

出國報告（出國類別：考察）

除役相關設施觀摩參訪
暨瑞典西屋公司品保稽查工作

服務機關：台灣電力公司

姓名稱謂：康哲誠 副處長

陳傳宗 核能法規組組長

邱鴻杰 主管工程技術

奉派國家：瑞典

出國期間：107年06月13日至06月22日

報告日期：107年07月31日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：除役相關設施觀摩參訪暨瑞典西屋公司品保稽查工作

頁數 23 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

康哲誠/台灣電力公司/核能後端營運處/副處長/02-23657210

陳傳宗/台灣電力公司/核能安全處/核能法規組組長/02-23667377

邱鴻杰/台灣電力公司/核能後端營運處/主管工程技術/02-23657210

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他（洽公）

出國期間：2018/06/13~2018/06/22 出國地區：瑞典

報告日期：2018/07/31

分類號/目

關鍵詞：核能後端營運，核能電廠除役、放射性廢棄物，品保稽查

內容摘要：（二百至三百字）

本次考察行程主要包括參訪瑞典之放射性廢棄物專責機構、放射性廢棄物處理設施、低放射性廢棄物最終處置設施等核能後端營運機構及設施。

由於瑞典實質上建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，相當值得我國借鏡參考學習，並做為我國核後端業務推行與政策擬定之借鏡。

另外，亦利用此次參訪機會到參與本公司核二廠除役計畫規劃工作的瑞典西屋公司進行品質保證稽查工作，除確認工作品質符合品質保證要求外，亦透過技術討論，汲取瑞典西屋公司在電廠除役工作相關實務經驗。

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

目 錄

壹、 目的	1
貳、 任務過程	1
一、 Studsvik 放射性廢棄物處理園區	4
(一)、 Cyclife 公司及其放射性廢棄物處理設施	4
(二)、 Studsvik 顧問公司 (Studsvik Consulting AB)	8
二、 瑞典西屋	10
(一)、 品質保證稽查工作	11
(二)、 除役技術討論會議	16
(三)、 除役工作模擬訓練中心	18
三、 Forsmark 低放射性廢棄物處置設施	19
參、 心得及建議	22
一、 心得	22
二、 建議	23

壹、 目的

本公司依核能相關法規之規定，正依序進行核能電廠之除役規劃工作。為安全且有效地達成核能電廠除役的目標，本公司目前仍持續汲取國外核能電廠除役工作與放射性廢棄物處理處置經驗，並依國內法規要求妥以規劃。

瑞典已成立國家級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、高放射性與低放射性廢棄物營運管理之體制、規劃與整合，以及民眾教育與溝通等，均具有成功推動之經驗。本次任務即利用參訪該國除役相關設施，並進行技術交流討論等方式，汲取電廠除役與放射性廢棄物處理處置有關經驗，並進一步建立相互間聯繫管道；同時亦對瑞典在核電廠除役以及放射性廢棄物處理處置之相關架構、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進行了解，以求有助於精進電廠除役規劃作為與放射性廢棄物處理處置相關計畫之推展。

另本公司已委託核能研究所開始進行核二廠進行除役作業規劃，由於瑞典西屋公司對核能電廠除役工作具有規劃與執行之豐富經驗，核能研究所委請瑞典西屋公司擔任本案諮詢顧問。為了解本案委外辦理工作之實際工作進度與品質保證符合情形，利用此次參訪機會，由核能研究所人員陪同，安排至瑞典西屋公司同時進行各自的品質保證稽查工作。另外，亦利用此次稽查瑞典西屋公司的機會，與瑞典西屋公司專家人員進行核能電廠除役與放射性廢棄物處理等技術討論交流，並參訪其除役工作模擬訓練設施。

透過此次考察期間與各核能後端營運業者與技術專家訪談，以及透過稽查瑞典西屋公司的機會，進行面對面技術交流，並實地參訪各核能後端現場設施，藉以汲取瑞典推動核能後端營運，就組織、體制、執行技術、作業規劃與社會溝通等面向所累積經驗，有助於我國核電廠除役與放射性廢棄物處理處置計畫之規劃與執行，提升核能後端營運規劃的週延性並增進效益。

貳、 任務過程

本次考察行程總計 10 天，自 107 年 06 月 13 日出發，迄 06 月 22 日返國。考察期間除走訪考察瑞典之放射性廢棄物處理設施、低放射性廢棄物最終處置設施與除役工作模擬訓練中心等核能後端營運機構及設施外，亦利用此機會，

