

出國報告（出國類別：實習）

## 鍋爐結渣問題改善研究

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：謝運華 機械工程師

派赴國家：英國、美國

出國日期：96年9月23日至10月6日

報告日期：96年11月23日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：鍋爐結渣問題改善研究		
出國人姓名（2人以上，以1人為代表）	職稱	服務單位
謝運華	機械研究專員	台灣電力公司
出國期間：96年9月23日至96年10月6日		報告繳交日期：96年11月23日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input 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 <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），與同仁進行知識分享。 <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、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「出國報告資訊網」為原則。

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：鍋爐結渣問題改善研究

頁數 30 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：

謝運華/台灣電力公司/綜合研究所/機械工程師/ (02) 8078-2211

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：96 年 9 月 23 日至 10 月 6 日 出國地區：英國、美國

報告日期：96 年 11 月 23 日

分類號/目

關鍵詞：鍋爐結渣、潛變、渦電流、超音波檢測

內容摘要：(二百至三百字)

此次出國任務為研習鍋爐結渣問題改善研究同時參加起、停或負載改變頻率較高等運轉模式之機組其材料損壞機制之會議。報告內容包括兩大項：一、在英國參加ETD舉行之Damage to Power Plant / CCGTs due to Cyclic or Two Shifting Operation'國際會議與Power Plant Boilers: Maintenance, Inspection and Monitoring 訓練心得，二、鍋爐結渣之改善方法與應用，其中包括煤質改變對電廠運轉衝擊，鍋爐結渣改善之技術背景說明，化學添加劑之液滴大小控制方法與步驟，鍋爐燃氣溫度、流速、流向與藥劑濃度之數值模擬(CFD, Computational Fluid Dynamics Modeling) 結果說明，化學添加藥劑之特性說明，除渣效果驗證--渣塊結晶狀態與斷面結構比較以及仍在field test中之最新鍋爐除渣方法。本次出國研習所獲致之寶貴資料，對於本公司之設備維護保養與鍋爐結渣問題之改善有極大之幫助。

本文電子檔已傳至出國報告資訊 (<http://report.gsn.gov.tw>)

# 目 錄

出國報告書審核表-----	1
出國報告提要-----	2
目錄-----	3
圖目錄-----	4
第一章 前言-----	6
1.1 任務之起源-----	6
1.2 任務之目標-----	6
1.3 行程與內容-----	7
第二章 心得報告-----	8
2.1 在英國參加 EDT 舉行之國際會議-----	8
2.1.1 Conventional Steam Plant-----	8
2.1.2 Combined Cycle Gas Turbines-----	8
2.2 在英國參加 EDT 舉行之鍋爐保養檢測訓練-----	13
2.2.1 Plant Maintenance Issues-----	13
2.2.2 Plant Inspection and Monitoring-----	14
2.2.3 Introduction to Risk Based Maintenance-----	14
2.2.4 Workshop-----	14
2.3 研習 Chemical Treatment Technology for Control of Slagging & Fouling-----	17
2.3.1 煤質改變對電廠運轉衝擊-----	17
2.3.2 鍋爐結渣改善之技術背景說明-----	18
2.3.3 化學添加劑之液滴大小控制方法與步驟-----	18
2.3.4 鍋爐燃氣溫度、流場與藥劑濃度之數值模擬結果-----	21
2.3.5 化學添加藥劑之特性說明-----	24
2.3.6 除渣效果驗證--渣塊結晶狀態與斷面結構比較-----	24
2.3.7 試驗中之最新鍋爐除渣方法-----	27
第三章 感想與建議-----	29
參考資料-----	30

## 圖目錄

圖 1 相同內徑 200mm、運轉溫度 593°C 與壓力 320bar 下，各 材料所需之厚度比較-----	10
圖 2 肥粒鐵、麻田散鐵與沃斯田鐵組織之熱膨脹係數比較----	10
圖 3 介於母材和焊道熱影響區是 P91 材料發生破壞可能位置-	11
圖 4 P91 材料焊後熱處理對硬度之影響-----	11
圖 5 Thermal fatigue cracking of tube-to- header welds in horizontal gas path HRSG	12
圖 6 熱回收鍋爐之典型熱疲勞裂縫發生於燃氣側之集管與短管 焊接地方-----	12
圖 7 熱回收鍋爐發生於集管與短管焊接之熱疲勞裂縫外觀-----	13
圖 8 維護等級之過度與不足均會造成電廠運轉成本之增加----	15
圖 9 風險評估之目的在於使設備效率、可靠度等最大化，而花 費或停機時間最小化-----	15
圖 10 風險之定義即是設備損壞機率與一旦事故發生所造成之 後果之乘機-----	16
圖 11 風險評估作法-----	16
圖 12 Importance Ranking for Individual Categories -----	18
圖 13 Causes of Tube Leaks in Power Plants -----	19
圖 14 鍋爐垂直斷面之溫度之 profile 情形-----	21
圖 15 燃氣流動方向、流速與溫度之模擬結果-----	22

圖 16 從輻射熱區到過再熱器管之對流區之燃氣流場情形，以便作為化學添加劑之注入設計-----	22
圖 17 爐膛之溫度模擬建構 Iso-Contours of Temperature -----	23
圖 18 為 Chemical Dosage Map -----	23
圖 19 化學藥劑處理前之渣塊結晶狀態-----	25
圖 20 化學藥劑處理後之渣塊結晶狀態-----	25
圖 21 化學藥劑處理前之渣塊斷面結構-----	26
圖 22 化學藥劑處理後之渣塊斷面結構-----	27
圖 23 空氣震波去除爐管渣塊之方法-----	28
圖 24 爐管表面噴覆陶瓷塗層改善結渣方法-----	28

# 第一章 前言

## 1.1、任務之起源

本公司為符合國家環保署所訂定煙氣中硫氧化物濃度之排放標準，各燃煤機組近年來均使用低硫份煤質作為燃料，由於此種煤質具低灰分熔點，高礦物質與水分含量等特性，在燃燒過程中極易於鍋爐內部形成結渣（slagging）或積灰（fouling），目前之鍋爐設計，積灰多半可藉由吹灰器予以清除，因此對機組運轉之影響較小，然結渣則極為棘手，因為渣塊之質地堅硬去除困難，因此當結渣嚴重時不但會降低鍋爐及附屬設備之效率外，而且造成燃氣分布不均致使過、再熱器爐管因過熱而破管，尤甚者，一但渣塊體積過大掉落到底灰斗，直接撞擊爐管導致水牆管排變形、破損，同時也造成排渣通道阻塞而必須立即停機檢修，可見鍋爐結渣問題對公司之營運效益與供電可靠度之影響甚大，有鑑於此，本所於民國 93 年開始進行鍋爐結渣問題之改善研究，目前開發之除渣藥劑經由現場實地試驗結果已具成效。鍋爐結渣現象在國外電廠亦面臨與本公司之問題相同，因此一些研究機構或廠家亦積極進行研究，根據報導，除渣效能是否良好與鍋爐本身之特性（如溫度分佈）、藥劑成分、藥劑添加方式與添加量之多寡以及添加在鍋爐位置均有密切關係，因此為提昇本公司自行研發除渣效能，擬至國外有經驗或應用實績之機構研習。此外，本所之鍋爐設備壽命評估與材料損壞分析技術之應用，對公司內、外電廠提供之服務頗具成效，為增加經驗交流與技術之提昇，順道參加鍋爐維護、檢測與材料壽命評估之訓練與國際會議。

## 1.2、任務之目標

本次出國研習鍋爐結渣問題改善以及參加鍋爐維護保養檢測與材

料損壞機制會議之目標包括：1. 結渣現象之發生機制，2. 鍋爐、燃料之特性對結渣影響，3 國外目前開發之最新除渣技術及其應用成效，4. 起停頻繁或二值制運轉之鍋爐材料常見損傷機制，5. 鍋爐各項重要組件運轉維護之作業程序，6. 鍋爐風險評估方法，7. 鍋爐組件潛在缺陷之檢測方法與使用之設備。

### 1.3、行程與內容

日期	地點	內容
09/23~09/24	台北-倫敦	行程
09/25~09/28	倫敦	電廠設備維護、檢測及材料損傷機制分析訓練會議
09/29~09/29	倫敦-舊金山	行程
09/30~10/04	舊金山	鍋爐結渣成因與抑制及管件微觀影像分析技術
10/05~10/06	舊金山-台北	行程



## 第二章 心得報告

2.1 在英國參加 EDT (European Technology Development ) 舉行之  
Damage to Power Plant / CCGTs due to Cyclic or Two Shifting  
Operation'國際會議，總共有 40 餘篇報告發表，其領域涵蓋：

### 2.1.1 Conventional Steam Plant

- Thermal fatigue on HP, LP turbines, steam chests, boiler headers, air heaters, steam lines.
- Stress corrosion and corrosion fatigue on cracking of LP turbines, generator end rings, boiler parts, superheater, and reheater pipework and hanger supports.
- Oxide scale spalling and enhanced erosion corrosion of plant internals, particularly due to reheater pipework operating in excess of normal temperatures.
- Fireside corrosion and erosion
- Over-heating on pipework and generator system components.
- Enhanced materials degradation on FGD systems
- Development of inspection strategy, plant condition monitoring and outage /repair strategies
- Costs associated with cyclic operation (fuel, manpower, engineering costs, repairs etc)
- Improvements to plant and operating procedures to optimise cost effectiveness.

