

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術引進

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：機械工程師

姓 名：李亦堅

出國地區：義大利、瑞士

出國日期：93.11.08~93.11.19

報告日期：94.1

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術引進	
出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司	
出國人姓名/職稱/服務單位：李亦堅，十等機械工程師，台灣電力公司綜合研究所	
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 <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以 <input type="checkbox"/> (3)內容空洞簡略容 <input type="checkbox"/> (4)未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <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. 其他處理意見
層轉機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 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"/> 退回補正，原因：_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 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、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

	單位	主管處	總經理
報告人：	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：電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術引進

頁數 30 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李亦堅/台灣電力公司/綜合研究所/機械工程師/2681-5424

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(開會)

出國期間：93.11.08~93.11.19

出國地區：義大利、瑞士

報告日期：94.1

分類/號目：

關鍵詞：即時監控 (On-line monitoring)、鍋爐 (Boiler)、金屬溫度 (Metal temperature)

內容摘要：(二百至三百字)

火力電廠鍋爐爐管壽命評估技術為預防破管造成停機事故及評估爐管使用壽命減少換管頻率之功能。本公司於 91 年度引進國外「鍋爐爐管洩漏及溫度監測系統」，並建立於臺中電廠一號機。此套系統可即時監測爐管金屬溫度及蒸汽洩漏發生，在長期監測溫度變化可用以評估爐管使用壽命。在運轉操作此套系統中，除熟悉其操作程序與方法外，本計畫將投入人員研究、分析鍋爐監測技術，藉由學習相關設計與分析關鍵技術，自行發展監測分析系統。

本次派員赴國外具有發展成熟之爐管監測分析研究單位，學習其設計分析理論，與關鍵性技術。其中包括：

1. 鍋爐爐管溫度監測系統之設計、分析理論。
2. 鍋爐爐管溫度監測系統之關鍵組件設計與製造。

鍋爐監測系統相關周邊設備之應用與分析。

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

電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術引進

目 錄

出國報告書審核表	2
出國報告提要	3
目錄	4
圖表目錄	5
壹、實習目的與行程	6
1.1緣起與目的	6
1.2 行程與內容	7
貳、實習項目與心得	8
2.1電廠鍋爐爐管熱監測系統	8
2.2電廠鍋爐爐管熱監測系統設計分析技術	10
2.3鍋爐監測系統相關周邊設備之應用與分析	14
參、綜合結論與建議	17
3.1綜合結論	17
3.2建議	18
肆、參考文獻	19

圖表目錄

圖 1 中一機熱監視系統水牆管排溫度量測點示意圖	20
圖 2 水牆管壁內結垢產生之溫度差示意圖	21
圖 3 水牆管壁溫度差示意圖	22
圖 4 水牆管內清洗示意圖	22
圖 5 為水牆管爐管管壁埋設感溫元件之示意圖	23
圖 6 為輻射區過熱器、再熱器爐管管壁埋設感溫元件之示意圖	24
圖 7(a)為 CESI 研究所進行加工用之特殊放電加工機	25
圖 7(b)為放電加工機之放電極	25
圖 8(a)為 CESI 研究所進行水壓抗壓試驗之特殊試驗機	26
圖 8(b)為經水壓抗壓試驗後管破裂位置	26
圖 9 監測系統軟體架構	27
圖 10 粉煤輸送管質量流率量測裝置圖	28
圖 11 粉煤粒徑量測圖	29
圖 12 未燃碳量測圖	30

壹、實習目的與行程

1.1 緣起與目的

火力電廠鍋爐爐管壽命評估技術為預防破管造成停機事故及評估爐管使用壽命減少換管頻率之功能。本公司於 91 年度引進國外「鍋爐爐管洩漏及溫度監測系統」(The Leak and Thermal Monitoring System)，並建立於臺中電廠一號機。此套系統可即時監測爐管金屬溫度及蒸汽洩漏發生，在長期監測溫度變化可用以評估爐管使用壽命。在二年之運轉操作此套系統中，除熟悉其操作程序與方法外，本計畫將投入人員研究、分析相關壽命評估技術，藉由學習相關設計與分析關鍵技術，以發展監測分析系統。

監測系統之商業開發不若是實驗室內資料數據之擷取、傳輸、計算與分析之單純性，必需考慮到環境因素、裝置之設計與安裝困難度、及對機組之安全性。本次出國研習，赴國外具有發展成熟之爐管監測分析研究單位，學習其設計分析理論，與關鍵性技術。其內容概述如下：

1. 鍋爐爐管溫度監測系統(Thermal Monitoring System of Boiler)之設計、分析理論。
3. 鍋爐爐管溫度監測系統(Thermal Monitoring System of Boiler)之關鍵組件設計與製造。

鍋爐監測系統相關周邊設備之應用與分析。

1.2 行程與內容

- 11月8、9日 往程(台北→義大利米蘭)

- 11月10~15日 義大利米蘭

赴義大利國家電力研究所(CESI)實習電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術

- 11月16、17日 瑞士日內瓦

赴 Dantec Dynamic Inc.-MET FLOW 實習監測系統量測設備理論分析技術與應用。

- 11月18、19日 返程(瑞士日內瓦→台北)

貳、實習項目與心得

2.1 電廠鍋爐爐管熱監測系統

目前電廠監測系統大概可分為 Boiler、Steam Turbine、Condenser、及 Steam Generation Unit 四大類，其主要目的為提昇機組可用率 (Availability)，而在鍋爐監測系統上又以爐管金屬溫度、爐管洩漏、振動、及煙氣溫度分佈為主要監測對象，本次出國任務主要針對鍋爐爐管熱監測系統。而鍋爐爐管熱監測主要目的為藉由直接量測爐管金屬溫度 (Metal Temperature)，藉由爐管金屬溫度及導出之熱通量 (Heat Flux) 資訊，可即時監測 (Online Monitoring) 爐膛內燃料燃燒狀態及水牆管 (Waterwall Tubes)、再熱器 (Reheaters)、過熱器 (Superheaters) 燃氣—蒸汽間熱交換情況，能提供鍋爐運轉條件即時修正功能，在積極上能提高鍋爐熱效率，尤其在運轉條件改變時 (例如負載改變、煤質更換、環保限制...等)，在消極上具有預先警告因鍋爐不正常狀況 (例如爐管金屬溫度超出操作溫度、熱吸收不平衡) 造成機組停機 (Unspccted Failure) 之功能。爐管熱監測系統除上述即時功能外，藉由爐管金屬溫度及熱通量可具有下述之應用：

- 藉由爐管金屬溫度上昇趨勢，預測爐管積灰狀況，決定吹灰系統使用最佳時機，過早吹灰增加熱耗率，及延遲吹灰將減少熱交換管排熱吸收率。
- 藉由長期監測水牆管爐管管壁內金屬溫度差，估算管內結垢 (Scales) 情形，作為大修管內清洗依據。
- 長期監測爐管金屬溫度，估算爐管因熱應力所造成之管材使

