行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

低放射性廢棄物坑道處置審查規範草案之研議

計畫編號：96FCMA005
受委託機關：核能研究所
計畫主持人：吳禮浩
報告日期：96 年 12 月

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

低放射性廢棄物坑道處置審查規範草案之研議

協同研究人員：
紀立民、陳智隆、陳誠一

中文摘要

面對未來我國可能選用坑道處置方式進行低放射性廢棄物最終處置，本報告彙整國際低放射性廢棄物坑道處置現況資料，作為我國採行坑道處置之參考。同時在低放射性廢棄物坑道處置審查技術建立方面，針對國內實際需求，本計畫以美國 NRC 發佈之標準審查規範(NUREG-1200 Rev.3)為參考，依據我國現行低放射性廢棄物最終安全分析報告導則內容，逐條建立低放審查規範之審查範圍與審查要點，並根據計畫執行過程的發現，提出我國低放導則修改建議，以供管制機關參考。

關鍵字：低放射性廢棄物、坑道處置、標準審查規範

Abstract

Cavern disposal is one of the potential options to fulfill the low-level radwaste final disposal in Taiwan. The purpose of this report is to summarize the current status of cavern disposals for disposing low-level radwastes in foreign countries. The results of this report can be use as a basis for future implementation of the cavern disposal in Taiwan. In the aspect of establishing the related reviewing technology, the Standard Review Plan (NUREG-1200 Rev.3) of USNRC is taken into consideration. In addition, the reviewing scope and criteria are established based on the domestic guide for low-level radwaste final safety analysis report. Based on the findings of this research, recommendations for amendment to the guide are proposed for reference to the regulatory authorities.

Keywords: Low-Level Radioactive Waste, Carven disposal, Standard Review Plan

目錄

中文摘要 i

Abstract ii

目錄 iii

附圖目錄 iv

附表目錄 v

一、 計畫緣起與目的 1

二、 國際低放射性廢棄物坑道處置概況 3

三、 審查規範研擬 10

四、 討論與建議 44

五、 結論 50

參考文獻 52

附錄一、國際低中放射性廢棄物坑道處置資訊彙整

附錄二、低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則對坑道處置設施適用性之修訂建議

附錄三、專有名詞中英對照表

附錄四、期末成果報告審查意見及處理情形表

附圖目錄

圖 2-1 低放射性廢棄物最終處置方式分類 7

附表目錄

表 2-1 各國低中放射性廢棄處置場址/設施與方式一覽表 8
表 2-2 各國低中放射性廢棄處置場址/設施特性一覽表 9
表 4-1 我國低放處置 SAR 導則對應 NUREG-1200 與處置方式比較表 46
表 4-2 核研所輻射劑量評估技術發展概況 49

一、 計畫緣起與目的

1. 計畫緣起：國內低放射性廢棄物最終處置場將於民國 100 年選定候選場址，然後進入場址精查與興建階段，目前國內潛在場址中，最有可能成為候選場址者，應在台灣本島，囿於地形條件而可能採行的處置方式為坑道處置。面對此一趨勢發展，國內相關單位皆應及早因應。行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)過去以近地表處置方式建立之審查規範，以及相關審查工具(即技術)大致已成熟，但在坑道處置方面則仍需積極建立，鑑於物管局審查人員對坑道處置審查規範與技術之需求，本所在以往建立之低放射性廢棄物處置技術基礎上，配合物管局需求初擬坑道處置審查規範，提供物管局做為未來坑道處置導則修訂與審查規範擬定之參考。
2. 計畫目的：物管局負責我國放射性廢棄物最終處置之安全監督與管制工作，目前國內低放處置場選址工作正積極進行中，配合目前國內幾個可能潛在場址條件，坑道處置為可能的處置方式之一。若台電公司提送以坑道處置方式為概念之處置場址設置申請，屆時物管局將對場址設置申請文件展開審查作業，其中最重要的是安全分析報告(Safety Analysis Report, SAR)。因應物管局執行坑道處置 SAR 審查作業需要，確保審查工作能夠順利推展，本計畫目的將依據現行安全分析報告導則內容，考量國內現狀，初步研擬坑道處置審查規範，協助物管局建立坑道處置審查技術，釐清現行安全分析報告導則對坑道處置之適用性，並蒐集國際坑道處置概況資料予以評析，提供物管局參考。
3. 計畫之重要性：

(1) 若經濟部選址小組依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」規定順利選出採坑道處置方式之場址，則台電公司於未來三至四年將提送相關處置場址設置申請，屆時物管局將展開坑道處置設施安全審查作業。本研究可協助物管局順利推展該審查任務；

(2) 物管局未來審查作業所需之技術，將透過核研所相關研發成果經適當技術轉型後，直接應用於未來審查作業，尤其在建立相關審查作業程序策略規劃方面；

(3) 計畫蒐集彙整之文獻可以提供作為審查場址適宜性之基礎資訊；

(4) 計畫成果報告可以提供物管局後續坑道處置審查規範擬定暨審查技術建立之技術指引與依循。

4. 本成果報告第一章說明計畫緣起與目的，第二章說明國際低放射性廢棄物坑道處置概況，第三章說明審查規範草擬內容，第四章討論與建議，第五章為結論。

二、 國際低放射性廢棄物坑道處置概況

低放射性廢棄物處置有各種不同的方法，在早期 1970 年代如法國與美國等國家以簡單的壕溝方式進行掩埋，甚至直接將低放射性廢棄物進行海拋(sea dumping)。到 1980 年代倫敦公約(London Convention)生效後，海洋處置遭到禁止，放射性廢棄物其後僅允許進行陸地最終處置。陸地最終處置發展至今有多種不同的型式，基本上國際共識分為近地表處置(near-surface disposal)與坑道處置(cavern disposal)兩大類型，其下再細分為各種不同的型態，詳如圖 2-1 所示。近地表處置早期亦稱淺地層處置(shallow land disposal)，美國法規 10 CFR Part 61 中以接近地表 30 公尺範圍作為與坑道處置大致的分界(USNRC，1982)，國際原子能總署放射性廢棄物管理詞彙中則以接近地表數十公尺內的處置設施定義之(IAEA，2003)。

坑道處置大致上又可分為三種型式：山地坑道處置、海床下坑道處置、深層地質處置。第一種型式是以近乎水平坑道(drift)進入山地腹部處置設施者；第二種型式是以較緩坡度的斜坑(ramp)進入鄰近陸地的海床下處置設施者；第三種型式須以豎井(shaft)進入地下約百餘公尺以下位在深層地質環境中的處置設施。

國際低放射性廢棄物坑道處置概況詳如本報告附錄，經彙整文獻資料顯示各國二十三個案例中迄今仍運轉中的低放射性廢棄物處置場分屬捷克、芬蘭、挪威、羅馬尼亞、瑞典等五國的七個處置場；已停止運轉的處置場有三個，分屬捷克與德國；籌備中的處置場有三個，分屬匈牙利、日本、瑞典；尚未明確採用近地表處置或坑道處置的有五個，包含比利時、加拿大、中國浙江、南韓、台灣；舊計畫遭到終止者有四個，計有德國 Konard、

瑞士 Wellenberg、台灣小坵、英國 Sellafield；另有北韓一個坑道處置場現況不明，前述各國簡略概況與處置方式如表 2-1 所示；各國處置設施的特性如表 2-2 所示。本報告歸納各國坑道處置概況其特性要點說明如後。

(1)低放射性廢棄物坑道處置方式的採用

低放射性廢棄物坑道處置設施一般而言，建造費用比近地表處置設施費用高，且運轉維護較為困難，但其安全性較高。各國考慮使用坑道處置的條件依國情有別，主要原因包括：

A.使用既有的廢棄坑道：如捷克、德國、北韓、羅馬尼亞等。

B.受場址地形條件限制：如中國、挪威、瑞士、台灣等。

C.處置較長半化及較高活度放射性廢棄物：如日本、瑞典、英國等。

除此之外，民眾意見導致對安全與環保的要求提升，亦可能是各國採取坑道處置的影響因素之一。

(2)低放射性廢棄物坑道處置場址的選擇

低放射性廢棄物坑道處置場選址各國大多以鄰近主要放射性廢棄物來源為主要考慮，表 2-1 所示的案例中有半數以上鄰近於核能電廠或放射性廢棄物處理設施。而使用既有的廢棄坑道者次之，約佔三分之一左右，這些設施通常是較早期興建的處置場。其他則以民眾接受度為選場主要考量。

(3)民意對低放射性廢棄物坑道處置計畫的影響

並無明顯的文獻資訊顯示低放射性廢棄物坑道處置較近地表處置設施易於被民眾所接受，但各國實例均指出公眾接受度是影響處置計畫成敗的關鍵因素。表 2-1 列示的瑞士 Wellenberg 計畫與英國 Sellafield 計畫其設計規劃與處置技術在國際上均有良好的評價，惜因民意反對而

遭致終止。

(4)低放射性廢棄物處置容量規劃

各國低放射性廢棄物坑道處置場容量依處置需求而定，基本上與各國核能發電規模有關，且通常保留適當的餘裕。表 2-2 顯示加拿大與英國坑道處置設施有最大的設計容量均達 2,600,000 立方公尺；我國預估處置需求為 196,000 立方公尺，在二十三個案例中排名第六。坑道處置的另一個特點是部份國家處置場採分階段施工，第一期工程以處置運轉廢棄物為目標，第二期工程以處置除役廢棄物為目標，芬蘭與瑞典即為此例，因此其處置容量視期程有別。

(5)低放射性廢棄物坑道處置深度

表 2-2 顯示國際低放射性廢棄物坑道處置深度變化頗大，最淺的是捷克 Hostim 處置場深度為 30 公尺；最深的是德國 Konard 處置場深度達 1300 公尺，而這兩個處置場均為舊有的廢棄礦坑。對於新建處置場的深度考慮原則上須經過安全評估，確保核種在當地水文地質條件下有足夠長的傳輸途徑，不會在有害期限內造成人體的輻射危害。

(6)低放射性廢棄物坑道處置母岩

表 2-2 顯示國際低放射性廢棄物坑道處置場的母岩條件變化繁多，不像高放射性廢棄物對於母岩那麼侷限，此現象亦反映出兩種放射性廢棄在危害時間與危害程度上的差別。低放射性廢棄物坑道處置場的母岩雖然對於核種吸附性與輻射衰變熱的散熱性無須特別強調，但在場址環境的安定性與施工條件的可行性方面，仍應加以詳細調查與評估。

(7)低放射性廢棄物坑道處置國際發展趨勢

迄今國際上約有一百二十餘個低放射性廢棄處置的案例，處置方式以近地表處置為主，坑道處置僅約佔其中的六分之一(紀立民，2004)。

低放射性廢棄處置雖然有數個坑道處置場籌建中，但亦未比近地表處置者多，換言之，坑道處置對低放射性廢棄而言並無發展優勢可言。但值得關注的是各國針對長半化期低放射性廢棄物以及中放射性廢棄物有朝向採取深層坑道處置方式進行的趨勢，例如日本、瑞士、瑞典、英國等均有類似的規劃。我國放射性廢棄物劃分為高放射性廢棄物與低放射性廢棄物兩類，低放射性廢棄物再細分為 A、B、C、超 C 四類，當面臨處置問題時，對於相當國外所謂的長半化期低放射性廢棄物以及中放射性廢棄物，應有妥善的處置規劃，例如使用特殊型式或材質的處置容器，或者在特殊設計的處置設施中加以妥善安置。

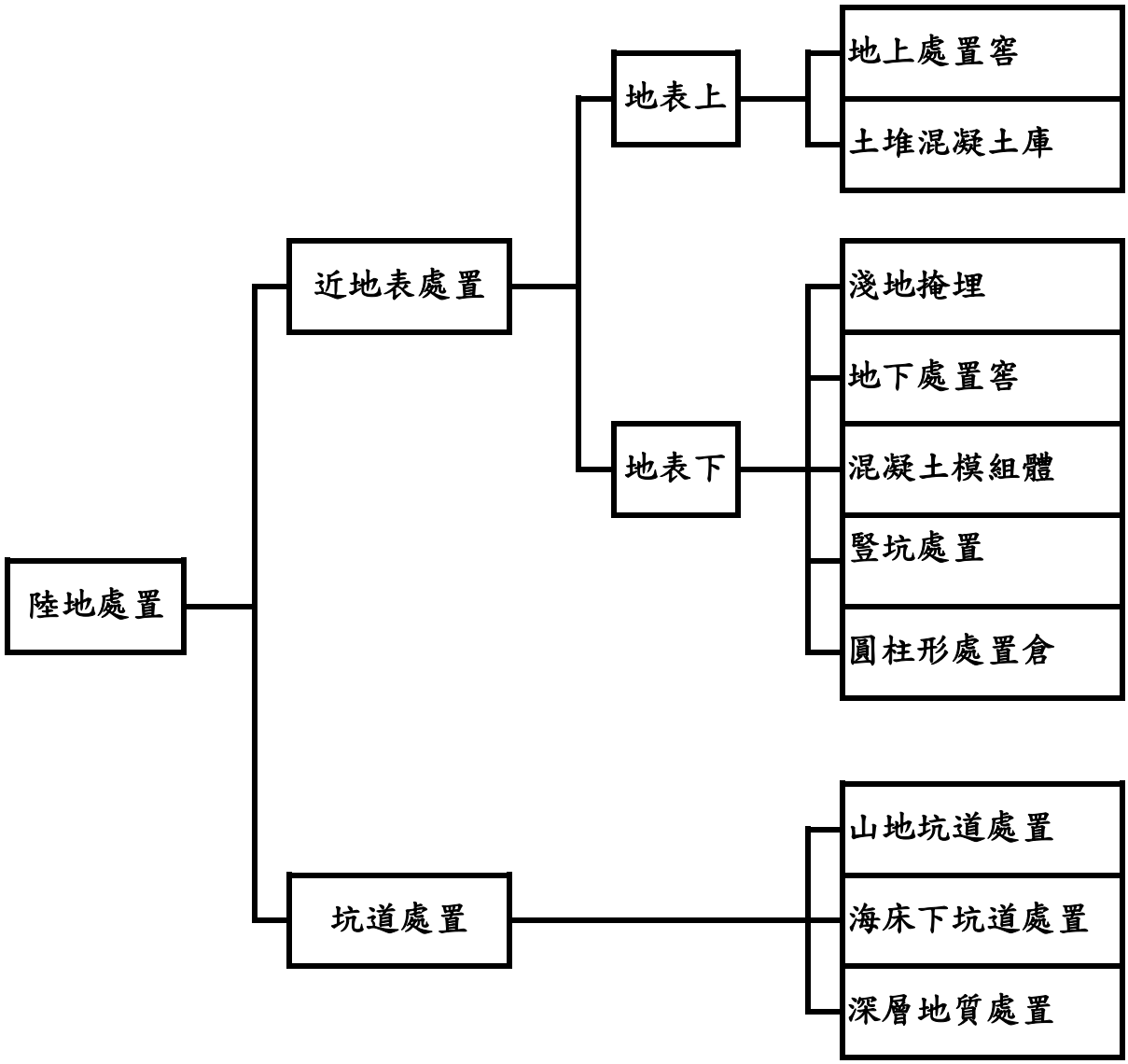

圖 2-1 低放射性廢棄物最終處置方式分類

表 2-1 各國低中放射性廢棄處置場址/設施與方式一覽表

國別	地點/名稱	廢棄物	計畫現況		運轉現況		處置方式	
			籌備	終止	運轉	停止	坑道	深層
比利時	Fleurus-Farciennes, Mol, Dessel	L-ILW	選址中					未定
加拿大	Kincardine	L-ILW	選址中					○
中國	南秦山	L-ILW	選址中				○	
捷克	Hostim	LLW			1959	1964	○	
捷克	Richard	L-ILW			1964		○	
捷克	Bratrstvi	L-ILW			1974		○	
芬蘭	Olkiluoto	L-ILW			1992			○
芬蘭	Loviisa	L-ILW			1998			○
德國	Asse	L-ILW			1967	1978		○
德國	Konard	L-ILW		○				○
德國	Morsleben	L-ILW			1971	1998		○
匈牙利	Bátaapáti	L-ILW	○					○
日本	Rokkasho-mura	ILW	○					○
南韓	Gyeongju	L-ILW	○					未定
北韓	Kurop-do	L-ILW	?				○	
挪威	Himdalen	L-ILW			1999		○	
羅馬尼亞	Baita-Stei	L-ILW			1985		○	
瑞典	Forsmark, SFR	L-ILW			1988		○	
瑞典	Forsmark, SFL 3-5	ILW	○					○
瑞士	Wellenberg	L-ILW		○			○	
台灣	小坵 大武、南田、旭海	LLW	選址中	○			○ ○	
英國	Sellafield	L-ILW		○				○

註：1.參考資料來源詳見附錄內文。

2.計畫現況”選址中”指該場址尚未確認為最終處置場址。

3.處置方式”未定”指尚未決定採用近地表處置或坑道處置。

4. ”?”表資訊不明。

表 2-2 各國低中放射性廢棄處置場址/設施特性一覽表

國別	地點/名稱	處置容量 m^3	場址深度 m	場址母岩
比利時	Fleurus-Farciennes, Mol, Dessel	低放 72000 中放 8900	200	泥岩
加拿大	Kincardine	2600000	660	石灰岩
中國	南秦山	300000	60	?
捷克	Hostim	1690	30	石灰岩
捷克	Richard	8300	30-60	沈積岩
捷克	Bratrstvi	1,200	30-60	片麻岩
芬蘭	Olkiluoto	LLW:9100; ILW:6400	100	花崗岩
芬蘭	Loviisa	2500 (擴建 8740)	110	片麻岩
德國	Asse	47000	500-1000	岩鹽
德國	Konard	650000	800–1300	沈積岩
德國	Morsleben	55000	500	岩鹽
匈牙利	Bátaapáti	20000	250-300	玄武岩
日本	Rokkasho-mura	?	50-100	沈積岩
南韓	Gyeongju	160000	?	?
北韓	Kurop-do	?	?	沈積岩
挪威	Himdalen	1575	50	玄武岩
羅馬尼亞	Baita-Stei	5000	40	沈積岩
瑞典	Forsmark, SFR	運轉廢棄物 63000 除役廢棄物 150000	50	花崗岩
瑞典	Forsmark, SFL 3-5	長半化期廢棄物 20000	200-300	花崗岩
瑞士	Wellenberg	150000	500-700	泥灰岩
台灣	小坵 大武、南田、旭海	196000 規劃中	120 50-550	花崗岩 變質沉積岩
英國	Sellafield	2600000	400-600	火山岩

註：1.參考資料來源詳見附錄內文。

2.”?”表資訊不明。

3.小坵處置容量參考台電公司(2002)資料。

三、 審查規範研擬

安全分析報告導則內容

第一章 概論

導則建議：
一、緣由及目的：說明申請單位之需求及處置設施設置之目的與規劃。

審查範圍：

1. 申請單位之需求。
2. 處置設施設置之目的與規劃。

審查要點：

1. 申請單位基本資料。
2. 處置設施設置目的。
3. 規劃內容包括處置設施名稱、所在位置、處置作業流程、場區規劃與設施位置、處置計畫時程、經費。

導則建議：
二、專有名詞：應使用政府機關所頒訂之專有名詞，若非常用或自行編譯之專有名詞，應明確定義並加註原文，以利對照。

審查範圍：

1. 報告中使用之專有名詞。
2. 包含報告中使用之度量單位。

審查要點：

1. 專有名詞應明確定義，使用政府機關頒訂為準。
2. 度量單位應採用公制、輻射劑量應使用國際單位、活度計量應加註量測日期。

導則建議：
三、引用法規及設計準則：

(一)撰寫報告時所採用之各種資料，其調查、分析、推估之方法，凡於現行法規中有規定者，應從其規定。

(二)按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公（發）布單位、日期及版次。

審查範圍：

1. 報告引用法規及設計準則。

審查要點：

1. 報告採用之資料，其調查、分析、推估方法，處置設施、規劃與國內法規相符情形。
2. 不相符或國內無相關規範者，應特別說明。

第二章 設施之綜合概述

導則建議：

一、位置：描述場址之地點、面積及場界，並以適當比例尺之地圖說明。

審查範圍：

1. 場址之地點、面積及場界之以及描述。
2. 適當比例尺之地圖說明。

審查要點：

1. 場址地點之經緯度、所在行政區、鄰近重要城鎮相對位置。
2. 場界與周圍土地利用現況、可能擴充範圍。
3. 場址資料應標示於比例尺至少 1/5000 之地圖上。

導則建議：

二、處置方式：說明廢棄物處置之型式及採用之緣由。

審查範圍：

1. 採用坑道處置的考量因素。

審查要點：

1. 不利坑道處置的因素與解決對策。

導則建議：
三、處置容量：說明處置設施可處置廢棄物的總體積量、各核種之總活度、及每年之處置量。

審查範圍：

1. 處置設施可處置廢棄物的總體積量、各核種之總活度、及每年之處置量。

審查要點：

1. 總體積量、各核種之總活度、每年處置量之計算依據。

導則建議：
四、處置場區之規劃與配置：說明處置場區內各設施及作業之規劃，並以適當之比例尺繪製設施配置圖，圖上應標示比例尺、方位、區域名稱及設施名稱，標明輻射管制區域之劃分情形，並附必要之剖面圖或透視圖。

審查範圍：

1. 處置場區內各設施與位置說明。
2. 廢棄物處置作業流程。

審查要點：

1. 處置場設施、土地、建物、設備之配置。
2. 處置場區規劃、暫存區、除污區、管制區、公共設施、行政區之配置。

導則建議：
五、廢棄物來源與特性：

(一)說明處置設施接收廢棄物的來源與種類、型態、數量及其分類方式。
(二)說明接收廢棄物內所含核種及其最大比活度。
(三)說明接收廢棄物包件與其表面污染最大限值及最大劑量率限值。
(四)說明接收廢棄物之各項物理、化學特性之限制。
(五)說明處置容器之材質與規格。

審查範圍：

1. 廢棄物來源與種類、型態、數量及其分類方式。
2. 廢棄物內所含核種及其最大比活度。

3. 廢棄物包件與其表面污染最大限值及最大劑量率限值。
4. 廢棄物之各項物理、化學特性之限制。
5. 處置容器種類、材質與規格。

審查要點：

1. 核能電廠、小產源、超 C 類廢棄物來源與特性。
2. 核種之分析方法與依據、分析資料來源、基準核種之實測值與比例因素與難測核種活度預估。
3. 大組件廢棄物種類、規格與特性。

