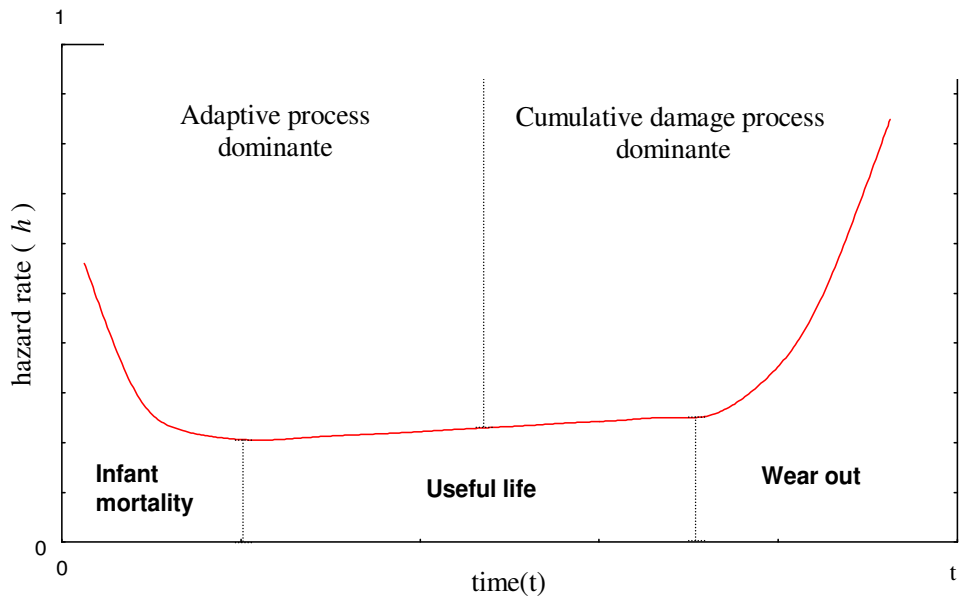
圖二：De-NOX 控制昇位圖



圖三：分段燃燒下 NOX 之生成量變化



圖四：爐膛內燃燒留置時間示意圖



圖五：配件之破壞曲線



圖六：Ratcliffe-on-Soar 電廠內粉煤機



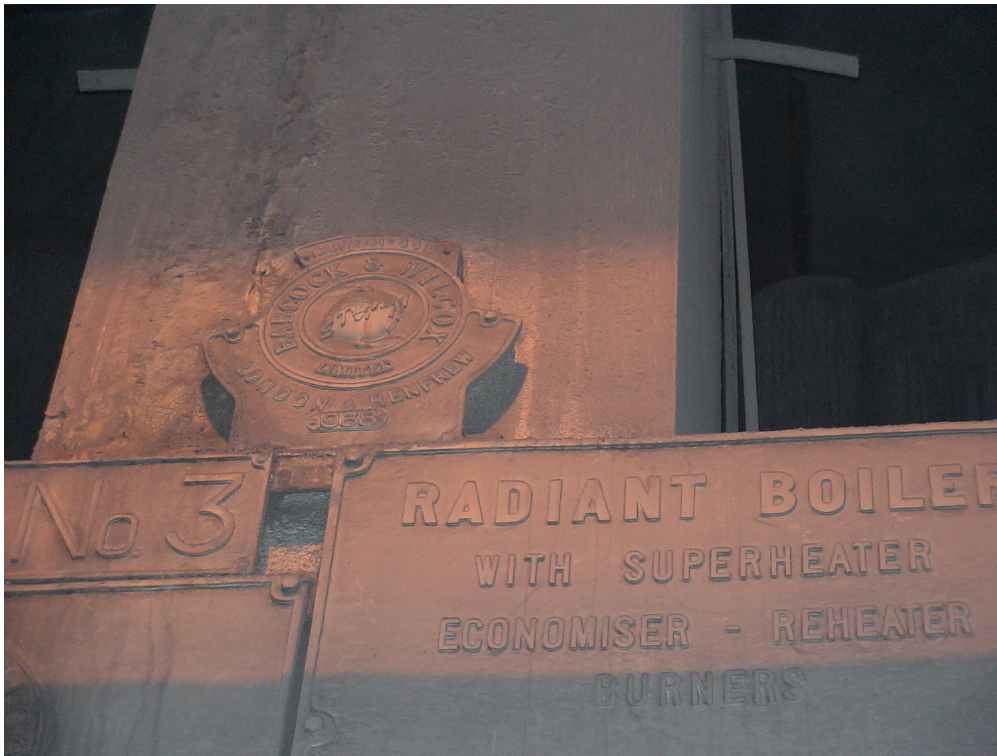


圖七：Ratcliffe-on-Soar 電廠鍋爐房之燃燒器



圖八：Ratcliffe-on-Soar 電廠外觀



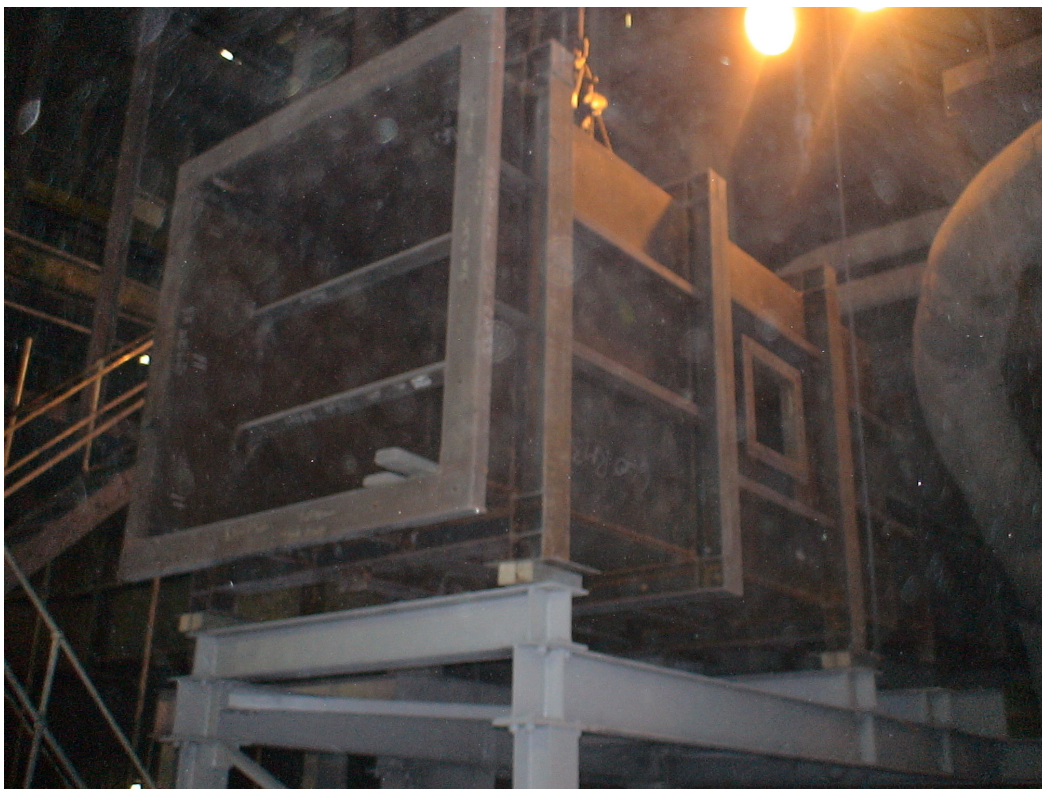


圖九：Ratcliffe-on-Soar 電廠內之鍋爐廠家標誌



圖十：Ratcliffe-on-Soar 電廠內鍋爐維護辦公室





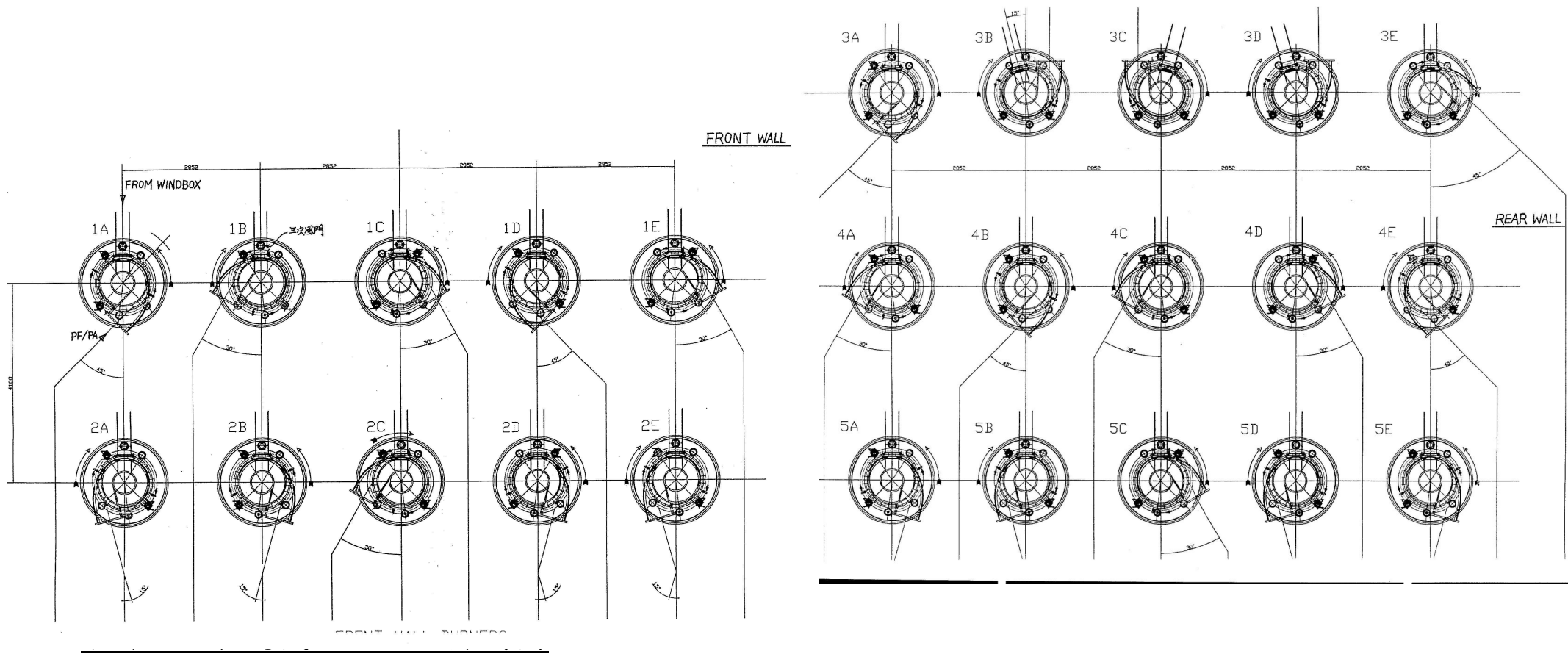
圖十一：Drax 電廠內 BOFA 增設改善工程



