

新烏山嶺引水隧道工程簡介

林 得 志

黎明工程顧問股份有限公司 董事長、水利技師

陳 榮 燦

黎明工程顧問股份有限公司 工務部經理

摘 要

烏山嶺引水隧道，又稱為烏山嶺隧道為一座橫跨於臺南市楠西區與東山區的引水隧道，這條隧道是烏山頭水庫自曾文溪越域引水以及串聯台灣電力公司曾文發電廠以及嘉南實業西口水力發電廠發電用水的主要引水管道，目前烏山嶺引水隧道共分為新線與舊線兩條，並都由嘉南農田水利會進行管理與維護。其中，舊線部分是臺灣日治時期著名的水利工程師八田與一所規畫興建使用至今，新烏山嶺引水隧道在 2015 年 5 月正式動工，新線目前仍施工中，預計將於 2020 年 2 月完工啟用。

新烏山嶺引水隧道是取用曾文溪上游水源，引水到烏山頭水庫的上游，主要工程包含東口攔河堰、排砂道、輸水隧道（長度 3422 公尺）及取、出水口，計畫輸水量為 56 立方公尺/秒，新烏山嶺引水隧道供輸嘉南地區 250 萬人口生活用水、工業用水及 6 萬多公頃農業用水，未來完工後可有效降低供水風險，並與原烏山嶺引水隧道互為備援。

一、前言

台灣日據時期(1895年~1945年)，日本石川縣金澤市人，1886年2月21日出生的八田與一，東京帝國大學土木系畢業。1910年8月被派來台灣總督府土木局工務課當技手，隔年轉至土木課，視察台灣全島的土木工程。1914年參與台南上水道的建設，1916年建設桃園大圳，灌溉桃園台地33,000畝的農田。由於桃園大圳的規劃評價甚高，1917年又被派到嘉南平原調查，建壩、蓄水、灌溉、增產糧食的可行性。曾研究急水溪及官田溪築壩灌溉的可行性。因急水溪水源不足而採用官田溪築壩，計畫灌溉嘉南平原15萬公頃的農田，以增產稻米。

官田溪築壩灌溉計畫就是嘉南大圳開發計畫，工程內容包括烏山頭主壩、溢洪道取出水工、烏山嶺越域引水工程及嘉南大圳灌溉排水系統工程等五大項目；總工

程費4,200萬円（日元，當時幣值），該計畫當時是全日本最重大的建設計畫。

日本是米食國家，1918年8月米價高漲，西日本富山灣一帶，富山縣與石川縣發生缺米暴動，甚至出動軍警平息。

日本溫帶水稻一年一期作，台灣亞熱帶，水稻可以一年二期作。為增產稻米，八田技師完成的嘉南大圳規劃設計建設計畫，於1920年7月獲日本帝國議會臨時會通過，期待荒涼的嘉南平原變成肥沃的農田。

1920年9月1日嘉南大圳建設工程開工，原預定6年工期，因為1923年關東大震災（東京死亡10萬人以上），中央政府補助的預算斷絕，致工程延至1930年才全部完成。

烏山頭水庫是離槽水庫，自曾文溪引水入水庫蓄存，當時尚未有曾文水庫，是引取曾文溪天然的逕流水，該引水工程稱為烏山嶺越域引水工程（位置如圖1）。該工程自1930年完工起用至今已逾88年，雖然繼續使用中，但是卻已老舊。自曾文水庫完成，與烏山頭水庫串連運用後，輸水頻率大增，重要性倍增，嘉南平原農工發展，全依賴該引水工程的正常運作。政府幾經研究，認為應該改建或增建，以保證供水安全，遂利用88水災曾南烏特別預算，在舊引水工程的左側新建另一道引水工程（稱為新烏山嶺引水工程），目前正施工中。本文將介紹該工程的規劃設計與施工情形。

二、舊烏山嶺引水隧道工程簡介

進水口稱為東口取水口，位於曾文水庫下游二號橋與三號橋之間，曾文溪右岸喇叭形取水口（如圖2）。取水口控制閘門水門寬1.2m，高2.42 m共有16門，以電動捲揚起閉，設計進水流量56.6cms。控制閘門進水後漸變段銜接隧道進口，隧道進口處設有緊急閘門，寬5.5 m，高5.7 m。

馬蹄型隧道斷面5.4 m，原長3.107 m，縱坡1/1,200， $Q=56\text{cms}$ ，穿過烏山嶺山脈，於烏山頭水庫官田溪上淤之西口出口，將曾文溪的水導入烏山頭水庫。當時，該工程是由日商大倉組負責施工，隧道是以鑽炸法掘鑿，開工後於1922年12月，開挖面噴出大量石油瓦斯氣，引起爆炸引發大火，在隧道內工作人員，50多人殉職，舊烏山嶺隧道開挖遭遇事件紀錄(如圖3)。此重大工安事故引起日本中央政府派員檢討究責，有主張要終止此重大工程。幸好災害處理完後即再復工，1928年隧道貫通，隔年這個困難的隧道工程完工，1930年整個嘉南大圳計畫完成啟用。