第三章 場址之特性描述

導則建議：
一、社會與經濟：描述場址及附近地區之行政區交通設施、公共設施、軍事設施、觀光休閒設施、場址所在鄉鎮及週邊鄉鎮之人口數（含流動人口）及人口結構、土地利用情形與開發計畫。

審查範圍：

1. 場址之經緯度與台灣地區座標系統。
2. 場址及附近地區之行政區與主要城鎮。
3. 場址及附近地區之主要人為設施與自然特徵。
4. 場址及附近地區之人口統計與預測。
5. 場址之土地所有權與附近地區未來開發。

審查要點：

1. 場址週邊至少 10 公里範圍內適當比例尺之地圖(USNRC，1994)，標示場址位置、重要城鎮與設施位置，重要交通路線與設施。
2. 場址所在鄉(鎮、市) 人口密度不得高於每平方公里六百人(原能會，2006)。
3. 場址土地所有權現況及公有地撥用與私有地徵收規劃。
4. 依法不得開發之地區不得設置處置場。

導則建議：
二、地形與地貌：描述場址及附近地區地形與地貌，包括地形高度與起伏趨勢、坡度分布、重要地貌特徵（如河川、山脈、湖泊、海岸線等），及潛

在環境災害分布地區（如崩塌地、沖蝕溝、河川攻擊坡、土石流沖積扇、斷層錯動地形等）。

審查範圍：

1. 場址及附近地區之地形與地貌特徵。
2. 場址及附近地區之潛在環境災害調查與分析。

審查要點：

1. 適當比例尺之地形圖說明場址及附近地區地形與地貌特徵。
2. 調查潛在環境災害分布並分析對場址可能的影響。
3. 場址不得位於單一崩塌區面積大於 0.1 平方公里以上，且工程無法整治克服之地區(原能會，2006)。

導則建議：

三、氣象：提供場址附近之氣象資料，包括風向、風速、溫度、濕度、降水量、降水強度、颱風發生之頻率等，並提供有紀錄以來之最大降水量、最高及最低溫度、最大風速。

審查範圍：

1. 場址附近之氣象統計資料，包括季節性變化與年平均值。
2. 場址附近之極端氣象狀態如暴雨及颱風等之統計分析。

審查要點：

1. 採用之氣象統計資料測站地點應具代表意義，統計期間應含括有紀錄以來之資料，不得無故排除，並以適當圖表彙整呈現。
2. 用於設施設計與安全分析相關的氣象參數值應與本節內容一致。

導則建議：

四、地質與地震：說明場址及附近地區之地層、地體構造、活斷層、歷史地震等之調查成果等，並說明斷層與地震危害度之調查與評估方法。

審查範圍：

1. 場址附近地區之地層、地體構造、活斷層分布等特性調查。
2. 場址之地層、地質構造、土壤與岩石、鑽探資料、地質剖面等特性調查。
3. 場址及附近地區之歷史地震分析與地震危害度評估。

4. 場址及附近地區之火山活動潛能評估，泥火山，溫泉，地熱分布調查。

審查要點：

1. 場址不得位於活動斷層之主要斷層跡線兩側各一公里及兩端延伸三公里之帶狀地區(原能會，2006)。
2. 場址不得位於後火山活動地區。
3. 場址不得位於泥火山噴出點半徑一公里範圍內之地區(原能會，2006)。
4. 場址及附近地區之地質與地震調查資訊應足供設施設計與安全分析所需。
5. 調查與分析方法應合於相關技術規範，成果應整合說明，並能證明場址之適宜性與長期穩定性。

導則建議：

五、地表水：說明場址及附近地區之地表水體水文、水質特性、水資源使用狀況及其調查方法。

審查範圍：

1. 場址及附近地區之地表水體水文、水質特性、水資源使用狀況調查。
2. 地表水對場址可能的影響，如洪水氾濫與潰壩等。

審查要點：

1. 場址不得位於水道，包括河川、湖泊、水庫蓄水範圍、排水設施範圍、運河、減河、滯洪池或越域引水路水流經過之地域。
2. 場址不得位於現有、興建中及規劃完成且經核准興建之水庫集水區。
3. 水資源使用狀況應納入安全分析。

導則建議：

六、地下水：說明場址及附近地區之地下水體水文、水質特性及其使用狀況、水文地質架構與水文參數等資料及其調查方法。

審查範圍：

1. 場址及附近地區地下水之水文、水質特性及其使用狀況、水文地質調查。
2. 地下水對場址可能的影響。

審查要點：

1. 場址不得位於地下水管制區。
2. 地下水之調查、取樣、分析、及水文地質模型建構應合理說明。
3. 地下水水質與水流特性不應影響處置設施完整性與不利於核種傳輸阻滯性。
4. 用於安全分析相關的水文地質模型與參數值應與本節內容一致。

導則建議：
七、地球化學：說明可能影響場址安全及核種遷移之水化學，土壤與岩石之分類組成及地球化學特性，以及相關之地化模擬資料。地球化學調查因子涵蓋場址及附近地區之無機質成分、有機質含量、氧化還原電位、酸鹼值、分配係數、遲滯因子、離子交換能力、放射性核種之溶解度與化學型態、價數與性質等。

審查範圍：

1. 場址之水化學、土壤與岩石化學調查。
2. 場址之地球化學模型與參數建立。

審查要點：

1. 地球化學調查、取樣、分析、及模型建構應合理說明。
2. 場址不得位於地下水體氫離子濃度指數(pH 值)小於四之地區(原能會，2006)。
3. 場址不得位於地質介質對鈷及銫之分配係數小於每公克三毫升之地區(原能會，2006)。
4. 用於安全分析相關的地球化學模型與參數值應與本節內容一致。

導則建議：
八、天然資源：說明場址及附近地區可能存在之重要天然資源，包括地質、礦產、及水資源等。

審查範圍：

1. 場址及附近地區之重要天然資源調查。
2. 天然資源對場址可能的影響。

審查要點：

1. 場址及附近地區現有與預期蘊藏之天然資源不應因為未來人類可能

進行的探勘或開採行為而導致處置場功能的失效，進而造成安全的危害。

導則建議：
九、生態：提供場址及附近地區之生態調查資料，包括場址半徑五公里範圍之主要生物種類、數量、分布、組成、棲息地，設施建造與運轉可能影響之保育類野生動物與植物，及可能影響處置場安全之生物活動與人為活動等。

審查範圍：

1. 場址及附近地區之生物物種與族群調查。
2. 場址及附近地區之生物習性調查。
3. 生物活動對場址可能的影響。

審查要點：

1. 生態調查方法應合理說明。
2. 場址及附近地區之生物行為不應導致處置場功能的失效，進而造成安全的危害。

導則建議：
十、輻射背景偵測：說明運轉前環境輻射背景偵測結果及偵測方法。

審查範圍：

1. 運轉前環境輻射背景偵測計畫，包括組織、設備、分析方法、品管與品保等。
2. 場址運轉前環境輻射背景偵測調查成果，包括偵測項目與環境輻射背景。

審查要點：

1. 場址運轉前之環境輻射背景偵測與分析方法應合於相關技術規範。
2. 場址運轉前之環境輻射背景偵測結果應作為運轉時輻射效應的比較基準。

導則建議：
十一、大地工程特性：說明場址之大地工程特性與測量方法，並界定影響

處置設施設計與建造之地工參數，包括場址地區土壤與岩石的強度、變形性與滲透性等。

審查範圍：

1. 大地工程特性調查。
2. 地工參數試驗與分析。

審查要點：

1. 場址之大地工程調查與地工參數資訊應足供設施設計與安全分析所需。
2. 場址之大地工程調查與分析方法應合於相關技術規範，成果應整合說明，並能證明場址之適宜性與長期穩定性。

導則建議：

十二、交通狀況：提供場址與附近地區交通運輸系統（包括鐵路、公路、水運等）及運輸能力等資料。

審查範圍：

1. 場址與附近地區之交通資訊。
2. 低放射性廢棄物運輸路線。

審查要點：

1. 低放射性廢棄物運輸路線應避免經過人口稠密地區。

導則建議：

十三、其他：

(一)說明其他足以影響處置設施設計及建造之場址特性因素(如崩塌滑動、侵蝕、洪水、土石流、火山爆發、海嘯等）。

(二)場址特性調查範圍應以學理上完整之地理區域為準，調查週期與精度應符合一般工程技術規範要求，成果應足以充分說明場址特性。

(三)調查成果應以適當比例尺之地圖加以說明，歷史資料應加以統計分析並以適當圖表呈現以利審查。原始調查數據得列為報告附冊備查。

(四)視場址之地域差異性，申請人得提供其他足以影響處置設施設計與建造之場址特性因素補充說明。

審查範圍：

1. 場址特性調查資訊的完整性與合理性。
2. 場址地域之補充說明。

審查要點：

1. 場址特性調查資訊應符合一般專業技術之要求，包括其使用方法、資訊呈現方式、以及結果的合理性。
2. 場址特性之其他地域差異性因素，應評估其可能之影響。

第四章 處置設施之設計

導則建議：
一、設計目標與功能需求：說明處置設施之設計基準、設計要項及設計規格等。

審查範圍：

1. 設計準則、建築技術規則與其他相關法規或規範。
2. 處置設施之設計基準、設計要項及設計規格。

審查要點：

1. 處置場設計應合於以下的功能目標：
   (1) 保護公眾免於輻射釋出的危害。
   (2) 保護無意侵入處置場的個人。
   (3) 保護處置作業人員。
   (4) 封閉後維持處置場址的穩定性。
2. 處置場設計應合於以下的功能需求：
   (1) 能抑低地下水滲入處置坑道。
   (2) 能確保處置坑道與內部結構的穩定性。
   (3) 能減少地下水與放射性廢棄物接觸的機會。
   (4) 在轉期間能有效的排除滲水。
   (5) 有助於處置場的封閉與穩定。
   (6) 能抑低或免除長期維護的需求。
   (7) 能提供防止人類無意侵入的障壁。
   (8) 能合理抑低作業人員的輻射曝露。
   (9) 能提供適當的監測措施。

導則建議：
二、建築設計：說明處置設施主要結構物、使用需求規劃及其配置。

審查範圍：

1. 設計準則、建築技術規則與其他相關法規或規範。
2. 建築設計分析方法。
3. 主要結構物功能與配置。
4. 場址因素的考慮。

審查要點：

1. 建築設計經過保守假設與合理計算且合於法規。
2. 主要處置設施設計能滿足安全運轉與廢棄物長期隔離的功能需求；其配置能與處置作業流程與場址環境相容。
3. 場址因素對於建築設計的不利影響均已充分考慮。

導則建議：
三、結構設計：說明處置設施主要結構物之結構分類、設計荷重及其組合等。

審查範圍：

1. 設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範。
2. 結構設計分析方法。
3. 結構物荷重計算結果。
4. 場址因素的考慮。

審查要點：

1. 施加於結構之荷重經過保守假設，結構體各構件強度經過保守折減，且兩者皆經合理計算且合於法規。
2. 結構的穩定性設計可以有效減少主動維護的需求，確保廢棄物的長期隔離功能。
3. 場址因素對於結構設計的不利影響均已充分考慮。

導則建議：

四、土木設計：說明處置設施主要結構物之工程材質、屏蔽材料之特性與設計標準（包括處置設施及其覆蓋、回填等）、地表防洪及地下排水系統之設計。

審查範圍：

1. 設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範。
2. 土木施工材料特性。
3. 處置坑道排水設計。
4. 場址因素的考慮。

審查要點：

1. 土木設計經過保守假設與合理計算且合於法規。
2. 土木材料規格與設計施工有合理的管控程序。
3. 處置坑道排水設計能合理的考慮地下水滲流量、地面坡度、排水管與渠道、集水池、抽水設備等。
4. 場址因素對於土木設計的不利影響均已充分考慮。

導則建議：

五、輻射安全設計：

(一)安全限值：說明設施內外之輻射限值與輻射防護分區規劃。

(二)處置設施結構之輻射屏蔽分析：說明處置設施輻射屏蔽結構體構造強度、比重、厚度等有關資料，針對處置廢棄物含有核種之活度、比活度及分布情形，進行輻射屏蔽分析評估。

(三)職業曝露合理抑低：說明設施正常運轉期間，合理抑低工作人員輻射劑量所採行之設計或措施，至少應包括下列各項：

1. 輻射監測區域規劃、輻射管制區劃分及輻射防護設備之使用等。
2. 廢棄物接收、暫貯、檢整、搬運、處置及控制中心等作業區職業曝露合理抑低之設計。
3. 對較高活度廢棄物之屏蔽設計。

審查範圍：

1. 輻射安全之設計準則與適用之法規。
2. 輻射防護設施設計與作業規劃。

審查要點：

1. 輻射安全設計應符合我國現行輻射防護相關法規。
2. 輻射安全設計應符合合理抑低原則。

導則建議：
六、輔助設施或系統之設計：說明廢棄物暫貯區、廢棄物檢整或處理系統、粉塵與廢水收集排放處理系統、廢棄物傳送系統、分析或偵測系統等之設計，並說明各系統失效時之補救措施。

審查範圍：

1. 輔助設施或系統之設計準則與適用之法規。
2. 輔助設施或系統在正常情況下的功能與異常情況下的影響。

審查要點：

1. 輔助設施或系統之設計或使用或失效不得影響處置場的整體功能。
2. 輔助設施或系統在處置場運轉期間應能安全的協助主要設施，且失效時不得危害作業人員的安全。

導則建議：
七、公用設施或系統之設計：說明通訊、電力、供水、供氣、照明、廢棄物處理、通風等系統之設計，並說明各系統失效時之補救措施。

審查範圍：

1. 公用設施或系統之設計準則與適用之法規。
2. 公用設施或系統在正常情況下的功能與異常情況下的影響。

審查要點：

1. 公用設施或系統之設計或使用或失效不得影響處置場的整體功能。
2. 公用設施或系統失效時不得危害作業人員的安全。

導則建議：
八、設計成果應附適當比例尺之詳細圖說，設計細部資料得列報告附冊備查。

審查範圍：

1. 工程設計圖說與細部資料。

審查要點：

1. 圖件應清晰，資料編號與索引應明確且一致。

第五章 處置設施之建造

導則建議：
一、施工特性：說明施工規劃概要，包括所遵循之法規、標準、規範、施工階段及施工範圍等。

審查範圍：

1. 施工規劃概要。

審查要點：

1. 適用法規與技術規範應合理說明。
2. 施工期程與處置時程應能合理配合。

導則建議：
二、施工計畫：處置設施之建造應擬具可行施工計畫，包括工程經營管理、施工佈置、施工材料、施工方法、施工機具設備、施工程序(含與處置作業並存之施工程序)、施工時程、工業安全衛生、水土保持與環境保護、品管與品保方案及緊急應變處理等。

審查範圍：

1. 施工計畫。

審查要點：

1. 施工計畫內容應具體完整且具備可行性。
2. 施工計畫應著重於施工準備、坑道開挖與襯砌、坑道通風、坑道排水、處置設施施工、坑道回填、處置場封閉等措施之說明。

第六章 處置設施之運轉

導則建議：
一、廢棄物接收：描述處置設施接收廢棄物之相關作業程序，包括下列各

項：

(一)廢棄物運輸規劃，包括廢棄物由貯存地點運送至處置設施，以及設施內的運輸規劃。

(二)運送文件之查驗。

(三)廢棄物盛裝容器之檢視。

(四)運輸設備之污染偵檢與除污。

(五)容器表面劑量率及核種之偵檢。

(六)廢棄物相關文件之管理與保存。

審查範圍：

1. 廢棄物運輸規劃。
2. 廢棄物接收與檢整程序。
3. 廢棄物接收標準。

審查要點：

1. 廢棄物運送作業規劃應符合相關法規規定。
2. 廢棄物應依其類別與活度以適當容器包裝。
3. 廢棄物包件表面劑量率應合於法規限值。
4. 廢棄物包件紀錄文件應合理的登載特性項目與交運過程並妥善保管。

導則建議：

二、廢棄物處理與暫存：說明處置設施接收廢棄物後，廢棄物處理與暫存作業程序，包括下列各項：

(一)廢棄物處理：由接收區將廢棄物轉運至暫存區或處置區之作業(包括除污、再固化、再包裝、吊卸等)。

(二)廢棄物暫存：暫存區之使用規劃及暫存作業。

審查範圍：

1. 廢棄物處理作業規劃。
2. 廢棄物暫存作業規劃。

審查要點：

1. 場內廢棄物處理作業流程包括輸送方式、分發處置區位置等應有合理規劃。
2. 廢棄物暫存區容量、使用時機、貯存期限等應有合理規劃。

導則建議：

三、處置作業：說明處置設施進行廢棄物處置之作業程序，包括下列各項：

(一)處置區之分區規劃：

1. 廢棄物依其種類、型態、活度及預期進場處置時程分別規劃處置分區及相關處置方式。
2. 各類廢棄物之處置及各該處置分區完成處置配合之可能施工設備、設施、管制、輻射防護與監測。
3. 減少廢棄物體堆置空隙之方法。

(二)處置區內處置單元覆蓋、回填：

1. 覆蓋、回填作業所用結構物、設施與屏蔽材料可能料源、施工設備、施工方法及施工程序。
2. 處置單元有關設施之運轉、維護與監測評估。

(三)處置單元封閉及穩定化：

1. 處置單元之封閉條件、期程及其封閉計畫。
2. 處置單元封閉後之營運、檢查及監測。
3. 檢查、監測成果之分析評估與處置單元可能需要之改善措施。

(四)處置區內非處置單元區域之運轉及其封閉、覆蓋、回填之材料、步驟及設備：說明覆蓋、回填材料種類、特性、實施步驟及使用設備。

(五)處置區分區標示：包括標示方法、內容及標示物之材質。

(六)其他相關作業之說明。

審查範圍：

1. 處置作業相關設施與作業規劃。
2. 處置坑道回填作業規劃。

審查要點：

1. 廢棄物應分類分區進行處置。
2. 較高活度之廢棄物包件應有適當屏蔽並以遙控操作進行處置。
3. 處置作業期間應能防止地下水與廢棄物包件接觸。
4. 處置作業流程應能確保作業人員之工作安全並合理抑低輻射劑量。
5. 廢棄物包件間隙灌漿與坑道回填作業應有合理規劃，作業後應能維持隔離廢棄物與長期穩定的功能需求。

第七章 處置設施之安全評估

導則建議：
一、輻射劑量評估：說明廢棄物性質與場區之可能核種傳輸路徑及特性，並分別評估運轉期（廢棄物接收、暫存、吊卸、處理、處置、除污排水）及封閉後正常與異常狀況下對工作人員及民眾輻射劑量之影響，並與現行法規做比較，評估項目包括：
（一）廢棄物描述：包括總數量、總活度、廢棄物特性基本假設等。

審查範圍：

1. 核種特性，包括：主要核種(種類、活度、衰變鍊)、總數量、總活度等。
2. 廢棄物特性，包括：廢棄物型態、數量、廢棄物物化特性等。
3. 處置容器特性，包括：材質、規格等。

審查要點：

1. 廢棄物相關資訊是否分別依處置場營運不同時期(如申請建造執照時或申請運轉執照時)滿足本報告前述之規劃與實際處置容量、處置配置和廢棄物來源與特性內容。
2. 廢棄物種類的物理、化學與輻射特性資料，至少包括：年產體積(annual volumes)、廢棄物分類(waste class)、主要核種的平均濃度(average concentrations of the principal radionuclides)、化學與物理形式(chemical and physical form)、使用的螯合劑(presence of chelating agents)、包裹體特性(packaging characteristics)、固化劑(solidification agent)，這些資料要能用來計算外釋率(release rates)(NRC，1994)。
3. 主要核種篩選原則描述與合理性。
4. 根據不同廢棄物的型態與使用的處置容器特性，描述其物理與化學特性。物理與化學特性參數的取得主要依據相關試驗規範進行試驗，若不易取得則可參考相似環境條件下的文獻資料。
5. 提供的廢棄物相關資訊是否足對處置場營運不同時期進行獨立評估與計算。

導則建議：
（二）核種傳輸特性：評估處置設施工程與天然障壁在設施運轉及封閉後，地下水滲流、擴散、延散與遲滯吸附等特性參數，以模擬分析地下水滲流機制、核種傳輸及處置設施之長期穩定性。

審查範圍：

1. 處置設施工程與天然障壁特性，包括：材質、相關尺寸、核種傳輸特性(如吸附係數、擴散係數)等。
2. 處置場與鄰近地區之地下水流場與核種傳輸特性，包括：處置場建置前後之地下水流場、母岩或裂隙或含水層的核種傳輸特性等。
3. 處置設施長期穩定性，包括：地下水或雨水的地化作用、地下水的溶解與管湧(piping)的侵蝕作用等。

審查要點：

1. 處置設施工程與天然障壁特性相關資訊是否分別依處置場營運不同時期(如申請建造執照時或申請運轉執照時)滿足本報告前述之處置設施設計、處置設施建造與處置設施運轉內容。
2. 根據不同處置設施工程與天然障壁材質特性，描述其基本物理特性(如密度、比重、孔隙率等)、化學特性(如主要化學成分與比例等)、水文與傳輸特性(滲透率[permeability]、導水係數[conductivity]、擴散係數[diffusion coefficient]、延散係數[dispersion coefficient]、吸附係數[adsorption coefficient]等)。物理、化學、水文與傳輸特性參數的取得主要依據相關試驗規範進行實驗室試驗或現地試驗，若不易取得則可參考相似環境條件下的文獻資料。若仍無法取得相似條件下的參數，可合理地保守假設。
3. 處置場建置前後之地下水流場需根據建置於處置場與鄰近地區之地下水位觀測井(可參考水利署之「地下水位觀測網」)或水質監測井(建置方式可參考環保署之「地下水水質監測井設置規範」)之水位資料，參考地質剖面，進行穩態(steady state)或暫態(transient)的不同含水層或裂隙特性的地下水流場分析，並根據以上的流場分析配合核種傳輸特性，進行核種穩態或暫態的核種濃度(活度)時空分佈模式模擬與評估。
4. 考量地下水成份或雨水成份可能引致的處置場長期環境地化作用，分析地下水的溶解與管湧的侵蝕潛能，以評估處置設施的長期穩定性。
5. 提供的處置設施工程與天然障壁特性、地下水流場與核種傳輸特性等相關資訊是否足對處置場營運不同時期進行獨立評估與計算。

