

經濟部幕僚單位及行政機關人員從事兩岸交流活動報告書

第 15 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會 報告書

研提單位：經濟部水利署南區水資源局

職稱姓名：水利署南區水資源局正工程司 張世賢
水利署南區水資源局正工程司 劉俊杰

派赴國家：中國

參訪期間：105 年 8 月 12 日至 105 年 8 月 19 日

報告日期：104 年 9 月 13 日

政府機關（構）人員從事兩岸交流活動（參加會議）報告

交流活動基本資料

- 一、活動名稱：2016 第 15 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會
- 二、活動日期：105 年 8 月 12 日至 8 月 19 日
- 三、主辦（或接待）單位：台灣方面中華民國隧道協會與大陸方面的「岩石力學與工程學會地下工程分會」及「土木工程學會隧道與地下工程分會」共同舉辦
- 四、報告撰寫人服務單位：經濟部水利署南區水資源局

活動（會議）重點

活動性質：研討會及工程參訪

活動內容：專題報告、論文發表、工程及地質參訪

遭遇之問題：無

我方因應方法及效果：無

心得及建議：詳後述

參、謹檢附參加本次活動（會議）之相關資料如附件，報請備查。

職

水利署南區水資源局正工程司 張世賢

水利署南區水資源局正工程司 劉俊杰

敬陳

105 年 9 月 13 日

目 次

摘要.....	2
一、目的.....	3
二、行程.....	4
三、過程紀要.....	9
四、心得及建議.....	36

摘要

「海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會」為中華民國隧道協會與大陸方面中國土木工程學會隧道及地下工程分會、中國岩石力學與工程學會地下工程分會和臺灣隧道協會長期建立之技術交流合作平台，2016 年第 15 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會於民國 105 年 8 月 12 日至 8 月 14 日在中國湖南省長沙市召開，由大陸方面主辦。本屆研討會以“創新驅動－引領隧道及地下工程發展”為研討主軸，進行 5 項專業特邀報告，以及 5 場分會場專題報告，學術技術發表論文計 54 場次(其中臺灣方面 21 場次)。會後海峽兩岸代表參觀長株潭城際鐵路隧道現場及中國鐵建重工集團有限公司。

本次研討會本署南區水資源局執行「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」團隊共同撰稿，以防淤隧道工程設計施工考量重點關鍵課題為題，由南區水資源局曾文水庫防淤隧道工程工務所張世賢主任，以及南化水庫防淤隧道工程工務所劉俊杰主任分別於特邀報告及分組討論會中發表。

本屆研討會共收集海峽兩岸學者和工程技術人員的論文力作 147 篇(其中臺灣方面 26 篇)，來自海峽兩岸的領導、專家、學者、教授、工程技術人員等領域和學生代表共 300 餘人(其中臺灣方面代表 44 人)參加了研討會，本次海峽兩岸隧道工程界盛會順利圓滿完成。雙方在(1)隧道規劃、設計與施工、(2)環境地下工程建設、(3)數位平台之隧道工程建設維護新技術、(4)隧道及地下工程耐久性研究與建設新技術等議題熱烈討論並獲致豐富的收穫。

一、目的

隨著都市建設、交通需求、經濟基礎等產業發展，鐵公路隧道、捷運隧道、水利隧道等地下建設快速發展，都市隧道工程日益複雜，地下工程建設低碳生態環境保護成為國際趨勢，運營隧道老化問題日趨嚴重，亟需提升隧道建設理念與技術，採用新技術、新方法和新材料等來驅動隧道與地下工程的不斷精進發展。鑑於兩岸地下工程技術與學術之日益精進成熟，兩岸隧道與地下工程需求數量日漸增加且規模擴大，各自發展出隧道設計理論及施工工法亦各具特色，為此，「2016年第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會」以「創新驅動—引領隧道及地下工程發展」為會議主題，旨在持續為海峽兩岸隧道與地下工程學者和工程師提供技術交流的管道，針對隧道與地下工程領域關鍵議題進行深入探討，以提升海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術水平。

本次研討會本署南區水資源局執行「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」團隊共同撰稿，以防淤隧道工程設計施工考量重點關鍵課題為題，其中大會安排南區水資源局曾文水庫防淤隧道工程工務所張世賢主任於開幕式進行特邀報告，另南化水庫防淤隧道工程部分由南化水庫防淤隧道工程工務所劉俊杰主任於分組論文討論會中發表。

鑑於本次研討會為中民國隧道協會與大陸方面長期建立之技術交流合作平台，有助於了解海峽兩岸地下工程學術理論與實務發展現況，吸收學習海峽兩岸隧道工程先進之工法及技術，培養訓練與公務有關之本職學能，新工法技術可適當回饋應用於本局推動計畫，提升公共工程品質與技術。

二、行程

2016 年第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會由中華民國隧道協會與大陸方面的「岩石力學與工程學會地下工程分會」及「土木工程學會隧道與地下工程分會」共同舉辦，今年研討會由土木工程學會隧道與地下工程分會主辦，於 105 年 8 月 13 日至 14 日在大陸湖南長沙舉行。本交流研討平台歷年來已舉辦 14 屆，迄今已有 2,879 人次參與交流，發表論文 1,535 篇。

本次研討會台灣方面中華民國隧道協會會員提出 26 篇論文，搭配會議時間，隧道協會規劃 8 天參訪行程，包含大會、論文發表和研討，及會後工程參觀（城際鐵路基礎建設），並就近參訪特殊地質景觀。參訪團預訂 8 月 12 日出發，8 月 19 日返台。

本次研討會會議主題為「創新驅動－引領隧道與地下工程發展」，會議子題包括四項領域：

1. 市政隧道規劃、設計與施工
 - 1.1 市政隧道建設周邊環境影響控制
 - 1.2 地下綜合管廊規劃與設計
 - 1.3 水下市政隧道的施工新技術
2. 考慮低碳/生態之地下工程建設
 - 2.1 低碳/生態型地下工程建設新理念
 - 2.2 地下工程節能環保設計與施工技術
3. 基於數位平台之隧道工程建設維護新技術
 - 3.1 網際網路在隧道工程建設之應用
 - 3.2 基於 BIM 平台的隧道及地下工程建設維護新技術
4. 隧道及地下工程耐久性研究與建設新技術
 - 4.1 隧道工程異狀識別與整治技術
 - 4.2 基於生命週期理念的隧道及地下工程建設維護技術

2016 第 15 屆海峽兩岸研討會暨地質及工程考察行程，依大

會規劃行程時間自 105 年 8 月 12 日至 8 月 19 日共計 8 天 (含去回路程 2 天、研討會會議 2 天、地質及工程考察 4 天)，行程詳如下表：

日期		行程概要
第 1 天	08/12	啟程(臺北→長沙)
第 2 天	08/13	研討會議—長沙 上午大會開幕式、主題演講，下午分組論文發表
第 3 天	08/14	研討會議—長沙 上午分組論文發表及閉幕式 下午工程參訪— 長沙長株潭城際鐵路隧道工程參訪 中國鐵建重工集團公司隧道機具廠區參訪
第 4 天	08/15	陸運路程 長沙—常德—張家界
第 5 天	08/16	地質及工程參訪— 地質形成機理、巨大洞室岩盤穩定 天門山喀斯特溶岩地質、地貌考察
第 6 天	08/17	地質及工程參訪— 沖刷破壞、地貌特性 張家界石英砂岩大峰林地質考察
第 7 天	08/18	地質及工程參訪— 陡峭邊坡與岩盤穩定、工程佈置 張家界大峽谷考察
第 8 天	08/19	回程(張家界→台北)

研討會議程表

8 月 13 日 (週六) 上午

開幕式				
時間	地點	主要內容	發言人	主持人
08:30-08:40	三樓 多功	宣佈大會開始、介紹主要領導和嘉賓	洪開榮	洪開榮

08:40-09:10	能宴 會廳	中南大學校領導致辭	陳春陽	
		土木工程學會 隧道及地下工程分會理事 長致辭	唐忠	
		岩石力學與工程學會 地下工程分會理事長致辭	李術才	
		臺灣隧道協會理事長致辭	侯秉承	
		土木工程學會理事長致辭	郭允沖	
09:10-09:40	合影（地點：酒店大停車場） 茶歇（地點：二樓會議 A1 廳）			
大會特邀報告				
時間	地點	報告題目	報告人	主持人
9:40-10:10	三樓 多功 能宴 會廳	高鐵隧道空氣動力學	田紅旗 梁習鋒	郭陝雲 黃燦輝
10:10-10:40		曾文水庫防淤隧道工程設 計及施工對策	張世賢	
10:40-11:10		隧道突水突泥災害超前探 測與安全防控進展及思考	李術才	
11:10-11:40		寒區隧道溫度場的短週期 波動特徵及工程影響	傅鶴林	
11:40-12:10		地下工程裝備及其新技術	程永亮	
12:10-13:10	午餐（地點：一樓莊園食府）			

8 月 13 日（周六）下午

時間	工作內容
14:00-17:40	分會場一：研究與探討(二樓會議 A2 廳)
14:00-17:40	分會場二：設計與施工(三樓水雲廳)
14:00-17:40	分會場三：設計與施工(三樓會議 B 廳)

18:00-20:00	大會晚宴（地點：一樓莊園食府）
-------------	-----------------

8 月 14 日（周日）上午

時間	工作內容
08:30-11:50	分會場五：設計與施工（三樓水雲廳）
12:00-12:30	閉幕式（二樓會議 A2 廳）
12:30-13:30	午餐（地點：一樓莊園食府）

