

出國報告（出國類別：考察）

考察德國放射性廢棄物集中式貯存技術 與參訪相關除役核設施

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：徐自生 副處長

邱顯郎 副處長

張益瑞 經理

劉興漢 經理

派赴國家：德國

出國期間：106年11月12日至106年11月19日

報告日期：107年1月2日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

考察德國放射性廢棄物集中式貯存技術及參訪相關除役核設施

頁數 _21_ 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/台灣電力公司/單位/職稱/電話

徐自生/台灣電力公司/核能後端營運處/副處長/(02)2365-3430

邱顯郎/台灣電力公司/核能安全處/副處長/(02)2366-7172

張益瑞/台灣電力公司/第一核能發電廠/經理/(02)26383501-3750

劉興漢/台灣電力公司/第一核能發電廠/經理/(02)26383501-

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：106.11.12 ~ 106.11.19 出國地區：英國

報告日期：106.12.11

分類號/目：

關鍵詞：集中式貯存(Centralized Storage)、除役(Decommissioning)、核後端營運(Nuclear Backend Management)、用過核子燃料(Spent Fuel)

內容摘要：(二百至三百字)

因核能一廠的乾式貯存設施時程延宕，造成該廠除役作業可能無法如期進行，目前本公司正在推動集中式貯存設施，供可及時開始除役的備案。德國目前已有用過核子燃料集中式貯存設施，各核能電廠廠區內也有貯存場，部分電廠正在進行除役，故本次考察，可瞭解上述作業間的關係，及如何推動與執行。另外，因德國電廠亦歷經除役時，反應爐內上有燃料存放的情形，因此亦可瞭解，核能電廠在爐心尚存有燃料時，人員及設備安全管制措施、電廠執行拆廠作業、及室內乾貯設施設計建造及營運等的經驗交流。

另外，核能電廠除役期間的相關安全管制措施，及主管機關針對除役期間，就核能電廠的安全要求等事項，有無其他法規上的特殊要求，也希望藉參訪相關組織，吸取先

進國家的優良作法。

用過核子燃料或低放射性廢棄物貯存皆需有適當的容器，而德國對於放射性貯存設施的管制，包括放射性廢棄物容器的選用、管理，及相關作業程序之擬定，皆有良好的經驗與技術，參訪廢棄物容器的製造廠商，可深入瞭解這些廢棄物容器的使用條件與限制，提供本公司選用容器時之參考。

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

(附件涉及機敏性資料，不上傳)

目 錄

| | |
|---------------|----|
| 摘要..... | ii |
| 目錄..... | 1 |
| 壹、出國目的..... | 2 |
| 貳、出國過程..... | 3 |
| 參、考察內容摘要..... | 4 |
| 肆、心得與建議..... | 25 |
| 附件 | |

壹、出國目的

因目前核能一廠的用過核子燃料中期貯存設施建設時程延宕，造成核能電廠除役作業可能無法如期進行，為了能順利開始執行除役工作，本公司正積極推動集中式貯存設施，作為核能電廠能及時除役的備案。經查德國不但已經完成集中式貯存設施，EnBW 及 RWE 電力集團的核能電廠，亦建置完成核能電廠廠址內的室內乾式貯存場，且這兩個電力集團所屬的核能電廠，目前皆有正在進行除役拆廠作業的核能電廠，由於台電公司缺乏此類經驗，因此希望藉參訪這兩個電力集團及所屬之核能電廠，以充分瞭解相關作業在這些設施中如何聯繫運作。另外，參訪核能電廠及其乾式貯存場，亦可瞭解核能電廠於停機過渡階段前期，爐心尚存有燃料時，如何執行人員及設備安全管制措施、除役拆廠作業，及室內乾式貯存設施設計建造及營運等方面的實做經驗。因此本次出國的第一個目的，希望與德國電力公司，就用過核子燃料運輸至集中式貯存設施、廠區內乾貯設施等運送技術進行研討與交流。另外，核能電廠在除役拆廠作業方面，如何進行妥善的規劃及實際作業的情形，因德國 EnBW、RWE 等電力集團，皆有核能電廠正在進行除役作業，具有豐富的經驗，故本次考察的第二個目的，即為瞭解核能電廠除役相關作業的實際規劃與執行情形。

另因我國核能電廠管制機關針對核能電廠除役開始後，反應爐內仍有用過核子燃料的狀況，在法規執行上多所質疑，因此本次考察也將拜訪德國管制機關的特許執行者 TÜV SÜD 公司，就其在核能電廠除役期間的相關安全管制措施，及核能主管機關對於除役期間，在核能電廠的安全要求等事項上，與正常運轉或大修期間有何相同或相異之處，進行深入的討論，希望借取先進國家的優良作法供我國參考。

由於無論用過核子燃料或低放射性廢棄物貯存，都需要有適當的容器，而德國對於放射性貯存設施的管制，包括放射性廢棄物容器的選用、管理，及相關作業程序之擬定，皆有良好的經驗與技術，因此也利用本次考察機會，順道參訪上述廢棄物容器的製造廠商，以瞭解這些廢棄物容器的使用條件與限制，將來提供本公司在選用容器時之參考。

貳、行程

本次出國考察行程，主要在核能電廠除役作業及除役產業，共計拜訪了德國 EnBW 及 RWE 兩家電力公司、德國核能產業包括核能電廠除役的第三者查證機構 TÜV SÜD 公司、及高低放放射性廢棄物貯存容器製造公司 GNS 等。出國行程如表 2-1 所示，本次出國考察期間自 106 年 11 月 11 日至 11 月 19 日共 8 天。

