

出國報告（出國類別：開會）

兩岸放射性廢棄物技術交流研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林德福專業總工程師

姓名職稱：吳才基處長

姓名職稱：黃秉修組長

派赴國家：中國大陸

出國期間：104年8月26日~104年9月2日

報告日期：104年9月14日

出國報告名稱：兩岸放射性廢棄物技術交流研討會		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
黃秉修	核能工程監	台電公司核能後端營運處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>開會</u> （例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）	
出國期間：104年8月26日至104年9月2日		報告繳交日期：104年9月14日
出國計畫書主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	<input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

出國報告審核表

說明：

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

報 告 人		審 核 人	單位	主管處	總經理
			主管	主 管	副總經理

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：兩岸放射性廢棄物技術交流研討會

頁數 34 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

林德福/台灣電力公司/專業總工程師/23666564

吳才基/台灣電力公司/核能後端營運處/處長/02-23657210 ext:2200

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

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2015/8/26-2015/9/2 地區：中國大陸

報告日期：2015/9/20

分類號/目

關鍵詞：處置場

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、本次出國為台電就「放射性廢棄物技術」議題第一次赴中國大陸與中國核工業集團公司進行交流討論，我方行前已進行充分準備，完整展現我方先進技術能力；陸方也非常重視本次技術交流，兩天研討會共派出 20 位技術專家群參與簡報發表與討論，成功圓滿。
- 二、本次技術交流研討會議題包括：放射性廢棄物最終處置場之場址地質特性調查、最終處置設施設計、最終處置場安全評估，涵蓋面完整。
- 三、目前中國大陸有三座中低放處置場目前處於運轉及試運轉中，分別為西北、華南(運轉中)與西南處置場(試運轉)。另有三座處置場目前正規劃中：山東(東北處置場)、浙江與福建處置場(華東處置場)。
- 四、目前中國大陸共有 27 部核能電廠運轉中、有 24 部興建中；中國大陸未來興建核電廠以輕水式反應爐及快滋生反應爐為主，將輕水式反應爐用過燃料以乾式貯存銜接用過燃料再處理(2030)，把再處理提煉出的鈾、鈾再製成燃料供快滋生反應爐使用。
- 五、能源供應涉及國家安全、民生需求、產業競爭力及環境保護等多元面向，所以中國大陸全面發展核能，基於同樣考量，台灣不應輕言放棄核能。
- 六、兩岸就放射性廢棄物處置技術進行交流是相當重要的，我方可參與中國大陸北山高放廢棄物深層地質實驗室研究項目，並設定中國大陸為低放境外處置目標，成為我國低放最終處置替代方案
- 七、基於提升核能安全、電廠營運績效與核能後端營運績效之共同理念，兩岸雙方對於推動核能技術平等互惠交流都具有高度合作意願，透過技術與經驗交流、人員互訪與營運績效交互評估等措施，提升彼此安全管理與營運績效，促進核能發展，落實核能安全。

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

目 次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、工作內容.....	3
3.1 研討會議行程.....	3
3.2 放射性廢棄物技術交流研討會	6
3.2.1 主題一：中核集團公司核能後端營運介紹.....	6
3.2.2 主題二：放射性廢物處置場選址與設計	10
3.2.3 主題三：高放廢物處置場選址研究	14
3.2.4 主題四：放射性廢物處置場環境影響評估	16
3.2.5 主題五：中國大陸高放廢物地質處置選址和地下實驗室前期工作進展	17
3.2.6 主題六：中國大陸膨潤土研究進	18
3.2.7 主題七：中核清原工程環境公司介紹.....	19
3.2.8 主題八：核素遷移.....	21
肆、心得及建議.....	25

壹、目的

為促進兩岸放射性廢棄物處理之技術合作交流，瞭解大陸地區「放射性廢棄物最終處置場址之設計規劃與處置技術發展情形」及應因未來「放射性廢棄物境外最終處置替代方案」雙方合作之準備，進行與中國大陸「中國核工業集團公司」與「核能後端相關研究單位」技術交流及參訪活動。

本次赴中國大陸與中國核工業集團公司、中核清原工程環境公司及核工業北京地質研究院進行放射性廢棄物技術交流討論，瞭解中國大陸對於高、低放射性廢棄物最終處置場址選擇條件、場址調查、場址設計、場址功能、安全評估與環境影響評估…等相關技術並進行技術交流討論。亦安排參訪核工業北京地質研究院及中核清原工程環境公司西北辦公室，在核工業北京地質研究院觀摩中國大陸對於地質、地化與核種遷徙評估之技術；在中核清原西北辦公室參訪時，由陸方介紹低放業務固化技術、廢棄物處置設施及瞭解廢棄物運送、營運及接收作業並親自考察當地地質條件。

此行藉由吸收中國大陸處理核廢料之技術與推展經驗，可回饋並作為本公司之放射性廢棄物管理及推動之參考。

貳、過程

自 104 年 8 月 26 日出發，迄 9 月 2 日返國（共計 8 天），停留北京及嘉峪關。
詳細訪問行程如表一：

放射性廢棄物技術交流行程		
日期	活動地點/單位	交流/活動內容
第一天 8/26(三)	台北(桃園)→ 北京	抵達北京
第二天 8/27(四)	中國核工業集團公司 中核清原工程環境公司 核工業北京地質研究院 核電工程公司 輻射防護研究院 原子能研究院	進行兩岸技術交流議題
第三天 8/28(五)	核工業北京地質研究院	參觀訪問地質研究院
第四天 8/29(六)	北京	開會資料整理 (假日)
第五天 8/30(日)	北京→蘭州→嘉峪關	路程 (假日)
第六天 8/31(一)	中核清原工程環境公司 嘉峪關辦公室	拜會中核清原工程環境公司 並舉行座談會
第七天 9/1(二)	嘉峪關→蘭州→北京	路程
第八天 9/2(三)	北京→台北	路程

表一、行程表

參、工作內容

3.1 研討會議行程

2015 年 8 月 27 日

時間	議程內容	簡報單位
09:10~09:40	主席開場	雙方自我介紹
09:40~10:10	台灣電力公司核能後端營運介紹	台電公司
10:10~10:40	中核集團公司核能後端營運介紹（中核清原）	中核集團
10:40~11:00	問題與討論	
11:00~11:10	休息 10 分鐘	
11:10~12:00	台灣用過核子燃料最終處置計畫工程設計與安全評估技術研發成果與未來發展	核能研究所
12:00~13:30	午餐	
13:30~14:00	放射性廢物處置場選址與設計	核電工程公司
14:00~14:30	台灣低放射性廢棄物處置技術研發現況	中興公司
14:30~14:50	問題與討論	
14:50~15:00	休息 10 分鐘	
15:00~15:50	高放廢物處置場選址研究（地質研究院）	中核集團公司
15:50~16:30	放射性廢物處置場環境影響評估（輻射防護研究院）	
16:30~16:50	問題與討論	
16:50~17:00	總結	

2015年8月28日

時間	活動內容	簡報單位
09:10~09:20	致歡迎詞，雙方自我介紹	雙方
09:20~09:40	核工業北京地質研究院情況介紹	核工業北京 地質研究院
09:40~10:40	臺灣選址與調查技術	臺灣工業技術研 究院
10:40~10:50	問題與討論	
10:50~11:20	大陸高放廢物地質處置選址和地下實驗室前期 工作進展	核工業北京 地質研究院
11:20~11:50	中國大陸膨潤土研究進展	核工業北京 地質研究院
11:50~12:10	問題與討論	
12:10~13:30	午餐	
13:30~14:00	參觀中國大陸高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架（China-Mock-up）	
14:00~14:30	參觀緩衝材料特性研究實驗室	
14:30~15:00	參觀分析測試研究所實驗室	
15:00~16:30	參觀中國核地質科技館	
16:30	離開核工業北京地質研究院	

2015年8月31日

時間	活動內容	簡報單位
09:10~09:20	致歡迎詞，雙方自我介紹	雙方
09:20~09:40	中核清原工程環境公司介紹	中核清原工程環境公司 (西北辦公室)
09:40~10:30	簡報:核素遷移研究成果	
10:30~11:00	問題與討論	
11:00~11:50	參訪中核清原工程環境公司	
12:00~13:30	午餐	
13:30~17:00	西北地區地質解說	

3.2 「放射性廢棄物技術交流研討會」

3.2.1 主題一：「中核集團公司核能後端營運介紹」

3.2.1.1 放射性廢棄物處置規劃

中核清原環境技術工程有限責任公司（簡稱“中核清原公司”）於 1995 年 1 月成立的中國核工業集團公司（歷經核工業部、中國核工業總公司）的直屬全資子公司，是中國大陸唯一授權的專業從事廢棄放射源處理、核能設施除役、放射性物質（含放射源、放射性廢棄物、用過核燃料等）運輸、全國放射性廢棄物處置場的規劃興建與運轉、放射性廢棄物處理處置、廢放射源收貯、放射性物質包裝容器研發等業務之專業公司。

