

出國報告（出國類別：其他）

赴大陸參加第三屆兩岸放射性廢棄物 管理研討會

服務機關：核能研究所

姓名職稱：吳欣潔 助理工程師

派赴國家：大陸

出國期間：102年10月17日~102年10月22日

報告日期：102年11月22日

摘要

化學組助理工程師吳欣潔奉派於 102 年 10 月 17 日至 10 月 22 日公差，赴大陸成都參加第三屆兩岸放射性廢物管理研討會與參訪「中核建中」核燃料元件有限公司的活動。

2013 年於四川成都舉行的「第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會」，會議主題包括六部份：1.放射性廢棄物管理政策法規、2.核電放射性廢棄物最小化技術與實踐、3.核電放射性廢棄物管理技術與實踐、4.核電放射性廢棄物監測技術、5.放射性廢棄物最終處置技術、6.用過核燃料中期貯存技術。本次研討會共發表 40 篇論文，台灣地區與大陸地區各發表 20 篇，計有 88 位海峽兩岸的專家學者與會。作者並發表會議論文 1 篇：「利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法」。藉由此次公差行程實際參訪，對於對岸快中子反應器、深層處置之地質研究以及核燃料元件之生產與裝配有更深一層的體認，相關參訪資料蒐集可提供後續規劃放射性廢棄物安全管理技術時參考，並兼顧確保民眾健康及環境保護與核電廠除役等相關議題研究規劃參考。

關鍵字：放射性廢棄物管理、除役與除污

目 次

	(頁碼)
一、目 的.....	1
二、過 程.....	1
三、心 得.....	36
四、建 議 事 項.....	39
附錄一 第三屆兩岸放射性廢物管理研討會議程表與日程表.	40

一、目的

此次前往中國大陸進行公差之目的如下：

- (一)參與由中華核能學會與大陸中國核學會輻射防護分會、中國環境科學學會與輻射環境安全專業委員會聯合舉辦的「第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會」，與大陸地區相關工作人員，透過論文發表與問題探討，彼此之經驗得以直接溝通與交流，使公差人員有實質之收穫。
- (二)藉由發表論文，分享放射性廢棄物管理與處理技術經驗，為兩岸在核電廢物管理與處理技術合作搭建平台，推廣我國技術，增加技術服務與推廣之可行性。
- (三)參訪位於宜賓的中核建中核燃料元件有限公司，瞭解大陸核燃料元件製程與生產的品管程序，以及降低生產過程中的職業安全風險之方法。

二、過程

(一) 行程及工作摘要

行程及工作摘要詳如表 1 所示。

表 1 出差行程及工作摘要表

時間	地點	活動項目	工作摘要
10月17日	桃園→香港 →成都	旅程與註冊	桃園經香港飛抵成都
10月18日~ 10月19日	成都	參加第3屆兩岸放射性廢棄物管理研討會並發表論文	開幕式、主題討論、論文宣讀、閉幕
10月20日~ 10月21日	成都→宜賓	旅程與參訪	參訪中核建中核燃料元件廠
10月22日	宜賓→成都 →桃園	回程	自宜賓搭車前往成都雙流機場再搭機返回桃園國際機場

(二) 參加第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會並宣讀論文

第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會於10月18日上午開幕，由潘自強院士主持，

研討會議程表與日程表如附錄一。並且介紹台灣代表原子能委員會放射性物料管理局邱賜聰局長與中華核能學會黃慶村博士，如圖 1、2，接著，由大陸核環保工程事業部曲志敏主任致詞，曲主任表示：大陸核電目前總裝機容量 1474 萬千瓦，運轉有 17 個機組，目前正在建造的包括三門、陽江、昌江、方家山、福清、紅沿河、寧德、防城堡、海陽、台山等 10 家核電廠，總裝機容量 3130 萬千瓦，共有 28 個機組，核電反應爐的型態有 CPR1000、AP1000 及 EPR 等；此外，規劃至 2020 年運轉裝機容量達 5800 萬千瓦。曲主任在演講中也提到，日本 311 福島核事件也有影響大陸核電發展的進度，導致目前核電興建進度放緩；而規劃興建核電，則審查從嚴。第三屆兩岸放射性廢物管理研討會計有 88 位參加，台灣參加人員計有 34 人(人員名單如附錄二)，大陸參加人員計有 54 人。本屆兩岸計發表 40 篇論文，台灣與大陸各發表 20 篇；其中，核能研究所參加有 12 人，發表 9 篇論文。

在台灣的貴賓致詞，由中華核能學會理事及放射性廢棄管理學術委員會召集人黃慶村博士代表台灣單位致詞。黃博士表示：自日本福島核一廠 2011 年發生嚴重的核能事故後，雖然使核電的發展短暫受挫，但全球核電的發展態勢並無顛覆性的改變。但放射性廢棄物最終處置場一地難求的困境也更明顯，使放射性廢棄物最小化的需要更形急迫。放射性廢棄物最小化是一個目標具體、任務單純，具有重大經濟效益的工作，必須在確保安全的前提下，追求包括放射性廢棄物的減容與減量、廢棄物體品質的提升、對環境的友善性以及經濟性等的綜合效益。

開幕後進行 5 篇大會報告，包括(1)大陸核環保工程事業部主任曲志敏研究員發表「核電放射性廢棄物管理」；(2)中華核能學會理事及放射性廢棄管理學術委員會召集人黃慶村博士發表「核電放射性廢棄物最小化策略與實務」；(3)中國核工業集團公司環保部核與輻射安全中心主任劉福東研究員發表「實現廢棄物最小化管理的幾點建議」；(4)台灣電力有限公司核後端處處長李清山發表「台灣電力公司用過核子燃料乾式貯存設施之安全分析」，如圖 3；(5)中國核電工程有限公司系統與布

置設計所室主任研究員張志銀發表之論文「中國大陸核電廠放射性廢物最小化進展」。接著進行全體人員之合照，如圖 4；以及台灣參加人員合影，如圖 5。大會報告過程，兩岸雙方交流討論非常熱烈，如圖 6-7。

自 10 月 18 日下午至 19 日上午進行專題論文討論，分二個會場計發表 35 篇專題論文，本所計發表 9 篇論文分述如下：(1)陳又平先生發表「濕式氧化暨高效率固化系統之建置」；(2)張清土博士發表「高完整性混凝土處置容器之研製與應用」；(3)李文成先生發表「可剝式膠體除污劑開發與應用」；(4)林國明先生發表「超臨界二氧化碳流體對放射性污染除污可行性探討」；(5)甘金相先生發表「核設施除役性金屬廢棄物除污及廢酸液回收之研究」；(6)鍾東益先生發表「台灣研究用反應器燃料池水中放射性污染物質去除研究」；(7)劉玉章博士發表「X 射線屏蔽之高分子/金屬氧化物複合材料開發研究」；(8)蕭學偉先生發表「朝向應用無線射頻技術於核電廠除役低放射性廢棄物管理」；(9)吳欣潔小姐發表「利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法」，如圖 8-10。

10 月 19 日中午舉行閉幕，由大陸輻射源安全監管司放射性廢棄物管理處處長馬成輝主持，馬處長表示「第三屆放射性廢棄物管理研討會」經幾天的兩岸放射性同行共聚一堂熱烈的討論，以及做深入的探討與交流，增進兩岸對於放射性廢棄物管理技術彼此之間的瞭解。接著由中華核能學會理事及放射性廢棄管理學術委員會召集人黃慶村博士致詞。黃博士表示依據世界核能協會(World Nuclear Association, WNA)的統計，2013 年 7 月全世界運轉中的機組為 432 部，興建中的機組為 68 部，已規劃和籌劃中預計 2030 年前運轉的機組則分別為 162 部和 316 部。換言之，福島核能事故雖然使少部分國家的核電發展短暫受挫，但預估全世界的核能機組在 2030 年仍將有成倍的成長，發展趨勢依然十分穩健。根據 WNA 的資料，大陸地區興建中、已規劃和籌畫中的機組總共達 199 部，佔全世界總數將近四成，是世界上核電發展最強勢的國家。但在核電強勢發展的同時，放射性廢棄物最終處置場難求

的情況也明顯呈現，因此，放射性廢棄物最小化成為急迫的問題。未來將有很多相關問題，故必須透過適當的規劃與互相合作，才能盡其功。放射性廢棄物最小化的原則與策略有 3 點，(1)廢源的減量永遠是核電站放射性廢棄物最小化的基礎；(2)於核電站必須要有良好的廠房管理，採用低腐蝕性的材料；(3)正確的系統操作技巧。除此之外，廢水處理系統的處理效率對廢射源的高低也會有重要的影響，不當的廢水處理將導致二次放射性廢棄物的產生，非常不利於放射性廢棄物最小化。最後，第四屆放射性廢棄物管理研討會將於台灣舉行，黃博士代表台灣核能界竭誠歡迎各位明年(2014 年)到台灣來，大家再共聚一堂討論與交流。



圖 1. 研討會介紹原子能委員會放射性物料管理局邱賜聰局長



圖 2. 研討會介紹中華核能學會黃慶村博士



圖 3.李清山處長發表大會論文--台灣電力公司用過核子燃料乾式貯存設施之安全分析



圖 4. 第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會全體人員合影



圖 5. 台灣與會人員現場合影



圖 6. 研討會問題討論現場--邱賜聰局長發問



圖 7. 研討會問題討論現場—劉森林副院長發問



圖 8. 吳欣潔小姐發表「利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法」(1/3)



圖 9. 吳欣潔小姐發表「利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法」(2/3)



圖 10. 吳欣潔小姐發表「利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法」之報告後問題發問與討論實況(3/3)

本屆兩岸放射性廢棄物管理研討會主題包括 6 大部份：(1)放射性廢棄物管理政策法規，(2)核電放射性廢棄物最小化技術與實踐，(3)核電放射性廢棄物管理技術與實踐，(4)核電放射性廢棄物監測技術，(5)放射性廢棄物最終處置技術，(6)用過核燃料中期貯存技術。

摘述 14 篇大陸方面較具代表性的論文如下：

(三)大陸具代表性的論文如下：

1.中國核工業集團公司核環保工程事業部主任曲志敏發表之論文「中國核電放射性廢物、用過核燃料管理政策與法規」

大陸核電發展狀況，運轉中 17 個機組，如表 3 所示，總裝機容量 1474 萬千瓦；建造中 28 台機組，總裝機容量 3130 萬千瓦；規劃 2020 年運轉裝機容量達 5800 萬千瓦。又大陸核電站投入運轉以來，一直保持安全穩定運轉，業績不斷提高，沒有給環境帶來不良影響。沒有發生 2 級以上的核安全運轉事件；核電站工作人員接受的輻射

劑量、放射性物質排放量遠低於國家標準規定的限值；周圍環境的輻射水平保持在天然背景範圍內。

表 3、大陸目前運轉機組一覽表

序號	核電站	機型	機組數	總容量(MW)
1	秦山一期	CNP300	1	310
2	秦山二期	CNP650	4	2600
3	秦山三期	CANDU6	2	1456
4	大亞灣	CPR1000	2	1968
5	嶺澳	CPR1000	4	4128
6	田灣	VVER	2	2120
7	紅沿河	CPR1000	1	1080
8	寧德	CPR1000	1	1080
合計			17	14742

