

核一廠用過核子燃料乾式貯存設施

熱測試作業第二組護箱

專案檢查報告



核能安全委員會
中華民國一一三年十二月

[本頁空白]

目次

一、檢查目的	3
二、檢查依據	3
三、檢查計畫	4
四、檢查發現	5
五、檢查結果	11

[本頁空白]

一、檢查目的

核安會於102年9月同意台電公司執行核一廠室外乾式貯存設施熱測試作業，台電公司113年10月15日取得新北市政府核發核一廠室外乾式貯存設施水土保持完工證明書後，於10月23日開始執行熱測試作業。核安會為確保公眾安全，已建立檢查計畫並組成檢查團隊，於熱測試作業期間嚴格執行查核，監督台電公司落實用過核子燃料運貯作業安全。

核安會為確保未來核一廠室外乾貯設施熱測試作業與乾式貯存設施之營運安全，核安會於113年5月份執行維護保養專案檢查，查核台電公司維持乾貯設施貯存護箱、運貯機具設備、設施安全監測設備之功能性，並要求落實自主品質管理。核安會於113年7月及8月間組成稽查團隊執行熱測試前再演訓作業專案檢查，嚴格要求台電公司依據試運轉計畫程序書執行再演訓作業，強化人員操作熟練度及設備功能驗證。

台電公司依據核安會核定之「核一廠用過核子燃料乾式貯存設施試運轉計畫」執行核一廠室外乾式貯存設施熱測試作業，規劃裝載兩組護箱，總計112束用過核子燃料，自核一廠一號機燃料池移往乾式貯存設施貯存。熱測試作業主要目的為在最長的容許作業時間、最低的輻射污染與人員劑量情況下，累積操作經驗。第一組護箱的運貯作業時間自113年10月23日至11月13日，實際作業時間為22日，第二組護箱的運貯作業時間自113年11月25日至12月18日，實際作業時間為24日，核安會於作業期間每日派員檢查，監督台電公司依據試運轉計畫作業程序書確實執行用過核子燃料運貯作業，落實工安、輻安及核子保防等管制要求，確認作業安全。

二、檢查依據

- (一) 放射性物料管理法及其施行細則
- (二) 放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則
- (三) 核安會核一廠乾式貯存設施熱測試作業檢查查核表(IG-2)

- (四) 放射性物料管理檢查作業程序
- (五) 核電廠用過核子燃料乾式貯存設施興建專案品質保證計畫(第 1 版)
- (六) 核一廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告審查結論
- (七) 核一廠用過核子燃料乾式貯存設施試運轉計畫
- (八) 核一廠用過核子燃料乾式貯存設施整體功能驗證結果報告
- (九) 核一廠特殊程序書 SP-100-10「核一廠用過燃料乾式貯存設施採購帶安裝試運轉作業程序書」
 - 1. 附件一/現場作業組織架構與行政作業管制程序書
 - 2. 附件二/密封鋼筒上蓋銲道非破壞檢測程序書
 - 3. 附件三/密封鋼筒上蓋銲道洩漏測試程序書
 - 4. 附件四/密封鋼筒前置作業程序書
 - 5. 附件五/混凝土護箱前置及運送作業程序書
 - 6. 附件六/傳送護箱前置作業程序書
 - 7. 附件七/密封鋼筒上蓋銲接操作程序書
 - 8. 附件八/反應器廠房內操作程序書
 - 9. 附件九/貯存場運貯作業程序書
 - 10. 附件十/異常作業程序書
 - 11. 附件十一/再取出操作作業程序書
 - 12. 附件十二/工安作業程序書
 - 13. 附件十三/輻射防護作業程序書
 - 14. 附件十四/燃料啜吸檢驗作業程序書
 - 15. 附件十五/非大修期間燃料池內燃料挪移作業程序書
 - 16. 附件十六/作業人員輻射曝露合理抑低計畫

三、檢查計畫

(一) 檢查重點：

- 1. 作業現場工安、輻安管制要求及人員資格檢定。

2. 密封鋼筒燃料方管阻力測試。
3. 貯存護箱吊運作業。
4. 燃料束裝填。
5. 貯存護箱排水、真空乾燥、銲接、非破壞檢測作業。
6. 貯存護箱廠內運送及安裝作業。
7. 作業期間自主品質管制成效。

