

出國報告(出國類別：考察)

瑞典、法國、荷蘭 除役及放射性廢棄物設施考察

服務機關：經濟部

姓名職稱：楊偉甫 次長

吳豐盛 國營會副主任委員

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：張學植 處長 (核後端處)

鄭天德 組長 (發電處)

張仁坤 主管

黃薰慧 主管

派赴國家：瑞典、法國、荷蘭

出國期間：106.6.5 ~ 106.6.15

報告日期：106.7.12

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

瑞典、法國、荷蘭除役及放射性廢棄物設施考察

頁數 44 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 / (02)2366-7685

出國人員姓名/機關/單位/職稱/電話

楊偉甫/經濟部/次長/(02)2321-2200

吳豐盛/經濟部/國營會副主任委員/(02)2371-3161

張學植/台灣電力公司/核能後端營運處/處長/(02)2365-7210

鄭天德/台灣電力公司/發電處/組長/(02)2321-2200

張仁坤/台灣電力公司/核能後端營運處/主管安全評估/(02)2365-7210

黃薰慧/台灣電力公司/核能後端營運處/主管環保/(02)2365-7210

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5.其他(開會)

出國期間：106.6.5 ~ 106.6.15 出國地區：瑞典、法國、荷蘭

報告日期：106.7.12

分類號/目：

關鍵詞：核能後端/專責機構/最終處置/核能電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

本次考察行程為參訪瑞典、法國、荷蘭之放射性廢棄物處置專責機構、除役中核能電廠、放射性廢棄物處理設施、集中式中期貯存設施、低放射性廢棄物最終處置設施、最終處置地下實驗室等核後端營運機構及設施。

由於該三國均已成立國家放射性廢棄物處置專責機構，實質上建置有完整之放射性廢棄物營運體系，對於核設施除役、低放射性與高放射性廢棄物處置都規劃有完善的系統及具體的進度，其在核能發電後端營運管理之體制、規劃與整合，以及民眾教育與溝通之素材、方法與成功推動核能後端營運之經驗，相當值得為我國借鏡參考學習，並作為我國核後端業務推行與政策擬定之借鏡。

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

目 錄

壹、出國目的	6
貳、出國過程	7
參、考察內容摘要	9
肆、瑞典、法國、荷蘭之核後端營運資訊綜整	25
伍、心得與建議事項	41

表目錄

表 1 出國行程表	8
表 2 瑞典核電廠機組營運情形一覽表	25
表 3 瑞典、法國、荷蘭之核後端營運情形綜整	40

圖目錄

圖 1	SKB 公司拜訪合影	9
圖 2	Äspö 硬岩地下實驗室參訪照片集錦	11
圖 3	銅罐製造封裝實驗室參訪照片集錦	12
圖 4	Barsebäck 核電廠除役現場參訪照片集錦	16
圖 5	台法經驗綜合討論會議	19
圖 6	ANDRA 所屬設施考察照片集錦	20
圖 7	COVRA 放射性廢棄物集中式中期貯存設施周邊環境	21
圖 8	HOBOG 設施建築外觀藝術創作概念示意圖	23
圖 9	HOBOG 設施內部空間藝術創作概念示意圖	23
圖 10	HOBOG 設施考察照片集錦	24
圖 11	瑞典核能後端分工策略示意圖	26
圖 12	瑞典 SKB 放射性廢棄物營運概念示意圖	27
圖 13	法國核能後端分工策略示意圖	31
圖 14	荷蘭核能後端分工策略示意圖	35

壹、出國目的

本次考察目的為瞭解瑞典、法國、荷蘭等國在核電廠除役以及放射性廢棄物處置之相關組織架構、運作發展流程、設施建構營運、民眾教育溝通與最新進展規劃等。由於該三國均已成立國家放射性廢棄物處置專責機構，並建置完整之放射性廢棄物營運體系，對於核設施除役、低與高放射性廢棄物處置都有規劃完善的系統及具體的進度，諸如核能發電後端營運管理之體制、規劃與整合，以及民眾教育與溝通之素材、方法與成功推動核能後端營運之經驗。

尤其，本次行程之重點著眼於核能後端營運體系中，國家放射性廢棄物處置專責機構於核能後端營運生命週期中所扮演的角色，及其如何與核設施業者、甚或相關放射性廢棄物處理設施業者進行權責分工，對於我國刻正推動「行政法人放射性廢棄物管理中心」之際，該三國之經驗更是值得為我國借鏡參考學習。

考察期間，透過與各國核後端營運業者與技術專家訪談，進行面對面技術交流後，並實地參訪各核後端現場設施，藉以汲取三國推動後端營運，就組織面、體制面、社會溝通面等所累積經驗，有助於我國核電廠除役與放射性廢棄物處置計畫之規劃與執行，提升國內後端營運規劃的週延性並增進效益，並作為我國核後端業務推動與制度設計、政策研擬、執行方式之參酌。

貳、出國過程

本次考察團係由經濟部楊次長偉甫率隊，團員包含經濟部國營會吳副主委豐盛、經濟部次長室鄭秘書天德、台電公司核能後端營運處張處長學植、張仁坤主管、黃薰慧主管、工研院林正研究員鎮國及謝資深研究員佩珊，共計 8 員，組團前往。

考察行程總計 11 天，自 105 年 6 月 5 日出發，迄 6 月 15 日返國，期間停留瑞典、丹麥、法國、荷蘭四國，走訪考察瑞典、法國、荷蘭之放射性廢棄物處置專責機構、除役中核能電廠、放射性廢棄物處理設施、集中式中期貯存設施、低放射性廢棄物最終處置設施、最終處置地下實驗室等核後端營運機構及設施。

表 1 出國行程表

日期	國家	考察行程
6/5 ~ 6/6	—	去程(台北→德國法蘭克福→瑞典斯德哥爾摩)
6/7	瑞典	上午拜訪： 瑞典核子燃料及廢棄物營運公司(Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, SKB) 下午拜訪： Studsvik 放射性廢棄物處理園區 Studsvik 研究顧問機構(Studsvik Consulting AB) Cyclife 公司及其放射性廢棄物熱處理設施
6/8	瑞典	考察 SKB 放射性廢棄物最終處置實驗室及貯存設施： 硬岩地下實驗室(Äspö Hard Rock Laboratory, Äspö-HRL) 用過核子燃料濕式中期貯存場(CLAB) 廢棄物銅罐製造封裝實驗室(Canister Lab.)
6/9	瑞典 丹麥	上午： 考察 Barsebäck 核能電廠除役作業 下午： 瑞典經驗綜合討論會議 跨國交通路程(瑞典隆德→丹麥哥本哈根)
6/10	丹麥 法國	跨國交通路程(丹麥哥本哈根→法國巴黎)
6/11	法國	上午：路程(巴黎→蘆伯) 下午： 與法國放射性廢棄物管理機構(Agence Nationale pour la gestion des Déchets RadioActifs, ANDRA)進行台法經驗綜合討論會議
6/12	法國 荷蘭	上午： 考察 ANDRA 蘆伯放射性廢棄物中心(Centre de L'Aube) 極低放射性廢棄物處置場(CIRES) 低中放射性廢棄物處置場(CSA) 下午：跨國交通路程(法國巴黎→荷蘭鹿特丹)
6/13	荷蘭	拜訪荷蘭放射性廢棄物中央組織(Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval, COVRA)及考察高放射性廢棄物集中貯存設施 (High-level Waste Treatment and Storage Building, HABOG)
6/14~ 6/15	—	返程(荷蘭阿姆斯特丹-台北)

參、考察內容摘要

一、瑞典

(一)瑞典核子燃料及廢棄物營運公司(SKB)

根據瑞典的法律，核子設施持照者要負責用過核子燃料之安全營運及最終處置。瑞典的四家電力公司合組 SKB 公司，以履行放射性棄物營運及處置之任務。該公司由最初十幾人小機構，成長至今逾 570 人公司，成立以來最終處置技術研究發展一直是最大部門，但隨著最終處置規劃成熟、場址選定，取而代之的是最終處置的建置部門。

SKB 於 1983 年即提出用過核子燃料最終處置之 KBS-3 處置設計概念報告予瑞典核管制機構(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)，1980 年代中期即完成短半化期低放射性廢棄物最終處置場(SFR)及用過核子燃料濕式中期貯存場(CLAB)建設並開始營運。由於該公司成功推動瑞典放射性廢棄物營運與最終處置計畫，各國紛向 SKB 取經，故於 1984 年另成立 SKB International (SKBI)輸出核廢料最終處置技術。

本次 6/7 拜訪在 SKB 總部會晤 SKB 常務董事 Eva Halldén 女士與 SKBI 執行長 Magnus Holmqvist 先生；另有瑞典駐臺辦事處代表 Henrik Persson 先生，瑞典駐臺辦事處顧問楊宗斌先生，Studsvik 公司顧問業務副總 Lars Johansson 先生、Cyclife 公司技術副總 Arne Larsson 先生，與西屋公司除役業務經理 Niklas Bergh 先生一同出席座談。在 SKB 總部會議室先由 Eva Halldén 女士簡報說明 SKB 組織架構、負責任務、財務來源、瑞典核廢料處理政策方針與現況等，後由 Magnus Holmqvist 先生說明 SKBI 組織架構、業務方向、最終處置選址過程、民眾溝通等，最後由台電公司張仁坤主管針對臺灣放射性廢棄物處置現況進行簡報。雙方針對瑞典除役與後端經費、相關補償機制、公投範圍、民眾溝通等議題進行討論與意見交流。

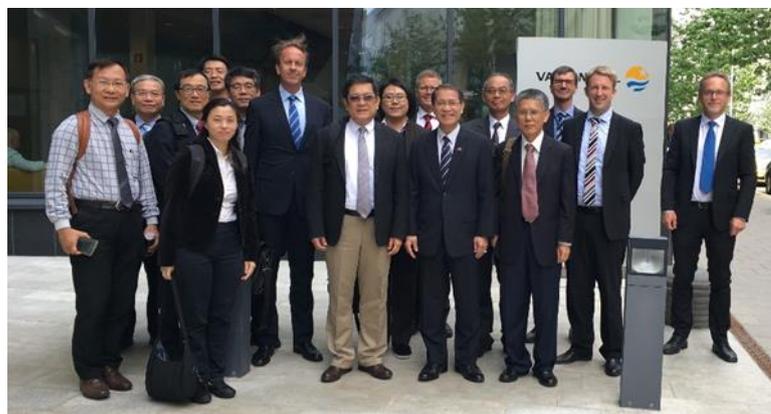


圖 1 SKB公司拜訪合影

SKB 主要業務範圍及營運設施包含：

1. 業務範圍
 - (1) 運送放射性廢棄物至貯存場或處置場；
 - (2) 中低放射性廢棄物處置；
 - (3) 用過核子燃料處置；
 - (4) 國際技術交流。

2. 主要營運設施如下：

Oskarshamn 場址

- (1) 運輸船(M/S Sigrid)；
- (2) 用過核子燃料濕式中期貯存場(CLAB)；
- (3) 硬岩地下實驗室(Äspö-HRL)；
- (4) 廢棄物銅罐製造封裝實驗室；

Forsmark 場址

- (5) 短半化期低放射性廢棄物處置場(SFR)；
- (6) 長半化期低放射性廢棄物處置場(SFL)；
- (7) 用過核子燃料最終處置場(Forsmark)及封裝廠(申照中)。

