

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

儀控軟體風險分析發展與應用

計畫編號：942001INER021

受委託機關（構）：國立清華大學工程與系統科學系

計畫主持人：施純寬

所內共同主持人：黃揮文

報告日期：中華民國九十四年十二月十五日

中文摘要

本計劃是由國立清華大學與核能研究所合作，目的是要提供一個能產生核能四廠蒸汽管路暫態事故中，重要的系統參數變化的分析工具，而此工具要與儀控軟體失效動作相結合，作為儀控軟體失效分析的基礎。我們在此計畫中以 PCTran-ABWR 作為該工具的基本架構，先對該程式的核心熱流理論進行全盤式的了解，並整理出來程式裡各模組與表單之間的相互結合之結構，作為程式模擬能力改進與模式擴充的基礎。我們挑選了數個典型的蒸汽管路失效事件及蒸汽管路之軟體共因失效事件，並利用所開發之 PCTran-ABWR STMLine 程式來模擬分析各個失效事件的成因與結果，這些分析的結果在本計畫書的第五章都有詳盡的探討。另外，在本報告書中的第三章將介紹蒸汽系統中的主要設備等，並且詳述各設備之功能、用途及各設備之設定點。而第四章則是描述蒸汽系統模組之建立，第五章對於蒸汽系統內的流阻計算以及各個理論公式都有詳細的描述。第六章則介紹人機互動失誤之案例分析。

ABSTRACTS

The purpose of our current study is to develop a tool which could generate important transient system parameters in a postulated accident such as steamline transients in NPP#4. Such tool is to be combined with actions that simulate certain instrumentation and control software failure. We chose PCTRAN-ABWR as the fundamental platform. In our investigation, we have examined its thermal hydraulics theoretical basis and code structures relating to all VB forms and modules. Modifications of the code, such as detail steamline models have been made to simulate events in steamline transients initiated by both hardware and software failures. Chapter 2 summarizes certain transient analysis by PCTRAN-ABWR and their comparisons against PSAR. Chapter 3 covers main components and system setpoints in steamline system. Chapter 4 introduces detail modifications of the code, including theoretical models and flow resistance calculation models. All steamline transient analyses are discussed in Chapter 5. Chapter 6 introduces a case study of Human-Machine Interaction Failure.

目 錄

中文摘要.....	1
ABSTRACTS	2
目 錄.....	3
圖 目 錄.....	6
表 目 錄.....	13
計畫目的.....	14
計畫緣起.....	15
執行方法與進度說明	16
1. PCTRAN_ABWR 模式介紹.....	18
2. 核能四廠暫態事故 PCTRAN 之標準分析	21
2.1 案例一 一個飼水泵轉速過高(Runout of one Feedwater pump)	21
2.2 案例二 兩個飼水泵轉速過高(Runout of All (2) Feedwater Pumps)	29
2.3 案例三 汽機控制閥與汽機旁通閥全開(Opening of All Control and Bypass Valves)	33
2.4 案例四 汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關(Closure of All (4) Turbine Control Valves and Bypass Valves).....	44

2.4 案例四 汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關(Closure of All (4) Turbine Control Valves and Bypass Valves).....	44
2.5 案例五 汽機跳脫與汽機氣體旁通閥全關(Turbine Trip and Bypass Off)	54
2.6 案例六 主要蒸汽隔離閥全關 (Inadvertent All MSIV Closure)63	
2.7 案例七 喪失飼水事件(Loss of All Feedwater Flow)	71
3. 蒸汽系統介紹.....	79
3.1 主蒸汽系統.....	79
3.2 主蒸汽系統重要設備介紹.....	80
3.3 蒸汽旁通與壓力控制系統 (Steam Bypass and Pressure Control System , SBPC)	84
4. 建立 PCTran_ABWR 蒸汽系統.....	99
4.1 封閉通道內的流體壓降理論模式.....	100
4.2 蒸汽系統的流阻計算.....	101
4.3 估算主蒸汽需求量與蒸汽流量.....	102
4.4 新增表單和模組說明.....	106
5. 核能四廠 STMLine 暫態事故 PCTran 之標準分析.....	116
5.0 PCTran-ABWR 程式擴充—STMLine 操作介面	116
5.1 案例一 1 汽機控制閥不當(誤)關閉(1 TCV inadvertently closed)	117

5.2 案例二 4 汽機控制閥不當(誤)關閉(4 TCV inadvertently closed)	121
5.3 案例三 1 汽機控制閥不當(誤)開啟(1 TCV inadvertently opened).....	124
5.4 案例四 4 汽機控制閥不當(誤)開啟(4 TCV inadvertently opened).....	127
5.5 案例五 全部 S/RV 誤開啟(All SRV's opened)	131
5.6 案例六 全部 ADS 誤開啟 (All ADS's opened).....	136
5.7 案例七 汽機棄載(Load Rejection)	140
5.8 案例八 汽機棄載伴隨 1BPV 失效(Load Rejection with 1 BPV failure).....	143
5.9 案例九 汽機棄載伴隨全部 BPV 失效(Load Rejection with All BPV failure)	147
5.10 案例十 誤關閉 MSIV (MSIV closure)	151
6. 數位儀控系統人機界面互動失誤案例分析	154
6.1 數位控制系統測試時輸入錯誤導致功率驟降	154
7. 結論與建議.....	158
8. 參考文獻.....	159
附錄.....	163

圖目錄

圖 2.1	案例一：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	25
圖 2.2	案例一：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	26
圖 2.3	案例一：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	27
圖 2.4	案例一：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	28
圖 2.5	案例二：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	32
圖 2.6	案例三：PCTRAN_ABWR(對照圖-1).....	38
圖 2.7	案例三：PCTRAN_ABWR(對照圖-2).....	38
圖 2.8	案例三：PCTRAN_ABWR(對照圖-3).....	39
圖 2.9	案例三：PCTRAN_ABWR(對照圖-4).....	39
圖 2.10	案例三：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	40
圖 2.11	案例三：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	41
圖 2.12	案例三：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	42
圖 2.13	案例三：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	43
圖 2.14	案例四：PCTRAN_ABWR(對照圖-1).....	49
圖 2.15	案例四：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	50
圖 2.16	案例四：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	51
圖 2.17	案例四：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	52

圖 2.18	案例四：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	53
圖 2.19	案例五：PCTRAN_ABWR(對照圖-1).....	58
圖 2.20	案例五：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	59
圖 2.21	案例五：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	60
圖 2.22	案例五：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	61
圖 2.23	案例五：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	62
圖 2.24	案例六：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	67
圖 2.25	案例六：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	68
圖 2.26	案例六：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	69
圖 2.27	案例六：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	70
圖 2.28	案例七：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-1).....	75
圖 2.29	案例七：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-2).....	76
圖 2.30	案例七：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-3).....	77
圖 2.31	案例七：PCTRAN_ABWR 與 PSAR(對照圖-4).....	78
圖 3.1	主蒸汽系統.....	94
圖 3.2	蒸汽供應系統.....	94
圖 3.3	安全釋壓閥（SRV）配置圖	95
圖 3.4	核四廠主要控制系統.....	96
圖 3.5	Simplified Block Diagram of Fault-Tolerant Digital	

Controller System.....	97
圖 3.6 SBPC 控制區.....	98
圖 4.1 PCTAN_ABWR 蒸汽系統.....	109
圖 4.2 新增蒸汽系統模式.....	110
圖 4.3 閥開度與 GVTUR 的關係曲線.....	111
圖 4.4 蒸汽系統流阻的分佈圖.....	112
圖 4.5 新增蒸汽系統的表單畫面.....	113
圖 4.6 在 PCTAN_ABWR 主畫面上新增 MSTL 選項.....	114
圖 4.7 關閉汽機節流閥後自動開啟汽機旁通閥.....	115
圖 5.0.1 蒸汽管路控制介面.....	116
圖 5.1.2.1 失效啟動.....	118
圖 5.1.3.1 爐頂壓力.....	119
圖 5.1.3.2 4 個汽機控制閥開度.....	119
圖 5.1.3.3 飼水流量與蒸汽流量.....	119
圖 5.1.3.4 10 個 BPV 開度.....	119
圖 5.1.3.5 BPV 流量.....	119
圖 5.1.3.6 中子通率.....	119
圖 5.1.3.7 功率-流量圖.....	120
圖 5.2.3.1 爐頂壓力.....	123
圖 5.2.3.2 4 個汽機控制閥開度.....	123

圖 5.2.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	123
圖 5.2.3.4	10 個 BPV 開度.....	123
圖 5.2.3.5	BPV 流量.....	123
圖 5.2.3.6	中子通率.....	123
圖 5.2.3.7	功率-流量圖.....	123
圖 5.3.3.1	爐頂壓力.....	126
圖 5.3.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	126
圖 5.3.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	126
圖 5.3.3.4	10 個 BPV 開度.....	126
圖 5.3.3.5	中子通率.....	126
圖 5.3.3.6	功率-流量圖.....	126
圖 5.4.2.1	失效啟動.....	128
圖 5.4.3.1	爐頂壓力.....	129
圖 5.4.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	129
圖 5.4.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	129
圖 5.4.3.4	飼水流量與蒸汽流量 (10sec.).....	129
圖 5.4.3.5	10 個 BPV 開度.....	129
圖 5.4.3.6	中子通率.....	129
圖 5.4.3.7	爐心流量.....	130

圖 5.4.3.8	功率-流量圖	130
圖 5.5.2.1	失效啟動.....	132
圖 5.5.3.1	爐頂壓力.....	134
圖 5.5.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	134
圖 5.5.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	134
圖 5.5.3.4	10 個 BPV 開度.....	134
圖 5.5.3.5	SRV 流量	134
圖 5.5.3.6	中子通率.....	134
圖 5.5.3.7	爐心流量.....	135
圖 5.5.3.8	功率-流量圖	135
圖 5.6.2.1	失效啟動.....	137
圖 5.6.3.1	爐頂壓力.....	138
圖 5.6.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	138
圖 5.6.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	138
圖 5.6.3.4	10 個 BPV 開度.....	138
圖 5.6.3.5	ADS 流量.....	138
圖 5.6.3.6	中子通率.....	138
圖 5.6.3.7	爐心流量.....	139
圖 5.6.3.8	功率-流量圖	139

圖 5.7.2.1	失效啟動.....	140
圖 5.7.3.1	爐頂壓力.....	141
圖 5.7.3.2	4 個 汽機控制閥 開度.....	141
圖 5.7.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	142
圖 5.7.3.4	10 個 BPV 開度.....	142
圖 5.7.3.5	SRV 流量.....	142
圖 5.7.3.6	中子通率.....	142
圖 5.7.3.7	功率-流量圖.....	142
圖 5.8.2.1	失效啟動.....	144
圖 5.8.3.1	爐頂壓力.....	145
圖 5.8.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	145
圖 5.8.3.3	飼水流量與蒸汽流量.....	145
圖 5.8.3.4	10 個 BPV 開度.....	145
圖 5.8.3.5	BPV 流量.....	145
圖 5.8.3.6	中子通率.....	145
圖 5.8.3.7	功率-流量圖.....	146
圖 5.9.2.1	失效啟動.....	147
圖 5.9.3.1	爐頂壓力.....	149
圖 5.9.3.2	4 個汽機控制閥開度.....	149

圖 5.9.3.3 飼水流量與蒸汽流量.....	149
圖 5.9.3.4 10 個 BPV 開度.....	149
圖 5.9.3.5 SRV 流量.....	149
圖 5.9.3.6 中子通率.....	149
圖 5.9.3.7 功率-流量圖.....	150
圖 5.10.2.1 失效啟動.....	151
圖 5.10.3.1 爐頂壓力.....	152
圖 5.10.3.2 4 個汽機控制閥開度.....	152
圖 5.10.3.3 飼水流量與蒸汽流量.....	153
圖 5.10.3.4 10 個 BPV 開度.....	153
圖 5.10.3.5 BPV 流量.....	153
圖 5.10.3.6 SRV 流量.....	153
圖 5.10.3.7 中子通率.....	153
圖 5.10.3.8 功率-流量圖.....	153
圖 6.1.1 功率-流量圖.....	156
圖 6.1.2 反應器功率.....	156
圖 6.1.3 反應器壓力.....	157
圖 6.1.4 飼水流量、蒸汽流量、與爐心流量.....	157

表 目 錄

表 3.1	安全釋壓閥之釋壓模式的設定點.....	93
表 4.1	StmLine.bas 內所有函式說明.....	108

計畫目的

核能電廠的儀控系統已進化到使用全面數位式儀控之階段。數位式儀控雖然具有軟硬體性能上的優勢，卻也有在傳統儀控系統上未曾存在過的軟體問題。這些問題如何影響核能電廠的多重性與多樣性的安全原則，仍是急待解決與克服的一項議題。多重性可因軟體共因故障而失效，軟體的高度複雜性則可能潛藏能中斷或繞道(Bypass)多樣性設計功能的路徑。軟體安全分析的目的即在分析此類事件可能出現的方式及預防控制的方法。本計劃要針對數位儀控系統的人機介面上軟體失效可能產生的核能電廠系統參數變化，進行分析，發展數位儀控系統人機界面分析技術，以及發展數位儀控系統人機界面模擬技術及工具，並完成一項人機互動失誤之案例分析。

計畫緣起

在目前興建中的核能四廠，將全部使用現代先進的數位控制系統。核能研究所則擔任起有關核能四廠數位控制系統引進的重要任務。為了了解數位系統獨特的軟體失效引起之失誤特徵，在人機介面分析與模擬的技術發展上，我們需要一套可以快速表現系統的變數反應計算軟體工具。這套工具至少要含有描述系統的物理與化學現象的基礎，再加上若干基本的交談式視窗介面，如此方能完成人機介面的模擬。在基本架構上，本單位已經引進至少五年以上的PCTRAN_ABWR，大致具有此基本要求的能力。它可以快速提供系統暫態的多項系統參數反應，且具有多項的交談式視窗介面，易於進行模擬性能與模式的擴充。因此，本單位在此計畫中，將利用PCTRAN_ABWR的長處，與委託單位共同發展出軟體風險量測技術，並具體支援發展以風險為考量軟體審查技術過程中所需要的電廠暫態數據，成果將可應用於核電廠數位儀控系統安全審查工作。

執行方法與進度說明

本計劃中以核能四廠為對象，利用核電廠暫態事故快速分析軟體 PCTRAN，提供電廠參數變化數據；以及利用 PCTRAN 視窗交談式介面，模擬人機介面動作。預期可以完成核能四廠 PCTRAN 的基本分析電腦軟硬體工具，培育更多研究人才以及漸增的 PCTRAN 使用者對核能電廠的熱流安全現象之了解。執行方法則先從程式的基本理論開始著手，同時可以繼續對 PCTRAN 進行除錯診斷。其次，根據初期安全分析報告，計劃中挑選了與典型的數位儀控系統較有關係的暫態事故情節作為人機介面模擬的分析基本案例，進而建立以 PCTRAN 視窗為交談式介面之動作，模擬人機介面分析的方法，探討 PCTRAN 在技術發展合作上，其深度與廣度方面的限制。並且，在與委託單位的共同合作下，收集實作經驗，改進再循環水系統的模擬模式分析之技術，並逐步擴充程式，加入有關於蒸汽系統之模擬程式，使整個 PCTran-ABWR 之架構更加完備。未來，程式將依據最終安全分析報告之結果逐步修改，以求能準確預測電廠在各個事件中的暫態情形，並有效改善電廠發生事故的機率，提升電廠人員對事故處理之能力。

本年度計劃在經費刪減之下，仍然得以順利完成，實有賴核能研究所合作同仁（黃揮文、王立莘、游原昌、王勳和），以及清大工科

系研究生（邱茗秀，楊朝裕，鄭源傑，陳俊宇，楊偉義）等的通力合作，在計劃進行中，發揮出同心協力、共同奮鬥的團隊研發精神，本人以主持人的身份，在此表示感謝之意。

1. PCTRAN_ABWR 模式介紹

PCTRAN 是美國 Micro Simulation Technology (MST)公司和濮勵志博士所合作發展的核電廠暫態事故快速分析軟體，希望藉由個人電腦完成大型模擬器的大部份功能，以減少分析所須要的成本，並加快其模擬速度以減少分析的時間。目前已針對台灣電力公司的 4 座核能電廠發展出 4 套相對應的 PCTRAN 程式，其中 PCTRAN_ABWR 就是核能四廠(進步型沸水式核能電廠)的對應版本。此套軟體採用 Microsoft Visual Basic 6.0 所撰寫完成，具有可互動的人性化操作介面，並搭配美國 ComponentOne 公司所發展的 ComponentOne 繪圖元件，使 PCTRAN 具有即時繪製暫態趨勢圖的功能。

PCTRAN 程式的主要特色簡介如下：

■ 可與使用者互動的圖形介面

Microsoft Visual Basic 6.0 是物件導向、事件驅動的程式，提供了良好的圖形使用者介面(GUI)，使程式可提供與使用者互動的圖形操作介面。使用者可直接在主控制面盤上操控各隔離閥、安全閥、水磊、汽機、控制棒、熱交換器等等元件的啟動或關閉，並可觀看目前反應器的壓力、溫度、乾度、飼水流量、蒸汽流量，以及目前的破口位置與破口流量等等。PCTRAN 亦有劑量面盤，可直接觀看廠區各重要區域，像是主圍阻體、反應器廠房、汽機廠房、輔助廠房等等的劑量

率和累積劑量情形，也可以手動控制廠房的風扇以及一些隔離閥、安全閥的開關。

■ 快速模擬

個人電腦的發展日新月異，因此在速度和效能各方面都有相當大的提升，讓原本需要數小時的模擬程序，可在幾十分鐘內完成。如此可以加快取得各種模擬事故的所有數據，快速得知可能會發生的狀況，除了可提供演習良好的模擬數據外，還可做為台電運轉員的訓練教材。

■ 誤動作設定

PCTRAN 針對一些比較重要的模擬事故，和一些反應爐在運轉中可能會出現的狀況，規劃有誤動作 (Malfunction) 表單。當要模擬因為這些誤動作而產生的事故時，只需要事先以滑鼠選定讓誤動作視窗跳出，並設定讓事故延遲發生的時間長度(Delay Time)、事故從發生到完成的時間長度(Ramp Time)、事故嚴重性(Failure Fraction)，並以滑鼠在 Active 小方格上打勾，再關閉視窗，就可執行 PCTRAN 程式進行該事故的計算模擬。

■ 結果以圖表顯示

PCTRAN 的運算執行結果可選擇用 ACCESS 或 EXECL 檔案格式輸出儲存，其列表的格式可以方便查閱分析。在程式執行的過程

中，則可以透過 ComponentOne 的繪圖元件，把重要的參數對時間軸繪圖，做即時的輸出，讓模擬人員可針對有興趣的參數，一次繪出一種或多種參數的暫態變化，除了可任意的設定有興趣的時間區段，亦可直接透過印表機印出參數的暫態變化圖。

2. 核能四廠暫態事故 PCTRAN 之標準分析

2.1 案例一 一個飼水泵轉速過高(Runout of one Feedwater pump)

2.1.1 案例說明

在核四PSAR15.1.2.1.2.1[3]中，我們將討論電廠中，因軟體失效造成一個飼水泵流量率增加百分之25，所造成的暫態事故。

此暫態發生時，因為瞬間增加飼水的流量而造成反應器內水位上升約15CM，當飼水調節器感應到飼水增加時，會立即產生一個訊號，控制其餘的飼水泵減低流量來調節水位，因為飼水泵流量的調節，反應器會很快回到正常水位。當暫態剛發生時，反應爐內壓力會稍微上升約0.01 MPa，此值在最小的臨界功率的安全值限定內，並不會造成事故的發生。

我們將用 PCTRAN_ABWR 所模擬出之結果來與 PSAR 報告中相同案例的分析結論來做驗證。

PSAR 事件流程表

時間(秒)	暫態事故
0	設定一汽機飼水泵流量增加百分之 25。
~0.1	飼水控制器開始作動減少飼水泵流量。
16.6	壓力槽水位開始作動回復正常水位。
~60(est)	壓力槽水位回歸正常。

2.1.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

在 PCTRAN_ABWR 中，要模擬飼水泵失效，只需要對版面上的飼水泵按滑鼠右鍵後，先設定 Pump Capacity 再勾選 Malfunction Active 即完成設定。仿照 PSAR 內範例的條件設定，本案例選其中一個飼水泵流率增加百分之 25。

分析時間(秒)	60
設定 IC	1
Malfunction 設定	無
手動控制項目	設定其中一個飼水泵流量增加 25%
其他設定	無
輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)

2.1.3 結果分析

在 PCTRAN_ABWR 中，假設一具飼水泵因電廠軟體失效，會造成飼水流量過大，促使爐心內整體的溫度降低，造成燃料發生(緩和劑溫度回饋)效應，致使一開始功率上升至 100.5% 。

一般 ABWR 進步型沸水式電廠都是用流量來控制功率的，而電廠的控制系統本身具有調節流量的功能，所以當系統感測到流量的變化時會產生一個訊號，驅使另一具飼水泵調節流量，在 PCTRAN_ABWR 的分析中，當此暫態事故發生(約 10 秒鐘)後，水位也會調節回正常水位且功率會恢復到約 99.5-100% 之間的正常穩態值。

在 PCTRAN_ABWR 的分析中，當飼水流量過多時，會造成蒸汽過多，汽機內壓力會升高並驅使氣體旁通閥開啟，把多餘的蒸汽從氣體旁通閥洩掉，保持壓力槽與汽機內壓力的平衡。

經驗證此案例，在 PCTRAN_ABWR 中所發生的現象，跟 PSAR 報告的分析結果趨勢相符合。

PCTRAN_ABWR 的暫態模擬報告

Reset to IC #1 000000.0 sec, Feed Pump #1 Position Change: 125% 000001.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%
--

000006.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%

000007.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%

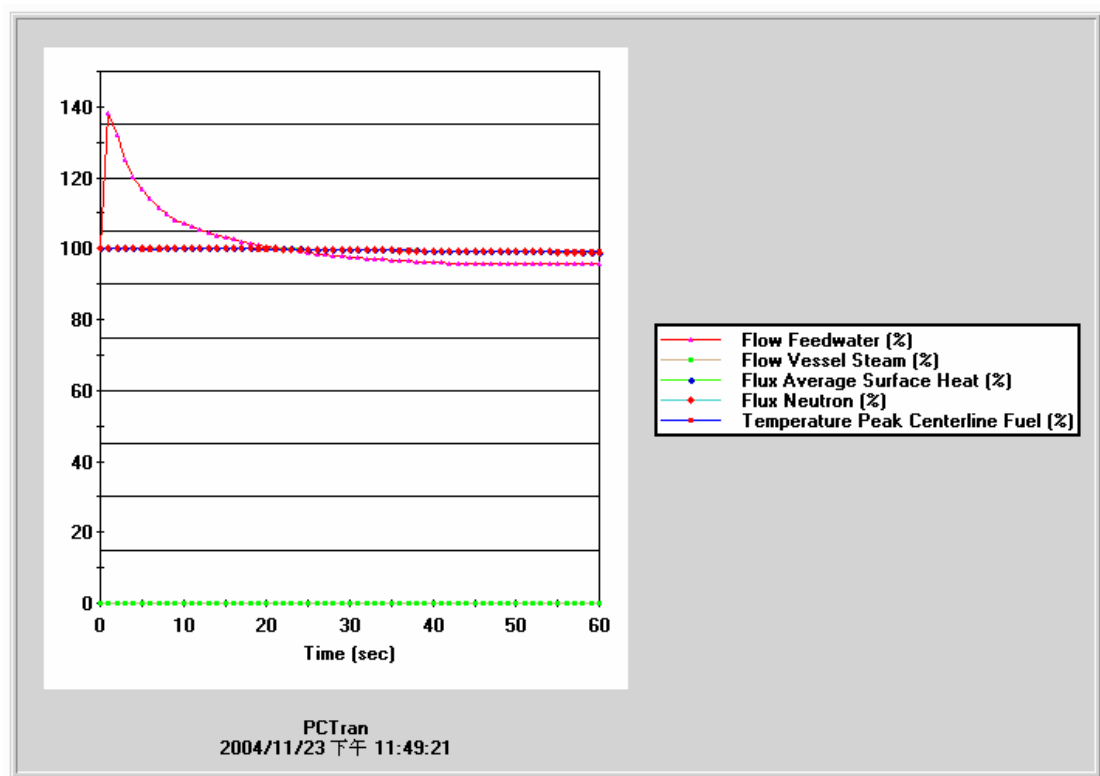
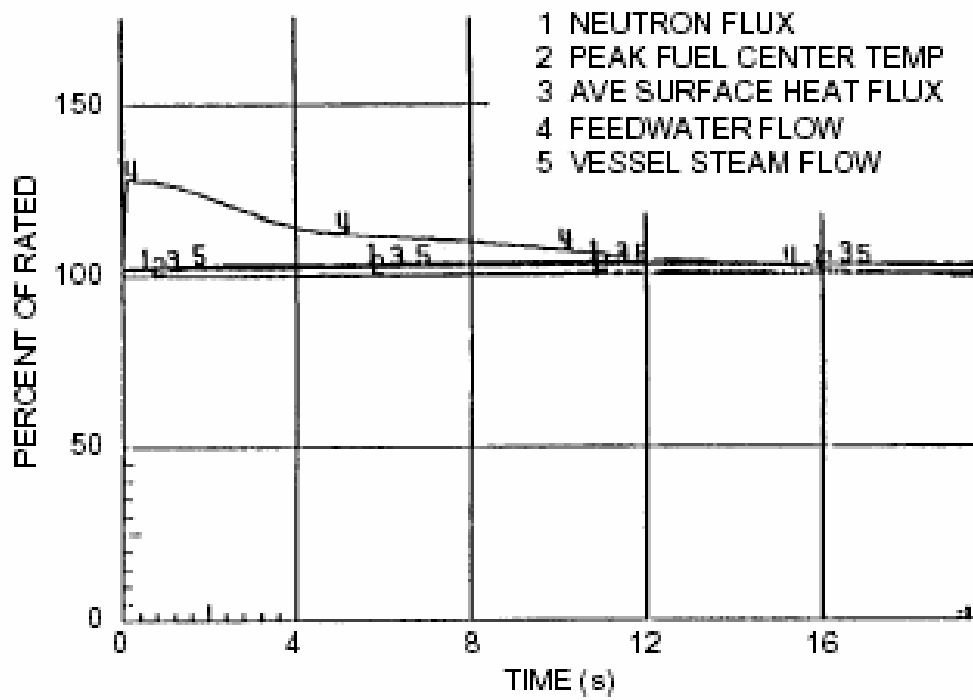


圖 2.1 案例一：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

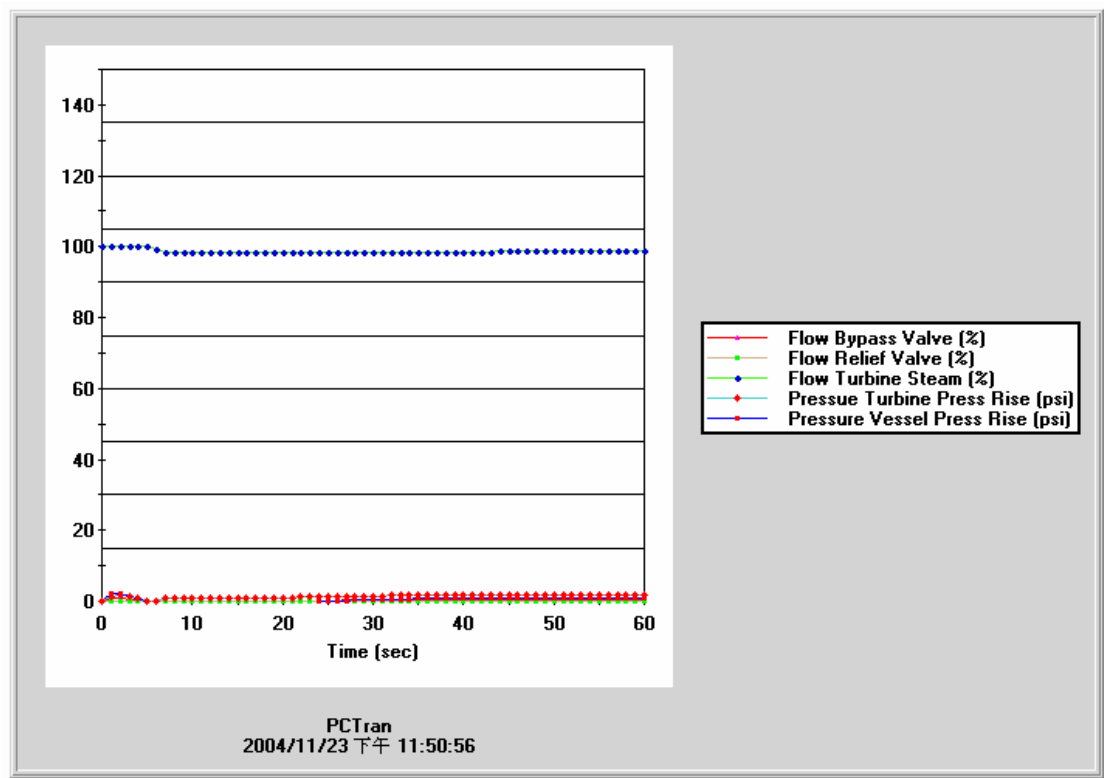
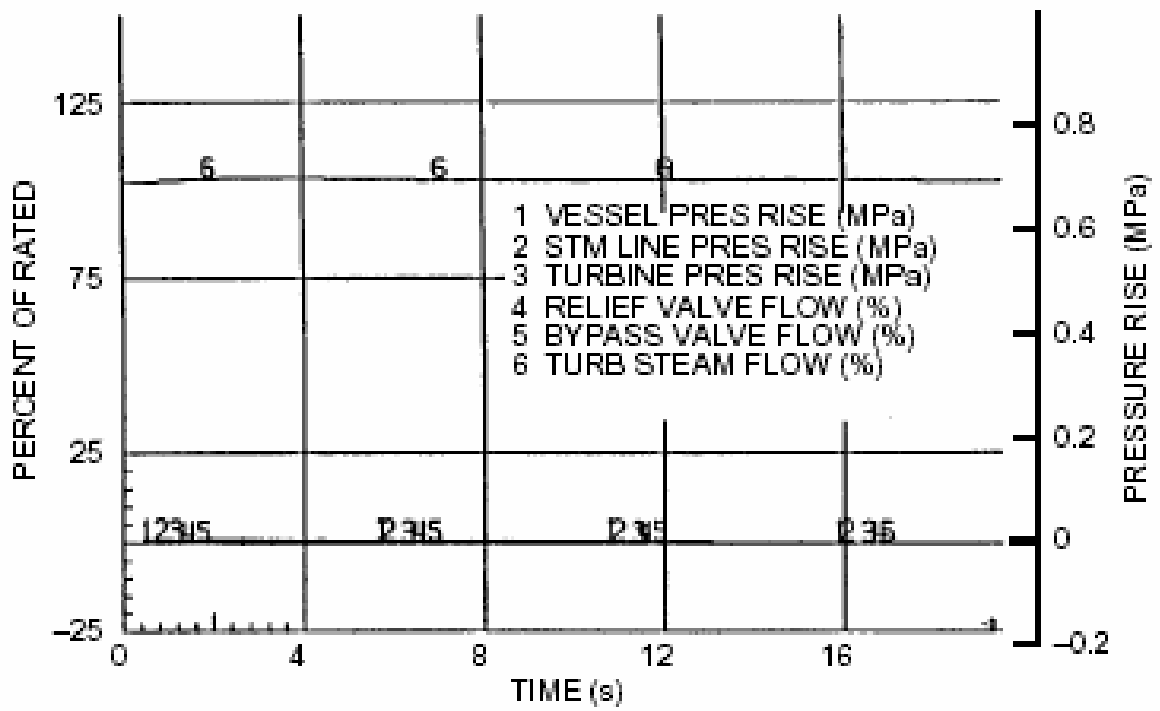


圖 2.2 案例一：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

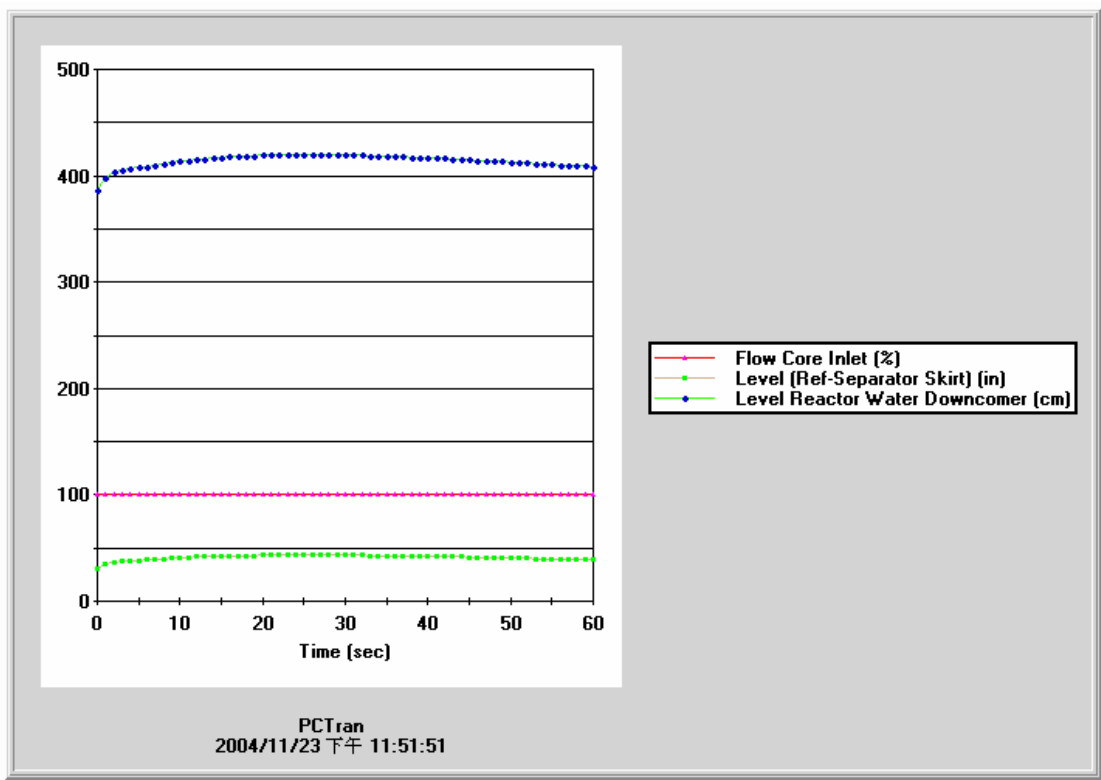
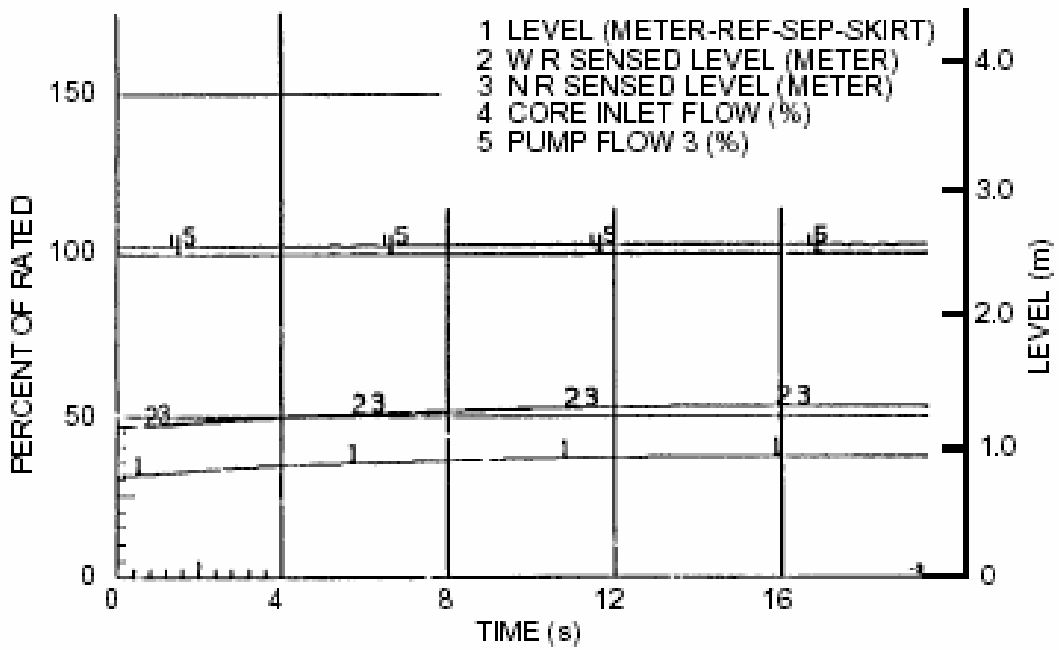


圖 2.3 案例一：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)

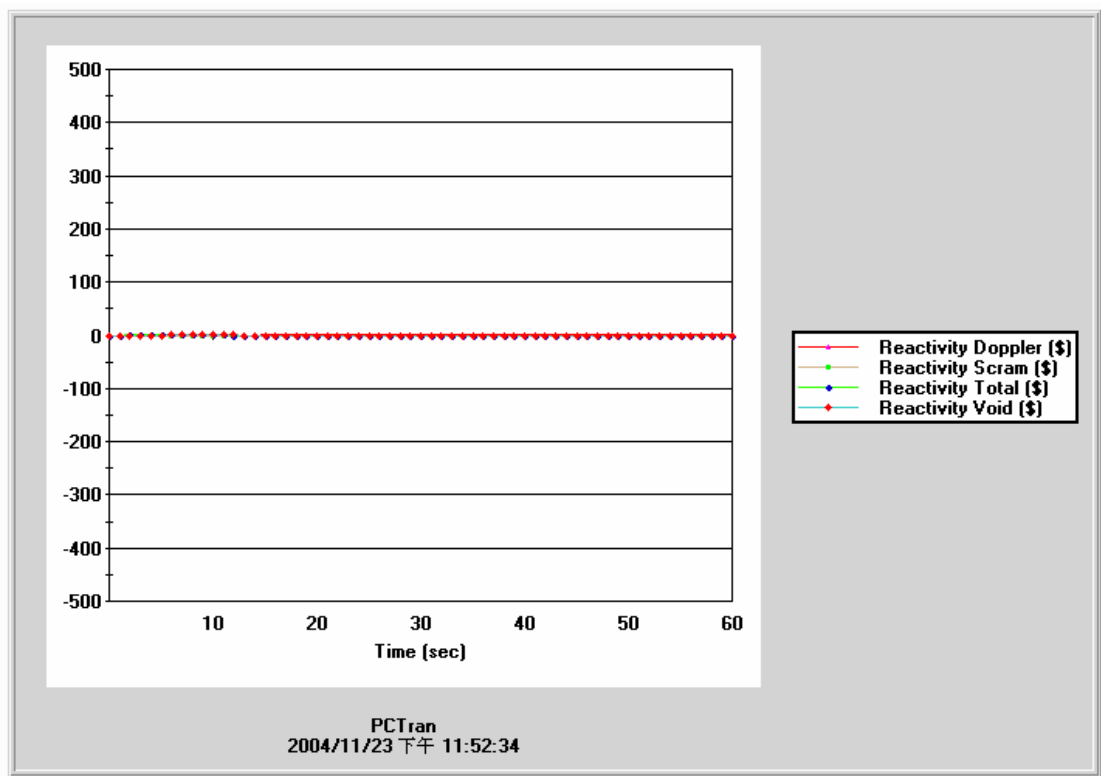
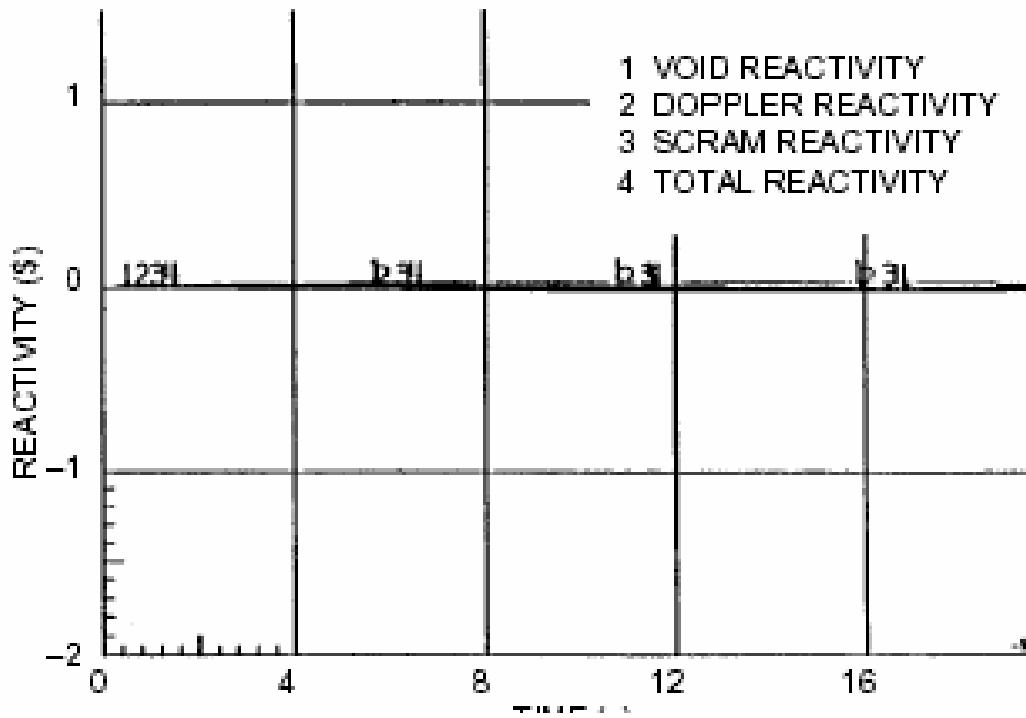


圖 2.4 案例一：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

2.2 案例二 兩個飼水泵轉速過高(Runout of All (2) Feedwater Pumps)

2.2.1 案例說明

在核四PSAR1.2中，我們將討論電廠因軟體失效，造成飼水泵流量增加至百分之130。模擬這個事故時，我們假設電廠保護系統與反應器保護系統皆正常運作。

這個事故將會依序發生下列暫態事件：

- (1)因為高水位造成了汽機與飼水泵跳脫
- (2)因為汽機旁通閥的快速開啟，暫緩了反應器的跳機
- (3)汽機跳脫造成循環泵跳脫
- (4)控制棒選擇控制插入
- (5)水位降到L3設定點造成反應器跳機與四個RIP跳脫
- (6)因為低水位促使RCIC開始作動

我們將用 PCTRAN_ABWR 所模擬出之結果來與 PSAR 報告中相同案例的分析結論來做驗證。

PSAR 事件流程表

時間(秒)	暫態事故
-------	------

0	飼水泵流量為 130% 。
20.45	水位達 L8 設定點造成主要汽機與飼水泵跳脫。
20.46	主汽機蒸汽旁通閥打開、汽機跳脫。
20.65	全部汽機蒸汽旁通閥達到 80% 。
> 25(est)	水位降到 L3 設定點促使反應器與 4 個 RIPS 跳機。
> 40(est)	水位降到 L2 設定點促使其餘 6 個 RIPS 跳機。
> 70(est)	RCIC 開始動作進入反應器。(PSAR 沒有模擬)

2.2.2 PCTRAN_ABWR 中基本假設

在 PCTRAN_ABWR 中，我們要設法讓飼水泵的總流量保持 130 % 的穩定狀態，以進行模擬。

分析時間(秒)	100
設定 IC	1
Malfunction 設定	無
手動控制項目	設定飼水泵總流量增加 30%
其他設定	無
輸出參數	FWFL (Flow Feedwater %)

2.2.3 結果分析

在 PCTRAN_ABWR 程式中，我們無法設定讓飼水泵的流量保持在百分之 130 的流量。(無法模擬)

PCTRAN_ABWR 的模擬報告

Reset to IC #1

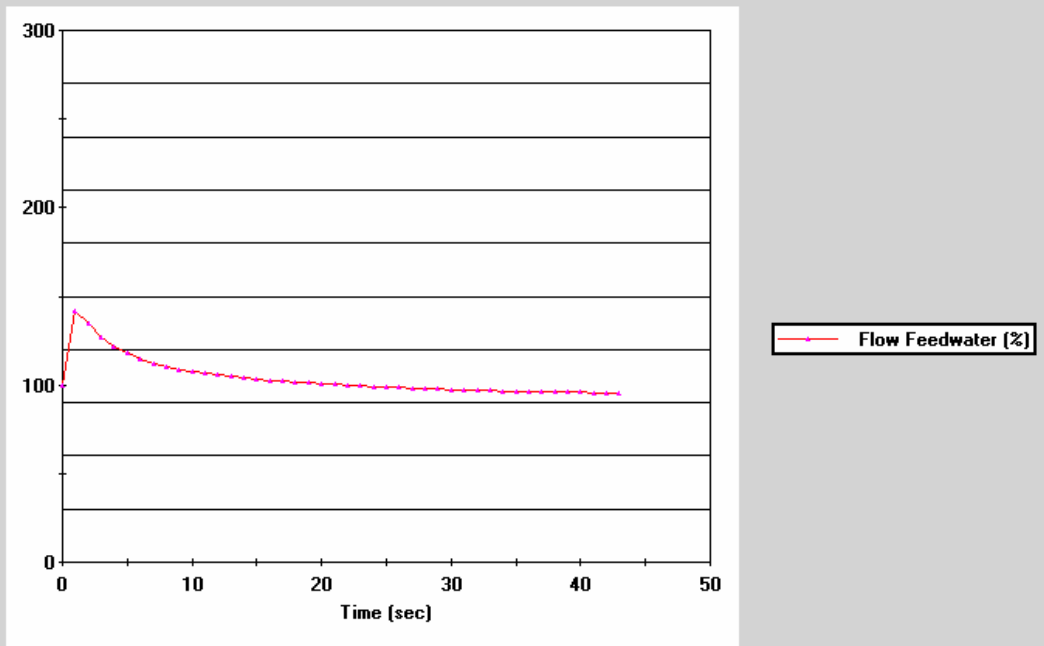
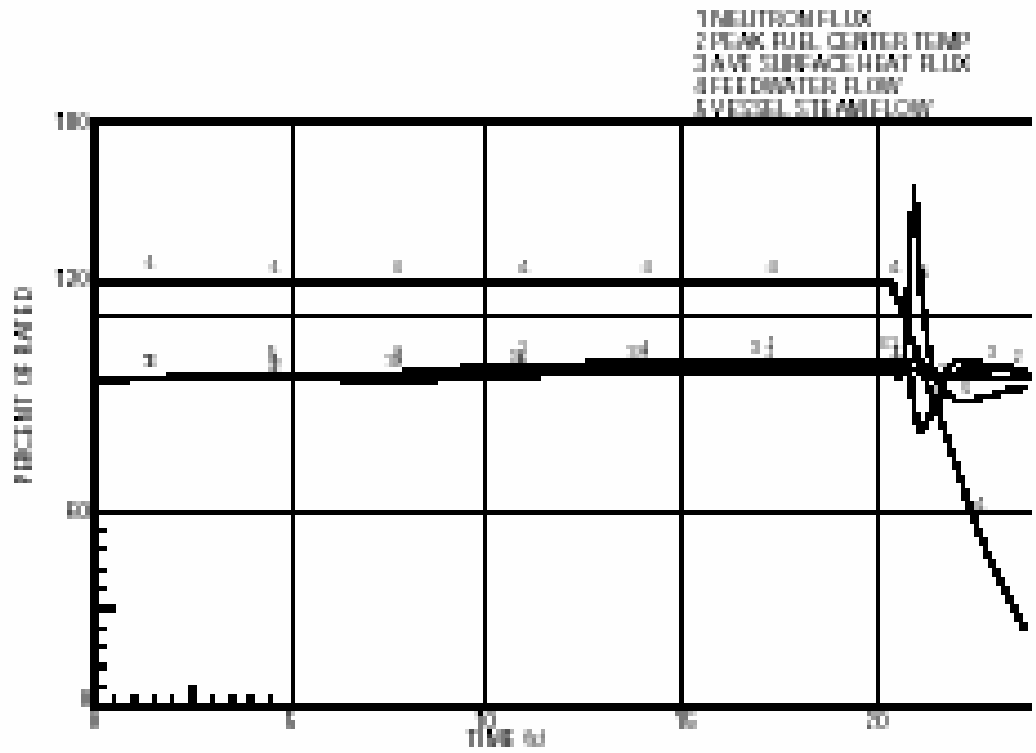
000000.0 sec, Feed Pump #1 Position Change: 125%

000000.0 sec, Feed Pump #2 Position Change: 125%

000001.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%

000006.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%

000007.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%



PCTran
2004/11/20 上午 12:15:16

圖 2.5 案例二：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

2.3 案例三 汽機控制閥與汽機旁通閥全開(Opening of All Control and Bypass Valves)

2.3.1 案例說明

在核四PSAR案例15.1.3.1.2.2中，我們將討論因軟體失效，造成電廠汽機控制閥與蒸汽旁通閥全開，所造成的事故。

在電廠中，蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)，能藉由控制汽機控制閥與汽機氣體旁通閥，來維持反應器內的壓力穩定，當汽機控制閥或汽機旁通閥打開時，蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)會感應到壓力的變化，而去關閉剩餘的控制閥來減輕事故，保持反應器的功率和壓力來避免事故的發生或停機，這個案例是假設蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)失效，造成汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全開無法正常調節。

我們用 PCTRAN_ABWR 所模擬出之結果來與 PSAR 報告中相同案例的分析結論來做驗證。

PSAR事件發生程序

時間(秒)	發生暫態事故
0	設定汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全開。
2.8	汽機控制閥完成全開狀態。
2.87	水位到達 L8，飼水泵和主汽機跳脫。
2.9	汽機停止閥到達 85% 開度時，啟動反應器急停與四個 RIPS 跳脫的訊號。
2.97	汽機停止閥全關。
3.3(est)	汽機旁通閥開啟，阻斷反應器急停與 RIP 跳脫訊號。
7(est)	水位降至 L3，引起反應器急停與 4 個 RIP 跳機。
17.2	水位降至 L2 設定點，引起剩餘的 6 個 RIP 全部跳脫、RCIC 開始作動。
36.2	低汽機進口壓力，引起主蒸汽線隔離。
41.2	主蒸汽隔離閥關閉。旁通閥維持開啟。
47.2(est)	RCIC 流體開始進入反應器壓力槽。(模擬中不考慮)

