

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定 螺栓斷裂處置報告



台灣電力公司

101年4月25日



報告綱要

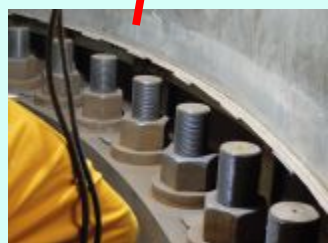
- 一、反應爐支撐裙板錨定螺栓設備說明
- 二、錨定螺栓檢測歷史
- 三、修復方案及結果
- 四、螺栓鎖緊度(預力)查驗
- 五、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明
- 六、肇因分析
- 七、安全評估
- 八、振動監測計畫及加強檢測計畫
- 九、結語



一、反應爐支撐裙板錨定螺栓設備說明

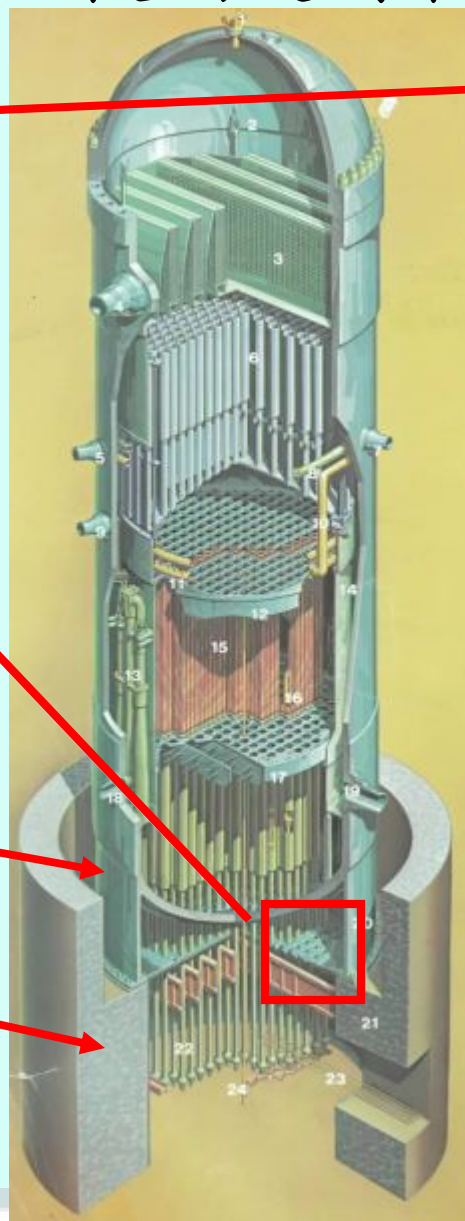


裙板



內圈螺栓
(60支)

