



行政院原子能委員會
放射性物料管理局

行政院原子能委員會放射性物料管理局

委託研究計畫研究報告

低放射性廢棄物處置安全管制技術發展
子計畫二：低放射性廢棄物處置設施設計審
查規範精進之研究

成果報告

計畫編號：104FCMA002

計畫主持人：董家鈞

子計畫二主持人：張玉彝

受委託機關(構)：國立中央大學

報告日期：中華民國 104 年 12 月

目錄

第一章	前言.....	1
1.1	計畫目的.....	1
1.2	服務項目及工作範圍.....	1
1.3	工作進度.....	2
第二章	低放射性廢棄物坑道處置工程障壁劣化模擬方法與關鍵議題研析.....	3
2.1	工程障壁的劣化.....	3
2.1.1	坑道處置設施之工程障壁概述.....	3
2.1.2	工程障壁封閉後的狀態變化.....	4
2.2	工程障壁劣化模擬之概念模型.....	8
2.2.1	核種遷移模型.....	8
2.2.2	數學模式.....	10
2.3	工程障壁劣化分析.....	14
2.3.1	GoldSim 解析之案例設定.....	14
2.3.2	GoldSim 解析方法.....	17
2.3.3	GoldSim 解析之分析結果.....	22
第三章	整合建築設計、土木設計、輻射安全設計提升處置設施之安全功能..	27
3.1	IAEA 對建築設計、土木設計、輻射安全設計之要求.....	27
3.1.1	IAEA-TECDOC-789.....	27
3.1.2	IAEA-TECDOC-1256.....	29
3.2	美國 WIPP 的輻射防護.....	33
3.3	印度對處置設施的設計與建造之要求.....	37
3.4	加拿大中低放射性廢棄物深地質處置場的設施設計要求.....	39
3.4.1	DGR 處置場之功能與重要的設備和組件.....	39
3.4.2	處置設施的建築設計、土木設計、輻射安全設計要求.....	41
3.5	小結.....	47
第四章	運轉階段輔助設施與公用設施之安全功能需求.....	48
4.1	IAEA 對運轉階段輔助設施與公用設施之要求.....	48
4.2	美國 WIPP 的公用設施.....	49
4.3	印度對運轉階段輔助設施和公用設施之要求.....	51
4.4	加拿大 DGR 處置場的輔助設施與公用設施之設計.....	53
4.4.1	OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求.....	54
4.4.2	OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置場：初步安全報告.....	55
4.5	小結.....	58
第五章	低放射性廢棄物坑道處置之施工特性與施工計畫之審查要項研析.....	59
5.1	加拿大中低放射性廢棄物深地質處置.....	59

5.1.1	OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求.....	60
5.1.2	初步安全報告之場址準備.....	61
5.1.3	初步安全報告之施工時的其他需求.....	62
5.1.4	初步安全報告之施工.....	64
5.2	「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第 0 版）」 之處置設施之建造章節精進建議.....	69
第六章	「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第 0 版）」之 處置設施設計章節精進建議.....	80
第七章	結論與建議.....	107
參考文獻	109
附錄	審查意見回覆.....	110

表目錄

表 2.1.2-1	影響水泥類材料的透水性及擴散性之要因(1/2)	4
表 2.1.2-1	影響水泥類材料的透水性及擴散性之要因(2/2)	5
表 2.1.2-2	影響膨潤土類材料的透水性及擴散性之要因(1/2)	5
表 2.1.2-2	影響膨潤土類材料的透水性及擴散性之要因(2/2)	6
表 2.3.1-1	每桶廢棄物所含核種之半衰期與初始濃度設定值	15
表 2.3.1-2	工程障壁劣化模擬之參數設定	16
表 2.3.1-3	核種在工程障壁中的吸附分配係數	16
表 2.3.2-1	分析時使用之「Container」、「Element」與「Pathway」	19
表 2.3.3-1	不同劣化比例的混凝土障壁之評估結果	23
表 2.3.3-2	混凝土障壁劣化與厚度增加之評估結果	25
表 4.4.2-1	DGR 處置場之電力負載	56
表 5.2-1	「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第0版)」第五章處置設施之建造修正草案對照表	69
表 6-1	「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第0版)」第四章處置設施之設計修正草案對照表	81

圖目錄

圖 2.1.1-1	坑道處置之工程障壁概念	3
圖 2.1.2-1	回填後的工程障壁狀態預測	7
圖 2.2.1-1	核種遷移概念模型	8
圖 2.2.1-2	廢棄物層中的孔隙率與水泥砂漿比例之概念示意圖	9
圖 2.2.1-3	混凝土障壁層的核種傳輸概念模型	10
圖 2.3.2-1	在 GoldSim 平台上建立分析案例	18
圖 2.3.2-2	「Parameter」資料夾中的參數設定	20
圖 2.3.2-3	「Material」資料夾中的參數設定	21
圖 2.3.2-4	「EBS_Concrete」資料夾中建立核種在混凝土障壁的遷移路徑	21
圖 2.3.2-5	「Dos」資料夾中關鍵群體的曝露計算	22
圖 2.3.3-1	混凝土障壁劣化比例與劑量之關係	24
圖 2.3.3-1	混凝土障壁厚度增加對劣化之影響	26
圖 5.1-1	加拿大 DGR 處置場之概念配置圖	59
圖 5.1.3-1	鑽井和爆破循環施工	66
圖 5.1.3-2	地下設施施工時的通風	67

第一章 前言

1.1 計畫目的

為確保低放射性廢棄物最終處置設施可滿足安全需求，行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)於 100 年度初步完成「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」，做為後續低放射性廢棄物處置作業推動之管制規範。考量核種遷移評估為確保處置設施安全之重要關鍵因素之一，在多重障壁系統的處置概念下，天然障壁受限於場址地質特性，須於場址確定並取得相關地質參數資料後才能進行完善的安全分析，工程障壁在安全分析上則受到材料組成、材料特性及工程設計等可控制條件影響，故今(104)年度擬就工程障壁系統劣化與核種遷移參數之關連性進行研析，建立安全功能與設計參數之關係，供日後於審查安全分析報告時之參考，並藉以提升國內低放處置關鍵管制技術及精進相關管制規範。

1.2 服務項目及工作範圍

1. 低放射性廢棄物坑道處置工程障壁劣化模擬方法與關鍵議題研析
2. 整合建築設計、土木設計、輻射安全設計提升處置設施之安全功能
3. 運轉階段輔助設施與公用設施之安全功能需求
4. 低放射性廢棄物坑道處置之施工特性與施工計畫之審查要項研析
5. 相關成果回饋於「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」之處置設施設計章節精進建議
6. 撰寫研究計畫成果報告。

1.3 工作進度

工作項目	年月											
	104 2	104 3	104 4	104 5	104 6	104 7	104 8	104 9	104 10	104 11	104 12	
低放射性廢棄物坑道處置工程障壁劣化模擬方法與關鍵議題研析												
整合建築設計、土木設計、輻射安全設計提升處置設施之安全功能												
運轉階段輔助設施與公用設施之安全功能需求												
低放射性廢棄物坑道處置之施工特性與施工計畫之審查要項研析												
「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第0版)」之處置設施設計章節精進建議												
工作進度估計百分比 (累積數)	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
工作執行進度百分比	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	

第二章 低放射性廢棄物坑道處置工程障壁劣化模擬 方法與關鍵議題研析

2.1 工程障壁的劣化

2.1.1 坑道處置設施之工程障壁概述

低放射性廢棄物最終處置設施場址雖然皆採坑道處置的概念，但因地質條件不同，坑道內的工程障壁設計仍有些微差異，考量本計畫主要探討工程障壁劣化與安全分析之關連性，因此將坑道內的工程障壁系統，依據材料特性的不同，簡化為廢棄物層、混凝土障壁層與膨潤土障壁層等三種，如圖 2.1.1-1 所示。

廢棄物層包括廢棄物桶與填充於窖內空隙的水泥砂漿；混凝土障壁層在廢棄物層外側，主要為鋼筋混凝土構成的處置窖；膨潤土障壁層則在最外層，可視處置的廢棄物特性，考量是否須利用膨潤土的低透水性，降低進入設施的水量，延緩核種釋出至工程障壁外的時間。

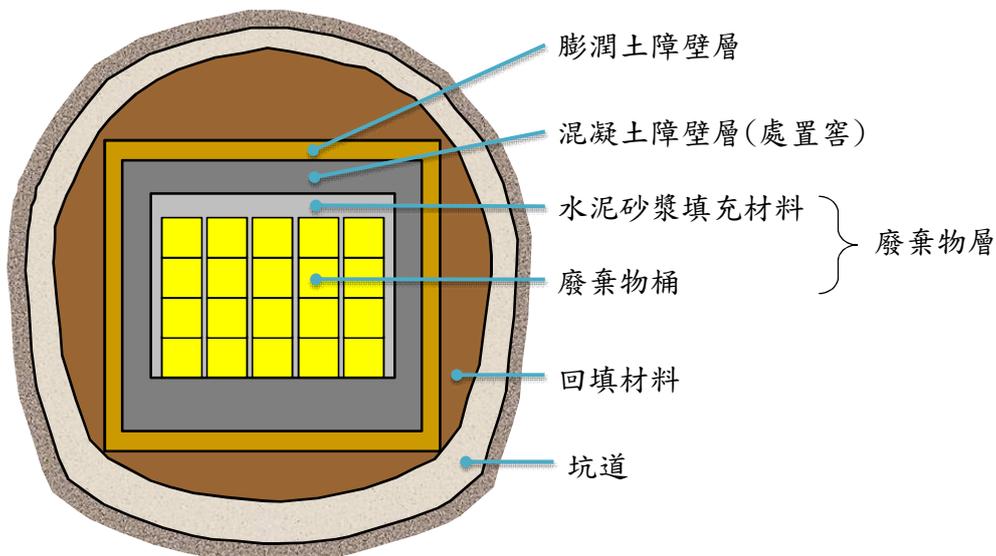


圖 2.1.1-1 坑道處置之工程障壁概念

2.1.2 工程障壁封閉後的狀態變化

封閉後之工程障壁狀態變化將受到地球化學環境、處置設施之設計、組成材料與施工方式影響。一般可將工程障壁依其組成材料之不同區分為水泥類材料與膨潤土類材料兩大類，水泥類材料組成的處置窖，受到鋼筋腐蝕、外力條件改變及水泥水化物溶出等影響，會有新裂縫生成、裂縫擴張或是孔隙率改變等現象發生。而膨潤土類材料組成的低透水層，受到與水接觸產生之膨潤壓或交換性陽離子變化(Ca 型化)等影響，使透水性增加或有效黏土密度改變。這些水泥類材料或膨潤土類材料的狀態變化，都會影響工程障壁之透水性與擴散性。故考量工程障壁的相關特性變化後，針對水泥類材料與膨潤土類材料之透水性與擴散性，選出影響要因，並彙整如表 2.1.2-1 及表 2.1.2-2 所示。再根據影響工程障壁的重要因子，推估工程障壁於各階段的狀態變化，如圖 2.1.2-1 所示。

表 2.1.2-1 影響水泥類材料的透水性及擴散性之要因(1/2)

影響要因		影響工程障壁狀態之機制	
初期裂縫擴張及新裂縫產生	物理影響	膨潤土的膨脹壓	膨脹壓(包括膨脹過程的側壓)使處置窖及低擴散層產生裂縫
		膨潤土沉陷	低透水層底部不均勻沉陷造成水泥類材料位移，使處置窖及低擴散層產生裂縫
		鋼筋腐蝕	鋼筋腐蝕膨脹使處置窖及低擴散層產生裂縫
		金屬容器腐蝕	金屬容器腐蝕膨脹使處置窖及低擴散層產生裂縫
			金屬容器腐蝕破損使處置窖及低擴散層產生裂縫
		氣體	鋼筋、廢棄物容器腐蝕產生的氣體壓力，使處置窖及低擴散層產生裂縫
		岩盤潛變	岩盤潛變使處置窖及低擴散層產生裂縫
地震	地震力使處置窖及低擴散層產生裂縫		

表 2.1.2-1 影響水泥類材料的透水性及擴散性之要因(2/2)

影響要因			影響工程障壁狀態之機制
初期裂縫擴張及新裂縫產生	化學影響	膨脹性礦破基材料	地下水含有高濃度硫酸根離子時，膨脹性的鈣礬石促使裂縫產生
		廢棄物中的可溶性鹽類	廢棄物內含有硫酸鹽時，膨脹性的鈣礬石促使裂縫產生
	鹼骨材反應		鹼骨材反應使處置窖及低擴散層產生裂縫
	裂縫部分產生次生礦物		地下水與水泥溶出成份反應生成次生礦物，阻塞裂縫
孔隙變化(孔隙率改變)	化學影響	水泥水化物溶出、產生次生礦物	地下水使水泥水化物溶出，溶出之成分與地下水反應生成次生礦物，造成孔隙改變

表 2.1.2-2 影響膨潤土類材料的透水性及擴散性之要因(1/2)

影響要因			影響工程障壁狀態之機制	
膨潤土特性改變	化學影響	交換性陽離子變化(鈣型化)	水泥類材料的孔隙水中具有高濃度的鈣離子，促使鈣型化發生	
		高離子強度聚合	周邊地下水鹽水化	鹽分累積與孔隙特性(孔隙率、孔隙構造)改變，使膨脹性能降低
			廢棄物中的硝酸鹽、硫酸鹽等可溶性鹽類	鹽分累積與孔隙特性(孔隙率、孔隙構造)改變，使膨脹性能降低
有效黏土密度改變	物理影響	廢棄物金屬容器腐蝕	廢棄物金屬容器腐蝕膨脹壓縮到低透水層，使密度增加	
			廢棄物金屬容器腐蝕塌陷使低透水層的膨脹密度降低	
		氣體	廢棄物金屬容器腐蝕產生氣體，氣體壓力壓縮低透水層，使密度增加	
		膨潤土沉陷	低透水層底部壓縮變形使低透水層上部的密度降低	

表 2.1.2-2 影響膨潤土類材料的透水性及擴散性之要因(2/2)

影響要因		影響工程障壁狀態之機制	
有效黏土密度改變	物理影響	岩盤潛變	岩盤潛變使低透水層厚度變小、密度增加
		地震	地震力造成低透水層沉陷，使密度產生變化
		膨潤土流失至鄰近構造空隙	膨潤土流失到鄰近混凝土構造之裂縫間隙，造成密度降低
	化學影響	蒙脫石溶解、副成分礦物溶解、次生礦物產生	水泥類材料的高鹼性孔隙水使構成膨潤土的成分溶解，造成密度降低。溶解出的成分與地下水反應生成次生礦物沉澱
形成短路徑	物理影響	氣體	廢棄物腐蝕產生的氣體壓力破壞低透水層，形成密度低的區域
		膨潤土塊的连接空隙	膨潤土塊间的连接縫隙容易產生高透水性，但對整個膨潤土層的透水性影響較小

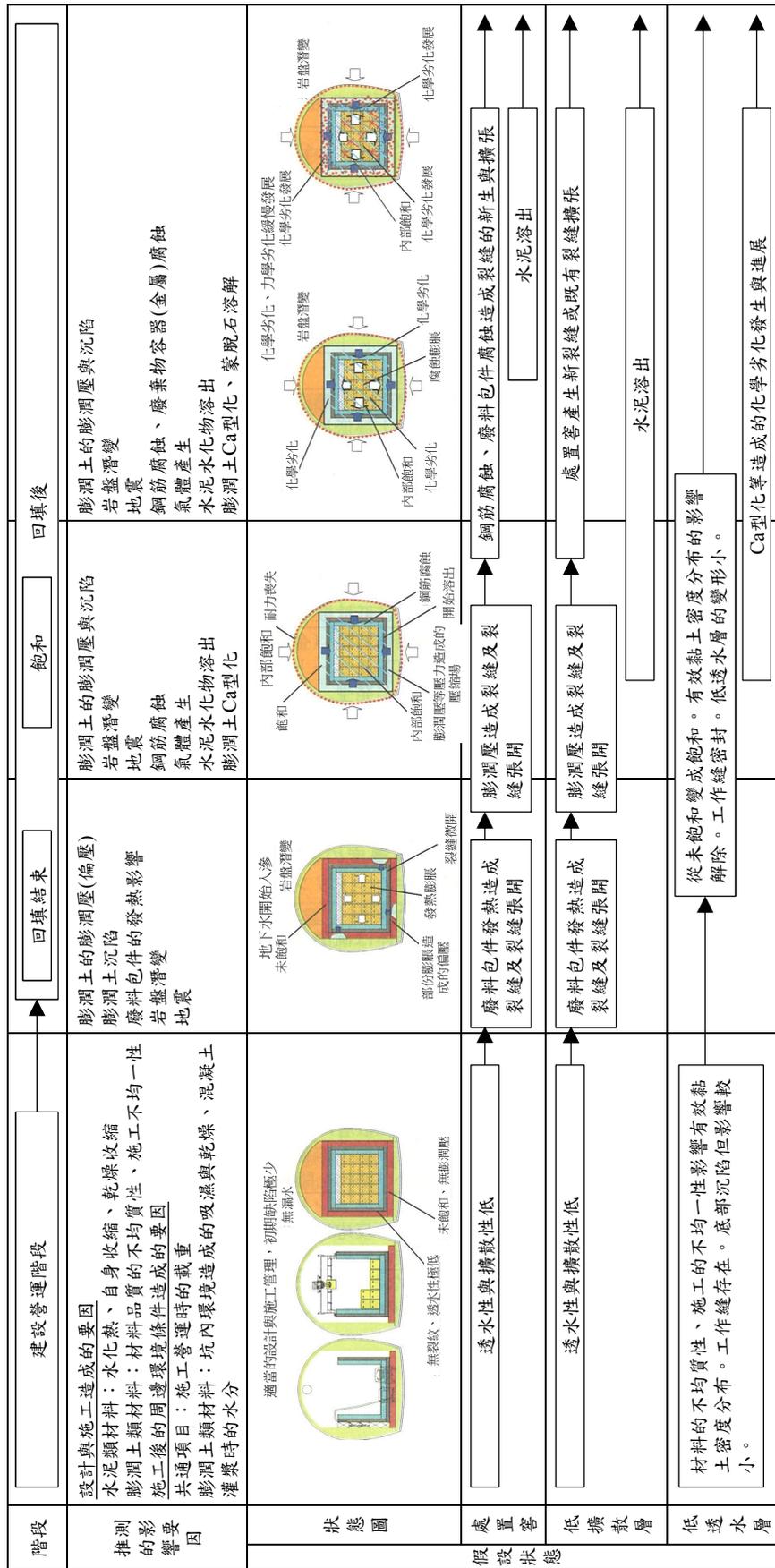


圖 2.1.2-1 回填後的工程障壁狀態預測

2.2 工程障壁劣化模擬之概念模型

2.2.1 核種遷移模型

工程障壁中的核種自廢棄物桶釋出後，主要是利用移流、擴散與吸附等作用，在工程障壁間傳輸，如圖 2.2.1-1 所示，各障壁間的設定與傳輸機制分別說明如后。

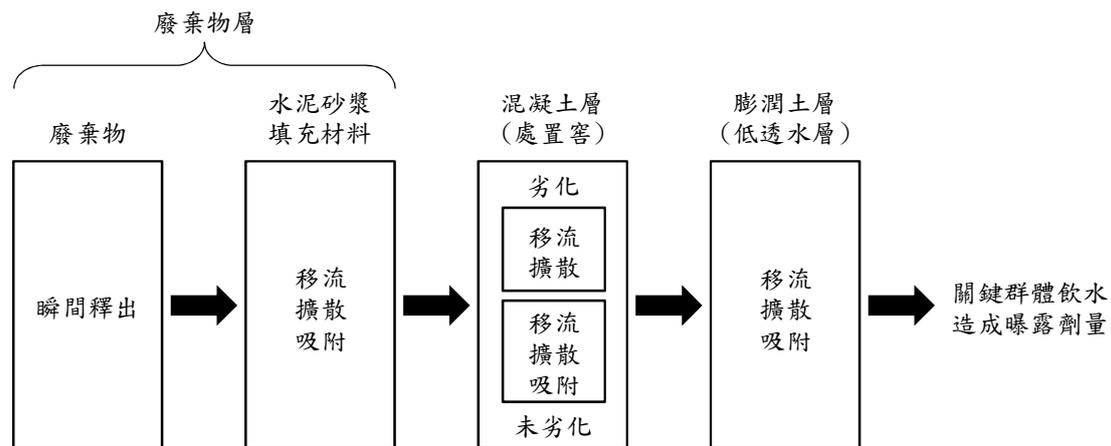


圖 2.2.1-1 核種遷移概念模型

一、廢棄物層

廢棄物層包含廢棄物桶及填充在廢棄物桶周圍的水泥砂漿，假設核種在處置場封閉後 100 年開始瞬間釋出，在廢棄物層中以移流與擴散作用傳輸，而從廢棄物層到混凝土層的核種遷移亦是以移流與擴散為主，且在廢棄物層中的水泥砂漿對核種具有吸附效用。

此外，設定廢棄物層中的水泥砂漿含量時，是以不含孔隙的水泥砂漿體積與廢棄物層中固相物質體積之比值，做為設定的輸入值，而廢棄物層的孔隙率則採用整個廢棄物層的孔隙率為代表，有關廢棄物層的水泥砂漿比例與孔隙率之概念，如圖 2.2.1-2 所示。

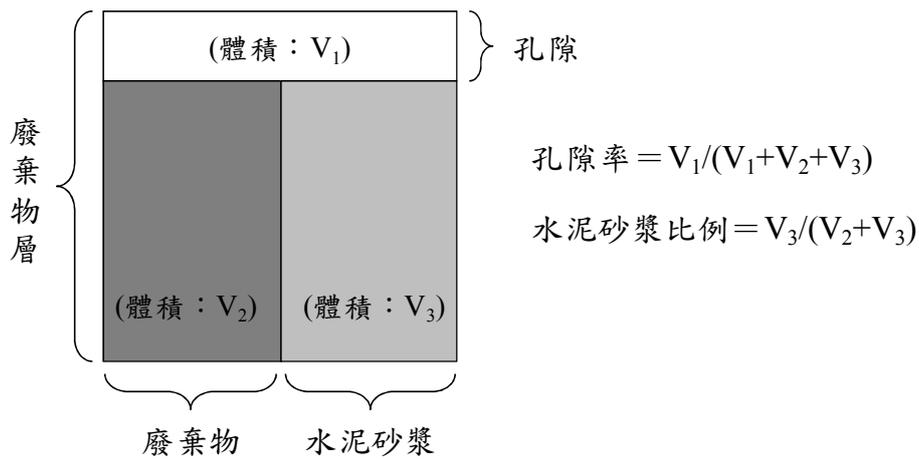


圖 2.2.1-2 廢棄物層中的孔隙率與水泥砂漿比例之概念示意圖

二、混凝土障壁層

混凝土障壁中的核種遷移，不論在未劣化區或劣化區都是藉由移流與擴散傳輸，而從廢棄物層到混凝土障壁層或是從混凝土障壁層到膨潤土障壁層，其核種遷移機制亦是移流與擴散。此外，混凝土障壁中未劣化的區域具有吸附作用，且未劣化區與劣化區兩者之間並沒有核種交換的行為發生。

混凝土障壁層劣化區之設定，主要是將混凝土障壁層中的所有貫穿裂縫都集中在一起，且劣化區所佔的面積比例將隨處置系統的狀態及時間改變。混凝土障壁層中的核種傳輸概念模型如圖 2.2.1-3 所示。

三、膨潤土障壁層

膨潤土材料層因其材料特性屬於天然材料，故先不考慮其劣化造成的影響。而在膨潤土障壁層中的核種，主要是藉由移流、擴散與吸附等作用傳輸。

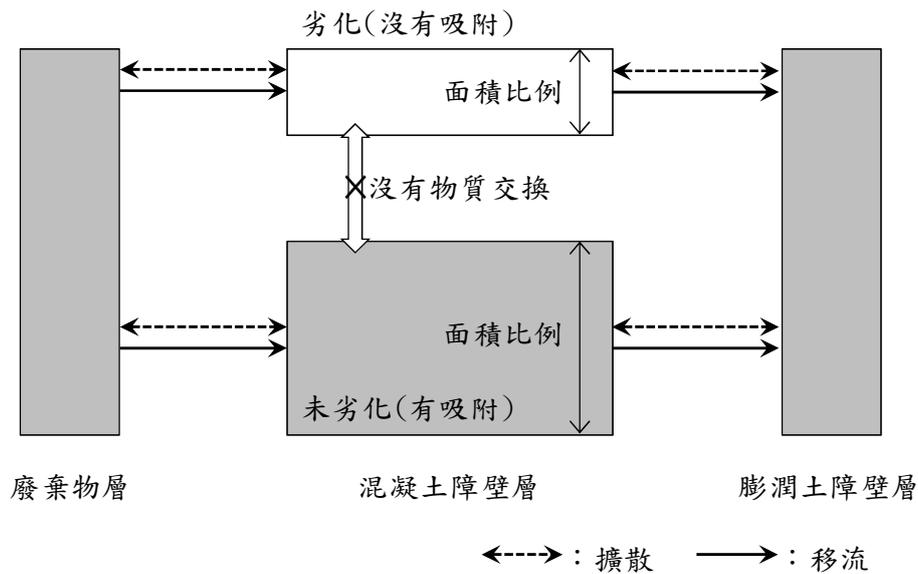


圖 2.2.1-3 混凝土障壁層的核種傳輸概念模型

2.2.2 數學模式

模擬工程障壁的核種傳輸時，地下水流的擴散作用、移流作用及材料對核種的吸附作用，是為相當重要的作用過程。採用的數學模式主要是以一維移流分散方程式為基礎，且假設各障壁皆可達到設計時所設定之功能。

一、廢棄物層內的核種濃度

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{WA} \cdot V_{WA} \cdot R_{fWA}(i) \cdot \frac{dC_{WA}(t, i)}{dt} \\ & = S_{MBu} \cdot De_{MBu} \cdot \left. \frac{\partial C_{MBu}(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=0} - Q_{EB} \cdot C_{WA}(t, i) \\ & \quad - \lambda(i) \cdot \varepsilon_{WA} \cdot R_{fWA}(i) \cdot V_{WA} \cdot C_{WA}(t, i) + \lambda(i-1) \cdot \varepsilon_{WA} \\ & \quad \cdot R_{fWA}(i-1) \cdot V_{WA} \cdot C_{WA}(t, i-1) + R(t, i) \\ R_{fWA}(i) & = 1 + \frac{1 - \varepsilon_{WA}}{\varepsilon_{WA}} \cdot \rho_{WA} \cdot Kd_{WA}(i) \end{aligned}$$

