

公差報告(公差類別：其他)

出席第五屆廢物地下處置學術研討
會暨參訪核工業北京地質研究院及
核廢物與環境安全國防重點學科實
驗室

服務機關：行政院原子能委員會
放射性物料管理局

姓名職稱：鍾沛宇薦任第八職等技正

派赴地區：大陸地區

出國期間：103年8月21日至8月27日

報告日期：103年10月13日

摘 要

第五屆廢物地下處置學術研討會於 2014 年 8 月 25 及 26 日兩天假四川省綿陽市西南科技大學舉行，我國、大陸、美國、英國、芬蘭等國近 200 位放射性廢棄物最終處置相關領域學者專家參與，共發表 70 餘篇論文，內容包括高放廢棄物地質處置、中低放廢棄物地下處置、城市及工業廢棄物地下處置、二氧化碳地質處置、污染場址修復、其他廢棄物地下處置與環境保護等主題。參加本研討會之主要目的係藉由全體與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此意見。

本次出訪，除進行放射性廢棄物最終處置學術及技術交流外，亦藉由參訪核工業北京地質研究院及核廢物與環境安全國防重點學科實驗室，以進一步瞭解大陸地區在放射性廢棄物最終處置的現況及其相關技術發展情形，可做為未來我國執行放射性廢棄物最終處置管制之參考依據。

目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
一、行程.....	2
二、參加第五屆廢物地下處置學術研討會	2
三、參訪行程	24
(一) 參訪核工業北京地質研究院	24
(二) 參訪核廢物與環境安全國防重點學科實驗室	35
參、心得.....	39
肆、建議事項	41

壹、目的

「廢物地下處置學術研討會」為大陸地區促進放射性廢棄物最終處置學術及技術交流的重要管道之一，針對放射性廢棄物最終處置相關議題進行深入探討。本研討會自第一屆於 2006 年在北京召開以來，每兩年舉辦一次，第二屆至第四屆分別於甘肅敦煌、浙江杭州及江西南昌召開。

本次研討會為第五屆，由中國岩石力學與工程學會廢物地下處置專業委員會、中國核學會輻射防護分會、中國環境科學學會核安全與輻射環境安全專業委員會及中國核學會核化學與放射化學分會環境放射化學專業委員會主辦，西南科技大學、核廢物與環境安全國防重點學科實驗室、四川省核學會、四川省礦物岩石地球化學學會、核工業北京地質研究院、中核高放廢物地質處置評價技術重點實驗室及固體廢物處理與資源化教育部重點實驗室承辦，於 2014 年 8 月 25 及 26 日兩天假四川省綿陽市西南科技大學舉行，我國、大陸、美國、英國、芬蘭等國近 200 位放射性廢棄物最終處置相關領域學者專家參與，共發表 70 餘篇論文，內容包括高放廢棄物地質處置、中低放廢棄物地下處置、城市及工業廢棄物地下處置、二氧化碳地質處置、污染場址修復、其他廢棄物地下處置與環境保護等主題。參加本研討會之主要目的係藉由全體與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此意見。

本次出訪，除進行放射性廢棄物最終處置學術及技術交流外，亦藉由參訪核工業北京地質研究院及核廢物與環境安全國防重點學科實驗室，以進一步瞭解大陸地區在放射性廢棄物最終處置的現況及其相關技術發展情形，可做為未來我國執行放射性廢棄物最終處置管制之參考依據。

貳、過程

一、行程

日期	時間	地點與行程	工作內容
8月21日(四)	上午	台北→北京	去程
	下午	技術參訪	參訪核工業北京地質研究院
8月22日(五)	全日	技術參訪	參訪核工業北京地質研究院
8月23日(六)	全日	準備參加研討會	準備參加研討會相關工作
8月24日(日)	上午	北京→綿陽	路程
	下午	廢物地下處置學術研討會	研討會報到
8月25日(一)	全日	廢物地下處置學術研討會、技術參訪	參加研討會及參訪核廢物與環境安全國防重點學科實驗室
8月26日(二)	全日	廢物地下處置學術研討會	參加研討會
8月27日(三)	全日	綿陽→台北	返程

二、參加第五屆廢物地下處置學術研討會

確保核能安全與解決放射性廢棄物問題乃是核能發展之關鍵議題，放射性廢棄物最終處置更是爭議焦點所在，在放射性廢棄物最終處置的管理上，需要安全、明確及永續的解決方案，俾利核能發電及其他和平用途。因此大陸地區透過研究發展、資訊交流、經驗分享，促成了廢物地下處置學術研討會的誕生，主要成員係來自大陸地區核能研究機構及大學院校，其目的係為提昇大陸地區核能技術與安全

「廢物地下處置學術研討會」為大陸地區促進放射性廢棄物最終處置學術及技術交流的重要管道之一，針對放射性廢棄物最終處置相關議題進行深入探討。本研討會自第一屆於2006年在北京召開以來，每兩年舉辦一次，第二屆至第四屆分別於甘肅敦煌、浙江杭州及江西南昌召開。本次研討會為第五屆，於2014年8月25及26日兩天假四川省綿陽市西南科技大學舉行，我國、大陸、美國、英國、芬蘭等國近200位放射性廢棄物最終處置相關領域學者專家參與，共發表70餘篇論文，內容包括高放廢棄物地質處置、中低放廢棄物地下處置、城市及工業廢棄物地下處置、二氧化碳地質處置、污染場址修復、其他廢棄物地下處置與環境保護等主題。參加本研討會之主要目的係藉由全體與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此意見。

研討會於 8 月 25 日 8:30 揭開序幕，首先由大會主席—核工業北京地質研究院王駒副院長致歡迎詞並匯報會議籌備情況後，由中核第四研究設計工程有限公司榮峰副總經理、西南科技大學庑先國副校長、國家國防科工局邊慧英處長、環保部核安全管理司馬成輝處長、東華理工大學劉曉東副校長及中國工程物理研究院王拓研究員致開幕詞（如圖 2-2-1），接續為攝影時間，大會為所有與會者合影留念（如圖 2-2-2）。



圖 2-2-1 研討會大會開幕式主承辦單位代表及與會貴賓致開幕詞



圖 2-2-2 第五屆廢物地下處置學術研討會與會者合影留念

其後再進入大會報告，邀請五位學者專家做專題報告。首先由環保部核安全管理司馬成輝處長進行「漫談廢物管理」專題報告（如圖 2-2-3）。本專題報告提及，由於民眾長久以來對放射性廢棄物之成見，因此，為使放射性廢棄物最終處置得以順利執行，主管機關應著重於(1)立法；(2)成

立選址專家委員會；(3)公眾（利益相關者）之廣泛溝通與參與；(4)地方政府的支持；(5)堅持透明、公開、公正、理性原則；(6)成立處置專責機構；(7)監管部門全程參與，以促進放射性廢棄物最終處置之順遂。



圖 2-2-3 環保部核安全管理司馬成輝處長專題報告

第二位由核工業北京地質研究院王駒副院長進行「甘肅北山高放廢物地質處置地下實驗室若干戰略問題的考慮」專題報告（如圖 2-2-4）。本專題報告提及，地下實驗室可分為普通地下實驗室(generic URL)及特定場址地下實驗室(site-specific URL)兩大類。其中，普通地下實驗室係指利用舊有的礦山坑道、民用隧道（例如水電站隧道、高速公路隧道）等改建而成；主要用於實驗及開發處置技術，而與未來處置設施場址無特定關係。特定場址地下實驗室則建築在已經選定的處置設施場址上，用於場址評估、技術開發、整合及驗證處置技術，最後確認處置設施及驗證廢棄物處置工法和方案的可行性，並且亦有可能逐步演變為實際處置設施的一部分。

經由國際經驗，大陸地區之地下實驗室定位如下：(1)建設在特定場區（處置設施重點預選區）；(2)建於有代表性的岩石中；(3)大型的；(4)功能較完備的；(5)具擴展功能的；(6)位於 500m 深度左右；(7)具有國際先進水平等定位。另由本專題報告可知，良好的地下實驗室具備評估深部地質環境、開展地下現場實驗、為處置設施設計及安全評估提供相關參數及依據、研發及驗證處置設施建設技術等功能，並且可以為國際合作提供平台、為公眾了解高放廢棄物最終處置工程提供窗口等功能。

再者，在地下實驗室所發展的現場試驗應包括以下三類，(1)現場獲取相關數據的試驗：包括深部環境地質條件參數測量、圍岩物理及化學特徵參數測量、圍岩岩石力學特徵和岩石力學岩體穩定性參數測量、地下水流動和物質移動參數測量，為處置設施場址性能評估和安全評估提供技術參數；(2)相關技術開發和驗證認證：包括處置設施選址和評估技術開發與驗證、安全評估技術開發與驗證、處置設施建造技術開發與驗證、處置

設施運轉技術開發與驗證、現場長期技術開發與驗證；(3)原型處置設施或示範處置試驗：發展 1:1 工程尺度的現場試驗，在深部的地質環境中考驗工程障壁，如放射性廢棄物本體、廢棄物罐及緩衝/回填材料等的性能，為未來實施真正的處置作業提供經驗。



圖 2-2-4 核工業北京地質研究院王駒副院長專題報告

第三位由南京大學 Yannick Kremer 博士進行“Study on Faults and Fluid Flow” 專題報告（如圖 2-2-5）。本專題報告提及，經研究可知，斷層係高度異質性，且既可能是水流的屏障，卻也亦可能是水流的管道；藉由系統性的資料蒐集及資料彙整，將可發展出經由水流預測斷層深度的技術。依 Strathclyde 研究，廢棄物地質處置之研究，應著重於地質圈及工程障壁二部分。其中，在地質圈方面，應著重於(1)斷層與水流；(2)場址特性之研究。在工程障壁方面，則著重於(1)工程障壁之系統方法(A Systems Approach for Engineered Barriers, SAFE Barriers)；(2)生物地質化學在核設施除役及廢棄物處置的應用(Biogeochemical Applications in Nuclear Decommissioning & Waste Disposal, BANDD)；(3)用於解決核廢棄物問題的除役、固定及貯存方案(Decommissioning, Immobilisation and Storage Solutions for Nuclear Waste Inventories; DISTINCTIVE)等方面的研究。



圖 2-2-5 南京大學 Yannick Kremer 博士專題報告

第四位由瑞典核技術中心和中國原子能科學研究院崔大慶研究員進行「瑞典乏燃料地質處置」專題報告（如圖 2-2-6）。本專題報告提及，瑞典共有 4 個核電廠 12 座機組（現正運轉者 10 座），核電佔總發電量的 51.6%，其用過核子燃料統計至 2010 年共有 8000 噸，由瑞典核燃料與放射性廢棄物管理公司(SKB)負責其最終處置工作。SKB 所採用的技術路線為利用深地質處置方法在花崗岩上處置用過核子燃料，從 70 年代便開始進行可行性研究，其研究計畫及成果被公認為是全球最好的。另外，瑞典設有 Stripa 及 Äspö 地下實驗室，以進行各種地質處置相關試驗。至於選址方面，自 1976 年開始選址以來，到 2004 年即確定場址為 Forsmark。



圖 2-2-6 瑞典核技術中心和中國原子能科學研究院崔大慶研究員專題報告

第五位由北京大學化學與分子工程學院劉春立副主任進行「核素種態分析方法和技術在我國核設施退役治理及放射性廢物治理中的作用」專題報告（如圖 2-2-7）。本專題報告中提及，核種價態分析的方法，大致上可分為(1)實驗室分析方法和技術（例如 AMS…等）；(2)模型計算（例如 PHREEQC、EQ36、CHEMSPEC…等）二大類。其中實驗室分析方法與技術受各種條件限制，而模型計算則受各種參數限制，兩者必須交互搭配運用。並說明了核種價態分析方法在大陸地區核設施除役管理及放射性廢棄物管理的應用。



圖 2-2-7 北京大學化學與分子工程學院劉春立副主任專題報告

本日下午則分二階段依不同之主題分二個會場分別進行相關論文發表，第一階段第一會場主題為核廢物地下處置—選址及場址評價，第二會場主題為安全評價、中低放、高放處置工程與 CO₂ 處置，其中第二會場所發表之相關論文，題目如下：