用殘餘壽命，爐膛內之燃料燃燒時有因不正常操作或狀態，造成煙氣在爐膛及煙道內不正常分佈，在熱輻射區（例如 Planten Superheater、Finished Superheater，Finished Reheater 熱交換器）之兩側爐管外溫度差往往超過 100°C 以上，過高之爐管金屬溫度將降低管材使用殘餘壽命。

- 監測資料可作為鍋爐診斷及最佳化之依據，以提高鍋爐效率。

2.2 電廠鍋爐爐管熱監測系統設計分析技術

監測系統之商業開發不若是實驗室內資料數據之擷取、傳輸、計算與分析之單純性，必需考慮到環境因素、裝置之設計與安裝困難度、及對機組之安全性。針對此次與監測系統設計與製造之技術人員討論與解說，將系統之設計與製造應考慮之因素介紹如下：

2.2.1 量測點位置

溫度量測點之選擇依據不同鍋爐熱吸收設計而有不同配置，主要考慮為能涵蓋爐膛內四周水牆管之熱吸收分佈及過熱器、再熱器管排熱吸收情形、及管材承受最大煙氣溫度位置區。

在水牆管排面量測點之選取為位於主要熱吸收區－燃燒器上方，而最大熱傳率發生在燃燒器與吹灰器之間，主要由於此區承受燃氣側燃燒火焰區（Combustion Zone）釋放出極大之輻射熱。依據CESI公司監測系統設計人員之敘述，以上為針對新建機組時，同時安裝監測系統之設計原則。但對運轉多時之機組增設監測系統之設計原則，必須作額外因素之考量，其中包含：

- 裝置是否修改
 - －Burners 修改、De-Nox裝置增加 ...等。
- 燃燒狀態之改變
 - －煤源異動、粉煤細度、二次風量 ...等。
- 水牆管狀況
 - －管內結垢、管外結渣程度。
- 鍋爐運轉特性

—經常性滿載、周期性、或調節性運轉。

以目前臺中電廠1號機裝設之「鍋爐爐管洩漏及溫度監測系統」於熱監測部份，於爐膛四周水牆管共裝設32個量測點，位置點如圖1所示。

2.2.2 量測Sensors

目前在電廠鍋爐爐管熱監測系統之溫度感測元件上仍普遍採用熱電偶，其優點為量測範圍較大、耐久性高，雖然有較大之誤差度，對工業量測尚已滿足需求。爐管熱監測系統主要為量測熱交換管管壁內金屬溫度，基本上在熱傳輸方向上（熱由高溫煙氣以對流或輻射方式傳入管壁，再經由熱傳導方式進入管內，管內蒸汽或飼水經由對流方式吸熱）獲得單一爐管金屬溫度量測位置點，即可達爐管殘餘壽命之估算功能。若進一步在熱傳輸方向上裝設兩個爐管金屬溫度量測位置點，則可求得高溫煙氣與管內蒸汽或飼水間熱傳率（Heat Flux）

$$\bar{q} = K(T_2 - T_1)$$

由煙氣與蒸汽或飼水間熱傳率與爐管金屬溫度資訊可以估計熱交換器吸熱量及評估管外結渣、積灰（Slagging、Fouling）程度。對水牆管管排言，管內飼水造成管壁結垢程度遠較過熱器、再熱器管內蒸汽產生程度為嚴重，在管內結垢（Oxide Scales）之程度估算可利用水牆管單面吸熱、單面絕熱特性，於絕熱測再加裝設第三個爐管金屬溫度量測位置點，利用三不同位置點長期追蹤可估算管內結垢之程度，管內結垢成長厚度隨時間增長而增厚（如圖3所示）， ΔT_i 與 ΔT_f 溫度差隨時間增長，因新舊管之不同而產生溫度差（H）（如圖4所示）

$$H = (\Delta T_i - \Delta T_f)_{\text{dirty tube}} - (\Delta T_i - \Delta T_f)_{\text{clean tube}}$$

其中

$$\Delta T_i = T_2 - T_s$$

$$\Delta T_i = T_1 - T_2$$

當溫度差（H）達某一極限時為管內需清洗時機，如圖5所示。

在感測元件之設計與製造上，應屬系統之關鍵零組件，爐管金屬溫度之量測應考慮到

- 準確量測到位置點爐管管壁金屬溫度
 - 採用熱接式電偶器，於接點處是否與爐管管壁緊密接合，加入高熱傳導劑以改善接點處問題
- 爐管埋設電偶器之加工技術
 - 爐管管壁埋設二個位置點之感溫元件，加工上具有專業性技術，為避免使用傳統鑽孔工法所造成孔四周殘餘應力，在爐管管壁加工法仍採放電加工，利用放電加工法具有不破壞加工區附近材料之晶像組織，專業性之放電加工可進行曲道鑽孔、及深孔加工。圖5為水牆管爐管管壁埋設感溫元件之示意圖。圖6為輻射區過熱器、再熱器爐管管壁埋設感溫元件之示意圖。圖7(a)為CESI研究所進行加工用之特殊放電加工機。圖7(b)為放電加工機之放電極。
- 量測管之耐壓安全性
 - 安裝完成後之爐管，必須與原材質管材具有相同或更高之抗壓強度（含熱應力），爐管之抗壓試驗為必要之步驟，圖8(a)為CESI研究所進行水壓抗壓試驗之特殊試驗機。圖8(b)為經水壓抗壓試驗後管破裂位置不在加工處，同一組爐管通過抗壓試驗。

2.2.3 訊號傳輸

量測元件感測訊號經連接傳輸至處理器，訊號之衰減與環境之干擾為主要考慮因素，依據CESI公司監測系統組裝測試人員之敘述，必須進行以下之測試

- 熱電阻之阻抗
- 感測元件之阻抗
- 感測元件外殼之接地電阻
- 依據ANSI/ISO標準進行Accuracy, Linearity, and Repeatability 檢測

2.2.4 資料處理分析與結果顯示

在資料處理平臺之設計上，由於目前個人電腦資料處理速度快速與容量大，並配合專業型之介面整合式軟體（Matlab, LabView ... 等），已可輕易快速將訊號經由介面傳輸至電腦進行即時顯示，或再處理分析，或儲存，或遠端傳輸，在監測系統顯示功能上基本上應具有以下功能

- 爐管金屬溫度值、熱通量與位置即時顯示，超過設計溫度警告。
- 各熱交換器熱傳量之計算與顯示。
- 長時間爐管金屬溫度分析，爐管殘餘壽命估算。
- 水牆管管內結垢分析。
- 爐管結渣分析。
- 爐膛吹灰最佳化之分析。
- 長時間紀錄、分析及儲存功能。

