

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：考察)

鍋爐燃燒效率提昇及氮氧化物抑低控制技術之應用

(裝訂線)

服務機關： 台灣電力公司
 大林發電廠 台中發電廠

出國人姓名：陳俊偕 邱士展

職稱：副廠長 機械工程師

出國地區：美國

出國日期：99年10月31日至99年11月10日

報告日期：100年12月28日

摘 要

鑒於近年來政府對節能減碳之重視，燃煤機組對公司營運績效相對重要，在煤質偏離原設計的影響下，鍋爐燃燒所導致的爐管積灰、腐蝕、龜裂、熱耗率的增加及燃燒所衍生的空污排放等複雜問題，確有必要對鍋爐的運轉、維護做進一步探討。發電處希望藉由參與 EPRI P71 計畫以提昇鍋爐燃燒效率及抑低 NOx 排放之技術應用。

EPRI 為使本公司能深入了解最新技術發展及參與其研發過程與結果，建議公司利用 EPRI P71 計畫保留基金參與其舉辦之相關電力研討會，並代安排相關之參訪考察活動。經 EPRI 與本公司發電處協商結果，由本公司參加 99/10/31~ 99/11/9 在美國巴爾的摩 (Baltimore,MA) 舉辦的粉煤燃燒研討會 (Coal Combustion Workshop)，此次研討會主題有二：首要為對燃煤電廠達到最小排放、最高效益及最大可靠度的研究歷程進行回顧，努力達到低成本及低風險的性能最佳化。其次藉由參與來得知業者的需求而發展出相關的議題進行研討。

德州的 Luminant's Martin Lake 電廠，是以燃用 LIGNITE 及 PRB 煤的燃煤電廠，透過 EPRI 安排拜訪，以吸收其在燃用亞煙煤及汞污染排放控制的運轉維護經驗。

目 錄

壹、 計畫緣起	1
貳、 出國行程	2
參、 工作紀要	3
一、 參加EPRI Coal Combustion研討會	3
二、 參訪Luminant's Martin Lake Plant	12
肆、 心得與建議事項.....	19

壹、計畫緣起

鑒於近年來政府對節能減碳之重視，燃煤機組對公司營運績效相對重要，在煤質偏離原設計的影響下，鍋爐燃燒所導致的爐管積灰、腐蝕、龜裂、熱耗率的增加及燃燒所衍生的空污排放等複雜問題，確有必要對鍋爐的運轉、維護做進一步探討。發電處希望藉由參與EPRI P71計畫以提昇鍋爐燃燒效率及抑低NOx排放之技術應用。

EPRI為使本公司能深入了解最新技術發展及參與其研發過程與結果，建議公司利用EPRI P71計畫保留基金參與其舉辦之相關電力研討會，並代安排相關之參訪考察活動。經EPRI與本公司發電處協商結果，由本公司參加99/10/31~99/11/9在美國巴爾的摩（Baltimore,MA）舉辦的粉煤燃燒研討會（Coal Combustion Workshop），並安排拜訪位於德州以燃用LIGNITE及PRB煤為主的Luminant's Martin Lake燃煤電廠，以吸收其在燃用亞煙煤的運轉維護經驗。最後拜訪位於加州EPRI P71的研究計畫室，以收集諮詢最新P71相關技術發展及研發技術應用情形。

貳、出國行程

本項出國計畫主要前往美國巴爾的摩市參加EPRI 2010 P71粉煤燃燒研討會，並轉往位於德州 Luminant公司所屬的Martin Lake 電廠參訪，回程到位於舊金山的ERPI P71 Program Office對P71計畫進行回顧，整個出國行程摘要如下：

時間	地點	工作摘要
99.10.31~99.11.01		往程（台北—洛杉磯—巴爾的摩）
99.11.02~99.11.03	巴爾的摩	參加 EPRI 鍋爐燃燒研討會(Coal Combustion Workshop)
99.11.04~99.11.05	達拉斯	考察 Luminant's Martin Lake 電廠提昇鍋爐燃燒性能及抑低 NOx 等應用發展技術
99.11.06~99.11.08	舊金山	與 P71 計畫主持人回顧並研討鍋爐燃燒對爐管壽命評估、煤質對爐管腐蝕及結渣的解決方案、粉煤與空氣量測及熱效率與成本最佳化等技術與應用。
99.11.09~99.11.10		返程(舊金山--台北)

參、工作紀要

一、EPRI粉煤燃燒研討會(Coal Combustion Workshop)

2007年EPRI P71首次舉辦粉煤燃燒研討會，由於會議中對於燃燒、燃煤品質影響發電效率、可靠度以及污染排放控制等議題受到廣泛討論，基於藉由發表、討論及意見交換，獲得良好的成效。因此有來自全美各電力公司從事鍋爐性能提升的工程人員及EPRI研究員近30人齊聚一堂，在11月2~3日於巴爾的摩市參加美國電力研究院假HYATT Regency舉辦的第2次的研討會。此次研討會主題有二：首要為對燃煤電廠達到最小排放、最高效益及最大可靠度的研究歷程進行回顧，努力達到低成本及低風險的性能最佳化。其次藉由參與來得知業者的需求而發展出相關的議題進行研討，研討經過摘述如下：



附圖1 會場HYATT Regency, Baltimore



附圖2 會議主持人P71計畫經理Tony Facchiano(立者)，左為Mr. Pete Ulvog

(一) 研討議程

本次EPRI研討會之研討議程如下：

DAY ONE-Tuesday, November 2, 2010	
8:30 AM	Welcome and Intro Tony Facchiano, <i>EPRI</i>
	SESSION 1: Existing and Emerging Combustion Based Emissions Controls Co-chairs: Duane Hill, Dairyland Power Coop and Rick Himes, <i>EPRI</i>
9:00 AM	Review of Combustion Optimization Approaches Using CO and O₂ -Rick Himes, <i>EPRI</i>