### 2.1.2 Combined Cycle Gas Turbines

- Experience with plant cycling and component response
- Creep-fatigue of turbine blades
- Cracking and degradation of combustor cans
- Effect of cyclic operation on thermal barrier coatings
- Thermal fatigue of heat recovery steam generators
- Stress corrosion cracking when using air cooled alternators

在眾多之論文報告中所介紹之 T91 材料是未來會被應用發電設備最有前景之材料之一，主要理由是這類材料同時具有極高之強度與腐蝕抵抗能力，因此材料選用上可以大大減少厚度，如此一來焊接費用，運輸費用、熱疲勞損壞機率均大為降低，圖 1 為各種材質用於相同之內徑 200mm、運轉溫度與壓力之 593°C 與 320bar 下所需之厚度比較，亦即 P91 管件厚度僅需 45mm 而目前使用於電廠過熱器集管之 P22 厚度需 123mm，可見 P91 管之厚度可以減少 78mm。P91 之熱疲勞損壞機率低之原因除了因管壁薄外與麻田散鐵之組織有關，圖 2 為肥粒鐵、麻田散鐵與沃斯田鐵組織之熱膨脹係數比較，由此可知在含 9%Cr 之麻田散鐵材料之熱膨脹係數幾乎最小，故當升降溫度時構件之熱漲冷縮問題較小。根據研究，P91 材料一旦發生破壞最可能出現位置是在界於母材和焊道熱影響之間（如圖 3），此類之破壞又稱 Type IV Cracking。又由於麻田散鐵硬度高因此在焊接後必需施以 750°C X 2Hr 之應力消除（如圖 4），以便將焊道之硬度從 Hv400 降低至與母材相近之 Hv240 以增加其韌性，否則此類材料過於硬脆不適合使用。圖 5-圖 7 為熱回收鍋爐之典型熱疲勞裂縫發生於燃氣側之集管與短管焊接地方之形貌。

