

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

核電廠系統安全分析應用程式龍門核電廠 TRACE 之模式建立與驗證
Modeling and Verification of Lungmen NPP TRACE Safety Analysis Model

計畫編號：1002001INER002

受委託機關(構)：國立清華大學核子工程與系統科學系

計畫主持人：施純寬教授

聯絡電話：03-5727991

E-mail address：ckshih@ess.nthu.edu.tw

核研所連絡人員：王仲容博士、林浩慈博士

報告日期：2011年11月30日

目 錄

目 錄	i
中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	5
一、TRACE/PARCS 結合流程	6
二、TRACE/PARCS 實際操作步驟	7
參、主要發現與結論	8
一、龍門電廠之 TRACE 模式建立與驗證	9
(一)龍門電廠簡介	9
(二)龍門電廠之 TRACE 模式建立	10
(三)龍門電廠之 PARCS 模式建立	18
(四)AptPlot 簡介	21
二、龍門電廠 FSAR 與起動測試(startup tests)案例驗證分析	23
(一)FSAR-汽機跳脫有旁通(Turbine Trip with Bypass).....	23
(二)FSAR-汽機跳脫無旁通(Turbine Trip with Failure of All Bypass Valves).....	24
(三)FSAR-飼水流喪失(Loss of Feedwater flow).....	25
(四)FSAR-三個爐內泵跳脫暫態(3RIPs Trip).....	26
(五)起動測試-飼水泵跳脫暫態(Feedwater Pump Trip).....	27
三、結論與建議	30
肆、參考文獻	81
伍、附錄	82

一、重大事項.....	82
二、SCI 期刊	82
三、NRC NUREG 報告.....	83
四、國際會議論文.....	83

中文摘要

本文敘述如何建立使用進步型沸水式反應器的台電龍門核電廠 TRACE/PARCS 熱水流分析模式，以及使用此模式所完成的穩態分析與數個暫態分析研究。模式建立採用電廠設計資料為本，所模擬的電廠熱水流系統部分包括反應器壓力槽、槽內組件、蒸汽管路、汽機控制閥、汽機旁通閥、安全釋壓閥、飼水等皆加以模擬。模式中亦包括三個控制系統，分別是飼水三元控制系統、蒸汽旁通與壓力控制系統以及再循環流量控制系統。同時藉由 TRACE 配合使用的 PARCS 程式進行建立龍門核電廠中子動力模式之研究。TRACE/PARCS 模式建立後進行穩態分析，使模式穩態計算的熱水流參數結果與電廠設定值接近，接著進行龍門核電廠 FSAR 與起動測試案例之分析。TRACE/PARCS 之 FSAR 案例分析結果與 FSAR 的資料進行比較與驗證，驗證結果證明 TRACE/PARCS 模式是有能力進行龍門核電廠暫態分析。

關鍵字：龍門，TRACE，PARCS。

Abstract

This paper describes how the TRACE/PARCS thermal hydraulic model for the Lungmen ABWR was built and applied for both steady state and transient analyses. The development of this model is mainly based on the plant design data. Various components of the plant, including reactor pressure vessel and parts inside the vessel, steam lines, turbine control valves, turbine bypass valves, safety relief valves, and feedwater etc. are simulated in this model. Three important plant control systems, namely feedwater control system, steam bypass and pressure control system and recirculation flow control system, are also included in the model. Furthermore, a study on building up Lungmen neutron kinetics model with PARCS which is specially developed to couple with TRACE has been proceeding. Subsequently/Next, steady state analysis is performed after the TRACE/PARCS model was built up to adjust input parameters of the model so as to make sure that the thermal hydraulic parameters calculated by TRACE/PARCS are close to the nominal values of the plant. This model is then applied for the parallel verifications analysis of FSAR transient cases for Lungmen. The results from the TRACE/PARCS model are compared with FSAR data. According to the comparison result, it could be concluded that the Lungmen TRACE/PARCS model is capable of reasonably predicting the plant's transients.

Keywords: Lungmen, TRACE, PARCS.

壹、計畫緣起與目的

美國核管會正在開發新一代核電廠熱水流安全分析程式 TRACE (TRAC/RELAP Advanced Computational Engine)，美方經由 CAMP 合約使世界各主要擁有核能電廠國家共同參與 TRACE 程式之研究與應用，台灣亦列其中。TRACE 為先進之核電廠熱水流安全分析程式，可以使用三維熱水流模式模擬電廠反應器內部，同時結合先進之圖形介面化程式 SNAP (Symbolic Nuclear Analysis Package) 使程式應用不再侷限於純文字輸入。在美國核管會規劃中，未來將以 TRACE 作為主要的電廠安全分析程式，整合並取代舊有的其它程式如 TRAC、RELAP 等。國內藉由與美方的合作，可以學習使用此程式並應用於本國核能電廠之安全分析，對於國內發展核能電廠安全分析技術有重要意義。由於 TRACE 的發展是以適用於壓水式電廠之 TRAC-P 為基礎，所以壓水式電廠的範例與支援資源較多，但國內核能電廠以沸水式為主，正在興建中的龍門核電廠採用的是進步型沸水式反應器，台灣是繼日本之後，世界上第二個建造這種反應器核電廠的國家。在 TRACE 這個新程式目前的應用研究領域內，國際上甚少有關於進步型沸水式反應器電廠的研究，國內之前已完成對壓水式核電廠（核三廠）有關 TRACE 之研究，累積了相當的經驗，亦已完成針對龍門核電廠 TRACE 安全分析模式之建立與驗證之研究，而龍門核電廠目前正在趕工興建中，不久的將來就會進行起動測試，因此本計畫選定龍門電廠為目標，應用 TRACE 在這一範疇內進行研究，希望能運用過去的經驗為基礎，建立一個龍門核電廠 TRACE 分析模式，並能使用此模式對部分暫態進行模擬分析。

本研究目的是運用 TRACE 發展模擬龍門核電廠暫態分析之能力，主要需進行的工作有二，一是運用 PARCS 建立中子動力模式，PARCS 可結合 TRACE，進行中子動力計算；一是建立符合龍門核電廠實際功能的控制系統模式，包括三個子系統，分別是飼水控制系統、蒸汽旁通與壓力控制系統與再循環流量控制系統，經由計畫執行可以獲得 TRACE/PARCS 建立之分析模式以及相關的模式建立經驗與能力。

貳、研究方法與過程

在研究方法與步驟上，由於 TRACE 是新引進的程式，研究中藉由有限的範例與使用者手冊指引逐步瞭解建立電廠各個零組件的方法，從細部的零組件再整合成完整的系統模式，參考圖 1。由於過去清華大學與核研所合作之研究計畫已針對 TRACE 與 SNAP 之使用進行實際操作，同時也完成了對台電核三壓水式核電廠分析模式，累積經驗對於組件與系統之建立有很大的助益，對於控制系統部分，主要參考台電的控制系統設計文件，將控制系統由細部建立組合而成。

TRACE 系統模式建立後(參考圖 2)，先進行穩態分析之研究，穩態分析一般是驗證模式建立者所提供參數是否能使整個系統達到熱平衡，經由穩態計算後所得之參數與電廠運轉或設計參數比較可以得知模式建立與輸入參數之正確性。但 TRACE 的輸入方式有其特殊之處，使用者必須提供模式中所有節點的熱水流參數的大約值，而穩態的計算如同進行暫態計算，程式會對所有節點進行計算調整，最後得到每一節點之收斂值。穩態分析是所有模式的基礎，得到一可靠的穩態分析結果，才能進行其他如安全分析等工作，否則可能產生兩個問題，第一是模式系統不是穩態，則以此模式進行任何分析，其本身就隱含了未知的暫態計算條件。第二是模式的初始參數與電廠的運轉值或設計值不吻合，則無法確定分析結果之準確性。

經過穩態分析得到可信之初始條件後，即可以此為基礎，進行暫態分析，本研究是先確認暫態分析中關於事故之假設條件與分析結果之事故時序，確認暫態過程中需模擬的系統功能，然後將假設條件放入 TRACE 模式中進行模擬。

本研究亦包括之前未涉及之 PARCS 的研究，PARCS 是三維多群節點程式爐心模擬器，可解決穩態、暫態、多群中子擴散以及 SP3 輸送方程等。由 PARCS 程式計算的中子通率可提供一維或三維熱水流程式，例如 RELAP5(一維)以及 TRACE(三維)程式，進行熱水流計算。PARCS 程式亦可執行以下計算：1. 特徵值(eigenvalue)計算；2. 暫態(動力學)計算；3. 氙(Xenon)暫態計算；4. 衰變熱計算；5. Pin 功率計算；6. Adjoint 計算；7. 爐心耗乏(core depletion)分析。PARCS 主要功能在三維計算，一維計算模式也可計算。PARCS 內建參數很多，使用者僅需輸入少數資料就可以執行程式。另 PARCS 具有重新啟動(Restart)功能，利用重新啟動資料跑暫態計算。

圖 3 為 PARCS 程式計算流程圖。首先須由 Lattice Code，例如 CASMO、HELIOS、TRITON 等程式計算得出燃料的中子截面數據輸出檔後，經由 GenPMAXS 程式進程格式轉換，轉檔成 PARCS 程式可以讀取的中子截面數據檔案：PMAX 檔，再由 PARCS 程式開始進程式內部的中子運算。

一、TRACE/PARCS 結合流程：(如圖 4 示)

- (一)單獨 TRACE 穩態。
- (二)結合 TRACE/PARCS 穩態。
- (三)結合 TRACE/PARCS 暫態。

首先，分別建立所需之 TRACE 及 PARCS 模式。TRACE 模式中除了 Base model 外，須建立兩個案例，分別為結合穩態與結合暫態。在兩個案例中，在 Namelist 都須設定 Coupled Neutronics 為 PARCS，意即計算功率的來源設定為 PARCS。

PARCS 模式的部分，須分別建立穩態及暫態兩個模式，完成 TRACE 和 PARCS 輸入檔後，即可開始執行模擬程序。

二、TRACE/PARCS 實際操作步驟：

(一)在 SNAP 介面下開啟 TRACE (包括結合穩態、結合暫態之案例)、穩態 PARCS 和暫態 PARCS 模式輸入檔。

(二)在 TRACE 模式中新增 PARCS mapping。

1..Mapping 類型選擇「Import Mapping」。

2.PARCS Model 選擇欲結合之 PARCS 模式。

3.Maptab File 依檔案存放路徑選擇 Maptab 檔案。

(三)在 TRACE 模式之結合穩態及結合暫態的案例於 Model Options 下的 Namelist 設定 Coupled Neutronics 為「[1]PARCS」。

(四)新增一個 Engineering Template 模式。

1.新增三個 Reference Models：TRACE、穩態 PARCS、暫態 PARCS，並分別設定其名稱及檔案路徑。

2.新增 Job Stream。

(1)新增三個 Stream Steps。

(2)Model Nodes 在新增 Job Stream 時預設會將所有 Reference Models 加入，故已有三個 Model Nodes 存在。除此之外，需另新增兩個 Model Nodes，皆選擇 TRACE 模式，並勾選 Restart Case，分別選擇結合穩態、結合暫態。如圖 5。

(3)點選所有 Model Nodes 及 Stream Steps，拖曳至 View 畫面上，並將 Model Nodes 及 Stream Steps 依流程做連結，如圖 6。

參、主要發現與結論

進步神速的電腦計算能力在核能電廠的設計、申照、運轉各方面都扮演著重要的角色，現代核能電廠之複雜性使得非正常運轉狀況時的系統反應已非單憑人腦或簡單的理論模式加以推論來應付。過去 30 餘年間，許多國家致力於發展適合的電腦程式模擬核能電廠系統在假想的或真實的事故時的反應。TRACE 是美國核管會近期所推動發展的最先進的熱水流安全分析程式，目的在統合並取代舊有的多個程式，主要是 TRAC-P, TRAC-B, RELAP5 以及 RAMONA 這四個程式，使人力與經費能集中在發展並維護這個最先進的程式。舊有的程式發展有其侷限性，有的是電廠形式適用性受限，只能分析壓水式或沸水式核能電廠，有的是分析事故類別適用性受限，如一般暫態分析或大、小破管冷卻水流喪失事故分析之分別，而 TRACE 的設計目標就是打破這些籬籬，使其有能力對所有輕水式核能電廠的各種暫態進行最佳估算。

配合 TRACE 之發展，另一個為使用者著想的圖形介面程式 SNAP (Symbolic Nuclear Analysis Package) 也同時進行，SNAP 是配合 TRACE 發展的圖形化界面程式，以 CAFEAN (Common Application Framework for Engineering Analysis) 為基礎所建立，CAFEAN 提供工程分析程式一個方便編輯及創造的架構並且在程式交付任務、監控以及互動有著廣泛的功能。SNAP 將以往文字編輯程式輸入檔改變為圖形化處理，使用者可以直接在 SNAP 視窗下建立欲模擬的組件，並將其連結端點擊連結，使其成為完整的系統。圖 7 為 2.0.6 版的 SNAP 介面，左側導航欄位中將模擬的組件分類列出，右方為主視窗，可在此建立模式並連續點擊欲編輯之組件便可改變組件的幾何及參數，另外也可在此介面下執行工作，並

SNAP 下的 Job Status 監控 TRACE 計算情形。藉由 TRACE 以及圖形介面畫程式 SNAP 的結合可以使程式簡單化、模式更具體化不再限制於純文字輸入，使用者也更容易學習。另一個配合 TRACE 發展的重要程式是 PARCS (Purdue Advanced Reactor Core Simulator)，此程式具有三維或一維模擬反應爐爐心中子動力之能力，熱水流程式 TRACE 計算出爐心各節點的水流性質後，即可由 PARCS 即時計算出中子截面等資料而得出中子通率回饋給 TRACE，作為功率計算之依據，參考圖 8 與圖 11。

另外針對計算完成後的資料處理，發展了一個新的程式 APTPLOT，讓使用者可以輕鬆的檢查計算結果與繪製暫態變化圖，其操作流程將在本章節第三段予以說明。

一、龍門電廠之 TRACE 模式建立與驗證

本章節將介紹龍門電廠，並描述如何建立龍門電廠 TRACE 模式與 PARCS 模式，並進行電廠案例分析來驗證龍門電廠 TRACE/PARCS 模式的準確性。

(一)龍門電廠簡介

龍門核能發電廠是位於臺灣北部新北市貢寮區的核能發電廠，因所在地名「龍門」而得名，由台灣電力公司所興建、經營。反應器型式為奇異公司(GE)與日立合作設計、推廣的進步型沸水式 (Advanced Boiling Water Reactor, ABWR) 第 3 代核反應器，是除了日本外第一座使用該核能反應爐設計的發電廠。龍門電廠的反應器額定熱功率為 3926MWt，其爐心由 872 根 GE14 料束組成，額定爐心流量 $52.2 \times 10^6 \text{kg/hr}$ ($115.01 \times 10^6 \text{lbm/hr}$)；當運轉狀態達額定功率時，額定飼水與蒸汽流量

$7.637 \times 10^6 \text{ kg/hr}$ ($16.84 \times 10^6 \text{ lbm/hr}$)，反應爐壓力槽頂部壓力為 7.17 MPa (1040 psia)。在飼水與飼水控制系統，蒸汽系統及反應器保護系統大致上傳統沸水式反應器設計相同。進步型沸水式反應器電廠與傳統沸水式反應器電廠主要不同處有三，分別為反應爐內泵、蒸汽旁通系統之 110% 額定蒸汽流量能力設計以及部份長度(Part Length)燃料棒設計。

不同於傳統式 BWR 再循環系統採用外部迴路知兩台再循環泵(參考圖 9)，ABWR 將循環泵設計在壓力槽內作為爐心冷卻水的循環動力，故 ABWR 不會有傳統 BWR 最嚴重的安全弱點之一-再循環路水系統最大管路之冷卻水流失事故。龍門電廠中有 10 台可變速的反應爐內泵(Reactor Internal Pump, RIP)，在 100% 功率、100% 流量運轉時，其額定轉速為 1247 rpm，額定流率為 $6912 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，當全速運轉時，十台泵共可提供 111% 的額定流量。為了提高龍門電廠運轉容量，主汽機旁通容量從傳統 BWR 25%~45% 額定蒸汽流量提高至 110% 額定蒸汽流量，以防當電廠 40%~100% 功率下運轉，發生汽機跳脫或負載棄載時，藉由旁通閥開啟以及電廠系統的反應，使反應器免於急停。在部分長度燃料棒方面，龍門電廠採用 GE14 之燃料，GE14 為 10X10 燃料設計，每一燃料束內可放入 100 根燃料棒，其中八根燃料棒位置內放置水棒，其餘 92 根燃料棒中有 14 根為部分長度燃料棒，78 根正常長度燃料棒。使用部分燃料束的好處為爐心頂部水流體積與面積比底部要大，如此爐心軸向分佈會較平均些，對於燃料使用週期也較有利。

(二)龍門電廠之 TRACE 模式建立

龍門電廠 TRACE 模式的建立是藉由各重要系統的 TRACE 模式並參考龍門電廠 FSAR、計畫設計文件(Project Design Manual, PDM)、初始爐心安全分析運轉參數表(Operating Parameter List, OPL3)、相關設計圖以及 TRACE 使用手冊整合而成。在此龍門 TRACE 模式中主要式模擬電廠蒸汽供應系統部分(Nuclear Steam Supply System, NSSS)，汽機在本模式中被設定為邊界條件，故汽機以後的電廠系統並包含在此模式中。模式中每個閥開啟後流入的抑壓池也以邊界條件來設定。龍門 TRACE 模式中也將 TRACE 最大的特色“三維熱水流模式模擬電廠反應器壓力槽”應用至其中；龍門電廠反應器是由壓力槽組件來模擬，並將其在不同的方向區分為不同的區域：軸向方面分為 11 區，在 r 方向分為 4 區(即環狀部分)，在 θ 方向分為 6 區(即圓截面切成 6 區)，如圖 10 所示。壓力槽組件隔室只具備如管路組件的功能，對於泵、管路等並無選項可以模擬，因此較適當的模擬方法是使用一維的泵與管路組件模擬壓力槽內細部，並將其原本在壓力槽中所佔有的隔室空間設定流體體積為零然後將所需組件連接到該空間進與出的隔室。而汽水分離器乾燥器則是以設定流阻來模擬，意即將欲設定汽水分離器的空間中把向上的液態流阻加大，使其遠大於氣態流阻而得到汽水分離的目的。而爐心則是以壓力槽組件的軸向第三層至第六層最內圈連結 CHANNEL 組件模擬。

龍門電廠反應器頂部側邊連結 4 條主蒸汽管，在 TRACE 中也是依照此模式模擬 4 條主蒸汽管，將 PIPE 組件與反應器頂部側邊連結，並使用閥(VALUE)組件來模擬主蒸汽隔離閥。蒸汽走向由反應器頂部側邊進入主蒸汽管，經由主蒸汽隔離閥

進入下游管路，然後流經汽機控制閥進入汽機(邊界條件)。除此之外，每條主蒸汽管進入汽機之前也建立分流管路再匯入旁通管路組件，後端再接旁通閥，旁通閥後方接一破口組件模擬冷凝池邊界條件。

ABWR 的特色之一-爐內泵，在龍門 TRACE 模式中也將其模擬在內。龍門電廠的 10 台爐內泵是環繞著降流區裙部，所以在模式中以泵組件模擬 10 台爐內泵，因為 TRACE 模式中模擬壓力槽組件的空間中無法有泵的模擬能力，所以模擬方式為將所需空間的體積設為零，並將泵的進出口作為環路連接之出入口，雖然表面上看似將泵與壓力槽連結，但其實是槽的內部連結。爐內泵的額定輸入數據根據廠家設定值，再依照 TRACE 使用者手冊以及廠家提供之泵曲線資料進行參數輸入。

接下來將對龍門 TRACE 分析模式所涉及的反應爐壓力槽、爐內泵、汽水分離器與乾燥器、主蒸汽管路、閥、控制系統、安全保護系統、控制系統、系統功率與熱傳等作一大要說明。

1.反應爐壓力槽

反應爐壓力槽的幾何尺寸主要參考龍門核電廠的反應爐設計圖。模式模擬反應爐壓力槽主要是使用 TRACE 的壓力槽組件模擬，圖 10 為運用此組件的反應爐壓力槽尺寸之示意圖，圖中在軸向部分區分為十一個區域，徑向區分為四區，而方位角 (Azimuthal) 只有六區。

壓力槽組件所模擬的是反應爐的實際幾何尺寸，在每一個隔室中，再輸入水流與蒸汽所佔的體積與面積分率 (

Fraction) 等而定義出水流的性質，每一隔室是一個六面體，理論上有六個方向進出，對於實際被爐心側板等隔開而不會有流體進出的面，可以將流體面積分率設為零來加以定義。壓力槽組件的隔室基本上只具備如管路組件的功能，對於泵、汽水分離器等並無選項可以模擬，適當的模擬方法是使用一維的泵與汽水分離器組件模擬這些細部組件，將其原本在壓力槽中所佔有的隔室空間設定流體體積為零，然後將一維組件連接到該空間進與出的隔室。模式中的十台爐內泵即是使用這個方法模擬，十個泵連結到同一個泵入口與泵出口的隔室，TRACE 允許一維組件與壓力槽組件隔室間存在多個連結。爐心燃料束區域使用三個通道組件模擬，也是如同泵的作法。唯有汽水分離器與乾燥器由於在使用汽水分離器組件時，遭遇一些無法解決的問題，不能得到很好的模擬結果，改採另一方案，將對應於汽水分離器隔室往上方向的液態流阻加大，使遠大於氣態流阻而得到汽水分

離之目的。模式中的徑向區分為四，最外圈是以爐心隔板為界，以反應爐中心線為準，四圈的半徑分別約為 1.716、2.101、2.373 與 3.764 公尺。內三圈的區隔主要是為模擬爐心燃料束擺放而為，區分成爐心的內、中、外三區，方便定義出爐心中不同的燃料束群。

2. 爐內泵

如前所述，龍門電廠反應爐內有 10 台爐內泵環繞著下降流區環帶。在模式中，以完整的十個泵組件模擬十台爐內泵，由於 TRACE 模式中模擬反應爐的槽組件不可能將爐內

泵所佔隔室空間模擬成泵的功能，所以模擬的方法是將該空間的隔室體積設為零，而將泵吸水區與出口區隔室作為三個泵環路連接之出入口，雖然看似將泵與反應爐槽連結，但其實是槽的內部連結，如圖 12 與 13 所示。

爐內泵之額定輸入數據根據前述廠家設定值，比較繁雜的設定是有關泵曲線（Homologous Pump Curve）之輸入，需按照 TRACE 使用者手冊，參照廠家提供之泵曲線資料進行。

3. 汽水分離器與乾燥器

汽水分離器與乾燥器可同時模擬在一個汽水分離器組件中，模擬時除了給予正確之幾何數據外，需設定 Carry-Over 與 Carry-Under 比率等參數，管路連結是由下方的直立管進入，大部分蒸汽由上方離開進入反應爐頂氣室，大部分分離的液體水則由側管流入降流區上方。在模式中，採用一個特殊的方法來模擬汽水分離，利用差異甚大的蒸汽與液體流阻值使蒸汽易於通過此區塊到達反應爐頂氣室而液體則否，目前利用這個方法所得到的系統穩態與暫態結果甚佳，但有關使用汽水分離器組件模擬沸水式電廠汽水分離器與乾燥器之研究將繼續進行。

4. 爐心燃料熱通道

在龍門電廠 TRACE 模式中，使用通道組件模擬 872 個燃料匣。TRACE 的通道是先輸入單一燃料匣的幾何與熱流特性，再定義所包含的燃料匣數目。單一燃料匣需輸入之參數是參考龍門核電廠初始燃料週期所使用的 GE14 燃料設計

與 TRACE 程式所提供 GE14 燃料的通道輸入範例而給定，TRACE 的通道組件可以模擬最新燃料設計的水棒，部分長度燃料棒等特性。

5. 蒸汽管路

龍門電廠設計有 4 條主蒸汽管路，在 TRACE 模式中也是以四條管路模擬，同時為了能有效模擬蒸汽管路壓力波的傳遞效應，將蒸汽管路細分為兩個管路 (Pipe) 組件，分別位於主蒸汽隔離閥前後，前方的管路組件區分為兩個隔室，後方區分為四個隔室總共六個隔室。至於汽機旁通管路則以一個區分兩個隔室的管路組件模擬。蒸汽由反應器爐頂氣室側邊進入主蒸汽管路，經過主蒸汽隔離閥再進入下游管路，然後經汽機控制閥進入汽機(邊界條件)。每條蒸汽管路在進入汽機之前建立一分流管路再匯合進入一條旁通管路組件，後端再接旁通閥，閥後方接一破口組件模擬冷凝池邊界條件。

6. 閥

在龍門 TRACE 模式中所模擬的閥包括連結在主蒸汽管路上的安全釋壓閥以及汽機前端的汽機控制閥與汽機斷止閥。龍門電廠設計上有 18 只安全釋壓閥，其釋放功能設定點組合型態為 1,1,4,4,4,4(即依設定點由低至高分別有 1,1,4,4,4,4,共十八個閥)，而安全功能設定點組合型態為 2,4,4,4,4，因此在 TRACE 模式中是以 6 組閥設定點模擬釋放功能，而以 5 組閥設定點模擬安全功能，表 1 為這些閥的開啟與關閉設定壓力點。

汽機控制閥與斷止閥位置接近，只是功能使用不同，所以在龍門 TRACE 模式中以一個閥組件來模擬，加入兩種控制功能來模擬，正常模擬為汽機控制閥，在汽機跳脫等事故中需模擬汽機斷止閥的關閥功能時則以控制系統來配合模擬。

7.控制系統

龍門 TRACE 分析模式中所模擬之控制系統主要有(1)飼水控制系統(2)蒸汽旁通與壓力控制系統及(3)再循環流量控制系統。目前三個相關的控制系統都已經使用 TRACE 特有的圖形化介面程式 SNAP，按照 TRACE 建立控制系統的方法，使用訊號變數、控制方塊、跳脫器與組件動作表相結合而建立完成。但是在結合控制系統後，模式在初始化時發生許多問題，雖然已經一步步解決許多錯誤訊息，模式仍然無法順利執行計算，由於 TRACE 與 SNAP 是仍在發展中的程式，對於錯誤訊息以及手冊說明部分並非很成熟，使用者遇到問題，往往需費時解決，到頭來有時會發現是程式本身有待改進的缺陷(Bugs)，由於本計畫規劃對於啟動測試進行暫態模擬分析，所以在分析時，不得以採取簡化控制系統的方式進行之，並盡量選取無須控制系統介入之暫態進行分析。結合完整控制系統的模式仍在研究改進中，將來若能將初始化計算問題解決，自然可以進一步運用並檢驗控制系統模擬之功能。各控制系統既然已經建立，下面就根據三個控制系統的功能與邏輯分別說明：

