

安全評估報告

送審單位	台灣電力公司
報告名稱	核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告

行政院原子能會委員會

中華民國 106 年 5 月

摘 要

台電公司核一廠 2 號機原預計於 106 年 6 月 1 日達到週期 28 執照分析之燃料燃耗限值。台電公司為配合其電力系統調度需求，在不改變已核准之總能量燃耗限值，及未超過運轉技術規範規定 18 個月偵測試驗期限之前提下，於 4 月 29 日將核一廠 2 號機由 100% 全功率運轉降載至約 75% 功率運轉，期使本次燃料週期結束時程，由預訂 6 月 1 日展延至 6 月中旬(6 月 10 日左右)。

本次核一廠 2 號機為因應電力供應需求，而降載延時運轉之作法，參考國際原子能總署(IAEA)文獻對彈性運轉之說明，其屬彈性運轉的作法之一。另再參考國際原子能總署(IAEA)及美國電力研究院(EPRI)近期針對核能電廠彈性運轉之文獻，核能電廠若能就彈性運轉涉及之各項技術議題進行評估並採取相關配合措施作為，則核能電廠彈性運轉並非不可行。

雖然台電公司過去曾有因設備故障或因應颱風期間而降載運轉的經驗，但國內核能電廠向來係以基載運轉為主，故核子反應器設施管制法並未有明文規範彈性運轉須事先向原能會提出申請，然而原能會參考近年國外彈性運轉作法，並在核能電廠安全為首要的原則下，採取審慎積極態度，於台電公司核一廠 2 號機 106 年 4 月 29 日降載當日，即派視察員赴現場檢查，並於確認機組穩定運轉，即依核子反應器設施管制法相關規定，當場限期要求台電公司將本案相關評估報告提送原能會審查，若未經原能會審查同意，核一廠 2 號機應於預定時程停機大修。台電公司於 5 月 1 日將本案相關評估資料提報原能會。

原能會於接獲台電公司正式提送報告後，立即聘請相關領域的學者專家與原能會同仁共同組成專案審查小組，並參考國外研究機構有

關核能電廠彈性運轉之技術資料及經驗進行嚴格審查。

此外，原能會針對民眾對本案有關之意見及關心事項，亦提出回應說明，相關資訊均適時公開於網站（網址：<http://www.aec.gov.tw>，核一 2 號機降載延時運轉案專區）公布，供大眾檢視。原能會並於 106 年 5 月 8 日主動對外辦理本案說明會，聽取公民團體關注的相關議題與意見，面對面說明，讓民眾能夠更瞭解本案。

綜合專案審查小組審查結果，台電公司針對核一廠 2 號機維持約 75% 功率運轉之評估與說明、對原能會審查意見之答覆內容及台電公司評估報告修訂內容等，經審查可以接受。審查期間原能會持續派員監控機組降載運轉狀況和運轉參數，並未發現異常情形。核一廠 2 號機降載延時運轉期間，原能會仍將持續查證機組運轉狀態和電廠各項品質作業，並要求台電公司維持機組運轉安全。

安全評估報告目錄

第一章 簡介	1
一、緣起	1
二、管制作為	1
三、參考資料	3
第二章 額定功率與維持 75% 功率穩定運轉之運轉參數比較說明 ...	4
一、概述	4
二、審查情形	4
三、現場視察	7
四、本章審查結論	8
五、參考資料	8
第三章 維持機組約 75% 功率穩定運轉之影響評估	10
一、概述	10
二、審查情形	11
(一)爐心組件	11
(二)燃料完整性	14
(三)設備影響及因應策略	20
(四)蒸汽乾燥器共振評估	23
(五)EPRI-3002002612 報告評估比對結果	24
三、本章審查結論	27
四、參考資料	27
第四章 審查總結	29
附錄 核一廠 2 號機降載延時運轉安全管制大事紀	30

第一章 簡介

一、緣起

台電公司核一廠 2 號機週期 28 執照分析之燃耗限值為 12723.7 MWd/MTU，原預計於 106 年 6 月 1 日達到燃料燃耗限制。本案係台電公司配合其電力系統調度需求，計畫在不改變已核准之總能量燃耗限值及未超過運轉技術規範規定 18 個月偵測試驗期限之前提下，於 4 月 29 日將核一廠 2 號機由原 100% 全功率運轉降載至約 75% 功率運轉，期使本(28)次燃料週期結束時程，由原預訂 6 月 1 日展延至 6 月中旬(6 月 10 日左右)。

台電公司核一廠 2 號機 106 年 4 月 29 日降載當日，原能會即派視察員赴現場檢查，並於確認機組穩定運轉，依核子反應器設施管制法相關規定，當場限期要求台電公司將本案相關評估報告提送原能會審查，若未經原能會審查同意，核一廠 2 號機應於預定時程停機大修。台電公司於 5 月 1 日將本案相關評估資料提報原能會。

二、管制作為

一般而言，核能電廠大都是以全功率基載運轉為主，運轉期間為了進行設備維護測試，或為因應與處理與電廠運轉安全有關事宜，會進行降載運轉。不過近年來由於能源和電力結構的變化，國際上已逐漸有核能電廠採行彈性運轉需求及案例，如：美國、法國、比利時等國家之核能電廠，而此一議題已有國外研究機構進行相關研究。本次核一廠 2 號機為因應電力供應需求，而降載延時運轉，參考國際原子能總署(IAEA)文獻對彈性運轉之說明，其屬彈性運轉的作法之一。另再參考國際原子能總署(IAEA)及美國電力研究院(EPRI)近期針對核能電廠彈性運轉之文獻，核能電廠若能就彈性運轉涉及之各項技術議

題進行評估並採取相關配合措施作為，則核能電廠彈性運轉並非不可行。

雖然台電公司過去曾有因設備故障或因應颱風期間而降載運轉的經驗，但國內核能電廠向來係以基載運轉為主，故核子反應器設施管制法並未有明文規範彈性運轉須事先向原能會提出申請，然而原能會參考近年國外彈性運轉作法，並在核能電廠安全為首要的原則下，採取審慎積極態度，要求台電公司提送相關評估報告並進行專業審查。

原能會於接獲台電公司提報本案相關評估資料後，立即聘請相關領域的學者專家 4 位與原能會同仁 8 位共 12 人，共同組成專案審查小組，就反應爐內組件與燃料之影響評估、國外類似降載運轉關切議題等面向，嚴格審查台電公司之降載延時運轉案，確認台電公司對可能涉及之技術議題均已進行適當評估及採取適切因應作為。審查期間原能會持續派員於核一廠現場監控 2 號機機組降載運轉狀況和現場查核運轉參數。

原能會專案審查小組對本案之審查作業，於 106 年 5 月 4 日召開評估說明暨第一次審查會議、5 月 10 日召開第二次審查會議，針對本案相關技術議題共計提出 34 項審查意見，經台電公司答覆說明與報告修訂內容進行審查後，所有審查意見均已釐清並同意結案。本報告謹就相關審查技術議題彙整摘述於各章節之中。

針對本案原能會除成立專案審查小組，嚴格審查相關技術議題外，原能會亦針對民眾對本案有關之意見及關切事項如 coastdown 及氙毒(Xenon)問題，提出回應說明，並於 5 月 8 日主動對外辦理本案說明會，聽取和回答公民團體對審查關注的相關議題與意見，相關資訊均適時公開於網站 (<http://www.aec.gov.tw>，核一 2 號機降載延時運