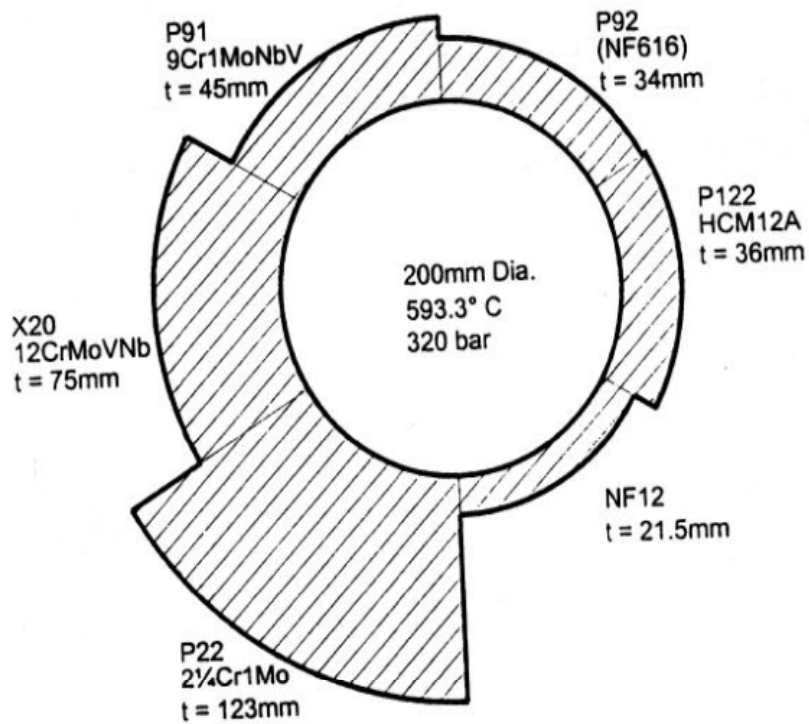


圖1 相同內徑200mm、運轉溫度593°C與壓力320bar下，各材料所需之厚度比較

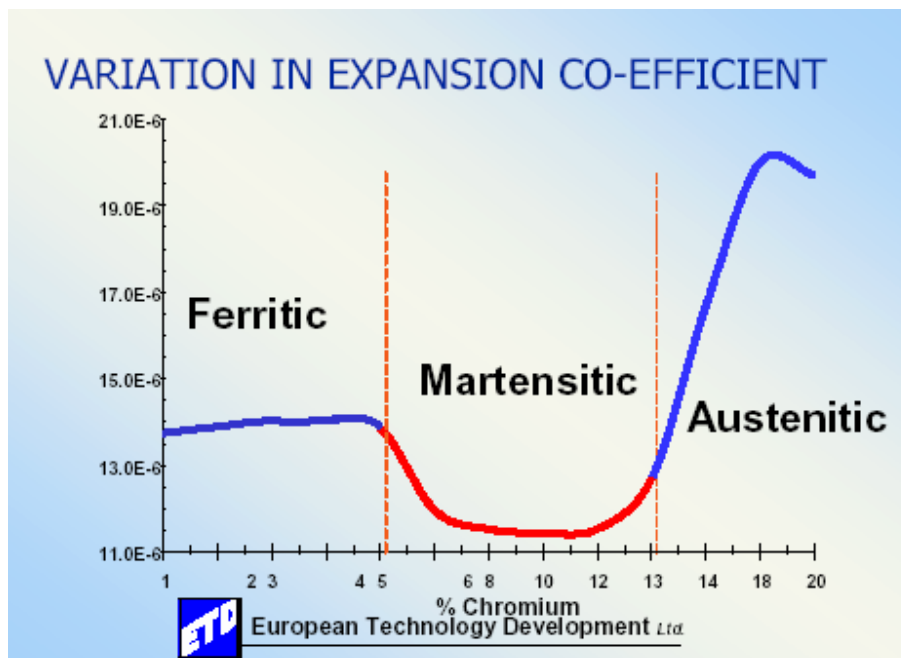


圖2 肥粒鐵、麻田散鐵與沃斯田鐵組織之熱膨脹係數比較

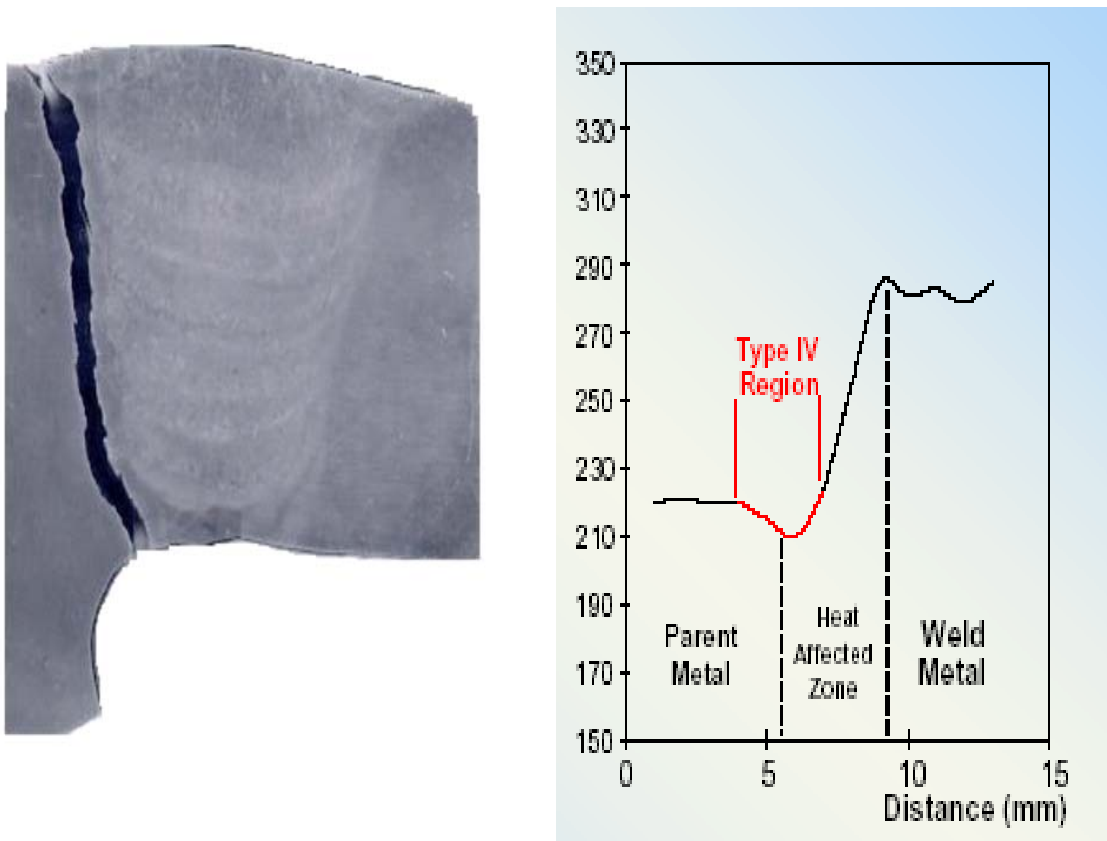


圖3 介於母材和焊道熱影響區是 P91材料發生破壞最可能出現位置

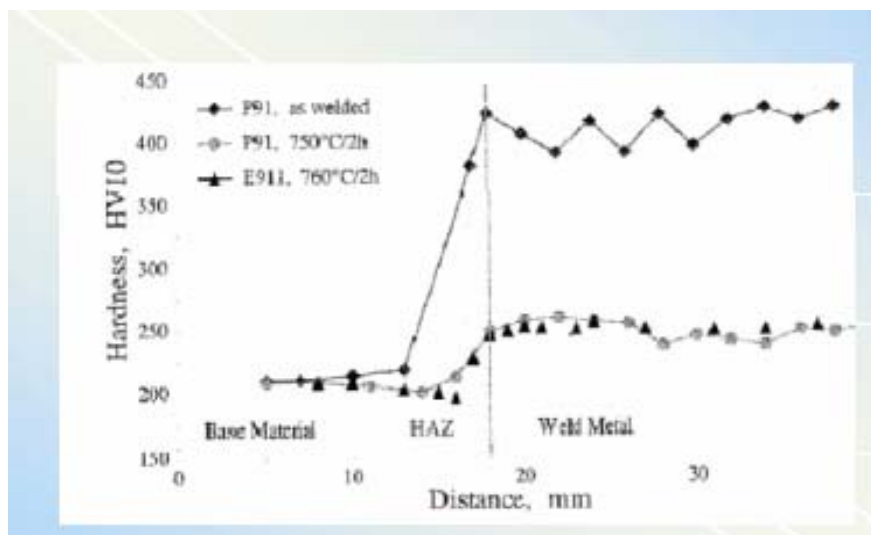


圖4 P91材料焊後熱處理對硬度之影響

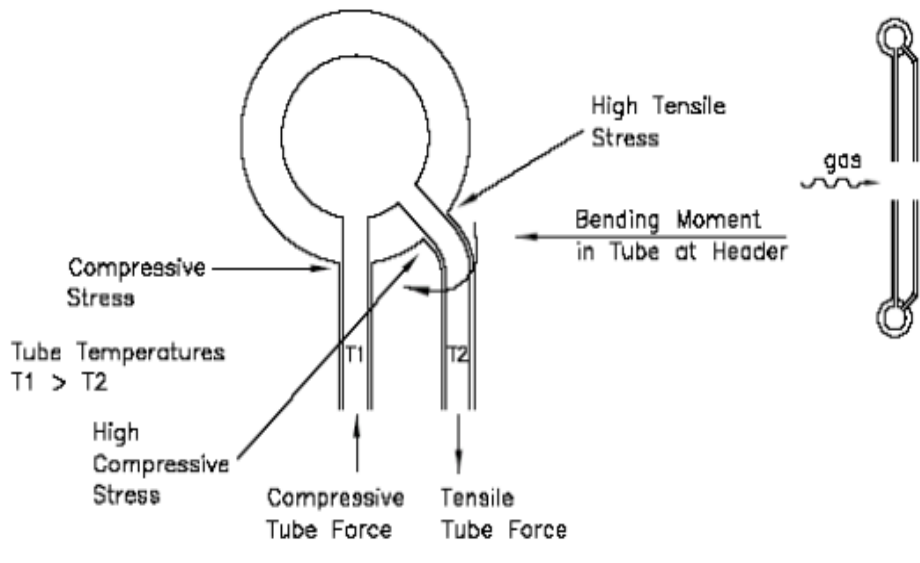


圖 5 Thermal fatigue cracking of tube-to- header welds in horizontal gas path HRSG

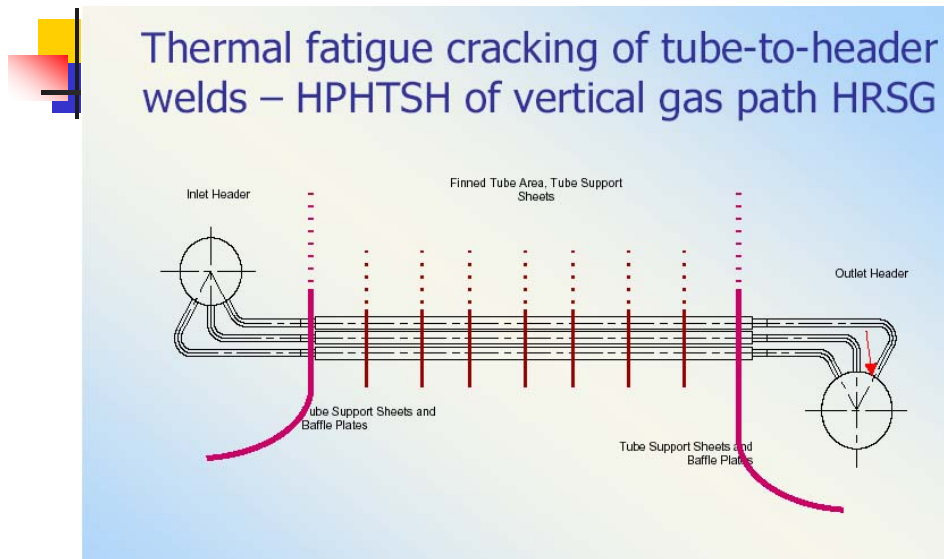


圖 6 熱回收鍋爐之典型熱疲勞裂縫發生於燃氣側之集管與短管焊接地方

## Thermal fatigue cracking of tube-to-header welds



Vertical gas path HRSG



Horizontal gas path HRSG

圖 7 熱回收鍋爐發生於集管與短管焊接之熱疲勞裂縫外觀

2.2 在英國參加 EDT (European Technology Development) 舉行之  
POWER PLANT BOILERS: MAINTENANCE, INSPECTION  
AND MONITORING 訓練，訓練課程內容包括：

2.2.1 Plant Maintenance Issues：

- Boiler component failure mechanisms and implications for key components
- Impact of thermal cycling/ two-shift operation
- Problems arising from thermal cycling, low load operation and best engineering strategies/ solutions available
- Equipment modifications and improvements required for plant cyclic operation

對於二值制運轉或起停較頻繁之熱回收鍋爐材料之損壞機制，其中機

械應力破壞最常見之機制有潛變、疲勞、熱疲勞等。腐蝕損壞屬於熱交換管內之破壞有水側腐蝕，其主要機制為孔蝕、鹼性腐蝕、磷酸鹽腐蝕、氫破壞、應力腐蝕（SCC）、流體加速腐蝕（FAC）。蒸汽側之腐蝕主要為管壁氧化，當氧化厚度增加相對管壁厚度減少，因此作用在管件之應力提高同時金屬溫度增加故潛變破壞加速。熱交換管外之破壞主要有火側（水牆管）/燃氣側等腐蝕，包括高溫腐蝕、硫酸露點腐蝕。

### **2.2.2 Plant Inspection and Monitoring :**

- **Review of plant inspection and monitoring systems**
- **Condition monitoring and outage/repair strategies**
- **In-situ measurement of corrosion**
- **Tube lifeassessment through automated internal oxide measurement**

