

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 -
96年度工作計畫

台灣電力公司

中華民國九十五年十月

96年度工作計畫

目錄

	頁次
1. 概述.....	1-1
2. 計畫規劃.....	2-1
2.1 用過核子燃料最終處置計畫之近程規劃.....	2-2
2.2 計畫目的.....	2-5
3. 規劃工作事項.....	3-1
3.1 潛在處置母岩特性調查.....	3-1
3.2 功能/安全評估.....	3-7
3.3 技術發展.....	3-10
4. 預期成果分析.....	4-1
4.1 潛在處置母岩特性調查之預期成果.....	4-1
4.2 發展初步功能安全評估技術之預期成果.....	4-2
附錄：各國高放處置計畫資訊分析	

圖目錄

	頁次
圖 2-1：近程工作規劃與達成SNFD 2009目標流程示意圖.....	2-3
圖 2-2：功能/安全評估至2009年之近程工作規劃.....	2-8
圖 3-1：潛在處置母岩特性調查之簡要工作架構圖.....	3-2
圖 3-2：地下地質空間資料庫規劃架構圖.....	3-5
圖 3-3：現階段安全評估分析水文地質模型.....	3-13

表目錄

	頁次
表 4-1：預期成果及效益彙整表	4-4

1. 概述

用過核子燃料最終處置計畫工作推動之目的，是永久安全隔離與阻絕放射性的核種，防止其隨地下水流遷移而影響人類生活圈，以確保民眾安全及環境品質，促進非核害環境的永續發展。

國際間對用過核子燃料最終處置技術之發展，曾考慮海床處置、深孔處置、冰層處置、井注處置、太空處置及深層地質處置等方案，迄今國際間公認以深層地質處置較為可行。深層地質處置採用「多重障壁」的概念，利用深部岩層的隔離阻絕特性，將用過核子燃料埋在深約300至1000公尺的地下岩層中，再配合包封容器、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屏障系統，可以有效使外釋而遷移的核種受到隔離與阻絕的效果，以換取足夠的時間，讓放射性核種在進入生物圈之前已衰減至可忽略的程度。目前推動高放射性廢棄物地質處置計畫之國家，均就其所處的地質條件，選擇合適的處置母岩，來進行其最終處置計畫。由於最終處置設施的設置，從最初發展階段至處置場運轉階段，一般長達數十年，具體可行的長程計畫的確是有其需求與必要性。

我國自1978年(民國67年)開始利用核能發電，迄今共有核一、二、三廠的六部核能機組，加上目前正在進行的龍門計畫(核四廠)，將來還會有二部機組加入運轉發電，預估此四座核能電廠的八部機組運轉40年將會產生約7,400公噸鈾的用過核子燃料。為了因應我國用過核子燃料的安全處置問題，台灣電力公司長期進行地質調查與評估技術之發展，尋找與評估適合的地質條件，妥善進行我國用過核子燃料之最終處置(深層地質處置)。依「放射性物料管理法」之規定，於2004年底前已提出「用過核子燃料最終處置計畫書」，並於2006年7月獲原能會核定，據以推行用過核子燃料最終處置長程工作。

依據「用過核子燃料最終處置計畫書」(2006年7月核定版)之規劃，自2005年開始進入「潛在處置母岩特性與調查評估階段

(2005~2017年)」，其近程工作主要目標乃預定於2009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」(Spent nuclear fuel disposal project—2009 Progress report，簡稱SNFD2009報告)，以作為後續長程計畫工作推動之基礎。

「放射性物料管理法施行細則」第37條第一項規定，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，在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。據此法令規定，並以達成於2009年提報「用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」之目標，於2005年開始即擬訂兩年(94-96年度)之工作，其中96年度規劃之工作事項分為：(1)潛在處置母岩特性調查，(2)功能/安全評估，(3)技術發展，將針對我國潛在母岩之特性/構造、處置概念、處置系統功能及系統安全評估流程等，進行初步相關技術的研究發展工作，並說明預期之執行成果。

2. 計畫規劃

我國用過核子燃料處置計畫管理策略上，係先採乾式貯存並尋求國際合作(境外)處置機會，在境外處置未具體可行前，將依「放射性物料管理法」第49條規定，規劃國內放射性廢棄物最終處置設施之籌建，同時積極持續進行境內最終處置之潛在處置母岩調查技術與處置概念初步功能安全評估技術發展。因考量用過核子燃料最終處置工作，涉及複雜的地質、鑽探、地物、水文、地化、岩力、核種傳輸等調查與資料綜合解析及評估之技術，不但專業程度需求極高，且需視各國之地質與環境之不同而因地制宜；故有必要先行對國內潛在處置地質環境進行相關調查與技術研發的工作。

用過核子燃料最終處置計畫工作推動之目的，是永久安全隔離與阻絕放射性的核種，防止其隨地下水流遷移而影響人類生活圈，以確保民眾安全及環境品質。欲有效地將放射性核種與生物活動環境隔絕，並將核種釋放劑量降低至符合安全標準而不致危害生物環境，處置場之多重障壁功能系統將是影響關鍵之一。該系統應有

- (1) 廢料罐隔離核種的功能；
- (2) 緩衝與回填材料在受熱與地下水化學環境狀態下之阻絕核種外釋的功能；
- (3) 處置場水文地質、地下水化學遲滯核種的條件。

為確保處置場功能，須在進行實際選址與建造前，根據處置場處置概念，配合用過核子燃料之物理、化學特性及處置場之水文地質、熱傳、地下水化學及情節發展等，進行核種外釋模擬分析。由於處置系統的長期安全性無法以實際實驗直接驗證，故須以工程及科學的數據為基礎進行預測性的分析，再將分析結果與法規標準比較，以確認處置場長期功能與安全評估結果之適合性。

即使諸如美國、瑞典、日本等核能先進國家執行處置計畫經驗顯示，其相關調查與評估技術發展所需時程仍長達四、五十年，各國高放處置資訊詳如附錄，故我國亦必須善用乾式貯存設施運轉期間，建立所需用過核子燃料最終處置相關技術。

2.1 用過核子燃料最終處置計畫之近程規劃

「用過核子燃料長程處置計畫」之整體目標，旨在依「放射性物料管理法」之規定，經由持續進行地質調查與評估技術之發展，尋找與評估適合的地質條件，妥善進行我國用過核子燃料之最終處置(深層地質處置)。「用過核子燃料最終處置計畫」(2006年7月核定版)的近程目標為：彙整研發成果與蒐集國內外相關資料，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」，其內容涵蓋「處置環境條件的調查研究」、「處置技術的研究發展」、「用過核子燃料處置的功能安全評估」等技術發展成果。以此為基礎，後續之工作規劃則針對我國處置環境調查與處置技術發展，展開潛在處置母岩特性調查與技術發展工作。

為達成提出SNFD2009報告之近程目標，在潛在處置母岩特性調查方面，其工作乃針對國內現有可能潛在處置母岩範圍，進行區域調查研究，並進行潛在處置母岩深層地質特性調查、現地深井孔內調查與技術發展，以及核種傳輸實驗等工作(圖 2-1)，取得地質構造、地下水文、地球化學及岩石力學等深層地質特性之調查成果，並提出建立功能/安全評估初步能力之案例說明。

