

用過核子燃料最終處置計畫  
候選場址評選與核定階段  
110 年度工作計畫  
(修訂二版)

台灣電力公司

中華民國 110 年 2 月



# 110 年度工作計畫目錄

頁次

1. 概述.....	1-1
2. 計畫目標.....	2-1
3. 場址合適性調查與調查技術.....	3-1
3.1. 臺灣海域中生代基盤岩特性調查.....	3-1
3.1.1. 底質剖面探勘.....	3-3
3.1.2. 火花放電反射震測.....	3-4
3.1.3. 長支距多頻道反射震測探勘.....	3-5
3.1.4. 海域重力與磁力探勘.....	3-6
3.2. 現地調查試驗程序與整備.....	3-15
3.2.1. 現地調查試驗程序與整備.....	3-15
3.3. 地質構造及大地應力調查.....	3-16
3.3.1. 現地應力量測技術演練.....	3-16
3.3.2. 區域應力模式建置.....	3-17
3.4. 長期監測與樣本分析技術.....	3-18
3.4.1. 全球衛星定位連續監測與時序分析.....	3-18
3.4.2. 微震監測及資料解析.....	3-19
3.5. 地質描述模型與資料視覺化技術.....	3-20
3.5.1. 岩石力學場址特徵化技術與模式發展.....	3-20
4. 工程設計.....	4-1
4.1. 安全論證.....	4-1
4.1.1. 初步安全論證報告.....	4-1
4.2. 長期性能評估技術.....	4-2
4.2.1. 地震對處置深度應力影響性評估.....	4-2
4.2.2. 侵蝕作用下之廢棄物罐力學演化分析.....	4-3
5. 安全評估技術.....	5-1
5.1. 安全論證.....	5-1
5.1.1. 初步安全論證報告.....	5-1
5.2. 安全評估技術精進.....	5-3
5.2.1. 核種傳輸評估技術精進.....	5-3
5.2.2. 地殼抬升與侵蝕作用情節建立與分析.....	5-4
5.2.3. 膨潤土受裂隙水流侵蝕試驗.....	5-5
6. 資料庫.....	6-1

6.1. 高放處置資料庫.....	6-1
6.1.1. 資料庫精進.....	6-1
7. 參考文獻.....	7-1

## 圖目錄

	頁次
圖 1-1 : 用過核子燃料最終處置計畫之計畫沿革及全程工作規劃 .....	1-3
圖 3-1 : 不同震源之頻率分布比較圖 .....	3-7
圖 3-2 : 底質剖面儀資料處理流程圖 .....	3-8
圖 3-3 : 火花放電反射震測的資料處理流程 .....	3-9
圖 3-4 : 海域(長支距)多頻道反射震測探勘原理示意圖 .....	3-10
圖 3-5 : 海域多頻道反射震測的資料處理流程圖 .....	3-10

---

## 表目錄

表 3-1 : IHO S-44第五版海洋測量標準之技術規範公式列表 .....	3-11
表 3-2 : 火花放電震測儀器規格表 .....	3-12
表 3-3 : 表拖磁力儀規格表 .....	3-13
表 3-4 : 船載重力儀規格表 .....	3-14

## 1. 概述

我國自 67 年開始利用核能發電，迄今共有核一、二、三廠的 6 部核能機組，其中，核一、二廠 4 座機組為沸水式反應器(Boiling Water Reactors, BWR)，核三廠 2 座機組為壓水式反應器(Pressurized Water Reactors, PWR)。預估此 3 座核能電廠的 6 部機組運轉 40 年，所產生的用過核子燃料組件(assemblies)預估數量合計約為 BWR 17,890 束組件，PWR 4,320 束組件，約相當於 4,913 公噸鈾的用過核子燃料。

用過核子燃料是指在核子反應器燃燒到無法再有效地支持核分裂反應且被移出反應器的核子燃料；依據國內法規定義，高放射性廢棄物指備供最終處置之用過核子燃料或其經再處理所產生之萃取殘餘物。高放射性廢棄物具有相當高之放射性，會釋放大量的衰變熱，所含之放射性核種中，如  $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{129}\text{I}$  等分裂產物及  $^{237}\text{Np}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{243}\text{Am}$  與  $^{247}\text{Cm}$  等錒系(Actinide)核種，其半化期長達數十萬年，且部分核種為阿伐發射體，對人體具長期潛在的輻射危害，因此，審慎尋找共同認可的處置方式，確保高放射性廢棄物可以長期摒除在可能影響人類目前生活環境之外，一直是核能技術發展的重點之一。

經過國際間多年的研究後，一般咸認「深層地質處置」是高放射性廢棄物較為可行的最終處置方式。所謂「深層地質處置」是利用深部岩層的隔離阻絕特性，採用「多重障壁」的概念，將用過核子燃料埋在深約 300 m 至 1,000 m 的地下岩層中，再配合廢棄物罐、緩衝回填材料等工程設施。藉由人工與天然障壁所形成的多重障壁系統，有效阻絕或遲滯核種的釋出與遷移，以換取足夠的時間使用過核子燃料的輻射強度在影響生物圈之前已衰減至可忽略的程度。

我國用過核子燃料處置之推動，係依台電公司 95 年提報行政院原子能委員會核定之「用過核子燃料最終處置計畫書」擬定時程及規劃，執行境內最終處置之技術發展及處置設施的籌建工作，處置計畫書每 4 年檢討修訂，以確保處置計畫符合國際現況發展。處置計畫全程工作共分為「潛在處置母岩特性調查與評估(94 年~106 年)」階段、「候選場址評選與核定(107 年~117 年)」階段、「場址詳細調查與試

驗(118年~127年)」階段、「處置場設計與安全分析評估」階段(128年~133年)及「處置場建造(134年~144年)」階段等5個階段(如圖1-1)。「潛在處置母岩特性調查與評估階段」已於106年結束，台電公司分別於98年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告(SNFD 2009報告)」及106年底提報「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(SNFD 2017報告，台電公司，2017)」，達成第1階段重要里程碑，報告結論包括：「(1)確認我國具有結晶岩深層地質處置之可行性；(2)排除西南部泥岩的處置可行性；及(3)需持續關注中生代基盤岩的研究以探討其處置可行性。」確認國內具有合適之處置母岩、最終處置設施工程設計及長期安全評估能力與技術。

另，依行政院原子能委員會109年1月14日以會物字第1090000642號函核備之「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」，目前為「候選場址評選與核定(107年~117年)」階段，本階段工作在運用「潛在處置母岩特性調查與評估」階段所建立之技術及獲致的成果，包括初步取得的岩體可能範圍、大小尺寸、構造的可能位置及基本地質特性等資料，從國土範圍中挑選合適的潛在處置母岩並建議列為未來處置設施設置的數個地區，進行候選場址的特性與安全評估等相關研究，提供區域性環境與候選場址地質條件的基礎資料，進而評選出處置設施設置的建議地點，以進行詳細場址調查與確認，各項結果亦反覆回饋於本階段之安全評估技術建立，同時亦從候選場址處置設施功能與安全觀點，提供作為評選場址之參考。



## 2. 計畫目標

依據最新核備之「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」，本階段(107年至117年)整體計畫發展策略規劃分為2期進行，分別為前4年「調查準備期(107年~110年)」與後7年「區域調查期(111年~117年)」；另，依行政院原子能委員會於109年3月24日以物三字第1090000825號核定之「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」，規劃工作依照「場址合適性」、「工程設計」與「安全評估」等架構進行技術工作規劃與發展路徑圖，以達成本階段**主要目標**：「完成候選場址的調查與評估並建議優先詳細調查之場址」及「建立候選場址安全評估之技術」。

