

核二廠用過核子燃料 乾式貯存設施興建計畫 陳述內容

台灣電力公司
101年7月17日

陳述內容

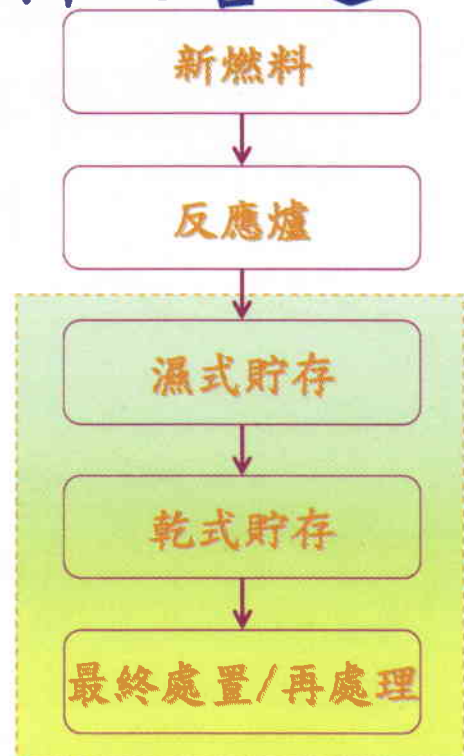
- 一. 用過核子燃料之營運
- 二. 乾式貯存設施之必要性
- 三. 乾式貯存設施之安全性
- 四. 乾式貯存設施簡介
- 五. 預備聽證爭點之重點說明
- 六. 結語

一、用過核子燃料之營運

■ **用過核子燃料**：核子燃料使用一段時間後，因核反應效率降低而必須替換，這些從反應爐退出的核子燃料稱之為「用過核子燃料」。

■ **三個階段營運方式**：

- 濕式貯存(水池冷卻)
- 乾式貯存
- 最終處置/境外再處理



用過核子燃料營運

二、乾式貯存設施之必要性

- 遵照政府100.11.3新能源政策，既有核電廠**不再延役**。
- 核二廠運轉執照有效期為40年，其1、2號機可分別運轉至110年及112年，但其用過核子燃料池容量不足以提供該廠運轉滿**40年**之貯存空間需求。
- 參照**歐、美、日、韓**等核能先進國家作法，興建廠內乾式貯存設施。
- **電廠除役後**，仍需乾式貯存設施。

核二廠用過核子燃料水池的設計容量及貯存現況

機組		商轉年 (民國)	貯存容 量，束	已貯存量 (至101年6月底 止)，束
核 二 廠	一號機	70	4,398	4,024
	二號機	72	4,398	3,872

美國已完成除役且設有乾式貯存設施之核能電廠一覽表

核電廠名稱	反應器類型	現況
Big Rock Point	BWR	乾式貯存設施
Fort St. Vrain	HTGR	乾式貯存設施
Connecticut Yankee	PWR	乾式貯存設施
Main Yankee	PWR	乾式貯存設施
Rancho Seco	PWR	乾式貯存設施
Trojan	PWR	乾式貯存設施
Yankee Rowe	PWR	乾式貯存設施

三、乾式貯存設施之安全性

(一)國際上之安全運轉經驗

1. 國際上的乾式貯存設施共有110座，分布於歐洲、美洲、亞洲及非洲共22個國家；其中美國的乾式貯存設施已有58座，德國16座、加拿大有7座。



7

美國核電廠乾式貯存設施照片(以4個電廠為例)



8

2. 美國愛達荷國家實驗室曾對經乾式貯存15年的用過核子燃料進行檢驗，結果顯示用過核子燃料並無劣化現象，安全無虞。
3. 國際上已有20年以上的安全運轉經驗，技術成熟。



(二)保守且嚴謹之安全設計

1. 採用已獲美國核管會審查通過之乾式貯存系統。
2. 核臨界、輻射、熱傳、結構等安全分析結果，均能符合安全法規要求，提送原能會審查中。
3. 本乾式貯存設施之廠界年劑量設計值0.05毫西弗，為國內及美國法規劑量限值的1/5。

