

出國報告（出國類別：考察）

赴荷蘭、比利時考察 放射性廢棄物集中式中期貯存設施

服務機關：台灣電力公司

台灣電力公司核能後端營運處

姓名職稱：黃秉修組長

派赴國家：荷蘭、比利時

出國期間：104年11月14日～104年11月27日

報告日期：104年12月28日

出國報告名稱：赴荷蘭、比利時考察放射性廢棄物集中式中期貯存設施		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
黃秉修	核能工程監	台電公司核能後端營運處
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>開會</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：104年11月14日至104年11月27日		報告繳交日期：104年12月28日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目的地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	<input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

出國報告審核表

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位 主管	總經理 副總經理
-----	--	-----	----------	-------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴荷蘭、比利時考察放射性廢棄物集中式中期貯存設施

頁數 47 含附件：■是□否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃秉修/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程監/02-23657210 ext:2323

出國類別：■1 考察□2 進修□3 研究□4 實習■5 其他

出國期間：2015/11/14-2015/11/27 地區：荷蘭、比利時

報告日期：2015/12/28

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、本次出國，主要行程考察荷蘭 COVRA 的放射性廢棄物集中式貯存設施；接著又拜訪比利時放射性廢棄物管制機構 FANC 與其附屬技術支援機構 Bel V、放射性廢棄物專責機構 ONDRAF/NIRAS 以及其子公司 BELGOPROCESS，並考察 BELGOPROCESS 公司位於 Dessel 場區的放射性廢棄物集中式貯存設施。
- 二、荷蘭及比利時兩國，都已興建放射性廢棄物集中式貯存設施並安全營運；經本次考察活動及與荷、比相關單位的交流討論，了解兩國的集中式放射性廢棄物貯存設施之發展過程與營運狀況，其核能後端營運管理之技術、經驗與成就均值得我國借鏡，並藉由本次機會建立未來與荷、比兩國的交流管道，汲取兩國成功實務經驗，作為本公司推動放射性廢棄物集中式貯存設施之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

壹、目的	4
貳、過程	5
肆、心得及建議.....	43

壹、目的

放射性廢棄物主管機關原能會鑒於放射性廢棄物最終處置設施場址選址作業未如預期順利推動，於 103 年 1 月 17 日函請經濟部督導本公司提出替代應變方案，辦理放射性廢棄物集中式貯存設施規劃；同時，為確保集中式貯存設施之可行性，須就安全性、必要性、適法性、經濟效益、民眾接受性、土地需求、環境接受性、技術可行性及與最終處置之銜接等項目，在策略面、社會面、環境面與技術面之相關議題進行研究。同時，「核一、核二廠用過核子燃料小規模國外再處理」，依國際慣例，再處理所產生之殘餘廢棄物須運回國內存放，因此物管局要求本公司規劃一處貯存場址，進行殘餘廢棄物中期貯存，以銜接最終處置。

為配合低放射性廢棄物營運中長期規劃，無論是核電廠除役、廢棄物集中貯存及用過燃料再處理後，殘餘廢棄物貯存都必須規劃興建新的營運設施，藉由本次出國進行觀摩與經驗交流，可獲得場址調查、工程設計、安全分析、成本控制、營運技術等方面之最新方法論與技術經驗。

目前使用核能國家案例，如荷蘭、比利時等國，與台灣同樣地狹人稠，最終處置計畫選址不易，現今兩國都已興建並安全營運放射性廢棄物集中式貯存設施，藉由本次出國參與技術研討會議與國外專家進行經驗交流，並實地進入現場觀摩營運中設施，獲得兩國在場址選址、工程設計、安全分析、成本控制、營運技術等方面之最新方法論與技術經驗。

經本次考察活動及與相關單位交流討論，了解荷蘭與比利時的集中式放射性廢棄物貯存設施之發展過程與營運狀況，其核能發電後端營運管理技術、經驗與成就值為我國借鏡參考學習，並藉由本次機會建立聯絡管道，未來保持與荷、比兩國的交流，以汲取國外成功實務經驗，作為本公司之放射性廢棄物管理及推動之參考。

貳、過程

項次	起始日	迄止日	前往機構	機構所在國家城市	詳細工作內容
			機構名稱	國家城市名稱	
1	1041114	1041114	路程	荷蘭阿姆斯特丹	去程(台北→荷蘭阿姆斯特丹)
2	1041115	1041120	荷蘭放射性廢棄物專責機構 COVRA 公司	荷蘭阿姆斯特丹	參加「COVRA 放射性廢棄物貯存與管理會議」、技術參訪荷蘭 HABOG 「高放射性廢棄物集中式中期貯存設施」 技術參訪荷蘭「低、中放射性廢棄物集中式中期貯存設施」
3	1041121	1041121	路程	比利時 布魯塞爾	路程: 荷蘭 阿姆斯特丹→比利時 布魯塞爾
4	1041122	1041122	整理資料	比利時 布魯塞爾	例假日:整理資料
5	1041123	1041123	ONDRAF/NIRAS	比利時 布魯塞爾	拜訪比利時放射性廢棄物專責機構 ONDRAF/NIRAS 並舉行會議討論
6	1041124	1041124	Bel V	比利時 布魯塞爾	拜訪比利時放射性廢棄物技術支援機構 Bel V 並舉行會議討論
7	1041125	1041125	BELGOPROCESS	布魯塞爾 →阿姆斯特丹	參訪比利時之 BELGOPROCESS 「放射性廢棄物集中式中期貯存設施」 比利時布魯塞爾→荷蘭阿姆斯特丹(鐵路)
8	1041126	1041127	返程		阿姆斯特丹→台北

自 104 年 11 月 14 日出發，迄 11 月 27 日返國（共計 14 天），停留荷蘭阿姆斯特丹及比利時布魯塞爾兩地。詳細訪問行程詳述於第參章。



參、工作內容

一、荷蘭及比利時核能發電與後端營運簡介

(一)荷蘭

Dodewaard 核能電廠（60MWe, BWR）在運轉 28 年後，於 1997 年荷蘭政府決定將其永久停止運轉，目前荷蘭僅剩 1 部 515MWe（Borssele）之 PWR 核能電廠（Borssele）在運轉，其發電量約佔全國發電量的 5%。荷蘭前政府原接受荷蘭綠黨之建議，計畫在 2003 年底將 Borssele 電廠停止運轉。但 2003 年 5 月成立的荷蘭新政府則不同意前政府廢核之主張，同意讓此電廠繼續運轉至 2013 年。此電廠後來又取得延役 20 年之許可，將可運轉至 2033 年。

由於荷蘭只有 2 部核能機組及兩部研究用反應器，因此荷蘭所產生的中低放射性廢棄物量較少；相對的荷蘭的研究、醫學及工業所產生的放射性廢棄物量就顯得重要，每年所產生的廢棄物體積甚至相當於兩部核能機組所產生的廢棄物體積。經過固化及包裝後，荷蘭每年只產生約 500 立方公尺的中低放射性廢棄物；荷蘭估計已停機的 Dodewaard 電廠與運轉中的 Borssele 電廠在運轉期間共將產生 2,000 立方公尺的中低放射性廢棄物。綜合上述數量評估，未來 100 年荷蘭境內所產生的放射性廢棄物總體積約為 20 萬立方公尺，其中包含除役廢棄物及礦物處理工業所產生的廢棄物。

荷蘭並未設立負責核子業務之專責機構，根據核能法是由各部就其職掌共同協商並聯合發佈法規，並由各部代表成立一核能協調委員會（Interministerial Commission for Nuclear Energy）以整合各部意見，作為各部聯繫及溝通的正式管道。其中經濟部與住宅、空間規劃暨環境部（Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment）及社會暨就業部（Ministry of Social Affairs and Employment）負責核子設施及其業務之執照申請；住宅、空間規劃暨環境部負責核能業務有關的健康及安全方面之所有問題，包括輻射防護；社會暨就業部則著重於工作人員之安全。此外，財政部負責核能有關的第三人責任及核子損害賠償；外交部負責核子領域之國際合作計畫；其它如農業部，自然保育暨魚業部，教育、文化暨科學部，司法部，交通暨公共工程部亦就其專長提供核子業務有關之意見。

荷蘭對於既有核能設施之後端營運並沒有嚴格要求一定要成立後端營運基金，而只有"污

染者付費"之一般性原則。Dodewaard 電廠在 2004 年 12 月 31 日已提撥 1.14 億歐元之責任準備金，大於其除役之折現成本(7 千 5 百萬歐元)。Borssele 電廠至 2004 年 12 月 31 日止則已累計 1.64 億歐元之除役準備金，亦大於其除役之折現成本(1.45 億歐元)。荷蘭於 2006 年 10 月起對新核能電廠之除役有新的規定。新核能電廠從第一次裝填燃料開始，就必須設立涵蓋所有除役成本之準備金，此準備金可利用保險，銀行保證，專用基金或其它可提供相同保障之工具來達成。

荷蘭對於放射性廢棄物營運設立有專責公司 COVRA。COVRA 的股東協議書說明該組織營運所需的費用是由廢棄物產生者於廢棄物移轉時所交付的費用來支應。COVRA 對中低放射性廢棄物及高放射性廢棄物分別訂定費率，而所收取的費用則分開記帳。原則上中低放射性廢棄物之費率包含運轉成本（運輸、處理及貯存）以及未來貯存及最終處置之準備金。費率主要根據廢棄物的處置方式、廢棄物固化後之體積及固化廢棄物包件表面之輻射強度來訂定，其中有關未來貯存及處置準備金是根據最終處置及貯存設施之成本估計而得。

對於中低放射性廢棄物，荷蘭政府規定廢棄物產生者應支付包含下列項目之費用：

- 廢棄物容器運抵廢棄物產生者之成本；
- 廢棄物運至 COVRA 設施之成本；
- 製造可至少可安全貯存 100 年之容器所需之成本；
- 廢棄物至少貯存 100 年之成本；
- 最終處置設施成本。

涵蓋上述成本後，荷蘭每立方公尺之中低放射性廢棄物委託由 COVRA 處理費用約為 529 歐元。

荷蘭的高放射性廢棄物產生者除了 Dodewaard 及 Borssele 電廠外，尚有位於 Petten 的 NRG 與高通率反應器(High Flux Reactor (HFR))，以及 Delft 科技大學的 HOR-RID 研究設施。此五家高放射性廢棄物產生者必須負責支付 100%的高放射性廢棄物營運成本，包括：

- 高放射性廢棄物貯存設施(HABOG)建造，主動運轉期(15 年)及至少 100 年被動運轉期成本。
- 最終處置設施成本。

Dodewaard 及 Borssele 電廠所提列之除役準備金為內部無限制基金(internal unrestricted fund)，由電力公司自行管理。COVRA 所成立之準備金亦是內部自行管理，但是其投資則必須經財政部核准，目前主要投資於政府公債。荷蘭有關後端營運費用管理運用機制，詳如圖 1 所示。

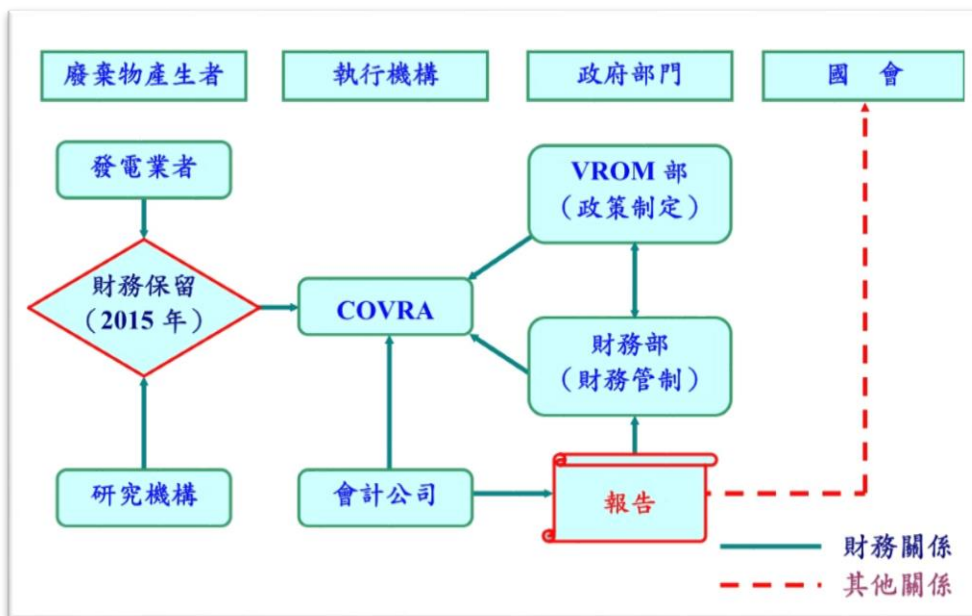


圖 1、荷蘭後端營運費用管理機制

(二) 比利時

比利時有兩座核能發電廠共 7 部壓水式核能機組，其中 4 部在 Doel，3 部在 Tihange，均屬 Electrabel 電力公司所有，總裝置容量為 5,943 MWe，佔比利時所有電廠裝置容量總和之 40%，但核能發電量則佔比利時總消費電量約 53%。