到瑞典西屋公司進行品質保證稽查工作，並與各機構、設施之專家群進行有關除役電廠規劃工作所需關鍵技術之討論與交流。考察行程安排參考表 1 考察行程表。

表 1 考察行程表

日期	考察行程
107.06.13 ~ 107.06.14	往程：台北→巴黎→斯德哥爾摩→尼雪平
107.06.15 ~ 107.06.16	放射性廢棄物處理設施參訪與除役技術交流討論及整理相關參訪資料，包括： Studsvik 放射性廢棄物處理園區 Cyclife 公司及其放射性廢棄物處理設施 Studsvik 顧問機構 (Studsvik Consulting AB)
107.06.17	行程 (尼雪平→韋斯特羅斯)
107-06-18 ~ 107.06.19	瑞典西屋公司品質稽查工作、除役技術討論會議及除役工作模擬訓練中心參訪
107.06.20	Forsmark 低放射性廢棄物處置設施參訪與除役技術交流討論
107.06.21 ~ 107.06.22	返程：斯德哥爾摩→阿姆斯特丹→台北

06 月 15 及 16 日前往瑞典尼雪平 Studsvik 放射性廢棄物處理園區，該園區原由 Studsvik 公司所建置與管理，以發展放射性廢物處理設施與處理方法為主。目前 Studsvik 將部分區域與設施轉讓給法國電力集團 (eDF)，但整個園區實務上仍由 Studsvik 公司管理與運作。本園區的參訪行程，首先參訪 eDF 集團所屬的 Cyclife 放射性廢棄物處理廠，由 eDF 人員介紹該公司在核子燃料設計、核能電廠運轉及放射性廢棄物處置方面實務經驗，之後由 Cyclife 代表介紹有關放射性廢棄物處理廠的各項處理設備、作業流程及成果，並就各項細節做

提問與討論，會後由 Cyclife 工作人員導引參觀放射性廢棄物拆解處理工廠的配置與作業流程。另外，亦訪問 Studsvik 公司，由該公司人員介紹該公司在放射性廢棄物與核子燃料處置方面的專業技術能力，並由核能研究所代表介紹我國核能電廠除役之相關規劃現況，雙方就核能電廠除役作業中所可能面對的技術議題、諸如放射性廢棄物數量估算、放射性廢棄物處理原則、除污廢金屬外釋標準與做法等，進行深入討論。參訪完成後，並利用時間將參訪技術資料與即將到瑞典西屋稽查所需相關資料做一整理與確認。



圖 1 參訪人員與受訪機構人員於放射性廢棄物處理園區入口前合影

06 月 18 日及 19 日前往位於瑞典韋斯特羅斯的瑞典西屋公司，首先進行該公司執行核能研究所委託研究計畫之品質保證作業稽查，此部分工作除由台灣電力公司指派稽查人員依據品質保證作業程序書之規範執行稽查作業外，核能研究所亦指派稽查人員，依該所品質程序書對瑞典西屋公司承做核研所工作部分進行稽查作業。瑞典西屋公司則分別針對被稽查項目，逐一提供對應文件或電子資料，並輔以口頭說明。考量部分文件屬於商業機密或依該公司文件管制規定屬限閱性質，所有文件檢閱作業均於稽查期間在現地完成。稽查作業後，由台灣電力公司稽查領隊於稽查後會議中說明稽查結果。在完成品質保證稽查作業後，所有人員與西屋公司技術人員針對核能電廠除役作業所需的切割技術，如遙控、乾式，以及化學除污、取樣分析、污染廢棄物數量估算等技術

議題，進行深入討論與意見交換。在技術討論會議後，由西屋公司技術人員帶領參觀該公司所屬的放射性廢棄物處置模擬訓練中心，透過現地訪視，了解除役現場實務工作規劃上，對於放射性廢棄物裁切所需工具、空間配置及作業動線等之規劃應注意事項與考慮因素，並針對各項放射性廢棄物處置作業所需人力及物力進行深入了解。



圖 2 參訪人員於瑞典西屋公司前合影

06 月 20 日前往位於瑞典福斯馬克（Forsmark），參訪 SKB 公司所屬的國家級放射性廢棄物處置場（SFR），深入位於海底的貯存坑道，了解低放射性廢棄物處置場的空間設計、貯存容量、貯存方式及安全防護措施，另外，針對該設施運作時的監測項目與作業規劃、執行現況與遭遇的問題，如輻射監測、滲漏水的處理與應對等，進行提問與討論，同時也聽取該貯存場對於擴充貯存空間，以及增設高放射性廢棄物處置場的規劃與執行現況，另外也針對有關與利害關係人的溝通方式或技巧等做討論與了解。

此次參訪之各相關設施與機構基於安全與商業考量，均禁止參訪人員對其設施本身或內部進行攝影行為；各相關設施與機構之參訪考察內容說明如下：

一、 Studsvik 放射性廢棄物處理園區

（一）、 Cyclife 公司及其放射性廢棄物處理設施

Cyclife 公司係標榜低碳能源佼佼者的能源公司 eDF 集團之一員，eDF 集團之業務則包括熱能、核能、再生能源、電網

運作以及能源交易與供應等 5 大產業。其中，有關核能產業部分除核能機組的營運外，亦包括新建機組（5 部分別位於法國、中國大陸與英國之興建中歐洲壓水式反應器機組（EPR, European Pressurized Water Reactor）；以及其他尚處於規劃階段的機組興建計畫）與電廠除役（包括 9 部位於法國之除役中核反應器機組，Cyclife 與 Socodei 放射性廢棄物處理設施，與高放射性廢棄物處理方案的研發等）。

