

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

低放射性廢棄物最終處置場  
設計安全考量之研究

計畫編號：97FCMA004

執行單位：核能研究所

計畫主持人：吳禮浩

報告日期：中華民國九十七年十二月

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

低放射性廢棄物最終處置場  
設計安全考量之研究

協同研究人員：紀立民、張福麟

## 中文摘要

我國低放射性廢棄物處置場目前正積極進行選址作業，依據預定時程將於民國 100 年進行興建執照安全分析報告審查。處置場的設計為攸關安全的重要工作，審查機關放射性物料管理局爰委請核能研究進行設計安全考量之技術研究與審查作業規劃。研究工作完成(1)國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析；(2)我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析；(3)我國低放射性廢棄物處置場安全管制之前置準備規劃；(4)管制技術人員技術交流。相關成果可提供審查機關進行低放射性廢棄物處置場興建申請安全審查作業所需，有助於提升審查品質，確保處置安全。

關鍵字：低放射性廢棄物、最終處置、設計安全考量、管制規劃

## **ABSTRACT**

Taiwan is executing an aggressive schedule to select a final disposal site for low-level radioactive waste (LLRW). As schedule the licence application for the construction of LLRW repository will be in 2011. Institute of Nuclear Energy Research (INER), which has an experience in technology development for the radioactive waste management, pursue a contract to study safety issues should be considered during design and construction phases for the Fuel Cycle and Materials Administration (FCMA).

The achievements of this study includes follows: (1) review on international experience for regulatory control of LLRW final disposal, (2) study on safety issues for design of LLRW repository, (3) planning the requirement of technology development for regulatory control, and (4) experts technical discussion for safety issues. This can benefits the review work of the licenece application and also improves the safety of LLRW disposal facilities.

Keyword: low-level radioactive waste, final disposal, safety issues, design

# 目 錄

中文摘要.....	錯誤! 尚未定義書籤。
ABSTRACT.....	錯誤! 尚未定義書籤。
目錄 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
附圖目錄.....	V
附表目錄.....	錯誤! 尚未定義書籤。 i
1. 前言.....	1
1.1 計畫緣起與目的 .....	1
1.2 研究方法.....	1
1.3 成果效益.....	2
1.4 報告架構.....	3
2. 國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析.....	4
2.1 國外低放射性廢棄物處置場安全分析/審查案例 .....	5
2.1.1 澳洲國家低放射性廢棄物處置場.....	5
2.1.2 日本六所村低放射性廢棄物處置場.....	10
2.1.3 拉脫維亞Baldone低放射性廢棄物處置場 .....	20
2.1.4 立陶宛低放射性廢棄物處置場.....	21
2.1.5 瑞典SFL 3-5 低-中放射性廢棄物處置場 .....	25
2.1.6 英國Drigg低放射性廢棄物處置場 .....	27
2.1.7 美國Butte低放射性廢棄物處置場 .....	32
2.1.8 美國Andrews低放射性廢棄物處置場 .....	34
2.2 國外低放射性廢棄物處置場設計與審查重點評析 .....	36

2.2.1 處置場設計與審查之國際案例分析 .....	36
2.2.2 設施設計相關的議題 .....	37
2.2.3 審查相關的議題 .....	39
3. 我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析 .....	47
3.1 法規要求之處置場設計安全目標 .....	47
3.2 處置場設計原則 .....	49
3.3 處置場設計方法與流程 .....	50
3.4 處置場設計功能要項與安全影響因素 .....	56
3.5 設計的品質管制與品質保證 .....	58
4. 我國低放射性廢棄物處置場安全管制之前置準備規劃 .....	60
4.1 安全管制規劃 .....	60
4.2 安全審查規劃 .....	66
4.2.1 審查組織規劃 .....	66
4.2.2 審查作業規劃 .....	68
4.2.3 審查文件規劃 .....	71
4.3 審查技術規劃 .....	73
5. 安全設計審查技術交流 .....	77
6. 結論 .....	79
參考文獻 .....	80
相關網址 .....	83
附錄 A：設計安全法規與技術規範重點彙整	
附錄 B：設計安全審查要項檢核清單	
附錄 C：低放射性廢棄物處置設施設計安全審查導則建議草案	

## 附錄 D：期末報告審查意見與意見答覆表

## 附 圖 目 錄

圖 3-1 處置場設計工作架構.....	53
圖 3-2 處置場設計工作流程.....	54
圖 3-3 處置場設計之推展過程示意圖.....	55



## 附表目錄

表 2-1 國際案例背景資訊比較表 .....	41
表 2-2 各國安全審查報告內容架構比較表 .....	42
表 2-3 處置設施設計審查國際案例經驗彙整表 .....	43
表 3-1 低放射性廢棄物處置場主要安全影響因素表 .....	58
表 4-1 我國低放射性廢棄物處置設施重要管制項目與措施一覽表 .....	64
表 4-2 處置場發展項目/階段可能產出的重要技術文件 .....	74
表 4-3 核研所安全評估技術發展概況 .....	76



# 1. 前言

## 1.1 計畫緣起與目的

行政院原子能委員會核能研究所(以下簡稱核研所)為配合行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)之業務研發需求，接受委託執行「低放射性廢棄物最終處置場設計安全考量之研究」(以下簡稱本計畫)。計畫期程自民國 97 年 3 月 28 日起至民國 97 年 12 月 31 日止，共九個月餘。計畫目標在於配合物管局業務研發需求，研析我國低放射性廢棄物最終處置場於設計階段可能涉及的安全課題，以利物管局推動對國內低放最終處置場開發之管制措施，順利達成確保處置安全、提昇效益、落實時程之目標。

本計畫工作項目如下：

- (1) 國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析。
- (2) 我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析。
- (3) 我國低放射性廢棄物處置場安全管制之前置準備規劃。
- (4) 管制技術人員技術交流。

核研所如期依據計畫需求完成各項工作，並將研究心得撰寫為計畫成果報告(以下簡稱本報告)，提供物管局參考。

## 1.2 研究方法

- (1) 資訊彙整：彙整核研所既有圖書資訊與搜尋網路資訊取得國外低放處置場相關資訊。資料內容包括：
  - 安全分析報告與審查報告。
  - 國際低放處置概況資訊。

- 國內外低放處置管制法規。
  - 處置場設計相關技術文件。
- (2) 專業分析：配合計畫需求，由核研所資深研究人員就前述蒐整資料，進行設計安全相關重點摘述與整合分析，並歸納國際經驗回饋於我國實際應用，且考量我國處置計畫推動實況，規劃具體可行的設計安全技術審查措施。
  - (3) 技術研討：計畫執行期間，核研所計畫人員與物管局業務負責人密切聯繫進行互動，以確認管制單位需求與設計安全技術審查重點。
  - (4) 報告撰寫：研究成果與心得撰寫為計畫報告，提送物管局審查後修訂定稿。

### 1.3 成果效益

本報告成果預期對物管局執行低放射性廢棄物最終處置場設計安全管制工作有以下的實質效益：

- (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」規定順利選出處置場址，則處置設施經營者於未來三至四年內將提送相關處置場址設置申請文件，屆時物管局將依法展開處置設施安全審查作業。本報告有助於物管局順利推展該審查任務。
- (2) 本報告彙整低放射性廢棄物最終處置場設計理論與國際實務經驗，釐清設計安全考量的重要事項，有助於界定審查作業的範疇與重點。
- (3) 本報告結合我國法令規定、處置計畫推動實況與管制需求，規劃設計安全審查作業程序與管制措施，有助於落實安全審查工作。
- (4) 本計畫蒐集之豐富文獻可以提供物管局，作為進行設計安全審查之科學技術基礎資訊。

## 1.4 報告架構

本成果報告第 1 章為前言，說明計畫緣起與目的、研究方法、計畫成效等；第 2 章為國際低放射性廢棄物處置安全管理經驗研析，摘述國外處置場設計安全考量重點，並進行整合分析；第 3 章為我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析，依據國內外法規與技術規範要求，說明設計要項；第 4 章為我國低放射性廢棄物處置場安全管理之前置準備規劃，配合前述各章的國際經驗與安全設計重點，規劃可行的技術審查措施；第 5 章為安全審查技術交流與建議，整理物管局與核研所雙方專家技術討論的重要議題與心得，作為後續研發或審查工作之參考；第 6 章為報告結論。

## 2. 國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析

本章針對低放射性廢棄物最終處置場設計安全考量的國際資訊與管制經驗進行彙整分析，具體執行方式乃針對各國處置場的安全分析報告與審查報告進行資訊蒐集，藉由前述各國處置場規劃/營運單位提報給法規管制機關的正式文書，分析各國的管制安全要求與實務上的設計考量。

由於近年來國際上新建的低放射性廢棄物處置場極為少數，且多數知名的處置場均建於 1990 年代，文件老舊、內容龐大(通常一套數冊)，因此少有電子檔案公開。近年來更由於反恐與保安的因素，各處置場的細部資訊，亦少公開供不特定對象瀏覽，致使相關資訊蒐集困難。本計畫儘可能利用核研所既有圖書資訊以及搜尋網路資訊，取得澳洲、日本、拉脫維亞、立陶宛、瑞典、英國、美國(含二案例)等共八個低放射性廢棄物處置場申請及/或安全審查的案例進行分析。本報告於 2.1 節摘述其中有關設計安全的內容，於 2.2 節整合說明各國處置場安全設計考量的異同與審查管制重點，彙整上述國際經驗案例的價值在於：

- 掌握國際研發趨勢，使國內長程規劃事半功倍。
- 對比國際安全標準，可提升國內處置安全水準。
- 瞭解國際實務經驗，可解決國內的問題與困難。
- 參考國際資訊數據，可加速國內處置技術發展。
- 藉由國際成功案例，可作國內公眾溝通的題材。

## 2.1 國外低放射性廢棄物處置場安全分析/審查案例

### 2.1.1 澳洲國家低放射性廢棄物處置場

澳洲由教育科學與訓練部(Department of Education Science and Training, DEST)負責籌設一處國家處置場，在提出環境影響說明書(DEST, 2002)後，向主管機關澳洲輻射防護與核能安全署(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ARPANSA)申請設施執照。

澳洲低放射性廢棄物及短半化期中放射性廢棄物，現有數量約 3,700 m<sup>3</sup>，未來數量視研究用核子反應器除役方案與小產源而異，寬估約 6,000 m<sup>3</sup>，因此處置場設計容量為 10,000 m<sup>3</sup>，預計運轉 50 年，監管 200 年。

處置場概念設計(DEST, 2002)，採近地表(near surface)壕溝(trench)處置及鑽井(borehole)處置(處置較高活度的廢棄物)。平面區域配置由外而內分為三層次：外區約 1.5km × 1.5km，設有圍籬標示緩衝區之邊界，內區約 500m × 500m，設有圍牆防止野生動物侵入，處置區約 100m × 100m，設有壕溝及鑽井等設施，進行廢棄物處置。

地表排水設計之考慮包括地面開挖適當坡度，以避免百年發生機率之洪水事件淹沒處置區，運轉期間之降雨均導引至一處設計容量足夠之蒸發池，運轉期間壕溝維持敞開，溝底設計適當的坡度與導/排水系統使雨水集中至集水坑與取樣井。

壕溝長度接近 100m，底部寬約 12m，深 15~20m，一端有斜坡開口，寬度與斜坡設計利於現地重型機具通行施工，深度視不同場址環境而異，並考慮吊車作業之吊掛深度，壕溝側壁設計適當坡角，並予以保護以防坍塌，開挖出來之土壤除另行堆置作未來回填料使用外，運轉期間並在壕溝側邊推成土堤，作為引導地表逕流及標示壕溝所在，以防止車輛或人員無

意墜入，壕溝堆滿廢棄物後，以適當多層次設計的覆蓋系統予以封閉。

處置鑽井直徑約 2m，深度為 15~20m，上部 5m 有混凝土環(collar)防止井口作業期間因碰撞而坍塌，鑽井底部有 0.5m 厚之黏土或混凝土基底，廢棄物固化於 205 公升鋼桶內，每三桶以鋼架組合一批次吊入鑽井內，隨即灌漿填滿該層間隙，然後再依序吊掛下一組及灌漿，最後鑽井上部 5m 使用多層次設計的覆蓋系統予以封閉。

回填材料使用在覆蓋層的設計時，其材料性質與厚度必須能夠長期阻滯雨水的入滲以及維持結構的穩定，避免沉陷，在概念設計階段由上而下包括以下數層：

- 顆粒較大之岩塊以及坡度設計，利於排水但不致於發生沖刷，能保護表面免於被侵蝕。
- 能提供當地植物類似生長環境之土壤層。
- 能阻止掘穴動物侵入之小礫石層。
- 能阻止地下水滲入之不透水的土工透膜(geomembrane)。
- 能阻止地下水滲入之不透水的黏土層。
- 原地土壤或其他材料之回填層。

以上各層均應緊密夯實注意施工品質，以有效發揮設計功能。

輔助設施主要包括以下幾種：

- 運轉大樓：接收、處理、包裝廢棄物，並含小型實驗室進行監測與分析，面積約 20m × 12m。
- 保健物理大樓：機具/人員除污及洗浴、儀器、工具、衣物貯放、區域進出偵檢。
- 辦公大樓：行政管理、保安管制、緊急應變、資料保存等。
- 其他公共設施：道路、水電、通訊、一般廢棄物處理等。



ARPANSA 依據澳洲輻射防護與核能安全法進行審查(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Act 1998)，審查目標包括：

- 輻射防護與核能安全應符合國際最佳慣例。
- 處置措施不應對人類及環境產生健康與安全上不必要的風險。
- 申請者應證明處置行為具有正面效益。
- 申請者應證明劑量限值、最大個人劑量、曝露人數、潛在曝露等符合規定，且已考慮經濟與社會因素並合理抑低。

ARPANSA 另亦委請國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)進行安全審查，審查報告(IAEA, 2004)重要結論說明如下：

#### (1) 法規體系

- 澳洲法規體系母法完備，相關單位權責明確，但建議主管機關應針對處置建立特定的指引，以利申請者遵循。
- 申請者運轉人力乃至於主管機關專業人力不足，建議應投入更多資源於廢棄物管理。

#### (2) 安全評估方法與文件化

- 選址程序透明公開，並充分溝通，符合國際慣例。
- 報告書內容完備，足以說明處置系統符合國際安全目標與準則。
- 澳洲採單一階段執照申請，不符合國際慣例，建議選址、設計、建造、運轉應分階段管制，以反覆進行安全評估，增進信心。
- 安全事例(safety case)評估的相關文件應注意連貫性、一致性與合理性。
- 建議進行現地試驗以驗證主要結構與障壁功能的可行性。
- 建議文件應以更系統化與透明化的方式編寫，如頁碼編碼應有助

於讀者快速尋找有興趣的內容。

- 管理系統遵照 ISO 9001：2000，符合國際慣例。
- 文件內容欠缺設計管制與獨立審查之說明，建議改善。
- 建議廢棄物包件接收前的稽查措施與接收後的檢整措施應加強說明，以確保合於廢棄物接收規範。
- 建議適當說明如何進行文件保管措施。

### (3) 封閉後安全評估

- 主動監管期 200 年符合一般(100~300 年)國際慣例，能阻止人類無意的侵入。
- 建議申請者與法規主管機關應討論決定封閉後正常演變與人類侵入情況的安全標準，安全標準建議參考國際輻射防護協會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)相關規範予以訂定。
- 人類侵入情節評估建議參考 ICRP 81 規範的方法。
- 評估的時間尺度應加以澄清，10,000 年是否為評估的終點？廢棄物接收規範是依據劑量或風險的推算而建立？
- 建議對評估方法應以系統性說明(例如 IAEA ISAM 計畫)。
- 建議對處置系統各部分組成的功能應明確說明，並證明能有效運作。
- 申請者對於場址區域與現地進行詳盡的調查，符合國際慣例。
- 建議加強區域尺度到場址尺度的關聯性說明。
- 建議處置區內應有鑽孔或試坑確認地質、水文地質與地球化學特性。
- 建議加強對斷層與裂隙的調查，以確認對地下水流動的影響，並

- 建議加強對場址地形演變過程的研究，以預測未來的情況。
- 建議應針對特定場址特性進行特徵、事件、作用 (features, events, and processes, FEPs) 分析，排除 FEPs 應有合理的理由，情節應考慮所有可能的曝露途徑，並且可以查證與合理。
- 建議加強說明模式與數據的可查證性與合理性，用簡單模式模擬複雜行為時，對於參數的合理性應特別注意。
- 建議保守度的擇定應有明確且一致的策略，並得考慮使用不確定性與敏感度分析方法。
- 建議監測計畫應與設施障壁的安全功能建立關聯性，監測的頻率與敏感度決定於處置系統的特性與安全功能。
- 建議建立應變措施，處理監測發現核種濃度異常的情況。
- 建議監測計畫應包括氣象資料的觀測。

#### (4) 運轉安全評估

- 建議提出建造申請前，應進行參考設計，說明施工措施與方法。
- 建議詳細說明處置場建造與運轉期間安全相關的限值、管制、條件、程序，以及緊急應變措施等。並應有充分的資訊提供主管機關進行獨立的安全評估。
- 建議設計完成後，與封閉後安全相關的資訊，應提送主管機關並於運轉期間妥善保存。

#### (5) 運輸安全評估

- 澳洲法規已考慮 IAEA 運輸規範，運輸安全符合國際慣例。
- 建議若廢棄物運輸未加外包裝 (overpack)，則盛裝量應於接收規範中訂定，若有外包裝設計則應說明以利審查。

## (6) 審查總結

- ▶ 澳洲選址程序符合國際作法與安全規範，但在法規主管機關通過設施建造與運轉執照前，對於安全性的證明仍應加強。

### 2.1.2 日本六所村低放射性廢棄物處置場

1997 年日本原燃株式會社(Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL)為了在日本青森縣北郡六所村增設第二處置設施，以及變更第 1 處置場之處置計畫，提出「廢棄物掩埋事業變更許可申請書」。該設施用以處置核能發電廠產生之固體放射性廢棄物，以及伴隨該廢棄物掩埋設施作業過程中，附帶產生之固體放射性廢棄物，掩埋的放射性廢棄物以水泥固化處理後，裝進容量 200 公升的廢棄物罐內，第二處置設施最大容量約為 40,000m<sup>3</sup>，相當於 20 萬桶廢棄物罐。

「廢棄物掩埋事業變更許可申請書」(日本原燃株式會社，1997)內容包括：申請者與所在地、變更內容、變更理由、處置場的施工計畫，重要技術細節的說明均以附件型式併案送審，其中主要文件包括設計相關的「廢棄物最終處置場安全設計說明書」以及輻射劑量評估相關的「輻射安全管理及放射性廢棄物廢棄說明書」。

「廢棄物最終處置場安全設計說明書」主要內容摘述如下：

#### (1) 安全設計方針

##### (A) 基本方針

- ▶ 民眾及輻射工作人員所接受的輻射劑量，合於法規並合理抑低。
- ▶ 處置設施經適當設計、製造、建設及測試檢查。
- ▶ 處置設施構造與配置即使受到地震、颱風、積雪等自然現象作用，於適當期間內亦不會損及其安全要求之功能。

(B) 障壁功能：處置場的設計具有障壁功能。

(C) 輻射防護

- 輻射防護：處置場之設計，考慮作業條件，具有輻射屏蔽功能，並合理抑低。
- 輻射管理：處置場之設計，可充分監測、管理輻射工作人員所受之輻射劑量。
- 放射性廢液排放管制：處置場之設計，可將產生之放射性廢液處理後，以適當濃度排放並合理抑低。
- 輻射監測：處置場之設計，對放射性廢液與氣體排放，可進行監測，亦可適當監測周邊區域之輻射劑量。

(D) 地震等自然現象

- 針對地震之設計考量：處置場之設計，針對設計地震力，於適當期間內不損及安全要求之功能。
- 針對地震以外自然現象之設計考量：處置場之設計，參考處置場址及其周邊地區過去的紀錄及現場勘查等，並將所預測的地震外之自然現象列入考量，使於適當期間內不損及安全要求之功能。

(E) 其他安全設計

- 針對火災、爆炸之考量：處置場之設計，具有適當對策，以防止火災、爆炸之發生，且萬一發生火災、爆炸，不至有過多放射性物質排放至處置場外。
- 對停電之考量：處置場之設計，對附屬設施備有適當對策，以防止外部電源喪失功能。
- 對操作失誤之考量：處置場之設計，對操作失誤備有適當對策。

(F) 處置放射性廢棄物所含之主要放射性物質種類：考慮半化期及輻射劑量等觀點，主要放射性物質種類包括：氫、碳-14、鈷-60、鎳-59、鎳-63、鋇-90、鈮-94、鎔-99、碘-129、銫-137、 $\alpha$ 射線所釋放之放射性物質。

(G) 依據規格及基準：本處置場之設計、工程等均以公認適當之規格與基準為準。

## (2) 安全設計

### (A) 障壁功能之安全設計

#### ➤ 處置設施

- 處置窖為鋼筋混凝土製，設置於具有足夠承載力之地盤，依容許應力度法設計，使構成處置窖之外圍隔離設備、內部隔離設備及覆蓋，在構造上對地震力、自重、土壓等荷重均具有充分之安定性。
- 處置窖於廢棄物放置定位後，以水泥回填。
- 處置設施設置排水與監測設備，假使處置窖之外圍隔離設備及覆蓋層發生地下水滲入的狀況，在滲水尚未達到廢棄物前，便予以排水。
- 處置設施周邊之地下水，對處置窖之水泥及水泥類回填材料，不應具有產生影響障壁功能的化學性質。

#### ➤ 附屬設施

具防止廢液洩漏之機械設計，其構造使廢液難以洩漏，並於意外發生時，可防止洩漏擴大至外圍。

### (B) 輻射防護之安全設計

#### ➤ 輻射防護

- 置放廢棄物後的處置窖，於鋪設覆蓋層之前應加上臨時蓋板，並於封閉時於處置窖上方覆蓋厚度具足夠屏蔽功能的覆蓋層。
- 考慮輻射工作人員出入相關各場所的頻率、滯留時間等，訂定屏蔽之外部基準輻射劑量率，並以此基準設計輻射屏蔽。
- 室內作業場所之設計規劃，應具有維持作業環境所需之空調設備。

➤ 輻射管理

處置場依輻射作業情況與劑量劃分管理區，管理區設計可測量與外部輻射相關的輻射劑量率，並備有度量儀器以管理輻射工作人員所受的輻射劑量。

➤ 液體廢棄物之排放管理

處置場排放之液態放射性廢棄物，包括附屬設施於分析作業時產生之廢液，以及排放、監測設備之排水等，處置場設計應使這類液體廢棄物排出時，可進行過濾、除礦之處理，使排水口之放射性物質濃度大幅低於「輻射劑量告示」所訂定之周邊監測區域外之水中濃度規定。

➤ 輻射監測

- 排放之監測：處置場排放之廢液可暫時儲存於取樣槽，採集偵測樣品，以放射能偵測裝置測出放射性物質之濃度，通風空調設備的排氣口則可監測放射性物質之濃度。
- 周邊監測區域之監測：為監測周邊監測區域邊界附近的地下水，在考慮地下水之流向等後，設置地下水採樣孔，採

➤ 處置窖之監測

在運轉與封閉階段，能監測處置窖放射性物質的外漏狀況，依處置場設計，可採集經由設置於處置窖多孔混凝土層中的排水管所排出之排水，測量放射性物質之濃度。

(C) 地震等自然現象之安全設計

處置設施於運轉期間應能承受地震等自然現象之作用而不會喪失其障壁功能，附屬設施則於壽命期間可承受相對於各設施所考量之自然作用力荷重。

➤ 地震

- 處置設施：作用於處置窖之靜地震力為水平加速度 0.2g。
- 附屬設施：建築物與其他設施依相關法規設計。

➤ 地震以外之自然現象

地震以外之自然現象，包括海嘯、漲潮、洪水、颱風、暴雪、異常的寒流等。

- 六所村處置場所處之場址不需考慮海嘯、漲潮及洪水等危害。
- 颱風方面，依法規所定之風壓進行建築物設計，亦考慮場址周邊颱風歷史紀錄，處置設施均位於地下，不會受到颱風影響。
- 暴雪方面，依法規進行建築物荷重設計，並考慮場址周邊積雪歷史紀錄。
- 異常的寒流方面，戶外機器有凍結之虞者，視需要採取適



當之防止凍結對策，處置窖及廢棄物處置設備均位於地下，上方設計厚度足夠之覆土，故幾乎不會受到氣溫影響。

- 此外，覆土層使用壓實土砂，使滲水性小於廢棄物處置地周邊之土壤，同時於地表覆以植被，更進一步考慮到地表水之排水，使處置窖不輕易暴露在外。

#### (D) 其他安全設計

##### ➤ 火災、爆炸

- 處置窖為鋼筋混凝土建造，處置之廢棄物經確認符合接收要求，因此含廢棄物之處置窖本身不會發生火災、爆炸事故。此外，管理建築主要構造為鋼構鋼筋混凝土，於實用可能之範圍內，採用不可燃或不易燃之材料，同時構成處置場之機器、設備類亦極力排除使用可燃物。
- 萬一發生火災，為防止火災擴大，依消防法規採取以下對策：設置火災自動警報設備、消防栓、滅火器等，以防火牆、防火閘門、防火門等規劃適當防火區。

##### ➤ 停電

處置場針對停電規劃以下設計：廢棄物處理設備於停電時，以機械性之設計構造防止墜落，廢液排放以批次式電動幫浦處理，因此停電時不會排放。

##### ➤ 操作失誤

防止操作失誤引發意外，設有防止廢棄物墜落之安全連鎖。

(E) 採用規格及基準：含處置場設計所依據法令與技術規範之條列說明。

#### (3) 設施配置

六所村處置場由處置設施及附屬設施所構成，配置考慮能確保安全為

主，配置以圖示方式於說明書中呈現。

#### (4) 處置設施

##### (A) 概要

處置設施設置 16 座處置窖，最多可處置 40,000m<sup>3</sup>（相當於 20 萬桶 200 公升廢棄物罐）之廢棄物。

##### (B) 主要設備

###### ➤ 處置窖之配置

處置窖配置為東西向，共有東西向 4 行並列，每行有 4 座，每 1 座處置窖可處置約 2,600m<sup>3</sup>（相當於 13,000 桶 200 公升之廢棄物罐）之廢棄物。

###### ➤ 處置窖之規格

處置窖為使用單軸壓縮強度 24.6N/mm<sup>2</sup> 以上（250kgf/cm<sup>2</sup> 以上）之鋼筋混凝土製造，側壁厚約 60cm，底板厚約 80cm。

###### ➤ 排水、監測設備之規格

處置窖之外圍隔離設備、覆蓋與水泥類回填材料之間設有厚度 10cm 之多孔性混凝土層，具有集水功能，並同時將其連接至排水管。此外，設有檢查廊道以監測、檢查處置窖周圍排水管之排水狀況。