裙板
反應爐基座

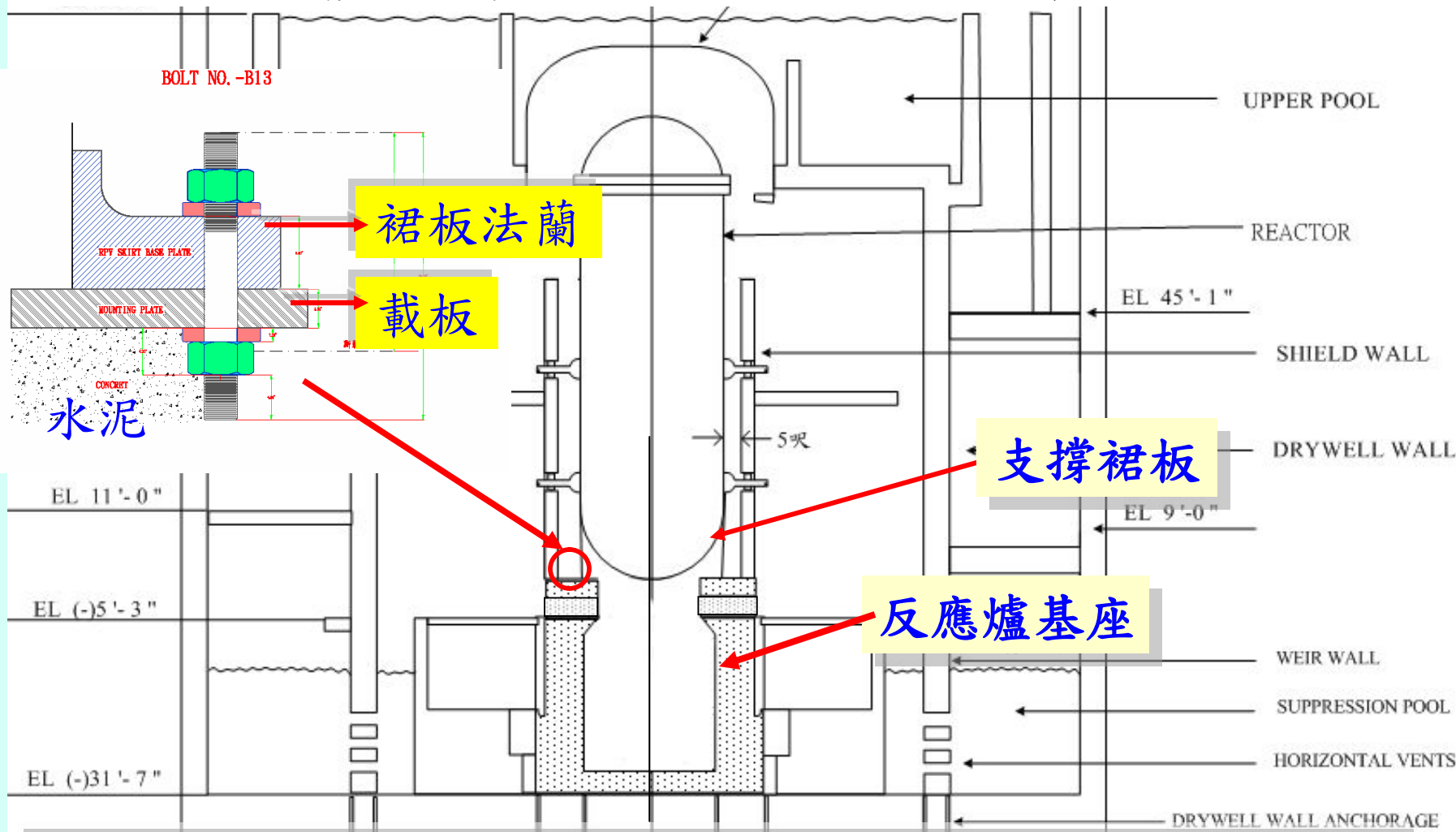


外圈螺栓(60支)

螺栓為A-540 B23
Class 1
直徑3吋 (7.6公分)
長度26吋 (66公分)



一、反應爐支撐裙板錨定螺栓設備說明



1. 反應爐支撐裙板錨定螺栓功用，是防止反應爐橫向滑動。
2. 反應爐及其內部組件之重量，係靠鋼筋混凝土基座支撐。



一、反應爐支撐裙板錨定螺栓設備說明

1. 核二廠反應爐為GE公司 BWR-6形式；反應爐下方之支撐裙板法蘭藉由內、外圈各60支之錨定螺栓連結至基座(Pedestal)上之載板(Mounting Plate)，藉由摩擦力(Friction Joint)將反應爐之剪力負荷(shear loads)傳遞至基座。(AISC code)
2. 錨定螺栓材質為ASTM A-540 Gr. B23 Class 1，直徑為3吋，長度26吋。
(subsection NF of ASME section III)



