

出國報告（出國類別：實習）

火力機組鍋爐燃燒 性能診斷技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：楊泰然 一般工程師

派赴國家：美國

出國日期：96年9月27日至10月10日

報告日期：96年12月9日

出國報告審核表

出國報告名稱： 火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術		
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
楊泰然	一般工程師	台灣電力公司
出國期間： 96年9月27日至96年10月10日		報告繳交日期： 96年12月9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"/> ①不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> ②以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> ③內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> ④電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> ⑤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。

報告人： 單位 主管處 總經理
 主管 主 管 副總經理：

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術

頁數 43 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：

楊泰然/台灣電力公司/綜合研究所/一般工程師/(02) 8078-2330

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 27日至10月 10日 出國地區：美國

報告日期：96年 12月 9日

分類號/目

關鍵詞：粉煤流量平衡, 燃燒性能診斷, ISO9931

內容摘要：(二百至三百字)

此次實習任務主要為配合電廠委託研究計畫「中四機燃燒條件評估及提昇鍋爐運轉效能研究」之執行，赴 Los Angeles(USA) FERCo 及 Boston(USA) Thermoflow Inc.，針對應用火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術提昇燃煤鍋爐運轉效率之相關匹配技術，實習燃煤發電鍋爐粉煤流量平衡相關技術，瞭解美國電力研究所(EPRI)在粉煤流量平衡相關研究之發展現況。

實習目標主要研討施行粉煤流量平衡技術之實務概念，深入探討粉煤分管髒空氣(Dirty Air)流速、粉煤(細度)取樣、粉煤質量流率等量測技術議題，瞭解 EPRI 在粉煤流量平衡相關研究之發展現況與未來走向。

計畫緣起於公司現有燃煤機組煤質(煤源)變化大、採行混燒模式使得爐膛燃燒行為益加複雜，加上燃煤鍋爐普遍存在燃燒不佳現象，運轉員難以運轉鍋爐於最佳化狀態，因此如何加強鍋爐燃燒性能診斷技術及落實粉煤流量平衡相關技術之應用施行，實為當前各火力電廠迫切之需求。

計畫實施要領主要與相關專家討論施行粉煤流量平衡技術之重要概念，實習鍋爐粉煤流量平衡相關量測技術，蒐集美國 EPRI 在粉煤流量平衡技術之最新發展資訊；最後就實習任務提出此行之心得報告與建議。

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

目 錄

出國報告書審核表	
圖目錄 -----	2
第壹章 行程及內容	
一、 出國任務 -----	3
二、 行程及內容 -----	3
第貳章 心得與感想	
一. FERCo 的鍋爐燃燒性能診斷技術 -----	5
二. 粉煤流量平衡技術之施行概念 -----	10
三. 美國電力研究所(EPRI)相關研究 -----	12
第參章 建議事項 -----	15
附圖 -----	16
附錄 -----	35

圖 目 錄

圖 1.FERCo 公司(總裁 Richard E. Thompson 博士) -----	16
圖 2.FERCo 公司 Hot Foil ® LOI -----	16
圖 3.於 Thermoflow,Inc. (Boston,USA)進行研討會 -----	17
圖 4. FERCo 的 MCDA (Multipoint Combustion Diagnostics Analyzer)----	18
圖 5 .FERCo 的移動式實驗室(Mobile Laboratories) -----	18
圖 6.FERCo 的 MCDA 測儀(比傳統單點測試)具優勢 -----	19
圖 7. FERCo 的. In Situ Catalyst Activity Monitor -----	20
圖 8.FERCo 研發的 Catalyst Management Software -----	21
圖 9. 鍋爐調整前(上圖)與調整後(下圖)之煙氣成份分佈 -----	22
圖 10. FERCo 冷流場模擬 (AIG Tuning , SCR Process,etc.) -----	23
圖 11. FERCo 冷流場模擬模式(Cold Flow Modeling) -----	24
圖 12. EPRI 於 2003 年建置之實驗裝置(Coal Flow Loop) -----	25
圖 13. EPRI 的 Coal Flow Loop 實驗(Phase1) -----	26
圖 14. EPRI 的 Coal Flow Loop 實驗(Phase2) -----	26
圖 15. EPRI 的 Coal Flow Loop 實驗裝置 -----	27
圖 16. 外抽取樣法(Extractive Sampling) 之各項測儀 -----	28
圖 17. ISO9931Rotorprobe 組成示意圖 -----	29
圖 18. 粉煤管內部粉煤流動的繩索現象 -----	30
圖 19. “ASME/ASTM 與 ISO RotorProbe”粉煤取樣法 -----	30
圖 20. PROMECON 公司的 PfFLO®系統 -----	31
圖 21. SWR (德) 多頻道粉煤流量測儀在現場進行測試 -----	32
圖 22. 粉煤平衡(Coal Balancing) 之改善案例 -----	33
圖 23. 粉煤流量偏差與負載高低變化關係 -----	34
圖 24. 粉煤流量偏差分佈型態與時間關係 -----	34

第 壹 章 行程及內容

一、出國任務

此次實習任務主要為配合電廠委託研究計畫「中四機燃燒條件評估及提昇鍋爐運轉效能研究」之執行，赴 Los Angeles(USA) FERCo 及 Boston(USA) Thermoflow Inc.，針對應用火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術提昇燃煤鍋爐運轉效率之相關匹配技術，實習燃煤發電鍋爐粉煤流量平衡相關技術，瞭解美國電力研究所(EPRI)在粉煤流量平衡相關研究之發展現況。

實習目標主要研討施行粉煤流量平衡技術之實務概念，深入探討粉煤分管髒空氣(Dirty Air)流速、粉煤(細度)取樣、粉煤質量流率等量測技術議題，瞭解 EPRI 在粉煤流量平衡相關研究之發展現況與未來走向。

計畫緣起於公司現有燃煤機組煤質(煤源)變化大、採行混燒模式使得爐膛燃燒行為益加複雜，加上燃煤鍋爐普遍存在燃燒不佳現象，運轉員難以運轉鍋爐於最佳化狀態，因此如何加強鍋爐燃燒性能診斷技術及落實粉煤流量平衡相關技術之應用施行，實為當前各火力電廠迫切之需求。

計畫實施要領主要與相關專家討論施行粉煤流量平衡技術之重要概念，實習鍋爐粉煤流量平衡相關量測技術，蒐集美國在粉煤流量平衡技術之最新發展資訊；最後就實習任務提出此行之心得報告與建議。

二、行程及內容

本次出國行程,期間從 96 年 09 月 27 日至 96 年 10 月 10 日，前後共計 14 天(含飛程 3 天)，前往 Los Angeles, USA 的 FERCo 參訪公司、藉簡報與研討方式實習相關技術主題,之後繼前往 Boston,USA 的 Thermoflow Inc.進行參訪公司、藉簡報方式與專業人員研討以掌握軟體最新發展現況。

主要內容,為研討火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術,實習關於粉煤流量平衡技術及施行實務概念，除深入探討粉煤分管髒空氣(Dirty Air)流速、粉煤(細度)取樣、粉煤質量流率等量測技術相關議題外，亦藉機瞭解鍋爐燃燒調整改善技術之發展現況與

未來走向。

(1) 於96年09月27日抵美國~96年09月30日期間,參訪 FERCo公司 (Los Angeles,USA):

- 簡介公司歷史&技術服務內容與績效.
- 研討火力機組鍋爐燃燒性能診斷技術.
- 實習燃煤鍋爐粉煤流量平衡相關技術.
- 研討粉煤流量與細度取樣等量測儀器應用經驗.

(2) 於96年10月01日~96年10月08日期間,參訪 Thermoflor,Inc.(Boston,USA):

- Thermoflor,Inc.進行公司簡介、部門拜會.
- 研討深度發展系統軟體(GT PRO, +GT MASTER)最新發展現況.
- 研討工程系統工具軟體(+Thermoflex)最新發展現況.
- 研討完整發展系統軟體(+STEAM PRO, STEAM MASTER, RE-MASTER)最新發展.

(3) 於96年10月09日~96年10月10日期間,搭機由Boston直接返回臺北.

第 貳 章 心得與感想

一. FERCo 的鍋爐燃燒性能診斷技術

美國 FERCo 公司(Fossil Energy Research Corporation, USA), 自 1984 年成立以來一直由總裁 Richard E. Thompson 博士(圖 1)帶領,多年來該公司以電廠鍋爐燃燒改善實務為走向,藉參與 EPRI 多項電廠改善實務相關計畫而發展技術與累積實績(詳附錄),對鍋爐設備之檢測分析與燃燒調整改善已有多數之豐富經驗與實力,該公司之組成與技術服務之特色詳如下列,服務對象除遍及全美國發電電廠之外,亦曾對國外提供技術服務舉如:瑞士、德國、俄羅斯、中華民國等等。

< FERCo 公司之組成與技術服務特色 >

Founded: 1984

Focus: Engineering Services in Combustion and Emissions Control, Primarily within the Utility Industry

Experience:

- Most of the senior staff has been working on NOx control since the early 1970' s
- Hands on experience in field and laboratory studies, as well as systems evaluations
- Combustion Instrumentation

Staff Composition:

- 11 Engineers(1 Ph.D., 6 MS, 4 BS)
- 2 Technicians
- 2 Office Management/Accounting

WHAT FERCo ARE

- “Hands-On” field test and laboratory/pilot-scale development engineers
- Involved in commercialization of new control technologies
- Sensitive to customer operational concerns
- Problem solvers, not problem perpetrators
- Expert in NOx control, combustion

WHAT FERCo ARE NOT

- Owned by, or a shareholder in, any equipment manufacturer
- Research scientists insensitive to facility operating constraints and schedules

在該公司實習期間所安排簡報與研討,除由 Richard E. Thompson 博士親自簡報該公司技術服務全貌 (FERCo Capabilities and Experience, Sep28,2007),並分別安排由專業人員 Gary H.Shiomoto 負責主講燃煤鍋爐燃燒診斷與調整之相關測儀與技術服務主題,回答此行預先提出之鍋爐粉煤流量平衡相關技術與施行概念等問題,以及由專業人員 Jessica M. Muncy 負責主講電廠污染控制設備研究與技術主題,另亦安排時段由專人展示說明相關測儀設備軟硬體、冷流場模擬分析之模型設備等。主要心得分列如下:

1. FERCo 的專案領域經驗

由該公司過去的專案工作記錄,其領域經驗內容經綜合整理可歸類為 a.燃燒最佳化、b.選擇觸媒還原設備之氮氧化物控制、c.系統性研究、d.選擇無觸媒還原設備之氮氧化物控制、e.測儀設備之設計製造、f.磨煤機效能改善等六大項,於各大項下並簡列出其專案經驗與主要工作,值得注意的是這些資料內容除透露了過往 23 年期間,該領域”火力機組鍋爐燃燒性能診斷與改善”方面,美國各發電電廠之主要改善需求之外,亦展現出實務工作之研發方向:

a.燃燒最佳化(Combustion Optimization)

Gas: More than 75 Units Tested

Oil: More than 20 Units Tested

Coal: More than 100 Units Tested

b.選擇觸媒還原設備之氮氧化物控制(SCR NOx Control)

Laboratory Research: 4 Major Studies

Pilot Scale R&D: 5 Major Projects

Mini SCR Reactors: 7 Systems in Service

Cold Flow Modeling: Over 20 Projects

Process Design: 3 Major Projects

Full Scale Optimization/Warranty Testing: Over 20 Units Tested

c. 系統性研究(System-Wide Studies)方面

System-Wide NOx Strategy Models: 10 Major Studies

(PG&E, SDG&E, HL&P, LCRA, City of San Antonio, BASF, TXU, Entergy, Reliant Energy (California Operations), LADWP)

d. 選擇無觸媒還原設備之氮氧化物控制(SNCR NOx Control)

Laboratory Research: 8 Major Projects

Cold Flow Modeling/CFD: 7 Major Projects

Full-Scale Optimization: Over 16 Major Projects

e. 測儀設備之設計製造(Hardware Design-Fabrication)

Mobile Laboratories (圖 5)

Multipoint Combustion Diagnostics Analyzer (圖 4~圖 6)

Hot Foil LOI (圖 2)

Hot Foil Coking Index

Mini SCR Reactor Systems

Laboratory R&D Experiments (圖 10, 圖 11)

f. 磨煤機效能改善(Pulverizer Performance Improvements)

More than 50 Units Tested

2. FERCo 的鍋爐燃燒診斷與效能改善技術

綜合此行實習與蒐集所得技術資料,可以瞭解 FERCo 公司之技術經驗脈絡,對於鍋爐燃燒診斷與效能改善技術這領域之發展,依鍋爐燃燒之煙氣流程可依序說明如下:

a. 在粉煤系統方面

- 應用 GE 公司出品的髒空氣皮托管 (DAP / Reverse Impact Type 圖 16)進行粉煤分管一次空氣(Clean Air Test or Dirty Air Test)流速測定分析,測定方式係在粉煤機下游

適當位置,採用 ASTM/ASME 測定法於粉煤分管截面在(單孔)直徑方向依規則取測多點,至少需為相垂直的兩個孔口,適當之取測孔數目則依測定規則而預規劃。

- 應用 GE 公司出品的機械式旋轉式探測儀 RotorProbe(圖 16),同樣上項敘述並考量儘量避開粉煤分管內嚴重繩索現象處(Roping Effect),依 ISO9931 測定規定要求進行等動量抽取粉煤,於固定單位時間(係 Snapshot 性質)內抽得之粉煤重量,經校正與換算以獲得分管之質量流率數據。
- 依上項敘述採用 ISO9931 測定規定要求進行等動量抽取得到之粉煤樣品,與以往採用 ASTM/ASME 方式進行等動量抽取得到之粉煤樣品,前者更能避開分管內繩索現象之干擾影響,而提供更具磨煤機粉煤細度分佈分析數據之代表性樣品。

以上討論之測定技術所延伸之數據資料,經演譯分析已足以進行更深入之燃燒診斷項目之組合,諸如空燃比(Air/Fuel Ratio)、一次風風量分佈(Primary Air Distribution)、髒空氣流速狀況(Dirty Air Velocity)、粉煤細度(Coal Finess)分佈、粉煤分管質量流率(Coal Pipe Flow)分佈等,如果再加入一般的煤質元素分析與粉煤細度分析等技術,則已可以達成磨煤機之效能診斷。

- FERCo 另約於 2003 年開始引進 MIC (USA)公司研發之粉煤分管多頻道流量測儀,可同時針對單臺磨煤機之各粉煤分管同時進行動態流量分佈測定。如此對磨煤機動態效能、粉煤管線傳輸問題、粉煤平衡動態狀況能進行診斷分析(圖 22)。

b.在環保排放方面

- FERCo所發展之移動式實驗室(Mobile Laboratories圖5) 或 多點式燃燒診斷分析儀(MCDA/ Multipoint Combustion Diagnostics Analyzer圖4) 詳見下文所述,可提供迅速而有效之煙氣成份(NO、CO與O₂濃度)測定數據資料,將有助於對燃燒器二次風與火上風門調整及鍋爐燃燒改善診斷等工作。
- FERCo所發展之熱燃式未燃碳分析儀(Hot Foil[®] LOI圖2),詳見下文後所述,能對於排放煙氣之飛灰樣品作未燃碳含量(LOI)離線即時測定分析,提供對於上述診斷項目之鍋爐燃燒效能計算。

3. 熱燃式未燃碳分析儀 (Hot Foil[®] LOI圖 2)

FERCo 公司所研發之飛灰未燃碳(LOI)分析儀為離線可攜式,多年來獲得歐美國家普遍採用已嚴然成為鍋爐燃燒性能診斷檢測分析之標準儀器設備,本所已於 94 年年底採購新型儀器,並於 95 年年中正式建立此項分析技術,此次前往實習並藉機研討該項測儀之相關使用經驗。

本項設備與傳統檢測飛灰未燃碳均是採用批次方式操作及熱損失測定原理,但本項設備可於現場附近(非實驗室)即時獲得飛灰樣品未燃碳數據,主要之特色如下:

- a.經現場取樣後,約 10min~20min 可即時分析獲得 LOI 數據。
- b.配合精密天秤,操作簡便,可準確測定飛灰樣品 LOI 值。
- c.飛灰樣品每次需要量僅 100 mg~120mg 即可測定。
- d.因操作程序簡便,短期訓練加上細心操作即可上手使用。
- e.由測定數據結果顯示出測定之再現性良好。
- f.採用與 ASTM 規範相同之 LOI 量測技術。

本設備主要為進行燃煤鍋爐煙道氣飛灰樣品之LOI值測定,可配合應用於鍋爐調整與燃燒診斷、氮氧化物基準測定與最佳化調整、鍋爐效能最佳化調整等,此設備將有效協助燃燒診斷與提升改善技術之整合,圖 2 所示為FERCo 之Hot Foil[®] LOI 分析儀器外貌。

4. 多點式燃燒診斷分析儀 MCDA (Multipoint Combustion Diagnostics Analyzer)

多點式燃燒診斷分析儀 MCDA (圖 6)為 FERCo 公司另一項較有名氣之燃燒診斷分析利器,此系統與本所於 95 年底度剛建立之多點式煙道分析儀功能相類似,此行並藉機了解該系統主要優點與特性。

因為傳統煙道氣分析量測儀器(Traditional CEM Instruments)為單一測點於進行取測時得採用逐點依序移動方式,每一測點至少需 4Min 左右,若截面取測完成 24 點則約費時 96Min 以上,鍋爐燃燒流場可能前後已改變,因而測值最終已不再具代表性。

FERCo之多點式燃燒診斷分析儀 (MCDA系統) 偵測煙道氣NO、CO與O₂三項含量濃度,可藉由煙道中之多測點方式(12 個同步取測點),約每 12Min便可完成截面 24 點取測,並配合測試系統自行發展之軟體,約每 20 秒便自動將數據即時記錄和更新顯示一次,因其監測點為同步橫跨煙道截面且均勻分佈之多取樣點,對於煙道氣實際在鍋爐爐膛內之流場與各成份濃度分佈,能即時掌握有較為完整且具代表性之數據,供診斷分析後藉以建議爐控人員調整可調設定,同時亦提供現場專業人員容易掌握鍋爐各調整參數之影響性(諸如MOOS 狀況、二次風風門設定等)。

二. 粉煤流量平衡技術之施行概念

為探討有關粉煤流量平衡之技術,出國前收集相關資料整理出值得與國外專家研討之相關問題如下:

- a. 維持粉煤流量平衡的益處有那些?
- b. 進行Dirty Air量測之必要性?
- c. ASME粉煤取樣法與ISO RotorProbe取樣法兩者之準確性?
- d. 調整粉煤平衡應選擇以速度或流量為基準?
- e. 如何選用(平衡粉煤流量)節流器?
- f. 粉煤平衡施行調整後其有效性可維持多久?
- g. 粉煤平衡狀態與機組負載高低之關連性?
- h. 粉煤流量即時監控儀測系統的應用實績?

以下說明主要施行概念:

1.一次空氣(Clean Air)與髒空氣(Dirty Air)流量之量測

施行粉煤平衡時若只針對粉煤機各分流管線之一次空氣(Clean air)作平衡,則由於空氣與粉煤粒子之間的交互作用(雙相流 Two-phase flow),實際上所平衡結果將與粉煤流量平衡(Dirty air)不相吻合。

比較三種不同的粉煤機(C-E, B&W, F-W)實際量測案例,經過使用限流器調整之後其粉煤流量(Dirty air)平衡、一次空氣(Clean air)平衡之結果,所有粉煤管以平均流量值為準之總平均偏差狀況表示,發現一次空氣(Clean air)平衡結果之平均偏差普遍的遠大於粉煤流量(Dirty air)平衡結果之平均偏差。

故於使用皮托管量測粉煤分管至燃燒器管段的流速時,必需將粉煤管承載量調設處於正常實際運轉髒空氣(dirty air)之狀況。

2. “ASME/ASTM與ISO RotorProbe” 粉煤取樣法.

傳統粉煤取樣,尤其爲了測定粉煤細度(非測定粉煤流量)所常取用ASME/ASTM法,在垂直粉煤管上同一(適當高度)位置從相互交叉90度方向的兩個取樣孔沿著粉煤管直徑橫向施行取樣,此種取樣方法的結果會被質疑是否受到”取樣抽取速率”及”管內粉煤流量分佈狀況--繩索現象(Coal Roping) 圖18 ”所影響?