2.3 鍋爐監測系統相關周邊設備之應用與分析

除在鍋爐監測系統中獲得爐管金屬溫度及熱通量外，相關周邊輔助設備在此次出國任務中尚包括：

- Coal Optical Particle Sizer
- Pulverized coal Velocimetry
- On-line Unburned Carbon Laser Monitoring System

以上三系統主要與鍋爐燃燒有關，其中第一、三項可併入鍋爐監測系統架構中，鍋爐監測系統之建立，除了能即時監控運轉狀況（其實在鍋爐本身控制系統已負責大部份之任務），主要提供鍋爐診斷及運轉最佳化之功能，因此在考慮鍋爐監測系統之建立時，相關周邊設備之應用與分析應同時兼顧。

鍋爐熱監測系統主要監測燃料燃燒放熱後與各熱交換器間溫度與熱通量，以及衍生之相關應用，於燃煤鍋爐中燃料往往是影響燃燒行為主要因素，因此在設計鍋爐熱監測系統時，應同時考慮粉煤燃燒之監控與調整。燃煤進入粉煤機（Pulverizer）細化後，經由一次空氣輸送進入等高度之一排 Burners，最後在爐膛內燃燒，在整個流程中，除了煤源成份外粉煤細度、粉煤在各輸送管之分配量、分佈情形均會影響鍋爐燃燒狀況，其中

- 粉煤細度
 - 粒度大小關係到鍋爐之燃燒效率，若粒度大小不均勻或未達預期尺度，造成燃燒效率降低，進而使飛灰中未燃碳偏高，煙氣中 NO_x 值增高。
- 各輸送管之分配量、分佈情形
 - 各粉煤輸送管內流量分佈是否等量，單一均勻輸送管內粉煤流量與分佈均勻度，均會影響鍋爐內燃氣是否偏流所導致鍋

爐熱轉換能力降低。

因此，監測各獨立粉煤輸送管內質量流率 (Mass flow rate) 為主要目標，由於管內屬氣-固二相流體，必須先獲知流體流速 (Flow velocity) 與濃度 (Concentration) 資訊，其設置如圖 10 所示。Coal Optical Particle Sizer 為一即時量測裝置，主要用以量測粉煤管內粉煤粒徑大小之分佈情形，其設置如圖 11 所示，粒徑大小量測範圍含蓋 3 至 300 μm 。在粉煤管內流速之量測，由其研究人員展示一種利用煤為良好導電體之特性，以發射電子端使煤粒帶電，於下游接收端接收粒子行徑時間，以計算出流體流速，此系統仍屬其發展測試階段，據其稱述由於設備簡單，非插入式量測，設備成本為傳統粉煤流速設備的八分之一。但經本人瞭解其設備應仍有許多地方仍待克服，由於固定邊界層、壁面 Drag Forces、及管內發展流之特性等等，基本上在壁面測得之流速難以預測實際流速。

完整之鍋爐熱功診斷系統除了上述粉煤細度、粉煤輸送管內質量流率、及鍋爐熱監測系統外，後端煙氣排放系統乃為另一重要監測目標，其中包括煙氣中氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x)、及飛灰 (Fly Ash) 中未燃碳 (Unburned Carbon) 含量。目前在煙氣中氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x) 監測已是電廠中現有之設備，目前其在發展陣列式氮氧化物 (NO_x)、硫氧化物 (SO_x) 監測系統，其功能為可更精確推測鍋爐內燃燒行為。而在飛灰 (Fly Ash) 中未燃碳 (Unburned Carbon) 含量監測，將會示運轉最佳化重要指標。On-line Unburned Carbon Laser Monitoring System 為一即時量測裝置，主要用以量測飛灰 (Fly Ash) 中未燃碳 (Unburned Carbon) 含量，其設置如圖 12 所示，利用吸取器在靜電集塵器前收集飛灰粒子，進入密封空間中加入固定量之氧 (或固定成份之空氣)，直接進行燃燒，利用化學反應產生之二氧化碳量，計算灰未飛灰中未燃碳含量。

基於上述之設備介紹，主要能和鍋爐熱監控系統相配合，並且在使用操作上為攜帶式，若能建立完整將可服務於各電廠間。

參、綜合結論與建議

3.1 綜合結論

此次赴國外具有商業產品之廠家實習「電廠鍋爐爐管監測系統設計分析技術引進」，由於並無技術引進之合約關係，乃藉由欲熟悉安裝於中一機之「鍋爐爐管洩漏及溫度監測系統」之操作與進階應用，請原廠家就監測系統設計、分析技術詳加介紹。

一、本次出國實習廠與義大利 CESI 研究所、及瑞士 Dantec MetFlow 公司之研究、設計人員面對面討論鍋爐監測系統及解說相關輔助設備，得到許多設計、分析、及製造...等寶貴經驗與技術，對日後之發癸研究有相當之參考性。

二、經由本次任務瞭解，「鍋爐爐管熱監測系統」建立之重點為

- 鍋爐特性必須先瞭解，量測點之選取才具代表性。
- 感測元件之設計，除溫度量測外必須考慮熱通量，管內結垢、管外積灰及結渣之因素。
- 感測元件之製造，使用放電加工法為最不具損傷管材方法。
- 元件安裝與測試必須考慮抗壓試驗。
- 系統軟體功能須具有爐管金屬溫度值、熱通量與位置即時顯示，超過設計溫度警告、各熱交換器熱傳量之計算與顯示、長時間爐管金屬溫度分析，爐管殘餘壽命估算、水牆管管內結垢分析、爐管結渣分析、爐膛吹灰最佳化之分析、長時間紀錄、分析及儲存功能。

三、在鍋爐監測系統建立上若配合粉煤流量與細度監測與煙氣排放分析，將提供鍋爐運轉最佳化之設計。

3.2 建議

- 一、若以此次任務所獲得之資訊，若要自行開發建立「電廠鍋爐爐管熱監測系統」，首先必須要一位熟悉鍋爐特性、粉煤燃燒行為規劃整體架構，其次需一位具有專業放電加工技術之工程師，對深孔、曲道加工有經驗者，並對儀器感測元件（例如熱電偶）製造、校正、及組裝有能力者。在軟體建立上需要一位對儀控訊號處理、分析及網路建置有經驗者負責，在控制軟體上建議採用圖控式軟體（例如 LabView、MatLab ... 等等）設計，其優點除功能強大外，在設計流程上較易瞭解，沒有傳統使用程式語言設計之軟體可讀性較差，往往需依賴原設計者才有能力修改。
- 二、若評估本所欲投入鍋爐監測系統建立，在熟悉鍋爐特性、粉煤燃燒行為之能力與儀控訊號處理、分析及網路建置之經驗應無問題，唯一較欠缺者（應也是國內欠缺者）為專業級之放電加工技術與設備，此項將為建立系統之關鍵技術。
- 三、燃料在發電成本上佔有極大之比重，對於機組將來要面對不同煤源之供應，發展鍋爐監測系統並配合粉煤、未燃碳等監測設備，應不僅是應用在鍋爐運轉最佳化，將來要因應的是，如何面對不同煤種（包含劣質煤、Cofiring、Blended coal）狀況下，調試出鍋爐可運轉之條件。

肆、參考文獻

- F. Angeli, M. Famiglietti, P. Motta, and R. Tarli, 1999, 'Steam boiler on0line monitoring for power plant availability improvement,' CESI report
- C. Michelizzi, R. Tarli, S. Arisi, and R. Zavattarelli, 'Temperature Monitoring of exposed superheater and reheater tubes of large fossil-fired boilers: a new permanent system with long life and high reliability characteristics,' Proceedings of American Power Conference.