二、錨定螺栓檢測歷史

1. 核二廠自第三個10年運轉中檢測計畫，依據 ASME Section XI, 1995 with 1996 Addenda 版之 IWF 章，表 IWF-2500-1，檢測分類 F-A 類別：Supports，項目編號 F1.40 項：Supports Other Than Piping supports (Class 1, 2, 3, and MC)，將該反應爐支撐裙板錨定螺栓編入檢測計畫中，檢測方法為 VT-3 目視檢測，一、二號機分別於 99 年 10 月及 100 年 10 月執行目視檢測。
2. 一號機於 99 年 10 月 (1EOC-21) 執行目視檢測合格。

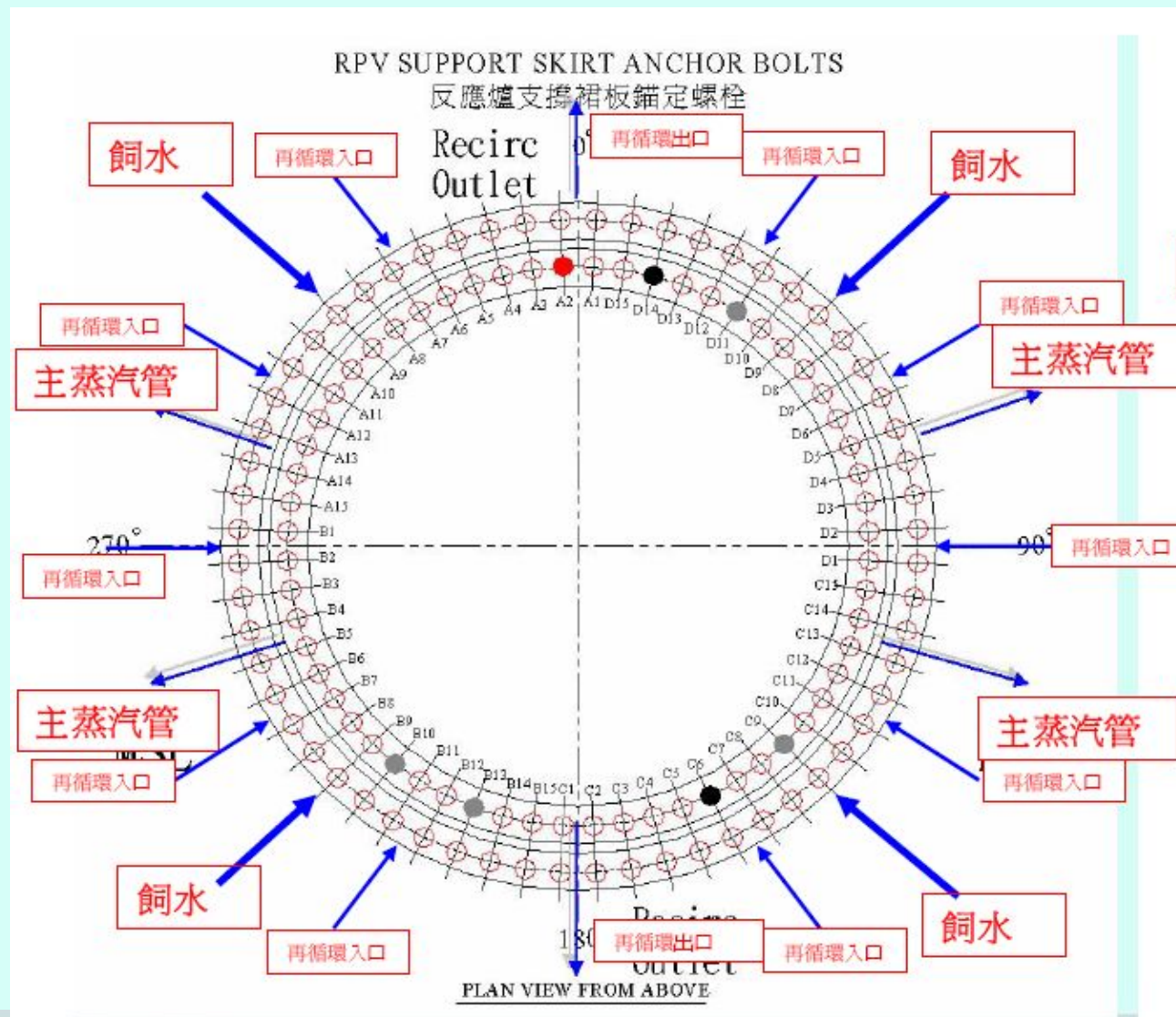


二、錨定螺栓檢測歷史(續)