比利時議會於 2003 年 1 月通過非核家園法，要求比利時境內所有核電機組在完成原設計 40 年運轉壽命後關閉，亦即在 2015 年前關閉其中 2 座機組，並於 2025 年前關閉比利時境內全部核電廠，且不再興建新的機組。但該法中還是為核能留下一線生機，規定只要該國政府認為比利時的能源供應安全受到威脅，該國電力與天然氣管制局就可以否決禁核法。比利時能源委員會於 2007 年 6 月發表 2030 比利時能源挑戰報告，此報告指稱在考量後京都議定時代的嚴格排放限制、目前又缺乏碳捕獲與貯存技術情況下，貿然於 2025 年實施非核家園政策，其代價將極為昂貴，且必然嚴重擾亂比利時經濟發展。比利時政府評估其國內供電狀況及再生能源發展

後，於 2014 年初宣布，1975 年開始商轉的 Tihange 核電廠 1 號機組延役 10 年，後又於 2014 年 12 月宣布原先預計於 2015 年屆齡除役的 Doel 核電廠 1 號機與 2 號機將允許延役 10 年，且經過聯邦核能管制局(FANC)的核准，亦即該 2 機組可運轉至 2025 年；另外，於 2014 年 9 月上任的比利時新政府亦曾表示，不排除在近期新建第一座核廢料較少的第 4 代核能電廠。

比利時根據 1980 年 8 月發佈的組織改革特別法，於當年成立 ONDRAF/NIRAS 放射性廢棄物專責機構，負責比利時境內所有放射性廢棄物之營運、燃料循環之相關工作以及核子設施之除役。ONDRAF/NIRAS 的主管機構為能源部 (Ministry of Energy)，能源部亦負責比利時能源政策訂定。自 2001 年 9 月 1 日起，比利時所有核子設施皆由聯邦核子管制署(Federal Agency for Nuclear Control (FANC) 負責管制。FANC 原是借重兩個非營利的財團法人組織 AVN 及 AVC 來協助其執行下列業務：

- Class 1 核子設施之安全檢查 (保健物理管制業務)；
- 處理核子設施之小幅度設計變更 (包括變更之核准、變更啟用之確認及安全分析報告之核准)；
- 皇家法令所授權的新核子設施或核子設施重大設計變更啟用之確認；
- 新執照申請之審查及評估。

2007 年 9 月 FANC 成立直屬的技術支援機構 Bel V，其成員主要由 AVN 移轉過來，FANC 加上 Bel V 之總人數約 200 位。

ONDRAF/NIRAS 在放射性廢棄物營運的業務涵蓋運輸、廢棄物處理，以及所有固化廢棄物之中期貯存與最終處置。ONDRAF/NIRAS 亦向主管當局提出相關的標準與規範以確保放射性廢棄物營運之可靠性及安全性，同時執行相關的研發計畫以確保能正確地執行受委託的業務。

1997 年 ONDRAF/NIRAS 受委託調查比利時全國放射性廢棄物數量，並針對固化與非固化廢棄物建立接收程序及準則。ONDRAF/NIRAS 亦負責核子設施之除役及拆廠作業 (如 EUROCHEMIC 再處理廠、CEN/SCK 的低放射性廢棄物處理及固化系統等)，同時亦負責處理比利時現有核能電廠除役所產生的除役廢棄物。ONDRAF/NIRAS 的業務視其性質由自己及其子公司執行，或委託包商執行。例如，廢棄物運輸是委託包商，而許多研發工作則委託 CEN/SCK 核子研究中心、BELGATOM 工程公司、大學或其它研究單位執行；至於廢棄物的處

理、固化及中期貯存，以及 EUROCHEMIC 再處理廠之拆除作業則委託其子公司 BELGOPROCESS 執行。

根據比利時 2000 年 5 月發佈的皇家法令，ONDRAF/NIRAS 之放射性廢棄物營運有關之財務規定為：

1. ONDRAF/NIRAS 相關業務之所有成本將由接受其服務的單位負擔（即使用者付費原則），收費標準則由 ONDRAF/NIRAS 董事會制定。
2. ONDRAF/NIRAS 在經濟部的同意下，可成立基金以支應長期任務之經費，尤其是廢棄物的最終處置。此基金將根據比利時經濟部所核准的條例由廢棄物產生者支付。
3. 向所有廢棄物產生者收取額外費用成立特別的基金，以支應廢棄物產生者破產有關任何意外之成本，基金之使用應向特別監督委員會申請核准。
4. 由 ONDRAF/NIRAS 與廢棄物產生者簽訂其設施除役拆廠所需經費之協議。

二、參加荷蘭「COVRA 放射性廢棄物貯存與管理會議」並考察荷蘭放射性廢棄物處理專責機構 COVRA 所營運之集中式貯存設施。

為將所有放射性廢棄物集中處理、貯存與管理，1982 年由荷蘭國內數個放射性廢棄物主要產生者及政府合資成立 COVRA(Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval)。COVRA 為一非營利目的之放射性廢棄物處理專責機構，係荷蘭國內唯一合法的放射性廢棄物處理專責機構，負責荷蘭境內所產全部放射性廢棄物之一切相關業務，2002 年起由政府持有 COVRA 全部的股份，但政府並不提供任何財務上的補助。

COVRA 場址位於荷蘭國內西南方半島的弗利辛恩(Vlissingen)，其地理位置與場區設施如圖 2 及圖 3 所示。另外於 COVRA 東南方 1 公里處，便是 EPZ 公司所營運的 Borssele 核電廠，係荷蘭目前國內唯一運轉中的核能發電廠。

荷蘭全國土地有三分之一位於海平面以下，早期必須以風車抽水入海，成就風車荷蘭美譽，目前則必須以抽水機抽水入海，荷蘭只要停止抽水入海三個月，全國土地有三分之一以上沒入水裡，而且地下水位很高，現階段荷蘭民眾對深地層處置的了解與接受度不高；另外，荷蘭國

內放射性廢棄物數量不多，而目前從已停機的 Dodewaard 電廠與運轉中的 Borssele 電廠收取之後端處置費用也尚不足以支應最終處置計畫之執行。

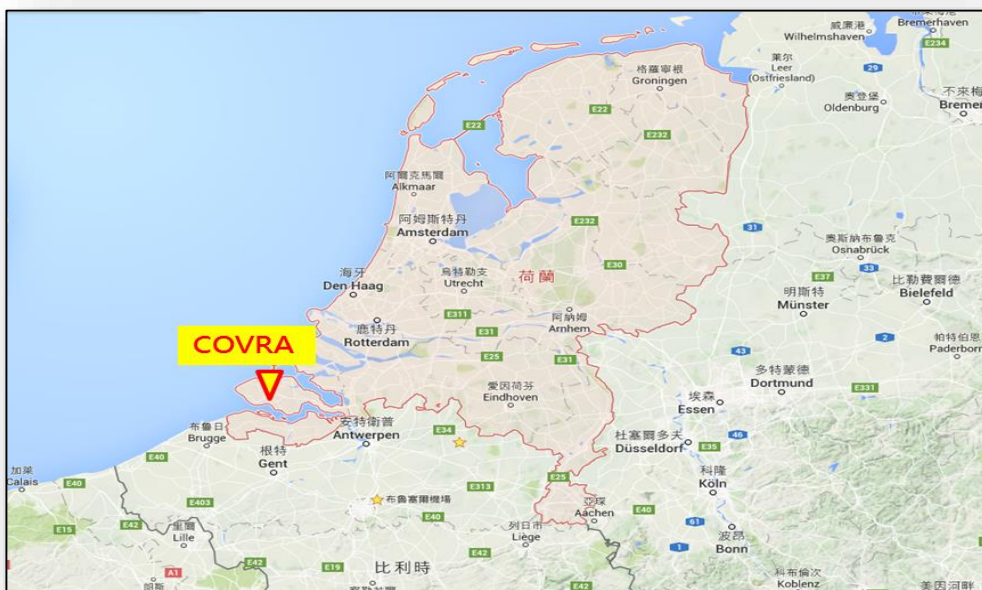


圖 2、COVRA 地理位置



圖 3、COVRA 場區設施

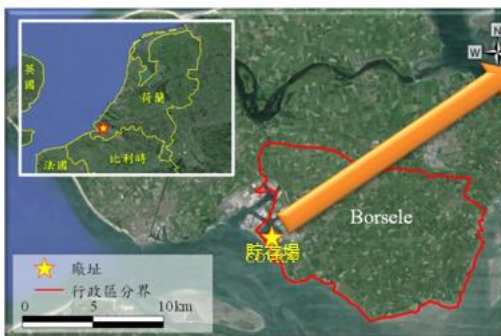
荷蘭政府經評估考量上述各項因素後，決定將其境內所產放射性廢棄物以「暫時貯存」方式處理，期間積極尋求最終處置各項方案的可能性，包括國際區域性最終處置場合作方案、放射性廢棄物新處理技術研發等，並指定 COVRA 負責執行相關工作。針對外界認為「暫時貯存」的處理方式僅是將問題丟給未來下一代處理的質疑，COVRA 表示，政府於「暫時貯存」方案中，將建立最終處置營運基金，並指定了明確的專責機構(COVRA)負責規劃與執行未來最終處置一切相關事務，整體藍圖已然成形，未來下一代只需實際執行最終處置任務，因此「暫時貯存」係在考量經濟成本、安全性等因素後之最合適處理方案。

本次參加的「COVRA 放射性廢棄物貯存與管理會議」，COVRA 安排實地參訪 COVRA 目前於弗利辛恩場區所營運中的放射性廢棄物集中式貯存設施。

研討交流會議，主要議題包括集中式貯存設施選址作業、相關法規制定程序、概念設計、貯存用放射性廢棄物盛裝容器選擇、放射性廢棄物陸上與海上運輸、成本估算以及反核活動因應對策。關於社會溝通方面，COVRA 參考過往其他鄰避設施(如焚化爐、手機訊號基地台等)於進行選址與建造作業時，與當地民眾溝通的策略與經驗，擬訂適當的溝通策略，針對設施安全功能與當地民眾及利害關係人充分溝通討論，並將其意見納入安全設計考量，經反覆溝通討論並得到多數人同意後，於群眾意見及技術成本中取得妥善平衡，以規劃設施的安全功能，再進行後續概念設計。此做法將當地民眾與利害關係人意見納入決策考量，使當地人感受到尊重，溝通過程中也得以讓民眾充分了解設施的安全性，進而同意設施建造與營運。此社會溝通策略由荷蘭經驗來觀察成效頗彰，值得借鏡。



- 荷蘭西南部Borsele地區的Vissingen-Oost 工業區
- 佔地約25 英畝
- 整個COVRA 的用地與設施設計、建造規劃，均考慮至少100 年長期貯存的可能放射性廢棄物產生量。



關於放射性廢棄物運輸部分，其運輸分類等級為 Class 7，運輸規劃須符合 Class 7 相關法規，並針對廢棄物特性不同(活度、化學性質、是否具衰變熱等)的放射性廢棄物，採用相對應的合格運輸容器，並於容器外明確標示內容物的活度等相關資訊，並嚴密監測運輸過程中對從業人員與環境的影響。因 COVRA 也有接收部分其他國家所產之放射性廢棄物，故根據運輸方式不同，如公路、鐵路或水路運輸等，跨國運輸時須遵守歐洲危險物質運輸協定。例如當跨國運輸天然產生放射性物質(Naturally occurring radioactive material, NORM)時，若內容物為貝他及加馬核種時，表面活度超過 0.4 Bq/cm^2 ，且阿伐核種表面活度超過 0.04 Bq/cm^2 ，利用公路運輸時就須遵守「歐洲危險物質跨國公路運輸協定(The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR)」。

本次會議，法國 AREVA 集團也有派員參加，會議中 AREVA 簡報其目前針對西班牙 ENRESA 公司要求，所開發之用過核子燃料集中式貯存設施設計，其設計概念如圖 4 所示。此設計稱為 ATC 設計，採取乾式方法以吊車將用過核子燃料自運輸容器中取出，置入不鏽鋼罐內，再將不鏽鋼罐吊運至貯存豎井內存放。每一個豎井均可貯存 2 個不鏽鋼罐，以上下堆疊方式擺放，採取自然對流方式移除衰變熱。ATC 設計採取乾式方法吊運用過核子燃料，其吊車配置額外的水泥屏蔽設備，讓工作人員能夠進行現場檢修保養工作。吊車也具備手動操作功能，

防止吊車因控制系統失效導致無法進行作業。放置用過核子燃料之不鏽鋼罐也有特別設計，除了提供適當的屏蔽外，此不鏽鋼罐也可直接用於最終處置，因此西班牙未來進行用過核子燃料最終處置時，直接將不鏽鋼罐由豎井中取出進行處置即可，不需將用過核子燃料取出，如此一來可降低整體處置成本並有效增進最終處置工作執行效率。



圖 4、西班牙 ENRESA 公司之用過核子燃料集中式貯存設施示意圖

會議期間後兩天，由 COVRA 公司安排我方實地參訪其營運中之放射性廢棄物貯存設施。COVRA 做為荷蘭國內唯一合法的放射性廢棄物處理專責機構，其主要工作可分為放射性廢棄物「處理與貯存」及「最終處置規劃」兩大項，詳列說明如下：

