

核一廠 2 號機
「維持 75%功率運轉」評估報告
(Rev. 2)

台灣電力股份有限公司
中華民國 106 年 5 月 17 日

目 錄

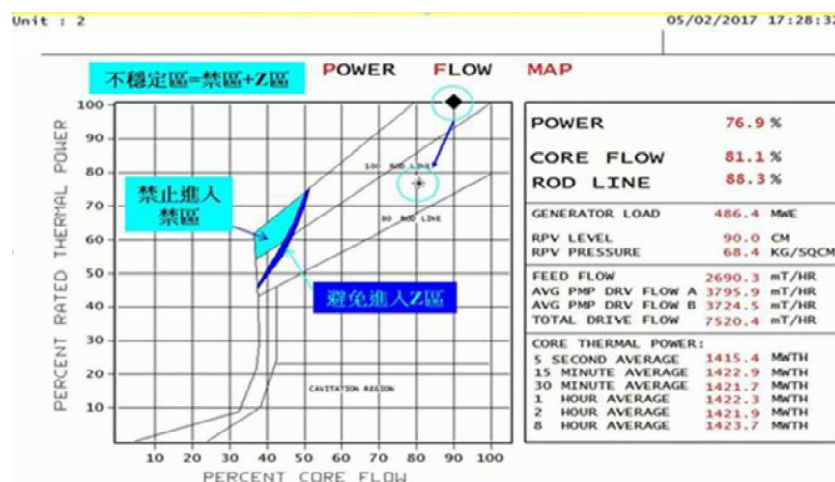
壹、 緣由.....	2
貳、 二號機額定功率與維持 75%功率穩定運轉之運轉參數比較說明...	2
參、 維持機組 75%功率穩定運轉之影響評估.....	2
肆、 結論.....	10
附件 1 二號機額定功率與維持 75%功率穩定運轉之運轉參數比較說明..	11
附件 2 GE Hitachi 分析報告.....	15
附件 3 AREVA 分析報告.....	22
附表 1 汽機 Gland Steam 抽氣扇#1/#2 運轉電流值.....	24
附表 2 EPRI 報告「Program on Technology Innovation: Approach to Transition NPP to Flexible Power Operations」各章節評估比對結果.....	25

壹、緣由

依據核一廠 2 號機週期-28 執照分析之燃耗限值為 12723.7 MWd/MTU，預計於 106 年 6 月 1 日達到上述燃耗限制。考量今(106)年 6 月預估備轉容量(率)僅 146 萬瓩(約 4.2%)。因應最佳調度需求，計畫在不改變已核准之總燃耗能量下，採用維持於(或略大於)75%(目前為 76~77%，以下均以 75%簡述)功率穩定運轉之發電策略，提供供電量約 46 萬瓩之電力，延續運轉至 6 月上旬，期能紓解 6 月用電缺口，確保供電安全與穩定。本公司基於本項降載運轉之操作，以往經常實施，考量進行最佳化調度，係為全民福祉之必要手段，唯有即刻實施方具效益，本公司將在符合運轉規範下，審慎安全營運。

貳、二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

核一廠二號機機組維持在 75%功率運轉係在大會已核准之本週期之 COLR 中 POWER FLOW DOMAIN 運轉(附圖 1)，機組升降載過程中爐心流量只要大於 55%，與不穩定區就保留了相當的餘裕。茲分析 100%額定功率以及 75%功率穩定運轉之數據(如附件 1)，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，PRM/ERM 輻射監測結果，本案對環境無任何改變影響。因此本案並未違反核子反應器設施管制法施行細則第 10 條之規定，亦即無危害公眾健康與安全或環境生態之疑慮。



附圖 1

參、維持機組 75%功率穩定運轉之影響評估

參酌以往如春節期間、定期測試需求，設備異常檢修需要，機組維持 75% 功率穩定運轉均有先例可循。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，確認機組維持 75% 功率穩定運轉之策略，無安全之顧慮，也符合燃耗限值之要求。茲就爐心設備組件、燃料安全營運及乾燥器之詳述說明如下：

一.爐心組件：

依據 GE 文件 DBR-0027170(如附件 2)，核一廠 2 號機反應爐運轉於 75% 功率與 80% 爐心流量，爐內組件影響評估如下：

(一)噴射泵偵測管(Jet Pump Sensing Lines, JPSSLs)

再循環泵速度為 996 RPM 時，對應的二次共振效應頻率 (Vane Passing Frequency, VPF) 為 83 Hz。

(1)第一模式的影響：

基於參考文獻 1，Unclamped JPSSLs 的第一模式頻率從 42 Hz 變化到 59.7 Hz。Clamped JPSSLs (1,3,8,9,10,11,13,18,19 和 20) 的第一模式頻率在 61 到 77 Hz 之間變化。因此最大的第一模式頻率為 77Hz。由於 996 RPM(83Hz) 高於 77Hz，所以沒有 JPSSLs 共振的問題。

(2)第二模式的影響：

Unclamped JPSSLs 的第二模式頻率均高於 139.3 Hz，Clamped JPSSLs 的第二模式頻率高於 178 Hz，這些值遠高於再循環泵速度為 996 RPM 時所對應的二次共振效應頻率 83Hz。