Cyclife 公司分別在瑞典、法國與英國均設有處理設施，其定位係做為 eDF 集團在核能電廠除役與放射性廢棄物管理之國際平台。除了提供除役策略評估、除役計畫管理、成本管控與人員訓練等管理與訓練方面的服務外，亦提供放射性廢棄物處理、除役工作與設備拆除等技術服務。Cyclife 除了以自行發展之大型切割、除污、固化與焚化等技術，以及積極提升有關金屬廢棄物處理、處置能力，提供放射性廢棄物的分類、處理、管理與暫存設施設計等技術服務外，亦利用可移動式設備提供於廠址內進行放射性廢棄物處理相關作業。Cyclife 公司在除役方面的工作實績則包括：法國 Chooz A 核能電廠的反應器壓力槽與其內部組件之拆解、拆解工具的研發、核能電廠全系統除污工作（比利時、德國、美國、法國、瑞典、日本與義大利等）以及德國 Obriingheim 核能電廠反應器壓力槽內部組件拆解的可行性研究。

此次所考察參訪的設施為 Cyclife 公司位於瑞典的處理設施。該設施原由 Studsvik 公司所設計、興建與運作，之後因故轉售與 eDF 公司，目前該設施內工作人員亦大多為原 Studsvik 公司運作該設施的人員。此設施是一座較為小型的金屬組件拆解處理工廠，其設計可容納單一大型組件（如汽機轉子組）完

整送進工廠內，進行除污、切割及熔鑄等金屬處理相關作業。



圖 3 高壓汽機轉子切割拆解工作實景

廠房內的動線可同時接納兩部大型卡車在密閉的負壓環境下，將裝載物卸除於工廠內，並可防止非預期放射性物質外釋到環境中。由於放射性金屬廢棄物處理程序繁複，為提高拆解工廠對於放射性金屬廢棄物的接收處理能量，廠區內另配置分別供處理前、後之金屬廢棄物暫置的大型暫存倉庫，以降低放射性廢棄物運送作業對該設施接收處理能量的影響。該拆解處理工廠對廢金屬的處理主要還是透過切割、除污及熔鑄等作業，以求大幅降低大型設備後續需進行外釋或放射性廢棄物貯存之體積。據該公司人員表示，經過拆解工廠處理後的組件或設備，約有 95% 的重量均可符合外釋標準，無需進入暫貯場或最終處置場；而未達外釋標準的金屬廢棄物，則以委託該公司處理的客戶之要求包裝方式，運送至該客戶所指定地點，後續則進入放射性廢棄物貯存或處置等相關作業流程。另外，依據 Cyclife 過去的經驗顯示，經過處理的鍋爐、蒸氣乾燥器、熱交

換器等大型污染設備，約有 95%左右的重量可進行外釋，而來自壓水式反應器的蒸汽產生器則約有 90%左右的重量可進行外釋。

此次考察的拆解處理工廠，其占地面積不算太大、內部配置簡潔、作業動線配合作業流程妥善規劃，因而可進行核能電廠內絕大部分大型設備切割、除污與廢棄物處置相關作業。另一方面，廠區內所規劃設置的物料暫置區，則大幅提升拆解處理工廠整體接收處理能量，在完整的輻射防護設計與規範下，亦大幅降低相關作業對人員及環境的影響。此外，在技術討論的過程中，談及有關管路保溫材的處理，依據目前我國核能電廠除役作業規劃之初步統計，需進行低放射性廢棄物處理的管路保溫材料數量非常大；但依 **Cyclife** 在除役方面的經驗，大部分核能電廠保溫材料未達法規外釋標準的數量很少，因而對於除役作業及後續低放射性廢棄物貯存計畫並無顯著影響。經雙方討論後，發現二者在數量上有顯著差異的基本原因，在於我國的外釋法規標準與瑞典之相關外釋法規標準有顯著差異所致。此一差異也可能是前述所稱大部分的廢棄放射性污染金屬在經過拆解處理工廠的處理後，能達成符合外釋標準的重要因素。另外，亦針對有關離子交換樹脂的處理方式進行討教，**eDF** 公司表示，該公司也是採用業界普遍使用的原理及方法來做應對處理，目前採用聚合反應進行廢樹脂安定化處理，將來自核能電廠所產生之廢樹脂與環氧樹脂/固化劑雙成分基質（為該公司專有配方），於經過法國 **ANDRA** 管制局認證耐 300 年高完整性的 **C1PG** 混凝土屏蔽容器中進行聚合反應。按目前的作業經驗，一天約可處理 1 立方米的廢樹脂。



