

核四廠一號機反應爐壓力容器
品質文件查證報告

行政院原子能委員會
核能管制處

中華民國九十三年二月

目 錄

壹、前言	-----	1
貳、反應爐壓力容器簡介	-----	2
參、視察經過程	-----	3
肆、視察結果	-----	3
伍、結論	-----	17
圖一、傳統與進步型沸水式反應爐壓力容器		

壹、前言

核反應爐為核能電廠最重要之核心設備，因此做為核反應爐包封及主要結構體的反應爐壓力容器(RPV)，其品質之良窳對核電廠運轉安全的重要性自不容輕忽。基於此項考量原能會除在核四廠建廠初期安全分析報告審查期間，針對其反應爐壓力容器之設計進行深入的審查外，對於壓力容器在日本製造儲存期間相關品管及維護作業之執行情形，亦曾兩度組成專業視察團隊赴日本製造廠家進行實地之查證，以確認其管制作業均能依相關法規及規範之要求執行。

此外，為進一步確認核四廠一號機反應爐壓力容器製造品質，確能符合法規或相關規範等之要求，原能會於九十二年六月核四廠一號機反應爐壓力容器運抵核四工地前，即函請台電公司依核子反應器設施品質保證準則第十一條『採購材料、設備及服務之管制』之要求備齊所有之品質文件及針對品質文件的完整性及對法規之妥適性進行全面性之審查，另外亦著手規劃結合原能會人員及核能研究所專家組成視察團隊，針對一號機反應爐壓力容器相關之品質文件再次進行深入的查核，以確認各項作業品質皆符合相關安全規範。

本報告即綜述原能會針對核四廠一號機反應爐壓力容器成套品質文件查證作業之經過及結果。

貳、反應爐壓力容器簡介

反應爐壓力容器 (RPV) 主要用來容納產生核反應的爐心與冷卻爐心之爐水，同時並具有防止壓力容器內放射性物質外洩到乾井的屏蔽功能。此外為導引控制吸收核反應熱能後之爐心冷卻水流以有效冷卻爐心及形成能對外作功之熱能流體，其內部亦設置有若干之內部組件。

核四廠一號機所採用之核反應爐為美國奇異公司所設計之進步型沸水式反應爐 (ABWR)，壓力容器製造廠家為日本日立公司。壓力容器區分成壓力容器本體 (RPV MAIN BODY) 及壓力容器上蓋 (RPV CLOSURE HEAD) 兩個主要的部分，組合時以八十支直徑達 152mm 之螺栓將兩者結合，組合後之高度約為 22.9m，外徑約 7.3m。此型沸水式反應爐壓力容器與其他沸水式反應爐壓力容器最大之改變，在於將原置於反應爐壓力容器外之循環水泵取消，改以置於反應爐壓力容器內之爐內循環水泵 (RIP) 取代，做為驅動爐心冷卻水流，進行爐心冷卻及反應爐熱功率控制等功能之動力來源，由於這項改變使得傳統沸水式反應爐位於爐體下方巨大之外部再循環管路，不再存在於進步型沸水式反應爐之設計中，也因此降低了進步型沸水式反應爐冷卻水流失之機會，進一步提高其安全性。傳統與進步型沸水式反應爐壓力容器之外型如圖一所示。

參、視察經過

本次核四廠一號機反應爐壓力容器品質文件查證，主要以材料及製造有關之試驗、製程、檢驗及測試等項目之品質文件部分為主。

由於以往執行安全有關設備品質文件查證時，曾發現因廠商疏忽核四廠 PSAR 有高(不同)於法規標準要求之情形，致設備出現有符合採購規範及法規標準，但不符合核四廠 PSAR 有關要求之現象。為確認類似情形是否亦出現於核四廠一號機反應爐壓力容器中，本次查證作業除查核採購規範及法規標準符合情形外，亦將 PSAR 中不同於法規要求之部分列為查核之重點。

本次視察作業自九十二年十月二十日開始至十一月二十日結束，共約費時九十人日。為增進查證之深度，視察小組依據材料、製程、檢驗及品保作業等進行專業分工，分別負責各分項查證作業之執行。

肆、視察結果

針對查證作業中之各項發現，依查證作業分組為次序分別摘述如下：

一、不符合作業管制及檢驗部分：

本次查證作業主要針對一號機反應爐壓力容器成套品

質文件第七章 Final Test and Inspection Records 及第九章 Nonconformance Records 有關之文件進行查核，以了解各項檢驗及測試作業，是否依規定之時機及頻率實施，同時查證不符合作業之管制及執行情形。查核結果顯示相關作業均能符合規定。