表 2-1 考察德國核能電廠除役及參訪相關放射性廢棄物貯存容器行程表

| 日期 | 地點與行程 | 工作內容 |
|----------------|--------------------------|---|
| 11 月 12 日 | 台北→德國法蘭克福 | 去程 |
| 11 月 13 日 | 德國法蘭克福→德國菲利浦斯堡 | 路程 |
| 11 月 14 日 | 德國菲利浦斯堡 (晚上於德國慕尼黑住宿) | 拜訪德國 EnBW 電力公司及該公司轄下之 Philippsburg 核能電廠 |
| 11 月 15 日 | 德國慕尼黑 (晚上於德國杜塞爾多夫住宿) | 拜訪 TÜV SÜD 公司總部參加 |
| 11 月 16 日 | 德國杜塞爾多夫 | 拜訪 RWE 電力公司 |
| 11 月 17 日 | 德國杜塞爾多夫 (晚上於德國法蘭克福住宿) | 拜訪 GNS 公司總部參加，並參觀放射性廢棄物容器組裝工廠 |
| 11 月 18 日-19 日 | 德國法蘭克福→台北 | 回程 |

參、考察內容摘要

3.1 考察德國 EnBW 電力公司 Philippsburg 核能電廠 1 號機

3.1.1 前言：

德國 EnBW 電力集團擁有 Obrigheim(KWO); Philippsburg(KKP); Neckarwestheim (GKN) 等 3 個核能電廠共 5 部機組，上述 3 個電廠除 Obrigheim 電廠只有 1 部機，目前正在除役中，其他 2 個電廠的 1 號機也皆在除役中，另外 2 部機預定在 2019 及 2011 年停機。本次參訪 EnBW 電力集團，該公司安排在正在進行除役的 Philippsburg 核能電廠 1 號機進行討論與現場查訪。目前此電廠的 1 號機正在進行除役，但是龐大冷卻水塔尚未進行拆除，該公司目前規劃在拆除後的空地上，興建由北方離岸風力電場送來的直流電，經過 DC-AC 變電站，轉變成一般電力用戶使用的交流電（興建中）。



圖3.1.1 德國 Philippsburg (KKP) 核能電廠

註：將來該電廠除役後，將在原來冷卻水塔處，改建成AC-DC變電站（如圖3.1.1左側）

目前歐洲共有 76 部裝置容量大於 100MW 的機組，已經停機除役，其中有 28 部機正在除役中，2 部機已經完成除役，其他則因各種原因暫緩進行拆除工作。由於每部核能機組的除役費用約數億歐元，由此可知，除役作業已經成為非常龐大且有潛力產業，因此歐洲的電力公司皆投入此項產業中，並努力尋找國際商機，今年即有英國、法國、瑞典、德國、