轉案專區) 公布，供大眾檢視。其中對於本案台電評估報告，本會審查小組提出審查意見 RAI-II-1 要求台電公司應適切考量政府資訊公開原則，在不涉及商業機密情況下公布相關資訊。

綜合專案審查小組審查結果，台電公司已就核一廠 2 號機維持約 75% 功率運轉之運轉參數比較及穩定運轉之影響評估等，提出適當評估與說明、對原能會審查意見之答覆內容及台電公司評估報告修訂內容等，經審查可以接受。審查期間原能會持續派員監控機組降載運轉狀況和運轉參數，並未發現異常情形。

三、參考資料

1. 核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告修訂二版，民國 106 年 5 月 17 日。
2. Technical Meeting on Flexible (Non-Base-load) Operation Approaches for Nuclear Power Plants, IAEA, September 2013。
3. EPRI-3002002612, Program on Technology Innovation: Approach to Transition Nuclear Power Plants to Flexible Power Operations, EPRI, January 2014。

第二章 額定功率與維持75%功率穩定運轉之

運轉參數比較說明

一、概述

台電公司核一廠 2 號機機組維持在約 75% 功率運轉，係在原能會核准之爐心運轉限值報告(COLR)中功率-流量運轉區(Power Flow Domain)。台電公司檢視在 100% 額定功率及約 75% 功率穩定運轉之數據，評估分析設備運轉參數之餘裕，以及比對流程輻射偵測(PRM)與廠區環境輻射偵測(ERM)之監測結果。

台電公司針對額定功率與維持機組約 75% 功率穩定運轉之運轉參數比較結果，認為在設備之運轉參數上，安全餘裕較額定功率高；在環境監測上，對環境無任何改變影響。原能會就台電公司所提出相關評估內容以及台電公司答覆原能會相關審查意見內容等進行審查。

另外，原能會除於台電公司 106 年 4 月 29 日開始執行降載延時運轉當天，立即派視察員赴現場檢查外，原能會亦於審查期間派員至核一廠現場視察 2 號機機組降載運轉狀況及抽查相關運轉參數。

二、審查情形

1.機組降載運轉針對其相關設備之振動，有何監測機制；另為確保運轉安全，請台電公司提供汽機軸承振動、飼水壓力、流速、蒸汽壓力、溫度等數據監控資料。(審查意見 RAI-I-01、08、09)

台電公司答覆說明，降載運轉相關設備的振動監測機制與 100% 功率運轉並無差異。其中再循環水泵 A/B 台振動監測，運轉員每 4 小時記錄一次，若高振動時，控制室警報會出現，運轉員依照電廠程序書處理；汽機軸承振動監測部分，運轉員每 2 小時記錄一次，若

振動大於 7 mils，控制室警報會出現，運轉員依照電廠程序書處理。汽機軸承振動、飼水壓力、流量、蒸汽壓力、溫度等數據監控資料，目前在維持約 76% 功率穩定運轉皆穩定。

審查委員再提問：有關目前核一廠 2 號機降載功率維持在 78% 左右，為哪些參數造成與預定 75% 功率之差異。台電公司說明，規劃 2 號機維持於(或略大於)75% 功率穩定運轉，目前 2 號機功率維持約在 76~77% 左右，與預定 75% 功率有點差別，主要是為符合爐心流量維持 > 80% 及控制棒布局所做的運轉策略，而無法精準維持於 75% 功率，此狀況並非係偏移現象。另外，台電公司亦說明主蒸汽集管(MSL HDR)蒸汽溫度與爐心壓力所對應之飽和溫度有關，本案降載運轉爐心產生蒸汽量減少，爐壓略微降低 1 kg/cm^2 ，MSL HDR 溫度差約 1°C 為正常變化範圍。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

2. 降載將導致汽機溫度變化，而金屬材料的疲勞壽命與溫度有關，有可能會影響汽機的疲勞壽限，並須加以評估。(審查意見 RAI-I-05)
台電公司答覆說明，溫度改變對 S-N 曲線之影響，一般而言，從常溫開始隨溫度上升，汽機葉片材質疲勞限值隨溫度增加而下降，此下降趨勢至溫度增加至約 $100\sim 200^\circ\text{C}$ 後改變，溫度增加至此轉折點後疲勞限值隨溫度增加呈現上升，此趨勢當溫度增加至高於約 400°C 左右再次反轉向下。雖環境溫度會改變材料疲勞限值，惟汽機葉片材料於設計階段已考量不同負載的影響，因此汽機可依廠家運轉手冊維持於不同負載可靠運轉。以汽機葉片的高頻振動疲勞來說，因低壓汽機末級葉片的長度和質量最大，周期性反覆應力最高，以汽機末級葉片的溫度改變對 S-N 曲線影響說明，滿載時低壓汽機出口溫度約 42°C ，降載約為 75% 負載後此溫度下降約 3°C 左右，在

此環境溫度下疲勞限值隨環境溫度下降而上升，故低壓汽機末級葉片因降載反而增加疲勞限值。原製造廠家設計已排除葉片共振現象，降載後汽機轉速不變，蒸汽流量減少，因此蒸汽誘發的葉片振動振幅將隨之減少，葉片的周期性反覆應力值相對降低。汽機降載運轉就材料溫度改變對 S-N 曲線產生之影響以及蒸汽誘發葉片周期性的反覆應力值等方面來看，皆有助於避免汽機的疲勞破壞。再者，電廠均依程序書定期執行非破壞檢測如相位陣列超音波檢測 (Phased Array Ultrasonic Testing, PAUT) 與渦電流檢測 (Eddy Current Test, ECT) 之體積檢查、磁粒檢測 (Magnetic particle Testing, MT) 與目視檢測 (Visual Inspection, VT) 之表面檢查汽機葉片和根槽，且檢查結果均正常。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

3. 機組降載至約 75% 對反應爐飼水進口溫度與爐心出口雙相流乾度之影響。(審查意見 RAI-I-14)

台電公司答覆說明，本次降載至 77% 功率/80% 爐心流量時，爐心進口次冷度並沒有明顯變化。再者，降載後的功率與爐心流量比值 ($77\%/80\% = 0.963$) 小於滿載時的功率與爐心流量比值 ($100\%/91.5\% = 1.093$)，因此降載後的單位爐心流量吸取的熱量較滿載時小，因而其所產生的蒸汽量亦較小，導致降載後的爐心出口雙相流乾度較滿載時降低。另外，雖然飼水入口溫度降低 13°C ，但由於飼水流量減少百分比 (從 100% 至 77%) 較爐心流量減少百分比 (從 91.5% 至 81%) 多，因此爐心進口次冷度反而略為減少 (從 29.76 kJ/kg 至 28.30 kJ/kg)。此外，2 號機週期 28 燃料再裝填安全分析報告 (ANP-3442P) 中的暫態分析點從爐心功率 25% 至 100% 間之全爐心流量範圍，並已包含 (維持於或略大於) 75% 功率運轉。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

4.有關本案降載期間發生主汽機控制閥 GV-3 漏油，其後續處理情形，及是否還有其他設備異常，要求台電公司說明。(審查意見 RAI-I-29)