從相關報告可得知變化取樣抽取速率(Ex: Isokinetic sampling 與High Recovery Sampling)對測定粉煤細度結果之影響(200Mesh粉煤粒子)相差8%以上;由於ASME/ASTM Method無法函蓋整個粉煤取樣截面而使得管內粉煤流量分佈(Coal Roping)狀況對測定粉煤細度結果之影響(200Mesh粉煤粒子)有相差9%以上之情況存在。

ISO9931 (International Standards Organization) Method 的RotorProbe(圖17)使用帶有4個取樣孔的旋轉探頭,取樣孔靠著經過特定期間的時間提供整個截面的取樣質量指示。

RotorProbe藉取測時旋轉一圈而增加在粉煤分管內之取樣截面,使粉煤流量測定結果更具代表性,是施行粉煤機效能測試時用以測定粉煤分管間之粉煤流量分佈的較佳選擇之一,同時也由於採用髒空氣流速之等動量抽取速率(Isokinetic extraction rate)使得粉煤細度更具代表性。故對粉煤細度及粉煤流量進行等動量取樣時(特別可能存在有coal roping)採用ISO RotorProbe 會優於採用ASME/ASTM (圖19).

3.粉煤平衡特性與調整方式之選擇

燃燒器管段之間的粉煤流量偏差與負載高低變化關係(圖 23),於滿載減至低載時,通常燃燒器之間管段的粉煤流量偏差屬於中等的偏差會消除,而傾向“高”偏差的管段會保持在高位置,傾向於“低”偏差的管段則仍保持在低位置。故施行粉煤流量平衡之測定宜規劃於接近機組滿載之狀況下施行。

大多數加裝低氮氧化物燃燒器(Low-NO_x burner)的廠家會要求廠方配合粉煤流量偏差需小於 +/- 10%,故粉煤平衡有其普遍的需求性。但由於典型的電廠運轉狀況下,各燃燒器分管管段與管段之間的粉煤流量偏差通常會大於 +/- 20%以上甚至高達+/- 38% (圖 22),故單獨只靠下游採用二次空氣的調整,將甚少有機會使燃燒器的空燃比(air/fuel ratio)均勻化或燃燒均勻,因此通常會在施行安裝即時粉煤流量測定儀器系統或者使用空燃比管理系統之前,提出建議要求先行做好上游之粉煤平衡。

如果使用磨耗性不高的燃煤並且在節流器的內側部位未明顯產生磨耗狀況,則經相隔三年前後重覆量測粉煤流量偏差,由實測數據顯示其分佈型態並未改變(圖 24)。使用“固定式陶磁節流器”(Fixed Orifice)通常可以很有效益地達成粉煤流量平衡並維持數年之久;對於會有燃料混拌改變或未來將有燃燒器更新或者使用易磨耗燃煤等情況,則應考慮使用“可調式節流器”(Adjustable Orifice)。

另外,唯有在磨煤機上游配合使用校正過的飼煤器才能達成鍋爐粉煤流量均勻化,故為了達成鍋爐燃燒均勻且降低飛灰燒失量,則有必要同時要求“應用節流器調整粉煤流量”及“定期進行校正飼煤器”。對於眾多目前已發展成商品之即時粉煤流量量測儀測系統(Real-time coal flow measurement systems),則仍建議使用時必需和工業標準之粉煤流量量測儀器(ISO 9931 RotorProbe)先一起進行效能測試經確認後再行使用。

三. 美國電力研究所(EPRI)相關研究

此行亦特別安排和美國電力研究所(EPRI)該案的專案經理(Richard M. Himes)研討瞭解該機構在“Coal Flow Loop 研發計畫”之進展狀況 (Program 71—Combustion performance and NO_x Control 內含的子計畫),研討內容之心得簡要整理說明如下:

1. 專案名稱

編號與名稱爲” P71.004:Measurement and Control of Coal and Air Flow”,此項計畫研究目標係以粉煤管管流(Coal Flow Loop)爲對象,探討關於粉煤量測(Coal Measurement)、粉煤流量控制(Coal Flow Control)及空氣流量量測評估(Air Flow Measurement Assessments)等技術。

2. 源起

本研究計畫之源起,係瞭解到個別的粉煤分管其空燃比(Air/Fuel Ratio)之變化會衝擊影響到燃煤鍋爐之鍋爐效率(Boiler Efficiency)、飛灰未燃碳(LOI)含量、氮氧化物(NO_x)排放濃度、粉煤分管堵塞(Coal Pipe Plugging)等等,因而體認及發展可靠之”粉煤管流量測與控制技術”確有其重要性。

3. 建立實驗裝置

然而針對粉煤管管流(Coal Flow Loop)若在燃煤電廠現場進行測試研究,則將會面臨到一些困難點的挑戰,諸如電廠現場粉煤流量無法保持恆定且加上範圍大的流體狀況而會形成持續變動的雙相流 (Variable Two Phase Flow)、使用大量的管路組成 (Numerous Coal Pipe Configurations in use)、具磨蝕性之環境(Erosive Environment)、標準量測法受到許多限制(Standard Methodologies Have Limitations)、現場密集測試計畫的人力要求(Labor Intensive Field Test Programs Required)、難以建立量測誤差(Difficulty With Establishing Measurement Error)等。

基於上述考量因素,因此 EPRI 著手於美國密西根州的利沃尼亞 (Livonia, Michigan, USA)建立實驗裝置,該項研究(EPRI Coal Flow Loop)裝置如圖 12 所示於 2003 年完成建置工作,提供了”全尺寸真實粉煤管流操作及精準控制空氣與粉煤流率”具備可控制與已知的實驗狀況。該項研究之目標截至目前已有兩階段之規畫。

4. 兩階段規劃內容

a. 階段一 “粉煤量測(Phase 1: Measurement of Pulverized Coal)” (圖 13)

係針對目前個別管段的量測法,其中一項為外抽取樣法(Extractive Sampling)包含 ASME、Rotorprobe 等,為既耗時又費成本,非即時性質並且受彎管、遮斷物、水份等影響。另一項為在場測定方法(Insitu Methods) 包含微波(Microwave)、靜電荷(Electrostatic)、超音波(Acoustic)、光學(Optical)等,需配合以外抽取式測試作現場校準,也會受諸如安裝位置、粉煤承載量、水份含量等的局部狀況之影響;仍然很耗成本。

b. 階段二 “粉煤流量控制(Phase 2: Coal Flow Control)” (圖 14)

目標在於達成對一次空氣及粉煤等兩者的即時平衡,因為節流器對兩者之影響性並非經常一樣,並且粉煤承載量仍會影響粉煤流量分佈;對於分流器(Splitters)及分格器(Rifflers)已知對平衡有所助益,但其效能受到煤流入口狀態影響方面之瞭解仍不夠;許多在工業界被提出之裝置,經裝在電廠現場使用後其影響性經常難以驗證。

5. 研發成果及最新進展

在階段一”粉煤量測(Phase 1: Measurement of Pulverized Coal)”方面自 2005 年起已有相關技術報告陸續發行如下所列:

- 外抽取式量測方法之評量 (Evaluation of Extractive Measurement Methodologies)

1010319--Final Report--2005)

- 粉煤流量線上測定技術之評估 (Assessment of On-line Coal Flow Measurement Technologies 1012640-- Final Report--2006)
- 分流器裝置之評估 (Assessment of Splitter Devices 1012641—Tech Update -- 2006)
- 雙通道分流器及分格器 (Assessment of Two-Way Splitter and Riffles 1014162—In Publication)

在階段二“粉煤流量控制(Phase 2: Coal Flow Control)”方面為目前正進行之活動, 主要研究集中在雙通道分流器(Two-Way Splitters),瞭解這些裝置其影響性之內涵,測試規畫則著手於空氣流速(Air Velocity) 、粉煤承載量(Coal Loading)、進口處粉煤濃度(Inlet Coal Concentration);另外亦評估變動控制結構之衝擊性,如前置調整器(Preconditioners)、可調式節流器(Adjustable Orifices)、可調式分流器(Adjustable Riffles)等。

第 參 章 建 議 事 項

- 一.美國 FERCo 公司(Fossil Energy Research Corporation, USA),自 1984 年成立以來以電廠鍋爐燃燒改善實務為走向,藉參與 EPRI 電廠改善實務計畫而發展技術實力與累積實績,對於鍋爐設備之檢測分析與燃燒調整改善已有 23 年豐富之實務經驗,其在”火力機組鍋爐燃燒性能診斷與改善”之技術領域的發展,正反應過往美國各發電鍋爐之主要改善需求,此項寶貴資訊(如心得一.)亦足以作為本所規劃相關實務工作之借鏡。

- 二.本所有鑑於公司燃煤鍋爐改裝低氮氧燃燒器(Lo-NO_x Burner)後,普遍產生對於改善粉煤流量平衡之需求,於 94 年度~96 年度期間已積極規劃並陸續建立相關測儀系統,並經由配合中二與中四燃燒改善委託案之實際施行,引進(歐美)粉煤平衡相關測定技術及建立施行概念,建議未來本所宜就已建立之測定技術加強人力與技術之整合以因應公司內部燃煤鍋爐日益增多之改善需求。

- 三. 91 年曾在法蘭克福(德)參訪實際安裝於電廠的 PfFLO® 系統(係 PROMECON 出品,旋入式微波傳送/接收器,可測粉煤流速及濃度),而隔年 EPRI(美)則於密西根州完成” Coal Flow Loop 實驗裝置” 建置,並隨後開始第一階段研究工作 “粉煤量測技術(儀器與測法)之評量”,迄今四年後正繼續在進展的則是第二階段研究工作 “粉煤流量控制技術(含可調裝置)之評估”;因此建議本所應重視該項技術之潮流走向,適時引進 EPRI 在該領域之技術資料,如此對於公司未來面臨” 評估粉煤平衡效益” 或 “規劃現場線上測儀裝置” 所需之整體概念的建立將有所助益。



圖1.FERCo公司(總裁Richard E. Thompson博士)