功能/安全評估目的在將場址資料、處置場設計及研究數據加以整合，並依據處置場情節發展結果，分析模擬處置場之設計是否符合法規安全標準，其結果可作為最終處置場建造之依據。發展初步功能/安全評估技術則整合處置場場址之水文地質、熱傳、核種傳輸與地化條件、廢料型態、工程障壁、核種外釋與傳輸情節、開挖擾動帶傳輸、地質圈與生物圈等研究結果，並經參數敏感度與不確定性分析，

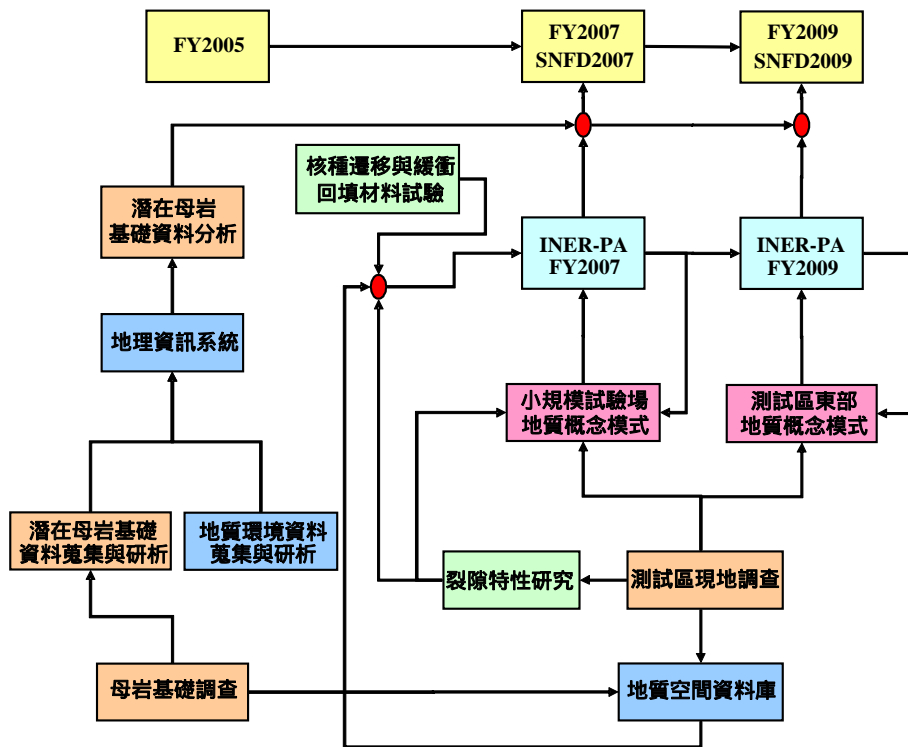


圖 2-1：近程工作規劃與達成SNFD 2009目標流程示意圖

最後與法規值進行比較分析。處置場功能/安全評估為一連續循環計算與修訂的分析工作，場址經評選後可進行處置場建置的可行性研究，並依評估與分析結果，對調查工作、分析技術與研究項目作必要之調整。

在技術發展項目，針對「處置技術的研究發展」所需，本年度於處置環境條件的調查研究方面，規劃下列幾項工作：小規模試驗場特性調查、岩塊水力試驗，以及實驗室核種遷移與緩衝回填材料試驗等之技術發展，除可提供2009年報告2.3節潛在處置母岩特性內容所需，並可提供近場環境功能/安全評估所需參數，以進行處置概念模式的發展與修正。此外，依據測試區之現地調查成果，並建構功能/安全評估介面程式，以有效整合近場、遠場、生物圈評估模式系統。為展現用過核子燃料最終處置技術的研發成效，落實研發成果與蒐整資料的數位儲存。依據過去各單項資料庫與技術發展經驗，將用過核子燃料最終處置在處置概念研擬、國際經驗吸收、引用參數之文獻資料蒐整、功能安全評估分析成果等各方面資料，以各種不同形式進行數位資料的蒐集與儲存，作為支援功能安全評估技術發展，與整合最終處置參與人員研發成果的完整系統。

台電公司「用過核子燃料長程處置-潛在處置母岩特性調查與評估階段」之94-96年度(24個月)研究計畫，擬進行潛在處置母岩特性調查、花崗岩質處置母岩功能/安全評估技術、技術發展及國際合作等工作，乃為達成「用過核子燃料最終處置計畫書」(2006年7月核定版)規劃之「潛在處置母岩特性與調查評估階段(2005~2017年)」近程工作目標——於2009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」所必要執行之工作。

下述工作主軸及項目，必須要有至少兩年期程的連續計畫，方能有效達成執行目標。

- (1) 進行潛在處置母岩現有資訊的蒐集、研析與地理資訊系統的建立，並進行空中磁測，取得潛在處置母岩岩體可能分布及主要地質構造等資訊。

- (2) 進行小規模試驗場裂隙特性調查與研究，取得試驗場之地質主要構造分布特性及裂隙特性參數值，並建立小規模試驗場之地質概念模式，作為SNFD2009報告「安全評估技術發展」驗證案例，以提供功能安全評估之模擬所需。
- (3) 進行岩體之岩性、構造、地球物理、水文地質、地球化學、岩石力學特性的現地調查與試驗工作，獲得地下地質之特性資訊，以建立花崗岩質潛在處置母岩測試區之初步地質概念模式，作為SNFD2009報告之「處置環境調查」所需的潛在處置母岩特性評估基礎，以及「安全評估技術發展」驗證案例所需之區域地下地質特性的基礎模式。
- (4) 依據2001-2004年計畫所建立之功能/安全評估技術能力為基礎，發展花崗岩質母岩功能/安全評估技術，以界定花崗岩質母岩適用之離散裂隙模型、雙孔隙模型或其他等同合適模型，並建立對應之概念模型與評估技術。
- (5) 部分空中磁測調查地區過去一直無法以人力調查方式取得潛在處置母岩規模、分布及深度相關資訊。因此必須利用空中磁測的調查方法進行。

2.2 計畫目的

96年度計畫目的在於持續完成前述兩年期工作計畫，以完成SNFD2009報告所需的基礎資訊，因此擬定下列工作主軸：

- (1) 完成潛在處置母岩現有資訊的蒐集、研析與地理資訊系統的建立，並進行空中磁測(透過國際合作，進行航測作業及資料處理等)，取得潛在處置母岩岩體可能分布及主要地質構造等資訊，據以撰寫SNFD2009報告之「處置環境調查」相關內容。
- (2) 自2004年成功建構花崗岩區小規模試驗場後，已在該測試場陸續進行國內首次的深地層跨孔地電阻、連通性及示蹤劑追蹤稀釋等試驗工作，並獲得初步的試驗成果。96年計畫擬針對小規模試驗場，進行進一步的研究工作，工作重點包含孔內裂隙壓力監測、

裂隙特性研究，及地下地質概念模式的探討與建立等工作，取得試驗場之地質主要構造分布特性及裂隙特性參數值，作為後續SNFD2009報告「安全評估技術發展」驗證案例所需之裂隙特性的基礎模式及參數值。