- 「放射性廢棄物處理與貯存」

放射性廢棄物之收集與運輸

荷蘭境內所產放射性廢棄物由 COVRA 負責運輸，統一載至 COVRA 場區集中處理，如圖 5 所示。



圖 5、COVRA 放射性廢棄物運輸

中、低放射性廢棄物處理及安定化

荷蘭境內所產之中低放射性廢棄物收集至 COVRA 後，統一運到場區內的中低放射性廢棄物處理中心進行處理，以利後續貯存作業進行。此處理中心具有中低放射性廢棄物處理作業所需的各式設備，包括減容用途之超高壓壓縮機、撕碎與裁切機具、專用焚化爐、水泥固化站等，如圖 6 所示。

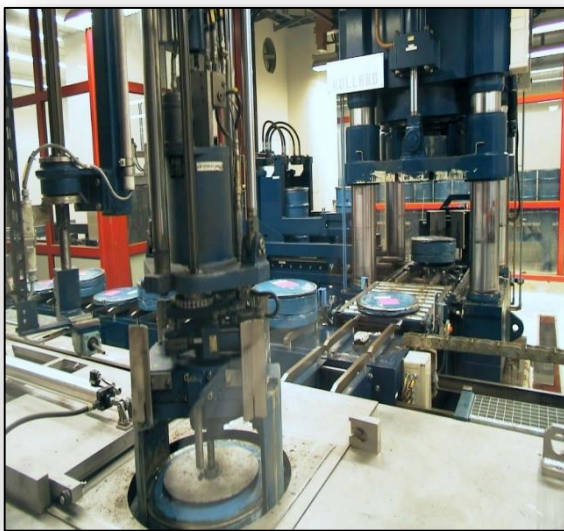


圖 6、COVRA 中低放射性廢棄物處理中心設備

放射性廢棄物貯存

中、低放射性廢棄物貯存庫外觀如圖 7 所示，目前 COVRA 場區內的中、低放射性廢棄物貯存庫共有四座，中、低放射性廢棄物於 COVRA 場區內完成處理與安定化等作業後，會被暫存至貯存庫接收站，即圖 7 所示四座貯存庫中間連接處，然後再以堆高機運至貯存庫內貯存，如圖 8 所示。COVRA 場區仍保留空地可另外建造 12 座此類中、低放射性廢棄物貯存庫。



圖 7、COVRA 中、低放射性廢棄物貯存庫外觀



圖 8、COVRA 中、低放射性廢棄物貯存庫內部貯存配置

COVRA 場區內所貯存之高放射性廢棄物，主要有用過燃料再處理後所產玻璃固化體及燃料骨架壓縮物、研究用反應爐之用過核燃料等，皆貯存於 COVRA 場區內之高放貯存庫 HABOG 內。HABOG 外觀如圖 9 所示，其外牆設計厚度達 1.7 公尺，COVRA 稱其為全荷蘭最安全的建物，其安全設計可承受各式災害，包括：

- 颶風
- 麥加利地震烈度達 VII/2 之地震
- 天然氣爆炸
- 水位高於海平面 10 公尺之水災
- F16-A 戰隼戰鬥機墜落撞擊

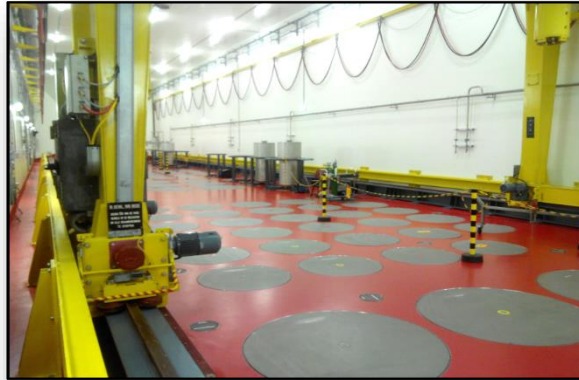


圖 9、COVRA 高放射性廢棄物貯存設施-HABOG

高放射性廢棄物依其是否具衰變熱而以不同方式貯存於 HABOG 內，如圖 10 所示：不具衰變熱的高放射性廢棄物，如醫療用的放射性同位素射源，直接貯存於屏蔽完整的區域；具衰變熱的高放，如用過核燃料及再處理所產之玻璃固化體，則參考法國再處理廠 La Hague 設計，貯存於混凝土窖內豎井中以自然通風移熱，其移熱設計如圖 11 所示。

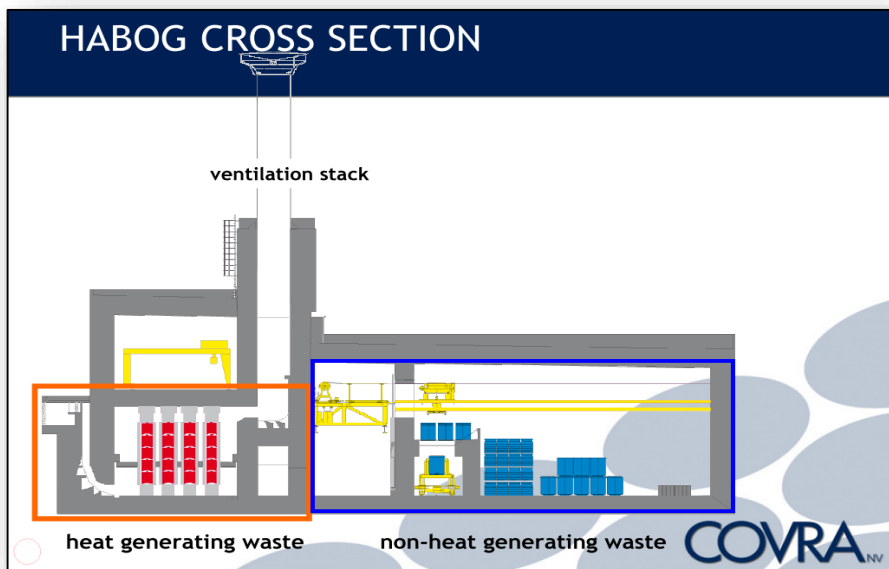


圖 10、HABOG 內部高放貯存配置

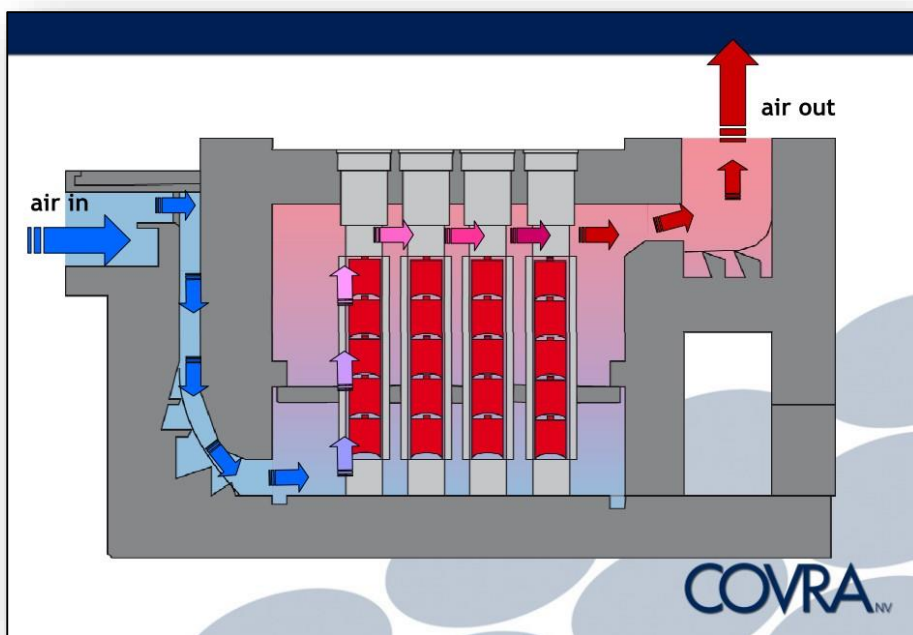


圖 11、HABOG 衰變熱-移熱機制

HABOG 外觀也有額外的設計巧思，橘色為荷蘭國家代表色，隨著風吹日曬外牆顏色會逐漸褪色，因此 HABOG 外牆會定期補漆上色，但每次補漆的橘色會較前次更淡，百年後 HABOG 外觀將褪為白色，藉以象徵裡面所存的放射性廢棄物逐漸衰變的過程，最終將衰變至對人類無害，其外觀變化如圖 12 所示。

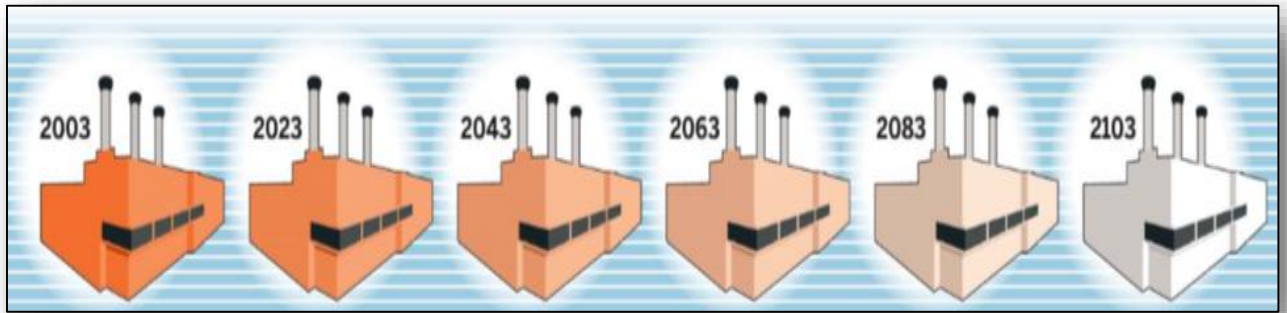


圖 12、HABOG 外牆-漆色設計

針對 COVRA 場區輻射劑量率，COVRA 表示，荷蘭的天然背景輻射約 2.0 ± 0.2 mSv/yr，變動值為 0.2 mSv/yr，而 COVRA 場界劑量率長期監測結果皆落於背景值變動範圍內，足證其安全性無虞。

COVRA 規劃其場區內貯存空間至少足可貯存未來 100 年荷蘭境內所產的所有放射性廢棄物，而依據 IAEA 資料，截至 2010 年為止 COVRA 所貯存之放射性廢棄物體積如下表所示：

表 1、COVRA 貯存放射性廢棄物體積數量

	中、低放射性廢棄物 (Low- and Intermediate- Level radioactive Waste, LILW)	高放射性廢棄物 (High-Level radioactive Waste, HLW)
體積(m ³)	20540.5	51.6
體積百分比	99.75%	0.25%

● 「放射性廢棄物最終處置規劃」

除了放射性廢棄物處理與貯存外，COVRA 職掌包括放射性廢棄物最終處置規劃，其主要工作如下：

(1) 負責放射性廢棄物「最終處置」之關鍵技術研究與發展

為發展放射性廢棄物深地層最終處置，針對荷蘭境內地質岩性進行全面性調查研究，如圖 13 所示。在各種不同的地質岩層中，荷蘭著重於「鹽岩」進行其境內最終處置母岩相關研究超過 35 年，相關研究成果豐碩，然對於「泥岩」做為最終處置母岩的研究較為不足，而荷蘭鄰國比利時對於泥岩的相關研究則已持續 30 年，甚至建造了自己的泥岩地下實驗室，技術經驗深厚，故近年荷蘭積極與比利時交流合作，盼能汲取相關技術經驗，強化其對於「泥岩」的了解。