9:30 AM	EON.US Cane Run Unit 6 ZoloBOSS Results Review- Keron Miller, LG&E
10:00 AM	Break
10:30 AM	Enhanced RotaMix Application on a 420 MW Wall Fired Boiler- Bill Kirkenir, Progress Energy, Inc.
11:00 AM	Sorbent Activation Process (SAP) for Mercury and Multiple Pollutant Control from Coal Flue Gas – Randy Fields, Dynegy Midwest Generation, Inc.
11:30 AM	Open Discussion: (1) Recent experiences with emerging combustion based controls; (2) Combining combustion with post-combustion NOx controls
Noon	Lunch
	SESSION 2: Boiler Performance and Heat Rate Co-Chairs: Bill Kirkenir, Progress Energy and Jeff Stallings, <i>EPRI</i>
1:00 PM	Load Following Effects at an Operating Coal Station- Sam Korellis, <i>EPRI</i>
1:35 AM	Boiler Air Inleakage, Evaluating the Methods and Finding the Sources- Joe Milton, RRI Energy, Inc.
2:10 PM	Fan Inlet Flow Distortion Effects- Russell Noble, Southern Company
2:45 PM	Break
3:10 PM	Intelligent Soot Blowing Performance During a PR Test Bum at Luminant's Martin Lake Unit 3- Pete Ulvog, Luminant
3:45 PM	HydroJet® Retractable Boiler Cleaning System- Fred Kutilek, AmerenUE
4:20 PM	Open Discussion: Increased Prioritization of Heat Rate in Light of Increasing Fuel Costs and Potential CO ₂ Regulations
5:00 PM	Adjourn for Day

DAY TWO-Wednesday, November 3,2010	
	SESSION 3: Combustion and Fuel Impacts on Boiler Tube Reliability Co-chairs: Pete Ulvog, Luminant and Sylvio Cardoso, <i>EPRI</i>
8:00 AM	Fireside Corrosion and Circumferential Cracking- Tony Facchiano, <i>EPRI</i>
8:30 AM	Material Solutions Fireside Corrosion and Circumferential Cracking- Sylvio Cardoso, <i>EPRI</i>
9:00 AM	Martin Lake Unit #3 Water Wall Tubing Damaged by Water Cannons- Pete Ulvog, Luminant
9:30 AM	TVA's Experience with Fue, Combustion and Coatings on Boiler Reliability-

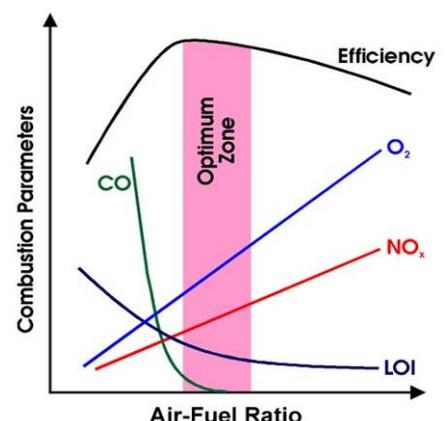
	Dave Nesbitt and Steve Godbehere, Tennessee Valley Authority
10:00 AM	Break
10:20 AM	Wastage Prediction Study on a T-fired Furnace- Jose Sanchez, Cassie Shaban, <i>EPRI</i>
10:50 AM	A Review of the Recent Fuel Quality Impacts for Power Production and Environment Conference Saariselkä, Finland - Jose Sanchez, <i>EPRI</i>
11:20 AM	AEP Update on the Big Sandy Coating Evaluation- JJ Letcavits, American Electric Power Service Corp.
11:40 AM	Open Discussion on Future Material Solution Issues and Needs
12:00 PM	Lunch
	SESSION 4: Coal and Air Measurement and Control Co-chairs: JJ Letcavits, AEP and Sam Korellis, EPRI
1:00 PM	Combustion Optimization of a 150 MW (NET) Boiler Utilizing Air and Fuel Flow Measurement and Control – JJ Letcavits, American Electric Power Service Corp.
1:30 PM	Enhanced Pulverized Coal Conveyance in a Small Boiler- Todd Wall, Southern Company Services, Inc.
2:00 PM	Combustion Optimization for Decreased Emissions and Improved Efficiency- Joe Estrada, Progress Energy, Inc.
2:30 PM	Open Discussion: Importance and Needs of Coal and Air Flow Measurement and Control
3:00 PM	Break
3:30 PM	SESSION 5: Open Discussion on Future Issues and Needs Moderator: Tony Facchiano, EPRI
5:00 PM	Closing Remarks and Adjournment

(二) 研討概要

本次研討會分為4個主題：

1. 既有及新開發以燃燒為主的排放
控制量測技術或設備：

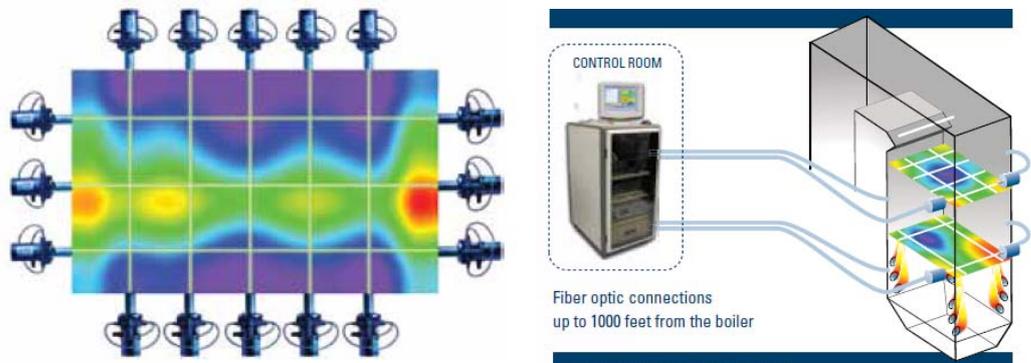
(1). 燃燒的好壞攸關鍋爐的效
率、不良的燃燒會使過剩空氣
過量、燃氣出口溫度 (FEGT)
過高、過量的噴水減溫、局部
的結渣及過熱現象，並使排放