就「場址合適性」工作規劃，「調查準備期」承續第一階段發展之潛在處置母岩特性調查技術，持續精進通用型之區域特性調查技術，並視國內高放選址法規立法進度，於「區域調查期」開始進行候選場址區域調查及技術發展。本階段工作將依：「現地調查試驗程序與整備」、「地質單元及地球物理調查」、「水文地質及地球化學調查」、「地質構造及大地應力調查」、「長期監測與樣本分析技術」與「地質描述模型與資料視覺化建構技術」等6大技術面向分項進行，以期於115年完成「候選場址之特性調查與評估」相關工作。

「工程設計」工作規劃方面，因目前尚無明確場址，故工程設計相關工作，將著重於持續發展通用的工程設計相關技術與處置系統本土適用性驗證，技術發展主題包含概念設計與接續的設計分析工作，以及精進長期性能評估技術。本階段工作包括：「處置系統適用性分析與設計調整」及「工程障壁特性與性能評估」2部分進行，以期於114年完成「處置場概念設計」。

「安全評估」工作規劃方面，因目前尚無明確場址，故安全評估相關工作，將著重於發展用過核子燃料最終處置設施特定需求的封閉後長期安全評估技術，涵蓋工程障壁及地質環境在不同情節下處置設施核種外釋的特徵、事件及作用(FEPs, Feature, Events, and Process)。本階段工作包括：「建立通用性封閉前安全評估技術」及「建立通用

性且符合安全論證的封閉後安全評估技術」，並配合調查期所取得之調查成果，以期於 116 年完成「候選場址功能/安全評估技術」。

除前述 3 項核心技術，本階段工作亦包括：(1)持續推動國際技術合作，確保處置技術發展符合國際水平，目前台電公司已與多國簽訂合作備忘錄，就技術發展與經驗回饋方面持續交流，並加入國際熱—水—力—化耦合研究計畫 DECOVALEX，持續與國際專家團隊進行技術精進與交流；(2)持續進行高放處置相關資料庫之更新與維護，參考國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)所發布之放射性廢棄物處置安全要求 SSR-5(IAEA, 2011a)及放射性廢棄物最終處置安全論證導則 SSG-23(IAEA, 2012)對品質之要求，強化計畫相關文件及資訊之品保作業，以確保計畫成果的可檢視性及可回溯性；(3)依主管機關要求，須於 2025 年提報安全論證報告，目前將參酌 SNFD2017 報告國際同儕審查結果與原能會審查結論，並持續蒐集國際間已發布之高放處置設施安全論證報告，作為 2025 安全論證報告內容規劃之參考，相關成果將逐年呈現於年度工作執行成果。

### 3. 場址合適性調查與調查技術

台電公司參考國際核能處置先進國家(如瑞典、芬蘭、日本等)之現地調查技術並盤點我國已執行及發展中之調查技術，提出「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」，說明技術建置長期推動的方式，並依照各領域(場址合適性調查技術、工程設計技術、安全評估技術)的分項進行技術概述、發展現況與相關規劃的細部說明。

「場址合適性調查與調查技術」之相關工項，係依照「用過核子燃料最終處置計畫書」、「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」及主管機關要求辦理，採任務導向進行規劃發展，以期達成本階段目標完成「候選場址之特性調查與評估」相關工作。

#### 3.1. 臺灣海域中生代基盤岩特性調查

本項工作依據「SNFD 2017 報告結論：(3)需持續關注中生代基盤岩的研究以探討其處置可行性」及 109 年度工作計畫 3.1.1 節之成果規劃進行。

海域中生代基盤調查之主要待釐清議題為中生代基盤岩之分佈位置、距離地表深度、其地質穩定度、構造活動度等議題。本項工作規劃自 109 年起預計執行 5 年，109 年透過文獻整理與調查並建立初步地質概念模式，自 110 年起逐年進行地球物理調查作業，逐步強化與精進該地質概念模式。惟考量海域調查受天候、海況及船期安排等限制，各年度工作將依該年度實際執行現況動態調整成果內容。

地球物理調查方法包括震波測勘、重力及磁力測勘等方法，由於不同地球物理探勘方法其探測解析度、探測深度、探測對象等條件皆有所差異，探勘工作完成後必須綜合各項探勘成果才能對待釐清議題產出完整的地質環境解釋。而為達成上述目標，則需要考量各項地球物理探勘的探勘特性，規劃不同空間解析度的測線分佈及需要的測線總長度，因此現階段的預期成果皆以不同地球物理探勘項目所需之測

線長度為主，並輔以資料解析及成果判釋進行區域地質環境的評估工作。

震波測勘是利用人工震源來產生震波，藉由震波穿透地層介面時的反射訊號，推估地下地層特性。一般而言，頻率越高的震源，解析能力越佳，但穿透地層深度較淺；而頻率越低的震源，穿透深度較佳，可以取得較深部的地層構造資訊，但相對解析度較差。本項工作規劃3種震波測勘方式，藉由不同頻率之震源配合(圖 3-1)取得符合計畫需求之探測深度與具高解析度之震測資料，配合重力與磁力測勘，取得不同深度下之地層密度與磁學特性，作為建構區域地質模型之基礎。

### **3.1.1. 底質剖面探勘**

#### **3.1.1.1. 執行目的**

本項工作為確認地質構造於淺層海床之延伸性，做為評估近期構造活動之依據及淺層海床地質構造分布，預計於 4 年內完成 200 公里長之測線探測。

#### **3.1.1.2. 工作內容**

底質剖面探勘係以訊號調頻 (FM) 的方式，利用接收聲波穿透海床時因沉積層岩性的差異或其不連續面(如：沉積環境、沉積物來源或是地體構造變動等因素)而產生之聲波阻抗(acoustic impedance)，並量化分析接收到之聲波通過海底沉積物時的衰減情況，得到較清晰的沉積地層剖面影像。

本項工作 110 年度規劃測線總長為 50 公里，預計以震源頻率約 0.5 至 16k Hz 之底質剖面儀進行探測，探測解析深度至海床下 40 公尺，垂直解析度小於 0.5 公尺，並完成測線之資料解析，資料解析流程如圖 3-2。

#### **3.1.1.3. 預期成果**

- (1) 完成 50 公里長測線之底質剖面探測。
- (2) 完成前述探測資料解析與成果判釋。

### 3.1.2. 火花放電反射震測

#### 3.1.2.1. 執行目的

本項工作為調查中生代基盤岩上覆岩層的地質特徵與中生代基盤岩之頂部深度分布，預計於 4 年內完成 1,600 公里長之測線探測。

#### 3.1.2.2. 工作內容

火花放電震源是透過電極在海水內放電，經由放出的高壓電流通過海水介質，使電極周圍的海水快速蒸發膨脹並產生近似空氣槍震源之震波，進行反射震測探勘。火花放電反射震測探測與資料收集所使用的儀器與資料收集架構主要可以分成能量擊發系統、聲源接收系統與震測資料收集系統等 3 部分系統規格如表 3-2。

本項工作 110 年度規劃測線總長為 400 公里，預計以震源頻率約 0.1 至 1kHz 之火花放電系統間進行探測，探測解析深度至海床下 500 公尺，垂直解析度小於 1.5 公尺，並完成測線之資料解析，資料解析流程如圖 3-3。