2.3.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

在 PCTRAN_ABWR 中，要設定汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全開的狀態，首先對面板上的兩個汽機氣體旁通閥按右鍵選定 valve position 100%，再勾選 Malfunction Active 即完成設定。

分析時間(秒)	50
設定 IC	1

Malfunction 設定	15(100% of 汽機控制閥 Full Open)
手動控制項目	設定兩個汽機氣體旁通閥流量 1 0 0 %
其他設定	無
輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)

2.3.3 結果分析

此案例中，假設電廠初始條件參數沒有改變。在 PCTRAN_ABWR 的模擬中，一開始會因為設定汽機控制閥與汽機氣體旁通閥的開啟，而造成反應器內壓力下降，水位上升到達 L8(592.37cm)設定點，並會促發汽機、反應器、4 個 RIP、飼水泵在第 1 秒時即跳機(如圖 2.6)。

PCTRAN_ABWR 的模擬在，第 1 秒時間即跳機與 PSAR 報告並不符合。在 PCTRAN_ABWR 模擬此案例時，當反應器在第 1 秒跳機後，會造成主蒸汽隔離閥(MSIV)在 1.5 秒的時候關閉，此刻壓力開始上升，並促發安全釋壓閥排出蒸汽(如圖 2.7)，這個動作與 PSAR 報告

中，反應器會因為汽機氣體旁通閥的開啟，使反應器暫緩一段時間才跳機的機制有所不同。

PCTRAN_ABWR 在第 2-12 秒的時候，會因為安全釋壓閥的排氣洩壓，水位會由 L8(592.37cm)降到 L3(364.03cm)(如圖 2.8)，此處與 PSAR 報告中，L8 水位是因為汽機氣體旁通閥開啟致使水位降至 L3 不同。

在 PCTRAN_ABWR 的模擬中，11.5 秒時安全釋壓閥會關閉，在 42 秒的時候安全釋壓閥會再一次啟動繼續排放蒸汽，直至 144 秒的時候水位才會降至 L2(242.77cm) 使剩下的 6 個 RIP 跳機、RCIC 會啟動補水(如圖 2.9)。

PCTRAN_ABWR 的暫態模擬報告

Reset to IC #1
000001.0 sec, High Reactor Level L8 Reached: 592.37 CM
000001.0 sec, Turbine Trip
000001.0 sec, Steam Dump Available Reactor Trip
000001.0 sec, 4 Reactor Internal Pumps Trip
000001.0 sec, Reactor Trip
000001.0 sec, Turb Stop Valve Position Change: 0%
000001.0 sec, Feed Pump #1 Position Change: 0%
000001.0 sec, Feed Pump #2 Position Change: 0%
000001.0 sec, Feedwater Pumps Trip
000001.5 sec, MS Isolation Valve Position Change: 0%

000001.5 sec, Cleanup Valve Position Change: 0%
000002.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%
000002.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 100%
000002.0 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 100%
000002.0 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 100%
000002.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 100%
000005.5 sec, Reactor Water Level Below L3: 364.03 CM
000011.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 0%
000012.0 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 0%
000012.5 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 0%
000014.5 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 0%
000022.5 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%
000042.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%
000144.0 sec, 6 Reactor Internal Pumps Trip
000144.0 sec, Reactor Water Level Below L2: 242.77 CM
000144.0 sec, RCIC Pump Position Change: 100%
000144.0 sec, RCIC Auto Start
000176.5 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%
000188.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%

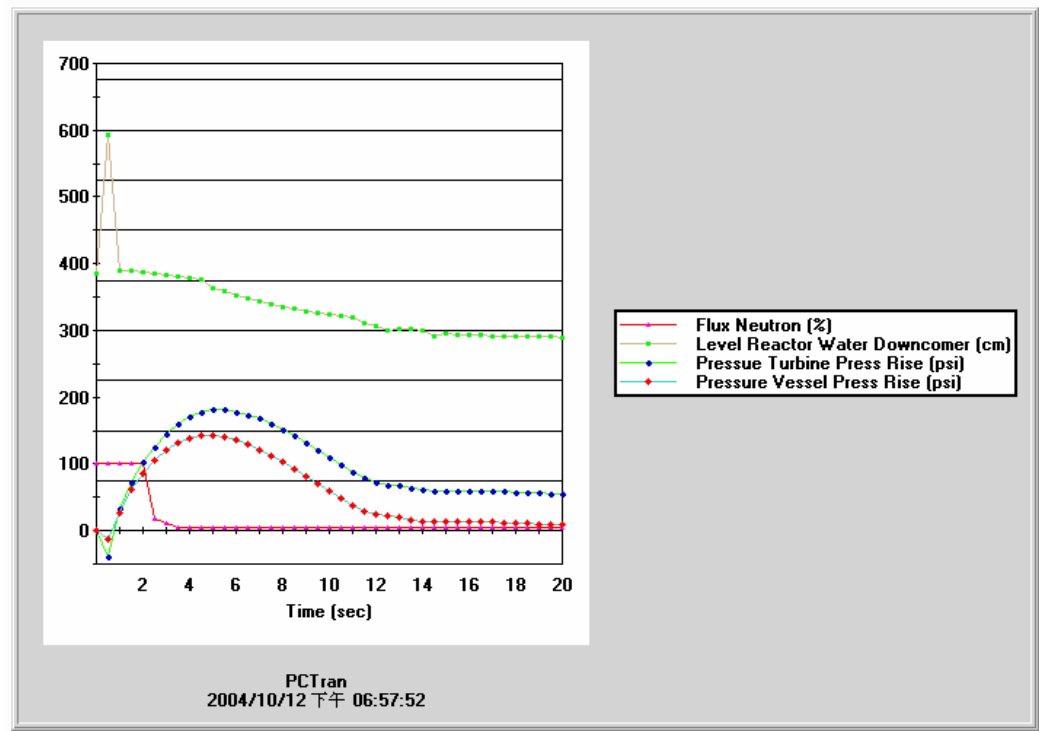


圖 2.6 案例三：PCTran_ABWR(對照圖-1)

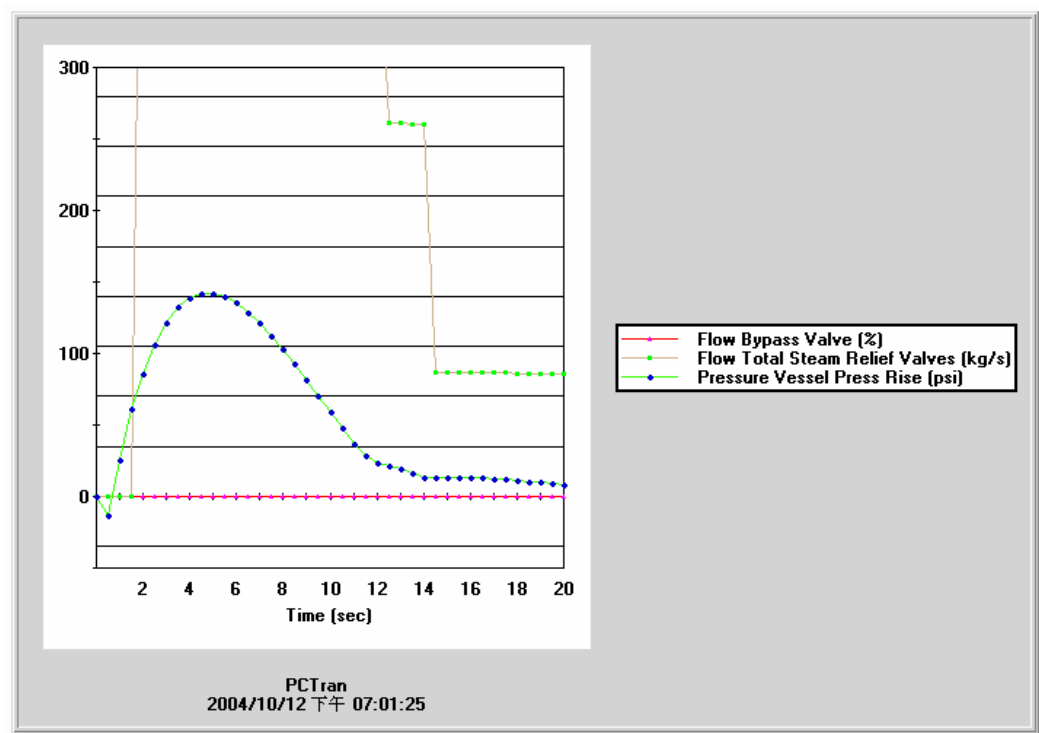


圖 2.7 案例三：PCTran_ABWR(對照圖-2)

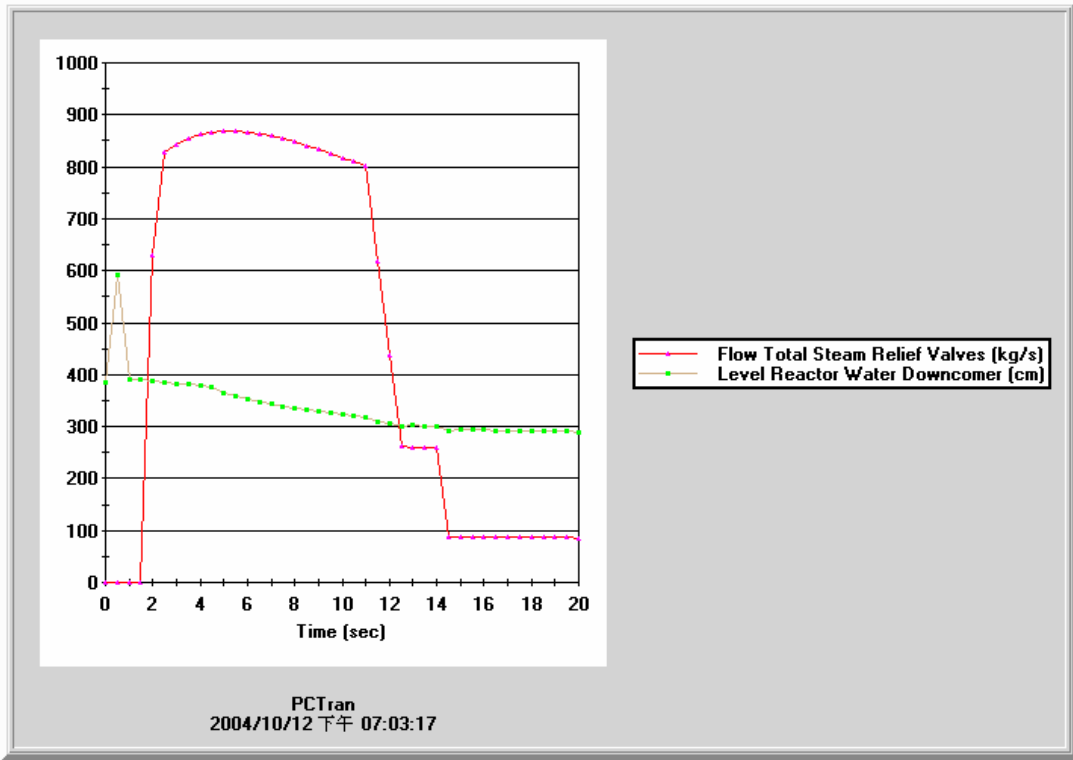


圖 2.8 案例三：PCTran_ABWR(對照圖-3)

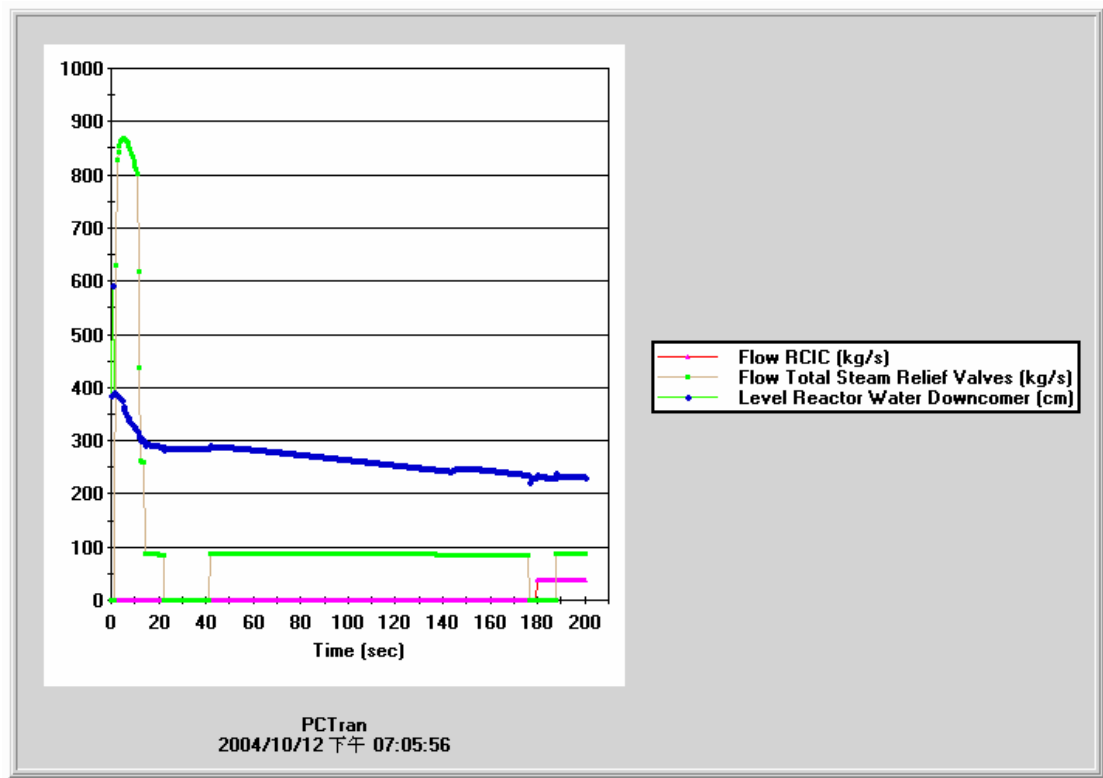


圖 2.9 案例三：PCTran_ABWR(對照圖-4)

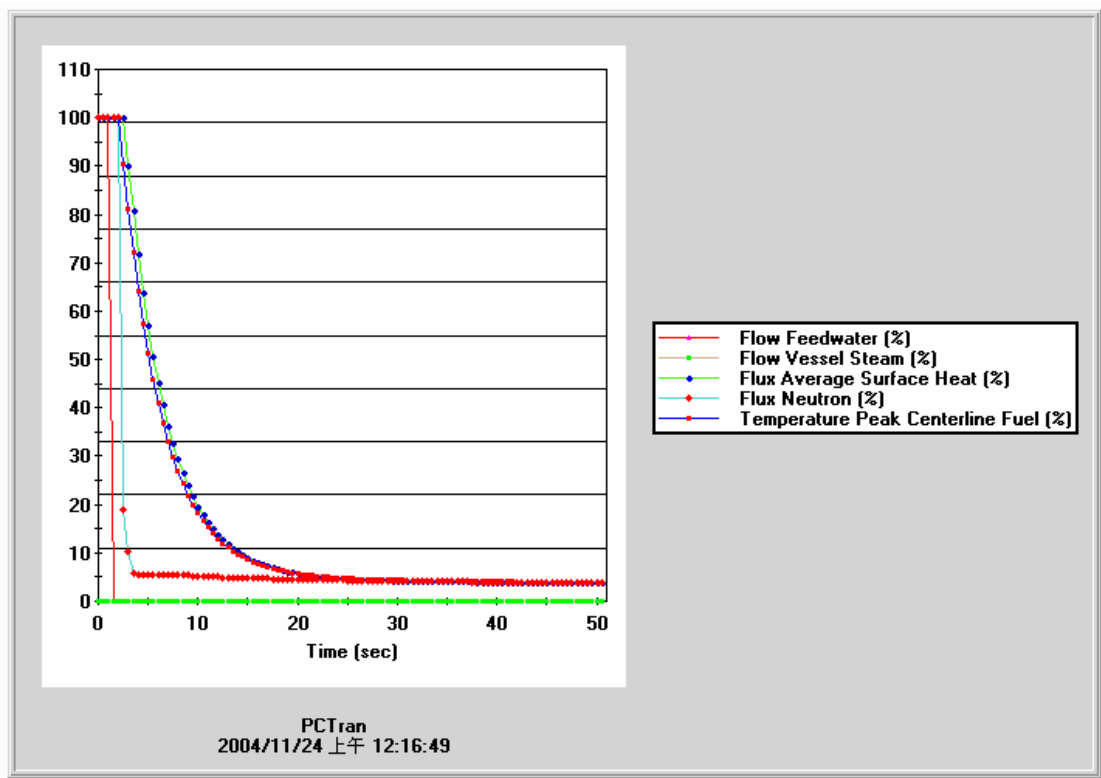
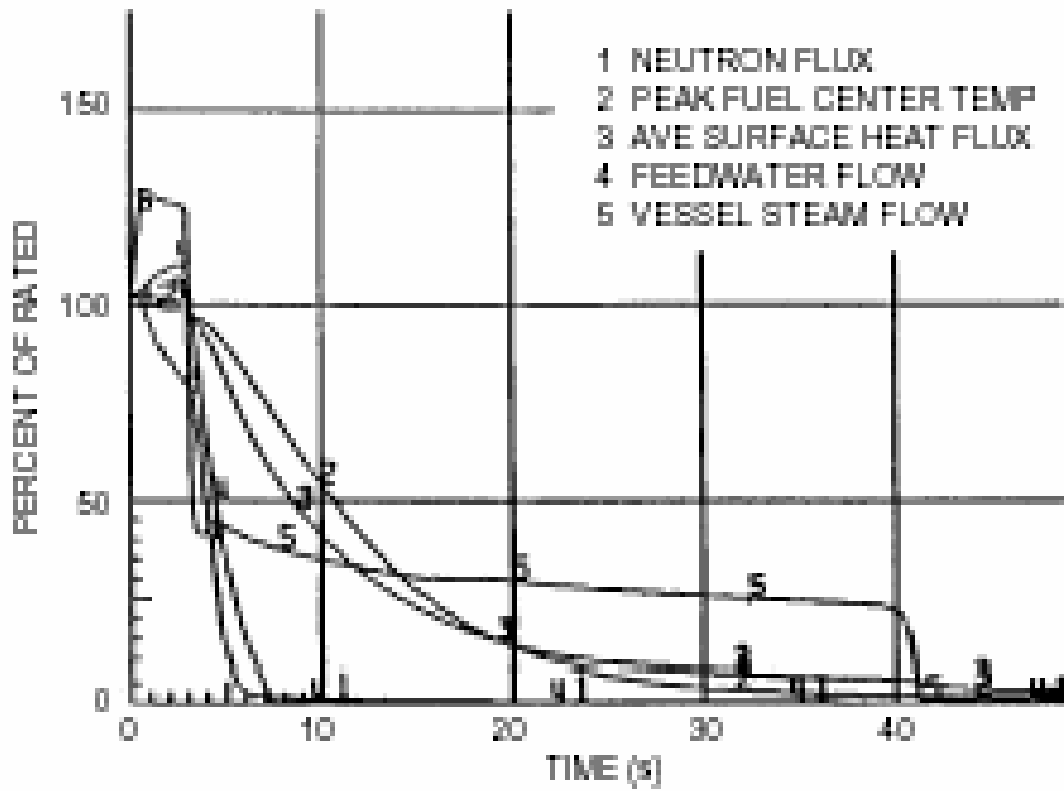


圖 2.10 案例三：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

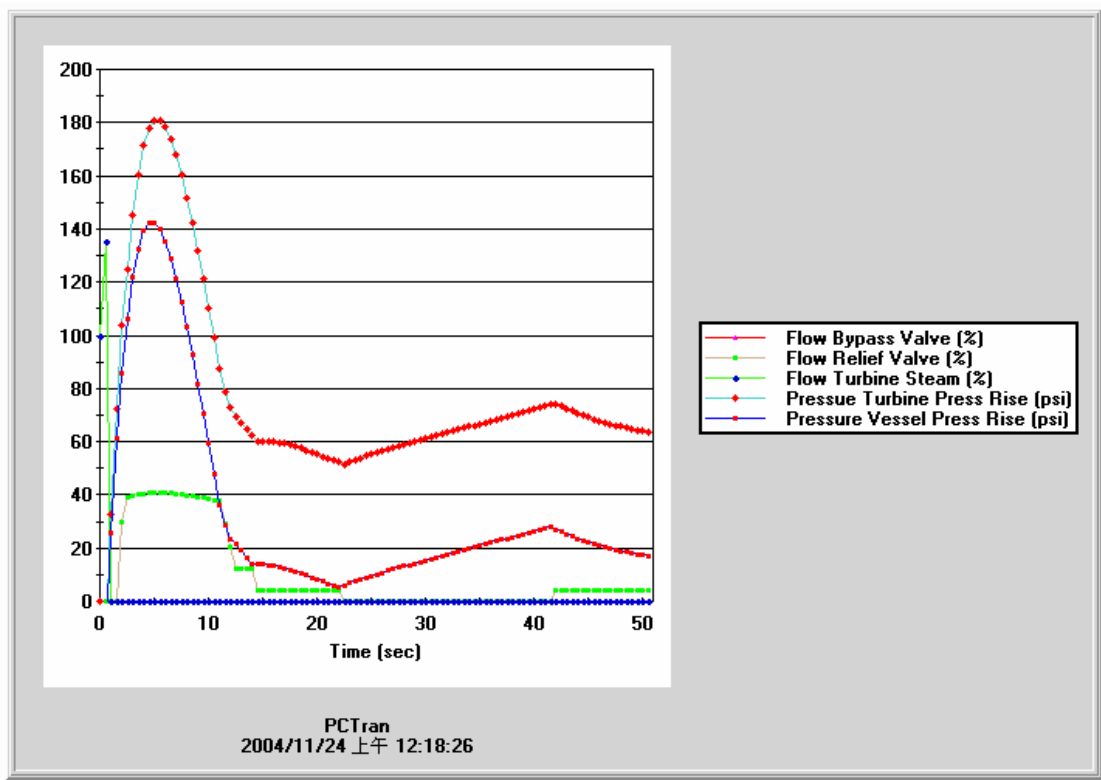
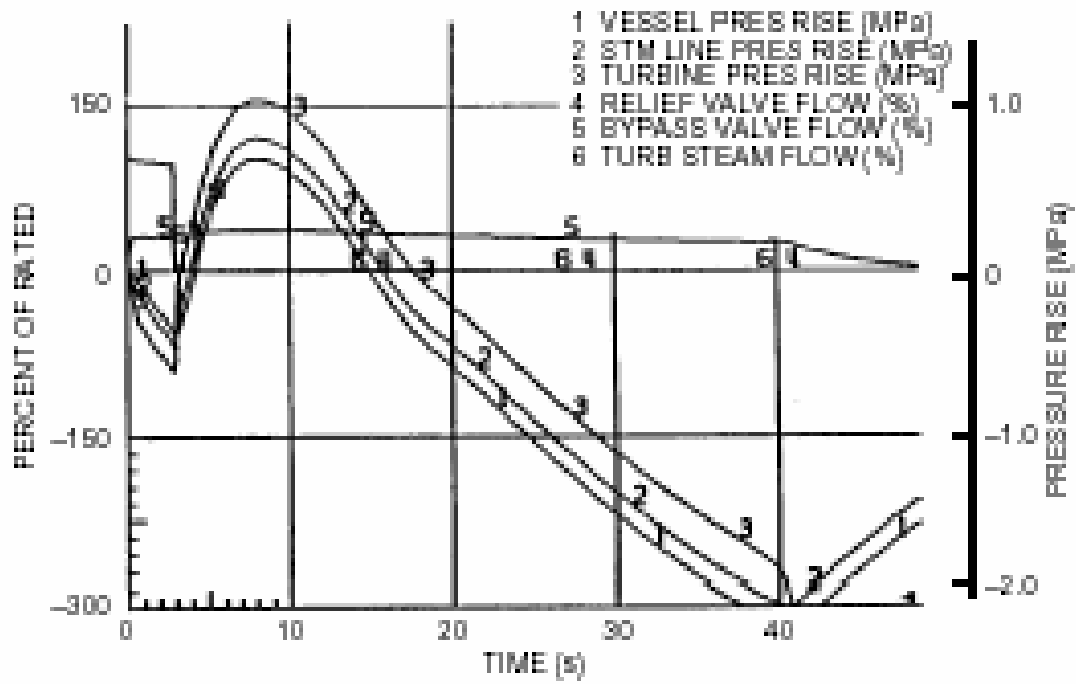


圖 2.11 案例三：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

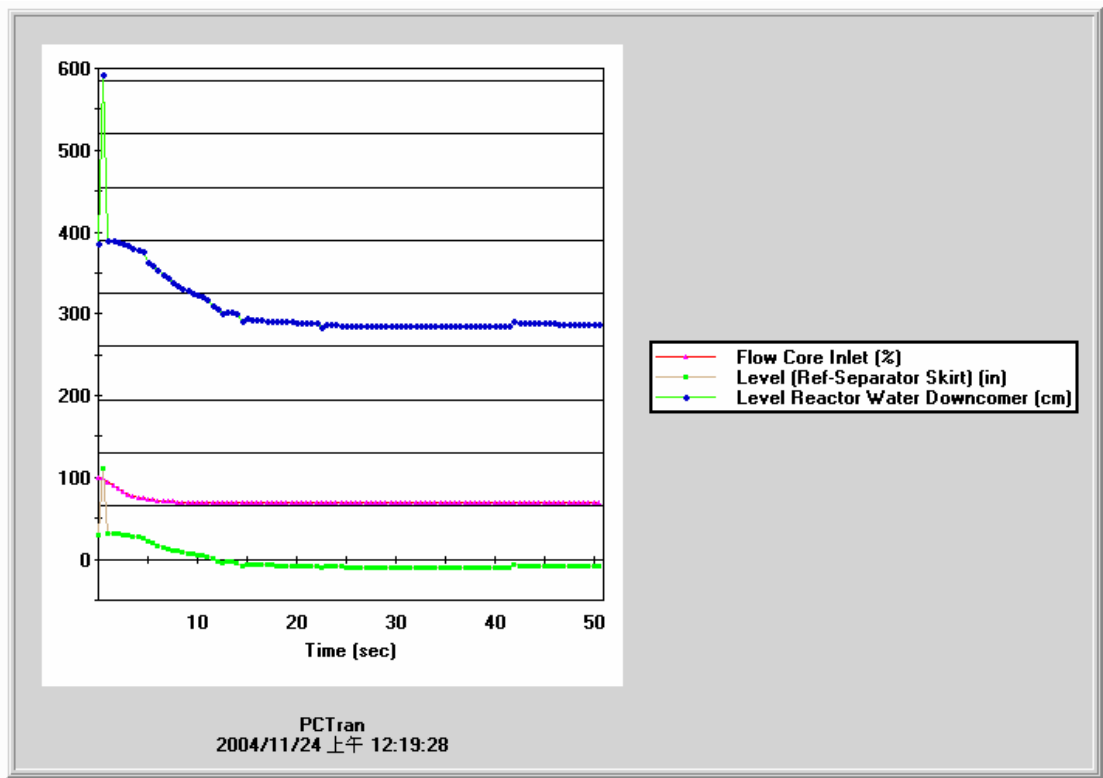
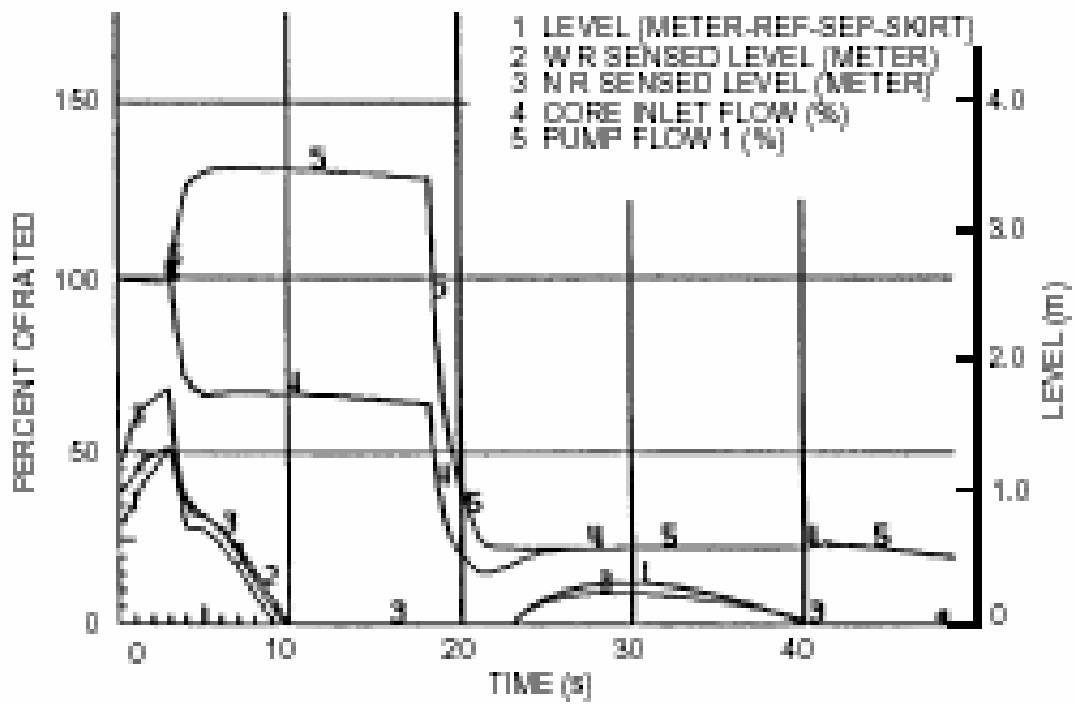


圖 2.12 案例三：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)

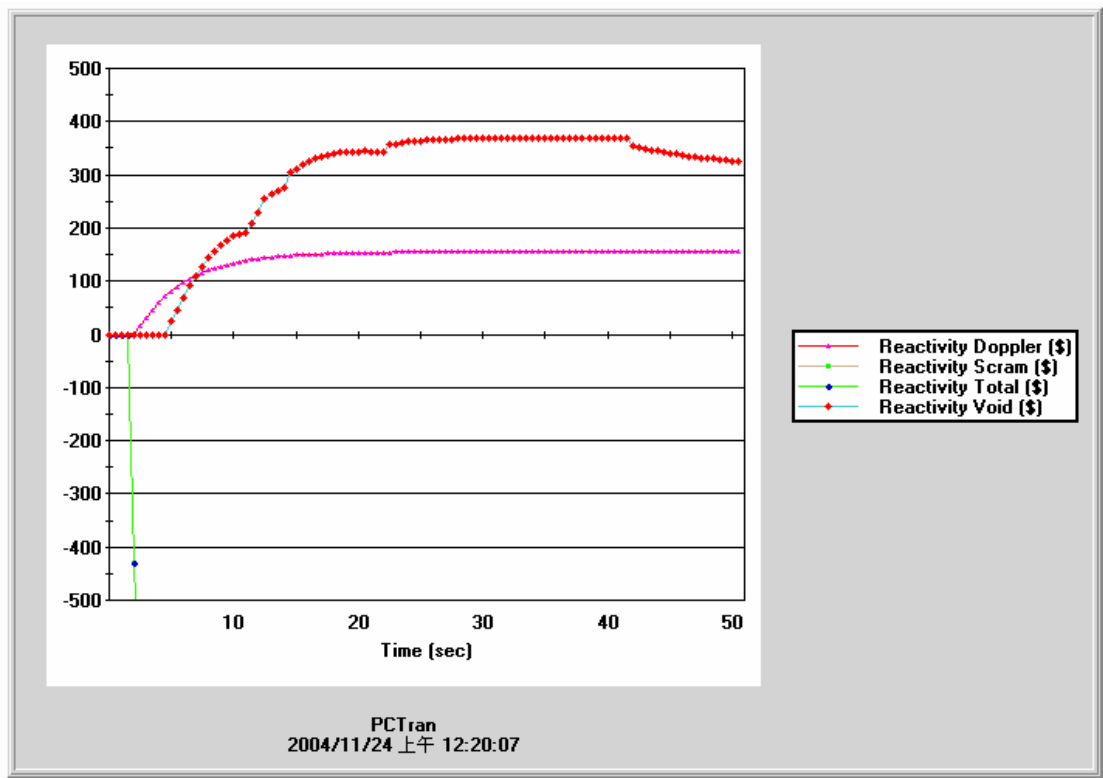
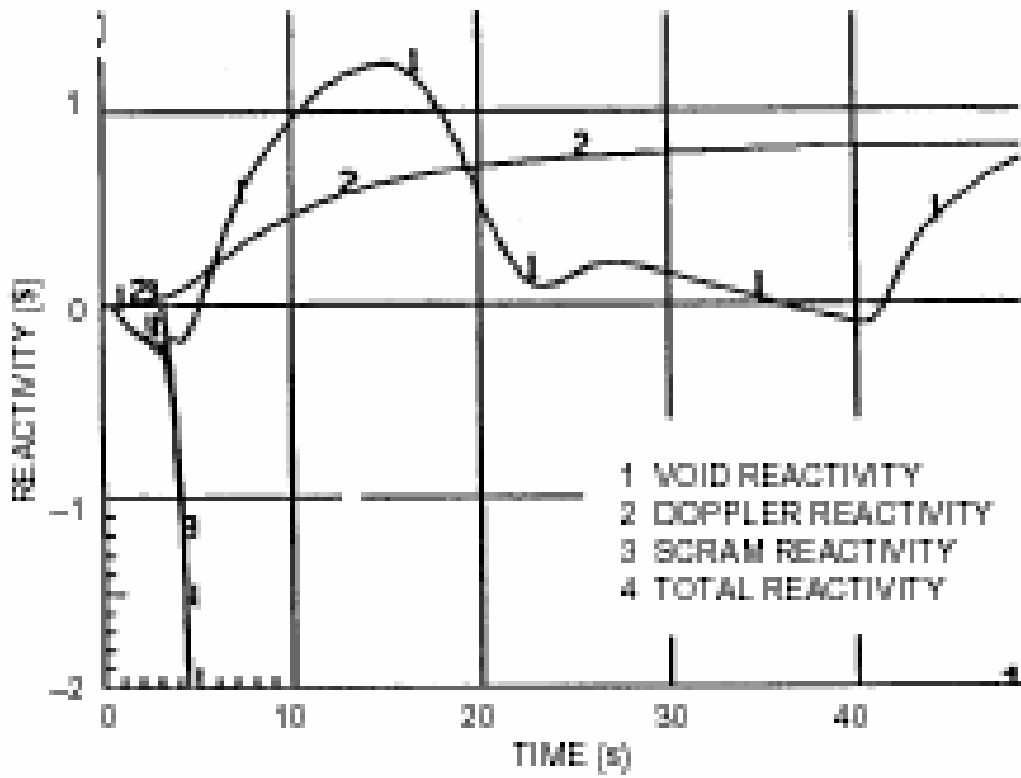


圖 2.13 案例三：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

2.4 案例四 汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關(Closure of All (4) Turbine Control Valves and Bypass Valves)

2.4.1 案例說明

在核四PSAR案例15.2.1中，我們將討論因軟體失效，造成電廠汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關，所發生的暫態事故。

在電廠中，蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)，控制了汽機控制閥與汽機氣體旁通閥，來維持反應器內壓力的穩定，當汽機控制閥或汽機氣體旁通閥關閉時，蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)會感應到壓力的變化，而去開啟剩餘的控制閥，來保持反應器的功率和壓力穩定，避免反應器跳機。

在這個案例中，我們要假設蒸汽旁通與壓力控制系統(SBPC)失效，造成汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關無法正常調節，在PSAR中又稱此現象為壓力調節失效事故，並特別在PSAR附錄15D中詳敘整個系統的控制原理。

在PSAR中，此暫態事故會造成反應器內，壓力增加空泡分率減少促使中子通率升高，而造成跳機的主要原因為，中子通率過高達跳機設定點而造成跳機。

我們將用PCTAN_ABWR所模擬出之結果，來與PSAR報告中相同案例的分析結論來做驗證。

PSAR事件發生程序

時間(秒)	發生暫態事故
0	汽機控制閥與汽機氣體旁通閥全關。
1	中子通率達高通率急停設定點，反應器急停。
2.4	因反應器壓力高壓，引發4個RIP跳脫。
2.6	壓力過高，引發安全釋壓閥打開釋壓。
8.9	安全釋壓閥關閉。
9.4	群組一之安全釋壓閥再度打開，釋放衰減熱。
9.8	群組二之安全釋壓閥再度打開，釋放衰減熱。
15(est)	安全釋壓閥全關。

2.4.2 PCTran_ABWR中基本設定

在PCTran_ABWR中，當我們要同時設定，汽機控制閥與汽機氣體旁通閥關閉時會有困難，因為汽機氣體旁通閥在第零秒時候，一開始還是會排出約百分之50的蒸汽量，在約過10秒後才會減少到零，此現象並不能達到PSAR中模擬的初始狀態要求。所以我們設定讓其中一個汽機氣體旁通閥流量為百分之1，來近似PSAR中的初始狀態進行模擬。

分析時間(秒)	15
設定IC	1
Malfunction設定	無

手動控制項目	1.關閉汽機控制閥 2.汽機氣體旁通閥設 malfunction 一個 1% 一個 0%
其他設定	無
輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)

2.4.3 結果分析

在PSAR中，一開始會因為汽機控制閥與汽機氣體旁通閥的關閉，造成蒸汽通路被阻隔，使得反應器內壓力上升空泡分率減少，而造成中子通率上升達跳機設定點使反應器跳機。

而在PCTAN_ABWR中，第1秒的時候因為壓力的遽增會先造成群組#0.#1安全釋壓閥的開啟，而在1.5秒時會因為壓力過高造成反應器跳機與4個RIP跳脫。

所以兩者跳機原因並不相同，在PSAR中是因為中子通率過高造成跳機的，而在PCTRAN_ABWR中，是因為壓力過高造成反應器跳機。

PCTRAN_ABWR 的暫態模擬報告

Reset to IC #1

000000.0 sec, Turb Control Valve Position Change: 0%
000000.0 sec, Turb Bypass Valve #2 Position Change: 1%
000000.0 sec, Turb Control Valve Position Change: 1%
000000.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 1%
000000.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%
000000.0 sec, Turb Control Valve Position Change: 0%
000001.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%
000001.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 100%
000001.5 sec, Reactor Hi Pressure Trip: 78.86 BAR
000001.5 sec, 4 Reactor Internal Pumps Trip
000001.5 sec, Reactor Trip
000001.5 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 100%
000001.5 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 100%
000001.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 100%
000005.5 sec, Turbine Trip
000006.0 sec, Turb Stop Valve Position Change: 0%
000007.0 sec, Reactor Water Level Below L3: 371.36 CM
000007.0 sec, Cleanup Valve Position Change: 0%
000013.0 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 0%
000013.0 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 0%

000014.0 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 0%

000015.5 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 0%

000021.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%

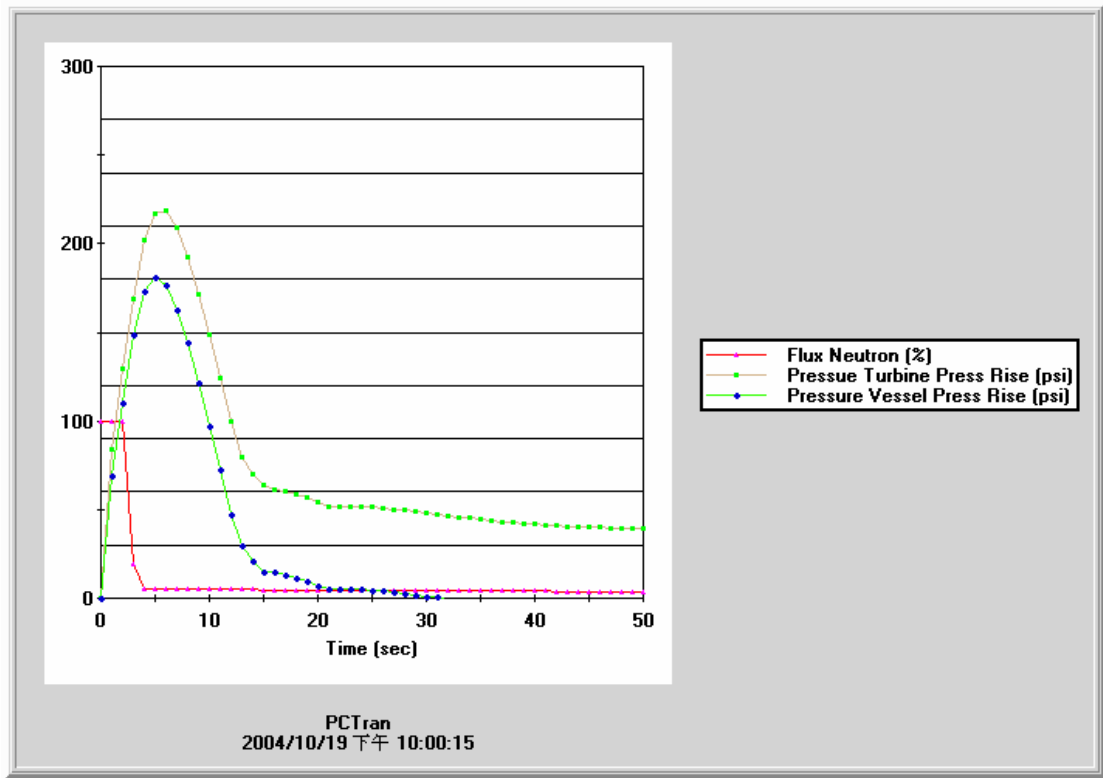


圖 2.14 案例四：PCTran_ABWR(對照圖-1)

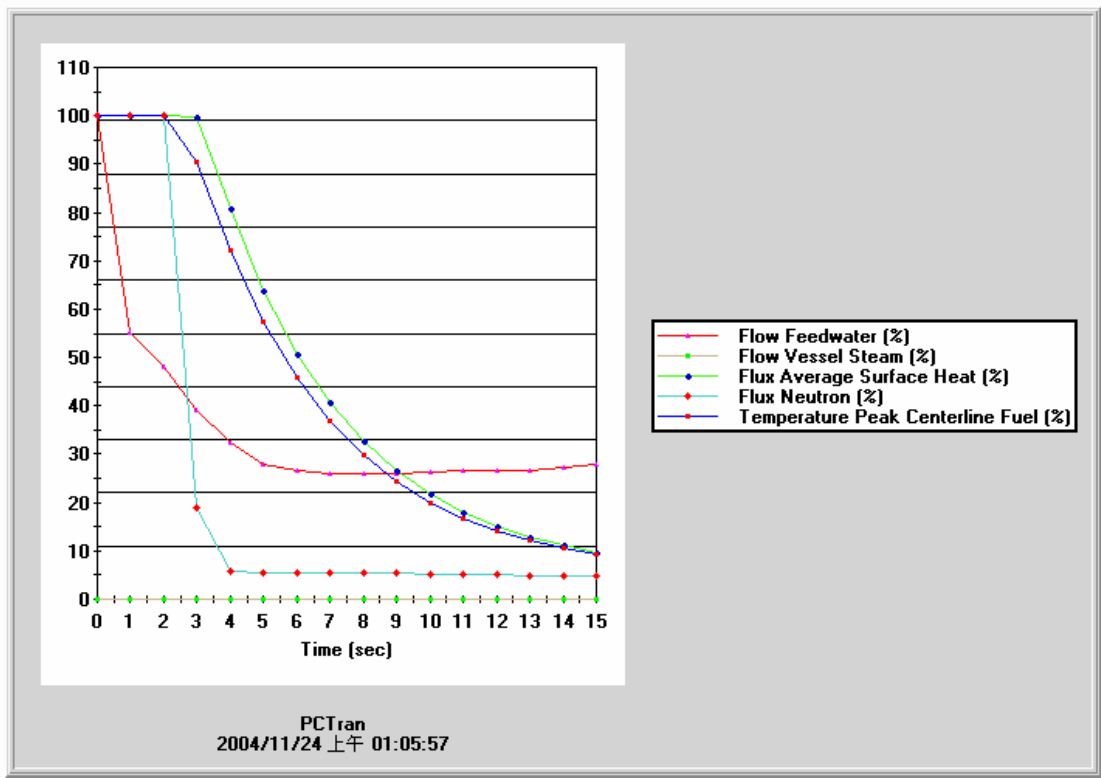
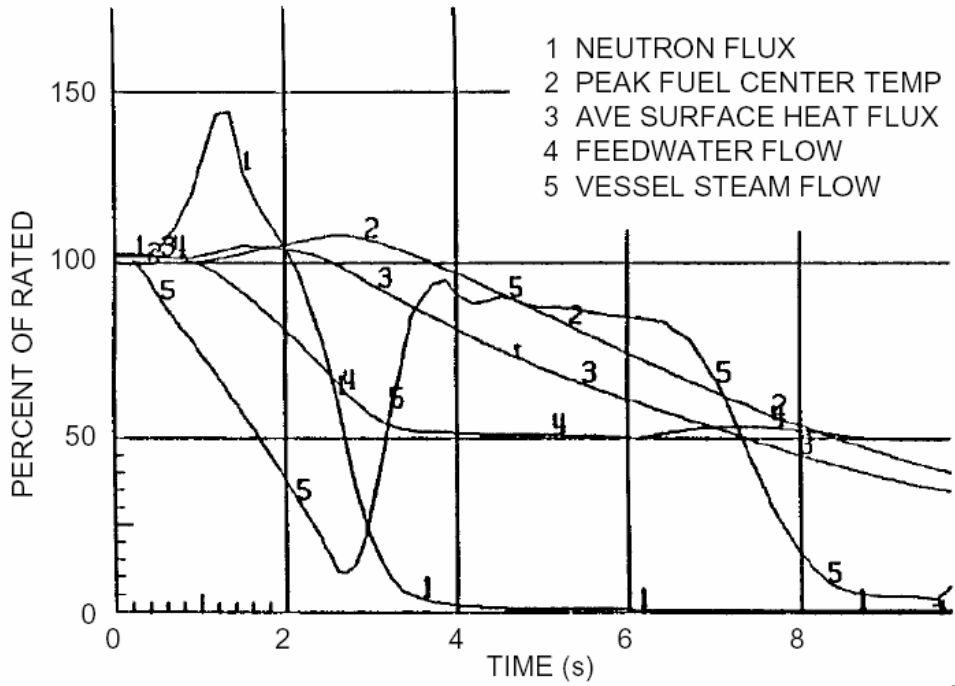


圖 2.15 案例四：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

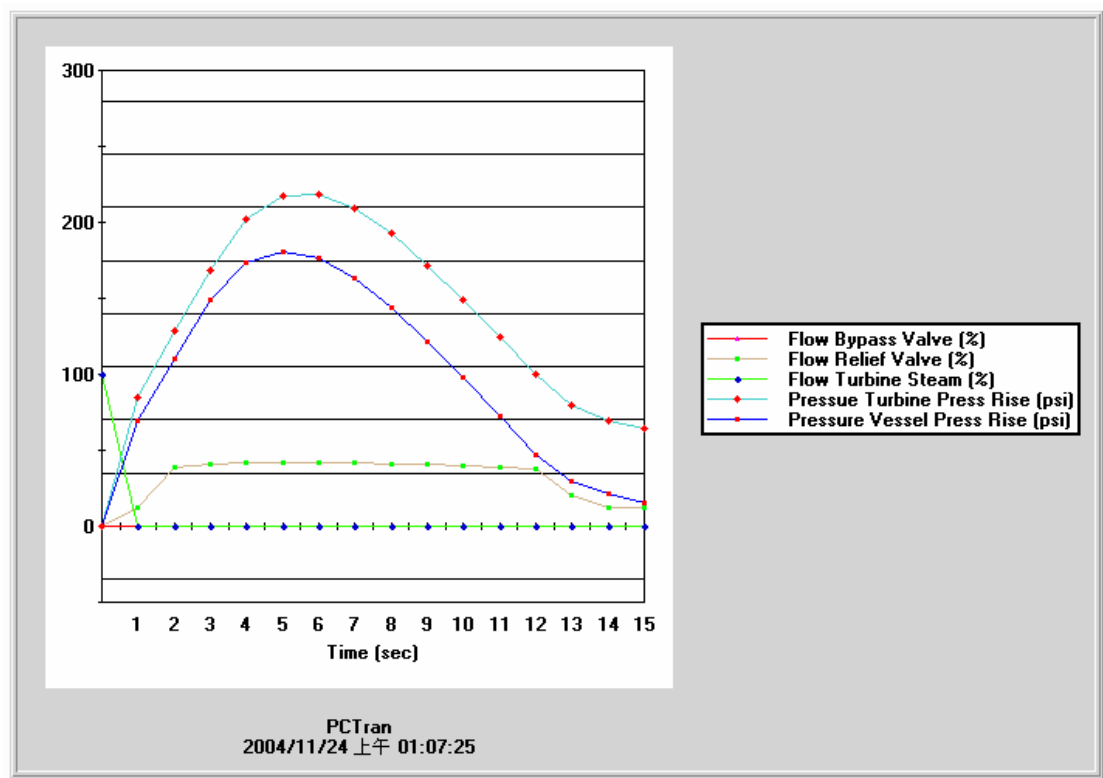
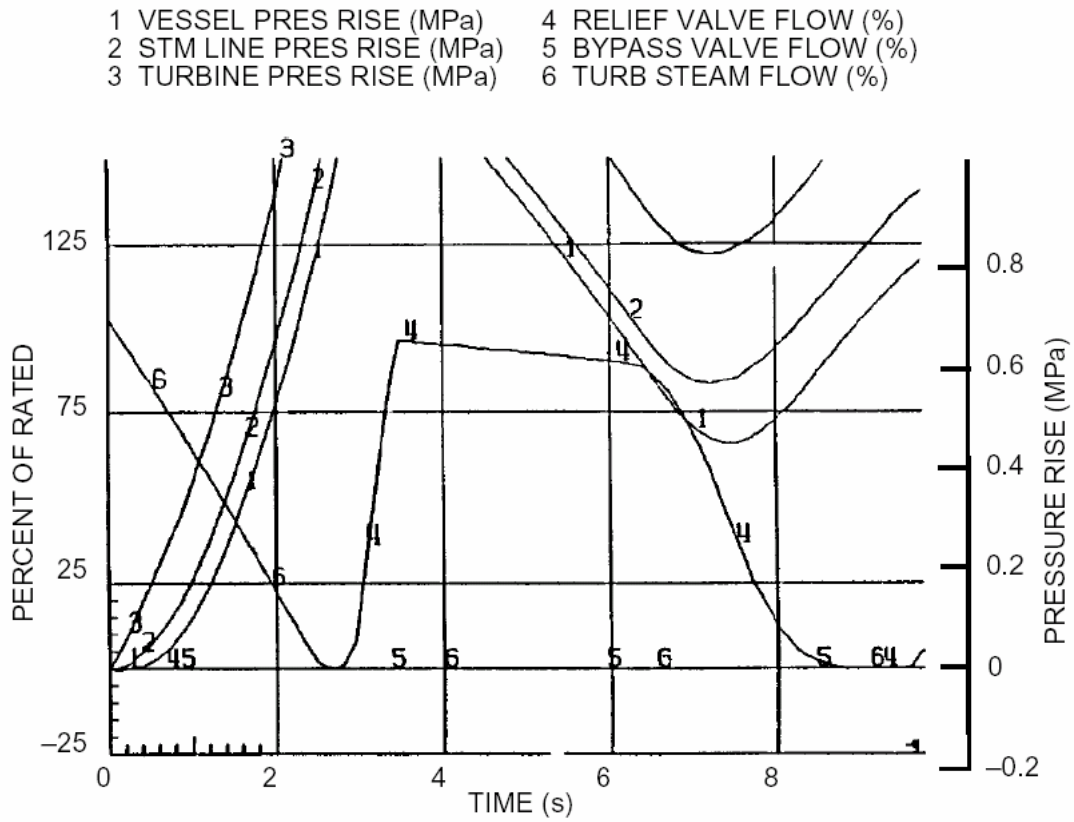


