

# 核一廠用過核子燃料乾式貯存設施

## 試運轉設施整體功能驗證報告

台灣電力股份有限公司

中華民國一〇二年八月



【 文件修訂紀錄表 】

第 1 頁/共 5 頁

文件編號		ISFSI-07-REP-12007-03		修訂日期		1020701	
文件名稱		試運轉設施整體功能驗證報告		版次	03	變更次數	0
章節	頁次	原文內容		變更內容		變更理由	
摘要	vi	無		依據「核一廠用過核子燃料乾式貯存設施試運轉計畫」，……		依物管局 S05-003 第 1 次審查意見修訂	
2.1	2	無		…各項作業測試場所、代測模擬設備關鍵尺寸及模擬狀況彙整如表 2.1 所示，其中銲接/非破壞檢測與氬氣測漏測試中所使用的鋼筒為縮小型(截短型)密封鋼筒，在非關鍵尺寸部分有截短長度，鋼筒長度為 763mm，屏蔽上蓋厚度 76.2mm，結構上蓋厚度 76.2mm。		依物管局 S06-006 第 1 次審查意見修訂	
表 2.1	14	無		增補表 2.1 輔助設備整合功能驗證		依物管局 S06-006 第 1 次審查意見修訂	
2.1.1	3	密封鋼筒上蓋銲接為密封作業之關鍵步驟，銲接/非破壞檢測驗證作業使用之設備包括銲機、模擬屏蔽上蓋、模擬結構上蓋、臨時屏蔽、非破壞檢測設備、模擬排水/排氣孔封口蓋等。		密封鋼筒上蓋銲接為密封作業之關鍵步驟，銲接/非破壞檢測驗證作業使用之設備包括自動銲接機、模擬密封鋼筒包括模擬結構上蓋、模擬屏蔽上蓋及模擬鋼筒外殼、臨時屏蔽、非破壞檢測設備、模擬排水/排氣孔封口蓋等。		依物管局 S06-007 第 1 次審查意見修訂	

【 文件修訂紀錄表 】

第 2 頁 / 共 5 頁

章節	頁次	原文內容	變更內容	變更理由
2.1.1	4	無	<p>本次整體功能驗證期間依照與正式運轉作業相同的作業程序，使用自動銲接機將模擬屏蔽上蓋與模擬結構上蓋銲接到模擬鋼筒外殼。模擬密封鋼筒外殼係依照正式密封鋼筒中上方部位製作，外殼外徑1703.3mm、內徑1671.6mm、筒壁厚度16mm。模擬結構上蓋直徑1651.8mm；模擬屏蔽上蓋直徑1663.7mm。模擬密封鋼筒其銲槽幾何尺寸、銲道深度、圓周長等完全比照正式密封鋼筒，以驗證封銲能力。屏蔽上蓋封銲期間，對鋼筒內水面以上、屏蔽上蓋以下的空間持續進行氫氣監測，空間大小比照正式銲接施作時之體積。</p>	<p>依物管局S06-007第1次審查意見修訂</p>

【 文件修訂紀錄表 】

第 3 頁/共 5 頁

章節	頁次	原文內容	變更內容	變更理由
3.1.1.7	19	無	測試過程中臨時屏蔽板與自動銲機銲頭機構、氫氣偵檢端管路一併吊運、安裝，測試結果臨時屏蔽板可順利安裝且不妨礙自動銲機操作與氫氣偵檢器運轉，足以驗證臨時屏蔽板達當初設計要求，如圖 3.1.4~圖 3.1.5 所示。	依物管局 S06-010 第 1 次審查意見修訂
圖3.1.4	53		更換圖片 圖 3.1.4 銲機安裝	
2.2.2	8	依據試運轉計畫書第 3.2.2 節執行密封鋼筒豎直作業，本驗證作業所需之設備為密封鋼筒、平板車、自動翻轉裝置，其目的在確認密封鋼筒豎直的程序與能力，...	依據試運轉計畫書第 3.2.2 節執行密封鋼筒組件組合、燃料方管阻力測試與鋼筒豎直作業，本驗證作業所需之設備為密封鋼筒、平板車、自動翻轉裝置、模擬燃料束及電子磅秤等，其目的在確認密封鋼筒豎直的程序與能力，及驗證鋼筒使用前進行燃料方管阻力測試之程序與能力，...	依物管局 F01-011 第 1 次審查意見修訂
2.2.2	8	本階段主要工作內容依序為：(1)密封鋼筒組件與鋼筒組合，...	本階段主要工作內容依序為：(1)密封鋼筒組件(排水、排氣管及上蓋)與鋼筒組合，...	
表3.1.3	42		表 3.1.3 增加備註欄	依物管局 S02/S05-013 第 1 次審查意見修訂

【 文件修訂紀錄表 】

第 4 頁/共 5 頁

章節	頁次	原文內容	變更內容	變更理由
1	1	…，密封作業全程總計約 64 小時，其中鐸道移除作業約 19.5 小時。	…，密封作業全程總計約 65.3 小時，另鐸道移除作業約 21 小時。	文字修訂意見編號 027 第 1 項第 1 次
3.1	15	…，扣除暫停作業時間之總工時約為 65.25 小時。	…，扣除暫停作業時間之總工時約為 65.3 小時。	審查意見修訂
2.1.1	4	檢測時機分別為屏蔽上蓋鐸道之底道與表面；排水孔封口蓋與排氣口封口蓋鐸道之底道與表面；結構上蓋鐸道之底道、每填料 3/8 吋厚、表面。	檢測時機分別為屏蔽上蓋鐸道之底道鐸道與表面鐸道；排水孔封口蓋與排氣口封口蓋鐸道之底道鐸道與表面鐸道；結構上蓋鐸道之底道鐸道、每填料達 3/8 吋厚度之鐸道及表面鐸道。	文字修訂意見編號 027 第 3 項第 1 次審查意見修訂
3.1.1.2	16	3.1.1.2、3.1.1.3、3.1.1.4 文中「密封鋼筒」	統一修改為「測試用密封鋼筒」	文字修訂意見編號 027 第 5 項第 1 次
3.1.1.3	17			審查意見修訂
3.1.1.4	18			
3.1.1.1	16	6 月 18 日鐸工依照程序書以手工方式，…	6 月 18 日鐸工依照程序書以手工方式，點鐸屏蔽上蓋，點鐸順序以間隙最大位置為原點分別依序對角方式以角位 0°-180°-90°-270°-45°-225°-315°-135°點鐸一段方式進行，共點鐸 8 點，點鐸後目視檢查目確認上蓋於定位處固定、鐸點與材料表面狀況為良好(確實融接)。	依物管局 S03-009 第 1 次審查意見修訂

【 文件修訂紀錄表 】

第 5 頁 / 共 5 頁

章節	頁次	原文內容	變更內容	變更理由
3.1.1.7	18	6月20日02:10完成準備工作並將上蓋手工點鉸方式固定，...	6月20日02:10完成準備工作並將上蓋以前述對角方式手工點鉸固定，...	依物管局S03-009第1次審查意見修訂

## 摘 要

依據「核一廠用過核子燃料乾式貯存設施試運轉計畫」，自 101 年 6 月中旬至 101 年 11 月中旬，歷時 5 個月分批次完成計畫之第一階段試運轉作業，即整體功能驗證作業(Dry Run)。此階段功能驗證又可再細分為:輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1);重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2);燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)等三大項主要工作，綜整前述工作結果於本報告中。

輔助設備整合功能驗證，主要目的在驗證各項密封作業之相關輔助設備與再取出切割設備之功能，確定達到運轉作業所需，期間執行的項目包括:銲接/非破壞檢測、密封鋼筒壓力測試、鋼筒排水真空乾燥、氬氣回填、氬氣測漏以及密封鋼筒上蓋銲道移除等工作。

有關重件吊運、傳送及運送功能驗證，主要驗證密封鋼筒自反應器廠房傳送至貯存場的過程，以及重型設備之前置準備作業，工作內容包括:傳送護箱翻轉、密封鋼筒翻轉、密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝、密封鋼筒傳送至混凝土護箱、多軸油壓板車運送、外加屏蔽安裝。

燃料池水下操作功能驗證主要目的在於測試護箱進出燃料池過程中與核一廠既有系統之配合情形，與燃料池中既有結構物界面關係。執行項目包含:密封鋼筒/傳送護箱吊運與水下定位、模擬燃料束裝填、屏蔽上蓋安裝、水下傳送護箱吊運操作、輻防及除污作業等。

測試期間動員各式重型機具執行工作，其中 200 公噸以上移動式起重機便動用超過 10 車次，各單位參與人力超過 500 人次。各項測試工作順利完成，測試結果符合計畫書要求。並依據現場實際作業經驗，修訂作業程序增加作業流暢性，與工序正確性。

# 目 錄

1.	前言 .....	1
2.	測試程序與依據 .....	2
2.1	輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1)測試程序與依據 .....	2
2.1.1	銲接/非破壞檢測 .....	3
2.1.2	壓力測試 .....	4
2.1.3	排水/真空乾燥 .....	5
2.1.4	氬氣回填 .....	5
2.1.5	氬氣測漏 .....	6
2.1.6	密封鋼筒上蓋銲道移除 .....	6
2.2	重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2)程序與依據 .....	7
2.2.1	傳送護箱翻轉 .....	7
2.2.2	密封鋼筒豎直 .....	8
2.2.3	密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝 .....	8
2.2.4	密封鋼筒傳送至混凝土護箱 .....	9
2.2.5	多軸油壓板車運送 .....	10
2.2.6	混凝土護箱氣墊運送 .....	10
2.2.7	外加屏蔽安裝 .....	11
2.3	燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)程序與依據 .....	11
2.3.1	密封鋼筒/傳送護箱吊運與下水定位 .....	12
2.3.2	模擬燃料束裝填 .....	12
2.3.3	屏蔽上蓋安裝/水下傳送護箱吊運操作 .....	13
2.3.4	輻防及除污作業 .....	13
3.	測試過程與結果 .....	15
3.1	輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1)驗證過程與結果 .....	15
3.1.1	驗證過程 .....	15
3.1.2	測試結果 .....	20
3.2	重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2)驗證過程與結果 .....	25
3.2.1	驗證過程 .....	25
3.2.2	測試結果 .....	31
3.3	燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)過程與結果 .....	33
3.3.1	驗證過程 .....	34
3.3.2	測試結果 .....	38
4.	結論 .....	105

## 圖目錄

圖 3.1.1 輔助設備整體功能驗證時程規劃 .....	49
圖 3.1.2 輻防人員進行銲接區域輻射偵測 .....	49
圖 3.1.3 屏蔽上蓋對心並塞入墊片 .....	50
圖 3.1.4 自動銲接機安裝 .....	50
圖 3.1.5 氫氣偵檢與氫氣沖流系統於排水孔側管路特寫 .....	51
圖 3.1.6 氫氣偵檢與氫氣沖流系統於排氣孔側管路特寫 .....	51
圖 3.1.7 氫氣測漏系統示意圖 .....	52
圖 3.1.8 結構上蓋銲道整修 .....	52
圖 3.1.9 結構上蓋液滲檢測-滲透 .....	53
圖 3.1.10 結構上蓋液滲檢測-顯像 .....	53
圖 3.1.11 結構上蓋銲接完成後銲道表面 .....	54
圖 3.1.12 上蓋銲道移除示意圖 .....	54
圖 3.1.13 調整刀具進刀位置 .....	55
圖 3.1.14 執行移除切削後所產生之切屑 .....	55
圖 3.1.15 結構上蓋銲道切割 .....	56
圖 3.1.16 結構上蓋成功吊離 .....	56
圖 3.1.17 安裝封口蓋銲道切削設備 .....	57
圖 3.1.18 移除封口蓋銲道 .....	57
圖 3.1.19 成功取出封口蓋 .....	58
圖 3.1.20 氫氣沖流與灌水作業操作管路 .....	58
圖 3.1.21 切削中的屏蔽上蓋銲道 .....	59
圖 3.1.22 移除屏蔽上蓋與鋼筒外殼間的墊片(shim) .....	59
圖 3.2.1 傳送護箱翻轉成水平狀態 .....	60
圖 3.2.2 以多軸油壓板車搬運水平狀態的傳送護箱 .....	60
圖 3.2.3 以油壓系統開關屏蔽門 .....	61
圖 3.2.4 傳送護箱運送往 1 號機反應器廠房 .....	61
圖 3.2.5 J 型鉤安裝完成護箱頂部狀況 .....	62
圖 3.2.6 準備將 TFR 固定於牆邊固定架 .....	62
圖 3.2.7 密封鋼筒屏蔽上蓋與排水管組合測試 .....	63
圖 3.2.8 密封鋼筒與結構上蓋組合測試 .....	63
圖 3.2.9 密封鋼筒組件尺寸檢查量測結構上蓋與筒壁上緣之高低差 ..	64
圖 3.2.11 TSC 燃料方管阻力測試(2) .....	65
圖 3.2.12 密封鋼筒置於翻轉架上由二貯庫移往反應器廠房 .....	65
圖 3.2.13 TSC 於反應器廠房內豎直 .....	66
圖 3.2.14 密封鋼筒與傳送護箱結合 .....	66
圖 3.2.15 TFR 吊運至五樓 .....	67

圖 3.2.16 TFR 置放於五樓工作區防震架內 .....	68
圖 3.2.17 TSC 檢查與預組裝作業 .....	69
圖 3.2.18 安裝環狀間隙注水系統(AFS)作業 .....	70
圖 3.2.19 安裝真空乾燥系統儀表架.....	71
圖 3.2.20 模擬排水排氣孔口蓋銲接作業 .....	71
圖 3.2.21 安裝氬氣測漏儀 .....	72
圖 3.2.22 結構上蓋安裝自動銲接機.....	72
圖 3.2.24 VCC 移至多軸油壓板車上.....	73
圖 3.2.25 VCC 移入反應器廠房 1 樓定位.....	74
圖 3.2.26 VCC 頂蓋及屏蔽塞吊至#1 RB 5F 暫貯.....	75
圖 3.2.27 傳送護箱加掛二樓防震裝置運往天井 .....	76
圖 3.2.28 傳送護箱穿越天井往 VCC 吊運.....	76
圖 3.2.29 傳送護箱外側二樓防震裝置展開並固定(1 of 2).....	77
圖 3.2.30 傳送護箱外側二樓防震裝置展開並固定(2 of 2).....	77
圖 3.2.31 以可遙控脫鈎吊具將 TSC 放入 VCC 內.....	78
圖 3.2.32 密封鋼筒順利傳送進 VCC 內並將傳送護箱吊離.....	78
圖 3.2.33 吊離銜接器.....	79
圖 3.2.34 進入 VCC 頂部作業前，量測 VCC 與鋼筒間間隙劑量率 ...	79
圖 3.2.35 安裝 VCC 頂蓋.....	80
圖 3.2.36 加馬劑量率量測.....	80
圖 3.2.37 中子劑量率量測.....	81
圖 3.2.38 表面汙染拭跡偵測 .....	81
圖 3.2.39 完成傳送作業.....	82
圖 3.2.40 將 VCC 之頂蓋吊離 .....	82
圖 3.2.41 準備將 VCC 之屏蔽塞吊離.....	83
圖 3.2.42 安裝可遙控脫鈎吊具之吊環於鋼筒上 .....	83
圖 3.2.43、於 VCC 上安裝銜接器 .....	84
圖 3.2.44 以吊軛將傳送護箱吊置於 VCC 上 .....	84
圖 3.2.45 傳送護箱座妥後放下 2F 防震裝置 .....	85
圖 3.2.46 可遙控脫鈎密封鋼筒吊具穿越傳送護箱內部.....	85
圖 3.2.47 將密封鋼筒吊入傳送護箱內.....	86
圖 3.2.48 準備以吊軛將傳送護箱吊至 5F.....	86
圖 3.2.49 利用金屬膠帶將間隙填補.....	87
圖 3.2.50 銲道切除裝置安裝於結構上蓋上 .....	87
圖 3.2.51 銲道切除設備試跑.....	88
圖 3.2.52 孔蓋銲道移除裝置安裝.....	88
圖 3.2.53 駕駛酒測.....	89
圖 3.2.54 反應器廠房外臨時管制區.....	89

圖 3.2.55 VCC 於雙重氣密門移出 .....	90
圖 3.2.56 輻防人員進行偵檢 .....	90
圖 3.2.57 多軸油壓板車駛出主警衛室(第一階段運送驗證) .....	91
圖 3.2.58 運送路徑上的交通管制點 .....	91
圖 3.2.59 正式作業前待命之運送車隊 .....	92
圖 3.2.60 道路運送驗證 .....	92
圖 3.2.61 混凝土護箱通過乾華橋 .....	93
圖 3.2.62 混凝土護箱表面劑量率量測 .....	93
圖 3.2.63 利用氣墊將混凝土護箱運抵貯存場指定位置 .....	94
圖 3.2.64 混凝土護箱貯放於指定位置 .....	94
圖 3.2.65 安裝外加屏蔽之連續照片 .....	95
圖 3.3.1 傳送護箱底部防污板安裝完成貌 .....	96
圖 3.3.2 下水時傳送護箱表面持續淋濕 .....	96
圖 3.3.3 傳送護箱頂部安裝上水密封機構前後 .....	97
圖 3.3.4 傳送護箱底部通過裝載區框架 .....	97
圖 3.3.5 傳送護箱定位後頂部照片 .....	97
圖 3.3.6 出水時以除礦水沖洗吊軌、鉤頭及纜索並進行輻射劑量監測 .....	98
圖 3.3.7 出水後的吊軌與吊勾套袋後收存 .....	98
圖 3.3.8 假燃料裝填測試孔位 .....	99
圖 3.3.9 假燃料裝入孔位 DG-1 的連續照片 .....	99
圖 3.3.10 於孔位 DC-4(左)與 DD-5 吊運假燃料之測試照片 .....	100
圖 3.3.11 水下安裝屏蔽上蓋之連續鏡頭 .....	100
圖 3.3.13 觀察鋼筒內壁標示確認上蓋坐妥定位 .....	101
圖 3.3.14 吊軌與傳送護箱 J 型鉤結合 .....	101
圖 3.3.15 利用水下攝影機觀察傳送護箱底部通過框架 .....	102
圖 3.3.16 排水 260 公升同時測輻射劑量 .....	102
圖 3.3.17 傳送護箱清洗底部之吊運路徑 .....	103
圖 3.3.18 傳送護箱底部擦拭除污 .....	103
圖 3.3.19 對密封鋼筒外壁進行拭跡偵檢作業 .....	104

## 表 目 錄

表 2.1 輔助設備整合功能驗證 .....	14
表 3.1.1 密封作業實際作業時間統計表 .....	40
表 3.1.2 上蓋銲道移除實際作業時間統計表 .....	41
表 3.1.3 上蓋封銲非破壞檢測報告對照表 .....	42
表 3.2.1 重件吊運、傳送及運送功能驗證細部時程規劃 .....	43
表 3.2.2 重件吊運、傳送及運送功能驗證實際作業時間統計表 .....	44
表 3.3.1 燃料池水下操作功能驗證作業細部時程 .....	47
表 3.3.2 燃料池水下操作功能驗證作業實際作業時間統計表 .....	48