大陸放射性廢棄物管理法律法規體系和法律法規體系是相應的，分為國家法律、國務院條例、部門規章。國家法律是法律法規的最高層次，由全國人大常委會批准，國家主席令發布；國務院條例是國務院的行政法規，是法律法規的第二層次，由國務院批准，國務院令發布；部門規章是法律法規的第三層次，由國務院各部門批准和發布。放射性廢物管理部門制定與放射性廢物管理要求之行政管理規定相對應的支持性部門規章，包括核安全導則和放射性廢物管理法規技術文件兩種：1.專業法律為放射性污染防治法。2.有關法律為環境保護法、水污染防治法、海洋環境保護法、大氣污染防治法、固體廢棄物污染環境防治法、道路交通安全法。相關政策法規主要要求放射性廢物管理原則（安全管理條例）：放射性廢物的安全管理，應當堅持減量化、無害化和妥善處置、永久安全的原則。放射性廢物處理（安全管理條例）：核設施營運單位應當對其產生的除廢舊放射源以外的放射性固體廢物和不能經淨化排放的放射性廢液進行處理，使其轉變為穩定的、標準化的固體廢物後自行貯存，並及時送交取得相應許可證的放射性固體廢物處置單位處置。放射性廢物處置（放射性污染防治法）：低、

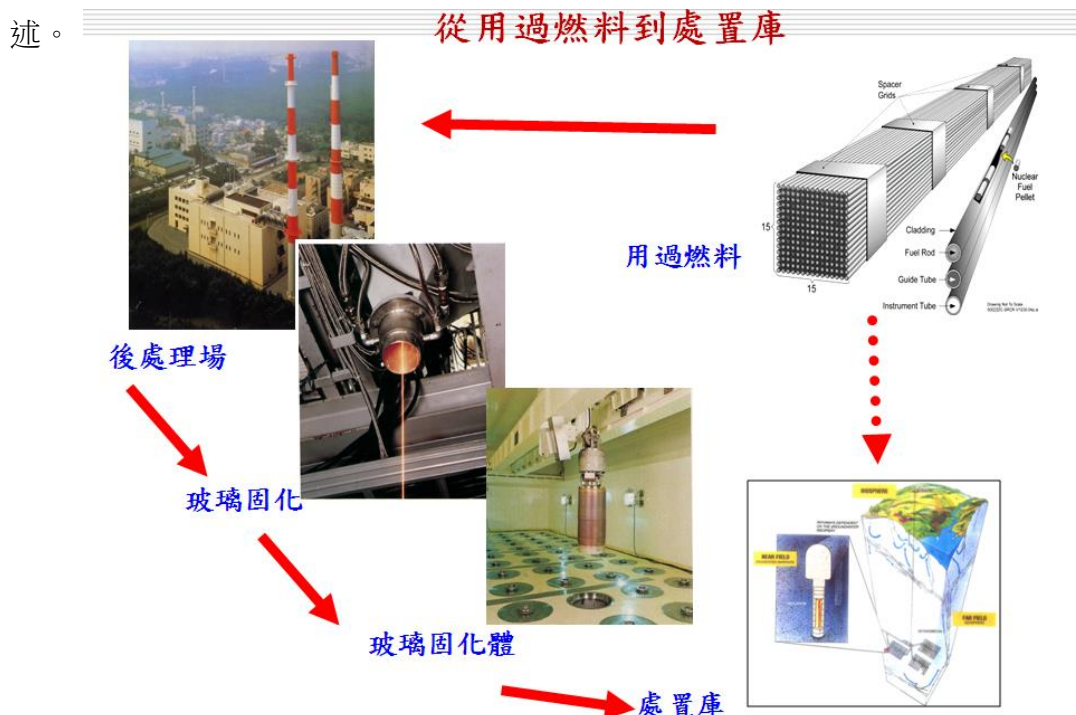
中水平放射性固體廢物在符合國家規定的區域實行近地表處置。高水平放射性固體廢物實行集中的深地質處置。禁止在內河水域和海洋上處置放射性固體廢物。

中國大陸運轉中核電廠放射性廢棄物管理方法如下，濕性廢棄物：水泥固化，乾性廢棄物：壓縮處理，化學排水：蒸發處理，地面排水：過濾處理，技術排水：過濾和除鹽處理，含氧廢氣：活性炭吸附和高效過濾處理，含氫放射性廢氣：加壓貯存衰變/活性炭延遲衰變。中低放固體廢棄物處置：在建設核電廠的同時，配套建設處置場。中低放固體廢棄物進行近地表處置。已建成西北和廣東處置場。西南處置場正在建設。在福建、浙江、江蘇、山東、遼寧等省開展了前期選址工作，完成 11 份選址報告。不宜近地表處置，則進行中等深度地下處置，已開展前期研究，規劃 2020 年確定廠址、處置庫結構和技術，2025 年建成。可以明顯看出中國大陸在最終處置場選址等研究方面較台灣方面積極，未來雙方應可在這方面進一步討論與學習。用過核燃料處理：堅持核燃料閉合循環的技術路線。在運轉中機組共累計產生用過核燃料 2241 公噸（重金屬）。已運轉核電廠按 10 年以上卸料量標準配套建有用過核燃料在堆貯存水池。用過核燃料處理處置基金：2010 年，頒發《核電站用過核燃料處理處置基金徵收使用管理暫行辦法》。按核電廠已投入商轉五年以上壓水式核電機組的實際銷售電量，徵收標準為 0.026 元/千瓦小時。使用範圍包括：用過核燃料運輸、離堆貯存、後處理、後處理所產生的高放射性廢棄物的處理處置、後處理廠（建設、運轉、改造和除役）等。用過核燃料運輸：已安全完成 17 批，約 400 公噸大亞灣用過核燃料公路運輸。初步建成了包括運輸容器、車輛、裝卸料操作、運輸運行、質量保證、輻射防護、應急指揮與通訊系統等在內的一套比較完整的核運輸體系。規劃 2020 年完成海陸聯運體系建設。用過核燃料離堆貯存：甘肅省建有貯存能力 500 公噸水池，已貯存大亞灣核電站用過核燃料 390 公噸。在建離堆貯存水池兩個，每個水池貯存能力 400 公噸。規劃“十三五”建設 3000 公噸離堆貯存水池。

用過核燃料後處理過程如圖 11 所示，中國大陸採用自主設計，建造了用過核燃料

後處理中試廠。2013 年 4 月 25 日，中國核工業集團公司與法國阿海法公司簽署了中國大型商業後處理一再循環工廠項目合作意向書，包含了項目建設內容、性能指標、雙方責任及分工等重要內容。項目建設規模為 800 公噸/年用過核燃料後處理能力。高放廢液治理：高放廢液治理採用玻璃固化路線。2009 年，中國核工業集團公司與德國簽訂高放玻璃固化項目合約。中德雙方共同推進中國在川玻璃固化廠的設計、供貨和技術服務等各項工作。上個世紀 70 年代，中國核工業集團公司開始了與德國有關部門、科研院所和實業公司發展玻璃固化技術研究合作，並取得了重要的階段性成果。

重要問題觀點：大陸高放固體廢棄物採用深地質處置技術路線。規劃 2020 年前建成地下實驗室，21 世紀中期建成高放廢棄物處置庫。處置庫選址、廠址評估、工程屏障研究、膨潤土研究、核種遷移、核種水溶液化學、天然類比、地下實驗室選址、概念設計、性能評估等方面已取得一定進展。大陸已初步選定甘肅省北山地區為重點預選區，正在進行廠址系統評估，確定採用膨潤土為回填材料，初步確定內蒙古高廟子膨潤土為首選緩沖回填材料，該膨潤土研究也在其會議中發表，於第 5 點中做詳細描述。



2.中國核工業集團公司環保部核與輻射安全中心主任劉福東發表之論文「實現廢物最小化管理的幾點建議」

中國核工業、軍工業經過半個多世紀發展，在營運、檢修和除役產生許多放射性廢棄物。隨著放射性廢棄物處置費用的增加、處置場容量限制以及公眾參與意識增強，放射性廢棄物管理成為實施核能可持續發展戰略的重要挑戰。放射性廢棄物管理目標旨在保護人類健康和環境，不給後代留下不適當的負擔。在考慮到安全與經濟原素的情況下，應合理可行並儘可能地減少污染源的產生，限制污染的轉移與擴散，減少需處理處置的廢棄物數量，這是企業所感興趣的。監管者主要關心控制輻射潛在的環境影響；廢棄物最小化管理通常在獲得的利益和費用之間進行權衡。

豁免管制、排除管制和解除管制是實施廢棄物最小化管理幾個重要概念，直接影響廢棄物產生量。在廢棄物管理中合理應用解除管制值，特別是給定廢棄物最終處置路線後，廢棄物的活度濃度高於標準中提出的解除管制值時，怎樣實現廢棄物的優化管理，是當前廢棄物最小化管理重要環節。最小化管理措施，獲得關鍵高層支持。最好方法可能是，列出詳細費用以及責任分析，明確顯示好的廢棄物最小化大綱，長期執行的代價效益。管理程序實施有時需要資金確保實施積極性。資金來源有兩個渠道：一是部門資金和基金，二是政府援助資金。廢棄物最小化措施，可能的節省費用，付諸實施，另牽涉到設備修改或添置新設備，與其它類型的投資無本質差別。加強員工和企業管理人員最小化理念，是廢棄物最小化前提。明確企業具體的、合理可行的、最好能量化的最小化目標是關鍵。制定科學詳細管理程序是廢棄物最小化管理必要手段，包括計劃與組織、最小化實施、評估等相關環節。

重要問題觀點：隨著放射性廢棄物處置費用的增加、處置場容量限制以及公眾的日益憂慮，放射性廢棄物的有效管理，是核能可持續的重要挑戰。在保證人類健康和環境安全的前提下，大陸首先實施最大限度的無條件解除管制，其次考慮有條件解除管制、再利用或再循環，最後減少剩餘放射性廢棄物的體積，以達到廢棄物最小化管

理之目標。

3.中國核電工程有限公司系統與布置設計所室主任研究員級高工張志銀發表之論文「中國大陸核電廠放射性廢物最小化進展」

目前中國大陸運行核電廠主要採用傳統的固體廢棄物處理技術，單機組廢物每年產生體積在 32~143m³之間。而臺灣馬鞍山核電廠廢棄物每年產生體積在 24m³左右。中國 2030 年的機組將達 199 部，是核電發展最迅速的國家，但放廢最終處置場難求的情況已明顯呈現，放廢最小化成為急迫的問題。根據國家放射性廢棄物管理政策要求，在建和擬建核電廠都應該通過優化廢棄物管理，使得單機組廢棄物年產生量能有顯著性的降低。由於中國大陸低、中水準放射性固體廢棄物處置場建設進展緩慢，大部分放射性固體廢棄物在核電廠暫存 5 年後無法運往處置場進行處置，放射性固體廢棄物貯存和處置壓力逐年增大，所以實現廢棄物最小化是現實和長遠發展的必然選擇。