臺中電廠一號機鍋爐爐管洩漏及溫度監測系統技術資料。

CESI 研究所本次實習報告資料。

Dantec MetFlow公司本次實習報告資料。

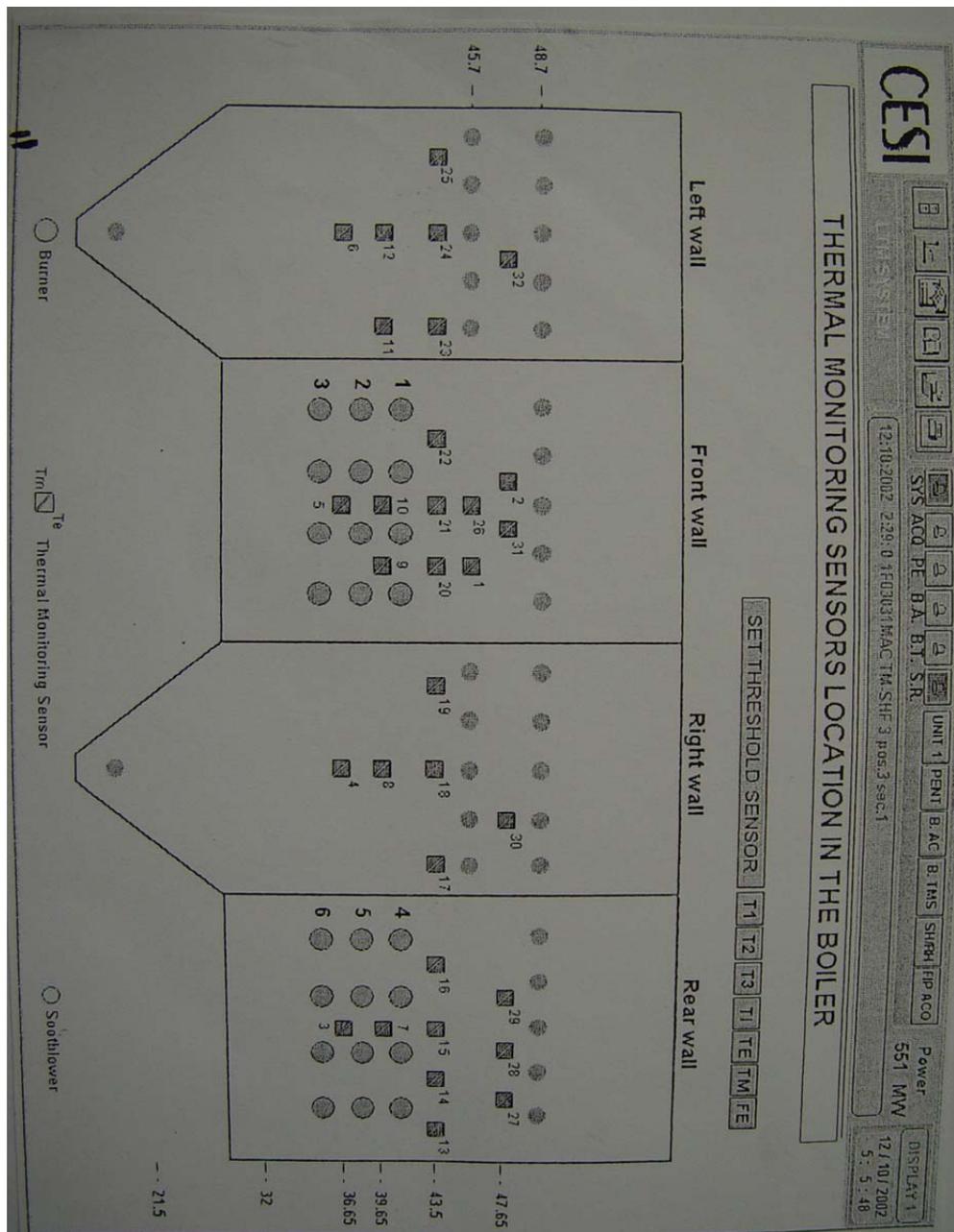


圖 1 中一機熱監視系統水牆管排溫度量測點示意圖

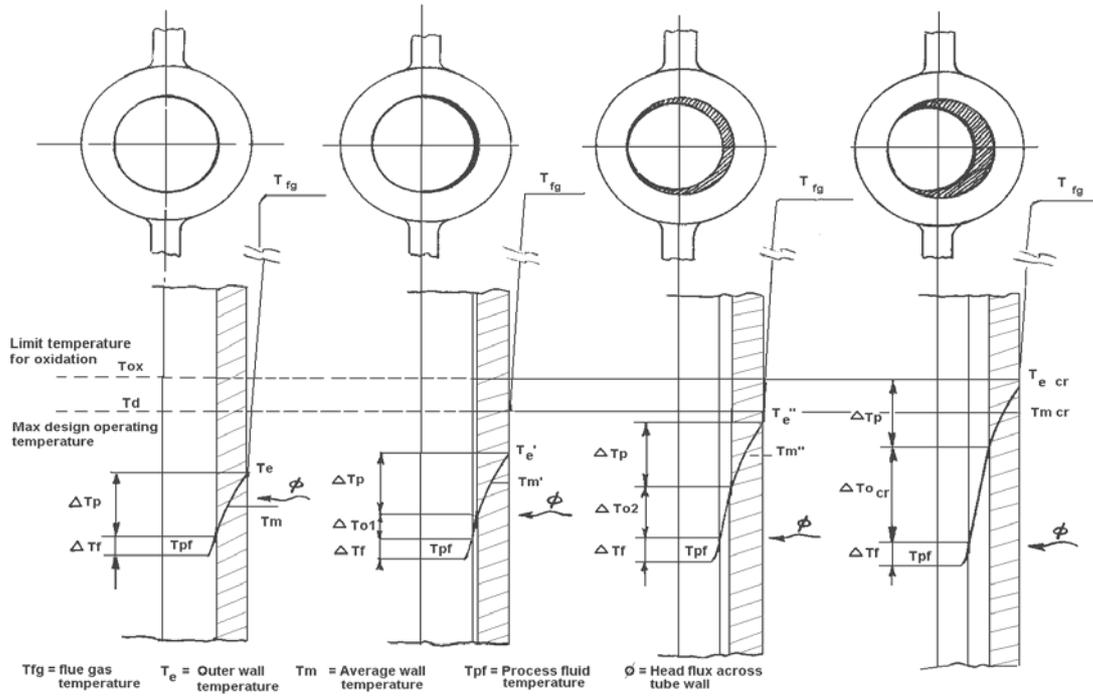


圖 2 水牆管壁內結垢產生之溫度差示意圖

