

立法院第 8 屆第 1 會期

教育及文化委員會

專 案 報 告

- 核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討
核電廠運轉安全性

報告人：行政院原子能委員會
蔡春鴻主任委員

中華民國 101 年 4 月 16 日

主席、各位委員先進：

奉 大院要求，謹就「核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討核電廠運轉安全性進行專案報告如下：

壹、核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討核電廠運轉安全性

一、事件摘要說明

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，依計畫於 3 月 23 日執行反應爐支撐裙鈹錨定螺栓超音波檢測(UT)前清潔作業時，發現位於裙鈹內側 1 根螺栓斷裂，斷裂位置距螺栓頂部約 18.3 吋。3 月 24 日起執行 UT 檢測，再次發現內側另有 2 根螺栓已近斷裂，另尚有 4 根螺栓有裂紋顯示，裂紋深度約 2.5mm，外側螺栓檢測則無異常。

本會接獲臺電公司通報後，隨即派員進行調查，調查時另確認 3 月 16 日 05:50 核二廠 1 號機進行反應爐模式切換至停機 (S/D) 時，曾造成弱震儀 OSG-XE-109 及強震儀 OSG-XE-105 動作，其中 OSG-XE-105 垂直方向最大加速度達到 0.29g(反應爐支撐裙鈹錨定螺栓及斷裂相關位置圖如圖 1、2、3 及表 1 所示)。

