第五章 設施運轉計畫

目錄

第五章 設施運轉計畫 5.1.1-1
一、作業程序 5.1.1-1
(一) 吊卸裝填 5.1.1-1
1. 待裝填之用過核子燃料完整性檢測方法及判定標準 5.1.1-1
2. 燃料束識別確認程序 5.1.1-1
3. 裝備接收及準備 5.1.1-2
4. 裝填燃料及查驗 5.1.1-2
5. 安裝密封上蓋 5.1.1-2
6. 由燃料池移出傳送護箱 5.1.1-3
7. 銲接密封上蓋 5.1.1-3
8. 排水、乾燥及充填氦氣 5.1.1-4
9. 銲接排水與排氣接頭封口蓋(seal cap)及氦氣測漏 5.1.1-5
10. 現有廠房樓板結構評估 5.1.1-6
11. 燃料廠房內作業防傾倒措施 5.1.1-8
(二) 運搬與傳送 5.1.1-1
1. 傳送護箱與運搬輔助機具之除污、裝載、吊卸操作 5.1.2-1
2. 維持熱移除能力及次臨界與輻射防護之措施 5.1.2-1
3. 運搬規劃路線、地下埋設物種類及埋設深度 5.1.2-2
4. 運搬方法 5.1.2-3
5. 護箱傳送 5.1.2-4
6. 運搬吊卸作業 5.1.2-4
7. 人員及車輛之污染管制措施 5.1.2-4
(三) 接收及貯存 5.1.3-1
1. 接收 5.1.3-1
2. 貯存 5.1.3-1
3. 再取出作業 5.1.3-1
二、貯存期間之檢視作業 5.2.1-1
(一) 檢視混凝土護箱之熱移除功能 5.2.1-1
(二) 檢視混凝土護箱外觀結構 5.2.1-1
(三) 輻射監測 5.2.1-1
三、作業流程 5.3.1-1
四、輔助系統及設備之運轉 5.4.1-1
(一) 傳送護箱吊軛 5.4.1-1
(二) 遙控或自動銲接機 5.4.1-1
(三) 現場銲接用屏蔽板 5.4.1-1
(四) 排水與吹洩系統 5.4.1-1
(五) 氫氣偵測系統 5.4.1-2

(六) 真空乾燥系統 5.4.1-2
(七) 水壓測試系統 5.4.1-2
(八) 氦氣測漏系統 5.4.1-2
(九) 密封鋼筒翻轉架與吊索 5.4.1-2
(十) 密封鋼筒吊掛系統 5.4.1-2
(十一) 輔助油壓系統(傳送護箱屏蔽門開關動力) 5.4.1-2
(十二) 傳送護箱環狀間隙充水系統 5.4.1-3
(十三) 環狀間隙循環水冷系統 5.4.1-3
(十四) 牽引式多軸板車 5.4.1-3
(十五) 防傾倒設備 5.4.1-3
(十六) 雜項吊索與吊具附件 5.4.1-3
(十七) 門型吊車 5.4.1-3
五、公用系統及設備之運轉 5.5.1-1
(一) 通訊 5.5.1-1
(二) 電力 5.5.1-1
(三) 供水 5.5.1-1
(四) 供氣 5.5.1-2
(五) 照明 5.5.1-2
(六) 一般廢棄物處理 5.5.1-2
(七) 通風與排氣 5.5.1-2
(八) 接地 5.5.1-2
六、設施各項系統及設備之驗收測試與維護保養計畫 5.6.1-1
(一) 混凝土護箱 5.6.1-1
1 週期檢查 5.6.1-1
2 年度保養 5.6.1-1
(二) 密封鋼筒 5.6.1-1
(三) 傳送護箱和銜接器 5.6.1-1
1. 週期檢查 5.6.1-1
2. 年度保養 5.6.1-2
(四) 傳送護箱吊軛 5.6.1-3
1. 週期檢查 5.6.1-3
2. 年度保養 5.6.1-3
(五) 輔助吊索與吊具組(含吊耳) 5.6.1-4
1. 週期檢查 5.6.1-4
2. 年度保養 5.6.1-4
七、申請運轉執照時，須檢附設施運轉程序書清單 5.7.1-1
八、設施材料評估及驗收測試 5.8.1-1
九、參考文獻 5.9.1-1
附錄 5.A 本系統主要組件驗收測試計畫 5.A-1
附錄 5.B 密封鋼筒內層封口蓋銲道品質氦氣洩漏測試檢查補充說明 5.B-1

附圖目錄

圖 5.1.1-1 密封上蓋、密封環與外殼銲接相對位置示意圖 5.1.1-9
圖 5.1.2-1 運搬規劃路線圖 5.1.2-5
圖 5.1.2-2 燃料廠房平面配置圖 5.1.2-6
圖 5.1.2-3 混凝土護箱表面劑量量測位置示意圖 5.1.2-10
圖 5.3.1-1 作業流程圖 5.3.1-2
圖 5.4.1-1 傳送護箱防傾倒裝置示意圖 5.4.1-5

附表目錄

表 5.1.1-1 運轉限制條件(LCO 3.1.1) 5.1.1-10
表 5.1.1-2 運轉限制條件(LCO 3.1.1-A) 5.1.1-13
表 5.1.1-3 運轉限制條件(LCO 3.1.1-B) 5.1.1-14
表 5.1.2-1 鎖磅扭力值 5.1.2-7
表 5.1.2-2 運轉限制條件(LCO 3.3.1) 5.1.2-8
表 5.1.3-1 運轉限制條件(LCO 3.1.2) 5.1.3-5

第五章 設施運轉計畫

一、作業程序

本節乃是針對本系統之運轉操作提出概略性敘述,內容依序包含吊卸裝填、運搬、接收及貯存等情境；未來試運轉作業前，將另行建立操作程序書，俾供操作者遵循。按本章所述之操作程序與相關數據，於建立操作程序書時，可能因系統設計調整以及核二廠相關限制而有所調整。

(一) 吊卸裝填

以下依作業程序分別敘述吊卸裝填燃料、密封鋼筒封銲、填充氦氣並完成靜置冷卻等各項步驟。

1. 待裝填之用過核子燃料完整性檢測方法及判定標準

用過核子燃料完整性，將依據 ISG-1 之定義，先依燃料運轉紀錄進行貯存燃料篩選，搭配其他檢驗方法(如啜吸試驗)，對待運貯燃料進行檢驗。本案將僅進行完整燃料之運貯作業,凡經認定有破損或不完整之虞者,均暫不予以運貯；真空啜吸檢查設備為目前核燃料完整性檢查靈敏度(或稱鑑別度)較高的方法，於核二廠自從民國 70 年/72 年（一號機/二號機）開始商業運轉迄今，共檢查近 4000 束燃料，並正確地找到其中 6 束破損燃料(其中一束未能以其他方式鑑別出來,最後以真空啜吸檢查設備找到),故可確保靈敏度。將來核二廠乾貯燃料完整性檢查，亦將採用上述真空啜吸檢查設備，對待運貯燃料進行檢驗。

2. 燃料束識別確認程序

燃料裝填前，須先建立每一密封鋼筒(燃料提籃)之裝載表，詳列每個貯存位置預定裝載燃料束之識別編碼。實際裝填作業時，燃料池內須備妥充足之水下照明，並藉水下攝影機或其他工具，以監控作業進行，逐一驗證燃料束之識別編碼。裝填完畢後，再執行一次全部裝填燃料束識別編碼之目視檢查，確認實際裝填內容符合裝載表，詳實登錄並錄影存證。

3. 裝備接收及準備

本系統主要組件之驗收測試計畫如附錄 5.A。裝填燃料前，應針對傳送護箱、密封鋼筒及相關輔助設備，進行下列接收及準備作業：

(1) 傳送護箱於燃料廠房外接收、檢查、豎直、拆除防撞緩衝器(若有必要)。

(2) 空密封鋼筒於燃料廠房外接收、檢查、豎直。

(3) 以移動式吊車於燃料廠房外將空密封鋼筒置入傳送護箱中。

(4) 將傳送護箱固定於牽引式多軸板車上，連同空密封鋼筒移入燃料廠房，並裝設環狀間隙注水系統。

(5) 密封上蓋、排水管等接收、移入燃料廠房、檢查、試組裝，並吊卸至預備位置。

(6) 將密封鋼筒外壁與傳送護箱內壁間之環狀間隙處之水封環充氣。

(7) 在密封鋼筒內灌入清潔(或除礦)水。

(8) 將除礦水注入環狀間隙中並持續保持正壓，以避免燃料池池水污染密封鋼筒外壁與傳送護箱內壁。護箱吊入水池前，會先進行測試，確定水封環無破裂或是漏水，才會吊運入池，故應無因破裂與漏水導致鋼筒污染之可能。如果進入水池後才發生破裂與漏水，不論鋼筒是否污染，應先停止燃料裝填作業，將筒內所有燃料取出後，將 TFR 與 TSC 吊出水池，評估後進行偵檢除污，並將水封環修復，才再進行後續作業。

(9) 將傳送護箱吊至護箱裝載池上方，並將傳送護箱外表淋濕。

(10) 傳送護箱緩緩降至護箱裝載池中。

4. 裝填燃料及查驗

(1) 逐一完成 87 束用過核子燃料之裝填、編號檢查與記錄。

(2) 執行燃料裝填時，確定環狀間隙中有充水並持續保持正壓。

5. 安裝密封上蓋

(1) 安裝吊具，將密封上蓋吊運安放在傳送護箱內之密封鋼筒上，並確認定位。

(2) 確定環狀間隙中有充水並持續保持正壓。

6. 由燃料池移出傳送護箱

(1) 將傳送護箱緩慢吊升，保持傳送護箱頂部在水面下，先使用加壓除礦水沖洗傳送護箱表面，以防污染附著。

(2) 吊升過程中，持續噴灑除礦水去污傳送護箱表面。

(3) 將傳送護箱緩慢吊出水面，使用吸水泵吸除頂部積水，並保持環狀間隙正壓狀態。

(4) 傳送護箱完全脫離水面後，暫停移動，使附著之池水稍稍流回池中。

(5) 啟動傳送護箱間隙循環水冷系統(ACWS)系統。監控 ACWS 冷卻水入口溫度低於 37.7℃ (100˚F)，水流量目前設定為 38 gpm(目前暫定流量)，則出口平均溫度大約會達 39.4℃(103˚F)，若能符合此條件，則自護箱離開水面至密封鋼筒開始排水前之所有步驟，無操作時間限制。

(6) 沿規劃路徑，將傳送護箱及環狀間隙循環水冷系統管線吊至燃料廠房護箱準備區或其他適當位置。

(7) 注意：若此階段環狀間隙循環水冷系統失效，則應先進行故障排除，倘故障無法於短時間內排除，則需將護箱吊回池中冷卻。上述之處理時間自系統失效起算，到系統恢復或是護箱入水，不可超過 32 小時。操作者若不以時間作為限制，也可每兩個小時直接量測一次鋼筒內部水溫，若發現鋼筒內部水溫將達 94℃而環狀間隙循環水冷系統仍無法恢復，則護箱必須重回水池。

(8) 進行傳送護箱外表除污。

7. 銲接密封上蓋

(1) 確定環狀間隙循環水冷系統持續運作，且冷卻水入口溫度低於 37.7℃(100˚F)，水流量約 38 gpm，出口平均溫度大約會達 39.4℃(103˚F)。

(2) 確認密封上蓋頂部平行或是稍微高於密封鋼筒開口。

(3) 安裝密封鋼筒之排水管及排氣管，排水約 260 公升。

(4) 若有需要，於密封上蓋與 TSC 外殼間之間隙安裝墊片，使間隙能較為均勻。

(5) 架設自動銲機與臨時屏蔽，對心定位。

(6) 經排氣管取氣樣量測密封鋼筒內部氫含量，確認低於 2.4%，必要時以真空泵排除，並全程監測氫含量，若有需要可選擇以氬氣沖流鋼筒內部，將氫氣吹出。

(7) 將密封上蓋與墊片點銲。

(8) 執行底部銲道(root pass)銲接程序，完成後，執行目視及液滲非破壞檢測。

(9) 繼續執行銲接，每填料不超過 0.33 英吋執行目視及液滲非破壞檢測。直到填料深度達設計圖面之要求，執行最表面銲道目視及液滲檢驗並記錄結果。

(10) 於排水孔連接壓力測試系統之注水管線，將密封鋼筒注滿水，見水自排氣孔端流出，關閉排氣孔之隔離閥。

(11) 執行 TSC 水壓試驗，對密封鋼筒加壓至 130 (+5, -0) psig 後，隔離密封鋼筒，監測密封鋼筒壓力至少 10 分鐘並檢查密封上蓋與銲道是否有漏水情形。測試期間，若於密封上蓋銲道無目視可觀察到的滲漏，即完成水壓試驗。

(12) 卸除密封鋼筒內壓力。

(13) 安裝密封環，並予以點銲固定。

(14) 將密封上蓋、密封鋼筒外殼及密封環三者封銲，此三者相對位置圖如圖 5.1.1-1 所示，並對最外層銲道表面執行目視及液滲檢驗並記錄結果。

8. 排水、乾燥及充填氦氣

(1) 當系統開始排水作業時，需記錄開始時間。自密封鋼筒開始排水，通過乾燥度測試，直到完成氦氣回填程序，須在運轉限制條件

(LCO)3.1.1 第 1 項所定真空乾燥時限內完成，如表 5.1.1-1。

(2) 使用泵排水，或利用氦氣壓力對密封鋼筒進行加壓排水(壓力為 25psig)。若使用泵排水，仍須持續對鋼筒中灌入氦氣，以保護燃料不與空氣接觸。排水完成後拆除管線。記錄自密封鋼筒中所排出水之體積，此體積為密封鋼筒之淨容積（V_{TSC}）。

(3) 安裝真空乾燥系統，排氣導至 HEPA 系統，進行真空乾燥。

(4) 抽真空至壓力小於 10 torr (mm-Hg)後隔離真空泵，執行乾燥測試。利用真空壓力變化作為乾燥測試之標準，其合格標準為:10 分鐘之內，密封鋼筒壓力仍小於 10 torr (mm-Hg)。

(5) 若通過乾燥測試，則重新啟動真空泵，繼續將密封鋼筒抽真空至壓力小於 3 torr (mm-Hg)。

(6) 隔離真空泵，計算需對密封鋼筒回填之氦氣質量。回填之氦氣量(M_{helium})為:（V_{TSC}）×氦氣密度(L_{he1ium})=回填至腔體所須氦氣質量(M_{helium})。氦氣密度(L_{he1ium})見 LCO 3.1.1 之規定。

