

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究

服務機關：台灣電力公司
出國人 職 稱：機械工程師
姓 名：林春景
出國地區：美國
出國日期：92 年 9 月 8 日至 9 月 21 日
報告日期：92 年 11 月 21 日

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究

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：林春景/機械工程師/綜合研究所

出國計畫 主辦機關 審核意見	☒ 1.依限繳交出國報告 ☒ 2.格式完整 ☒ 3.內容充實完備. ☐ 4.建議具參考價值 ☐ 5.送本機關參考或研辦 ☐ 6.送上級機關參考 ☐ 7.退回補正，原因： ☐ (1)不符原核定出國計畫 ☐ (2)以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 ☐ (3)內容空洞簡略容 ☐ (4)未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 ☐ (5)未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 ☐ 8.其他處理意見
層轉機關 審核意見	☐ 同意主辦機關審核意見 ☐ 全部 ☐ 部分 _____ (填寫審核意見編號) ☐ 退回補正，原因： _____ (填寫審核意見編號) ☐ 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。

總經理	主管處	單位
：	：	：
副總經理	主管	報告人：
		主管

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究

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：

林春景/台灣電力公司/綜合研究所/機械工程師/（02）26815424 ext 2276

出國類別：☐ 1 考察 ☐ 2 進修 ☐ 3 研究 ☒ 4 實習 ☐ 5 其他

出國期間：92 年 9 月 8 日至 9 月 21 日 出國地區：美國

報告日期：92 年 11 月 21 日

分類號/目

關鍵詞：火力機組、熱耗率、性能

內容摘要：（二百至三百字）

此次出訪實習單位共有兩處，其一為美國 SCIENTECH 公司，主要目的為學習該公司發展之機組性能監視軟體系統 PMAX 與機組 DAS 間之連結介面原始程式之解譯，本所已安裝兩套於協和及大林電廠機組，並有原始程式，因此學習連結介面原始程式之運作，對將來自行開發將有所幫助，同時對方亦提供 PMAX 運作及模式開發訓練；另一實習單位，則為參加美國 PCI(Performance Consulting Services)公司，所開之 Heat Rate Awareness Level II and III 訓練課程。

美國在火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究方面，值得學習之地方頗多，因此乃利用本次出國實習機會，獲取美國在此方面課題之經驗，作為未來個人研究之參考，本報告則簡述實習所獲，同時提出感想與建議。

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

目 錄

圖目錄	ii
表目錄	iii
一、前言	1
1-1、前言	1
1-2、任務內容	1
1-3、出國行程	1
二、塞德克公司訓練	3
2-1 前言	3
2-2 性能監視系統與機組資料蒐集系統間之連接	3
2-3 性能計算分析及監視系統模組之建立	5
2-4 結論	11
三、機組性能諮詢公司訓練	12
3-1 前言	12
3-2 火力機組熱耗率	12
3-3 火力機組熱耗率可控制損失	13
3-4 火力機組運轉最佳化	14
3-5 量測儀器對熱耗率之影響	16
3-6 不準確度分析	18
3-7 機組汽機及鍋爐測試	22
四、感想與建議	28
五、參考文獻	29

圖 目 錄

圖 2-1 PMAX 廠區網路佈置簡示	4
圖 2-2 運用 Display Builder 建立 Plant Overview 監視畫面	6
圖 2-3 運用 Display Builder 建立 Trend 監視畫面	6
圖 2-4 運用 PMAX Modeler 建立性能計算分析模組	7
圖 2-5 運用 PMAX Modeler 建立汽機性能計算分析模組	7
圖 2-6 運用 PMAX Modeler 建立 PMAX 與 PEPSE 之連結模組	8
圖 2-7 PEPSE 模組之建立	8
圖 3-1 決策分析樹提供之資訊圖簡示	15
圖 3-2 監視系統畫面	16
圖 3-3 溫度量測之趨勢分析	21
圖 3-4 壓力量測之趨勢分析	22
圖 3-5 機組測試之邊界區域由虛線規範	24
圖 3-6 鍋爐測試之邊界區域進出流程	24

表 目 錄

表 1-1 前往美國實習之詳細行程	2
表 3-1 機組運轉參數改變輸出電力及熱耗率偏離量	13
表 3-2 量測儀錶之誤差	17
表 3-3 不同數量熱電偶量測之不準確度分析結果	19
表 3-4 95%信心指數下，不同量測自由度下 t_v 數值	20
表 3-5 量測不準確度對熱耗率計算結果之影響	21
表 3-6 不同的取樣數目對不準確度之影響	23

一、前 言

1-1、前 言

本所正針對火力機組熱耗率之評估及性能提升方面，進行研究，研究項目，包括：廠熱耗率、鍋爐、蒸汽渦輪機、冷凝器、飼水加熱器、過再熱器、省煤器、空氣預熱器、、、等等，舉凡會影響機組運轉效率之設備及運轉因素，皆進行探討，並完成兩部機組熱功性能監視系統之安裝工作，提供電廠運轉維修人員，機組之運轉即時資訊，同時亦蒐集機組設備長期之性能運轉狀況，提供設備維修或更新策略擬定之參考，此等研究工作對節省電廠營運成本，提昇公司企業競爭力有所幫助。

美國在火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究方面，值得學習之地方頗多，因此乃利用本出國計畫之機會，前往美國實習，希能因此獲取美國在此方面課題之經驗，作為未來個人研究之參考，本報告則就實習內容作一簡述。

1-2、任務內容

(1) 在美國賽德克 (SCIENTECH Inc.)公司，實習火力機組性能監視系統之建立及該系統與機組資料蒐集系統間介面程式之運作，包括該公司發展之機組性能監視軟體系統與機組資料蒐集系統間之連結介面原始程式之解譯，同時對方亦提供監視系統之運作及性能計算模式開發之訓練；

(2) 參加美國機組性能諮詢公司(PCI, Performance Consulting Services)，所提供之熱耗率警覺第二級及第三級課程訓練(Heat Rate Awareness Level II and III)。

1-3、出國行程

92 年 9 月 8 日搭乘長榮航空公司客機於第二天抵達美國愛達荷

福爾斯(Idaho Falls)實習所在地，9月10日~9月12日接受訓練，9月13日轉往堪薩斯城(Kansas City)，接受美國機組性能諮詢公司(PCI, Performance Consulting Services)課程訓練，至於詳細行程，則如表 1-1 所示。

表 1-1 前往美國實習之詳細行程

實 習 期 間	行 程 內 容
92.9.8 ~ 92.9.9	台北→美國洛杉磯→鹽湖城→愛達荷福爾斯
92.9.10 ~ 92.9.12	實習美國塞德克公司提供之火力機組性能監視系統及該系統與機組資料蒐集系統間介面程式之運作
92.9.13 ~ 92.9.13	愛達荷福爾斯→鹽湖城→堪薩斯城
92.9.14 ~ 92.9.19	實習美國機組性能諮詢公司提供之 Heat Rate Awareness Level II and III課程訓練
92.9.20 ~ 92.9.21	堪薩斯城→聖路易→洛杉磯→台北

二、 塞德克公司訓練

2-1 前 言

在美國塞德克公司訓練共計三天，訓練內容則包括：性能監視系統與機組資料蒐集系統間之連接說明、驅動程式之撰寫與解釋，包括指令功能用途之開發、程式之編譯及連結、機組資料蒐集系統數據點與性能監視系統間使用檔案之說明、性能監視系統建立工具之說明，如運用 Display Builder 建立性能監視物件、運用 R*time Viewer 建立並蒐集歷史資料、對機組運轉進行趨勢分析及運用 Pmax Modeler 建立性能計算分析及系統監視模組。2-2 性能監視系統與機組資料蒐集系統間之連接

本報告所述之機組性能監視系統，係 Scientech 公司之產品：PMAX Monitoring System，其中 PMAX 為 Plant Maximization 之簡稱，亦即為機組運轉優化監視系統，主要作用為運用機組運轉數據，進行性能計算分析，分析結果提供機組操作員或維修部門人員，對機組採取必要措施，如微調運轉參數、對性能劣化之設備，進行維修或更新，使機組保持在最佳狀態下運轉。

圖 2-1 所示，為 PMAX 性能監視系統，裝置於電廠與其廠區網路佈置之簡示，包括 PMAX 伺服器端(Server)及用戶端(Client)，可裝置於廠區網路之任何位置，如圖 2-1 所示，有控制室、汽機課、效率股、鍋爐課、、、等等，至於性能監視系統與機組資料蒐集系統間之連接，如圖雙箭頭所示，為機組 DC/DAS 系統與 PMAX Server 間資料之傳輸管道，為了使機組 DC/DAS 系統取得之運轉數據能為 PMAX Server 所用，兩者之間必須要能互相溝通，PMAX 獲取機組運轉數據之方法有二，包括透過檔案傳輸格式(FTP, file transfer protocol)方式或透過 OPC(OLE for process control)方式，都需有伺服器端與顧客端驅動程式，此次前往美國實習，對這兩個方式有所了解，其中 OPC 方式所需之驅動程式，必須另行採購，由於已經建立之監視系統採用 FTP

