

公差報告(類別：其他：參訪)

赴大陸參加 2017 海峽兩岸三地工程 地質研討會及野外地質考察

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：蔣焜淵技正、李彥良技士

派赴地區：大陸 成都

公差期間：106 年 5 月 12 日至 5 月 17 日

報告日期：106 年 6 月 23 日

摘 要

放射性廢棄物最終處置的實務作業與安全管制工作，與工程地質領域的技術發展有密切的關聯性。為強化放射性廢棄物最終處置安全的管制技術能力，參加於四川成都市舉辦的 2017 年海峽兩岸三地工程地質研討會與野外地質考察，以提升工程地質新理論與技術、地震工程地質、地質災害風險評估與防治監控、複雜環境下工程地質問題等專業領域知識，期間並參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室，瞭解中國大陸對於國土防災和保障重大工程建設安全之工程地質應用之基礎研究，可以應用於未來處置場工程地質考量與技術評估之參考。

目 錄

一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、公差紀要.....	3
(一)、2017 海峽兩岸三地工程地質研討會重點摘紀.....	3
(二)、參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室.....	10
(三)、野外考察大光包巨型地震滑坡.....	15
(四)、野外考察綿竹市清平鄉文家溝滑坡及泥石流.....	18
四、心得.....	21
五、建議.....	22

一、目的

工程地質專業對於工程建設、土地利用、能源與資源開發、災害防治以及環境保護皆扮演關鍵角色，而放射性廢棄物最終處置作業是將放射性廢棄物置放於地表或地下岩層中，藉由工程障壁與天然障壁的隔離，阻絕放射性核種的遷移，因此放射性廢棄物處置的實務工作與安全管制，其全程選址、設計、建造、封閉至監管，均與工程地質領域的技術發展有深切的關聯性。

為促進海峽兩岸工程地質專業的學術交流，於中國大陸四川成都舉辦首屆 2017 年海峽兩岸三地工程地質研討會，由成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室、台灣國立中央大學、中國地質學會工程地質專業委員會與香港地質學會共同承辦，邀請兩岸三地工程地質領域的傑出專家共同參與，與會人士約有 150 人，一起探討工程地質新理論與技術、地震工程地質、地質災害風險評估與防治監控、複雜環境下工程地質問題等專業領域知識。

台灣參與 2017 年海峽兩岸三地工程地質研討會的學者專家，包括台灣大學、台北科技大學、中央大學、中興大學、高雄應用科技大學及國內相關工程顧問公司等計十餘位學者專家，都是在工程地質領域學有專精的學者專家。物管局蔣焜淵技正、李彥良技士受邀與台灣的學者專家一起參與本次研討會，藉由會議期間的技術交流，可以了解提升工程地質研發情況，有助於提升低放射性廢棄物及用過核子燃料的最終處置的安全管制。

二、過程

2017 海峽兩岸三地工程地質研討會係由研討會大會安排，行程概要如下表。

表 1 派赴大陸地區行程表

日期	時間	地點與行程	工作內容
5 月 12 日	全日	台北→四川成都	去程、報到註冊
5 月 13 日	全日	2017 海峽兩岸三地工程地質研討會(成都理工大學)	參加研討會
5 月 14 日	上午	2017 海峽兩岸三地工程地質研討會(成都理工大學)	參加研討會
	下午	技術參訪	參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室
5 月 15 日	全日	野外地質考察	考察大光包巨型地震滑坡
5 月 16 日	全日	野外地質考察	考察清平震後泥石流整治工程
5 月 17 日	全日	四川成都→台北	返程



圖 1、2017 海峽兩岸三地工程地質研討會參加人員全體合影



圖 2、2017 海峽兩岸三地工程地質研討會台灣參與人員合影

三、公差紀要

(一)、2017 海峽兩岸三地工程地質研討會重點摘紀

本次研討會由台灣、香港與大陸方面專家學者分別就地下水與水文地質領域提出報告，總計約五十餘篇，分兩個會場辦理，每篇發表時間為 15 分鐘，並進行詢答，發表後開放討論，會議未提供書面資料。研討會中所發表的論文題目，主題多在探討工程地質新理論與技術、地震工程地質、地質災害風險評估與防治監控、複雜環境下工程地質問題等專業領域知識，其研究內容卻是可做為放射性廢棄物最終處置的研究與管制之參考。以下就本次研討會重要內容摘紀如下：

1、利用裂隙岩盤擬連續體等值滲透係數模式推估隧道周圍流場

本報告由台灣國立中央大學董家鈞教授說明，認為放射性廢棄物處置安全評估，非常重視岩盤開挖對滲透係數之影響以及處置坑道附近流量，因為開挖應力重新分布將影響裂隙開口寬，進而影響岩盤滲透係數與坑道流量-岩體將具應力引致異向性，且岩體滲透係數受不連續面控制而具先天異向性。

本研究不包括隧道開挖壁面之高軸差應力造成岩盤產生之新裂隙的議題，著重於岩體複雜的裂隙網路，考慮不連續面位態分佈之先天異向性，以及隧道開挖

導致隧道壁面附近應力重新分佈造成應力異向性，計算先天異向性與應力異向性對隧道壁面附近之滲透係數異向性之影響，並分析隧道周圍流場以及流入處置坑道之流量，以評估滲透係數先天以及應力引致異向性對坑道周圍流場以及對入流量之影響，本研究僅考慮邊界應力為均向之條件，但是坑道周圍應力會因開挖導致之應力重新分佈而具異向性。本研究採用裂隙岩盤擬連續體模式，假設不連續面為圓盤狀，計算已知不連續面分佈及不連續面內寬隨應力改變下之節理岩體滲透係數張量，此張量為應力函數。