(二)其他組件

依據核一廠起動期間功率與爐心流量變化紀錄，評估反應爐

爐內組件運轉於 75%功率與 80%爐心流量之效應，結果為所有組件在此運轉狀態下均符合接受標準(10,000 psi 0-peak)。經評估受 VPF 顯著影響之組件只有噴射泵偵測管(Jet Pump Sensing Lines, JPSL)和噴射泵升流管支撐件(Jet Pump Riser Braces)，其中 JPSL 之效應已於(一)節完成評估，而核一廠噴射泵升流管支撐件的第一模式效應頻率高於 200 Hz，因此該組件處於 83 Hz 的 VPF，相當於再循環泵速度 996 rpm 時並無共振之問題。

(三)基於以上評估，反應爐爐內組件運轉於 75%功率與 80%爐心流量，和再循環泵速度 996 rpm 時，並無產生流體誘發振動(Flow Induced Vibration)之問題。

二. 燃料完整性：

核一廠 2 號機計劃降載至 75%功率穩定運轉到週期末，經燃料廠家 Areva 公司審視評估核一廠 2 號機相關的 3 份安全分析報告，至 106 年 4 月 26 日機組的爐心燃耗已達 11750 MWd/MTU，前述的運轉方式是可行的(如附件 3)，該機組在未來運轉中仍須遵照下列 3 項在安全分析報告的注意事項：

(一) 週期燃耗不可超過 12723.7 MWd/MTU。

(二) 燃料束與燃料棒的最大燃耗分別不可超過 54.0 GWd/MTU 與 58.7GWd/MTU。

(三) 若機組另有升載到 100%功率且將控制棒全部抽出的需求,在達到此狀態前必須先確認

內容涉及廠家智慧財產權

功率符合安全分析報告所記載的

標準。

電廠運轉措施如下：

核技組人員可使用現有的爐心監測程式 POWERPLEX 線上監測前述之各項參數，亦可利用該程式的預測(PREDICT)模式預估未來的爐心各項參數，此線上監測與預估作業為核技組人員日常的例行業務之一。

三. 設備影響及因應策略：

(一)設備影響分析

1. 汽機汽封蒸汽含水量較額定功率時略高(比較 100%及 75%功率抽氣扇電流並無差異。運轉注意事項:
 - a. 開始降載時，運轉 2 台 Gland Steam 抽氣扇，且 Gland Steam 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並監視運轉電流。
 - b. 開始降載時，電氣組、修配組協助值班加強監視抽氣扇運轉狀況，且將運轉電流做成紀錄，另電氣組已於現場裝設電流表提供值班人員每 4 小時記錄電流值；巡查該設備有異常，立即通知電氣組、修配組處理。
2. 再循環水泵臨界速度及噴射泵之 Sensing Line 自然頻率
電廠運轉措施如下:
 - a. 依核技組之爐心營運策略，反應爐 75%功率運轉時，爐心流量維持在 80%~100%區間運轉。
 - b. 持續監控：維持 75%功率且穩定後，依據程序書 602.6.7「每日運轉記錄」核對噴射泵迴路 A、B 之 M-Ratio，並將資料提供機械組分析判定。
3. 飼水控制信號分析

功率於 70%附近，飼水控制信號轉折，可能造成飼水控制閥 C31-F001A/B 晃動。電廠運轉措施如下：

- a. 維持 75%功率運轉，可避免飼水控制信號轉折處。
- b. 運轉值班加強注意水位變化並避免功率低於 70%運轉。

4. 機組維持 75%功率運轉對汽機葉片之影響

維持於 75%功率穩定運轉，負載不變動情況下，評估汽機進汽乾度(99.99%)不受影響，相關強化運轉注意事項：

- a. 修配組上班日加強監控汽機振動等參數。
- b. 發現汽機相關參數異常時立即通知修配組人員。

(二) 相關組配合事項

組別	配合事項
核技組	1. 提供及執行爐心營運策略： a. 二號機維持 75%熱功率/80%爐心流量運轉（先將目前約 89%爐心流量降至約 80%，再插入 3 組控制棒，直至熱功率降至約 75%）。 2. 每日下班前核技組依爐心狀況適時更新升、降載步驟且經核技組經理核章後送至控制室，以因應臨時需求。
機械組	監視再循環水泵、飼水泵、噴射泵運轉參數。
電氣組	1. 降載時協助值班加強監視 Gland Steam #1/#2 抽氣扇運轉狀況，且將運轉電流做成紀錄。 2. 現場 MCC 裝設 Gland Steam #1/#2 電流表提供值班人員每 4 小時記錄電流值。
儀控組	監視飼水控制閥 C31-F001A/B 運作狀況。

修配組	1. 降載時協助值班加強監視 Gland Steam #1/#2 抽氣扇運轉狀況。 2. 監控汽機振動等參數。
-----	---

(三) 運轉值班因應對策

1. 依程序書 OPER-05 「停機／冷爐核對表」，運轉員執行下列行動：
 - a. 將 DEH VALVE MODE 由 SEQUENTIAL 改為 SINGLE MODE 運轉。
 - b. 啟動第 2 台 Gland Steam 抽氣扇，且 Gland Steam 壓力維持約 $0.35 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$ 。
 - c. 85% 功率左右時，視 COND. DEMIN 系統差壓停用 COND. DEMIN 混合床組數。
2. 汽機 Gland Steam 抽氣扇
 - a. 運轉 2 台 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。
 - b. 每 4 小時記錄電流值(如附表 1)；若設備有不正常現象，值班立即通知電氣組、修配組處理。
3. 再循環水泵

