

用過核子燃料最終處置計畫

105年度成果報告

審查報告



行政院原子能委員會放射性物料管理局

中華民國一〇六年六月

目 錄

一、前言	1
二、審查過程	1
三、重點議題	2
四、審查結論	6
五、結語	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 106 年 2 月 14 日以核端字第 1068012418 號函，提報「用過核子燃料最終處置計畫—105 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、地質環境、處置設計與工程技術、安全評估、國際同儕審查規劃與結論等章節，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 106 年 4 月 14 日函復台電公司 63 項審查意見，台電公司於 106 年 4 月 28 日提出答復說明並修訂報告，經本局進行複審，並於 106 年 5 月 31 日召開審結會議，於 106 年 6 月 3 日函復台電公司第二次審查意見

及審查結論。台電公司於 106 年 6 月 20 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 106 年 6 月 22 日以物三字第 1060001701 號函，同意備查「用過核子燃料最終處置計畫—105 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。

三、重點議題

針對用過核子燃料最終處置計畫 105 年度執行成果報告的重要審查議題與台電公司答復，分述如下。

1.地質環境部分

- (1) 105 年度針對金門、本島東部、馬祖及烏坵地區之潛在處置母岩特性調查與地質資料蒐集辦理情形，另對於各區域是否有地質觀點之整合性論述，應進行相關說明。

台電公司說明本報告地質環境章節，參考日本 H12 報告，以全國性文獻彙整方式，逐年累積不同區域之地質環境資料，並採區域性整合性論述，多年來之成果已彙整於 SNFD2017 報告及技術支援報告。105 年度工作成果為綜整目前國內最新研究資訊，以地體架構演化之觀點，說明「北部張裂帶」之區域構造演化模式。

- (2) 105 年度透過與瑞典 SKB 進行技術交流，應清楚說明技術交流成果。另有關 SKB 採用 DarcyTools 建立簡化流場模型並輸出裂隙特性參數，反饋給台電工程設計團隊探討剪力位移(shear load)及作為 GoldSim 分析的輸入值，以及台電利用 power law 裂隙特性資料發展裂隙連通性模擬技術及考量岩脈群阻水構造對流場影響等方面，應提出相關工作成果說明。

台電公司說明如下：

- A.105 年初瑞典 SKB 與台電團隊進行水文地質模擬研討會時，先針對相同地質構造分布及水文地質參數，設定海水入滲至太武山斷層的模擬情節，共同在研討會中討論 SKB 使用的 DarcyTools，及台電團隊使用的 Tough2 模擬結果的異同，據以討論後續繼續發展區域範圍地下流

場模擬技術的邊界條件設定方式。

B. SKB 團隊以相同地質構造分布及水文地質參數，於 105 年 3 月以 DarcyTools 完成模擬相同區域範圍的地下水流場特性，並輸出工程設計及安全分析所需參數，進行相關之分析(詳細內容請參閱報告書 5.7.2 節)。同時，台電團隊經由不同之模式分析，進一步發展 DFN 轉為 EPM 的擴尺度方法(相關工作現況說明如報告書 3.2.4.1 節)，目前台電團隊已將研發成果送交 SKB，以獲取更進一步的技術建議，作為技術之驗證及精進之參考。

(3) 請說明將 DFN 轉換為等效多孔介質(Equilibrium Porous Medium, EPM)的擴尺度方法，以及與 SKB 進行國際交流完成參考案例裂隙網路之相關成果。另應說明該參考案例裂隙網路是否有與現場或經地下實驗室驗證分析。

台電公司說明參考案例裂隙網路建構 DFN 模型使用之 DFN Recipe，係根據現場調查所得的原始裂隙資料經由統計分析之計算結果，包含 6 孔地質鑽探孔壁攝影井錄的裂隙判識所定義之裂隙區域、裂隙強度及裂隙叢集，分析不同尺度下裂隙破裂軌跡長度及線型構造取得裂隙尺寸統計分布，以及瑞典 Forsmark 現場調查裂隙導水係數的經驗公式，藉以探討對 DFN 的統計實現值、目標深度(500 m)至地表的裂隙聯通性，以及 500m 深度之裂隙軌跡的影響。

參考案例裂隙網路與現場資料進行比對，考量研究區域現地並未建立地下實驗室以進行驗證，因此建構模型時採用地質鑽探岩心井錄、井測及孔壁攝影判識資料作為已知裂隙控制點，進行條件式模擬及修正 DFN 模型，以確保重新採樣裂隙參數分析結果呈現一致性。