上項營運設施中，SFR 設施之貯量已滿，目前辦理擴建作業，預計 2028 年完成；SFL 設施則辦理規劃設計中，預計 2045 年完成；而用過核子燃料最終處置場，歷經場址調查、地方意願徵詢後，終於 2011 年選定最終場址，預定於 2017 年底進行環境法庭聽證會、2018 年辦理申照、2020-2030 年建造。

目前規劃之 Forsmark 最終處置場包含地下設施及地面設施。地下設施，包含中央區、處置區、及連通地表之電梯豎井及排氣豎井，以及車輛行走之坡道。根據 SKB 所研發之 KBS-3 處置設計概念，目前規劃的處置深度位於地面下 475 公尺。

(二)考察 SKB 之放射性廢棄物最終處置實驗室及集中式貯存設施

1. 硬岩地下實驗室(Äspö-HRL)

6/8 上午考察 SKB 硬岩地下實驗室(Äspö-HRL)，由溝通處 Eva Häll 女士進行說明，並帶領參觀。

此地下實驗室位於奧斯卡港市(Oskarshamn)，地下實驗室於建置時，即明確對地方民眾說明，該實驗室僅單純做為推動最終處置場技術發展之實驗場址，而不會成為最終處置場。自 1986 年開始營運，主要從事地球科學技術發展、場址調查程序、處置場建造與包封材料等技術的現地試驗。該地下實驗室目前坑道長度約 3,600 公尺，以螺旋狀深入地下 450 公尺深處，鑽取 13 個直徑 175 公分的垂直處置坑，因而發展了新的垂直鑽孔技術，也修改了傳統的全斷面隧道鑽掘機(Tunnel Boring Machine, TBM) 機具的設計。在地下實驗

室中獲取許多岩石、水文、水化的現地參數，亦在地下實驗坑道進行處置概念的緩衝回填材料試驗；處置坑中置放銅罐及膨潤土，以模擬熱－水－力－化學的交互關係。該地下實驗室亦進行原型處置實驗，利用銅罐運輸車實地演練極精確的廢棄物罐進場、放置與回填的技術，以發展合適的工程標準、品質要求標準及品質系統。



圖 2 Äspö硬岩地下實驗室參訪照片集錦

同時，該地下實驗室亦開放對外參觀，且不限對象，做為處置技術展示及溝通平台，讓所有瑞典人民瞭解政府有能力從事放射性廢棄物處置，每年吸引上萬人次的參訪。

考察團於問題詢答時，詢問 SKB 公司目前水平處置 KBS-3H 之研發進度如何，SKBI 公司執行長 Magnus Holmqvist 先生說明水平處置目前仍有處置孔被裂縫截穿時，緩衝及回填材料被侵蝕的問題無法完全克服，故目前以垂直處置 KBS-3V 為後續發展重點。

2. 用過核子燃料濕式中期貯存場(CLAB)

CLAB 位於奧斯卡港市 Simpevarp 半島，由 SKB 負責規劃及建造、1980 年開始興建、1985 年開始營運，為一用過核子燃料濕式集中貯存設施，用來貯存瑞典境內所有核電廠產生之用過核子燃料。該設施總建造費約 1,700 百萬瑞典克朗，每年之運轉及維護費約 100 百萬瑞典克朗。目前約有 100 名員工，其中一半負責每日之運轉工作，另一半則負責輻射防護、化學取樣、維護及修理工作。

用過核子燃料通常在核電廠內之用過核子燃料池中貯存約 1 年後，即裝入運輸護箱，以專用運輸船 M/S Sigrid 運至全國唯一的用過核子燃料濕式中期貯存設施 CLAB 貯存，此暫存的時間約為 30~40 年。SKB 預計將在 CLAB 旁建造廢料罐封裝場，未來從 CLAB 直接將用過核子燃料送至隔壁的封裝場進行裝罐封裝作業，等位於 Osthrammar 市的 Forsmark 用過核子燃料最終處置場營運之後，再

將已封裝用過核子燃料以專用運輸船運送至該地處置。

CLAB 貯存容量原本設計為 3,000 噸，2008 年 1 月增加為 8,000 噸，現在又擴充為 11,000 噸，每年接收量為 200 噸，至今已貯存約 6,500 噸用過核子燃料。地上建築為接收區，地下貯存區深度約 40 公尺，包含 2 個大約 120 公尺長的岩穴(rock cavern)，每個洞穴包含 5 個貯存池(4 個貯存池及 1 個備用池)。

CLAB 之操作方式是在卸載池中將用過核子燃料自運輸護箱移至貯存罐以進行後續之搬運及貯存；充滿水的升降籠將貯存罐下降至貯存區，然後貯存在貯存池內預先設定的位置。所有用過核子燃料元件皆在水下利用水力機械來進行卸載及挪移作業，用過核子燃料置於 3-8 公尺的水面下，憑藉該水屏蔽深度防護使工作人員無需著任何特殊防護裝備即可入內作業)。

3. 銅罐製造封裝實驗室(Canister Lab.)

6/8 下午考察 SKB 銅罐製造封裝實驗室。位於奧斯卡港市港邊的銅罐製造封裝實驗室，是由 SKB 營運，負責銅廢棄物罐製造、封裝與品質測試之實驗室。實驗室中展示著三百多年前沉沒海底的銅製加農炮，是銅罐抗蝕、長期安全性的絕佳天然類比案例。另外由 SKB 專家說明銅廢棄物罐的製作過程、專利的摩擦高溫熔接封裝技術、全尺寸銅廢棄物罐、鑄鐵格架，以及非破壞性的 X 光照射與超音波兩種缺陷檢測法。由於銅廢棄物罐頂蓋的銲接技術關係銅廢棄物罐的品質，SKB 發展了摩擦攪拌銲接技術(Friction Stir Welding, FSW)，該實驗室除了繼續進行銅廢棄物罐之製造銲接技術演練與特性檢測之外，也兼具銅廢棄物罐製造的人才訓練基地。



圖 3 銅罐製造封裝實驗室參訪照片集錦

(三) Studsvik 放射性廢棄物處理園區

本次至 Studsvik 放射性廢棄物處理園區，主要係考察瑞典於高、低放射性廢棄物之處理情形，並拜訪園區之放射性廢棄物研發單位-Studsvik 研究顧問機構(Studsvik Consulting AB)及設施營運單位 Cyclife 公司(Cyclife Sweden AB)。

1. Studsvik 研究顧問機構

Studsvik 研究顧問機構主要為業務範圍包括：

- (1) 失效核燃料處理與管理；
- (2) 放射性廢棄物處置設施規劃及執照申辦；
- (3) 放射性廢棄物管理技術；
- (4) 除役之放射性廢棄物相關技術顧問服務；

主要營運設施如下：

- (1) 熱室(燃料試驗)；
- (2) 材料試驗室；
- (3) 放射性廢棄物貯存設施；
- (4) 壓力容器試驗室。

2. Cyclife 公司

2016 年法國 EDF 集團併購 Studsvik 公司位在瑞典和英國的兩處低放射性廢棄物處理回收設施，更名成立 Cyclife 公司，主要業務包括：

- (1) 除役部份：負責 EDF 於瑞典、英、法之核設施除役相關業務，包含除役策略及成本評估、廢棄物營運策略及特性調查、電廠過渡期間管理及訓練。
- (2) 國際性廢棄物處理服務供應商：接收處理來自核電廠的大型污染廢金屬組件，甚至是污染程度較高及/或複雜的幾何形狀，如壓水式反應爐(Pressurized Water Reactor, PWR)之蒸汽產生器(steam generator) 和沸水式反應爐(Boiling Water Reactor, BWR)之汽機組件和再加熱器(reheater)等。

主要營運設施有：

- (1) 放射性廢棄物減容設施，如超高壓縮機、焚化爐；
- (2) 放射性廢棄物回收處理設施，如金屬、電纜線等；
- (3) 廢金屬熔煉處理及外釋設施。

本次考察由 Studsvik 研究顧問機構執行長 Michael Mononen 先生與 Cyclife 公司總裁 Mats Fridolfsson 先生主持座談，說明瑞典低放射性廢棄物處理、外釋系統，及相關處理及回收設施，並進行雙邊討論交流。座談結束後由 Cyclife 公司技術副總 Arne Larsson、Studsvik 研究顧問機構管理處長 Lars Johansson、核廢料與除役資深顧問 Per Lidae 先生帶領參觀園區，園區內設有港口、Studsvik 與 Cyclife 之相關核廢料研究及處理設施(如熱室、實驗室、焚化爐、金屬熔融設施等)，本次主要參觀廢金屬熔融至外釋之流程

及相關設施，包含大型組件暫存區、貨櫃存放區、金屬熔融廠(分類區、除污區-水洗除污、噴砂除污、化學除污等、大型組件切割區-電漿切割、火炬切割、遙控機械切割區/獨立屏蔽、熔爐)、分析實驗室等。

(四)考察 Barsebäck 核能電廠除役作業

首先由 Barsebäck 核電廠執行長 Åsa Carlsson 女士說明 Barsebäck 核電廠除役經過與目前電廠現況，再由西屋公司除役部門產品經理 Niklas Bergh 先生說明電廠內正進行之反應爐內部組件切割計畫作業，並現地參訪廠內設備切割作業。考察重點如下：

1. 電廠除役背景

Barsebäck 電廠屬於 Uniper 國際能源集團旗下的 Sydkraft 核能公司 (Sydkraft Nuclear Power, SNP)之 Barsebäck Kraft AB(BKAB)所有。電廠建於 1970 年代，共有 2 部 600 MWe 之沸水式反應機組(BWR)，分別自 1975、1977 年開始營運，電力主要供應鄰近大城隆德(Lund)和馬爾默(Malmö)。

電廠地處瑞典東南部海岸，因與鄰國丹麥僅一海相對(距離不到 20 公里)，且電廠周圍五公里範圍內極少人居，而成為選址此處之主因，然因核電於瑞典向來是備受討論的能源類型，其中，Barsebäck 核電廠身為首座營運之商用核電廠，於營運期間始終爭議不斷，至 1998 年 2 月，終於由政府強制要求提前停止機組運轉，機組遂分別於 1999 年、2005 年停機進行除役作業。

2. 人員轉置：

Barsebäck 電廠停機以後，配合放射性廢棄物貯存、處置策略及期程規劃除役作業，電廠原有人員經由協議陸續轉介至瑞典其它營運中電廠，於十七年內分階段由 400 餘人降至 49 人，成員包含日常運轉、廢料營運、輻射防護、除役專案管理等技術與管理工作。未來於電廠實際執行除役作業時，將再考慮回聘原電廠人員或 Oskarshamn 電廠之技術人員約 60-70 人。

3. 除役規劃

有關 Barsebäck 電廠之除役規劃，由於母公司 Uniper 集團為 Barsebäck 及 Oskarshamn 核電廠之主要經營者，同時也持有另外兩座 Ringhals 及 Forsmark 核電廠的部份股份，此種背景，使得 Barsebäck 電廠於除役規劃上有較高之彈性，包含其停機後的人員轉置及除役發包策略等。Barsebäck 電廠由於係受政治外在因素導致提前停機除役，故於停機之時並無任何除役相關方案與規劃，其除役規劃主要係配合專責機構 SKB 公司主導之放射性廢棄物營運策略辦理，於停機後，用過核子燃料即很快退出爐心存放於燃料池，約 1 年後即可運出廠外至