二、材料部分

本分組主要針對一號機反應爐壓力容器成套品質文件第五章 Records of Material(Base Metals)及 Archive Material 等壓力容器材料有關之文件進行查核，以了解製造壓力容器之材料是否完成規定之測試、檢驗及熱處理等之作業，及相關之作業程序、條件及結果是否符合要求之標準。以下簡述查證作業之有關發現、建議及需再請廠家補充資料進行澄清之項目：

- (一) Shell #3 detail of test coupons 中（如圖 M147709-M1），拉伸及衝擊樣品長軸分別平行及垂直 major working direction, 符合 ASME Sec.II SA-508 規定。惟該規範 para. 6.2.2.3 亦規定衝擊樣品 notch axis 方向，但圖面太小無法看出是否符合 ASME 之規定。
- (二) 壓力容器本體 Shell #3 之材料品質證明報告(CMTR NO. JQA-98-270-2)中，其樣品寬度僅為 49.9mm 不符合採購規範 24A5820 Rev. 7 Section 4.4.1.1.5 規定破裂韌

(Fracture Toughness)樣品尺寸寬度至少需 50mm 之要求。

- (三) 對於以 SA-336 Class F316 材料所製成 Part, 其固溶處理條件符合 ASME Sec.II SA-336 之規定, 惟淬火冷卻方式於 CMTR 中僅記載為 water cooling (W.C.), 是否符合採購規範 24A5820 Rev. 7 Section 4.4.1.6.5 中 circulating water 或 water spray 之要求, 應再加以澄清?
- (四) SA-336 Class F316 材料其 CMTR 中有關 Austenitic grain size test 的 Acceptance Standard 均記載為“RS-G458(L1) REV.2 Para. 7”。建議可再加註可接受的 grain size number 值, 使 Acceptance Standard 更明確, 亦便於日後查考使用。
- (五) 發現 Seal leak detection nozzle pipe (part no. 47,材料為 SA-333 Grade 6) 其 CMTR (OTTC2478R5,) 中磷、硫成分之規範值 (0.045% P_{MAX}, 0.058% S_{MAX}) 較 ASME Sec.II SA-333 Table 1 (0.025% P_{MAX}, 0.025% S_{MAX}) 之規定寬鬆。
- (六) 發現 RPV Support skirt (part no. 55) 及其 Flange (part no. 56) 材料 CMTR 中之拉伸試驗 elongation 規範值, 較 ASME Sec.II SA-533 所規範之 18%低。
- (七) 根據壓力容器成套品質文件中之 Index of CMTR 表格顯

示，品質文件中應附有 CRD 相關材料的 CMTR (Part No 75 –130)，但品質文件卻未見有 CRD 相關材料之 CMTR。

(八) Index of CMTR 表格中，Part No. 202, 203 與其相對應之 Part Name 相反。

(九) Material record check list 之 review 及 approve 均為同一人。

(十) 採購規範 24A5820 Rev. 7 Section 4.4.1.1d 規定衝擊性質於 10 測試，與 ASME Sec.II SA-540 Table 2 規定 B24 Class 3 材料之衝擊性質應在 -12.2 測試，且其衝擊吸收能量不可低於 41 J 之規定不符。

(十一) Washer 製作材料之尺寸為直徑 260mm，已超過 ASME Sec.II SA-540 Table 及 NB-2128 Table I-1.3 中對 Grade B24 Class 3 材料所規範之最大尺寸(直徑 241.3mm/9.5 inch)，此規範是否適用應再澄清。

(十二) CAP 共有兩個 Part number (147&148)，且包含在同一份 CMTR 中 (7M0438, page A5-142)，此一作業方式之原因，需加以說明。

(十三) 採購規範 24A5820AA Rev. 3 Section 5.9 將 Shell #4 化學成分規範比照 Beltline material (24A5820 Rev. 7 Section 4.4.1.1.3b)，查證結果相符。

三、 銲接部分

本分組主要針對一號機反應爐壓力容器成套品質文件第三、五及第六章有關銲接人員資格、材料、銲道檢驗及銲後熱處理等之文件進行查核。有關銲接人員資格方面查核之結果，相關證明文件完整均符合規定要求。至於其他部分文件之查核結果雖大致清楚完整，但仍有部分文件之內容需再進行澄清及補充資料，以確認其正確性及是否符合有關規定要求之情形，此部分之查核結果分述如下。