(三)執行嚴密監控

台電公司將對乾式貯存設施之溫度、輻射劑量及保安執行24小時之連續監控。

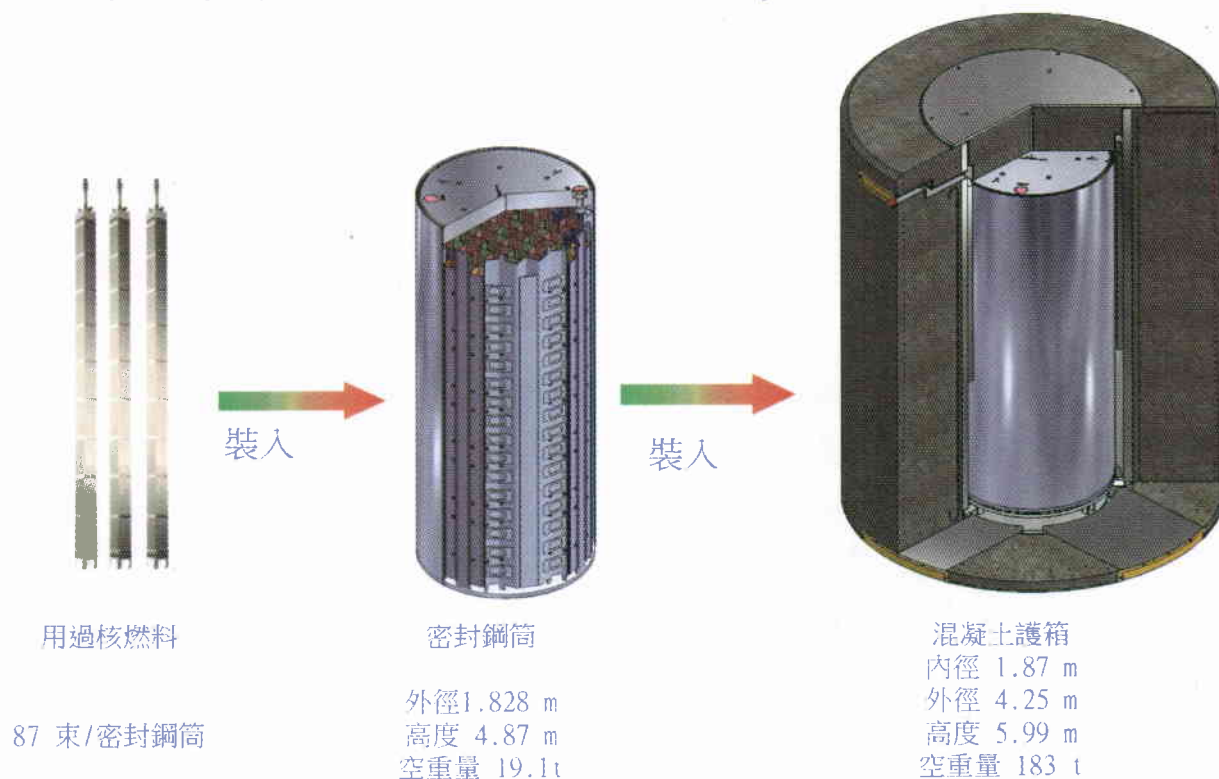


四、核二廠乾式貯存設施簡介

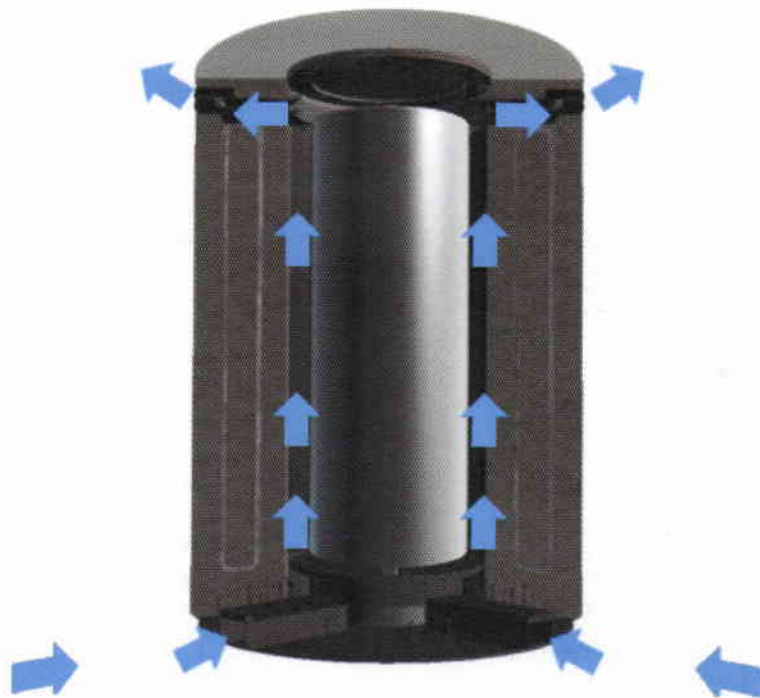
- 採用美國核管會核准之混凝土護箱MAGNASTOR，每個護箱可貯存87束之用過核子燃料
- 規劃容量為2,349束之用過核子燃料，以符合核二廠持續運轉至執照效期屆滿(40年)之需求
- 廠界輻射劑量設計值為每人每年不超過0.05毫西弗，僅為法規限值0.25毫西弗的1/5
- 24小時線上及時監控輻射劑量、溫度與保安管制



(一)乾式貯存的設計



空氣並不與用過核子燃料接觸



(二) 核二廠乾式貯存設施場址與竣工模擬圖



核二廠用過核子燃料乾
式貯存場址現況



核二廠用過核子燃料乾
式貯存設施竣工模擬圖

核二廠乾式貯存設施竣工模擬圖



五. 預備聽證爭點之重點說明

(一) 用過核子燃料乾式貯存設施，不會成為最終處置場

1. 台電公司必須依據「放射性物料管理法」及原能會已核定之用過核子燃料最終處置計畫，持續推動執行用過核子燃料最終處置的地質調查與技術發展工作，預定於144年完工啟用最終處置場，以接收各核電廠之用過核子燃料。
2. 依據「高放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，高放射性廢棄物最終處置應採深層地質處置（國際上一般指地下300至1000公尺處），使其能長期與生物圈安全隔離。因此，相關法規對於乾式貯存設施與最終處置場要求之安全標準不同。
3. 提前將用過核子燃料遷離電廠之時機：
 - 1) 於144年之前，若台電公司與其他國家達成國際或區域合作處置計畫之協議。
 - 2) 於144年之前，若用過核子燃料之再處理符合核子保防、經濟效益、國家能源政策等，且與其他國家達成再處理之協議。