附圖2 空燃比與各項燃燒
特性的關係

的煙氣中所含的CO及NOX過高、透光率偏低以及灰燒失量（LOI）過高等問題。其導致的結果是風扇消耗動力大增、燃料使用量增加、鍋爐效率降低及影響飛灰的再利用等。要改善鍋爐燃燒不良，使進入最佳化狀態（Optimum Zone），則需有能力連續調整空燃比。使用適當的儀器設備做準確量測、透過鍋爐燃燒控制，使鍋爐燃燒在最佳狀態，可以改善因燃燒不良所衍生的問題。

傳統燃燒控制以監測CO或O₂為主，採用多點式的取樣（multi-point extractive sampling）方式，因無法在攝氏1500°C的爐溫下正常工作，因此無法精確量測。近年來開發



附圖3 ZoloBOSS量測方式示意圖

出連續調校的商用儀器，如ZoloBOSS採用可調諧二極管雷射技術量測O₂/CO濃度值，可以同時安裝多組雷射頭，透過連續量測即時調整鍋爐燃燒狀況。該設備可用於前爐，量測燃燒區的參數及燃燒最佳化的診斷工具。GE的Zonal燃燒控制系統採用格柵式的即時偵測系統，以及由EPRI研發的雷射量測技術等都是希望透過連續偵測提供資訊以進行最佳化調整，降低爐內空氣-燃料分佈不均情況到最小的狀態，並用以評估燃燒器所造成燃燒分佈不均的技術層次。

- (2). 汞是煤中最易揮發的重金屬元素之一，燃煤煙塵中的汞如果不能得到及時排除，將會對人類及環境造成極大的危害。目前汞排放控制以燃燒後脫汞(即煙氣脫汞)是為主要方式，其效率也比較好，在煙氣中噴入活性炭是較成熟的一種方法，脫汞率可達96%。活性炭吸附劑在脫除汞方面有著很高的效

率，但價格昂貴，本次研討會Dynergy Midwest Generation公司發表利用電廠燃料-粉煤，經過處理轉化為活性炭（Sorbent Activation Process,SAP），可大幅降低活性炭的採購成本。



附圖4 SAP實物相片

2. 鍋爐性能及熱效率：

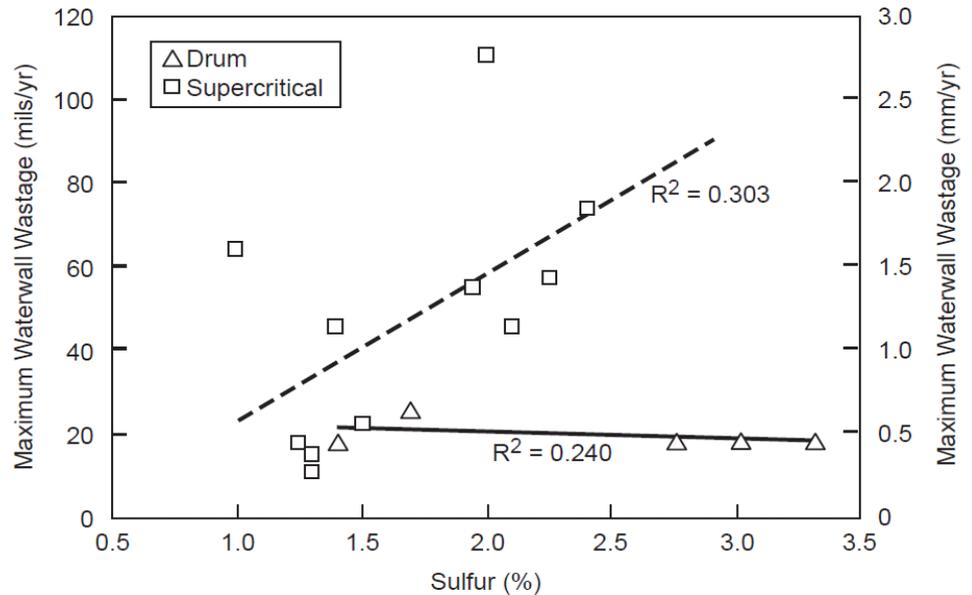
(1). 當機組檢查發現系統已明顯偏離設計點，但汽機及鍋爐的運轉條件皆在正常值，此時可能是因為鍋爐空氣的內部洩漏所致，空氣從室溫被加熱到不確定的溫度後從APH排出。經估計鍋爐的內部洩漏會影響熱耗率20~157Btu/MW。實驗人員認為利用熱影像檢查僅對小區域的檢查是可行的，利用煙霧彈（Smoke bomb）是最有效的方法。但如果發生在結渣下面則不易被檢查出來。降低洩漏雖然是困難，但是改善鍋爐性能及熱效率卻有有效的。

(2). 智慧吹灰系統（ISB）已逐漸被燃煤電廠接受並安裝使用，Luminant's Martin Lake Plant於2000年開始使用water canon吹灰設備，2008年更新為智慧吹灰系統（後述），安裝後為了解其對運轉操作的影響、確認及最佳化調整以及吹灰系統對不同煤的分配及結渣情形的改變，對Martin Lake #3進行效率試驗。

依電廠試驗結果，整體而言，使用ISB鍋爐爐管表面清潔度對鍋爐的影響呈穩定狀態，NOx及CO排放及操作控制穩定，即Martin Lake Plant對ISB的性能是肯定的。

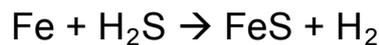
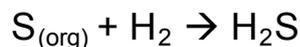
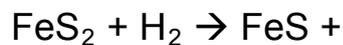
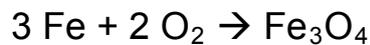
3. 燃燒及燃料對鍋爐爐管的影響：