降載至 75% 功率且穩定後，依據程序書 602.6.7 「每日運轉記錄」核對噴射泵迴路 A、B 之 M-Ratio，並將資料提供機械組分析判定。
4. 飼水控制閥
 - a. 維持 75% 功率運轉。
 - b. 運轉值班加強注意水位變化。
5. 汽機運轉參數

監視汽機運轉參數，有異常變化時，通知修配組人員。

6. 75%穩定功率運轉之初期，若機組有不穩定狀況，優先考慮以升載方式離開不穩定狀況。
7. 負載需變動時，上班時間請通知維護相關組。

(四)與 EPRI-300200612 報告比對分析

EPRI-300200612 報告之目的在叮嚀各核能機組持照者注意，在核能機組不再是基載運轉機組，而採配合電網調度浮動功率運轉(Flexible Power Operations)時所需執行之系統、元件性能評估建議。本案核一廠 2 號機將採行維持在 75%之高功率基載運轉模式，不同於 EPRI-300200612 報告敘述之浮動功率運轉，相關報告各章節評估比對結果如附表 2。

四. 蒸汽乾燥器共振評估

依照 BWRVIP-182A 之“篩選分析”(參考 BWRVIP-194 Appendix-B)，分析電廠於功率運轉下 MSL 是否可能發生聲波共振(BWRVIP-182A 稱聲波激盪，acoustic excitation)。方法為計算 75%運轉功率(1380MWt)蒸汽流量下 MSL 支管 Strouhal Number (S)值及之前以相同方法計算 1775MWt 之 MSL 支管 Strouhal Number (S)值比對。依據 BWRVIP-182A 若 S 介於 0.25 ~ 0.60 (So)間，就有可能發生聲波共振。

產生前述共振現象的主要參數為 Strouhal Number (S)，其定義如下：

$$S = a (d+r) / (4LU) = f_1(d+r) / U$$

其中：

a = 流體音速

d = 支管(side branch)內徑

r = 支管進口處之彎曲半徑。(保守假設為 0)

L = 支管長度

U = MSL 流體速度(nominal velocity)

$$f_1 = a/4L \text{ 波長共振頻率}$$

核一廠數據如下：

MSL ID $D = 17.938 \text{ in.}$ 半徑 = 8.969 in.

SRV 支管 ID $d = 6.813 \text{ in.}$

SRV 支管從 MSL 中心線至 flange 高度 = 2 ft 1 in. (最大 2.33 ft)

SRV nozzle 高度 = 7.9 in.

$$d/D = 0.38$$

SRV 支管長度 $L = 2 \text{ ft } 1 \text{ in.} - 8.969 \text{ in.} + 7.9 \text{ in.}$ (2.33 ft - 8.969 in. + 7.9 in.) = 23.93 in. (26.9 in.) = 60.8 cm (68.3 cm)

(一) 1775MWt 功率運轉計算：

1775MWt 功率運轉 total steam flow = 3445 T/hr = 94462 m³/hr,

$$U = 40.23 \text{ m/s} = 132 \text{ ft/s}$$

$a = \text{流體音速} = 490 \text{ m/s} = 1607 \text{ ft/s}$

$$f_1 = a/4L = 201.5 \text{ Hz} (179.4 \text{ Hz})$$

故 1775MWt 功率運轉之下：(註：括弧內為對應於較長 SRV 支管之值)

$$S = f_1 d / U = 201.5 \times 6.813 / 132 = 0.867 (0.772)$$

(二) 電廠於 75% 功率運轉 (1380MWt) 計算：

75% 功率運轉 MSL flow = 2563 ton/hr = 711.94 kg/sec,

依流體壓力 = 65.724 Bar (67.02 kg/cm²) 及溫度 (MSL to turbine temp) = 282°, 流體音速 $a = 492 \text{ m/sec}$

流體密度 $\rho = 34.76 \text{ kg/m}^3$; MSL 截面積 $A = 0.163 \text{ m}^2$

每條 MSL flow $\underline{m} = (711.94 \text{ kg/sec}) / 4 = 178 \text{ kg/sec}$

$$\rho U = \underline{m} / A$$

U (steam speed in MSL) = 31.41 m/sec

波長共振頻率 $f_1 = a/4L$ 正比於流體音速 a ，故 75% 熱功率下 acoustic response frequency for the SRV/side branch 共振頻率 = 180.1 Hz ~ 202.3 Hz。

Strouhal Number $S = a (d+r) / (4LU) = f_1 (d+r) / U$ 正比於 f_1 / U (即共振頻率 / steam speed in MSL)

故計算得 75%熱功率之

$$S(\text{SRV-A})=0.99; S(\text{other SRV})=1.11$$

依據上述計算結果顯示，核一廠若於 75%熱功率下運轉，最保守的 Strouhal Number 為 0.99，仍高於 BWRVIP-182A 之 S_o 建議值 0.60，故不會發生 MSL 聲波共振之問題，因此也不會發生 Steam Dryer 共振之問題。