圖2.FERCo公司 Hot Foil® LOI

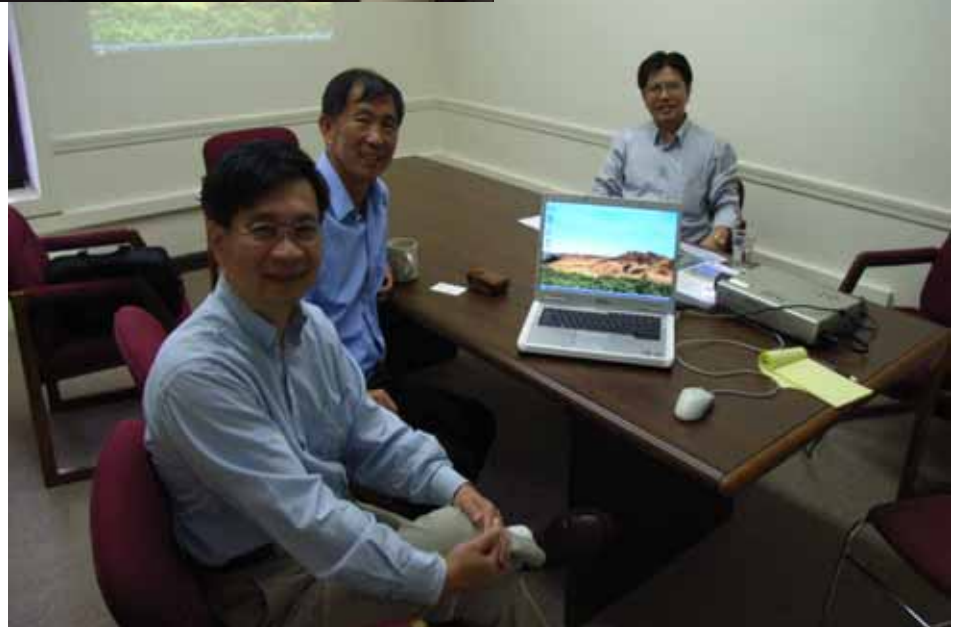
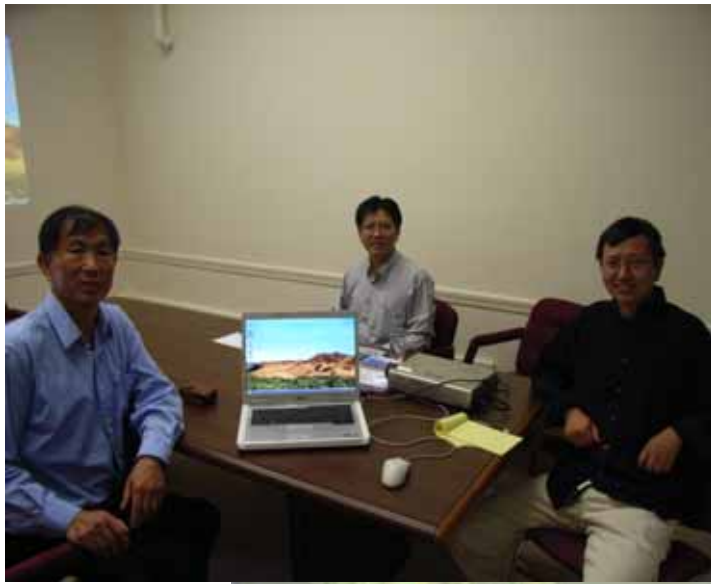


圖3. 於Thermoflow,Inc. (Boston,USA)進行研討,
(上圖)左前 賈剛毅博士與右前 舒國才博士,
(下圖)左前為副總 陳國棟博士.

Real Time Multipoint NO, O₂, CO Analyzer

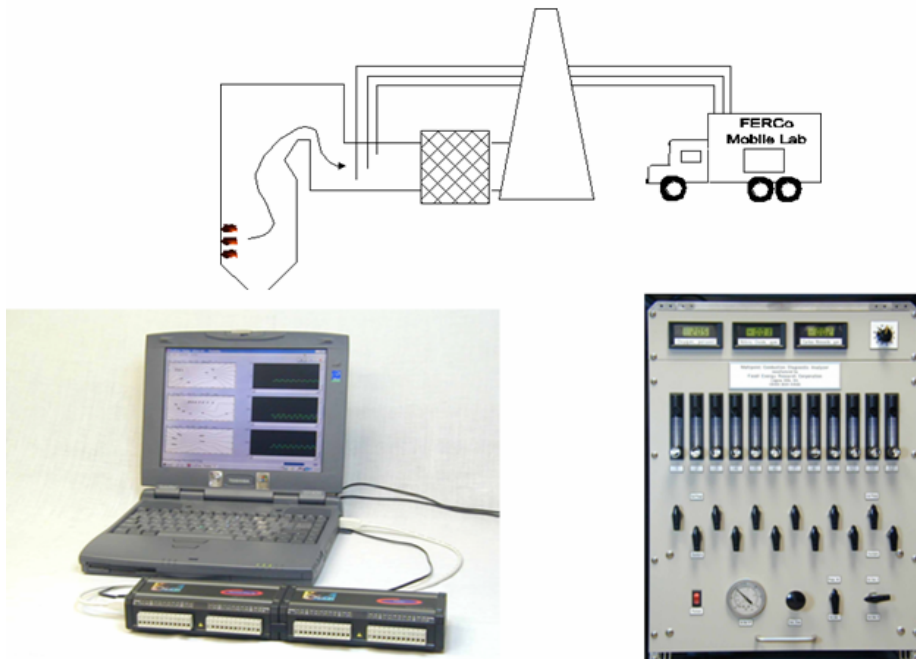
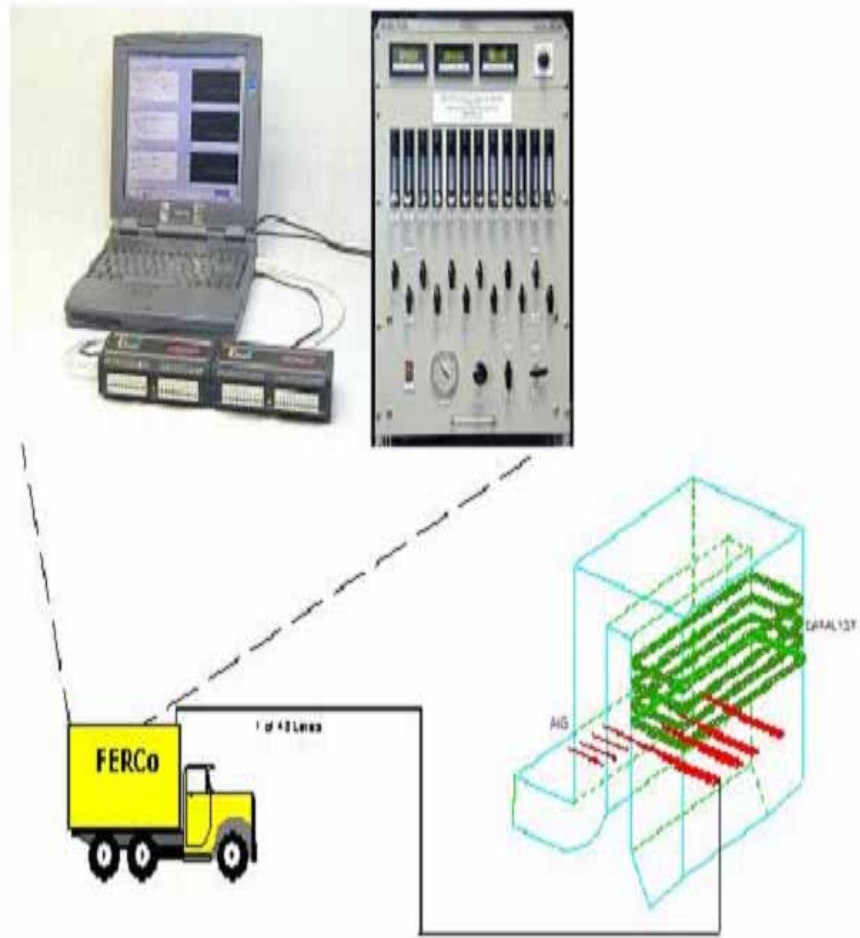


圖4. FERCo的 MCDA (Multipoint Combustion Diagnostics Analyzer)



圖5 .FERCo 的移動式實驗室(Mobile Laboratories)



Traditional Point-by-Point

96 points x 2-3 minutes/point ⇒
4-5 hours

MCDA

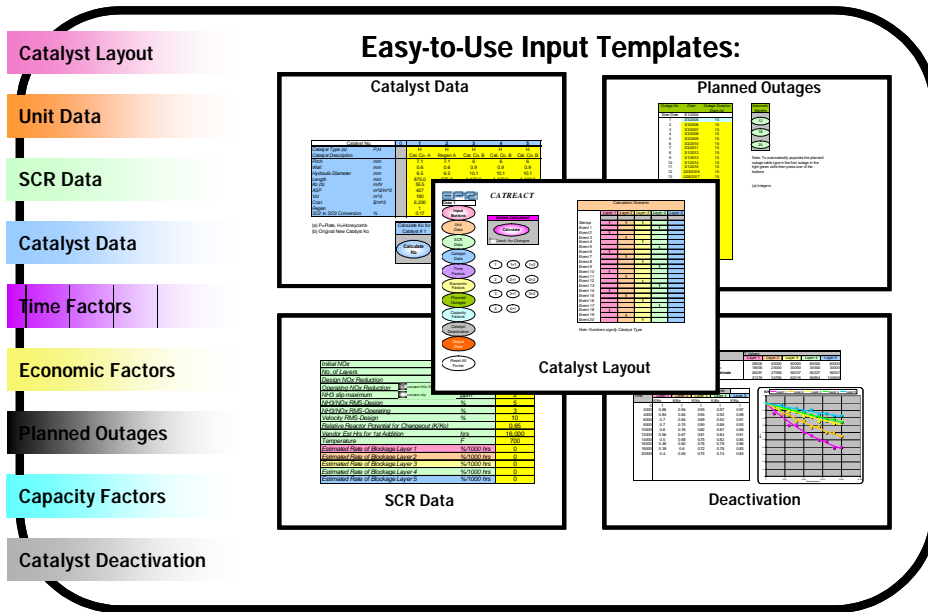
96 points x 5 min/12 pts ⇒
40 minutes

圖6.FERCo 的MCDA測儀(比傳統單點測試)具優勢



圖7. FERCo 的. In Situ Catalyst Activity Monitor,
including:

- Stationary NEMA 4 enclosure housing multi-position sampling valves
- Portable "cart" housing gas analysis instrumentation and control system



Summary Report		Initial	Maxwell
No. of Days		12.31%	12.31%
Total Cost NPV \$		16,492,138	15,441,391
Catalyst NPV \$		2,784,226	2,780,171
Support NPV \$		8,702,276	8,120,907
Labor NPV \$		64,216	42,367
Electricity NPV \$		3,627,245	2,886,803
NHx Credit NPV \$		-	161,266
OP NPV \$		1,344,173	1,259,964
Catalyst Layers Installed		4	3