8 月 14 日（周日）下午

工程參訪一

1. 長沙長株潭城際鐵路隧道工程參訪
2. 中國鐵建重工集團公司隧道機具廠區參訪

本次第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會相關辦理單位如下：

主辦單位

大陸方面：土木工程學會隧道及地下工程分會
 岩石力學與工程學會地下工程分會

臺灣方面：隧道協會

承辦單位

中南大學土木工程學院

中國鐵建重工集團有限公司

隧道及地下工程分會建設管理與青年工作專業委員會

中南大學鐵道校區管理委員會

支援單位

中國土木工程學會

中南大學

中南大學軌道交通安全協同創新中心

中交天和機械設備製造有限公司

北京易合偉業科技發展有限公司
深圳市莫尼特儀器設備有限公司
北京首爾工程技術有限公司

三、過程紀要

「第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會」於民國 105 年 8 月 12 日至 8 月 14 日在中國湖南省長沙市召開，由中國土木工程學會隧道及地下工程分會、中國岩石力學與工程學會地下工程分會和臺灣隧道協會共同主辦。本屆研討會以“創新驅動-引領隧道及地下工程發展”為主旨，開幕式之後，有 5 位專家、學者進行特邀報告，另外還舉辦了五場分會場專題報告，學術報告總數達 54 個(其中臺灣方面 21 個)。會後海峽兩岸代表還參觀了長株潭城際鐵路隧道現場或中國鐵建重工集團有限公司。本屆研討會共收集海峽兩岸學者和工程技術人員的力作 147 篇(其中臺灣方面 26 篇)，來自海峽兩岸的領導、專家、學者、教授、工程等專業的技術人員和學生代表共 300 餘人(其中臺灣方面代表 44 人)參加了研討會，為海峽兩岸隧道工程界一年一度之盛會(照片 1)。



照片 1 第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術及技術研討會合影

1. 特邀報告

本次特邀報告邀請兩岸隧道工程界之專家、學者專題演講，依序為中國工程院院士 田紅旗委託 周丹教授演講「高鐵隧道空氣動力學」、臺灣南區水資源局 張世賢主任報告「曾文水庫防淤隧道工程設計及施工對策」、山東大學 李術才教授講演「隧道突水突泥災害超前探測與安全防控進展及思考」、中南大學 傅

鶴林教授報告「寒區隧道溫度場的短週期波動特徵及工程影響」、中國鐵建重工集團有限公司 程永亮高級工程師匯報「地下工程裝備及其新技術」等共 5 篇大會特邀報告，以下節錄其中幾篇論文，重點摘要說明如后。

(1) 高鐵隧道空氣動力學—周丹教授

中南大學 周丹教授代替 田紅旗院士發表中國高鐵隧道空氣動力學相關研究進展，其演講內容可概分為：(1)列車空氣動力學研究進展；(2)列車/隧道耦合空氣動力學研究進展；(3)高速鐵路人體空氣動力學研究進展三大部分。其中，「列車/隧道耦合空氣動力學研究進展」包含：(1)單列車穿越隧道時列車周圍流場特性；(2)隧道內列車車廂內流場特性；(3)列車在隧道內交會瞬態流場特性；(4)高速列車/隧道空氣壓力波系理論；(5)列車/隧道耦合氣動設計參數理論；(6)隧道氣壓爆波激化理論及減緩措施；(7)列車/隧道火災逃生分析模型及應急處置技術等。

高速列車穿越隧道過程，由於邊界突變，繞列車運動的氣流受到隧道壁面的制約形成壓縮波、膨脹波，這兩種波在隧道內以音速傳播。壓縮波和膨脹波不斷產生和傳播、在隧道內壁/列車外壁/隧道進出口等之間不斷以音速反射、連續疊加和激發，形成複雜波系，從而導致隧道內空氣壓力發生劇烈變化。從圖 1(a)可知，列車兩側流場不對稱，這樣列車會承受側向力和側滾力矩；而由圖 2(b)可見，兩相對運行動車組交會時，由於列車周圍空氣受到隧道壁面制約，空氣壓力衝擊波不像在明線交會時能及時擴散，故在隧道內交會產生的壓力變化幅值遠大於明線交會。

圖 2(a)為長大隧道氣壓爆波的動態重疊、多維匹配演算法示意圖。列車速度、頭部外形，隧道洞門及緩衝結構形式，豎井、斜井和橫通道的位置及形狀，隧道道床形式及隧道壁面粗糙度等對氣壓爆波均有影響。通過隧道/洞門/緩衝結構等細微結構的曲率變化控制初始壓力梯度，完成不同緩衝結構、洞門、隧道口地形環境等對氣壓爆波的影響規律研究，得到最優的洞門、緩衝結構形

式：帽檐斜切式與緩衝結構的組合形式(圖 2(b))。

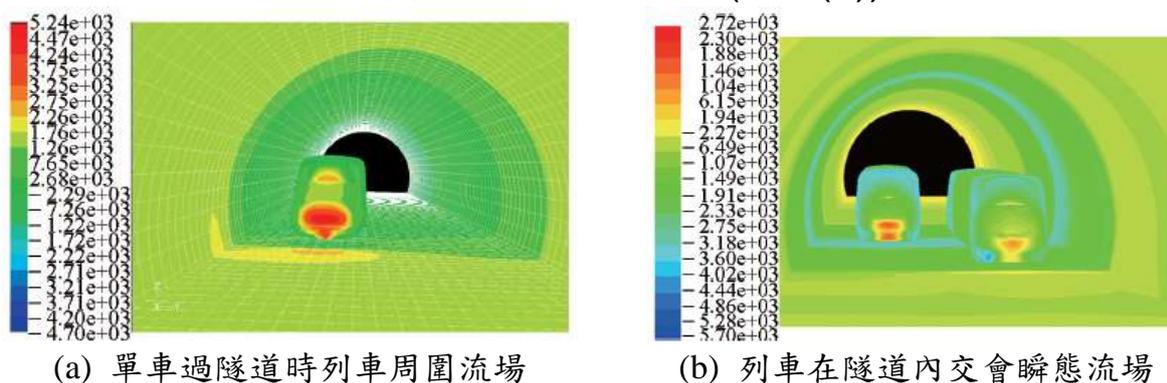
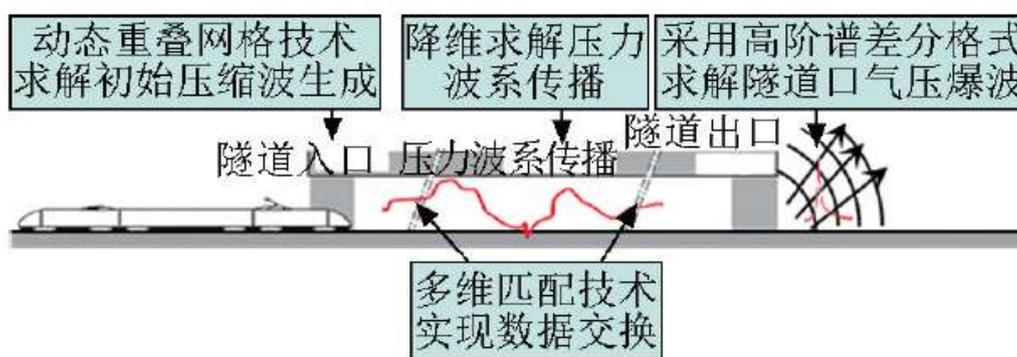
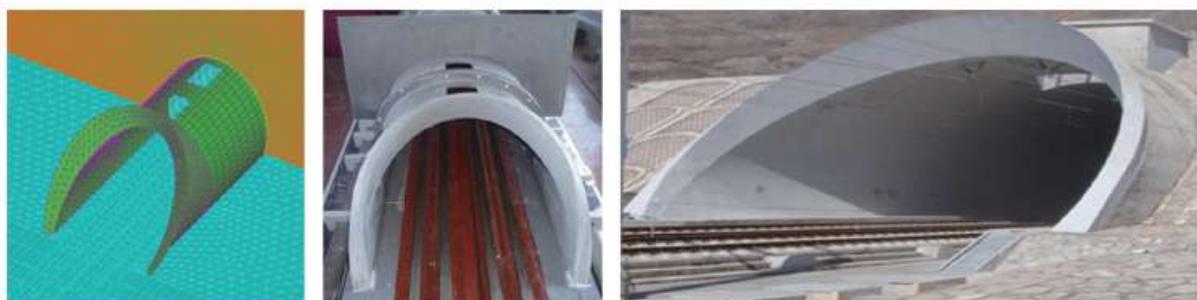


圖 1 列車在隧道內流場特性之數值模擬(田紅旗，2015)



(a) 長大隧道氣壓爆波的動態重疊、多維匹配演算法示意圖



(b) 帽檐斜切式與緩衝結構的組合形式

圖 2 隧道氣壓爆波激化理論及減緩措施(田紅旗，2015)

(2) 曾文水庫防淤隧道工程設計及施工對策—張世賢主任

經濟部水利署南區水資源局 張世賢主任代表台灣方面於特邀報告發表「曾文水庫防淤隧道工程設計及施工對策」(照片 2)。曾文水庫為台灣庫容最大的水庫，並且與烏山頭水庫聯合運用供給嘉南地區灌溉及民生用水，是台灣南部最重要的水資頭設施；2009 年莫拉克颱風事件造成水庫 9 仟萬立方公尺泥砂淤積，並使