肆.結論

- 一、以往如春節期間、定期測試需求等之負載變動，均有維持 75%功率穩定運轉經驗。相關設備異常及暫態之處理，亦有相關程序書及模擬器操作訓練規範，運轉人員操作及事件因應之熟稔度，足以維持機組 75%功率可靠的運轉。
- 二、本案件並不涉及執照申請及安全事項，經電廠從爐心組件安全、燃料營運、設備運作等方面進行評估，並檢視 EPRI-300200612 報告完整考慮各面向，電廠規劃二號機組維持在 75% 功率穩定運轉，本公司確認安全無虞。

附件 1，共 4 頁

二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

一、運轉組態：

106.04.29 01:17 二號機開始降載，02:35 降至 75%功率，02:49 爐心流量>80%，
目前維持 75%功率及爐心流量>80%運轉。

二、重要運轉參數比對說明：

項次	重要參數	100%功率	75%功率	說明
1	發電機組出力	652 MWe	495 MWe	75%功率，穩定運轉
2	爐心熱限值 CMFLCPR	0.935	0.896	熱限值餘裕增高，更安全
3	爐心衰變熱	高	低	安全系統之餘裕增高
4	APRM 1/2/3/4	100 %	75 %	中子通量降低 安全餘裕增高
5	噴射泵流量(LOOP A)	11570 T/H	10000 T/H	降至 75%功率之正常反應
6	噴射泵流量(LOOP B)	10760 T/H	9590 T/H	降至 75%功率之正常反應
7	爐心差壓	14.8 psid	10.5 psid	降至 75%功率之正常反應
8	反應器水位	92 cm	92 cm	水位穩定控制之正常反應
9	反應器壓力	70.2 kg/cm ²	69.0 kg/cm ²	爐壓穩定控制
10	再循環水泵 A 速度	88.4 %	74.8 %	維持≥60%
11	再循環水泵 B 速度	86.2 %	72.6 %	維持≥60%
12	再循環水泵 A 振動	位移 X:10 mils	位移 X:9.2 mils	出力減，震動餘裕升高
13	再循環水泵 B 振動	位移 X:4.2 mils	位移 X:4.0 mils	出力減，震動餘裕升高
14	Core Flow	91.8 %	80.9 %	維持爐心流量>80%穩定
15	乾井壓力	0.042 kg/cm ²	0.041 kg/cm ²	熱源減，安全餘裕升高
16	乾井空間平均溫度	48.4 °C	48.2°C	熱源減，安全餘裕升高
17	抑壓槽水溫 R603	30.1°C	30.1°C	熱源減，安全餘裕升高
18	抑壓槽水位	-3.9 cm	-3.9 cm	正常，警報值:-9~+2cm
19	飼水控制閥	開度 63~66%	開度 29~31%	水位穩定控制

	FCV-C31-F001A			
20	飼水控制閥 FCV-C31-F001B	開度 63~66%	開度 29~31%	水位穩定控制
21	冷凝水流量	60000 l/min	45000 l/min	冷凝水泵出力餘裕高
22	冷凝水除礦器 使用組數	8 組	6 組	冷凝水水質處理餘裕增高
23	主冷凝器真空	54 mm Hg abs	45 mm Hg abs	真空更佳，遠低於警報值 127 mm Hg abs
24	汽機 Gland Steam 抽 氣扇 A/B 運轉電流	5.3/9.3 A	5.6/8.8 A	電流穩定正常，遠低於額 定電流 17A。
25	Gland Steam 壓力	0.39 kg/cm ²	0.40 kg/cm ²	壓力穩定，維持 0.35~0.4 kg/cm ²
26	Gland Steam 冷凝器 真空	80 cm 水柱 vac	80 cm 水柱 vac	真空良好，遠高於警報值 25.4 cm 水柱 vac
27	汽機軸承油壓	1.36 kg/cm ²	1.35 kg/cm ²	油壓正常，遠高於警報值 0.56 kg/cm ²
28	汽機軸承 NO.1 振動	2.9 mils	1.9 mils	振動值在合理變動範圍
29	汽機軸承 NO.2 振動	3.3 mils	3.0 mils	振動值在合理變動範圍
30	汽機軸承 3X/3Y 振動	2.4/1.5 mils	2.6/1.5 mils	振動值在合理變動範圍
31	汽機軸承 4X/4Y 振動	1.2/2.8 mils	1.1/2.2 mils	振動值在合理變動範圍
32	汽機軸承 5X/5Y 振動	2.8/1.3 mils	2.6/1.1 mils	振動值在合理變動範圍
33	汽機軸承 6X/6Y 振動	3.6/2.6 mils	3.3/2.4 mils	振動值在合理變動範圍
34	汽機軸承 NO.7 振動	1.6 mils	1.6 mils	振動值在合理變動範圍
35	汽機軸承 NO.8 振動	1.1 mils	1.2 mils	振動值在合理變動範圍
36	汽機軸承 NO.9 振動	0.7 mils	1.0 mils	振動值在合理變動範圍
37	汽機軸承 NO.1 洩油 溫度	53 °C	51 °C	汽機軸承負荷減小
38	高壓汽機第一級金 屬溫度	261 °C	243 °C	高壓汽機負荷減小