導則建議：

(三)正常狀況之輻射劑量：評估處置設施運轉期及封閉後在正常狀況之

輻射劑量，包括傳輸機制說明、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式。

審查範圍：

1. 評估處置設施運轉期及封閉後在正常狀況之處置場邊界與下游特定距離已經存在或可能存在的人類受體的輻射劑量。
2. 輻射劑量分析內容，包括：傳輸機制說明、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式等。

審查要點：

1. 正常狀況之輻射劑量分析相關資訊是否分別依處置場營運不同時期(如申請建造執照時或申請運轉執照時)滿足本報告前述之廢棄物描述、核種傳輸特性等內容說明。
2. 重要的外釋傳輸機制包括：地下水傳輸、氣體傳輸、地表水傳輸、生物鍊路徑以及直接輻射等(NRC，1994)。
3. 地下水傳輸路徑應以場址的水文地質、地質、地工(geotechnical)與地化特徵出發，著重於一般的地層(stratigraphy)與岩層(lithology)分佈、範圍的延伸與含水層(aquifer)厚度、補注區(recharge zone)與抽水區(discharge zone)、流速(flow rate)與傳輸時間(travel time)、水文地質特性(hydrogeologic properties)與污染物傳輸特性(contaminant transport characteristics)(NRC，1994)。
4. 情節分析之重要外釋情節應包括考量特定受體至少超過 5%比例的情節(NRC，1994)。
5. 輸出/入資料的統計分析及其他所有使用的參數或分析模式需能提出合理的說明與驗證。
6. 評估程式需能完整模擬考量的情節與傳輸機制，並經完整的程式驗證與比較。

導則建議：

(四)異常狀況之輻射劑量：評估處置設施運轉期及封閉後在意外事故或異常狀況下之輻射劑量，包括傳輸機制說明、意外事故或異常狀況之發生頻率、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式。

審查範圍：

1. 評估處置設施運轉期及封閉後在意外事故或異常狀況下之處置場邊界與下游特定距離已經存在或可能存在的人類受體的輻射劑量。
2. 輻射劑量分析內容，包括：傳輸機制說明、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式等。

審查要點：

1. 意外事故或異常狀況下之輻射劑量分析相關資訊是否分別依處置場營運不同時期(如申請建造執照時或申請運轉執照時)滿足本報告前述之廢棄物描述、核種傳輸特性等內容說明。
2. 意外事故或異常狀況的重要外釋情節與傳輸機制分析。
3. 安全評估內容可參考一般狀況之內容。

導則建議：

(五)核種外釋到達人類活動範圍之傳輸機制：包括地下水、空氣、地表水、其他傳輸機制，及直接輻射與向天輻射對個人之曝露，並描述各傳輸機制之概念模式、數學模式及分析所需之參數。

審查範圍：

1. 評估處置設施之地下水、空氣、地表水、其他傳輸機制，及直接輻射與向天輻射對個人之曝露劑量。
2. 內容包括：描述各傳輸機制之概念模式、數學模式及分析所需之參數等。

審查要點：

1. 考量的傳輸機制是否符合主要情節，並考量傳輸機制的合理性、適用性與完整性。
2. 概念模式、數學模式及分析使用的參數是否完整地描述考量的傳輸機制。
3. 引用之參數是否對該場址與鄰近地區或主要核種具有代表性。

導則建議：

(六)述明各種傳輸機制之評估結果，是否符合法規限值。

審查範圍：

1. 評估結果與法規限值的關係。

審查要點：

1. 考量的傳輸機制其評估分析結果是否符合法規限值。
2. 若不符合法規限值的補救措施說明。

導則建議：
二、設備操作：依據處置設施之設備特性及操作程序，評估運轉期設備操作之安全性。

審查範圍：

1. 運轉期設備操作之安全性。

審查要點：

1. 處置設施之設備特性(功能、老化等)及操作程序是否清楚描述。
2. 操作過程的異常回報與處理程序是否清楚描述。
3. 操作人員是否符合人員訓練計畫要求。

導則建議：
三、闖入者防護：描述在處置設施營運中、封閉後，防止無意闖入者接近廢棄物所採行之防護設計及措施，並評估其功能。

審查範圍：

1. 在處置設施營運中、封閉後，防止無意闖入者接近廢棄物所採行之防護設計及措施。

審查要點：

1. 在處置設施營運中、封閉後，防止無意闖入者接近廢棄物所採行之防護設計及措施是否清楚描述。
2. 對無意闖入者防止的監管計畫與措施是否清楚描述。
3. 發現無意闖入者的回報與處理程序是否清楚描述。
4. 封閉後之監視與管控時間至少 100 年(NRC，1994)。

導則建議：
四、長期穩定性：評估並分析處置設施於運轉期間及封閉後之長期穩定性與安全性。分析時應說明分析方法、輸入參數、假設狀況、適用範圍、模式分析結果及不確定性等。

審查範圍：

1. 運轉期間及封閉後之長期穩定性與安全性分析。
2. 分析內容包括：分析方法、輸入參數、假設狀況、適用範圍、模式分析結果及不確定性等。

審查要點：

1. 假設狀況如：地下水或雨水造成之地化環境改變、處置廢棄物的化學長期穩定性、地下水滲流引致管湧之分析、陸地抬升與地表侵蝕作用、地震與斷層活動、鄰近地區的天然資源開發等。
2. 輸出/入資料的統計分析及其他所有使用的參數或分析模式需能提出合理的說明與驗證。
3. 評估程式需能完整模擬考量的情節與傳輸機制，並經完整的程式驗證與比較。
4. 長期穩定性評估時間至少 10000 年(NRC，1996；NRC，2000)。

第八章 處置設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫

導則建議：
一、管理組織架構：說明貯存設施管理組織架構，包括編組、功能、責任與權限，並說明各項運轉作業之人力運用。

審查範圍：

1. 貯存設施運轉管理組織架構，包括編組、功能、責任與權限。
2. 貯存設施運轉作業人力運用及其應具備之學歷與經驗。

審查要點：

1. 貯存設施運轉編組對於初始測試計畫及技術支援之功能與責任。
2. 提出初始測試計畫、技術支援與貯存設施運轉之履行責任的方法。
3. 提出貯存設施運轉與維護整合管理之組織架構。
4. 貯存設施管理、運轉及技術支援單位間之管控機制、聯繫管道及權責。
5. 貯存設施運轉與技術支援各級人力之經驗與能力。

導則建議：
二、人員編制：說明處置設施人員編制、權責及資格，包括編制員額、職

稱及每一運轉班次人數，各級主管人員之權責與資格，管理、監督及輻射防護人員之權責與資格等。

審查範圍：

1. 處置設施人員編制、權責及資格，包括編制員額、職稱及每一運轉班次人數。
2. 各級主管人員之權責與資格，包括：
   (1) 所有設施管理
   (2) 運轉監督
   (3) 運轉輪班監督
   (4) 技術監督
   (5) 輻射防護監督
   (6) 維護監督
   (7) 緊急監督組織
   (8) 品質保證監督
3. 管理、監督及輻射防護人員之權責與資格。

審查要點：

1. 處置設施各級管理者的權責與資格必須界定清楚。
2. 說明管理者職務代理機制。
3. 監督及/或管理功能範圍應明確區分。
4. 處置設施安全運轉之功能範圍及管理者應有之權責。

導則建議：

三、人員訓練：針對處置設施之運作提出人員訓練計畫，包括各項作業之訓練規劃、訓練課程內容、訓練週期及授課人員資格、訓練成效評估及資格檢定辦法。

審查範圍：

1. 處置設施各項作業之訓練規劃，訓練課程內容、時程及授課人員之資格。
2. 處置設施開始接收廢料前，所有人員應完成訓練及具備應有之資格。
3. 人員訓練計畫應就處置設施各項職務職責分析結果及人員學經歷背景規劃課程內容。
4. 訓練成效評估及資格檢定辦法。。

審查要點：

1. 處置設施運轉前，提供所有人員完成所需訓練及資格檢定之證明。

導則建議：
四、審查與稽核：說明處置設施各項作業之審查與稽核程序，包括運轉作業之內部審查與安全措施之稽核、作業程序或系統變更之審查、審查與稽核文件之管制等。

審查範圍：

1. 運轉作業之內部審查與安全措施之稽核。
2. 作業程序或系統變更之審查。
3. 審查與稽核文件之管制。

審查要點：

1. 內部審查機制。
   (1) 各單位間應有互審機制組織。
   (2) 審查人員應有等級區分並通過資格檢定。
   (3) 文件化之審查紀錄並經過管理者審核。
2. 具備獨立審查機制。
   (1) 處置設施各項運轉作業之審查與監督。
   (2) 處置設施各項運轉特性及維護作業之監督。

導則建議：
五、管理程序：說明設施安全運轉相關作業活動之管制與管理程序，包括設備管制、維護管理、工安、品保及人員與車輛出入之污染管制等。

審查範圍：

1. 設施安全運轉相關作業活動之管制與管理程序。
2. 設施正常、異常及緊急狀況之安全運轉作業程序。

審查要點：

1. 管制與管理程序。
   (1) 審查及認可程序。
   (2) 設備管制程序。
   (3) 維護管理程序。
   (4) 緊急計畫程序。
   (5) 臨時變動程序。

(6) 人員標準命令程序。
(7) 訓練與指導程序。
(8) 管制區管理程序。
(9) 品保管制程序。

2. 安全運轉作業程序。
(1) 系統操作程序。
(2) 廢棄物接收及檢查程序。
(3) 廢棄物處理、儲存及處置程序。
(4) 溝渠設計及建造程序。
(5) 人員與車輛出入之污染管制。
(6) 異常、臨時及緊急程序。
(7) 校正及測試程序。
(8) 設施維護程序。
(9) 環境監測、採樣及測試程序。

第九章 輻射防護作業與環境輻射監測計畫

導則建議：

一、輻射防護計畫：依處置設施之作業特性、處置放射性廢棄物之活度與特性，並參考「游離輻射防護法」相關規定撰寫輻射防護計畫，內容應包括輻射防護管理組織與權責、人員防護、醫務監護、地區管制、輻射源管制、放射性物質廢棄、意外事故處理、合理抑低措施、紀錄保存及其他主管機關指定事項等。

審查範圍：

1. 輻射防護計畫。
2. 輻射防護計畫內容應包括輻射防護管理組織與權責、人員防護、醫務監護、地區管制、輻射源管制、放射性物質廢棄、意外事故處理、合理抑低措施、紀錄保存及其他主管機關指定事項等。

審查要點：

1. 合理抑低處置場曝露之管理策略、設計與運轉考量。
2. 輻射源依活度、同位素組成、射源幾何特性等方式分類之資料，計算模式與參數，以及配置圖。
3. 應在適當比例地圖上詳載防護設施、除污設施、防護衣、防護面具

設置地點等資訊，並標明限制區與非限制區(清潔區與管制區)。

4. 坑道通風設計對人員防護之特性。

導則建議：

二、環境輻射偵測計畫：應依原能會九十一年十二月二十五日發佈「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第十九條第二項規定撰寫環境輻射監測計畫。

審查範圍：

1. 環境輻射偵測計畫。
2. 環境輻射偵測計畫應載明：
   (1) 監測項目，包括連續性環境直接輻射監測、累積劑量之環境直接輻射監測及運轉時放射性物質可能擴散途徑之環境試樣，且敘明試樣種類、取樣頻次、取樣地點(應以地圖標示)、取樣方法試樣保存、分析方法、偵檢靈敏度及相關參考文件。
   (2) 監測結果評估方法，包括飲水，食物攝食量等劑量評估參數與劑量評估方法。
   (3) 品質保證及品質管制執行方法說明。
   (4) 環境試樣放射性分析之預警措施。
   (5) 其他經主管機關指定之事項。

審查要點：

1. 輻射偵測儀器設備之選用與設置原則。
2. 偵測儀器的數量、偵測範圍、靈敏度、精確度、校正頻率與方法、維護設施。
3. 應在適當比例地圖上詳載偵測儀器、警報器、採樣器設置地點等資訊。
4. 坑道內空浮濃度限值與偵測方法。

第十章 保安計畫、意外事件應變計畫及消防防護計畫

導則建議：

一、保安計畫內容至少應包括下列各項：

(一)保安組織之目的、編組、管理及訓練。

(二)保安區域劃定、周界實體阻隔物及警報監視系統。
(三)門禁管制、進出人員查核、保安通訊設施。
(四)保安系統測試維護及各項紀錄保存。

審查範圍：

1. 保安計畫。
2. 保安計畫內容應包括：
   (1) 保安組織之目的、編組、管理及訓練。
   (2) 保安區域劃定、周界實體阻隔物及警報監視系統。
   (3) 門禁管制、進出人員查核、保安通訊設施。
   (4) 保安系統測試維護及各項紀錄保存。

審查要點：

1. 審查人員應瞭解處置設施與場址的一般性描述內容。
2. 保安計畫完成的時程規劃應與處置場興建、運轉、封閉的期程配合。
3. 防制人員入侵的方法、緊急聯絡系統、人員入侵警示系統、保安人力的配置、與當地治安機關聯繫等。
4. 應附詳載警報監視系統裝設位置、門禁管制地點、保安人員位置等資訊之配置示意圖。
5. 非作業期間發生緊急事故的應變能力。

導則建議：

二、意外事件應變計畫內容至少應包括下列各項：
(一)意外事件應變組織及權責。
(二)建造、運轉及封閉階段中，可能發生事故之分析。
(三)意外事件應變設施之設備及功能。
(四)意外事件應變措施之重要事項。
(五)意外事件應變功能之維持。
(六)意外事件應變計畫相關資料。

審查範圍：

1. 意外事件應變計畫。
2. 意外事件應變計畫內容至少應包括：
   (1) 意外事件應變組織及權責。
   (2) 建造、運轉及封閉階段中，可能發生事故之分析。
   (3) 意外事件應變設施之設備及功能。

(4) 意外事件應變措施之重要事項。
(5) 意外事件應變功能之維持。
(6) 意外事件應變計畫相關資料。

審查要點：

1. 審查人員應瞭解處置設施與場址的一般性描述內容。
2. 處置場、作業單位應變組織權責劃分，與政府有關機關之聯繫。
3. 發生事故之嚴重性與其影響，坑道尤應注意火災、電氣設備故障與地震。
4. 應附上詳載執行緊急應變作業可利用之設備設置地點、疏散位置，坑道尤應注意通風、照明與逃生設備之配置示意圖。
5. 應變措施之重要事項包括通知與動員、事故評估與預測、疏散計畫、搶救與搶修、防護行動與復原計畫。
6. 執行緊急應變作業設備之維護、人員訓練與演練計畫、緊急應變計畫之修訂與更新。
7. 其他包括訓練與演練時間表、相關單位配合與支援計畫、備用應變設備、文件與記錄保存。

導則建議：

三、消防防護計畫內容至少應包括下列各項：

(一)消防工作之組織及行政管理。
(二)火災災害分析及影響評估。
(三)防火設計及措施。
(四)火警偵測及消防能力評估。
(五)相關單位之消防及救護支援。
(六)防火及消防有關設備之維護及管理。
(七)防火及消防有關之人員訓練。

審查範圍：

1. 消防防護計畫。
2. 消防防護計畫內容至少應包括：
   (1) 消防工作之組織及行政管理。
   (2) 火災災害分析及影響評估。
   (3) 防火設計及措施。
   (4) 火警偵測及消防能力評估。
   (5) 相關單位之消防及救護支援。

(6) 防火及消防有關設備之維護及管理。
(7) 防火及消防有關之人員訓練。

審查要點：

1. 處置場、作業單位消防組織權責劃分。
2. 火災發生可能肇因分析、各處置單元發生火災之嚴重性與其影響。
3. 消防儲水儲砂設施、火警偵測系統、自動滅火裝置、消防設備之選用與配置、滅火器型式之設計，以及防火材料之選用不得損害放射性廢棄物，坑道尤應注意通風、照明、電氣設備與逃生系統。
4. 應附上詳載消防設備裝設位置、火警偵測系統、自動滅火裝置之配置示意圖。
5. 相關單位配合與支援計畫、緊急聯絡計畫。
6. 消防設備維護、備用消防設備、設備檢查計畫、消防計畫修訂與更新、文件與記錄保存。
7. 其他包括人員訓練與演練計畫。

第十一章 處置設施之封閉及監管規劃

導則建議：
一、處置場區穩定規劃：提出場區穩定規劃，以確保處置設施穩定之設計或措施。

審查範圍：

1. 地表處置場區穩定規劃。
2. 處置坑道穩定規劃。
3. 大地工程穩定措施。

審查要點：

1. 處置坑道口地表排水與沖蝕防治系統應能防止地表水入滲與廢棄物包件接觸。
2. 處置坑道排水系統應能防止地下水與廢棄物包件接觸。
3. 處置坑道回填材料應防止沉陷與下陷超出設計範圍並應進行長期監測。

導則建議：

二、封閉規劃：說明處置設施之封閉規劃，包括除污規劃、輻防設計、檢查及監測規劃、輔助設施拆除規劃與二次廢棄物之處理方式。

審查範圍：

1. 坑道地表設施封閉規劃。

審查要點：

1. 除污之方法與程序應有合理規劃。
2. 輻防設計應符合我國現行輻射防護相關法規及合理抑低原則。
3. 監檢計畫內容，包括監檢方法、監檢儀器、監檢位置及工作人員資格等應合理規劃。
4. 輔助設施拆除計畫應比較說明不同拆除方法之優缺點及成本效益評估。
5. 二次廢棄物之處理方式應說明除污作業時所產生二次廢棄物之數量、物性、化性與輻射特性，及其分類包封與處理方式。

導則建議：

三、監管規劃：說明處置場區封閉後之監管規劃，包括監管期、處置場區管理及環境監測措施。

審查範圍：

1. 處置場監管規劃。
2. 環境監測規劃。

審查要點：

1. 處置場監管期間相關作業之管理與管制措施，包括組織架構、設備管制及維護管理等應有合理規劃。
2. 處置場安全措施，包括設施門禁管制、防盜警示系統、天然災害及異常事件之應變措施應合理規劃。
3. 環境監測計畫內容應具體完整且具備可行性。

第十二章 品質保證計畫

導則建議：

一、品保政策與組織。

審查範圍：

1. 品保政策。
2. 品保組織。

審查要點：

1. 品保政策所秉持之政策、目標及承諾應合理說明。
2. 品保組織之管理、執行及查證等工作之組織架構、組織功能、責任區分及協調管道等應具體完整且具備可行性。

導則建議：
二、品保方案。

審查範圍：

1. 品保方案之準則與規定。

審查要點：

1. 各項設施結構、系統、組件與作業活動之品保等級及其設定原則，應適當規劃且具體可行。
2. 特殊之管制、程序、設備、工具及其技術與品質之檢測或驗證方法，應有適當之準則。
3. 品保人員教育、訓練與資格有適當之規範。

導則建議：
三、設計管制。

審查範圍：

1. 資料引用管理。
2. 設計分析。
3. 驗證審查。
4. 變更管制。
5. 界面管制。
6. 文件輸出。
7. 記錄保存。

審查要點：

1. 設計時所引用各項資料(如場址調查資料、設計基準、功能要求、法

規與標準、特殊設備之設計製造資料以及品質標準等)之確認、建檔、審核及變更，應有標準作業程序。

2. 設計分析包括設計計畫表、工作流程及時程規劃，應有標準作業程序。
3. 各項設計之驗證方式及審查有標準作業程序。
4. 設計變更及其審查有標準作業程序。
5. 設計界面管制包括界面間之責任區分、文件傳遞與修訂及設計界面之審核等，應有標準作業程序。
6. 設計完成經確認之文件應有完備之查驗程序，文件分發亦有適當之查證與管制程序。
7. 各項設計相關文件應予以建檔及適當保存方式。

導則建議：
四、工作說明書、程序書及圖件。

審查範圍：

1. 影響品質相關作業工作說明書、程序書及圖件之規定。
2. 工作說明書、程序書及圖件中定性、定量化接受準則之規定。

審查要點：

1. 影響品質相關作業職責已規定於工作說明書、程序書及圖件，並確實執行。
2. 定性、定量化接受準則應有標準程序。

導則建議：
五、文件管制。

審查範圍：

1. 文件之編製、審查與發行等管制作業規定。

審查要點：

1. 文件管制範圍及文件分類應有定義。
2. 文件編製、審查與發行應訂定作業程序。
3. 過時或廢棄文件置換或移除應訂定作業程序。

導則建議：
六、採購材料、設備及服務之管制。

審查範圍：

1. 採購材料、設備及服務之管制作業規定。

審查要點：

1. 採購作業及工程發包應有作業程序且符合採購法規。
2. 供應廠商及工程承包商應訂定評選標準且符合採購法規。
3. 產品之生產與運送及施工與服務應訂定檢驗項目。
4. 產品或服務驗收及不符合項目應訂定作業程序。
5. 廠商評鑑應定期辦理。

導則建議：
七、改正行動。

審查範圍：

1. 為排除不利於品質狀況所採取之改正作業規定。

審查要點：

1. 改正行動應建立作業程序以有效達到改正目的。
2. 改正行動應防止不利於品質之狀況不會再發生。
3. 改正行動過程應可以被追蹤，以確保改正行動已被適當執行。
4. 改正行動應提供書面報告予管理階層，做為審核評估之用。

導則建議：
八、品保紀錄

審查範圍：

1. 各項品保紀錄之確認、保管、使用與維護等規定。

審查要點：

1. 各項品保紀錄應明確描述其紀錄範圍。
2. 各項品保紀錄與品保組織之關係應適當說明。
3. 各項品保紀錄內容應訂定記錄項目。
4. 各項品保紀錄應說明其適當之儲存設施。

導則建議：
九、稽查

審查範圍：

1. 品保稽查規定。
2. 品保稽查制度。

審查要點：

1. 稽查作業應有計畫與標準程序。
2. 稽查人員須接受適當訓練並已具備資格。
3. 稽查團隊必須有稽查各項專門技術之能力
4. 稽查結果應提供記錄並呈送管理層級審查。
5. 稽查缺失應予分析並製作報告，提供管理層級進行審核、評估、改正及追蹤。

