

核四廠一號機反應爐基座第二至五層 製造品質管制過程簡述

行政院原子能委員會
九十一年六月十日

壹、反應爐基座簡介

反應爐基座為一環形鋼構混凝土結構體，係核四廠主圍阻體內部結構之一部份，根據核四廠初期安全分析報告的說明，基座屬於安全相關耐震一級結構，其鋼構部分主要由內外側各一之同心圓鋼殼及垂直隔板等構造銲接組合構成（參見附圖一），基座之整體高度為 20.5 公尺，鋼構部分總重量約為 938 噸。在內外側同心圓鋼殼夾層之間，除預留的逸氣管外，其餘空間則在裝置定位後灌置混凝土。

反應爐基座之主要功用為提供反應爐壓力容器之支撐，其與圍阻體內主要結構及反應爐之相對位置示意圖如附圖二，反應爐支撐結構（RPV BRACKET）則位於基座內側約 16.4 公尺高之處。根據核四廠的設計資料，核四廠反應器在正常運轉時，重量約為 2885 噸，而在停機大修時，最重可達 3590 噸。

貳、基座之製造與安裝

一、製造與安裝概述

核四廠反應爐基座之製造與安裝係核島區廠房結構工程之一

部分，此項工程由新亞建設承攬，其中基座鋼構之製造與安裝則再下包由中船公司所承製。

反應爐基座鋼構之製造以垂直分成五層進行，其中第一層係基座之最底層，在中船公司製造完成後，由於體積龐大，必須藉由海路運送至核四工地，於現場組裝定位後，以鉚接固定並於內部灌置混凝土，後續之二至五層由於體積較小，將規劃以陸運方式運抵核四工地，依同樣程序組裝定位後，逐層鉚接固定並灌置混凝土。有關反應爐基座各層之設計高度、外徑及鋼構重量等資料詳如下表：

	高度 (公尺)	外徑 (公尺)	鋼構重量 (公噸)
第一層	12.7	14	464
第二層	2.2	14	102
第三層	2.02	14	192
第四層	2.38	14	122.3
第五層	1.2	12.596	58

二、基座使用材料

核四廠初期安全分析報告，對反應爐基座製造使用之材料有詳細之說明，鋼構部分主要材料係以 ASTM A533 或 A572 碳鋼為主，其中第二層至第五層基座均使用 A572 碳鋼為材料，而第一層基座外側同心圓鋼殼，由於其表面與抑壓池水直接接觸，為防止與水接觸面

發生腐蝕現象，因此使用碳鋼（ASTM A533, Type B, CLASS 2）表面包覆不鏽鋼（SA240 TYPE304L）之複合材料。此外，安置於基座內部之水平及垂直逸氣管等，則均採用 ASTM A240 TYPE304 不鏽鋼為材料。

三、銲接作業

中船公司在基座鋼構製造過程中，將銲接工作分為第一層及第二至五層二大部分，外包由協力廠商負責執行，在核四宣布停工前，其第一層基座銲接工作係高軒公司得標，二至五層銲接作業則由建層公司得標，而在核四復工後重新招標結果，第一層基座銲接工作改由旭振公司得標，二至五層基座銲接工作則由皇傑公司得標。

反應爐基座鋼構製造之銲接施工，由於各銲道母材材質及強度差異等因素，故使用銲條亦有所不同，二至五層基座係使用 E8016-G、E7018 或 E71T-1 等三種銲條。依美國銲接學會（AWS）對此三種銲條所訂定之抗拉強度標準，其中 E8016-G 為 80 千磅/平方英吋(Ksi)，而 E7018 及 E71T-1 則均為 72 千磅/平方英吋 (Ksi)，故三種銲條中，E8016-G 銲條強度較 E7018 及 E71T-1 銲條為高，而 E7018 則與 E71T-1 則為強度相同之銲條，在美國銲接學會（AWS）之工業標準中，E7018 及 E71T-1 銲條係歸類屬同一等級之銲條，可以互通使用。