其中，

$C_{WA}(t,i)$ ：在時間 t 下，廢棄物層內孔隙水中之放射性核種 i 的濃度(Bq/m^3)

$C_{MBu}(x,t,i)$ ：在時間 t 下，未劣化混凝土障壁層 x 內孔隙水中之放射性核種 i 的濃度(Bq/m^3)

De_{MBu} ：未劣化混凝土障壁層中的有效擴散係數(m^2/y)

V_{WA} ：廢棄物層的體積(m^3)

ϵ_{WA} ：廢棄物層的孔隙率(-)

ρ_{WA} ：廢棄物層的真密度(real density)(kg/m^3)

$R_{fWA}(i)$ ：在時間 t 下，廢棄物層內放射性核種 i 的延遲係數(-)

$Kd_{WA}(i)$ ：在時間 t 下，廢棄物層內放射性核種 i 的分配係數(m^3/kg)

$\lambda(i)$ ：放射性核種 i 的衰變常數($1/y$)

Q_{EB} ：設施內地下水之通過流量(m^3/y)

$R(t,i)$ ：在時間 t 下，放射性核種 i 的溶出量(Bq/y)

S_{MBu} ：未劣化混凝土障壁層的斷面積(m^2)

二、混凝土障壁層內的核種濃度

(一)未劣化區

$$\begin{aligned} & \epsilon_{MBu} \cdot R_{fMBu}(i) \cdot \frac{\partial C_{MBu}(x, t, i)}{\partial t} \\ & = De_{MBu} \cdot \frac{\partial^2 C_{MBu}(x, t, i)}{\partial x^2} - \frac{Q_{MBu}}{S_{MBu}} \cdot \frac{\partial C_{MBu}(x, t, i)}{\partial x} - \lambda(i) \\ & \quad \cdot \epsilon_{MBu} \cdot R_{fMBu}(i) \cdot C_{MBu}(t, i) + \lambda(i-1) \cdot \epsilon_{MBu} \\ & \quad \cdot R_{fMBu}(i-1) \cdot C_{MBu}(t, i-1) \\ R_{fMBu}(i) & = 1 + \frac{1 - \epsilon_{MBu}}{\epsilon_{MBu}} \cdot \rho_{MBu} \cdot Kd_{MBu}(i) \end{aligned}$$

(二)劣化區

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{MBd} \cdot \frac{\partial C_{MBd}(x, t, i)}{\partial t} \\ &= De_{MBd} \cdot \frac{\partial^2 C_{MBd}(x, t, i)}{\partial x^2} - \frac{Q_{MBd}}{S_{MBd}} \cdot \frac{\partial C_{MBd}(x, t, i)}{\partial x} - \lambda(i) \\ & \cdot \varepsilon_{MBd} \cdot C_{MBd}(t, i) + \lambda(i-1) \cdot \varepsilon_{MBd} \cdot C_{MBd}(t, i-1) \end{aligned}$$

其中，

$C_{MBu}(x, t, i)$ ：在時間 t 下，未劣化之混凝土障壁層區域 x 內孔隙水中之放射性核種 i 的濃度(Bq/m^3)

$C_{MBd}(x, t, i)$ ：在時間 t 下，劣化之混凝土障壁層區域 x 內孔隙水中之放射性核種 i 的濃度(Bq/m^3)

De_{MBu} ：未劣化之混凝土障壁層的有效擴散係數(m^2/y)

De_{MBd} ：劣化之混凝土障壁層的有效擴散係數(m^2/y)

ε_{MBu} ：未劣化之混凝土障壁層的孔隙率(-)

ε_{MBd} ：劣化之混凝土障壁層的孔隙率(-)

ρ_{MBu} ：未劣化之混凝土障壁層的真密度(real density)(kg/m^3)

$R_{fMBu}(i)$ ：在時間 t 下，未劣化之混凝土障壁層的放射性核種 i 的延遲係數(-)

$Kd_{MBu}(i)$ ：在時間 t 下，未劣化之混凝土障壁層的放射性核種 i 的分配係數(m^3/kg)

$\lambda(i)$ ：放射性核種 i 的衰變常數($1/y$)

Q_{MBu} ：低擴散層的健全部分內的地下水通過流量(m^3/y)

Q_{MBd} ：低擴散層的劣化部分內的地下水通過流量(m^3/y)

S_{MBu} ：低擴散層(健全部分)的斷面積(m^2)

S_{MBd} ：低擴散層(劣化部分)的斷面積(m^2)

三、膨潤土障壁層內的核種濃度

$$\begin{aligned} & \varepsilon_{\text{BEu}} \cdot R_{\text{fBEu}}(i) \cdot \frac{\partial C_{\text{EBu}}(x, t, i)}{\partial t} \\ & = De_{\text{BEu}} \cdot \frac{\partial^2 C_{\text{BEu}}(x, t, i)}{\partial x^2} - \frac{Q_{\text{BEu}}}{S_{\text{EBu}}} \cdot \frac{\partial C_{\text{BEu}}(x, t, i)}{\partial x} - \lambda(i) \\ & \quad \cdot \varepsilon_{\text{BEu}} \cdot R_{\text{fBEu}}(i) \cdot C_{\text{BEu}}(t, i) + \lambda(i - 1) \cdot \varepsilon_{\text{BEu}} \\ & \quad \cdot R_{\text{fBEu}}(i - 1) \cdot C_{\text{EBu}}(t, i - 1) \\ R_{\text{fBEu}}(i) & = 1 + \frac{1 - \varepsilon_{\text{BEu}}}{\varepsilon_{\text{BEu}}} \cdot \rho_{\text{BEu}} \cdot Kd_{\text{BEu}}(i) \end{aligned}$$

其中，

$C_{\text{BEu}}(x, t, i)$ ：在時間 t 下，在膨潤土障壁層區域 x 內孔隙
水中之放射性核種 i 的濃度(Bq/m^3)

De_{BEu} ：膨潤土障壁層的有效擴散係數(m^2/y)

ε_{BEu} ：膨潤土障壁層的孔隙率(-)

ρ_{BEu} ：膨潤土障壁層的真密度(real density)(kg/m^3)

$R_{\text{fBEu}}(i)$ ：在時間 t 下，膨潤土障壁層的放射性核種 i 的延
遲係數(-)

$Kd_{\text{BEu}}(i)$ ：在時間 t 下，膨潤土障壁層的放射性核種 i 的
分配係數(m^3/kg)

$\lambda(i)$ ：放射性核種 i 的衰變常數($1/\text{y}$)

Q_{BEu} ：膨潤土障壁層內的地下水通過流量(m^3/y)

S_{BEu} ：膨潤土障壁層的斷面積(m^2)

四、飲用水造成的體內輻射曝露

$$D_{\text{SWing}}(t, i) = C_{\text{BE}}(t, i) \cdot M_{\text{SW}} \cdot DCF_{\text{ing}}(i)$$

其中，

$D_{\text{SWing}}(t, i)$ ：在時間 t 內，因飲用自膨潤土障壁層流出之
水而攝取放射性核種 i ，導致體內的輻射曝露
劑量(Sv/y)

$C_{BE}(t,i)$ ：在時間 t 內，放射性核種 i 在地表水中的濃度
(Bq/m^3)

M_{SW} ：年間飲用水攝取量(m^3/y)

$DCF_{ing}(i)$ ：放射性核種 i 經口攝取導致體內輻射曝露的轉
換因子(Sv/Bq)

2.3 工程障壁劣化分析

2.3.1 GoldSim 解析之案例設定

根據前述對工程障壁劣化的影響要因與狀態變化的評估，工程障壁劣化後，孔隙率增加、新裂縫產生等現象，都會導致工程障壁的透水性與擴散性改變。為評估此狀況，將利用不同的劣化比例，量化表示混凝土障壁層的劣化程度。

一、混凝土障壁劣化分析案例

此案例是考量在相同的材料特性與障壁尺寸下，混凝土障壁劣化的程度對核種遷移之影響。故先假設混凝土障壁與膨潤土障壁的厚度皆為 1m，且混凝土障壁自處置場封閉後 100 年開始劣化，劣化持續發生至 1000 年，並達到預定的劣化比例。因應場址環境與施工條件，將劣化比例設定在 0%~2%之間，並在此範圍內選出 16 組不同的劣化比例，以代表不同的劣化程度。

二、混凝土障壁厚度增加對劣化的敏感度分析案例

由於混凝土障壁由人工材料構成，材料受到環境影響會逐漸劣化，為能在工程障壁的設計階段將材料劣化納入考慮，並在設計階段就先利用合適的障壁尺寸，降低障壁劣化對核種傳輸之影響，故針對障壁劣化比例 0.5%、1%與 1.5%的混

凝土障壁，將混凝土障壁的厚度由 1m 增加到 2m，以評估不同尺寸的混凝土障壁，對遲滯核種遷移之效果。

三、採用的核種與活度

在源項的設定上，先參考「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」對廢棄物分類之規定，並考量到未來最終處置場可能對不同類的廢棄物採用分區處置的概念，故將源項廢棄物分為 A 類及 B 類/C 類兩種。假設每桶廢棄物內都具有法規用來判斷廢棄物分類之核種，包括 C-14、Ni-59、Nb-94、Tc-99、I-129、Pu-241、Cm-242、H-3、Co-60、Ni-63、Sr-90、Cs-137 等核種，各核種的濃度則以 A 類廢棄物與 C 類廢棄物的限值為代表，做為源項之輸入參數，如表 2.3.1-1 所示。其中 H-3 與 Co-60 並無 C 類之濃度限值，考量其半衰期較短，在後續模擬達百萬年尺度的分析案例下影響有限，採高於 A 類濃度限值一個級數作為初始條件設定。

表 2.3.1-1 每桶廢棄物所含核種之半衰期與初始濃度設定值

核種	半衰期(年)	初始濃度設定值	
		A 類	B 類/C 類
C-14	5.73×10^3	0.030 TBq/m ³	0.3 TBq/ m ³
Tc-99	2.11×10^5	0.011 TBq/ m ³	0.11 TBq/ m ³
I-129	1.57×10^7	0.00030 TBq/ m ³	0.0030 TBq/ m ³
TRU(半化期大於 5 年之超鈾阿伐放射核種，以 Pu-238 代表)	8.77×10^1	0.37 kBq/g	3.7 kBq/g
Pu-241	1.44×10^1	13 kBq/g	130 kBq/g
Cm-242	0.45×10^0	74 kBq/g	740 kBq/g
H-3	1.23×10^1	1.5 TBq/ m ³	15 TBq/ m ³
Co-60	5.27×10^0	26 TBq/ m ³	260 TBq/ m ³
Ni-63	1.00×10^2	0.13 TBq/ m ³	26 TBq/ m ³
Sr-90	2.88×10^1	0.0015 TBq/ m ³	260 TBq/ m ³
Cs-137	3.01×10^1	0.037 TBq/ m ³	170 TBq/ m ³

四、相關參數

設定材料的密度、孔隙率、擴散係數等參數時，以一般施工品質可達到的範圍，做為輸入參數，彙整如表 2.3.1-2 所示。另外，因考量了工程障壁對核種的吸附效果，參考日本於安全評估時採用的核種吸附分配係數，如表 2.3.1-3 所示。

表 2.3.1-2 工程障壁劣化模擬之參數設定

工程障壁 參數	廢棄物層	混凝土障壁層		膨潤土障壁層
		未劣化	劣化	
乾密度(g/ml)	2.5	2.6	2.6	2.7
孔隙率	0.35	0.2	0.2	0.4
擴散係數 (m ² /s)	7.0E-10	1.0E-12	2.0E-09	2.0E-10
屈曲率	1	2.5E-03	1	2.5E-01

表 2.3.1-3 核種在工程障壁中的吸附分配係數

核種	廢棄物層(ml/g)	混凝土障壁層(ml/g)	膨潤土障壁層(ml/g)
Ac	250	250	1000
Am	250	250	1000
At	0	0	0
Ba	1	1	1
Bi	0	0	0
C	1	1	1
Cm	250	250	1000
Co	12.5	12.5	50
Cs	2	2	50
Fr	0	0	0
H	0	0	0
Hg	0	0	0
I	1.25	1.25	0
Ni	12.5	12.5	50
Np	250	250	5
Pa	250	250	1000

核種	廢棄物層(ml/g)	混凝土障壁層(ml/g)	膨潤土障壁層(ml/g)
Pb	12.5	12.5	50
Po	0	0	0
Pu	250	250	5000
Ra	1.25	1.25	1
Rn	0	0	0
Sr	1	1	1
Tc	0.3	0.3	0
Th	250	250	1000
Tl	0	0	0
U	250	250	5
Y	0	0	0

2.3.2 GoldSim 解析方法

利用 GoldSim 進行工程障壁中的核種遷移傳輸分析時，為了解障壁劣化、障壁厚度與個人年有效等效劑量間的關係，假設核種自廢棄物包件釋出，並隨著孔隙水在混凝土障壁與膨潤土障壁中傳輸，當含有核種的孔隙水流出工程障壁後，隨即被人類飲用，並以此飲水情節計算個人年有效等效劑量。

廢棄物層由廢棄物與填充於廢棄物桶間的水泥填充材料組成，假設廢棄物層為 10m×10m×10m 的立方體，內含 1,960 桶的廢棄物，廢棄物處置 100 年後，核種瞬間釋出，並以移流、擴散等方式在障壁間傳輸，另還須考慮障壁材料對各核種的吸附作用以及核種自身衰變等影響。分析時分別將混凝土障壁與膨潤土障壁切割成數個單元(cell)，每個單元的厚度皆為 0.05m。最後在飲水情節的情況下，關鍵群體的飲水來源為廢棄物桶內之孔隙水，每人每年攝入 1,100 公升之水量，依此計算各核種對人體產生之有效劑量。

GoldSim 是一個高圖解之視窗化程式，可用於工程、科學與商業決策管理過程中，複雜系統的動態與機率模擬。本次分析是在 GoldSim 平台上，建立以一維移流擴散方程式為基礎的核種遷移解析評估模式，如圖 2.3.2-1 所示。GoldSim 平台可依不同參數種類、特性與傳輸途徑，利用「Container」、「Element」與「Pathway」等功能，以資料夾方式進行分類管理，相關功能之說明詳如表 2.3.2-1。

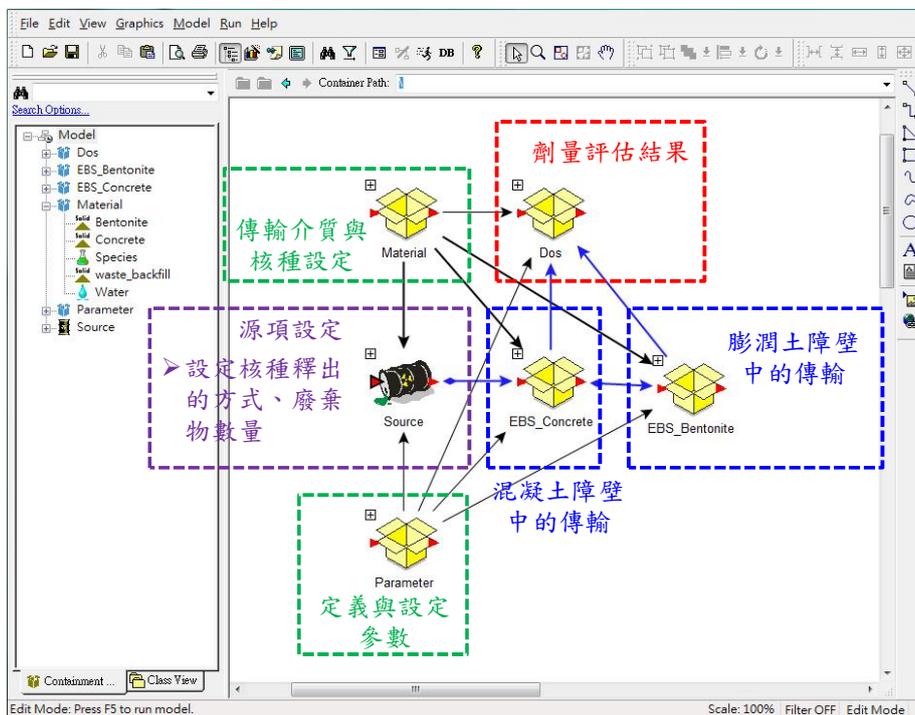


圖 2.3.2-1 在 GoldSim 平台上建立分析案例

表 2.3.2-1 分析時使用之「Container」、「Element」與「Pathway」

功能名稱		圖例	功能說明
Container			將 Element、Pathway 作階層的管理，相當於 Windows 的資料夾。
Element	Species		定義評估對象，包括核種名稱、原子量、半衰期(或衰變常數)、子核種及各子核種的分歧比等相關設定。
	Source		定義廢棄物包件特性，包括汙染物質的存量及釋出方式之設定。
	Fluid		定義液相介質及其擴散係數與溶解度。
	Solid		定義固相介質，並設定其乾密度、孔隙率、屈曲度(Tortuosity)與分配係數。
	Data		定義數據資料值，可以是純量、向量、矩陣等型式。
	Expression		使用數學式或理論式，編輯輸入的數據資料。
	Time History		將計算結果以時間序列(數據資料隨時間變化)表示。
Pathway	Cell Pathway		<p>主要用於計算擴散或移流所造成的物質遷移。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 可處理衰變/生成。 • 可定義多個液相與固相介質，以及各相介質的分配係數。 • 假設瞬間混合平衡。 • 可因應溶解度限制及同位素存在比例設定溶解度。 • 對於物質遷移過程，除擴散與移流外，也可定義遷移係數。 • 可處理參數隨時間的變化。

評估計算時的必要參數，皆在「Parameter」中定義與設定，包括核種特性、劑量轉換因子、地下水流量、填充材的材料參數、混凝土障壁的材料參數、膨潤土障壁的材料參數等，如圖 2.3.2-2 所示。與源項相關的核種釋出方式、廢棄物數量則在「Source」中設定。「Material」資料夾中用來設定傳輸介質與核種特性，主

要包含「Species」、「Fluid」、「Solid」等 3 個 element，如圖 2.3.2-3 所示，其中，液相介質主要是指地下水，設定的參數包括擴散係數與溶解度，固相介質則是指填充材、混凝土障壁與膨潤土障壁，設定的參數包括乾密度、孔隙率、屈曲度、分配係數等。根據前述假設的條件，建立核種在廢棄物層、混凝土障壁層和膨潤土障壁層之間的遷移路徑，如圖 2.3.2-4 所示。再依飲水情節，計算曝露劑量，如圖 2.3.2-5 所示。

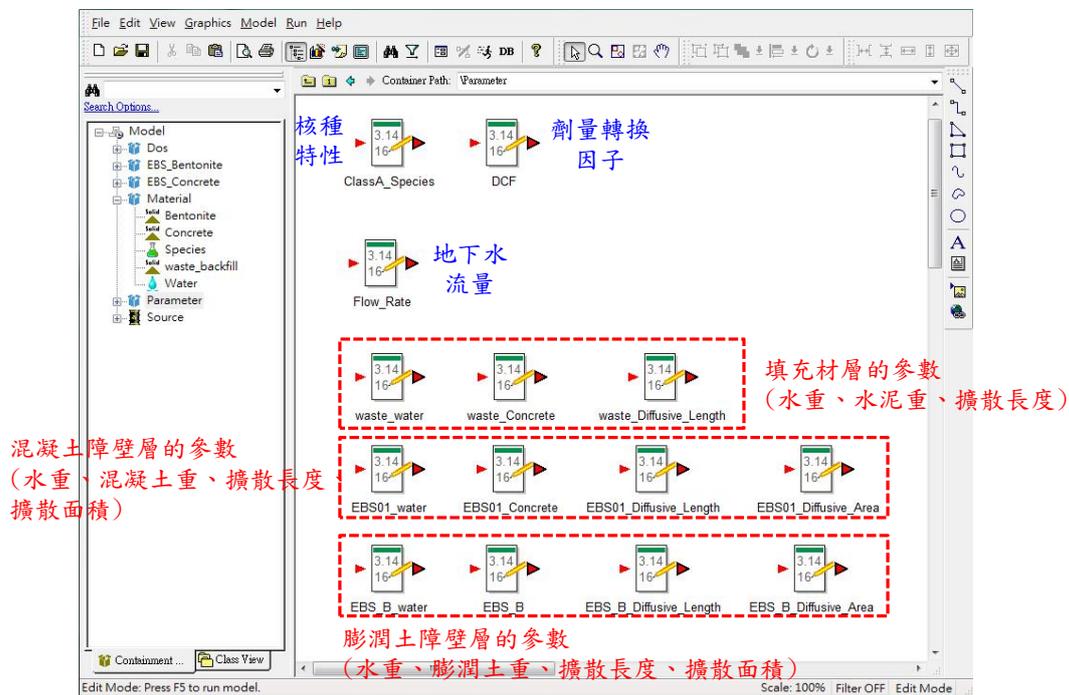


圖 2.3.2-2 「Parameter」資料夾中的參數設定

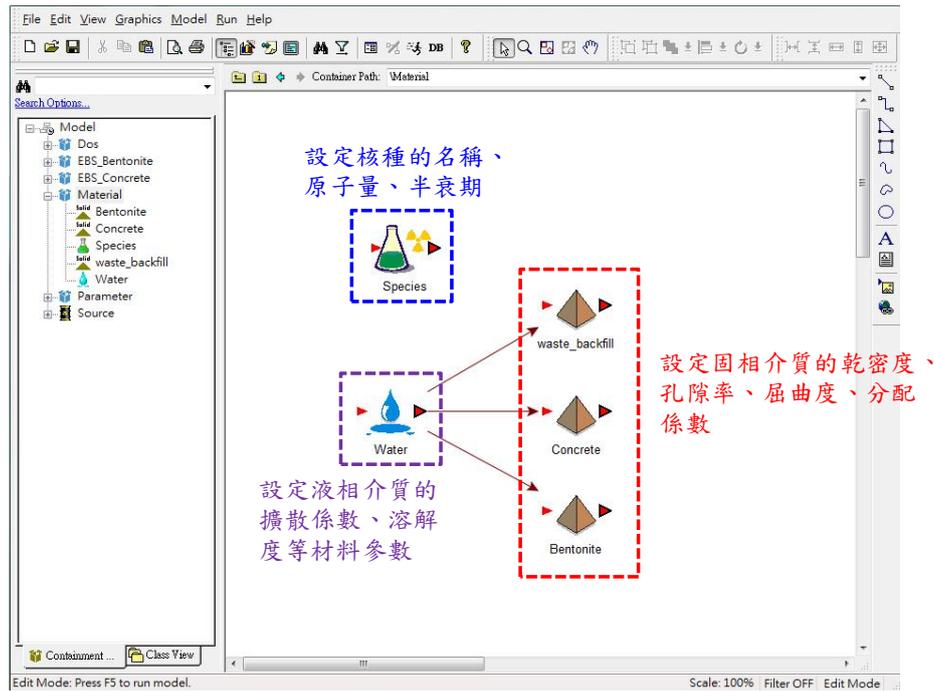


圖 2.3.2-3 「Material」資料夾中的參數設定

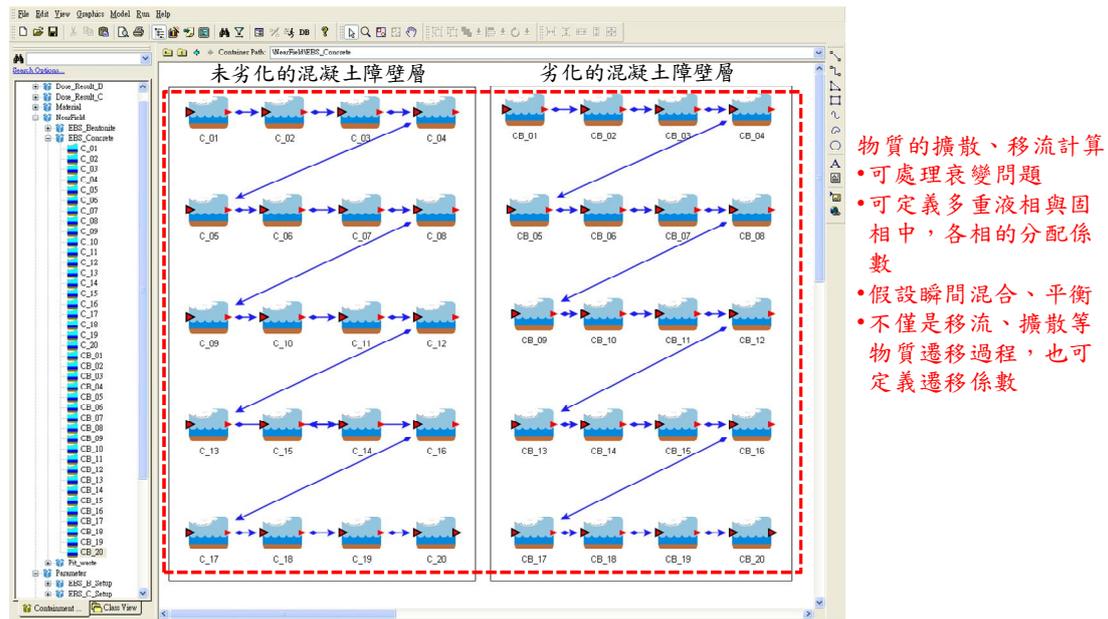


圖 2.3.2-4 「EBS_Concrete」資料夾中建立核種在混凝土障壁的遷移路徑

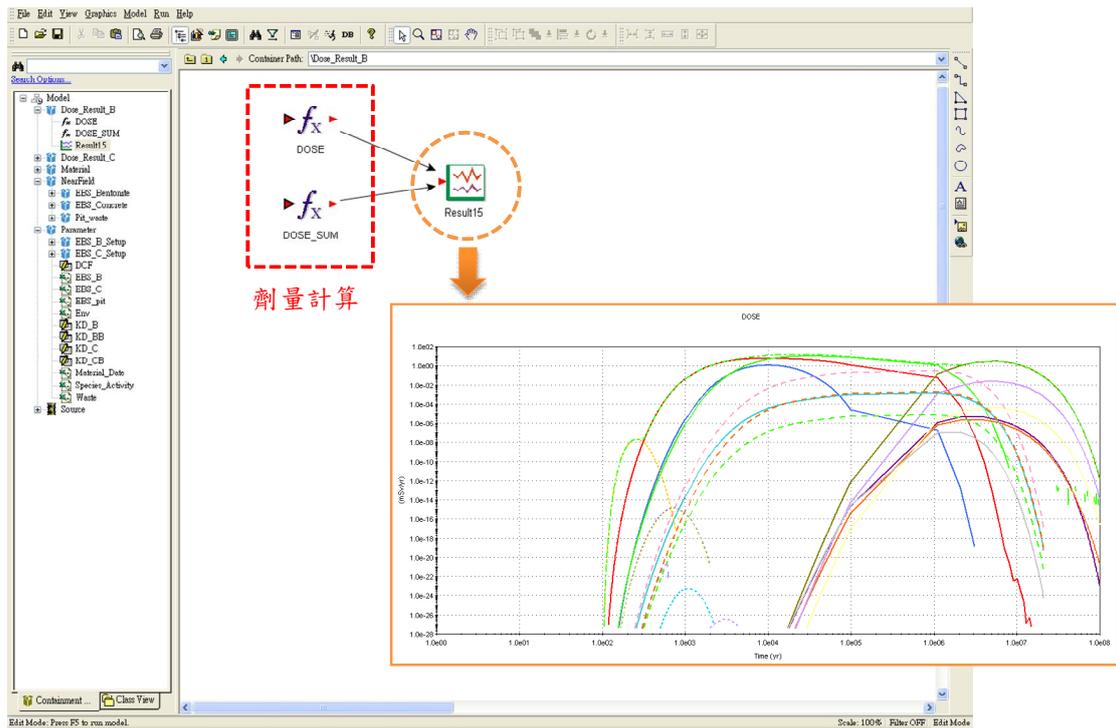


圖 2.3.2-5 「Dos」資料夾中關鍵群體的曝露計算

2.3.3 GoldSim 解析之分析結果

依據前述測試案例設定與分析方法，分別針對劣化比例不同與厚度不同的混凝土障壁，評估劣化對核種傳輸之影響，相關分析結果說明如后。

一、混凝土障壁劣化分析案例

假設工程障壁由混凝土障壁與膨潤土障壁組成，其厚度皆為 1m，利用混凝土障壁的劣化比例控制劣化的程度，而劣化後的混凝土障壁對核種已不具吸附性。相關分析結果彙整如表 2.3.3-1 與圖 2.3.3-1 所示，當混凝土障壁層劣化 1%時，總劑量約為未劣化混凝土障壁的 1.8 倍，當混凝土障壁層劣化比例大於 1.4%時，總劑量增加的幅度越快，其總劑量超過