中核清原公司由中國大陸政府授權，負責中國大陸放射性廢棄物區域處置場的規劃、興建與運營等工作，並已興建且安全運轉了中國大陸第一座中低放固體廢棄物處置場——西北處置場，擁有西北處置場建造許可證、試運轉和正式運轉經驗，完成廢棄物處置資訊管理，並安全運轉多年；擁有華南處置場——廣東北龍處置場建造許可證，並完成北龍處置場的興建工作；目前正進行西南處置場——飛鳳山處置場試運轉，並部分完成華東處置場的前期選址工作。

2005～2007 年，經國家發展和改革委員會批准，受國家環保總局委託興建、運轉和管理“國家廢源集中貯存庫”（簡稱“國家庫”），將用於收貯全國各省、自治區、直轄市的城市放射性廢棄物庫所收貯之廢源及長半衰期和大於 100 居里之廢棄放射源，並與各省、自治區、直轄市的城市組成放射性廢棄物庫，全國廢放射源處理、管理系統形成互補之優勢。

3.2.1.2 放射性廢棄物運輸

擁有放射性物品運輸能力，初步建立用過核燃料、放射性廢棄物和廢放射源公路運輸為主、鐵路為輔之運輸系統，包括核能電廠和反應爐用過核燃料運輸容器系統、廢棄物和廢源包裝運輸容器系統、公路運輸系統、輻射防護系統、因應緊急系統（包括衛星語音與圖像通訊系統等）以及安全和品質保證系統，建立一支具有廣泛專業技能的技術和管理隊伍，已成功完成數次大亞灣核能電廠用過核燃料公路運輸、反應爐用過核燃料及數萬枚廢棄放射源的安全運輸。

3.2.1.3 核能設施除役折廠

目前在中國大陸有些早期的核能設施進行除役時所產生大量的高、中及低放射

性廢棄物，有待進一步處理及處置。某些不當的放射性廢棄物運轉設施需進一步的改善及修護。部份受污染的場址亦需加以除污及恢復。

目前計畫除役的反應器，燃料製造廠及同位素分離廠，則詳細說明均在中國大陸的除役計畫書內。由於待除役設施之間不論在設施、運轉環境及相關資料上均有極大的差異。因此，在該除役計畫書方面，則比較關注到以下各項議題：

- 放射核種的評估
- 除污
- 切割技術
- 遠端遙控技術
- 放射性廢棄物管理
- 保健物理及安全

在除役標準架構方面，目前採用國際原子能總署 IAEA 的安全要求及導則。當建立一個完整的架構之後，再針對某些場址訂定特定的安全導則。根據中國大陸於 2003 年 6 月 28 日由人大常委會所通過的「放射性污染防治法」第二十七條，核能設施的除役費用和放射性廢棄物處置費用應當預提，列入投資成本預估或者生產成本。核能設施的除役費用和放射性廢棄物處置費用的提取和管理辦法，由國務院財政部門、價格主管部門會同國務院環境保護行政主管部門、核能設施主管部門訂定。

3.2.1.4 推動國際合作

隨著中國大陸核能產業的蓬勃發展，中國大陸與國際核能相關組織或世界各國放射性廢棄物營運組織都有進一步的合作關係。

2010 年 6 月中國核工業集團公司與南韓電力公司簽署核能發電及相關產業之合作協議。

中國大陸與比利時簽訂在中國大陸興建一座 MOX 燃料製造廠之協議。比利時從 1960 年代起即有 MOX 燃料之研發經驗，包含從 1986 年至 2006 年間運轉一座年產量為 35 噸之 MOX 燃料製造廠。從 1995 年起，比利時之核能電廠就開始使用 MOX 燃料。此座擬由比利時協助在中國興建的 MOX 燃料製造廠，將由中國核工業集團公司負責營造興建工作，但由比利時 Belgunucleare、SCK-CEN 及 Tractebel 等公司協助設計與規劃。

中國大陸於 2006 年就建造一座年處理量為 50 噸之用過核子燃料再處理先導廠，而隔年即與法國亞瑞華(AREVA) 公司簽定一項在甘肅興建一座年處理量為 800

噸再處理廠之可行性研究計畫；2011年11月4日，中國核工業集團公司與法國亞瑞華(AREVA)集團簽署兩公司《關於中國大陸大型商業再處理-再循環工廠之備忘錄》和《中核亞瑞華上海管理事業有限公司合資合同》，進一步開拓中、法核能合作的領域。

2011年5月26日，中國核工業集團公司與烏克蘭國家核能產業公司在烏克蘭首都基輔市簽署雙方之核能領域合作備忘錄，象徵著中烏核能合作進入新起點。雙方同意在平等互利的原則下，努力加強和深化雙方在核能領域並長期友好合作。雙方表示在日本福島核事故後，加強核能安全、核能緊急應變的合作；並將在核能科技、核電廠運轉、用過核燃料與放射性廢棄物管理等領域開展廣泛合作。

2013年4月25日，中核集團與法國亞瑞華公司簽署了中國大陸大型商業再處理-再循環廠之合作意向書。該意向書的簽署為雙方開展再處理大廠合作重要里程碑之一。該意向書包含再處理廠的興建內容、運轉容量目標、雙方責任及分工等重要內容，將作為雙方後續合作談判的導則。再處理大廠將採用國際進步型再處理-再循環技術進行興建，具備年800噸用過核燃料再處理能力，有利於提高鈾資源利用率、減少核能廢棄物量和促進環境保護。

2014年法國當地時間3月27日，中核集團和法國亞瑞華集團簽署了再處理再循環長期合作備忘錄。

2014年6月11日，中核集團與義大利國家電力公司在人民大會堂分別代表雙方企業簽署了《核能合作備忘錄》。根據該備忘錄，雙方將在核電廠興建、運轉、維護、燃料供應、除役及廢棄物管理等方面開展合作。

2015年4月22日，中核集團與英國國家核能實驗室簽訂中英聯合核能研發中心合作備忘錄，旨在核能設施除役、用過核燃料再處理、放射性廢棄物處置、廢棄物運輸、模組化小反應爐等領域開展聯合研發。

3.2.1.5 公眾溝通、回饋計畫

根據中國大陸的環境影響評估法，任何計畫若會產生不利影響，且會直接涉及到民眾之環境及利益，則報告送審之前必須先召開公聽會或請相關組織、專家及民眾對其環境影響評估報告草案提出意見。在此報告送主管機關審查時，應檢附如何處理相關組織、專家及民眾意見之說明。此外，根據該法若施工時會對環境產生不利之影響，則施工者亦應在環境影響報告送審前，召開公聽會或請相關組織、專家及民眾對其施工時之環境影響評估報告草案提出意見。而中國大陸目前尚未有興建

處置場之回饋計畫。

3.2.1.6 後端營運費用估算、財務籌措及其管理運用機制

中國大陸目前的中低放射性廢棄物最終處置場之選址及建造費用均由主要放射性廢棄物產生者負擔。西北處置場則因主要處置國防所產生之中低放射性廢棄物，因此是由中國核工業集團公司(CNNC)負擔，也就是由國家編列預算支付。西北處置場之運轉及封閉費用則是中國核工業集團公司分階段編列預算籌措。國防所產生之高放射性廢棄物之處置費用是由中國核工業集團公司負擔。目前，中國核工業集團公司執行高放射性廢棄物最終處置有關之研發，而其經費則透過國家原子能機構(CAEA)由國家預算支付。

根據中國大陸的核電中長期(2005-2020 年)發展規劃，為保證核燃料的安全穩定供應，須建立天然鈾資源供應鏈系統，並制定方案徵收用過核子燃料處理基金。" 中國大陸第十一次五年計畫"期間啟動相關研究，並爭取在 2010 年前開始實施。此外，為了保證爾後核能電廠除役順利進行，核能電廠投入商業運轉開始時，即在核電發電成本中強制提取、積累核能電廠除役費用。在中央財政部設立核能電廠除役專項基金帳戶，在各核能電廠商業運轉期間提取。有關費用徵收標準和執行辦法由國家發展改革委員會同財政部、國防科工委研究訂定。

中國大陸財政部於 2010 年 7 月 12 日發佈「核電廠用過核燃料處理處置基金徵收使用管理暫行法」。根據該辦法第四條，凡擁有已投入商業運轉 5 年以上壓水式核能電廠，應當按照此辦法規定徵納用過核子燃料處理處置基金。根據該辦法第五條，用過核子燃料處理處置基金按照核電廠已投入商業運轉 5 年以上壓水式核電廠實際銷售電量徵收，徵收標準為 0.026 元人民幣/度(約 0.13 元台幣/度)。今後，中國大陸財政部會同國家發展改革委員會、工業和資訊化、國家能源局、國防科工局等部門根據核電發展規模及用過核子燃料處理處置資金需求的變化，適時調整徵收標準。根據該辦法第十條，核電廠繳納的用過核子燃料處理處置基金，由政府相關部門和用過核燃料處理處置機構運用，其具體運用範圍包括:

- 用過核子燃料運輸
- 用過核子燃料離開反應器後之貯存
- 用過核子燃料再處理
- 用過核子燃料再處理所產生的高放射性廢棄物的處理處置
- 用過核子燃料再處理廠的興建、運轉、改善和除役

- 用過核子燃料處理處置的其它支出

此辦法自 2010 年 10 月 1 日起施行，目前中國大陸則尚未公佈核能電廠除役基金徵收使用管理辦法。中國大陸估計處置一部百萬千瓦機組運轉 60 年產生的 1320 噸用過核子燃料所需的處置費用約 21.4 億元人民幣，約佔其總收入的 1.2%。

3.2.2 主題二：「放射性廢棄物處置場選址與設計」

中國核電工程有限公司業務範圍包含：核電領域(如核電廠設計、採購、興建與國際技術輸出)、核化工領域(如核化工領域之再處理流程、除役廢棄物處理等)與處置設計領域。處置設計領域包含本次簡介之中低處置工程設計領域，其主要流程可分為選址工作、初步可行性研究、可行性研究，工程設計、興建、運轉與封閉作業等。目前處置設計作業除了中低放處置場之外，一些包含核種半化期較長或是初始活度較強之廢棄物也開始進行地下 100 公尺左右之中等深度處置設計作業，不過這一部分目前處於研究階段。而在高放處置的部分，目前主要是著重於高放處置之地質實驗室，其中包含試驗坑道、通行坑道與通風鋼筋混泥土窖等相關地下設施工程之研究。

華南處置場位於廣東省，由中廣核公司負責運轉，規劃主要接收核能發電場之放射性廢棄物，其接收來源分別為大亞灣核電廠與嶺澳核電廠，於 2000 年興建完成，規劃處置容量為 20 萬立方公尺，規劃面積 205 萬平方公尺，目前已建立 8 個處置單元，處置容量已達到 8 千立方公尺。至今大約已存放 1 千 5 百多立方公尺之放射性廢棄物。

中國大陸處置作業主要依照國家環境政策、放射性污染防治法，以及放射性廢棄物安全管理條例等，規範不同放射性廢棄物應遵循之處置型式，其下另有一系列之技術規範來指導各項工作進行。中、低放廢棄物基本採用近地表處置，而高放則是需要採用集中式的深地層處置。

中國大陸之中低放射性廢棄物處置選址之政策考量可分為三大考量，分別為就地處置、集中處置與區域處置三類。其中就地處置是指選擇鄰近核能發電廠之地區，就近選擇合適場址作為處置設施興建之場址。集中處置是考量選擇一處區域來處置全國之放射性廢棄物。而區域處置則再安全經濟技術的前提下，考量社會經濟、地理和交通等等，儘可能靠近已建、在建、擬建與規劃中之核能設施密集區域，作為處置場興建之可能區域，再來進行選址工作。

選址考量的主要精神在最大限度下，減少永久性污染源，以確保達成法規之安

全要求，同時需要考量降低成本的可能性。大致上來說，若考量就地處置方式，則因核能發電廠與核能設施之所在區域並不一定是適合作為處置設施之場址，也不一定可以藉由工程設計來達到確保安全之要求。而集中式處置考量方式，雖然可以將所有放射性廢棄物均處置在一處場址環境較佳的地方，但是放射性廢棄物運輸距離過長將成為潛在風險。所以最終選擇以區域處置為主要方式，兼具可選擇較佳場址環境，以及可接受的減少運輸風險。

區域處置原規劃之區域為大區域，包含西北、西南、華南、華東、華北。但隨著核能電廠的興建，逐漸地發展為”省”的行政區域範圍也可以視為一個”區域”。主要是因為近年來選址過程遭遇到非技術問題，主要來自於地方政府，地方政府希望興建核能發電廠但不希望興建處置場。於是政府制定法規在審發核電廠運轉執照時，同時要地方政府一併進行處置場相關規劃工作，來解決這類非技術問題。一些使用核能發電的大省分如浙江、福建、江蘇、山東、遼寧、廣西與海南等，可以在其行政區範圍內興建處置設施。而其他核能發電較少的小省分，可以協商共建地區處置場。

選址主要是依據相關法規來進行選址工作，主要分成四個階段，分別為規劃選址階段、區域調查階段、場址特性評估階段、場址確定階段。

放射性廢棄物處置場選址一般原則可以通過兩種方法來得到一處適合的場址，一種是從候選區域中篩選，另一種是有目的地對一指定的可能場址進行評估。如果沒有限制，則可以按照一個系統過程來篩選場址，及從大的區域到特定場址逐步縮小選擇的範圍。近地表處置設施的系統選址過程，通常由四個階段組成：

- A、規劃選址階段
- B、區域調查階段
- C、場址特徵評估階段
- D、場址確定階段

由於不同階段的選址活動不可避免會相互交叉，所以一個階段向下一階段過渡的界線不會非常清楚，每一階段中的工作還可以進一步分階段進行，指定的可能場址應由主管部門提出，並由審查管制機構批准。應優先考慮現有核能設施的場址或與現有核能設施毗臨的場地，在這種情況下，其上述區域調查階段可以省略，但規劃選址、場址特徵評估和場址確定階段仍是需要的。

A、規劃選址階段:

A.1 其目的是提出一個總體的選址計畫，建立選址的原則並確定能做為區域調查階段

所能依據使用的場址性能要求。

- A.2 應估計人力、資金的要求以及工程進度時間，並明確選址研究的責任單位。
- A.3 再規劃選址階段開始時，應確定和說明處置廢棄物的類型，預計廢棄物種和放射性核素含量，並在這些資料的基礎上開展設施的概念設計。
- A.4 應確定符合國家要求、合理之廢棄物接收準則以及處置設施的總體性能準則，並根據這些準則和概念訂定建立場址篩選原則。
- A.5 應對現有安全和環境影響分析方法進行評估，並選定擬採用的基本方法和模型。應根據國家審查管制要求進行初步的環境影響評估。這種評估應能判斷所建議的處置設施預期的廢棄物是否能夠滿足審查管制的要求。
- A.6 根據概念設計和初步的環境影響評估可以提出建議，要求修改所要處置廢棄物的特性或數量，也可以根據環境影響評估提出的建議修改概念設計，並在此基礎上提出所希望的場址性能要求(如用地面積、地質和水文地質等)，作為區域調查階段工作的基礎。

B、區域調查階段

- B.1 其目的是確定一處或幾處可能場址，可以對感興趣的區域進行系統篩選，選出哪些可能合適的地區和場址。在本階段應考慮各種工程的、營運的、社會經濟的和環境的制約因素。

- B.2 區域調查階段可以分為兩個分階段:

- B.2.1 繪製區域地圖，找出可能含有合適場址的地區。

- B.2.2 進行篩選，選出供進一步評估的可能場址。

- B.3 繪製區域圖階段

應首先確定感興趣的區域，它可以是由天然的或行政邊界所確定的一個區域，也可以是與主要廢棄物產生單位相毗鄰的區域。再繪製區域圖階段，測繪各種參數時應考慮下列因素:擬建造的處置設施類型，選址準則，所需資料可獲得性，還應考慮有關審查管制單位要求。在興建過程中，首先考慮地區中有良好地質、構造、水文地質或氣候特徵的地段，隨後在這些地段的活動應逐步集中在面積較小和更適合的範圍。

- B.4 篩選階段

從適合的地區中選擇幾個可能場址。對於易獲得充分場址特徵資料的可能場址可以首先確定，其他的場址可能需要做進一步的研究。應用選址準則，篩選過程將確定一個或幾個候選場址，以供在場址特性評估階段併行評估。

C、場址特徵評估階段

- C.1 應對一個或幾個候選場址進行調查，以證明其能夠滿足安全和環境保護的要求。
在這階段也應確定與具體場址有關之設計基準。
- C.2 此階段需要確定各個候選場址的具體場址特徵，應進行現場勘測和實驗室研究來獲得場址特徵資料。
- C.3 對每個候選場址都應進行初步評估，以確定其是否適於建造處置設施。
- C.4 應用選址準則和適當的分析技術，對每個場址建造處置設施的適宜性進行合理的對比評估。在場址特徵評估階段中，應當綜合考慮有關經濟的、環境的、社會的和政治方面的因素，確定一個或幾個推薦場址。應編製一份本階段的總結報告，報告中應包括所有場址特徵的數據或資料以及分析、評估方面的內容。