1970年代配合曾文水庫興建，烏山嶺隧道全線鋼筋混凝土襯砌厚24cm。舊烏山嶺隧道目前尚營運中，但是隧道長期通水淘刷與磨損，隧道底部及側壁磨損不平整。

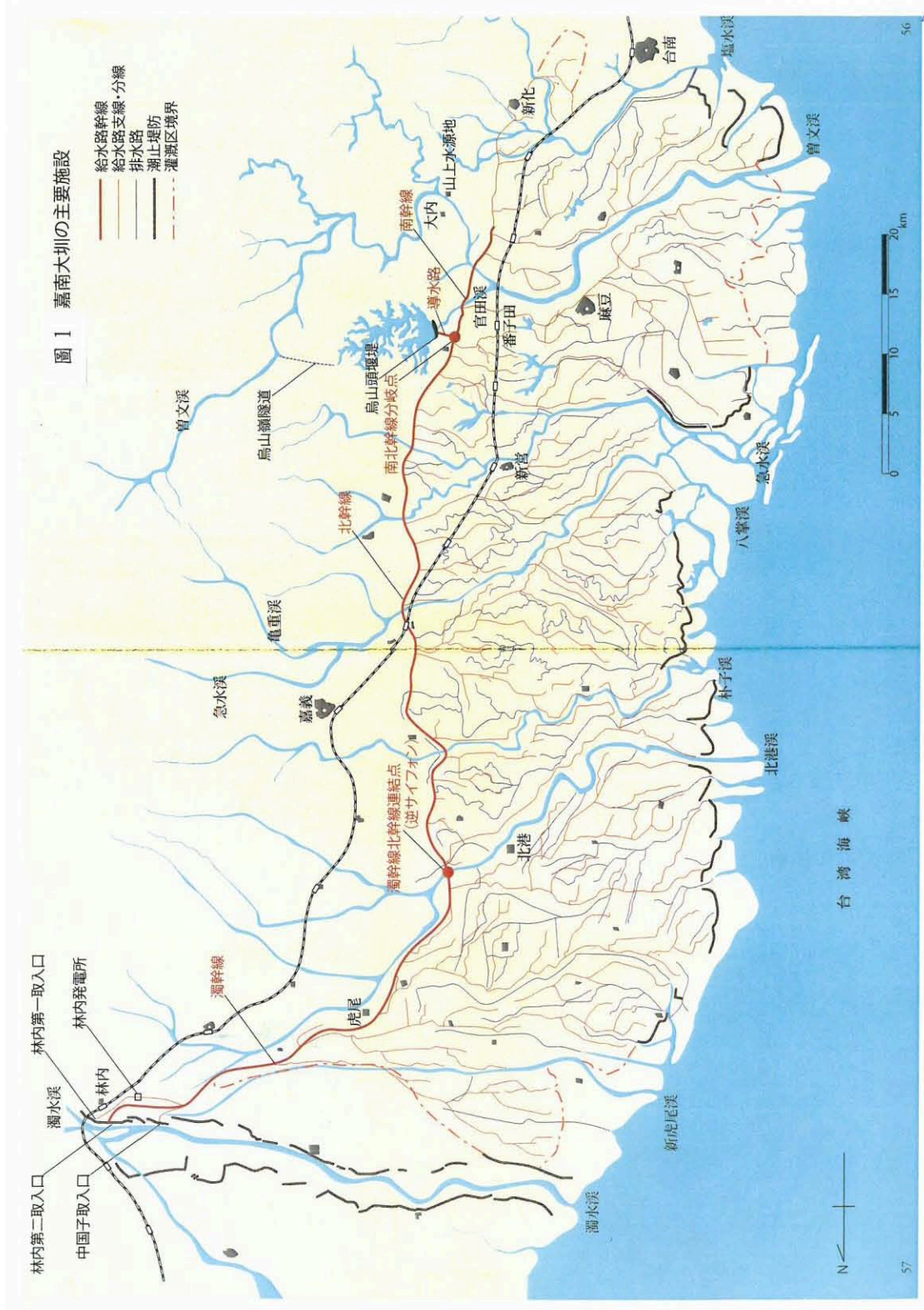


圖1 嘉南大圳的主要設施

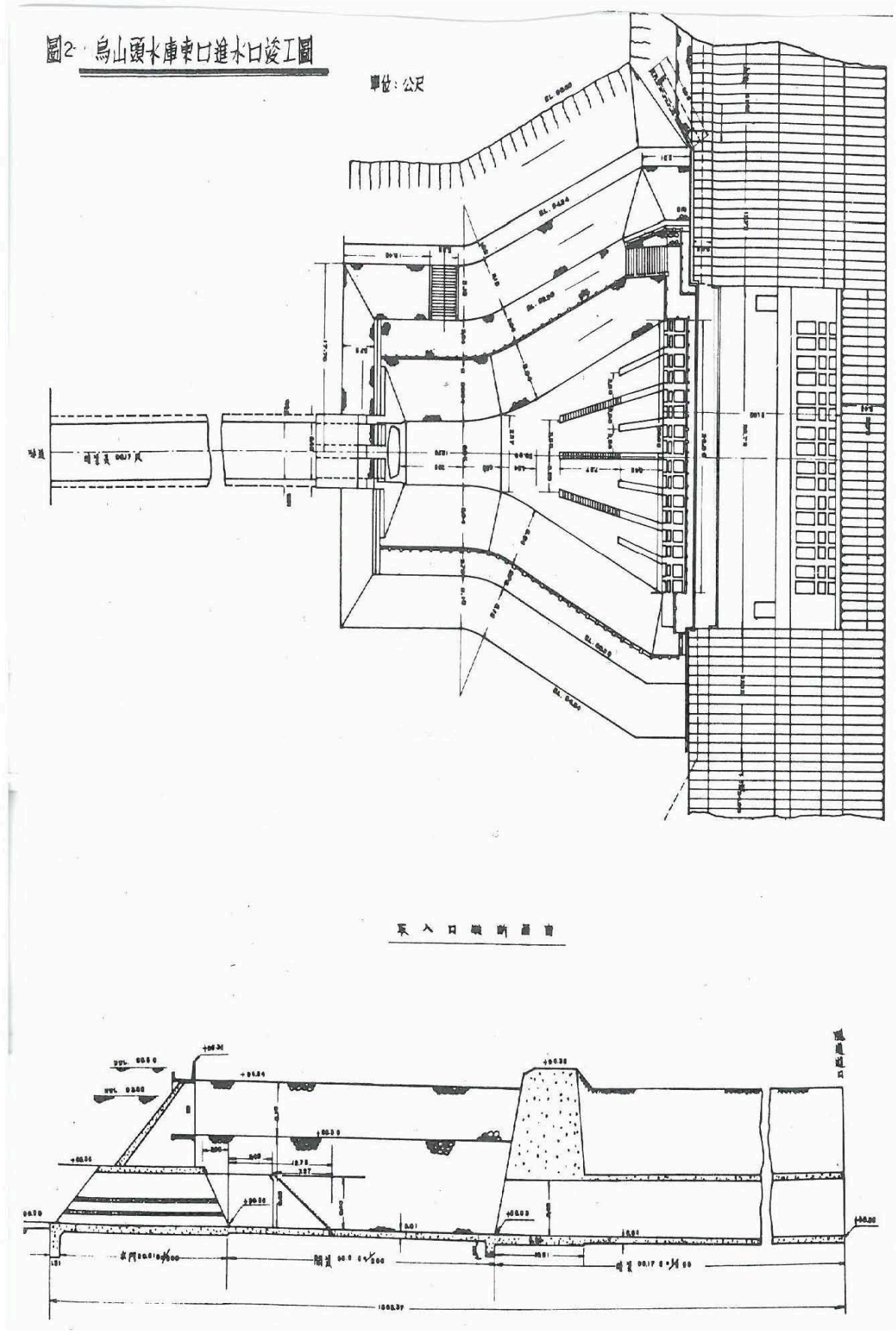


圖2 烏山頭水庫東口進水口竣工圖

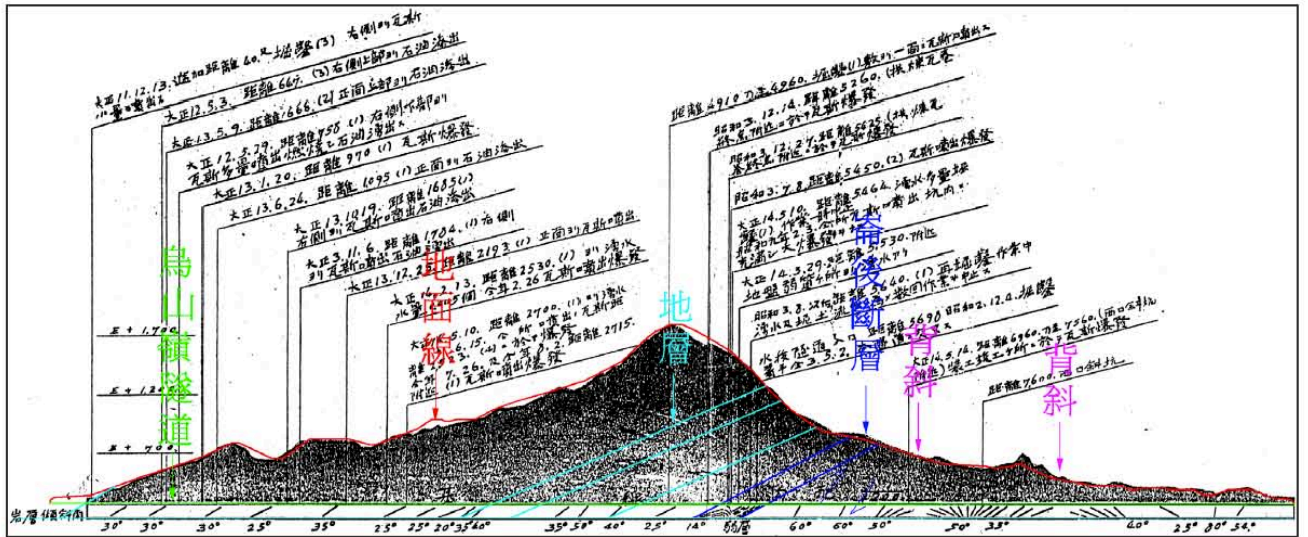


圖3 舊烏山嶺隧道開挖遭遇事件紀錄

三、新烏山嶺引水隧道工程

1. 概述

舊烏山嶺隧道為串聯曾文水庫與烏山頭水庫之重要且唯一的引水隧道，肩負大嘉南地區公共給水、工業用水及嘉南平原六萬餘公頃農業灌溉用水及調度之重責。因既設烏山嶺隧道自1930年通水啟用至今，雖經數次維修補強，仍無法完全抑止隧道結構品質日漸劣化，且無法長期停水進行全線補強加固，隧道輸水能力漸降至43cms。