

地工技術

工程案例回顧與熱門議題報導

台電大甲溪發電廠青山分廠復建～地下開關場

涂秀錦* 羅立** 廖俊逸**

大甲溪發電廠青山分廠位於台中市和平區大甲溪中游，為台灣最大的慣常水力發電廠，年平均發電量5.91億度。2004年7月1日敏督利颱風來襲，中橫公路谷關至德基段路基災損嚴重，邊坡崩落土石大量流入大甲溪中，嚴重堵塞水流，進而逼高洪水位，導致台電公司大甲溪發電廠包括德基、青山、谷關、天輪、馬鞍等各分廠均遭受災損，其中尤以青山分廠最為嚴重，洪水由青山分廠臨溪側之出風道及尾水平壓塔通氣道灌入地下廠房，造成廠房區全部淹水、發電設備嚴重受損，無法運轉發電。

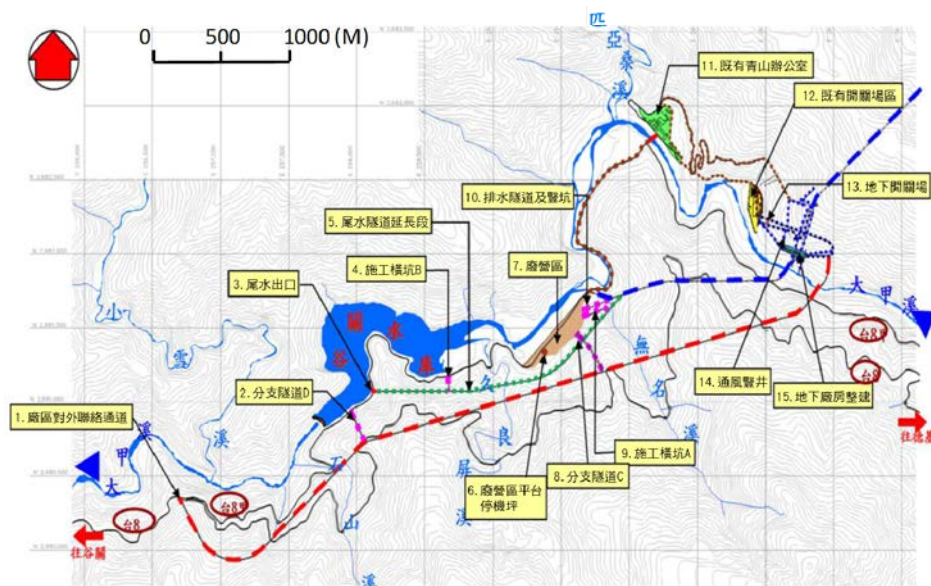
經災後調查，既有開關場旁大甲溪河床淤高約15公尺，與既有開關場地面高差不及1公尺，開關場與廠房通道口洪水期間被淹沒的危機相當大。另外既有開關場右側邊坡崩塌，造成局部設施遭土石淹埋(如圖一)。

2005年後台電公司為對全國提供穩定電源與供電品質，辦理青山分廠復建計畫。復建計畫所有永久發電設施之佈置以避開大甲溪主流洪水及各支流土石流威脅為前提。因此計畫將

遭受淹水之既有地下廠房整建；並將開關場自原地面式移設至距既有廠房通道洞口約50公尺山腹內並更新設備；既有尾水隧道向下游延長至谷關壩上游左岸約420公尺處之台8臨37便道河側，發電後尾水洩放至谷關水庫。新建廠區對外聯絡通道由既有廠房通道向下游延伸至台8臨37便道7.1K附近。地下廠房區止滲防漏處理後裝設豎軸法蘭西斯式水輪發電機組四部，設計水頭275公尺，復建工程平面布置如圖二。



