

出國報告(出國類別:國際會議)

**出席 2016 歐洲地球科學聯合會議  
(2016 European Geosciences Union  
General Assembly)**

服務機關:經濟部中央地質調查所

姓名職稱:黃智昭/科長

派赴國家:奧地利維也納

出國期間:105 年 4 月 16 日至 4 月 25 日

報告日期:105 年 7 月 12 日



## 摘要

本所自 99 年起開始執行「臺灣山區地下水資源調查研究整體計畫」。本整體計畫主要進行地表地質調查、地球物理探勘、水文地質調查及水力試驗、地下水觀測站網設置、區域地下水資源評估、繪製山區水文地質圖及山區水文地質資料庫建置。除了調查具有地下水高潛能區之山間盆地外，另對於集水廊道、山區聚落與觀光遊憩區水資源開發潛能評估及山區水資源開發對坡地防災提升之研究等亦進行深入調查。

由於目前國內山區水文地質調查技術及評估模式未臻成熟，本次參加 2016 歐洲地球科學聯合會議(European Geosciences Union General Assembly, EGU)除了發表本所山區水文地質及地下水資源調查成果外，並參加與本所業務有關山區地下水資源現地孔內調查技術、地球物理及地球化學之研究議題探討，包括論文口頭報告、海報及 PICO 展示，與國外專家學者進行技術與經驗交流，瞭解國外目前執行山區水文地質調查現況，期能引進國外先進技術與經驗，藉以提升山區水文地質與地下水資源調查評估技術，另對於本所擬進行地熱調查計畫規劃，亦利用本次研討會，觀摩歐美各國目前進行地熱探勘開發現況與先進調查技術，以做為未來計畫規劃之參考依據。本報告亦彙整研討會所獲得有關山區水文地質調查技術資料，對本所山區水文地質調查計畫提出具體建議事項，如利用光纖溫度與溶氧示蹤劑進行孔內透水段判釋，以與目前實施之熱脈衝流速量測相驗證；另建議國內關於地熱資源探勘開發技術部分，可以 CO<sub>2</sub> 做為工作流體，不僅可獲較多地熱資源，且可儲存部分 CO<sub>2</sub>，達到減碳目的。

## 目 錄

一、目的.....	1
二、過程.....	3
三、研討會主要研習內容.....	14
四、心得與建議.....	23
附 錄.....	25

## 圖 目 錄

圖 1 奧地利維也納國際會議中心.....	5
圖 2 研討會報到處.....	5
圖 3 研討會報到櫃台，領取會議手冊及名牌 .....	6
圖 4 研討會參展廠商會場.....	8
圖 5 研討會論文口頭報告現場情景.....	8
圖 6 研討會論文海報展示現場.....	9
圖 7 PICO 互動式論文發表現場 .....	9
圖 8 職於 PICO 發表現場.....	12
圖 9 PICO 發表與國外學者(IBTP Koschuch 公司老闆)合影 .....	12
圖 10 許世孟博士海報發表當日與許世孟博士、溫志超老師合影	13
圖 11 與莊伯禹同學於海報展示現場.....	20
圖 12 與劉慶怡、莊伯禹同學及其指導教授賈儀平教授於海報展示 現場 .....	22

## 表 目 錄

表 1 出國計畫行程表.....	3
------------------	---

## 一、目的

臺灣地區雨量豐沛，但因地狹人稠，河川坡陡流急、逕流量被攔蓄利用僅佔年總逕流量之 18%，其餘均奔流入海，以致臺灣水資源相對匱乏。另近年來因環保因素以致水庫興建受阻，現有水庫之庫容與使用年限日減之情形下，地下水等替代水資源之調查實有必要加以推動。而臺灣山區佔全島面積的三分之二，遠大於平原區之面積，其亦屬臺灣地區地下水資源的重要補注來源區域，在政府提倡多水源多系統聯合經營區域性水資源策略下，山區地下水資源不失為一重要之水資源調配來源，但是對於評估山區地下蘊含量之現況所需地質與水文地質等基本調查資料卻相當匱乏，再加上人為活動及土地開發範圍已漸趨擴大，並往山區延伸，更彰顯出對山區地下水資源調查研究的急迫性。

本所自 80 年起，與水利署共同合作執行為期 17 年之「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，此計畫已完成臺灣 9 大地下水區之調查工作，各分區主要調查範圍僅針對沖積平原地下水補注區，此區域僅佔臺灣 30% 的區域。有鑑於平原區地下水過度開發現象，而山區地下水對於鄰近平原及盆地區域含水層之補注亦有所貢獻，為釐定山區水文地質架構與地下水資源探勘方法，據以評估山區地下水資源蘊藏量及具開發潛能的區域，提供未來在水資源調配及開發策略之運用，爰自 99 年起開始執行「臺灣山區地下水資源調查研究整體計畫」。本整體計畫主要進行地表地質調查、地球物理探勘、水文地質調查及水力試驗、地下水觀測站網設置、區域地下水資源評估、繪製山區水文地質圖及山區水文地質資料庫建置。除了調查具有地下水高潛能區之山間盆地外，另對於集水廊道、山區聚落與觀光遊憩區水資源開發潛能評

估及山區水資源開發對坡地防災提升之研究等亦進行深入調查。

由於目前國內山區水文地質調查技術及評估模式未臻成熟，而歐洲地球科聯合會議（European Geoscience Union General Assembly，AGU），其規模在國際上僅次於美國地球物理聯合會議（American Geophysical Union，AGU），其研討主題包括：水文學、自然災害、能源、自然資源與環境、地球物理、地球化學、地震學、地層、沉積與古生物研究、板塊運動及構造地質、海洋科學等，期望能藉由此學術交流平台，除發表本所山區水文地質及地下水資源調查成果外，並能與國外進行技術與經驗交流，瞭解國外目前山區水文地質調查技術現況，藉以提升國內山區水文地質調查及水資源評估技術