- (1) 高放廢物地質處置安全評估初步思考（李洪輝，中國輻射防護研究院）
- (2) 低、中水平放射性廢物處置場輻射環境監測工作探討（韓福眷，環境保護部核與輻射安全中心）
- (3) 放射性廢物中等深度地質處置現狀及概念設計（徐樂昌，核工業北京化工冶金研究院）
- (4) 高放廢物水平處置硯室間距分析（趙宏剛，核工業北京地質研究院）
- (5) 高放廢物處置庫單個豎直鑽孔廢物包個數探究（賈梅蘭，中國輻射防護研究院）
- (6) 基於替代模型的全局優化方法在 CO₂ 地質封存數值模擬中的應用（莫紹星，南京大學）
- (7) 核地球物理勘探方法及其在核設施安全監測中的應用（李懷良，西南科技大學）
- (8) PIPS 探測超鈾核素 α 能譜探測器響應函數解譜技術研究（石睿，西南科技大學）

本場次中，中國輻射防護研究院發表了高放廢棄物地質處置安全評估初步思考。本研究所建構的安全評估架構體系及基本流程分如圖 2-2-8 及圖 2-2-9 所示。本研究指出，處置系統的安全功能如下，(1)放射性廢棄物的包覆：廢棄物體、盛裝容器、處置容器的設計、緩衝/回填材料的選擇及其施工，以及圍岩環境的選擇，來包覆廢棄物，直至大部分放射性已衰變；(2)放射性廢棄物的隔離：處置設施的選址、設計及運轉必須使放射性廢棄物與人類及生物圈隔離；(3)延緩放射性核種遷移：高放廢棄物地質處置中相關的工程障壁透過吸附、離子交換等物理或化學作用及防腐、抗滲、耐輻射、導熱、耐久性等性能，使放射性核種的遷移速度非常緩慢，

以延遲其遷移出處置場。近場核種遷移之試算、核種遷移為主線須考慮之相關影響因素、模種釋出及遷移的模型求解技術路線圖分如圖 2-2-10、圖 2-2-11 及圖 2-2-12 所示。此外，本研究提及，玻璃固化體應具備對核種有一定的包覆率、密度不小於一定值、均勻性佳、導熱性能佳、具有良好的抗衝擊性能、產品表面劑量率在一定的限值之下、不存在游離液體…等特性；緩衝材料應具備低滲透性、阻止核種遷移特性、良好的熱傳導性、特定之力學特性及穩定性等特性；圍岩之特性則應著重於岩石學特性、水力學特性及力學特性等。

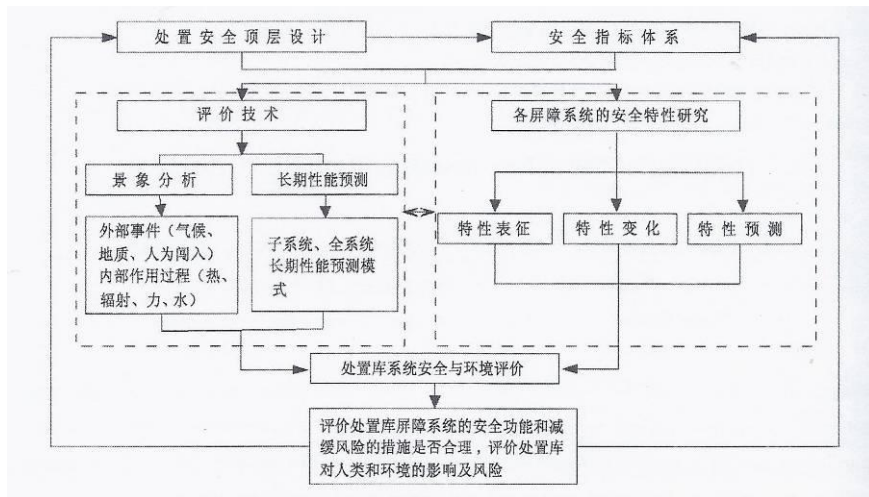


圖 2-2-8 大陸地區安全評估架構體系

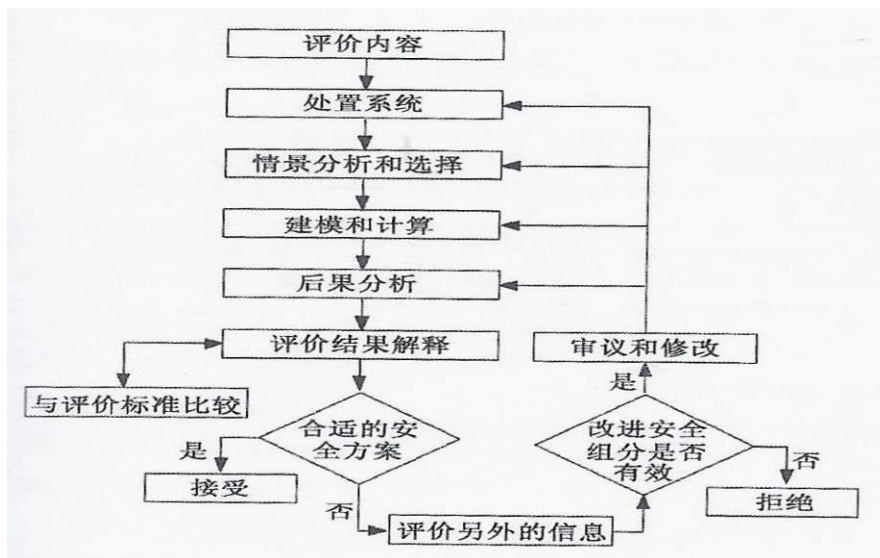


圖 2-2-9 安全評估基本流程

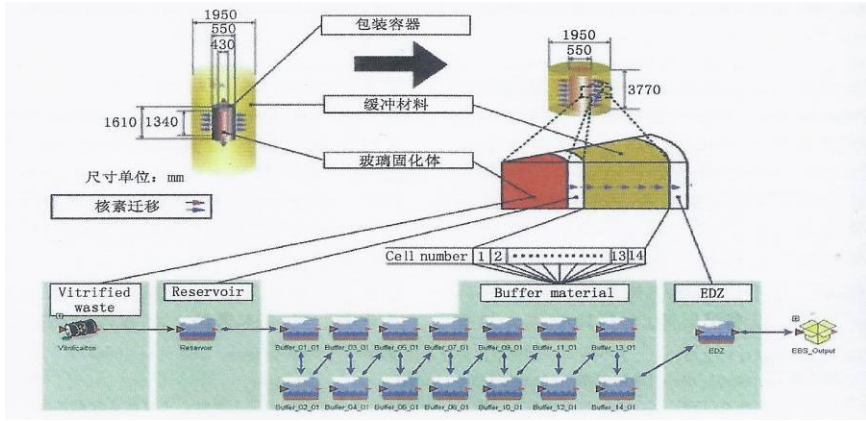


圖 2-2-10 近場核種遷移之試算

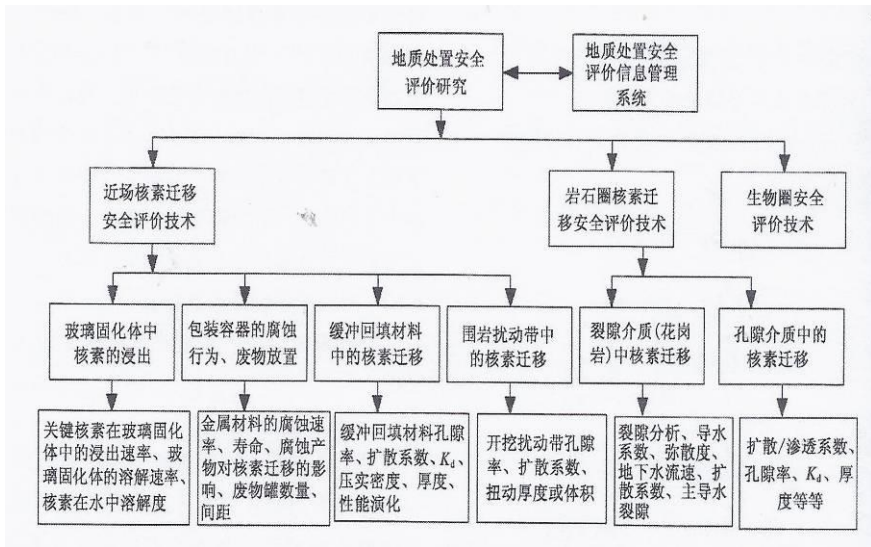


圖 2-2-11 核種遷移為主線須考慮之相關影響因素

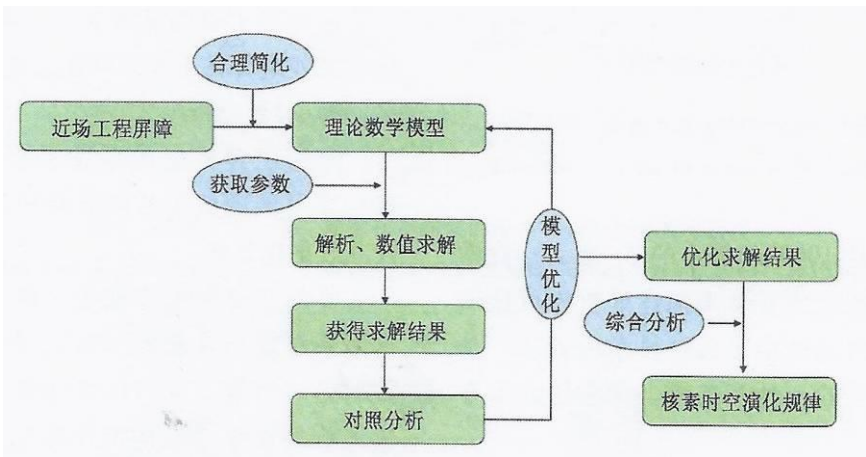


圖 2-2-12 核種釋出及遷移的模型求解技術路線圖

環境保護部核與輻射安全中心探討了低、中放射性廢棄物處置場環境

輻射監測工作。本研究中提及，處置場之環境輻射監測之目的，在運轉前為場址特性相關資料之蒐集、環境背景輻射劑量之獲得，在運轉階段為了解處置場運轉對環境可能造成的影響，在封閉後則為監控處置設施的包封完整性、評估處置場對環境之長期影響。在大陸地區中、低放處置環境輻射監測所面臨的問題，在技術要求方面的問題包括：(1)GB/T 15950-1995 規範沒有具體的技術指標和要求；(2)HJ/T 61-2001 規範係參照廢棄物貯存設施執行；(3)大陸地區標準中沒有提出適合處置場特性的技術要求；(4)缺少對¹⁴C 的監測要求；(5)針對處置場環境輻射監測警報系統的相關技術要求；(6)處置場對異常或突發事件時，缺少現場人員的行動指南。在行政管理方面的問題包括：(1)監測實施方案或計畫缺乏有效審查與監督；(2)主管機關應定期審查環境監測計畫之適用性，並提出存在的問題及改進方案。因此，本研究建議處置場環境輻射監測工作需要科學化、規範化及標準化，法規標準層面上應儘快建立健全相關技術要求及體系，並與國際相關標準接軌。實際工作中應認真執行環境輻射監測之實施方案與計畫，主管機關亦應認真履行監督檢查及方案審查之職責。

本階段第一會場發表之論文題目列舉如下：

- (1) 高放廢物地質處置庫場址適宜性定量化評價的指標體系初探（蘇銳，核工業北京地質研究院）
- (2) 高放廢物處置庫阿奇山預選場址區域地下水化學特徵及其水文地質意義（郭永海，核工業北京地質研究院）
- (3) 新疆預選區阿奇山地段地質條件研究（張松，核工業北京地質研究院）
- (4) 電容層析成像技術在探測水體中異常體的應用（廖愛民，南京大學）
- (5) 雅滿蘇岩體鑽孔壓水試驗及裂隙滲透性分析（季瑞利，核工業北京地質研究院）
- (6) 基於高密度電阻率成像法的甘肅北山預選區斷裂帶識別研究（周啟友，南京大學）
- (7) 真實地形剖分及地形的電阻響應特徵研究（盧德寶，南京大學）
- (8) 低頻組合天線的研究與應用（楊峰，中國礦業大學）