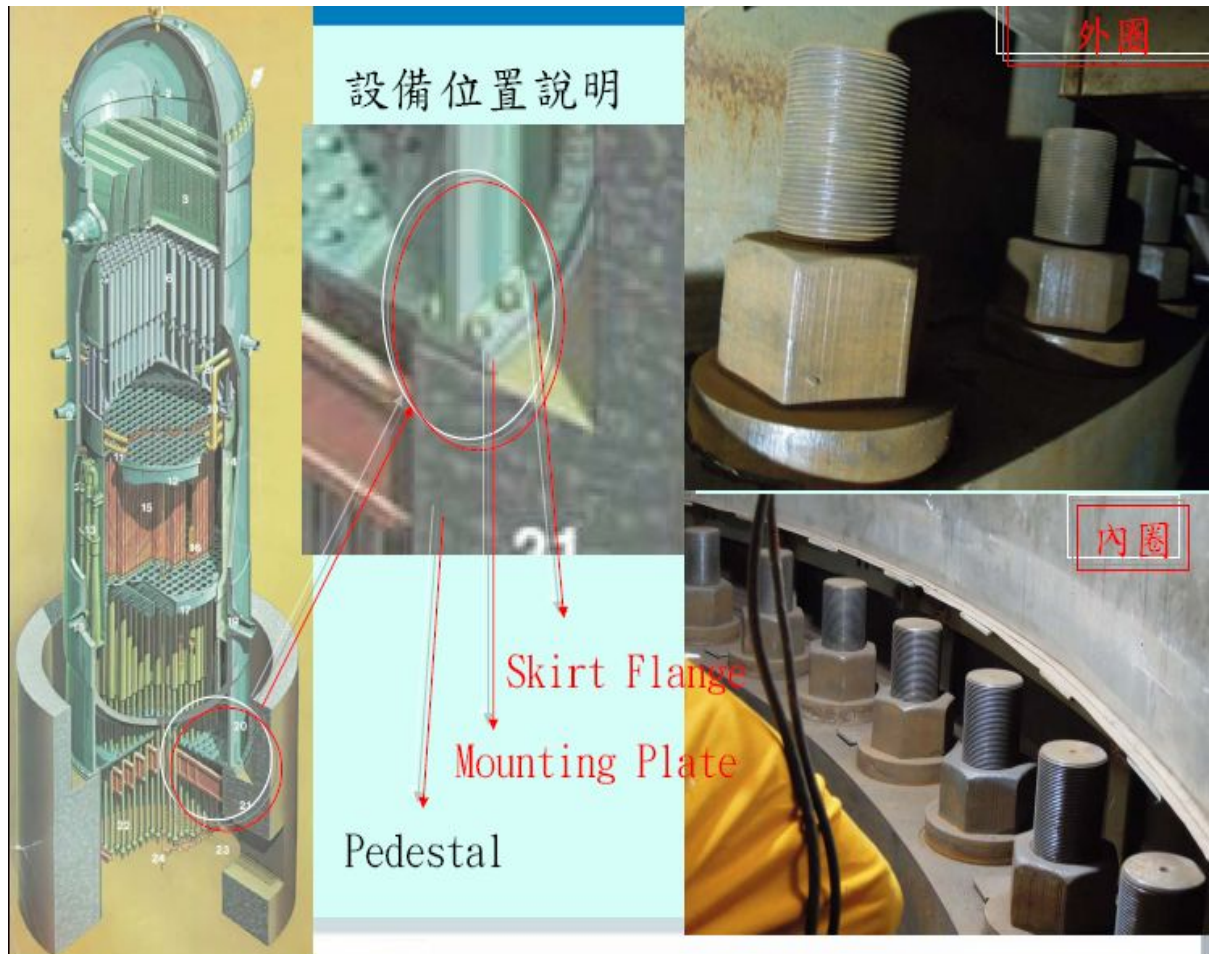
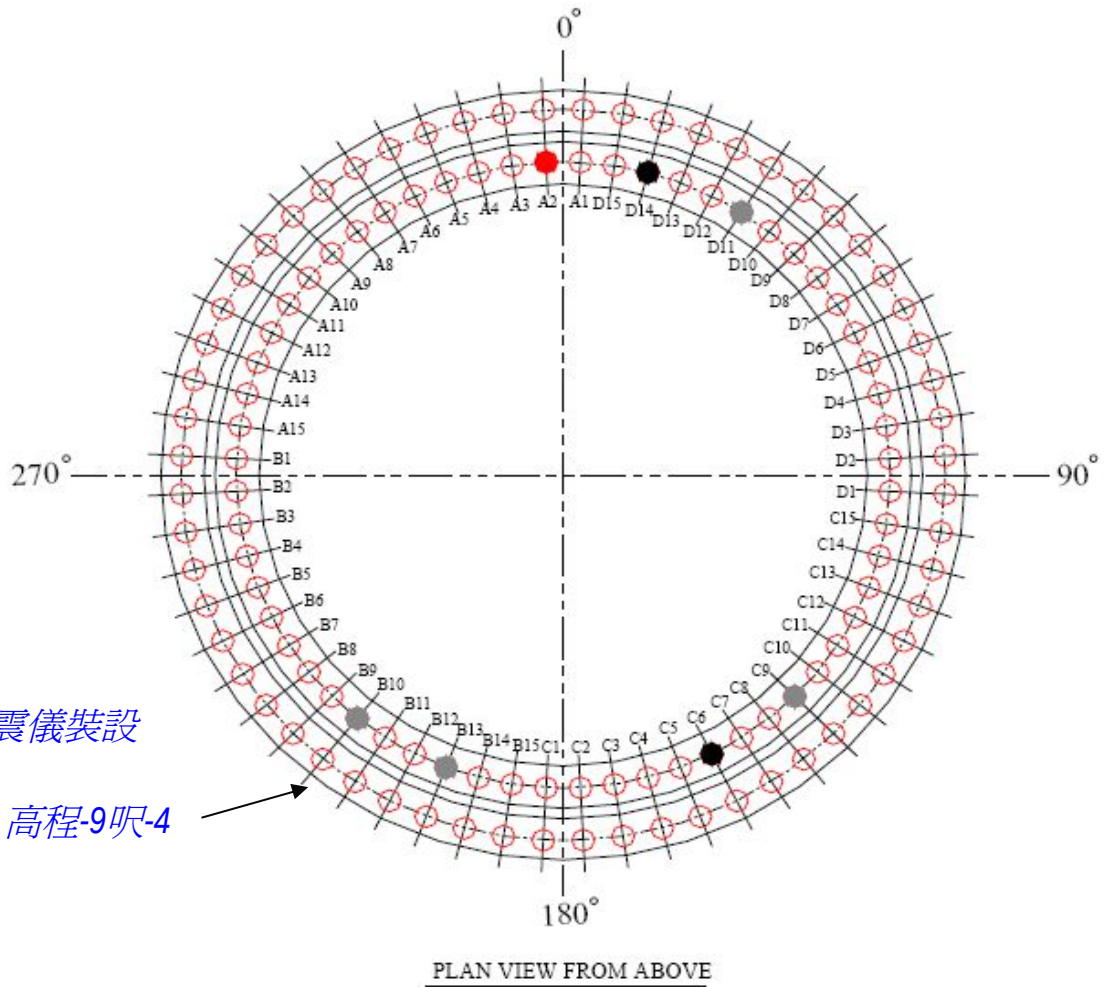