研究假設現地應力為均向(7.5 MPa)，於不連續面分佈為均向及異向條件下，分別計算坑道周圍應力異向性分布之岩盤滲透係數，結果顯示，剪脹效應對坑道周圍岩盤之滲透係數影響顯著，不連續面位態分佈之先天異向性及隧道開挖導致坑道周圍應力重新分佈造成應力異向性對滲透係數主值、主方向與異向性比影響顯著，於隧道開挖後於隧道壁面滲透係數將上升約 2 個數量級，由遠離處置坑道至坑道壁面，異向性比將由 1.0 增加到 6.0，開挖對滲透係數影響範圍大致是一個半徑，另不連續面分佈異向條件(D33=1 與 D33=2)時，滲透係數主方向將產生明顯旋轉，而 D33=2 之情況下最大滲透係數主值將較最小主值大 9 倍。在不連續面位態呈均向分佈時，總水頭等值線由邊界向隧道呈同心圓狀遞減，流向皆指向隧道中心，於水平裂隙較多時，總水頭等值線呈橢圓狀(水平方向較扁)由邊界向隧道遞減，長軸為滲透係數較大(水平)的方向，流向不再指向隧道中心且水平分量大於垂直分量，在距離隧道壁面約一倍半徑處逐漸變回圓形。隧道入流量將隨先天異向性增加而略為減少，然而影響並不顯著，對於核廢料處置坑道而言，須注意處置坑道篩選原則

2、 α 核種遷移機制與地質環境安全監測評估

中國西南部有多個核基地與眾多相關核設施，這些相關設施所處地質環境複雜，如水係、斷層、地震與山崩等地質災害，而 α 核種(主要包含鈾與鈾)為放射性廢棄物處置重要核種，因此於進行最終處置時，必須有系統研究該類核種在地質環境之遷移行為，以確保處置環境安全。

α 核種遷移機制與地質環境安全監測評估為成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室重點發展項目之一，主要研究包含 α 核種在地質環境遷移機制、環境輻射監測技術方法與評估模型建立、輻射污染人體緊急檢測技術、地質環境穩定性綜合評估方法研究等。其中有關放射性廢棄物處置庫核種遷

移評估，提出評估方法如圖 3，放射性核種在地下處置設施地質環境之遷移，主要受到地下水動力學過程與放射性核種與環境介質相互作用兩方面控制。地下水流引起放射性核種延散與擴散，地質環境中各種物理化學作用則引起遲滯核種遷移的作用。地下水動力學過程研究地下水在多孔隙介質中運動規律，包括基礎地質構造、水文地質概念模型、地下水流模型等。通過放射性核種與地質介質相互作用機制，來研究核種在處置地質體系中地物化行為特徵，包括地質介質的物化特性、離子交換與表面吸附、氧化還原動力學過程、地下水離子配合、膠體行為、水解與溶解等。運用以上方法，完成西南低放廢棄物處置場的選址、設計與安全評估工作，並進行極低微放射性廢棄物掩埋場選址與安全評估；鈾、鈾、鋇放射性核種在地下水遷移過程模擬研究，與非均勻介質地下水參數的測定核模式開發等。

另提出地質環境穩定性評估與輻射環境監測結合之綜合研究方法，採用多種遙測技術與基礎地質調查方法，結合空中與地表的資訊，來建立研究區域的地形地貌、地質構造、地層岩性等基礎地質條件；採用水文環境調查方式來劃分研究區域水文地質單元等水文地質特徵；採用地球物理探測方式來闡明研究區斷層、破碎帶、溶洞、地下暗河等不良地質條件；採用岩土潛在災害調查方法，來闡明現有或潛在山崩、土石流地質災害區域。並同時將研究區域環境輻射監測成果納入評估，以完整建立地質環境穩定性之評估方法。

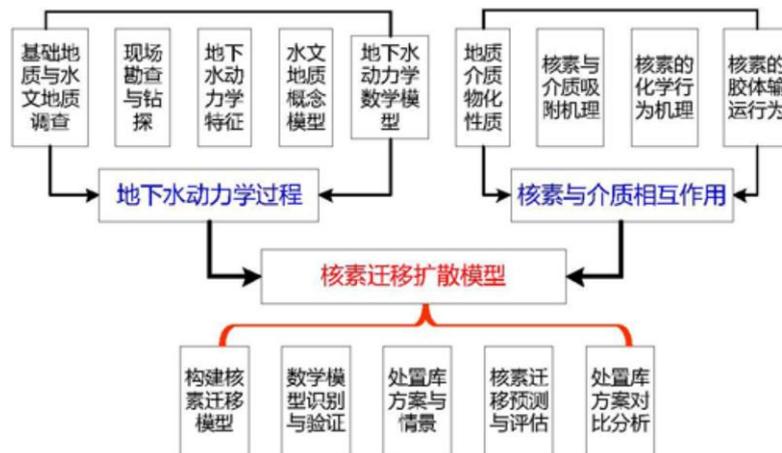


圖 3、處置庫核種遷移評估方法(摘自成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室網站)

3、降雨誘發大型深層岩質滑坡機理與監測預警

本報告由許強教授說明，許強教授為本次研討會的主持人，並為成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室常務副主任。