(1).飼水控制系統

正常運轉時，水位/飼水控制系統的目的在於控制進入反應器的飼水流量，維持反應器降水區水位於設定值內，確保爐心側板內水位能有效淹覆爐心。龍門 TRACE 模式中的飼水控制系統是透過三元（飼水流量、蒸汽流量和反應爐窄幅水位）自動控制模式來調節飼水流量，使得反應爐水位與設定水位一致。當量測水位偏離設定水位或/及蒸汽流量與飼水流量有偏差時，飼水控制系統即根據三元量測值計算所需要的飼水流量需求，調整飼水泵汽機控制閥開度，進而調整飼水泵轉速及飼水流量。飼水控制系統中有兩個重要的子系統，一個是模擬量測之窄幅水位（Narrow Range Water Level），另一個是模擬量測之寬幅水位（Wide Range Water Level），兩者在電廠中都是用壓力管量壓差再轉換成水位，雖然在模擬模式中可以直接抓取水位訊號，但是為了真實模擬電廠實際狀況，必須建立這兩個模擬水位，建立方法與建立控制系統類似，運用輸入項經過控制方塊運算後得到想模擬的水位輸出。

(2). 蒸汽旁通與壓力控制系統

此系統首先將量測所得之反應爐頂部壓力(回饋信號)減去預設之壓力設定點，經由壓力調節器匹配差異增益及蒸汽管路補償器後，再經由最大總合流量限制器限流後，得到所謂之壓力調節器輸出信號，此信號減去負載需求，多出之信號輸出則用以循序開啟 10 只汽機旁通閥，以控制反應爐壓力。若壓力調整器輸出小於負載需求，則該信號全部用於調節汽機控制閥開度，調節流經各控制閥

之蒸汽流量，進而控制反應爐壓力，於正常運轉時可維持反應爐壓力於定值。TRACE 模式參考電廠設計資料，並考慮模式中必要的模擬內容而建立此蒸汽旁通與壓力控制系統。

(3).再循環流量控制系統

此系統首先將負載需求與實際負載相減而得負載需求誤差，經過主控制器後，得到一爐心流量需求，再與實際爐心流量相減而得爐心流量需求誤差，訊號經處理後而得泵轉速需求，然後經過速度控制器、頻率轉換器等訊號處理再回饋至泵組件中控制泵的轉速。另外考慮跳脫訊號或回退訊號產生時，泵轉速應有之變化，加入控制系統中。整個控制系統是參考電廠設計資料，並考慮模式中必要的模擬內容而建立，龍門核電廠十台爐內泵區分為三群，第一群與第二群各含三台泵，此為含馬達發電機供電的爐內泵，第三群含四台泵，為不含馬達發電機供電的爐內泵，群與群之間的控制系統是相同的，差別在於跳脫訊號的設定點或延遲時間不同，這個差異在整個控制系統中是微小的，設計時，是將進入控制系統的跳脫訊號予以區別即可。

(三)龍門電廠之 PARCS 模式建立

本報告之 PARCS 模式為針對龍門電廠第 01 週期期初 100%額定功率及 100%額定流量之狀態的輸入檔。建立完整的 PARCS 模式需參考許多文件，例如：龍門電廠訓練教材、SIMULATE-3 爐心布局檔案、CASMO-4 燃料及反射體輸出檔

案等等。

建立一個 PARCS 輸入檔，使用者須輸入電廠爐新基本參數及物理性質，例如設定爐新功率、燃料元件尺寸、爐心流量大小、燃料布局、控制棒棒位等等，以及針對欲計算之熱水流性質給定參數。

龍門電廠 PARCS 模式將使用到下列卡號：CNTL(Model Options，模式設定)、GEOM(Core Geometry，爐心幾何)、PARAM(Parameters，參數)、DEPL(Depletion，燃耗)、TH(Thermal-Hydraulic Data，熱水力資料)、TRAN(Transient，暫態)。以下將介紹 PARCS 模式於 SNAP 介面下建立的過程：

1. 新增一 PARCS 模式。
2. 輸入模式基本設定(Model Options)。此設定對應至 ASCII 形式之 CNTL 卡號。此設定決定了 PARCS 程式欲分析的指令：是否進行暫態計算、是否結合其他熱水流程式(如 TRACE、RELAP 等)、是否啟動熱水流回饋、起始功率等等。圖 14 為本報告中龍門電廠 PARCS 輸入檔之模式基本設定。
3. 設定爐心幾何(Core Geometry)，如圖 15。此設定對應至 ASCII 形式之 GEMO 卡號。此設定決定了爐心尺寸、爐心燃料、控制棒、偵檢器等資料。龍門電廠的爐心包含反射體，分割為 36(X 軸)*36(Y 軸)*27(Z 軸)的節點。

(1) 徑向配置(Radial Configuration)，如圖 16 所示。此設定對應至 ASCII 形式之 RAD_CONF 卡號。此卡號需輸入龍門電廠爐心之燃料及反射體之分布，數字 1 代表反射體區域，數字 2 代表燃料區域。

(2) 軸向幾何(Axial Geometry)，如圖 17 所示。此設定對應至

ASCII 形式之 RAD_CONF 卡號。此卡號需輸入每個格點之尺寸大小；X、Y 軸需輸入對應之網格，Z 軸則需輸入對應到的中子截面層編號。

(3)中子截面分布(Depl Planar Region)。圖 18 為第三層中子截面分布圖。此設定對應至 ASCII 形式之 PLANAR_REG 卡號。此卡號為龍門電廠爐心燃料元件每一層的中子截面分布。圖中的數字為燃耗卡號的 PMAXS 檔案代號。設定時必須知道每個燃料元件的組成以及每個組成軸向的中子截面數據分布對應到哪個 CASMO-4 晶格輸出檔，如此才能進行爐心切割正確地輸入每一層的中子截面數據代號。

(4)控制棒棒位(Rod Banks)。此設定對應至 ASCII 形式之 BANK_CONF。圖 19 中顯示之數字為控制棒根據暫態所需或棒棒位不同之分組代號，數字 0 代表反射體區域。

(5)定義燃料元件旋轉(Define Rotation)、燃料元件旋轉設定(Assemble Rotate)。此設定對應至 ASCII 形式之 ADF_ROT 卡號。數字 0、1、2、3 分別代表燃料元件以逆時針方向旋轉 0 度、90 度、180 度、270 度。圖 20 為龍門電廠燃料元件旋轉之設定。

(6)偵測器(Detectors)、軸向偵測器位置(Axial Detector Location)、徑向偵測器位置(Radial Detector Location)。此設定分別對應至 ASCII 形式之 DET_NAME、DET_Z_LOC、DET_XY_LOC 卡號。DET_NAME 卡號可定義偵測器編號及名稱，如圖 21 所示。DET_Z_LOC 卡號決定偵測器在軸向分布的位置，如圖 22 所示。

DET_XY_LOC 卡號需輸入偵測器平面位置分布，如圖 23 所示。數據來源為龍門電廠訓練教材偵測器分布圖，龍門電廠一共有 52 組偵測器。

4. 數值運算參數(Parameters)，如圖 24 所示。此卡號對應至 ASCII 形式之 PARAM 卡號。此卡號設定數值運算相關參數，包括計算迭代次數、收斂範圍、初始值設定等等。
5. 熱水流設定(Thermo-hydraulic)。此設定對應至 ASCII 形式之 TH 卡號。此卡號供使用者輸入燃料束、燃料丸的物理性質，例如尺寸、流量、燃料元件平均功率等等。圖 25 為參考龍門電廠訓練教材及 SIMULATE-3 燃料布局之設定。
6. 暫態設定(Transient)。此設定對應至 ASCII 形式之 TRAN 卡號。此卡號是進行暫態計算時數值參數的設定，與 PARAM 卡號類似，可設定暫態計算時間區間大小、數值計算收斂範圍、其他參數性質設定等等，如圖 26 所示。
7. 燃耗設定(Core Depletion)。此設定對應至 ASCII 形式之 DEPL 卡號。此卡號是呼叫 PARCS 程式讀取中子動力計算所需要的燃料中子截面數據檔，其檔案格式為 PMAXS 檔；另外還有是否輸入或輸入燃耗歷程等相關資訊。龍門電廠 PMAXS 檔案來源為 CASMO-4 程式，經過 GenPMAXS 程式對 CASMO-4 程式輸出檔做格式轉換而得。圖 27 為龍門電廠 PARCS 模式之 DEPL 卡號，一共 25 個 CASMO-4 燃料中子截面數據輸出檔案，如圖 28。

(四)AptPlot 簡介

AptPlot 是一個所見即所得的二維數據畫圖程式，他擁有

強大的數據描點能力以及圖像化界面供使用者進行數據分析。AptPlot 的另一個目的是用來取代舊的畫圖程式 AcGrace。

AcGrace 是 NRC 設計，用來處理 SNAP 數據結果的一套軟體，雖然他在數據分析時具有許多功能，但在微軟的作業系統上仍有許多限制。因此 AptPlot 被定位為以 Java 語言開發的 AcGrace 下一代數據畫圖程式。圖 29 是 AptPlot 基本畫面。最上排為工具選單，包含 File、Edit、Data、Plot、View、Window、Tools、Help。透過這些工具選單使用者可以對數據進行各種不同的操作與控制。下排為基本工具，包含清除、移動視窗、視窗縮小與放大、繪圖層級改變等。如圖 30 所示，使用之初先點選 File 選單，並選擇其下的 Read，再選擇 TRACE File，如此可進入檔案選擇視窗，並呼叫出想要讀取的 TRACE 數據輸出檔。在此要注意的是，TRACE 輸出檔的副檔名為 .xtv。呼叫出 TRACE 數據檔後可出現 Read TRACE 視窗，由視窗內的 File 可知道現在讀取的數據檔位置與檔名。下方的 Data Channels 與 General Problem Parameter 則顯示出 TRACE 數據檔內的各項組件與參數名稱，使用者可在此點選想要觀察的數據。如圖 31 所示。

使用者點選想觀察的參數名稱後，AptPlot 就會畫出該參數的曲線圖。如圖 32，點選了組件 Pipe120 內的參數 tln-155A01(temperature)與 tsat-155A01(saturated temperature)便可同時比較管路 120 的流體溫度以及其飽和溫度。此外以左鍵按兩下，點選 Read TRACE 視窗內的 Data sets，可出現參數的完整 X、Y 數據。如圖 33 所示

二、龍門電廠 FSAR 與起動測試(startup tests)案例驗證分析

本測試為驗證 TRACE/PARCS 結合成效，以 FSAR chapter 15 個案為基準進行平行驗證模擬，使用 SNAP v2.0.4, TRACE v5.0 p2,以及 PARCS 3.0。TRACE/PARCS 的穩態分析結果如表 2 所示，與 FSAR 的資料相符。

(一)FSAR-汽機跳脫有旁通(Turbine Trip with Bypass)

1. 汽機跳脫有旁通案例說明

本分析假設運轉初始條件為反應器運轉於 100%額定爐心功率(3926 MWt)及 100%額定爐心流量 $52.2 \times 10^6 \text{kg/hr}$ ($115.01 \times 10^6 \text{lbm/hr}$)。設計上於偵測到汽機斷止閥至 90%開度時，將產生反應爐急停及未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號，惟該等信號刻意予以延遲，若旁通閥可用，則於約 0.06 秒內確認汽機旁通閥有足夠數目開啟後，將旁通反應爐急停信號及旁通未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號。

本分析假設所有旁通閥可用，因此如上述，於偵測到汽機斷止閥至 85%開度(分析設定點)時，所產生之反應爐急停及未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號將予以旁通，亦即本暫態並不會直接造成反應器急停及爐內泵跳脫。本分析同時假設旁通閥於 $t = 0.02$ 秒時開始開啟。此暫態的時序如表 3 所示，TRACE/PARCS 的分析結果與 FSAR 的資料相符。

2. 汽機跳脫有旁通模擬結果

由於假設所有汽機旁通閥可用，因此反應器未急停及未連結 M/G Set 之 四台 RIPs 未跳脫。由於旁通閥於 $t = 0.02$ 秒時開始開啟洩壓，故本個案屬較緩和之暫態，因此反應爐

壓力及功率上升之幅度較無旁通個案為小，本暫態在 PARCS 控制系統配合下，各項參數資料皆較單純執行 TRACE 時更加接近 FSAR 數值，如圖 34~40 所示，顯示 TRACE/PARCS 結合在本模擬之結果為可接受。

(二)FSAR-汽機跳脫無旁通(Turbine Trip with Failure of All Bypass Valves)

1. 汽機跳脫無旁通案例說明

本分析假設運轉初始條件為反應器運轉於 100% 額定爐心功率(3926 MWt)及 85% 額定爐心流量 $44.37 \times 10^6 \text{kg/hr}$ ($97.84 \times 10^6 \text{lbm/hr}$)。

與控制閥快速關閉暫態一樣，設計上若發生汽機跳脫，當偵測到汽機斷止閥至 90% 開度時，將產生反應爐急停及未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號，惟該等信號刻意予以延遲，若於約 0.06 秒(旁通閥 10% 開度之傳送器反應時間約 0.01 秒加上邏輯延遲約 0.05 秒)內可確認汽機旁通閥有足夠數目開啟，則旁通反應爐急停信號及旁通未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號。反之，若於 0.06 秒內確認汽機旁通閥無足夠數目開啟，則引發反應爐保護系統(RPS)動作及跳脫未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵。此暫態的時序如表 4 所示，TRACE/PARCS 的分析結果與 FSAR 的資料相符。

2. 汽機跳脫無旁通模擬結果

本個案之暫態反應基本上與發電機棄載暫態類似，於 $t = 0$ 秒時，汽機斷止閥開始關，由於假設所有汽機旁通閥失效，造成反應器急停信號及未連結 M/G Set 之 四台 RIPs 跳脫

信號有所延遲，本測試模擬延遲 0.375 秒、0.625 秒、0.675 秒，同時藉由 PARCS 控制系統模擬反應器急停時的控制棒插入動作，以插入速 33cm/sec、91.44cm/sec 與 143cm/sec 進行靈敏度分析，在本測試當中，FSAR 原始設定參數的延遲 0.375 秒模擬出的結果壓力值偏低，無法模擬出與 FSAR 相當的結果，而在延遲 0.675 秒的測式中壓力值則過高，顯見跳脫信號的延遲時間長短對本暫態結果影響甚大，故以壓力最為接近 FSAR 的延遲 0.625 秒做為本測試之基準依據，如圖 41 所示。

控制棒插入速度來源以 RETRAN 的 91.44cm/sec 為基準，配合預設 143cm/sec 等比例降幅推算出 33cm/sec，經測試，在延遲 0.625 秒，且控制棒插入速度為 33cm/sec 時，整體態勢與 FSAR 最為相符，如圖 42~50 所示。

(三)FSAR-飼水流喪失(Loss of Feedwater flow)

1. 飼水流喪失案例說明

本分析假設運轉初始條件為反應器運轉於 100% 額定爐心功率(3926 MWt)及 100% 額定爐心流量 $52.2 \times 10^6 \text{kg/hr}$ ($115.01 \times 10^6 \text{lbm/hr}$)。

本分析個案假設於 $t = 0$ 秒時運轉中之兩台飼水泵因機械/電氣故障或運轉員錯誤或高水位信號等而跳脫，以致喪失飼水流，同時假設飼水流於 5 秒內降至零，本分析不取功於馬達驅動之飼水泵啟動，致使反應爐水位降低，於約 $t = 10.42$ 秒時達 L3 低水位，引發反應器急停信號及未連結 M/G Set 之 4 台爐內泵跳脫信號，於約 $t = 18.62$ 秒時達 L2 低水

位，引發其他 6 台連結 M/G Set 之爐內泵跳脫信號及 RCIC 啟動信號。此暫態的時序如表 5 所示，TRACE/PARCS 的分析結果與 FSAR 的資料相符。

2. 飼水流喪失模擬結果

本暫態模擬過程與各項參數，如中子通率、蒸氣流量、爐心流量、急停反應與飼水流量上皆有良好的反應，如圖 51~56 所示，皆與 FSAR 保持相同的趨勢。本暫態一般較關注之水位反應趨勢亦甚一致，因而本暫態分析結果為可接受。

(四)FSAR-三個爐內泵跳脫暫態(3RIPs Trip)

1. 三個爐內泵跳脫暫態案例說明

圖 57 為爐內泵及燃料元件(由 CHAN 組件模擬)於壓力容器中的分布示意圖。TRACE 模式中為節省計算時間，以 18 根燃料元件代表實際電廠中 872 根燃料元件；18 根燃料元件平均分配於內部 3 個徑向環中每個方位角。十個爐內泵依顏色分成三組，其中兩組皆由 3 個接到電動馬達之爐內泵組成，第三組為四個未接電動馬達之爐內泵。FSAR 中三個爐內泵跳脫暫態所跳脫之爐內泵屬於其中一組連接電動馬達的 3 個爐內泵。

2. 三個爐內泵跳脫暫態模擬結果

三個爐內泵跳脫暫態為龍門核電廠(先進型沸水式反應器)終期安全分析報告(FSAR)第十五章的其中一事故。本報告中使用 TRACE 與 PARCS 結合來模擬、分析此暫態，並

與另兩個 TRACE 程式內建中子動力方法：功率時間表 (Power table) 和點中子動力法 (Point kinetics) 進行比較，其初始狀態為龍門電廠 100% 額定功率、100% 額定流量。三個爐內泵跳脫後，爐心進口流量減少，功率下降，水位些微上升；6 秒時，爐心流量達到穩定；10 秒時，功率亦達到穩定。此模擬結果選擇數個較重要之系統參數，如功率、爐心流量、反應度等做比較。各個參數的趨勢大致與中期安全分析報告相符。

由圖 58~60 可看到 TRACE/PARCS 方法會導致較大的空泡反應度回饋，在此暫態中，空泡反應度主導總反應度變化。相對於其他中子動力法的反應度，TRACE/PARCS 模擬結果顯示反應度下降較多，因此爐心功率隨之下降的量亦大於其他中子動力法，如圖 61。即使暫態中以不同中子動力法計算出功率曲線不同，但從圖 62 可發現爐心流量的變化幾乎相同。從圖 63 可知窄幅水位皆未達到 LV8，意味著不會觸發飼水泵及汽機跳脫。如圖 64 所示，系統壓力維持在 9.48MPaG 以下，符合 ASME 的限制。除此之外，圖 65 的 MCPR 亦保持在安全限制之上，因此不會違反燃料熱限。

(五) 起動測試-飼水泵跳脫暫態 (Feedwater Pump Trip)

1. 飼水泵跳脫暫態案例說明

在正常運轉時為兩台渦輪驅動的飼水泵運轉，事故發生時是以一台飼水泵跳脫，並在 5 秒內該跳脫飼水泵流量減至零。在此同時一旦偵測到飼水泵跳脫，一個由馬達所驅動的飼水泵會啟動，其可以提供整體飼水流量的 20%；飼水控

制系統 (Feedwater Control System, FWC) 提供飼水泵運轉容量 (Capacity) 訊號到循環流量控制系統 (Recirculation Flow Control System, RFC)，作為起始反應爐內部再循環水泵 (Reactor Internal Pump, RIP) 回退機制的參考訊號，本暫態是假設偵測到異常後 10 秒內啟動馬達驅動的飼水泵以補充飼水流量。由於飼水控制系統主要只具功率產生 (Power Generation) 之控制功能，不具備安全功能。主要功能在於調節注入反應爐的飼水流量，目的在維持水位於預定好的運轉限制。正常反應爐水位維持在 L4 低水位及 L7 高水位之間，FWC 系統主要是避免反應爐水位引動 L8 高水位或 L3 低水位的跳機訊號。

2. 飼水泵跳脫暫態模擬結果

此暫態使用 TRACE 與 PARCS 結合來模擬分析，其初始狀態為 100% 額定功率、100% 額定流量。此模擬結果選擇數個較重要之系統參數，如功率、飼水流量、爐心水位做比較，並執行馬達帶動飼水泵啟動時間、循環水泵不同回退速率與最後回退速度等三種參數靈敏度分析。

由圖 66~68 發現雖然飼水流量差異較大，但由於靈敏度分析的時間差距只有五秒的關係，對功率和爐心水位的影響相當不明顯。在此分析中，不同的循環水泵回退速率都可以使水位震盪在 L3 與 L8 之間。當循環水泵回退速率 10% 時，會使得功率快速下降到約 40%，這使得水位會因蒸氣產生量變小，造成水位先上升的狀況發生，如圖 67 所示。由圖 68 可以發現，不同的循環水泵最後回退速度將會嚴重的影響爐

心功率。當最後回退速度小於 55% 時，水位震盪將能維持在 L3 與 L8 之間。若最後回退速度大於 55% 時，爐心功率會提升到 80% 以上。飼水泵將無法提供其所消耗的水量，最終會引動 L3 低水位跳機訊號，因此必須確保回退速度小於 55%。

三、結論與建議

應用 TRACE/PARCS 針對龍門核電廠的分析模式已經建立，並且完成起動測試飼水泵跳脫暫態案例分析以及 FSAR 之汽機跳脫有旁通、汽機跳脫無旁通、飼水流喪失、三個爐內泵跳脫暫態分析。

在起動測試案例分析中發現，不同的循環水泵最後回退速度將會嚴重的影響爐心功率，若最後回退速度大於 55% 時，爐心功率會提升到 80% 以上。飼水泵將無法提供其所消耗的水量，最終會引動 L3 低水位跳機訊號，因此必須確保回退速度小於 55%。

FSAR 案例模擬的結果則選擇數個較重要之系統參數，如功率、爐心流量、飼水流量和反應度等做測試比較，分析結果顯示加入 PARCS 後，各個重要參數的趨勢大致都與 FSAR 相符合，證明 TRACE/PARCS 分析模式是有能力進行龍門電廠暫態模擬分析與驗證。

由於是發展中的程式，對於 TRACE 與 PARCS 之應用都面臨使用上遭遇問題，卻無法從程式的錯誤訊息或使用者手冊中尋得解決之道的困難。但是我們一直自行嘗試各種方法與實驗來解決問題，同時也與部分美方的研發人員或其他使用者有密切的溝通，並派員參予多項國際研討會，包括 ICAPP '11、NURETH-14、ANS Winter Meeting 與 Fall 2011 CAMP meeting 等，藉由訊息交換嘗試解決問題，在過程中，有許多問題已陸續獲得解決，相信繼續努力應該會有解決之日，我們也會嘗試與更多的程式使用人員交流，以尋求更多的管道解決問題。

此外，本計畫亦達成多項目標，並完成 2 篇 SCI 國際期刊論文、1 篇國際期刊論文、2 篇 NRC NUREG-IA 報告與投稿 20 篇

國際研討會論文，成果豐碩，其項目詳列於附錄中。

表 1. 龍門 TRACE 模式安全釋壓閥模擬參數值

Number of Valves	Function	Open setpoint (psia)	Re-close setpoint (psia)
1	Relief	1147.7	1103.7
1	Relief	1157.7	1113.3
4	Relief	1167.7	1122.9
4	Relief	1177.7	1132.5
4	Relief	1187.7	1142.1
4	Relief	1197.7	1151.7
2	Safety	1209.7	1161.3
4	Safety	1219.7	1170.9
4	Safety	1229.7	1180.5
4	Safety	1239.7	1190.1
4	Safety	1249.7	1199.7

表 2. 穩態計算結果系統參數比較表

Parameter	Nominal Value	TRACE data	Error (%)
Power (Mwt)	3926	3926	0
Dome pressure (psia)	1040	1039.9	0.01
Dome Temperature (°F)*	549	550.6	0.13
NRWL (ft)	3.53	3.66	3.68
Steam flow (lbm/sec)	4679	4666.6	0.27
Feedwater flow (lbm/sec)	4679	4651.08	0.6
Core flow(lbm/sec)	27154.05	27075.18	0.29
Core Bypass flow (lbm/sec)	4818.15	4879.34	1.27
Turbine inlet pressure (psia)	985.0	985.26	0.01
One RIP mass flow (lbm/sec)	3197.22	3195	0.07

表 3. 汽機跳脫有旁通時序表(100 % P/100 % F)

Event	Time (s)	
	FSAR	TRACE /PARCS
Turbine trip initiates closure of main stop valves	0.0	0.0
Main turbine stop valves reach 85% open position	0.015	0.015
Turbine stop valves are closed	0.1	0.1
Bypass operation signal is verified. Scram and RPT are inhibited.	Yes	Yes

表 4. 汽機跳脫無旁通時序表(100 % P/85 % F)

動作	發生時間 (秒)	
	FSAR	TRACE/ PARCS
汽機斷止閥關閉	0	0
斷止閥關至 85%開度	0.015	0.015
汽機斷止閥完全關斷	0.10	0.10
旁通閥失效驗證完成，反應器急停信號及未 連結 M/G Set 之四台 RIPs 跳脫信號確立	0.075	0.075
反應器急停導引閥失能	0.176	0.175
控制棒開始插入	0.376	0.625
未連結 M/G Set 之四台 RIPs 跳脫	0.46	0.46
安全釋壓閥因反應器高壓而開啟	2.6	2.57
安全釋壓閥完全關閉	9.2	9.99

表 5. 飼水流喪失個案事件時序表(100 % P/100% F)

動作	發生時間 (秒)	
	FSAR	TRACE/ PARCS
正常運轉之兩台飼水泵跳脫，飼水流喪失開始	0	0.001
飼水流完全停止	5.0	5.001
反應爐水位降至低水位 L3 設定點，引發反應爐急停及未連結 M/G Set 之四台 RIPs 跳脫信號。	7.53	10.42
反應爐水位降至低水位 L2 設定點，引發其餘六台 RIPs 跳脫及 RCIC 啟動信號。	18.28	18.62