為避免既設烏山嶺隧道發生突發性崩壞之斷水風險及恢復原有之56cms輸水能力，穩定提供大嘉南平原用水重責，經綜合評估遂興建本新烏山嶺引水隧道。

經費來源：經濟部水利署

主辦機關：臺灣嘉南農田水利會

基本設計/監造單位：黎明工程顧問股份有限公司

統包廠商/細部設計：利德工程股份有限公司

台灣世曦工程顧問股份有限公司

松和工業股份有限公司

工程地點：台南市六甲區、楠西區

決標金額：24億9仟6佰萬元

決標日期：104/4/7

開工日期：104/5/7

工 期：1582日曆天(展延後1757日曆天)

預定完工日期：108/9/4(展延後109/2/27)

工程內容：攔河堰、取水口、防洪牆、輸水隧道(3,422 m)及出水口工程等

2. 工程位置

本工程跨越台南市東山區、六甲區和楠西區，地理位置(如圖4)。

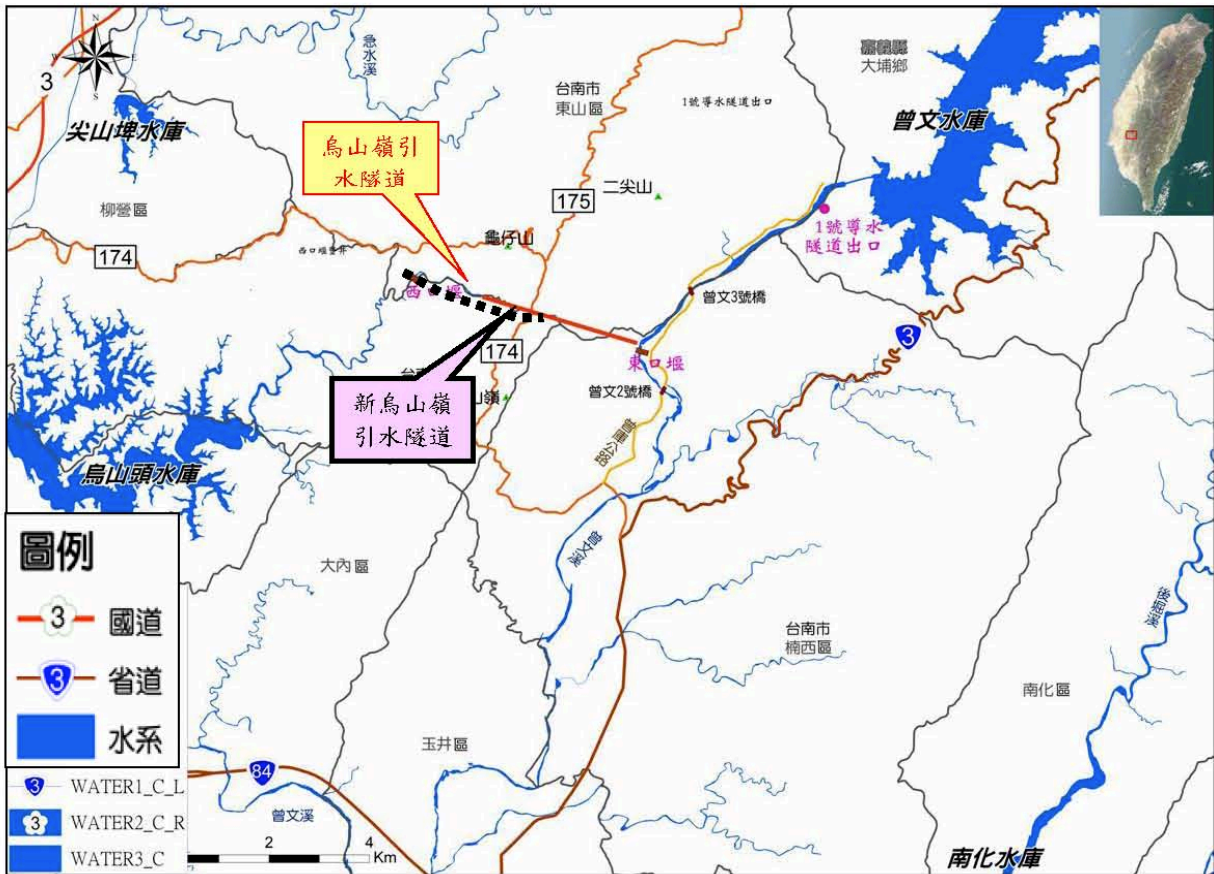


圖4 工程位置圖

3. 工程總平面圖(如圖5)