圖 4 台電公司代表致贈 Cyclife 公司紀念品

(二)、 Studsvik 顧問公司 (Studsvik Consulting AB)

Studsvik 顧問公司創立於 1947 年，現為核能工業界著名的燃料分析應用軟體開發、放射性廢棄物處理與除役工程服務公司，年營業額約為 7 億瑞典幣（約新台幣 24.5 億）。除了位於瑞典的辦公室與放射性廢棄物處理場之外，在德國、瑞士、法國、英國、美國、日本、中國大陸及阿拉伯聯合大公國均設有辦公室。

Studsvik 公司在核燃料方面相關之服務包括核燃料設計、分析與管理，我國核能研究所目前有與該公司合作，以經驗證的運算軟體，確認爐心在經過核燃料填換後，符合相關法規所要求的安全性；而在其他核能相關技術服務方面，Studsvik 公司提供核設施除役相關的工程與放射性廢棄物處理服務，包括除役作業規劃、設備拆解、除污、放射性廢棄物外釋檢測等。

在技術討論過程中，先由 Studsvik 公司人員進行有關公司沿革、電廠除役時之核子燃料與低放射性廢棄物之處理等相關

議題的發展現況，隨後並由核能研究所及台電公司人員就目前國內核電廠除役規劃現況做一說明。後續之討論則包括對離子交換樹脂、管路保溫材料及受損用過核子燃料之處理技術與方式等議題。

Studsvik 公司已投入放射性廢棄物處理領域多年，並創立 **Studsvik** 放射性廢棄物處理園區，將有關之人力、設施及技術研究集中於此園區，到目前為止，對於放射性廢棄物處理之技術與設備等研發已十分成熟。前項所提及 **eDF** 公司所運作之金屬拆解處理設施即原由 **Studsvik** 公司所設計、興建、安裝相關處理設備與後續營運，再轉讓售予 **eDF** 公司。**Studsvik** 公司目前的主要研發重點則轉移至對於受損核子燃料在乾式貯存或最終處置可能遭遇的挑戰與應對處理，並協助 **OECD/NEA** 規劃成立燃料護套完整性計畫 (**SCIP, Studsvik Cladding Integrity Project**) 之執行細節。據統計結果顯示，目前有許多經確認的受損核子燃料，暫時存放在各核能電廠的用過核子燃料池中，可能造成池水放射性活度(**reactivity**)增加及工作人員輻射劑量增加，後續亦可能造成池水淨化所需離子交換樹脂廢棄物數量增加，而長期存放在用過核子燃料池的受損核子燃料，亦可能因為腐蝕或其他機制引發更嚴重的劣化現象。目前 **SCIP** 在實際運送作業與實驗測試中，已發現在受損燃料棒取出作業及真空乾燥作業相關的問題，可能因受損燃料棒太過脆弱而進一步受損，或可能因真空乾燥過程中殘留於燃料棒密封容器中的水分，造成處理過程輻射防護的困擾，如何解決這些問題將是 **SCIP** 後續的研究重點。

在我國核能研究所與台電公司人員說明國內電廠除役規劃現況後，**Studsvik** 公司人員對於我國除役計畫所製備的三維繪

圖技術與成果頗感興趣，也認為此項準備工作對除役相當有幫助，可以有效提高除役作業效率，避免非預期輻射暴露與工安意外的發生。另一方面，**Studsvik** 亦介紹該公司所研發的雷射掃描技術的優點與應用，分享兩者間的差異與應用。

對於放射性廢棄物的處理技術議題，亦談及有關離子交換樹脂與管路保溫材的處理，所得結論原則上與目前業界經驗類同。該公司建議可先依個廠之交換樹脂的特性與數量，進行相關技術的可行性評估，再依評估結果選擇合適的處理方式。至於金屬廢棄物的部分，**Studsvik** 公司則強烈表示，有關拆解處理工廠設施的基本設計、廠區/廠房規劃，乃至於安全分析、執照申請等作業，該公司均有能力提供相關服務，亦多次表達可再次向本公司進一步說明，不論是協助處理金屬放射性廢棄物，或提供在國內設置相關拆解處理設施等進一步合作的意向。



圖 5 台電公司代表致贈 **Studsvik** 公司紀念品

二、 瑞典西屋

為能依法規要求時限提出核能二廠除役許可申請，台電公司委託

核能研究所執行核能二廠除役許可申請及除役作業規劃工作。因瑞典西屋公司對電廠除役規劃工作具有相當豐富的實務經驗，核能研究所與瑞典西屋公司合作進行除役工程管理、放射性廢棄物產量估算等項目之研究與諮詢。為確認核能研究所與瑞典西屋公司間的合作項目可符合本公司相關作業品質與品保要求，依本公司品保程序書進行此次品質保證稽查作業。同時，核能研究所亦利用此次機會，依該所品保程序書同步向瑞典西屋公司進行品保稽查工作。於完成稽查工作後，並進一步與瑞典西屋公司的專家群進行面對面的技術交流與討論，並利用此次機會參訪該公司的除役工作模擬訓練中心。