## 二、過程

### (一) 行程

本出國計畫行為 105 年 4 月 16 日至 4 月 25 日，行程表如下表所示。

表 1 出國計畫行程表

日期	地點	行程內容
4 月 16 日(星期六)	臺北-奧地利維也納	去程
4 月 17 日(星期日)	臺北-奧地利維也納	去程及研討會報到
4 月 18 日(星期一)	維也納國際會議中心	參加研討會
4 月 19 日(星期二)	維也納國際會議中心	參加研討會
4 月 20 日(星期三)	維也納國際會議中心	參加研討會
4 月 21 日(星期四)	維也納國際會議中心	參加研討會
4 月 22 日(星期五)	維也納國際會議中心	參加研討會
4 月 23 日(星期六)	維也納	整理資料，待機
4 月 24 日(星期日)	奧地利維也納-臺北	回程
4 月 25 日(星期一)	奧地利維也納-臺北	回程

## (二) 研討會簡介

歐洲地球科學聯合會 (European Geosciences Union General Assembly, EGU) 每年約在 4 月間於奧地利維也納國際會議中心 (Austria Center, Vienna) 舉行 (圖 1), 近年來都有上萬來自不同國家的專家學者或學生參加, 其規模僅次於美國地球物理聯合會議 (American Geophysical Union, AGU), 2016 年歐洲地球科學聯合會, 於 2016 年 4 月 17 至 22 日舉辦, 主要目的在邀集歐洲與世界各國之專家學者, 在為期五天會議中, 分享各自在地球科學領域最新的研究成果, 並討論未來可能面臨挑戰解決之道。本次研討會報到時所領取之相關資料, 包括會議議程手冊及會議名牌 (圖 2、圖 3), 論文摘要部分, 事前已置於研討會官方網頁上, 可供下載。本次研討會主要議題共包括下列 23 個群組:

1. 各學科間事件 (Interdisciplinary Events)
2. 大氣科學 (Atmospheric Sciences)
3. 生物地球科學 (Biogeosciences)
4. 氣候: 過去、目前及未來 (Climate: Past, Present, Future)
5. 寒星科學 (Cryospheric Sciences)
6. 地磁學 & 岩石物理學 (Earth Magnetism & Rock Physics)
7. 能源、資源及環境 (Energy, Resources & the Environment)
8. 地球與空間科學訊息學 (Earth & Space Science Informatics)
9. 測地學 (Geodesy)



圖 1 奧地利維也納國際會議中心



圖 2 研討會報到處



圖 3 研討會報到櫃台，領取會議手冊及名牌

- 10.地球動力學(Geodynamics)
- 11.地球科學儀器與資料系統(Geosciences Instrumentation & Data Systems)
- 12.地形學(Geomorphology)
- 13.地球化學、礦物學、岩石學&火山學(Geochemistry, Mineralogy, Petrology & Volcanology)
- 14.水文科學(Hydrological Sciences)
- 15.天然災害(Natural Hazards)
- 16.地球物理之非線性歷程(Nonlinear Processes in Geophysics)
- 17.海洋科學(Ocean Sciences)
- 18.行星與太陽系科學(Planetary & Solar System Sciences)
- 19.地震學(Seismology)
- 20.地層學、沉積學與古生物學(Stratigraphy, Sedimentology & Palaeontology)

21.土壤系統科學(Soil System Sciences)

22.太陽—地球科學(Solar-Terrestrial Sciences)

23.構造地質學(Tectonics & Structural Geology)

本屆參與的成員來自世界 109 個國家，共計 13,650 位專家學者，其中，臺灣方面共有 248 位專家學者參與，在所有參與國家人數排名列為第 15 名。此外，共有超過 83 個以上展覽單位，參與這場盛會，並展示地球科學領域各種相關技術與儀器設備（圖 4）。依據主辦單位所提供之資料，本屆年會共收到 16,130 篇摘要，大會安排 4,863 篇進行口頭報告（圖 5），10,320 篇以海報形式發表（圖 6），另 947 篇以 PICO (Presenting Interactive Content)（圖 7），結合口頭與海報之優點，每位簡報人先上台簡單介紹自身研究成果，提供現場參加人員於 30 分鐘內迅速全面瞭解該場會議所有發表文章大致研究內容，口頭發表結束後再回到自己的展區，透過互動式電子螢幕，對後續詢問人員進行更詳細之解說形式發表。單天研討會至一段落會有固定休息時間，提供咖啡及小點心，會場許多位置也設有交流的區域提供參加者休息及交流的空間。