第二階段第一會場主題為核廢物地下處置—選址及場址評價，第二會場主題為高放廢物地下處置—工程屏障，其中第二會場所發表之相關論文，題目如下：

- (1) 國外緩衝回填砌塊材料製備技術的研究現狀（張虎元，蘭州大學）
- (2) 膨潤土參數對緩衝材料熱-水-力耦合性能的影響研究（曹勝飛，核工業北京地質研究院）
- (3) 溶液 pH 值對高廟子膨潤土緩衝/回填性能的影響（葉為民，同濟大學）
- (4) 鹽溶液飽和高廟子膨潤土膨脹特性及其預測（孫德安，上海大學）
- (5) 鹽溶液對高壓實 GMZ 膨潤土水力特性試驗研究（張峰，同濟大學）
- (6) 高壓實膨潤土抗沖蝕能力的試驗研究（陳寶，同濟大學）

- (7) γ 輻照-熱順序老化對改性鈉基膨潤土微觀結構影響的初步研究（趙帥維，中國輻射防護研究院）
- (8) γ 輻照-熱順序老化作用對高廟子改性鈉基膨潤土膨脹能力影響的研究（劉偉，中國輻射防護研究院）
- (9) 硫鐵礦在阻滯 Se 和 U 遷移中的作用（康明亮，中山大學）

本場次中，蘭州大學發表了國外緩衝/回填砌塊材料製備技術的研究現況，本研究提及，緩衝/回填結構的安全屏蔽功能必須透過適當的工程設計與施工才能實現，因此，本研究認為大陸地區應消化和吸收國外最新成果，透過分級放大試驗突破砌塊製備技術，全面提升砌塊工程之性能。至於各種工法的適用場合如下：(1)壓實塊砌築法適用於廢棄物罐體所在的污染區，較常用之砌塊形狀為扇形；(2)現場壓實法適用於回填區，較常見之方法為微粒壓實法。在攪拌技術與養護上，本研究發現凍結冰粉與低溫膨潤土拌和技術，更易攪拌，水化更均勻；壓實砌塊需要在適宜的溫度和濕度條件下進行養護，以防止乾裂及表面粉化。

同濟大學發表了三篇論文，分別就膨潤土之緩衝/回填性能及抗沖蝕能力進行研討。在緩衝/回填性能方面，隨著溶液 pH 值的增大，溫度的升高，膨脹力逐漸降低，且膨潤土中礦物發生相變，蒙脫石不斷減少；隨著化學濃度的增加，將使膨潤土的最終膨脹應變降低、壓縮性降低、固結係數增加；孔隙比小於 0.55 時，化學鹽溶液對滲透係數影響不大；孔隙比大於 0.55 時，滲透係數隨著化學鹽溶液濃度增加而增大。在抗沖蝕能力方面，當地下水流速較慢時，發生膨潤土膠體沖蝕的可能性較低；不銹鋼過濾片的孔徑越小，損失的膨潤土越少，穩定達到後所達的膨脹力越大；水流速度對膨脹力的影響為當水流速度較快時，一方面既能使膨潤土快速吸水膨脹，一方面亦會加劇水流對膨潤土的沖蝕作用，使膨潤土損失，導致膨脹力迅速下降。由實驗可知，當注入飽和 CaSO_4 溶液時，膨脹力不會隨注入溶液的沖蝕而減小，膨脹力慢慢增大直至不變；當注入飽和 NaCl 溶液時，起先膨脹力迅速增大，之後膨脹力迅速減小，最終膨脹力才趨於穩定。

本階段第一會場發表之論文題目列舉如下：

- (1) 天湖預選地段地表地質條件研究（金遠新，核工業北京地質研究院）
- (2) 天湖岩體地表岩體質量評價（李亞偉，核工業北京地質研究院）
- (3) 北山深部花崗岩剪脹特性研究（趙星光，核工業北京地質研究院）
- (4) 破裂面花崗岩多場耦合力學行為研究（劉建鋒，四川大學）
- (5) 米級尺度裂隙花崗岩的水力耦合試驗及理論研究（滿柯，核工業北京地質研究院）
- (6) 北山花崗岩滾刀線性破岩試驗研究（馬洪素，核工業北京地質研究院）
- (7) 滾刀作用下的北山花崗岩破裂模式（姚義和，南京大學）
- (8) 塔木素粘土岩與國外高放核廢物處置庫粘土圍岩力學特性比較研究

(付賢煒，東華理工大學)

(9) 不同溫度下塔木素粘土岩力學特性研究 (梁海安，東華理工大學)

(10) 鄂爾多斯盆地地下鹹水中不同離子對 CO₂ 溶解度的影響 (王璐，中國地質大學)

本日 18:00~19:00 之行程為參訪核廢物與環境安全國防重點學科實驗室，詳見參訪行程，本日議程至此告一段落。

8月26日上午8:30起進行大會報告，邀請六位學者專家做專題報告。首先由西南科技大學庾先國副校長進行「Pu-239核素遷移行為研究進展」專題報告(如圖2-2-13)。本專題報告中提及，Pu-239核種遷移行為，在不同領域中，有不同的目的意義。對於核廢棄物處理與處置領域中，其目的意義在於查明放射性廢棄物處置設施中之Pu-239核種，在地下水中化學反應特徵、地質介質中的遷移機制，以實現對處置設施中Pu-239核種之有效抑制；在核污染監測與控制領域中，其目的意義在於查明Pu-239在核污染區域地質環境中之遷移機制，以實現對核污染區域的有效監控，並預測評估環境中，Pu-239在過去、現在及未來的遷移過程與遷移趨勢；在核安全監測與評估領域中，其目的意義在於對核基地地質環境中Pu-239核種進行的有效監測與遷移預測評估，以確保核設施安全。



圖 2-2-13 西南科技大學庾先國副校長專題報告

第二位由芬蘭國家技術中心 Olin Markus 博士進行「芬蘭乏燃料地質處置」專題報告(如圖2-2-14)。本專題報告中簡述了芬蘭核電廠相關之基本規定及營運現況，並介紹了芬蘭用過核子燃料地質處置之技術概念(KBS-3 method)，可分為(1)設施：係處地下且封閉之設施；(2)處置系統；(3)場址等三部分加以探討。在設施設計上，著重於尺寸與時機、安全原則與功能、場址與材料之知能、技術解決方案、運轉、設計之認證、運轉情節、運轉安全之評估、性能與生命週期等方面之研究。在處置系統上，著重於材料與母岩的相關知能、預期情況與評估、工程障壁與母岩之安全

功能、技術設計、性能分析、情節、安全分析、性能與最佳化等方面之研究。芬蘭之用過核子燃料最終處置計畫已確定實行，Posiva 已預定 2015 年建造處置設施，並於 2022 年開始營運（如圖 2-2-15）；目前許多技術及設計問題都已解決，惟與運轉相關之研究仍在持續進行中，且本研究所得的知能將可應用到其他用過核子燃料問題上。



圖 2-2-14 芬蘭國家技術中心 Olin Markus 博士專題報告

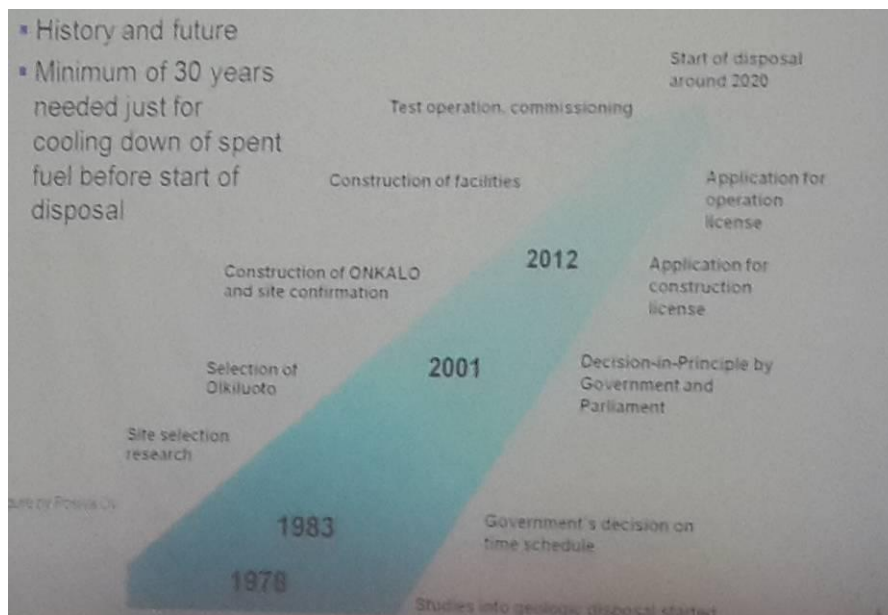


圖 2-2-15 芬蘭用過核子燃料處置計畫時程

第三位由中國礦業大學周宏偉教授進行「鹽岩流變的分數階導數模型」專題報告（如圖 2-2-16）。在本專題報告中所提出的新觀念—分數階導數潛變模型，能夠提供一個確切的方法來描述完全潛變區(full creep region)鹽岩。另在不穩定潛變過程(non-steady creep process)或加速潛變區(accelerated creep region)之潛變試驗過程中，則可利用可變粘滯性阿貝爾緩衝器(Abel dashpot)來得知鹽岩損傷的擴展。未來將更進一步研究分數階

導數的物理意義，並嘗試挑戰將分數階導數模式應用於鹽穴潛變之數值模擬。



圖 2-2-16 中國礦業大學周宏偉教授專題報告

第四位由卓鴻年博士進行“Current Status of the United States Spent Nuclear Fuel Disposition Research and Development”專題報告（如圖 2-2-17）。本專題報告分為(1)美國用過核子燃料與高放射性廢棄物最終處置及(2)核廢料隔離先導型處置設施(Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)兩部分。

第一部分美國用過核子燃料與高放射性廢棄物最終處置提及，雖雅卡山(Yucca Mountain)最終處置計畫已終止，然美國核廢棄物政策法(Nuclear Waste Policy Act)並不因此而失效，僅雅卡山被排除於可利用的合法場址之外，因此美國能源部(DOE)現在著重於用過核子燃料及高放廢棄物最終處置之一般性研究。另美國藍帶委員會(The Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, BRC)於 2012 年 1 月作出了八點建議：(1)未來選擇一個新的，且以公眾同意為基礎的核廢棄物管理設施；(2)授權一個新的組織權力及資源，專門致力於實施廢棄物管理計畫；(3)因核設施而獲得利益的納稅人出資成立的基金，用以供應核廢棄物管理；(4)致力開發一個或數個地質處置設施；(5)致力開發一個或數個集中式貯存設施；(6)致力開發大型運送交通工具，以利集中貯存設施或處置設施啟用時，載運用過核子燃料及高放廢棄物至該設施；(7)支持美國繼續在創新核能技術和勞動力發展；(8)美國積極為解決國際核能安全、廢棄物管理、防止擴散和其他安全問題而努力。

第二部分核廢料隔離先導型處置設施(WIPP)提及，該設施於 2014 年 2 月 5 日所發生之火災，以及 2014 年 2 月 14 日所發生之疑似輻射外洩事件。由於發生疑似輻射外洩事件，美國能源部(DOE)暫停了將超鈾廢棄物運往

WIPP，亦暫停了 WIPP 處置作業之營運，且 DOE 已與位於德州安德魯斯 (Andrews, Texas) 之廢棄物信心決策(Waste Control Specialists ,WCS)達成協議，以解決其超鈾廢棄物之暫貯問題；另外，WIPP 停止營運將有可能遲續二、三年，甚至更久的時間。