四、 討論與建議

1. 美國 NUREG-1200 為針對近地表處置場所編寫的標準審查規範，對於坑道處置而言，由於二者之間場址與設施特性的差異，並無法直接引用作為審查的依據，其審查重點僅有間接參考的價值，表 4-1 為我國低放射性廢棄物處置安全分析報告(SAR)導則對應 NUREG-1200 之章節，以及處置方式適用重點之比較。
2. 美國 NRC 編寫標準審查規範的背景在於美國有多個低放射性廢棄物處置場，且於執照申請審查時可能牽涉 NRC 眾多的內部部門與專家，因此為維持審查的品質與一致性，故須編寫標準審查規範作為審查者參考的基準。反觀國內在可預見的未來，很可能只有一處低放射性廢棄物處置場的設置，因此是否需要發佈低放射性廢棄物處置場安全分析報告審查規範，值得商榷。
3. 低放射性廢棄物處置場安全分析報告審查工作，攸關國內的重大建設之安全，不可輕忽。對於處置場申請者之管制，宜從導則修訂著手，修訂工作可以針對特定處置方式，研擬不同的版本，並與申請者先行溝通，若將來確定採坑道處置，則即可發佈施行。
4. 本報告建議導則修訂工作可以針對特定處置方式著手，現行我國 SAR 導則係參考美國 NUREG-1199 內容編寫，若針對坑道處置，現行導則其適用性之疑議內容如附錄二，附錄二初擬內容僅為本計畫執行過程之發現與建議，請物管局參考，距離真正建立坑道處置方式的導則尚有一段遙遠距離。
5. 對於審查單位的審查標準，並不容易且無必要全面具體量化，主要原因

在於低放射性廢棄物處置場址與設施具有相當高因地制宜的特性。國內管制機關一般負責程序審查為主，在專業技術審查方面通常邀請學者專家共同參與，審查的過程應當是透明公開的，審查結論以多數決且應當是可以訴諸公議的，因此基本上可以確保審查程序與審查結果合乎專業性與合理性。但是由於國內對於審查低放射性廢棄物處置場安全分析報告並無經驗，因此管制機關審查人員仍有需要建立相關技術審查能力，並釐清審查範疇，亦協助外部專家學者能瞭解法規限制及各階段的審查重點，作客觀獨立的公正審查。所謂的範疇釐清包括安全分析報告與環境影響評估報告的不同、建照執照申請與運轉執照申請的不同等。

6. 本研究建議管制機關可考慮要求申請者進行場址細部調查前提出「場址特性調查計畫書(site characterization plan，SCP)」備查，需求原因在於場址調查工作往往曠日費時，當審查安全分析報告若發現場址資料缺漏需要補充調查時，可能延誤計畫時程，若能經由場址特性調查計畫書的核備程序，雖不能完全排除在外部專家學者審查後仍有補充調查的意見，但至少能降低此可能性。此外，於場址特性調查計畫書中繁瑣的調查方法除非有變更，否則可以不用在安全分析報告中贅述，如此可以使安全分析報告著重說明調查與分析成果，內容更為簡要。
7. 本報告建議管制機關審查人員仍需要建立相關技術審查能力，其中攸關安全分析報告應否予以通過的輻射劑量評估技術，核研所已累積相當的經驗，目前的技術發展現況與應用說明如表 4-2 所示，建議透過適當機會協助物管局審查人員建立輻射劑量評估技術審查能力。

表 4-1 我國低放處置 SAR 導則對應 NUREG-1200 與處置方式比較表

我國低放 SAR 導則	NUREG-1200 對應章節	近地表處置	坑道處置
1.0 概論	1.0		
1.1 緣由及目的	1.1		
1.2 專有名詞			
1.3 引用法規及設計準則	1.6		
2.0 設施之綜合概述	1.2		
2.1 位置			
2.2 處置方式			
2.3 處置容量			
2.4 處置場區之規劃與配置			
2.5 廢棄物來源與特性			
3.0 場址之特性描述	2.0	平坦地形	崎嶇地形
3.1 社會與經濟	2.1		
3.2 地形與地貌	2.1	重視山崩、土石流	
3.3 氣象	2.2	降雨影響大	降雨影響小
3.4 地質與地震	2.3	地震影響大	更重視地下地質 地震影響小
3.5 地表水	2.4.1	重視地表水文	
3.6 地下水	2.4.2		更重視地下水文
3.7 地球化學	2.6		更重視地球化學
3.8 天然資源	2.7		
3.9 生態	2.8		
3.10 輻射背景偵測	2.9		
3.11 大地工程特性	2.5	重視沖刷、沉陷、液化潛能	重視岩爆、湧水
3.12 交通狀況	2.1		
3.13 其他			
4.0 處置設施之設計	3.0		
4.1 設計目標與功能需求	3.1		
4.2 建築設計		地表設施	地表與地下設施
4.3 結構設計	3.2	覆蓋層荷重	坑道支撐與襯砌

我國低放 SAR 導則	NUREG-1200 對應章節	近地表處置	坑道處置
4.4 土木設計		地表防洪排水	地下排水
4.5 輻射安全設計	3.4.2		
4.6 輔助設施或系統之設計	3.4.1		重視通風系統
4.7 公用設施或系統之設計			
4.8 圖說與資料			
5.0 處置設施之建造	3.3	地面開挖	坑道開挖
5.1 施工特性			
5.2 施工計畫			
6.0 處置設施之運轉	4.0	地表作業	地下作業
6.1 廢棄物接收	4.1		
6.2 廢棄物處理與暫存	4.2		
6.3 處置作業	4.3		
7.0 處置設施之安全評估	6.0		
7.1 輻射劑量評估	6.1	未飽和含水層傳輸	飽和含水層傳輸
7.2 設備操作	4.3	地表作業	地下作業
7.3 闖入者防護	6.2	更重視闖入防護	
7.4 長期穩定性	6.3	覆蓋層侵蝕性	回填材料阻隔性
8.0 處置設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫	8.0		
8.1 管理組織架構	8.1		
8.2 人員編制	8.2		
8.3 人員訓練	8.3		
8.4 審查與稽核	8.5		
8.5 管理程序	8.6		
9.0 輻射防護作業與環境輻射監測計畫			
9.1 輻射防護計畫	7.0	地表作業	地下作業
9.2 環境輻射偵測計畫	4.4	地面監測	地下監測
10.0 保安計畫、意外事件			

我國低放 SAR 導則	NUREG-1200 對應章節	近地表處置	坑道處置
應變計畫及消防防護計畫			
10.1 保安計畫	8.7	更重視設施保安	
10.2 意外事件應變計畫	8.4		
10.3 消防防護計畫	3.4.3		更重視消防措施
11.0 處置設施之封閉及監管規劃	5.0		
11.1 處置場區穩定規劃	5.1		
11.2 封閉規劃	5.1	覆蓋層封閉	坑道封閉
11.3 監管規劃	5.3		
12.0 品質保證	9.1		
13.0 參考文獻			

表 4-2 核研所輻射劑量評估技術發展概況

範圍	評估程式		近地表處置	坑道處置	發展情形		應用說明
	分析目標	程式名稱			已有	發展中	
源項	數量與活度	統計分析 (Excel)	V	V	○		1.活度作為處置場劑量評估之核種源項。 2.數量作為處置場設計、規劃之依據。
近場	入滲	HELP	V		○		評估近地表處置之地表水入滲量。
	質傳	BLT	V	V	○		評估近場核種活度分佈變化。
		DUST			○		
遠場	流場	FEHM	V	V	○		分析處置場遠場環境之地下水流場分佈。
		FracMan			○		
		MODFLOW				○	
	質傳	BLT	V	V	○		配合地下水流場,評估遠場核種活度分佈變化。
		MODFLOW				○	
生物圈	流場	MODFLOW	V	V		○	分析處置場生物圈之淺層含水層地下水流場分佈。
	質傳	AMBER	V	V	○		配合淺層地下水流場與生物圈劑量傳輸途徑,評估受體之接受劑量變化。
		FRAMES			○		
全系統	質傳	GoldSim	V	V	○		含括源項、近場、遠場與生物圈之全系統劑量評估。

五、 結論

本計畫完成下列研究成果：

1. 國際低放射性廢棄物坑道處置概況評析，在經過彙整的文獻資料中，依據現況說明迄今仍運轉中、已停止運轉、籌備中的處置場，以及尚未明確採用坑道處置的國家，還有舊計畫遭到終止，或現況不明者，皆概要說明內容，再依各國簡略概況、處置方式、處置設施特性的歸納整理，極具參考價值。
2. 配合物管局執行坑道處置 SAR 審查作業需求，本計畫依據現行安全分析報告導則內容，以美國低放處置場標準審查規範(NUREG-1200-Rev.3)為參考，逐條進行坑道處置審查規範之研議，確認適合本土化之坑道處置審查規範要點，成果可作為物管局未來坑道處置審查規範擬定之參考。
3. 本計畫將研究過程中的發現，特別集中於第 4 章說明，包括對 NUREG-1200 內容的闡明、現行 SAR 導則適用於坑道處置建議、物管局可採取的管制措施建議，標準審查規範是否發佈的建議以及本所可提供的協助等，希望能夠有助於物管局未來執行坑道處置 SAR 審查作業時，能順利推展。
4. 撰寫研究成果報告「低放射性廢棄物坑道處置審查規範草案之研議」，內容規劃本土化低放坑道處置之安全審查清單為主軸，本報告附錄一為「國際低中放射性廢棄物坑道處置資訊彙整」，共蒐集值得參考的 16 國 23 個處置計畫資料。附錄二為「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則對坑道處置設施適用性之修訂建議」，內容為本計畫之研究發現，回饋於檢視現行導則對坑道處置之適用性，並擬定部分修訂建議供物管

局參考。附錄三為本報告所使用專有名詞之中英對照表。附錄四為本期末成果報告審查意見及處理情形表。

參考文獻

1. 紀立民，2004，國際低放射性廢棄物處置概況研究，INER-2708。
2. 原能會，2004，「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」。
3. 原能會，2004，輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則。
4. 原能會，2006，低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準，中華民國 95 年 11 月 17 日，會物字第 0950031961 號令發佈。
5. 紀立民，陳誠一，2007，低放射性廢棄物坑道處置國際現況探討，核研所對內報告，發表中。
6. USNRC, 1982, Licencing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 61.
7. USNRC, 1994, Standard Review Plan for the Review of a License Application for a Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1200, Rev. 3.
8. NRC, 1996, Commission Papers SECY-96-103, http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/secys/1996/secy1996-103/1996-103scy.html
9. NRC, 2000, A Performance Assessment Methodology for Low-Level Radioactive Waste Disposal Facilities – Recommendations of NRC's Performance Assessment Working Group," NUREG-1573, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Washington, D.C.
10. IAEA, 2003, Radioactive Waste Management Glossary: 2003 ed., International Atomic Energy Agency.

附錄一、

國際低中放射性廢棄物坑道處置資訊彙整

附錄：國際低中放射性廢棄物坑道處置資訊彙整

本附錄彙整說明主要核能國家低中放射性廢棄物坑道處置之相關資訊，包括以往曾經推動的計畫、運轉中設施的現況、處置設施功能等相關內容。

A1 比利時

比利時低放射性廢棄處置場選址仍進行中(ONDRAF/NIRAS，2006)。廢棄物數量預估至2070年，短半衰期(少於30年)的低中放射性廢棄物數量約70,500 m^3； 長半衰期低中放射性廢棄物數量約8,900 m^3。

對於低-中放射性廢棄物目前有四種處置概念：

(1)短半衰期低中放射性廢棄物近地表處置設計方案，適用於Mol-Dessel 參考場址：

(a)廢棄物於金屬桶中以水泥固化，每 4 桶放入混凝土箱(concrete casing)，再灌漿填滿間隙；

(b)混凝土箱再依序於混凝土模組(concrete modules)中堆疊；

(c)處置場最後以人工或天然材質之多層次覆蓋層回填，地表並予植生復原；

(d)處置設施下方有監測廊道設計，俾進行監測與維護。

(2)短半衰期低中放射性廢棄物圓柱狀處置窖(silo)設計方案適用Fleurus- Farciennes 參考場址。該場址以岩層為主，因此採深 20~30 m 的地下處置：

(a)廢棄物於金屬桶中以水泥固化，每 4 桶放入混凝土箱，再灌漿填滿間隙，混凝土箱以吊車依序堆置於圓柱狀處置窖中；

(b)圓柱狀處置窖側壁有阻水設計，運轉期間並有臨時性遮雨廠棚防止雨水侵入；

(c)圓柱狀處置窖放滿廢棄物後，先以混凝土版封閉，再覆蓋以多層次的人工及天然防水材料；

(d)圓柱狀處置窖側壁與底部有監測設備設計，俾進行監測與維護作業。

(3)短半衰期低中放射性廢棄物深層地質處置概念(圖 A-1)：

(a)廢棄物於金屬桶中以水泥固化，每 3 桶一組放入三角柱狀混凝土箱，再灌漿填滿間隙；

(b)混凝土箱運到深層地質處置場，每六個混凝土箱組成一環置入處置坑道中；

(c)深層地質處置場由兩條豎井通達地下處置區，處置隧道沿著主隧道兩側展開。

(4)長半衰期低中放射性廢棄物深層地質處置概念：

(a)廢棄物桶封裝於大的混凝土容器中，間隙以水泥漿灌填；

(b)水平方向置入深層地質處置場處置坑道中。

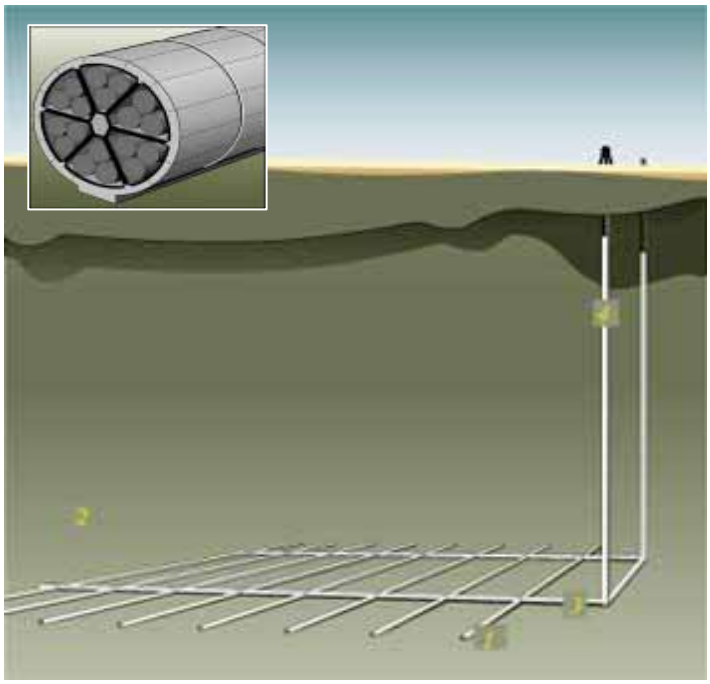

圖 A-1：比利時低放射性廢棄物深層處置設施概念
(ONDRAF/NIRAS，2006)

A.2 加拿大

加拿大低放射性廢棄物至2033年(預估目前最後一座核電廠停止運轉之時間)估計有2.6 x 10^6 m^3 (LLRWMO，2004)，安大略電力公司(Ontario Power Generation，OPG)與Kincardine地方政府商議在該公司西部廢棄物管理設施(Western Waste Management Facility， WWMF)內研究進行低放射性廢棄處置的可行性，其中一種為深層岩石坑道處置窖(Deep Rock Cavern Vault，DRCV)，其處置概念說明如下(OPG，2004)：

(1)場址為古生代的穩定石灰岩與頁岩層；

(2)地表設施建造於安大略電力公司所擁有的土地內；

(3)地下處置設施位於地表設施正下方，約 660 m 深處；

(4)主豎井一處，以混凝土襯砌，內徑 6 m。用於施工以及廢棄物與人員運輸。位置必須儘可能接近暨有的廢棄物貯存倉庫；

(5)廢棄物接收設施必須鄰近主豎井，並具備廢棄物偵檢、重整、暫貯等功能；

(6)通風排氣豎井，以混凝土襯砌，內徑 4 m。亦作為人員逃生之緊急通道；

(7)由地表及豎井周圍向岩盤灌漿，以減低地下水滲流進行處置設施之情形；

(8)開挖坑道視需要進行岩盤支撐，以維護運轉期間工作安全；

(9)處置場設計容量至少為 78,094 m^3；

(10)低放射性廢棄物處置坑道共 18 條，各長 120 m，寬 8.1 m，高 7.5 m，兩端進出口各 10 m，作為封閉材料與監測設備使用空間；

(11)中放射性廢棄物處置坑道共 20 條，各長 90 m，寬 8.1 m，高 5.4~6.6m，兩端進出口各 10 m，作為封閉材料與監測設備使用空間配置如圖 A-2；

(12)坑道邊緣間距為坑道寬度之 1.5 倍，以維持力學穩定；

(13)低放射性廢棄物處置坑道由於處置容器差異，堆疊時應提高其效率；

(14)處置坑道隨作業需求，逐次開挖；

(15)處置坑道放滿廢棄物後，入口必須適當的永久封閉；

(16)處置場必須設置監測設備對環境與輻射變化進行紀錄分析；

(17)豎井除以現地開挖出來之碎石回填外，適當間隔處應以適當設計的混凝土或黏土材料回填，以阻滯地表水之入滲。

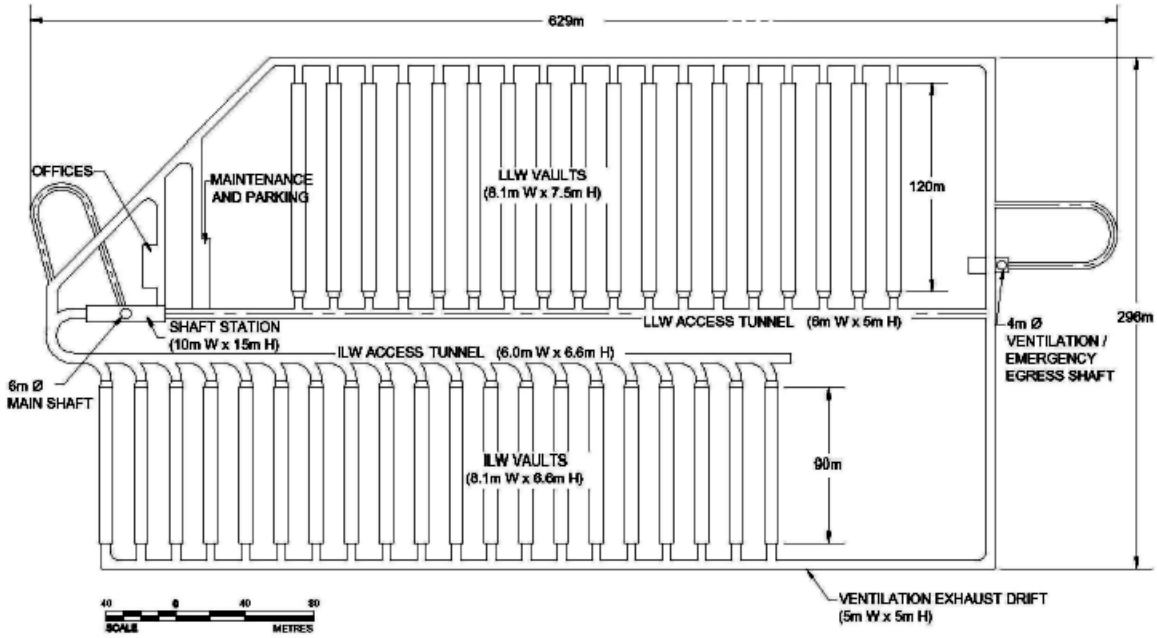

圖 A-2：加拿大低放射性廢棄物深層處置設施概念 (OPG，2004)

A.3 中國

中國可能採用坑道處置的低中放射性廢棄物處置場為華東處置場(亦稱浙江處置場)，目前仍在選址中，可能的地點為南秦山。南秦山場址位於秦山核能電廠附近，水文地質條件較適於採用坑道處置方式。初步設計方案有兩種(黃雅文，1999)：

方案一：五條處置坑道各長720~750 m，寬16 m，高16 m，間距34 m。坑道間設置處置單元各長14 m，寬14 m，高11 m。每條坑道可處置約60,000 m^3。圖A-3為處置場址坑道處置配置概念圖。

方案二：採主坑道分出側向處置坑道之配置方式。處置坑道寬9 m，高5 m。首期處置坑道長度約710 m，可處置10,000 m^3。

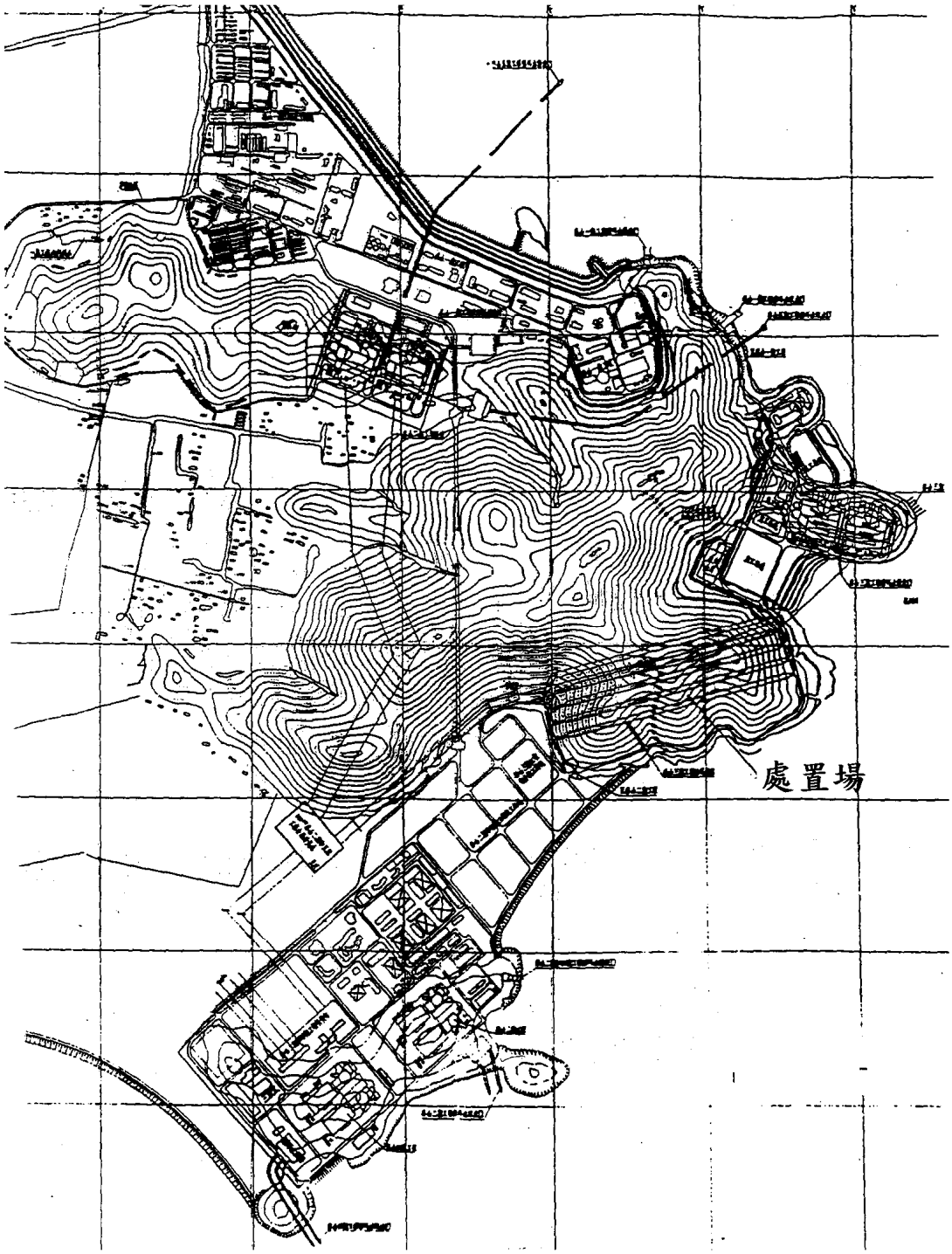

圖 A-3：中國大陸浙江南秦山處置場址坑道配置概念(黃雅文，1999)