## 1. 前言

本公司依據 101 年 5 月 23 日物管局(會物字第 1010008395)核定之「核一廠用過核子燃料乾式貯存設施試運轉計畫(以下簡稱試運轉計畫)」，自 101 年 6 月起執行第一階段試運轉【整體功能驗證(Dry Run)】作業。本階段功能驗證可分為:1. 輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1)，2. 重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2)，3. 燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)等三大項主要工作。

第一項輔助設備整合功能驗證已於 101 年 6 月 18 日至 101 年 6 月 27 日於核研所執行完畢，執行項目包括:1. 銲接/非破壞檢測、2. 壓力測試、3. 排水真空乾燥、4. 氬氣回填、5. 氬氣測漏、6. 密封鋼筒上蓋銲道移除等工作，其中 1~5 項屬於密封作業，而第 6 項則為再取出程序之關鍵步驟。為模擬正式作業之情形，本次驗證採 24 小時輪班方式執行。6 月 18 日至 21 日執行密封作業，並於 6 月 21 日 20:25 完成密封作業所有驗證項目。於設備、場地整理之後，6 月 26 日開始進行銲道移除驗證作業，所有驗證作業於 101 年 6 月 27 日 05:30 完成。扣除颱風停班以及場地整理，密封作業全程總計約 65.3 小時，另銲道移除作業約 21 小時。

有關重件吊運、傳送及運送功能驗證，分別於 101 年 9 月 24 日至 101 年 10 月 4 日以及 101 年 11 月 12 日至 101 年 11 月 14 日分兩階段在核一廠的 1 號機反應器廠房、廠內道路以及乾式貯存場等處舉行，執行項目包括:傳送護箱翻轉、密封鋼筒翻轉、密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝、密封鋼筒傳送至混凝土護箱、多軸油壓板車運送、外加屏蔽安裝。其中第一階段重件吊運、傳送及功能驗證結束時間為 101 年 10 月 4 日，後兩項驗證作業係配合貯存場進場道路完工時程於 101 年 11 月 12 日至 101 年 11 月 14 日執行。

燃料池水下操作功能驗證於 101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 2 日假核一廠的 1 號機反應器廠房燃料池執行。執行項目包含:密封鋼筒/

傳送護箱吊運與水下定位、模擬燃料束裝填、屏蔽上蓋安裝、水下傳送護箱吊運操作、輻防及除污作業等。

以下將就三大項功能驗證作業分段敘述其執行程序與驗證結果。

## 2. 測試程序與依據

### 2.1 輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1)測試程序與依據

本階段驗證可概略分為密封作業與上蓋銲道移除作業，密封作業之假定起始狀態為：傳送護箱(TFR)與密封鋼筒(TSC)已完成水下作業，離開燃料池，進入 5F 防震架中，將展開密封作業(即封銲、排水與氬氣封存)。而上蓋銲道移除作業之假定起始狀態為：裝載燃料之 TSC 已自 VCC 進入 TFR 中，並且 TFR 與 TSC 已吊回 5F 防震架中，將展開銲道移除工作。

本次驗證中有關密封作業係依據試運轉計畫書第 3.1 節「輔助設備整合功能驗證」，完成以下之驗證項目：銲接/非破壞檢測(試運轉計畫書第 3.1.1 節)、壓力測試(第 3.1.2 節)、排水/真空(第 3.1.3 節)、氬氣回填(第 3.1.4 節)以及氬氣測漏(第 3.1.5 節)。

密封作業之驗證按正常作業步驟進行，依序為(括弧內為試運轉計畫書之相對章節)：屏蔽上蓋封銲/NDE(第 3.1.1 節)→壓力測試(第 3.1.2 節)→排水真空乾燥(第 3.1.3 節)→填充氬氣(第 3.1.4 節)→排水與排氣孔蓋銲接(第 3.1.1 節)→氬氣測漏(第 3.1.5 節)→結構上蓋封銲(第 3.1.1 節)。

本次測試中有關上蓋銲道移除作業係依試運轉計畫書中 3.1.6 節內容執行，其執行順序為：結構上蓋銲道移除→排水孔/排氣孔封口蓋銲道移除→氬氣沖流與灌水→屏蔽上蓋銲道移除。以下分段敘述密封作業與上蓋銲道移除作業主要步驟之功能驗證測試程序與依據，各項作業測試場所、代測模擬設備關鍵尺寸及模擬狀況彙整如表 2.1 所示，其中銲接/非破壞檢測與氬氣測漏測試中所

使用的鋼筒為縮小型(截短型)密封鋼筒，在非關鍵尺寸部分有截短長度，鋼筒長度為 763mm，屏蔽上蓋厚度 76.2mm，結構上蓋厚度 76.2mm。

### 2.1.1 銲接/非破壞檢測

密封鋼筒上蓋銲接為密封作業之關鍵步驟，銲接/非破壞檢測驗證作業使用之設備包括自動銲接機、模擬密封鋼筒包括模擬結構上蓋、模擬屏蔽上蓋及模擬鋼筒外殼、臨時屏蔽、非破壞檢測設備、模擬排水/排氣孔封口蓋等。在本次試運轉設施整體功能驗證中，銲接作業依照「反應器廠房內操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07008)」、「密封鋼筒上蓋銲接操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07007)」中相關程序執行測試，並同時依據「密封鋼筒上蓋銲道非破壞性檢測程序書 (ISFSI-07-SOP-07002)」進行銲道非破壞檢測。

如前述之初始條件，假設密封鋼筒於反應器廠房內完成水下作業後，吊運出水且已固定於防震架上，屏蔽上蓋並已依規定完成除污工作，即將進行屏蔽上蓋封銲，與封銲作業有關之各程序書章節如下：

- 反應器廠房內操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07008)
  1. 第 6.6 節屏蔽上蓋銲接
  2. 第 6.11 節排水孔及排氣孔封口蓋銲接
  3. 第 6.13 節結構上蓋銲接
- 密封鋼筒上蓋銲接操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07007)
  1. 第 1 節目的與範圍
  2. 第 2 節組織架構與職掌
  3. 第 3 節概述
  4. 第 4 節準備作業
  5. 第 5 節屏蔽上蓋銲接
  6. 第 6 節排水孔封口蓋與排氣口封口蓋銲接

## 7. 第 7 節結構上蓋銲接

本次整體功能驗證期間依照與正式運轉作業相同的作業程序，使用自動銲接機將模擬屏蔽上蓋與模擬結構上蓋銲接到模擬鋼筒外殼。模擬密封鋼筒外殼係依照正式密封鋼筒中上方部位製作，外殼外徑 1703.3mm、內徑 1671.6mm、筒壁厚度 16mm。模擬結構上蓋直徑 1651.8mm；模擬屏蔽上蓋直徑 1663.7mm。模擬密封鋼筒其銲槽幾何尺寸、銲道深度、圓周長等完全比照正式密封鋼筒，以驗證封銲能力。屏蔽上蓋封銲期間，對鋼筒內水面以上、屏蔽上蓋以下的空間持續進行氬氣監測，空間大小比照正式銲接施作時之體積。

如前所述，本驗證(Dry Run A1)按正常作業之步驟依序進行測試，故依照程序書完成屏蔽上蓋銲接後，便開始執行壓力測試、排水/真空測試、氬氣回填與氬氣測漏等測試；經氬氣回填測試合格後再執行排水孔封口蓋與排氣口封口蓋銲接，完成後，執行氬氣測漏確保鋼筒密封性。當氬氣測漏合格後執行結構上蓋銲接。結構上蓋銲接作業結束才算完成銲接作業程序測試與自動銲接機功能驗證。

為維持銲道品質確保密封鋼筒密封性，銲接作業中皆依照「密封鋼筒上蓋銲道非破壞檢測程序書(ISFSI-07-SOP-07002)」執行目視檢測(VT)與液滲檢測(PT)。檢測時機分別為屏蔽上蓋銲道之底道銲道與表面銲道；排水孔封口蓋與排氣口封口蓋銲道之底道銲道與表面銲道；結構上蓋銲道之底道銲道、每填料達 3/8 吋厚度之銲道及表面銲道。在非破壞檢測中發現的不可接受之缺陷，皆需進行修整，而修整作業則依照「密封鋼筒上蓋銲接操作程序書(ISFSI-07-SOP-07007)」第 8 節內容執行。

### 2.1.2 壓力測試

依據試運轉計畫書第 3.1.2 節進行相關壓力測試，其目的在確認屏蔽上蓋封銲後銲道無洩漏情況。本驗證作業所需之設備為

測試用密封鋼筒、整合型排水真空乾燥系統裝置、氮氣瓶、釋壓閥及調壓器；測試時之接受標準(依試運轉計畫書)為:輔助系統可提供壓力測試所需壓力 35 psia 且作業程序可執行。按正式燃料裝載作業，壓力測試合格標準為:密封鋼筒加壓至 35 psia，隔離壓力源後，筒內壓力維持 10 分鐘無變化。相關作業程序係依據「反應器廠房內操作程序書(ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.7 節密封鋼筒氣壓測漏程序之內容執行。

### 2.1.3 排水/真空乾燥

依據試運轉計畫書第 3.1.3 節執行真空乾燥驗證作業，所需之設備為測試用密封鋼筒與整合型排水真空乾燥系統裝置。接受標準為須符合運轉限制條件 LCO 3.1.2「密封鋼筒抽真空乾燥壓力」之要求，即將密封鋼筒抽真空至其內部壓力小於 10 torr 後，再將真空幫浦與密封鋼筒隔離，鋼筒內部應保持壓力低於 10 torr 至少 10 分鐘。若作業時周圍溫度低於 18.3 °C (65 °F)，則抽真空壓力測試標準須保持壓力小於 5 torr，維持 10 分鐘。相關作業程序係依據「反應器廠房內操作程序書(ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.8 節密封鋼筒排水程序與第 6.9 節密封鋼筒真空乾燥程序之內容執行。

### 2.1.4 氮氣回填

依據試運轉計畫書第 3.1.4 節執行氮氣回填驗證作業，使用之設備為測試用密封鋼筒、整合型排水真空乾燥系統裝置、氮氣瓶及調壓器。接受標準為符合運轉限制條件 LCO 3.1.3「密封鋼筒之氮氣回填壓力應為 0 (+1, -0)psig」之要求。本階段之主要工作內容為抽真空至壓力小於 3 torr 後，充填純度 99.9%氮氣，且測試用密封鋼筒須保持壓力 0 (+1, -0) psig；重複抽真空至壓力小於 3 torr 後再填充氮氣一次。相關作業程序係依據「反應器廠房內操作程序書(ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.10 節密封鋼筒填充氮

氣之程序執行。本節程序執行完成後，接著進行排水孔/排氣孔封口蓋銲接作業。

#### 2.1.5 氦氣測漏

氦氣測漏驗證作業係依試運轉計畫書 3.1.5 節內容執行，其程序則依「密封鋼筒上蓋銲道洩漏測試程序書 (ISFSI-07-SOP-07003)」第 5.0 節之檢測程序執行。氦氣測漏作業使用之設備為充灌氦氣之縮小型密封鋼筒、洩漏測試用蓋板與氦質譜儀洩漏檢測系統(PhoeniXL 300 Modul 型氦質譜儀)；依試運轉計畫書驗證之接受標準為:確認輔助系統偵測功能正常，且儀器精度可達  $1 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{sec}$  之要求。此外，為測試銲接品質，本次試驗再依正式燃料裝載作業時，氦氣測漏合格標準為:密封鋼筒之屏蔽上蓋與封口蓋銲道之洩漏率需低於  $2 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，來確定驗證過程中施銲之銲道無洩漏。

本階段主要工作內容為安裝氦質譜儀洩漏檢測系統及洩漏測試用蓋板、執行氦氣測漏等。相關作業程序係依據「密封鋼筒上蓋銲道洩漏測試程序書 (ISFSI-07-SOP-07003)」之內容執行。

#### 2.1.6 密封鋼筒上蓋銲道移除

密封鋼筒上蓋銲道移除測試係依試運轉計畫書 3.1.6 節執行，其程序則依 ISFSI-07-SOP-07011 (再取出操作作業程序書) 6.5.1 節至 6.5.23 節之內容執行，目的為確定排水/排氣孔封口蓋、屏蔽上蓋與模擬結構上蓋銲道於必要時可安全移除。

本階段主要工作內容為安裝銲道移除系統，依序進行模擬結構上蓋銲道、排水及排氣孔蓋塞銲道、以及模擬屏蔽上蓋銲道切除並模擬灌氣與灌水作業。相關作業係依據「再取出操作作業程

序書(ISFSI-07-SOP-0711)」第 6.5 節密封鋼筒再取出作業程序執行。

## 2.2 重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2)程序與依據

本階段作業主要係執行重件吊運、傳送及運送功能驗證作業。依據試運轉計畫書第 3.2 節「重件吊運、傳送及運送功能驗證」，驗證項目主要有：1.傳送護箱翻轉(試運轉計畫書第 3.2.1 節)；2.密封鋼筒豎直(第 3.2.2 節)；3. 密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝(第 3.2.3 節)；4.密封鋼筒傳送至混凝土護箱(第 3.2.4 節)；5.多軸油壓板車運送(第 3.2.5 節)；6.混凝土護箱氣墊運送(第 3.2.6 節)；7.外加屏蔽安裝(第 3.2.7 節)等七項。相關驗證規劃項目測試程序如本報告第 2.2.1~2.2.7 節所述。由於本驗證作業使用到核一廠既有設備(如廠房吊車)，且驗證作業與場地之空間佈置密切相關(如二樓及五樓防震裝置安裝、運送路徑、貯存場...等)，故為使操作人員熟悉作業相關設備組裝、作業場地及核一廠既有設備之操作，本驗證作業於核一廠內執行。

### 2.2.1 傳送護箱翻轉

依據試運轉計畫書第 3.2.1 節執行傳送護箱翻轉作業，本驗證作業所需之設備為傳送護箱、傳送護箱鞍座、平板車、屏蔽門及銜接器油壓系統、300 噸吊車及 65 噸吊車，其目的在確認傳送護箱翻轉/豎直的程序與能力，並確保各項設備間之功能與操作介面是否有干涉之情形；測試時之接受標準(依試運轉計畫書)為：完成傳送護箱翻轉及屏蔽門安裝作業。

本階段主要工作內容依序為：(1)利用銜接器油壓系統安裝屏蔽門，確認油壓系統及屏蔽門之功能正常；(2)利用 300 噸及 65 噸吊車於 VCC 澆置場進行傳送護箱翻轉/豎直作業，確認傳送護箱翻轉/豎直的程序與能力；(3)利用多軸油壓板車將傳送護箱傳送

至反應器廠房作業；(4)安裝 J 型勾之程序與能力驗證。相關作業程序係依據「傳送護箱前置作業程序書(ISFSI-07-SOP-07006)」第 4 節準備作業及第 6 節作業程序之內容執行。

### 2.2.2 密封鋼筒豎直

依據試運轉計畫書第 3.2.2 節執行密封鋼筒組件組合、燃料方管阻力測試與鋼筒豎直作業，本驗證作業所需之設備為密封鋼筒、平板車、自動翻轉裝置、模擬燃料束及電子磅秤等，其目的在確認密封鋼筒豎直的程序與能力，及驗證鋼筒使用前進行燃料方管阻力測試之程序與能力，確保各項設備間之功能與操作介面沒有干涉之情況；測試時之接受標準(依試運轉計畫書)為：完成密封鋼筒組件組合、燃料方管阻力測試與鋼筒豎直作業。

本階段主要工作內容依序為：(1)密封鋼筒組件(排水、排氣管及上蓋)與鋼筒組合，並進行燃料方管阻力測試，阻力測試之接受標準為 $\pm 22.7$  公斤以內；(2)將密封鋼筒由貯存位置運送至反應器廠房內；(3)利用自動翻轉裝置，進行密封鋼筒之豎直作業。相關作業程序係依據「密封鋼筒前置作業 (ISFSI-07-SOP-07004)」第 6.3 至 6.5 節程序及「反應器廠房內操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.1.2 節密封鋼筒準備作業之內容執行。

### 2.2.3 密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝

依據試運轉計畫書第 3.2.3 節執行密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備吊運的程序，以及輔助設備試組裝作業。本驗證作業所需之設備為 INER-HPS 系統之密封鋼筒、傳送護箱、廠房吊車、J 型勾、吊軌、密封鋼筒吊環、五樓防震裝置及相關輔助設備，其目的為驗證主要設備及相關輔助設備吊運/試組裝的程序與能力，確保各項設備間之功能與操作介面沒有干涉之情況；接受標準為完成密封鋼筒吊入傳送護箱中並與傳送護箱一起吊至五樓操作區防震架定位，以及各項輔助設備之試組裝。

本階段主要工作內容依序為：(1) 將空密封鋼筒吊入傳送護箱內；(2) 將傳送護箱(內含密封鋼筒)吊運至五樓，放置在五樓操作區防震架定位，闔上防震架旋轉臂，安裝止推桿；(3) 完成五樓工作平台組裝；(4) 屏蔽上蓋對心；(5) 自動銲接機吊裝組立；(6) 整合型排水真空乾燥系統組合；(7) 結構上蓋吊裝組立；(8) 相關輔助設備系統安裝。相關作業程序係依據「反應器廠房內操作程序書(ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.1~6.13 節中有關密封鋼筒及上蓋組吊，以及相關輔助設備組裝作業之內容執行。

#### 2.2.4 密封鋼筒傳送至混凝土護箱

依據試轉計畫書第 3.2.4 節執行密封鋼筒傳送至混凝土護箱驗證作業，其目的為驗證吊運及傳送的程序與能力。本驗證作業所需之設備為：密封鋼筒、傳送護箱、銜接器、混凝土護箱、廠房吊車、J 型勾、吊軌、多軸油壓板車、可遙控脫鉤吊具(密封鋼筒傳送用)、二樓防震裝置、五樓防震裝置；接受標準為完成密封鋼筒由傳送護箱傳送至混凝土護箱中。

本階段主要工作內容依序為：(1)利用多軸油壓板車將混凝土護箱及其相關組件由澆置場運送至反應器廠房內天井下方指定位置；(2)傳送護箱銜接器吊置於混凝土護箱上方；(3)將傳送護箱(連同二樓防震裝置)吊至混凝土護箱上，並將傳送護箱屏蔽門與銜接器連接後，將二樓防震裝置懸臂放平至定位；(4)確認可遙控脫鉤密封鋼筒吊具掛鉤與密封鋼筒連接座接合，吊起密封鋼筒，開啟傳送護箱屏蔽門；(5)將密封鋼筒傳送至混凝土護箱並座落在混凝土護箱底座銲件上。相關程序係依據「混凝土護箱前置及運送作業程序書(ISFSI-07-SOP-07005)」第 6.2 節混凝土護箱及其相關組件由澆置場至反應器廠房內之移動程序及「反應器廠房內操作程序書」(ISFSI-07-SOP-07008) 第 6.15 節混凝土護箱準備作業、第 6.16 節傳送護箱臨時固定裝置安裝、第 6.17 節密封鋼筒