#### 3.1.2.3. 預期成果

- (1) 完成 400 公里長測線之火花放電反射震測。
- (2) 完成前述探測資料解析與成果判釋。

### 3.1.3. 長支距多頻道反射震測探勘

#### 3.1.3.1. 執行目的

本項工作為調查中生代基盤岩之地質特徵，預計於 4 年內完成 1,000 公里長之測線探測。

#### 3.1.3.2. 工作內容

海域多頻道反射震測探勘 (multi-channel reflective seismic method, 圖 3-4) 係以空氣鎗 (air gun) 為人工震源 (seismic source)，利用高壓空氣壓縮機將 2,000 至 3,000 psi 的高壓空氣灌注至空氣鎗中，以等時間或者等距離方式瞬間釋放高壓空氣，當高壓空氣釋放至海水中時，會在水中瞬間製造壓力差並形成聲波往海床及其以下的地層傳播，而當該波動接觸至地層介面時，將會形成反射波傳回受波器浮纜，透過解算浮纜中的水聽器收到之反射波，則可得地層的反射訊號波形，獲得測線沿線的地下構造資訊。為提升震測剖面的訊號雜訊比值 (S/N ratio)，通常會將多個水聽器 (通常為 8 個以上) 組成 1 個頻道 (channel)，而數量在 3 個頻道以上的受波器浮纜則可稱為多頻道反射震測。

本項工作 110 年度規劃測線總長為 250 公里，預計採用 110 個頻道，探測解析深度至海床下 2,000 公尺，並完成測線之資料解析，資料解析流程如圖 3-5。

#### 3.1.3.3. 預期成果

- (1) 完成 250 公里長測線之長支距多頻道反射震測。
- (2) 完成前述探測資料解析與成果判釋。

### **3.1.4. 海域重力與磁力探勘**

#### **3.1.4.1. 執行目的**

本項工作為調查中生代基盤岩地下岩體密度與磁學性質之分布，預計於 4 年內完成 1,000 公里之探測。

#### **3.1.4.2. 工作內容**

本項工作將分別以 Sea Spy 磁力儀及 Air-Sea System II Gravity Meter 重力儀，進行全磁場 (total field) 與海域重力觀測，磁力儀與重力儀規格詳表 3-3 及表 3-4。磁力與重力探測作業將配合水深或震測調查作業，使各項探勘成果能在相同空間參考下進行相互對照，以得到更完善的地球物理探勘解釋成果。磁力探測方面，將採用新的尤拉解迴旋法 (Euler Deconvolution) (Hsu, 2002) 結合解析訊號法來進行地下構造位置逆推，並繪製磁化強度圖。重力探測方面，因不同時間不同航次的重力測量可能會有不同的參考基準面，為了將不同航次所收集的資料整編在一起，預計採用交叉點誤差 (cross-over error, XOE) 分析的技術 (Hsu, 1995) 調整各航次的基準面，將此誤差值降至最低，並繪製重力異常圖。

