



原子能委員會
放射性物料管理局
Fuel Cycle & Materials Administration

日新又新 專業創新
核安輻安 民眾心安

美國用過核子燃料乾式貯存設施 異常事件彙整手冊

行政院原子能委員會

放射性物料管理局

中華民國 108 年 06 月

目 錄

Point Beach 電廠乾式貯存氫氣燃燒事件	1
Susquehanna 電廠誤填氫氣事件	2
Palisades 電廠之裝填完成護箱懸掛空中 43 小時事件	3
Palisades 乾貯設施護箱銲道瑕疵	4
Columbia 電廠之用過核子燃料裝填護箱造成氫氣燃燒事件.....	5
Vermont Yankee 電廠之傳送護箱下降未如預期停止事件	6
Farley 電廠裝填完成之密封鋼筒溫度上升事件.....	7
Grand Gulf 電廠置入護箱燃料束挑選錯誤事件.....	8
San Onofre 電廠之鋼筒內部壓力升高造成真空乾燥系統釋壓閥作動 開啟事件	9
Byron 電廠之護箱與密封鋼筒間冷卻系統不預期停止運轉事件	10
North Anna 電廠之護箱受地震作用造成橫移	11
美國 UMS 及 MPC 貯存系統空重之標示內容不符法規規定	12
Perry 燃料廠房起重機未執行維護保養.....	13
Monticello 電廠之鋼筒屏蔽上蓋銲道液滲檢測程序異常事件	14
San Onofre 電廠密封鋼筒吊卸卡住事件.....	15

Point Beach 電廠乾式貯存氫氣燃燒事件

一、 事件說明：

此事件發生 1996 年 5 月 28 日美國 Point Beach 電廠在進行其混凝土護箱(VSC-24) 密封鋼筒屏蔽蓋板封焊時，產生氫氣點燃並造成重 2,898 公斤之屏蔽蓋板有一邊翹起高差 7.6 公分異位。

二、 肇因分析：

經美國核管會(NRC)調查，本事件之氫氣由鋼筒所漆之 Carbon Zinc 11 內的鋅成份與燃料池的硼酸水，起化學氧化作用產生。美國核管會要求乾貯作業電廠應辦理下列事項：(1)注意氫氣可能來源，特別注意硼酸水與乾貯鋼筒材料之可能化學作用對安全之影響；(2)採取適當行動以防止氫氣的產生或累積；(3)檢視運貯程序書，確保無相關安全顧慮。

三、 經驗回饋：

原能會要求台電公司參酌美國核管會之三項要求執行安全評估結果：(1)國內乾貯存設施未使用含鋅物質，且核一、二廠用過核燃料池不含硼酸，因此並不會產生氫氣之現象；(2)全程以氫氣沖流，以帶出其中之空氣或其他氣體，並全程監測氫氣濃度，以防止氫氣的產生或累積；(3)將防止氫氣的產生或累積機制，納入相關操作程序書，不致於發生氫氣燃燒事件。

Susquehanna 電廠誤填氫氣事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2002 年 6 月至 9 月，NRC 檢查 Susquehanna 電廠發現其乾式屏蔽容器 (DSC, Dry Shielded Canister) 氫氣回填時，並未充填純氫氣，而是回填氫氣與氮氣的混和氣體 (He)，與符合證書(CoC No. 1004)要求不合。

二、 肇因分析：

此事件肇因於業者並未於乾式屏蔽容器內充填純氫氣，而是回填氫氣與氮氣的混和氣體。美國核管會認為氫氣熱移除效率比氮氣低 10 倍，且氫氣與氮氣混和氣體回填乾式屏蔽容器情形未經過分析驗證。

三、 經驗回饋：

業者提出的改正行動包括：(1)燃料格架溫度持續監測並維持在允許溫度範圍內，直到 DSC 達到符合證書 (CoC) 要求；(2) 相關人員提供再訓練與更替；(3)氫氣瓶與氮氣瓶提供清楚識別標示；(4)審查與修正程序書；(5)告知相關業界經驗分享；(6)改正行動成效須進一步評估驗證。原能會已要求台電公司訂定相關作業程序書並加強人員訓練，以確保作業安全。

Palisades 電廠之裝填完成護箱懸掛空中 43 小時事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2005 年 10 月 11 日至 13 日，發生原因係捲筒煞車 (drum brake) 設定值太低而使緊急煞車作動，造成吊起的護箱懸在池子上方無法動彈。

二、 肇因分析：

由於電廠未將緊急下降程序(emergency lowering procedure)納入電廠運轉程序書內，以及操作人員未接受過相關的訓練，造成一時之間電廠無法以手動操作方式將護箱下降到安全位置。