報告說明強降雨天氣往往會誘發大量群發性滑坡、泥石流災害。尤其是近年來，因全球氣候變遷導致天氣系統紊亂，致使異常天氣現象越來越頻繁，程度越來越高，加劇了地質災害的爆發。強降雨誘發的地質災害具有群發性、隱蔽性、突發性、破壞性等特點。群發性是指災害的發生不是單個出現，而是大範圍多處同時產生；隱蔽性主要是指災害發生部位及其形成條件極其隱蔽，事前很難發現；突發性是指受強降雨觸發突然發生，事前並無明顯徵兆，很難防範；破壞性則主要表現在兩方面：一是具有高速遠端效應，故其危害範圍大，破壞性強；二是具有災害鏈效應，又稱複合性，崩滑流物質高速遠端運動後進入主河道，形成堰塞壩，產生洪澇、淹沒、淤埋等次生災害，使災害損失和危害進一步放大，上述特點大大增加了此類災害的危險性和防範難度。

在強降雨誘發的滑坡中，因深層岩質滑坡往往具有規模大、造成損失嚴重，成因機理複雜等特點而更加值得關注和研究。近年來強降雨誘發深層基岩滑坡典型實例主要有 2004 年四川宣漢天臺鄉滑坡、2009 年臺灣小林村滑坡、2010 年重慶城口縣廟壩滑坡與四川漢源縣二蠻山滑坡等。本研究在歸納分析其它強降雨誘發深層岩質滑坡案例的基礎上，初步建立了幾類強降雨誘發深層岩質滑坡的典型成因模式。首先根據斜坡結構，將深層岩質滑坡分為平面單面滑動和空間楔形塊狀滑動兩類。其次，將平面單面滑動模式進一步細分為近水平岩層（滑面傾角小於 10° ）平推式滑坡和順層滑坡；將空間楔形塊狀滑動模式細分為基本對稱楔形塊狀滑坡和非對稱楔形塊狀滑坡。分析總結了上述各類滑坡的形成條件、特點和概念模型。在此基礎上，重點對平推式滑坡的發生機制和深層岩質滑坡發生時間滯後於強降雨過程的原因進行了探討。

4、強震地質災害鍊及其防治監控

日本九州大學陳光齊教授與成都理工大學有多年合作關係，特別邀請參與此次研討會。陳光齊教授利用 GIS 和統計分析法，對地震引發地質災害鏈進行了分析，其內容包括邊坡崩塌、堰塞湖、土石流、水災風險、崩塌後的土石運動、堰塞湖預測和泥石流預測等。在講到土石流預測的問題上，他特別提到了有效雨

量，建議基於 DDA 數值模擬求出臨界濃度、土和水的體積比，坡角等效面積，算出有效雨量，從而算出土石流啟動時間。陳光齊教授強調，如何分析，如何運用新的方法和數學模型解決問題是具有前瞻性的思路，特別於汶川大地震影響區域，更應該對災害鏈的整體挑戰風險評估、預警，這對於地質災害領域研究的全面發展具有重要的意義。

地震引起的邊坡災害風險分析中，提出實用技術和方法建議，有關頻率分析和影響分析中的具體步驟，為使蒙特卡羅(Monte Carlo)模擬法容易並有效分析，首次提出"臨界線"概念，在計算邊坡破壞機率時，只要求計算模型的"臨界線"即可，不用對每一個隨機採樣點進行安全分析。另在評價邊坡破壞後可能引起的經濟損失影響分析中，關鍵在於如何正確估計從邊坡流下的土石運動速度、到達範圍及堆積形狀等數據，提出用 DDA 模擬來解決這一問題，因為 DDA 模擬不僅可以計算複雜邊坡模型的破壞概率，而且可以得到該邊坡破壞後從邊坡流下的土石運動特性。對一些已破壞邊坡的 DDA 模擬結果表明，計算出的土石運動特性與實際結果基本吻合。因此，提出的方法可適用於地震引起的邊坡災害風險分析。

5、香港的山泥傾瀉個案

本報告由香港地質學會張志德說明，1972 年 6 月 18 日香港 232 毫米大雨，九龍秀茂坪一道 40 米高的路堤突然倒塌，奪去 71 條性命。另港島半山區寶珊道一個陡峭的臨時掘挖工地，有一幅斜坡崩塌，觸發另一場山泥傾瀉，一幢樓高 12 層的大廈登時土崩瓦解，67 人罹難。1976 年 8 月 18 日，秀茂坪另一道填土堤倒塌，沙泥湧進山下民居，導致 18 人喪生。

後續香港政府成立土力工程處，全力加強斜坡安全的工作，防止災禍重臨，建立斜坡安全系統，目前這套電腦系統載有香港 57,000 個已記錄在案的較大型人造斜坡和擋土牆資料，包括數位影像。並訂定嚴格岩土工程標準、監督新的工程項目，另找出不合標準的舊有（1977 年前的）人工邊坡，並評估是否需要安置陡峭山坡上的居民。香港政府並建立 24 小時山泥傾瀉緊急服務系統，處理山泥傾瀉帶來的危險，由香港天文台與土力工程處合作，根據紀錄和預測的降雨量，預測可能會發生山泥傾瀉區域，並會發出「山泥傾瀉警報」，提醒市民大眾有關山泥傾瀉的潛在危險，山泥傾瀉緊急服務發揮了重要的作用，在過往 20 年成功減低了山泥傾瀉風險。

香港斜坡安全系統大幅降低了香港山泥傾瀉風險，在國際享譽盛名。然而，香港氣候多雨、地形多山、人口稠密，而且不斷發展，人造斜坡和天然山坡的山泥傾瀉風險始終存在。因此，政府持續致力改善斜坡安全，把整體山泥傾瀉風險控制在「合理可行的最低限度」水平，與國際風險管理最佳做法看齊。