台電公司答覆說明，降載期間主汽機控制閥 GV-3 漏油，係從動作器油壓缸回油之低壓側油封漏出，改正措施包括：改變 GV-3 動作器閥桿位置，減少滲漏、更換回油過濾器濾心，回油壓力降低後，GV-3 動作器油壓缸即無漏油現象、後續觀察回油壓力穩定，DEH Valve Mode 切回 Single Mode，已無滲油。台電公司進一步說明，機組狀況穩定，控制室無任何異常警報亦無其他設備異常問題。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

三、現場視察

原能會除於台電公司 106 年 4 月 29 日開始執行降載延時運轉當天，立即派視察員赴現場檢查外，亦於審查期間派員至核一廠現場視察 2 號機機組降載運轉狀況及抽查相關運轉參數。

原能會視察員於 4 月 29 日開始執行降載延時運轉當天，赴現場檢查，針對主汽機控制閥 GV-3 油壓缸格蘭滲油問題，電廠採取改正措施已無滲油情形，其餘降載過程並未發現有其他異常情形。

原能會視察員於 5 月 2 日至核一廠現場抽查相關設備運轉參數，包括：噴射泵流量、爐心差壓、反應器水位和壓力、再循環泵速度和振動、爐心流量、乾井壓力和溫度、抑壓槽水溫和水位、飼水控制、冷凝水流量、主冷凝器真空、軸封蒸汽壓力和冷凝器真空、軸封蒸汽抽氣扇運轉、汽機軸承振動、汽機軸承油溫和油壓、高壓汽機第一級金屬溫度、聯合廠房冷卻水系統(CSCW)和汽機廠房冷卻水系統(TBCW)熱交換器溫度、主變壓器冷卻器、發電機鐵心溫度等，查證

結果各項運轉參數和運作狀態，與台電公司評估報告所提供運轉參數相符。在流程輻射偵測(PRM)與廠區環境輻射偵測(ERM)部分，比對台電公司評估報告所提供相關參數，經查證後各項參數與台電公司所提供數據相符。

原能會視察員於5月2日查證降載後爐內中子偵檢儀器校正作業執行情形，電廠依程序書 1002.11 操作核心探針系統(Traversing In-Core Probe, TIP) 掃描爐心內各區域中子通率分佈，並將量測結果送至爐心監控系統 POWERPLEX 進行數據更新。後續再依程序書 1002.6 逐一檢視根據 TIP 量測數據重新估算局部功率偵測儀器(Local Power Range Monitor, LPRM)之增益調整因數，確認數值均在可接受範圍，且平均功率偵測儀器(Average Power Range Monitor, APRM)增益調整因數亦可符合程序書 1002.7 要求。查證電廠已於降載運轉後完成爐內中子偵檢儀器校正作業，無異常情形。查證降載後爐心監測程式線上監測情形，當日爐心週期燃耗、爐內燃料束與燃料棒最高燃耗值均在安全分析限值內，無異常情形。

四、本章審查結論

綜合審查小組對本章審查結果和現場視察，台電公司評估報告針對運轉參數比對說明及對審查提問答覆，已提出適當說明，經審查可以接受。原能會視察員現場視察降載過程紀錄和機組狀態，及查證各項運轉參數比對、中子偵檢儀器校正作業與爐心監控系統運作情形等，無發現異常情形。

五、參考資料

1. 核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告修訂二版，民國 106 年 5 月 17 日

2. 核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告修訂二版附件 1，
民國 106 年 5 月 17 日
3. 核一廠程序書 1002.11「AUTO TIP 操作程序書」
4. 核一廠程序書 1002.6「LPRM 校正」
5. 核一廠程序書 1002.7「APRM 校正」
6. 核一廠 2 號機週期 28 燃料再裝填安全分析報告（ANP-3442P
Rev.1）
7. "EFFECT OF TEMPERATURE ON FATIGUE PROPERTIES OF
DIN 35 NiCrMoV 12 5 STEEL", A THESIS SUBMITTED TO THE
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
OF THE MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY BY ORKUN
UMUR ÖNEM

第三章 維持機組約75%功率穩定運轉之影響評估

一、概述

台電公司從爐心營運、設備影響、人員操作及蒸汽乾燥器分析等面向進行評估，檢視機組維持約 75% 功率穩定運轉策略之可行性，並就爐心組件、燃料完整性、設備影響及因應策略、蒸汽乾燥器共振評估，以及附件 EPRI-3002002612 報告評估比對等五部分進行評估說明。

第一部分爐心組件，台電公司委託美國奇異公司依據核一廠起動期間功率與爐心流量變化紀錄，評估運轉於 75% 功率與 80% 爐心流量及再循環泵速度 996 rpm 以上時，對噴射泵偵測管、汽水分離器組件、爐心側板、飼水噴嘴、噴射泵等反應爐內組件之影響，結果為所有組件在此運轉狀態下均符合接受標準(10,000 psi)，並評估再循環泵葉片所產生二次共振效應(Vane Passing Frequency, VPF)對噴射泵偵測管、噴射泵升流管支撐件及蒸汽乾燥器等之影響，結果顯示並無共振問題，以及對反應爐內組件也無產生流體誘發振動(Flow Induced Vibration, FIV)。

第二部分燃料完整性，台電公司核一廠 2 號機週期 28 爐心填換安全分析報告、爐心運轉限值報告、起動與運轉報告經燃料廠家 AREVA 公司審視評估後，認為採用此降載運轉方式是可行的。維持(或略大於)75% 功率穩定運轉期間，台電公司仍依日常例行持續使用現有的爐心監測程式線上監測各項參數，如週期燃耗、燃料束與燃料棒的最大燃耗。

第三部分設備影響及因應策略，台電公司針對運轉於 75% 功率與 80% 爐心流量時，就設備影響分析、維護因應作業、運轉因應操作對

策等加以說明。

第四部分蒸汽乾燥器共振評估，台電公司依照美國電力研究院 ERPI BWRVIP-182-A 技術報告，運轉於 75% 功率與 80% 爐心流量，進行聲波共振評估，結果顯示 Strouhal Number 為 0.99，避開 BWRVIP-182-A 發生聲波共振 Strouhal Number 介於 0.25~0.60 區間，台電公司評估結果不會發生聲波共振(Acoustic Excitation)。

第五部分 EPRI-3002002612 報告評估比對結果，台電公司參照美國電力研究院 EPRI-3002002612 彈性運轉評估報告所關切技術議題，包含從降載運轉時程功率之綜合說明、功率輸出控制評估、一次側系統組件衝擊評估、發電設備考量、運轉考量及運轉操作程序評估等面向進行比對說明。

台電公司針對維持機組約 75% 功率穩定運轉之影響評估，認為無安全之顧慮，也符合燃耗限值之要求。原能會就台電公司所提出相關評估內容以及台電公司答覆原能會相關審查意見內容等進行審查。