方式，因此針對 FTP 方式之驅動程式，進行較詳盡之了解，如原始驅動程式，每個指令功能的解說、原始驅動程式完成之後的編譯及連結過程可能遭遇之困難、連結所需要之副程式、及驅動程式完成之後的設定等，皆有所獲。

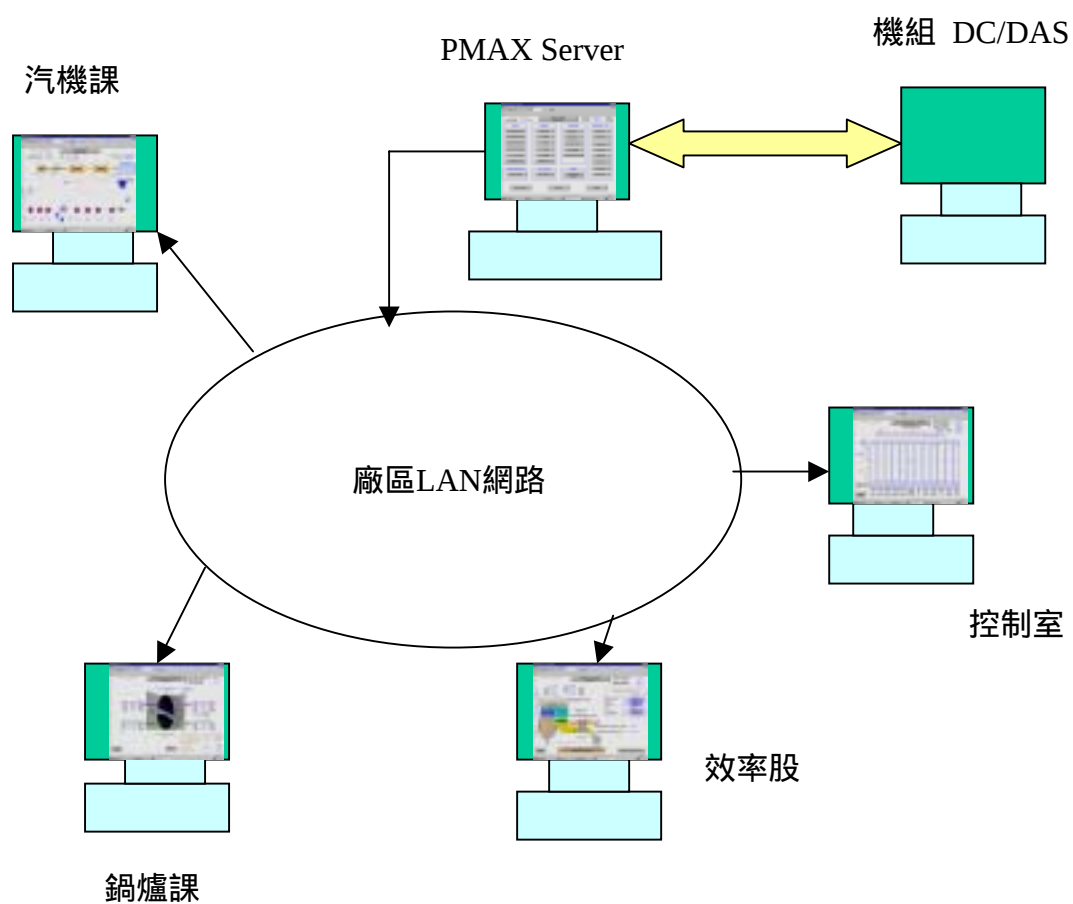


圖 2-1 PMAX 廠區網路佈置簡示

驅動程式一旦完成，為了使其能發揮作用，必須另外設立兩個檔案分別存放，使 PMAX 可以使用並據以將機組數據轉換，如下列所示，其中 PN00001 為 PMAX 專用至於 E1656 則由機組提供。

PN00001	11	1E1656	HsehoNo1
PN00002	11	2E1657	HsehoNo1
PN00003	11	3E1658	HsehoNo1
PN00004	11	4E1668	HsehoNo1

PN00005	11	5E1669	HsehoNo1
PN00006	11	6E1670	HsehoNo1
PN00007	11	7E1671	HsehoNo1
PN00008	11	8E1672	HsehoNo1

2-3 性能計算分析及監視系統模組之建立

建立一個完整的性能監視系統，除了前述與機組 DC/DAS 間之資料傳輸必須建立之外，仍有很多工作要做，包括：(1)性能監視項目之擬定，如廠熱耗率、鍋爐、蒸汽渦輪機、冷凝器、飼水加熱器、過再熱器、省煤器、空氣預熱器、、、等等，舉凡會影響機組運轉效率之設備及性能之運轉因素，都可建立一個監視項目，(2)性能計算分析及監視系統模組之建立，運用 PMAX Modeler 提供之功能與要求，逐步建立各個監視項目之性能計算分析模組，再下載(downloading)給 R*time Data Viewer 使用，(3)性能監視畫面之建立，運用 Display Builder 提供之功能與要求，逐步建立各個監視畫面，由 R*time Data Viewer 顯示，(4)相關黨案之設定，如 starttrt.ini、dataserv.ini、mmi.ini、host、、、等等，檔案之設定。圖 2-2~圖 2-7 所示，為建立過程中部份畫面，至於為了使監視系統可以運作，相關檔案之設定，如 starttrt.ini，列示如下：

```
[units]
num_units=2
unit00=PMAX
unit01=mmi
default=PMAX
active=PMAX

[PMAX_configuration]
num_start_exe=42
num_databases=1
```

