

用過核子燃料最終處置計畫

107年度成果報告

審查報告



原子能委員會放射性物料管理局

中華民國一〇八年六月



# 目 錄

一、前言 .....	1
二、審查過程 .....	1
三、重點議題 .....	2
四、審查結論 .....	8



## 一、前言

民國91年12月25日「放射性物料管理法」（簡稱物管法）公布施行，依據物管法第29條規定：「產生者應負責減少放射性廢棄物之產生量及其體積。其最終處置計畫應依計畫時程，切實推動」。第49條規定：「主管機關應督促廢棄物產生者規劃國內放射性廢棄物最終處置設施之籌建，並要求廢棄物產生者解決放射性廢棄物最終處置問題」。另依「放射性物料管理法施行細則」第37條規定：「本法第四十九條第二項及第三項規定以外之高放射性廢棄物產生者或負責執行高放射性廢棄物最終處置者，應於本法施行後二年內，提報高放射性廢棄物最終處置計畫，經主管機關核定後，切實依計畫時程執行；每年二月及十月底前，應分別向主管機關提報前一年之執行成果及次一年之工作計畫」。

原能會放射性物料管理局（以下簡稱本局）負責台電公司執行用過核子燃料最終處置計畫之管制工作，審查台電公司所提年度執行成果報告，並於原能會網站公開台電公司之用過核子燃料最終處置計畫的執行現況。

## 二、審查過程

台電公司於108年2月15日以核端字第1078115785號函，提報「用過核子燃料最終處置計畫－107年度成果報告(初稿)」，該成果報告書依處置計畫現階段作業規劃，分為概述、計畫目的、區域特性調查技術精進、處置設施合適性與設計方案評估精進、安全評估精進、整合性技術、結論與參考文獻等章節，本局於收到該成果報告書，經檢視內容架構之完整性後，隨即展開審查作業。

本局經審查後，於108年3月14日函復台電公司49項審查意見，台電公司於108年4月9日提出答復說明並修訂報告，經本局進行複審，並於108年5月9日召開審結會議，於108年5月17日函復台電公司第二次審查意見及審查結論。台電公司於108年6月14日函復報告修訂二版，本局經檢視確認台電公司業依答復說明修訂報告，於108年6月18日以物三字第1080001704號

函，同意備查「用過核子燃料最終處置計畫－107年度成果報告(修訂二版)」，並請台電公司依審查會議結果切實執行，重點如下：

- (一) 台電公司對對於用過核子燃料最終處置計畫書(2014年修訂版)第二階段之技術建置及研發項目，應翔實規劃整體與分年工作內容，另後續成果報告應加強說明年度成果與各項重要里程之關聯性。
- (二) 台電公司應參照國外先進國家處置專責機構(如日本NUMO或瑞典SKB等)公眾溝通作法，規劃符合第二階段目標需求之公眾溝通策略與具體作法，執行情形併同後續年度成果報告提送。
- (三) 年度成果報告研發技術，請台電公司依照國際原子能總署SSG-23處置安全論證導則及SSR-5處置安全要求，並依處置計畫書(2014年修訂版)及SNFD2017報告國際同儕審查意見及建議，持續精進技術。
- (四) 請台電公司持續推動國際技術合作交流，加強國際與國內相關學研單位技術整合工作，並瞭解國外成果應用於本土之適切性，以符合實務需求，並確保技術符合國際水平。
- (五) 為確保研究成果的可檢視性及回溯性，本計畫相關文件及資訊之品保作業的執行，應符合專案品質保證計畫及IAEA SSR-5和IAEA SSG-23相關章節的要求，重要決策過程應保存相關文件紀錄。

### 三、重點議題

針對用過核子燃料最終處置計畫107年度執行成果報告的重要審查議題，分述如下。

#### (一) 區域特性調查技術精進

1. 有關構造活動性微震監測與分析方面：

- (1) 報告(初稿)圖3-19「本島結晶岩測試區震源機制解與大地應力反演分區示意圖」請補震源機制之圖例，另外圖3-19震源機制五區之邊界似未顯示於圖面，請說明。