廢棄物最小化是放射性廢棄物管理的重要原則，包括廢棄物產生量和放射性活度的最小化。廢棄物最小化應貫穿核電廠設計、建造、運行和退役的整個過程，體現了“全過程管理”的原則，需通過強化管理、源頭控制、再循環和再利用與減容處理的綜合措施才能實現。大陸早期建設的核電廠對廢棄物最小化設計重視不足，濕廢棄物主要採用增容的處理技術，缺乏設計優化，致使廢棄物產生量大，給廢棄物貯存和處置帶來很大負擔，進行技術改造需付出較大的代價。設計階段重視廢棄物最小化，從源頭減少放射性廢棄物的產生，採用先進的廢棄物處理技術，對降低運行廢棄物產生量具有決定性的影響。並談到未來的發展及新興的技術，隨著大陸核電廠運行經驗的積累，營運單位通過管理提升、減源增效、技術改進不斷提高放射性廢棄物管理水準。

雖然大陸運行核電廠廢棄物最小化取得積極進展，但與美國、日本及臺灣地區仍有較大差距，究其原因主要是廢物處理技術落後，管理水準仍有待提升，因此大陸運行核電廠放射性廢棄物最小化仍然任重道遠，持續改進提高是廢棄物最小化的途徑。

重要問題觀點：(1)廢棄物最小化政策及技術之建立與精進，研究和實施有效的放射性廢棄物處置機制，促進廢棄物處置場的建設，發揮廢棄物處置政策對廢棄物最小化的促進作用，採用最佳可用技術；加強廢棄物處理技術研究開發、推廣及示範工程建設。(2)核電廠進一步完善廢棄物最小化管理體系和遠期規劃，全面落實廢棄物最小化責任制。同時加強國內外及兩岸廢棄物管理技術交流，通過管理和技術措施實現廢棄物減量化目標。放廢最小化是目標具體、任務單純，具有經濟效益的工作，但成功有賴妥善規劃與合作。

4.中核核電運行管理有限公司運行支持中心研究員高級工程師康雲鼎發表之論文「秦山核電基地放射性廢棄物最小化技術路線探討」

本篇報告分析了秦山地區放射性廢棄物的管理現狀，探討了各種廢棄物的處理技術適用性與優缺點，並且提出了秦山基地介紹，廢棄物概況分析與放射性廢棄物最小化處理技術，以及放射性廢棄物處理方案建議。秦山核電基地位於中國浙江省海鹽縣，緊傍杭州灣，地處中國經濟最重要性的長江三角洲，也處於用電負荷較高的地區，是中國大陸核電的發源地。秦山核電基地目前共有七台運行機組，裝機容量達 430 萬千瓦；另外 2 台機組正在興建中，機組全部完成建設後，總裝機容量將達到 630 萬千瓦。圖 12 為秦山核電基地俯瞰圖。

在秦山核電基地核廢棄物中蒸餾殘餘液水泥固化體佔 32%、可壓縮廢棄物約佔 25%、廢樹脂固化體佔總廢棄物體積 13%、不可壓縮廢棄物佔 10%等。目前，電廠的含硼廢棄液水泥固化體質量不易控制，若硼的濃度控制較低，水泥固化體形成數量會較大。而秦山核電二廠的含硼蒸發廢液水泥固化體現階段以混凝土桶盛裝，廢棄物容量增加 4.68 倍以上。在廢棄樹脂處理方面，目前秦山一廠與三廠處理方面都是採用暫時儲存：一廠利用方家山擴建的系統進行水泥固化，將造成較大的容量；二廠將廢樹脂裝入 C1 型水泥桶進行水泥固化處理，此方法將造成廢棄物體積增加 4.06 倍；而三廠

樹脂中有碳-14 含量較高的問題，目前還沒有明確的整理方案。在可壓縮廢棄物處理方面，目前儲存在庫房的可壓縮廢棄物約占基地內廢物總儲存量的 25%以上。

秦山基地各電廠分別採用單向壓縮打包經過初步壓縮後裝入 200L 的鋼桶，雖然有明顯的體積減少，但是仍保有可進步的空間。在放射性廢油與廢棄有機溶液中，目前各廠都產生了少量的低放射性廢油和廢有機溶劑，這部分的廢棄物既不能作為低放射性廢棄物排放，也不能進行固化，是有待解決的一部分。目前廢棄物的處理路線尚未確定，因此有些廢棄物尚未符合最終處置的要求，需等待處理路線明確後才能完成整頓。

秦山地區運行中的三個電廠已分別建立了自己的廢棄物管理系統，就處理技術而言，僅考慮一個電廠，容易發生設施資源的浪費與經濟效益不高的問題，因此建議如果秦山地區三廠統一考慮處理廢棄物的方案，則可提高經濟效益，在環境保護方面效果也會更加顯著，並且提出了針對技術方面廢棄物應將原先的裝桶壓實方法改採用”焚燒+超壓固定”，對於含硼廢棄液採用目前採用水泥固化應改為”高效率固定”，以及對於廢樹脂原採用水泥固化應改為”濕式氧化+超壓固定”等為主的廢棄物最小化技術路線的建議方案。根據此評估結果，秦山基地若採用上述方案進行廢棄物最小化處理改善，可大幅降低廢棄物產量，在較短時間就能回收投資成本，也將進一步確保廢棄物最終處置的安全性，對解決核電站面臨的放射性廢棄物的問題及核電的持續發展有重要的意義。



圖 12. 秦山核電基地俯瞰圖

5.核工業北京地質研究院研究員工程師李娜娜發表之論文「高離子膨潤土與北山地下水相互作用地球化學緩衝性能模擬研究」

膨潤土已被許多國家確定為高放廢棄物地質處置的工程屏障材料。在高放廢棄物處置場中，膨潤土所處的地點如圖 13 所示，是核種遷移出金屬桶後首先接觸的外部環境。膨潤土可做為工程屏障維護處置場的結構穩定性，並可阻止地下水與核種的相互作用，防止滲流與發揮化學緩衝作用，膨潤土是地球化學緩衝性能研究高放廢棄物處置場條件下核種遷移的基礎。

本文敘述選取內蒙古高廟子膨潤土礦床的鈉基膨潤土為研究對象，高廟子膨潤土的微結構體係是由 0.2~7.5 μm 大小不等的蒙脫石片狀集合體單元所構成的結構網絡，結構網絡的分佈都是隨機的，因而膨潤土的性質是各向同性的，局部地段有定向排列。這種微結構特徵與蒙脫石的吸水膨脹作用有關，結構單元越大，層間吸附水越多。蒙脫石片狀結構越小，比表面積越大，陽離子交換特性越高。高廟子天然鈉基膨潤土的總比表面積為 570 m^2/g ；與美國 MX80、加拿大 Avonseal、法國 Fo-Ca、德國 Mixed-layer、瑞士 Montigel、西班牙 S-2、日本 Kunigel V1 等國家選用的粘土材料相比，內蒙古高廟子膨潤土蒙脫石含量較高，陽離子交換容量和比表面積較大，液限較高，具有很好熱穩定性能，是高放廢物深地質處置庫工程屏障系統緩衝與回填的優質材料。

研究對其膨潤土的物理性質、水理性質、化學成分、礦物成分、陽離子交換容量等進行了測定分析，獲得了膨潤土基本性能參數，其地區膨潤土表面積很大，說明該土的吸附性能高。利用膨潤土在實驗室內模擬處置庫低氧條件，在常溫和 90°C 下開展了膨潤土與北山地下水相互作用批式試驗，在 90°C 的高溫作用下，體系的主要溶解礦物仍然是方解石，其他礦物在短期內也呈現穩定的狀態，在高溫作用下，高廟子膨潤土也可以保持其礦物組份穩定並進一步保持其穩定的地球化學特徵，長期的高溫浸泡下，北山水仍然只溶解了少量的方解石而不是全部，高廟子膨潤土的其它主要礦物的體積分數也基本沒有變化，illite(伊利石)出現沉澱，但是極其微量，對比觀察蒙脫石的體積分數可以看

出體系中蒙脫石的含量幾乎沒有變化。

並且測定了固相陽離子交換容量、礦物成分和液相離子成分，得出膨潤土化學緩衝性能隨溫度和固液比的變化趨勢，獲得了膨潤土化學緩衝性能特徵參數，建立了不同條件下陽離子交換模型；同時利用地球化學軟件模擬預測了高溫條件下，高廟子鈉基膨潤土與北山地下水長期相互作用膨潤土礦物成分變化情況，通過批式實驗和地球化學模擬的相互驗證，初步查明了高廟子膨潤土化學緩衝機理。批式反應過程中存在離子交換、酸鹼反應、礦物溶解-沉澱和部分礦物的氧化反應等，以離子交換和礦物溶解-沉澱為主，並得出了相應的比例。獲得了高廟子膨潤土與地下水相互作用的化學緩衝性能關鍵特徵參數， Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、pH 等隨固液比的變化規律，綜合實驗研究和軟體模擬得出，在模擬處置庫條件下，高廟子膨潤土化學緩衝性能很穩定。

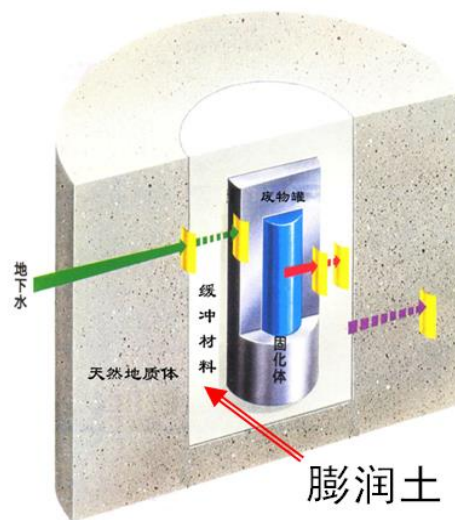


圖 13. 膨潤土與放射性廢棄物相對關係

6. 成都理工大學教授陳春海發表之論文「放射性廢液處理技術進展」

放射性同位素釋放的射線廣泛用於醫療衛生、食品保鮮、化妝品滅菌等方面。重核裂變和輕核聚變時會釋放出巨大能量，且利用原子核裂變能發電的核電在已經佔有很多國家已經成為重要的電能來源，特別是法國、日本、美國等核電大國；ITER(國際熱核融合實驗反應爐)作為一個利用聚變能發電的研究與建設的國際合作項目，其中，中國

的貢獻不低於 10%。現在各國廣泛認為核能是經濟的、清潔的、可持續發展的能源。然而，在核燃料和同位素物質研究、製備、生產、利用過程中，不可避免要產生放射性廢棄物。其中，液體放射性廢棄物是其中一大類。放射性廢棄物的處理與最終處置的方式的優劣性關係，可以說關乎全人類和生態圈的安全性，因此各國對此議題極為關注。