根據奇異公司所訂定之基座銲接相關規範，有關二至五層基座

之銲接作業，其銲條使用原則如下：

（一）二側母材厚度均不大於 32 毫米時，需使用 E8016-G 銲條。

（二）當二側母材中只要任何一側厚度大於 32 毫米時，則可使用 E7018 或 E71T-1 銲條。

在實際銲接施工之方法上，此三種銲條中，E8016-G 及 E7018 二種必須以手銲方式執行，而 E71T-1 則可以半自動方式施銲，半自動銲之成品其表面較手銲為平整規則，故對銲道進行目視檢查可以分辨其施工方式。基於半自動銲較為省時之優點，故依照規範可以選擇以 E7018 或 E71T-1 銲條施作之銲道，銲接施工實務上通常選用 E71T-1 銲條並以半自動銲的方式施作。

四、基座製造現況

截至九十一年四月為止，核四廠二部機組反應爐基座之製造進度，在一號機部分，第一層共四片基座已製造完成，並於今年三月下旬運抵核四廠工地，第二至第四層亦已於中船公司組裝完成（即已完成銲接作業），正進行熱處理及假安裝作業，第五層則進行銲接作業中，至於二號機部分，目前主要仍在進行下料及型製（鐵工）作業，物料尚在中船且未開始進行銲接作業。

參、基座製造品質問題

一、緣起

本會接獲民眾電子郵件檢舉核四廠工程品質有問題後，便與檢舉人取得聯繫，瞭解其所稱之品質問題係指一號機二至五層基座銲接作業時，部分銲道依規範應使用 E8016-G 銲條施作，但包商逕行以強度較低之 E71T-1 銲條代替。

反應器基座誤用銲條之影響，可能造成整體結構強度降低，基於反應爐基座為承載反應爐壓力容器之重要結構，故本會對此檢舉案極為重視。經初步瞭解檢舉之案情後，即於四月二十五日指派視察員赴高雄中船公司查證，查證結果顯示反應爐基座之銲條管理及銲接品質檢查等紀錄均存有疑點，研判廠商有可能誤用低強度銲條。隨後於五月二日至三日再派員會同台電公司相關人員赴中船公司執行進一步之查證，查證結果詳述於後：

二、查證結果

在四月二十五日及五月二日本會兩度赴高雄中船公司進行查證過程中，視察人員針對反應爐基座二至五層銲接品質文件，分別調閱電銲工作指派及銲材領用表、銲接工作查對表、銲材室進出料記錄及施工圖面等，進行查閱、核對及訪談。在完成文件查閱及人員訪談後，並至工廠及銲材室實地了解其作業環境及作業狀況，驗證文件查閱及人員訪談中發現之疑點。以下為查證所發現之缺失：

（一）電銲工作指派及銲材領用表管制未落實：

- (1) 多口鐸道共用一張鐸材領用表，鐸條管制顯然不夠嚴謹。
- (2) 剩餘鐸材回收作業管制未落實執行。
- (3) 鐸材發給人未簽名及簽註日期，且未記錄保溫箱號碼。
- (二) 烤箱爐管制紀錄表上溫度達到時間及終結時間未確實記錄。
- (三) 鐸接人員資格檢定記錄表，其中放射線檢查結果之項目，負責檢定人員未確實註記是否合格。
- (四) 在鐸接工作查對表方面，鐸接施作日期、鐸接檢驗員（CWI）簽註日期、新亞監工及台電監工簽註日期均不一致，顯示各項檢查工作並未能於施工現場平行執行查驗。
- (五) 在中船自主施工檢查表上，中船人員簽註日期與新亞公司品管人員簽註日期亦有不一致之情形。

三、目視檢查發現

四月二十五日本會首度派員赴中船公司進行查證同時，亦同步通知台電公司進行調查。經台電龍門施工處相關人員查閱一號機第三層基座之鐸接品質文件，初步由文件上發現有誤領鐸條之情形，隨後並於現場進行目視檢查，結果確認第三層基座中有三十口鐸道應使用 E8016-G 鐸條以手鐸方式執行，但實際上卻領用強度較低之 E71T-1 鐸條以半自動鐸方式施作，該三十口鐸道均係第三層基座底部加強板之垂直鐸道，此項發現已證實誤用鐸條之狀況確實存在。

四、中船自行發現之錯誤

原能會於五月二日至三日赴高雄中船公司清查其二至五層基座鋼構之製造品質文件，視察人員於查看中船公司現場領班工作日誌時，發現其於九十一年二月八日記載第三層基座亦曾發現十六口誤用低強度鐸條之情形，但中船公司並未依照程序開立不符合報告（NCR）進行追蹤、評估及改正，隨後即於二月十八日逕行要求承包商剷除重作，有違核能品保準則及程序之要求。