圖 4 研討會參展廠商會場



圖 5 研討會論文口頭報告現場情景

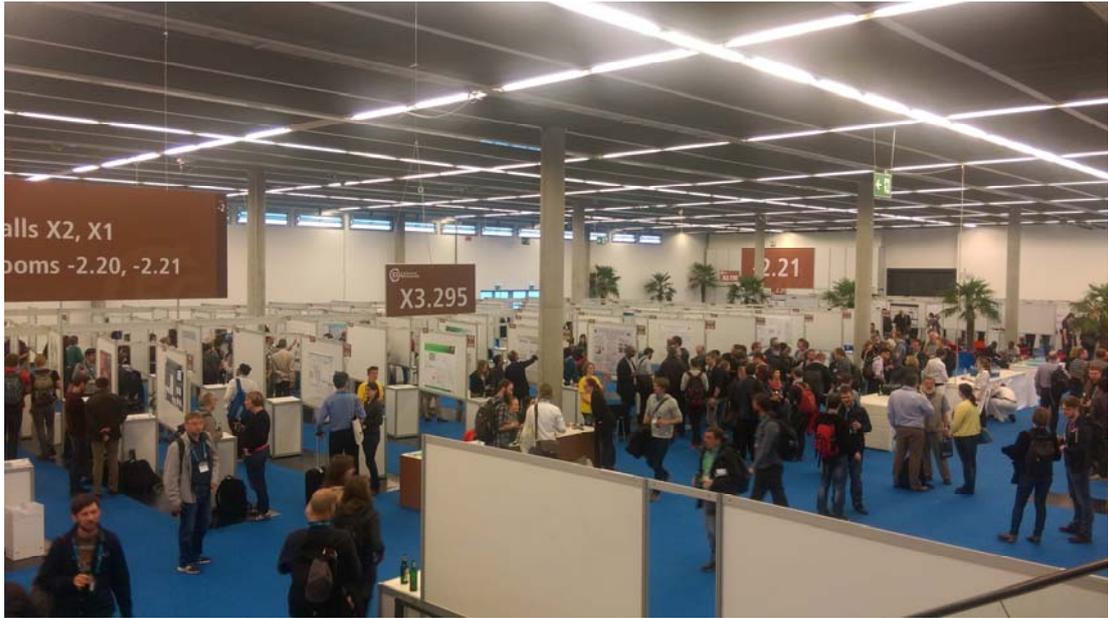


圖 6 研討會論文海報展示現場



圖 7 PICO 互動式論文發表現場

### (三) 論文發表

本次研討會期間共發表 2 篇有關本所山區地下水資源調查成果論文。其中，職於「NH3.8 Documentation and monitoring of landslides and debris flows for mathematical modelling and design of mitigation measures」議題中，發表”Implication of Groundwater Resources Utilization in Mountainous Region for Slope Disaster Prevention”；另外一篇為山區計畫工作團隊中興社許世孟博士在「HS8.2.4 Fissured and karstified aquifers」議題中，發表”Characterizing and Modelling Preferential Flow Path in Fractured Rock Aquifer: A Case Study at Shuangliou Fractured Rock Hydrogeology Research Site”，兩篇論文摘要皆被大會接受，並分別邀請以 PICO 與海報形式發表(論文內容如附錄所示)。

本次投稿第一篇論文之主要內容為本所山區地下水資源調查計畫部分研究成果，發表於「山崩、土石流的預測模式與減災對策」之議題中，題目是山區地下水資源開發利用對於坡地防災之隱喻；本研究是有鑒於臺灣近年坡地環境常面臨水資源匱乏及坡地災害等問題，提出了坡地防災效益提升及地下水資源有效開發之雙贏策略概念，選定南部高雄市甲仙區寶隆崩塌地為研究對象，透過現地水文地質調查及滲流與邊坡穩定數值分析來探討崩塌地抽水量、抽水延時及滑動面安全係數之關聯性，藉以評估在不同地下水開發規模下對坡地穩定性提升之效益，成果顯示在抽水 24 小時的條件下，最大抽水量可達 180L/min，水位洩降為 10.6m，所對應之淺層及深層滑動面的穩定性分別提升 11.87%及 15.72%，而此抽水總量相當可提供 997 人/日使用，說明本場址地下水資源的開發潛能相當高，而本研究所提出之分析模型可因地制宜建立不同崩塌地抽水與邊坡穩定性間之關聯

性，成果可提供山區民眾做為地方水資源開發及災害風險評估之重要依據。成果發表期間(圖 8)，奧地利 IBTP 公司的老闆 Richard Koschuch 博士 (圖 9) 前來詢問詳細內容，對於本次論文所提的雙贏策略給予肯定。

本次投稿第二篇論文為中興社許組長所發表，主要內容為本所「臺灣南段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置」計畫部分研究成果，發表於「裂隙與喀斯特地下水層」之議題中，題目是描述與模擬裂隙岩體地下水層之優勢水流路徑。本研究旨在建立一套針對山區裂隙岩體的水文地質調查流程，於雙流森林遊樂區內建置井場，透過孔內攝影與孔內流速調查結果，搭配跨孔抽水之方式，冀望突破以往單孔調查尺度來釐清裂隙網絡於山區地下水流動及蓄水扮演角色，進而達成推估透水區段的目的，以提供模擬更全面的參考依據。透過調查結果顯示在預估不連續面切過的深度，其孔內流速皆有產生速差變化，代表於該區段內地層與孔內地下水有流動的情形，此結果與預測的透水區段完全吻合，證明雙流場址之地下水流路徑與裂隙位態有著密不可分的關係，而後續本研究利用 FracMan 分析程式結合現地露頭調查資料與整合孔內各項水文地質調查成果來進行模型建構、率定與交叉驗證及模擬分析，結果發現，本研究提出之分析模型所模擬之井場水力特性與現地水文地質調查結果亦相當吻合。海報張貼展示期間，來自法國雷恩第一大學 Olivier Bour 博士前來詢問本論文詳細之研究內容，表達他們單位也進行許多類似研究並與許博士充分討論及提供其研究經驗，未來將提供相關研究成果予本所山區研究團隊做為現地試驗執行之參考。而國內賈儀平老師、溫志超老師及其研究生也前來詢問本論文詳細之研究內容(圖 10)，對於國內開始進行跨孔試驗，並驗證三維裂隙網絡模式成果準確度給予以肯定。