圖 2.16 案例四：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

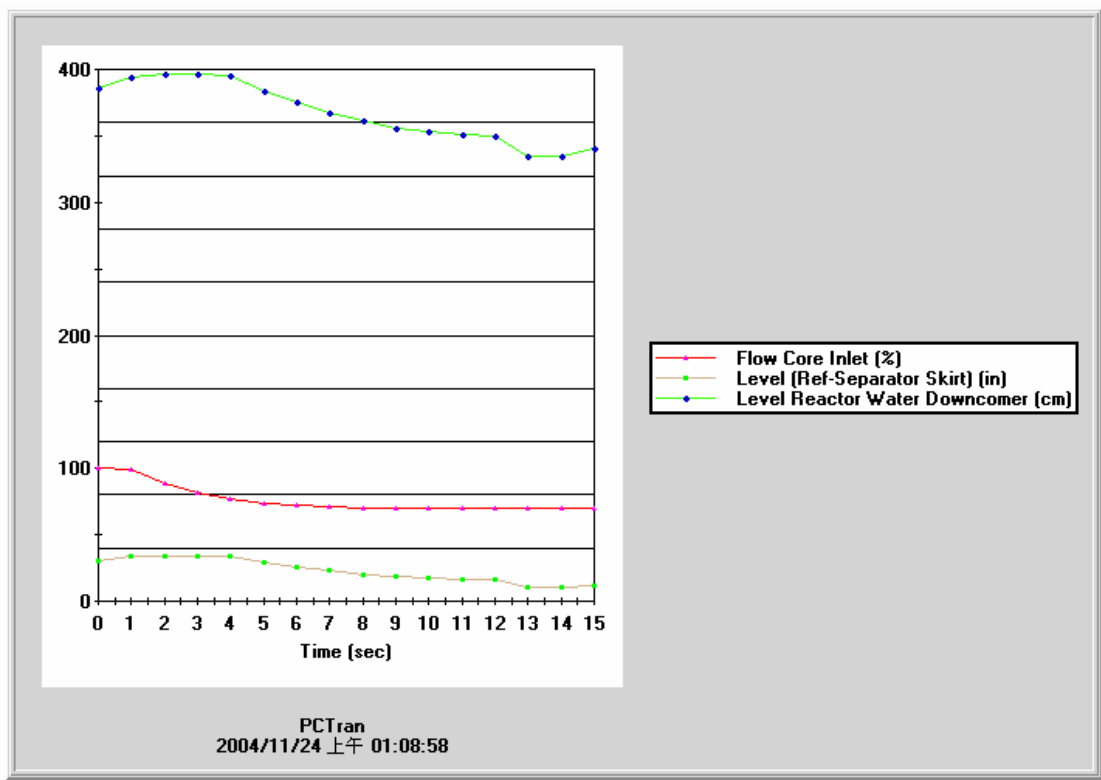
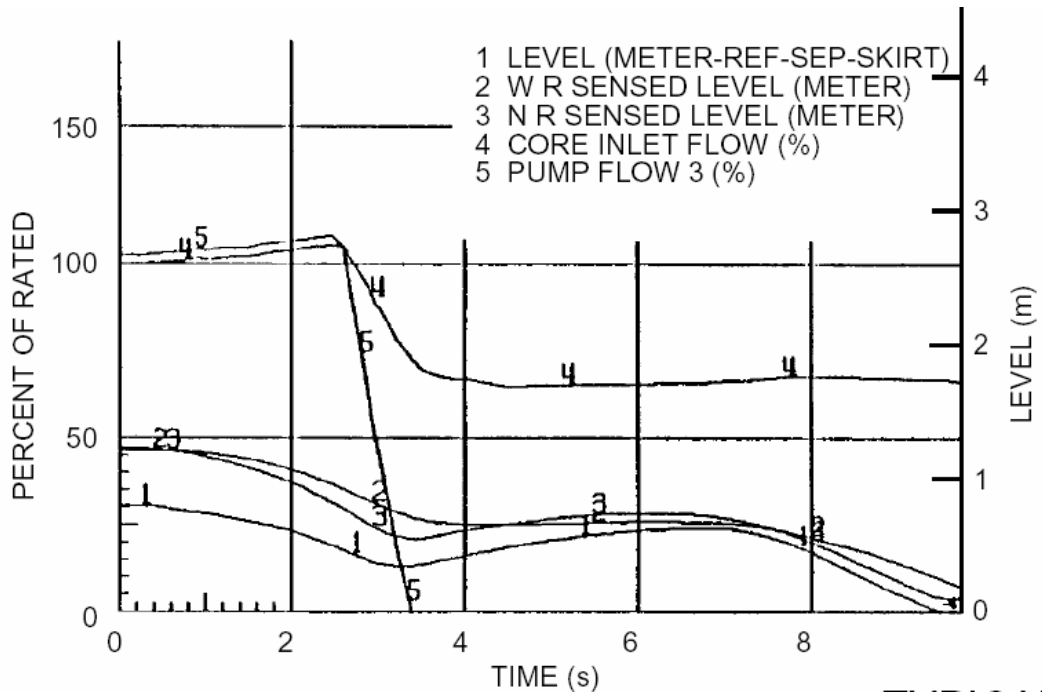


圖 2.17 案例四：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)

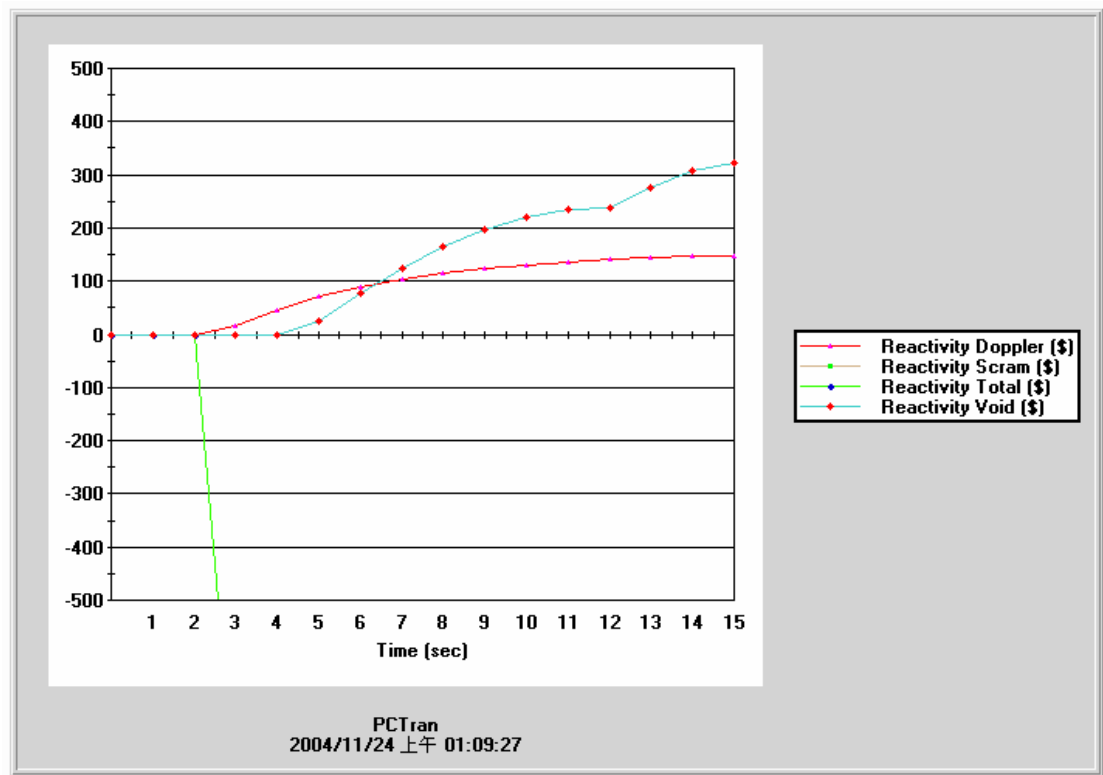
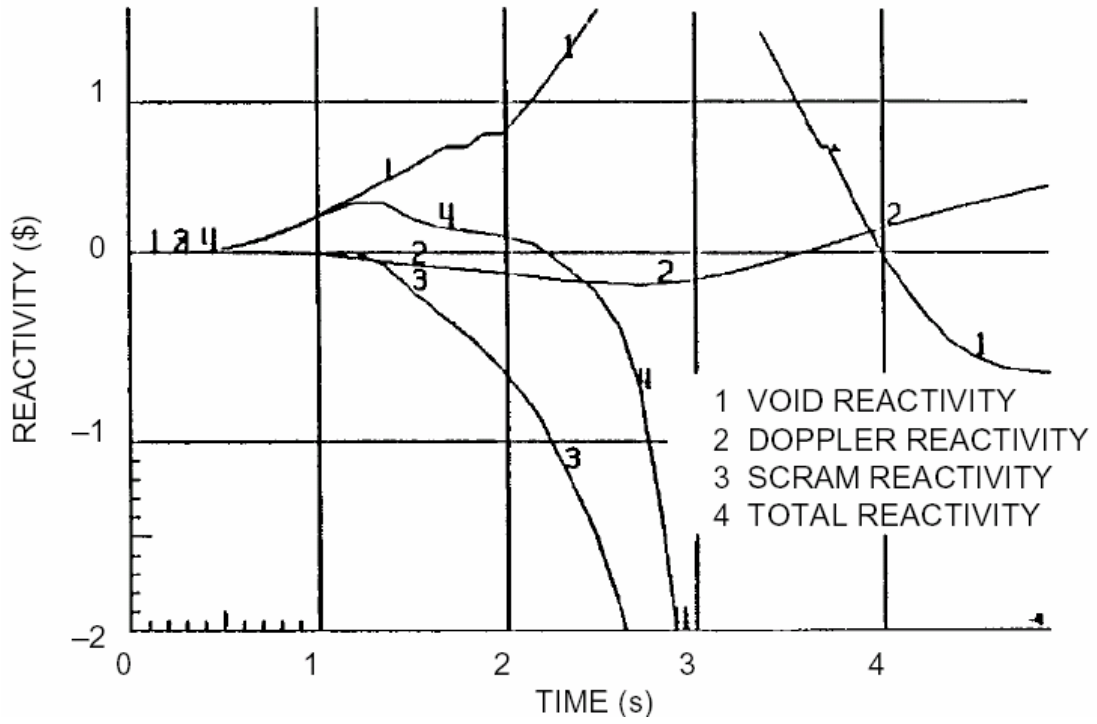


圖 2.18 案例四：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

2.5 案例五 汽機跳脫與汽機氣體旁通閥全關(Turbine Trip and Bypass Off)

2.5.1 案例說明

在核四 PSAR 案例 15.2.3.1.2.3 中，我們將討論因軟體失效，造成汽機跳脫與汽機氣體旁通閥全關，所造成的電廠暫態事故。

PSAR 在模擬這個案例的時候，把電廠的爐心流量率的初始參數改為 85% 來模擬，且設定汽機跳脫與汽機氣體旁通閥全部關閉。

在 PSAR 中，汽機跳脫時會造成汽機停止閥關閉，然後會產生一個要反應器跳機與四個 RIP 跳脫的訊號，但是反應器並沒有跳機，而是因為後來汽機氣體旁通閥也關閉使得蒸汽通路被阻隔，才造成反應器跳機的，反應器跳機後中子通率會快速的上升高達 153.4% 與平均表面熱通率達 103.4%。

我們將用 PCTAN_ABWR 所模擬出之結果來與 PSAR 報告中相同案例的分析結論來做驗證。

PSAR 事件發生程序

時間(秒)	發生暫態事故
0	汽機跳脫引起汽機停止閥關閉。
0	汽機跳脫引起主蒸汽旁通閥系統動作。
0	汽機旁通閥失效無法動作。
0.01	

	汽機停止閥開度達85%，發出反應器急停與四個RIP跳脫訊號。然而該訊號會故意延遲到旁通閥動作確認以後。
0.1	汽機停止閥關閉。
0.15	旁通閥失效無動作，反應器急停與RIP跳脫。
1.7	因為高壓力促使安全釋壓閥開啟。
6.5	安全釋壓閥關閉。
8.2(est)	安全釋壓閥再度打開，釋放衰減熱。
>14(est)	安全釋壓閥再度關閉。

2.5.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

此案例在 PSAR 模擬中，假設電廠的初始條件函數中的爐心流量率為 85%，所以我們在 PCTRAN_ABWR 中，選擇爐心流量率假設為 85% 的 IC7 為初始狀態值來模擬。

分析時間(秒)	104-120(16)
設定IC	7
Malfunction設定	10
手動控制項目	無
其他設定	無

輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)
------	--

2.5.3 結果與分析

根據PSAR的分析，反應器跳機的主要原因為，汽機停止閥關閉與汽機氣體旁通閥關閉，使得蒸汽無處排洩造成跳機，且中子通率會高達153.4%、平均表面熱通率達103.4%。

而在PCTRAN_ABWR的模擬結果中，跳機的主要原因也是跟PSAR一樣，但是中子通率只會上升約為103%、平均表面熱通率約為102%。

PCTRAN_ABWR 的暫態模擬報告

Reset to IC #7

000104.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%

000104.5 sec, Turbine Trip

000104.5 sec, Steam Dump Not Available Reactor Trip

000104.5 sec, 4 Reactor Internal Pumps Trip

000104.5 sec, Reactor Trip

000104.5 sec, Turb Stop Valve Position Change: 0%

000105.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%

000105.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 100%

000105.5 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 100%

000105.5 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 100%

000105.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 100%

000109.0 sec, Reactor Water Level Below L3: 373.88 CM

000109.0 sec, Cleanup Valve Position Change: 0%

000114.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 0%

000115.0 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 0%

000116.0 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 0%

000117.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 0%

000121.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%

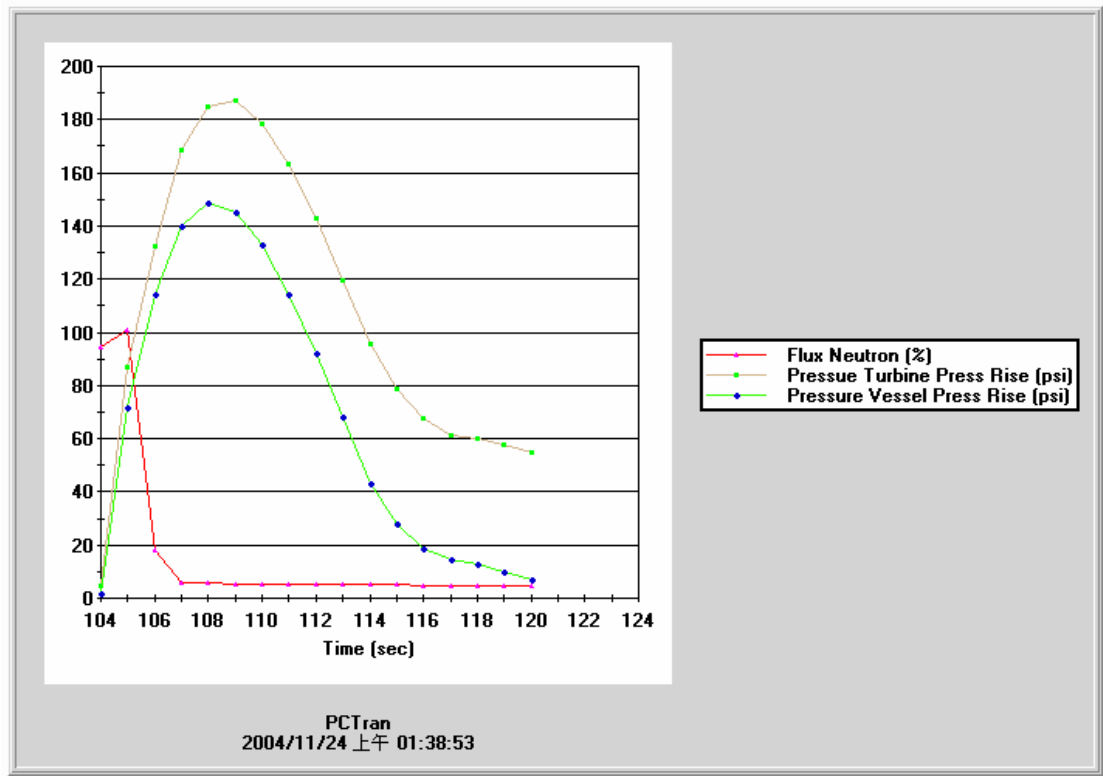


圖 2.19 案例五：PCTran_ABWR(對照圖-1)

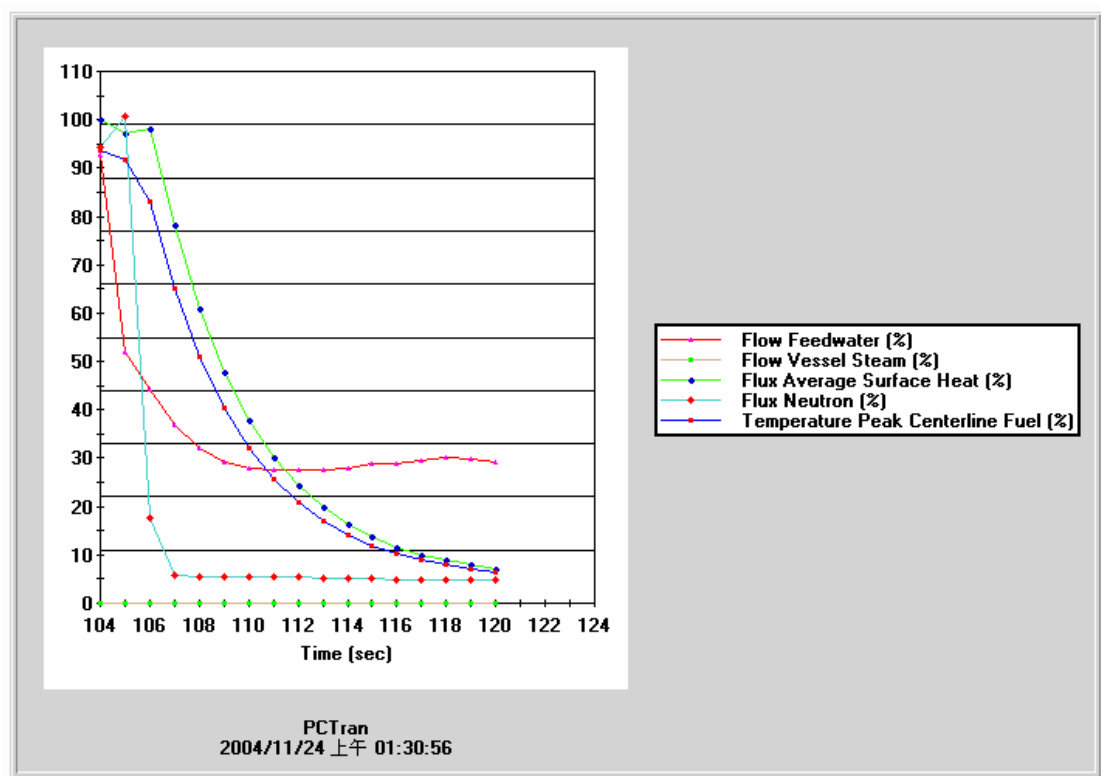
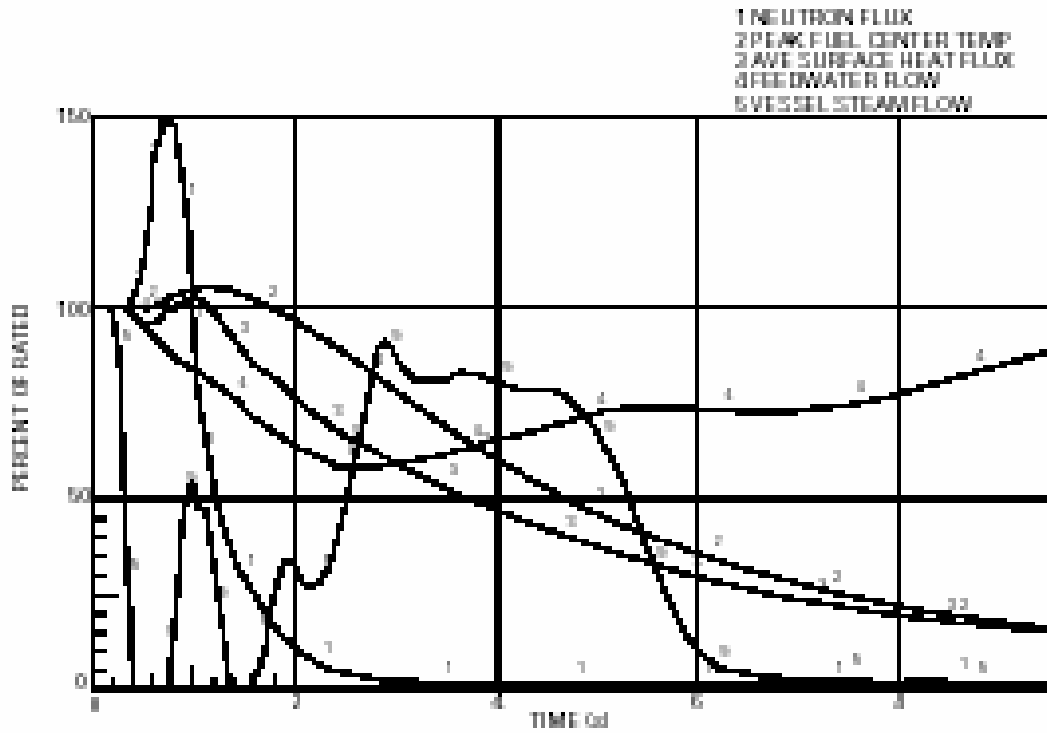


圖 2.20 案例五：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

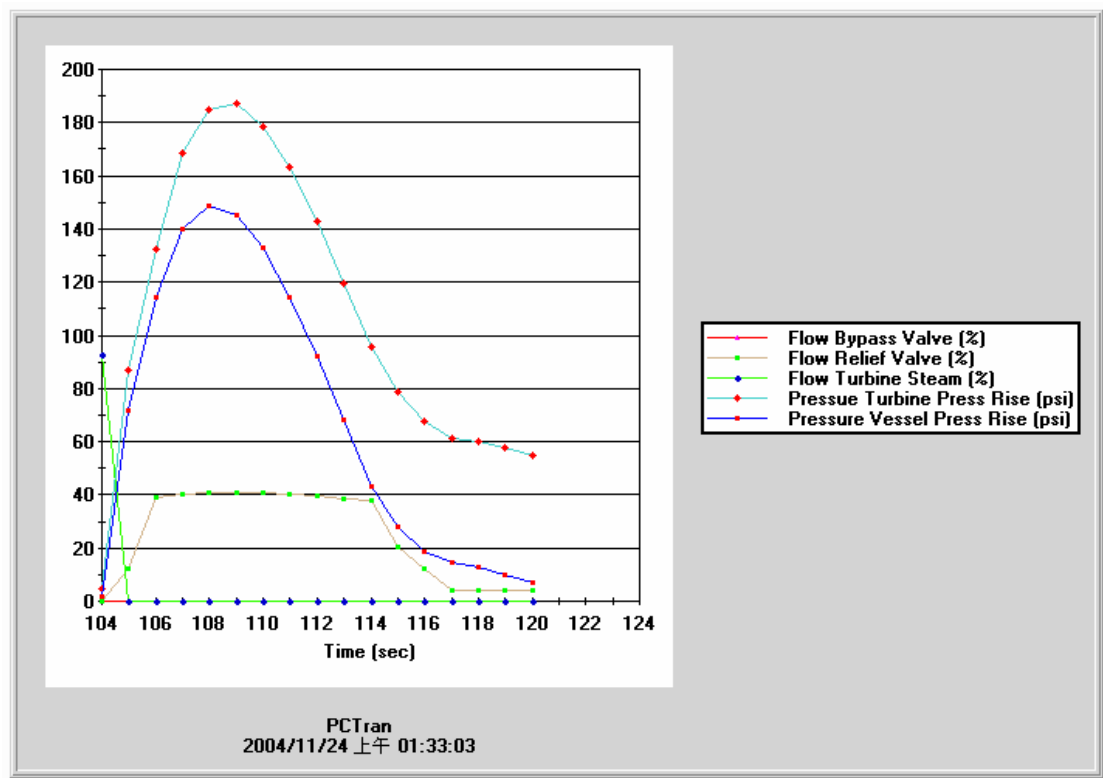
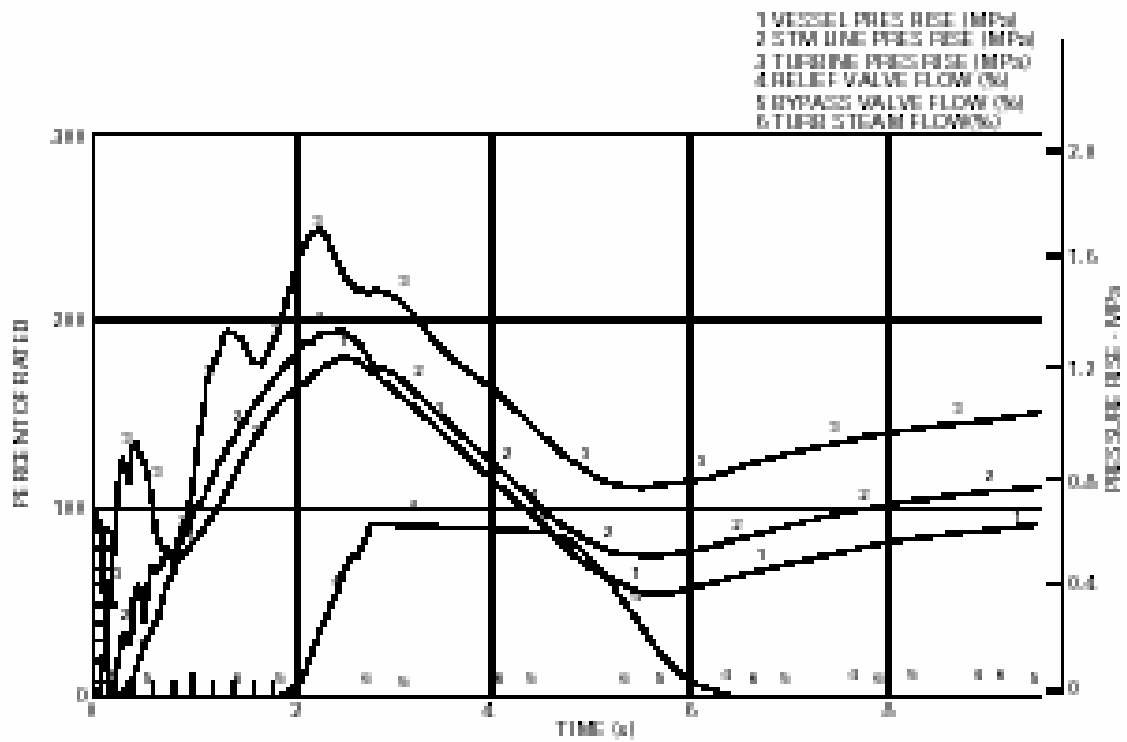


圖 2.21 案例五：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

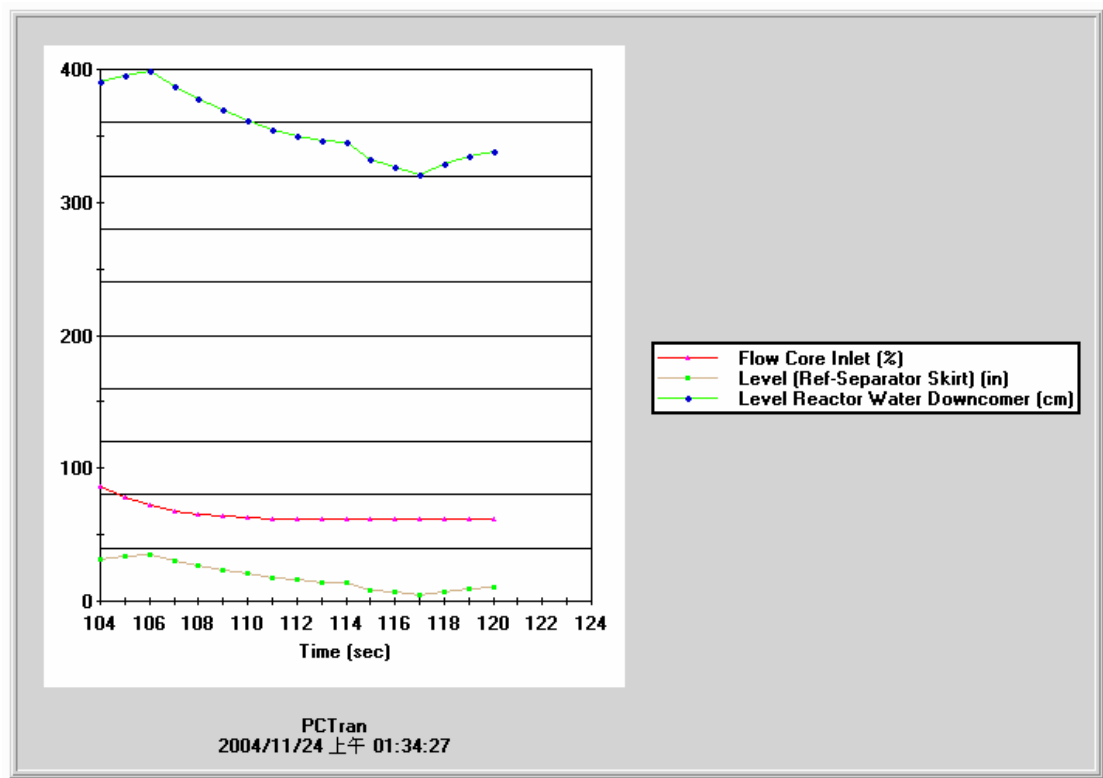
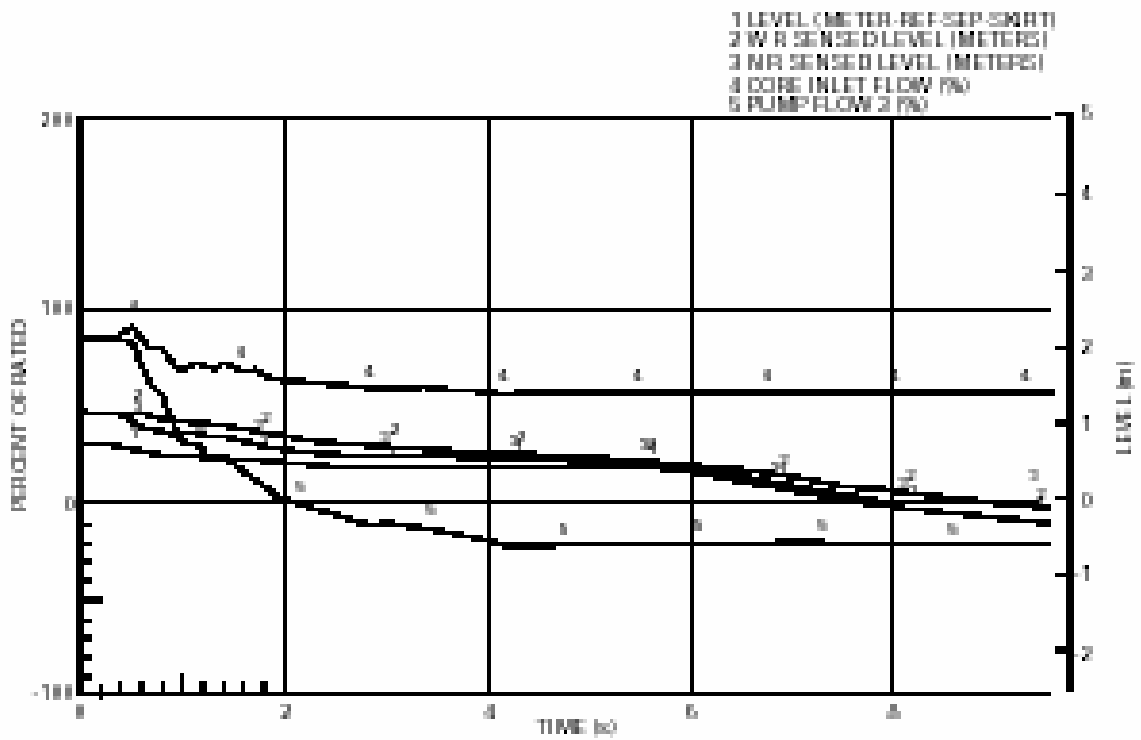


圖 2.22 案例五：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)

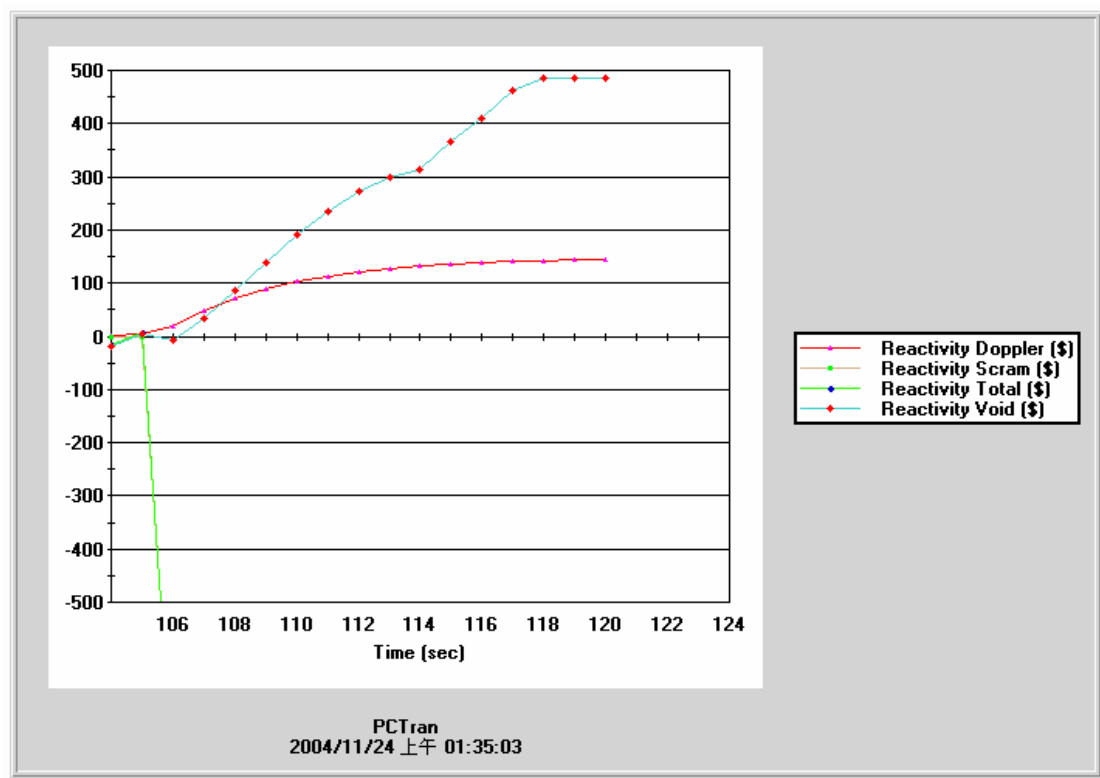
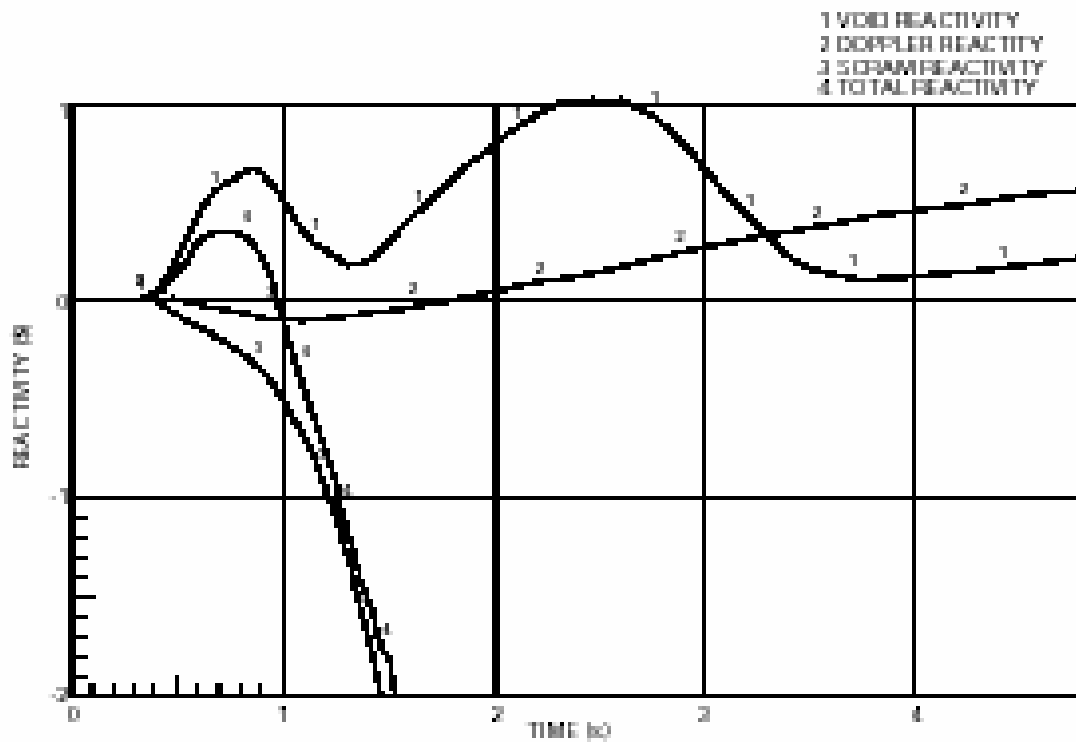


圖 2.23 案例五：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

2.6 案例六 主要蒸汽隔離閥全關 (Inadvertent All MSIV Closure)

2.6.1 案例說明

在核四 PSAR 案例 15.2.4.1.2.1 中，我們將討論因軟體失效，造成主蒸汽隔離閥(MSIV)全部關閉，所造成的暫態事故。

在 PSAR 中，當 MSIV 關閉時，反應器保護系統會產生一個訊號要反應器跳機，當反應器跳機後，壓力釋放系統會在壓力過高的時候，促使安全釋壓閥打開洩壓。在 PSAR 中當 MSIV 關閉到開度為百分之 85 時，反應器就會跳機、頂蓋壓力會增加，當反應器內壓力高到一定設定點的時候會促使四個 RIP 跳脫，因為安全釋壓閥的持續開啟洩壓，會使得水位一直下降到 L2 設定點，造成 6 個 RIP 跳脫、RCIC 啟動。

PSAR 事件發生程序

時間(秒)	發生暫態事故
0.0	關閉主蒸汽隔離閥。
0.45	主蒸汽隔離閥開度 85% 。
0.45	主蒸汽隔離閥達跳機設定點、反應器急停。
2.6	反應器內高壓力促使 4 個 RIP 跳脫。
2.9	反應器內高壓力促使安全釋壓閥開啟洩壓。
7.8	安全釋壓閥關閉。
9.0	安全釋壓閥關閉。
> 10(est)	安全釋壓閥再度開啟，釋放衰減熱。

> 13(est)	反應器水位下降至 L2 設定點，RCIC 啟動， 剩餘六個 RIP 跳脫。
> 40(est)	群組一之安全釋壓閥再度關閉。 RCIC 之流量開始進入反應器內。(模擬中不考慮)

2.6.2 PCTAN_ABWR 中基本設定

分析時間(秒)	15
設定IC	1
Malfunction設定	6
手動控制項目	無
其他設定	無
輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)

2.6.3 結果分析

此暫態事故在 PCTRAN_ABWR 中，當我們設定主蒸汽隔離閥關閉時，會即刻造成反應器跳機，這個地方與 PSAR 報告中，主蒸汽隔離閥開度達 85% 才會產生跳機的機制有所不同。

在 PSAR 中，暫態事故發生後，會因為反應器內壓力過大促使 4 個 RIP 跳脫與安全釋壓閥開啟洩壓，當壓力下降之後安全釋壓閥會關閉，然後因為排熱的需要，安全飼壓閥又會再度的開啟，且會造成水位下降至 L2 設定點，促使剩餘的六個 RIP 跳脫並觸發 RCIC 啟動補水，此處與 PCTRAN_ABWR 的模擬結果有很大的差異，在 PCTRAN_ABWR 中，當反應器跳機後，雖然安全釋壓閥會開啟洩壓，但是當水位下降至 L3 的時候，安全釋壓閥就會全部關閉且不會再開啟，所以水位並不會下降至 L2 來觸發 RCIC 啟動與剩餘的六個 RIP 跳脫。

PCTRAN_ABWR_ABWR 的暫態模擬報告

Reset to IC #1

000000.5 sec, MS Isolation Valve Position Change: 0%

000000.5 sec, Cleanup Valve Position Change: 0%

000000.5 sec, 4 Reactor Internal Pumps Trip

000000.5 sec, Reactor Trip

000001.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%

000001.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 100%

000001.5 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 100%

000001.5 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 100%

000001.5 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 100%

000004.5 sec, Turbine Trip

000005.0 sec, Turb Stop Valve Position Change: 0%

000007.0 sec, Reactor Water Level Below L3: 373.31 CM

000011.0 sec, Safety Relief Valve #4 Position Change: 0%

000011.5 sec, Safety Relief Valve #3 Position Change: 0%

000012.0 sec, Safety Relief Valve #2 Position Change: 0%

000014.0 sec, Safety Relief Valve #1 Position Change: 0%

000018.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%

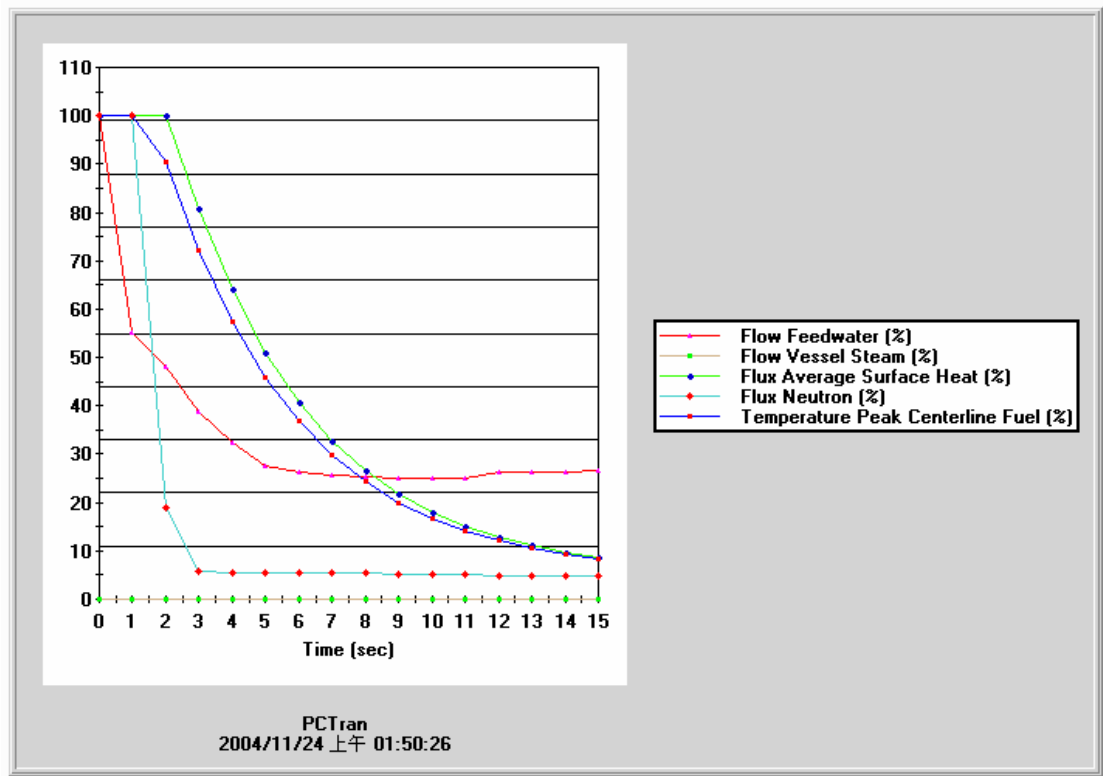
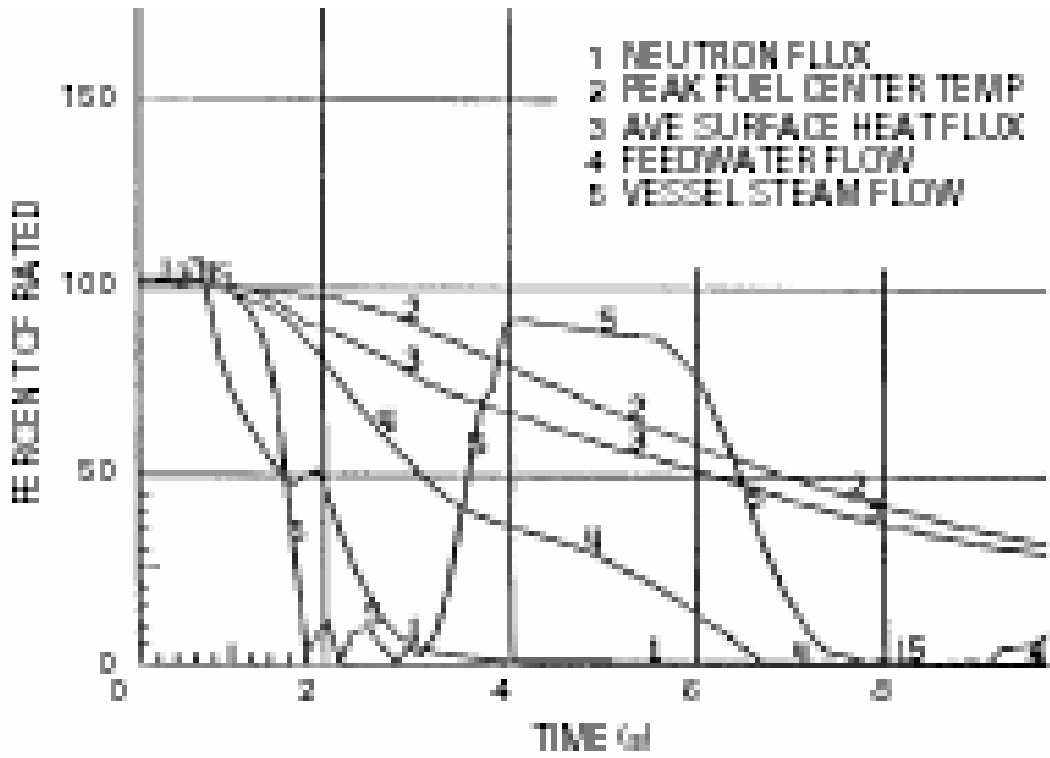