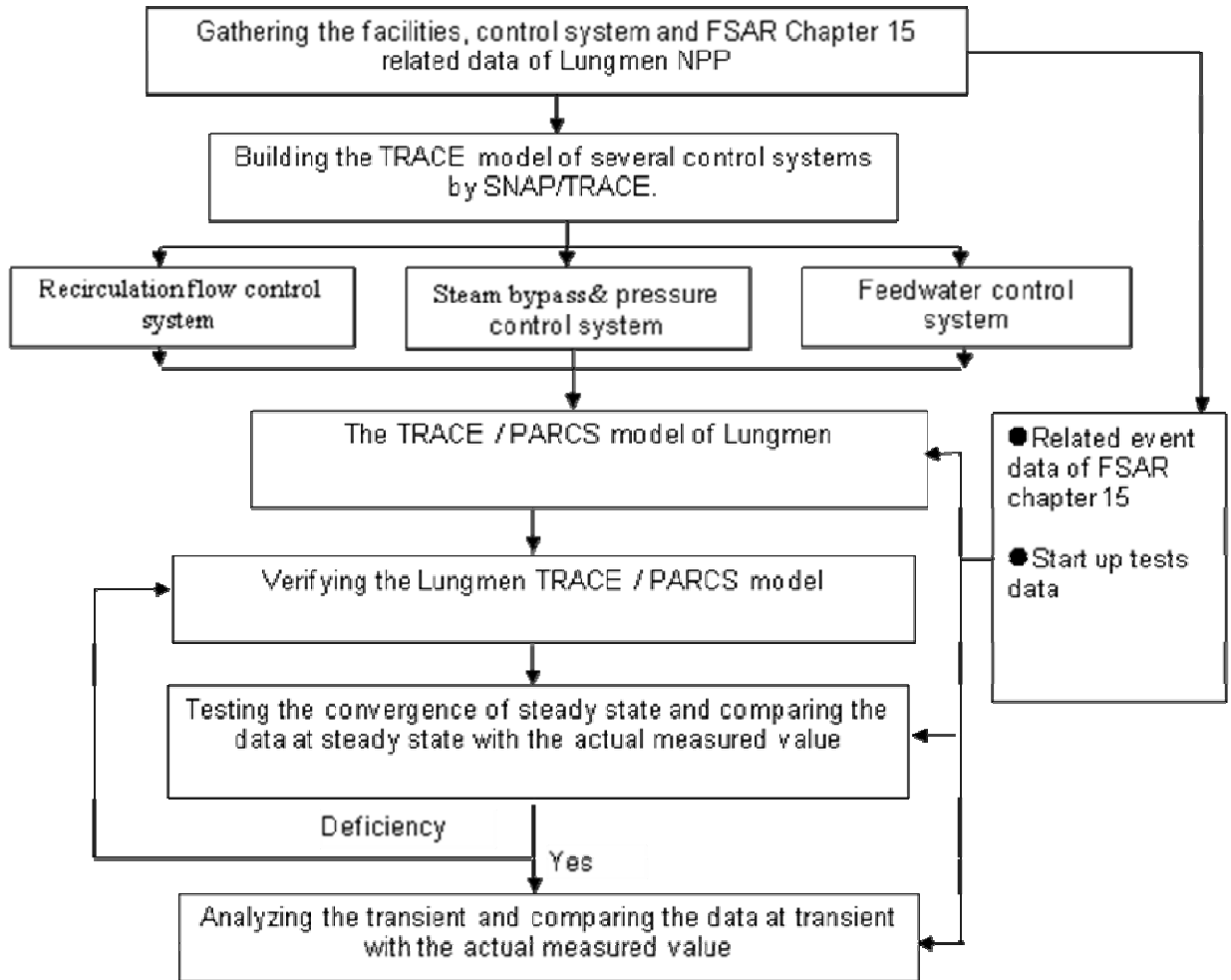


圖 1.龍門 TRACE/PARCS 模式建立流程圖

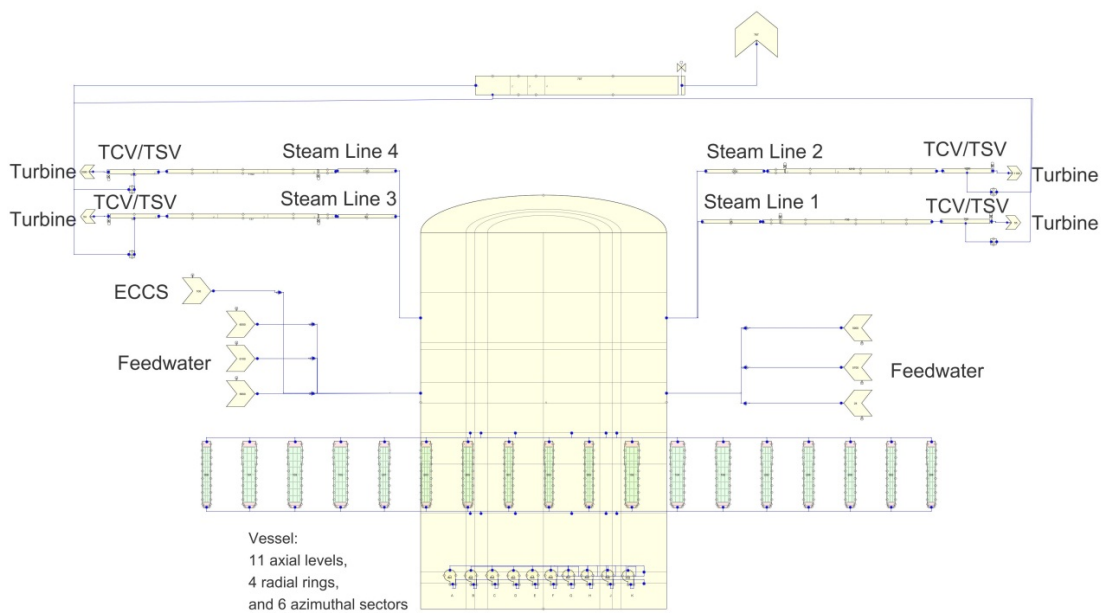


圖 2. 龍門 TRACE/PARCS 模式示意圖

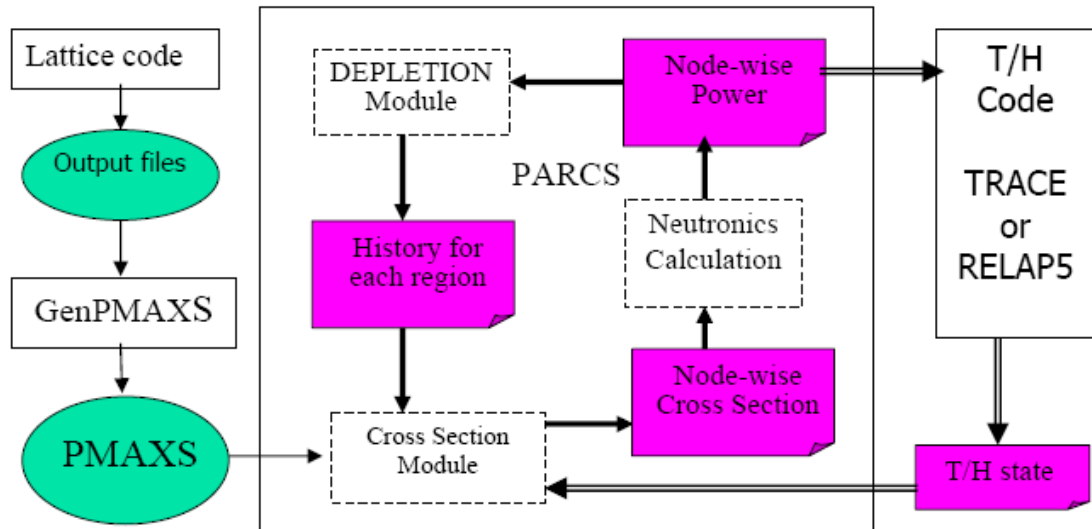


圖 3. PARCS 系統流程圖

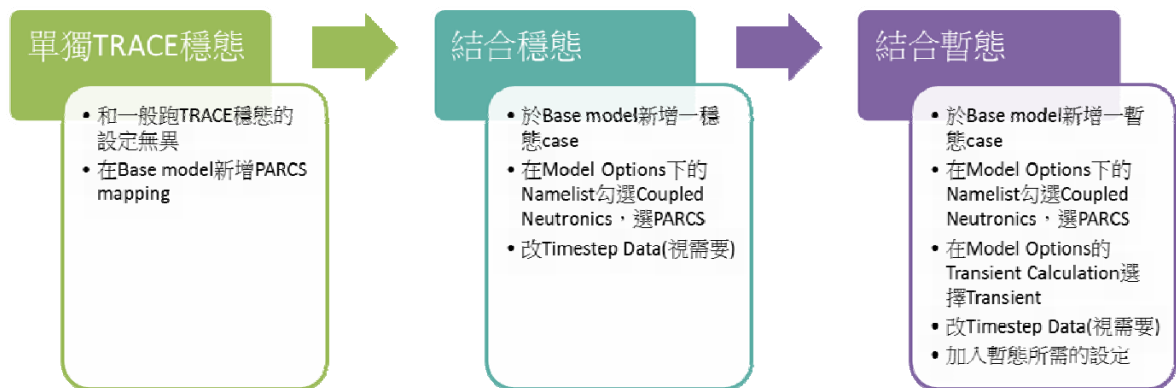


圖 4. TRACE/PARCS 結合流程。

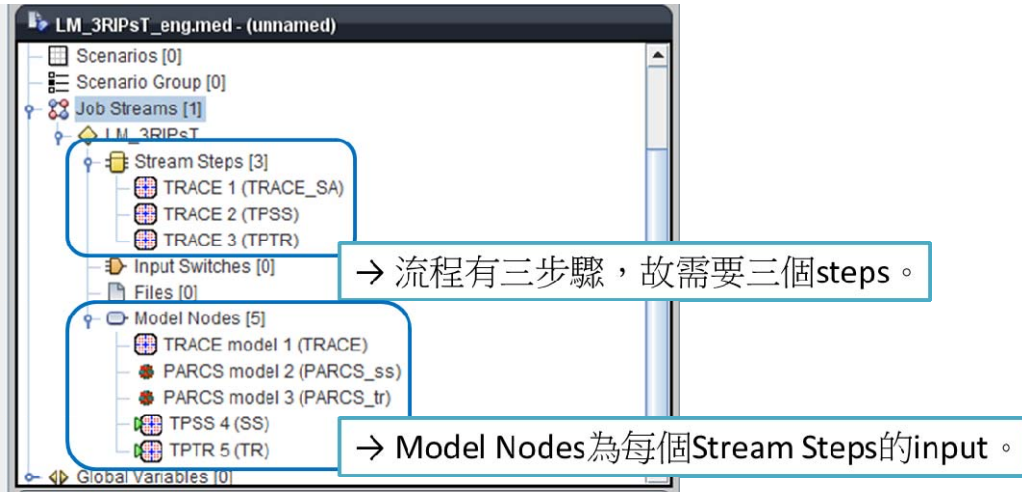


圖 5. 新增 Job Stream 中的 Stream Steps 及 Model Nodes

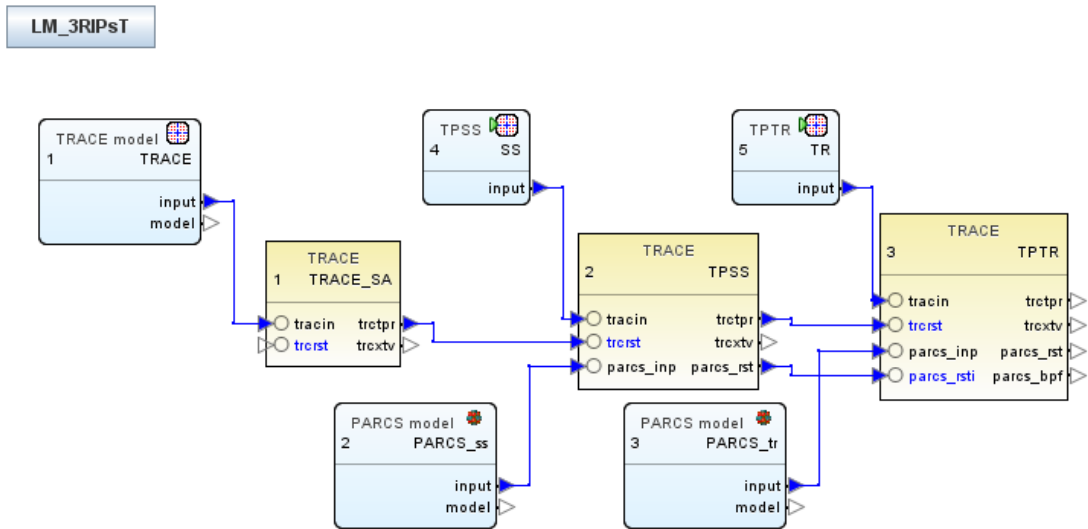


圖 6. Job Stream 連結圖

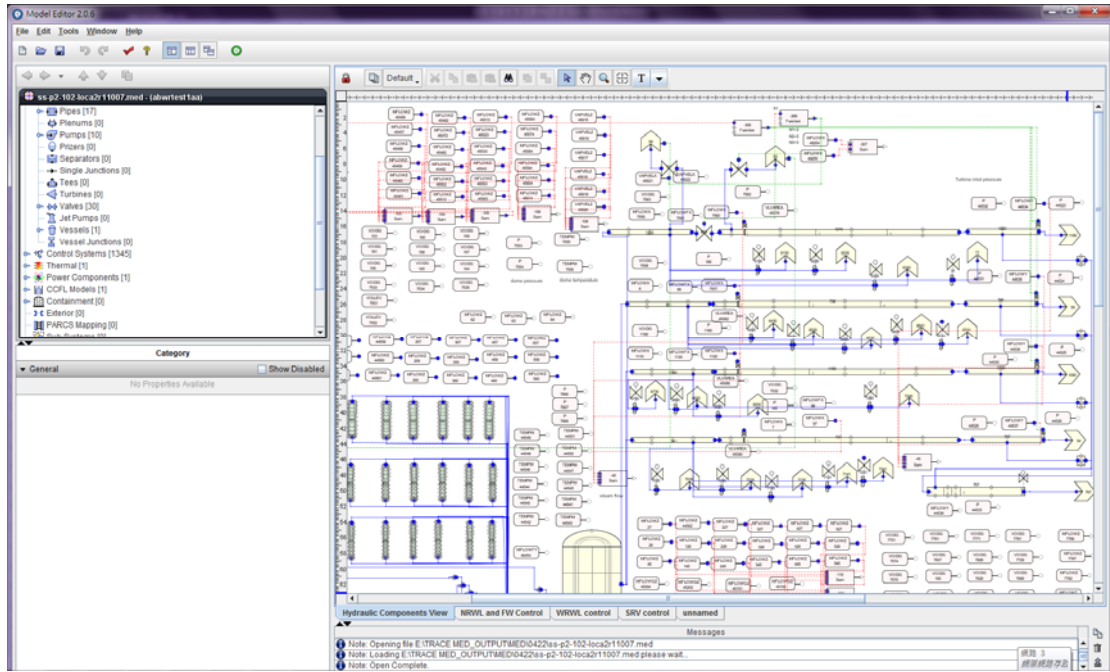


圖 7. SNAP 介面圖

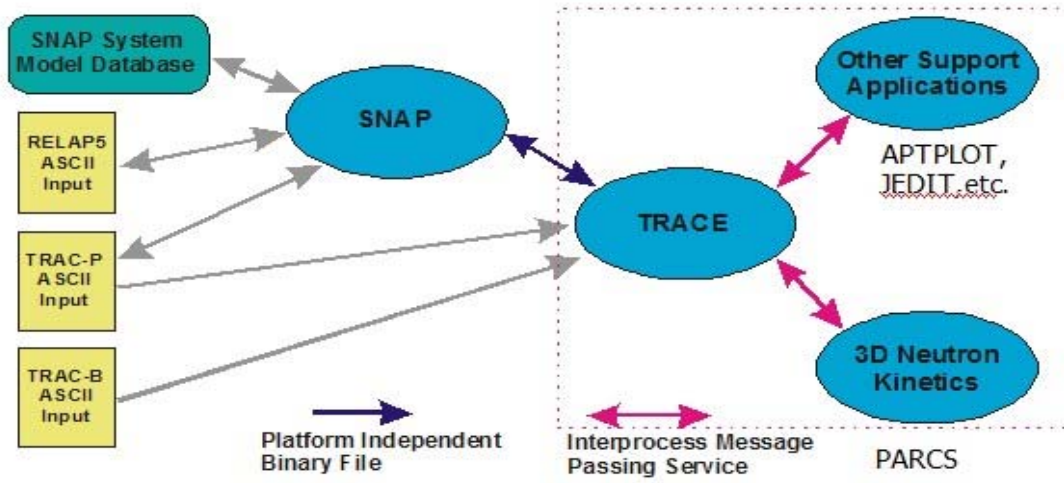


圖 8. TRACE 相關程式關係圖

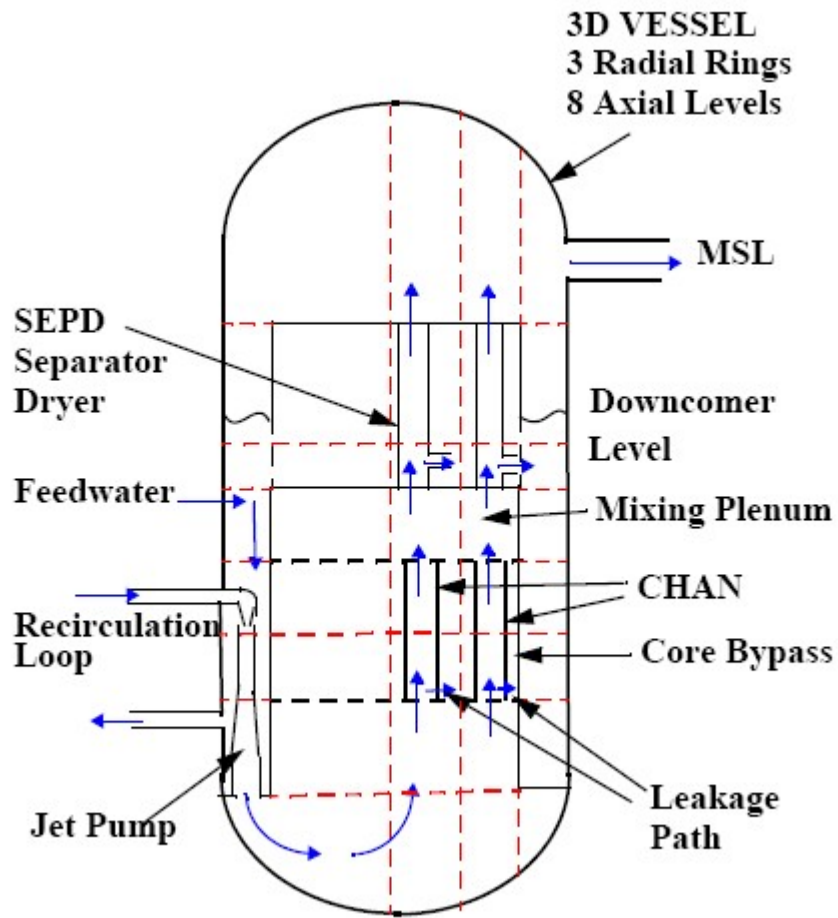


圖 9. 標準沸水式反應爐 TRACE 模式示意圖

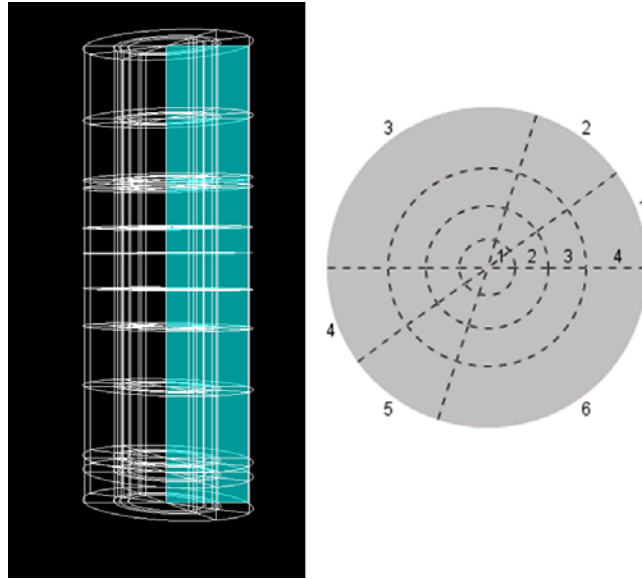


圖 10. 龍門反應器壓力槽 TRACE 模式切割示意圖

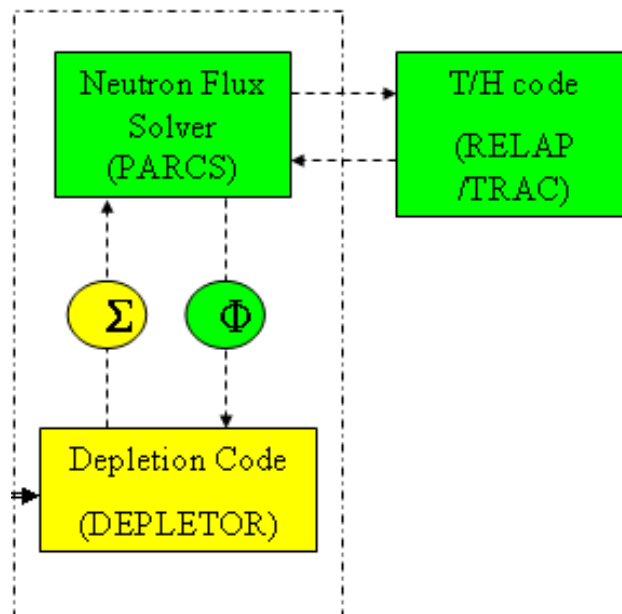


圖 11. 結合 PARCS 與 TRACE 系統示意圖

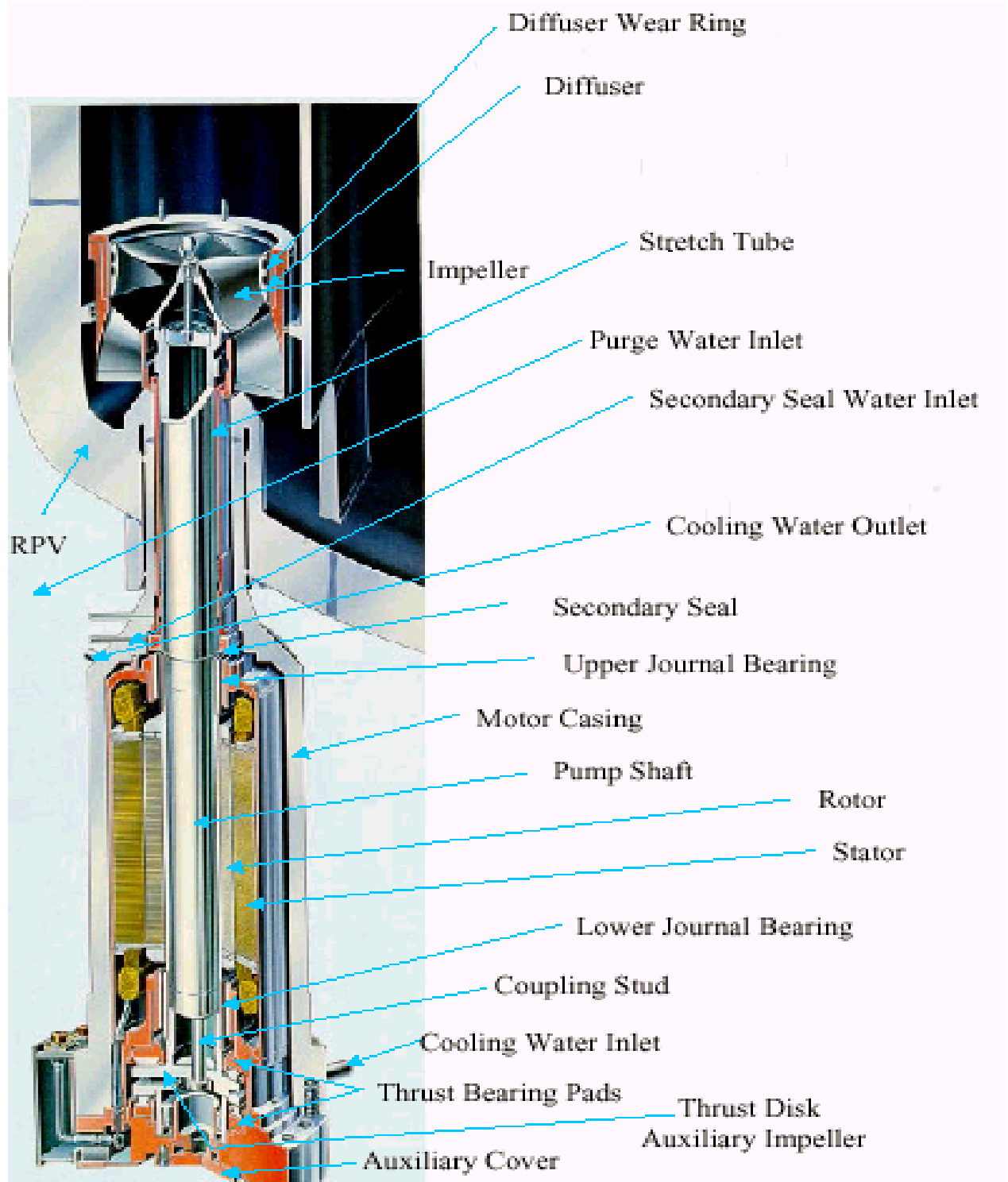


Figure 2 - RIP cut-away

圖 12. 爐內泵剖視圖 A

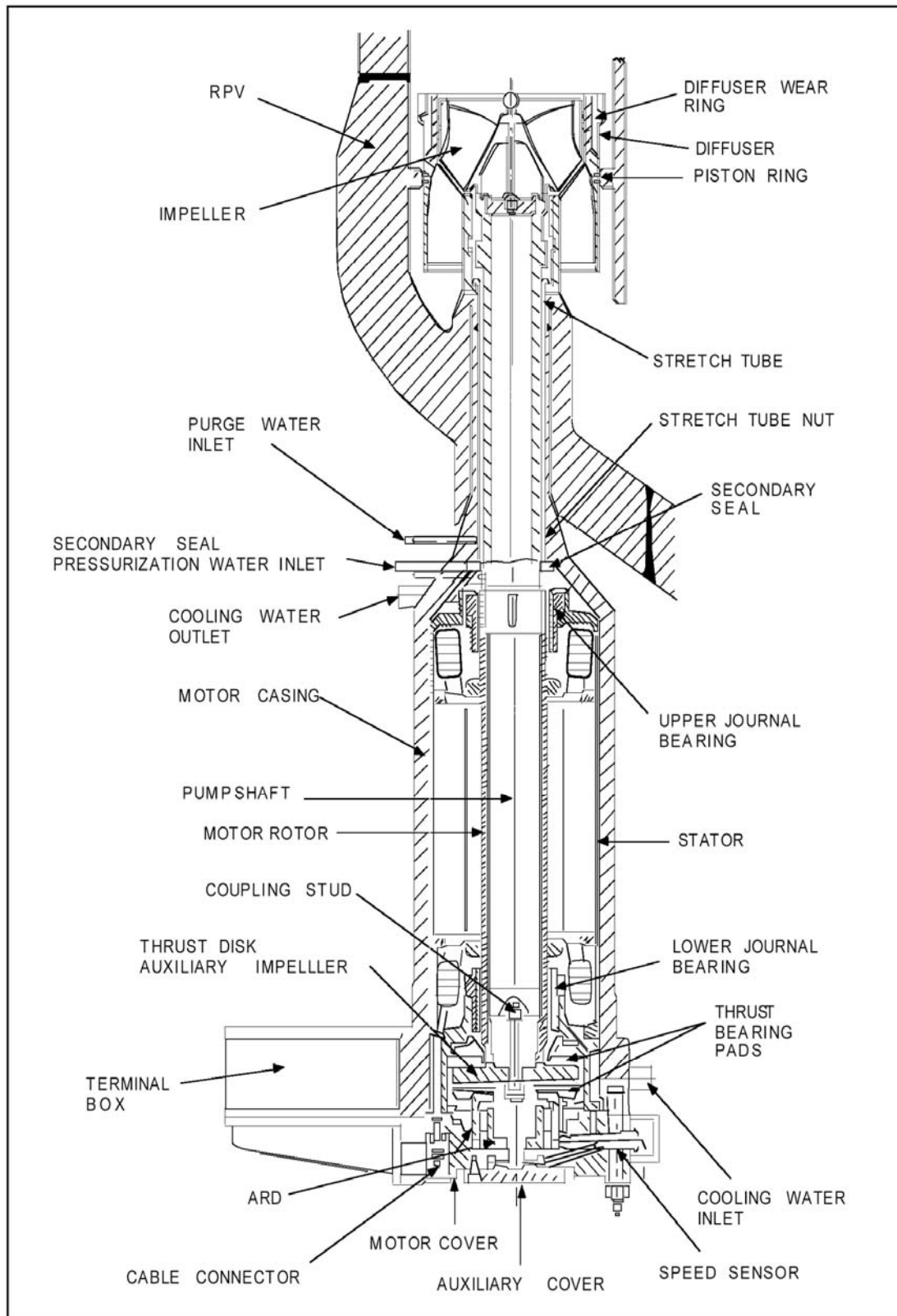


圖 13. 爐內泵剖視圖 B

ModelOptions

General Show Disabled

Title	Lungmen_CY 01 Core Follow at BOC_tr	?
Description	TIT.CAS\CY 01 Core Follow at BOC' /...	E ?
Comments	<none>	E ?
Input Version	[1] PARCS version 3.0	?
Case ID	<input checked="" type="checkbox"/> Lungmen_CY 01 Core Follow at BOC_tr	?
Core Type	<input checked="" type="checkbox"/> BWR	?
XSEC/FMFD Option	XSEC Enabled	?
Core Power	<input checked="" type="checkbox"/> 100.0 (-)	?
PPM Boron	<input checked="" type="checkbox"/> 0.0 (-)	?
Decay Heat Option	<input checked="" type="checkbox"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Search Option	<input type="checkbox"/> <Inactive >	?
Pin Power Calc.	<input checked="" type="checkbox"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Neutronics File	<input checked="" type="checkbox"/> xsecLm_ch-p2.map	E ?
System T/H Code	TRAC	?
T/H Skip Factor	10	?
Transient TH Skip	1	?
Doppler Tolerance	0.0 (K/s)	?
SS TH Control	<input checked="" type="checkbox"/> 0.0 (-)	?
SS Max TH Steps	<input checked="" type="checkbox"/> 1	?
Transient Calc.	<input checked="" type="checkbox"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Kinetics Option	<input type="checkbox"/> <Inactive >	?
Testsuite Case	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
1D Kinetics	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Use 1D Cross Section	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Detector Response Factor	<input type="checkbox"/> 1.0 (-)	?
CRod Search	<input type="checkbox"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?