圖 2-2-17 卓鴻年博士專題報告

第五位由核工業北京地質研究院劉月妙博士進行「緩衝材料長期性能研究」專題報告（如圖 2-2-18）。本專題報告中提及，本研究利用中國高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架(China-Mock-Up)建立了緩衝材料試驗台架的安裝和試驗方法，並獲得了膨潤土在模擬處置設施條件下的溫度、濕度、力學等變化過程參數。首次試驗利用室內加熱器模擬高放廢棄物地質處置廢棄物罐，驗證了初期的位移過程，加熱器在熱膨脹和混凝土遇水產生的膨脹力作用下有逐漸向上移動的現象。另經模型參數量化後，可獲得與試驗數據吻合度較高的數值分析結果。透過本試驗，可依實測試驗數據加上理論分析做對照，顯示了熱-水-力-化耦合作用條件下緩衝材料行為特徵的變化規律，為高放廢棄物地質處置設施的設計和建造提供了重要的工程參數和理論依據。



圖 2-2-18 核工業北京地質研究院劉月妙博士專題報告

第六位由中國科學院金屬研究所魏欣博士進行「高放廢物地質處置中金屬廢棄物罐材料的選擇與腐蝕性能研究」專題報告（如圖 2-2-19）。本專題報告中提及，廢棄物罐是隔離放射性核種避免其發生外洩的第一道防線，雖廢棄物罐何時會發生穿孔是人類最關心也最擔心的問題，惟其與整體處置工程相比，安全狀況可以追蹤監測，不確定因素相對較少，可信度較高。透過本研究提出了金屬材料在不同腐蝕條件下之腐蝕模式、機制及其壽命預測之模型。且初步認為若以甘肅北山預選場址和高廟子膨潤土緩衝/回填材料為背景，首選廢棄物罐材料應為金屬鈦，銅的適用程度則與地下水中之 HCO_3^- 、 Cl^- 及 SO_4^{2-} 有關；低碳鋼則基本上不適合用於高放廢棄物地質廢棄物罐之製作材料，其需在耐蝕低合金鋼材料中開發研究及選材。本研究亦發現冷台架試驗用玻璃固化體接收容器受熱衝擊後，出現嚴重變形主要是因為初始 316H 不銹鋼板材中的微觀組織不均勻，鋼板內部存在大量層片狀的鐵素體帶狀組織所致。



圖 2-2-19 中國科學院金屬研究所魏欣博士專題報告

本日下午則依不同之主題分二個會場分別進行相關論文發表，第一會場主題為核廢物地下處置—選址、場址評價及廢物體與核素遷移，第二會場主題為核廢物地下處置—處置工程與工程屏障，其中第二會場所發表之相關論文，題目如下：

- (1) 非飽和高壓實 GMZ 膨潤土依時性研究（秦鵬舉，同濟大學）
- (2) 緩衝材料高溫膨脹性能研究（謝敬禮，核工業北京地質研究院）
- (3) 緩衝/回填材料的導熱性能研究（王茂麗，西南科技大學）
- (4) 緩衝材料力學性能研究（馬利科，核工業北京地質研究院）
- (5) 非飽和壓實膨潤土的滲氣規律研究（秦冰，後勤工程學院）
- (6) 飽和高壓實 GMZ 膨潤土中氣體滲透試驗研究（許龍，同濟大學）
- (7) HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 混合體系對 Cu 腐蝕行為的影響（李曉芳，中國科學院金屬研究所）

- (8) 深地質處置核廢料儲罐備選材料不鏽鋼和鎳基合金的腐蝕研究現狀
(黃彥良，中國科學院海洋研究所)
- (9) 碳鋼和耐候鋼在模擬北山地質處置環境中耐蝕性能的研究 (徐秋發，北京科技大學)
- (10) Ni-Cu 低合金鋼在低濃度碳酸氫鹽溶液中的腐蝕行為 (盧雲飛，中國科學院金屬研究所)
- (11) Q235 和 16Mn 焊接接頭在高放廢物地質處置環境中的縫隙腐蝕行為研究 (喻巧紅，北京科技大學)
- (12) Q235 焊接接頭在模擬地下水中的腐蝕行為 (劉超，北京科技大學)
- (13) CO₂ 地質處置過程中鋼的腐蝕行為研究 (魏亮，北京科技大學)

本場次中，西南科技大學發表了緩衝/回填材料的導熱性能研究，經由本實驗所研究之緩衝/回填材料的導熱性能，與乾密度、含水率、孔隙率、飽和度、溫度、礦物組成、礦物化學成分等因素有密切關係 (如圖 2-2-20 至圖 2-2-31)；在本試驗範圍內，乾密度大於 1.58g/cm³ 時，膨潤土的熱傳導係數均高於 0.8W/m·k，滿足 IAEA 對緩衝/回填材料熱傳導係數的要求。