圖 2.24 案例六：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

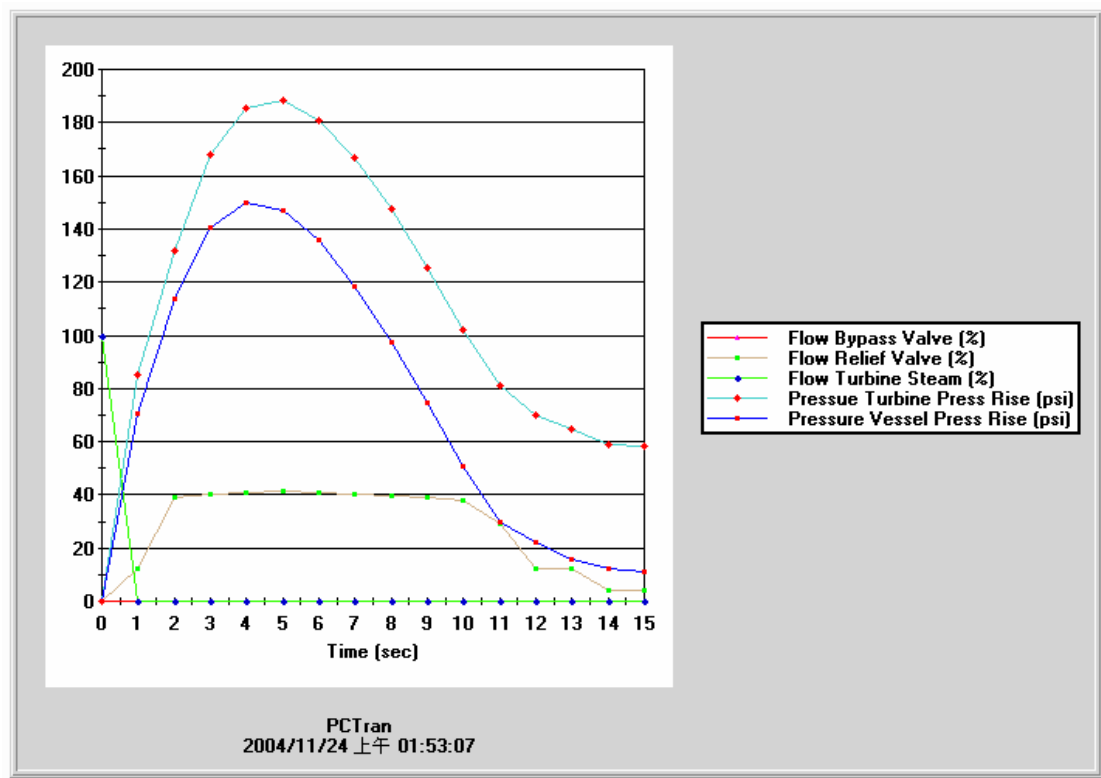
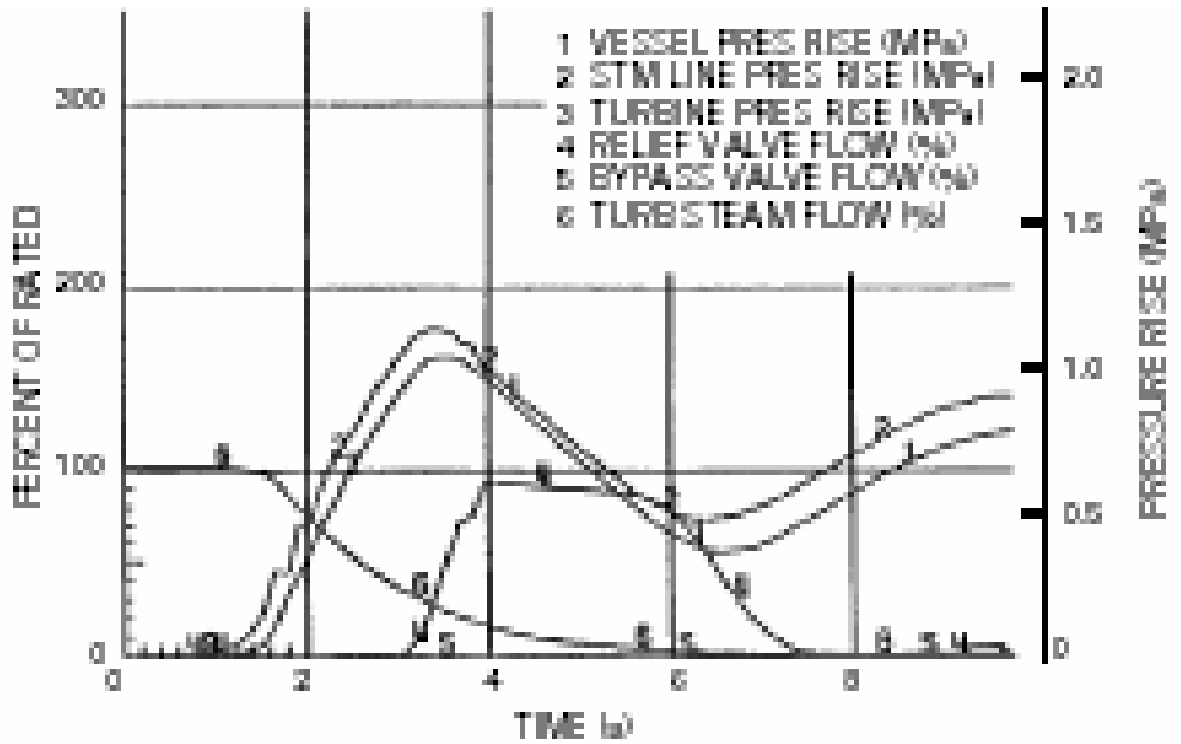


圖 2.25 案例六：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

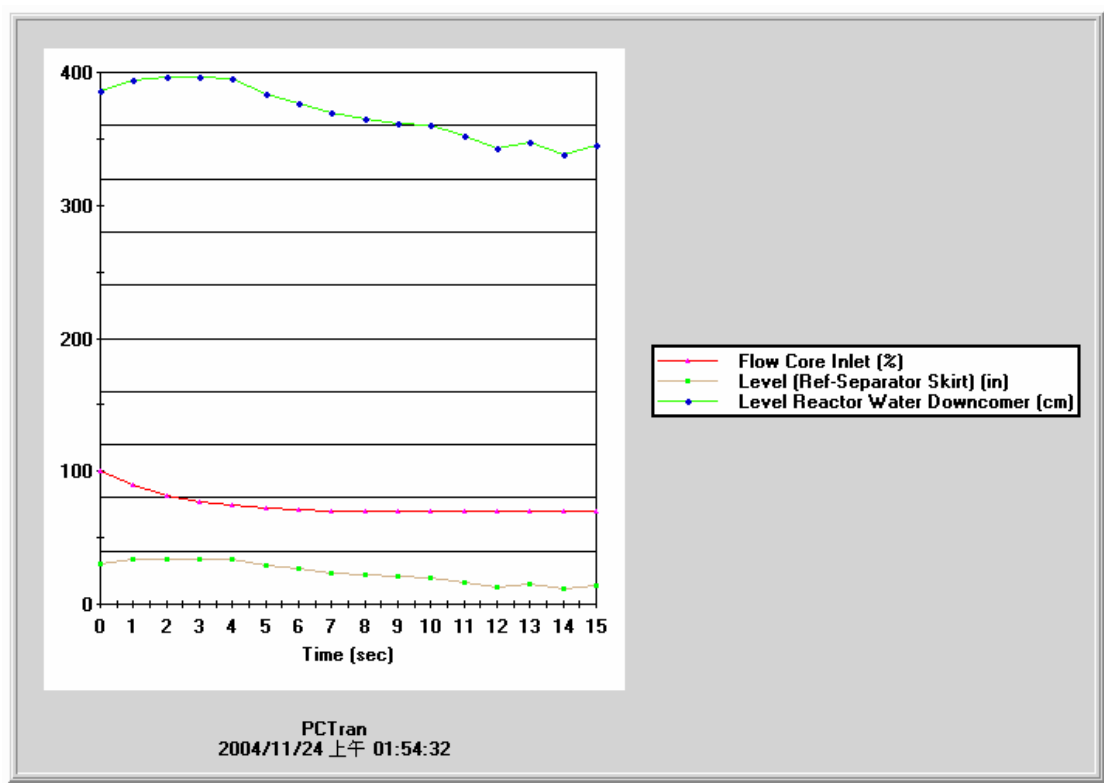
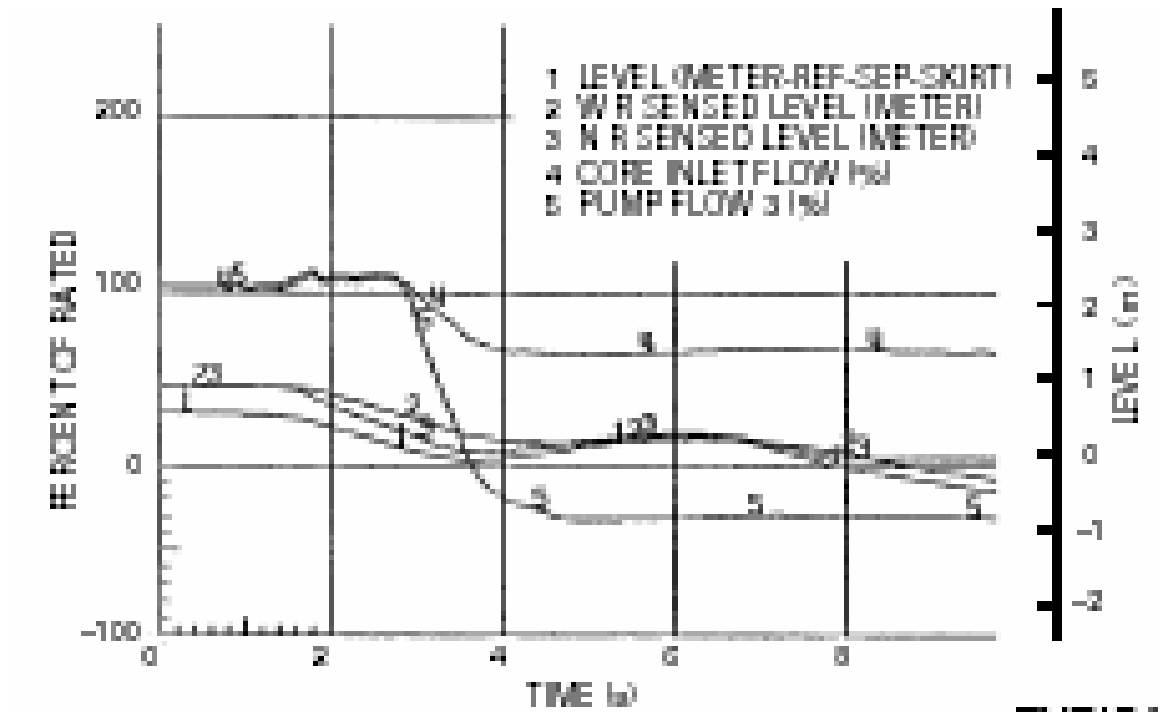
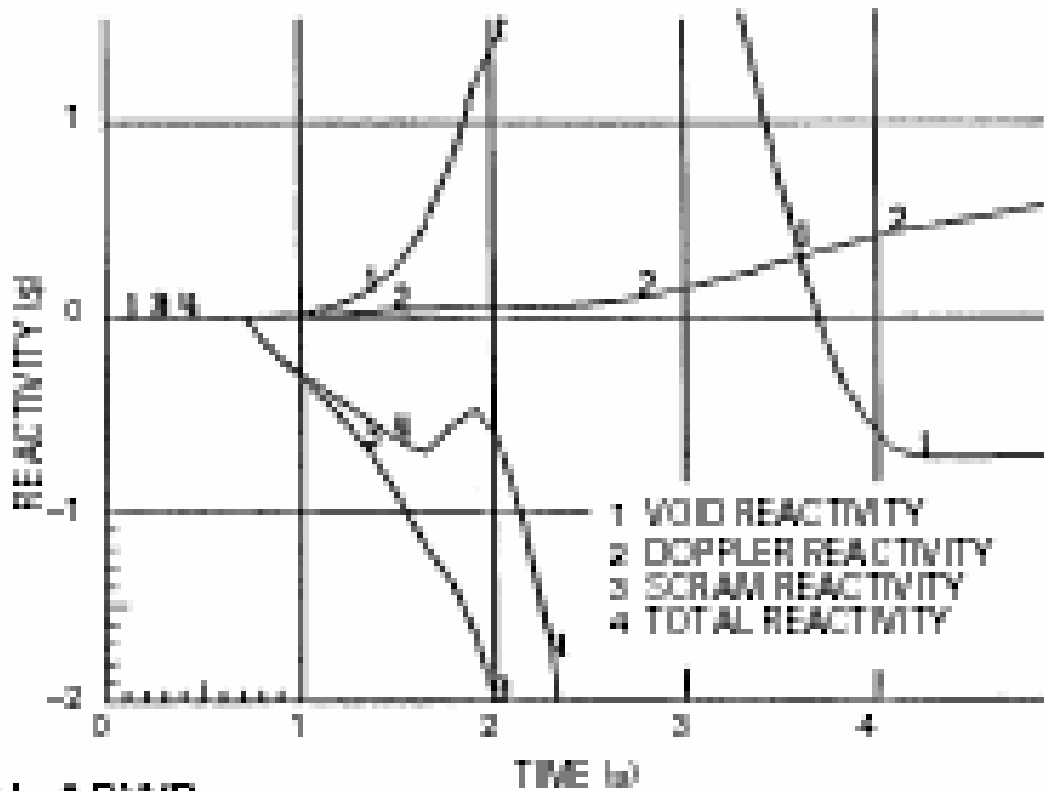


圖 2.26 案例六：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)



ii. A BWR

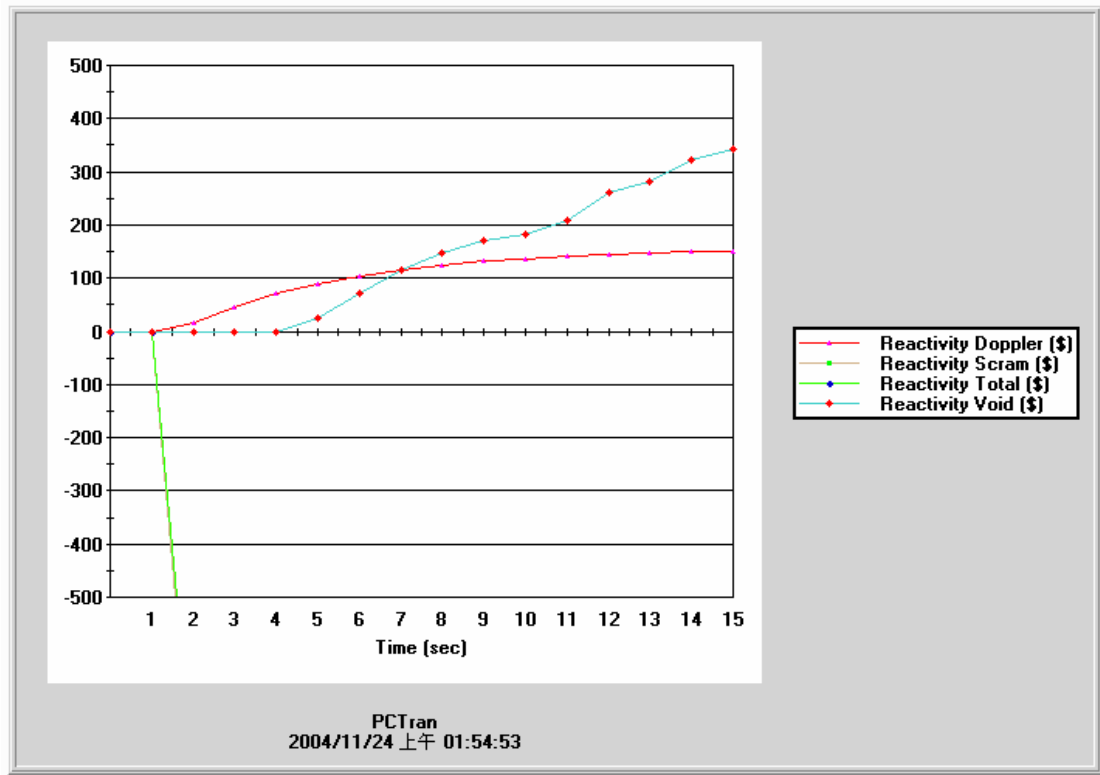


圖 2.27 案例六：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

2.7 案例七 喪失飼水事件(Loss of All Feedwater Flow)

2.7.1 案例說明

在核四 PSAR 案例 15.2.7 中，我們將討論因軟體失效，造成飼水泵跳脫使得飼水無法進入爐心，所造成的暫態事故。

當事故發生時飼水流量的流失會造成，反應器的水位下降，當水位降到 L3 設定點時，反應器保護系統會產生一個訊號，命令反應器跳機並促發四個 RIP 跳脫。

當飼水開始減少約 5 秒後，會造成功率率的下降與壓力的降低，使得次冷度減少，在此暫態事故的前 10 秒，當功率下降時汽機蒸汽流量會開始下降，這個現象的發生是因為壓力控制系統想要試圖去保持壓力穩定的關係。

當反應器內水位一直往下降至 L3 的跳機設定點時，會造成反應器跳機、4 個 RIP 跳脫，當水位持續下降至 L2 設定點的時候，會促使六個 RIP 跳機與 RCIC 開始啟動。

PSAR 事件發生程序

時間(秒)	發生暫態事故
0	全部飼水泵跳脫。
2.8	反應器水位達 L4，引發循環水流回退。
5	飼水流量減少到零。
7.5	反應器水位達 L3 時，反應器急停，四
19.5	

	<p>49.5 個 RIP 跳脫。</p> <p>反應器水位達 L2 設定點時，剩餘的六個 RIP 會跳脫、RCIC 開始作動。</p> <p>RCIC 流量開始進入反應器內。</p>
--	--

2.7.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

分析時間(秒)	60
設定IC	1
Malfunction設定	5
手動控制項目	無
其他設定	無
輸出參數	NTFX (Flux Neutron %) PFCT (Temperature Peak Centerline Fuel %) ASHX (Flux Average Surface Heat %) FWFL (Flow Feedwater %) VSTF (Flow Vessel Steam %) VSPR (Pressure Vessel Press Rise psi) TBPR (Pressue Turbine Press Rise psi) RVFL (Flow Relief Valve %) BPFL (Flow Bypass Valve %) TBFL (Flow Turbine Steam %) LVIN (Level Ref-Separator Skirt in) COFL (Flow Core Inlet %) VDRK (Reactivity Void \$) DPRK (Reactivity Doppler \$) SCRK (Reactivity Scram \$) TLRK (Reactivity Total \$)

2.7.3 結果分析

在 PCTRAN_ABWR 中，我們設定飼水泵跳脫後，水位會很快的下降到 L3 跳機設定點，導致反應器跳機與四個 RIP 會跳脫，此處與 PSAR 中的分析結果相同。

在(圖 2.29)中，我們可以發現 PCTRAN_ABWR 在第六秒的時候，當汽機跳脫後，會使得汽機與反應器內的壓力會急劇上升，促使安全釋壓閥會開啟洩壓，後來水位會降到 L2 設定點造成六個 RIP 跳脫、RCIC 開始作動。而在 PSAR 中汽機與反應內的壓力會下降，這是因為汽機沒有跳脫的關係，後來水位會降到 L2 設定點造成六個 RIP 跳脫、RCIC 開始動作。

PCTRAN_ABWR 的暫態模擬報告

```
Reset to IC #1
000000.5 sec, Feed Pump #1 Position Change: 0%
000000.5 sec, Feed Pump #2 Position Change: 0%
000000.5 sec, Feedwater Pumps Trip
000002.0 sec, Reactor Water Level Below L3: 374.10 CM
000002.0 sec, 4 Reactor Internal Pumps Trip
000002.0 sec, Reactor Trip
000002.0 sec, Cleanup Valve Position Change: 0%
000002.5 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%
000005.5 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%
000006.0 sec, Turbine Trip
000006.5 sec, Turb Stop Valve Position Change: 0%
```

000007.0 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 100%
000008.5 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 100%
000015.0 sec, Safety Relief Valve #0 Position Change: 0%
000050.5 sec, 6 Reactor Internal Pumps Trip
000050.5 sec, Reactor Water Level Below L2: 242.94 CM
000050.5 sec, RCIC Pump Position Change: 100%
000050.5 sec, RCIC Auto Start
000051.0 sec, MS Isolation Valve Position Change: 0%
000051.5 sec, Turb Bypass Valve #1 Position Change: 0%

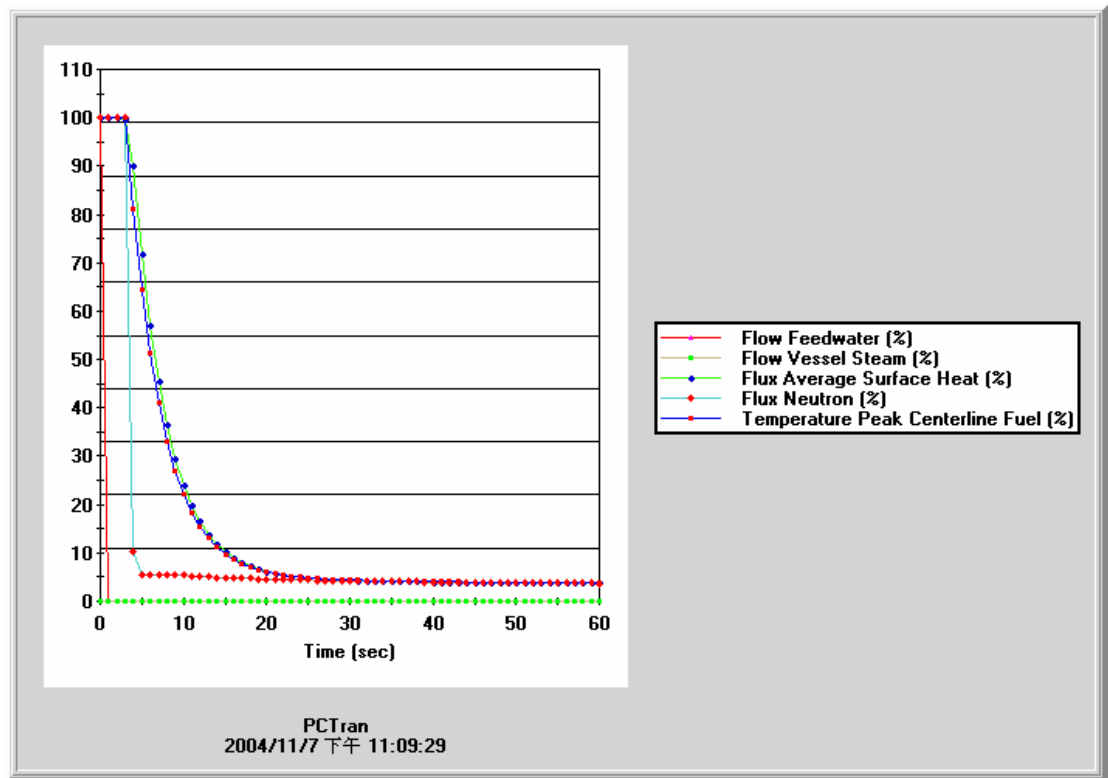
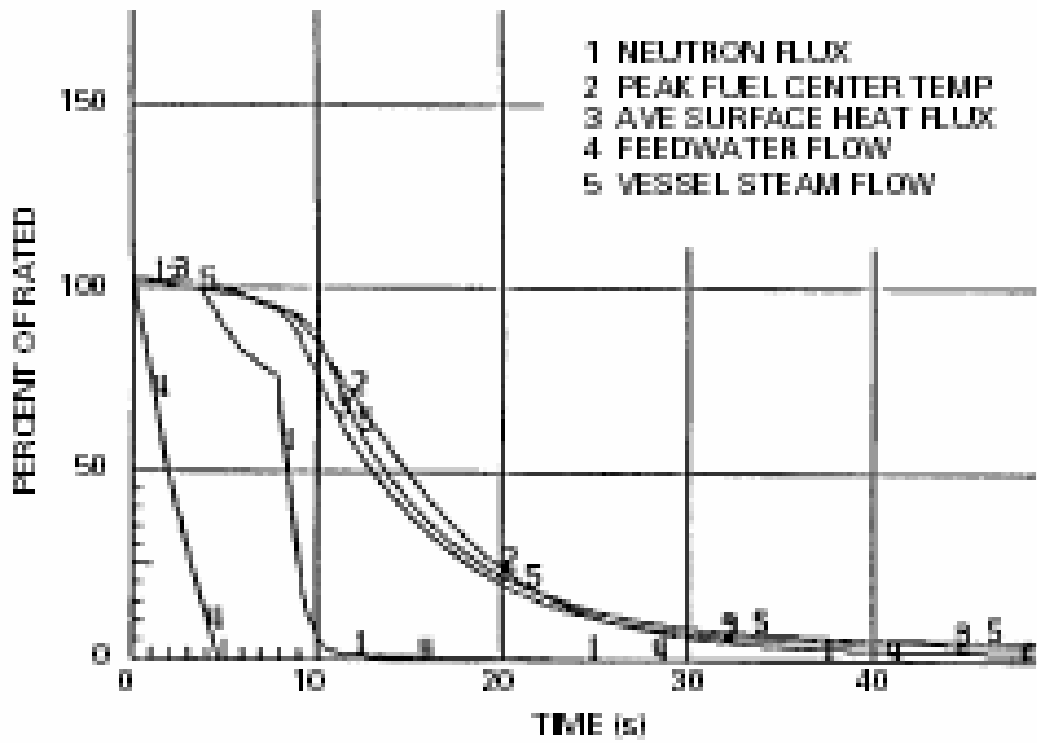


圖 2.28 案例七：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-1)

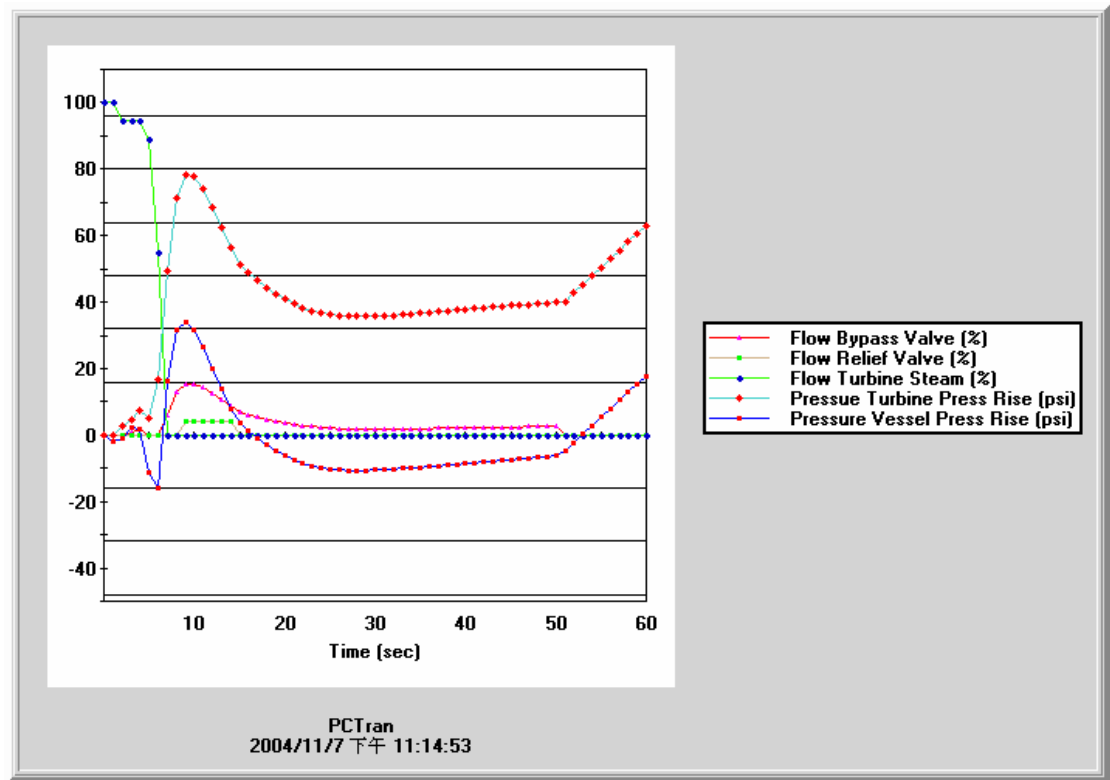
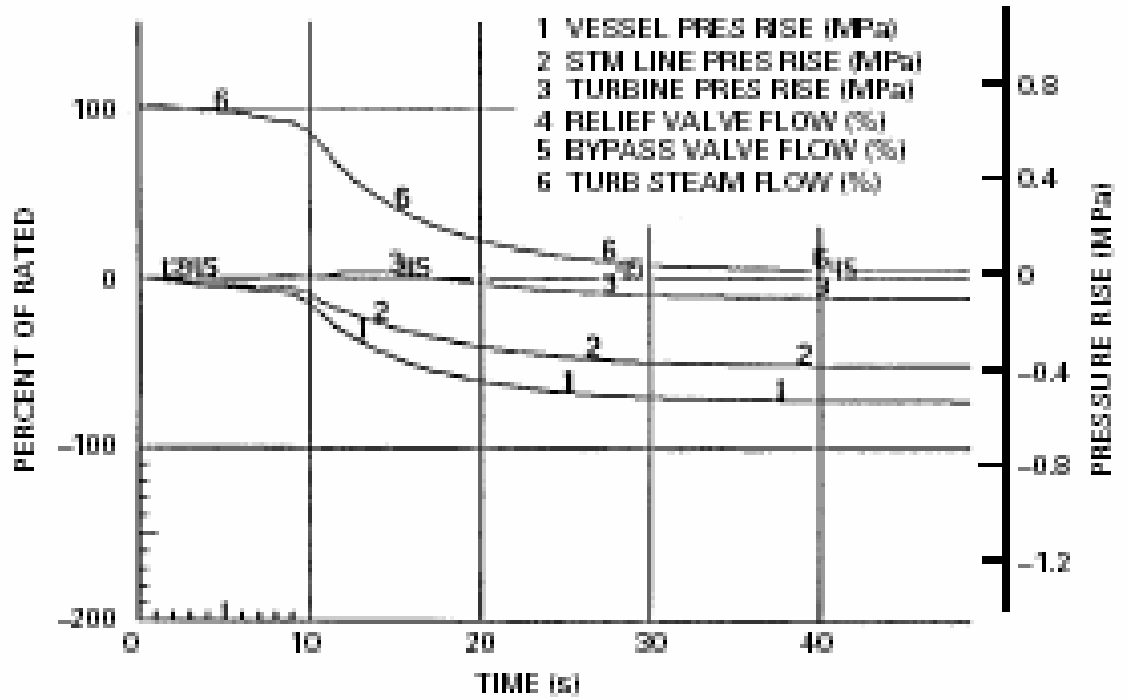


圖 2.29 案例七：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-2)

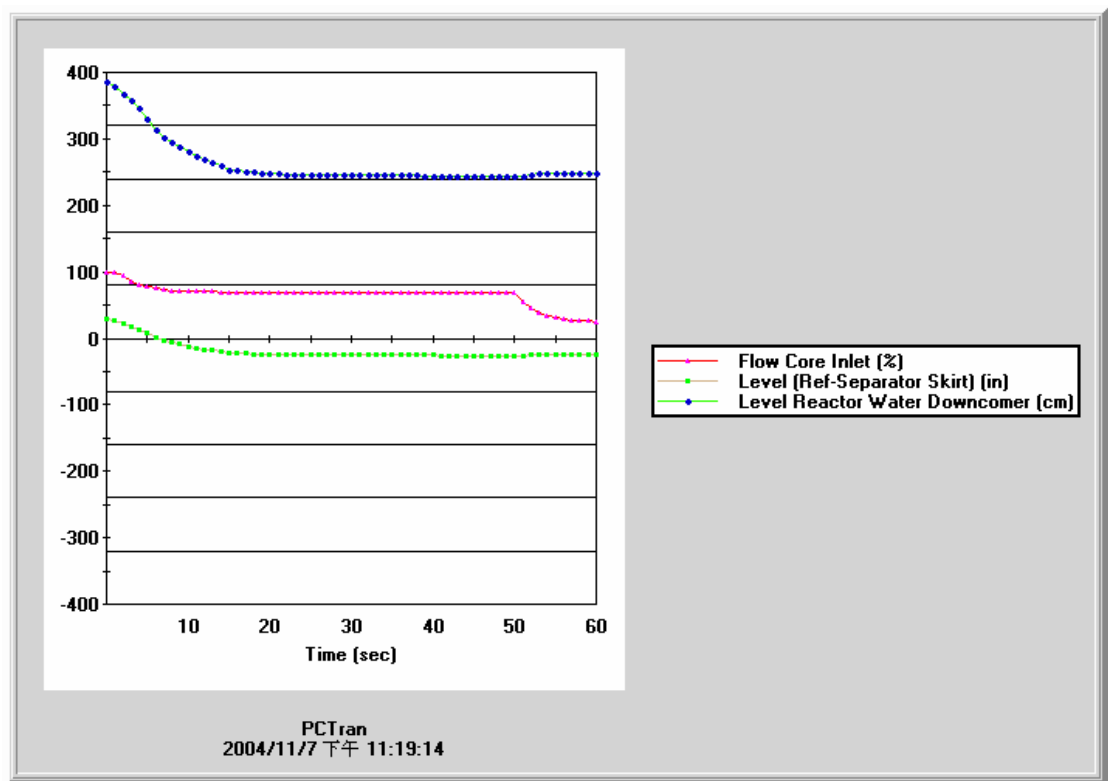
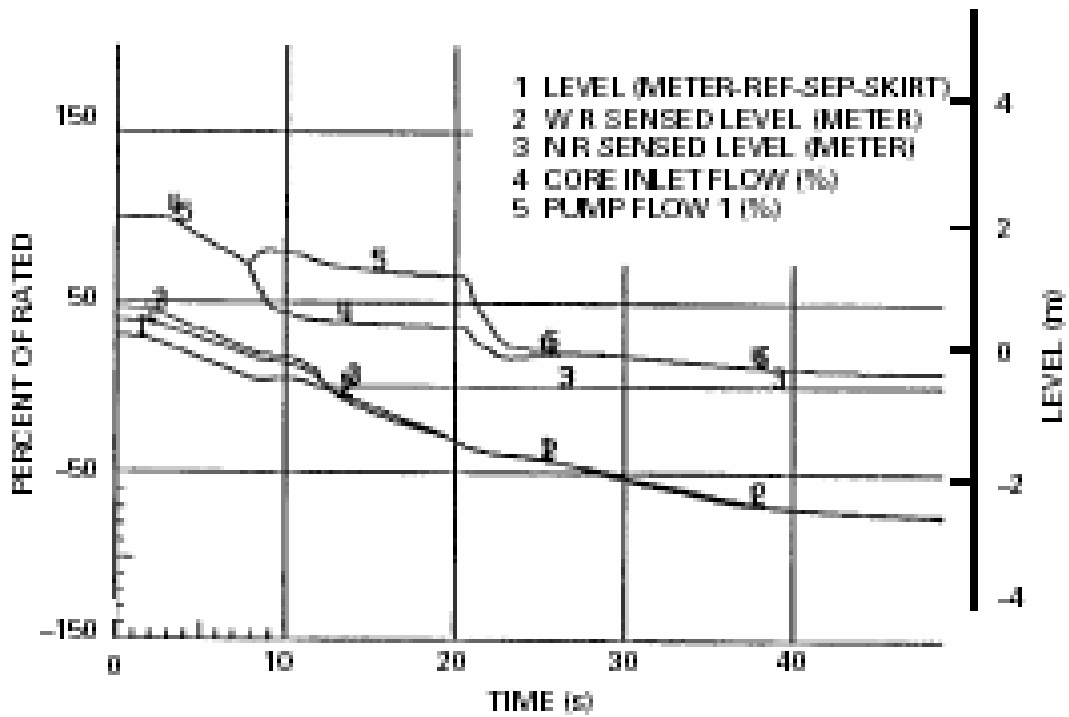


圖 2.30 案例七：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-3)

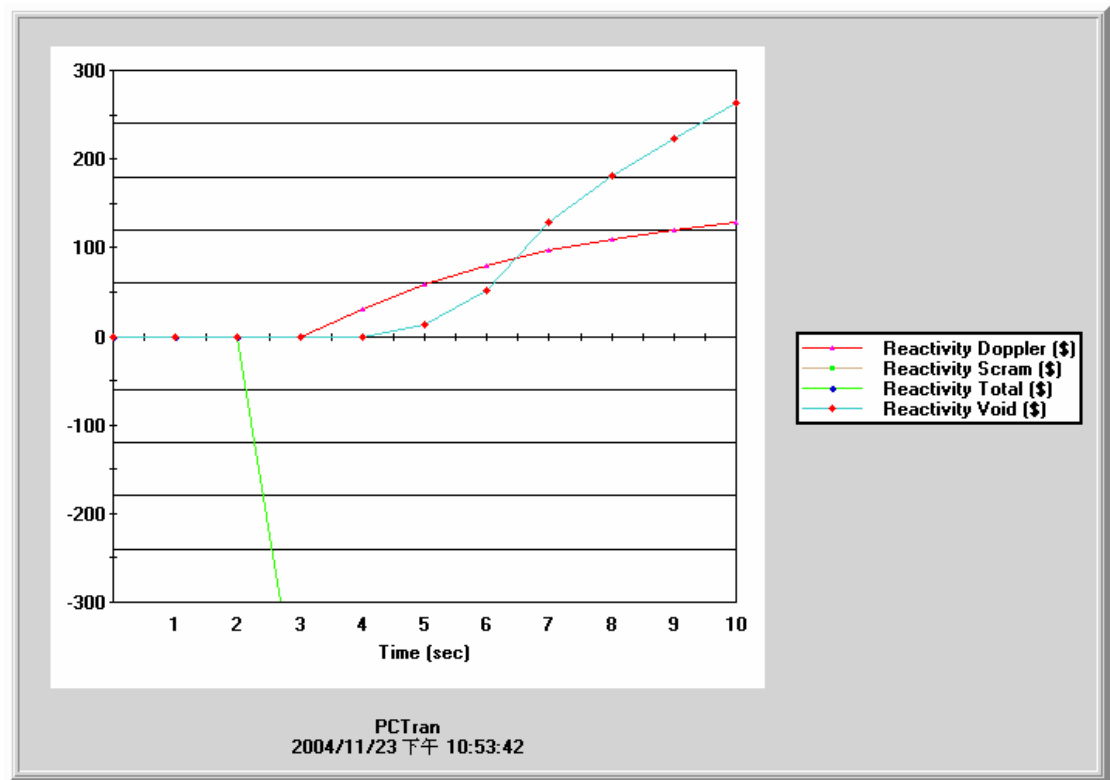
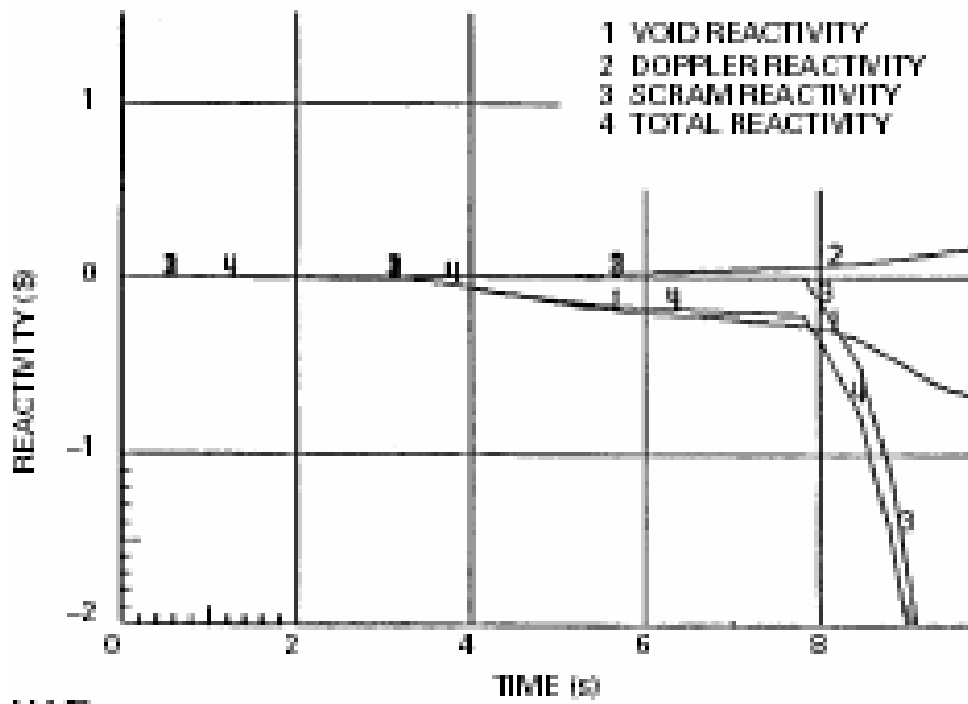


圖 2.31 案例七：PCTran_ABWR 與 PSAR(對照圖-4)

3. 蒸汽系統介紹

進步型沸水式反應器的蒸汽系統包括主蒸汽系統、汽機旁通和抽汽系統等。反應爐產生的蒸汽，流經出口管嘴流量限流器（Outlet Nozzles/Flow Restrictors）後，由主蒸汽管引導穿過圍阻體，再流經汽機節流閥（TSV）和控制閥（TCV）至高壓汽機，參照圖 3.1 與圖 3.2。其中抽汽系統之作用是引導蒸汽至蒸汽抽氣器（Steam Jet Air Ejector, SJAE）、汽水分離再熱器（MSR）、汽封蒸汽蒸發器（Sea1 Steam Evaporator）及飼水泵汽機等。本章將著重在介紹主蒸汽系統與汽機旁通。

3.1 主蒸汽系統

核四廠一個反應爐共接有四條主蒸汽管，每條主蒸汽管，在一次圍阻體內側和外側各有一主蒸汽隔離閥（Main Steam Isolation Valve, MSIV），必要時接受安全系統邏輯控制（Safety System Logic & Control, SSLC）之訊號自動關閉，隔離一次系統。主蒸汽管上另有安全釋壓閥（Safety Relief Valve, SRV），保護反應爐避免過壓情況發生。四條主蒸汽管將匯流至主蒸汽集管，再分送到四條蒸汽管路，上各有一只汽機節流閥與一只汽機控制閥。另外也從主蒸汽集管拉出一個管線，連接十只汽機旁通閥。汽機節流閥、汽機控制閥及旁通閥等，

可關斷或調節進入汽輪機之蒸汽量。主蒸汽系統之組件、設備在圍阻體內外都有，分佈在反應器廠房、蒸汽隧道與控制廠房。Nuclear Island 與 Turbine Island 之分界在反應器廠房外邊約一米處，分界處之管線是以對頭鍛接式（Butt Weld）銜接。

3.2 主蒸汽系統重要設備介紹

3.2.1 主蒸汽管與蒸汽集管

ABWR 以四條 28” 主蒸汽管傳送蒸汽經汽機節流閥及控制閥至汽機高壓段。節流閥上游，各主蒸汽管與主蒸汽集管連通，此蒸汽集管之功用，可在主蒸汽隔離閥或節流閥做性能試驗時，使進入高壓汽機之蒸汽做適當的分配，而且也是抽至蒸汽噴射抽氣器、廢氣系統預熱器、汽水分離再熱器、飼水泵汽機、汽封蒸汽蒸發器以及蒸汽旁路系統等之蒸汽來源。

電廠運轉中，主蒸汽管可做汽機節流閥及主蒸汽隔離閥之性能試驗。管路破裂時，能限制放射性物質洩漏。管路斷裂時，能限制爐槽內部組件因大量汽水沖放之差壓。即使一條管路隔離下，也能容許反應爐在高功率運轉。主蒸汽管不能太長，否則有損蒸汽旁路與壓力控制系統之效能，彎管（Bends/Elbows）與接頭（Fittings）應儘量減少，以避免主蒸汽壓力降，超過限值。正常滿載運轉時，從 RPV 到外側

MSIV 之最大允許壓力降是 40psig，從外側 MSIV 到汽機進口之最大允許壓力降是 17psig。

3.2.2 流量限流器 (Flow Restrictors)

各主蒸汽管皆有一個流量限流器，整件焊在反應爐壓力槽管出口管嘴上，不但可抗減在高速蒸汽環境下之沖蝕與腐蝕效應 (Erosion/Corrosion)、提供主蒸汽流量信號至飼水流量控制系統、提供 MSIV 因流量過高之關閉信號，在 MSIV 關閉前，可限制放射性物質於乾井外之釋放量。當主蒸汽管發生斷裂時，還可限制反應爐水蒸汽流失最大流量為 200%、並限制蒸汽乾燥器及壓力槽內部組件之壓力差。主蒸汽管發生斷裂時，限流器前後之最大壓差，保守估計有 96.7 kg/cm^2 (1373 psia)。限流器喉部的直徑尺寸與主蒸汽管路之比約為 0.5，因而蒸汽在限流器喉部的流速，將由主蒸汽管路內 45 米/秒的流速，增為 180 米/秒。正常運轉時，限流器前後之差壓約為 1.12 kg/cm^2 (16psig)，而反應爐出口額定蒸汽壓力為 73.1 kg/cm^2 (1040psia；550°F)。

3.2.3 安全釋壓閥 (Safety Relief Valve, SRV)

安全釋壓閥是反應爐過壓保護設備之一。有以下 3 種動作模式：

(1) 安全動作：

反應爐壓力上升至設定值時，會將安全釋壓閥彈簧頂開，以限制反應爐壓力，使其不超過 ASME 規範，可做為釋放動作的後備。反應爐設計壓力為 1250psig，ASME 規範容許過壓至 110%，即 1375psig。

(2) 釋放動作：

防止反應爐於全功率運轉下，因 MSIV 關閉導致瞬間過壓，信號由壓力開關控制，使安全釋壓閥所附之直流電磁閥開啟，引導氮氣至氣壓操作活塞，藉機械機構使閥開啟。壓力開關採取四選二邏輯，單一壓力傳送器故障時，不會阻止或誤開啟安全釋壓閥。此閥容量在釋放動作時，足可維持爐壓在安全動作壓力以下，即安全動作可做為釋放動作的後備。

(3) 自動洩壓 (ADS)：

接受 SSLC 控制信號，使兩只電磁閥開啟，只要兩只電磁閥中之任一個開啟，即可供給氮氣至氣壓操作活塞，藉機械機構以開啟 ADS 各閥，洩放爐槽壓力，使低壓注水 (LPFL) 能發揮其功能。

安全釋壓閥之容量，必須能限制反應爐壓力升高，使其不超過 ASME 規範。過壓保護 (Overpressure Protection) 之分析顯示須 12

個安全釋壓閥，而預期暫態未急停（ATWS）之分析則顯示須 18 個安全釋壓閥，所以設計 18 個。

十八只安全釋壓閥，全部安裝在蒸汽管路上，未裝在爐蓋上的原因，是為了簡化反應爐頂蓋移卸工作，且停機時進入乾井檢修方便。主蒸汽管 A 及 D 各裝四只安全釋壓閥，B 及 C 各裝五只安全釋壓閥，位置配置如圖 3.3。

十八只 SRV 均具有安全釋壓機能，而每條主蒸汽管路上各有兩只安全釋壓閥兼具 ADS 功能。SRV 作為釋壓用有一個氮氣蓄壓槽，具 ADS 機能的 SRV 在設一個氮氣蓄壓槽。釋壓與安全動作的設定點各分成六組與五組，其各組壓力設定點如表 3.1。

3.2.4 主蒸汽隔離閥（Main Steam Isolation Valve，MSIV）

每一條蒸汽管裝設有兩只 MSIV，分別在乾井內和一次圍阻體外。MSIV 在接受 SSLC 之控制訊號後，約 3~4.5 秒關閉，時間的下限是考慮 MSIV 關閉太快，對爐心之衝擊較大，時間的上限是考慮 MSIV 關閉太慢，則有放射性物質洩漏至周圍環境之虞。主蒸汽管在乾井外斷裂時，關閉 MSIV 限制爐水流失，避免燃料護套損壞。燃料放射性物質隨爐水或蒸汽流失時，關閉 MSIV，可限制放射性物質洩漏至周圍環境。當 MSIV 關閉到 92% 位置時，會造成反應爐急停。

MSIV 以彈簧力關閉，用氣壓操作活塞開啟及關閉，乾井內側隔離閥之操作氣體是氮氣，圍阻體外側隔離閥則是儀用空氣，設計上是 MSIV 間差壓至少要不小於等於 1.38Mpa (200psi) 才可以打開，失去氣壓時關閉 MSIV。MSIV 正常關閉是以氣壓加彈簧力，時間大約 3~4.5 秒；只以彈簧力慢動作關閉需則時 50~60 秒。MSIV 在下列任一種信號下關閉：

- (1) 反應爐低水位；第一階半水位 (L-1.5)
- (2) 汽機間主蒸汽管高溫度。
- (3) 主蒸汽管低壓力 (反應爐主開關不在 RUN 時即旁路)。
- (4) 主蒸汽管高流量。
- (5) 主冷凝器低真空。
- (6) 主蒸汽管隧道高溫度。

3.3 蒸汽旁通與壓力控制系統 (Steam Bypass and Pressure Control System, SBPC)

核四廠有幾個主要的控制系統，包含飼水控制系統 (FWC)、蒸汽旁通與壓力控制系統 (SBPC)、再循環流量控制 (RFC)、CRD system、電子油壓調速系統 (DEH 或稱 EHC)、自動功率調節系統 (ARP) 等等，如圖 3.4，其中 FWC、SBPC、EHC、RFC、ARP 都

是採用三重容錯數位控制器（Triple-redundant fault tolerant digital controller, FTDC）系統。圖 3.5 為三重容錯數位控制系統的示意圖，有三個 Input 各送出三份相同的訊號至三個控制器，在 Voter 中數位訊號使用三選二邏輯、類比訊號使用中間值選擇，即使有任一個控制器故障，伺服閥仍能經由其它兩個線圈順利控制 TCV 或 BPV 的開度，因而爐壓不會受到任何影響。

SBPC 的功能是當機組起動、發電和停機模式運轉時，藉由控制汽機控制閥(TCV)與旁通閥(BPV)的開度，控制反應爐的蒸汽量以控制反應爐壓力的穩定。以降低因汽機跳機或發電機棄載引發對反應之負面效應或者避免反應爐急停。SBPC 為採用三重的容錯數位控制器(FTDC)的系統，其輸出的控制信號為反應爐的總蒸汽產生量，是做為 BPV 的控制指令信號與 TCV 的控制需要信號以調節反應爐壓力，而 TCV 的開度控制則是經由 EHC。

正常運轉時 BPV 會全關，此時爐壓由 TCV 調節控制，而 Pressure regulation demand 愈大，產生的總蒸汽流量愈大，若 SBPC 的壓力控制器輸出之總蒸汽流量超過 TCV 蒸汽流量需求時，SBPC 會控制汽機旁通閥(TBV)，將額外蒸汽流量直接排放到主冷凝器。機組具有追隨電力網路系統負載變動的能力(Grid-system load demand)，可手動或自動經由改變反應爐再循環流量或移動控制棒，以調整反應爐功率。

當反應爐產生的蒸汽量改變時，SBPC 能即時改變蒸汽流量的需求信號，自動調整給予 EHC 的需求信號，而由 EHC 調整 TCV 的開度，以反應負載需求的快速變化，使爐壓得以穩定控制。

圖 3.6 是 SBPC 控制區塊，最大組合流量(Maximum combined flow limit)、旁通閥手動需求(Total TBV manual demand)與壓力設定值 (pressure setpoint)均能由運轉員在操作盤手動操作或由汽機 EHC 控制器的信號自動調整。汽機 EHC 控制器的輸入信號是來自 APR。最大組合流量(Maximum combined flow limit)是設定 SBPC 所容許的最大反應爐蒸汽流量，它的目的在避免因儀器故障造成的 TCV 與 BPV 均全開的爐壓快速下降。旁通閥手動需求信號則是用以將旁通閥手動開啟至設定開度，以建立與爐壓改變無關的固定反應爐蒸汽需求。當反應爐在升溫或冷卻的過程中，需要有固定的反應爐蒸汽需求量。當機組在起動或停機的過程中，壓力設定值要隨著改變，而在反應爐開始功率運轉時，則會維持固定值[6.55 MPaG]。壓力調整器的需求信號是用於汽機控制系統以調整 TCV 與 BPV 的閥位開度，同時也提供輸出信號給予 APR 以自動控制反應爐功率。在主控制盤上有提供 SBPC 相關的指示與警報。

3.3.1 蒸汽旁通系統及旁通閥

蒸汽旁通系統的設計是為了控制下列五種情況的壓力：

1. 當反應爐壓力槽升溫至額定壓力
2. 當汽機升速和同步
3. 當功率運轉反應爐蒸汽產生量超過汽機蒸汽流量的需求時
4. 當機組棄載或汽輪發電機跳脫
5. 當反應爐冷機的過程時