圖 10 許世孟博士海報發表當日與許世孟博士、溫志超老師合影

### 三、研討會主要研習內容

本次研討會會議涵蓋眾多議題，各大議題下又細分許多課題，在短時間內無法出席每個研究議題，只能挑選與本所業務較具相關性的議題參與，故出席數場議題分組討論，另出席 PICO 及瀏覽海報發表，內容主要集中在與本所目前業務與未來擬推動業務相關之議題，包含山崩災害、能源與資源、地下水文等議題，其中，山崩災害著重在山崩水文學，山崩與土石流數學模擬與整治策略設計所需之證明文件與觀測；能源與資源議題部分則著重在地熱資源探勘、發展與產能；地下水文的部份著重在裂隙或喀斯特岩體地下水層、從地下水層特徵描述到地下水管理等研究課題，茲將各議題研習心得依課題類型整理如下：

#### (1) 山崩水文學(Landslide hydrology: from hydrology to pore water pressure and slope deformation)

山崩水文學(Landslide Hydrology)，從坡地水文學的觀點切入，透過水文、孔隙水壓、與邊坡變形等因子變化歷程，探討山崩發生的機制問題，藉此改善我們對於坡地滑動機制在時空型態的了解。在水文系統當中，降雨入滲至土體之後內部土體因應新增孔隙水壓力所造成的變化，通常被認為是驅使邊坡滑動之主因，透過一些具有物理模型概念之程式、現地量測或是室內試驗設計，有助於掌握各種影響因子(水文及地文等)對崩塌發生之反應程度與隨時間之變化。

而山崩或土石流臨界雨量的推估對於在災害警戒預測系統應用之研究工作，也行之有年，主要多以降雨強度與延時兩特性為主，發展研究區域內有效的經驗公式，藉以區分出崩塌發生的臨界條件。雖然有應用成功的案例，但也有許多應證錯誤的情況，此乃該方法對崩塌破壞物理歷程描述不清楚所致。來自義大利那不勒斯第二大學

Roberto Greco 博士等人將坡地水文歷程的相關資訊，引進到邊坡滑動機制探討，例如土壤入滲率、入滲深度、含水量狀態等，發展一個全新的崩塌警戒的公式，並成功應用在義大利南方 Cervinara 鎮。相似的研究，則有許多學者直接採用水文與地文耦合之整合模式，進行崩塌發生的預測，例如：來自挪威 Oslo 大學 Krabøl 博士等人應用 DDD (Distance Distribution Dynamics) 模式，計算邊坡土壤含水量狀態，並與崩塌事件進行統計分析，瞭解崩塌發生時土壤含水量的臨界狀態為何？另來自義大利 Calabria 大學 Giovanna Capparelli 博士等人則運用自行撰寫的有限元素程式模擬坡地水文歷程，並搭配 TDR 土壤含水量監測設備，藉此應證模式準確度及作為未來山崩警戒系統建置基礎。

山崩水文的議題研究上在國際上持續有許多學者投入，對於山崩發生的機制反應掌握度比以往更好，意謂可更精準預測山崩誘發的時機，對於後續所發展之山崩警戒預測系統會更具說服力。

(2) 山崩與土石流數學模擬與整治策略設計所需之證明文件與觀測 (Documentation and monitoring of landslides and debris flows for mathematical modelling and design of mitigation measures)

在此議題下，針對坡地環境常面臨水資源匱乏及山崩災害等雙重問題，利用本所山區地下水資源調查成果，提出了坡地防災效益提升及地下水資源有效開發之雙贏策略。本研究透過資料蒐集、現地試驗、數值模式與情境分析，最後提出可行之整治策略；另外，部分學者則應用新的調查設備進行山崩與土石流的調查工作，例如：來自奧地利 IBTP 公司的老闆 Richard Koschuch 博士等人，應用脈衝多普勒雷達，進行土石流發生的時間點預測，同時也可以量測河川水位，並進行土石流預警工作，而 Richard 他們所發展的設備可以擷取儀器設置位置外 2 公里的訊號，這對下游保全對象的撤離工作幫助很大；來

自日本 Saiichi Sakajo 博士則用導管式的地音探聽器，觀測土砂的傳輸行為，並估算土砂傳輸量與其分布。

### (3) 地熱資源探勘、發展與產能 (Exploration, development and production of geothermal resources)

目前世界上許多國家，越來越多的深層地熱資源，被開發做為一項極具吸引力的替代能源，也慢慢在各自國家能源組成類別所佔的比重有拉高趨勢。而臺灣也把地熱能源的開發列為目前第二期國家型能源科技計畫發展的重點項目之一，因此蒐集國外相關的研究作為未來計畫執行之參考。

本次研討會對於地熱能源開發之研究，明確定義出六大具體的研究方向：(1)尋找確切地熱能源的準確度必須加強；(2)發展特定鑽探的技術獲取地熱資源；(3)地熱潛能的評估必須提供更可靠與清楚的指導原則；(4)加強型地熱系統(EGS)所採用的激注方式(stimulation methods)必須提高其成功率，同時初期激注處理製造的微震或與深層斷層作用，引致大地震發生的可能性風險必須降低；(5)對於生產井的運轉與維護必須提出腐蝕(corrosion)與結垢(scaling)解決方法；(6)發展從超臨界儲存庫獲取地熱能量新興技術。

在參與此議題的討論過程中，職發現了幾篇可供參考之研究例如：來自美國 Ohio State University 的 Jeffrey Bielicki 教授等人，利用自行開發 Non-isothermal Unsaturated-saturated Flow and Transport (NUFT) 模式，模擬某一個沉積岩層的地熱庫之各種情境下運轉表現，後續以 NUFT 成果與最佳化模式進行整合，算出最佳運轉模式，其研究成果最適合運用在淺層地熱庫或是相對低溫的儲熱庫中，對於先天熱源條件不佳之場址，可以發揮出發電效能；來自蘇黎世聯邦理工學院 Martin Saar 博士等人，提出在淺層地熱庫或是相對低溫的儲