(一)、 品質保證稽查工作

本公司由核能安全處派員擔任稽查領隊，並由核後端處派員任技術專家，組成稽查團隊，依品保程序書要求及核能研究所與瑞典西屋公司的合作項目性質，參考 NUPIC 稽查核對表，事先篩濾稽查重點項目如表 2，並依此進行品保稽查工作。稽查作業由瑞典西屋公司工作負責人說明工作執行規劃、進度掌控、人員訓練、記錄保存等作業方法與流程，並提供電子檔案及紙本文件等佐證資料，也回覆稽查團隊所提出的各項問題。

表 2 品質保證稽查項目

項次	內容
1	Contract Review
2	Software Quality Assurance
3	Document Control/Adequacy
4	Organization/Program
5	Nonconforming Items/Part 21
6	Internal Audit
7	Corrective Action
8	Training/Certification
9	Records

本次稽查分項結果說明如下：

項次 1：Contract Review

瑞典西屋公司之計畫管理係依據 Level 3 程序書執行，程序書編號 WSE 5.1 Rev. 0, 2015-11-03。瑞典西屋公司為本公司核二廠除役計畫案承商核研所之分包商，瑞典西屋公司採購編號 (P.O.編號)：EE 16-7017，工作範圍包括：Overseas technical training、Technical Reports (Kuosheng NPP decommissioning key parameters analysis、Nuclear power plant SSC conceptual dismantling plan)、Consultations。就瑞典西屋公司之合約工作內容，稽查重點放在技術報告之品保作業查核。查閱 P.O. EE 16-7017 及核研所與瑞典西屋公司的合約，無異常。

項次 2：Software Quality Assurance (軟體品保)

瑞典西屋公司於執行核一廠除役計畫時曾使用輻射劑量相關軟體，不過，訪談時確認瑞典西屋公司執行核二廠除役計畫相關輻射劑量作業時係採用先前其他計畫之成果，以比例方式來估算。除了微軟公司發行之 Project 及 Office 外，並未使用其他軟體，因此不適用軟體品保相關之軟體管理計畫、軟體允收驗證、軟體版次建構管控 (Configuration Management)、軟體採購管控 (procurement of software) 與相關之軟體管理程序書之管控要求。

項次 3：Document Control / Adequacy (文件管控)

程序書 "WSE 12.1 Rev. 6.1 (2016-06-02)文件管控" 為工作人員日常作業必需遵循的程序書，屬於 Level 3 程序書，以當地的瑞典文編寫。西屋公司為國際公司，瑞典西屋公司需遵循西

屋總公司一階 (Level 1) 的品保方案及二階 (Level 2) 的 “Westinghouse Management System Description” ， Level 1 與 Level 2 皆以英文撰寫，屬於執行層面的 Level 3 程序書以瑞典文撰寫，但亦有部分 Level 3 程序書有發行對照之英文版。不過，在程序書 WSE 12.1 有特別加註，若有必要發行對照之英文版時，禁止直接利用 Google 翻譯器將程序書從瑞典文譯為英文，避免翻譯造成的偏差。

文件智財權的管控上分為 Class 1、2、3 三個等級，其中，Propriety Class 1 屬公司智財權，含高度敏感智財權資訊，限於公司內部使用；Propriety Class 2 則另區分 non-releasable 與 Releasable。

瑞典西屋公司各種文件之編寫、審查、核定及文件保存要求均有文件加以規範，例如：技術報告 (Tekniska rapporter) 由員工 A 編寫，另一位員工 B 審查，再由負責人核定，保存年限 60 年。查閱「核二廠除役關鍵參數分析報告」之主筆者、審查者與核定發行者，相關文件之簽署與管控皆符合程序書規定。

項次 4：Organization / Program

經美國核管會審查，西屋公司之品保方案 (QMS Rev. 7.0) 符合品保要求，美國核管會對西屋公司「組織」之審查結論詳 QMS Appendix A 3.1.1 節。瑞典西屋公司於稽查作業期間之簡報，先簡述本案合約之工作內容，及在 QMS 第七版品保方案下瑞典西屋公司之組織架構圖，瑞典西屋公司之組織架構符合品保之要求。

項次 5：Nonconforming Items / Part 21

瑞典西屋公司為西屋公司總公司旗下，執行除役相關作業之分

公司。品保方案遵循西屋總公司品保方案 Quality Management System-A Rev. 7 及 Level 2 程序書(QP 11-080, Rev. 4, Management System Description – Westinghouse Electric Sweden AB)。依美國核管會規定，核管會管轄範圍之核能設施必須遵循 Part 21 品質不符、異常通報之規定。