Oskarshamn 之 CLAB 集中式貯存設施進行中期貯存，並於 2 部機組均停機後 2 年即 2007 年開始進行電廠全系統除污作業，考量若先將主要輻射較高組件移除，除可降低除役作業工作人員之劑量外，後續拆除工作可以一般拆除方式拆除電廠而加快拆除進度，故自 2016 年起執行反應爐爐心內部組件拆除作業(預計 2019 年完成)，而為配合 SKB 之短、長半化期之低放射性廢棄物最終處置設施 SFR 及 SFL 分別於 2028 年及 2045 年完成，電廠整體拆廠除役作業將於 2020 年後再行展開。目前主要進行作業包含：

- (1) 反應器爐心內部組件移除
- (2) 營運期間廢棄物重裝作業
- (3) 燃料池內燃料格架移除作業
- (4) 電廠拆除執照申辦

由於低放廢棄物最終處置設施尚未完成，且電廠並無如瑞典其他三座核電廠之多餘空間設置極低放射性廢棄物最終處置場，故為因應目前電廠設備拆除所產生的放射性廢棄物，電廠已新建一座低放貯存庫貯存反應爐爐心拆除之廢棄物，並改建至少兩座現有廠房為低放貯存庫貯放設備拆除之廢棄物。

電廠預計 2027 年後方完成除役工作，除役目標為除役後採「限制性使用(Brown Field)」，預期仍將做電力相關產業之工業使用，但目前尚無任何實質規劃。

4. 除役費用

SNP 公司擁有 Barsebäck 核電廠及其土地，依瑞典法規要求需負責該廠除役作業，包含要繳交至後端基金之除役經費籌措(於營運期間，0.01 克朗/kWh)，然因該電廠係因政策因素提早除役，故至原營運許可期滿(2017 年 6 月)前，係由政府提撥補償金補貼其停機後營運經費，約 2.55 億歐元；而電廠則於停機後也儘快採取各種措施(如關閉不需運轉設備/施、減少現場工作人員等)，以降低營運費用。

5. 利害關係人溝通

- (1) 內部利害關係人溝通：由於電廠為突然性提早關閉，對於電廠員工心理上的衝擊較大，尤其許多員工係為當地人，故於停機前後，電廠花費相當心力與員工溝通，無論是續留電廠執行除役工作或轉介至其他電廠持續核電工作，都需讓員工感到有尊嚴、對工作有願景。
- (2) Barsebäck 電廠之對外溝通：
 - A. 資訊掌握與傳遞：主要於電廠網站上，不定期發布電廠相關最新資訊。此外，電廠處於人口稀少地區，方圓週邊居民不多，故溝

通的範圍設定為電廠周邊 20 公里發布溝通資訊，而溝通期間亦透過個別家戶拜訪，用以瞭解民眾個別期望的資訊接收方式。

- B. 與地方共同成立 CSR(Corporate Social Responsibility)組織：做為電廠與地方居民間直接溝通平台，主要為個人對個人的溝通，該平台除傳遞電廠除役相關資訊外，亦支持贊助地方活動。
- C. 地區共榮措施：Barsebäck 電廠強調民眾溝通是站在雙方互利共榮的對等地位上進行，並無類似金錢回饋、補償金方案，電廠的存在可繁榮地方經濟，隨電廠除役雖原工作機會消失，然於除役作業上仍儘量僱用地區承商/居民，對於仍有意願從事核電工作人員，則儘力協調轉介至其他核電廠。
- D. 設立 Barsebäck 電廠核能教育資訊中心：廠內入口處設有一展覽及資訊中心，傳遞能源、核能及核電廠除役資訊，並有電廠現場導覽行程，由於相關設施已完成除污作業，民眾可近距離觀察電廠設施；此外，電廠雖仍屬核電工業設施，卻強調該參訪並無年齡限制，歡迎家庭闔家參訪，只要對 Barsebäck 電廠有興趣民眾皆可預約參觀，可見其欲藉由轉換電廠為科普教育設施，與民眾拉近距離，化解一般民眾對於核設施排拒之心理，每年參訪人數約 5,000 人。

6. 現場參訪

參觀路線配合目前除役作業進度進行，先由電廠靠海側之訪客平台開始，瞭解電廠的地緣關係，一覽電廠內包含排氣塔、反應器廠房、汽機廠房等建物設施配置情形，再依既定之參觀動線，進入反應器廠房參觀其 2 號機爐心組件拆除作業現場、汽機間、冷凝器等設施除役情形，再參訪其新建及改建低放廢棄物中期貯存設施。



圖 4 Barsebäck核電廠除役現場參訪照片集錦

(五)瑞典經驗綜合討論會議

於瑞典期間考察最後，本次考察所有瑞典設施代表(SKB、Cyclife、Barsebäck 電廠及 Westinghouse 公司)，總結瑞典於核能後端營運政策及專責機構、設施、放射性廢棄物相關供應鏈所組成的瑞典核能後端營運價值鏈，及該價值鏈可供台灣核能後端營運之技術交流與建議。瑞典代表強調，核能後端營運為一範疇極廣、耗時極長、花費極大之產業，因其特殊性，故於規劃上較其他產業，更需有政府的強力支援、明確的核後端營運策略、足夠的資金水準、專業的技術與團隊及合適且有效的溝通作為，各項要件相互配合到位，才能確保計畫的成功，SKBI 的執行長 Magnus Holmqvist 先生，更以其成功經驗說明核後端執行成功 3C 要素為「Competance：擁有具競爭性之技術、Confidence：對核後端策略執行具信心及 Courage：推動核後端業務之勇氣」。

二、法國

(一)台法經驗綜合討論會議

6/11 會晤法國放射性廢棄物管理機構(ANDRA) 3 名專家，分別為：技術執行長 Patrick Landais 先生、國際業務經理 Richard Poisson 先生，與國際合作專案經理 Nicolas Solente 先生。

專責機構 ANDRA 於 1979 年成立於法國原子能委員會(French Atomic Energy Commission, CEA)內、1991 年獨立設置，為負責全法國境內放射性廢棄物之管理及處置之唯一機構。組織內包含研發、溝通、地下實驗室、最終處置 Cigéo 專案、工程部門及現有最終處置設施現場等部門，共計約有 630 人。

1. 主要的任務為：

- (1) 規劃各類型放射性廢棄物最終處置設施(包含低階長半化期、高階、中階長半化期之放射性廢棄物)；
- (2) 營運並監控現有之各類型放射性廢棄物最終處置設施(包含低階短半化期、極低階長半化期之放射性廢棄物)；
- (3) 公共任務
 - A. 法國全國放射性物料及廢棄物數量盤點、放射性廢棄物管理計畫、放射性廢棄物接收標準訂定；
 - B. 接收各類型放射性廢棄物、土地除污及復育；
 - C. 放射性廢棄物之大眾知識及資訊推廣，包含會議、專題研討及出版品。
- (4) 國際合作

- A. 國際機構或國外同業合作；
- B. 最終處置及放射性廢棄物管理之技術顧問諮詢服務；
- C. 法國核後端技術之國際推廣。

2. 負責營運設施有：

- (1) Manche 放射性廢棄物處置設施(CSM)：貯存中低放射性廢棄物(LILW-SL)。1969年營運、1994年貯存量(大約527,000立方公尺)額滿、封閉後監管。
- (2) CSA 放射性廢棄物處置設施(Centre de l'Aube，或稱CSA)：貯存中低放射性廢棄物(LILW-SL)。1992年營運迄今，預計營運25年，佔地95公頃(其中30公頃專用於處置區)，預計處置約1,000,000立方公尺中低放射性廢棄物，處置概念為近地表「混凝土單元」處置。
- (3) CIRES 廢棄物處置設施(極低放)：貯存極低放射性廢棄物(VLLW)。2003年營運迄今，預計營運30年、處置約650,000立方公尺中低放射性廢棄物，處置概念為近地表處置，將廢棄物包封在粘土層(厚達15-25公尺)壕溝，並且用移動式蓋板保護後再以粘土和防水膜覆蓋。

(4) Meuse/Haute-Marne 中心

A. Bure 地區的地下實驗室及廢棄物處置可行性研究

本實驗室(Meuse/Haute-Marne-URL)是法國政府在1999年8月3日法條中核准 ANDRA 於法國東部 Bure 郡進行泥岩特性之相關研究。主要工作團隊包括法國國家科學研究中心(CNRS)、地質與礦業研究局(BRGM)及相關工程研究單位。

實驗設施位於地下約490公尺深處之矽質黏土岩(argillite)層，該岩層位於地底下約420~550公尺處，厚約130公尺。此矽質黏土岩已有156百萬年歷史，被稱為 Callovo-Oxfordian 構造。從2004年起，ANDRA 開始在豎井及100公尺長之橫坑進行 Callovo-Oxfordian 之直接調查及現地試驗。經過多年的研究，ANDRA 取得足夠數據判斷該場區之 Callovo-Oxfordian 構造是適合進行高放射性廢棄物最終處置。

B. Cigeo 地質處置設施計畫

預計處置法國59部核能機組之再處理之高階廢棄物(約10,000立方公尺)及各類研究機構產生之中低階廢棄物(約70,000立方公尺)，目前進行細部設計作業，預定2018年申請執照、2030年運轉。

ANDRA 為有效掌控放射性廢棄物之產量，使其達到最佳化，會儘早參與核設施之除役規劃作業。

台法雙邊座談由 Patrick Landais 先生說明 ANDRA 組織架構、負責任務、財務來源、營運設施、法國核廢料處理政策方針與現況等，並由 Nicolas Solente 先生說明最終處置選址過程、民眾溝通等議題；最後由台電公司張仁坤主管針對臺灣放射性廢棄物處置現況進行簡報。雙方針對法國除役與後端經費、相關補償機制、公投範圍、民眾溝通等議題進行討論與意見交流。



圖 5 台法經驗綜合討論會議

(二)考察 ANDRA 蘆伯放射性廢棄物中心

6/12 由 Nicolas Solente 先生帶領，考察 ANDRA 極低放射性廢棄物處置場(CIRES)及低中放射性廢棄物處置場(CSA)。

1. 極低放射性廢棄物處置場(CIRES)

法國採用多重障壁概念之地表處置來處置其極低放射性廢棄物，CIRES 自 1988 年起規劃、2003 年開始運轉，營運期約為 10-25 年，主要接收核設施拆除之極低放射性廢棄物，在處置場中可進行極低放射性廢棄物的分類、集中、壓縮、裝罐與貯存作業；由於貯存空間的需求增加，也逐年擴建貯存設施的空間，從最初 2003 年設計的 10,000 立方公尺貯存量，增加到 2016 年的 34,000 立方公尺。其中有一地窖將放置除役拆除大型組件，待設施容量額滿封閉後，將監控 30 年(即預估放射性廢棄物活度衰減至與背景值相當所需期間)。目前營運期間進行各項放射性及非放射性監測，結果則公開發布於網路及年報中。

2. 中低放射性廢棄物處置場(CSA)

中低放射性廢棄物亦採用多重障壁概念之地表處置概念，已先後完成 2 座處置場，即 Manche 處置場(1969 年開始運轉，使用 25 年後於 1994 年 6 月封閉，2003 年取得封閉後監管執照)及 CSA 處置場。並於 1984

年決定興建 CSA 處置場，之後迅速展開場址調查、選定場址、徵詢公眾意見後，於 1989 年取得建造執照，1992 年 1 月完工啟用，接替 Manche 處置場，接收來自全國各界產生的低中放射性廢棄物。CSA 設計處置容量為 100 萬立方公尺，其營運年限為 25 年，之後監管 300 年；處置場面積約 95 公頃，其中 30 公頃用於貯存；許可貯存容量為 100 萬立方公尺，至 2015 年底用量達 30 萬 4,451 立方公尺的廢棄物容器，與 Manche 處置場相同，未來於處置量滿封閉後，將同時進行處置場的覆土及綠化工作，並於取得封閉監管執照後進行監管。ANDRA 從 CSA 處置場初期規劃開始，即持續不斷地參與社區活動，也使該處置場成為地球科學與核安環保教育的示範場所，此次參訪團於 CAS 考察時，也偶遇當地中學生由老師帶領參觀，對於 Aube 處置場成功成為法國民眾溝通與教育平台，留下深刻印象。