(一) 銲材 CMTR 部分

有關銲材品質文件之查核主要針對 RPV 本體及 ARCHIVE MATERIAL 所使用之銲材進行查核，查核是否依法規及採購規範之要求完成所需之測試，並符合對其化學成分之要求及限制。查證之結果共發現下列 CMTR 之部分內容有不符合法規及採購規範要求之情形：

1.RPV 本體部分

(1) CORE BELTLINE REGION(SHELL 3 有關銲道)

- a. CMTR No. KN-1090(使用於 WN.1205)，對於部分微量化學成份(P,Cu)之要求與規範 4.4.1.1.3 節之規定不同。
- b. CMTR No. FN-0058(使用於 CLADDING WN.5106)、
FN-0059-1(使用於 WN.5201&5202)，部分銲材之化學成

份(Ni, Cr, Mo)不符合 SFA 5.9 309L 之化學成份要求，又對 CMTR 中 WELD METAL 之 P 含量成份要求與規範 4.4.1.1.3 節之要求不同。另 TIG 鐸法鐸材之 CMTR 均未見附。

c. CMTR No. IN-1272，部分微量化學成份(P)不符合規範 4.4.1.1.3 節之要求

(2) CMTR No. IN-1278(使用於 CLADDING WN.2501~2512)、IN-1339(使用於 CLADDING WN.2131~2138)，部分化學成份(Cr、Cb+Ta、Mn、Fe)不符合 SFA 5.14 之要求，另 CMTR 中對 Si、Cb+Ta、Mn、Fe 等化學成份之要求與 SFA 5.14 之要求不一致。

(3) CMTR No. FN-0065 及 FN-0049(使用於 SHELL 1, 2&4 及 BOTTOM HEAD DOME 鐸道等之 CLADDING, WN.5203&5204)，化學成份符合要求，惟 TIG 鐸法鐸材之 CMTR 並未見附。

2. ARCHIVE MATERIAL

(1) CMTR No. KN-1091 中 WIRE TENSILE TEST 之測試結果為 878Mpa，不符合 SFA 5.28 Table 7 930Mpa 之要求。

(2) CMTR No. KA-0122&0123 之測試項目未包含 SOUNDNESS

TEST(RT) 及 WIRE TENSILE TEST，不符合 SFA 5.28 Table 3&7 之要求。

(二) 鐸道 Ferrite 含量量測

由於 ASME 法規、PSAR、採購規範對鐸道 Ferrite 含量之相關要求規定並不完全一致，視察人員於綜合上述三文件之要求後，採取「至少 5FN，上限 20FN，但其平均目標值設定在 13FN 以下」，做為此次品質文件查證之標準可。

本次查證作業查閱全部之 Ferrite Content Measurement Record(共二十一份)，其中二十份檢測紀錄依據之程序書編號為 RS-G675(L1)Rev.1，接受標準為 Min. 5FN, Ave. Above 8FN, Max. 20FN，符合規範要求，其檢測紀錄內容完整，結果亦均符合規定(平均測值在 8~14)，並相當接近要求之目標值 13FN。惟剩餘之一份檢驗紀錄(報告編號：FC-2(L1)RPV-0020)，其雖依據同一程序書(已改版為 rev.2)，但其接受標準已改為 Min. 5FN，且其 FN 實測值亦偏低(約 5~7)。

由於該程序書兩版次間的接受標準有很大之差異，且依據 REV.2 版次程序書進行之量測作業僅有一次，且量測結果較目標值 13 有相當大之差距，需請台電公司澄清此一程序書改版之過程是否符合品質管制原則及此接受標準可接受之原因。

(三) 鐳道化學成份分析

本次查證作業共抽樣查核 17 份 stainless steel cladding 及 8 份 Ni-Cr-Fe cladding 之化學成份分析報告。整體而言，報告內容相當詳實，合格標準及分析結果大致符合相關規範，以採購規範中特別規定之 pump stub nozzle 內側之不鏽鋼 cladding 為例，所取樣之 W2210 成份分析報告，其碳含量之合格標準為 0.03%，符合採購規範之特別規定，且其實測值為 0.021%，亦符合規定，惟仍有下列美中不足之處尚待進一步澄清或改善。