工程成效包括：

(1)進水口滿足最新曾文溪治理計畫 $Q_{200}(9,420\text{cms})$ 防洪標準，設施需能因應曾文水庫防淤操作，且不妨礙現有東口堰取水功能。

(2)提供56cms輸水量為穩定整個嘉南地區農業、公共給水與工業等各標的用水、提升區域水源調度穩定性。

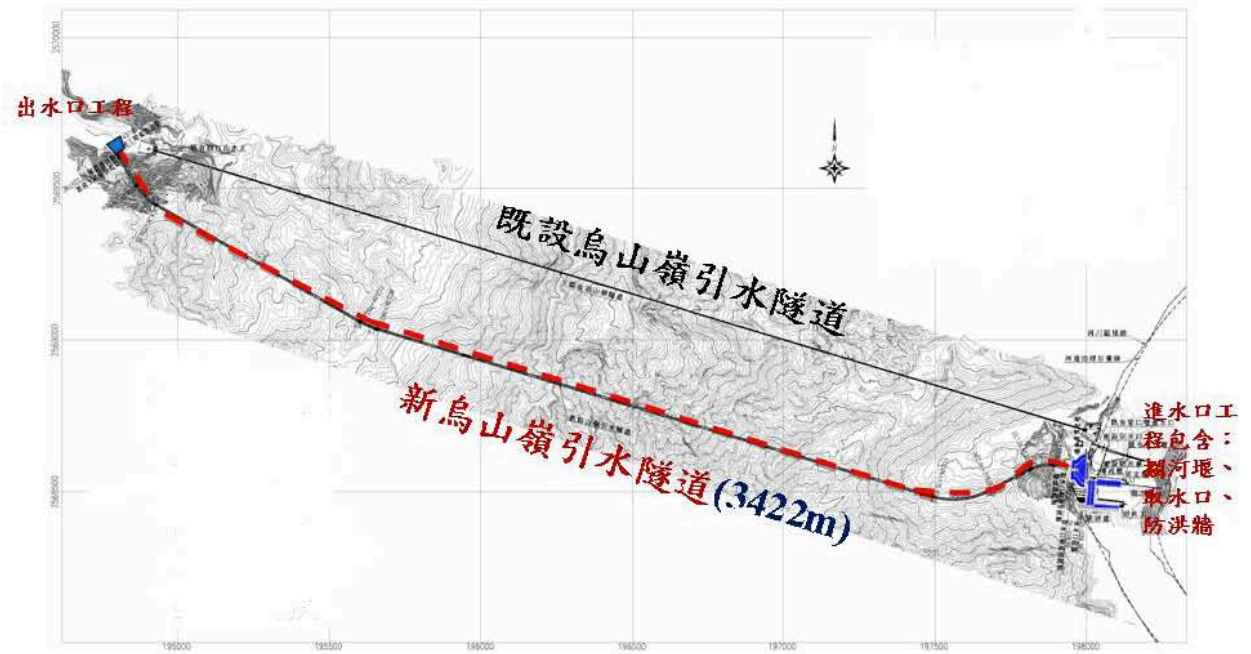


圖5 工程總平面圖

4. 攔河堰及取水口

攔河堰工程項目包含固定堰、排砂道、放水道、截水牆及導水牆、下游固床工及取水口、防洪牆等，攔河堰及取水口整體佈置（如圖6）。新東口堰堰址位於舊東口堰下游80公尺處，設計洪水（ Q_{200} ）採9,420cms，設計取水量為56cms。

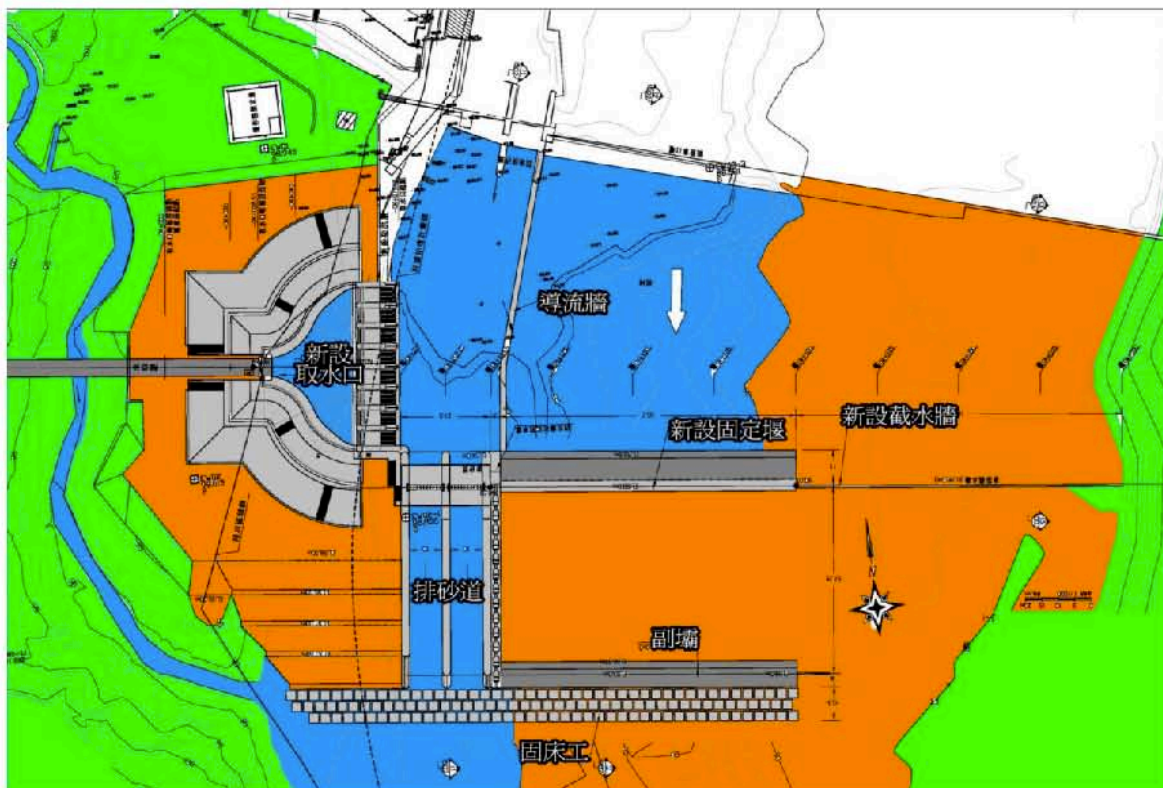


圖6 攔河堰整體平面佈置圖

5. 輸水隧道段

隧道長至出水工共計3,450.4 m，出入口之渠底高程分別為82.30 m 及79.42 m，隧道渠底坡度為1/1,200，設計流量為56cms。隧道斷面採用內徑 $r = 2.7$ m 之馬蹄形斷面，內襯砌厚度為60 cm（如圖7）。