三、 經驗回饋：

台電公司核一廠吊車在安裝完成後，已測試過緊急時可利用手動方式將吊掛物下降至安全位置；台電公司並將此一作業程序納入相關操作人員之訓練課程中，緊急下降程序也納入電廠程序書內，並於吊車上適當位置張貼此一程序。

Palisades 乾貯設施護箱銲道瑕疵

一、事件說明：

該事件發生於 1994 年 6 月，美國 Palisades 電廠進行第 4 只密封鋼筒(MSB #4)裝載燃料，同年 8 月該電廠自行發現已完成裝填燃料的 MSB#4(VSC-24)軸向焊道瑕疵。

二、肇因分析：

Palisades 電廠認為銲接後的射線檢測(RT)時，在原始判讀時疏漏了第 52 及 57 位置底片的裂紋狀指示判讀。Palisades 電廠以監測裂紋成長、結構完整性再評估及為期一年的每日護箱表面擦拭確認護箱安全性。Palisades 電廠雖完成燃料卸載程序書並經美國核管會審查，但考量不卸載燃料風險性較低因此並未執行卸載。

美國核管會對本案達成技術立場：(1)確認護箱可維持氣密性、(2)再評估結構可維持貯存期間完整性、(3)確認業者具燃料卸載的程序與裝備。

三、經驗回饋：

原能會要求台電公司乾式貯存護箱密封鋼筒製造銲接的射線照射及其他非破壞檢測，應經過第三者檢驗機構的非破壞檢測第三級人員的雙重確認。原能會並邀集專業人員複查。對於燃料卸載及再取出作業，要求業者應備妥程序書並執行測試。

Columbia 電廠之用過核子燃料裝填護箱

造成氫氣燃燒事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2008 年 04 月 08 日及 16 日，第一次氫氣燃燒事件係因上蓋封鐸完成後，認為排氣與監測設備已經不需要，即將排氣與監測設備予以隔離，因而造成氫氣累積，引起燃燒。第二次氫氣燃燒事件是導因排氣方法的技術問題，在上蓋下方和儀器間氣體交換率過低情形下，操作人員無法發現氫氣累積情形。

二、 肇因分析：

人員於發生第一次氫氣燃燒事件後沒有適當地評估排放與監控設備的配置(configuration)狀態，認為只要完成第一次的焊接程序，氫氣燃燒的風險就不復存在。此外，有關如何排氣之訓練教材並沒有說明，僅在訓練課時利用口語傳達。

三、 經驗回饋：

依據台電公司核一廠用過核子燃料乾式貯存案密封鋼筒上蓋封鐸操作程序書之規定，全程以氫氣沖流密封鋼筒，並全程進行氫氣濃度（濃度標準為 2.4%）偵測作業，避免發生氫氣燃燒事件。

Vermont Yankee 電廠之傳送護箱下降

未如預期停止事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2008 年 05 月 12 日，當吊車操作員在將傳送護箱下降過程時，原本要在距離樓板上約 4 英吋高時停止下降，但是下降動作卻未如預期地停止，而是繼續以正常速度降到樓板。

二、 肇因分析：

電廠事後執行故障排除時，發現造成此問題的原因，係用來啟動吊車煞車功能的繼電器(relay)未經正確地校正。

三、 經驗回饋：

台電公司核一廠吊車在安裝完成後，已經通過完整的機械、儀電等各項組件的校正、功能測試與系統整體功能測試。並在核一廠營運程序書納入定期維護保養程序，每年執行各組件檢查、校正與測試。

Farley 電廠裝填完成之密封鋼筒

溫度上升事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2008 年 06 月 08 日，操作人員未察覺到傳送渠道之替代冷卻系統泵浦沉入水中深度不足，又未確認傳送渠道水位下降的影響，導致替代冷卻系統泵浦失去抽吸能力。對於剛裝填滿的密封鋼筒，因替代冷卻系統失效，而導致溫度上升 2 度。

二、 肇因分析：

此事件發生之主要原因為（1）作業人員之間溝通不足。（2）未實施乾貯作業回訓與冷卻系統的訓練。（3）乾貯作業相關程序書對於發生故障與偶發事故時，並沒有執行溝通的適當步驟。

三、 經驗回饋：

原能會已要求台電公司之相關作業人員均需由經訓練合格之人員擔任。每日工作開始前將由現場負責人召集所有工作人員進行工具箱會議，以加強工作之溝通與協調。

Grand Gulf 電廠置入護箱燃料束挑選錯誤事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2008 年 06 月 18 日，電廠人員發現在 16 個月前置入乾式貯存護箱中有數支燃料束挑選錯誤，其中 8 支的衰減熱與 7 支的輻射曝露限值超過該乾式貯存系統符合證書（CoC）的規定。