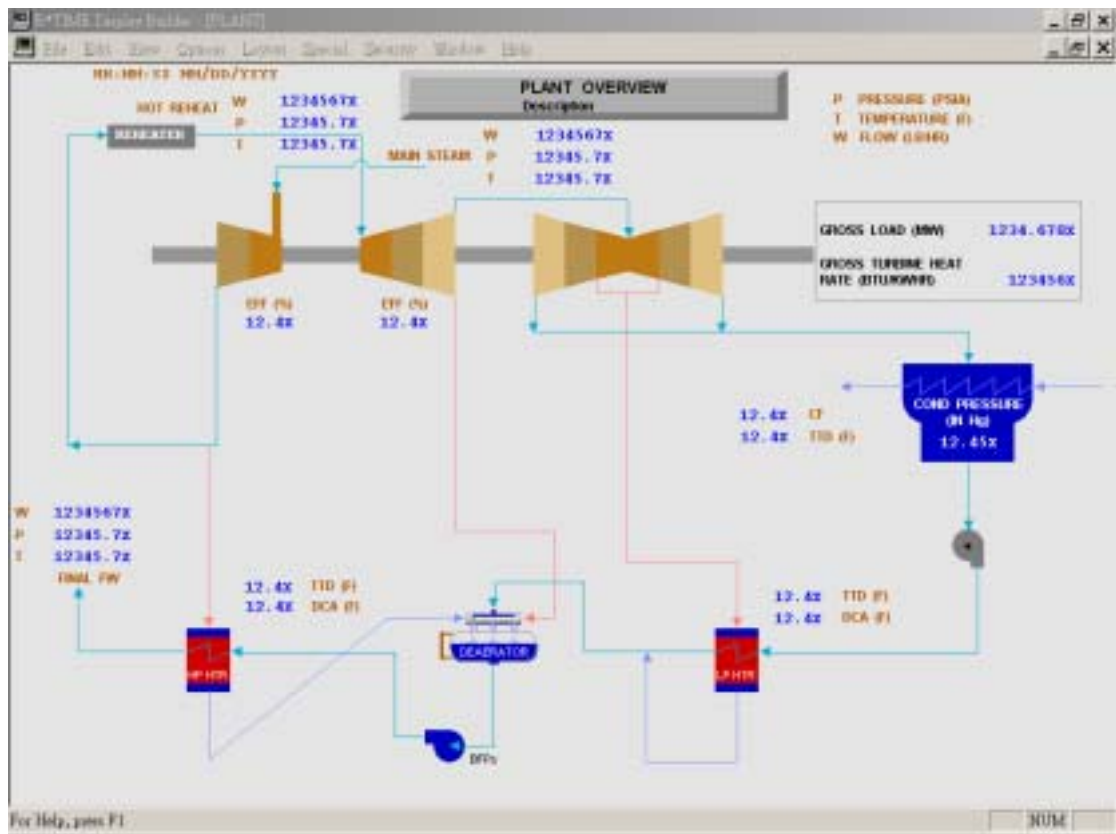


圖 2-2 運用 Display Builder 建立 Plant Overview 監視畫面

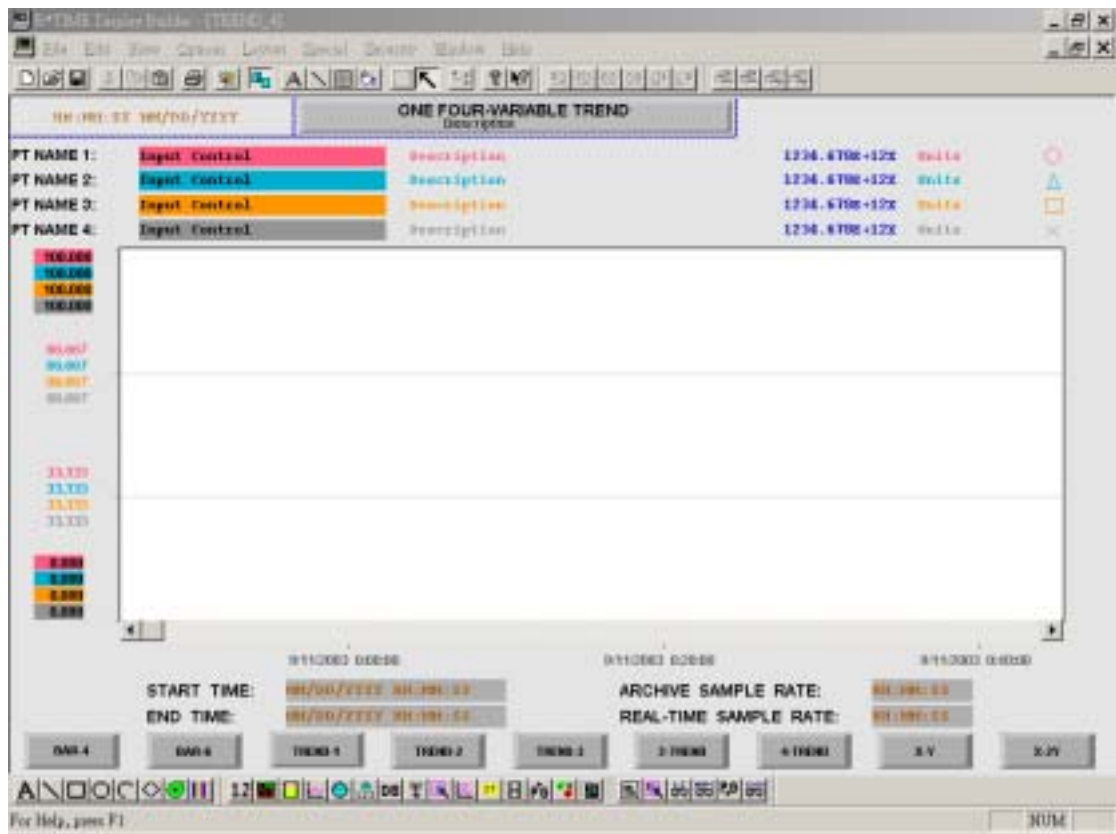


圖 2-3 運用 Display Builder 建立 Trend 監視畫面

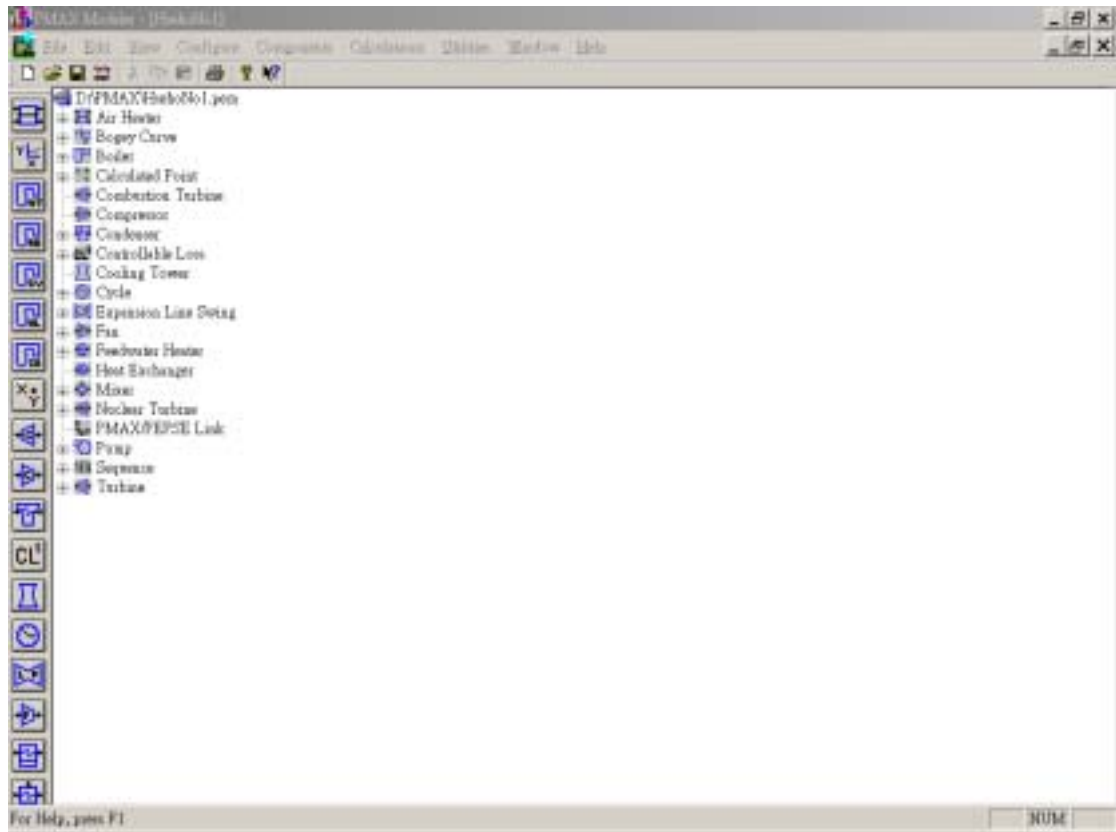


圖 2-4 運用 PMAX Modeler 建立性能計算分析模組



圖 2-5 運用 PMAX Modeler 建立汽機性能計算分析模組

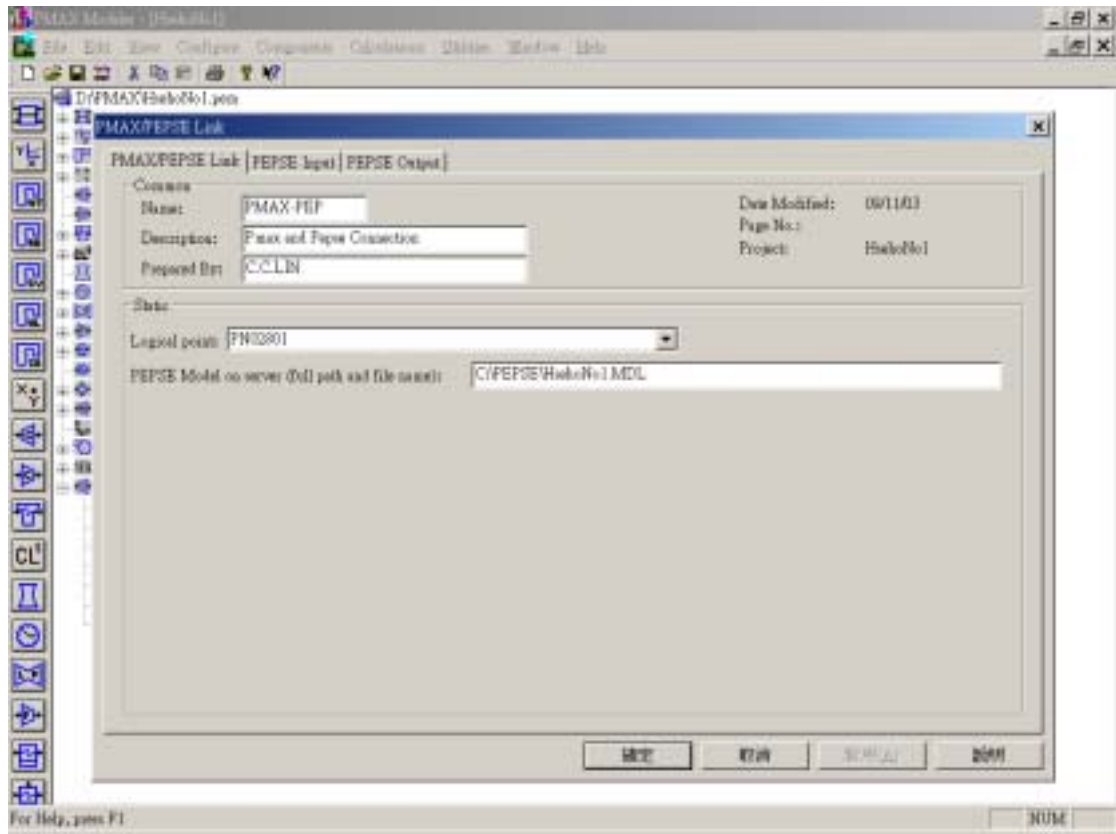


圖 2-6 運用 PMAX Modeler 建立 PMAX 與 PEPSE 之連結模組

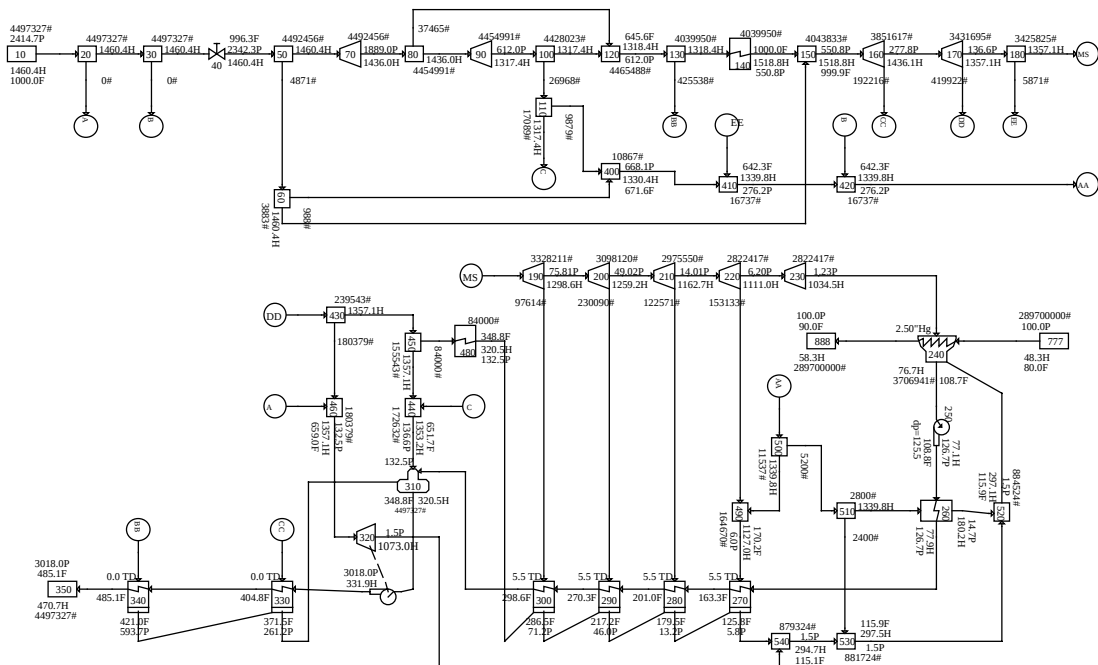


圖 2-7 PEPSE 模組之建立

database00=HsehoNo
start_process00=DELAY 1
arch_node=1
calc_node=1
disp_node=1
stop_daemons=1
mmidb_size=400
display_directory=
num_chains=1
rtime_function=1
pmax_function=0
other_function=0
cold_start=0
all_files=0
changed_files=0
remove_pnc=1
chain_configuration00=mmi
start_process01=sysime.exe HsehoNo
start_process02=DELAY 1
start_process03=sysime.exe system_s
start_process04=DELAY 1
start_process05=shmatt.exe
start_process06=DELAY 1
start_process07=message.exe
start_process08=DELAY 1
start_process09=loadivm.exe HsehoNo
start_process10=DELAY 1
start_process11=ldmon_ivm.exe
start_process12=DELAY 1
start_process13=ldmon_sdf.exe
start_process14=DELAY 1
start_process15=archctrl.exe
start_process16=DELAY 2
start_process17=calc_process.exe HsehoNo
start_process18=DELAY 1
start_process19=afs.exe
start_process20=DELAY 1
start_process21=afs_log.exe

start_process22=DELAY 1
start_process23=netsrvr.exe
start_process24=DELAY 1
start_process25=rtime_odbc_srvr.exe
start_process26=DELAY 2
start_process27=avg.exe
start_process28=DELAY 2
start_process29=seq.exe 1
start_process30=DELAY 2
start_process31=seq.exe 2
start_process32=DELAY 2
start_process33=seq.exe 3
start_process34=DELAY 2