###### ➤ 覆蓋層之規格

處置窖之上面及側面執行覆土，以壓實土砂等方式進行，使滲水性小於周邊土壤，覆蓋層厚度為處置窖上方達 11m 以上。

#### (5) 附屬設施

##### (A) 概要

附屬設施包括管理建築、接收設施、輻射管理設施及其他附屬設施(液

體與固體處理設施)所構成。

#### (B) 管理建築

管理建築為鋼構鋼筋混凝土，其規模大小為平面 60m × 60m、高度約為 15m、地上 2 層樓、建築面積約為 3,600m<sup>2</sup>之建築物。主要部分之水泥厚度，外牆約 0.2 至 0.9m，屋頂約為 0.2 至 0.4m。管理建築設有空調設備，空調設備分為控制室、電氣室等非管制區域，以及廢棄物暫貯室、檢查室等管制區，提供各區域潔淨的空氣與控制室內溫度。

#### (C) 廢棄物接收設施

將每批次運送至此之廢棄物包件從運輸容器取出，以橋式吊車疊成 4 層，貯藏於廢棄物暫貯室中。接著將廢棄物 1 桶 1 桶的自輸送容器中取出，於檢查室以輸送帶移送廢棄物，同時讀取整件廢棄物所顯示之編號以及檢查外觀。檢查完畢之廢棄物經整合，以 8 桶為 1 單位，由橋式吊車搬出裝載至場內輸送車輛後，運送至廢棄物處置地點，再以處置吊車放置於處置窖之定點內。此外，為防止輻射工作人員受到不必要之輻射，以上之作業應採用自動化、遙控式操作。

#### (D) 輻射管理設施

##### ➤ 屏蔽

為降低一般民眾及輻射工作人員受到處置場的直接及天空散射的加馬射線，處置設施具有足夠的屏蔽厚度。

##### ➤ 輻射管理設施

- 為實施處置場之輻射管理，利用牆、柵欄等劃分管理區塊，以便執行輻射工作人員等人之出入管理，同時亦設置區域顯示器等輻射度量儀器。此外，亦備有人員劑量器、

- 備有試樣分析相關設備，以測量分析廢液、自排水、監測設備之排水等放射性物質之濃度，並設置排氣用顯示器，以監測空調設備排氣口之放射性物之濃度。

#### (E) 其他附屬設施

廢液處理設備由收集槽、過濾裝置、樣品槽等構成，具足夠盛裝容量，可適當減低排放至周邊環境之廢液濃度，管線等之構造均不易發生外漏，但為防止萬一廢液漏至外部，規劃必要對策，如劃分廢液處理設備及設置檔板等。固體廢棄物處理設備由廢樹脂槽、固化裝置、廢棄物暫貯區等構成。

日本六所村低放射性廢棄物處置場 1997 年的變更申請，本計畫惜未能取得審查報告，但 1990 年建造前的審查報告(科學技術廳，1990)仍極具參考價值，其中要點摘述如下：

#### (1) 審查報告架構

該審查報告包含以下的章節：

##### I. 處置設施概要

##### II. 審查結果

##### 1. 法規體系

##### 2. 審查方法

##### 3. 審查內容

##### 3.1 場址條件

##### 3.2 放射性廢棄物

### 3.3 處置設施安全設計

### 3.4 劑量評估

### 3.5 安全評估

## 4. 審查結果

### (2) 安全設計審查

針對安全設計之審查要點說明如下：

#### (A) 障壁功能

- 確認鋼筋混凝土製處置窖設施，在結構上對覆蓋層壓力與地震力等荷重均具有充分之安定性。
- 確認處置設施能有效排除地下水滲入，並予監測。

#### (B) 放射性管理

- 確認依作業頻率，已考慮作業人員之輻射防護與屏蔽，並合理抑低。
- 確認回填覆蓋層厚度能有效屏蔽廢棄物之放射性。
- 確認對場外一般公眾造成之最大年劑量約 0.027mSv。
- 確認合理劃分輻射管制區並進行監測。

#### (C) 環境安全

確認廢氣與廢液排放均經妥善處理與監測。

#### (D) 其他安全對策

- 確認已依法規考慮地震耐震設計。
- 確認已依法規考慮颱風、積雪、洪水等天然事件之影響並有應對設計。
- 確認已依法規考慮火災與爆炸的影響並有防患措施。
- 確認已考慮操作錯誤、停電等意外的影響並有防患措施。

### 2.1.3 拉脫維亞Baldone低放射性廢棄物處置場

拉脫維亞 Baldone 低放射性廢棄物處置場與其鄰近的 Salaspils 核能研究反應器約同時於 1959 年開始建造，處置場在 1962 年開始運轉，採近地表處置方式，其中一號到六號處置窖(vault)共處置 470 m<sup>3</sup> 低放射性廢棄物，目前已封閉。第七號處置窖於 1995 年開始啟用，為混凝土結構物，配有拆解廢射源的小型熱室，以及 5 噸的天車。

拉脫維亞政府透過歐盟執行委員會(European Commission)經費於 2000 年委託聯合研究組織 CASSIOPEE 對 Baldone 低放射性廢棄物處置場進行現況改善分析與長期安全評估，CASSIOPEE 由法國 ANDRA、荷蘭 COVRA、德國 DBE、西班牙 ENRESA、英國 NIREX 與比利時 ONDRAF/NIRAS 等六個專業機構共同集資籌組而成。Baldone 低放射性廢棄物處置場現況改善分析與長期安全評估報告，內容包括設施現況分析、安全評估、環境影響評估、廢棄物接收準則等。由於 Baldone 低放射性廢棄物處置場是既有設施，CASSIOPEE 評估結論認為操作與安全性合於一般國際標準，僅對新建的處置窖提出建議，認為處置窖上方覆蓋層除考慮隔水效果外，亦應注意人類侵入的障壁效能，得參考美國法規至少 5m 厚度覆蓋層的規定，或以至少 50cm 厚度的鋼筋混凝土作為替代方案。

在政府管制法令方面，拉脫維亞政府於 1999 年發布 268 號法令“放射性廢棄物行動法規(Regulations on Activities with Radioactive Waste)”，其中對於處置場的設計管制要求如下(CASSIOPEE, 2001)：

- (1) 近地表處置場宜為鋼筋混凝土處置窖，內部再區分為數個隔間。
- (2) 隔牆厚度至少 40cm，除非經長期安全評估結果確認需要更厚的障壁。
- (3) 設施之設計與建造須能避免地下水與廢棄物接觸，並設置雨水收集系統，導引滲水遠離處置區，且能管制可能情況下受污染的地下水。

(4) 處置窖封閉後，為減少對大氣的影響，應採取以下措施：

- 處置窖內廢棄物包件之間的空隙，依據廢棄物包件的比活度以砂或混凝土加以填充。
- 處置窖上方視廢棄物包件的比活度設置一層厚度 30-60cm 厚的鋼筋混凝土層。
- 鋼筋混凝土層上方設置多層次隔水覆蓋層。
- 隔水覆蓋層上方再 50cm 厚的礫石層，以防隔水覆蓋層遭到破壞。
- 礫石層上方再鋪設 20cm 厚黏土層。
- 最後再於黏土層上方鋪設 80cm 厚的土壤層。

#### 2.1.4 立陶宛低放射性廢棄物處置場

立陶宛政府為妥善解決 Ignalina 核能電廠產生的低-中放射性運轉與除役廢棄物，預定於 2011 年設置一處置容量 100,000 m<sup>3</sup> 的近地表處置場。立陶宛國立放射性廢棄物管理機構(Lithuania's National Radioactive Waste Management Agency, RATA)在瑞典政府的協助下，完成電廠附近三處候選場址的初步調查與處置場初步參考設計，並將相關成果委請 IAEA 進行審查。

IAEA 審查報告內容包括六個項目(IAEA, 2006)：

- (1) 放射性廢棄物法規與管制體系。
- (2) 品質管理系統。
- (3) 放射性廢棄物存量(inventory)與特性。
- (4) 場址特性與調查資料品質。
- (5) 處置場設計。
- (6) 安全評估。

IAEA 審查小組對於處置場設計之審查意見與建議要點摘述如下：

## (1) 國際標準

IAEA 審查小組建議採用之設計標準包括：

### (A) 近地表處置之安全要求(Safety Requirements)(IAEA, 1999)

- 處置場設計應考慮廢棄物特性、場址特性與安全要求，於處置期間內能適當的隔離放射性廢棄物。
- 處置場設計應減少封閉後的主動維護，並切合場址天然特性以減低任何環境影響。設計必須考慮運轉需求、封閉規劃及其他可能影響廢棄物隔離與處置設施穩定的因素，例如保護廢棄物免於外部事件(如地震)的影響。
- 近地表處置設施得包括工程障壁與伴隨的材料及週邊事物，以使廢棄物隔絕於人類與環境之外。工程障壁包括廢棄物包件及其他人為物件，如處置窖、覆蓋層、襯砌、灌漿與回填料等，工程障壁可防止或遲滯放射性核種從處置場遷移至週圍環境。
- 雖然處置通常定義為將廢棄物永久置於核可的地點不再回收，但有些國家仍要求處置設施具有可再回收能力，若再回收為設計要求，則其設計應注意不得危及處置系統的長期功能。
- 近地表處置設施的設計須能執行監測計畫，以檢驗處置系統於運轉期間及必要時於封閉後的圍阻能力，監測系統的佈設應注意不得危及處置系統的長期功能。

### (B) 一般近地表處置場應考慮之工程障壁系統設計(IAEA, 2003)：

- 廢棄物包件，包括廢棄物本體、盛裝容器、外包裝、及外部塗料等。
- 處置系統，包括工程結構/隔離層、襯砌、及回填材料等。
- 人工覆蓋層，包括一系列交替鋪設的高低透水層。



- (C) 工程障壁結構與材料的選用應考慮耐久性、與場址特性及其他材料的協調性、及可取得性等，對近地表處置而言，工程障壁應能維持數百年的安全功能(IAEA, 2003)。
- (D) 當設計者選用障壁材料時，應考慮其潛在的長期完整性，此性質的評估通常與場址環境有關(例如化學侵蝕、瀝濾效應、腐蝕與侵蝕穩定性、力學應變、冰凍與融冰作用等) (IAEA, 2003)。
- (E) 近地表處置場工程障壁系統設計目的(IAEA, 2001)：
- 抑低放射性核種自廢棄物包件或工程障壁釋出。
  - 限制雨水或地下水入滲。
  - 控制地下水入滲量以維持有利的水力條件。
  - 抑低潛在的人類侵入機率。
  - 提供廢棄物產生氣體時拘限與消散的機制。
  - 提供長期的結構穩定性。
  - 當劣化性物質(degrading materials)侵入時，能保護廢棄物包件的完整性。
  - 協助監測設計能收集與導引滲流水，以進行監測/處理。
  - 控制處置設施(表層/土壤)的侵蝕。
  - 提供近場適當的物理與化學狀態，以抑低放射性核種釋出速率。

## (2) 審查發現

IAEA 審查小組之審查意見包括：

- (A) 立陶宛低放射性廢棄物處置場參考設計，已參考國際既有低放射性廢棄物場設計經驗，並符合 IAEA 安全需求標準。
- (B) 參考設計已考慮下列多重障壁系統組成要素：

- ▶ 包含至少 30cm 厚度(另有 50cm 與 1m 厚度的方案)黏土隔離層的多層次覆蓋層。
  - ▶ 允許氣體遷移的鋼筋混凝土處置窖。
  - ▶ 廢棄物包件(至少包括不銹鋼桶與混凝土箱兩種類型)。
  - ▶ 不同型態的固體或固化放射性廢棄物(混凝土、瀝青、壓縮爐灰、乾離子交換樹脂、珍珠岩等)。
- (C) 參考設計於 2002 年由立陶宛國內外專家組成之審查小組進行評估，其建議有效改進處置概念，但其結論並未於後續研究中進一步討論。
- (D) 參考設計並未合理說明處置系統各組成(components)的安全功能，此步驟對判定處置場關鍵組成極為重要。
- (E) 本階段設計對於工程障壁系統的監測方式尚未完善，審查發現並無規劃地下廊道收集處置窖可能產生的滲出地下水。監測方式仍在討論中，在審查會議以替代方案形式提出，例如某些設計在處置場下方(黏土層下)有收集系統達成此目的。
- (F) 後續場址特性精查，應採取適當方式驗證施工可行性與大地工程評估計算結果。
- (G) 淺地下水位的場址，其排水系統設計應區別可能匯流的滲出水與隨附的地下水流。還未置放廢棄物的處置窖應能排除雨水流入，以防冰凍-融冰循環作用造成處置窖破壞。
- (H) 參考設計要求處置窖底部的黏土層較週圍與上部者滲透性高，如此可避免”浴缸”效應，不致使地下水蓄積在處置窖中無法排出，但在大尺度範圍下監測滲透度差異的可行性應謹慎評估。
- (I) RATA 規劃進行黏土質隔離層建造可行性的監測與評估計畫，值得稱

許。此計畫應實施品質管制與品質保證系統，並考慮不同的設計方案，例如人工合成土工透膜(synthetic geomembrane)的使用。一般而言，使用多層次系統是確保障壁系統長期功能的較佳方法。

(J) 近地表處置場覆蓋層施工數年後，可能會發生土壤沉陷作用，此問題之研究得併入前述現地實驗計畫中進行驗證。

(K) 處置窖平面地基約 18m 長，6m 寬，覆蓋層厚度約 3m，處置設施除處置窖外可能包括某些輔助建築(如貯存廠、管理大樓、實驗室等)。現階段計畫僅考慮 100,000 m<sup>3</sup> 廢棄物包件時，處置窖與覆蓋層等處置區所需用地面積，審查小組初步估算處置區用地約 10 公頃，全部場址用地約需 40 公頃，場址的大小將隨廢棄物包件數量變動。

### 2.1.5 瑞典SFL 3-5 低-中放射性廢棄物處置場

瑞典對於放射性廢棄物處置管理策略，採用分類分區處置方式進行。目前在各核能電廠 Forsmark、Oskarshamn、Ringhals 以及 Studsvik 核能公司均有小型近地表處置設施。另外在 Forsmark 有大型低放射性廢棄物坑道處置設施，稱為 SFR，於 1988 年開始運轉，未來規劃於 2015 年運轉用過核子燃料處置場(稱為 SFL 2)，於 2035 年運轉長半化期低-中放射性廢棄物處置場(稱為 SFL 3-5)。

瑞典政府於 1996 年底要求放射性廢棄物管理專責單位 SKB 公司 (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company)針對長半化期低-中放射性廢棄物處置場提出初步安全評估報告。SKB 公司於 1999 年底提出該報告送交核安管制機關 SKI (Swedish Nuclear Power Inspectorate) 與輻射防護管制機關 SSI (National Swedish Institute of Radiation Protection)進行審查。SKI 與 SSI 組成聯合審查小組並徵詢外部專家/機構之意見，於 2000 年

三月提出審查報告(SKI & SSI, 2000)，該審查報告對我國低放處置場審查作業極具參考價值，爰摘述要點如後。

審查報告內容包括十章：

- (1) 前言。
- (2) 目標與背景。
- (3) 放射性廢棄物存量。
- (4) 設計與選址。
- (5) 系統與情節分析。
- (6) 地質圈條件。
- (7) 生物圈條件。
- (8) 工程障壁與特性。
- (9) 核種傳輸與劑量評估。
- (10) 綜合結論。

其中第 4 章與設計相關的主要內容，SKI 與 SSI 聯合審查小組的意見包括：

- (1) SFR 的運轉經驗有助於 SFL 3-5 設施之設計，但由於廢棄物特性(活度與半化期)導致的時間尺度差異，對於安全性應有獨特的考量。
- (2) 在長期安全的前提下，對於設計相關的問題應進一步作最適化的調整，包括設施深度、不同設施的間距、回填材料、隔水原理、處置場大小、水泥用量、水泥化學組成等。
- (3) 雖然特定場址的地下水流與化學性質可能影響處置場長期安全，但仍應改善設計，務求健全可靠，可以適於多數的可能場址。

- (4) 對於 SFL 3-5 雖然預定在 30 多年後興建，但管制機關認為儘早進行選址研究仍有其價值。除了與 SFR 或 SFL 2 建造在同一地點外，亦可考慮不同深度與距離，甚至不同地點的替代方案。
- (5) 處置場興建可能使用大量水泥，導致地下水偏高鹼性，SKB 對於使用膨潤土作中和劑的規劃，恐過於樂觀，相關論述亦不夠充分。
- (6) 處置場深度的規劃應考慮氣候變遷現象，此部分欠缺說明。
- (7) 影響設計功能與長期安全的事件應予判定，並進行案例分析。
- (8) 地下水化學組成對核種遷移的長期影響(如冰河期)應進一步說明。

#### 2.1.6 英國 Drigg 低放射性廢棄物處置場

英國 Drigg 低放射性廢棄物處置場自 1959 年開始運轉，採近地表處置方式，主管機關英格蘭與威爾斯環境署(Environment Agency of England and Wales, EAEW)要求營運機構英國核燃料公司(British Nuclear Fuels plc, BNFL)於 2002 年 9 月底提出安全事證(safety case)報告，內容包括運轉環境安全事證(Operational Environmental Safety Case, OESC)及封閉後安全事證(Post-Closure Safety Case, PCSC)。BNFL 提出的 PCSC 報告包括總結報告一冊(約 300 頁)及附屬報告 15 冊(共約數千頁)，以及超過 200 項的參考文件與數千頁的技術資訊，相關報告並未對外公開。環境署收到 BNFL 提出的 PCSC 報告後，於 2003 年 2 月提出審查方案(Review Plan) (Duerden, et al., 2003)，並進行審查至 2003 年底，該審查方案對我國低放處置場審查作業極具參考價值，爰摘述要點如後。

##### (1) 審查目的

審查的主要目的包括：

- (A) 評估 BNFL 提出的 PCSC 報告是否符合現行法規要求。

(B) 依據未來法規可能要求對處置設施提出建議。

並審視該報告內容是否滿足以下要求：

(A) 合宜的品質保證制度下完成報告。

(B) 評估的假設與資料具有可追溯的、合理的、及可接受的紀錄。

(C) 依據現行法規進行適當解釋與完成報告。

(D) 包含適當不確定分析的未來輻射影響估算。

(E) 提供適當證明說明申請者已採行最佳實務措施(Best Practicable Means, BPM)，確保處置場對公眾的輻射影響已考慮合理抑低(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)。

(F) 除了封閉後輻射安全評估外，提供充分的理由取得繼續取得放射性廢棄物處置的授權。

(G) 申請者應提供將持續推動計畫進行 PSSC 改善的適當保證。

## (2) 審查範疇

英格蘭與威爾斯環境署審查重點為 Drigg 處置場未來的輻射影響，包括場址特性、廢棄物存量、廢棄物型態、設施設計、營運經費、安全評估、監測措施、與品質保證等多項審查主題，非輻射環境影響則列入 2003 年後期的第二階段審查。

## (3) 審查方法

### (A) 初步審查

檢視申請者提交的文件品質與數量是否合宜，並據以釐清審查範疇與訂定審查時程，通知申請者初審結果，並進行必要資訊的補件。

### (B) 細部審查

第一階段 — 判定關鍵議題

➤ 最適化與最佳實務措施(BPM)。

- 風險評估與管理。
- 氣候變遷影響。
- 處置壕溝與處置窖現況與特性
- 未來人類侵入。
- 潛在曝露群體。
- 核種傳輸與遲滯。
- 水文地質模型。
- 核種釋出。
- 工程障壁特徵。
- 營運機構後續計畫。
- 經費來源。

#### 第二階段 一封閉後輻射安全評估審查

- 審查申請者的軟體工具與程式文件。
- 審查申請者的佐證論述與後續計畫。
- 追蹤審查期間議題判定的結果。
- 開發審查意見與審查評估結果資料庫。
- 規劃補充評估工作或獨立研究的需求
- 推動規劃補充評估工作或獨立研究

#### (C) 審查方法

審查工作需要眾多不同專業領域的專家參與，主管機關不足的專業領域得聘請外部專家小組協助進行獨立審查，聘請的國內外專家宜有 30 年以上專業經驗。審查組織由主管機關指派審查負責人，協調與申請者及審查者之間的介面溝通。審查工作分為負責整體審查作業的核心小組(Core Group)及負責關鍵議題審查的審查小組( Review Groups)。

核心小組的工作包括：

- 對審查小組提出的審查意見進行技術覆核，確保審查意見的一致性與完整性。
- 負責審查相對較高層次的主題，例如最適化的問題。
- 依據議題的重要性建立計畫層面的共識。
- 提供審查者與申請者進行意見溝通的平台。
- 對是否審查核可處置設施運轉提出審查建議。
- 核心小組應對審查作業的效率與有效負起全責。
- 核心小組下依專業議題設置數個審查小組，審查小組設召集人一人，由相似專業領域的專家數人組成，對特定技術議題進行審查。

#### (D) 評估審查意見的重要性

審查者應判斷申請文件是否符合法規要求，並決定審查意見的重要性，以使審查意見能聚焦於顯著影響輻射功能與風險管理的議題上。

約略而言，審查者應自我檢核：

- 該審查意見是否顯著影響輻射安全的計算或其他安全措施？
- 該審查意見是否顯著證明申請者對於處置系統的瞭解？
- 該審查意見是否顯著證明申請者對於場址的管理能管控？

審查者並將審查意見歸類到以下五種等級：

- 1：不適用審查準則。
- 2：不符合審查準則。
- 3：部分符合審查準則列入保留。
- 4：部分符合審查準則列入觀察。
- 5：符合審查準則。

前述 2、3 或 4 類審查意見，審查者應採取後續步驟：



- 要求申請者提出詳細資料進行解釋及/或支持其立場。
- 提出建議由主管機關進行細部討論或審持。
- 提出建議由申請者及/或主管機關進行必要的後續工作，包括進一步量化評估、獨立計算、申請者工作計畫稽查、進一步的研發等。

#### (E) 專案溝通

審查小組內部溝通：審查小組利用會議形式進行內部溝通並協調審查進度，並在重要時間點製作與分發進度報告，說明工作進度與主要意見。

- 審查者與申請者溝通：審查單位與申請單位定期舉行會議就技術與法規議題進行溝通，審查單位於審查結束後提出總結報告，彙整意見與建議事項，交給申請者改善，同時進行公眾閱覽。
- 與第三方的溝通：審查總結報告經公眾閱覽後，對於公眾意見的回饋，審查單位設有通訊地址(含電子郵件)以利溝通。

#### (4) 審查產出與時程

##### (A) 審查產出

完整的審查過程以審查報告的形式文件化，並建立電子資料庫，審查內容的重點則以總結報告提出，交給申請者參考改善，並發布公眾閱覽。

##### (B) 審查時程

BNFL 於 2002 年 9 月提送初步審查文件，完整文件於 2003 年 3 月完成，英格蘭與威爾斯環境署以最少 12 個月的時間進行審查。

### 2.1.7 美國Butte低放射性廢棄物處置場

1990 年代美國中部各州籌組中部跨州聯盟(Central Interstate Compact, CIC)，規劃於內布拉斯加(Nebraska)州 Butte 地區設置一處共同低放射性廢棄物處置場。該處置場經營者美國生態公司(US Ecology, Inc., USE)於 1990 年 7 月向內布拉斯加州環境管制局(Department of Environmental Control)與健康局(Department of Health)提出執照申請，州政府於 1991 年 12 月完成初次技術審查，到 1995 年 5 月，USE 公司完成第四次的州政府技術審查意見回覆，1997 年 10 月，州政府發布初步安全評估報告(Draft Safety Evaluation Report)及初步環境影響分析報告(Draft Environmental Impact Analysis)，在 152 項審查範圍中，同意 123 項，不同意 29 項。州政府獨立進行的功能評估(Independent Performance Assessment)結果，亦顯示年劑量低於法規限值，但審查結論中仍認為處置設施會對環境造成影響，州政府經過 90 天公眾閱覽評議後，分別於 1998 年 2 月與 11 月召開公聽會，在 1998 年 12 月 21 日，州政府否決執照申請案(Central Interstate Low-Level Radioactive Waste Commission, 2004)。

1990 年 7 月美國生態公司提出的安全分析報告，內容依美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)發布之 NUREG-1199 安全分析報告導則規定，共分為以下的十章內容(USE, 1990)：

- 1.0 一般資訊
- 2.0 場址特性
- 3.0 設計與建造
- 4.0 設施運轉
- 5.0 場址封閉計畫與監管
- 6.0 功能評估

## 7.0 職業輻射防護

## 8.0 運轉管理

## 9.0 品質保證

## 10.0 財務保證

其中第 3.0 章與設計相關的主要內容，包括：

### 3.1 主要設計特徵

### 3.2 正常、異常與意外情況下的考慮

### 3.3 建造考慮

### 3.4 輔助系統與設施設計

CIC 低放射性廢棄物處置場採近地表處置方式，設施型式為地上加勁混凝土處置單元(above-ground reinforced concrete disposal units)，主要的設計功能包括：

- (1) 減少滲入處置單元的水。
- (2) 確保工程封閉覆蓋層的完整性。
- (3) 提供封閉覆蓋層之回填材料與層次的結構穩定性。
- (4) 減少廢棄物與水接觸。
- (5) 提供運轉與封閉時的適當場址排水。
- (6) 促進場址封閉與穩定化。
- (7) 抑低長期維護的需求。
- (8) 提供抵抗無意侵入者的障壁。
- (9) 維持職業曝露的合理抑低(as low as reasonably achievable, ALARA)。
- (10) 提供適當的場址監測計畫。

(11) 提供適當的緩衝區(buffer zone)以利執行監測計畫與可能的改善措施。

### 2.1.8 美國Andrews低放射性廢棄物處置場

美國廢棄物管制專業有限責任公司(Waste Control Specialists LLC, WCS)於 2004 年 8 月，向審查單位德州環境品質委員會(Texas Commission on Environmental Quality, TCEQ)提送約 4,000 頁的 Andrews 低放射性廢棄物處置場執照申請文件，並繳交 50 萬美元的執照申請費用。相關文件準備共動用超過 80 名工程師，使用約 30,000 人力工時，處置場若順利取得執照，預定 2010 年開始運轉。

場址地點位於德州 Andrews 郡，有厚達 800 英尺的黏土層，可以有效阻隔滲水與廢棄物接觸，確保處置安全。場址屬半乾燥地區，無可供生活使用之地下水，平均年降雨量約 16 英吋，地下水位約 40 英尺深，最近的含水層則深達 500 英尺以下，最近的居民在 3.5 英里以外。

接收的廢棄物包件以耐用 300-500 年的混凝土容器封裝，97%的廢棄物在 100 年(監管期)內，輻射強度會降低到天然環境背景值以下。

處置設施位於地表下，與母岩接觸的外層設置 3 英尺厚的壓密黏土，中間鋪設排水層，內層則以噴凝土(shotcrete)方式施作加勁混凝土障壁(reinforced concrete barrier)，處置深度依設施設計有 60 英尺與 80 英尺不同的位置。

WCS 公司提出的安全分析報告主要包括 14 節，內容如下(WCS, 2005):

