

地工技術

地工技術分享餐會

近年地工先進陸續結束公職或任職，期望藉由「地工技術分享餐會」，讓地工先進累積的寶貴工程技術與研究成果得以分享，並透過聯誼交流達到經驗之傳承

時間：2019年1月4日(星期五) 下午5:00~9:00

地點：台中全國大飯店(台中市西區館前路57號2樓，草悟廳)

講題及主講人：

講 題	主 講 人	主 持 人
工程界遭遇卵礫石層可能面對的問題	褚炳麟 中興大學土木系教授	黃燦輝 臺大土木系榮譽教授
水力發電工程地工技術案例淺談	李慶龍 臺灣電力公司萬松施工處處長	

劉曉樺* 邱雅筑**

地工技術分享餐會為國內大地工程界技術傳承與世代展望的經典系列活動，2019年首度移師中部舉辦，值此歲末冬初，特別邀請褚炳麟教授和李慶龍處長別針對「工程界遭遇卵礫石層可能面對的問題」及「水力發電工程地工技術案例淺談」課題，為我們進行一場薪傳與蛻變的饗宴。褚教授精彩內容已先刊登在地工技術163期，以下為李處長精采的與會報導。

主題二：水力發電工程地工技術案例淺談

主講人：李慶龍處長

首先，謝謝地工技術，還有工程界前輩、工程先進，其實個人從事灌漿這方面外，隧道工程也有相當涉入。因為今天時間有限，而且地工技術也給我一個主題而已，要不然講隧道的處理也可以。今天主題是「水力發電工程地工技術案例淺談」，包含翡翠水庫、青山電廠、卓蘭電廠、新武界隧道、德基水庫、萬大電廠松林分廠等，每一個7年都是我走過的足跡，個人很慶幸，每一個工作都是從頭到尾。

今天的主題都是施工實務，當然背後有偉大的顧問公司還有設計者來做設計，但是基本上也要靠現場人員去完成。這幾個主題大概都有幾個切身的特殊困難，碰到問題因而展延工期，接著就陸續簡單說明。

圖一這幾張照片，都是我親身打戰，從早期的翡翠開始，松林、新武界然後士林電廠碰



照片一 李慶龍處長淺談水力發電工程地工技術案例

**要會鑿光 還要會協調溝通
逐水而居的「山中水牛」**

水力發電是國內珍貴的自產能源，也是台電發電系統靈活調度電力要角，艱巨水力工程是長年難經背井的「山中水牛」所打造，需與居民博感情協調溝通更須在隧道地下電廠困難危險環境完成電廠發電，穩固臺灣水力發電基業。

走過北勢溪、大甲溪、大安溪到濁水溪，水力工程「逐水而居」，從草創到看著一座座的水力電廠平安順利運轉，注入永續再生能源。

**翠輪卓武萬松青
平安完成水綠能**

圖一 逐水而居的山中水牛

到大水，也是因為做了隧道跟水利工程，碰到特殊困難，所以才有後續灌漿的問題。

今天簡報中的照片幾乎都是我個人照的，因為我對照片中工地的全景很講究，而且很龜毛，我大概花了2個多月把以前的照片通通翻出來整理，超過1,000張的照片。

* 聯合大地工程顧問股份有限公司 ** 中興大學水土保持學系

岩盤的灌漿是很傳統，灌漿工法因為是老掉牙，而且各位也都大概了解，我這邊就很綜合性地做一些探討而已，蒐集一下資料。

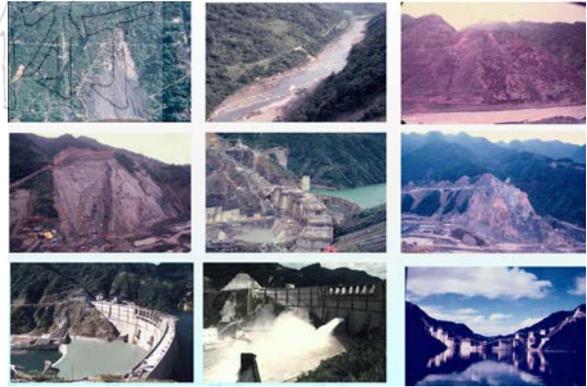
導管式灌漿做的相當多，等一下士林壩基會提到，這個是礫石層做高壓噴射灌漿以外，也做導管式，做得相當好。早期20-30年前蓋台北捷運的時候，中華路那邊做的最多，有一個笑話我一直記得，灌漿壓力太大灌到人家的馬桶上面，這是真的。冷凍工法在捷運古亭站、民權東路附近有做過，有分水平冷凍、垂直冷凍工法。聚氨酯樹脂灌漿就比較特殊，用聚氨酯樹脂來做岩盤的灌漿，最成功的是止氣灌漿。