(7) 確定氦氣純度超過 99.995%，將氦氣之質量流量計歸零，打開氦氣氣源，記錄回填進入密封鋼筒之氦氣，直到達到 M_{helium}。

(8) 注意:自開始排水至完成氦氣回填期間中，ACWS 需持續運作，作業時間應遵循 LCO 3.1.1 第 1 項所定義之真空時間限制。針對熱負載低於 14.6 kW 的護箱，此階段若 ACWS 失效，應於 12 小時內對 TSC 排水並施以氦氣回填至錶壓力 5.5 bar。並於 2 小時內將環狀間隙循環水冷系統移除，確保環狀間隙為暢通狀態。若確定 ACWS 系統已恢復冷卻能力，於管線接妥後 2 小時之內建立 ACWS 冷卻能力，便可繼續持行未完成之程序。

9. 銲接排水與排氣接頭封口蓋(seal cap)及氦氣測漏

(1) 安裝內排水接頭孔蓋並執行銲接動作。

(2) 安裝內排氣接頭孔蓋並執行銲接動作。

(3) 在孔蓋最終的表面銲道執行目視檢查及液滲檢查，並記錄其結果。

(4) 針對內孔蓋執行氦氣測漏，氦氣洩漏測試（Helium leak test）標準須滿足 ANSI N14.5-1997 [7]的 漏密(leaktight)的要求(洩漏標準為洩漏量小於或等於 1×10^{-7}ref cm^3/s 空氣，此洩漏標準約等同於小於或等於 2×10^{-7} cm^3/s 氦氣)。相關洩漏標準與規定如表 5.1.1-3 運轉限制條件(LCO 3.1.1-B)所示，通過測漏才進行外封口蓋封銲，進而進入貯存階段。洩漏測試不通過則須遵循 LCO 規定檢查，依據規定計有 25 天(600 小時)可進行必要之處置，蓋略估計以 2×10^{-7} cm^3/s 速率洩漏 600 小時後，密封鋼筒內氦氣喪失百分比約為 0.0000069%，系統仍為安全狀態。有關密封鋼筒內層封口蓋銲道品質氦氣洩漏測試檢查補充說明詳見附錄 5.B。

(5) 安裝及銲接外排水與外排氣接頭孔蓋。在孔蓋最終的表面銲道執行目視檢查及液滲檢查，並記錄其結果。

10. 現有廠房樓板結構評估

核二廠用過燃料乾式貯存進行運貯時，燃料裝載於密封鋼筒後，將連同密封鋼筒裝與傳送護箱內一併並以牽引式多軸板車進行運送。按多軸板車包含前後輪車與前後輪車間的板台，各輪車重量 6,000 kg，板台重量 6,800 kg，整體多軸板車全長約 14.6 m，寬 3.2 m，板車高度 0.32 m，裝載密封鋼筒與燃料後的傳送護箱重量為 97,524 kg，重心高度 2,540 mm(由傳送護箱底部量起)。運貯時，裝載密封鋼筒的傳送護箱估計重達 98.3 公噸，加上運送車輛本身的重量預估約為 120 公噸。因應乾式貯存設施所需，燃料廠房吊車將改善為具有 single failure proof 之功能，改善後其吊運能力為 150 短噸(136 公噸)，並於改善完成後，將進行法規規定之荷重測試。另基於安全考量，必須分別對燃料廠房樓板、燃料池及車道間樓板進行載重評估。評估時，以核二廠廠房的原始樓板結構設計計算書為依據，保守使用總軸重為 130 公噸的載重，並以建築結構專用分析軟體 SAP2000，進行相關載重評估。評估的結果顯示，由於原始樓板設計具有相當安全餘裕，當牽引式多軸板車進入廠房進行運送時，不會對現有廠房結構造成危險。

主要的評估區域有:車道間、燃料廠房平面樓操作區與燃料池底樓板，分述如下。

車道間區域

根據原建廠時之廠房設計資料，核二廠車道間之車道(EL. 0.3m)為25.4 cm (10 in)厚的鋼筋混凝土板，其底部即為土壤。根據車道間之原始設計計算書，此車道之設計足以承受軸重約為 66.3 公噸 (146 kips)。當多軸板車裝載傳送護箱時，假設總重為 130 公噸，其單軸平均受力只約為 21.67 公噸。因此，安全性無虞。

燃料廠房平面樓操作區

燃料廠房平面樓操作區(EL. 0.3m)主要由四塊樓板所構成，樓板厚度皆為 0.91 m (3 ft)。四塊樓板中，跨度最長為 9.6 m × 7.6 m，承受荷載時會產生最大彎矩，因此保守取其作為分析標的。

牽引式多軸板車，其主要由承載傳送護箱的載貨低板(Deck)及兩個 3 軸油壓板車模組等三部分所組成，整部多軸板車共有 6 軸 48 個輪胎。燃料廠房平面樓層之操作區由四塊樓板組成，比對樓板與板車尺寸，板車移動過程中其 6 軸至少會跨越兩個樓板，故保守估計有 5 個輪軸會同時落在一個樓板上，並以此計算樓板之承載能力，多軸板車 5 個輪軸總重為 108.35 公噸。這 5 個輪軸的四個間距分別為：1.15 m, 1.15 m, 5.13 m, 1.15 m，因此四個輪軸間距總長度為 8.58 m。分析時，保守使用兩塊尺寸為 4.0 m × 0.46 m 的面積做為荷載區，並置於讓樓板之斷面產生最大彎矩的位置。計算加載後樓板斷面的最大彎矩分佈，單位長度絕對最大彎矩值為 11.1 t-m，皆小於原樓板設計正負彎矩，-131.46 t-m (-950 kip-ft)及 105.86 t-m (765 kip-ft)。

樓板頂層與底層的縱向與橫向鋼筋層應力分佈，最大壓應力為-270 t/m^2；最大拉應力為 315 t/m^2，皆遠低於鋼筋降伏應力 42,000 t/m^2。

綜合以上分析結果，當以多軸板車與傳送護箱在於燃料廠房平面樓作運貯操作時，對燃料廠房樓板的作用力遠低於現有廠房樓板所能承受的極限，故現有燃料廠房樓板結構安全無虞。

燃料池底樓板

燃料裝載時，將先吊運含有空密封鋼筒的傳送護箱至 3.96 m x 3.66 m (13 ft x 12 ft)高程為 EL. -12.8 m (EL.-42’)的池底樓板停放，然後在逐一將燃料貯存池中的燃料束吊至密封鋼筒內。該水池乃專為燃料運送護箱操作所需而設計之空間，故池底樓板除了跨距小，還配以厚實的鋼樑結構。

裝載燃料後的傳送護箱座落在燃料池底(EL. -12.8 m)時，因為浮力的作用使得水中傳送護箱重量會遠低於其洩水後重量 98.3 公噸。

高程 EL. -12.8 m 的樓板結構遠較 EL. 0.30 m 高程的樓板厚實，其跨距小於 EL. 0.30 m 樓板，並且 EL. -12.8 m 高程的樓板底下為土壤，故燃料廠房 EL. 0.30 m 的樓板的結構程載能力評估已涵蓋 EL. -12.8 m 的池底樓板。

燃料廠房吊車已改善成耐單一功能失靈吊車(single-failure-proof crane)符合 NUREG-0554 與 NUREG-0612 相關規定，且相關使用的吊掛設施皆滿足 ANSI N14.6 規範中主要負載(critical load)設計要求，故不會有傳送護箱墜落的事件發生。

11. 燃料廠房內作業防傾倒措施

在燃料廠房內吊卸裝填及運搬作業期間，主要作業場所為護箱裝載池與牽引式多軸板車。以下分別敘述針對傳送護箱在此二作業場所之防傾倒措施。

(1) 護箱裝載池

適用操作期間：用過核子燃料裝填；此時密封鋼筒安置在傳送護箱內，傳送護箱座於護箱裝載池裝之定位。

防傾倒措施：初步評估可能需增設防傾倒裝置，若有必要其規劃設計將於試運轉作業前提出。

(2) 多軸板車

適用操作期間：用過核子燃料裝填前準備、傳送護箱除污、密封鋼筒密封上蓋銲接與檢驗、密封鋼筒排水乾燥與充填氦氣及密封鋼筒排水排氣孔蓋銲接與檢驗；此期間密封鋼筒安置在傳送護箱內，傳送護箱固定於牽引多軸板車。

防傾倒措施：初步評估可能只需護箱與板車間之固定裝置。若有必要，其規劃設計將於試運轉作業前提出。

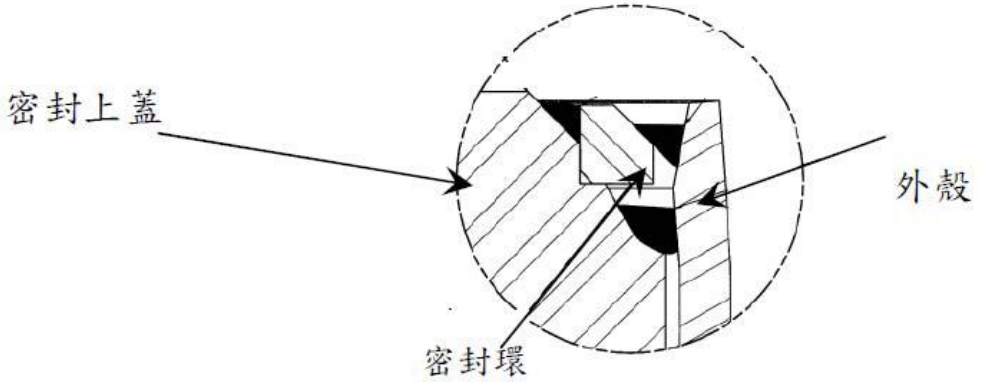


圖 5.1.1-1 密封上蓋、密封環與外殼銲接相對位置示意圖

表 5.1.1-1 運轉限制條件(LCO 3.1.1)

LCO 3.1.1 密封鋼筒需經真空乾燥再以氦氣回填，並應遵守以下的時間限制。從 1.鋼筒開始排水至真空乾燥測試完成及氦氣回填完成之時間以及 2. 將密封鋼筒傳送並安置於混凝土護箱內之時間不應違反以下規定：

總熱負載 (kW)	真空乾燥時間限制(小時) (1)	鋼筒傳送可使用時間(小時)
≦14.6	無限制	無限制

(1) 真空乾燥期間 ACWS 需保持正常運作。

(下頁續)

表 5.1.1-1 運轉限制條件(LCO 3.1.1)(續)

適用：　　傳送作業前

行動

----------註----------

個別之項目條件適用各個已裝載燃料之系統。

狀態	採行措施	完成時間
A.不符合 TSC 筒內真空乾燥壓力限制	A.1 執行工程評估判斷 TSC 內殘留水份。 以及 A.2 實行必要矯正措施使密封鋼筒內乾燥壓力值能符合：密封鋼筒抽真空乾燥達壓力低於 10 torr (mm Hg)後，隔離真空幫浦，鋼筒內部壓力應維持至少 10 min 不可超過 10 torr (mm Hg)。	7 天 30 天
B.不符合 TSC 氦氣回填密度限制	B.1 執行相關氦氣密度計算以確定差異。 以及 B.2 實行必要矯正措施使密封鋼筒內氦氣密度達到：0.704~0.814kg/m3。	72 小時 14 天
C.不符合採行措施之完成時間	C.1 移除 TSC 中所有燃料束。	30 天

(下頁續)

表 5.1.1-1 運轉限制條件(LCO 3.1.1)(續)

檢查要求

	檢查	頻率
SR 3.1.1.1	關掉真空泵與隔離閥後，監測 TSC 筒內之真空乾燥壓力小於或等於 10 torr，維持 10 分鐘以上。	傳送作業前
SR 3.1.1.2	完成真空乾燥作業及抽真空至< 3 torr 之後，回填氦氣至筒內，直到氦氣質量 M_{helium} 達到 TSC 排水時所量測之自由體積(V_{TSC})乘上指定的氦氣密度(L_{helium})。指定的氦氣密度範圍為 0.704-0.814 kg/m^3。	傳送作業前

表 5.1.1-2 運轉限制條件(LCO 3.1.1-A)

LCO 3.1.1-A	ACWS 失效運轉限制，若於以下運轉期間發生失效 1.護箱離水到開始排水之期間，以及 2.開始排水到氦氣回填完成之期間 不應違反以下規定：
適用：	裝填作業
行動	

狀態	採行措施	完成時間
A. 護箱離水到開始排水之期間 ACWS 失效	A.1 故障排除，倘故障無法於短時間內排除，則需將護箱吊回池中冷卻。	32 小時
	或	
	A2 每兩個小時直接量測一次鋼筒內部水溫，若發現內部水溫將達 94℃，而環狀間隙循環水冷系統仍無法恢復，則護箱必須重回水池。	立即
B. 開始排水到氦氣回填完成之期間 ACWS 失效	B.1 對 TSC 排水(倘若密封鋼筒尚未完成排水)並施以氦氣回填至錶壓力 5.5 bar	12 小時
	以及	
	B.2 環狀間隙循環水冷系統移除	2 小時

檢查要求

檢查	頻率
SR 3.1.1(A).1 確定 ACWS 功能正常。	於氦氣回填完成前的密封鋼筒準備階段。

表 5.1.1-3 運轉限制條件(LCO 3.1.1-B)

LCO 3.1.1-B　密封鋼筒氦氣洩漏率

檢驗排水與排氣內層孔蓋與密封上蓋間的銲道，其氦氣洩漏率不得高於 2 x 10^{-7} cm^3/s(氦氣)，氦氣洩漏測試之靈敏度為 1× 10^{-7} cm^3/s(氦氣)。

適用：　裝填作業

行動

狀態	採行措施	完成時間
A. 不符合密封鋼筒氦氣洩漏率	A.1 使密封鋼筒氦氣洩漏率符合限值。	25 天
B. 不符合採行措施之完成時間	B.1 由系統移除所有燃料束	5 天