6、坡地土砂災害之地文因子綜整判定

本報告由台灣國立中央大學土木工程系周憲德教授說明，以新北市平廣溪集水區為研究案例區域。其整合高精度數值地形並萃取新北市平廣溪集水區誘發崩塌及土石流的重要地文參數，與歷史災害之微地形判釋成果及崩塌目錄套疊及進行現勘，了解山區集水區內過去土砂災害發生之料源、型態、溢流點、致災規模及影響範圍等關係。最後以蘇迪勒風災所引起之平廣溪實際土砂災害調查資料進行驗證。平廣溪之河流級序大多以一級與二級河流等級為主(佔總數比例81.2%)。集水區內的構造線型走向顯示，平廣溪早期因受西北-東南向之大地應力擠壓，以致發展出東北-西南向之褶皺構造，並於應力最大集中區域-屈尺斷層線上，發展平廣溪之主流線型。地質構造與節理發育對於本集水區內微水系發展息息相關，淺層崩塌目錄範圍坐落位置亦多處水系密集處，坡度介於30~40度為主，以降雨引致崩塌的機制為主。蘇迪勒風災於本區域誘發之土石流災害多為側壁沖刷或坡腳失穩所產生之淺層岩屑崩滑，土石流溪流或蝕溝，其上游區、溪流線匯集及河道轉折處皆與斷層線(信賢、屈尺與忠治斷層)通過有關。

平廣溪所有子集水區的地貌參數以流域長($L < 4.0\text{km}$)與流域險峻值($MR > 0.5$)來判定土石流潛勢溪流具有可行性。平廣溪各子集水區容易發生土石流災害，造成下游道路涵管淤塞；但主流則以洪水災害為主，容易發生較大範圍之溢淹或河堤沖毀災情。經現勘調查土石流潛勢溪流具土石流流動型態，其特徵為土石流沖積扇的逆分層(大顆粒在上方)及基質支撐，及輸送段河道旁樹幹上的塊石撞擊。平廣溪六條土石流潛勢溪流的子集水區皆有屈尺、信賢、或忠治等斷層經過，其中三條土石流潛勢溪流的上游源頭區皆在屈尺斷層上盤，且河岸崩塌主要位於斷層泥上游。由現勘調查可知斷層位置對於脆弱地質及崩塌區位及提供土石流的土砂料源有重大效應。

7、山崩災害分析與製圖

本報告由台灣國立中央大學應用地質所李錫堤教授主講，說明廣域山崩災害

分析與製圖，首先面臨的是異質性區域及災害等級一致性的問題。其分析與製圖有下列兩個重點：(1)均勻區劃分，供按分區分別建立災害模型，本研究採地域單元分區的構想，假設同一地域單元內的各個地點具有相近的山崩發生特性，所以在某一局部地區訓練出來的潛感模型能適用於同一單元內的任何地點。如此一來，就不會有在某一地區訓練出來的潛感模型不能適用於其他地區的缺點。(2)以山崩機率做為山崩災害分級與製圖之依據，使不同分區的分析結果具有一致性而不會有接圖上的問題。此外，採用事件型山崩災害分析方法也是使得分析結果能保持一致性的一種必要選擇。

本研究的山崩潛感分析採用多變量分析之羅吉斯迴歸，山崩潛感分析原則上是運用由暴雨或地震事件所誘發之山崩做為訓練資料來建立最佳預測模型。重要之山崩潛感因子包含岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、坡高、濕度指數、道路距、斷層距、雨量等 20 項因子。各項山崩潛感因子經由判別因子等相關係數篩選出重要因子。各山崩潛感模型均以誤差矩陣及成功率曲線評估模型之優劣，並經由其他暴雨事件進行模型驗證。山崩潛感分析結果透過山崩潛感值與崩壞比之間的關係，利用雙曲正弦函數的迴歸式，去擬合山崩潛感值與崩壞比的曲線分布，以此迴歸式可將山崩潛感值轉換為崩壞比值，得到以崩壞比為基礎的山崩機率圖。

8、順向坡災害潛勢評估方法及影響範圍評估研究

本報告由台灣國立高雄大學土木與環境工程學系翁孟嘉教授說明，其研究區域以嘉義潮州湖為例。順向坡係指自然的岩坡中，其坡面的傾斜方向與其岩層中主要弱面的傾斜方向大致相同者。由於台灣特殊的地質環境，順向坡普遍分布於台灣西部山地丘陵地區，造成順向坡地質災害頻傳。

因此本研究針對順向坡案例特性與國內外研究現況進行深入剖析，初步釐清順向坡之破壞行為、崩壞前兆與其機制特性。進而利用分離元素法之模擬軟體 (PFC3D)，採用合適之顆粒接觸模式，針對岩體順向坡滑動與堆積行為加以驗證，並應用於實際案例嘉義縣番路鄉潮州湖地區，蒐集相關案例之地質鑽探與土壤、岩石試驗資料，以三維數值模擬方法，建構全尺度順向坡穩定分析模型與崩壞運移模型，合理說明順向坡滑動規模、運動過程與影響範圍分布。

9、利用 Wald Wolfowitz 連串檢定確認節理構造分界

本報告由台灣國立台北科技大學資源工程研究所吳明諭先生說明。節理 (Joint) 是地殼中發育最廣泛的構造，其產生是岩石所受的應力值超過當時岩石的抗力強度而破壞的結果，且破裂面兩側的岩層無明顯相對位移。一地區岩層的節理發達與否，常影響到該地區岩體的強弱及完整性，在工程地質上至為重要。