再來進入今天主題，首先是介紹翡翠水庫，剛開始蓋的時候遭受極大反對聲浪，後來第2-3年缺水，詳細要去看看文獻，那時候就怪台電，說你們蓋水庫怎麼那麼慢！圖二是翡翠大壩原地貌及施工照片，包含翡翠水庫的左岸順向坡(左上)、河床(中上)、右岸(右上)等。

翡翠水庫最大的問題就是壩基之層縫處理，透過超高壓水鑽或水刀等沖洗岩盤層縫及含泥節理，並以不收縮漿填實之方法處理(圖三、圖四)，以確保壩基之安全。層縫厚度超過20cm的用A方法－高壓水柱沖洗法；20cm以下的到1cm的用B方法－鑽孔中以高壓水、氣旋轉噴射沖洗法；1cm以下的用C方法－超高壓(2,400kg/cm²)水柱沖洗法/水鑽水刀法。

第二個來講新天輪水力發電工程，這個也是很辛苦，我個人是在這裡面被石頭打到，然後被人家抬出來，現在額頭還有疤痕，肩膀也還會痛。有新天輪就代表還有舊天輪，所以早就知道哪邊有問題要注意，當時我在做地表調查時，坡高600m也是爬上去，以前可以請點工，點工跟我說，那邊有猴子有什麼，很危險你不要上去，結果是他不想上去。當時說實在的也是神準，在河床看到斷層泥，鑽機搬上去定一個點就鑽下去，鑽了60m我還怕如果鑽不到怎麼辦。

頭水隧道長約10km，我大概就經歷過12次的抽坍，其中最棘手的就是F3斷層抽坍(圖五)。圖六是早期我用手工畫，年輕的朋友不要笑，塗顏色是為了掌握進度，每公尺灌多少漿



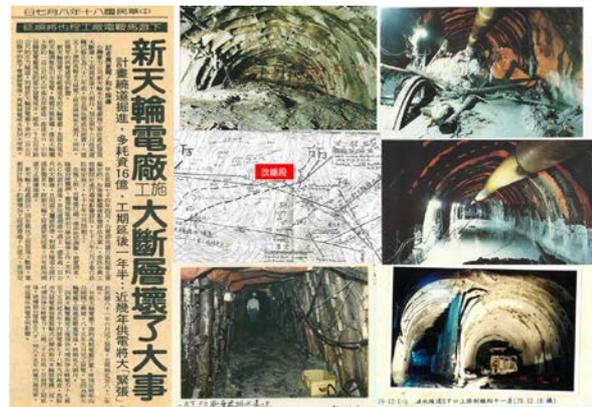
圖二 翡翠大壩原地貌及施工



圖三 翡翠大壩基礎層縫處理



圖四 翡翠大壩基礎層縫處理檢查孔岩心



圖五 頭水隧道F3斷層抽坍

地工技術

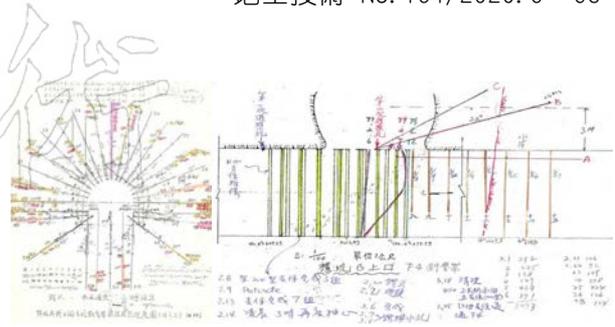
量等，因為主管第2天一定會問工期要延多久，他馬上就考我，我就說2個禮拜，其實都是用喊的。大家看新聞就知道，為了處理這個事件工期展延一年半，坍下來的時候，泥流跑了約200m，這個灌漿是一個大工程，岩盤破碎的要怎麼灌，跟礫石層用導管式的完全不一樣。

