

用過核子燃料最終處置計畫

106年度成果報告

審查報告



原子能委員會放射性物料管理局

中華民國一〇七年六月

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107年2月1日以核端字第1078008033號函，提報「用過核子燃料最終處置計畫－106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、處置技術與工程設計、安全評估、國際同儕審查與結論等章節，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107年3月16日函復台電公司77項審查意見，台電公司於107年4月13日提出答復說明並修訂報告，經本局進行複審，並於107年5月4日召開審結會議，於107年5月9日函復台電公司第二次審查意見及審查結論。台電公司於107年5月31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107年6月7日以物三字第1070001460號函，同意備查「用過核子燃料最終處置計畫－106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106年度執行成果報告的重要審查議題，分述如下。

(一) 地質環境

1. WEP (The Western Edge of the northward subducting PSP in northern Taiwan)之研究，為106年度台灣地質環境特徵彙整的重要成果，參考Wu et al. (2009)指出此一交界應以三維資訊呈現，惟報告中並未針對WEP三維位置決定方式、精度以及不確定性說明。

另高放處置的地質穩定性評估，有關WEP未來一百萬年將持續垮塌下陷之論述資訊不夠充分，台電公司應參考SNFD2017國際同儕審查報告建議，彙整所有具爭議性之長期地質穩定性論述，並據以提出下一階段研究重點，方有機會改進國內對未來一百萬年地質穩定性之理解。

台電公司說明：

- (1) 為了提供計畫「地質處置合適性」之立論基礎，台電公司於SNFD2017報告進行研究，並說明WEP在臺灣大地構造架構及地質演化所扮演的角色。Wu et al. (2009)利用深部地震紀錄來解析菲律賓海板塊與歐亞板塊邊界，反映位於台北下方120公里深處的板塊邊界，本計畫則著重在地質紀錄反映WEP在淺部地殼的影響範圍。為考量WEP在淺部地殼的影響，文獻資料(陳文山等，2016，p5)顯示大約在立霧溪北側至中壢一線以東地區，於陸海域第四紀以來普遍發生地殼伸張與張裂構造，也因此陳文山等(2016)彙整稱為「北部張裂帶地質區」。另外，WEP詳細位置(二維或三維)依所考量的資料不同，所描繪出的邊界形態及深度也隨之不同。欲評估WEP三維位置及地表影響

範圍，就處置計畫的應用需求而言(地表下1,000公尺範圍內的岩體特性)，目前所彙整的資料已可供區域尺度長期地質演化與影響範圍評估所需。

- (2) 有關「北部張裂帶」長期地質穩定性相關研究，目前分採短、中、長期之時間尺度進行相關監測與研究，台電公司未來將持續強化與精進不同時間尺度下之地質穩定性相關研究，並參考國際審查團隊(IRT)的建議，對於板塊運動、火山、活動斷層等活動進行系統性的探討，並加強抬升及沉陷行為對處置安全影響相關研究。

2. 報告第3.2.2.1節說明”當模擬時間約達1千多萬年，地下水流達到穩態。”，如各項邊界條件均為穩態條件，僅需進行穩態數值模擬即可，故請台電公司說明進行動態1千多萬年模擬的原因。