1. 依據採購規範之規定，除 bottom head 可採用 Ni-Cr-Fe cladding 外，其他 Internal core cladding 應採用 stainless steel cladding，惟仍發現有 W5301(Vessel Flange Seal Surface Clad Weld)、W5302(Vessel Flange Seal Surface Clad Weld) 及 W2501~W2512(Buildup for RPV Water Level Instrumentation Nozzle) 等採用 Ni-Cr-Fe Alloy cladding，與前述規定不符。
2. 依據採購規範 4.4.3.3.2 之規定：core beltline 處 cladding 之最大鈷(Co)含量應在 0.030%以下，然發現 W5106(Shell 3 之 cladding，適用上述規定)，其檢測報告之接受標準表示為 Co 0.05%，且實測值亦大於

0.030%，不符合前述規定。

(四) 鐸道檢驗

本項查證作業係查核部分鐸道檢驗記錄結果是否符合規定要求，並與有關之圖面進行對照比較，以明瞭相關檢驗作業執行品質，查核結果計有下列應加以改正及澄清之發現：

- 1.部份檢查記錄表記錄可能有更改(影印本無法很明確辨別)(如:page 6-300 的 Drwg. No. 及 Examination Procedure No.)，但並無相關人員之簽名及日期。
- 2.Records for Fit-up and Groove 檢查記錄表(page 6-257)的 Drwg. No. 未註明版次。
- 3.Shroud Support Plate 的厚度為 82mm，其 Longitudinal Off-set 依法規 ASME Sec. III Table NB-4243-1 之規定其最大限值為 5.1mm，但在 Page 6-318 及 321 兩頁，其 Allowable Maximum Off-set 紀錄為 41mm.。
- 4.依照 KUO-185-581 之 F 圖示，Vessel Flange Cladding 機械加工完成後的厚度應凸出無 Cladding 之 Vessel Flange 平面 2~3mm，實際上凸出之厚度僅在 1.2~1.7mm，與設計圖之要求不符。

(五) 鐸道熱處理

本次查證作業共查核二十一份中間熱處理(I. PWHT)報告及十一份鐸後熱處理(F. PWHT)報告，查證結果均符合相關法規及規範，且其紀錄完整有序，Recording Chart 上明確紀錄報告編號、使用程序書，工作指引、熱處理物品名稱、熱處理爐 Furnace No、Thermal Couple ID 及其置放位置、紀錄器 Recorder No、相關儀器溫度計校正有效期限、熱處理過程之溫度、時間、持溫時間、相關操作員及品質人員簽證等資訊均詳實紀錄，確實為相當具參考價值之品質文件。

四、非破壞檢測

(一) 放射線檢測(RT)部分

1.RPV 本體部分

針對本次 RPV 本體鐸道部分之 RT 檢測紀錄查證作業，視察人員共抽查三十七份 RT 檢測紀錄及六八六張 RT 底片(約佔全部壹千捌佰壹拾捌張 RT 底片之三成)。

依據所查閱之檢測報告顯示，各檢測報告紀錄之內容均能完整地涵括法規(ASME SEC. ，)要求應具備之項目，記錄內容雖頗為龐雜，但仍能維持相當良好之可讀性及完整性。以下三項為視察發現中，需予澄清及補正之處：

(1) 於品質文件(6.4.1 節)中，無法發現編號：

RT-2(L1)RPV-0013 之檢測報告，需予補齊。

- (2) 依 RT 檢測紀錄報告編號：RT-2(L1)RPV-0020 首頁顯示，所檢測之鐸道編號為 W6401，惟所附之底片紀錄表於底片編號 89~100 間改變為 W6402，需予澄清。
- (3) RT 檢測紀錄報告編號：RT-2(L1)RPV- 0041 所使用之鉛增感屏厚度前、後均為 0.03mm，惟查證其他使用相同射源、類似照射厚度及距離之檢測紀錄報告，並無使用此一鉛增感屏厚度之情形。

對於 RT 底片之抽驗方式，係由視察人員於每一底片專用儲存箱(共有七個)中抽出三分之一的底片進行查核。查核時除依法規要求檢視底片品質及逐一比對底片影像與檢測紀錄外，亦調閱部分製造圖面進行比對，確認受檢測對象、位置與檢測紀錄之記載之一致性及是否相符。例如：Feedwater and RWCU Inlet Thermal Sleeve 鐸道 (檢測報告編號：RT-2(L1)RPV-0048)視察人員即曾會同台電人員進行實物及組件圖面之比對，而確認底片影像之正確性。查證結果顯示，受抽查之 686 張 RT 底片之品質、被檢物影像對比及像質計之佈放等均符合有關法規及合約規範之要求，其指示顯示與檢測紀錄之記載亦相當。