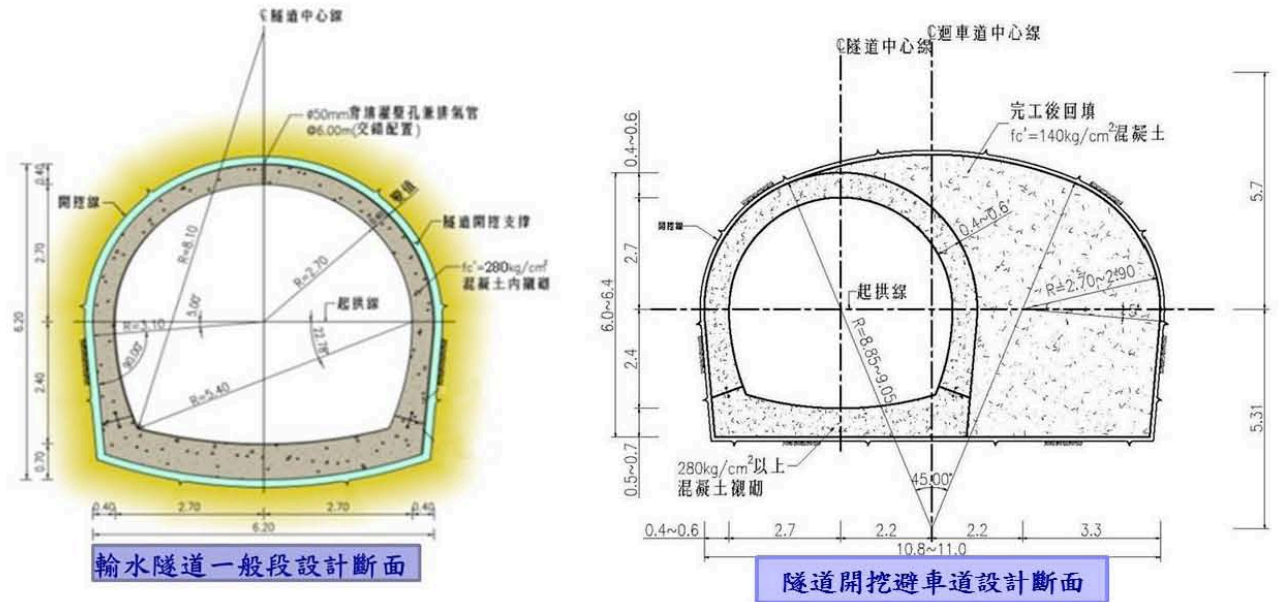


圖7 隧道標準斷面圖

6. 出水口

出水口總長為28.4 m，仰拱最低高程為EL. 79.42 m，其中里程3K+422.0 ~ 3K+437.85 m 為暗渠段，銜接上游輸水隧道，出水口於暗渠段經長9.2 m 漸變段由標準馬蹄型斷面漸變至寬5.4 m、高5.1 m 之矩型箱涵後，寬度再漸擴至8.0 m（如圖8）。

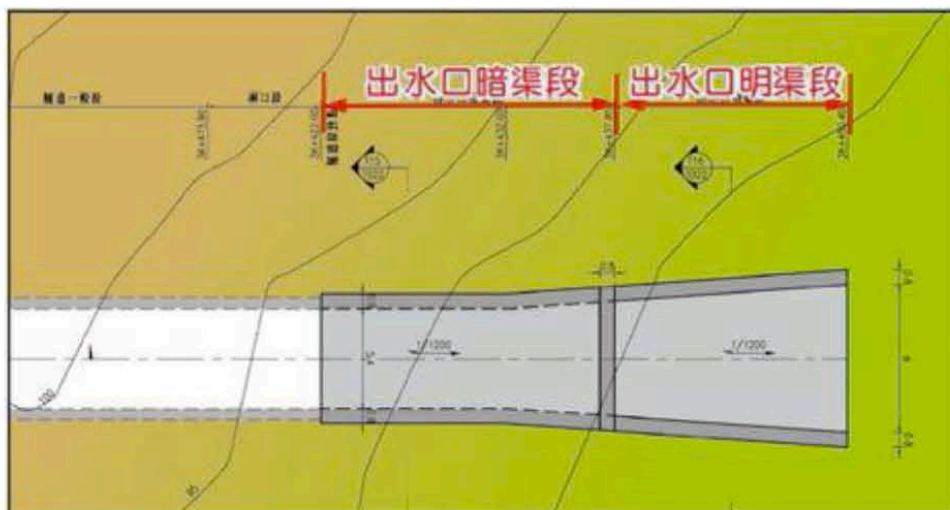


圖8 出水口平面佈置圖

7. 水工機械

水工機械包含排砂道直提式排砂閘門2門，取水口直提式閘門8門，隧道入口處緊急控制閘門1門，

8. 區域地質概況

本區域地層走向多為東北-西南走向，從隧道東口至西口依序經過現代沖積層、鹽水坑頁岩、糖恩山砂岩、六重溪層及疾下寮層，本區地層除形成山脊線的糖恩山砂岩屬巨厚的緻密砂岩外，其餘地層皆以頁岩或泥岩為主，

本工址通過之地質構造依序由東向西分別為六龜背斜、崙後斷層及區域性小褶皺，構造走向為東北-西南走向至南北走向，本區構造以崙後斷層為界線，東側為波長較長之六龜背斜，其褶曲程度較小，西側為一連續且波長較短之褶皺，該區域地層變化甚大，且褶皺軸部有機會發育成局部斷層破碎帶，

崙後斷層為一向東傾斜的逆衝斷層，於地調所公告資料中歸類為非活動斷層，然本斷層往北可延伸至梅山-新口斷層構造線（第一類活動斷層），仍須特別注意其未來錯動的可能性，工址附近區域地質圖（如圖8），