最後處理採隧道改線方案，我進去看隧道，走到一半，想說奇怪怎麼有人打我，結果是一塊大石頭把我打趴了，肋骨斷掉三根，但是越來越粗，照X光醫生說變粗了，大概就是“打斷手骨顛倒勇”。

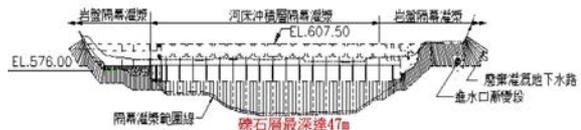
第三個講士林水力發電工程，是鯉魚潭水庫的第二期工程，主要是透過士林壩攔引大安溪的溪水後，越域引水送往鯉魚潭水庫，利用落差來發電。士林壩是混凝土重力壩(圖七)，壩長約253.5m，壩高21m，採840kgf/cm²高強度耐磨混凝土，壩基為深12.6m沈箱之浮式基礎，隔幕灌漿採用導管式與高壓噴射灌漿工法，特殊的是下方有約50m礫石層，如剛才褚老師講，跟在台中的礫石層不一樣。施工過程就請大家看圖八，看照片最清楚，但是挑照片很花時間，看到我眼睛都花了。

士林水力發電工程的頭水隧道是採用全斷面隧道鑽掘機(TBM)開挖，在Sta.1k+072.5及1k+902.6長共830.1 m之間(圖九)，遭遇較大量可燃氣體逸出，民國85年10月8日在上游段發生氣爆。國內並無可燃氣體隧道開挖實例，國外實績亦無法完全適用，經縝密規劃研討後，訂出處理措施並確實執行(圖十至圖十四)，終於在民國87年11月15日順利完成可燃氣體帶隧道開挖。題外話一個小故事，當時奧地利的廠商都說沒有問題可以繼續挖，但真正碰到地底下冒泡的時候，他們怕得要死。

接下來講921大地震(圖十五)時，德基水庫及谷關壩的緊急搶修工程。921地震致德基水庫災損，必須立即進行修復或補強，以維持電廠正常運轉及確保營運安全。就是那麼巧，大概我的長相不怎麼樣？困難危險通通叫我去，從東勢走武嶺、大禹嶺、梨山，一趟要4個小時，我就負責那一段，每個禮拜要開車過去，有一次傍晚要回來下雨，車子就在溪的中間，結果土石流，我叫司機趕快倒退，如果沒有退，你們今天也看不到我。