3. 二號機於100年10月(2EOC-21)執行螺栓維護作業時，以手碰觸螺栓時發現1支螺栓已斷裂。後執行超音波檢測，其餘119支結構完整，無裂紋顯示。
4. 101年3月(1EOC-22)依承諾事項執行一號機錨定螺栓超音波檢測，於檢測前維護發現1支已斷裂，檢測中又發現2支幾近斷裂，4支有裂紋顯示，其餘113支結構完整，無裂紋顯示。



核二廠1號機損壞之錨定螺栓位置



- 斷裂的錨定螺栓均位在內側
- A2已斷裂
- C6，D14無回波，研判已近斷裂
- B10、B13、C9、D11有瑕疵指示
- 內側其餘53支及外側60支錨定螺栓，結構完整。



一號機錨定螺栓超音波檢測結果

內外圈別	編號	顯示	位置	相對位置
內圈	A2	斷裂	18.2 "	螺桿近下部螺牙區域
	C6	近斷裂	21.7 "	下部螺牙區
	D14	近斷裂	20 "	下部螺牙區
	B10	裂紋	20.1 "	下部螺牙區
	B13	裂紋	19.8 "	下部螺牙區
	C9	裂紋	19.5 "	下部螺牙區
	D11	裂紋	19.5 "	下部螺牙區



三支螺栓斷裂情形

A2斷裂情形



C6斷裂情形



斷裂面

D14斷裂情形



斷裂面(未全斷開)



四支有裂紋瑕疵之螺栓照片

D11裂紋情形



C9裂紋情形



B10裂紋情形



B13裂紋情形



超音波(UT)檢測方式說明

1. 檢測方式及超音波檢測校準規塊製作比照ASME之規定
2. 以相同材質全尺寸螺栓以EDM加工2.5mm深之人工瑕疵，以為儀器校準及檢測時訊號比對之用。
3. 檢測工作人員為資深中、高級超音波檢測員，及經EPRI 螺栓超音波能力驗證 (PERFORMANCE DEMONSTRATION) 檢定合格人員。



三、修復方案及結果

1. 修復方案完全依照原設計規範，包括材料及結構設計。
2. 已完成B10、B13、C6、C9、D11、D14等6支螺栓的更換。
3. A2螺栓之修復工作自4月21日開始，目前持續進行中，預計將於4月27日完成。



三、修復方案及結果(續)

4. 材料：原設計材料

- 螺栓：ASTM A-540 GR B23 Class 1
- 螺帽：ASTM A-540 GR B23 Class 1
- 墊圈：ASTM A-572 GR55

5. 材料檢驗：

- CMTR、C of C、QSC Certificate、QA Program
- 超音波全體積檢測，確認材料內部無缺陷。

6. 以原設計結構更換新螺栓

- 依程序書1109.09按法規要求執行機械組件之修理與更換
- 程序書SP-2012-04反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書



三、修復方案及結果

新品螺栓與建廠材質比較

項目	規範	建廠CMTR	新品CMTR
抗拉強度	≥ 165 ksi	168~174 ksi	166~171 ksi
降伏強度	≥ 150 ksi	155~161 ksi	151~157 ksi
伸長率 in 2 "	$\geq 10\%$	15~16 %	15~16 %
斷面縮率	$\geq 35\%$	52.6~54.3 %	47~51 %
Charpy Test @10°F	Information only	26~38 ft-lb	34~40 ft-lb