D.場址確定階段

- D.1 此階段是在推薦場址上進行詳細的場址勘測，從而
----支持或確認所做的選擇
----提供詳細設計、環境影響評估以及申請許可證所需要的補充場址資料
- D.2 此階段應包括對推薦場址的詳細的試驗室研究、現場補充勘測以及在開始建造之前對其周圍環境狀況的調查。應根據這些工作的結果編制詳細的場址說明書。實驗室研究和現場勘測、試驗的結果應該能為建立放射性核素遷移模型提供具體數據。在這一階段還應進行輻射、放射性核素遷移以及生態的評估。
- D.3 針對具體的場址對環境影響分析數據和模型進行修正，應採用可能得到的最新資料進行環境影響評估。
- D.4 所有調查和評估的基礎上編制最終的選址環境影響報告，該報告應綜合在全部場址特徵評估和確認活動中得到的數據、評估意見和結論。再確認場址適用時，應向審查管制機構提供全面、詳細的報告，以使審查管制機構能夠批准所選擇之場址。

整個選址準則主要是參考 IAEA 規範再加以在地化。選址準則主要包含一些原則性的考量，如地質對於處置為有利的、具均一性與可預測性。水文地質具有流徑長、流量小、地質構造簡單、地下水距離處置單元底板不宜小於 2 公尺、場址邊界距最近農田水源之距離等不宜小於 500 公尺。地球化學選擇有利於抑制核種傳輸，以及不會加速工程設施劣化之環境。構造和地震則是選擇活動性弱，不會危及處置設施安全之區域。另外，地表與氣象作用的洪水、融冰、土石崩移等，也需考量不會危

及處置設施安全之區域。

對於選址作業的進行主要是合理把握選址準則，而不強調單一指標的定量結果，需要進行整體的考量。此外，也需要重視非技術條件，當地政府與當地民眾的態度也是相當重要的因素。

不同廢棄物類型的處置，對於工程與天然障壁系統依賴的程度也不一樣。依法規規定中低放處置之安全隔離期約為 300 年，高放處置之安全隔離期不得低於一萬年。就此，可以發現中低放可較為依賴工程設計來提升安全，但高放處置來說，地質屏障則相當重要，所以大陸也花費較多的精力來尋找合適場址。

3.2.3 主題三：「高放廢棄物處置場選址研究」

為了確保高放射性廢棄物之處置安全，中國大陸之前核工業部在 1985 年即提出高放射性廢棄物深地質處置(Deep Geological Disposal (DGD))之長期研究發展計畫，該計畫主要分成四個階段，包括：

階段一：1985 年至 2025 年，場址選擇及特性調查

- (1) 1985~1986：全國場址篩選
- (2) 1986~1988：區域場址篩選
- (3) 1989~2010：地區場址篩選及初步場址調查
- (4) 2011~2015：初步選擇地區的初步可行性研究
- (5) 2015~2017：場址特性調查的執照申請
- (6) 2017~2023：場址特性調查及合適性研究
- (7) 2023~2025：場址執照申請

階段二：2025 年至 2029 年，處置場設計

階段三：2041 年至 2050 年，處置場施工

階段四：2051 年後，處置場運轉

而在階段二到階段三的 10 年之間，則將在靠近選定場址附近興建一座地下研究實驗室。在 2034 年到 2040 年之間，將在此實驗室進行全尺寸的試驗及處置的驗證。而最終處置場的設計將會依此最後研究結果來進行設計變更。

依據此 DGD 計畫，目前場址的選址作業正進行中。花崗岩則是被考慮的處置場母岩。整個選址過程主要分成四個階段：包括全國篩選、區域篩選、地區篩選及場址選定。

在場址選擇準則方面主要考量到以下因素：

- 社經因素

- (1)核能工業的分佈情況
- (2)動植物生態及資源，及潛在礦業資源
- (3)民眾及地方政府的態度
- (4)國家環保的法律要求
- (5)處置場施工及運轉的可行性

- 自然因素

- (1)地理條件，包括地形、氣候、水文等
- (2)地質，包括地層穩定性（地震、活動斷層）
- (3)地層應力，母岩形式等

此外，2003年6月28日中國大陸人大常委員通過的「放射性污染防治法」，規定高放射性廢棄物應採取集中的深地質處置。2006年國家原子能機構、科技部和國家環保部聯合發布《高放射性廢棄物地質處置研究開發規劃指南》，明確指出深層地質處置開發的主要技術路線和開發的總體構想。2007年，國務院批准《核電中長期發展規劃(2005-2020年)》，提出2020年興建中國大陸高放射性廢棄物地質處置地下試驗室的目標，從而使高放射性廢棄物地質處置研究進入新的階段。中國大陸高放射性廢棄物深層地質處置規劃分為3個階段。1.實驗室研究開發和處置場選址階段(2009—2020)，其目標是，完成各學科領域實驗室研究開發任務，初步選出處置場址並完成初步場址評估，確定地下實驗室場址，完成地下實驗室的可行性研究，並興建地下實驗室；2.地下現場試驗階段(2021—2040)，其目標是完成地下實驗室現場試驗，完成場址詳細評估，最終確認處置場址，掌握處置場興建技術，完成處置場設計和可行性研究；3.處置場興建階段(2041—2050)，其目標是2050年興建處置場，開展示範處置，並開始接受高放射性廢棄物。

台灣的用過核子燃料最終處置計畫分成五個階段進行：(1)潛在處置母岩特性調查與評估階段(94~106年)；(2)候選場址評選與核定階段(107~117年)；(3)場址詳細調查與試驗階段(118~127年)；(4)處置場設計與安全分析評估階段(128~133年)；(5)處置場建造階段(134~144年)。目前為第一階段，預定於2017年提出「報告」，將比照日本平成12年的第二階段報告(簡稱H12報告)，探討花崗岩現地數據為主建立的概念模式，以及自然影響因子(包括：大地構造、火山活動、斷層活動、抬升與沉陷作用、侵蝕與剝蝕作用、氣候與海平面變遷等)，並與瑞典SKB進行技術交流，完成以現地數據模擬、工程設計及安全評估之整合作業。

台灣由於弧陸碰撞作用形成的造山作用，過去 5 百萬年來讓中央山脈從海下隆升成近 4 千公尺高山，但受到菲律賓海板塊過去 2 百萬年來對歐亞大陸隱沒作用的影響，台灣北部山脈廣泛發生張裂活動與沉陷作用，甚至形成台北盆地及蘭陽平原。台灣北部的火山活動均伴生在這些張裂構造中。過去 1 萬 8 千年來冰期環境，台灣海峽為沙漠環境，西部離島花崗岩區為平坦的地形，深層地下水可跟賀蘭山或北山相類似，當海平面從-120 米處快速上升，至 5 千年前開始淹沒台灣海峽，使離島四面環海。相較之下，台灣東部花崗岩並不受海平面變化而有明顯影響。

由於離島花崗岩經過空中、地表至地下，各種深層調查技術的演練，獲致代表性的地質概念模式，為工程設計及安全評估技術建立，奠定了模擬與評估的交流平台，目前與瑞典合作，採用 KBS-3 處置概念進行可行性評估技術的研究工作。

3.2.4 主題四：放射性廢棄物處置場環境影響評估

中低放射性廢棄物處置場環境影響評估主要是依據環保部的法規與審批流程來進行，最主要之法規為環境保護法與環境影響評估法、放污法與其相關法規。依法規規定，中低放處置場各階段工作均須進行環境影響評估，主要是民眾接收劑量為主要之定量標準，其評估範圍是以處置場為中心 10 公里半徑範圍為主。環境影響評估書在審查可研階段、申請興建階段與申請運轉階段均有所不同，可研階段主要是評估場址適宜性與方案比較，申請興建階段則是分析環境與設施設計是否符合安全要求，此階段需要場址參數與設計參數，申請運轉階段則是去檢核興建後之設施是否滿足安全要求，同時也要包含正常與異常現象之安全評估。

目前中國大陸中低放射性廢棄物之運轉主要依據 1992 年公布的「中低放射性廢棄物質的環境政策」來執行，其主要的運轉政策，包括：

- 儘快固化暫存的放射性廢液

要求其中國大陸境內 30 多年來所暫存的中低放射性廢液應儘快進行固化處理。且原則上不會核准在核電廠內長期暫存廢液，其所產生的中低放射性廢液應及時妥善固化。

- 限制中低放射性廢棄物固化體的暫存年限

核能電廠所產生的中低放射性廢棄物固化體，僅能在廠內貯存 5 年。

- 建造區域中、低放射性廢棄物處置場

於中低放射性廢棄物相對集中的地區，興建中低放射性廢棄物處置場，以處置該區域內或臨近區域內之中低放射性廢棄物。處置場的管理機構應相對獨立且財務

上獨立核算。

依據中國大陸於 2003 年 6 月 28 日由人大常委員通過的「放射性污染防治法」，第 43 條規定中低放射性固體廢棄物應在符合國家規定之區域實行近地表處置。因此，中國大陸對於中低放射性廢棄物已以法律規定採取近地表處置。