39	CSCW 熱交換器 出口溫度	25.5 °C	24.5 °C	CSCW 熱交換器餘裕增加
40	TBCW 熱交換器 出口溫度	28 °C	27 °C	TBCW 熱交換器餘裕增加
41	主變壓器冷卻器	最少要 5 組使用	最少要 4 組使用	主變壓器冷卻餘裕增增加
42	發電機鐵心溫度	120~129 °C	90~100 °C	發電機運轉餘裕增增加
43	飼水入口溫度	214 °C	201 °C	降至 75%(或略大於)功率之正常反應

二號機由 100% 功率降載至 75% 功率穩定運轉，由上述各項重要運轉參數比對結果顯示，相關設備運轉狀態均處於運轉更安全、安全餘裕更高狀況，機組維持穩定安全運轉。

三、流程輻射偵測(PRM)與廠區環境輻射偵測(ERM)比對說明：

項次	輻射偵測儀器	100%功率	75%功率	說明
1	廠房煙囪 D11-K615	12 cps	10.1 cps	數值降低，對環境無影響。
2	反應爐廠房排氣 D11-R605A	0.14 mR/hr	0.13 mR/hr	數值降低，對環境無影響。
4	SJAE 廢氣 D11-K635A	1300 cps	850 cps	數值降低，對環境無影響。
5	SJAE 廢氣 D11-K635B	1000 cps	580 cps	數值降低，對環境無影響。
6	SJAE 廢氣 D11-K635C	800 cps	500 cps	數值降低，對環境無影響。
7	主煙囪 D11-K600A	9.3 cps	8.7 cps	正常，遠低於警報值 980 cps
8	主煙囪 D11-K600B	8.3 cps	8.5 cps	正常變動範圍，對環境無影響。
9	汽機廠房通風 RM-HV-17 微粒控道	74 cpm	71 cpm	正常，遠低於警報值 300 cpm
10	汽機廠房通風 RM-HV-017 碘控道	0 cpm	0 cpm	正常，遠低於警報值 100 cpm
11	汽機廠房通風 RM-HV-018 微粒控道	75 cpm	61 cpm	數值降低，對環境無影響。
12	汽機廠房通風	20 cpm	12.6 cpm	數值降低，對環境無影響。

	RM-HV-018 碘控道			
13	廢液排放 D11-K604	40 cps	38 cps	數值降低，對環境無影響。
14	Reactor building cooling water loop-A monitor D11-K606	3.9 cps	3.5 cps	數值降低，對環境無影響。
15	Reactor building cooling water loop-B monitor D11-K613	3.4 cps	3.2 cps	正常，遠低於警報值 16 cps
18	廠區環境輻射偵測 ERM	0.048~0.079 $\mu\text{Sv/h}$	0.048~0.079 $\mu\text{Sv/h}$	所有 ERM 偵測皆正常無變化， 遠低於警報值 $4.0 \mu\text{Sv/h}$ ，對 環境無影響。

上述各項流程輻射偵測(PRM)比對結果，機組維持在 75%功率運轉後數值降低，對環境無影響，反映在電廠廠區環境輻射偵測(ERM)並無明顯變化，在安全法規限值之內。因此維持 75%功率運轉並未影響環境生態。



HITACHI

GE Hitachi Nuclear Energy
3901 Castle Hayne Rd
Wilmington, NC 28401

GEH Proprietary Information

004N2675

Revision 0

GEH Proprietary Information Class II

April 2017

Chinshan 2 Operation at 75% Power, 80% Core Flow and 996 RPM Recirculation Pump Speed

個資

*Copyright 2016 GE-Hitachi Nuclear Energy Americas LLC
All Rights Reserved*

**IMPORTANT NOTICE REGARDING THE
CONTENTS OF THIS REPORT**

Please Read Carefully

A. Disclaimer

The only undertakings of GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) respecting information in this document are contained in the contract between the company receiving this document and GEH. Nothing contained in this document shall be construed as changing the applicable contract. The use of this information by anyone other than a customer authorized by GEH to have this document, or for any purpose other than that for which it is intended, is not authorized. With respect to any unauthorized use, GEH makes no representation or warranty, and assumes no liability as to the completeness, accuracy or usefulness of the information contained in this document, or that its use may not infringe privately owned rights

B. Proprietary Information Notice

This document contains proprietary information of GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) and is furnished in confidence solely for the purpose or purposes stated in the transmittal letter. No other use, direct or indirect, of the document or the information it contains is authorized. The recipient shall not publish or otherwise disclose this document or the information therein to others without prior written consent of GEH.