熱庫環境中(該場址開發優勢是大幅度減少深鑽探所花的費用)，利用一種混合地熱能源的系統(整合第二種能源(secondary energy source)的地熱系統)，開發前述環境下之地熱資源，此外，因為 Adams 等人(2015)證實 CO<sub>2</sub> 當作工作流體所獲得之地熱能源比以鹹水為主的工作流體還要多，此混合系統也將此概念納入運轉，而他們以 TOUGH2-ECO2N/ECO2H 耦合模式模擬成果顯示，以 CO<sub>2</sub> 為工作流體所獲的的地熱能源會比以鹹水為流體的成果多出 48%；另來自土耳其 Dokuz Eylul 大學 Coskun Sari 和 Emre Timur 教授提出利用垂直電阻探測 (Vertical Electrical Sounding) 以調查位於土耳其南方 Kursunlu 溫泉區其覆蓋有數百公尺之第四紀沖積層，結果顯示位於低電阻邊界為建議鑽鑿地熱井位置。

部分學者則發表各自國家地熱能源發展計畫案例，例如：來自臺灣大學地質系宋聖榮教授則發表臺灣地熱能源開發近展與未來方向；來自土耳其 Canakkale Onsekiz Mart 大學 Ozan Deniz 教授則說明土耳其 Çanakkale 省的地熱資源；來自冰島 HS Orka hf 能源公司的 Guðmundur Ómar Friðleifsson 博士等人，介紹 DEEPEGS (Deep Enhanced Geothermal Systems) 計畫的內容，尤其針對 Reykjanes 示範站的規畫，其中 DEEPEGS 計畫主要是由 European Commission, Horizon 2020 研究基金所支持，利用四年(2016-2020)時間證明加強型地熱系統與不同地質條件下的可行性，包含：(1)在冰島 Reykjanes 地區火山岩環境，有著 550°C 高溫環境；(2) 在德國南方兩口非常深的水熱混合的地熱庫，有著 220°C 高溫環境，參與該計畫成員除了冰島外，也有來自法國、德國、義大利、挪威等國家，整個計畫共有五家能源公司加入，其中有三家實際出售地熱能源供給國家電力使用。以上各國地熱發展的經驗可以提供國內計畫規劃參考，尤其

DEEPEGS 計畫及以 CO<sub>2</sub> 當作工作流體的可行性可持續追蹤。

#### (4) 裂隙或喀斯特岩體地下水層(Fissured and karstified aquifers)

裂隙地下水層水文地質研究相對於多孔隙介質水文地質是一個相當棘手的領域，其困難度取決於節理的多寡與形態、裂隙連通性及岩性的差異等，因而造成空間上的水文地質參數異質性相當大。而裂隙岩體水文地質主要關研究鍵課題，涵蓋裂隙岩體系統地質控制與演化的條件、系統特徵描述、水資源的蘊藏量與永續、污染與整治、新興的調查技術等。

本次年會在「裂隙及喀斯特岩體地下水層」議題上，共計投稿 38 篇，雖然大多數針對喀斯特岩體進行投稿，然而獲得其特性的調查方法或模擬方法，善加利用也可以作為其他岩性在探勘裂隙岩體水文地質特性所用。

本報告僅針對具參考價值的研究成果進行心得說明，例如：來自法國雷恩第一大學 Olivier Bour 博士等人，利用主動與被動式光纖分布式溫度感應器 (Active and Passive Fiber Optic Distributed Temperature Sensing (DTS)) 聯合運用，調查位處法國 Poitiers 試驗場 (Poitiers Experimental Hydrogeological Site, SEH；井場共 35 口井，平均井深約 125m；詳細井場介紹 <http://hplus.ore.fr>)，不同井之間井溫在時間與空間尺度上的變化，藉以釐清地下水在喀斯特岩體水平與垂直裂隙的流動特性，其調查流程係首先選定抽水井，進行抽水試驗，試驗期間(通常設定 3-4 小時)觀察抽水井鄰近 3-4 孔井的井溫變化，試驗過程中通常可在各個觀測井藉由溫度變化觀測到水力反應，井與井之間的變化也都有顯著訊號，而且大部分的井也可透過井溫變化，判斷出高透水區段及推估井的流速，而如果井內無任何溫度變化時，主動式光纖分布式溫度感應器可以主動啟動加熱系統，並觀測地下水

的流動行為，所以主動式與被動式是具互補效果，可以在異質性的地下水層中，具備提供空間與時間尺度資料的潛勢。從此篇研究顯示光纖溫度量測方法在觀測裂隙岩體的流動特性有其前瞻性，未來山區地下水資源調查計畫可將現地調查納入此工作項目，提升國內在裂隙岩體裂隙特性調查技術。

此外，針對 Olivier Bour 博士團隊之相關研究，值得一提的是，其團隊從 2002 年開始陸續在法國及印度建置了六個水文地質研究站，並在網路上設立了一個水文地質資料觀測平台稱為 H+ Observatory (<http://hplus.ore.fr>)，此平台的目標是協助各水文地質團隊交換裂隙岩體有關現地試驗、理論、與模式等研究經驗，同時建立一個長期研究社群關係。