放射性元素較常靠自然衰變來降低以至消除其放射性，核燃料循環中，國際原子能機構倡導的放射性廢物管理基本原則為最少化廢物。該原則為成員國廣泛認同，在放射性廢物處置中應該貫徹落實該原則。通常將放射性廢液按比活度(或放射性濃度)分成高放射性廢液、中放射性廢液和低放射性廢液。此外，也有按放射性核種的半衰期，分為長、中、短半衰期放射性廢液的。各國對放射性廢液的分類標準很不一致，1970 年國際原子能機構曾提出按放射性濃度將放射性廢液分成五類，一般認為 1 至 3 類屬於低放廢液，第 4 類屬於中放廢液，第 5 類則屬於高放廢液。中國的分類標準為：高放廢液放射性濃度 $> 3.7 \times 10^9$ Bq/L，中放廢液放射性濃度 $3.7 \times 10^9 \sim 3.7 \times 10^6$ Bq/L，低放廢液放射性濃度 $< 3.7 \times 10^6$ Bq/L。對短半衰期的放射性廢液，可採用貯存法達到去除放射性的目的；對某些特殊成分和性質的放射性廢液，如含氫廢液、 α 放射性廢液和含有放射性的有機廢液等，一般都分別貯存，以便管理和處理。核廢料的管理原則：(1)盡量減少不必要的廢料產生並開展回收利用。(2)對已產生的核廢料分類收集，分別貯存和處理。(3)盡量減少容積以節約運輸、貯存和處理的費用。(4)環境稀釋排放時，必須嚴格遵守有關法規。(5)以穩定的固化體形式貯存，減少放射性核素遷移擴散。因高放廢液的放射性極高，化學毒性極大，且某些放射性核素的半壽命很長(達 10^6 年)，因此高放廢液特別引人關注。

高放廢液地層處置有以下幾種方法：(1)將廢物長期貯存於合適的深地質層中。在合適的地質層中用開礦技術挖掘豎井、巷道和洞室，並在洞室內鑽孔，將高放固化體安置於鑽孔內，用膨潤土等回填密封。廢物和生物圈之間就有三道屏障，即固化體本身、金

屬容器和地質岩床。也有建議在岩體上鑽孔，將高放廢液注入其內，放射性衰變熱使廢物與岩石熔為一體，冷卻後成為岩石廢物固化體。用於處置的深地質層，應在過去的幾十萬年甚至更長的時間裡無地震危害或無劇烈、大面積岩層斷裂的跡象。70 年代前期注意力集中於鹽礦，以後發展到玄武岩、花崗岩、頁岩和凝灰岩等多種地質層。貯存處到地表的距離一般為 500~1000 公尺。(2)海床處置，將廢物投送到深海溝、海底沉積層或沉積層下的岩床中。(3)將廢棄物安置於近地極的厚冰層中，利用放射性衰變熱使冰層熔化而沉到基岩上。(4)將廢棄物送往別的星球或外層空間。(5)將半衰期長、毒性大的放射性核種分離出後，用高通量反應堆將它們轉變為短半衰期核種或穩定性核種。目前根據大陸清華大學的評估，高放廢液較為廣泛認可處置方法為在貯存幾年以後，進行玻璃固化後，裝入不銹鋼容器，再送到不透水的深層地下倉庫貯存處置，往往還需要採取填埋緩衝材料等措施，以實現與生物圈長期隔離這樣的地質處置方案，隔離時間要長達幾百萬年，地下貯庫一般在花崗岩層等，地下永久貯存庫的利用始於 1959 年，現在有多個國家建成了放射性廢物地下永久貯存庫。永久貯存庫的庫址需選擇乾燥少雨的地方。

而中低放射性廢棄物危害較低，國際上通行的做法是在地面開挖深約 10-20 米的時間後，這些廢棄物中的放射性物質就會衰變成對人體無害的物質。技術成熟，安全性有保障，目前大陸已經建成兩個中低放射性廢棄物處置場在甘肅省某地。廢棄物最小化是國際原子能機構(IAEA)確定的放射性廢棄物管理的原則之一，中放廢液的處理方法有：(1)將廢液固化，再將由此形成的固體廢棄物作最終處置。通常採取的方式為水泥固化或瀝青固化；(2)將廢液與水泥、粘土、樹脂等物混合，用高壓直接注入不透水的頁岩深地層中。(3)用蒸發、化學凝聚、離子交換多種處理手段，將大部分中放射性廢液轉變成低放射性廢液；對產生的放射性濃集液，則進行固化處理。先前有日本和捷克發現了瀝青固化物自燃，因而 Zakharova 等評估了加瀝青固化放射性廢液發生爆炸和著火時的安全性和可操作性，認為用瀝青固化中低放射性廢液是合適的。低放射性廢液量大，儘管其放射性濃度低，但無法直接排放。通常用蒸發、離子交換、化學凝聚和隔膜分離等諸多

手段進行濃集處理，在其放射性水準符合國家規定的排放標準時，在嚴格的監督和控制下向環境中排放。為了環境安全、可持續發展，更應該將經過處理達到標準的放射性廢水，實行閉路循環，重複使用，以盡量減少排放量，這才是控制放射性廢水污染環境的一種好措施，符合國際發展趨勢和人類自身安全需求。水泥固化技術已取得了豐碩的成果，現在一些國家之用於處置中低放射性廢棄物。水泥固化技術具有技術簡單、長期穩定性好、成本低等顯著優點。既用於泥漿殘渣的固化，也用於有機廢物的固化。就美國和法國等核電大國而言，其在核電廠絕大部分皆採用低放廢物採用水泥固化的技術。綜上所述，儘管相關科學研究不斷取得進展，但是放射性廢液的處理和處置仍然是一個世界環境難題。

各種處理技術各有優缺點和適用範圍，在工程實際應用中必須根據廢水中放射性元素的種類、放射性強度、廢水量的大小及出水水質等要求，選擇合適的方法或者進行多種方法合理聯用，以期達到設計所需的處理效果，並為放射性廢物的最終處置創造良好條件。目前高放廢液首重固化與地質處置。中低放廢液首重濃縮後固化，符合標準的低放廢液則按規定在嚴格監管下排放。利用生物質的吸附特性來去除重金屬元素和核素已經一定的研究。然而，研究的系統性較期望仍有差距，研究的高度和理論性也存在不足之處。放射性廢水處理宜採用閉路循環，提高水和放射性元素的利用率，降低污染物排放量，從源頭上予以防治。

7.中國輻射防護研究院副主任李洪輝發表之論文「貧鈾的處理與處置介紹」

貧鈾又稱作乏鈾，是在提煉原子彈材料及核燃料生產過程中產生的一種放射性廢棄物。美國 NRC 將 U-235 的含量低於 0.711% 的鈾定義為貧鈾。美國國防部的國防標準為 U-235 的含量在 0.3% 以下，現在世界上多數核電站的核裂變反應堆利用的天然鈾中可以利用的 U-235 只有約占 0.7%，而 99.3% 的 U-238 大部分不能利用，這部分鈾即通常所謂的貧鈾，是具有低度放射性的有害物質。中、美、法、英、日、南非因濃縮鈾的生產積累了相當多的貧鈾。

目前貧鈾及其合金可應用在軍事及民用工業中。主要應用包括：(1) 貧鈾合金在軍事工業中的應用，包括三個方面：貧鈾合金動能穿甲彈、貧鈾合金藥型罩破甲彈、貧鈾合金裝甲；(2) 在其他工業中的應用，國外非軍事工業中貧鈾用量最多的是製造成用過核燃料及高放廢液運輸容器和放射源遮罩容器。由於貧鈾具有密度大、中子俘獲截面大、熔點較高、輻照穩定、導熱性好、價廉、易加工等一系列優點，尤其對 X 射線的吸收係數很強，是優良的遮罩材料。採用貧鈾製成的防護源罐品質只有鉛質源罐的 30%，特別適合製作需要遮罩能力強，而安放地方小的遮罩容器，而且貧鈾遮罩容器的作用壽命也很長。美國貧鈾處置存在著不少的爭議，在美國，來自核活動的放射性廢物分為 HLW、TRU 廢物、LLW 或者 11e(2)副產品材料（包括尾料），NRC 分類體系則將 LLW 進一步被劃分為 A 類、B 類、C 類和超 C 類（GTCC），核管會§ 61.55(a)(6)規定如果放射性廢物不包含其分類表中所含核素的可以定義為 A 類低放廢物，貧鈾不包含分類表中所含的核素，按照核管會的分類標準可以將貧鈾廢物歸為 A 類低放廢物，A 類低放可淺層近地表處置。美國核資訊資源服務與公眾 NIRS/PC 認為：核管會宣稱貧鈾廢物為低放廢物是不合適的，這是因為低放廢物的分類僅僅是指適合於淺陸地處置有組織監護 100 年的廢物，但是貧鈾不滿足上述要求。貧鈾處置不是一個好的策略，因為貧鈾是超 C 類廢物(GTCC)需要深地質處置。反對路易斯安娜州鈾濃縮廠環境影響描述中將貧鈾廢物當作 A 類低放廢物的陳述，貧鈾廢物是否滿足核管會 10 C.F.R. Part 61 淺陸地處置的要求還未可知。路易斯安娜州鈾濃縮廠(LES' S)打算將貧鈾轉化成 ^{308}U 形態，然後處置在廢棄的鈾礦中。德克薩斯州環境品質委員會認為在處置大量貧鈾之前要有額外的分析來獲得處置許可證，這個分析包括：處置廢物的形態、核素的種類、總的活度、核種的活度濃度、化學組成，以及對公眾與環境的影響。美國核管會應考慮考慮重新建立放射性廢物分類的標準，特別是關於低活度放射性廢物的分類標準，在保證放射性廢物處置長期安全的前提下，對不同處置方式（近地表處置、中等深度處置、深地質處置等等）進行技術和經濟論證分析，這樣可以為貧鈾的最終出路找到依據。

重要問題觀點：貧鈾(UF₆)有著長期穩定貯存以及鈾的有效利用問題。法國將產生的貧鈾(UF₆)轉化為穩定的氧化鈾，然後貯存。除貯存與處置之外，其利用形式有，混凝土中加進鈾(DUCRETE)、遮罩材料、再濃縮之後形成 MOX 燃料和 HTAR 燃料等。其中關於金屬鈾遮罩材料，桑迪亞國家實驗室等正在對用於遮罩罐的遮罩材料進行評估。另外，日本正積極進行關於貧化 UF₆ 穩定化的討論，以及加進貧鈾的重混凝土的開發。鈾顯示了過渡性金屬和稀土金屬兩方面的特性，所以最近作為詮釋超導理論的材料而受到注目。另外，在磁性材料、光學材料方面的新特性的研究、有關鈾合金的貯氫特性的研究等也在進行中。我們可朝向材料方面的特性研發，使期能更有效的利用。

8.中國輻射防護研究院郭喜良發表之論文「廢樹脂濕法氧化技術路線及問題探討」

放射性廢樹脂由於吸附有中等放射性水準的核種，作為一種含有機質的特殊廢物流，其處理和處置一直是放射性廢棄物安全性的困難點之一。截至目前大陸核電站多採用傳統的水泥固化技術處理廢樹脂，樹脂的有限包容量和固化後的增容構成了該處理技術的瓶頸。在“放射性廢棄物管理小量化”理念的指引下，核電站運營單位引進採用廢棄物減容比較高的處理技術，如樹脂焚燒和高整體性容器的使用等。高整體容器可實現對廢樹脂的直接包容，但高整體容器造價很高，且受樹脂輻解氣體的影響，應限制容器中廢樹脂的放射性水準。熱解焚燒可應用於大多有機廢物的處理，其減容比大；該技術的難點是高溫操作，焚燒過程產生較多 SO_x 和 NO_x，對設備的耐高溫 and 耐腐蝕性能提出了很高的要求；而焚燒產生廢灰的處理存在困難，也是限制該技術推廣應用的一個因素。