鍋爐設備之一般裂縫檢查不外乎有目視、 $\gamma$ -ray照射、磁粉探傷、液滲檢查、渦電流與超音波檢測，但對於需要特殊專門技術之檢測有：應變量測、複製膜、硬度、溫度量測及特殊用途之UT--包括EMAT、Phased array等工具。多探頭之UT不但可快速掃描爐管厚度、避免因單點接觸而錯失局部薄區，同時更是用於量測鹼性腐蝕、局部小孔與氫破壞鑑別之理想工具，線性Phased array（LPA）可分別用T接頭、集管之Ligament之裂紋（裂紋大小）檢測，以及集管與短管之焊道檢查。

### **2.2.3 Introduction to Risk Based Maintenance :**

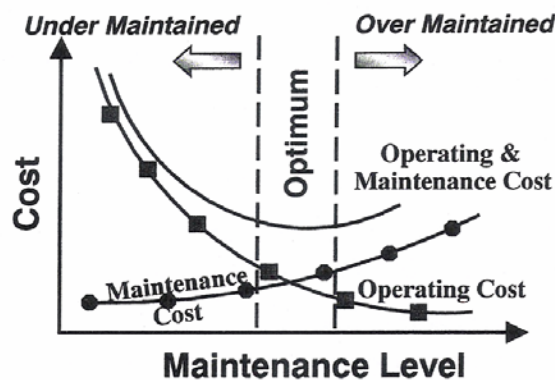
- **Introduction to the Risk Concept - Historical Aspects**
- **The Practice of RBM - Structured Approaches**

## ■ Introduction to Risk Based Maintenance in Power Plant

### ■ Case studies

基本上風險評估之概念即在於以科學方法來管理設備之維護檢修，亦即在最適當時機進行設備之維護保養，這樣花費成本最低又能達到設備最大可靠度之目的，圖 8-圖 11 為風險評估之概念、目的、定義與作法。

## Operation versus Maintenance



ETD European Technology Development Ltd.

圖 8 維護等級之過度與不足均會造成電廠運轉成本之增加

## Why Risk-Base Approach?

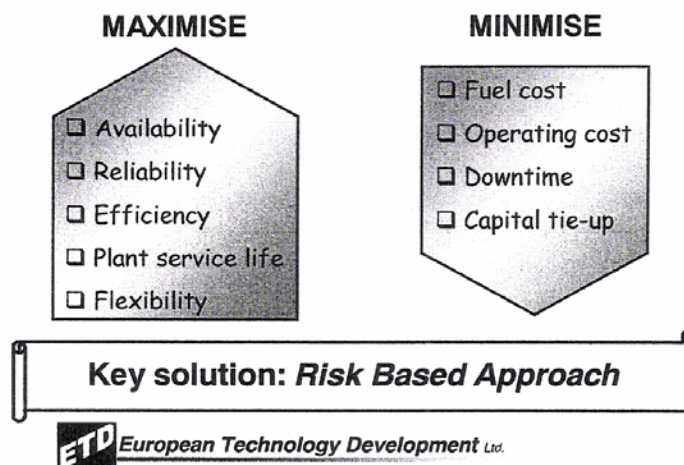


圖 9 風險評估之目的在於使設備效率、可靠度等最大化，而花費或停機時間等最小化



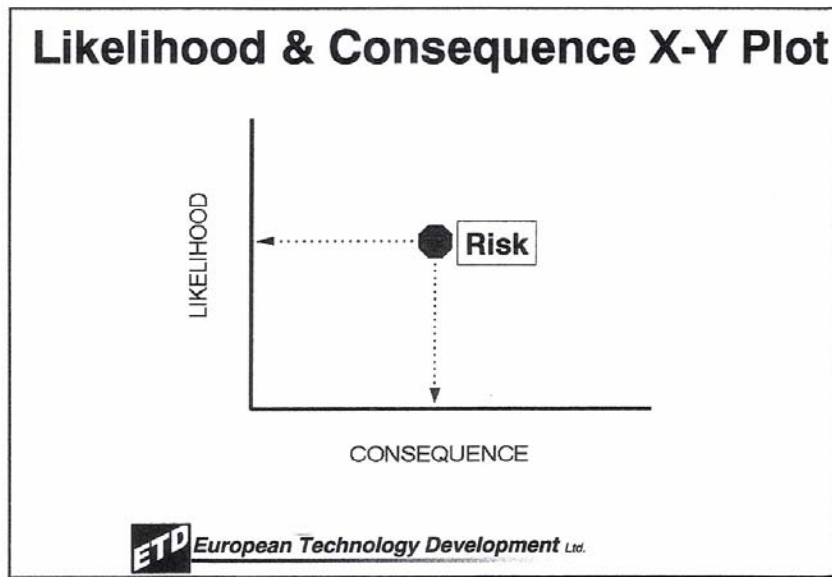


圖 10 風險之定義即是設備損壞機率與一旦事故發生所造成之後果之乘機

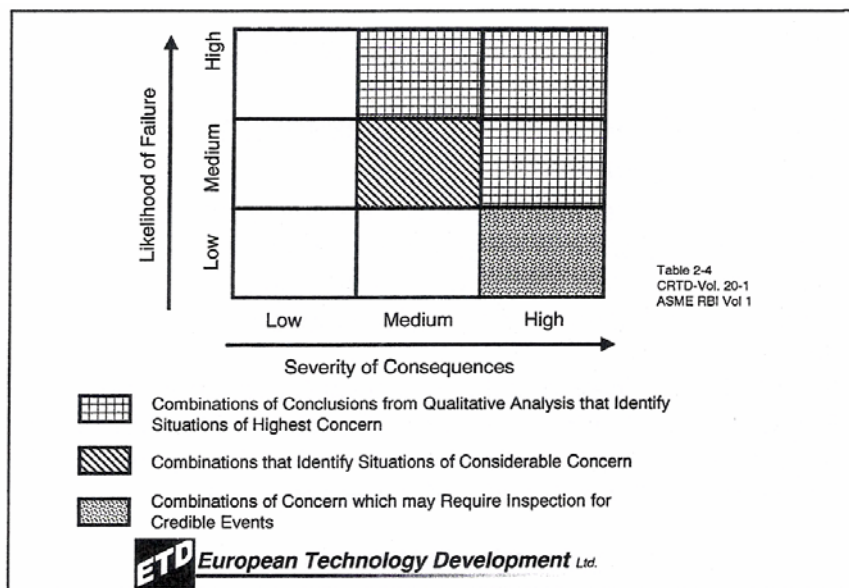


圖 11 風險評估作法--將損壞機率和事故後果分別予以界定出如低、中、高之不同等級，最後視兩者之乘機落點決定該設備之維修優先次序或必要性。

## 2.2.4 Workshop

- Assessment of component life
- Calculation of effects of thermal cycling/ two-shifting
- Effects of different operating conditions

這部分總共實地計算

### 1. T PIECE 之圓柱狀潛變壽命

主要利用到 BS1113 規範以及  $\sigma^p = P \left[ R_i \left( C_{tb/t_m} \right) / t_m \gamma + 0.5 \right]$  公式，同時應用 ISO Creep Rupture Data。

### 2. 過熱器集管之潛變壽命

當考慮集管上多排之短管時，因有形狀因素影響，因此對整體集管而言必需考慮 ligament efficiency。計算時除上述之材料潛變破斷資料外，主要用到 TRD code，與相關公式： $\sigma = P \left[ D_i / 2tV_L + 0.5 \right]$ ， $V_L = (L - D_o / L)$  之計算。

### 3. 利用 TRD Approach 來分析計算集管同時受到熱疲勞與潛變之交互作用下之壽命。

## 2.3 在美國 EPRI 研習 Chemical Treatment Technology for Control of Slagging & Fouling

### 2.3.1 煤質改變對電廠運轉衝擊

事實上，每一種型式（例如容積大小（長X寬X高））之鍋爐在設計時均有其適合燃燒之煤質，近年來國外之燃煤電廠與本公司一樣均面臨鍋爐結渣問題之困擾，其最主要原因就是使用非設計煤質所造成，過去因使用之燃料煤含水量低，熱值高大都符合鍋爐設計規範，因此結渣問題不嚴重，而今使用之煤質均屬高水分含量、低熱值以及低灰份熔點之泥煤或亞煙煤，這種燃料在燃燒時所產生之灰分在高溫燃氣

飛行夾帶之下，形成熔融狀態之化合物，一旦碰撞到相對溫度較低之爐管，便快速冷卻附著在爐管表面，形成質地堅硬、不易去除之附著物，這就是結渣發生原因。

鍋爐爐管一旦結渣其產生之負面影響如下列所述：

1. 造成熱傳損失如過熱器管蒸汽溫度下降，煙囪溫度增高現象。
2. 運轉中為了保持蒸汽溫度而必須增加燃料使用量。
3. 由於空氣流動通道受到阻礙導致風量損失增加，或者燃氣流速增高造成爐管沖蝕嚴重而破裂
4. 渣塊體積增大掉落撞擊爐管而破裂。