start_process35=seq.exe 4
start_process36=DELAY 2
start_process37=seq.exe 5
start_process38=DELAY 2
start_process39=seq.exe 6
start_process40=pepsemon.exe

[mmi_configuration]
arch_node=0
calc_node=0
disp_node=1
num_start_exe=0
num_stop_exe=2
num_shm=0
num_databases=0
mmidb_size=400
stop_process00=MMI.EXE
stop_process01=NETAPP.EXE
display_directory=
stop_daemons=1
num_chains=0
rtime_function=0
pmax_function=1
other_function=0
cold_start=0

```
[PMAX_processes]  
num_processes=0  
[mmi_processes]  
num_processes=0
```

其中 database00=HsehoNo，為運用 PMAX Modeler 建立的模組，即告知 PMAX R*time Viewer，所有計算分析模組，都是架構於 HsehoNo 之下，包括儲存運轉數據之資料庫。

2-4 結論

美國賽德克公司，在機組性能運轉方面之工作小組，約有 9 個人力，主要工作項目為機組運轉性能監視系統之建立（PMAX 為建立工具）及機組運轉性能模擬之開發（PEPSE 為開發工具），目前在全世界上，約已裝置了 250 套系統，除了對顧客進行固定維修服務工作之外，亦持續對外拓展開發新用戶，對於這兩個開發工具，亦針對功能不足之處，進行改進工作，在技術方面，能提供完善的後勤支援，對於使用該系統並從事機組性能研究工作者而言，是個很好的學習參考對象。

三、 機組性能諮詢公司訓練 3-1 前 言

在美國機組性能諮詢公司訓練共計五天，訓練課程則包括：電廠熱力學簡介、電廠熱力系統及循環、系統效率及熱耗率、熱耗率偏離對運轉成本之影響、可控制損失之影響、系統循環之隔離、不可控制損失之影響、不正常運轉之影響、機組效率最佳化、量測儀器對熱耗率計算之影響、不準確度計算之影響、汽機及鍋爐測試等內容。

3-2 火力機組熱耗率

一個火力機組之運轉性能為何？運轉之燃料成本是否偏高？通常以機組效率或熱耗率來表示，機組熱耗率之計算很簡單，即輸入機組之熱量除以機組之發電量，如果發電量是淨輸出功率，則稱為機組淨熱耗率(Unit Net Heat Rate)，如果發電量是毛輸出功率，則稱為機組毛熱耗率(Unit Gross Heat Rate)，至於給予機組之熱量，以燃料燃燒釋出之熱量計，即單位時間燃燒之燃料乘以燃料高熱值，美國電力研究所曾經對其國內 129 個火力機組，進行熱耗率調查，發現潛在的改善空間，最高可達 4%，相當於 100 kcal/kwhr，每年約可節省 2 百萬美元，至於影響機組熱耗率的因素，則與機組運轉特性相關，可能是因機組設備老化劣化，或量測儀器偏差失準，致控制系統出了問題，或控制設定不佳，而未能反應實際需求，亦可能是因人為因素之疏忽造成、、、等等。機組運轉之熱耗率是否有偏差？最理想之熱耗率為何？廠商提供之設計值，可先作為參考依據，若設計數據已不可能達到，則可能達到之最佳熱耗率為何？必須事先評估，以便尋求一個可供運轉之參考數據，爾後，機組之運轉即以此數據作基準，運轉條件儘量符合其要求，一旦偏離此些已設定之條件，機組之熱耗率就會有所偏差？偏差之數值進而反應到燃料成本，可以下列式子表示：

每年之燃料花費 = 熱耗率偏差量 * 燃料費 * 容量因素 * 機組容量 * 運轉時數

(3-1)