❶斷裂及裂紋螺栓之移除：在反應爐支撐裙板錨定螺栓內圈區域，進行螺栓底部之包覆水泥移除



因應施工空間狹小，以蹲姿進行水泥移除工作



② 安裝新螺栓組件

工作前模擬操作



現場安裝



③鎖磅及完成後24小時, 驗證螺栓鎖緊度符合標準



④灌漿復原



- A2施工之差異性



2 " RWCU管路緊臨A2位置

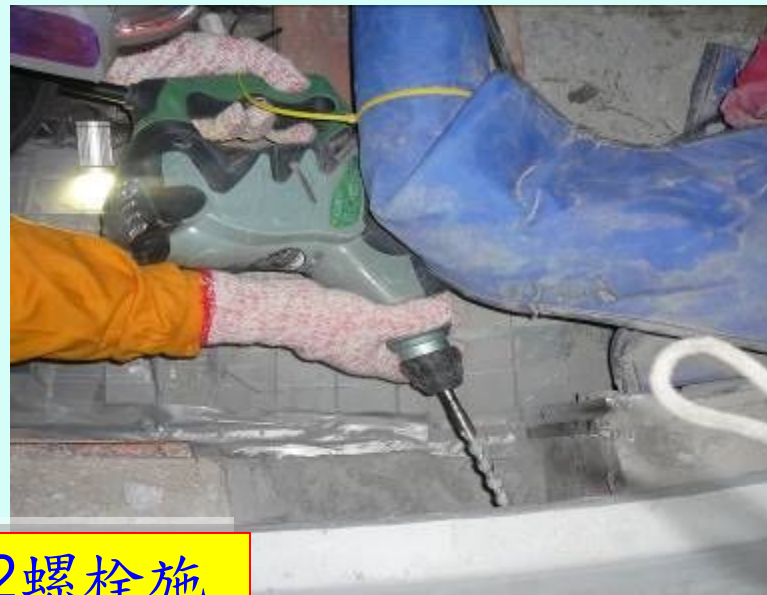


以3 " 套管包覆保護管路





其他螺栓
施工情形



A2螺栓施
工情形



三、修復方案及結果(續)

7. 灌漿回填說明

- 材料：Embeco 880
- 使用前製作試塊
 - 3天測試抗壓強度為7583 psi
- 4月11日灌漿回填6支已修復之螺栓，於4月17日鑽心取樣，4月18日測試抗壓強度為7621psi
- A2預計於4月27日灌漿回填，同時間將製作測試試塊2組，於72小時後測試其抗壓強度。