- (2) 報告(初稿)表3-7「大地應力分區反演結果列表」應於表頭註記為東部結晶岩體附近。
- (3) 原107年度計畫書表示，「本工作項目分布於西部離島、臺灣海峽及東部結晶岩體之震源機制解，分析不同地體構造區塊，在不同深度下反映的大地應力特性」；震源機制(圖3-19與3-20)與深度關係為重要資訊，應以剖面圖顯示震源機制分區之邊界。
- (4) 建議詳細說明「本島結晶岩測試區震源尺度分析」以及「震源機率破裂模式分析」成果對高放處置之應用性。

台電公司說明：

- (1) 已依審查意見補充震源機制解圖示所代表的斷層形式於報告圖3-23下方註解；此分區方式(I、II、III、IV及V區)係以地震叢集與地震活動進行分區，黑色方框即代表地震叢集分析之區塊，地理位置上並不適合以邊界來畫定應力場之實際邊界。
  - (2) 已依審查意見修正報告表3-8表頭為本島結晶岩測試區大地應力分區反演結果列表。
  - (3) 報告圖3-23中在中央山脈東側群震大多為正斷層的震源機制解，其他群集則機制較顯混亂，須分區作各別探討，分區如第(1)點意見回覆所述。以地震叢集作為分析區塊，並不適合劃定實際邊界，若將報告圖3-23之結果以東西方向作投影剖面，顯示此區域震源機制解結果多分布於深度0 km至30 km之間。
- 報告圖3-25為臺灣海峽區域震源機制解逆推結果，其中震源機制解與深度的關係，如圖附註所描述「震源機制球之顏色代表地震矩中心深度，球之大小與規模成正比。」，分布深度介於0 km至30 km之間，由於海峽地區可使用的地震目錄數量較少，尚無法利用震源機制清楚界定臺灣海峽區域之分區邊界。
- (4) 「本島結晶岩測試區震源尺度分析」為評估H區潛在的有效斷

層面尺度，進而評估斷層錯動時可能造成的有效破裂範圍；「震源機率破裂模式分析」則參照目前地震目錄估算H區地震發生的條件機率，可用以瞭解潛在斷層的分布及區域應力環境可能引發之岩體破裂(地震)模式，上述兩者資訊主要可用於處置場址受斷層錯動(地震)事件之危害度風險評估。

2. 有關3.2.1節離島結晶岩測試區之岩礦組成與年代分析方面，說明鑽井岩心之礦物組成，請問前述礦物組成，僅完成有哪些礦物之組成，其各種礦物含量是否已完成。若有完整的礦物組成及含量比率，將可用於後續核種與母岩礦物地化反應及反應化學傳輸研究需要。

台電公司說明：

W區鑽井岩心與M區露頭之岩石樣本除了原文敘述之礦物相組成外，皆有完成各岩樣所含礦物體積百分比含量計數，可用於後續核種與母岩地化反應及反應化學傳輸等研究。為求資訊完整，將補充礦物含量計數結果表於3.2.1小節。

## (二) 處置設施合適性與設計方案評估精進

1. 有關銅腐蝕產物對緩衝材料體積穩定性的影響，此處認為腐蝕產物結構多孔鬆散，而預期其所產生的“回脹壓力”將不會影響膨潤土體積穩定性。

腐蝕產物因體積膨脹產生的膨脹力，一般應隨腐蝕深度增加而持續增大，建議對此狀況之研判，再深入探討國內外文獻或進一步實驗後再行做適切判斷。

台電公司說明：

銅質外殼在有適當回脹壓力膨潤土保護下，並不會大量累積腐蝕產物，亦不會造成緩衝材料體積穩定性之影響。即使銅質外殼受腐蝕後之體積些微增加，此時腐蝕產物體積增加產生的壓力，遠



小於緩衝材料的回脹壓力，預期對於銅質外殼廢棄物罐及緩衝材料之功能不會造成影響。台電公司後續將依委員意見持續關注國際相關研究及發展。

2. 報告提及耐久性受孔隙分布控制，並以壓汞試驗檢測來為依據。惟已知孔隙大小及體積，是否能真正反映孔隙的分佈位置？另鋼筋腐蝕率如180天即低於10%，則百年後是否將非常嚴重？請說明。