該法第 44 條規定，國務院核設施主管部門應會同國務院環境保護行政主管部門，根據地質條件和放射性固體廢棄物處置的需要，在環境影響評估的基礎上編制放射性固體廢棄物處置場所選址規劃，報國務院批准後實施。有關地方政府應當根據放射性固體廢棄物處置場所選址規劃，提供放射性固體廢棄物處置場所之興建用地，並採取有效措施支援放射性固體廢棄物的處置。該法第 45 條則規定產生放射性固體廢棄物的單位，應當按照國務院環境保護行政主管部門的規定，對其產生的放射性固體廢棄物進行處理後，送交放射性固體廢棄物處置單位處置，並承擔處置費用。放射性固體廢棄物處置費用收取和使用管理辦法，由國務院財政部門及價格主管部門會同國務院環境保護行政主管部門規定。

該法第 46 條規定設立專門從事放射性固體廢棄物貯存、處置的單位，必須經國務院環境保護行政主管部門審查批准、取得許可證。具體辦法由國務院規定。禁止未經許可或者不按照許可規定從事貯存和處置放射性固體廢棄物的活動。同時禁止將放射性固體廢棄物提供或者委託無許可證的單位貯存和處置。

中國大陸各核能電廠所產生之中低放射性廢棄物乃以水泥固化後暫存在廠內之貯存廠房內，然後再送去處置場進行處置。

中國大陸對於核能發電以外的放射性應用所產生之放射性廢棄物則是以省為基礎，在各省設立臨時貯存設施以貯存這些放射性廢棄物。至 2006 年 12 月底止，共已興建 28 座省級放射性廢棄物臨時貯存設施及一座貯存廢射源之集中式貯存設施。這些貯存設施共已接收 1,300,000 公斤放射性廢棄物。

3.2.5 主題五：「中國大陸高放廢棄物地質處置選址和地下實驗室前期工作進展」

經聯合國經濟合作與發展組織/核能機構的研究調查(1999)顯示，宇宙處置、深海溝處置、冰蓋處置、岩石熔化等處置方式，針對費用和風險的考量，是不足取的，或者是說，由於政策與立法方面的限制，是行不通的。依目前技術而言，最可行之安全處置方案為深地質處置。中國大陸之高放廢棄物地質處置場概念，為地下礦山式工程並將廢棄物埋葬在地下 500~1000m 的巨大完整岩石中。

國際上的共識，高放廢棄物選址階段至處置設施興建，其過程必須興建地下實

驗室，地下實驗室有承上啟下的作用，是不可缺少的關鍵步驟。整個高放廢棄物地質處置地下實驗室須整體考量實驗室的功能、圍岩類型、總體定位、開發路線、場址篩選問題及最終興建目標。地下實驗室有下列六大功能：

- 評估場址深部環境
- 開展 1：1 工程尺度驗證實驗
- 開發處置庫施工、建造、回填和封閉技術
- 全面掌握處置技術
- 為地下現場實驗提供深部實驗巷道、水、電、通風、通訊、安全和應急等後勤保障
- 公眾參觀和培訓人員

地下實驗室圍岩類型，經過大量的研究和工程實踐結果顯示，花崗岩和粘土岩都適合做為高放廢棄物處置場的圍岩類型，綜合考量認為中國大陸首座地下實驗室應當先興建於花崗岩中，之後再考慮在粘土岩中興建。中國大陸首座地下實驗室總體定位，擬興建於高放廢棄物處置場中，其預選區有代表性的岩石（花崗岩），並位於 300 至 700 米左右之深度（視現地地質特性而定），其地下實驗室功能設計將較完備且可擴展，可有效進行高放廢棄物地質處置的研究開發與場址評估之服務，並作為國際先進的科研設施和平臺。

甘肅北山、新疆和內蒙古為地下實驗室三大重點預選區，其預選區之場址篩選和場址評估所獲得之成果，為開展中國大陸首座地下實驗室興建場址篩選之基礎，並依照中國大陸有關處置場的選址要求，選出地下實驗室推薦場址和備選場址（花崗岩場址），之後由中國大陸國防科工局根據相關程式決策，確定首座地下實驗室最終場址。

3.2.6 主題六：「中國大陸膨潤土研究進展」

緩衝/回填材料位於廢棄物罐和地質體之間，是高放廢棄物處置場多重屏障系統中最後一道人工屏障，因此其材料的選擇和工程特性，對於整個高放廢棄物處置系統就顯得非常重要。其作用為：①工程屏障作用：緩衝圍岩壓力對廢棄物罐的影響，維護處置場結構的穩定性②水力學屏障作用：充填廢棄物容器與圍岩間的孔隙和近場岩石中的裂隙或孔隙，阻止地下水流到廢棄物罐表面③化學屏障作用：阻滯核素遷移和阻止氧化劑到達廢棄物罐表面以及阻止放射性氣體和水溶化合物滲漏到圍岩中④導熱作用：傳導核燃料殘餘能量。

膨潤土研究內容包括：①材料的物質成分和結構構造研究②工程物理基本特性測試技術與參數測定③化學緩衝性能研究④添加劑和最優配方研究⑤緩衝/回填材料穩定性研究⑥緩衝回填材料熱-水-力-化學耦合作用研究⑦濕熱誘導效應研究⑧高壓成型工程研究⑨回填和封閉技術研究⑩地下實驗室開展的全尺寸工程實驗技術等。國際上該領域的研究工作始於 70 年代中期，G.de Marsily 等首次提出了"在廢棄物周圍建立人工屏障，局部通過附加物理屏障來增強封閉"的觀點，到 80 年代，膨潤土被認為是處置庫緩衝/回填材料的最佳選擇。瑞典、加拿大、日本、瑞士以及法國等相繼開展了該領域的研究工作，並已取得不少研究進展。核工業北京地質研究院自 1985 年以來開展緩衝/回填材料研究工作，主要科研活動分為(1)廣泛的文獻調研，跟隨國際同行的研究工作(2)1986~1990 參加 IAEA 研究課題"無機吸附劑作為處置庫緩衝/回填材料"研究(3)1990~1994 回填材料膨潤土性質及工程性質研究(4)1994~1996 對全國 94 個膨潤土礦床進行了篩選，確定內蒙古高廟子膨潤土礦床作為中國大陸緩衝/回填材料的供應基地(5)1996~2000 年度，高廟子鈣基膨潤土物質成分、基本物理、水理性能、工程成型性、力學性能、膨脹特性、滲透特性、熱學性能及核素遷移等方面的研究(6)2001 年起，高廟子鈉基膨潤土基本組成、水理特性、力學特性、滲透特性、膨脹特性測試方法研究與分析測試，國外同類研究工作追蹤和文獻研讀。在這一領域，多名科研人員利用 JNC 和 JAREI 的儀器設備進行了膨潤土工程物理特性和核素遷移方面的研究工作，對於緩衝材料的研究起到了極大的推動作用。近 20 年的發展，造就了一支高素質研究隊伍，掌握了研究思路和主要研究方法並腳踏實地作了許多具體的研究工作。在中國大陸充足經費的資助下，這一領域的研究工作完全有把握獲得國際一流的研究成果，確保高放廢棄物安全處置。

3.2.7 主題七：中核清原工程環境公司介紹

3.2.7.1 公司介紹

中核清原環境技術工程有限責任公司（簡稱“中核清原公司”）於 1995 年 1 月成立的中國核工業集團公司（歷經核工業部、中國核工業總公司）的直屬全資子公司，是中國大陸唯一授權的專業從事廢棄放射源處理、核能設施除役、放射性物質（含放射源、放射性廢棄物、用過核燃料等）運輸、全國放射性廢棄物處置場的規劃興建與運轉、放射性廢棄物處理處置、廢放射源收貯、放射性物質包裝容器研發等業務之專業公司。

3.2.7.2 主要放射性廢棄物處置和貯存設施

- 西北處置場：1998 年建成並運營，為中國大陸第一座低中放固體廢物近地表處置場。
- 核工業西北放射性廢源庫：2003 年興建完成。
- 放射性廢源國家庫：2008 年興建完成。
- 廣東北龍放射性廢物處置場：2000 年興建完成。
- 飛鳳山處置場：2016 年試運轉中。
- 福建漳州放射性廢物處置場：選址和規劃階段性工作。