依瑞典西屋公司之 10CFR 21 品質不符通報程序書 “WSE 14.7 Rev. 5.2 (2018-04-03)”，當發現產品有品質不符、有潛在安全疑慮時，瑞典西屋公司先簽發 CAP 進行改善，若產品有輸出至美國需進一步考量是否需要進行 Part 21 通報作業時，則送美國西屋總公司 Review，由美國總公司技術複判是否需依 Part 21 通報。查核瑞典西屋公司 Part 21 作業結果無異常。

項次 6：Internal Audit

程序書 WSE 4.6 Rev. 3.1 (2015-11-03)訂定瑞典西屋公司內部稽查要求，從規劃之內部稽查排程可看出，核二廠除役計畫專案自 2017 年開始執行迄今尚未執行內部稽查，訪談時品保負責人亦表示未規劃對本專案執行內部稽查，乍看之下似乎是一項缺失。

經進一步討論與澄清，核二廠除役計畫專案為「除污除役整治與核廢管理（Decontamination, Decommissioning Remediation & Waste Management, 簡稱 DDRWM）部門裡的一個專案，涉及之品保作業管控流程與 DDRWM 部門的品保作業無差異。瑞典西屋公司於 107 (2018)年 05 月執行的內部稽查範圍包括 Nuclear Fuel, Global Engineering Service 以及 DDRWM 部門，該內部稽查有若干發現缺失(Finding)，但亦伴隨有改善行動，而這些缺失皆與處理核二廠除役作業的

DDRWM 部門無關。經討論後，同意該內部稽查結果適用於 DDRWM 部門，未簽發改正通知。

項次 7：Corrective Action

程序書 S 13.1 Rev. 9.0 (2017-10-25) Nonconformance 及 W2-5.1-101 Rev. 5.1 (Jan-29-2018) Corrective Action Program (CAP) 為瑞典西屋公司改善行動相關之作業程序書。瑞典西屋公司執行核二廠除役計畫時未簽發 CAP。稽查結果無異常。

項次 8：Training / Certification

瑞典西屋公司之人員訓練紀錄全部電腦化，擁有管理權限的部門主管可從電腦上直接調閱其所屬人員的訓練要求與訓練紀錄。除污除役整治與核廢管理 (DDRWM) 部門之人員訓練與證照要求均可在電腦中明確列示。抽查瑞典西屋公司參與本案人員計 6 人，在該部門經理的協助下調閱前述 6 名參與人員之訓練紀錄，查閱結果皆符合程序書之要求。

項次 9：Records

程序書 S 5.1.1 (2016-12-12) Documentation Archiving 訂定文件歸檔方式。西屋總公司之文件歸檔採全電子化，作業執行過程中產生之紙本文件掃描為 PDF 檔，經掃描文件正確性驗證無誤後，不保留紙本。瑞典西屋公司的文件保存管控與西屋總公司略有不同，仍保留原始紙本簽署文件，依程序書 S 5.1.1 歸檔；掃描之電子檔為備份，儲放於瑞典西屋公司之檔案伺服器上。

瑞典西屋公司已完成核二廠除役重要參數分析報告 R1 版 "Kuosheng Decommissioning Plan Kuosheng NPP Decommissioning Key parameters Analysis"。抽閱上述報告紙

本文件 R0 版與 R1 版，並從電腦上調閱對應之電子檔 R0 版與 R1 版之品保紀錄，品保紀錄皆完整，查核結果文件紀錄符合瑞典西屋公司品保程序書要求。

總結以上各分項稽查結果，瑞典西屋公司執行作業程序書皆以瑞典文撰寫，符合品保作業要求，受語言隔閡，稽查作業查證困難度較高。非常感謝瑞典西屋公司全力配合，以口譯方式，將文件口譯為英文，方便稽查人員順利完成稽查作業。

本次稽查結果認為瑞典西屋公司之品保制度相當完整、執行狀況良好，稽查結果無異常。

(二)、除役技術討論會議

本次參訪瑞典西屋公司，在完成品質保證稽查工作後，與瑞典西屋公司技術專家進行技術討論會議，議題包括設備裁切技術、系統化學除污與放射性廢棄物處理等。各項議題之討論均由瑞典西屋公司專家進行議題說明，簡報目前各項議題的現有技術及研發趨勢，以及該公司因應實務需求所採取的技術研發現況及發展策略。