旁通閥開啟時會將主蒸汽直接地排放到冷凝器，於額定汽機進汽壓力下，總蒸汽旁通容量為 110% 反應爐額定蒸汽量，亦即每一個 BPV 有 11% 額定蒸汽量的排放量。在正常運轉情況下，十個旁通閥是維持關閉的，必要時依預定的開啟順序排放旁通的蒸汽需求。旁通閥在汽機跳脫、發電機跳脫、棄載或反應爐過壓時必須能快速開啟。

每一個旁通閥經減壓器以降低排入冷凝器的蒸汽壓力。各旁通閥由 SBPC 獲取需求的信號，並將其閥位的回饋信號送予 SBPC。旁通閥的驅動液壓是由汽機的液壓動力單元(hydraulic power unit, HPU) 供給。HPU 供應操作油給予 BPV 及其洩油與排氣，並連接至 BPV 高壓油洩油槽。

十個 BPV 分配在位於汽機廠房，靠近 TSV 的兩個蒸汽櫃，每一只蒸汽櫃上各有五個 BPV。每一只蒸汽櫃的蒸汽來自主蒸汽平衡管的抽汽管路。每一個旁通閥經減壓器以降低排入冷凝器的蒸汽壓力。

蒸汽櫃的安排，使得主蒸汽管路斜向上至蒸汽櫃，並使排汽管斜向下至減壓器，使蒸汽管中不會含有水份。兩只蒸汽櫃由實心固定支架 (Solid Rod Hanger) 支撐。

BPV 的動作液壓由 EHC 高壓油供給，兩者之間有一只止回閥做為界面，其液壓油壓力為 10.49~11.47 MPaG。每一個蒸汽櫃組有一只高壓油洩油槽，供 BPV 洩油與排氣。而洩油管連接到主汽機 EHC 高壓油儲油槽。

BPV 在測試期間，為了減少暫態蒸汽流量的干擾和功率的變動影響，旁通閥的測試功能是往開的方向，且蒸汽流量變化是限制在 TCV 的容量之內。當 BPV 是 90% 開啟時，它的快速動作 (fast-acting) 電磁閥會激磁以執行該項可用性的測試。

在正常運轉時，旁通閥蒸汽流量的需求是對應於壓力調節的需求與汽機蒸汽流量需求兩者之差再加上一個保持旁通閥於全關位置的小負偏差信號 (3%)。見圖 3.6

$$\text{Turbine bypass flow demand} = \text{pressure regulation demand} - \text{turbine flow demand} + (-3\%) \text{bias}$$

做為計算旁通閥需求信號的汽機蒸汽流量需求信號變化率，會被實際汽機蒸汽流量的最大變化速度所限制，此限制值是依據 TCV 在正常需求信號的使用所能達到的變化速率而定。

使用速率限制器(Limiter)來限制旁通閥控制信號的變化能配合TCV 的閥位變動率。當汽機跳脫或功率-負載不平衡(OPC Trip)的情況下,EHC 會發送一個不連續的信號到 SBPC,將此速率限制器(Limiter)旁通,這可使 SBPC 能提供 BPV 快速的反應,以更密切地配合汽機控制閥(TCV)和關斷閥(TSV)的快速關閉。

3.3.2 SBPC 爐頂壓力感測控道

SBPC 的壓力調整器輸入信號是來自壓力設定與回饋信號(含爐頂壓力及/或 DEH 之負載信號)兩者間之差值信號。而爐頂壓力可分為寬幅爐頂壓力與窄幅爐頂壓力。

當實際的爐頂壓力未達窄幅爐頂壓力感測器量測範圍時,則會採用已確認的寬幅爐頂壓力做為控制信號。若三個寬幅爐頂壓力信號均為可用時,則取其中間值做為控制信號。若有一個寬幅爐頂壓力感測器故障不可用時,則將自動地切換使用剩餘的兩個可用的寬幅爐頂壓力信號中的最高值,做為控制信號。

當實際的爐頂壓力在窄幅爐頂壓力感測器量測範圍之內時(6~7.65 MPaG),則已確認的窄幅爐頂壓力信號將被做為確證的爐頂壓力控制信號。若三個窄幅爐頂壓力信號均為可用時,則會取其中間值做為控制信號。若有一個窄幅爐頂壓力感測器故障不可用時,則將

自動地切換使用剩餘的兩個可用的窄幅爐頂壓力信號中的最接近確證的寬幅爐頂壓力信號值，做為控制信號。若有兩個窄幅爐頂壓力感測器故障不可用時，則將自動地切換使用確證的寬幅爐頂壓力信號，取代做為爐頂壓力的控制信號。

通常在實際的爐頂壓力達窄幅爐頂壓力感測器量測範圍之內時，若(1)窄幅與寬幅爐頂壓力信號的差壓小於 4.3 psi，且(2)兩種確證的壓力信號均 ≥ 6 MPaG，則經 5 秒的時間延遲後會平順的切換轉移至確證的窄幅爐頂壓力做為控制信號。

3.3.3 壓力控制

當 SBPC 在自動模式下，APR 會經由 SBPC 的壓力設定點的調整自動地控制反應爐的升溫率與冷卻率。

當 SBPC 在手動模式下，SBPC 的壓力設定點能夠以手動設定，SBPC 會依壓力設定點自動地控制反應爐壓力。SBPC 所產生的壓力調整需求信號，是為了維持反應爐的壓力在預期的壓力設定點而需釋出的總蒸汽量。SBPC 會將此信號傳送給 EHC。EHC 則會產生控制 TCV 閥位開度的需求信號，同時 EHC 亦會將 TCV 的蒸汽流量需求信號傳送給 SBPC，此信號再與壓力調整需求(Pressure regulation demand)信號加總之後計算出 BPV 閥位需求信號，而 BPV 閥位需求

信號則是做為決定 BPV 的開度之用。

當汽機、發電機跳脫，功率負載不平衡，或 TSV/TCV 關閉，EHC 會立刻將 TCV 的需求(送到 SBPC 和 TCV)信號設定為零。此信號可使 SBPC 能快速地改變 BPV 閥位需求信號以調整旁通閥的開度，因而使反應爐壓力得以控制。從 TCV 或 TSV 開始快速關閉後的 20ms 內應開始開 BPV，並於 150ms 後達 80% 的設計流量。

用以計算旁通需求的 TCV(蒸汽流量)需求信號的變化率通常以實際 TCV 關閉的最大速度為限。當 EHC 將 TCV 的需求信號設定為零時此速率限制器會被旁通。

3.3.4 手動與自動旁通

當機組啟動和停機的過程中，若將 SBPC 置於手動模式下(即不接受 APR 的自動信號)，則 SBPC 可以依程序書預定的要求，手動遙控操作旁通閥的開度。在起動過程初期，手動操作開啟 BPV 清除 RPV 和 MSL 所累積之不凝結氣體。當反應爐停機至常溫時，也應用 SBPC 控制降溫率。因為自動旁通閥需求信號與手動旁通閥需求信號之間必須經由高值選擇器(High value selector)選擇，故採高值控制；當手動開啟操作過程中，若發生運轉暫態而使得 SBPC 產生較大的旁通閥需求信號時，則此時將會由手動遙控的開啟操作自動切換交由自動需求

信號控制。但當 SBPC 的旁通閥蒸汽流量需求信號小於手動旁通閥蒸汽流量需求信號時，會自動控制回復到手動旁通閥蒸汽流量需求信號。

表 3.1 安全釋壓閥之釋壓模式的設定點

SRV	釋壓模式	安全模式
7B	7.89 Mpa G (1144psig)	8.12 Mpa G (1178psig)
7C	7.96 Mpa G (1154psig)	
4A、4D、5B、 5C	8.03 Mpa G (1164psig)	8.19 Mpa G (1188psig)
3B、3C、6A、 6D	8.10 Mpa G (1174psig)	8.26 Mpa G (1198psig)
5A、5D、6B、 6C	8.17 Mpa G (1184psig)	8.33 Mpa G (1208psig)
3A、3D、4B、 4C	8.24 Mpa G (1194psig)	8.40 Mpa G (1218psig)

註：

1. 最大開啟時間： ≤ 0.45 sec

2. 開啟時間限制：

釋壓模式 (Power Actuation)： ≤ 0.15 sec

安全模式 (Spring Actuation)： ≤ 0.3 sec

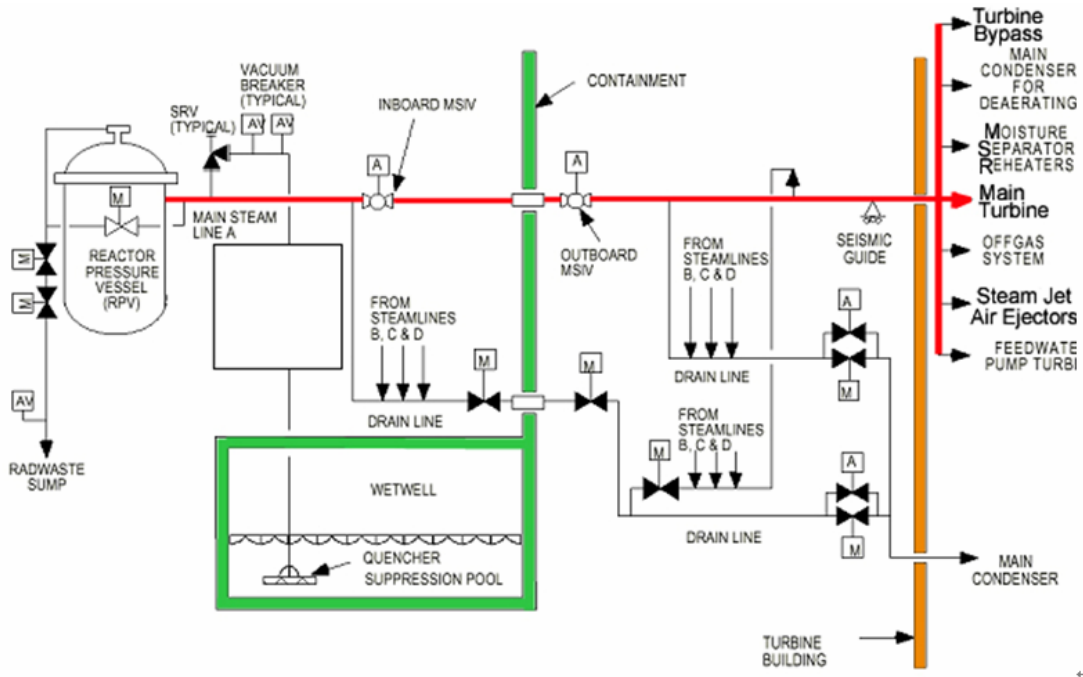


圖 3.1 主蒸汽系統

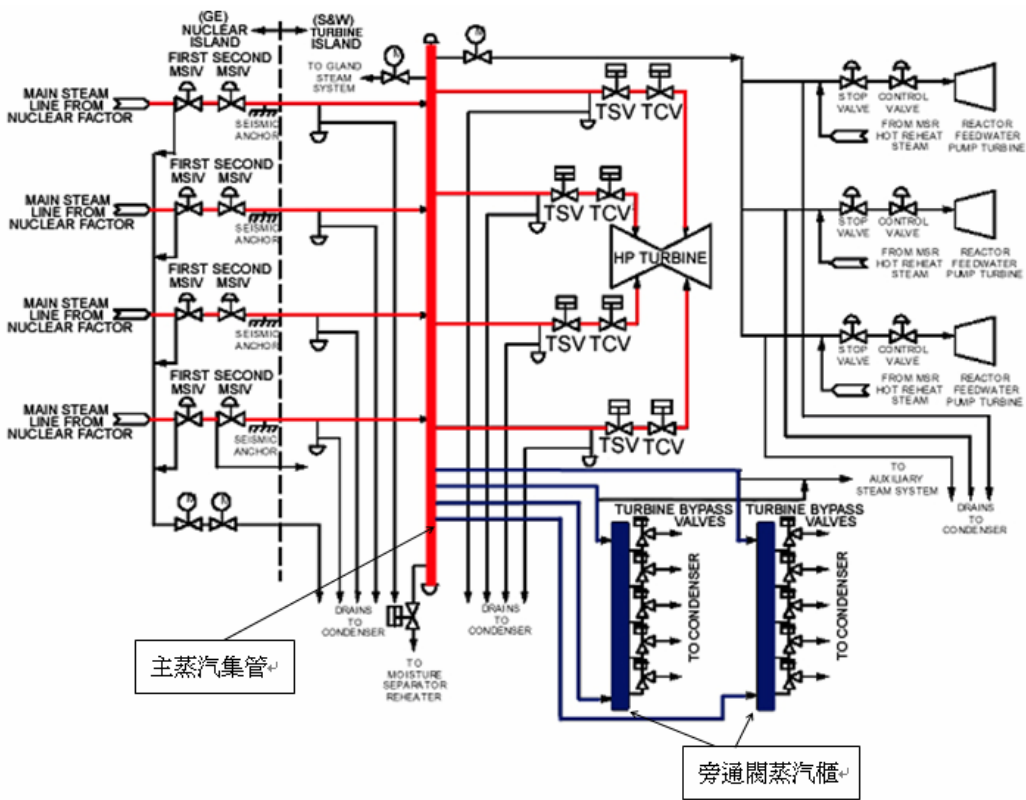


圖 3.2 蒸汽供應系統

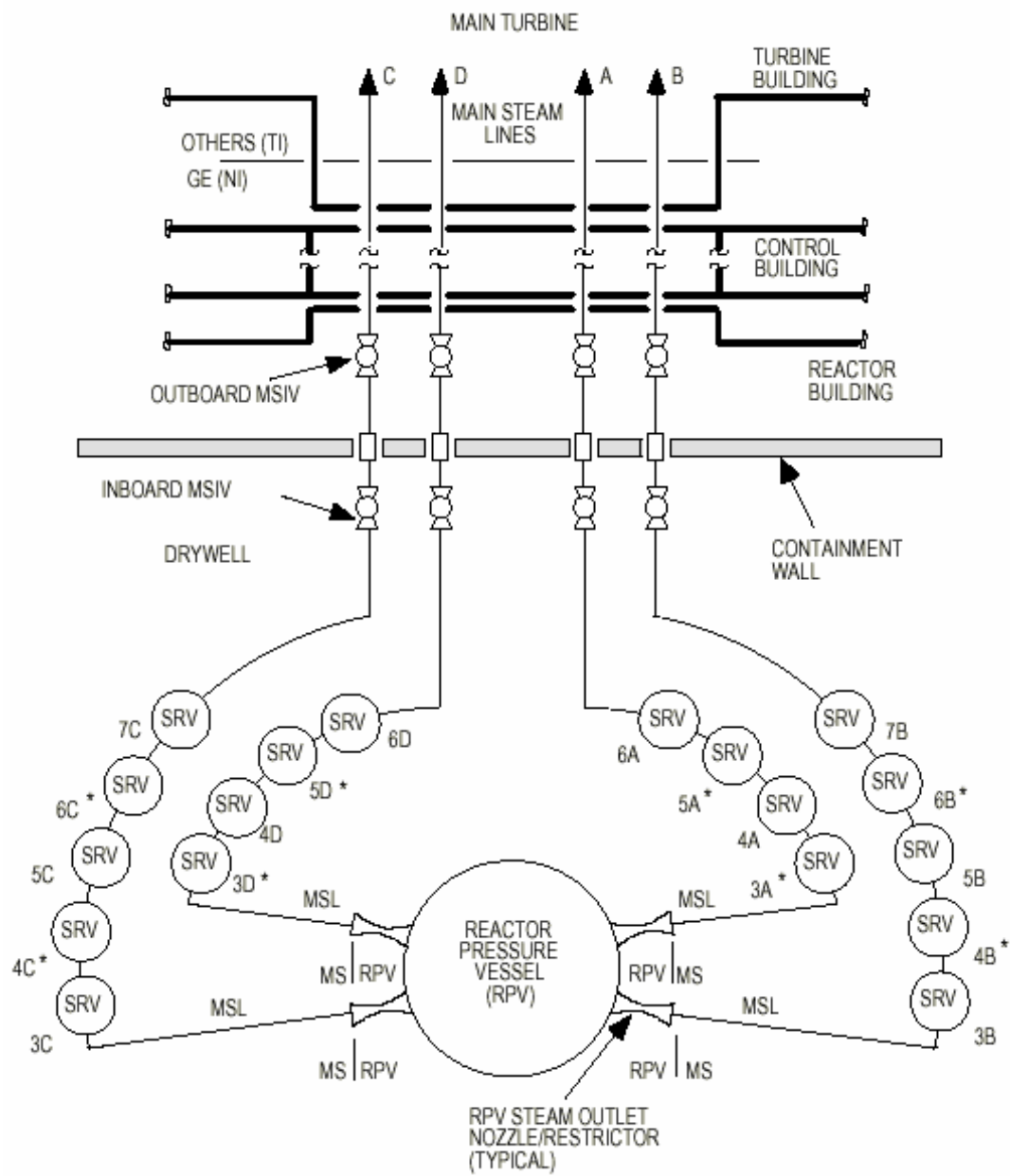


圖 3.3 安全釋壓閥 (SRV) 配置圖

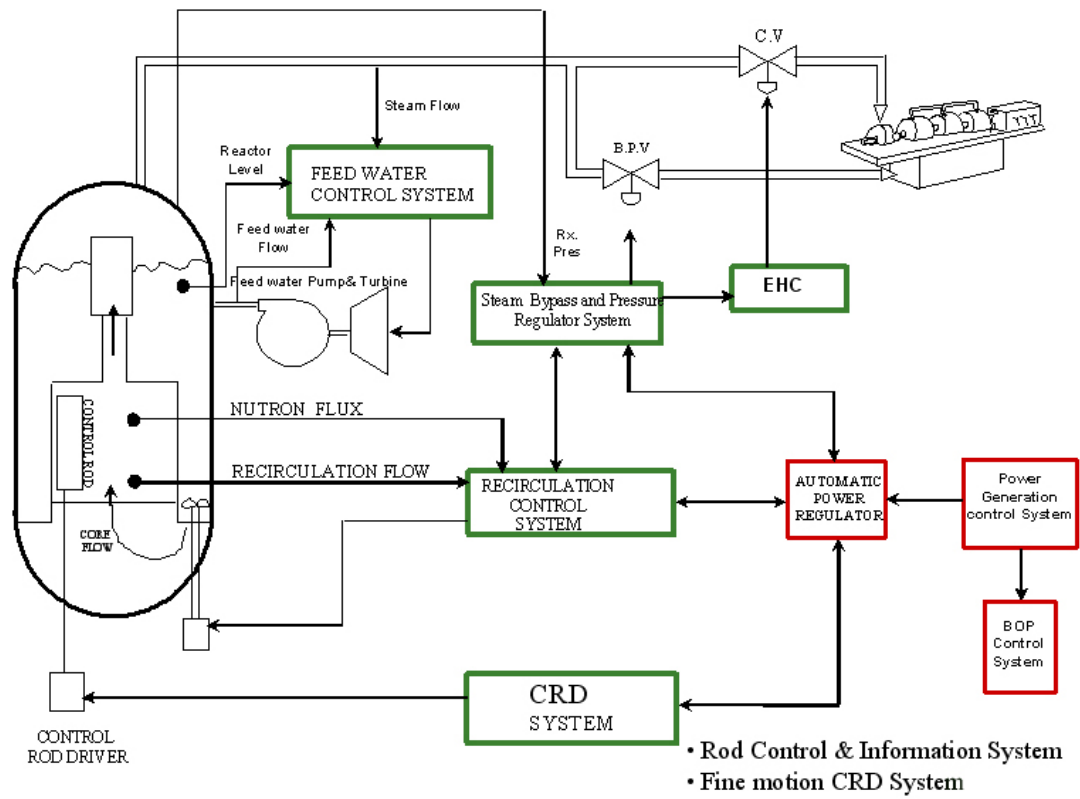


圖 3.4 核四廠主要控制系統

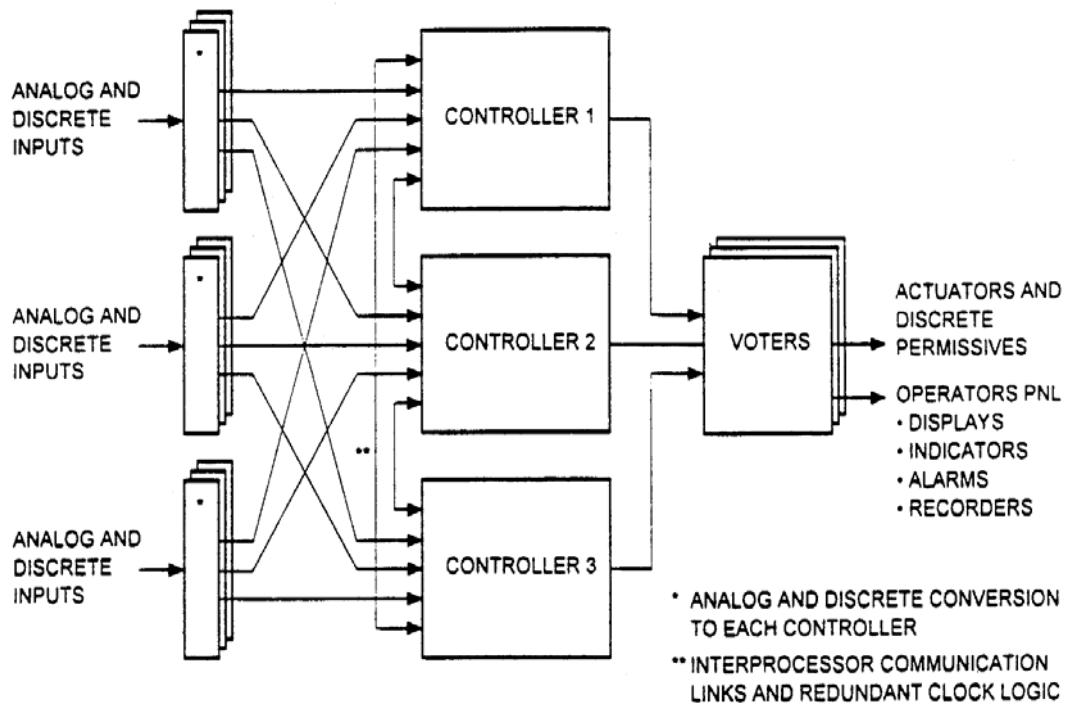


圖 3.5 Simplified Block Diagram of Fault-Tolerant Digital Controller System

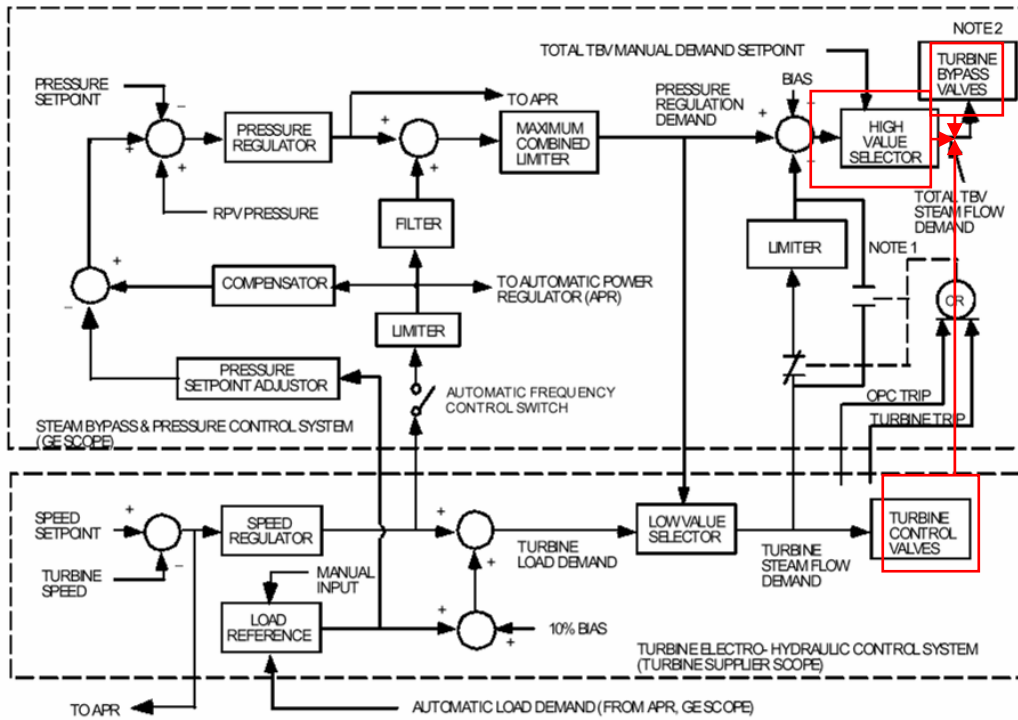


圖 3.6 SBPC 控制區

4. 建立 PCTRAN_ABWR 蒸汽系統

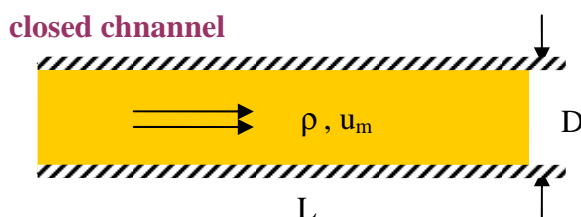
目前 PCTRAN_ABWR 只用一條主蒸汽管路模擬實際電廠中的四條主蒸汽管路，如圖 4.1，主蒸汽管路上只有一只 MSIV，位於乾井內，另有五群 SRV，數量分別為 2、4、4、4、4。PCTRAN_ABWR 省略主蒸汽集氣管，只有一只汽機節流閥 (TSV)、一只控制閥 (TCV)、兩只旁通閥(BPV)。正常運轉時，TSV 和 TCV 都是 100% 開啟，而兩只 BPV 則是關閉，使用者可在電廠運轉中手動關閉 TSV、TCV，或是設定 TSV、TCV 的開度。汽機跳機時，汽機節流閥(TSV)將會自動關閉，開啟 BPV 將蒸汽排放到冷凝器。由於只有一只汽機節流閥與一只汽機控制閥，無法模擬真實電廠運轉時發生蒸汽管線局部斷裂，關閉某只汽機節流閥，重新分配其他管線蒸汽流量的暫態現象。

本計畫已新增一個擁有四條主蒸汽管路的蒸汽模組，該模組具有主蒸汽集管、四只汽機節流閥、四只汽機控制閥、以及十只汽機旁通閥，由於目前 PCTRAN_ABWR 的一些壓力設定與設計流量值等與實際電廠有些許出入，本計畫為求模擬計算順暢，先行假設各點的壓力值，如圖 4.2，反應爐頂壓力為 1074.746 psig、主蒸汽集管壓力 P_{gather} 為 1032 psia、TCV 進口壓力為 $P_{TCVHead}$ 為 1010 psia、汽機進口壓力為 960 psia、冷凝器的壓力為 1 psia。每個時階都將根

據主蒸汽需求量，控制汽機控制閥的開度，並依據運轉狀況決定是否要開啟汽機旁通閥，再利用簡化的封閉通道內流體壓降理論模式，決定目前的主蒸汽流量。在 PCTAN_ABWR 中新增的表單與模組說明見 4.4 小節。

4.1 封閉通道內的流體壓降理論模式

首先，封閉通道的定義是流體通道的四周邊界都是固體表面，如下圖。不管是穩定層流或是紊流在平滑或是粗糙的管道內，壓降公式都可用式(4.1)表示。



$$\frac{dP_F}{dx} = \rho \frac{dF}{dx} = f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{1}{D_e} \quad (4.1)$$

其中 f_w 為 local Darcy-Weisbach friction factor；

$$D_e = \frac{4 * \text{FlowArea}}{\text{WettedPerimeter}} = \text{通道的等效半徑；}$$

公制 $g_c=1$ ，英制 $g_c=32$ 。

將式(4.1)積分得式(4.2)

$$\int_0^L dP = \int_0^L f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{1}{D_e} dx$$

$$\Delta P = f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{L}{D_e} \quad (4.2)$$

將 De 代入式(4.2)再經過化簡得式(4.3)

$$\Delta P = f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{L}{D_e} = f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{L}{4A} = f_w \frac{\rho u_m^2}{2g_c} \frac{L\pi D}{4A} = f_w \frac{(\rho A u_m)^2}{2g_c} \frac{L\pi D}{4\rho A^3}$$

$$\text{令 } \Delta P = f_w \frac{1}{2g_c} \frac{L\pi D}{4\rho A^3} (\rho A u_m)^2 = K^2 w^2$$

$$\rightarrow \Delta P = K^2 w^2 \rightarrow \sqrt{\Delta P} = Kw \quad (4.3)$$

定義 K 為流阻， w 為流率(kg/m^3)

$$K^2 = f_w \frac{1}{2g_c} \frac{L\pi D}{4\rho A^3} = f_w \frac{1}{2g_c} \frac{L\pi D}{4\rho(\pi \frac{D}{4})^3} = f_w \frac{8}{g_c} \frac{L}{\rho\pi^2 D^5} \quad \left(\frac{1}{\text{m}^* \text{kg}}\right)$$

本計畫將以式(4.3)做為理論公式，先利用設計壓力與設計流量求出各點的流阻 K 。

4.2 蒸汽系統的流阻計算

在蒸汽系統中，汽機控制閥與旁通閥會隨著蒸汽流量需求改變開度，電廠正常運轉下，A、D 汽機控制閥的開度維持在 40%，B、D 汽機控制閥的開度則維持在 100%；節流閥開度維持在 100%，且 TSV 只能選擇全開或全關；旁通閥會從 0% 依據需求開至 100%，全開之後才會再開啟下個旁通閥，每個旁通閥全開的流量為設計流量的 11%。而閥的開度與流阻間的特性關係是，開度越大，流阻越小，參照核研所八十六年~八十七年間的核一廠模組化模擬系統計畫，可得一個閥開度與 GVTUR 的關係曲線，如圖 3.3，配合流阻和

GVTUR 關係式，如式(4.4)，即可求得各開度的流阻值。

$$K' = K_0 * \left(\frac{CVTUR(Y_0)}{CVTUR(Y)} \right)^2 \quad (4.4)$$

以汽機控制閥為例，目前程式暫時預設四個控制閥的開度是 70%，可利用式(4.3)和設計壓力與設計流量求得 70%開度時的流阻，如式

$$(4.5) \quad K_{TCV}^0 = \frac{\sqrt{P_{TCVHead} - P_{TurbHead}}}{\frac{W_{stm}}{4}} \quad (4.5)$$

同理 100%開度的汽機節流閥流阻為

$$K_{SV}^0 = \frac{\sqrt{P_{gather} - P_{TCVHead}}}{\frac{W_{stm}}{4}} \quad (4.6)$$

100%開度的汽機旁通閥流阻為

$$K_{BPV}^0 = \frac{\sqrt{P_{gather} - 1}}{W_{stm} * 0.11} \quad (4.7)$$

$$\text{其他 } K_{stm} = \frac{\sqrt{P_{dome} - P_{gather}}}{W_{stm}} \quad (4.8)$$

$$K_{turb} = \frac{\sqrt{P_{turbHead} - 1}}{W_{stm}} \quad (4.9)$$

4.3 估算主蒸汽需求量與蒸汽流量

根據目前核四廠的設計，全功率運轉與停機時的反應爐爐頂壓力 (dome pressure)相差 80 psia。假設全功率運轉時反應爐爐頂壓力 $P_{fullpower}$ 為 1074.746 psia，停機時反應爐爐頂壓力 $P_{shutdown}$ 即為 994.746

psia。定義 GVDM 如式(4.10)，當 GVDM=1 時，代表全功率運轉。

反應爐產生的總蒸汽量和反應爐功率成正比，當反應爐頂壓力改變，反應爐功率隨之改變，而汽機控制閥的開度必須配合反應爐產生的蒸汽量，以反應負載需求的快速變化，使爐壓得以穩定控制。

當總蒸汽流量超過 TCV 蒸汽流量需求時，根據控制區塊圖 3.6，

GVDM 大於 1.03，就必須逐一開啟旁通閥宣洩過多的蒸汽至冷凝器。

$$GVDM = \frac{P - P_{\text{shutdown}}}{P_{\text{fullpower}} - P_{\text{shutdown}}} = \frac{P - P_{\text{shutdown}}}{80} \quad (4.10)$$

目前假設四只控制閥的起始開度都是 70%，且四只控制閥將隨蒸汽

需求一同變化，因此 TCV 的開度公式為式(4.11)，BPVDM 是旁通

閥蒸汽的需求，根據式(4.13)、(4.14)可知旁通閥開啟的個數與開度。

$$YGV(i) = 0.7 * GVDM * 100 \quad (4.11)$$

$$BPVDM = GVDM - 1.03$$

$$(4.12)$$

$$BPV \text{ 全開的個數} = \text{整數}(BPVDM / 0.11)$$

$$(4.13)$$

$$\text{非全開的 BPV 開度} = (BPVDM - BPV \text{ 全開的個數} * 0.11) * 100$$

$$(4.14)$$

根據 TCVs、TSVs、BPVs 開度決定各組件的流阻後，類似電子學中電阻併聯與串聯的算法，可求得整個蒸汽系統的流阻值。參照圖

4.5，TSV 和 TCV 串聯後的流阻如式(4.15)，四條裝載有 TSV、TCV

的蒸汽管路流阻為式(4.16)，再和汽機串聯後得式(4.17)，十只旁通閥的流阻值為式(4.18)，KA 和 KB 和併聯，最後可以得到整個蒸汽系統的流阻為 Ktot，如式(4.20)。

$$K(i) = \sqrt{(KSV(i)^2 + KGV(i)^2)} \quad , \quad i = 1 \sim 4 \quad (4.15)$$

$$KA1 = \frac{1}{\frac{1}{K(1)} + \frac{1}{K(2)} + \frac{1}{K(3)} + \frac{1}{K(4)}} \quad (4.16)$$

$$KA = \sqrt{(KA1^2 + K_{turb}^2)} \quad (4.17)$$

$$KB = \frac{1}{\frac{1}{KB(1)} + \frac{1}{KB(2)} + \dots + \frac{1}{KB(i)}} \quad (4.18)$$

$$KAB = \frac{1}{\frac{1}{KA} + \frac{1}{KB}} \quad (4.19)$$

$$Ktot = \sqrt{(Kstm)^2 + (KAB)^2} \quad (4.20)$$

利用封閉通道內的流體壓降理論模式，式(4.3)，可求得新的反應爐總蒸汽產量為式(4.21)，在依據式(4.22)~(4.27)去分配各蒸汽管的蒸汽流量。

$$W_{stm} = \frac{\sqrt{Pdome - 1}}{Ktot} \quad (4.21)$$

$$WA = \frac{KAB * W_{stmDM}}{KA} \quad (4.22)$$

$$W_{stm(i)} = \frac{KA1 * WA}{K(i)} \quad \text{ex: } W_{stmA} = \frac{KA1 * WA}{K(1)} \quad (4.23)$$

$$WTB = \sum W_{stm(i)} \quad (4.24)$$

$$WB = \frac{KAB * WstmDM}{KB} \quad (4.25)$$

$$WB(i) = \frac{KB * WB}{KBPV(i)} \quad (4.26)$$

$$WBPS = \sum WB(i) \quad (4.27)$$

4.4 新增表單和模組說明

為擴充 PCTRAN_ABWR 蒸汽系統，本計畫在原始 PCTRAN_ABWR 程式中新增了一個表單與一個模組，分別是 frmSTML.frm、StmLine.bas，其執行畫面如圖 4.6，StmLine.bas 內的函式說明見表 4.1。執行 PCTRAN_ABWR 後，可在模擬主畫面工具列上看見新增的選項 MSTL，如圖 4.7，點選之後即會出現蒸汽系統模擬介面。新增的介面上將顯示目前的反應爐頂壓力 Pdome，反應爐蒸汽產生量 WSTM，GVDM，目前總蒸汽需求量 WTBDM，主蒸汽集管壓力 Pgather，汽機控制閥進口壓力 PTCVHead，汽機進口壓力 PturbHead，四只汽機控制閥的開度、蒸汽流量與流阻，十只旁通閥的開度、蒸汽流量與流阻，以及汽機蒸汽需求量和經由旁通閥宣洩至冷凝器之總蒸汽流量。另外使用者亦可直接在介面上控制汽機節流閥開關。

PCTRAN_ABWR 程式載入後，先呼叫 inifSTMLConst()函式，計算出每個元件的流阻值以及各管線的蒸汽流量，每個時階都會呼叫 UpdatafSTML()函式更新表單上的數值顯示。一旦有任何一只汽機節流閥關閉，管線上的蒸汽流量就必須重新分配，汽機控制閥的開度也會隨之變化，而每個時階都會呼叫 calfSTML()函式重新計算蒸汽系統的總流阻，以求得新的反應爐蒸汽產生量，並根據每條蒸

汽管線的流阻值分配蒸汽流量。圖 4.8 為關閉一只汽機節流閥後，造成反應爐爐頂壓力上升，GVDM 值上升為 1.1，另外三只汽機控制閥的開度自動往上調整，並自動開啟一只汽機旁通閥宣洩過多的蒸汽至冷凝器，穩定反應爐爐壓，保護反應爐不因爐壓劇烈變化而跳機。

表 4.1 StmLine.bas 內所有函式說明

函式名稱	傳遞參數	功用
inifSTMLConst		設定起始壓力，計算各元件流阻值
calk	Y As Single, Y0 As Single, k0 As Single	利用參考開度 Y0 和該開度下的流阻 K0，計算開度 Y 時的流阻值。
calfSTML		計算 GVDM，依據 GVDM 控制 TCVs 開度，決定蒸汽系統之總流阻，計算反應爐總蒸汽流量，並依據蒸汽管路之流阻值分配蒸汽流量。

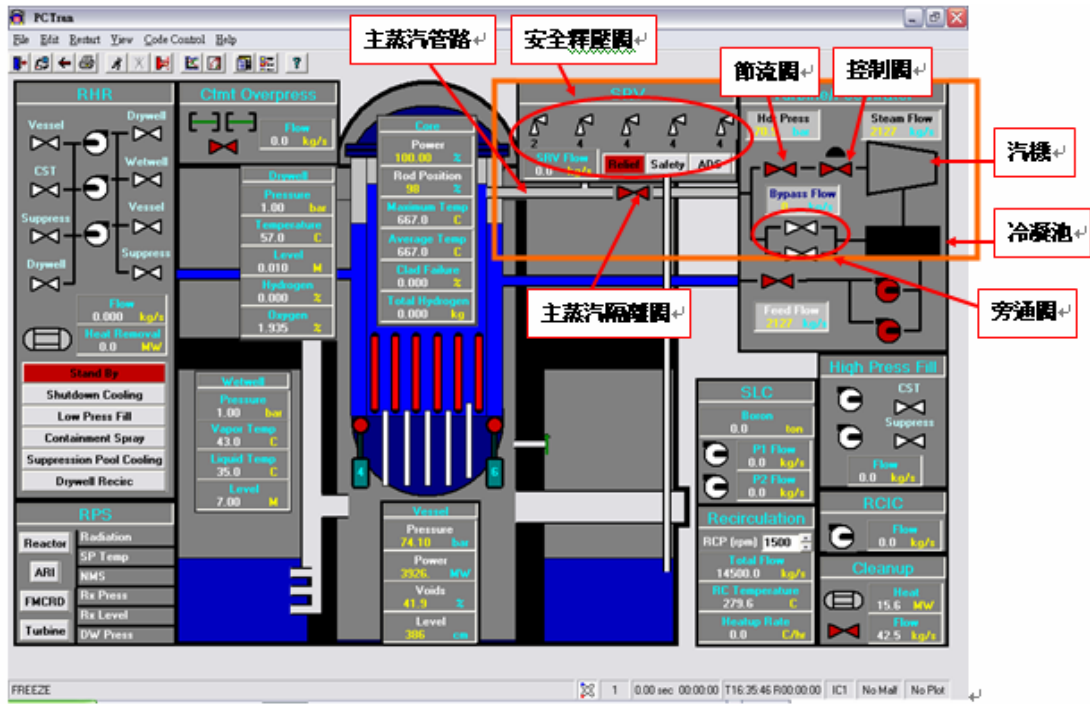


圖 4.1 PCTran_ABWR 蒸汽系統

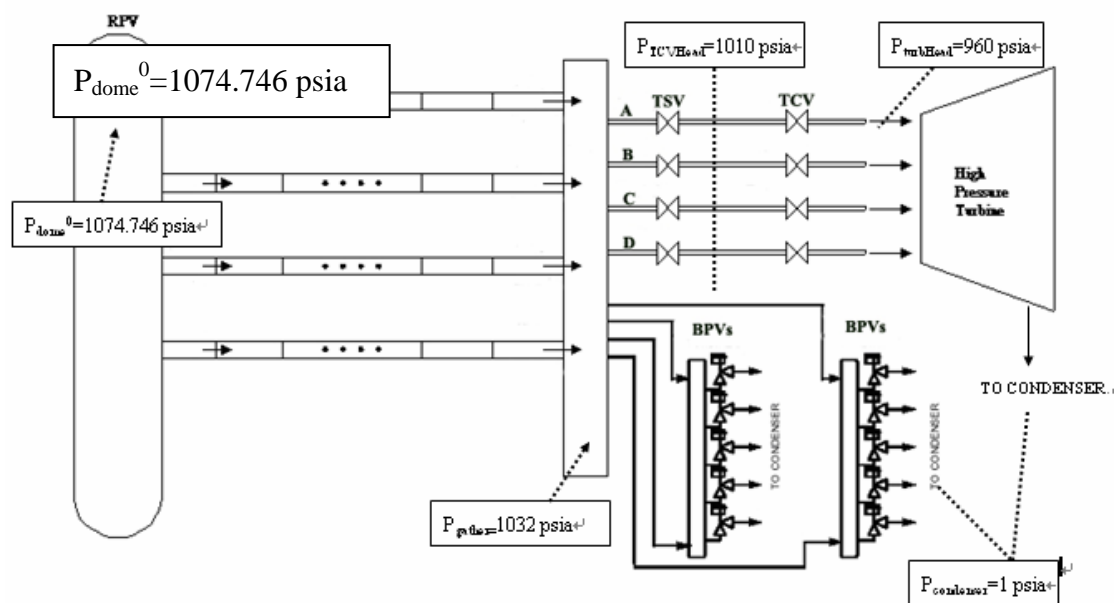


圖 4.2 新增蒸汽系統模式

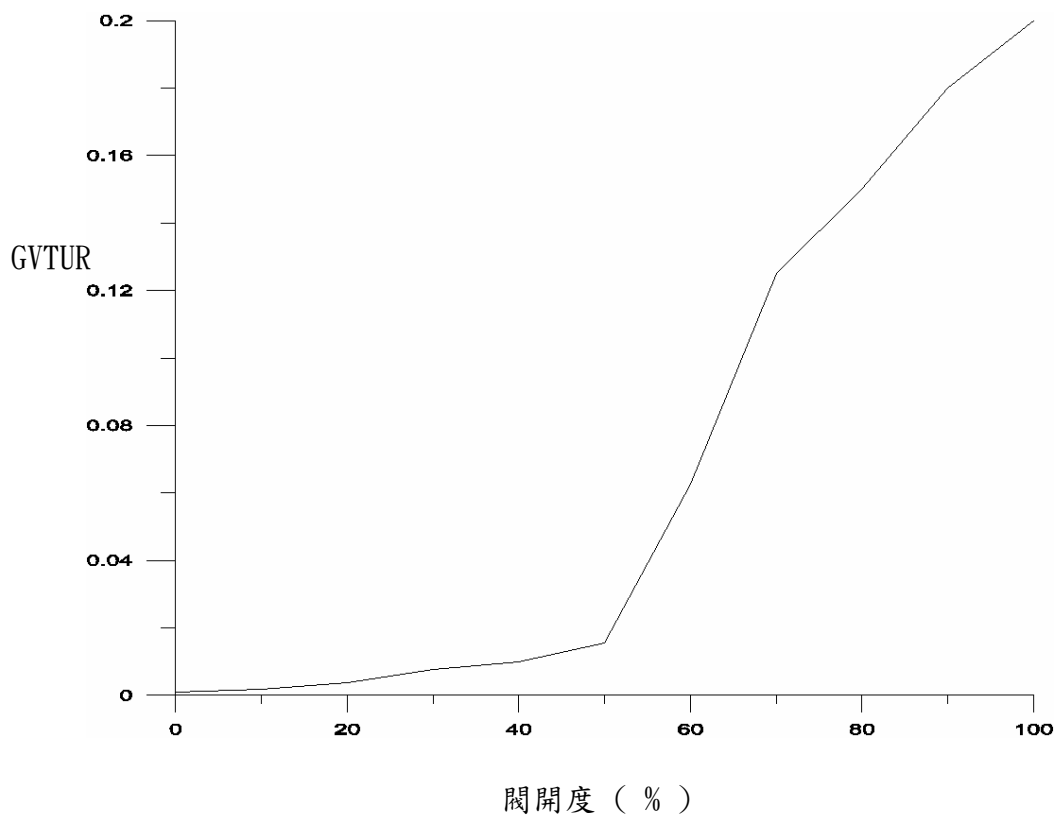


圖 4.3 閥開度與 GVTUR 的關係曲線

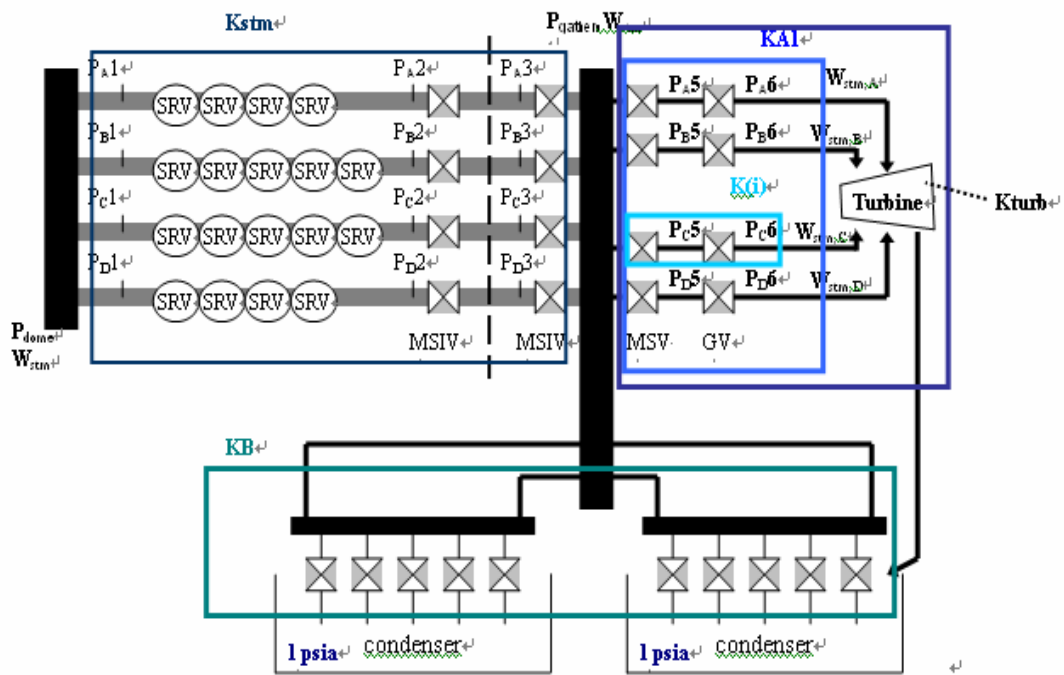


圖 4.4 蒸汽系統流阻的分佈圖

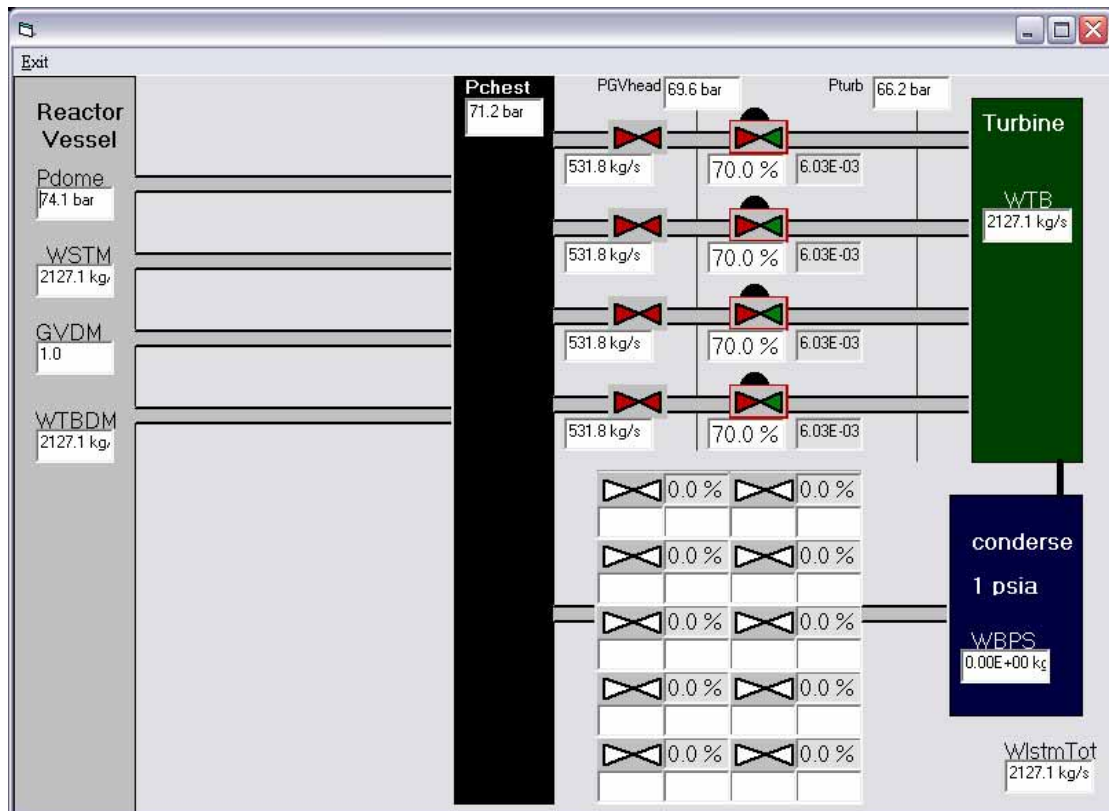


圖 4.5 新增蒸汽系統的表單畫面

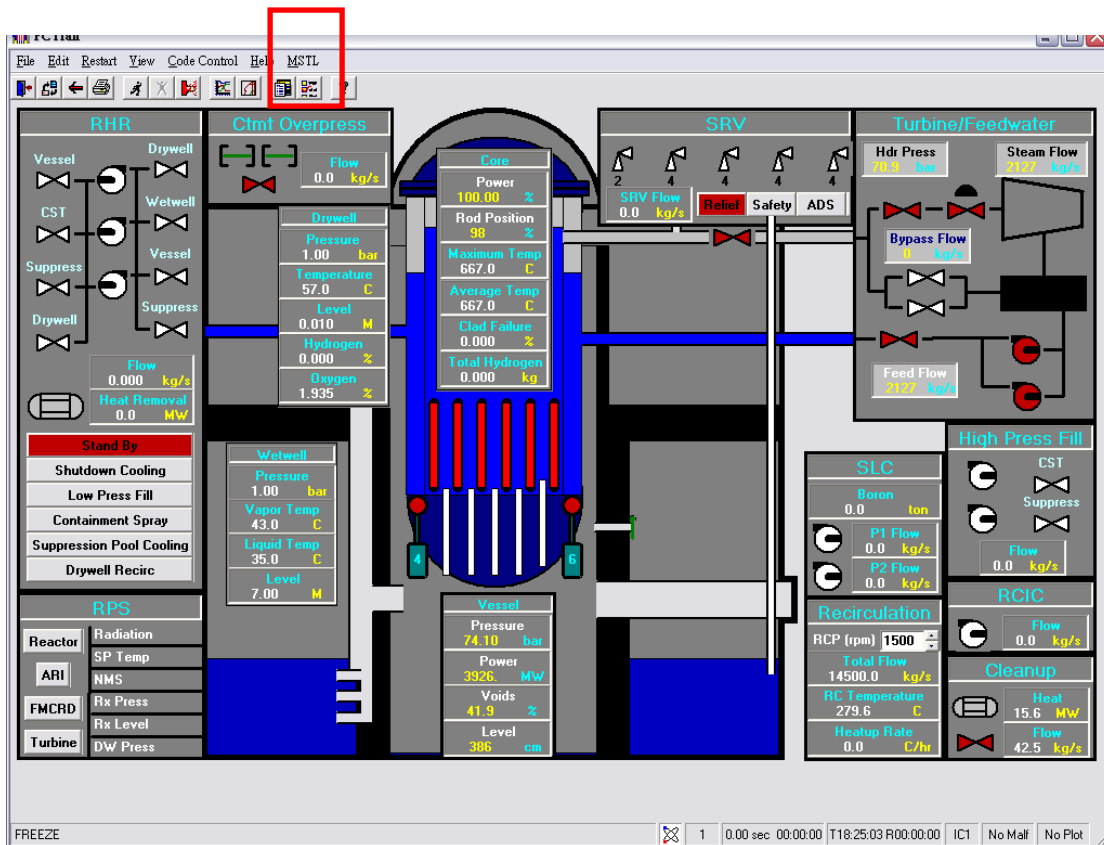


圖 4.6 在 PCTRAN_ABWR 主畫面上新增 MSTL 選項

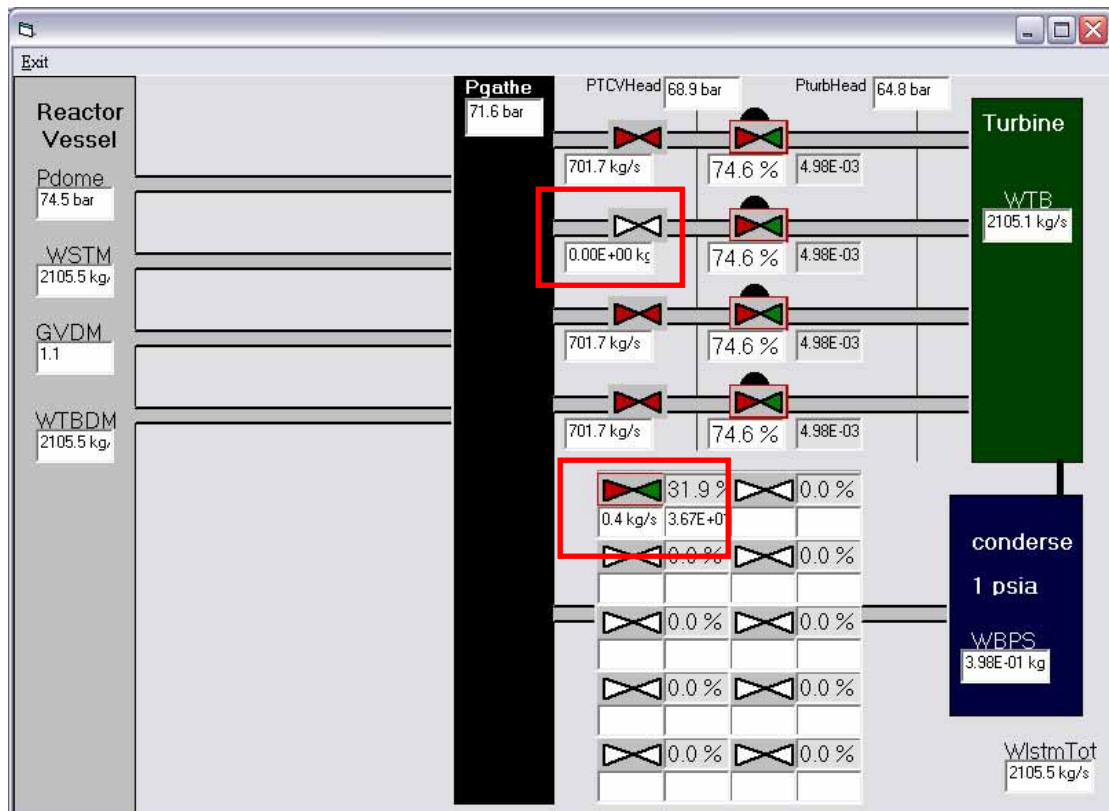


圖 4.7 關閉汽機節流閥後自動開啟汽機旁通閥

5. 核能四廠 STMLine 暫態事故 PCTran 之標準分析

5.0 PCTran-ABWR 程式擴充—STMLine 操作介面

本擴充程式是針對核能四廠之蒸汽管路失效事件之模擬而撰寫，並結合 Matlab 程式以三元控制之方式來對應顯示電廠之蒸汽管路在各失效事件中的暫態情形。另外，本程式是獨立於 PCTran 原程式之外的，並且已將各失效事件設定為單鍵啟動之模式，因此不必（也無法）由原 PCTran 控制介面設定失效的單元來啟動失效。以下是本擴充程式在 PCTran 下之控制介面：