龍洞地區位在台灣東北角海岸，出露岩性以白色石英砂岩為主，節理發達，主要之地質構造有蚊子坑背斜與新路尾斷層。以往對龍洞地區節理分析大部分著重於節理位態的調查，經由統計分析，野外工作中需量測大量位態，才可使結果準確，使得野外調查時間過長，本研究利用 Shengyuan et al., 2015 統計學假設檢定的方式，對台灣東北角龍洞地區的節理資料進行分析，考慮節理的位態和長度利用 Wald Wolfowitz 連串檢定(Wald Wolfowitz run test)來確認節理均質性，配合節理分析站加快野外調查速度，將收集的資料以不同範圍分成三種方式，確定此方法可應用於龍洞地區，並於檢定結果發現 P 值可當作均質程度的參考依據。

(二)、參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室

成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室，其定位於地質災害防治與地質環境保護領域的應用基礎研究，以國土防災減災和保障國家重大工程建設安全的需求為導向，進行應用基礎研究、先進技術開發與推廣、人才培養和匯聚，為地質災害防治與地質環境保護提供全面的理論與技術支撐。目前實驗室固定人員共 92 人，其中固定研究人員 75 人、技術和管理人員 17 人，設有 4 個研究室、5 個研究中心與 13 個試驗室，組織架構如圖 5。

該實驗室結合當今地球系統科學發展的最新成果，建立地質災害防治領域理論創新體系和技術方法體系結合學科前沿發展和關鍵科學問題，形成了四個穩定的研究重點：(1)重大地質災害評價與防治：研究滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地裂縫、不穩定斜坡等各類地質災害，包含形成的地質背景、發育分佈規律、成因機理、評價預測方法及防治處理措施；(2)人類活動與地質環境互饋作用及災害控制：重點研究解決大型工程建設及城市建設開發過程中的岩土體穩定性問題，分析評價地質環境對各類重大工程建設的適宜性及工程建設

對地質環境所產生的影響，研究人類活動與地質環境之間的互饋作用機制、災害發生過程及控制對策，保障工程建設的可靠性、安全性和經濟合理性；(3)區域地質環境評價與保護：針對中國大陸西部地區特殊的地域地質環境，研究探討與內生地質作用相關的區域構造穩定性問題，與人類工程活動密切相關的地質環境演化、評價和保護問題，以及生態地質環境的恢復和重建問題等，從而建立區域地質環境評價和區域地質-生態環境的聯合調控及協調保護機制；(4)地質災害監測預警與信息技術：基於現代信息科學技術和空間對地觀測技術、現代測試和監測技術，研究和開發先進實用的地質災害防治勘察、測試、監測、預警及災害應急處治技術和軟件系統，為地質災害防治和地質環境保護提供強有力的技術手段支撐。