(二)核一廠乾式貯存設施無法擴大設計以接收核二廠用過核子燃料

1. 法定程序限制

興建中之核一廠乾式貯存設施，其開發計畫已依法通過環境影響評估程序，並提報安全分析報告經原子能委員會核准而執行，其計畫的內容與開發的範圍均不得恣意變更。

2. 用地面積限制

核一廠乾式貯存設施面積有限，只能設置30個混凝土護箱，僅夠提供核一廠用過核子燃料乾式貯存之所需，並無餘裕可容納核二廠之用過核子燃料。



(三)地震對乾式貯存設施安全性之影響評估

1. 我國核能電廠於廠址選擇時，均詳查廠址周邊地震歷史紀錄，保守預估廠址可能遭受之最大地震震度，核二廠耐震設計之基礎岩盤基準值為0.4g。
- 最近2. 在山腳斷層被列為為第二類活動斷層後，台電公司委託國立中央大學依據新事證已知斷層震度進行初步評估（已於98年5月完成），結論為：斷層錯動時，將對核二廠之基盤產生0.205g之加速度，小於上述之設計基準地震值。
3. 在岩盤地震最大水平加速度0.4g及相關最大垂直加速度下，考量土壤結構互制效應，保守採用0.88g與0.78g作為最大水平與垂直加速度的分析輸入值進行設計。
4. 為了防止混凝土護箱滑動，於混凝土護箱周圍每隔90度設置了四根直徑15.24cm (6 inch)的固定樁。以LS-DYNA進行非線性動力分析，結果顯示護箱不會傾倒。
5. 若未來調查發現山腳斷層長度再往棉花嶼延伸之新事證，台電公司將重新檢視原設計之安全性，如本設施須提高耐震需求，將加以補強。



(四) 海嘯對乾式貯存設施安全性之影響評估

1. 台電公司現有核電廠之廠址高程設計，係依歷史氣象資料推斷，加入合理餘裕，預估最大海嘯可能上溯高程為10.28米。
2. 另，台電公司委託中興工程顧問公司於101年04月完成「核能電廠海嘯總體檢評估」報告，採用國科會所訂定之22個海嘯震源，評估海嘯溯上對電廠產生之影響，結果顯示：陸地區域海嘯高程在4.37~4.66米之間不等，低於主廠區基地高程12米，主廠區各設施均不受影響。
3. 核二廠乾式貯存場址高程約為12.3米，高於海嘯可能溯上高程，因此，不會有淹水情形。
4. 基於保守考量，台電公司已針對混凝土護箱淹水及水流衝擊的假設情節來進行分析，分析結果顯示混凝土護箱不會滑動或傾倒，產生之水壓也不會對混凝土護箱內之密封鋼筒造成顯著的應力，亦無放射性物質釋出之虞。

(五) 鏽蝕對乾式貯存設施安全性之影響評估

1. 本設施之密封鋼筒外殼材料採用不銹鋼304/304L。不銹鋼304/304L具有極佳的耐久性及抗鏽蝕性。
2. 依據美國金屬協會第13冊「腐蝕」報告，304不銹鋼的腐蝕測試結果，在海水的環境下，其平均腐蝕率小於0.001mils/年（約0.025 μm /年）；在50年後，局部金屬表面平均腐蝕深度為 0.0037 ± 0.000005 英吋（約 $0.925 \pm 0.013 \mu\text{m}$ ）。由此可知，最大可能鏽蝕深度約為原厚度之0.007%，腐蝕所造成的厚度變化並不顯著。
3. 基於保守考量，台電公司將於每個護箱裝設與密封鋼筒外殼材料相同之環境測試試片，作為長期材料耐腐蝕劣化之監測。

(六)乾式貯存用過核子燃料之再取出性，及與最終處置銜接性

1. 再取出性：

將密封鋼筒自混凝土護箱吊出並置入傳送護箱，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。(請參閱安全分析報告第五章第一節)。

2. 與最終處置場銜接性：

- (1)將含有用過核子燃料之密封鋼筒從混凝土護箱取出並置入運輸專用的金屬護箱，次將該運輸專用金屬護箱以路運或海運方式送至最終處置場。
- (2)過去30年來，美國境內之用過核子燃料運輸超過2,700運次，總運送距離超過160萬英哩，均未曾發生運送容器破裂或輻射洩漏之意外事件，用過核子燃料之運輸作業安全無虞。