REVISION CONTROL SHEET

Revision	Date	Description
Rev. 0	April 2017	Initial Release

TABLE OF CONTENTS

	Page
ACRONYMS AND ABBREVIATIONS	v
1.0 Background	1
2.0 Purpose	1
3.0 References	1
4.0 Evaluation	1
4.1 Jet Pump Sensing Lines	1
4.2 Other components	2
5.0 Conclusions	2

ACRONYMS AND ABBREVIATIONS

Item	Short Form	Description
1	BWR	Boiling Water Reactor
2	DRF	Design Record File
3	FIV	Flow Induced Vibration
4	Hz	Hertz
5	JPSL	Jet Pump Sensing Line
6	psi	Pounds per square inch
7	RPM	Revolutions per minute
8	TPC	Taiwan Power Company
9	VPF	Vane Passing Frequency
10	VSF	Vortex Shedding Frequency

內容涉及廠家智慧財產權

內容涉及廠家智慧財產權



Contract No. F.551481-C-01

May 17, 2017
RKF:17:033r1
FAB17-2143
J02 CSH228 T1.2

Mr. 個資
Director, Department of Nuclear Generation
Taiwan Power Company
242 Roosevelt Road, Section 3
Taipei, Taiwan, R.O.C

Dear Mr.

個資

Transmittal of Information to Support Chinshan Unit 2 Cycle 28 Operation at Reduced Power

- Ref.: 1. ANP-3441 Revision 0, Chinshan Unit 2 Cycle 28 Core Operating Limits Report, September 2015
- Ref.: 2. ANP-3442P Revision 1, Chinshan Unit 2 Cycle 28 Reload Licensing Analysis, November 2015
- Ref.: 3. ANP-3455P Revision 0, Startup and Operation Report Chinshan Unit 2 Cycle 28, December 2015

Per your request AREVA has reviewed the option to operate Chinshan Unit 2 at reduced core power until the end of Cycle 28. The results of AREVA licensing analyses supporting Unit 2 Cycle 28 are summarized in References 1, 2 and 3. Currently the Cycle 28 exposure is approximately 11,750 MWd/MTU. Operation at reduced core power for the remainder of Cycle 28 is allowed provided the core conditions remain within the following limitations:

1. The Cycle 28 exposure does not exceed the "Licensed Exposure Limit" of 12,723.7 MWd/MTU (Table 2.1 of Reference 3).
2. The maximum fuel assembly exposure and the maximum fuel rod exposure do not exceed the exposure limits of 54.0 GWd/MTU and 58.7 GWd/MTU, respectively (Section 2.0 of Reference 2).

AREVA NP

AREVA Inc., 2101 Horn Rapids Road, Richland WA 99354
Tel.: 509 375 8100 - us.aveva.com

AREVA INC. PROPRIETARY

This document and any information contained herein, is the property of AREVA Inc. and is to be considered proprietary and confidential and may not be reproduced or copied in whole or in part. Nor may it be furnished to others without the express written consent and permission of AREVA Inc. nor may it be used in any way that is or may be detrimental to AREVA Inc. This document and any copies that may have been made must be returned to AREVA Inc. upon request.

02/09/17 F-0-00000001

附件 3，共 2 頁

Mr. [redacted]
May 17, 2017

RKF:17:033r1/FAB17-2143
Page 2

3. After operating at reduced core power, the projected licensing basis axial power profile must be shown to be in compliance prior to ascending to 100% core power. The process for checking compliance to the licensing basis axial power is described in Section 4.3 of Reference 3 i.e. the power in the bottom [redacted] of the projected core average axial power profile at the conditions in Table 4.5 of Reference 3 must be greater than the power in the bottom [redacted] of the licensing axial power profile in Table 4.5 of Reference 3.

[redacted] 內容涉及廠家智慧財產權

[redacted] 內容涉及廠家智慧財產權

If Taipower has any questions or concerns regarding this transmittal, please don't hesitate to contact me.

Very truly yours,

[redacted]
個資

Project Manager, Taiwan Contracts

cc:

[redacted]
個資

Section Head, Department of Nuclear Safety
Manager, Nuclear Engineering Section, Chinshan Station
Subsection Head, BWR Core Management, Department of Nuclear Generation
Subsection Head, Fuel Technology, Department of Nuclear Generation
], AREVA Representative Office in Taiwan

[redacted]
個資

AREVA NP

AREVA Inc., 2101 Horn Rapids Road, Richmond WA 99354
Tel.: 509 375 6100 - us.aveva.com

AREVA INC. PROPRIETARY

This document and any information contained herein, is the property of AREVA Inc. and is to be considered proprietary and confidential and may not be reproduced or copied in whole or in part. Nor may it be furnished to others without the express written consent and permission of AREVA Inc. nor may it be used in any way that is or may be detrimental to AREVA Inc. This document and any copies that may have been made must be returned to AREVA Inc. upon request.