壩前淤積高程達 EL. 176 m 以上，現有水庫底層放水口—永久河道放水口(標高 EL. 155.0 m)及發電進水口(標高 EL. 165.0 m)均遭掩沒，設施營運遭遇重大危機，水庫改建迫在眉睫。為使曾文水庫在適逢颱洪事件時，具有足夠的底層洩放水口排放渾水，管理機關需打設一條位於水庫底層的防淤隧道(圖 3)，使洪水所攜帶的渾水能適時洩放，但是在營運中水庫新建防淤隧道工程，將在進水口面對水庫蓄水位變化的挑戰，出水口接受水庫洩洪的考驗，並且不得影響水庫之正常營運。

本工程所面臨之工程挑戰及對策，主要有：(1)在營運中水庫施工，必須在高蓄水位條件下完成進水口擋水及施工，本工程研究無圍堰工法使進水口隧道得於水庫水位下施工，並於蓄水位下水中開挖破鏡，以銜接象鼻鋼管設施；(2)為使進水口前端得以排放更底層淤泥，本工程採用象鼻引水鋼管向下延伸達 20 m 深度，並以雙層管構造增加鋼管勁度，並利用雙層管中空間產生浮力，使其得以水中運送；(3)為設置控制閘門，需使進水口端在水庫蓄水壓力下開挖具順向披潛勢地下閘室，並面臨水庫滲水問題；(4)為有效消能，需使出水口端在地形偏壓及鄰近地表邊坡下開挖地下大型洞室，面臨隧洞開挖及變形控制之挑戰；(5)因為高蓄水壓力下洩放底層渾水，需對流速接近 30 m/s 之高速含砂水流進行耐磨設計。對於以上工程挑戰，本工程團隊審酌可行方案，切實分析評估並逐一落實完成，期能在各界期望下完成本項工程。



照片 2 張世賢主任於特邀報告發表



圖 3 曾文水庫防淤隧道工程示意圖(張世賢等，2016)

(3) 隧道突水突泥災害超前探測與安全防控進展及思考—李木才教授

山東大學 李木才教授有鑑於中國隧道工程蓬勃發展，惟隧道開挖支撐過程依然時常遭遇突水突泥等未預期之地質災害，故其分別從“預報”與“治理”二方面講述：(1)突水突泥災害源的水

量估算與三維定位；(2)TBM 複雜環境可用超前地質預報；(3)動水條件下注漿封堵理論、材料和關鍵技術；(4)突水突泥災害治理的全壽命週期設計。

隧道超前地質預報是隧道資訊化施工的重要組成部分，是保證隧道安全施工的重要環節。目前，常用的地質預報方法可概分為兩大類：地質分析法和地球物理法。地質分析法有工程地質調查法、超前導洞(坑)法、超前水準鑽孔法、斷層參數預測法和經驗法等；地球物理法包括 TSP 探測法、地質雷達探測法、瞬變電磁法、陸地聲納法和激發極化法等，如表 1 所示。

針對各種預報方法的特點，制定了高風險岩溶地區隧道施工地質災害綜合超前地質預報的實施流程圖(圖 4)。圖 5 為綜合超前地質預報示意圖，圖中主要表示出了長期預報、短期預報、超前鑽探和地質回饋分析等相結合的預報方式。即首先通過地質分析宏觀上確定所要預報隧道各段的圍岩情況，並進行風險等級劃分；在岩性較好的地段，一般用 TSP 預報 100~150 m，在岩性較差的地段一般預報 100 m，當接近不良地質體時，採用地質雷達或瞬變電磁進行短期更精確的預報，同時施工超前探孔進行進一步確認，也可在先行隧道中從側向鑽探瞭解不良地質構造的情況。通過這幾種手段的結合基本上可確定不良地質體的性質和規模。預報結果和開挖揭露情況要及時對比並分析回饋，以不斷提高綜合超前地質預報的準確性。

表 1 常用的超前預報方法的特點(李术才等，2008)

预报方法	预报距离/m	特点
地质分析法 (全洞段)		可以随时进行, 不影响施工, 可推断和预报隧道工作面前方的工程、水文地质情况, 但结果较为粗略, 需与物探方法相结合
超前钻探法	30	可反映岩体概况, 反应情况直观。不足: (1) 在复杂地质条件下预报效果较差, 很难预测到掌子面前方的小断层和贯穿性大节理, 特别是与隧道轴线平行的结构面, 其预报无反映; (2) 钻孔与钻孔之间的地质情况无法反映
地质素描法	100	不占用施工时间, 预报效果好, 能为整个隧道提供完整的地质资料。缺点: 预报距离较短
TSP 法	150	可定量反映岩体参数, 对工作面前方遇到与隧道轴线近垂直的不连续体(节理、裂隙、断层破碎带等)的界面确定, 结果比较可靠。缺点: 对不连续体的界面形状不规则和水预报精度较差
陆地声纳法	100	探查溶洞、溶槽以及破碎岩体较为可靠。缺点: 无法准确测定各层岩体的波速
地质雷达法	10~25	能预报掌子面前方地层岩性的变化, 对于断裂带特别是含水带、破碎带有较高的识别能力。缺点: 雷达记录易受干扰
瞬变电磁法 (TEM 法)	50	能够探查掌子面前方的预测断层、溶洞和富水带的位置和规模。缺点: 在隧道中应用不成熟, 易受干扰
激发极化法	30~50	能够探查掌子面前方的预测断层、溶洞和富水带的位置和规模。缺点: 在隧道中应用不成熟, 易受干扰

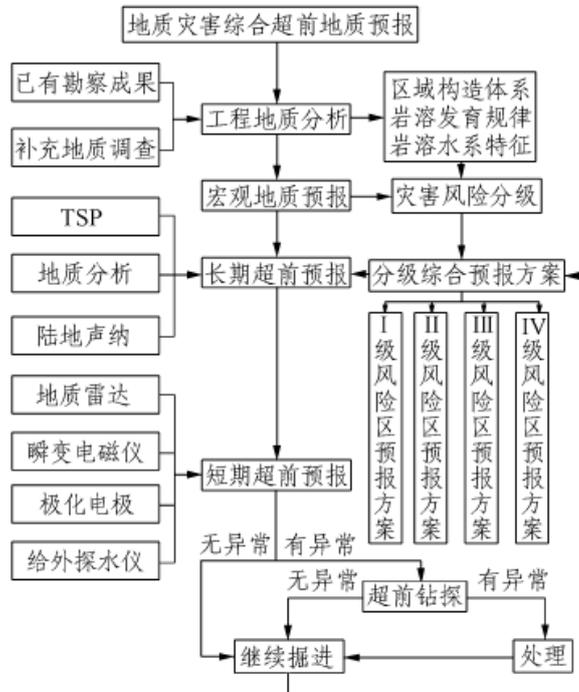


圖 4 綜合超前地質預報流程圖(李术才等, 2008)

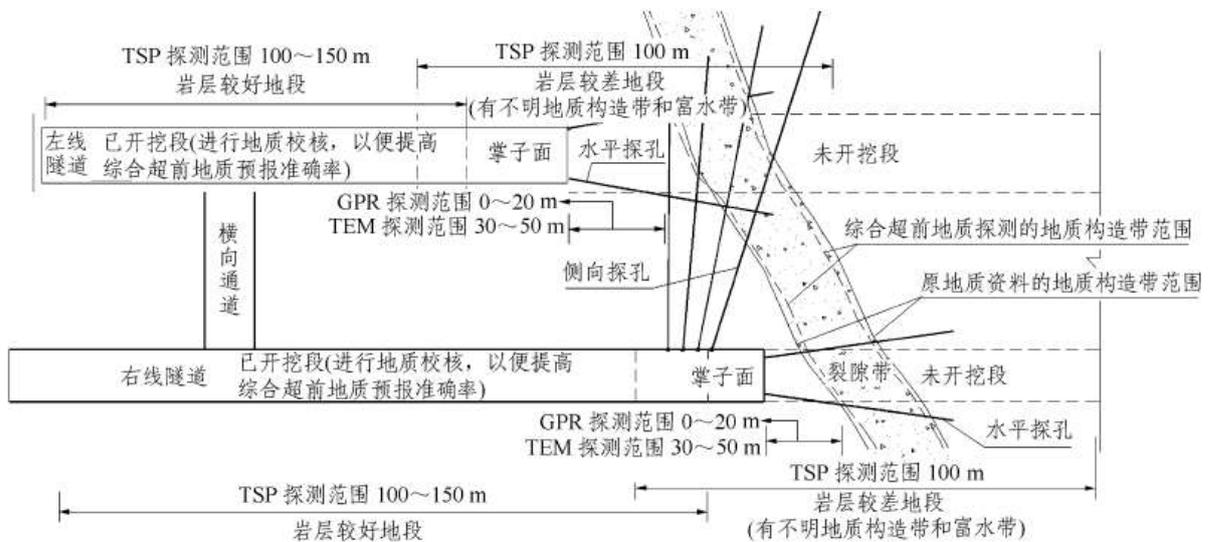


圖 5 綜合超前地質預報示意圖(李术才等，2008)

2. 專題報告

本次專題報告分為：(1)研究與探討；(2)數位化與值模擬；(3)設計與施工；(4)其它等四大主題。各文章均十分值得國內借鏡、學習與參考，以下節錄幾篇論文，重點摘要說明如后。