有關釐清地下水在裂隙岩體的流動特性，除了上述光纖溫度量測技術，本次年會也有其他專家學者展現其他技術，例如：來自國立臺灣大學地質科學系莊伯禹先生，利用零價鐵作為示蹤劑，偵測跨孔連通裂隙分布位置與量化其試驗結果，同時利用數值分析 (GMS/MT3DMS) 模擬現地奈米鐵示蹤劑傳輸情形，並計算連通裂隙的水文地質參數，成功運用此調查技術於裂隙岩層中優勢水流路徑調查 (圖 11)，此研究對於建立岩層水文地質概念模型至關重要；來自義大利國家研究院水研究中心 Michele Vurro 博士等人，則利用溶氧 (Dissolved Oxygen) 作為示蹤劑，偵測鑽孔內導水裂隙位置，而此方法過去已成功運用在結晶岩中，而此研究則嘗試運用在喀斯特岩體中，最後也成功應用於此類型岩體，另運用溶氧作為示蹤劑的好處是，無毒天然的示蹤劑、低成本與試驗時間短之優勢；來自德國 Georg August 大學應用地質系 Ibraheem Hamdan 博士，利用穩定氫氧同位素在 Jordan 的 Tanour and Rasoun 喀斯特岩體泉水區，瞭解降雨及融

雪事件天水從地表入滲到喀斯特岩體地下水層系統，再流到兩個泉水區所需花費的流動時間，結果顯示地下水流動的時間相當短，約 6 及 8 天就可以分別流到 Tanour 及 Rasoun 兩個泉水區域。從以上之研究成果可發現，本次研討會國際間大量嘗試使用示蹤劑的方法，解決傳統鑽探與單孔試驗調查方法的限制，挑戰解決大尺度地下水層或異質性相對較高之地下水層的問題。

(5)從地下水層特徵描述到地下水管理(From aquifer characterization to groundwater management)

全球氣候變遷、人口成長、工業與農業發展對水資源需求量之壓迫，已在世界各地蔓延，為解決此問題，目前世界各國都從管理面著手，而作為水資源系統供應一環的地下水資源，也需善盡管理的責任。而地下水資源的管理，係在如何善用每一滴水資源，並做永續規劃，然欲要達到此目標前，需先要有賴對地下水文地質與地下水文動態系統清楚的瞭解，才能制定出合理的管理策略。

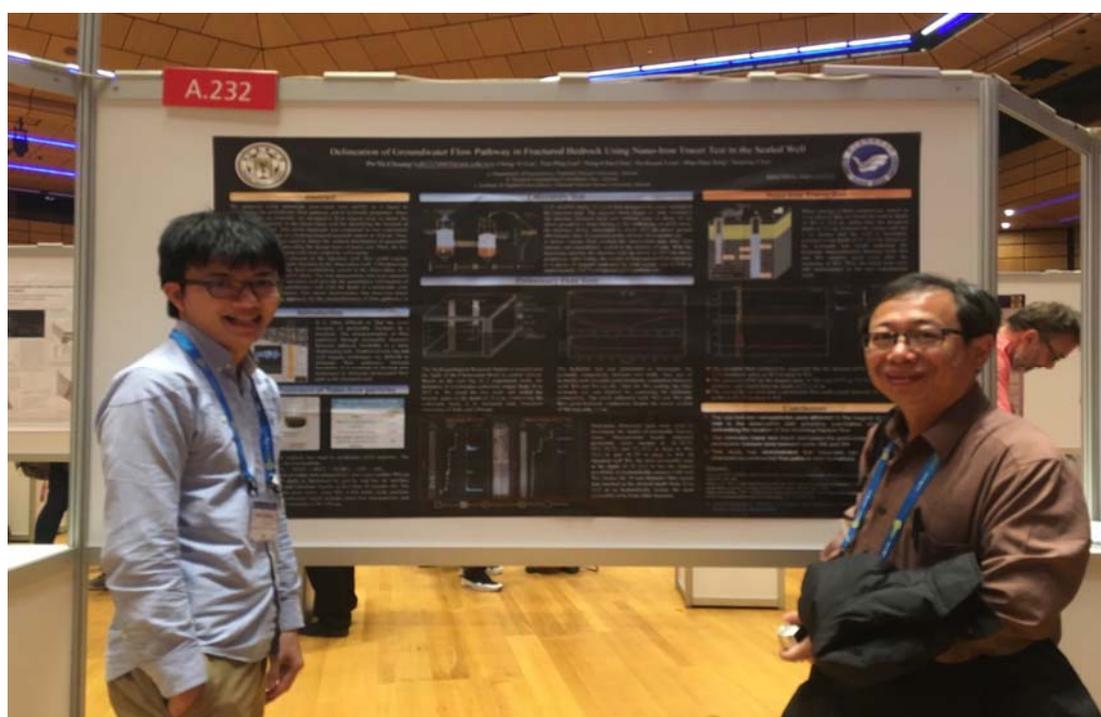


圖 11 與莊伯禹同學於海報展示現場

本次年會在此議題下，則邀集地下水層特徵描述的文章，其中最具有代表性的研究是，來自紐西蘭 GNS 科學研究中心的 Catherine Moore 博士等人提出 SMART (Save Money And Reduce Time)方法瞭解地下水系統(研究目標包括提高地下水蘊含量估算的精度、含水層水力特性估算、估算地表及地下水交換量與地下水的定年)，此計畫特色是調查的方法採節省時間與目標，拋棄過去耗時與昂貴的技術(例如：鑽探、地下水層水文試驗、安裝河川觀測站等)，取而代之所提的方法包含運用遙測影像長時間監測大區域地下水補注狀況、新的定年技術找尋地下水流動路徑、溫度感應技術了解地表與地下互制行為、空載電磁探測法技術瞭解地下水層構造與資料快速傳遞協定制定，最後再針對計畫的花費進行效益分析，藉以展現做到地下水資源管理的前瞻做法，另 SMART 計畫是紐西蘭一個六年期的計畫，值得後續追蹤該計畫所提出較先進之調查方法。