美國等國家的電力公司、核廢料處理專責機構、或工程顧問公司等來拜訪本公司。歐洲核能電廠分佈情形如下圖所示：

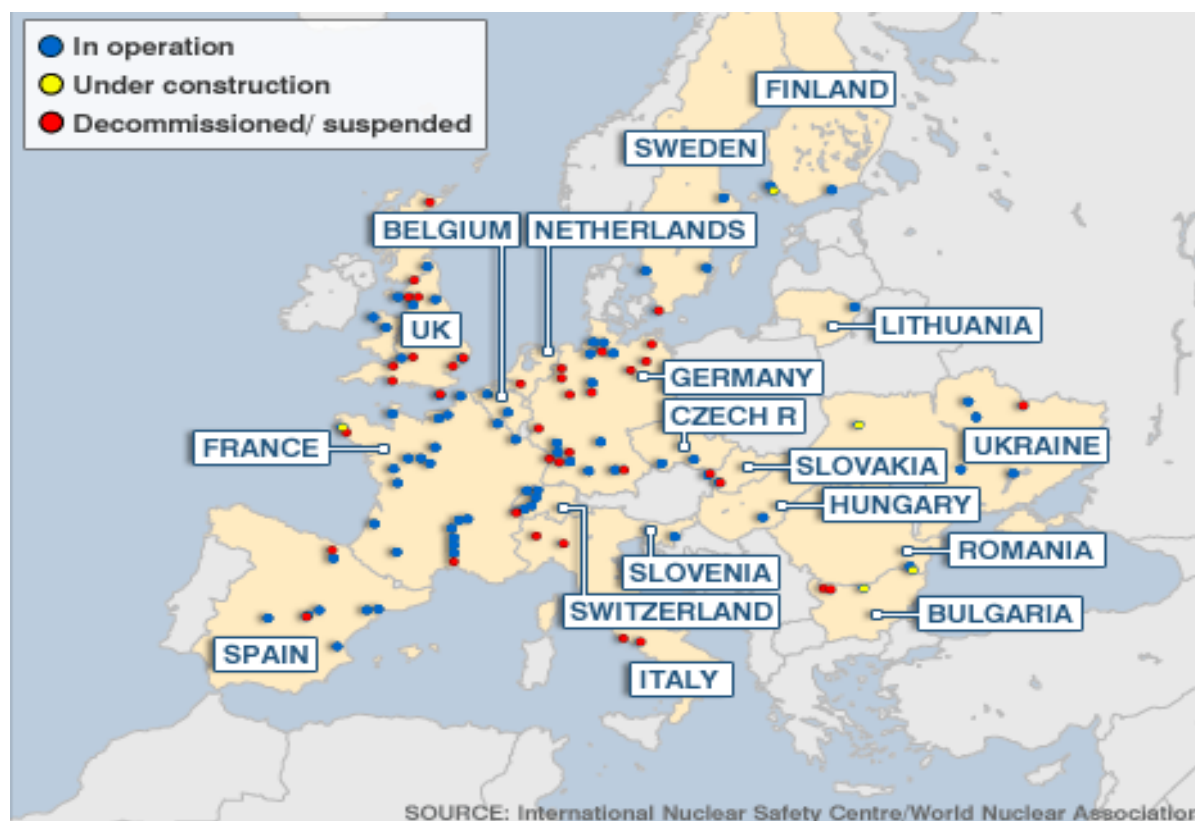


圖 3.1.2 歐洲核能電廠分佈圖

3.1.2. EnBW 電力集團核能電廠除役規劃、現況、與策略

歐洲在核能電廠除役作業上，因為起步的早，亦經歷了從錯誤中學習的歷程，目前採用的做法皆相似，德國電力集團亦同。目前德國電力公司針對核能電廠除役作業，都是採取自辦的方式辦理，有的是直接由原來運轉中的人員轉型辦理，有的則成立專責除役的子公司負責。EnBW 電力集團即是成立專責負除役的子公司 Ruckbauservice，負責所轄 5 個核能機組的除役作業。由於該公司長期從事核能電廠除役相關工作，因此目前已經具備除役顧問、廢棄物管理、訓練、引進新技術等多項服務能力，也已經有 6 家客戶，其中 4 家是其他電力公司請該公司擔任顧問。

本次參訪，EnBW 安排在 Philippsburg 的 1 號機進行，主要目的在可以進入實際正在除役的現場，看看現場作業如何安排、規劃，然後可以直接進行討論，可以更清楚瞭解如何規劃及執行。在除役現場看到許多鐵箱，拆下來的物件都放置在這些鐵箱中，並有文件清楚標示來源，這些物件若需要除污或其他進一步處理，就放到 20 尺的標準貨櫃中，送到

另外新建的廢棄物處理中心處理。除役作業一般而言，是以房間及系統來區隔，系統及設備經過除役作業後，廠房空間的差異狀況如下圖。



圖 3.1.3 廠房設備拆除前與拆除後的比較圖

由於德國目前尚未完成用過核子燃料最終處置設施，因此運轉期間所產生的用過核子燃料皆放置在各核能電廠區的乾貯設施內，另外德國也在境內興建了 2 個集中式貯存場，但是因為民眾抗爭，因此目前無法將核能電廠中的用過核子燃料運送至集中式貯存場。核能電廠內建置的乾式貯存設施，外觀及內部情形如下圖，但因該電廠 2 號機仍在運轉中，依核子保防規定不能照相，故以網路上相似建物及內部情形的照片取代進行相關說明。



圖 3.1.4 乾貯設施外觀

乾貯設施內部放置用過核子燃料的情形如下圖，德國係以法律規定使用金屬護箱型式的乾貯桶，每個重約 120 噸，廠房內設置吊車，以將乾貯桶吊運至定位：



圖 3.1.5 乾貯桶在室內放置的情形及真實比例（以真人比例展示）

3.2 考察德國第三者查證機構 TÜV SÜD 公司

3.2.1 前言

106 年 11 月 15 日參訪設在德國慕尼黑 TÜV SÜD 總公司，TÜV SÜD 公司成立於 1866 年，今年剛好成立 150 週年紀念，全球超過 800 個服務據點，年營業額約 23 億歐元，員工約 2.4 萬人，百分之五十以上的員工在德國境外服務。

TÜV SÜD 公司主要業務包括汽車服務、工業服務、認證服務，核能技術服務屬工業服務的一環，核能技術部門主要業務包括提供核能獨立測試、檢驗、認證、訓練及評估等服務。

本次參訪行程，TÜV SÜD 公司方面由 Mr.Hans-Michael Kursawe (Managing Director)、尚建明博士及 Mr. Helmut Huger 接待。

3.2.2 TÜV SÜD 業務簡介

依德國原子能法要求，核能主管機關必須委托 TÜV SÜD 公司進行核能安全相關文件的審查、核能設施的稽查工作，且不准該公司提供德國境內電廠的技術服務。但是，並不限制該公司到德國以外的國家進行技術服務。所以該公司對於提供台電公司除役的技術服務表示有興趣。

在核能電廠除役方面，TÜV SÜD 公司提供核能電廠除役可行性研究、以移動視設備提供核能電廠輻射特性調查、輻射防護服務、放射性廢棄物貯存及處置評估、放射性物質運輸評估。

3.2.3 TÜV SÜD 介紹德國除役策略

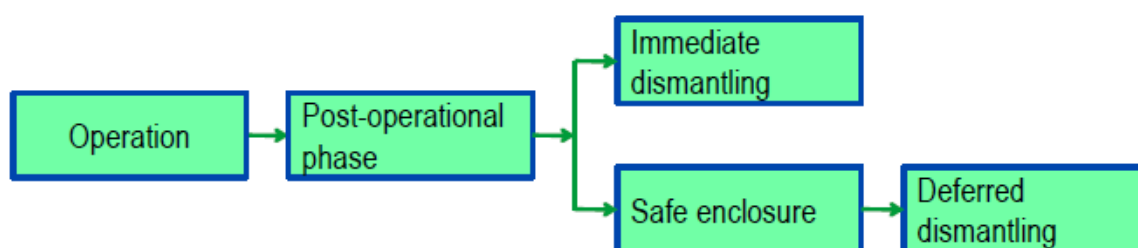


圖 3.2.1 德國除役策略示意圖

- Post-operational phase：需 5 -6 年，進行規劃及申照
- Dismantling：需 10 -15 年
- Safe Enclosure：需 30 -35 年

3.2.4 TÜV SÜD 介紹核能電廠拆除步驟：Obrigheim 核能電廠案例

A. Post-operational phase 目標:減低放射性墮之存量

- 移除核燃料
- 一次側除污
- 上述產生廢棄物之處理及包裝
- 提止運轉不需使用之組件

B. Dismantling phase 1 目標:拆除廠內低污染區的組件

- 拆除汽機
- 拆除發電機
- 拆除飼水泵
- 拆除飼水管路
- 拆除主汽管路

C. Dismantling phase 2 目標:拆除廠內高污染區的組件

- 拆除上燃料池
- 拆除纜線橋
- 拆除主蒸汽及飼水管路
- 拆除空調組件
- 拆除熱交換器
- 拆除下燃料池
- 拆除蒸汽產生器上方混凝土架
- 拆除蒸汽產生器
- 拆除主冷卻泵