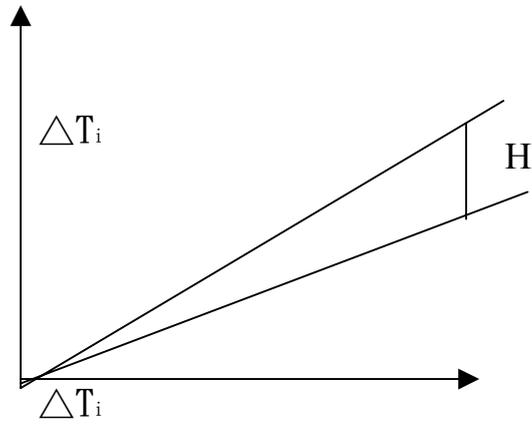


圖 3 水牆管壁溫度差示意圖

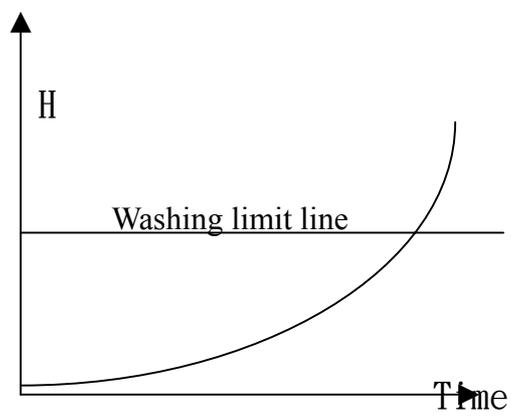


圖 4 水牆管內清洗示意圖

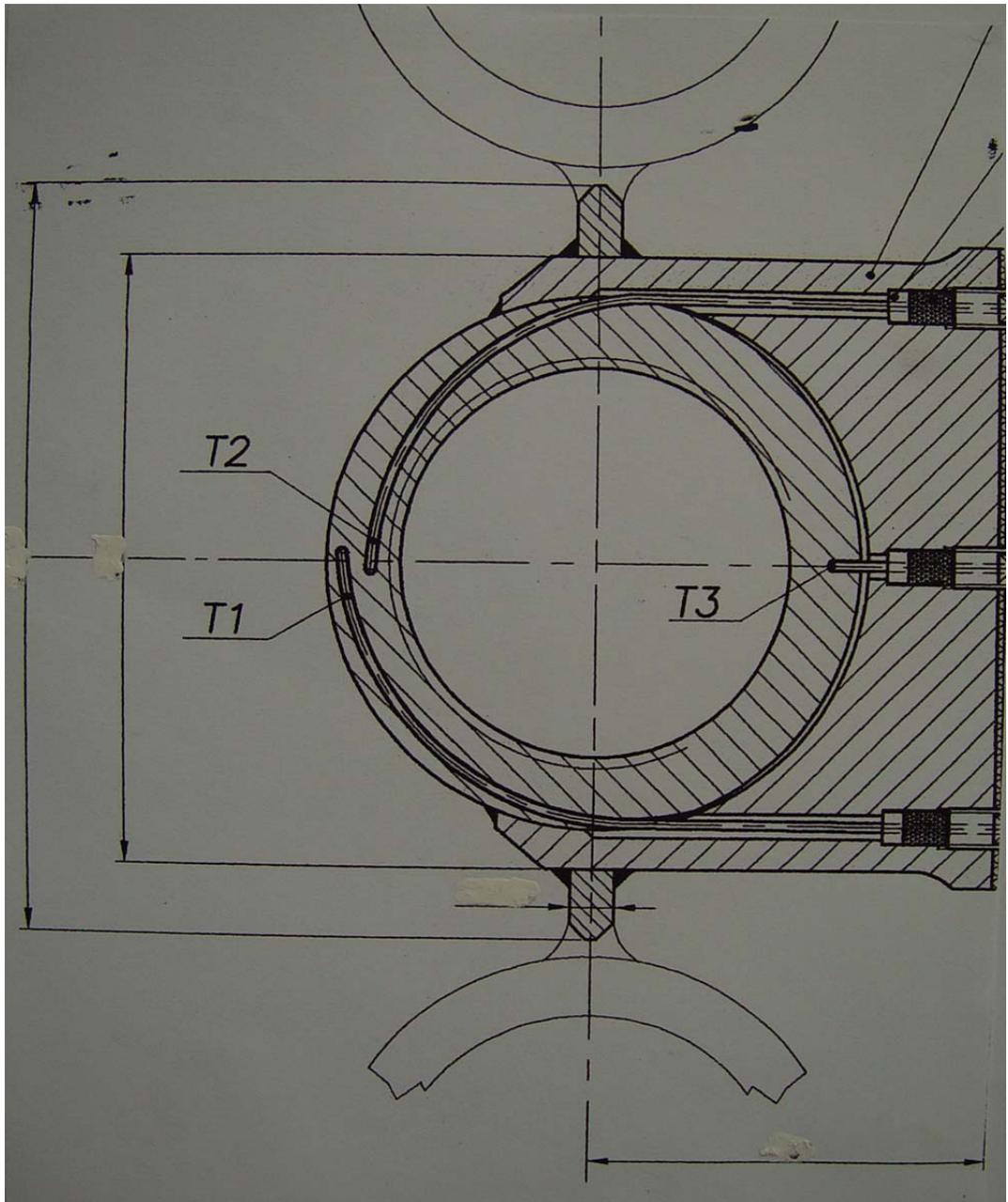


圖 5 為水牆管爐管管壁埋設感溫元件之示意圖。

