

核能二廠 1 號機 7 支螺栓斷裂案
第 2 次專案視察報告

行政院原子能委員會 核能管制處

中華民國 101 年 6 月

目 錄

頁次

視察結果摘要	1
報告本文	2
一、前言	2
二、視察範圍	2
三、視察結果	3
四、視察結論與建議	8
附件一 第 2 次專案視察計畫	A-1
附件二 反應爐支撐裙鈹錨定螺栓預張力試驗程序書	B-1
附件三 螺栓預張力設備上的壓力錶校驗紀錄	C-1
附件四 螺栓預張力試驗人員資格與訓練紀錄	D-1
附件五 超音波檢測儀器線性驗證紀錄	E-1
附件六 超音波檢測現場人員資格證書	F-1
附件七 螺件檢測程序書	G-1
附件八 台電公司核二廠對 CMTR 文件疑點之答覆說明	H-1

視察結果摘要

為確認台電公司核二廠 1 號機其餘 113 根螺栓之預張力及螺栓拉張之後 UT 檢測之現場查證，並查核原建廠時期螺栓材質驗證報告(以下簡稱 CMTR) 品質文件，本會派員於 5 月 2 日至 4 日執行第二次專案視察，視察結果顯示：在螺栓預張力試驗現場查驗方面，預張力試驗程序書、設備、人員訓練與資格、現場試驗抽驗查核均符合相關規定；在螺栓預張力試驗後 UT 檢測方面，經查核 UT 檢測設備線性驗證紀錄、現場檢測人員資格、抽查現場操作等亦符合相關規定，無異常發現；在原有螺栓 CMTR 品質文件查核方面，核二廠反應爐支撐裙鉚錨定螺栓 CMTR 文件所附材質、數量、機械性質等紀錄符合規範要求，無異常發現，但發現三批螺栓材料在熱處理方式各有不同，原因不明，推測可能係製造廠商在製程上的考量，三批螺栓製成之後並附有檢測合格之紀錄；在原有螺帽 CMTR 品質文件查核方面，則無異常發現。

另外，綜合本次專案視察經驗，並考量 UT 檢測對於本案之影響至為關鍵，建議台電公司核二廠應針對本案錨定螺栓超音波檢測程序，研提專用程序書，務求檢測操作步驟、儀器設定、畫面紀錄等事項，採取一致性的作法，作為日後錨定螺栓檢測工作之執行依據。

報告本文

一、前言

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，應本會要求執行支撐裙鈹內、外圈總數 120 根錨定螺栓超音波檢測（以下簡稱 UT 檢測）後發現，1 號機支撐裙鈹內圈錨定螺栓共有 7 根斷裂或具有裂紋顯示之螺栓，其中，有 1 根完全斷裂可拔起（編號 A2），另有 2 根（編號 C6 及 D14）無超音波回波訊號，表示近乎斷裂但無法直接拔起，此外尚有 4 根螺栓（編號 B10、B13、C9 及 D11）經 UT 檢測發現具有裂紋顯示，裂紋深度研判約 2.5mm，外側螺栓檢測則無異常發現。

台電公司隨即通報本會，並展開肇因分析、研擬修復方案與各項安全評估作業，本會亦即派員視察並調查事件原由；其中，為確認台電公司核二廠 1 號機已斷裂或具有裂紋顯示之螺栓修復計畫，符合設計要求，落實反應爐周邊相連之管嘴/管路之銲道及控制棒驅動機構之完整性，已於 101 年 4 月 16 日至 20 日執行第一次專案視察。

此外，為確認 1 號機其餘 113 根螺栓之預張力及螺栓拉張之後 UT 檢測之現場查證，查核原建廠時期螺栓材質驗證報告(以下簡稱 CMTR)品質文件，本會遂於 5 月 2 日至 4 日執行第二次專案視察(視察計畫如附件一所示)，並將視察結果、視察結論與建議彙整，撰寫視察報告一份。

二、視察範圍

本次視察工作範圍共計三個部分，包括：螺栓預張力試驗現場查驗、螺栓預張力試驗後 UT 檢測及原有螺栓 CMTR 品質文件查核。

在螺栓預張力試驗現場查驗方面，原視察規劃查核 113 根既有螺栓之預張力是否仍符合設計所需，但是台電公司核二廠已於本次專案視察執行前，先行抽樣其中的 25%共 29 根(內圈 14 根、外圈 15 根)