	Initial Change Analysis		Maxwell Outage Analysis	
	Date	Hours	Date	Hours
Layer 1	5/1/2004	0	5/1/2004	0
Layer 2	Event 1: 5/29/2007	16,351	12/9/2007	24,744
Layer 3	Event 2: 9/6/2011	47,595	1/29/2012	50,488
Layer 4	Event 3: 2/23/2014	87,865	8/3/2015	75,312
Layer 5	Event 4: 6/19/2018	97,157	2/28/2017	52,472
	Event 5: 7/16/2021	108,778	11/11/2019	630,600
	Event 6: 1/21/2022	133,853	7/17/2022	126,910
	Event 7: 7/18/2024	194,893	2/27/2024	144,000
	Event 8: 2/19/2028	174,820	2/26/2026	161,100
	Event 9: 8/12/2029	186,524	2/26/2029	195,864
	Event 10: 8/1/2030	221,242	9/4/2031	212,688
	Event 11: 2/17/2034	241,448	4/26/2033	229,848
	Event 12: 5/18/2037	262,170	3/24/2036	247,232
	Event 13: 11/28/2038	281,993	7/11/2038	281,736
	Event 14: 10/1/2042	308,887	9/14/2041	298,536
	Event 15: 3/21/2044	327,775	10/22/2043	315,720
	Event 16: 3/20/2047	346,911	11/26/2045	332,280
	Event 17: 5/23/2049	366,171	1/15/2049	350,064
	Event 18: 8/20/2051	387,007	1/24/2050	367,224
	Event 19: 12/22/2053	408,899	11/24/2051	384,432
	Event 20: 2/29/2055	424,578	11/8/2053	401,652

Decision-Based Outputs:

- Replacement Cost Summaries
- Outage Schedules
- NOx Removal and NH3 Slip
- Lifetime Reactor Potential

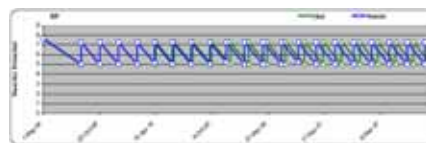
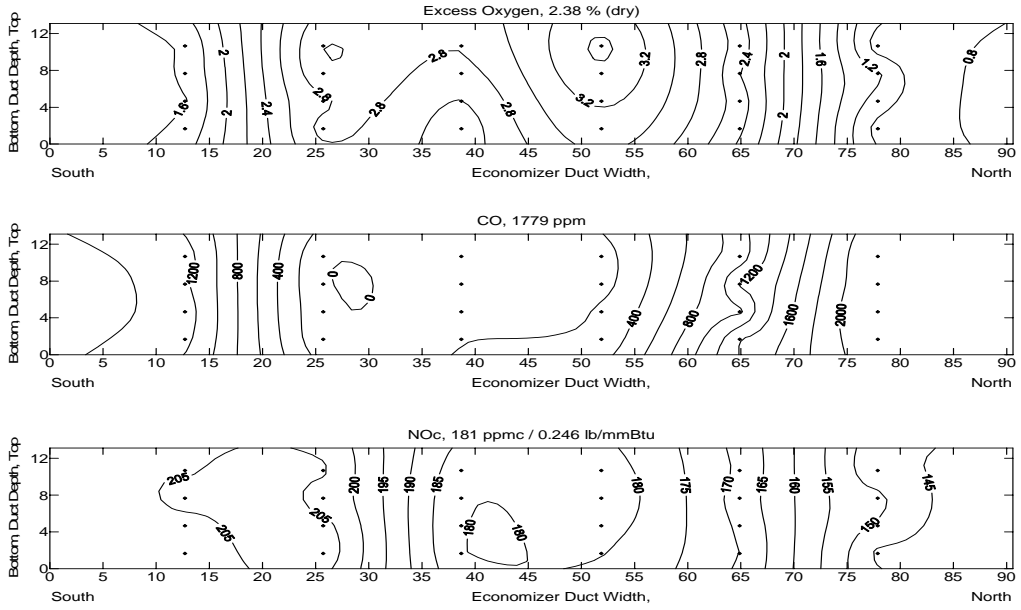


圖8.FERCo 研發的 Catalyst Management Software

Test 01 - 803 MWn, H Mill OOS, As-Found Baseline
6/24/07 18:04- 18:17



Test 32a - 831 MWn, 882 MWg, No O2 Bias, E Mill OOS
OFA = 372 kp/corner, OFA Swirl Max, Inner Min, Checkerboard +1R1=100%
7/06/07 17:41 - 17:59

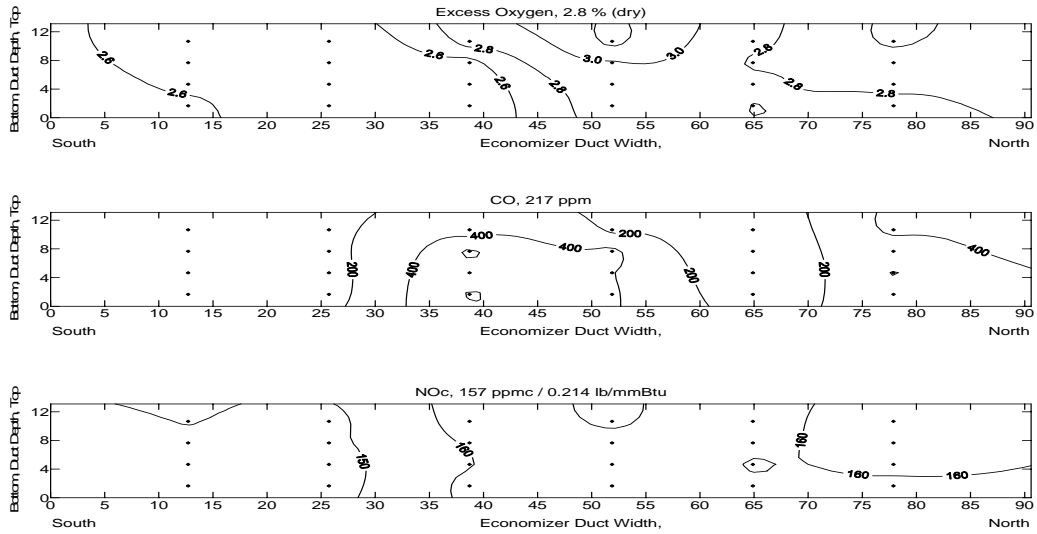


圖9. 鍋爐調整前(上圖)與調整後(下圖)之煙氣成份分佈

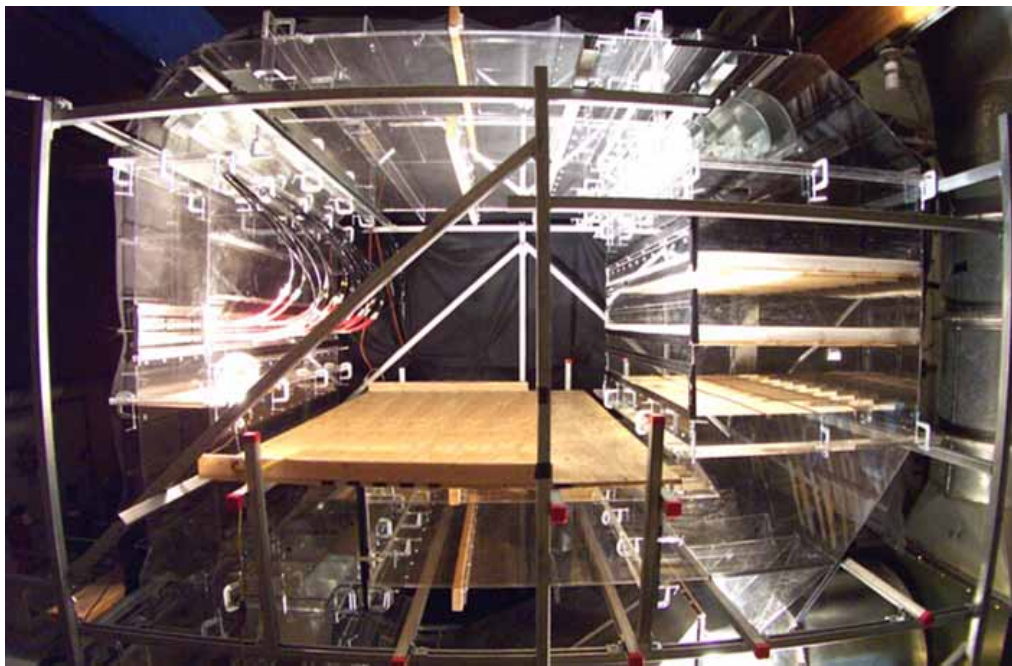


圖10. FERCo 冷流場模擬 (AIG Tuning, SCR Process, etc.)



圖11.FERCo 冷流場模擬模式(Cold Flow Modeling)

EPRI Coal Flow Loop

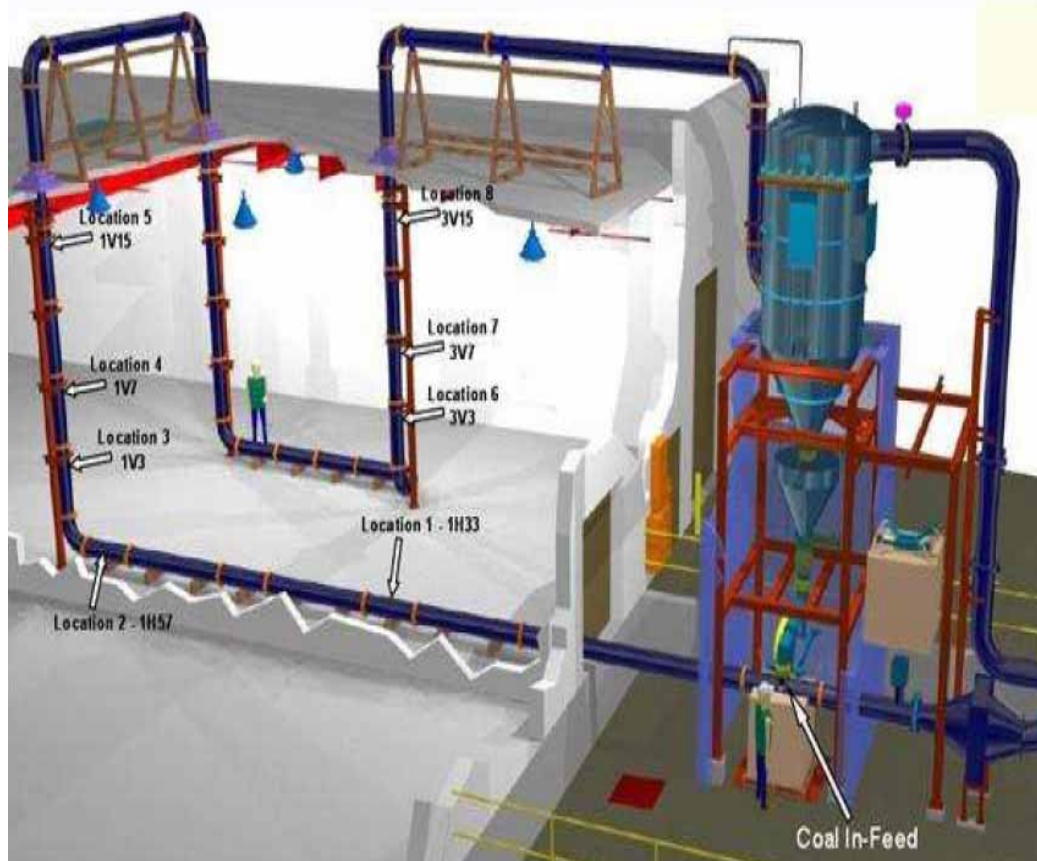


圖12 .EPRI於2003年建置之實驗裝置(Coal Flow Loop)