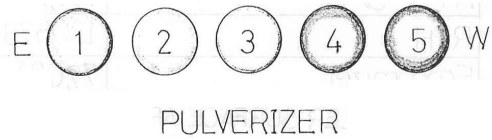
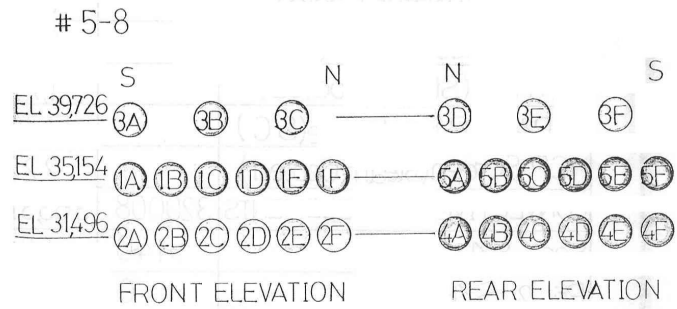
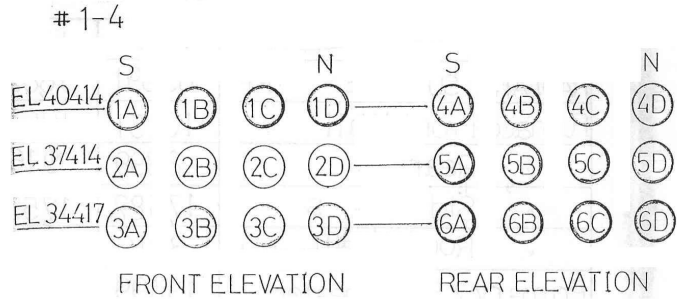
圖十二：Drax 電廠內之工安標語

## 台中一~十號機燃燒設備基本設計資料

機組別 項目 \ 單位		台中一~四號機 ( 550MW )	台中五~八號機 ( 550MW )	台中九~十號機 ( 550MW )
製造廠家	...	Foster wheeler	Babcock & Wilcox	MITSUI BABCOCK ENERGY
燃燒器高程位置	M	ROW1&4:EL40, 411 ROW2&5:EL37, 414 ROW3&6:EL34, 417	ROW1&5:EL35, 154 ROW2&4:EL31, 496 ROW3 :EL39, 726	ROW1&4:EL32, 900 ROW2&5:EL28, 800 ROW3 :EL37, 000
燃燒器型式		LNB (LOW NOX BURNER) : 低氮氧化物燃燒器	LNB (LOW NOX BURNER) : 低氮氧化物燃燒器	LNASB 低氮氧化物軸流旋渦式燃燒器
燃燒器數量	只/BOILER	24	30	25
燃燒器配置方式		每排各有 4 只燃燒器, 前後爐各 3 排呈水平排列	水平對向燃燒、前後各三排共 30 只燃燒器。	每排有 5 個, 2 排在鍋爐爐膛前牆, 3 排在鍋爐爐膛後牆
火上空氣孔 (OFA) 數量	只/BOILER	12	12	10
火上空氣孔配置高程位置	M	EL45, 110	EL42, 774	EL41, 100
火上空氣孔配置方式		12 只火上風門分置於爐前、爐後各六只。	12 只火上風門分置於爐前、爐後各六只。	5 個在爐膛前牆, 5 個在爐膛後牆。



台中九~十號機 BURNER 排列圖



台中一~四號機及五~八號機燃燒器排列情形