二、審查情形

(一) 爐心組件

1. 有關再循環泵運轉區間為 100.5 Hz~133.3 Hz 與廠家評估再循環泵速度頻率對應關係，要求台電公司澄清說明。(審查意見 RAI-I-06)
台電公司答覆說明，再循環系統噴射泵偵測管(JPSLs)未經管夾修復 Unclamped JPSLs 第一模式頻率從 42 Hz 到 59.7 Hz；曾經管夾修復 Clamped JPSLs 第一模式頻率在 61 Hz 到 77 Hz 之間。在此狀況下，JPSLs 第一模式自然頻率區間應避開 37 Hz~82 Hz(42 Hz~77 Hz 增減上、下各 5 Hz 的餘裕)，而 JPSLs 第二模式自然頻率則高於 139.3 Hz。因此，在 83 Hz~138 Hz 頻率間即可避免 JPSLs 發生共振，實際運轉於 80%~99.9% 的 Core flow，其再循環泵轉速約為 1210

rpm~1600 rpm，對應運轉頻率為 100.5 Hz 到 133.3 Hz 之間。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

2. 台電公司所提供爐心功率與流量運轉區的圖為限制運轉熱功率範圍，但沒有限制運轉設備振動安全的圖，應補充說明。(審查意見 RAI-I-07)

台電公司答覆說明，經廠家美國奇異公司評估，核一廠 JPSLs 之第一模式自然頻率區間為 42 Hz~77 Hz，第二模式自然頻率區間 139.3 Hz 以上。台電公司簡報所提供爐心功率與流量運轉區的運轉熱功率範圍係 80% ~ 99.9% 的 Core Flow，其再循環泵轉速約為 1210 rpm 到 1600 rpm，對應之運轉頻率為 100.5 Hz 到 133.3 Hz 之間，並未落在第一模式自然頻率區間及第二模式之自然頻率區間，故不會發生共振問題。另外，週期 28 燃料再裝填安全分析報告，Power/Flow map 分析點所涵蓋範圍為可能的運轉區域，不包括再循環泵孔蝕(cavitation)區域。2 號機維持於(或略大於)75%功率(目前約 76~77%)運轉，其運轉區域亦不會進入再循環泵孔蝕(cavitation)區域。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

3. 針對台電公司評估報告之參、一、(二)其他組件中所述，所有組件在此運轉狀態下均符合接受標準(10,000 psi 0-peak)，要求台電公司說明此一標準之意義。(審查意見 RAI-I-16)

台電公司答覆說明，所述之接受標準 (10,000 psi 0-peak)，係遵循核一廠終期安全分析報告第 3.9.1.1 節「再循環系統流體振動測試方案」所訂標準，該測試方案是試運轉測試的一部分，針對再循環系統因流體流動和再循環泵操作引起的振幅進行測量，測量取得的振幅將與系統動態分析計算的最大允許振幅進行比較，最大允許振幅即為當系統動態響應時，產生相當於 10,000 psi 的交變應力的振幅，故以此為再循環系統流體振動測試的接受標準。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

- 4.有關降載運轉下 Flow Induced Vibration 之影響，要求台電公司檢視爐內組件已適當納入評估。(審查意見 RAI-I-30)

台電公司答覆說明，在核一廠反應爐原設計廠商美國奇異公司提供的評估報告中，已對可能受 Flow Induced Vibration 影響之爐內組件納入評估。而奇異公司回覆台電公司之信函再針對 Shroud Head & Separator Assembly Shroud Flange、Feedwater Sparger、Jet Pump Assembly 和 Steam Dryer 進一步提供評估說明，評估結果所有爐內組件均無受到影響。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

- 5.核一廠飼水加氫系統功能設計，於機組功率達 90% 以上時才會置入可用，依本案功率條件該系統已停止使用，依 BWRVIP 報告對反應爐內組件抑制應力腐蝕之經驗法則，目前電廠水化學電位能否控制低於 $-230\text{mV}_{\text{SHE}}$ 之建議要求、要求台電公司澄清說明。(審查意見 RAI-I-24)

台電公司答覆說明，飼水停止注氫前後，水質主要影響爐內組件腐蝕之 Cl^- 及 SO_4^{2-} 並無變化，且爐水中的 Cr_2O_3 又回到 CrO_4^{2-} 態，其分子態轉換成離子態造成導電度上升，但對材質腐蝕並沒有影響。爐內組件應力腐蝕龜裂(IGSCC)主要影響不銹鋼裂縫成長速率，評估注氫前後裂縫成長速率均遠低於 ASME Code 規定 1/32 inch (0.79 mm)之解析度要求，對於爐內組件檢查結果差異並無影響。

審查小組再就結構組件腐蝕行為變化、燃料組件完整性、汽機廠房輻射劑量影響及裂縫成長速率評估之依據，要求台電公司澄清說明並提出後續 IVVI 強化檢查作為。台電公司進一步答覆說明，有關所提評估數據之來源為現場設置的裂縫成長速率監測系統(Crack Growth Measurement System, CGMS)在現場爐水水質條件下，實地

量測不銹鋼試片所獲得的數據，同時參考美國核管會核准之 BWRVIP-62-A 所列的不同飼水加氫可用率之下，不同的效益因子 (Factor Of Improvement, FOI)，本次機組運轉週期於降載前 HWC 可用率 84.65%，假設持續停用至本週期燃耗總能量結束 HWC 可用率 77.86%，其 FOI 計算變化顯示其可容許短期停止注氫之特性，對於抑制爐內組件裂縫成長雖些微降低但仍有效益，台電公司未來仍會配合後續 IVVI 追蹤檢測既有裂痕之狀況。另停止加氫對於燃料組件完整性影響，爐心區域銹垢材料表面結構形態鬆散，單純加氫時對燃料護套無不利之影響，只有同時進行加氫與加鋅的電廠，爐心區域銹垢材料表面結構才可能轉成緻密附著形態，造成熱傳問題並進而造成燃料護套損傷，核一廠並未採用加鋅水化學策略，不會有此疑慮。另飼水加氫之副作用之一，為汽機廠房輻射劑量率升高，因此，停止注氫反而大幅減少汽機廠房輻射劑量率。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

(二)燃料完整性

1. 審查會議台電公司說明目前降載運轉點與不穩定運轉區有足夠的餘裕可避免爐心產生雙相流不穩定性，要求台電公司澄清有多少運轉餘裕。若改用爐心流量 90% 運轉，是否可再增加更多運轉餘裕。

(審查意見 RAI-I-04、11、13)

台電公司答覆說明，此次機組降載維持於(或略大於)75% 功率(目前約 76~77%)，爐心營運調整爐心流量區間與滿載一致在 80%~100%，此爐心流量範圍(>80%)亦可避開 Jet Pump Sensing Line 共振範圍。目前爐心流量控制在 80% 左右，係考量避免插入過多的控制棒，以利後續功率穩定之爐心營運。至於降載運轉與不穩定運轉區之運轉餘裕部分，根據本週期爐心運轉限值報告中之功率-流量