傳送至混凝土護箱程序執行。

#### 2.2.5 多軸油壓板車運送

依據試運轉計畫書第 3.2.5 節執行多軸油壓板車運送驗證作業，其目的是為確保混凝土護箱自反應器廠房裝載完成後，可以多軸油壓板車進行廠區內道路運送至定位貯放。主要驗證重點為運送階段的程序與能力，確保運送路徑無干涉之情況，並確認路徑監測儀器訊號正常安全無虞。本驗證作業所需之設備為：混凝土護箱、多軸油壓板車、千斤頂、氣墊、空壓機及所需相關配件。接受標準為假設完成裝載之混凝土護箱(不含密封鋼筒)自反應器廠房一樓天井運送至貯存場定位。本項驗證作業因應貯存場完工時程因素，分兩階段進行，第一階段為自反應器廠房一樓運送至核一廠主警衛室大門，第二階段為自核一廠主警衛室大門運送至貯存場定位。

本階段主要工作內容依序為：(1)將混凝土護箱(不含密封鋼筒)從反應器廠房一樓天井，移出反應器廠房，運至核一廠主警衛室大門；(2)自核一廠主警衛室大門運送至貯存場指定位置。相關程序係依據「混凝土護箱前置及運送作業程序書(ISFSI-07-SOP-07005)」第 6.3 節由反應器廠房內移動已裝載密封鋼筒(含用過燃料)之混凝土護箱至貯存場程序之內容執行。

#### 2.2.6 混凝土護箱氣墊運送

依據試運轉計畫書第 3.2.6 節執行混凝土護箱氣墊運送驗證作業，其目的為利用懸浮氣墊組進行混凝土護箱自邊界移至貯存場指定位置，主要驗證運送的程序與能力。本項驗證作業所需之設備：混凝土護箱、堆高機、千斤頂系統(用於舉起混凝土護箱以安裝或移除懸浮氣墊組)、懸浮氣墊組、空氣壓縮機、橋架板(用於銜接貯存場及多軸油壓板車之間隙)、混凝土護箱夾鉗、人員

升降作業車；接受標準為將混凝土護箱自多軸油壓板車移動至貯存場上之指定位置。

本階段主要工作內容為將混凝土護箱(不含密封鋼筒)從貯存場邊界移送至貯存場上指定位置。相關程序係依據「混凝土護箱前置及運送作業程序書 (ISFSI-07-SOP-07005)」附件一安裝/移除懸浮氣墊組、以及附件二使用懸浮氣墊移動混凝土護箱程序之內容執行。

### 2.2.7 外加屏蔽安裝

依據試運轉計畫書第 3.2.6 節執行外加屏蔽安裝驗證作業，其目的為外加屏蔽之吊運程序與能力驗證。本階段驗證作業所需設備為：混凝土護箱、外加屏蔽、堆高機、運送車輛、起重機；接受標準為外加屏蔽套裝於混凝土護箱外。

本階段主要工作內容為外加屏蔽之吊裝。相關作業程序「貯存場運貯作業程序書 (ISFSI-07-SOP-07009)」第 6.0 節作業程序之內容執行。

## 2.3 燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)程序與依據

燃料池水下操作功能驗證主要目的為驗證各種水下吊運作業之可操作性，程序係依據試運轉計畫書第 3.3 節「燃料池水下操作功能驗證」進行，驗證假定為 TFR 與 TSC 已完成前置作業，將進入池中進行燃料裝載。驗證項目主要有：1.密封鋼筒/傳送護箱吊運下水定位(試運轉計畫書第 3.3.1 節)；2.模擬燃料束裝填(第 3.3.2 節)；3.屏蔽上蓋安裝/水下傳送護箱吊運操作(第 3.3.3 節)；4.輻防及除污作業(第 3.3.4 節)等四項。

本次驗證作業場所為核一廠反應器廠房及用過核子燃料池。

由於設備進出用過燃料池會造成池水水位變化，因此驗證時除需確定所有設備功能正常外，尚需同步協調吊運速度與池水排放(或注入)速度，故同步協調作業亦為本次驗證之重點。以下分段敘述燃料池水下操作功能驗證程序與依據。

### 2.3.1 密封鋼筒/傳送護箱吊運與下水定位

吊運與水下定位依試運轉計畫書第 3.3.1 節進行，相關操作程序則依 ISFSI-07-SOP-07008(反應器廠房內操作程序書)第 6.2 節內容執行，目的在確認傳送護箱與核一廠用過核子燃料池中框架無干涉，並可以安全地將護箱吊至燃料池裝載區定位。吊運過程藉由水下攝影機協助觀察，全程使用環狀間隙注水系統以保護密封鋼筒外壁避免受池水污染，吊運過程中需按程序書與核一廠機組控制室保持密切聯繫以確保燃料池水位穩定，因此本項驗證作業實質上測試包含設備性能、人員協調等範圍。依據計畫書內容，本驗證合格標準為傳送護箱併同密封鋼筒能成功吊運至燃料池護箱裝載區定位。

### 2.3.2 模擬燃料束裝填

模擬燃料束裝填係使用核一廠既有之模擬燃料束進行，依據試運轉計畫書第 3.3.2 節進行。本項驗證之接受標準為模擬燃料束可成功裝填於密封鋼筒內指定之位置，故作業時依據程序書 SOP-07008(反應器廠房內操作程序書)第 6.3 節內容，將模擬燃料束裝填入密封鋼筒指定之極限位置，所謂極限位置是指密封鋼筒內最靠燃料池東側的燃料方管位置、最北側燃料方管位置以及幾何構形上屬於燃料吊車較難脫勾的方管位置。驗證過程中，藉助水下攝影機確認燃料裝填狀況，並且全程使用環狀間隙注水系統保護密封鋼筒外壁。

### 2.3.3 屏蔽上蓋安裝/水下傳送護箱吊運操作

本階段主要作業內容為將屏蔽上蓋吊運至用過核子燃料池中之密封鋼筒上，吊運過程需盡量使屏蔽上蓋與密封鋼筒平順接合，同時確認屏蔽上蓋定位槽與密封鋼筒定位鍵嵌合，且屏蔽上蓋必須平放在頂蓋支撐環上。當確定屏蔽上蓋已經平放入密封鋼筒後，需將傳送護箱與空密封鋼筒由燃料池吊出，固定於五樓操作區防震架中。相關作業程序係依據「反應器廠房內操作程序書 (ISFSI-07-SOP-07008)」第 6.4 節安放密封鋼筒屏蔽上蓋程序，以及第 6.5 節傳送護箱含已裝載之密封鋼筒吊至五樓操作區程序之內容執行。

### 2.3.4 輻防及除污作業

本階段主要作業內容為:1.對吊出燃料池之設備偵檢，以及 2.設立臨時管制區等輻射防護作為，3.利用傳送護箱的環狀間隙注水系統執行密封鋼筒污染防範，4.若有必要則進行密封鋼筒除污作業。本項驗證之接受標準為密封鋼筒外表面鬆散污染限制值： $\beta/\gamma$ ： $\leq 180 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ； $\alpha$ ： $\leq 1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$  (運轉限制條件 LCO 3.2.1)

表 2.1 輔助設備整合功能驗證

測試項目	測試場所	待測模擬設備關鍵尺寸	模擬狀況
銲接 / 非破壞檢測	核能研究所	(1)縮小型密封鋼筒 外徑 1703.3 mm 內徑 1671.6 mm 屏蔽上蓋直徑： 1663.7 mm 結構上蓋直徑： 1651.8 mm	(1)以與真實狀況相同之銲道尺寸進行模擬密封鋼筒封銲及液滲檢測作業，以確認測試作業程序可行性 (2)測試輔助設備：自動銲接機以及氬氣偵檢系統功能及操作界面
壓力測試	核能研究所	測試用密封鋼筒 直徑 1703.3 mm 高度 5704 mm	(1)模擬封銲完成後之壓力測試程序 (2)測試輔助設備：壓力測試系統之功能及操作界面
排水 / 真空	核能研究所	測試用密封鋼筒 直徑 1703.3 mm 高度 5704 mm	(1)以 1:1 尺寸模擬排水/真空程序 (2)測試輔助設備：整合型排水真空系統之功能及操作界面
氬氣回填	核能研究所	測試用密封鋼筒 直徑 1703.3 mm 高度 5704 mm	(1)以 1:1 尺寸模擬氬氣回填程序 (2)測試輔助設備：整合型排水真空系統之功能及操作界面
氬氣測漏	核能研究所	縮小型密封鋼筒 外徑 1703.3 mm 內徑 1671.6 mm 受測之空間大小約 170 公升	(1)以與真實狀況相同之受測容積及銲道尺寸模擬氬氣測漏程序 (2)測試輔助設備：氬氣測漏系統之功能及操作界面

### 3. 測試過程與結果

本節分段說明輔助設備整合(Dry Run A1)，重件吊運傳(運)送(Dry Run A2)，以及燃料池水下操作(Dry Run B)等三項功能驗證之過程與結果。

#### 3.1 輔助設備整合功能驗證(Dry Run A1)驗證過程與結果

本次驗證規劃之時程如圖 3.1.1 所示，依密封作業與上蓋鉚道移除測試分為兩段驗證時程。為呈現正式作業之狀態，鉚接用模擬鋼筒試件於測試前一日先注滿水，密封作業起始時間為 6 月 18 日 08:00，預定完成時間為 6 月 21 日 16:00。密封作業實際作業時間統計如表 3.1.1 所示，實際開始時間為 6 月 18 日 08:30，完成時間為 6 月 21 日 20:25。測試期間因泰利颱風襲台，於 6 月 20 日 17:00 配合桃園縣宣布晚間停班停課而暫停作業，至 6 月 21 日 08:30 才再恢復測試工作，扣除暫停作業時間之總工時約為 67.8 小時。

上蓋鉚道移除規劃起始時間為 6 月 25 日 08:00，預定完成時間為 6 月 26 日 22:00。而上蓋鉚道移除作業之實際作業時間統計如表 3.1.2 所示，實際開始時間為 6 月 26 日 08:30，完成時間為 6 月 27 日 05:12，全程作業時間約 21 小時。

##### 3.1.1 驗證過程

###### 3.1.1.1 屏蔽上蓋鉚接與其鉚道非破壞性檢測驗證過程

6/18 早上 08:30 召開工具箱會議後展開作業，工作人員依照程序書使用偵檢器模擬現場偵測鋼筒上蓋表面劑量作業，如圖 3.1.2 所示。於清潔上蓋殘水後進行屏蔽上蓋對心，並於上蓋與筒壁間塞入墊片(shim)，對心過程如圖 3.1.3 所示。

完成上蓋對心後安裝自動鉚接機，如圖 3.1.4 所示，並啟動氬氣偵檢系統，以氬氣持續沖流屏蔽上蓋下方之無水空間 10

分鐘，以確定氫氣濃度低於 2.4% 以下，氫氣偵檢系統於排水孔側與排氣孔側之管線特寫如圖 3.1.5 與圖 3.1.6 所示。在封銲屏蔽上蓋之全部驗證過程中，均持續以氫氣沖流上蓋下方無水空間並持續監測氫氣濃度，銲接過程中氫氣濃度均低於 2.4%。

於 6 月 18 日 10:20 完成自動銲接機試跑，在展開屏蔽上蓋銲接作業前，自動銲接機發生異常狀況。偵錯後發現為視訊攝影機的驅動馬達故障，另送線調整機構亦發生干涉。經更換馬達備品並調整機構後，系統功能回復正常，並順利完成屏蔽上蓋銲接。本次驗證現場備有第二台自動銲接機(備援自動銲接機)，當時研判應可於 2~3 小時內排除故障，故並未使用備援設備替代原自動銲接機。未來作業中如自動銲接機發生異常，依現場工程師判斷無法立刻排除時，將立刻更換備援自動銲接機，使作業可迅速繼續。

6 月 18 日銲工依照程序書以手工方式，點銲屏蔽上蓋，點銲順序以間隙最大位置為原點分別依序對角方式以角位  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ - $90^{\circ}$ - $270^{\circ}$ - $45^{\circ}$ - $225^{\circ}$ - $315^{\circ}$ - $135^{\circ}$  點銲一段方式進行，共點銲 8 點，點銲後目視檢查目確認上蓋於定位處固定、銲點與材料表面狀況為良好(確實融接)。再啟動自動銲接機執行銲接工作至屏蔽上蓋銲道表面道完成，其中底道與表面道皆依程序書經過目視檢測(VT)與液滲檢測(PT)，並於 6 月 18 日 20:30 結束屏蔽上蓋封銲作業。

#### 3.1.1.2 壓力測試過程

吊離自動銲接機後，經過管線安裝等步驟，於 6 月 18 日 20:51 以氫氣對測試用密封鋼筒加壓達 35 psia(20.3 psig)後隔離氫氣源，再經 10 分鐘後(21:01)，筒內壓力仍維持在 20.3 psig。本項目完成簽署時間為 6 月 18 日 21:05

#### 3.1.1.3 排水/真空乾燥驗證過程

壓力測試合格後，以整合式 VDS 系統對測試用密封鋼筒進行排水作業，正式開始排水時間為 6 月 18 日 21:27，此時正式解除運轉限制條件 LCO3.1.1 (1)之時間追蹤。結束 LCO3.1.1 (1)之適用後，同時開始 LCO 3.1.1(2)真空乾操作業之限制操作時間追蹤，依規定共有 600 小時可作業時間。

排水作業係利用抽水機將測試用密封鋼筒內之水份經由排水管抽出，同時由排氣孔注入氦氣，使筒內壓力保持於 0~5 psig 之正壓狀態。持續排水至抽水機已無法有效排出水流後，關閉排水閥，暫停排水，以氦氣對筒內加壓，待壓力達 15.3~17.8 psig 時，再重新開啟排水閥，藉灌氣方式將筒內殘水帶出，至筒內壓力降至 5.3~0.3 psig 後重覆暫停排水、加壓、壓力排水，直至排水管無明顯水分流出為止。本次驗證於 6 月 19 日 00:36 完成排水作業與各項簽署確認。

排水完成後繼而展開真空乾操作業(本項作業時之周圍環境溫度為 28.7°C)，利用真空泵對測試用密封鋼筒內進行真空乾操作業，直至殘水蒸發殆盡並通過乾燥測試，其接受標準為測試用密封鋼筒內壓力保持 10 torr 以下，並於真空泵停止後，維持 10 分鐘仍低於 10 torr。6 月 19 日 08:45 通過真空乾燥測試。於 08:49 完成程序書簽署。

#### 3.1.1.4 氦氣回填驗證過程

當測試用密封鋼筒通過真空乾燥測試後，將筒內真空壓力繼續抽降至 3 torr，進行第一次氦氣回填，回填至筒內氦氣壓力達 0(+1,-0) psig 後，旋即再將筒內真空壓力再抽降至 3 torr 以下，進行第二次氦氣回填，回填至筒內氦氣壓力仍為 0(+1,-0) psig。完成氦氣回填時間為 6 月 19 日 16:11，已達成 LCO 3.1.3 之氦氣回填壓力標準，此時解除 LCO 3.1.1 (2)追蹤，並同時展開「LCO 3.1.4 充氦後 TSC 可留置於 TFR 中最長時間」之操作時間限制追蹤。開始排水到完成氦氣回填共計使用了大約

18.5 小時，仍在 LCO 3.1.1(2)涵蓋之時間範圍內。氬氣回填驗證完成程序書中各項確認簽署時間為 6 月 19 日 18:00。

#### 3.1.1.5 排水排氣孔封口蓋銲接與非破壞性檢測(VT、PT)驗證過程

6 月 19 日完成氬氣回填後，拆除管線，架設銲接系統之線路，工作人員針對銲接流程、安全須知等議題再進行一次工具箱會議，展開排水孔封口蓋與排氣口封口蓋銲接工作。銲接方式以手工氬銲方式進行，完成兩孔蓋底層銲道(root pass)後進行非破壞檢測，通過檢測並繼續手工銲接，於 20:35 完成兩孔蓋銲接並通過表面銲道非破壞檢測。

#### 3.1.1.6 氬氣測漏(LT)驗證過程

封口蓋封銲完成後，進行氬氣測漏作業，以確保密封鋼筒模擬屏蔽上蓋封銲後密封效果良好。氬氣測漏作業管路配置如圖 3.1.7 所示，利用測漏用蓋板(Test Lid)將屏蔽上蓋上方封住，並以氬氣測漏儀偵測銲道之洩漏率。6 月 19 日約於 21:00 開始安裝氬氣測漏系統，至 6 月 20 日 00:27 完成氬氣測漏，未發現洩漏狀況。本項目作業完成程序書簽署時間為 6 月 20 日 00:40。

#### 3.1.1.7 結構上蓋銲接與其銲道非破壞性檢測(VT、PT)驗證過程

氬氣洩漏測試完成後開始執行結構上蓋銲接。銲接前仍針對銲接程序與安全注意事項先進行討論，然後再執行銲接。6 月 20 日 02:10 完成準備工作並將上蓋以前述對角方式手工點銲固定，然後安裝自動銲接機開始銲接結構上蓋底部銲道，於 05:00 完成底道銲接與非破壞檢測後繼續銲接。達到第 1 個 3/8 吋填料高度後，對該層銲道盡行非破壞檢測，09:50 確定底道銲道無瑕疵。第一個 3/8 吋填料高度銲道完成後繼續銲接工作，在 13:50 完成第二個 3/8 吋填料高度進行非破壞檢測，因為銲道

表面未確實清除乾淨而干擾 PT 判讀，故判定為不通過，移除表面銲渣後於 16:55 完成第二個 3/8 吋填料高度與非破壞檢測。由於泰利颱風過境，桃園縣政府宣布 6/20 夜間停止上班上課，為維護人員安全暫停驗證作業工作，至 6 月 21 日颱風警報解除後繼續作業。

6 月 21 日 09:00 開始執行第三個 3/8 吋填料高度，在 14:00 完成第三個 3/8 吋填料高度進行非破壞檢測，檢測結果發現部分指示判斷為疑似融合不良缺陷，再次執行整修程序，整修作業如圖 3.1.8 所示；16:00 完成第三個 3/8 吋填料高度與非破壞檢測。最終於 20:00 完成結構上蓋銲道填料作業，總填料深度約 26mm，依照程序書完成銲道測量與紀錄後於 6 月 21 日 20:25 完成密封作業之相關驗證工作。結構上蓋銲道接受 PT 檢驗照片如圖 3.1.9~圖 3.1.10，完成後銲道最表面照片如圖 3.1.11 所示。測試過程中臨時屏蔽板與自動銲機銲頭機構、氫氣偵檢端管路一併吊運、安裝，測試結果臨時屏蔽板可順利安裝且不妨礙自動銲機操作與氫氣偵檢器運轉，足以驗證臨時屏蔽板達當初設計要求，如圖 3.1.4~圖 3.1.5 所示。