(七)國外乾式貯存經驗回饋1—安裝作業之氫氣燃燒事件

1. 1996年美國Point Beach電廠在進行其混凝土護箱密封鋼筒屏蔽蓋板封焊時，產生氫氣燃燒。經美國核管會調查，係由鋼筒漆之**鋅**成份與燃料池的**硼酸水**，起化學氧化作用產生。
2. 美國核管會要求核電廠乾式貯存作業應辦理下列事項：
 - (1)注意**氫氣可能來源**；
 - (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。
3. 該事件並未造成放射性物質外釋。
4. 本計畫之因應：
 - (1)核二廠乾式貯存系統並**不含有鋅的成分**，且燃料池水**並不含硼酸**，**不會造成產生氫氣之化學反應**
 - (2)上蓋**銲接**過程中，將**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**，確定筒內氫氣濃度低於2.4%才會施銲。
 - (3)**將撰寫相關操作程序書**，會納入防止氫氣的產生或累積機制，以避免發生氫氣燃燒之類似事件。

(七)國外乾式貯存經驗回饋2—吊卸作業之意外事件

1. 1995年Prairie Island電廠，因吊車**超載感知系統校正不精確**，造成護箱懸在用過燃料池上空；2005年Palisades電廠因吊車捲筒煞車(drum brake)設定值太低而使緊急煞車作動，但電廠**未將緊急下降程序納入電廠運轉程序書內**，且**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；2008年Vermont Yankee電廠，因啟動吊車煞車功能的**繼電器(relay)未經正確地校正**，造成吊車操作員在將傳送護箱下降過程時，未如預期地停止。
2. 該等事件並未造成放射性物質外釋。
3. **本計畫之因應：**

- (1)核二廠護箱吊車在民國101年開始進行升級為耐單一失靈(single-failure-proof)之改善工程，採用**成熟之負載感知裝置**。
- (2)在吊車安裝完成後，將通過完整的機械、儀電等**各項組件的校正、功能測試與系統整體功能測試**，及**進行操作人員之訓練**、並將**緊急下降程序納入電廠程序書內**。
- (3)在核二廠營運程序書納入定期維護保養程序，每年執行各組件的檢查、校正與測試，以確保各組件功能正常，避免發生上述之類似事件。



(七)國外乾式貯存經驗回饋3—品質管理瑕疵事件

1. 1994年NRC發現Palisades乾式儲槽VSC-24封口的焊接有瑕疵；2000年美國Holtec公司被內部檢舉品質有問題；VECTRA Technologies製造的NUHOMS鋼桶壁太薄，低於技術規範要求。
2. 該等事件並未造成放射性物質外釋。
3. **本計畫之因應：**
 - (1)採三級品質管理系統：
 - ① **承包商：負責品質管制系統**，於施作工前應提出品管計畫，設立品管組織，訂定各項工程品質管理標準、材料及施工檢驗程序、自主檢查表，以及建立文件紀錄管理系統等，以落實品質管制；
 - ② **台電公司主辦單位：負責品質保證系統**，訂定品質管理計畫，執行監督施工及材料設備之檢驗作業，並對檢驗結果留存紀錄，檢討成效與缺失；
 - ③ **台電公司品質單位負責：施工品質查核與評鑑**，確認工程品質管理工作執行之成效。
 - (2)乾式貯存系統各組件依據NUREG/CR-6407之規定，按其功能及公共安全為標準進行**品質分級**，依**ASME NQA-1**或**ISO 9001**相關之要求執行執行品質管理。
 - (3)對於等級A之安全有關組件，於製造與安裝過程中，台電公司將另委託具有SNT-TC-1A資格者進行**第三者查驗**。



六. 結語

- (一)遵照政府100.11.3新能源政策，既有核電廠不再延役。
- (二)乾式貯存設施之興建係為持續核二廠運轉至執照有效期限屆滿(40年)所需。
- (三)國際上有22個國家採用乾式貯存設施，已有20年以上之安全運轉經驗。
- (四)採用美國核管會已核准之混凝土護箱。
- (五)經原能會邀集專家學者嚴格審查核准後才會興建；興建完成後，經原能會審查核准，才啟用運轉，安全無虞。
- (六)乾式貯存設施設計上可與最終處置銜接，且依法不會成為最終處置場。
- (七)針對預備聽證之爭點，台電公司現場提供書面說明資料，敬請納入會議紀錄。



敬請指正