檢查要求

檢查	頻率
SR 3.1.1(B).1 驗證密封鋼筒氦氣洩漏率符合限值。	於運送作業前。

(二) 運搬與傳送

以下將依作業程序分別敘述將已完成銲接密封之密封鋼筒，使用傳送護箱運送至貯存場，以及將密封鋼筒由傳送護箱吊運至混凝土護箱內之各項步驟。

1. 傳送護箱與運搬輔助機具之除污、裝載、吊卸操作

(1) 傳送護箱外表除污、偵檢。

(2) 將水封環洩氣，使環狀間隙內冷卻水流出。

(3) 拆除 ACWS 系統水管。

(4) 使用燃料廠房吊車將吊軛吊起，並結合於傳送護箱之吊耳軸上。

(5) 傳送護箱吊起至運送載具上定位。

(6) 安裝防撞緩衝器。

(7) 利用運送載具將傳送護箱移出燃料廠房。

2. 維持熱移除能力及次臨界與輻射防護之措施

本系統設計具作業安全之特性，針對臨界安全，可確保燃料束在吊卸裝填、運搬及貯存作業時，都保持次臨界狀態，無須另行監測；而在各階段操作模式中，都能提供有效之熱移除能力，並依合理抑低原則，提供輻射防護措施。

(1) 臨界安全:本系統之設計可確保燃料束在搬運、吊卸及貯存作業時，都保持次臨界狀態。

(2) 衰變熱移除:本系統主要是靠環狀間隙循環水冷系統移除密封作業階段的燃料衰變熱，並於設計時已納入燃料束在運搬及貯存作業期間之熱行為分析，依作業階段訂定適當之管制配合措施，以確保貯存之用過核子燃料不至受損。管制配合措施如運轉限制條件及行政管制等，已在本章作業程序中敘述。

(3) 輻射防護措施:本系統所採用降低職業曝露的基本設計考量與操作考量，詳見第三章一、(六)節輻射安全設計內容。實際執行吊卸裝填、運搬及貯存作業時所採措施，依作業場所不同分述如

下。

A.燃料廠房

此作業區域平時都已屬輻射區，但基於輻安考量仍將於燃料池附近建立臨時管制區域，人員進出需穿著防護衣物並執行污染管制以隔離放射性污染。執行本案作業時，將視需要在燃料廠房訂定臨時管制範圍，並執行下列輻射管制措施：

(a)臨時管制區域四周加以圍籬，並懸掛標示牌。

(b)明顯地標示輻射劑量率與污染值。

(c)對於高輻射區，將採取安裝臨時活動屏蔽或行政管制等因應措施(例如執行密封上蓋銲接時，在密封鋼筒頂部加裝臨時屏蔽以降低輻射；或進行人員管制)。

(d)工作人員穿著防護衣物(含手套、橡膠手套與鞋套)，並佩帶人員劑量佩章及輔助劑量計等監測裝備。

B.貯存場

貯存場位於核二廠內，已採取實體圍籬等有效措施，能有效防止人員誤入或非法的侵入。此外，本案已規劃用過核子燃料貯存設施之配置，各混凝土護箱之間保持適當的間隔，以利工作人員執行例行偵測與維修保養。

3. 運搬規劃路線、地下埋設物種類及埋設深度

運搬規劃路線如圖 5.1.2-1 所示。地下埋設物種類及埋設深度，依據下列圖面分段敘述如後，並將於試運轉作業前適當時間，進行查勘加以確認並辦理必要之道路補強工作。

(1) 參考圖面

A. 核二廠地下管線圖面重整 FP-7070。

B. 北部第二核能發電廠第一、二部機循環水出水暗渠圖 DCH-58-3501~3505。

C. 北部第二核能發電廠一二部機緊急引水管溝工程平面佈置圖 DCS-34-04110~04118。

(2) 埋設物種類及埋設深度

A. 一號機廠房門口前

(a)生活廢水管(3” - sanitary)(路側)。

(c)管線溝槽(duct bank)。

(d) pipe line (ONP31R9、ONP32R9)及 KNWZ04 人孔蓋。

(e) pipe line。

(f) 路燈電纜。

B. 二號機廠房門口前

(a) pipe line (2”-84U 一條，4”兩條)。

(b)循環水出水暗渠，埋設深度約 4.3 m。

(c) pipe line 兩條。

(d)路燈電纜。

C. 廠房外東西向運送道路

(a) pipe line(ONP29R2、ONP30R2)。

(b)循環水出水暗渠，埋設深度約 4.3 m。

(b)緊急引水管溝(ECW)，溝蓋板與路面等高。

(c) pipe line 兩條含閥。

D. 廢料儲存庫旁南北向道路

(a)道路側溝(Yard drainage system)。

(b)管線溝槽(duct bank)，埋設深度 0.9 m。

4. 運搬方法

本程序大略描述以規劃中之牽引式多軸板車，將傳送護箱移出燃料廠房，並送至貯存場之程序；詳細作業方法將明訂於相關操作程序書中。

(1) 運送全程由警衛及輻射防護人員隨行監控。

(2) 將運送載具移動至貯存場的指定位置，並將低板降至地面。

5. 護箱傳送

(1) 密封鋼筒傳送前，依表 5.1.2-1 扭力值鎖緊保護環所有螺栓。

(2) 將傳送護箱銜接器安放於混凝土護箱開口上。組裝銜接器之油壓系統，並測試其功能正常，以便密封鋼筒傳送前可以打開傳送護箱下方之屏蔽門。

(3) 卸除傳送護箱上之防撞緩衝器。

(4) 利用門型吊車將傳送護箱連同裝載燃料之密封鋼筒吊運至銜接器上，並確定傳送護箱底部已完全座落於銜接器上。

(5) 將銜接器之油壓系統與屏蔽門連結。

(6) 使用鏈條吊具將密封鋼筒微微吊起，使其不與屏蔽門接觸。

(7) 啟動油壓系統打開屏蔽門，將密封鋼筒傳入混凝土護箱中。

(8) 將傳送護箱自混凝土護箱上吊至載具上。並將傳送護箱運回燃料廠房。

(9) 將銜接器自混凝土護箱上卸下。

(10) 確認密封鋼筒頂部無異物存在。

(11) 安裝混凝土護箱上蓋。

(12) 確認混凝土護箱表面劑量符合表 5.1.2-2 運轉限制條件(LCO 3.3.1)之要求。

6. 運搬吊卸作業

本系統主要裝備密封鋼筒、傳送護箱及混凝土護箱，其在吊運狀況下，皆經分析安全無虞，分析計算及結果請見第六章第二節結構評估內容。各階段運搬吊卸作業，並將遵照核二廠相關規定或程序書執行。

7. 人員及車輛之污染管制措施

燃料廠房之地區管制，遵照核二廠輻射防護相關規定辦理。傳送護箱運出燃料廠房前，須執行表面污染偵檢、表面劑量率偵檢及 1 m 處劑量率偵檢。裝載燃料後，將遵照核二廠放射性物質運輸管制相關規定執行作業。

圖 5.1.2-1 運搬規劃路線圖

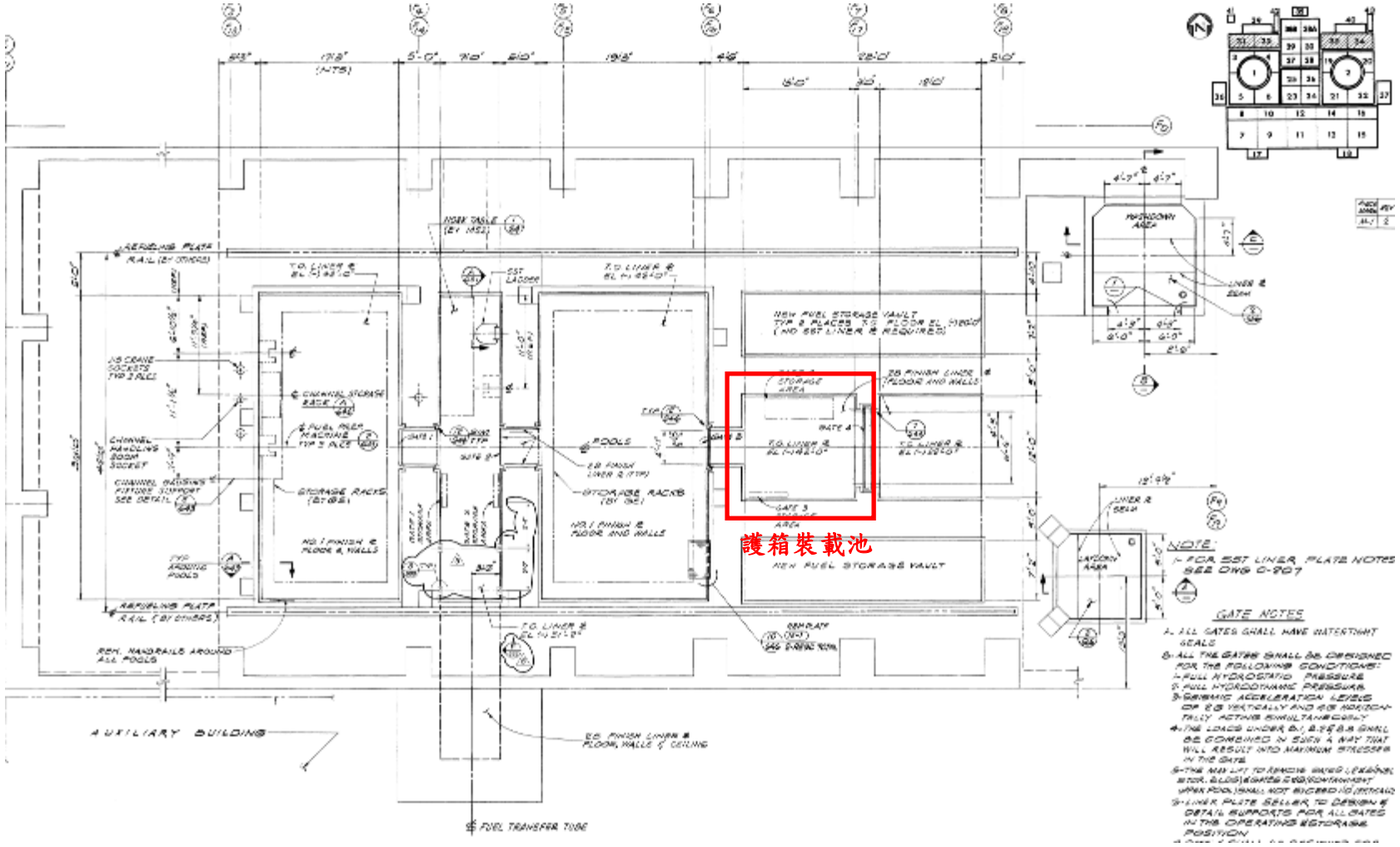


圖 5.1.2-2 燃料廠房平面配置圖

表 5.1.2-1 鎖磅扭力值

固定物	鎖磅扭力值(呎-磅)	鎖磅順序
排水管： Polymer seals	175－225	無
排氣管： Polymer seals	175－225	無
混凝土護箱上蓋螺栓	鎖緊後加一圈	無
保護環螺栓(MTC2 only)	鎖緊後加一圈	無

表 5.1.2-2 運轉限制條件(LCO 3.3.1)

LCO 3.3.1	混凝土護箱之表面劑量率(加馬與中子)位於出氣口（ 90 度共 4 處）、進氣口（ 90 度共 4 處）及側面中央高度（ 90 度共 4 處） (參考圖 5.1.2-3)不可超過以下限制： 每個混凝土護箱之平均表面劑量率應低於下述限制，除非符合採行措施 A.1 及 A.2。 a. 1 μSv/hr 於側表面如圖 5.1.2-3 所示位置； b. 2 μSv/hr 於側表面任意位置(a.位置與進出氣口除外) ； c. 20 μSv/hr 所有進氣口平均計量以及所有出氣口平均計量； d. 10 μSv/hr 位於頂部如圖 5.1.2-3 所示位置。

適用： 貯存作業

行動

----------註----------

個別之項目條件適用每個 MAGNASTOR 系統。

狀態	採行措施	完成時間
A. 不符合混凝土護箱最大表面劑量率限值	A.1 驗證裝填之燃料正確。 以及 A.2 執行分析確認 ISFSI 場外輻射防護符合「游離輻射防護安全標準」及「放射性物料管理法施行細則」及廠界年劑量 0.05 mSv 之要求。	24 小時 7 天
B. 不符合採行措施之完成時間	B.1 執行工程評估，並採取適當的改正行動，以確保劑量限值符合「游離輻射防護安全標準」工作人員有效劑量連續 5 年週期不得超過 100mSv，任一年內不超過 50 mSv 之要求。	60 天

檢查要求

檢查	頻率
SR 3.3.1.1 驗證已裝載包含燃料束之密封鋼筒的混凝土護箱之平均表面劑量率未超過限制。劑量率應於下圖所標示之位置進行量測。	於每次貯存作業前

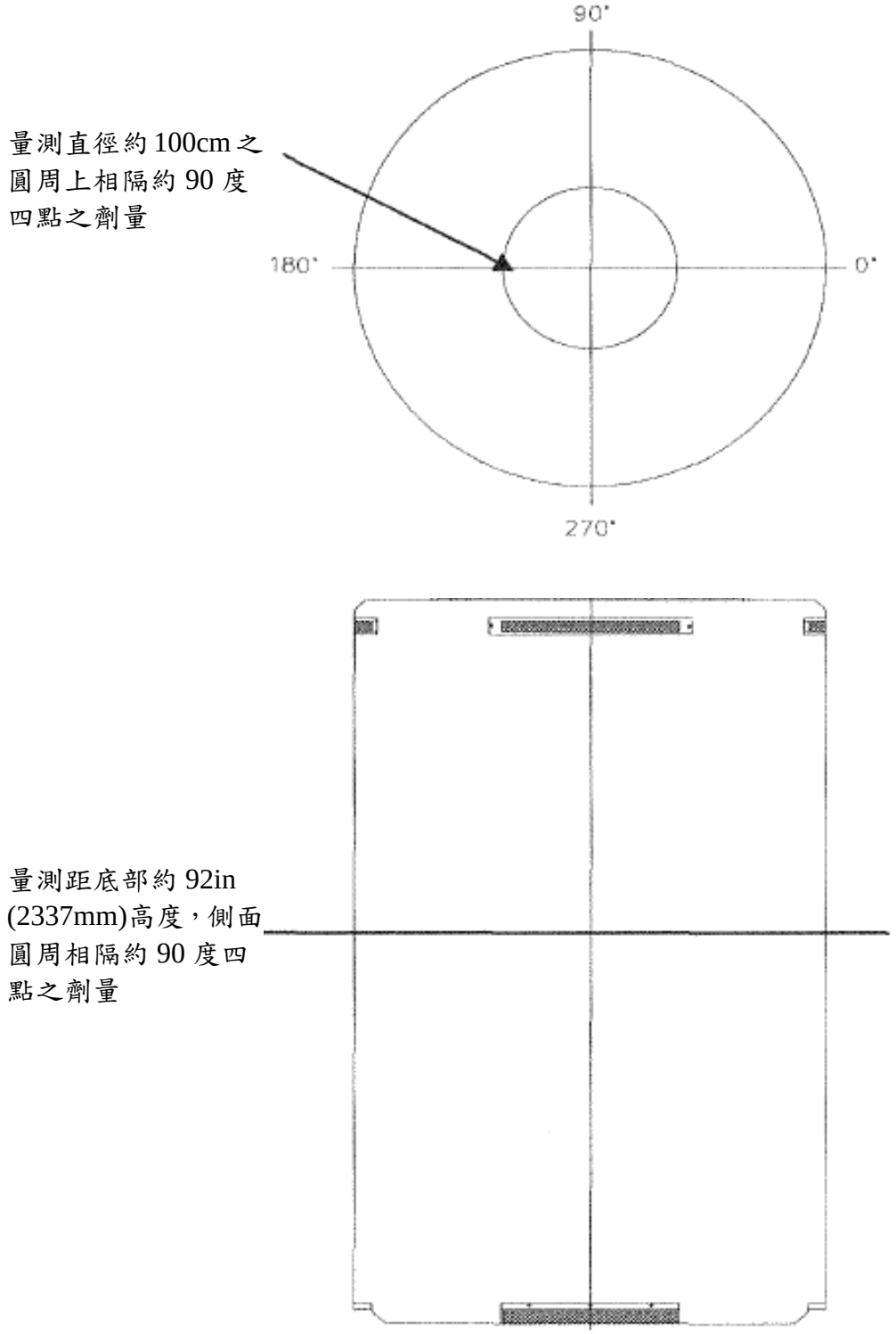


圖 5.1.2-3 混凝土護箱表面劑量量測位置示意圖

(三) 接收及貯存

1. 接收

於混凝土護箱中置入密封鋼筒後，應完成下列事項:

(1) 於混凝土護箱安裝空氣進出口格柵。

(2) 安裝並連接溫度監測儀器。

(3) 混凝土護箱裝填資訊除標誌在標示牌上，所有的裝填資訊雙重建檔。

(4) 接收作業後，需填報用過核燃料資料、密封鋼筒編號、混凝土護箱編號、貯存場位置編號等資料。

2. 貯存

混凝土護箱通氣出口溫度監測器配有連續記錄器，每日仍應定時檢視監測數據至少一次，確定其符合運轉限制條件 LCO 3.1.2 之規定。如發現任何異狀，應立即至貯存場，確認各貯存護箱通氣孔道之通暢，並應將巡視後之異常狀況、處置方式及結果記錄。

3. 再取出作業

已裝填用過核子燃料之密封鋼筒，僅預期在將用過核子燃料運離貯存場進行再處理或最終處置時，才須由混凝土護箱再取出。另外，在極低微的機率下，若須開啟已封銲的密封鋼筒，以取出其內貯存之用過核子燃料，亦須依照再取出作業程序執行。本程序描述將密封鋼筒自混凝土護箱傳送入傳送護箱，再藉由傳送護箱將其運回燃料廠房，打開密封鋼筒，移出用過核子燃料等作業之通則。移出用過核子燃料，須在護箱裝載池內進行，亦可採類似程序在其他適合之設施執行。

(1) 移除混凝土護箱監控儀具及進出氣口之護網，及混凝土護箱上蓋。

(2) 將密封鋼筒傳送用銜接器安放於混凝土護箱開口上。組裝銜接器之油壓系統，並確認銜接器功能正常，以便傳送前可以打開傳送

護箱下方之屏蔽門。

(3) 將傳送護箱之保護環鎖定。保護環可限制密封鋼筒吊運之高度，可避免密封鋼筒被吊離傳送護箱。

(4) 利用門型吊車將傳送護箱吊運至銜接器上，並確定傳送護箱底部已完全座落於銜接器上。

(5) 啟動油壓系統打開屏蔽門。

(6) 利用子母吊將密封鋼筒傳入傳送護箱中，注意應避免使密封鋼筒頂部頂觸保護環。

(7) 關閉屏蔽門

(8) 緩緩將密封鋼筒降下，使其座落於屏蔽門上。

(9) 將傳送護箱自混凝土護箱上吊至多軸板車上。與以固定，並安裝防撞緩衝器。依運搬路線反向回到預定之燃料廠房。

(10) 進入燃料廠房後，拆除防撞緩衝器。並安裝環狀間隙循環水供水及排水管線。

(11) 偵檢密封上蓋頂部輻射及污染程度。

(12) 安裝環狀間隙循環水冷系統，並啟動系統降低護箱溫度。

(13) 安裝銲道切除系統，視需要架設防止污染擴散帳篷，並連接 HEPA 系統。

(14) 切除排水、排氣孔內外孔蓋銲道。

(15) 利用排氣口收取鋼筒內氣體樣本，並分析氣體活性與氫氣濃度。偵檢後，移開銲道切除機。

(16) 安裝排氣系統，將密封鋼筒內氣體排出，並監測鋼筒內壓力變化，直到筒內壓力達 1 大氣壓。

(17) 更換排水管以及排氣孔快速接頭。

(18) 連接氮氣至排水孔，利用壓力 10 psig 之氮氣沖流密封鋼筒內部，將殘存活性氣體帶出，注意氮氣沖流時出口端氣體溫度可能高達 204.4℃ (400℉)。

(19) 持續沖流至排氣口輻射程度降低，若 10 分鐘之內輻射程度降低，則持續沖流 10 分鐘。

(20) 將密封鋼筒內部冷卻系統連接於排水孔上。

(21) 將清潔水或是過濾之池水注入密封鋼筒中。水溫需高於 21.1℃(70℉)，壓力約 25 psig，水流量約 5 gpm。若出口處水壓達 50 psig，則暫停注水，直到出口水壓低於 30 psig 始得繼續注水。

(22) 連續冷卻至出口水溫低於 82.2℃(180℉)，拆除內部冷卻系統。

(23) 連接排氣管線至排氣口，環狀間隙循環水冷系統需持續運作，以避免密封鋼筒中之水沸騰。

(24) 裝設吸水泵，吸出約 260 L 水；拆除泵。

(25) 安裝氫氣偵測儀，確認密封鋼筒內氫氣濃度低於 2.4 %。若氫氣濃度超過 2.4 %，則以真空泵排除。

(26) 安裝銲道移除系統，切除密封環與密封鋼筒外殼間之銲道，並切除密封環與密封上蓋間之銲道。

(27) 取出密封環。

(28) 繼續利用銲道移除系統切除密封上蓋與密封鋼筒外殼間之銲道。

(29) 取出塞於外殼與上蓋間隙內之墊片，並確認上蓋已可脫離密封鋼筒。

(30) 停止環狀間隙冷卻作業，保持環狀間隙為正壓狀態。

(31) 移除臨時帳篷、銲道切除系統以及密封鋼筒上所有管線。

(32) 安裝移除密封上蓋用吊具、索具。

(33) 將吊軛之吊鉤與傳送護箱之吊耳軸連結，再將密封上蓋移除用之索具與吊軛連結。

(34) 將傳送護箱吊運至護箱裝載池，護箱表面淋濕。

(35) 將傳送護箱緩緩降入池中。

(36) 將傳送護箱吊鉤與吊耳脫離。

(37) 緩緩拉起吊軛並同時吊起上蓋。

(38) 依需求執行目視(或其他方式)檢查用過核子燃料後，將用過核子燃料由密封鋼筒吊至燃料架貯放。

(39) 已清空用過燃料之密封鋼筒依核二廠廢棄物處理相關規定辦

理。

表 5.1.3-1 運轉限制條件(LCO 3.1.2)

LCO 3.1.2 混凝土護箱熱移除系統

混凝土護箱熱移除系統必須為正常。

適用： 貯存作業

行動

----------註----------

個別之項目條件適用每個系統。

狀態	採行措施	完成時間
A. 不符合運轉限制條件	A.1 確保適當之熱移除，以預防溫度超越短期限值。目視進出氣道是否堵塞，若有堵塞則清除到至少 2 個進氣口及 4 個出氣口為暢通。 以及 A.2 恢復混凝土護箱熱移除系統至正常使用狀態。	立即* 30 天

檢查要求

檢查	頻率
SR 3.1.2.1 確認 ISFSI 環境溫度(連續 24 小時平均)及混凝土護箱 4 個排氣口平均溫度之差異不高於 40°C。 或 目視確認全部共四個進氣口與排氣口之欄網未受障礙。	24 小時 24 小時

*若為全阻塞情形，則最遲須於 100 小時(需評估扣除已發生全阻塞時間)內完成。

二、貯存期間之檢視作業

貯存期間，主要藉監測器確認混凝土護箱之熱移除功能，另由定期巡視確認混凝土護箱外觀結構完整性，另並就貯存場進行輻射監測。

(一) 檢視混凝土護箱之熱移除功能

混凝土護箱通氣出口溫度監測器配有連續記錄器，每日仍應定時檢視監測數據至少一次，確定其符合運轉限制條件 LCO 3.1.2 之規定，以確認環境溫度(連續24小時平均)及混凝土護箱4個排氣口平均溫度之差異不高於40°C。如發現任何異狀，應立即至貯存場，確認各貯存護箱通氣孔道之通暢，若發現任何堵塞狀況應依據 LCO 3.1.2 之規定處理，並應將巡視後之異常狀況、處置方式及結果記錄。

(二) 檢視混凝土護箱外觀結構

每年目視檢查混凝土護箱外觀結構，若發現依一般工程判斷可能影響輻射屏蔽的瑕疵，將進行補填或以裂縫探針監測。

(三) 輻射監測

輻射監測方面，於貯存場完成前，將連續監測背景輻射與貯存場對環境的影響。本系統係以銲接方式密封，不會有放射性物質外釋。增設貯存期間環境輻射監測設備如下:

1. 將增設連續輻射監測站(高壓游離腔輻射偵測器) 1 站，位於本乾貯設施西北側。
2. 已增設連續空浮監測器 1 站，位於本乾貯設施南側(廠區修配工場後側)。
3. 將於本乾貯設施邊界每 30 公尺增設 1 站 TLD 熱發光劑量計偵測站。

三、作業流程

全程作業之操作順序、重要步驟及相關系統設備之操作特性與限制條件，詳述於本章第一節作業程序中，作業流程示如圖 5.3.1-1，未來需視試運轉結果進行必要之變更。

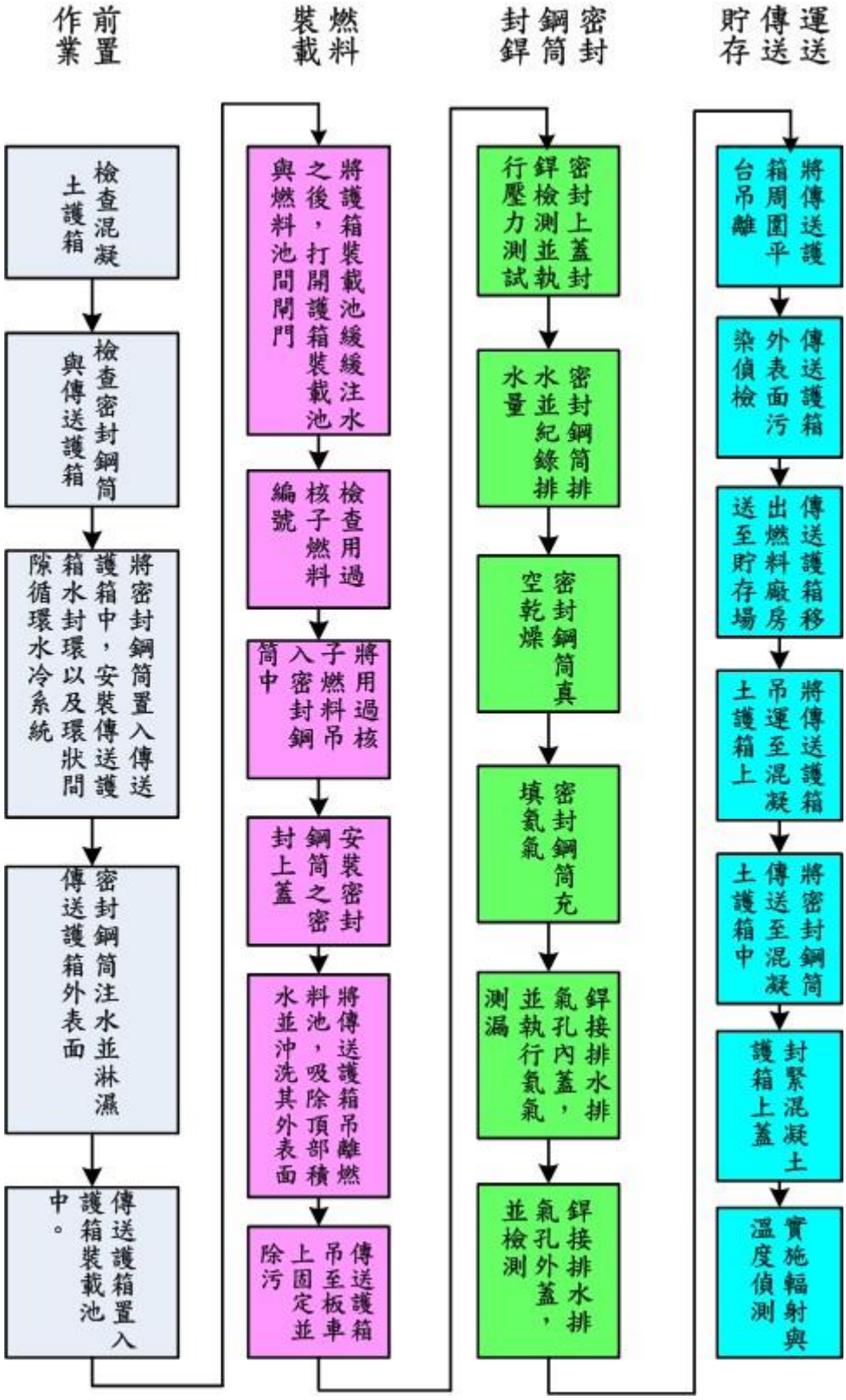

前置作業
檢查混凝土護箱
檢查密封鋼筒與傳送護箱
將密封鋼筒置入傳送護箱中，安裝傳送護箱水封環以及環狀間隙循環水冷系統
密封鋼筒注水並淋濕傳送護箱外表面
傳送護箱置入護箱裝載池中。
燃料裝載
將護箱裝載池緩緩注水之後，打開護箱裝載池與燃料池間閘門
檢查用過核子燃料編號
將用過核子燃料吊入密封鋼筒中
安裝密封鋼筒之密封上蓋
將傳送護箱吊離燃料池，吸除頂部積水並沖洗其外表面
傳送護箱吊至板車上固定並除污
密封鋼筒封銲
密封上蓋封銲檢測並執行壓力測試
密封鋼筒排水並紀錄排水量
密封鋼筒真空乾燥
密封鋼筒充填氦氣
銲接排水排氣孔內蓋，並執行氦氣測漏
銲接排水排氣孔外蓋，並檢測
運送傳送貯存
將傳送護箱周圍平台吊離
傳送護箱外表面污染偵檢
傳送護箱移出燃料廠房送至貯存場
將傳送護箱吊運至混凝土護箱上
將密封鋼筒傳送至混凝土護箱中
封緊混凝土護箱上蓋
實施輻射與溫度偵測