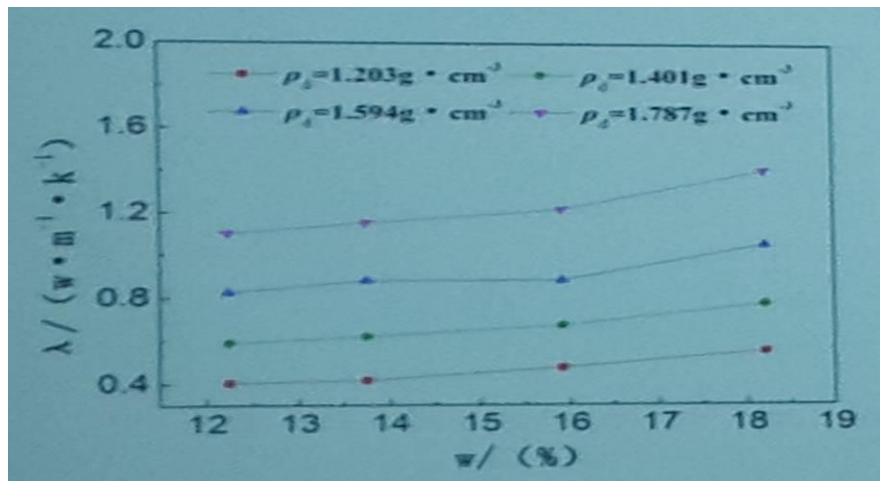


圖 2-2-20 XJ Na 膨潤土含水率-熱傳導係數關係圖

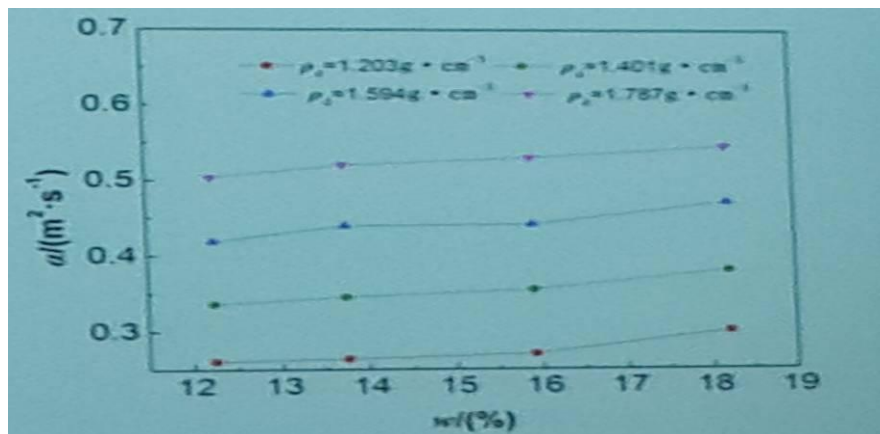


圖 2-2-21 XJ Na 膨潤土含水率-熱擴散係數關係圖

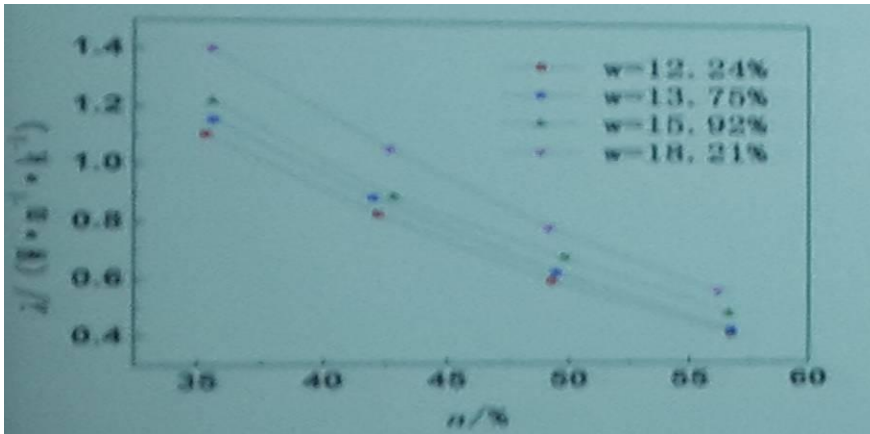


圖 2-2-22 XJ Na 膨潤土孔隙率-熱傳導係數關係圖

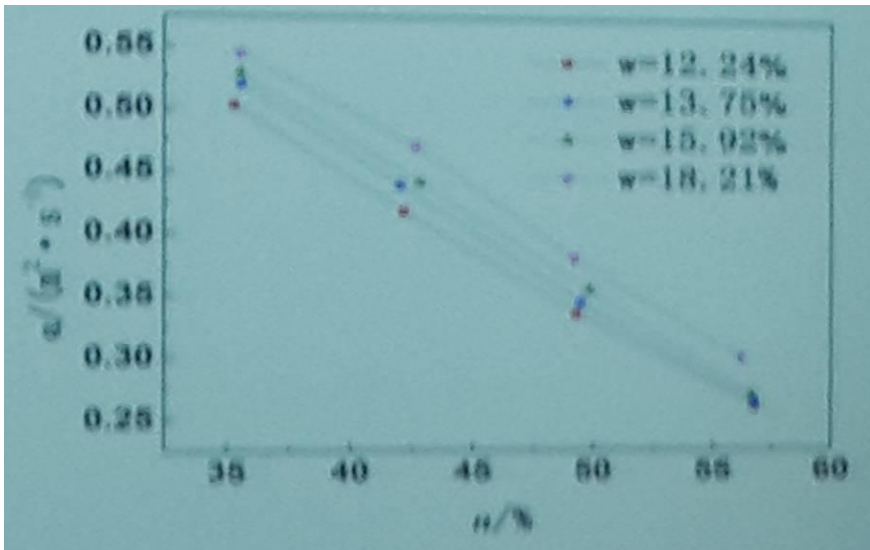


圖 2-2-23 XJ Na 膨潤土孔隙率-熱擴散係數關係圖

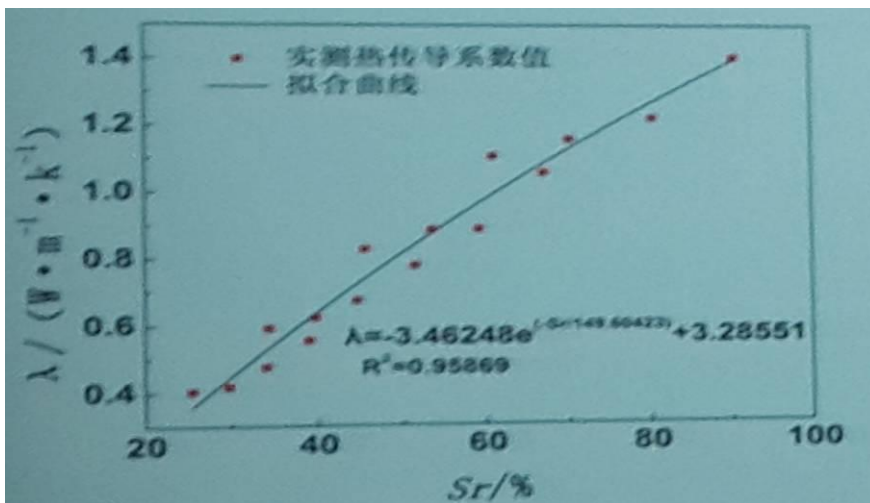


圖 2-2-24 XJ Na 膨潤土飽和度-熱傳導係數關係圖

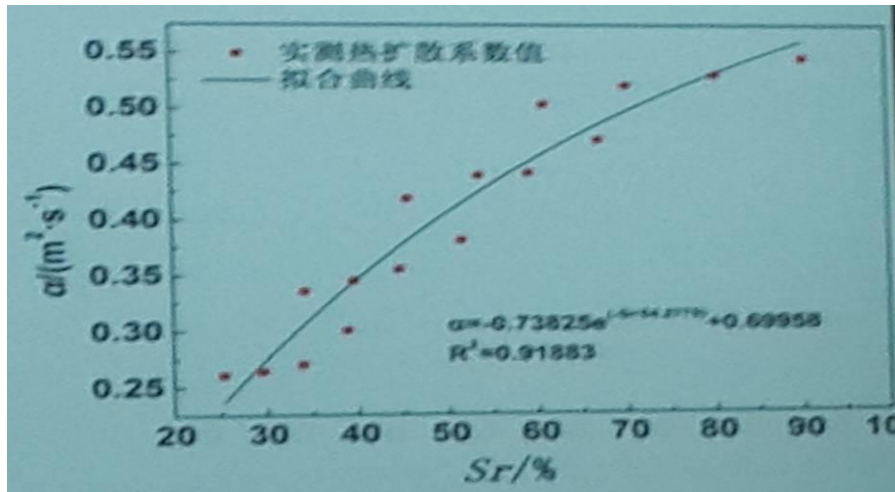


圖 2-2-25 XJ Na 膨潤土飽和度-熱擴散係數關係圖

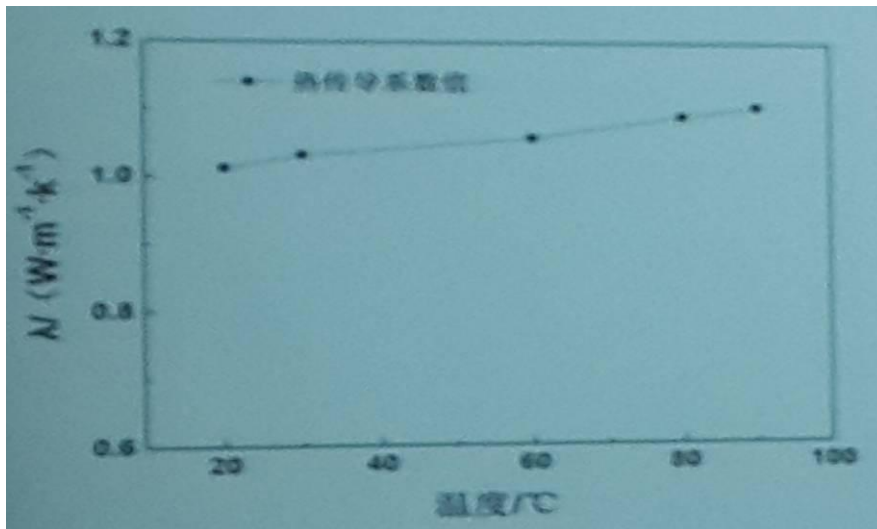


圖 2-2-26 XJ Na 膨潤土溫度-熱傳導係數關係圖

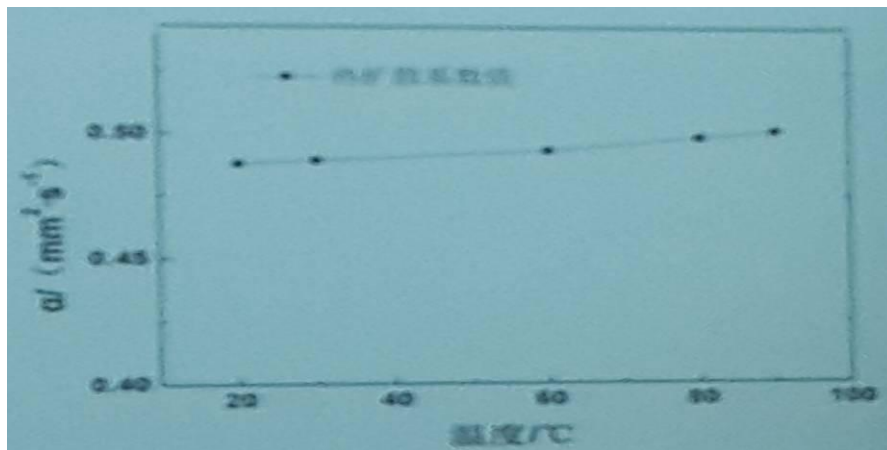


圖 2-2-27 XJ Na 膨潤土溫度-熱擴散係數關係圖

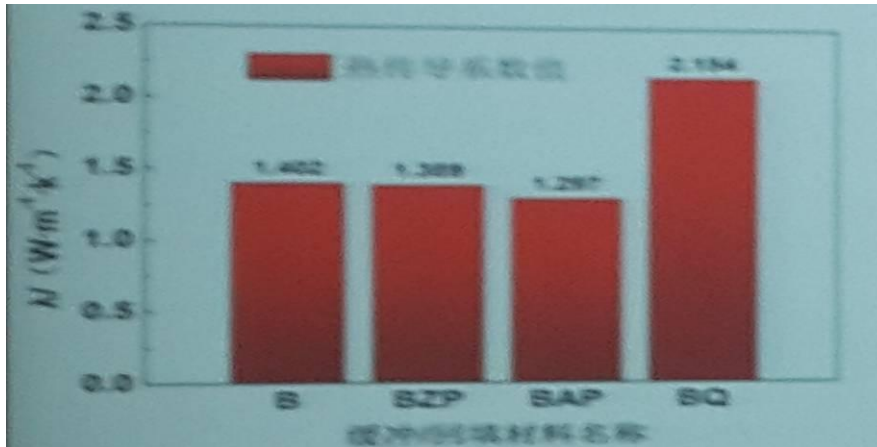


圖 2-2-28 XJ Na 膨潤土礦物組成-熱傳導係數關係圖

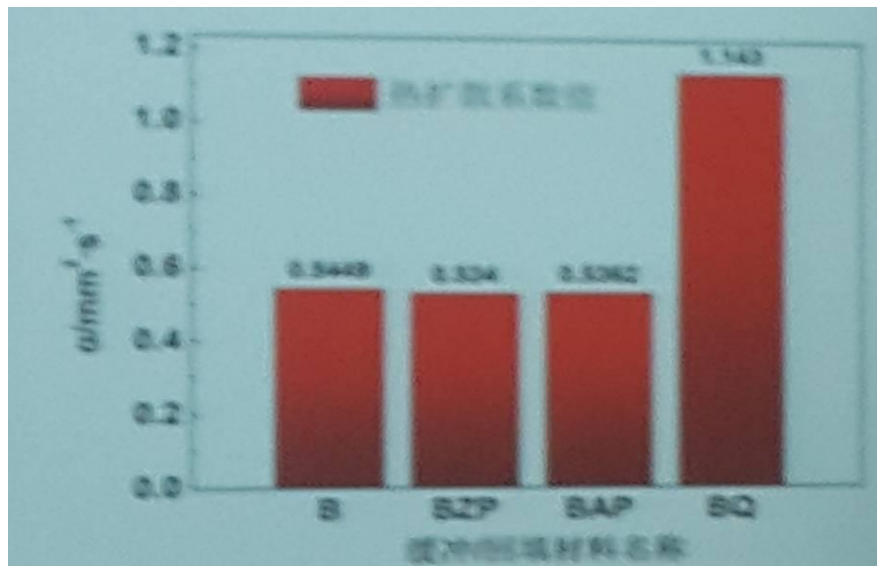


圖 2-2-29 XJ Na 膨潤土礦物組成-熱擴散係數關係圖

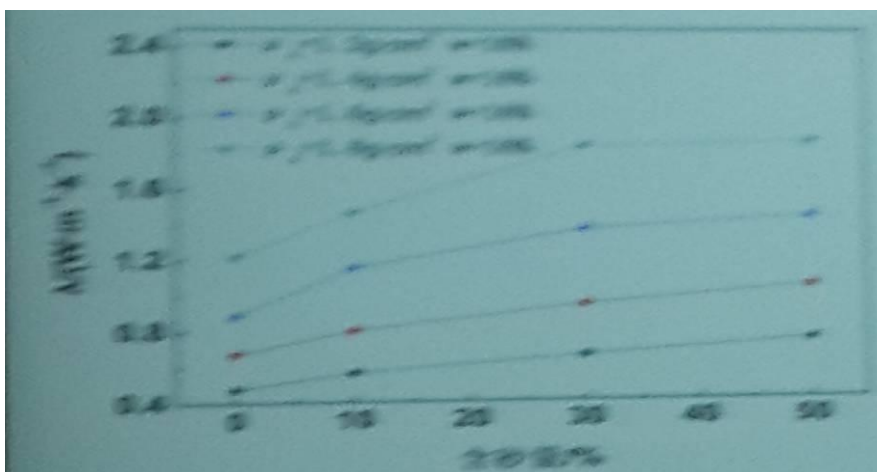


圖 2-2-30 石英砂-膨潤土含砂量-熱傳導係數關係圖

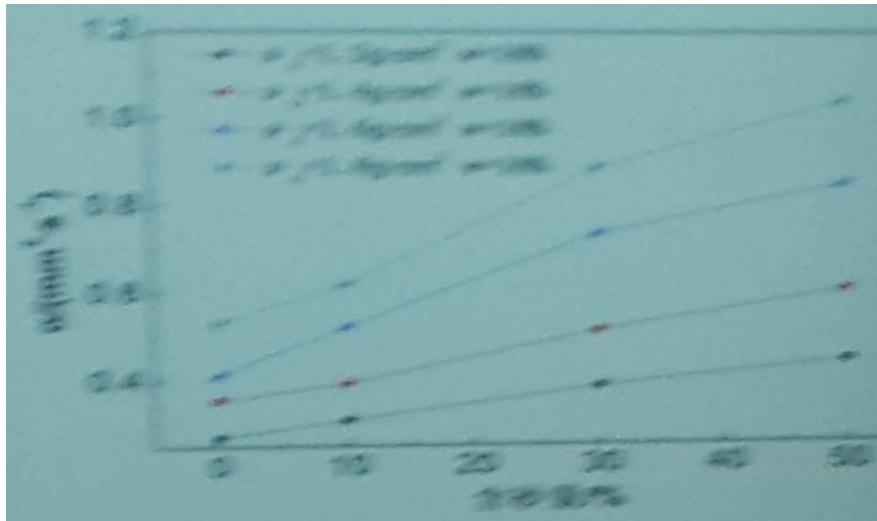


圖 2-2-31 石英砂-膨潤土含砂量-熱擴散係數關係圖

核工業北京地質研究院發表了緩衝材料力學性能研究，透過本研究可知，緩衝材料的單軸抗壓強度隨著乾密的增加而變大，隨著含水量的增大緩衝材料的單軸抗壓強度先變大後變小。另單軸壓縮的破壞形式，與含水量有一定關係，當含水量較低（如 7%）時，試體主要的破壞為脆性破壞：當滑移的發生是從外部開始時，在滑移面上會產生正向應力 σ 及剪應力 τ ，且兩者在軸向上的合力必小於外加的軸向應力；剪切面由於滑移會在水平方面產生拉力，且隨滑移面的增大而增大，最後產生沿軸向的張拉破壞。當試體的含水量較高（14.5%、19.1%）時，試體的一端產生圓錐破裂面，在圓錐周邊的土發生側向脹裂破壞，破壞時呈現出很強的韌性，若試體的內部產生剪切滑移面，則其引起沿軸向的劈裂面可能會使試體側面材料呈塊狀脫落，再繼續受壓會造成不穩定破壞。在三軸試驗方面，本研究透過試驗研究乾密度（ $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 及 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ ）、含水量（7%、15.3%、19.4%）及圍壓（2.5MPa 及 5MPa）對緩衝材料三軸力學性能之影響，試驗結果如圖 2-2-32 至圖 2-2-34；另透過本研究發現，溫度（23~50°C）對緩衝材料短期的力學性能影響較小，未來將發展緩衝材料高溫力學性能試驗，以奠定高溫對緩衝材料的長期力學性能影響之基礎。