圖 4、 成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室外觀

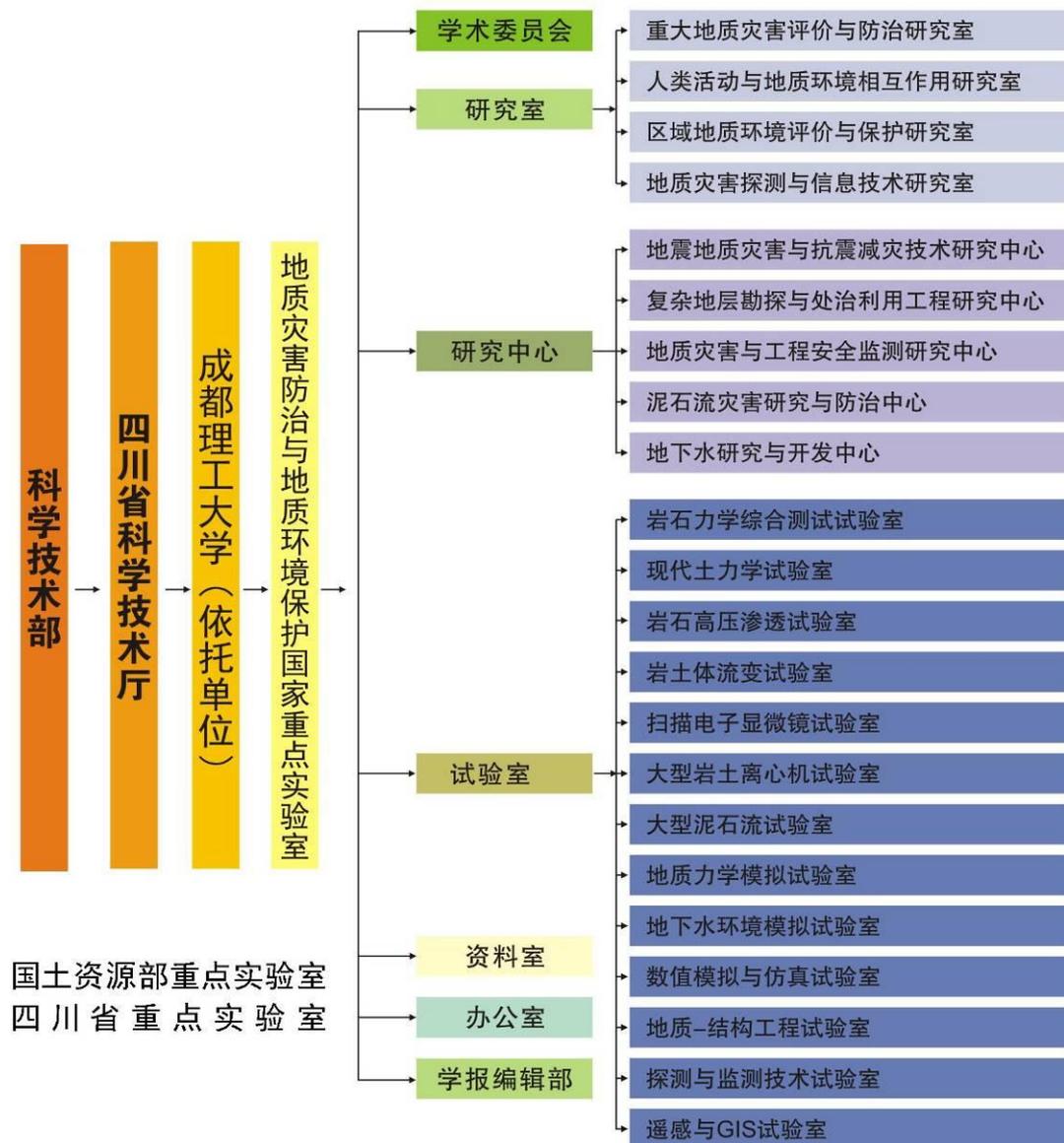


圖 5、組織架構圖(摘自成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室網站)

實驗室的 13 個試驗室及其主要儀器設備，為研究人員提供有利的研究工具。總儀器設備約有 4,500 套，其中大型精密儀器設備有 36 套，儀器設備主要可分為三大部分，第一部分用於地質災害現場勘查與監測，包括地形微變形監測系統、微震監測系統、地面三維雷射掃描儀、現場大型原位試驗裝置、固定翼與四旋翼無人飛行器；第二部分主要用於岩體力學特性參數試驗與物理參數分析，包括多功能岩石參數綜合測試系統、岩石高溫高壓三軸試驗機、MTS 土壤動力三軸試驗系統、GDS 非飽和土壤三軸試驗系統、岩土體流變儀、土工環檢儀、土體大三軸儀、大型岩石高壓滲透儀、PE1220 超低本底液閃譜儀、掃描式電子顯微

鏡；第三部分為地質災害分析、評估、預測數值模擬系統與物理模擬系統，包含高性能計算平台、大型岩土離心機系統、大型地震模型震動系統(建設中)、泥石流模擬裝置、崩滑災害模擬試驗裝置與地質-結構試驗系統等，由以上三大部分組成一完整試驗測試體系，提供各項研究有力支援。



圖 6、大型岩土離心機系統



圖 7、泥石流模擬裝置



圖 8、大型地震模型震動系統(建設中)

(三)、野外考察大光包巨型地震滑坡

野外考察地點大光包巨型地震滑坡與文家溝滑坡及泥石流位屬偏遠山區，靠近滑坡附近道路崎嶇難行，主辦單位安排四輪傳動吉普車前往，並安排研究人員現場解說，共約 60 人參與。

野外考察第一天考察大光包滑坡，為 2008 年汶川大地震誘發之最大山崩，其位於四川綿陽市安州區高川鄉泉水村北西側約 5 公里處。大光包滑坡位於汶川大地震發震斷層上盤，距發震斷裂-映秀-北川斷裂不足 7 公里，滑坡最大長度約 4.6 公里、最大寬度約 3.7 公里，最大堆積厚度達 550 公尺，總崩塌土方量高達約 12 億立方公尺。

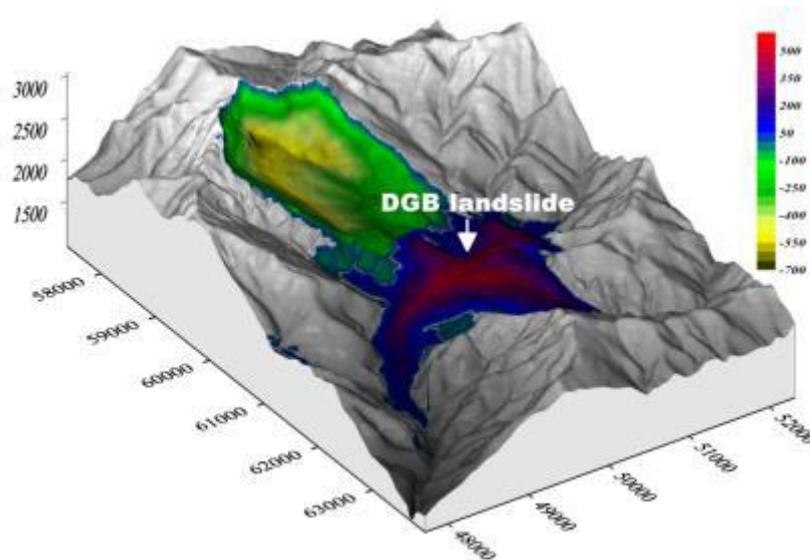


圖 9、大光包滑坡三維地形圖及滑坡堆積等厚度圖(摘錄自大會手冊)

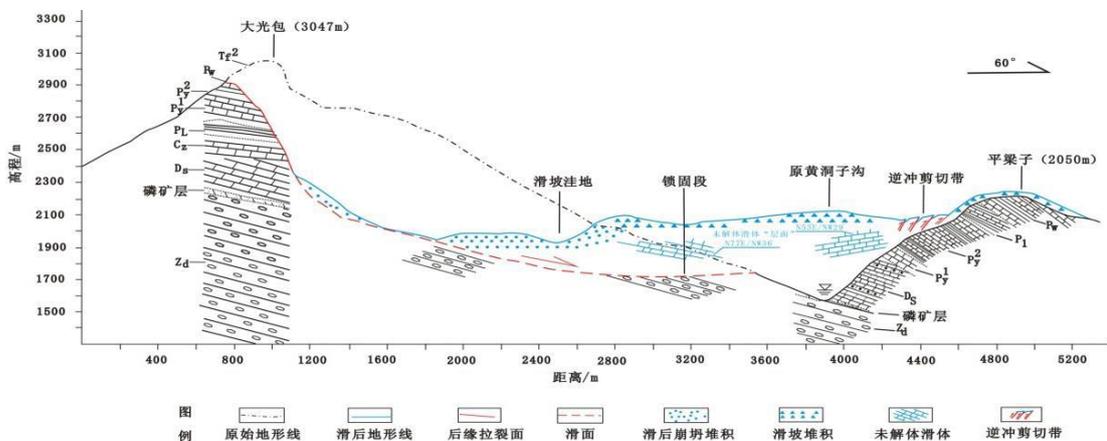


圖 10、大光包滑坡剖面圖(摘錄自大會手冊)