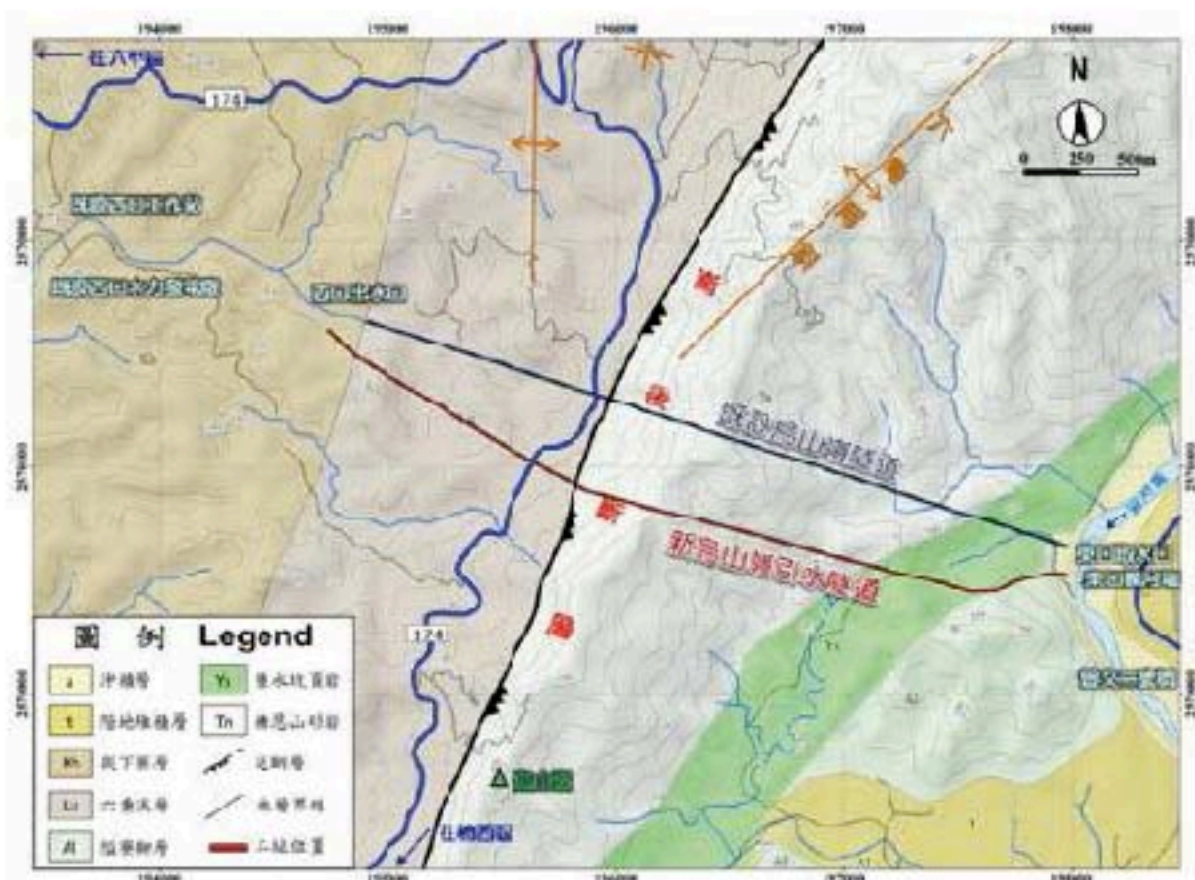


圖8 工址區域地質圖

9. 隧道工程地質

新烏山嶺隧道軸向約呈西北西由曾文溪向西通過西烏山嶺山列至烏山頭水庫主流，隧道全長約3,450 m，隧道最大覆蓋深度約370 m，沿線由東至西穿過地層為鹽水坑頁岩、糖恩山砂岩及六重溪層，主要地質構造為崙後斷層、其分支剪裂帶及六重溪層內之褶皺構造。

據調查成果研判，隧道入口至0k+040 左右穿越階地堆積層及沖積層淺覆蓋，隧道頂拱與地表高程差最淺處約3.5 m；里程約0k+040至里程約0k+600 左右屬鹽水坑頁岩，岩性以頁岩為主，偶夾薄層砂岩或凸鏡狀粉砂岩，地層位態大略一致，約呈N50°E/40°E，與隧道軸線呈小角度至大角度斜交，無明顯地質構造通過。

里程約0k+600 至里程約2k+315 左右屬糖恩山砂岩，岩性以砂岩夾頁岩為主，局部有泥質砂岩、頁岩或砂頁岩互層出露。根據既有資料及本計畫調查結果，本隧道段範圍內里程1k+220 ~ 1k+260 左右通過剪裂帶E（即可行性規劃之剪裂帶D），厚度約30 餘m，剪裂帶走向約呈北北東，剪裂面傾角約55° 向東，根據102-BH-02 鑽探過程於深度150 ~ 160 m 處遭遇湧水至孔口情形可能係地下水蓄積於剪裂帶（不透水材料）上盤，且湧水可見氣泡冒出，初步測試結果有階段性燃燒現象，得知係屬可燃性氣體，惟含量不足以持續燃燒；里程1k+920 ~ 1k+950 左右通過剪裂帶C（即可行性規劃之剪裂帶B），厚度約25 ~ 30 m，剪裂帶走向約呈北北東，剪裂面傾角約50° 向東；里程2k+000 ~ 2k+070 左右通過剪裂帶B（本計畫調查新增），厚度約45 m，剪裂帶走向約呈北北東，剪裂面傾角約45° 向東；崙後斷層主斷層約位於里程2k+180 ~ 2k+315 之間，厚度約70 ~ 80 m，剪裂帶走向約呈東北，斷面傾角約35° 向東，根據原烏山嶺隧道開挖記錄研判，剪裂帶B、C 應屬崙後斷層分支剪裂帶。

里程2k+315 ~ 出水口屬六重溪層，岩性以砂岩與頁岩互層為主，局部地區之砂頁岩比例不同，形成頁岩夾紋層砂岩或泥質砂岩夾炭質頁岩。

本區段地層受構造運動推擠影響，根據原烏山嶺隧道開挖紀錄及補充地質探查結果顯示，本區段地層呈連續之小褶皺構造，由東至西出現之褶皺構造約位於里程2k+700（背斜II）、3k+000（向斜I）等處，褶皺構造多呈北北東走向，此外，六重溪層地質年代較為年輕，岩層膠結情況不佳，岩質鬆軟，岩盤易受風化影響，岩盤露頭稀少且狀況較差，造成本區內地層位態變化大，不過大致約略呈北北東走向，朝東或朝西傾斜。隧道沿線平面地質圖（如圖10）。