未劣化混凝土障壁的 2.7 倍，且劑量峰值出現的時間約在處置場封閉後的 1000 年~1500 年之間。

表 2.3.3-1 不同劣化比例的混凝土障壁之評估結果

混凝土劣化比例	峰值出現時間(yr)	與未劣化混凝土障壁之劑量比
0%	22,240	1.000
0.10%	22,000	1.008
0.20%	21,840	1.032
0.30%	21,200	1.073
0.40%	20,480	1.130
0.50%	19,680	1.202
0.60%	18,720	1.289
0.70%	17,600	1.390
0.80%	16,480	1.506
0.90%	14,960	1.636
1.00%	13,520	1.782
1.10%	11,920	1.945
1.20%	10,160	2.128
1.30%	8,020	2.336
1.40%	1,360	2.691
1.50%	1,360	3.068
2%	1,270	5.273

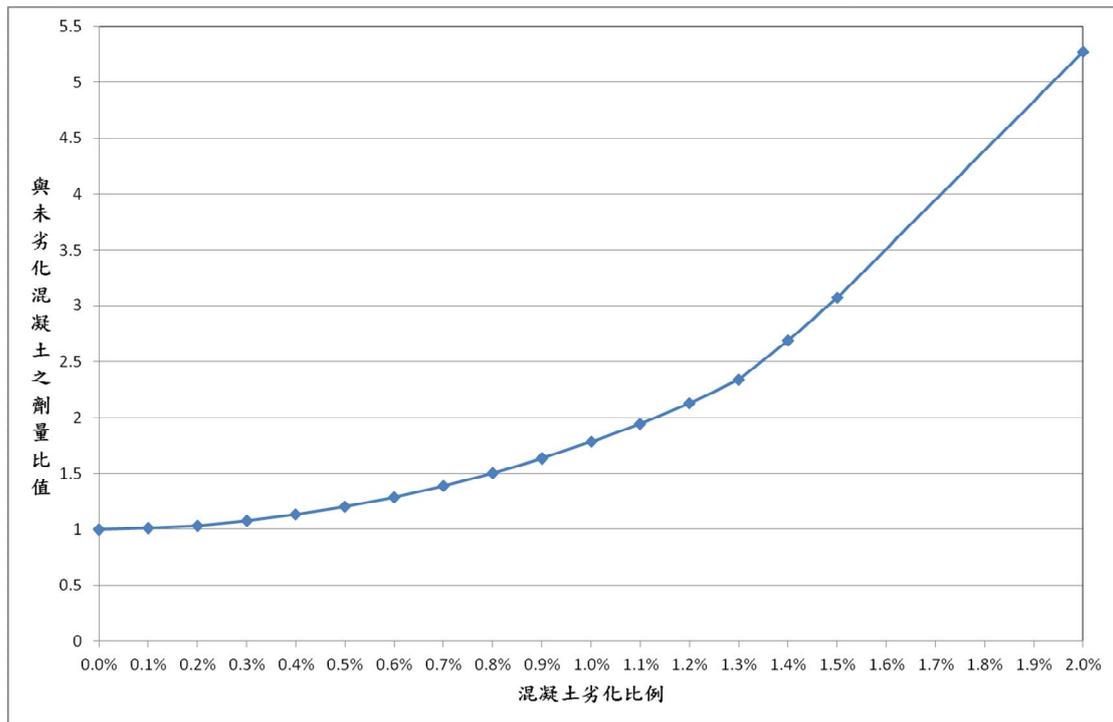


圖 2.3.3-1 混凝土障壁劣化比例與劑量之關係

二、混凝土障壁厚度增加對劣化的敏感度分析案例

為探討混凝土障壁的劣化是否可藉由增加厚度來提升遲滯核種遷移的效果，當混凝土障壁的劣化比例為 0.5%、1% 與 1.5% 時，評估在不同的混凝土障壁厚度下，總劑量的增加率與峰值出現時間，結果如表 2.3.3-2 與圖 2.3.3-2 所示。當劣化比例大於 1.5% 時，混凝土障壁的厚度增加已無法抑低總劑量，此可能為核種傳輸機制由原本的擴散主導轉變為移流主導所造成。當劣化比例小於 1% 時，厚度增加可有效降低總劑量，但劣化比例大於 1% 時，建議混凝土障壁厚度不要超過 1.3m，因厚度增加並無法遲滯核種傳輸。

表 2.3.3-2 混凝土障壁劣化與厚度增加之評估結果

混凝土劣化比例	0.5%		1%		1.5%	
	混凝土厚度(m)	與未劣化、厚度1m的混凝土障壁之劑量比	混凝土厚度(m)	與未劣化、厚度1m的混凝土障壁之劑量比	混凝土厚度(m)	與未劣化、厚度1m的混凝土障壁之劑量比
1.0	19,680	1.202	13,520	1.782	1,360	3.068
1.1	23,920	1.077	15,840	1.626	1,360	3.043
1.2	26,480	0.977	18,240	1.502	1,360	3.024
1.3	26,480	0.885	21,440	1.401	1,360	3.008
1.4	26,640	0.802	1,360	1.378	1,360	2.994
1.5	26,640	0.726	1,360	1.373	1,360	2.981
1.6	26,720	0.659	1,360	1.369	1,360	2.968
1.7	26,960	0.603	1,360	1.365	1,360	2.956
1.8	27,040	0.552	1,360	1.361	1,360	2.944
1.9	27,040	0.509	1,360	1.357	1,360	2.932
2.0	27,040	0.472	1,360	1.354	1,360	2.921

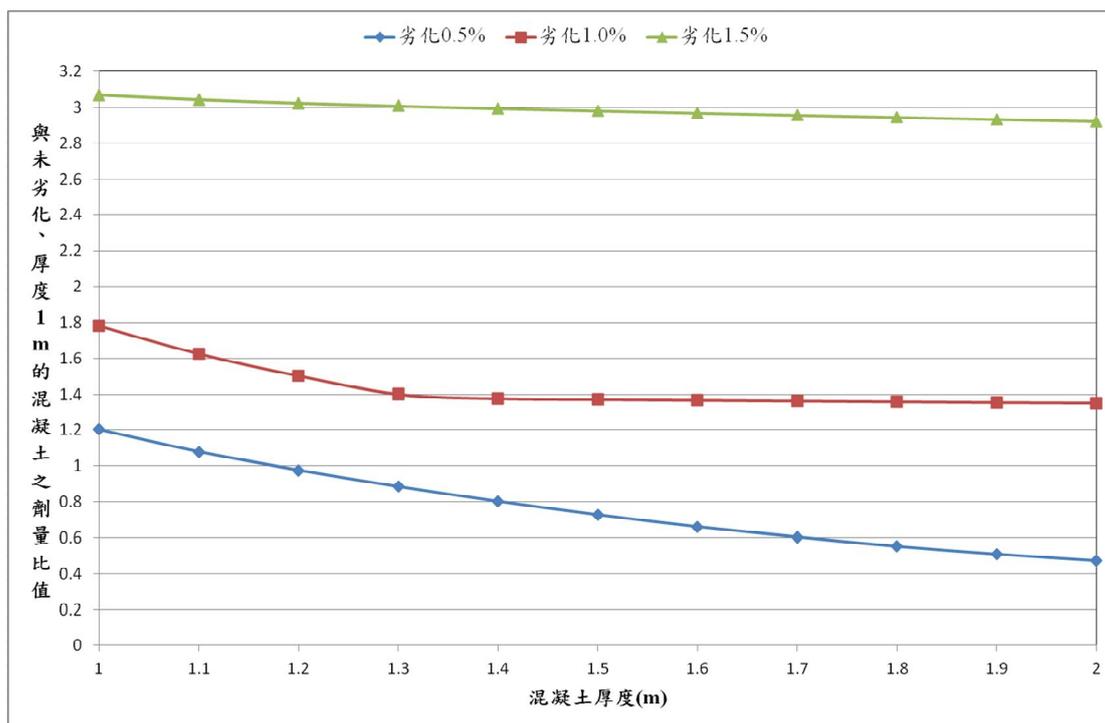


圖 2.3.3-1 混凝土障壁厚度增加對劣化之影響

第三章 整合建築設計、土木設計、輻射安全設計提升處置設施之安全功能

3.1 IAEA 對建築設計、土木設計、輻射安全設計之要求

3.1.1 IAEA-TECDOC-789

參考 IAEA 的「Preparation of safety analysis reports (SARs) for near surface radioactive waste disposal facilities」(IAEA-TECDOC-789)報告，彙整其對設施的設計與建造、職業輻射防護等項目，於安全評估時所需提及之內容與相關要求，說明如下：

一、設施的設計與建造

(一)主要設計特徵

申請者應該說明處置設施的設計能達到長期隔離廢棄物、減少處置場封閉後的主動維護以及改善場址的自然環境並保護公眾的健康與安全等目的，故主要設計特徵應定義和說明以下的功能要求：

1. 盡量減少進入處置單元中的水
2. 確保處置單元覆蓋層的完整性
3. 提供回填層、廢棄物與覆蓋層的結構穩定性
4. 盡量減少廢棄物與水接觸
5. 提供足夠的排水設施
6. 盡量減少長期維護
7. 提供可抵抗意外入侵的障壁
8. 合理抑低職業曝露，且社會與經濟因素亦須納入考慮
9. 提供充分的場址監測
10. 提供足夠的緩衝區做為監測與緩衝之用

(二)正常/異常條件下的設計考量

申請者應針對處置設施提出設計標準，這些設計標準須確保主要設計特徵在正常、異常與意外事故條件下，能滿足下列要求：

- 1.提供放射性廢棄物足夠的隔離
- 2.處置設施封閉後，須盡量減少主動持續維護的需求
- 3.改善場址的自然環境並保護公眾的健康與安全

申請者應列出自然現象和設計基本事故，以定義設施的主要設計規格。自然現象須說明回歸週期、強度、速度、加速度、壓力或載重等特性，設計基本事故則須說明強度、壓力或溫度等物理特性。

(三)建造考量

申請者應提供處置場址與設施的特徵、施工方法等資訊，詳列如下：

- 1.整地
- 2.控制和引水
- 3.處置設施和覆蓋層的建造
- 4.混凝土和鋼結構
- 5.回填
- 6.場址規劃、工程圖、施工規範
- 7.施工機具

二、職業輻射防護

在安全分析報告中提及職業輻射防護，其目的是將條件、限制、行政管制等文件化，以確保達到安全營運的需求。申請者應提供輻射防護方法的資訊，並估算施工人員與工作人員在正常運轉與預期運轉事件下的個人職業輻射曝露。

3.1.2 IAEA-TECDOC-1256

參考 IAEA 的「Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste」(IAEA-TECDOC-1256)報告，彙整其對設施的設計與建造之技術考量，說明如下：

一、工程障壁的設計要求

(一)工程障壁的定義

IAEA-TECDOC-1256 報告中所指工程障壁，包括以下內容：

- 1.廢棄物包件：包括廢棄物基質(水泥、瀝青、聚合物、玻璃、陶瓷)、包件、外包裝(overpackage)、塗料(薄壁碳鋼、混凝土、不鏽鋼)。
- 2.處置單元：工程結構/隔離層(混凝土、排水之多孔介質、瀝青、聚合物、黏土)、襯砌、回填材料(混凝土、飛灰、黏土混合物)。
- 3.人工覆蓋層(坑道處置設施則不需要此工程障壁)：由低滲透層和高滲透層交替組合而成。

(二)工程障壁的選擇

選擇障壁時須考量其長期耐久性、場址特性和相關材料或介質之間的相容性、可用性。所謂長期(300~500年)可解釋為法規關注的時間，在此時間內，障壁要能提升處置設施的安全功能。在障壁材料選擇和障壁設計階段，設計者應評估其長期完整性，且評估時可針對特殊場址環境可能造成的影響過程，特別是：

- 1.化學侵蝕：以混凝土為例，例如鋼筋被氯化物或碳酸鹽腐蝕、硫酸鹽使混凝土劣化、鹼骨材反應等)

(1)溶出作用

(2)微生物降解

(3)腐蝕和侵蝕

2.輻射和熱作用：若是中放射性與低放射性廢棄物，則不存在此問題或可忽略此問題

(1)力學應變

(2)凍融作用

(三)工程障壁的設計

設計工程障壁時，應考慮以下事項：

- 1.使核種從廢棄物包件或工程障壁的釋出最少化
- 2.限制雨水或地下水的滲入
- 3.控制地下水滲入，以提供有利的含水條件
- 4.盡量減少人類入侵的可能性
- 5.若處置設施內會有氣體產生，則須設計可限制和擴散氣體的機制
- 6.提供長期結構穩定性
- 7.保護廢棄物包件的完整性，使其不被侵入的材料破壞而劣化
- 8.藉由工程障壁設計，提供可以盡量降低核種釋出率的近場物理和化學條件。

二、建造階段的設計要求

在建造階段時，設計者應將以下資訊納入考量：

- 1.長期的建造完整性
- 2.施工過程(例如灌漿或其他回填材料的準備、混凝土澆灌、混凝土養護等)
- 3.從耐久性、施工介面和安全(屏蔽)等觀點，選擇施工材料(例如水泥類型、鋼筋材料、骨材)
- 4.材料的可用性
- 5.廢棄物的體積與特性

6. 施工期間的臨時需求(例如電力、通訊、交通路線等)

三、基本設計階段的內容

(一)目的

基本設計的成果要能證明處置系統符合所有的安全與設計準則，並可用於申照程序。基本設計的目的包括以下內容：

1. 確保設計與場址和環境特性、廢棄物之體積、數量和特性、廢棄物之型態和包件具有一致性。
2. 定義整個處置設施的最終設計。
3. 評估與比較計畫可行性、運轉和長期安全功能評估、處置設施可成功運轉和封閉之運轉的可行性和彈性。
4. 評估成本和時程。
5. 定義場址數據、廢棄物包件規格、障壁材料(包括規格、試驗等)等項目之進一步要求。
6. 定義場址區域內基礎設施需求(交通、通訊、電力等)
7. 提供功能評估和最終安全評估所需資訊。
8. 提供資訊予政府部門、民眾、企業和廢棄物產生者。
9. 定義廢棄物處理的要求和規範，以及調查設備的可用性。
10. 定義詳細設計的 QA 計畫、施工、試運轉、封閉。
11. 提供環境影響衝擊評估和社會經濟衝擊評估所需資訊。
12. 協助證明設計可符合法規要求以及規劃、施工、運轉和封閉的申照要求。

(二)內容

基本設計的內容都有報告、紀錄、計算表、圖說和流程圖等技術文件支援，且相關紀錄須妥善保存。有關基本設計之內容說明如下：

1. 說明整個處置系統和各個單元，輔助設施亦涵蓋在內。

- 2.說明處置結構內，從接收廢棄物包件到最後的放置之處置行動。
- 3.說明運轉和長期安全的要求，以確保工作人員以及周圍可能遭受曝露的民眾和環境之安全。
- 4.封閉後的設計要求。
- 5.提供安全評估所需的相關數據，以及提供管制機關相關文件。
- 6.若有需要，須在設計中說明主動和被動控制制度。

其中，整個處置系統的基本設計細節包括：

- 1.處置場位置
- 2.設施佈置
- 3.現地整備(開挖、排水、土方道路等)
- 4.聯絡道路、停車場、圍籬
- 5.逕流和處置系統排水、採集點設計和處理收集的水體(視需要而定)
- 6.處置系統(工程構造物、窖體等)
- 7.定義回填和覆蓋系統(材料和放置技術的說明)
- 8.輻射防護和監測系統
- 9.電力、加熱、通風、通訊和其他支援系統
- 10.消防和安全系統

除了處置系統外，接收廢棄物、臨時貯存、廢棄物的固化或重新封裝、施工材料的準備和存放等輔助設施；化學和輻射實驗室、控制室、廢液處理設施、除污設施等輻射限制區內的建物；休息室、行政大樓等不在輻射限制區內的建物，都需在設計中考慮。

另外，初步的運轉程序也須在細部設計階段完成，以協助評估處置設施是否能夠安全和有效運轉。運轉程序可用於確認運送至處置設施的廢棄物包件數量，可依據設計和安全準則進行相關處理。

3.2 美國 WIPP 的輻射防護

美國能源部為證明 Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)的安全接受度符合聯辦法規 10 CFR 830 之規定，提出「Waste Isolation Pilot Plant Documented Safety Analysis」報告，報告中的輻射防護相關章節，說明了輻射防護計畫和組織、合理抑低(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)的政策和計畫、接觸處理和遠端處理超鈾廢棄物與 WIPP 中處置設施的輻射曝露控制、輻射監測、輻射防護儀器、輻射防護紀錄等內容，摘錄相關內容如下：

一、輻射防護計畫和組織

輻射防護計畫寫在「WIPP 安全手冊(Waste Isolation Pilot Plant Radiation Safety Manual)」中，此手冊說明了輻射控制的組織與責任、紀錄輻射防護計畫的架構、定義輻射控制管理系統必須實施的計畫。

此外，手冊中亦說明了 WIPP 的輻射控制政策，包括以下內容：

- 1.合理抑低(ALARA)個人輻射曝露。
- 2.控制工作人員和公眾的輻射曝露，使其低於法規限值。
- 3.每個參與輻射工作的人員須以紀律和嚴謹的態度面對輻射並展現其責任。
- 4.當輻射曝露維持在低於法規限值、污染最小化、輻射獲得良好控制、輻射洩漏被抑制時，都可顯見功能的完善。
- 5.必須持續精進，使輻射控制更加良善。

二、合理抑低(ALARA)的政策和計畫

WIPP 的合理抑低(ALARA)計畫在「WIPP 的合理抑低(ALARA)計畫手冊(WIPP ALARA Program Manual)」中定義，並從合理抑低(ALARA)的理念中整合出以下內容：

- 1.管理承諾：Nuclear Waste Partnership LLC 和能源部承諾支持整個合理抑低(ALARA)計畫，為達成此承諾，Nuclear Waste Partnership LLC 須保持輻射曝露與合理抑低(ALARA)原則的一致性，以此做為營運管理的政策。
- 2.計畫任務：合理抑低(ALARA)計畫盡力減少輻射和放射性物質的曝露，並盡量降低 WIPP 在運轉過程中產生的廢棄物數量。

此外，WIPP 的合理抑低(ALARA)計畫之設計與實施，是為了盡量減少對工作人員、公眾與環境的輻射曝露。合理抑低(ALARA)並非指消除處理放射性物質時的輻射曝露，而是要降低工作場合的風險及其危險性。為達此目的，可藉由物理設計特徵 (physical design features) 和行政管制 (administrative control) 等措施，保持合理抑低(ALARA)輻射曝露。物理設計特徵是在設施設計和物理控制中使用優化方法，以確保職業曝露保持合理抑低(ALARA)，行政管制則為控制輻射曝露的輔助手段，包括使用輻射工作許可證、輻射貼紙、屏蔽和監測等。

三、輻射曝露控制

輻射曝露控制主要說明 WIPP 的職業劑量限值和行政管制等級，包括規劃中的特殊曝露、控制職業外部輻射曝露的作法、污染擴散、放射性物質的吸入或嚥入等。此外，因廢棄物容器不能在 WIPP 中打開，且要符合 10 CFR 835 對裝

運前的外部污染限值之要求，故 WIPP 預期不會發生顯著污染。假使發生的話，可採用合理抑低(ALARA)的作法(使用輻射工作許可證)和透過通風設計來控制污染。

在正常運轉狀況下，預期工作人員的劑量都是廢棄物容器直接輻射造成，而不會有空浮放射性物質造成的內部劑量(有效劑量)。另外，處理廢棄物對個人造成的劑量，則受到輸送的廢棄物數量和表面劑量率影響。

四、輻射監測

不論是在 WIPP 設施內或是設施外部都要進行輻射監測，利用取得的監測數據資料，確保 WIPP 的設施運轉不會對環境造成影響。WIPP 設施內的監測包括利用輻射調查監測輻射曝露和劑量率、使用 swipes 進行污染調查、使用連續空氣監測器進行空浮放射性監測。此外，設施內工作場所的監測亦提供基本的告示與標誌、實施合理抑低(ALARA)措施、發放個人監測設備、驗證措施規劃與工程控制的有效性。WIPP 設施外的輻射與非輻射之環境監測，依照「WIPP 環境監測計畫(Waste Isolation Pilot Plant Environmental Monitoring Plan)」進行，以符合能源部的環境保護要求。為了解 WIPP 設施周圍的環境特性，針對空氣、地下水、地表水、土壤、沉積物、生物群等項目進行環境監測，而輻射環境監測則是量測周圍環境介質中的核種。

五、輻射防護儀器

儀器的檢查、校準、性能測試、校準設備的選擇、品質保證等工作之執行，主要依據「輻射防護儀器的測試與校準-可攜式測量儀器(Radiation Protection Instrumentation Test and Calibrations – Portable Survey Instruments (ANSI

N323A-1997))」之規定。儀器的維修和校準可以在場內直接進行，或是在場外利用校準設施進行。在某些情況下，亦可送回給製造商維修和校準。每個儀器校準的頻率須根據儀器種類、製造商的建議或規格、固有的穩定性、要求的精度、使用目的(包括環境條件)、指定的誤差、校準歷史等項目訂定。

WIPP 的設施中使用之輻射防護儀器，包括輻射計數儀器、可攜式輻射測量儀器、個人監測儀器、空浮放射性監測儀器、空浮流出物監測系統、區域輻射監測儀器等。

六、輻射防護紀錄

輻射防護紀錄包括輻射政策說明、輻射控制程序、個人輻射劑量、內部和外部輻射劑量的政策和程序、人員培訓、合理抑低(ALARA)紀錄、輻射儀器之測試、維修和校準紀錄、輻射量測、空氣監測劑量結果、輻射工作許可、輻射性能指標和評估。

七、職業輻射曝露

WIPP 的職業輻射劑量非常低，且經常低於劑量量測系統的量測極限。每年年初都會根據過去幾年的運送廢棄物劑量率與運送率，並依今年的預估運送率提出所有人員今年的個人劑量預估值。據以訂定曝露於這些低輻射區域工作者的個人劑量值，使各季劑量可以低於劑量計的量測極限。由於這些曝露明顯低於職業輻射限值，因此不直接與各個職業劑量限值比較。總劑量不只會隨現有的廢棄物流變化，亦會因設備、運送率和廢棄物流的改變而不同。預估的個人劑量於每年都會由 WIPP 的 ALARA 委員會審查，並導入任何必要的措施以降低曝露。

3.3 印度對處置設施的設計與建造之要求

印度的原子能管理委員會 (ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, AERB) 針對放射性固體廢棄物的近地表處置，提出其安全導則。彙整與處置設施的設計與建造有關之內容，說明如下：

一、處置設施的設計

由於近地表處置設施須在預期條件下，將放射性固體廢棄物與生物圈隔離，為達此目的，利用工程之多重障壁系統處置低放射性與中放射性廢棄物。導則中針對工程障壁、生物屏蔽、回填材料、運轉期結束後的密封和防水等項目，說明其於設計時須考慮的內容。

(一) 工程障壁

工程障壁的設計應能使核種從處置系統釋出到生物圈最少化、限制水的進入、避免廢棄物包件劣化和變形、提供長期的結構穩定性、控制表面侵蝕、方便監測、降低人類入侵的風險等。工程障壁設計時應考慮：

1. 所有預期可能發生的破壞事件，例如地震、洪水、山崩，且承載的結構物須能負荷廢棄物、封蓋、防水之載重。
2. 設施位置應盡可能高於地下水位，但可接受因季節性氣候影響所產生之地下水位高於設施位置的狀況。
3. 提供集水和除水系統。
4. 廢棄物的輻射和化學特性。
5. 消除各構造物的缺陷，提升設施的完整性。
6. 適當的封蓋、密封和防水。
7. 廢棄物包件放置後，要能安全且方便的放置預鑄屏蔽板。
8. 對底層的擾動最低。
9. 經濟且有效的使用土地和資源。