(二) 檢查團隊成員：

核安會同仁及一位學者專家。

四、檢查發現

(一) 作業現場工安、輻安管制要求及人員資格查證

1. 依據設施安全分析報告要求，台電公司應依據「安裝/吊運階段之人員訓練計畫」、「貯存階段之人員訓練計畫」實施人員訓練，另用過核子燃料運貯作業涉及起重機操作、堆高機操作、銲接、非破壞檢測、輻射防護、工安等專業領域。因此，核安會要求台電公司於作業前提報「乾式貯存作業人員資格名冊」，以確認各作業人員之訓練紀錄及專業證照，並要求於作業現場備妥相關文件以利檢查人員查證。核安會於每日檢查作業中，就現場作業人員與前述資格名冊進行比對，檢查結果確認均符合要求。
2. 經查作業過程中，於執行高架、高處作業前，現場負責人召集作業人員召開工具箱會議，宣導特定潛在危害作業告知。另執行吊運作業前，確實執行相關吊運設備檢查，以確保人員作業安全，符合工安作業要求。

(二) 密封鋼筒組合測試及燃料方管阻力測試

1. 密封鋼筒組件組合測試係確認密封鋼筒屏蔽上蓋與結構上蓋試組裝結果，依據「密封鋼筒前置作業程序書」要求，結構上蓋頂部

超出鋼筒外殼頂部邊緣不得超出4.6 mm，經查閱品質文件紀錄，組裝量測結果為 3.5 mm，符合管制限值。

2. 密封鋼筒方管阻力測試係測試密封鋼筒燃料方管抽插阻力，驗證方管之垂直度、尺寸精度等，以確保後續可順利進行燃料裝填作業。經查閱品質文件紀錄，作業人員以編號第六只密封鋼筒(TSC-06)進行燃料方管阻力測試，全部56個孔位，測試結果阻力值均符合程序書之接收標準(± 22.7 kg)。

(三) 傳送護箱與密封鋼筒下水作業

1. 查核密封鋼筒下水前準備作業，作業人員依「反應器廠房內操作程序書」執行下水前相關前置準備與通報作業，並依程序書規定進行傳送護箱、吊具吊索使用前檢查、吊掛作業每日作業前檢點，並於作業前確認水下攝影機運作正常。
2. 傳送護箱下水前，作業人員確實依「反應器廠房內操作程序書」步驟「傳送護箱吊起至距離地面約30公分，再緩緩下降至距地面約15公分，暫時停止」進行操作，確認反應器廠房主吊車剎車功能正常，當日作業起重機操作人員黃○忠、吊掛作業指揮手詹○哲，資格符合規定。
3. 現場查核密封鋼筒下水作業，下水過程中人員確實依「反應器廠房內操作程序書」步驟於下水前開啟環狀間隙注水系統，以降低密封鋼筒污染情形，並以除礦水淋濕傳送護箱外表，再緩慢降下傳送護箱。

(四) 燃料束裝填

1. 現場查核燃料吊運作業，依「非大修期間燃料池內燃料挪移作業程序書」於熱測試期間規定配置一名高級運轉員負責指揮，一名運轉員進行操作，經現場查核燃料吊運人員劉○陽(高級運轉員)、林○強，符合人員資格。

2. 依據運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.1.7)用過核子燃料池水溫應不大於41℃，經現場查核燃料吊運作業期間燃料池水溫度為29.7℃，符合規定。
3. 燃料完成裝填後，依「反應器廠房內操作程序書」規定，應以水下攝影機檢查裝載之燃料編號並錄影存證，經現場查核水下攝影系統功能正常，作業人員並於完成裝填後以水下攝影機確認燃料編號之正確性及留存錄影檔。
4. 作業現場配置輻防人員，依「輻射防護作業程序書」規定，於當值進行內層隔離墊偵測、連續空氣檢測、及各監測儀器巡視等工作，經查閱紀錄，作業人員確實依規定進行輻射偵檢，偵檢結果無異常情形。

(五) 密封鋼筒與傳送護箱出水作業

1. 依「反應器廠房內操作程序書」規定，密封鋼筒頂部高於燃料池水面時，應暫停吊升並記錄日期與時間，另輻防人員應進行表面輻射強度偵檢，經查閱紀錄作業人員確實執行輻射偵檢，出水表面劑量最大為0.05 mSv/h不大於2.5 mSv/h，符合要求。
2. 依「輻射防護作業程序書」規定，傳送護箱出水定位後應執行傳送護箱、密封鋼筒屏蔽上蓋等除污作業，經查傳送護箱污染偵測紀錄，傳送護箱頂部與側面污染值均小於限值。