Thermal-Hydraulic Feedback

T/H Feedback	<input checked="" type="checkbox"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Use External TH Code	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
External T/H	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?

Cross Section Data

Xe option SteadySt	<input type="checkbox"/> <Inactive >	?
Depletion Module	<input checked="" type="checkbox"/> True <input type="radio"/> False	?
Eigenvalue Conv. Criteria	<input checked="" type="checkbox"/> 1.0E-3 (-)	?
Store Interpolation	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Instant. Extrap. Range	<input type="checkbox"/> Unknown (-)	?
Enable	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Tree XS Module	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
XS Sets	25	?
Discontinuity	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Micro Section	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Energy Deposit	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
J1 Factor	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Fission Spectrum	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Delay Spectrum	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Inverse velocity	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Detector response	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Yield Values	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Corner Discontinuity	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Group Power From	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Beta Default	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Lamda Default	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	?
Decay heat	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	?
Asmby Rotate	<input checked="" type="checkbox"/> True <input type="radio"/> False	?

▼ Restart Options		
Restart option	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Restart File	<input type="text"/>	
Restart Block Num.	<input type="text" value="0"/>	
▼ Print Options		
Enable	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Input Edit	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Iteration History	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Planar Distribution	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Pin Power	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Adjoint Flux	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Reaction Edit	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Density Edit	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Planar Flux	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Xe/Sm Density	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
TH State	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Collapsed Constants	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Point Kinetics	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Radial Power	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Radial Flux	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
1st Harmonics Calc.	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Single Assembly	<input type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
SA axial T/H	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	

圖 14. 龍門電廠模式基本設定

Core Geometry (Core Geometry)

▼ General Show Disabled

Title	Core Geometry	
Description	<none>	E?
Comments	<none>	E?
Bottom Planes	<input checked="" type="checkbox"/> 1	
Top Planes	<input checked="" type="checkbox"/> 1	
Rect. Symmetry	[1] Full Core	
Radial Configuration	[1012] Radial Locations	E?
Axial Geometry	Nodes X: 36, Y: 36, Z: 27	E?
Num. Bundle Mesh	x:0, y:0, z:0	E?
Depl Planar Regions	[9] Planar Regions	E?
Rod Insertion	<input checked="" type="checkbox"/> 32.8 (cm)	
Rod Step	<input checked="" type="checkbox"/> 1.8288 (cm)	
Maximum Steps	<input type="checkbox"/>	
Rod Banks	[872] Bank Positions	E?
Use PINCAL_LOC	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False	
Define Rotation	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Assemb. Rotate	[615] Specified Rotations	E?
Detectors	[52] Detectors	E?
Axial Detector Loc.	4 Axial Positions Defined	E?
Detector Weight	(-) [0]	E?
Radial Detector Loc.	[208] Detector Regions	E?

▼ [BOUN_COND] Boundary Conditions

Enable	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False	
Left X	[1] Zero Flux	
Right X	[1] Zero Flux	
Left Y	[1] Zero Flux	
Right Y	[1] Zero Flux	
Left Z	[1] Zero Flux	
Right Z	[1] Zero Flux	
Bottom Albedo	(-) [0]	E?
Top Albedo	(-) [0]	E?
North Surface Albedo	(-) [0]	E?
South Surface Albedo	(-) [0]	E?
East Surface Albedo	(-) [0]	E?
West Surface Albedo	(-) [0]	E?
Radial Surface Albedo	(-) [0]	E?

圖 15. 龍門電廠爐心幾何設定

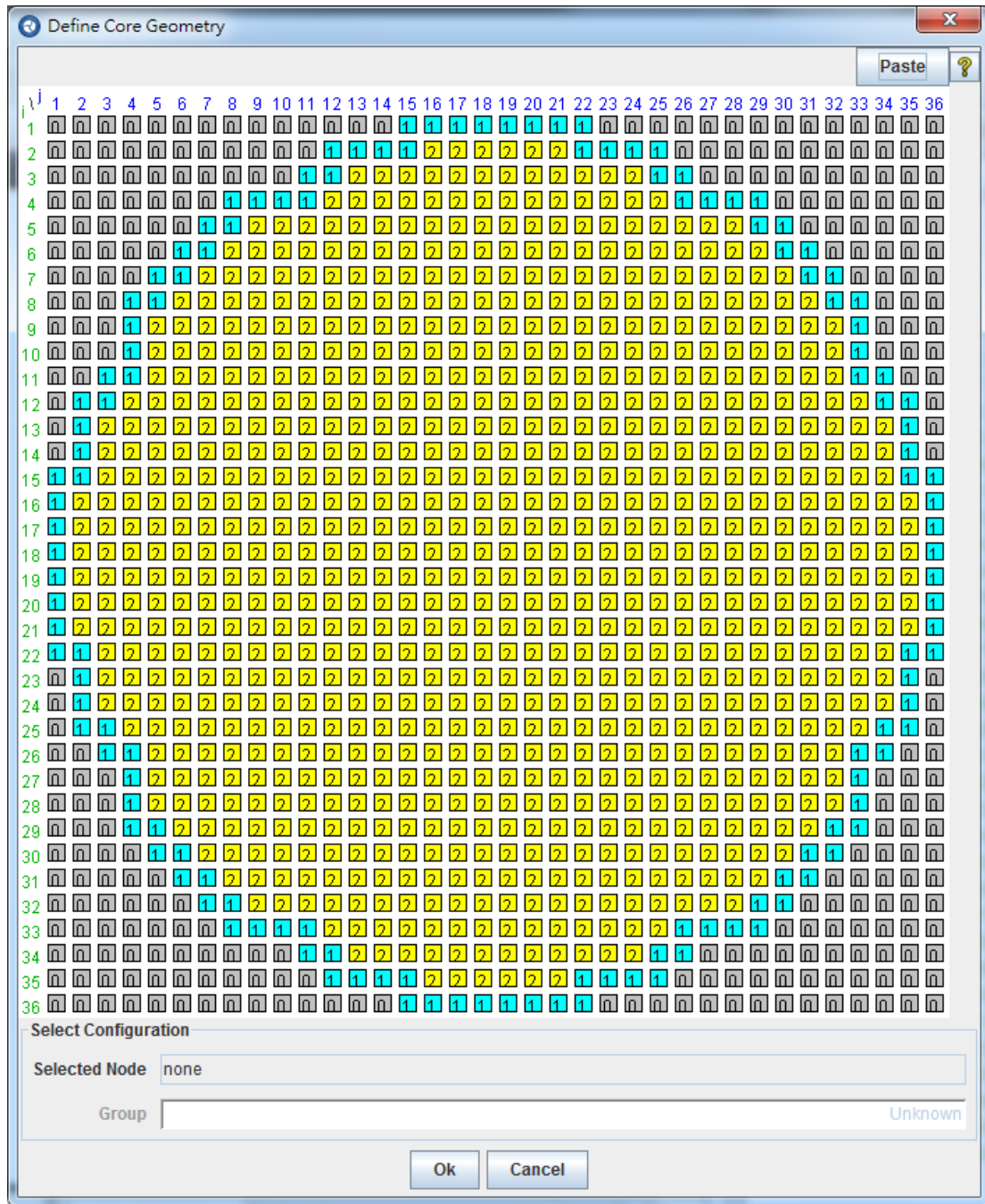


圖 16. 龍門電廠徑向配置

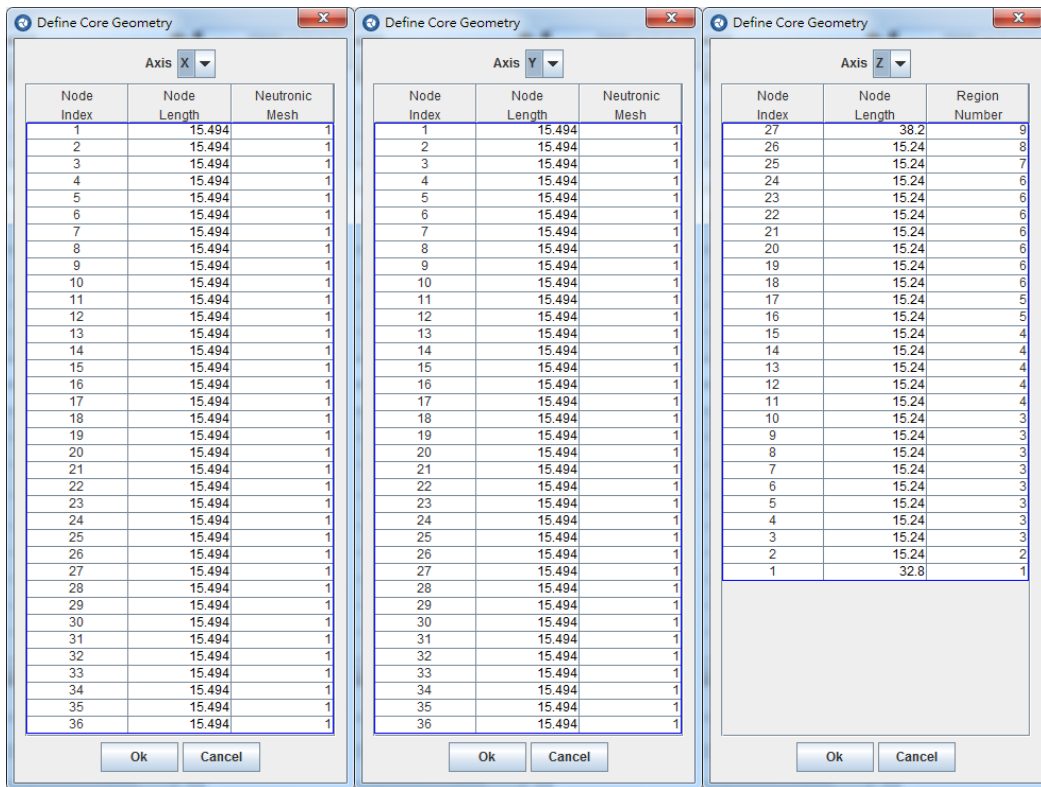


圖 17. 龍門電廠軸向幾何

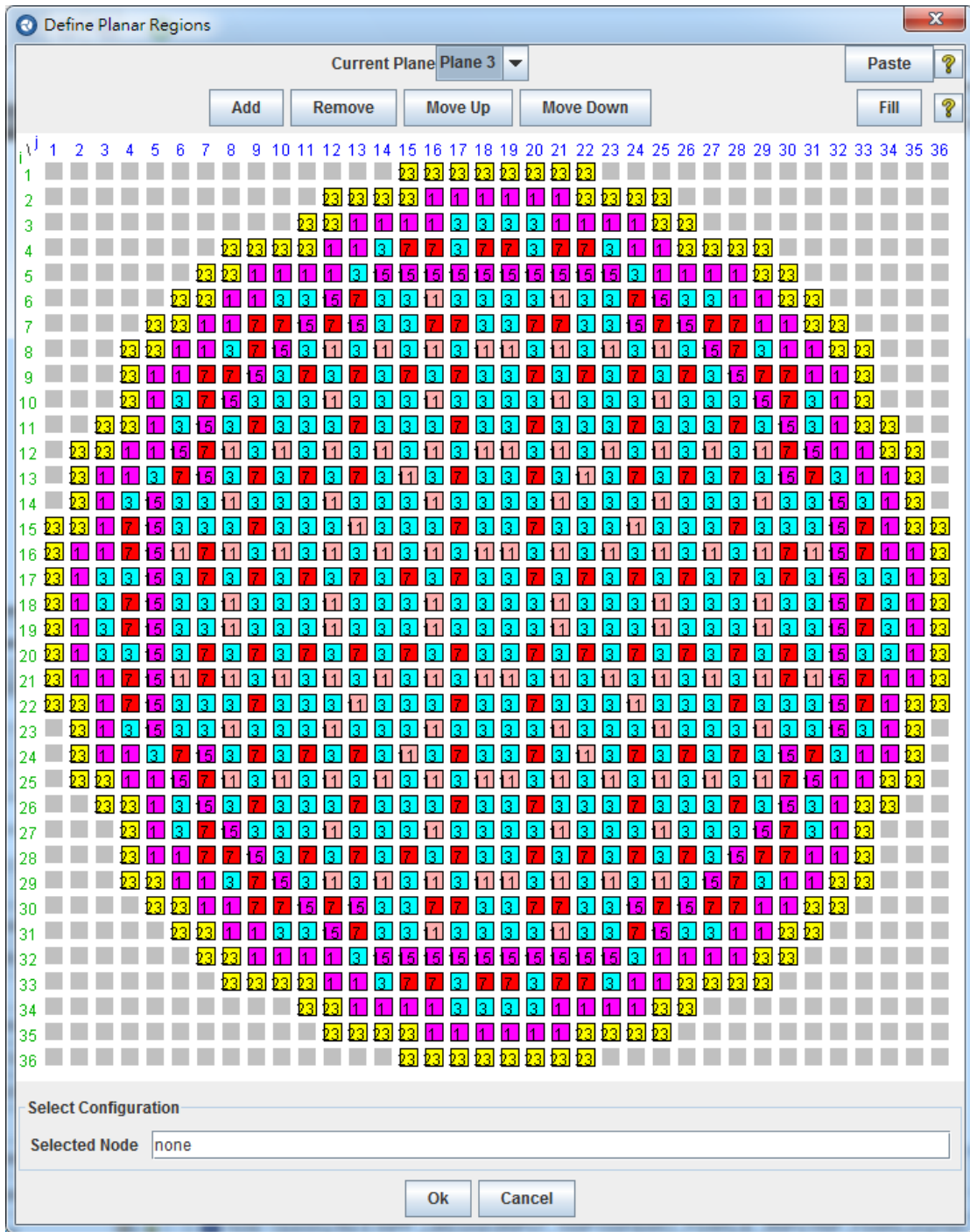


圖 18. 龍門電廠中子截面分布(第三層)