1. 在瑞典西屋公司的電廠除役實務經驗中，由於考量到降低作業人員輻射暴露及防止輻射污染擴散的因素，應用在設備組件的裁切工作上，大多都採取水下作業模式。但是，考量到反應爐壓力槽本體與大型內部組件的金屬材料厚度較大，因此，瑞典西屋公司目前的研發重點除水下切割技術與機械工具改良精進外，亦將反應爐壓力槽乾式切割技術的研發列為電廠除役技術重點研發項目，包括：如何規劃有效輻射屏蔽、更有效的割工具，以有效保障工作人員安全與降低作本。瑞典西屋公司在切割技術方面最新研發

測試項目為水下電漿弧切割，主要研發重點包括：水下電漿供應設施開發、切割工具可靠度評估、輻射污染擴散分析、割效果及水質評估等。目前瑞典西屋公司仍需進行更多測試，以驗證該技術的可靠性與成本效益。

2. 系統化學除污的主要目的在於降低組件的放射性活度，並進一步期望能以人工切割方式替代較為昂貴的自動化機械切割，或在非人工切割方式不可的工作條件下，降低工作人員所接受的輻射劑量。瑞典西屋公司具有完成 300 項以上的核反應器化學除污工作經驗，透過這些經驗，瑞典西屋公司經由具實務經驗的工作人員建立安裝、測試及運轉等程序書，將化學除污作業程序標準化，並指派具實務經驗的計畫規劃人員及值班監督與具化學背景工程師，組成技術團隊，同時，亦針對不同設備組件開發專用工具，不斷精進作業技術，以期降低作業成本與縮短作業時間。
3. 低放射性廢棄物處理是電廠除役作業的重點工作項目之一，經過處理且符合外釋標準的放射性廢棄物，可透過排放、掩埋或再利用等方式，外釋到環境中；而經處理後仍未能符合外釋標準的放射性廢棄物，則必須進行低放射性廢棄物貯存。瑞典西屋公司在低放射性廢棄物的處理亦具多年實務經驗，並自行開發包括乾燥、固化、壓縮、貯存桶檢測送等相關設備與技術。對於廢樹脂的處理，瑞典西屋公司採用熱分解法，將樹脂乾燥壓縮後，加熱並分離內含會造成壓縮後膨脹的氨族氣體，再經過壓縮後以進行貯存，此方式預估可縮減約 50%的體積。



圖 6 台電公司代表致贈瑞典西屋公司紀念品

(三)、 除役工作模擬訓練中心

瑞典西屋公司為因應大量除役作業服務之工具開發測試與人力需求，自行建置除役工作模擬訓練中心，以實物大小模型、深水池、原尺寸切割操作平台與切割工具，提供人員訓練、工具開發與測試等用途。整個模擬訓練中心主要仍以人員訓練為主要目的，除了提供工具操作使用訓練外，亦提供人員穿戴輻防裝備下的模擬訓練。另外，透過中心內所設置 90 度截面的全尺寸反應爐壓力槽內部模型以及長寬約 5 公尺的深水池，讓從事反應爐壓力槽與大型內部組件割的人員，充分了解反應爐壓力槽及其內部組件的結構與相對位置與配置狀況，亦對在不同水深與能見度狀況下的工作環境所帶來的工作挑戰有所體驗，藉以提昇訓練成效。



圖 7 瑞典西屋公司人員說明模擬訓練的使用工具

三、 Forsmark 低放射性廢棄物處置設施

位於瑞典 Östhammar 市的 Forsmark 之低放射性廢棄物最終處置場(SFR)屬 SKB 公司所有，緊鄰 Forsmark 核電廠，該設施於 1988 年開始營運，為當時世界上第一個同類型低放射性廢棄物最終處置場。存放在該設施中的低放射性廢棄物與用過燃料最大的不同在於它不需要冷卻，且放射性物質的壽命相對較短。

SFR 位於波羅的海海面下約 50 公尺深的岩層中，設施包括四個 160 公尺長的貯存坑道（貯放容量約 63,000 立方公尺）、一個用於貯放較高放射性活度之廢棄物的混凝土圓形筒倉（直徑約 20 公尺、高約 50 公尺）以及控制室及出入管制站等運維空間，經由兩條平行、長約 1 公里長的隧道連接到地面出入口。其設計可使低放射性廢棄物必須與人類和環境隔離至少 500 年。屆時，大多數低放廢棄物的放射性都會消失。透過定期和重複的安全評估，SKB 公司必須能夠證明剩餘物質的安全性將可維持一萬年。