另有關地震地下水位變化機制研究，本次研討會有臺灣大學地質科學研究所博士班學生劉慶怡發表之”Numerical simulation of change in groundwater level induced by earthquake” (圖 12)，利用 ABAQUS 數值分析軟體模擬二維條件下，斷層錯動造成地下水層孔隙水壓隨時間變化的關係。模擬結果顯示在不同地下水層性質下，同震與震後孔隙水壓隨時間變化的關係；日本東京江都大學工程與環境學系 Akira Kawamura 教授所發表之”Fluctuation pattern of groundwater levels in Tokyo caused by the Great East Japan Earthquake”，利用自組織圖 (Self-Organizing Map) 分析 2011 年發生 311 大地震，位於東京地區 102 口地下水位觀測資料，結果顯示百分之九十受壓地下水層水位下降，主要是因地殼張裂影響，而非受壓地下水層則因土壤液化作用造成水位上升。

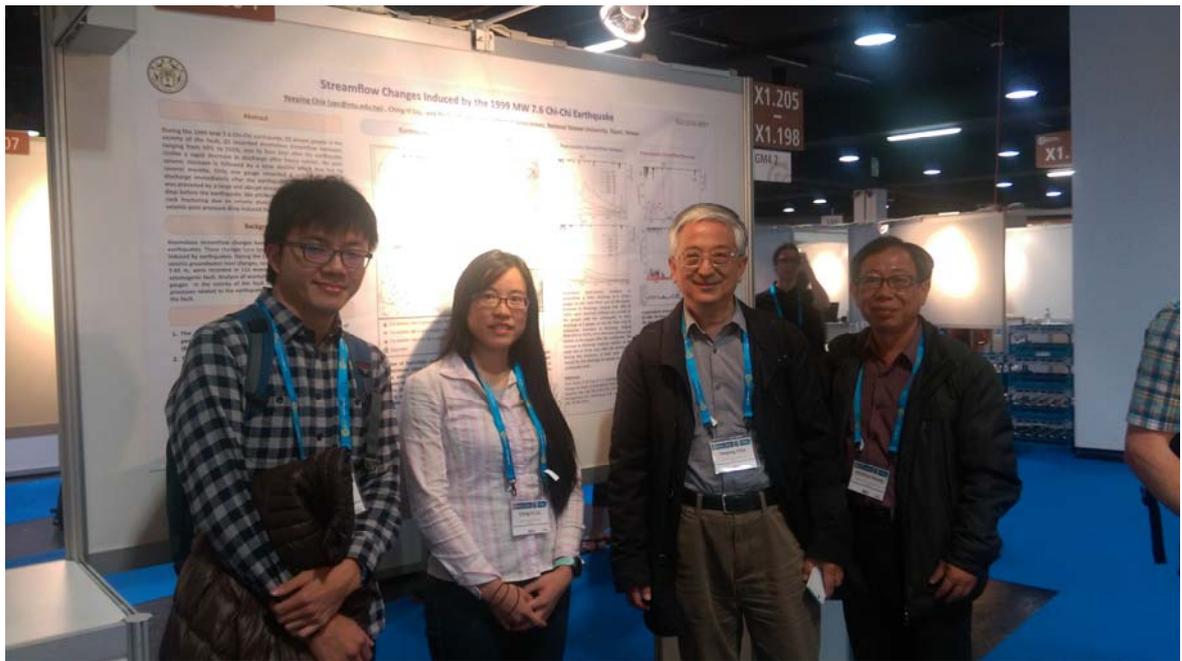


圖 12 與劉慶怡、莊伯禹同學及其指導教授賈儀平教授於海報展示現場

#### 四、心得與建議

本次奧地利維也納參加 2016 歐洲地球科學聯合會議，除發表本所山區水文地質及地下水資源調查研究成果外，並參與地下水資源調查評估技術，地球物理及地球化學等議題研討並與國際專家學者進行經驗及意見交流。茲將本次參加研討會彙整相關資料後提出具體建議事項，敘述如下：

1. 本所目前執行之山區地下水資源調查，屬於裂隙地下水層水文地質研究相對於平原區孔隙介質水文地質而言較為困難，山區地下水資源存在與否取決於裂隙的存在，與其連通性，目前山區孔內裂隙調查，係以音射式孔內攝影及熱脈衝流速儀進行，孔內裂隙位態分析及判釋是否透水，而從本次研討會得知國外目前利用主動與被動式光纖溫度量測 (Active and Passive Distributed Temperature Sensing, DTS) 與溶氧以找尋裂隙透水區段，此等研究技術較具前瞻性，可考量引進以提升山區水文地質調查的精度。
2. 目前本所已於臺灣山區建立兩處水文地質研究場址(和社和雙流)，未來仍計畫於其他山區適當地點設置研究場址，而從本次研討會瞭解法國雷恩第一大學 Oliver Bour 博士從 2002 年陸續在法國及印度設置六個水文地質研究場址，並在網路上設置一個水文地質觀測平台稱為 H+Observatory (<http://hplus.ore.fr>)，其經驗值得學習，未來可做為國內設置水文地質研究場址規劃之參考。
3. 近年來政府積極發展深層地熱能源探勘和開發加強型地熱系統 (EGS) 的技術，本次研討會歐美各國地熱探勘技術的發展經驗可提供國內做為參考依據，尤其以 CO<sub>2</sub> 作為工作流體，所獲得的地熱能源較多，且儲存部分 CO<sub>2</sub>，可與二氧化碳捕獲封存 (CCS) 計畫相結合，達到獲得能源與達到減碳目的之雙贏局勢。