A.4 捷克

捷克有三個坑道式低放射性廢棄物處置場，均由政府專責機構SURAO (Radioactive Waste Repository Authority)負責運作。

Hostim處置場利用廢棄的石灰岩礦坑興建，接收同位素應用產生之廢棄物，1959年啟用，容量1690 m^3，於1997年封閉，屬坑道式處置設計，岩層深度約30 m。

Richard處置場利用廢棄的礦坑興建，接收同位素應用產生之廢棄物。1964年啟用，容量8300 m^3，預定使用至2070年。屬坑道式處置設計，岩層深度約30~60 m。圖A-4為坑道分佈與廢棄物配置圖。

Bratrstvi處置場利用廢棄的鈾礦坑興建，處置含天然核種(Ra-226，Pb-210，及鈾、釷同位素)之廢棄物。1974年啟用，容量1200 m^3，預定使用至2030年。屬坑道式處置設計，岩層深度約30~60 m (SURAO，2007)。

圖 A-4：捷克 Richard 處置場坑道分佈與廢棄物配置圖 (SURAO，2007)

A.5 芬蘭

芬蘭有兩處低放射性廢棄物最終處置場運轉中，均採取深地層處置方式設計，且設置於核能電廠地下。核能電廠所產生之低放射性廢棄物先暫貯於廠內一段時間使活度衰變，再送往地下進行最終處置。處置場並規劃未來擴建的空間以處置除役廢棄物(STUK，2005)。

Loviisa核電廠內之低放射性廢棄物最終處置場，採取深地層坑道與處置窖方式進行處置，於1992年動工，1997年完工，1998年開始運轉，1999年夏天正式成為最終處置場，設計容量為27,000 m^3。

Olkiluoto核電廠內之低放射性廢棄物最終處置場，採取深地層坑道與處置圓倉(silo)方式進行處置(圖A-5)，自1980年核電廠開始運轉以後，立即展開低放射性廢棄物處置場之場址調查，並選定距離核電廠不到1公里，地下深70至100m處建造處置場，廢棄物經坑道送往處置區。1986年完成建場之相關報告後，經Eurajoki市政府與輻射與核能安全局(STUK)審核通過後發照，並於1988年開始進行處置場之開挖作業，1992年設施建造完成後開始營運。處置場容量8,000 m^3，設計容量約為42,160 桶，必要時得予以擴充為90,000 m^3。預訂於2060年關閉，處置場封閉後不必進行監管。

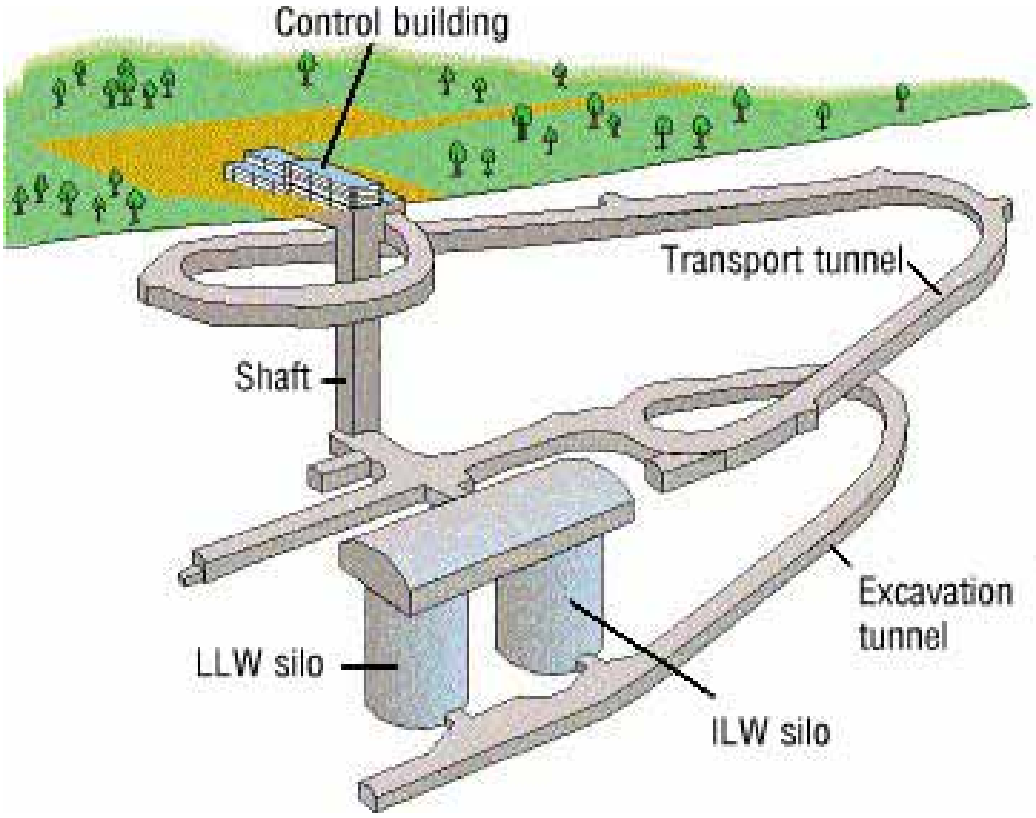

圖 A-5：芬蘭 Olkiluoto 處置場設施配置(STUK，2005)

A.6 德國

德國的低中放射性廢物處置場包括Asee、Morsleben與Konrad，三者均為深層地質式的坑道處置場，其中Asee與Morsleben已停止運轉，而Konrad因政策檢討暫時中止運轉執照。

(1)Asse處置場

原為鉀礦及鹽岩礦場，1965年由(Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit，GSF)研究中心接收進行研發，1967年開始處置低放射性廢棄物，1972年開始處置中放射性廢棄物，1978年執照到期後停止運轉。Asse處置場經結算總共處置低放射性廢棄物124,494個包件，活度1.9 E15 Bq (佔總活度60%)；中放射性廢棄物1,293個包件，活度2 E15 Bq (佔總活度40%)，

總處置活度3.1 E15 Bq，總體積47,000 m^3。預定於2013年將完成處置場的封閉作業(Bossy，2006)。

(2)Morsleben處置場

原為鉀礦及鹽岩礦場，在1970年代，前東德政府將其作為中低放射性廢棄物最終處置場，1990年10月3日德國統一後以Morsleben為聯邦短半衰期低中放射性廢棄物處置場，其總處置容量為54,000 m^3。從1978年開始運轉到1998年9月28日停止運轉，共接收廢棄物總體積約36,752 m^3，及約6,621個廢射源，貝他/加馬總活度達3.8 E14 Bq，阿伐總活度達3.2 E11 Bq。

原有礦坑長5.6 km，寬1.4 km，有兩座豎井可達524 m深。礦坑分為四層，開挖空間長約120 m，寬及高度均可達40 m，處置場的設計即採用原有礦坑第四層深度約500 m之坑道進行廢棄物處置(圖A-6)。

目前Morsleben處置場已停止接收廢棄物，並進行封閉規劃中(Ripkens and Biurrun，2002)。

(3)Konrad 處置場

Konrad為位於Lower Saxony之廢棄鐵礦坑，主要接收發熱可忽略廢棄物，亦即對母岩之溫度影響平均不高於3度K，總處置容量為650,000 m^3。從1982年8月31日開始申請執照，至2002年5月22日獲得執照。

處置場位在800至1,300 m深處之間，地下面積約長3.0 km，寬1.7 km，劃分為6層，共11個處置區域。以每年能處置能力20,000 m^3，可使用40年，運轉作業模型如圖A-7所示。

Konrad處置場目前暫時被終止運轉執照，等待德國政府的進一步決策(DBE，2006)。

圖 A-6：德國 Morsleben 處置場處置作業情形(DBE，2006)

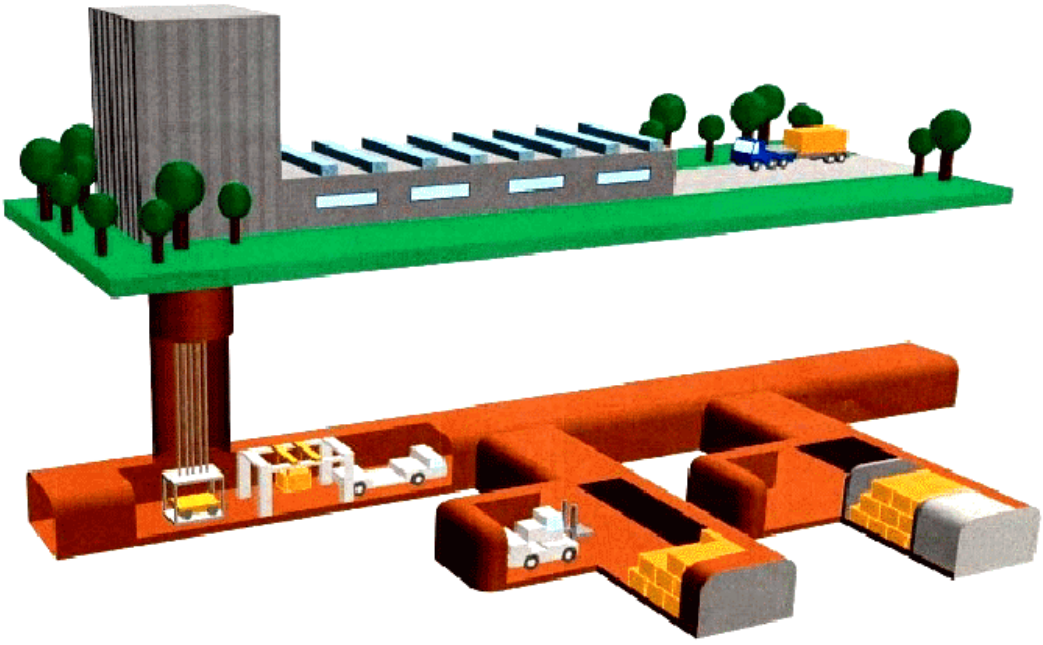

圖 A-7：德國 Konrad 處置場運轉作業模型(DBE，2006)

A.7 匈牙利

匈牙利1997年生效的原子能法，賦予法源依據於1998年籌設放射性廢棄物管理機構(Public Agency for Radioactive Waste Management，PURAM)負責放射性廢棄物收集、貯存、運輸、處置等相關事務。

匈牙利1976年啟用位於Püspökszilágy的地表低放射性廢棄物處理與處置設施，接收民生應用為主，1983年到1997年間同時接收核能電廠運轉廢棄物。1997年原能法施行後基於使用者付費的原則，核能電廠廢棄物須另建處置場以解決產生的廢棄物(IAEA，2004)。

1993年時匈牙利即有新建一處低中放射性廢棄物處置場的構想，可能的方式包括地表與坑道處置(最大深度300m)。1993年到1998年間進行區域調查工作，1998年根據調查結果選定Bátaapáti為預定場址，2000年到2003年間進行場址特性調查工作，調查結果決定採用坑道處置，並獲得主管機關的核可。2005年7月通過當地居民投票，同意處置場的興建，2005年11月國會通過處置場開發案。後續工作包括2006年至2008年間進行地下研究、環境影響評估、執照申請、設施興建，預定2008年以後開始運轉。

Bátaapáti處置場母岩為花崗岩，預定建造深度約在地表下200~250 m之間，相當於海拔高程0~50 m。Bátaapáti處置場將以接收Paks核能電廠的運轉與除役廢棄物為主，預估處置容量為40000 m^3。地下設施的配置初步構想將採坑道方式設計，細部設計工作將等待地下探查設施完成後再進一步更新，如圖A-8所示(PURAM，2007)。

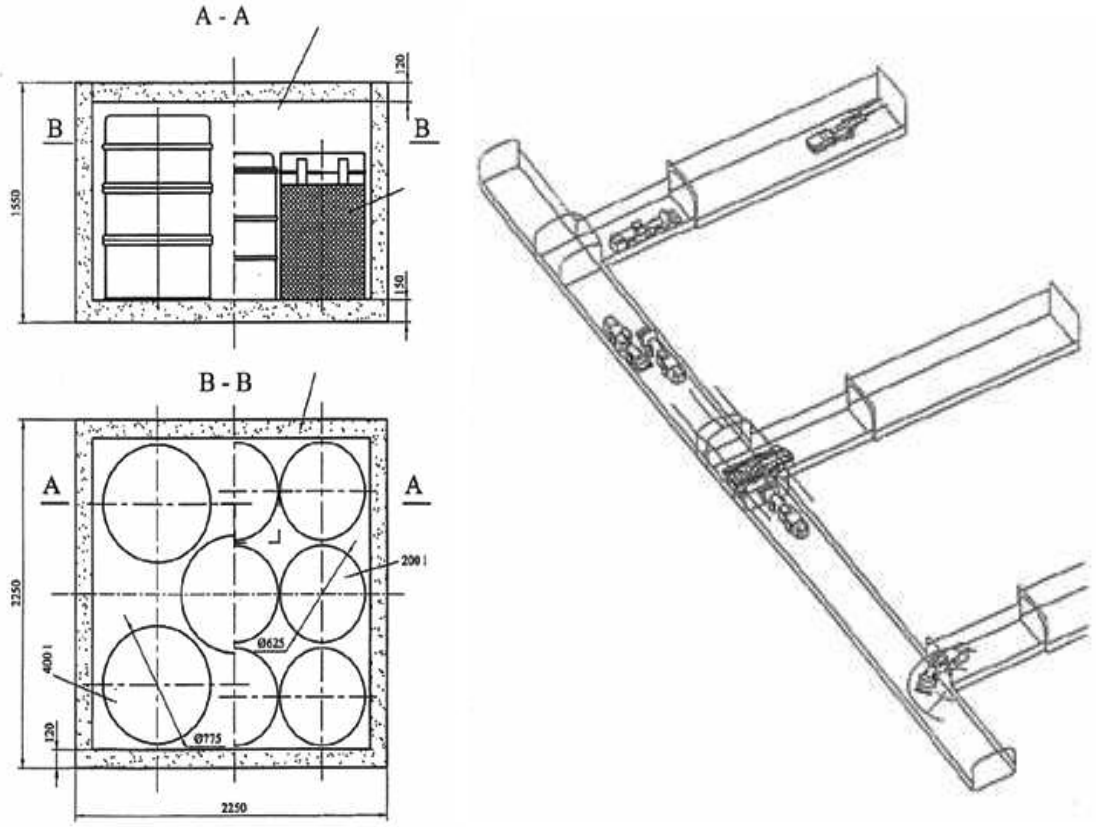

圖 A-8：匈牙利低放射性廢棄物處置容器與處置坑道概念 (PURAM，2006)

A.8 日本

1998日本原子能委員會(Atomic Energy Commission)提出中放射性廢棄物地下坑道處置的概念需求，包括：

(1)位在地下約50~100 m深；

(2)無天然資源存在；

(3)地下水傳輸途徑夠長；

(4)處置場資訊透明公開；

(5)處置場在數百年內進行監測並管制土地利用。

日本核燃料公司(Japan Nuclear Fuel Limited，JNFL)依據前述準則，目前正於Rokkasho-mura規劃一座處置中放射性廢棄物之地下坑道式處置場，2001年到2002年在該地區的Takahoko地層中進行初步調查，鑽設九個鑽孔，進行地質、水文、地球化學、地球物理等量測與試驗。初步探查結論認為Takahoko地層分佈深度約50~100m，中層為凝灰岩與砂岩，底層為泥岩，岩體裂隙少透水性差，且強度足以進行坑道開挖。

2002年到2005年年間於該地區進行細部調查工作，共鑽設10個鑽孔，以取得安全評估所需資料。同時開挖一條長約一公里深度達高程-86m的通行隧道，在其末端擴挖成較大斷面高16m，寬18m的之試驗坑道。在開挖試驗坑道前，先於其週邊開挖三條觀測廊道。配合開挖過程亦同步進行各項觀測與試驗工作，如圖A-9所示(Miyazaki，2006)。

依據細部調查結果進行處置場的概念設計，初步規劃處置深度在高程-80m深處。設施型式與瑞典SFR處置場近似，坑道直徑約18m，坑道中設置混凝土窖以放置廢棄物金屬桶，放置後坑道空隙以混凝土、膨潤土、回填材料等封閉。處置母岩除提供設施支撐功能外，對核種遷移亦具有障壁效果。JNFL目前在準備審查所需的初步安全評估文件中，審查工作則將由日本核能安全委員會(Nuclear Safety Commission)執行(Kato et al.， 2006)。

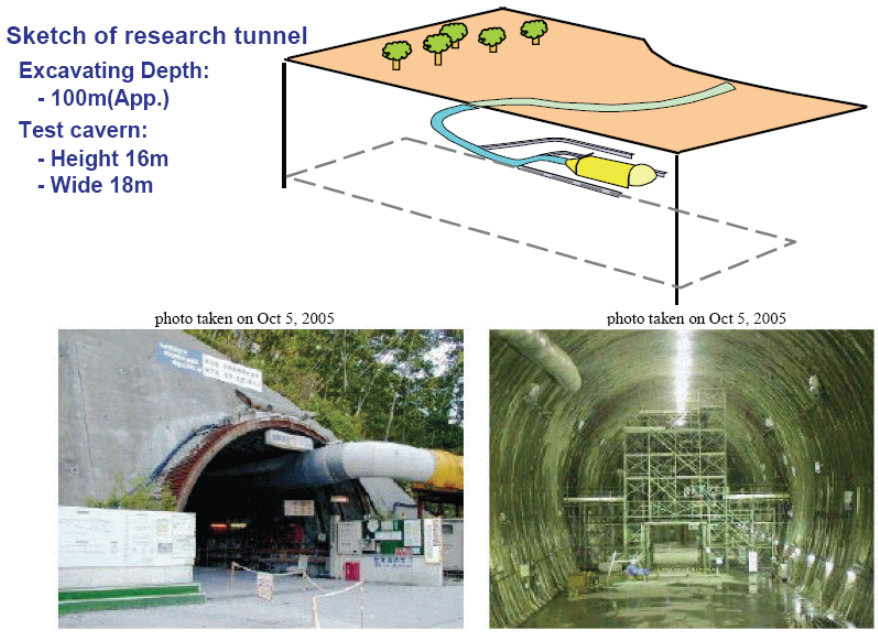

圖 A-9：日本中放射性廢棄物處置場試驗坑道(Miyazaki，2006)

A.9 南韓

1996年韓國原子能委員會(Korean Atomic Energy Commission)決定在韓國電力公司(Korea Electric Power Corporation，KEPCO) 之下，設置核能環境技術研究所(Nuclear Environment Technology Institute，NETEC) 專責放射性廢棄物之管理。2001年KEPCO核能發電業務移轉給新設的韓國水力與核能電力公司(Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.，KHNP)，因此NETEC亦改隸KHNP，NETEC負責低中放射性廢棄物處置事宜，考慮的兩種可能處置方式包括地表處置與坑道處置，目前均已完成概念設計研究與初步安全評估。

韓國政府於2005年11月2日在Gyeongju、Gunsan、Yeoungdeok與Pohang四個地方進行公民投票，其中Gyeongju以89.5%的投票人數贊成率，獲選為

低中放射性廢棄物最終處置場址。在取得場址詳細特性資料後，NETEC將在地表處置與坑道處置兩種可能方式中擇一進行申照與建造等後續作業。處置場預定2008年開始建造，第一期容量10萬桶，預估總容量80萬桶，處置場封閉後將監管300年。

韓國低中放射性廢棄物坑道處置概念，包含施工隧道、運轉隧道及五條處置坑道，處置坑道分別置放各種不同類別與活度的放射性廢棄物(圖A-10)。處置坑道以1%的坡度向通行隧道傾斜，以加速排除地下滲水。低放射性廢棄物以堆高車進行作業，中放射性廢棄物則以固定式吊車遙控吊放廢棄物包件。低放射性廢棄物處置坑道尺寸為：20 m (W) x 10 m (H) x 140 m (L)，中放射性廢棄物處置坑道尺寸為19 m (W) x 21 m (H) x 140 m (L) (Song，2005)。

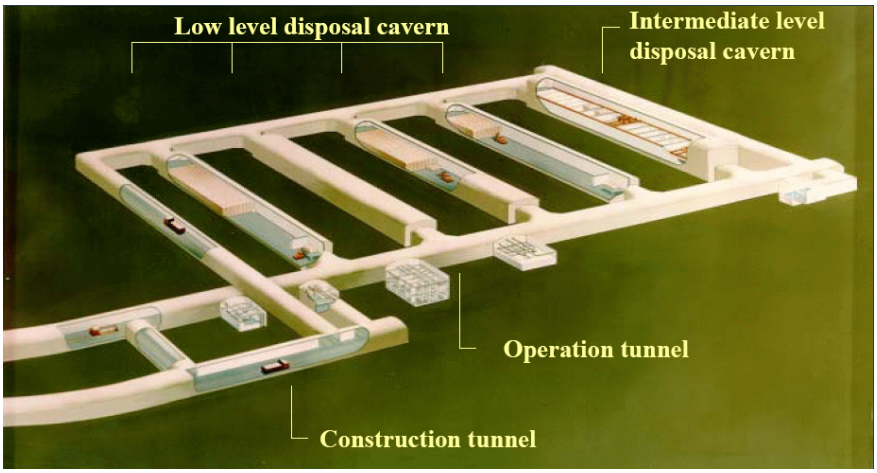

圖 A-10：韓國低中放射性廢棄物坑道處置概念(Song，2005)