- 1.0 一般資訊
- 2.0 場址特性
- 3.0 設計

- 4.0 建造
- 5.0 運轉
- 6.0 封閉
- 7.0 封閉後與監管
- 8.0 功能評估
- 9.0 品質保證與品質管制
- 10.0 人事
- 11.0 環境報告與替代管理技術
- 12.0 財務資格與財務保證
- 13.0 階層審查程序
- 14.0 時程

其中第 3.0 節與設計相關的主要內容，包括：

- 3.1 一般資訊
- 3.2 法規與標準
- 3.3 場內設施
- 3.4 結構穩定性
- 3.5 處置單元覆蓋層
- 3.6 水的管理
- 3.7 天然事件的設計考慮

處置場設計的安全標準依主管機關 TCEQ 法令 Texas Administrative Code, Title 30, Part 1, §336.729 : Disposal Site Design for Near-Surface Land Disposal，其規定如下：

- (1) 場址設計特徵須能促成場址封閉後的長期隔離及避免連續主動維護的需要。

- (2) 處置場設計與運轉必須符合封閉計畫，並能提供合理保證封閉能滿足功能目標(performance objectives)的要求。
- (3) 處置場設計應能補足與改進場址天然特性，以保證能滿足功能目標的要求。
- (4) 覆蓋層設計須能減少滲水、引導滲水或地表水遠離處置廢棄物，並能抵抗地表地質作用與生物活動的破壞。
- (5) 地面特徵須能引導地表水排離處置單元，而其速度與梯度不會造成後續需要主動維護的侵蝕作用。
- (6) 處置場設計須能避免廢棄物在貯存、處置、封閉後各階段與水接觸。
- (7) 處置場設計儘可能考慮對天然災害的防護措施，包括地區性天氣狀況如颶風、龍捲風、暴風等、洪水發生的可能、以及地質現象如地震與地動等。

## 2.2 國外低放射性廢棄物處置場設計與審查重點評析

由前節研究顯示各國處置場設計與審查管制的重點大同小異，對於設計安全所考慮的項目大致相同，但對場址特性與審查程序則小有差異。茲論述如下：

### 2.2.1 處置場設計與審查之國際案例分析

本報告 2.1 節共蒐集國際上七個國家計八個處置場案例的資訊，資料內容包括處置場申請文件、安全評估報告、安全分析報告、審查報告、審查方案等。針對上述八個處置場的背景資訊比較，詳如表 2-1 所示。其中瑞典 SFL 3-5 處置設施較為特別，係針對中放射性廢棄物進行設計，因此採坑道式深層處置，規劃的處置深度達 300m。其餘的處置設施多針對低放射性廢

棄物與短半化期中放射性廢棄物進行設計，因此均採近地表處置，其處置深度多不大於 30m。

比較各國審查報告之架構如表 2-2 所示，各國安全審查報告論述的重點有相當的一致性，主要包括法規與管制體系、放射性廢棄物特性、處置設施安全設計、安全評估、審查總結等之說明。部分國家另補充說明設施概要、品質管理系統、審查方法、場址條件、劑量評估等內容。其中對於安全評估的審查部分大致上有兩種不同的論述方式，一種是以處置場的運作體系進行說明，如運輸、運轉、封閉等的安全評估；另一種係以模式分析的角度進行說明，如工程障壁、地質圈、生物圈評估等。

對應我國安全分析報告導則中有關處置設施設計審查的八項要點，國際案例設計審查的重點摘要彙整如表 2-3 所示，管制機關得參酌國際經驗，藉以釐清審查的重點。

## 2.2.2 設施設計相關的議題

### (1) 場址特性與設施設計的關聯性

在安全的前提下確保設施經濟有效，是處置設施設計的基本策略。對活度較低且數量龐大的 A 類廢棄物而言，若能採取近地表處置，則所需經費與作業便利性顯然優於坑道處置的方式。然而近地表處置較坑道處置需要更為寬廣的平地，場址亦以雨量稀少、地下水水位深的地點為宜，例如美國商業運轉的低放射性廢棄物處置設施多位於地廣人稀的沙漠。

我國已於 97 年 8 月 29 日，由經濟部公告台東縣達仁鄉南田村、屏東縣牡丹鄉旭海村、及澎湖縣望安鄉東吉嶼三處為低放射性廢棄物最終

處置設施潛在場址(經濟部，2008)，初步研判東吉嶼適於近地表處置，而其餘兩處場址則適於坑道處置。

## (2) 廢棄物特性與設計的關聯性

國際經驗顯示，對應不同的放射性廢棄物有不同的設計與管制標準，以美國為例，聯辦法規 10 CFR 61 規定 A 類廢棄物於處置後監管 100 年，可使主要核種衰變到無害人體健康的程度；B 類、C 類廢棄物本體或容器設計必須能穩定，即須維持整體物理性質與辨識性超過 300 年；採近地表處置 C 類廢棄物要求處置區距離人工覆蓋層表面至少 5m，且能障壁人類無意侵入至少 500 年；超 C 類則不得於近地表處置設施中進行處置。基本上活度高的廢棄物埋的深，可以降低人類無意在地表活動(如耕種)可能的影響，以及增加核種傳輸途徑的距離。

## (3) 功能/安全評估與設計的關聯性

國際經驗顯示，設計是否能達成預定目標有賴功能/安全評估加以確認，但相關名詞通常混用或混淆，名詞定義美國與歐洲國家亦有出入，國內翻譯名詞亦造成落差，使用時宜重新定義。

一般通俗的定義如下：

(A) 功能評估(performance assessment, PA)：廣義(如美國)的定義：等同於歐洲國家的 safety assessment，評估處置場其功能性與安全性能否滿足預定的功能目標(performance objectives)。狹義的定義(如 IAEA 與歐洲各國)：評估一個結構/系統/組件是否能符合其預期的功能(例如 HIC 設計 300 年，則評估特定場址條件下 HIC 是否能達到預期功能)。



- (B) 安全評估(safety assessment, SA)：與廣義的 performance assessment 等義，評估處置系統的安全性及釋出的核種劑量是否符合法規要求。亦即美國人講的 PA 跟歐洲人講的 SA 意義近似。
- (C) 安全分析(safety analysis)：廣義指進行安全評估的相關計算分析。狹義特指處置執照申請所進行的安全分析，如 safety analysis report (SAR)。
- (D) 安全評估(safety evaluation)：廣義與 safety assessment 等義。狹義特指法規主管機關的平行驗證分析，如 safety evaluation report (SER)。

### 2.2.3 審查相關的議題

- (1) 公眾溝通：民意是決定處置場能否興建的主要因素，愈民主化的國家其影響愈形顯著。處置設施申請者之安全分析報告乃至於主管機關審查結論報告，公開閱覽接受公評，已經是國際趨勢。美國與我國均將聽證會納入執照核可程序，我國法規亦明定「建議候選場址」應經地方性公民投票同意，方得為「候選場址」。爭取民眾的支持則有賴完備的技術與詳實的評估，來提升民眾對安全的信心與信賴。我國「低放射性廢棄物處置設施安全分析報告導則」雖然並未將公眾溝通相關議題納入既定格式中，但本研究建議可參考美國 WCS 申請案作法，以附冊型式說明申請者對公眾溝通所作的努力以及公眾閱覽意見的答覆說明等，以利加速通過審查。
- (2) 環境保護與輻射安全：執照審查通過與否的關鍵在於環保與安全。一般而言，對於環境的破壞是無可挽回的，對於安全則可以用工程障壁與增加成本來提升。因此，國際經驗顯示政府審查機關或公眾對於環保的議題通常優先於安全的議題。我國法規亦規定在核能主管機關作出審查結

論前，處置設施申請案應先通過環評審查。

- (3) 審查作業與管制：處置設施申請案的審查方式，各國不同，以美國的法規最為繁瑣詳盡，主要原因在於美國低放射性廢棄物審核權在州政府，除了聯邦法令外，各州亦訂有相關法規。其餘國家則多以國家立場進行少數幾處的處置場建造與審查，各國進行審查作業基本上都強調透明公開，審查作業期間審查人員應有適任資格，必要時進行現地訪查或安全評估的平行驗算。

表 2-1 國際案例背景資訊比較表

資訊 案例	處置場	管制機關	型式	廢棄物	深度(m)	現況	蒐集文獻
澳洲	—	ARPANSA	近地表	LLW-ILW	15-20	規劃	審查報告： IAEA, 2004
日本	Rakkasho	科學技術廳	近地表	LLW	15	運轉	變更申請書： 日本原燃株式會社， 1997 審查報告： 科學技術廳，1990
拉脫維亞	Baldone	—	近地表	LLW	—	運轉	評估報告： CASSIOPEE, 2001
立陶宛	—	RATA	近地表	LLW-ILW	—	規劃	審查報告： IAEA, 2006
瑞典	SFL 3-5	SKI, SSI	坑道	ILW	300	規劃	審查報告： SKI & SSI, 2000
英國	Drigg	EAEW	近地表	LLW	—	運轉	審查方案： Duerden, et al., 2003
美國	Butte	Nebraska	近地表	LLW	—	終止	安全分析報告： USE, 1990
美國	WCS	Texas	近地表	LLW-ILW	20-25	規劃	安全分析報告： WCS, 2005

註：“—” — “資訊不明。”

表 2-2 各國安全審查報告內容架構比較表

報告內容架構	澳洲	日本	立陶宛	瑞典
前言，目標與背景	○	○	○	○
設施概要		○		
法規與管制體系	○	○	○	
品質管理系統			○	
審查方法		○		
放射性廢棄物特性		○	○	○
場址條件		○		○
處置設施安全設計		○	○	○
安全評估	安全評估方法 封閉後安全評估 運轉安全評估 運輸安全評估	○	○	系統與情節分析 地質圈條件 生物圈條件 工程障壁與特性
劑量評估		○		○
審查總結	○	○	○	○

表 2-3 處置設施設計審查國際案例經驗彙整表

我國安全分析報告導則對於處置設施設計之要求項目	設計安全審查國際案例之經驗回饋
<p>一、設計目標與功能需求</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 澳洲：建議提出建造申請前，應進行參考設計，說明施工措施與方法。</li> <li>• 拉脫維亞：近地表處置場宜為鋼筋混凝土處置窖，內部再區分為數個隔間。</li> <li>• 立陶宛：處置場設計應考慮廢棄物特性、場址特性與安全要求，於處置期間內能適當的隔離放射性廢棄物。</li> <li>• 立陶宛：處置場設計應減少封閉後的主動維護，並切合場址天然特性以減低任何環境影響。</li> <li>• 立陶宛：近地表處置設施得包括工程障壁與伴隨的材料及週邊事物，以使廢棄物隔絕於人類與環境之外。</li> <li>• 立陶宛：近地表處置設施的設計須能執行監測計畫。</li> <li>• 美國：場址設計特徵須能促成場址封閉後的長期隔離及避免連續主動維護的需要。</li> <li>• 美國：處置場設計與運轉必須符合封閉計畫，並能提供合理保證封閉能滿足功能目標的要求。</li> <li>• 美國：處置場設計應能補足與改進場址天然特性，以保證能滿足功能目標的要求。</li> </ul>
<p>二、建築設計</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 瑞典：在長期安全的前提下對於設計相關的問題應進一步的作最適化調整，包括設施深度、不同設施的間距、處置場大小等。</li> </ul>

表 2-3 處置設施設計審查國際案例經驗彙整表(續)

我國安全分析報告導則對於處置設施設計之要求項目	設計安全審查國際案例之經驗回饋
三、結構設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日本：確認鋼筋混凝土製處置窖設施，在結構上對覆蓋層壓力與地震力等荷重均具有充分之安定性。</li> <li>● 日本：確認已依法規考慮地震耐震設計。</li> <li>● 日本：確認已依法規考慮颱風、積雪、洪水等天然事件之影響並有應對設計。</li> </ul>
四、土木設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 澳洲：宜進行現地試驗以驗證主要結構與障壁功能的可行性。</li> <li>● 日本：確認處置設施能有效排除地下水滲入，並予監測。</li> <li>● 拉脫維亞：隔牆厚度至少 40cm，除非經長期安全評估結果確認需要更厚的障壁。</li> <li>● 拉脫維亞：設施之設計與建造須能避免地下水與廢棄物接觸，並設置雨水收集系統，導引滲水遠離處置區，且能管制可能情況下受污染的地下水。</li> <li>● 拉脫維亞：處置窖封閉時，廢棄物包件之間的空隙應加以填充，並以適當設計的覆蓋層掩埋。</li> <li>● 立陶宛：工程障壁結構與材料的選用應考慮耐久性、與場址特性及其他材料的協調性、及可取得性等。</li> <li>● 立陶宛：障壁材料的選用，應考慮其潛在的長期完整性，此性質的評估通常與場址環境有關。</li> <li>● 瑞典：影響設計功能與長期安全的事件應予判定，並進行案例分析。</li> </ul>

表 2-3 處置設施設計審查國際案例經驗彙整表(續)

我國安全分析報告導則對於處置設施設計之要求項目	設計安全審查國際案例之經驗回饋
四、土木設計(續)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 美國：覆蓋層設計須能減少滲水、引導滲水或地表水遠離處置廢棄物，並能抵抗地表地質作用與生物活動的破壞。</li> <li>● 美國：地面特徵須能引導地表水排離處置單元，而其速度與梯度不會造成後續需要主動維護的侵蝕作用。</li> <li>● 美國：處置場設計須能避免廢棄物在貯存、處置、封閉後各階段與水接觸。</li> <li>● 美國：處置場設計儘可能考慮對天然災害的防護措施，包括地區性天氣狀況如颶風、龍捲風、暴風等、洪水發生的可能、以及地質現象如地震與地動等。</li> </ul>
五、輻射安全設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 澳洲：建議詳細說明處置場建造與運轉期間安全相關的限值、管制、條件、程序等，以及緊急應變措施等。並應有充分的資訊提供主管機關進行獨立的安全評估。</li> <li>● 日本：確認依作業頻率，已考慮作業人員之輻射防護與屏蔽，並合理抑低。</li> <li>● 日本：確認回填覆蓋層厚度能有效屏蔽廢棄物之放射性。</li> <li>● 日本：確認對場外一般公眾造成之最大年劑量約 0.027mSv。</li> <li>● 日本：確認合理劃分輻射管制區並進行監測。</li> <li>● 英國：提供適當證明說明申請者已採行最佳實務措施，確保處置場對公眾的輻射影響已考慮合理抑低。</li> </ul>

表 2-3 處置設施設計審查國際案例經驗彙整表(續)

我國安全分析報告導則對 於處置設施設計之 要求項目	設計安全審查國際案例之經驗回饋
六、輔助設施或系統之設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日本：確認廢氣與廢液排放均間妥善處理與監測。</li> </ul>
七、公用設施或系統之設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日本：確認已依法規考慮火災與爆炸的影響並有防患措施。</li> <li>● 日本：確認已考慮操作錯誤、停電等意外的影響並有防患措施。</li> </ul>
八、圖說與資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 澳洲：建議文件應以更系統化與透明化的方式編寫，如頁碼編碼應有助於快速尋找與審閱相關內容。</li> <li>● 澳洲：文件內容應有設計管制與獨立審查之說明。</li> <li>● 澳洲：建議適當說明如何進行文件保管措施。</li> <li>● 英國：評估的假設與資料具有可追溯的、合理的、及可接受的紀錄。</li> </ul>



### 3. 我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析

本章說明低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項，包括設計安全目標、設計原則、設計方法與流程、設計要項、設計影響因素等。

#### 3.1 法規要求之處置場設計安全目標

設計的安全目標即在於滿足法令與技術規範的要求，國內外相關重要法規的要求如後，技術性規範之摘要彙整另參見本報告「附錄 A：設計安全法規與技術規範重點彙整」。

(1) 放射性物料管理法(第十七條)：放射性廢棄物處理、貯存或最終處置設施之興建，應向主管機關提出申請，經審核合於下列規定，發給建造執照後，始得為之：

- 一、符合相關國際公約之規定。
- 二、設備及設施足以保障公眾之健康及安全。
- 三、對環境生態之影響合於相關法令規定。
- 四、申請人之技術與管理能力及財務基礎等足以勝任其設施之經營。

(2) 低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則

第八條：低放處置設施之設計，應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過○·二五毫西弗，並應符合合理抑低原則。

第九條：低放處置設施應採多重障壁之設計，並依廢棄物分類特性分區處置。

第十條：低放處置設施與安全有關系統及組件之設計，應符合下列規定：

一、可進行檢查、維護及測試。

二、防範可預期之天然災害。

三、具備緊急應變功能。

四、具有相互替代性或備份。

第十一條：低放處置設施封閉前，其排水與防滲設計，應能防止廢棄物與積水或滲漏水接觸。

第十二條：低放處置設施之保安與警示設計，應能防止人員誤闖或占用。

### (3) IAEA WS-R-1 安全要求(Safety Requirements) (IAEA, 1991)

7.1. 考慮廢棄物特性、場址特性及安全要求下，設計應能在要求的時間距離內提供適當的廢棄物隔離功能。

7.2. 設計應能使封閉後的主動維護減到最小，且能補充場址的天然特性減少對環境的影響。

7.3. 近地表處置場應使用工程障壁如廢棄物包件、處置窖、覆蓋層、襯砌、灌漿與回填等，以防止或遲滯核種釋出，並使廢棄物隔離於人類與環境之外。

7.4. 若廢棄物再回收能力屬設計要求之一，則須將其納入設計程序中，且不得使其危及處置場的長期功能。

7.5. 近地表處置場的設計須能推動監測計畫，以便驗證運轉期間或封閉後處置系統對核種的阻隔能力。監測措施的安排不得危及處置場的長期功能。

### (4) 美國 10 CFR 61 功能目標(Performance Objectives) (USNRC, 1982)

Sec. 61.41 保護公眾免於釋出放射性之危害。

Sec. 61.42 保護無意中闖入的個人。

Sec. 61.43 保護作業人員。

Sec. 61.44 維持處置場封閉後的穩定性。

### 3.2 處置場設計原則

低放射性廢棄物處置場設計需求，必須滿足安全可行性、技術可行性、經濟可行性的原則，並應包括以下要點：

- (1) 能與廢棄物及場址特性相容：處置場之設計容量應能容納預定處置之廢棄物數量，處置設施建造、運轉、封閉時程能與廢棄物管理體系相結合，並且因地制宜採用適當的處置方式如近地表處置或坑道處置等。
- (2) 多重障壁的設計：處置設施除了選擇具遲滯核種遷移的穩定地質環境作為處置母岩外，亦配合謹慎設計與施工的工程障壁，例如妥善安定化的廢棄物本體、耐腐蝕的處置容器、具化學與力學性質緩衝能力的回填材料、及處置窖覆蓋或坑道封閉措施等，層層將廢棄物圍阻與障壁。而單一障壁系統的破壞或失效不得影響整體功能的達成，藉此多重障壁概念，來確保處置的安全性。
- (3) 多角度思考的障壁策略：處置場設計概念亦通常需結合隔離、遲滯、稀釋等不同的策略觀念，對個別的處置系統作出適當的規劃與調整，以發揮系統整合的效果。
- (4) 保留適當的安全餘裕：初步設計概念之規劃由於係基於假定的、較少的且不確定性較高的資料，因此應有較寬列的安全餘裕，以容納可能的不確定因素與風險。這些寬列的安全餘裕在後續的工作中，隨著較真實資料的加入，且經過驗證後，可以逐步縮減，以符合效益。
- (5) 安全前提下經濟有效：處置場安全的確保需要妥善的規劃、設計與施工，而這些都需要提列必要之成本。過高的成本將使處置工作窒礙難

行，因此安全與經濟效益之間，應該取得適當的平衡，並作最適化之調整與配合，以使處置概念之建立能以合理的設計達到安全的目的。

- (6) 參考國際經驗發展國內技術：處置場設計技術先進國家如瑞典、瑞士、英國、法國、日本、美國等，其技術發展過程與成就，極值得作為我國發展相關技術之借鏡。我國進行處置場設計時，除參考各國既有經驗外，亦應考量本土特性，例如可能的候選場址岩性、低放射性廢棄物型式與數量、本國法規要求等，以提出最為有利與合理可行的設計方案。
- (7) 保留設計的變通彈性：處置場整體設計工作長達數年，因此應該保留變通的彈性，廣泛考慮不同的設計變因，例如地質環境、處置容器材質、包件置放方式之差異性等。
- (8) 落實設計品質保證措施：處置場設計工作繁複費時且涉及安全事項者更不容有所疏失。隨著設計工作的進展，參與的人力與專長必然增多，有必要建立品質保證/品質管理制度，紀錄追蹤不同版次設計變更過程，並對重大設計進行逐層審核，以確保設計之安全。

### 3.3 處置場設計方法與流程

處置場設計工作是一項重大的工程案，有必要採行具有系統性(systematic)、結構性(structured)、反覆計算(iterated)、循序漸進(stepwisel)的方法逐步精進，一般採行之方法為系統需求法(system requirement approach)(Weston Inc., 1984)。系統需求法以系統性的方法判別建造及運轉處置場的所有資料需求，包括納入處置系統的設計及功能分析，以列出所有的資料需求。其步驟為：

- (1) 定義系統設計目標：就本計畫而言即為永久安全隔離我國低放射性廢棄物於單一處置設施。

- (2) 定義系統功能：亦即處置方式之選擇，我國低放射性廢棄物可能採行近地表處置或坑道處置方式，並以多重障壁原則進行設計。處置場基本的功能目標須能提供低放射性廢棄物在運轉期間及封閉後之安全性，且限制核種釋出至人類可到達的環境。
- (3) 定義系統需求：系統需求係為達成前述功能，所需提供之主、次要設施及設備，進行廢棄物接收、處理、置放等作業，並考慮設施未來封閉與除役的功能性與作業可行性等，以及提供運轉所需之輔助服務等。
- (4) 定義資料需求：資料需求則包括相關於各項設施設計所需之廢棄物特性、場址特性、材料特性、施工方法、設備/機具規格、場址變遷行為之預測、功能/安全評估結果之回饋等。

本研究依據前述流程繪製處置場設計工作架構如圖 3-1 所示，設施設計、功能評估與場址特性調查為處置場發展的重要三項領域，彼此間必須緊密配合。設計工作本身由設計目標的建立，到設計功能與設計需求，以及更詳盡的設計參數間，呈現金字塔狀結構。亦即欲達成設計目標的理念，必須由廣泛的設計參數資料加以配合。設計工作亦須配合法規要求、設計準則、設計要求、設計假設的外部條件，在品質保證與品質管制下進行設計驗證，以落實設計成果。

重大工程之設計工作一般分為概念設計、基本設計、細部設計等三個階段實施，一般概念設計階段基本流程步驟如下：

- (1) 確認設計目標與設計需求。
- (2) 擬定工作時程。
- (3) 釐清法規與適用準則。
- (4) 確認設計背景資料。
- (5) 蒐整設計相關資料。

- (6) 規劃主要/次要系統。
- (7) 釐清系統介面關係。
- (8) 決定設計參數。
- (9) 進行設計分析。
- (10) 建立設計規格。
- (11) 估經費需求。
- (12) 審查與資料增補。
- (13) 編寫設計說明。

前述步驟為概念設計階段的基本工作流程，後續基本設計與細部設計進行時，流程另應包括設計變更與修正、設計驗證、發包施工、設計維護等相關步驟。一般化的處置場設計工作流程如圖 3-2 所示，重點工作為設計資訊彙整、設計工作規劃、與設計分析等。

處置場設計之推展過程如圖 3-3 所示。本計畫將此過程劃分為規劃、選址、建造、運轉四個階段，各階段有其對應之設計工作，選址階段進行概念設計與基本設計，而在開始建造前應完成細部設計。概念設計主要在於提出各種可能的方案；基本設計則選出其中具體可行者；細部設計則對選定的方案進行細部設施設計與作業規劃。設計成果均以申請文件型式提出，包括提交作業單位主管機關的可行性評估報告(Feasibility Study Report, FSR)、提交環境保護主管機關的環境影響說明書(Environmental Impact Statements, EIS)與環境影響評估報告書(Environmental Impact Assessment, EIA)、以及提交處置安全主管機關的初期安全分析報告(Preliminary Safety Analysis Report, PSAR)與終期安全分析報告(Final Safety Analysis Report, PSAR)等。整個設計的過程配合場址特性資訊與廢棄特性資訊精度與廣度的