滑坡後緣冠部區域接近垂直，坡度約 70-90°，最大高度約 700m，其北側為 NE-SW 向的高陡拉裂斷壁，平均坡度 55°~70°；南側邊界為沿層面連續的滑動光面，產狀 N80°~88°E/NW/35°~38°，滑動面可見滑動擦痕。滑動面形成的構造背景是震旦系白雲岩層間錯動帶，坡堆積體表面地形地伏不大。

大光包地處龍門山逆衝推覆構造帶，位於四道溝斷裂和仰天窩斷裂間。區內共發育三組優勢節理：產狀 N88°W/NE∠32°的層面裂隙（岩層層面），產狀 N58°E/SE∠72°的傾 SE 陡傾裂隙 J1 和產狀 N10°W /NE∠84°的傾 NE 陡傾裂隙 J2。

大光包滑坡區出露岩性主要由碳酸鹽岩和少量碎屑岩組成。地層自老而新依次為：震旦系水晶組（Zs2），震旦系燈影組（Zd），泥盆系沙窩子組（Ds、Ds），石炭系總長溝組（Cz），二疊系梁山組（P1），二疊系陽新組（Py），二疊系吳家坪組（Pw），三疊系飛仙關組（Tf）。

大光包滑坡形成可劃分為以下 4 個階段：

1. 坡體震裂階段：在強震長時間持續作用下，坡體產生震動潰裂，後緣及北側拉裂邊界形成。
2. 主滑面抗剪強度急劇降低階段：地震中下游側層間錯動帶產生強烈的震裂鬆弛、碎裂、剪脹-擴容，滑帶抗剪能力急劇降低。
3. 固段剪斷-滑體快速啟動階段：坡體前部“鎖固段”突然剪斷，巨大滑坡楔形體沿岩層走向方向高速潰滑而下。
4. 滑體突然受阻後的「急剎車效應」：滑體受到迎面山體的強力阻擋逆衝爬高，餘勢不減的碎屑流向黃洞子溝下游流動。



圖 11、大光包滑坡後緣冠部區域概況



圖 12、大光包滑坡研究基地前考察人員合影

(四)、野外考察綿竹市清平鄉文家溝滑坡及泥石流

野外考察第二天至文家溝滑坡及泥石流，文家溝位於四川省綿竹市清平鄉綿遠河左岸，地處汶川地震烈震區。2008年「5.12 汶川特大地震」誘發了數以萬計的滑坡崩塌地質災害，並在文家溝內誘發了巨型順向坡滑動，形成了文家溝滑坡。該滑坡在地震強大外力作用下失穩破壞下滑，初始土方量為 0.275 億立方公尺。下滑岩體在滑動中多次與山體碰撞，兩者解體後轉化為碎屑流。高位碎屑流沿著文家溝溝谷傾斜而下，並在 1300 公尺高程附近溝道內集中堆積了約 0.3 億立方公尺破碎較為徹底的碎屑流堆積物，由此形成了 1,300 公尺平台。文家溝滑坡水平運動距離為 4,022 公尺，垂向運動高差為 1,443 公尺，巨量鬆散固體物質堆積於山麓斜坡上和溝道中，據統計，文家溝滑坡遺留堆積物約 0.526 億立方公尺。

文家溝地處三大季風相互交替影響的集中地帶，該處強降雨事件頻繁發生。而巨量鬆散堆積物為強降雨條件下泥石流災害的爆發提供了豐富的物源。由於 1300 公尺平台以上為約 4 萬平方公尺的盆狀地形，為文家溝泥石流爆發提供了非常有利的條件。因此，在震後這幾年每年汛期的強降雨過程中，文家溝多次爆發大型、特大型泥石流災害，嚴重威脅溝口清平場鎮的安全。在眾多大型災害中，最為典型的一次當屬發生在 2010 年的 8.13 特大泥石流災害，由 2010 年 8 月 12 日 18 時至 13 日 4 時的局部大暴雨引發了特大山洪泥石流，洪水蝕底和側蝕溝谷鬆散堆積物，並逐漸在溝內形成深大、陡峻的深槽，造成了綿遠河長達 3.5 公里淤積，主河道下游形成約 0.58 平方公里之泥石流扇狀地，平均堆積厚度約 8 公尺，最大堆積厚度達 30 公尺，大規模損毀並掩埋清平鄉鹽井村約 40 戶民宅。

為了確保當地居民的生命財產安全，四川省委省政府決定開展文家溝泥石流全面治理工程。經各方面專家多次討論及論證，最終確定採用「上游水沙分離、中游固底護坡、下游攔擋停淤」的綜合治理概念：