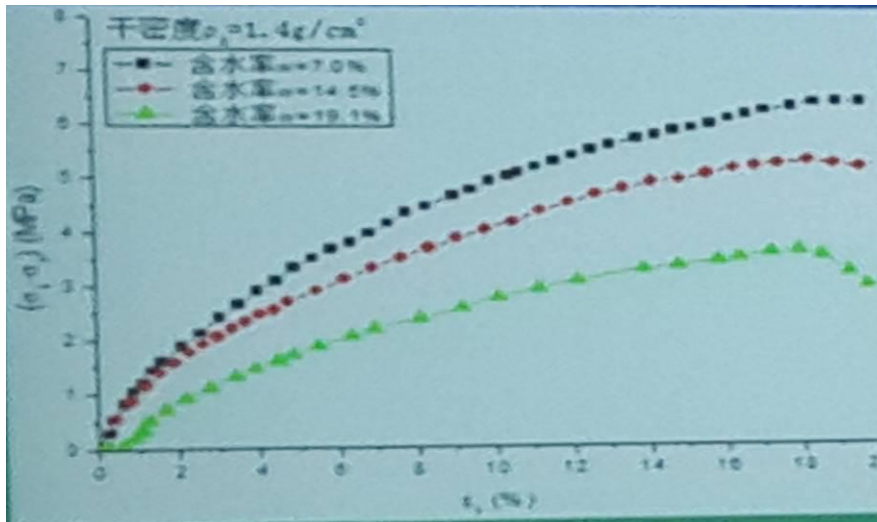


圖 2-2-32 三軸抗壓試驗結果（乾密度 1.4g/cm^3 ；圍壓 2.5MPa ）

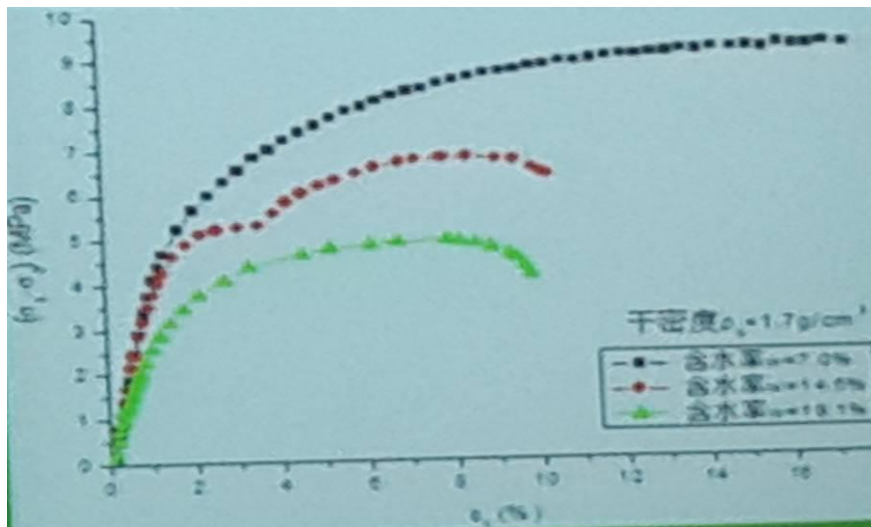


圖 2-2-33 三軸抗壓試驗結果（乾密度 1.7g/cm^3 ；圍壓 2.5MPa ）

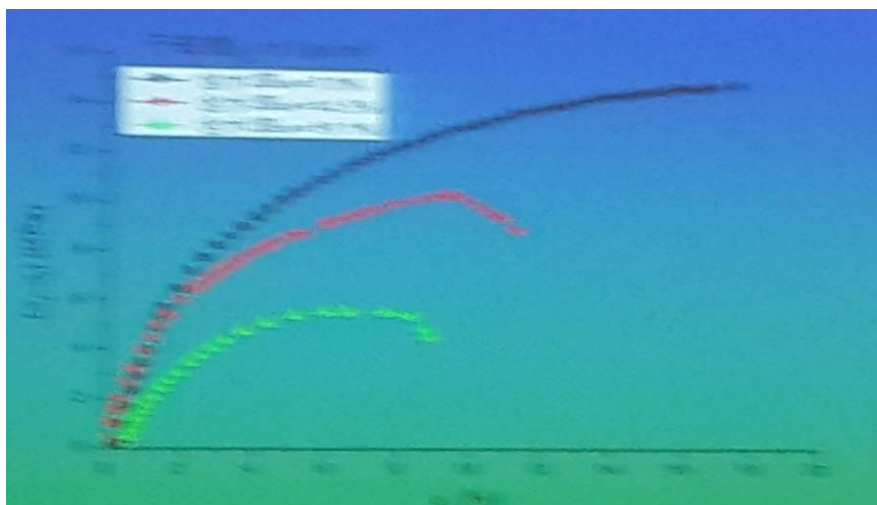


圖 2-2-34 三軸抗壓試驗結果（乾密度 1.7g/cm^3 ；圍壓 5MPa ）

同濟大學發表了飽和高壓實膨潤土的氣體滲透性研究。經實驗研究顯示，飽和高壓實膨潤土中，毛細現象不再是非飽和滲透的主要因素，氣體滲透僅受流體狀態控制；滲流的發生通常伴隨滲流通道尺寸的變化，進而引起介質滲透性及保水性的變化；另飽和高壓實膨潤土中，氣體滲流的非均勻現象非常顯著，因此傳統二相滲流理論在此的應用有局限性。

本階段第一會場發表之論文題目列舉如下：

- (1) 高放廢物地質處置工程圍岩三維裂隙網絡建模技術研究（劉健，核工業北京地質研究院）
- (2) 高放廢物地質處置地學信息庫研究（李曉軍，同濟大學）
- (3) 高放廢物處置庫預選區地學信息庫開發研究（黃樹桃，核工業北京地質研究院）
- (4) 模擬混合高放廢液硼矽酸鹽玻璃固化體添加 ZnO 和 CaO 對其硬度和斷裂韌性的影響研究（張華，中國原子能科學研究院）
- (5) 鈣鈦鉛石基玻璃陶瓷固化鈾系核素模擬物的研究（廖長忠，香港大學）
- (6) 自蔓延高溫合成富鈣鈦鉛石型人造岩石固化模擬鈾系核素研究（張魁寶，西南科技大學）
- (7) 鉛石基模擬鈾系核素固化體固核機理及穩定性研究（丁藝，西南科技大學）
- (8) 模擬放射性廢物的釷鉛燒綠石晶格固核機理及穩定性研究（盧喜瑞，西南科技大學）
- (9) 蒙脫石轉化為方鈉石及其對模擬核素 Sr、Cs 的晶格固化研究（彭同江，西南科技大學）
- (10) 高放廢物地質處置近場核素遷移模擬（劉建琴，中國輻射防護研究院）
- (11) 放射性核素鈾在集成緩衝材料中遷移程度研究（王哲，西南科技大學）
- (12) 硼矽酸鹽玻璃的輻照效應和抗浸出性研究（彭海波，蘭州大學）
- (13) 硼矽酸鹽玻璃的抗浸出性研究（袁偉，蘭州大學）

本日於 17:00 舉行大會閉幕式（如圖 2-2-35），由核工業北京地質研究院王駒副院長簡介下屆（第六屆）廢物地下處置學術研討會後，研討會正式落幕。



圖 2-2-35 研討會大會閉幕式

三、參訪行程

本次出訪大陸地區的目的，除了參加第五屆廢物地下處置學術研討會外，亦為瞭解大陸地區之放射性廢棄物最終處置現況及其相關之研究發展工作，因此，安排了相關之參訪行程。依本次行程安排，8月21日下午及8月22日全日參訪核工業北京地質研究院，8月25日18:00至19:00則參訪核廢物與環境安全國防重點學科實驗室，茲分述如後。

(一) 參訪核工業北京地質研究院

核工業北京地質研究院隸屬於中核集團，建立於1959年，是目前大陸地區唯一以鈾礦地質研究為主的綜合性研究機構。該院設有7個研究所、4個研發機構、11個管理處室，並建有遙感資訊圖像分析技術重點實驗室和核工業地質分析測試中心。其組織架構如圖2-3-1。核工業北京地質研究院之成立是為確保大陸地區核能發展對鈾礦資源的需求、安全處置放射性廢棄物之任務，建立鈾礦地質、遙測技術、放射性廢棄物地質處置研究三大研究發展領域。同時加強物理化學探測、分析測試、儀器研製等領域的研發，積極成為大陸地區鈾礦資源勘查技術聯合中心、放射性廢棄物處置技術之研究發展中心。

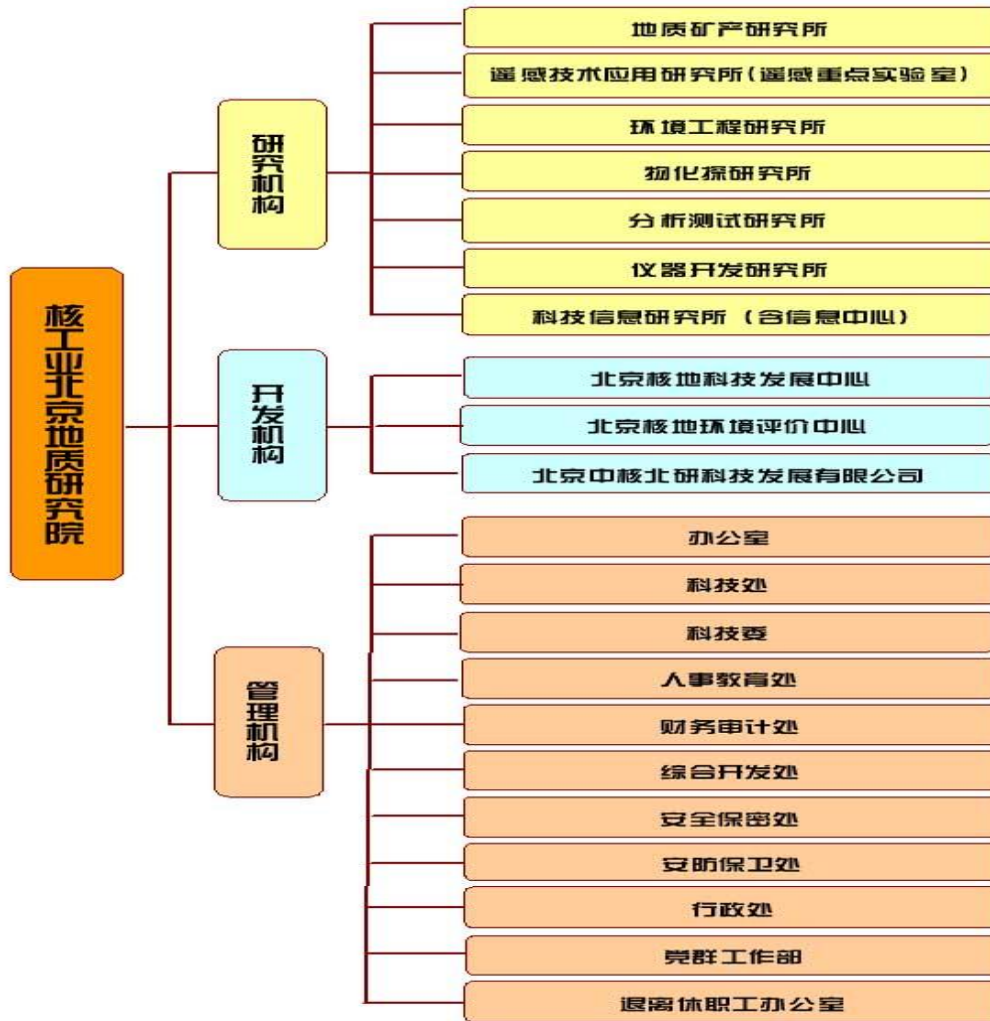


圖 2-3-1 核工業北京地質研究院組織架構

對於高放射性廢棄物處置的技術研究發展，主要由該院環境工程研究所負責，目前有 32 位研究人員，主要進行高放廢棄物地質處置研究、中低放廢棄物近地表處置場選址與場址評估、建設項目環境影響評估、放射性廢渣治理效果評估研究以及水工環境勘查與評估等。該所目前備有先進的雙栓塞水文地質試驗系統、鑽孔超音波電視（如圖 2-3-2）、鑽孔雷達系統（如圖 2-3-3）、大型緩衝材料熱-水-力耦合實驗系統、高溫膨脹力實驗系統（如圖 2-3-4）及數據處理軟體等科研設備、儀器和軟體。在處置場選址和場址評估、低滲透裂隙岩體特性評估、深部地質環境評估和數值模擬、緩衝/回填材料特性試驗研究等方面，均完整規劃與執行。