- (3) 透過衛星影像判釋、地表地質調查、地質鑽探、地電阻探測等工作，目前已獲取小規模試驗場所在之花崗岩質潛在母岩的分布與區域構造相關資訊，並初步建立地質演化史模式。96年計畫則致力於建立花崗岩質潛在處置母岩測試區之初步地質概念模式，提供「功能/安全評估」技術發展之用。擬依上年度計畫(95)之執行結果持續對花崗岩體邊界之地下地質特性，進行井下地質、構造、地球物理、水文地質、地球化學特性的現地調查與試驗工作，以獲得基本地下地質特性資訊，以及進行花崗岩區重磁力測勘資料之逆推處理，以獲得地下磁體及岩層密度的可能分布，提升區域地質概念模式之構造位置的研判結果。
- (4) 延續95年計畫成果所建立之核種近場多途徑評估程式及水平替代置放方式之外釋概念模型，完成垂直置放方式單一處置孔多途徑外釋技術與水平替代置放方式之核種外釋評估技術建立。
- (5) 遠場部份，綜合現地資料與裂隙參數，推估次裂隙區裂隙分佈與組合，並建立次裂隙區地下水流流場。由該流場可得最快水流流速、平均水流流速、最慢水流流速及其流向，將此匯入已建立之核種傳輸模式(均勻單一裂隙核種傳輸模式)，即可評估核種經小規模裂隙區後至主要裂隙(100m外)之外釋情況，如此便可達成SNFD2009單一均勻裂隙核種傳輸目標，建立遠場功能/安全評估模式。
- (6) 為配合2009年提出我國用過核子燃料最終處置技術可行性初步評估報告，規劃於96年度與花崗岩區之飲用水情節評估技術同時完成，做為後續建立生物圈農業灌溉用水情節之模式之基礎。
- (7) 評析遠場的輸入與生物圈評估模式輸出格式，進行整合系統遠場與生物圈整合介面工具的開發，建構遠場與生物圈功能/安全評

估整合系統(圖 2-2)，並根據花崗岩測試區進行之相關現地調查的成果，配合各分項評估模式，調整分析現階段花崗岩質潛在處置母岩功能/安全分析模型。

- (8) 延續過去之成果，進行「功能/安全評估資訊系統」之系統分析、開發與設計及資料建置等工作，完成「功能/安全評估資訊系統」之初步建置，提供計畫整合成果展現及知識管理之作業需求。

綜上所述，考量階段性目標與年度工作內容及時程需要，規劃96年度一年之工作期程，擬完成潛在處置母岩特性調查與評估階段功能安全評估相關工作。

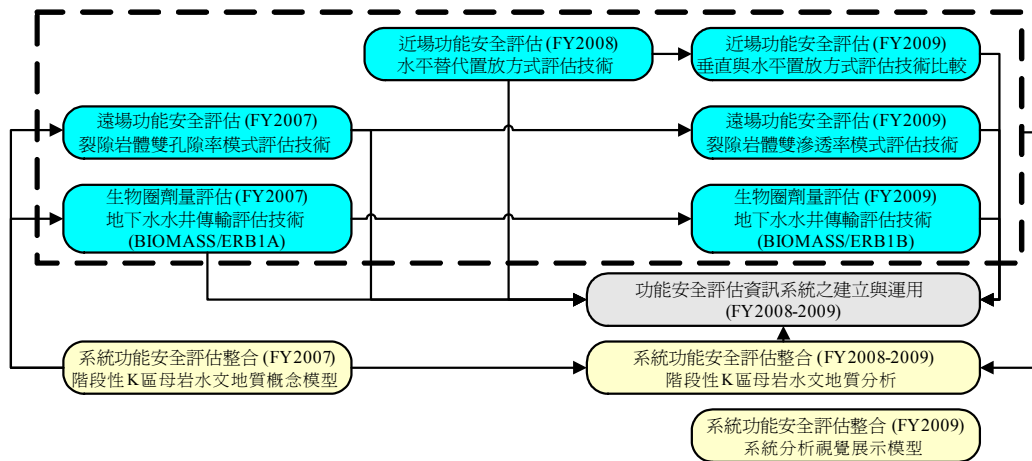


圖 2-2：功能/安全評估至2009年之近程工作規劃

3. 規劃工作事項

「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 - 96年度計畫，規劃之工作事項分成三部份：(1)潛在處置母岩特性調查，(2)功能/安全評估，(3)技術發展等，詳見下列各節。

3.1 潛在處置母岩特性調查

96年度規劃之潛在處置母岩特性調查工作，詳述如下(工作架構圖參見圖 3-1)：

3.1.1 岩體地質特性初步調查

目前我國用過核子燃料處置計畫，對於潛在處置母岩特性的調查，以花崗岩優先進行區域分布、深層地質特性等調查工作。為了解花崗岩體分布、岩性、主要構造帶分布、圍岩接觸關係與地質演化史等特性，擬展開資料蒐集與現地勘查，以建構初步基礎地質特性資料，作為後續岩體特性之地質、構造、水文地質、地球物理、地球化學及岩石力學等調查工作規劃參考，並作為花崗岩質潛在處置母岩評估的依據。

本分項除延續前一年(95年)在各岩體現地調查工作外(包括花崗岩區域性岩體分布、產狀、岩性及構造帶分布等勘查工作)，開始著重在特定區域之花崗岩體特性與穩定性之調查，研究特定調查區岩體產狀、岩性、圍岩接觸關係及構造。