A.10 北韓

北韓低放射性廢棄物預定處置場位於黃海北道行政區內，距平壤南方

120公里處，距南北韓之非軍事區的95公里，總面積約4.8平方公里，周圍5公里半徑內無居民，而距最近之城鎮平山尚有28公里。

該最終處置場原先蘊藏煤礦，並曾有延續數十年之採礦活動，其地質、水文及環境特性業經詳細調查並確定適用於低放射性廢棄物之最終處置。該場址具有以下特性：

- 無斷層；
- 歷史上從無中、大型地震紀錄；
- 地下水位在處置地點下方100 m左右；
- 由於礦區之覆蓋層富含黏土，採礦區及礦坑內極少有滲水現象；
- 未曾因豪雨或暴風而造成洪水氾濫或表土崩塌；
- 無颱風；
- 處置場場界外5公里內無永久性居民或生產活動；
- 場址區域內無國際認定之保育類動、植物。

初步設念設計採坑道式處置方式(圖A-11)，坑道共有十條，總長度約10公里。北韓政府規劃其中兩個相鄰之坑道用來專門處置台電公司之六萬桶低放射性廢棄物，其中一條海拔高度為65 m，另一條則為85 m。在這兩條坑道內之處置區域共有三處，彼此之間相距約30 m，分別可以處置15,000桶、10,000桶以及35,000桶的台電低放射性廢棄物。處置完成後，處置區之坑洞及出入通道都將全並部密封，並由北韓國家核能安全監督委員會進行長期的安全監測及管控(台電公司，1997)。

由於北韓為共產極權國家，該處置場的現況本研究並未取得進一步現況資訊。

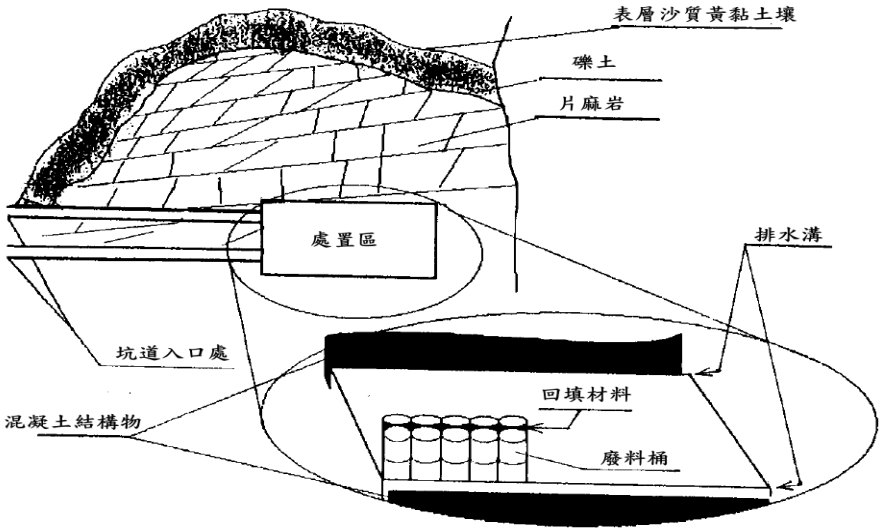

圖 A-11：北韓低放射性廢棄物坑道處置概念(台電公司，2005)

A.11 挪威

Himdalen為兼具貯存與處置功能的設施，1989年由政府指定一個特別委員會尋求解決放射性廢棄物解決方案，即開始進行選址工作。1992年對三個不同的可能地點進行環境影響評估，最後由離Kjeller放射性廢棄物處理廠25公里的Himdalen雀屏中選，同時確認採取坑道設計處置短半化期放射性廢棄物，且同時貯存少量的長半化期含鈽之放射性廢棄物。1994年國會要求政府，在核發建築執照前應通過IAEA的審查，挪威政府在向IAEA提出申請後，1995年由IAEA專家實地考察後提出肯定的結論。1997年2月挪威政府核發建造許可，隨即開始施工。1997年6月運轉單位能源技術研究所(Institute for Energy Technology，IFE)連同安全分析報告提出營運執照的申請，1999年挪威政府核可IFE的申請，執照有效期限10年。

挪威並無核能電廠，Himdalen處置場所處置的放射性廢棄物主要來自

IFE的兩座研究用反應器，以及同位素民生應用所產生的放射性廢棄物與廢射源。Himdalen處置場位於結晶岩的山腹中，有四個坑道可進行貯存與處置，另有一條長約150的坑道通行車輛與人員(圖A-12)。所有坑道均設有可監測的排水系統，在通行隧道側面並開挖管制室與訪客中心等服務設施。處置坑道上岩體厚度至少50 m以上，可以防止人類侵入、飛機撞擊等外部事件的影響。有三個處置坑道以混凝土牆隔開數個處置室，放射性廢棄物桶或貨櫃堆疊四層，每層之間以水泥漿回填，處置室填滿後頂部再建造可以遮蔽地下水滲入的防水混凝土結構物。另一個坑道作為貯存長半化期廢棄物貯存之用，坑道周圍亦以混凝土結構保護，預期在2030年作出後續決策以前，將不會取出。未來處置場封閉後將監管300~500年(Sörlie，2001；NRPA，2003)。

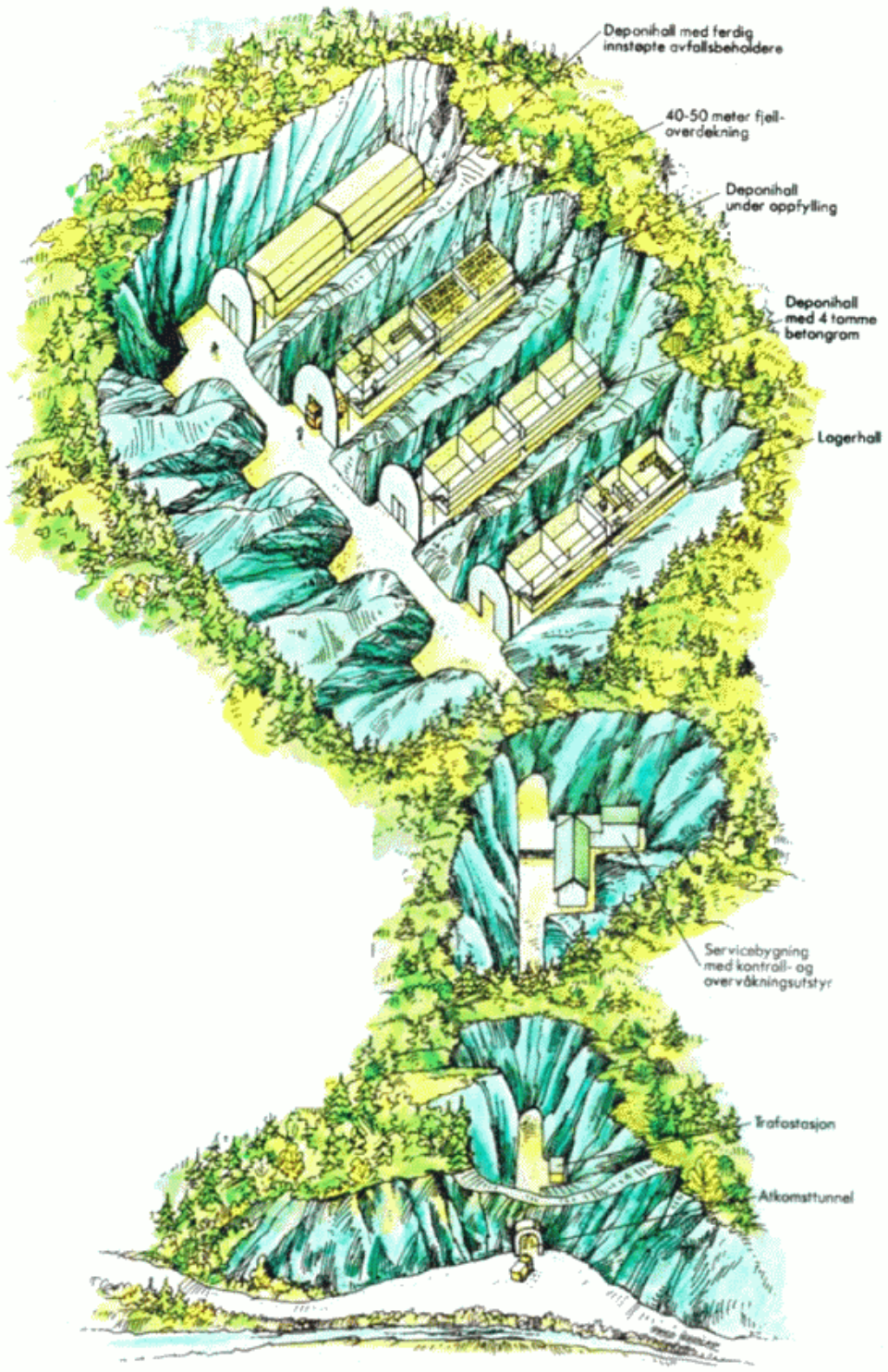

圖 A-12：挪威低放射性廢棄物坑道處置場示意圖(NRPA，2003)

A.12 羅馬尼亞

羅馬尼亞低中放射性廢棄物處置場位於Baita-Stei，由國立物理與核子工程研發研究所(National Institute for Development & Research for Physics and Nuclear Engeneering，NIPNE)負責營運。從1970年即開始規劃與選址，1978年開始建造，1985年開始運轉，預定於2030年封閉，封閉後將監管300年。

Baita-Stei處置場設置於一處早期進行鈾礦探勘的廢棄坑道中，處置場容量約5000 m^3，處置因同位素民生應用或環境除污所產生的短半化期低中放射性廢棄物與廢射源。處置母岩為沉積岩，深度位於地下約40 m處(IAEA，2005)。

A.13 瑞典

瑞典SFR處置場位於Forsmark電廠附近離岸約一公里的海床下，由SKB公司委託電廠代為營運。SFR處置場從1976年開始規劃，1983年取得建造許可，1988年取得運轉許可。

SFR處置場第一期設施以處置40年的電廠運轉廢棄物為目標，目前的建造容量為61,700 m^3，未來將擴建到150,000 m^3以容納除役廢棄物。目前的設施包含一個圓柱形處置倉(silo)，以及四條處置坑道(圖A-13)，長半化期中放射性廢棄物處置於圓柱形處置倉，其活度佔整個處置場的90%。圓柱形處置倉開挖空間高70 m、直徑30 m，內部的混凝土結構物高50 m、直徑26 m、厚度0.8 m，底部基座為夯實的矽沙與膨潤土，側壁與母岩之間的縫隙以膨潤土回填厚度至少1 m。圓柱形處置倉內部隔成 2.55 x 2.55 m 的豎坑，依序吊入混凝土製的方形處置容器後分層以水泥回填間隙，所有作業均以遙控操作方式進行(Lindberg，2005)。

SFR處置場建造四條坑道處置低放射性廢棄物與短半化期中放射性廢棄物，特點如下(Lindberg，2005)：

(1)一條BMA坑道：尺寸160x19.5x16.5 m，以混凝土結構隔成15個處置室，遙控操作置放短半化期中放射性廢棄物；

(2)一條BLA坑道：尺寸160x15x12.5 m，處置標準貨櫃盛裝的低放射性廢棄物；

(3)二條BTF坑道：尺寸160x14.8x9.5，處置混凝土箱盛裝的中放射性廢棄物。

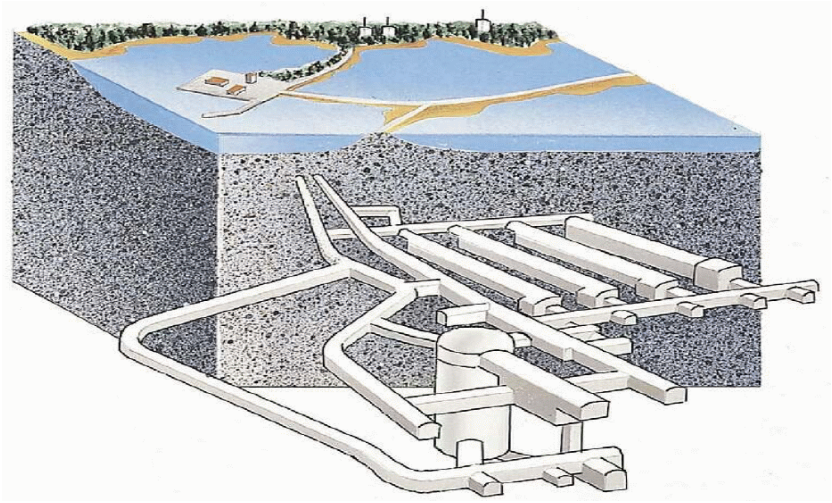

圖 A-13：瑞典低放射性廢棄物坑道處置場示意圖(Lindberg，2005)

A.14 瑞士

瑞士進行低/中放射性廢棄物處置 Wellenberg 計畫，以其透明公開的風格與嚴謹的態度成為世界知名的計畫，計畫目標擬於瑞士中部的泥灰岩

山區建造一處處置場，可惜經過多次公民投票，該場址仍因民眾反對遭到否決，瑞士目前考慮以北部泥岩地區作為新場址的考慮地點。但瑞士 Wellenberg 計畫的坑道處置設計概念仍頗值得我國借鏡。瑞士進行 Wellenberg 計畫時，提出的坑道處置設計概念(Nagra， 1994，2004)，特性說明如下：

處置設施分為地表設施及地下設施兩部分,地表設施包括洞口區及通風廠房，地下設施包括接收區及處置坑道。

(1)地表設施：

- 建設新的聯絡道路與既有的交通幹道銜接；
- 管理大樓位在洞口外，一樓有展示廳，二樓為管理辦公室，大樓前有地下交通工具停車場；
- 洞口外有通風廠房將送入地下之空氣加溫；
- 一處排氣廠設在接收區上方，高程850 m處的山腰上，以豎井連通。

(2)地下設施：

- 出入隧道(access tunnel)：以兩條平行的出入隧道進入山腹，洞口設大門，防止人員誤闖。北隧道可通行軌道車輛或汽車，進入後約200m即為接收區，有兩個迴路可供車輛迴轉，並包含接收處理清洗等設備。南隧道僅通汽車，作為施工先導隧道以及人員與材料運送之用。出入隧道設計能使2.4 m高的標準貨櫃及載具能通過，並預留通風及水電、通訊等相關管線所需空間。
- 接收區(reception area)：分為管制區與非管制區以氣鎖(air-lock)分隔。接收區分為三部分(圖A-14)：
  - 卸載坑道(loading cavern)：運進處置場之低/中放射性廢棄物於本區卸載。

- 運轉坑道(operations cavern)：本區為低/中放射性廢棄物進行處置前處理之區域，放射性廢棄物包件在本區卸載後，經登記偵檢，改用處置場專用坑道內軌道車輛運往處置區。包括準備間、中央儀控室、回填材料貯存倉與處理廠、壓縮空氣設備、高低電壓電源設備、變壓器、進氣通風設備、盥洗室、軌道車輛蓄電池充電站、放流水收集設施、放射性污水處理設備、泥漿及沖洗水處理廠、貯藏室等。
- 輔助設備坑道(auxiliary installations cavern)：低/中放射性廢棄物進行最終處置之地區，包括再處理廢棄物準備室、機械及電力工作室、分類室、除污及包裝作業室、軌道車輛充電站、外送空氣通風設備、貯藏室等。

- 連通隧道(connecting tunnel)：為出入隧道的延伸，連結接收區與處置坑道，為兩條平行的隧道，北隧道可通行軌道車輛或汽車，作為低/中放射性廢棄物場內運送之用。南隧道僅通汽車，作為施工先導隧道以及人員與材料運送之用。隧道設計能使2.4m高的標準貨櫃及載具通過，並預留通風及水電、通訊等相關管線所需空間。單一隧道長度約二公里。
- 處置坑道(disposal cavern)：處置坑道高程約550 m，上方覆蓋岩層厚約500~700 m，依低/中放射性廢棄物處置需求分兩階段建造。處置坑道為單向隧道，總數七條，相距約100 m。單一坑道長度達300 m、寬約10 m、高約15 m，處置坑道縱斷面圖與剖面圖分見圖A-15與圖A-16。處置坑道前端30 m為工作區，與連通隧道相接，可供起重機於處置作業期間將低/中放射性廢棄物包件從軌道車輛上移轉到處置室內，並作為暫貯及維修的空間。處置方式可能以200公升桶直

接處置或另行以貨櫃封裝再放入處置坑道。間隙均以水泥漿回填。

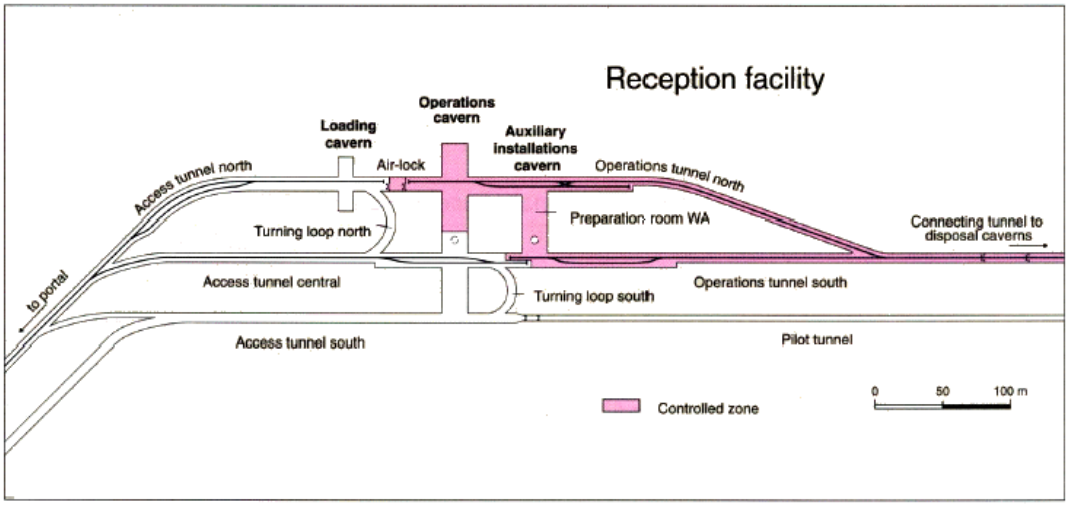

圖 A-14：瑞士低放射性廢棄物處置設施接收區設計概念 (Nagra，1994)

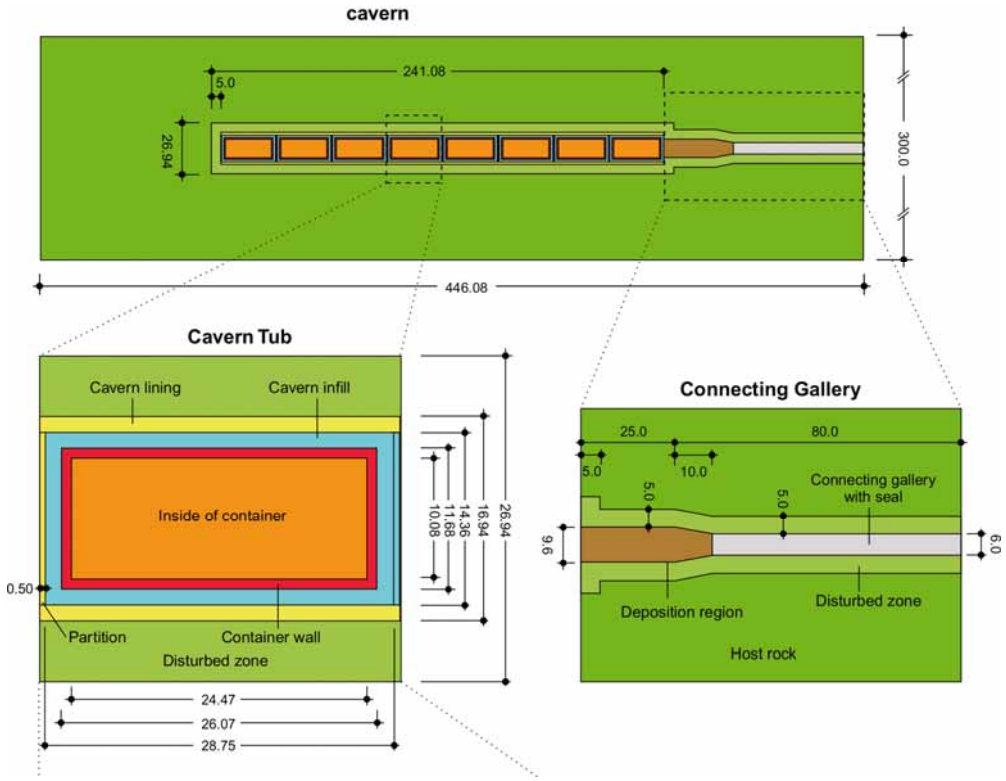

圖 A-15：瑞士低放射性廢棄物處置 Wellenberg 計畫處置坑道縱斷面圖 (Nagra，2004)