圖 6 ANDRA 所屬設施考察照片集錦

三、荷蘭

(一) 拜訪荷蘭中央放射性廢棄物組織(COVRA)

COVRA 係 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，為荷蘭國內唯一合法且為非營利目的之放射性廢棄物處理專責機構(集中處理、貯存與管理)，2002 年起由財政部持有 COVRA 全部的股份，但政府並不提供任何財務上的補助。組織營運所需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，包含營運成本（運輸、處理及貯存）以及未來貯存及最終處置之準備金；COVRA 目前員額約有 60 人

1. 主要的任務為：

- (1) 擬定並執行荷蘭放射性廢棄物營運策略；
- (2) 收集、處理、貯存及處置荷蘭境內所有類型放射性廢棄物；
- (3) 長期地面貯存之財務儲備及管理；
- (4) 協調最終貯存之研究；
- (5) 最終貯存之準備工作，包括執行之財務儲備及管理；
- (6) 作為政府、工業及社會之知識中心，包括教育；
- (7) 主動參與放射性廢棄物管理領域之國際議題討論。

2. 負責營運設施有：

- (1) 辦公大樓及展示中心；
- (2) 低放射性廢棄物處理廠(焚化爐、超高壓縮機)；
- (3) 低放射性廢棄物貯存設施；
- (4) 礦業廢棄物貯存設施；
- (5) 耗乏鈾(depleted uranium oxide)貯存設施；
- (6) HOBOG 高放射性廢棄物處理與貯存設施(HABOG)。

COVRA 於 1999 年在荷蘭西南的弗利辛恩(Vlissingen)Borssele 地方之工業區興建放射性廢棄物集中式中期貯存設施，自 2003 年開始營運，至少營運 100 年。貯放高放射性廢棄物之 HOBOG 設施即於場內西北角，場外東北方緊鄰國際知名離岸設備製造商(離岸風力、油氣探勘)-HEEREMA 製造工廠，南方鄰近 1 公里處，便是荷蘭國內唯一運轉中的 Borssele 核電廠(屬 EPZ 公司所有)。



圖 7 COVRA放射性廢棄物集中式中期貯存設施周邊環境

本次參訪首先由處長 Jan Boelen 先生向參訪團簡報說明荷蘭核設施現況、國家放射性廢棄物處置原則、專責機構 COVRA 的組織與職掌；隨後由

副處長 Ewoud Verhoef 先生說明荷蘭放射性廢棄物集中貯存設施 (HOBOG)的細部配置、貯存狀況、設計理念與未來發展。

(二)考察高放射性廢棄物集中貯存設施(HABOG)

用過核子燃料於廠內貯存一段期間後運至國外進行再處理。於用過核子燃料部份，Borssele 核電廠的用過核子燃料是運至法國 La Hague 進行再處理；已停機的 Dodewaard 核電廠則是送至英國 Sellafield 再處理。再處理完後的高放射性廢棄物，於 2004 年開始運回荷蘭中期貯存，等待最終處置。

HABOG 高放射性廢棄物集中式貯存設施可用來貯存未來 100 年用過核子燃料再處理後所產生的高放射性廢棄物，以及試驗用反應器及研究實驗室所產生的用過核子燃料，並在貯存期間進行深地層處置之財務、技術、及社會準備，以備在貯存期間完成後，可進行深地層處置。HABOG 高放射性廢棄物集中式貯存設施之設計細節如下：

1. 設計壽命至少為 100 年；
2. 被動式冷卻系統；
3. 乾式貯存井室；
4. 放射性廢棄物貯存於包件後需檢測為無污染方可入庫；
5. 貯存設施容積：80,000 m³；
6. 貯存設施量體：(長)91.5m x (寬)46.1m x (高)40m(計算至冷卻通風設備高度)；
7. 設施屏蔽牆厚 1.7m；
8. 設施分為接收區、處理區及貯存區(又分為產熱廢棄物及不產熱廢棄物兩區貯存)。

由於荷蘭僅有 2 座核電廠，Dodewaard 電廠在 1997 年已關廠，Borssele 電廠(515MW)仍在運轉中，所以產生的放射性廢棄物有限，而 HABOG 貯存場內貯存空間至少可貯存未來 100 年荷蘭境內所產的所有放射性廢棄物。雖然荷蘭政策目前決定 100 年內仍以地表集中式貯存高放射性廢棄物，但是仍由 COVRA 進行最終地質處置的場址評選研究，保留未來處理科技進步、國際合作處理之彈性與空間。

HABOG 貯存場內所貯存之高放射性廢棄物，主要有用過核子燃料經再處理(送至法國再處理)後的玻璃固化體，及研究用反應爐之用過核子燃料，除了高放射性廢棄物之外，HABOG 亦有貯存中、低放射性廢棄物貯存；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；具衰變熱的高放射性廢棄物，如用過核燃料及再處理所產之玻璃固化體，則懸置貯存於混凝土窖內豎井中，以自然通風移熱。HABOG 貯存場外牆設計厚度達 1.7 公尺，廠區長期監測

結果輻射劑量皆落於背景值變動範圍內，證實其安全性無虞。

由於 HABOG 身兼貯存及溝通之意義，於設施內外均有極具設計感與巧思之公共藝術創作：

1. HABOG 設施外觀：設施外牆藝術創作為 METAMORPHOSIS (by William Verstraeten)，外牆漆上橘色是荷蘭國家代表色，也是國家足球隊的代表色，牆上寫著兩個質能反應式($E=mc^2$ 、 $E=h\nu$)，且自 2003 年開始，每 20 年外牆會定期補漆上色，但每次補漆的橘色會較前次更淡，到 100 年後(2103 年) HABOG 外觀將漆為白色，藉以象徵貯存場內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。



圖 8 HOBOG設施建築外觀藝術創作概念示意圖

2. 設施內部：隨訪客參觀動線，沿接收區、處理區至貯存區，分別設置 4 張攝影作品，透過該 4 張作品試圖傳達與外牆藝術創作相同寓意予參訪者。

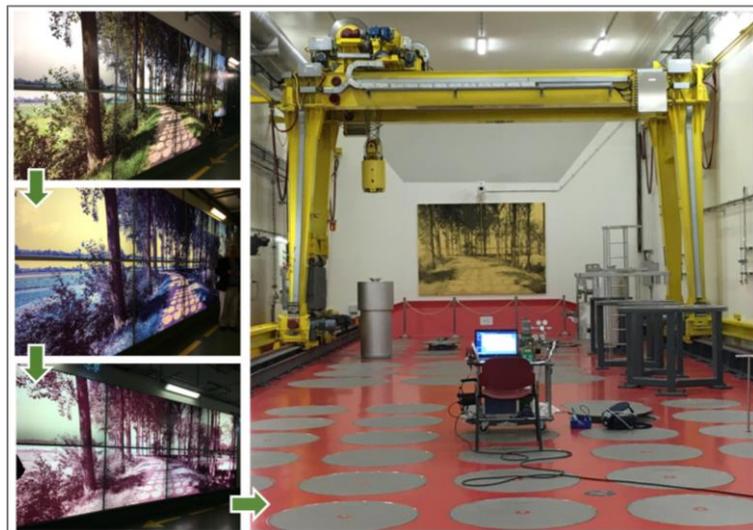


圖 9 HOBOG設施內部空間藝術創作概念示意圖

HABOG 集中貯存場內考察由 COVRA 保健物理主管 Jeroen Welbergen 先生帶領，參觀動線由 HOBOG 設施入口之廢棄物接收區、處理區(熱室)至高放射性廢棄物貯存區，參觀最後至貯存經再處理的高放射性廢棄物

(HLW)及實驗用的用過核子燃料(SNF)之貯存室，參訪團並於貯存井上方合影留念，地面灰色圓圈即為貯存井，貯存井蓋板下方 1~9 m 深度即貯放該類高放射性廢棄物。令人感到驚訝的是參訪 HABOG 貯存場過程中，全程無須穿戴任何防護裝備，全團只需 1 人代表配戴個人輻射劑量警報器(EPD)結束參訪時出場計讀該警報器之輻射劑量讀值為「零」，且參訪過程中可任意拍照，相較之前瑞典、法國參訪行程中的處置場或相關設施，嚴密的安檢、個人輻防措施與攝影保密規定，荷蘭 HABOG 顯得更加公開、透明，也顯現出 COVRA 對其放射性廢棄物處置安全防護的絕佳信心。



圖 10 HOBOG設施考察照片集錦

肆、瑞典、法國、荷蘭之核後端營運資訊綜整

本章就考察瑞典、法國及荷蘭三國之核後端營運資訊做綜合性重點整理，分別就核能營運及政經環境、核能後端營運策略二大項進行說明。

一、瑞典

(一)核能營運及政經環境

瑞典因早年受車諾比事故影響，國內對於是否維持核能發電一直有所爭議，原於 2014 年底由社會民主黨(Social Democrats)及國會第四大黨綠黨(Green party)組成聯合政府，其能源政策改採逐步取消核電，除加速屆退核電機組之除役，亦不再新建或延役現有核電機組，且須提高再生能源及現有能源效率，以取代核能；然，2016 年 6 月當政府與在野黨審視國內用電情形，體認現今再生能源尚無法因應全國能源需求，考量能源供應安全、低環境影響及成本競爭力等因素，終究還需仰賴核能發電，故達成重啟核電共識，因而針對 2017-2020 年進行除役之 3 部機組，同意核發新建核能機組銜接，但設定 2040 年達到 100%再生能源之目標。

瑞典之發電係以水力及核能為主(各佔約 42%)、再生能源次之(約為 15%)、火力發電僅佔 1%。全國境內共有 4 座核電廠，共 12 部反應爐機組，至今已關閉 3 部，預估至 2020 年將減至 6 部機組，機組營運情形如下表所示：

表 2 瑞典核電廠機組營運情形一覽表

Reactor	Type	Net MWe	商轉年	預定除役年	除役原因
Barsebäck 1	BWR	615	1975	1999, 除役中	政治因素
Barsebäck 2	BWR	615	1977	2005, 除役中	政治因素
Oskarshamn 1	BWR	473	1972	2017 - 2019	—
Oskarshamn 2	BWR	638	1974	2020 (2015 年永久停機)	—
Oskarshamn 3	BWR	1,400	1985	2035 - 2045	—
Ringhals 1	BWR	878	1976	2020	—
Ringhals 2	PWR	807	1975	2019	—
Ringhals 3	PWR	1,062	1981	2041	—
Ringhals 4	PWR	938	1983	2043	—
Forsmark 1	BWR	984	1980	2040	—
Forsmark 2	BWR	1,120	1981	2041	—
Forsmark 3	BWR	1,187	1985	2045	—

(二)核能後端營運策略

1. 核能後端政策與分工策略

瑞典的核能後端政策形成於 70 年代，於 80 年代初作成明確決策，包含：

- (1) 明確的核能後端業務分工－由專責機構 SKB 負責放射性廢棄物營運；
- (2) 核能後端基金之設立；
- (3) 放射性廢棄物採直接處置，但用過核子燃料採集中式貯存；
- (4) 以海運做為放射性廢棄物主要運輸方式；
- (5) 啟動用過核子燃料處置研發計畫