廢樹脂濕法氧化處理技術可解決現有放射性廢樹脂處理技術的瓶頸問題，濕法氧化處理其具有以下優勢：(1) 濕式氧化相較於樹脂直接固化，濕法氧化和廢液水泥固化減容技術，大大降低了廢物的最終處置體積；(2) 是一種有機物的無機化處理技術，降低了廢樹脂溶脹和輻照降解有害氣體的產生，提高廢物的暫時貯存和長期處置安全性；(3) 濕法氧化尾氣主要組成為二氧化碳和水蒸汽，通過冷凝回流和鹼液吸收可處理，去除有

害氣體對容器的腐蝕和對環境的有害影響；(4) 濕法氧化技術其條件溫和，技術處理成本較低。使用技術可提高特殊放射性廢物流的安全管理技術，可實現放射性廢物的最小化管理，促進核能發電事業的持續發展。

重要問題觀點：廢樹脂濕法氧化處理該技術的優勢為(1)廢物減容；(2)無機化處理，消除有機質的安全隱患；(3)提高廢物的長期安全；(4)降低廢物的管理成本等優點。大陸方面也已經建立了該技術的基本參數、分析關鍵技術的問題，為後期的配方最佳化及放大製程，提供了基本的基礎。又目前濕法氧化技術尚有幾項問題，待研發人員解決：(1) 陰離子交換樹脂消解時間的優化和消解外溢問題的解決，氣泡現象會延長反應時間，降低氧化劑的反應效率，處理過程中的外溢可能造成放射性污染；(2) 廢樹脂濕法氧化裝置的設計和研製，試驗裝置的設計需考慮廢樹脂的處理量，濕法氧化過程的可控性，耐酸腐蝕和耐氧化性，具備加料、出料、加熱恆溫、攪拌、尾氣處理和監測功能；(3) 濕法氧化廢液水泥的調製和固化配方研製，為提高廢物包容率和確保廢物體性能滿足標準要求，需開發固化配方。或許可以結合大陸方面之經驗，開發濕法氧化技術之最佳化配方及參數，能有效處理放射性廢物，同時又能最小化處理。

9.中國原子能科學研究院李義國主任發表之論文「濟南微堆退役廢物監測」

濟南微堆(Miniature Neutron Source Reactor)反應器額定功率 30kw，1989 年 5 月運轉，2008 年 3 月停機，運轉 19 年，累計運行時間 2939 小時，總分功率 8.82 x 104kWh，主要用於中子活化分析與人員培訓使用。核設施主要是由反應器本體和輔助系統二大部分組成，除役工作進行前燃料組件已運離除役設施現場。

濟南微堆在除役過程中，固體廢棄物包括反應器本體、輔助系統、通風系統與處理廢棄物貯存運行所產生的廢棄物等，液體廢棄物為反應器池水。並持續對固體廢棄物進行監測、分類，檢整結果包括：中放廢棄物 204.1kg、低放廢棄物 2297kg、可外釋廢棄物 5493kg；液體池水達到就地排放標準。

除役過程中廢棄物整備與監測需要持續的紀錄與依據放射性暴露程度進行階段式拆除與廢棄物貯存。該設施除役時檢測液體廢棄物，經量測後水的比活度達到外釋標

準，以槽車運送並排入 30km 外的河水中。除役進行中為了避免污染擴大與減少工作人員劑量，固體廢棄物檢整需先考量非放射性廢棄物，再處理放射性廢棄物，最後處理輻射照射區域與所產生的廢棄物，並對清理的廢棄物進行表面和取樣監測。

以該設施除役經驗說明，輔助系統拆除時相關外露設施拆除，可留用堪用的儀器設備於規劃時需先標示或是先行移除，最後再拆除預埋管道，並針對拆除物進行表面劑量量測與紀錄。反應堆容器相關設備拆除的整備作業規畫依據放射性監測儀器檢測結果，以劑量低到高方式有計劃的進行拆除作業，以減少污染到其他非中放的廢棄物，拆除過程中也全程進行放射性活度量測與紀錄。除役過程中有規劃地進行廢棄物整備與監測可達放射性廢棄物最少化的目標，也是未來電廠除役規劃執行的項目之一。

10.陽江核電有限公司工程師李玉鑫發表之論文「HIC 高整體容器處理技術在核電領的應用和發展」

本文主要敘述 HIC 高整體容器處理技術在世界放射性廢棄物處理領域的應用與發展，對 HIC 高整體容器的材料、種類、應用案例、優勢與劣勢等進行介紹。重點對於大陸陽江核電站與海陽核電站引進的美國 ES 公司 HIC 技術的設計參數、中控站組建、放射性廢樹脂及放射性過濾器芯的 HIC 技術流程及運行特性、HIC 廢物貨包的場內場外運輸、HIC 主設備技術參數等皆有詳細說明。

本所從事 HIC 的研發規劃與研發實務已逾十年，並對標準制定與技術實務具有多年經驗，2011 年 3 月中核公司特邀請公差人(HIC 技術研發計畫之主持人)進行技術標準之討論，因此在會後報告者李先生及大會主席程理副院長與公差人討論，過程中公差人也提出對使用 HIC 的看法，以供大陸陽江核電站及海陽核電站引進美國 ES 公司 HIC 技術的設計參數編制標準之參考。基本上基於地理條件的不同，以及安全與環保的理由，公差人提出 HIC 的使用應該做因地制宜的考量，且應對非輻射性的安全相關問題做充分的考量。

大陸陽江核電站及海陽核電站引進美國 ES 公司 HIC(HDPE 材質 HIC)，然此容器並

未通過 NRC 之 HIC 認證，且盛裝廢棄物之承裝容積率低；因體積大，在吊卸與運輸上皆不方便；核研所開發之 HIC 承裝容積率為 60%，比大陸現行由美國引進者(約 20%)高出許多，使用效率較高，應具有競爭優勢。

11.中國核電運行管理有限公司徐宏明發表之論文「秦山核電廠擴建項目固體廢棄物處理系統兼容性分析」

秦山核電廠 300MW 機組放射性廢棄物處理系統主要負責接收電廠各類廢棄物。原系統設計於 1990 年代之前，原設計無法符合目前法規對於廢棄物處理與處置要求，預期透過系統化的分析過程提升固體廢棄物處理能力。固體廢棄物處理系統包括：輔助廠房中的固化線設備；廢棄物處理廠房中的分類、壓實、固定設備；放射性固體廢棄物暫存庫設備和專用裝卸運輸設備組成。其兼容性分析可區分為：廢棄物分類的兼容性、接口的兼容性、廢棄物處理能力的兼容性、廢棄物包裝運輸及裝卸設備的兼容性、特殊廢棄物的處理能力、廢棄物管理資料庫等分析工作。

重要問題觀點：該電廠透過擴建項目固體廢棄物處理系統的兼容性分析過程，完成下列處置標準的要求分析作業，包括：(1)廢樹脂可以配置專用的廢樹脂轉移容器，運輸到擴建項目固化線處理；(2)廢水過濾器芯子根據表面劑量率分別送到擴建項目固化線或超壓固定線處理。(3)大多數的雜項廢棄物都可以在超壓固定線處理；(4)放射性廢油、高劑量率廢棄物、APG 廢樹脂與通風系統過濾器等特殊廢棄物可以先貯存衰變，然後清潔外釋或其他處理；(5)建立廢棄物管理資料庫，實現各機組來源的廢棄物全程追蹤資訊要求。其中，廢棄物資料庫建置，是為確保可達到全程監控放射性廢棄物的必要方法，唯有全生命週期紀錄與追蹤放射性廢棄物的來源、處置、轉運與貯存紀錄，才能符合固體廢棄物處理系統的兼容性分析要求的項目。系統設計廢棄物來源項目追蹤、廢棄物構裝管控、廢棄物運送管控、廢棄物查詢分析與統計等系統資料交換介面，提供不同系統間可相互運用與資料交換的設計需求。

12.中國核電三門核電有限公司馬鵬勛發表之論文「三門核電 SRTF 調試過程中應關注的幾個問題」

三門核電廠廢棄物處理設施 (SRTF)是該電廠放射性廢棄物處理中心所負責。電廠包括 6 台機組，已採用放射性濃縮液桶內乾燥、放射性廢樹脂熱態超級壓縮、放射性廢液移動式處理系統等設備，是大陸電廠為達到放射性廢棄物處理最小化的管理目的，採用較先進的設備技術為標竿。但由於採用了比較先進的儀器設備，且缺乏相關設備運行經驗，因此對於設備進行現場安裝測試期間，特別注意安全運行、測試範圍、測試步驟與測試參數紀錄等資訊。

三門電廠廢棄物處理設施採用最新設備技術組合，為大陸進口設備與當地廠商設備整合而成的，系統間的介面整合與運行規範都是未來能否順利運行的關鍵。能否在測試運轉期間發現問題、解決問題，對於未來系統能否可靠、安全的運行都非常重要。

重要問題觀點：由於系統本身為功能導向之整合式設備，採用進口設備技術與國內廠家技術整合方式，因此在設備測試安裝時會面臨到測試範圍、測試步驟與測試參數紀錄與當初設計階段所預期的功能特性有差異。如何能有效地紀錄與排除相關差異，就是這類跨系統整合會面臨到也必須立即解決的問題。三門核電廢棄物處理設施在測試過程中先提出相關問題清單，並分別針對可能會遇到了問題提出指導方針，教導相關人員在面對系統測試發生問題時所要採取的作為。透過測試期間測試安全規範、測試範圍規畫、測試深度分析等問題的紀錄與解決，才能確保核電廠廢棄物處理設施能順利運行，並能及時、安全地處理電廠運轉期間產生的放射性廢棄物。

13.中國輻射防護研究院研究員鄔強發表之論文「核電廠報廢空氣過濾器金屬框架清潔解控相關問題的實踐與探討」

核電廠的運行，會產生相當數量的報廢空氣過濾器並暫存於放射性廢棄物倉庫中，久之佔用了大量的倉庫容量。按照大陸現行相關法規和標準的要求，對於確認屬於表面污染的鋼鐵金屬物料，當其表面污染值等於或低於可接觸的物體表面放射性物質污染值時(即解除管制標準值)，經審管部門同意後，可直接實施解除管制。經過對報廢空氣過濾器金屬架的情況調查，一般情況下，放射性污染核種主要集中在過濾器的濾棉布中，金屬框架的表面污染和基材中污染核素比活度都較低，因此，報廢空氣過濾器經拆解等處理後，其金屬框架具有清潔解控可行性。目前，大陸還沒有相關的清潔解控的技術操作方案，本文在前期工作的基礎上，制定了詳細的清潔解控時施方案，