#### 3.1.1.8 上蓋銲道移除作業驗證過程

6 月 26 日 08:30 安裝切割設備後開始進行模擬結構上蓋銲道移除作業，本項作業是以機械切削方式移除銲道。封銲後鋼筒開口之幾何形狀如圖 3.1.12 所示，因密封鋼筒銲後其外殼(圖中紫色部位)會因受熱而向內收縮，而收縮之外殼會阻擋進刀，妨礙屏蔽上蓋銲道移除作業，所以在切削過程中，部分外殼必須先行去除。進刀之大致步驟如圖 3.1.12 所示，先如圖中步驟 1 切除結構上蓋與外殼間的銲道，再將結構上蓋吊出，切除排水孔與排氣孔之封口蓋，對密封鋼筒灌氣、灌水，再依圖 3.1.12 之步驟 2 切除阻礙進刀之內縮外殼，最後才依步驟 3 切除屏蔽

## 上蓋與外殼間銲道並取出墊片(shim)

依據經驗越快找到外殼與結構上蓋之接縫處，可越快將兩者分離，作業時間便可越短。因此，下刀之前必須先仔細量測並調整進刀位置以使其最接近接縫處，如圖 3.1.13 所示。而銲道移除過程中會持續產生切屑如圖 3.1.14 所示，工作人員隨時清理以避免影響切削效率。結構上蓋於 6 月 26 日 17:00 完成銲道移除並將上蓋吊離，切削上蓋與吊離上蓋之照片分別如圖 3.1.15 與 3.1.16 所示。接著再安裝封口蓋銲道移除設備，並進行封口蓋銲道移除作業，設備安裝與切削過程如圖 3.1.17 與圖 3.1.18 所示。於 6 月 26 日 19:48 切開並取出封口蓋，隨即進行氬氣沖流與其後續灌水作業，灌氣與灌水操作管路如圖 3.1.20 所示。6 月 26 日 21:15 結束灌水，並再次召開工作會議以決定移除屏蔽上蓋銲道之下刀點。工作人員逐步進刀將銲道與外殼分離後，利用油壓裝置將內縮之外殼頂開，並於 6 月 27 日 05:18 將屏蔽上蓋周圍之所有墊片(shim)順利取出，完成所有驗證工作。上蓋切削過程如圖 3.1.21 所示，取出上蓋與外殼間墊片之作業如圖 3.1.22。

### 3.1.2 測試結果

#### 3.1.2.1 銲接/非破壞檢測(VT、PT)結果

依試運轉計畫書規劃整體封銲/NDE (屏蔽上蓋、封口蓋與結構上蓋)的作業時間為 32 小時，全程使用人力 5 人，故規劃使用總人時為 160 人時。由表 3.1.1 可知實際整體銲接時間為 40.5 小時，雖較規劃時間長，但依據現場電子刷卡紀錄顯示在屏蔽上蓋、封口蓋以及結構上蓋執行銲接與 NDE 作業期間進入平台作業區之總人時為 151.6 人時，較規劃總人時為低。

於模擬屏蔽上蓋銲接作業時，過程中其底道(root pass)與表面道(surface pass)之 VT 與 PT 檢查，均無瑕疵。於模擬排水/排氣封口蓋銲接作業時，並完成底道及表面道銲道目視(VT)及液滲(PT)檢測，檢測結果為無瑕疵。模擬結構上蓋銲接作業，每銲 3/8 吋厚即進行 1 次 VT 及 PT 液滲檢測，其作業過程中共計有 3 次銲接整修，整修之後再經檢驗皆為合格。各 VT 檢測結果符合下列標準：

- A. 銲道表面不得凸出屏蔽上蓋頂部。
- B. 結構上蓋表面銲道最多可以超出鋼筒外殼頂端 1/8 吋 (3.2mm)，但不得高於結構上蓋表面。
- C. 屏蔽上蓋銲道最後一道(Pass)跨鋪(wash up)外殼之內表面，銲冠尺寸不得超過 0.11 吋(2.8mm)，跨鋪到外殼內表面部份不得超過 0.22 吋(5.6mm)。
- D. 下列各種顯示應判定為不予接受：
  - 任何裂痕、重疊或融合不良。
  - 銲蝕深度大於 1/32 吋(0.8 mm)。
  - 銲道有目視可見串聯式或叢集性氣孔產生。
  - 在面積 6 in<sup>2</sup> (4000 mm<sup>2</sup>) 且主要單邊不超過 6 in. (150mm)的範圍內出現10個以上圓形顯示，範圍之選擇須以出現最多顯示之面積為準不得故意避開。

各 PT 檢測結果皆符合下列標準：

- A. 尺寸大於 1/16 吋(1.5 mm)之顯示方視為有效指示。
- B. 下列各種有效指示應判定為不予接受：
  - 任何裂痕及線形顯示。
  - 圓形顯示之尺寸大於 3/16 吋(5 mm)。

- 四個或四個以上之圓形顯示成一條線，且其邊緣與邊緣間隔小於 1/16 吋(1.5 mm)。

表 3.1.3 為各銲道 PT 與 VT 檢查結果統計表，所有銲道總計接受 14 次目視檢查，與 13 次液滲檢驗。銲接/非破壞性檢測結果合格。

### 3.1.2.2 壓力測試結果

本項目按試運轉計畫書原規劃作業時間為 4 小時，全程使用人力 3 人，故規劃使用總人時為 12 人時。由表 3.1.1 可知實際之壓力測試時間為 0.5 小時，依據現場所紀錄在壓力測試作業期間進入平台作業區之總人時為 0.63 人時。

本次驗證之壓力接受標準為：「輔助系統可提供壓力測試所需壓力(35 psia)且作業程序可執行」。而正式運轉作業之壓力接受標準則為：「密封鋼筒以氬氣加壓至 35 psia 並隔離加壓氣源後，於 10 分鐘內壓力無變化」。於 6 月 18 日 20:51 以氬氣經由排氣孔對密封鋼筒加壓達 35 psia (20.3 psig)，輔助系統可供應測試所需之 35 psia 壓力，故符合試運轉計畫書所提之接受標準。此外，隔離氬氣源之後，再經 10 分鐘(21:01)，筒內壓力仍維持 20.3 psig，也符合正式作業之標準，因此測試結果合格，同時滿足試運轉計畫書以及正式作業時之標準。

### 3.1.2.3 排水/真空乾燥測試結果

原計畫書規劃作業時間為 24 小時，使用人力 4 人，故規劃使用總人時為 96 人時。由表 3.1.1 可知實際之排水/真空乾燥測試時間為 11.5 小時，依據現場所紀錄在排水/真空乾燥測試作業期間進入平台作業區之總人時為 0.78 人時。

本項目之接受標準依據試運轉計畫書為：「須符合運轉限制條件 LCO 3.1.2「密封鋼筒抽真空乾燥壓力」之要求，另抽真空至壓力小於 10 mm-Hg (torr)時，關閉抽真空幫浦及隔離閥，應維持至少 10 分鐘壓力不高於 10 mm-Hg。若作業時周圍溫度低於 18.3 °C (65 °F)，則抽真空壓力測試標準須保持壓力小於 5 mm-Hg，維持 10 分鐘」。本項作業時之周圍環境溫度為 28.7°C，並於 LCO 之時限規定內完成真空乾燥測試，測試結果如下：6 月 19 日 08:35 時鋼筒內壓力達 4.8 torr，開始真空乾燥測試，至 6 月 19 日 08:45 時鋼筒內壓力為 8.8 torr，符合 10 分鐘內壓力低於 10 torr 以下標準，本項作業合格。

#### 3.1.2.4 氦氣回填測試結果

本項目計畫書規劃作業時間為 12 小時，使用人力 4 人，故規劃使用總人時為 48 人時。由表 3.1.1 可知實際之氦氣回填測試時間為 9.3 小時，依據現場所紀錄在氦氣回填測試作業期間進入平台作業區之總人時為 8.63 人時。

本項作業接受標準為須符合運轉限制條件 LCO 3.1.3「密封鋼筒之氦氣回填壓力應為 0 (+1, -0)psig」之要求。需達成：「抽真空至壓力小於 3 mm-Hg 後，充填純度 99.9%氦氣，且測試用密封鋼筒須保持壓力 0 (+1, -0) psig；重複抽真空至壓力小於 3 mm-Hg 及填充氦氣一次」。6 月 19 日當天依據程序書先將鋼筒壓力抽至 2.4 torr，對鋼筒灌入氦氣至 0.6psig，再抽真空達壓力 2.4 torr，再灌入氦氣，最後測得之壓力為 0.5 psig，符合壓力為 0 (+1, -0)psig 之標準，本項作業合格。

#### 3.1.2.5 氦氣測漏(LT)結果

本項目計畫書規劃作業時間為 4 小時，使用人力 3 人，故規劃使用總人時為 12 人時。由表 3.1.1 可知實際之氬氣測漏時間為 3.5 小時，依據現場所紀錄在氬氣測漏作業期間進入平台作業區之總人時為 11.86 人時。

依試運轉計畫本項驗證之接受標準為：「1.確認系統偵測功能正常，且 2.測試儀器精度可達  $1 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{sec}$  等兩項。」而正式作業時，除了儀器精度要求之外，屏蔽上蓋上所有銲道之氬氣洩漏標準為：「洩漏率低於  $2 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{sec}$ 」。本次測試使用之氬氣測漏儀為 PhoenixXL 300 Modul，其儀器精度達  $1 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，並且儀器運作正常，符合運轉計畫要求之標準。本次驗證所使用之縮小型密封鋼筒為銲接驗證用之模擬鋼筒，其中已灌入氬氣，直接對銲後之上蓋進行洩漏率量測，6 月 20 日凌晨依程序書完成氬氣洩漏測試，所得之洩漏率為 0，故確定銲道無洩漏，洩漏率低於程序書所規定之上限  $2 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{sec}$ ，判定為合格，同時也確認了屏蔽上蓋之銲接品質符合正式作業之洩漏率要求，因此本項測試結果合格。

### 3.1.2.6 密封鋼筒上蓋銲道移除

本項目計畫書規劃作業時間為 40 小時，使用人力為 5 人，故規劃使用總人時為 200 人時。由表 3.1.2 可知實際之密封鋼筒上蓋銲道移除測試時間為 21 小時，依據現場所紀錄在鋼筒上蓋銲道移除作業期間進入平台作業區之總人時為 73.74 人時。

本項目之接受標準為完成模擬排水/排氣孔封口蓋、模擬屏蔽上蓋與模擬結構上蓋銲道移除，並將結構屏蔽上蓋與結

構上蓋吊至指定位置。如前所述，本項設備以切削方式移除銲道。6月26日17:00取出結構上蓋，6月26日19:50取出排水與排氣孔封口蓋，6月27日清晨取出屏蔽上蓋周圍之墊片(shim)，並確定屏蔽上蓋可以順利吊離。本項目測試結果合格。

### 3.2 重件吊運、傳送及運送功能驗證(Dry Run A2)驗證過程與結果

本次驗證規劃之施作時程係配合貯存場進場道路完工時程分為兩階段，相關作業規劃時程如表 3.2.1 所示。第一階段主要為反應器廠房內重件吊運，執行工作為反應器廠房內各種設備吊運、密封鋼筒傳送進混凝土護箱以及混凝土護箱運送作業，其中混凝土護箱運送作業路徑為自反應器廠房將混凝土護箱運送至核一廠主警衛室大門。第一階段作業規劃之起始時間為9月24日至10月3日。實際開始時間為9月24日，完成時間為10月4日。較原訂時程延後一日完成之主要原因為核一廠乾華溪岸東側道路進行生水管線管溝施工封閉，該路徑封閉影響密封鋼筒組件自倉庫運往反應器廠房之作業。

而 Dry Run 第二階段驗證為反應器廠房外重件吊運，執行工作為混凝土護箱運送、外加屏蔽安裝等，其中混凝土護箱運送之路徑接續第一階段路徑，為自核一廠主警衛室大門，經廠區內道路至乾式貯存場指定位置定位。第二階段作業規劃之起始時間為11月12日，預定完成時間為11月16日。但開始作業前多軸油壓板車故障，經過搶修後實際開始時間為11月13日，而驗證完成時間為11月14日。

#### 3.2.1 驗證過程

##### 3.2.1.1 傳送護箱翻轉驗證過程

9月24日早上08:30召開工具箱會議後展開正式作業。作業前傳送護箱以直立狀態暫放於VCC澆置場，原本可直接吊上多軸板車以直立方式運入1號機反應器廠房(#1 RB)，但為呈現完整作業之流程與驗證程序書中程序，仍將其自直立翻轉為水平並置於多軸油壓板車上測試各種輔助機具功能，最後才再直立置於板車送入#1 RB，本項驗證作業安排之順序為：

1. 將傳送護箱自澆置場吊起翻轉成水平狀態，如圖3.2.1所示，並將之置於多軸板車上。
2. 利用多軸板車運送一段距離展示運送能力，如圖3.2.2所示。
3. 將水平之傳送護箱吊起豎直，並置放於地面之銜接器上。
4. 利用銜接器安裝傳送護箱屏蔽門，並測試銜接器開關屏蔽門之能力，如圖3.2.3所示，並於9月24日13:56完成。
5. 將傳送護箱(連同屏蔽門)吊至多軸油壓板車上，以板車送至反應器廠房一樓天井定位，如圖3.2.4所示。
6. 於護箱上安裝J型鉤後拆除，再安裝，以驗證拆裝J型鉤能力，安裝完成之護箱與J形鉤如圖3.2.5所示。此時已達17:00，故9月24日工作於此暫停。
7. 護箱於9月25日09:30左右自板車吊下並固定於固定架中，如圖3.2.6。

本次驗證，利用兩台移動式油壓起重機進行護箱吊運與翻轉工作。

### 3.2.1.2 密封鋼筒豎直驗證過程

本項目原定於 9 月 25 與 9 月 26 日兩日進行驗證，依計畫書需執行：(1) 將密封鋼筒組件與鋼筒組合，並進行方管阻力測試。(2) 將密封鋼筒由貯存位置運送至反應器廠房內。(3) 利用自動翻轉裝置，進行密封鋼筒之豎直作業。但因乾華溪岸東側道路管溝灌漿養護尚未完成，於 9 月 27 日之前重型車輛無法行經此路段，因此驗證工作配合現況，其中設備移入反應器廠房以及廠房內翻轉工作於 9 月 27 日才正式執行。

9 月 25 日進行密封鋼筒組件組合測試，包含屏蔽、結構上蓋、排水管/排氣孔閥及排水/排氣孔蓋等組件依序安裝於密封鋼筒上，進行相關尺寸檢查，組合測試與尺寸檢查過程如圖 3.2.7、圖 3.2.8 與圖 3.2.9 所示。組合測試結束後逐一卸下上蓋及組件，再使用假燃料與電子磅秤對每一個燃料方管進行阻力測試，測試照片如圖 3.2.10 與圖 3.2.11 所示。

9 月 27 日接獲通知可使用乾華溪岸東側道路後，便將密封鋼筒/自翻轉裝置，連同上蓋等設備裝車移往一號機反應器廠房，如圖 3.2.12 所示。進入反應器廠房後，利用自翻轉裝置將密封鋼筒自水平狀態豎直(圖 3.2.13)。

### 3.2.1.3 密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝驗證過程

當傳送護箱與密封鋼筒均已運抵反應器廠房一樓天井下方並翻轉豎直定位後，將密封鋼筒垂直置入傳送護箱中，並吊運至反應器廠房 5 樓，將二者固定於 5 樓防震架內。於確定防震架閉鎖正常後，再安裝人員作業用平台。密封鋼筒與傳送護箱自 1 樓吊運置 5 樓定位之照片如圖 3.2.14~圖 3.2.16 所示，9 月 27 日當日工作結束於此。

本驗證項目除密封鋼筒與傳送護箱的吊運測試外，尚包含各種輔助設備試組裝，主要目的在於確定核一廠現場設備可以執行規劃的吊運作業。9月28日完成了密封鋼筒的屏蔽/結構上蓋試組合，並於屏蔽上蓋上安裝了自動銲接機與氫氣偵檢設備，10月1日繼續於密封鋼筒上安裝真空乾燥系統(VDS系統)、排水排氣孔口蓋，並連接氫氣測漏儀，安裝結構上蓋與自動銲接機等輔助設備，確定各種現有介面尺寸無任何干涉。相關作業照片詳如圖3.2.17~圖3.2.22所示。

#### 3.2.1.4 密封鋼筒傳送至混凝土護箱驗證過程

本項工作之目的在驗證可將鋼筒自傳送護箱送入混凝土護箱(VCC)內之能力。於10月1日先將VCC自澆置場貯放位置移上多軸油壓板車，並將VCC以多軸板車送入反應器廠房天井中定位，再將VCC頂部的上蓋與屏蔽塞取出，等候傳送，當日工作暫停於此。VCC移入反應器廠房之過程如圖3.2.23~圖3.2.26所示

10月2日正式進行密封鋼筒傳送作業，在拆除五樓防震架之人員工作平台後，先於傳送護箱外側安裝2樓防震裝置，再將傳送護箱與密封鋼筒一起吊運，經過天井穿過反應器廠房5樓至1樓，並坐妥於VCC頂部。圖3.2.27顯示傳送護箱加掛2樓防震裝置吊運往天井之情形；圖3.2.28則顯示傳送護箱在天井區域吊運至VCC上方的過程；圖3.2.29與圖3.2.30顯示傳送護箱與VCC結合，並且護箱外側之2F防震裝置已啟動接觸到反應器廠房2樓側板。當確定傳送護箱已坐妥且防震裝置已啟動，將吊軌吊回5樓作業區更換為可遙控脫鈎吊具，再利用此吊具抓取密封鋼筒，將鋼筒傳送入VCC

中，並安裝 VCC 屏蔽塞與頂蓋，相關作業照片如圖 3.2.31~圖 3.2.35 所示。完成傳送作業後，輻防人員進行離開反應器廠房之相關輻射劑量檢測與拭跡偵檢，相關作業如圖 3.2.36~圖 3.2.38 所示。圖 3.2.39 為完成所有作業後，VCC 已為可運送之狀態。上述工作於 10 月 2 日 18:30 全部完成。

10 月 3 日進行密封鋼筒取出之作業，本項作業與再取出工作有關，為密封鋼筒傳送作業之逆向操作，相關作業過程如圖 3.2.39~圖 3.2.48 所示。待傳送護箱進入 5 樓防震架之後，10 月 3 日當日工作至此暫告停止。10 月 4 日於密封鋼筒頂部架設上蓋鐸道移除設備，並利用核一廠氣源驅動上蓋鐸道切割設備(但未實際進行鐸道移除工作，按鐸道移除功能驗證於 Dry Run A1 已執行)。相關工作之作業照片如圖 3.2.49~圖 3.2.52。