圖12 是EPRI對世界各國電廠就使用之煤質最關心問題所做調查結果，圖中清楚顯示結渣、積灰與混煤是當前煤質改變下最被重視之議題，而根據統計（圖13）煤灰腐蝕是造成爐管破損眾多原因當中比率最高，其次依序為long-term overheating、sootblower erosion、flyash erosion，以上之造成爐管損壞機制均與煤質不良產生結渣有關。

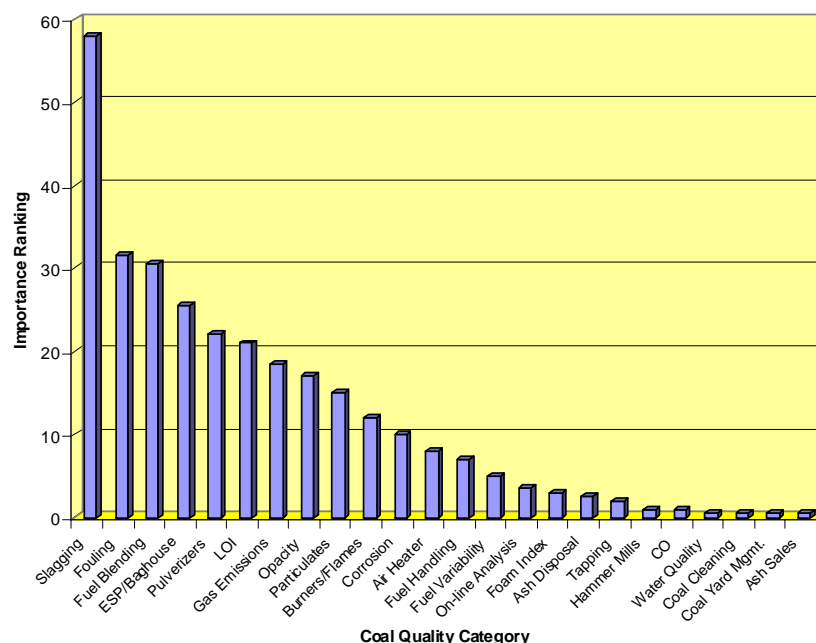


圖12. Importance Ranking for Individual Categories

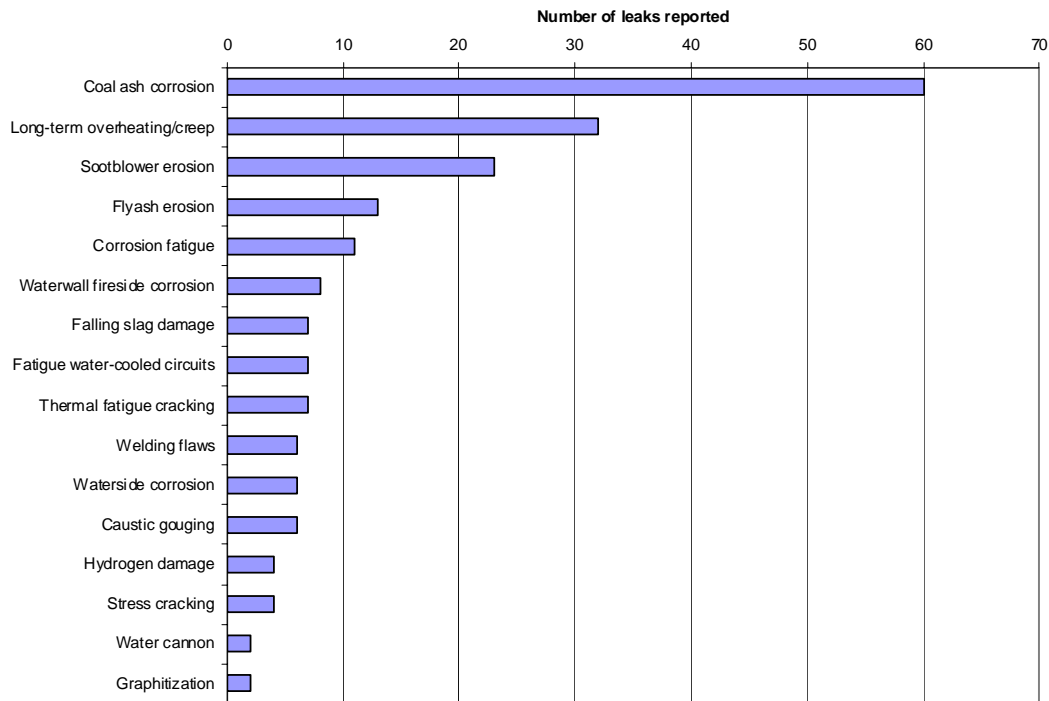


圖13 Causes of Tube Leaks in Power Plants

### 2.3.2 鍋爐結渣改善之技術背景說明

鍋爐爐膛因空間龐大、運轉中爐內溫度高達 1500°C 以上，又由於結渣位置之不確定，因此增加了渣塊去除技術之困難，EPRI 目前對於鍋爐結渣處理採行方法係以化學注藥法（TIFI, targeted in furnace technology）來進行，此種技術事實上是以數值模擬方法（CFD, computational fluid dynamic modeling）虛擬鍋爐內部之燃燒（燃氣）溫度、流場、流速等情境，其次結合燃料特性，建構爐膛內部化學藥劑注入之濃度圖譜以及藥劑注入涵蓋範圍。目前使用之藥劑是以氫氧化鎂（Mg(OH)）系列為主，使用方式是將氫氧化鎂用水稀釋之後再用空氣霧化，霧化後之藥劑注入鍋爐之位置係由電腦模擬結果來決定，以確定藥劑能完全到達問題發生位置。

### 2.3.3 化學添加劑之液滴大小控制方法與步驟

藥劑注入鍋爐爐膛時之液滴大小控制極為重要，下列為控制藥劑液滴大小之方法與步驟：

- **Calculation of furnace interior fluid dynamics by computational fluid dynamics (CFD)**
- **The temperature profiles, velocities and currents are all calculated**
- **To calculate how to get the prescribed chemical into the furnace**
- **Taking into account all the fluid dynamics of the gases as they flow through the furnace and heat transfer zones of the boiler**
- **One module of this complicated software deals with the injection of the chemical itself.**
- **The whole process uses the evaporative qualities of water as a driving force to help assure that the chemical is distributed in the concentrations needed for good performance, without wasting anything**
- **The equipment atomizes a mixture of chemical and water with a certain quantity of air. The model determines how much chemical, air, water and both the number and placement of injectors in the furnace that will be required to get full coverage in the trouble spots**
- **The injectors are set up to feed the required air, water and chemical as determined by modeling. The injectors produce a range of droplets that the computer program has calculated and taken into account. The smallest droplets evaporate very close to the injection point. The chemical activates and this covers the zones nearest the injectors**
- **Each successively larger set of droplets goes deeper and deeper into the furnace before evaporation is completed and chemical is activated. This provides coverage successively further out into**

the furnace until all the droplets have been evaporated and all of the chemical has been activated

#### 2.3.4 鍋爐燃氣溫度、流速、流向與藥劑濃度之數值模擬結果說明：

- Process Design Modeling involves duplicating the operation of a particular furnace in a super computer and then testing various "what if" problem and solution scenarios at various power settings. A great deal of detail goes into running this "plug flow" model
- All size and design dimensions, fuel and heat rates, fuel chemistry details, details of air usage and boiler geometry are programmed into the model