(1). 爐管的火側腐蝕（Fireside corrosion）經研究多發生在經修改為低氮氧化物燃燒器（Low-NOx Burner）的分級燃燒



附圖5 爐管的損耗與含硫量的關係

(Staged combustion) 鍋爐。尤其以超臨界鍋爐為甚，但是在具汽水鼓的次臨界鍋爐也會有相當的影響。經統計爐管的損耗在次臨界鍋爐約20mil (0.5mm) /年，超臨界鍋爐則約40-80mil (1-2mm) /年，最嚴重的案例為120mil (3mm) /年。雖然火側腐蝕並不一定與煤炭中的含硫量有強烈的關係，但是從許多案例中中發現：大部份是使用含硫量較高的煤，硫化鐵的附著已被認定為高腐蝕率的主要原因。而煤中黃鐵礦 (pyrite) 的含量、各粉煤機粉煤細度的分佈以及分級燃燒的優劣，會影響硫化鐵的附著。其化學反應式如下：



- (2). 根據EPRI實驗，分級燃燒效果愈好，NOx排放愈低，但水牆管的S、Cl附著量增加，並且產生更多沖蝕性強的灰及附著。且燃氣溫度愈高、情形愈嚴重。

火側腐蝕與造成爐管周向破裂 (Circumferential cracking)

有相當程度的關聯性。磨煤機的效能不良、爐內燃料-空氣的分布不均以及爐管過熱都是造成火側腐蝕與爐管周向破裂共同原因。

A. 以材料管理的火側腐蝕防制：

為了防止火側腐蝕，爐管表面的焊補層材料的選用不當也可能成為爐管周向破裂的凶手。目前使用在爐管表面處理的方式有三：1.爐管表面鐳補（Weld overlay）、2.熱噴塗（Thermal spray）、3.陶瓷塗層（Ceramic coating）。

但由於鐳補或塗層的厚度可能會影響爐管傳熱的能力，進而增加周向破裂的可能，目前除了致力發展更薄的鐳補層外，耐熱塗層也是未來發展的重點。

B. 以燃燒管理的火側腐蝕防制：

燃燒管理是火側腐蝕防制的優先步驟，重點為改善改善粉煤細度、粉煤分配以及燃燒空氣的分布。其效果為縮短火焰長度，減少爐管直接受到高溫侵襲；降低NOx的生成濃度及灰渣的附著。其方法可藉由粉煤機的升級、空氣及粉煤量透過即時量測控制以及燃燒最佳化來達成。

(3). 爐管周向破裂的防制

爐管周向破裂議題為EPRI P71的重要議題，發生爐管周向破裂的主要原因為腐蝕疲勞：熱疲勞（Thermal fatigue, high ΔT ）、高溫潛變（High temperature creep）以及火側腐蝕。

A. 不良的吹灰和爐壁的結渣、熱傳導率以及負載變化造成的火側溫度變化；煤質、粉煤機性能以及分級燃燒的程度造成的表面積灰或結渣；以及汽側熱傳效率等原因皆會導致爐管周向破裂。

欲預防爐管周向破裂的發生，EPRI建議的首要作為為改善基本的運轉環境，如：改善粉煤機性能、各燃燒器間

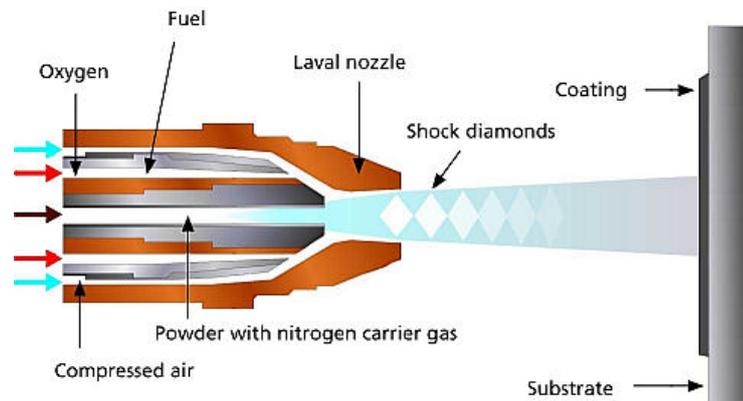
4. 鐳補 (

中度至重度腐蝕鐳補材料以含鉻量大於

70~120 mils，EPRI建議次臨界鍋爐及腐蝕條件較輕者，可使用成本較低的合金如309 (24Cr,14Ni) 及33

(33Cr,31.5Ni,1.7Mo,32.5Fe)。其中鉻可降低腐蝕但可能會助長裂痕，而鉬則可干擾裂痕的生長。其他Alloy 622 (22Cr,14Mo,3W, bal.Ni) 較為多數人使用，也在研發或尋找耐裂性較優的合金。

輕度至中度腐蝕可用熱塗層噴鐳 (Thermal spray coating)，塗層厚度10~20 mils，特色是其與母材無金屬鍵結，易因內應力、與母材結合不佳產生剝離。



附圖6 利用高速燃氧熔射(HVOF, High Velocity Oxygen Fuel Spray)技術行熱塗層噴鐳

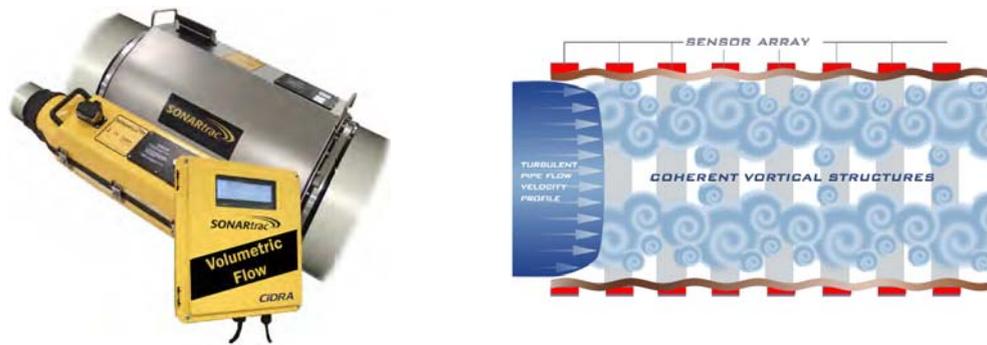
輕度腐蝕及避免表面結渣常用的方法是陶瓷塗層 (Ceramic coating)，厚度僅2-9 mils，但易受母材腐蝕及過度吹灰而剝落。塗層可能無法使用超過2年，但因成本低廉，在大修周期內仍可以降低表面結渣的程度。由於材料配方的進步，近期塗層已耐蝕能力已提昇。