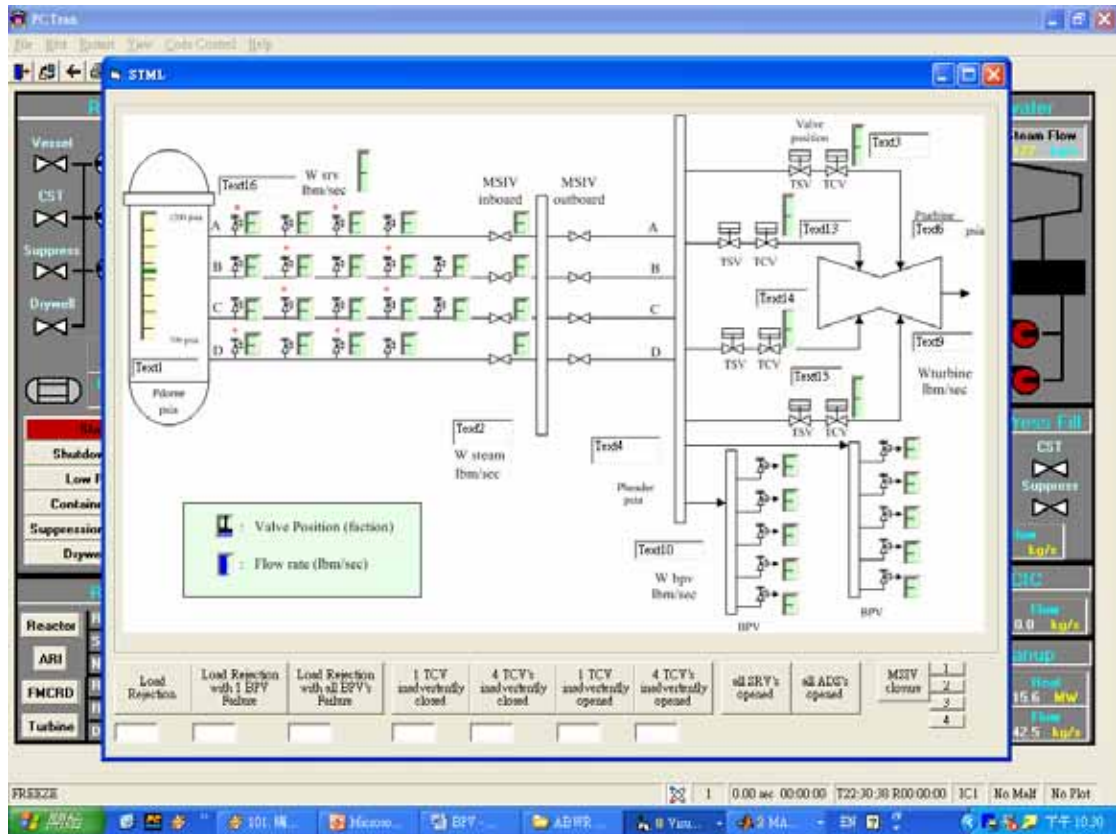


圖 5.0.1 蒸汽管路控制介面

5.1 案例一 1 汽機控制閥不當(誤)關閉(1 TCV inadvertently closed)

5.1.1 案例說明

本失效事件是因為四個汽機控制閥中的一個，因為運轉員操作不當而完全關閉，當此關閉訊號送出後，其餘三個汽機控制閥為因應此控制閥之關閉而漸增加其開度以調節蒸汽流量，如圖 5.1.3.2。且 1 個 BPV 微開以幫助洩壓，見圖 5.1.3.4。

5.1.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.1.2.1 紅圈處之
按鍵便完成此失效事件之設定。

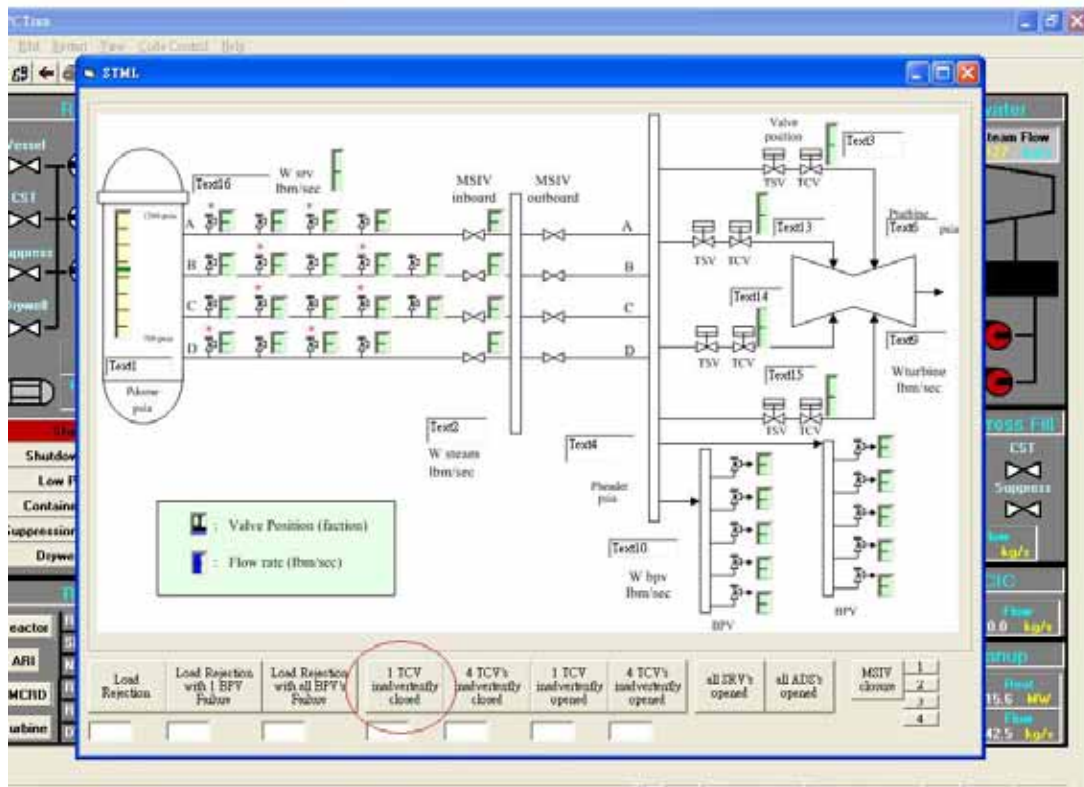


圖 5.1.2.1 失效啟動

5.1.3 結果分析

此失效事件會造成爐頂壓力 (Pdome) 略升 3 psi，視圖 5.1.3.1，是因為失效事件開始之初，其餘三個汽機控制閥開度未能快速增加，造成爐內壓力有一突升的暫態，隨後此突升的壓力隨著其餘三個汽機控制閥開度的增加以調節蒸汽流量，漸漸趨緩然後穩定，飼水流量及蒸汽流量在事件之初也有類似爐頂壓力的暫態，視圖 5.1.3.3，但同樣隨著其餘三個汽機控制閥開度增大的調節而回復到平穩的狀態，功率略升至 100.1%（即上升約 0.1%）左右，視圖 5.1.3.6，整起事件反應器無插棒急停動作。

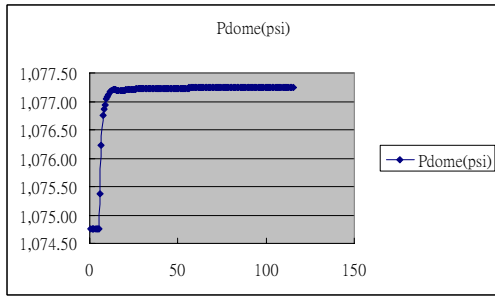


圖 5.1.3.1 爐頂壓力

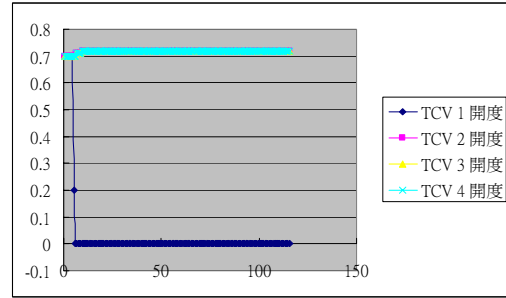


圖 5.1.3.2 4 個汽機控制閥開度

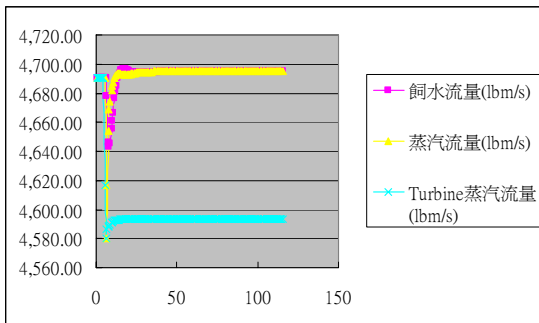


圖 5.1.3.3 飼水流量與蒸汽流量

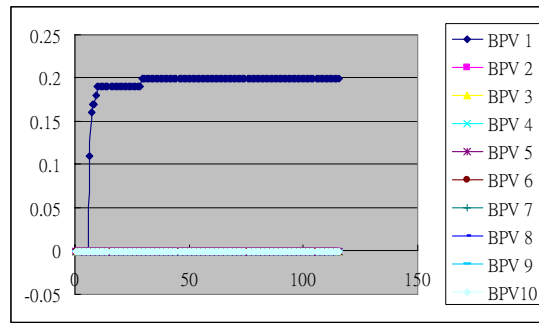


圖 5.1.3.4 10 個 BPV 開度

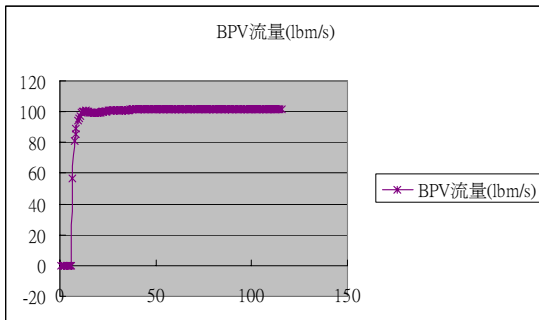


圖 5.1.3.5 BPV 流量

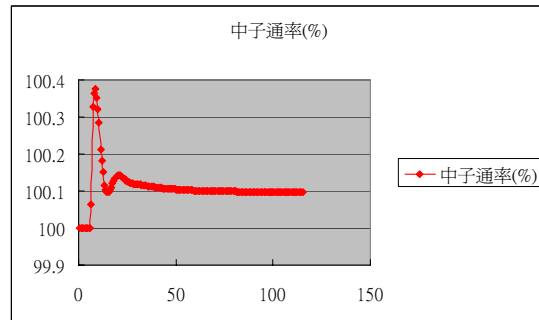


圖 5.1.3.6 中子通率

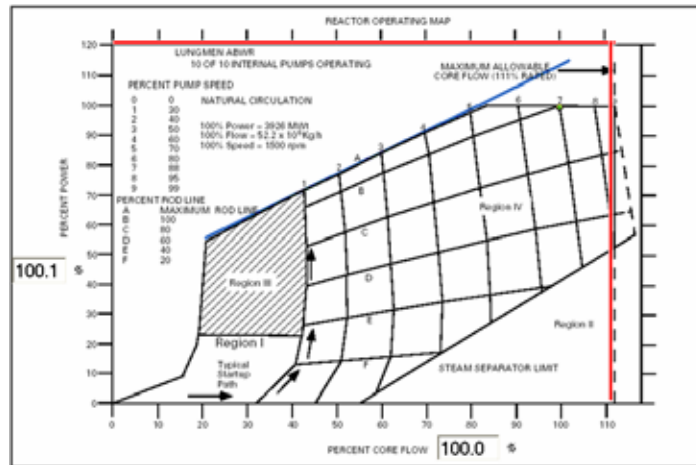


圖 5.1.3.7 功率-流量圖

5.2 案例二 4 汽機控制閥不當(誤)關閉(4 TCV inadvertently closed)

5.2.1 案例說明

4 個汽機控制閥因軟體共因失效而同時關閉，BPV 迅速開啟洩壓，如圖 5.2.3.4，但因中子通率（APRM = 129%）已高過反應器跳機設定值（110%），如圖 5.2.3.6 及圖 5.2.3.7 所示，因此觸發反應器急停訊號，造成反應器作出插棒急停之動作。最後反應器之功率、飼水流量、蒸汽流量均回退至 6% 附近，如圖 5.2.3.7。

5.2.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.2.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

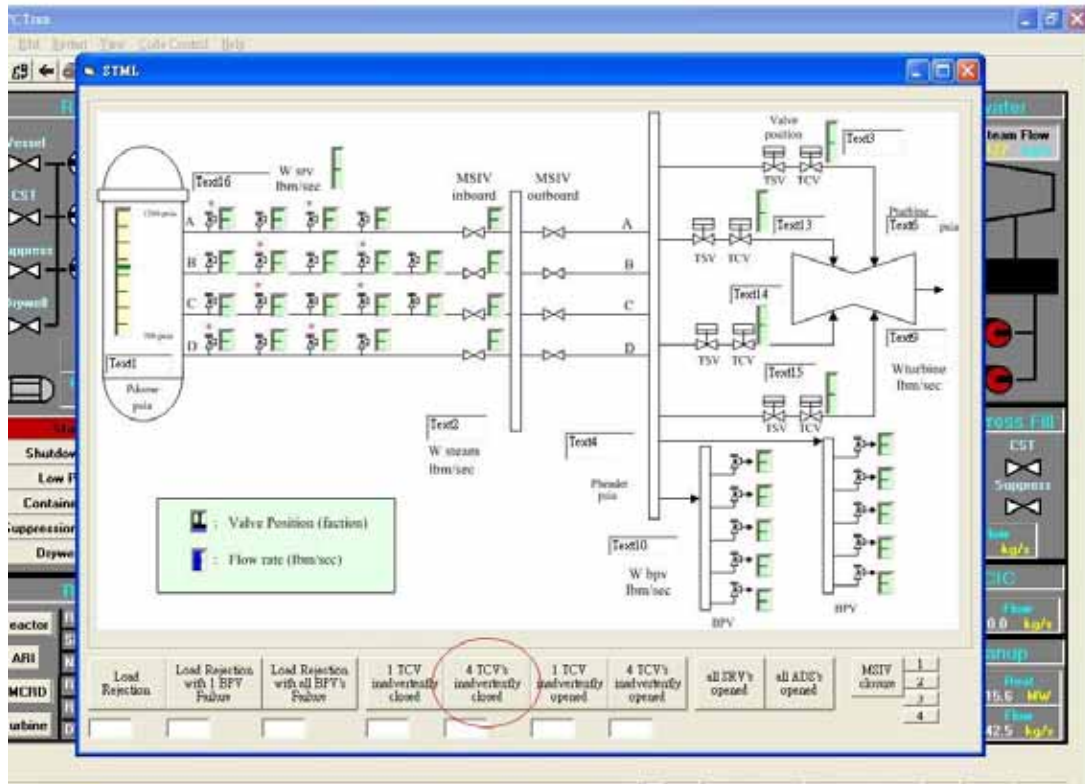


圖 5.2.2.1 失效啟動

5.2.3 結果分析

根據 PSAR 指出，若 4 個 TCV 在功率 40% 以上迅速關閉，會引發反應器跳機及 4 個 RIP 跳脫的信號，因此當此失效事件發生之後，10 個 BPV 雖然開啟幫助洩壓，如圖 5.2.3.4，但仍然跟不上壓力竄升的速度，見圖 5.2.3.1，隨後反應器便如圖 5.2.3.6 及圖 5.2.3.7 所示，因中子通率高於反應器跳機設定點 110% 而觸發停機訊號急停，引發再循環回退，並且功率、飼水流量及蒸汽流量均回退至 6% 左右。

由上述可知，此失效事件之趨勢大致與 PSAR 中所提及之現象相符合。

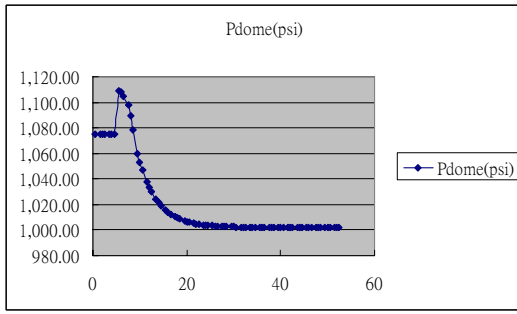


圖 5.2.3.1 爐頂壓力

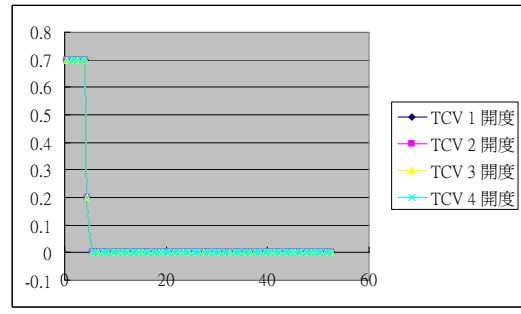


圖 5.2.3.2 4 個汽機控制閥開度

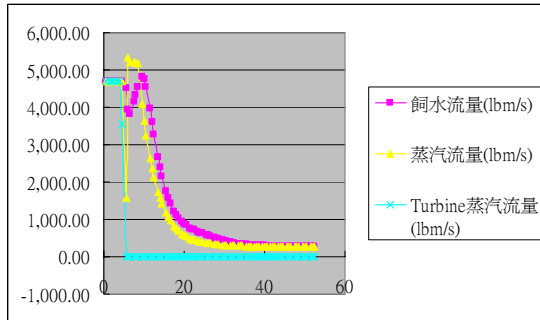


圖 5.2.3.3 飼水流量與蒸汽流量

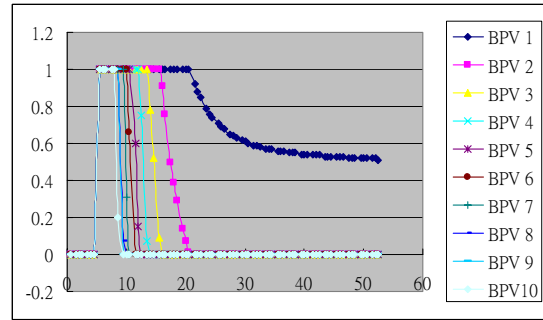


圖 5.2.3.4 10 個 BPV 開度

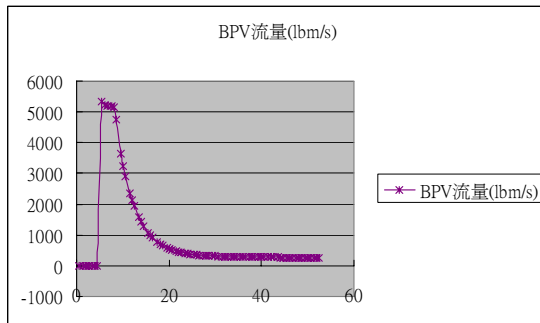


圖 5.2.3.5 BPV 流量

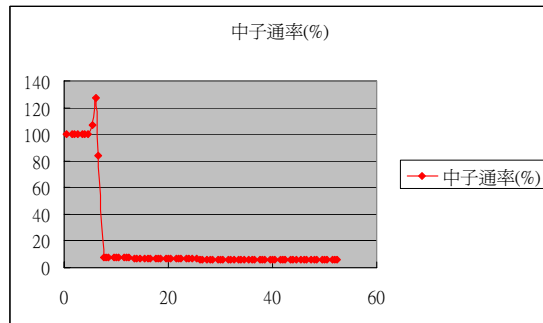


圖 5.2.3.6 中子通率

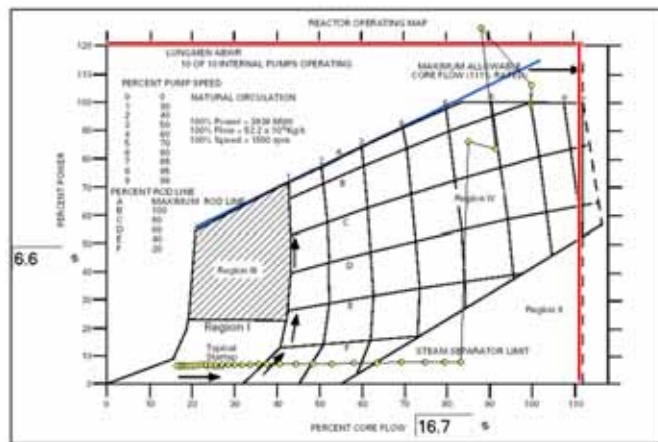


圖 5.2.3.7 功率-流量圖

5.3 案例三 1 汽機控制閥不當(誤)開啟(1 TCV inadvertently opened)

5.3.1 案例說明

本案例類似案例一，不同的是此失效事件是 4 個汽機控制閥中的其中一個，因運轉員操作不當而誤開啟（即開度為 100%，正常運轉時之開度為 70%）。當此開啟訊號送出後，其餘的三個汽機控制閥為因應此汽機控制閥之開啟，而漸縮小其開度以調節蒸汽流量，如圖 5.3.3.2 所示。

5.3.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.3.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

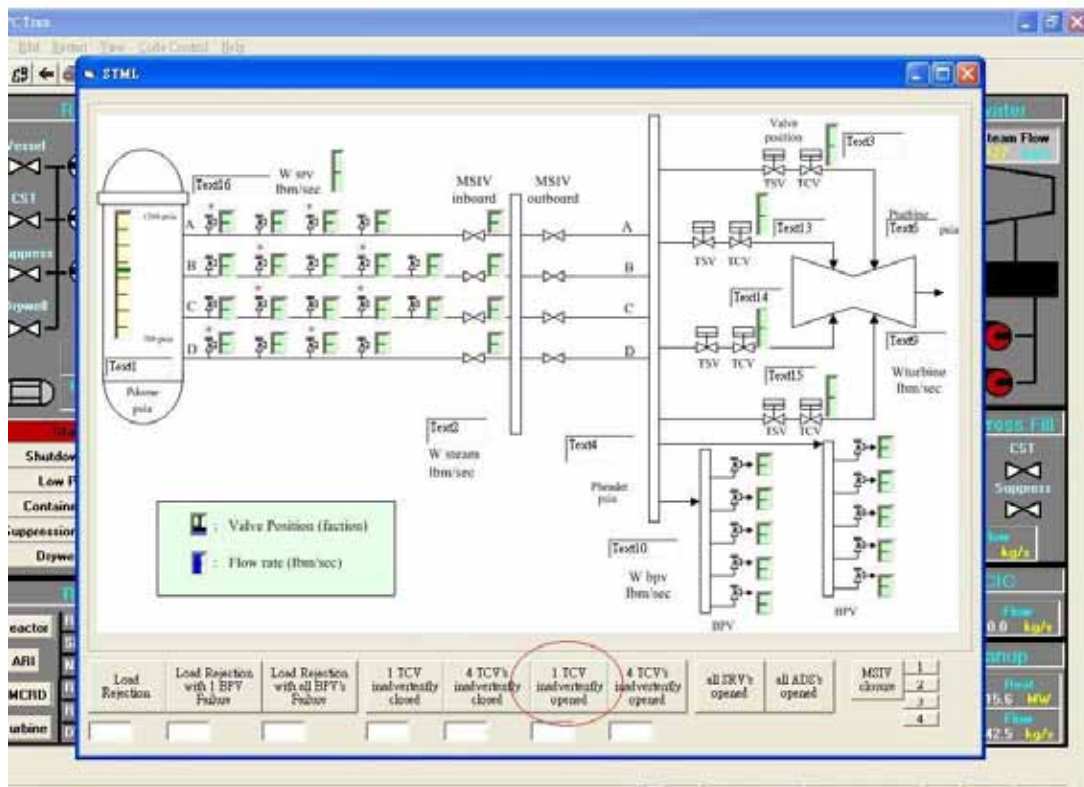


圖 5.3.2.1 失效啟動

5.3.3 結果分析

此失效事件會造成爐頂壓力(Pdome)略降 8 psi，如圖 5.3.3.1，這是因為失效事件開始之初，其餘三個汽機控制閥開度未能快速縮小，造成爐內壓力有一突降的暫態，隨後此突降的壓力藉由其餘三個汽機控制閥開度的減小，隨即調節蒸汽流量使其漸漸趨緩然後穩定，且當事件初始時，因蒸汽流量增加，飼水泵接收到蒸汽流量增加之訊號後，為使反應器內之流進/出量相等，而增加飼水流量，之後同樣隨著其餘三個汽機控制閥開度減小的調節而回復到平穩的狀態，視圖 5.3.3.3。功率略降至 99.7% (即下降約 0.3%) 左右，如圖 5.3.3.6 所示。整起事件反應器無插棒急停現象。

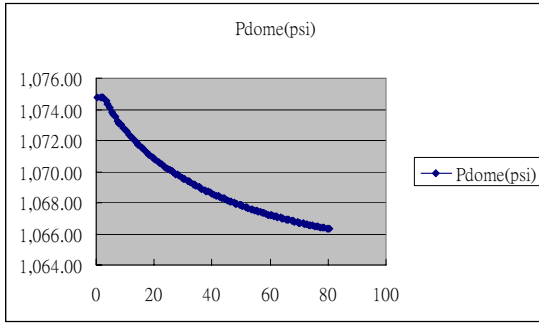


圖 5.3.3.1 爐頂壓力

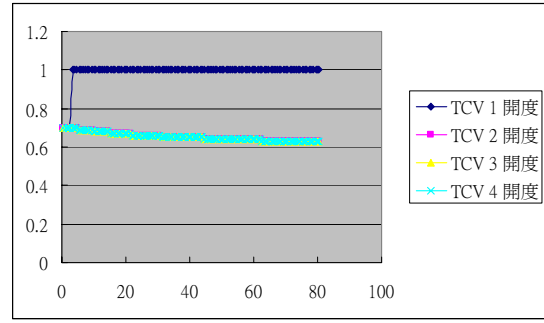


圖 5.3.3.2 4 個汽機控制閥開度

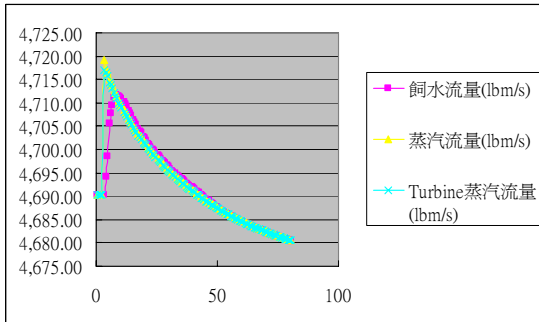


圖 5.3.3.3 飼水流量與蒸汽流量

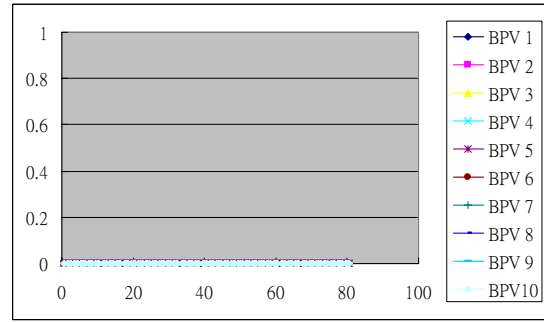


圖 5.3.3.4 10 個 BPV 開度

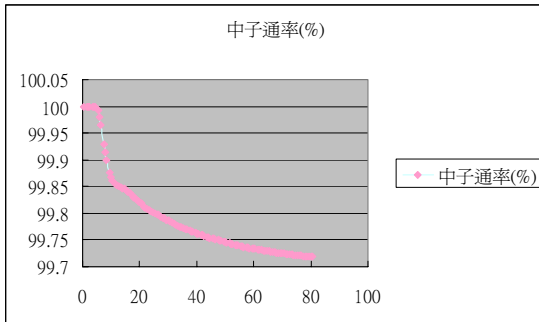


圖 5.3.3.5 中子通率

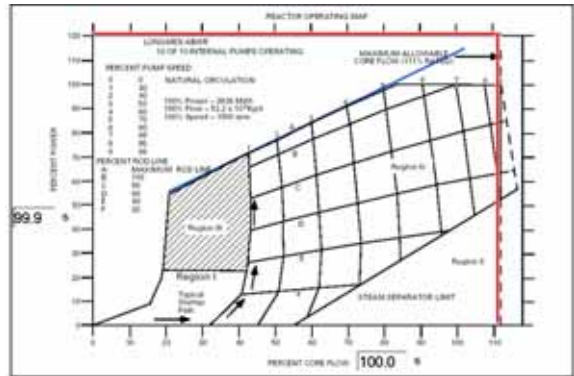


圖 5.3.3.6 功率-流量圖

5.4 案例四 4 汽機控制閥不當(誤)開啟(4 TCV inadvertently opened)

5.4.1 案例說明

本失效事件是因為軟體共因失效造成四個汽機控制閥同時開啟(即開度為 100%，正常運轉時之開度為 70%)，如圖 5.4.3.2。當汽機控制閥開啟時，蒸汽流量迅速升高，連帶使飼水流量增加，且爐內壓力迅速降低，此暫態大約維持 1300 秒，爐頂壓力最後會維持在 760 psi 左右，如圖 5.4.3.1，反應器功率、飼水流量及蒸汽流量均回退至 86%，如圖 5.4.3.3、圖 5.4.3.6 及圖 5.4.3.8 所示。

5.4.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.4.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

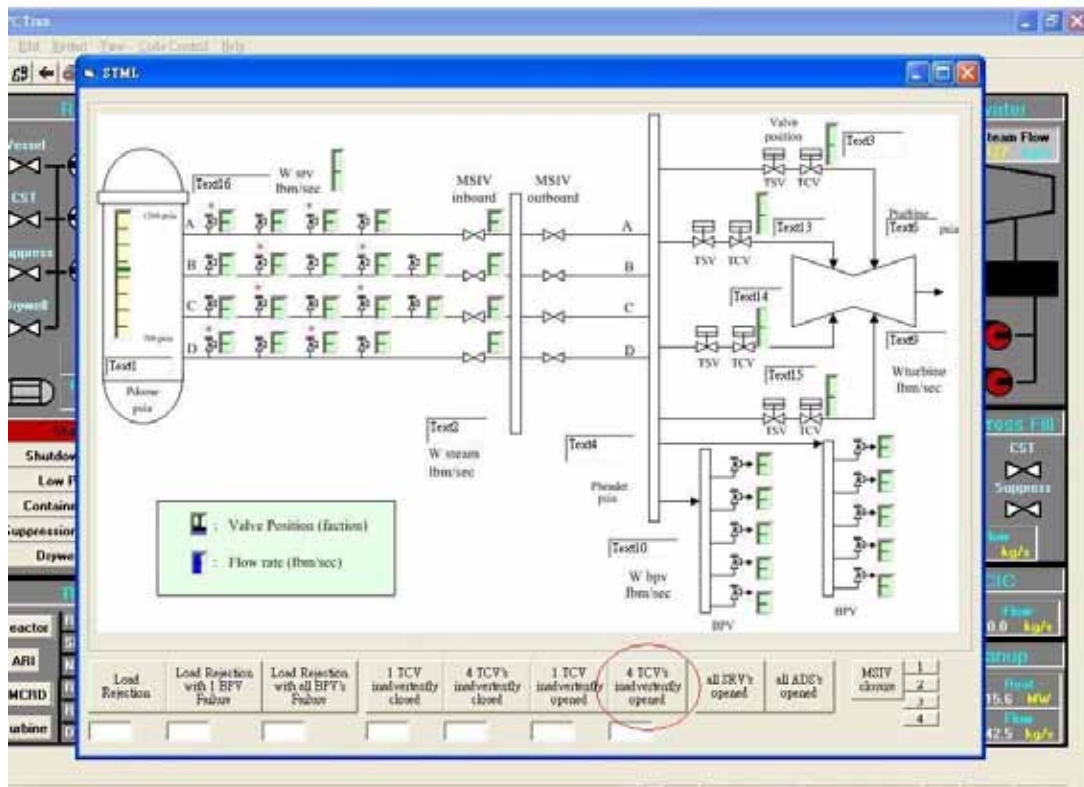


圖 5.4.2.1 失效啟動

5.4.3 結果分析

因四個汽機控制閥全部全開啟造成爐頂壓力陡降，並且蒸汽流量因 TCV 開啟而迅速升高，飼水流量為因應蒸汽過度的流出量而上升，如圖 5.4.3.4，但爐內壓力下降造成中子通率降低，因此功率隨之降低，功率降低之後便不需如此高的蒸汽流量，因此蒸汽流量在升高之暫態之後立即降低，飼水流量也隨著蒸汽流量下降而降低，如圖 5.4.3.3 所示。最後反應器之爐內壓力穩定於 760 psi，並且無插棒急停之動作。

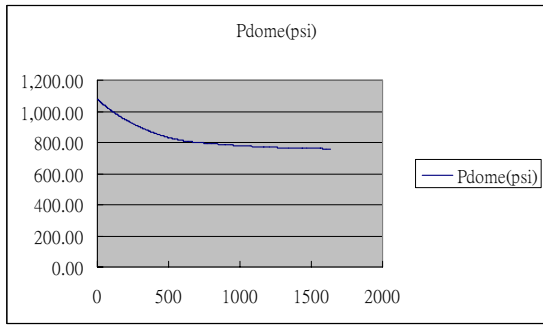


圖 5.4.3.1 爐頂壓力

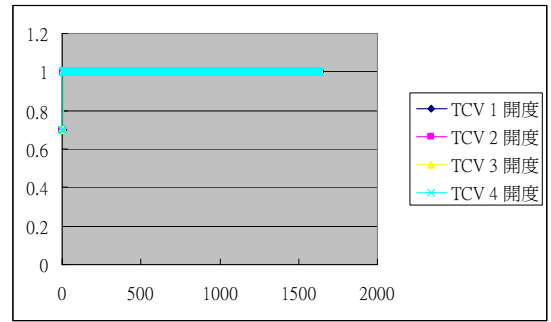


圖 5.4.3.2 4 個汽機控制閥開度

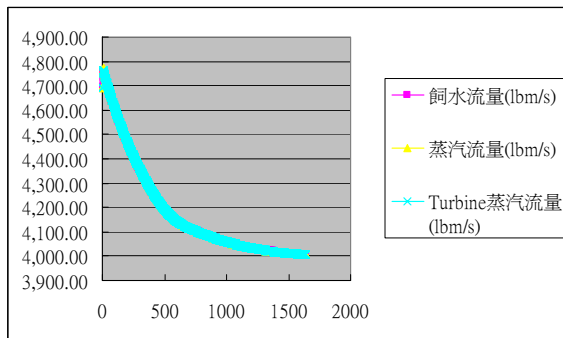


圖 5.4.3.3 飼水流量與蒸汽流量

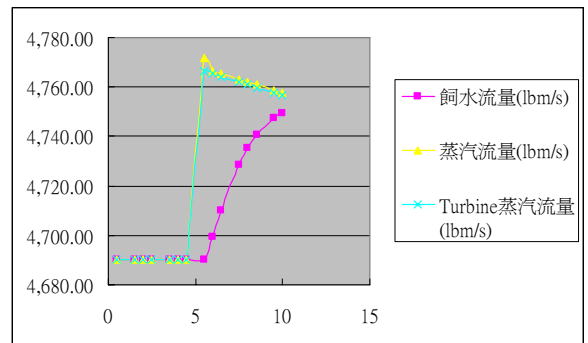


圖 5.4.3.4 飼水流量與蒸汽流量
(10sec.)

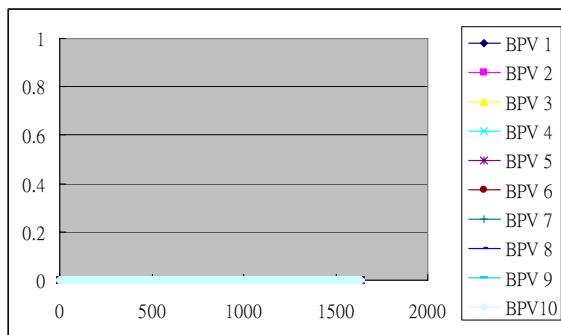


圖 5.4.3.5 10 個 BPV 開度

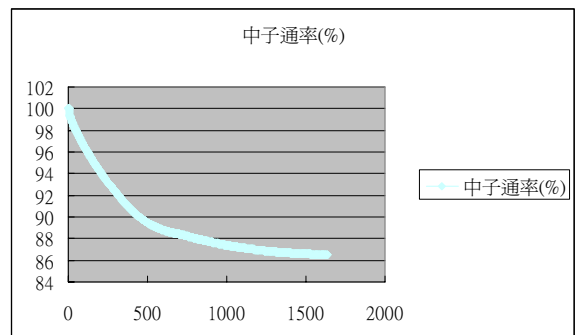


圖 5.4.3.6 中子通率

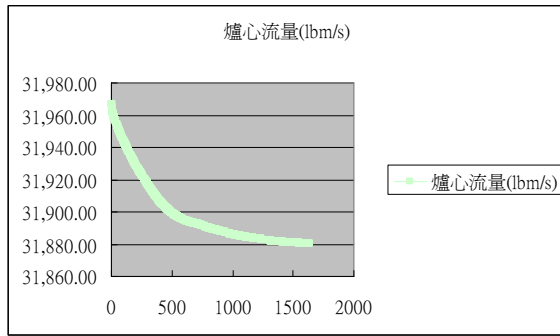


圖 5.4.3.7 爐心流量

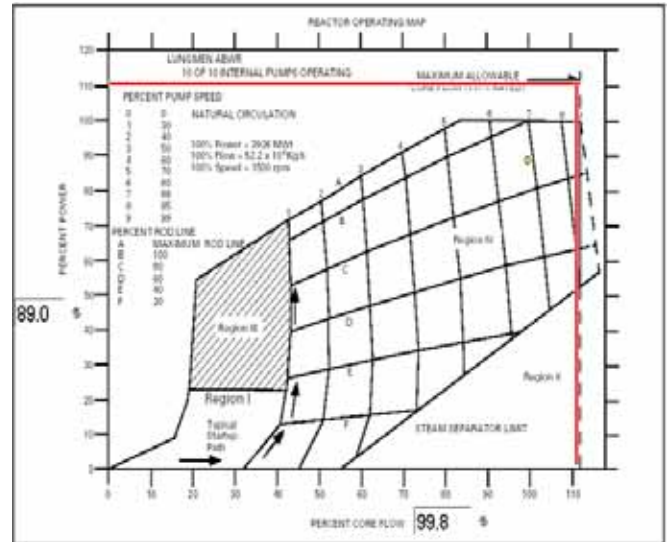


圖 5.4.3.8 功率-流量圖

5.5 案例五 全部 S/RV 誤開啟(All SRV's opened)

5.5.1 案例說明

此一失效事件可能起因於運轉員操作不當或軟體共因失效而使 18 組安全釋壓閥開啟。當 SRV 誤開啟時，會將爐心產生之蒸汽導入抑壓池，爐內壓力會有突降的暫態，因此四個汽機控制閥會縮小其開度以緩和此洩壓暫態，功率及中子通率略升至 105 %，飼水流量及蒸汽流量也有些微增加。

5.5.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.5.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

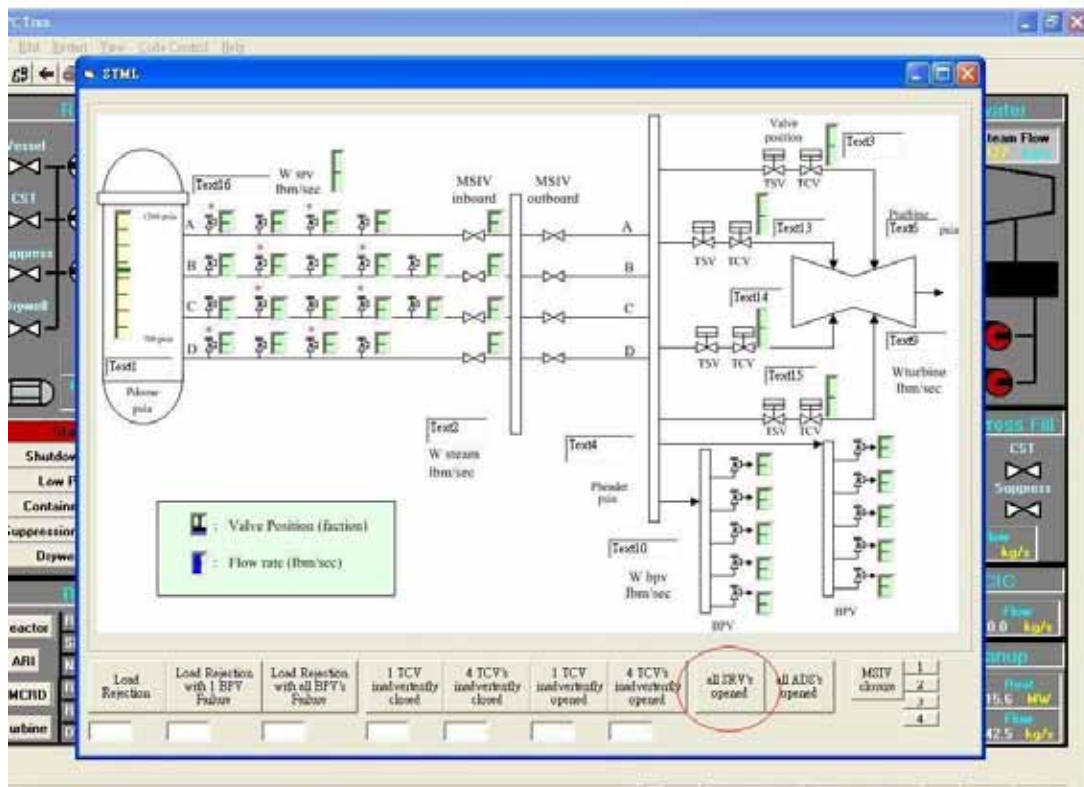


圖 5.5.2.1 失效啟動

5.5.3 結果分析

失效事件初始時，蒸汽流量有一突升暫態，視圖 5.5.3.3，是因為蒸汽流量的變數是以 Turbine 蒸汽流量及 SRV 流量兩個變數組合起來的，當 SRV 剛開啟時，汽機控制閥開度尚未縮小，加上 SRV 的開啟，便增加了蒸汽流量。而事件開始後，爐頂壓力有一個突降的暫態，如圖 5.5.3.1，因而造成功率率的下降，圖 5.5.3.6，而使飼水流量及蒸汽流量同時降低，圖 5.5.3.3，且 4 個 TCV 也漸漸縮小開度調節此洩壓暫態，由圖 5.5.3.1 可以看到壓力有一個 overshoot 的現象，這是因為 TCV 的開度過小，在此瞬間壓力會有一個突升的暫態，功率、飼水流量及蒸汽流量也會因此上升，隨後 TCV 開度再略為增加之後，圖 5.5.3.2，功率、飼水流量及蒸汽流量便趨向穩定，而維持

在 105% 左右。另外，需注意排入抑壓池的蒸汽會使抑壓池的溫度升高，當其溫度升至 43.3°C 時便會引發跳機訊號，在此分析中我們取較保守的 48.9 為其設定點。