四、螺栓鎖緊度(預力)查驗

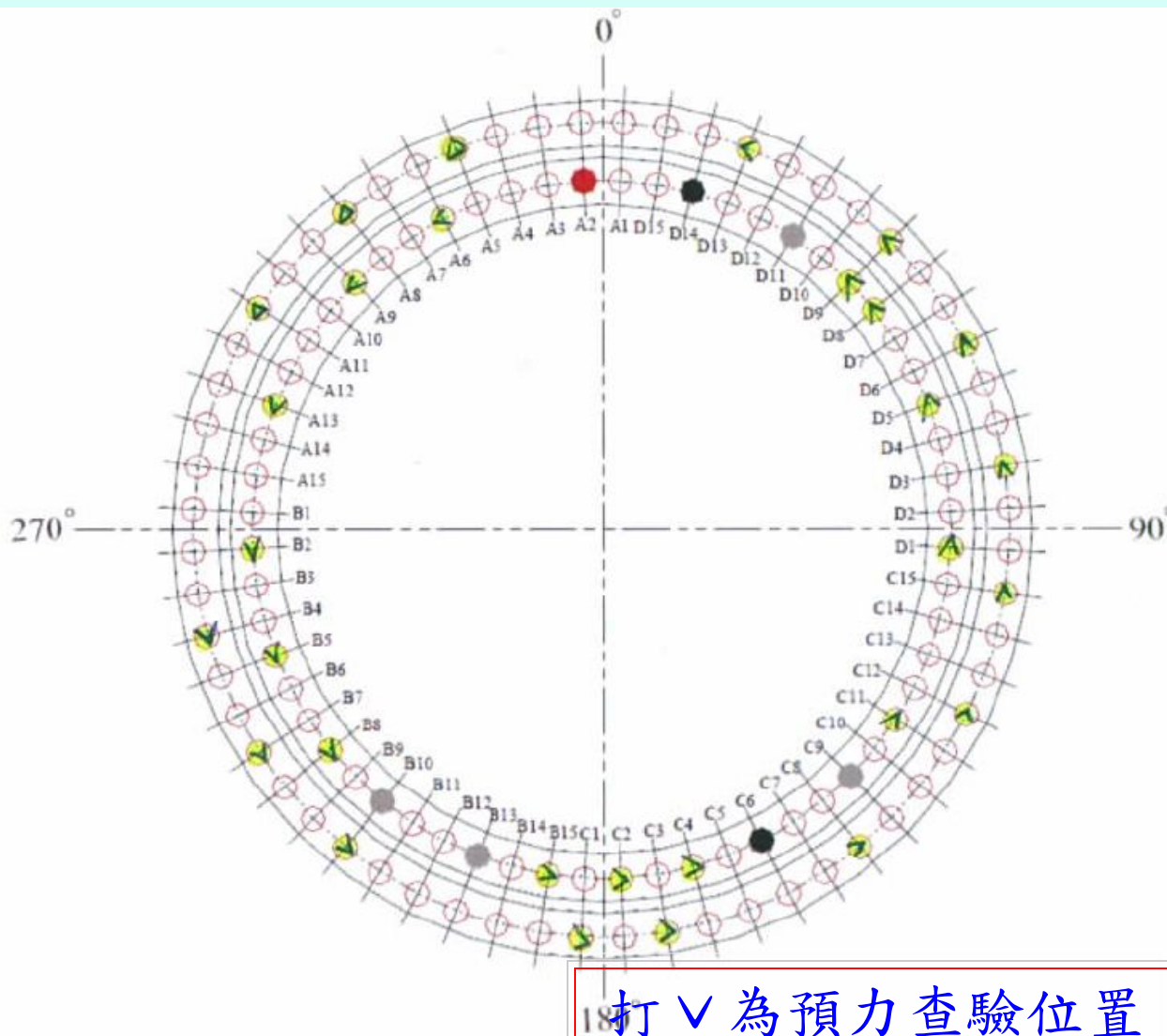
1. 核二廠反應爐支撐裙板螺栓其需求預力依計算書為510KIPS，而新安裝時為因應螺栓的鬆弛，所以建廠安裝程序要求鎖緊680KIPS。
2. 螺栓預力查驗，係以560KIPS (510KIPS 加上10%裕度)拉伸螺栓，以驗證螺帽仍在壓緊狀態，顯示螺栓預力仍大於560KIPS。
3. 取樣25%共29支(內圈14支、外圈15支)進行預力查驗，結果全部符合。



反應爐支撐裙板錨定螺栓25%預力查驗位置

內圈
(14支)

A6、
A9、
A13、
B2、
B5、
B8、
B15、
C2、
C4、
C11、
D1、
D5、
D8、
D9



打✓為預力查驗位置

外圈
(15支)

A5、
A8、
A11、
B4、
B7、
B8、
B10、
C1、
C3、
C8、
C12、
D1、
D6、
D8、
D9



台灣電力公司



五、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明

1. 核二廠壹號機於101/03/16將運轉模式開關轉至停機位置時，觸動反應爐基座裙板地震儀，其中垂直向最大加速度值達0.29g，經分析其反應頻譜、事後校正紀錄、事前背景訊號分析，均可證明此訊號係儀器故障而導致訊號失真之現象。
2. 分析附近廠房地震儀(XE-104)歷年來運轉模式切停機時(含101/03/16)之讀值均為0.01~0.03g(二者地震儀距離僅15公尺)，且事後廠內執行廠房/設備檢查均無損壞，研判101/03/16並無0.29g之衝擊震波。