核能後端業務分工情形如下：

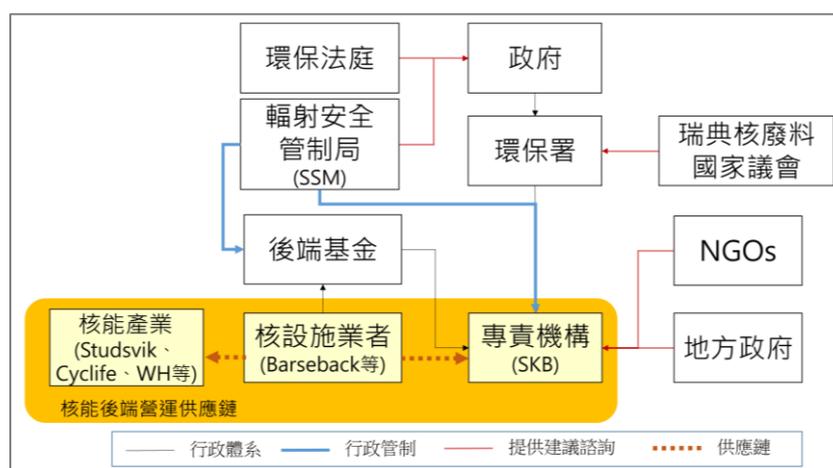


圖 11 瑞典核能後端分工策略示意圖

瑞典之核能後端營運基金係專用於除役及放射性廢棄物管理，由核設施業者依發電量提撥，由政府指定的委員會獨立運作與監管，SKB 每三年重新估算送請輻射安全管制局(SMA)同意。

2. 放射性廢棄物營運策略

瑞典的放射性廢棄物營運政策形成於 70 年代晚期、80 年代初決策，由 SKB 提出，主要概念為：

放射性廢棄物採「直接處置」方式，惟如最終處置設施尚未完成前，用過核子燃料以海運運送至集中式中期貯存設施 CLAB；而運轉廢棄物與其他產業產生的低放射性廢棄物則運至短半化期低放射性廢棄物最終處置設施(SFR)處置、極低放射性廢棄物直接於電廠內設置處置場以地表掩埋方式處置，惟因 SFR 因貯量已近滿量，目前進行擴建作業中；此外，長半化期低放射性廢棄物最終處置設施(SFL)及用過核子燃料最終處置設施亦正進行申照、規劃、設計等作業中，在

完成前將暫時貯存於核設施內。

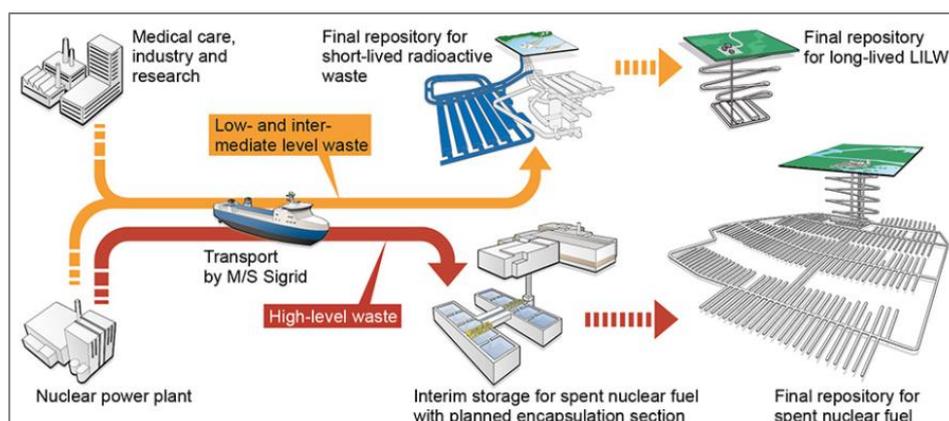


圖 12 瑞典SKB放射性廢棄物營運概念示意圖

(資料來源：<http://www.skb.com/our-operations/the-swedish-system/>)

瑞典之放射性廢棄物符合法規可豁免管制部份即予放行，視同一般廢棄物處理；如低於一定活度以下，可進行再處理後外釋，其中最重要的則屬廢金屬，將其熔融成為錠材，經轉售予相關工業廠商回收再利用。

3. 核設施除役策略

目前瑞典總共有 4 座核能電廠，共 9 部 BWR 型及 3 部 PWR 型核電機組。其中共有 2 部機組正在除役中，包含 Barsebäck 核電廠 1 號及 2 號機；而 Oskarshamn 核電廠的 2 部機組已永久停機並準備進入除役階段。

瑞典的除役策略為：

- (1) 採取「拆除策略」。
- (2) 管制機關對設施業者之最大要求為「安全」，設施業者可於該前提下，提出除役計畫，場址於除役時需明確說明最終除役目標，但場址未來之使用方式完全由業主自行決定。
- (3) 瑞典西屋公司針對核電廠除役作業，配合 SKB 之核能後端營運策略提出除役 D&D (Decontamination & Dismantling) 範疇管理體系，從初步規劃、用過核燃料退出爐心、停機後電廠重新配置、電廠輻射特性調查、除污、拆除、放射性廢棄物管理、外釋及拆廠、廠址釋出及放射性廢棄物運輸及最終處置等依其實施順序所列之十大範疇，而於進行除役規劃時，則係由核能後端營運策略之終點向起點往前推之 **Bottom-up** 方式進行規劃。

4. 用過核子燃料最終處置設施選址及誘因機制

(1) 選址過程

A. 場址調查：自 1977 年起到 1985 年進行放射性廢棄物處置場

址調查及評選工作，於瑞典整個國境範圍內，純粹以「專業技術考量」進行地質資料蒐集、比較及評估，瞭解可能場址區位。於選址調查過程中，SKB 也吸取了寶貴的經驗，包含當地居民積極響應計畫的重要性。

此外，SKB 於 Oskarshamn 設立之 Äspö 硬岩地下實驗室(泛用型)做為最終處置技術研發及對外溝通重要基地，成為其後續選址推動成功最重要助力。

- B. 初步徵詢地方意願：SKB 於 90 年代，主動建議 8 個地區，並透過徵詢地方是否有意願參與選址作業；此 8 個地區包含 Nyköping、Oskarshamn、Östhammar、Tierp 以及 Hultsfred 等 5 處有核能設施。過程中有 2 個地區表達不願意，再經技術與安全評估，最後僅剩 Oskarshamn 自治區的 Laxemar，及 Östhammar 自治區之 Forsmark 兩個地區。SKB 自 2002 年到 2007 年於該 2 地區進行深度現地調查，包含現場試驗鑽探等相關地質及水文調查、生態學和社會影響研究等評估作業。於深度調查期間，該 2 自治區始終對於未來最終處置設施計畫表達強力支持態度，民調結果支持率始終高於七成以上。
 - C. 確定候選場址：SKB 最終於 2009 年根據安全評估結果，確定最終處置候選場址為 Forsmark/Östhammar。
 - D. 向主管機關申辦最終處置場址作業：瑞典於 2011 年完成 Forsmark 最終處置安全分析報告，2016 年取得瑞典輻射安全管制局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)的認可後，再向環保法庭提報審查(已於 2017 進行中)，一旦通過，則中央政府將請地方政府表達最終意向。
 - E. 地方政府最終意向表示：由於瑞典並未於法規強制規定地方政府之意向表達方式，SKB 於確定候選場址前，即請地方政府說明「如成為候選場址，未來將如何表達最終意向」，於 Oskarshamn 自治區說明將直接由地方議會決議方式辦理，而 Östhammar 自治區則表示將透過地方公投瞭解民眾意願，作為地區首長決策之參考」。故未來一旦 Östhammar 自治區的 Forsmark 場址通過環保法庭審查，即會舉辦地方公投，決定是否同意該場址設置最終處置設施。
- (2) 選址作業相關誘因機制：為感謝地方協助及支持最終處置設施選址作業，SKB 提出創造經濟效益高達 15-20 億元瑞典克朗之「地方價值倍增計畫(Added-value program)」，該計畫之目的在於提出

讓地區能長期永續發展為主之區域共榮方案，內容包含由 SKB 或其計畫承商，以投資地方建設、商業活動、工業發展、增進地方福利措施、增加地方就業機會等方式，透過 SKB 公司及地方共同討論，議定對雙方均有利的機制。SKB 公司強調該計畫非補償或回饋性質，而係立基於地方將因該最終處置設施之設置而共榮共生。

5. 利害關係人溝通策略

SKB 公司與 Barsebäck 電廠於推動利害關係人溝通策略上，均先分析確立溝通的地區範圍、鎖定關鍵群眾溝通對象、設定優先順序，並根據不同溝通對象，如透過地區居民的生活型態調查，採取靈活且合適的溝通方式。

(1) 資訊之公開性、透明性、廣泛性：

本次考察的各設施均強調資訊的公開性、透明性與傳播的廣泛性是溝通成功的關鍵。於各類公眾媒介(如設施網站、報章雜誌等)傳播最新資訊予溝通對象。

(2) 開放設施參觀：

SKB 之「硬岩地下實驗室(Äspö-HRL)」，即為其最重要之最終處置技術展示及溝通平台，該設施除做為地質處置調查、評估及工程技術的現地試驗及技術發展實驗室外，亦開放對一般民眾參觀，且無任何條件限制，透過地下實驗室解說員生動的說明、隨處可見解說看板、親眼見證未來用過核子燃料及其他高放射性廢棄物之處置環境、方式、防護障壁措施等，讓所有瑞典人民瞭解政府有能力從事放射性廢棄物處置，解除人民對放射性廢棄物處置場的疑慮，而每年逾一萬以上民眾參訪人次，也發揮極大溝通效益。另一方面，如 Barsebäck 電廠，於電廠停機除污完成後，開放電廠參觀，在電廠接待大廳，設立核能教育資訊中心，傳遞能源、核能及核電廠除役資訊，並有電廠現場導覽行程，由於相關設施已完成除污作業，民眾可近距離觀察電廠設施；此外，電廠雖仍屬核電工業設施，卻強調該參訪並無年齡限制，歡迎家庭閤家參訪，只要對電廠有興趣民眾皆可預約參觀，可見其欲藉由轉換電廠為科普教育設施，與民眾拉近距離，化解一般民眾對於核設施排拒之心理，每年參訪人數逾上萬人次。

(3) 深入民眾生活的溝通活動

核設施所在地通常地處較為偏僻地區，故常為地方經濟重要命脈，與地區人民工作及生活息息相關，SKB 及 Barsebäck 電廠均採取 door to door 之家戶拜訪方式，進行晚間廚房溝通，個別進行關鍵群體溝通，另一方面，也積極參與投入地方活動，如贊助地方公眾

活動、配合節慶活動設立攤位、進行路口答詢等，將處置需要性及技術的溝通作業，完全融入利害關係人(Stakeholder)的生活。

(4) 核能後端科普教育從小紮根

瑞典積極投入學生的科普性教育，製作放射性廢棄物相關教材提供學校教學研討之用、舉辦校外教學、最終處置小導覽員夏令營等。

瑞典的核能後端營運溝通模式是屬於全面性的積極溝通，且有策略性、方法性及優先順序性的溝通，尤其，SKB 的溝通方式已被國際原子能總署(IAEA)列為經典案例(Case Study Example-Successful stakeholder involvement in Sweden in the site selection process) (IAEA, 2009)，有其值得深入研究之處。