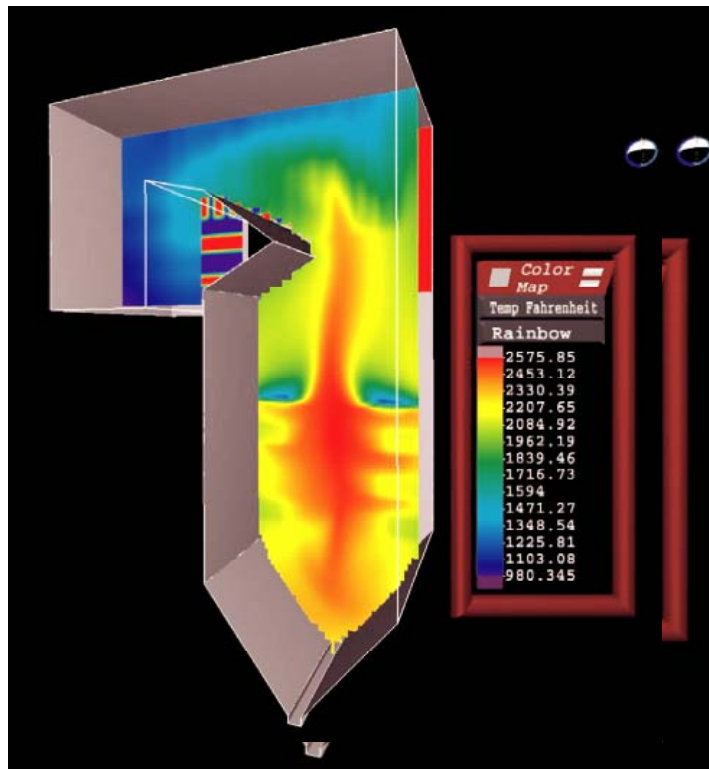


圖14 將所有資料程式化之後，整個爐膛內部之溫度和燃氣流速變化將被計算，此圖即是呈現鍋爐垂直斷面之溫度之profile 情形

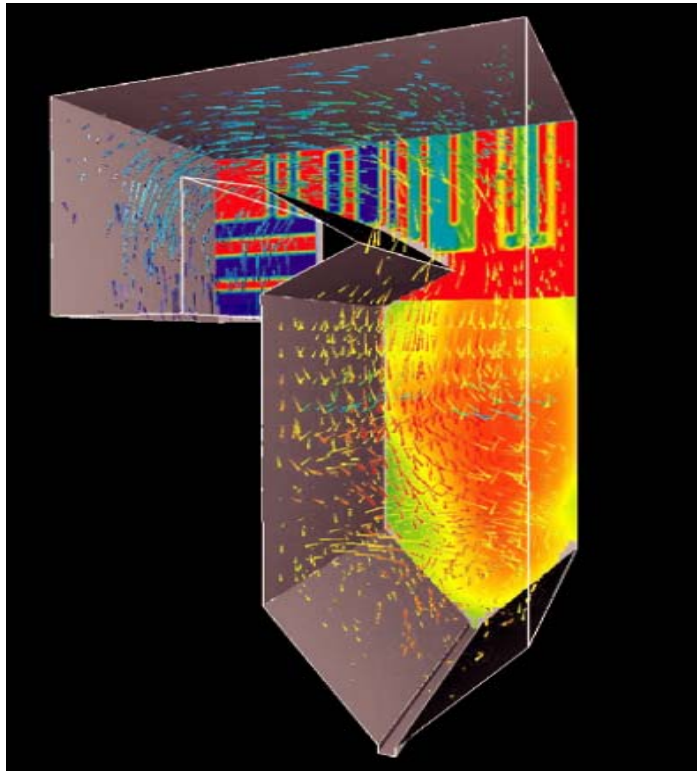


圖 15 以飛行向量箭號表現爐膛內部之燃氣流動動力，這裡不但可以看出燃氣流動方向，同時以箭號之長度表現流速快慢、顏色代表溫度

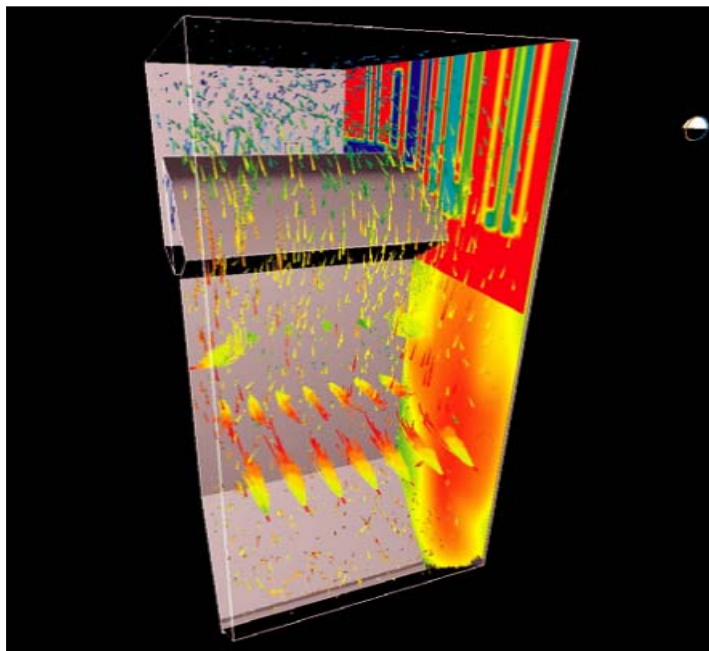


圖 16 說明從輻射熱區到過再熱器管之對流區之燃氣流場情形，以便作為化學添加劑之注入設計



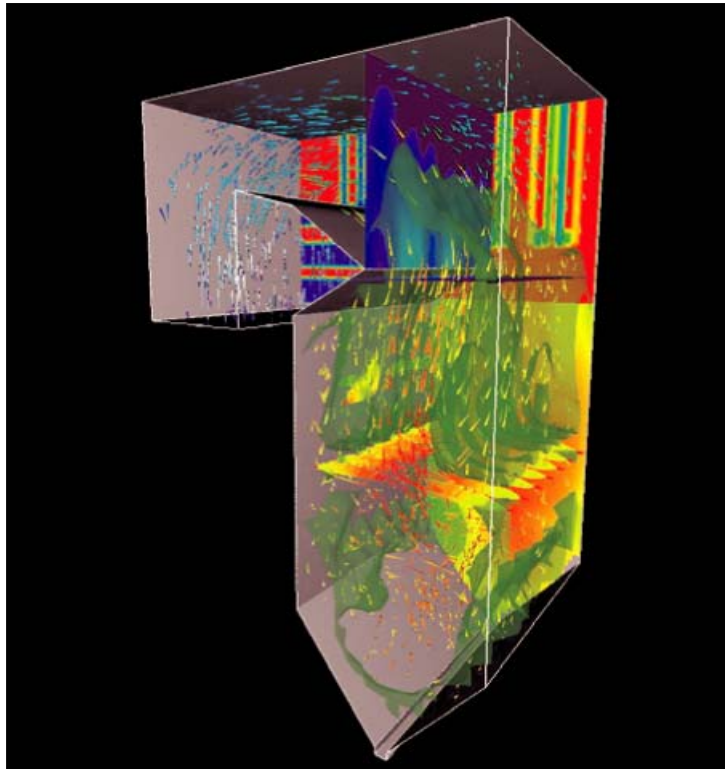


圖17 爐膛之溫度模擬建構Iso-Contours of Temperature，例如綠色代表2150°F相當於飛灰之熔點，因此操作者從此圖便可知道何處是容易發生積灰或結渣之位置

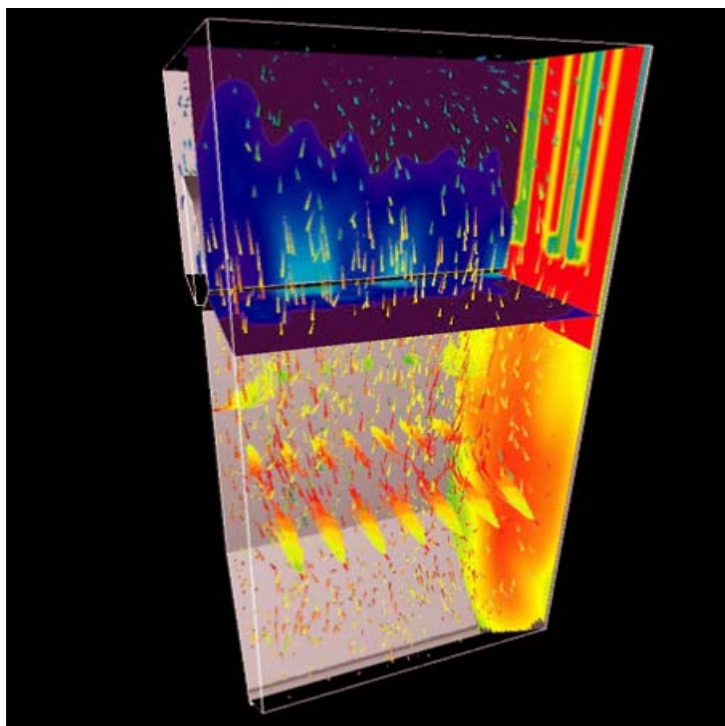


圖 18 為 Chemical Dosage Map

This Figure depicts the chemical dosage map that was judged best to



control the problem of slagging in the critical targeted areas, Colors now change to representing chemical concentration with red being very high concentration (near injectors) and dark purple being very low concentration (further away from injectors)

### 2.3.5 化學藥劑具備之特性：

- 1 High reactive ability.
- 2 Large surface area per unit weight ratio (approximately 530,000 sq.ft./cu.ft).
- 3 High activity results in reduced treatment dosages.
- 4 High stability eliminates many of the handling and feeding problems associated with unstabilized compounds.
- 5 Suspended slurry of 5-8 micron sized particles.