4. 本次研討會歐洲各國發表許多位於喀斯特岩體有關地下水在裂隙岩體的流動特性調查，如應用各類示蹤劑，如溶氧、氫氧同位素等進行地下水流特性及地面水與地下水相互作用之研究，以及各項水資源評估方法，皆可做為本所山區地下水資源調查之參考依據。
5. 出席國際會議對於拓展國際視野助益極大，得以吸收並瞭解世界各國在相關領域上研究的內容以及先進的調查技術，對於日後不僅在計畫內容調查工作項目的研擬，助益良好。因此，建議本所應每年派員多參與各項國際研討會，使各相關計畫之調查研究內容與世界接軌，並且藉以提升國內現地調查技術之水平與研發能量。

# 附 錄

European Geosciences Union

General Assembly 2016

發表論文摘要



## Implication of Groundwater Resources Utilization in Mountainous Region for Slopeland Disaster Prevention

Chi-Chao Huang (1), Shih-Meng Hsu (2), and Hung-Chieh Lo (2)

(1) Central Geological Survey, New Taipei City, Taiwan (hjj@moeacgs.gov.tw), (2) Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taipei, Taiwan

In recent years, groundwater resources from mountainous regions have been considered as an alternative water resource in Taiwan. According to previous research outcomes (Hsu, 2011), such a groundwater resource is capable of providing stable and high quality water resources. Additionally, another advantage of using the water resources is attributed to the contribution of slopeland disaster prevention. While pumping groundwater as water resources in hilly areas (e.g., at landslide-prone sites), pore-water pressures can be dropped, which can result in stabilizing landslide-prone slopes. However, the benefit to slope stability by using groundwater resources needs to be quantified. The purpose of this study is to investigate groundwater potential of a deep-seated landslide site first, and then to evaluate variations of slope stability by changing well pumping rate conditions.

In this paper, the Baolong landslide site located at the Jiasian district of Kaohsiung city in Southern Taiwan has been selected as a case study. Hydrogeological investigation for the landslide site was conducted to clarify the complexity of field characteristics and to establish a precise conceptual model for simulation. The investigation content includes surficial geology investigation, borehole drilling (6 drilling boreholes and 350 meters drilling length in total), 45 m pumping well construction, borehole hydrogeological tests (borehole televiwer, caliper, borehole electrical logging, sonic logging, flowmeter measurement, pumping test, and double packer test), and laboratory tests from rock core samples (physical properties test of soil and rocks, triaxial permeability test of soil, porosity determination test using helium, and gas permeability test).

Based on the aforementioned investigation results, a hydrogeological conceptual model for the Baolong landslide site was constructed, and a 2D slope stability model coupled with transient seepage flow model was used for numerical simulation to determine changes of slope stability by means of different well pumping rate conditions. The simulation results show that a positive relationship between the pumping rate and drawdown of well exists. In addition, the positive relationship was found between the pumping rate and the increase of safety factor for both shallow and deep sliding surfaces. If the constant pumping rate reached up to 180 L/min with the decline of groundwater level by 10.6 m, the safety factors of shallow and deep sliding surfaces are raised up to 11.87% and 15.72%, respectively. The amount of pumped water can provide daily water demand for approximately 997 people. This demonstrates the groundwater resource at this area is productive. Meanwhile, the benefit to slope stabilization by pumping groundwater is proved. Therefore, this study can provide the solution for ensuring both the safety of slopeland environment and the supply of water resources in mountainous areas. Such a win-win idea is a good mitigation measure for meeting the aim of territorial and resource sustainability.



## **Characterizing and Modelling Preferential Flow Path in Fractured Rock Aquifer: A Case Study at Shuangliou Fractured Rock Hydrogeology Research Site**

Shih-Meng Hsu (1), Chien-Chung Ke (2), Hung-Chieh Lo (2), Yen-Tsu Lin (3), and Chi-Chao Huang (3)

(1) Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taiwan (shihmeng@sinotech.org.tw), (2) Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taiwan, (3) Central Geological Survey, MOEA, Taipei, Taiwan

On the basis of a relatively sparse data set, fractured aquifers are difficult to be characterized and modelled. The three-dimensional configuration of transmissive fractures and fracture zones is needed to be understood flow heterogeneity in the aquifer. Innovative technologies for the improved interpretation are necessary to facilitate the development of accurate predictive models of ground-water flow and solute transport or to precisely estimate groundwater potential. To this end, this paper presents a procedure for characterizing and modelling preferential flow path in the fractured rock aquifer carried out at Fractured Rock Hydrogeology Research Site in Shuangliou Forest Recreation Area, Pingtung County, Southern Taiwan.

The Shuangliou well field is a 40 by 30-meter area consisting of 6 wells (one geological well, one pumping well and four hydrogeological testing wells). The bedrock at the site is mainly composed of slate and intercalated by meta-sandstone. The overburden consists of about 5.6 m of gravel deposits. Based on results of 100 m geological borehole with borehole televiewer logging, vertical flow logging and full-wave sonic logging, high transmissivity zones in the bedrock underlying the well field were identified. One of transmissivity zone (at the depths of 30~32 m) and its fracture orientation(N56/54) selected for devising a multiple well system with 4 boreholes (borehole depths :45m, 35m, 35m and 25m, respectively), which were utilized to perform cross-borehole flow velocity data under the ambient flow and pumped flow conditions to identify preferential flow paths. Results from the cross-borehole test show the preferential flow pathways are corresponding to the predicted ones. Subsequently, a 3-D discrete fracture network model based on outcrop data was generated by the FracMan code. A validation between observed and simulated data has proved that the present model can accurately predict the hydrogeological properties (e.g., number of fractures and porosity) of the aquifer and precisely identify the locations of preferential flow path. Finally, the validated model was used for the estimation of groundwater storage based on simulated porosities of the Shuangliou well field. Taken together, this research provides insight into effective fractured rock aquifer characterization and modelling for dealing with heterogeneity at the site and for improving accuracy on groundwater storage computation.