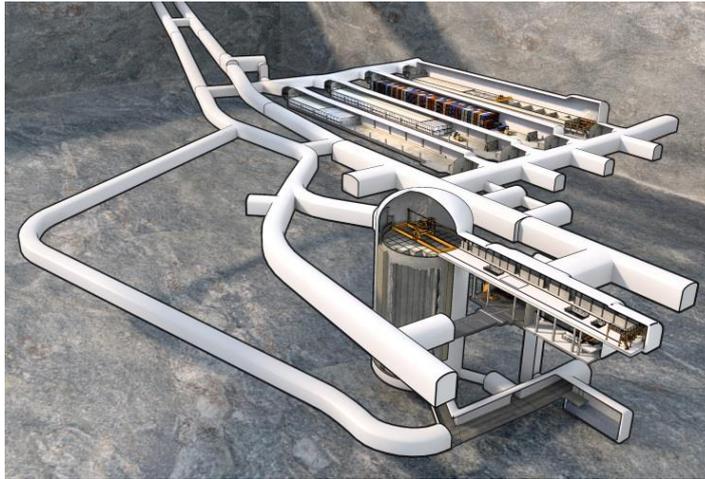


圖 8 SFR 貯存坑道結構示意圖

SFR 所接收的低放射性廢棄物大部分來自瑞典營運中的核電廠，例如電廠運維作業中產生的耗材、工具和防護衣等，另外亦接收來自醫院、研究和工業所產生的低放射性廢棄物。SFR 所配置的工作人員約 90 人，主要負責營運與管理相關工作，設施所產生的放射性廢液及處理相關專業技術，則與鄰近的福斯馬克核能電廠合作進行，由該核能電廠提供技術處理服務與人員訓練，每年營運所需經費約為 4 千萬瑞典幣（約合台幣一億四千萬元）。

為因應未來電廠除役所產生較運維更加大量之低放射性廢棄物處置需求，SKB 公司於 2014 年底提送擴建 SFR 的申請，完成後處置容量將從現行 63,000 立方公尺增加到約 200,000 立方公尺。



圖 9 SFR 擴建示意圖（藍色部分為新增貯存坑道）

SKB 亦規劃在 Forsmark 核電廠附近的 Söderviken 設置用過核燃料最終處置場，容量約 12,000 噸用過核燃料。該處的岩石年齡為 19 億年、深度為 500 米。除了考慮該場址具有地質穩定的特質外，透過溝通獲得當地民眾接受亦是重要的原因之一。Söderviken 位於 Forsmark 的工業區，將成為用過核燃料最終處置場地上設施的所在地，包括許多建築物和占據相對較小空間的岩石儲存，估計佔地約為 24 公頃。從此處將建造一條長約 5 公里的坡道，下降到約 500 米的深度，然後在基岩中建造一個隧道系統。當完全開發後（約於 2080 年代），儲存庫將包括 60 公里長的隧道，可容納 6,000 多個用過核燃料貯存銅罐。地下岩石所需空間的總體積約為 4 立方公里，施工期將需要十年時間。



圖 10 用過核燃料最終處置場示意圖



圖 11 台電公司代表致贈 Forsmark 設施紀念品

參、心得及建議

一、心得

- (一)、在考察參訪位於尼雪平 Studsvik 低放射性廢棄物處理園區內的 Cyclife 與 Stidsvik 兩家機構與設施的技術討論中，不僅對目前業界處理技術發展能有所了解，對於電廠除役過程中有關低放射性廢棄物處理策略也多所討論。國外專家亦提供建議，並表達合作之意願。本公司有 6 部機組將陸續進入除役，可考慮金屬放射性廢棄物的數量與未來向外提供該等處理服務等因素，或可支持自行設置金屬放射性廢棄物拆解處理設施之設置；又或者考慮國內對放射性廢棄物的觀感，將金屬放射性廢棄物委外進行處理與釋出，減低電廠除役工作對國內低放射性廢棄物貯存與最終處置的壓力。這些想法也許可進一步納入策略應用的評估。
- (二)、在參訪瑞典西屋公司過程中，與該公司專家交流討論後，均認為電廠除役工作涉及輻射作業，要能順利進行，對於人員之訓練是絕對必要的。因應大量的電廠除役工作人力需求，設置模擬訓練中心，進行標準化的訓練是非常重要的。本公

司林口核能訓練中心原任務即在進行核能電廠運維所需相關訓練，並建有電廠反應爐相關模擬設備與設施，若能妥善規劃，將之轉型兼顧核能電廠除役工作訓練所需，除可因應電廠除役人力訓練需求，亦可從中建立標準訓練，未來亦可做為向外提供訓練服務的基礎。

二、建議

- (一)、 透過此次的參訪活動，能與國外多個機構設施的專家們進行交流討論，除能了解業界發現況外，也著實獲得許多不同的思維與想法。尤其本公司核能電廠將陸續進入除役，透過這類的機會，除能增加對電廠除役工作之認知，也有助於國際視野與合作的拓展。因此，建議能持續派員參與及推動此類國際交流活動。
- (二)、 本公司核能電廠將陸續進入除役，有關從事除役人員的訓練需求日益增加，為能順利銜接電廠除役工作，或可考慮利用林口核能訓練中心現有的模擬設施，增加有關除役工作的訓練，提供除役訓練能量。除可短期因應本公司電廠除役的訓練需求，亦可做為未來對外提供除役訓練服務的基礎。