2. ARCHIVE MATERIAL 部分

針對 ARCHIVE MATERIAL RT 檢測紀錄所進行之抽閱，視察人員主要發現 SURVEILLANCE TEST PLATE 鐸道編號：W201ST&207AM 及 PART No.201 & 208 之鐸道 RT 紀錄有下列疑慮需加以澄清：

- (1) WN.201ST & 207AM 所代表之 RPV 鐸道為何？是否為 RPV 本體 SHELL 3 之周向鐸道？
- (2) RPV 本體之鐸道測試 RT 紀錄僅有 SHELL 3 TO SHELL 4 ,SHELL TO FLANGE 及 BOTTOM HEAD TO BOTTOM HEAD DOME 等三類周向鐸道，缺少 SHELL 1 TO SHELL 2 周向鐸道及 SHELL 1 & SHELL 2 縱向鐸道之檢測紀錄。
- (3) 又 RPV 本體之材料均屬於 P3 類之材料，可使用相同之鐸材(MGS-56X,SFA 5.28)與 GMAW 法進行鐸接，應澄清製造廠家是否以 SHELL 3 TO SHELL 4 周向鐸道之測試作業，取代 SHELL 1 & SHELL 2 之周、縱向鐸道測試作業。
- (4) 由相關圖面及文件並無法發現 PART No.201 & 208 等之組件編號與材料證明文件(CMTR)，其所指為何，應再作澄清。

(二) 液滲檢測(PT)&超音波檢測(UT)部分

有關 PT&UT 檢測作業文件之查核，查證作業執行時係以 RPV 本體、UT CALIBRATION BLOCK 及 ARCHIVE MATERIAL 等之檢測紀錄為抽查之範圍，查核結果有下列發現：

1. 查閱 PT 檢測紀錄發現部分 PT 檢測之執行溫度低於法規之限值，惟有關檢測文件中並無執执行程序書驗證之有關檢測紀錄資料，無法確認該份程序書確實可適用環境要求，需予以補充。
2. 發現 PT-2(L1)-RPV-0516 及 0517 兩份 PT 檢測紀錄之檢測日期相同(4/13/2001)，但使用程序書(RS-G 640(L1))之版次卻不同(一為 REV.4，一為 REV.7)。
3. 查閱 PT-2(L1)RPV-0018 之檢測紀錄，發現其依據程序書曾有變更，然相關人員未簽署姓名及日期。
4. 查閱 PT-2(L1)RPV-0185 及 0187-1 之檢測紀錄，發現使用之檢測材料廠牌、名稱及型號等雖已依規定填寫，但製造批號並未填寫。
5. ARCHIVE MATERIAL 中之 UT 報告，對於檢測參考及掃描靈敏度增益均以文字做原則性之敘述，而非記錄實際

之使用值，此與一般檢測實務習慣及製造廠家其他檢測報告記錄情形有所不同。

五、其他

依據 RPV 成套品質文件目錄顯示，其文件應包含有 RIP MOTOR CASING 部份之品質文件，惟查證作業執行時發現製造廠家實際上並未附上此部分之文件，致無法進行 RPV 本體與 RIP MOTOR CASING 相關聯部分之查證，例如：RPV 本體與 RIP MOTOR CASING 間鐸道(WN.2140~2149)，因無法查證 RIP MOTOR CASING 側是否曾先進行 BUTTERING 及熱處理，致無法確認鐸道 WN.2140~2149 確可免去鐸後熱處理之需要。此外，由於 RIP MOTOR CASING 並非由 RPV 製造廠家自行製造之組件，其品質文件之下落亦需儘速確認，因此，台電公司應儘速要求 RPV 製造廠家補齊此份品質文件，以確保 RPV 品質文件之完整。

針對 RPV 之 CORE BELTLINE REGION 區域之組件材料、鐸道及鐸材，於其採購規範中各有不同之額外要求，然查證過程中發現，對於 CLADDING 係材料或鐸道存在有模糊及無法區分之情形，致無法明確判斷其品質之良窳。對此台電公司應要求設計廠家進一步釐清該規範對 CLADDING 之要求為