D. Dismantling phase 3 目標:拆除廠內活化區的組件

- 拆除反應器壓力槽及其內部
- 拆除生物屏蔽

E. Dismantling 4 目標:拆除廠內其餘的組件

- 拆除吊車
- 拆除通風系統
- 拆除控制室
- 拆除變壓器
- 拆除輔助設備

3.2.5 綜合討論

1. 問：大部分原始 FSAR 所述之 DBA 已不會發生，用過核子燃料在反應器存放期間是否需更新 FSAR 之安全分析，並依可能發生之 DBA 執行安全設備的維護作業？

答：核能電廠的冷卻系統及核臨界的控制系統是被設計來供運轉階段使用的，所以，這些系統也是被設計來處理設計基準事故的。在停機階段或在除役階段，經過一段冷卻時間之後，儲存在用過核子燃料池的衰變熱將大幅的衰減，因此，這些基準事故已足夠保守涵蓋所有可能的意外情節。然而，在除役的初期階段，當用過核子燃料還儲存在爐心內或水池內，或許需要考慮額外的意外事故情節，為了除役階段核能電廠的實際潛在風險，安全有關的系統、設備或組件可以重新調整，調整最好的方法是發展一個階段性概念，這個階段性概念必須考慮除役或拆除的順序，不同的除役和拆除階段，有不同的安全分析，從這個安全分析中，可以辨識出必要的安全有關系統、設備或組件，以及行政安全措施。

2. 問：當用過核子燃料仍放置在反應爐中期間，電廠之營運方式是否如同正常運轉期間大修燃料填換模式的營運方式？

答：可以修改大修期間核能電廠的安全管制措施。

3. 問：當用過核子燃料仍放置在爐心時，二次圍阻體是否須保持完整？

答：視除役或拆除階段的實際情形而定，若需要維持二次圍阻體的完整性才能符合安

全的目標，就不應修改或拆除二次圍阻體。然而，如果有輔助措施可以補償二次圍阻體的安全功能，那麼二次圍阻體的完整性就不是必須的了。當然，這些安全功能的補償，需要事先經過以適當的安全分析。

4. 問：是否至少一串 (RHR S/D COOLING)須保持可用且在運轉？

答：視除役或拆除的階段而定，在不同的除役或拆除階段，熱移除系統可以被修改，例如，在長期的儲存之後，或者在只有儲存少量的用過核子燃料，可能不再需要主動的冷卻功能，在這種情況之下，主動的冷卻系統可以被拆除。

5. 問：永久停機後，是否需比照運轉期間繼續執行營運期間(ISI/IST) 計畫？

答：在永久停機之後，由於反應器壓力槽或各別組件安全等級的重新分類後，可以解除原先運轉期間的維護概念及非破壞檢測。如果沒有功能上的需求，可以解除這些原有的 ISI/IST 計畫。這些解除，或許需要主管機關的許可。



圖 3.2.2 邱副處長顯郎代表致贈紀念品予 TÜV SÜD 尚博士

3.3 考察德國 RWE 電力公司

3.3.1 前言：

11 月 16 日參訪位於德國 Essen 的 RWE Technology International (RWE TI)總部，主要由該公司 Mr. Wim Tjerckstra (Managing Director)、Mr. Gerd-Michael Burow (Senior Project Manager)及三位專案經理接待介紹相關業務。

3.3.2 RWE 公司簡介：

RWE 集團涵蓋經營歐洲電力營運，也含電網、銷售及再生能源等事業，旗下涉及在核能領域亦有 50 年以上的歷史，包括核能電廠的興建、營運及除役具有豐富經驗，並持續對未來核能安全環境及有效率的能源產出做貢獻，RWE TI 即提供其專業作為服務遍及全球的顧問公司，其發電能源配比及核能電廠團隊如圖 3.3.1 及圖 3.3.2 所示。

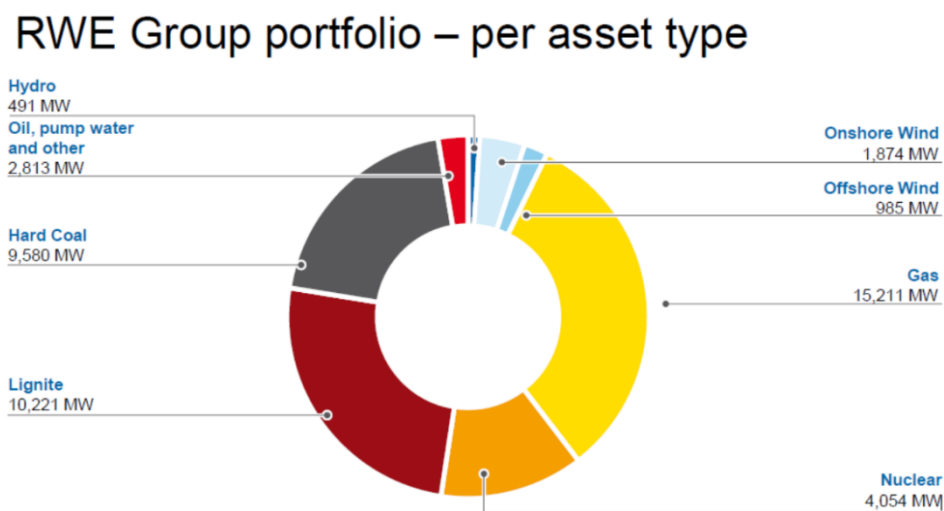


圖 3.3.1 RWE 公司發電能源配比

RWE – The Nuclear Fleet



圖 3.3.2 RWE 公司核能電廠團隊

3.3.2 RWE 可提供典型的除役諮詢服務介紹：

在除役一開始，組織的成立為首要之務，課題包含如何發展規劃藍圖，改善計畫及修訂營運程序書。除役之廢棄物與拆除的管理為重點工作，顧問諮詢可提供除役概念的建立，拆除規劃及物料流程管理，亦可發展資料庫及現行適用的指引與工法。另外在工程技術及管理可協助建置，並提供 KPI 定義以供績效參考。在訓練上有資料庫、技術控管、除役專案管理及工程執行規劃等。