如此，即可得知該機組因運轉熱耗率之偏差，造成之損失。

3-3 火力機組熱耗率可控制損失

火力機組熱耗率可控制損失，表示機組運轉期間，可以經由運轉參數之調整而改善之損失，包括：主蒸汽壓力及溫度、再熱蒸汽溫度、冷凝器背壓、省煤器進口飼水溫度、機組輔助電力、空氣預熱器出口燃氣溫度、省煤器進口燃氣之氧氣含量、過再熱器減溫噴水量、、、等等，這些參數都有其運轉參考值，一旦偏離，輸出電力及熱耗率都會偏離，表 3-1 為一個參考資料，最後一欄，可看出機組運轉每年因運轉參數偏差造成之燃料損失。

表 3-1 機組運轉參數改變輸出電力及熱耗率偏離量

運轉參數	改變量	輸出功改變量	熱耗率改變量	每年之燃料花費
主蒸汽溫度	-5	0.1	9.0	\$47595
再熱蒸汽溫度	-5	-1.2	6.3	\$33317
主蒸汽壓力	-10 psi	-2.1	2.6	\$13750
冷凝器背壓	+0.2 inHga	-1.0	19.2	\$101536
省煤器進口飼水溫度	-5	2.2	11.2	\$59230
過熱器減溫噴水量	+10k #/hr	0.1	0.7	\$3702
空氣預熱器出口燃氣溫度	+10	0.0	30.5	\$161295
機組輔助電力	0.1%	0.1%	10.2	\$53941

3-4 火力機組運轉最佳化

影響機組最佳使用之因素，包括：維修、運轉、可用率及燃氣排

放，做好機組設備之維修工作，該維修時進行維修，該更換時更換，儘量排除因設備性能不佳造成之因素；電廠員工對機組之運轉，除了維持穩定可靠之電力輸出外，另外必須要求的是，使機組儘可能在最佳化條件下運轉，亦即有效率的運用機組，降低電廠運轉成本，然而用什麼方式來達到這個要求呢？

所謂機組運轉的最佳化，通常指機組最好的或最讓機組可以接受的條件之下運轉，這須要機組之原始設計資料及實際運轉數據評估，包括熱平衡資訊及安全運轉設計資訊，經運轉人員分析判斷及機組控制系統之運作，而尋求一個可行之最佳運轉模式，這仍得考慮到機組的可利用率及符合環保排放標準。讓機組一直保持在最佳模式下運轉，必須要有方法及準則，甚至有賴於運用計算分析工具，較常見且簡易被使用的工具及分析資料，有機組的設計規範、美國 ASME 公佈的蒸汽特性查詢表、文獻書籍上發表可查到的專業知識、專家的意見、機組過往的維修紀錄、、、等等，建立一個邏輯分析樹或決策分析樹，作為一旦機組出現異常問題時，可據以追蹤進而找出問題癥結點，並加以排除，圖 3-1 為決策分析樹提供之資訊簡示，機組運轉維修員工可作為初步判斷參考。

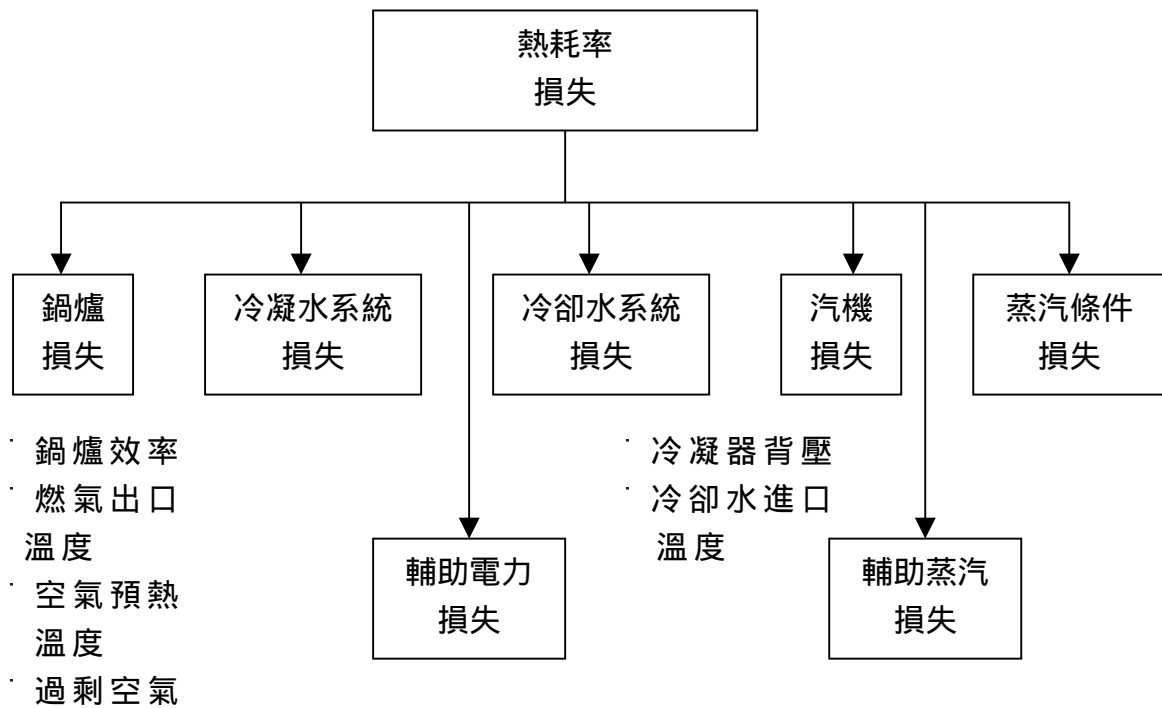


圖 3-1 決策分析樹提供之資訊圖簡示

至於對於機組運轉最佳化之較詳盡的分析方法及工具，包括：對機組進行實際的性能測試，使用市面上已商業化之最佳化分析軟體、建立機組運轉監視系統及機組運轉之模擬分析，運用美國 ASME 所提供之性能測試法規，進行測試，再與設計值或最佳值比較，並探討出現異常之可能原因，尋求改善之道；市面上已商業化之最佳化分析軟體，則由機組運轉現狀之資訊進行分析，建立最佳化分析模式，或運用類神經網路原理，或運用專家系統，由以往之運轉模式分析，預測未來可供調整之運轉模式，使機組能在最佳狀態下運轉；建立機組運轉監視系統，則將影響機組運轉性能之參數或設備及其運轉現況，包括：承受之溫度、壓力、流量及效能等數據，顯示於監視螢幕，機組操作員則可根據畫面顯示結果，進行後續之調整動作，維修人員亦可根據分析結果進行維護策略之擬訂，圖 3-2 為監視系統的一個畫面，

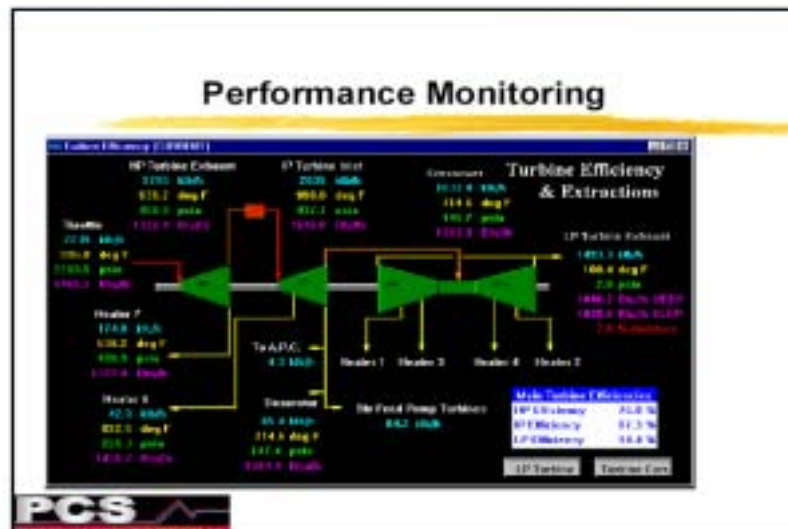


圖 3-2 監視系統畫面

與前章在 Scientech 公司所發展之監視軟體類似，可以根據需求而設計出功能不同之監視畫面；當機組運轉期間，因某一條件，有很大改變時，比如飼水加熱器隔離或冷凝器冷凝管更換等，其對機組熱耗率之影響，可由對機組運轉之模擬分析，獲取資訊進行探討判斷分析，可評估更換後之回收期，進而決定是否採取更換動作。

3-5 量測儀器對熱耗率之影響

火力電廠用以量測溫度、壓力、流量等儀錶之裝置，可能有好幾千個，其中有那些量測數據，會影響熱耗率之計算結果？影響程度如何？可經由不準確度分析，獲得一個概略數值，對熱耗率計算結果，衝擊較大之量測數據，包括儀錶之準確度，列如表 3-2 所示，其中正常誤差，表示一般很容易就會被發現的誤差，最低可能之誤差，則表示使用較高層級之量測儀錶或者經由準確校正之後，可以獲得之最小誤差。