5. 粉煤及燃燒空氣的量測技術：

在粉煤燃燒過程中，影響燃燒器火焰不平均的是煤流的平衡。

煤粉應該被平均分散到每一支煤管才能夠得到完美的燃燒狀況。不平衡的煤流會導致燃燒器得不到應有的效果，使用具有低空燃比的燃燒器，一般將形成低NOx，但會有較高的未燃碳損失；使用高空燃比的燃燒器會形成高NOx和低未燃碳損失，只有平衡煤流才可得到低氮氧化物形成及降低未燃碳損失。

有別於ISO 9931等動量測儀，新一代的粉煤及燃燒空氣的量測技術多採用微波（microwave）探頭感應，不需取樣。如CiDRA的SONARtrac VF-100以及PROMECON Pitot-Fechheimer Probe



附圖7 CiDRA SONARtrac VF-100外形及工作原理示意圖

等設備，經由電廠的試驗顯示其性能。透過粉煤及燃燒空氣的平衡可以得到以下的益處：

- (1) 改善NOx以及O₂的分佈。
- (2) 降低CO的排放量
- (3) 減少整體過剩空氣量
- (4) 減少NOx的排放量
- (5) 改善熱耗率
- (6) 調整飼煤機rate curves.
- (7) SCR得到較佳的控制，如：減少氨的消耗、延長觸媒使用壽命以及降低氨逸失量等。

二、拜訪Luminant's Martin Lake Plant

(一) Luminant's Martin Lake

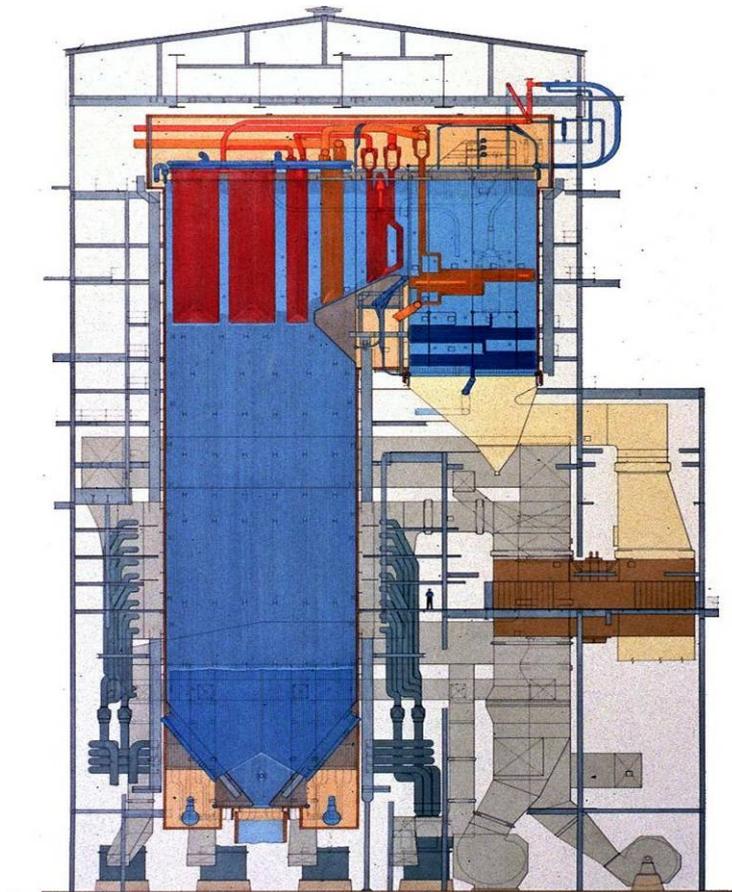
Plant 簡介 Luminant 公司在德州擁有 18 座燃油/氣電廠、4 座燃煤電廠及 1 座核能電廠，裝置容量達到 18,500MW，是德州最大的電力公司。此行參訪的 Martin Lake 電廠是 Luminant 公司所屬 4 座燃



煤電廠之一，靠近德州東北角的 Longview 南方約 25 哩。

附圖8 Luminant's Martin Lake Plant

該廠裝置有 3 座 ASTOM 設計，容量 875MW 的超臨界切線式鍋爐，並於 1979 年開始運轉。因處於 Wilcox 地層帶的 Lignite 煤礦區，因此是原本設計用來專燒 Lignite 煤的鍋爐。由於 Lignite 煤具高腐蝕性，並因高



- Fuel – Lignite Coal
 - Highly erosive/corrosive
- Boilers – Supercritical
 - extreme pressures/temperatures (4,500psi, 1,000 degF)
- Tubing – vast quantities / complicated arrangements
 - 275 miles of tubing in each boiler
 - multiple sizes, material grades
 - complex repair procedures

附圖9 Luminant's Martin Lake 鍋爐剖面圖

灰分且含矽量高易使爐管沖蝕。近年來開始燃用 PRB 煤，以全燒 PRB 煤或採 Lignite/PRB 各 50%比例混燒。

(二)環保設施

參訪 Martin Lake 電廠時發現電廠的配置相當緊密，因使用低氮氧化物燃燒器，NOx 排放值已在限制值以下，並無 SCR 或 SNCR 等脫硝設備。另外，該廠曾有汞污染的問題，因此設置有活性炭注入設備，將活性炭於注入靜電集塵器前的煙氣內，以吸收煙氣中的汞，吸附汞的活性炭可被靜電集塵器所捕捉，其環保設施如下：

1. 低氮氧化物燃燒器 (Low NOx Firing)

- Staged Combustion
- Lower flame temperature results in less atmospheric NOx

2. 靜電集塵器 (Electrostatic Precipitators)