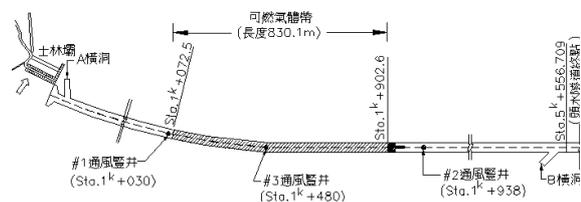
圖六 頭水隧道抽坍灌漿處理



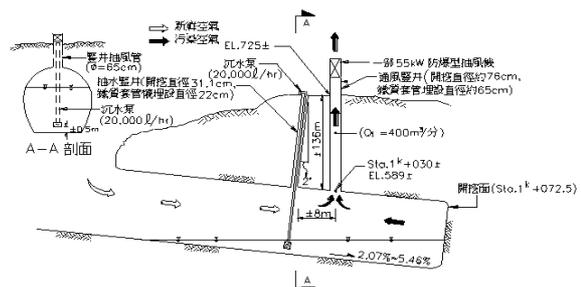
圖七 士林壩基礎縱剖面示意圖



圖八 士林壩施工過程



圖九 可燃氣體帶施工範圍示意圖



圖十 上游第一階段抽水及可燃氣體抽除處理圖

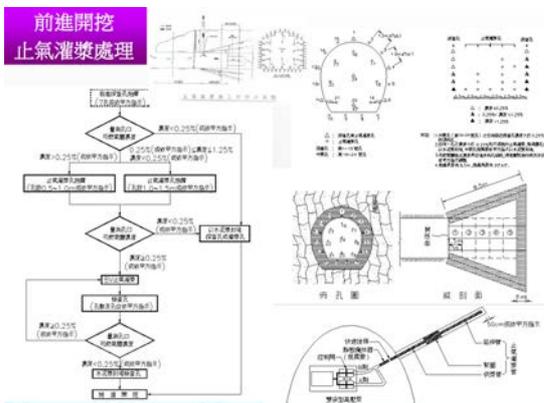
地工技術



圖十一 通風豎井與可燃性氣體偵測



圖十五 921地震災損



圖十二 前進開挖止氣灌漿處理程序



圖十六 德基水庫

圖十六(右)是我大一的時候去梨山，幫果農採梨子，那天下雨晚上住在宿舍，就在我睡覺旁邊的地方垮下去，早上起來要上廁所，我一看！旁邊沒有了？我跟同學趕快拔腿就跑，走路下來看到德基水庫正在蓋，就用黑白的照相機拍的，台電也沒有這張照片。

德基水庫的搶修工程分三個標：1. 左山脊必坦鞍部平台及邊坡修復(圖十七)；2. 大壩下游右岸邊坡保護(圖十八、圖十九)，我們走上去大概要3小時，工人可以1.5小時，很厲害，而且是沒有路的情況；3. 壩底及左斜廊道灌漿處理(圖二十)。921地震谷關壩受損進行緊急搶修工程(圖二十一、圖二十二)，搶修期間我去工地，剛好碰到(隔年)517谷關地震，3死8傷，那天我還穿著雨鞋什麼東西都沒有準備，結果待3天，每天都吃麵，搞到第3天才派直升機來接，因為道路完全不通。

接下來講2個TBM的施工，士林及新武界隧道工程，重點不是講工程成功，主要是提一下，TBM的施工一定是地質調查結果很好，所以基本上不用灌漿，或是出現困難等問題，但是台灣目前來講，TBM成功的案例並不多。

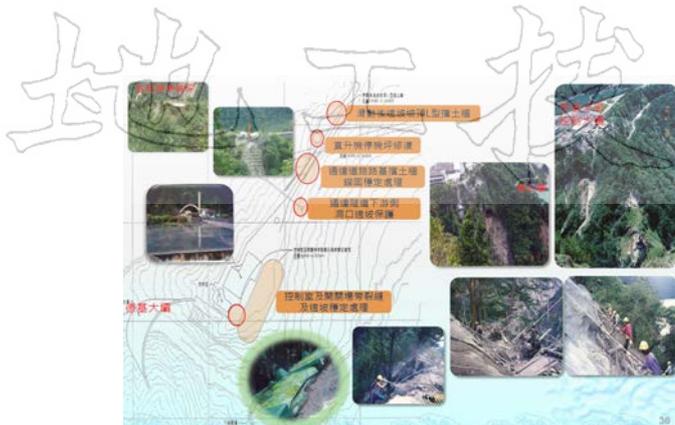
士林水力發電工程頭水隧道TBM段長約5.3km(圖二十三)，施工過程如圖二十四、