運轉區(Power-Flow Map)之不穩定區(即 Region Z)右側曲線，往右增 5% Load Line，再延伸至 Load Line 116.5%(分析限值)，其 Power/Flow 值為 78.8%/54.7%。因此爐心流量只要大於 55%，即有足夠 5% Load Line 餘裕。目前正常運轉維持功率約 75%，Load Line 為 88% 以下。當爐心流量沿著 88% Load Line 降低到達再循環泵最低泵速線時，再循環泵的泵速即維持在最低泵速，不會進入 Region Z 區。此外，當反應爐爐心流量 <60% 及爐心熱功率 >30% 時，功率震盪監視器 (Oscillation Power Range Monitor, OPRM) 亦會監控爐心是否發生功率振盪；若有發生功率振盪時，OPRM 會自動產生急停信號，急停反應爐，使燃料不致超出最小臨界功率比(Minimum Critical Power Ratio, MCPR)之安全限值。核一廠皆依照燃料廠家提供的功率-流量運轉區運轉，避免進入不穩定區，歷年來皆無發生功率震盪情形。台電公司亦提出報告修訂內容。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

2. 反應爐約於 75% 功率運轉時，爐心流量維持在 80%-100% 區間運轉，要求台電公司說明本次降載運轉爐心營運策略。(審查意見 RAI-I-15)

台電公司答覆說明，本次降載運轉爐心營運策略規劃核一廠 2 號機維持於(或略大於)75% 功率，且爐心流量大於 80%。機組由滿載降至約 75% 功率之調整方式是插入 3 組共 10 支控制棒，爐心流量則降至約 80%。後續維持於(或略大於)75% 功率(目前約 76~77%)之爐心營運，則是以抽控制棒或增加爐心流量維持於(或略大於)75% 功率穩定運轉，並使用爐心監測程式 POWERPLEX 持續線上監測爐心各項參數，包含功率封套餘裕、熱限值、燃耗限值、功率分佈等。以核一廠使用爐心監測程式 POWERPLEX 及燃料廠家 AREVA 使用

爐心分析程式 MICROBURN 預測機組運轉至執照燃耗時，燃料元件及燃料棒燃耗數值相較原設計值變化不大，且仍均未超出限值並保有相當餘裕。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

- 3.降載維持約在 75% 功率運轉，其爐心內中子毒物含量(如氙)與機組滿載運轉情況下有所不同，要求台電公司澄清此因素是否會影響運轉員操作控制反應度，並維持機組穩定功率運轉。(審查意見 RAI-I-26)

台電公司答覆說明，氙是爐內鈾燃料分裂產物之一，任何功率都會存在，只是濃度的差異。此次降載運轉後，爐內的氙相較機組滿載運轉之平衡濃度較低，目前爐內氙濃度亦已穩定，並不影響運轉員操作。運轉員控制爐心反應度時可藉由升降反應爐再循環流量或調整控制棒，維持機組穩定功率運轉，並可利用爐心監測程式線上監測氙濃度的變化趨勢。台電公司並提供降載前後氙變化趨勢圖。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

- 4.如長期維持約在 75% 功率及爐心流量 > 80% 運轉，原來訂定之熱限值是否仍然適用，建立流量依存 MCPR 運轉限值時所使用之計算假設是否仍然適用。(審查意見 RAI-I-19)

台電公司答覆說明，爐心填換安全分析訂定之 MCPR 安全限值，已針對反應器在功率-流量運轉區域內之運轉狀態點(包括額定功率狀態及非額定功率狀態)進行評估，只要該運轉狀態點上的 MCPR 大於其運轉限值，即可確保燃料護套符合安全要求。各運轉狀態點上之 MCPR 運轉限值為額定狀態 MCPR 運轉限值 ($MCPR_R$)、功率依存 MCPR 運轉限值($MCPR_P$)及流量依存 MCPR 運轉限值($MCPR_F$)三者之最大者。其中， $MCPR_P$ 為運轉區域內之「低功率暫態事件」

分析所得之 MCPR 運轉限值， $MCPR_F$ 則為運轉區域內之「低流量暫態事件」分析所得之 MCPR 運轉限值。前述 MCPR 運轉限值係利用涵蓋統計方法決定，只要燃料型式不變及分析模式不變，基本上不太會影響運轉限值。2 號機週期 28 爐心安全分析已考量新燃料特性、爐心燃料擺設、週期能量等進行暫態分析，保守假設爐心流量突增曲線，確認流量依存 MCPR 運轉限值仍可適用，以確保燃料運轉安全。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

5. 控制棒誤抽出事故分析所採用之起始條件主要為全功率運轉與啟動階段。如長期維持約在 75% 功率運轉且爐心流量大於 80%，此時 APRM 急停設定點與全功率運轉時之設定點相同，需考慮控制棒於 75% 功率誤抽出之影響，要求台電公司澄清 75% 功率運轉時發生控制棒誤抽出事故，是否可以被目前既有之分析所涵蓋。(審查意見 RAI-I-20)

台電公司答覆說明，終期安全分析報告第 15 章所述控制棒誤抽出暫態事件，當發生抽棒錯誤時，爐心整體功率將隨之上升但仍以該控制棒臨近周圍的燃料所受影響最大，因此電廠對此設有阻棒偵測系統(Rod Block Monitor, RBM)的自動裝置以防止事件影響的程度過於擴大，此 RBM 設計係採取該控制棒周圍之 LPRM 為輸入信號，當抽棒造成 LPRM 讀數上升至一定程度時即有警報出現提醒操作者注意及進行處理，若操作者疏忽未處理而繼續抽棒則 RBM 可立即自動阻止控制棒的再抽出，此事故發展至此即結束，燃料仍無破損之虞，換言之誤抽出控制棒的事務是以 RBM 做為抑制措施。爐心填換安全分析報告對此分析係以 RBM 的設定的高低是否合適，以做為分析結果是否可接受的標準，爐心填換安全分析報告在非 100%

功率亦有分析點，其餘的分析假設亦仍可適用於 75% 功率運轉。若控制棒於 75% 功率運轉時發生誤抽出暫態事件，可以被目前既有之分析所涵蓋。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

6. 爐心填換安全分析所使用之都卜勒係數與緩和劑溫度係數等參數，是否已涵蓋機組降載約至 75% 運轉之影響？(審查意見 RAI-I-23)

台電公司答覆說明，都卜勒係數、緩和劑溫度係數以及空泡係數在最初的燃料設計中已在不同的運轉條件下建立對應的截面資料庫，並植入目前的爐心分析程式 MICROBURN 與爐心監測程式 POWERPLEX 使用，在機組約以 75% 運轉時，爐心所對的各種條件均已涵蓋在原分析的範圍之內。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

7. 核一廠 2 號機原爐心填換安全分析所預估之週期末燃料燃耗值，是以機組持續滿載運轉進行評估，而核一廠 2 號機於 4 月 29 日改變運轉策略，計劃維持約在 75% 功率運轉至週期末，要求台電公司澄清此運轉策略改變，對本週期末燃料相關燃耗預估值之影響。(審查意見 RAI-I-27)

台電公司答覆說明，以爐心營運而言，燃料燃耗累積的歷史確實會受機組功率維持約在 75% 功率運轉而有變化，但本週期未來剩餘運轉天數有限，因此預估週期結束時，其與原設計之燃料燃耗累積歷史的差異並不大。以核一廠使用爐心監測程式 POWERPLEX 及燃料廠家 AREVA 使用爐心分析程式 MICROBURN 預測機組運轉至執照燃耗时，燃料束及燃料棒燃耗數值相較原設計值變化不大，且均未超出限值並保有相當餘裕。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

8.降載維持約在 75% 功率運轉，有再插入控制棒，要求台電公司澄清爐心功率分佈改變是否會影響爐心監控程式預估之準確性，以及下週期爐心燃料布局設計之安全分析。(審查意見 RAI-I-28)