五、鑽心取樣結果

在證實鐸條誤用之情況確實存在後，為能確切掌握誤用之範圍，本會於五月七日派員攜帶工程圖赴高雄洽詢檢舉人，由其參閱圖面後當場圈選應用而未用 E8016-G 鐸條之焊道。在第二層至第五層基座應使用 E8016-G 鐸條之 995 口焊道中，檢舉人圈選可能誤用鐸條之鐸道多達 512 口，分佈範圍遍及第二至第五層，檢舉人並指稱部分焊道內層係以 E71T-1 鐸條施作，表層則以 E8016-G 鐸條施鐸，故僅由目視檢測並無法查出內層誤用鐸條之狀況。

為求慎重，本會乃要求台電公司針對部分鐸道採取鑽心取樣，利用化學元素含量分析來確認鐸材之正確性。五月十四日及十九日台電公司兩度委託核研所赴中船公司取樣，原能會亦派員見證取樣過程，經核研所分析結果證實其中確有部分鐸道內層以不合規範之

低強度鐸條施作之情形。此顯示二至五層基座鐸接品質，無法僅由目視檢查加以判定，所使用鐸條是否符合設計要求。

肆、管制措施與檢討

反應爐基座係核四廠耐震一級之重要安全結構，其製造品質攸關機組未來之運轉安全，故本案發生後，原能會即審慎進行調查及管制（管制過程詳如圖三）。由於一號機反應爐基座二至五層仍處製造階段，尚未進行交運及安裝工作，且台電公司已決定重製該項組件，因此對核四廠之安全性並未造成實質影響。然而本案之發生，顯現核四廠建廠品質在品保管控上仍有亟待補強之處，以下謹就原能會針對本案所採取之管制措施及未來管制努力方向說明如后：

（一）本案發生後，原能會於初步查證完畢後，隨即將相關訊息公布於原能會網站上。五月七日本會召開檢討會議，要求台電公司暫停核四廠一號機所有基座組件之吊運、安裝以及交運工作，並明示台電公司倘該基座製造品質有缺失，即不得使用於核四廠。

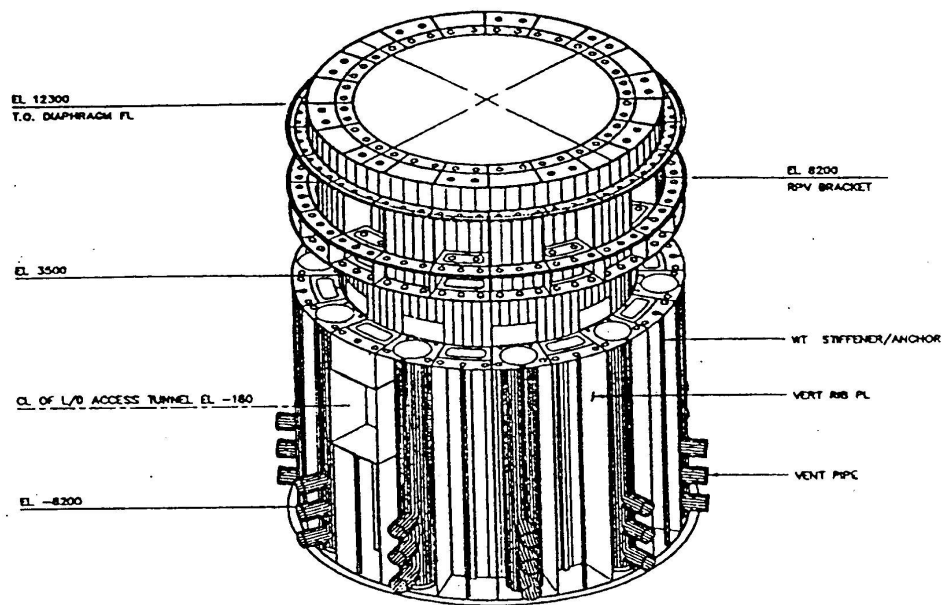
（二）本次事件顯示台電公司雖然已建立各項品保與品管之制度，惟在實務執行面上仍有缺失，致未能及時防範此事件之發生。針對此部分之缺失，本會已於五月十三日開立三級違規，督促台電公司檢討改善，並追究相關人員之行政責任。