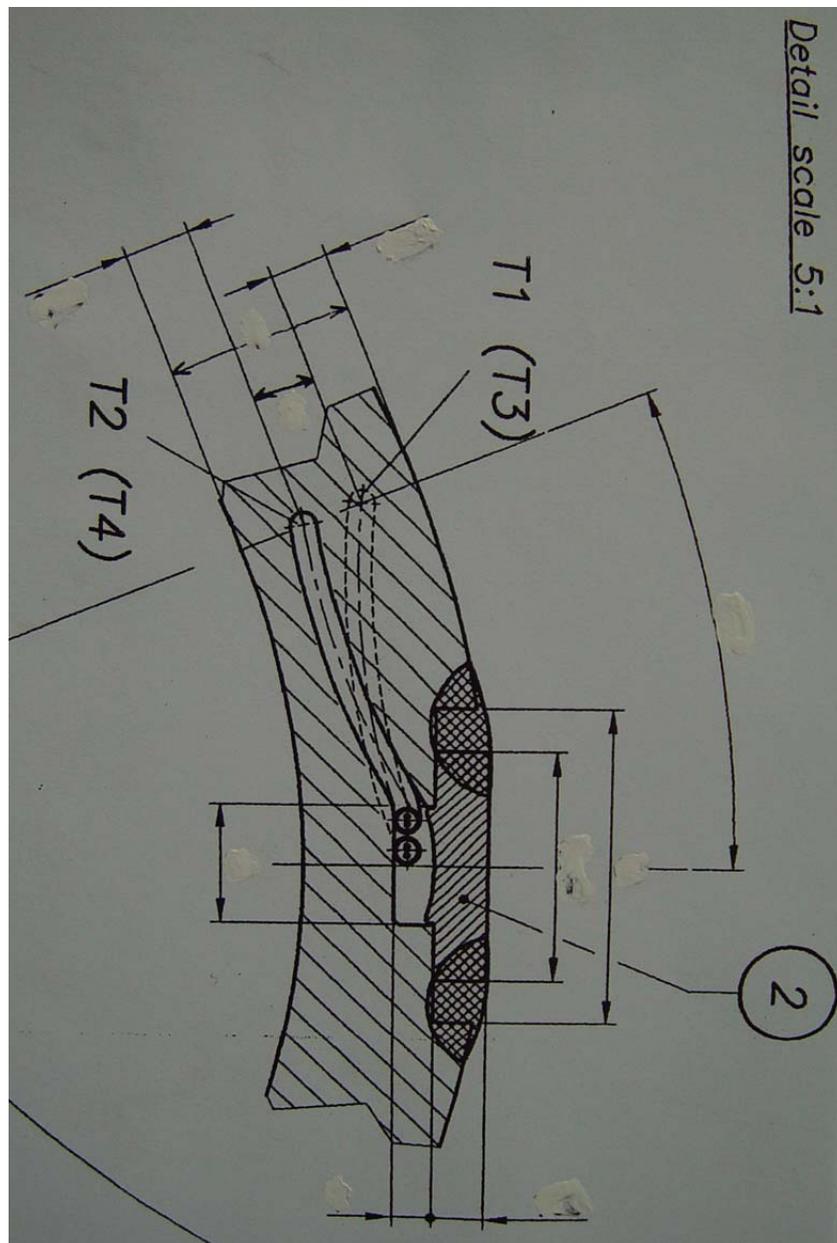


圖 6 為輻射區過熱器、再熱器爐管管壁埋設感溫元件之示意圖。

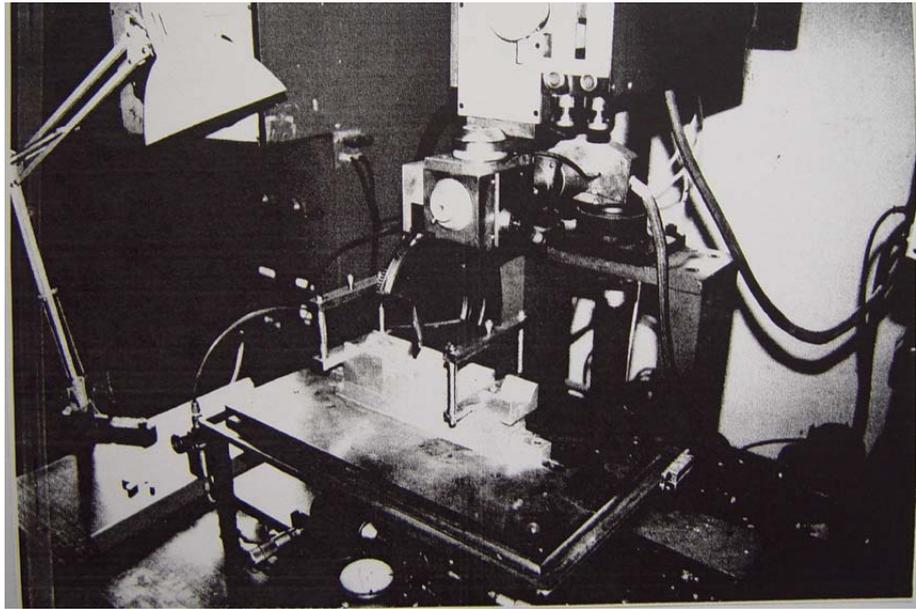


圖 7(a) 為 CESI 研究所進行加工用之特殊放電加工機。

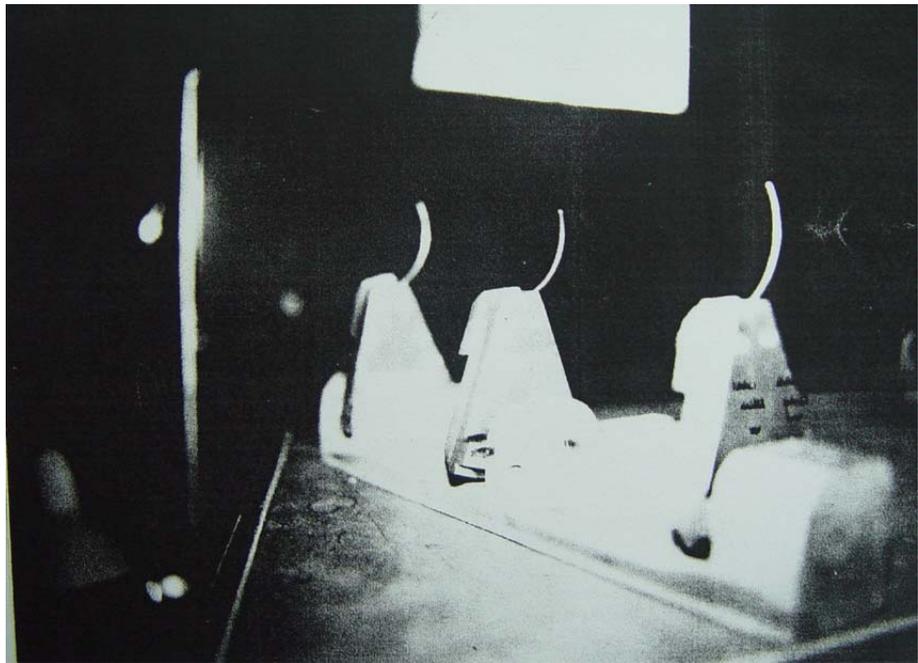


圖 7(b) 為放電加工機之放電極。