以拆除及廢料管理為例，其工作範疇包含儲存管理，就需事先評估拆除的量體並調查其輻射特性及參數，其後拆除的規劃、先後順序、量體及大小評估及運送路徑與容器選擇便應有對應計畫。另估算成本及拆除工作難度，建立追蹤登錄相關資料(含重量、來源及輻射等)的機制及系統，以提供放射性廢料處理之後續文件整理及報告所需。

為方便管理利廠房拆除過程中之系統及結構狀態，可發展動態資訊平台供現場工作前之現場圖面參考(Automated Plant Configuration Data System)。

文件管理在除役過程將會是件龐大的工作，所有的品保流程及書面資料有賴系統化的作業系統方不致凌亂或難以追蹤，RWE 已開發對應流程及平台以提供相關資訊。

RWE 公司設有規模齊全之訓練中心，提供對應之模擬器供德國及荷蘭共 9 座核能電廠之操作人員訓練，並有設置各類維護行為之人員作業訓練，以提升工作效能避免誤失。此外針對核能電廠除役作業亦有規劃課程，含除役的準備工作及執行這兩階段。準備階段提供應注意事項的訓練，如除役計畫的規劃準備、管控與追蹤等課程，也可辦理相關管理層面的討論會議，如計畫的 KPI、計畫管控及追蹤、輻射防護、除役工法等議題。執行階段則提供輻射防護、人員安全防護、資訊工具開發、資料整理、計劃管理、文件準備、公關事務及技術發展等課程。

3.3.3 RWE 的除役執行經驗 — 電廠除役/用過核子燃料處理/低放廢料處理

3.3.3.1 電廠除役

RWE 在拆除電廠的概念分為停機準備階段(5-7 年)、廠房設備拆除階段(需執行輻防物料

管控，10-15 年)、傳統拆除階段(無輻防管制要求，2-3 年)及最終處置，上述各階段內容及執行電廠除役經驗如圖 3.3.3 及圖 3.3.4 所示。

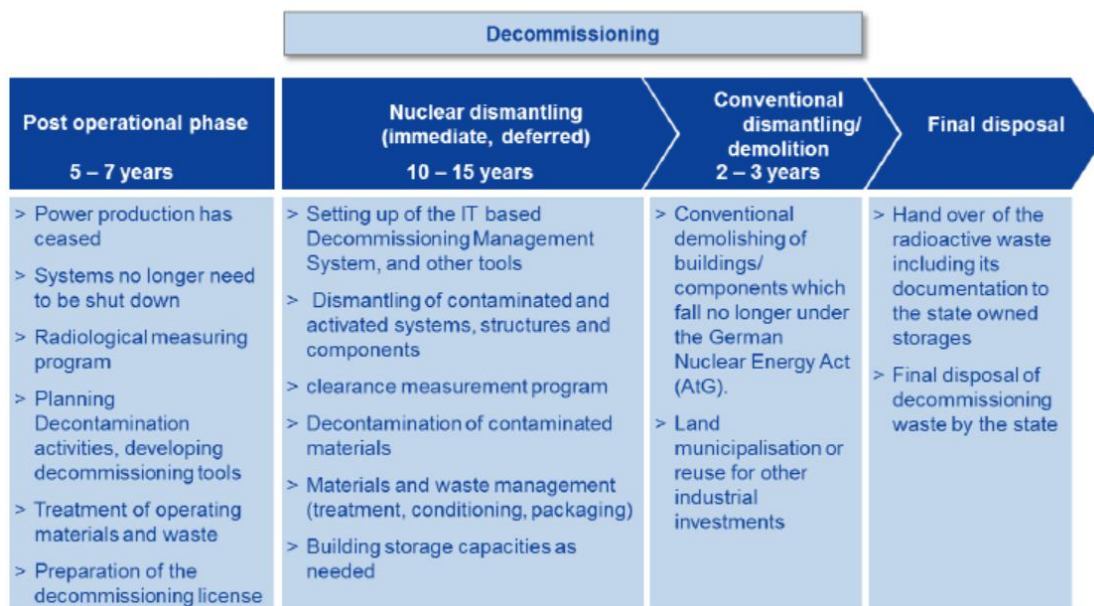


圖 3.3.3 RWE 公司核能電廠除役各階段示意圖

The RWE Decommissioning Experiences






| Immediate Dismantling | | | Planning/ Preparation | Deferred Dismantling |
|---|--|---|--|--|
|  |  |  |  |  |
| NPP Kahl (BWR, 16 MW _{el}) Green field (10/2010) | NPP Gundremmingen Unit A (BWR, 250 MW _{el}) Dismantling completed | NPP Mülheim-Kärlich (PWR, 1,200 MW _{el}) Dismantling of contaminated parts | NPP Biblis (PWR, 2x1,200 MW _{el}) Post operational period | NPP Lingen (BWR, 240 MW _{el}) Transition from SE to dismantling |
| Experiences: <ul style="list-style-type: none"> > Dismantling and decontamination technology developments > Waste treatment optimization > Final release of buildings and site > Future nuclear use (Technology Centre Unit A) | | Experiences: <ul style="list-style-type: none"> > Shut down and simplification of systems > New "mobile" systems as surrogate for existing residual operation systems > Partial release of buildings and terrain | Experiences: <ul style="list-style-type: none"> > Shut down and simplification of systems > Efficient application and approval procedures > Development of a dismantling strategy for a double unit | Experiences: <ul style="list-style-type: none"> > Preparation and operation of safe enclosure > Preparation of "deferred" dismantling |