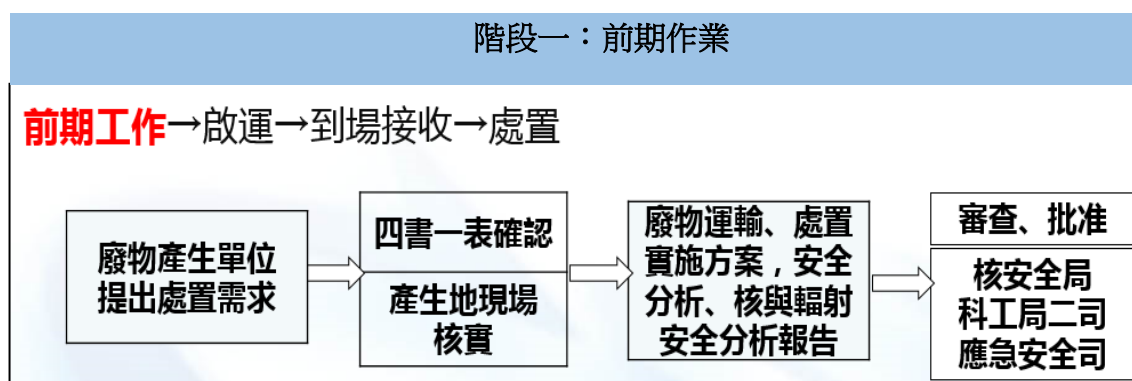
3.2.7.3 放射性廢棄物運輸

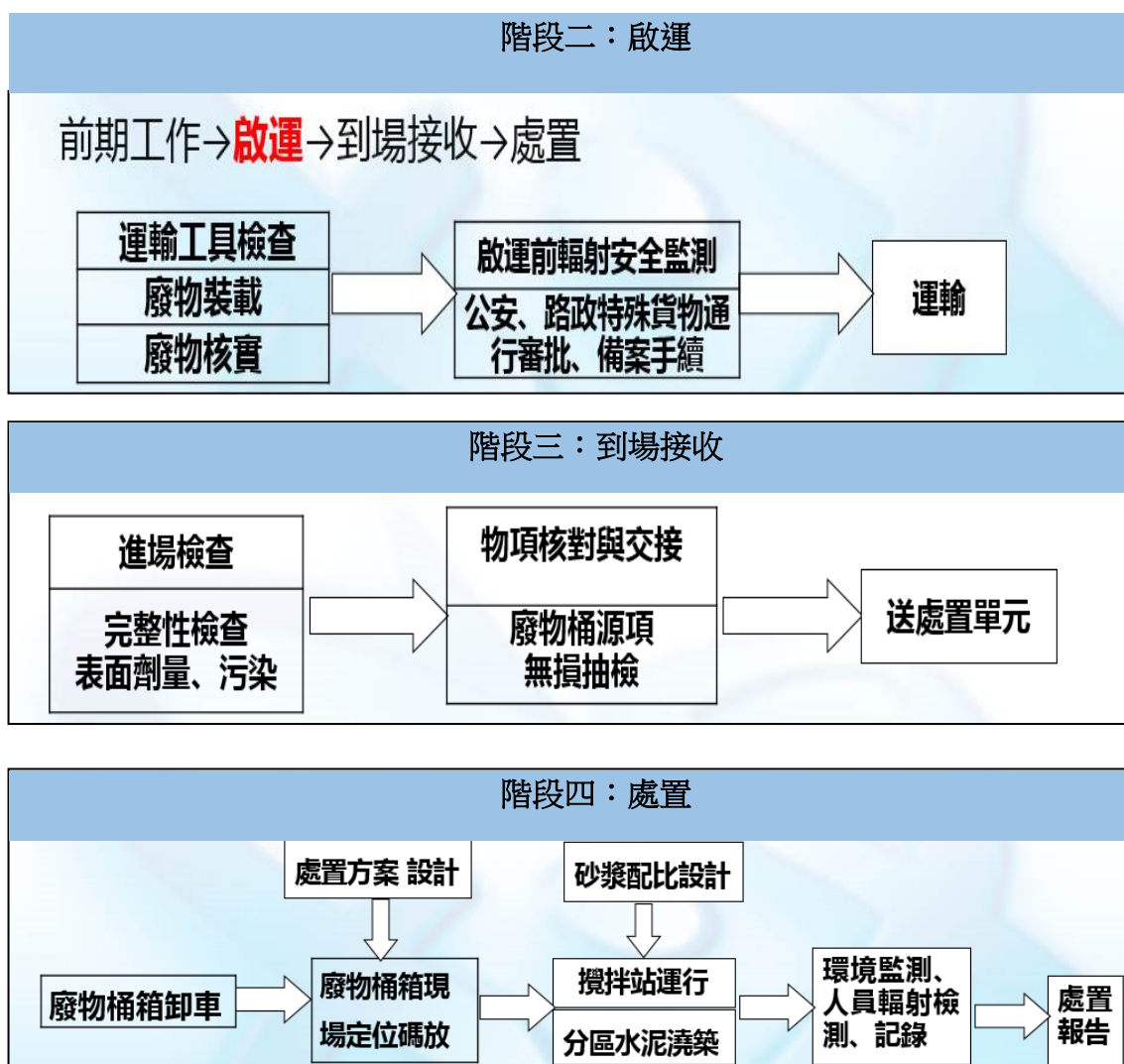
- 2000 年開始至今安全無事故。
- 用過燃料有 100 餘萬公里運輸經驗。
- 放射性廢棄物：數千萬噸公里運輸經驗。

擁有用過燃料運輸容器 35 台，鐵路專用運輸車輛及 160 噸專用換裝站，核能運輸專用車輛 40 餘台，海上衛星運輸監控系統等運輸裝備。於 2007 年至 2011 年完成中國大陸 28 省市數百家機關遺留廢棄放射源核查、整備包裝、運輸和收集貯存。收集貯存廢棄放射性源約 10 萬枚。

3.2.7.4 中國大陸廢棄物處置法規和工程

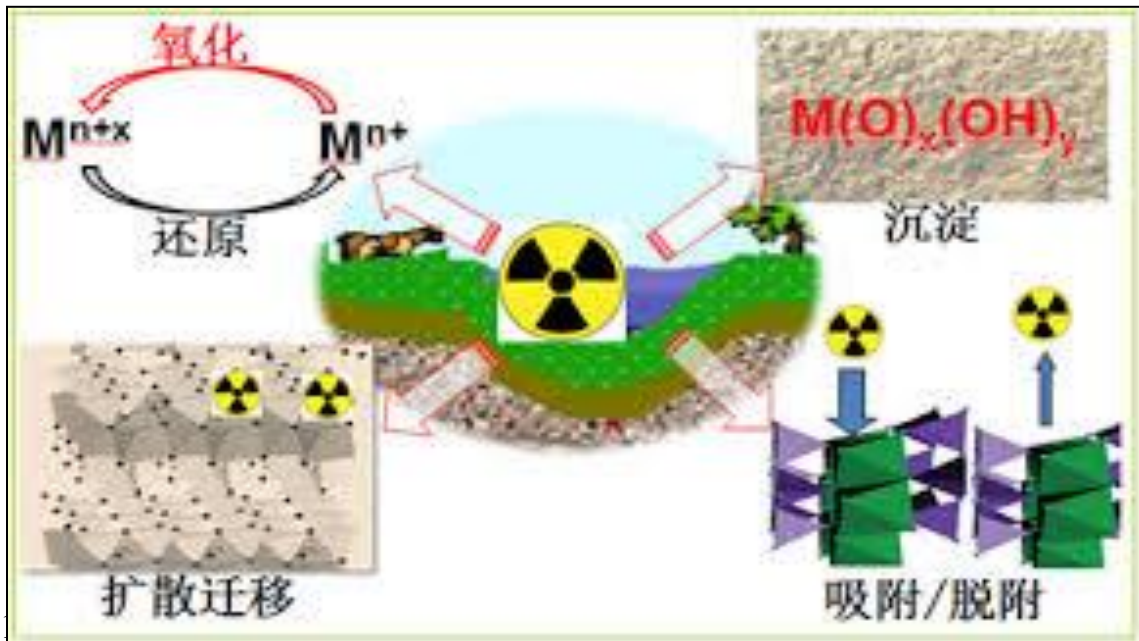
廢棄物處置共分成四階段：前期作業→啟運→到場接收→處置，其流程及相關資料如下：





3.2.8 主題八：核素遷移研究成果

伴隨核能事業發展，不可避免地產生大量高放射性核能廢棄物，其對環境和人類建商構成了潛在的威脅。因此安全處置放射性核能廢棄物已越來越引起人們的關注。目前世界公認的較安全處置方法是深地質處置，及選擇低滲透的堅硬結晶岩體作為處置場的地質屏障。然而，這種低滲透結晶岩體含有不規則的裂隙，它們構成溶解於地下水中的放射性核素的主要遷移途徑。因此，在評估處置場能否有效地長期隔阻放射性核素遷移的研究中，放射性核素隨地下水裂隙遷移行為的試驗與模擬研究結果極為重要。