有關地質環境部分重點議題，經本局檢視台電公司所提答復說明，確認台電公司業依答復說明修訂成果報告，後續將依本局審查結論執行相關管制作業。

2. 處置設計與工程技術

(1) 廢棄物罐的熱傳分析應詳細考慮材料參數與邊界條件，以建立我國用過

核子燃料廢棄物罐的溫度歷時曲線，以供各不同階段溫度之評估使用。

台電公司說明如下：

- A. 本研究目前已完成廢棄物罐依材料性質、邊界條件與初始條件等，進行熱傳評估，據以了解廢棄物罐之時間空間溫度分布。然透過廢棄物罐初步熱傳分析結果可知，因為金屬廢棄物罐熱傳導性能極佳，其裝載之用過核子燃料衰變熱可直接影響廢棄物罐之溫度，罐體本身無顯著劇烈溫度差異，故可由用過核子燃料衰變熱作為熱傳分析之初始條件，進行後續相關之評估。
 - B. 現階段保守假設，用過核子燃料歷經 50 年之冷卻，評估其衰變熱，作為後續分析之依據，同時，若有不同時間規劃進行處置之用過核子燃料皆可被涵蓋(衰變熱隨時間下降)。未來將配合處置設施營運管理技術等工作項目之規劃與需求，包含相關的封裝、海陸運與處置的時程安排等，具體評估合理其衰變熱，以了解相關熱傳與熱演化變化，及其是否對於處置系統安全產生影響。
 - C. 有關處置作業程序，瑞典的處置方式是在 CLAB 設封裝廠，用過核子燃料從濕式貯存抽出裝罐後，經海運方式運送到處置場，再由車輛直接運到地下處置區域。現階段高放處置計畫的規劃，差別只在於封裝廠設於處置場，用過核子燃料由中期貯存設施抽出，由運送護箱運送到封裝廠，封裝後直接到處置區域，所需的時間並無多大差異。對於廢棄物罐封裝後卻不處置的情節，應會儘量避免，考量可能運輸動線阻礙導致無法處置的方法例如：燃料未裝載時仍可置於運送護箱，使廢棄物罐在封罐後能盡速處置，可減少腐蝕危害、降低地震或其他意外事件導致外殼瑕疵，形成初始失效因子，對長期處置的安全性不利，亦有可能須重新裝罐。
- (2) 本年度在 EDZ 影響分析方面，採用二維有限元素軟體 Geostudio 建置之處置隧道斷面加上一層弱化後參數的材料，進行隧道開挖及受震穩定性分析；並同步採三維分離元素法 3DEC 建立含 DFN 模式，考量開挖後在 EDZ 範圍的裂隙之變化狀況，討論對 EDZ 參數的影響，並藉由模擬分析研究與現地水力傳導參數試驗之關係。請強化研究成果說明。

台電公司說明已依意見補充說明二維有限元素軟體 Geostudio 加上弱化材料後之受震成果，本(106)年度正進行本項目 3DEC 分析模式之建置工作。

Geostudio 成果補充說明如下：「為了解 EDZ 弱化後並對於受震穩定性之影響(模式如報告書圖 4-27)；同樣分別分析及計算出 A 點、B 點、C 點及 D 點之平均主應力及軸差應力值，並計算出對應的安全係數值，隧道斷面各點之的安全係數值，隧道受震時最低安全係數為 1.13，其中平均主應力以及軸差應力與未加入擾動弱化區域之受震案例僅些微差異，顯示整體應力狀態，並未因加入擾動弱化區域而有明顯影響，但因凝聚力及摩擦角等界面力學性質參數經折減，導致莫爾圓的破壞包絡線向下修正，而顯示於安全係數有降低的現象，但此一結果仍顯示保守的考量擾動弱化區域的參數折減後，隧道受震的穩定性仍在安全範圍。」

有關處置設計與工程技術部分重點議題，經本局檢視台電公司所提答復說明，確認台電公司業依答復說明修訂成果報告，後續將依本局審查結論執行相關管制作業。

3.安全評估

- (1) 表 5-16 與 5-17 中全球暖化、溫暖期、穩定釋出、瞬時釋出等不同生物圈劑量轉換因子估算的依據？穩定釋出與瞬時釋出的假設差異為何？如 3.3.4 節所述，考量冰期的演化是國際上用過核子燃料安全評估的氣候演化情節，請說明冰期的生物圈劑量轉換因子要如何估算。

台電公司說明如下：

- A. SNFD2017 報告中，生物圈演化共分為 4 個時期，分別為：(1)開挖與運轉階段、(2)封閉後與當代環境條件相似階段(即溫暖期)、(3)剩餘冰河期及(4)接續冰河週期等 4 個時期。生物圈系統於開挖與運轉及接續冰河週期階段演化，目前採取與瑞典 SKB 類似之假設方式來處理，即暫時忽略開挖與運轉階段之演化，並假設處置設施封閉後前 2 萬年期間生物圈系統演化與現今場址狀態相似，採用以重建末次冰河週期方式，持續重複 12 萬年參考冰河週期演化至 100 萬年安全評估時程結束，以及採用與封閉後初始溫暖階段演化情形，作為接續冰河週期

生物圈演化方式。因此，於 100 萬年安全評估期程內主要是評估溫暖期及冰河期之生物圈劑量轉換因子(BDCFs)；此外，關於生物圈系統於全球暖化期間演化，現階段則暫時採取與 SKB 類似方式來處理，即假設氣候狀態與人類飲食條件皆與封閉後及當代環境條件相似時期相似，並以延長封閉後及當代環境條件相似時期 5 萬年時間，做為全球暖化案例之評估時程，評估該時期之 BDCFs。