本項工作 110 年度規劃測線總長為 250 公里，探測解析深度至海床下 2,000 公尺，並完成測線之資料解析，

#### **3.1.4.3. 預期成果**

- (1) 完成 250 公里長測線之重力與磁力測勘。
- (2) 完成前述探測資料解析與成果判釋。

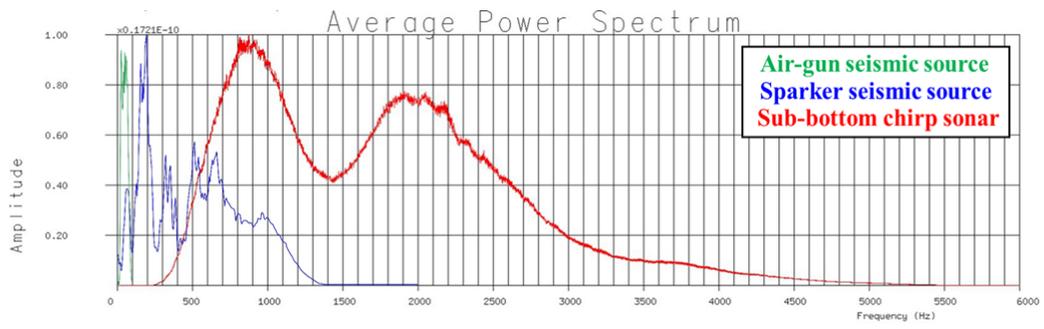


圖 3-1 : 不同震源之頻率分布比較圖

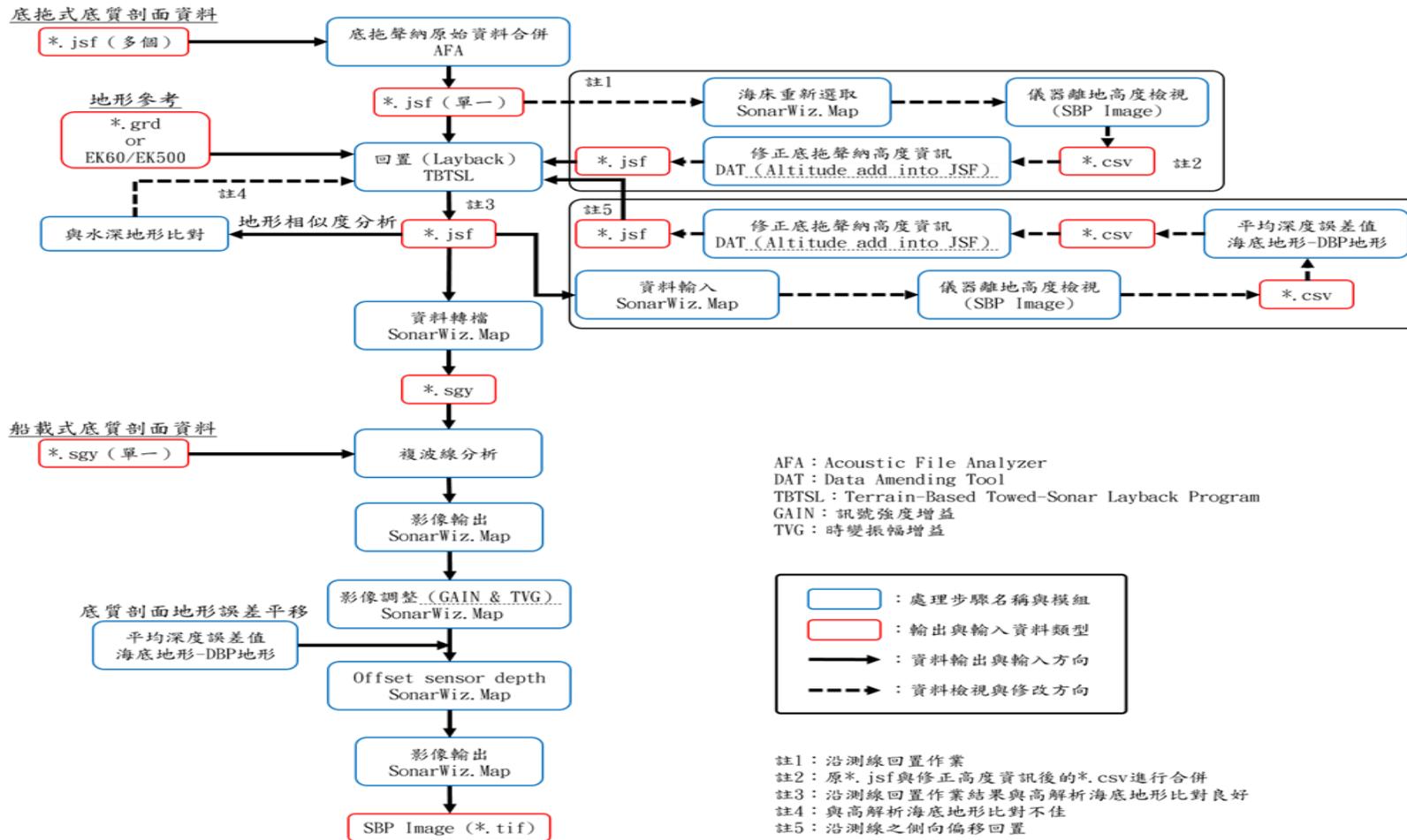


圖 3-2 : 底質剖面儀資料處理流程圖

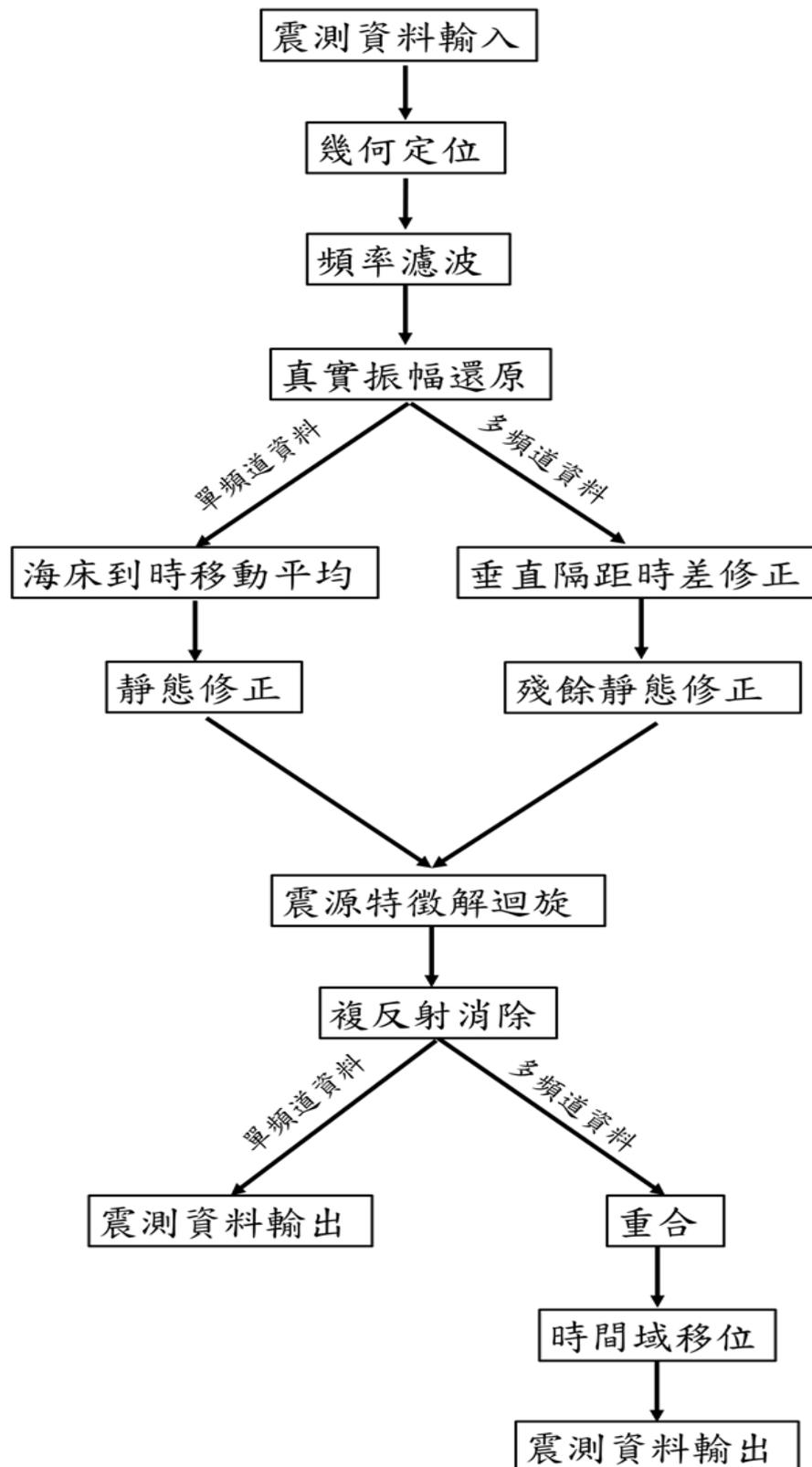


圖 3-3 : 火花放電反射震測的資料處理流程

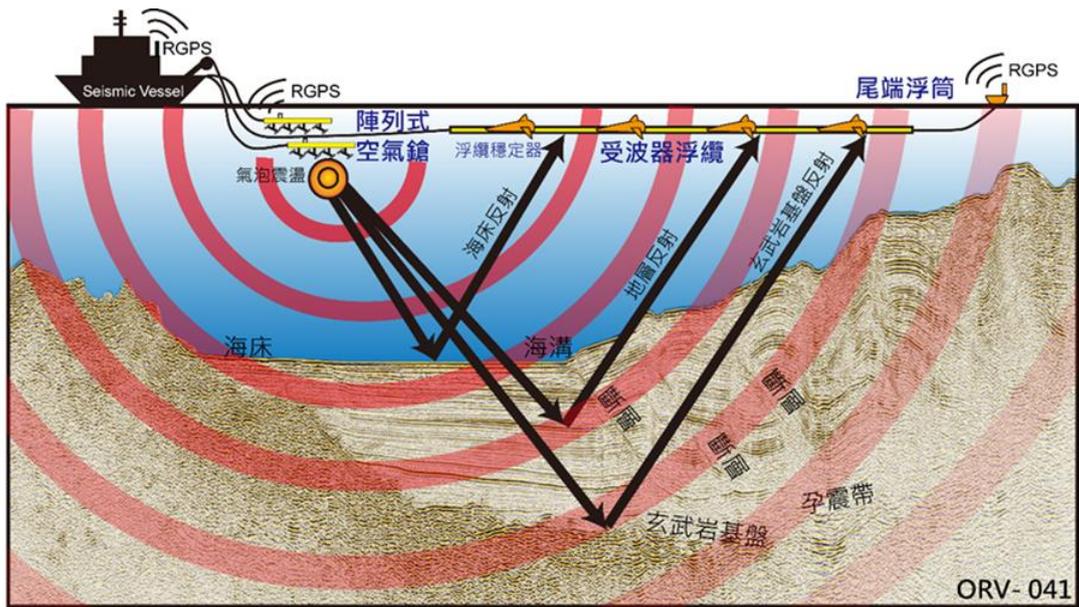


圖 3-4：海域（長支距）多頻道反射震測探勘原理示意圖

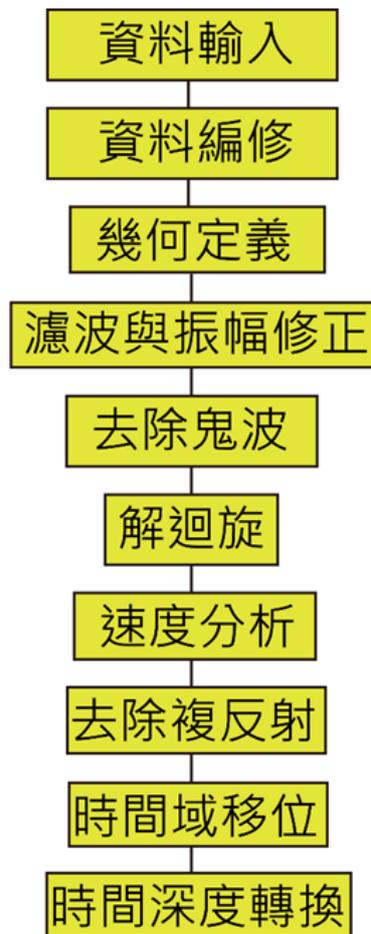


圖 3-5：海域多頻道反射震測的資料處理流程圖

表 3-1 : IHO S-44第五版海洋測量標準之技術規範公式列表

等級	特級	1a 級	1b 級	2 級
區域描述	船底淨空重要水域。	水深小於 100 m 之船底淨空次級水域，主要航道區。	水深小於 100 m，航行過渡區。	水深大於 100 m。
水平定位準度 (95%信賴區間)	2 m	5 m + 5%水深	5 m + 5%水深	20 m + 10%水深
垂直定位準度 (95%信賴區間)	a=0.25 m b=0.0075	a=0.5 m b=0.013	a=0.5 m b=0.013	a=1.0 m b=0.023
水深精度 (95%信賴區間)	$\pm\sqrt{a^2 - (b \times d)}$ a=0.25 m b=0.0075	$\pm\sqrt{a^2 - (b \times d)^2}$ a=0.5 m b=0.013	$\pm\sqrt{a^2 - (b \times d)^2}$ a=1.0 m b=0.023	$\pm\sqrt{a^2 - (b \times d)^2}$ a=1.0 m b=0.023
目標物偵測	需偵測到大於 1 m 之立方體。	水深 40 m 以內，需偵測到大於 2 m 之立方體；水深超過 40 m，需偵測到 10%水深之立方體。	不適用	不適用
建議最大測線間距	需滿足 100% 海床覆蓋率。	需滿足 100% 海床覆蓋率。	3 倍平均水深或 25 m，取其較好者。水深測點間距需滿足 5x5 m 網格。	4 倍平均水深
備註	a：固定水深誤差 (sum of all depth-independent errors)。 b：從屬水深誤差因子 (sum of all depth-dependent errors)。 d：水深 (m)。			

表 3-2 : 火花放電震測儀器規格表

火花放電震測系統 (Sparker)			
使用模式	拖曳式		
震源	火花放電震源鎗		
震源型號	ELP790	EDL1020	ELP1250
能量適用範圍	100-3,000 J	500-2,000 J	1,000-6,000 J
訊號頻譜	>800 Hz	900-1,400 Hz	>1,200 Hz
重量	2 kg	3.5 kg	5.2 kg
尺寸	100 x 60 x 6 mm		
火花放電震測受波器浮纜 (Streamer)			
受波器浮纜型號 (SIG)	SIG-16.24.24.66	SIG-16.4.8.12	
接收器頻道數量	2 個頻道	1+1 個頻道	
最佳接收頻率範圍	10-1,000 Hz	10-1,000 Hz	
水中受波器數量	24+24	4+8	
接收器間距	1 m	0.5 m+1 m	
電纜長度	66 m	12 m	
受波器靈敏度	SIG-16.24.24.66	SIG-16.4.8.12	
受波器浮纜型號 (GEO)	MicroEel Analog Solid Seismic Streamer		
接收器頻道數量	24 個頻道		
頻道每組接收器數量	3		
接收頻率範圍	10-10,000 Hz		
水中受波器數量	72		
接收器頻道間距	1.5625 m		
接收器間距	0.22 m		
電纜長度	164.138 m		