- (三) 在調查結果確定反應爐基座確實存在品質缺失後，台電公司也決定重新製造該項組件，並於五月三十日將此項決定函報本會，原能會針對本案之管制工作乃暫告段落，隨即將全案處理經過公布於原能會網站。
- (四) 核四工程之承包商眾多，造成工程單位包商間介面關係複雜，未來勢必需有更健全之品保制度及實務作法，方可確保工程品質。原能會已依據此次事件之案例，嚴格要求台電公司確實檢討改善，並將此要求列為一號機基座繼續施工前之管制事項。

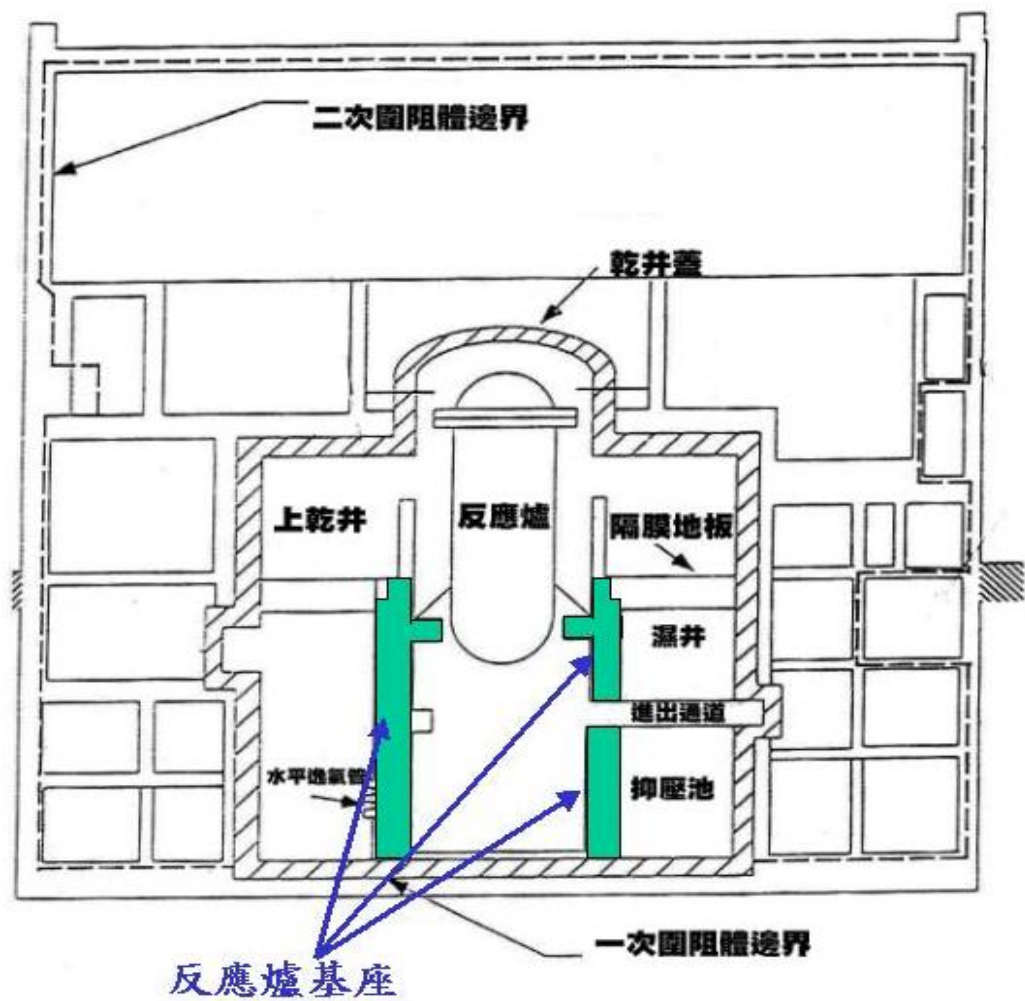
伍、結語

根據核四建廠工程品保要求，重要安全設備在運抵工地時，相關品質文件必須隨同併附，原能會做為核能安全管制體系最後一道防線，依職責會透過駐廠視察、團隊視察等機制，在工地現場進行抽樣檢查。此次事件由於民眾檢舉，使得問題在設備運抵工地前便提早浮現，原能會在獲悉後也立即啟動管制機制，進行多方面調查並採取管制措施，嚴防影響安全事件之發生。