二、 肇因分析：

未提供特定任務程序書，包括護箱裝填燃料資料庫與如何審查與驗證這些資料的正確性。護箱裝填資料庫發展過程中並未要求資料庫必須針對未來幾個週期的燃料進行比對，以確保重新插入的燃料束上已適切標記為「不適用於乾式貯存」。

三、 經驗回饋：

台電公司核一廠用過核子燃料乾式貯存案所擬貯存之用過核子燃料目前均已選取完成並經原能會認可。這些燃料已貯存在用過核子燃料池超過廿年，用過核子燃料均有編號標示，未來燃料裝填作業過程中對於燃料編號標示將採雙重確認方式執行。

San Onofre 電廠之鋼筒內部壓力升高造成

真空乾燥系統釋壓閥作動開啟事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2010 年 06 月 24 日，因完成乾式屏蔽容器 (DSC) 內部上蓋焊接後，同時短時間地將通氣孔及排水孔關閉，造成鋼筒內部的壓力升高，該升高的壓力由氬氣充填管線釋放，使得靠近真空乾燥系統的釋壓閥作動開啟，導致少量的水經由該閥門釋出。

二、 肇因分析：

發生該事件的主要原因是電廠核准的新版程序書(Procedure SO 23-I-30.9 Rev. 12)程序變更，將通氣孔及排水孔同時關閉，此步驟不符合該系統 FSAR 的規定—即在鋼筒內部的水處於加熱暫態 (heat-up transient)期間，鋼筒內部須維持通氣之規定。

三、 經驗回饋：

依據台電公司「核一乾式貯存設施興建計畫」現有之操作程序書，屏蔽上蓋銲接完成後，需安裝排水管線，並不會同時關閉通氣孔與排水孔，密封鋼筒內部維持在持續通氣的狀態，避免發生類似事件。

Byron 電廠之護箱與密封鋼筒間冷卻系統

不預期停止運轉事件

一、 事件說明：

此事件發生於 2010 年 08 月 28 日，電廠人員發現應該運轉的冷卻系統(chiller)不預期地停止運轉。雖然電廠於發現後很快地更換備用 chiller 並重新啟動冷卻系統，但是電廠無意識到要確認傳送護箱與密封鋼筒間環狀水溫是否超過限制溫度 125°F(=51.67°C)，以致無法確認燃料護套溫度是否低於 FSAR 所允許的溫度限值。

二、 肇因分析：

主要原因是電廠程序書缺少適當程序來確保環狀冷卻系統的水溫維持低於限制溫度 125°F，以符合 Holtec FSAR 規定。特別是程序書沒有規定需要監測水溫及訂定量化接受標準，以維持燃料護套溫度低於設計基準。

三、 經驗回饋：

由於台電公司核一乾貯案所選擇擬裝填用過核子燃料熱負載相當低，而且利用已經過評估分析的運轉技術規範(LCO)，管控各階段允許的作業時間，因此不致發生此類似事件。

North Anna 電廠之護箱受地震作用造成橫移

一、事件說明：

此事件發生於 2011 年 8 月 23 日，美國東部距離 North Anna 電廠 11 英哩處，發生規模 5.8 的地震，致使 North Anna 電廠之金屬護箱產生 1~4.5 英吋(2.54~11 公分) 的位移量，金屬護箱無損壞，亦無放射線外釋。美國核管會(NRC)說明本案之護箱滑移並不致引起貯存設施安全疑慮。

二、肇因分析：

發生超過電廠設計基準之強震，造成 North Anna 電廠護箱位移原因，電廠已針對電廠營運提出各項長程因應對策之承諾。就乾式貯存部分，承諾於 2012 年 12 月 31 日前完成地震紀錄儀器。

三、經驗回饋：

原能會於 100 年 12 月要求台電公司就發生類似 North Anna 電廠地震事件時，評估我國乾式貯存設施安全性。評估結果顯示，核一廠乾貯護箱於上述情節之最大位移量為 1.66 英吋，不會造成傾倒、碰撞或滑出基座，但為避免影響機具操作，因此不須裝位移限制器。核二廠乾貯護箱之設計已採用固定樁限制位移。原能會亦已於 100 年 12 月要求台電公司參照美國 North Anna 電廠的作法，於貯存設施增設地震紀錄儀器。

美國 UMS 及 MPC 貯存系統空重之標示

內容不符法規規定

一、事件說明：

2011 年 8 月 9 日美國核管會針對 2011 年前採用 NAC-UMS 及 MPC 貯存護箱之電廠，經統計約 250 組護箱空重標示不符合聯辦法規 10 CFR 72.236(k)(3)之規定，開立違規事項要求 NAC 公司改正。