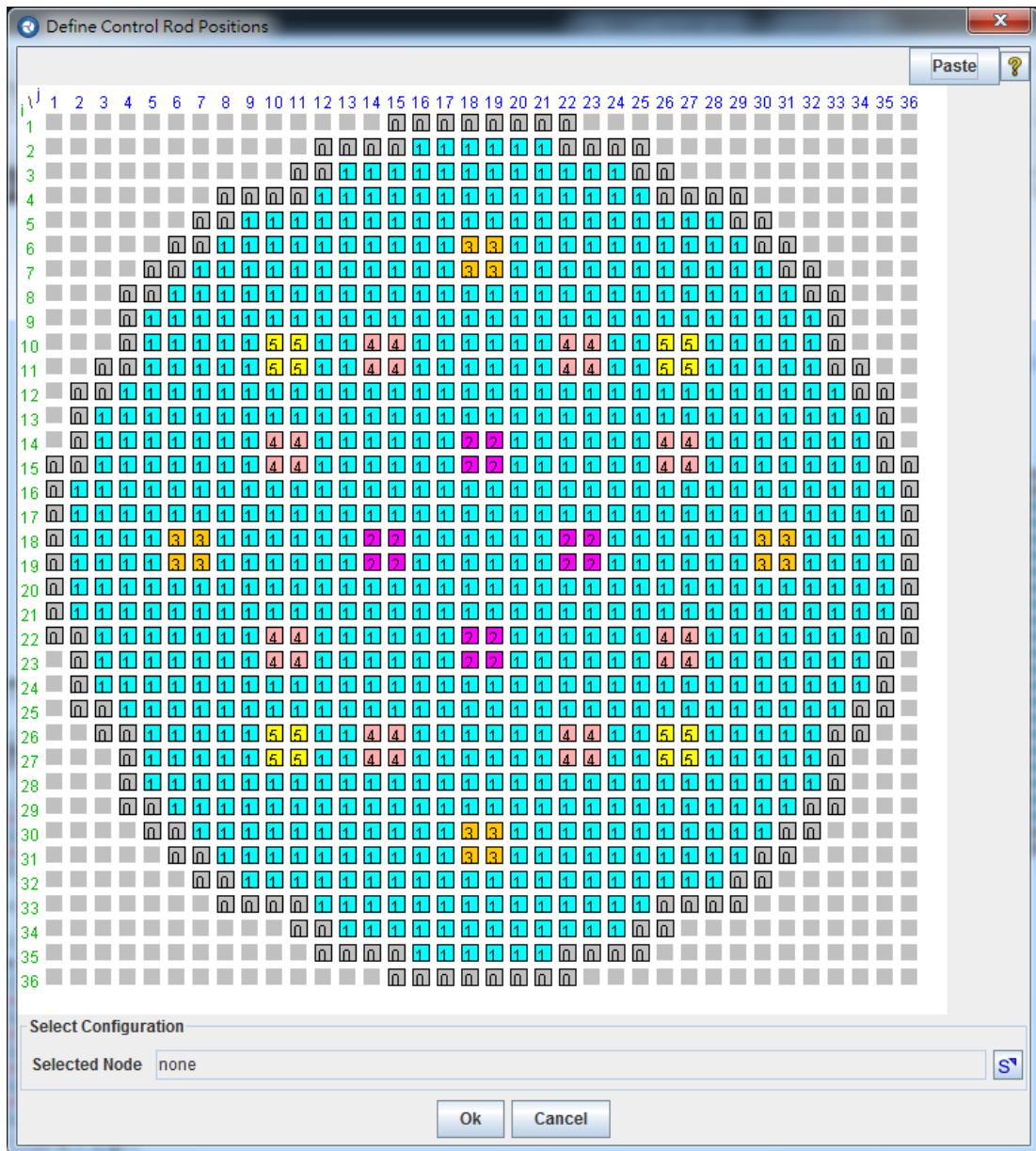


圖 19. 控制棒棒位分組分布圖

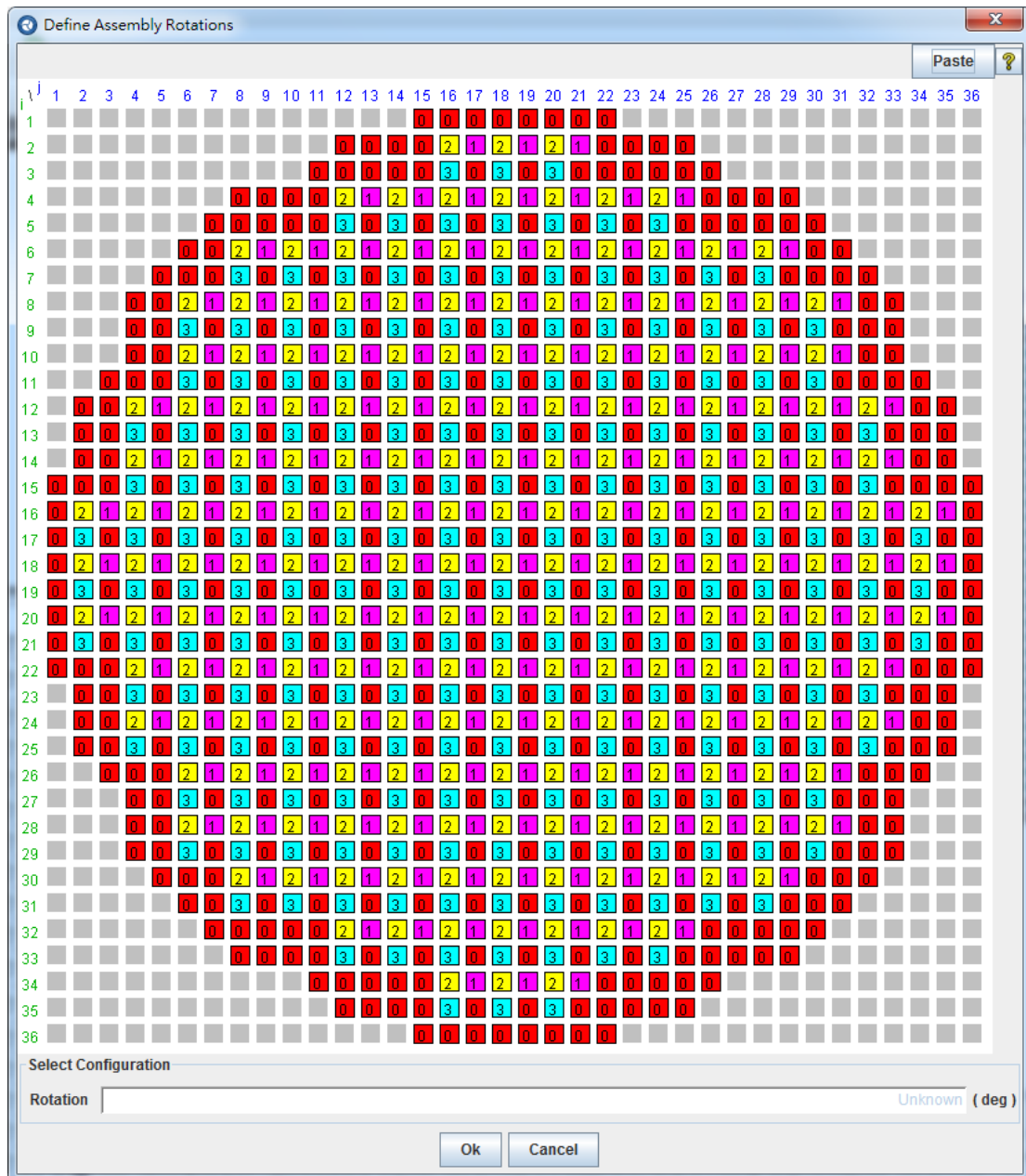


圖 20. 龍門電廠燃料元件旋轉設定

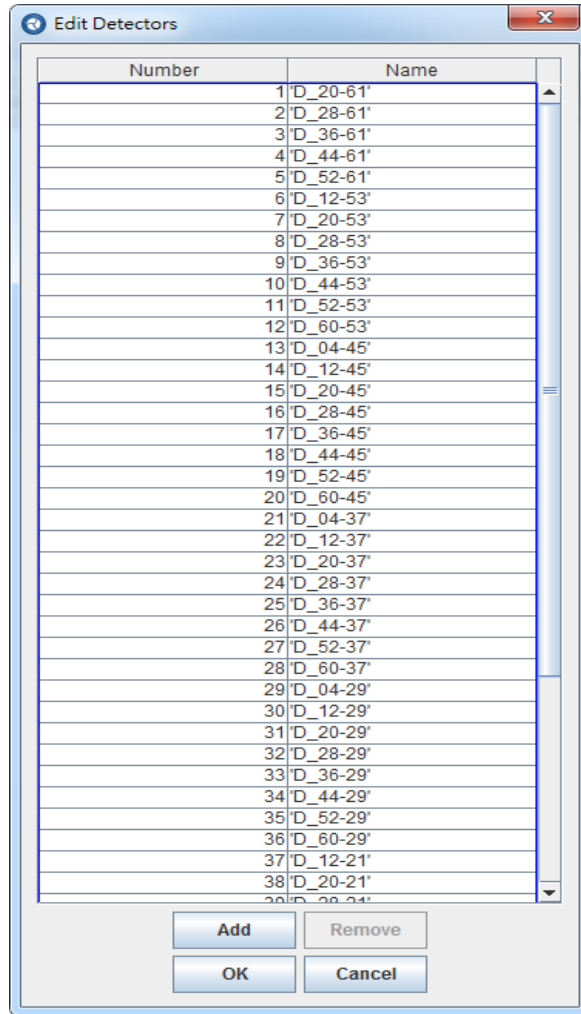


圖 21. 龍門電廠偵測器編號及名稱

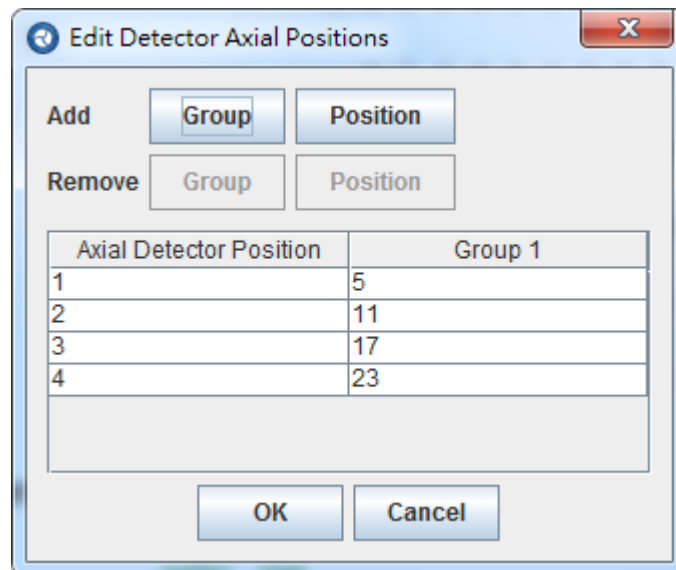


圖 22. 龍門電廠偵測器軸向位置分布

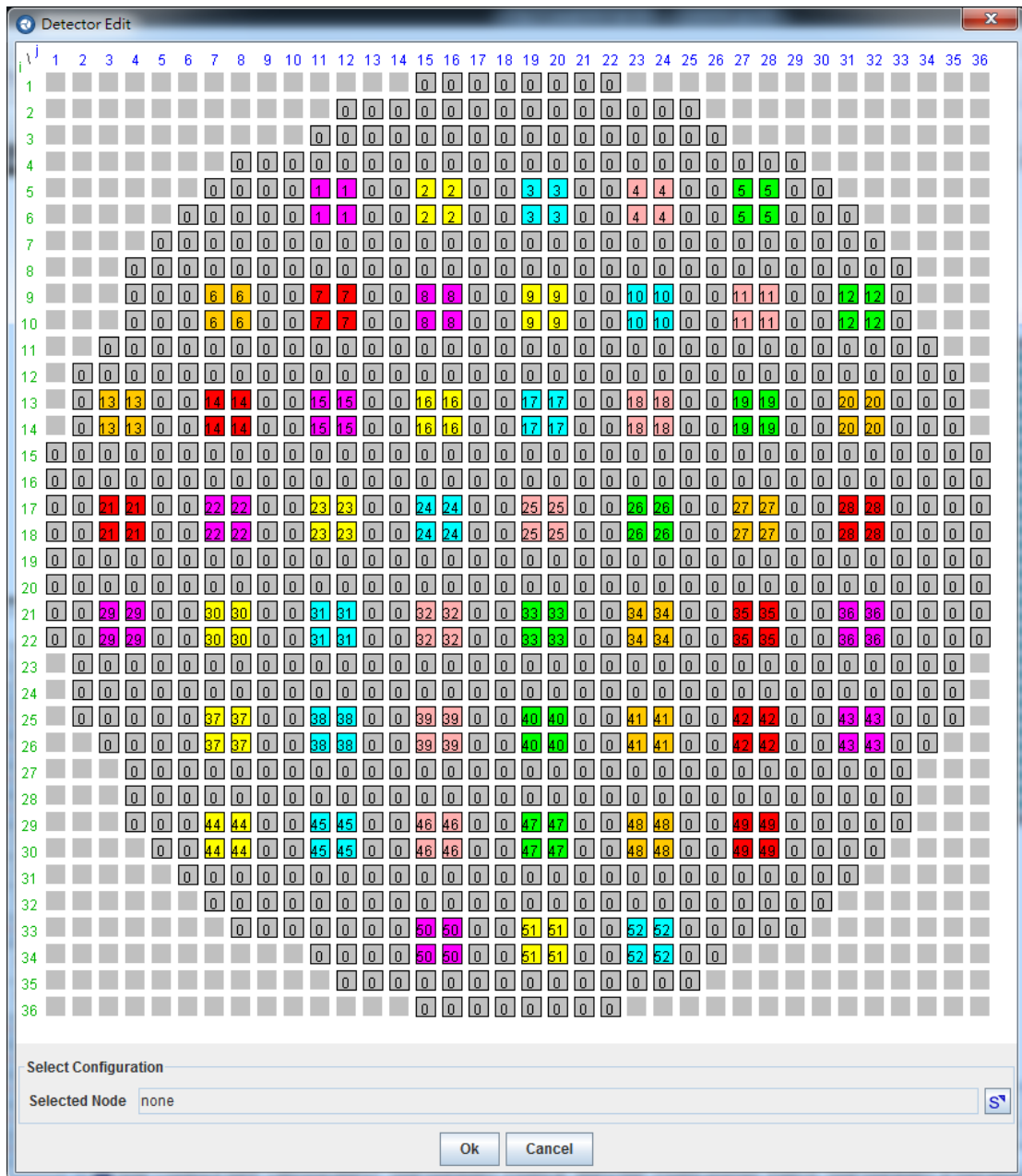


圖 23. 龍門電廠偵測器平面分布

PARAM Options

General Show Disabled

Title	Parameters		
Description	<none>	E	
Comments	<none>	E	
Use Linear Solver	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False		
Use N_iters	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False		
Max Inner Iterations	<input type="text" value="5"/>		
Max Outer Iterations	<input type="text" value="500"/>		
Use Convergence	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False		
Eigenvalue Keff	<input type="text" value="1.0E-6"/> (-) <>		
Global Fission	<input type="text" value="5.0E-5"/> (-) <>		
Local Fission	<input type="text" value="5.0E-4"/> (-) <>		
Fuel Temp	<input type="text" value="1.0E-3"/> (-) <>		
Use Wielandt	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False		
Eigenvalue Shift	<input type="text" value="0.04"/> (-) <>		
Initial Shift	<input type="text" value="0.1"/> (-) <>		
Target K-eff	<input type="text" value="1.0"/> (-) <>		
Nodal Kernel	<input checked="" type="checkbox"/> HYBRID - ANM/NEM nodal hybrid		
Multigroup Solver	<input type="checkbox"/> < Inactive >		
Use NLUPD_SS	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False		
Nonlinear Update	<input type="text" value="3"/>		
Initial Outers	<input type="text" value="3"/>		
T/H Updates	<input type="text" value="1"/>		
ANM Stabilization	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="5.0E-3"/> (-) <>		
Error Reduction	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="5.0E-3"/> (-) <>		
Cusping Elimination	<input checked="" type="checkbox"/> [0] No decusping		
Axial Flux Shape	<input checked="" type="checkbox"/> [0] cosine		
Use COSS_Relax	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False		

圖 24. 龍門電廠數值運算參數

TH Options	
▼ General <input type="checkbox"/> Show Disabled	
Title	Thermo-hydraulic
Description	<none>
Comments	<none>
Use N_PINGT	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
FA Pin Numbers	92
Guide Number	8
Use FA_POWPIT	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Full Power	4.50229 (MW)
FA Pitch	15.494 (cm)
Use PIN_DIM	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Use FLOW_COND	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Inlet Temp.	277.28 (C)
Mass Flow	16.132 (kg/s)
Gamma Heat Coolant	0.02 (-)
Gamma Heat Bypass	0.02 (-)
Gamma Heat W.Rods	0.0 (-)
Gap Conductance	<input checked="" type="checkbox"/> 5600.0 (-)
Coaxial Rings	<input type="checkbox"/>
TH Mesh	[36][36][24] Mesh Entries
Freeze Fuel	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Freeze Density	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Feedback Write Option	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Feedback File	caseid.fbv
Read DOPL Data	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Read TMDM	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Use UNIF_TH	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Moderator Density	0.45755 (g/cm3)
Fuel Temp	460.0 (C)
Moderator Temp	300.0 (C)
Use EFF DOPLT	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Cool Den. Correction	<input checked="" type="checkbox"/> [3] Bypass Density/Rod Density
Energy Deposition	<input checked="" type="checkbox"/> [2] Three Fractions
Fluid Type	<input type="checkbox"/> < Inactive >
TH condition File	<input type="checkbox"/> disabled
Set Bypass Data	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False

圖 25. 龍門電廠熱水流設定

Transient Data	
General <input type="checkbox"/> Show Disabled	
Title	Transient
Description	<none>
Comments	<none>
Use Time Step	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Transient duration	1.0E4 (s)
Time Step Size	<input checked="" type="checkbox"/> 0.05 (s)
Time Switch	<input type="checkbox"/> Unknown (s)
Time Expand	<input type="checkbox"/> Unknown (s)
Use EXPO_OPT	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Transform Option	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Extrapolation Option	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Use THETA	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Kinetics Theta	1.0 (-)
T/H Theta	0.5 (-)
Conduction Theta	0.5 (-)
Use CONV_TR	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Residual convergence	1.0E-3 (-)
Global Fission	<input type="checkbox"/> Unknown (-)
Local Fission	<input type="checkbox"/> Unknown (-)
Temp. Convergence	<input type="checkbox"/> Unknown (-)
Use NLUPD_TR	<input checked="" type="radio"/> True <input type="radio"/> False
Nonlinear Cycle	5
Nonlinear Iterations	1
T/H Node Update	5
Conduction Calcs.	10
XS Change	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01 (-)
Nodal Error	<input type="checkbox"/> Unknown (-)
Use Rod Movement	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Boron Conc	Rows: 0 []
Scram Option	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Impose Reactivity	Rows: 0 []
Calc. Frequency	<input checked="" type="checkbox"/> 1
File Restart	<input type="checkbox"/>
Nodal Converge	<input type="checkbox"/> <input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Use PLOT_CNTRL	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Radial Flux	(s) [0]
Use SUM_EDIT	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Edit Frequency	(s) [0]
Use EXCL_MOD	<input type="radio"/> True <input checked="" type="radio"/> False
Mode File	<input type="checkbox"/> disabled

圖 26. 龍門電廠暫態設定

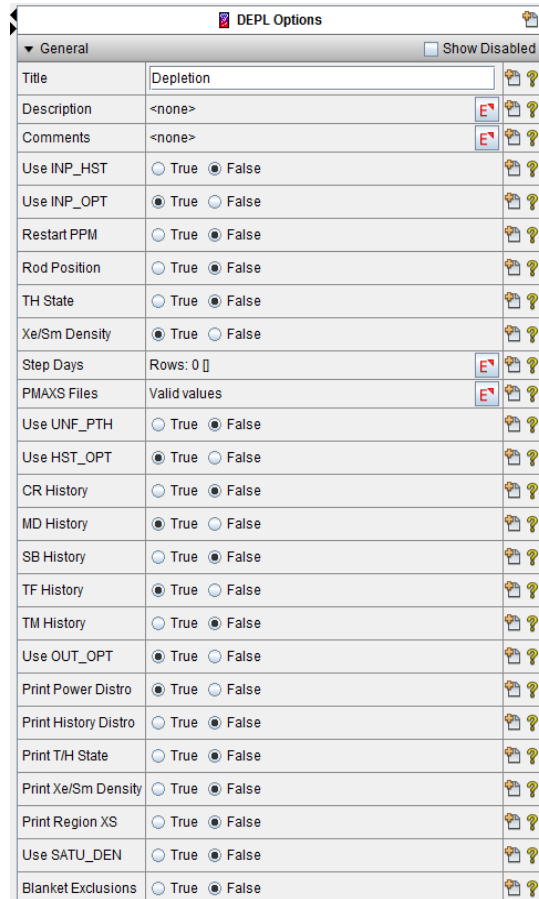


圖 27. 龍門電廠燃耗設定

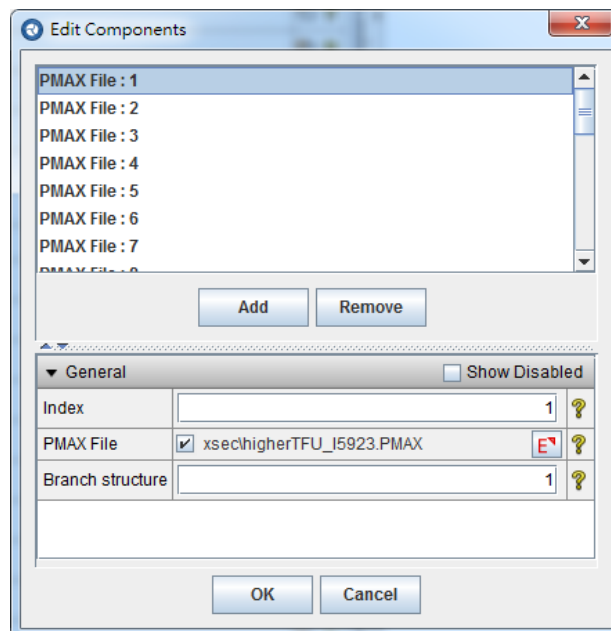


圖 28. 龍門電廠 PMAXS 檔輸入

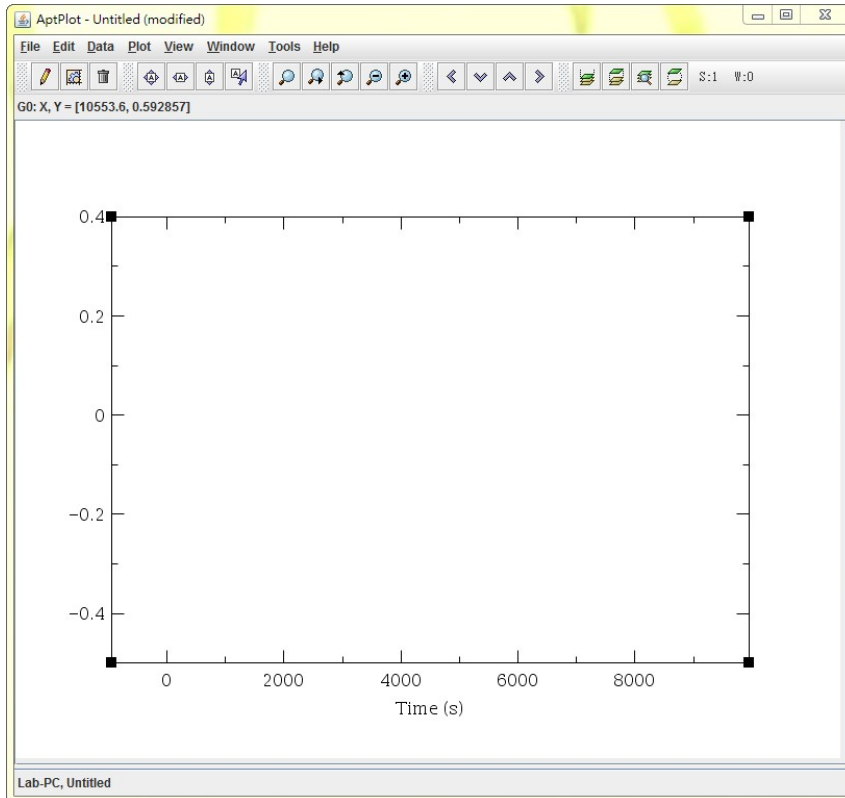


圖 29. AptPlot 基本畫面

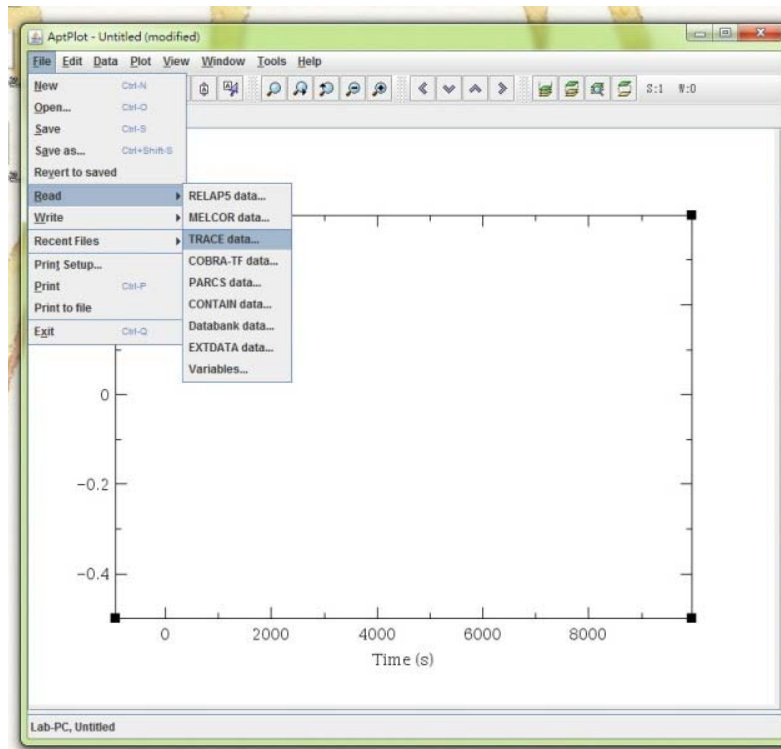


圖 30. 呼叫 TRACE 數據檔

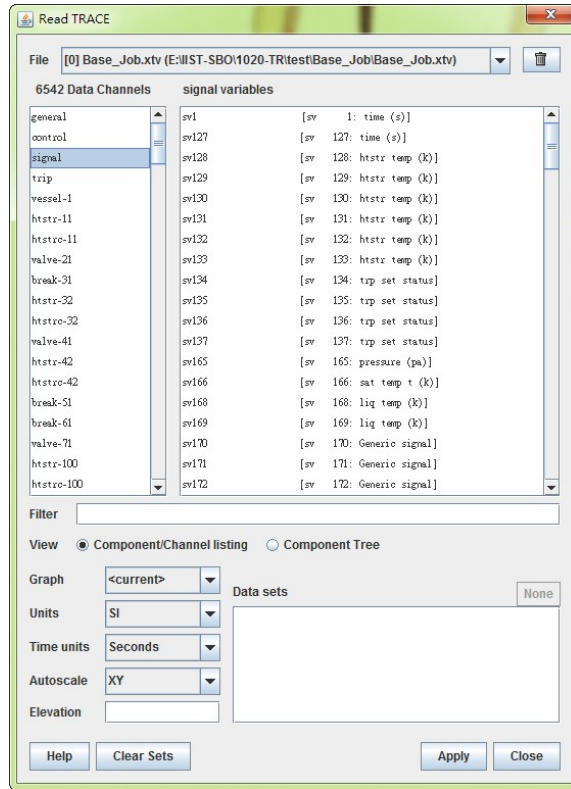


圖 31. Read TRACE 視窗

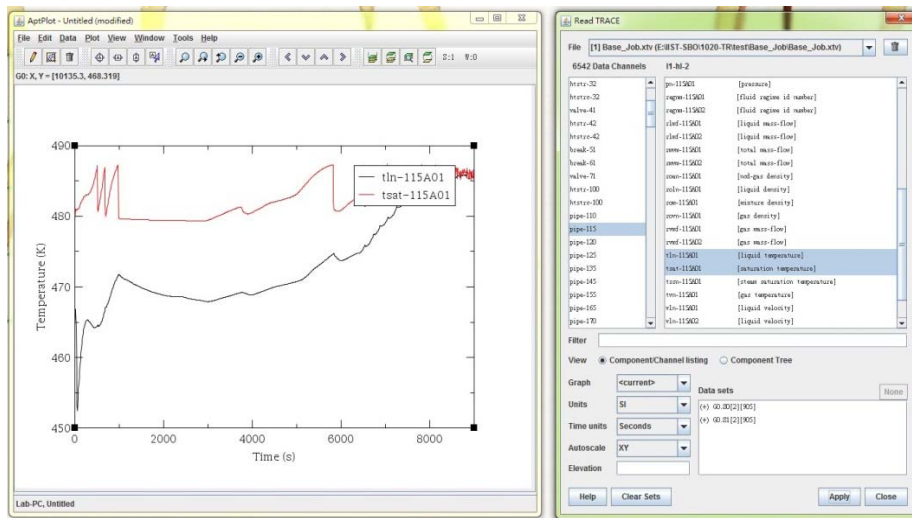


圖 32. Pipe120 參數 tln-115A01(temperature) 與 tsat-115A01(saturated temperature)