圖十三 止氣灌漿施工



圖十四 止氣灌漿成果



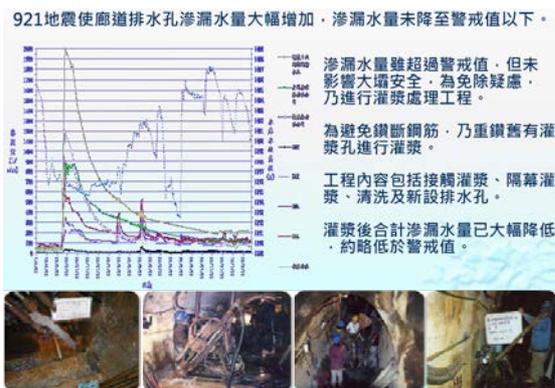
圖十七 第一標左山脊必坦鞍部平台及邊坡修復



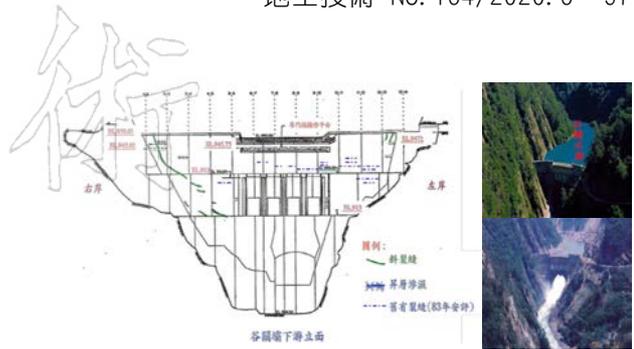
圖十八 第二標大壩下游右岸邊坡保護



圖十九 德基水庫右岸坡災損修復



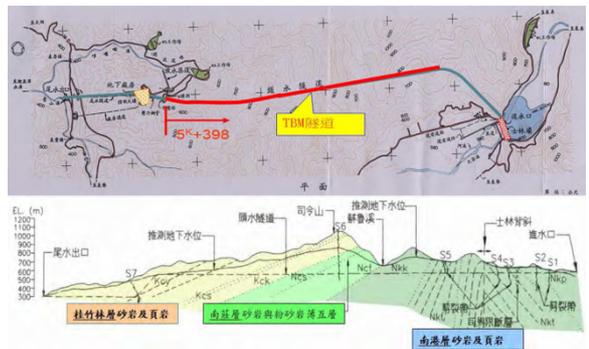
圖二十 第三標壩底及左斜廊道灌漿處理



圖二十一 谷關壩斜裂縫與搶修



圖二十二 谷關壩壩體邊坡搶修



圖二十三 士林水力發電工程頭水隧道



圖二十四 開挖保護工

圖二十五。施工過程也碰到困難問題，圖二十六是第5次的困難處理，當時奧地利的廠商堅持要做32米32個孔，到底是我們技不如人還是什麼原因？處理這個地方就花掉3個半月的時間，很多細節，他們很有主見，但我更有意見，我凍未條覺得處理太久，可能我們臺灣沒有碰到坍的話，冒險犯難精神也很夠，早期是這個樣子。



圖二十五 混凝土襯砌

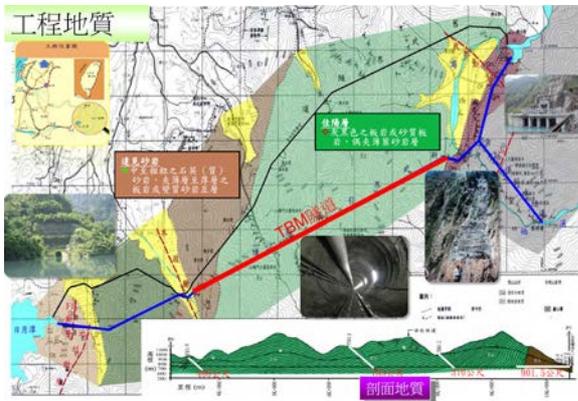
舊武界隧道使用已逾70年，混凝土劣化嚴重，為確保日月潭水源，故興建新武界隧道(圖二十七)，TBM隧道的施工過程詳圖二十八。新武界隧道除在擠壓性岩盤與處理(圖二十九)，其他施工過程都很順利，進度也很好，一個月最快可達300m。

最後來講設計及施工安全(圖三十)，勞工安全有一個很重要，顧問公司在源頭設計

困難狀況：
 里程：Sta.3K+173
 地質：多處夾泥之高度破碎砂岩，破碎帶長達19公尺。
 湧水量：平均約20公升/秒。
 現場情況：泥、砂岩塊及湧水沖入機頭內，致TBM夾夾不能運轉，後退7.8公尺，但抽泥岩塊亦隨之幾乎填滿隧道。

處理對策：
 水平長孔先撐灌漿管幕工法 (Grouting Pipe Roofing Method)，沿隧道外緣鑽32孔管幕孔並埋設多孔先撐鋼管，施作32公尺長導管式灌漿後，每輪1公尺即支撐保護，仰拱亦閉合。
 處理時間：3.5個月。