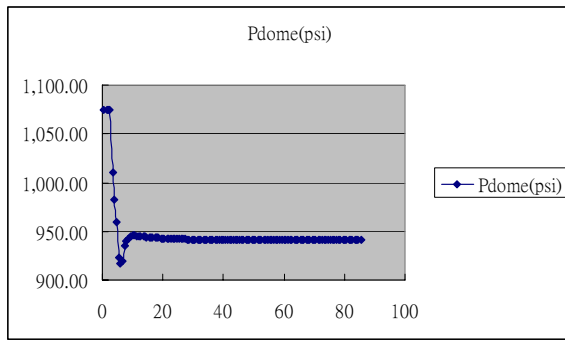


圖 5.5.3.1 爐頂壓力

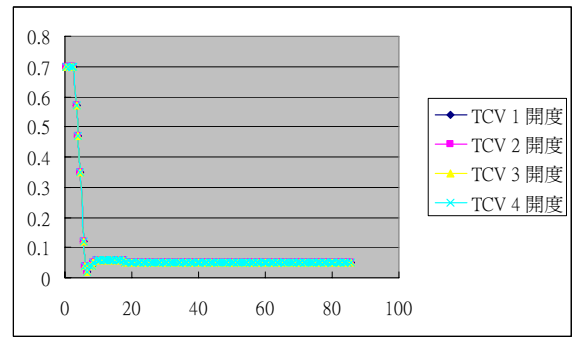


圖 5.5.3.2 4 個汽機控制閥開度

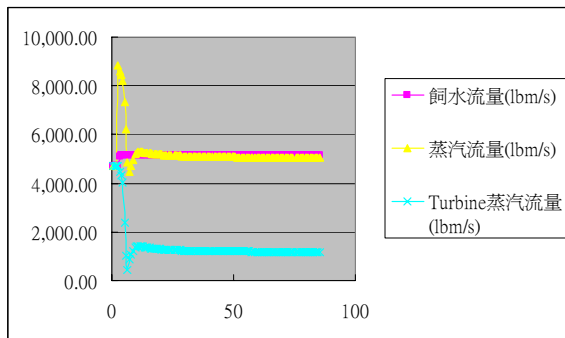


圖 5.5.3.3 飼水流量與蒸汽流量

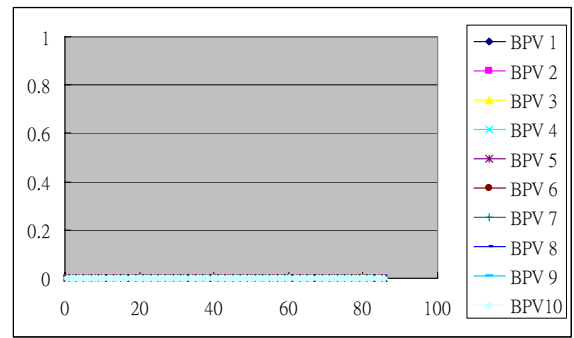


圖 5.5.3.4 10 個 BPV 開度

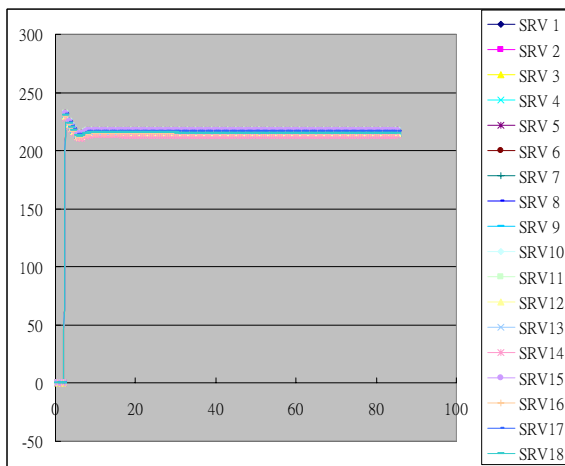


圖 5.5.3.5 SRV 流量

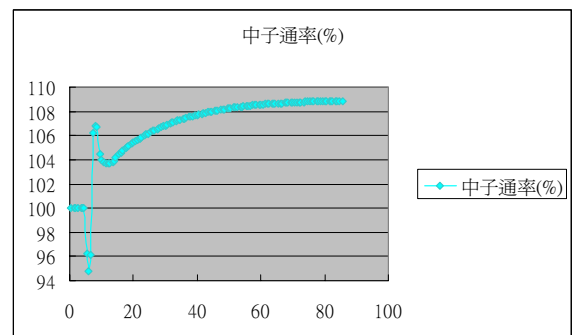


圖 5.5.3.6 中子通率

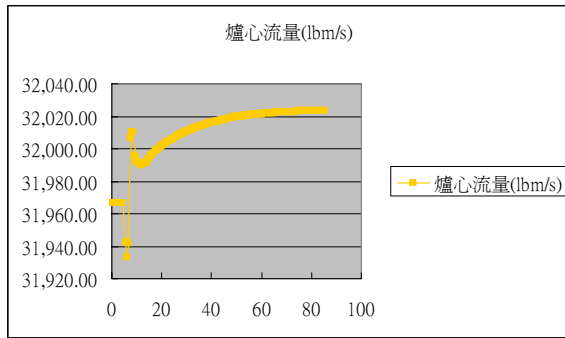


圖 5.5.3.7 爐心流量

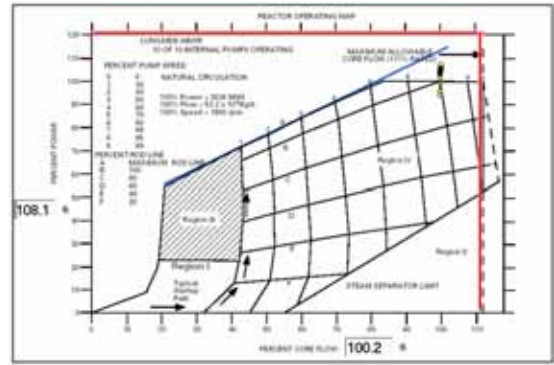


圖 5.5.3.8 功率-流量圖

5.6 案例六 全部 ADS 誤開啟 (All ADS's opened)

5.6.1 案例說明

此一失效事件可能起因於運轉員操作不當或軟體共因失效而使 8 組自動釋壓閥開啟。與誤開啟 SRV 類似，ADS 開啟時，會將爐心產生之蒸汽導入抑壓池，爐內壓力會有突降的暫態，因此四個汽機控制閥會縮小其開度以緩和此洩壓暫態。

5.6.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.6.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

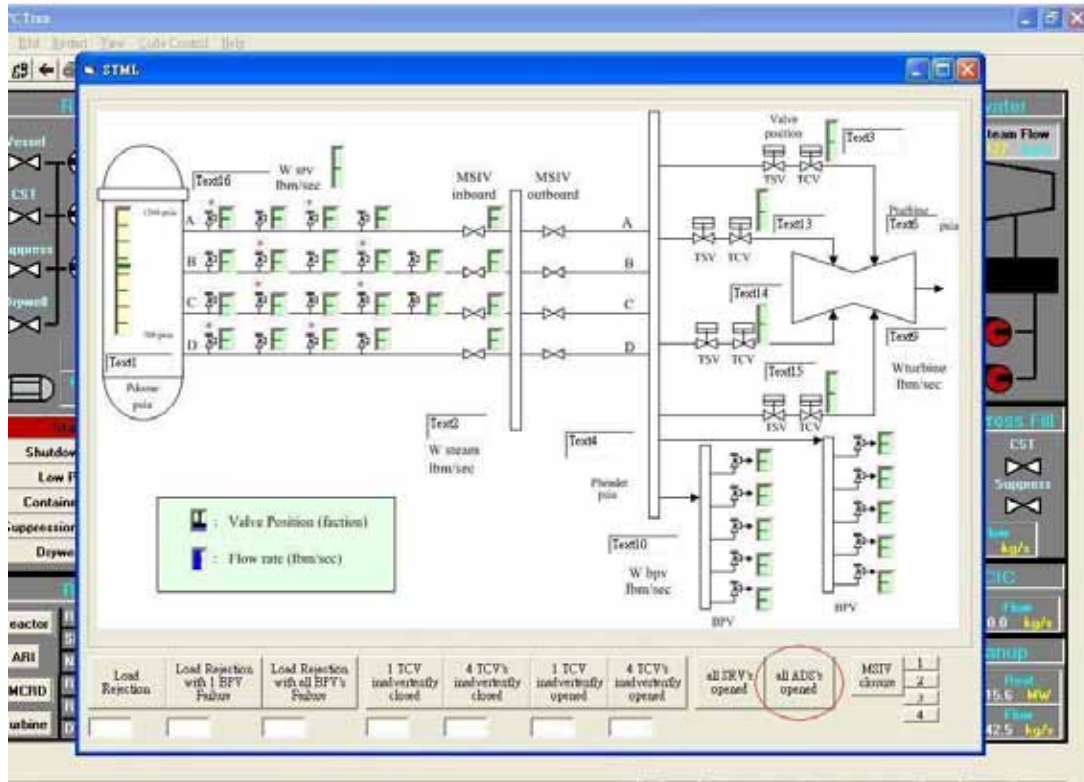


圖 5.6.2.1 失效啟動

5.6.3 結果分析

失效事件初始時，蒸汽流量有一突升暫態，是因為蒸汽流量的變數是以 Turbine 蒸汽流量及 SRV 流量（ADS 是 18 個 SRV 其中的 8 個，只是功能不同，開啟的時機也不同）兩個變數組合起來的，當 ADS 剛開啟時，汽機控制閥開度尚未縮小，加上 ADS 的開啟，便增加了蒸汽流量。且 ADS 開啟後，爐頂壓力有一個突降的暫態，如圖 5.6.3.1，因而造成功率的下降，如圖 5.6.3.6，而使飼水流量及蒸汽流量同時降低，見圖 5.6.3.3，且 4 個 TCV 也漸漸縮小開度調節此洩壓暫態，由圖 5.6.3.1 可以看到壓力有一個 overshoot 的現象，這是因為 TCV 的開度過小，在此瞬間，壓力會有一個突升的暫態，功

率、飼水流量及蒸汽流量也會因此上升，隨後 TCV 開度再略為增加之後，圖 5.5.3.2，功率、飼水流量及蒸汽流量便趨向穩定。

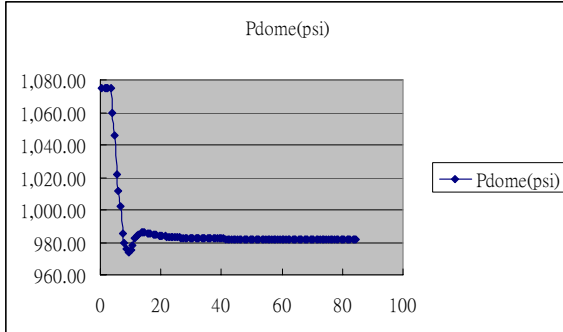


圖 5.6.3.1 爐頂壓力

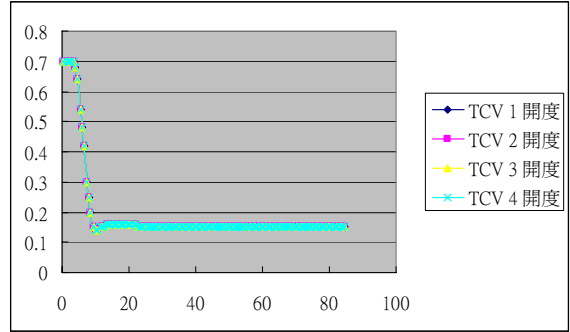


圖 5.6.3.2 4 個汽機控制閥開度

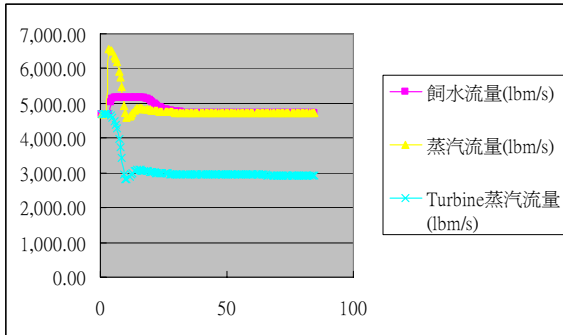


圖 5.6.3.3 飼水流量與蒸汽流量

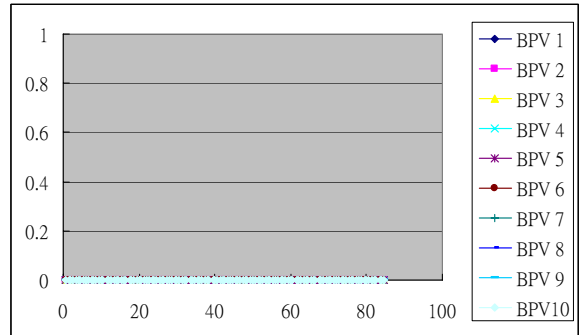


圖 5.6.3.4 10 個 BPV 開度

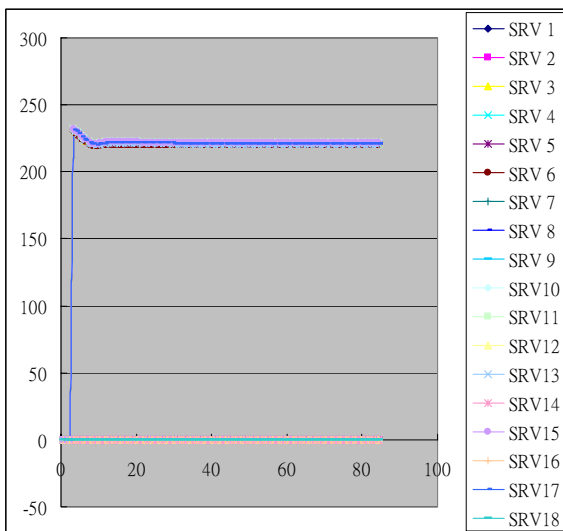


圖 5.6.3.5 ADS 流量

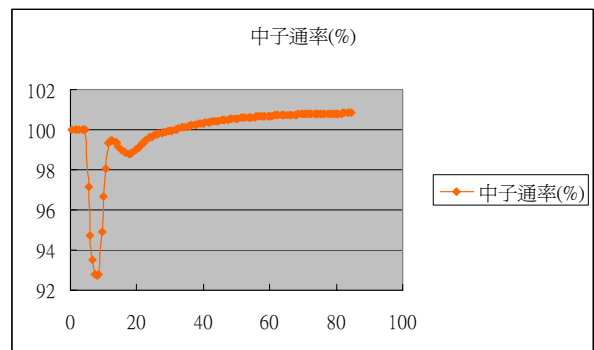


圖 5.6.3.6 中子通率

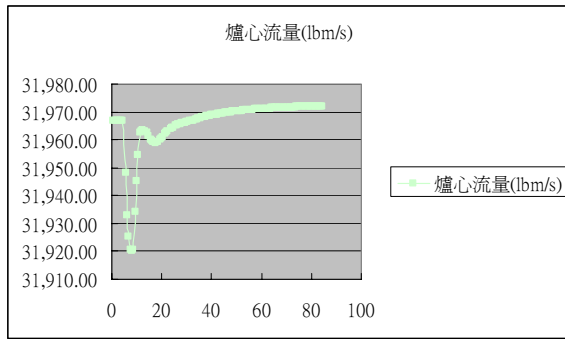


圖 5.6.3.7 爐心流量

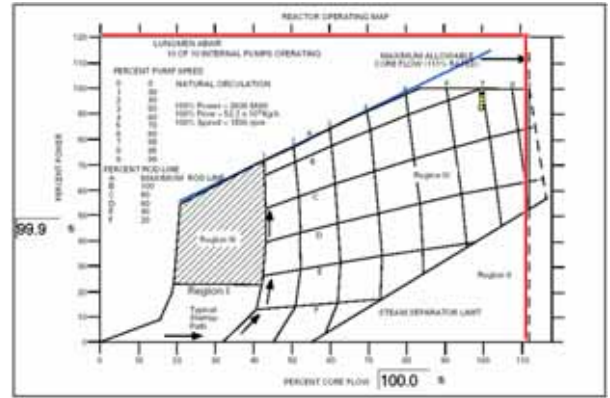


圖 5.6.3.8 功率-流量圖

5.7 案例七 汽機棄載(Load Rejection)

5.7.1 案例說明

本失效事件是因為發電機棄載，系統為避免汽機轉子過速導致損壞，因此將 4 個汽機控制閥完全關閉的失效事件，在此事件中，BPV 會開啟以幫助洩壓。

5.7.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.7.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

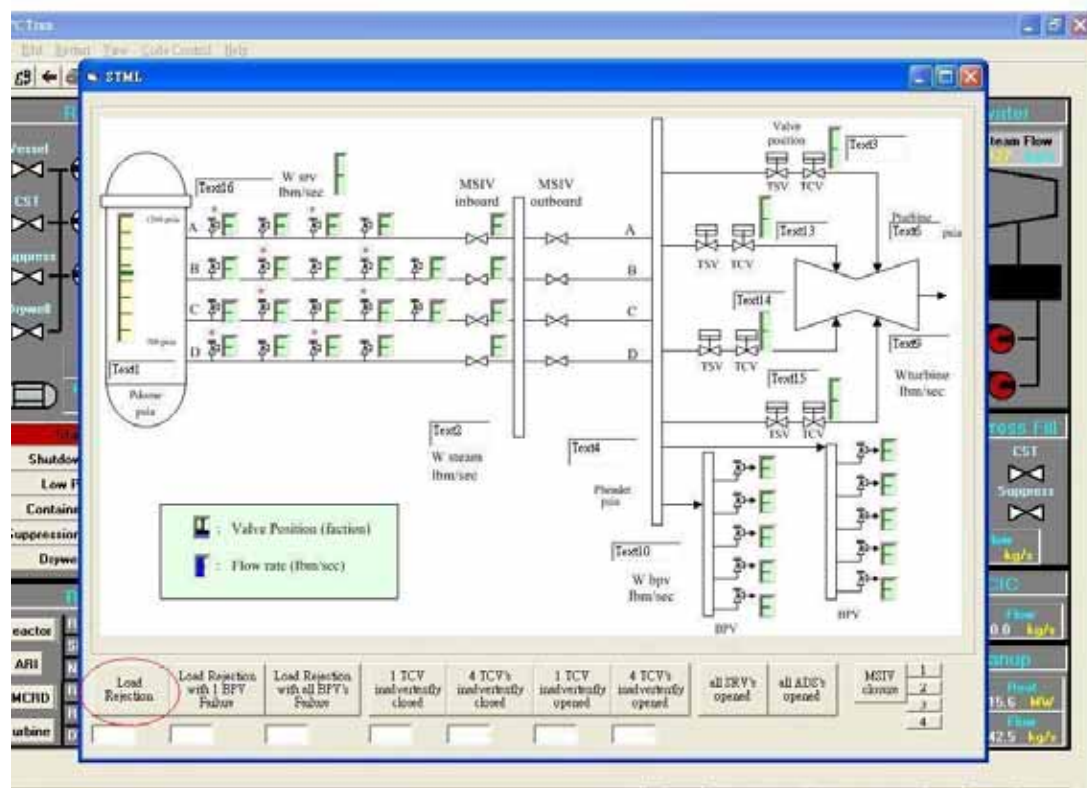


圖 5.7.2.1 失效啟動

5.7.3 結果分析

因發電機棄載喪失電力，促使四個汽機控制閥必須盡快關閉以避免汽機/發電機（Turbine generator）轉子轉速過高，BPV 亦迅速轉為快速開啟模式以利開啟洩壓（SBPC）。但根據 PSAR 及之前所模擬過的案例中，若在功率 40% 以上使四個汽機控制閥快速關閉，便會觸發反應器跳機及四個 RIP 跳脫的訊號，但本失效事件並沒有跳機的情形發生，這是因為在此案例中已故意將這些訊號都延遲了一些時間，好讓 BPV 有足夠的時間（within 1.5sec.）作動以開啟洩壓並伴隨功率回退，因此未造成反應器跳機。圖 5.7.3.1 顯示爐頂壓力由於 BPV 先開啟而有一個突降的暫態，因此蒸汽流量增高，飼水流量也上升，如圖 5.7.3.3 所示，隨後 TCV 快速關閉，如圖 5.7.3.2，造成爐頂壓力上升的暫態，此上升之壓力會經由 BPV 排出，爐頂壓力才逐漸下降而趨緩和。並且此失效事件會觸發再循環回退的現象，因此功率會回退到 40%，如圖 5.7.3.7，所以蒸汽流量也降低至原本的 40%，飼水流量也降至 40%。最後反應器運轉於 40% 的功率而穩定。

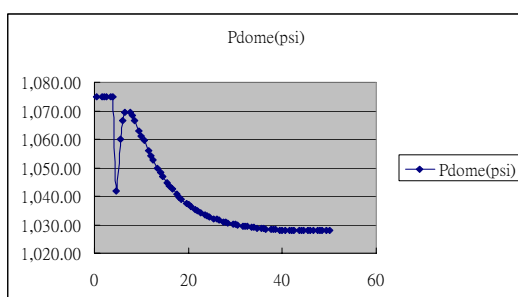


圖 5.7.3.1 爐頂壓力

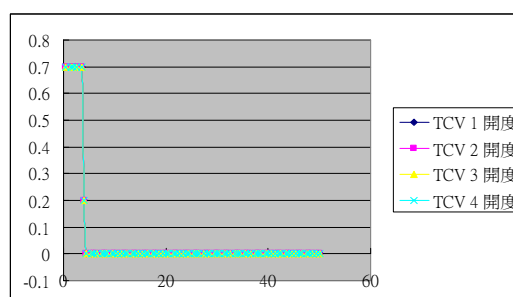


圖 5.7.3.2 4 個汽機控制閥開度

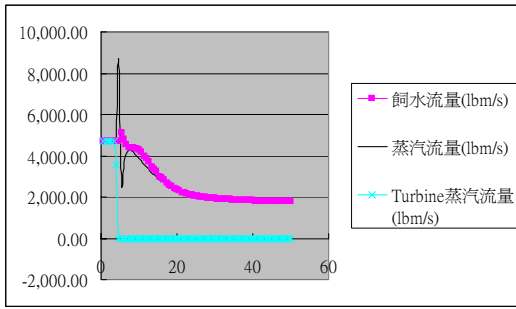


圖 5.7.3.3 飼水流量與蒸汽流量

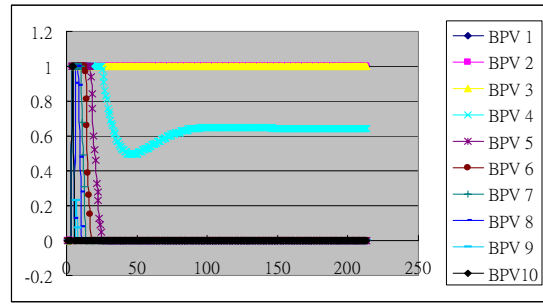


圖 5.7.3.4 10 個 BPV 開度

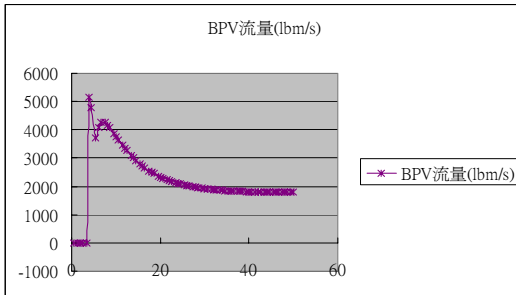


圖 5.7.3.5 SRV 流量

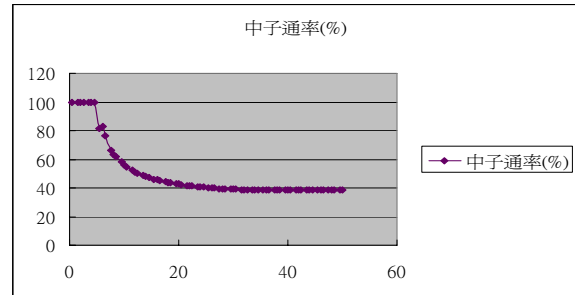


圖 5.7.3.6 中子通率

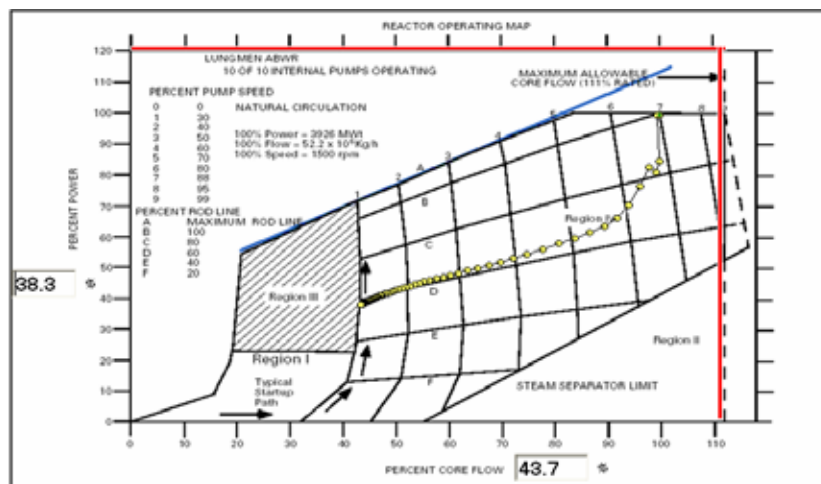


圖 5.7.3.7 功率-流量圖

5.8 案例八 汽機棄載伴隨 1BPV 失效(Load Rejection with 1 BPV failure)

5.8.1 案例說明

本失效事件是因為發電機棄載，系統為避免汽機轉子過速導致損壞，因此將 4 個汽機控制閥完全關閉的失效事件，在此事件中，BPV 會開啟以幫助洩壓。與案例七不同處是其中一個 BPV 因軟體失效而無法開啟幫助洩壓。

5.8.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.8.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

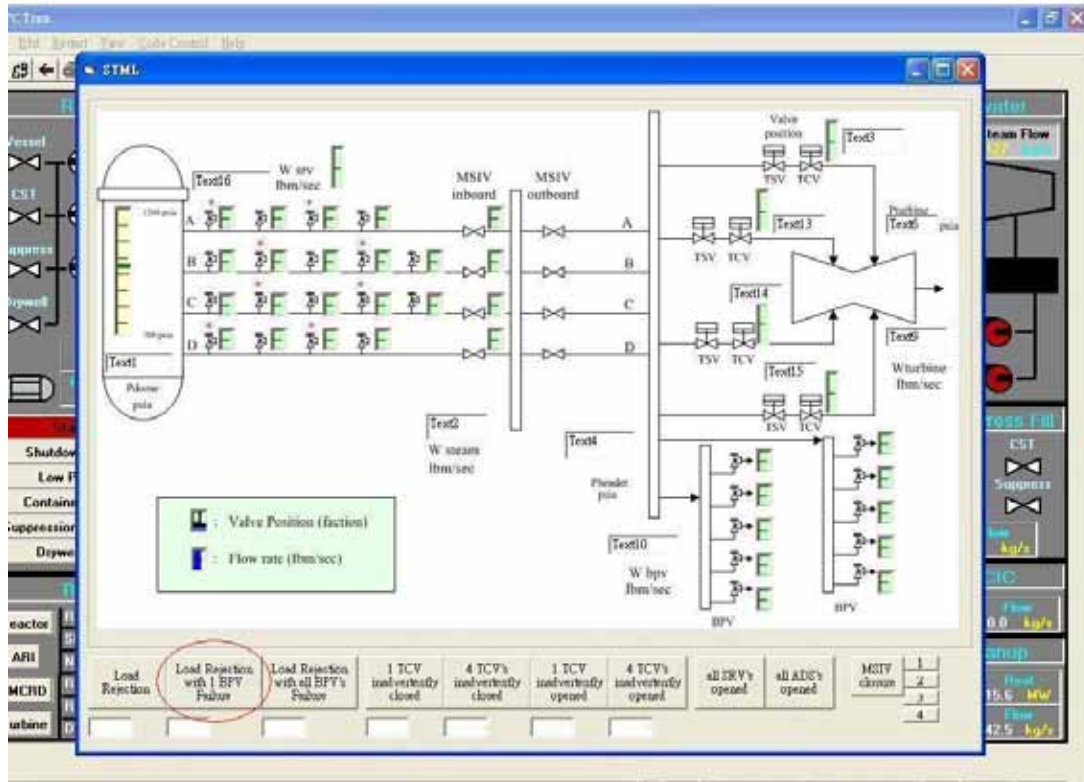


圖 5.8.2.1 失效啟動

5.8.3 結果分析

因發電機棄載喪失電力，促使四個汽機控制閥必須盡快關閉以避免汽機/發電機（Turbine generator）轉子轉速過高，BPV 亦迅速轉為快速開啟模式以利開啟洩壓（SBPC）。但根據 PSAR 及之前所模擬過的案例中，若在功率 40% 以上使四個汽機控制閥快速關閉，便會觸發反應器跳機及四個 RIP 跳脫的訊號，但本失效事件並沒有跳機的情形發生，這是因為在此案例中已故意將這些訊號都延遲了一些時間好讓 BPV 有足夠的時間（within 1.5sec.）作動以開啟洩壓並伴隨功率回退，因此未造成反應器跳機。圖 5.8.3.1 顯示爐頂壓力由於 BPV 先開啟而有一個突降的暫態，因此蒸汽流量增高，飼水流量也上升，如圖 5.8.3.3 所示，隨後 TCV 快速關閉，如圖 5.8.3.2，造成爐頂壓力上升的暫態，此上升之壓力會經由 BPV 排出，爐頂壓力才逐漸下降

而趨緩和。並且此失效事件會觸發再循環回退的現象，因此功率會回退到 40%，如圖 5.8.3.7，所以蒸汽流量也降低至原本的 40%，飼水流量也降至 40%。最後反應器運轉於 40% 的功率而穩定。

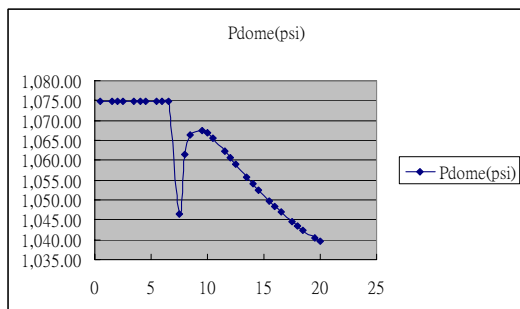


圖 5.8.3.1 爐頂壓力

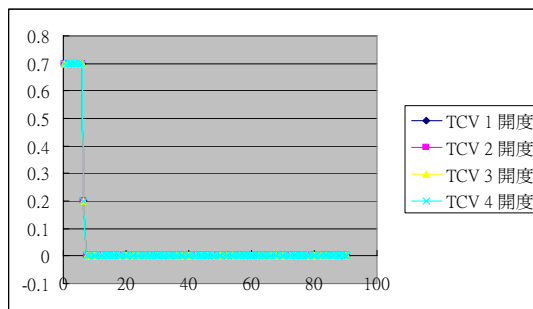


圖 5.8.3.2 4 個汽機控制閥開度

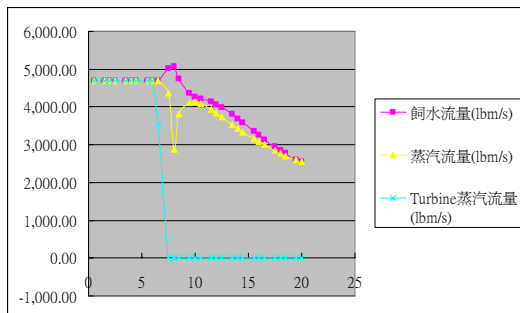


圖 5.8.3.3 飼水流量與蒸汽流量

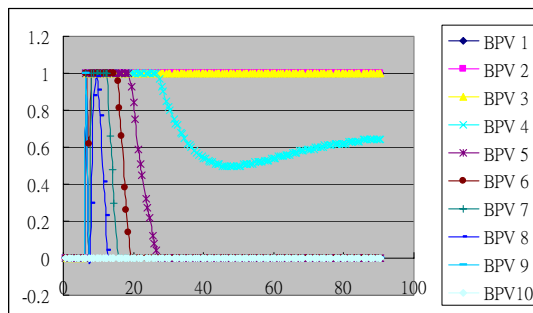


圖 5.8.3.4 10 個 BPV 開度

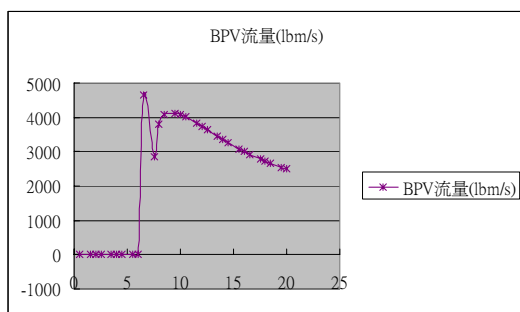


圖 5.8.3.5 BPV 流量

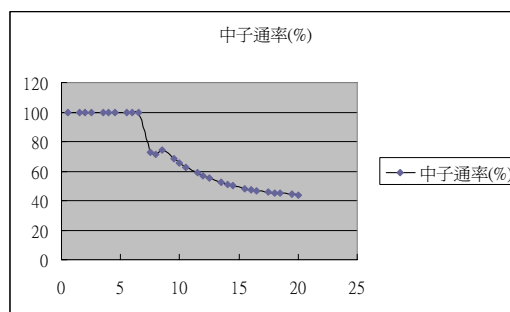


圖 5.8.3.6 中子通率

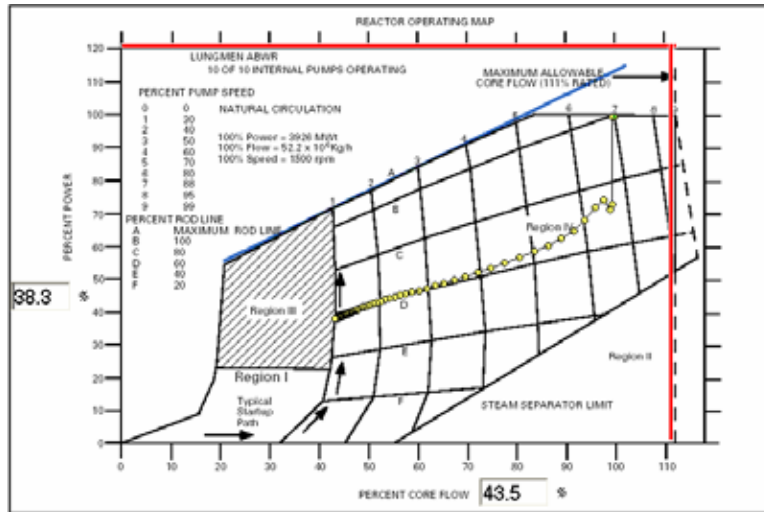


圖 5.8.3.7 功率-流量圖

5.9 案例九 汽機棄載伴隨全部 BPV 失效(Load Rejection with All BPV failure)

5.9.1 案例說明

本失效事件是因為發電機棄載，系統為避免汽機轉子過速導致損壞，因此將 4 個汽機控制閥完全關閉的失效事件。與案例七、八不同處為全部的 BPV 因軟體失效而無法開啟幫助洩壓。

5.9.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.9.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

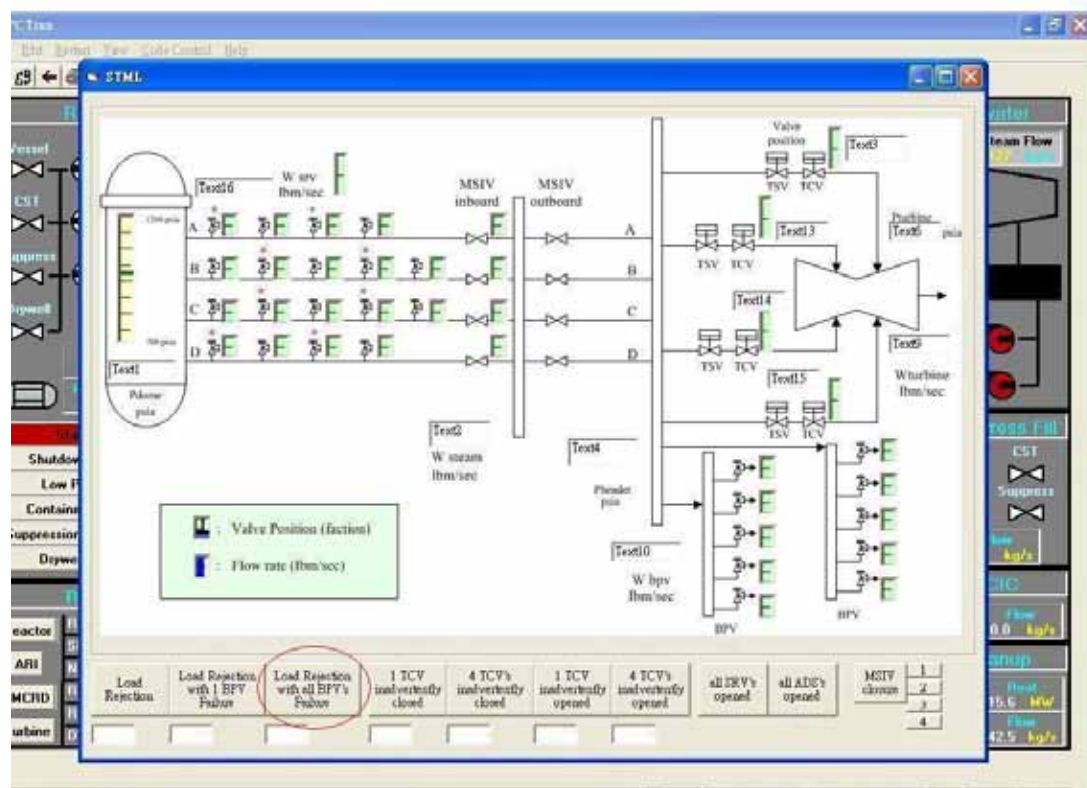


圖 5.9.2.1 失效啟動

5.9.3 結果分析

因發電機棄載喪失電力，促使四個汽機控制閥必須盡快關閉以避免汽機/發電機（Turbine generator）轉子轉速過高，BPV 亦迅速轉為快速開啟模式以利開啟洩壓（SBPC）。但根據 PSAR 及之前所模擬過的案例中，若在功率 40% 以上使四個汽機控制閥快速關閉，便會觸發反應器跳機及四個 RIP 跳脫的訊號。在此失效事件中，雖然預設 BPV 開啟的速度比 TCV 關閉的速度還要快，但在此因為 BPV 已經完全失效而無法開啟，所以在理論及經驗上，應該會造成反應器跳機急停的動作。但由於本模擬程式在汽機棄載事件中所考慮的反應不完全，而且，尚未將高壓力跳機的設定點考慮進程式中，而使此模擬之結果與預測之結果相左，在之後的修正中，必會將這些重要的因素一併納入考量，以求模擬結果之準確性。

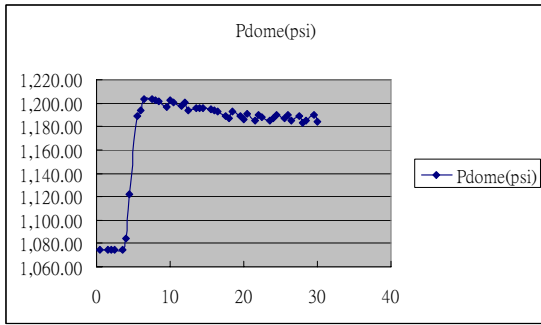


圖 5.9.3.1 爐頂壓力

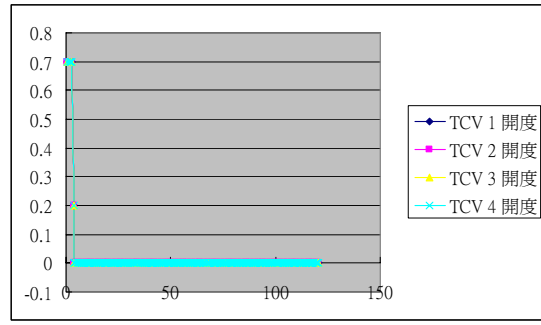


圖 5.9.3.2 4 個汽機控制閥開度

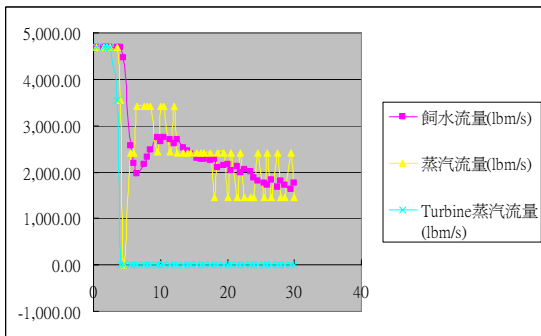


圖 5.9.3.3 飼水流量與蒸汽流量

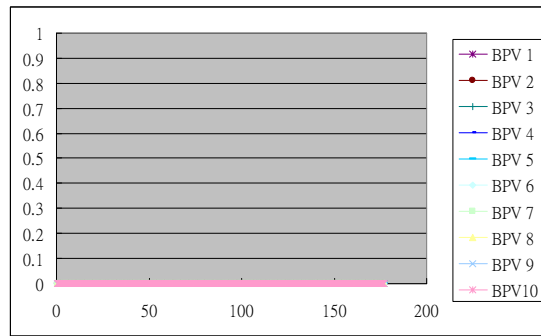


圖 5.9.3.4 10 個 BPV 開度

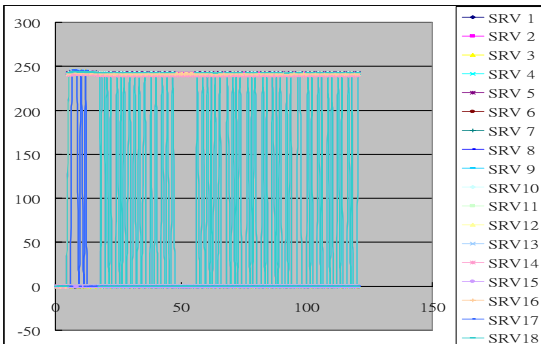


圖 5.9.3.5 SRV 流量

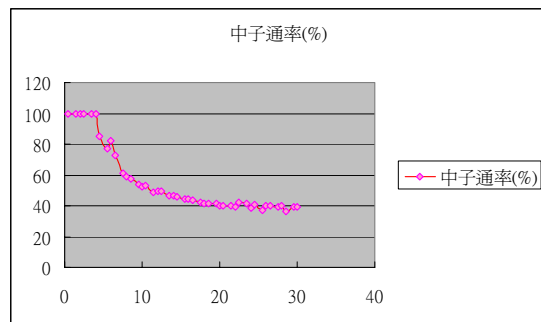


圖 5.9.3.6 中子通率

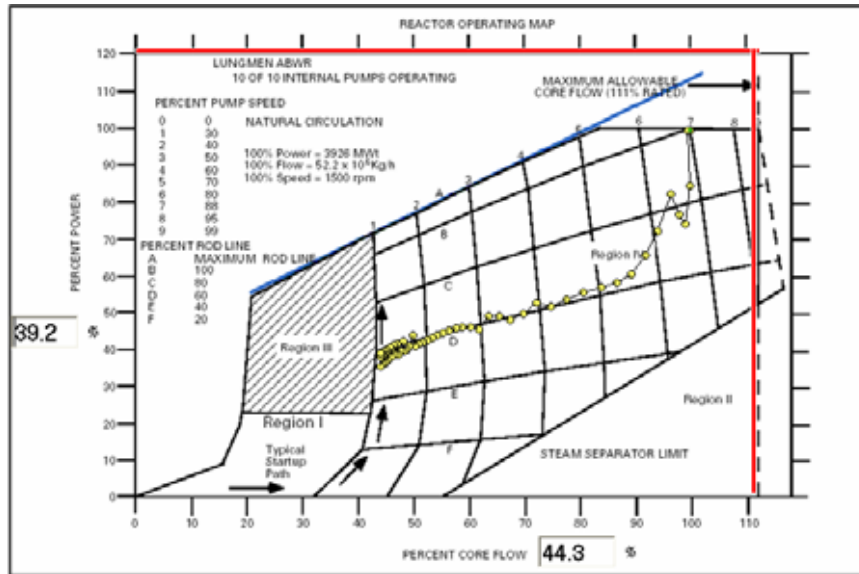


圖 5.9.3.7 功率-流量圖

5.10 案例十 誤關閉 MSIV (MSIV closure)

5.10.1 案例說明

此失效事件可能因不同的蒸汽管路、系統誤動作或運轉員操作不當而引發四個主蒸汽隔離閥 (MSIV) 誤關閉的失效事件。

5.10.2 PCTRAN_ABWR 中基本設定

由於本擴充程式已經將各個失效事件設計成單鍵啟動的模式，因此，我們只需在蒸汽管路的控制介面上點選我們想討論的案例即可完成失效事件的設定與啟動。在此，我們只需點選圖 5.10.2.1 紅圈處之按鍵便完成此失效事件之設定。

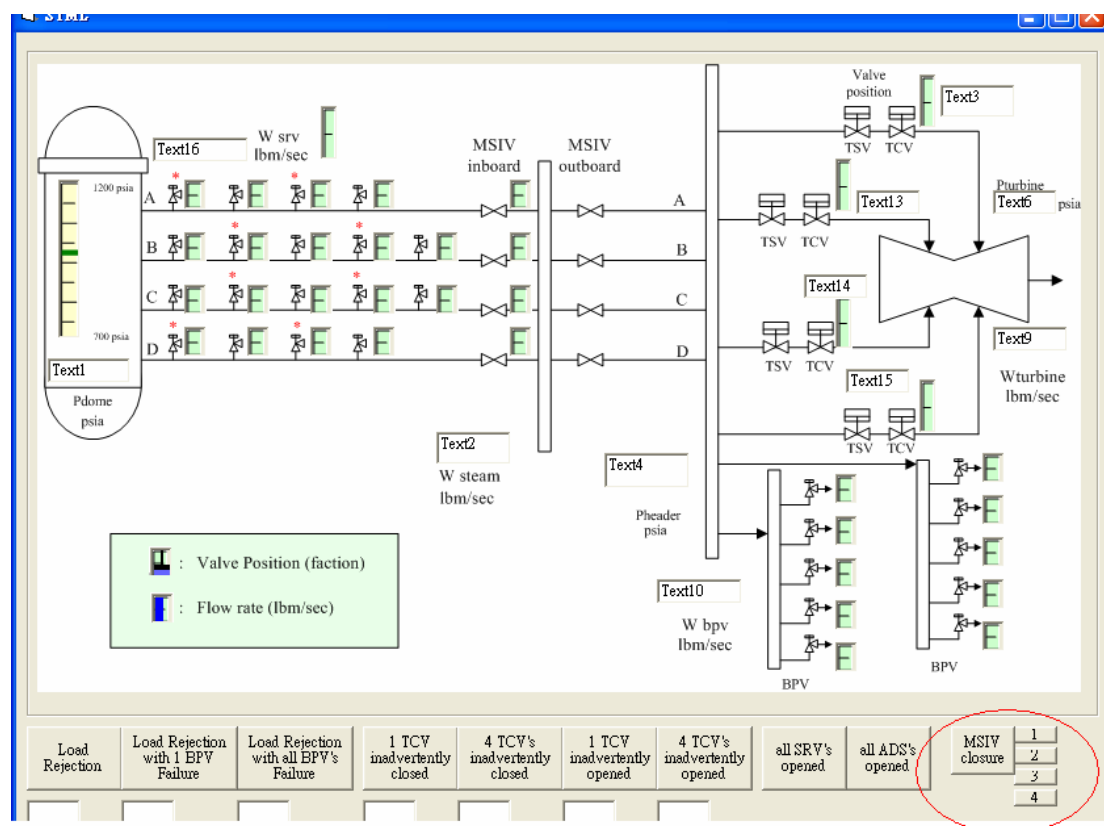


圖 5.10.2.1 失效啟動

5.10.3 結果分析

關閉 4 個主蒸汽隔離閥，會造成爐頂壓力過高，見圖 5.10.3.1，並引發中子通率上升，如圖 5.10.3.7，之後，反應器由於中子通率過高引發跳機訊號，如圖 5.10.3.8 所示。由圖 5.10.3.1 可以看出當事件發生時，爐頂壓力急速上昇，此時壓力已到達 SRV 開啟之設定點，因此 SRV 迅速開啟洩壓，如圖 5.10.3.6 所示，並且 BPV 同時開啟洩壓，如圖 5.10.3.4，但因為 MSIV 已關閉，已無蒸汽可經由 BPV 流出，因此 BPV 的開啟屬於安全考量，對於洩放系統壓力並無貢獻，由圖 5.10.3.5 可以看出 BPV 的釋壓只有非常短暫的時間。之後壓力漸漸趨緩，SRV 受壓力控制，當壓力達其設定點時便會開啟，若壓力低於設定點便關閉，因此可以看到如圖 5.10.3.6 SRV 開啟及關閉的情形。反應器最後維持於 6% 之功率。

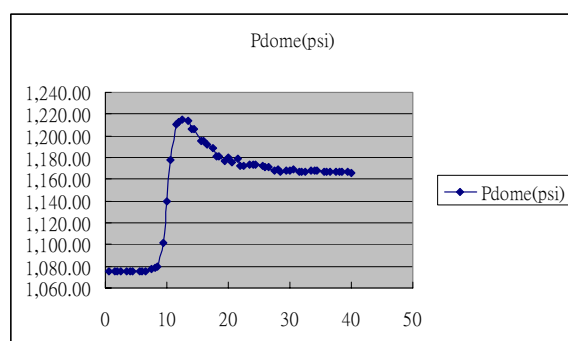


圖 5.10.3.1 爐頂壓力

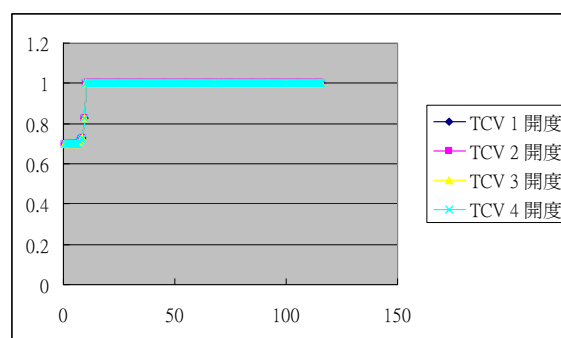


圖 5.10.3.2 4 個汽機控制閥開度

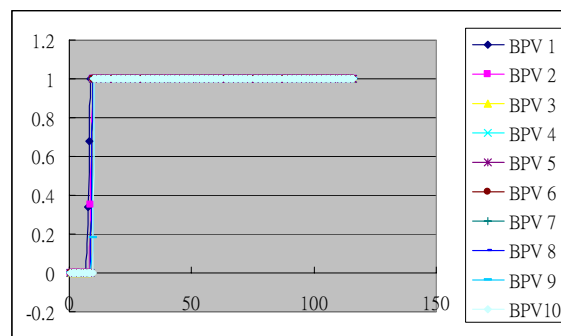
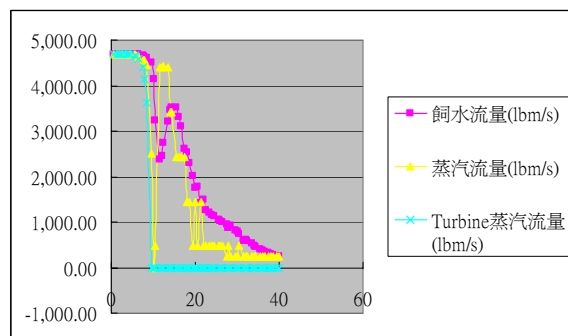