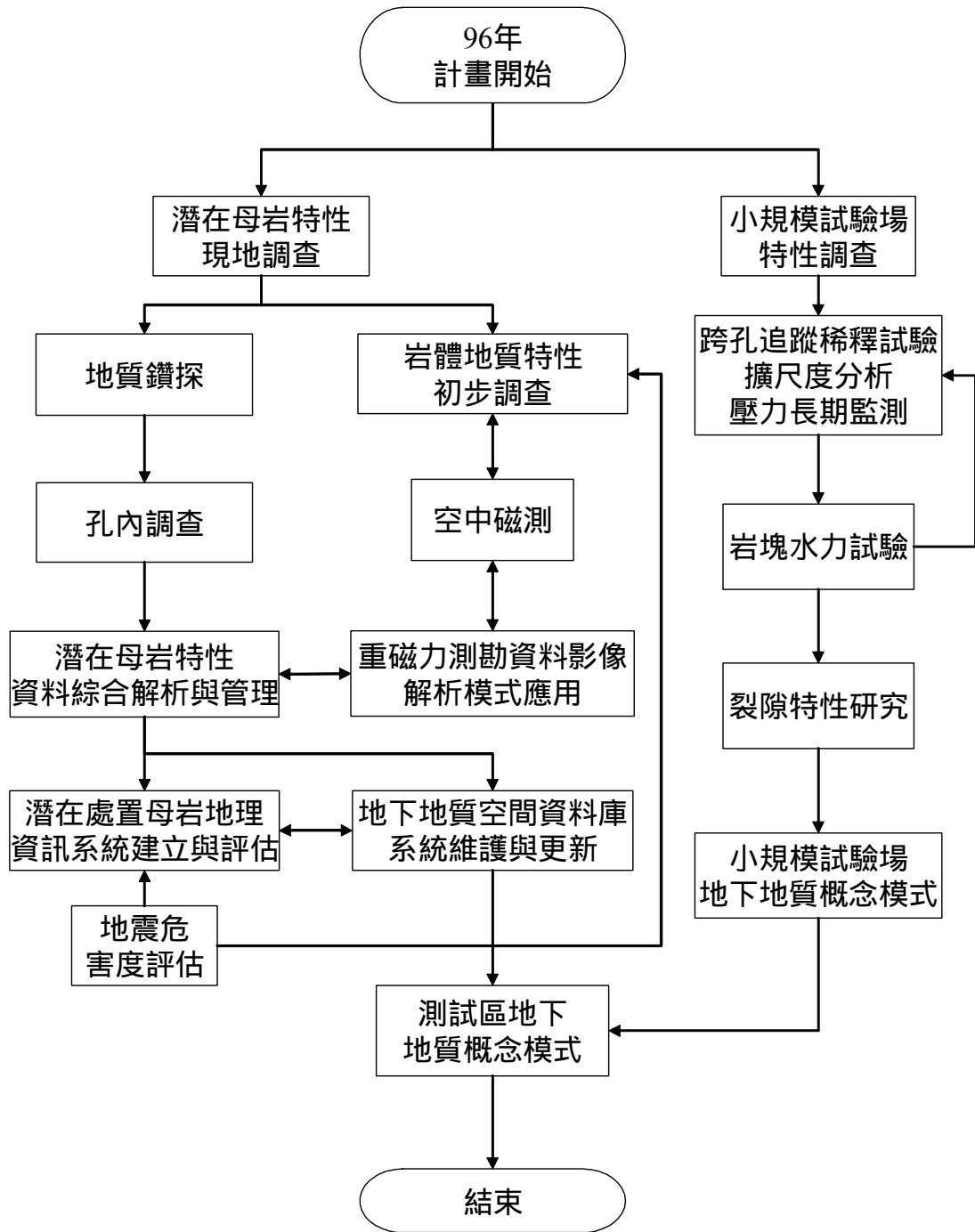


圖 3-1：潛在處置母岩特性調查之簡要工作架構圖

3.1.2 地質鑽探

此項工作的主要目的，在鑽取完整花崗岩岩心，取得岩體邊界的井下地質特性，並建立深地層孔內試驗與量測平台，以便進行相關深地層特性參數的取得，用以進行調查地區的潛在處置母岩特性評估及地質概念模式建立，作為功能安全評估的基礎參考模式及所需之現地參數。地質鑽探井將採裸孔(Open Hole)方式設置，孔徑預定為96mm(HQ尺寸)，並鑽取HQ尺寸之岩心，以研析鑽孔內岩性及構造的變化。此地質探查孔預訂位於花崗岩體東南側構造交界處，預訂深度為500公尺。

3.1.3 孔內調查

孔內調查之目的在獲取深層地質相關參數，用以判讀岩層地質、構造、岩性、水文、地化等特性，供地質概念模式建立之用。此項工作將針對前一年(95年)所完成花崗岩體北側構造交界處附近的地質探查孔，進行孔內調查工作。孔內調查之任務安排，將分成地球物理、地球化學及水文地質三部分加以說明：

(1) 地球物理孔內調查

孔內的地球物理井測，以最接近地層自然狀態的方式，來量取地層中的各項物理參數及構造位態等資訊，並做為其它相關調查結果間的橋樑，進而建立合理的地下地質構造模型。本項目的工作目的，主要在獲取花崗岩體邊界之孔內地層物性、裂隙位態資料，提供處置母岩特性調查之基礎資料。

(2) 地球化學孔內調查

核種的溶解度取決於地下水的水質特性，因此地下水的水質狀況為用過核子燃料處置場評選的重要條件。為瞭解花崗岩體區域之深層地下水的水質特性，本分項96年計畫的工作規劃，擬獲取花崗岩體邊界深層地下水的基本水質資料，並藉此瞭解花崗岩體邊界環境的地下水特性。

(3) 水文地質孔內調查

岩體裂隙介質(Fracture Media)地下水流動與核種傳輸概念或數學模式，是用過核子燃料長程處置計畫各階段工作中極為重要的一環，而水文地質相關試驗，則可提供架構此種模式所需要之重要參數。針對過去計畫已在花崗岩體之三口地質探查孔群內，進行了一系列的現場水力試驗(Hydraulic Test)，以取得花崗岩體邊界之裂隙水力參數，建立測試區岩體區域之岩體裂隙的水文地質特性。

3.1.4 地下地質空間資料庫系統維護與更新

為使計畫長期的研究與調查資料及成果能有效的保存、累積、傳承及計畫團隊中互通應用，應編整統一的資料格式將資料匯存保管，並建立以地理資訊系統及資料庫管理系統為基礎的計畫專屬資料庫。本分項工作之目的是將計畫執行期間所有的產出成果資料予以系統化、結構化的整理，使這些寶貴的探測資料與成果能夠完善保存及妥善應用(圖 3-2)。

3.1.5 測試區重磁力測勘資料逆推處理

本分項工作之主要目的在針對花崗岩區現有之重磁力資料，進行資料的逆推處理，以獲得地下磁體及岩層密度的可能分布，提升區域地質概念模式之構造位置的研判結果。

本分項計畫將前一年(95年)針對測試區現有的重力與磁力資料以較先進的資料處理系統進行再處理，以了解測試區地下磁體及岩層密度的可能初步分布情形，進行逆推處理，俾所獲得成果可對測試區的地下地質構造有更進一步的了解，提升測試區地質概念模式之構造位置的研判結果。