放射性核素在岩石中隨地下水的遷移主要包含三種物理化學作用：

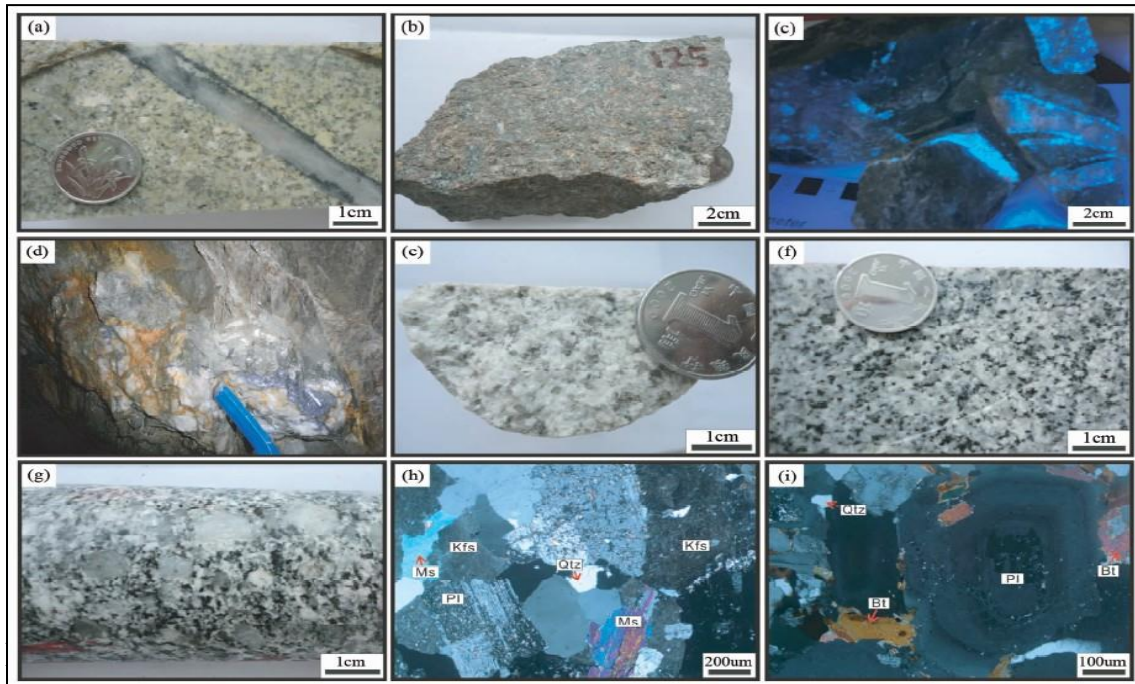
- A、由於水流運動與流體各別質點流速、流向差異而引起的機械彌散與分子擴散綜合作用而導致的核素遷移，稱為水動力彌散。
- B、核素隨地下水的宏觀遷移，稱為對流彌散。
- C、吸附作用，當放射性核素隨地下水流穿被水飽和的岩石孔隙時，由於溶液 pH 值不同，在固液介面上進行不同程度的離子交換，形成岩石孔隙表面對核素的吸附作用，從而減緩擴散進程。

這三種物化作用是研究放射性核素在隙縫岩石中的遷移規律時的主要方向。

2、核素遷移的試驗研究及進展

核素遷移試驗研究從規模和形式上大體可分為三種類型：

- A、岩石樣品示蹤試驗：專門設計的試驗裝置內對岩石樣品進行示蹤試驗，試件的尺寸從數厘米到數米不等，試驗裝置由試件主體部分、壓力傳導系統和數據採集系統三部分構成。



不同的觀念模型和數學模型對處置場中核素遷移時空分布規律進行模擬試驗研究。

C、地下實驗研究：利用廢棄礦坑建立地下實驗室，對放射性核素在地質屏障中的遷移規律進行試驗和模擬研究。

3、裂隙介質中核素遷移模擬研究

A、深地質處置系統概念模型的建立：研究表明，深地質處置系統一般由工程屏障系統(玻璃固化體、包裝容器、回填材料)、地質屏障系統和生物圈三部分構成，因此從模擬對象上，高放廢棄物深地質處置系統中放射性核素遷移模擬應包括工程屏障中核素分解和遷移行為模擬、地質屏障中核素遷移模擬和生物圈中核素遷移模擬。

B、裂隙岩體核素遷移機理和遷移模型：裂隙岩體核素遷移機理研究主要包括核素在裂隙岩體中的對流、擴散、吸附和阻滯規律的研究，以及核素遷移過程中的水岩作用過程和核素存在、遷移形成研究；根據裂隙介質的特徵，裂隙岩體核素遷移模型可分為單裂隙核素遷移模型、連續或等效連續介質核素遷移模型、裂隙網絡介質核素遷移模型，其中，裂隙網絡介質核素遷移模型是高放廢棄物深地質處置系統中放射性核素遷移模擬研究的發展趨勢。

C、多場耦合問題：由於高放廢棄物地質處置系統的復染性、核素溶解、遷移行為的模擬是一項復染的系統工程。

D、數值模擬方法：高放廢棄物地質處置系統中核素遷移介質非均質性和核素遷移條

件的復染性，決定了高放廢棄物深地質處置系統中放射性核素遷移的數學模型。

在處置場環境中產生膠體是無法避免的，由於膠體的表面積表較大，且對於銻系核種具有較佳吸附性。因此，天然膠體可能會吸附大量的銻系元素而形成大量假膠體，使核種傳輸量加大。同時，天然膠體一般是帶負電，由於負電的排斥作用，也會使得核種傳輸速率增大。所以，本研究主要關心膠體存在的可能性與穩定性。例如銻元素在實驗室的吸附特性研究中，在離子態具有良好的吸附能力，但是在核污染區現場量測的結果，其傳輸速率卻是遠大於實驗室估算的結果。因此被認為真假膠體的存在而使得傳輸速率大幅提升。

分析方式是採用不對稱流場場流分離檢測系統，以及電感耦合等離子體質譜裝置，與貝他激光密度分析儀。分析的內容包含膠體顆粒密度、粒徑以及元素組成、貝他電位(表徵膠體年性的重要參數)與流體半徑、另外也分析不同半徑內膠體吸附的狀況。

實驗結果顯示，由於地下水有較高的離子強度，所以銻是以假膠體的狀態存在。膨潤土膠體在地下水中比在去離子水中的穩定性要下降許多，顆粒密度下降約兩個級數。可以發現北山地下水較高的離子強度對於核種阻滯是有利的。另外，隨著酸鹼值增大也會提高膠體穩定性。

肆、心得及建議

@心得方面

1. 本次技術交流的準備與雙方互動

本次出國為台電就「放射性廢棄物技術」議題第一次赴中國大陸與中國核工業集團公司進行交流討論，為展現我方技術能力，在我方團員的選擇上以負責台灣高、低放射性廢棄物最終處置設計的顧問公司作為考量，包括：

- (1). 負責高放射性廢棄物最終處置設計的核能研究所、
- (2). 負責低放射性廢棄物最終處置設計的中興工程顧問公司、
- (3). 負責低放射性廢棄物最終處置地質調查之工業技術研究院；

會議議題包括：

- (1). 最終處置場場址地質特性調查、
- (2). 最終處置設施設計、
- (3). 最終處置場安全評估；

簡報內容也經過多次開會討論後確定，完整展現我方技術實力。

陸方也非常重視本次技術交流，兩天研討會共派出 20 位技術專家群參與簡報發表與討論，在簡報題目、簡報內容、開會地點的選擇、後勤作業安排等等皆展現其用心的一面。

2. 中國大陸高、中、低放處置政策

@高放處置政策

中國大陸核能電廠用過燃料池原則上將不進行容量擴充作業，而是將用過燃料以乾式貯存銜接用過燃料再處理(2030)，進行再處理後回收鈾、鈾再製快滋生燃料。

重水核電廠之 CANDU 燃料因鈾含量過低，將直接地質處置，不進行再處理。

中國大陸用過燃料再處理廠之設計、施工將與法國 AREVA 合作，預計 2020 年開始動工興建，2030 年運轉；每年可再處理 800 噸用過核燃料。

中國大陸高放廢棄物深層地質最終處置規劃分為 3 個階段：

- (1). 實驗室研究開發和處置場選址階段（2009—2020），其目標是，完成各學科領域實驗室研究開發任務，初步選出處置場址並完成初步場址評估，確定地下實驗室場址，完成地下實驗室的可行性研究，並興建地下實驗室；
- (2). 地下現場試驗階段（2021—2040），其目標是完成地下實驗室現場試驗，

完成場址詳細評估，最終確認處置場址，掌握處置場建造技術，完成處置場設計和可行性研究；

- (3). 處置場興建階段（2041－2050），其目標是 2050 年前後興建處置場，開展示範處置，並開始接受高放射性廢棄物。

@中、低放處置政策

目前中國大陸有三座處置場目前處於運轉及試運轉中，分別為西北、華南(運轉中)與西南處置場(試運轉)。另有三座處置場目前正規劃中，包括：山東、浙江與福建處置場。

目前中國大陸針對中低放處置政策為發展核電之省分，都必須建置一座中低放射性廢棄物最終處置場，而中低放射性廢棄物最終處置場應位於核電廠周遭適合之地點。有關民生用中放射性射源之處置由國家統一處理；民生用低放射性射源之處置則由各省負責處理。