圖 5.10.3.3 飼水流量與蒸汽流量

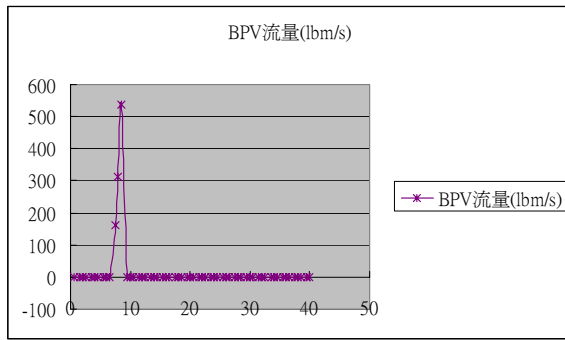


圖 5.10.3.5 BPV 流量

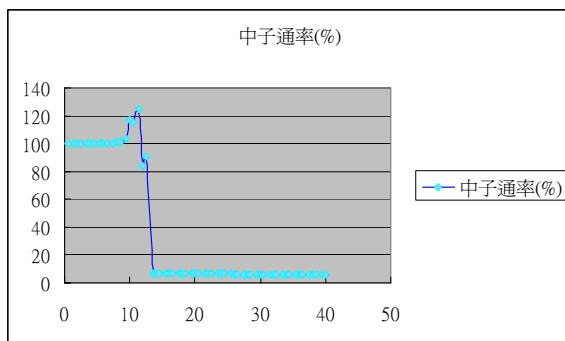


圖 5.10.3.7 中子通率

圖 5.10.3.4 10 個 BPV 開度

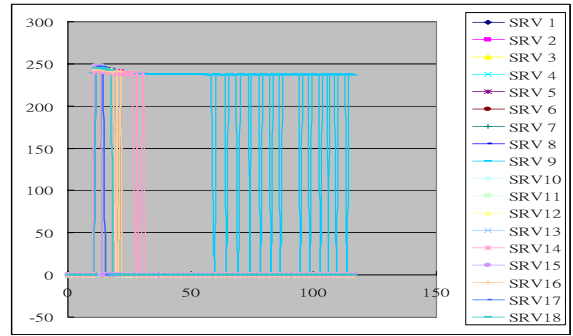


圖 5.10.3.6 SRV 流量

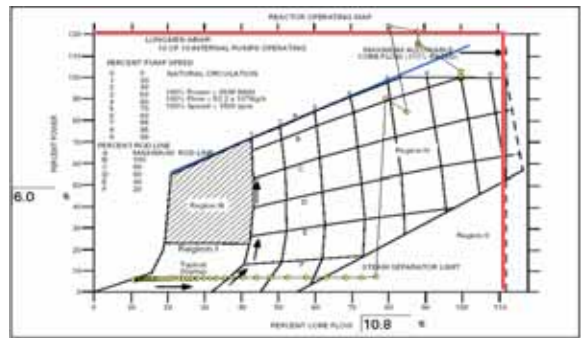


圖 5.10.3.8 功率-流量圖

6. 數位儀控系統人機界面互動失誤案例分析

本章進行「數位控制系統測試時輸入錯誤導致功率驟降」之人機界面互動失誤案例分析。

6.1 數位控制系統測試時輸入錯誤導致功率驟降

6.1.1 真實事件描述

本事件記載於美國 NRC INFORMATION NOTICE 96-56。1996 年 7 月 20 日 Washington Nuclear Project 電廠 2 號機 (WNP-2) 經歷一在 40 秒鐘功率快速改變 15% 事件，功率由 68% 掉至 53%，再回到 68%。電廠確認此事件為新近安裝的反應器再循環泵 (reactor recirculation pump) 數位可調轉速傳動裝置之測試，導致發生功率暫態。該項可調轉速傳動裝置可改變 RIP 的轉速，以減少對再循環流量控制閥的需求。

事件前，電廠原規劃將再循環流量由 51% 增加至 53%。準備階段，奇異 (General Electric, GE) 公司一位未具有執照的測試工程師鍵入電腦指令使再循環流量回到 51%。該項過程工程師僅需持續配合電力和諧 (electrical harmonics) 在適當的時機按下“ENTER”鍵即可執行指令。然而該工程師在過程中不慎錯誤地按下一個數字，隨即再錯誤地按下“ENTER”鍵。此舉造成反應器再循環流量與反應器功率下降。GE 工程師隨即發現此一失誤，並立即下指令修正錯誤，將反應器再循環流量與反應器功率上升至事件前之數值。

6.1.2 假想事件推演及分析

假想事件推演：

龍門電廠原規劃將爐心流量由 51% 增加至 53%，因操作失誤，導致再循環泵回退，工程師隨即發現此一失誤，並立即下指令修正錯誤，將反應器再循環流量與反應器功率上升至事件前之數值。

結果分析：

圖 6.1.1 為以龍門電廠推演 WNP-2 事件之功率-爐心流量圖，其軌跡沿著 100% 控制棒線先略為增加 62.8%，再降低爐心流量至 44%，穩定後再沿著 100% 控制棒線升高爐心流量至 61.6%。圖 6.1.2 以龍門電廠推演 WNP-2 事件反應器功率趨勢、圖 6.1.3 以龍門電廠推演 WNP-2 事件反應器壓力趨勢、圖 6.1.4 以龍門電廠推演 WNP-2 事件飼水流量、蒸汽流量、與爐心流量趨勢皆呈先降後升之趨勢。

6.1.3 危害鑑定與討論

本案例反應器功率短時間內由 80% 降至 69.5%，變化雖大，仍屬規劃中之暫態，並未對反應器有太大之衝擊。除了運轉員避免操作錯誤外，對於較大暫態之功能，應設置確認限制，讓運轉員思考後再執行。

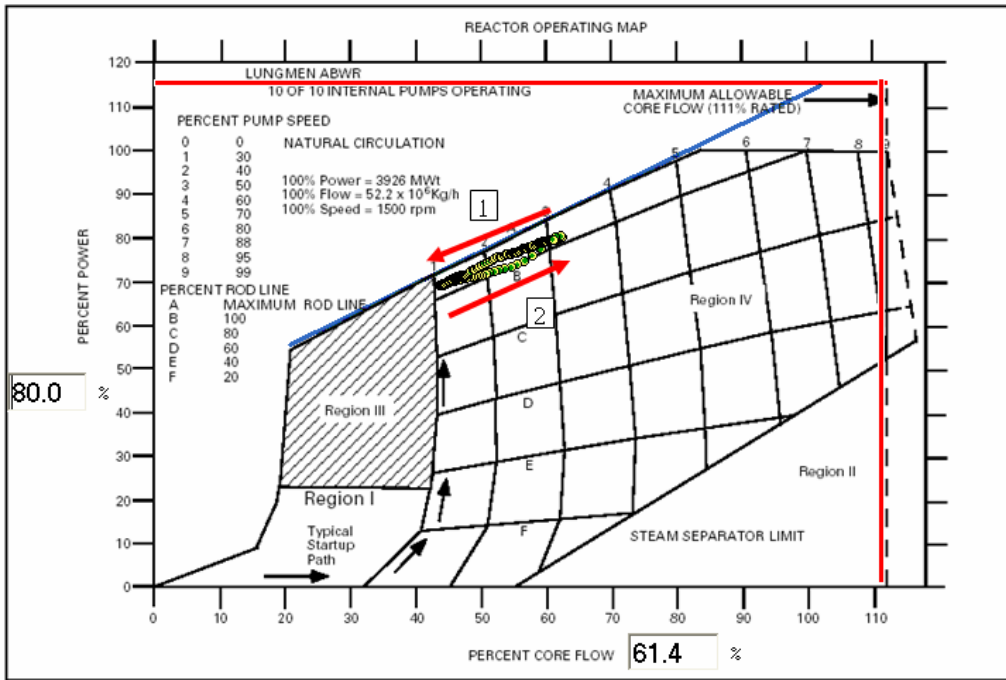


圖 6.1.1 功率-流量圖

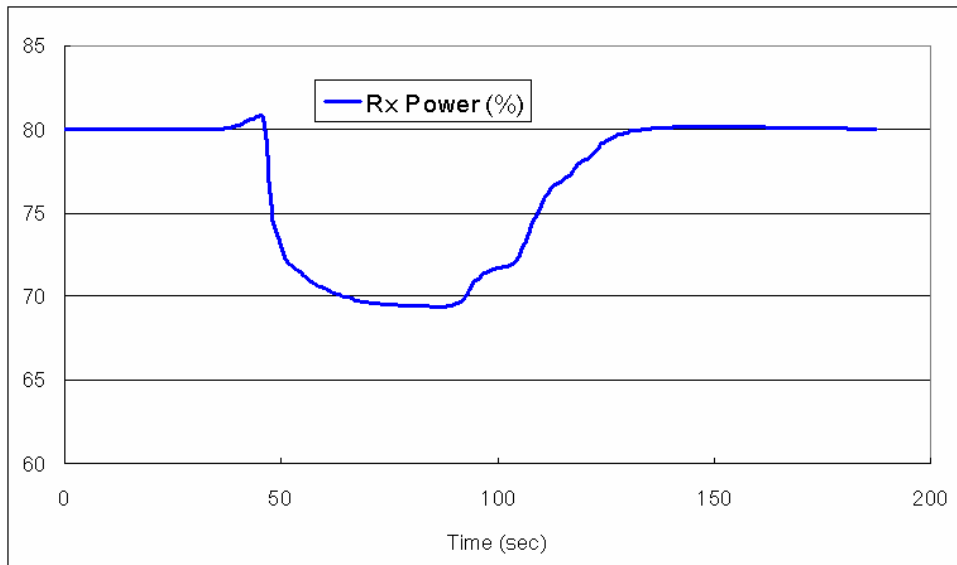


圖 6.1.2 反應器功率

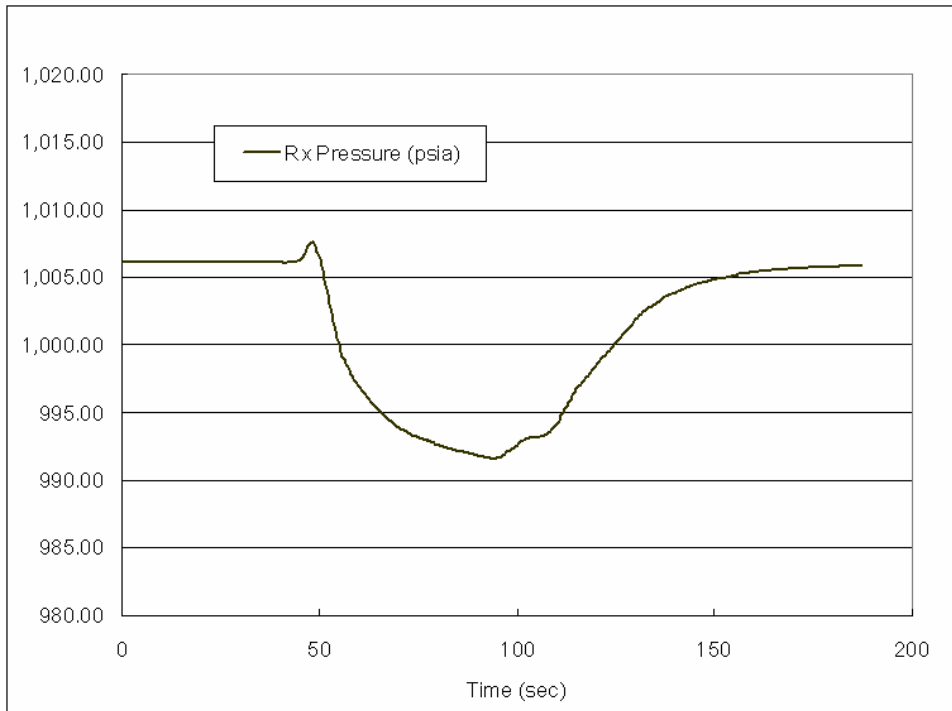


圖 6.1.3 反應器壓力

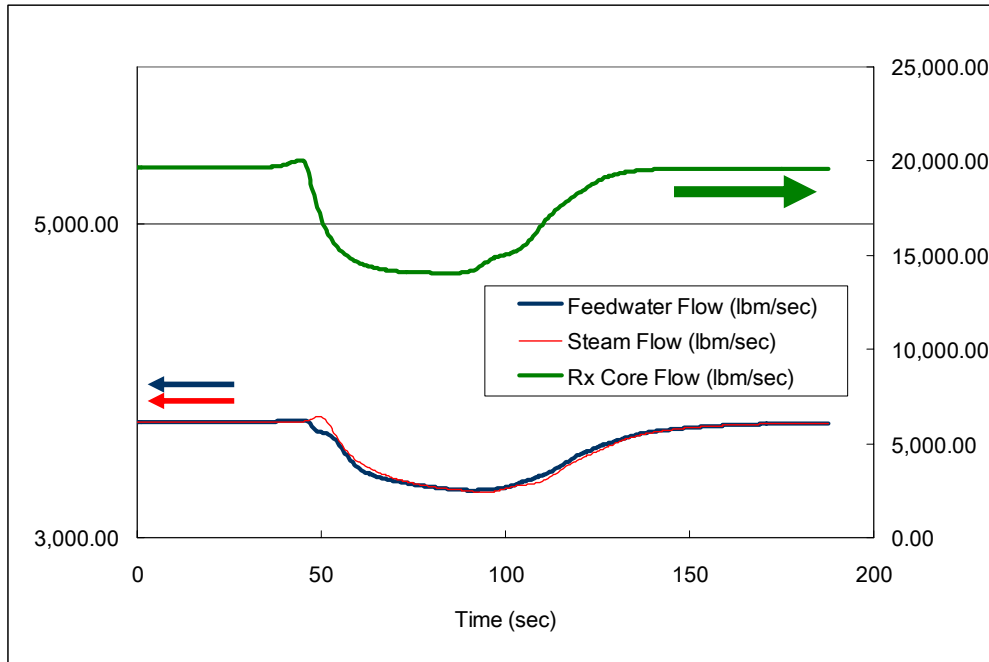


圖 6.1.4 飼水流量、蒸汽流量、與爐心流量

7. 結論與建議

本計劃是要進行核能四廠相關儀控軟體失誤之分析發展與應用。在建立完整的軟體失誤分析工具的過程中，我們需要有一套能提供核能電廠暫態事故過程中，重要系統參數的暫態數據與儀控軟體相結合。如此方能了解來自數位儀控上，多重性與多樣性失效時，核能電廠系統可能的複雜變化。我們可利用 PCTran-ABWR 來提供重要系統參數，在此計畫中，先對該程式的核心熱流理論進行全盤式的了解，並整理出程式裡各模組與表單之間的相互結合，作為程式模擬能力改進與模式擴充的基礎。其次，為了了解 PCTran-ABWR 的一般模擬特徵，本計劃自初期安全分析報告中，挑選若干典型暫態事故，並進行 PCTran-ABWR 的模擬分析，討論模擬結果並與初期安全分析報告做比較。在本期計畫中，PCTran-ABWR 已納入蒸汽系統部分之模擬程式，並且挑選數個初期安全分析報告中較典型的暫態事故，利用此擴充程式模擬之。需要注意的是，此擴充程式已自原 PCTran-ABWR 獨立出來，不需再從介面上設定誤動作，而是以單鍵來啟動誤動作，如圖 5.0.1 所示，並利用 Matlab 優異之計算能力，將三元控制系統加入到程式計算中，以增加程式模擬之準確性。當然，本擴充程式在邏輯方面上仍有缺漏之處，日後也會循最終安全分析報告之結果修改之，對於各暫態事故的模擬情形也將會更加準確。另外，由於本期計畫中程式之邏輯設計與初期安全分析報告中之預設狀況有些許出入，導致某些特殊案例與初期安全分析報告的預測結果相左，因此這方面也是本計畫日後修改的重點之一。未來，將逐漸擴充飼水系統及各項重要設備之模擬程式於 PCTran-ABWR 中，以期能早日完成程式的建構。而藉著這些程式的應用與整合，相信必能使電廠的安全向更高的層級邁進，亦不負所方之信賴與期望。

8. 參考文獻

- [1] 施純寬，“2004年核能研究所委託研究計畫儀控軟體風險分析發展與應用結案報告”，國立清華大學工程與系統科學系，民國93年。
- [2] 陳玉柱，“核電廠事故分析程式PCTTRAN之引進與應用”，碩士論文，國立清華大學工程與系統科學系，民國90年。
- [3] 李敏、洪國鈞，“PCTTRAN程式輻射源項說明報告”，國立清華大學工程與系統科學系，民國91年。
- [4] 林芳正，“核能電廠暫態事故分析程式PCTTRAN之控制系統模組與熱流理論模式探討”，碩士論文，國立清華大學工程與系統科學系，民國92年。
- [5] 邱茗秀，“核能電廠暫態模擬程式PCTTRAN之熱流模式探討及廠外輻射劑量計算能力之建立”，碩士論文，國立清華大學工程與系統科學系，民國92年。
- [6] 楊朝裕，“PCTTRAN國聖核能電廠暫態事故模擬分析與研究”，碩士論文，國立清華大學工程與系統科學系，民國94年。
- [7] 鄭源傑，“PCTTRAN龍門核能電廠暫態事故模擬分析與驗證”，碩士論文，國立清華大學工程與系統科學系，民國94年。
- [8] 黃揮文等，ABWR儀控系統之方塊概念法應用，核研季刊，第二十五期，面93-105，INER-1642，民國86年。

- [9] 黃揮文等，核電廠數位式儀控系統共因失效分析技術及應用現況，INER-T2351，民國86年。
- [10] 黃揮文等，ABWR 儀控系統深度防禦及多樣性評估技術研究，INER-T2438，民國86年。
- [11] 黃揮文等，核二廠MMS整廠模式之建立與校驗，核子科學，第34卷第6期，INER-1640，民國86年12月。
- [12] 黃揮文，核三廠模擬器熱交換器Handler程式FORTRAN語言改寫測試報告，INER-T2842，90年9月。
- [13] 黃揮文等，核三廠模擬器即時軟體作業平台測試報告，INER-T2836，90年6月。
- [14] Swu Yih, Huei-Wen Hwang, Yuan-Chang Yu, “Development and Application of Risk Analysis Techniques for Digital I&C Systems”, Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies NPIC & HMIT 2000, September 19-22, 2004, Columbus, Ohio. INER-2912.
- [15] Swu Yih, Lih-Yih Liao, Huei-Wen Hwang, Li-Hsing Wang, “Regulatory Bases and Acceptance Criteria for Software Safety Analysis of Digital I&C Systems” Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies NPIC & HMIT 2000, September 19-22, 2004, Columbus, Ohio. INER-2909.
- [16] 黃揮文、易俗、李朝河、游原昌，數位儀控系統軟體文件審查接受準則，INER-2807R，民國93年7月。

- [17] 黃揮文、游原昌、易俗、王立莘等，PCTAN ABWR版本再循環水系統模擬程式改進，INER-2870，民國93年9月。
- [18] 王立莘、游原昌、易俗、郭成聰、龍宜島、黃揮文，儀控軟體安全分析技術發展，INER-3014，民國93年9月。
- [19] 王立莘、游原昌、易俗、黃揮文，數位儀控系統安全分析之法規基準與接收準則，INER-3056，民國93年10月。
- [20] Hwei-Wen Hwang, Swu Yih, Yen-Chang Tzeng, Yuan-Chang Yu, Development and Application of a Simulation Framework for Investigating Human Computer Interaction Process, 台日核安學術研討會，INER-3114，民國93年11月。
- [20] 黃揮文、游原昌、王立莘、易俗、郭成聰，儀控軟體安全分析模擬個案設計，INER-3151，民國93年12月。
- [21] Hui-Wen Huang, Yen-Chang Tzeng, Yuan-Chang Yu, Li-Hsin Wang, Ming-Huei Chen, Swu Yih, Chunkuan Shih, Sheue-Ling Hwang, Development and Application of a Simulation Platform for Analyzing Nuclear I&C Software Safety, 2005台灣原子能論壇 (THE 2005 [22]TAIWAN ATOMIC ENERGY FORUM), INER-3234, 民國94年4月。
- [23] 黃揮文、陳明輝、王立莘、易俗、游原昌，數位儀控系統軟體失效資料蒐集分析，民國94年4月，INER-3255。
- [24] Yuan-Chang Yu, Yen-Chang Tzeng, Ming-Huei Chen, Hui-Wen

Huang, Li-Hsin Wang, Swu Yih, "Simulator Base Approach for Identifying Hazard Induced by Software Flaw", Symposium on Applications of Information Management and Communication Technology 2005(2005資通技術管理與應用會議), INER-3392, June 27, 2005.

- [25] 王立莘、黃揮文、游原昌、易俗，數位儀控系統危險因子分析技術，INER-3371，民國94年7月。
- [26] 游原昌、黃揮文、王立莘、陳明輝，儀控系統安全分析工作站建置，INER-3495，民國94年9月。

附錄

蒸汽管路模式程式碼

```
'=== CLV3 0.05 -> 0.002 ==HHW 940907
'module: systemcalculation
'LEV = ALEV + CLV1 * VX * 12 * (1 - STEP(WBK - 5)) + CLV2 * VY * 12 + CLV3 * (WSTM - WFW0) *
STEP(WSTM - WFW0)

'----HHW 940801---Steam line model--Common module-----
'Public Phead0, Phead As Double
'Public Pturb0, Pturb As Double
'Public Wtcv0hhw(1 To 4), Wtcvhhw(1 To 4) As Double
'Public Wturb0hhw, Wturbhhw As Double
'Public Pturb0hhw, Pturbhhw As Double
'Public Wbpv0hhw(1 To 10), Wbpvhhw(1 To 10), Wbpvtot As Double
'Public pdom0hhw, pdomhhw, pdomzp As Double
'Public Wstmhhw, Wstm0 As Double
'Public k10, k20, ktcv0, k30, kbpv0, ktot0 As Double
'Public Ctcv0, Ctcv(4), Cbpv(10)
'Public k1, ktcv(4), k3, kbpv(10), k5, ktot As Double
'Public ktcvall0, ktcvall As Double
'Public WstmDM, WbpvDM, YGV(1 To 4), YBPV(1 To 10), YMSIV(1 To 10) As Double
'Public GVDM, ErrGVDM As Double
'Public Lpcontrol, LLoadRej As Integer '0: manual 1:auto
'Public TLoadRej, TTbTrip, FDEM, REFDEM, GVDEM As Double ' Load rejection trigger time
'Public PRSRV(1 To 18), PSSRV(1 To 18), WSRV0(1 To 18), WSRV(1 To 18), KSRV(1 To 18), WSRVtot As
Double
'Public L1TCVcls, L4TCVcls, L1TCVopen, L4TCVopen, LADS, LMSIV(1 To 4) As Integer

Private Sub Form_Load()

LLoadRej = 0 '-- 1, 21, 24: Load Rejection
L1TCVcls = 0 '-- 1: 1 TCV inadvertently closed
L4TCVcls = 0 '-- 1: 4 TCV's inadvertently closed
L1TCVopen = 0 '-- 1: 1 TCV inadvertently opened
L4TCVopen = 0 '-- 1: 4 TCV's inadvertently opened
LADS = 0 '-- 1: ADS open
'-----

REFDEM = 1# 'Power demand for pressure control
FDEM = REFDEM + 0.1
pdom0hhw = 1074.746
pdom0hhw = P
pdomzp = pdom0hhw - 80# '994.746
pdomhhw = pdom0hhw
Phead0 = 1028.334 '1010#
Pturb0 = 960#
Pturbhhw = 960#
Wstm0 = WFW0
Wstmhhw = WFW0
Wturbhhw = WFW0
TLoadRej = 1000000000#
For i = 1 To 4
Wtcvhhw(i) = WFW0 / 4
Wtcv0hhw(i) = WFW0 / 4
Next i
```

```

For i = 1 To 10
Wbpvhhw(i) = 0
Next i
Lpcontrol = 1

```

```

k10 = (pdom0hhw - Phead0) / Wstm0 ^ 2
k10 = (Phead0 - Pturb0) / (0.25 * Wstm0) ^ 2 'GV
k10 = (0.25 * Wstm0) / Sqr(Phead0 - Pturb0) 'GV
k10 = k10
k20 = k10
k30 = (Pturb0 - 1#) / Wstm0 ^ 2
kbpv0 = (Phead0 - 1#) / (0.11 * Wstm0) ^ 2 'BPV
ktot0 = (pdom0hhw - 1#) / (Wstm0) ^ 2
ktot = ktot0
'-----k40 = (Phead0 - 1#) / (0.1 * Wstm0) ^ 2 'BPV

```

```

k1 = k10
k2 = k20
k3 = k30
For i = 1 To 4
YGV(i) = 0.7
k10 = k10
Next i

```

```

For i = 1 To 10
YBPV(i) = 0#
kbpv(i) = kbpv0
Next i
WstmDM = 1#
WbpvDM = 0#

```

```

For i = 1 To 4
LMSIV(i) = 1
YMSIV(i) = 1#
Next i

```

'===== SRV =====

'SRVs	Relief	Safety	
'7B	7.89 MPaG (1144.00 Psig)	8.12 MPaG (1178.00 Psig)	395.000.00 Kg/hr (870.880.00 lb/hr)
'7C	7.96 MPaG (1154.00 Psig)	8.12 MPaG (1178.00 Psig)	395.000.00 Kg/hr (870.880.00 lb/hr)
'4A,4D	8.03 MPaG (1164.00 Psig)	8.19 MPaG (1188.00 Psig)	399.000.00 Kg/hr (879.600.00 lb/hr)
'5B,5C	8.10 MPaG (1174.00 Psig)	8.26 MPaG (1198.00 Psig)	402.000.00 Kg/hr (886.300.00 lb/hr)
'3B,3C	8.17 MPaG (1184.00 Psig)	8.33 MPaG (1208.00 Psig)	406.000.00 Kg/hr (895.100.00 lb/hr)
'6A,6D	8.24 MPaG (1194.00 Psig)	8.40 MPaG (1218.00 Psig)	409.000.00 Kg/hr (901.710.00 lb/hr)
'4B,4C			

WSRVtot = 0#

```

For i = 1 To 18
WSRV(i) = 0#
Next i

```

PRSRV(1) = 1194# + 14.7 '3A*
 PRSRV(2) = 1164# + 14.7 '4A
 PRSRV(3) = 1184# + 14.7 '5A*
 PRSRV(4) = 1174# + 14.7 '6A
 PRSRV(5) = 1174# + 14.7 '3B
 PRSRV(6) = 1194# + 14.7 '4B*
 PRSRV(7) = 1164# + 14.7 '5B
 PRSRV(8) = 1184# + 14.7 '6B*
 PRSRV(9) = 1144# + 14.7 '7B
 PRSRV(10) = 1174# + 14.7 '3C
 PRSRV(11) = 1194# + 14.7 '4C*
 PRSRV(12) = 1164# + 14.7 '5C
 PRSRV(13) = 1184# + 14.7 '6C*
 PRSRV(14) = 1154# + 14.7 '7C
 PRSRV(15) = 1194# + 14.7 '3D*
 PRSRV(16) = 1164# + 14.7 '4D
 PRSRV(17) = 1184# + 14.7 '5D*
 PRSRV(18) = 1174# + 14.7 '6D

PSSRV(1) = 1218# + 14.7 '3A*
 PSSRV(2) = 1188# + 14.7 '4A
 PSSRV(3) = 1208# + 14.7 '5A*
 PSSRV(4) = 1198# + 14.7 '6A
 PSSRV(5) = 1198# + 14.7 '3B
 PSSRV(6) = 1218# + 14.7 '4B*
 PSSRV(7) = 1188# + 14.7 '5B
 PSSRV(8) = 1208# + 14.7 '6B*
 PSSRV(9) = 1178# + 14.7 '7B
 PSSRV(10) = 1198# + 14.7 '3C
 PSSRV(11) = 1218# + 14.7 '4C*
 PSSRV(12) = 1188# + 14.7 '5C
 PSSRV(13) = 1208# + 14.7 '6C*
 PSSRV(14) = 1178# + 14.7 '7C
 PSSRV(15) = 1218# + 14.7 '3D*
 PSSRV(16) = 1188# + 14.7 '4D
 PSSRV(17) = 1208# + 14.7 '5D*
 PSSRV(18) = 1198# + 14.7 '6D

WSRV0(1) = 901710# / 3600# '3A*
 WSRV0(2) = 879600# / 3600# '4A
 WSRV0(3) = 895100# / 3600# '5A*
 WSRV0(4) = 886300# / 3600# '6A
 WSRV0(5) = 886300# / 3600# '3B
 WSRV0(6) = 901710# / 3600# '4B*
 WSRV0(7) = 879600# / 3600# '5B
 WSRV0(8) = 895100# / 3600# '6B*
 WSRV0(9) = 870880# / 3600# '7B
 WSRV0(10) = 886300# / 3600# '3C
 WSRV0(11) = 901710# / 3600# '4C*
 WSRV0(12) = 879600# / 3600# '5C
 WSRV0(13) = 895100# / 3600# '6C*
 WSRV0(14) = 870880# / 3600# '7C
 WSRV0(15) = 901710# / 3600# '3D*
 WSRV0(16) = 879600# / 3600# '4D
 WSRV0(17) = 895100# / 3600# '5D*
 WSRV0(18) = 886300# / 3600# '6D

For i = 1 To 18
 KSRV(i) = (PSSRV(i) - 1#) / WSRV0(i) ^ 2

```

Next i

End Sub

Public Sub UpdateOSTML()

Dim i As Integer
Dim CMSIV As Double

FDEM = REFDEM + 0.1
pdomhhw = P '-----
WstmDM = (pdomhhw - 994.75) / 80#

For i = 1 To 4
fDPdome = Wstmhhw / WFW0 - (pdomhhw - 994.75) / 80#
MReal(7) = Val(fDPdome)
Call Matlab.PutFullMatrix("u", "base", MReal, MImag)
Matlab.Execute ("sim('pi_rfc',[0,0]);")
Matlab.Execute ("u(8) = simout2;")
Call Matlab.GetFullMatrix("u", "base", MReal, MImag)

GVDM = 1# - Val(MReal(8))
Next i

'If FDEM > GVDM Then
GVDEM = GVDM
'Else
'GVDEM = FDEM
'End If
If GVDM < 0 Then GVDM = 0#

Me.Text1.Text = FormatNumber(pdomhhw, 2)
Me.Text2.Text = FormatNumber(WSTM, 2)
Me.Text4.Text = FormatNumber(Phead, 2)

Me.Text6.Text = FormatNumber(Pturbhhw, 2)
Me.Text7.Text = FormatNumber(WstmDM, 3)
Me.Text8.Text = FormatNumber(WbpvDM, 3)
Me.Text9.Text = FormatNumber(Wturbhhw, 2)
Me.Text10.Text = FormatNumber(Wbpytot, 2)
If Lpcontrol = 1 Then Me.Text11.Text = "Auto"
If Lpcontrol = 0 Then Me.Text11.Text = "Manual"

Me.Text3.Text = FormatNumber(YGV(1), 2)
Me.Text13.Text = FormatNumber(YGV(2), 2)
Me.Text14.Text = FormatNumber(YGV(3), 2)
Me.Text15.Text = FormatNumber(YGV(4), 2)

Me.Text16.Text = FormatNumber(WSRVtot, 2)

Me.Text5.Text = FormatNumber(ktot0, 2)
Me.Text12.Text = FormatNumber(ktot, 2)

If LLoadRej = 1 Then
Me.TextLR1.Text = "on"
Else
Me.TextLR1.Text = ""
End If
If LLoadRej = 21 Then

```

```
Me.TextLR2.Text = "on"
Else
Me.TextLR2.Text = ""
End If
If LLoadRej = 24 Then
Me.TextLR3.Text = "on"
Else
Me.TextLR3.Text = ""
End If
If L1TCVcls = 1 Then
Me.TextTCVcls1.Text = "on"
Else
Me.TextTCVcls1.Text = ""
End If
If L4TCVcls = 1 Then
Me.TextTCVcls4.Text = "on"
Else
Me.TextTCVcls4.Text = ""
End If
If L1TCVopen = 1 Then
Me.TextTCVop1.Text = "on"
Else
Me.TextTCVop1.Text = ""
End If
If L4TCVopen = 1 Then
Me.TextTCVop4.Text = "on"
Else
Me.TextTCVop4.Text = ""
End If
```

YTMP = YMSIV(1)

```
PicLA.Cls
PicLB.Cls
PicLC.Cls
PicLD.Cls
PicBP01.Cls
PicBP02.Cls
PicBP03.Cls
PicBP04.Cls
PicBP05.Cls
PicBP06.Cls
PicBP07.Cls
PicBP08.Cls
PicBP09.Cls
PicBP10.Cls
```

```
PicSRV01.Cls
PicSRV02.Cls
PicSRV03.Cls
PicSRV04.Cls
PicSRV05.Cls
PicSRV06.Cls
PicSRV07.Cls
PicSRV08.Cls
PicSRV09.Cls
PicSRV10.Cls
PicSRV11.Cls
PicSRV12.Cls
PicSRV13.Cls
```


PicSRV14.Cls
PicSRV15.Cls
PicSRV16.Cls
PicSRV17.Cls
PicSRV18.Cls

PicMSIV1.Cls
PicMSIV2.Cls
PicMSIV3.Cls
PicMSIV4.Cls
picWSRVtot.Cls
picPdome.Cls

PicLA.Line (50, 0)-(60, 590 - YGV(1) * 590), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLB.Line (50, 0)-(60, 590 - YGV(2) * 590), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLC.Line (50, 0)-(60, 590 - YGV(3) * 590), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLD.Line (50, 0)-(60, 590 - YGV(4) * 590), RGB(0, 0, 0), BF '==block

PicLA.Line (20, 590 - YGV(1) * 590)-(90, 590), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicLB.Line (20, 590 - YGV(2) * 590)-(90, 590), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicLC.Line (20, 590 - YGV(3) * 590)-(90, 590), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicLD.Line (20, 590 - YGV(4) * 590)-(90, 590), RGB(100, 100, 255), BF '==block

PicBP01.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(1) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP02.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(2) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP03.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(3) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP04.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(4) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP05.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(5) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP06.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(6) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP07.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(7) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP08.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(8) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP09.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(9) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP10.Line (90, 0)-(100, 300 - YBPV(10) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block

PicBP01.Line (20, 300 - YBPV(1) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP02.Line (20, 300 - YBPV(2) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP03.Line (20, 300 - YBPV(3) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP04.Line (20, 300 - YBPV(4) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP05.Line (20, 300 - YBPV(5) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP06.Line (20, 300 - YBPV(6) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP07.Line (20, 300 - YBPV(7) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP08.Line (20, 300 - YBPV(8) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP09.Line (20, 300 - YBPV(9) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicBP10.Line (20, 300 - YBPV(10) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block

PicMSIV1.Line (90, 0)-(100, 300 - YMSIV(1) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV2.Line (90, 0)-(100, 300 - YMSIV(2) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV3.Line (90, 0)-(100, 300 - YMSIV(3) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV4.Line (90, 0)-(100, 300 - YMSIV(4) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block

PicMSIV1.Line (20, 300 - YMSIV(1) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicMSIV2.Line (20, 300 - YMSIV(2) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicMSIV3.Line (20, 300 - YMSIV(3) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block
PicMSIV4.Line (20, 300 - YMSIV(4) * 300)-(200, 300), RGB(100, 100, 255), BF '==block

PicLA.Line (20, 590 - YGV(1) * 590)-(90, 590 - YGV(1) * 590 + 35), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLB.Line (20, 590 - YGV(2) * 590)-(90, 590 - YGV(2) * 590 + 35), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLC.Line (20, 590 - YGV(3) * 590)-(90, 590 - YGV(3) * 590 + 35), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicLD.Line (20, 590 - YGV(4) * 590)-(90, 590 - YGV(4) * 590 + 35), RGB(0, 0, 0), BF '==block

```

PicBP01.Line (20, 300 - YBPV(1) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(1) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP02.Line (20, 300 - YBPV(2) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(2) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP03.Line (20, 300 - YBPV(3) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(3) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP04.Line (20, 300 - YBPV(4) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(4) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP05.Line (20, 300 - YBPV(5) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(5) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP06.Line (20, 300 - YBPV(6) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(6) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP07.Line (20, 300 - YBPV(7) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(7) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP08.Line (20, 300 - YBPV(8) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(8) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP09.Line (20, 300 - YBPV(9) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(9) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicBP10.Line (20, 300 - YBPV(10) * 300 - 50)-(200, 300 - YBPV(10) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block

PicMSIV1.Line (20, 300 - YMSIV(1) * 300 - 50)-(200, 300 - YMSIV(1) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV2.Line (20, 300 - YMSIV(2) * 300 - 50)-(200, 300 - YMSIV(2) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV3.Line (20, 300 - YMSIV(3) * 300 - 50)-(200, 300 - YMSIV(3) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block
PicMSIV4.Line (20, 300 - YMSIV(4) * 300 - 50)-(200, 300 - YMSIV(4) * 300), RGB(0, 0, 0), BF '==block

PicSRV01.Line (20, 300 - (20 * WSRV(1) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV02.Line (20, 300 - (20 * WSRV(2) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV03.Line (20, 300 - (20 * WSRV(3) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV04.Line (20, 300 - (20 * WSRV(4) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV05.Line (20, 300 - (20 * WSRV(5) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV06.Line (20, 300 - (20 * WSRV(6) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV07.Line (20, 300 - (20 * WSRV(7) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV08.Line (20, 300 - (20 * WSRV(8) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV09.Line (20, 300 - (20 * WSRV(9) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV10.Line (20, 300 - (20 * WSRV(10) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV11.Line (20, 300 - (20 * WSRV(11) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV12.Line (20, 300 - (20 * WSRV(12) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV13.Line (20, 300 - (20 * WSRV(13) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV14.Line (20, 300 - (20 * WSRV(14) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV15.Line (20, 300 - (20 * WSRV(15) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV16.Line (20, 300 - (20 * WSRV(16) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV17.Line (20, 300 - (20 * WSRV(17) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block
PicSRV18.Line (20, 300 - (20 * WSRV(18) / WFW0) * 300)-(90, 300), RGB(0, 0, 255), BF '==block

picWSRVtot.Line (20, 590 - (WSRVtot / WFW0) * 590)-(90, 590), RGB(0, 0, 255), BF '==block
picPdome.Line (20, 2100 - (0.75 * (P - 700) / (500)) * 2100)-(90, 2100), RGB(250, 100, 100), BF '==block
kmax = 10000000#

If LLoadRej = 0 Then '-----
'If Lpcontrol = 1 Then
'ErrGVDEM = (YGV(1) - GVDEM)
'YGV(1) = GVDEM + ErrGVDM * 0.7 ^ DT 'lag
'End If

For i = 1 To 4
If Lpcontrol = 1 Then
ErrGVDM = (YGV(i) - 0.7 * GVDEM)
YGV(i) = 0.7 * GVDEM + ErrGVDM * 0.7 ^ DT 'lag
'YGV(i) = 0.7 * WstmDM
End If
Next i
End If

'-----LLoadRej = 1 Load Rejection with Bypass-----
'-----LLoadRej = 21 Load Rejection with 1 BPV failure ----
'-----LLoadRej = 24 Load Rejection with 4 BPV's failure ----
If LLoadRej <> 0 Then '-----
For i = 1 To 4
YGV(i) = YGV(i) - 1# * DT

```

```

Next i
CRDpowerDM = 40#
Call FMCRD_speed(2#)
End If
'===== 1 TCV inadvertently closed =====
If L1TCVcls = 1 Then
For i = 1 To 1
  YGV(i) = YGV(i) - 1# * DT
Next i
End If
'===== 4 TCV's inadvertently closed =====
If L4TCVcls = 1 Then
For i = 1 To 4
  YGV(i) = YGV(i) - 1# * DT
Next i
End If
'===== 1 TCV inadvertently opened =====
If L1TCVopen = 1 Then
For i = 1 To 1
  YGV(i) = YGV(i) + 1# * DT
Next i
End If
'===== 4 TCV's inadvertently opened =====
If L4TCVopen = 1 Then
For i = 1 To 4
  YGV(i) = YGV(i) + 1# * DT
Next i
End If
'===== Turbine Trip, 4 TSV's closed =====

If fMainForm.TripTurbine.State Then
For i = 1 To 4
  YGV(i) = YGV(i) - 0.5 * DT
Next i

If TTbTrip > 1000000# Then
  TTbTrip = TIME
End If

If LRbScrrI = 1 Then
  IRIPcase = 1030 '=====RIP runback
  ICRDpowercontrol = 1 '== CRD power control mode
  CRDpowerDM = 40# '==== SCRRI 60% rod line
  Call FMCRD_speed(1#)
End If
End If

'--- SRV -----
For i = 1 To 18
If pdomhhw > PRSRV(i) Then
WSRV(i) = Sqr((pdomhhw - 14.7) / KSRV(i))
Else
WSRV(i) = 0#
End If
Next i
'===== ADS open =====

If LADS = 1 Then
  WSRV(1) = Sqr((pdomhhw - 14.7) / KSRV(1))
  WSRV(3) = Sqr((pdomhhw - 14.7) / KSRV(3))

```

```

WSRV(6) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(4))
WSRV(8) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(8))
WSRV(11) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(11))
WSRV(13) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(13))
WSRV(15) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(15))
WSRV(17) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(17))
End If
'===== SRV open =====
If LADS = 2 Then
  For i = 1 To 18
    WSRV(i) = Sqr((pdomhww - 14.7) / KSRV(i))
  Next i
End If
'-----
WSRVtot = 0#
For i = 1 To 18
  WSRVtot = WSRVtot + WSRV(i)
Next i

'===== MSIV =====
For i = 1 To 4
  If LMSIV(i) = 0 Then
    YMSIV(i) = YMSIV(i) - 0.2 * DT
  Else
    YMSIV(i) = YMSIV(i) + 0.2 * DT
  End If
  If YMSIV(i) > 1# Then YMSIV(i) = 1#
  If YMSIV(i) < 0# Then YMSIV(i) = 0#
Next i
'-----
CMSIV = 1# / Sqr(k10)      ""=====   ??? 注意負號
YTMP = 0
For i = 1 To 4
  YTMP = YTMP + YMSIV(i)
Next i
CMSIV = CMSIV * YTMP / 4

If CMSIV > 10000000 Then CMSIV = 10000000
If CMSIV < 0.000000001 Then CMSIV = 0.000000001
k1 = 1 / CMSIV ^ 2
'-----

For i = 1 To 4
  If YGV(i) > 1 Then YGV(i) = 1
  If YGV(i) < 0# Then YGV(i) = 0#

  If YGV(i) > 0.0001 Then
    ktcv(i) = ktcv0 / (YGV(i) / 0.7) ^ 2
    Ctcv(i) = Ctcv0 * YGV(i) / 0.7
  Else
    ktcv(i) = kmax
    Ctcv(i) = 1# / Sqr(kmax)
  End If
End If
Next i

' If LLoadRej = 1 Then
  WbpvDM = WstmDM - Wturbhww / WFW0 - 0.03
' Else
' WbpvDM = WstmDM - 1.03
' End If

```

```

'WbpvDM = WstmDM - GVDEM - 0.03

If WbpvDM < 0 Then WbpvDM = 0
For i = 1 To 10
YBPV(i) = (WbpvDM - 0.11 * (i - 1)) / 0.11
If YBPV(i) > 1 Then YBPV(i) = 1
If YBPV(i) < 0 Then YBPV(i) = 0
Next i

If TIME > TLoadRej And TIME <= TLoadRej + 1# Then
For i = 1 To 10
YBPV(i) = 1#
Next i
End If

If TIME > TLoadRej And TIME <= TLoadRej + 1# Then
For i = 1 To 10
YBPV(i) = 1#
Next i
End If

'-----LLoadRej = 21 Load Rejection without Bypass ----
If LLoadRej = 21 Then
For i = 10 To 10
YBPV(i) = 0#
Next i
End If

'-----LLoadRej = 24 Load Rejection without Bypass ----
If LLoadRej = 24 Then
For i = 1 To 10
YBPV(i) = 0#
Next i
End If

'----- Turbine Trip, Recir. runback and SCRRI fail +> Fast BPV open
If fMainForm.TripTurbine.State And LRbScrr = 0 And TIME > TTbTrip And TIME <= TTbTrip + 50# Then
For i = 1 To 10
YBPV(i) = 1#
Next i
End If

For i = 1 To 10
If YBPV(i) > 0.0001 Then
kbpv(i) = kbpv0 / (YBPV(i) / 1#) ^ 2
Else
kbpv(i) = kmax
End If
Next i

kctvall = 1# / (Ctcv(1) + Ctcv(2) + Ctcv(3) + Ctcv(4)) ^ 2
'kctvall = 1# / (1# / kctv(1) + 1# / kctv(2) + 1# / kctv(3) + 1# / kctv(4))
kbpvall = 1# / (1# / kbpv(1) + 1# / kbpv(2) + 1# / kbpv(3) + 1# / kbpv(4) + 1# / kbpv(5) + 1# / kbpv(6) + 1# /
kbpv(7) + 1# / kbpv(8) + 1# / kbpv(9) + 1# / kbpv(10))
k5 = 1# / (1# / kbpvall + 1# / (kctvall + k3))
ktot = k1 + k5

''' If ktot < kmax Then
''' Wstmhhw = Sqr((pdomhhw - 1#) / ktot) '---注意 Wstmhhw 次序
''' Else

```

```

''' Wstmhhw = 0
''' End If

If k1 < 100000000# Then
Phead = pdomhhw - k1 * Wstmhhw ^ 2 '---注意 Wstmhhw 次序
Else
Phead = 1#
End If

'--- SRV -----
'== SystemCalculation
'WRV = WSRVtot
'WVP = WSRVtot
"-----

If Phead < 1# Then Phead = 1#
Wturbhhw = Sqr((Phead - 1#) / (kcvall + k3))

Pturbhhw1 = Phead - kcvall * Wturbhhw ^ 2

If Wturbhhw <= 0# Then
Wturbhhw = 0#
Pturbhhw1 = 1#
End If

For i = 1 To 4
If kcv(i) < kmax And (Phead - Pturbhhw1) > 0 Then
Wtcvhhw(i) = Sqr((Phead - Pturbhhw1) / kcv(i))
Else
Wtcvhhw(i) = 0
End If
'Wturbhhw = Wturbhhw + Wtcvhhw(i)
Next i
Pturbhhw = 1# + k3 * Wturbhhw ^ 2

Wbpvtot = 0
For i = 1 To 10
If (YBPV(i) > 0.0001) And ((Phead - 1#) > 0) Then
Wbpvhhw(i) = Sqr((Phead - 1#) / kbpv(i))
Else
Wbpvhhw(i) = 0
End If
Wbpvtot = Wbpvtot + Wbpvhhw(i)
Next i

Wstmhhw = Wbpvtot + Wturbhhw
'Phead = pdomhhw - k1 * Wstmhhw ^ 2

'If LLoadRej = 1 Then
'YBPV(1) = YBPV(1)
'i = 1
'End If
' Pdome ---k1----Phead---k2---Pturb---k3--!
'
'!----k4-----Pcondeser

End Sub

Private Sub Command3_Click()
If Lpcontrol = 1 Then
Lpcontrol = 0

```

```

Else
Lpcontrol = 1
End If

End Sub
Private Sub Command1_Click()
    For i = 1 To 1
    YGV(i) = YGV(i) + 0.1
    Next i
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    For i = 1 To 1
    YGV(i) = YGV(i) - 0.1
    Next i
End Sub
Private Sub Command4_Click()
    For i = 1 To 1
    YGV(i) = YGV(i) + 0.01
    Next i
End Sub

Private Sub Command5_Click()
    For i = 1 To 1
    YGV(i) = YGV(i) - 0.01
    Next i
End Sub

Private Sub Command6_Click()
'==== Load Rejection =====
'====--Load Rejection with Bypass ====
If LLoadRej = 0 Then
LLoadRej = 1
For i = 1 To 10
    YBPV(i) = 1
Next i
TLoadRej = TIME '--Load Rejection trigger time
IRIPcase = 1030 '=====RIP runback
ICRDpowercontrol = 1 '== CRD power control mode
CRDpowerDM = APRM
Else
LLoadRej = 0
End If

End Sub
Private Sub Command14_Click()
'====--Load Rejection with 1 BPV failure ====

If LLoadRej = 0 Then
LLoadRej = 21
TLoadRej = TIME '--Load Rejection trigger time
IRIPcase = 1030 '=====RIP runback
ICRDpowercontrol = 1 '== CRD power control mode
CRDpowerDM = APRM
Else
LLoadRej = 0
End If
End Sub
Private Sub Command9_Click()
'====--Load Rejection without Bypass ====

```

```

If LLoadRej = 0 Then
LLoadRej = 24
TLoadRej = TIME '--Load Rejection trigger time
IRIPcase = 1030 '====RIP runback
ICRDpowercontrol = 1 '== CRD power control mode
CRDpowerDM = APRM
Else
LLoadRej = 0
End If
End Sub
Private Sub Command7_Click()
'==== 1 TCV inadvertently closed =====
If L1TCVcls = 0 Then
L1TCVcls = 1
Else
L1TCVcls = 0
End If

End Sub
Private Sub Command8_Click()

'==== 4 TCV's inadvertently closed =====
If L4TCVcls = 0 Then
L4TCVcls = 1
Else
L4TCVcls = 0
End If
End Sub

Private Sub Command12_Click()
'==== 1 TCV inadvertently opened =====
If L1TCVopen = 0 Then
L1TCVopen = 1
Else
L1TCVopen = 0
End If
End Sub
Private Sub Command13_Click()
'==== 4 TCV's inadvertently opened =====
If L4TCVopen = 0 Then
L4TCVopen = 1
Else
L4TCVopen = 0
End If
End Sub
Private Sub Command10_Click()

'==== ADS open =====
If LADS <> 1 Then
LADS = 1
Else
LADS = 0
End If

End Sub

Private Sub Command11_Click()
'==== SRV open =====
If LADS <> 2 Then

```



```

LADS = 2
Else
  LADS = 0
End If
End Sub
Private Sub ComMSIV1_Click()
'== switch MSIV(1) to close or open
If LMSIV(1) = 1 Then
  LMSIV(1) = 0
  Else
  LMSIV(1) = 1
End If

End Sub

Private Sub ComMSIV2_Click()
'== switch MSIV(2) to close or open
If LMSIV(2) = 1 Then
  LMSIV(2) = 0
  Else
  LMSIV(2) = 1
End If
End Sub
Private Sub ComMSIV3_Click()
'== switch MSIV(3) to close or open
If LMSIV(3) = 1 Then
  LMSIV(3) = 0
  Else
  LMSIV(3) = 1
  End If
End Sub
Private Sub ComMSIV4_Click()
'== switch MSIV(4) to close or open
If LMSIV(4) = 1 Then
  LMSIV(4) = 0
  Else
  LMSIV(4) = 1
  End If
End Sub
Private Sub ComMSIV_Click()
'== switch all MSIV's to close or open
LTMP = 0
For i = 1 To 4
LTMP = LTMP + LMSIV(i)
Next i

If LTMP < 4 Then
For i = 1 To 4
LMSIV(i) = 1
Next i
Else
For i = 1 To 4
LMSIV(i) = 0
Next i
End If
End Sub

```



全文完