增加，逐步地定量化以及合理化，最終目的在於依據法規且配合既定時程，建造完成一個安全而經濟有效的低放射性廢棄物處置場。

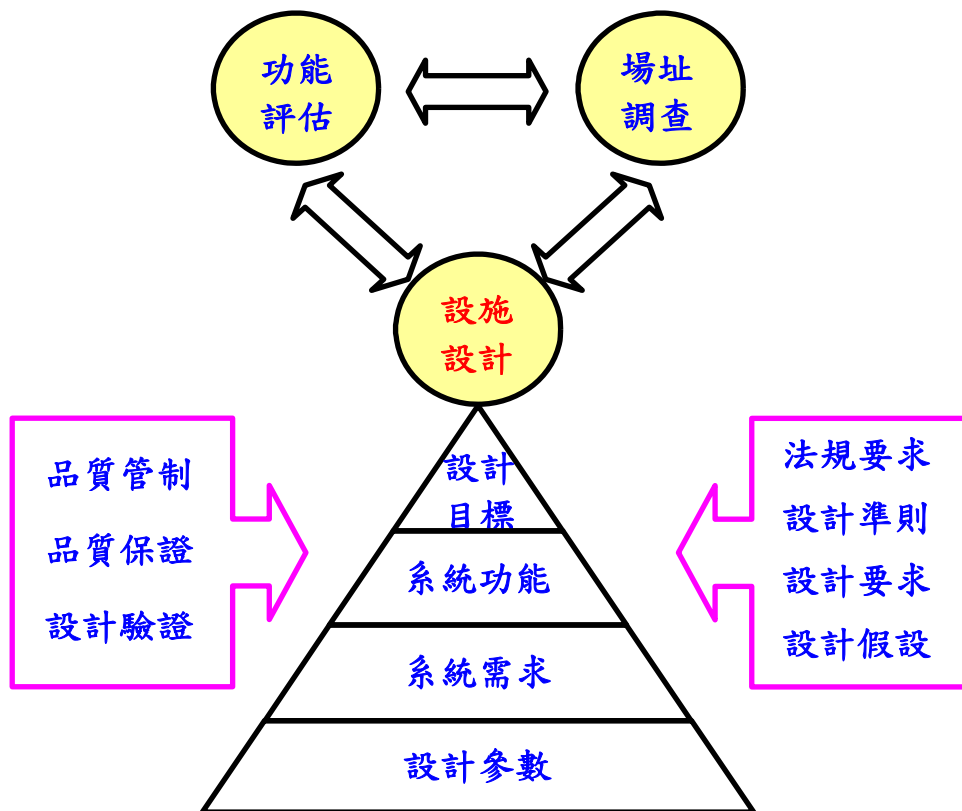


圖 3-1 處置場設計工作架構

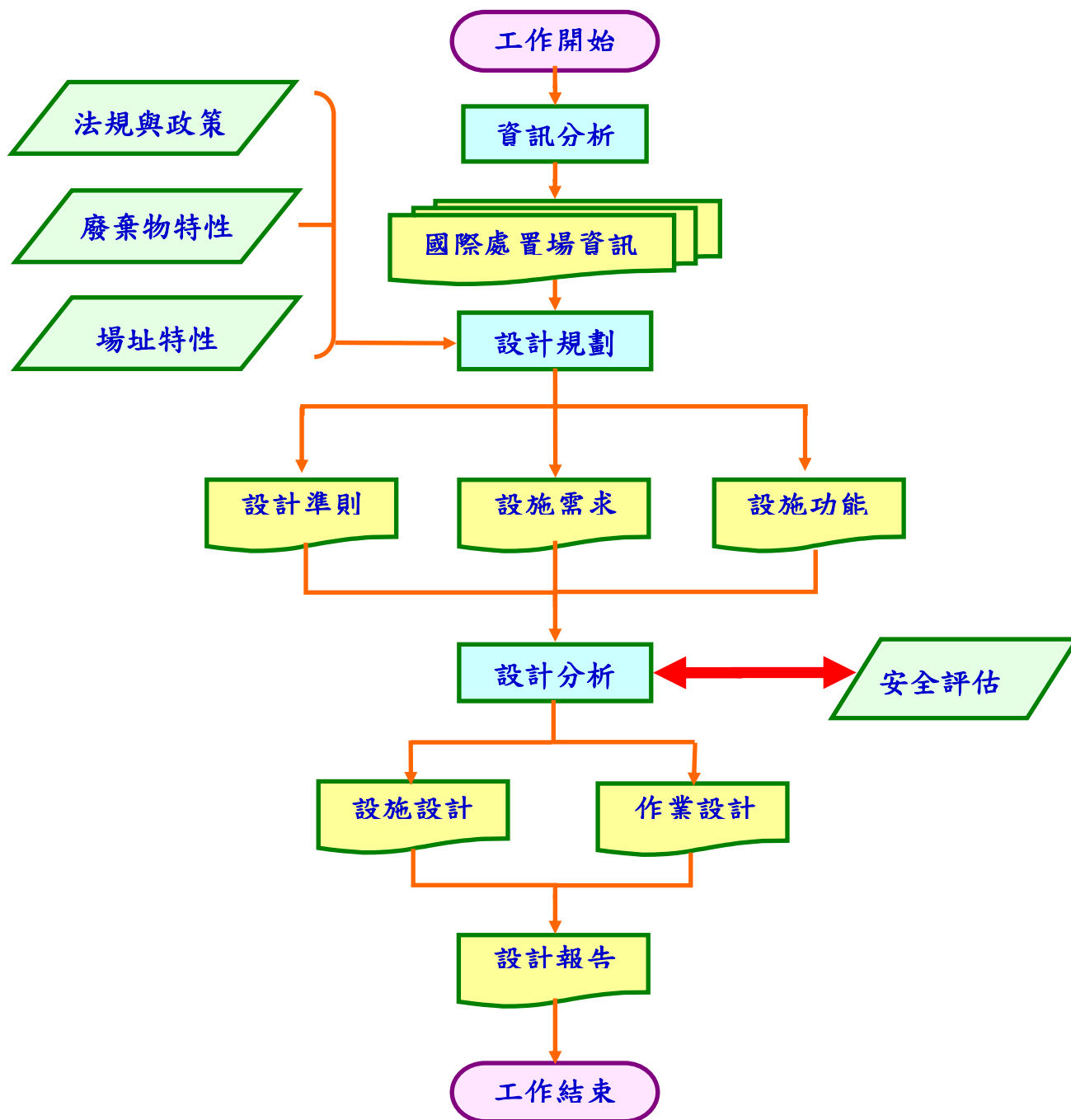


圖 3-2 處置場設計工作流程



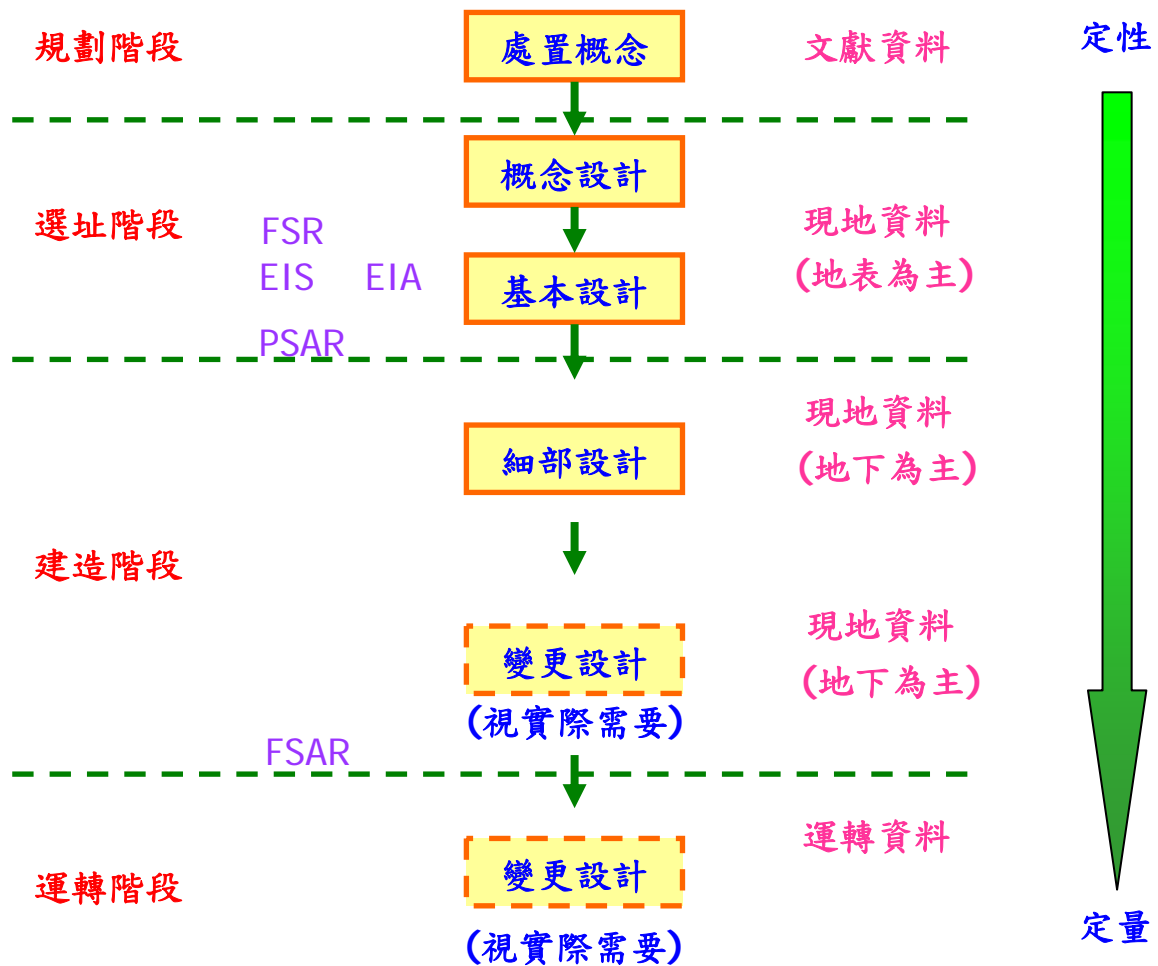


圖 3-3 處置場設計之推展過程示意圖

### 3.4 處置場設計功能要項與安全影響因素

本計畫歸納法規要求與國外經驗，提出低放射性廢棄物最終處置場基本上應滿足以下五項的設計功能要項，此亦為處置場能否通過安全審查的關鍵點。

- (1) 輻射安全：作業人員與公眾所受之輻射影響應符合法規要求並合理抑低。
- (2) 避免負擔：處置場安全性不需要長期監管與主動維護，以降低對後代人類可能造成的負擔。
- (3) 防止釋出：廢棄物處置作業期間與封閉後應避免與水接觸，以抑低加速核種遷移的可能。
- (4) 長期隔絕：材料耐久性與結構穩定性應能長期維持廢棄物的隔離性。
- (5) 障壁功能：設施應能抵抗天然事件與作用之不利影響，並防止人類無意的侵入。

本計畫另歸納主要影響處置場設計安全的六類影響因素如表 3-1 所示，考量要點說明如下。

#### (1) 廢棄物因素

- (A) 廢棄物數量影響處置場用地與設施作業需求的大小空間。
- (B) 不同類別與性質的廢棄物應分開處置，避免可能產生不利的交互作用。
- (C) 較高活度的廢棄物應採遙控作業設計，並採用較高效能的處置容器或障壁設計。

#### (2) 場址特性因素

- (A) 具有不利處置場設置之自然環境特性的區域，不宜作為處置場址。

(B) 設施型式應考慮母岩與地形特性，例如地形崎嶇的場址以使用坑道處置為宜，以避免山崩、風化侵蝕等影響。

(C) 設施配置應考慮既有地形地貌，避免大量挖方/填方，破壞環境並增加建造成本。

(D) 運輸設計應考慮場址特性，例如離島場址應有港灣碼頭之設計。

(3) 天然事件/作用因素

(A) 處置場設計應將場址可能發生的設計基準事件如颱風、洪水、地震等納入考慮。

(B) 重要工程障壁系統如近地表處置設施的覆蓋層，應考慮防止侵蝕與風化作用的影響。

(C) 水為促進核種遷移的媒介，處置設施設計應將防洪與排水納入考慮。

(4) 作業影響因素

(A) 處置場設計應將正常作業所需的機具設備納入考慮。

(B) 重要的設施、系統與組件在異常/意外事件發生時，應能發揮其必要的功能，並具有緊急備用與防止災害擴大的機能。

(5) 人類干擾因素

(A) 處置場設計應考慮運轉期間的保安與監測措施。

(B) 封閉後應進行適當期間的監管作業，以防止人類無意間的佔用或侵入處置場。

(6) 時間因素

(A) 處置場施工期程與機具配置，須考慮每年可能的最大處置量與運轉期限。

(B) 處置場封閉後應執行適當時間的監管，相關規劃應預先納入於設計考量中。

表 3-1 低放射性廢棄物處置場主要安全影響因素表

類別	主要內容
廢棄物因素	廢棄物數量與特性
場址特性因素	設施型式、設施配置、運輸
天然事件/作用因素	設計基準事件、防侵蝕、防洪/排水
作業影響因素	正常、異常/意外事件
人類干擾因素	運轉期間的保安措施、 封閉後的人類無意侵入防止
時間因素	年處置量、運轉期限、監管期限

### 3.5 設計的品質管制與品質保證

低放射性廢棄物處置場的設置攸關百餘年的民眾安全，其設計過程須有嚴謹的程序，以獲得民眾的信賴。本計畫針對設計組織管理、設計與變更的審核、設計文件的管理與保存等相關議題歸納要點如下：

#### (1) 設計組織管理

- (A) 人員資格：管理與設計人員應具備相應之資格，包括學歷與工作經驗等，應有適當的評定與任用程序。
- (B) 管理作業：設計管理作業包括設計計畫表、工作流程及時程規劃，應有標準作業程序。

(C) 介面協調與管制：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。

(2) 設計與變更的審核

(A) 設計資料：設計採用的場址調查資料、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審查核定，應有標準作業程序。

(B) 設計分析：設計分析的程式、公式、材料規格、設計結果等之審查核定，應有標準作業程序。

(C) 驗證確認：重要而非例行商用的機具，其設計功能應以小尺寸或先導試驗加以驗證，其審查核定應有標準作業程序。

(D) 變更管制：設計變更理由與結果之審查核定，應有標準作業程序。

(3) 設計文件的管理與保存

(A) 文件管制：設計相關文件之製作、分發、保管、廢止，應有適當之查證與管制程序。

(B) 文件保存：各項設計相關文件應予以建檔/備份及建立適當保存方式與程序。

## 4. 我國低放射性廢棄物處置場安全管制之前置準備規劃

我國放射性廢棄物管理之主管機關為行政院原子能委員會，並由附屬機關物管局協助掌理放射性廢棄物處理、貯存與處置設施設計、建造、運轉及除役或封閉等安全分析之審查事項。因應我國低放射性廢棄物處置場擬於民國 100 年選定場址，民國 105 年開始運轉的政策目標。物管局積極進行相關安全管制技術之建立。本計畫配合前述業務需求，研擬安全管制技術需求規劃，如本章內容所述。

### 4.1 安全管制規劃

依法行政是公務機關執行業務之準繩。對於低放射性廢棄物處置設施設置申請案而言，完備的法令制度是主管機關首要盡到的基本職責。法令代表主管機關為全民社會福祉而對某特定活動所作的限制與管理，過於嚴苛且巨細靡遺的法令，將窒礙難行且不便民；過於寬鬆且含糊不清的法令，將失去立法意旨且無所適從，如何權衡利弊，發揮法令效能，是主管機關努力的目標。

對於低放射性廢棄物處置設施設置而言，具有相當的社會關注性與技術複雜性。主管機關一方面站在社會公益的立場為民眾安全把關；另一方面配合國家政策，督促設施經營者提升安全品質，研訂法令時應兼顧二者的平衡，在安全的前提下確保設施能經濟有效的運作。理想的法規體系應該善用法令層次，將基本安全目標訂定於較高層級且強制性高的法規；將具有可變通性的安全要求與管制項目訂定於較低層級的行政命令或技術規範。因應不同的潛在處置場址特性與設施設計，後者宜以較具彈性或變通能力的條文發布。

本計畫歸納我國現行法令中，主管機關對於低放射性廢棄物處置設施設置，應執行的重大管制項目與管制措施如表 4-1 所示，其要點分述如下：

- (1) 處置設施發展階段：本計畫參考一般國際經驗將處置設施發展過程，劃分為四個階段，各階段有不同的管制重點。
  - (A) 選址階段：注重場址的適宜性。
  - (B) 建造階段：注重施工品質。
  - (C) 運轉階段：注重運轉作業安全。
  - (D) 封閉階段：注重設施長期穩定性。
- (2) 處置設施管制項目：依現行法令擇其要項共有 27 項，主要區分為三類。
  - (A) 主管機關指定應提出的計畫書、文件與規定事項。
  - (B) 興建、運轉、換發運轉執照、土地再利用或免於監管作業申請案。
  - (C) 調查、興建、運轉、封閉作業。
- (3) 管制措施：對應前述(2)處置設施管制項目，主管機關應採行的管制作為亦區分為三大類。
  - (A) 核定、核准、備查、其他(如公告、聽證)。
  - (B) 審查。
  - (C) 檢查。
- (4) 管制作為與法令修訂建議：本計畫檢討現行相關法規，提出幾點建議供委託單位參考。
  - (A) 運轉執照申請審核辦法訂定之建議：我國法規目前訂有「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」，但並未訂定「運轉執照申請審核辦法」，雖然具體的管制要求已散見於各相關法規，本計畫仍建議考慮新訂此一法令，理由如下：

- (a) 可以彰顯我國在核能設施運轉前兩階段(興建執照與運轉執照審查)管制的立法精神。
  - (b) 對照「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」，部分項目在審查運轉執照時仍應考慮，而現有法令尚未周延者，如公告展示、審查期限認定、請案補件、審查結論未通過駁回申請等。
  - (c) 運轉執照申請書格式已有，但附掛在建造執照申請審核辦法下，易混淆。
- (B) 「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」修訂之建議：安全分析報告導則修訂問題，本計畫已於前期委託研究中提出建議(吳禮浩等，2007)，本年度工作中檢視管制法規的結果，發現「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」第四條亦有安全分析報告應載明事項之規定。這些規定雖然均分散包含於安全分析報告導則中，但建造執照申請審核辦法的位階高於安全分析報告導則，申請者若依據建造執照申請審核辦法撰寫相關章節，安全分析報告導則就無法有效發揮其價值，此種法令本身的不一致，宜適時修訂。
- (C) 「放射性物料管制收費標準」修訂之建議：比較第十五條低放射性廢棄物最終處置設施，與第十六條高放射性廢棄物最終處置設施審查費及檢查費收費基準，發現低放射性廢棄物最終處置設施並未收取場址特性調查檢查費。然而依場址設置條例第十八條場址調查作業期間，主管機關應派員檢查，並要求檢送有關資料，此為法定業務，建議檢查費仍宜納入「放射性物料管制收費標準」修訂之考量。
- (D) 監管期訂定的考慮建議：監管期的訂定對低放射性廢棄物最終處置



設施而言，是一項重要的安全措施，考量的重點主要為放射性廢棄物特性及其半化期。美國將近地表低放射性廢棄物最終處置設施監管期定為 100 年，主要認為經過 100 年的監管可以防止人類侵入，使 B 類與 C 類廢棄物衰變到無害人體的程度。我國法規管理規則第 14 條雖有封閉完成後觀察及監測至少 5 年的規定，但與國際上監管 100-300 年的作法，有很大的落差。建議主管機關考慮訂定監管期，以加強安全管制，並儘早使此一規定納入設計中。

表 4-1 我國低放射性廢棄物處置設施重要管制項目與措施一覽表

處置設施發展階段	管制項目	管制措施	時間	法源依據
選址	低放射性廢棄物最終處置計畫書提報與修訂	核定		施行細則第 36 條
	場址調查作業期間應派員檢查，並要求檢送有關資料	檢查		設置條例第 18 條
	每年二月及八月底前提報上半年成果	備查		施行細則第 36 條
	建造執照申請(申請書、安全分析報告、財務保證說明、環評資料、封閉及監管規劃)	審查	1 年	審核辦法第 3 條 審核辦法第 4 條 審核辦法第 9 條
	收到興建申請案 30 日內	公告	120 日	物管法第 17 條
	興建申請案公眾意見	聽證		物管法第 17 條
	建造執照申請審查結論	公告		審核辦法第 9 條
建造	興建期間得隨時派員檢查，並要求檢送有關資料	檢查 (與處分)		物管法第 22 條
	涉及重要安全事項之設計修改或設備變更	核准		物管法第 19 條
	重要結構體、系統與組件之設計、製造、安裝、測試及維護等紀錄永久保存	備查		管理規則第 15 條
	試運轉計畫	核准		施行細則第 26 條
	運轉執照申請(安全分析報告、運轉技術規範、試運轉報告、意外事件應變計畫)	審查	6 個月	施行細則第 26 條
	運轉執照(最長 60 年)	核發		施行細則第 27 條
運轉	運送許可申請(運送計畫)	審核		許可辦法第 2 條
	交運文件	備查		許可辦法第 2 條
	最終處置收費標準	核定		物管法第 29 條
	運轉期間得隨時派員檢查，並要求檢送有關資料	檢查 (與處分)		物管法第 22 條
	涉及重要安全事項之設計修改或設備變更	核准		物管法第 19 條
	運轉、輻射防護、環境輻射監測、異常或緊急事件報告	公告		物管法第 20 條
	運轉期間每五年更新安全分析報告	備查		管理規則第 17 條
	換發運轉執照申請(申請書、換照安全分析報告、換照安全評估報告)	審查	期限屆滿 2 年前	物管法第 18 條 施行細則第 28 條

表 4-1 我國低放射性廢棄物處置設施重要管制項目與措施一覽表(續)

處置設施發展階段	管制項目	管制措施	時間	法源依據
封閉	封閉計畫、監管計畫	核准		物管法第 23 條
	封閉期間得隨時派員檢查	檢查		物管法第 23 條
	封閉完成後觀察及監測	檢查	至少 5 年	管理規則第 14 條
	監管期間得隨時派員檢查	檢查		物管法第 23 條
	封閉與監管實施完畢	檢查		物管法第 23 條
	土地再利用或免於監管申請(申請書、環評資料、輻射安全評估等)	審查與核准	6 個月	物管法第 24 條 施行細則第 34 條

註：相關法規全稱如下

放射性物料管理法 91.12.25

放射性物料管理法施行細則 97.01.24 修正

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 96.02.16 修正

低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則 97.10.22 修正

低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例 95.05.24

低放射性廢棄物輸入輸出過境轉口運送廢棄轉讓許可辦法 92.12.24

## 4.2 安全審查規劃

審查是管制的重要措施，重大的申請案均須有此一程序，經過一段時間的文件查核與會議討論，得到共識。依法低放射性廢棄物最終處置設施於建造執照申請、運轉執照申請、換發運轉執照申請、土地再利用或免於監管申請等四種情況，須由主管機關進行審查，審查結論通過後，方發予執照。主管機關對於審查的相關業務重點，說明如各次節。

### 4.2.1 審查組織規劃

重大申請案的審查應本著公開透明的原則進行作業，要使作業能順利則須有健全的審查組織與適任的人員。本計畫建議針對低放射性廢棄物最終處置設施可採行以下的組織體系進行運作(參見圖 4-1)：

#### (1) 審查作業相關單位/人員

- (A) 處置設施申請者：申請者為提出申請案的單位或個人，依法提出申請書、相關資料、並繳交審查費，於審查過程中提出補充資料、答覆審查意見、修訂報告版次。
- (B) 審查專案主持人：由主管機關於接獲申請案後組成審查專案，並指派職務適當的專人擔任審查專案主持人，統籌審查作業期間一切事宜，審查專案主持人管轄適當人力進行行政、品管/品保作業。
- (C) 技術專題召集人：由審查單位內部指派適當人員擔任技術專題召集人。技術專題的劃分可以依據安全分析報告的章次，或另以技術領域劃分。技術專題召集人秉承審查專案主持人指示執行審查業務，主要包括外聘審查委員的聯繫協調、技術專題審查人審查意見的整合等。
- (D) 外聘審查委員：由審查單位外部聘請適當專家學者擔任審查委員。

審查委員的資格宜在相關領域從事十年以上工作或有實務經驗者為佳。

(E) 技術專題審查人：由審查單位內部指派適當人員擔任技術專題審查人，為實際審查工作之執行者，依據法規與專業知識對申請案相關資料進行審查，並提出審查意見。

## (2) 審查作業相關會議

(A) 溝通會議：審查與意見答覆是一個反覆溝通的程序，審查專案可以於審查工作開始後依據法定審查期限規劃適當的作業時程，其中得包含至少兩階段的初審與複審作業。申請者於接獲審查意見後除進行答覆與報告修訂外，得於審查單位召開的溝通會議上進行審查意見釐清與問題答辯。

(B) 審查會議：審查會議屬審查單位內部會議，由審查專案主持人邀集技術專題召集人與外聘審查委員就全部審查意見進行分類與覆核。審查意見基本上分為文書意見與技術意見兩類，前者包括語詞修飾、排版與文字勘誤等；後者則為技術性的問題釐清與確認。審查意見覆核則為品保程序的一環，以確認問題的提出的根據性與正當性，申請案的審查結論亦由審查會議的多數共識完成程序。

(C) 技術會議：技術會議屬審查單位內部會議，由技術專題召集人邀集外聘審查委員及技術專題審查人，就特定技術議題進行討論。討論重點包括申請案特定技術內容的資料完備性、與法規的符合性、審查發現事項、該特定技術專題是否通過審查等。

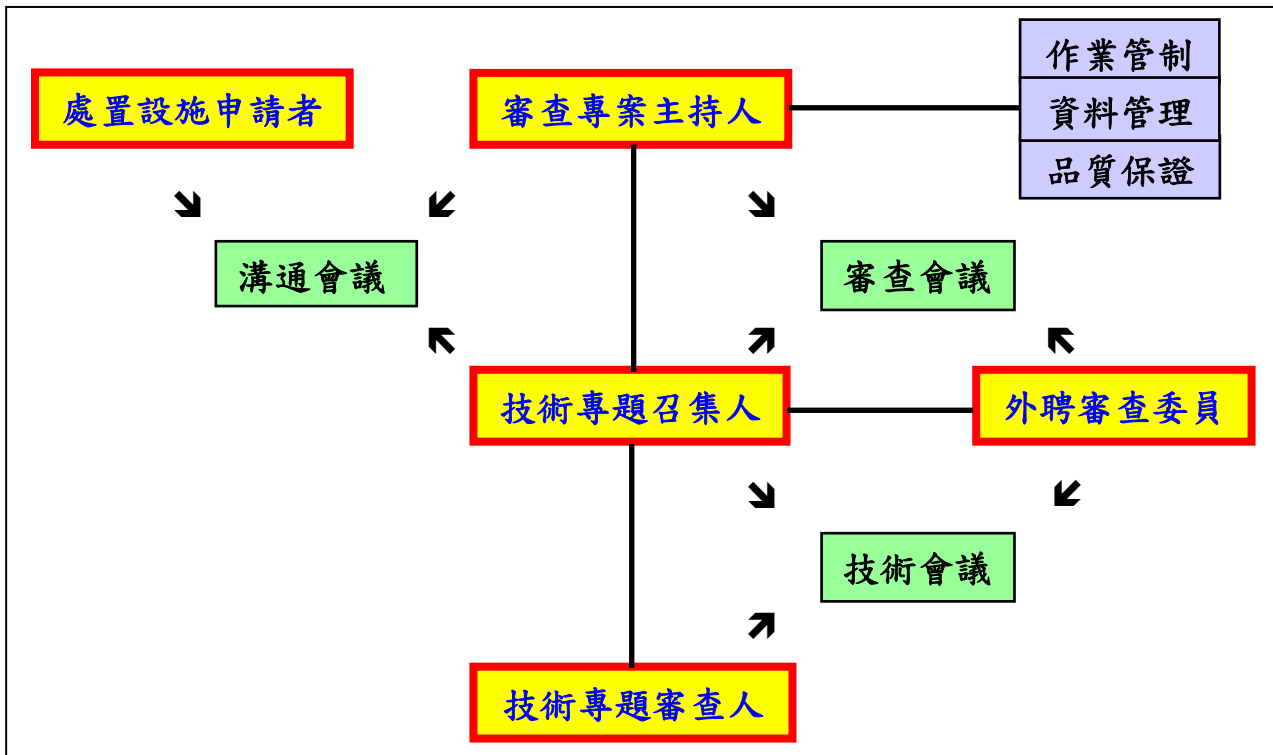


圖 4-1 安全審查組織及運作架構圖

#### 4.2.2 審查作業規劃

審查機關之審查作業可以區分為程序審查與實質審查兩個部分。

(1) 程序審查：指審查單位接受申請案時，針對申請者資格、申請文件類別與格式是否符合法規要求的審查。依據「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」，相關要點如下：

- (A) 低放射性廢棄物最終處置設施申請者，應具備下列資格之一：
  - (a) 放射性廢棄物產生者。
  - (b) 政府依法設立之機關（構）。
  - (c) 依公司法設立之股份有限公司，其最低實收股本總額：新臺幣十億元。
- (B) 申請者應填具申請書，並檢附安全分析報告及財務保證說明，送主