二、法國

(一)核能營運及政經環境

法國為歐洲核能發電領導國，境內共有 58 座核電廠除已有 8 座核電廠共 12 部機組正在進行除役作業外，其中近半數核電廠為 1970 年代與 1980 年代興建，至 2020 年後將屆 40 年運轉年限，故目前法國核電主管機關「法國原子能安全總署(ASN)」，已訂至遲於 2019 年將發布核電廠是否得延役之最終決定。

法國於 2015 年 7 月 22 日通過法國能源轉型法(La loi sur la Transition Energétique)，設定包含於 2025 年前將核能佔比由目前的 75%降至 50% 目標，並限制核能發電容量上限為 63.2Gwe，同時設定至 2030 年再生能源佔比需提昇至 40%(目前為 18%)，該法案亦就化石燃料使用量、溫室氣體排放量、整體能源消耗量等設定不同減量目標。

(二)核能後端營運策略

1. 核能後端政策與分工策略

法國於 1979 年成立專責機構 ANDRA，1991 年獨立設置，於 2006 年立法確立其為全法國境內放射性廢棄物之管理及處置之唯一負責機構，專責全法國境內放射性廢棄物之接收、管理及處置，而核設施業者負責設施除役工作。

核能後端業務分工情形如下：

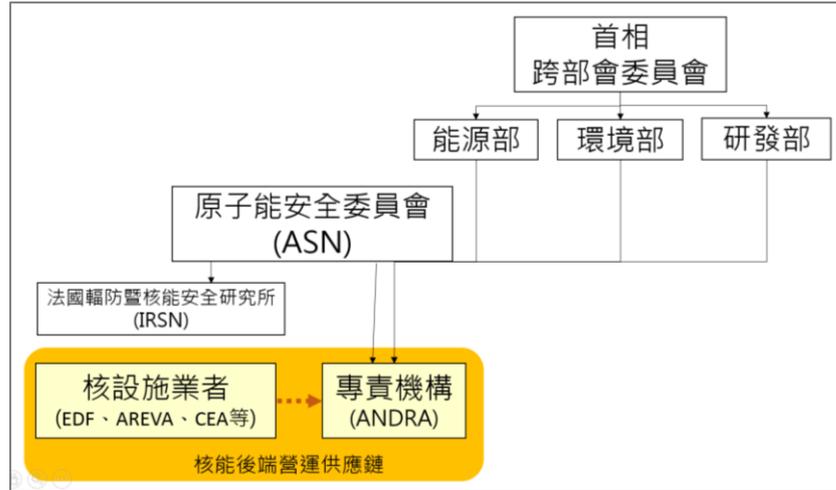


圖 13 法國核能後端分工策略示意圖

法國之核能後端營運基金係專用於除役及放射性廢棄物管理，原則上各核設施業者需自行提撥並管理，業者需確保其餘裕性及可支用性，並每三年重新估算送請國家財務評估委員會審核評估。

2. 放射性廢棄物營運策略

法國的放射性廢棄物營運政策主要概念為：採「封閉式循環系統」，核設施所產生的用過核子燃料經過再處理後，產生殘留之玻璃固化體或超鈾廢棄物(TRU)產物，才進行地質最終處置，目前有 Cigeo 地質處置設施計畫進行中，預計 2018 年申照、2025 年開始工業先導營運階段(industrial pilot phase)、2030 年正式營運；運轉廢棄物則於中低放射性廢棄物(CSA)與極低放射性廢棄物處置場(CIRES)進行地表處置。

ANDRA 制定處置場接收標準，要求核設施業者須將放射性廢棄物依各類型最終處置場接收標準進行處理、包裝及運輸至最終處置設施。於法國，依照環保法規，放射性廢棄物都屬放射性物質，原則上不能再做任何回收再利用；而廢棄物處理目的在於達到廢棄物體積最佳化目標，並改善廢棄物包裝品質、找到特定廢棄物類型的處置辦法。

3. 用過核子燃料最終處置設施選址及誘因機制

針對高放射性廢棄物處置場址，法國的選址作業，堪稱世界特例；同時考量代議政治及科技專業是其特點：

(1) 選址過程

- A. 場址調查：法國在 1986 年即進行全國篩選，產生 36 個具潛力的地區。主要的考量因素包括海拔 1500 公尺以下，避免

地質活動活躍之地區，儘量選擇低度或未開發地區等；在地質岩層種類上，曾考慮花崗岩(granite)、片岩(schist)、片麻岩(gneiss)、泥岩(mud rock)、及鹽岩(salt rock)等。

- B. 確定候選場址：在 1990 年代初，由國會指派執右派及左派政黨各一位國會議員(Bataille 及 Biraud)負責推動選址作業，參考專責機構 ANDRA 的建議，並經由國家科技評估委員會確認，於一年內即決定高放最終處置場址於 Bure/Meuse，隨即於 1994 年進行地下實驗室建設。
 - C. 提報深地質處置可行性評估報告：歷經約 15 年的調查評估作業，ANDRA 於 2005 年底彙整 15 年研發心得及 Bure 泥岩地下實驗室成果，向政府提出 Dossier 2005 報告，證明地下實驗室周圍的 250 km²可進行深地質處置之可行性；該 250 km² 範圍係根據地質岩層(Callovo-Oxfordian)的分布範圍而定義。後續根據 ANDRA 的研究成果，法國國家科學評估委員會(National Scientific Assessment Committee, CNE)明確支持 Bure / Meuse 為適合的候選地點。2007 年完成地下實驗室，開始進行相關最終處置相關現地實驗工作。
 - D. 擇定最終處置場區位：ANDRA 於 2009 年底，根據地區發展特性由此 250 km² 範圍內，向法國政府建議所需之 30 km² 區域，並展開在此 30 km² 區域內的地質調查，且研究地面設施之佈置方案。
 - E. 提出 Cigeo 專案計畫及區域發展計畫(2012 年)
 - F. 公眾辯論：ANDRA 於 2013~2015 年根據法國法令要求，進行民眾溝通及意見收集。ANDRA 主要負責民眾溝通，公眾辯論則由法國獨立機構，統一辦理民眾辯論，收集民眾意見，做為後續改善的參考。
 - G. 準備申照文件：2016 年 ANDRA 為申照提出了設置可逆性報告(Position on reversibility)及設施營運管理計畫。
 - H. 向主管機關申辦最終處置場址作業：已於 2017 年起申辦，2021 年開始建設工作，2030 年正式營運。
- (2) 選址作業相關誘因機制：
- 法國透過執行單位及地方共同討論，議定對雙方均有利的機制，並強調不補償個人，而是增進地區經濟發展，與地區共榮，該激勵方案包含：
- A. 投資公共建設於設置初期(1988~1995 年)，ANDRA 投資設施所在 3 個市鎮(Soulaines Dhuys、Epothemont、Ville au Bois)及鄰近地方行政區(Aube 區 和 Haute Marne 區)之行政機構於公共建設等公眾福利設施，總計約 880 萬歐元(約佔 CSA

建設經費之 3.5%)。

- B. 就業機會：CSA 處置設施所在的 Aube 行政區屬人口密度低、開發較慢的農村社區，設施之設置，直接或間接製造超逾幾百個就業機會。
- C. 地方採購：ANDRA 採取盡可能與地方企業合作，鼓勵外部企業與當地設立分部，以帶動地區經濟，並協助地方企業取得核能品質標準，提昇其競爭力等作為。以 2015 年為例，Aube、Haute-Marne、Meuse 地區的全部採購金額為 480 萬歐元(佔設施採購總額 25%)。ANDRA 強調，此種間接性的地區激勵方案，相較之下，對所有利害關係人與 ANDRA 之受益更大。
- D. 稅金補貼地方：ANDRA 每年繳納包含房產稅、公司營業稅、額外處置稅、核能設施稅等其他各項稅金予地方與國家(地方所收稅金即佔總稅金的 60%，佔其年度預算 50%~80%)。其中，額外處置稅屬特別稅，係 ANDRA 專用於地方，供地方代表能有足夠資金實現其對地方福利與建設之承諾。

4. 利害關係人溝通策略

- (1) 依利害關係人之屬性設定溝通目標
 - A. 內部利害關係人—員工之溝通目標：為讓他們瞭解組織目標、自身對 ANDRA 的價值與貢獻，進而成為「ANDRA 的對外溝通大使」。
 - B. 外部利害關係人之溝通目標：係建構對 ANDRA 的信任感與創造連結性，此間即仰賴資訊的透明度、地區整合性、參考資訊來源、對放射性廢棄物的理性認知。
- (2) 資訊提供之廣泛性、簡易性與透明性：ANDRA 為法國境內唯一負責放射性廢棄物處置機構，為所有與放射性廢棄物相關資訊來源，其所發布資訊包含國內外之放射性廢棄物營運相關各類資訊，強調所有發布之專業性資訊，需轉化為一般人能理解、淺顯易懂的溝通語言，力求資訊簡單明瞭，以各種角度，重點式提供資訊，但不隱瞞任何真相，也不強加自身觀點。
- (3) 「地方資訊委員會(CLI)」溝通平台：各設施均建置獨立之「地方資訊委員會」，做為大眾與 ANDRA 之對話平台，成員包含全國及地方政治人物(50%)、地方代表(10%)、地方商會(10%)及企業代表(10%)，ANDRA 的身份是受邀參與者(但負責提供處置設施相關營運活動資訊)，中央政府及管制機關 ASN 亦受邀參與該會議，主席則請市議會主席擔任。該委員會主要任務為：
 - A. 提供資訊給一般大眾。

- B. 進行研究和評估，包括流行病學研究，並可針對處置設施的水及氣體排放進行相關量測和測試。
 - C. 緊急事件或事故通報。
- (4) 定期與不定期的調查作業：針對大眾對放射性廢棄物的任何疑慮、應用及期望，提供一些全國性或地區性的專業性調查，定期發布年度調查報告；同時，也進行地區民眾調查，瞭解民眾對 ANDRA 及處置設施的意見。
- (5) 有效利用各種可行溝通媒介：依據溝通對象屬性，提供入門版、初級版及專業版文宣資料，發行年報(需正式提報予 CLI)、期刊雜誌，並於機構網站、社群網路(如 twitter、facebook)發布資訊。
- (6) 舉辦各類型溝通活動
- A. 設施參訪：於處置設施設置訪客接待中心，中心內設有處置場模型、展品、影片及多媒體動畫等，並歡迎各界申請參訪導覽，以 2014 年為例，各設施累計有 14,000 人次參訪，其中 CSA 處置設施即有 3,049 人次。
 - B. 地方整合性活動：ANDRA 於地方不定期舉行溝通會議，依區域性文化與地方合辦活動，如地方業者採購會議、年度民選官員會議、地區性打獵活動，以建立溝通管道。ANDRA 溝通作業負責人，係地質處置技術專業人員，可充份傳遞正確的處置概念。
 - C. 核能後端科普技術與教育：ANDRA 亦積極投入各種型式科普性技術與教育活動，透過舉辦學生及青年導演之年度放射性廢棄物影音製作競賽、兒童營、學生研討會與論壇、科學節活動等，以期核能後端知識傳播並深植民眾心中，讓民眾瞭解其運作原理，進而不排斥、抗拒。

三、荷蘭

(一)核能營運及政經環境

荷蘭之核能發電佔總發電量比率極低，約僅 3.5%，主要為煤及天然氣之火力發電，並全力發展再生能源，主要為離岸風力。境內僅 2 座核能電廠，目前僅 1 座核電廠仍商轉中，1 座已永久停機進入安全貯存狀態。荷蘭國內之核能產業除核能電廠外，尚有濃縮鈾工廠—Urenco、2 間核能研究機構及其他 1,300 項持有輻射工作許可的工業、醫療等公司。