圖二十六 第五次困難處理



圖二十七 新武界隧道沿線平面地質圖



圖二十八 TBM鑽挖支撐襯砌

里程：Sta.7K+680
 地質情況：隧道板岩仰拱與側壁變形致侵入設計開挖線，甚至頂拱坍塌現象。
 處理對策：鋼支保變形抽換，隆起岩盤鑿除。

圖二十九 擠壓性岩盤與處理



圖三十 設計及施工安全

地工技術

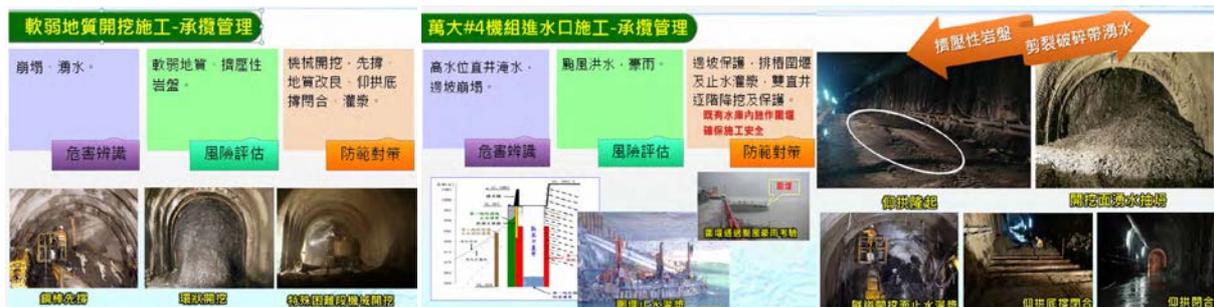
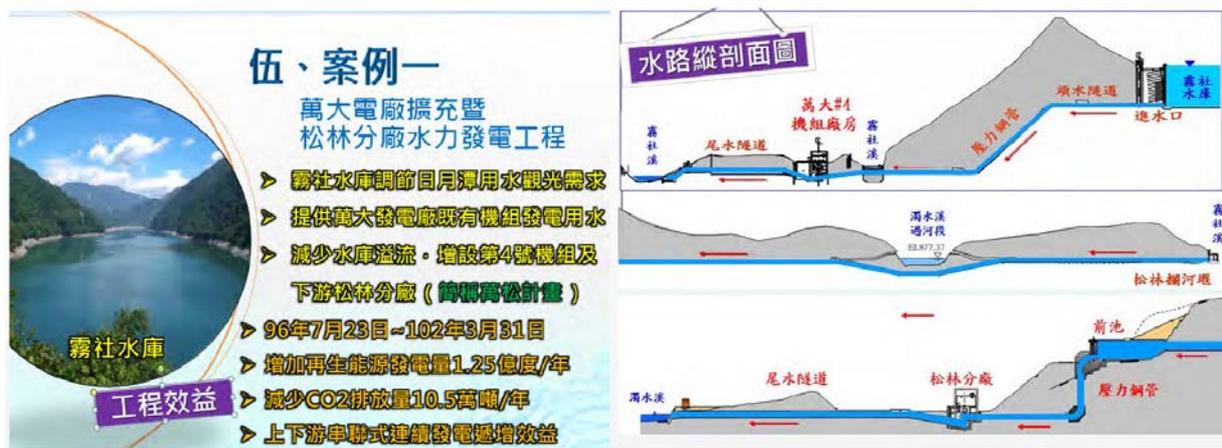
就要考慮到安全，不能把安全的問題，丟由甲方發包跟承包商來承擔，勞委會是會追究到底是施工的責任？設計的責任？還是監造的責任？這部分我就不再多說，因為都有法源依據。提供2個案例給大家參考(圖三十一、圖三十二)，主要就是源頭管理與承攬管理，設計的時候，施工安全、風險就要考量在發包條件裡面，希望藉這個機會大家可以思考一下。