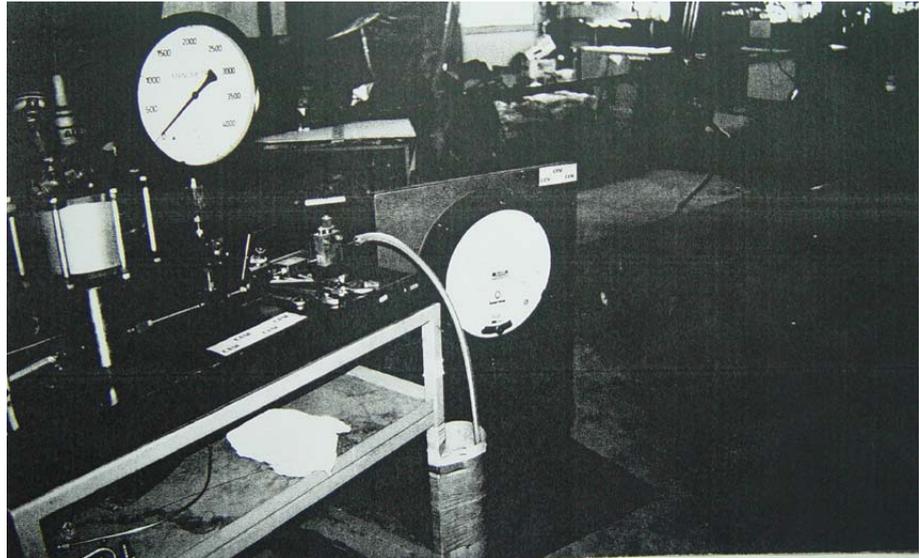


圖 8(a)為 CESI 研究所進行水壓抗壓試驗之特殊試驗機。

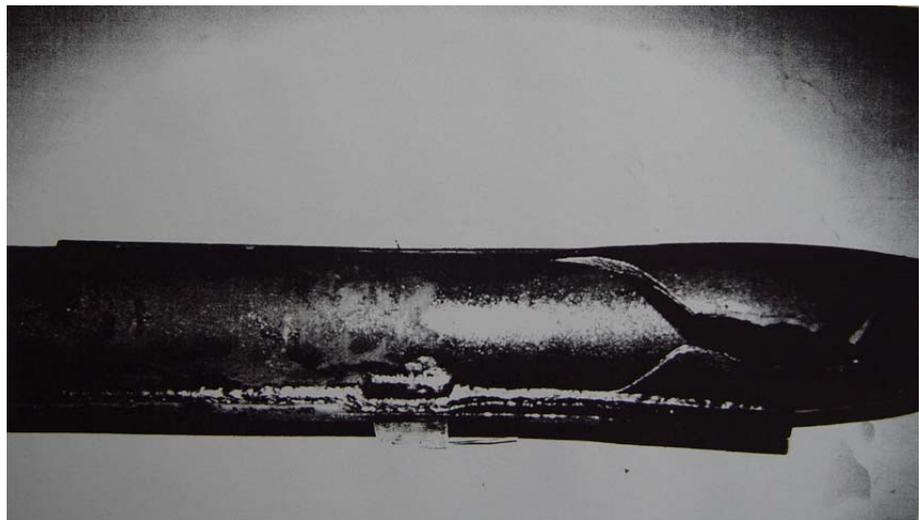


圖 8(b)為經水壓抗壓試驗後管破裂位置。

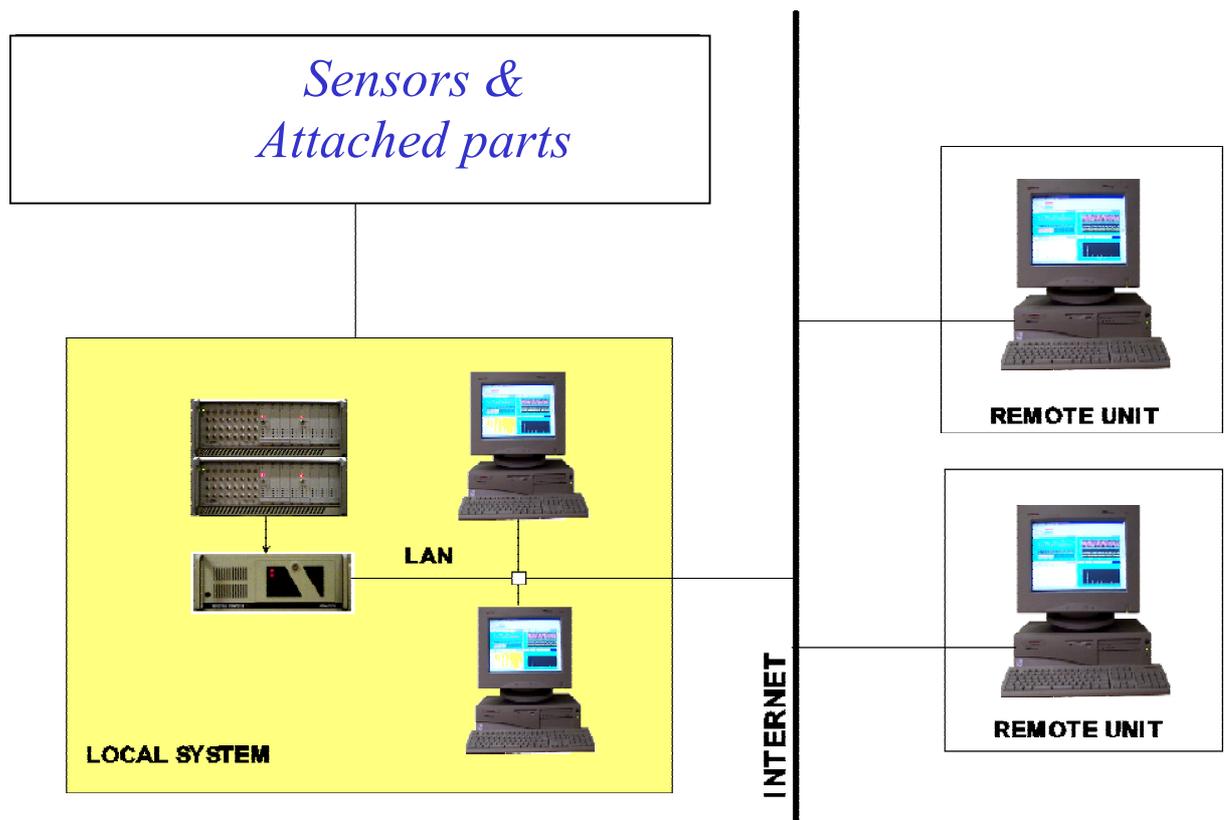


圖 9 監測系統軟體架構。