(1) 岩石隧道依時變形案例模擬及圍岩變位特性探討—王泰典教授

岩盤工程發生依時變形現象並不多見，然一旦遭遇，因岩體依時特性及描述參數瞭解有限，以致難以及時研擬有效對策抑止變形。本文以台灣南部某隧道開挖支撐後因颱風造成長期停工，局部發生依時變形區設為對象，應用黏彈塑理論模式模擬隧道周壁依時變位特性，據以研析圍岩依時變形的空間及時間變化行為。分析結果顯示，岩體依時變形在特定的條件發生，可採一潛變應力門檻考慮，隧道開挖擾動引致圍岩狀態可再依據應力狀態是否超出潛變應力門檻，進一步細分為塑性、黏塑、彈性、黏彈等區域；圍岩依時變形僅在黏塑及黏彈區發生，且應力朝向潛變應力門檻以下調整；依時變形區域(圖 6)隨時間變化，同時可能改變塑性區範圍，以及造成依時變形區及其鄰近發生彈性回復量，造成圍岩變形與體道周壁收斂變位量的多樣性變化(李紫彤等，2016)。



照片 3 王泰典教授發表論文照片

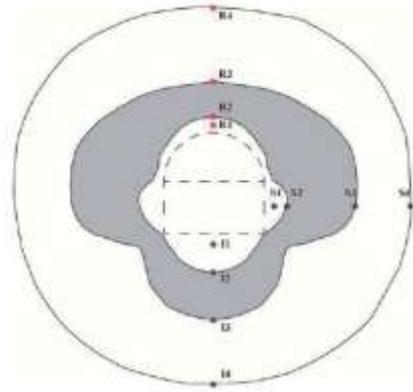


圖 6 隧道依時變形範圍(李紫彤等，2016)

(2) 基於彈性應變能的深埋硬岩隧道岩爆預測研究—方勇教授

深埋硬岩隧道開挖引起應力狀態調整，由於硬脆性岩石塑性變形較小，能量主要以彈性應變能形式積聚，岩石材料劣化加劇強度降低，為彈性應變能釋放創造條件，從而形成岩爆。本文依中國米倉山特長隧道，基於彈性應變能研究深埋硬岩隧道開挖穩定性，從能量積聚與耗散的角度出發，建立初始應力場、圍岩強度與圍岩穩定性響應關係，結論如下：開挖卸載會使隧道圍岩彈性應變能增大，隧道周圍失去支撐，彈性應變能達到峰值；牆腳單元、邊牆、拱腰相繼在開挖完成後進入臨界狀態，這些單元開挖完成一定時間內應變能仍在累積，處於不穩定狀態，說明開挖應力調整是時間與空間的函數，施工時應注意邊牆圍岩動態並採取相關措施應對岩爆發生；米倉山隧道 700 m 埋深為岩體失穩臨界值；相同岩石屬性，地應力越大，則對應即時型岩爆，地應力越小，遲滯型岩爆發生的幾率越大。此研究可為高地應力硬岩隧道施工安全評估提供依據(姚志剛等，2016)。

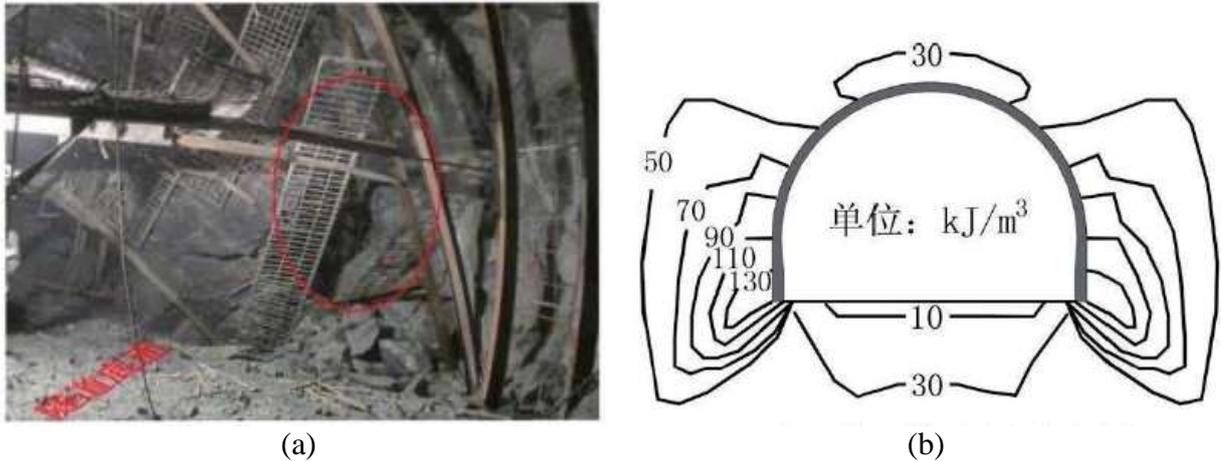


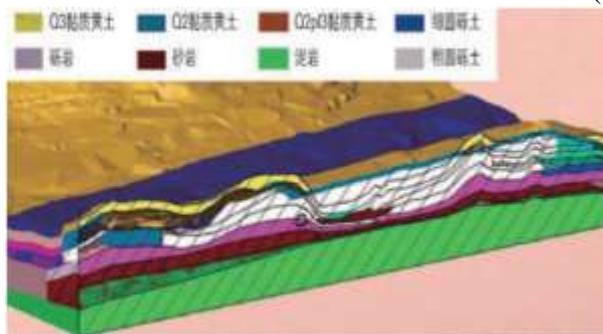
圖 7 隧道岩爆照片暨圍岩彈性應變能密度分佈(姚志剛等，2016)

(3) BIM 協同管理平台在石鼓山隧道施工階段的應用—黃鑫工程師

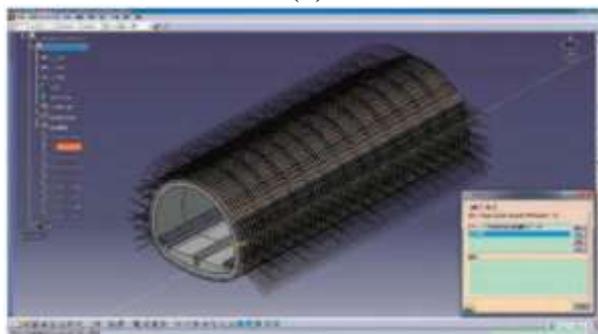
隨著隧道工程項目越複雜、施工管理過程中資料量大，給施工階段的管理效率提出了更高要求，因此，BIM 協同管理平台的開發應用，從工程施工的模型應用管理、模型儲備管理、進度管理、成本管理、安全管理、綜合管理等方面實現 BIM 應用需求，切實提高工程施工階段管理資訊化水準和工作效率。本文闡述了 BIM 協同管理平台的資訊處理架構及 BIM 協同管理平台數據採集和輸出的方式，結合 BIM 協同管理平台在石鼓山隧道施工階段的應用，對 BIM 協同管理平台實現施工階段的高效率管理進行了詳細的介紹(王永義等，2016)。



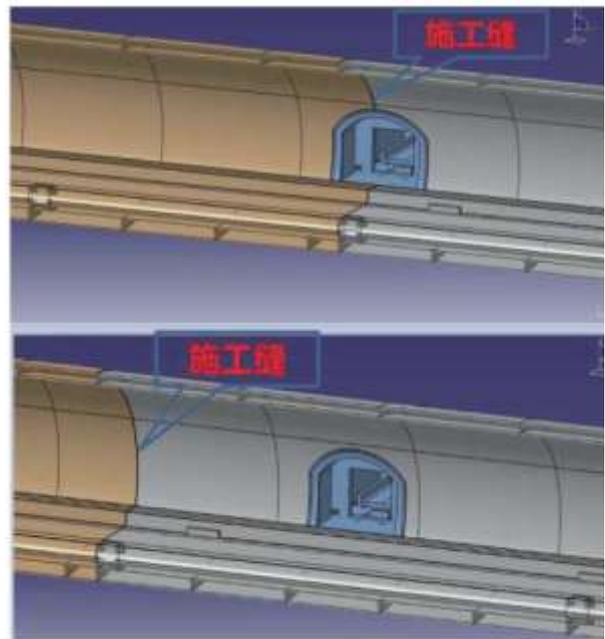
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 7 BIM 於隧道施工階段的應用成果圖(王永義等，2016)

(4) 山岳隧道 TBM 夾埋脫困技術探討—李佳翰博士

全斷面隧道鑽掘機(Tunnel Boring Machine, TBM)以其快速、經濟、安全的優點被廣泛應用於各國長大山岳隧道之開挖，惟其

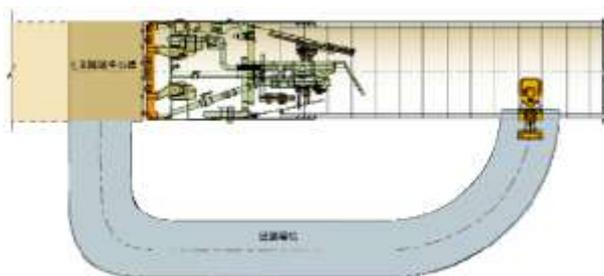
應用過程中卻存在一定的困難、風險與挑戰。當 TBM 遭遇岩體強度差異大、岩性變化大、斷層破碎帶或湧水等困難或特殊地盤時，易發生 TBM 夾埋之狀況，對施工工期與施工人員安全造成重大影響。本文以二個山岳隧道 TBM 夾埋並順利脫困之案例，歸納分析各種脫困方案與技術(圖 8(a))，並提出預防(先撐工法、地盤改良工法)與因應對策(迂迴導坑工法(圖 8(b))以及頂導坑工法(圖 8(c)))，以及配合複雜地質條件之 TBM 施工方案，供未來參考與應用(李佳翰等，2016)。