六、肇因分析

對於斷裂之螺栓，已送請核研所進行金相分析，並洽請奇異公司及工研院材化所共同探尋肇因，由熱室檢驗結果顯示：

1. 斷裂錨定螺栓斷面相當平坦，起裂破壞為脆性沿晶模式，並非疲勞造成之穿晶模式，因此疲勞不是本案起裂之原因。
2. 熱室檢驗結果確認螺栓材質未受腐蝕、沒有二次裂紋，因此排除SCC是造成起裂之原因。
3. 斷裂之螺栓所處的環境並非腐蝕環境亦不是充氫之環境，故排除氫脆造成起裂之原因。



六、肇因分析(續)

3支螺栓(A2、C6、D14)受損肇因研判由以下三個因素同時存在：

1.不當安裝 (Improper Installation)

- 造成螺牙(螺牙面)龜裂(Threads Damage)

2.淬火裂紋(Quenched crack)(原始材料瑕疵+熱處理相關)

- 微孔(Micro-voids)及微孔連結成裂紋(Micro-voids linked together to form a crack)

3.低延展性Low ductility (原始材料瑕疵+熱處理相關)

- 脆性沿晶破裂, 高硬度測量值, 硫化物夾雜物 (Sulphide inclusions)

七、安全評估

1. 7支錨定螺栓即將完全修復，為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在UT檢測無法判讀的瑕疵，採取與原設計不同之考量方式，進行破壞力學分析，並預估可能之變動負載進行疲勞壽命評估。
2. 分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(SSE+LOCA)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為0.46053 in (11.684 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存4.45 mm之裂縫深度，在發生SSE+LOCA時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。



七、安全評估(續)

3. 評估可能承受之交變應力，包括每次起停機反應爐支撐裙板之外漲內縮及量測到之垂直振動等，其40年發生之應力循環數均遠低於螺栓之疲勞裂縫成長壽命(斷裂前之容許應力循環數)。因此，核二廠1號機應可繼續安全運轉一個週期以上無虞。



八、振動監測計畫及加強檢測計畫

1. 振動監測計畫

- 監測反應爐基座裙板之振動情況
- 強震儀OSG-XE-135儀器
 - 透過網路建立現場地震識別監測盤面與主控室之連結，在強震儀振動觸發後，會立即送出訊息通知
 - 觸發設定值降低為0.015g（舊設定為0.16g）
- 反應爐基座外牆加裝8只振動加速規
 - 利用實體線路接至主控室，可即時提供運轉人員來監視訊號
 - 即時存取資料，並每月進行資料分析及舊有資料之比對判定，以長期監測振動狀況



八、振動監測計畫及加強檢測計畫(續)

2. 加強檢測計畫

- 以目前ASME SECTION XI所規定的目視檢測的方式並不能檢測出該反應爐錨定螺栓的斷裂
- 規劃於接下來每次大修皆執行UT檢測



九、結語

1. 缺陷之錨定螺栓將會完全依據原設計規範修復完成。
2. 120支錨定螺栓經超音波檢測已確認其完整性。
3. 取樣25%螺栓執行預力測試，符合設計需求。
4. 在建立監測計畫下及接下來大修執行超音波檢測，將可確保錨定螺栓之安全性。
5. 經本公司保守假設錨定螺栓仍有2.5mm UT無法判讀的裂縫進行破壞力學及疲勞分析結果顯示，運轉過程中錨定螺栓不致有發生立即斷裂及疲勞破壞之疑慮。因此，核二廠1號機應可繼續安全運轉一個週期以上無虞。



核能發電
追求卓越

安全第一
品質為先



敬請
批評指教