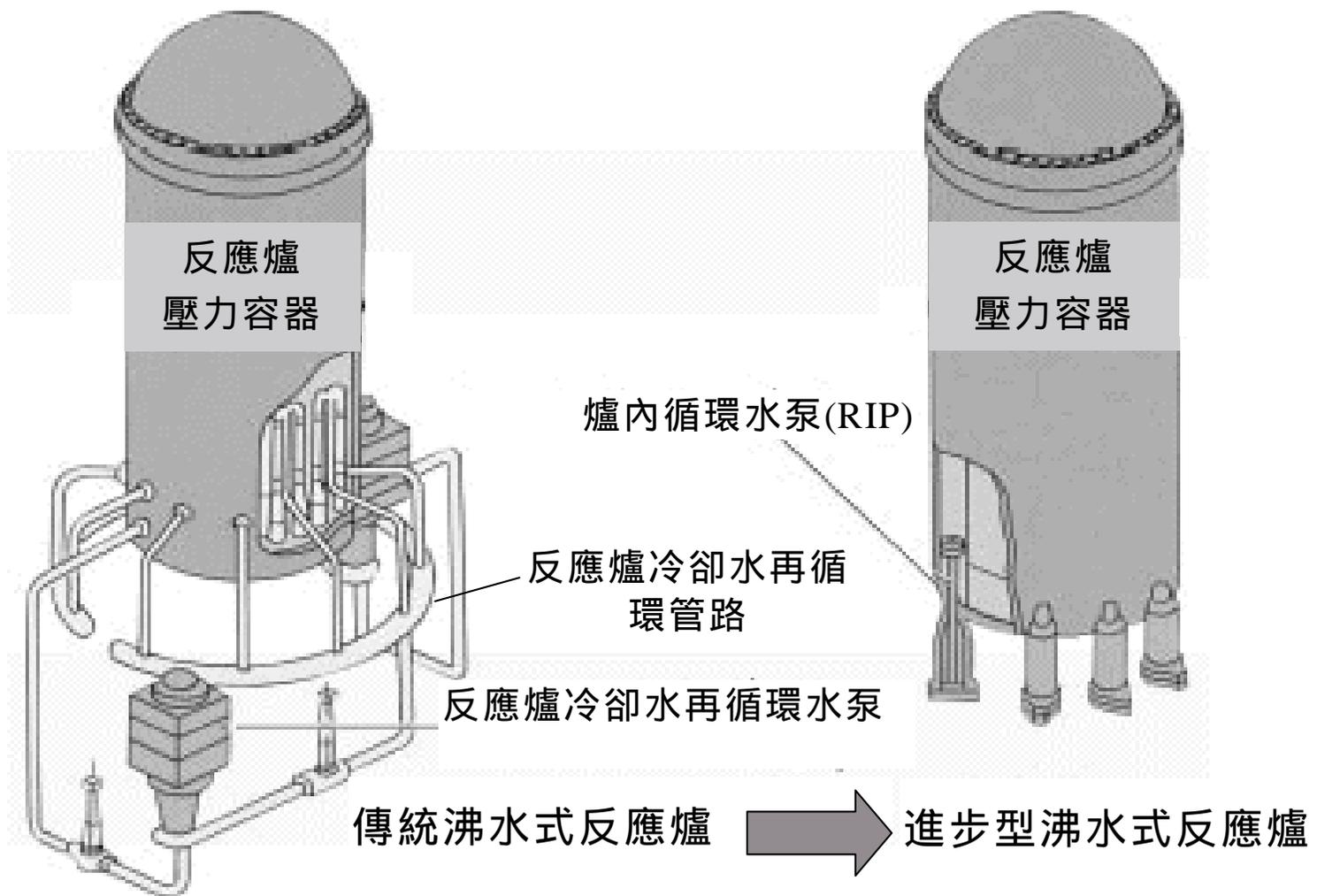
何？以明確其品質要求。

伍、結論

整體而言，此次一號機反應爐壓力容器品質文件之查證作業，視察人員認為其品質文件之品質在完整性及系統性方面，優於以往曾查證過之其他設備材料品質文件，且大體上均能符合品保制度可追溯性之原則，故使本次查證作業之進行頗為順利，設備製造廠家在文件管制之制度及落實執行上均頗為良好。

雖然在視察過程中亦發現若干不符合要求之缺失，針對這些缺失，為審重起見，有必要再請台電公司及原設計、製造廠家提出更完整之澄清及說明。故於查證作業結束後，立即將視察中之各項發現正式函送台電公司辦理。本會亦將於台電公司提出說明後再召請視察團隊成員進行審查，確認相關品質疑慮均能獲得澄清，確保核四廠一號機反應爐壓力容器之製造品質符合法規及安全之要求。

註：本報告限於篇幅附件部份並未附上，如有任何疑問，請洽本會
牛效中科長，Tel：02-2232-2140



圖一、傳統與進步型沸水式反應爐壓力容器