圖 5.3.1-1 作業流程圖

四、輔助系統及設備之運轉

輔助系統設備功能在配合密封鋼筒、傳送護箱及混凝土護箱等主要裝備，於燃料廠房內及貯存場，完成吊卸裝填、運搬及接收貯存等作業；主要輔助系統設備及功能略述於下；至於詳細功能與操作方法，將詳述於各相關運貯作業程序書中。

(一) 傳送護箱吊軛

傳送護箱的吊軛符合 ANSI N14.6 及 NUREG 0612 法規要求設計。依照 ANSI N14.6 要求，在運送到現場前，先經組裝、測試與檢查。並要有維護保養、每年檢查與檢查計畫之要求。吊軛應配合核二廠燃料廠房吊車與傳送護箱吊耳軸運作。

(二) 遙控或自動銲接機

用來執行密封鋼筒密封上蓋之銲接。

(三) 現場銲接用屏蔽板

為銲接用屏蔽板為遙控或自動銲接機的基座，用來降低密封鋼筒密封上蓋銲接時的表面輻射劑量率。

(四) 排水與吹洩系統

功能有二，分別為：在密封鋼筒密封上蓋銲接前，先將密封鋼筒裡的水面抽至上蓋下方(約抽水 260 L)以利銲接工作；完成密封上蓋銲接且通過壓力測試後，藉由本系統排除密封鋼筒內其餘水份。本系統能累積計算自密封鋼筒排出之總水量(體積)，以便於氦氣回填時計算氦氣回填質量。

(五) 氫氣偵測系統

功能為偵測密封上蓋銲接作業以及再取出作業時密封鋼筒內部之氫氣濃度，當氫氣濃度高於 2.4 %時，則應停止執行銲接或是銲道切除作業。

(六) 真空乾燥系統

用來在密封鋼筒排水後，移除密封鋼筒內殘餘之水氣及其他氣體。此系統由真空泵、軟管、控制閥等與密封鋼筒銜接組成，並有真空壓力表指示所有壓力範圍等。本系統亦可作為氦氣回填使用。

(七) 水壓測試系統

主要功用為執行密封上蓋銲後水壓測試用，系統能將密封鋼筒注水，並加壓至 130 psig，並可隔離密封鋼筒，確定鋼筒銲道無洩漏可持壓至少 10 分鐘。

(八) 氦氣測漏系統

用來確認密封鋼筒排水與排氣封口蓋的銲道符合規範要求。

(九) 密封鋼筒翻轉架與吊索

功能為使密封鋼筒由水平轉成垂直安放的座架。

(十) 密封鋼筒吊掛系統

為複置型吊具，用來吊運以裝載燃料完成密封作業之密封鋼筒，主要是用在將密封鋼筒由傳送護箱傳送至混凝土護箱之作業中。

(十一) 輔助油壓系統(傳送護箱屏蔽門開關動力)

傳送護箱底部屏蔽門的開關驅動系統，系統架設在銜接器上，藉 T 型連接器與屏蔽門接合，傳送作業前務須先行功能測試，並且確認定位。

(十二) 傳送護箱環狀間隙充水系統

提供傳送護箱與密封鋼筒間環狀間隙除礦水之管路系統，配合傳送護箱進出水池，本系統同時對傳送護箱下注水口上出水口注水，以確保環狀間隙為正壓狀態，避免密封鋼筒外殼受汙染。

(十三) 環狀間隙循環水冷系統

本系統利用循環泵將清潔水注入密封鋼筒與傳送護箱之環狀間隙中，冷卻水入口溫度低於 37.7℃(100˚F)，水流量約 38gpm，出口平均溫度大約會達 39.4℃(103˚F)。

(十四) 牽引式多軸板車

在燃料廠房與貯存場間運搬傳送護箱之用，並於燃料廠房中作為護箱準備與密封、排水填充氦氣時之工作載台。板台與傳送護箱防傾倒裝置組合示意圖，如圖 5.4.1-1 所示。

(十五) 防傾倒設備

使用於裝載作業時，功能為萬一發生地震時，防止豎立的傳送護箱傾倒。此項設備將俟評估分析結果，於必要時建立。

(十六) 雜項吊索與吊具附件

各項操作過程所需之一般性吊索、吊具及工作平台等。

(十七) 門型吊車

本系統使用一組門型吊車(gantry crane)及其下方懸吊之鍊條捲揚機(chain hoist)與銜接器(TSC 吊掛用 adapter)所構成之吊具，傳送密封鋼筒進出混凝土護箱，屬於品質分級(安全等級)B 級。門型吊車之設計應符合 NUREG-0554、NUREG-0612 及 ASME NOG-1 之可適用部分，而鍊條捲揚機之設計應符合

ASME NUM-1, Type 1B 與 ASME B30.16 的要求。本系統使用場地在貯存場(ISFSI PAD)上，不會對燃料廠房既有設施之安全造成影響。

本案所用的門型吊車安裝於貯存場，係用以將裝載密封鋼筒的傳送護箱由多軸板車上吊起，並放置在已安裝於混凝土護箱頂端的銜接器上，將密封鋼筒由傳送護箱中放置於混凝土護箱中。

此門型吊車主要由油壓裝置、伸縮柱、桁架及吊掛用台車樑所組成，其設計符合 ASME B30.1 與 SAE J1078 中的相關要求，以及 NUREG-0554、NUREG-0612 及 ASME NOG-1 可適用之部分相關規定。該門型吊車係用 4 組油壓裝置升降的伸縮柱，於密封鋼筒傳送進出混凝土護箱時，此門型吊車不會與傳送護箱吊耳軸脫鉤，並同時藉由安置於混凝土護箱頂部的銜接器（TFR 對心用 adapter），來確保在發生地震的情況下，門型吊車及傳送護箱仍能保持其穩定性。

每組油壓裝置係由 2 支油壓缸所組成，而每支油壓缸間利用分配閥來調節、同步。如當油壓缸無法提供所需的輸出時，自動啟動凸輪自動閉鎖安全裝置，以確保該門型吊車升降部份及其所吊掛的物件不會墜落或明顯下降，此自動閉鎖裝置符合 NUREG-0554, 4.9 小節的要求。當地震發生時，有煞車系統，將此門型吊車軌道上的輪子煞停(鎖住)，以及設置有地震限制器(seismic restraint)以避免地震發生時發生吊車出軌情況，以確保操作的安全性。

在吊掛用台車樑與密封鋼筒間，使用氣動鍊條捲揚機，該氣動鍊條捲揚機，符合 ASME B30.16 與 ASME NUM-1, Type 1B 相關規定。

(十八) 地震紀錄儀器

用於記錄貯存場區附近所發生之地震資料，以作為監控研判之用。

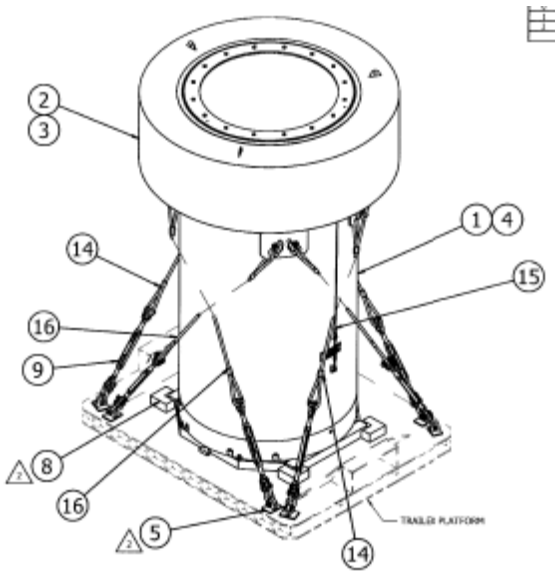


圖 5.4.1-1 傳送護箱防傾倒裝置示意圖

五、公用系統及設備之運轉

本節針對運貯作業及貯存場營運期間，各相關公用系統及設備之初步運轉規劃，分別說明如後：

(一) 通訊

燃料廠房內於裝填操作期間，通訊將利用核二廠內既有通訊設施，並依照核二廠通訊作業規定使用。貯存場營運期間，警衛人員於巡視時，使用適當通訊工具與主警衛室帶班小隊長聯繫。

(二) 電力

燃料廠房內於貯存燃料裝填及運送作業期間,所需電力將由核二廠供應，並依照核二廠廠內公用電力使用規定辦理。貯存場電力主要供應施工期臨時需要，以及護箱傳送作業所需，並維持運轉需求之必要電力供應，諸如:貯存場之照明、出氣口溫度偵測，以及環境監測系統、監視系統、各監控中心儀器及控制設施。所需電力將由核二廠供應，並依照核二廠廠內公用電力使用規定辦理。

(三) 供水

在貯存場進行混凝土基座建造，或於核二廠澆置場進行混凝土護箱灌造時，需要使用一般自來水或其他類似水源，將依核二廠使用規定辦理。燃料廠房內於核子燃料吊卸裝填作業期間，核二廠須連續供應足量之除礦水注入密封鋼筒外壁與傳送護箱內壁之環狀間隙，水溫 37.7℃(100℉)以下，連續供應至展開運搬作業。傳送護箱吊運出水池面前，於水下吊升過程中，將使用加壓水（如除礦水）沖洗傳送護箱表面，供應流量在 30 L/min 左右，每次約需 4 小時；另於每筒次傳送護箱吊運進出水池面時，其表面須以除礦水噴灑以降低表面污染。除礦水將由核二廠既有供應設施供應，並依核二廠規定辦理。貯存場例行運轉期間無供水需求。

(四) 供氣

燃料廠房內於貯存燃料裝填及運送作業期間，壓縮空氣將使用核二廠既有供氣設施，使用時將依核二廠規定辦理；若廠內可供氣量不符使用時，將另備空氣壓縮設施。貯存場例行運轉期間，則無供氣之需求。

(五) 照明

燃料廠房內及燃料池內已有照明設施，若有特殊需要輔助照明區域，將另備燈具，燈具使用將依核二廠規定辦理。貯存場圍籬內設有照明設施。

(六) 一般廢棄物處理

燃料廠房內於貯存燃料裝填及運送作業期間以及貯存場傳送作業期間，產生的一般廢棄物，將依照核二廠一般廢棄物處理規定辦理。貯存場營運期間，並無一般放射性廢棄物產生，無需處理。

(七) 通風與排氣

燃料廠房內於貯存燃料裝填及運送作業期間，將使用核二廠既有通風與排氣設施，遇有特殊廢氣須排除時，將另備排風設施與導管引至既有通風與排氣進口附近，由既有設施排至廠外。貯存場為露天貯存設施，燃料貯存用的密封鋼筒外表採用空氣對流的冷卻方式，沒有通風與排氣設備之需要。另於貯存場進行傳送作業時，由於密封鋼筒為密封狀態，亦無通風雨排氣之需求。

(八) 接地

燃料廠房內之貯存燃料裝填及運送作業用電器設備皆有接地裝置，將聯結至核二廠既有之接地線路，接地之執行將依照核二廠電器接地規定辦理。貯存場於營運期間，除了電器設備會有適當的接地設施外，在貯存場高處將設有避雷裝置，避雷之接地設施將於混凝土基座施工時預埋接地線及預留導電接點。

六、設施各項系統及設備之驗收測試與維護保養計畫

本節將說明設施主要系統及設備的驗收測試與維護保養導則。本系統主要組件驗收測試計畫列如附錄 5.A。維護保養計畫包含週期檢查與年度保養，涵蓋的主要系統及設備有混凝土護箱、傳送護箱、銜接器、傳送護箱吊軛，以及輔助吊索與吊具組等；至於輔助系統如真空乾燥系統、氦氣測漏系統、加壓測試系統貯存場門型吊車以及運搬車輛等，將依照製造商提供之操作維護程序進行維護保養。

(一) 混凝土護箱

1 週期檢查

混凝土護箱通氣出口溫度監測器配有連續記錄器，每日仍應定時檢視監測數據至少一次，以確認環境溫度(連續 24 小時平均)及混凝土護箱 4 個排氣口平均溫度之差異不高於 40°C，亦或是每日以目視方式檢查進出口處是否有異物堵塞。若發現溫差超過標準，或是進出氣口有堵塞，都應依 LCO 3.1.2 規定處理。

2 年度保養

每年目視檢查混凝土護箱外觀，若發現直徑(或寬度)超過 1 吋且深度也超過 1 吋之瑕疵，將進行補填，若有裂縫則以砂漿或是塗料塗補。若鋼製品之外表面之塗漆處有龜裂或剝落，應將該區域清除乾淨並重行補漆。