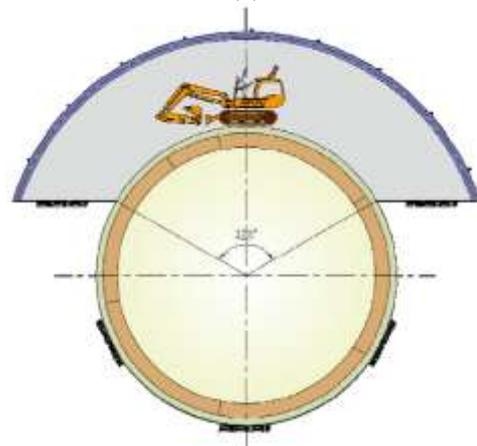
照片 4 李佳翰博士發表論文照片



(a)



(b)



(c)

圖 8 山岳隧道 TBM 預防夾埋與因應對策示意圖(李佳翰等，2016)

(5) 基於綜合地質資訊分析的帷幕注漿動態治理技術研究及應用 — 楊磊 講師

注漿是治理隧道突水突泥、塌方等地質災害的重要手段，其關鍵在於對治理區段地質情況的準確獲取，但由於地質情況的極端

複雜性，僅靠單一物探手段及有限的地質探孔，無法有效掌握隧道開挖面前方岩體結構發育及富水情況，使注漿治理存在較大盲點。基於綜合地質資訊獲取及分析，提出帷幕注漿動態治理技術，通過區域地質分析、瞬變電磁探測、探注結合孔對帷幕注漿前、注漿過程中圍岩水文地質情況進行彙編、整理、分析，優化注漿方案，注漿過程中動態調整設計鑽孔，在此基礎上形成先外部截源封閉後內部擠水穩固、分序分區治理、帷幕注漿基礎鑽孔與補充鑽孔結合的帷幕注漿動態綜合治理方法。該研究成果成功應用于廣西某山嶺隧道突水突泥災害處治工程中，取得了良好的治理效果，實現了帷幕注漿治理的資訊化施工(王凱等，2016)。

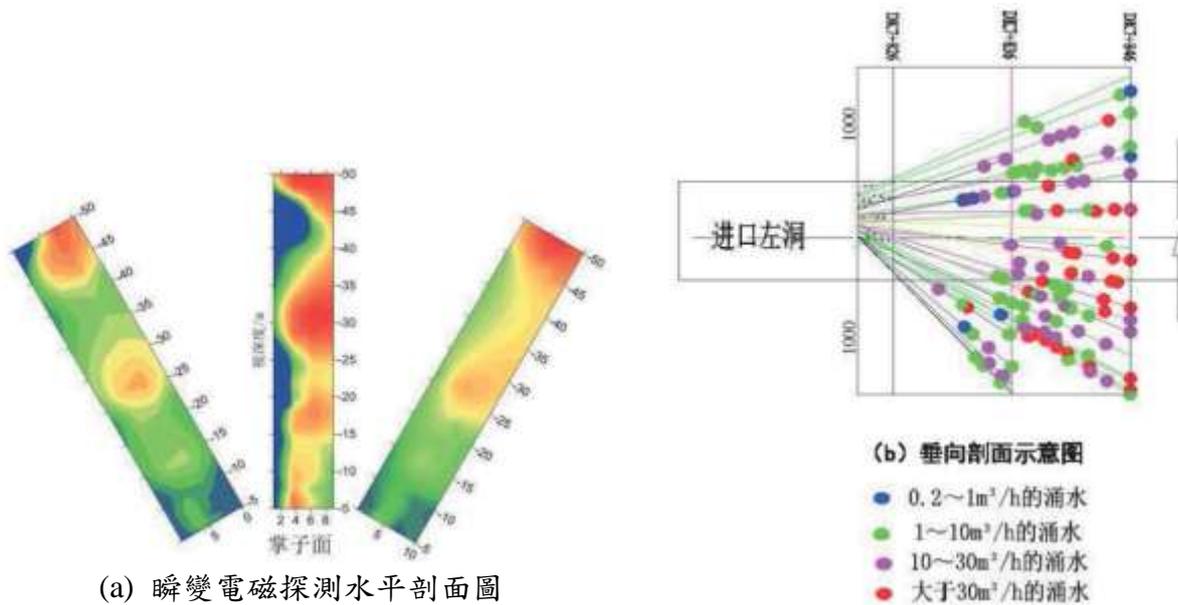


圖 9 綜合地質資訊分析的帷幕注漿動態治理技術(王凱等，2016)

(6) 南化水庫防淤隧道臨壩段與潛覆蓋段設計及施工考量—劉俊杰主任

隧道施工過程利用開挖變形監測資料進行反算分析，並據以調整隧道潛覆蓋之開挖長度及支撐配置。另外為確保鄰近大壩、溢洪道、取水工等水庫重要結構物不受爆破震動影響，於設計階段進行爆破振動試驗，並針對水庫周圍重要設施設置振動監測點，施工中參考振動試驗結果評估開炸輪進之炸藥量，並依據施工監

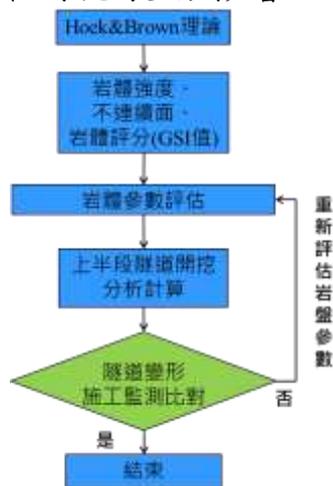
測結果評估隧道開炸對於水庫設施之影響。

防淤隧道淺覆蓋段施工，依前段開挖地質岩體評級及監測結果研判，淺覆蓋段岩盤狀況較原設計推估為佳，利用上半斷面開挖變位監測結果反算隧道之代表性岩盤參數，回饋設計據以檢討修正支撐，符合 NATM 設計施工理念，並可作為後續相鄰隧道支撐參考。

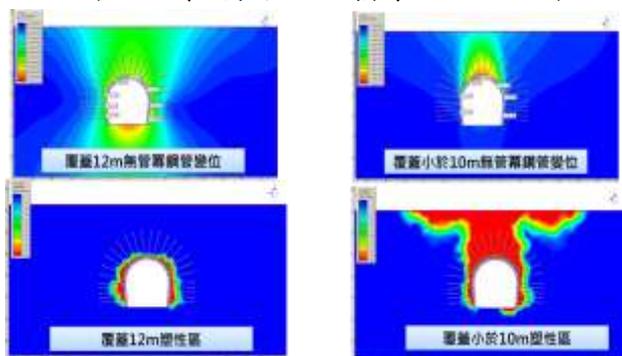
隧道鑽炸爆破震動速度波傳衰減趨勢，受現地地質材料、弱帶、不連續面等影響衰減程度不一，本工程依施工期間爆破震動紀錄，重新分析地層特性係數，仍需收集日後施工諸多監測數據，確認修正係數之可靠性。歸納綜整實測質點震動速度紀錄資料，可重新分析工址區域性地層特性係數，作為檢討修正本工程後續施工，包含圍堰拆除(爆破工法)及豎井鑽炸開挖震動影響之評估。



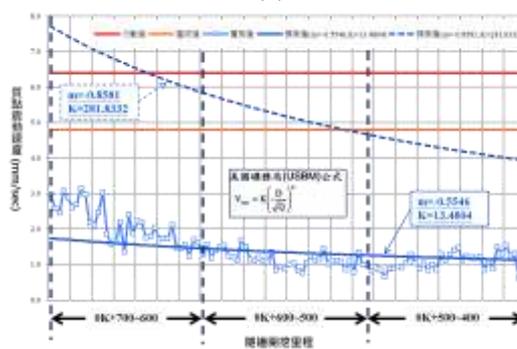
照片 5 劉俊杰主任發表論文照片



(a)



(b)



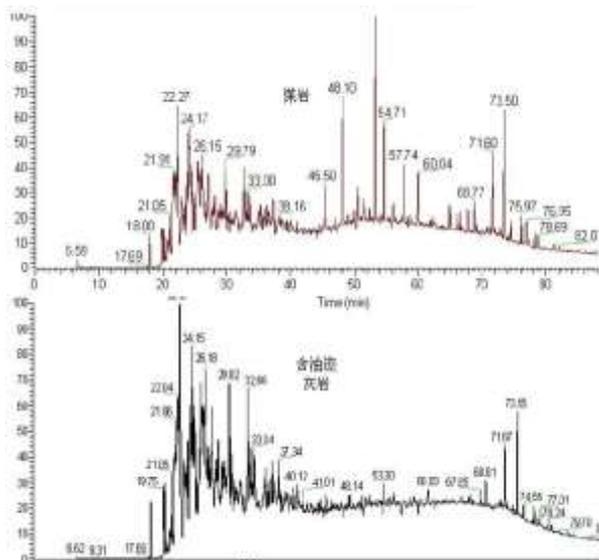
(c)

圖 10 隧道臨壩段與淺覆蓋段設計及施工考量(劉俊杰等，2016)