圖 3.3.4 RWE 公司核能電廠除役實蹟

3.3.3.2 用過核子燃料處理

其用過核子燃料於機組停機之後，即移出爐心至用過核子燃料池放置冷卻，大約 5 年之

後再轉移放置入金屬容器(CASTOR)，之後移出圍阻體轉運至中期貯存設施，待最終處置場所確定後再轉移。其流程概念如圖示：

The Fuel Management



圖 3.3.5 RWE 公司用過核子燃料處理概念圖

3.3.3.3 低放廢料處理

據 RWE 之除役經驗，其低階廢料經分類及除污處理，約 95% 可釋出供再回收利用或作一般廢棄物處理，5% 才歸為放射性廢棄物處置。由於德國的法規及民眾接受度，該策略實有助於廢料量體的大量減縮，並可大量回收利用資源，實為環保之上策。

而放射性廢棄物之後續處理，則續採濃縮或超高壓縮使其減量以減少容器使用增加儲存效能。設備除污也分為在廠內或廠外廠房進行，分別的方式係視其物件量體、除污方式或處理設備是否有利建置於廠房而定。除污方式之判定及流程，以及動線規畫安排亦需有專業之規劃以避免產生作業瓶頸，當然除污產生之二次廢棄物也需考量以避免更多的放射性廢棄物產生。RWE 公司低放射性廢棄物處置流程概念如下：

Waste Management – The Disposal Paths

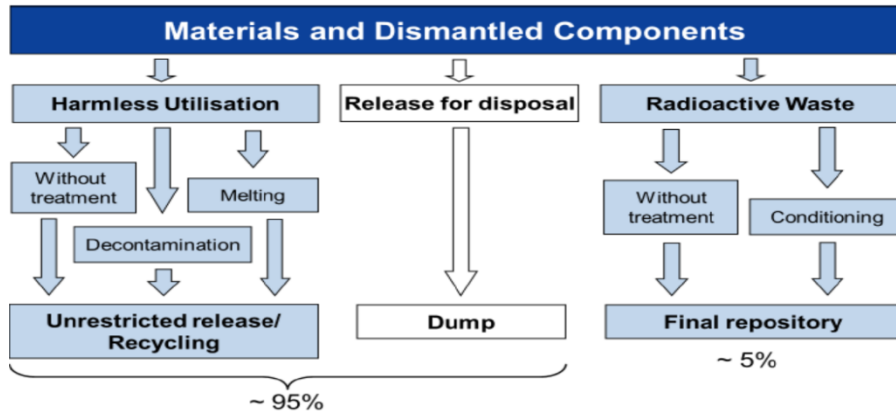


圖 3.3.6 RWE 公司低放射性廢棄物流程概念圖

3.3.4 RWE 除役經驗的回饋與心得

德國於日本福島事件後，其政府非核政策明確，除立即指令停止運轉類似 BWR 機組外，並規劃於 2022 年所有核能機組停止運轉，其政治環境與我國類似，後續將有大規模核能電廠除役工作進行，以德國目前在除役規劃及執行面而言，其經驗相當值得我國借鏡參考。

依 RWE 說明自身經驗，首次規劃執行之除役工作亦非完美，相當多的作業因經驗的欠缺，如除污的方式、廢料的物流管理、拆除的工法、計畫的準備不夠完善等，這些都會造成時程的延宕及成本的增加，因此有經驗的顧問指導對於除役作業的規劃是有其效益。

除役期間與發電運轉時期有其迥然不同之管理思維，應盡量減少管制面的負擔，否則除了將滯礙除役工作的進展，也使得除役成本非預期性的增加。德國因政治因素使得許多核能電廠非預期性停止運轉，相關法規及申照程序亦同我國為首次面對，其經驗為鼓勵建立業者、管制單位及公正機構/民眾溝通機制，以使除役工作能順利進行。

除役期間之廠房空間利用，對於後續拆除期間作業區域之準備及動線規劃有重大影響，因此事前得準備應提早進行；廢棄物裝盛容器的選擇為設備拆除切割計劃的先決要件之一，我國目前容器選項有限，未來需求及規格亦應及早確認送管制機關審查，以減少除役作業之阻力。



圖 3.3.7 參訪團隊與 RWE 主管會場合影



圖 3.3.8 徐副處長代表致贈禮品予 Mr. Gerd-Michael Burow

3.4 考察德國放射性廢棄物貯存容器製造公司 GNS

3.4.1 前言：

11 月 17 日參訪 GNS 公司，本次參訪 GNS 公司，GNS 公司接待人員包括 Dr. Hannes Wimmer (Chief Executive Officer)、Dr. Jürgen Skrzypek (Divisional Director Communications and Sales)、Dr. Linus Bettermann(Head of Department Sales Spent Fuel Management)及 Mr. Dirk Becher (Senior Sales Manager)；上午先由 GNS 公司 Dr. Bettermann 及 Mr. Becher 帶領本公司參訪人員參觀位於米爾海姆(Mülheim)的容器組裝工廠，下午的行程是到埃森市(Essen)的 GNS 企業總部進行討論。

3.4.2 GNS 公司簡介：

GNS(Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, GNS)公司創立於西元 1974 年，總部位於德國杜塞爾多夫行政區的埃森市，係由德國四家電力公司(Preussen Elektra、RWE、EnBW 及 VATTENFALL)合資成立，如圖 3.4.1；目前員工約 450 人，營業額約 2.5 億歐元；目前 GNS 公司主要營業項目為協助管理德國核能電廠營運及除役所產生的放射性廢棄物，同時也是世界上放射性廢棄物容器主要供應商之一，另外 GNS 公司也在國際間提供與放射性廢棄物管理相關的顧問服務。