火花放電震測同步主機 (Trigger Box)			
震測同步主機型號	EIVA NAVISUTE		
電源供應	110—230 V		
Trigger 輸入端	BNC 接頭	+2.5 VDC to +3.5VDC	
Trigger 輸出端	4 組 BNC 接頭	+5 VDC、+15 VDC	
Variable pulse-time	10-500 ms		
尺寸	485 x 43 x 380 mm		
重量	4.1 kg		

表 3-3 : 表拖磁力儀規格表

儀器樣式	表拖磁力儀
使用模式	拖曳式
最大解析度	0.001 nT
精確度	0.1 nT
工作範圍	18,000-120,000 nT
取樣範圍	4 Hz-0.1 Hz
最大拖曳電纜長度	300 m

表 3-4 : 船載重力儀規格表

元件 (component)	變量 (variable)	規格 (specifications)
傳感器 (sensor)	範圍 (range)	20,000 毫伽 (mGal) (worldwide 全球)
	漂移 (drift)	每月老化 3 毫伽 (3 mGal / month after aging)
	溫度設定點 (temperature setpoint)	46° 至 55°C
穩定化平台 (stabilized platform)	平台前後傾斜 (platform pitch)	± 22 度 (degree)
	平台橫搖 (platform roll)	± 25 度 (degree)
	平台週期 (platform period)	4 分鐘 (Minutes)
	平台阻尼 (platform damping)	臨界值 0.707 (of Critical)
控制系統 (control system)	記錄速率 (recording rate)	1 Hz
	序列埠 (serial output)	RS-232
系統性能 (system performance)	解析度 (resolution)	0.01 毫伽 (mGal)
	靜態反復精度 (static repeatability)	0.05 毫伽 (mGal)
	動態反復精度 (dynamic repeatability)	1.0 毫伽 (mGal) 或更好 (better)
	50,000 mGal 水平加速度 (Horizontal Acceleration)	0.25 毫伽 (mGal)
	100,000 mGal 水平加速度 (Horizontal Acceleration)	0.50 毫伽 (mGal)
	100,000 mGal 垂直加速度 (Vertical Acceleration)	0.25 毫伽 (mGal)
	海上精度 (accuracy of sea)	< 1.00 mGal
雜項 (MISC.)	工作溫度 (operating temperature)	5° 至 40°C
	貯存溫度 (storage temperature)	-10° 至 50°C
	動力設備 (power equipment) (into UPS)	平均 240 瓦 (240 watts average) 最大 450 瓦 (450 watts max) 80-265 VAC, 47-63 Hz
	尺寸 (dimensions)	71*56*84 cm 28*22*33 in
	重量 (weight)	儀器 (meter) : 86kg ; 190 lbs (磅) UPS : 30kg ; 65 lbs (磅)
重力單位 (gravity units)	1 Gal = 1 cm/sec <sup>2</sup> 地球表面重力值為 978 到 983 伽 (Earth's gravity varies from 978 to 983 Gals at the surface.) (978,000 mGal to 983,000 mGal )	

## **3.2. 現地調查試驗程序與整備**

### **3.2.1. 現地調查試驗程序與整備**

#### **3.2.1.1. 執行目的**

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.1 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.1.2.節規劃執行。