(二) 密封鋼筒

密封鋼筒之維護及監測計畫(maintenance and surveillance program)將於試運轉申請時提出，經原能會審查通過後實施。

(三) 傳送護箱和銜接器

1. 週期檢查

每一次操作前，應由運轉人員目視檢查下列項目：

(1) 傳送護箱本體

A. 檢查塗裝層有無剝落、龜裂或起泡，甚至是銹蝕。

B. 檢查吊耳是否有變形、龜裂、銹蝕及嚴重刮傷。檢查防護板有無損傷、變形。

C. 檢查注排水孔有無螺牙毀傷、髒污或碎屑。

D. 檢查保護環、保護塊、保護環螺栓及保護環螺栓孔，有無螺牙毀傷、銹蝕變形、髒污或碎屑。

E. 檢查傳送護箱外圓與底板銲道有無毀傷或裂隙。

F. 上下水封環已安裝並可正常運作。

G. 確定內壁與屏蔽門上之防磨條已安裝。

(2) 傳送護箱屏蔽門

A. 檢查門及門軌有無毀傷、銹蝕或塗層起泡剝落，並確認接合面有使用適當潤滑劑。

B. 檢查門鎖螺栓、擋板及螺栓孔，有無螺牙毀傷或銹蝕變形。

(3) 銜接器

A. 檢查有無毀傷、銹蝕或塗層起泡剝落，並確認各組件安裝妥適。

B. 檢查確認油壓缸之功能正常。

2. 年度保養

運貯作業期間，傳送護箱與銜接器應在不超過 14 個月的期間內，執行目視、尺寸量測及非破壞檢驗等年度保養。保養檢查項目同週期檢查項目，另外須對吊耳軸與內外箱體銲道、屏蔽門內軌道銲道等，執行液滲(PT)或磁粉(MT)檢測，接受準則須分別符合 ASME, III, NF, NF-5350 或 NF-5340 所述；各物件表面塗層之修補，應依據核准工程圖規範及製造商施工說明執行。傳送護箱若未連續服役，在重新使用前，應依年度保養要求執行檢查維護。若未執行前述非破壞性檢查，則傳送護箱需接受荷重測試，施予 300 %設計載重之負重測試至少 10 min。測試後須對所有主要承

重組件與銲道，目視檢查有無損傷或永久變形。銜接器亦應每年檢查其功能是否正常，並視需要更換零件。

各物件表面塗層之修補，應依據核准工程圖規範及製造商施工說明執行。

(四) 傳送護箱吊軛

1. 週期檢查

(1) 每一次使用前，須由運轉操作人員對吊軛及連接插銷，目視檢查有無損傷或變形。

(2) 每三個月，須由維護人員或其他非運轉操作人員，目視檢查吊軛及連接插銷有無損傷或變形。

2. 年度保養

運貯作業期間，傳送護箱吊軛應在不超過 14 個月的期間內，執行目視檢查，並另執行下列負重測試或非破壞檢測項目之一。傳送護箱若未連續服役，在重新使用前，若距離前次年度保養已超過一年，則應依年度保養要求執行檢查維護。

(1) 負重測試

對吊軛及連接插銷，施予 300 %(+5 %/-0 %)設計載重之負重測試至少 10 min，負重須平均分布於兩支吊勾上。測試後須對所有主要承重組件如吊勾、連接插銷、強化主體及接合面等，目視檢查有無損傷或永久變形。

(2) 非破壞檢測

對所有主要承重組件如吊勾、連接插銷、強化主體及接合面等，目視檢查有無損傷或永久變形，尺寸量測值須與製造圖比對，並依據 ASME V, Article 6 執行液滲檢測，接受準則須符合 ASME, III, NF, NF-5350 所述。

(五) 輔助吊索與吊具組(含吊耳)

1. 週期檢查

(1) 每一次使用前，須由運轉操作人員目視檢查有無磨耗、變形或螺孔損傷。

(2) 每三個月，須由維護人員或其他非運轉操作人員，目視檢查有無磨耗、斷線、變形或螺孔損傷。

2. 年度保養

服役前間,應由專門檢查人員依據 ASME/ANSI B30.9「吊索」規範，每年執行檢查。若未連續服役，在重新使用前亦須執行同級保養檢查。

(六) 門型吊車

依據中華民國相關勞安法規辦理年度檢查

七、申請運轉執照時，須檢附設施運轉程序書清單

本章各節所述為一般性操作導則，針對實際作業所需，將另行建立運轉操作程序書，並向主管機關申請運轉執照，預定建立之程序書將涵蓋下列作業：

- 現場作業組織架構與行政作業管制程序
- 前置作業程序
- 燃料廠房內操作程序
- 密封鋼筒上蓋銲接操作程序
- 密封鋼筒上蓋銲道非破壞檢測程序
- 傳送及運送作業程序
- 再取出作業程序
- 異常作業程序
- 輔助設備操作手冊
- 輻射防護作業程序
- 工安作業程序

前述各作業程序書將於試運轉前提出。並提送傳送護箱裝載之防傾倒裝置(或是傳送護箱與板車間固定裝置)之相關圖說。倘若有道路補強之必要，則同時提送道路補強之相關文件。

八、設施材料評估及驗收測試

本節說明本案相關之設施材料評估及驗收測試之要求，相關要求內容分別敘述於下列章節。

1. 密封鋼筒、傳送護箱及混凝土護箱重要組件之鋼材、銲接設計及規格、螺栓及釦件、塗料、加馬及中子輻射屏蔽、中子吸收物、混凝土及鋼筋、化學及電化學反應、燃料護套等有關之選擇、特性及其適用的法規或工業標準，以及材料供應商相關資料，詳如本報告第六章第二節附錄 B。
2. 各項有關之目視與非破壞性檢查，以及結構、壓力、洩漏、材料測試等之驗收程序及合格標準，如本報告第五章附錄 A。

九、參考文獻

1. NAC International, Inc., “Final Safety Analysis Report for the MAGNASTOR System,” Rev. 2.
2. NAC International, Inc., “OPERATING MANUAL FOR THE MAGNASTOR SYSTEM” Rev. 1, September 2010.

附錄 5.A 本系統主要組件驗收測試計畫

本章節主要說明本系統製造、使用與維護的檢驗計畫與相關的標準，以確保本系統在製造後能滿足本安全分析報告與品質符合證明中的要求,並確保在正常、異常與意外狀況下，其輻射物質密封、次臨界控制、散熱能力與其輻射劑量皆能符合相關法規要求。

本系統被分類為與安全重要相關的結構、系統與組件（SSCs），其所有相關的設計、製造、組立、檢查、測試、接收與維護皆須依循品保計畫中所對應之內容執行。

1.1 驗收標準

本系統所屬相關之系統、組件於製造中及裝載前或中皆應執行必要之測試(test)、檢測(examination)及檢查(inspection)，並確認確實符合本安全分析報告、設計圖與CoC之要求。

1.1.1 檢查及非破壞檢測

本系統與組件之建/製造、檢測及檢查所依循的標準，如下所述：

- 本系統的建/製造所用的材料如依循ASME Section II [1]相關規定，則須提供相關認證與文件資料，並另需滿足ASME Section III NB [2]、NF[4]與NG [3]的相關要求。
- 所有材料、組件須執行目視及尺寸檢查，並確認該材料之可追溯性與性質符合相關規範要求。對於密封鋼筒密封邊界材料（如底板、外殼、密封上蓋與孔蓋）則需依據ASME Section III NB-2500 [2]的要求進行檢查。
- 密封邊界應依循ASME Section III NB [2]或於第三章所述的替代方案進行製造與檢查；提籃與其相關支撐部分應依循ASME Section III NG [3]或於第三章所述的替代方案進行製造與檢查。
- 傳送護箱用之鋼材需依循ASTM的規範，而製造則須依循ANSI N14.6 [11]的要求，相關的檢查與非破壞檢測（NDE）則須依循ASME Section III NF [4]的相關規定。

- 混凝土護箱用之鋼材可依循ASTM的規範，而製造則可依循ASME Section VIII, Part UW [6]（或ANSI/AWS D1.1 [5]）的要求，相關的銲接組件的檢查則須依循ASME Section VIII, Part UW [6]或ANSI/AWS D1.1 [5]的相關規定。
- 適用於ASME規範的銲接程序與銲工須依據ASME Section IX [7]與ASME Section III相關章節的規定進行檢定(NB [2]、NG [3]或NF [4])；適用於ANSI/AWS規範的銲接程序與銲工須依據AWS或ASME Section IX [7]相關規定進行檢定。
- 混凝土護箱的混凝土部分的建造與檢查需依循ACI-318 [8]的相關規範要求。
- 密封鋼筒密封邊界銲道的目視檢查（VT）需依據ASME Section V Article 1與9 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NF-5360 [2]的規定；密封鋼筒外殼銲道表面之液滲檢查（PT）部分則須依據需依據ASME Section V Article 1、6與24 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5350 [2]的規定；在外殼的圓周與縱向銲道的射線檢查（RT）需依據ASME Section V Article 1與2 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5320 [2]的規定；在底板與外殼銲接銲道部分的超音波檢查(UT)需依據ASME Section V Article 1與5 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5330 [2]的規定；依據ISG-15 [14] 與ISG-18 [21]在密封上蓋對鋼筒外殼銲接部分的銲道至少需對其根部、中間及最終銲道表面進行液滲檢查，該液滲檢查須依據需依據ASME Section V Article 1、6與24 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5350 [2]的規定；密封環對鋼筒外殼及密封環對密封上蓋的銲接銲道，須對其最終銲道表面進行液滲檢查（PT），液滲檢查須依據需依據ASME Section V Article 1、6與24 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5350 [2]的規定；在內層、外層密封孔蓋對密封上蓋的銲道部分，須對其最終銲道表面進行液滲檢查（PT），液滲檢查須依據需依據ASME Section V Article 1、6與24 [9]進行，其接受標準則須依據ASME Section III NB-5350 [2]的規定。相關銲接修理應

符合ASME Section III NB-4450 [2]之要求進行，修理完成後，該銲道須再檢測，其合格標準與原標準同。

- 提籃及其支撐的銲道須依銲接須依ASME Section V Articles 1與9 [9]的要求執行目視檢查，其接受標準須依據ASME Section III NG-5360 [2]的規定。燃料方管的銲道須依據ASME Section V Article 1、7與25 [9]進行磁粉探傷（MT），其接受標準須依據ASME Section III NG-5340 [3]的規定。提籃相關組件的銲接修理應符合ASME Section III NG-4450 [3]之要求進行，修理完成後，該銲道須再檢測，其合格標準與原標準同。
- 混凝土護箱鋼材銲接件目視檢查合格標準，應參照ASME Section V Articles 1 and 9 [3]或ANSI/AWS D1.1 Section6.9 [5]，合格標準則分別參照ASME Section VIII Articles UW-35 與 UW-36 [6]或ANSI/AWS D1.1 Table 6.1 [5]。混凝土護箱鋼材銲接修理符合ANSI/AWS D1.1 [5]之要求進行，修理完成後，該銲道須再檢測，其合格標準與原標準同。
- 傳送護箱銲道須依ASME Section V Articles 1與9 [9]或ANSI/AWS D1.1 Section 6.9 [5]的要求執行目視檢查，其接受標準須依據ASME Section III NF-5360 [4]的規定。經負荷測試後，傳送護箱所有的關鍵受力銲道須依據ASME Section V Article 1、6與24 [9]做液滲檢查或依ASME Section V Article 1、7與25 [9]做磁粉探傷。液滲檢查的接受標準則須依ASME Section III NF-5350 [4]的規定，而磁粉探傷接受標準須依ASME Section III NF-5340 [4]的規定。相關銲接修理應符合ASME Section III NF-4450 [4]或ANSI/AWS D1.1 [5]之要求進行，修理完成後，該銲道須再檢測，其合格標準與原標準同。
- 尺寸檢查與組裝測試需依據核可的程序書執行，以確保製造完成之組件尺寸或配合性與設計圖之要求一致。所有的尺寸檢查與組裝測試須有書面紀錄。
- 所有組件應依據核可的程序書檢查其清潔性，須無油漬、污垢、溶劑、金屬碎屑或其他污染物質之殘留。並於裝運前，依據核可的程序書做適當的包裝
- 所有檢查與非破壞性檢測人員須依SNT-TC-1A [10]的要求進行檢定。

1.1.2 結構及壓力測試

本節將分別就傳送護箱及密封鋼筒分別敘述其結構及壓力測試之要求。

1.1.2.1 傳送護箱

傳送護箱之吊耳軸及底部屏蔽門之測試，均應符合ANSI N14.6 [11]規範之要求。負荷測試條件皆為承受300 %之設計負荷，並維持至少10 min。吊耳軸測試負荷至少為315公噸，且均勻作用於兩吊耳軸上；底部屏蔽門（含門軌與底板）之負荷測試至少為177.335公噸。

負載測試完成後，吊耳軸所有銲道及承重表面(load bearing surfaces)，應執行目視檢查，確認無擦傷、斷裂及變形等現象。吊耳軸及屏蔽門門軌可接近之銲道，應執行液滲檢測或磁粉探傷檢測，其方法依照ASME Code Section V, Articles 1, 6 and/or 7 [9]，合格標準應依照ASME Code Section III, NF-5350 or NF-5340 [4]。任何檢查或檢測若有不符合合格標準時，應退件或再製後重新測試。所有的負荷測試與檢驗皆須依據核可的程序書執行，並留下書面記錄。

1.1.2.2 密封鋼筒壓力測試

密封鋼筒外殼於工廠製作完成後應根據ASME Section III NB-6000 [2]要求(如本文第五、(一)節)進行水壓測試。水壓測試壓力為130 psig，至少維持10分鐘。其最小測試壓力為密封鋼筒正常使用下的設計壓力100 psig之1.25倍(125 psig，保守使用130 psig)。於測試期間外殼之銲道應無目視可觀察到的滲漏。

密封鋼筒(含裝載燃料)外殼與密封上蓋在現場銲接完成後應根據ASME Section III NB-6000 [2]要求進行水壓測試。水壓測試壓力為130 psig，至少維持10分鐘。其最小測試壓力為密封鋼筒正常使用下的設計壓力100 psig之1.25倍(125 psig，保守使用130 psig)。於測試期間其上蓋與外殼之銲道應無目視可觀察到的滲漏。

1.1.3 洩漏測試

密封鋼筒之密封邊界如外殼、密封上蓋、排水孔及排氣孔內層孔蓋之銲道(如本附錄第 1.1.1 節所述)，除於表 3.1.1-8 所列的替代方案外，其餘皆須依據 ASME Section III NB [2]之要求進行設計、製造及測試。

密封鋼筒外殼銲接完成後，應按照 ASME Section V Article 10 [9]及 ANSI N 14.5 [20]的規定執行洩漏測試，以確保密封鋼筒本體之洩漏率滿足漏密的要求(leaktight)；依據 ANSI N 14.5 [20]的說明，漏密的要求為洩漏率小於或等同(空氣)1×10^{-7} ref. cm^3/s。在此測試條件與要求下，其測試結果之整體氦氣洩漏率應小於或等於 2×10^{-7} cm^3/s，氦氣測漏儀與測試系統的檢測精度必須優於 $1\times10^{-7}cm^3/s$（氦氣）。

該部分的洩漏測試係利用一個測試用上蓋封住密封鋼筒外殼頂部，並用真空泵將該密封鋼筒內部抽真空，之後連接至一氦氣測漏儀。利用一測試系統包覆住所有密封鋼筒外殼之銲道，並以純度最小為 99.995%氦氣進行回填至適當濃度。測試系統中之氦氣濃度會影響本測試的精度與靈敏度，氦氣測漏儀與測試系統的檢測精度必須優於 $1\times10^{-7}cm^3/s$（氦氣）。