台電公司答覆說明，核一廠爐心監測程式 POWERPLEX 係參考爐內儀器來執行計算功率分佈，故爐心功率分佈改變並不影響其計算準確性。核一廠核技人員在維持約 75% 功率運轉期間會使用爐心監測程式線上監測爐心各項參數包含功率封套餘裕、熱限值、燃耗限值、功率分佈等，並依循燃料廠家在起動與運轉報告所記載的標準進行爐心營運，以確認週期燃耗不超過執照燃耗，以及爐心各項參數仍於原燃料安全分析報告之安全範圍內。在爐心設計實務上，週期之間的爐心燃料布局設計及爐心營運是環環相扣，本週期的爐心營運結果皆會多多少少影響下一週期爐心燃料布局設計。因此，燃料廠家會依據本週期末停機時的爐心實際運轉狀況調整下一週期爐心運轉方式的建議。惟電廠只要在前週期燃耗不超過執照燃耗並依循燃料廠家在起動與運轉報告所記載的標準進行爐心營運，本週期末停機時的爐心實際運轉狀況影響下一週期爐心燃料布局設計的程度會較小。但核一廠 2 號機因用過燃料池已滿，目前下週期的爐心營運尚未進入設計階段。台電公司亦提出報告修訂內容。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

9.維持約在 75% 功率運轉一段時間後，若需要提升至 100% 功率，針對機組功率升載過程相關安全顧慮與限制，例如 Xe-135 暫態，電廠是否已有適當管制措施。(審查意見 RAI-I-21)

台電公司答覆說明，核一廠 2 號機目前約在 75% 功率上下運轉，若長期維持約在 75% 功率運轉一段時間後，其原在滿載建立燃料預調節功率封套會逐漸降低。若機組需升至滿載，電廠核技人員會依當

時爐心狀況先使用爐心監測程式預測擬定反應度管理計畫，決定滿載目標控制棒棒位，將控制棒佈局調整至目標棒位後，再提升爐心流量直至燃料節點功率達到燃料預調節功率封套，之後依燃料預調節準則提升爐心流量進行緩慢升載至 100% 熱功率。升載過程中，電廠核技人員會使用爐心監測程式 POWERPLEX 線上監測爐心各項參數（包含功率封套餘裕、熱限值、燃耗限值、功率分佈、Xenon 變化等），以確認爐心各項參數均符合相關規定，若因時程變動或爐心組態與原計畫有差異時，會依當時之爐心狀況再行預測。此外，機組若須升到滿載且須將控制棒全部抽出前，電廠會先確認爐心軸向功率分佈底部功率符合起動與運轉報告所記載的標準。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

(三)設備影響及因應策略

- 1.針對運轉 2 台汽機格蘭蒸汽(Gland Steam)抽氣扇，壓力維持約 $0.35 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$ 以降低抽氣扇運轉電流，請台電公司說明原有一台 Gland Steam 抽氣扇額定操作，另一台做備機的操作，改成以兩台同時操作，針對該設備之可靠度，提出佐證說明。(審查意見 RAI-I-02、10)

台電公司答覆說明，每次機組大修，維護部門藉由維修及檢查，確保設備的健康度，近五年來均未發生在穩定運轉中之抽氣扇故障之情事，顯示此設備之可靠度，且兩台抽氣扇運轉電流穩定。於 5 月 11 日電廠召集相關組討論，認為在此穩定功率下，單台抽氣扇有能力維持真空，於該日停止 No.2 抽氣扇，保持 No.1 抽氣扇運轉，期間 No.1 抽氣扇電流穩定，設備運轉無異狀，電廠再於 5 月 15 日執行 No.2 單台運轉測試，測試結果電流穩定也無異狀。台電公司說明為提供最理想的運轉狀態，於此次降載運轉期間仍保持兩台抽氣扇

運轉。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

2. 台電公司評估報告稱“本公司基於本項運轉之操作，以往經常實施...”、“參酌以往如春節期間，...機組維持 75% 功率穩定運轉均有先例可循...”，請台電公司列出過去曾有降載運轉超過 10 天的實例。(審查意見 RAI-I-12)

台電公司答覆說明，非大修機組每 92 天即依運轉技術規範降載到約 75% 功率執行 601.9 汽機功能試驗，所以在評估報告敘述“本公司基於本項運轉之操作，以往經常實施...”，另過去機組曾有降載運轉超過 10 天的實例，核一廠 1、2 號機從 78 年起至 98 年間各有 4 次紀錄。經檢視降載運轉紀錄，為設備故障而降載運轉或起動升載過程因設備檢修未能繼續升載等因素，最長紀錄為核一廠 2 號機 90 年 12 月 13 日至 91 年 2 月 25 日計 75 天因飼水加熱器故障，降載至約 80% 功率運轉。原能會過去因應核一廠於運轉期間發生設備故障而降載檢修過程，駐廠視察員會於現場查證設備檢修情況，經查證發現電廠有相關缺失情形則會要求電廠改善。另於機組起動過程發生有安全相關設備故障情形，原能會亦依「核子反應器設施停止運轉後再起管制辦法」視安全需要在不同功率如臨界、併聯或選訂功率要求台電公司完成必要管制事項，確認其功能恢復正常後，才可依原能會核備功率持續升載至滿載功率運轉。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

3. 機組維持降載約 75% 功率運轉，請台電公司說明後續運轉期間，針對機組可能因安全考量所需升載或減載的變動運轉模式，是否已擬定相關運轉策略，並納入程序書及相關運轉人員訓練。(審查意見 RAI-III-02)

台電公司答覆說明，機組若有升、降載需求時，電廠核技人員會使

用爐心監測程式 POWERPLEX 的預測模式預估升、降載過程（藉由升、降再循環流量或抽插控制棒來控制反應度）中的爐心各項參數，並依預測結果擬定反應度管理計畫，供當值核技人員協同運轉人員據以執行升、降載。當值核技人員在升、降載過程若因時程變動或爐心組態與原反應度管理計畫有差異時，仍需依當時實際之爐心狀況再行預測，確認均能符合相關規定。約 75% 功率運轉而需升載或減載的變動運轉模式皆可依循既有程序書操作，例如每 92 天執行一次之降載執行 601.9「汽機功能試驗」及完成後升載為例行性之操作，最近各班運轉員之升、降載模擬器演練亦於 4 月 10 日至 4 月 14 日完成。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

4. 有關台電公司參照 EPRI-3002002612 報告所作各章節評估比較表中有兩處語意不清，為第 2 頁第 17 號與第 3 頁第 22 號，請澄清說明。（審查意見 RAI-II-02）

台電公司答覆說明，已就此二項修正內容僅涉及文字語意修飾讓敘述更明確，並提出修訂。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

5. 台電公司簡報說明以抽棒或增加爐心流量維持約 75% 功率穩定運轉，與台電評估結果“控制棒之狀態不會產生變化...”、“再循環泵仍為定速運轉，...”等敘述不一致，要求台電公司澄清說明。（審查意見 RAI-I-17）