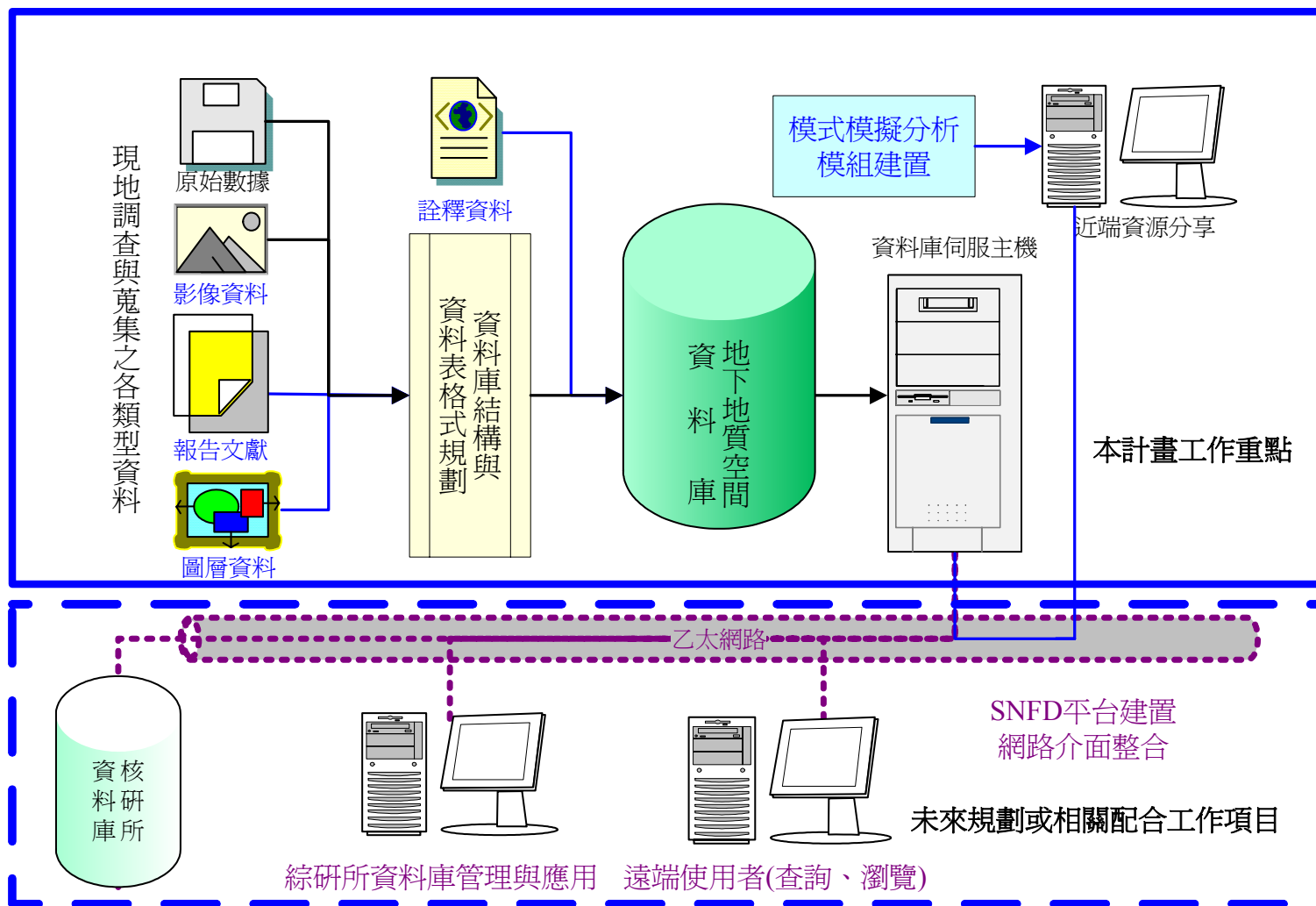


圖 3-2：地下地質空間資料庫規劃架構圖

3.1.6 測試區地下地質概念模式評估

本項目之目的為建立測試區地質概念模式，以整合地質調查結果，並以剖面圖方式展現岩層與構造特性，作為後續建立水文、地化等概念模式之基本底圖，及架構功能安全評估之地質條件。對於首次進行地質概念模式的初版，先以簡化的地質圖、地下地質資料及選擇特定的量測資料來模擬，以求取地質概念模式的雛形。進而發展出地質概念模式模擬軟體適用的格式與數據資料庫，建構出簡化的地質環境調查資料展示元件，最後完成初版測試區地下地質概念模式(96年版)。

3.1.7 潛在處置母岩空中磁測

進行潛在處置母岩調查工作，必需掌握較大尺度地下潛在處置母岩分布，及主要地質構造特徵，篩選出較適合的潛在處置母岩區域之後，再依據岩體特徵及地形、地物等資訊，研擬後續之精密調查。為掌握國內幾個潛在場址地下潛在處置母岩的大尺度分布情形，及其鄰近區域地質構造資訊，本分項計畫擬透過國際技術合作，對花崗岩、泥岩、及中生代基盤岩等潛在處置母岩部份地區，進行高精度空中磁力探測及資料解析，架構上述各調查區潛在處置母岩分布與地質構造解析，作為後續潛在處置母岩特性評估及調查規劃之重要參考依據。

本項目96年度各工作內容包括：

- (1) 完成花崗岩質、泥岩質及中生代基盤岩等潛在處置母岩部份地區之飛航磁測作業。
- (2) 完成量測資料基本修正處理與網格化。
- (3) 完成初步磁力異常圖幅輸出。

3.2 功能/安全評估

依照國際原子能總署(IAEA)的定義，「功能評估」為：對廢棄物處置系統或分系統功能進行預估，並將分析所得結果與適當之標準或準則進行比較。「安全評估」則是以輻射劑量或是輻射危險度作為主要指標，評估整體處置系統之安全性。功能評估應廣而深評估場址或處置場之功能，安全分析則以法規標準為主，由功能評估結果，併同經濟考量，明確釐清場址或處置場之安全性。

本階段功能/安全評估研究在發展系統整體功能之評估模式，著重於花崗岩質潛在處置母岩功能/安全評估技術，主要工作在界定花崗岩質潛在處置母岩為離散裂隙模型或其他等同合適模型，並建立對應之概念模型與評估技術。依深層地質處置的概念設計來看，功能/安全評估系統的建構可分為三大部分：近場、遠場及生物圈，說明如下。

3.2.1 近場

工程障壁系統可定義為「人為置於處置場內之工程材料，包括廢棄物體、廢棄物容器、緩衝材料、回填材料、封塞材料與封阻材料等。」工程障壁系統為處置場多重障壁基本設計理念之一環，目的在強化放射性廢棄物處置場場址天然障壁之隔離效能，以達到遲滯核種遷移，確保環境與人類安全之最終目的。根據上述之功能，進行近場環境或工程障壁之功能評估，須考慮近場環境可能之阻隔作用，及釋出與傳輸過程等因素，這些因素有：

- (1) 廢棄物之核種存量。
- (2) 釋出之化學機制(廢棄物型態)。
- (3) 傳輸之機制(在緩衝材料之擴散、開挖擾動帶之傳輸)。
- (4) 工程及天然障壁之物理性質(地下水流速/流量、孔隙率、擴散係數、裂隙等)。
- (5) 工程及天然障壁之遲滯性質(吸附)等。

垂直與水平處置概念模型，包含軸向、徑向與處置坑道之外釋傳輸途徑。95年計畫已建立垂直處置核種近場多途徑評估程式，及水平替代置放方式之外釋概念模型。96年度將運用該模型，發展飲用水外釋評估程式與分析，包括現階段垂直置放方式之單一處置孔多途徑外釋，以及水平替代置放方式之核種外釋。預計將進行以下工作：

- (1) 水平替代置放概念之多途徑外釋評估程式之建立。
- (2) 近場評估程式之驗證。
- (3) 配合系統功能/安全評估整合技術之發展，提供遠場功能/安全評估所需之近場釋出資訊。
- (4) 進行核種在近場外釋之安全評估分析，包括現階段處置概念之垂直置放多途徑釋出與替代方案之水平置放分析。

3.2.2 遠場

遠場之功能/安全評估工作於96年度主要研究目標為：建立遠場次裂隙區裂隙模型、建立次裂隙區地下水水流流場模型並匯出主要水流流速大小與方向，及由均勻單一裂隙模式，評析核種經次裂隙區至主裂隙區之傳輸情況等三部分，其工作項目詳述如後：