圖一 敏督利災損後青山分廠開關場區洪水損毀情形



圖二 青山分廠復建計畫平面佈置圖

*台灣電力股份有限公司營建處

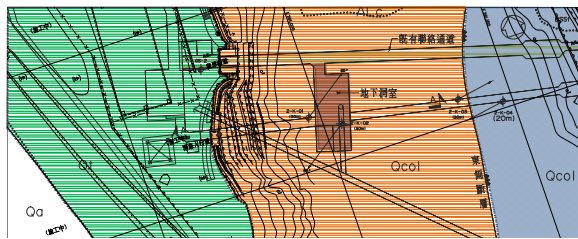
**中興工程顧問股份有限公司大地工程部

大甲溪電廠青山分廠座落於台灣雪山山脈與中央脊樑山脈帶變質岩地區，出露岩層以第三紀始新世至中新世之地層為主，包括以板岩為主之佳陽層及砂岩為主之達見砂岩，該區岩層因曾受強烈擠壓及褶曲，多小規模之斷裂及褶皺，並顯示曾受不同程度變質與變形作用。

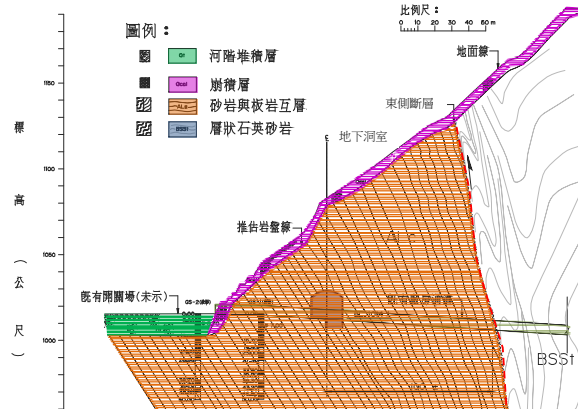
依據設計階段鑽探結果顯示，新建開關場表層上覆2~3m厚之崩積土層，下部岩體主要為板岩，局部夾含變質砂岩與板岩互層，整體位態約為南北走向，向東高角度傾斜，受東側的斷層構造之影響，開關場岩體位態較為紊亂，且劈理及節理發達，裂面銹染嚴重，RQD大多為0~20，部分為10~40，僅局部岩段達70，有為數甚多之小規模剪裂帶發展，開關場之地質平面圖及剖面圖如圖三~四。

新建地下開關場位於既有廠房通道旁之山腹，開挖尺寸約長度49.0m、跨度19.6m、高度18.0m，總開挖土方量約15,000m³，岩覆約70m。

開挖面附近之圍岩因開挖引致側向應力減小、軸向應力增加，當此不利之應力狀態大於岩盤強度，則產生應力破壞。地下開關場細部設計經驗法以Barton岩盤品質(Q)進行開



圖三 新設開關場地質平面圖



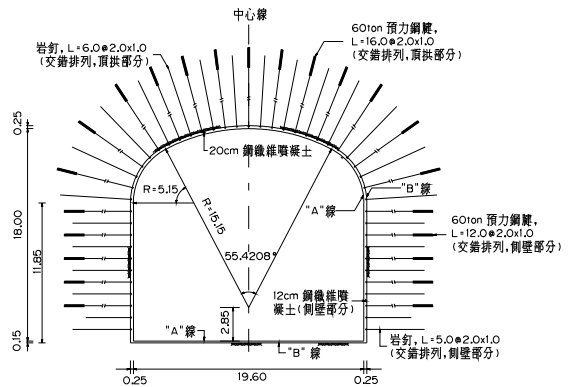
圖四 新設開關場地質剖面圖

挖支撐設計，依新奧工法之概念以鋼纖維噴凝土、預力鋼腱及岩釘等支撐為主，採系統性佈設，用以穩固開挖周圍岩體之不穩定區域。

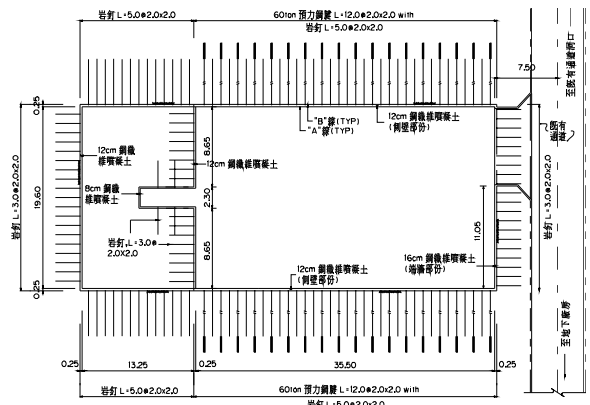
支撐細部設計結果圖五與圖六，因應本區岩盤條件較差之情況，其支撐數量間距與長度皆較一般地下洞室開挖來得大。