229966A_r4-00000111

附表 2 EPRI 報告「Program on Technology Innovation: Approach to Transition NPP to Flexible Power Operations」各章節評估比對結果

章節	EPRI 報告評估			台電公司評估結果
Chap 1 簡介	flexible power operation 運轉模式： 1.頻率控制運轉包含下列 2 種： a.用來穩定電網頻率的暫態。 b.用來將電網頻率恢復到電網頻率暫態之後的預值。 2.功率調整，調整電網發電量以滿足預期的需求。這些功率調整可由下列兩種方式之一發生： a.計劃性的電力調整基於每天、每周或每季等預期的電網發電量及需求。 b.根據建立的協議，對於電網擁塞程度及電網事件，電網調度單位短期請求電廠發電量改變。			採用維持 75%功率穩定運轉之發電策略
Chap 3 功率輸出控制	1.功率輸出控制選項	(1).改變反應爐功率與蒸汽產生	a.頻率較高的功率變化	a.維持 75%熱功率穩定運轉，不隨系統頻率改變。
			b.可能需要更精準的反應度控制	b.調整爐心流量於 80%~100%間，維持 75%熱功率穩定運轉，與目前之滿載穩定運轉策略相同，並不需要如 FPO 運轉模式，經常配合調度需求調整功率輸出
			c.可能需要改變反應度及功率變化速率	c.調整爐心流量於 80%~100%間，維持 75%熱功率穩定運轉，與目前之滿載穩定運轉策略相同，並不需要如 FPO 運轉模式，經常配合調度需求調整功率輸出

		(2).由汽機轉移部份蒸汽排放至大氣	PWR 設計，環境考量因素 BWR 不適用。
		(3).再循環泵使用於反應度控制受限於爐心動力無法單獨降載功率低於70~80%，須配合控制棒位調整，且有兩個缺點包括潛在增加軸封洩漏及可能產生二次共振效應(vane passing frequency, VPF)，但可透過系統監測抑制其發生。	調整爐心流量於80%~100%間，以維持75%熱功率穩定運轉之運轉模式，與目前之滿載穩定運轉策略；爐心流量於80%~100%間可避開再循環泵之共振問題；不須配合調度之調整功率運轉亦不會有潛在scoop tube磨損情形發生。
	2.爐心營運考量	個別燃料棒方面 (1)在低功率時燃料封套降低 (2)增加燃料棒及護套疲勞效應	(1)75%高功率穩定運轉，且 POWERPLEX 系統可以計算低功率燃料封套降低的狀況 (2)75%功率穩定運轉不會造成燃料疲勞效應
		反應爐 (1)對燃耗及爐心壽命的影響 (2)較頻繁的反應度控制，(可能造成 XE-135 不穩定)	(1)只要在週期燃耗不超過執照燃耗並依循 SOR(Startup and Operation Report)進行爐心營運，對下週期燃料佈局的影響不大。 (2)維持 75%熱功率，XE-135 為穩定狀態。
	3.爐心核儀	(1)較頻繁的功率變化	(1)75%功率穩定運轉模式，爐心功率，變化頻次不改變。

	及控制	(2)爐心改變越頻繁將影響 LPRM 及 APRM 精準度	(1).採 75%穩定功率運轉模式，並無爐心改變越頻繁問題。 (2).依據核一廠運轉規範每 1000MWD/Short ton 執行 LPRM 校正，一廠於 04/17 pattern change 後亦已完成 1002.11 「RUN TIP」及 1002.6 「LPRM 校正」、1002.7 「APRM 校正」。 (3).於 75%降載運轉後，核一廠亦會執行上述三項作業以確保 75% 熱功率下之 LPRM/ APRM 準確性。
Chap 4 一次側系統 組件衝擊	1.反應器輔助系統考量： (1)控制棒與(2)控制棒驅動機構因使用改變反應度而增加磨損及減少壽命、(3)爐內組件因改變爐心功率而增加熱與機械疲勞、(4)蒸汽產生器因改變爐心功率而與主蒸汽管路產生共振疲勞、(5)再循環泵因功率變動而增加M-G Set、scoop tube及control valve磨損，以及延長運轉於振動或共振頻率區域。 蒸汽產生器完整性評估不限於大幅度功率提升EPU，相同共振現象在降載70%功率運轉也被發現，但裂紋較少見，可利用BWRVIP評估潛在SRV直管連接至主蒸汽管路之共振。		(1)(2)核一廠為維持 75%功率穩定運轉，須在運轉中調整控制棒棒位，但本週期以維持 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。 (3)(4)核一廠爐心功率係隨外在條件而變動，運轉 30 幾年來，並無發生汽水分離器與主蒸汽管路產生共振之現象，因此核一廠維持 75%功率運轉，不致產生爐內組件因改變爐心功率，而增加熱與機械疲勞，且蒸汽乾燥器不因改變爐心功率而與主蒸汽管路產生共振疲勞之現象。 (5)核一廠為維持 75%功率穩定運轉，須在運轉中調整爐心流量，但本週期以維持 75%功率運轉在未來 1 個半月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。

Chap 4 一次側系統 組件衝擊	2.蒸汽產生考量	(1).核一廠飼水控制系統已於 98~99 年完成組件數位化。 (2).於 75% 熱功率降載運轉，飼水控制閥之開度約 $31\pm 1.5\%$，已大於 25~27%開度線性/非線性之轉折點，飼水控制器 FIC-C31-R600 及分控器 FIC-C31-R601A/B 皆置於自動控制。
		(1)核一廠飼水控制器之使用比例與積分控制，其比例增益為 0.909，積分重置時間為 0.769min，為 GE 原廠之設計控制閥具 4~6 秒 Full stroke time 以因應反應爐水位重大暫態。 (2)依以往升降載至 75% 熱功率時，反應爐水位皆能穩定維持在 $91\pm 2\text{cm}$ 範圍內。
	3.一次側水化學考量	PWR 專有不適用 BWR
	4.汽機蒸汽流量與壓力儀控考量: 汽機 GV/ Bypass valve 與壓力控制系統	核一廠 DEH 控制系統已於 82 年完成數位化並且備援控制。 於 75% 固定熱功率降載運轉，GV-1~4 之開度固定，Bypass valve 關閉，皆無 valve hunting 及反覆 cycle 問題；且蒸汽流量固定，故無組件磨耗之議題。