完成預力查驗，故本次視察範圍僅針對其餘的 84 根螺栓，執行現場預張力試驗抽樣查證。

在螺栓預張力試驗後 UT 檢測查驗的部分，台電公司核能二廠採全程錄影方式存證，本會限於專案視察時間與人員安排，採赴現場抽查的方式查證。

在建廠階段螺栓 CMTR 品質文件查核部分，乃仔細查核既有 CMTR 文件，包括材料規格、數量、檢驗證明文件等，再將若干有疑點之處請電廠方面提出相對澄清說明。上述視察工作分工如附件一所示。

三、視察結果

本次視察結果亦分三個部分，包括：螺栓預張力試驗現場查驗、螺栓預張力試驗後 UT 檢測及原有螺栓 CMTR 品質文件查核等，分述如下。

(一) 螺栓預張力試驗現場查驗：

在螺栓預張力試驗現場查驗方面，分別視察預張力試驗程序書、設備、人員訓練與資格與現場試驗抽驗查核，原視察規劃查核 113 根既有螺栓之預張力是否仍符合設計所需，但是台電公司核二廠已於本次專案視察執行前，先行抽樣其中的 25% 共 29 根(內圈 14 根、外圈 15 根)完成預力查驗，故本次視察範圍僅針對其餘的 84 根螺栓，執行現場預張力試驗抽樣查證。各項視察發現，分述如下。

1. 在螺栓預張力試驗程序書查核方面，經查，核二廠一號機反應爐支撐裙鉸錨定螺栓預張力試驗，係依照美國 GEH 公司所提出之驗證

程序書，文件編號 KS1-EOC22-VSB-SWP-002 Rev.0 執行，並經電廠審查通過，程序書如附件二所示。

- 2.在螺栓預張力設備查核方面，本次視察查驗螺栓預張力設備上的壓力錶編號 WG000261、WG000262，校驗日期：5-APR-2012，有效日期：5-APR-2013 符合規定，校驗紀錄如附件三所示。
- 3.在螺栓預張力試驗人員資格與訓練查核方面，查驗 International Bolting Technologies 公司與美國 GEH 公司人員的訓練紀錄，符合相關程序書要求，前述人員資格與訓練紀錄文件詳如附件四所示。
- 4.在螺栓預張力試驗現場抽樣查核方面，配合電廠執行時程，本次視察分別於5月2日下午、5月3日上午及5月3日下午，派員赴現場抽樣查證電廠執行反應爐支撐裙板內、外圈錨定螺栓預張力試驗。依據程序書規定(詳附件二)每一根螺栓分三階段荷載執行拉伸，第一段油壓指示約為 6,000psi，第二段油壓指示約為 12,000 psi，第三段油壓指示約為 16,500 psi，當油壓指示為 16,500 psi，經過受力面積換算，即相當於螺栓承受 560 千磅(kips)以上的張力時，試驗人員此時以榔頭大力敲擊墊圈，並未發現墊圈有鬆動之現象，符合程序書要求，即表示這些錨定螺栓內含的預張力大於試驗所施加的 560 千磅拉力，螺帽下方墊圈受到螺帽施加的壓力並未解除，故無法鬆動。

(二) 螺栓預張力試驗後 UT 檢測：

- 1.UT 檢測使用之超音波檢測儀器為 Kraut Kramer USN 60 序號 00YT09 及 00YW3C 兩部，查兩者線性驗證紀錄，其螢幕垂直線性及增幅線性符合相關規範要求，而執行驗證人員陳敏榮及周金生為

UT 中級檢測師(Level II)亦符合相關程序書要求，文件如附件五所示。

2.5月2日及3日螺栓檢查現場檢測人員為楊海明及李朝凱，現場指導為蔡錫聯，除依台電非破壞檢測人員考訓與資格審定程序取得UT高級檢測師(Level III)(蔡錫聯、楊海明)，UT Level II(李朝凱)外，蔡錫聯與楊海明亦取得 EPRI 螺栓 PDI UT 直束檢測證書，而李朝凱則取得核能研究所 2 吋以上螺栓手動 UT 檢測證照，現場檢測人員資格符合相關作業程序書要求，人員資格證書詳如附件六所示。

3.螺栓檢測程序書使用編號 ISI-UT-24-3 Rev. 1「螺件之超音波檢測」，現場使用 0.5” 10MHz 探頭符合要求，另外，該程序書 4.4.2 節規定「儀器內應具有電源穩定器，使儀器在暖機前後，其信號增益之變化不超過 $\pm 1\text{db}$ 」，經查其未有相關測試紀錄，當場請其就 K. K. USN60 序號 00YW3C 超音波儀器取 3 個背波信號時，分別為 79%，50%及 31%(開機時)，待 5 分鐘後再確認前述信號，其值仍維持在 79%，50%及 31%，研判可符合要求，程序書如附件七所示。