表 3-2 量測儀錶之誤差

儀錶裝置位置	正常誤差	最低可能之誤差
主蒸汽壓力 (psi/kPa)	7.94/54.8	3.21/22.1
第一級蒸汽壓力 (psi/kPa)	5.00/34.5	2.12/14.6
冷端再熱蒸汽壓力 (psi/kPa)	2.43/16.8	0.56/3.9
熱端再熱蒸汽壓力 (psi/kPa)	2.43/16.8	0.56/3.9
中壓汽機出口蒸汽壓力 (psi/kPa)	0.65/4.5	0.15/1.0
主蒸汽溫度 (/)	5.0/2.8	1.01/0.56
冷端再熱蒸汽溫度 (/)	3.2/1.8	0.72/0.4
熱端再熱蒸汽溫度 (/)	5.0/2.8	1.01/0.56
中壓汽機出口蒸汽溫度 (/)	3.5/1.9	0.72/0.4
省煤器出口飼水溫度 (/)	2.4/1.3	0.72/0.4

溫度量測儀錶，電廠最常用的是熱電偶，也有少部份在較低溫度環境下，用電阻式溫度計，熱電偶則包括型態 E、J 及 K，特別要注意的是，剛使用的前半年，尤其在高溫下(>700 /371)會有偏離的現象，為了增加性能計算的準確度，可以考慮使用較準確的電阻式溫度計，如 4 線式的 RTD，則主蒸汽溫度之量測，可以將準確度由±5.0 提升至±1.01，但如果用於控制的話，通常不用電阻式溫度計，因為一旦故障會有控制上的問題。至於因壓力量測造成之誤差，對熱耗率計算結果的影響較小，但仍得看量測點位置，如主蒸汽壓力及再熱蒸汽壓力會有不同程度的影響，進省煤器之飼水流量，在性能計算與監視系統建立上，是個很重要的量測數據，一般電廠在安裝之後，即很少拆下進行校正工作，但其誤差可能很高，根據 ASME PTC-6 的報告，曾經對一個剛裝置不久的流量量測儀錶，進行測試，發現量

測不準確度有 3.47%之多。

3-6 不準確度分析

性能計算結果之可靠度如何？誤差有多大？一般以不準確度分析為之，以 95%之信心指數視之，亦即每 20 個計算出來的數據的誤差，有 19 個會落在由不準確度分析出來的範圍之內，量測結果之不準確度，包括固定誤差(Bias/fixed error)及隨機誤差(Random/precision error)，固定誤差是因量測儀錶本身造成，如量測數據的線性誤差、儀錶裝用之後的偏離度及用以校正的儀器誤差；至於隨機誤差，則有量測結果的可重複性及波動度。

改善因固定誤差造成之不準確度，可由增加量測儀錶之數量著手，因而改進之程度如下：

$$U_i = \frac{U_{i'}}{\sqrt{m}} \quad (3-2)$$

其中 $U_{i'}$ 為單一量測儀錶之不準確度， U_i 則是儀錶數量為 m 之不準確度，表 3-3 為裝置 1 至 20 個熱電偶量測之不準確度分析結果，由表中可見：裝置數量愈多，愈可以改善不準確度，但改善幅度愈小。

個別量測結果之不準確度，僅表示該量測結果之可靠度，若用該量測結果，來進行性能計算之分析，則會影響計算之結果，至於影響程度為何？有兩個方式表示：

$$U_{add} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + \dots + U_n \quad , \quad (3-3)$$

此為假設個別量測結果之不準確度，都往同一方向影響，運用此方法計算之結果較為保守，如通常使用於核能系統；至於另一個方式為：

$$U_{rss} = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2)} \quad (3-4)$$

表 3-3 不同數量熱電偶量測之不準確度分析結果

熱電偶數量	單一熱電偶 不準確度	全部熱電偶 不準確度	不準確度 改善程度
1	3	3.00	0.00
2	3	2.12	0.88
3	3	1.73	1.27
4	3	1.50	1.50
5	3	1.34	1.66
6	3	1.22	1.78
7	3	1.13	1.87
8	3	1.06	1.94
9	3	1.00	2.00
10	3	0.95	2.05
11	3	0.90	2.10
12	3	0.87	2.13
20	3	0.67	2.33

稱為總和平方根法，其中 $U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2$ 表示各個量測不準確度的平方和，rss 即 Root Sum Square 之簡寫。

由於受量測之目標物為不停流動之流體，如飼水、蒸汽或空氣，量測結果會有一定程度的波動，量測之波動度的大小，視受測物質是否穩定流動及速度大小而影響，通常以量測之標準偏差，來表示其波動程度：

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{mean}})^2 / (n-1)} \quad (3-5)$$

其中 S 為標準誤差， X_i 為單一次之量測值， X_{mean} 則為所有測量值之平均數值，n 為總量測數，至於因這標準誤差產生之不準確度，則由

下式表示：

$$U_t = t_v (S / \sqrt{n}) \quad (3-6)$$

其中 U_t 為因量測數據有波動之不準確度， t_v 為 95%信心指數下，統計學上定義之數值， v 為量測自由度= $n-1$ ，表 3-4 為 t_v 在不同量測自由度下之數值。

表 3-4 95%信心指數下，不同量測自由度下 t_v 數值

量測自由度	t_v	量測自由度	t_v
1	12.706	16	2.120
2	4.303	17	2.110
3	3.182	18	2.101
4	2.776	19	2.093
5	2.571	20	2.086
6	2.447	21	2.080
7	2.365	22	2.074
8	2.306	23	2.069
9	2.262	24	2.064
10	2.228	25	2.060
11	2.201	26	2.056
12	2.179	27	2.052
13	2.160	28	2.048
14	2.145	29	2.045
15	2.131	30	2.0

至於計算機組熱耗率時，用到的參數，僅包括燃料流量、燃料高熱值、及機組輸出功率，因這些參數之量測不準確度，造成熱耗率之誤差，則列如表 3-5 所示，為量測結果對熱耗率計算結果之影響，因機組熱耗率之計算，係以輸入機組之燃料流率乘以燃料高熱值再除以機組之發電量，因此這些個別被用到之參數的不準確度，與熱耗率之影響，成正比例關係，若以總和平方根法，且每個參數之不準確度如表所示，則所有參數對熱耗率之影響為 2.29%，相當於 229.2 Btu/kwhr。

表 3-5 量測不準確度對熱耗率計算結果之影響

量測參數	數值	不準確度	熱耗率不準確度
燃料流量	100000 (#/hr)	±1 % (1000 #/hr)	±1 % (100Btu/kwhr)
燃料高熱值	10000 (Btu/#)	±2 % (200 Btu/#)	±2 % (200Btu/kwhr)
機組輸出功率	100000 (kw)	±0.5 % (500 kw)	±0.5 % (200Btu/kwhr)
熱耗率	10000 (Btu/kwhr)	Root sum square Uncertainty	±2.29 % (229.2Btu/kwhr)

圖 3-3 及圖 3-4 為一個監視系統之量測結果，可以看出溫度及壓力之量測數據，有些微之波動幅度，取樣點共有 721 個，這些量測結果之不準確度，由表 3-6 顯示，可見不同的取樣數目，會有不同的影響程度，