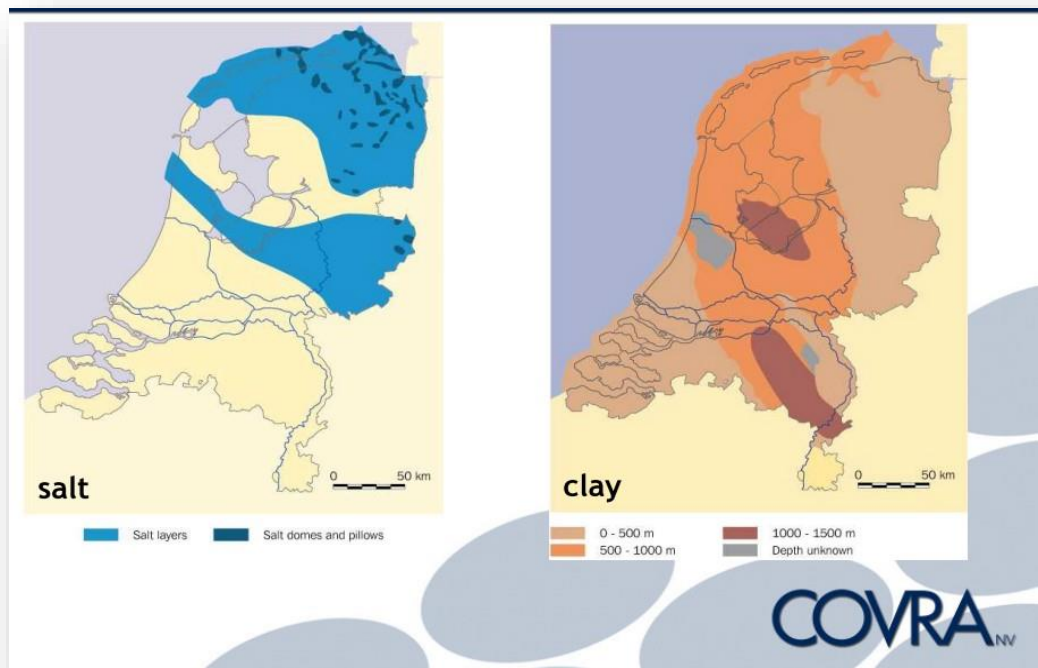


圖 13、荷蘭境內地質調查研究

- (2)擔任荷蘭政府制定放射性廢棄物最終處置相關政策之諮詢顧問機關；
- (3)負責執行未來荷蘭政府針對最終處置所決定之決策。

三、拜訪比利時放射性廢棄物管制機構 FANC 與其附屬技術支援機構 Bel V

比利時核能法規主要係參考美國法規(10 CFR 50)建立，其國內核能設施營運的管制與監督並非直接由主管機關負責，而是由主管機關授權委託附屬機構執行。西元 2001 年，比利時政府將原本兩個核能主管機關 SSTIN 及 SPRI 整合併為 FANC (Federal Agency for Nuclear Control)；2007 年 FANC 成立了 Bel V，將 AVN 的權責、人力與資源轉移至 Bel V，因此自 2008 年起，FANC 授權由 Bel V 負責比利時國內核能設施營運的管制與監督作業，比利時核能主管機關及其授權執行機構沿革整理如圖 14 所示。

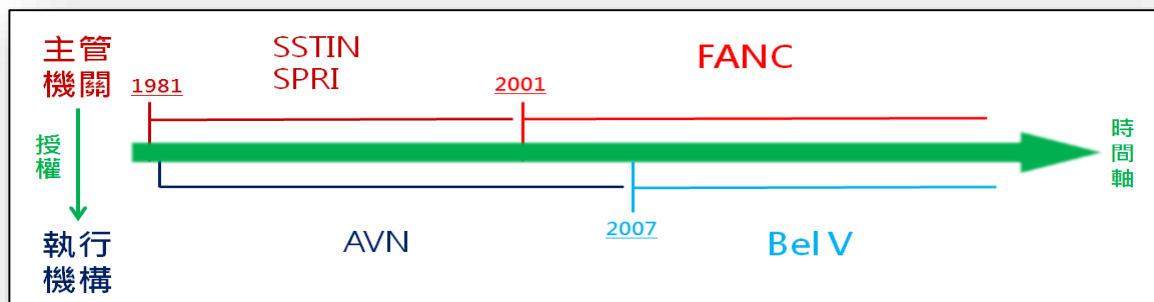


圖 14、比利時核能主管機關及執行機構沿革



聯邦核子管制署（FANC）於 2001 年 9 月 1 日成立，為比利時核能安全管理機關，2007 年 9 月 1 日改組，分成法規與國際事務 (Regulation, International Affairs & Development)、設施與廢料(Facilities and Waste)、保安與運輸(Security and Transport)、環境與健康(Health and Environment)等四個處，負責核設施之輻射防護、核能安全和保防法規的制定與執行，分項來說，包括以下要項：

- 制定法規與指引；
- 審查與評估；
- 核准執照；
- 檢查與查驗；
- 核准 ONDRAF/NIRAS（National Organization for Radioactive Wastes and Fissile Materials）提出的放射性廢棄物接收準則。



圖 15、拜會比利時 Bel V 公司

FANC 屬比利時內政部所轄的政府機構，本身設有董事會，也受內政部節制， FANC 的重大

決策，均先經由一個獨立的科學委員會(Scientific Council)進行評估，當然必要時該科學委員會還會邀請國外相關機構做第三者評估，以確保決策的周延性。

Bel V 位於比利時首都布魯塞爾市區內，由 FANC 授權負責比利時國內核能營運監督與管制，其主要工作包括「核能設施管制監督」、「協助制訂核能事故緊急應變計畫」及「國際交流合作」，說明如下：

- 「核能設施管制監督」

- (1)核能設施每週固定巡查；

- (2) 12 項領域(火災防護、緊急應變計畫等)針對性巡查；

- (3)核能設施重要變更審查:如電廠功率提升、用過燃料池貯存設計變更、蒸氣處理器位置變動等；

- (4)十年一次的核能設施整體安全性之再評估:考量設備元件老化、設計變更、核能技術進展等因素，核能設施營運者每十年需執行整體安全性之再評估，並將再評估結果交由 Bel V 審查，Bel V 完成審查後將審查結果提報 FANC。

- 「協助制訂核能事故緊急應變計畫」

Bel V 協助制訂比利時國家核能事故緊急應變計畫，當國內核能設施發生嚴重事故、鄰近國家發生嚴重核子事故或遭遇恐怖攻擊時，此緊急應變計畫就會啟動。

- 「國際交流合作」

- (1)比利時政府授權 Bel V 擔任比利時代表，參與歐盟執行委員會(European Commission, EC)的管理與營運協助小組(Regulatory Assistance Management Group)，自 1991 年起持續協助中歐與東歐國家改進強化核能設施的安全。

- (2)與法國核能主管機關 ASN 與 IRSN 密切合作；

- (3)不定期與美國核能主管機關 NRC 開會交流；

- (4)承接荷蘭所委託之核能技術相關的諮詢顧問工作；

- (5)持續與世界各國核能主管機關資訊交流。

四、拜訪比利時 BELGOPROCESS 並考察其集中式貯存設施



圖 16、 比利時核子設施位置圖

BELGOPROCESS 於 1984 年成立，當時主要負責用過核燃料再處理的相關工作；1986 年比利時政府決定中止比利時境內所有的再處理業務，於是 BELGOPROCESS 轉移為比利時放射性廢棄物管理機構 ONDRAF/NIRAS(National Institute for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials)的附屬子公司。比利時由 ONDRAF/NIRAS 負責所有放射性廢棄物之管理，包括貯存及處置，其主要設施在 Mol 及 Dessel，由其附屬機構 BELGOPROCESS 負責營運。BELGOPROCESS 的職掌為負責放射性廢棄物處理、貯存與處置，以及核能設施除役與除污。

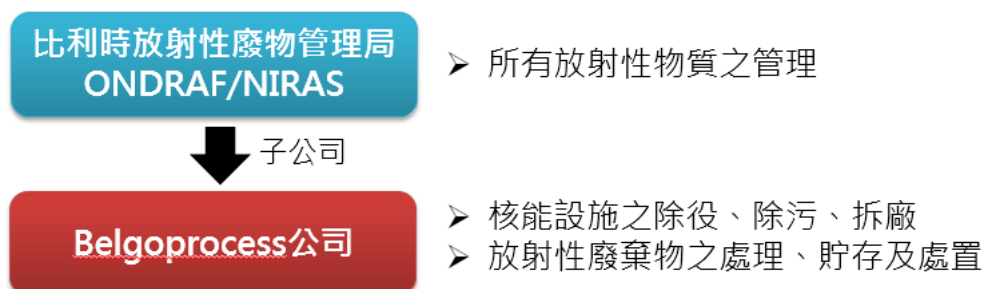


圖 17 、 ONDRAF/NIRAS 與 BELGOPROCESS 公司關係

BELGOPROCESS 位於比利時東北方接近國界處，有兩個場區，分別位於 Dessel(1 號場區) 及 Mol(2 號場區)，而放射性廢棄物營運相關設施主要位於 Dessel 之 1 號場區，位置如圖 19 所示。



圖 18、參訪 BELGOPROCESS



圖 19、BELGOPROCESS 地理位置

表 2、BELGOPROCESS 集中式貯存設施

	Dessel貯存場設施配置	處理/貯存內容
處理設施	137X處理廠房	低放射性固體與液體廢棄物處理設施、中低放射性污泥與蒸發濃縮廢液之處理與固化設施、α污染廢棄物處理設施
主要貯存設施	150、151	低放射性廢棄物貯存設施
	127、155X	中放射性廢棄物貯存設施
	129、136、156	中高放射性廢棄物貯存設施
短期貯存設施	103、153	尚未處理的α污染廢棄物

	廠區	貯存內容	容器型式	設計容量	備註
中高放廢棄物	129	<ul style="list-style-type: none"> Eurochemic再處理之玻璃固化高放射性廢棄物 BR2及BR3反應器所產生的水泥固化之中、高放射性廢棄物 	60公升 與 150公升的包件	250 m ³	
	136	比利時委託法國再處理用過核子燃料所產生的高放射性廢棄物	壓縮固化廢棄物、廢料罐	<ul style="list-style-type: none"> 1000m³的壓縮固化廢棄物 600個廢料罐 	兼具貯存、分運與接收站的功能
	156	高放射性廢棄物	用過核燃料貯存罐	8個CASTOR乾貯系統	每罐可收納30燃料組件

BELGOPROCESS 負責比利時境內所產放射性廢棄物相關業務，主要工作可分為放射性廢棄物「處理與貯存」及「核能設施除役與除汙」兩大類，詳列說明如下：

一、「放射性廢棄物處理與貯存」

1. 中、低放射性廢棄物處理及安定化

BELGOPROCESS 接收來自國內核電廠、醫院、實驗室等各界所產放射性廢棄物，統一於 137X 與 280X 處理廠房內，依廢棄物特性執行對應的處理及安定化作業，包括化學處理、高溫焚化、高壓縮減容、撕碎與裁切處理等。137X 處理廠房內具備三套功能不同的中、低放射性廢棄物處理設施：

CILVA 是一座低放射性固體與液體廢棄物處理設施，於 1994 年開始運轉，具備超高壓壓縮機和焚化爐，如圖 20 所示。焚化爐仍為傳統爐，並非電漿爐，工作溫度在 900°C 至 1,050°C，下灰部分以超高壓壓縮機壓成餅塊，但焚化減容比低於 1/50。超高壓壓縮機

的壓縮減容比約為 1/2.5。



圖 20、BELGOPROCESS 超高壓壓縮機

EUROBITUM 於 1978 年啟動運轉，處理來自廢液處理過程中產生的中、低放射性污泥與蒸發濃縮廢液。此設施具柏油固化設備，但目前 BELGOPROCESS 已不再採用柏油固化處理方式。

PAMELA 於 1985 年開始運轉，針對 Eurochemic 再處理廠產生的高放射性廢棄物進行玻璃固化，至 1991 年為止，期間共處理 860 立方公尺的高放射性廢棄物。之後，PAMELA 設施的水泥固化單元，改裝成中放射性固體廢棄物的水泥固化單元，其處理的中放射性固體廢棄物，是來自其本身運轉期間及玻璃固化單元拆除時所產生的廢棄物；此外，亦處理 BR2 反應器整修及 BR3 反應器拆除產生的廢棄物。該設施已修改為可針對阿伐污染廢棄物與中高固體廢棄物進行固化的設施。經過執照申請與測試後，該設施於 2007 年初開始運轉。

2. 放射性廢棄物貯存

BELGOPROCESS 場區內的放射性廢棄物依其放射性各自貯存於不同貯存廠房內，所貯存廢棄物數量之相關說明詳列表 3:

表 3、BELGOPROCESS 集中式貯存設施

	低放射性廢棄物	中放射性廢棄物	高放射性廢棄物
貯存設施 廠房編號	150 廠房、151 廠房	127 廠房	129 廠房、136 廠房
貯存設施 牆壁厚度 (鋼筋混凝土)	25 cm	80 cm	豎井設計
放射性廢棄物 體積(m ³)	17,127	3,839	324
放射性廢棄物 體積百分比	80.4 %	18.03 %	1.52 %

資料來源:BELGOPROCESS

(1). 中、低放射性廢棄物中期貯存設施

150 廠房從 1986 年開始運轉，用來貯存低放射性廢棄物。其牆壁為 25 公分厚之鋼筋混凝土，其貯存容量為 2,000 立方公尺，分為 3 區：北區、南區、及中區。所接收的廢棄物包件之體積分為 400、500、1,000、1,200、1,500、1,600、及 2,200 公升等 7 種。此廠房接收 Doel 及 Tihange 核能電廠所產生之廢棄物（過濾器、濃縮物、廢樹脂等），及前 SKC·CEN 之廢棄物部門所產生之廢棄物(由 Belgroprocess 2 廠區所產生之廢棄物)。而 **151 廠房**是在 1988 年開始運轉，所貯存廢棄物之來源與種類與 Building 150 相同，但具有較大之貯存容量（14,000 立方公尺），如圖 21 所示。



圖 21、低放射性廢棄物中期貯存設施-151 廠房

127 廠房的牆壁較厚，為 80 公分厚之鋼筋混凝土，容量為 5,000 立方公尺，主要用以貯存 Eurochemic 先導型再處理廠運轉時所產生之瀝青固化及水泥固化之中放射性廢棄物，有 220 及 400 公升兩種包件，127 廠房內部如圖 22 所示。