3. 中國大陸核能蓬勃發展 台灣不應輕言非核

中國大陸的核電發展係從國防工業轉型而來，採取有計畫、有組織、有步驟的方法為之，從核工業部到「中國核工業集團總公司」，再發展成為現行的四家控股公司可建設核電廠，相互競爭。從核能源頭的鈾礦開採、核電廠、燃料再處理及放射性廢棄物處置的技術建置，一步一步的研究發展，希能成就自主的品牌。經過 30 多年的努力，從秦山一期的 30 萬千瓦壓水式反應器到目前積極引進的第三代核電技術（AP1000），包括華龍一號及 AP-1400 機型；整個參訪過程給我們的印象是，中國對核電發展的政策非常清晰明確，各個核電集團也積極的擴展相關業務；到 2050 年時，則將提高到 4 億千瓦(400 部機組)。然而即便 2050 年的目標實現，核能發電也將僅佔中國大陸發電總能力的 10%左右。中國大陸未來興建核電廠以輕水式反應爐及快滋生反應爐為主，將輕水式反應爐用過燃料經過再處理，把提煉出的鈾、鈾再製成燃料供快滋生反應爐使用，此計畫可提升鈾礦利用率，故中國大陸計畫至 2040 年興建 200 部輕水反應爐，2050 年興建 200 部快滋生反應爐。

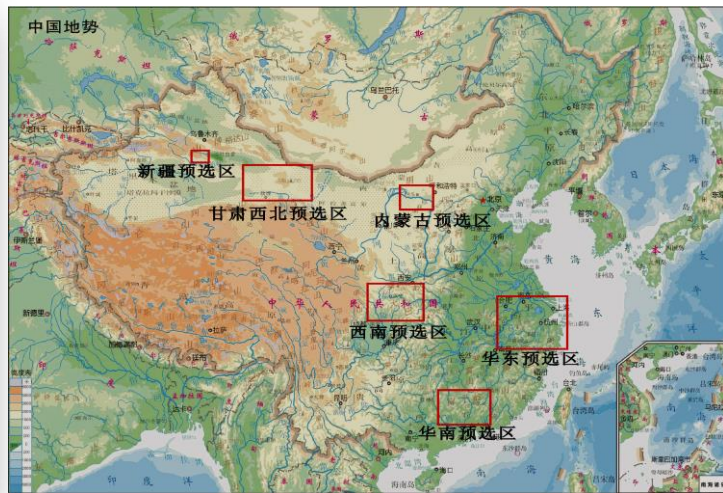
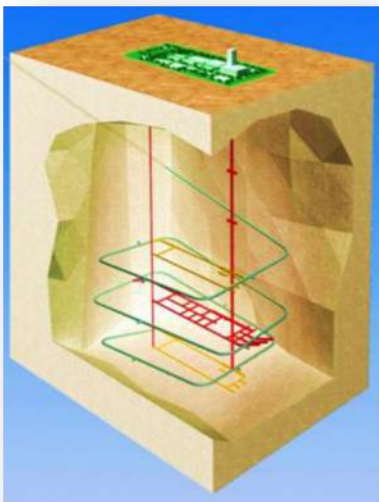
反觀台灣在日本 311 福島核災後為逐步減少對核能依賴，最終達成非核家園的願景，行政院甚至於於 2013 年 03 月 07 日通過「能源安全與非核家園推動法」草案，實質推動「非核家園」，與中國大陸政策背道而馳；然因能源涉及國家安全、民生需求、產業競爭力及環境保護等多元面向，對國家永續發展影響深遠，尤以我國為海

島國屬獨立電網，能源 98%以上仰賴進口，一旦能源供應來源不穩，勢將危及國家安全及產業民生所需；，我們應深刻思考核能的必要性，否則一旦廢核，幾十年累積的人才與技術流失，想再挽回以然來不及。

@建議方面

4. 可參與中國大陸北山高放廢棄物深層地質實驗室研究項目

中國核工業集團公司(以下簡稱中核集團)預期設立大陸第一個乏燃料最終處置地下實驗室，首選區域為甘肅北山，是一個位於 300 至 700 米深度之間、大型、功能完備、具有擴展功能、且對國內外全面開放的先進實驗室。



鑑於本公司未來亦有建立地下實驗室之計畫，中核集團也曾與本公司於 2000 年 1 月 17 日所簽訂之合作意向書，其中技術合作原則第 2 點談到「雙方同意將台電乏燃料和中、低放固體廢物交中核集團處理處置，並先從中、低放固體廢物開始，以推動實現整體方案。」地下實驗室技術經驗交流彙整：

建議雙方可就下列項目進行技術交流：

- (1). 選址過程經驗
- (2). 聯合開展高放廢物地質處置研究開發
- (3). 地下實驗室研究開發
- (4). 北山地下實驗室場址調查工作
- (5). 膨潤土研究
- (6). 高放廢物地質處置安全評估研究
- (7). 參與北山地下實驗室工程設計工作

(8). 參與北山地下實驗室，進行實驗方案

5. 設定中國大陸為低放境外處置目標，成為我國低放最終處置替代方案

中核清原公司是中核集團的全資子公司，也是大陸目前唯一國家授權的專業從事高、低階放射性廢棄物廢與放射源治理、運輸與處置，及放射性廢棄物處置場設計規劃與運轉等業務之專業公司，在放射性廢棄物的處理及最終處置方面，有卓越成就；本公司可在此領域與中核清原公司，建立合作關係。

本公司曾與大陸中國核工業集團公司(以下簡稱中核集團)經由核能科技交流活動，洽商核能技術合作事宜。雙方於 89 年 1 月 17 日簽定「核能技術合作意向書」，內容主旨為:「積極推動兩岸和平利用核能技術合作，並妥善處置放射性廢棄物。」，雙方若能分別經過適當的政府授權，同意積極推動和平利用核能技術合作，必能為促進海峽兩岸核能技術交流合作作出實質績效；考慮到大陸幅員遼闊，擁有處置核廢物之絕佳地質條件，可在不影響民眾與環境安全的條件下，妥善處置核廢棄物。

基於上述緣由，本公司應積極進行設定技術合作之專案項目，擬訂三階段將本公司低階核廢棄物運往中核清原公司所營運之大陸西北處置場處置之規劃，首階段規劃，雙方可先就採購、商務、技術、法律等面向，進行全面可行性探討。

若首階段評估若可行並獲得政府同意，可以以蘭嶼貯存場 10 萬桶低放射性廢棄物，作為第二階段合作之處置目標；之後，再以核電廠運轉及除役廢棄物約 60 萬桶作為第三階段合作之處置目標。

6. 中國大陸核能人力年輕且運轉經驗資淺，兩岸應持續擴大交流領域

中國大陸核能雖然蓬勃發展，但人力年輕且運轉經驗資淺；反觀台電核一、二廠四部機組均已運轉三十餘年，核三廠二部機組即將滿三十年。因此，本公司對於無論是沸水式或壓水式反應爐，均已累積豐富之運轉與維護經驗，較中核集團所屬核能電廠實際累積之運轉年為多；故基於提升核能安全、電廠營運績效與核能後端營運績效之共同理念，兩岸雙方對於推動核能技術平等互惠交流也都具有高度合作意願，透過技術與經驗交流、人員互訪與營運績效交互評估等措施，提升彼此安全管理與營運績效，促進核能發展，落實核能安全。

兩岸可以先以「海峽兩岸核電安全合作協議」及「關於和平利用核能技術合作意向書」為架構，在下列範圍進行交流合作：

■核能電廠營運績效與安全方面

- (1). 電廠安全與營運管理
- (2). 組織與管理
- (3). 設備維護管理
- (4). 推動核安文化與核能品質保證制度
- (5). 電廠老化管理
- (6). 輻射防護與消防
- (7). 自然災害防護與應變
- (8). 核子事故緊急應變
- (9). 資訊公開與民眾關係

■核能後端營運技術方面

- (1). 核能電廠除役技術
- (2). 放射性廢棄物貯存、最終處置之容器開發
- (3). 放射性廢棄物運輸技術與經驗
- (4). 放射性廢棄物貯存與處置技術
- (5). 用過核子燃料貯存處置技術

為加強雙方合作及技術經驗交流，本公司可派遣核能電廠運轉維護相關之資深技術人員，至中核集團所屬核能電廠，與駐核能電廠技術人員進行技術與經驗上之交流。

兩岸就放射性廢棄物處置技術進行交流是相當重要的，這也是召開本次研討會之主要目的，對於中國大陸放射性廢棄物的管理政策、組織架構、高低放射性廢棄物處置現況、甘肅西北地質與運轉概況，藉由這次技術交流，均有初步且完整的了解，可提供本公司在規劃未來可能與中國大陸相關核能業者合作交流時，能充分預為「知己知彼」，以奠立成功基礎。此外，核能工業領域擴大交流也是必要的，對於核能發電廠興建、運轉與維護等工作項目，期待未來能有更多的交流機會。