管機關審查並繳交審查費。申請者應於主管機關作成審查結論前，檢送環境保護主管機關認可之環境影響評估相關資料。

(C) 安全分析報告，應載明下列事項：

- (a) 綜合概述。
- (b) 場址之特性描述。
- (c) 設施之設計基準。
- (d) 設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫。
- (e) 設施之安全評估，含預期之意外事故評估。
- (f) 輻射防護作業及環境輻射監測計畫。
- (g) 品質保證計畫。
- (h) 消防防護計畫。
- (i) 其他經主管機關公告之事項。
- (j) 封閉及監管規劃。

(D) 主管機關收受申請案書件後，認有應補正情形者，應詳列補正所需資料，通知申請者限期補正，屆期末補正或補正書件不符規定者，主管機關不受理其申請案。

(E) 申請者除提出正式的安全分析報告外，主管機關亦得透過申請前的法規修訂或公告，或於審查期間的審查會議，要求申請者提出相關技術細節的報告。本計畫建議處置工作項目與階段可能提出的技術報告或文件，詳列如表 4-2。

(2) 實質審查：申請案通過程序審查並由申請者繳交審查費後，審查期限開始起算，低放射性廢棄物最終處置設施為一年，由審查專案人員進行文件實質內容之技術審查，實質審查應掌握以下的基本原則：

(A) 申請案文件內容是否符合我國法規與國際安全標準要求。

(B) 申請案文件之技術資料是否充分完備並符合國內實況與現行技術水準。

(C) 整體設計是否能確保作業人員與公眾安全無虞且經濟有效。

(D) 結構、系統、組件能確保在正常、異常與意外情況下發揮功能。

(3) 全程審查作業主要項目：考量法規要求與審查作業需求，本計畫規劃全程審查作業主要項目如下：

(A) 申請者提送申請文件且繳交審查費。

(B) 審查組織建立與審查人員選定。

(C) 釐清審查範疇(安全分析內容、技術規範版次)。

(D) 審查時程訂定。

(E) 主管機關於收到前項申請後三十日內，應將申請案公告展示一百二十日。

(F) 初審意見溝通。

(G) 申請者資料補充與修訂。

(H) 公告展示期滿後，應於六十日內將個人、機關或團體所提書面意見彙整，舉行聽證，並於三十日內作成紀錄。

(I) 複審意見溝通。

(J) 申請者文件修訂。

(K) 作成審查結論公告。

審查作業期間視需要審查委員亦得赴處置場址進行現地勘查。

(4) 國外審查規劃

依據國際原子能總署(IAEA)「用過核燃料管理安全及放射性廢棄物管理安全聯合公約」的締約精神，在於認定各核能國家應負起安全管理的責任，且廢棄物處理與處置問題屬國際性議題，締約國之間應進行



技術交流與問題溝通。基於此一精神，國際原子能總署(IAEA)與歐洲核能署(NEA)均訂有協助所屬會員國進行同領域專家審查(peer review)的機制(OECD-NEA, 2005；IAEA, 2006)。

同領域專家審查主要優點在於藉由客觀獨立的審查，以透明公開的程序對安全性進行驗證，促進民眾對於處置安全的信心。而國際審查的優點，則在確保處置安全合於國際水準。

我國並非前述組織會員，委託 IAEA 或 NEA 審查申請案之技術內容恐有困難，但可考慮透過其他國際合作管道，例如東亞放射性廢棄物管理論壇 (East Asia Forum on Radioactive Waste Management, EAFORM)，由日本或韓國之相關專業機構協助進行技術審查；或透過台美民用核能會議機制，委請相關單位與專家提供意見。

由於國外專家對於本土性的議題有其瞭解的侷限性，因此委託國際審查的範疇宜針對特定國際共通性的技術議題，如處置場設計與安全評估等進行專業審查。審查意見由管制機關統一彙整後，由申請者進行答覆。

#### 4.2.3 審查文件規劃

因應審查作業的需求，審查機關宜於進行實質審查前，建立所需的審查準則、審查作業程序、審查報告格式等文件，以利審查工作能嚴謹且順利的遂行。

##### (1) 審查準則之建立

審查機關執行審查作業前，首要的工作即為界定審查的準則與範疇，包括適用的法規與技術規範(版次)、審查的要項、通過審查的標準等。美國核管會發布的標準審查計畫 (Standard Review Plan)

NUREG-1200 (USNRC, 1994)即為針對近地表處置設施審查的準則範例。審查準則的確立，有助於審查機關事前釐清可能面對的技術性議題與安全標準，有助於審查工作的順利進行。

## (2) 審查作業程序與表單之建立

審查作業除了審查人員須具備專業技能外，亦須有行政作業的支援，方能發揮其成效。行政作業的內容包括作業管制、資料管理、品質保證等。審查機關宜在進行申請案審查前，建立所需相關作業程序與表單，以便審查意見的紀錄與回覆均能快速的進行溝通，並確保文件版本無誤。本計畫建議之設計安全審查要項檢核清單如附錄 B 所示，係依據安全分析報告導則之設計要項進行查核表設計，審查人員得逐項檢核是否符合安全要求。。

## (3) 審查報告格式之規劃

審查機關提出審查結論通常作成報告書的形式，其內容架構依各國國情不同有所差異，國外案例如本報告 2.1.2 節所提及日本科學技術廳審查報告的章節編排方式，在審查結果中包括法規體系、審查方法、審查內容、審查結果等四個部分內容。又如本報告 2.1.6 節提及美國州政府於審查申請案後提出的安全評估報告(Safety Evaluation Report, SER)，係依據美國繁複的法規條文逐條進行符合性審查(compliance review)。

本計畫建議針對我國低放射性廢棄物處置設施的審查結論報告，可援例參考原能會對核四廠初期安全分析報告所提出的審查結論報告(原能會，1999)格式進行內容編寫，亦即與安全分析報告格式雷同，但在各章節末提出審查發現、意見處理情形、與審查結論等。

### 4.3 審查技術規劃

本計畫建議審查機關審查人員所需建立相關技術之審查能力，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 4-3 所示，建議透過適當機會(如技術研討會)協助物管局審查人員建立輻射劑量評估技術審查能力。

表 4-2 處置場發展項目/階段可能產出的重要技術文件

重要項目/階段	產出文件
計畫管理	最終處置計畫書 年度工作規劃報告 年度成果報告
廢棄物特性	廢棄物存量報告
廢棄物包件	廢棄物包件特性報告
場址特性	場址特性調查計畫書 場址特性調查報告
處置設施設計	概念設計報告 基本設計報告 細部設計報告
工程障壁特性	工程障壁特性評估報告
安全評估	安全分析報告
處置設施建造	建造執照申請書 施工計畫書
處置設施運轉	廢棄物運送計畫 廢棄物接收準與收費標準 試運轉報告 運轉執照申請書 運轉技術規範 意外事件應變計畫 運轉報告 輻射防護報告 環境輻射監測報告 異常或緊急事件報告 更新安全分析報告 換照安全分析報告 換照安全評估報告
封閉監管	封閉及監管規劃報告 封閉計畫 監管計畫 土地再利用或免於監管申請書 輻射安全評估報告

表 4-2 處置場發展項目/階段可能產出的重要技術文件(續)

重要項目/階段	產出文件
品質保證	品質保證報告
公眾溝通	公眾溝通成果報告 公眾溝通資訊網
財務與成本	財務保證說明報告 處置設施建置成本報告 營運財務財務報告

表 4-3 核研所安全評估技術發展概況

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)	√	√	○		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	√		○		評估近地表處置之地表水入滲量。
	質傳	BLT	√	√	○		評估近場核種活度分佈變化。
DUST		○					
遠場	流場	FEHM	√	√	○		分析處置場遠場環境之地下水流場分佈。
		FracMan			○		
		MODFLOW				○	
	質傳	BLT	√	√	○		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	√	√		○	分析處置場生物圈之淺層含水層地下水流場分佈。
	質傳	AMBER	√	√	○		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	√	√	○		含括源項、近場、遠場與生物圈之全系統劑量評估。

參考文獻：吳禮浩等，2007

## 5. 安全設計審查技術交流

本計畫依合約規定得由物管局派員參與計畫執行之查訪及技術交流，並由計畫執行單位配合物管局需求，以專題研討方式提供低放射性廢棄物最終處置管制審查細部規劃有關之技術諮詢和協助。

執行期間重要工作情形如下：

- (1) 97年05月21日物管局實施計畫查訪與技術討論，由曾漢湘先生、陳建琦先生蒞計畫執行單位核研所化學工程組參訪，核研所由計畫主持人率相關同仁接待並進行簡報。雙方就計畫執行進度、計畫文獻資料蒐整情形、計畫後續執行內容討論與審查管制技術交流等進行意見交換。
- (2) 97年08月26日物管局主辦「97年低放射性廢棄物最終處置安全審查技術研討會」核研所由化學工程組莊文壽組長率紀立民先生、張福麟先生、吳禮浩先生、郭明傳博士等五員與會。本計畫主持人吳禮浩先生亦受邀發表「低放射性廢棄物最終處置場設計安全考量之研究」講題(簡報檔參見本報告後附光碟)。研討會於講題結束後進行綜合座談，與會人士分別對申請者與審查者立場差異、場址水文地質調查、大型廢棄物處置、工程障壁材料耐久性等技术議題，進行意見交換。
- (3) 97年11月14日物管局主辦「處置管制專案人員訓練課程」核研所由化學工程組紀立民先生受邀進行「美國低放射性廢棄物最終處置安全要求之架構分析」簡報(簡報檔參見本報告後附光碟)。
- (4) 97年11月24日核研所本計畫主持人吳禮浩先生赴物管局進行期末計畫工作簡報(簡報檔參見本報告後附光碟)。
- (5) 計畫執行期間物管局與計畫執行單位之間多次利用電子郵件就低放射

性廢棄物處置與管制技術相關議題進行意見交流，工作內容符合計畫書之規劃。



## 6. 結論

本計畫完成下列研究成果：

- (1) 國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析：完成澳洲、日本、拉脫維亞、立陶宛、瑞典、英國、美國(含二案例)等共八個低放射性廢棄物處置場申請及/或安全審查的案例分析，並歸納各國審查經驗重點。
- (2) 我國低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項之研析：完成低放射性廢棄物處置場設計所需考量安全要項，包括設計安全目標、設計原則、設計方法與流程、設計要項、設計影響因素等之研究分析。
- (3) 我國低放射性廢棄物處置場安全管制之前置準備規劃：針對審查機關管制需求擬定安全管制規劃、審查管制規劃、審查技術規劃等實務作業內容。
- (4) 管制技術人員技術交流：計畫執行期間配合委託單位要求進行工作查訪與技術研討等活動。

相關成果可作為物管局進行低放射性廢棄物處置場興建申請安全審查作業所需，有助於提升審查品質，確保處置安全。

本計畫之研究心得與建議如下：

- (1) 處置場設計是確保處置安全的核心工作。
- (2) 優良的設計須能在安全的前提下兼顧經濟與效能。
- (3) 可靠的設計須經審慎的設計評估與檢驗。
- (4) 處置場設計的具體化與最適化是反覆而持續進行的程序，我國未來應隨著後續處置相關資訊與場址特性調查資訊精度與廣度的增加而逐步精進。

## 參考文獻

1. 日本原燃株式會社，1997，廢棄物掩埋事業變更許可申請書。
2. 吳禮浩、紀立民、陳智隆、陳誠一，2007，低放射性廢棄物坑道處置審查規範草案之研議，物管局委託研究計畫，96FCMA005。
3. 許秀真、楊尊忠、紀立民、繆延武、王中虛、洪錦雄，2003，處置場設施配置規劃與評估，我國用過核燃料長程處置潛在母岩特性調查與評估階段－發展初步功能/安全評估技術(91 年計畫)，核能研究所，SNFD-INER-90-528，122 頁。
4. 原能會，1999，龍門核能電廠初期安全分析報告書-審查結論報告。
5. 經濟部，2008，公告「台東縣達仁鄉」、「屏東縣牡丹鄉」、及「澎湖縣望安鄉」等 3 處低放射性廢棄物最終處置設施潛在場址，民國 97 年 8 月 29 日，經營字第 09702611670 號。
6. Annals of the ICRP. Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. ICRP Publication No. 81.
7. Cassiopee, 2001, Long-term safety analysis of the Baldone waste repository and updating of the waste acceptance criteria, Final Report, 64p.
8. Central Interstate Low-Level Radioactive Waste Commission，2004，Annual Report 2002-2003.
9. DEST, 2002, National Radioactive Waste Repository Draft EIS, Main Report and Appendices. Volumes 1 and 2, Department of Education, Science and Training (DEST), IBSN 1877032085.
10. Duerden, Yearsley, and Bennett, 2003, Drigg 2002 Post-Closure Safety Case Review Plan, Environment Agency, Guidance Note No. 44.

11. IAEA, 1999, Near Surface Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series WS-R-1, IAEA, Vienna.
12. IAEA, 2001, Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, TECDOC-1256, IAEA, Vienna.
13. IAEA, 2003, Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 417, IAEA, Vienna.
14. IAEA, 2004, Radioactive Waste Safety Appraisal-An International Peer Review of the Licence Application for the Australian Near Surface Radioactive Waste Disposal Facility - Report of the IAEA International Review Team, International Atomic Energy Agency, Vienna.
15. IAEA, 2006, An International Peer Review of the Programme for Evaluating Sites for Near Surface Disposal of Radioactive Waste in Lithuania - Report of the IAEA International Review Team, International Atomic Energy Agency, Vienna.
16. OECD-NEA, 2005, International Peer Reviews for Radioactive Waste Management-General Information and Guidelines, NEA No. 6082.
17. SKI & SSI, 2000, Joint SKI and SSI review of SKB preliminary safety assessment of repository for long-lived low- and intermediate-level waste: Review report, SKI Report 01:34, SSI-report 2001:19.
18. USE, 1990, Safety Analysis Report for Central Interstate Compact Butte Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility at Butte, Nebraska, US Ecology, Inc.
19. USNRC, 1982, Licencing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 61.
20. USNRC, 1991, Standard Format and Content of a License Application for a Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility, U.S. Nuclear Regulatory

Commission, NUREG-1199, Rev. 2.

21. 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.
22. WCS, 2005, Application for License to Authorize Near-Surface Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste, Waste Control Specialists LLC , Revision 7.
23. Weston Inc., 1984, Generic requirements for a mined geologic disposal system, DOE/NE/44301-1.

## 相關網址

澳洲

<http://www.dest.gov.au/>

日本

<http://www.jnfl.co.jp/english/>

拉脫維亞

[ec.europa.eu/energy/nuclear/publications/doc/eur20054\\_safety\\_assmt\\_app\\_a.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/publications/doc/eur20054_safety_assmt_app_a.pdf)

立陶宛

<http://www.rata.lt/lt.php>

瑞典

[http://www.skb.se/default\\_\\_\\_\\_22217.aspx](http://www.skb.se/default____22217.aspx)

英國

[www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/gn44\\_555377.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/gn44_555377.pdf)

美國

<http://www.cillrwcc.org/>

<http://64.224.191.188/wcs/>

IAEA

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

## 附錄 A：設計安全法規與技術規範重點彙整

## 附錄A：設計安全法規與技術規範重點彙整

### A.1.目的

彙整我國、IAEA 與美國低放射性廢棄物處置場設計安全管制相關法規，提供作為主管機關進行管制與審查所需的依據與參考。俾在防止放射性危害，確保民眾安全的前提下，促進我國低放處置場開發，解決廢棄物問題。

### A.2.範疇

資料彙整範疇係以低放射性廢棄物處置場設計安全管制法規彙整為準，亦即針對處置設施經營者，在處置場建造執照申請前有關安全設計措施的管制，以及初期安全分析報告審查適用的法規進行彙整。簡言之即針對低放(不含高放)、處置(不含處理與貯存設施)、安全(不含環評)進行特定的法規蒐集與分析。

### A.3.我國法規

#### 放射性物料管理法(91.12.25)

重要條文：

第十七條：放射性廢棄物處理、貯存或最終處置設施之興建，應向主管機關提出申請，經審核合於下列規定，發給建造執照後，始得為之：

- 一、符合相關國際公約之規定。
- 二、設備及設施足以保障公眾之健康及安全。
- 三、對環境生態之影響合於相關法令規定。

四、申請人之技術與管理能力及財務基礎等足以勝任其設施之經營。

主管機關於收到前項申請後三十日內，應將申請案公告展示；其公告展示期間，處理及貯存設施為六十日，最終處置設施為一百二十日。個人、機關或團體，得於公告展示期間內以書面載明姓名或名稱及地址，向主管機關提出意見。主管機關應舉行聽證。

放射性廢棄物處理、貯存或最終處置設施建造執照申請資格、應備文件、審核程序及其他應遵行事項之辦法，由主管機關定之。

第二十八條：放射性廢棄物產生者應負擔其廢棄物處理、運送、貯存、最終處置及設施除役所需費用。

第二十九條：放射性廢棄物之處理、運送、貯存及最終處置，應由放射性廢棄物產生者自行或委託具有國內、外放射性廢棄物最終處置技術能力或設施之業者處置其廢棄物；產生者應負責減少放射性廢棄物之產生量及其體積。其最終處置計畫應依計畫時程，切實推動。

第三十條：放射性廢棄物最終處置設施應接收全國所產生之放射性廢棄物；本法施行前，前條第一項接受委託處理或貯存之放射性廢棄物，其最終處置所需費用，由政府編列預算支應。

第三十三條：違反第八條第一項或第十七條第一項規定擅自建廠者，處新臺幣五百萬元以上二千五百萬元以下罰鍰，並勒令停工、補辦手續；必要時，得限期令其拆除設施。

依前項規定勒令停工後，擅自復工，或屆期未拆除設施者，



處新臺幣一千萬元以上五千萬元以下罰鍰，並強制其拆除設施。

依前項規定強制拆除後，擅自復工經制止不從者，處一年以下有期徒刑或拘役，得併科新臺幣一千萬元以下罰金。

第四十六條：核能發電之經營者應以核能後端營運基金額度提撥百分之二以上之金額籌撥經費，進行放射性物料營運技術及最終處置之研究發展。

第四十九條：本法公布施行後，主管機關應督促廢棄物產生者規劃國內放射性廢棄物最終處置設施之籌建，並要求廢棄物產生者解決放射性廢棄物最終處置問題。

分析說明：

- 1.本法具有強制效力，相關機關與單位均應確實遵照。
- 2.本法內容屬政策性與原則性要求。

### 放射性物料管理法施行細則(97.01.24 修正)

重要條文：

第三十六條：本法第四十九條第二項及第三項規定以外之低放射性廢棄物產生者或負責執行低放射性廢棄物最終處置者，應於本法施行後一年內，提報低放射性廢棄物最終處置計畫，經主管機關核定後，切實依計畫時程執行；每年二月及八月底前，應向主管機關提報上半年之執行成果。

低放射性廢棄物最終處置計畫及計畫時程修正時，應敘明理由及改正措施，報經主管機關核定後執行。

分析說明：

- 1.本細則具有強制效力，相關機關與單位均應確實遵照。
- 2.低放處置計畫應由負責最終處置者提報主管機關核定。

### 低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則(97.01.24 修正)

重要條文：

第三條：低放射性廢棄物依其放射性核種濃度分類規定如下：

- 一、A類廢棄物：指低放射性廢棄物所含核種濃度低於（含）附表一濃度值之十分之一倍及低於（含）附表二第一行之濃度值者；或廢棄物所含核種均未列入附表一及附表二者。
- 二、B類廢棄物：指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表二第一行之濃度值且低於（含）第二行之濃度值者。
- 三、C類廢棄物：指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表一濃度值十分之一倍且低於（含）附表一之濃度值者；或高於附表二第二行之濃度值且低於（含）第三行之濃度值者。
- 四、超C類廢棄物：指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表一之濃度值者；或高於附表二第三行之濃度值者。

第四條：低放射性廢棄物最終處置，應依下列規定：

- 一、A類廢棄物應符合第五條之規定。A類廢棄物與B類廢棄物或C類廢棄物混合處置者，應符合B類廢棄物或C類廢棄物之相關規定。
- 二、B類廢棄物應固化包裝，其廢棄物應符合第五條及第六條

之規定。B類廢棄物與C類廢棄物混合處置者，應符合C類廢棄物之相關規定。

三、C類廢棄物應固化包裝，其廢棄物除符合第五條及第六條之規定外，應加強處置區之工程設計，以保障監管後誤入者之安全。

四、超C類廢棄物非經主管機關核准，不得於低放處置設施進行處置。

前項B類廢棄物及C類廢棄物，得以經主管機關核准之高完整性容器盛裝後，進行處置。

未經均勻固化之廢棄物，應經主管機關核准後，始得進行處置。

第五條：低放處置設施最終處置之廢棄物，應符合下列規定：

- 一、自由水之體積不得超過總體積百分之零點五。
- 二、在常溫常壓下不致引起爆炸。
- 三、具耐火性。
- 四、不得含有毒性、腐蝕性及感染性之物質。
- 五、不得含有或產生危害人體之有毒氣體、蒸氣及煙霧。

第六條：低放射性廢棄物經均勻固化後，應符合下列規定：

- 一、水泥或電漿熔融固化體單軸抗壓強度，應大於每平方公分15公斤；柏油固化體之抗壓強度以針入度測試，其針入度應小於100。
- 二、瀝濾指數應大於6。
- 三、經耐水性測試後，應符合第一款之規定。
- 四、經耐候性測試後，應符合第一款之規定。
- 五、經耐輻射測試後，應符合第一款及第二款之規定。

六、經耐菌性測試後，應符合第一款之規定。

前條第一款、第三款及前項規定之測試項目、方法及標準如附表三。

第七條：處置設施場址，不得位於下列地區：

- 一、活動斷層或地質條件足以影響處置設施安全之地區。
- 二、地球化學條件不利於有效抑制放射性核種污染擴散，並足以影響處置設施安全之地區。
- 三、地表或地下水文條件足以影響處置設施安全之地區。
- 四、高人口密度之地區。
- 五、其他依法不得開發之地區。

第八條：低放處置設施之設計，應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過○·二五毫西弗，並應符合合理抑低原則。

第九條：低放處置設施應採多重障壁之設計，並依廢棄物分類特性分區處置。

第十條 低放處置設施與安全有關係統及組件之設計，應符合下列規定：

- 一、可進行檢查、維護及測試。
- 二、防範可預期之天然災害。
- 三、具備緊急應變功能。
- 四、具有相互替代性或備份。

第十一條：低放處置設施封閉前，其排水與防滲設計，應能防止廢棄物與積水或滲漏水接觸。

第十二條：低放處置設施之保安與警示設計，應能防止人員誤闖或占用。

第十五條：低放處置設施之重要結構體、系統與組件之設計、製造、安

裝、測試及維護等紀錄，應永久保存備查。

第十六條：低放處置設施經營者，於處置設施興建前，應取得處置管制地區之土地所有權或使用權。

分析說明：

- 1.本規則為放射性物料管理法之子法，具有強制效力，相關機關與單位均應確實遵照。
- 2.本規則內容針對重要的安全標準與技術細節提出規定。

#### 低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例(95.05.24)

重要條文：

第四條：處置設施場址，不得位於下列地區：

- 一、活動斷層或地質條件足以影響處置設施安全之地區。
- 二、地球化學條件不利於有效抑制放射性核種污染擴散，並足以影響處置設施安全之地區。
- 三、地表或地下水文條件足以影響處置設施安全之地區。
- 四、高人口密度之地區。
- 五、其他依法不得開發之地區。

前項地區之範圍及認定標準，於本條例施行後六個月內，由主管機關會商相關機關定之。

第六條：主辦機關應會商主管機關選定或指定全國主要低放射性廢棄物產出機構為處置設施選址之作業者（以下簡稱選址作業者）。選址作業者應提供選址小組有關處置設施選址之資料，並執行場址調查、安全分析、公眾溝通及土地取得等工作，且應於主辦機關設置之網站，按季公開處置設施場址調查進度等相關資

料。

第七條：選址小組應於組成之日起六個月內，擬訂處置設施選址計畫，提報主辦機關。

主辦機關應於收到前項選址計畫之日起十五日內，將選址計畫刊登於政府公報並上網公告三十日。機關、個人、法人或團體，得於公告期間內，以書面載明姓名或名稱及地址，向主辦機關提出意見。

第一項選址計畫，主辦機關應會商主管機關及相關機關，並參酌機關、個人、法人或團體所提意見後，於前項公告期間屆滿二個月內核定之。

第九條：選址小組應於潛在場址公告之日起六個月內，向主辦機關提出建議候選場址遴選報告，並建議二個以上建議候選場址。

主辦機關應於收到前項建議候選場址遴選報告之日起十五日內，將該報告公開上網並陳列或揭示於建議候選場址所在地之適當地點三十日。機關、個人、法人或團體，得於陳列或揭示期間內以書面載明姓名或名稱及地址，向主辦機關提出意見。

主辦機關應會商主管機關及相關機關，針對機關、個人、法人或團體所提意見，彙整意見來源及內容，並逐項答復意見採納情形。

第十八條：選址作業者執行處置設施相關場址調查作業期間，主管機關應派員檢查，並要求選址作業者檢送有關資料，以利後續處置設施設置申請時之安全審查作業。

分析說明：

1.本條例具有強制效力，相關機關與單位均應確實遵照。

2.選址作業以主辦機關為主導。主管機關主要管制行為係針對場址範圍及認定標準加以訂定，並對選址作業者的選定、選址計畫、場址遴選報告等提出會商意見。此外場址調查作業期間，主管機關應派員檢查。

### 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(95.11.17)

重要條文：

第二條：本條例第四條第一項第一款所定活動斷層或地質條件足以影響處置設施安全之地區，其範圍及認定標準如下：

一、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。

二、後火山活動地區。

三、泥火山噴出點半徑一公里範圍內之地區。

四、單一崩塌區面積大於〇·一平方公里以上，且工程無法整治克服之地區。

第三條：本條例第四條第一項第二款所定地球化學條件不利於有效抑制放射性核種污染擴散，並足以影響處置設施安全之地區，其範圍及認定標準如下：

一、地下水體氫離子濃度指數（pH 值）小於四之地區。

二、地質介質對鈷及銫之分配係數小於每公克三毫升之地區。

第四條：本條例第四條第一項第三款所定地表或地下水文條件足以影響處置設施安全之地區，其範圍及認定標準如下：

一、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。

二、現有、興建中及規劃完成且經核准興建之水庫集水區。

### 三、地下水管制區。

第五條：本條例第四條第一項第四款所定高人口密度地區，其範圍及認定標準為人口密度高於每平方公里六百人之鄉（鎮、市）。

第六條：本條例第四條第一項第五款所定其他依法不得開發之地區，其範圍及認定標準依各該其他法律之規定。

#### 分析說明：

- 1.本標準為低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例之子法，具有強制效力，相關機關與單位均應確實遵照。
- 2.本標準內容針對重要場址範圍與影響安全的條件提出規定。