圖 22、中放射性廢棄物中期貯存設施-127 廠房

(2). 高放射性廢棄物中期貯存設施

BELGOPROCESS 位於 Dessel 之 1 號場區原本為 Eurochemic 再處理廠之廠區，場區內即具備用來貯存固化後的中放射性廢棄物與經玻璃固化的高放射性廢棄物之貯存設施，其中包括目前正在使用中的 129 廠房及 136 廠房二座高放射性廢棄物中期貯存設施，其貯存狀況如圖 23 所示。

136 廠房為模組式設計，主要是用來貯存比利時委託法國再處理用過核子燃料所產生的高放射性廢棄物；可貯存 590 罐玻璃固化高放射性廢棄物，820 罐壓縮後的結構性廢棄物（即用過核子燃料元件之外殼及尾件），及 2,000 桶（210 公升桶）之瀝青固化廢棄物。比利時共委託法國再處理 670 公噸的用過核子燃料，所產生之玻璃固化高放射性廢棄物都已在 2007 年底分 14 趟運回比利時（有 12 次每次運回 28 罐，有 2 次每次運回 27 罐），因此目前貯存有 390 罐的玻璃化高放射性廢棄物、528 罐壓縮的技術性及結構性廢棄物（用過核子燃料元件外殼及尾件）以及 1,100 桶瀝青固化之殘留物。

129 廠房則是用來貯存 Eurochemic 之玻璃固化高放射性廢棄物（有 60 及 150 公升包件）以及 BR2 及 BR3 反應器所產生的水泥固化之中、高放射性廢棄物。

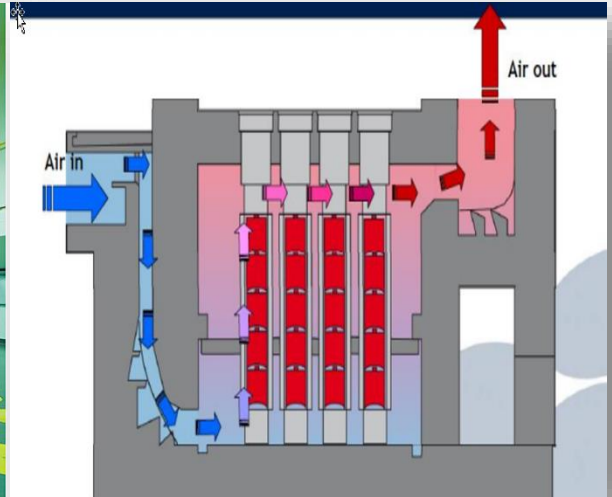


圖 23、高放射性廢棄物中期貯存設施

2014 年 BELGOPROCESS 工作人員平均吸收劑量為 0.47 mSv/yr，最高值為 5.64 mSv/yr，仍遠較一次斷層掃描所吸收的劑量(5~10mSv)低，足證其放射性廢棄物營運作業之安全性。

二、核能設施除役除汗

1991 年起，ONDRAF/NIRAS 依法負責蒐集除役相關資訊，審核除役計畫。持照者在其除役計畫中應包含除役的成本預估及財務準備等相關資料。

BELGOPROCESS 負責研發計畫及小規模先導型之拆除及除污計畫，發展合適的切割、廢棄物處理等放射性組件移除技術以及除污、受污染物質的處理可回收物量測等技術。其中針對放射性核種沉積於表面而非中子活化所致之金屬放射性廢棄物(如電廠管路)，BELGOPROCESS 以硬度極高之金剛砂進行噴砂處理，將其表面所沉積之放射性核種沖刷下來，達到表面除汗的效果，如圖 24 所示。完成表面除汗的金屬廢棄物，當作一般工業廢棄物處理；直接接觸到放射性核種之已污染金剛砂，做為放射性廢棄物處理；而未污染的金剛砂則回收再次使用，如此，可以達到極佳之減容效果



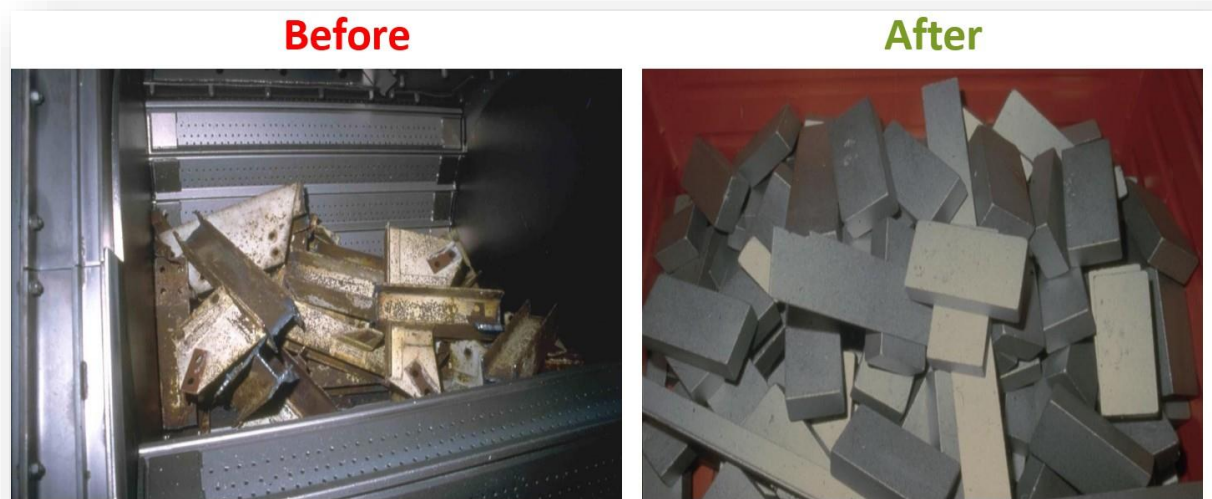


圖 24、除役所產金屬放射性廢棄物之噴砂除汙處理效果

1987 年比利時開始進行 Eurochemic 再處理廠除役之準備工作。該再處理廠是由歐洲 13 個國家共同合資設立，但該廠停機後則僅由比利時負責除役工作及所需之大部份經費，除役工作由 BELGOPROCESS 負責，並已於 2014 年完成 Eurochemic 再處理廠除役。

核能電廠的除役作業因廢棄物數量龐大，比利時核能電廠除役所產放射性廢棄物規劃將採場內原址(on-site)處理與暫時貯存，之後直接最終處置，而非由 BELGOPROCESS 負責中期貯存。

五、拜訪比利時放射性廢棄物處理專責機構 ONDRAF/NIRAS 並考察其放射性廢棄物最終處置規劃與發展

ONDRAF/NIRAS 為比利時放射性廢棄物處理專責機構，比利時放射性廢棄物最終處置規劃與發展執行由該機構負責，其最終處置規劃與發展說明如下：

(一)中、低放射性廢棄物最終處置

1985 年至 1998 年間，ONDRAF/NIRAS 進行了中、低放處置方式可行性研究，最後決定專注於發展「地表處置」技術。決定處置方式後，ONDRAF/NIRAS 針對比利時全國進行選址評估，選出 98 個區域、16 個軍事基地為適合處置之潛在場址，但當時選址報告公布時，遭到各區域居民的強烈反對，無法推動後續選址程序。1998 年 ONDRAF/NIRAS 依照比利時政府指示，修訂其選址辦法，僅在對於處置設施有興趣之區域與已有核子設施之區域進行選址計畫，並且透過政治學及社會學領域之學者專家協

助，與區域建立「夥伴關係」，將地方參與選址決策過程，把地方所關心的安全、環境、健康及發展等議題納為優先考量。選址辦法完成上述修訂後，ONDRAF/NIRAS 成功與 Dessel、Mol 及 Fleurus-Farciennes 三個區域建立夥伴關係，共同開發最終處置之初步整體設計方案，並送交當地議會審查。2006 年 6 月，比利時政府依據 ONDRAF/NIRAS 於同年稍早所提送的中、低放射性廢棄物處置場選址最終報告，決定在 Dessel 興建採用地表處置之比利時中、低放射性廢棄物處置設施。此處置設施近 BELGOPROCESS，其場址全景如圖 25 所示。

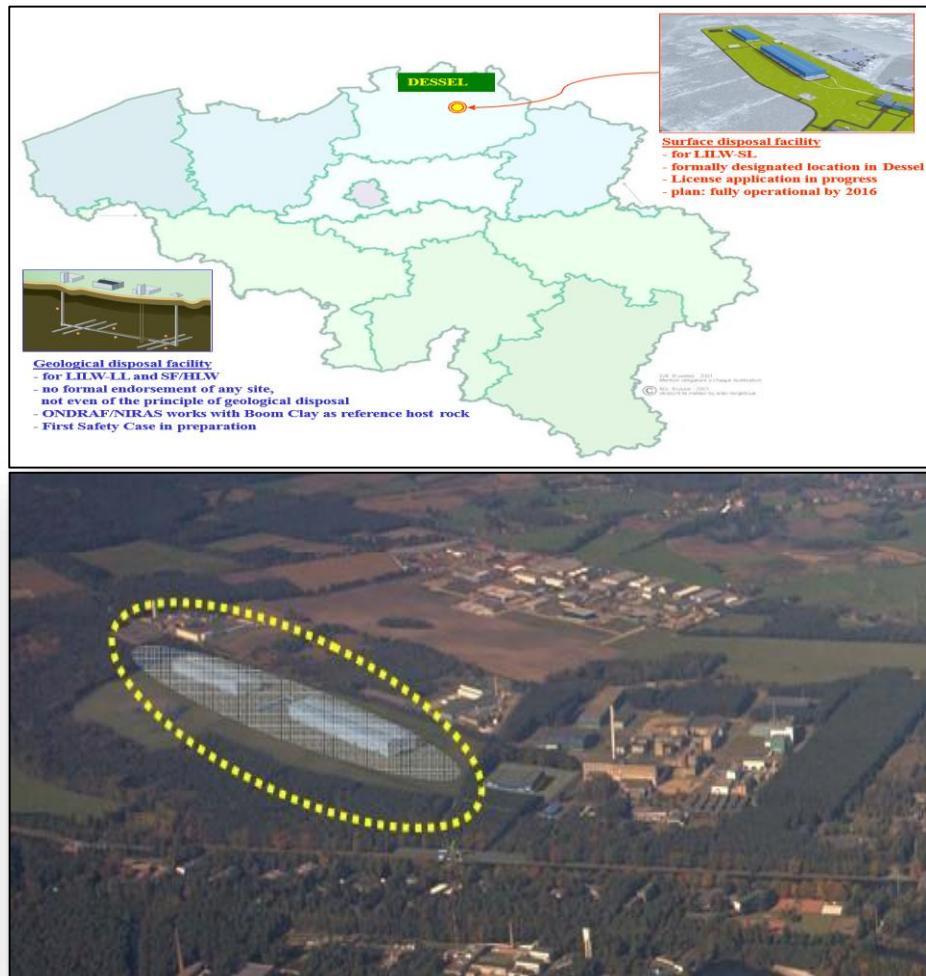
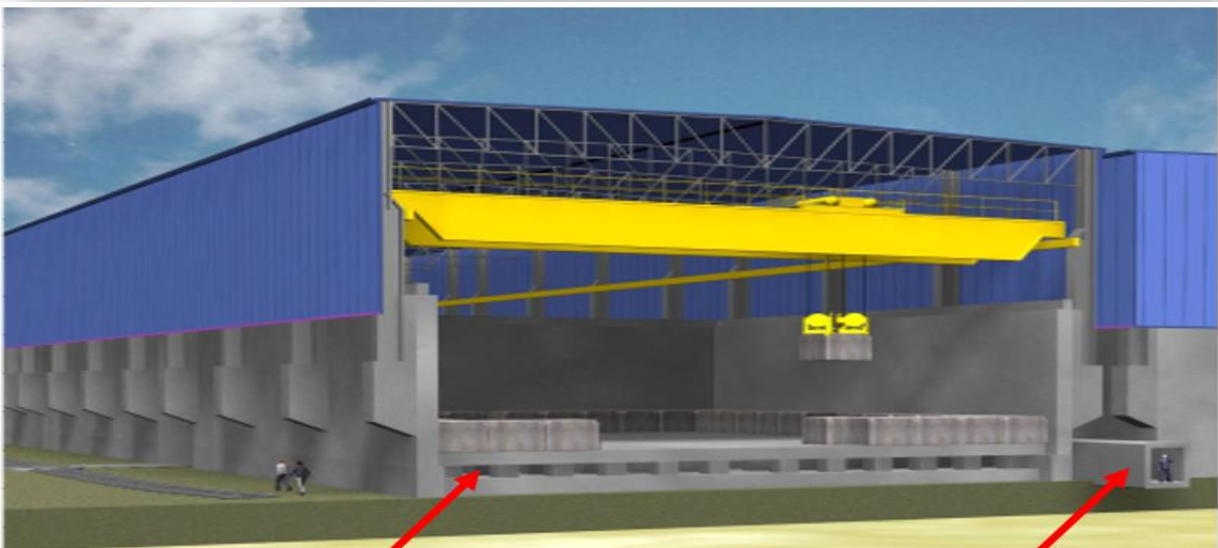
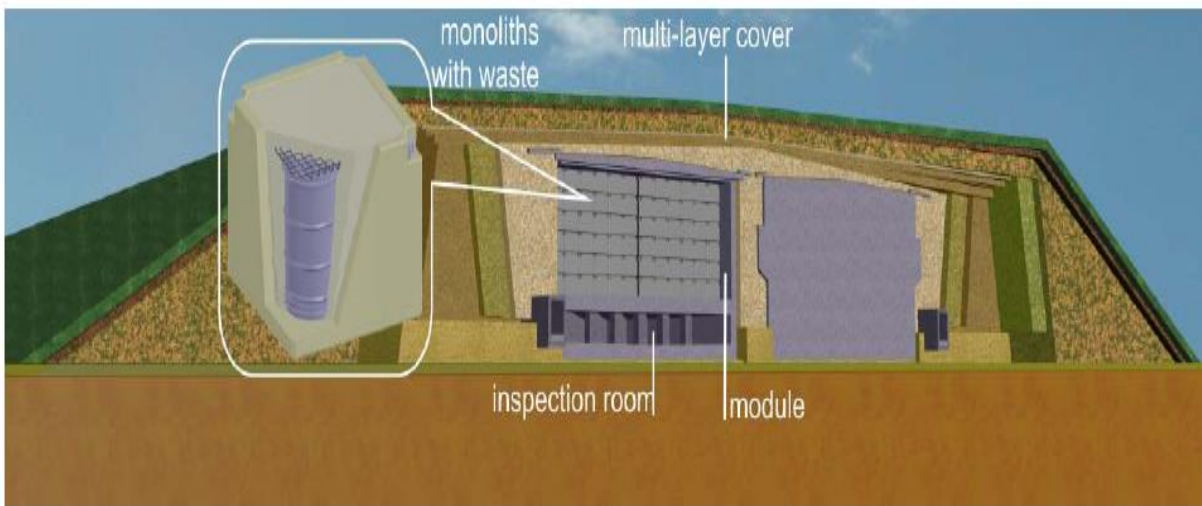
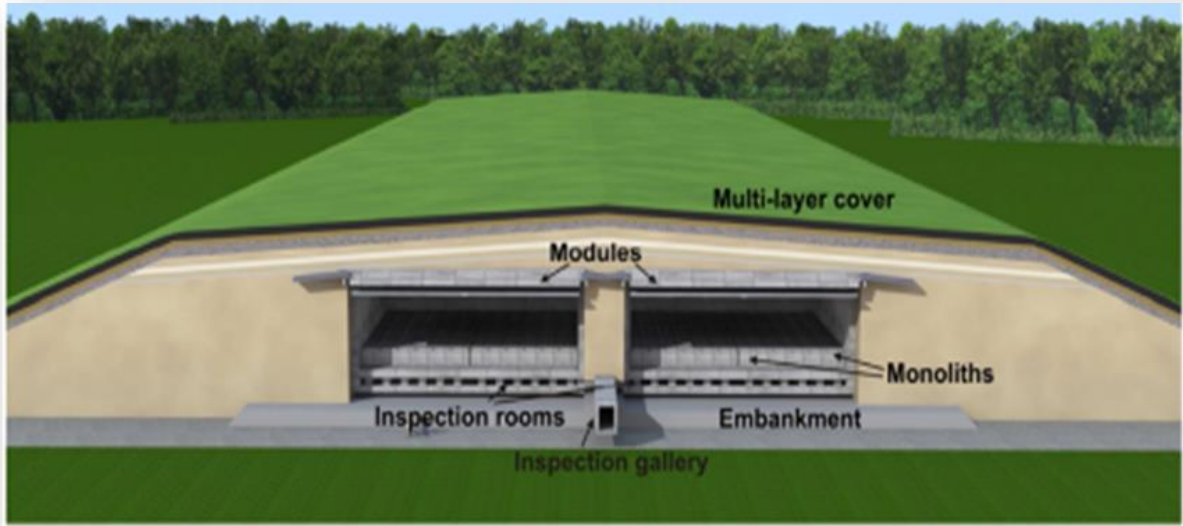