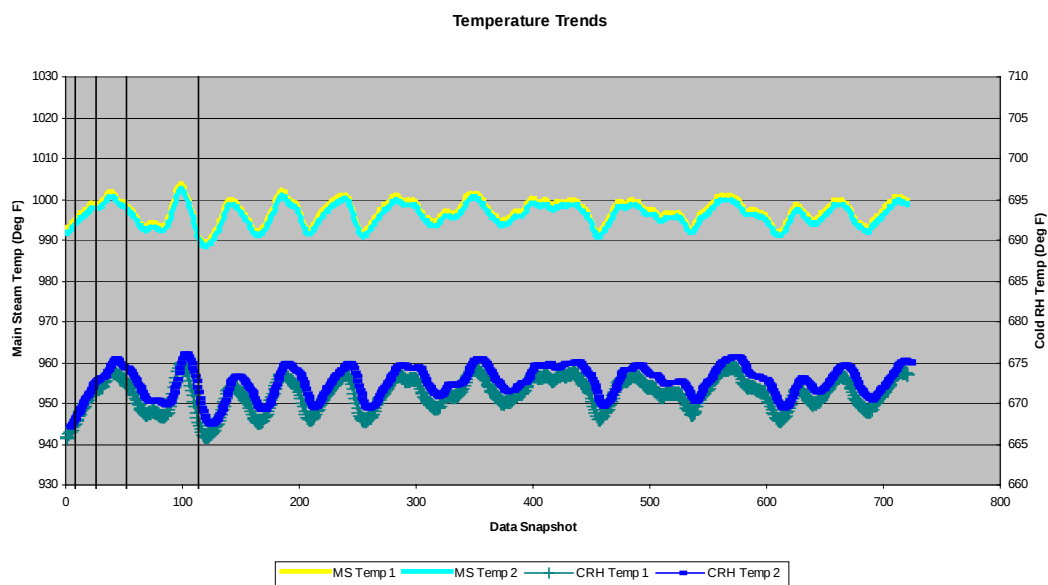


圖 3-3 溫度量測之趨勢分析

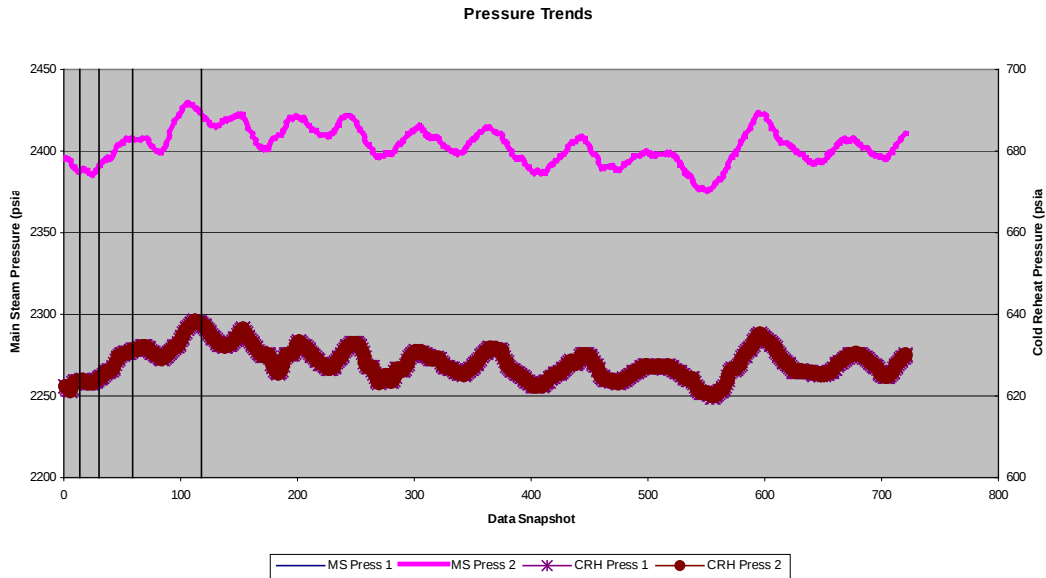


圖 3-4 壓力量測之趨勢分析

若以全部 721 個數據分析，其量測不準確度最小，但若以取 30、60、90 及 120 個數據做分析比較，主蒸汽壓力及冷端再熱蒸汽壓力，以 30 個量測數據，不準確度較小，有一些差異對熱耗率計算結果之影響，主蒸汽溫度，以 60 個量測數據，不準確度較小；至於冷端再熱蒸汽溫度，則以 120 個量測數據，不準確度較小，可見並沒有明顯規律可循，由這個測試結果發現，壓力量測產生之不準確度較大，可高達 2.38%，溫度量測產生之不準確度則較小，小於 1%，而溫度對計算熱功性能影響程度較大，稍可彌補這個缺失。

3-7 機組汽機及鍋爐測試

機組汽機及鍋爐之測試，主要目的為對機組整體狀態，有一個最新之了解與評估，所有的測試方法，都在 ASME PTC 46 測試法規內有所說明規定，圖 3-5 虛線所示，為測試之邊界區域的一個圖例，其它不同的設計排列，都可用類似方法進行分析。

表 3-6 不同的取樣數目對不準確度之影響

	主蒸汽壓力 PSIA	主蒸汽溫度	冷端再熱蒸汽壓力 PSIA	冷端再熱蒸汽溫度
15 個量測數據				
平均值	2392.05	995.05	622.78	667.71
標準誤差值	3.18	1.46	0.91	1.30
不準確度	1.76	0.81	0.51	0.72
30 個量測數據				
平均值	2390.33	996.71	623.11	669.34
標準誤差值	3.09	2.12	0.79	2.05
不準確度	1.15	0.79	0.29	0.77
60 個量測數據				
平均值	2396.12	998.08	625.67	671.05
標準誤差值	7.43	2.38	3.13	2.35
不準確度	1.92	0.61	0.81	0.61
120 個量測數據				
平均值	2405.49	996.86	629.35	670.55
標準誤差值	13.05	3.51	4.81	2.45
不準確度	2.38	0.64	0.8	0.45
721 個量測數據				
平均值	2404.29	997.08	628.09	671.18
標準誤差值	11.14.2003	2.80	3.73	1.96
不準確度	0.83	0.21	0.28	0.15

$$\text{熱耗率之計算} = \frac{Q_{\text{test}}}{P_{\text{test}}} = \frac{\text{HeatInput}}{\text{NetPowerOutput}} \quad (3-7)$$

若僅對鍋爐進行測試，則其測試之邊界區域為圖 3-6 所示，可由圖看出進出鍋爐系統之流程，鍋爐效率及熱輸入之計算則由下式：

$$\text{鍋爐效率之計算} = \frac{Q_{\text{Output}}}{Q_{\text{input}}} = \frac{\text{鍋爐熱輸出}}{\text{鍋爐熱輸入}} \quad (3-8)$$