B. 選用 2 種不同核種釋出速率進行 BDCFs 評估之目的，在於搭配不同廢棄物罐破壞模式假設。例如：在廢棄物罐腐蝕情節中，由於假設核種由遠場係以穩定速率(1 Bq/yr)釋出進入生物圈，並隨著時間演進，核種於環境介質中濃度逐漸達到定值，因此以穩定核種釋出方式評估 3 種不同氣候條件之 BDCFs；另外在廢棄物罐剪力失效情節中，則假設核種可能於處置設施封閉後數十年內，經由燃料溶解而瞬間釋出至生物圈，此時，若使用穩定核種釋出條件所得到之 BDCFs 進行劑量評估，將使劑量模擬結果高估許多；因此，則以遠場瞬時核種釋出率(1 Bq)，估算 3 個不同氣候條件下之 BDCF pulses。

(2) 為提升安全分析之可信度，安全分析模式應經校準並備模式校準報告。台電公司應備妥相關安全分析模式校準報告，請說明未來規劃。

台電公司說明有關模式驗證等依「模式建立品質程序書」規定執行。模式執行者應確認模式規格並確實填報「模式評估紀錄表」，表單資訊包含分析工具、方法論與所執行設備以維持計算書或報告資料之追溯性。另進行分析及驗證等工作後，將確實撰寫計算書或報告，內容須包含驗證過程、基本方程式、參數說明、模式架構、基本假設、分析方法等。

有關安全評估部分重點議題，經本局檢視台電公司所提答復說明，確認台電公司業依答復說明修訂成果報告，後續將依本局審查結論執行相關管制作業。

四、審查結論

用過核子燃料最終處置計畫潛在處置母岩特性調查與評估階段 105 年度

執行成果報告審查結果分述如下：

1. 「用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」(SNFD2017)為我國高放處置計畫技術的重要報告，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第 14 項要求，與時俱進精進技術，每四年提報更新技術報告送原能會審核，以確保處置技術符合國際水平，並提升民眾的安全保障。
2. 台電公司應就國際間對於用過核子燃料/高放射性廢棄物最終處置之再取出方案，以及處置設施風險/劑量評估分析實務作法進行專案研析，於 107 年 5 月底前分別提出相關專案報告。
3. 台電公司應持續精進處置技術內容，並建立「高放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」，於 SNFD2017 報告完成審查後 2 個月內，依據審查結果修正更新上述處置技術建置計畫內容，提報本局備查。
4. 台電公司對於年度計畫之研提，應採取任務導向，詳實規劃研究發展項目，並按照年度工作計畫規劃事項確實推動辦理，以落實年度工作計畫目標與進度，循序漸進逐步推展最終處置計畫。
5. 台電公司應強化研發能量，積極尋求國際技術合作與交流，參與國外研發計畫或引進國外技術與研究成果，同時應瞭解國外研究成果應用於本土之適切性，以強化本土研究技術及研究成果。
6. 台電公司應積極執行國際同儕審查工作，以提升 SNFD2017 報告品質。有關國際同儕審查意見之後續處理，應建立改善及追蹤辦理機制，並依專案品保計畫之相關品保要求辦理，以確保研究成果之可信度。
7. 為確保年度計畫成果的可檢視性及可回溯性，本計畫相關文件及資訊之品保作業的執行，應符合專案品保計畫之相關品保要求及 IAEA SSR-5 和 IAEA SSG-23 相關章節的要求，並確保符合「放射性廢棄物處理貯存最終處置設施建造執照申請審核辦法」第 4 條第 4 項有關安全分析報告應檢附明確充分之佐證資料相關規定。
8. 請台電公司持續強化「用過核子燃料最終處置計畫」資料庫之管理與整合

功能，其重要決策過程應保存相關文件紀錄。

9. 請台電公司參照處置先進國家專責機構的作法，建置處置專屬網站或專區，至少應參照與台電公司簽定技術合作協定之日本原子力發電環境整備機構(NUMO)的網站為準。
10. 為增進民眾對於處置安全特性的瞭解，提升公眾溝通的效果，台電公司應主動瞭解民眾對最終處置計畫之關切事項與適時回應，並以簡單明瞭概念，採淺顯易懂與親民生動的表達方法，讓民眾能瞭解高階核廢料的特性及國際間對於高階核廢料處置的作法，藉此增進民眾對於國內最終處置的信心。
11. 經濟部已責成台電公司進行高放射性廢棄物最終處置設施選址條例之研訂，為順利銜接用過核子燃料最終處置計畫後續階段作業，請台電公司於處置計畫第二階段開始前，完成高放射性廢棄物最終處置設施選址條例之草案。

五、結語

台電公司所提報之用過核子燃料最終處置計畫 105 年度成果報告，本局業已完成審查，將持續督促台電公司依審查結論辦理高放最終處置計畫工作。

本局後續除將持續依據物管法第 49 條規定，嚴格審查台電公司提報之年度工作計畫及執行成果報告，並要求台電公司考量國際發展趨勢及計畫執行現況，持續精進並周研計畫內容，以妥善執行最終處置計畫，確保能如期如質達成階段性目標。