圖13 .EPRI 的Coal Flow Loop實驗(Phase1)



圖14 .EPRI 的Coal Flow Loop實驗(Phase2)



圖15 .EPRI 的Coal Flow Loop實驗裝置
(下圖可明顯觀察到彎管下游繩索現象)



Dirty Air Velocity Probe (DAP)

粉煤分管 髒空氣流速



ASME PTC 4.2

(“The ASME Method”)

粉煤分管 粉煤流量+細度取樣



ISO9931

(“The Rotorprobe Method”)

粉煤分管 粉煤流量+細度取樣

圖16. 外抽取樣法(Extractive Sampling) 之各項測儀

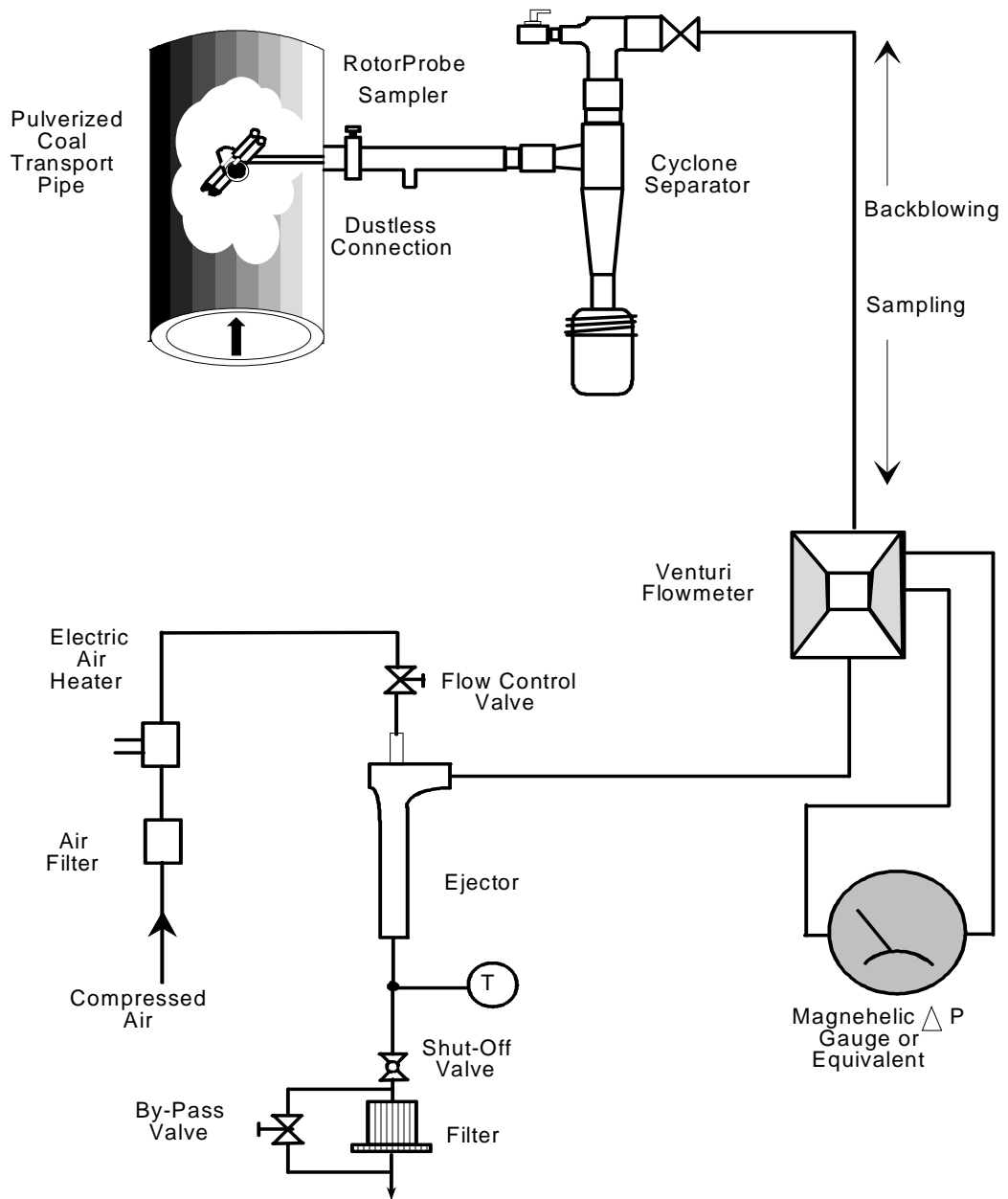
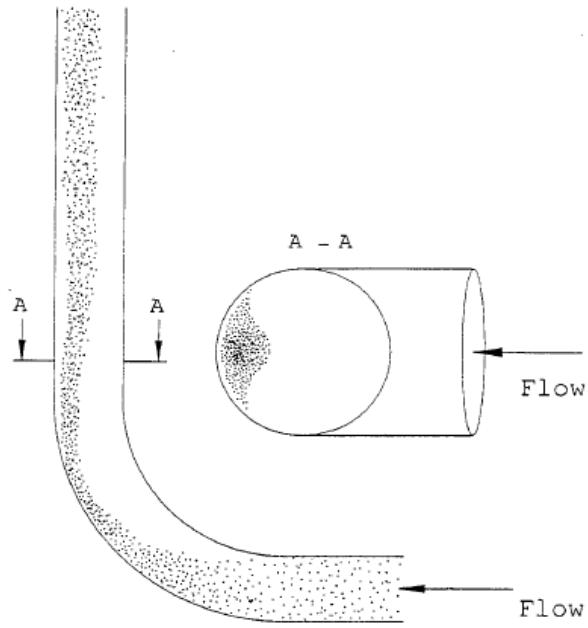


圖17. ISO9931 Rotorprobe 組成示意圖



Roping Phenomenon.