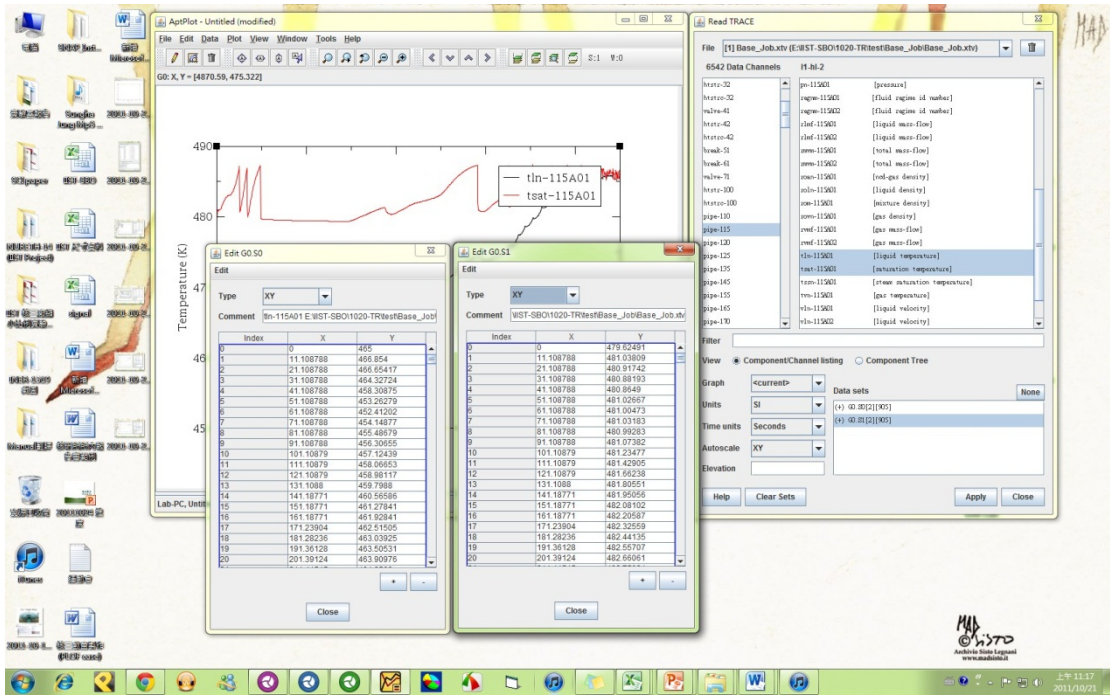


圖 33. 參數的完整數據表

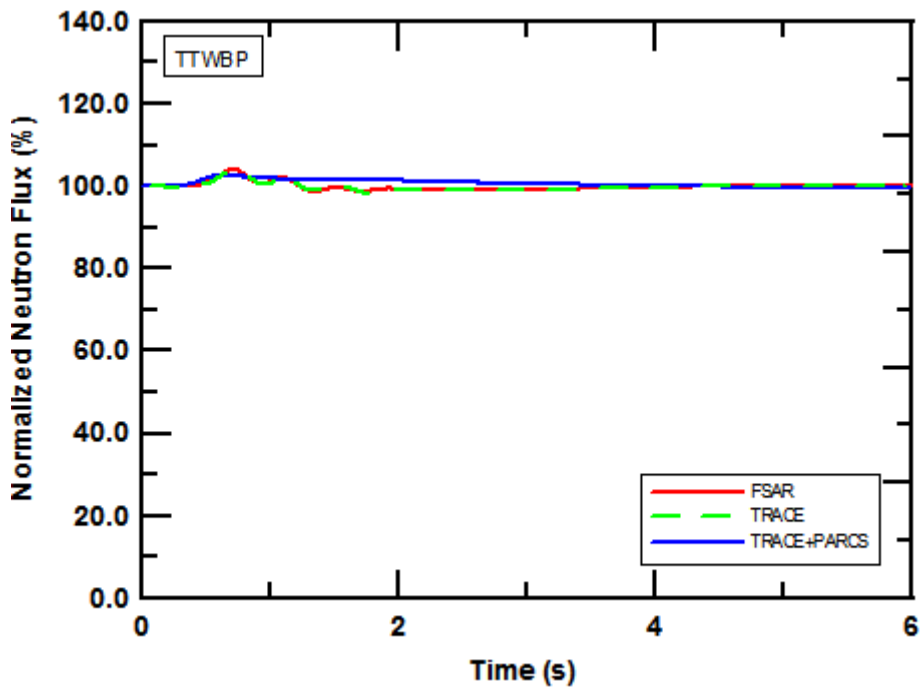


圖 34. 汽機跳脫有旁通中子通率暫態反應

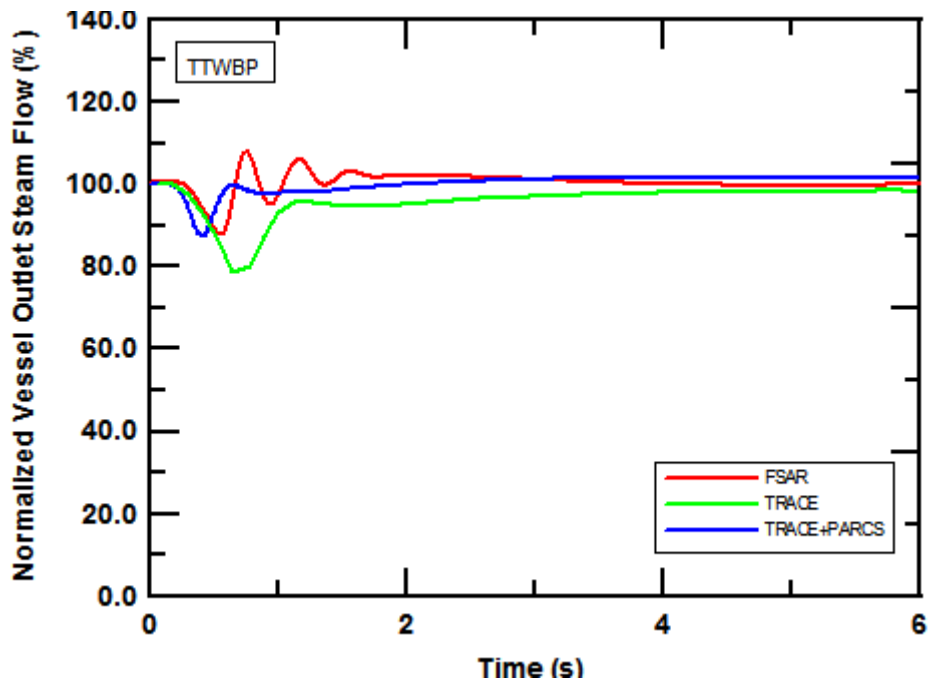


圖 35. 汽機跳脫有旁通蒸氣流量暫態反應

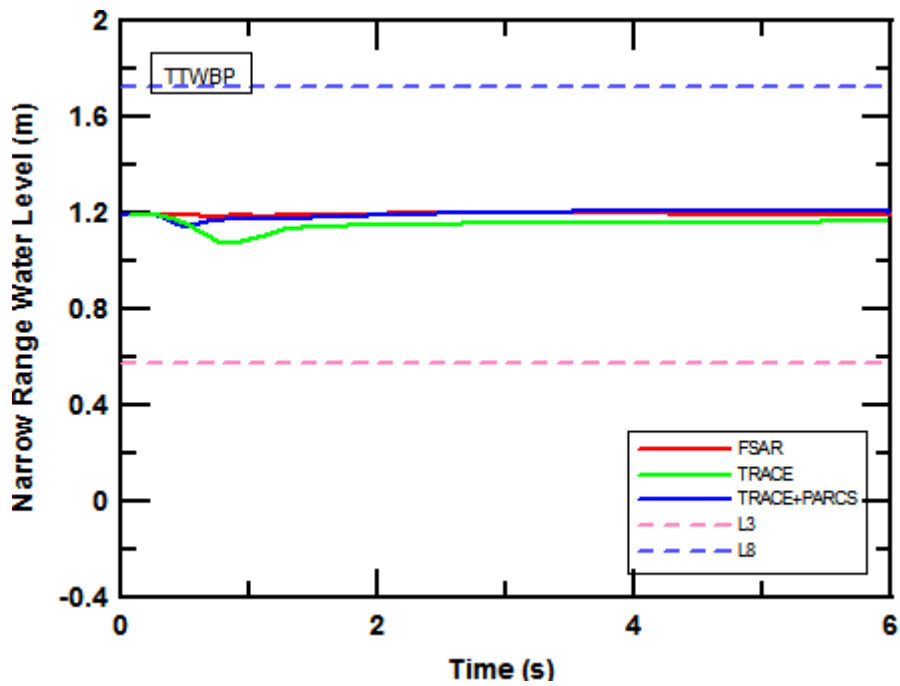


圖 36. 汽機跳脫有旁通窄幅水位暫態反應

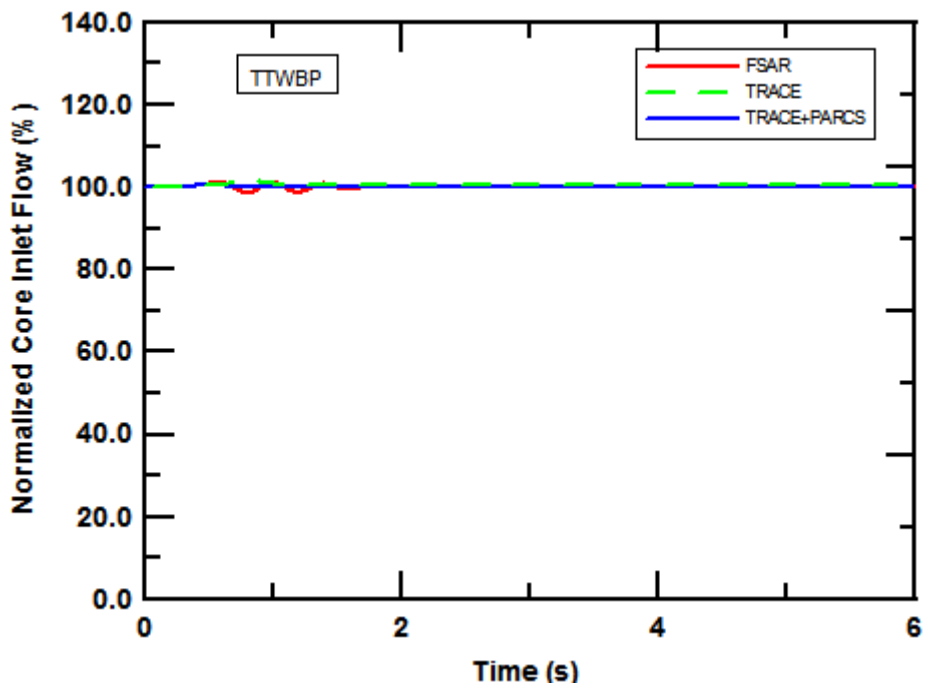


圖 37. 汽機跳脫有旁通爐心進口流量暫態反應

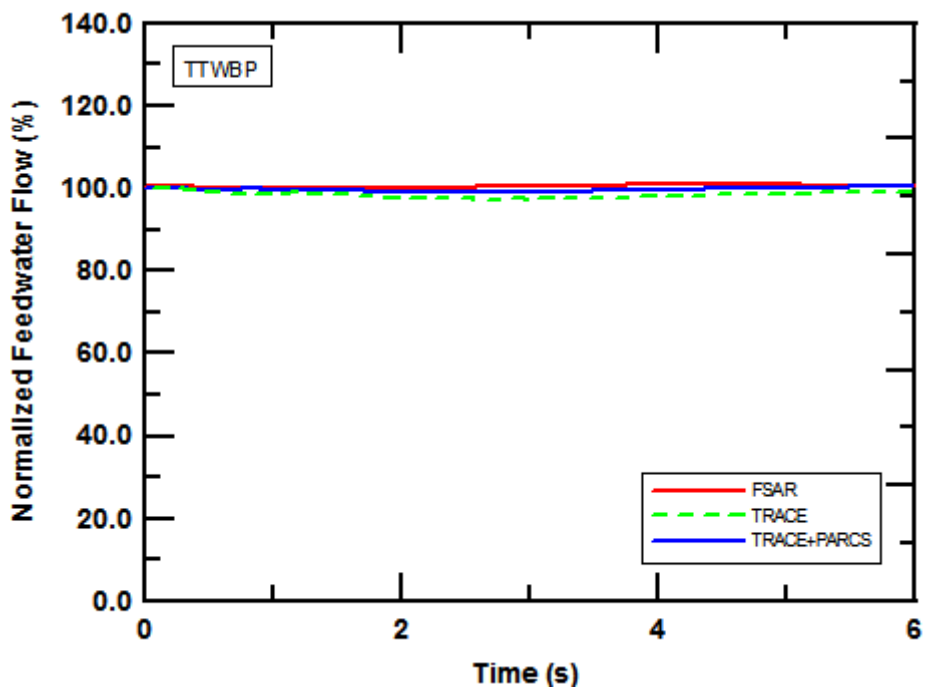


圖 38. 汽機跳脫有旁通飼水流量暫態反應

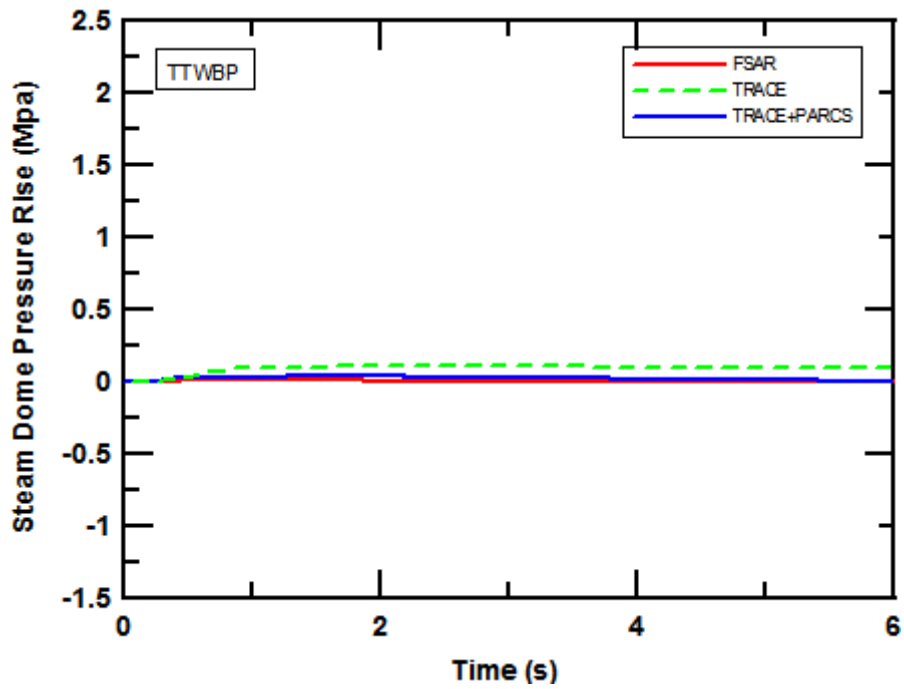


圖 39. 汽機跳脫有旁通反應爐頂部壓升暫態反應

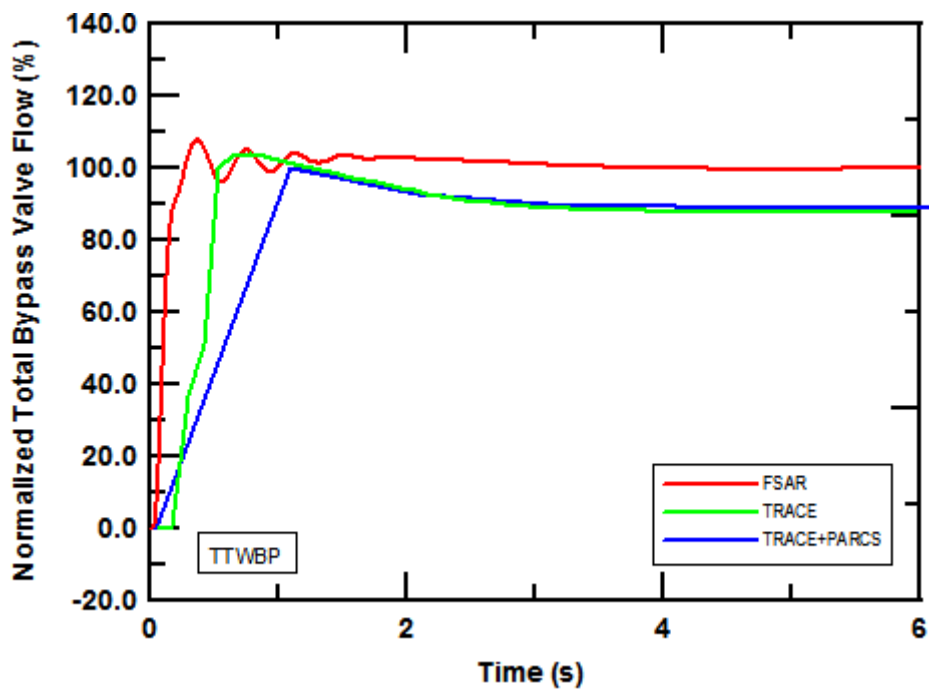


圖 40. 汽機跳脫有旁通旁通流量暫態反應

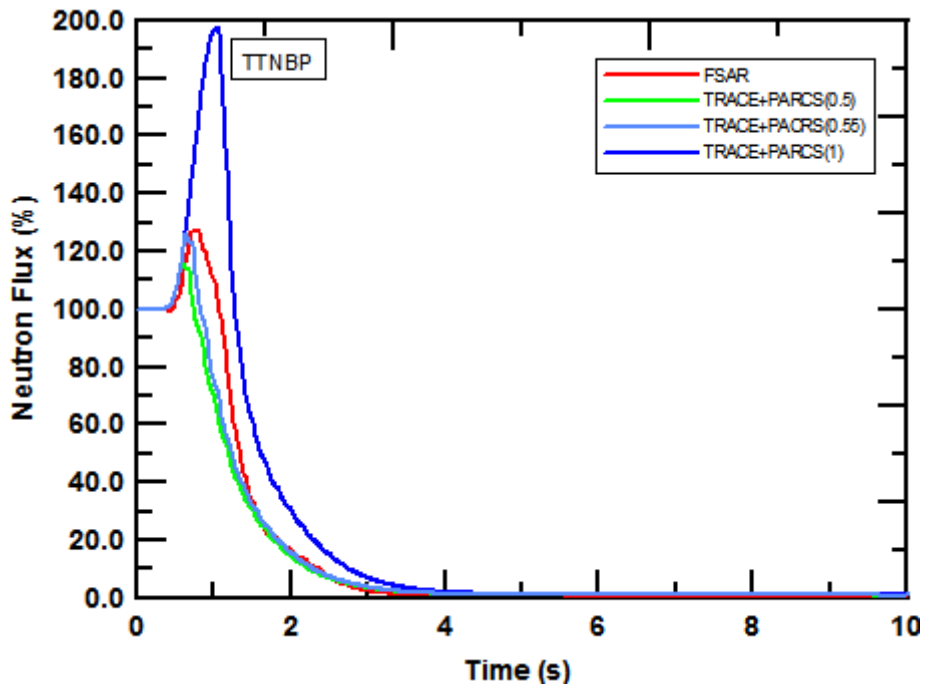


圖 41. 汽機跳脫無旁通中子通率暫態反應(1)

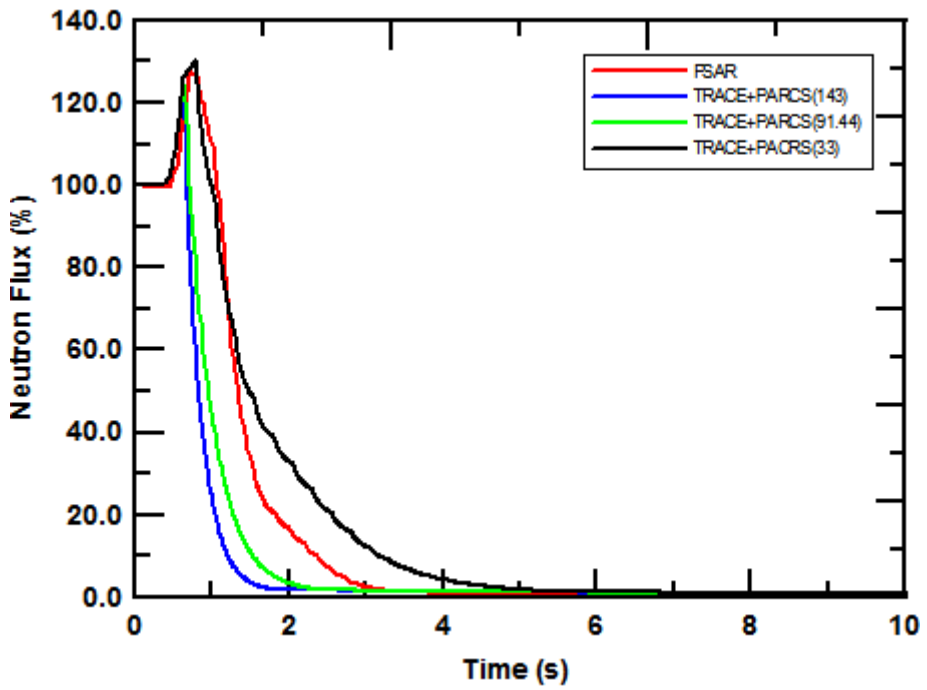


圖 42. 汽機跳脫無旁通中子通率暫態反應(2)