(二)生物屏蔽

槽溝(trenches)、窖(vaults)或磁磚孔(tile holes)應有適當的土堤，以確保：

- 1.能有充分的屏蔽，使處置設施在運轉期間和封閉後，其輻射遠低於監管機構規定之可接受程度。
- 2.處置設施周圍要有足夠的工作空間。
- 3.土堤坡腳應具穩定斜率(小於安息角)，以將侵蝕降至最低。

(三)回填材料

回填材料放置在廢棄物和工程障壁/天然障壁之間，以防止或遲滯核種從處置系統遷移到生物圈。回填材料應具有滯留核種的離子交換能力、低滲透率、可接受的膨脹量等特性，選擇回填材料時應考慮廢棄物特性、核種組成、地球化學、回填材料對工程構造物之影響，以選出合適的回填材料。

(四)運轉期結束後的密封和防水

工程障壁的設計應能在處置設施放置廢棄物後，提供密封、封蓋、防水等功能，上蓋、覆蓋層和防水的設計應考慮進水量最小、可快速排除雨水的排水坡、可抵抗沉陷和廢棄物在處置設施中下陷之強度、進水的監測和排水系統、足夠的化學和力學穩定性、輻射標誌和警示板。

二、處置設施的建造

監管機構核准設計後，近地表處置設施才能開始建造。建造應按照核准的安全報告進行，以確保符合監管機構規定的所有條件。處置設施的建造包括整地、開挖、建築結構的施工、處置模組的建造、監測系統的安裝。工程混凝土結構物的施工應根據核准的設計以及國家或國際上的規範和標準，建造時應確保熱應力最小、無冷縫、按照品保計畫進行品管。

3.4 加拿大中低放射性廢棄物深地質處置場的設施設計要求

加拿大核能廢棄物管理組織(Nuclear Waste Management Organization, NWMO)為協助安大略電力公司(Ontario Power Generation, OPG)取得處置場設置執照，針對中低放射性廢棄物深地質處置場(Deep Geologic Repository, DGR)建立「OPG的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求(OPG's Deep Geologic Repository For L&ILW – Project Requirements)」，作為內部檢核 DGR 處置設施設計的參考。

3.4.1 DGR 處置場之功能與重要的設備和組件

「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求」文件中，列出了 DGR 處置場在營運期間和封閉期間須具備的功能，以及重要的設備和組件，彙整如下：

一、營運期間須具備的功能

- 廢棄物接收、傳送、處理
- 廢棄物包件追蹤
- 人員載運
- 加熱和通風
- 電力和照明
- 通訊、緊急通訊
- 空氣壓縮
- 飲用水和非飲用水
- 一般垃圾收集和處理
- 排水(地表和地下)、雨水管理
- 正常和緊急抽水處理
- 地下設施的支撐和襯砌(豎井、聯絡坑道、處置室)
- 職業、環境和輻射監測
- 岩體監測

- 保安
- 防火
- 緊急電力
- 設備的燃料或能源
- 緊急疏散和緊急應變

二、封閉期間須具備的功能

大致上與營運期間相同，但不包括與廢棄物處理直接相關的部分，另外還需具備密封材料的接收、準備、貯存、處理和放置等功能。

三、重要的設備和組件

- 豎井起重設備
- 地表的廢棄物包件和材料處理設備
- 地下的廢棄物包件和材料處理設備
- 加熱和通風設備、相關管道
- 電力和照明設備
- 緊急柴油動力發電機
- 空氣壓縮設備
- 地下燃料貯存和傳輸設備
- 通訊設備
- 飲用水和非飲用水供應設備
- 生活廢棄物處理設備
- 排水系統和抽水設備
- 監測設備(輻射監測設備亦包括在內)
- 火災探測和滅火設備
- 避難所
- 地下辦公室和相關便利設施
- 地表辦公室和相關便利設施

3.4.2 處置設施的建築設計、土木設計、輻射安全設計要求

「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求」文件中，列出 DGR 處置場的設計，須能滿足以下要求：

一、機能要求(functional requirement)

- 1.DGR 處置場必須能接收、檢查、追蹤、處理、放置中低放射設性廢棄物。
- 2.在 DGR 處置場封閉前，DGR 處置場的設施要能支援地下的所有地質驗證和監測計畫。
- 3.在 DGR 處置場封閉前和廢棄物完成放置後，DGR 處置設施要能支援擴充的監測計畫。並可以讓人員進出主要地下工作區，開放聯絡坑道進行監測活動和維護監測裝置。
- 4.封閉後的處置場(包括豎井)和周圍的地質圈，應能被動的抑制和隔離放射性廢棄物，以保護環境和人類的健康。

二、功能要求(performance requirement)

- 1.處置區的設計容量要能容納 200,000m³ 的廢棄物。
- 2.接收和處理低放射性廢棄物包件的效率，要達到每 8 小時可處理 24 個包件。
- 3.DGR 處置場的設計和營運期間，排放的空氣、水、固體、土壤等物質，若含有放射性或化學污染物，其濃度應低於法規限值。
- 4.DGR 處置場的設計、營運、除役和封閉，須確保不會發生上覆岩層沉陷的狀況。

三、設計極限(design limit)

- 1.DGR 處置場至少要能運作 100 年，此時間包括廢棄物處置結束後的封閉作業。

2. 考量到未來廢棄物數量的不確定性，處置區必須能夠擴充至容納 400,000m³ 的廢棄物。

四、地震和人為震動要求

處置場營運期間，地震發生時不可導致地表設施的結構失效。

五、設計限制(design constraints)

1. 地下處置區的配置應在處置場劃定的投影範圍內。
2. 處置場的地質應為泥質石灰岩，處置深度為地表下 680m。
3. 處置場的設計不會對天然障壁的長期完整性有不利影響。
4. 處置場的設計和配置要有調整的彈性，以防處置場施工時發現岩石條件不佳或其他必須改變處置場設計和配置的狀況發生。
5. 處置坑道和聯絡坑道的大小與開口方向，需考量現地應力場，使開口周圍的過度應力最小化，提升長期穩定性，並使岩石支撐系統的維護需求最小化。
6. 地下坑道開口的岩石支撐應考量豎井軸向的岩石條件。
7. 處置場與休倫湖岸的距離不得小於 750m。
8. 處置區的規劃原則為低放射性廢棄物與中放射性廢棄物須放置在不同的處置室，但放置不同廢棄物的處置室可以相鄰。此外，若要低放射性廢棄物與中放射性廢棄物混合處置，則須確保不會影響營運和封閉後的安全。
9. 處置坑道與既有深地層鑽孔的間距，應至少達 100m。

六、封閉牆、處置室隔離牆、包件取出

1. 當一條處置坑道裝滿廢棄物包件時，即施作封閉牆將處置坑道與相鄰的聯絡坑道隔開。

- 2.封閉牆的功能是將流進與流出的氣流最小化、將可能受污染氣體的釋出最小化、限制進入被隔離的區域。
- 3.雖然廢棄物包件放置後，並不打算取出，但處置區的設計仍須讓廢棄物包件在封閉牆設置前仍可容易取出。且不會對處置場的營運或封閉後的安全造成不利影響。
- 4.處置室放滿廢棄物包件後，需在處置室的入口設置一道牆，此牆的功用為：(1)控制通風系統的氣流進入處置室，(2)發生火災時可防止火勢擴散，(3)防止受污染的空气釋出，(4)控制工人進入處置室。

七、豎井密封系統

- 1.豎井的密封系統與豎井周圍的環狀可能破壞區，其有效體積水力傳導係數應等於或小於 10^{-10} m/s。
- 2.密封系統的材料和設計，應考慮周圍岩體的化學條件、力學條件以及孔隙流體。
- 3.密封系統的設計應能避免密封材料沉陷。
- 4.密封系統的設計，須能應用現有的技術與材料施工。
- 5.密封系統的設計應避免地下水流交叉流過並在豎井混合。
- 6.豎井密封系統應能承受 14MPa 的內部氣體壓力，且不會造成密封系統失效。這些氣體來自於處置場封閉後的金屬腐蝕和有機物降解，以及滲入至地下的天然氣體。
- 7.密封系統的設計應能使其在不需維護或更換零件的被動維護下，仍具有長期功能。

八、環境要求

- 1.DGR 處置場的設計、施工、營運須能達到以下環境要求：
 - (1)對進入處置設施的工作人員和其他人員是安全的。
 - (2)有助於確保處置場中的結構、系統、設備和部件，依照功能要求，保持其完整性。

(3)有助於確保廢棄物包件保持其完整性。

(4)將釋出到地下或地表的輻射和化學污染物(空氣、水或土壤)最小化。

2.DGR 處置場的設計、施工和營運應盡可能降低廢棄物包件與水的接觸。

3.處置場的工程設計應考慮岩體的物理條件(例如岩石性質、現地應力、地下水壓、溫度和濕度等)、化學條件(例如 100~300g/L 的孔隙水鹽度)。

九、營運要求

1.處置設施預計一年運轉 200 天，每天一個班次。

2.處置設施的設計應符合合理抑低原則，特別是廢棄物處理和處置室等設施，以盡量降低工作人員的劑量。

3.營運階段仍可能進行地下施工，但是廢棄物的放置作業和地下開挖不得同時進行。

4.DGR 處置場營運時，應持續蒐集與處置場功能相關的各項數據，包括開挖反應、地下水流、地下水的化學特性、氣體產生、地震、地表生物圈等。

5.廢棄物包件的處理應盡量減少意外落下的可能性，以及盡量降低落下高度，以保持包件完整性。

6.為避免污染擴散，空氣流動的規劃應從污染低的地方流向污染高的地方。

十、維護性要求

1.處置場營運期間，所有的結構、系統、設備和部件應能維護和整修，以確保其功能符合設計規格。

2.處置場營運期間，地下坑道只需一般維護(例如更換或維修岩石支撐、噴凝土、混凝土襯砌等)。

3.處置室內安裝的設備的數量和相關維護要求應盡量減少，以避免工作人員的輻射曝露。

- 4.一旦處置坑道放滿廢棄物包件並被封閉牆隔離後，封閉牆內的結構、系統、設備和部件即不須再維護。

十一、定期檢查和監測要求

- 1.在 DGR 場址特性計畫初期即開始進行監測，並持續到處置場除役。其目的為：

- (1)建立 DGR 處置設施和環境的基準條件(營運開始前)。
- (2)評估各個結構、系統、設備和部件的功能，並與設計規格和基準條件比較。
- (3)監測地下岩石或開挖條件(例如岩石的移動或應力)隨時間的改變。
- (4)評估封閉前的安全和環境之功能，並與預先定義的標準或限制以及基準條件相互比較。
- (5)提供封閉後的功能和安全評估數據資料。
- (6)監測營運期間地下水品質的改變。

- 2.地下空氣品質的監測，應符合安大略省健康與安全法及其相關條例，以及 OPG 的輻射防護要求。監測的目的是要確保工作人員經常使用的區域內，沒有毒性、窒息性、放射性、易燃或易爆之氣體累積。

- 3.若處置場封閉後仍有監測需求，監測系統的設計需不會影響到處置場封閉後的被動安全性。

- 4.廢棄物包件一旦放入處置室中，將不再對包件進行例行檢查。

- 5.在處置坑道的封閉牆設置前，應監測處置室內的空氣品質，且此監測系統須能測量具有爆炸可能之氣體濃度(例如氫氣、甲烷)。

- 6.DGR 處置場除役和封閉後，受到加拿大核能安全委員會之要求，仍須持續進行環境監測。

十二、安全要求

1. 公眾安全要求

- (1) DGR 處置設施的是設計、施工、營運、除役和封閉須符合加拿大核能安全委員會列出的所有聯邦和省級法規，以及 OPG 和 NWMO 的管理文件。
- (2) 在正常營運、異常事件和意外事故，以及封閉後的期間，一般民眾不應遭受到釋出濃度超過法規限度之輻射和非輻射污染物的曝露。
- (3) DGR 處置場運轉期間，在正常運作的情況下，民眾曝露劑量限值為每年 1mSv。但應盡量優化已達到劑量限值的 1% 之目標，例如場址邊界的民眾曝露劑量為每年 0.01mSv。
- (4) DGR 處置場封閉後，基本情節的民眾劑量限值為每年 0.3mSv，以允許未來可能有多種曝露來源。封閉後主要是利用擴散主導的環境，抑制污染物從處置場釋出後的遷移。
- (5) 為了不造成後代的負擔，處置場的設計不應仰賴主動的管控制度，作為達到處置場封閉後劑量限制的手段。

2. 職業安全要求

- (1) DGR 處置場的場址準備、施工、營運、除役和封閉等工作，須符合加拿大核能安全委員會列出的所有聯邦和省級法規，以及 OPG 和 NWMO 的管理文件。
- (2) 職業劑量限值為每年 20mSv，但設施設計時根據每年 10mSv 的職業劑量限值進行。
- (3) DGR 設施的設計、施工、營運、除役和封閉，其對工作人員的輻射風險應符合合理抑低原則。

(5)為避免意外進入沒有主動通風之空的處置室，其入口處將設置障壁。進入沒有通風的處置室之前，會有預設的安全程序。

(6)處置場的營運和除役期間，岩石支撐系統的設計要能確保所有可通行區域的工作安全。

3.5 小結

一、輻射防護須遵循法規規定與合理抑低原則，在設施中進行輻射曝露控制、輻射監測、設置輻射防護儀器與做好輻射防護紀錄，藉以控制職業輻射曝露與確保設施外民眾與環境安全。

二、處置設施設計就其功能需求區分，包含確保工程障壁系統功能需求、設施長期安全功能穩定需求、輻射監測需求、確保人員工作安全需求。而處置設施設計與建造之安全考量，在設計階段將先針對可能發生的破壞事件對於工程障壁設施之影響納入設計，以確保設施具備抵抗破壞威脅的能力，同時須滿足封閉後的多重障壁功能需求。在作業空間設計除考量作業需求外，亦須考量輻射屏蔽設計。建造階段則是須確實遵循國家或國際上的規範和標準，并按設計成果進行施工，確保工程品質合乎要求。

第四章 運轉階段輔助設施與公用設施之安全功能需求

4.1 IAEA 對運轉階段輔助設施與公用設施之要求

參考 IAEA 的「Preparation of safety analysis reports (SARs) for near surface radioactive waste disposal facilities」報告，彙整其對輔助系統和設施、設施運轉等項目，於安全評估時所需提及之內容與相關要求，說明如下：

一、輔助系統和設施

申請者應描述處置設施所需的電力、供水等公用系統，以及這些系統如何支援處置設施的運轉。並且說明公用系統的設計或故障，是否會對處置設施的功能造成不利影響。

二、設施運轉

在安全分析報告中提及設施運轉，其目的是要完整說明處置設施中的運轉操作。說明的內容必須足夠詳細，以使專業技術審查者能夠了解運轉時的危險性，評估危險辨識與事故分析是否足夠，以及控制與減緩措施的適宜性。

(一)廢棄物的接收和檢查

申請者應說明程序或合約，以確保送達的貨物符合適用的法規和廢棄物接收標準，此可能做為處置設施執照申請許可的條件。此外，法規和廢棄物接收標準應控管廢棄物包件的可接收性，判斷其屬於日常處理或長期處置。

(二)廢棄物的處理和臨時貯存

如果廢棄物的處理和臨時貯存在場內執行，申請者應提供詳細的運轉相關資訊，以確保可以安全的處理與貯存廢棄物，並避免貯存的廢棄物與水接觸。此外，亦應說明處理廢棄物的流程，以保護工作人員的安全。

(三)廢棄物處置的運轉

申請者應提出從廢棄物放置到處置單元封閉等過程之運轉流程，其須描述的內容如下：

- 1.廢棄物放置到處置單元
- 2.空隙填充
- 3.廢棄物的覆蓋
- 4.定位處置單元和界標
- 5.封閉和穩定性
- 6.處置設施周圍和下方的緩衝區

(四)運轉期間的監測

申請者應說明處置設施運轉可能造成的影響，以及運轉期間所採用的監測和調查，以證明處置設施不會對人員、公眾或環境造成不可控制的威脅。

4.2 美國 WIPP 的公用設施

美國能源部為證明 WIPP 的安全接受度符合聯辦法規 10 CFR 830 之規定，提出「Waste Isolation Pilot Plant Documented Safety Analysis」報告，彙整報告中與公用設施相關的說明如下：

一、消防系統

WIPP 的消防系統主要包括消防用水的供應與分配系統、火災探測警報系統、制火系統、無線電火警報告系統。WIPP 的消防系統是以確保個人安全、任務連續及財產保護為設計目的，WIPP 的消防系統設計具有以下特性：

- 1.大部分的建築物與支援構造物都裝有固定自動滅火系統，廢棄物處理建築物、支援建築物、超鈾包件運輸模組的維護設施則裝有自動灑水系統。

2. 建築物和構造物中盡可能使用不易燃材料、防火磚石、耐火材料。
3. 在多層樓的建築物中，樓梯、電梯、管線通道等垂直向的開口，須有保護措施可避免火勢蔓延到其他樓層。
4. 可燃物燃燒負荷控制計畫(combustible loading control program)須盡量減少可燃物堆積在廢棄物處理建築物中、支援建築物與廢棄物處理建築物間的區域、地下的廢棄物運輸路徑、廢棄物處置室(waste disposal room)等地方。
5. 財產保護區(Property Protection Area)的安全圍籬內之區域，若要鋪設礫石道路，須平行設置在財產保護區安全圍籬周圍，以做為野火事件的防火帶。

此外，報告中亦特別針對廢棄物處理建築物的制火系統，說明其安全功能與要求。廢棄物處理建築物的制火系統之安全功能，是當廢棄物處理建築物發生火災時，能抑制大火，使火災不會對廢棄物造成影響，或是對放置拿出運輸容器外的廢棄物之區域造成影響。而廢棄物處理建築物的制火系統之功能要求，是要有容量至少 10,500 加侖的消防供水箱、泵送能力至少 1,500 gpm 的消防泵、升流管中的消防水壓至少須達 105 psig。制火系統必須能自動啟動，且其滅火功能必須足以防止火舌蔓延，避免火勢影響到已經從運輸容器中拿出來的廢棄物。此制火系統不是設計來抵抗設計基準地震和設計基準龍捲風而引發火災的影響。

二、電力系統

WIPP 的電力系統可提供一般電源和備用電源、通電設備和構造物的接地、避雷以及地表和地下的照明。WIPP 具有標準的工業配電設備，包括中壓開關和套管、中壓到低壓

的降壓變電站、電機控制中心、小型配電變壓器和配電板、廠用電池和同步反流器、柴油發電機等。

三、壓縮空氣系統

壓縮空氣系統包含了不同尺寸和型式的壓縮機，主要用於主場區、鹽處理豎井房以及地下設施的空氣壓縮。除了位於地下的柴油動力備用壓縮機，其他壓縮機皆是電力驅動。

四、場區監控和通訊系統

場區監控和通訊系統的範圍涵蓋場址內外，用以提供即時的指示，確保在正常和緊急狀況下的個人安全、設施安全以及營運效能。場區監控和通訊系統包括中央監控系統、場區通訊、按鍵式電話或手機、採礦用呼叫器、場區廣播系統、地下疏散信號系統、無線電。

4.3 印度對運轉階段輔助設施和公用設施之要求

印度的原子能管理委員會 (ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, AERB) 針對放射性固體廢棄物的近地表處置，提出其安全導則。對於運轉階段的輔助設施和公用設施，彙整相關之說明如下：

一、輔助設施

近地表處置設施的運轉在規劃和執行時須符合法規要求，故在設施例行運轉前，為使設施安全運轉，廢棄物處置機構須先建立運轉步驟和程序。近地表處置設施的運轉手冊含括了一般及預期運轉事件下，廢棄物處置的程序。

(一) 運轉要求

近地表處置設施的運轉要求包括核准的運轉和維護手冊、運轉的執照和許可、合格的工作人員、核准的品保計畫、

實體防護(physical protection)和安全安排(security arrangements)。此外，廢棄物產生者或管理者應建立廢棄物接收標準和限制條件，以確保處置設施能安全的運轉並符合法規要求。核准的運轉程序或手冊應包括：

- 1.職業工作人員和民眾的輻射防護程序。
- 2.固體廢棄物的接收和處置程序。
- 3.不合格廢棄物的接收和處置之標準與程序。
- 4.安全評估中的假設和限制。
- 5.不同類型的近地表處置之廢棄物接收標準和限制。
- 6.核准的廢棄物處置體積和活度。

(二)廢棄物接收

固體廢棄物接收時，廢棄物產生者應提供廢棄物的體積、輻射劑量率、核種濃度、 α 核種和長半衰期的 β 核種、總活度、廢棄物型式的描述、廢棄物包件或容器的描述。此外，應監測廢棄物包件或容器的污染轉移，以避免交叉污染和非預期的個人曝露。假如檢測到污染，則應在廢棄物進行下一個處理步驟前，先進行除污或提供其他適當的外包件。廢棄物運輸車輛也應於離開場址前檢查污染，若發現污染應予除污。

(三)廢棄物處理和貯存

廢棄物處理設備包括堆高機(forklift)、吊車(hoist)、移動式起重機(travelling crane)和遠端操控裝置，並依據廢棄物包件的表面劑量率、重量和尺寸，選擇廢棄物處理設備。

處置設施的廢棄物處理與貯存區，應與非活性材料貯存與工作區保持足夠距離，且不會受到污染，並能夠除污、重新封裝和重新定位廢棄物。

此外，存放在臨時貯存區的廢棄物，應有適當的標籤、沒有任何自燃或易燃材料、不受鬆散污染(loose

contamination)、對高劑量率的廢棄物包件有適當的隔離和足夠的屏蔽。

二、公用設施

要求要有足夠的空間以容納輔助設施，包括管理、安全、廢棄物接收、裝載和卸載、廢棄物固化、處理、臨時貯存、品管和環境監測實驗室、除污、保健物理、廢棄物運輸車輛和處理設備的停車空間、供水系統、供電系統、緊急照明、通風系統、消防系統、熱室(hot cells)和泵。

4.4 加拿大 DGR 處置場的輔助設施與公用設施之設計

安大略電力公司為了申請中低放射性廢棄物深地質處置場(Deep Geologic Repository, DGR)執照，於 2011 年完成「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置場：初步安全報告(OPG's Deep Geologic Repository For Low And Intermediate Level Waste : Preliminary Safety Report)」。而加拿大核能廢棄物管理組織(Nuclear Waste Management Organization, NWMO)為協助安大略電力公司取得執照，亦針對處置場建立「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求(OPG's DEEP GEOLOGIC REPOSITORY FOR L&ILW – PROJECT REQUIREMENTS)」，作為內部檢核 DGR 處置設施設計的參考。以下彙整與輔助設施與公用設施之設計之內容，做為審查國內低放處置安全分析報告之參考。

4.4.1 OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求

「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求」文件中，與輔助設施和公用設施相關的設計要求，說明如下：

一、設計限制(design constraints)

- 1.從處置場的出風口或水的排放設施，應與進風口或一般居住區保持足夠距離，避免排出的空氣或水回流至處置場，或是落塵集中在地表而對人類或環境有害。
- 2.DGR 處置場的地表設施與高壓輸電線或輸電塔的基座至少距離 100m。

二、環境要求

地表的加熱、通風和空調系統以及地下的通風系統，應根據當地的氣候條件和加拿大環境部的資料庫數據，進行設計。通風系統提供在地下設施工作的工作人員之空氣，其溫度、濕度和品質應能符合美國暖房冷凍空調技術協會(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)和美國政府工業衛生師協會(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)的規定。

三、安全要求

1.職業安全要求

處置場的通風系統應能防止毒性、窒息性、輻射性、易燃或易爆氣體的累積。

2.消防安全

- (1)DGR 設施的設計、施工和營運，應能盡量減少火災發生的可能性(包括盡量減少可能的點火源)。
- (2)DGR 設施應依據相關法規和條例安裝消防系統，並確保消防系統不會對處置設施的安全造成不利影響。

(3) 易燃材料(例如柴油、潤滑油)的存放應遠離中低放射性廢棄物，且存放的易燃材料或使用的可燃材料之數量應盡量減少。

四、保全要求

1. DGR 場址應設置保全圍欄，以防止擅自闖入。
2. 僅有取得進入資格或授權進入的人，可進入 DGR 設施。

4.4.2 OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置場：初步安全報告

「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置場：初步安全報告」中的第 6 章，說明了 DGR 處置場的設施，彙整其中與輔助設施或公用設施相關的部分，說明如下。

一、電力供應與緊急電源

利用 13.8kV 的高壓輸電線，將電力傳送至處置場的豎井起重機和大型變電站。變電站將電壓轉為 600V 後，再由主要控制中心將電力分給進氣風扇、排氣風扇、空氣壓縮機、高架電力起重機、維護和貯存區、辦公大樓、綜合大樓、小型變電站等設施，各設施之電力負載如表 4.4.2-1 所列，整個處置場的電力需求為 16,360kVA。

緊急電源為柴油發電機。為確保斷電時處置場的安全，緊急電源的電力容量需求為 1,750kW。緊急電源主要供應主豎井的 Koepe 起重機、排水泵、一台空氣壓縮機、緊急照明和通訊之電力。且在斷電後 30 秒內，緊急電源會自動啟動。

表 4.4.2-1 DGR 處置場之電力負載

Surface		Underground	
Main shaft hoist	3,300 kVA	Shaft sump pumps ^a	80 kVA
Ventilation shaft hoist ^a	1,700 kVA	Dewatering pumps ^a	250 kVA
Main shaft auxiliary hoist ^a	160 kVA	Underground ventilation fans	540 kVA
Intake fans and heaters	6,500 kVA	Jumbo drilling machines	450 kVA
Exhaust fans	240 kVA	Rock bolting machines	220 kVA
Air compressors ^a	430 kVA	Shotcrete machine	100 kVA
Lighting and misc low power equipment (50% emergency ^a)	100 kVA	Lighting and misc low power equipment (50% emergency ^a)	60 kVA
Misc. 600V loads	350 kVA	Misc. 600V loads	200 kVA
10% growth factor	1,300 kVA	20% growth factor	380 kVA
Total Surface Connected	14,080 kVA	Total Underground Connected	2,280 kVA
Total (Surface & Underground): 16,360 kVA			
Notes:			
a. Indicates loads that are connected to the emergency power system. Not all of the connected loads are expected to be live concurrently.			