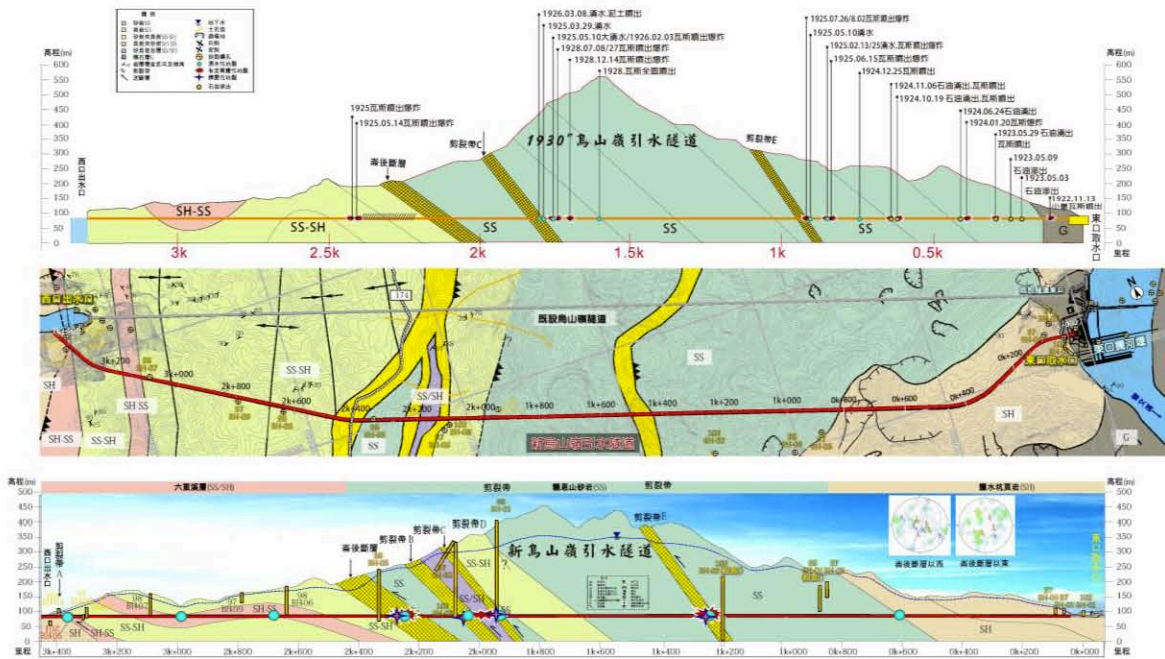


圖10 新舊烏山嶺隧道地質圖

10. 工程可能遭遇困難地質及因應對策

由於新烏山嶺隧道與舊烏山嶺隧道約略平行，兩者相距僅約250公尺，而所經過之地質條件約略相同，兩者之差異主要在於地層及構造分佈範圍及經過之長度，故可能遭遇之特殊地質問題應大致相近，主要差異可能在於發生位置、範圍與影響程度，因此在進行新烏山嶺隧道施工前，先行研究舊烏山嶺隧道施工紀錄，有利於對未來可能遭遇困難地質先行掌握。

根據民國19年竣工使用之舊烏山嶺隧道開挖地質紀錄，隧道施工期間曾遭遇石油、甲烷氣體湧出及湧水事件，將其施工遭遇之地質災害事件整理（如圖11）。

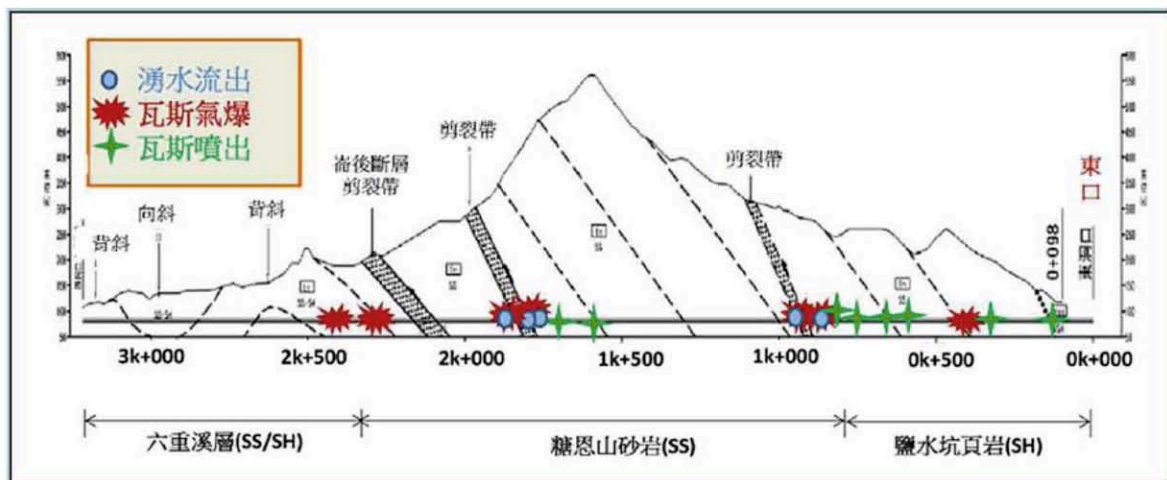


圖11 舊烏山嶺隧道施工災害發生位置示意圖

由舊崙山嶺隧道之施工記錄，研判新崙山嶺隧道施工時將可能亦遭遇油氣滲出情形，尤其在斷層破碎帶附近及封閉構造更為甲烷氣體突出之高風險區段，而斷層破碎帶內開挖亦可能遭遇湧水災害，施工過程均應謹慎，由於新崙山嶺隧道沿線最大覆蓋深度僅約370 m 左右，岩覆應力應不致過大，故隧道管壓變形問題主要應發生在斷層帶附近之剪裂軟弱地盤，

綜合舊崙山嶺隧道施工紀實、本工程調查規劃及基本設計地質調查報告、既有文獻資料、及現地勘查結果等，整理本工程隧道施可能遭遇之特殊地質問題包括斷層破碎帶（剪裂帶）、湧水、管壓及有害氣體等，其可能之位置（如圖12）所示，新崙山嶺隧道沿線岩覆尚淺，推估隧道遭遇斷層剪裂、湧水及管壓變形問題時，以國內現有隧道施工技術及工法應可努力克服；然而，對於有害氣體引發氣爆之防治，是本工程是否順利完工之最大威脅，