荷蘭之核能政策原決定逐步淘汰核電，在節能減碳主要考量下，2006 年後核電再度被提上檯面於國會檢討，最後要求於 2016 年有關當局必需就現存高放射性廢棄物決定最終處置策略。

(二)核能後端營運策略

1. 核能後端政策與分工策略

荷蘭於 1982 年成立荷蘭放射性廢棄物專責機構 COVRA，為境內唯一負責放射性廢棄物之運輸、處理、貯存與處置機構，而核設施業者負責設施除役工作。

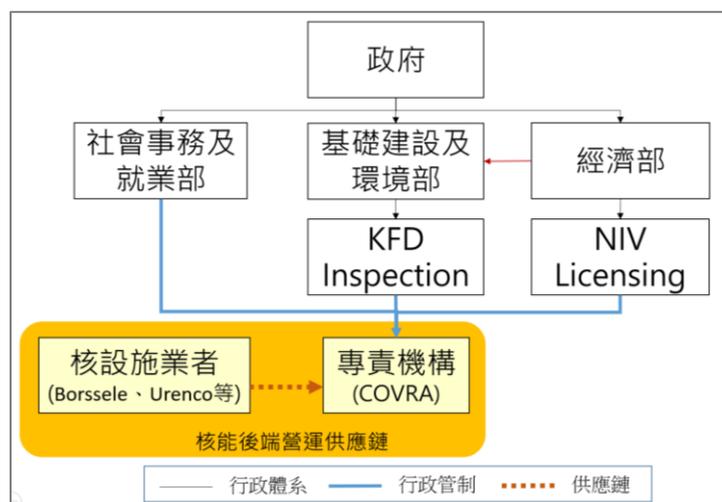


圖 14 荷蘭核能後端分工策略示意圖

COVRA 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，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。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。

2. 放射性廢棄物營運策略

荷蘭自 1984 年擬定放射性廢棄物營運策略：

- (1) 荷蘭境內產出的放射性廢棄物最終由 COVRA 所有；
- (2) 所有放射性廢棄物(包含高放射性廢棄物及低放射性廢棄物)均貯存於同一場址內，至少貯存 100 年；
- (3) 放射性廢棄物之處置僅考慮深地質最終處置方式，且國內處置及國際處置研究方案雙軌併行檢討。

於荷蘭，並無低於一定標準之放射性廢棄物外釋規定，符合豁免標準之廢棄物亦貯存於 COVRA 設施中。電廠現如有進行金屬熔融處理，係採送國外處理後再將剩餘放射性廢棄物回送至 COVRA 設施貯存。

荷蘭認為此種策略至少有下列 6 種正面效應：

- (1) 民眾對中期貯存接受度高。一般民眾認為藉由今日社會進行實質管制比利用分析模式來證明深地層處置沒有危險較具信心。

- (2) 貯存 100 年的期間可讓後端營運基金孳息達到放射性廢棄物處置所需費用之規模。在 100 年期間內，國際上或區域上對於放射性廢棄物可能找到共同的解決方法。
- (3) 未來藉由國際或區域合作將更有經濟效益，同時可得到更高的安全標準及更可靠的管制措施。
- (4) 貯存 100 年期間，部份會產生熱量的高放射性廢棄物將已冷卻至無需再冷卻之程度。
- (5) 貯存 100 年期間，有大量的低放射性廢棄物將衰減至輻射背景值以下之程度。
- (6) 貯存 100 年後，對於放射性廢棄物將有可能會出現突破性的處理技術或營運方法。

3. 核能電廠除役策略

荷蘭的除役法規規定廠址拆除後，最終場址須恢復為無限制使用狀態。在運轉期間，荷蘭的電廠必須提供 1 份可以安全有效地完成除役的計畫書以取得除役執照，包括廢棄物管理及紀錄項目。除役計畫每 5 年根據最新情況更新 1 次，並送監管部門核准。

荷蘭僅有兩座核能電廠，Dodewaard 核電廠已於 2002 年取得除役執照，設施業者決定採取安全貯存策略至 2045 年後才開始拆除作業；Borssele 核電廠(~515MW)仍商轉中，預計於 2034 年運轉屆期除役，依 2006 年之政策未來電廠除役須採「立即拆除」策略。

4. 放射性廢棄物集中式貯存設施選址及誘因機制

(1) 選址作業

COVRA 於放射性廢棄物集中式貯存設施選址方面，荷蘭單純將其視為工業廢棄物處理設施，選址即以工業區為目標，建造於工業區內，緊鄰 Borssele 核電廠及 HEEREMA 海事工程設備(如離岸探油平台、風力發電機腳架)製造工廠。並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之策略與經驗，擬定適當溝通策略，針對設施安全功能，與地方民眾及利害關係人進行充分溝通討論，並將其意見納入安全管理措施考量，進而促使當地民眾同意 COVRA 設施於該地建造與營運。

(2) 選址作業相關誘因機制

由於荷蘭將放射性廢棄物集中式貯存設施視為工業設施，除提昇地方就業層次、增加地方就業機會，間接帶動地方發展外，並無

其他實質補償或誘因機制。

5. 高放射性廢棄物最終處置場選址作業

由於荷蘭全境一半以上國土均低於海平面，且地下水位高，而人口密度高、人民具有高度環保意識，所以荷蘭國內並不接受任何放射性廢棄物地表或近地表處置之選項。荷蘭的核廢料管理策略是進行放射性廢棄物的集中式貯存至少 100 年，針對最終處置僅進行基礎研究，目前鎖定與比利時相同的處置母岩泥岩(BOOM Clay)進行。

6. 利害關係人溝通策略

荷蘭的核廢料管理的公眾溝通作業，以下令人印象深刻的特點：

- (1) 荷蘭 COVRA 之溝通策略，強調溝通對等性，COVRA 的副處長 Ewoud Verhoef 先生說明「我們不是在教育民眾，而是與民眾取得連結性，進而獲得理解 (We do not educate our people, but engage with them)」。讓民眾瞭解該機構之任務與業務內容，瞭解我們在做什麼，進而願意接近它、理解它、化解不必要的恐懼，最後接受它，並成為我們設施營運的助力，甚至以擁有 COVRA 設施，而感到榮幸(COVRA 屬高專業技術行業類別，相較於該地區一般行業類別，提昇地方就業層次與屬性)。
- (2) COVRA 營運期間一切作為，均要求公開、透明、可見度高。
- (3) COVRA 在設計高放射性廢棄物貯存設施 HABOG 時，結合當地藝術家 William Verstraeten 的巧思，以鮮明的顏色及時間對比，表達出放射性物質隨時間的衰變特性($E=MC^2$, $E=hc\lambda$)，清楚地告訴民眾，隨著儲存時間的增長，放射性將隨之降低；用以論述荷蘭長期貯存核廢料的科學性基礎。
- (4) HABOG 雖然是高放射性廢棄物的貯存設施(外牆厚度 1.7 公尺)，但除了配戴輻射劑量計外，參觀 HABOG 設施的來賓不用穿戴任何防護設施，即可參觀任何設施，甚至可站在高放射性物質貯存井的正上方，離高放射性物質僅約 1.5 公尺。COVRA 認為參觀者是對 HABOG 安全貯存功能，最好的宣傳大使，因此歡迎參觀者在 HABOG 設施內拍照。
- (5) 強調核廢料的產生，不是僅來自於核能電廠，核子醫學、機場飛安檢查等應用均會產生核廢料，且核廢料的放射性會隨時間衰退。

除了上述的巧思外，COVRA 的公眾溝通作業尚包含：

- (1) 開放設施參訪：COVRA 集中式貯存設施除放射性廢棄物貯運功能外，並做為溝通重要媒介，每年逾 2,500 人拜訪，包含學校、地方代表等，儘可能接待各方訪客，以提高國內對核後端

營運業務之接受度。

- (2) 不定期至各級學校舉辦客座講座。
- (3) 架設網路平台「荷蘭核能 (Nucleair Nederland)」，提供訊息交流與溝通。
- (4) 發布各項宣傳文宣等。

四、小結

本次參訪之三國家-瑞典、法國及荷蘭，各有其不同之核能營運環境及條件，而形成了不同的核能後端營運情形。

瑞典早於 70 年代即成立專責機構、研擬核能後端政策、研究用過核子燃料最終處置並啟動選址作業，並發展核後端相關產業，於 80 年代初決定其核能後端營運政策，至 80 年代中期完成用過核子燃料中期貯存設施及低放射性最終處置設施(SFR)開始營運，再加以民間相關核能後端產業漸趨成熟，故於核能電廠營運期間，其產出之放射性廢棄物得以直接進行處置，或進行處理後外釋；此外，其自八零年代中期即設立的地下實驗室，經歷三十餘年營運，其所累積技術研發成果及兼負現場展示的溝通宣傳使命，不僅為其即將進行之用過核子燃料最終處置場奠定極堅實之基礎，針對地區特性歸劃之地區共榮方案，更使社會及地區更加理解與接納該計畫，而能順利成功推動最終處置場之選址。而於電廠除役方面，因有明確、完整的核後端營運策略，用過核子燃料可直接送至集中式貯存設施，即便低放最終處置場尚待擴建或建設，但電廠尚能在與地方溝通後，新(改)建低放貯存庫暫存除役產生之放射性廢棄物，順利展開除役作業。總結瑞典核後端營運成功的原因在於合適的組織(任務明確的專責機構)、完善的體制(完整的核能後端營運體系、中期貯存策略、技術發展與供應鏈)、高度的民意基礎(充分的民眾參與及溝通、靈活的地區共榮策略)。

法國為核能大國，早於 60 年代末期即建有低放處置場，並於 70 年代末期成立專責機構專責國內核後端營運業務，80 年代發展最終處置設施計畫並啟動選址作業，其核能產業興盛、核後端技術領先，採用用過核子燃料再處理策略，處理後殘餘的玻璃固化體廢棄物，於高放射性廢棄物最終處置場完成前暫存於 La Hague 再處理廠中，該廠不僅處理自己國家核能後端業務亦跨國協助其他國家(如荷蘭)，而該國於確定候選場址後完成之 Bure 地下實驗室及其相關研究，成為後續擇定最終處置場區位及規劃設計及至營運規劃提供重要的技術佐證資料，亦於其對外溝通宣導上扮演舉足輕重的角色。此外，法國 ANDRA 機構於推動核能後端業務長期過程中，持續投入社會與地方核後端資訊宣導、兒童核能科普教育之紮根作業，亦為成為其核後端業務發展順利之重要因素。總結法國核後端營運成功的原因在於合適的組織(任務明確的專責機構)、完善的體制(政黨的合作、跨部會的參與、前端核能技術發展及產業鏈)、高度的民意基礎(專業的信任、民眾參與及溝通、受肯定的地

區經濟發展激勵方案)。

荷蘭，也早於 80 年代初期及先知卓見設立專責機構，處理國內核能後端營運事務，亦由於逾半國土低於海平面的先天地理條件因素，促使國內擬定「國內所有放射性廢棄物僅考慮深地質最終處置方式，且於最終處置設施完成前，於單一集中式貯存設施內貯存至少一百年以上」之明快簡單卻有效之中期貯存方案；而為使社會大眾放心，該設施之營運力求透明化，並敞開大門歡迎參訪之策略，也使設施本身成為最有力的對外溝通工具，讓地區及社會接納。總結荷蘭核後端營運成功的原因在於合適的組織(任務明確的專責機構)、完善的體制(簡單而切中實際的核能後端營運策略)、良性互動的民意基礎(理性的信任、理解、溝通及接納)。