二、通訊系統

DGR 處置場通訊系統所需的地表和地下基礎設施，包括電話、無線電、商用網路、程序控制網路。

三、控制與監控系統

DGR 處置場內設有主控室，操作員可以查看設備和系統的狀態，亦可透過監視器螢幕監控重點區域。主控室監看和控制的地下設備，包括排水泵、配電設施、通風扇、空氣加熱器，主控室僅監看但不控制的設備，包括火災探測和滅火系統、不斷電系統、水質監測系統、空氣品質監測系統、起重監測系統。

四、柴油燃料儲存

處置場內僅存放供緊急柴油發電機使用之柴油，柴油儲存罐的容量可供柴油發電機在 35% 的負載下運轉 48 小時。燃料儲存區亦設有足夠容積的油槽，以收集意外滲漏之燃料。

五、飲用水和生活用水

飲用水和生活用水與 Bruce 電廠現有之基礎設施共用。

六、污水系統

地表設施的生活廢水收集後，排入 Bruce 電廠的現有污水處理系統。

七、雨水管理系統

DGR 處置場的地表雨水逕流，以及從地下集水槽抽出至地表之地下水，經由排水溝流到雨水排水池，去除懸浮物後，再排入休倫湖。雨水管理系統包括周邊排水溝、2 個油水分離器、1 座沉澱池、1 座雨水管理池。豎井抽出的地下水先經過 1 號油水分離器後，再排入周圍的排水溝，地表雨水亦彙集至排水溝，再經過沉澱池、2 號油水分離器的處理後，排入雨水管理池。雨水管理池的功能是控制排放前總懸浮固體和濁度，雨水管理池包括沉澱顆粒(約到顆粒尺寸 0.02mm)的保留區和針對大暴雨事件的擴充儲存區。雨水管理系統處理能力之設計，可將 24 小時內之 25mm 雨量保留 6 小時，亦可安全通過 100 年暴雨事件而不溢堤以及不侵蝕出口系統。

八、地下通風

穩定的傳送新鮮空氣到地下工作空間，對維持工作環境的安全和工作人員的健康極為重要。通風系統的功能包括提供所有在地下設工作的人員可呼吸之空氣、污染物稀釋和清除、使人員不會曝露在超過法規限之有毒氣體中、使爆炸性氣體的含量低於爆炸臨界值、維持 DGR 處置場內的溫度在安全的程度。

通風系統的容量規劃，需考量地下設施中的柴油設備數量，以及需要空氣的房間和設施，以確保安全的工作條件。為保守估計最大氣流量需求，假設在處置場營運期快結束時，為了擴充處置場，需再進行新的施工作業，在此情況下，有 5 間處置室尚未被封閉牆隔離，則預期最大氣流需求包括：(1)

建造柴油設備：102 m³/s、(2)維修站：12 m³/s、(3)地下柴油燃料儲存區：11 m³/s、(4)放滿廢棄物包件但未設置封閉牆的處置室：5 m³/s，加總後可得通風系統需提供的最大氣流量為 130 m³/s。

九、消防安全

火災偵測和滅火系統的設計須符合加拿大國家建築法 (National Building Code of Canada) 和加拿大消防法 (National Fire Code of Canada) 的要求。DGR 處置場的設計和營運需盡量降低火災發生的風險，為達此目的，DGR 處置場具有以下特性：

1. 針對消防設計進行獨立的第三方審查
2. 執行核能廢棄物管理組 (Nuclear Waste Management Division, NWMD) 的防火計畫與火災危害度分析。
3. 盡量避免使用易燃材料。
4. 使用耐火電纜。
5. 營運期間，沒有柴油燃料儲存在地表設施。
6. 地下儲存柴油燃料的數量應最小化，且柴油燃料儲存區位於具有適當隔離和消防系統的房間內。
7. 柴油燃料運到地下時，需裝在核准的容器中，並規劃適當的運送程序。
8. DGR 處置場營運期間，炸藥不能存放在地下。

4.5 小結

設施運轉對於廢棄物的接收、檢查、臨時貯存、處置運轉與監測等工作，除正常功能外，需進行危險辨識與事故分析，以進行控制與減緩措施。而輔助設施與公用設施除營運需求所需的電力、供水與通風，並須考量消防、監控與通訊等應變所需功能。

第五章 低放射性廢棄物坑道處置之施工特性與施工計畫之審查要項研析

5.1 加拿大中低放射性廢棄物深地質處置

加拿大中低放射設性廢棄物地質處置設施(Deep Geologic Repository, DGR)位於安大略省 Kinkardine 市的 Bruce 電廠區內，該區域位於五大湖之一的休倫(Huron)湖畔。處置是採用深地層處置的方式，處置設施位於地下 680m，並以 2 座豎井與地表連接，其中一座是主要豎井，作為人員及設備物料輸送用，另一座則是設施通風及廢氣排放用途；廢棄物由豎井送至地下設施後，由兩道運送隧道送至兩個不同處置區，如圖 5.1-1 所示。

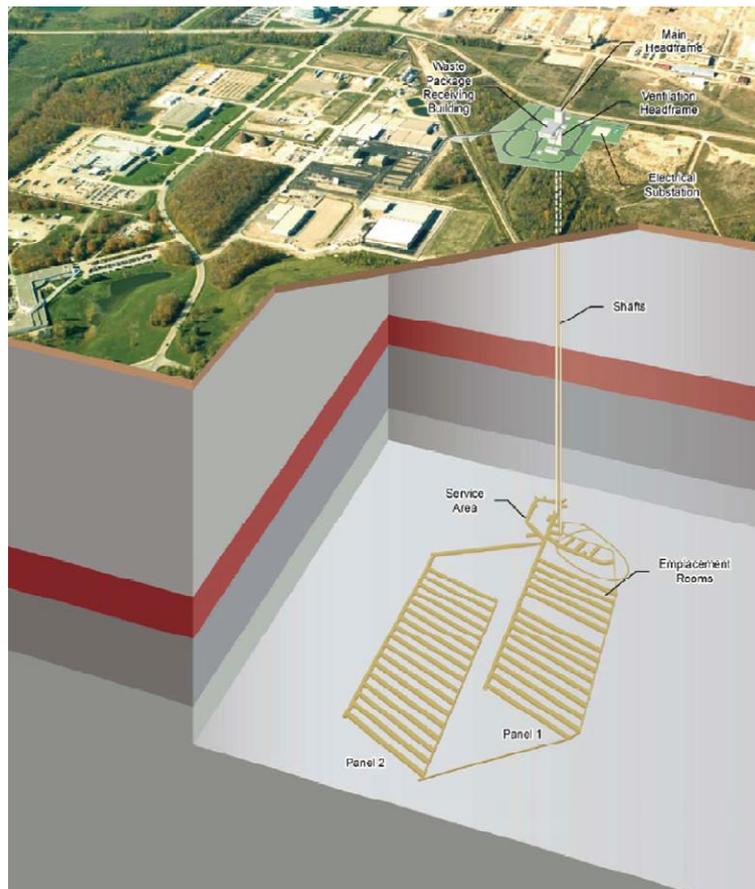


圖 5.1-1 加拿大 DGR 處置場之概念配置圖

安大略電力公司為了申請執照，於 2011 年完成「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置場：初步安全報告(OPG's Deep Geologic Repository For Low And Intermediate Level Waste : Preliminary Safety Report)」，並提送審查。報告中的第 9 章主要說明建造與施工的相關規劃，包括場址準備、施工時的其他需求、建造、潛在環境影響與監測計畫。此外，加拿大核能廢棄物管理組織亦針對處置場建立「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求」文件，作為內部檢核 DGR 處置設施設計的參考。

5.1.1 OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求

彙整「OPG 的中低放射性廢棄物深地質處置計畫要求」文件中，與施工相關的要求，說明如下：

一、功能要求(performance requirement)

1.DGR 處置場的施工期間，排放的空氣、水、固體、土壤等物質，若含有放射性或化學污染物，其濃度應低於法規限值。

2.DGR 處置場的施工須確保不會發生上覆岩層沉陷的狀況。

二、地震和人為震動要求

1.使用炸藥時不可對環境造成顯著衝擊。

2.需評估岩爆的影響，並在處置場的設計中說明補救措施。

三、安全要求

處置場的施工期間，岩石支撐系統的設計要能確保所有可通行區域的工作安全。

四、保全要求

施工時使用的炸藥，應依規定安全存放。

五、施工性的要求

1.處置場的施工應採用一般施工技術。

2. 施工期間，所有的豎井、坑道和房室，需有可以讓人通行的空間，以定期檢查岩石、進行試驗、收集地球科學數據。
3. 廢棄物開始進行放置後，地下施工作業不可對廢棄物放置操作造成負面影響。
4. 應使用可使開挖影響區最小化之岩石開挖技術。

5.1.2 初步安全報告之場址準備

DGR 計畫的場址面積共約 31 公頃，劃定的場址範圍由 22 公頃的工業區用地和 9 公頃的森林組成，工業區原本用於支援 Bruce 電廠的施工，現將規劃為處置場開挖土方的堆置區和施工作業區。另外場址南邊有一條 44kV 的電纜線通過，因此電纜線的遷移也為場址準備工作之一。場址準備工作主要包括圍籬和安全、清除以及整地，說明如下。

一、圍籬和安全

DGR 處置場位於 Bruce 電廠內，故安全系統將與電廠共用。Bruce 電廠周圍設有圍欄，連接廠區的道路都受到管制，只有取得許可的人員和車輛可進入。DGR 處置場施工期間，所有施工人員皆須通過 Bruce 電廠的安全檢查要求，施工車輛都由 Bruce 電廠的主要入口進入，並僅有單一通道可到達處置場，通道上亦設有檢查點。此外，DGR 處置場周圍亦設有圍欄，以將處置場與 OPG 和 Bruce 電廠的設施隔開。

二、清除

整地時將移除現有植被，且須避免選擇在環境敏感期間(例如五月中旬~七月中旬的鳥類繁殖期)進行。場址內約有 9 公頃的森林會被移除，樹木運到切割區直接堆疊放置或是切片後放置。可切片的木質材料將被用來美化 DGR 處置場和

Bruce 電廠的環境，不可切片的木質材料則依照現有的管理方法，堆置在 DGR 處置場或 Bruce 電廠內的適宜區域。

三、整地

場址清除後，將依據不同的地表高程進行整地，以確保場址可正常排水。在整地工作開始之前，需進行全面性的調查，確定 DGR 場址內沒有埋設任何設施，場址亦沒有受到污染。場址整地所需用到的土壤規劃將從現場取得，避免從外部輸入。整地所需的設備以傳統土方機具為主，包括堆高機、傾卸車、刀片式刮土機、灑水車等。

5.1.3 初步安全報告之施工時的其他需求

施工時的其他需求包括臨時設施、雨水管理、廢棄物碎石處理、一般物質和有害物質的管理，分別說明如下：

一、臨時設施

承包商於地表和地下施工時，所需的臨時設施為共同使用，施工時的臨時設施包括：

1. 施工便道、聯絡道路
2. 由 13.8kV 電壓輸電線供電的變電站
3. 位於 DGR 場址內的混凝土拌合設備和材料貯存區
4. 消防用水取自 Bruce 電廠
5. 臨時的柴油和無鉛汽油加油站
6. 通訊系統取自現有的光纖網路
7. 安全管制站位於 DGR 場址內的主要通道上
8. 緊急應變和井下救護(井下救護由承包商負責)

其他施工所需的臨時設施(例如空氣壓縮機、臨時或備用柴油發電機等)，皆由承包商視需求自行設置。施工前，承包

商將建置臨時工務所，內有辦公室、更衣室、餐廳、衛浴等設施。

二、雨水管理

雨水管理系統包括排水溝和雨水管理池，雨水管理系統可收集和處理流至 DGR 處置場內的雨水，以及地下開挖時抽出的地下水。地下開挖抽出的地下水需先送到豎井附近的臨時廢水處理廠，除去砂礫、油污後，才可排入排水溝中。

排水溝在整地階段即一起開挖，溝渠的側邊和底部可覆蓋植被，避免土壤沖刷。雨水管理池用低滲透材料做襯底，池子的底部和側邊以顆粒材料作為保護層，排水處設有流量控制系統和水質取樣站，可監測雨水管理系統的排放水，確保符合相關放流水規定。

三、廢棄物碎石處理

豎井開挖與地下處置場開挖時產生的廢棄碎石，將送到廢棄物碎石管理區暫存，廢棄碎石堆旁需有推土機，以維持碎石堆的堆疊高度和穩定性，並適時灑水避免揚塵。此外，並在周圍植樹降低視覺衝擊。

四、一般物質和有害物質的管理

整地和施工期間產生的一般物質，包括土壤、樹木、生活廢棄物等，土壤和樹木可在場內再利用，生活廢棄物則需運送到場外的廢棄物處理設施。有害物質包括機具設備於操作和維護時使用的油和潤滑劑，這些廢油、潤滑劑和溶劑等有害物質，將統一暫存在箱子中，再運到場外的處理廠。

5.1.4 初步安全報告之施工

當場址整地完成、承包商的臨時設施都到位後，地下處置設施即可開始動工，從豎井開鑿前置作業、豎井開鑿、最終開發，到最後的試營運和移交，共約需 5 年。豎井預開鑿的主要工作包括豎井周圍的地盤改良、準備豎井套環和井架基礎、豎井井架施工、安裝鑿井起重設備。豎井開鑿的主要工作包括豎井開挖和混凝土襯砌施工、安裝豎井的相關設備。最終開發的主要工作則包括建設處置區之地下設施、完成地表設施的建造。各施工要項說明如下：

一、地盤改良

地盤改良是在豎井周圍設立相對不透水的環狀構造，限制地下水流入開挖區，使開挖可在較為乾燥的條件下進行，可採用灌漿或凍結的方式達到此目的。

二、準備豎井套環

首先須開挖到岩盤及建立工程護坡，接著設置套環。豎井套環的施工包括準備井架基礎和設置套環，在井架和起重機房蓋好前，套環設置可先利用臨時的鑽孔、出渣和吊裝設備。岩盤以上的套環為混凝土材質，施作的同時也安裝壓力通方系統。相關工作完成後，再回填至地面高程。

三、安裝豎井架

豎井架為鋼筋混凝土構造，並以滑升模板方式施工。

四、安裝臨時起重設備

豎井的起重機房為寬 13m、長 24m、高 12m 的鋼構建築，此建物僅在鑿井階段使用，可吊卸開挖的廢棄物碎石以及運送人員和物資。當鑿井工程結束，起重機房將一併拆除。

五、豎井開鑿、安裝豎井設備和永久起重設備

當鑿井所需設備安置好後，開始以鑽井和爆破技術開鑿豎井。由於鑿井設備多為使用電力、液壓或柴油動力，因此需要通風設備，通風設備的要求包括提供工作人員新鮮空氣、清除粉塵、清除爆破後的有害氣體、移除柴油發電機產生的熱、稀釋並排除柴油引擎產生的氣體。豎井開挖與襯砌施作完成後，安裝後續營運所需的設備與機具。

六、建造地下設施

地下設施包括處置坑道、聯絡坑道、工作區、空氣回流坑道等。施工時主要利用已開鑿完成的豎井，運送廢棄碎石、人員、物料與機具。有關建造地下設施的相關說明如下：

1. 地下處置坑道的開挖方法與岩石支撐的設置

地下坑道的開挖採用鑽井和爆破的方式，如圖 5.1.3-1 所示，先依據坑道配置鑽孔至適當的位置與長度，在每個鑽孔填裝炸藥和時間延遲引爆器。利用延遲引爆控制爆破產生的碎石與震動，並避免側壁損傷與超挖。大部分地下坑道都為全斷面開挖，少部分坑道為減少落石造成的危險，採用局部斷面開挖的方式進行。

岩石支撐的規劃視現場應力、相對於開口斷面的方向、岩石的強度特性、開挖尺寸和可安裝時間而定，此外，為了施工人員的安全，必須及時安裝頭頂的岩石支撐。

2. 施工順序

地下設施的施工先從連接豎井的站體，以及電信設備、通訊設備、避難所、抽水設施等工作區開始，工作區完成後，處置坑道的開挖則可以多個坑道同時進行，以縮短工期，提升施工效率。

3. 地下設施施工時的通風

地下設施施工時的通風系統，隨施工進度採分階段配置，各階段都需藉由正式的檢查、維護計畫和監測，確保其功能。首先新鮮空氣從豎井流入，並流通至聯絡坑道，利用風扇和臨時管道將新鮮空氣送到工作區，廢氣則從另一個豎井排出，如圖 5.1.3-2 所示。通風系統的設計，須控制氣流的大小，使其可以傳送新鮮空氣，又不致於揚起粉塵，一般限制為 6m/s。當通風隧道和處置坑道建置完成後，原先搭建的風扇和臨時管道將予以拆除。

4. 地下施工時的臨時設施

地下施工時的臨時設施包括電力、通訊、水管理和空氣壓縮等設備，可與地表共用或者視施工需求在地表下設置臨時設施。

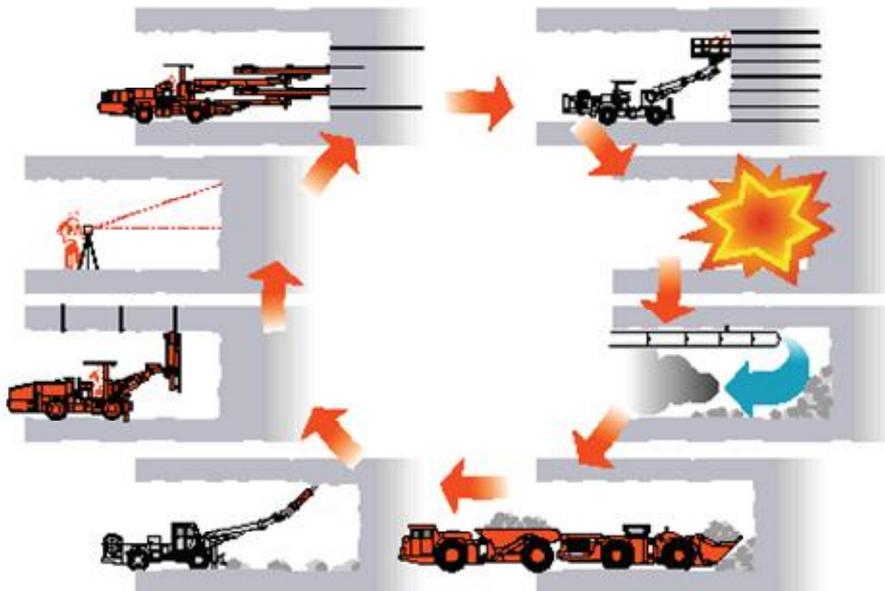


圖 5.1.3-1 鑽井和爆破循環施工

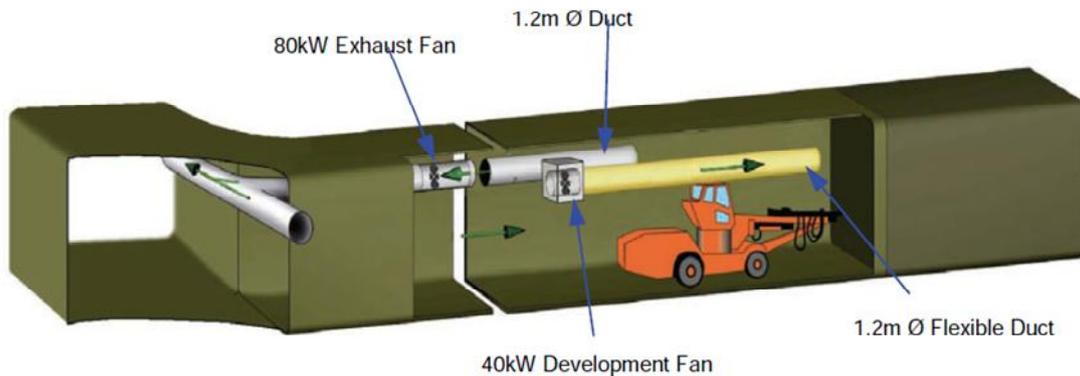


圖 5.1.3-2 地下設施施工時的通風

七、建造地表設施

當豎井開鑿完成後，大部分的地表設施即可開始施工，但廢棄物包件接收大樓、辦公室、主控制室、綜合大樓和永久道路等設施的施工，則須在整個處置場建造計畫的最後階段才開始進行。

1. 廢棄物包件接收大樓

廢棄物包件接收大樓與豎井開口相連，以利將接收的廢棄物利用豎井運送到地下處置區。但在施工期間，豎井需作為地下設施施工時的搬運與通風通道，因此需待地下處置設施完工後，才可進行廢棄物包件接收大樓的相關工程。

2. 辦公室、主控制室和綜合大樓

辦公室、主控制室和綜合大樓的位置，在豎井施工期間先規劃為廢棄碎石堆置區，因此需待豎井完工後，才可進行辦公室、主控制室和綜合大樓的相關工程。

3. 永久道路

為避免施工時的大型機具壓壞道路，營運所需的道路將於建造計畫的最後階段才開始進行相關工程。

八、職業安全

職業安全可分為一般安全和輻射安全。DGR 處置場施工人員的一般安全，適用安大略省的職業健康與安全法。場址準備和施工期間可能造成的安全危害，其評估結果已在健康和安全管理計畫報告中說明。DGR 處置場的場址準備和地表上的施工活動，並不會有輻射危害產生，但在豎井開鑿和地下設施施工時，可能會有氦氣造成的輻射危害，故根據 DGR 場址的岩石特性，進行地下環境的氦氣評估。評估結果顯示氦氣的濃度，遠低於加拿大天然輻射物質管理導則規定之推定工作限制(derived working limit)150Bq/m³，故不須對氦氣進行監測，僅需在施工期間定期確認氦氣濃度。因此 DGR 處置場的施工並無輻射危害。

九、施工期間的應變計畫

在細部設計階段，會依據危害度、施工項目、施工方法、施工設備等內容，進行詳細的風險評估。確定風險後，再提出應變計畫。

5.2 「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第0版）」之處置設施之建造章節精進建議

「審查導則(第0版)」第五章「處置設施之建造」章節修訂方向建議重點如下，詳細修訂細節詳如表 5.2-1 所列：

- 一、參考法規需依設施設計差異將有所不同，且設計與施工單位應提出其設計參考法規供審查，原先將法規都列出的說明方式建議刪除。
- 二、部分審查要項屬於設計範疇，建議予以刪除。
- 三、建議納入坑道處置之說明或審查要項。例如在施工方法中，增列處置坑道開挖之審查要項。

表 5.2-1 「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第0版)」第五章處置設施之建造修正草案對照表