(六) 密封鋼筒屏蔽上蓋、孔蓋及結構上蓋銲接及品質文件查核

1. 依「輻射防護作業程序書」規定，自動銲接機安裝前，應執行屏蔽上蓋與密封鋼筒圓周上緣外側污染偵測與表面劑量率量測，經查閱銲機安裝前偵檢紀錄，污染值與表面劑量率符合限值。
2. 依「密封鋼筒上蓋銲接操作程序書」規定，密封鋼筒於銲接作業前應進行結構上蓋預組裝，量測並記錄結構上蓋頂至密封鋼筒開口距離，另於屏蔽上蓋封銲完成後、結構上蓋封銲完成前、後進

行結構上蓋頂面至密封鋼筒開口距離量測，以確保結構上蓋頂部與密封鋼筒開口距離符合接受標準。經查閱品質文件紀錄確認作業人員確實依據程序書執行作業。

3. 依「反應器廠房內操作程序書」規定，銲接作業過程氬氣濃度應小於2.4%，以確保銲接作業安全，經查閱品質文件紀錄，銲接作業前作業人員確認現場氬氣濃度符合限值，符合程序書管制要求。
4. 查核屏蔽上蓋表面銲道非破壞檢測報告，銲道非破壞檢測結果合格。目視檢測與液滲檢測為由具檢測資格之非破壞檢測師執行(王○福，具VT與PT Level II資格)，報告核准者陳○宗(具VT與PT Level II資格)，符合要求。
5. 屏蔽上蓋完成銲接後，依「反應器廠房內操作程序書」規定應進行銲道壓力測試才可進行排水作業，經查品質文件紀錄，作業人員確實依程序書以20.3 psig壓力，持壓10分鐘進行測試，結果符合接受標準，惟壓力測試前管線洩漏測試步驟作業時間較第一組護箱有增加的情形，由於密封鋼筒壓力測試為運轉限制條件 LCO3.1.1 90小時內作業，為提升後續作業安全，本會開立檢查發現管制事項，要求台電公司就本次事件進行經驗回饋並提出精進措施。
6. 查核結構上蓋銲接作業情形，作業人員確實依據「密封鋼筒上蓋銲接操作程序書」規定，於銲道管制作業紀錄表依序記錄結構上蓋點銲、底部銲道、及表面銲道作業情形，符合品保管制要求。

(七) 密封鋼筒真空乾燥與氬氣充填作業

1. 依據運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.1.1)，傳送護箱吊出水面至開始執行密封鋼筒排水之作業時間不可超過90小時，經查品質文件紀錄，傳送護箱於吊出水面至開始進行密封鋼筒排水，作

業時間歷時61小時30分，符合接受標準。

2. 依據程序書之運轉限制條件(LCO 3.1.2)，執行真空乾操作業時，應將密封鋼筒抽真空至壓力小於10 torr (mm Hg)，並維持至少10分鐘，確認壓力不會回升至高於10 torr。經查品質文件紀錄，作業人員將密封鋼筒抽真空至壓力至約6.7 torr 後，關閉真空幫浦並維持10分鐘，再次確認密封鋼筒壓力仍小於10 torr，符合LCO 3.1.2要求。
3. 依據運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.1.3)，密封鋼筒氬氣回填壓力應為0 psig，經查閱紀錄符合要求。本次作業自開始執行密封鋼筒排水至完成真空乾燥測試及氬氣回填之作業時間歷時49小時，符合運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.1.1)不可超過600小時之接受標準。
4. 查核氬氣測漏作業，依據運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.1.5)，密封鋼筒屏蔽上蓋與密封鋼筒殼體銲道氬氣洩漏率不得高於 2×10^{-7} cc/s，經查品質文件紀錄，檢測結果符合接受標準，另檢測人員(張○誠)與審查人員(陳○燦)具中級洩漏檢測人員資格，符合程序書要求。

(八) 傳送護箱吊裝與密封鋼筒傳送

1. 為確保密封鋼筒傳送作業安全，作業人員於執行吊運作業前，確實執行相關吊掛設備，包含主吊車、吊索、吊環等，均於當日作業前完成使用前檢查，另查核傳送作業當天天車操作人員黃○忠與吊掛作業指揮手林○喜，均為合格人員名冊上人員，資格符合規定。
2. 依據運轉技術規範之運轉限制條件(LCO 3.2.1)密封鋼筒外表面之非固著污染應不超過180 Bq/100 cm² (貝他及加馬射源)、1 Bq/100cm² (阿伐射源)，經查品質文件，傳送作業前依程序書規定