圖 25、比利時中低放射性廢棄物最終處置設施場址全景

場址選定後，目前 ONDRAF/NIRAS 持續與地方合作，進行設施安全分析、環境影響評估等作業，以取得最終處置建造執照，其低放射性廢棄物處置設施設計規劃如下：

(1) 地表處置設施概念

處置地窖為模組化設計，最下方為雙層的混泥土地基，兩側間設有檢查通道，上層為多重被覆層，如圖 26 所示。



檢查室 Inspection room

檢查通道 Inspection gallery

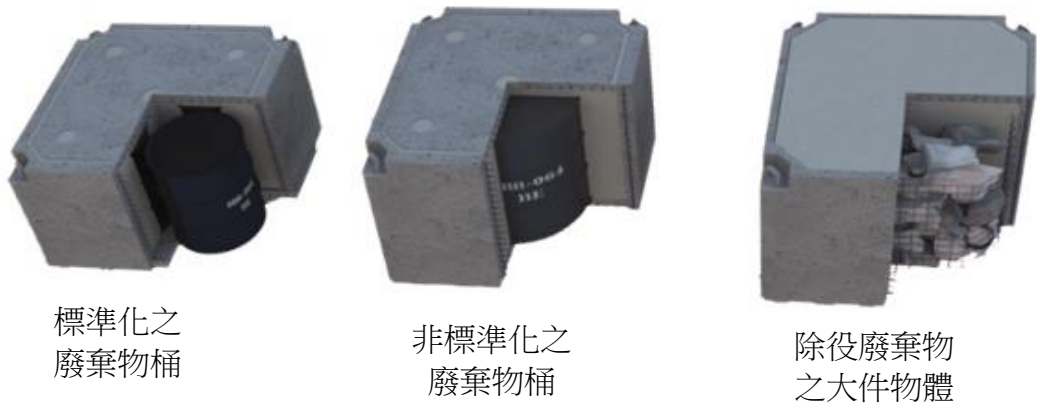
圖 26、比利時中低放射性廢棄物地表最終處置概念

(2)處置地窖運作方式

比利時 Dessel 處置地窖為貯存庫型式，放射性廢棄物桶則再被設計成以模組化型式貯存，由下往上堆疊可存滿固定式鋼架屋頂。

(a) 標準水泥封存處置單元(Monoliths)由放射性廢棄物桶外層再以鋼筋網綁成塊狀體，最後再以混凝土砂漿回填構成模組化之塊體。其壁厚為 14 公分。

(b) 標準水泥封存處置單元(Monoliths) 內可裝填下列 3 種類型之放射性廢棄物桶:



(3)處置窖之細部設計

(a) 模組化設計 Modules:

為鋼筋混凝土構成之貯存地窖，牆中鋪有卵石層，牆及底層厚度達 70cm，外型尺寸為:25.4x27.4x11.05 M (LxWxH)。

每一 Modules 內可貯存 $2 \times 13 \times 6 = 936$ 標準水泥封存處置單元(Monoliths) (type I) 或 $12 \times 13 \times 5 = 780$ 標準水泥封存處置單元(Monoliths)(type II/III)。

(b) 檢查室設計 Inspection rooms:

檢查室內之高度約 60-80 cm，為 $0.75 \times 0.57 \text{ M}^2$ 厚度之鋼筋混凝土並以堆棧方式排列之構造，其基底下層厚度為 70-90 cm 亦為鋼筋混凝土之材料。

(c) 排水系統(Drainage system):

以水泥砂石所築堤，高度約 2 公尺。

(d) 檢查室(Inspection rooms)及檢查通道(Inspection gallery)將在處置地窖封閉階段，灌漿回填。

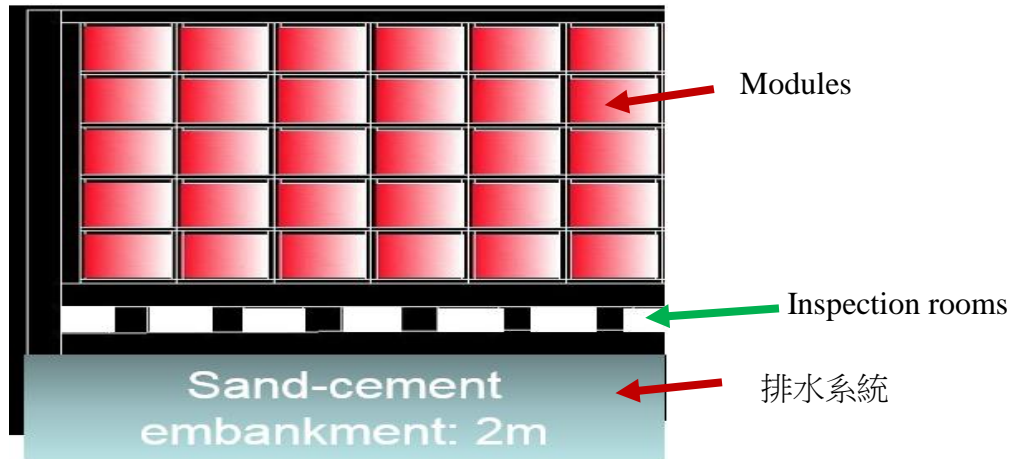


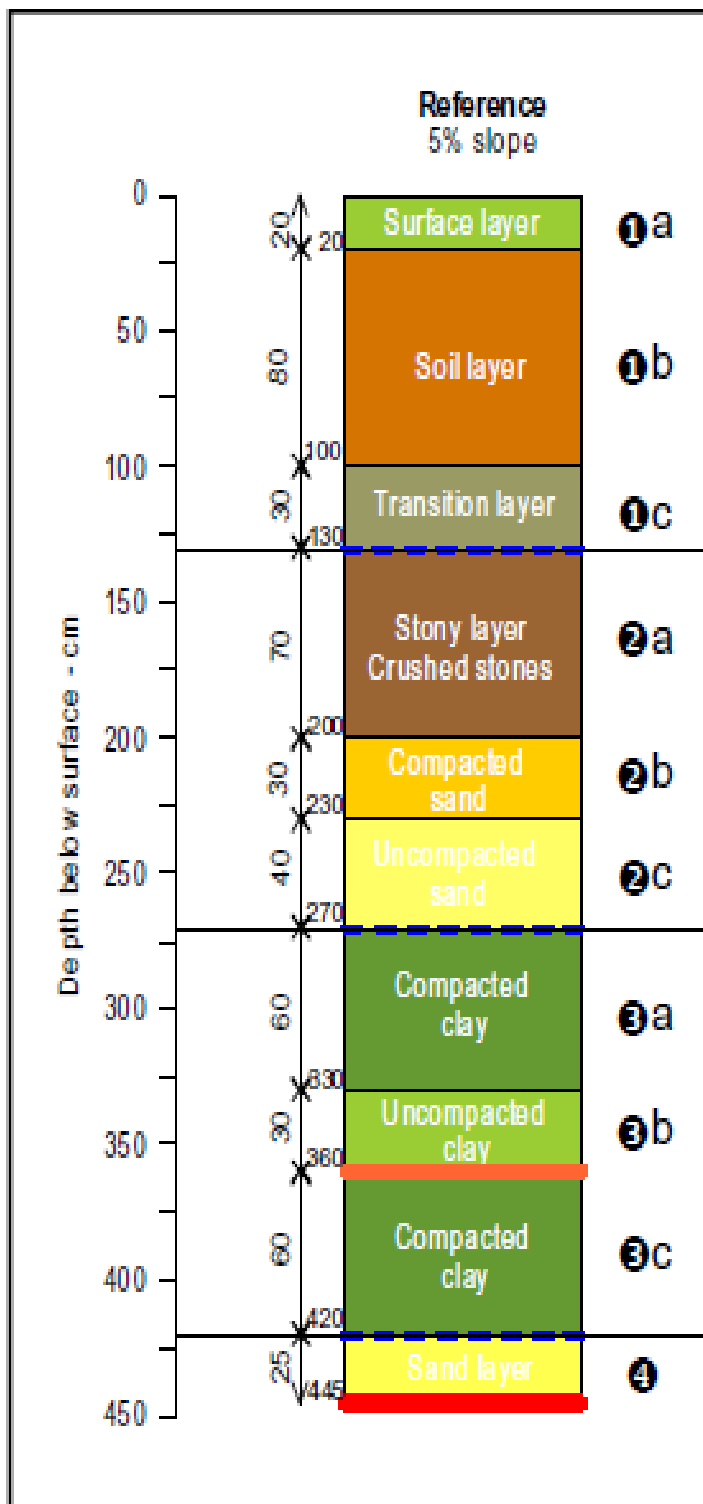
圖 27、處置窖細部設計



圖 28、處置窖施工照片

(4) 覆蓋和封閉階段之設計

- (a) 將來處置地窖封閉時，會在頂層覆蓋一 70cm 纖維混凝土之防滲漏之頂板，然後再以多重覆蓋層覆蓋後加以封閉。
- (b) 多重覆蓋層共有 4 層不同厚度之多重覆蓋層(總厚可達 5M)，由上而下依序為:
 - (i) 生物層(Biological layer): 為抗腐蝕性之土壤，表層上再種植綠化之植物。
 - (ii) 防生物入侵層(Bio-intrusion layer): 主要為砂石層所構成。
 - (iii) 滲透層(Infiltration layer): 主要為粘土層所構成。
 - (iv) 排水層(Drainage layer): 主要為砂石層，其目的為讓雨水可以流至排水系統。