### 放射性廢料管理方針(86.09.02)

#### 重要條文：

八、放射性廢料之最終處置，採境內、境外並重原則，積極推動；不論境外是否可行，仍應在境內覓妥處置場址備用。

十、保護自然、社會及人文資源：

(一)放射性廢料之貯存場或處置場，應儘量設於人口稀少地區。

(二)放射性廢料之貯存場或處置場之設置，以不妨礙周圍地區資源永續使用保育為準。

(三)大量放射性廢料之運送，應儘可能採用海運，減少陸上運送。

十二、加強貯存及最終處置方案之規劃：

(二)加強推動低放射性廢料境內處置計畫，儘速完成環境影響評估與安全分析。

(三)繼續推動低放射性廢料之境外處置計畫，並應遵守國際規範，確保運送及處置作業之安全。



分析說明：

1.本方針並無強制性效力，主要作國家政策的說明。

### **低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則(93.10.19)**

重要條文：

本導則適用於淺地、隧道或坑洞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。

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(略)

分析說明：

1.本導則並無強制性效力，主要作為主管機關供申請低放射性廢棄物最終處置設施建造執照者撰擬安全分析報告之參考。申照者依照導則格式與內容要求撰寫，將有助於加速審查的通過與執照的取得。申照者得不依導則內容撰寫，但宜說明不遵照的理由或提出更安全有效的內容。

#### **A.4.國際公約**

### **Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (2001)**

重要條文：

第3章：放射性廢棄物管理之安全

第11 條：一般安全要求：每一締約方應採取適當步驟，以確保在放射性廢棄物管理的所有階段充分保護個人、社會和環境免受輻射危害和其他危害。

這樣做時，每一締約方應採取適當步驟，以便：

- (1) 確保放射性廢棄物管理期間的臨界問題和所產生餘熱的排除問題得到妥善解決；
- (2) 確保放射性廢棄物的產生保持在可實際達到的最少量；
- (3) 考慮放射性廢棄物管理的不同步驟之間的相互依賴關係；
- (4) 在充分尊重國際認可的準則和標準的本國的立法架構內，經由實施管制機關核准的國家層級的適當保護方法，對個人、社會和環境提供有效保護；
- (5) 考慮可能與放射性廢棄物管理有關的生物學、化學和其他危害；
- (6) 努力避免那些對後代產生的能合理預計到影響大於對當代人允許的影響的行動；
- (7) 避免後代承受過度的負擔。

第14 條：設施的設計和建造：每一締約方應採取適當步驟，以確保：

- (1) 放射性廢棄物管理設施的設計和建造能提供合適的措施，限制對個人、社會和環境的可能輻射影響，包括排放或非受控釋放造成的輻射影響；
- (2) 在設計階段就考慮除處置設施外的放射性廢棄物管理設施除役概念性計畫並在必要時考慮有關的技術規範；
- (3) 在設計階段就擬訂出處置設施封閉的技術規範；
- (4) 設計和建造放射性廢棄物管理設施時採用的技術得到經

驗或分析的支持。

分析說明：

1. 本公約我國並非簽約國，並無強制性效力。公約相關內容依放射性物料管理法第十七條規定，仍可由主管機關引申作為建造執照審查依據。
2. 本公約內容多屬對於放射性廢棄物管理的一般安全規定。

## A.5. 國際原子能總署(IAEA)安全要求與技術規範

### A.5.1 IAEA安全標準系列(Safety Standards Series)安全要求

**IAEA,1999, Near Surface Disposal of Radioactive Waste , IAEA Safety Standards Series-Safety Requirements, No. WS-R-1, 29p.**

相關內容摘譯：

#### 7. 處置設施設計

- 7.1. 考慮廢棄物特性、場址特性及安全要求下，處置場設計應能在要求的時間距離內提供適當的廢棄物隔離功能。
- 7.2. 處置場設計應能使封閉後的主動維護減到最小，且能補充場址的天然特性減少對環境的影響。設計必須考慮運轉需求、封閉計畫、及其他可能影響廢棄物隔離與處置場穩定性的因素，例如保護廢棄物使其免於外部事件的影響。
- 7.3. 近地表處置場得使用工程障壁使廢棄物隔離於人類與環境之外。工程障壁包含廢棄物包件與人為事物如處置窖、覆蓋層、襯砌、灌漿與回填等，可防止或遲滯核種從處置場遷移到周圍環境。
- 7.4. 雖然處置通常定義為將廢棄物置放於核可的地點而不再打算回收，但某些決策可能要求處置場應將再回收納入設計考慮。若廢棄物再回收能力屬設計要求之一，則須將其納入設計程序中，且不得使其

危及處置場的長期功能。

7.5. 近地表處置場的設計須能推動監測計畫，以便驗證運轉期間或封閉後處置系統對核種的圍阻能力。監測措施的安排不得危及處置場的長期功能。

分析說明：

1. 本文件為IAEA原則性的安全規定。
2. 針對設計而言，要求強化廢棄物隔離、封閉後減少主動維護、以工程障壁遲滯核種遷移、考慮廢棄物再回收的可能性、對處置作進行監測等。

#### A.5.2 IAEA安全系列(Safety Series)技術規範

**IAEA,1981, Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes – A Guidebook, IAEA Safety Series, No. 53, 52p.**

相關內容摘譯：

#### 6. 處置場設計

##### 6.1. 基本原理

公眾與作業人員保護、工程障壁阻滯、廢棄物安定處理。

##### 6.2. 場址特性

場址具備阻滯核種遷移能力。

##### 6.3. 改善核種遲滯特性的工程方法

以工程方法控制地表水與地下水之入滲與排水。

##### 6.4. 設施

##### 6.4.1. 廢棄物接收

區域位於管制區入口，含有警示、檢整、除污、處理等設備。

#### 6.4.2. 廢棄物處置

須考慮廢棄物特性、場址條件、作業需求以決定處置設施型式。

#### 6.4.3. 中期貯存設施

必要時可對含有短半化期高活度核種之包件進行中期貯存。

#### 6.4.4. 實驗設施

宜附屬實驗設施能對環境監測或污染試樣進行例行化驗分析。

#### 6.4.5. 其他設施

其他處置場營運功能所需設施。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA原則性的安全規定。
- 2.相關內容重點摘述如前欄。

### **IAEA,1983, Disposal of Low- and Intermediate-Level Solid Radioactive Wastes in Rock Cavities– A Guidebook , IAEA Safety Series, No. 59, 49p.**

相關內容摘譯：

#### 7. 處置場設計、建造與運轉

##### 7.1. 設計考慮

應考慮廢棄物特性、特質環境、坑道/處置場特性、可能影響因素。

##### 7.2. 改善廢棄物隔離的工程方法

應確保工程障壁隔離廢棄物與維持處置坑道穩定的效能。

##### 7.3. 場址設施

主要區分為接收設施、作業與處理設施(處置設施)、其他設施(公

用與輔助設施)。

#### 7.4. 處置場建造

施工期間應取得現地資料驗證安全分析的正確性。

#### 7.5. 運轉

正式運轉前應驗證安全分析的正確性與作業設施的可靠性。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA原則性的安全規定。
- 2.相關內容針對坑道處置進行論述，重點摘述如前欄。

### **IAEA,1983, Criteria for Underground Disposal of Solid Radioactive Wastes, IAEA Safety Series, No. 60, 46p.**

相關內容摘譯：

#### 5.2. 處置場

##### 5.2.1. 對天然障壁之影響

準則R1：處置場之設計、建造與運轉不得因處置場開發或廢棄物置放行為以致影響地質環境的隔離效能。

##### 5.2.2. 安全系統可靠性

準則R2：所有必要的安全系統必須能提供且維持其功能直至處置場封閉。

##### 5.2.3. 臨界控制

準則R3：處置場內的處理、貯存與處置系統須經適當設計以確保於運轉與封閉後階段均能維持於次臨界狀態(譯註：原則上僅適用於高放射性廢棄物)。

##### 5.2.4. 回填

準則R4：使用回填材料時，其施工方法與材料的選用須考慮能提升對廢棄物的隔離效果並避免對地質環境有不利影響。

#### 5.2.5. 封閉

準則R5：處置場之封閉方式應能防止核種以可能造成危害的速度或數量釋出。

#### 5.2.6. 監測

準則R6：運轉期間應採行適當的監測措施，以確保處置系統如預測的方式發揮效能，並且於必要時作為採取防治措施的基準。封閉後的深層處置場或撤除監管的淺層處置場則不應以監測作為維護公眾健康與安全的必要措施。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA原則性的安全規定。
- 2.相關內容針對地下處置進行論述(含高放與低放)，重點摘述如前欄。

**IAEA,1984, Site Investigation, Design, Construction, Operation, Shutdown and Surveillance of Repositories for Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes in Rock Cavities, IAEA Safety Series, No. 62, 92p.**

相關內容：

#### 6.3. 處置場設計

##### 6.3.1. 一般設計考慮

設計必須考慮處置場建造、運轉與封閉各階段的需求。坑道處置場基本上可區分為地表接收處理設施、地表與地下間的連通設施、以及地下處置設施。

處置場設計須不同領域的工程師密切合作。

### 6.3.2. 基本資料

設計所需資料歸納如下：

#### 場址特性

- 地形(含交通、水電供應、排水)
- 地質
- 岩石力學性質
- 水文地質狀態

#### 廢棄物性

- 廢棄物包件類別
- 廢棄物包件規格與重量
- 運輸屏蔽(若有需要)
- 廢棄物包件總量(含預期產生量)
- 廢棄物包件現有數量
- 各類廢棄物包件表面劑量率

#### 工程障壁

- 回填材料類別
- 施工方法

#### 輻射防護

- 個人及群體劑量限值
- 輻射防護合理抑低

#### 封閉

- 封閉材料與組成

### 6.3.3. 接收、運轉及其他服務設施

接收處理設施視情況亦可建於地下，或將辦公大樓建於鄰近之



村落。

主要接收作業步驟如下：

- 進入管制區
- 目視檢查核對
- 短半化期包件中期貯存
- 破損或污染包件：分隔貯存、除污、重新包裝

相關設施包括：

- 檢查室
- 實驗室
- 電力配置
- 供水管線
- 集水監測與清除
- 通風，輻射監測與清除
- 紀錄儲存
- 消防
- 保安
- 運輸屏蔽卸裝過渡區(若有需要)
- 防護衣具著裝與洗浴室
- 回填材料準備區
- 包件場內轉運暫貯區

不同的工作區應設有不同的輻防管制等級。

不同設施空間需求，視實際作業機具與包件數量等而定。

整體設施配置應考慮前述個別設施所需空間與基本(作業)概念進行整合規劃。

#### 6.3.4. 連通至處置區

連通設施的設計必須考慮地形與地質等因素，在決定採用豎井或斜坑方式。

坑道設計須考慮入口數目、斷面淨空大小、開挖支撐方式等。

運輸系統設計必須考慮現有包件數量、未來須處置數量等。

考慮輻防措施，人員與廢棄物包件宜有不同的出入通道。

若考慮運轉與施工分期同步進行，則宜有另外的施工通道。

大斷面的豎井應注意排水措施。

連通設施斷面應能容納運輸系統及最大尺寸廢棄物包件通過，並且考慮可能的通風、水電、排水管線等。

#### 6.3.5. 處置區

處置坑道的尺寸與形狀設計須考慮岩石力學與水文地質條件，以及下列因素：

- 廢棄物包件尺寸與置放方式
- 作業人員的輻射防護
- 操作系統
- 工程障壁
- 監測設施
- 屏壁移除設施(若有需要)

處置坑道間距須考慮岩石力學與安全因素，例如意外情況下的淹水。

處置區配置須考慮處置廢棄物總量、單一坑道尺寸、坑道數量等，以及下列因素：

- 通風

- 施工程序
- 處置區入口數目
- 排水
- 運輸系統
- 消防系統(若有需要)
- 人員作業設施

#### 6.3.6. 改善廢棄隔離的工程方法

工程障壁主要目的在減少地下水與廢棄物接觸。設計上考慮以低透水性材料包圍廢棄物包件，最好對核種亦具有吸附效果。次要目的在提供坑道岩體的長期支撐與作業人員的輻射屏蔽。適當安定化的廢棄本體與耐久的包裝材料，甚至防水塗料亦能有效隔離廢棄物與地下水接觸。但防水塗料不得與其他處置場內的物質發生不利的交互作用。

對於多裂隙的處置岩層必要時得以灌漿進行改善，以提高廢棄物隔離效果。

位於地下水面以上的處置坑道，得於岩層與襯砌間設置排水濾層，地下水循排水系統收集排除。

作為回填用途的工程障壁材料應具有以下性質：

- 低水力傳導度
- 足夠的強度支撐周圍岩體
- 足夠的柔軟度能允許小量位移，而不會將過高的應力轉移到廢棄物包件
- 在岩石裂隙內有自我閉合的能力
- 低擴散性且能吸附核種

- 具耐久性
- 材料廉價且易取得

工程障壁的使用宜經費用與安全分析。

#### 6.3.7. 組織管理

處置場接收規範須藉安全分析與設施設計加以確認。接收規範應說明廢棄物的輻射、物理、化學、生物特性，與包件的規格。

接收規範文件應符合法規要求。

品質保證與營運計畫(含時程)應於設設計階段完成準備，並符合法規要求。

人員訓練計畫應於設設計階段完成準備，人員資格應符合法規要求。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA技術性的安全規定。
- 2.相關內容針對坑道處置進行論述，重點摘述如前欄。

**IAEA,1984, Design, Construction, Operation, Shutdown and Surveillance of Repositories for Solid Radioactive Wastes in Shallow Ground, IAEA Safety Series, No. 63, 60p.**

相關內容摘譯：

#### 4. 處置場設計與建造

##### 4.1. 前言

處置場劃分為輻射管制區與一般管理區。管制區內包含作業區與處置區，須以圍籬與外界相隔離。處置區與圍籬之間應留有適當距離的緩衝帶。

#### 4.4.1. 一般要求

一般要求多來自與法令與規範，通常如下：

- (a) 確保正常運轉期間輻射劑量合理抑低，並合於法規限值。
- (b) 避免對環境與天然資源產生不利的影響。
- (c) 確保意外造成的風險合於法規限值。

#### 4.1.2. 特殊要求

特定要求指特定階段處置場的功能需求。通常須考慮廢棄物、包件、場址環境工程障壁等的特性。包含：

- (a) 可能使處置系統失效的事件應加以判定，並評估其潛在危害。藉適當的設計基準或措施來防治可能的危害。
- (b) 處置場的設計與建造，應能使與作業人員與公眾安全相關的重要項目在正常或異常情況下均應確保發揮效能。例如消防系統的設計應考慮後續的檢查與維護。
- (c) 處置場的設計與建造，應能使廢棄物重新包裝、除污與中期貯存等，能進行操作、監測與查核。所需設施與設備應能與廢棄包件規格與特性相容。
- (d) 處置場的設計與建造，應能利於將來的停止運轉、封閉與除役。
- (e) 處置場應建立整體性品保計畫，以確保合於設計標準。重要組件的組裝、建造、測試、稽核、維護應建立規範。業務權責明確。作業人員並經適當訓練。

#### 4.1.3. 設計階段

設計隨調查而逐步進行。安全評估隨設計逐步進行。

- (a) 概念設計階段至少須考慮處置區位置、輔助設施與處置

場出入路線。地表水入滲及侵蝕的控制方法亦為考慮要項。

(b) 基本設計階段對廢棄物接收與輔助設施應有更詳細的說明，如操作過程、重新包裝、除污、暫貯、實驗室等。處置區的應能容量所有廢棄物，並對天然與人為的危害事件具有防治的設計或措施。

(c) 細部設計應涵蓋所有處置場安全相關的細節，確保處置場能安全的建造、運轉與封閉。

主管機關應詳細核對細部設計與安全評估結果，合於法規要求才核發建照執照，審核要點包括：

- 廢棄物特性與固化包裝方法
- 處置廢棄物的放射性限值
- 監管的時間期限
- 場址與環境的監測計畫
- 指定的文件化作業
- 其他因素，如處置設施的設計細節

## 4.2. 改善廢棄物隔離的工程方法

### 4.2.1. 一般概念

工程障壁可補強天然場址條件的不足。本節範疇不含廢棄物本體與包裝。工程障壁通常用來減少地表水的入滲與侵蝕，以及防止動植物侵入處置場。但這些功能有時候是彼此抵觸，需要設計調和。例如防侵蝕的覆蓋層通常有表層植被、透水、低角度邊坡的特性。

### 4.2.2. 障壁材料範例

#### 4.2.2.1. 黏土覆蓋層

黏土有極低的水力傳導度，阻水效果良好。通常可以用在廢棄包件堆置時鋪設薄層黏土作溼度控制。在處置模組封閉後在上方鋪設黏土作覆蓋層，期尚在逐層鋪設粗粒級配，最後在進行植被。黏土質覆蓋層在處置模組發生沉陷時仍能發揮效能。

黏土質覆蓋層缺點在於容易受到侵蝕、出露時容易產生裂隙、容易受到植物根部侵入等。故須加強排水系統設計並搭配其他障壁材料使用。

#### 4.2.2.2. 混凝土

混凝土施工技術成熟，廣泛用於處置場之建造，亦兼具減少滲水、抗侵蝕與侵入的效能。

現場澆注的混凝土密封效能比預鑄混凝土好(處置模組蓋版除外)。混凝土施工應注意拌合與養護作業。

#### 4.2.2.3. 灌漿

灌漿可以有效降低處置場之周圍岩體的地下滲透性。施工方法成熟可靠，但若灌漿區域廣則處置成本可能增加。

#### 4.2.2.4. 瀝青鋪面

混合瀝青的材料能有效降低滲水，瀝青鋪面亦常作為表層防水措施。其缺點須長進行檢查與更新。

正確的設計使用能達到耐久性並以潛移方式填塞裂縫。但若使用不當則易於冷氣候中龜裂或在太陽照射與氧化下劣化。

#### 4.2.2.5. 塑膠材料

塑膠材料由於透水性低有良好的阻止滲水效能。可以藉加熱組裝成連續的覆蓋層。但鋪設時易受損傷，且在自然環境中的耐久性存疑，易受動植物破壞。

#### 4.2.2.6. 臨時性氣候遮棚

處置場運轉期間臨時性的活動氣候遮棚，可以避免雨水聚積於處置模組中，增加處置的作業天數。

### 4.3. 典型的處置設計

近地表處置設施有多種不同的型式，包括地表下的壕溝、坑道、處置井；地表上的土堆或工程結構物等。處置型式的選擇視場址的地質、水文、地形、氣候條件而定。原則上地下水位高，岩層開挖不易的地區會採用地表上的處置設施設計。地表下的設施有較多的優點，包括有較佳屏蔽、易進行置放作業、易於回填覆蓋、降低潛在的侵蝕等。

#### 4.3.1 地表下結構物

##### 4.3.1.1 壕溝

壕溝掩埋為低放早期的處置方式，處置場多位於降雨稀少，地下水面深的乾燥地區。

適當設計的覆蓋層與使用混凝土結構的工程障壁，可以有效阻隔滲水與廢棄物接觸。

##### 4.3.1.2. 處置坑、襯砌的處置井或豎坑

處置坑、襯砌的處置井或豎坑通常用以處置特殊類別的廢棄物，如無法壓縮的大件廢棄物、較高活度的廢棄物等。

#### 4.3.2 地表上結構物

地表處置設施較易受到侵蝕影響。形式上分為土堆式與工程結構式兩類。

工程結構適處置設施覆蓋層可能厚達1公尺，表面可為淺根植物或巨礫防止侵蝕。



#### 4.4. 輔助設施

##### 4.4.1. 一般

輔助設施應易於移除污染。

##### 4.4.2. 設施

###### 4.4.2.1. 管理與保安區

管理大樓應能滿足人員作業與資料保存的需求，包括行政、會議、警衛、圖書等。

處置場應設置保安系統防止人為破壞。

###### 4.4.2.2. 卸載區

卸載區使廢棄物由運輸車輛上卸下，並進行檢視與核對。

本區包含所需的吊裝運輸設備。

本區應有適當的監測與取樣設備。

###### 4.4.2.3. 廢棄物固化包裝

廢棄物固化包裝區應能對破損廢棄物包件進行重新包裝。

###### 4.4.2.4. 中期貯存

中期貯存區宜為有屋頂的建物，半化期短於一年的廢棄物包件或暫無法處置的包件可於本區進行暫時貯存。

###### 4.4.2.5. 一般服務設

一般服務設施包括實驗、水電、照明等。

###### 4.4.2.6. 除污

包括除污技術與所需設備。

###### 4.4.2.7. 人員監測區與更衣室

包括人員輻防衣物換裝、洗浴、監測所需空間與設備等。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA技術性的安全規定。
- 2.相關內容針對低放近地表處置各階段工作進行論述，重點摘述如前欄。

**IAEA,1989, Guidance for Regulation of Underground Repositories for Disposal of Radioactive Wastes, IAEA Safety Series, No. 96, 21p.**

相關內容摘譯：

6.2. 設計過程

6.2.1. 一般

設計應配合調查工作逐步推動，並考慮廢棄物特性與地質環境因素之影響。設計報告的應包含開挖、地表設施建造、廢棄物操作、安全考慮、監測、與封閉規劃等與安全有關的項目。並附安全評估所需計算資訊，以利主管機關審驗。

廢棄物特性與前處理方式的釐清有助於設計工作的執行，在處置場運轉時能合理抑低作業人員劑量並限制污染的擴散。

設施設計規範與廢棄物處理規範應配合場址開發逐步完善，必要時得由主管機關訂定供廢棄物產生者遵循。

6.2.2. 法規功能

設計與安全評估是建造執照核可的決策依據。處置設施應建立特定的設計與運轉規範，以符合法規要求。保安亦須於設計考慮。重要的作業控制參數應予確認，且訂定作業限值。

設計應對處置場意外事件的危害與防止暨防護措施進行安全評估。

與安全相關的項目應採行品保程序，以確保符合設計規格，例

如廢棄物包件、資料可靠度、施工要求等。品保計畫的適用範疇與要求應詳細訂定。

封閉後的環境監測需求應事前規劃，以利建造階段一併將其納入考慮。

主管機關應考慮以下事項：

- 配合設計的進展進行審查。
- 在國家法令與政策許可下，發布廢棄物處理規範。
- 審查細部設計與安全評估。
- 審核建照執照與相關條件。

### 6.2.3. 執行功能

申請者須考慮所有設計相關的法規與導則，進行廢棄物處理與設計工作，以符合整體的功能規範。申請者應與主管機關商議應提出的重要內容並釐清法規或導則未能涵蓋的項目。申請者有責任提出的項目可能包括：

- 與安全有關涵蓋廢棄物處理與所要設計重點的文件，其中包含作業需求。
- 詳細的建造計畫。
- 品質暴政計畫。

前述的安全事項包括長期安全評估。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA原則性的安全規定。
- 2.相關內容針對地下處置(含高放與低放)，並分別針對主管機關與申請者應採行的作為進行論述，重點摘述如前欄。

### A.5.3. IAEA 技術報告系列(Technical reports series)技術規範

**IAEA, 2003, Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, IAEA Technical reports series, No. 417, 75p.**

相關內容摘譯：

#### 4.4. 處置場設計

處置場設計應能在指定時間距離內提供適當隔離處置廢棄物的功能，以近地表處置而言相當於預期的監管時間。此一需要維持隔離障壁功能的時間為關鍵的設計要點。監管的時間通常由主管機關事前指定，考慮因素包括場址特性、相關法規、與社會道德因素等。廢棄物的數量與特性是處置場設計的另一關鍵因素。依據場址與廢棄物特性以及預期的監管時間，方能進行詳細的處置場設計，以及擬定適當的廢棄物接收規範。對近地表處置而言，工程障壁的功能決定處置系統圍阻核種的重要能力。視需求工程障壁可以從簡單到複雜的多重障壁系統。處置場開發者通常會視特定功能需要，彈性選擇適當的設計方案。例如對極低為放射性廢棄物處置僅須少量工程障壁，特別是場址位於乾旱地區時。

設計的主要步驟與措施如下：

- 定義安全與設計準則
- 建立設計基準，例如應評估的事件或作用
- 設計資料的取得與評估
- 設計分析
- 經費估算
- 評估各處置場組成部分的功能與整體安全
- 比較細部設計各要項是否符合設計基準與設計規範

- 最適化分析，審核及設計定案

近地表處置設施設計的主要目標如下：

- 使工程障壁系統、回填材料與覆蓋層完善且結構穩定
- 防止、降低、及/或延遲水流與廢棄物接觸
- 確保處置單元與處置場尺度有適當的排水措施
- 能使廢棄物適當的進行接收與貯存(若有需要)
- 能適當的防患人類及/或其他生物的入侵
- 合理抑低職業曝露
- 抑低非輻射風險
- 抑低長期維護及相關作業的需求
- 能對處置設施與周邊環境進行監測
- 提供適當的緩衝區俾進行監測與可能的改善措施

處置場設計工作需要可靠的資料、有能力的設計人員、以及適當的設計工具。設計是階段性反覆進行的程序，須與功能及環境評估緊密結合。

反覆進行的設計程序可能的成果產出包括：

- 初步概念設計方案(與場址無關)
- 初步設計方案(特定場址)
- 初期安全分析報告(PSAR)，用以申請建造執照
- 終期安全分析報告(FSAR)，用以申請運轉執照
- 新版安全分析報告FSAR，回饋運轉經驗
- 封閉計畫與封閉後安全評估，用以申請封閉許可

設計伴隨安全與環境評估反覆持續進行而更詳細與調適。複雜的設計案可能需要有資料產生者與安全評估者共同合作，進行數回合的設計發展，時間長達數年。配合功能/安全評估的改善，設計者亦須進行設計改

善。

設計必須考慮的法規要求、安全相關事項(運轉與長期)、建造、運轉、監測、維修、緊急應變、品保、以及封閉後相關議題等。這些內容分別對應不同的技術與功能特性須於設計中考慮。例如工程障壁系統與處置系統中其他單元的相容性，潛在干擾事件(人類入侵、洪水、地震等)發生的機率與後果，工程障壁材料耐久的預測，處置系統物理化學性質改變使廢棄物受地下水滲濾而發生的核種遷移等。設計應能妥善處理這些變化所造成的後果。

某些國家(如比利時與西班牙)設計時有考慮廢棄物包件在回收的方案。是否再回收取決於各國的政策與法規。雖然處置的定義是將廢棄物置放在設計核可的設施而不擬再回收，但是將處置場於某段時間內具再回收功能納入設計考慮，有利於增加決策的彈性與執照申請。但是再回收的設計不得危及處置系統的整體安全、增加後代人類的負擔、亦不得作為處置場缺點的補償措施。對近地表處置而言，再回收議題的影響性較小，只要廢棄物包件仍維持完整性，回收作業相當簡單。

#### 4.6. 執照申請與核准

近地表處置場的建造、運轉與封閉必須受到法規管制，亦即須取得相關執照。詳細執照申請程序各國有別。多數國家申請者在處置場建造前應提出詳細的安全事例(safety case)說明處置設施對作業人與公眾潛在的輻射曝露影響。此安全事例應於處置設施運轉或封閉時更新，或於指定的時間內(如每五年)更新。