#### 3.2.1.5 多軸油壓板車運送驗證過程

本項驗證如前述因 Pad 完工時程之因素，分為兩階段執行。兩次驗證動員單位除核研所及其所屬包商外，台電公司動員單位為後端處、核安處與核一廠之核技組、保物組、工安組、保警、消防班等；出動車輛除運送用的多軸板車外，尚包含警車、消防車、輻防車等；而兩階段運送路徑之分界點為核一廠主警衛室外。

10 月 4 日車輛移動之前所有駕駛人員先於主警衛室進行酒測，VCC 與多軸板車在反應器廠房內完成各項檢查後駛出廠房，並暫停於廠房外事先圈圍的臨時管制區。在輻防人員確定污染低於限值，並量測輻射強度，確定保警已封鎖預定路徑後，多軸油壓板車載運 VCC 起動，駛離臨時管制區，第

一階段運送驗證於此位置結束。相關作業照片如圖 3.2.53~圖 3.2.57 所示。

貯存場道路完成後，原定第二階段於 11 月 12 日展開，但當日因多軸板車發生故障，緊急搶修之後於 11 月 13 日修復，並於 13 日 13:30 正式展開第二階段運送驗證。運送路徑之起點為主警衛室大門(第一階段驗證之終點)，終點為貯存場，沿途由保警擔任交通管制，並在路徑之交岔口設立管制點管制人員車輛通行，交通管制點位置如圖 3.2.58 所示。運送車隊排列如圖 3.2.59 所示，在所有駕駛人員完成酒測之後車輛出發，如第一階段運送驗證作業，動員警車、消防車以及其他車輛隨行，道路運送驗證的過程如圖 3.2.60 所示，當車輛通過乾華橋(圖 3.2.61)，抵達貯存場定位時本項驗證結束。

#### 3.2.1.6 混凝土護箱氣墊運送驗證過程

11 月 13 日在完成混凝土護箱運送至貯存場指定位置後隨即進行本項驗證。輻防人員先進行輻射偵檢，再利用懸浮氣墊組，配合具有特殊夾鉗之堆高機將混凝土護箱自多軸油壓板車推送至指定位置。相關運送作業如圖 3.2.62~圖 3.2.64 所示。

#### 3.2.1.7 外加屏蔽安裝驗證過程

在 11 月 13 日完成混凝土護箱貯放至指定位置後，11 月 14 日利用 100 噸吊車依序進行五大塊外加屏蔽吊組裝作業，驗證地點為貯存場。外加屏蔽吊運組裝過程如圖 3.2.65 所示。於 11 月 14 日隨即拆除外加屏蔽，完成試運轉作業所有驗證項目。

## 3.2.2 測試結果

### 3.2.2.1 傳送護箱翻轉測試結果

本項目於試運轉計畫書所規劃作業時間為 4 小時，使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 32 人時。由表 3.2.2 可知實際之傳送護箱翻轉測試時間為 1 小時，現場統計之總工時為 12 人時。本項目接受標準為完成傳送護箱翻轉，及屏蔽門安裝作業。如前所述，9 月 24 日已完成本驗證項目，將已裝妥屏蔽門之傳送護箱，以直立方式移入反應器廠房，故本項目測試驗證結果合格。

### 3.2.2.2 密封鋼筒豎直測試結果

本項目依據計畫書規劃作業時間為 16 小時，使用人力為 5 人，故規劃將會使用之總人時為 80 人時。由表 3.2.2 可知實際之密封鋼筒豎直測試時間為 8.5 小時，依據現場統計之總工時為 28.5 人時。本項目接受標準為完成密封鋼筒組件組合、燃料方管阻力測試與鋼筒豎直作業。所有工作於 9 月 25 日與 9 月 27 日完成，符合計畫書要求之標準，本項目測試結果合格。

### 3.2.2.3 密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝測試結果

本項目依據試運轉計畫書規劃作業時間為 24 小時，使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 192 人時。由表 3.2.2 可知實際之密封鋼筒/傳送護箱吊運與輔助設備試組裝測試時間為 7.5 小時。作業時間遠較規劃時間低，其原因包含：作業平台改進，使傳送護箱吊運後組立平台時間降低。並且預先將

管線配置妥當，方便各種管線配接。本項驗證總使用人力為 23.5 人時。本測試係接受標準為完成密封鋼筒吊入傳送護箱後，再吊至五樓操作區防震架定位。所有工作皆順利完成符合計畫書標準，本項測試結果合格。同時亦確定了各項輔助設備均能確實安裝，無干涉之情形發生。

#### 3.2.2.4 密封鋼筒傳送至混凝土護箱測試結果

本項目計畫書規劃作業時間為 8 小時，使用人力為 10 人，故規劃使用總人時為 80 人時。由表 3.2.2 可知實際之密封鋼筒傳送至混凝土護箱測試時間約為 12.7 小時，其中花費 5 小時於將空的 VCC 移入反應器廠房中。本項驗證作業總人力為 73 人時。本項目接受標準為完成密封鋼筒傳送至混凝土護箱，如前所述密封鋼筒已於 10 月 2 日成功傳送進入混凝土護箱內，符合計畫書標準，本項驗證合格。

#### 3.2.2.5 多軸油壓板車運送測試結果

本項目計畫書規劃作業時間為 4 小時，使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 32 人時。由表 3.2.2 可知 10 月 4 日與 11 月 13 日合計實際作業耗時 2.1 小時，總計使用 25 人時。本項目依據計畫書之接受標準為為確認運送路徑無干涉之情況，且混凝土護箱順利運送至貯存場。所有工作於 11 月 13 日執行完畢，符合計畫書標準，因此本驗證項目合格。

#### 3.2.2.6 混凝土護箱氣墊運送測試結果

本項目計畫書規劃作業時間為 2 小時，使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 16 人時。由表 3.2.2 可知實際之混凝土護箱氣墊運送測試時間為 0.6 小時，現場統計之作業總人時

為 7.2 人時。本項目接受標準為將混凝土護箱移動至貯存場上之指定位置，VCC 於 11 月 13 日已移至定位，故符合計畫書之標準，本驗證項目合格。

### 3.2.2.7 外加屏蔽安裝測試結果

本項目計畫書規劃作業時間為 6 小時，使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 48 人時。由表 3.2.2 可知實際之外加屏蔽安裝測試時間為 2 小時，本驗證項目使用總人時為 16 人時。依據試運轉計畫書本項目接受標準為外加屏蔽套裝於混凝土護箱外，並無任何干涉之情況，所有作業於 11 月 14 日執行，外加屏蔽套裝於混凝土護箱外時無任何干擾，符合計畫書標準，因此本項驗證合格。

## 3.3 燃料池水下操作功能驗證(Dry Run B)過程與結果

本次驗證規劃時程如表 3.3.1 所示，原定 10 月 31 日起開始作業，但因電廠大修廢水量增加，為處理廢水故延後一日舉行，11 月 1 日完成模擬燃料束裝填後，仍將傳送護箱與密封鋼筒留置於燃料池底，至 11 月 2 日才將其吊出。如此規劃主要是考量為正式作業時，在最順利狀況下，估計可能每 15 分鐘可裝填 1 束燃料，故環狀間隙注水系統需連續運作至少 14 小時。因此本次驗證時將護箱留於池中至隔天取出，護箱於水下停留時間約 24 小時，並保持環狀間隙注水系統連續運轉，進行注水系統耐力測試，以確認環狀間隙注水系統持續運轉之功能。

密封鋼筒/傳送護箱吊運與下水定位約耗時 2.5 小時，模擬燃料束裝填約耗時 2.5 小時完成。護箱置於池中時環狀間隙注水系統持續運轉，以維持密封鋼筒外壁之清潔。於 11 月 2 日花費 2.5 小時將

傳送護箱自池中吊出，再以約 2.5 小時之時間並將其固定且外表面除污後，拆開環狀間隙注水系統之上水封環，拭跡偵檢密封鋼筒外壁。拭跡偵檢未發現鋼筒外壁有污染，環狀間隙注水系統長時間運作正常。整體測試時間(不含環狀間隙注水系統之耐力測試)為 10 小時，相關測試之過程與結果敘述如下：

### 3.3.1 驗證過程

#### 3.3.1.1 密封鋼筒/傳送護箱吊運與下水定位驗證過程

11 月 1 日確認傳送護箱的環狀間隙注水系統確實安裝並測試確定管路無洩漏，系統之水封環能發揮設計功能。依程序書指定吊運路徑將傳送護箱吊出五樓防震裝置，移至池邊安裝傳送護箱底部防污板。防污板與傳送護箱結合裝置如圖 3.3.1 所示，防污板以快速拆裝之扣夾、蝴蝶螺栓等固定於傳送護箱上。當確定防污板鎖妥之後，將傳送護箱吊至燃料池裝載區上方，對環狀間隙注水系統注入除礦水(DST)，並以 DST 水沖淋傳送護箱底部與側面，降下傳送護箱，約於 10:48 傳送護箱底部進入燃料池。持續將傳送護箱吊入燃料池的過程中，必須同時執行 3 個關鍵作業：

1. 持續對傳送護箱外壁淋水，至傳送護箱完全入水後，轉而淋濕吊車勾頭與鋼索以避免入池之設備污染，沖淋之照片如圖 3.3.2 所示。
2. 持續監測環狀間隙注水系統之出水水流，並確定當水下之壓力變大時，環狀間隙注水系統持續出水，以保護密封鋼筒外壁不受池水污染。注水系統的上水密封機構於傳送護箱頂部安裝前後之照片如圖 3.3.3 所示。

3. 持續與一號機中控室保持聯絡，以確認核一廠一號機 Skimmer Tank 水位避免高水位發生溢流。

11 月 1 日於傳送護箱入水池之過程中全程以水下攝影機監看，過程中傳送護箱曾暫停下降 1 次，供運轉人員調整 Skimmer Tank 水位。水位調整完成後，傳送護箱繼續下降抵達燃料池裝載區之框架，該框架為傳送護箱水下吊運路徑中最狹窄之區域，約於 11:34 傳送護箱底部順利通過裝載區框架，相關之照片如圖 3.3.4 所示。約於 11:40 傳送護箱成功座妥燃料池裝載區，圖 3.3.5 顯示座妥於裝載區中的傳送護箱以及密封鋼筒頂部狀況。傳送護箱座妥裝載區後，緩慢下降吊軌，使其與 J 形勾脫離。移離吊軌，並將吊軌吊出燃料池，出水前以除礦水沖洗吊軌、鉤頭及纜索之表面，以減少表面污染，如圖 3.3.6 所示。經擦拭後顯示表面污染輕微，出水後的吊軌與吊勾套袋後收存，如圖 3.3.7。並進行設備歸位與場地整理作業。

#### 3.3.1.2 模擬燃料束裝填驗證過程

於 11 月 1 日 13:30 召開工具箱會議後進行本項驗證，本驗證之主要目標為：1. 確定反應器廠房之燃料吊車，可以將燃料吊運到密封鋼筒的極限位置燃料方管上，所謂極限位置是指最遠離燃料池中心的方管所在位置。2. 燃料吊車之燃料鉤操作測試位置，即燃料鉤可以在該位置順利進出操作。

本項驗證使用假燃料以模擬用過核子燃料。圖 3.3.8 為密封鋼筒置於燃料池裝載區域之示意圖，依上述原則選定密封鋼筒中 8 處燃料方管作為測試位置，分別為：DC-1、DE-1、DG-1、DB-2、DH-2、DC-4、DI-4 以及 DD-5，相關位置如圖

3.3.8 所標示。選擇在 DC-1、DG-1、DH-2、DE-1 與 DI-4 等 5 處極限位置進行吊運測試，假燃料吊入脫鉤、再抓取等動作，確定燃料吊車可於此極限位置作業。而在 DG-1、DB-2、DC-4 與 DD-5 等 4 處孔位進行裝填、脫鉤、再抓取的測試，這些孔位周圍有密封鋼筒頂部鉚件之隔板，測試後確定隔板不會干擾燃料吊運。其中 DG-1 既為極限位置亦為燃料鉤操作測試位置。測試順序:DB-2→DC-1→DE-1→DG-1→DH-2、DC-4→DI-4→DD-5。圖 3.3.9 為假燃料吊入 DG-1 孔位之連續照片，圖 3.3.10 則分別為假燃料吊入 DC-4 與 DD-5 孔位之照片。11 月 1 日 14:10 自貯放位置吊起假燃料，裝填入 8 個孔位總計花費 1.5 小時，於 11 月 1 日 16:00 完成測試。在不考慮個別燃料吊運特殊困難狀況與 IAEA 可能之特別要求下，概略估計裝載一束用過核子燃料約需 15~20 分鐘，時間長短取決於燃料置放位置與鋼筒之距離。燃料池水下操作功能驗證在 11 月 1 日的工作暫告結束，傳送護箱置於燃料池中並未吊出，護箱的環狀間隙注水系統則保持連續運轉，以驗證該系統長時間運轉的穩定度，確保長時間作業時密封鋼筒外壁不受污染。

### 3.3.1.3 屏蔽上蓋安裝/水下傳送護箱吊運操作驗證過程

11 月 2 日約在 10:00 左右以吊軌吊掛屏蔽上蓋進入燃料池中，過程中以除礦水將上蓋、吊軌以及天車鉤頭、鋼索淋濕，並以水下攝影機監視水下安裝屏蔽上蓋之過程。圖 3.3.11 顯示屏蔽上蓋裝入 TSC 開口的連續照片，安裝過程以牽引繩調整方位使上蓋能順利對位置入。密封鋼筒進入燃料池之前，已預先於屏蔽上蓋頂部、傳送護箱頂部與密封鋼筒內壁

作妥標記，故利用水下攝影機可以監控上蓋安裝方位角之正確性，如圖 3.3.12 所示。而當上蓋完全置入鋼筒之後，可利用攝影機觀察鋼筒內壁的標示以確定上蓋已座妥定位，如圖 3.3.13 所示。

確定屏蔽上蓋已安裝妥當後，將吊軌繼續下降至傳送護箱 J 型鉤開口位置，並使吊軌與 J 型鉤結合準備將護箱吊出燃料池。當傳送護箱底部上升將通過框架區域時，應特別注意框架與護箱之間隙，以水下攝影機全程監控以確保安全。吊軌 J 型鉤結合照片與護箱底部通過池底框架之照片分別如圖 3.3.14 以及 3.3.15 所示。當護箱開口高於燃料池面時需同時進行以下作業：

1. 以除礦水沖洗傳送護箱外側，清除可能之池水污染。
2. 以 DST 水源補水入燃料池
3. 注意池畔溢流孔，當水位高度低於溢流孔時(或控制室通知 Skimmer Tank 液位過低)停止護箱吊升動作，等待重新溢流或是 Skimmer Tank 液位恢復再繼續吊升。

於 11 月 2 日 11:16 傳送護箱底部出水，開始計算 LCO3.1.1(1)，並進行後續除污等動作。

#### 3.3.1.4 輻防及除污作業驗證過程

於傳送護箱吊升之過程，持續監測護箱上方之池面，頂部出水後需自鋼筒中抽出 260 公升之水，過程亦需進行輻射監測，如圖 3.3.16 所示。於 11 月 2 日 11:16 傳送護箱底部出水後，於燃料池上方先以 DST 水源沖洗傳送護箱與底部防污板，並以偵檢器偵測底部劑量，確定無熱粒子附著後，將傳送護箱吊運至岸邊，卸除防污板，再將護箱吊回池面，第二

次清洗護箱底部，其吊運路徑如圖 3.3.17 所示。第二次清洗底部之後再吊運回岸邊以長柄工具擦拭並除污護箱底部，如圖 3.3.18 所示。再將傳送護箱固定於防震架中進行護箱外側與頂部除污，確定無殘水後打開護箱環狀間隙注水系統之上水封環，依規定以特殊工具對密封鋼筒外壁進行拭跡偵檢，拭跡作業如圖 3.3.19 所示，拭跡結果未發現污染，水封效果良好。

### 3.3.2 測試結果

#### 3.3.2.1 密封鋼筒/傳送護箱吊運與下水定位驗證結果

依試運轉計畫書規劃本項目之作業時間為 4 小時，全程使用人力為 6 人，故規劃使用總人時為 24 人時。由表 3.3.2 可知定位驗證時間為 2.5 小時，依據統計結果於作業區域內靠近池邊之總人時為 15.7 人時。

本項目依試運轉計畫書之接受標準為：傳送護箱併同密封鋼筒吊運至燃料池護箱裝載區定位。11 月 1 日順利將傳送護箱與密封鋼筒吊運進入燃料池，並安置於護箱裝載區。本項驗證符合計畫書標準，測試結果合格。

#### 3.3.2.2 模擬燃料束裝填驗證結果

依試運轉計畫書規劃本項目之作業時間為 4 小時，全程使用人力為 6 人，故規劃使用總人時為 24 人時。由表 3.3.2 可知定位驗證時間為 2.5 小時，依據統計結果於作業區域內靠近池邊之總人時為 11.5 人時。

本項目依試運轉計畫書的接受標準為：模擬燃料束裝填於密封鋼筒內指定之位置。11 月 1 日順利將原放置燃料池中

之假燃料，吊入密封鋼筒中指定位置。本項驗證符合計畫書標準，測試結果合格。

### 3.3.2.3 屏蔽上蓋安裝/水下傳送護箱吊運操作驗證結果

依試運轉計畫書規劃本項目之作業時間為 4 小時，全程使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 32 人時。由表 3.3.2 可知定位驗證時間約為 2.5 小時，依據統計結果於作業區域內靠近池邊之總人時為 12 人小時。

本項目依試運轉計畫書的接受標準為：屏蔽上蓋水平安裝於密封鋼筒上；且傳送護箱含密封鋼筒順利吊至五樓操作區。11 月 2 日將屏蔽上蓋安裝入密封鋼筒，且呈現水平狀態，並將傳送護箱以及密封鋼筒吊入 5 樓防震架中，因此，本項驗證符合計畫書標準，測試合格。

### 3.3.2.4 輻防及除污作業驗證結果

依試運轉計畫書規劃本項目之作業時間為 4 小時，全程使用人力為 8 人，故規劃使用總人時為 32 人時。由表 3.3.2 可知定位驗證時間為 2.5 小時，依據統計結果於作業區域內靠近池邊之總人時為 14.5 人時。

本項目依試運轉計畫書的接受標準為：密封鋼筒外表面鬆散污染限制值： $\beta/\gamma$ ： $\leq 180 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ； $\alpha$ ： $\leq 1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ （運轉限制條件 LCO 3.2.1）。11 月 2 日拆除上水封環後，拭跡偵檢結果為 LLD，無發現污染，本項驗證符合計畫書標準，測試合格。