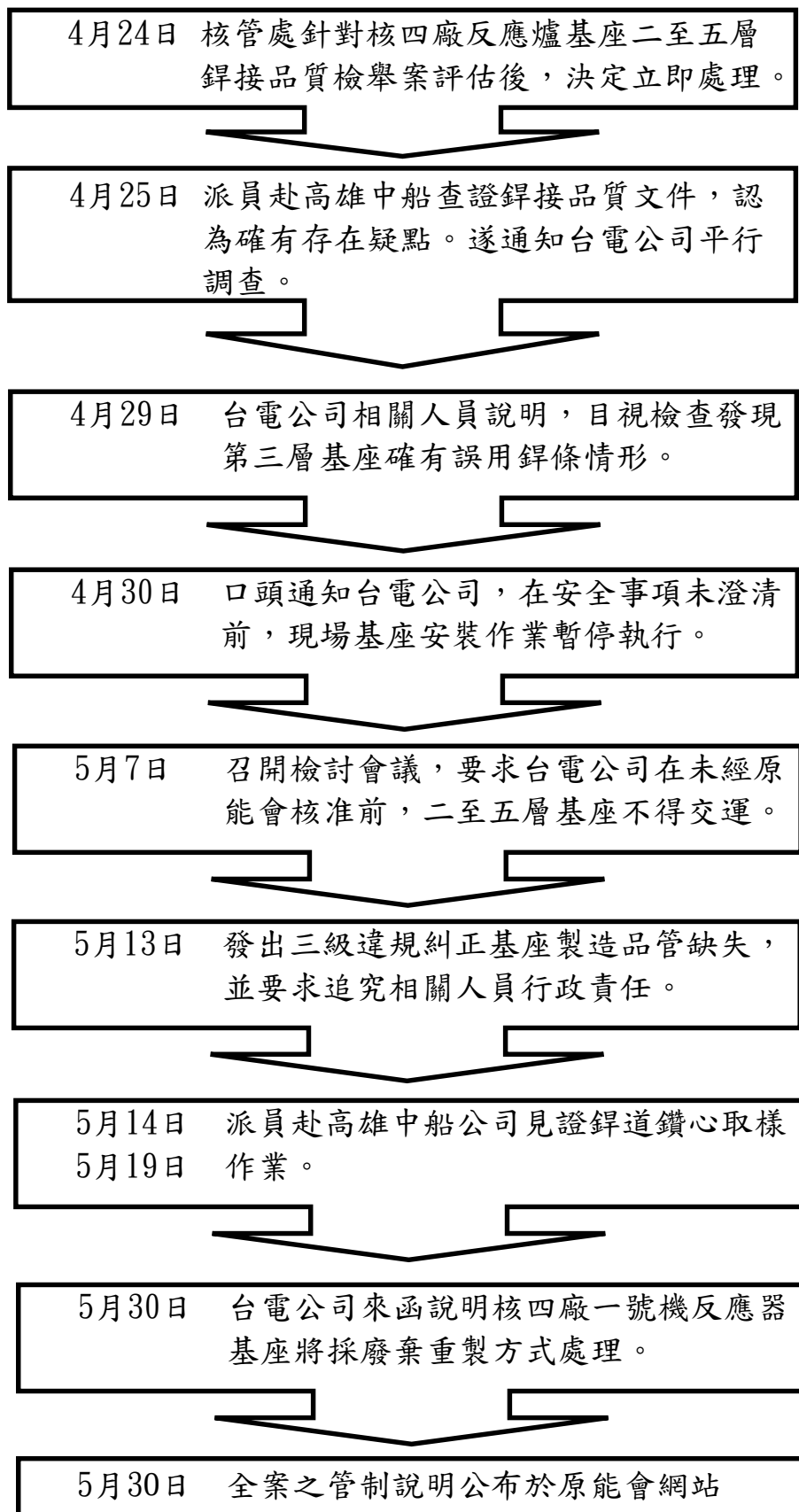
針對核四建廠之安全管制，原能會一向本著安全第一、品質至上之原則，嚴格執行，任何不符合安全的製造或施工作業，均會詳予查證並確實督促台電公司改善，而本案便為一例。今後原能會將本於職掌，持續積極執行各項安全管制工作，以確保核四建廠的品質。



圖一 反應爐基座鋼構



圖二 反應爐基座相關位置示意圖



圖三 原能會對核四廠反應爐基座二至五層品質管制過程簡圖