4.現場查證由楊海明及李朝凱執行螺栓編號 C4o~D15o (Outside 側) 共 27 支之 UT 直束檢測超音波儀器上除了起始波信號與背波信號外，之間或有一些小信號，經其評估並非適切指示(Relevant Indication)，此 27 支螺栓皆未發現有瑕疵信號顯示。

(三) 原有螺栓 CMTR 品質文件查核：

原有螺栓 CMTR 品質文件查核，分別針對螺栓與螺帽兩個部分之文件查驗，初步視察發現分述如下。

關於螺栓 CMTR 文件查證初步視察發現：

1. 製造螺栓所需之鋼棒材料分別由三批爐號（即編號 No.61765、

No.61236 及 No.8073029) 提供，其中編號 No.61765 爐號之鋼棒材料有二批，其熱處理不一樣，一批有作 Stress Relieve，而另一批未作 Stress Relieve，為何兩者有區別？而爐號 No.8073029 之鋼棒材料之熱處理方式為何又與其他二批爐號的熱處理方式不一樣？

2. Hollar 公司委請 Welders Testing Lab 執行螺栓棒材(外徑 3”，長度 26”)共 210 根執行 MT 及 UT 檢查，數量似乎與核二廠採購之螺栓數量（至少需 240 根）不符，電廠應澄清說明。
3. 螺栓成形後，由 Engineer Testing Lab 分二批 (40 支及 25 支)共 65 根 Studs，依 Hollar 公司程序書 UT-1 MT-1 分別執行 MT 及 UT 檢驗，檢測結果 UT 均符合要求，但其中有 7 根 MT 有超過 1” 長度以上 Linear Indication 不符合其要求。有下列疑點，其一，執行 MT 與 UT 檢驗之數量為何只有 65 根，而不是全數檢驗；其二，65 根之中有 7 根不合格，未註明原因為何；其餘數量之螺栓是否檢驗及格，CMTR 文件並沒有明確說明。
4. 三批鋼材爐號皆由 Almay Research & Testing Corporation 出具化學成份分析及機械性質(包括 Impact Test)測試報告，進而認為其符合 Grade B23 ASTM A-540-75 版。但測試報告卻欠缺硬度量測值，如何確認符合規範中有關之硬度要求。
5. 整份 CMTR 文件缺少每根螺栓的尺寸檢查及目視檢查紀錄。

關於螺帽 CMTR 文件查證初步視察發現：

1. 整份 CMTR 文件缺少每根螺帽的尺寸檢查及目視檢查紀錄。
2. 製造螺帽過程中，熱處理、物理性質與化學性質分析、MT 與 UT 檢測等所附文件記載數量多有不一致之處，請電廠澄清之。
3. CMTR 文件所附之 3 1/2” Round 材料尺寸似乎並不足以製造成

- 3” 螺栓所需要之螺帽尺寸，請澄清之。
4. 螺帽材料的熱處理經 Quench 後再經 Draw 熱處理，請電廠澄清說明 Draw 是何種熱處理。

上述針對螺栓與螺帽兩個部分之 CMTR 文件查驗後之視察發現或疑點，已於 5 月 4 日上午 11:00 在核二廠技術支援中心二樓中會議室召開簡易的專案視察後會議，告知電廠方面提出澄清，但限於本次專案視察時程，未及於視察期間請電廠逐條澄清的部分，遂決定請電廠於事後提出書面答覆說明。

台電公司核二廠於 5 月 14 日完成相對答覆說明（詳如附件八），經綜合審查後，視察意見如下。

關於螺栓 CMTR 文件查證之視察意見：

1. 核二廠反應爐支撐裙鉸錨定螺栓之鋼棒材料分別由三批爐號（即編號 No.61765、No.61236 及 No.8073029）所提供，三批熱處理方式卻各有不同。其中，編號 No.61765 爐號之鋼棒材料有二批，一批有經過應力消除 (Stress Relieve)，而另一批未經過應力消除作業，爐號 No.8073029 亦有經過應力消除作業，而爐號 No.61236 之鋼棒材料則未經應力消除作業；另外，No.8073029 之鋼棒材料還經過兩次回火處理，確切的原因不明，推測可能係製造廠商在製程上的考量。
2. 經查，同意台電公司核二廠說法，亦即 CMTR 文件所示執行過檢測螺栓且合格者之總數量 268 根，而核二廠採購之螺栓數量 250 根，兩者可相符。
3. CMTR 文件中三批鋼材爐號化學成份分析及機械性質(包括 Impact Test)測試報告符合 Grade B23 ASTM A-540-75 版，在熱處理後亦抽取兩根進行勃氏硬度量測值，其數值符合規範之硬度要求。