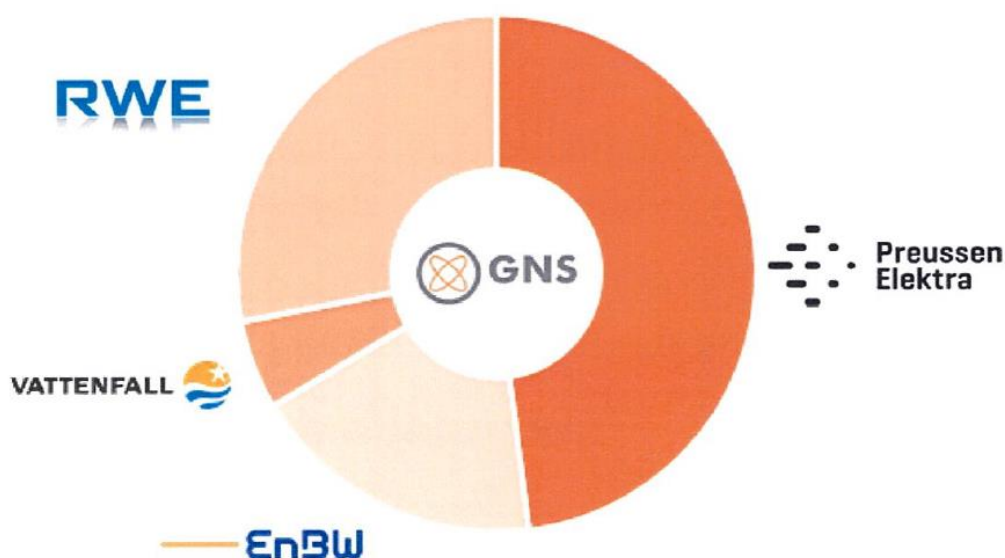


圖 3.4.1：GNS 公司股份組成示意圖

GNS 公司原先負責營運德國境內兩座集中式貯存設施 Ahaus 及 Gorleben，直到 2017 年

8 月，GNS 與德國聯邦環境、自然保育及核能安全部(Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU)合資成立 Bundes Gesellschaft für Zwischenlagern (BGZ)公司，並將兩座集中式貯存設施的所有權轉移給 BGZ 公司；目前 GNS 公司主要據點，除埃森市的總部企業外，還包括位於米爾海姆(Mülheim)的容器組裝工廠、位於杜伊斯堡(Duisburg)的廢棄物處理中心及地處於利希(Jülich)的廢棄物處理及研發中心。

3.4.3 用過核子燃料貯存

除了過去較為知名且已在國際上有 20 年使用經驗的 CASTOR®V/19(PWR 燃料)及 CASTOR®V/52(BWR 燃料)，GNS 新研發 CASTOR® geo 系列用過核子燃料貯存容器，相較於使用鍛鋼 (forged steel) 的 CASTOR®V 系列，以韌性鑄鐵(ductile iron)為主材料的 CASTOR® geo 系列容器較便宜，又能設計更大的裝載量，且由於和 CASTOR®V 系列設計類似，預計能用較少的時間就通過一般國家主管機關的審查取得使用執照，CASTOR® geo 系列容器除了製造時間較短，自下訂至第一組容器交貨約需 16 個月(V 系列為 18 個月)，若是單一國家大量購買，GNS 公司亦有協助當地業者建立就地生產 CASTOR® geo 系列容器生產線的規劃；目前 CASTOR® geo 系列容器預計使用於比利時及瑞士的三座 PWR 電廠，惟尚未有任何使用實績，亦尚未有 BWR 電廠採購。

CASTOR®V 系列容器及 CASTOR® geo 系列容器因為皆是以全金屬鑄造形成密封邊界及輻射屏蔽，故重量較重，滿載用過核子燃料的 CASTOR®V 系列容器重量超過 130 公噸，部分核能電廠燃料廠房的吊車載重不足，無法使用 GNS 公司生產之用過核子燃料容器，CASTOR® geo 系列容器雖然重量稍輕，但仍然會將近 120 公噸，需要面對一樣的問題，且大部分核能電廠燃料廠房的結構僅能容許少量提升吊車載重，無法藉由增加吊車載重來解決上述問題。為此，GNS 公司研發出 CLU 系統(Cask Loading Unit)，透過重量較輕的傳送用容器於燃料池中裝載用過核子燃料，再傳送至放置於運送用卡車的貯存用過核子燃料金屬護箱，其概念與目前核能一廠及核能二廠採用之 INER-HPS 及 NAC-MAGNASTOR 系統的傳送護箱(TFR)類似，如此一來，因為傳送用的護箱不需要有長期的輻射屏蔽結構，重量較輕，對於燃料廠房的吊車載重需求便會降低，便能普遍用於大多數的核能電廠燃料廠房，CLU 系統示意圖如下。



圖 3.4.2：GNS 公司 CLU 系統示意圖

3.4.4 除役拆廠階段反應器切割作業

GNS 公司自 2017 年開始，與德國西屋公司(Westinghouse Germany)合作執行 Neckarwestheim 及 Philippsburg 等兩座德國核能電廠的反應器拆除作業，此項工作預計會在 2022 年全部完成。GNS 公司會就此項工作提供包括向管制機關申請動工核可之文件準備、切割後組件樣本分析、擬定最佳化切割策略、水下切割器具準備、切割後組件裝載及切割後組件紀錄管理等服務。反應器水下切割現場圖 3.4.3 所示。