- (1) 現有測試區水文地質資料歸納：
根據測試區之現地調查資料及相關裂隙統計分析參數等，本工作將更新現階段遠場所需參數，相關參數包含岩體幾何參數及核種傳輸參數等，所獲得之參數將回饋到均勻單一裂隙核種傳輸目標，建立遠場功能/安全評估模式。
- (2) 假設概念模式下核種傳輸情況：
假設地下裂隙岩體之裂隙通道，為地下水流最主要之傳輸路徑，而當考慮核種於此路徑傳輸或遷徙時，此時裂隙岩體特性即需要加以評估與確認，根據測試區之現地調查資料及裂隙特性，建構核種於次裂隙區之傳輸路徑。
- (3) 特定核種及傳輸路徑情節發展：

廢棄物罐內之用過核子燃料在之廢棄物罐失效後，核種與地下水接觸並溶解於地下水中，隨著地下水在近場之遷移而離開近場後，透過裂隙岩體之傳輸，到達生物圈之沉積層，分析與比較核種於次裂隙與主傳輸路徑之外釋率。

(4) 地下水情節下之核種模擬分析與討論：

核種經由次裂隙區至主裂隙區傳輸，外釋情況會隨岩體幾何參數或核種傳輸參數之不同而異。因此，將進行次裂隙區裂隙產生之多重實現值運跑，並分析其對主裂隙區傳輸的影響。

3.2.3 生物圈

生物圈指地球上所有的生物及生物賴以生存之環境、空氣、土壤和水，都是生物圈的範圍。放射性核種到達此區域，便有機會與人類接觸，造成輻射劑量與對環境的衝擊。根據安全需求，必須對用過核子燃料最終處置場進行生態環境調查及做生物圈輻射劑量評估，以確保環境輻射安全。生物圈評估模式的目的，在得知特定核種之生物圈輻射劑量轉換因數，以評估民眾在環境介質中所受到的輻射劑量。

由於生物圈所需考慮的介質相當複雜，例如：水、空氣、土壤及食物等，因此需要一套合適的評估軟體，以計算出各種介質對人體之影響。本計畫選用以區塊理論分析污染物傳輸之全系統AMBER程式，並依據IAEA BIOMASS 6報告的參考案例，循序漸進完成我國生物輻射劑量評估技術。

生物圈輻射劑量評估技術在此階段的工作，是應用95年度所建立之生物圈輻射劑量評估飲用水井情節概念模型，建立最適用測試區之生物圈輻射劑量評估概念與分析程序，並配合生態及環境調查，評析現階段測試區之分析參數，完成潛在處置母岩區域之飲用水情節評估模式之程式運算技術，做為SNFD2009報告安全評估技術發展之依據。本年度規劃之工作內容如下：

(1) 建立生物圈飲用水情節概念模式：

應用95年度已建立之水井情節模式，加入測試區現地評估之條

件，調整為適用測試區現地之飲水情節概念模式。

(2) 測試區生態與環境參數調查與分析：

針對測試區之生物圈輻射劑量評估模式，進行所需之生態及環境參數調查與分析。所需之參數如氣候特性、地下水流速、含水層儲水量變化、抽取水量、水井數量及飲用水消耗量等。

(3) 測試區生物圈輻射劑量轉換因數之運用分析：

針對測試區條件，分析並運用生物圈輻射劑量之轉換因數，以完成現階段生物圈輻射劑量評估技術。

(4) 建立現階段生物圈輻射劑量評估技術：

運用區塊理論進行AMBER程式之測試，進而針對測試區生物圈輻射劑量評估模式，進行較完整程式運跑及功能測試。整合生物圈輻射劑量評估模式所需之參數，建立現階段生物圈輻射劑量評估技術。

3.3 技術發展

技術發展之主要目的為發展與建立相關工作技術與能力，做為場址評選、建造、決策、分析或選擇替代方案等之基礎。透過各項領域基礎科學之研究與發展，使其能實際應用於全程計畫之相關工作上，因此技術發展之規劃係基於「計畫目標導向」的精神，針對達成各階段目標所需之各項技術提出技術發展計畫。96年度計畫技術發展的項目，其工作內容詳如下列各節所述：

3.3.1 小規模試驗場特性調查

小規模試驗場特性調查工作之目的，在建立與驗證花崗岩質潛在處置母岩特性調查所需之小規模現地調查結果與資料整合解析作業流程。本年度(96年)計畫工作項目包含孔內裂隙壓力監測、小規模試驗場裂隙特性研究，及小規模試驗場地下地質概念模式等。針對小規模試驗場裂隙特性研究所得之孔內裂隙資料及示蹤劑試驗資料，進行

裂隙資料統計分析及裂隙連通性模擬等工作，其成果將用以修正該地區之地下地質概念模式。

3.3.2 岩塊水力試驗

實驗室岩塊水力試驗主要目的，在於藉由設置大型室內試驗，以探討地下水在完整花崗岩質岩塊，及在裂隙岩塊的流動及傳輸機制與參數，以提供未來潛在處置母岩安全性評估之需求。本分項96年度之計畫，擬利用岩塊試驗進行單一裂隙追蹤試驗，研究結果可提供地質處置場之近場安全性評估參考。

3.3.3 潛在處置母岩地震危害度評估研究

地震評估是母岩特性評估工作的重要參考依據，但國內潛在處置母岩特性調查與評估工作相關成果中，僅於低放射性廢棄物處置計畫進行過地震活動度的討論，缺乏整體的研究與探討，因此有必要在整個長程處置計畫框架下著手進行地震評估相關工作，以利潛在處置母岩特性評估工作之進行。

96年計畫工作將針對潛在處置母岩所在區域，進行潛在震源之辨認，其中包含統一規模之地震目錄資料庫建置、歷史地震資料收集及活動構造資料收集。潛在震源評估完成後，以震源分區為單位，研擬各項地震參數，最後針對各區之地震活動性進行探討，並且建議後續計畫之井下地震儀布設地點。

3.3.4 系統功能/安全評估整合技術

根據測試區進行之相關現地調查成果，配合各分項評估模式，調整分析現階段花崗岩質母岩功能/安全分析模型，並進行遠場功能/安全評估模式的輸出格式與生物圈功能/安全評估模式的輸入格式評估，系統遠場與生物圈整合介面工具的開發，建構遠場與生物圈功能/安全評估整合系統。工作內容包含下列兩項：

- (1) 建構現階段花崗岩質母岩功能/安全分析模型

根據測試區之現地調查成果，用以評析現階段花崗岩質母岩功能/安全整合系統之分析運用參數，並隨同調整現階段花崗岩質母岩模型型態，以建構現階段花崗岩質母岩功能/安全分析模型(圖 3-3)。

(2) 建構遠場與生物圈功能/安全評估整合系統

為建立生物圈劑量評估技術，本階段將發展建構生物圈輻射劑量評估模式之水井外釋情節概念，其使用之精進平台更能表現生物圈輻射劑量之傳輸途徑，因此為精進生物圈評估模式，有必要重新進行整合，因此，本分項工作將評析遠場功能/安全評估模式的輸出格式與輸出分佈，配合生物圈功能/安全評估模式的輸入格式與相關輸入結果後，進行階段性遠場傳輸模式與生物圈模式之間的整合介面開發，用以建構遠場與生物圈功能/安全評估整合系統。