圖 1 反應爐支撐裙鈑錨定螺栓相關位置圖

表 1 不合格螺栓編號及斷裂/裂紋顯示位置

編號	方位度數 (0 度代表南方)	顯示	斷裂/裂紋顯示位置 (距螺栓頂部)
A2	357	斷裂	18.3 吋
C6	153	斷裂	21.7 吋
D14	15	斷裂	20.0 吋
B10	219	裂紋(約 2.5mm)	20.1 吋
B13	201	裂紋(約 2.5mm)	19.8 吋
C9	135	裂紋(約 2.5mm)	19.5 吋
D11	33	裂紋(約 2.5mm)	19.5 吋

RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS
反應爐支撐裙板錨定螺栓



(OSG-XE-105地震儀裝設
位置位於217度，高程9呎4
吋)

圖 2 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂相關位置圖

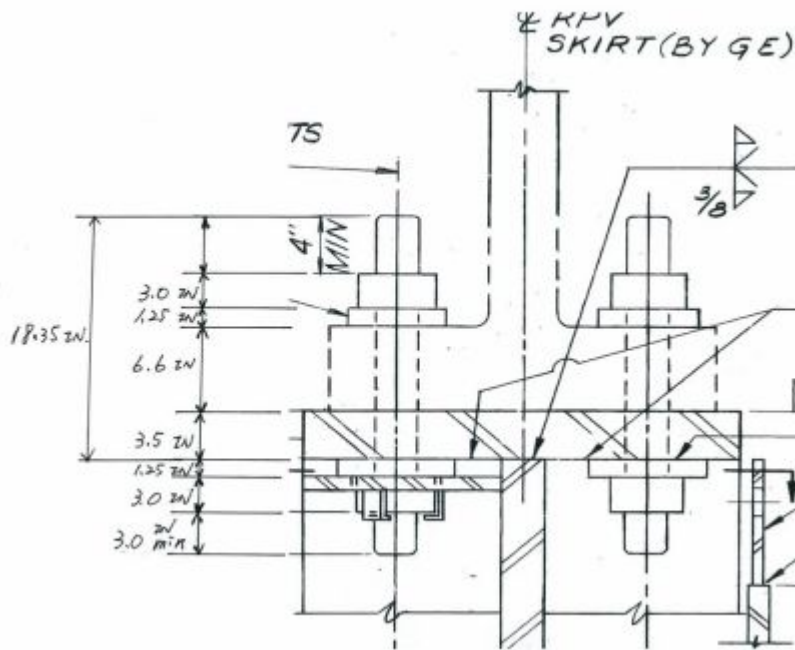


圖 3 錨定螺栓結構尺寸(右側代表內圈)