本項工作為「區域調查期」之前置作業，目的為建立區域調查期所需之現地調查與試驗之作業程序，確保本計畫相關調查作業之品質與數據可追溯性。

#### **3.2.1.2. 工作內容**

本項工作將參考國外專業機構(如：高放處置專責機構、美國材料和試驗協會、國際岩石力學協會等)建議方法，與國內現有現地施作程序及施測結果，就區域調查所需之現地調查作業程序，包括：「現地鑽探及取樣作業」、「現地套鑽施作與變位量測標準作業」、「現地水文地質試驗作業」等，建立適用於「用過核子燃料最終處置計畫」現地調查之標準作業程序及相關紀錄檔，以確保調查資料之可信度與可追溯性。

#### **3.2.1.3. 預期成果**

- (1) 建立「現地鑽探及取樣作業」相關工作之標準作業程序。
- (2) 建立「現地水文地質試驗作業」相關工作之標準作業程序。
- (3) 建立「現地套鑽施作與變位量測標準作業」相關工作之標準作業程序。

### 3.3. 地質構造及大地應力調查

#### 3.3.1. 現地應力量測技術演練

##### 3.3.1.1. 執行目的

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.4 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.4.1.節規劃執行。

##### 3.3.1.2. 工作內容

本計畫業於「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」盤點孔內現地應力調查技術，在目前在無特定場址的情況下，依規劃建立現地應力量測之標準作業程序，井孔崩落法主要是結合四軸井徑量測與孔內攝影結果進行現地應力方向之分析，因此需求環境主要為裸孔狀態，其主要適用於破碎程度相對低之火成岩、變質岩與成岩作用較佳之沉積岩，本工作考量井孔崩落法(四軸井徑量測探頭搭配孔內攝影調查分析)僅需於裸孔狀態下以探頭方式施作(Plumb and Hickman, 1985; Ringgaard, 2007)，較套鑽法、平鈸千斤頂法及水力破裂法之試驗流程簡易、快速且場地限制條件較少，故選為優先技術建置項目。本項工作將參考國際文獻資料，制定調查技術之標準作業程序與資料分析方法，再透過現地試驗獲取調查數據，解析其現地應力分布情形，並探討試驗之不確定性。

##### 3.3.1.3. 預期成果

- (1) 完成井孔崩落法之標準作業程序與資料分析方法建置。
- (2) 進行國內井孔崩落法試驗測試，計算現地應力方向，並探討試驗誤差與不確定。

### 3.3.2. 區域應力模式建置

#### 3.3.2.1. 執行目的

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.4.節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.4 節規劃執行。

#### 3.3.2.2. 工作內容

彙整 109 年度之岩樣分析結果、本工項地表露頭調查結果、以及臺灣本島結晶岩地區岩石力學性質與裂隙幾何特性資料，並蒐集臺灣本島結晶岩地區現地應力大小及其主應力方向等資料，歸納研究區域之岩石力學特性與瞭解區域應力場分布，歸納研究區域之岩石力學特性與區域應力場分布，以建置離散裂隙網路(DFN)模型以及三維區域應力模式。

#### 3.3.2.3. 預期成果

- (1) 綜整地表露頭裂隙調查成果以及臺灣本島結晶岩地區之岩石試驗、裂隙、區域應力場數據資料。
- (2) 基於前述資料三維區域應力模式。

### **3.4. 長期監測與樣本分析技術**

#### **3.4.1. 全球衛星定位連續監測與時序分析**

##### **3.4.1.1. 執行目的**

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.5 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.5.2 節規劃執行。

本計畫自 101 年度起持續記錄 GPS 連續觀測站觀測數據，針對臺灣本島花崗岩體區域進行長期性觀測，以瞭解區域岩體的抬升或沉陷趨勢，逐步發展調查與解析技術，逐年累積並建立臺灣本島花崗岩體地區相關地質構造分析所需之基礎數據，作為建立臺灣本島花崗岩體區域地表變形趨勢評估之參考依據。

##### **3.4.1.2. 工作內容**

本項目為長期監測工作，將持續蒐集 GPS 連續觀測站觀測數據，針對臺灣本島花崗岩體之地表變形趨勢，利用本計畫既有之 GPS 連續觀測站，持續進行連續觀測站之資料解析，逐年累積觀測資料與觀測數據分析，據以探討臺灣本島花崗岩體分布區域地表變形趨勢。

##### **3.4.1.3. 預期成果**

- (1) 累積觀測區內既有 GPS 連續觀測站之觀測資料(至 110 年)，並蒐集觀測區內其他單位所設置之連續觀測站資料。
- (2) 以時序分析方法與空間濾波技術處理前項觀測資料，改善資料精度，提升地表變形信號，獲得觀測區之水平速度場及垂直速度場，以探討區域地表之變形趨勢。

### 3.4.2. 微震監測及資料解析

#### 3.4.2.1. 執行目的

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.5 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.5.2 節規劃執行。

為了解處置母岩區域周圍岩性、斷層分布以及地震活動之受震影響，並分析既有斷層受震誘發滑移與震源距離、斷層幾何等關係，擬透過近場微震監測資料提供主要斷層、裂隙分布、震源位置、應力降及傳遞波速(Falsh and Hokmark, 2006)等參數資訊。本計畫自 99 年度起已陸續於本島花崗岩區架設高密度且包覆性佳的微震監測網，持續累積長期的地震觀測資料、進行地震活動度及地震特性分析等相關研究。為了提供更完整的岩體受震之影響性評估，須持續進行微震監測網的長期監測，並納入氣象局及其它單位的地震網資料，並建置提高資料處理效率的自動化流程，解算地震資料及分析震源特性，並彙整過往分析資料，進行系統化統計分析。

#### 3.4.2.2. 工作內容

本項目為長期監測工作，將持續累積微震監測資料，進行地震資料前處理及解算，也針對地震叢集進行分析，並重新解算震源機制解分布狀況，評估斷層可能的衍生及分布資訊及活動潛勢。

#### 3.4.2.3. 預期成果

- (1) 地震站維護及持續累積微震監測網觀測資料蒐集，並進行地震資料前處理與解算，獲致地震叢集分布。
- (2) 完成既有地震資料的系統化統計分析(含規模頻率分佈圖、b-value 解釋與討論)。
- (3) 完成區域 3D 速度成像圖及潛在構造空間分布評估。

### 3.5. 地質描述模型與資料視覺化技術

#### 3.5.1. 岩石力學場址特徵化技術與模式發展

##### 3.5.1.1. 執行目的

本項工作依據「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.1.6 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 5.6.4 節規劃執行。

##### 3.5.1.2. 工作內容

蒐集臺灣本島結晶岩地區既有文獻及調查報告內之岩石試驗數據，及 109 年度完成之 13 項岩石樣本實驗室試驗結果，包括：基本物理性質、強度參數、變形參數及熱特性等參數，其中基本物理性質包含單位重、比重、含水量、吸水率、孔隙率、消散耐久試驗等；強度參數包含單軸壓縮強度、三軸壓縮強度、抗張強度、凝聚力、內摩擦角等；變形參數包含靜彈性模數、靜態柏松比、動彈性模數、動剪力模數、動態柏松比等；而熱特性則包含熱傳導係數、熱容量等，本工作將歸納數據分布與試驗誤差，分析台灣本島結晶岩地區之岩石力學參數隨深度變化情形，建置小尺度岩石力學評估模式。

##### 3.5.1.3. 預期成果

- (1) 持續新增不同深度範圍之岩石力學試驗數據，分析數據分布特性與試驗數據誤差。
- (2) 依據試驗數據分布結果，建置台灣本島結晶岩地區之小尺度岩石力學評估模型