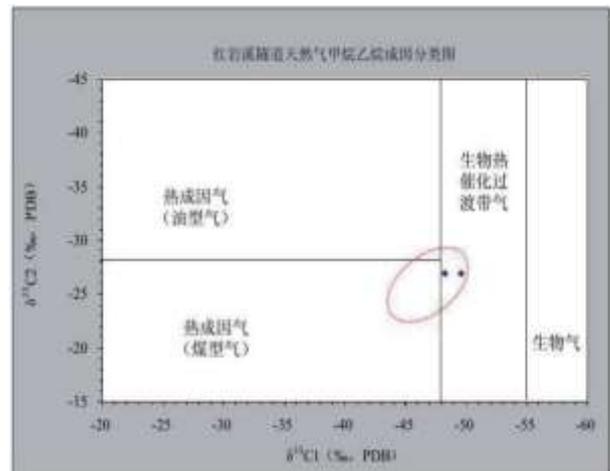
(7) 紅岩溪隧道有害氣體湧出檢測分析暨地質構造及頁岩氣成礦機理—傅鶴林教授

紅岩溪隧道是永龍高速公路的一條長大隧道，在隧道施工工程中，發現不明氣體，經確定為有害氣體。為全面進行紅岩溪隧道有害氣體濃度及成分檢測、對瓦斯(頁岩氣或油氣)湧出量進行定級估算、對氣體來源進行分析同時評估其危害性，同時為隧道有害氣體防治和隧道工程設計修訂提供依據。為對有害氣體進行定量分析，省瓦斯研究中心科研人員對隧道開挖面帶油斑的岩石和煤質岩樣進行採集，並用密封罐進行封裝，後經由中南大學做貯氣岩層礦物成分分析，湖南煤安檢測檢驗中心做氣體成分分析，廣州有機地球化學國家重點實驗室也做了類似工作，通過分析，判識紅岩溪隧道地層中見到的天然氣及滲漏和溢出的輕質油的成因，判定隧道為瓦斯等級(嚴寶山&傅鶴林，2016)。

此外，在對地質勘察資料、隧道有害氣體湧出分析的基礎上，對地質構造、頁岩氣成分及成礦機理進行了梳理，經綜合分析獲得了四個方面的認識。研究結果表明：紅岩溪隧道的地質構造總體來說較簡單，構造作用會使岩體的節理裂隙發育，岩體破碎。可溶性岩與非可溶性岩接觸帶或不整合面岩溶往往發育，頁岩基質孔隙和裂縫是構成頁岩氣主要儲集空間，裂縫還為其提供運移通道；孔隙的容積和孔徑大小能顯著影響頁岩氣的賦存形式。頁岩氣成礦自生構成了從吸附聚集、膨脹造隙富集到活塞式推進或置換式運移的機理序列。其研究結果可為隧道安全施工、運營提供重要的理論指導意義(龔佳斌&傅鶴林，2016)。



(a) 煤岩與含油氣灰岩(M/Z217)總體分佈特徵對比



(b)

圖 11 紅岩溪隧道有害氣體湧出檢測分析(傅鶴林等，2016)

3. 長沙長株潭城際鐵路隧道工程參訪

本次兩岸研討會於 8/14 下午安排「長株潭城際鐵路隧道工程」與「中國鐵建重工集團有限公司(潛盾機製造生產工廠)」參訪行程。

長株潭城際鐵路湘江隧道(圖 4-1)起始于留園路，進口為明挖結構，西行進入開福寺站，下穿過湘江後進入濱江新城站，出濱江新城站沿杜鵑路西行，在金星大道與杜鵑路交叉口進入市政府站，沿杜鵑路繼續西行，止于雷鋒大道與杜鵑路交叉口的雷鋒大道站。湘江隧道(雙洞單線)11,453 m，其中：盾構段 7,174.7 m，明挖暗埋段 540 m，礦山法段 3,738.5 m。地下車站四座，其中開福寺站、濱江新城站為地下三層結構，市府站、雷鋒大道站為地下兩層結構。

長株潭城際鐵路湘江隧道進口—開福寺站區間，採用 2 台海瑞克公司設計製造開挖直徑為 9.34 m 的土壓平衡盾構施工。盾構自進口明挖段始發，擬定始發段長度為 300 m，始發設計縱坡為 3%，洞頂埋深最小處為 6.8 m，盾構始發 50 m 後便需穿越南湖大市場建築群。洞身穿越地質主要為全至強風化泥質粉砂岩、礫岩，

黏粉粒含量高，局部夾雜粉砂黏土層及粉細砂層、圓礫土層。始發段前 150 m 主要是上軟下硬地層及高黏性土複合地層，開挖斷面頂部及上半斷面 1~2 m 內為粗圓礫土及細圓礫土，該地層級配差，透水性強，下半斷面為全至強風化礫岩，泥質膠結，岩體已風化呈黏塑性土狀，遇水崩解；後續始發段掘進段主要穿越全至強風化礫岩(劉輝與楊海林，2016)。

參訪過程發現(照片 4-2)本工程有幾項特點：(1)隧道進出人員管制採用類似門禁卡感應並搭配電子看板顯示，可得知目前隧道內各項作業之人數；(2)潛盾機之操作數據除於潛盾機操控室顯示外，地表工務所之指揮室亦可同時顯示與監看；(3)隧道內空變位監測採用貼片式規標以全測站儀量測，無須安裝反射菱鏡；(4)襯砌環片採用直螺栓(非曲螺栓)，且採用單側(邊)鎖碇(非兩邊對鎖)。



圖 12 長株潭城際鐵路湘江隧道平面示意圖



照片 6 湘江隧道参访合影



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

照片 7 湘江隧道參訪過程照片

4. 中國鐵建重工集團有限公司(潛盾機製造生產工廠)參訪

中國鐵建重工集團有限公司成立於 2007 年，隸屬於中國鐵建股份有限公司，為地下裝備和軌道設備研究、設計、製造、服務的企業，集團總部位於長沙經濟技術開發區。集團主要生產掘進機、特種裝備、軌道設備三大產業板塊。集團先後被評為中國重大技術裝備首台示範單位、中國最佳自主創新企業、中國 863 計畫成果產業化基地、中國機械工業百強企業、中國工程機械製造商 50 強企業、中國軌道交通創新力 TOP50 企業等。

中國鐵建是中國最大的鐵路建設集團之一，參與建設了眾多大型鐵路建設項目，截至 2006 年已獨立修建鐵路里程累計近 34,000 公里，占中國建國以來修建鐵路里程的 50% 以上。修建高速公路超過 100 條、高速公路高等級公路累計里程超過 22,600 公里。參與了 130 多項水利水電項目，30 多個大型機場和其他工程項目的建設。

鐵建重工依國內外隧道施工領域豐富的經驗總結，在掘進機(盾構機)研發製造領域先進的系統集成和製造技術，國家大直徑隧道掘進機相關科技支撐專案，經多年研發和積累，進行盾構機的設計、製造和應用技術。每年生產盾構機約 60 部，在中國大陸盾構機製造之市占率約 30%，近年並積極拓展海外市場。

鐵建重工開發製造敞開式 TBM，主要適用於圍岩較完整、整體性好、有較好自穩性的岩體，如遇局部不穩定圍岩，可由掘進機自帶的輔助設備如鋼拱架拼裝器、錨杆鑽機、噴射混凝土等進行襯砌支護，保證洞壁的穩定。當遇到局部軟岩及破碎帶，需使用由設備附帶的超前鑽機及注漿設備進行超前加固，待圍岩強度滿足自穩要求後再掘進。掘進過程可直接的觀測到洞壁岩性的變化，有利於地質圖描繪。鐵建重工同時開發製造一般鑽炸工法隧

道施工機具，包括混凝土噴射台車、鑽堡機、連續壁鑽掘機等。



照片 9 湘江隧道參訪合影



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

照片 10 中國鐵建重工集團潛盾機製造工廠參訪過程照片

5. 張家界國家森林公園地質及工程考察

張家界市舊稱大庸，位於湖南省西北部，澧水中上游，屬武陵山脈腹地，總面積 9,516 平方公里，東西最長 167 公里，南北最寬 96 公里。張家界市地貌構造複雜，主要有山地、岩溶、丘陵、崗地和平原等，山地面積占總面積的 76%，其中最具特色的是石英砂岩峰林地貌，為世界罕見。張家界市境內山巒重疊，地表起伏很大，最高點海拔 1890.4 公尺，最低點海拔 75 公尺。

【天門山國家森林公園】占地面積 96 平方公里，為四面絕壁的台形孤山，屬典型的喀斯特岩溶地貌，海拔 1,518 公尺是張家界海拔最高山，因自然奇觀天門洞而得名，也是張家界的文化聖地，被尊為「張家界之魂」，有「湘西第一神山」的美譽。天門洞氣勢臨空獨尊，為世界上最高海拔的天然穿山溶洞，門高 131 公尺、寬 57 公尺、深 60 公尺。

天門山屬於新華夏系，武陵隆起帶，是武陵山脈向東進入洞庭湖平原的餘脈。區內地層岩性主要為寒武系石灰岩、白雲岩、葉岩，南部可見到震旦系炭質葉岩，地質構造主要為天門山向斜，向斜兩翼被數條北東方向斷層所切割。天門山隆起於燕山運動，再經喜馬拉雅山造山運動，造就了天門山隆起的主體，後經強烈的剝蝕和淋溶作用全山溶丘、石芽、窪地、漏斗、溶洞廣布，形

成獨特的喀斯特臺型地貌。天門山山頂為岩溶臺地絕壁景觀，山下為岩溶峰林峽谷景觀。

關於天門洞的成因，地質學家認為是受斷裂和節理裂隙控制，臺地邊緣流水沿構造裂隙，經長期風化剝蝕、溶蝕和重力崩塌作用的綜合產物。這一帶有一個軸向 320° 的小向斜，其核部正對著天門洞道，洞的東西兩壁被兩條走向 320° 的節理所切，並有一條走向 40° 的節理，在天門洞處與其相交。天門洞頂有兩處岩溶漏斗，雨水順地面斜坡向漏斗處流動，滲入土中後沿著地層的層間裂隙，逐步彙集到向斜的核部，長期地溶蝕著節理兩壁的石灰岩，節理帶上就形成了一串像珍珠項鍊那樣的小溶洞。日積月累，小溶洞不斷擴大彼此串通，當再也承受不了中部石體的重量時，就引發了局部崩塌，兩組岩溶漏斗的溶洞並為一體，終於形成了天門洞。