主要以測量篩選，抽樣檢驗，數據評估，最終確認報廢空氣過濾器金屬框架的解控。

清潔解控相關問題的探討：(1)核素清潔解控水平的確定，解控與豁免既密切相關，但也有所不同。”解控”與”豁免”類似，但具體來說與使獲准的實踐範圍內的放射性物質不再受監管機構的進一步控制有關。可以豁免的是由於它所伴有的放射性危害小到可以忽略的程度，以致可以不進入管理體系；而可以解控的指受放射性污染的物料、物件及設備等。兩者的相同點均是放射性對人體的危害是達到可以忽略程度。(2)清潔解控重量的確定，在 IAEA 相關技術文件中”中等量”相當於 1t 量或更少，也可解釋為 3t 以下任何量。若解控時涉及大量材料，對於活度濃度低於指導性豁免水平的大量材料的解控，可能需要監管機構做進一步考慮。秦山報廢過濾器金屬框架解控過程中，按照每批金屬框架的重量為 1t 進行操作。(3)清潔解控水平的確定，由於秦山報廢過濾器金屬框架的污染類型以表面污染為主，因此，在解控實施過程中， β 放射性物質的表面污染水平作為待解控金屬框架的清潔解控水平。直接取控制水平的 1/50 導出物料表面污染解控水平是簡單易行而且可被接受的作法。根據以上規定，待解控空氣過濾器金屬框架表面的 β 放射性物質清潔解控水平取控制水平($40\text{Bq}/\text{cm}^2$)的 1/50，及物料 β 表面污染解控水平為 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。(4) 解控評估結果估計，表面污染測量時，放射性核素的 γ 輻射對 β 表面污染測量結果有一定的影響，其影響為正效應，對於清潔解控 β 表面污染測量結果而言，測量結果偏保守，誤判的可能性較小。為了保證報廢空氣過濾器金屬框架清潔解除管制工作的順利實施，在污染源項調查等前期工作的基礎上，制定了詳細的清潔解控實施方案。其清潔解控流程和時施放案是開拓性的工作，是核電放射性廢棄物量最小化的第一步。

14.國防科工局核技術支持中心工程師董博發表之論文「低、中放固體廢物處置場 γ 射線天空反散射的研究」

處置場作為廢棄物處置設施，不僅需要考慮有關的工程安全、環境保護等方面，還需要關注其屏障效能的可靠性、對環境影響定量分析的面性與合理性等多面的問題，其中，處置場內廢棄物的 γ 射線，天空反散射造成的額外劑量是較容易被忽略的問題之一，特別是當處置廠內的廢棄物處置單元本身容量較大，且存放有較高輻射水平的長壽命廢棄物時，在 100 米距離外地面處可達到數十 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由於 γ 射線天空反散射造成的輻射水平進行計算，並在此基礎上對處置場屏蔽方案的合理性進行分析。在計

算 γ 射線天空反散射影響後，需考慮在設計上對單個處置單元的暴露面積進行控制，並對每個處置單元採取獨立的屏蔽措施，在處置場容量與輻射安全兩者之間找到較好的平衡點，最終達到放射性廢棄物安全處置，對外部環境輻射影響盡量減小的目的。對於固態的放射性廢棄物，其陸地處置，特別是近地表處置是研究與應用最多的方法，其主要處置手段為深度為地底下 15 米~30 米的近地表埋藏方法，該法技術簡單，處置成本相對低廉，適合在乾旱地區使用，是一種公認的、經濟上和技術上都較為可行的處置方法。

在處置場未填滿封閉期間，由於其上部頂層方向為開放式結構，當處置場中存放有放射性水平相對較高的廢棄物時，設限與空氣中的物質作用，被散射到地面，造成天空反散射(亦稱大氣反散射)，會導致在距離處置單元較遠處，出現高的輻射劑量。這是現有大型處置場設計中較容易被忽視的問題之一。影響此類效應的因素複雜多樣，如處置場周圍地形地貌特徵、大氣穩定度、空氣濕度等等，均可以對反散射的強度造成影響，故定量分析其劑量分布的規律具有較大難度。

當處置場單元未進行完全覆蓋時，由於天空反散射造成的額外劑量率的分布趨勢以及幾個有關輻射防護與設備位置的關鍵距離點上的蒙卡模擬計算數值。在單個填埋單元沒有填滿，單元內廢棄物裸露在外的情形下，由於天空散射造成的額外劑量是不宜忽略的，考慮到處置場工作區域距離填埋單元較近，以及處置場相關的配套設施也處於距離範圍內，為了保證工作人員以及公眾的輻射安全，須對處置單元的開放性面積加以控制。須將大型處置單元進行合理分割，使分割後的每個子單元填滿後可以進行獨立的遮蓋與屏蔽是一種較為可行的解決方案，起始點是在不明顯增加技術難度與勞動強度的前提下，一次性解決大型處置單元表面曝露造成的天空散射隱患，相對的代價是處置單元的容積會略有縮減，仍是在可接受的範圍內。

(四) 參訪中核建中核燃料元件有限公司

研討會結束後，於 10 月 21 日上午參訪位於宜賓中核建中核燃料元件有限公司(原名：國營建中化工總公司、宜賓核燃料元件廠)隸屬中國核工業集團公司(China National Nuclear Corporation, CNNC)，始建於 1965 年，公司總部坐落於萬里長江第一城——四川省宜賓市。以核電燃料元件為主導產業，香料、鋰鈣、鋰電池為主要民品產業，是

大陸唯一的壓水堆核電燃料組件生產基地。公司現有資產總額 28.3 億元，職工 5800 餘人，專業技術員工 1700 多人，有高級職稱員工 229 人(其中 33 人享受政府特殊津貼)，中級職稱員工 770 餘人，本次參訪為難能可貴經驗，該公司門禁管理嚴格，且公司內部一律禁止拍照，在機密管理方面非常落實。

自 1989 年，中核建中公司成功為秦山 300MW 核電站製造首爐燃料組件，填補大陸國內核電站燃料組件製造空白後，23 年一路走來，該公司核電燃料元件製造能力大為提升。2008 年 10 月 16 日，國家核安全局為中核建中核燃料元件有限公司頒發了投料批准書，標誌著該公司已經建成大陸最大的壓水堆核電站燃料元件生產線，實現了核燃料元件生產線綜合生產能力從 200 噸鈾/年提高到 400 噸鈾/年的目標，大大提升了核燃料元件的生產能力和自動化水準，提高了大陸核電燃料元件供應的保障能力，為努力實現大陸已建和在建壓水堆核電站燃料元件國產化目標，並積極參與國際市場的競爭創造了良好的條件，奠定了堅實的基礎。

近年來，中核建中公司始終堅持以創新驅動發展：按照國際先進標準，加快了對生產線設備更新、引進和自主研發力度，加速工藝和裝備的更新換代，其中自主研發的 100 噸、200 噸幹法裝置，為提高核燃料元件生產在國際、國內市場上的競爭能力發揮了重要作用；通過引進、消化和吸收當今世界先進的核燃料元件製造技術並與研發相結合，不斷進行自主創新，相繼在化工轉化、芯塊製備、燃料棒製造及組件組裝諸多方面形成了眾多專有技術，確保了在大陸國內核燃料元件製造領域的領先地位以及在激烈的世界核電燃料元件競爭中佔有一席之地，圖 14 為台灣成員參訪中核建中核燃料元件有限公司之合影。該公司首先引進國外先進技術，以及自我創新技術，目前具備 300MW、600MW、900MW、1000MW 及低溫熱堆、實驗反應爐、快堆轉換區組件等系列燃料元件製造能力以及各種核子反應爐燃料元件供應能力。

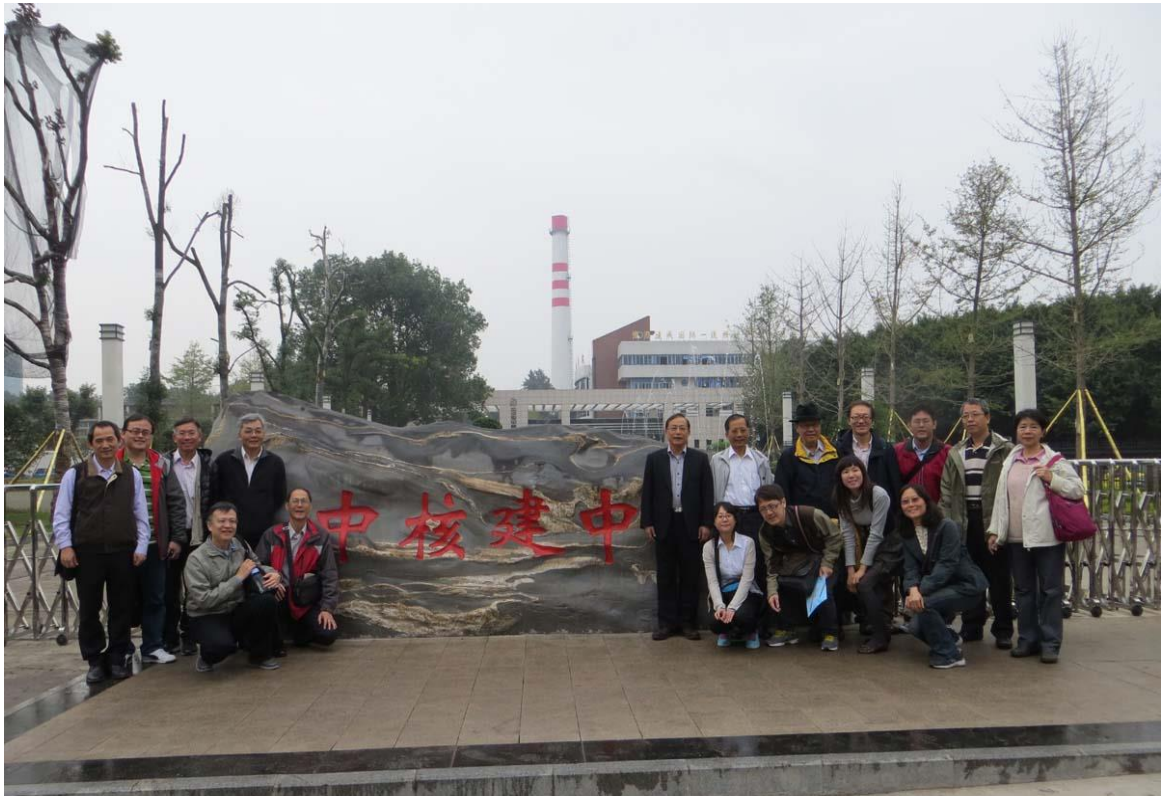


圖 14. 參訪中核建中核燃料元件有限公司

此次參訪包括核燃料生產線之 UO_2 粉末生產至組件組裝運輸等流程，詳如下所述：

1. UO_2 粉末生產

生產原理是將 UF_6 原料氣化後，通入轉換爐中進行氣相水解和還原，再經穩定化、均勻化處理後製成性能均一的 UO_2 粉末(如圖 15 所示)。



圖 15. O_2 粉末

2. UO₂ 燃料球製備

經過預壓(pressing)、製成粒狀、球化等程序處理後，將 UO₂ 粉末在旋轉壓機中壓製成圓柱形的燃料球，然後在高溫下燒製成陶瓷級燃料球，再經外圓磨削、檢測等程序，製成燃料球(如圖 16)。



圖 16. 完成檢測的 UO₂ 燃料球

3. 零組件加工

中核建中核燃料元件有限公司簡稱 CJNF，有完整的組件零部件的生產線，包括管座、格架、連接柄和小零部件生產線，可以生產燃料組件和相關組件所需的各種零部件，並採用數位化高精密度的機械加工設備及檢驗設備，圖 17 為燃料相關零組件。