當藥劑懸浮粒子小到低於100nm時伴隨在燃氣中飛行其行為與氣體分子性質相同，具有布朗運動特性（Brownian motion），因此能擴散深入到鍋爐四處同時容易滲透到已附著於爐管上之渣塊內部，一旦進入渣塊結構內部便與渣塊形成低熔點共晶化合物（eutectic compound），在高溫中形成液態（溶解）擴大內部之孔洞，使得孔洞之間壁厚變薄降低渣塊強度以及脆化之效果。

### 2.3.6 除渣效果驗證--渣塊結晶狀態與斷面結構比較

化學藥劑添加前之渣塊結晶狀態為鬚晶結構，由於鬚晶有強化作用因此此時之渣塊強度高、硬度大如圖19，化學藥劑添加後渣塊之鬚狀組織被破壞掉，因此強化功能不見，結構強度變差如圖20。圖21與圖22為化學藥劑添加前後之渣塊斷面結構比較。

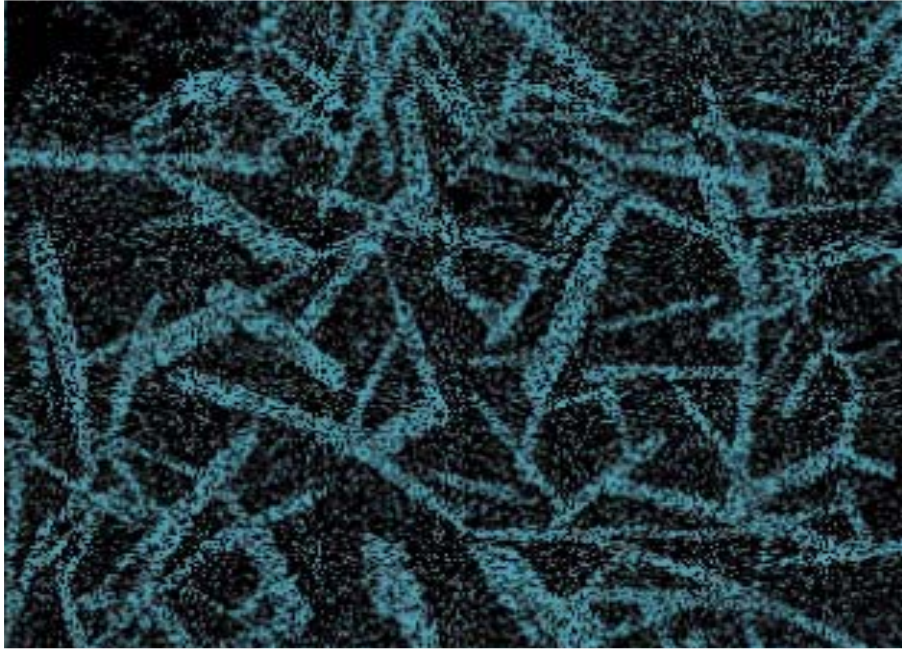


圖19 化學藥劑添加前之渣塊結晶狀態

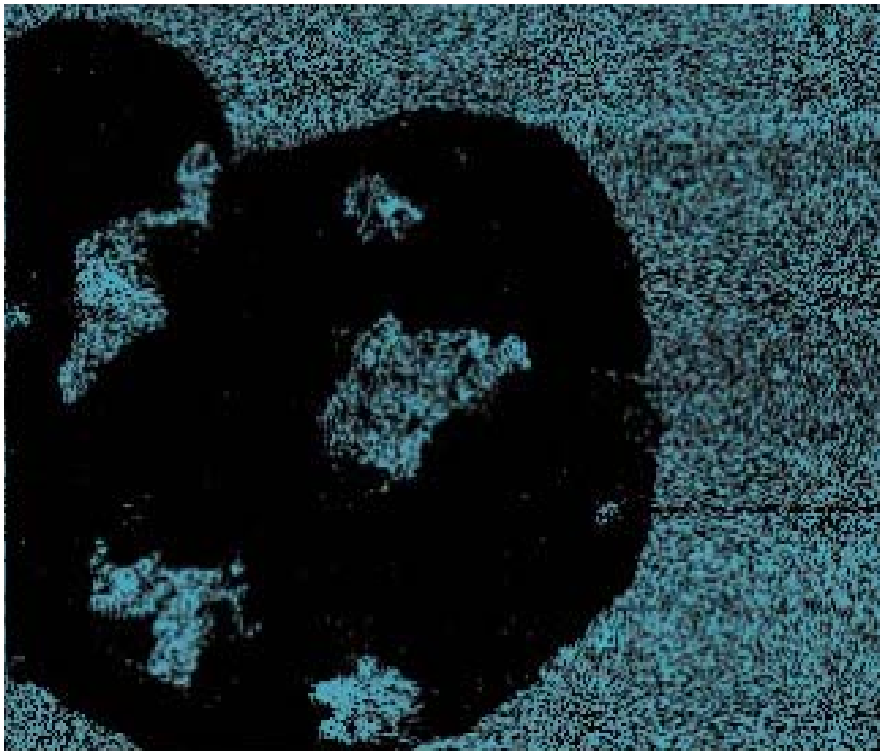


圖20 化學藥劑添加後之渣塊結晶狀態

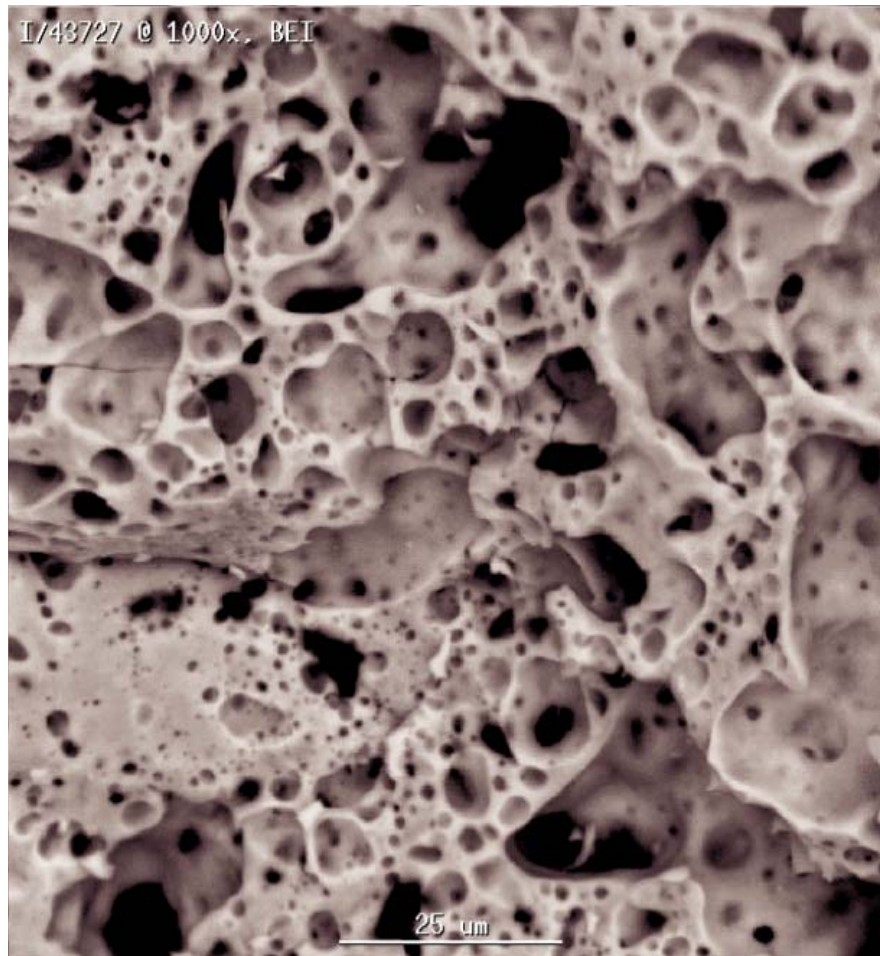


圖21 化學藥劑處理前之渣塊斷面結構

化學藥劑處理前之渣塊特性如下：

- 1 Dense, hard and relatively heavy for its volume.
- 2 Pores size are about 0.1 micron in diameter, and range in size up to 25  $\mu$ m.
- 3 Bubbles and inclusions are relatively small and packed tightly together.
- 4 The structure that is responsible for the tenacious slags and fouling that create problems with firing these types of fuels in utility boilers.