1. Biological layer

2. Bio-intrusion layer

3. Infiltration barrier

4. Drainage layer

- - - - - Geotextile
- Geosynthetic clay liner
- High Density Polyethylene geomembrane

(二)高放射性廢棄物最終處置

根據比利時全國深層處置潛在場址岩性調查結果顯示，比利時僅有黏土層及頁岩較合適做為處置母岩，其中又以位於 Dessel 核子區之 Boom clay(黏土層)最為適合作為用過核子燃料及高放射性廢棄物之最終處置場。

從 1980 年開始，比利時國家核子研究中心（National Nuclear Research Centre，SCK • CEN）執行 HADES（high activity disposal experimental site）計畫，在 Dessel 場址之 Boom 黏土層興建一座地下實驗設施，該設施含有一 224 公尺的豎井坑及約 100 公尺的隧道。重要的工作有：

- 1980~1982 年：建立第一條出入豎井（access shaft）。
- 1982~1983 年：建立地下研究實驗室（underground research laboratory（URL））。
- 1983~1984 年：建立實驗豎井。

2000 年 12 月 ONDRAF/NIRAS 與 SCK • CEN 合作，在 Mol 成立 EIG EURIDICE（Economic Interest Grouping European Underground Research Infrastructure for Disposal Nuclear Waste in Clay Environment，經濟利益合作之歐洲放射性廢棄物泥岩環境處置地下研究設施）。EIG EURIDICE 之主要任務為：

- 繼續進行在黏土層進行放射性廢棄物處置之可行性研究。
- 負責 HADES 地下研究設施（URF）之營運。
- 執行 PRACLAY 實驗，該實驗對於在黏土層進行地質處置之可行性有很大重要之貢獻。
- 開放地下實驗室給國際上之合作夥伴。

比利時在 HADES 地下實驗設施之研究工程持續進行，相關研究里程碑如圖 29 所示。

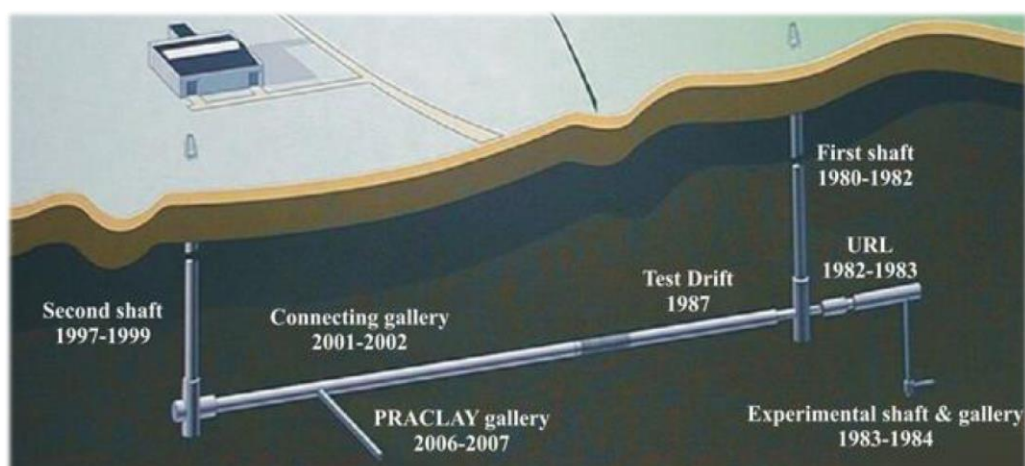
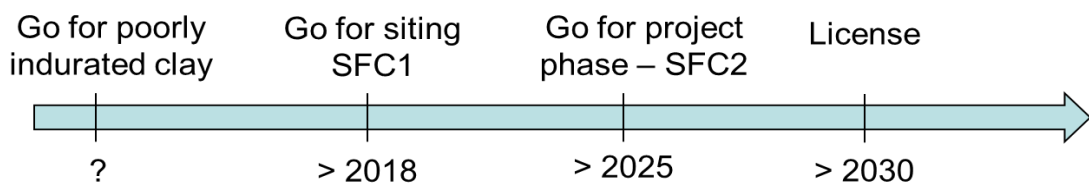


圖 29、比利時 HADES 地下實驗設施高放處置研究之各項里程碑

在 HADES 地下實驗設施所進行之一項重要實驗稱為 PRACLAY (Preliminary demonstration test for CLAY disposal of highly radioactive wastes)，為高放射性廢棄物在黏土層處置之初步驗證試驗。PRACLAY 廊道於 2007 年完成開挖，2010 年開始在 PRACLAY 廊道進行加熱器試驗 (heater experiment)，以研究玻璃化高放射性廢棄物及用過燃料所產生的熱對黏土層之長期行為及影響。此項實驗預計將持續至 2019 年。

HADES 是目前全世界唯一驗證高放射性廢棄物在塑性黏土層進行處置的地下實驗室，其研究著重於廢棄物在處置環境的化學反應，以及放射性核種之遷移。Boom 黏土層具有 3,200 萬年之歷史，本身就含有天然的鈾、鈾、及其它長半衰期核種。因此，此黏土層即是天然的放射性核種處置場之實例，也就是所謂的天然類比之實例。因此 EIG EURIDICE 研究這些已存在多年的放射性核種之遷移，然後據此建立大地化學模式。EIG EURIDICE 發現這些放射性核種所在的岩層具有良好的吸附特性，且已穩定存在幾百萬年。

比利時於 2011 年開始執行高放射性廢棄物處置計畫，其高放射性廢棄物以地質處置方式處理，計畫取得執照之里程碑如下所示：



比利時的高放射性廢棄物處置設施設計規劃介紹如下：

(1) 地質環境:FANC 考慮以下的母岩岩層為做為深層地質處置之地質環境：

- Boom 泥岩
- Ypresian 泥岩，其特徵為有較高的蒙脫土(smectite)含量、孔隙水中含有較高的氯化物(chloride)含量、有較低之熱傳導(thermal conductive)及較低之力學強度、較高的水力傳導系數(hydraulic conductivity)。
- 其他潛在的母岩構造：頁岩構造(例如:Brabant Massif 岩)



圖 30、FANC 深層地質處置地質環境所考慮的母岩地質

(2) 比利時放射性廢棄物深層地質處置概念

處置設施主要包含豎井(shaft)、處置坑道、處置坑道內放置廢棄物貯存容器。細部設計如圖 31、32 所示。

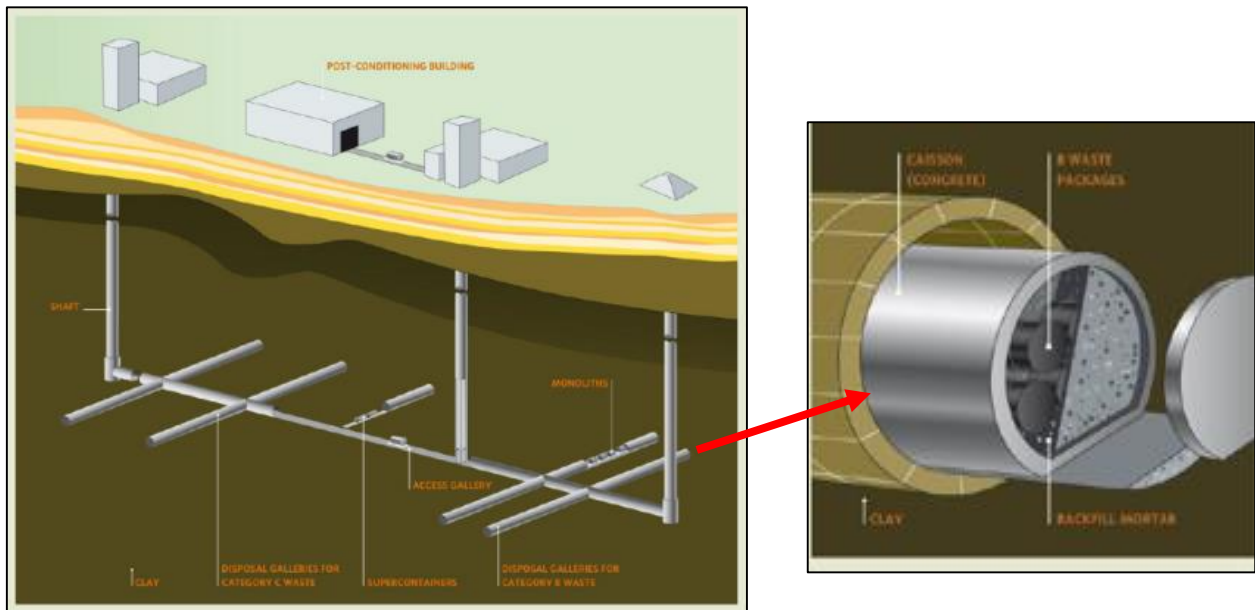


圖 31、深層地質處置設施概念

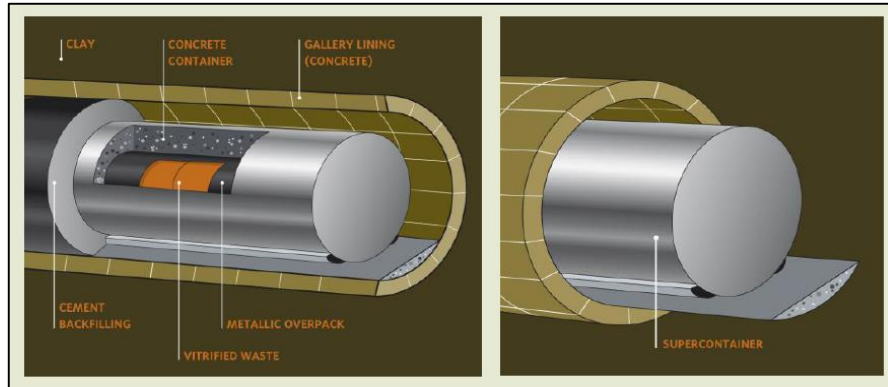


圖 32、深層地質處置設施概念

六、比利時低放射性廢棄物處置設施公眾溝通經驗:

(一)、放射性廢棄物處理專責機構 ONDRAF/NIRAS 的公眾溝通經驗

ONDRAF/NIRAS 為比利時放射性廢棄物處理專責機構，比利時放射性廢棄物最終處置規劃與發展執行由該機構負責；自 1990 年代開始，ONDRAF/NIRAS 公司就開始對放射性廢棄物處置場址進行選址研究調查報告，並確定共有 90 處地點為有利於地表處置之潛在位址，該研究調查評估報告為 NIRAS 公司指定專家學者所組成之科學諮詢委員會所發表，報告直接以工程數據做為內容，沒有明確談及處置場設施之建設與當地居民間的回饋及互動關係，該報告於 1994 年發表後，引起潛在位址有關地區居民一致反彈與抵制。

經 NIRAS 公司分析後認為：「一般工業開發計畫案以工程數據做為分析方式是非常常見的，但這些專業知識僅會在這些計畫案專家之間交流，為屬於相對封閉環境；然而對社會大眾而言，蓋一座放射性廢棄物貯存倉庫，並非只是普通的工程計畫案件那麼單純，這牽涉到社會大眾對於他們所生活居住的土地範圍有很多的情感因素存在，而且社會大眾對於核能普遍缺乏信賴感，在自己所居住地區興建一座放射性廢棄物貯存倉庫對社區居民而言，這個計畫案並沒有任何附加價值存在」。

1995 年比利時政府要求 NIRAS 公司對於放射性廢棄物在處置安全、及處置所需之預算費用提出報告、並研究明確的解決方案。(NIRAS 公司當時提出:長期貯存方式、近地表最終處置方式、深層地質最終處置方式等三個可能方案)

1998 年比利時政府決定以漸進式，較有彈性的、可逆性的和可以控制的近地表處置

方式做為低放射性廢棄物最終處置的解決辦法，並且編列預算研究中、高放射性廢棄物以深層地質處置可行性的；同時與核能安全管制機關商量整體工程開發的執行方式，及選址的相關限制。

NIRAS 公司從第一次與民眾互動中，所得到的經驗就是必須改變以往的做法，還提出了新的替代方案，不僅是整個處置計畫案必需採取漸進、有彈性、朝可逆/可控制的技術方向，報告內容除了整合技術層面外，還考慮到社會經濟及道德層面更務實做法，主要目的就是要恢復當地民眾對處置計畫案的信任。

該如何讓民眾恢復信任？例如可以通過投資的方式，並試圖透過社區居民找出計畫案中他們認為關注、恐懼的項目內容、了解他們的想法及價值觀，或者他們認為其他可能讓處置計畫案開發受限制的因素，並將上述中所有關於放射性廢棄物處置計畫在工程、管理等方面對於具有批評性、爭議性的議題採取進一步的辯論。