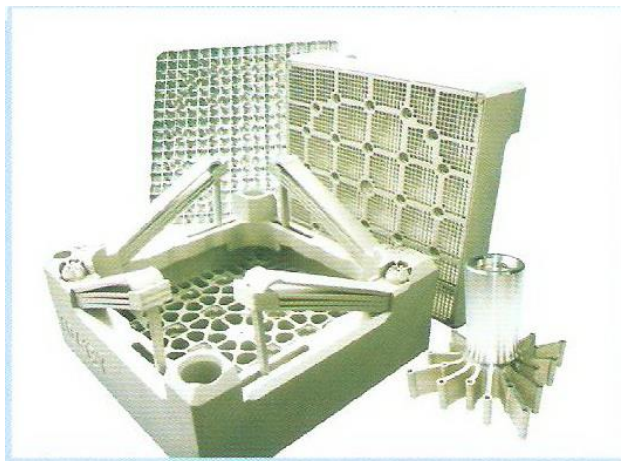


圖 17. 燃料元件相關零組件

4.燃料棒製造

將生產的 UO_2 燃料丸等裝入鋁合金圓管中，充入氦氣，端部採用焊接密封，再經過 X-射線、 γ -射線掃描，及氦質譜儀檢漏等非破壞性檢測後形成燃料棒，CJNF 目前有兩條燃料棒生產線，對燃料棒的焊接採用高真空電子束焊接，燃料棒製造流程如圖 18 所示。

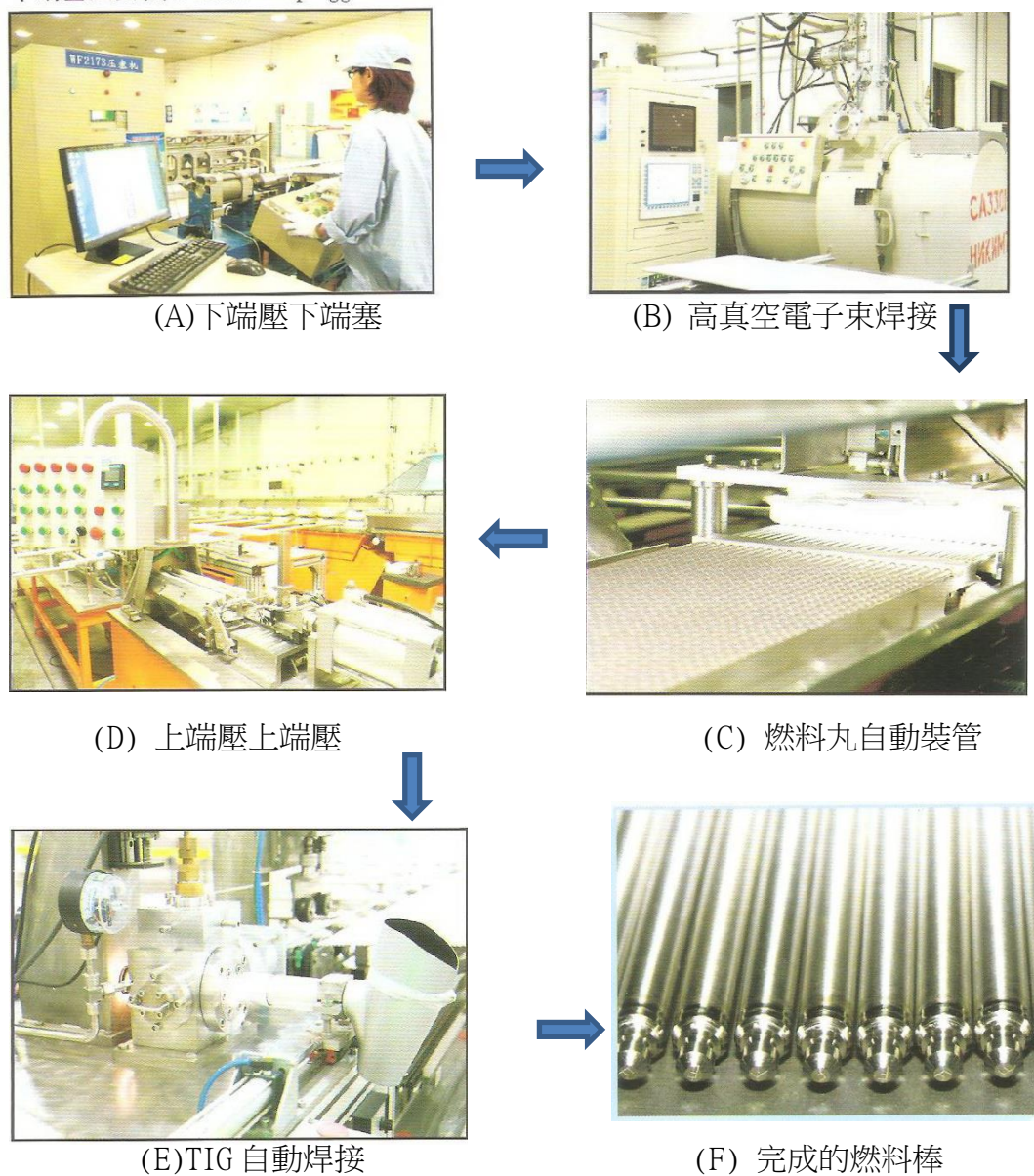


圖 18. 燃料棒製造流程

5. 組件組裝

將燃料棒裝入由定位格架、導向管等焊接而成的骨架中，並裝配好上、下管座後形成燃料組件。CJNF 現階段可生產包括 300MW(15x15)、AFA2G(17x17)、AFA3G(17x17) 等不同組件及相關組件，燃料棒組裝流程如圖 19 所示。

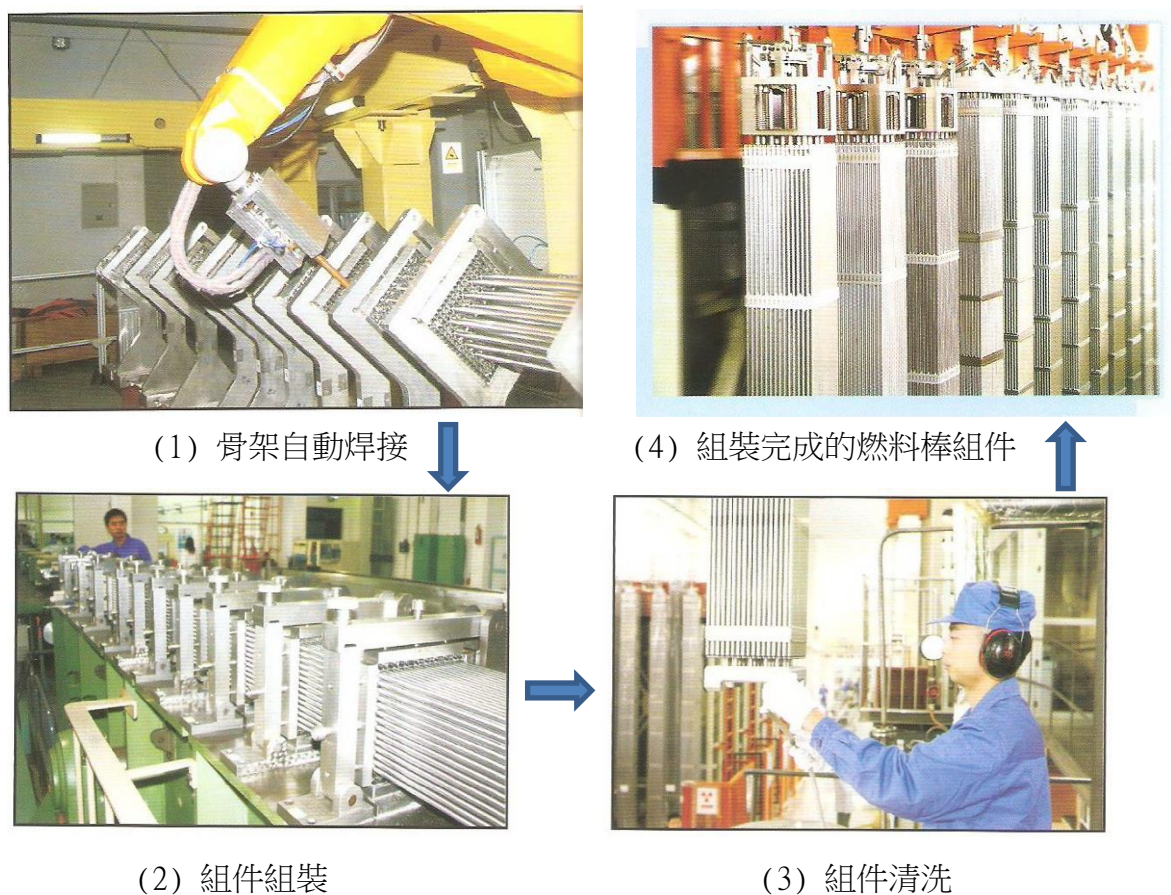


圖 19. 燃料棒組裝流程

6. 燃料棒組件運輸

CJNF 燃料棒組件運輸採用鐵路為主公路為輔的運輸方式，2012 年 CJNF 開創了我國全功路長距離運輸先河。CJNF 設有專業檢車工 25 人，火車司機 3 人、調車員 8 人、管理人員 9 人、專業技術人員 16 人，現有各型火車 24 節，燃料組件運輸容器 230 台，集裝箱 42 個及專用鐵路線 7 條等及其他配套設施，燃料棒組件運輸作業如圖 20 所示。



(1) 裝箱



(2) 吊裝



(3) 運輸

圖 20. 燃料棒組件運輸作業

中核建中燃料元件公司認真貫徹落實企業精神，以科學發展觀為指導，按照“以確保安全為前提、以強化品質為生命、以改革創新為動力、以成本管控為中心”的生產經營方針，積極努力提升為國際一流企業，故加速推進企業轉型升級。在 2020 年時，該公司核燃料元件製造能力將達到 1200 噸鈾/年以上，其研發能力、技術和管理水準、勞動生產率等重要指標將全面與國際先進水準接軌，從而實現建成國際一流核燃料元件製造基地的宏偉目標。

三、心得

(一)台灣為能源系統由於孤島限制，無法從其他國家進口電力且缺乏自有能源，因此能源安全與國家安全與經濟可說是劃上等號，而目前台灣電力系統中 41% 來自燃煤發電、30% 來自天然氣、18.4% 來自核能，核能發電是為不容小覷的一部分，自日本福島事件發生後，台灣目前興建中的第 4 座核電廠安全性，以及大陸核電廠的發展及管理，一直是社會大眾關注的焦點。藉由此次參加第三屆兩岸放射性廢棄物管理研討會以核廢棄物管理為主題，可以了解目前兩岸核電廠推動與管理發展現況，作為除役與核廢料管理安全之參考。

(二)台灣目前尚未設立最終處置場，核電廠除役所產生的放射性廢棄物皆須先在廠內貯存，因此除役廢棄物的產生量，暫存量及管理，是未來除役工作中需要面對的重要議題。本次會議原能會放射性物料管理局報告於 2004 年訂定「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，建立解除管限制值，目的在降低除役放射性廢棄物的數量，減輕後續的處理、貯存及處置等作業負荷。在貯存方面，已建立中長期安全貯存的準備，各核電廠的廢棄物貯存庫已採自動化倉貯設備，具有恆溫、恆溼的空調系統，可減輕廢料桶銹蝕或劣化的環境因數。除了可減少留存於核能設施之廢棄物外，亦可促進資源再利用，減少廢棄物之後續處置作業，確保民眾之安全。