對於排水與排氣孔內層孔蓋與密封上蓋的銲接銲道部分，須按照 ASME Section V Article 10 [9]及 ANSI N 14.5 [20]的規定執行洩漏測試，各孔蓋的氦氣洩漏率應小於或等於 2×10^{-7} cm^3/s，氦氣測漏儀與測試系統的檢測精度必須優於 $1\times10^{-7}cm^3/s$（氦氣）。

若有偵測到氦氣洩漏，根據 ASME Section III NB-4450 [2]，對洩漏位置進行修理。修理完成後需再檢測，其合格標準與原標準同。

所有的洩漏測試與檢驗皆須依據核可的程序書執行，並留下書面記錄。

1.1.4 組件測試

本系統組件除本附錄所述之材料驗收(material receipt)、尺寸及組裝測試外，不需其他特殊測試。以下將就需進行測試之組件分別敘述如下。

1.1.4.1 閥門、爆破片(rupture discs)及管線裝置(fluid transport devices)

本系統沒有使用爆破片與管線裝置。僅密封上蓋附有排水管及排氣

管之快速接頭，其作用為排水、真空乾造與氦氣回填之用，無防止密封鋼筒內輻射物質於貯存期間洩漏之用，故不屬於密封邊界的一部份。在排氣與排水孔蓋封銲後，其將被封閉在密封邊界內，所以不須進行額外的測試與監測。

1.1.4.2 氣密墊

密封鋼筒密封邊界無機械式密封環或氣密墊等配件，所以不須進行額外的測試與監測。

1.1.5 屏蔽測試

混凝土護箱及傳送護箱屏蔽製造完成後，各護箱表面會畫格線，並使用適當強度之測試用射源置入護箱，逐格檢驗護箱表面劑量率，完全符合標準才驗收。屏蔽測試方式係利用輻射強度衰減之原理，其接收標準為：各護箱表面畫格線(50 cm × 50 cm)，使用適當強度之輻射源置入護箱內，逐格檢驗護箱外表面劑量率，將其與護箱材質相同、已知密度之標準試體所測得之劑量率比較，以推算護箱各量測點之密實度值。於經評估護箱表面 1 m^2 平均密實度完全符合屏蔽密度設計之要求後才驗收，詳細驗收程序將明訂於施工規範中。另制訂『輻射防護作業程序書』執行用過核子燃料吊卸裝填及運搬作業之輻射管制，且整個作業過程均執行輻射劑量監測，如有超過標準，將會加以臨時屏蔽保護工作人員。若護箱於裝填後發現局部高劑量而平均劑量仍合格時，應於貯存時在護箱上標註高劑量位置，以保護例行維護人員。

1.1.6 中子吸收劑測試

中子吸收劑主要用於臨界之控制，於本系統中所用的中子吸收劑其有效 ^{10}B 面積密度需大於 0.02 g/cm^2，安置方式及尺寸應符合相關設計圖之要求。在本系統中可使用的中子吸收劑計有 Boral、borated metal matrix composites (MMC)與 borated aluminum alloy。

中子吸收劑供應單位須對中子吸收劑進行於 1.1.6.4 小節中所要求的測試並滿足相關的要求，相關測試包含了 B10 面積密度、尺寸、熱傳導性（如果

需要）、機械強度（如果需要）及目視檢查等項目。於驗收前，中子吸收劑供應單位須提供使用單位相關檢測報告，使用單位依照其品保程序進行相關檢測結果的文件審查與基本的外觀與尺寸檢測。在密封鋼筒於安裝中子吸收劑之過程，將會訂定停留檢查點，以確保品質。

1.1.6.1 設計/性能要求

在本系統中，中子吸收劑係安裝於燃料方管的內側，做臨界控制之用，其尺寸與安裝位置已於設計圖中明確定義。在設計圖中，所有類型的中子吸收劑(Boral, MMC以及borated aluminum alloy)皆被稱為metallic composite。為確保裝載後的系統能維持在次臨界的狀態下，所使用的中子吸收劑須滿足下述的要求：

- 有效^{10}B面積密度需大於0.02 g/cm^2。
- 內含的碳化硼(Boron Carbide)需均勻的分布。
- 降服強度需大於或等於本附錄1.1.6.4節所述的要求。
- 有效熱傳導性須大於或等於本附錄1.1.6.4節所述的要求。

在計算有效^{10}B面積密度時，Boral的有效^{10}B面密度為實際量測值的75％，而其他可使用的中子吸收劑(MMC與borated aluminum alloy)則為實際量測值的90％。中子吸收劑^{10}B的面積密度與分布均勻性皆須被檢測。中子吸收劑在燃料方管中的安裝位置與安裝方式皆於設計圖中指明，可確保在使用期間內中子吸收劑無脫落或位移的可能性。

1.1.6.2 術語說明

中子吸收劑相關術語說明如下：

- 接受(acceptance)：測試辨別所生產的某批中子吸收劑能否滿足相關材質或性能要求，以確定該批中子吸收劑能否接受使用。
- 面積密度(areal density)：在平行的板面上，此面積密度為該中子吸收劑的密度乘以該劑的厚度。
- 設計者(designer)：該乾式貯存系統的設計或執照所有單位，該單位通常以直接或間接方式提供該中子吸收劑。
- 批(lot)：在抽樣的情況下，某一數量可視為有或代表相同性質

的產品。

- 中子吸收(neutron absorber)：一核種具有大的超熱或/及熱中子吸收截面。
- 中子吸收劑(neutron absorber material)：一種合成物、合金、複合物或其他材料具有中子吸收能力的產品物料。
- 中子衰減測試(neutron attenuation test)：一中子照射程序經標準校正後，可用以計算或求得中子吸收劑的面積密度。
- 中子截面(neutron cross-section)：一指標用以描述一中子與原子核發生反應的機率，其為中子能量與作用原子核的函數。
- 包裝原件(packaging)：在運送具輻射的物料時，用以完全封閉該輻射內容物的原件。
- 檢定(qualification)：一程序用以判定經某一製程加工或/及生產的產品是否滿足相關規範或規格要求。

1.1.6.3 檢查

製造完成後，每片中子吸收劑須做目視與尺寸檢查，以確保該中子吸收劑尺寸符合設計圖面要求且無不可接受的損傷或外觀上的缺陷。所有的檢查與測試須依核准的程序書並由合格人員執行，檢查與測試結果須有書面紀錄。

1.1.6.4 規格

有三種中子吸收劑可供本系統使用，其分別是Boral、MMC與borated aluminum alloy。中子吸收劑不屬結構的一部份，除維持其位置與形狀外，並無其他結構或機械強度上的額外要求。

所使用的中子吸收劑除須滿足面積密度與均勻性的要求外，另須證明符合下述要求：

- 在使用期間內，該中子吸收劑不會因壓力、溫度、輻射、或侵蝕環境而產生不可接受的損傷或劣化。
- 在所有的使用溫度條件下，該中子吸收劑中所含的鋁與碳化硼不會相

互作用。

- 該中子吸收劑的機械性質不會因快中子的影響而有顯著的改變。
- 該中子吸收劑的完整性不會因沈浸在燃料池中執行燃料裝載所導致的侵蝕而受影響。

中子吸收劑的採購與檢定須符合10 CFR 72, Subpart G的要求。

1.1.6.4.1 Boral

Boral具有一三明治型結構，其有效面密度為實際量測值的75%。製造後應採目視檢查以確認該Boral無中間層缺陷、外來物質、裂痕或銳利的毛邊，如發生上述事項，該Boral即判定為不合格。不合格的Boral須與其他Boral分隔，並依相關的品質方案評估該Boral為依現況使用（Use-As-Is）、.重做/修理（Rework/Repair）或退回（Reject）。些許的表面刮痕或因製造過程中留下的痕跡是可接受的，但如該刮痕深及中間層，則為不可接受。

1.1.6.4.2 MMC

Borated metal matrix composites (MMC)係細緻的碳化硼粉末均勻地分布(嵌入)在由冶金方式(非用壓合或燒結方式)所形成的鋁或鋁合金之基材中，故於其結構中幾乎不存在孔隙。在MMC的結構組成中，由於該碳化硼粉末相當細緻 (平均尺寸約為10-40 micrometer)，故在製作上可達成均勻分布。

MMC其有效面密度為實際量測值的90%。製造後應採目視檢查以確認該MMC無氣泡、孔洞或大範圍的粗糙面，如發生上述事項，該MMC即判定為不合格。不合格的MMC須與其他MMC分隔，並依相關的品質方案評估該MMC為依現況使用、重工/修理或退回。些許的表面刮痕或因製造過程中留下的痕跡是可接受的。

1.1.6.4.3 Borated Aluminum

Borated aluminum其有效面密度為實際量測值的90%。製造後應採目視檢查以確認該borated aluminum無氣泡、孔洞或大範圍的粗糙面，如發生上述事項，該borated aluminum即判定為不合格。不合格的borated aluminum須

與其他borated aluminum分隔，並依核可的品質方案評估該borated aluminum為依現況使用、重工/修理或退回。些許的表面刮痕或因製造過程中留下的痕跡是可接受的。

1.1.6.4.4 中子吸收劑的熱傳導性與降服強度測試

中子吸收劑的熱傳導性測試須依循ASTM E1225 [15]、ASTM E1461 [16]或其他等效的法規執行，該測試須使用產線所生產的產品試片。測試時應注意中子吸收劑的熱傳導性會隨著溫度的升高而略有增加。

中子吸收劑的於100ºF時有效熱傳導係數需不小於1.51（徑向）與3.30（軸向）BTU/(hr-in-ºF)；於500ºF時有效熱傳導係數需不小於1.98（徑向）與3.67（軸向）BTU/(hr-in-ºF)。

熱傳導性的測試抽樣至少需為每批一次，當前五次的抽樣結果皆滿足規格要求後，可適當的減少該抽樣頻率。如某批抽樣結果不滿足規格要求時，可進行額外的抽樣，如平均的抽樣測試結果仍不滿足規格要求，則該批中子吸收劑則不可接受。

當某單一類型（組成）的中子吸收劑完成25次的測試後，如其熱傳導性的測試結果平均值減去該測試的2個標準差後仍優於規格要求，則該抽樣可以停止。如該中子吸收劑比已免除測試的中子吸收劑使用較高熱傳導係數的基材（鋁或其合金）或具有較低的硼含量，可不需該抽樣測試。

中子吸收劑的降服強度在371ºC(700ºF）須大於或等於$1.10x10^7$ N/m^2 (1.6ksi)，其降服強度測試須依循ASTM B557/B557M、E8或E21 [17,15,19]。

上述測試的接受標準，係皆依據該中子吸收劑的公稱厚度。如中子吸收劑中的硼含量有被管制/限制，則該中子吸收劑的可以被接收而不需額外的降服強度測試。

在熱傳導性與降服強度測試中，如該生產商為合格供應商且其品質控制測試結果滿足認可的標準並顯現在參考文件中，則已接受的產品組成或產品則不需另行測試。

1.1.6.4.5 Borated Aluminum Alloy and MMC的中子衰減法測試

中子衰減法用以量測某一中子吸收劑之試片的中子吸收初始效能

(neutron absorber efficacy)，本測試須在測試前須使用^{10}B同位素或其他異質元素所構成的標準件校正，並包含一統計抽樣法則，以確保該批中子吸收劑或其試片的中子吸收初始效能與均勻性皆符合設計規格要求。利用中子吸收初始效能可推算出該中子吸收劑或其試片所等效的^{10}B面積密度。此外，當使用異質元素所構成的標準件前，須將該表標準件校正至某一已知的標準（如NIST所提供的標準或如ZRB_2同位素平板材料）或對照至某一已知^{10}B含量的截面、在某一能量的熱中子束的衰減結果

當使用中子衰減法量測某一中子吸收劑的中子吸收初始效能時，其校直的熱中子束最大直徑為2.54cm，其誤差裕度為10％。

抽樣計畫須要求測試每批中子吸收劑的最初50片，此後每50片隨機抽10片測試直到原料或製程有所改變為止。如果當5取1的抽樣中有任何的結果不滿足規格時，該片及該批未測試的中子吸收劑皆判定為不合格。之後生產的50片中子吸收劑需100％全檢。測試試片須特別的標示與紀錄，相關的測試結果須放入品質記錄文件中。抽樣所得的試片須具有代表性，且不可有無法或不易量測的缺陷。

最小^{10}B面積密度的判定至少須滿足95/95法則。下述例舉一種可行的方法：

- 各中子吸收劑的接受標準可透過一測試結果統計分析的方式來獲得。^{10}B的空間密度可藉由中子衰減法所獲得的最小面積密度除以該量測位置的厚度或該試片的最大厚度來求得，而最小可接受空間密度則為：將所獲得的空間密度平均值減去K倍的標準差（K為滿足95/95要求單側常態分布裕度極限因子）。
- 在各片中子吸收劑的最小可接受厚度部分，其定義為最小^{10}B面積密度除以該中子衰減法所測得最小體積密度
- 檢測時發現中子吸收劑厚度小於該值或小於最小設計厚度則視為不合格。但如為局部壓痕且其總面積小於該中子吸收劑表面積的0.5％且厚度大於90％最小設計厚度，該局部壓痕是可被接受的。

所有中子吸收劑接受判別須依相關的品質方案進行；生產廠商須依相

關的品質計畫進行生產；設計者須審查相關的生產文件，以確認該中子吸收劑是否符合相關要求。

不合格的產品須依相關品質方案評估該中子吸收劑為依現況使用、.重做/修理或退回。僅有完全符合執照中所有要求的中子吸收劑才可被接受。

1.1.6.4.6 MMC and Borated Aluminum的檢定測試

檢定測試用以展示中子吸收劑及其製造工序在臨界設計基準上的可接受性與耐用性，在設計基準上的使用壽命考量包括了裝載、運送、正常貯存與其他異常及意外貯存情況。如一中子吸收劑先前已被檢定通過，並有相關資料可供證明,在相同或類似材料與相同或類似的設計及使用條件下，該中子吸收劑不需再次檢定。