執照申請程序一般如下：

- (a) 申請者撰擬申請文件明確證明預定設施符合相關法規要求。主管機關得事先針對格式與內容發布導則。

- (b) 申請者提送申請文件有主管機關進行審閱與核准。
- (c) 主管機關判定申請文件是否齊備後，再進行實質審查。審查意見含說明送達申請者進行答覆澄清。
- (d) 反覆進行審閱與答覆程序，直至所有內容或後續承諾措施符合申請需求與法規。
- (e) 主管機關核發執照註記執照條件及可接收處置的廢棄物。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA技術性針對低放處置的安全規範。
- 2.相關內容針對低放近地表處置處置進行論述，重點摘述如前欄。

#### A.5.4. IAEA 技術文件系列(Technical document series)技術規範

**IAEA, 1989, Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste, IAEA-TECDOC-1256, 53p.**

相關內容摘譯：

#### 2. 設計目標

與處置設施設計相關的廢棄物管理基本原理包括以下幾點：

- 保護公眾健康：廢棄物管理方式須確保人類健康在可接受的水準。
- 保護環境：廢棄物管理方式須能提供環境保護在可接受的水準。
- 保護後代人類：廢棄物管理方式須確保對後代人類的影響，不致大於現代可接受的水準。
- 對後代人類的負擔：廢棄物管理方式不應對後代人類造成不當的負擔。
- 設施安全：廢棄物管理設施應在其壽命期間能確保安全。

上述原理譯為處置設計的主要目標，亦即確保設施在運轉期間與封閉後

均不致對人類健康與環境造成不當風險。為達成前述主要目標，設計應滿足下列次要目標：

- 控制核種的釋出。
- 降低核種釋出的影響。
- 免除或減少設施的維護需求。

考慮廢棄物特性、場址特性與安全要求的條件下，處置設施設計應能提供廢棄物在一定時間內的隔離功能。雖然某些作用或事件在長期情況下會造成核種從處置場釋出。但處置設施設計或處置系統的其他方面(如地質圈特性)應能在考慮社會與經濟因素下，確保運轉期間或封閉後的核種釋出不會使輻射劑量超過法規限值，並使其合理抑低。雖然在處置場運轉期間與封閉後有可能須採取維護措施以確保能達成隔離廢棄物/控制核種釋出、降低輻射影響的目標。但仍應以被動的措施來達成必要的安全性，而不宜以仰賴主動維護來保證安全。

除前述三個次要目標外，獲得公眾信賴譯為設計的目標之一。達成前述三項目標，無疑有助於建立公眾信心。但若設計納入考慮可監測、可採行矯正措施、可再回收廢棄物等措施，則將會更有保障。在設計與選址的早期階段即有公眾參與，將有助於建立公眾信心。公眾在處置計畫中扮演的角色各國有別，但均為成功推動處置計畫的重要因素。

### 3. 設計需求

#### 3.1. 廢棄物特性

設計所需之廢棄物特性如下：

- 廢棄物中的核種：核種的類別與活度決定廢棄物可能持續的潛在危害時間，進而影響需要隔離廢棄物的設計耐久性。廢棄物活度亦影



響作業人員所接受劑量的設計。

- 廢棄物來源與性質：不同來源的廢棄物有不同性質，必須將其納入設計考慮。
- 廢棄物數量：必須考慮處置總量(重量與體積)以及隨時間變化的接收量。處置場設計必須考慮現有以及合理時間內預期產生的數量，以規劃處置場總容量。基於財務、技術與安全的考量，處置設施通常分期建造。此外，設計時宜考慮未來可能的擴建。
- 實體尺寸與重量：影響操作系統與設施的設計，必須考慮容器物是否與系統與設施相容，以及如何進行封裝。
- 廢棄物包件的內容與性質：包括包件的主要核種與其他組成、物理、化學、力學與輻射性質等。單一包件的尺寸與重量是設計的重要資料。可研擬廢棄物接收規範界定包件的內容與性質。

設計所需之廢棄物包件特性如下：

- 總活度/特定核種的比活度影響設計要素的選擇或廢棄物包件的置放。
- 輻射劑量率、實體尺寸或重量影響操作系統設計。
- 必要時附加的固化或處理要求，使廢棄物形成可接受的型態。
- 處置容器類型。影響其他工程障壁材料的需求性。

### 3.2. 場址特性

設計相關的重要場址資料如下：

- 既有的公共建設與服務系統。
- 場址可用空間。
- 與廢棄物產地的距離。
- 地形。

- 氣候與水文。
- 地質構造及其性質。
- 文水地質與地球化學特性。
- 地形作用。

設計應使用安全評估為工具，對法規要求時間內可能顯著影響安全的事件與作用(正常、異常、意外)進行考慮。設計的目標在降低運轉期間與封閉後不利因素的影響。

### 3.3. 工程障壁

工程障壁系統主要區分如下：

- 廢棄物包件：由廢棄物基質、包裝容器、外包裝、表面披覆材質等組成。
- 處置單元：由工程結構物/隔離層、襯砌、回填材料等組成。
- 人工覆蓋層：由不同滲透性材質疊置而成。

工程障壁設計須考慮結構與材料的耐久性、與場址特性相容性、材料可取得性等。工程障壁應具備長期(300-500年)促進處置設施安全的功能。設計者在選用障壁材料時即應考慮其長期完整性。對特定的場址環境應考慮下列因素：

- 抗化學侵蝕。
- 瀝濾效應。
- 微生物劣化作用。
- 服時及侵蝕安定性。
- 輻射及熱效應(低放射性廢棄物一般可忽略)。
- 力學應變。
- 凍霜與溶雪效應。

工程障壁設計功能如下：

- 降低核種從廢棄物包件或工程障壁釋出。
- 限制降水或地下水入滲。
- 控制地下水的滲流。
- 降低潛在人類侵入的機率。
- 提供限制廢棄物包件產生氣體散佈的機能(若有需要)。
- 提供長期結構穩定性。
- 保護廢棄物包件結構完整性。
- 協助監測設計能收集或導引滲流以便監測或處理。
- 控制設施表面土壤的侵蝕。
- 提供近場適當的物理與化學條件以降低核種釋出率。

### 3.4. 運轉考慮

#### 3.4.1. 建造階段

基於技術與財務考慮，處置場施工通常分期進行。

設計相關的建造資訊考慮包括：

- 長程的建造完整性。
- 施工程序。
- 考慮耐久性、相容性、安全性(屏蔽)的建造材料選擇。
- 材料的可取得性。
- 臨時性排水或收集、監測、處理措施。
- 處置廢棄物的體積與性質。
- 推測未來廢棄物產生的情況
- 建造期間服務需求(動力、通訊、交通等)。

明智的選用材料可以促進施工技術與長期完整性，並有助於安全的提升

與費用的降低。常見的混凝土窖通常包括下的組成：

- 處置窖內部或外部，壓密或位壓密的回填材料。
- 多重層次的壓密覆蓋層。
- 混凝土質排水收集坑。
- 處置窖底部壓密的砂/土層。
- 處置窖內不分隔為多個處置室。

### 3.4.2. 運轉階段

設計對運轉期間的應考慮因素包括：

#### 運輸

- 廢棄物包件運輸。
- 人員與設備運輸。
- 施工材料與回填材料運輸。

#### 廢棄物處理與管理

- 廢棄物處理設施。
- 中期貯存設施。
- 廢棄物固化包裝設施。
- 包件檢整與確認設施。
- 包件放射化學分析。
- 包件除污。
- 包件識別與追蹤。
- 包件置放與最適化排列(減少佔用空間、作業時間與輻射影響)。
- 排水與控制。
- 處置設施擴建(若有需要)。
- 運轉與施工同時進行時的相容性。

- 運轉與回填同時進行時的相容性。

#### 管理、健康與安全

- 工作人員之輻射防護與監測。
- 可能受影響民眾的輻射防護與核種釋出監測。
- 工安與健康。
- 環境監測。
- 火警防護。
- 保安。
- 人員除污。
- 文件長期保存設施。

#### 維護與輔助服務

- 支援系統(水電、污水/垃圾處理、通風、通訊等);
- 設備除污。
- 符合作業人數的辦公、休憩、更衣空間需求。
- 防治與矯正維護。

#### 3.4.3. 封閉階段

設計對封閉期間的應考慮因素包括：

- 涵括法規要求時間內的穩定性。
- 抵抗侵蝕。
- 降低水流滲入或流經處置單元。
- 將水分流至排水系統並控制。
- 封閉材料須與其他成障壁相容。
- 最終運轉紀錄保存。
- 侵入障壁設置。

- 警告標誌設置。
- 輔助設施除役。
- 緩衝區設置(若有需要)。
- 抵抗冰凍-冰溶及/或乾-濕循環。
- 氣體出口的需要性。

### 3.5. 執照申請與安全評估

#### 3.5.2. 回饋於處置設施設計

配合設計過程應反覆進行安全評估，並將結果回饋作為設計改善。

經由設計可以排除或降低某些曝露情節的影響(如浸水、火災等)。封閉後地下水或氣體傳輸途徑分析可以作為處置系統及相關設計之調整依據。人類侵入途徑分析可影響選址、劑量限值、監管措施、侵入障壁等的設計。對天然干擾性事件的評估，可以加強障壁設計予以防患。

### 3.6. 品質保證

品保計畫可確保預設的技術要求被確實達成。因此對於資料蒐集、設計含安全評估、施工、啟用

、運轉、與封閉等應有品保需求。建立品保計畫役有助於取得公眾對處置設施的同意。設計開始前即應建立設計管制計畫。確保所有的規法要求均適當的於設計文件中考慮。

相關措施包括將技術規範、營運規範、品質標準等納入設計文件，並加以管制。建立結構、系統與組件功能設計與審核的程序等。

品質計畫通常包含以下內容：

- 檢驗與審核設計適當性與計算正確性的措施。
- 設計檢驗與審核的組織與權責。
- 確保檢驗與審核能落實的措施。

- 設計確認的措施。
- 設計版本管制與流通的措施。

用於設計參考的外部文件(如核種吸附文獻)，應有評估其適用性的程序。設計變更應有適當管制與權責人員核可。

#### 4. 設計階段與內容

##### 4.1. 概念設計階段

###### 4.1.1. 目標

概念設計階段的主要目標在於選擇擬採用的處置方案。促進廢棄物管理相關機構的合作。建立一般性廢棄物接收規範。擬定後續場址、廢棄物、與設計特性的資訊需求。

###### 4.1.2. 概念設計的範疇

概念設計階段主要針對不同處置方案的技術性、經濟性與安全性進行評估。此時處置系統的選擇可能尚未明確。處置方案考慮的因素包括：安全(是否合於法規與執照申請要求)、環境影響(是否與潛在場址特性相容)、技術問題(廢棄物特性與數量是否能妥善處置)、社會與經濟問題、費用等。概念設計應說明欲採用的處置技術方案以及構成多重障壁系統相關組件相關的廢棄物包件、障壁材料等功能。

概念設計的資料需求如下：

- 廢棄物存量、特性與來源。
- 場址特性(無或有特定場址)與資料。
- 安全與法規準則(運轉與長期)。

概念設計階段通常欠缺詳細的廢棄物與場址特性資訊，故安全評估通常使用一般性的估計資訊。但概念功能評估的參數敏感度分析，仍有助於釐清後續研發或特性調查的資訊需求。

## 4.2. 基本工程設計階段

### 4.2.1. 目標

本階段目標主要在確認概念階段所選取的處置方案可以作為執照申請與運轉的方案。本階段須證實處置系統符合所有安全與設計準則，且可以安全與經濟的進行建造與運轉。基本設計結果可用虞執照申請所需的安全評估。

額外的目標包括：

- 確保設計與下列一致：
  - 場址與環境。
  - 廢棄物體積、數量、與特性；廢棄物本體與包裝容器。
- 更佳的定義處置設施。
- 更佳且完整的評估：
  - 計畫可行性。
  - 運轉與長期安全評估。
  - 運轉可行性與彈性，並決定是否能成功運轉與封閉。
- 估算費用與時程。
- 定義後續需求：
  - 場址資料。
  - 廢棄物包裝規格。
  - 障壁材料。
  - 後續研發需求。
- 定義額外的公共建設需求。
- 提供資訊給功能評估與安全評估。
- 提供資訊給相關單位：



- 主管機關。
- 公眾。
- 產業。
- 廢棄物產生者等。
- 定義廢棄物操作設備規則並調查設備取得性。
- 擬定後續階段所需的品保計畫。
- 提供環境影響評估所需資訊：
  - 環境。
  - 社會-經濟。
- 協助證實設計符合法規及執照申請要求。

#### 4.2.2. 基本工程設計的範疇

基本工程設計為概念設計的擴充，包含特定場址的資訊，內容如下：

- 全部處置係體與個別單元的說明，包括輔助與服務設施。
- 從廢棄物接收到置放於處置設施中，處置作業的完整說明。
- 運轉與長期安全要求的說明。
- 封閉的設計需求。
- 準備安全評估所需資料與主管機關審查所需文件。
- 主動與被動監管需求，併將需求納入設計的說明。

前述說明應有技術文件佐證，以及相應的設計、建造時程、運轉計畫、費用估算等。應長期保存的資料須適當歸檔。

整體處置系統設計通常包含以下內容：

- 處置場位置。
- 設施配置。
- 場址準備(開挖、排水、土工、道路等)。

- 出入道路、停車場、圍籬等。
- 淨流與處置系統排水設計、集水點設計、處理方法等。
- 處置系統。
- 回填與覆蓋系統。
- 輻射防護與監測系統。
- 動力、通風、通訊等及其他支援系統。
- 消防與保安系統。

基本設計階段亦須考慮輔助與服務設施，包括廢棄物接收、中期貯存、固化包裝或重新包裝、工程障壁材料等。並考慮輻射管制區(實驗室、儀控制、排放水處理設施、除污設施)與非輻射管制區內(管理大樓、訪客中心、停車場、衛生間等)的設施。

基本設計階段亦須對初步的運轉程序進行說明，以評估處置作業是否能安全有效的進行。確保送達處置場的廢棄物數量能依據設計與安全準則進行處置。場址規劃說明各區的劃分以及進出方式。運轉安全準則決定設施輻射防護與屏蔽需求。若有需要得考慮處置設施未來的擴建行為、廢棄物因意外事故需異地移置的措施。

基本設計階段得依據所提供的建造與運轉作業進行費用估算。估算費用的不確定性取決於資料與設計工作的精細程度。

#### 4.3. 細部設計階段

##### 4.3.1. 目標

細部設計階段的準要目標在於為後續的建造、運轉與封閉做好準備。此階段須確認處置設施能安全而有效的運轉與封閉。細部設計應能符合法規與主管機關的要求。額外額外的目標包括：

- 將主管機關針對概念設計所提的意見與建議納入基本設計。

- 將更詳盡的場址與環境以及廢棄物包件資訊納入基本設計。
- 完成整體處置系統的與輔助設施的詳細設計說明與圖件。
- 完成建造、設備採購、運轉相關規格說明書。
- 完成建造、運轉、封閉費用估算。
- 完成特定場址廢棄物接收規範。
- 提供安全評估所需資訊。
- 擬定環境與輻射監測計畫。
- 擬定運轉人員訓練計畫。
- 提供相關單位處置場封閉規劃資訊。
- 完成品質保證計畫。
- 準備作業程序、說明書與手冊。

#### 4.3.2. 細部設計的範疇

細埠設計為基本設計的進一步擴充，更深入的說明設計與安全特性，以及建造、運轉、封閉的需求。工作項目與基本設計近似但內容更為詳盡。詳細的技術分析、經費預估、建造與設備採購規格說明書、施工細節與時程等均於本階段完成。

某些情況下對於覆蓋層的設計可能無法詳盡，但對於封閉系統的其他部分仍應以現行可行技術進行考慮。相關資訊與補充文件得應要求提供主管機關，以評估處置安全。

細部設計的最終結果在於：

- 完成整體處置系統各技術與工程部分的詳細設計。
- 完成全部的安全評估。
- 完成全部的設計工作以符合法規/申請執照要求，以便進行處置設施建造。

分析說明：

- 1.本文件為IAEA技術性針對低放處置的安全規範。
- 2.相關內容針對低放近地表處置進行論述，重點摘述如前欄。

## A.6.美國法規與技術規範

### A.6.1.美國法規

#### **Title 10-Energy**

#### **Part 61- Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste**

相關內容摘譯：

##### Subpart C – 功能目標

##### Sec. 61.40 一般要求

陸地處置設施必須進行選址、設計、運轉、封閉、與封閉後管制，以合理確保對人類造成的曝露低於Sec. 61.41 到61.44功能目標所定的限值。

##### Sec. 61.41 保護公眾免於釋出放射性之危害

可能釋出到一般環境地下水、地表水、空氣、土壤、植物或動物中的放射性物質濃度，不得造成公眾個人全身超過20毫侖目、甲狀腺75毫侖目，及其他器官25毫侖目劑量。並採取必要措施合理抑低放射性排放到環境中。

##### Sec. 61.42 保護無意中闖入的個人

陸地處置設施之設計、運轉與封閉須能確保在主動監管撤除後任意時間內，任何無意中闖入，棲留或接觸廢棄物的任何個人的安全。

##### Sec. 61.43 保護作業人員

陸地處置設施之運轉應確保作業符合輻射防護標準，包括part 20及Sec.61.41的相關規定，並盡力合理抑低。

#### Sec. 61.44 維持處置場封閉後的穩定性

陸地處置設施必須進行選址、設計、使用、運轉、封閉、與封閉，以達成處置場的長期穩性。減免處置場封閉後的主動維護，而僅需監督、監測及少量看護。

#### Subpart D - 陸地處置設施技術需求

#### Sec. 61.50 陸地處置場適用性需求

##### (a) 近地表處置的場址適用性

- (1) 本節明定近地表處置設施的最低場址特性要求。場址適用性應著重在廢棄物隔離、長期影響、及場址特徵，應能確保符合subpart C所述的各項長期功能副目標，而非短期的便利或利益。
- (2) 處置場址應能進行特性調查、模擬、分析與監測。
- (3) 預定場址地點預期的人口成長與未來開發不得影響處置設施對subpart C功能目標的符合。
- (4) 處置場應避免位於重要天然資源賦存的地點，以免無法符合subpart C 功能目標。
- (5) 處置場需排水良好不得有洪患或長期積水。廢棄物不得處置於百年洪水平原，近岸高災害地區，或溼地。
- (6) 上游流域面積應減小，以降低可能造成處置單元遭受侵蝕或浸水的地表逕流。
- (7) 處置設施應高於長年地下水位面，以免地下水侵入廢棄物。處置設施位於地下水面下者，應能證明核種傳輸以分子擴

散為主要方式，且移動速度符合subpart C 功能目標。廢棄物不得處置於水位面變動範圍內。

(8) 用於處置的水文地質單元不得排放地下水到場址地表。

(9) 場址應避免位於大地構造作用頻繁，如斷層、褶皺、地震、火山活動，且顯著不利於subpart C 功能目標達成，或可能難以模擬與預測其長期影響的地區。

(10) 場址應避免位於地表地質作用頻繁，如塊體崩壞、侵蝕、坍塌、地滑、風化，且顯著不利於subpart C 功能目標達成，或可能難以模擬與預測其長期影響的地區。

(11) 場址不得位在鄰近設施或活動會不利於subpart C 功能目標達成，或顯著干擾環境監測計畫的地區。

(b) 近地表處置以外場址適用性(保留)

#### Sec. 61.51 陸地處置場設計

(a) 近地表處置場設計

(1) 處置場設計要點應指向長期隔離及避免封閉後的連續性主動維護。

(2) 處置場設計與運轉應與封閉與穩定計畫相容，確保封閉後能達成subpart C 功能目標。

(3) 處置場設計應能完善與改善場址特性，確保達成subpart C 功能目標。

(4) 覆蓋層設計應能減少水流入滲，將滲流水與地表水導引離開廢棄物。並能抵抗地表地質作用與生物活動造成的劣化作用。

(5) 地面特性需能將地表水以適當流速與坡度導引離開處置單

元，而不會造成侵蝕，以減少未來可能需要的主動維護。

(6) 場址場設計應減少貯存、處置期間與處置後廢棄物與水接觸。

(b) 近地表處置以外處置場設計(保留)

Sec. 61.52 陸地處置設施運轉與封閉

(a) 近地表處置設施運轉與封閉

(1) A類廢棄物須與其他費別廢棄物分開處置於不同單元，以免交互作用使subpart C 功能目標無法達成。

(2) C類廢棄物頂部距離覆蓋層頂部至少須5公尺，或設計有侵入障壁可以保護無意闖入者至少500年。

(3) 所有類別廢棄物應滿足以下(4)到(11)項要求。

(4) 廢棄物置放方式須能於置放時維持包件整體性、減少包件間空隙、容許包件間空隙被回填。

(5) 包件間空隙應以土壤或其他材料回填，減少未來掩埋後可能的沉陷。

(6) 廢棄物置放與覆蓋後表面輻射劑量率應符合相關規定限值。

(7) 任一處置單元標界與位置均應精確測繪。近地表處置單元應標示並能識別任一單元的邊界。應依國家座標系統建立三個永久測量控制點。

(8) 掩埋廢棄物之間、下方、及與場址邊界之間應建立緩衝區。緩衝區應有適當空間進行環境監測措施及必要時進行污染整治。

(9) 處置單元回填封閉後應依核准的場址封閉計畫進行封閉與穩定化作業。

(10) 進行中的廢棄物處置作業不得對已完成封閉與穩定化的部分有不利的影響。

(11) 僅有含放射性或受污染的廢棄物方得進行處置。

(b) 近地表處置以外處置設施運轉與封閉 (保留)

#### Sec. 61.53 環境監測

(a) 申請者提出執照審請時應執行運轉前環境監測計畫，以提供場址特性環境基本資料。申請者應取得至少12個月場址的生態、氣象、氣候、水文、地質、地化、地震資料，並說明可能的季節變化。

(b) 執照擁有者應提出矯正措施計畫，以便無法達成subpart C 功能目標時進行整治。

(c) 處置場建造與運轉期間執照擁有者須維持監測計畫，記錄量測與觀測結果，以評估建造與運轉期間潛在的健康與環境影響，進而評估長期效應及須否採行整治措施。監測系統須能在核種釋出場址邊界外前提出預警。

(d) 處置場封閉後執照擁有者應負責運轉後的巡察，應依據運轉歷史及場址封閉與穩定來維持所需監測系統。監測系統須能在核種釋出場址邊界外前提出預警。

#### Sec. 61.54 設計與運轉的替代要求

主管機關在subpart C功能目標可以確保的條件下，得應要求或主動核可 Sec. 61.51到61.53 廢棄物分離處置或設計運轉的特定基準。

#### Sec. 61.59 監管要求

(a) 土地所有權：僅公有土地方得對外接收並處置放射性廢棄物。

(b) 監管：處置場經營者移交控制權後，土地所有權人或保管機構應執行



監管計畫，管制場址出入。監管計畫應包括但不限於執行環境監測計畫、定期巡察、小量維護、配合主管機關要求事項、及管活動理基金。監管期限由主管機關定之，但不會在處置場管理權移交給土地所有權人後超過100年。

分析說明：

- 1.本文件為美國NRC發布的近地表處置場申請執照規定。
- 2.NRC認定的近地表處置場是原則上位在地下30公尺深度以內，且位於地下水位面上，或地下水位面下以分子擴散傳輸為主的處置設施。
- 3.處置場申請者應證明相關設計或措施能達成主管機關發布的功能目標。

#### A.6.2.美國技術規範

**USNRC, 1991, Standard Format and Content of a License Application for a Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1199, Rev. 2.**

相關內容摘譯：

#### 3.設計與建造

##### 3.1 主要設計特徵

主要設計特徵應說明下列功能需求：

- 能抑低地下水滲入處置單元。
- 能確保處置單元覆蓋層完整性。
- 能提供結構、廢棄物與覆蓋層的穩定性。
- 能減少地下水與放射性廢棄物接觸的機會。
- 運轉期間與封閉後提供場址適當的排水。

- 有助於處置場的封閉與穩定。
- 能抑低長期維護的需求。
- 能提供防止人類無意侵入的障壁。
- 能合理抑低作業人員的輻射曝露。
- 能提供適當的監測措施。
- 提供適當的緩衝區以進行監測與可能的改善措施。

### 3.2 正常、異常/意外情況的設計考慮

說明 3.1 節所述 11 項功能需求在正常、異常/意外情況下的設計準則。以確保能：

- 提供廢棄物的長期隔離。
- 減少場址封閉後連續的主動維護。
- 改善場址天然條件以保護公眾健康與安全。

#### 3.2A 地下處置窖 (Below-Ground Vaults, BGV) 與土堆混凝土庫 (Earth-Mounded Concrete Bunkers, EMCB) 結構設計

說明下列結構設計相關事項：

- 施加於設計的荷重或荷重組合。
- 用於設計的工業標準與建築技術規則。
- 設計分析程序與基準。
- 主要設計準則與基準。
- 場址因素對設計與結構功能的影響。

### 3.3 建造考慮

#### 3.3.1 施工方法與特點

說明下列資訊：

- 場址準備。

- 水流管控與分流。
- 處置單元施工
- 混凝土與鋼材施工。
- 回填。
- 個別處置單元封閉。
- 適用法規、標準與規範。
- 施工材料與品質保證。

### 3.3.2 施工機具

說明施工機具類型、規格、採購、維護等資訊。

### 3.3A 地下處置窖與土堆混凝土庫施工與作業考慮

說明下列資訊：

- 施工材料品質與耐久性。
- 施工方法與處置作業

## 3.4 輔助系統與設施設計

### 3.4.1 公用系統

說明下列資訊：

- 系統組成。
- 與 3.1 節主要設計特徵相關的功能。
- 設計基準、法規、標準與規範。
- 系統失效時對主要設計特徵的可能不利影響。

### 3.4.2 輔助設施

說明輔助建物與交通系統相關資訊：

- 整體配置與設計。
- 建物/系統使用目的。

- 設計基準、法規、標準與規範。
- 施工材料。
- 交通管制。
- 建物/系統失效時對主要設計特徵的可能不利影響。

### 3.4.3 消防系統

說明下列資訊：

- 火警應變計畫。
- 消防程序、材料、設備。
- 必要時場外的消防警報與設備。
- 消防訓練計畫。

### 3.4.4 侵蝕與洪水控制系統

說明符合 10CFR61 法規對於防止侵蝕與防制洪水氾濫的水文分析與細部設計資訊。

分析說明：

1. 本文件為美國 NRC 發布的近地表處置場安全分析報告導則，目的在於給申請者使用以儘早齊備相關資料，加速審查作業的進行。
2. 本文件與給審查者使用的 NUREG-1200 安全分析審查方案相互對照，文件無法定強制效力，但申請者若參照格式與內容要求撰寫安全分析報告，則有利於執照申請審查的通過。