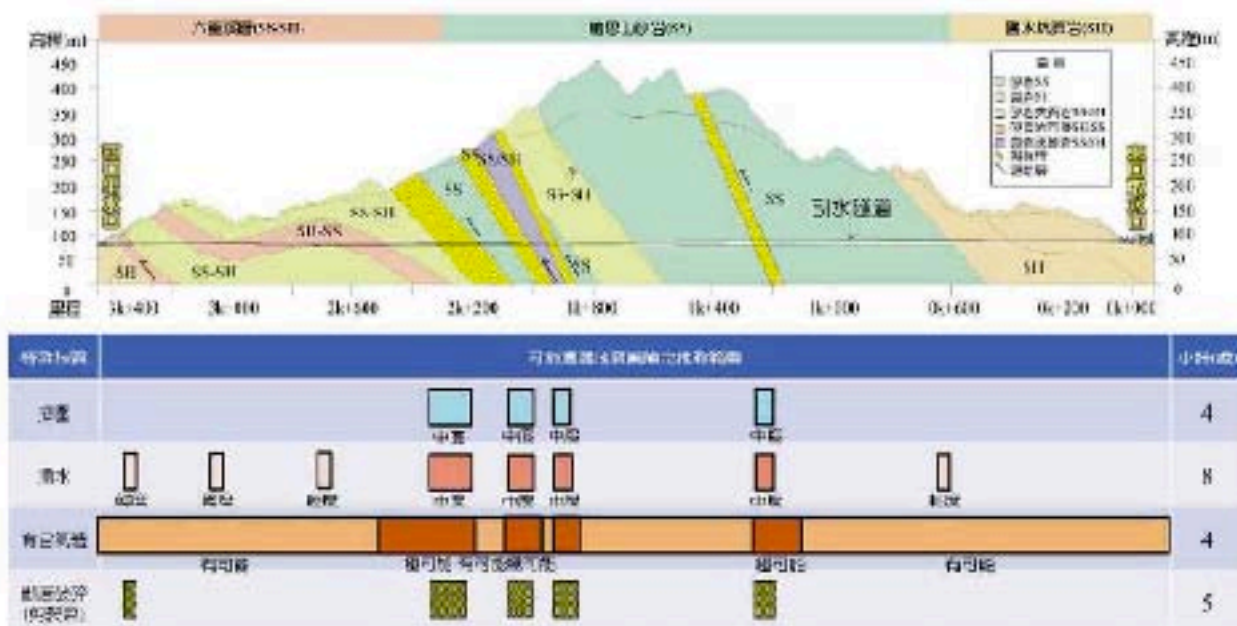


圖12 新崙山嶺隧道可能困難地質位置推估示意圖

以下就針對各項因應措施進行說明：

(1)加強通風：依據國內外相關經驗，加強通風為有害氣體處理最有效的對策，充分之風量及風速迅速將可燃性氣體濃度稀釋至安全範圍內，確保隧道內施工人員及機具設備之安全，本工程隧道總長度約3,400 m，開挖係由東西兩端向內鑽掘，各端最大施工長度小於2,000 m，採用東西洞口兩端各設獨立通風系統，各自以風機搭配風管，送入新鮮空氣及排出粉塵及有害氣體（如圖13），



圖13 隧道通風設備

(2)勤作檢測：隧道內約間隔250 m 設置固定式有害氣體偵測器，拉線集中至隧道外控制室自動紀錄監控並連線自動警示系統，當有害氣體偵測濃度達警戒值時，自動警示系統能自動發出警示聲光，警示各工作面及工地辦公室採取人員疏散與切斷電源等必要之措施。另外，須指派專人執行有害氣體檢測作業，於鑽孔、爆破前、爆破後進行氣體濃度之量測，特別針對開挖面、避車道、迴車洞及可能蓄積氣體之位置加強檢測（如圖14）。



圖14 隧道移動式、固定式氣體偵測

(3)縮短輪進：根據本計畫建構之可燃性氣體湧出量估算公式可知，每日開挖輪進長短將可能影響氣體湧出之量體，開挖輪進越長氣體滲出量將越多。因此，參考過去施工案例及本工程之地質狀況，建議當前進探查結果預期前方將可能遭遇可燃性氣體時，可評估每輪開挖長度控制在1 m以內，保持每次開挖量體小，氣體逸出量低，並且達到開挖後能夠快速架設支撐系統的目的。

(4)降低爆破：由於開挖面開炸的同時，可能造成已開挖區段岩體之擾動，而

形成一逸氣通道，增加隧道施工之風險。因此，施工時嚴格按施工計畫中各輪進開挖所需要之鑽孔深度、鑽孔間距及炸藥用量施做，不得為增加輪進長度而增加裝藥量。此外，因爆破會產生燃燒及震動，因此，本工程應儘可能採用煤礦准用低速炸藥、電雷管及防爆型照明等設備。

(5)增強支撐：隧道開挖後，周圍岩體塑性區孔隙率隨著隧道變形增加，而導致可燃性氣體湧出量增加，故加強支撐系統抑制隧道大量變形，以減少岩體塑性區範圍及可燃性氣體湧出量體。為達到此目的，於可能遭遇可燃性氣體危害之區段，將視岩體狀況打設先撐鋼管或管幕鋼管，以發揮穩定開挖面岩體及先期抑制隧道變形之目的。

(6)儘早保護：於每一輪開挖完成後應立即施做噴凝土，封閉周圍裸露岩體，避免岩體風化、墜落及變形。裸露岩體在經過噴凝土覆蓋後，亦可阻隔部份氣體逸出通道，減少氣體突出之風險。此外，本工程除洞口段、擴挖段或地質破碎區段打設岩栓外，一般段之開挖支撐儘可能減少岩栓之使用，避免增加逸氣通道，在隧道支撐能達到功能性及安全性的需求下，應儘量減少岩層中可燃性氣體滲出之途徑，必要時每輪進施作封面噴凝土。

(7)而在輔助工法方面，當現場逸出之有害氣體持續過量時，可視狀況需要採氣密性噴凝土、輔助風機、地盤止氣灌漿、噴佈式阻氣層等輔助工法，抑制有害氣體之湧出，同時亦可評估於隧道沿線周邊鑽設垂直鑽孔，作為氣體宣洩管道，盡可能減少隧道開挖時氣體逸出之量體及壓力（如圖15）。



圖15 新烏山嶺隧道太陽能自動洩氣井系統

四、結語

1. 烏山頭水庫及烏山嶺隧道是嘉南大圳工程的重要樞紐，若無此重要取水及蓄水設施，則下游的嘉南大圳灌溉系統無從發揮如此巨大之效益。即便在嘉南大圳工程完工已逾八十餘年之久後，烏山頭水庫仍然與曾文水庫聯合運用下，對台灣南部地區經濟發展所需的水資源供給作出巨大貢獻。
而烏山嶺隧道即是連結烏山頭與曾文水庫的重要且唯一輸水幹線，因此，新建新烏山嶺引水隧道除使使用八十餘年的舊烏山嶺隧道得以休養維護外，對於區域系統的穩定性具極大效益。
2. 90多年前舊烏山嶺隧道工程施工，洞內瓦斯噴出爆炸死50多人的重大災變是歷史的教訓。新隧道與舊隧道平行，相距僅約250m，以歷史的教訓來保證新隧道的安全施工，是最重要的議題。
3. 時代的進化，現代的施工技術已比90多年前大幅度的進步。截止2018年2月28日，總長3,422m的隧道，已完成2,781.5m完成率81.28%剩餘360m，預定本年4月應會貫通。
4. 新烏山嶺引水隧道工程完工後，舊隧道將維護完整做為備用。

五、參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所（2007），「烏山嶺隧道檢討及調查規劃- 隧道輸水功能檢討及評估」。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所（2008），「烏山嶺第2 隧道初步規劃工程地質綜合評估專題」。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所（2010），「烏山嶺第2 隧道可行性規劃- 工程地質補充調查及試驗專題」。
4. 嘉南農田水利會（2014），「新烏山嶺引水隧道工程- 基本設計報告」。
5. 嘉南農田水利會（2016），「新烏山嶺引水隧道工程- 補充地質調查第二期成果報告」。
6. 嘉南農田水利會（2016），「新烏山嶺引水隧道工程- 新烏山嶺隧道遭遇可燃性氣體之因應對策報告」。

投稿 107.03.02
校稿 107.03.29
定稿 107.04.02