二、原能會管制作為

針對此事件，本會除了立即派員調查外，並邀請專家學者組成「核二廠 1 號機反應爐支撐裙鈹錨定螺栓審查小組」，審查成員專長涵蓋土木、材料、結構及地震等範疇，分別從「運轉中檢測(ISI)計畫與檢測紀錄」、「螺栓斷裂肇因分析」、「結構安全分析」、「周邊組件運轉安全」、「機組起動運轉之安全」、「全面移出爐心燃料」等各方面進行技術性審查。

1. 運轉中檢測(ISI)計畫與檢測紀錄

依據 ASME 法規，反應爐支撐裙鈹錨定螺栓每 10 年應執行目視檢測 (VT-3) 乙次，1 號機在 EOC-21 大修(99 年 10 月)執行時，檢測結果正常。而 2 號機於 EOC-21 大修(100 年 10 月)執行反應爐支撐裙鈹錨定螺栓 VT-3 目視檢測前，進行清潔作業時發現一根螺栓斷裂，隨後以超音波 (UT) 檢測剩餘 119 根螺栓，確認無斷裂或裂紋顯示。本會於今年 3 月 14 日 1 號機 EOC-22 大修前會議中，要求該機組 120 支反應爐支撐裙鈹錨定螺栓，均以超音波 (UT) 執行檢測，檢測結果如前所述。(圖 4 為 A2 螺栓斷面照片，(A) 為原始形貌，(B) 為清理後形貌；I 為破斷起裂源，A 為龜裂成長區，F 為最終拉斷區)

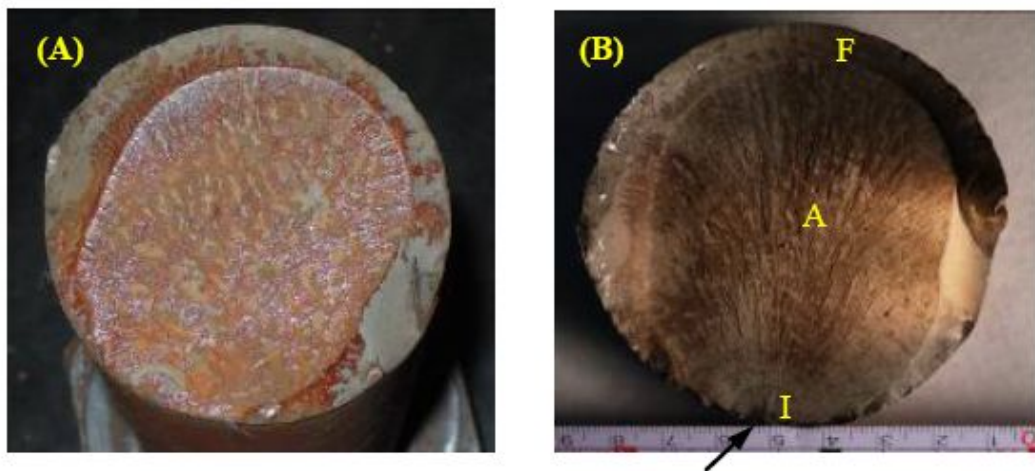


圖 4 A2 螺栓斷面照片

2. 螺栓斷裂肇因分析

反應爐支撐裙板錨定螺栓規格為 ASTM A-540 Gr. B23/B24 Class1，直徑 3 吋，長度 26 吋，下半部錨定於支撐結構混凝土內，上半部以螺帽與墊圈加鎖於反應爐支撐裙板，並施加預拉力 680 kips，錨定數量內、外圈各 60 支，共 120 支。臺電公司應本會有關肇因分析之要求，已將斷裂 3 支（A2、C6、D14）中之 A2 及 C6 送往核能研究所熱室進行檢驗分析，該所經由斷面檢視、微硬度測試、化學成分分析、斷口與起裂源斷貌顯微分析、顯微組織金相分析之結果，並從螺栓負載、材質、施工、運轉等相關因素中進行研判，雖然 A2 和 C6 之分析有些微差異，但經初步綜合研判，可排除腐蝕因素，但有熱處理不當、材質不良、製程瑕疵及因螺桿與載板接觸引發之非預期彎曲力矩等現象，可能為造成 A2 和 C6 螺栓斷裂之原因。