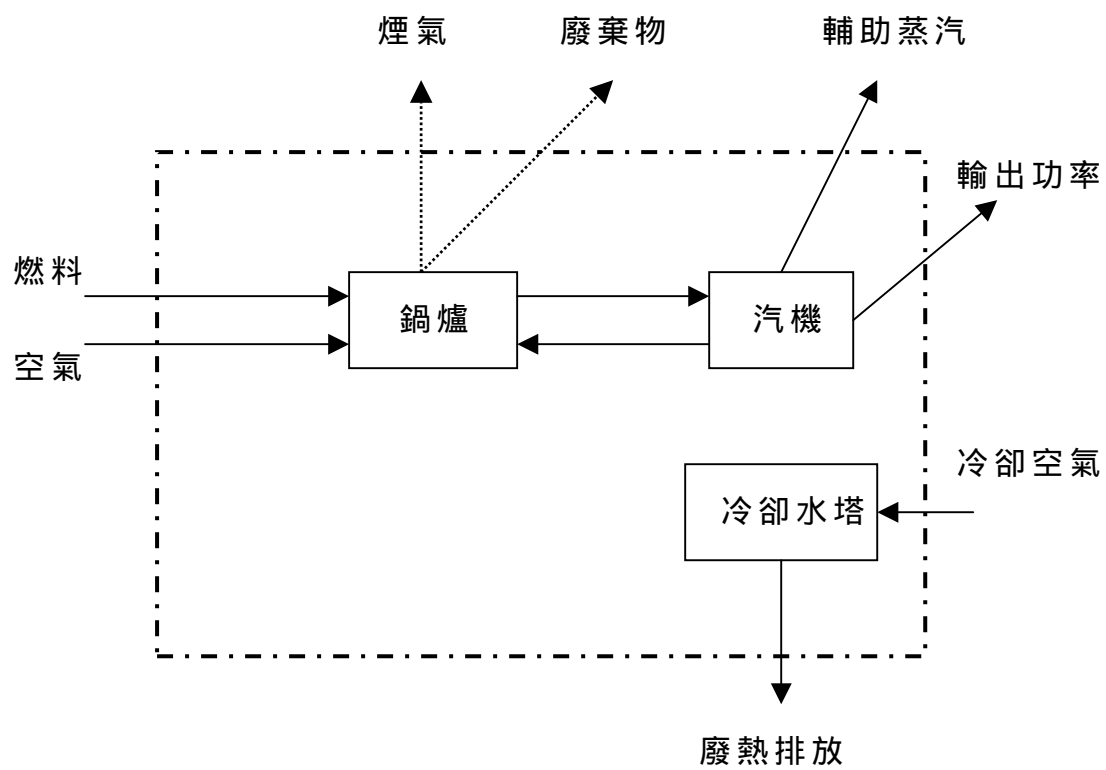


圖 3-5 機組測試之邊界區域由虛線規範

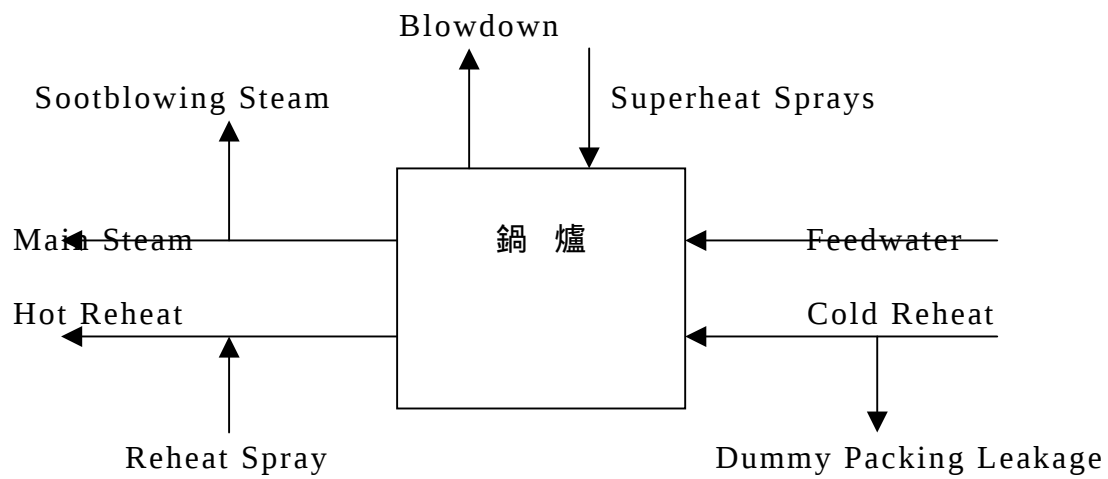


圖 3-6 鍋爐測試之邊界區域進出流程

因此

$$\text{鍋爐熱輸入} = \frac{\text{鍋爐熱輸出}}{\text{鍋爐效率}} \quad (3-9)$$

及

$$\text{廠淨熱耗率} = \frac{\text{鍋爐熱輸出}}{\text{廠淨輸出} * \text{鍋爐效率}} \quad (3-10)$$

至於鍋爐之熱輸出，可以由進出圖 3-6 之蒸汽、飼水流量及熱焓獲得：

$$\begin{aligned} \text{鍋爐熱輸出} = & W_{MS} * h_{MS} + W_{HRH} * h_{HRH} + W_{BD} * h_{BD} + W_{SB} * h_{SB} - \\ & W_{FW} * h_{FW} - W_{CRH} * h_{CRH} - W_{SHS} * h_{SHS} \end{aligned} \quad (3-11)$$

所以機組熱耗率，可經整理，而由下式表示：

$$\begin{aligned} & (W_{MS} * h_{MS} + W_{HRH} * h_{HRH} + W_{BD} * h_{BD} + W_{SB} * h_{SB} \\ & \quad - W_{FW} * h_{FW} - W_{CRH} * h_{CRH} - W_{SHS} * h_{SHS}) \\ \text{廠淨熱耗率} = & \frac{\quad}{\text{廠淨輸出} * \text{鍋爐效率}} \end{aligned} \quad (3-12)$$

其中

W_{MS} , h_{MS} 為主蒸汽流量及熱焓

W_{HRH} , h_{HRH} 為再熱蒸汽熱端流量及熱焓

W_{BD} , h_{BD} 為鍋爐排放流量及熱焓

W_{SB} , h_{SB} 為吹灰器流量及熱焓

W_{FW} , h_{FW} 為進省煤器飼水之流量及熱焓

W_{CRH} , h_{CRH} 為再熱蒸汽冷端流量及熱焓

W_{SHS} , h_{SHS} 為過熱器噴水流量及熱焓

至於進行汽機測試時，汽機效率之計算，所引用之方法為熱焓降差法，公式如下：

$$\text{汽機效率} = \frac{\text{蒸汽入口熱焓} - \text{作完功後熱焓}}{\text{蒸汽入口熱焓} - \text{等熵狀況下蒸汽出口熱焓}} \quad (3-13)$$

其中，蒸汽之熱焓由蒸汽之溫度及壓力，查蒸汽表獲得，等熵狀況下蒸汽出口之熱焓，則亦由蒸汽表獲得，但必須知道蒸汽作完功之後的壓力蒸汽。

汽機效率計算結果，僅作為汽機本身性能是否劣化參考，但因而影響到整部機組之熱耗率有多少程度？則必須求取汽機熱耗率，如此才能將整個汽機熱平衡，用到之設備及流程，如汽機、冷凝器、飼水加熱器、飼水泵浦、、、等等，會影響整個系統熱耗率之因素考慮在內，汽機熱耗率之計算可由下式求取：

$$\text{汽機熱耗率} = \frac{(W_{MS} \cdot h_{MS} + W_{HRH} \cdot h_{HRH} + W_{BD} \cdot h_{BD} + W_{SB} \cdot h_{SB} - W_{FW} \cdot h_{FW} - W_{CRH} \cdot h_{CRH} - W_{SHS} \cdot h_{SHS})}{\text{機組輸出}} \quad (3-14)$$

如果式(3-14)中之機組輸出為淨輸出功率，則計算結果為汽機淨熱耗率，如果機組輸出為毛輸出功率，則計算結果為汽機毛熱耗率，這些公式，即用以機組鍋爐及汽機測試結果性能之計算評估，一旦有了初步結果，再與廠商提供之設計值或標準數據比較，同時進行性能劣化評估工作。

四、 感想與建議

加強火力機組熱耗率之計算分析能力及運轉性能劣化之評估研究實力，建立自主研發及服務能力，一直是個人從事此領域研究開發工作以來，努力之目標，美國在火力機組熱耗率計算分析及性能劣化評估研究方面，值得學習之地方頗多，因此利用本次前往美國實習機會，一方面接受美國 SCIENTECH 公司，在機組性能計算與監視系統建立方面的指導，另一方面吸取美國 PCI 公司，提供之機組熱耗率方面課程之訓練內容，獲取甚多美國在此課題上之寶貴經驗，對於個人未來進行研發工作，有很大的助益。

提昇機組運轉性能，可降低燃料成本，增強企業競爭力，電廠上下雖時時刻刻，朝此目標奮進，但總讓人覺得仍有改善餘地，對於一個在此領域上努力的專業人士而言，的確很有發揮的空間，火力機組性能評估及提升方面之技術，包括：監視系統之建立、性能最佳化之分析及機組運轉之模擬，本所不但正持續進行，同時應增加研究個案，如此可累積工作經驗，強化專業技術，加強臺電綜合研究所，在此領域方面之研究發展及技術服務能力，一旦公司民營化，具備足夠之競爭能力，以迎接更嚴苛之挑戰。

五、 參考文獻

- 1) “Introduction to PMAX Modeling”, Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 2) “Getting Started with PEPSE and PEPSE-GT”, Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 3) “PMAX OPC Server Program”, Internal report from Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 4) “PMAX OPC Client Program”, Internal report from Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 5) “Boiler Tuning Algorithm”, Internal report from Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 6) “Intermediate HP/IP Efficiencies”, Manuscript from Sciencetech Inc., 440West Broadway, Idaho Falls, Idaho 83402, U.S.A.
- 7) “Heat Rate Awareness Level II”, Note from Performance Consulting Services, Inc., 2400 E. Main Street - Suite J, Montrose, Colorado 81401.
- 8) “Heat Rate Awareness Level III”, Note from Performance Consulting Services, Inc., 2400 E. Main Street - Suite J, Montrose, Colorado 81401.
- 9) ASME PTC 4.1, “Steam Generating Units”, ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1964.
- 10) ASME PTC 6, “Steam Turbines”, ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1976.
- 11) ASME PTC 6.1, “Interim Test Code for an Alternative Procedure for Testing Steam Turbines”, ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1984.
- 12) ASME PTC 6 Report, “Guidance for Evaluation of Measurement Uncertainty in Performance tests of Steam Turbines”, ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1985.
- 13) ASME PTC 19.1, “Instrument and Apparatus, Measurement Uncertainty”, ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1985.

- 14) ASME PTC 19.2, "Instrument and Apparatus, Pressure Measurement", ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1964.
- 15) ASME PTC 19.3, "Instrument and Apparatus, Temperature Measurement", ASME, United Engineering Center, 345 East 47th Street, NY, 1985.
- 16) "Heat Rate Improvement Guidelines for Existing Fossil Plants", EPRI CS-4554, Electric Power Research Institute, 3412 Hillview Avenue, Palo Alto, CA, 1986.
- 17) "Steam: Its Generation and Use", Stultz, S.C., Kitto, J.B., The Babcock and Wilcox Company, Barberton, OH, 1992.
- 18) "Combustion: Fossil Power", Singer, J. G., Combustion Engineering, Inc., Windsor, CT., 1991.