1. 上游水砂分離：即將上游地表水流通過引水隧道導流到鄰近支溝，盡可能消除啟動泥石流的水文條件。「水砂分離」主體工程由引水隧道、積水沉砂池與一系列攔砂壩構成。在 1300m 平台上游建築系列攔砂壩，用於攔擋從上游流出的固體物質。並攔砂壩外側修建積水沉砂池，使從攔砂壩流出的水流沉澱變清，並引流進入引水隧道。

2. 中游固底護坡：採用固底護坡工程來防止水流的繼續沖刷，即先採用大塊石對已經形成的溝谷進行填充，隨後在表層鋪放鋼筋石籠形成柔性排導槽。這一設計利用鋼筋石籠具有一定柔性的特點，可以自行補償修復排導槽底部因被水流掏蝕而形成的空洞，能盡可能杜絕排導槽失效的發生。
3. 下游攔擋停淤：為增強文家溝下游保全戶的安全性，在文家溝下游設計修建了系列格柵壩或梳齒壩。運用格柵壩或梳齒壩攔粗排細功能，可實現鬆散固體物質在下游溝口開闊寬緩地帶就地停留，防止上游因引水隧道堵塞等原因產生的泥石流沖出物直接威脅或淤埋清平鄉場鎮，進一步確保場鎮安全。

該治理工程於 2011 年汛期前竣工，在隨後的強降雨事件中，流域內上游的降雨匯流至中部集水沉砂池後經引水隧洞流向下游，使流域的匯流量大大減小，中游堆積區的固底護坡和柔性排導槽工程，保障了該堆積區鬆散堆積物在強降雨作用下不再啟動。泥石流的發生模式也從治理前由上游支溝泥石流匯流侵蝕中部（1300 公尺平台）巨量碎屑堆積物形成大規模泥石流，轉變為治理後僅於各支溝暴發小規模泥石流，1300 公尺平台的巨量堆積物未再啟動，大型泥石流風險得到有效地控制。



圖 13、文家溝滑坡及泥石流上游區域概況



圖 14、文家溝滑坡及泥石流上游水砂分離與引水隧道工程



圖 15、文家溝滑坡及泥石流於 2010 年 8 月大規模爆發掩埋民宅

四、心得

此次奉派參加 2017 海峽兩岸三地工程地質研討會，並參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室與野外地質考察，了解工程地質領域的研究發展進展與應用。以下就此行的心得說明如下：

- (一)在工程地質的應用上，應特別注意現地環境調查與監測。本次研討會中有多位學者特別提出在環境調查與監測技術，應對於現地環境有充分的了解，才能掌握影響當地工程地質之關鍵課題，並進行後續重要環境地質參數分析與關鍵課題模擬分析，作為工程設計與安全評估之考量。這項心得回饋到放射性廢棄物最終處置的管制，應該要求業者在選址階段做好相關的場址調查工作，才能針對關鍵工程地質議題進行模擬分析，降低處置設施安全評估或設計的不確定性。
- (二)工程地質技術發展應有系統整合，本次參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室，發現該實驗室工程地質應用之基礎研究整合做法已趨成熟，包含地質災害勘察與監控技術、岩體力學特性分析、地質結構工程分析、地震工程評估、地下水環境模擬分析、各項大型試驗室等，可針對工程地質議題，進行完整評估。這項心得回饋到放射性廢棄物最終處置的作業，應該要求業者與相關研究單位合作，建立完整工程地質研究系統，以利處置技術之建置發展。
- (三)參加兩岸或國際基礎學科主題的研討會有助於提升放射性廢棄物管制技術能量，本次出席 2017 海峽兩岸三地工程地質研討會，學者專家報告的主題包括工程地質新理論與技術、地震工程地質、地質災害風險評估與防治監控、複雜環境下工程地質問題等專業領域知識，不論其方法論或分析工具都可以做為放射性廢棄物最終處置設施的功能評估或安全驗證使用。另外藉由參加研討會，也可以認識國內相關領域的學者專家，對於安全審查或專家諮詢，都可以建立專家人才資料庫，提升管制品質。

五、建議

本次參與 2017 海峽兩岸三地工程地質研討會，瞭解兩岸三地工程地質專家研究成果，實有助於提升最終處置的管制技術，以下就參與本次研討會的心得提出建議事項：

- (一) 工程地質為建置放射性廢棄物最終處置場之關建課題，不論是低放射性廢棄物坑道處置或用過核子燃料的深地層處置，其場址調查、設計、建造與安全評估階段均涉及多層面之工程地質考量，此次研討會中也有多位國內優秀的學者專家發表工程地質研究成果。目前國內低放射性廢棄物最終處置計畫正進行選址階段，用過核子燃料最終處置計畫也進行潛在處置母岩調查階段，建議管制單位有必要先期建立國內學者專家人才資料庫，俾利執行最終處置的安全審查與管制諮詢。
- (二) 兩岸三地間在工程地質理論與技術都有大幅的進展，舉凡放射性廢棄物最終處置計畫所需掌握的地質參數量測、地震工程地質、地質災害風險評估與防控、複雜環境下工程地質問題等專業領域知識，在本次會議中都有學者提出成果發表。最終處置所需的相關專業領域相當廣泛，為能提升安全管制技術能力，應多參與最終處置相關專業領域的研討會，俾與國際管制技術接軌。
- (三) 藉由本次研討會參訪成都理工大學地質災害防治與地質環境保護國家重點實驗室，瞭解工程地質應用之基礎研究整合做法已趨成熟，包含地質災害勘察與監控技術、岩體力學特性分析、地質結構工程分析、地震工程評估、地下水環境模擬分析、各項大型試驗室等，其作法與理論可作為國內發展放射性廢棄物最終處置地質工程技術之參考，以提升整體處置技術及安全管制能力。