3.3.5 功能/安全評估資訊系統

為展現用過核子燃料最終處置技術的研發成效，落實研發成果與蒐整資料的數位儲存，本分項資訊系統建置主要依據過去各單項資料庫與技術發展經驗，將用過核子燃料最終處置在處置概念研擬、國際經驗吸收、引用參數之文獻資料蒐整、功能安全評估分析成果等各方面資料，以各種不同形式進行資料的蒐集與儲存，並透過這套資訊系統的WEB介面提供包括文字說明、圖表記錄、研發成果、數據彙整等資料的查詢與分析，作為支援功能安全評估技術發展，與整合最終處置參與人員研發成果的完整系統。

本年度擬進行「功能/安全評估資訊系統」之系統分析、開發與設計及資料建置等工作，完成「用過核子燃料最終處置功能安全評估資訊系統」之初步建置，透過查詢介面及關聯整合的資料搜尋，提供使用者查詢處置概念的研擬、FEPs與情節的確認、參數與文獻引用、模式建立與運跑等成果，將用過核子燃料最終處置相關技術予以全面涵蓋，並視需要提供階段性工作成果提供用過核子燃料最終處置工作

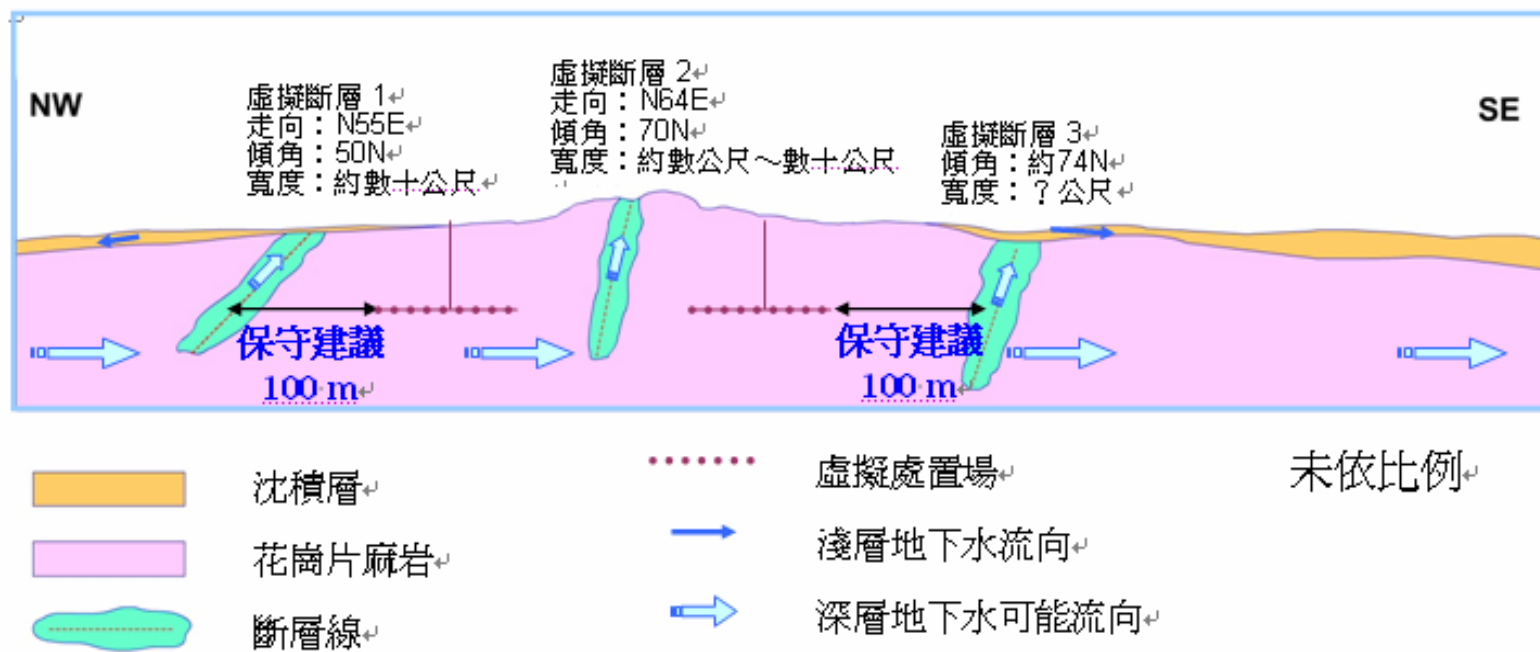


圖 3-3：現階段安全評估分析水文地質模型

團隊參考，以促進彼此間的資料整合與流通應用。本分項之工作項目如下：

(1) 資訊系統之系統分析(SA)

依據可行性分析結果，進行系統分析。內容包括系統架構設計、介面規劃、資訊系統與安全評估模式規劃等。

(2) 資訊系統開發與設計

依據需求規格，進行軟體設計、資料設計與系統開發，整合資訊查詢、資料分析等系統介面設計與整合設計，以確保系統完整性。

(3) 資訊系統資料之建置

完成階段性資訊系統，以提供最終處置資料查詢與資料分析，將過去累積資料及其他分項蒐集的資料或研究成果輸入資訊系統，以完成階段性「用過核子燃料最終處置功能安全評估資訊系統」之建置。

3.3.6 實驗室核種遷移與緩衝回填材料試驗

核種遷移及工程障壁緩衝回填材料的研究，是用過核子燃料最終處置計畫之重要工作，在目前潛在處置母岩特性調查與評估階段，相關研究大多在實驗室內進行模擬實驗。本項研究工作將以國內潛在母岩的岩樣及緩衝回填材料，進行核種在花崗岩/石英砂/膨潤土之化學穩定性及傳輸特性研究，其成果將可提供功能安全評估所需的核種傳輸特性資訊。

4. 預期成果分析

依據「用過核子燃料最終處置計畫書」之近程工作規劃，其目標為於2009年達成提出我國「用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」，作為長程計畫後續工作規劃之基礎。預計SNFD2009報告內容將包含「處置環境調查」、「處置概念研究發展」、「安全評估技術發展」等議題。

本計畫工作主軸及執行目標，旨在取得與建立SNFD2009報告所需的評估資訊，並建立測試區「安全評估技術發展」驗證案例所需之裂隙特性的基礎模式，作為SNFD2009報告本土技術發展之階段成果。故本計畫預期成果可分成潛在處置母岩特性調查與初步功能安全評估技術兩部分說明如下：

4.1 潛在處置母岩特性調查之預期成果

- (1) 取得國內部分地區之空中磁測結果，作為SNFD2009報告「處置環境調查」所需的母岩分布範圍及其主要地質構造之判斷依據。
- (2) 彙整處置環境現有調查資訊，並蒐集地震活動、斷層活動、地殼上升與剝蝕作用、火成活動、氣候變遷及海平面變化等資料，作為SNFD2009報告「處置環境調查」所需評估資料。
- (3) 取得小規模試驗場之地質主要構造分布特性及裂隙特性參數值，作為SNFD2009報告「安全評估技術發展」驗證案例所需之裂隙特性資料。
- (4) 建立測試區之初步地質概念模式，作為SNFD2009報告「處置環境調查」所需的潛在處置母岩評估基礎，以及作為「安全評估技術發展」驗證案例所需地下地質特性的基礎模式。
- (5) 進行花崗岩質母岩及緩衝回填材料試樣中之核種傳輸試驗。
- (6) 進行地下地質調查參數資料庫建置與更新。