而後地下開關場於施工階段開挖之初，承商反應該區地質情況差，需以機具鑿挖，並需加強臨時支撐方能逐步開挖，支撐工除原設計鋼纖維噴凝土、岩釘及預力鋼腱之外，並以臨時鋼支堡及地盤改良等輔助工法減少大型洞室開挖衍生大量變位，施工開挖規劃先由頂拱分區開挖及支撐，再逐階分區降挖及支撐。

頂拱開挖為克服破碎岩盤造成支撐材料錨碇力不足問題，先利用預力鋼腱之鑽孔進行預灌及地盤改良，並採用小斷面開挖架設臨時鋼支堡始能維持頂拱穩定。地下開關場頂拱之施工為開挖工程之關鍵，相關施工開挖方式順序見圖七及圖八。首先由既有廠房聯絡通道之側壁，進行第1階段施工導坑洞口之開挖，而



圖五 開關場開挖支撐剖面圖 (長度單位：m)



圖六 開關場開挖支撐平面圖 (長度單位：m)

地工技術

後第2階段施工導坑之開挖如圖九，至開關場頂部後進行頂拱開挖；圖七顯示開關場頂拱平面之開挖順序，頂拱先進行第3-(1)及3-(2)階段之開挖，而後於第3階段之頂拱全面開挖完成後，頂拱全斷面分為3個小斷面分別為第4-(1)、6-(1)、7-(1)往既有廠房聯絡通道方向開挖，並於每個小斷面開挖完成即逐步進行頂拱鋼纖維噴凝土、岩栓、臨時鋼支撐及預力地錨等支撐之施作，而後再進行4-(2)、6-(2)、7-(2)階段開挖，頂拱全斷面開挖狀況詳如圖十。待頂拱開挖完畢後進行側壁之降挖，側壁降挖分為9、10、12等3個階段逐步降挖並架設支撐直至預定高程。

新建地下開關場最關鍵的頂拱開挖支撐工作完成後，由於現地已累積足夠之監測及岩體評估資料，考量頂拱開挖遭遇破碎岩體之施

工狀況，為了解地下開關場整體支撐設計之適宜性及側壁降挖施工過程之安全，設計單位蒐集頂拱監測儀器之測讀結果進行數值回饋分析，重新評估岩體參數，據以評估支撐設計之合宜性。分析頂拱全面開挖完畢後之變形如圖十一所示，頂拱之沉陷量約為2cm左右，與頂拱沉陷觀測點之監測資料相比，實際監測變位與分析結果相當符合，而後再以反算之參數進行整體之開挖計算。

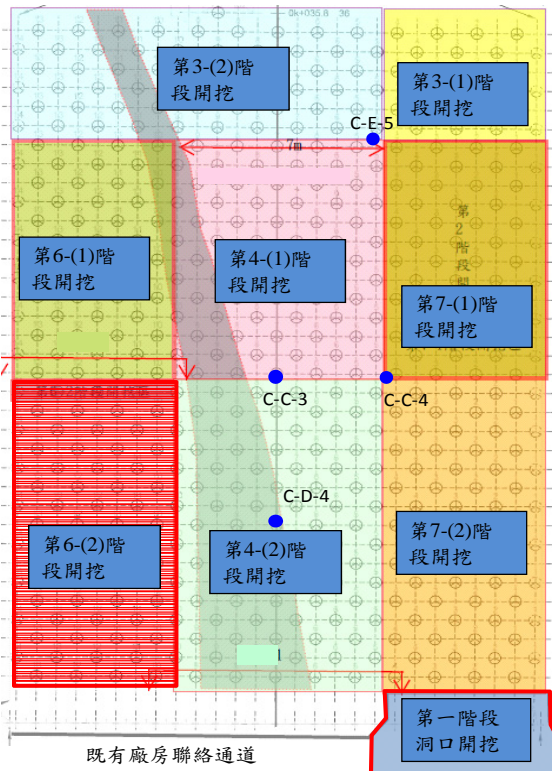
分析開關場整體開挖完成後之變位情形如圖十二所示，頂拱變位約2.4~6.0cm，側壁變位約3.2~4.8cm，與僅有頂拱開挖完後之結果比較，可知隨開關場降挖，頂拱之變位於頂拱開挖完畢後便趨於穩定，隨各階段降挖變形增加幅度並不大。