**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.**

相關內容摘譯：

### 3.設計與建造

- 主要設計特徵(Principal Design Feature) – 處置設施中重要或顯著的部分，需要審慎與有目的的規劃，以確保設施能安全的建造、運轉與封閉。
- 主要設計準則(Principal Design Criteria) – 結構、系統與組件的設計、組裝、施工、測試與功能需求所應建立的準則，以合理保證陸地處置設施運轉與封閉不會對公眾健康與安全造成不當的風險。主要設計準則可以是重要標準的型式，說明設計適當性與可接受性的技術判斷與決策。主要設計準則應由申請者建立以確認與證實 10 CFR 61 的功能目標與技術要求均能符合。
- 設計基準(Design Bases) – 陸地處置設施結構、系統與組件應具備特定功能的資訊，以及作為設計控制參數參考邊界的特定值或範圍值。
- 設計限度(Design Limit) – 選定不得超出的參數值，以確保能符合主要設計準則與設計基準。

設計基準天然事件(Design-Basis Natural Event) – 設計時估計或假定會發生的某些劇烈天然事件，其影響(或荷重)與處置設施安全設計有關者。這些事件的劇烈程度稱設計基準事件，可能包括大地構造(地震、火山、地面破裂)、水文、氣象(暴風、洪水、颶風、海嘯、湧浪)。天然事件通常假定會發生在正常(短期)運轉情況及異常(長期)封閉後情況下，設計時應考慮其發生的嚴重性。

#### 3.1 主要設計特徵

主要設計特徵應滿足下列功能需求：

- 能抑低地下水滲入處置單元。
- 能確保處置單元覆蓋層完整性。

- 能提供結構、廢棄物與覆蓋層的穩定性。
- 能減少地下水與放射性廢棄物接觸的機會。
- 運轉期間與封閉後提供場址適當的排水。
- 有助於處置場的封閉與穩定。
- 能抑低長期維護的需求。
- 能提供防止人類無意侵入的障壁。
- 能合理抑低作業人員的輻射曝露。
- 能提供適當的監測措施。
- 提供適當的緩衝區以進行監測與可能的改善措施。

### 3.2 正常、異常/意外情況的設計考慮

審查 3.1 節各項功能需求在正常、異常/意外情況下的安全性。

#### 3.2A 地下處置窖 (Below-Ground Vaults, BGV) 與土堆混凝土庫 (Earth-Mounded Concrete Bunkers, EMCB) 結構設計

審查下列結構設計相關事項：

- 施加於設計的荷重或荷重組合。
- 用於設計的工業標準與建築技術規則。
- 設計分析程序與基準。
- 主要設計準則與基準。
- 場址因素對設計與結構功能的影響。

### 3.3 建造考慮

審查施工方法與處置作業相關事項，包括：

- 確保處置安全所使用的施工與運轉的程序與技術。
- 維護工作人員安全的工程結構。
- 避免對周圍已置放或已封閉處置窖產生長期不利影響的後續作業

規劃。

### 3.4 輔助系統與設施設計

審查包括通訊、水電、照明、衛生、燃料供應等公用系統，以確保：

- 預定設施有適當的設計基準與設計準則。
- 設施運轉期間各系統在設計基準事件下能發揮預期功能。
- 各公用系統主要設計特徵的潛在不利影響能被判定。
- 各公用系統的潛在不利影響不致顯著降低處置設施的安全功能。

分析說明：

- 1.本文件為美國 NRC 發布的近地表處置場安全分析報告審查方案，目的在於給審查人員使用以便有共同的審查基準。
- 2.本文件與給申請者使用的 NUREG-1199 安全分析報告導則相互對照，文件無法定強制效力，但申請者若參照格式與內容要求撰寫安全分析報告，則有利於執照申請審查的通過。

### A.7.結論

- (1)安全管制法規與技術規範具有適用的層級性與優先性。原則上法規的層級性高於行政命令，而行政命令則高於工業標準，工業標準則高於一般技術規範與研究文獻。國內的法規與規範則相較於國外法規與規範有優先適用性。
- (2)較高層級的法規與規範，通常為較原則性的安全原理或規定。較低層級的技術規範則有較多技術性細節的說明。
- (3)法規與規範代表的是安全的最低原則，申請者應說明設施安全對於本國法規的符合性，並引用適當的技術規範說明處置系統在各階段正常與異常情況下均能發揮設計功能，確保人類安全與維護環境品質。

- (4)對申請者而言得提出導則要求以外，更好的方法或評估結果以通過審查；對審查者而言，除非有明顯危及安全的事證並著手修改法令，否則不宜有超出審查方案的要求。
- (5)本文初步針對國內與IAEA低放處置場設計相關法規與技術規範內容進行彙整，相關資訊可提供主管機關參考。





## 附錄 B：設計安全審查要項檢核清單

## 附錄B：設計安全審查要項檢核清單

本查核表係依據「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」

### 第四章處置設施之設計進行規劃

序號	審查內容	審查發現(✓選)				審查意見說明
		同意	不同意	不完整	不適用	
1	引用法規及設計準則					
1.1	法規及設計準則完整性					
1.2	法規及設計準則版次					
2	處置設施之設計					
2.1	設計目標與功能需求					
2.1.1	處置設施之設計基準					
2.1.2	設計要項					
2.1.3	設計規格					
2.2	建築設計					
	主要結構物					
	使用需求規劃					
	主要結構物配置					
2.3	結構設計					
	主要結構物之結構分類					
	設計荷重及其組合					
2.4	土木設計					
	主要結構物之工程材質					
	屏蔽材料之特性與設計標準					
	地表防洪系統					
	地下排水系統					
2.5	輻射安全設計					
2.5.1	安全限值					
2.5.1.1	設施內外之輻射限值					
2.5.1.2	輻射防護分區規劃					
2.5.2	處置設施結構輻射屏蔽分析					
	輻射屏蔽結構體構造強度、比重、厚度					
	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					
2.5.3	職業曝露合理抑低					
	輻射監測區域規劃、輻射管制區劃分、輻射防護設備之使用					
	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					
	對較高活度廢棄物之屏蔽設計					
2.6	輔助設施或系統之設計與失效時之補救措施					
	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				
2.7	公用設施或系統之設計與失效時之補救措施				
	通訊				
	電力				
	供水				
	供氣				
	照明				
	廢棄物處理				
	通風				
2.8	適當比例尺之詳細圖說與設計細部資料附冊				
3	處置設施之建造				
3.1	施工特性				
	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				
3.2	施工計畫				
	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				
	緊急應變處理				
4	處置設施之運轉				
4.1	廢棄物接收				
	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				
	運送文件之查驗				
	廢棄物盛裝容器之檢視				
	運輸設備之污染偵檢與除污				
	容器表面劑量率及核種之偵檢				
	廢棄物相關文件之管理與保存				
4.2	廢棄物處理與暫存				
	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）				
	廢棄物暫存：暫存區之使用規劃及暫存作業				
4.3	處置作業				
4.3.1	處置區之分區規劃				
	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				
	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				
	減少廢棄物體堆置空隙之方法				
4.3.2	處置區內處置單元覆蓋、回填				
	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				
	處置單元有關設施之運轉、維護與監測評估				
4.3.3	處置單元封閉及穩定化				
	處置單元之封閉條件、期程及其封閉計畫				
	處置單元封閉後之營運、檢查及監測				
	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				
4.3.4	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				
4.3.5	處置區分區標示：包括標示方法、內容及標示物之材質				
4.3.6	其他相關作業之說明				

附錄 C：低放射性廢棄物處置設施設計安全審查  
規範建議草案

## 附錄 C：低放射性廢棄物處置設施設計安全審查規範

### 建議草案

本導則建議草案適用於「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」第四章處置設施之設計審查作業。內容涵括審查範圍、審查要點與審查責任。

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。

#### 1. 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。

#### 2. 審查要點

- (1) 處置設施設計應合於以下的設計目標與功能目標：
  - (A) 保護公眾免於輻射釋出的危害。
  - (B) 保護無意侵入處置場的個人。
  - (C) 保護處置作業人員。
  - (D) 封閉後維持處置場址的穩定性。
- (2) 處置設施設計應合於以下的功能需求：
  - (A) 能長期隔離放射性廢棄物。
  - (B) 能改善場址之天然特性。
  - (C) 能抑低地下水滲入處置坑道。
  - (D) 能確保設施結構的穩定性。
  - (E) 能減少地下水與放射性廢棄物接觸的機會。
  - (F) 能合理抑低作業人員的輻射曝露。

- (G) 在運轉期間能有效的排除滲水。
- (H) 能提供適當的監測措施。
- (I) 有助於處置場的封閉與穩定。
- (J) 能抑低或免除長期維護的需求。
- (K) 能提供防止人類無意侵入的障壁。
- (3) 處置設施設計應考慮以下的設計基準：
  - (A) 處置廢棄物之類型、數量與特性。
  - (B) 處置設施場址環境與設計基準異常事件。
  - (C) 處置設施年處置量、處置總量與運轉年限。
- (4) 處置設施設計之設計要項及設計規格說明：
  - (A) 重要設施如處置單元/處置坑道設計要項說明，包括功能、配置、容量等。
  - (B) 重要設施如處置單元/處置坑道設計規格概要說明，包括設施數量、尺寸、材質等。

### 3. 審查責任

- (1) 確認設計者所引用設計法規與技術規範之適用性與完備性。
- (2) 確認設計者已充分考慮低放射性廢棄物處置設施應滿足的安全目標與應有的設施功能需求。
- (3) 確認設計基準、設計要項及設計規格內容之完整與合理。
- (4) 確認為論充分並提供詳細圖說。

## 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。

### 1. 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) 主要結構物使用需求規劃及其配置。
- (4) 場址因素的考慮。

## 2. 審查要點

- (1) 建築設計之依據。
- (2) 建築設計之方法。
- (3) 主要建築之名稱與使用需求規劃。
- (4) 主要建築之配置與作業動線規劃。

## 3. 審查責任

- (1) 確認建築設計經過保守假設與合理計算且合於法規。
- (2) 確認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) 確認場址因素對於建築設計的不利影響均已充分考慮。

# 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。

## 1. 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) 結構物荷重分析。
- (4) 場址因素的考慮。

## 2. 審查要點

- (1) 結構設計之依據。

- (2) 結構設計之方法與分析結果。
- (3) 結構安全影響因素分析結果。
- (4) 處置設施主要結構物之結構分類、荷重及其組合之設計結果。

### 3. 審查責任

- (1) 確認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) 確認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) 確認場址因素對於結構設計的不利影響均已充分考慮。

## 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。

### 1. 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) 處置單元/處置坑道防水與排水設計。
- (4) 處置單元/處置坑道長期穩定性。
- (5) 場址因素的考慮。

### 2. 審查要點

#### 2.1 近地表處置設施

- (1) 處置容器之設計。

- (2)處置單元之設計。
- (3)廢棄物包件置放設計：搬運、吊放、灌漿回填等設計。
- (4)覆蓋層設計：層次、厚度、坡度、材質、工程性質、耐久性設計。
- (5)防水/排水設計：處置作業期間防水設計(如活動式遮雨棚或臨時蓋板)。處置單元之濾料、坡度、渠道設計。
- (6)長期穩定性設計：長期隔離廢棄物之設計、改善場址自然特性之設計、設計基準異常事件對長期穩定性的影響、廢棄物與包件之間空隙體積的減少措施與長期影響。工程障壁材料耐久性評估。
- (7)處置單元封閉與維護設計：回填材料工程性質、封閉程序與設備設計、處置單元/覆蓋層監測、處置設施維護設計。
- (8)防止人員無意闖入或佔用場區之障壁設計。

## 2.2坑道處置設施

- (1)處置容器之設計。
- (2)處置坑道/處置窖/圓柱型處置倉(silo)之設計。
- (3)廢棄物包件置放設計：搬運、吊放、灌漿回填等設計。
- (4)處置坑道穩定性設計：開挖斷面、支撐、襯砌、灌漿、坑道變形監測等設計。
- (5)防水/排水設計：處置作業期間防水設計(如活動式遮雨棚或臨時蓋板)。處置坑道/處置窖/圓柱型處置倉之排水管、濾料、坡度、渠道設計。
- (6)長期穩定性設計：長期隔離廢棄物之設計、改善場址自然特性之設計、設計基準異常事件對長期穩定性的影響、廢棄物與包件之間空隙體積的減少措施與長期影響。工程障

壁材料耐久性評估。

- (7)處置坑道封閉與維護設計：回填材料工程性質、封閉程序與設備設計、處置坑道/處置窖/圓柱型處置倉監測、處置設施維護設計。

### 3.審查責任

- (1)確認土木設計經過保守假設與合理計算且合於法規。
- (2)確認土木材料規格與設計施工有合理的管控程序。
- (3)確認處置單元/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)確認土木設計能確保處置設施在正常、異常狀況及意外事故時，均能發揮其功能。異常狀況時之長期穩定性分析須考慮，包括：(1)最大可能地震；(2)最大可能降水；(3)最大可能洪水；(4)劇烈天氣現象(如颱風)等。

## 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。

### 1.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。

## 2. 審查要點

- (1) 輻射安全限值相關規定的符合分析。
- (2) 重要設施之輻射屏蔽分析。
- (3) 作業程序與作業場所之合理抑低設計。
- (4) 輻射劑量監測與管制措施之規劃。

## 3. 審查責任

- (1) 確認輻射安全設計符合我國現行輻射防護相關法規。
- (2) 確認輻射安全設計應符合合理抑低原則。
- (3) 確認與安全有關之輻射安全系統及組件設計，已考慮必要之替代性備份設計，並具下列特性：(A)可進行稽查、維護及測試；(B)可防範自然災害；(C)可提供緊急應變功能等。

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。

## 1. 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。
- (3) 輔助設施或系統在意外情況下失效時之補救措施。

## 2. 審查要點

- (1) 廢棄物暫貯區位置與容量設計合理性。
- (2) 廢棄物檢整或處理系統之項目與流程設計合理性。
- (3) 粉塵與廢水收集排放處理系統之程序與設備設計合理性。
- (4) 廢棄物傳送系統之程序與設備設計合理性。

(5)分析或偵測系統之程序與設備設計合理性。

### 3.審查責任

- (1)確認輔助設施或系統之設計或使用或失效不會影響處置設施的整體功能。
- (2)確認輔助設施或系統在處置設施運轉期間應能安全的協助主要設施，且失效時不會危害作業人員的安全。
- (3)確認與安全有關之輔助設施、系統及組件設計，已考慮必要之替代性備份設計，並具下列特性：(A)可進行稽查、維護及測試；(B)可防範自然災害；(C)可提供緊急應變功能等。

## 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

### 1.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。

### 2.審查要點

- (1)通訊系統型式與配置。
- (2)電力來源、電力系統配置、電力使用規劃。
- (3)水源、供水系統配置與使用規劃。
- (4)供氣系統配置與使用規劃。
- (5)燃料供應與使用規劃。
- (6)照明系統配置與使用規劃。
- (7)一般廢棄物處理系統配置與使用規劃。

- (8)通風系統配置與使用規劃。
- (9)消防系統配置與使用規劃。
- (10) 保安與警示系統配置與使用規劃。

### 3.審查責任

- (1)確認公用設施或系統之設計或使用或失效不會影響處置場的整體功能。
- (2)確認公用設施或系統失效時不會危害作業人員的安全。
- (3)確認與安全有關之公用系統及組件設計，已考慮必要之替代性備份設計，並具下列特性：(A)可進行稽查、維設及測試；(B)可防範自然災害；(C)可提供緊急應變功能等。

## 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。

### 1.審查範圍

- (1)工程設計圖說與設計細部資料。

### 2.審查要點

- (1)工程設計圖說資料完整性與正確性。
- (2)設計細部資料完整性與正確性。

### 3.審查責任

- (1)確認圖件應清晰，資料編號與索引應明確且一致。
- (2)確認資料內容正確與完整，足供安全審查作業所需。

## 附錄 D：期末報告審查意見與意見答覆表



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

「低放射性廢棄物最終處置場設計安全考量之研究」

期末報告審查意見與意見答覆表

審查意見：共 6 項

審查意見日期：97.11.24

意見答覆日期：97.11.25

編號	1	章節	綜合	頁碼		行數	
審查意見							
本計畫藉由蒐集國際低放處置安全管制經驗，以及研析設施設計所需考量之安全要項，目的在於能提出我國低放處置設施安全管制之前置準備規畫，請說明本計畫研究成果如何做為進行安全設計審查作業之應用。而建立安全審查導則之內容應為重要的產出，請就本報告之工作成果，再行補充研提我國可能適用之「低放射性處置設施設計安全審查導則」。							
意見答覆							
1. 本計畫彙整國際低放射性廢棄物處置場設計與管制經驗，並研提我國設計查應注意之重點詳如報告內文，有助於管制機關審查作業時之科學技術背景佐證之用。另因應實際設計審查作業之需要於附錄 B 建立審查要項檢核清單與附錄 C 設計安全審查規範建議草案等。均能實質協助審查作業之順利執行。							
2. 參考美國導則 NUREG-1199 與規範 NUREG-1200，研提補充相關內容建議草案如修訂報告附錄 C，提供委託單位參考。							

編號	2	章節	第 2 章	頁碼		行數	
審查意見							
國際低放射性廢棄物處置安全管制經驗研析：							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 501 1465 696">1. 報告中整理出七個國家的經驗案例與管制重點，惟呈現的內容均為近地表處置設施，並無坑道處置設施案例，例如前述國家中，瑞典的案例並未說明，或者請再補充相關坑道處置案例。</li> <li data-bbox="240 719 1465 831">2. 針對報告中所研析各國安全管制重點，請彙整對應於我國安全分析報告導則章節內容。</li> <li data-bbox="240 853 1465 1055">3. 於「國外低放射性廢棄物處置場設計與審查重點評析」乙節(p.34)之各項說明內容，似乎無法歸納反映國外處置場之設計與審查重點，建議應切合標題補充說明。建議能否以表格以茲說明此 8 各處置場之差異之處。</li> <li data-bbox="240 1077 1465 1189">4. 2.1.1(p.5)第二段中，由於澳洲無核能電廠，低放廢棄物處置場中「核設施除役」是說明何種核設施或該國家處置場廢棄物來源？</li> <li data-bbox="240 1211 1465 1413">5. 2.1.2(p.14) (2)安全設計 (C)地震等自然現象之安全設計，未說明不需考慮海嘯、漲潮及洪水等危害？(近年北海道北方曾發生 6 級以上地震，也發布海嘯警報)</li> <li data-bbox="240 1435 1465 1547">6. 2.1.2(p.19) 請確認說明(2)安全設計審查 (B)放射性管理:第 3 項確認對場外一般公眾造成之最大年劑量約 0.027mSv？(我國為 0.25mSv)</li> <li data-bbox="240 1570 1465 1704">7. 2.2.1(p.35)請說明(2)廢棄物特性與設計的關聯性(2)廢棄物特性與設計的關聯性最後一行「10 CFR 61 並不適用於坑道處置設施」之依據？</li> </ol>							
意見答覆							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 1809 1465 1921">1. 遵照審查意見，增補坑道處置瑞典 SFL 3-5 低-中放射性廢棄物處置場安全評估審查案例，如修訂報告之 2.1.5 節。</li> </ol>							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 1951 1465 2020">2. 遵照審查意見，增補 2.2.1 節與表 2-2，將各國安全管制重點擇要彙整對</li> </ol>							

應於我國安全分析報告導則之設計相關條文。

3. 遵照審查意見，增補 2.2.1 節、表 2-2、表 2-2 與表 2-3，歸納反映國外處置場之設計與審查重點，以及處置場背景之差異。
4. 核設施係指研究用核子反應器，該段文字遵照審查意見修改。
5. 日本六所村低放射性廢棄物處置場在 1990 年建造前的審查報告(科學技術廳聽，1990)，提出該場址所在地點高程為 30m，故無須考慮海嘯、漲潮及洪水等危害。
6. 該最大年劑量約 0.027mSv 係為經過評估計算得到的結果，且遠低於法規限值。
7. 美國 10 CFR 61 內文尚未明定坑道處置適用之條文，並非不適用，為避免管制機關產生不必要的困擾，該段文字遵照審查意見刪除。

編號	3	章節	第3章	頁碼		行數	
審查意見							
設計所需考量安全要項之研析：							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 506 1465 696">1. 在本章中，最重要的「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」反倒沒有放在報告中，這是 NUREG-1199 經國內學者專家修改後的新文件，建議採用之。</li> <li data-bbox="240 719 1465 976">2. 「保留適當的安全餘裕」內容提及初步設計概念應有較寬列的安全餘裕，以容納可能之不確定因素與風險...等(p.40)。如此陳述無法有效確認概念設計保守度是否足夠，建議應補述安全餘裕量化數據或其研判基準，俾供未來審查準則之訂定。</li> <li data-bbox="240 999 1465 1256">3. 有關處置場設計之推展過程(p.43)，報告中已略述概念設計、基本設計及細部設計之目的。為各階段設計所應呈現之內容為何，請說明或表列其內容架構及應考量之重要安全項目，俾供推動處置計畫過程中作為管制作業之重要參考。</li> <li data-bbox="240 1279 1465 1559">4. 影響處置場設計安全六大因素(p.47)之說明，有關(1)廢棄物因素，提及應採用較高效能之處置容器或障蔽設計。建議應就國外處置經驗，補充說明較高效能之處置容器或障蔽設計係指為何？有無設計基準或技術規範可供參採？</li> </ol>							
意見答覆							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 1671 1465 1715">1. 遵照審查意見，補充於附錄 A.6.2。</li> <li data-bbox="240 1738 1465 1995">2. 設計所需的安全餘裕並無法具體量化，其原因在於不同的結構、系統、組件面對不同的廢棄物特性與自然環境，有不同的考量，亦即視個案而定(case by case)。如何決定要不要設計安全餘裕，係由是否為安全相關的結構、系統、組件而定。安全餘裕是否足夠則須依實況進行分析計算，</li> </ol>							

確保考量各種的不確定性因素條件下，系統功能仍可正常運作。

3. 概念設計、基本設計及細部設計各階段之重點，已依據 IAEA-TECDOC-1256 技術規範，譯述於 A.5.4.(參見第 A-41 至 A-45 頁)。
4. 本文內容係原則性說明，技術細節基本上仍視個案而定。國外經驗如美國法規 10CFR61 對處置 C 類廢棄物，要求與覆蓋層上部至少五公尺距離。及 2.1.3 節拉脫維亞對工程障壁覆蓋層設計的量化要求等。這些案例均有其國情考量。雖有參考價值，但國內若有需要，仍應視實況訂定本土化之設計基準或技術規範。

編號	4	章節	第 4 章	頁碼		行數	
審查意見							
管制之前置準備規劃：							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 501 1465 613">1. 表 4-1，本表很用心彙整，值得參考。建議加註設置條例、審核辦法、許可辦法，管理規則全名，以利閱讀。</li> <li data-bbox="240 645 1465 837">2. 報告中建議應訂定運轉執照申請審核辦法(p.52)，物管法第 18 條中已有規定：「放射性廢棄物處理、貯存或最終處置設施興建完成後，非經主管機關核准，並發給運轉執照，不得正式運轉」。</li> <li data-bbox="240 869 1465 1128">3. 有關建議訂定監管期，可先放在國內版的低放處置安全分析報告審查導則中考量，所訂法規之位階可再研究。至於報告所提「我國法規管理規則第 14 條雖有封閉完成後觀察及監測至少 5 年的規定，但與國際上監管 100-300 年的作法，有很大的落差」，是否有明確的建議？</li> <li data-bbox="240 1160 1465 1576">4. 有關審查作業規劃之程序審查部分，報告說明包含申請者資格、填具申請書及安全分析報告三項及主管機關的作法。依本局低放處置審查專案小組之策略，將建立程序審查導則，除前面依建造執照申請審核辦法外，亦將要求完備各項技術報告文件，逐項審查申照前置準備作業之處置技術報告，確保資料詳實完備。據此，請補充建議處置計畫執行之各階段應完備之技術報告或文件為何，俾供了解資料詳實完備。</li> <li data-bbox="240 1608 1465 1644">5. 在本章中，作者建議應收取處置場址調查檢查費，是個不錯的建議。</li> </ol>							
意見答覆							
<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="240 1740 1465 1776">1. 遵照審查意見，表 4-1 加註法規全稱。</li> <li data-bbox="240 1807 1465 2000">2. 訂定運轉執照申請審核辦法為本研究建議事項。我國立法精神在於兩階段審查，目前已有建造執照申請審核辦法，而運轉執照審查相關規定則散見於各法規。且運轉執照申請審核若未獲主管機關通過時，如何處理</li> </ol>							

並未規定，形成管制空窗，爰有此建議。

3. 監管期的訂定考量依國情不同，取決於廢棄物特性與場址條件，另亦牽涉社會道德等問題。相關的考量可參見美國 Committee on Radioactive Waste Management(CoRWM)第 620 號技術文件(文獻附於報告光碟)。
4. 遵照審查意見，補充於 4.2.2 節(1)(E)項及表 4-1。
5. 略。

編號	5	章節	附錄	頁碼		行數	
審查意見							
<p>參考文獻及附錄：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參考文獻及附錄 A 未列 USNRC 之 NUREG-1199, Standard Format and Content of a License Application for a Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility，本報告與 NUREG-1200 具同等重要性，建議補充之。</li> <li>2. 請補充附錄 B 設計安全審查要項檢核清單資料來源。</li> <li>3. 請提供所蒐集之安全設計相關文獻資訊供本局參考。</li> <li>4. 國外低放射性廢棄物處置場安全分析/審查案例是否可將相關重要照片或圖片在不涉及著作權下可放入以作參考或是能將既有之詳細網址予以載明，以節省搜尋時間。</li> </ol>							
意見答覆							
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照審查意見，補充參考文獻及附錄 A 之 NUREG-1199 相關內容。</li> <li>2. 遵照審查意見，補充附錄 B 設計安全審查要項檢核清單資料來源。</li> <li>3. 遵照審查意見，提供相關文獻資訊於報告後附光碟，供管制單位內部人員參考。</li> <li>4. 遵照審查意見，提供相關文獻資訊於報告後附光碟，供管制單位內部人員參考。相關網址另曾列於參考文獻之後。</li> </ol>							



編號	6	章節	修正	頁碼		行數	
審查意見							
<p>勘誤修正：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表目錄中表 4-1 標題錯誤，請對應 p55 修正；p63、64，表 4-1 應為表 4-2；並補充於表目錄。</li> <li>2. 日本六所村低放射性廢棄物處置場之第 17 頁(5)附屬設施之標題「(C)物接收設施」，應為依照字義翻譯，建議在此後面加一括號註記「放射性廢棄物」以符合內容之敘述。</li> <li>3. 第 38 頁之「處置場設計安全目標」因內容均涉及法規要求，建議標題可酌加法規要求之字眼。</li> </ol>							
意見答覆							
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照審查意見修訂。</li> <li>2. 遵照審查意見，修訂為「(C)廢棄物物接收設施」。</li> <li>3. 遵照審查意見，修訂為「法規要求之處置場設計安全目標」。</li> </ol>							