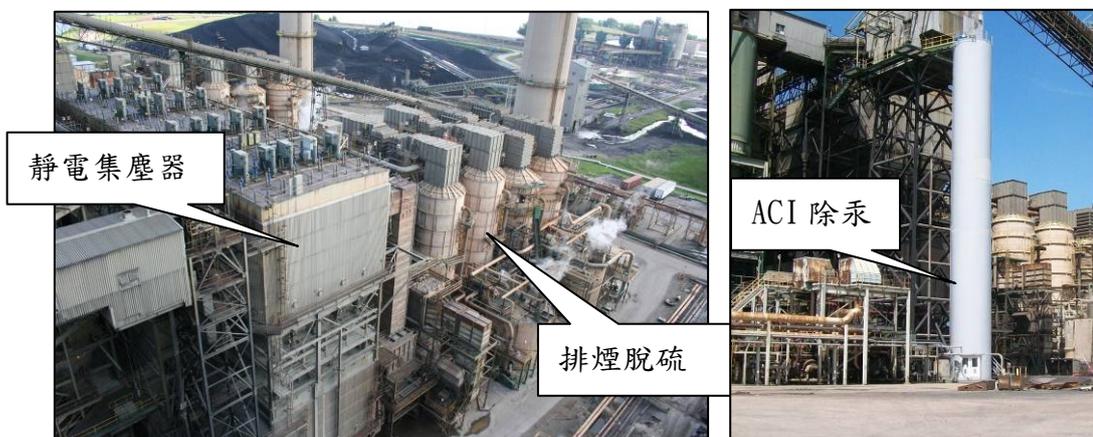
- Fine particulate controls
- 99.4% efficient (1,000,000 T/Yr)

3. 排煙脫硫 (SO₂ Scrubbers,FGD)

- Limestone reagent (350,000 T/Yr)
- 90% + efficient

4. 活性炭除汞 (Activated Carbon Injection,ACI)

- PAC injection for Mercury Removal
- 50% efficient



附圖 10 Martin lake plant 環保設施

(三) 研討概要

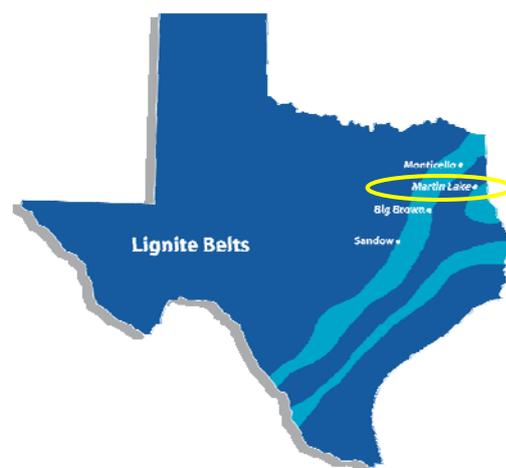
本次參訪在EPRI P71專案經理Mr. Jeffery Stallings陪同及Luminant公司熱效率顧問Mr. Pete Ulvog熱心指導下進行參訪，並提出相關議題進行討論：

1. 使用 Lignite 或 PRB 煤後結渣及積灰的情形、控制方法及灰蝕預防措施。

美國德州的 Lignite 褐煤來自 Wilcox 地層 (Formation)，儘管這種煤含有較高的灰分，但與 PRB 不同，它並不是高度結渣的煤質。它缺少助熔劑 (fluxing agents) 及成為結渣 (slagging) 的低熔點特性。並因其中的高砂含量有助於沖刷積灰，進而造成灰沖蝕現象。而 PRB 卻是高度結渣的煤質，但由於 Martin Lake Plant 機組爐體的尺寸夠大，大部分只生成反射灰

(reflective ash)，而不是結渣。PRB 煤一般會在後爐管排間的管與管中間形成板片狀夾灰，因為其與燃氣方向平行，因此傳統的吹灰器無法清除。當 PRB 和 Lignite 混燒時，所形成的灰渣同時具備兩種煤最差的特性，呈現量多及堅硬的反射灰。

由於 lignite 煤含砂 (砂) 量高，Martin Lake Plant 對灰蝕的預防相當重視。除了煤管有耐磨陶瓷內襯外，曝露於燃氣中的爐管也採取安裝保護片的措施。另外保持爐管排列的整齊，避免爐管因錯位造成煤灰沖蝕；在彎管處製作擋灰板減低燃氣流速；每月定期檢視吹灰器的運轉紀錄，監視每支吹灰器的吹灰頻率，防止過度吹灰情形的發生。當特定地點的吹灰器有異常吹灰情形時使要注意吹灰次數及管排對正的問題。以上措施大多與目前本公司燃煤電廠的防範措施相似。



附圖 11 美國德州煤礦分布

2. 因燃用 Lignite 或 PRB 煤，粉煤機以及粉煤機至燃燒器的一次風道，是否有設置防爆裝置，如防爆門或 CO 偵測儀，以及其作動（設計）方式。

Luminant公司自 1979 年開始燃用褐煤 (lignite)，至目前為止有 12 部大型機組全燒lignite或混燒lignite 和 PRB煤，該公司也曾為一次風道爆炸的可能性擔憂，但至目前為止並未因此增設粉煤機的釋放閘門、或使用蒸汽或者CO₂ 做為惰性汽消防(inerting)用。由於美國曾發生蔗糖工廠嚴重的粉塵爆炸事件，因此該公司目前比較重視表面粉塵的問題。但Mr. Ulvog表示Martin Lake還是有一套標準風道排壓的SOP，做為快速釋放風道壓力之用。