台電公司說明：

- (1) 壓汞試驗係檢測內部孔隙大小及體積之分布組成狀況，並非反映孔隙的分佈位置。藉由壓汞試驗可得知低鹼混凝土中孔隙結構變化，其基本原理為扣除壓入試管內試體之汞體積後所剩餘總汞量之體積，施加不同大小的壓力透過高壓法使汞壓入不同大小的孔隙中，壓力越大汞能進入的孔隙直徑就越小，且汞有較高的表面張力，與對大部分物質的不互融性，可在不影響試體情況下填充試體之漿體內部孔隙結構，藉由它的接觸角度和曲率可用來計算，特定壓力下所對應的滲透孔徑直徑，以推估水泥基材內部之孔隙體積。本項試驗僅針對低鹼混凝土內部孔隙大小及體積之分布組成狀況進行探討，並非著重於孔隙之分佈位置。故並無提及耐久性受孔隙分布「控制」。
- (2) 此處用詞為「腐蝕機率」並非「腐蝕率」。鋼筋腐蝕試驗是以腐蝕開路電位進行量測，量測結果為腐蝕機率可分為小於10%之腐蝕機率、10%至90%之腐蝕機率以及90%以上之腐蝕機率等3種量測結果，因此，在此所量測之小於10%之腐蝕機率係屬最不易腐蝕之結果。

### (三) 安全評估精進

1. 有關安全評估方法精進方面：

- (1) 安全評估方法規劃，依據第一階段SNFD2017報告的經驗回饋、

國際同儕審查的建議、IAEA SSG-23對安全論證及安全評估方法的建議，以及研析各國家的安全評估方法後，最後提出封閉後安全評估方法流程(報告圖5-1)。建議應增加文字說明這樣調整的邏輯，以及流程中各項工作的目的或是執行準則。

- (2) 流程圖中的核心是安全論證編纂，建議提供文字說明新規劃之安全論證編纂內涵。
- (3) 圖中凍結關鍵數據的目的、大概是那些數據要被凍結、以及為何凍結關鍵數據是在進行安全論證編纂之前等，均應進行說明。
- (4) 流程圖中，最後以是否有足夠的信心進展至下一階段做為判斷依據，亦應說明「足夠的信心」應如何量化、判斷或界定。

台電公司說明：

- (1) 第(1)、(2)部分，依審查意見於107年度成果報告中已增加相關論述，針對封閉後安全評估方法流程進行說明，請詳第5.1.1章之(3)安全評估方法規劃。
- (2) 第(3)凍結關鍵數據的目的是使安全評估具有可追溯性，須被凍結的數據如地質調查數據、地質描述模型所產出的數據，以及發展概念設計時，工程設計產出數據，這些數據會由資訊管理系統進行分類、凍結與管理，供安全評估使用。

在進入到安全評估之前，先凍結數據，可以確保不同模式使用相同參數的數據一致性與可追溯性。而安全評估的結果又可提供論據，結合其他能證明處置設施安全的證據(如天然類比的結果)，構成論據、分析、證據的整合，編纂組成了安全論證。

- (3) 依用過核子燃料最終處置計畫書，於各階段均設定階段性目標，依據國際通則各階段成果可透過國際同儕審查等提升技術之「足夠信心」，其中「足夠信心」定義參考國際規範(如：IAEA SSR-5 Requirement6；IAEA SSG-23 第4章)並無特定的量

化標準，而是一種整體性的抽象涵義。是否有足夠信心須視個案而定。其基本質在於經過反覆的安全論證以抑低關鍵性安全議題的不確定。而實務上的做法包含有良好的管理體系、有品質的作業活動、充足且互相印證的安全證據、可能替代概念與實施方案等。至於是否已達到足夠信心進展至下一階段，則是處置計畫利害相關者基於安全論證所提供的證據，達成共識後，所做出的共同決策。

2. 此處模擬外圍之地震利用3DEC、模擬孔內之廢料罐用ANSYS、分析罐周圍之緩衝材的沉陷用FLAC3D，等等如報告表5-1各子計畫使用自己的程式，但對整體圍阻系統之模擬上，是否有程式介面問題需檢核？或整合介面？請說明。