GNS Underwater Scrap Shears

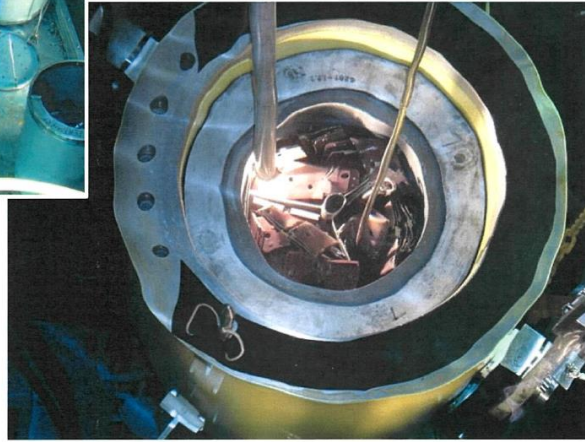


圖 3.4.3：GNS 公司執行反應器爐心水中切割照片

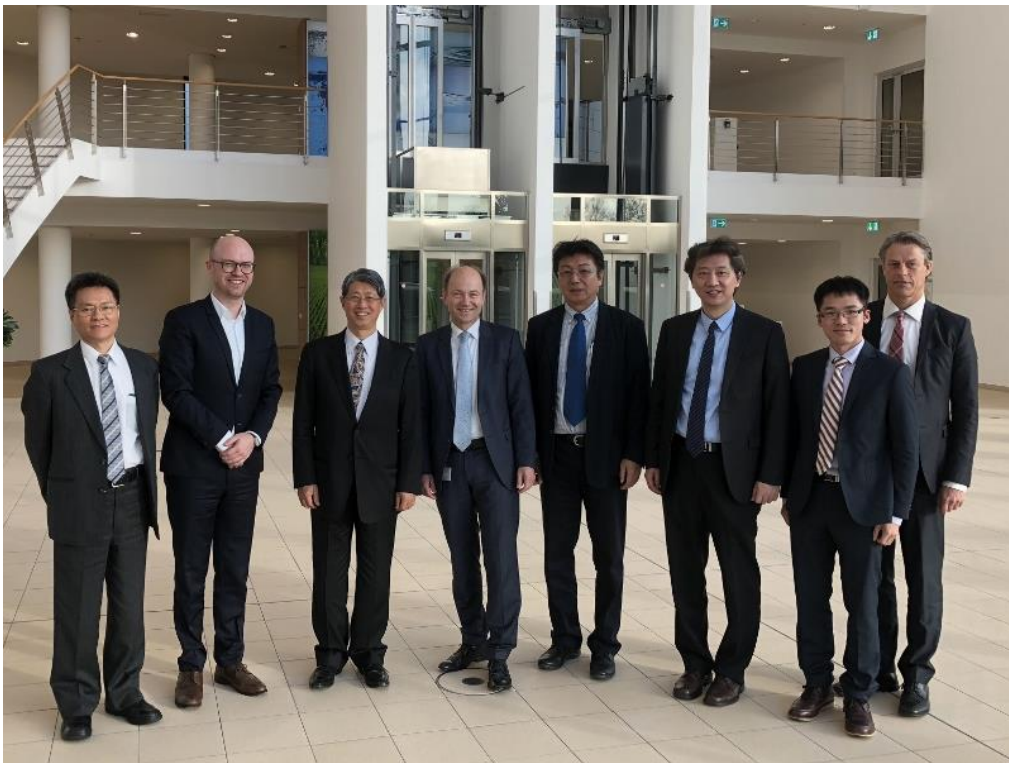


圖 3.4.4：參訪團及 GNS 公司接待人員於 GNS 總部合照(左 2：Dr. Linus Bettermann；左 4：Dr. Jürgen Skrzypek；右 1：Mr. Dirk Becher)

肆、心得與建議

1、保持與 EnBW、RWE 等德國電力集團的合作關係，以建立本公司核能電廠自主除役能力：

有鑑於全世界已經決定除役的 157 座核能電廠，預期未來有更多核能設施將除役，因此相關的電力公司、工程顧問公司等，都在積極規劃參與核能設施除役工作。由於德國電力公司受到 2011 年日本福島事件的影響，部分老舊核能電廠從該年就被政府以行政命令停止運轉，電力公司被迫加速進行除役準備作業。由於德國一些研究用反應爐及老舊核能電廠，在福島事件前就已經進入除役作業，因此已經具備一些除役經驗，再經過這 6 年多的積極準備與嘗試，建立了完整的自主除役能力與相關的產業發展。

今年我國通過新版電業法，本公司也因此受到該法的規定，必須在 2025 年前將所有運轉中的核能機組停用。本處除遵循政府及公司的要求，全力推動核能一廠的除役規畫作業外，也同步在執行核能二廠及核能三廠的除役計劃編撰作業，並希望在整個核能事業部共同努力下，透過三個核能電廠的除役作業，建立台電公司自主除役的能力。由於，除役作業涉及許多專業知識與技術，因此也希望能結合國內的學校、研究機構、及產業界，建立我們自己的除役技術與產業，將來可以如德國電力公司一般，進軍國際服務全世界。

核能一廠是我國第一個即將進行除役的大型核設施，除本公司缺乏相關經驗，國內目前也欠缺能整合相關作業能力的機構、公司，因此有賴與國際上具備完整經驗與能力的組織合作。由於德國電力公司所面對的環境及曾經經歷過的事物，與我國目前的狀況非常類似，他們在整個除役過程中，曾經發生過的錯誤，將是我們往前發展非常好的借鏡。德國 EnBW 及 RWE 電力集團所屬的核能電廠，都是由電力公司自主進行除役作業，除役人員也都是原來核能電廠的員工，這樣的除役模式，也與本公司的規劃近似，因此建議與德國電力集團保持聯繫，希望能進一步建立更緊密的關係，從而學習如何建立本公司自主除役能力與發展產業鏈。