武陵源位於湖南省西北部武陵源山脈中段桑植縣、慈利縣交界處，隸屬張家界市，由張家界國家森林公園，以及天子山、索溪峪、楊家界三個自然保護區組成，總面積約 397 平方公里，核心景區面積超過 250 平方公里，園內地質構造複雜，地貌景觀奇特。因核心景區武陵源「砂岩峰林地貌」代表一種獨特的地貌形態和自然地理特徵，2001 年入選國家地質公園時被命名為「湖南張家界砂岩峰林國家地質公園」。2004 年，張家界被聯合國教科組織列入世界地質公園。

張家界具有獨特的石英砂岩峰林地貌景觀，有「三千翠微峰，八百琉璃水」或「奇峰三千，秀水八百」之美譽。「峰三千」指泥盆紀(距今 3.5 億~4 億)厚層石英砂岩，風化侵蝕形成的三千餘座筆直的石峰組成的峰林，水則以金鞭溪為代表。

武陵源地區在區域構造體系中處於新華夏第三隆起帶，在地質歷史時期內大致經歷了武陵—雪峰、印支、燕山、喜山及新構造運動。武陵—雪峰運動奠定了本區的基底構造，印支、燕山運動塑造了本區的基本地貌構架(印支運動：索溪峪向斜、燕山運動：

天子山向斜)，而喜山及新構造運動是形成張家界奇特的石英砂岩峰林地貌景觀的最基本的內在因素之一。

◆ 張家界地貌

張家界地貌是砂岩地貌的一種特殊類型，它在中國華南板塊大地構造背景和亞熱帶濕潤氣候區內，由地層產狀近于水準的中、上泥盆統石英砂岩為成景母岩，以流水侵蝕、重力崩塌、風化等地質營力形成的，以棱角平直的高大石柱林景觀為主，以及深切嶂谷、石牆、陡壁、天生橋、方山、平臺等造型地貌景觀為代表的一種獨特的砂岩地貌景觀。2010年11月，張家界地貌國際學術研討會上，張家界武陵源砂岩峰林地貌獲國際認可為「張家界地貌」。

武陵源景區內的巨厚的石英砂岩，產狀平緩，使岩層不能沿層面薄弱部位滑塌，覆蓋在志留系柔性的頁岩之上。重力作用，使得剛性的石英砂岩垂直節理發育，在水流強烈的侵蝕作用下，岩層不但解體、崩塌，流水搬運，殘留在原地的便形成雄、奇、險、秀、幽、曠等千奇百怪的峰林，是武陵源風景區的主體。

張家界砂岩峰林地貌的形成是在特定的地質環境中內外力長期相互作用的結果，喜山及新構造運動是形成張家界奇特的石英砂岩峰林地貌景觀的最基本的內在因素，而外力地質活動作用的流水侵蝕和重力崩塌及其生物的生化作用和物理風化作用，則是塑造張家界地貌景觀必不可少的外部條件。

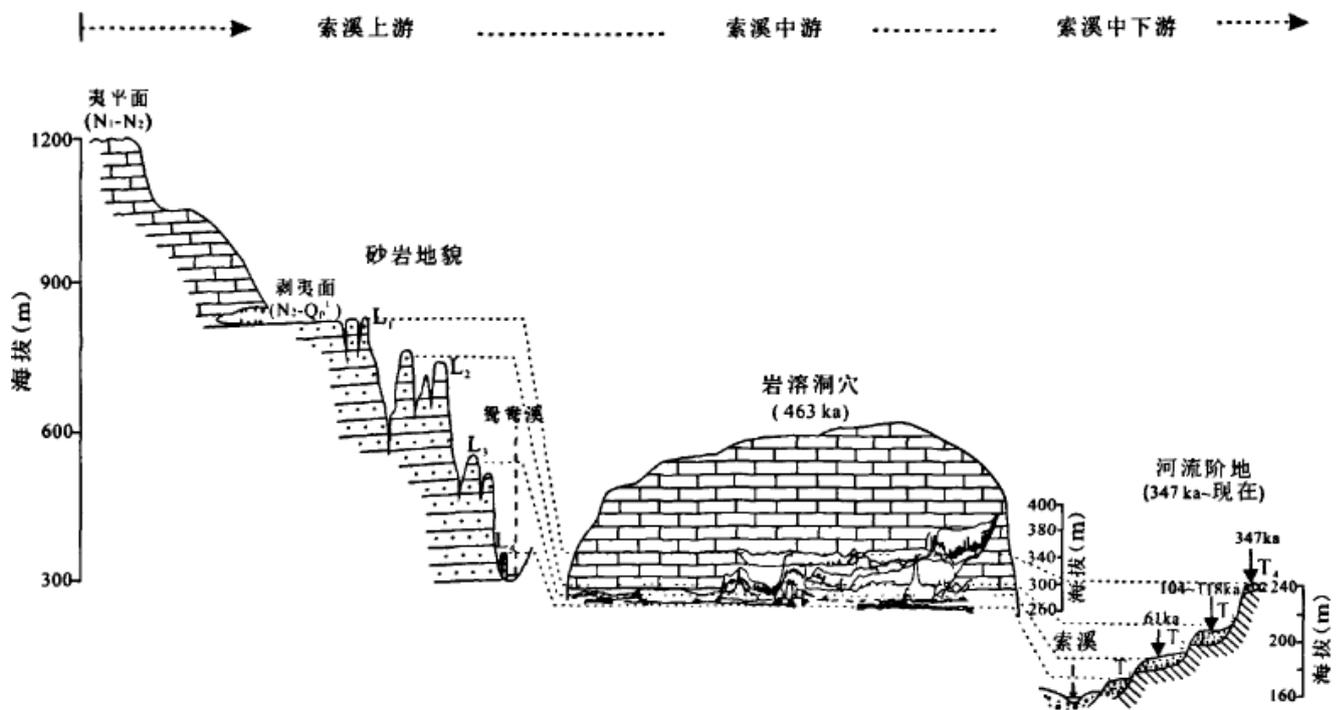
◆ 張家界地貌成因

- (1) 三億八千萬年前(泥盆紀中期)，張家界一帶為古海洋，大量陸源碎屑物沉積，形成張家界地貌母岩—石英砂岩。
- (2) 泥盆紀晚期，海西造山運動使張家界變海為陸，砂岩層頂部含鐵質層風化成紅色風化殼—俗稱「鐵帽」。
- (3) 二疊紀、三疊紀時期，地殼下降，張家界再次成海，沉積了石灰岩—岩溶地貌的原岩。
- (4) 三疊紀晚期的印支運動，張家界地區完全抬升為陸地。
- (5) 侏羅紀、白堊紀的燕山運動，張家界岩石發生褶皺和斷裂變形。

- (6) 古新世至漸新世，張家界域內地形成海拔 1,200 公尺左右的「湘西期夷平面」。
- (7) 新近紀至第四紀初，喜馬拉雅運動，海拔 800 公尺左右的「武陵源期剝夷面」形成。
- (8) 近 260 萬年以來的新構造運動，張家界地殼又一次抬升，近 80 萬年來，流水順著地質褶皺將石英砂岩切割成方山、平臺、峰牆、峰林、殘林等，張家界地貌形成。如今，張家界地殼還在緩慢上升，張家界地貌景觀仍在發育變化之中。

◆ 砂岩峰林地貌層次

砂岩峰林地貌形態受構造特徵、流水侵蝕和重力崩塌作用的影響，具有明顯的層次性和規律性，可明顯分為四個主要層次。其中最高一層為與泥盆系砂岩頂面齊平，海拔高度在 800~1,000 公尺左右，主要為一些切割較弱的砂岩峰林組成的平臺；在 700~750 公尺之間形成第二個砂岩平臺，可能是由上部薄層粉砂岩坍塌而成；在海拔 500~550 公尺左右，形成砂岩峰林的第三層，主要是流水侵蝕切割和重力崩塌共同作用的結果；第四層則表現為一些坍塌的殘林地貌，分佈在河谷底兩側。



砂岩峰林地貌層次及其與黃龍洞、索溪河流階地地貌關係比較圖^[20]

◆ 張家界地貌演化階段

張家界地貌為一系列的綜合性地貌景觀，發育過程完整，發展演變經歷了平臺、方山、峰牆、峰叢、峰林、殘林幾個主要階段，簡述如下：

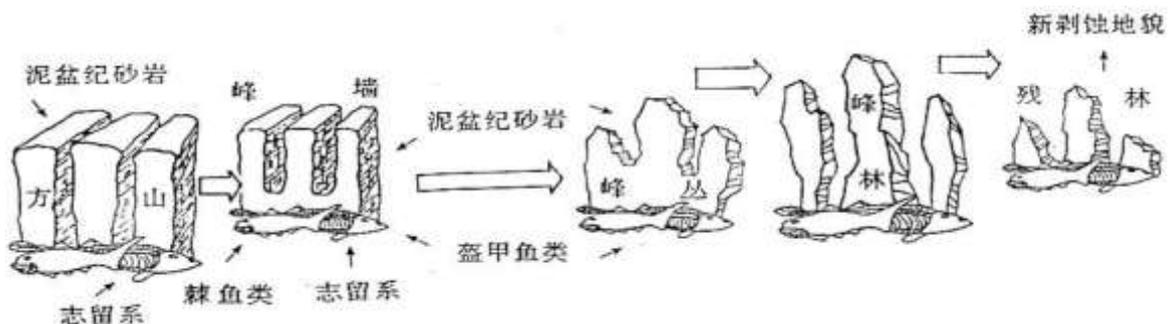
- (1) 平臺、方山：第四紀以來，地殼抬升流水沿斷層節理下切，形成邊緣陡峭、相對高差幾十至四百公尺、頂面平坦的地貌類型，頂面由堅硬的含鐵石英砂岩構成。如天子山、黃石寨、鷓子寨等處的平臺方山地貌。
- (2) 峰牆：中更新世期間，隨著侵蝕作用的加劇，地表流水沿剝蝕平臺上共軛節理中發育規劃較大的一組節理形成溪溝，兩側岩石陡峭，形成峰牆。如百丈峽即屬此類型。
- (3) 峰叢、峰林：流水繼續侵蝕溪溝兩側的節理、裂隙、形成峰叢，當切割至一定深度時，則形成由無數挺拔峻峭的峰柱構成的峰林地貌。如十里畫廊、礦洞溪等處的地貌特徵。
- (4) 殘林：峰林形成後，流水繼續下切，直至基座被剝蝕切穿，柱體紛紛倒塌，只剩下若干孤立的峰柱，即形成殘林地貌。隨著外動力地質作用的繼續，殘林將倒塌貽盡，直至消亡，最終形成新的剝蝕地貌。