(三)本次研討會共有 40 篇論文發表，參與人數相當踴躍，由兩岸之產、官、學分別從法規、研發、營運方面發表論文為主。觀察大陸方面所發表之論文，大多集中於法規之訂定、廢棄物管理、執行與減量策略，對於廢棄物處理技術之發展則相對較少；由論述之深度與技術探討觀之，台灣在放射性廢棄物

處理之營運績效與減廢技術方面之成就確實比大陸領先，但大陸方面在前端之鈾礦探勘與提煉技術之領域與後端低放與高放處置之研究，則由於政策的支持因此步調領先台灣，例如大陸地區已決定北山作為高放處置場並進行長程建置規劃，因此定期舉辦研討會或互動活動，可以增進彼此交流，對兩岸之核廢棄物之管理，應可發揮互補功能。

(四)大陸地區已開始進行核能知識之科普教育，此為未來核能工業能被民眾支持之重要方法。國內面臨民眾溝通困難之情境，應效法他人作法，由教育民眾著手，本人曾經參加朱鐵吉教授舉辦之「國際核能安全新觀點」講座，該講座邀請美國保健物理學會會長 Dr. Darrell R. Fishe 演講，Dr. Fishe 強調民眾的核能知識教育是很重要的，在美國高中教育中即有核能科學的課程，先強化學校老師的專業核能知識，進而對學生進行講解，使其民眾了解核能不懼怕核能且更懂得保護自己。

(五)觀察與會學者專家所發表之論文，除了對放射性廢棄物減量的管理策略與管制法規上介紹能深入討論外，更重視放射性廢棄物最小化之相關系統建置以及技術應用成果的探討，並清楚知道核能電廠放射性廢棄物在最小化的管理上必須考量的有廢棄物產生、處理、貯存、與處置等之相關性，並做整體性的規劃才能發揮最佳效益。隨著放射性廢棄物最終處置費用的增加，最終處置場位置難尋以及大眾對放射性廢棄物處置日益憂慮，核電放射性廢棄物最小化目標的實現乃刻不容緩，目前在廢棄物最小化處理技術上雖然獲得初步的成果，但是仍然需要持續的貫徹與精進。

(六)透過本次學術交流討論，瞭解大陸核廢棄物管理與處理現況，可作為我國發展本土化核能產業之規劃。藉由參加國際會議，與大陸相關單位接觸，維

持國際間人脈，建立兩岸資訊交流與技術合作管道，對於提升國內廢棄物管理技術頗有幫助，本所可多派員參加此類研討會，對於國內廢棄物管理應有助益，研討會承辦單位也可將各核能領域細分，多舉辦各類核能技術類的論壇。

(七)本次研討會交流中可強烈感受到大陸對高放射性廢棄物最終處置非常重視，大陸預計 2020 年完成其地下實驗室，2050 年建造完成最終處置場；而台灣預計 2055 年啟用用過核子燃料最終處置場，兩岸完成最終處置場之時間點接近，應可加強兩岸交流，將有助於完成共同之難題。

四、建 議 事 項

(一)大陸秦山地區核電廠廢棄物處理設施已傾向採用本所發展之多項廢棄物處理技術，如高效率固化技術、粒狀廢樹脂濕式氧化處理技術、高性能廢棄物貯存桶(HIC)等，會後該廠實驗室人員亦對本所發展 Tc-99 的自動化分離技術相當有興趣，建議本所可考慮針對大陸法規要求，整合所內資源進行推廣及爭取技術輸出機會，同時能兼顧廢棄物管理效能，創造雙贏局面。

(二) 本次會議較少提到中國大陸有關分析技術方面的研究，放射性廢棄物處理與管理比重較高，本所致力於放射性廢棄物處置與管理相關研究多年，針對實務需求開發出特有技術，具有良好成效及相關專利產出，建議本所應多鼓勵同仁參與相關之國際會議及發表論文一方面可以提高本所技術在國際上之知名度，同時提升同仁國際觀，更可以推廣研發技術之良機。

(三)由於台灣與大陸地理位置鄰近，有必要繼續加強溝通合作管道、共同克服及面對核能相關難題，並且要以國際同步的標準，創造優勢以強化核能安全。藉此會議模式，建立雙方互相提供資訊與經驗交流的平台，及建立共同認知與努力放射性廢料管理項目納入兩岸核電安全框架的合作範圍，以增進核能應用安全性及創造福祉。

附錄一 第三屆兩岸放射性廢物管理研討會議程表與日程表

第三屆兩岸放射性廢物管理研討會議程表 (10月18日)

9:00-9:30		大會開幕式					
		主持人：中國核學會輻射防護分會理事長 潘自強院士 開幕辭：中國核學會輻射防護分會副理事長 劉森林研究員 貴賓致辭：中華核能學會理事暨放射性廢棄物管理學術委員會召集人 黃慶村先生					
9:30-10:30		大會報告主持人：潘自強					
		核電放射性廢棄物管理(曲志敏) 核電放射性廢棄物最小化策略與實務(黃慶村)					
10:30-10:40		茶歇					
10:40-11:45		實現廢物最小化管理的幾點建議(劉福東) 台灣電力公司用過核子燃料乾式貯存設施之安全分析(李清山) 中國大陸核電廠放射性廢物最小化進展(張志銀)					
11:45-12:00		合影(酒店大堂外門口處)					
12:00-14:00		自助午餐(一樓西餐廳)、休息					
會場一(4樓索菲斯廳前廳)			會議二(4樓索菲斯廳後廳)				
核電放射性廢物最小化技術與實踐			退役、運輸、用過核燃料貯存及其他				
序號	時間	報告	主持人	序號	時間	報告	主持人
1	14:00-15:40	秦山核電基地放射性廢物最小化技術路線探討(康云鼎)	曲志敏 魏聰揚	1	14:00-15:40	用過核燃料乾貯系統於複合式災害條件下之熱流安全評估(施純寬)	宋福祥 劉文忠
2		濕式氧化暨高效率固化系統之建置(陳又平)		2		濟南微堆退役廢物監測(李義國)	
3		廢樹脂濕法氧化技術路線及問題探討(郭喜良)		3		朝向應用無線射頻技術於核電廠除役低放射性廢棄物管理(蕭學傳)	
4		核能電廠除役及放射性廢棄物解除管制(王錫勛)		4		低、中放固體廢物處置場 γ 射線天空反散射的研究(董博)	
5		抑低核電站廢水活度排放最佳處理技術(倪辰齊)		5		χ 射線屏蔽之高分子/金屬氧化物複合材料開發研究(劉玉章)	
15:40-15:50		茶歇		15:40-15:50		茶歇	
核電放射性廢物最小化技術與實踐與核放射性廢物監測技術			放射性廢物處理、外置技術				
6	15:50-17:10	秦山核電基地報廢空氣過濾器金屬框架清潔解控相關問題的實踐與探討(鄔強)	陳凌 倪辰華	6	15:30-17:30	貧鈾的處理與處置介紹(李洪輝)	張生棟 施純寬
7		銅基觸媒低溫選擇性氧化分解高濃		7		用過核子燃料最終處置計劃 H 區及 K 區	

		度氫氣及其再生(杜佳簇)				地質調查評估(2010-2012年計劃)(張仁坤)	
8		某核電站周邊生物樣品中有機結合氫研究(陳前遠)		8		放射性廢物中等深度處置(劉建琴)	
9		利用自動固相萃取工作站配合質譜儀檢測放射性廢棄物中 Tc-99 之方法(吳欣潔)		9		高完整性混凝土處置容器之研製與應用(張清土)	
				10		三門核電 SRTF 調試過程中應關注的幾個問題(馬鵬勛)	
18:00-19:30		自助餐(一樓西餐廳)					

第三屆兩岸放射性廢物管理研討會議程表(10月19日)

會場一 (4樓索菲斯前廳)				會場二 (4樓索菲斯廳後廳)					
放射性廢物處理、處置技術				放射性廢物處理、處置技術					
序號	時間	報告	主持人	序號	時間	報告	主持人		
1	09:00-10:20	核設施除役性金屬廢棄物除污及廢酸液回收之研究(甘金相)	康云鼎 李清山	1	09:00-10:20	放射性廢液處理技術研究進展(陳春海)	程 理 吳逸文		
2		我國中等深度處置場建設的初步探討(劉超)		2		台灣研究用反應器燃料池中放射性污染物質去除研究(鍾東益)			
3		可剝式膠體除污劑開發與應用(李文成)		3		HIC 高整體容器處理工藝在核電領域的應用和發展(李玉鑫)			
4		北山花崗岩力學性質研究進展(馬里科)		4		泡沫除污技術之研究(林智雄)			
10:20-10:30		茶歇			10:20-10:30			茶歇	
6	10:30-11:30	利用現地水文地質試驗推估裂隙岩體傳導系數與裂隙組別導水系數之研究(詹尚書)			6	10:30-11:30		超臨界二氧化碳萃取技術於運轉中核電廠除污之應用(林智雄)	
7		高廟子膨潤土與北山地下水相互作用地球化學緩沖性能模擬研究(李娜娜)			7			三門核電放射性廢物離堆處理模式及工藝特點(劉志遠)	
8		蘭嶼貯存場分離菌株對放射性廢棄物桶材腐蝕之影響(周鳳英)			8			超臨界二氧化碳流體對放射性污染除污可行性探討(林國明)	
11:30-12:00		閉幕式							
		主持、總結、致閉幕辭							

附錄二. 台灣參加第三屆兩岸放射性廢物管理研討會人員

項次	性別	姓名	單位
1	男	黃慶村	中華民國核能學會
2	男	黃小琛	中華民國核能學會
3	男	魏聰揚	核能研究所
4	男	施建樑	核能研究所
5	男	陳又平	核能研究所
6	男	張清土	核能研究所
7	男	李文成	核能研究所
8	男	林國明	核能研究所
9	男	甘金相	核能研究所
10	男	鍾東益	核能研究所
11	男	劉玉章	核能研究所
12	男	蕭學偉	核能研究所
13	女	陳鈺沛	核能研究所
14	女	吳欣潔	核能研究所
15	男	邱賜聰	放射性物料管理局
16	男	劉文忠	放射性物料管理局
17	男	王錫勳	放射性物料管理局
18	男	吳慶陸	原能會綜合計劃處
19	男	李清山	台電核後端處
20	男	張仁坤	台電核後端處
21	男	方慶隆	台電核發處
22	男	吳裕文	義守大學
23	男	林智雄	義守大學
24	男	杜佳簇	義守大學
25	男	施純寬	清華大學
26	女	周鳳英	清華大學
27	女	鍾曉萍	清華大學
28	男	黃兆龍	台科大營建系
29	男	孫國華	淡江大學
30	男	詹尚書	台北科技大學
31	男	許信惠	亞炬企業有限公司
32	男	倪辰華	亞炬企業有限公司
33	男	沈濮蔚	亞炬企業有限公司
34	男	黃耀南	亞炬企業有限公司