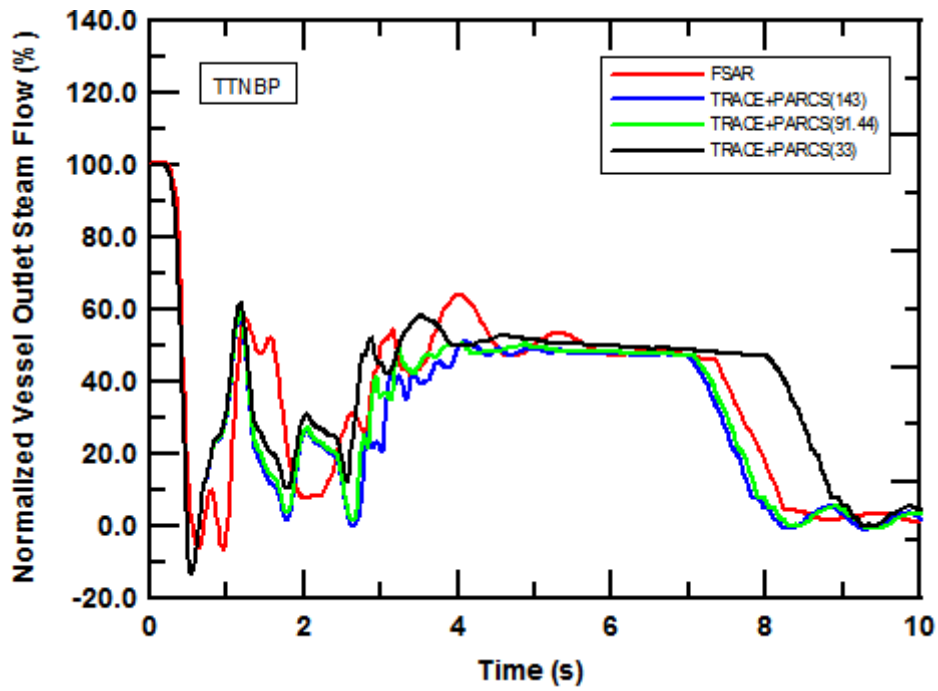


圖 43. 汽機跳脫無旁通蒸氣流量暫態反應靈敏度分析

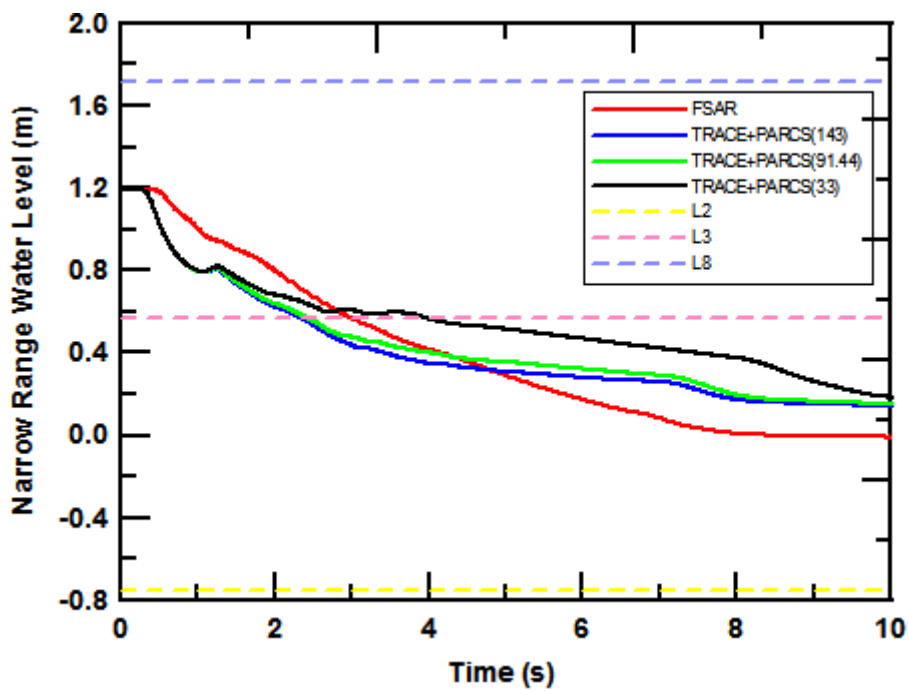


圖 44. 汽機跳脫無旁通窄幅水位暫態反應靈敏度分析

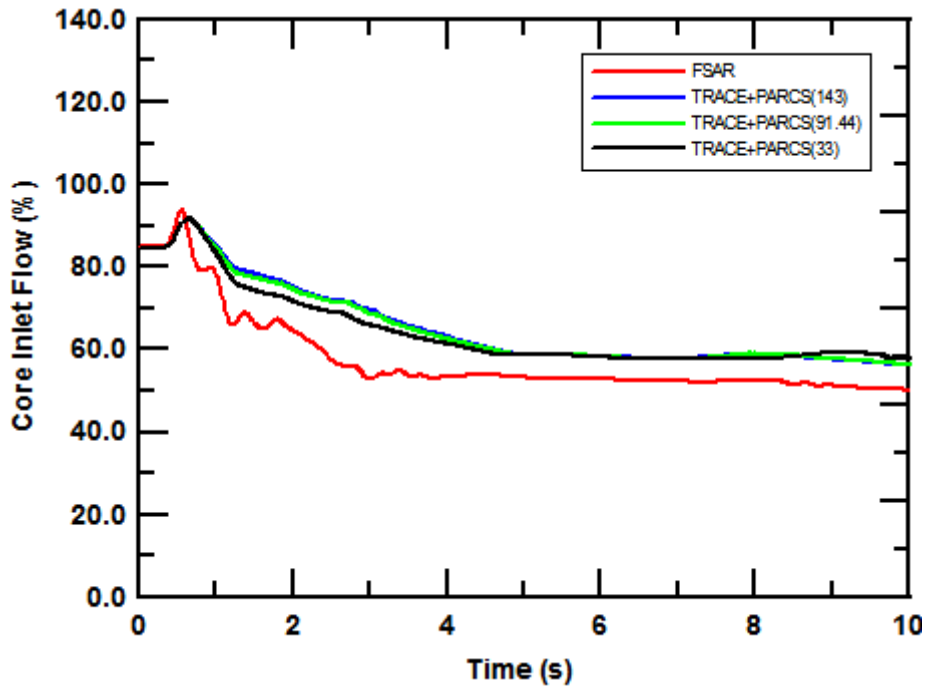


圖 45. 汽機跳脫無旁通爐心進口流量暫態反應靈敏度分析

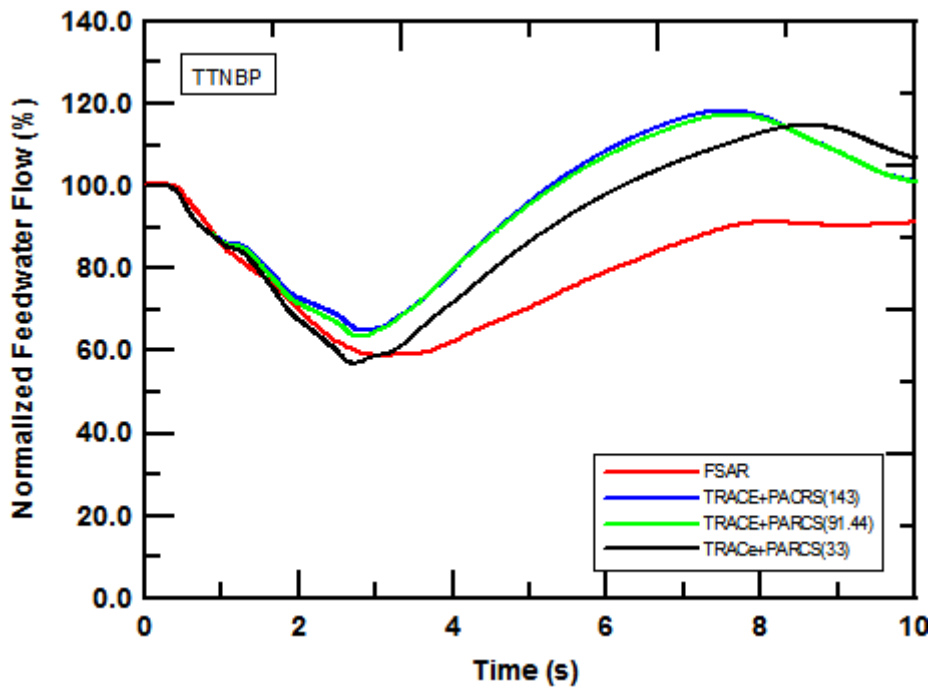


圖 46. 汽機跳脫無旁通飼水流量暫態反應靈敏度分析

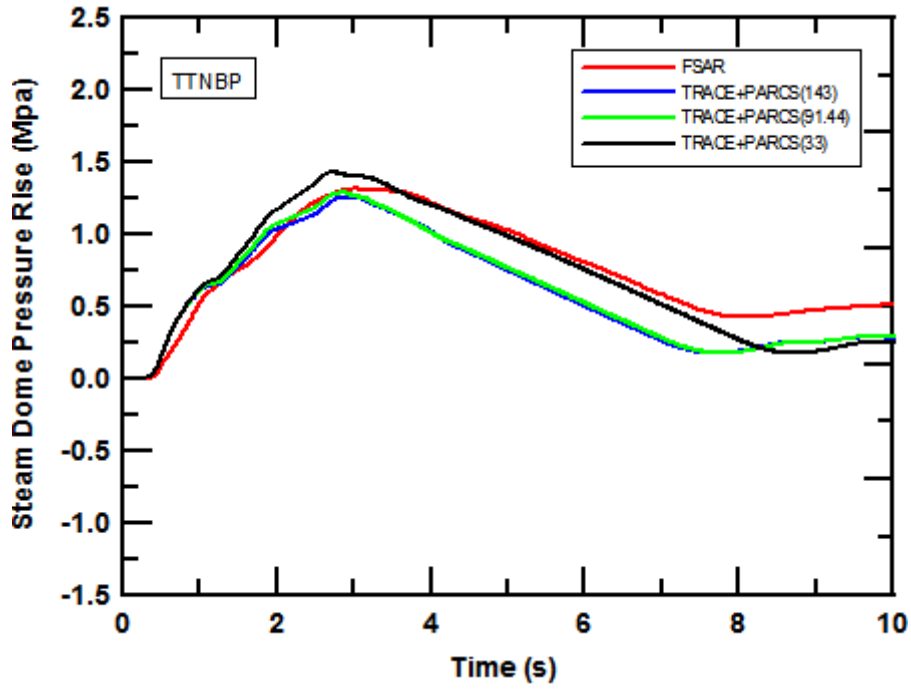


圖 47. 汽機跳脫無旁通反應爐頂部壓升暫態反應靈敏度分析

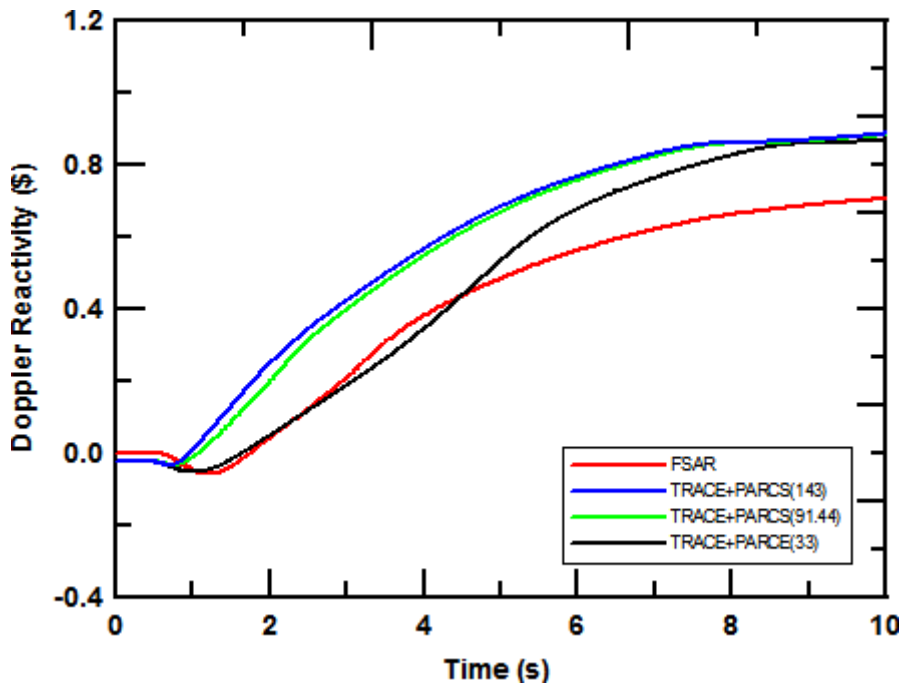


圖 48. 汽機跳脫無旁通都普勒反應度暫態反應靈敏度分析

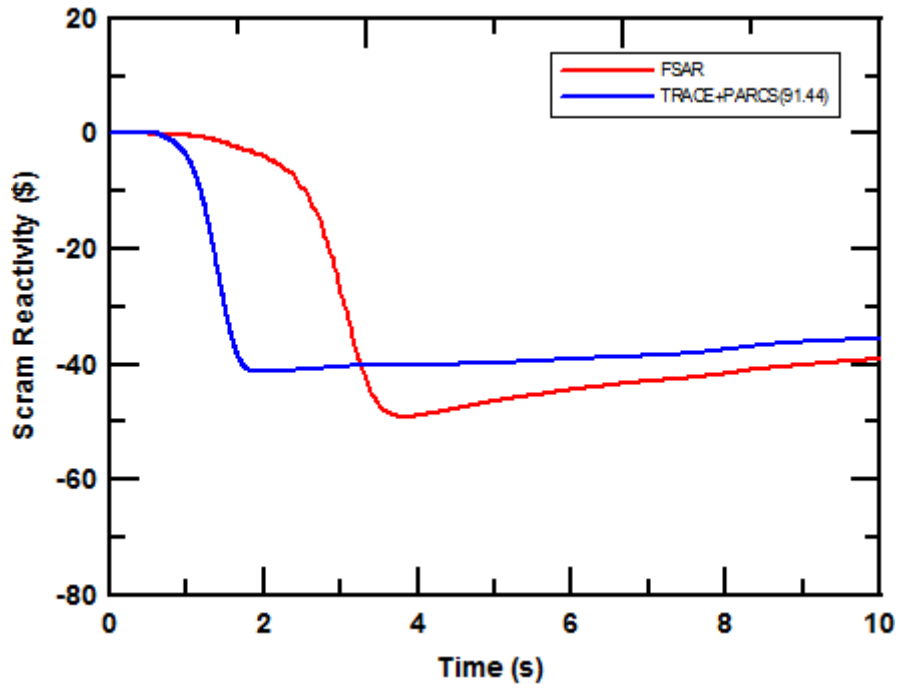


圖 49. 汽機跳脫無旁通急停反應度暫態反應靈敏度分析

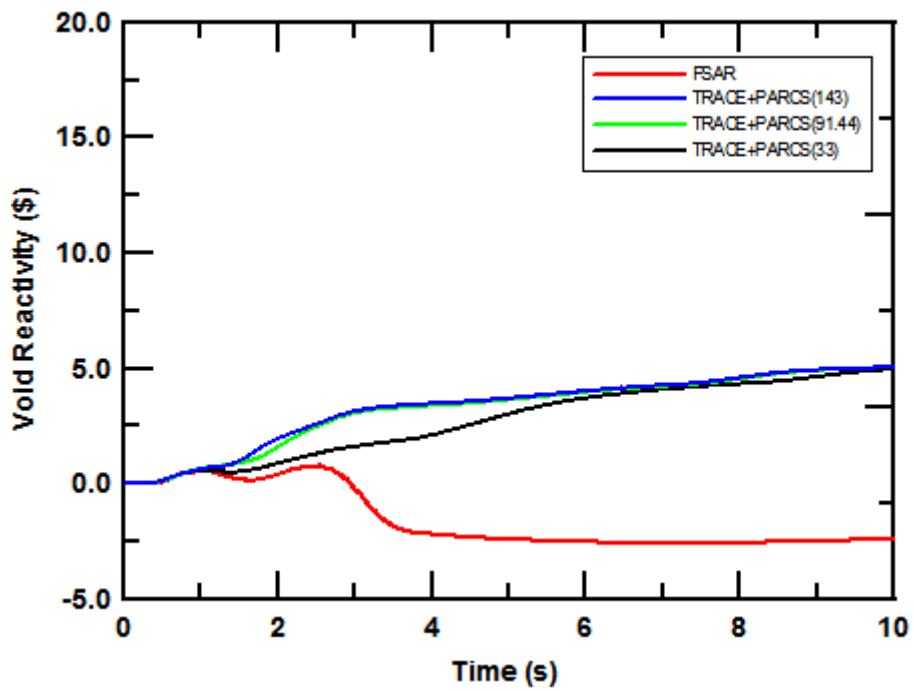


圖 50. 汽機跳脫無旁通空泡反應度暫態反應靈敏度分析

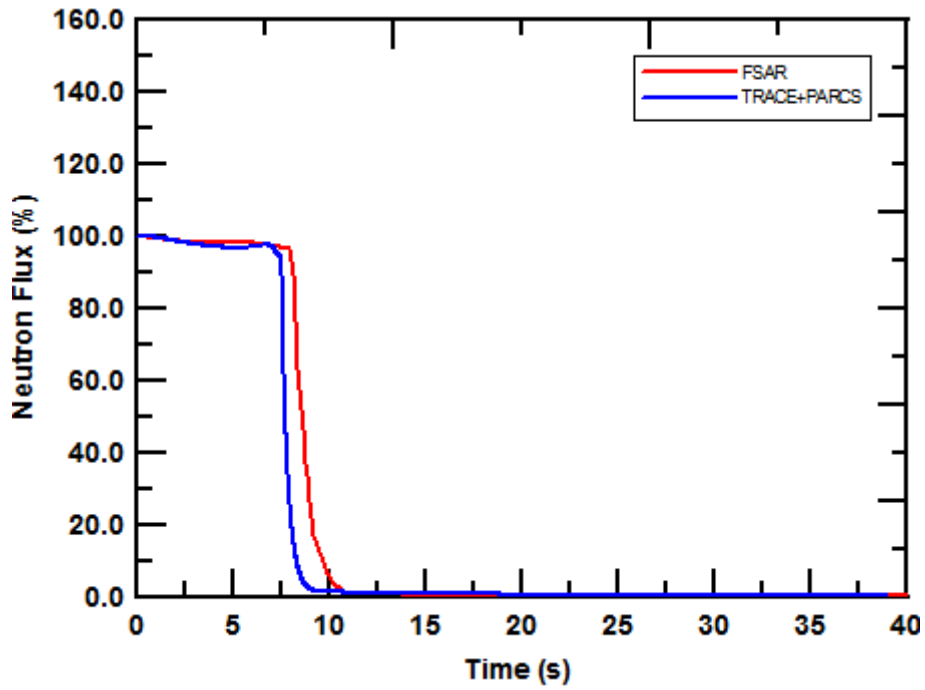


圖 51. 飼水流喪失中子通率暫態反應

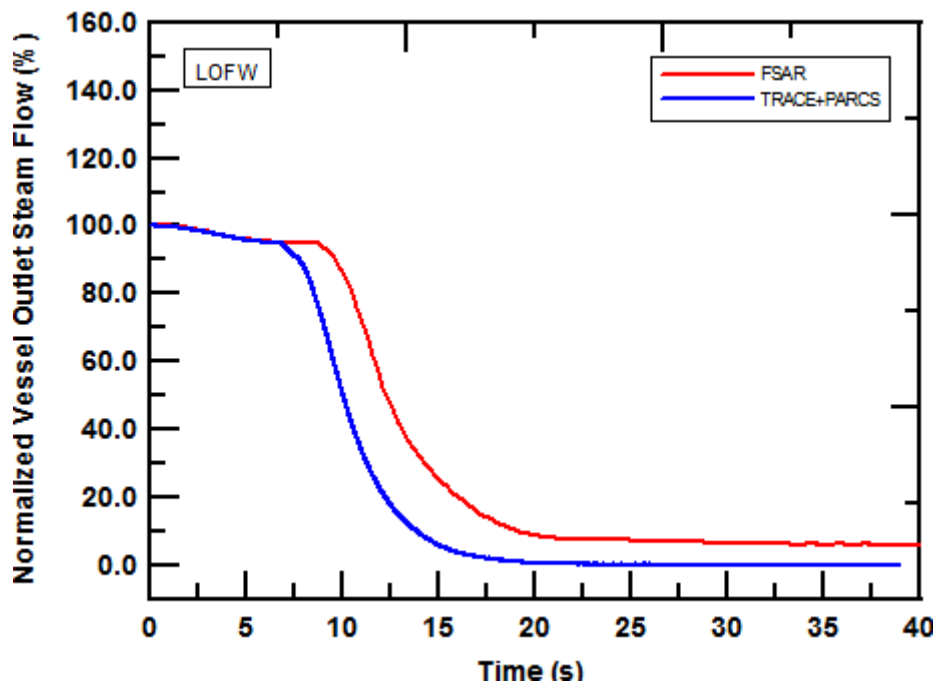


圖 52. 飼水流喪失蒸氣流量暫態反應

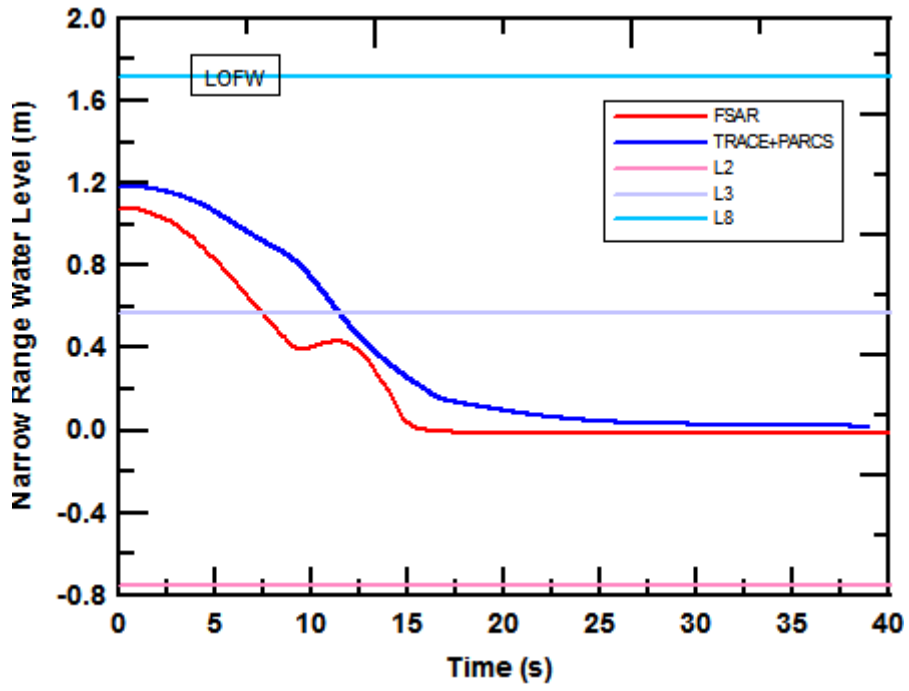


圖 53. 飼水流喪失窄幅水位暫態反應

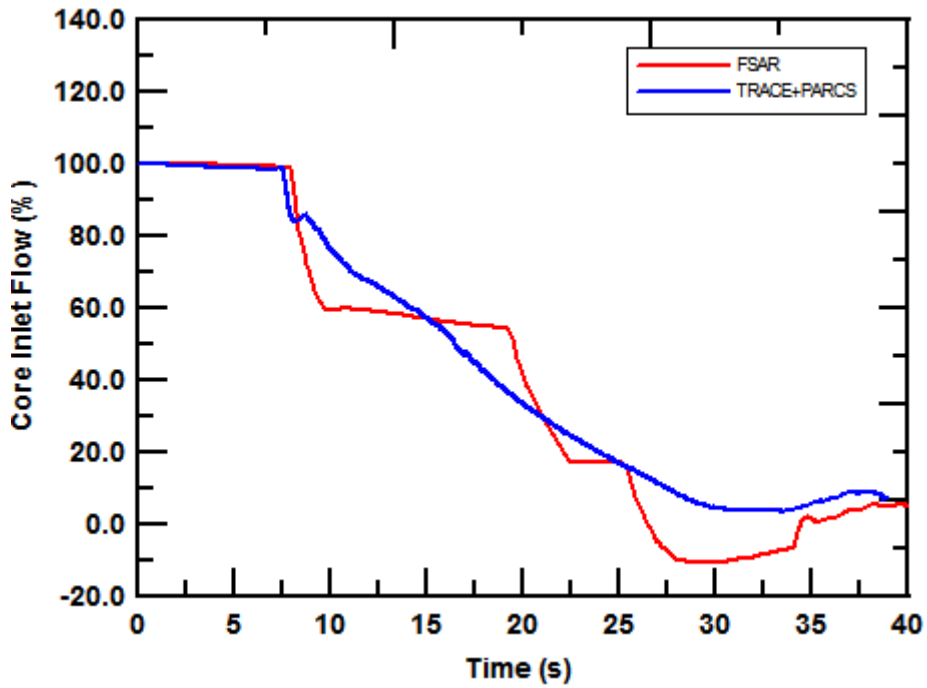


圖 54. 飼水流喪失爐心進口流量暫態反應

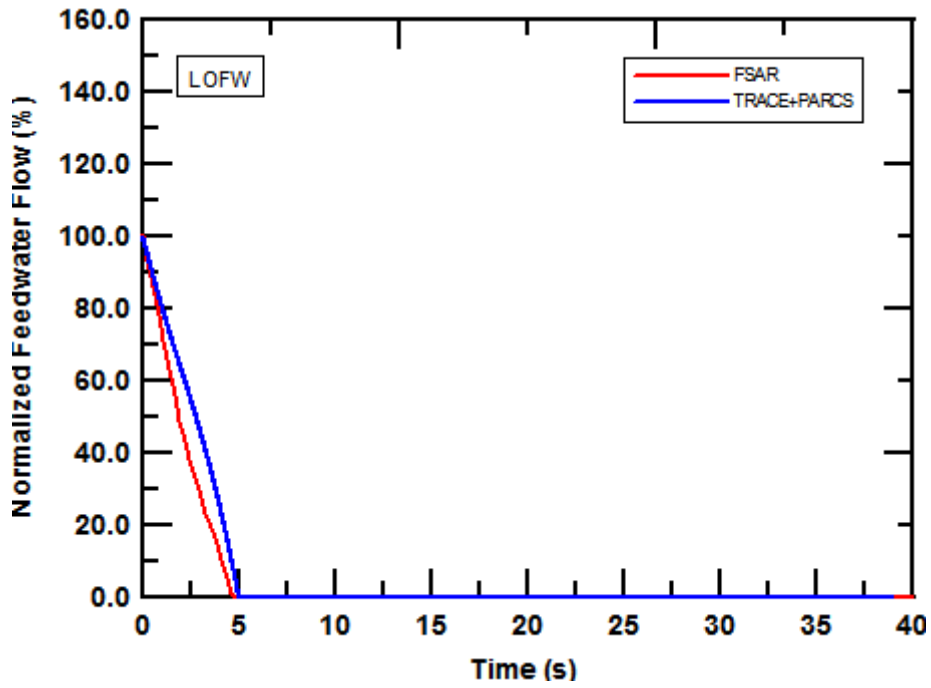


圖 55. 飼水流喪失飼水流量暫態反應

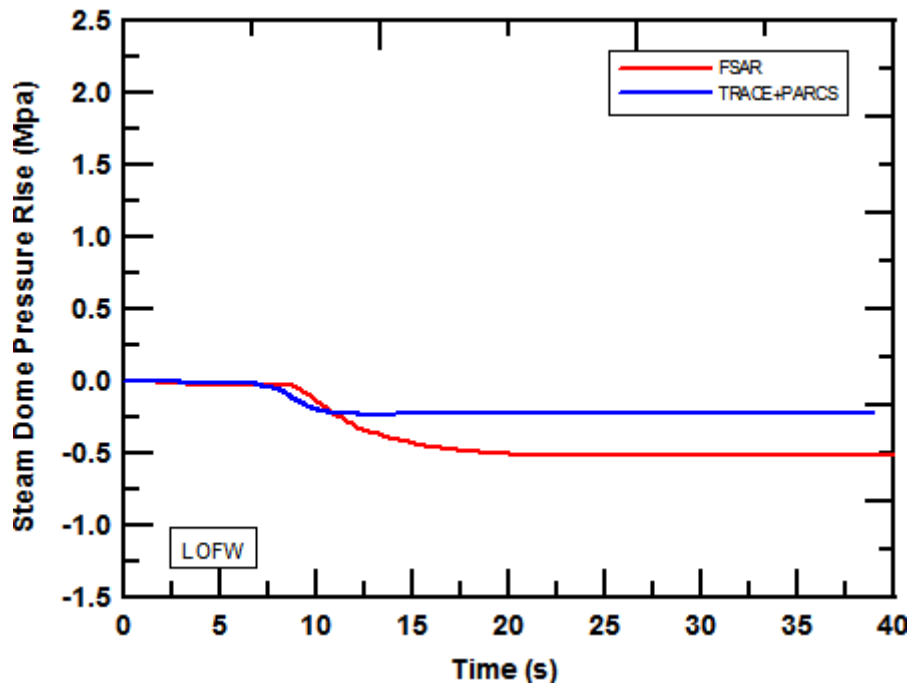


圖 56. 飼水流喪失反應爐頂部壓升暫態反應

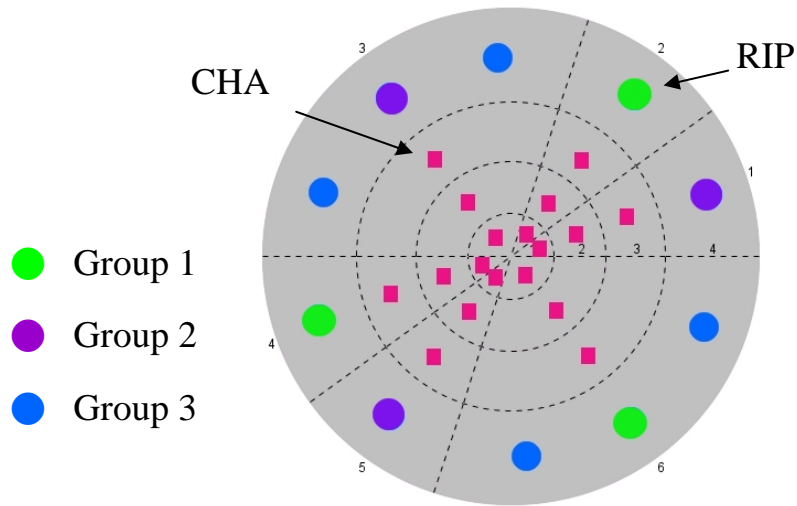


圖 57. 爐內泵與燃料元件分布

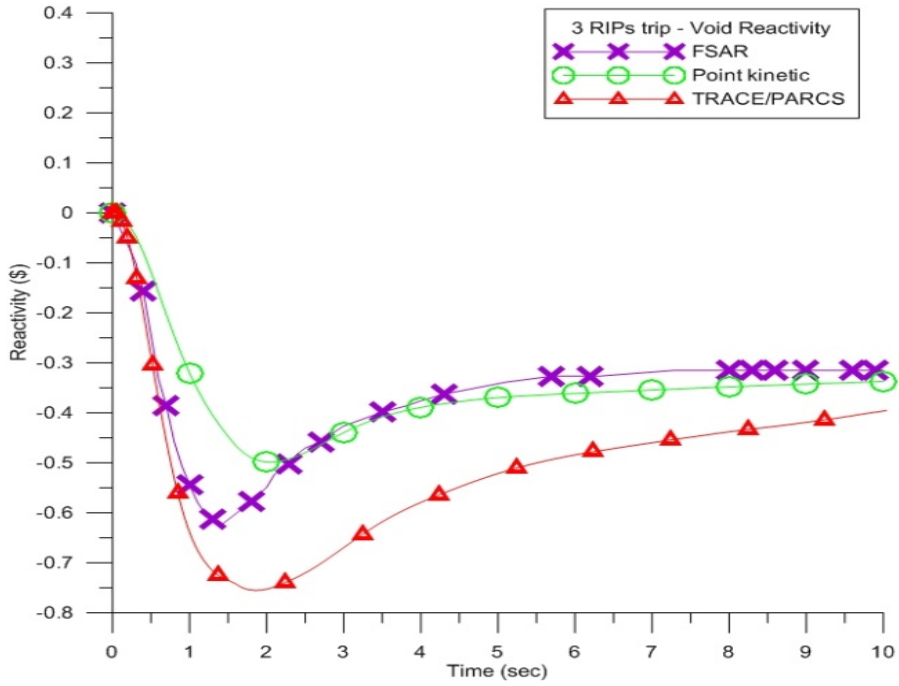


圖 58. 空泡反應度比較

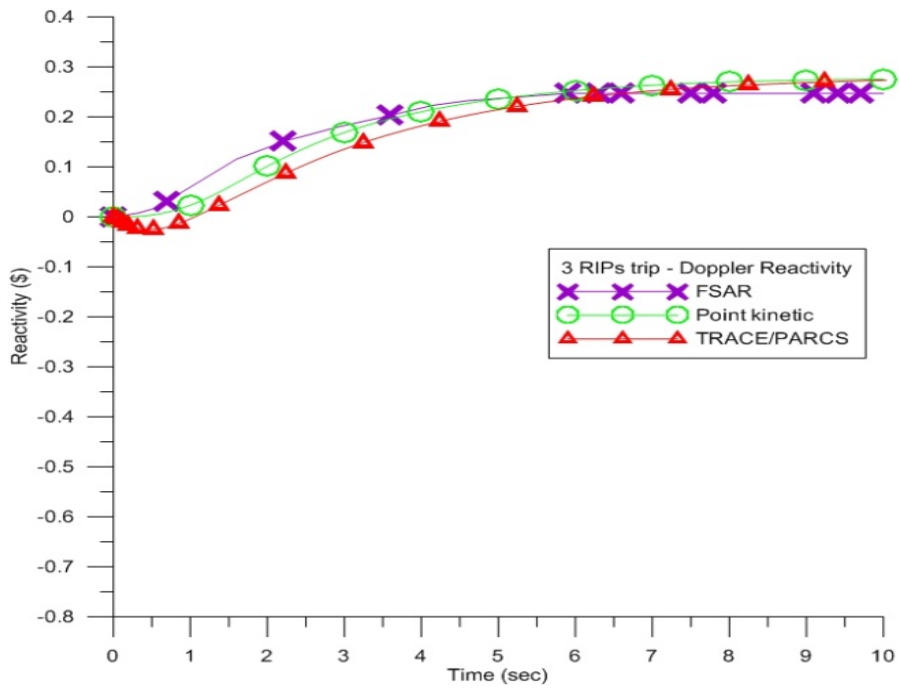


圖 59. 都卜勒反應度比較

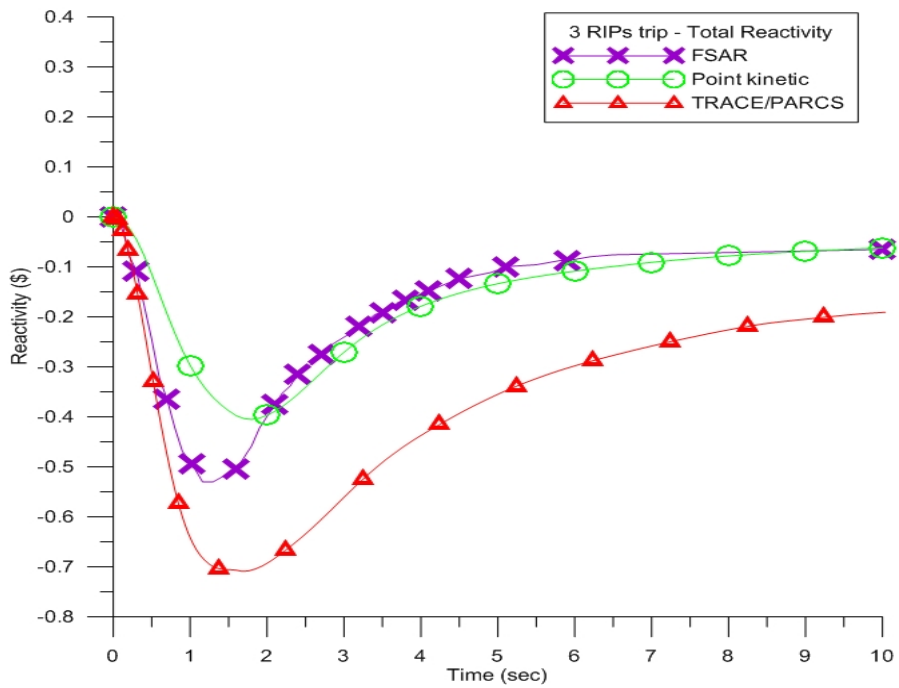


圖 60. 總反應度比較

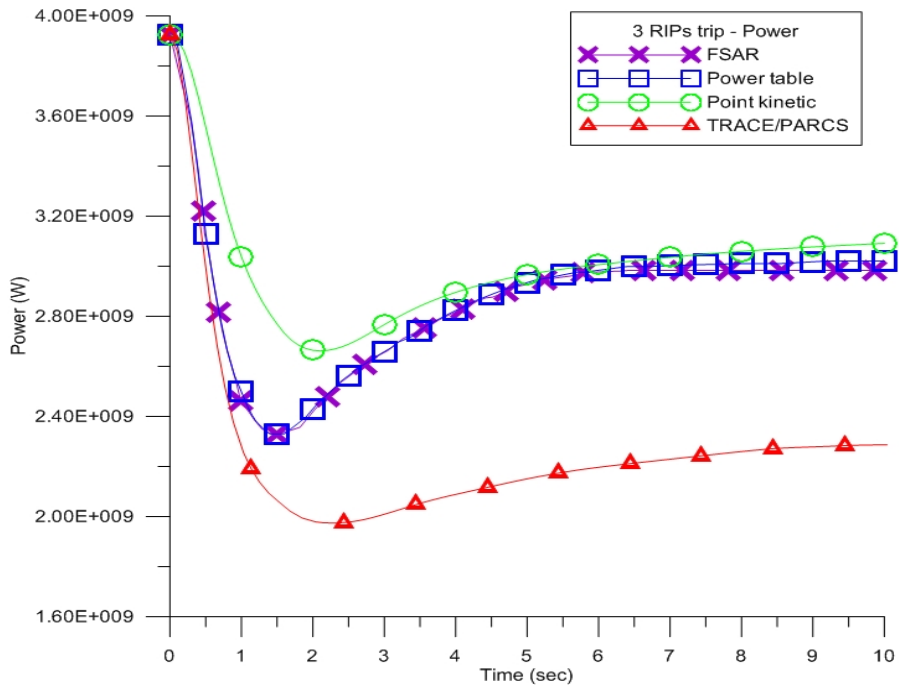


圖 61. 功率之比較

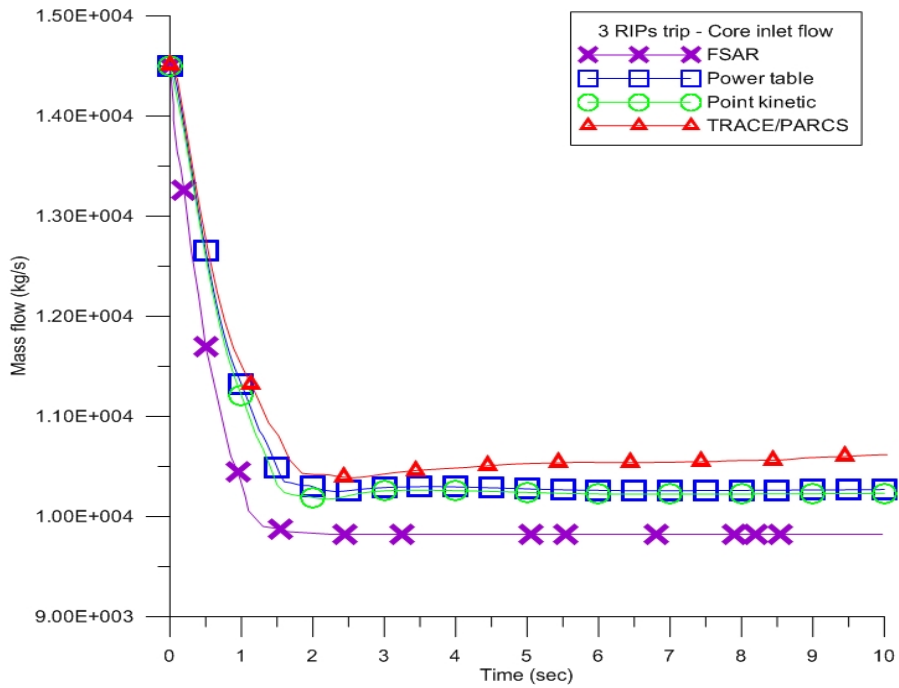


圖 62. 爐心流量之比較

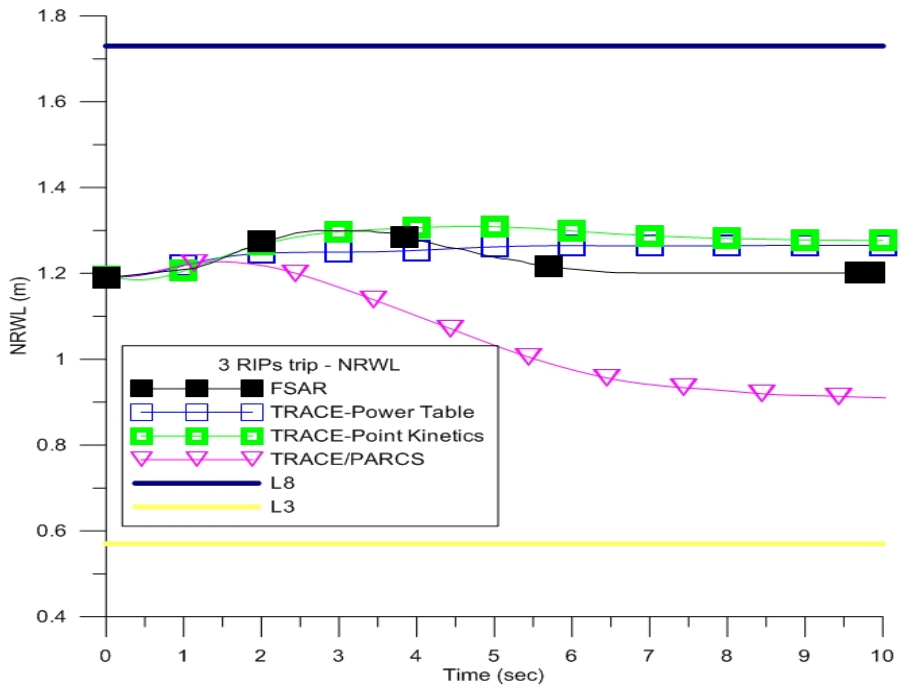


圖 63. 窄幅水位之比較

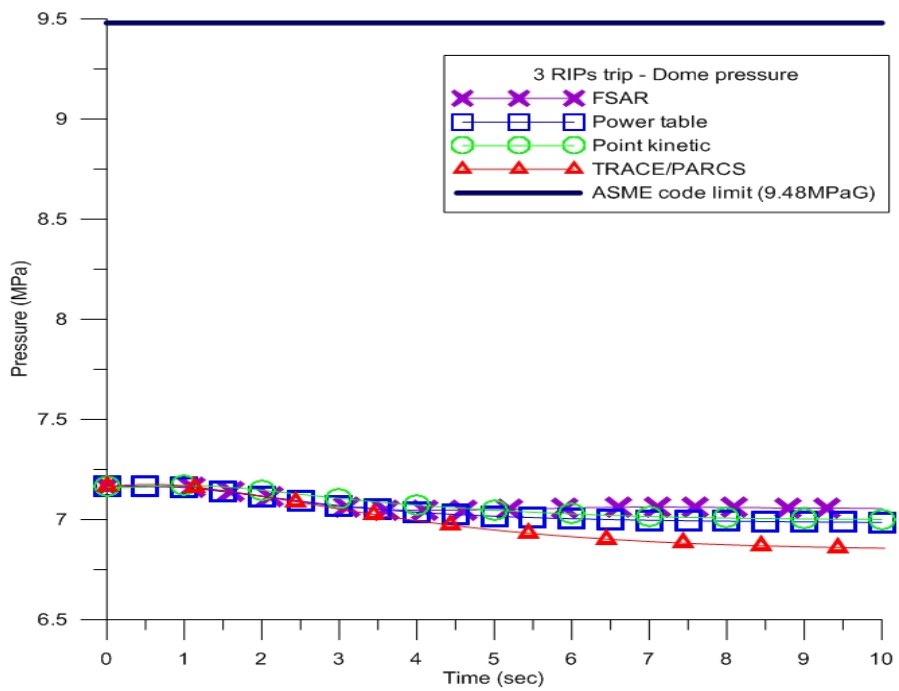


圖 64. 爐內壓力之比較

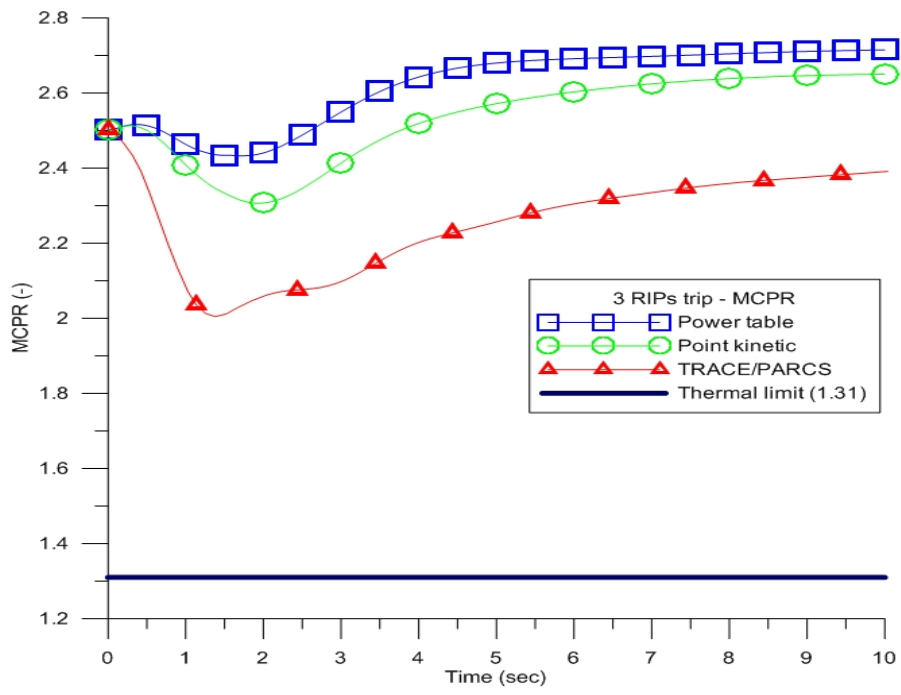
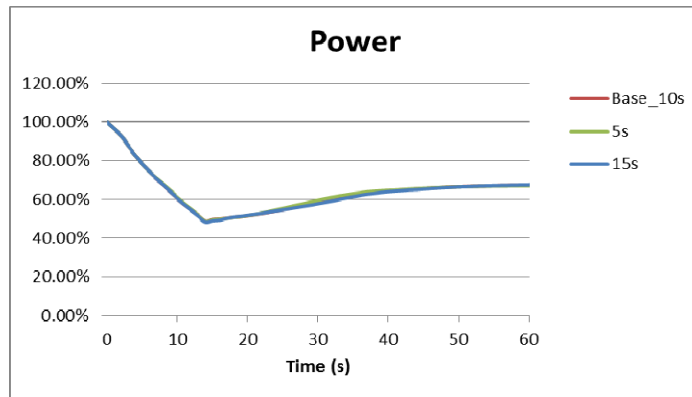
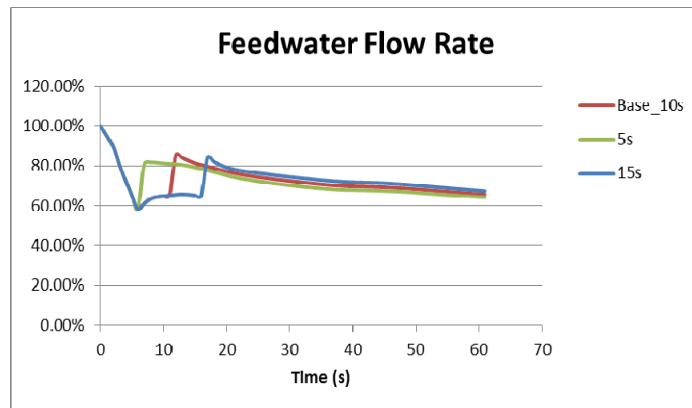


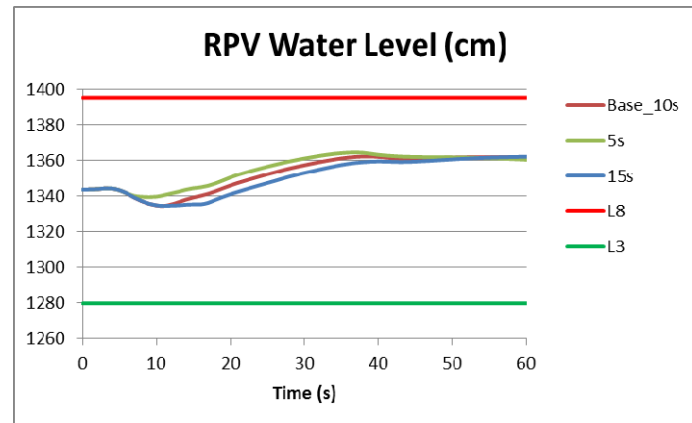
圖 65. MCPR 之比較



(a)



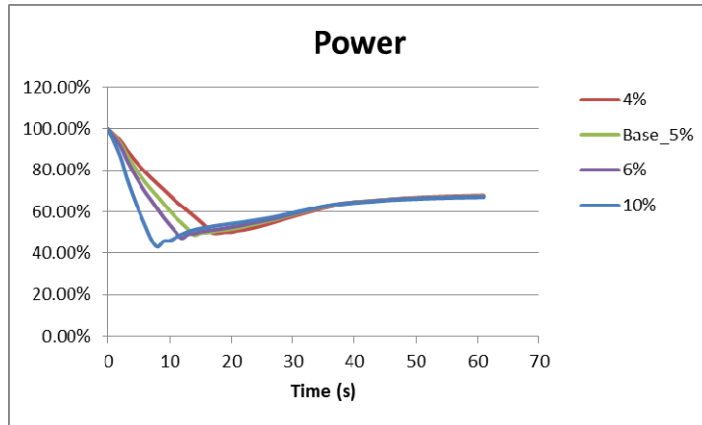
(b)



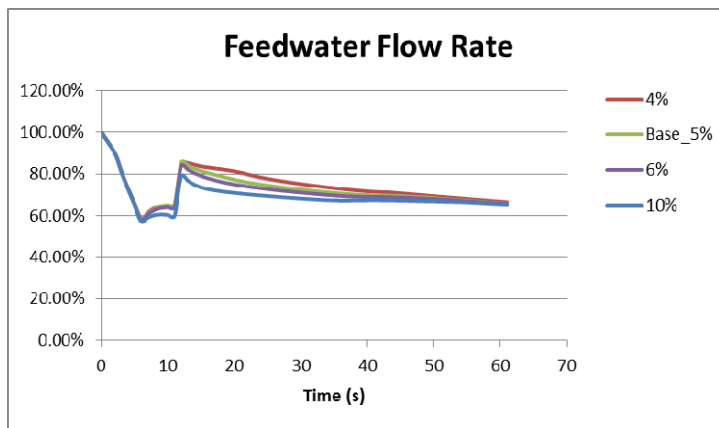
(c)

圖 66. 馬達帶動飼水泵啟動時間之比較

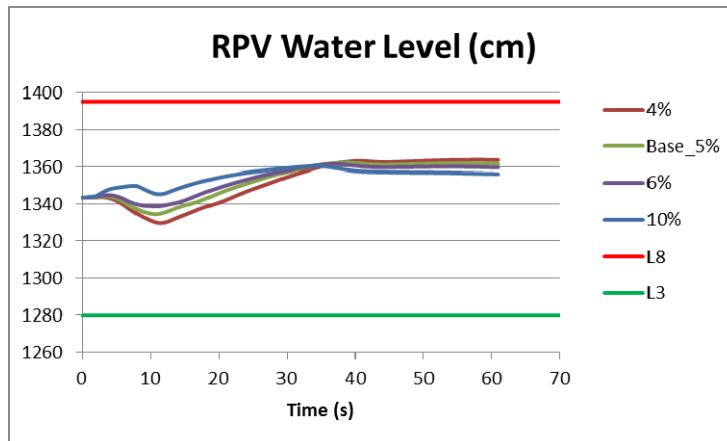
(a)功率、(b)飼水流量、(c)爐心水位



(a)

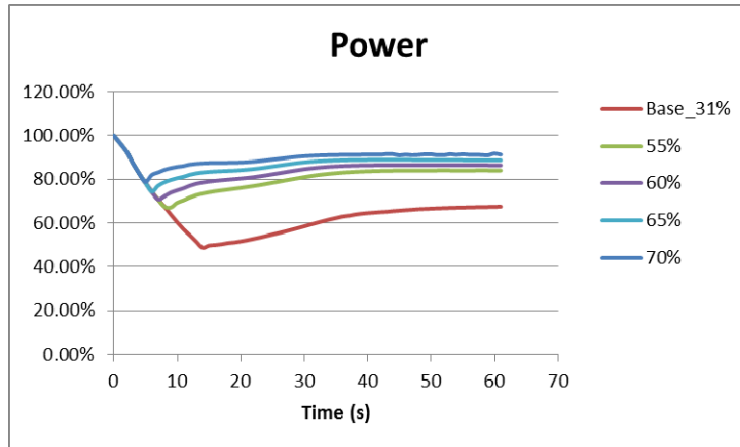


(b)

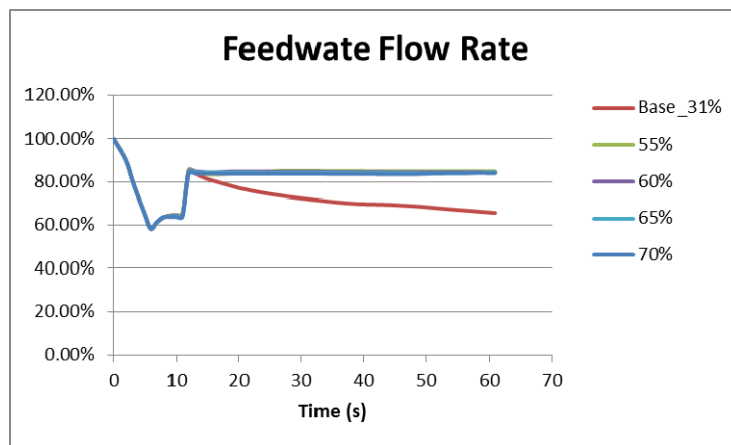


(c)

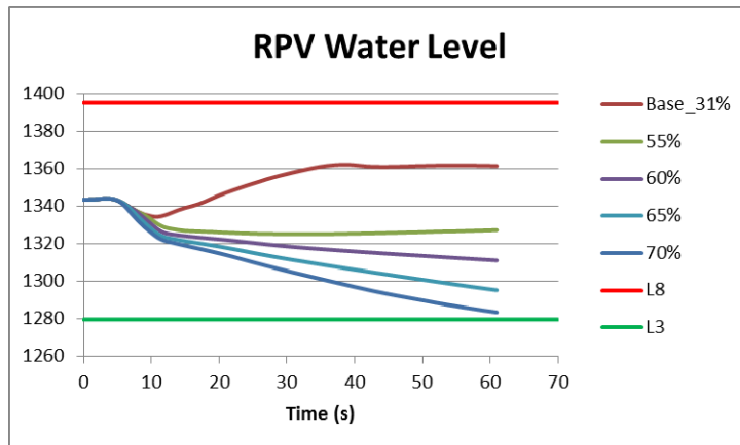
圖 67. 循環水泵不同回退速率之比較
(a)功率、(b)飼水流量、(c)爐心水位



(a)



(b)



(c)

圖 68. 循環水泵最後回退速度之比較

(a)功率、(b)飼水流量、(c)爐心水位

肆、參考文獻

1. Taiwan Power Company, “Final Safety Analysis Report for Lungmen Nuclear Power Station Units 1&2”, August 2007.
2. Project Design Manual Revision 20, Taiwan Power Company Lungmen Project Fourth Nuclear Power Pant Units.
3. Project Design Manual Revision 20, Taiwan Power Company Lungmen Project Fourth Nuclear Power Pant Units.
4. Taiwan Power Company, 龍門電廠訓練教材，Revision 6，2003。
5. Wang, J.R.; Lin, H.T.; Cheng, Y.H.; Wang, W.C.; Shih, C.: TRACE modeling and its verification using Maanshan PWR start-up tests. *Annals of Nuclear Energy* 36 (2009) 527-536.
6. Wang, J.R.; Lin, H.T.; Shih, C.: Assessment of the TRACE Code Using Transient Data from Maanshan PWR Nuclear Power Plant. NUREG report (2010) NUREG/IA-0241.
7. Kao, L.S.; Wang, J.R.; Yuann R.Y.; Tung, W.H.; Jing, J.A.; Lin, C.T.: Parallel calculations and verifications of limiting transient analyses for Lungmen nuclear power plant. INER report (2008) INER-A1609R, Institute of Nuclear Energy Research Atomic Energy Council, R.O.C..
8. Kao, L.S.; Wang, J.R.; Tang, J.R.; Jing, J.A.; Tung, W.H.; Yuann, R.Y.; Lin, C.T.; Lin, H.T.: Development of Lungmen ABWR Thermal hydraulic Safety analysis Method-The Summary Report. INER report (2008) INER-A1742R, Institute of Nuclear Energy Research Atomic Energy Council, R.O.C..

伍、附錄

本計畫完成多項任務，並投稿論文於 2011 年 SCI 期刊、NRC 報告與各項國際研討會，如 ICAPP '11 – 2011、ICONE19、NURETH-14、ANS Winter Meeting、ICAPP'12、TOPSAFE 2012、PHYSOR 2012、PNEE 2012、ICAEE2011、ICFMD2011，重大事項與論文收錄情況如下列所示：

一、重大事項

- 於 3 月 2 日提交 SNAP 的一個 bug 給 USNRC, bug 編號為 548。
- 本所與清華大學 TRACE 研究團隊於 3 月 14-17 日派人參加 TRACE Training Workshop。
- 參與 2011 FALL CAMP MEETING, Philadelphia, Pennsylvania, USA, November 7 - 9, 2011。

二、國際 SCI 期刊

- 1.The development and assessment of TRACE model for LUNG MEN ABWR, KERNTECHNIK, Vol. 76, issue 03, pp.205-215, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Chunkuan Shih, 2011.
- 2.TRACE analysis of SBLOCA Transient for IIST facility, ANNALS OF NUCLEAR ENERGY, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Chunkuan Shih, 2011.

三、國際期刊

- 1.Assessment of TRACE CCFL model with SBLOCA experiment of IIST facility, Science and Technology of Nuclear Installations,

Jung-Hua Yang, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin , Chunkuan Shih, 2011.

四、NRC NUREG 報告

- 1.The development and verification of TRACE model for IIST experiments, NUREG/IA-0252, Jong-Rong Wang, Chin-Jang Chang, Hao-Tzu Lin, Wei-Xiang Zhuang, Chunkuan Shih.
- 2.The Development and Verification of TRACE Model for Maanshan Nuclear Power Plant LOCA, NUREG/IA-0404, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Jung-Hua Yang, Chunkuan Shih.

五、國際會議論文

1. Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Hsiung-Chih Chen, Chunkuan Shih 2011, “The Turbine Trip without Bypass Analysis for Lungmen ABWR Using TRACE/PARCS,” ICAEE 2011, Bangkok, Thailand, December 27-28.
2. Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Wei-Chen Wang, Hsiung-Chih Chen, Chunkuan Shih, 2012, “The turbine trip with bypass analysis for Lungmen ABWR using TRACE/PARCS,” PNEE-2012, London, UK, 20-22 March 2012.
3. Chia-Ying Chang, Chunkuan Shih, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, “TRACE/PARCS MODELLING OF RIPS TRIP TRANSIENTS FOR LUNG MEN ABWR,” PHYSOR 2012, Knoxville, TN Hilton Knoxville April 15-20, 2012.
4. Chia-Ying Chang, “Studies on SCRRI performances in ABWR with TRACE/PARCS,” TOPSAFE 2012, 22 – 26 April 2012 in Helsinki, Finland.

5. Assessment of the TRACE Code Using Transient Data from SBLOCA experiment, ICAPP '11, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Wei-xiang Zhuang, Chunkuan Shih ◦
6. TRACE Analysis of Inadvertent Startup of HPCI Transient in Chinshan BWR/4, ICAPP '11, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants May 2-6, 2011, Nice, France, Weis-hao Chen, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Chunkuan Shih ◦
7. The Steamline Break Inside Containment LOCA Transient Analysis of Lungmen ABWR with TRACE, ICAPP '11, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants May 2-6, 2011, Nice, France, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Weis-hao Chen, Chunkuan Shih ◦
8. Water Hammer Modeling in MSIV Closure Transient of Lungmen ABWR with TRACE, ICAPP '11, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants May 2-6, 2011, Nice, France, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Wen-Hsiung Wu, Chunkuan Shih.
9. TRACE Modeling and Its Verification Using IIST Cooldown Experiments, ICON19, 19th International Conference On Nuclear Engineering, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Qin-Zhang Chang, Wei-xiang Zhuang, Chunkuan Shih.
10. THE DEVELOPING AND VERIFICATION OF TRACE MODEL ON IIST EXPERIMENTS, ICAPP '12 - 2012 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants Chicago, IL Hyatt Regency Chicago June 24-28, 2012, Wei-xiang Zhuang, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Qin-Zhang Chang, Chunkuan Shih.

11. Assessment of the TRACE Code Using Transient Data from CHINSHAN STARTUP TESTS AND Inadvertent Startup of HPCI Transient, ICAPP '12 - 2012 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants Chicago, IL Hyatt Regency Chicago June 24-28, 2012, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Weis-hao Chen, Chunkuan Shih.
12. The development and assessment of TRACE model for Maanshan PWR, NURETH-14, 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics September 25-29, 2011 Hilton Toronto Hotel, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Rong-Hua Yang, Chunkuan Shih.
13. The feedwater control system and steam dump control system responses during large-load reduction transient for Maanshan PWR Plant, 2011 International Conference on Advanced in Control Engineering and Information Science (CEIS), 2011, Dali, China, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Chunkuan Shih.
14. The development of Lungmen ABWR TRACE safety analysis model, 2011 International Conference on Frontiers of Manufacturing and Design Science (ICFMD), 2011, Taiwan, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Chunkuan Shih.
15. Application of TRACE/PARCS/LAPUR to Lungmen ABWR stability analysis, ANS Winter Meeting, 2011 Winter Meeting October 30 – November 3, 2011 • Washington, D.C. • Omni Shoreham Hotel, Hao-Tzu Lin, Jong-Rong Wang, Zhe-hao Chen, Chunkuan Shih.
16. TRACE Analysis of RCS Pressure Estimation under ATWS for Maanshan, ANS Winter Meeting, 2011 Winter Meeting October 30 – November 3, 2011 • Washington, D.C. • Omni Shoreham Hotel, Zhe-hao Chen, Jong-Rong Wang, Chunkuan

Shih.

17. The Inadvertent Startup of HPCI Transient Analysis of Chihshan BWR/4 using TRACE, ANS Winter Meeting, 2011 Winter Meeting October 30 – November 3, 2011 • Washington, D.C. • Omni Shoreham Hotel, Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin, Chunkuan Shih.
18. TRACE Analysis of LBLOCA in Maanshan Nuclear Power Plant, ANS Winter Meeting, 2011 Winter Meeting October 30 – November 3, 2011 • Washington, D.C. • Omni Shoreham Hotel, Jung-Hua Yang, Wei Chen , Jong-Rong Wang, Chunkuan Shih, Hao-Tzu Lin.
19. Validation on the SEPD component of the TRACE Chinshan NPP Model with Startup Tests, ANS Winter Meeting, 2011 Winter Meeting October 30 – November 3, 2011 • Washington, D.C. • Omni Shoreham Hotel, Chun-Yu Chen, Chunkuan Shih Jong-Rong Wang, Hao-Tzu Lin.
20. Application of TRACE and CFD in the spent fuel pool of Chinshan nuclear power plant, The First International Conference on Engineering and Technology Innovation (ICETI), 2011, Kenting, Taiwan, J. R. Wang, H. T. Lin, Y. S. Tseng, and C. Shih.