表 3.1.1 密封作業實際作業時間統計表

任務名稱	計劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	備註
屏蔽上蓋銲接	6 小時	約 12 小時	6/18 08:30	6/18 20:30	0	n/a
壓力測試	4 小時	約 0.5 小時	6/18 20:30	6/18 21:05		
排水抽真空乾燥	24 小時	約 11.5 小時	6/18 21:05	6/19 08:49	0	n/a
• 排水		約 3.5 小時	6/18 21:05	6/19 00:36		
• 真空乾燥		約 8 小時	6/19 00:36	6/19 08:49		
氬氣回填	12 小時	約 9.3 小時	6/19 08:49	6/19 18:00	0	n/a
• 1 <sup>st</sup> 3 torr		約 5 小時	6/19 08:49	6/19 13:45		
• 回填氬氣		約 0.7 小時	6/19 13:45	6/19 14:25		
• 2 <sup>nd</sup> 3 torr		約 1.4 小時	6/19 14:25	6/19 15:50		
• 回填氬氣		約 2.2 小時	6/19 15:50	6/19 18:00		
孔蓋銲接	2 小時	約 3.5 小時	6/19 18:00	6/19 20:35	0	n/a
氬氣測漏	4 小時	約 4 小時	6/19 20:35	6/20 00:40	0	n/a
結構上蓋銲接	24 小時	約 27.5 小時	6/20 00:40	6/21 20:25	1	1. 6/20 17:00 颱風宣佈晚間 停止上班上課 2. 6/21 09:00 繼續中斷之作 業
總計	76 小時	約 67.8 小時			1	

註：本表中暫停次數僅針對：颱風、道路中斷與 Pad 設施未完成停工計算暫停次數，其餘午休、下班等因素所致暫停作業不計次數，並扣除工時。

表 3.1.2 上蓋銲道移除實際作業時間統計表

任務名稱	規劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	備註
結構上蓋切割	10 小時	約 8.5 小時	6/26 08:30	6/26 17:00	0	n/a
孔蓋切割	2 小時	約 3 小時	6/26 17:00	6/26 19:50	0	n/a
氬氣沖流與灌水	12 小時	約 1.5 小時	6/26 19:50	6/26 21:15	0	n/a
屏蔽上蓋切割	16 小時	約 8 小時	6/26 21:15	6/27 05:18	0	n/a
總計	40 小時	約 21 小時			0	

註：本表中暫停次數僅針對：颱風、道路中斷與 Pad 設施未完成停工計算暫停次數，其餘午休、下班等因素所致暫停作業不計次數，並扣除工時。

表 3.1.3 上蓋封銲非破壞檢測報告對照表

作業項目	整修次數	報告編號	備註
屏蔽上蓋底道銲接	n/a	VT:TSC-SHL-D.R.A1-01 PT:TSC-SHL-D.R.A1-01	
屏蔽上蓋表面道銲接	n/a	VT:TSC-SHL-D.R.A1-02 PT:TSC-SHL-D.R.A1-02	
排水封口蓋底道銲接	n/a	VT:TSC-PCD-D.R.A1-01 PT:TSC-PCD -D.R.A1-01	
排水封口蓋表面道銲接	n/a	VT:TSC-PCD-D.R.A1-02 PT:TSC-PCD -D.R.A1-02	
排氣封口蓋底道銲接	n/a	VT:TSC-PCV-D.R.A1-01 PT:TSC-PCV -D.R.A1-01	
排氣封口蓋表面道銲接	\n/a	VT:TSC-PCV-D.R.A1-02 PT:TSC-PCV -D.R.A1-02	
結構上蓋底道銲接	1	VT:TSC-STL-D.R.A1-01 ~02 PT:TSC-STL -D.R.A1-03	於 VT 發現有一處位置因填料不足出現約 $\phi$ 6mm 氣孔。依程序整修後再經 VT、PT 檢查皆合格。
結構上蓋第 1 層 3/8in 銲道	n/a	VT:TSC-STL-D.R.A1-04 PT:TSC-STL -D.R.A1-05	
結構上蓋第 2 層 3/8in 銲道	1	VT:TSC-STL-D.R.A1-06 、08 PT:TSC-STL -D.R.A1-07、09	因銲渣、雜質未清除乾淨使銲道表面出現表面粗糙氧化層以致 PT 顯示結果失真。磨除銲渣後再經 VT、PT 檢查皆合格。
結構上蓋第 3 層 3/8in 銲道	1	VT:TSC-STL-D.R.A1-10 、12 PT:TSC-STL -D.R.A1-11、13	PT 結果銲道部分位置融合不良。依程序整修後再經 VT、PT 檢查皆合格。
結構上蓋第 4 層 3/8in 銲道	n/a	VT:TSC-STL-D.R.A1-14 PT:TSC-STL -D.R.A1-15	

表 3.2.1 重件吊運、傳送及運送功能驗證細部時程規劃

第一階段(9月24日至10月3日)		
日期	工作項目	備註
9/24	TFR 移入 RB	
9/25	TSC 燃料方管拉力測試	實施地點核一廠第二貯存庫
9/26	TSC 移入 RB 與 TFR 上五樓	
9/27	持續輔助設備吊運	
9/28	持續輔助設備吊運，VCC 進入反應器廠房 1 樓。	VCC 於廠房內等候，待完成 TSC 傳送與傳回演練後再移出
10/1	TSC 傳送入 VCC	
10/2	TSC 傳回 TFR 中	
10/3	VCC 移出 RB 出主警衛室回澆置場	本次作業先行測試 RB 至主警衛室之間的道路。

第二階段(11月12日至11月16日)		
日期	工作項目	備註
11/12(一)	以多軸油壓板車，將 VCC 從主警衛室運送至 Pad	
11/13(二)	VCC 從 Pad 進場道路移至定位	
11/14(三)	吊裝 AOS	
11/15(四)	吊離 AOS	

表 3.2.2 重件吊運、傳送及運送功能驗證實際作業時間統計表

任務名稱	計劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	備註
傳送護箱翻轉	4 小時	約 1 小時	9/24 13:00	9/24 13:56	0	
密封鋼筒豎直	16 小時	約 8.5 小時	9/25 10:18	9/25 16:26	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾華溪側道路尚未完工，9/26 暫停 1 次，9/27 繼續作業。</li> <li>9/25 與 9/27 兩日中午合計休息約 2.5 小時，暫停 2 次。</li> </ul>
			9/27 09:10	9/27 14:10		
密封鋼筒/傳送護箱吊運	24 小時	約 7.5 小時	9/27 14:17	10/01 10:25	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>將空密封鋼筒吊入傳送護箱內</li> </ul>		約 0.5 小時	9/27 14:17	9/27 14:43	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>將傳送護箱(內含密封鋼筒)，吊運至五樓，固定於五樓防震架。</li> </ul>		約 1.7 小時	9/27 14:59	9/27 16:40	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>五樓工作平台組裝</li> </ul>		約 0.1 小時	9/27 16:43	9/27 16:50	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>屏蔽上蓋對心</li> </ul>		約 1 小時	9/28 09:30	9/28 10:30	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>自動銲接機吊裝組立</li> </ul>		約 3 小時	9/28 16:22	10/01 16:10	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 9/29 與 9/30 假日未作業</li> <li>✓ 分別針對屏蔽上蓋(9/28 16:22~16:40)、排水排氣孔蓋(10/01 10:25~10:53)與結構上蓋(10/01 13:40~16:10)執行自動銲接機組</li> </ul>

任務名稱	計劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	備註
						立工作
<ul style="list-style-type: none"> <li>整合型排水真空乾燥系統組合</li> </ul>		約 1 小時	10/01 09:26	10/01 10:25	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>結構上蓋吊裝組立</li> </ul>		約 0.2 小時	9/28 10:25	9/28 10:38	0	
<b>密封鋼筒傳送至混凝土護箱</b>	8 小時	約 12.7 小時			0	本項作業分 3 日完成，作業時間分別為：9 月 26 日，10 月 1 日以及 10 月 2 日
<ul style="list-style-type: none"> <li>將混凝土護箱及其相關組件由澆置場運送至反應器廠房內指定位置。</li> </ul>		約 5 小時	9/26 13:45	10/01 14:00	0	9/26 13:45~15:36 將 VCC 移上多軸板車，10/01 10:48~14:00 將 VCC 移入反應器廠房
<ul style="list-style-type: none"> <li>傳送護箱銜接器吊置混凝土護箱上方</li> </ul>		約 1.5 小時	10/01 14:20	10/01 15:50	0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>將傳送護箱吊至混凝土護箱上，將二樓防震裝置懸臂放平，頂至定位。</li> </ul>		約 4.8 小時	10/01 17:45	10/02 11:35	0	10/01 作業至 20:00 暫時結束，10/02 09:00 再繼續開始作業。
<ul style="list-style-type: none"> <li>確認可遙控脫鈎密封鋼筒吊具掛鈎與密封鋼筒連接座接合，開啟傳送護箱屏蔽門。</li> </ul>		約 1.3 小時	10/02 13:20	10/02 14:35	0	

任務名稱	計劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	備註
<ul style="list-style-type: none"> <li>降下密封鋼筒至座落在混凝土護箱底座鉸件上</li> </ul>		約 0.1 小時	10/02 14:36	10/02 14:43	0	
多軸油壓板車運送	4 小時	約 2.1 小時			0	
<ul style="list-style-type: none"> <li>由反應器廠房移至主警衛室外</li> </ul>		約 1.3 小時	10/04 09:25	10/04 10:40	1	貯存場道路尚未完工故於 11/13 第二段驗證
<ul style="list-style-type: none"> <li>由主警衛室外移至貯存場外道路</li> </ul>		約 0.8 小時	11/13 14:00	11/13 14:50	0	
混凝土護箱氣墊運送	2	約 0.6 小時	11/13 15:29	11/13 16:06	0	
外加屏蔽安裝	6	約 2 小時	11/14 09:00	11/14 11:00	0	
總計	64 小時	約 34.4 小時			2	

註：本表中暫停次數僅針對：颱風、道路中斷與 Pad 設施未完成停工計算暫停次數，其餘午休、下班等因素所致暫停作業不計次數，並扣除工時。

表 3.3.1 燃料池水下操作功能驗證作業細部時程

日期	工作項目	備註
10/31(三)	1. TFR+TSC 下燃料池 2. 假燃料模擬裝填(4 至 8 個位置) 3. 安裝屏蔽上蓋	
11/1(四)	1. TFR+TSC 吊離燃料池 2. 設備除污、清潔	
11/2(五)	場地除污、清潔	

表 3.3.2 燃料池水下操作功能驗證作業實際作業時間統計表

任務名稱	規劃工時	實際工時	實際開始時間	實際結束時間	暫停次數	暫停原因
密封鋼筒/傳送護箱 吊運與下水定位	4 小時	約 2.5 小時	11/01 09:31	11/01 12:09	0	n/a
模擬燃料束裝填	4 小時	約 2.5 小時	11/01 13:45	11/01 16:00	0	n/a
屏蔽上蓋安裝/水下 傳送護箱吊運操作	4 小時	約 2.5 小時	11/02 09:45	11/02 11:53	0	n/a
輻防及除污作業	8 小時	約 2.5 小時	11/02 11:54	11/02 15:40	0	
總計	20 小時	約 10 小時			0	