修訂條文	現行條文	說明
<p>5.1 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。</p> <p>處置設施可能一面開挖新處置坑道並新建處置窖、一面接收廢棄物進行處置、另可能將貯滿廢棄物的處置窖進行封閉作業，所以其施工環境與一般建物可能不同，必須說明施工規劃。所以申請者須提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 說明施工應遵循之法規、標準與規範。</p>	<p>5.1 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。</p> <p>處置設施可能一面開挖新處置窖、一面接收廢棄物進行處置、另可能將貯滿廢棄物的處置窖進行封閉作業，所以其施工與一般建物可能不同，必須說明施工規劃。所以申請者須提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 遵循之法規、標準、規範：說明引用國內外的法規、標準與規範。下列法規僅供參考。</p>	<p>開挖應指坑道，處置窖則為新建。</p> <p>設施施工方法與一般建物類似，若處置設施同時營運與施工，則有輻射防護問題，似以施工環境不同較為恰當。</p> <p>所參考法規需依設施設計差異將有所不同，且設計與施工單位應提出其設計參考</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p>2. 施工階段：說明處置場施工階段的劃分及、施工順序。與施工範圍，處置場之施工，需分階段進行；若做好施工階段的劃</p>	<p>(1) 建築技術規則。 (2) 低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則 (3) 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 (4) American Concrete Institute, ACI 349, "Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures," 1980 (5) American Institute of Steel Construction, "Specification for Design, Fabrication, and Erection of Structural Steel for Buildings," eighth edition, 1981 (6) American National Standards Institute, ANSI N45.2.5, "Supplementary Quality Assurance Requirements for Installation, Inspection and Testing of Structural Concrete and Structural Steel During the Construction Phase of Nuclear Power Plants," 1974 (7) 工業安全衛生法規</p> <p>2. 施工階段：說明處置場施工階段的劃分及施工順序。處置場之施工，需分階段進行；若做好施工階段的劃分，處置作業才容</p>	<p>法規供審查，建議刪除列舉式法規說明。</p> <p>合併第 3 點並簡化文字說明方式。</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p>分，處置作業才容易進行，並可說明如何降低工作人員與施工人員之輻射劑量。</p> <p>3. 施工範圍：每個施工階段的範圍。每個施工階段若有明確的施工範圍，更能顯示施工規劃的正確性。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 引用之法規、標準、規範是否適當，是否列出引用的重點。</p> <p>2. 施工階段的劃分是否合理，各階段的施工次序是否適當。每個施工階段的範圍是否明確。</p>	<p>易進行，並可降低工作人員劑量。</p> <p>3. 施工範圍：每個施工階段的範圍。每個施工階段若有明確的施工範圍，更能顯示施工規劃的正確性。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 引用之法規、標準、規範是否適當，是否列出引用的重點。</p> <p>2. 施工階段的劃分是否合理，各階段的施工次序是否適當。每個施工階段的範圍是否明確。</p>	<p>併入第 2 點。</p>
<p>5.2 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、<u>工</u>職業安全衛生、水土保持與環境保護、品管與品保方案及緊急應變處理等。</p> <p>處置場之施工，需分階段進行，故應擬妥可行的施工計畫，並提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 工程經營管理：說明工程經營管理組織、權責與管理作業、場址計畫、建造資料及其藍圖<u>相關圖說</u>。</p> <p>2. 施工佈置：說明場址邊界</p>	<p>5.2 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。</p> <p>處置場之施工，需分階段進行，故應擬妥可行的施工計畫，並提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 工程經營管理：說明工程經營管理組織、權責與管理作業、場址計畫、建造資料及其藍圖。</p> <p>2. 施工佈置：說明場址邊界</p>	<p>依法規名稱調整。</p> <p>改採國內常用之名詞。</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p>、管制區域、保全區域、緩衝區、操作區以及處置設施的總體配置。</p> <p>3. 施工材料：說明回填材料，混凝土與灌漿成分，鋼筋與構造鋼材等材料之特性、規格、檢驗作業方法與標準。</p> <p>4. 施工方法： (1) 說明<u>場址準備</u>、<u>施工整備</u>、<u>水的控制與分流</u>、<u>處置單元建造</u>、<u>混凝土與鋼材施工</u>、<u>回填與封閉</u>的<u>施工方法與步驟</u>，<u>若為坑道處置</u>，則須增加說明<u>坑道開挖</u>的<u>施工方法</u>。 (2) 廢棄物容器週邊回填材料的施工方法：應包括：(a)廢棄物容器的堆疊排序計畫；(b)降低使用可分解材料以防止未來沉陷；(c)確保回填材料在置入時維持適當的含水量；(d)廢棄物容器與回填材料的置入順序計畫以確保容器間隙空間的填滿。</p> <p>5. 施工機具設備： (1) 設備形式：(a)<u>場址整備</u>、<u>施工整備</u>、<u>地面水與地下水安全控制</u>設備；(b)<u>處置坑道</u>或</p>	<p>、管制區域、保全區域、緩衝區、操作區以及處置設施的總體配置。</p> <p>3. 施工材料：說明回填材料，混凝土與灌漿成分，鋼筋與構造鋼材等材料之特性、規格、檢驗作業方法與標準。</p> <p>4. 施工方法： (1) 說明場址準備、<u>水的控制與分流</u>、<u>處置單元建造</u>、<u>混凝土與鋼材施工</u>、<u>回填與封閉</u>的<u>施工方法與步驟</u>。 (2) 廢棄物容器週邊回填材料的施工方法：應包括：(a)廢棄物容器的堆疊排序計畫；(b)降低使用可分解材料以防止未來沉陷；(c)確保回填材料在置入時維持適當的含水量；(d)廢棄物容器與回填材料的置入順序計畫以確保容器間隙空間的填滿。</p> <p>5. 施工機具設備： (1) 設備形式：(a)場址整備、<u>地面水與地下水安全控制</u>設備；(b)處置單元開挖與支</p>	<p>場址準備應指施工機具準備與整地等工作</p> <p>(b)材料選擇與防止沉陷設計應屬工程設計範疇。(c)施工後含水量設定亦應屬工程設計範疇。</p> <p>文字調整。</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p>處置單元開挖與支撐設備；(c)材料搬運設備；(d)填充及壓實設備；(e)低放射性廢棄物搬運、處理及置放設備；(f)處置單元回填設備；(g)鋼材及混凝土施工設備；(h)個別處置單元及場址封閉設備。</p>	<p>撐設備；(c)材料搬運設備；(d)填充及壓實設備；(e)低放射性廢棄物搬運、處理及置放設備；(f)處置單元回填設備；(g)鋼材及混凝土施工設備；(h)個別處置單元及場址封閉設備。</p>	
<p>(2)設備規格及性能 (3)設備保管、維護、替代及檢查等作業程序。</p>	<p>(2)設備規格及性能 (3)設備保管、維護、替代及檢查等作業程序。</p>	
<p>6. 施工程序(含與處置作業並存之施工程序)</p>	<p>6. 施工程序(含與處置作業並存之施工程序)</p>	
<p>7. 監測計畫與回饋設計計畫</p>	<p>7. 監測計畫與回饋設計計畫</p>	
<p>8. 施工時程</p>	<p>8. 施工時程</p>	
<p>9. 工職業安全衛生</p>	<p>9. 工業安全衛生</p>	修正為法規名詞。
<p>10. 水土保持計畫核定本與環境影響評估報告。</p>	<p>10. 水土保持計畫核定本與環境影響評估報告。</p>	
<p>11. 品管與品保方案：說明品質控制程序與品質保證方案，各建造工項之檢核項目與檢核標準、不合格之處理流程等。</p>	<p>11. 品管與品保方案：說明品質控制程序與品質保證方案，各建造工項之檢核項目與檢核標準、不合格之處理流程等。</p>	
<p>12. 緊急應變處理 (二)審查作業</p>	<p>12. 緊急應變處理 (二)審查作業</p>	
<p>1. 工程經營管理：(a)建造參考資料，工程藍圖<u>相關圖說</u>與規格、場址準備<u>施工整備</u>，水的控制及分流，處置單元之建造，混凝土及鋼材施工，回填，以及封閉各項作業，是否經過</p>	<p>1. 工程經營管理：(a)建造參考資料，工程藍圖與規格、場址準備，水的控制及分流，處置單元之建造，混凝土及鋼材施工，回填，以及封閉各項作業，是否經過系統化的整合且</p>	文字調整

修訂條文	現行條文	說明
<p>系統化的整合且為可行之建造計畫。(b)工程藍圖相關圖說是否顯示尺寸、剖面與場址界線內各設施之相關位置。(c)所有計畫與工程圖是否以足夠的比例顯示，以充分表達設計資料並經過技師簽證。(d)建造規格是否與設計與運轉規範相容一致。</p> <p>2. 施工佈置：場址邊界、管制區域、保全區域、緩衝區、操作區以及處置設施的總體配置是否明確。</p> <p>3. 施工材料： (1) 坑道處置窖或淺地處置窖建造材料之特性、品質和耐用度等資料，是否可被接受；測試是否依正確與熟知的法規和標準進行。 (2) 建造使用之混凝土必須為高密度低穿透性材料，足以安全支撐所負載之重量並對抗不利之處置環境符合設計需求。 (3) 鋼材需以環氧樹脂或抗氧化物質包覆。 (4) 建造材料是否使用核准的材料，若提出使用非核准的材料，則須提出充足的測試資料以建立其材料的接受性，<u>未經審</u></p>	<p>為可行之建造計畫。(b)工程藍圖是否顯示尺寸、剖面與場址界線內各設施之相關位置。(c)所有計畫與工程圖是否以足夠的比例顯示，以充分表達設計資料並經過技師簽證。(d)建造規格是否與設計與運轉規範相容一致。</p> <p>2. 施工佈置：場址邊界、管制區域、保全區域、緩衝區、操作區以及處置設施的總體配置是否明確。</p> <p>4. 施工材料： (1) 坑道處置窖或淺地處置窖建造材料之特性、品質和耐用度等資料，是否可被接受；測試是否依正確與熟知的法規和標準進行。 (2) 建造使用之混凝土必須為高密度低穿透性材料，足以安全支撐所負載之重量並對抗不利之處置環境。 (3) 鋼材需以環氧樹脂或抗氧化物質包覆。 (4) 建造材料是否使用核准的材料，若提出使用非核准的材料，則須提出充足的測試資料以建立其材料的接受性。</p>	<p></p> <p>文句調整</p> <p>已包含於(1)審查作業。</p> <p>已包含於(1)審查作業。</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p><u>查接受前不得使用。</u></p> <p>4. 施工方法</p> <p>(1) <u>場址準備</u><u>施工整備</u> ：低放廢棄物處置的場址準備是否建立適當的方法以保護公眾健康及安全與水土資源並控制侵蝕及堆積作用的發生。場址準備的描述應以適當的工程藍圖圖說及建造規格詳細配合與參考。</p> <p>(2) 水的控制及分流：<u>坑道或處置單元</u>開挖及回填區之地表水與地下水控制計畫是否適當。個別處置單元的建造階段與場址封閉時期，皆應考慮水的控制及分流。</p> <p>(3) 處置單元建造：(a)開挖(界線、坡度與深度或底部的高程；不適用材料的判別，需回填混凝土的開挖區域；開挖廢土之處理等)、(b)填土區域(界線、坡度以及高度或頂部高程；填土前的表面處理；填土的材料種類；對於填土層鋪平與含水量控制之要件；大顆粒材料之移除；現地夯實度</p>	<p>4. 施工方法</p> <p>(1) 場址準備：低放廢棄物處置的場址準備是否建立適當的方法以保護公眾健康及安全與水土資源並控制侵蝕及堆積作用的發生。場址準備的描述應以適當的工程藍圖及建造規格詳細配合與參考。</p> <p>(2) 水的控制及分流：開挖及回填區之地表水與地下水控制計畫是否適當。個別處置單元的建造階段與場址封閉時期，皆應考慮水的控制及分流。</p> <p>(3) 處置單元建造：(a)開挖(界線、坡度與深度或底部的高程；不適用材料的判別，需回填混凝土的開挖區域；開挖廢土之處理等)、(b)填土區域(界線、坡度以及高度或頂部高程；填土前的表面處理；填土的材料種類；對於填土層鋪平與含水量控制之要件；大顆粒材料之移除；現地夯實度</p>	<p>文句調整</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p>檢驗程序)、(c)開挖區導引與控制降雨及地表逕流的配置細節、(d)品質控制試驗(例如,工地密度、填土的含水量、級配、塑性及夯實試驗,包括試驗標準及試驗頻率之說明)等之描述是否確實。</p> <p>(4) 混凝土與鋼材施工 ：混凝土是否包含設計、製造、拌合、鋼筋、成形(forming)、運輸、澆置、完成面與養護。構造鋼材是否包含設計,構製以及建物與組件之架設。</p> <p>(5) 回填：回填資料 (a) 廢棄物容器之堆疊放置計畫、(b)可分解材料限制的方案、(c)非凝聚性回填材料適當級配和含水量狀況之控制以避免空隙的生成、(d)廢棄物容器與填土材料之置入運作計畫與其順序,(例如,在每一廢料層放妥之後填入填土,以確保空隙被填滿;而非完成所有廢棄物堆疊之高度後才進行填土作業) 是否正確完整</p>	<p>檢驗程序)、(c)開挖區導引與控制降雨及地表逕流的配置細節、(d)品質控制試驗(例如,工地密度、填土的含水量、級配、塑性及夯實試驗,包括試驗標準及試驗頻率之說明)等之描述是否確實。</p> <p>(4) 混凝土與鋼材施工 ：混凝土是否包含設計,製造,拌合,鋼筋,成形(forming),運輸,澆置,完成面與養護。構造鋼材是否包含設計,構製以及建物與組件之架設。</p> <p>(5) 回填：回填資料 (a) 廢棄物容器之堆疊放置計畫、(b)可分解材料限制的方案、(c)非凝聚性回填材料適當級配和含水量狀況之控制以避免空隙的生成、(d)廢棄物容器與填土材料之置入運作計畫與其順序,(例如,在每一廢料層放妥之後填入填土,以確保空隙被填滿;而非完成所有廢棄物堆疊之高度後才進行填土作業) 是否正確完整</p>	

修訂條文	現行條文	說明
<p>，以確保開挖的回填有長期的穩定性。</p> <p>(6) 個別處置單元之封閉：封閉資料，包括覆蓋在廢料回填土之上的材料特性，是否足以降低水入滲，同時確保處置設施在建造時期與場址封閉後的效能可被接受。</p> <p>(7) <u>處置坑道開挖</u>：(a) <u>處置坑道開挖的描述應以適當的工程圖說及建造規格詳細配合與參考</u>；(b) <u>開挖廢土之處理</u>；(c) <u>坑道支撐的材料與施工方式</u>。</p> <p>5. 施工機具設備：是否足以安全地履行其預期功能。</p> <p>(1) 設備的形式(如起重機、挖泥機、岩石破碎或切削機、壓土機等)及設備組件是否被適當的使用，使處置設施安全地建造及操作。</p> <p>(2) 設備規格及性能：設備的規格說明書，是否已提供每一設備組件有關的功能及使用方法。設備的性能，是否足以安全地將廢棄物罐依設計的堆疊排列方式，從</p>	<p>，以確保開挖的回填有長期的穩定性。</p> <p>(6) 個別處置單元之封閉：封閉資料，包括覆蓋在廢料回填土之上的材料特性，是否足以降低水入滲，同時確保處置設施在建造時期與場址封閉後的效能可被接受。</p> <p>5. 施工機具設備：是否足以安全地履行其預期功能。</p> <p>(1) 設備的形式(如起重機、挖泥機、岩石破碎或切削機、壓土機等)及設備組件是否被適當的使用，使處置設施安全地建造及操作。</p> <p>(2) 設備規格及性能：設備的規格說明書，是否已提供每一設備組件有關的功能及使用方法。設備的性能，是否足以安全地將廢棄物罐依設計的堆疊排列方式，從</p>	

修訂條文	現行條文	說明
<p>地表搬移置放於開挖的處置單元中，並可適當的將回填材料充填於廢棄物罐的間隙，以減少未來沉陷作用。</p> <p>(3)設備保管、維護、替代及檢查：是否提供合理的保證，不會發生建造及操作上不安全的中斷或延遲，且安全的管理或受污染設備的處置可適當的處理。</p>	<p>地表搬移置放於開挖的處置單元中，並可適當的將回填材料充填於廢棄物罐的間隙，以減少未來沉陷作用。</p> <p>(3)設備保管、維護、替代及檢查：是否提供合理的保證，不會發生建造及操作上不安全的中斷或延遲，且安全的管理或受污染設備的處置可適當的處理。</p>	
<p>6. 施工程序(含與處置作業並存之施工程序):是否正確完整，以確保<u>設施</u>開挖的回填有長期的穩定性，以減少未來沉陷作用。</p>	<p>6. 施工程序(含與處置作業並存之施工程序):是否正確完整，以確保開挖的回填有長期的穩定性，以減少未來沉陷作用。</p>	
<p>7. 監測計畫與回饋設計計畫：包括監測作業之目的、項目、儀器設備之安裝、計讀之頻率、監測資料之處理流程以及與設計結果之比對、監測預警系統（含預警值、行動值與相應之應變處理措施），以及回饋設計作業流程等。</p>	<p>7. 監測計畫與回饋設計計畫：包括監測作業之目的、項目、儀器設備之安裝、計讀之頻率、監測資料之處理流程以及與設計結果之比對、監測預警系統（含預警值、行動值與相應之應變處理措施），以及回饋設計作業流程等。</p>	
<p>8. 施工時程：是否符合處置量的需要。</p>	<p>8. 施工時程：是否符合處置量的需要。</p>	
<p>9. 工職業安全衛生：是否<u>符合</u>工業安全衛生之規定。</p>	<p>9. 工業安全衛生：是否工業安全衛生之規定。</p>	<p>依法規名稱修正，並調整文字。</p>
<p>10. 水土保持與環境保護：施工計畫是否符合水土保</p>	<p>10. 水土保持與環境保護：施工計畫是否符合水土保</p>	

修訂條文	現行條文	說明
持及環境影響評估相關規定，另外，其是否落實水土保持計畫核定本與環境影響評估報告相關之承諾。	持及環境影響評估相關規定，另外，其是否落實水土保持計畫核定本與環境影響評估報告相關之承諾。	
11. 品管與品保方案：品質控制程序與建造技術是否足以確認建造品質，不致降低而影響處置設施之穩定度及其結構之整體性。	11. 品管與品保方案：品質控制程序與建造技術是否足以確認建造品質，不致降低而影響處置設施之穩定度及其結構之整體性。	
12. 緊急應變處理：是否充分考量意外事件的發生，其應變處理計畫是否合理可行。	12. 緊急應變處理：是否充分考量意外事件的發生，其應變處理計畫是否合理可行。	

第六章 「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第 0 版）」之處置設施設計章節精進建議

「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」第四章「處置設施之設計」章節修訂方向建議重點如下，詳細修訂細節詳如表 6-1 所列：

- 一、前四節之標題與內容並不十分貼切，但大幅度修改有其實質上之困難，建議將第二節「建築設計」標題改為「設施設計」。
- 二、近地表處置與坑道處置的工程障壁系統並不相同，建議將處置單元覆蓋修正為處置單元工程障壁系統，以完整含括地表設施覆蓋與坑道式回填之各工程單元設計。
- 三、近地表及坑道兩種不同型式之處置設施，其封閉回填之方式亦有所差異。近地表處置設施是於處置單元周圍回填混合黏土之回填土石材料，並加以壓密夯實成為低透水區域，低透水區上設置一濾層做為降雨入滲排除之用，而後於其上覆土植生；坑道處置設施的封閉回填則是以土石料混製成滲透性極低之回填材料，夯實填充於處置單元與坑道內襯砌之空間。因此，對於降低廢棄物與積水接觸之機制或是排水設計，亦會受到處置設施的不同而影響，應予以區隔。
- 四、封閉作業施工時，依據施工方法之不同，可能會有施工人員進入到處置窖上方，因此對於施工人員的輻射抑低措施，應加以考量。
- 五、4.4 節的土木設計，原規範所指土木設計之對象，為地表式處置覆蓋系統設計、處置單元抵抗洪水沖刷設計、增加覆蓋系統安全之排水設計。推測因設計項目均屬土木工程而稱之。建議修改為「處置單元設計」較為直觀。

表 6-1 「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第 0 版）」第四章處置設施之設計修正草案對照表

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.1 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。</p> <p>處置設施設計目標與功能，係為提供廢棄物的長期隔離、降低處置設施接收與處置放射性廢棄物之輻射劑量、降低處置場關閉後維護工作量以及改進場址自然環境，以保護群眾的健康與安全。為達成設計目標與功能，故須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 說明降低處置單元水滲透之設計基準、設計要項及設計規格。 2. 說明處置單元<u>工程障壁系統</u>完整性之設計基準、設計要項及設計規格。 3. 說明回填物、廢棄物及覆蓋物構造穩定性之設計基準、設計要項及設計規格。 4. 說明<u>運轉期</u>降低廢棄物與<u>積水</u>接觸之設計基準、設計要項及設計規格。 5. 說明運轉及封閉期場區排水之設計基準、設計要項及設計規格。 	<p>4.1 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。</p> <p>處置設施設計目標與功能，係為提供廢棄物的長期隔離、降低處置設施接收與處置放射性廢棄物之輻射劑量、降低處置場關閉後維護工作量以及改進場址自然環境，以保護群眾的健康與安全。為達成設計目標與功能，故須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 說明降低處置單元水滲透之設計基準、設計要項及設計規格。 2. 說明處置單元覆蓋完整性之設計基準、設計要項及設計規格。 3. 說明回填物、廢棄物及覆蓋物構造穩定性之設計基準、設計要項及設計規格。 4. 說明降低廢棄物與積水接觸之設計基準、設計要項及設計規格。 5. 說明運轉及封閉期場區排水之設計基準、設計要項及設計規格。 	<p>一、工程障壁系統可完整含括地表設施覆蓋與坑道式回填之各工程單元設計。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>6. 說明場址封閉與穩定化之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>7. 減少長期維護需求之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>8. 防止無意闖入處置場障壁之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>9. 合理抑低職業曝露之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>10. 現場監測之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>11. 可提供適當監管與補救之緩衝區，其設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>(二)審查作業 對降低水滲透、處置單元工程障壁系統完整性、構造穩定性、降低廢棄物與積水接觸、運轉及封閉期場區排水、場址封閉與穩定化、減少長期維護需求、防止無意闖入、合理抑低職業曝露、現場監測、緩衝區等資料，提供審查作業須注意的事項。</p> <p>1. 降低處置單元水滲透之設計，是否清楚說明： (1) 導引場區逕流降水離開處置單元。 (2) 導引場外逕流降水流入排水系統及導引地下水離開處置單元。 導引場區逕流降水與地下</p>	<p>6. 說明場址封閉與穩定化之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>7. 減少長期維護需求之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>8. 防止非故意侵入處置場障壁之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>9. 合理抑低職業曝露之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>10. 現場監測之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>11. 可適當監管與補救緩衝區之設計基準、設計要項及設計規格。</p> <p>(二)審查作業 對降低水滲透、處置單元覆蓋完整性、構造穩定性、降低廢棄物與積水接觸、運轉及封閉期場區排水、場址封閉與穩定化、減少長期維護需求、防止非故意侵入、合理抑低職業曝露、現場監測、緩衝區等資料，提供審查作業須注意的事項。</p> <p>1. 降低處置單元水滲透之設計，是否清楚說明：(1) 導引場區降水離開處置單元、(2) 導引場外降水流入排水系統及導引地下水離開處置單元。導引場區降水與地下水離開處置單元的主要設計準則必須說明</p>	<p>二、導則概有名詞修訂</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>水離開處置單元的主要設計準則必須說明其排水系統可以控制<u>降水逕流</u>流速和地下水位。此最低流速與地下水位必須根據：</p> <p>(1)最大降雨(PMP)所導致之最壞狀況。</p> <p>(2)因意外狀況所產生之排水系統堵塞。</p> <p>2. 處置單元<u>工程障壁系統</u>完整性之設計，是否清楚說明，採取的方法可使<u>工程障壁系統</u>：</p> <p>(1)達成預期使用<u>時間</u>。</p> <p>(2)避免連續性維護需求。</p> <p>(3)可抵抗地表地質風化與生物活動的損害作用。</p> <p>處置單元<u>工程障壁系統</u>完整性之主要設計準則至少應說明：</p> <p>(1)評估整體性與差異性沉陷以及預估廢棄物與填充材料的密度增加狀況。</p> <p>(2)預估覆蓋物材料在掩埋廢棄物可能受災時的強度與耐受性。</p> <p>(3)相關於最大地震的異常地表震動。</p> <p>地表式處置單元<u>工程障壁系統</u>侵蝕保護之主要設計準則至少應說明：</p> <p>(1)一般運作狀況時的地表水和風速。</p> <p>(2)異常性地表水與風速以及正常水位。</p> <p>3. 構造穩定性之設計，是</p>	<p>其排水系統可以控制降水流速和地下水位。此最低流速與地下水位必須根據</p> <p>(1)最大降雨(PMP)所導致之最壞狀況(2)因意外狀況所產生之堵塞。</p> <p>2. 處置單元覆蓋完整性之設計，是否清楚說明：採取的方法可使覆蓋物(1)達成預期使用時期、(2)避免連續性維護需求、(3)可抵抗地表地質與生物活動之削夷作用。處置單元覆蓋物侵蝕保護之主要設計準則至少應說明(1)一般運作狀況時的地表水和風速；(2)異常性地表水與風速以及正常水位。處置單元覆蓋物完整性之主要設計準則至少應說明(1)評估整體性與差異性沉陷以及預估廢棄物與填充材料的密度增加狀況；(2)預估覆蓋物材料在掩埋廢棄物可能受災時的強度與耐受性；(3)相關於最大地震的異常地表震動。</p>	<p>三、工程障壁系統可完整包括地表設施覆蓋與坑道式回填之各工程單元設計。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>否清楚說明廢棄物可長期隔離及避免經常維護、<u>並包括長期穩定性以及構造物失穩之影響</u>。確保填充材、廢棄物和廢棄物覆蓋物的結構穩定性之主要設計準則至少應說明：</p> <p>(1)廢棄物容器內與容器內填充材料之間預知的空隙容量。</p> <p>(2)因運作而產生的空隙效應。</p> <p>(3)設計基準異常事件對於結構穩定性的效應。</p> <p>(4)在廢棄物有害時期，因地質化學環境使填充材、廢棄物形態和廢棄物覆蓋材料的剝蝕。</p>	<p>3.構造穩定性之設計，是否清楚說明廢棄物可長期隔離及避免經常維護。確保填充材、廢棄物和廢棄物覆蓋物的結構穩定性之主要設計準則至少應說明</p> <p>(1)廢棄物容器內與容器內填充材料之間預知的空隙容量；(2)因運作而產生的空隙效應；(3)設計基準異常事件對於結構穩定性的效應；和(4)在廢棄物有害時期，因地質化學環境使填充材、廢棄物形態和廢棄物覆蓋材料的剝蝕。</p>	<p>四、若要達到長期隔離之目的，處置設施內的各個構造都需發揮其既有功用。因此在考量構造的穩定性時，除了填充材、廢棄物及覆蓋物外，處置單元亦應納入考量。</p>
<p>4.降低廢棄物與<u>積</u>水接觸之設計，是否清楚說明使用方法可使廢棄物在暫時貯存、處置場運轉中、場區關閉期間，降低與<u>積</u>水的接觸。主要設計準則至少應：</p> <p>(1)<u>清楚說明</u>；(2)說明廢棄物之貯存、吊卸和封閉處置單元。</p> <p><u>(2)處置設施採地表式處置工程障壁系統時</u>，說明處置單元覆蓋物表土下與表土的排水和暫存區域之排水設計。</p> <p><u>(3)處置設施採地表式處置工程障壁系統時</u>，描述處置單元地面自然材料與</p>	<p>4.降低廢棄物與積水接觸之設計，是否清楚說明使用方法可使廢棄物在暫時貯存、處置場運轉中、場區關閉期間，降低與積水的接觸。主要設計準則至少應(1)清楚說明；(2)說明廢棄物之貯存、吊卸和封閉處置單元；(3)說明處置單元覆蓋物表土下與表土的排水和暫存區域；(4)描述處置單元地面自然材料與排水材料及地面排水間的滲透性；和(5)描述暴露於空氣中之廢棄物暫時存放平臺與覆蓋物。是否提出防範運轉期主動性排水系統組件意外破壞和封</p>	<p>五、近地表及坑道兩種不同型式之處置設施，其封閉回填之方式亦有所差異。近地表處置設施是於處置單元周圍回填混合黏土之回填土石材料，並加以壓密夯實成為低透水區域，低透水區上設置一濾層做為降雨入滲排除之用，而後於其上覆土植生；坑道處置設施的封閉回填則是以土石料混製成滲透性極低之回填材料，夯實填充於處置單元與坑道內襯砌之空間。因此，對於降低廢棄物與積水接觸之機制或是排水設計，亦會受到處置設施的不同</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>排水材料及地面排水間的滲透性，<u>處置設施採坑道型式時，描述回填材料及坑道口封堵材料間之滲透性。</u></p> <p>(4)描述暴露於空氣中之廢棄物暫時存放平臺與覆蓋物。是否提出防範運轉期主動性排水系統組件意外破壞和封閉後被動性排水系統組件被破壞之設計準則。</p> <p>5. 處置場運轉至封閉後之場區排水設計，是否說明達成下列排水功能之方法： <u>(1)引導逕流地表水或地下水引導遠離廢棄物之方法。</u> <u>(2)以速度與斜度的方法控制排水系統流出處置單元之方法。</u> 主要設計準則至少應：<u>(1)</u>清楚說明： <u>(1)說明運轉期和封閉後場址表土或坑道的排水狀況。</u> <u>(2)涵蓋表土的排水特性，分流結構和表土排水斜坡等。是否提出因應上游水庫毀壞或下游排水堵塞之設計準則。</u></p> <p>6. 場址封閉與穩定化之設計，是否清楚說明其措施，可<u>達下列需求</u>： <u>(1)提供廢棄物長期隔離</u></p>	<p>閉後被動性排水系統組件被破壞之設計準則。</p> <p>5. 處置場運轉中與封閉期場區排水之設計，是否清楚說明使用方法可將(1)地表水引導遠離廢棄物，(2)以速度與斜度的方法控制排水系統流出處置單元。主要設計準則至少應(1)清楚說明；(2)說明運轉期和封閉後場址表土排水狀況；(3)涵蓋表土的排水特性，分流結構和表土排水斜坡等。是否提出因應上游水庫毀壞或下游排水堵塞之設計準則。</p> <p>6. 場址封閉與穩定化之設計，是否清楚說明其措施，可(1)提供廢棄物長期隔離的功能與避免經常性</p>	<p>而影響，應予以區隔。</p> <p>六、增加坑道式處置排水設計審查說明，並調整文字。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>的功能與避免經常性維護之需求。</p> <p>(2)提供場址關閉與穩定計劃，並可應改善場區自然環境特性。</p> <p>場址關閉及穩定化之主要設計準則應至少說明：</p> <p>(1)設計時應提出場址封閉計劃的相關項目。</p> <p>(2)封閉與可能主動維護的設計基準。</p> <p>7.減少長期維護需求之設計，是否清楚說明處置場關閉後，如何避免長期維護之需求。主要設計準則必須預測：</p> <p>(1)材料之耐用度。</p> <p>(2)侵蝕作用。</p> <p>(3)排水系統退化的效應。</p> <p>(4)監控系統的退化。</p> <p>8.防止無意闖入處置場障壁之設計，是否清楚說明設立之障壁，以避免個人不經意的侵入處置設施。障壁主要設計準則必須說明標示物、障壁材料，障壁退化比率的可能範圍。</p> <p>9.合理抑低職業曝露之設計，是否清楚說明如何合理抑抵職業曝露。減少職業曝露之主要設計準則必須說明：</p> <p>(1)接收、檢查、管控、貯存、處置和封閉作業之輻射合理抑低措施。</p> <p>(2)對已知較高活性廢棄物之屏蔽</p>	<p>維護之需求。(2)提供場址關閉與穩定計劃，並可應改善場區自然環境特性。</p> <p>場址關閉及穩定化之主要設計準則應至少說明(1)設計時應提出場址封閉計劃的相關項目；(2)封閉與可能主動維護的設計基準。</p> <p>7.減少長期維護需求之設計，是否清楚說明處置場關閉後，如何避免長期維護之需求。主要設計準則必須預測 (1)材料之耐用度；(2)侵蝕作用，(3)排水系統退化的效應；和(4)監控系統的退化。</p> <p>8.防止非故意侵入處置場障壁之設計，是否清楚說明設立之障壁，以避免個人不經意的侵入處置設施。障壁主要設計準則必須說明標示物、障壁材料，障壁退化比率的可能範圍。</p> <p>9.合理抑低職業曝露之設計，是否清楚說明如何合理抑抵職業曝露。減少職業曝露之主要設計準則必須說明(1)接收、檢查、管控、貯存和處置作業之輻射合理抑低措施；(2)對已知較高活性廢棄物之屏蔽</p>	<p>七、封閉作業施工時，依據施工方法之不同，可能會有施工人員進入到處置窖上方，因此對於施工人員的輻射抑低措施，亦應加以考量。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>棄物之屏蔽設計。和 (3)處置非穩定性廢棄物或裝載意外破損廢棄物的預備方案。</p> <p>10. 現場監測之設計，是否清楚說明處置場運轉中及運轉後的環境監測計畫。現場監測系統之主要設計準則必須說明： (1) 監測系統設備與組件的已知使用壽命。 (2) 退化的可能速率和監測設備失效的可能事件的處理方法。</p> <p>11. 緩衝區之設計，是否清楚說明外圍處置單元與場界間緩衝區之特性。緩衝區之主要設計準則必須說明： (1) 可供監測所需的空間尺寸。 (2) 不可接受的輻射發生時可採取正確措施所需的空間尺寸採取應變措施所需時間。</p>	<p>設計；和(3)處置非穩定性廢棄物或裝載意外破損廢棄物的預備方案。</p> <p>10. 現場監測之設計，是否清楚說明處置場運轉中及運轉後的環境監測計畫。現場監測系統之主要設計準則必須說明(1) 監測系統設備與組件的已知使用壽命；(2) 退化的可能速率和監測設備失效的可能事件的處理方法。</p> <p>11. 緩衝區之設計，是否清楚說明外圍處置單元與場界間緩衝區之特性。緩衝區之主要設計準則必須說明(1) 可供監測所需的空間尺寸；(2) 不可接受的輻射發生時可採取正確措施所需的空間尺寸。</p>	<p>文字調整</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.2 設施設計：說明處置設施主要結構物、使用需求規劃及其配置。</p> <p>為促進處置設施達到妥善規劃與配置，在設施設計方面，須提供下列資料供審查。</p>	<p>4.2 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。</p> <p>為促進處置設施達到妥善規劃與配置，在建築設計方面，須提供下列資料供查。</p>	<p>一、原規範意指場區各項建築物設計，且包含排水系統設計，建議修改為涵蓋性質較廣的設施設計。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>(一)提供資料</p> <p>1. 說明處置設施主要結構物之<u>建築</u>設計目標、使用需求規劃及其配置、相關的設計基準與功能需求，以及對應引用法規與報告之依據。包括設計要項、設計規格、設計方法以及設計之成果等。</p> <p>2. 處置設施主要結構物的正視圖、通過重要系統的參個軸向剖面圖及細部設計。主要結構物，包括各種處置單元、貯存廠房、接收與吊卸廠房、除污與檢整廠房、輔助廠房與公共廠房。</p> <p>3. 各種處置單元覆蓋物、處置單元設施內外的排水與集水系統的剖面圖及細部設計。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 應檢核處置設施主要結構物之<u>建築</u>設計目標、確認使用需求規劃及其配置是否滿足？相關的設計基準與功能需求是否完整？引用法規與報告是否適當與具代表性？設計要項、設計規格、設計方法以及設計之成果是否正確與合理？</p> <p>2. 主要結構物的正視圖與剖面圖是否能正確顯示各</p>	<p>(一)提供資料</p> <p>1. 說明處置設施主要結構物之建築設計目標、使用需求規劃及其配置、相關的設計基準與功能需求，以及對應引用法規與報告之依據。包括設計要項、設計規格、設計方法以及設計之成果等。</p> <p>2. 處置設施主要結構物的正視圖、通過重要系統的參個軸向剖面圖及細部設計。主要結構物，包括各種處置單元、貯存廠房、接收與吊卸廠房、除污與檢整廠房、輔助廠房與公共廠房。</p> <p>3. 各種處置單元覆蓋物、處置單元內外的排水與集水系統的剖面圖及細部設計。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 應檢核處置設施主要結構物之建築設計目標、確認使用需求規劃及其配置是否滿足？相關的設計基準與功能需求是否完整？引用法規與報告是否適當與具代表性？設計要項、設計規格、設計方法以及設計之成果是否正確與合理？</p> <p>2. 主要結構物的正視圖與剖面圖是否能正確顯示各</p>	<p>二、將「處置單元覆蓋物、處置單元」，修改為涵蓋性質較廣的「處置設施」。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
重要系統的配置？是否符合設計與建造規範。	重要系統的配置？是否符合設計與建造規範。	
3. 各種處置單元覆蓋物、處置單元設施內外的排水與集水系統的剖面圖是否可顯示出其功能？	3. 各種處置單元覆蓋物、處置單元內外的排水與集水系統的剖面圖是否可顯示出其功能？	