Chap 5 發電設備考 量	1. 汽機系統機械考量： (1) 汽機轉子對於汽機負載、蒸汽壓力溫度與冷凝器背壓變化將造成振動疲勞，增加 IV 調節降低效率，以及於 85~100% 功率運轉時，轉子乾溼交界區域亦會產生應力腐蝕龜裂。 (2) 汽機葉片低功率不預期壓降造成蒸汽乾度或流速降低影響低壓汽機中至後級葉片沖蝕。 (3) TCV 因流量變化而增加閥反覆應力與磨損。	1. 汽機系統機械考量： (1) 機組維持 75% 功率運轉，沒有負載變動，因此蒸汽壓力、溫度與冷凝器背壓不會有變化，IV 不會有調節現象，轉子也不會有乾溼交界區域的產生。 (2) 機組維持 75% 功率運轉，因此不會有非預期壓降或流速降的現象。 (3) 機組維持 75% 功率運轉，因此不會有流量變化的現象。
	2. 二次側系統機械考量： (1) 冷凝水泵與飼水泵因流量隨功率變化而產生振動或水頭-流量曲線改變。 (2) 飼水加熱器、(3) 汽水分離再熱器因蒸汽參數變化、減少流量與進口溫度造成不同層級加熱器洩水能力或液位控制不匹配。 (4) 冷凝器因增加汽機旁通閥使用造成噴嘴管路或槽體磨損。 (5) 蒸汽管路雙向流。 (6) 洩水管路閃化蒸汽。	2. 二次側系統機械考量： (1) 因為機組維持 75% 功率運轉，沒有負載變動，因此冷凝水泵與飼水泵的流量穩定。 (2)(3) 因為機組維持 75% 功率運轉，沒有負載變動，因此蒸汽參數、流量與進口溫度穩定。 (4) 因為機組維持 75% 功率運轉，汽機旁通閥保持關閉。 (5) 因為機組維持 75% 功率運轉，雙向流狀態不會增加。 (6) 因為機組維持 75% 功率運轉，洩水管路溫度、壓力不會變動。

	3.發電機械與電氣考量： (1)轉子：增加功率升載速率(Ramp rate)與磁場電流變化影響機械與熱應力變化、 (2)定子：增加熱疲勞負載與超過 40℃ 溫度搖擺、 (3)線圈：溫度晃動、 (4)整體系統：熱傳特性改變造成轉子振動及降低磁場電流與 VAR 負載能力。	3.發電機械與電氣考量： (1)因為機組維持 75%功率運轉，沒有負載變動，因此不會增加 Ramp rate，磁場電流也不會有變化。 (2)因為機組維持 75%功率運轉，沒有負載變動，因此不會增加熱疲勞負載與溫度搖擺現象。 (3)因為機組維持 75%功率運轉，沒有負載變動，因此不會有溫度晃動現象。 (4)因為機組維持 75%功率運轉，沒有負載變動，因此不會有熱傳特性改變。
	4.二次側水化學考量： 所有二次側水與蒸汽會改變熱水動力條件系統，應降低 FAC 與 SCC。	因為機組維持 75%功率運轉，沒有負載變動，冷凝水及飼水之熱水動力穩定不會變動。
	5.發電設備儀控考量： 飼水加熱器水位控制、汽水分離再熱器控制及加熱器洩水槽控制。	(1)75% 固定熱功率運轉下，可調整HTR-4A/B 殼側水位控制器LIC-103-4A1/4B1之水位設定，避免heater drain pump 反覆停止/起動，並維持水位穩定。 (2)核一廠MSR控制系統於99年完成數位化更新，且MSR二級加熱器於75%固定熱功率運轉下仍使用中，TCV-115-48A/B及48-1A/B都維持全開。
Chapter6 運轉考量	1.運轉考量:運轉員、運轉經理、維護工程師、訓練計畫及發電市場	維持 75%功率穩定運轉，不須隨時負載變動操作
	2.環境考量:地下水防護、熱排放、輻射影響	同 100%功率環境監控策略

Chapter7 運轉操作程序	1.非彈性運轉期間	TS SR 相關測試仍依據運轉規範需求執行、相關工作執行仍同 100%功率運轉執行
	2.機組測試依據 TS SR 要求、重要安全設備之風險評估、設備跳脫故障需進行降載及燃料破損。	
	3.功率變動之頻率與期間	維持 75%功率穩定運轉
	4.功率升降載變化	依核技組提供之爐心營運策略及依循相關程序書執行
	5.功率變動前之注意事項	依核技組提供之爐心營運策略及依循相關程序書執行
	6.違反運轉限值之回應	同 100%功率運轉執行
	7.環境限制	同 100%功率運轉執行
	8 多機組廠址	僅二號機維持 75%功率穩定運轉
	9.通訊	同 100%功率運轉執行