台電公司答覆說明，本週期以維持於（或略大於）75% 功率運轉在未來 1 個半月需要調整棒位的頻次不高，因此不致發生控制棒與控制棒驅動機構因抽插頻繁，增加磨損及減少壽命。且需要調整爐心流量的頻次也不高，因此不致發生再循環泵因轉速變動而增加 M-G

Set、scoop tube 及 control valve 磨損等現象。台電公司亦提出評估報告相關修訂內容。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

(四) 蒸汽乾燥器共振評估

1. 有關蒸汽乾燥器(Steam Dryer)共振評估包括 Strouhal Number 值計算及其參數選用、蒸汽密度的影響等技術議題及台電公司評估品保作業，要求台電公司澄清說明。(審查意見 RAI-I-03、18、25、RAI-III-01) 台電公司答覆說明，BWRVIP-182-A: BWR Vessel and Internals Project 「Guidance for Demonstration of Steam Dryer Integrity for Power Uprate」評估主蒸汽管(MSL)與安全釋壓閥(SRV)鄰近間流量變化對 Steam Dryer 之影響，是因為當連接到 MSL 的管道入口處的渦流脫離 (Vortex Shedding) 頻率與連接管道的 1/4 駐波聲波頻率相同時，可能發生共振，渦流脫離的頻率與 MSL 中的流速以及連接管道的開口直徑有關，蒸汽在 MSL 中的流速與 BWR 反應爐功率直接相關，依據篩選標準，若 Strouhal Number 介於 0.25 ~ 0.60 間，就有可能發生聲波共振。台電公司說明，本項計算方式中，幾何尺寸不受降載變化影響，降載運轉後，依核一廠程序電腦系統即時資訊之運轉參數，流體壓力為 67.02 kg/cm^2 、流體溫度為 282°C ，可查得流體音速(a)為 492 m/s 及流體密度 $=34.76 \text{ kg/m}^3$ ；總蒸汽流量(4 條蒸汽管) = 2563 T/hr ，可計算得到流體速度為 31.41 m/s 。台電公司評估於 75% 功率運轉(1380MWt)，其 Strouhal Number 值計算結果最小值為 0.99，仍高於美國電力研究院 BWRVIP-182-A 技術報告之 Strouhal Number 聲波共振值介於 0.25~0.60，故不會發生聲波共振的問題。台電公司相關評估亦依品保程序審查，並提出報告相關修訂內容。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

2.依核一廠之計算結果，75%功率運轉與 100%功率運轉時 Strouhal Number 均遠離聲波共振區(介於 0.25~0.6 間)，且台電公司提供之公式顯示功率越低越遠離可能發生聲波共振區。然而美國電力研究院 EPRI-3002002612 報告之敘述，降低功率有可能進入聲波共振區，請台電公司澄清說明。(審查意見 RAI-I-22)

台電公司答覆說明， $Strouhal\ Number = f_1(d+r)/U$ 於 0.25~0.60 之間就有可能發生聲波共振；若該電廠設計之 SRV 直立管長度 L 長，內徑 d 小，蒸汽流速 U 高；聲波共振頻率 $f_1 (= a/4L)$ 低，Strouhal Number 可能小於 0.25。當 70%功率運轉時，蒸汽流速 U 下降，Strouhal Number 反而上升大於 0.25，會有潛在發生 Acoustic Resonance Vibrations 現象。台電公司評估核一廠若於 75%功率下運轉，最保守的 Strouhal Number 為 0.99，仍高於 BWRVIP-182-A 之 Strouhal Number 建議值 0.60，故不會發生聲波共振之問題。

台電公司答覆說明，經審查可以接受。

(五)EPRI-3002002612 報告評估比對結果

1.有關本案降載運轉時程、功率之綜合說明

台電公司核一廠 2 號機降載延時運轉採用維持約 75%功率穩定運轉之發電策略，為因應電力供應需求，在本會核備週期 28 執照分析之燃耗限值為 12723.7 MWd/MTU，利用降載至約 75%功率運轉方式保留 1/4 燃耗能量，以延時運轉至 6 月中旬(約 6 月 10 日左右)。參考國際原子能總署(IAEA)及美國電力研究院(EPRI)文獻對彈性運轉之說明，其屬透過功率調整方式，調整發電量以滿足預期的需求。

2.功率輸出控制評估

對於功率輸出控制方式包含控制棒及再循環泵，本案降載運轉

方式由滿載降至約 75% 功率是以插入 3 組共 10 支控制棒及爐心流量降至約 80%，後續則是以抽控制棒或調整爐心流量於 80%~100% 間，以維持約 75% 熱功率穩定運轉。台電公司已請 AREVA 燃料廠家針對爐心燃耗限值與中子通量分布影響進行評估，另再循環泵轉速部分，本案為調整爐心流量 80% 以上且維持約 75% 功率穩定運轉，以避免可能產生二次共振效應(Vane Passing Frequency, VPF)、或發生潛在 scoop tube 磨損情形。

針對爐心營運考量部分，透過爐心監測系統 POWERPLEX 計算，包含功率封套餘裕、熱限值、燃耗限值、功率分佈等，以確認爐心各項參數仍於原燃料安全分析報告之安全範圍內。另本案為維持約 75% 功率穩定運轉，運轉期間調整棒位頻次不高，並不致會造成燃料及護套疲勞效應。因本案為維持約 75% 功率穩定運轉，氙毒(Xenon-135)為穩定狀態。氙毒(Xenon-135)變化則透過爐心監測系統 POWERPLEX 及爐心變化趨勢，並依其監測結果顯示，氙毒已於 5 月 1 日趨於穩定。

另爐心核儀及控制部分，電廠爐心功率是由 LPRM 及其組成 APRM 監測局部或平均功率分布變化，並可利用 TIP 定期校正相關核儀之精準度。本案在執行降載運轉前，機組依運轉技術規範要求定期執行 LPRM 校正，於降載運轉前後依核儀校正程序書利用 TIP 校正 LPRM 及 APRM 讀值，降載運轉期間亦會執行相關校正作業，以確保其準確性。

3. 一次側系統組件衝擊評估

反應器輔助系統考量部分，在 SRV 直管連接至主蒸汽管路之共振影響與管路幾何及蒸汽流速有關，經評估降載運轉影響結果為遠離共振區間，且原設計廠家美國奇異公司亦說明再循環泵轉速和

VPF 對爐內組件並無影響。其餘與控制棒及再循環泵相關輔助系統，因本案採維持約 75% 功率運轉，不致會有控制功率輸出變動頻繁而增加設備磨損情形發生。

針對飼水流量控制部分，核一廠 2 號機飼水控制器已於 98~99 年期間完成數位化，對於因應降載運轉造成主蒸汽與飼水流量暫態變化，反應爐水位控制皆能維持在正常高度。

另主汽機蒸汽流量與壓力儀控部分，核一廠 2 號機汽機 DEH 控制系統已於 82 年完成數位化，對於因應降載運轉造成蒸汽壓力暫態變化，其 DEH 系統皆能正常控制。

4. 發電設備考量：

汽機系統部分，在降載運轉前後，高低壓汽機及 MSR 再熱器溫度相關參數依熱能平衡正常變化，並針對汽機軸承油壓、軸承振動、軸承洩油溫度、高壓汽機第一級金屬溫度佐以相關監視參數確認。本案採維持約 75% 功率運轉，不致會有蒸汽壓力、溫度等相關參數變動頻繁而增加設備腐蝕、磨損情形發生。