以上三國，無論是否有最終處置方案，對於放射性廢棄物處理均有相同之明確做法，即由專責機構主導並負責放射性廢棄物之中期處理、貯存及最終處置國家級策略，此做法為國際趨勢，除可使國內核設施相關業者能配合其核能後端營運策略進行後續廢料處理作業及核設施之除役作業，亦可宣示國家「妥善處置核廢料」的必要做法與決心，擺脫決策優先順序的糾葛及質疑，逐步恢復民眾對「妥善處置核廢料」的信任感，作為一個公開、穩定、具公信力之「技術整備、溝通及傳遞」的核心平台。

此外，三國所建立之地下實驗室與中期貯存設施，除做為核能後端相關技術研發基地之外，更兼負對有關利害關係人溝通、宣導及教育之使命，亦為其計畫順利推動之重要因素之一。

於核能後端相關計畫之推動則均係在社會大眾充分參與、溝通及理解，配合適合的地區共榮方案之下順利推動，並強調避免直接回饋至個人。如此做法，使得設施業者能配合明確放射性廢棄物政策，進行除役規劃，進而順利進行除役作業，而放射性廢棄物亦能妥善而有效率的處理，不致陷入進退兩難之核廢孤兒窘境，締造政府與民眾雙贏的局面。

表 3 瑞典、法國、荷蘭之核後端營運情形綜整

國家 分工	瑞典	法國	荷蘭
專責機構	SKB (私人公司，國內電力公司共同出資)	ANDRA 行政法人	COVRA (私人公司，財政部持有股份)
核能政策	逐步汰除核電	維持核能發電狀態下，穩定增加再生能源比例	不再興建新核電廠，現有核電廠運轉屆期後除役
核燃料營運系統	開放式	封閉式	封閉式
低放廢棄物外釋	有	無	無
金屬廢棄物熔融再利用	有	無	無
低放廢棄物中期貯存	有 (在廠貯存)	無	有 (集中式貯存設施，預定貯存 100 年以上)
高放廢棄物中期貯存	集中式濕式貯存 (CLAB)	用過燃料再處理廠 (La Hague)	集中式貯存設施 (用過燃料進行再處理後玻璃固化體廢棄物)
用過核子燃料再處理	無	有 (法國 La Hague)	有 (法國 La Hague)
高放最終處置	已選出 Forsmark 場址，進行規劃及申照作業中	申照階段	場址評估階段
地下實驗室	ASPO 硬岩地下實驗室	BURE 地下實驗室	無
選址誘因	地方價值倍增計畫 (Added-value program)	深耕社區活動、增加地方就業、商業採購行為、增加地方稅收等方式	提昇地方就業層次、增加就業就業機會，間接帶動地方發展
民意基礎	1. 選址過程積極參與地方活動，並鼓勵民眾參與(如參觀地下實驗室) 2. 選址之民眾參與無限制固定形式，只需能充分展現民意	1. 積極釋出相關資訊，並鼓勵民眾參觀地下實驗室 2. 積極投入地方活動與科普性教育	1. 成立選址委員會，並訂定主要選址準則 2. 尋求地方政府的合作 3. 鼓勵民眾參觀展示中心及貯存設施

伍、心得與建議事項

綜整本次赴歐洲進行瑞典、法國及荷蘭等 3 國於核能後端業務推動方式，其成功運作之心得如下：

一、合適的組織－設立專責機構專門負責放射性廢棄物營運

專責機構主導負責放射性廢棄物營運策略與其執行、核設施負責核設施之營運及除役作業、核能產業供應鏈做為技術支援，三者各司其職，其中，專責機構為核能後端營運之主心骨，須儘早成立，以主導推動整體核能後端營運系統向前邁進。

二、完善的核能後端營運體制

1. 放射性廢棄物營運策略之明確與貫徹性

放射性廢棄物營運策略(包含放射性廢棄物之處理、包裝、貯存及處置)如能及早確定，做為核設施於除役時之放射性廢棄物處理與貯存規劃遵循方針，不但可配合作最佳規劃，因而節省後續因營運策略變更而須變更設計之經費，更可避免因策略遲而未定致民眾對主辦機關失去信心。簡而言之，明確而貫徹一致的放射性廢棄物營運策略是核設施除役成功執行的關鍵。

此外，於最終處置設施未完成前，採行集中式貯存(如瑞典之 CLAB 設施、法國的 La Hague 廠及荷蘭的 COVRA 設施)之中期做法並非消極逃避，而是必要務實之做法，亦為國際趨勢。

2. 設置地下實驗室於成功推動最終處置設施有極重要地位

設置地下實驗室有兩個最主要的功用，其一在最終處置技術之發展，其二為透過地下實驗室做為溝通宣導媒介，透過地下實驗室的研究成果及實地參訪，讓外界民眾瞭解處置技術，進而願意接納。

3. 自有核能後端技術產業培育與扶植

「核廢料之處理由各國自行負責」是目前國際上之共識。受限於各國本身地理、環境條件，使得各國需發展自身核能後端營運策略，無法全然移植他國，而核能後端營運為一長期而耗費大量經費之計畫，須投入大量人力、物力與時間，最根本的做法為有計畫的向內扶植自有產業、技術與人力，於本次考察三國皆然，尤其，技術發展成熟的瑞典與法國，更將其轉變成為重要對外輸出技術與業務。

三、高度的民意基礎

1. 完善的地方共榮方案

三個國家於核廢料營運上，皆不採取個人現金回饋之作法，不約而同均

採取類似「社區共榮方案」作法，於瑞典，為價值倍增方案(Value Added Program)，如投資地方商業活動，增加就業機會、參與地方建設，振興地方經濟等做法；於法國，則為深耕社區活動、增加地方就業、商業採購行為、增加地方稅收等方式；於荷蘭，則單純僅提昇地方就業層次、增加就業就業機會，間接帶動地方發展。

2. 放射性廢棄物資訊的傳遞與有效理性的溝通

(1) 因應地方文化，建置有效率而即時的溝通對話平台。尊重民眾關切議題、主動積極溝通及擴大民眾參與機制，逐步建立信任是其共同特點。最重要關鍵即在於公開、透明及充份而即時的資訊傳遞，並且將複雜而專業的最終處置作業，以最淺顯易懂的方式傳達。尤其，資訊傳遞應立基於雙方平等的地位，不要試圖隱瞞或強加自我認知於被溝通者身上。

(2) 積極開放設施參訪，透過參訪活動，實地瞭解設施作為、見證現場環境，為核能後端業務溝通上發揮極為重要的功能與效益。

如本次參訪之 HOBOG 集中式貯存設施，雖為存放為高放射性之廢棄物，然經過完善設計規劃、處理、包裝、貯存及管理，人員可於無污染、無輻射曝露等安全性顧慮下進行參訪，從而親身實證核後端設施之安全性，即為一良好實例。

3. 核能後端科普教育的紮根

本次考察各國均強調核能後端知識建立需從小紮根，只有在相同知識理解之下，才能找到相同的語言、以相同的頻率進行溝通。為此，於本次考察三國均投入相當資源與心力進行相關活動。

我國核能後端業務營運之困境在於：

一、缺乏專責之核能後端推動機構

國際原子能機構於 1995 年出版之報告中強調「核廢料的產出是歷史的共業，核廢料的妥善處置是世代責任」(#5, IAEA, 1995)，貯存及處置設施不是虛擬設施，需要實際地點，而其涉及層面之廣，包含民意、政治、經濟、國土規劃等議題，為我全國需共同面對之問題台電公司。此外，台電公司身兼電力營運者與核廢處理者的雙重身份，於身負供電使命情形下，在執行核廢料貯存及處置任務或宣導時，較難取信於民。

二、核能後端營運基礎設施之不足

用過核子燃料乾式貯存設施如未能突破，則核電廠除役工作勢必延宕。核能相關設施有別於其他工業設施，無法說拆就拆，需先完成相關配合之基礎設施(如乾貯)後，才能依序移出燃料、除污、拆除、場址復原，達到妥適及安全除役之目的。

三、缺乏良性之溝通

我國於核廢料貯存及處置的「技術、知識及資訊」上，缺乏互信基礎與協議討論空間，長期以來，於「利害關係人」之溝通缺乏良性及理性溝通，尤其福島事件之後，不正確或不完整的核能基礎理論、營運或核後端訊息持續由各媒介蔓延發酵，進入惡性循環。

基於以上考察心得，反視我國核能後端營運發展現況，提出以下建議：

一、盡速成立獨立且任務專一的專責機構

我國應盡速成立獨立且任務專一的專責機構專責核能後端業務、民眾溝通及地方回饋。專責機構有別於現在台電公司身兼核能營運者及核廢處理者之雙重身份，任務單一、明確。此外，該機構作為一個公開、穩定、具公信力之「技術整備、溝通」的核心平台，執行核能後端營運工作，並對社會大眾傳遞正確的處置需求性、技術現況及安全性，逐步恢復民眾對「妥善處置核廢料」的信任感，藉以突破「核廢無解」的困境。

二、建構完整的核能後端營運體制與設施

1. 為能順利如期進行核電廠除役作業，應儘速推動用過核子燃料乾式貯存設施及蘭嶼貯存場貯存核廢料後續貯存方案。然，為化解目前各界對該議題之爭議及僵局，建議應展開與地方協議，設立地方溝通對話平台，方能根據地方實際需求採取對地方永續發展最有利的回饋機制。
2. 建置「地下實驗室」或類似實驗場，除做為最終處置技術研發與驗證功用、帶動國內核能後端技術發展外，更是利害關係人溝通最佳實證工具。而為順利推動，避免地方疑慮實驗場址將成為實際最終處置場址，亦可參考瑞典 ASPO 做法，於建置時，即明確對地方宣誓，該實驗室僅單純作為推動最終處置場技術發展之實驗示範場址，非為最終處置場。
3. 國內應儘早進行核後端人才、技術及產業之盤點及培育，利用現有資源並結合國內產、官、學界，整合建立技術整備與人才培育平台，推動以形成完整之核能後端供應鏈，支持國內核能後端業務發展。
4. 在選址作業上，明確的法令規範權責區分，簡單可行的選址作業程序、有充份民意基礎及民眾參與，是瑞典、法國及荷蘭於中期貯存設施及最終處置場址選址成功的關鍵。以下就技術、法規及行政程序上做以下建議：
 - (1) 在專業技術方面，國內將來選址作業的管制作業，建議以處置整體設計的安全性的論證為主，將有助於選址作業進行。
 - (2) 在法規及行政程序方面，此次參訪的三個國家於民意展現方式上，

係由地方自行決定民意表達型式採直接公投或議會代議制度，建議我國可適度參考。

三、盡速建構核能後端之技術、資訊與知識傳播平台並深根科普教育

1. 盡速由專責機構或現有處置技術團隊，籌組「處置技術整備/溝通與知識傳播平台」，進行處置技術的技術能力與人才的整備培訓、社會大眾之核能後端資訊溝通與知識傳播作業。
2. 深根下一代核能後端科普教育，依據本次國外考察心得絕對有其必要性及價值，建議除透過一般學校教育管道外，建議可採行更積極、多元化之方式進行，如透過大眾媒體(電視節目、兒童書籍與雜誌)、兒童劇團等方式擴大進行。