二、肇因分析：

2010 年 McGuire 電廠與 NAC 公司討論 MAGNASTOR 護箱標示牌之圖說時，對於護箱空重之標示，雙方有不同見解，便分別檢視聯辦法規內容並調查目前已貯存在各電廠共約 250 組護箱之標示牌內容後，於 8 月 9 日主動提報 NRC 不合法規之事實。2011 年以前採用 NAC-UMS 及 MPC 貯存護箱之電廠，經統計約 250 組護箱之空重標示僅以混凝土護箱為主，未包括密封鋼筒空重，因此，不符合 10 CFR 72.236(k)(3)系統空重之規定。

三、經驗回饋：

台電公司將依技轉廠家改正措施，於混凝土護箱外增加標示牌，標示空密封鋼筒加上空混凝土護箱之加總重量。另將於外加屏蔽外加標示牌標記密封鋼筒、混凝土護箱及外加屏蔽三者之加總空重，並標示裝載日期。

Perry 燃料廠房起重機未執行維護保養

一、事件說明：

2012 年 12 月 Perry 核能電廠沒有對燃料廠房內用來吊運裝載用過核子燃料的乾式貯存護箱的防止單一失靈起重機執行足夠的保養維護，此為電廠自行揭露的不符合狀況，美國核管會依法開立違規事項。

二、肇因分析：

Perry 電廠自行發現燃料廠房內之防止單一失靈起重機未依規定定期維護保養，又美國核管會檢查人員發現用過核燃料乾式貯存護箱與用來移動貯存護箱的軌道末端之間的實際距離小於安全運送作業分析的距離，違反程序書的規定。

三、經驗回饋：

台電公司將依電廠營運相關程序書強化反應器廠房吊車定期保養維護，且在用過核燃料乾貯作業期間，依相關程序書在使用前實施檢查。另將強化人員訓練以及審慎監督計畫來排除類似的人為疏失。

Monticello 電廠之鋼筒屏蔽上蓋鐳道液滲檢測程序 異常事件

一、事件說明：

2013 年 12 月 13 日美國 Monticello 電廠執行密封鋼筒屏蔽上蓋鐳道液滲檢測時，因滲透及顯像停留時間不符合規範要求，遭美國核管會下令停工並限期提報評估報告。

二、肇因分析：

TriVis Inc. 承包 Monticello 電廠乾貯作業，於 2013 年 12 月 13 日提報美國核管會指出鐳道非破壞檢測委外廠商新聘兩名 level II 檢測人員於進行 6 只密封鋼筒(DSCs-11~16)液滲檢測作業時，滲透及顯像停留時間(dwelling times)不足。

三、經驗回饋：

檢視核一乾貯設施冷測試階段之密封鋼筒鐳道非破壞檢測係委託專業機構(台灣動力機械檢測隊)進行檢測。作業要求(1)室溫檢測時：滲透時間至少 10 分鐘、顯像時間 7~30 分鐘(2)高溫檢測時：滲透時間 5~10 分鐘、顯像時間 10 分鐘內。台電公司已針對上述國外異常事件加強人員訓練、檢討修訂程序書及增列查證點等，並以現有工作平台上之攝影系統作為確認實際滲透與顯像時間之輔助工具。

San Onofre 電廠密封鋼筒吊卸卡住事件

一、 事件說明：

2018 年 8 月 3 日 HI-STORM Umax 型式地下混凝土護箱進行用過核子燃料運貯作業期間，多重功能密封鋼筒(MPC) 吊入地下乾式貯存結構體之腔式密封容器(CEC)時，因人為操作疏失導致發生密封鋼筒遭腔式密封容器內扣板(Inner Ring)卡住之異常事件。

二、 肇因分析：

傳送過程中沒有確實執行觀察密封鋼筒(MPC)於吊卸過程中之高度，導致密封鋼筒(MPC)遭卡住後無法及時發現；人為疏失包含傳送過程中未確實掌握密封鋼筒(MPC)定位情形，以及操作吊運車輛的工作人員沒有及時發現吊索失去張力。。

三、 經驗回饋：

台電公司核一廠乾貯密封鋼筒(TSC)傳送吊入混凝土護箱(VCC)過程中，工作人員可藉由「可遙控脫勾密封鋼筒吊具」上攝影機監控 TSC 之傳送高度、吊索荷重及吊索移動距離，可觀察 TSC 是否已安全地座落於 VCC 底部。反應器廠房吊車四條吊索裝有荷重感測器(Load Cell)，可顯示密封鋼筒(TSC)之重量，若有卡住之情形，負載將顯示吊索承受之重量不平均。台電公司將針對該異常事件加強人員訓練、檢討修訂程序書及增列查證點。