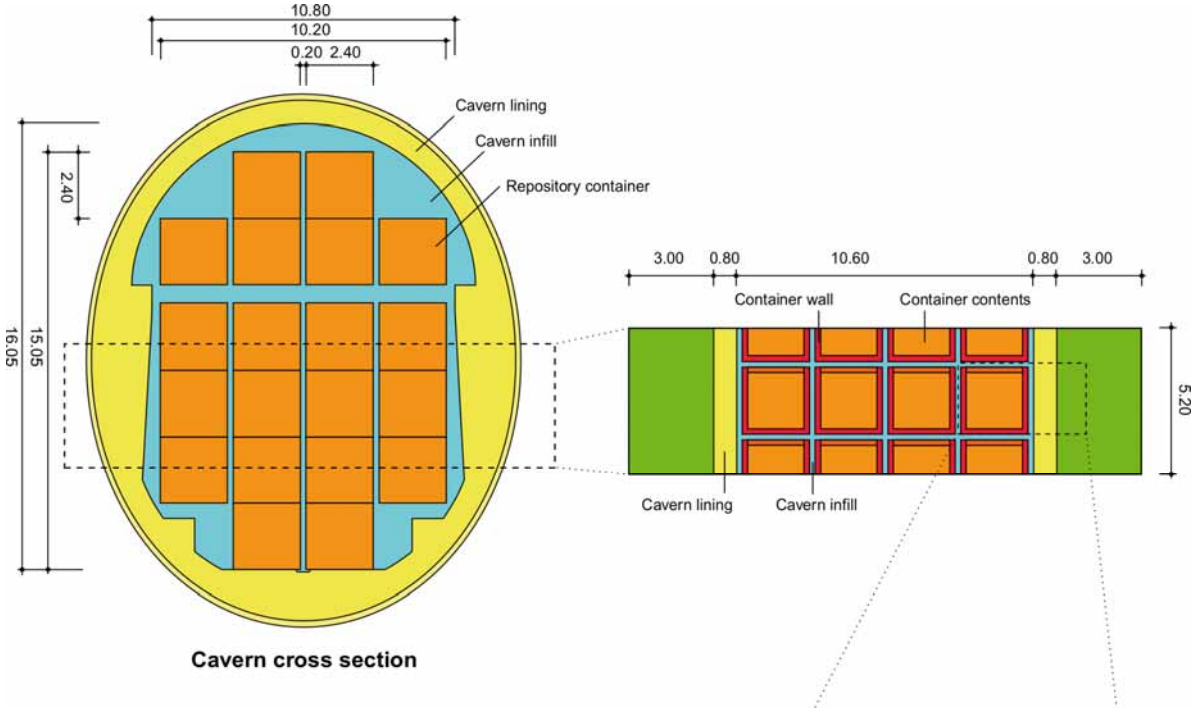

圖 A-16：瑞士低放射性廢棄物處置 Wellenberg 計畫處置坑道剖面圖 (Nagra，2004)

A.15 台灣

台電公司經過場址評選程序後，曾建議以小坵做為低放射性廢棄物最終處置場，並完成投資可行性研究報告，後因各種因素考量，2002 年該計畫遭到終止，現階段則依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」進行選址中。

小坵計畫因預定場址為島嶼地形，地表面積有限，考慮放射性廢棄物處置需求數量，故規劃採取向下開挖坑道方式進行處置。處置坑道規劃 28 條，每一條坑道尺寸為長 192 m、寬 12 m、高 12 m，由總長 4164 m、寬 8 m、高 7 m 的通行隧道連接。每個處置坑道以混凝土牆隔為 10 個處置室，廢棄物桶堆疊 9 層，間隙以水泥回填(台電公司，2002)。

台電公司在 2004 年開始進行「低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作」，由中興公司負責承攬，中興公司對於台灣東南部地區的可能候選場址，建議以坑道處置方式進行處置場設置，其設施初步概念如下(中興公司，2004)：

(1)處置容器：不銹鋼材質 55 加侖桶，耐用 300 年；

(2)通行隧道：最大坡度依拖車下坡之坡度上限值定為 3.2%，以縮短通行隧道長度。通行隧道位於處置隧道兩端，考量通風及排水處置區之通行隧道坡度約 1%。通行隧道淨高 11 m，分為上下兩層。下層檢查及監測通道高 3 m，上層供重車通行所需高度約 5 m，並考慮通行隧道頂端吊放直徑約 1 m 之供風管/排風管，因此上層淨高設計為 6 m。另上下層隔版厚約 1.0 m，下層隧道鋪底厚約 1.0 m；

(3)處置坑道：通行隧道噴凝土厚度 0.15 m，混凝土襯砌厚度 0.6 m，隧道鋪底厚約 1.0 m，倒 D 型斷面，淨高約 11.6 m，底寬 10.6 m。每一坑道分成 10 區(處置室)，每區長 33 m，寬 7.8 m，內隔牆厚 0.3 m，外隔牆厚 0.4 m，高約 7.5 m。處置坑道總長 332.7 m，約可處置 50,000 桶，以一百萬統計，共需處置隧道 20 條，另考慮卡車卸載區，則每一坑道約需長度 400 m。處置坑道中心間距 70 m；

(4)處置窖：採 RC 隔牆，以起重機吊放廢棄物桶。廢棄物桶以高 7 層寬 13 排堆置，每斷面 91 桶。

A.16 英國

1997 年 3 月英國 Nirex 公司規劃在英國西北部 Sellafield 地區進行地下岩石特性調查設施(RCF)之建造計畫遭到國務大臣否決，使中放射性廢棄物

深層地質處置計畫終止。否決該案的理由包括該設施對環境的潛在不良影響、選址程序不夠透明公開、規劃未臻成熟等(Murray et al.,2002)。

Sellafield 低中放射性廢棄物處置場預定處置區域為深度 400~600 m 的火山岩體，處置低中放射性廢棄物的預估總量達 2,600,000 m^3。其處置設施概念如圖 A-17 所示，包括(Nirex，2003)：

(1)地表接收設施：接收經由鐵路或公路載運而來的放射性廢棄物，並進行檢整與必要時的除污，地表接收設施包含有場內搬運、處理、暫貯等設備與建築。檢查無誤的包件，以吊車吊送至搬運車，再經由地下連通隧道載運到地下處置設施。

(2)地下連通隧道：視未來處置場實況可能採用斜坑或豎井或兩者併用，作從地表到達地下設施的通道。初步概念認為至少須三條通道才能滿足設施施工、廢棄物運送、人員通行、及通風與水電等管線佈設所需。其中一條為斜坑，可以通行軌道車輛並載運放射性廢棄物。

(3)地下設施：地下處置坑道將分期施工建造，經由適當的管理確保施工與處置作業能同時安全進行。入口作業室(Inlet Cell)位在地下坑道入口處，送達地下的廢棄物在此從運輸容器中取出，經過檢查後再送往處置窖，運輸車輛與容器亦在此除污。低中放射性廢棄物處置窖分為屏蔽(SILW)與未屏蔽(UILW)兩種，未屏蔽式處置窖處置中放射性廢棄物，以吊車遙控操作置放廢棄物包件，以抑低作業人員輻射劑量。屏蔽式處置窖處置活度較低的低中放射性廢棄物，以有屏蔽設計的堆高車堆置廢棄物包件。

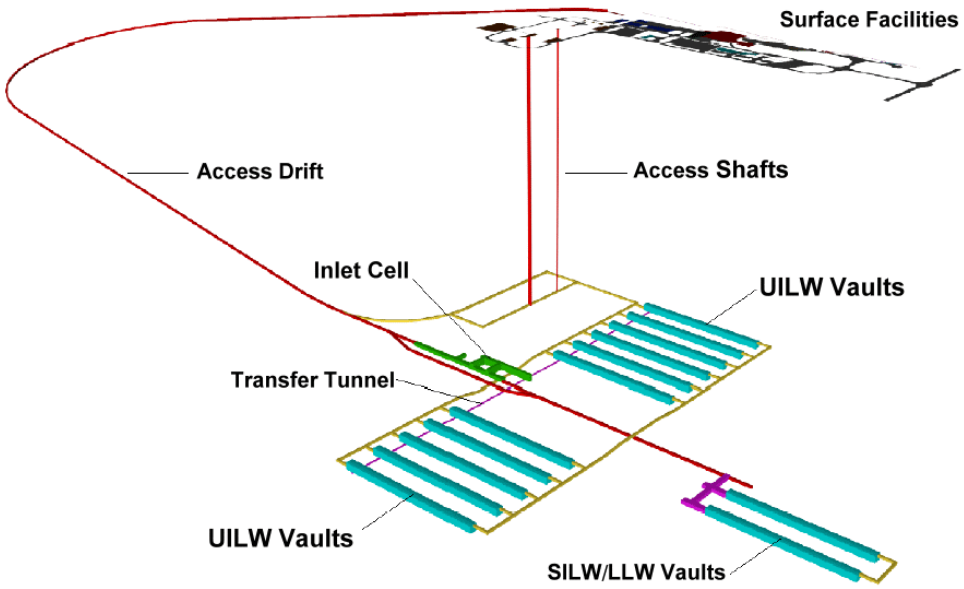

圖 A-17：英國低中放射性廢棄物處置概念 (Nirex，2003)

參考文獻

1. 中興公司，2004，台灣電力公司-低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作-技術服務建議書(第一冊)。

2. 台電公司，1997，台電與朝鮮(北韓)核作處置台電低放射性廢料計畫說明，9 頁。

3. 台電公司，2002，小坵低放射性廢料最終處置場開發計劃投資可行性研究報告。

4. 紀立民，2004，國際低放射性廢棄物處置概況研究 INER-2708。

5. 黃雅文，1999，大陸低中放廢物處置活動進展，兩岸輻射防護與三廢治理專題研討會，核能研究所。

6. Bossy ,H., 2006, The Closure of the Asse Research Mine, in Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management Second Review Meeting, 11p.

7. DBE, 2006, http://www.dbe.de/, German Company for the Construction and Operation of Waste Repositories (DBE), German.

8. IAEA, 2004, Republic of Hungary National Report：Document prepared in the framework of the Convention on Nuclear Safety, Hungarian Atomic Energy Authority, 118p.

9. IAEA, 2005, Country Waste Profile Report for Romania - Reporting year: 2004, in Radioactive Waste Management Profiles, No.7, - A Compilation

of Data from the Net Enabled Waste Management Database (NEWMDB), International Atomic Energy Agency, 13p.

10. Kato, K., Nakagami, M., and Fujihara, H., 2006, Current Status of Sub-surface Disposal in Japan, 2006 EAForum Conference in Taiwan, pp.29-33.

11. Lindberg, C., 2005, SFR - Final Repository for Radioactive Operational Waste, Proceedings of 2005 Taiwan Atomic Energy Forum (TAEF), April 25-26, 2005, Longtan, Taiwan, 88-97p.

12. LLRWMO, 2004, Inventory of Radioactive Waste in Canada, Low-Level Radioactive Waste Management Office, LLRWMO-01613-041-10001, 39p.

13. Miyazaki, Y., 2006, Current Status of Radioactive Waste Management in Japan, 2006 EAForum Conference in Taiwan, pp.9-15.

14. Murray, C.A., Hooper, A.J., and Mathieson, J., 2002, Current status of the United Kingdom program for long-term radioactive waste management, WM'02 Conference, Tucson, AZ, 12p.

15. Nagra, 1994, The planned repository at Wellenberg, Nagra Bulletin No.24, 60p.

16. Nagra, 2004, Wellenberg project for cavern disposal of L/ILW, Project Report 04-20, 247 p.

17. Nirex, 2003, Generic Repository Studies - The Nirex Phased Disposal Concept, United Kingdom Nirex Limited, Nirex Report no. N/074, 66p.

18. NRPA, 2003, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management

and on the Safety of Radioactive Waste Management：National Report from Norway, Norwegian Radiation Protection Authority, 24p.

19. ONDRAF/NIRAS，2007, http://www.nirond.be/.

20. OPG, 2004, Low and Intermediate Level Waste Deep Repository Conceptual Design and Cost Estimate, Ontario Power Generation, Canada, 36p.

21. PURAM，2007，http://www.rhk.hu/english/quest1.htm

22. Ripkens, M. and Biurrun, E. 2002, Decommissioning and Closure of the Morseleben Deep geological Repository the Final Step, WM'02 Conference, February 24-28, 2002, Tucson, AZ, 7p.

23. SURAO, 2007, http://www.surao.cz/, Radioactive Waste Repository Authority, Czech Republic.

24. Song, M.-J., 2005, Design Concept of Low- and Intermediate-level Radioactive Waste Disposal Facility in Korea, Proceedings of 2005 Taiwan Atomic Energy Forum (TAEF), April 25-26, 2005, Longtan, Taiwan.

25. STUK, 2005, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 2nd Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention. STUK-B-YTO 243, 67 p. + Annexes 4 p.

26. Sörlie, A. A., 2001, The Combined Disposal and Storage Facility for LLW and ILW in Himdalen, Norway: Now in Operation, WM'01 Conference, February 25-March 1, 2001, Tucson, AZ, 8p.

附錄二、

低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則

對坑道處置設施適用性之修訂建議

低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則

中華民國九十三年十月二十日

會物字第0930036761號函發文實施

壹、依據

本導則供申請低放射性廢棄物最終處置設施建造執照者，依據行政院原子能委員會放射性物料管理局九十三年四月七日發佈實施之「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」撰擬安全分析報告之參考。

貳、目的

本導則旨在提供內容格式，供處置設施經營者（申請人）申請低放射性廢棄物最終處置設施（以下簡稱處置設施）建造執照時所附安全分析報告（以下簡稱報告）編撰之依循。本導則適用於**淺地[1]**、**隧道或坑洞[2]**等不同形式的處置設施，報告內容應依處置設施之綜合概述；場址之特性描述；設施之設計；設施之建造；設施之運轉；設施之安全評估；設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫；輻射防護作業及環境輻射監測計畫；保安計畫、意外事件應變計畫及消防防護計畫；最終處置設施封閉及監管規劃；品質保證計畫及其他經主管機關指定之事項等重要事項規劃章節詳加說明。

參、報告內容概要

詳如附錄。

肆、修改

本導則如有未盡事宜，得視需要修訂之。

附錄 低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要

第一章 概論

一、緣由及目的：說明申請單位之需求及處置設施設置之目的與規劃。
二、專有名詞：應使用政府機關所頒訂之專有名詞，若非常用或自行編譯之專有名詞，應明確定義並加註原文，以利對照。
三、引用法規及設計準則：
(一)撰寫報告時所採用之各種資料，其調查、分析、推估之方法，凡於現行法規中有規定者，應從其規定。
(二)按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公（發）布單位、日期及版次。

第二章 設施之綜合概述

一、位置：描述場址之地點、面積及場界，並以適當比例尺之地圖說明。
二、處置方式：說明廢棄物處置之型式及採用之緣由。
三、處置容量：說明處置設施可處置廢棄物的總體積量、各核種之總活度、及每年之處置量。
四、處置場區之規劃與配置：說明處置場區內各設施及作業之規劃，並以適當之比例尺繪製設施配置圖，圖上應標示比例尺、方位、區域名稱及設施名稱，標明輻射管制區域之劃分情形，並附必要之剖面圖或透視圖。
五、廢棄物來源與特性：
(一)說明處置設施接收廢棄物的來源與種類、型態、數量及其分類方式。
(二)說明接收廢棄物內所含核種及其最大比活度。
(三)[3]說明接收廢棄物包件與其表面污染最大限值及最大劑量率限值。
(四)[3]說明接收廢棄物之各項物理、化學特性之限制。
(五)[3]說明處置容器之材質與規格。

第三章 場址之特性描述

一、社會與經濟：描述場址及附近地區之行政區交通設施、公共設施、軍事設施、觀光休閒設施、場址所在鄉鎮及週邊鄉鎮之人口數（含流動人口）及人口結構[4]、土地利用情形與開發計畫。

二、地形與地貌：描述場址及附近地區地形與地貌，包括地形高度與起伏趨勢、坡度分布、重要地貌特徵（如河川、山脈、湖泊、海岸線等），及潛在環境災害分布地區（如崩塌地、沖蝕溝、河川攻擊坡、土石流沖積扇、斷層錯動地形等）。

三、氣象：提供場址附近之氣象資料，包括風向、風速、溫度、濕度、降水量、降水強度、颱風發生之頻率等，並提供有紀錄以來之最大降水量、最高及最低溫度、最大風速。

四、地質與地震：說明場址及附近地區之地層、地體構造、活斷層、歷史地震等之調查成果等，並說明斷層與地震危害度之調查與評估方法。

五、地表水：說明場址及附近地區之地表水體水文、水質特性、水資源使用狀況及其調查方法。

六、地下水：說明場址及附近地區之地下水體水文、水質特性及其使用狀況、水文地質架構與水文參數等資料及其調查方法。

七、地球化學：說明可能影響場址安全及核種遷移之水化學，土壤與岩石之分類組成及地球化學特性，以及相關之地化模擬資料。地球化學調查因子涵蓋場址及附近地區之無機質成分、有機質含量、氧化還原電位、酸鹼值、分配係數、遲滯因子、離子交換能力、放射性核種之溶解度與化學型態、價數與性質等。

八、天然資源：說明場址及附近地區可能存在之重要天然資源，包括地質、礦產、及水資源等。

九、生態：提供場址及附近地區之生態調查資料，包括場址半徑五公里範圍之主要生物種類、數量、分布、組成、棲息地，**設施建造與運轉可能影響之保育類野生動物與植物**[5]，及可能影響處置場安全之生物活動**與人為活動**[6]等。

十、輻射背景偵測：說明運轉前環境輻射背景**偵測結果及偵測方法**[7]。

十一、大地工程特性：說明場址之大地工程特性與測量方法，並界定影響處置設施設計與建造之地工參數，包括場址地區土壤與岩石的強度、變形性與滲透性等。

十二、交通狀況：提供場址與附近地區交通運輸系統（包括鐵路、公路、水運等）及運輸能力等資料。

十三、其他：

（一）說明其他足以影響處置設施設計及建造之場址特性因素（如崩塌滑動、侵蝕、洪水、土石流、火山爆發、海嘯等）。

（二）場址特性調查範圍應以學理上完整之地理區域為準，調查

週期與精度應符合一般工程技術規範要求，成果應足以充分說明場址特性。

(三)調查成果應以適當比例尺之地圖加以說明，歷史資料應加以統計分析並以適當圖表呈現以利審查。原始調查數據得列為報告附冊備查。

(四)視場址之地域差異性，申請人得提供其他足以影響處置設施設計與建造之場址特性因素補充說明。

第四章 處置設施之設計

一、設計目標與功能需求：說明處置設施之設計基準、設計要項及設計規格等。

二、建築設計：說明處置設施主要結構物、使用需求規劃及其配置。

三、結構設計：說明處置設施主要結構物之結構分類、設計荷重及其組合等。

四、土木設計：說明處置設施主要結構物之工程材質、屏蔽材料之特性與設計標準（包括處置設施及其覆蓋[8]、回填等）、地表防洪及地下排水系統之設計。

五、輻射安全設計：

(一)安全限值:說明設施內外之輻射限值與輻射防護分區規劃。

(二)處置設施結構之輻射屏蔽分析：說明處置設施輻射屏蔽結構體構造強度、比重、厚度等有關資料，針對處置廢棄物含有核種之活度、比活度及分布情形，進行輻射屏蔽分析評估。

(三)職業曝露合理抑低：說明設施正常運轉期間，合理抑低工作人員輻射劑量所採行之設計或措施，至少應包括下列各項：

１、輻射監測區域規劃、輻射管制區劃分及輻射防護設備之使用等。

２、廢棄物接收、暫貯、檢整、搬運、處置及控制中心等作業區職業曝露合理抑低之設計。

３、對較高活度廢棄物之屏蔽設計。

六、輔助設施或系統之設計：說明廢棄物暫貯區、廢棄物檢整或處理系統、粉塵與廢水收集排放處理系統、廢棄物傳送系統、分析或偵測系統等之設計,並說明各系統失效時之補救措施。

七、公用設施或系統之設計：說明通訊、電力、供水、供氣、照明、廢棄物處理、通風等系統之設計，並說明各系統失效時之補

救措施。

八、設計成果應附適當比例尺之詳細圖說，設計細部資料得列報告附冊備查。

第五章 處置設施之建造

一、施工特性：說明施工規劃概要，包括所遵循之法規、標準、規範、施工階段及施工範圍等。

二、施工計畫：處置設施之建造應擬具可行施工計畫，包括工程經營管理、施工佈置、施工材料、施工方法、施工機具設備、施工程序(含與處置作業並存之施工程序)、施工時程、工業安全衛生、水土保持與環境保護、品管與品保方案及緊急應變處理等。

第六章 處置設施之運轉

一、廢棄物接收：描述處置設施接收廢棄物之相關作業程序，包括下列各項：

(一)廢棄物運輸規劃，包括廢棄物由貯存地點運送至處置設施，以及設施內的運輸規劃。

(二)運送文件之查驗。

(三)廢棄物盛裝容器之檢視。

(四)運輸設備之污染偵檢與除污。

(五)容器表面劑量率及核種之偵檢。

(六)廢棄物相關文件之管理與保存。

二、廢棄物處理與暫存：說明處置設施接收廢棄物後，廢棄物處理與暫存作業程序，包括下列各項：

(一)廢棄物處理：由接收區將廢棄物轉運至暫存區或處置區之作業（**包括除污、再固化、再包裝、吊卸等**）[9]。

(二)廢棄物暫存：暫存區之使用規劃及暫存作業。

三、處置作業：說明處置設施進行廢棄物處置之作業程序，包括下列各項：

(一)處置區之分區規劃：

１、廢棄物依其種類、型態、活度及預期進場處置時程分別規劃處置分區及相關處置方式。

２、各類廢棄物之處置及各該處置分區完成處置配合之可能施工設備、設施、管制、輻射防護與監測。

３、減少**廢棄物體**[10]堆置空隙之方法。

(二)[11]處置區內處置單元覆蓋、回填：

１、覆蓋、回填作業所用結構物、設施與屏蔽材料可能料源、施工設備、施工方法及施工程序。

２、處置單元有關設施之運轉、維護與監測評估。

(三)[11]處置單元封閉及穩定化

１、處置單元之封閉條件、期程及其封閉計畫。

２、處置單元封閉後之營運、檢查及監測。

３、檢查、監測成果之分析評估與處置單元可能需要之改善措施。

(四)[11]處置區內非處置單元區域之運轉及其封閉、覆蓋、回填之材料、步驟及設備：說明覆蓋、回填材料種類、特性、實施步驟及使用設備。

(五)處置區分區標示：包括標示方法、內容及標示物之材質。

(六)其他相關作業之說明。

第七章 處置設施之安全評估

一、輻射劑量評估：說明廢棄物性質與場區之可能核種傳輸路徑及特性，並分別評估運轉期（廢棄物接收、暫存、吊卸、處理、處置、除污排水）及封閉後正常與異常狀況下對工作人員及民眾輻射劑量之影響，並與現行法規做比較，評估項目包括：