透過回答參與者所有問題，聽取他們的主張及建議，整合上述觀點，提出解決方案，調整經營者的願景、改變經營者的理念，修改處置計畫案的內容，最後將它變成由所有參與者所共同擁有的新計畫案。

(二)、比利時發展出夥伴關係的溝通概念

1. 夥伴關係機構

NIRAS 公司透過大學中政治與社會科學系所的協助，找來該地區社會上由較高階層組成具有代表性的公民團體進行訪談，並深入探討各項社會議題，部份社團提議以合作方式進行，部份社團提議開發新的獨立的合作夥伴關係組織，議會於 1999 年時核准了設立合作夥伴關係機構(STOLA)，總部則設在公有土地上。

以 STOLA 為例，該機構為非營利組織，其工作將下列之綜合研究/發展計畫提交給聯邦政府：

- a. 確定低放射性廢棄物 (LLW) 處置之選址位置(Mol & Dessel)。
- b. 對於處置設施之安全，技術應用方面。
- c. 對於處置設施附近之生態、社會、經濟、文化等方面。
- d. 對於處置設施未來土地經營管理

該組織並將處置計畫之內容定期舉辦有結構性的論壇工作並與當地居民及當地公民組織溝通協商。

2. 夥伴關係成員的組成，

一個非常重要的就是要有當地較具代表性的居民，以 STOLA 為例: STOLA 有 83 位成員，占該兩市區(Mol 和 Dessel)之成年人口總數 1%；其團隊中有 $\frac{3}{4}$ 成員重從事政治、社會與經濟相關工作、 $\frac{1}{4}$ 成員為該兩市區(Mol & Dessel)之公民；女性成員占約 12%；透過訓練，使成員均具有核能相關知識，下圖為其成員之年齡分布比例:

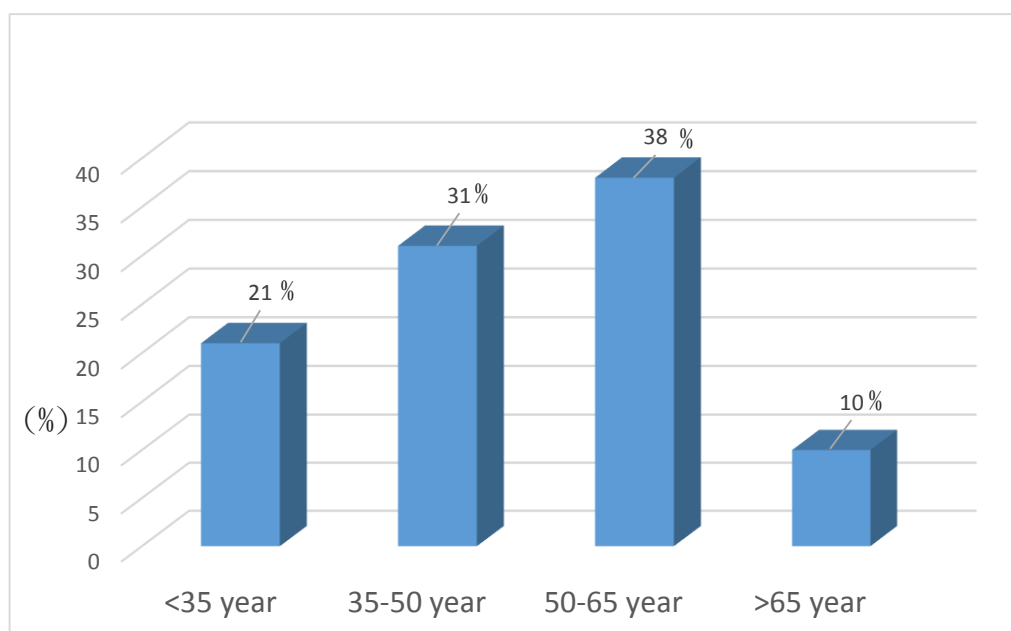


圖 32、STOLA 成員年齡分佈比例

3. 夥伴關係的培訓及運作方式：

第一步: 來自大學和研究室對於處置場技術和社會經濟問題的建議事項，再由 NIRAS 公司和其外包商根據需求提供訓練，並現場實際參觀(比利時 Belgoprocess 集中貯存場, 法國 Centre de l'Aube, 比利時 HADES-URF 高放地下實驗室, ...)。

第二步: NIRAS 公司以一般觀念為出發點，由工作團隊與中立無派系的專家提出中肯的評價，採取嚴格的評估。

第三步: 由 NIRAS 公司逐步建立能互相影響的整合計畫。

接著建立合作夥伴關係的資訊平台，以對當地地區反對意見的居民做溝通，該平台：

- 每年 3~5 次對每一住戶投遞新聞資訊
- 每月於當地報章雜誌發表文章(溝通資訊)
- 建立網站
- 成立資訊詢問處

但上述方法，市民反應非常冷淡，該平台(STOLA)更進一步的行動措施，包括：

- 與合作門檻較低的公民團體發展合作關係
- 運用地方性的活動(如聖誕節)
- 舉辦地方性活動(如撥播放處置計畫過程說明影片)
- 讓民眾參觀核能公司(電廠)
- 邀請政治名人參加學術性會議
- 舉辦辯論之夜
- 將重要關鍵問題與反對意見併入處置場開發計畫

辦理階段性民意調查，其中非常重要的項目是「補償金」，「補償金」是影響選址可接受度的重要課題，成果反應在民意調查數據中，已顯示逐年增加民眾接受度(每年選址可接受度調查如下：2002 年 6 月 2002>50% ; 2002 年 12 月>71% ; 2002 年 9 月>86%)。

STOLA 的合作夥伴關係在溝通的基礎上努力，讓當地居民有足夠的機會獲得相關資訊並透過平台即時反應出他們的想法。

STOLA 認為如果處置計畫案以舉辦地方性公投來決定，並不會為處置計畫案帶來更正面的附加價值。故 STOLA 以更廣泛的方式與民眾做溝通，在地方鄰里各行政區間直接對每戶分發與核電公司基本資訊有關之傳單；在全國地區則邀請核能安全管制單位 FANC/Bel V(AVN)，對該處置計畫案的前置計畫發表他們的看法與全國人民溝通；在國際上則透過網際網路來產生影響力，並舉辦「核廢棄物管理領域」的國際性研討會。

4. 合作夥伴關係成功原因：

兩個建議場址 Mol 和 Dessel 放射性廢棄物處置場計畫案的溝通，藉由讓當地較高階

層的居民與地方政府參與並承擔合作夥伴關係，創造 Mol 和 Dassel 存在競爭態勢，最後由 Dassel 爭取獲得比利時政府同意核准開發程序。

另外成功可能原因也包括了核能工業實際上已經存在於當地地區，而且歷經約 4 年以合作夥伴關係的溝通方式，詳細告知當地所全部民眾族群有關於核能知識及處置計畫案所有資訊。

合作夥伴關係也有失敗的案例，以 Fleurus-Farciennes 處置場選址計畫案，在他們一開始計畫使用合作夥伴關係時，最終被 Fleurus-Farciennes 市政府駁回，其遭遇到的困難包括：

- Fleurus-Farciennes 市民不清楚輻射、不了解核能產業
- 合作夥伴機構與市政府之間的決策整合困難
- 合作夥伴關係成員對外溝通困難
- 在初期民眾就表達，對放射性廢棄物處置場設置的關注和恐懼
- 合作夥伴關係成員無法接受必須承擔責任

最後，地方政府就否決選址工作的進行。

肆、心得建議

本次考察荷蘭及比利時放射性廢棄物集中式貯存設施的參訪活動，藉由與比利時 Bel V 的實際交流，了解比利時對於放射性廢棄物的管制理念與規範，另外參訪荷蘭及比利時的放射性廢棄物集中式貯存設施，並與荷蘭及比利時的專責機構就其集中式貯存設施計畫推動及放射性廢棄物設施營運經驗交流。

(一) 以下就本次考察提出心得如下：

1. COVRA 的 HABOG 設施內，具衰變熱的高放射性廢棄物採室內地窖豎井貯存設計，不但佔地面積極小，輻射屏蔽的功能也足夠，其熱移除設計採被動式設計，毋需電力進行強制熱移除，沒有核安議題，亦可減少居民對於處置設施在輻安上之疑慮與反對。
2. 未來 HABOG 外觀之表層漆色規劃以逐漸刷淡的獨特的設計，象徵其內部貯存高放射性廢棄物的衰減，未來我國亦可加入類似創意設計在放射性廢棄物集中式貯存設施外觀規劃

上，同時把綠能及環保概念融入設計裡面。

3. 西班牙 ENRESA 所開發之用過核子燃料集中式窖式貯存設施設計，其設計理念仿照 HABOG 設施，兼具安全性及可行性。目前設計工作已完成，西班牙政府正審理其執照申請作業。因本案混凝土窖模組化採用設計，極具研究價值，其後續發展技術值得持續追蹤，作為我國設計上之參考。
4. 貯存設施之設計年限考量，除影響建築與土木設計強度外，也會直接影響貯存設施/設備設計(環境控制設備)，還要確保最終處置時廢棄物容器完整性。
5. 國際上使用核能發電國家中，如荷蘭、瑞士、比利時等國，與台灣同樣地狹人稠，其放射性廢棄物營運策略是採先經中期集中貯存，之後再進行最終處置，且這些國家均已興建放射性廢棄物集中式貯存設施並安全營運中。

推動興建集中式貯存設施作為最終處置之前置作業方案，具有以下優點：

- (1). 可容納核能電廠除役之廢棄物，將除役後之電廠土地釋出再利用；
- (2). 集中式貯存設施所需場址條件、工程技術較最終處置設施單純；
- (3). 可提供充裕時間進行放射性廢棄物最終處置設施場址之選址，以利尋求社會共識；

另外，全球核電國家大都設置有放射性廢棄物專責機構，由非電力公司執行放射性廢棄物處置業務，讓放射性廢棄物處置與核能發電營運專業脫鉤，如比利時亦於 1980 年成立放射性廢棄物專責機構，1984 年開始順利執行放射性廢棄物處理、貯存與處置選址與設計各階段任務。

(二) 以下就本次考察提出建議事項如下:

1. 就瑞士、荷蘭及比利時之集中式貯存廢棄物分類與貯存設施如下表:

	各國專用 放射性廢棄物分類	IAEA 放射性廢棄物分類	貯存設施
瑞士 ZWILAG	SMA：中低放射性廢棄物	VLLW(15.9%) LLW(83.8%) ILW(0.3%)	中低放射性廢棄物貯存區 中放射性廢棄物貯存區
	ATA：α 毒性廢棄物 HAA：高放射性廢棄物	ILW HLW	高放射性廢棄物貯存區
荷蘭 COVARA	LILW	LILW	中低放射性廢棄物貯存設施(LOG)
	LILW, depU		中低放射性廢棄物-耗乏鈾貯存設施(VOG)
	LILW, NORM	中低放射性廢棄物-天然放射性物質衍生廢棄物貯存設施(COG)	
	HLW, heat producing HLW, non heat producing	HLW	高放射性廢棄物貯存設施(HABOG)
比利時 Dessel	R類	LILW-SL	低放射性廢棄物貯存設施(B150、B151) 中放射性廢棄物貯存設施(B127、B155)
	A類	LILW-SL	
	B類	LILW-LL	
	C類	LILW-LL(85.9%) HLW(14.1%)	中高放射性廢棄物貯存設施(B129、B136、B156)

建議我國貯存設施分類主要考量如下：

高放射性廢棄物依餘熱移除率作為分區貯存主要考量；低放射性廢棄物以廢棄物盛裝容器型式為主要考量。

- 比利時 BELGOPROCESS 針對非中子活化之金屬放射性廢棄物，開發噴砂處理表面污染技術，可用於核電廠金屬管路等廢棄物之除役處理，能大幅減少須處置之金屬類的放射性廢棄物，達到放射性廢棄物減容目標。尤其我國核一廠與核二廠皆為 BWR 機組，除役後所需處理之污染金屬管路數量較多，若我國能採用此技術進行處理，可減少廢棄物容積；促進其除役工作推展。
- COVARA 選址過程中參考過往其他鄰避設施的溝通經驗，將當地民眾與利害關係人意見納入決策考量，使當地人感受到充分尊重，溝通過程中也得以讓民眾充分了解設施的安全性，進而同意設施建造營運，此社會溝通策略以荷蘭經驗來看成效頗彰，值得我國借鏡。
- 比利時最終處置場所之選址過程也遭遇民眾抗爭，該國發展出夥伴關係的溝通概念，試圖透過社區居民找出計畫案中他們認為關注、恐懼的項目內容、了解他們的想法及價值觀，或者他們認為其他可能讓處置計畫案開發受限制的因素。若我國未來在選址議題與民眾溝通時亦建議利用夥伴關係的溝通概念，並將有關於放射性廢棄物處置計畫在工程、管理等

各方面對於具有批評性、爭議性的議題採取進一步公開辯論。回答參與者所有問題與疑慮，聽取他們的主張及建議，整合來自各方不同的觀點，並提出解決方案，並修改計畫案的內容符合多數民眾期待。