完成密封鋼筒表面污染偵測，偵測結果均小於最低可測值，符合限值。

3. 現場查核密封鋼筒傳送作業，現場作業人員確實依「反應器廠房內操作程序書」，於傳送作業前在反應器廠房2樓作業區域設置防震裝置以防範作業過程中遇到地震，密封鋼筒傳送過程中確實將傳送護箱座落於混凝土護箱上，並使用可遙控脫鉤吊具吊起密封鋼筒，開啟屏蔽門後降下密封鋼筒至座落完成，符合程序書要求。

(九) 混凝土護箱(VCC)運送與定位作業

1. 依「混凝土護箱前置及運送作業程序書」規定，裝載有密封鋼筒的混凝土護箱執行運送作業前，應執行污染擦拭檢測及表面劑量率量測，經查閱品質文件紀錄，混凝土護箱污染擦拭檢測結果均小於最低可測值，護箱之平均表面劑量率0.033 mSv/h，符合運轉限制條件LCO3.2.2之規定。
2. 依「輻射防護作業程序書」規定，混凝土護箱運離輻射管制區前須偵測運送車輛外表面及2公尺處、操作人員處之輻射強度與表面污染程度，查閱品質文件紀錄，確認偵測結果符合限值。
3. 現場查核混凝土護箱運送作業，運送作業前依「混凝土護箱前置及運送作業程序書」執行多軸油壓板車及堆高機使用前檢查及運送車輛作業人員酒精測試。運送作業期間，作業人員依規定穿著反光背心，並由保警戒護，將混凝土護箱安全運送至乾式貯存設施。
4. 現場查核混凝土護箱定位作業，作業現場架設圍籬隔離工作區，以禁止非工作人員進入，作業人員使用懸浮氣墊移動混凝土護箱時，確實依「貯存場運貯作業程序書」規定於護箱移動路徑上鋪設不銹鋼板並使用堆高機移動護箱至2號位置。

(十) 外加屏蔽安裝

1. 現場查核外加屏蔽吊裝作業，現場工作區域確實使用警示圍籬隔離禁止非工作人員進入，作業過程依序進行外加屏蔽組件吊運，並依「貯存場運貯作業程序書」要求於置妥後保持螺栓各環方向一致，屏蔽環間安裝混凝土楔塊並於細縫填以水泥，順利完成安裝作業。
2. 完成外加屏蔽吊裝後，輻防人員依「輻射防護作業程序書」執行外加屏蔽劑量率量測以確認符合接收限值，外加屏蔽外側表面與1公尺處輻射劑量率分別為0.052 $\mu\text{Sv/h}$ 與0.033 $\mu\text{Sv/h}$ ，符合程序書管制限值。
3. 依據「貯存場運貯作業程序書」應於四個排氣孔道外側安裝溫度監測模組，並確認模組作動正常，經查核外加屏蔽溫度監測器運作情形，護箱平均出口溫度為20.9°C，平均環境溫度為17.3°C，兩者差異小於36.6°C，符合限值。

(十一) 台電公司自主品質稽查成效

1. 為強化熱測試作業品質，核安會於113年6月核電廠乾式貯存設施管制討論會議決議，要求台電公司核安處於核一廠室外乾貯設施熱測試作業就作業人力包含專業技術與資格檢證以及品質文件執行專案稽查，並將稽查結果提報核安會備查。
2. 查本次作業期間核一廠品質組與核安處安全小組均每日派員執行稽查作業。台電公司也委託貯存護箱原設計廠家技術人員全程參與作業並提供技術支援，強化作業應變量能。

五、檢查結果

- (一) 本次熱測試作業期間，核安會每日派員進行現場檢查，依據擬定之檢查導則與檢查查核表逐項進行查核，要求台電公司依據試運

轉計畫作業程序書執行運貯作業。第二組護箱的運貯作業時間自113年11月25日至12月18日，實際作業時間為24日，檢查結果確認作業符合相關作業程序書。

(二)本次專案檢查作業，核安會就密封鋼筒排水作業前壓力測試過程開立檢查發現管制事項，要求台電公司提出肇因分析與後續精進作為，以確保後續作業安全。

(三)核安會要求台電公司核安處於作業期間，依據稽查計畫執行三級品保自主品質稽查。護箱的運貯作業期間，台電公司委託貯存護箱原設計廠家技術人員全程參與作業並提供技術支援，有助提昇作業品質。

(四)核一廠室外乾貯設施熱測試作業已完成，在核安會嚴格監督下，確認台電公司各項作業皆符合安全分析報告之運轉限制條件及程序書接受標準，落實工安、輻安、核子保防與保安等管制要求。熱測試作業完成後，台電公司應依法提出運轉執照申請，核安會嚴格執行安全審查作業，確認符合放射性物料管理法相關管制規定後才會核發運轉執照。