(一)廢棄物描述：包括總數量、總活度、廢棄物特性基本假設等。

(二)核種傳輸特性：評估處置設施工程與天然障壁在設施運轉及封閉後，地下水滲流、擴散、延散與遲滯吸附等特性參數，以模擬分析地下水滲流機制、核種傳輸及處置設施之長期穩定性。

(三)正常狀況之輻射劑量：評估處置設施運轉期及封閉後在正常狀況之輻射劑量，包括傳輸機制說明、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式。

(四)異常狀況之輻射劑量：評估處置設施運轉期及封閉後在意外事故或異常狀況下之輻射劑量，包括傳輸機制說明、意外事故或異常狀況之發生頻率、情節分析、輸入資料、輸出資料、敏感度分析、不確定性分析、評估結果及使用之評估程式。

(五)核種外釋到達人類活動範圍之傳輸機制：包括地下水、空氣、地表水、其他傳輸機制，及直接輻射與**向天輻射**[12]對個人之曝露，並描述各傳輸機制之概念模式、數學模式及分析所需之參數。

(六)述明各種傳輸機制之評估結果，是否符合法規限值。

二、設備操作：依據處置設施之設備特性及操作程序，評估運轉期設備操作之安全性。

三、闖入者防護：描述在處置設施營運中、封閉後，防止無意闖入者接近廢棄物所採行之防護設計及措施，並評估其功能。

四、長期穩定性：評估並分析處置設施於運轉期間及封閉後之長期穩定性與安全性。分析時應說明分析方法、輸入參數、假設狀況、適用範圍、模式分析結果及不確定性等。

第八章 處置設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫

一、管理組織架構：說明**貯存**[13]設施管理組織架構，包括編組、功能、責任與權限，並說明各項運轉作業之人力運用。

二、人員編制：說明處置設施人員編制、權責及資格，包括編制員額、職稱及每一運轉班次人數，各級主管人員之權責與資格，管理、監督及輻射防護人員之權責與資格等。

三、人員訓練：針對處置設施之運作提出人員訓練計畫，包括各項作業之訓練規劃、訓練課程內容、訓練週期及授課人員資格、訓練成效評估及資格檢定辦法。

四、審查與稽核：說明處置設施各項作業之審查與稽核程序，包括運轉作業之內部審查與安全措施之稽核、作業程序或系統變更之審查、審查與稽核文件之管制等。

五、管理程序：說明設施安全運轉相關作業活動之管制與管理程序，包括設備管制、維護管理、工安、品保及人員與車輛出入之污染管制等。

第九章 輻射防護作業與環境輻射監測計畫

一、輻射防護計畫：依處置設施之作業特性、處置放射性廢棄物之活度與特性，並參考「游離輻射防護法」相關規定撰寫輻射防護計畫，內容應包括輻射防護管理組織與權責、人員防護、醫務監護、地區管制、輻射源管制、放射性物質廢棄、意外事故處理、合理抑低措施、紀錄保存及其他主管機關指定事項等。

二、環境輻射偵測計畫：應依原能會**九十一年十二月二十五日發佈「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第十九條第二項[14]**規定撰寫環境輻射監測計畫。

第十章 保安計畫、意外事件應變計畫及消防防護計畫

一、保安計畫內容至少應包括下列各項：

(一)保安組織之目的、編組、管理及訓練。

(二)保安區域劃定、周界實體阻隔物及警報監視系統。

(三)門禁管制、進出人員查核、保安通訊設施。

(四)保安系統測試維護及各項紀錄保存。

二、意外事件應變計畫內容至少應包括下列各項：

(一)意外事件應變組織及權責。

(二)建造、運轉及封閉階段中，可能發生事故之分析。

(三)意外事件應變設施之設備及功能。

(四)意外事件應變措施之重要事項。

(五)意外事件應變功能之維持。

(六)意外事件應變計畫相關資料。

三、消防防護計畫內容至少應包括下列各項：

(一)消防工作之組織及行政管理。

(二)火災災害分析及影響評估。

(三)防火設計及措施。

(四)火警偵測及消防能力評估。

(五)相關單位之消防及救護支援。

(六)防火及消防有關設備之維護及管理。

(七)防火及消防有關之人員訓練。

第十一章 處置設施之封閉及監管規劃

一、**處置場區穩定規劃[15]**：提出場區穩定規劃，以確保處置設施穩定之設計或措施。

二、封閉規劃：說明處置設施之封閉規劃，包括除污規劃、輻防設計、檢查及監測規劃、輔助設施拆除規劃與二次廢棄物之處理方式。

三、監管規劃：說明處置場區封閉後之監管規劃，包括監管期、處置場區管理及環境監測措施。

第十二章 品質保證計畫

一、品保政策與組織。
二、品保方案。
三、設計管制。
四、工作說明書、程序書及圖件。
五、文件管制。
六、採購材料、設備及服務之管制。
七、改正行動。
八、品保紀錄。
九、稽查。

第十三章 參考文獻

引用法規及技術規範以外之其他參考文獻，應於報告本文之後列述並與所引述之各章節內容對應。資料內容應詳列作者、出版年代、文獻名稱、文獻出處等。必要時應依審查意見提送指定之參考文獻以供參酌。

「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」

對坑道處置設施適用性之修訂建議

[1]

淺地(shallow land)一詞國際上已用近地表(near surface)取代。

[2]

“隧道或坑洞”型式的處置方式國際慣例使用Cavern一詞，建議譯為坑道。

[3]

“廢棄物來源與特性”應著重於存量(inventory)之說明。本章旨在”設施之綜合概述，所以”(三)(四)(五)項有關廢棄物接收準則(waste acceptance criteria)內容說明似過於瑣碎，建議改至第六章第一節”廢棄物接收”一併說明，較有連貫性。

[4]

建議增加“人口預測”以符合處置設施特性，與安全分析需求。

[5]

“設施建造與運轉可能影響之保育類野生動物與植物”建議刪除，因為此為環境影響評估報告審查之範疇，非安全分析報告審查之範疇，二者應有所區隔。

[6]

“與人為活動” 建議刪除，因為此為本章第一節”社會與經濟”應說明之內容。

[7]

“偵測結果及偵測方法”建議修訂為“偵測方法及結果”語意及報告撰寫時較符合邏輯性。

[8]

“覆蓋”適用於近地表處置。坑道處置之結構與土木設計著重於支撐與襯砌等。

[9]

“除污、再固化、再包裝、吊卸等”應屬本章第一節之接收與檢整作業。本節之處理(handling)應指將廢棄物包件依其類別與活度確實分送到暫貯區與不同處置坑道的作業過程。

[10]

“廢棄物體”為waste form，應修訂為“廢棄物包件”(waste package)。

[11]

不適用於坑道處置。

[12]

不適用於坑道處置。

[13]

“貯存”應修訂為“處置”。

[14]

輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則已於92.12.31修正，本段文字建議修訂為“應依現行環境輻射監測相關法規撰寫環境輻射監測計畫”。

[15]

“處置場區穩定規劃”雖然實質工作可以引用於坑道處置，但語意上屬近地表處置。

[16]

其他建議：

「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」使用時機包括以下四項：

1. 申請建造執照時

(依據放射性物料管理法第17條；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3條)

2. 申請運轉執照時

(依據放射性物料管理法第18條；放射性物料管理法施行細則第26條)

3. 運轉期間每五年更新安全分析報告

(依據低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第十七條)

4. 換發運轉執照時

(依據放射性物料管理法施行細則第二十八條)

現行導則內容較適於申請建造執照時提出安全分析報告使用，對於其他使用情況有必要作內容之修訂，例如減輕對於場址特性、設計、建造的說明等。

附錄三、

專有名詞中英對照表

專有名詞中英對照

化學與物理形式	chemical and physical form
水文地質特性	hydrogeologic properties
主要核種的平均濃度	average concentrations of the principal radionuclides
出入隧道	access tunnel
包裹體特性	packaging characteristics
外釋率	release rates
地工	geotechnical
地層	stratigraphy
存量	inventory
安全分析報告	safety analysis report
年產體積	annual volumes
污染物傳輸特性	contaminant transport characteristics
低放射性廢棄物	low-level radioactive waste
吸附係數	adsorption coefficient
含水層	aquifer
坑道	cavern
坑道處置	carven disposal
使用的螯合劑	presence of chelating agents
卸載坑道	loading cavern
固化劑	solidification agent
岩層	lithology

抽水區	discharge zone
放射性廢棄物管理機構	public agency for radioactive waste management
物理與核子工程研發研究所	institute for development & research for physics and nuclear engeneering
水平坑道	drift
近地表	near surface
近地表處置	near-surface disposal
流速	flow rate
美國低放處置場標準審查規範	NUREG-1200-rev.3
倫敦公約	london convention
原子能委員會	atomic energy commission
核能安全委員會	nuclear safety commission
核能管制委員會	NRC
核能環境技術研究所	nuclear environment technology institute
氣鎖	air-lock
海拋	sea dumping
能源技術研究所	institute for energy technology
接收區	reception area
斜坑	ramp
淺地層處置	shallow land disposal
混凝土模組	concrete modules
混凝土箱	concrete casing

深層岩石坑道處置窖	deep rock cavern vault
處置坑道	disposal cavern
處置窖	silo
連通隧道	connecting tunnel
場址特性調查計畫書	site characterization plan
傳輸時間	travel time
補注區	recharge zone
運轉坑道	operations cavern
滲透率	permeability
管湧	piping
輔助設備坑道	auxiliary installations cavern
廢棄物分類	waste class
廢棄物包件	waste package
廢棄物接收準則	waste acceptance criteria
廢棄物管理設施	waste management facility
暫態	transient
標準審查規範	stardard review plan
豎井	shaft
導水係數	conductivity
擴散係數	diffusion coefficient
穩態	steady state

附錄四、

期末成果報告審查意見及處理情形表

「低放射性廢棄物坑道處置審查規範草案之研議」

審查意見及處理情形表

編號	頁次	行次	審查意見	意見處理情形
1	整體意見		本報告中有關專業術語、用詞之英文註解，請另增補中英文對照表於附錄，並檢視中譯部分是否與現行使用者統一。	遵照審查委員意見，已補充中英文對照表於附錄三。
2	整體意見		本審查規範主要用於安全分析報告的審查，惟本文中多項審查要點係參考「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」(特別是第三章場址之特性描述)，惟相關的要求在選址過程中已經被選址委員會確認，在 SAR 階段是否仍要再確認，值得商榷。建議審查要點應以確認是否合乎物管法安全標準的角度著手。	依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」訂定之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」並無明訂僅適於選址階段或有所謂的落日條款說明在選定場址後即不適用，換言之基於在條例中所述符合安全及環境保護之要求，因此條文未修訂或廢止前之處置場任何階段均應適用之。未來處置場建造或運轉期間若發現有新的調查事證顯示與標準不符之處，則處置設施仍有必要進行新的評估或採取補救措施。 本報告以我國「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」為本，以美國 NUREG-1200 審查規範為範疇，並從專業的角度針對坑道處置提出安全分析報告審查之要點，應能符合管制機關進行安全審查之需求。
3	1	1	請補充英文摘要。	遵照審查意見補充於報告修訂版。
4	3	第一段	近地表處置與坑道處置以接近地表 30 公尺範圍作為大致的	30 公尺係依據美國法規 10 CFR 61.2 之定義，另補充參考

			分界，是否有文獻依據？是否可依此深度之不同來進行處置設施之規劃，亦即坑道處置設施是否必須要有 30 公尺以上之岩覆或覆岩體？	文獻於報告中。此深度僅為概念上的分界，坑道處置岩覆厚度應依實際狀況進行規劃與評估，與此 30 公尺概念並無法規上的關聯。
5	3	第 2 段	有關國際低放坑道處置概況之第 2 段，所謂坑道處置大致上又可分為三種型式，包含水平坑道、斜坑、豎井，該三種型式僅為設施之通道型式，而非處置型式，請修正說明。	坑道處置大致上分為三種型式：山地坑道處置、海床下坑道處置、深層地質處置。遵照審查意見補充修訂如報告內文。
6	8、9	表 2-1 表 2-2	有關台灣部份所列小坵與其他 3 者，在計畫現況及處置方式的內容表達方式並未妥當，請檢討修正。 另表中註 2”未定”部分除南韓外，均已顯示其處置方式，似有矛盾。	表 2-1 計畫現況小坵修訂為終止，其他三處候選場址修訂為”選址中”。 表 2-1 計畫現況若未卻認為場址者修訂為選址中，處置方式尚未決定者在相對應的可能處置方式欄位標示”未定”。 表 2-2 修訂我國三處潛在場址之容量為”規劃中”。
7	9	表 2-2	台灣部份之處置容量為 196000 m3，請註明其資料引用來源。	遵照審查意見補充如表 2-2 註 3。
8	13	12	有關第三章場址之特性描述，一、社會與經濟審查要點，所謂場址周邊至少 10 公里範圍是否有文獻參考依據？並且人口密度方面不得高於每平方公里 600 人，請再補充說明安全分析報告人口密度資料之適當引用來源？	場址周邊至少 10 公里範圍係參考美國法規 NUREG-1200 之規定，人口密度方面不得高於每平方公里 600 人係依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」，已另於報告中補充參考資料來源。
9	14	第二要點	二、地形與地貌之審查要點 1.，對「適當比例尺」是否可清楚定義，以利審查所需。	圖幅比例尺本計畫不建議明確限定，應由申請者視現地實況，以適當比例尺與圖幅大小(例如必要時使用 A0 或 A3 規格的褶圖)，或者以多張不同比

				例尺的圖幅，來說明現地特點。送審的內容應以符合專業技術水準並確實呈現與安全相關之場址特性為原則。
10	14	第三要點	三、氣象之審查要點 1.，所提及氣象統計資料之統計期間應具代表意義，請具體說明妥適之資料時間。	氣象資料統計期間應儘可能如導則所述引用”有紀錄以來”鄰近測站之數據，不得無故排除於統計之外。配合審查意見修訂該段文字敘述如下” 採用之氣象統計資料測站地點應具代表意義，統計期間應含括有紀錄以來之資料，不得無故排除，並以適當圖表彙整呈現。”
11	15	第四要點	有關四、地質與地震之審查要點 5.，就調查與分析方法應合於相關技術規範部份，請列出目前國內可供參考之相關審查技術規範。	調查與分析方法相關之技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。” 安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。
12	15	第五要點	有關五、地表水之審查要點，大抵上符合場址禁置標準，惟其內容較適用於場址篩選，針對安全分析之審查有很大的落差，請再檢討並補充說明。	依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」訂定之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」並無明訂僅適於選址階段或有所謂的落日條款說明在選定場址後即不適用，換言之基於在條例中所述符合安全及環境保護之要求，因此條文未修訂或廢止前之處置場任何階

				段均應適用之。未來處置場建造或運轉期間若發現有新的調查事證顯示與標準不符之處，則處置設施仍有必要進行新的評估或採取補救措施。 本報告以美國 NUREG-1200 為藍本，已從專業的角度提出安全分析報告審查之要點。
13	16	第六要點	有關六、地下水之審查要點 4.所提到相關參數為何？並請詳述其審查重點。	調查與分析方法相關參數細節並非審查規範之範疇，各參數的特性與審查重點建議可參考貴局以前的委託計畫成果如： 中鼎工程股份有限公司，1994，低放射性廢料最終處置場址特性參數評估研究，物管局委託計畫。 施清芳，2003，最終處置管制規劃計畫(1/1) ，物管局委託計畫 902003FCMA004。
14	16	第七要點	有關七、地球化學之審查要點 2~3 符合場址禁置標準，惟較適用於場址篩選，請就審查要點 4.詳述審查重點。	依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」訂定之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」並無明訂僅適於選址階段或有所謂的落日條款說明在選定場址後即不適用，換言之基於在條例中所述符合安全及環境保護之要求，因此條文未修訂或廢止前之處置場任何階段均應適用之。未來處置場建造或運轉期間若發現有新的調查事證顯示與標準不符之處，則處置設施仍有必要進行新的評估或採取補救措施。 調查與分析方法相關參數細節並非審查規範之範疇，各參數

				的特性與審查重點建議可參考貴局以前的委託計畫成果如： 中鼎工程股份有限公司， 1994，低放射性廢料最終處置場址特性參數評估研究，物管局委託計畫。 施清芳，2003，最終處置管制規劃計畫(1/1) ，物管局委託計畫 902003FCMA004。
15	18	第十一要點	有關十一、大地工程特性之審查要點，目前國內可供參考之相關技術規範為何？並請說明相關地工參數之審查重點為何？	調查與分析方法相關之技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。 調查與分析方法相關參數細節並非審查規範之範疇，各參數的特性與審查重點建議可參考貴局以前的委託計畫成果如： 中鼎工程股份有限公司， 1994，低放射性廢料最終處置場址特性參數評估研究，物管局委託計畫。 施清芳，2003，最終處置管制規劃計畫(1/1) ，物管局委託計畫 902003FCMA004。
16	18	第十一要點	有關十一、大地工程特性之審查要點 1.之地工參數，建議應明示出滲透性參數、變形性參	調查與分析方法相關參數細節並非審查規範之範疇，各參數的特性與審查重點建議可參考

			數、強度參數等各類，並請明示各個參數之名稱及其取得來源或試驗方法。	貴局以前的委託計畫成果如： 中鼎工程股份有限公司，1994，低放射性廢料最終處置場址特性參數評估研究，物管局委託計畫。 施清芳，2003，最終處置管制規劃計畫(1/1) ，物管局委託計畫 902003FCMA004。
17	18	第十二 要點	有關十二、交通狀況之審查要點是否有相關法規之規定？	調查與分析方法相關之技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。
18	19	7	有關一、設計目標與功能需求之審查範圍 1.建議修正為「設計準則、建築技術規則與其他相關法規或規範」。此外若採用其他相關法規或規範時，請明示其法規或規範之名稱。	審查範圍 1.遵照審查意見修訂為”設計準則、建築技術規則與其他相關法規或規範”。 另相關法規或技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際

				提出之內容進行審查。
19	20	第二要點	有關二、建築設計之審查範圍 1.建議修正同 3.所示。此外若採用其他相關法規或規範時，請明示其法規或規範之名稱。	審查範圍 1.遵照審查意見修訂為”設計準則、建築技術規則與其他相關法規或規範”。 另相關法規或技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。
20	20	第三要點	有關三、結構設計之審查範圍 1.建議修正為「設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範」。此外若採用其他相關法規或規範時，請明示其法規或規範之名稱。再者，審查要點 1.建議修正為「施加於結構之荷重經過保守假設，結構體各構件強度經過保守折減，且兩者皆經合理計算且合於法規」。	審查範圍 1.遵照審查意見修訂為” 設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範”。 審查要點 1. 遵照審查意見修訂為”施加於結構之荷重經過保守假設，結構體各構件強度經過保守折減，且兩者皆經合理計算且合於法規”。 另相關法規或技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所

				引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。
21	21	2	審查範圍 1.建議修正為「設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範」。此外若採用其他相關法規或規範時，請明示其法規或規範之名稱。	審查範圍 1. 遵照審查意見修訂為”設計準則、結構混凝土設計規範、建築物基礎構造設計規範、建築物耐震設計規範及解說、建築技術規則與其他相關法規或規範”。 另相關法規或技術規範內容並非審查規範之範疇，依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」附錄「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告內容概要」第一章第三條第二項應由申請者”按報告章節次序詳列撰寫報告時所引用的國內外法規及技術規範，並註明其名稱、公(發)布單位、日期及版次。”安全分析報告審查者應據申請者實際提出之內容進行審查。
22	21	11	有關四、土木設計之審查要點 4.「場址因素」所指為何？與一般建築設計有那些對應之影響？	審查要點 4.修訂為”場址因素對於土木設計的不利影響均已充分考慮。”所謂的場址因素須視場址實況而定，針對坑道處置而言，實例為坑道洞口的土木設計應能避免洞口坍塌或洪水湧入坑道致影響安全性。
23	26~29		第七章處置設施之安全評估，第 26~29 頁參考引述之資料，撰寫格式請統一，並請將相關重點內容彙整於審查範圍或要點中。	格式已統一；相關重點已彙整於審查範圍或要點中。

24	31	第四要點	四、長期穩定性之審查範圍審查要點，有關長期穩定性，國際上對於低放的評估期是多久？合理時間為何？	已描述於「四、長期穩定性之審查要點 4.」。
25	34	26	第八章處置設施有關管理程序，僅有審查範圍，對於審查要點，請就該範圍擬訂，NUREG-1200 僅為參考，並非本報告參考之唯一內容。	遵照審查意見補充擬訂審查要點如報告內文。
26	44	1	4.討論與建議，本案特別著重於坑道處置之安全審查，而 NUREG -1200 則針對近地表部份，請就兩方面差異列表說明。	遵照審查意見新增加表 4-1 之差異性說明。
27	44	9	建議刪除「，且物管局受限於員額配置，在專業技術審查方面仍可能依循國內各種審查的慣例委請外部專家學者參與審查。此外，國內以往除原能會曾於民國七十九年發佈「核能電廠用過燃料池貯存格架改裝安全分析報告審查規範」外，其於各部會似無此類似的作法」。	遵照審查意見修訂如報告內文。
28	45	20	4.討論與建議之第 7 項所提表 4-1，有關貴所技術發展現況，建議就表中各領域提出後續應用之說明。	已加強說明於表 4-2(原表 4-1)。
29	文字修正部分如下：			
	1	1	第 1 頁計畫緣起與目的之內容編號請統一與各章節相同編號符號。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	1	2	「國內幾個潛在場址條件...」建議修改為「國內幾個可能潛在場址條件...」。	遵照審查意見修訂如報告內文。

	6	第2、4、6行	「中放射性廢物」,建議修正為「中放射性廢棄物」;「高放射性廢物」,建議修正為「高放射性廢棄物」。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	8	表2-1	有關台灣部份所列廢棄物標示為 L-ILW，請改為 LLW。	遵照審查意見修訂如報告內文
	10	1	標題請修改「審查規範研擬」,請併同目錄一併修正。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	13	8	「1.小產源...」請修正為「1.核能電廠小產源...」	遵照審查意見修訂如報告內文。
	15	2	「3.址及...」及第 3 行「4.址及...」請各加入「場」字。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	17	第九要點	有關九、生態之審查範圍第1、2 行「址及...」請各加入「場」字。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	36~38		第十章各審查要點 4.，建議刪掉「在適當比例地圖上詳載」,改為「應附...配置示意圖」。	遵照審查意見修訂如報告內文。
	44	1	4.討論與建議之內容編碼請再調整。	遵照審查意見修訂如報告內文。