台電公司說明：

進行廢棄物罐相關性能分析，會依分析的需求與目的，參考國際間廣為使用之程式來進行參考與選用。目前這些與工程障壁性能相關的分析中，皆引用SNFD2017報告中參考案例的表1、表2與表3的參數為主要依據，分別建立評估模式與分析方法。台電公司基於SNFD2017報告的成果，以評估模式流程(AMF)方式進程式間介面的檢核，後續將持續精進各評估模式介面間之整合，並加強關聯性與執行邏輯的合理性。

#### (四) 尚待精進議題

依用過核子燃料最終處置計畫時程，目前進入第二階段「候選場址評選址核定」階段，台電公司預訂於2028年底提出優先詳細調查的場址。由於用過核子燃料最終處置計畫為一長期且跨多項專業領域之計畫，為符合計畫要求以達階段性目標，台電公司應持續推動處置技術研發工作並增補專職人力以應所需。經檢視台電公司用過核子燃料最終處置計畫107年度成果報告，部分議題尚待持續精進與加強，本局後續將持續要求台電公司依本局審查意見

及審查結論切實執行各項工作，相關議題如下：

1. 對於核種遷移試驗與評估技術所涵蓋核種之研究。
2. 離島結晶岩三維磁感率及電阻率模型相關研究。
3. 研判地電阻資訊是否可提供做為區域流場模擬時邊界條件設定之參考依據。
4. 緩衝材料高圍壓力學參數測試、工程障壁高圍壓縮尺測試設備與方法相關研究工作。
5. 針對低鹼性混凝土應充分了解其研發的需求，妥善規劃後續研究。
6. 處置場封閉前的安全評估之研究。
7. 用過核子燃料最終處置資料庫建置工作。
8. 應瞭解我國用過核子燃料最終處置所計算出的核種存量與衰變熱，如何以實驗補充來證明。並評估其誤差與不確定度。
9. 硫酸鹽還原菌活性試驗之實驗規劃。
10. 以靜壓方式製作膨潤土飽和試體之限制，並進行後續研究取得可靠的力學參數與剪動行為。
11. 地質圈長期穩定性評估及地下水分析模式驗證與技術精進之研究。
12. 因安全評估吸附機制採用Kd模型，後續安全評估應用時如何反應實驗結果之最大吸附量限制，應進一步說明。

#### 四、審查結論

用過核子燃料最終處置計畫107年度執行成果報告審查結果分述如下：

- (一) 台電公司對處置計畫研究發展應採取任務導向規劃，對於用過核子燃料最終處置計畫書(2014年修訂版)第二階段之技術建置及研發項目，應翔實規劃整體與分年工作內容，並於成果報告檢視年度目標達成情形，檢視情形作為下年度工作計畫規劃參考。另第二階段包

含四項重要里程碑，後續成果報告應加強說明年度成果與各項重要里程碑之關聯性。

- (二) 高放處置計畫第二階段工作重點為候選場址調查區域的調查與評估並建議優先詳細調查之場址，台電公司應參照國外先進國家處置專責機構(如日本NUMO或瑞典SKB等)公眾溝通作法，規劃符合第二階段目標需求之公眾溝通策略與具體作法(例如採用淺顯易懂與親民的表達方法、檢討缺失與精進溝通作法、建立溝通成效評估機制、公眾意見回饋等)，執行情形併同後續年度成果報告提送，以順遂處置計畫推動。
- (三) 高放處置計畫第二階段主要目標之一為建立候選場址功能/安全評估技術。年度成果報告之研發技術，請台電公司依照國際原子能總署(IAEA)SSG-23放射性廢棄物最終處置安全論證(safety case)導則及IAEA SSR-5放射性廢棄物處置安全要求，並依處置計畫書(2014年修訂版)相關要求及SNFD2017報告國際同儕審查對未來研發工作建議，持續精進技術以符合階段需求。
- (四) 請台電公司持續推動國際技術合作交流，並依歷次審查會議要求，於年度成果報告具體提供國際交流合作成果。台電公司應加強國際與國內相關學研單位技術整合工作，並瞭解國外成果應用於本土之適切性，以符合實務需求，並確保技術可達最佳現有技術且符合國際水平。
- (五) 為確保研究成果的可檢視性及回溯性，本計畫相關文件及資訊之品保作業的執行，應符合「用過核子燃料最終處置計畫專案品質保證計畫」(版次：0)及IAEA SSR-5和IAEA SSG-23相關章節的要求，重要決策過程應保存相關文件紀錄。