「人命為首要 工安最優先」
 「承商要工安 勞工會平安」
 「工程能確保 工程才順利」
 「隨時做工安 人人保平安」

誌謝

本次活動承朝陽科技大學營建工程系許世宗主任、港洲營造股份有限公司洪西川總經理協調溝通與聯繫佈置場地得以順利圓滿，特此申謝。

最後跟大家說我想出來的10字箴言，這裡面全部是智慧財產權，謝謝！



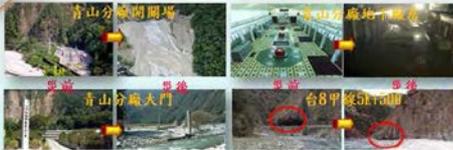
圖三十一 萬大電廠擴充暨松林分廠水力發電工程

地工技術

陸、案例二 大甲溪發電廠 青山分廠復建工程

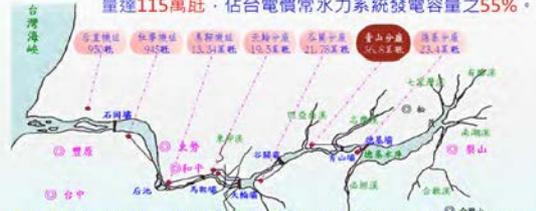


88年921大地震大甲溪邊坡嚴重坍塌，90年桃芝颱風大量土石流入河床，合閘段河床淤高30公尺，致大甲溪發電廠各分廠均有災害。93年敏督利颱風72水災又造成青山分廠段河床淤高15~20公尺，最大慣常水力青山分廠(36萬瓩)嚴重受損。



工程地點

大甲溪發源於大雪山山脈，從源頭到入海口總長124公里，大甲溪的上、中游因水流充沛，從德基水庫以下到馬鞍約50公里距離，落差就高達1,000公尺，共設有4座水力發電廠及馬鞍、社寮2座機組，總裝置容量達115萬瓩，佔台電慣常水力系統發電容量之55%。



98年11月開工，105年12月竣工。再生能源發電量6.21億度/年，為裝置容量最大之水力發電廠。減少CO2排放量26.8萬噸/年。上下游串聯式連續發電遞增效益，供給尖峰發電及系統調頻功能。



廠區對外聯絡通道及尾水隧道洞口改設至防淹防埋安全地點



新建廠區對外聯絡通道完成



新建尾水隧道延長段完成



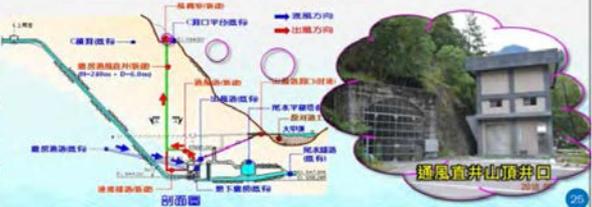
(一) 新建廠區對外聯絡通道設計-源頭管理

溪水滲入既有廠房通道進入廠房，危及通風、火災及緊急避難。
 長隧道消防、颱風豪雨排水及通風。
 新建通道口設於高地，不同岩體開挖支撐，消防、排水及通風系統符合法規。



(二) 新建廠房通風直井設計-源頭管理

通風口淹水、土石崩落或掩埋。
 暴雨河床淤高，邊坡破碎。
 新建通風直井，洞口設於山頂達防淹、防埋及通風，另設高速電梯運維。



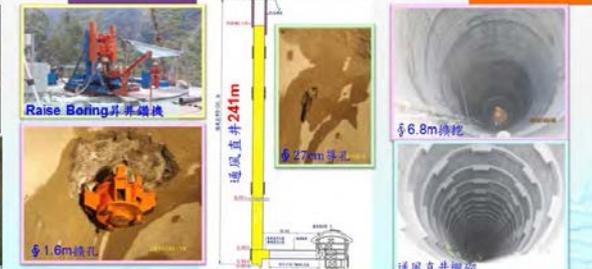
(三) 隧道抽坍施工-承攬管理

斷層、剪裂破碎帶抽坍、湧水。
 再抽坍或湧水增加。
 抽坍段探查，分段前進地質改良、管幕支撐及計測。



(四) 新建廠房通風直井施工-承攬管理

直井240m深、直徑6m，抽坍、岩塊掉落、墜落。
 深井，破碎帶、湧水。
 探查，昇井工法施工，逐階降挖保護，預灌。



圖三十二 大甲溪發電廠青山分廠復建工程