圖 2-3-2 鑽孔超音波電視



圖 2-3-3 鑽孔雷達系統



圖 2-3-4 高溫膨脹力實驗系統

本次台灣參訪核工業北京地質研究院之人員，含括本局及核能研究所

2 單位，共計 9 人（參訪人員與接待人員合影如圖 2-3-5）。參訪流程概略為雙方先進行交流簡報後，進行該院各設施之參訪，概述如下：



圖 2-3-5 核工業北京地質研究院接待人員與參訪人員合影

1. 雙方進行交流簡報

核工業北京地質研究院王駒副院長之簡報內容為「院情況介紹」、「中國高放廢物處置研究最新進展」及「大陸地區地下實驗室」（如圖 2-3-6）。簡報中提及，大陸地區的高放處置場址預選區共計有華南預選區、華東預選區、西南預選區、內蒙古預選區、甘肅預選區及新疆預選區等六大預選區（如圖 2-3-7）；並提到高放廢棄物地質處置必須按先選址，再建設地下實驗室，最後建立處置設施之三步驟進行，其中，地下實驗室係承先啟後，必不可少的關鍵環節，以及不可替代的關鍵設施。

自 1989 年起，該院便開始了甘肅北山預選區進行了研究性質的調查工作，並於 2000 年開始較為系統化的場址評估研究，包括：(1)地面地質、水文地質調查；(2)深部地質環境調查：19 處鑽孔；(3)場址適合性調查。甘肅北山預選區具備位於戈壁荒漠、人煙稀少、無可供其他用途的土地、無大型礦產、經濟前景欠佳、交通方便、氣候乾旱、降雨量小、蒸發量大、地形平坦、無長年河流等有利的社會經濟條件，因此，與他國處置設施場址相比，再對照處置設施的要求，北山具有極大的優勢，至 2011 年 7 月，已開發成為大陸地區高放廢棄物處置設施的首選預選區。另大陸地區之地下實驗室，將採用特定場址之地下實驗室，場址預定於甘肅北山，本地下實驗室將成為開發處置技術、國際合作及提振公眾信心的平台。



圖 2-3-6 核工業北京地質研究院王駒副院長簡報

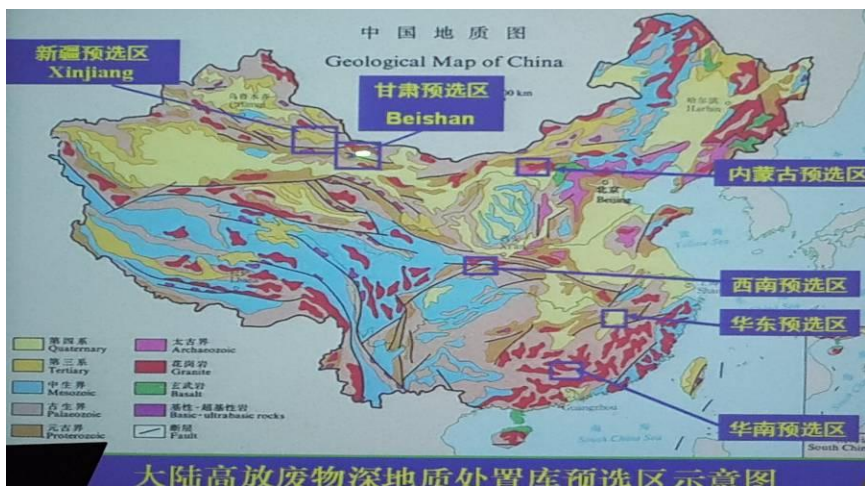


圖 2-3-7 大陸地區高放處置場址六大預選區

劉月妙博士之簡報內容為「中國高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架 (China-Mock-Up)」(如圖 2-3-8)。簡報中提及, China-Mock-Up 已完成之工作包括:(1)設計及安裝;(2)調試及恆溫 30°C 試運轉;(3)正式運行,在溫度方面包括升溫階段(室溫至 90°C)及恆溫階段(90°C),注水方面則分為水量控制及水壓控制二階段;(4)數值模擬,包括以 Flac2D 進行 THM 設計,並以 LAGAMINE 進行 THM 試驗。



如圖 2-3-8 核工業北京地質研究院劉月妙博士簡報

我方核能研究所莊怡芳助理工程師之簡報內容為「台灣核能研究所情況介紹」（如圖 2-3-9）。簡報中提及，因台灣地區處置場址尋找不易，故擺脫以場址為考量因素的迷思，以人工之障壁技術為發展重點，模組化研究以適應可考慮之母岩。本研究將以發展大型膨潤土塊體建構之技術為目的，做為最終處置 T-H-M-C 效應模擬試驗與緩衝材料服務年限之基礎。工作重點及時程如圖 2-3-10。

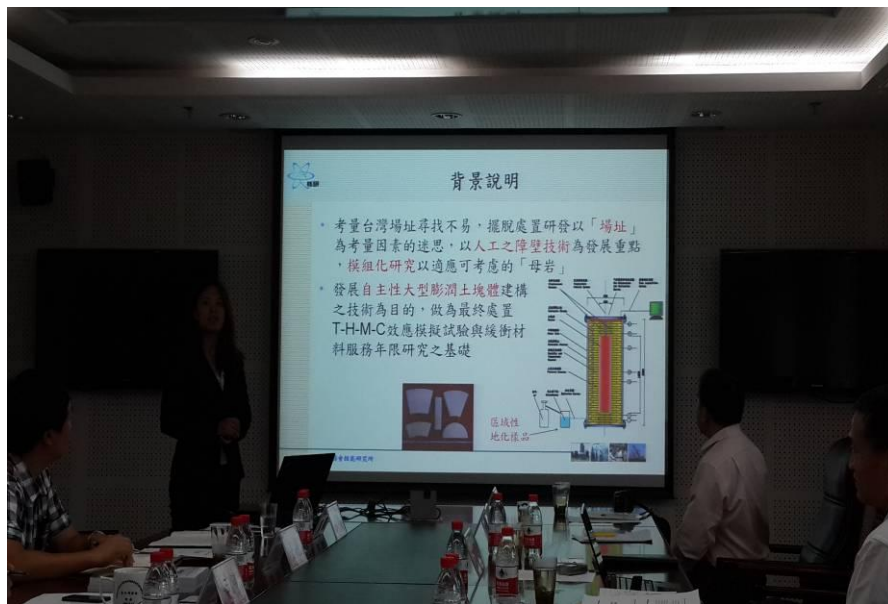


圖 2-3-9 核能研究所莊怡芳助理工程師簡報

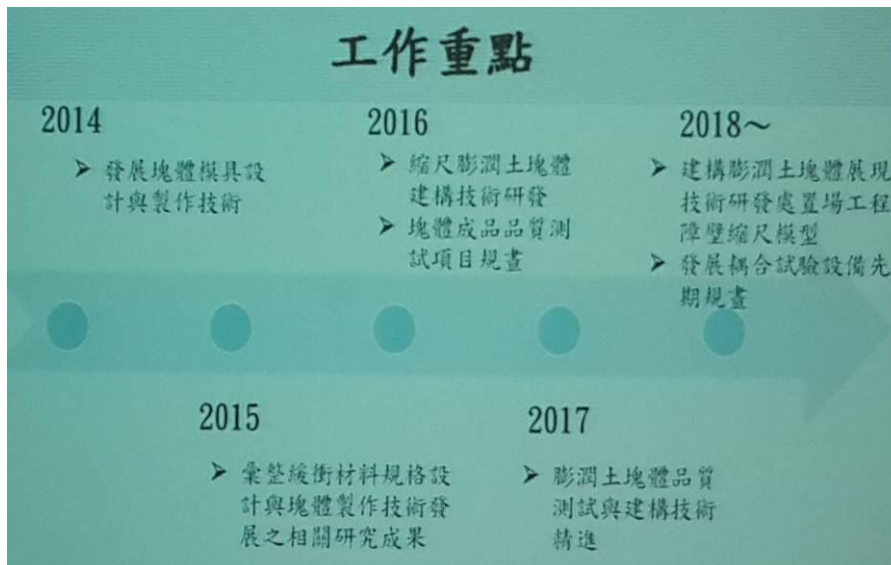


圖 2-3-10 核能研究所用過核子燃料最終處置研究之工作重點及時程

核工業北京地質研究院環境工程研究所蘇銳所長之簡報內容為「甘肅北山預選區水文地質條件研究進展」（如圖 2-3-11）。簡報中指出甘肅北山預選區位於北山區域地下水系統的逕流區，距區域排泄區直線距離 60 至 150 公里，其地下水具有弱含水、低滲透、還原性、礦化度高、呈飽和狀態等特點，地質上具有高礦化、偏鹼性、飽和多種粘土礦物的特點，在過去若干年內，區內地下水位呈下降趨勢，氣候亦向更乾旱發展。因此，說明了甘肅北山預選區水文地質條件有利於放射性廢棄物處置。



圖 2-3-11 核工業北京地質研究院環境工程研究所蘇銳所長簡報

最後由雙方討論高放射性廢棄物最終處置合作研究發展洽談議題，其合作議題包括：(1)由核工業北京地質研究院提供北山地區代表性地下水水質條件（pH 及 Eh 值等）及指定所欲探討的特定核種，我方進行該特定



圖 2-3-13 X 射性熒光光譜儀



圖 2-3-14 X 射性粉晶衍射儀



圖 2-3-15 氣體穩定同位素質譜儀

3.參觀中國核地質標本陳列館

該館陳列大陸地區至今所有已探勘具有開採價值的花崗岩型、火山岩型、碳酸泥岩型和砂岩型四大類型的鈾礦床礦區地層特性及其礦石標本（如圖 2-3-16），並可觀摩到高放處置研究發展規劃、處置概念模型與甘肅省北山預選區新場地段開採之單裂隙花崗岩。

甘肅北山地區具有非常完整及穩定之緻密花崗岩，自北山花崗岩鑽取的岩心非常地緻密幾乎無任何裂縫，而且人煙稀少所以非常適合高放廢棄物地質處置。現場展示北山預選區六號鑽孔取得之完整花崗岩芯，採集深度左至右分別為 225 m、425 m、565 m，每一管岩心皆完整且幾乎無裂隙（如圖 2-3-17）。



圖 2-3-16 地質標本陳列館之各類型的鈾礦床礦區地層特性及其礦石標本



圖 2-3-17 高放處置研究發展規劃與北山預選區開採之單裂隙花崗岩

4. 參觀中國高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架及其他設備

緩衝/回填材料作為高放廢棄物處置設施中主要障壁材料，填充在廢棄物罐和母岩之間，肩負工程障壁、水力學障壁、化學障壁和導熱的任務。藉由對膨潤土的礦物學、水力學和岩石力學性質的研究，以及膨潤土對核種的吸附和擴散特性的研究，大陸地區初步選定內蒙古高廟子膨潤土作為首選的緩衝/回填材料。

為了解掌握高廟子膨潤土的熱-水-力-化(THMC)耦合作用，核工業北京地質研究院設立一個大型台架的模擬實驗設施，稱為中國高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架(China-Mock-Up)。其主要目標是要達成下列事項：(1)了解熱-水-力-化耦合作用時的高廟子膨潤土行為；(2)研究熱-水-力-化耦合情況下緩衝材料與容器的交互反應；(3)模擬高放處置容器置放；(4)監測北山處置場場址高溫與地下水情況下高廟子膨潤土行為；(5)建立大型設備安裝測試流程；(6)提供工程障壁設計所需資料。裝置如圖 2-3-18。



圖 2-3-18 中國高放廢物處置緩衝材料大型試驗台架(China-Mock-Up)