平臺

峰牆

峰林



砂岩峰林地貌發展演化示意圖^[21]

◆ 百龍天梯

百龍天梯於 1999 年 9 月動工，2002 年 4 月竣工並投入試營運，電梯主要設備由德國 Rangger 國際電梯公司研究生產，耗資人民幣 1.8 億元。百龍天梯垂直高差 335 公尺，運行高度 326 公尺，由 154 公尺的山體內豎井和 172 公尺的貼山鋼結構井架組成，採用三台雙層全暴露觀光並列分體運行。2013 年，百龍天梯進行擴容升級，單程運力每小時將增加 400 人左右，速度由 3 公尺/秒提高到 5 公尺/秒。



百龍天梯為目前「最高的全暴露觀光電梯」、「最快的雙層觀光電梯」、「載重量最大、速度最快的觀光電梯」，有天下第一梯之稱。

◆ 張家界大峽谷

張家界大峽谷位於張家界市慈利縣三官寺鄉，峽谷呈南北狹長走勢，集山、水、洞、峽於一身，屬典型的北溫帶喀斯特地貌。

張家界大峽谷原來有兩個名字，「爛船峽」和「亂泉峽」。大峽谷和南方紅旗渠的水流都來源於神泉溪，傳說從前上游的神龍泉泉眼經常莫名湧出很多船板，船板湧出來後，被水沖到溪中一塊巨大的石頭上撞爛，散落滿溪，所以這裡又名「爛船峽」，有地老天荒，海枯石爛的意蘊。另外一個名字叫做「亂泉峽」，是指峽谷中的兩面石壁，溪泉眾多，滿峽飛流，飛瀑神泉比比皆是，為張家界大峽谷景區的特色。

◆ 一線天

位於張家界大峽谷遊道的入口處，是一處峽谷絕壁，垂直高差為 300 多公尺，又稱西天門。



◆ 石壁裂縫

石壁之中，一條很大的裂縫把石壁一分為二，蔚為壯觀。此區於

三億八千萬年前的泥盆紀時期，武陵源風景名勝區及其周邊一帶地殼下降，海水浸入，成為一片汪洋大海。流水源源不斷地從臨近的陸地衝來大量的鬆散細屑物質，伴隨著海水中的矽酸鹽一起沉澱、膠結、壓固成形，形成了石英砂岩岩層。到了二億八千五百萬年前的二疊紀，砂岩層上面又形成泥質石灰岩含煤層，將砂岩層覆蓋了起來。到了兩億年前的三疊紀末，武陵源風景名勝區及其周邊一帶再次發生強烈的地殼運動，也就是造山運動，使整個地層產生褶皺、斷裂，形成山脈，不斷上升，露出地表。經過億萬年流水的沖刷、切割和節理的發育，便形成了現在這種千峰聳立、萬石崢嶸的自然風光，石壁上的巨大裂縫就是這樣形成的。



根據科學檢測，石壁上的裂縫還在慢慢加大，不過速度很慢，裂縫要想讓石壁完全一分為二，最後形成完全獨立的兩座石峰，需要一萬年的時間。

四、心得與建議

職等很榮幸這次能代表本局參加第十五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，除聆聽兩岸隧道工程界專家、學者精湛之演講外，亦參訪長株潭城際鐵路隧道工程及中國鐵建重工集團有限公司，可說是獲益良多，茲將此行之心得感想列述如后。

1. 中國隨著高鐵建設之蓬勃發展，許多大學(如：西南交大、同濟大學與中南大學)成立有關高鐵相關基礎科研重點實驗室，其中，中南大學田紅旗院士所率領研究團隊針對高鐵隧道空氣動力學相關課題深入研究，並據以提出隧道斷面需求、優化隧道洞口形狀、優化列車外觀流線、加強列車氣密設計等；國內高鐵亦曾於 2010 年委託研究機構進行高鐵列車行經隧道內之空氣動力量測、研究與探討。
2. 專題報告中有許多實用之技術與研究，例如：北科大王泰典教授發表之「岩石隧道依時變形案例模擬及圍岩變位特性探討」，可應用於瞭解隧道開挖支撐後(尚未襯砌前)產生噴凝土開裂之依時變形特性；西南交大方勇教授發表之「基於彈性應變能的深埋硬岩隧道岩爆預測研究」，可應用於蘇花改之中仁隧道或未來其他具岩爆潛能之隧道工程；中南大學傅鶴林教授發表之「紅岩溪隧道有害氣體湧出檢測分析暨地質構造及頁岩氣成礦機理」，則可應用於新烏山嶺隧道或未來其他具可燃性(或有害性)氣體之隧道工程。
3. 在地體活動頻繁地質構造複雜的台灣，隧道工程地質調查不易全面掌握，隧道超前地質預報是隧道資訊化施工的重要組成部分，是保證隧道安全施工的重要環節，李木才教授提出的隧道災害超前探測與安全防控方法與技術值得台灣借鏡，目前常用的地質預報方法可概分為兩大類：地質分析法和地球物理法。地質分析法有工程地質調查法、超前導洞(坑)法、超前水準鑽孔法、斷層參數預測法和經驗法等；地球物理法包括 TSP 探測法、地質雷達探測法、瞬變電磁法、陸地

聲納法和激發極化法等，依各種探查方法的特性及精度，隧道地質及災害因素探查可分為長期預報、短期預報、超前鑽探和地質回饋分析等相結合的預報方式。台灣目前亦普遍採用相關前進預報探查技術，惟在多數工程契約中多包含於相關地質調查契約項目單價中，而缺乏規範系統性及階段性明確訂定工作項目與數量，致使實際執行前進探查不易應用於實際的需求面。

4. 隧道施工的量測監控是隧道施工安全管制的重要環節，惟國內外聯測元件的埋設、應用資料處理方面等仍存精度、資料處理等問題。中國鐵道科學院鐘世航研究員提出各種監測儀器相關施工安裝、測量經度、資料處理等可能產生誤差的因子探討，同樣存在於台灣隧道的監測管理，值得進一步深入探討，以精進未來數值化監測應用於隧道設計、施工、回饋、營運管理等之重要基礎。
5. 隨著國際上 BIM (Building Information Modeling) 技術之蓬勃發展，歐美各國已逐漸將 BIM 技術導入隧道工程領域，中國一些大型隧道建設案也開始嘗試將 BIM 系統導入隧道設計與施工階段，而台灣一些大型顧問公司亦已投入許多人力並購買相關軟體，儼然成為一股趨勢。
6. 目前亞洲國家僅日本、韓國與中國有營運中的磁浮列車，其中上海磁浮列車是世界上首條投入商業營運及目前唯一運營的高速(時速大於 250 公里)磁浮列車路線，為中國與德國磁浮國際公司共同合作開發；而長沙中低速磁浮線則是中國第一條具有自主智慧財產權的中低速磁浮交通線路，值得國內借鏡與參考。
7. 隧道及地下工程因應都市發展、交通需求、水利資源開發等各種需求趨向多變及大型規模，近年來中國大陸隧道及地下工程不論規模及量體在全球佔有率居冠，在隧道及地下工程施工機具設備也積極與世界接軌，中國鐵建重工集團在隧道

施工機具的設計及製造領域中，在龐大的市場需求環境下迅速發展，特別在土層隧道潛盾機的研發製造已有相當規模及技術。

8. 張家界地貌為一系列的綜合性地貌景觀，發育過程完整，發展演變經歷了平臺、方山、峰牆、峰叢、峰林、殘林幾個主要階段，以及地下河流、溶洞等景觀，為地體構造造山運動、地質材料及構造、風化侵蝕作用下之特殊石灰岩喀斯特地質地貌，經過一系列的硬體設施開發，從不同的角度看見特殊地形地貌發展的歷史和成因，宛如大型的地質教室。

建議：兩岸隧道及地下工程交流已行之有年，經由研討會、參訪及討論可增進彼此之了解更能加強合作以提升隧道工程學術與技術之水準。兩岸有共通之語言及文字，地理環境仍有不同，但於隧道設計、施工及管理方面問題卻有很多類似的方面，藉由雙方合作、論證、研討及觀摩等技術性的助益，建議產官學界可藉由此長期維繫建立之技術交流平台，持續交流精進雙方在隧道工程技術及跨域合作領域之發展，作為彼此借鏡與競爭提升技術層面的橋樑管道。