## 4. 工程設計

### 4.1. 安全論證

#### 4.1.1. 初步安全論證報告

##### 4.1.1.1. 執行目的

依行政院原子能委員會 107 年 12 月 27 日「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(SNFD2017)」審查結案會議紀錄，會議決議 8 要求，「請台電公司依國際原子能總署(IAEA)所發布安全論證導則，參照 SNFD 2017 報告國際同儕審查及原能會審查意見，就我國處置計畫階段及地質處置母岩特性，採取國際處置先進技術，於 110 年底前提出『我國用過核子燃料最終處置初步安全論證報告(SNFD2021 報告)』」辦理。

本年度工作將參考美國、英國、日本及加拿大等國，在未決定場址之前提下完成通用型安全論證報告之經驗，以 SNFD2017 報告為基礎，發展國內高放處置安全論證方法論。

##### 4.1.1.2. 工作內容

撰寫 SNFD2021 報告工程設計相關章節，包括：

4. 描述處置設施初始狀態
5. 外部條件(部份章節)
6. 內部作用(部份章節)
7. 安全功能與安全功能指標(部份章節)
8. 參數彙整與參數不確定性(部份章節)
9. 處置設施參考演化分析(部份章節)
14. 結論(部份章節)

##### 4.1.1.3. 預期成果

協助完成「我國用過核子燃料最終處置初步安全論證報告(SNFD2021 報告)」。

## 4.2. 長期性能評估技術

### 4.2.1. 地震對處置深度應力影響性評估

#### 4.2.1.1. 執行目的

本項工作基於「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.2 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 6.2.4 節規劃執行。

發展「場址詳細調查階段」所進行處置設施之定率式及機率式地震危害度分析工作，作為高放射性廢棄物最終處置地表及地下設施設計耐震依據，其中地震危害度分析關鍵所使用之地動預估式，必須依據可能場址特性，進行適地性評估作業，提升地震危害度分析之合理性。

#### 4.2.1.2. 工作內容

彙整處置母岩特性相似區域地震測站所獲得之地震事件觀測資料外，另蒐集研究區域鄰近測站之地震觀測資料，初步建立研究區域強地動資料庫。蒐集國內外相關文獻與研究報告之地震動模型，以初步建立之強地動資料庫探討研究區域地震動特性，並探討既有地震動模型中估計值與實際觀測值的差異，評估模型的不確定性。針對母岩特性之地動資料，評估蒐集國內外之地動預估模型，探討對於後續的地震評估分析工作提出適當模型。

#### 4.2.1.3. 預期成果

完成處置設施母岩特性研究區域之地震動特性模型不確定性評估成果，提出合適性之建議地動預估式。

## 4.2.2. 侵蝕作用下之廢棄物罐力學演化分析

### 4.2.2.1. 執行目的

在工程障壁的性能評估工作中，須建構百萬年評估期的數據，研究失效可能性，方能提供後續安全評估、或是設計最佳化應用，故本研究將建立廢棄物罐百萬年力學演化分析技術。SNFD2017 報告說明廢棄物罐之力學條件，包括緩衝材料回脹壓力與靜水壓力而產生之圍壓作用、及處置孔因地震引致裂隙位移而產生之剪力位移作用。而百萬年期間，緩衝材料於飽和階段會受到地下水流侵蝕而影響圍壓；裂隙位移會因地震持續作用而逐漸累積，本研究將綜合此 2 種作用，探討廢棄物罐百萬年力學演化。

### 4.2.2.2. 工作內容

由於需要綜合處置孔在飽和後緩衝材料可能受到地下水流侵蝕影響圍壓，和地震引致裂隙剪力位移的累積 2 種作用，故廢棄物罐百萬年期間力學演化分析之工作規劃如下：

#### (1) 廢棄物罐侵蝕後圍壓作用力學分析技術：

依處置設施受裂隙截切分析結果建立案例，並依照模式計算在飽和後受侵蝕程度，緩衝材料本身之變形將會填補受侵蝕區域，將持續以 108 年度廢棄物罐分析技術，建立緩衝材料侵蝕後回脹模型，並分析廢棄物罐所受圍壓導致之應力。

#### (2) 累積剪力位移分析技術：

本研究將依據裂隙位移與時間關係進行處置孔之剪力位移分析，模擬廢棄物罐與緩衝材料受剪力位移作用下之力學反應，並依據廢棄物罐破壞準則，評估廢棄物罐受力之應力與應變資訊。

#### (3) 侵蝕作用下累積剪力位移分析案例分析及運跑：

將模擬不同侵蝕量與時間關係、剪力位移與時間關係建立有限元素模型，再根據項目(1)、項目(2)之結果，以及 108 年度「廢棄物罐抗圍壓性能評估」與「廢棄物罐抗剪力位移之性能分析技術」成果之技術基礎，以 ABAQUS 程式模擬在百萬年期間侵蝕、靜水

壓力、回脹壓力及剪力位移交互作用下，廢棄物罐應力及應變分析結果。

#### **4.2.2.3. 預期成果**

- (1) 完成廢棄物罐受緩衝材料侵蝕後圍壓作用之案例評估。
- (2) 完成廢棄物罐百萬年期間在侵蝕作用下剪力位移分析案例評估。

## 5. 安全評估技術

### 5.1. 安全論證

#### 5.1.1. 初步安全論證報告

##### 5.1.1.1. 執行目的

依行政院原子能委員會 107 年 12 月 27 日「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(SNFD2017)」審查結案會議紀錄，會議決議 8 要求，「請台電公司依國際原子能總署(IAEA)所發布安全論證導則，參照 SNFD 2017 報告國際同儕審查及原能會審查意見，就我國處置計畫階段及地質處置母岩特性，採取國際處置先進技術，於 110 年底前提出『我國用過核子燃料最終處置初步安全論證報告』」辦理。

本年度工作將參考美國、英國、日本及加拿大等國，在未決定場址之前提下完成通用型安全論證報告之經驗，以 SNFD2017 報告為基礎，發展國內高放處置安全論證方法論。

##### 5.1.1.2. 工作內容

彙整並撰寫 SNFD2021 報告，報告預計章節規劃如下：

1. 緒論
2. 方法論
3. 特徵/事件/作用
4. 描述處置設施初始狀態
5. 外部條件
6. 內部作用
7. 安全功能與安全功能指標
8. 參數彙整與參數不確定性
9. 處置設施參考演化
10. 情節選定
11. 選定情節圍阻功能分析

12. 選定情節遲滯功能分析

13.其他分析與補充論證

14. 結論

#### 5.1.1.3. 預期成果

完成「我國用過核子燃料最終處置初步安全論證報告(SNFD2021報告)」。

## 5.2. 安全評估技術精進

### 5.2.1. 核種傳輸評估技術精進

#### 5.2.1.1. 執行目的

於處置設施中，若廢棄物罐的圍阻功能失效，地下水將溶解燃料，並將放射性核種自近場工程障壁中帶出至遠場母岩裂隙中，其中，地下水主要透過 3 種路徑帶出放射性核種，分別為：(1)截切處置孔之連通裂隙(以下簡稱 Q1 路徑)；(2)隧道底部開挖損傷帶之連通裂隙(以下簡稱 Q2 路徑)；(3)截切處置坑道之連通裂隙(以下簡稱 Q3 路徑)。