另參觀處置母岩岩體力學/滲透試驗設備（如圖 2-3-19）及低氧環境模擬實驗設備（如圖 2-3-20）。處置母岩岩體力學/滲透試驗設備係利用人工製造之裂隙面量測岩塊之水力傳導度，並考慮正向應力與側向應力作用下

對水力傳導度之影響。低氧環境模擬實驗設備設置之主要目的係為開展地下水-圍岩-膨潤土相互作用之研究。



圖 2-3-19 處置母岩岩體力學/滲透試驗設備



圖 2-3-20 低氧環境模擬實驗設備

(二) 參訪核廢物與環境安全國防重點學科實驗室

核廢物與環境安全國防重點學科實驗室係大陸地區國防科工局委託西南科技大學設立，其主要研究範圍計有(1)放射性核廢棄物處理處置材料：輻射防護材料研究、放射性廢棄物固化處理技術研究、中低放廢水的處理研究、緩衝/回填材料優化集成及其多場耦合特性研究、放射性廢棄物處理與處置設施和工程計算關鍵技術研究、移動式小型化放射性廢棄物處理方法研究；(2)核廢棄物環境下的生物效應：核種在單體生物體內的分布遷移和輻射效應、核種在物種間的競爭選擇與遷移、核輻射環境下的

生物穩定性與變異性及其機制研究、微生物對放射性核種的富集及吸附處理研究、核廢棄物放射性污染的生物修復技術研究、核廢棄物輻射效應的生物預警及其評估標準研究；(3)核廢棄物的環境安全：多場耦合下的核種遷移模擬、核廢棄物處置環境的安全評估、核廢棄物處理特種機器人技術、不同介質條件下放射性核廢棄物的環境檢測與環境污染評估標準研究、核應急與公共安全的關鍵技術、放射性廢棄物的安全管理及措施；(4)核探測與核設施安全監測：輻射環境的先進探測技術、核設施三維激光重構關鍵技術、核應急輻射環境實況移動監測系統、固定核設施輻射監測研究、廢棄物桶無損測驗與 γ 射線實況成像技術研究、現場放射性內污染快速監測儀器開發及評估技術研究等四大領域。其組織架構如圖 2-3-21。茲列舉若干參訪之實驗設施簡述如後。



圖 2-3-21 核廢物與環境安全國防重點學科實驗室組織架構

1.核與輻射環境作業及應急救援機器人系統研究室

本研究室置有應用於高劑量輻射環境下作業及應急救援之機器人（如圖 2-3-22），具備適應各種不同地形環境的靈活穩定運動能力、環境實況感知能力，以及自律控制與人機交互協同的遠程操控能力。其具有意義重大的使命—在核電站等核輻射環境下進行緊急救災。



圖 2-3-22 核與輻射環境作業及應急救援機器人

2.核廢棄物環境下的生物效應相關實驗室

核廢棄物環境下的生物效應主要研究方向為研究核廢棄物放射性輻射對生物生長、遺傳、變異之影響，以及核廢棄物放射性輻射條件下生態系統中生物滅絕和群落的生態功能改變與喪失、病原微生物遺傳特性變異以及新疾病發生、核污染環境的生物修復技術等，有效預測放射性核種在生物間的流向、遷移行為及對生態環境的影響，準確評估放射性核種在生物系統中的轉移趨勢和生物活性危害。此研究領域相關之實驗室或設備計有接種室（如圖 2-3-23）、植物光照培養室（如圖 2-3-24）、污染控制與生物修復實驗室（如圖 2-3-25）、材料環境降解及安全性評價試驗場（如圖 2-3-26）…等。



圖 2-3-23 接種室

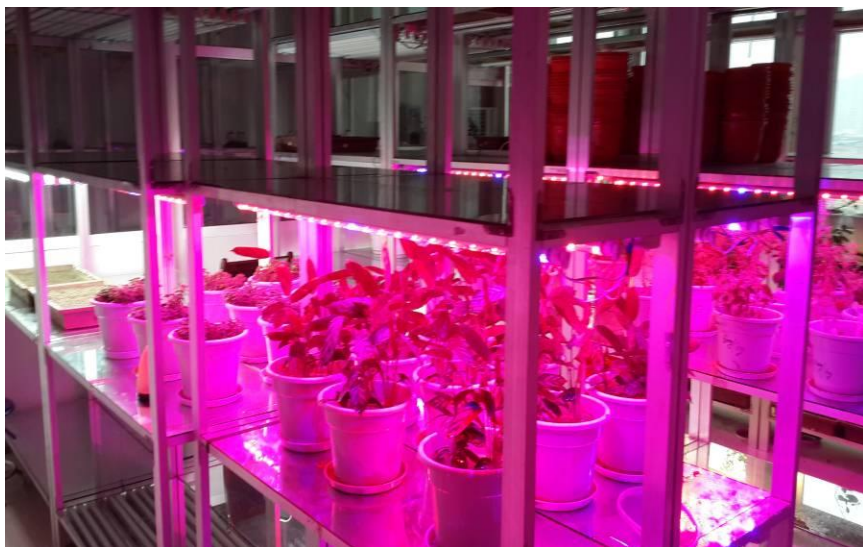


圖 2-3-24 植物光照培養室



圖 2-3-25 污染控制與生物修復實驗室



圖 2-3-26 材料環境降解及安全性評價試驗場

叁、心得

此次奉派赴大陸地區參加「第五屆廢物地下處置學術研討會」暨參訪「核工業北京地質研究院」及「核廢物與環境安全國防重點學科實驗室」，主要目的為拓展視野、促進最新放射性廢棄物最終處置相關資訊之交流，茲將此行主要心得說明如下：

- 一、「廢物地下處置學術研討會」係由大陸地區中國岩石力學與工程學會廢物地下處置專業委員會、中國核學會輻射防護分會、中國環境科學學會核安全與輻射環境安全專業委員會及中國核學會核化學與放射化學分會環境放射化學專業委員會主辦，邀集兩岸相關單位及大學院校參與；此外，尚有美國、英國及芬蘭等國之多位學者專家遠道而來，足徵此學術研討會已廣受放射性廢棄物最終處置相關單位之肯定及重視。藉由聽取大陸地區及各國學者專家之論文發表及討論，並交換經驗及技術，著實使與會人員獲得豐碩之收穫。
- 二、由整個參訪過程可知，大陸地區對放射性廢棄物最終處置上的重視，由開發核能至放射性廢棄物最終處置，皆持續穩固紮根，並多次邀請國外專家學者提供相關經驗。又放射性廢棄物最終處置是全球面臨到的重要問題，經由此次交流了解大陸地區放射性廢棄物最終處置場研究發展與安全評估，未來可以參考其經驗，尋找適合的場址、設計適合台灣地質的緩衝材料、設計良好的工程障壁、做好安全評估，以確保未來台灣放射性廢棄物最終處置如期如質完成，並確保環境安全。
- 三、大陸地區為自行建立 **China-Mock-Up** 此一大型研究設施，曾派員赴歐美日等已建立地下實驗室的國家參訪學習，之後再從小尺寸的試驗設備逐步建立後，最後才能建立此比例尺 1:2 規模的 **China-Mock-Up** 大型台架試驗設備。顯示用過核子燃料與高放射性廢棄物最終處置的研發工作不但跨國界而且跨領域，我國如欲在相關研發能與國際接軌，應多與國際研發機構接觸了解與參與，才能達到事半功倍的效果。
- 四、我國用過核子燃料最終處置計畫，目前仍在處置潛在母岩調查與評估階段，處置場之工程障壁材料仍在概念設計階段，尚未對工程障壁材料進行相關定義及材料規格設計等技術發展。雖過往研究可知，我國之日興土有良好的核種吸附力，但若使用於用過核子燃料地質處置之緩衝材料，其工程性質及穩定性能仍恐有疑慮，兼且其礦源產量仍是未知數，現今研發單位應妥善考慮選用現有穩定開採並有商業銷售的 **MX-80** 膨潤土或 **Kunigel** 膨潤土等為基礎，發展我國緩衝材料塊體製作技術，並配合我國深地層環境因子進行相關試驗，設計出適合的緩衝材料配比。另應進一步發展緩衝材料長期穩定性研究及數值模擬技術，以確保緩衝材料之功能與安全能藉由評估與分析加以預測和確認。
- 五、東亞地區的日本、韓國、大陸地區均對高放射性廢棄物處置有整體規劃，

其處置技術發展建置依整體規劃、分階段、分組織地務實執行，目前雖未有確定場址，但各國皆積極進行選址、場址地質條件、工程障壁材料、核種遷移等研究工作，依其計畫時程積極進行，各項研究不因尚未有確認場址而停滯。我國雖仍處於較前階段的處置潛在母岩調查與評估階段，階段性之各項研究發展亦應戮力執行，以利處置作業之順遂。

- 六、本次研討會中，多位專家學者均發表了有關膨潤土的性質（例如膨脹性、導熱性、滲透性、依時性、力學性質及化學性質等）之研究，另有多位專家學者對於廢棄物罐之腐蝕行為進行研究，其膨潤土緩衝材料及處置容器等工程障壁之相關研究成果極為豐碩，值得作為我國未來研發緩衝材料及處置容器等工程障壁時之重要參考依據。
- 七、我國用過核子燃料相關研究機構對於安全評估分析技術發展方面，已行之有年，所發展之評估與整合模式已具有相當經驗，惟礙於台灣地理環境複雜、場址篩選不易，且缺乏基本研究案例之在地化地質調查數據與近場環境參數。而大陸地區目前已選定甘肅北山為首選候選調查場址，且已取得豐富的地質調查資訊，如將來藉由參考大陸地區實際之參數數據，進行功能安全評估技術與發展，定能精進我國功能安全評估技術之成效，為放射性廢棄物最終處置奠定良好的基礎。

肆、建議事項

- 一、「廢物地下處置學術研討會」提供放射性廢棄物最終處置之經驗及技術探討，著實對我國產官學界放射性廢棄物最終處置技術發展均有助益，未來有繼續派員參加本研討會之必要。
- 二、目前大陸地區及各核能先進國家均積極發展地下實驗室，進行天然地質障壁與工程障壁之各項實驗研究，由此可知地下實驗室為高放處置技術建立之重要環節。建議我國用過核子燃料最終處置相關研發機構應與國際技術交流，參考大陸地區或其他國家的地下實驗室發展經驗，以作為國內發展地下實驗設施之設置基礎。
- 三、大陸地區目前已選定甘肅北山為首選候選調查場址，且已取得豐富的地質調查資訊，建議將來參考大陸地區實際之參數數據，進行功能安全評估技術與發展，以精進我國功能安全評估技術之成效，為放射性廢棄物最終處置奠定良好的基礎。
- 四、我國目前用過核子燃料最終處置計畫仍屬於處置潛在母岩調查與評估階段，處置場工程障壁材料尚處於概念設計階段，尚未對工程障壁材料進行相關定義與材料規格設計等技術發展，建議我國執行單位及研究單位可參考大陸地區之膨潤土緩衝材料大型試驗設備(China-Mock-Up)，建置國內之膨潤土緩衝材料試驗設備，並對國內及其他國家常見的緩衝材料進行研究，取得相關基礎參數，以做為未來實際應用之材料選擇依據。
- 五、放射性廢棄物的存在為既存之事實，目前國內低放射性廢棄物最終處置計畫仍處於選址階段；用過核子燃料最終處置計畫仍處於處置潛在母岩調查與評估階段，並受限於政治與民意因素甚巨，執行單位應強化替代/應變作為。另大陸地區及東亞先進各國，均投注大量資金與人力，並結合學術、研究、顧問公司等單位，積極進行處置計畫，並皆已建立低放最終處置設施；高放處置計畫雖尚未有確定場址，但對處置技術之發展建置，亦有豐碩成果，國內執行機關可參考大陸地區及東亞各國經驗，以積極執行處置計畫之各階段工作，建置成熟處置技術並取得民眾信任，解決國內放射性廢棄物問題。
- 六、建議我國參考美國藍帶委員會(BRC)於 2012 年 1 月所作出之八點建議，用以強化我國處置計畫之公眾溝通、專責機構設置、替代/應變方案等，俾利處置作業之順遂，並維護環境安全。