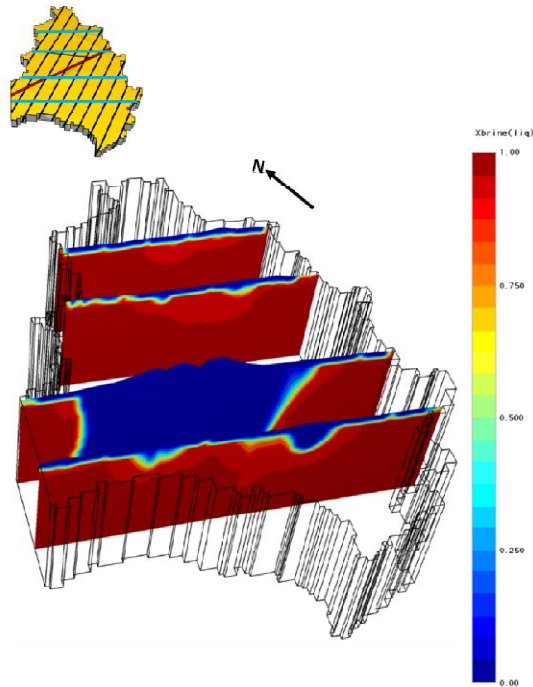
另外，如欲模擬海水入侵結果，需利用既有鑽探之水質資料，以佐證K區地下水之海水入侵位置與深度，另縱使K區深層地下水現存有高濃度鹽水，也不必然是因海水入侵造成，需鑑別K區之水文地質是否具備海水入侵特徵。建議報告中”海水入侵現象相當明顯”敘述可再檢討。

台電公司說明：

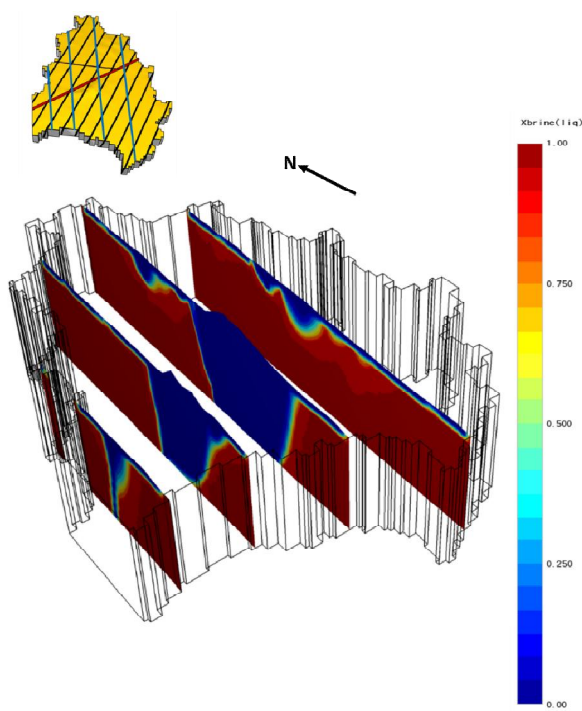
由於研究使用TOUGH2進行地下水流場模擬。TOUGH2並無穩態數值模擬功能，必須在特定的起始及邊界條件下，進行動態模擬至穩定狀態。原文敘述「當模擬時間約達1千多萬年，地下水流達到穩態。」僅為表達模擬案例的時間約達1千萬年時，模擬結果已達穩定狀態，惟為避免造成誤解，將報告修訂為「並持續模擬至地下水流達穩態」。

106年度進行之模擬案例研究，係透過邊界擾動、額外壓力等設定，呈現海水入滲行為的變化，進行海水邊界條件敏感度分析。為避

免造成誤解，報告內文修訂為：「當模擬達穩態時，模型東西向及南北向的鹵水質量分率等值圖如下圖，由圖中的鹵水分布情形可以發現太武山區域.....」



穩態狀況下東西向剖面鹵水質量分率分布圖



穩態狀況下南北向剖面鹵水質量分率分布圖

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。

(二) 處置技術與工程設計

1. 成果報告說明"仍有極少數條件較為特殊之用過核子燃料組件，須進行額外的臨界分析，以確保最終處置之臨界安全"。台電公司應進一步說明未分析的項目，或者將臨界分析單獨提出完整報告說明，以利後續進行妥善的補充分析。

台電公司說明：

我國有少數用過核子燃料組件是屬於高初始鈾濃縮度但低退出燃耗，這些用過核子燃料組件無法符合裝載曲線的限制，而依據評估，大部分用過核子燃料組件之條件皆符合裝載曲線之限制，可合理推測其臨界特性符合要求。但少量的用過核子燃料組件，將以限制廢棄物罐裝填數量或執行細部分析等不同方法來確保其符合臨界要求。例如正常情況下PWR廢棄物罐可裝填4組，改為僅裝填2組或1組，因此，在此階段初步完成臨界評估分析能力之建立後，針對少部分條件較為不佳之用過核子燃料組件，仍需以實際裝填狀況進行模擬分析等分析方式，以確保臨界安全。相關分析研究將視整體計畫需求與排程，安排於未來進行研究規劃。

