

大觀二廠及明潭抽蓄水力發電廠地下開挖

鄒瑞卿 盧志杰*

一、前言

民國 61 年起，台灣地區由於經濟發展與生活水準提升，造成尖、離峰用電量差距加大及尖峰電源短缺現象，為有效利用離峰剩餘電力，解決尖峰電源短缺問題，並降低發電成本，提供優質電力，遂有抽蓄水力發電計畫之規劃。

大觀二廠(原名「明湖電廠」)與明潭抽蓄水力發電廠(簡稱「明潭電廠」)，均位於南投縣水里鄉日月潭西側的水里溪溪谷，皆以日月潭為上池，明湖下池水庫及明潭下池水庫為下池，尖峰時利用上、下池間位能差進行發電，離峰時則利用剩餘電力，抽下池之水儲存於上池，藉轉化離峰剩餘低成本電力，替代高價之尖峰電力，以節省發電成本，並藉調整系統頻率，兼具穩定電壓提高電力品質，達到水資源再循環利用功能，電廠相對位置與照片如圖一至圖三。

針對抽蓄水力發電的可行性，台電公司自民國 62 年起委託德國及瑞士等外國顧問公司進行研討與分析，後續並於民國 70 年 4 月開工辦理大觀二廠興建工程，於水里溪上游築壩(即明湖下池)貯存發電尾水，並於用電尖峰時段，利用頭水隧道引日月潭水推動水輪機和發電機組發電(有效落差為 309.7 m)，深夜則利用離峰剩餘電力抽取明湖下池儲水存於上池(日月潭)。整體工程於民國 74 年 9 月完工，耗資約 311 億元，共裝設四部 255MW、300rpm 之可逆型法蘭西式抽水/水輪機，總裝置容量約 100 萬瓩，為國內第一套抽蓄水力發電機組。

此外，民國 70 年間台灣工業開始蓬勃發展，用電量大幅增加，為滿足民生與企業之電力需求，須積極開發各種電源，因此於大

觀二廠完工後，台電公司再推動「明潭抽蓄水力發電工程」。明潭電廠工程同樣規劃於日月潭附近，並築壩於水里溪(即明潭下池)以貯存發電尾水，利用兩條壓力隧道引水，有效落差為 380 m。整體工程於民國 76 年 9 月開工，並於民國 84 年 6 月完工，耗資約 510 億元，共裝設六部抽水/水輪機及電動/發電機，發電容量共 160 萬瓩，每年發電量約 24 億度，為當時亞洲最大，世界第四之巨型抽蓄水力發電廠。