發電機系統部分，因機組維持約 75% 功率運轉，發電輸出負載降低，其磁場電流、溫度等相關監測參數正常變化，並針對主變壓器冷卻器、發電機鐵心溫度佐以相關監視參數確認。

CSCW、TBCW 熱交換器、主冷凝器等熱沉部分，因機組維持約 75% 功率運轉，熱交換器、冷凝器等熱沉餘裕增加，並針對 CSCW、TBCW 熱交換器出口溫度、冷凝器流量與真空佐以相關監視參數確認。

5. 運轉考量：

為因應本案降載運轉策略，運轉值班已於 4 月 10 日至 4 月 14 日進行模擬器升降載演練，以強化降載運轉操作之因應能力；另針

對地下水防護、熱排放及廠界劑量監控策略，與滿載運轉期間相同持續進行環境監測。

6.運轉操作程序評估：

本案降載運轉期間，機組仍依運轉技術規範要求執行偵測試驗及行政管制作業，與滿載運轉期間相同。對於本案由滿載 100% 功率降載約至 75% 功率穩定運轉之操作程序及注意事項，則依電廠爐心營運策略及既有升降載操作程序書執行，機組降載期間亦須符合各項運轉及環境管制規定。

綜上所述，針對台電公司核一廠 2 號機降載維持約 75% 功率穩定運轉之評估，參考國外運轉經驗之關切議題，本案與 EPRI-3002002612 報告評估比對結果，經審查可以接受。

三、本章審查結論

綜合審查小組對本章審查結果，台電公司評估報告針對維持機組約 75% 功率穩定運轉之影響評估所提內容，從爐心營運、設備影響、人員操作及蒸汽乾燥器分析等面向進行評估，並且參考美國電力研究院 EPRI-3002002612 彈性運轉之技術報告，進行比對，以及答覆審查意見等，已提出適當說明，經審查可以接受。

四、參考資料

1. 核一廠 2 號機「維持(或略大於) 75% 功率運轉」評估報告修訂二版，民國 106 年 5 月 17 日
2. 核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告修訂二版附件 2，民國 106 年 5 月 17 日
3. 核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告修訂二版附件 3，民國 106 年 5 月 17 日

4. ANP-3442P Revision 1, Chinshan Unit 2 Cycle 28 Reload Licensing Analysis「核能一廠2號機週期28填換爐心安全分析報告」, AREVA, November 2015
5. ANP-3441 Revision 0, Chinshan Unit 2 Cycle Core Operating Limit Report「核能一廠2號機週期28爐心運轉限值報告」, AREVA, September 2015
6. ANP-3455P Revision 0, Startup and Operation Report Chinshan Unit 2 Cycle 28「核能一廠2號機週期28起動與運轉報告」, AREVA, December 2015
7. EPRI-3002002612, Program on Technology Innovation: Approach to Transition Nuclear Power Plants to Flexible Power Operations, EPRI, January 2014
8. BWRVIP-182-A, Guidance for Demonstration of Steam Dryer Integrity for Power Uprate, EPRI, 2011
9. 核一廠程序書 1002.11「AUTO TIP 操作程序書」
- 10.核一廠程序書 1002.6「LPRM 校正」
- 11.核一廠程序書 1002.7「APRM 校正」
- 12.核一廠終期安全分析報告 FSAR 第 3.9 節
- 13.核一廠終期安全分析報告 FSAR 第 15 章

第四章 審查總結

綜合本會專案審查小組，就台電公司所提核一廠 2 號機「維持 75% 功率運轉」評估報告，與台電公司對 34 項審查意見所提出之補充說明及報告修訂內容之審查結果，台電公司已就核一廠 2 號機額定功率與維持 75% 功率穩定運轉之運轉參數比較說明、維持機組 75% 功率穩定運轉之影響評估，以及附件與美國電力研究院 EPRI-300200612 彈性運轉之技術報告比對表等項，提出適當評估與說明，審查結果可以接受，重要審查結論彙總如下：

- (一) 2 號機額定功率與維持約 75% 功率穩定運轉之運轉參數比較說明部分，額定功率與維持機組 75% 功率穩定運轉之運轉參數比較結果，顯示相關數據於合理變動範圍屬正常反應。原能會現場視察查證結果各項運轉參數和運作狀態，與台電公司評估報告所提供運轉參數相符，經審查可以接受。
- (二) 維持機組約 75% 功率穩定運轉之影響評估部分，台電公司已從爐心組件、燃料完整性、設備影響及因應策略、蒸汽乾燥器共振評估等進行評估，檢視本次降載延時運轉所須考量之技術議題及廠家評估影響性，經審查可以接受。
- (三) 台電公司參考美國電力研究院 EPRI-300200612 彈性運轉之技術報告有關國外彈性運轉經驗之關切議題，從降載運轉時程、功率之綜合說明、功率輸出控制評估、一次側系統組件衝擊評估、發電設備考量、運轉考量及運轉操作程序評估等面向進行比對，檢視本次降載延時運轉所須考量之各面向及周延性，經審查可以接受。

附錄 核一廠2號機降載延時運轉安全管制大事紀

日期	項目
106.4.29	台電公司核一廠2 號機於當日1:17 由滿載100%功率降載至75%功率運轉
106.4.29	原能會對外發布最新消息有關本案管制說明兩則
106.5.1	台電公司函送「核一廠2 號機『維持75%功率運轉』評估報告」
106.5.3	原能會成立專案小組
106.5.3	原能會對外網站成立「核一2 號機75%功率運轉」焦點專區
106.5.4	原能會召開核一廠2 號機「維持75%功率運轉」評估說明暨審查會議
106.5.5	原能會對外發布新聞稿「原能會持續監控核一廠2號機降載運轉安全」
106.5.8	「核一廠2 號機『維持75%功率運轉』評估說明暨審查會議紀錄」函送台電公司
106.5.8	「核一廠2 號機降載延時運轉案第一次審查意見」函送台電公司
106.5.8	召開「核一2 號機降載延時運轉案審查」說明會
106.5.10	召開核一廠2 號機「維持75%功率運轉」第二次審查會議
106.5.11	「核一廠2 號機降載延時運轉案第二次審查意見及第一次複審意見」函送台電公司
106.5.11	原能會對外發布最新消息及輿情回應有關「106 年5 月11 日媒體報導『核一廠是否降載運轉coast down，經濟部及原能會說法不同』之回應說明」

106/5/15	「核一廠2號機降載延時運轉案第二次審查會議紀錄」函送台電公司
106/5/15	「核一廠2號機降載延時運轉案第三次審查意見及第一、二次複審意見」函送台電公司
106/5/17	「核一2號機降載延時運轉案審查」說明會活動照片上網公布
106/5/19	台電公司提送「核一廠2號機『維持75%功率運轉』評估報告」修訂二版及可對外公布版本
106/5/22	「核一2號機降載延時運轉案審查」說明會會議紀錄、公民意見及回復說明表上網公布
106/5/23	完成原能會安全評估報告之核定作業，同意台電公司核一廠2號機降載延時運轉案及其評估報告修訂二版，並公佈於原能會對外網站。
106/5/24	原能會安全評估報告函送台電公司。