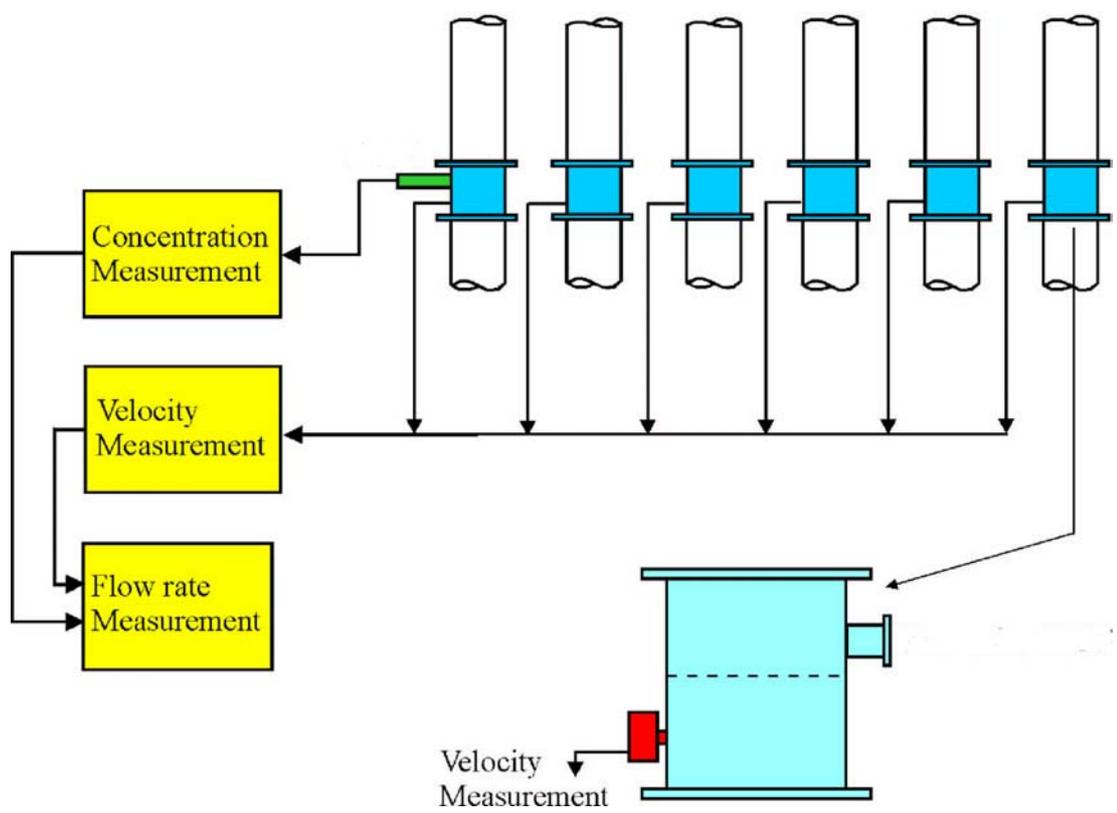


圖 10 粉煤輸送管質量流率量測裝置圖。

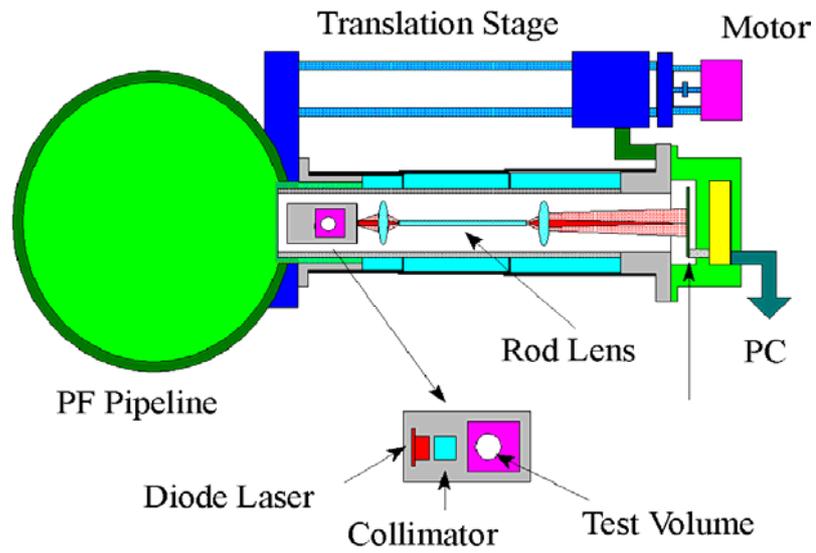
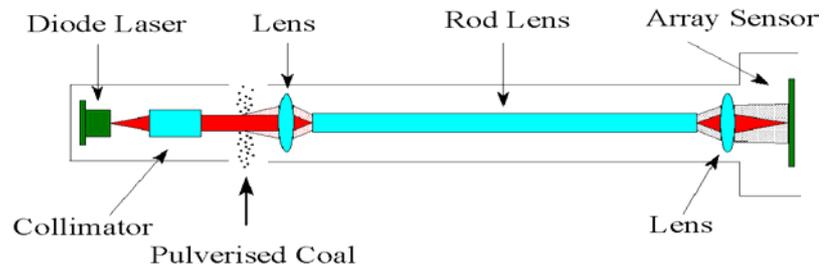


圖 11 粉煤粒徑量測圖。

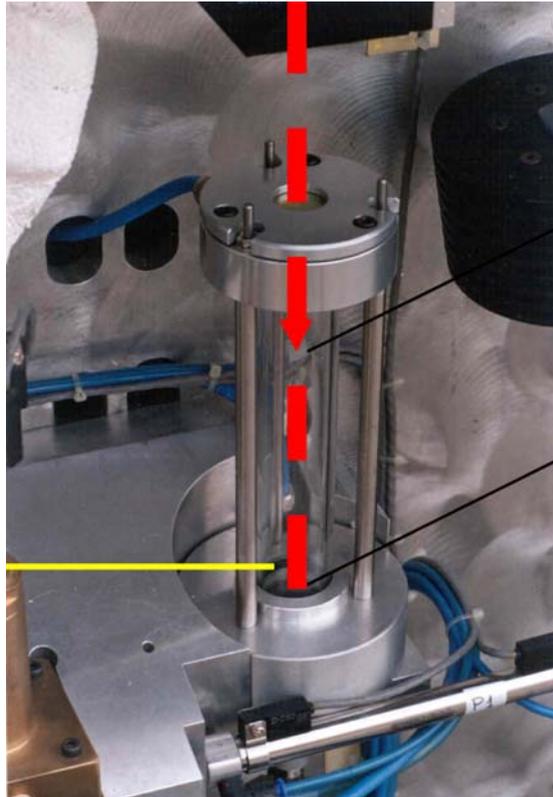


圖 12 未燃碳量測圖。