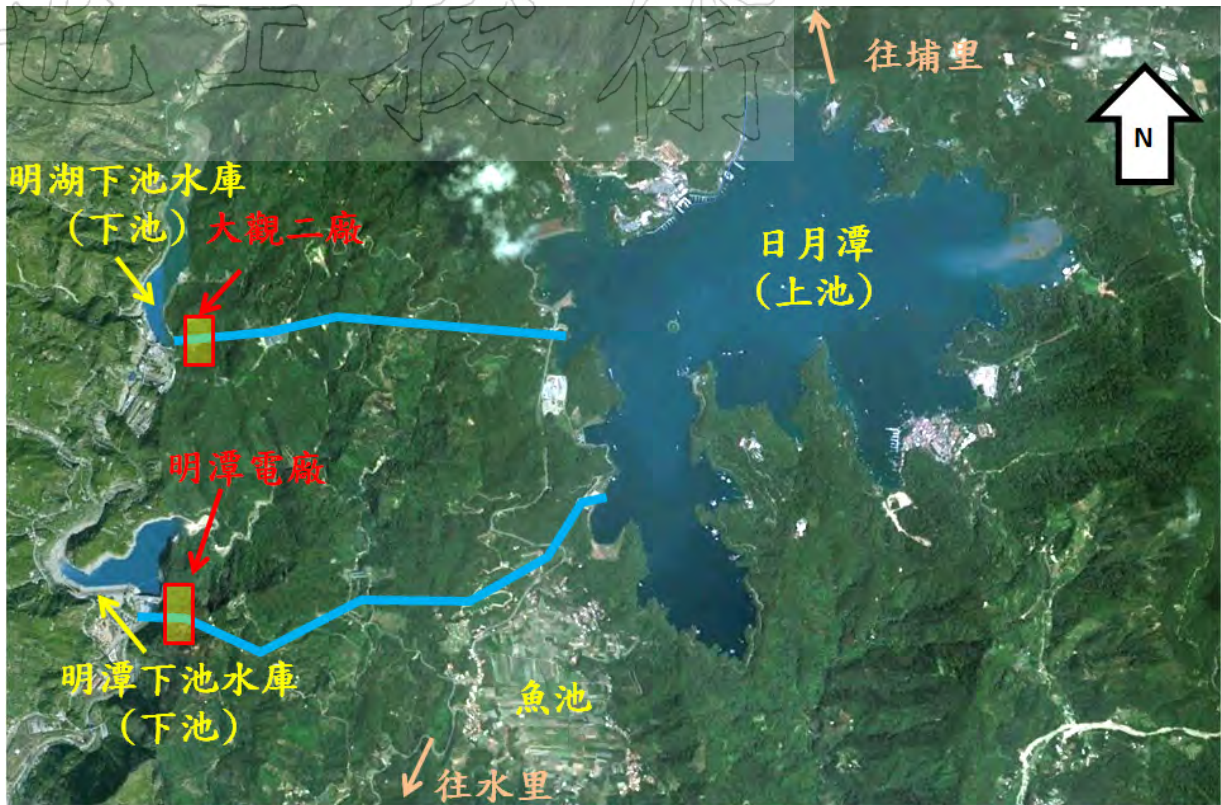
二、工程概述

一般電廠多以地面設廠為主，惟水力發電廠因合適地點難尋，加上需配合地形及水壓因素，因此多規劃於地下設廠，大觀二廠和明潭電廠為我國目前規模最大的地下電廠。相較於水力發電引水隧道最大斷面(直徑約 8 m)與雪山隧道斷面(最大斷面約 13m)，大觀二廠和明潭電廠地下開挖斷面(約 21 m×46 m)屬超大型之地下洞內開挖，因此開挖與襯砌設計均較一般隧道更為困難與複雜。

大觀二廠地下廠房採用傳統的地下開挖建造技術，如圖四所示，電廠橫斷面為菇形斷面，頂拱及側壁採用混凝土襯砌。施工順序為(1)頂拱分段開挖；(2)頂拱襯砌構築；(3)主體逐層向下開挖與支撐；及(4)側壁襯砌構築，詳圖五與圖六所示。

菇形斷面因頂部之混凝土頂拱需深入岩盤，故頂部跨度較大，當電廠主體向下開挖時，兩邊側壁向內空擠壓變形，將造成頂拱基座承受較大應力。此應力除造成頂拱基座下方側壁岩盤應力集中外，亦將造成頂拱混凝土應力增加，使側壁岩體鬆弛滑動及頂拱混凝土破裂風險升高。為克服上述問題，工程設計頂拱採用岩釘與噴凝土等支撐方式，