圖七 地下開關場長軸方向開挖順序示意圖



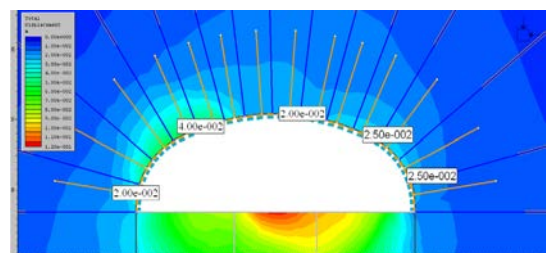
圖九 開關場施工導坑施工現況



圖八 開關場頂拱開挖流程



圖十 開關場頂拱開挖施工現況



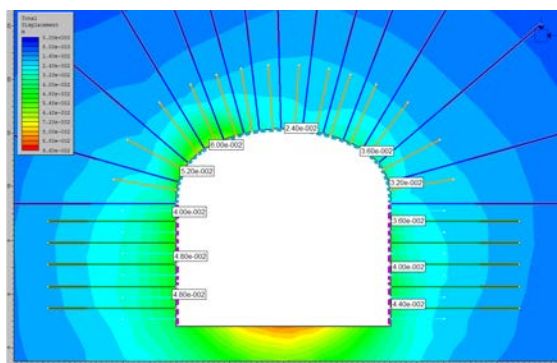
圖十一 頂拱開挖反算分析變位圖(m)

開挖周圍岩體塑性區之發展，如圖十三所示，紅色部分為岩盤塑性區域，頂拱之預力鋼腱固定端皆位於塑性區外，可有效提供錨碇效果，但側壁預力鋼腱自由端長度略顯不足，導致固定端可能位於塑性區內無法提供良好之錨碇效果，根據反算分析建議側壁預力鋼腱之長度自由端需加長至12m，以確保降挖過程預力地錨可發揮作用，最終完成開關場整體開挖工作，如圖十四所示。

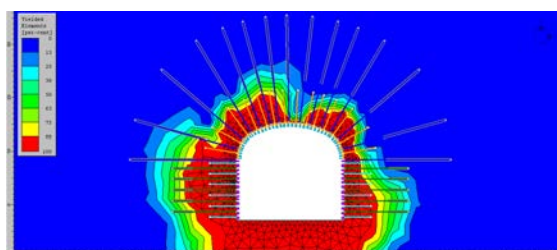
新建地下開關場為青山分廠復建計畫之關鍵要徑，由於工址緊鄰斷層且地層破碎，開挖施工困難，歷經頂拱支撐加強及設計反饋分析，於2013年7月30日完成開關場之開挖。後續結構襯砌及裝修工作，在山區覓工不易情形之下，台電公司採增加人力及延長工時攢趕，並在2014年3月底完成襯砌及裝修，未對青山電廠復建計畫整體目標之時程造成影響。

大甲河流域為台灣地區水力資源蘊藏量最豐富的河川，台電公司共設有五座分廠，總裝置容量達115萬瓩，佔國內慣常水力發電機組之55%，其中青山電廠規模最大。

青山電廠復建計畫於2015年9月23日完成4部機發電目標，電廠也順利於2015年12月重新商轉，完成後年發電量提升至6.21億度，每年約可減少二氧化碳排放量50.55萬噸，相當於1,300座大安森林公園之減碳量。



圖十二 新建地下開關場開挖完成變形圖(m)



圖十三 新建地下開關場開挖完成塑性區分佈圖



圖十四 開關場開挖完成圖