4.2 發展初步功能安全評估技術之預期成果

- (1) 近場功能/安全評估技術
 - (A) 建立水平替代置放方式評估技術，並證實評估程式之合理性。
 - (B) 建置評估核種在近場垂直與水平置放方式多途徑釋出分析之工具。
 - (C) 完成核種在近場釋出評估分析。
- (2) 遠場功能/安全評估技術
 - (A) 完成次裂隙區裂隙組合及在特定地下水流場下，對核種釋出率的影響評估。
 - (B) 評估不同核種於遠場傳輸之釋出率。
- (3) 生物圈功能/安全評估技術
 - (A) 建置適用測試區之生態及環境分析參數，並完成最適用測試區之生物圈飲用水情節輻射劑量評估概念與分析模式。
 - (B) 完成現階段生物圈飲用水情節輻射劑量評估技術，包含適合測試區所需之劑量轉換因數值運用及運算飲用測試區地下水對人體造成之劑量值(Sv/yr)等。
- (4) 系統功能/安全評估整合技術
 - (A) 調整現階段花崗岩質母岩整合系統概念模型：依測試區之調查更新資料，調整分析相關安全評估模式參數，提供作為遠場、生物圈與整合性系統安全分析之需。
 - (B) 建構遠場與生物圈安全評估整合系統之整合介面：提供作為遠場與生物圈整合安全分析用，建立系統整合分析能力。
- (5) 功能/安全評估資訊系統之建立與發展
進行資訊系統之系統分析，提供資訊系統介面設計、開發的依據，並完成功能/安全評估資訊系統開發與設計，以期能有效提供計畫執行與運用。

本計畫之工作成果除了可直接應用在達成本階段之目標外，也可被用來從事國內相關調查工作，必要時亦可被用來支援從事境外處置所需的各項技術工作。茲將我國用過核子燃料最終處置「潛在處置母岩特性調查與評估階段—潛在處置母岩特性調查96年計畫書」之預期成果及效益彙整如表 4-1所示。

表 4-1：預期成果及效益彙整表

潛在處置母岩特性調查	
子項工作名稱：岩體地質特性初步調查	
預期研究成果	效益
完成花崗岩體地質資料彙整	更新近年來地質研究資料，提供空中磁測、鑽井、岩體特性調查等後續工作之規劃建議
子項工作名稱：地質鑽探	
預期研究成果	效益
完成KMBH06地質探查孔，取得井下地質特性	取得花崗岩體東南側深層地質資訊，及建立花崗岩體東南側深地層孔內試驗與量測平台
子項工作名稱：孔內調查(KMBH05：地物、地化、水文地質調查)	
預期研究成果	效益
KMBH05地球物理孔內岩石物理特性及裂隙資訊	獲取花崗岩體邊界之孔內地層物性、裂隙位態資料，提供測試區母岩特性調查之基礎資料
KMBH05主要導水裂隙之水質成分分析	獲取花崗岩體邊界之裂隙地下水水質參數的代表數值，作為核種溶解度模擬計算，以及處置場化學條件評選的參考依據
KMBH05井孔之裂隙水力參數解析	獲取花崗岩體邊界之裂隙水力參數，作為評估處置設施之功能與安全性的參考依據
子項工作名稱：地下地質空間資料庫系統維護與更新	
預期研究成果	效益
地下地質空間資料庫資料更新	使專屬計畫資料庫保有最新年度的調查資料與文獻資料
子項工作名稱：測試區重磁力測勘資料逆推處理	
預期研究成果	效益
測試區地下地質構造剖面圖	整合重力與磁力資料，獲得地質剖面下方可能的地下地質構造的位置及延伸

表 4-1：預期成果及效益彙整表(續)

潛在處置母岩特性調查(續)	
子項工作名稱：測試區地下地質概念模式評估	
預期研究成果	效益
完成測試區地下地質概念模式(96年版)	作為建立測試區發展其他評估模式的基礎模式
技術發展：測試區小規模試驗場特性調查	
子項工作名稱：孔內裂隙壓力監測	
預期研究成果	效益
多裂隙段壓力在自然環境狀態下長期變化趨勢，界定邊界影響效應。	提供建立測試區小規模試驗場水文地質概念模式，及處置設施功能/安全評估之用
子項工作名稱：小規模試驗場裂隙特性研究	
預期研究成果	效益
小規模試驗場試驗封塞段之小區域裂隙連通性評估	提供小規模試驗場試驗封塞段之小區域裂隙構造及連通性資料
子項工作名稱：小規模試驗場地下地質概念模式	
預期研究成果	效益
建立小規模試驗場地下地質概念模式(96年版)	整合小規模試驗場水文地質、地化及岩力概念模式，以提供功能安全評估之用
子項工作名稱：岩塊水力試驗	
預期研究成果	效益
單一裂隙狀態下傳輸特性之確認	提供場址安全評估傳輸特性模擬之驗證參考
子項工作名稱：潛在處置母岩地震危害度評估研究	
預期研究成果	效益
潛在處置母岩所在地區地震活動性分析	提供潛在處置母岩所在地區各震源分區的地震參數(如地震規模機率分布、上下限地震規模、震源深度機率分布等參數)，作為地震危害度分析之必要資料

表 4-1：預期成果及效益彙整表(續)

潛在處置母岩特性調查(續)	
子項工作名稱：潛在處置母岩空中磁測	
預期研究成果	效益
完成潛在處置母岩調查區，總面積約6,500平方公里之飛航磁測作業	於短時間內快速獲取調查區之潛在母岩的高精度數值磁力資料，以供後續進行資料處理分析與地質構造判釋
完成潛在處置母岩調查區之全磁力強度與磁力異常圖	解析調查區之潛在母岩分布與地下地質構造，並提供地質特性調查、地質模式、地質鑽探、地表地物調查等其它分項工作，規劃相關調查工作之參考
子項工作名稱：實驗室核種遷移與緩衝回填材料試驗	
預期研究成果	效益
進行核種(Cs及Se)在花崗岩/石英砂/膨潤土之化學穩定性及傳輸特性研究	提供核能廢棄物處置場址之功能評估參數。
發展初步功能安全評估技術	
預期研究成果	效益
建立水平替代置放方式評估程式，及評估核種近場釋出特性。	經由評估結果，建議處置設施近場未來待發展之功能評估工作。
分析花崗岩質地地區核種濃度分布特性與核種傳輸行為。	評析遠場核種傳輸影響與核種傳輸行為差異分析，據以調整評估工具之適合性。
完成現階段生物圈輻射劑量評估技術。	建立最適用測試區之生物圈輻射劑量評估概念與分析程序。
建構近場、遠場與生物圈功能/安全評估整合系統之整合介面。	提升系統評估效率。
完成「用過核子燃料最終處置功能安全評估資訊系統」。	完成「用過核子燃料最終處置功能/安全評估資訊系統」，有效提供計畫執行與運用。