2. 對於隧道支撐系統所使用之混凝土是否需要使用到低鹼性混凝土，建議台電公司能參考國際作法加以釐清。另報告書對於低鹼性混凝土工程材料之特性評估，已規劃了多組配比並執行了相當數量的實驗，惟應針對低鹼性混凝土的核心特性(低 pH值的要求)進行說明。

台電公司說明：

瑞典SKI於 2007文獻(Savage et al. (2007))中，使用一般的混凝土

建造放射性廢棄物處置場時，地下水與混凝土接觸後將會導致孔隙溶液的鹼性上升，而長期處於較高鹼性環境下，膨潤土將因孔隙溶液中之OH⁻離子與蒙脫石的Ca²⁺或Na⁺反應而溶解，並且降低膨潤土原有之回脹能力，導致緩衝材料的劣化。為避免在長期鹼性環境下造成緩衝材料劣化，瑞典SKB、芬蘭Posiva 與日本NUMO已考量規劃使用低鹼性混凝土(pH低於11)取代一般混凝土作為深層地質處置隧道之工程材料。

低鹼性混凝土低 pH值要求部分，已於報告書補充酸鹼試驗之pH值數據。因瑞典、芬蘭與日本共同將低鹼性混凝土定義為孔隙溶液之pH值應低於11，依據現有試驗成果顯示，若混凝土本身與地下水接觸後滲透出的溶液pH值介於12至13間，將會降低膨潤土的回脹能力與功能特性；而使用pH值低於11之低鹼性混凝土將不會影響處置隧道中膨潤土產生功能性之影響，亦符合前述各國定義。

有關處置技術與工程設計部分重點議題，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。

(三) 安全評估

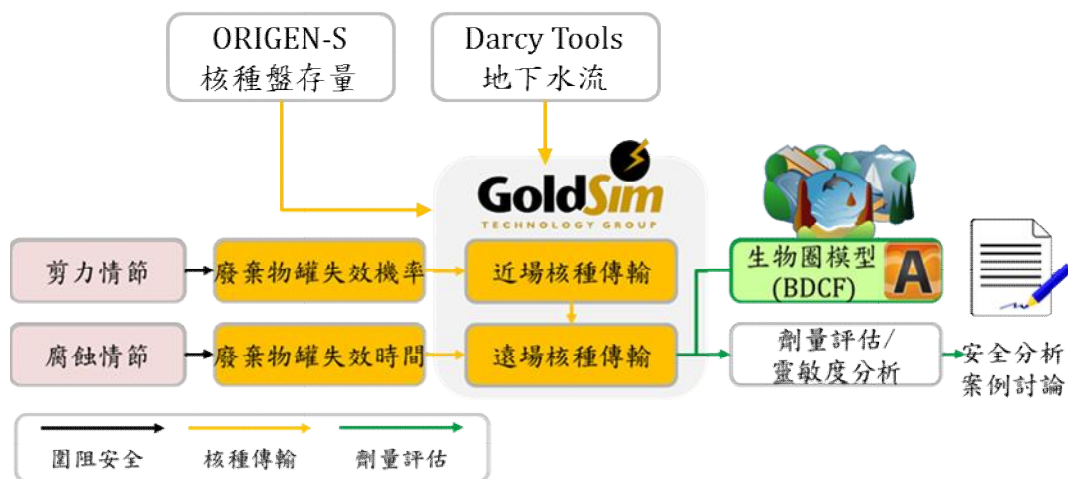
1. 請台電公司補充說明使用GoldSim模擬廢棄物罐各種初始缺陷案例之模擬設定架構(例：如何利用GoldSim整合近場與遠場、核種外釋機制、流速資訊取自何種模擬或推估等)。廢棄物罐初始缺陷之安全評估案例成果整合了那些安全評估模式鍊請說明。