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.3 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。</p> <p>為促進處置設施各類重要結構物的安全，在結構設計方面，須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 主要結構物之結構分類與各類結構的負載。負載包括靜負載(D)和活負載(L)、偶發液態水平和垂直壓力之負載(F)、土壤壓力之負載(H)、溫度差之熱負載(T)、風壓力之負載(W)，地震之負載(E)，膨脹壓力之負載(B)。</p> <p>2. 說明混凝土結構物及鋼構結構物之設計所選用之負載組合，並說明所選用負載組合的原因。</p>	<p>4.3 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。</p> <p>為促進處置設施各類重要結構物的安全，在結構設計方面，須提供下列資料供查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 主要結構物之結構分類與各類結構的負載。負載包括靜負載(D)和活負載(L)、偶發液態水平和垂直壓力之負載(F)、土壤壓力之負載(H)、溫度差之熱負載(T)、風壓力之負載(W)，地震之負載(E)。</p> <p>2. 說明混凝土結構物及鋼構結構物之設計所選用之負載組合，並說明所選用負載組合的原因。</p>	<p>一、坑道型處置設施的處置單元，可能會採用透水性低的膨脹材料，故須考慮膨脹材料因周邊地下水浸潤狀況不同，使其產生的膨脹壓並非均一的作用力，故須加以評估其對處置單元之影響。</p> <p>若採膨潤土設計則需考量膨脹壓力。</p> <p>二、審查人員多為專家，因此導則不需要說明的太細。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>3. 適用之法規、標準和規範。</p> <p>4. 設計與分析步驟之資料包含： (1) 每一個結構及其基礎之描述，若結構物經破壞將導致工作人員或民眾之輻射危害，需提出結構物補強措施等。 (2) 設計的假設包含邊界狀況和假設之基礎等。 (3) 設計的分析步驟描述包含電腦程式和有效性。 (4) 描述設計基準地震力之計算方法。 (5) 用以確認設計的方法。</p> <p>5. <u>場址之衝擊因素</u>：結構設計<u>對應考量</u>場址特性之<u>影響</u>(氣象、地質、地震、地表水、地下水、地球化學與氣候、水文和大地工程與地質化學特性)<u>之衝擊</u>，說明如何被列入考量。</p>	<p>3. 適用之法規、標準和規範。</p> <p>4. 設計與分析步驟：資料包含(1) 每一個結構及其基礎之描述，若結構物經破壞將導致工作人員或民眾之輻射危害，需提出結構物補強措施等；(2) 設計的假設包含邊界狀況和假設之基礎等；(3) 設計的分析步驟描述包含電腦程式和有效性；(4) 描述設計基準地震力之計算方法；(5) 用以確認設計的方法。</p> <p>5. 場址之衝擊因素：結構設計對場址特性(地質、地震、氣象、氣候、水文和大地工程與地質化學特性)之衝擊，說明如何被列入考量。</p>	<p>三、依場址特性項目與順序編排</p>
<p>(二) 審查作業</p> <p>1. 主要結構物之結構分類是否適當？各類結構的負載因子是否正確且充分考量？</p> <p>2. 混凝土結構之強度(U)設計，必須大於最大的負載組合。鋼構結構物之設計，<u>可使用彈性應力方法</u>，其設計方法須符合相關規範，強度(S)設計必須大於最大的負載組合。</p>	<p>(二) 審查作業</p> <p>1. 主要結構物之結構分類是否適當？各類結構的負載因子是否正確且充分考量？</p> <p>2. 混凝土結構之強度(U)設計，必須大於最大的負載組合。鋼構結構物之設計，強度(S)設計必須大於最大的負載組合。</p>	<p>四、建議不限定申請者可採用之分析方法。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>3. 所引用的法規、標準或規範是否適切？</p> <p>4. 設計與分析步驟：結構分析與設計<u>和</u>、結構系統與構件之資料，<u>與所使用之設計、分析方法和結果，均是否保守且為優良工程設計之代表。其安全性是否符合相關規範之要求。</u></p> <p>5. <u>若場址之衝擊因素：是否已清楚定義與評估可能影響結構安全之場址特性之衝擊。；該場址因素是否將不會被結構物設計造成有害的影響。</u></p>	<p>3. 所引用的法規、標準或規範是否適切？</p> <p>4. 設計與分析步驟：結構分析與設計和結構系統與構件之資料，與所使用之設計、分析方法和結果，均是否保守且為優良工程設計之代表。</p> <p>5. 若場址之衝擊因素：是否已清楚定義與評估可能之衝擊；該場址因素是否將不會被結構物設計造成有害的影響。</p>	<p>五、建議提出相關法規，以保留彈性</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.4 <u>土木設計處置單元設計</u>：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。為促進處置設施安全，應慎選工程材質與屏蔽材料，並須考量處置設施覆蓋與回填、地表防洪、地下排水系統及、護坡工程<u>或處置坑道工程</u>等，在<u>土木設計處置單元設計</u>方面，須提供下列資料供<u>審查</u>。</p>	<p>4.4 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。</p> <p>為促進處置設施安全，應慎選工程材質與屏蔽材料，並須考量置設施覆蓋與回填、地表防洪、地下排水系統及護坡工程等，在土木設計方面，須提供下列資料供查。</p>	<p>一、原規範所指土木設計之對象，為地表式處置覆蓋系統設計、處置單元抵抗洪水沖刷設計、與增加覆蓋系統安全之排水設計。推測因設計項目均屬土木工程而稱之。建議修改為「處置單元設計」較為直觀。</p> <p>二、配合 4.2 節將「處置單元覆蓋物、處置單元」，修改總合為涵蓋性質較廣的「處置設施」。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>(一)提供資料</p> <p>1. 工程材質與屏蔽材料之組成、密度、抗壓強度、耐久性、退化率、滲水性、<u>核種吸附性</u>等特性及其設計標準。</p> <p>2. 地表防洪的材料特性、設計標準、排水功能。</p> <p>3. 地下排水系統的材料特性與排水規劃、排水設計、抑低滲入處置單元設計。</p> <p>4. 護坡工程<u>或處置坑道工程</u>的材料特性與設計標準，<u>及處置設施在建造、運轉與封閉等各個階段護坡工程或處置坑道工程之穩定監測規劃等。</u></p> <p>5. 適用之法規、標準和規範。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 工程材質與屏蔽材料</p>	<p>(一)提供資料</p> <p>1. 工程材質與屏蔽材料之組成、密度、抗壓強度、耐久性、退化率、滲水性等特性及其設計標準。</p> <p>2. 地表防洪的材料特性、設計標準、排水功能。</p> <p>3. 地下排水系統的材料特性與排水規劃、排水設計、抑低滲入處置單元設計。</p> <p>4. 護坡工程的材料特性、設計標準、應力監測等是否適當？是否具長期穩定的特性？</p> <p>5. 適用之法規、標準和規範。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 工程材質與屏蔽材料</p>	<p>三、增列與長期安全相關之核種吸附性，使其說明可適用於地表與坑道處置。</p> <p>四、雖然地表防洪並非坑道處置設施長期安全考量項目，但仍有助維持營運階段安全，建議保留，並規定地表與坑道處置均需說明此項目。</p> <p>五、台電針對第4點提出以下建議：一般大地監測，主要為先得到變位的資訊，再透過變位來了解應力關係，一般在地工領域使用「穩定監測」來泛指此類監測，建議修正。</p> <p>六、增加「處置坑道工程」，以適用坑道處置。</p> <p>七、增列「處置設施在建造、運轉與封閉等各個階段」之文字，係分別針對建造、運轉與封閉等階段應漸次提出或修正檢視與確保工程穩定之監測規劃。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>之組成與特性是否符合場址特性要求？設計標準是否適切？</p> <p>2. 地表防洪的材料特性、設計標準、排水功能是否可防止水入侵至處置單元。</p> <p>3. 地下排水系統的材料特性與排水規劃、排水設計是否適當？是否可抑低地下水滲入處置單元？</p> <p>4. <u>護坡工程或處置坑道工程</u>的材料特性、設計標準、<u>穩定監測規劃</u>等是否適當？是否具長期穩定的特性？<u>穩定監測規劃，必須述明在處置設施建造、運轉與封閉等各個階段執行前，即提出詳細之監測計畫。監測計畫之內容須包括：</u></p> <p><u>(1) 監測項目與參數。</u></p> <p><u>(2) 監測頻率。</u></p> <p><u>(3) 監測系統、組件、裝設位置、資料傳遞方式、故障排除與更換週期。</u></p> <p><u>(4) 資料判讀與分析之執行單位。</u></p> <p>5. 所引用的法規、標準或規範是否適切？</p>	<p>之組成與特性是否符合場址特性要求？設計標準是否適切？</p> <p>2. 地表防洪的材料特性、設計標準、排水功能是否可防止水入侵至處置單元。</p> <p>3. 地下排水系統的材料特性與排水規劃、排水設計是否適當？是否可抑低地下水滲入處置單元？</p> <p>4. 護坡工程的材料特性、設計標準、應力監測等是否適當？是否具長期穩定的特性？</p>	<p>八、增加「處置坑道工程」，以適用坑道處置。</p> <p>九、建議本項「應力監測等」文字刪除，並增列說明「穩定監測」。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.5 輻射安全設計</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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:(a)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。(b)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。(c)對較高活度廢棄物之屏蔽設計。</p> <p>輻射安全設計不但要確保工作人員與一般民眾的輻射劑量在法規限值內,也應依輻射防護之要求,使工作人員與一般民眾的輻射劑量合理抑低。須提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 安全限值:訂定各輻射區之安全限值,可促進各輻射屏蔽之設計,並管制人員之</p>	<p>4.5 輻射安全設計</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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:(a)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。(b)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。(c)對較高活度廢棄物之屏蔽設計。</p> <p>輻射安全設計不但要確保工作人員與一般民眾的輻射劑量在法規限值內,也應依輻射防護之要求,使工作人員與一般民眾的輻射劑量合理抑低。須提出下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 安全限值:訂定各輻射區之安全限值,可促進各輻射屏蔽之設計,並管制人員之</p>	

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>進出，以確保工作人員知之輻射安全。</p> <p>(1)提出設計概念，包括設計基礎與準則。</p> <p>(2)為使工作人員劑量合理抑低，輻射管制區再細分為不同之輻射區，並定出各輻射區之最大輻射劑量率。</p> <p>2. 處置設施結構之輻射屏蔽分析：輻射屏蔽設計與分析，涉及未來是否能安全運轉，所以須提相關資料供審查。</p> <p>(1)屏蔽之設計準則。</p> <p>(2)各輻射管制區內廢棄物所含各核種之活度、比活度及分布情形。</p> <p>(3)各輻射管制區輻射屏蔽結構體之構造強度、比重、厚度等有關資料。</p> <p>(4)屏蔽參數與計算程式。</p> <p>3. 職業曝露合理抑低：輻射防護除須確保工作人員與一般民眾之輻射劑量低於游離輻射防護安全標準之限值外，也必須使劑量合理抑低。為使職業曝露合理抑低，須考量設施設計與管制作業，採取合理抑低措施。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	<p>進出，以確保工作人員知輻射安全。</p> <p>(1)提出設計概念，包括設計基礎與準則。</p> <p>(2)為使工作人員劑量合理抑低，輻射管制區再細分為不同之輻射區，並定出各輻射區之最大輻射劑量率。</p> <p>2. 處置設施結構之輻射屏蔽分析：輻射屏蔽設計與分析，涉及未來是否能安全運轉，所以須提相關資料供審查。</p> <p>(1)屏蔽之設計準則。</p> <p>(2)各輻射管制區內廢棄物所含各核種之活度、比活度及分布情形。</p> <p>(3)各輻射管制區輻射屏蔽結構體之構造強度、比重、厚度等有關資料。</p> <p>(4)屏蔽參數與計算程式。</p> <p>3. 職業曝露合理抑低：輻射防護除須確保工作人員與一般民眾之輻射劑量低於游離輻射防護安全標準之限值外，也必須使劑量合理抑低。為使職業曝露合理抑低，須考量設施設計與管制作業，採取合理抑低措施。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>(3)對較高活度廢棄物之屏蔽設計。</p> <p>4. 人員污染防護之設計。設施之輻射防護設計，必須避免工作人員遭受到體內與體外之放射性物質之污染。</p> <p>5. 人員、物料進出設計。為防範放射性物質污染外界環境，必須有完善的人員、物料進出設計。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 安全限值：</p> <p>(1)處置場輻射安全設計：在場區外，設施對民眾的年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗；在場區內，是否考量輻射源(加馬輻射與空浮)、工作環境、及占用時間，將輻射管制區分區管制，並訂定工作人員的輻射劑量行政管制值；該輻射劑量行政管制值，是否符合合理抑低。</p> <p>(2)是否考量各輻射管制區內工作人員之占用時間與人數，及合理抑低原則，訂定其劑量率限值。並對該管制區之屏蔽與通風設計，是否考量合理抑低。</p> <p>2. 處置設施結構之輻射屏蔽分析</p> <p>(1)屏蔽之設計準則：各輻射管制區之屏蔽設計，是否考量合理抑低；該區之計算</p>	<p>(3)對較高活度廢棄物之屏蔽設計。</p> <p>4. 人員污染防護之設計。設施之輻射防護設計，必須避免工作人員遭受到體內與體外之放射性物質之污染。</p> <p>5. 人員、物料進出設計。為防範放射性物質污染外界環境，必須有完善的人員、物料進出設計。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 安全限值：</p> <p>(1)處置場輻射安全設計：在場區外，民眾的年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗(不考慮背景輻射)；在場區內，是否考量輻射源(加馬輻射與空浮)、工作環境、及占用時間，將輻射管制區分區管制，並訂定工作人員的輻射劑量行政管制值；該輻射劑量行政管制值，是否符合合理抑低。</p> <p>(2)是否考量各輻射管制區內工作人員之占用時間與人數，及合理抑低原則，訂定其劑量率限值。並對該管制區之屏蔽與通風設計，是否考量合理抑低。</p> <p>2. 處置設施結構之輻射屏蔽分析</p> <p>(1)屏蔽之設計準則：各輻射管制區之屏蔽設計，是否考量合理抑低；該區之計算</p>	<p>因輻射背景年有效劑量往往超出 0.25mSv，建議參照法規要求修改成在場區外設施對民眾的年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>最大輻射劑量率，是否小於其限值。</p> <p>(2)各輻射管制區內廢棄物所含各核種之活度、比活度及分布情形：是否考量運轉期間各廢棄物接收區、暫存區、再處理包裝區之最大廢棄物量，及可能的最大活度與比活度。</p> <p>(3)各輻射管制區輻射屏蔽結構體之構造強度、比重、厚度等有關資料：輻射屏蔽結構體之構造強度與比重，是否一併被考慮在建築物結構體。</p> <p>(4)屏蔽參數與計算程式：輻射屏蔽厚度之計算，是否利用可接受的屏蔽計算程式，其屏蔽參數之假設是否合理，並計算各輻射管制區之輻射劑量率。</p> <p>3. 職業曝露合理抑低</p> <p>(1)輻射監測區域規劃：輻射監測區域內的劑量率是否都小於 0.5 微西弗/小時。</p> <p>(2)輻射管制區，是否依輻射劑量率的狀況，再加以細分；每一種輻射管制區內，是否裝設區域輻射監測器與空浮監測器；監測器安裝位置，是否為人員經常到達的地方；監測器之刻度，是否涵蓋預期事故之最大劑量率值；各監測器讀值看板，是否裝設在進入管制區之</p>	<p>最大輻射劑量率，是否小於其限值。</p> <p>(2)各輻射管制區內廢棄物所含各核種之活度、比活度及分布情形：是否考量運轉期間各廢棄物接收區、暫存區、再處理包裝區之最大廢棄物量，及可能的最大活度與比活度。</p> <p>(3)各輻射管制區輻射屏蔽結構體之構造強度、比重、厚度等有關資料：輻射屏蔽結構體之構造強度與比重，是否一併被考慮在建築物結構體。</p> <p>(4)屏蔽參數與計算程式：輻射屏蔽厚度之計算，是否利用可接受的屏蔽計算程式，其屏蔽參數之假設是否合理，並計算各輻射管制區之輻射劑量率。</p> <p>3. 職業曝露合理抑低</p> <p>(1)輻射監測區域規劃：輻射監測區域內的劑量率是否都小於 0.5 微西弗/小時。</p> <p>(2)輻射管制區，是否依輻射劑量率的狀況，再加以細分；每一種輻射管制區內，是否裝設區域輻射監測器與空浮監測器；監測器安裝位置，是否為人員經常到達的地方；監測器之刻度，是否涵蓋預期事故之最大劑量率值；各監測器讀值看板，是否裝設在進入管制區之</p>	<p>輻射監測區域劑量率再請主管機關研議。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>入口明顯處。各輻射管制區的通風，是由低空浮區流向高空浮區，且高空浮區在排放口需裝設過濾器與空浮連續監測器。高空浮區排放口，在測到超過排放限值時，是否有警報，是否可自動關閉排放並停止作業。</p> <p>(3)進入管制區，是否經過輻射防護管制站；管制站是否備妥合適的防護衣、防護手套、防護鞋套、防護面具、及各種人員劑量偵測儀器；在出管制站前，是否裝設全身污染偵測設備，及洗滌、沐浴設備。</p> <p>(4)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：各作業區是否考量其方便性、減少污染、減少停留時間、避免接觸廢棄物的設計。</p> <p>(5)對較高活度廢棄物之屏蔽設計：經屏蔽後之高輻射區，是否允許人員進入與維修相關設備；是否有利用遙控操作高輻射源的設計。</p> <p>4. 人員污染防護之設計：輻射作業環境是否有污染管限制值？空浮管限制值？防範體外污染與體內污染之裝備是否足夠？</p> <p>5. 人員、物料進出設計：是否有足夠的偵檢設備與洗滌設備？是否可避免污染</p>	<p>入口明顯處。各輻射管制區的通風，是由低空浮區流向高空浮區，且高空浮區在排放口需裝設過濾器與空浮連續監測器。高空浮區排放口，在測到超過排放限值時，是否有警報，是否可自動關閉排放並停止作業。</p> <p>(3)進入管制區，是否經過輻射防護管制站；管制站是否備妥合適的防護衣、防護手套、防護鞋套、防護面具、及各種人員劑量偵測儀器；在出管制站前，是否裝設全身污染偵測設備，及洗滌、沐浴設備。</p> <p>(4)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：各作業區是否考量其方便性、減少污染、減少停留時間、避免接觸廢棄物的設計。</p> <p>(5)對較高活度廢棄物之屏蔽設計：經屏蔽後之高輻射區，是否允許人員進入與維修相關設備；是否有利用遙控操作高輻射源的設計。</p> <p>4. 人員污染防護之設計：輻射作業環境是否有污染管限制值？空浮管限制值？防範體外污染與體內污染之裝備是否足夠？</p> <p>5. 人員、物料進出設計：是否有足夠的偵檢設備與洗滌設備？是否可避免污染</p>	