圖18、粉煤管內部粉煤流動的繩索現象

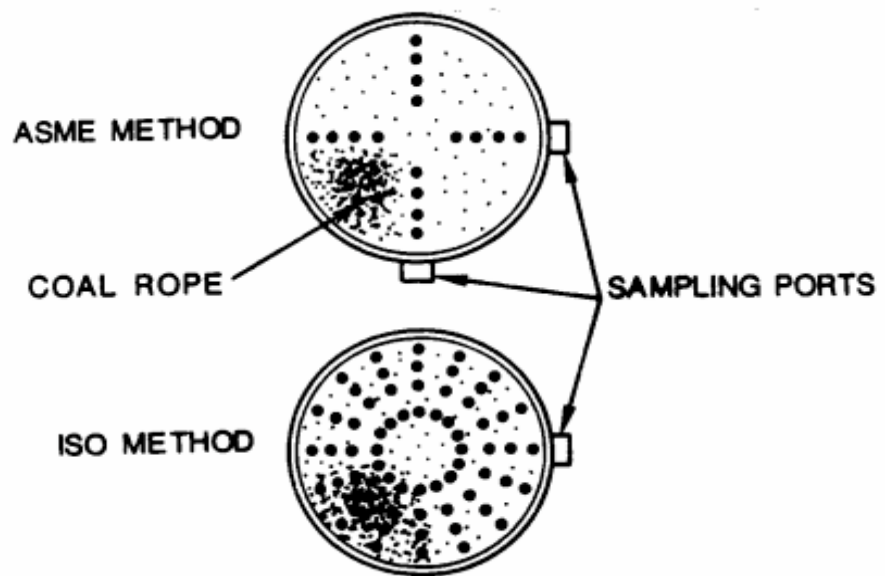


圖19. “ASME/ASTM與ISO RotorProbe”粉煤取樣法

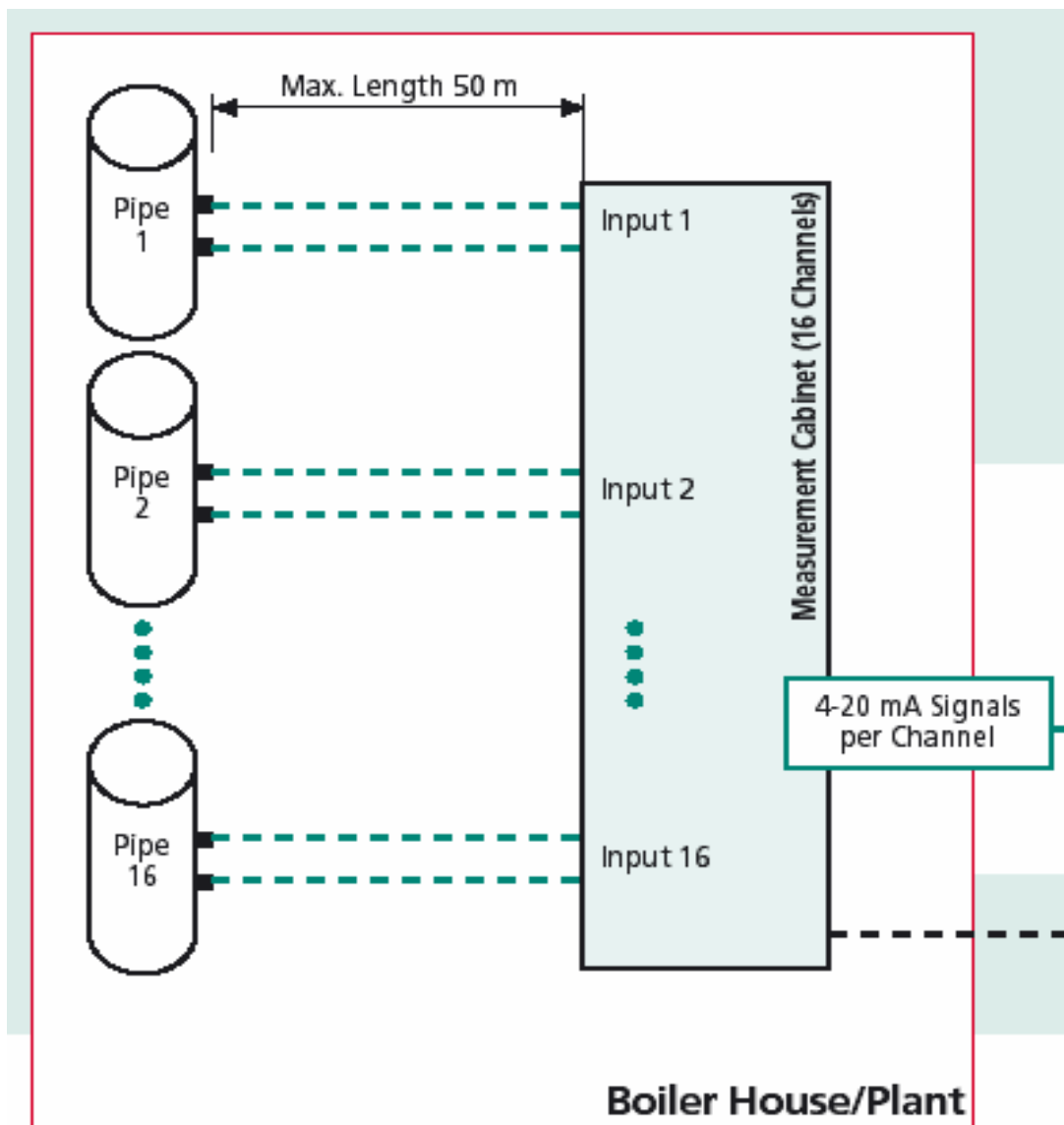


圖20、PROMECON 公司的 PfFLO®系統



圖21.SWR (德) 多頻道粉煤流量測儀在現場進行測試

Pulverizer Type	Initial Coal Flow Deviation	Final Coal Flow Deviation	Orifice Type	Location
F-W	±11.7%	±1.5%	Fixed	IL
B&W	±29.2%	±4.3%	Fixed	OH
C-E	±25.4%	±3.2%	Adjustable	CT
C-E	±28.3%	±9.6%	Adjustable	CT
B&W	±16.1%	±4.1%	Fixed	CT
C-E	±32.4%	±4.4%	Adjustable	CT
C-E	±38.0%	±7.7%	Fixed	OH
C-E	±38.2%	±8.3%	Fixed	MI
B&W	±22.8%	±4.9%	Fixed	OH
C-E	±39.3%	±11.3%	Fixed	OH
F-W	±31.5%	±4.8%	Fixed	CT
F-W	±12.3%	±3.6%	Fixed	CT

Pulverizer Type	Initial Coal Flow Deviation	Final Coal Flow Deviation	Orifice Type	Location
F-W	±21.1%	±7.6%	Adjustable	KY
F-W	±19.7%	±7.6%	Adjustable	WV
F-W	±16.3%	±4.7%	Fixed	IN
C-E	±22.5%	±3.2%	Fixed	Canada
B&W	±48.5%	±8.8%	Fixed	OH
B&W	±15.8%	±6.7%	Fixed	PA
B&W	±13.2%	±3.1%	Fixed	MI
B&W	±20.4%	±7.2%	Fixed	MI
B&W	±31.9%	±1.4%	Fixed	MI
C-E	±22.4%	±12.3%	Fixed	MI
C-E	±15.1%	±3.4%	Fixed	OH
C-E	±16.1%	±7.7%	Fixed	OH
C-E	±18.8%	±4.6%	Fixed	OH

圖22 .粉煤平衡(Coal Balancing) 之改善案例

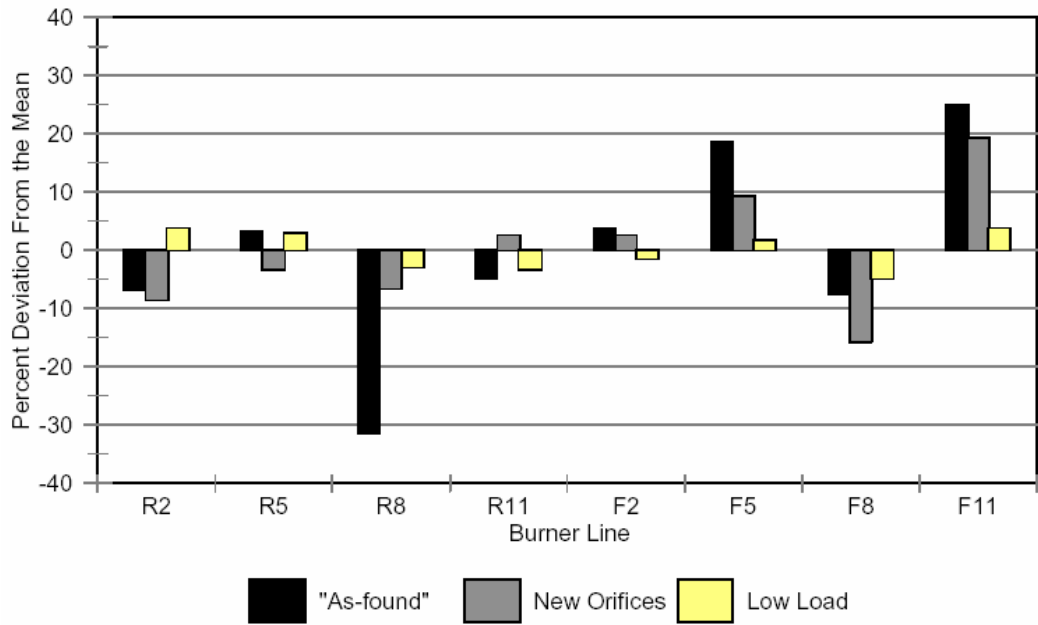


圖23. 粉煤流量偏差與負載高低變化關係

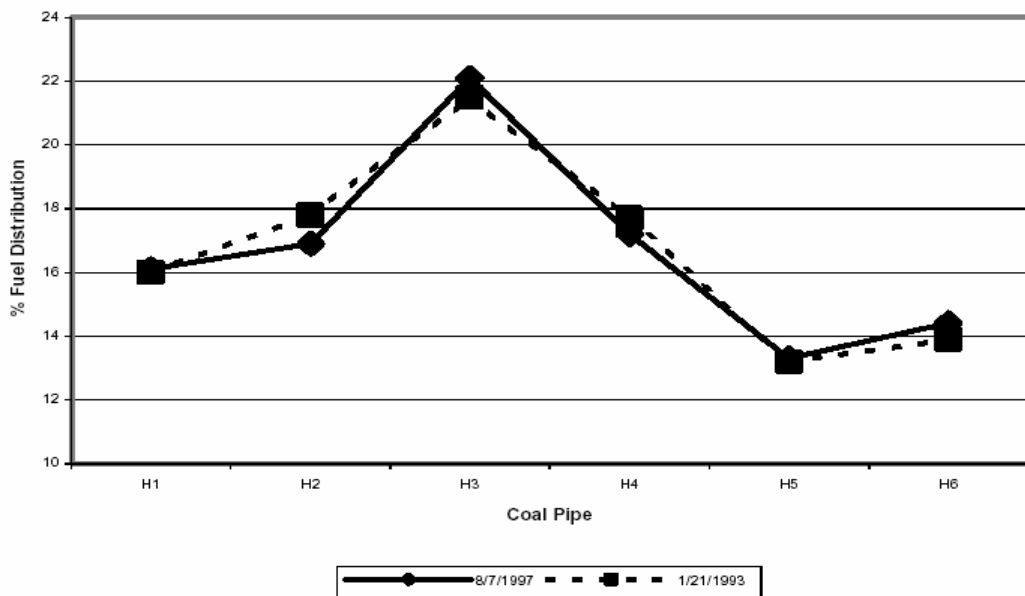


圖24. 粉煤流量偏差分佈型態與時間關係

附 錄

Synopsis of EPRI NO_x Control Projects Conducted by FERCo Project Managers

- Cyclone Boiler Barrel Temperature Monitoring – P24223/C11738 (managed and conducted by Jessica Muncy)
- Documentation of Emerging Combustion Modification Technologies for NO_x Reduction – P24176/C11713 and P23982/C11631 (managed by G. Quartucy)
- Burner Pipe Pulverized Coal Flow Balancing Evaluation at Martin Lake Unit 1 – P21695/C10619 (managed and conducted by R. Thompson and Fred Haumesser)
- NO_x Emission Case Study Report – P21372/C10440 (managed by G. Quartucy)
- Determination of ABS Formation – P21010/C10223 (managed by D. Shore)
- Flue Gas Temperature Monitor Demonstration – P21204/C10344 (managed by Jessica Muncy)
- Pilot-Scale Demonstration of SCR Inter-Layer Mixing – P20851/C10159 (managed and conducted by D. Shore and J. Muncy)
- Comparison of Furnace Flue Gas Temperature Monitors – P20230/C9891 (managed by J. Muncy)
- SCR Catalyst Testing Protocol – P19973/C9795 (managed by R. Smith)
- Controlled Condensate SO₃ Measurements – P19144/C9462 (managed by G. Quartucy)
- Real-Time Catalyst Deactivation Measurements in Full-Scale SCR Systems – P19145/C9463 (managed by R. Smith)
- Lime Urea Hydrate Combined NO_x/ SO_x Control Demonstration – P19227/C9496 (managed by D. Shore)
- SCR Interlayer Mixing Process Development – P18547/C9165 (managed by D. Shore)
- High Temperature HVT Probe Fabrication – P18673/C9227 (managed by G. Shiomoto)

fabricated by K. Anderson)