- 檢定測試的範圍包含了：
  - ♦ 先前未檢定的規格部分。
  - ♦ 雖先前檢定通過，但製造者不同。
  - ♦ 雖先前檢定通過,但核心製程有所改變。檢定用的核心製程條件應與正式量產時相同。
- 檢定測試需能描述或證明不同批產品(至少2批)間的一致性。
- 檢定測試須包含使用/設計環境的影響，該檢定可透過直接的測試或透過相同或類似的材料的資料來判定。該檢定測試可包含下述項目：
  - ♦ 短時間浸水。
  - ♦ 化學、溫度、壓力、加馬與中子輻射環境。
- 環境影響的檢定測試結果須加以紀錄，用以表示該中子吸收劑在上述的使用/設計環境下不會發生損壞或顯著的性能變化，以確保其耐用性。
- 熱傳與降服強度檢定測試如本附錄1.1.6.4.4所述。
- 碳化硼分布的均勻性須使用中子衰減法判定，其測試樣本須由試生產的產品中抽樣取出（至少包含該試生產的最初、中間及最後產品），且該抽樣計畫需滿足95/95法則。如用其他方法判定均勻性，於使用前須確定該法的有效性。

- 中子衰減法的樣本測試結果的標準差需小於10％的樣本結果平均值。
- 中子吸收劑檢定合格報告需以書面方式表現。
- 核心製程須以完整材料規格與製程描述管制，該管制方式須經該生產廠商與委託者（購買者）同意。
- 核心製程的重大改變需依據該生產廠商與執照所有單位/購買者所同意的程序進行，以確保經改變後的產品性能仍滿足規格的要求。因此改變而受影響的檢定項目須再檢定，基本上，再檢定項目或可包含如下：
    - 機械性質，如熱傳導性、多孔性、材料強度、合金結構、碳化硼含量(當經改變後的碳化硼含量高於原先檢定的含量時）。
    - 均勻度，如當碳化硼與鋁粉（液）的攪拌程序或碳化硼沉積程序改變時。
- 次要的製程改變如不降低該中子吸收劑的有效性（如碳化硼分布的均勻性），如滾軋機硬體或中子吸收劑成品剪裁方式等，則該改變經（工程）審查核可後，可不另行再檢定測試。
- 不合格的產品須依核可品質方案評估該中子吸收劑為依現況使用、.重工/修理或退回。僅有完全符合執照中所有要求的中子吸收劑才可被接受。

1.1.6.4.7 其他材料規格要求

MMC用的碳化硼粉末顆粒平均尺寸需落於10-40微米(micrometer)間，且不超過10％的粉末顆粒大於60微米，曝露於表面或邊緣的連接孔隙須不顯著且可忽略之。

在無檢定測試資料證明在浸水與隨後的的真空乾燥作業後，該中子吸收劑表面不會有浮泡產生，MMC與borated aluminum的表面孔隙不可大於其表面積的0.5％。

碳化硼粉末的化學組成須符合ASTM C 750-03, Type 3的規範，但因實際應用的需要，可有其他額外的要求，並可列入核心製程管制項目中。

1.1.6.4.8 Boral的測試

Boral為一三明治結構，上、下兩層(表面層)為鋁或其合金所構成，而中間層為混合後的鋁粉與碳化硼粉末燒結(壓合)所形成。每片Boral成品須經濕化學法(wet chemistry test)與目視及尺寸檢測，以確保品質符合設計要求，而相關測試的結果須放入品質記錄文件中，並成為提籃與燃料方管品質成套文件的一部份。

每批Boral成品的^{10}B面積密度可藉由濕化學法測試該成品或其試片而獲得，而該濕化學法測試的抽樣計畫須至少滿足95/95法則。除了對^{10}B面積密度進行測試外，每一片的Boral成品須做目視與尺寸檢查；在尺寸檢查中，每片Boral至少須6個量測點(值)。Boral的抽樣計畫、濕化學法測試與目視及尺寸檢查程序須依循已被核可的程序書進行。

Boral的抽樣計畫須要求測試每批中子吸收劑的最初100片，此後每100片隨機抽20片測試直到原料或製程有所改變為止。當上述情況發生時，應測試改變後該批中子吸收劑的最初100片，此後每100片隨機抽20片測試。測試試片須特別的標示與紀錄，相關的測試結果須放入品質記錄文件中。

濕化學法須由認可(核可)的實驗(檢測)室(含製造廠商的實驗(檢測)室)執行，相關的檢測人員須經已核可的程序書進行訓練與檢定。濕化學法測試，係將某一規格尺寸的中子吸收劑試片放入強酸中，使該中子吸收劑的成分鋁或其合金溶解在該強酸中，之後將碳化硼材料濾出及烘乾，並比較其與原始中子吸收劑試片的質量，即可推算出該中子吸收劑的^{10}B面積密度。

中子吸收劑的降服強度測試須依循ASTM B557/B557M、E8或E21 [17,15,19]，但對Boral這種板層型結構的中子吸收劑，此降服強度測試僅需對其表面層進行測試。換句話說，對Boral而言，僅其表面層的降服強度大於規格要求即可。

1.1.7 熱移除測試

本系統在建製造後不需做熱移除測試，本系統於運轉中的熱移除能力可藉由遠端監測的溫度量測設備來確認。

本系統於運轉中的熱移除能力係主要藉由空氣的對流來達成。此對流係由貯存於密封鋼筒的用過核燃料的衰變熱來驅動，使混凝土護箱中的空

氣因受熱向混凝土上方的排氣孔排出，而外界的冷空氣則由混凝土護箱下方的進氣孔進入，而產生對流循環，而將熱量排出。由於此冷卻方式為被動式，故不需做熱移除測試，但仍須有效的確保進氣與排氣孔的暢通，無異物堵塞。

1.1.8 護箱標示

每一密封鋼筒與混凝土護箱需標示型號與辨識號碼，每一混凝土護箱另需標示空重與裝載日期。此些標示方式已在設計圖中說明。

1.2 維護計畫

一般型的維護計畫須提供給系統使用者，並定義在操作手冊中。維護計畫需包含相關檢查、測試、與組件更換的方法與步驟，以確保運轉與操作的安全及有效性。系統使用者須自行制定特定場址的維護計畫與相關文件。

在貯存中階段，本系統不需外接其他主動(active)系統來確保其安全性能。定期的維護要求與時程如本附錄表1-2.1所示，其中該表1-2.1的要求包含了混凝土表面檢查與修理及可觸及的碳鋼表面防腐蝕塗料之再塗敷。

維護活動須依循使用者核可的品質計畫執行，相關活動須依品質計畫的規定管制與記錄。

1.2.1 結構與壓力測試

密封鋼筒於製造後不需執行維護性質的結構與壓力測試，而傳送護箱須依ANSI N14.6 [11]的規定執行定期性的檢查、維護與年度測試。在每次使用前，傳送護箱的吊耳軸與屏蔽門元件須檢查其是否有損傷、潤滑是否足夠及功能作用是否正常。使用者所建立的維護時程表中，傳送護箱的防腐蝕塗料須被再檢查，並依塗料供應商的建議方式進行修復（如需要）。於使用中發生的塗膜小刮傷或損壞，可用核能級且相容於燃料池池水的油脂做暫時性修理。

1.2.2 洩漏測試

密封鋼筒不須執行維護性的洩漏測試。

1.2.3 次系統維護

由於本系統不含任何主動的次系統，故不須執行次系統維護。

使用者須依循其品保計畫，對運轉安全相關的附屬系統，進行維護與校正。

1.2.4 屏蔽測試

密封鋼筒、傳送護箱與混凝土護箱所使用的屏蔽材料在長時間正常的運轉條件下，僅產生可忽略的衰化。混凝土護箱表面剝落等缺陷，須於年度目視維護檢查時確認,當缺陷尺寸大於2.54cm(1 in)深或6.45cm^2(1 in^2)時，須依沙漿製造廠商的建議方式，用沙漿進行修補。在可觸及的碳鋼表面須於年度目視維護檢查時確認，其防腐蝕塗料的完整性，如有損傷發生，須依塗料生產廠商的建議方式進行再塗敷修補。

表1.2-1 本系統維護時程規劃

項目	頻率
混凝土護箱表面及可觸及的碳鋼表面防腐蝕塗料目視檢查與修理	於貯存階段，每年執行
混凝土護箱標示的目視檢查	每年
傳送護箱的負載和/或目視與尺寸檢查	運轉使用中，每年執行及再使用前
傳送護箱除滑動表面外的曝露碳鋼表面塗料的目視檢查與修理	運轉使用中，每年執行及再使用前
傳送護箱曝露碳鋼表面塗料的目視檢查與暫時性修理	每季
傳送護箱滑動部分的潤滑性檢查	每次使用
傳送護箱膨脹式O型環的操作性檢查	每次使用

1.3 參考文獻

[1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part A & Part B, "Materials," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Subsection NB, "Class 1 Components," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Subsection NG, "Core Support Structures," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[4] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Subsection NF, "Supports," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[5] ANSI/AWS Dl.1, "Structural Welding Code - Steel," American National Standards

Institute, Inc., Washington, DC, 1998.

[6] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Part UW, "Pressure Vessels Fabricated by Welding," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[7] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[8] ACI 318 and (ACI 318R), "Building Code Requirements for Structural Concrete," and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008.

[9] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, "Nondestructive Examination," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2001 Edition with 2003 Addenda.

[10] Recommended Practice SNT-TC-1A, "Nondestructive Testing", American Society for Nondestructive Testing, Columbus, OH, edition as invoked by the applicable ASME Code.

[11] ANSI N14.6- 1993, "American National Standard for Radioactive Materials - Special Lifting Devices for Shipping Containers Weighing 10,000 Pounds (4,500 kg) or More," American National Standards Institute, Inc., Washington, DC, June 1993.

[12] NUREG-0612, "Control of Heavy Loads at Nuclear Power Plants," US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, July 1980.

[13] TR-017218-R1, EPRI Guideline for Sampling in the Commercial Grade Item Acceptance Process, Final Report, January 1999.

[14] ISG-15, "Materials Evaluation," US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, Revision 0, January 10,2001.

[15] ASTM Standard E1225[a], "Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique."

[16] ASTM Standard El46l[a], "Test Method for Thermal Diffusivity of Solids by the Flash Method."

[17] ASTM Standard B 557/B 557M[a], "Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Alloy Products."

[18] ASTM Standard E8[a], "Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials."

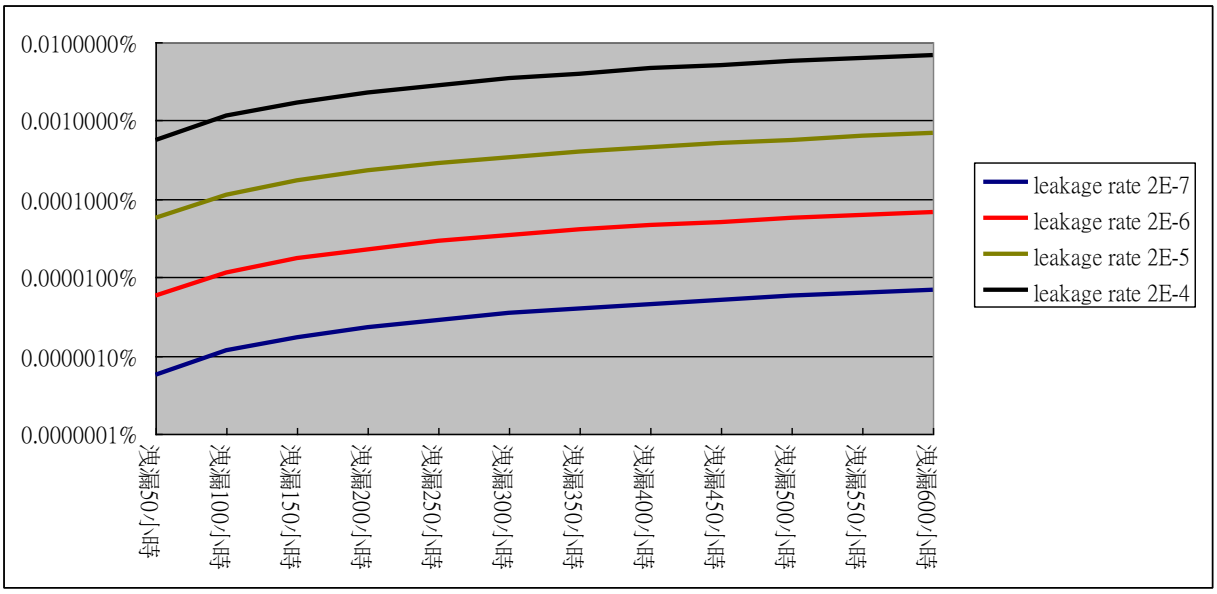
[19] ASTM Standard E21[a], "Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials ."

[20] ANSI N 14.5- 1997. "American National Standard for Radioactive Materials - Leakage Tests on Packages for Shipment," American National Standards Institute, Washington, DC, 1997.

[21] ISG-18, "The Design / Qualification of Final Closure Welds on Austenitic Stainless Steel Canisters as Confinement Boundary for Spent Fuel Storage and Containment Boundary for Spent Fuel Transportation," US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, May 2003.

附錄 5.B 密封鋼筒內層封口蓋銲道品質氦氣洩漏測試檢查補充說明

密封鋼筒經封銲需通過各種測試與檢查，才會進入貯存階段。在諸多檢查中，排水與排氣接頭內層封口蓋銲道品質的檢查為氦氣洩漏測試，而氦氣洩漏測試標準為2×10^{-7} cm^3/sec，當洩漏率在2×10^{-7} cm^3/sec以下時判定為合格，超過此標準則須依據LCO3.1.2之規定於25日內完成整修並使洩漏率符合標準。

以下蓋估乃假設發現洩漏，在修補銲道的25天時間之內，密封鋼筒內氦氣洩漏量佔整體氦氣體積百分比。假設氦氣在銲道分別以四種不同洩漏速率洩漏，以2×10^{-7} cm^3/sec、2×10^{-6} cm^3/sec、2×10^{-5} cm^3/sec、2×10^{-4} cm^3/sec等固定速率洩漏氦氣25天(600小時)。保守不計洩漏過程中筒內壓力變化，也不計算筒內外壓差，直接以洩漏率乘以洩漏時間，概略估算持續洩漏600小時後，密封鋼筒氦氣喪失體積百分比。四種速率下分別為:0.0000069%、0.000069%、0.00069%、0.0069%，遠小於40%，故系統為為安全狀態。

將上述四種洩漏率於600小時當中，密封鋼筒內氦氣喪失體積百分比隨時間變化繪製圖形如下圖所示。圖中縱軸為氦氣喪失百分比，橫軸為時間。為將各洩漏率下喪失百分比能夠清楚表示，縱軸數值以對數方式呈現：