註：本表中暫停次數僅針對：颱風、道路中斷與 Pad 設施未完成停工計算暫停次數，其餘午休、下班等因素所致暫停作業不計次數，並扣除工時。

## Dry Run A1 作業能力展示時程規劃

### 密封模擬作業



### 上蓋銲道移除模擬作業



圖 3.1.1 輔助設備整體功能驗證時程規劃

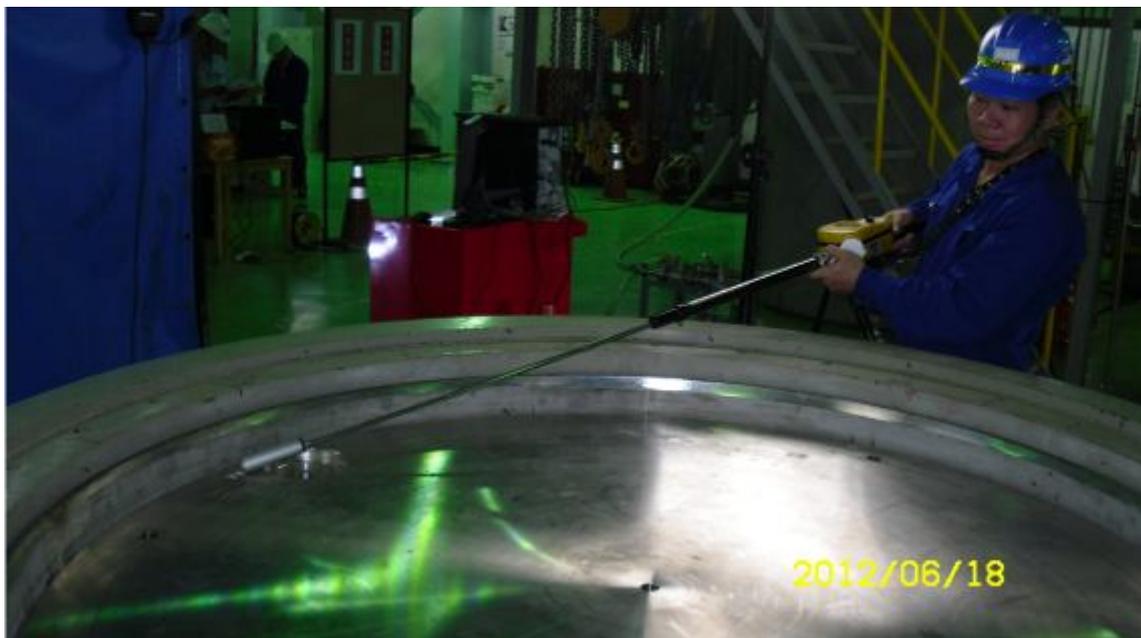


圖 3.1.2 輻防人員進行銲接區域輻射偵測

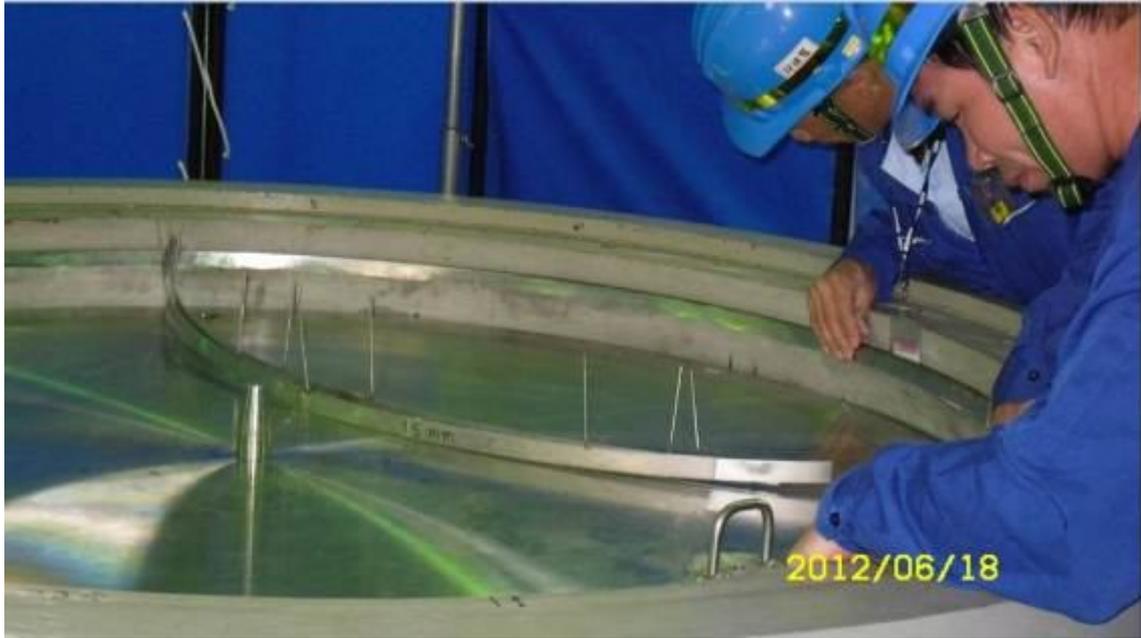


圖 3.1.3 屏蔽上蓋對心並塞入墊片

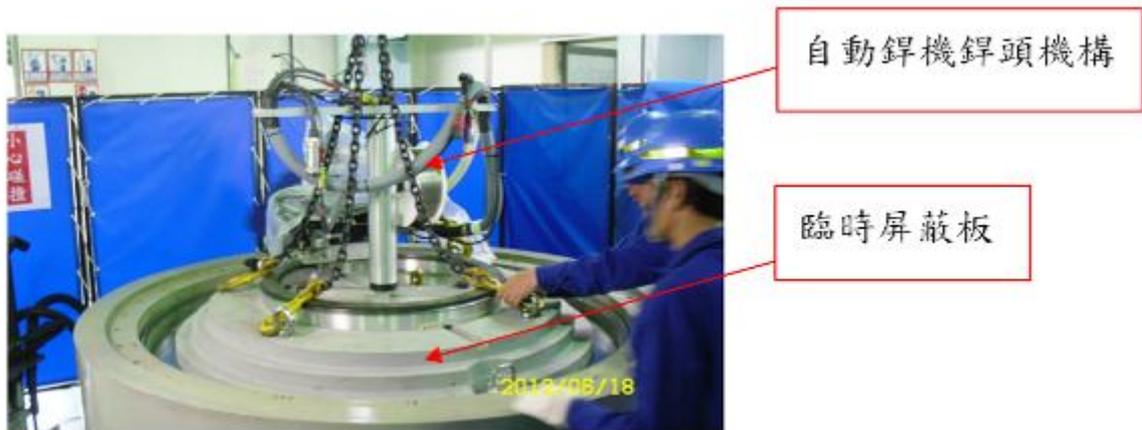


圖 3.1.4 自動銲接機安裝



圖 3.1.5 氫氣偵檢與氫氣沖流系統於排水孔側管路特寫



圖 3.1.6 氫氣偵檢與氫氣沖流系統於排氣孔側管路特寫

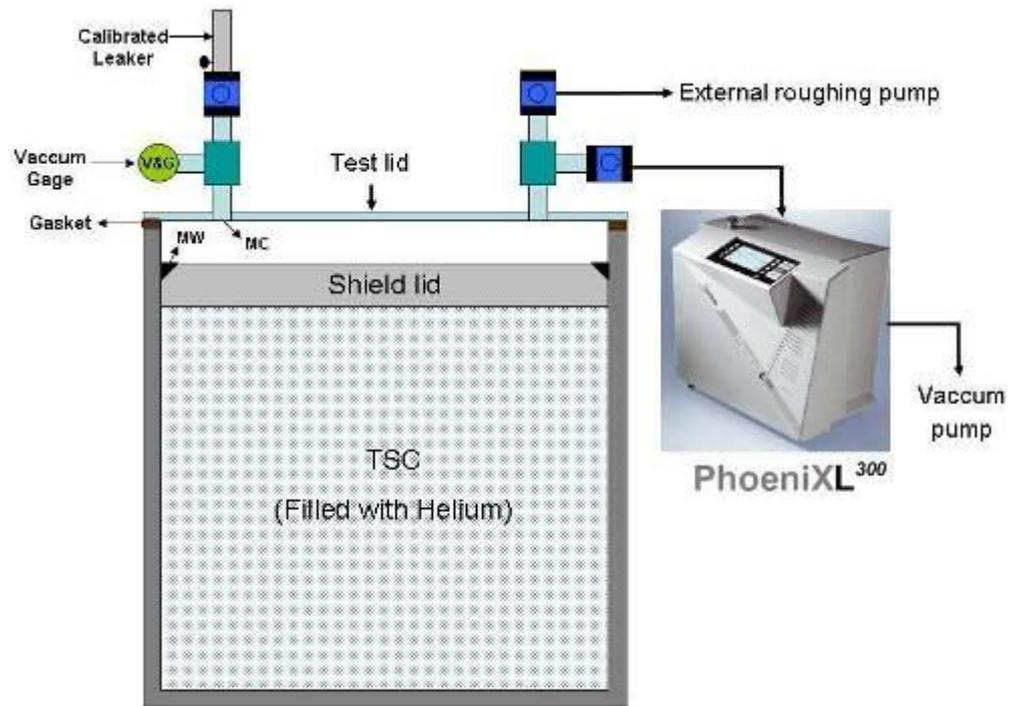


圖 3.1.7 氦氣測漏系統示意圖



圖 3.1.8 結構上蓋銲道整修



圖 3.1.9 結構上蓋液滲檢測-滲透

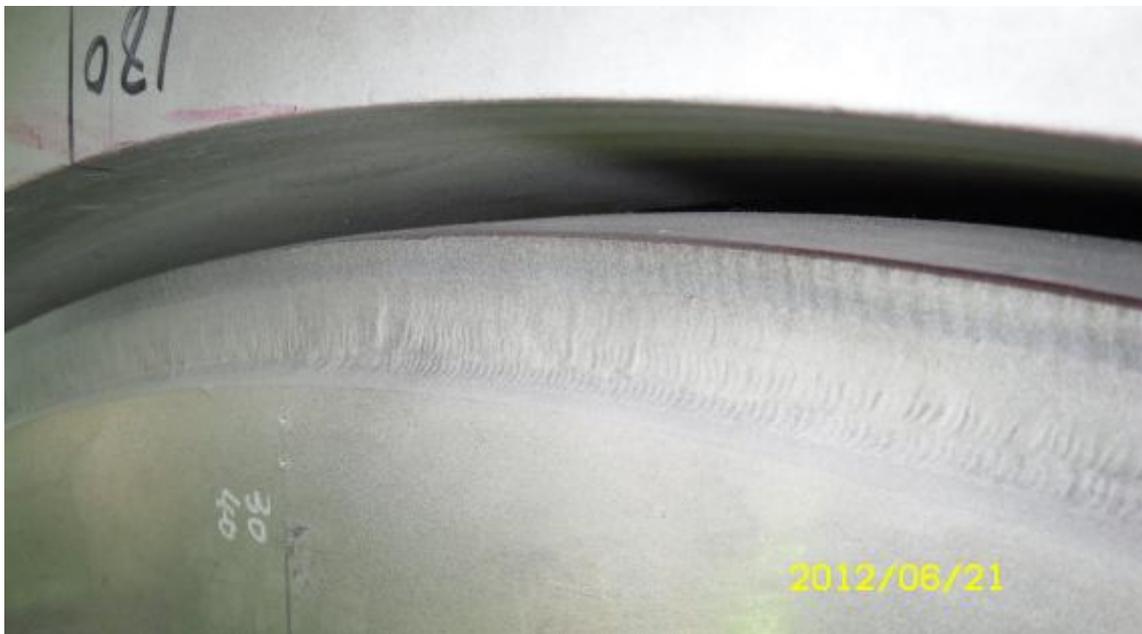


圖 3.1.10 結構上蓋液滲檢測-顯像

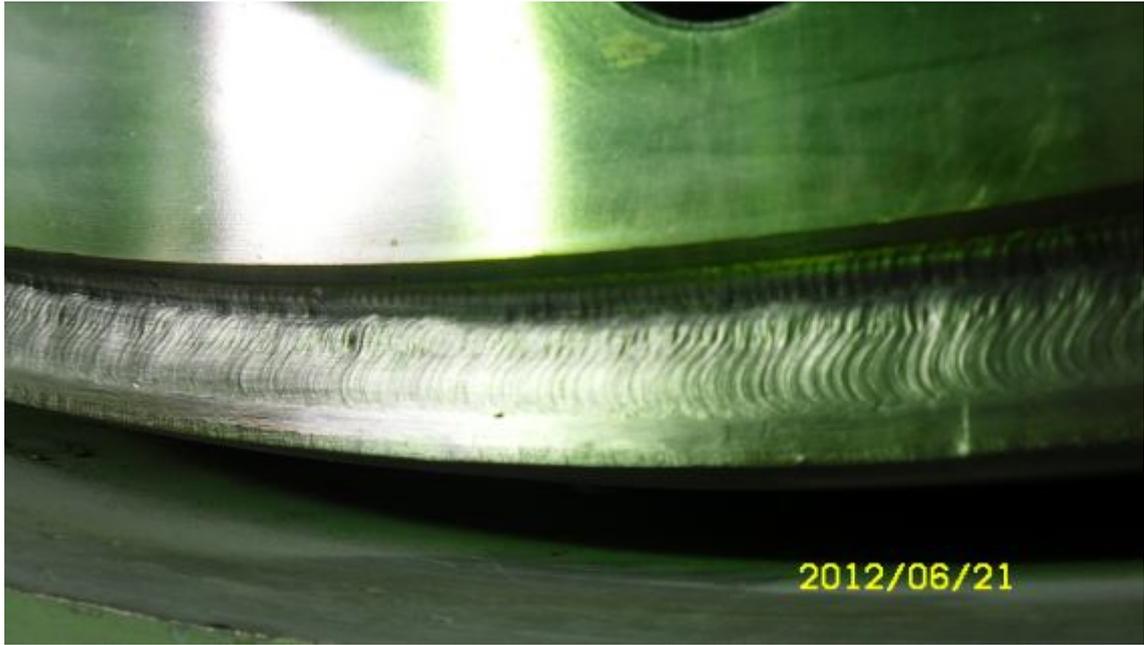


圖 3.1.11 結構上蓋銲接完成後銲道表面

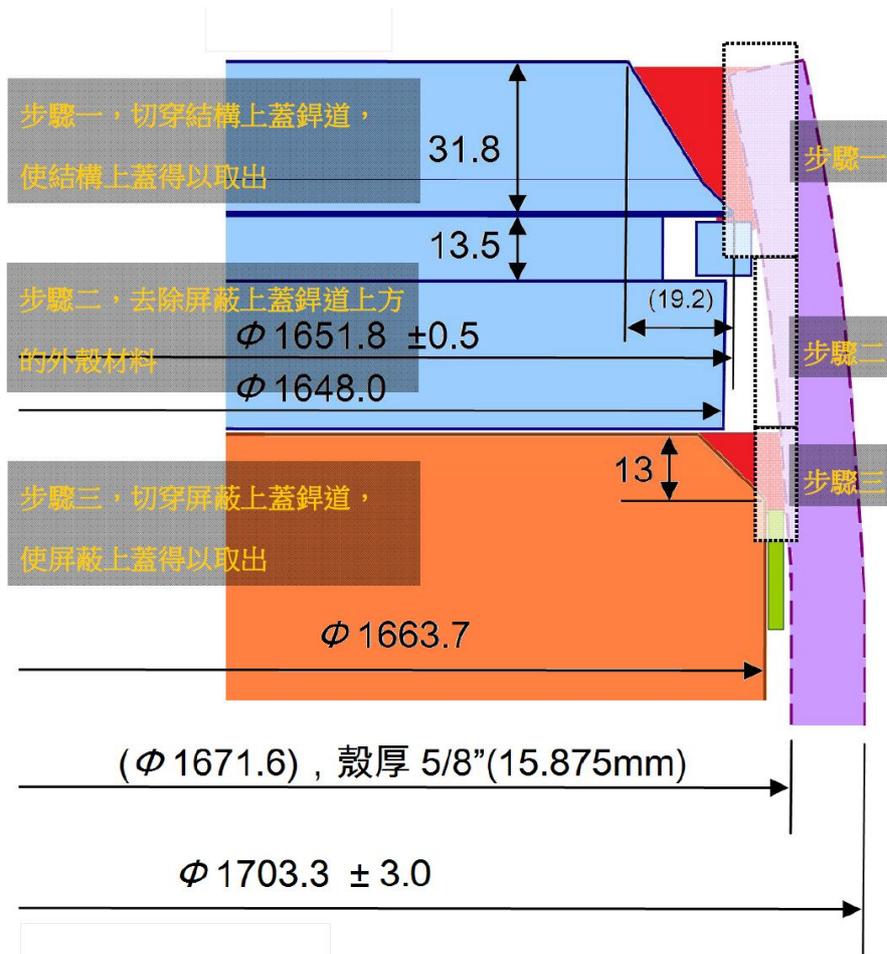


圖 3.1.12 上蓋銲道移除示意圖

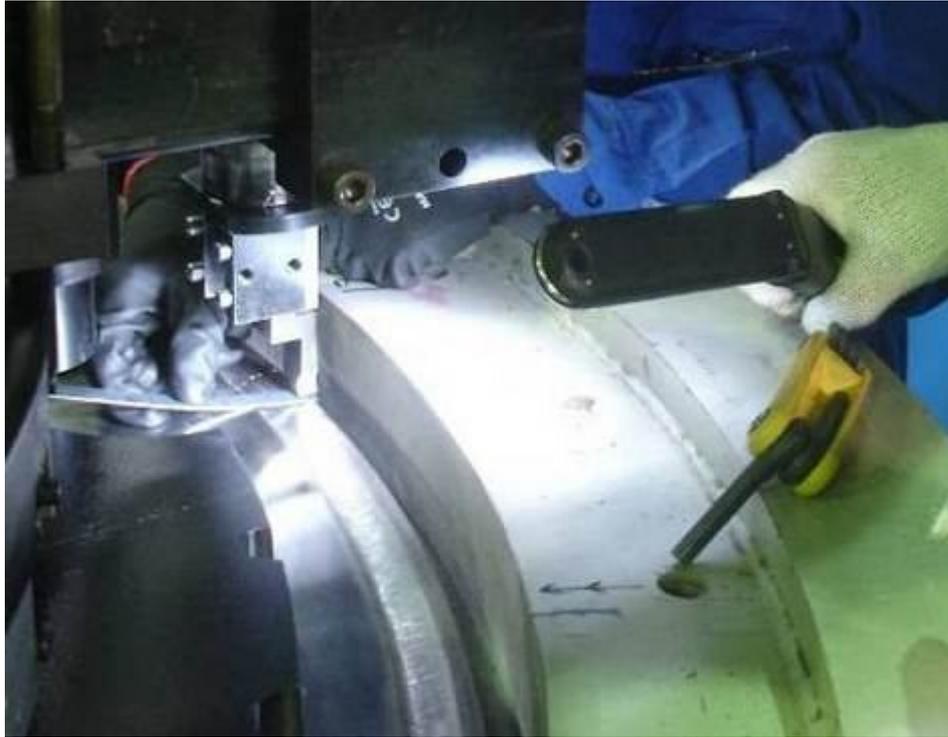


圖 3.1.13 調整刀具進刀位置



圖 3.1.14 執行移除切削後所產生之切屑



圖 3.1.15 結構上蓋銲道切割



圖 3.1.16 結構上蓋成功吊離



圖 3.1.17 安裝封口蓋銲道切削設備



圖 3.1.18 移除封口蓋銲道



圖 3.1.19 成功取出封口蓋

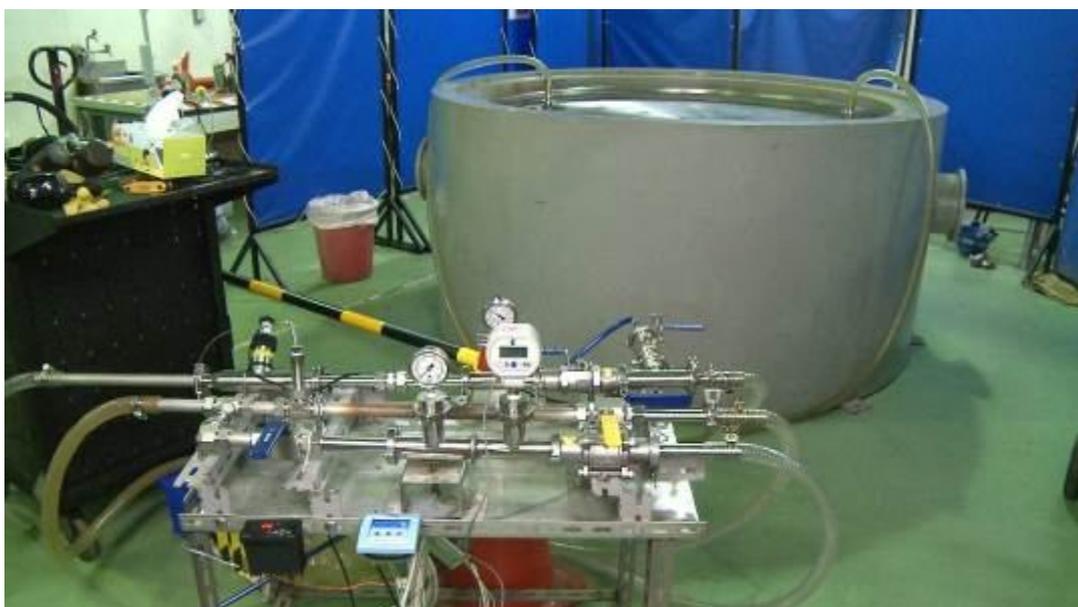


圖 3.1.20 氦氣沖流與灌水作業操作管路



圖 3.1.21 切削中的屏蔽上蓋銲道



圖 3.1.22 移除屏蔽上蓋與鋼筒外殼間的墊片(shim)



圖 3.2.1 傳送護箱翻轉成水平狀態



圖 3.2.2 以多軸油壓板車搬運水平狀態的傳送護箱



圖 3.2.3 以油壓系統開關屏蔽門



圖 3.2.4 傳送護箱運送往 1 號機反應器廠房



圖 3.2.5 J 型鉤安裝完成護箱頂部狀況



圖 3.2.6 準備將 TFR 固定於牆邊固定架



圖 3.2.7 密封鋼筒屏蔽上蓋與排水管組合測試



圖 3.2.8 密封鋼筒與結構上蓋組合測試



圖 3.2.9 密封鋼筒組件尺寸檢查量測結構上蓋與筒壁上緣之高低差



圖 3.2.10 密封鋼筒燃料方管阻力測試(1)



圖 3.2.11 TSC 燃料方管阻力測試(2)



圖 3.2.12 密封鋼筒置於翻轉架上由二貯庫移往反應器廠房



圖 3.2.13 TSC 於反應器廠房內豎直

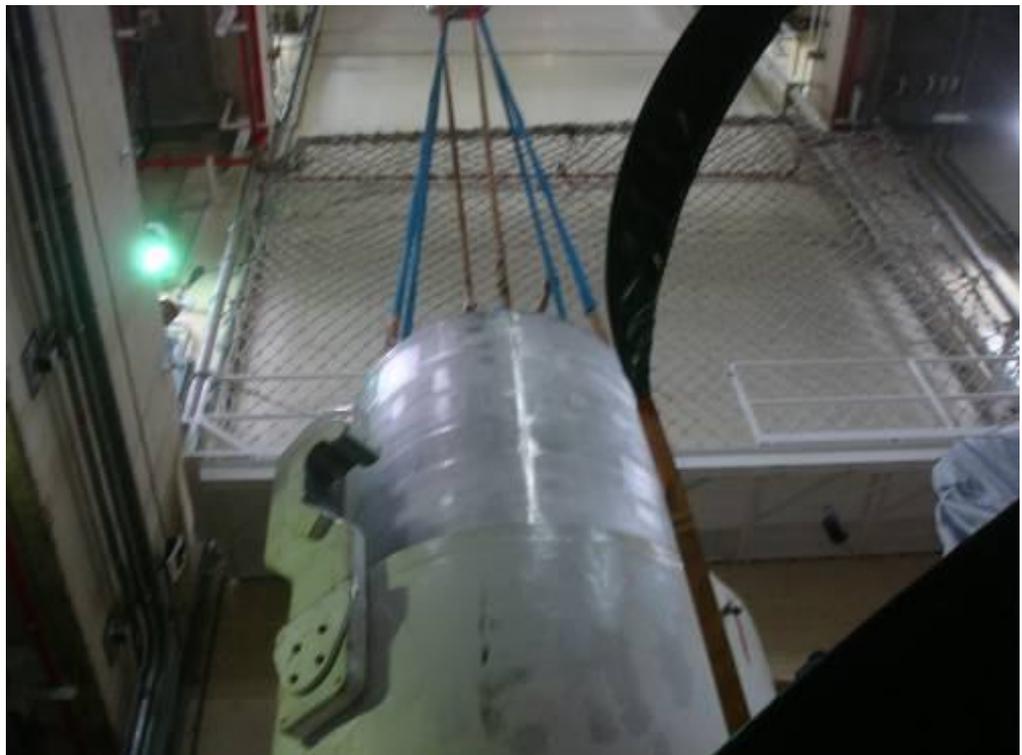


圖 3.2.14 密封鋼筒與傳送護箱結合



圖 3.2.15 TFR 吊運至五樓



圖 3.2.16 TFR 置放於五樓工作區防震架內



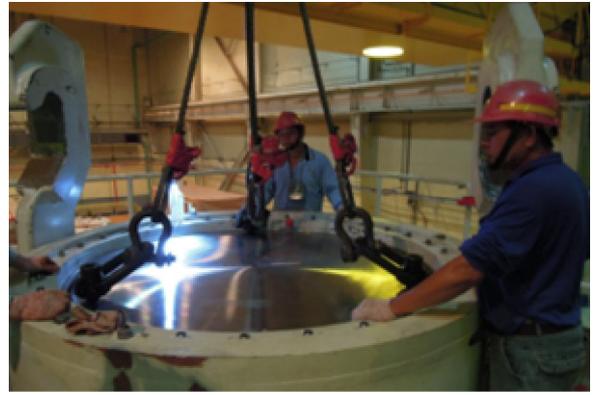
(a)



(b)



(c)



(d)

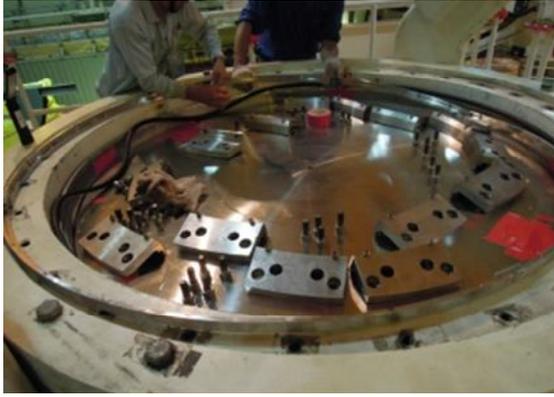


(e)