台電公司說明：

- (1) 於GoldSim中，近場放射性核種傳輸係利用數個區塊模式(compartment model)模擬設施之各元件，即廢棄物罐空腔、初始缺陷、等效傳輸阻力封塞及緩衝材料，不同區塊有不同的輸入參數反映各元件特性，遠場放射性核種傳輸則係以裂隙傳輸

分析模組，採用平流-延散方程式(裂隙間)與擴散方程式(基質擴散，垂直於水流方向)進行耦合評估；在整合面，將近場與遠場交界之區塊將放射性核種釋出率提供給遠場的分析模組做為輸入資訊，並搭配DarcyTools所求得之水流相關功能測度值，以得到遠場放射性核種之釋出率。

- (2) 核種外釋機制考慮了持續釋出及瞬時釋出；持續釋出係指廢棄物罐失效後，燃料基質之放射性核種每年以定分率之方式釋出，瞬時釋出則為廢棄物罐失效後，立即釋出瞬釋分率之放射性核種盤存量。在近場中之釋出機制主要以擴散傳輸為主，遠場則以平流為主要傳輸機制，2者包含介質對核種的吸附作用等。
- (3) 水流相關資訊為取自另一地下水流程式DarcyTools所提供之水流相關功能測度值。
- (4) 於廢棄物罐初始缺陷案例中，核種盤存量為利用ORIGEN-S程式評估，水流資訊為取自DarcyTools程式之輸出結果，劑量轉換因子為Amber程式提供分析結果，利用GoldSim評估串聯前述程式所提供之結果，整合評估近場及遠場之放射性核種釋出率及劑量率。下圖即為整合後之核種釋出模式鏈示意圖。



2. 建議5.3.6節技術發展藍圖與技術發展路徑之研議，應先綜合研析本年度之安全評估分析模式建立與執行研究成果，彙整研議下一

階段之技術發展藍圖與技術發展路徑。例如目前整合的安全評估模式鍊待改進或建置之技術要項為何，技術發展藍圖與路徑為何等。

台電公司說明：

106年度工作以建立安全評估技術可行性為主要目標，106年度成果報告針對安全評估所選用的模式進行整合分析，並據以完成如報告所述之廢棄物罐腐蝕作用及剪力效應情節模式鍊的建構與整合，並經由案例的演算證明技術可行性。此模式整合於SNFD2017報告也完成國際同儕審查，經由審查意見的回饋，於107年度工作計畫中，以燃料特性、生物圈、廢棄物罐腐蝕、地震引致剪力效應、水文地質與核種遷移等項目進行精進探討，以做為技術精進方向及未來技術發展藍圖。

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106年度執行成果報告審查結果分述如下：

- (一) 用過核子燃料最終處置計畫研究發展應採取任務導向規劃，並持續蒐集研析國際與合作研究計畫之發展成果。處置計畫第二階段技術建置及研發項目應詳實規劃分年工作項目與範疇，以落實研發工作實務與延續性；另應參照年度成果報告審查意見，強化處置技術建置內容。
- (二) 為提升處置計畫研發團隊之技術能力，台電公司於第二階段應持續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，以有效解決研發團隊之技術瓶頸，俾利計畫品質符合國際水平，並應於後續年度成果報告中，具體提供國際交流合作成

果。

- (三) 106年度溝通成果有關民眾接受度多屬定性描述，處置計畫第二階段將開始進行選址相關作業，請台電公司考量第二階段工作特性及目標需求，詳實規劃公眾溝通具體作法，以積極爭取民眾認同。
- (四) 本報告第6章國際同儕審查部分，台電公司應參照SNFD2017報告國際同儕審查對未來研發工作之建議，積極研究辦理，以確保計畫品質。
- (五) 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。台電公司應規劃具體時程，以強化「用過核子燃料最終處置計畫」資料庫之管理與整合功能。