土地工技術



圖一 大觀二廠與明潭電廠位置圖



圖二 大觀二廠尾水出口照片

使頂拱與岩盤結成一體，成為永久支撐，並充分利用岩盤所發揮之地拱效應，以

減少作用於頂拱混凝土應力。側壁則增加預力鋼腱做為臨時支撐，以穩定開挖面。俟大

地工技術



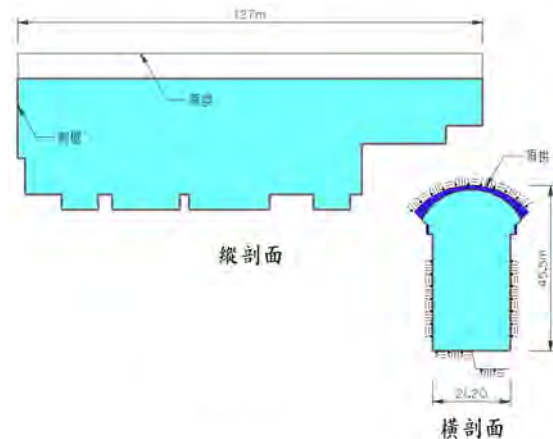
圖三 明潭電廠尾水出口照片

部分位移發生後再行澆灌側壁混凝土，減少側壁變形對於二次襯砌之影響，順利完成大觀二廠地下廠房開挖工程。

明潭電廠原設計廠房橫斷面為蛋形斷面，後因廠址遭遇剪裂帶及地下水問題，工程性質不佳，且蛋形斷面尺寸控制不易，後續方改為垂直側壁之馬蹄形斷面(如圖七所示)。

如圖八所示，地下廠房施工順序為(1)預埋補強預力鋼腱並於剪裂帶回填無收縮水泥砂漿，改善補強周圍軟弱地質；斷面兩側增設排水廊道，降低地下水位。(2)頂拱分段開挖並施噴鋼纖維噴凝土作為頂拱襯砌。(3)主體逐層向下開挖並施噴鋼纖維噴凝土作為側壁襯砌。施工情形如圖九所示。明潭電廠之開挖工程採新奧工法概念，頂拱與側壁襯砌以鋼纖維噴凝土配合預力鋼腱之半剛性支撐進行設計，為國內地下開挖採用半剛性支撐以及鋼纖維噴凝土首例。

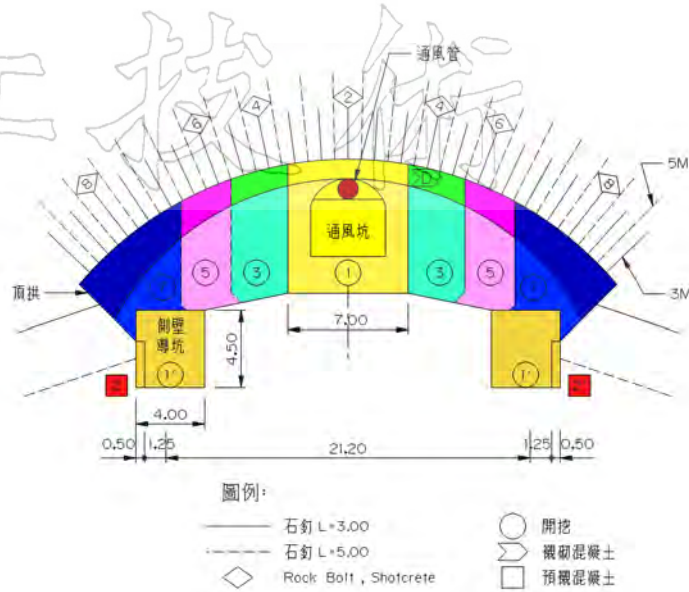
以岩石力學理論配合有限元素方法，分別針對大觀二廠及明潭電廠地下開挖斷面進行分析，探討周圍岩體受地下開挖之影響，



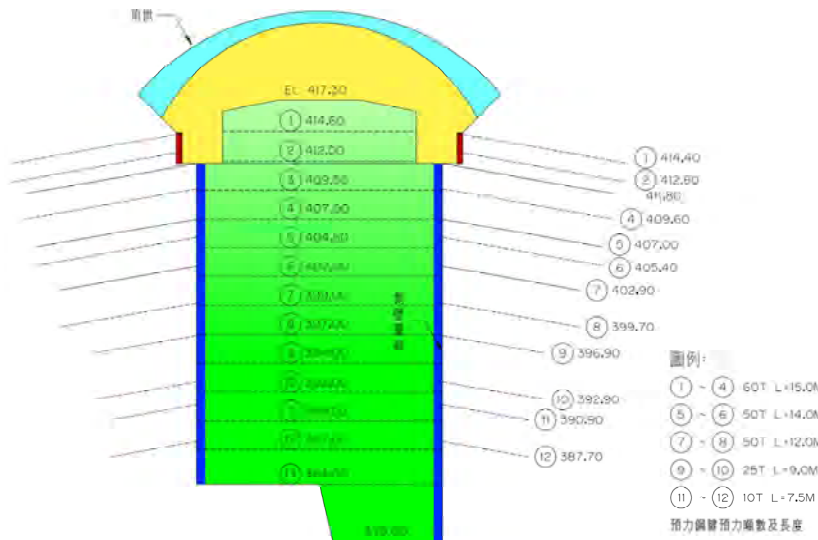
圖四 大觀二廠結構剖面示意圖(參考大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道內容重繪)

圖十為各開挖斷面下，分析周圍岩體鬆弛之位置與範圍結果。比較蛋形、菇形與馬蹄形等不同開挖斷面，蛋形斷面較馬蹄形與菇形斷面接近圓形，開挖後應力集中與岩體鬆弛範圍較少，開挖面穩定性亦較高，但因側壁並非為垂直面，施工不易。馬蹄形斷面與蛋形斷面接近，開挖面穩定性亦高，但側壁為垂直面，施工較簡易，其斷面之高度與寬度最經濟。菇形斷面開挖後應力集中與岩