修訂條文	現行條文	說明
擴散到外面環境？	擴散到外面環境？	

修訂條文	現行條文	說明
<p>4.6 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。</p> <p>低放廢棄物處置場的輔助設施或系統，包括廢棄物暫貯區、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、分析或偵測系統等輔助性建物及道路，其設計應能達成：</p> <p>(1)協助處置設施之運轉，維護工作人員安全。</p> <p>(2)協助處置設施建造需求。</p> <p>(3)對處置場封閉措施不會產生負面影響。</p> <p>須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 各種輔助設施的設計基礎及適用準則之描述，包括設施配置圖、工程藍圖、建造規格等。</p> <p>2. 引用最新核定建築法規</p>	<p>4.6 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。</p> <p>低放廢棄物處置場的輔助設施或系統，包括廢棄物暫貯區、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、分析或偵測系統等輔助性建物及道路，其設計應能達成：(1)協助處置設施之運轉，維護工作人員安全；(2)協助處置設施建造需求；(3)對處置場封閉措施不會產生負面影響。須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 各種輔助設施的設計基礎及適用準則之描述，包括設施配置圖、工程藍圖、建造規格等。</p> <p>2. 引用建築法規及工業標</p>	<p>一、第 1 點建議增列設計計算書、工期安排、經費估算、施工規範等。</p> <p>二、施工相關事宜已於第五章有相關規定，故建議不增列。</p> <p>三、第 2 點應採最新核定</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p><u>及工業標準。適用之法規、標準和規範。</u></p> <p>3. 各種輔助建物的安全使用年限及其內重要設備的更換週期。</p> <p>4. 各種輔助設施對處置場建造、運轉與封閉的影響。</p> <p>5. <u>總體處置場所屬</u>交通系統的設計：涵蓋道路的配置、用途、建材、交通管制、以及道路表水的排水系統。</p>	<p>準。</p> <p>3. 各種輔助建物的安全使用年限及其內重要設備的更換週期。</p> <p>4. 各種輔助設施對處置場建造、運轉與封閉的影響。</p> <p>5. 總體交通系統的設計：涵蓋道路的配置、用途、建材、交通管制、以及道路表水的排水系統。</p>	<p>版本。</p> <p>應明確說明相關法規。</p> <p>四、第3點年限、週期數據依據為何？</p> <p>五、第4點建議評估最壞狀況下對安全性之影響。</p> <p>六、第5點建議增列運送計劃(包含如運送路線失效時是否有替代方案等)。應指場區內道路系統，故未做修改。</p> <p>七、總體交通似會涉及場區之海運與陸運系統，應屬運輸計畫審查範圍，建議修改「總體」為「處置場所屬」，以限定其交通系統僅包含處置場所管轄範圍(可包含專用接收港至處置場專用道路)呼應4.6之要求內容。</p>
<p><u>6. 各輔助設施或系統失效時之補救措施。</u></p> <p>(二) 審查作業</p> <p>1. 各種輔助設施是否能有效協助處置設施之運轉並維護工作人員安全？</p> <p>2. <u>所引用的建築法規、及工業標準和規範</u>是否適切？</p> <p>3. 在預期的安全使用年限期間，每一建物是否均能安</p>	<p>(二) 審查作業</p> <p>1. 各種輔助設施是否能有效協助處置設施之運轉並維護工作人員安全？</p> <p>2. 引用的建築法規及工業標準是否適切？</p> <p>3. 在預期的安全使用年限期間，每一建物是否均能安</p>	<p>八、第1點應考慮操作人員/民眾可安全疏散逃生。</p> <p>九、第2點應採最新核定版本。</p> <p>審查時，檢查是否採用最新核定版本法規與標準應屬適切之研判範圍，故未增列。</p> <p>十、第3點各重要設備宜採雙備援或多重備援。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>全地使用？重要設備的更換週期是否適切？<u>是否提供雙備援或多重備援？</u></p> <p>4. 各種輔助設施對處置場建造、運轉與封閉是否不會產生負面的影響？</p> <p>5. <u>總體處置場所屬</u>交通系統是否足以協助處置設施之安全運轉且對處置場建造、運轉與封閉不具負面影響。</p> <p>6. <u>各輔助設施或系統失效時之補救措施是否適切。</u></p>	<p>全地使用？重要設備的更換週期是否適切？</p> <p>4. 各種輔助設施對處置場建造、運轉與封閉是否不會產生負面的影響？</p> <p>5. 總體交通系統是否足以協助處置設施之安全運轉且對處置場建造、運轉與封閉不具負面影響。</p>	<p>十一、第 4 點情境想定宜愈完整愈好。</p> <p>十二、第 5 點建議應進行衝擊評估，以考量各系統失效時之補救措施、監控監視、緊急應變、管理維修、設施巡查檢測作業程序等。</p> <p>十三、總體交通似會涉及場區之海運與陸運系統，應屬運輸計畫審查範圍，建議修改「總體」為「處置場所屬」，以限定其交通系統僅包含處置場所管轄範圍（可包含專用接收港至處置場專用道路）呼應 4.6 之要求內容。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.7 公用設施或系統之設計：說明通訊、電力、供水、供氣、照明、<u>一般事業廢棄物處理、通風</u>等系統之設計，並說明各系統失效時之補救措施。</p> <p>公用設施或系統涵蓋通訊、電力、供水、供氣、照明、<u>一般事業廢棄物處理、通風</u>、與消防等系統。為確</p>	<p>4.7 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。</p> <p>公用設施或系統涵蓋通訊、電力、供水、供氣、照明、廢棄物處理、通風、與消防等系統。為確保每一公</p>	<p>一、廢棄物處理前增列一般事業用詞與內文呼應</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>保每一公用系統能有效協助處置設施運轉並維護工作人員安全，須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 通訊系統之設計與安裝：<u>說明處置作業期間，各作業區與廠區(控制中心)人員維持清晰聯繫之視訊或音訊系統設計，以及緊急應變時期對外聯繫之通訊設計與設備。</u></p> <p>2. 電力系統之設計與安裝：<u>說明可提供處置場安全運轉所需之電力需求與電力系統與設備。</u></p> <p>3. 供水系統之設計與建造：<u>說明於處置場建造、運轉及消防各項用水，以及工作人員飲用水與人員除污用溫水等用水之用水需求與供水系統設計。</u></p> <p>4. 供氣系統之設計與安裝：<u>說明於處置場建造與運轉期間作業所需之燃料氣體、氣體與量體設計計算書與供氣設計。</u></p> <p>5. 照明系統之設計與安裝：<u>說明處置場建造、運轉之照明設計與緊急照明設計。</u></p> <p>6. 一般事業廢棄物處理系統之設計與建造：<u>說明依國家環保法規規範設計之一</u></p>	<p>用系統能有效協助處置設施運轉並維護工作人員安全，須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 通訊系統之設計與安裝</p> <p>2. 電力系統之設計與安裝</p> <p>3. 供水系統之設計與建造</p> <p>4. 供氣系統之設計與安裝</p> <p>5. 照明系統之設計與安裝</p> <p>6. 一般廢棄物處理之設計與建造</p>	<p>二、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>三、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>四、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>五、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>六、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>七、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p>

修訂條文	現行條文	說明
<p><u>般事業廢棄處理設計。</u></p> <p>7. 通風系統之設計與安裝： <u>(1)說明通風系統於污染區與無污染區之風區間(正壓/負壓)與隔離設計。</u> <u>(2)說明污染區通風系統之避免擴散污染、污染偵測與避免污染逸散設計。避免污染逸散設計若採高效率過濾器過濾，應說明點檢與維護計畫。</u></p> <p>8. 消防系統之設計與安裝： <u>(1)說明消防邏輯系統與應變計畫之消防規劃邏輯、消防程序緊急應變計畫標準作業程序、與其偵測、疏散與避難等行為所採用之設備與系統設計，並需說明消防作業期間，如何確保工作人員與大眾免於輻射與火警災害。</u> <u>(2)說明預防輻射與火災防護計畫。</u></p> <p>(二)審查作業 為確保每一公用系統能有效協助處置設施運轉並維護工作人員安全，列舉出各公用系統之審查要項。</p> <p>1. 通訊系統之設計與安裝： <u>(1)在廢棄物接受、吊卸與處置作業之所有時間，不論是視訊或音訊是否皆可清晰的聯繫廠區的人員？</u> <u>(2)是否可與廠區外官方單位維持可靠的聯繫，特別是在緊急應變的時期？</u></p>	<p>7. 通風系統之設計與安裝</p> <p>8. 消防系統之設計與安裝</p> <p>(二)審查作業 為確保每一公用系統能有效協助處置設施運轉並維護工作人員安全，列舉出各公用系統之審查要項。</p> <p>1. 通訊系統之設計與安裝： <u>(1)在廢棄物接受、吊卸與處置作業之所有時間，不論是視訊或音訊是否皆可清晰的聯繫廠區的人員？</u> <u>(2)是否可與廠區外官方單位維持可靠的聯繫，特別是在緊急應變的時期？</u></p>	<p>八、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>九、依審查作業之審查意見增列對於提供資料之要求。</p> <p>十、審查作業修訂方向建議：應細分各子系統所要求之準據。</p> <p>十一、第 1 點第(1)項目前常見視訊對講機，應加以考慮。</p> <p>十二、第 1 點第(2)項建議明列網路、衛星電話、無線電、市內電話、民營</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
(3)是否會與設施的設計或運作相抵觸？	(3)是否會與設施的設計或運作相抵觸？	大哥大等聯繫方法。
2. 電力系統之設計與安裝：是否可對處置場安全運轉，提供充足的電力？	2. 電力系統之設計與安裝：是否可對處置場安全運轉，提供充足的電力？	十三、第 2 點建議明列市電採雙迴路以上安定電源、發電機、UPS、ATS。
3. 供水系統之設計與建造： (1)對處置場建造、運轉及消防，是否皆可提供足夠的水量？	3. 供水系統之設計與建造： (1)對處置場建造、運轉及消防，是否皆可提供足夠的水量？	十四、第 3 點第(1)項另可考慮增列以下項目： 場區空間可燃物之火載量規模？消防隊位置？其汲水取水位置為何？消防隊灌救時間？俾據以提供消防蓄水量計算書？ 應屬第十章第三條規定範圍，故未增列。
(2)是否可提供工作人員足夠的飲用水？	(2)是否可提供工作人員足夠的飲用水？	十五、第 3 點第(2)項估算工作人員人數、應隔離之時間？
(3)是否可提供工作人員除污用的溫水？	(3)是否可提供工作人員除污用的溫水？	十六、第 3 點第(3)項估算工作人員人數、除污之耗費時間？
4. 供氣系統之設計與安裝： (1)對處置場建造與運轉，是否可提供足夠且適當氣體，以利作業之進行？	4. 供氣系統之設計與安裝： (1)對處置場建造與運轉，是否可提供足夠且適當氣體，以利作業之進行？	十七、第 4 點第(1)項會有那些作業、提供需用之氣體與量體設計計算書。增列於提供資料要求。
(2)是否可提供場區必須的燃料氣體？	(2)是否可提供場區必須的燃料氣體？	十八、第 4 點第(2)項會有那些作業？如銲接作業等、提供需用之氣體種類與量體設計計算書。增列於提供資料要求。
5. 照明系統之設計與安裝： (1)對處置場建造與運轉，是否可提供充足的照明。	5. 照明系統之設計與安裝： (1)對處置場建造與運轉，是否可提供充足的照明。	
(2)對於可預期的意外狀	(2)對於可預期的意外狀	二十一、第 5 點第(2)項

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>況，是否可提供緊急照明。</p> <p>6. <u>一般事業廢棄物處理系統之設計與建造</u>：</p> <p>(1) 是否符合國家環保法規</p> <p>(2) 是否會與設施的設計或運轉相牴觸。</p> <p>7. <u>通風系統之設計與安裝</u>：</p> <p>(1) 是否考量污染區與無染區的不同通風系統？</p> <p>(2) 污染區的通風設計，是否由低污染區傳送到高污染區？是否經過高效率過濾器過濾與偵測後才排放？<u>設備之點檢與維修規劃是否合宜。</u></p> <p>8. <u>消防系統之設計與安裝</u>：</p> <p>(1) 消防程序、材料、設備和系統，是否可保護工作人員與大眾免於輻射與火警災害？</p> <p>(2) 是否備有預防輻射與火災災害的防護計畫？</p>	<p>況，是否可提供緊急照明。</p> <p>6. 一般廢棄物處理之設計與建造：</p> <p>(1) 是否符合國家環保法規？</p> <p>(2) 是否會與設施的設計或運轉相牴觸。</p> <p>7. 通風系統之設計與安裝：</p> <p>(1) 是否考量污染區與無染區的不同通風系統？</p> <p>(2) 污染區的通風設計，是否由低污染區傳送到高污染區？是否經過高效率過濾器過濾與偵測後才排放？</p> <p>8. 消防系統之設計與安裝：</p> <p>(1) 消防程序、材料、設備和系統，是否可保護工作人員與大眾免於輻射與火警災害？</p> <p>(2) 是否備有預防輻射與火災災害的計畫？</p>	<p>建議明列市電採雙迴路以上安定電源、發電機、UPS、ATS。</p> <p>二十二、第 6 點第(1)項低放廢棄物之處置理應涵蓋與檢視是否應考慮特殊不成文之習慣或常規。應考慮先進國家之要求。</p> <p>二十三、第 6 點第(2)項運轉流程為何？應進行訪談並一一確認設計需求。</p> <p>二十四、第 7 點第(1)項建議提供通風區間正壓/負壓，俾作有效隔離。增列於提供資料要求。</p> <p>二十五、第 7 點第(2)項過濾器如何維修或定期更換？偵測器如何之點檢與維修？增列於提供資料要求。</p> <p>二十六、第 8 點第(1)項應考慮消防程序緊急應變計畫 SOP、消防邏輯係採主動式消防或被動式消防？是否設置避難室？疏散逃生？設置偵測預警設施？增列於提供資料要求。</p>

修 訂 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>4.8 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。</p> <p>為確保處置設施之各項設計,符合其設計目標與功能,並便於查閱與追蹤,各項設計成果,須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 各重要設計成果之詳細圖說,應說明採用的比例尺。</p> <p>2. 各重要設計成果之細部報告及其相關附冊等。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 各重要設計成果之詳細圖說是否完整?圖說比例尺是否適當性?</p> <p>2. 設計成果細部報告與附冊是否正確與完整?</p>	<p>4.8 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。</p> <p>為確保處置設施之各項設計,符合其設計目標與功能,並便於查閱與追蹤,各項設計成果,須提供下列資料供審查。</p> <p>(一)提供資料</p> <p>1. 各重要設計成果之詳細圖說,應說明採用的比例尺。</p> <p>2. 各重要設計成果之細部報告及其相關附冊等。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>1. 各重要設計成果之詳細圖說是否完整?圖說比例尺是否適當性?</p> <p>2. 設計成果細部報告與附冊是否正確與完整?</p>	

第七章 結論與建議

工程障壁會隨著時間與環境逐漸劣化，導致孔隙率增加、新裂縫產生等現象，進而使工程障壁的透水性與擴散性改變。為了解工程障壁劣化對處置安全之影響，本研究嘗試設計不同劣化比例之工程障壁案例，利用 GoldSim 進行有效劑量模擬，協助掌握工程障壁安全功能之設計考量。此外，本計畫亦蒐集國外的低放射性廢棄物處置場安全評估導則或安全評估報告，了解其在設施設計和施工上的關鍵議題，以適時精進審查導則，協助建立管制單位對於處置場設施設計獨立審查及分析之能力。本計畫研究重要成果與具體貢獻之建議總結如下：

- 一、由前述分析可知，當混凝土障壁層劣化 1% 時，總劑量約為未劣化混凝土障壁的 1.8 倍；當混凝土障壁層劣化比例大於 1.4% 時，總劑量增加的幅度變大，其總劑量將近未劣化混凝土障壁的 2.7 倍，且劑量峰值出現的時間約在處置場封閉後的 1,000 年~1,500 年之間。
- 二、根據分析結果，若要以增加混凝土障壁厚度來提升遲滯核種遷移的效果，則在劣化比例小於 1% 時，厚度增加可有效降低總劑量；劣化比例為 1%~1.5% 時，建議混凝土障壁厚度的不要超過 1.3m，因厚度增加並無法遲滯核種傳輸；劣化比例大於 1.5% 時，混凝土障壁的厚度增加已無法抑低總劑量，此可能為核種傳輸機制由原本的擴散主導轉變為移流主導所造成。
- 三、綜合處置坑道大小、可處置廢棄物的空間、工程經濟性與處置安全等考量，不應僅以增加混凝土障壁厚度，延緩障壁劣化造成的核種加速遷移，亦可考慮藉由材料的選擇，降低混凝土障壁的孔隙率，或是增加其他具有低擴散性或低透水性的障壁，以確保安全。

- 四、近場核種傳輸與工程設計參數之擴散係數關聯性最高，可發展確保低擴散係數之工程材料配比、施工、品管與檢驗方法，藉以提高確保安全之信心。
- 五、低放射性廢棄物處置安全分析報告審查導則之工程設計與施工計畫透過專家會議方式進行修訂。施工計畫審查主要需確認其規劃內容是否能確保處置設施施工品質與施工作業安全，並須符合職業安全衛生、水土保持與環境保護等相關法令規定。
- 六、若處置場同時有部分設施興建與部分已完工設施進行營運，則另需考量如何合理降低工作人員與施工人員之輻射劑量。

參考文獻

- [1] IAEA, Preparation of safety analysis reports (SARs) for near surface radioactive waste disposal facilities, 1995, IAEA-TECDOC-789.
- [2] IAEA, Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste, 2001, IAEA-TECDOC-1256.
- [3] U.S. Department of Energy Carlsbad Field Office Carlsbad, Waste Isolation Pilot Plant Documented Safety Analysis, 2013, DOE/WIPP 07-3372, REV. 4.
- [4] Government Of India, Atomic Energy Regulatory Board, AERB Safety Guide:Near Surface Disposal Of Radioactive Solid Waste, 2006, GUIDE NO. AERB/NRF/SG/RW-4.
- [5] Nuclear Waste Management Organization, OPG's Deep Geologic Repository For Low And Intermediate Level Waste: Preliminary Safety Report, 2011, 00216-SR-01320-00001.
- [6] Nuclear Waste Management Organization, OPG's DEEP GEOLOGIC REPOSITORY FOR L&ILW – PROJECT REQUIREMENTS, 2010, DGR-PDR-00120-0001.

附錄 審查意見回覆

審查意見	意見回覆
1. 整體進度符合契約要求。	
2. 期中報告所提審查意見有多處未修正，請確實修正，並加強校稿。	已確實修正。
3. 第 15 頁，「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」中並未規定 H-3 及 Co-60 之 B 類及 C 類廢棄物核種濃度值，表 2.3.1-1 中所載數字係以何為據？請於報告中說明。	H-3 與 Co-60 並無 C 類之濃度限值，考量其半衰期較短，在後續模擬達百萬年尺度的分析案例下影響有限，採高於 A 類濃度限值一個級數作為初始條件設定。
4. 第 30 頁，報告中請說明為何「提供近場物理和化學條件」能降低「核種的釋出率」或更正敘述。	依 IAEA-TECDOC-1256 報告原意，更正文字為「藉由工程障壁設計，提供可以盡量降低核種釋出率的近場物理和化學條件。」
5. 第 36 頁倒數第 6 行，本處「低放」是否指「低放射性廢棄物」？如是，在本處之描述不宜用簡稱；如否，請說明其含意。	低放是指低放射線，此處確實不宜採用縮寫，已將文句修改為「據以訂定曝露於這些低輻射區域工作者的個人劑量值」
6. 第 37 頁倒數第 9 行，「但可接受因季節性波動而起其低於地下水位」無法看出所指為何，請重新修正此段敘述。	調整為「設施位置應盡可能高於地下水位，但可接受因季節性氣候影響所產生之地下水位高於設施位置的狀況。」
文字修訂建議	
1. 第 1 頁倒數第 3 行、5.2 節及第 6 章標題，導則名稱請更正為「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則（第 0 版）」，目錄亦請一併更正。 2. 第 2 頁第 5 項工作進度之甘特圖有誤，請更正。 3. 第 3 頁，「候選場址」係「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」中之專有名詞，請勿任意使用。本處請修正為「最終處置設施場址」。 4. 第 4 頁表 2.1.2-1 倒數第 2 列，「岩磐」請更正為「岩盤」。	已依委員意見修正。

5. 第 5 頁表 2.1.2-1 第 2 列右側第 1 及 2 欄，「硫酸離子」請更正為「硫酸根離子」。
6. 第 7 頁圖 2.1.2-1，請確定「再冠水」一詞是否正確並更正。最末行左側，「底部沉陷但影響較」之描述不完整，請補充。
7. 第 8 頁倒數第 9 行，「合種」請更正為「核種」。
8. 第 10 頁倒數第 6 行，「 $R_{fwa}(i)$ 」請更正為「 $R_{fWA}(i)$ 」、「 $dCWA(i)$ 」請更正為「 $dCWA(t,i)$ 」。
9. 第 11 頁未劣化區之算式第 1 行應為偏微分式，另算式倒數第 2 及 3 行有誤，請更正。
10. 第 12 頁劣化區之算式第 1 行應為偏微分式，請更正。
11. 第 13 頁算式第 1 行應為偏微分式，另算式倒數第 2 行有誤，請更正。
12. 第 13 頁倒數第 9 行，請更正「衰變定數」為「衰變常數」。
13. 第 15 頁表 2.3.1-1，「 Cm_{242} 」請更正為「 $Cm-242$ 」。
14. 第 17 頁倒數第 8 及 9 行，請修正「廢棄物體層」為「廢棄物層」，以維持名詞一致性。
15. 第 18 頁最末行，請更正「圖 2.3.2-1-1」為「圖 2.3.2-1」。
16. 第 19 頁表 2.3.2-1 最右下欄第 5 行，請修正「介值」為「介質」。
17. 第 20 頁第 4 行，「區曲度」請更正為「屈曲度」。
18. 第 20 頁，圖 2.3.2-2 中，請確認膨潤土障壁層的參數中所包含之「混凝土重」是否誤植並更正。
19. 第 26 頁，「圖 2.3.3-1」請更正為「圖 2.3.3-2」，圖目錄亦請一併更正。

<p>20. 第 27 頁最末行，「緩和」請更正為「緩衝」。</p> <p>21. 第 28 頁第 5 行，此處所隔離者應非放射性材料，請更正為「放射性廢棄物」。</p> <p>22. 第 29 頁倒數第 10 行，請更正「…長期耐久性、與場址特性…」為「…長期耐久性、場址特性…」。</p>	
<p>23. 第 31 頁，目的第 9 點，請再次確認本處係「處置」或「處理」。</p>	<p>原文為 waste handling，故應為處理。</p>
<p>24. 第 31 頁目的第 8 點，請考量「提供資訊」是否修正為「提供資訊予」較適當。</p> <p>25. 第 32 頁第 13 行，「連絡」請更正為「聯絡」。第 14 行，「徑流」請更正為「逕流」。第 15 行，「須要」請更正為「需要」。</p> <p>26. 第 33 頁倒數第 8 行，「元素」請更正為「內容」。</p> <p>27. 第 34 頁倒數第 3 行，「規畫」請更正為「規劃」。</p> <p>28. 第 36 頁第 11 行，「輻射紀錄」請更正為「輻射防護紀錄」。</p>	<p>已依委員意見修正。</p>
<p>29. 第 38 頁第 5 行，請確認「輻射場」一詞之用法是否正確並更正。</p>	<p>已修正為「輻射」。</p>
<p>30. 第 39 頁倒數第 4 行，「正常很緊急」之描述有誤，請更正。</p> <p>31. 第 42 頁設計限制第 5 點，「以最小化開口周圍的過度應力」請更正為「使開口周圍的過度應力最小化」。「最小化岩石支撐系統的維護需求」請更正為「使岩石支撐系統的維護需求最小化」。</p> <p>32. 第 42 頁倒數第 6 行，「低放射性廢棄物雨中放射性廢棄物」請更正為「低放射性廢棄物與中放射性廢棄物」。</p>	<p>已依委員意見修正。</p>

<p>33. 第 43 頁第 11 行，「密封系」請更正為「密封系統」。</p> <p>34. 第 45 頁第 2 行，「及不須再維護」請更正為「即不須再維護」。</p>	
<p>35. 第 46 頁第 6 行，「錢間」請更正為「期間」。第 13 行，請考量「正常演化下」之描述是否適當並更正。最末行請刪除「盡可能」三字。</p>	<p>已將「正常演化下」之描述，修正為「基本情節」。</p>
<p>36. 第 51 頁第 5 行，請確認「鹽處理豎井房以及地下」之敘述是否正確並更正。</p>	<p>已將「鹽處理豎井房以及地下」修正為「鹽處理豎井房以及地下設施」。</p>
<p>37. 第 52 頁第 13 行，請確認「α發射體」及「β發射體」用詞是否正確並更正。</p>	<p>已將「α發射體」及「β發射體」修正為「α核種」和「β核種」。</p>
<p>38. 第 54 頁第 6 行，「除出」請更正為「排出」。第 13 行，「提供給」請更正為「提供」。</p>	<p>已依委員意見修正。</p>
<p>39. 第 56 頁倒數第 8 及 9 行，請考量「水質監測」、「空氣品質監測」及「起重系統監測」後是否應加「系統」二字。</p>	<p>已將「水質監測」、「空氣品質監測」及「起重系統監測」，修正為「水質監測系統」、「空氣品質監測系統」、「起重監測系統」。</p>
<p>40. 第 57 頁倒數第 11 行，請考量「可靠的」之用詞是否適當並更正。</p>	<p>已將「可靠的」修正為「穩定的」。</p>
<p>41. 第 58 頁倒數第 9 行，「是當」請更正為「適當」。</p> <p>42. 第 60 頁倒數第 4 行，「土讓」請更正為「土壤」。</p> <p>43. 第 65 頁倒數第 10 行，「落實」請更正為「落石」。</p> <p>44. 第 80 頁倒數第 3 行，「…沖刷設計、與增加覆蓋系統…」請更正為「…沖刷設計、增加覆蓋系統…」。</p>	<p>已依委員意見修正。</p>
<p>45. 第 80 頁第 6 行所建議將導則第四章第二節「建築設計」標題改為「設施配置」，與表 6-1 有所出入，請確認後修正。</p>	<p>已將「設施配置」修正為「設施設計」。</p>

<p>46. 第 107 頁總結第一點，經查劣化比例大於 1.4%時，總劑量並未超過未劣化混凝土障壁之 2.7 倍，請更正「超過」為「將近」。</p> <p>47. 第 108 頁倒數第 5 行，「相關法」請更正為「相關法令」。</p> <p>48. 第 109 頁參考文獻〔2〕，「ofnear」請更正為「of near」。參考文獻〔6〕，「2OPG' s」請更正為「OPG' s」。</p>	<p>已依委員意見修正。</p>
---	------------------