3. 燃用亞煙煤的 A/F ratio 為何？使用煤 HGI 與負載的關係？燃燒時 CO 值和 LOI 的情形。

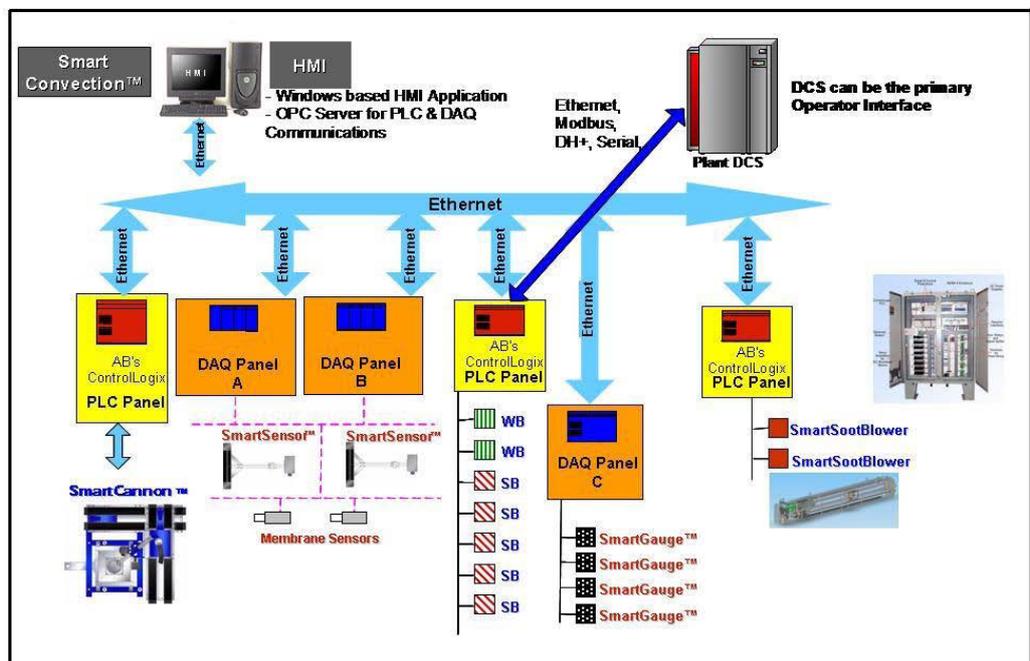
Luminant 公司並不特別對空-燃比 (air-fuel ratio) 加以限定，而是注意過剩空氣的控制。

雖然煤炭的水分影響 HGI 值，但在 Martin Lake Plant 煤炭的水分的變化相當有限，因此未曾考慮 HGI 值與負載的關係。Martin Lake Plant 使用 CE Raymond 1003 粉煤機，進入粉煤機的煤粒尺寸影響粉煤機的運轉，一般而言，當煤粒大於 1.5 吋時，會進行排渣排出粉煤機。當煤粒過細（小於 0.1 吋）時則因磨輪與磨盤互相研磨磨耗而無壓碾作用，而使粉煤機消耗的動力大為增加。

Mr. Ulvog 認為 LOI 及 CO 並無直接的對價關係。Martin Lake Plant 燃用 Lignite 和 PRB 煤的 LOI 值一般少於 0.25%，因此鮮少關注 LOI 值，而 CO 值主要是受到粉煤細度的影響。一般的認定粉煤細度須全部可通過 50mesh 方可。

4. Martin Lake 電廠於 2003~04 年間曾安裝 Pegasus 燃燒最佳化軟體，目的在於降低 NO_x 及 CO 的排放量，由於目前商用最佳化軟體均採用封閉迴路設計，常造成程式邏輯與值班人員操作習慣不同的問題，值班人員在很快了解到 Pegasus 的最佳化設備所運用的許多規則後，將其加到控制系統中；且稍後的鍋爐改善工作如

5. Martin Lake 電廠自 2000 年開始使用 Clyde Bergemann Water Cannon，每部機裝設 8 組 Water Cannon，前後牆各裝設 4 組。每組 Water Cannon 可以清除對牆及側牆的結渣，且其路徑可經程式編輯控制。Water Cannon 是利用水汽破壞爐渣及水牆之接合



附圖 12 Martin Lake Plant ISB 控制架構



技術資料

最大吹灰角度 110° (水平及垂直方向)

水柱有效噴射距離: 35 M

水柱吹灰壓力: 4 to 25 bar

尺寸

整體尺寸: 1090 x 1090 x 650 mm

重量: 80 kg

驅動系統

最大負載 5300 N

0,25 kW, 48 V DC

附圖 13 Clyde Bergemann Water Cannon 外觀及技術資料

附表 Martin Lake #3 ISB 性能試驗總結

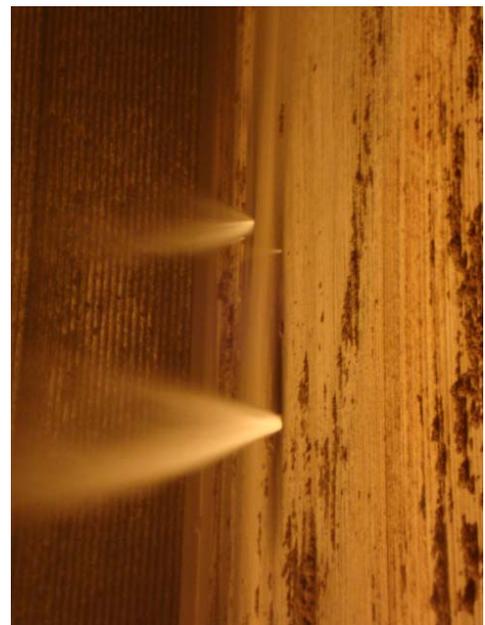
Martin Lake Unit 3 ISB Test Summary								
	Start Time	Stop Time	Average Load (MW)	Average Excess O ₂ (%)	Gross Heat Rate (Btu/kWh)	Turbine Heat Rate (Btu/kWh)	Reheat Spray (lb/h)	Retract Operations (Events)
Non- ISB	June 23 8 AM	June 25 8 AM	845	2.28	9,395	7,958	47,956	225
ISB	June 26 8 AM	June 28 8 AM	868	2.37	9,383	7,913	36,668	184
	Cannon Operations (events)	Average Thermal Impact (°F)	Maximum Thermal Impact (°F)	Average Furnace Heat Flux (Btu/h/ft ²)	Maximum Superheater A Temperature (°F)	Maximum Reheat Temperature (°F)	Coal T250 (°F)	Coal Base/Acid Ratio
Non- ISB	247	41.0	133.7	44.2	1,055	1,041	2,560	0.30
ISB	132	43.8	105.0	43.8	1,051	1,039	2,310	0.50