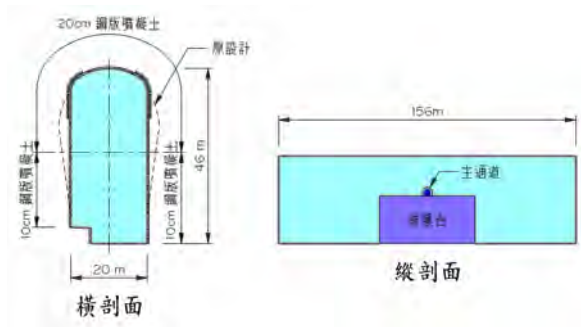
地工技術



圖五 大觀二廠頂拱施工順序圖(參考大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道內容重繪)

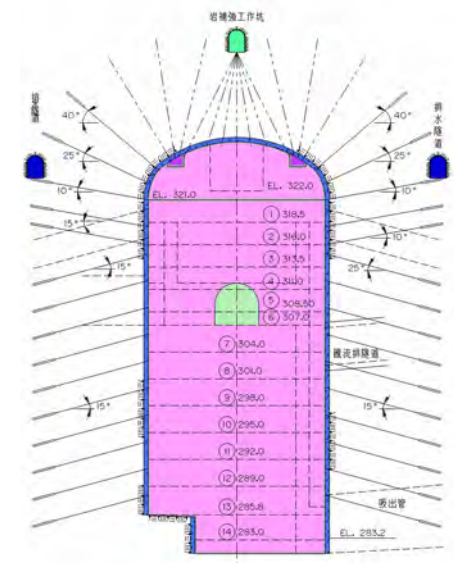


圖六 大觀二廠主體施工順序圖(參考大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道內容重繪)



圖七 明潭電廠結構剖面示意圖(參考大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道內容重繪)

體鬆弛範圍較大，開挖面穩定性較差，頂拱開挖面積亦較大。綜合比較以上三種斷面之工程費以及施工性，明潭電廠採用之馬蹄形斷面較前期設計之蛋形斷面與大觀二廠採用之菇形斷面為佳。

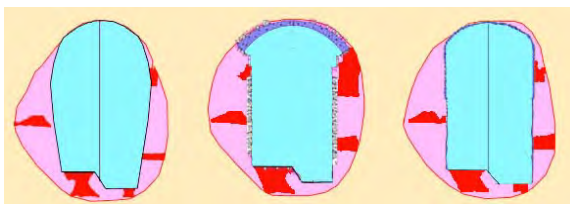


圖八 明潭電廠施工順序示意圖(參考大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道內容重繪)

土造工松公



圖九 明潭地下廠房側牆襯砌施工情形



蛋形斷面 菇形斷面 馬蹄形斷面

圖十 斷面開挖岩體鬆弛位置與範圍比較(摘自大地工程四十載-從石門水庫至雪山隧道)

三、結語

電力是現代化國家發展中不可或缺的能源，台灣電力來源以火力、核能以及水力發電為主，相較火力及核電，水力發電為較環保之再生能源，發電過程不會對環境造成污染。大觀二廠與明潭電廠是目前台灣水力發電的樞紐，明潭電廠亦為台灣最大的水力發電廠，為台灣提供了乾淨與便宜之電力來源。

傳統地下開挖工程以 Terzaghi 岩盤荷重法設計襯砌，採用美國鋼支保支撐工法，此工法屬剛性支撐，易因圍岩鬆弛滑動導致襯砌承受壓力過大，造成襯砌破裂甚至喪失承載力。民國 60 年代後，國內引進新奧工法(NATM, New Austrian Tunneling Method)，利用監

測資料評估開挖穩定性，並視需要施加岩釘、噴凝土等半剛性支撐元素，以加勁圍岩、穩定開挖面並限制變形。新奧工法利用圍岩自身強度支撐開挖面，強度不足處施加半剛性支撐元件補強，設計概念符合岩石力學理論，半剛性支撐除可接受較大的變形，其施作數量亦具彈性，較傳統工法更具安全性與經濟性。明潭電廠地下開挖為採新奧工法概念及鋼纖維噴凝土設計之首例，為國內後續地下開挖設計提供許多寶貴經驗。