4. 同意台電公司澄清說明，依據美國機械工程師學會鍋爐與壓力容器規範(以下簡稱 ASME code)第三章 NCA 章節之相關規定，CMTR 文件並未硬性規定必須條列每根螺栓的尺寸檢查及目視檢查紀錄。

關於螺帽 CMTR 文件查證之視察意見：

1. 依規範規定(同前述 ASME code)整份 CMTR 文件並沒有硬性要求每根螺帽的尺寸檢查及目視檢查紀錄。
2. 關於 CMTR 文件中在製造螺帽過程中，熱處理、物理性質與化學性質分析、MT 與 UT 檢測等所附文件記載螺帽之數量，經電廠澄清因廠商會多準備數量作為備品，同意台電公司核二廠之澄清說明。
3. 關於 CMTR 文件所附之 3 1/2" Round 材料尺寸似乎並不足以製造成 3" 螺栓所需要之螺帽尺寸之疑問，經電廠另洽螺栓製造廠家澄清，原始棒材加熱後再經壓製鍛造，可以製造較大尺寸之螺帽，同意台電公司核二廠之澄清說明。

四、視察結論與建議

結論

1. 在螺栓預張力試驗現場查驗方面，預張力試驗程序書、設備、人員訓練與資格、現場試驗抽驗查核均符合相關規定，無異常發現。
2. 在螺栓預張力試驗後 UT 檢測方面，經查核 UT 檢測設備線性驗證紀錄、現場檢測人員資格、抽查現場檢測操作等符合相關規定，無異常發現。

3. 在原有螺栓 CMTR 品質文件查核方面，核二廠反應爐支撐裙鈹錨定螺栓 CMTR 文件所附材質、數量、機械性質等紀錄符合規範要求，無異常發現。
4. 核二廠反應爐支撐裙鈹錨定螺栓之鋼棒材料分別由三批爐號（即編號 No.61765、No.61236 及 No.8073029）所提供，三批材料熱處理方式各有不同，原因不明，推測可能係製造廠商在製程上的考量，三批螺栓製成之後並附有檢測合格之紀錄，無異常發現。
5. 在原有螺帽 CMTR 品質文件查核方面，無異常發現。

建議

1. 考量 UT 檢測對於本案之影響至為關鍵，建議台電公司核二廠應針對本案錨定螺栓超音波檢測程序，研提專用程序書，務求檢測操作步驟、儀器設定、畫面紀錄等事項，採取一致性的作法，並聘請外部專家審閱該份程序書，以為日後螺栓檢測工作之執行依據。本項建議擬提列於核二廠錨定螺栓案後續管制事項。

※備註說明：基於智慧財產權及保護廠商商業機密，本報告附件二至附件八不予公開。

核能二廠 1 號機 7 支螺栓斷裂案

第 2 次專案視察

一、 目的與範圍

為確認台電公司核二廠 1 號機 113 支未斷裂螺栓之預張力，及其後超音波檢測之現場查證，且其原 CMTR 文件，符合所有原設計規範，特進行此視察計畫。

二、 時程

暫訂由 101 年 5 月 2 日至 4 日，並視需要延長之。

三、 參與人員

熊大綱技士、核能研究所支援人員吳毓秀、張瑞金、高家揚及劉驥等 4 人，共計 5 人。

四、 任務分配

熊大綱技士：領隊，參與並負責分配 1 號機 113 支未斷裂螺栓之預張力及其儀器校正、超音波檢測、原 CMTR 文件等相關事宜之視察。

核能研究所支援人員：負責接受領隊之工作指派，包括 113 支未斷裂螺栓之預張力及其儀器校正、超音波檢測、原 CMTR 文件等相關事宜之視察，並提視察報告于熊大綱技士彙整。

五、 注意事項

1. 視察工作請務必徹底落實。
2. 所有視察過程及文件均須可追蹤。
3. 視察發現必須有佐證資料。

六、 視察人員分工情況

表一 本次視察人員分工情況

工作項目	負責人員	工作期間
螺栓預張力試驗現場查驗	核研所吳毓秀、劉驥 本會熊大綱。	5月2日至3日
預張力試驗後 UT 檢測查驗	核研所張瑞金、高家揚。	5月2日至3日
建廠階段螺栓 CMTR 品質文件查核	核研所吳毓秀、高家揚。	5月2日至4日
視察發現與意見彙整	本會熊大綱	5月4日