面，以清除結渣。

2008 年提昇性能配合 Intelligent Sootblowing (ISB) 智慧型吹灰系統，以自動模式操作減少吹灰器的操作頻率，目前電廠仍在做清灰區域的範圍調整。Water Cannon 的作動是依據安裝在爐管上的熱通量感測器的信號回授驅動，爐管上的薄膜型熱電偶

(Membrane thermocouple) 則可協助避免清洗區域以外受到水柱的沖擊而受損。另外，還增設 34 支可變速長程吹灰器加入 ISB 中，利用安裝在管排上的應變規 (strain gauges) 稱重裝置依灰渣重量的信號回授及熱力性質的分析計算來控制吹灰器的動作，

經過 ISB 測試結果 water canon 的操作次數比未加入智慧吹灰時減少了 53%，在爐內熱通量保持不變下負載提升了，除此之外 ISB 操作下的熱影響由 56.5°C 降低至 40.5°C，降低水牆爐管受熱應力的影響的程度。在 ISB 操作下熱耗率及再熱器噴水量都呈降低趨勢。根據 Mr. Ulvog 表示：透過 ISB 的操作，使得鍋爐的 NOx 排放量減少了 25%，且有相



附圖 14 Martin Lake Unit 3, WW
Tube leaks October 17, 2009

當的成果。

Martin Lake 電廠認為 ISB 在運轉及維護上是相當的成功。雖然在 2009 年 10 月發生水牆洩漏事故，經查係為手動操作時，water canon 的速動隔離閥關閉太慢，致水柱噴射到水牆，使得水牆面過度清潔造成破管洩漏。由於操作得宜，其認為迄今並無證據顯示因 Water Cannon 的使用造成水牆管的重大損傷。

6. 目前美國各電廠大修時鍋爐狀況的評估方法則依據 EPRI 的 Boiler Tube Failure (BTF) 準則進行檢查。大修後的風險評估主要是依據大修停機檢查結果來判定，Luminant 本身亦依此製作 BTFR (Boiler Tube Leak Failure Report)，根據檢查結果來進行爐管更換及維修計畫。



附圖 15 與 Pete Ulvog 在 Martin Lake Plant 合照

肆、心得與建議事項

- 一、P71 計劃係以提供知識平台及資源，對鍋爐效率風險及衝擊最小化下，發展及運用以燃燒為基礎的 NOx 削減方案。P71 分為五大主題，1.協助在低氮氧化物燃燒系統中削減火側腐蝕及水牆爐管的損耗；2.透過燃燒改造及新技術的評估發展具成本優勢的 NOx 控制；3.燃煤品質議題的解決方案；4.粉煤及燃燒空氣的量測及控制；以及 5.熱效率及成本的最佳化。EPRI 以及其會員的研究成果以及測試報告大部份皆可透過網站取得，透過知識的分享，有助於提升技術水準及鍋爐效能。
- 二、本次奉派出國參與 EPRI 粉煤燃燒研討會及參訪 Luminant's Martin Lake Plant，隨行陪同的 EPRI 專案經理 Mr.Jeffery Stallings 認為目前燃燒最佳化軟體已可有效改善燃燒，降低 NOx 及 CO 的排放。因而建議本公司應擇一機組試用鍋爐最佳化軟體，如獲得良好的成果可水平展開至其它機組。在美國鍋爐燃燒最佳化軟體雖然已被安裝在 280~300 座燃煤機組使用，但也因目前最佳化軟體皆採閉迴路設計，因鍋爐設備變更而使參數改變，需花費成本重新校調，或因原先目標已達成而停用，目前約有 100~130 座機組仍然使用中。因此對鍋爐燃燒最佳化設備的裝設應審慎考慮，以免投資浪費。
- 三、智慧型吹灰 ISB 已廣泛受到業者接受，以 Luminant's Martin Lake Plant 的經驗可以削減 25% 的 NOx 排放量，為燃燒控制外的另一個選擇。EPRI 亦建議台電可擇一機組試用。吾人認為如果水牆管因使用 Water Canon 造成的反覆應力可以得到良好的控制及預測，可考慮目前機組的結渣以及積灰狀況來安裝。
- 四、粉煤與燃燒空氣平衡是燃燒最佳化的第一步，且已列入本公司火力電廠節能減碳策略。粉煤與燃燒空氣平衡有助於降低局部過量的爐膛結渣；爐膛出口過剩空氣濃度平均化；降低爐膛出口氣體溫度分佈不均；降低 CO 濃度與飛灰未燃碳；節省燃料；飛灰品質提高；平衡火焰大小，避免爐管有局部高溫點產生；以及可避免因高溫造成破管。本公司綜合研究所目前也協助各煤燃機組進行粉煤與燃燒空氣平衡

- 五、2010 年 EPRI 曾對興達 3 號機進行診斷，Mr. Jeffery Stallings 表示診斷結果可水平展開本公司同一型機組，以提升機組效能。
- 六、目前市場上已開發出許多可靠度更高的量測儀器，建議儀資部門在更新時可多做評估，做為更新的參考，以提昇量測準確及精確度。其次，目前台電有許多機組更新計畫，建議在機組設立時可安裝較先進的量測儀器以及智慧型吹灰設備。
- 七、電廠汞污染問題在台灣開始受到重視，美國則有多年處理汞污染排放的經驗與技術。可藉由經驗的交流與學習，提早進行研究及污染防制，減少對環境與公司形象的衝擊。
- 八、由於台電燃煤鍋爐皆為亞臨界鍋爐，目前水牆管的火側腐蝕以及周向裂痕問題並不明顯，隨著鍋爐偏離設計運轉、分級燃燒的普遍運用以及未來超臨界鍋爐的設置，鍋爐維護人員應對其發生原因、解決對策宜有進一步的了解。