- SCR Interlayer Mixing: Physical Cold Flow Modeling – P15365/C7616 (managed by L.Muzio)
- Final Report SNCR Trim Evaluation – P14935/C7350 (managed by G. Quartucy)
- Investigation of Inter-Layer Mixing in SCR Reactors – P15112/C7460 (managed and conducted by L. Muzio and D. Shore)
- Investigation of Advanced SCR Processes P14694/C7214 (managed and conducted by L.Muzio, R. Smith and Q.Qader)
- Evaluation of the Effect of SCRs on Mercury for a PRB Power Plant – P13947/C6895 (managed by L. Muzio under subcontract to URS)
- Comparative Evaluation of Results from SCR Catalyst Test Program – P13058/C6511 (managed and conducted by L. Muzio and R. Smith)
- Manual Wet Chemistry Ammonia Measurements – P12983/C6476 – (managed and conducted by G. Quartucy and Q.Qader)
- Advanced Energy Activation -P12603/C6271 (managed by R. Smith)
- NO_x LOI Predictor Software Development – P11915/C5898 (managed by L. Muzio conducted by A.Kornfeld)
- SNCR Trim Demonstration – P11797/C5841 (managed by G. Quartucy)
- Evaluation of ABS Formation – P11650/C5765 (managed and conducted by L. Muzio and J.Muncy)
- Coal Pipe and HVT Sampling at Plant Welsh – P10785/C5459 (managed and conducted by F. Haumesser)
- Field Test Support for Long Term SNCR Trim Demonstration at Marshall Station – P10224/C5210 (managed by G. Quartucy)
- Reagent Injection Nozzle Evaluation – P9879/C5004 (managed and conducted by D. Shore and D. Wright)
- Mercury Oxidization Studies – Mini SCR Testing Support – P13891/C6871 (managed and

conducted by L. Muzio and R. Smith)

- Fabricated Mini SCR Reactor for Hg Oxidation Studies – 0000009549 (managed and fabricated by R. Smith)
- Development of Single Analyzer Continuous Multi-Point Ammonia Flue Gas Measurement Capability – P9231/C4658 (managed by G. Shiomoto)
- HG Measurement Support at TXU – P9132/C4601 (managed by R. Smith)
- Assessment of State-of-the-Art Technology for Monitoring Ammonia Emissions – P8879/C4460 (managed by G. Shiomoto)
- Evaluation & Development of NO_x & Ammonia Monitors & Sampling Procedures P7668/C3876 (managed by G. Shiomoto)
- Cyclone Technology Assessment – P7133/C3612 (managed by J. Muncy)
- Peer Review of Rectangular Duct Flow Measurement Methods – P7666/C3874 (managed by L. Muzio)
- Induct Assessment of SCR Catalyst Performance at TXU’s Martin Lake Unit 3 – P7164/C3636 (managed by R. Smith)
- Baseline Temperature and Gaseous Composition Measurement at Duke Energy’s Allen Station – P6295/C3191 (managed and conducted by L. Muzio and G. Quartucy)
- Guidelines for Post Combustion Reagent Storage Handling and Injection – P6292/C3189 (managed and conducted by L. Muzio and G. Quartucy)
- White Paper Seasonal SCR – P3281/C1559 (managed by L. Muzio)
- Field Evaluation of B&W MPS Mill – P2812/C1318 (managed by G. Quartucy)
- Field Evaluation of a Second ABB Shallow Bowl Mill – P2818/C1321 (managed by G. Quartucy)
- Technical Support for Condensable Particulate Matter (CPM) Measurement- P2036/C894 (managed by M. McDannel)
- White Paper of Fuel Effects on NO_x Experience and Available Options – WO2916-38

- Induct Assessment of SCR Catalyst Performance – P235/C105 (managed and conducted by L. Muzio and T. Fang)
- Mercury ICR Stack Testing at Coal Fired Power Plants – WO9211-01 (managed by M. McDannel)
- Pulverizer Interest Group Support 2000 – P2810/C1316 (managed by G. Quartucy)
- MPV-1 Evaluation at Pepco’s Dickerson Unit 1 – WO5364-06 (managed and conducted by L. Muzio)
- Addendum to EPRI Fireside Test Guidelines – WO5798-01 (managed by L. Muzio)
- AEP Cardinal Large Scale SNCR Demo – WO5579-01 (managed and conducted by G.Quartucy)
- Evaluation of IFGR Technology at P.H. Robinson Station – WO5544-02 (managed and conducted by Lowell Smith and Steve Wood)
- SNCR White Paper- WO3004-36 (managed by L. Muzio).
- Large Scale SNCR Performance Evaluation on Union Electric’s T-Fired Boiler – WO5576-01 (managed and conducted by L. Muzio)
- Field Testing of an ABB Shallow Bowl Pulverizer – P2771/C1289. (managed and conducted by L. Muzio and G. Quartucy)
- NO_x-LOI Predictor Model Development - WO2916-33 (*managed and conducted by L.Muzio and T. Fang*)
- Large Scale SNCR Performance Evaluation on Union Electric’s T-Fired Boiler WO-5776-01 (*managed and conducted by L. Muzio and G. Quartucy*)
- SNCR Feasibility and Economic Evaluation Guidelines for Fossil-Fired Utility Boilers - RP2869-14 (*managed and conducted by L. Muzio and G. Quartucy under subcontract toRadian*)
- Morro Bay Advanced SCR Pilot Plant - WO4TS2649 (*managed and conducted by L.Muzio and T. Fang*)
- Ultra Reburning Technical Assessment - 4TS3247 (*managed and conducted by L. Muzio*)

- Monitoring Coal Quality Impacts on Power Plant Equipment - RP1891-4 (*managed and conducted by R. Thompson and G. Shiimoto*)
- Retrofit Combustion NO_x Control Guidelines for Coal-Fired Utility Boilers - RP2154-15 (*managed by R. Thompson*)
- Effects of Low Sulfur Coal Firing on Gaseous Emissions - RP9043-02 (*managed and conducted by G. Shiimoto*)
- Guidelines for Flue Gas Flow Rate Monitoring Associated with CAAA Requirements for Continuous Emissions Monitoring - RP1961-13 (*managed and conducted by L. Muzio and T. Martz*)
- Effects of Low Sulfur Coal Firing on Gaseous Emissions - RP1835-28 (*managed and conducted by G. Shiimoto*)
- Validation of the Ultramax Software Package on the SDG&E Urea Injection System - RP2147-17 (*managed and conducted by L. Muzio and T. Montgomery*)
- Testing and Analytical Services to Support the EPRI 2.5 MW SCR Pilot Plant - RP3004-18 (*managed and conducted by L. Muzio*)
- N₂O Emissions Measurement Support to Fluidized Bed Combustor Test Programs - RP3197-07 (*managed and conducted by L. Muzio and T. Montgomery*)
- NO_x Reduction by Combined Reburning and Urea Injection - RP1402-43 (*managed and conducted by L. Muzio*)
- Evaluation of Continuous Monitors for Residual Ammonia in Coal-fired Flue Gas at Orlando Utilities Commission Station energy Center- WO3004-35 (*managed and conducted by G. Shiimoto*)
- NO_x Emission Consulting Services to EPRI Urea Demonstration Projects - RP2869-08 (*managed and conducted by L. Muzio*)
- Wall-Fired Low-NO_x Burner Retrofit Emissions - RP2916-8 (*managed and conducted by R. Thompson and G. Shiimoto*)
- Fabrication and Start Up of Support Facilities for SCR Bench and Pilot Scale Tests - RP3004-08 (*managed by L. Muzio*)
- Full Scale Testing and Evaluation of Retrofit Combustion NO_x Control for Coal-Fired Boilers

- RP2916-03 (*managed and conducted by R. Thompson and G. Shiimoto*)

- Primary Combustion Furnace Development for Advanced NO_x Control - Fundamental Laboratory Studies and Technical Support to Pilot-Scale Work at B&W (*managed and conducted by L. Muzio and G. Shiimoto*)
- Measurement of N₂O from Coal-Fired Boilers (*managed and conducted by L. Muzio and G. Shiimoto*)
- Assessment of NO_x Control Options for Cyclone Boilers - RP2154-09 (*managed and conducted by R. Thompson*)
- Control of Nitrogen Oxides: Assessment of Needs, Options and Technical Support (*managed by L. Muzio*)
- Residual Oil Users Guidebook (*managed and conducted by R. Thompson*)
- Laboratory Flow Model Studies to Improve Overfire Air Mixing (*managed by R. Thompson*)
- Gas- and Oil-Fired Utility Boiler Data Base (*managed and conducted by R. Thompson and L. Chrisman*)
- Guidelines for Retrofit NO_x Controls and Coal-Fired Utility Boilers and Development of NO_xPERT⁷ - RP2154-15 (*managed and conducted by R. Thompson and L. Chrisman*)
- Emissions Assessment of Heavy Oil-Fired Gas Turbines - Florida Power and Light (*managed by L. Muzio*)
- Selective Catalytic NO_x Reduction for Coal-Fired Power Plants - Arapahoe Station - Public Service of Colorado (*managed by L. Muzio, site manager: G. Shiimoto*)
- NO_x Combustion Tests of Arapahoe Unit 4 (unpublished) - Public Service of Colorado (*managed and conducted by R. Thompson and G. Shiimoto*)
- NO_x Emissions from Pulverized Coal Arch-Fired Boilers - RP1339-1 - Wisconsin Electric Power Co. (*managed by L. Muzio*)
- Control of NO_x Emissions at a 220 MW Combined Cycle Power Plant - RP782-1 - Horseshoe Lake Station, Oklahoma Gas and Electric B Field Applications (*managed and conducted by R. Thompson*)
- Non-Catalytic NO_x Removal with Ammonia - RP835-1 - Lab Study - (*managed by L. Muzio*)

- Effectiveness of Gas Recirculation and Staged Combustion in Reducing Coal-Fired Boiler NO_x Emissions - RP530-1 - Hatfield Station, West Penn Power (*managed and conducted by R. Thompson*)
- Homogeneous Gas Phase Decomposition of Oxides in Nitrogen - Lab Study - RP461-1 -- Resulted in Two Patents Dealing with NO_x Control with Urea B (*managed and conducted by L. Muzio*)
- Reduction of NO_x through Staged Combustion in Combined Cycle Supplementary-Fired Boilers - Feasibility and Bench Scale Study (*managed by R. Thompson*)