地下水流於近/遠場介面(即緩衝或回填材料與母岩裂隙的交界處)及母岩裂隙中流動的情況(即等效流率、水流傳輸阻力及平流傳輸時間等，評估結果統稱為功能測度值)係以地下水流評估模式 DarcyTools 模擬，本計畫於 109 年度已以 DarcyTools 程式建立 Q1、Q2 及 Q3 路徑的評估模式，經評估後得到放射性核種傳輸模式所需的功能測度值；為使用前述功能測度值，需於放射性核種傳輸模式中建立 Q3 路徑的評估模式，以使用前述功能測度值。

#### 5.2.1.2. 工作內容

根據國際文獻及工程障壁的設計，以放射性核種傳輸模式建立 Q3 路徑的評估模式，其中包括描述工程障壁的幾何、材質特性及近/遠場介面等，並評估放射性核種的釋出率。

#### 5.2.1.3. 預期成果

- (1) 建立包括 Q3 路徑的近場核種傳輸模式。
- (2) 完成 Q1、Q2 及 Q3 路徑的放射性核種釋出率分析測試。

## 5.2.2. 地殼抬升與侵蝕作用情節建立與分析

### 5.2.2.1. 執行目的

岩體的抬升、沉陷、侵蝕變遷是人類無法控制且為自然發生的地質現象，其發生取決於大地構造及地殼演化特性，台灣因造山運動及板塊運動造成岩體或地形發生抬生及沉降，亦因侵蝕作用造成地形變化。在用過核子燃料最終處置中，地殼抬升將縮短處置深度與人類生活圈的安全距離，因此降低處置設施之隔離特性以及岩層對核種傳輸的圍阻功能，進而使工程障壁失效造成核種外釋。

日本核廢料處置研究之 H12 報告（以下簡稱日本 H12 報告）(JNC TN1410 2000-002, 2000) 中有針對地殼抬升和侵蝕現象對處置設施影響進行研究。因此本研究參考與台灣地質條件相近的日本抬升/侵蝕安全評估方法(Wakasugi, 2017)建立本土分析技術，並進行分析結果比較與討論，其目的是於抬升/侵蝕議題中，增加後續使用本土化參數進行安全評估之可信度。

### 5.2.2.2. 工作內容

本項工作共分為 3 個部分，第 1 部分將根據本土特徵/事件/作用 (Feature, Event, Process, FEPs) 資料庫，對抬升/侵蝕進行定義說明及討論其影響性，接著於第 2 部分中針對抬升/侵蝕驗證案例，進行模型建置及參數計算，並於第 3 部分中，說明建置過程及結果與差異，希望藉此了解後續使用本土化參數進行抬升與侵蝕議題之安全分析需求。

### 5.2.2.3. 預期成果

- (1) 完成抬升/侵蝕安全評估方法技術建立。
- (2) 完成地殼抬升/侵蝕之核種傳輸分析案例及驗證。

### 5.2.3. 膨潤土受裂隙水流侵蝕試驗

#### 5.2.3.1. 執行目的

本項工作基於「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 7.1.2.1 節及「用過核子燃料最終處置技術建置計畫」第 6.1.4 節規劃執行。

為考量近場裂隙水流特性對緩衝材料與回填材料之侵蝕作用，本項工作含裂隙之水流侵蝕試驗，探討膨潤土材料於飽和後，膨潤土因回脹擠壓至裂隙中，同時受水流影響下之侵蝕行為，試驗之成果可供後續發展侵蝕模式驗證與參數調校。

#### 5.2.3.2. 工作內容

將壓實之圓型膨潤土塊體置於人工裂隙裝置內，並於試驗模具進水端注入純水於裂隙中，出水端封閉，使試體透過周圍的裂隙進水，先以靜止供水方式探討飽和膨潤土材料因回脹壓力擠出(extrusion)至裂隙之現象，試體飽和且回脹擠出的變化穩定後，再開通出水端以控制不同的水流速度量測膨潤土流失率。藉由試驗的觀察分析膨潤土擠出至裂隙的範圍，及透過流出水樣的取樣，分析不同流速條件下的試驗樣本中膨潤土的流失量，探討純水條件之裂隙入流水流速條件對膨潤土侵蝕作用之影響。

#### 5.2.3.3. 預期成果

完成裂隙水流侵蝕試驗之建置，並試驗取得膨潤土材料擠出距離及膨潤土流失率。

## 6. 資料庫

### 6.1. 高放處置資料庫

#### 6.1.1. 資料庫精進

##### 6.1.1.1. 執行目的

本項工作基於「用過核子燃料最終處置計畫書(2018年修訂版)」第 8.3.節規劃執行。

參考 IAEA 安全標準中 SSR-5 與 SSG-23 對放射性廢棄物最終處置品質要求，以數位化方式管理相關數據及品保資料，確保資料可檢視性及可回溯性；並透過帳號權限管理，確保資料之完整性。惟高放處置資料管理系統並未與國內國土資訊系統之圖資及資料格式相結合，目前已將前述需求列入資料庫精進規劃，未來將要求必要的地質調查資料需附帶其空間資料，並依計畫需求以國土資訊系統做為資料格式參考。

##### 6.1.1.2. 工作內容

分項工作內容分述如下：

###### (1) 持續精進數據管理系統

將執行中專案工作產生之報告、數據與相關品質文件數位化保存建檔，並以網頁界面查閱及檢索，以利回溯實驗數據產生歷程與品保紀錄。

###### (2) 品保資料管理

依據專案品保規定，數位化保存品保紀錄、工作程序書與相關品質文件與稽查紀錄等，以確保數據資料及計畫成果之品質。

###### (3) 帳號權限管理

以帳號區分權限進行資料控管，分別設置管理人員及一般使用人員角色，一般使用人員不得任意刪改資料，以確保資料完整性。

### 6.1.1.3. 預期成果

將執行中專案工作產生之報告、數據與相關品質文件進行管理，提供檢索查閱，進行資料品質審驗，確保資料之可回溯性與可檢視性；並透過權限管理，確保資料之完整性。

## 7. 參考文獻

- Falth, B and Hokmark, Harald, (2006) Seismically induced slip on rock fractures. Results from dynamic discrete fracture modeling. SKB R-06-48, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hsu, S.-K. (1995). XCORR: a cross-over technique to adjust track data. *Comput. Geosci.*, 21(2), 259-271.
- Hsu, S.-K. (2002). Imaging magnetic sources using Euler's equation. *Geophys. Prospect.*, 50(1), 15-25.
- IAEA, (2006), Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna.
- IAEA. (2011a), Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, IAEA, Vienna.
- IAEA, (2011b), Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-14, IAEA, Vienna.
- IAEA, (2012), The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, IAEA, Vienna.
- IHO, (2008), IHO Standards for Hydrographic Surveys. 5th ed. IHO; Monaco, Monaco: 2008. Special Publication No. 44.
- Plumb RA, Hickman SH (1985) Stress-induced borehole enlargement: A comparison between the four-arm dipmeter and the borehole televiewer in the Auburn geothermal well. *J. Geophys. Res.*, 90, 5513-5521.
- Ringgaard, J. (2007) Mapping of borehole breakouts. processing of acoustical televiewer data from KFM01A, KFM01B, KFM02A, KFM03A, KFM03B, KFM04A, KFM05A, KFM06A and KFM07C. SKB P-07-07, 1-32.
- 台電公司(2017)，我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告，台灣電力公司，共 464 頁。
- 台電公司(2019)，用過核子燃料最終處置計畫書(2018 年修訂版)，台灣電力公司，共 258 頁。