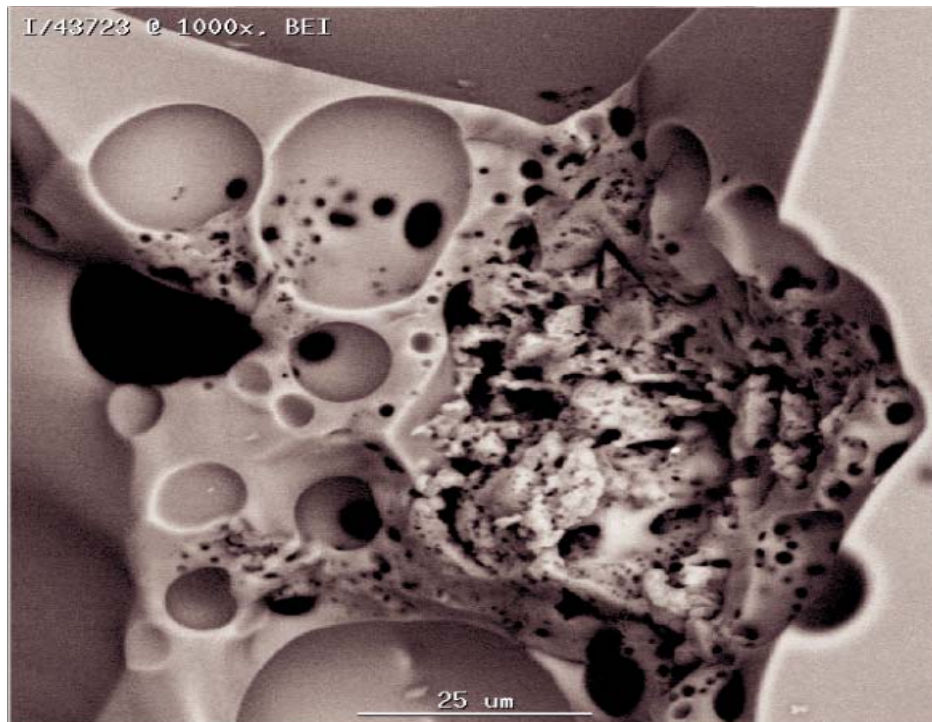


圖22 化學藥劑處理後之渣塊斷面結構

化學藥劑處理後之渣塊特性如下：

- 1 The structure is much lighter, softer and is easy to crumble.
- 2 The material has holes (pores) that are noticeably larger than those in above Figure.
- 3 The walls between the largest pores have thinned and friable nature considerably.

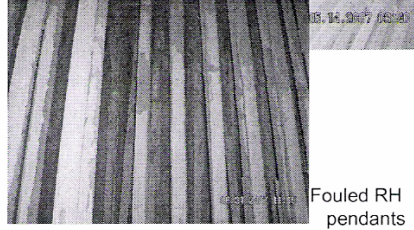
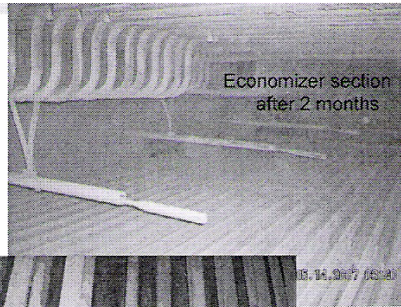
### 2.3.7 試驗中之最新鍋爐除渣方法

此外 EPRI 亦發展：一、在以爐膛內產生高速空氣震波達到去除渣塊之目的，二、在爐管表面噴覆一層陶瓷塗層，目前兩者均仍在驗證階段，後續成效值得密切注意。



## Pulse Removal Technology Demonstrations

- Tests of GE-Powerwave at FirstEnergy's Ashtabula
- Installed 6 units in spring outage
- Initial results very positive, BUT...
- Historically, major accumulations have been in fall
- Analysis in 1Q 08, report late 2Q 08
- Pratt & Whitney demo w/DTE, SPN to follow



© 2007 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

5

**EPRI** | ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

圖23 空氣震波去除爐管渣塊之方法

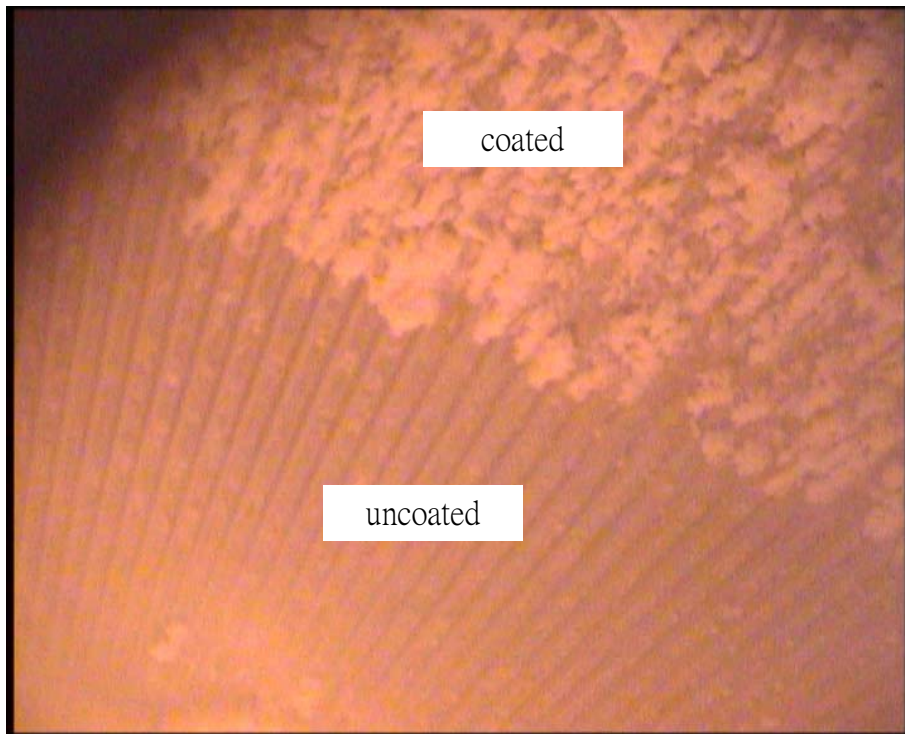


圖24 爐管表面噴覆陶瓷塗層改善結渣方法

### 第三章 感想與建議

1. 燃煤鍋爐因使用低熱值、高含水量以及低灰份熔點之煤質，所產生之結渣現象，不但影響鍋爐效率更因導致 LOI、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>(CO) 之增高，造成嚴重污染排放之環保問題，而成為國內外當今燃煤電廠首要解決問題之一。
2. EPRI 與 FUEL TECH 對鍋爐系統以數值模擬方法 (CFD, computational fluid dynamic modeling) 虛擬鍋爐內部之燃燒(燃氣)溫度、流場、流速等情境，其次結合燃料特性，建構爐膛內部化學藥劑注入之濃度圖譜以及藥劑注入涵蓋範圍，將奈米顆粒之氫氧化煤懸浮液體直接注入鍋爐方式，經過實驗分析與實地試驗，證實為改善鍋爐結渣之有效方法，該技術值得參考。
3. 對於二值制運轉或負載變化頻率較高之機組而言，鍋爐主蒸汽管或過熱器集管等，因管壁厚度較大、內外壁金屬溫度差異(梯度)高，根據各國使用經驗，這類元件之損壞原因大都為熱疲勞造成，基於此，新的鍋爐設計均以強度較大、相對管壁厚度較薄之 9Cr1Mo 取代 2.25Cr1Mo 材料。
4. 電廠之運轉成本係隨機組運轉年限增長而降低，但維護成本則隨機組運轉年限增長而增加，因此為了掌握兩者之總和最低成本考慮，國外電廠紛紛進行設備風險評估工作，以便讓設備之效率、可用率及可靠度達到最大化，同時讓燃料成本、運轉費用以及停機時間達到最小化。

## 參考資料

1. D.C.Connor, “ Survey of US Utility Concerns with Coal Quality“, Fuel Quality Conference, pp.1-1-1-15, 2006.
- 2.N.S. Harding etal., Ash Deposition Impacts in the Power Industry ,Fuel Quality Conference, pp.3-1-3-15, 2006.
3. Chris R. Smyrniotis, “ Controlling Opacity, SO<sub>3</sub>, Fouling , and Slagging in Coal-Fired Utility Boilers, Western Fuels Symposium“, pp1-11, 2004.
- 4.Power Plant Boilers Maintenance, Inspection and Monitoring Training Course, London , 25/26 September 2007.