3. 結構安全分析

因為錨定螺栓為反應爐底座(pedestal)與反應爐裙板密接的重要組件，負有兩者間負荷傳遞及將反應爐穩固座落在反應器廠房土木結構上之

功能。因此錨定螺栓結構完整性有可能影響反應爐在各種運轉狀態中之支撐穩定性。依原設計基準係針對此項結構在 Faulted Condition(包括 SSE 及 LOCA)之嚴苛運轉條件下之承載能力進行分析，即 Faulted condition 所引發之 overturning moment、thermal circumferential moment 及垂直上揚力(vertical upward force)等均須低於螺栓 90%降伏強度受力 804.6 kips 之設計基準。目前刻正由審查小組審查中，審查重點在確認在各種設計運轉條件下，反應爐支撐裙鈹法蘭與基座載鈹接觸面之摩擦力是否足以抵檔各種運轉條件下之剪力，符合原設計要求，而無滑移之疑慮。

4. 周邊組件運轉安全

反應爐周邊連接著相當多且重要的管嘴/管路、控制棒驅動機構等，由於強震儀 OSG-XE-105 曾有垂直方向最大加速度達到 0.29g 之紀錄，因此已要求臺電公司針對該等管路加強檢查。經臺電公司採超過運轉基準地震(OBE)之大修現場查證(walkdown)規定，包括爐內檢測、焊道（與反應爐相連之管嘴焊道 29 口）、管路（與反應爐相連之管路焊道 30 口）等，查證結果均正常，並於 4 月 12 日加壓反應爐執行洩漏測試，確認和

反應爐相連接管路/管嘴之完整性。

5. 機組起動運轉之安全

鑑於核二廠 1 號機反應爐支撐裙鈹錨定螺栓斷裂問題，截至目前資料顯示：臺灣為首例，因此 4 月 3 日本會已正式通知臺電公司，核二廠 1 號機非經本會同意，不得再起動。本會目前正仔細評估，並要求臺電公司就未檢出有瑕疵之 113 支螺栓是否符合原設計之標準（ASTM A-540 B23 Class 1 如表 2、3）之說明，並提出螺栓修復後起動運轉之安全性分析。

表 2 化學成分要求

元素	化學成分要求（%）
C	0.37-0.44
Mn	0.60-0.95
P	0.25（max）
S	0.25（max）
Si	0.15-0.35
Cr	0.65-0.95
Ni	1.55-2.00
Mo	0.20-0.30

表 3 機械性質

Grade	Class	尺寸 (in)	硬度 最低 最高	最低降伏 (ksi)	伸長量 (% in 2 in)
	1	3 in	321 415	150	10
B23	Class	尺寸 (in)	衝擊試驗 v-notch -12.2°C	最低抗拉 (ksi)	最低可減少面積 (%)
B23	1	3 in	NA (<4in)	165	35

6. 「全面移出爐心燃料」之評估

有專家學者提出審查意見，認為應估算反應爐壓力槽因支撐裙鈑錨定螺栓破損所減少之耐震度，並考慮全面移出爐心燃料之必要性。本會將考量修復期間之長短等因素，評估是否須要求核二廠將 1 號機之爐心燃料全面移出。

三、小結

本案尚在本會審查中，無論肇因分析、機組起動運轉安全、與修復過程之安全均尚待澄清。確保核能安全為本會之首要職責，本會向來均以最謹慎的態度，嚴密把關。面對此次核二廠 1 號機反應爐基座七根螺栓毀損問題，亦是如此。

參、結語

原能會為我國核能安全管制機關，對於涉及國內各核電廠運轉安全、用過核子燃料及低放射性廢棄物安全管理等議題，均會以嚴格的態度依法進行安全監督。在相關業務執行過程中，亦感謝各位委員先進的指導及支持。上述兩項專案報告，敬請各位委員先進惠予指教。謝謝！