(f)

圖 3.2.17 TSC 檢查與預組裝作業



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 3.2.18 安裝環狀間隙注水系統(AFS)作業



圖 3.2.19 安裝真空乾燥系統儀表架



圖 3.2.20 模擬排水排氣孔口蓋銲接作業



圖 3.2.21 安裝氮氣測漏儀



圖 3.2.22 結構上蓋安裝自動銲接機



圖 3.2.23 VCC 底部安置懸浮氣墊組



圖 3.2.24 VCC 移至多軸油壓板車上



(a) VCC 移至反應器廠房雙重氣密門間



(b) VCC 於反應器廠房一樓天井下方定位

圖 3.2.25 VCC 移入反應器廠房 1 樓定位



(a) VCC 頂蓋吊至#1 RB 5F 暫貯



(b) VCC 屏蔽塞吊至#1 RB 5F 暫貯

圖 3.2.26 VCC 頂蓋及屏蔽塞吊至#1 RB 5F 暫貯



圖 3.2.27 傳送護箱加掛二樓防震裝置運往天井



圖 3.2.28 傳送護箱穿越天井往 VCC 吊運



圖 3.2.29 傳送護箱外側二樓防震裝置展開並固定(1 of 2)



圖 3.2.30 傳送護箱外側二樓防震裝置展開並固定(2 of 2)



圖 3.2.31 以可遙控脫鈎吊具將 TSC 放入 VCC 內



圖 3.2.32 密封鋼筒順利傳送進 VCC 內並將傳送護箱吊離



圖 3.2.33 吊離銜接器



圖 3.2.34 進入 VCC 頂部作業前，量測 VCC 與鋼筒間間隙劑量率



圖 3.2.35 安裝 VCC 頂蓋



圖 3.2.36 加馬劑量率量測



圖 3.2.37 中子劑量率量測



圖 3.2.38 表面污染拭跡偵測



圖 3.2.39 完成傳送作業

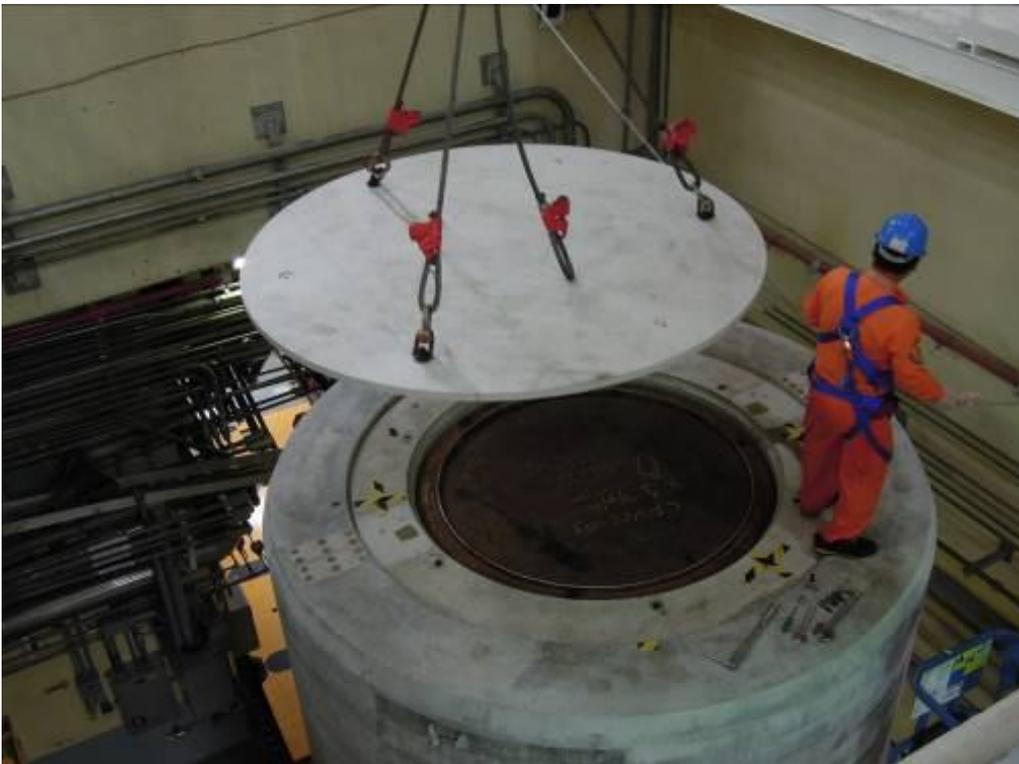


圖 3.2.40 將 VCC 之頂蓋吊離



圖 3.2.41 準備將 VCC 之屏蔽塞吊離



圖 3.2.42 安裝可遙控脫鉤吊具之吊環於鋼筒上



圖 3.2.43、於 VCC 上安裝銜接器



圖 3.2.44 以吊軛將傳送護箱吊置於 VCC 上



圖 3.2.45 傳送護箱座妥後放下 2F 防震裝置



圖 3.2.46 可遙控脫鈎密封鋼筒吊具穿越傳送護箱內部



圖 3.2.47 將密封鋼筒吊入傳送護箱內



圖 3.2.48 準備以吊軛將傳送護箱吊至 5F



圖 3.2.49 利用金屬膠帶將間隙填補



圖 3.2.50 銲道切除裝置安裝於結構上蓋上



圖 3.2.51 鐸道切除設備試跑



圖 3.2.52 孔蓋鐸道移除裝置安裝



圖 3.2.53 駕駛酒測



圖 3.2.54 反應器廠房外臨時管制區



圖 3.2.55 VCC 於雙重氣密門移出



圖 3.2.56 輻防人員進行偵檢



圖 3.2.57 多軸油壓板車駛出主警衛室(第一階段運送驗證)



圖 3.2.58 運送路徑上的交通管制點



圖 3.2.59 正式作業前待命之運送車隊



圖 3.2.60 道路運送驗證



圖 3.2.61 混凝土護箱通過乾華橋



圖 3.2.62 混凝土護箱表面劑量率量測



圖 3.2.63 利用氣墊將混凝土護箱運抵貯存場指定位置



圖 3.2.64 混凝土護箱貯放於指定位置



圖 3.2.65 安裝外加屏蔽之連續照片



圖 3.3.1 傳送護箱底部防污板安裝完成貌



圖 3.3.2 下水時傳送護箱表面持續淋濕

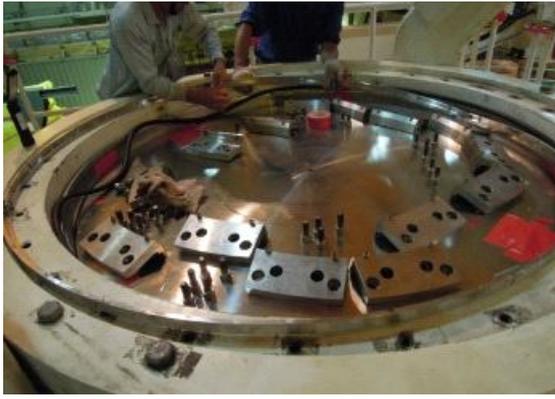


圖 3.3.3 傳送護箱頂部安裝上水密封機構前後

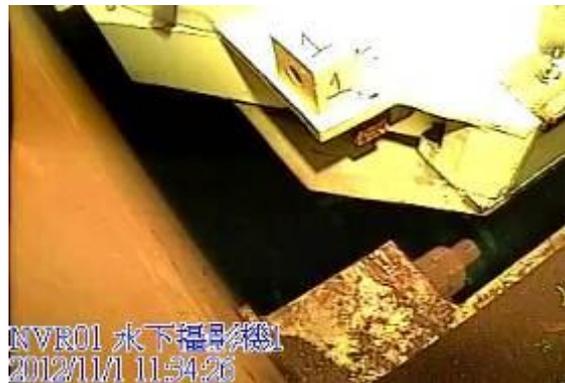


圖 3.3.4 傳送護箱底部通過裝載區框架



圖 3.3.5 傳送護箱定位後頂部照片



圖 3.3.6 出水時以除礦水沖洗吊軌、鉤頭及纜索並進行輻射劑量監測



圖 3.3.7 出水後的吊軌與吊勾套袋後收存

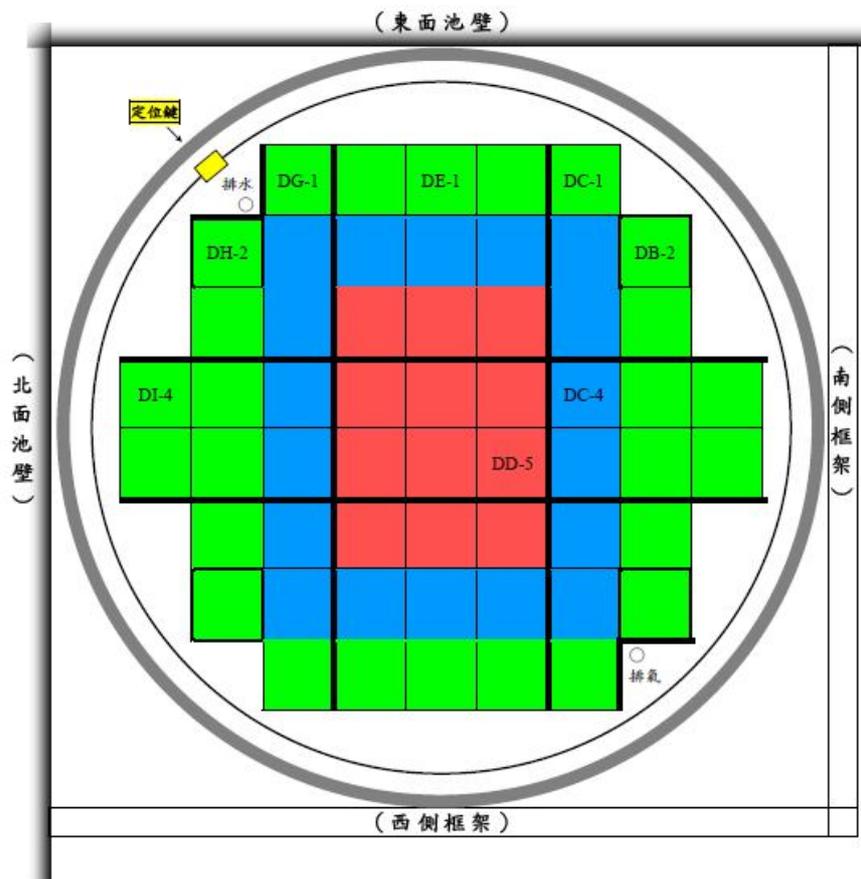


圖 3.3.8 假燃料裝填測試孔位



圖 3.3.9 假燃料裝入孔位 DG-1 的連續照片



圖 3.3.10 於孔位 DC-4(左)與 DD-5 吊運假燃料之測試照片



圖 3.3.11 水下安裝屏蔽上蓋之連續鏡頭



圖 3.3.12 以水下攝影機確定上蓋安裝方位

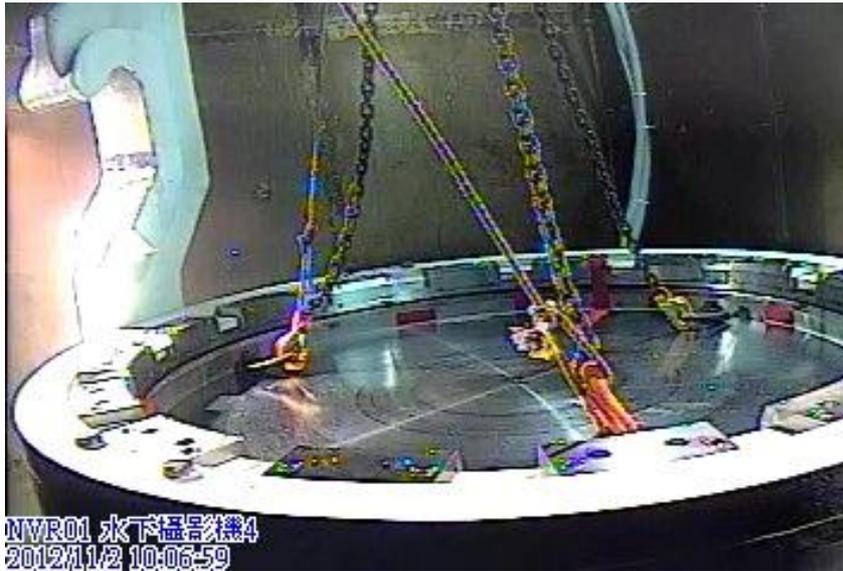


圖 3.3.13 觀察鋼筒內壁標示確認上蓋坐妥定位

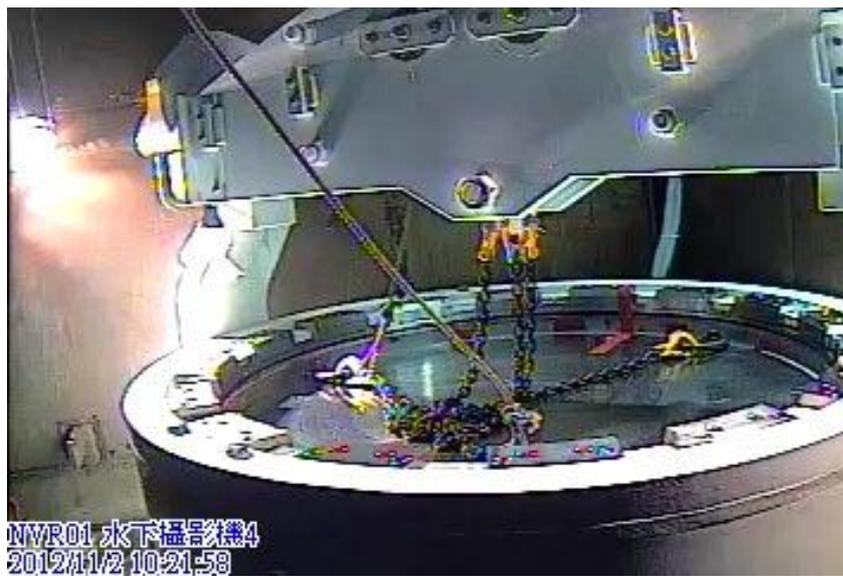


圖 3.3.14 吊軌與傳送護箱 J 型鉤結合



圖 3.3.15 利用水下攝影機觀察傳送護箱底部通過框架



圖 3.3.16 排水 260 公升同時測輻射劑量

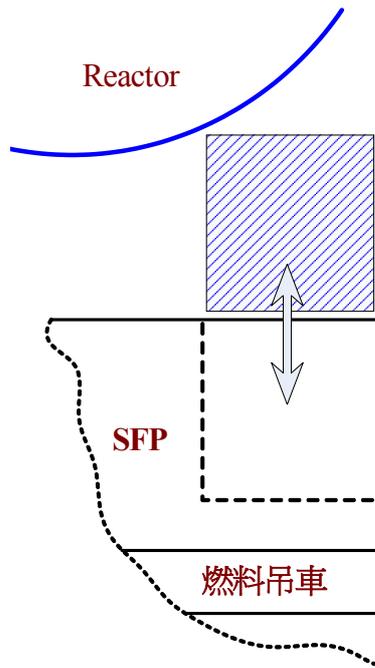


圖 3.3.17 傳送護箱清洗底部之吊運路徑



圖 3.3.18 傳送護箱底部擦拭除污



圖 3.3.19 對密封鋼筒外壁進行拭跡偵檢作業

## 4. 結論

本試運轉設施整體功能驗證依據試運轉計畫書分三大項主要工作，自 101 年 6 月下旬起分段實施，於 101 年 11 月中旬執行完畢。使用之主系統設備為密封鋼筒、傳送護箱、混凝土護箱以及外加屏蔽，使用機具包含多軸油壓板車、油壓吊車、自動銲接機、排水真空系統，廠房吊車、燃料吊車、空氣墊油壓千斤頂等等裝置。除核研所與其所屬承包商人員外，台電公司後端處、核安處以及核一廠下轄相關單位均派員參與。所有測試項目均為合格。

因本次作業分數階段進行，故運轉限制條件之時間追蹤計算也是分階段進行，謹將各階段時間累計整理結果如下：

### (1) LCO 3.1.1(1)部分：

規定內容：自密封鋼筒吊出燃料池水面至開始執行密封鋼筒排水的時間限制。此時限依不同熱負載而異，負載越大可作業時間越短。本驗證作業保守假設鋼筒熱負載為 7kW(為行政管制之最大熱負載)，LCO 3.1.1(1)可作業時間為 45 小時。

實際作業：本項 LCO 與 Dry run B 以及 Dry run A1 作業有關。

- Dry run B 階段：傳送護箱完全出水時間為 11 月 2 日 11:16 開始計算 LCO 時間，直到 11 月 2 日 15:40，此為傳送護箱固定於防震架可進行封銲時間。此部分共計為 4 小時 24 分鐘。
- Dry run A1 階段：自執行封銲作業第一項工作-上蓋對心起算，時間為 6 月 18 日 08:30，至密封鋼筒開始排水時間(6 月 18 日 21:27)止。此部份共計 12 小時 57 分鐘。
- 兩階段共計使用 17 小時 21 分，遠低於 45 小時之 LCO(保守)上限。

(2) LCO 3.1.1(2)部分:

規定內容:自開始執行密封鋼筒排水至完成密封鋼筒抽真空乾燥測試及氬氣回填的時間限制。此時限依不同熱負載而異，負載越大可作業時間越短。本驗證假設鋼筒熱負載為7kW(為行政管制值最大熱負載)，LCO 3.1.1(2)可作業時間為600小時。

實際作業:本項 LCO 只與 Dry run A1 作業有關。

- 密封鋼筒開始排水時間為6月18日21:27，到6月19日16:11完成氬氣回填，計使用18小時44分。
- 本項目於驗證作業中使用18小時44分，低於600小時之時間上限。

(3) LCO 3.1.4 部分:

規定內容:密封鋼筒於傳送護箱內最長留置時間限制，規定在無冷卻之情況下，已裝填燃料並回填氬氣之密封鋼筒置於傳送護箱內最長時間。本驗證假設鋼筒熱負載為7kW(為行政管制值最大熱負載)，LCO 3.1.4 許可之留置時間為600小時。

實際作業: 本項 LCO 與 Dry run A1 以及 Dry run A2 作業有關

- Dry run A1 階段，起算時間為6月19日16:11-密封鋼筒完成氬氣回填止，至6月21日20:25完成結構上蓋銲接。但因泰利颱風過境，6月20日17:00~6月21日09:00暫停作業，故此時程內之LCO時間計算亦暫停，共計使用36小時14分。
- Dry run A2 階段，起算時間為10月1日17:00-於密封鋼筒頂部裝妥模擬結構上蓋，至10月2日14:43密封鋼筒坐妥於混凝土護箱內止，計使用21小時43分。

兩階段共計使用57小時57分，低於600小時之LCO時間上限。