

台灣高速鐵路長隧道工程施工現況

吳福祥

高速鐵路工程局副局長

摘要

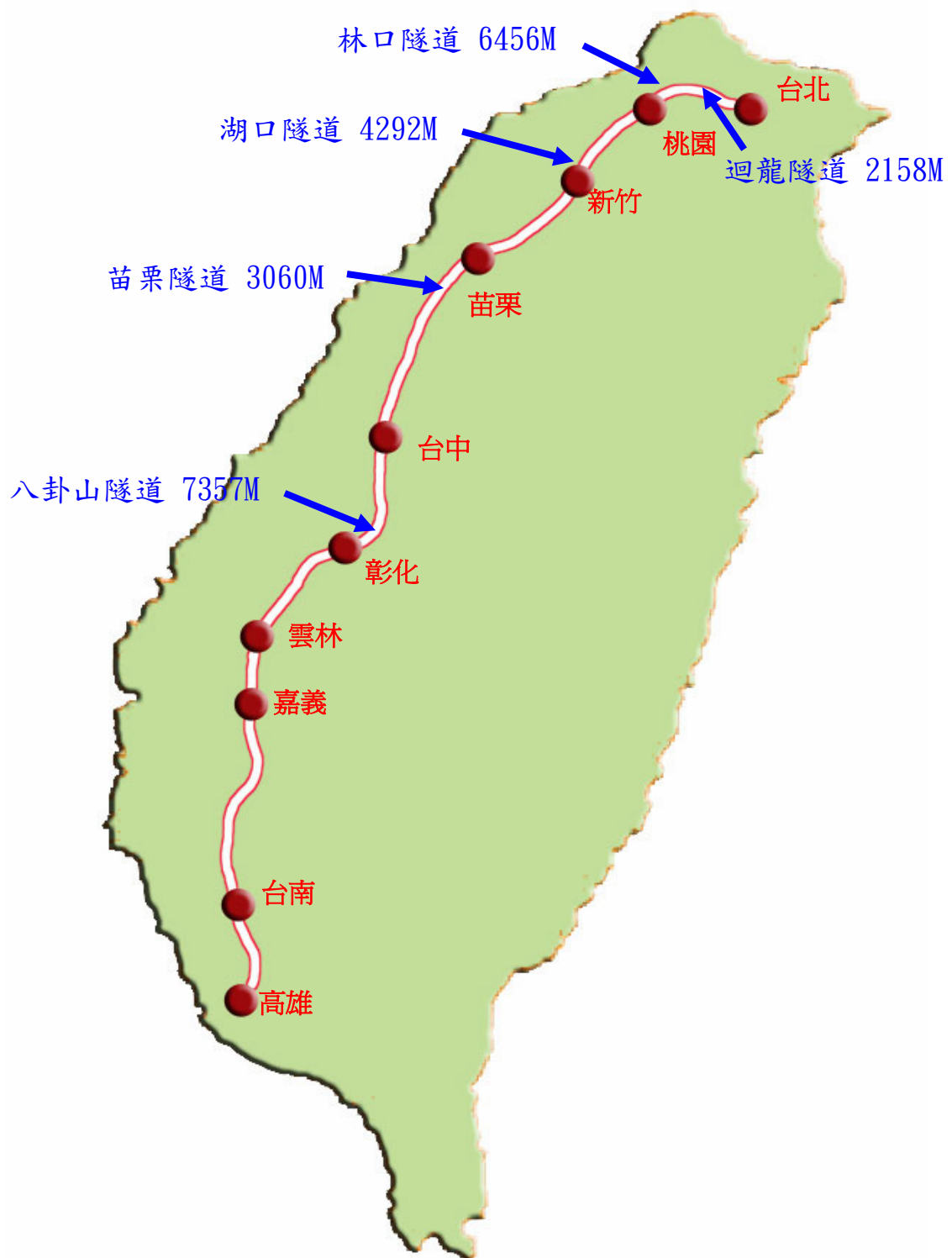
台灣高速鐵路建設計畫是目前世界上由民間與政府合作投資、金額最大的鐵路工程與站區開發計畫，並以 2005 年 10 月完工通車為目標。本文係就高速鐵路五座山岳長隧道之地質狀況、細部設計、施工方法及執行現況加以說明，並就其由民間公司發包施工的特點加以評敘。

關鍵詞：長隧道、BOT、新奧工法、不排水隧道、統包。

一. 引言

台灣南北高速鐵路興建計畫係依據「獎勵民間參與交通建設條例」，採由民間投資興建營運後移轉政府 (Build-Operate-Transfer, BOT) 之方式辦理。政府已於 1998 年 7 月與台灣高鐵公司簽訂高鐵「興建營運合約」(特許期 35 年) 及「站區開發合約」(特許期 50 年)，總工程經費約 US\$123.3 億元(以 1US\$=35 新台幣計)，包括政府辦理部份 US\$30.2 億元及台灣高鐵公司負責辦理部份 US\$93.1 億元。

台灣高速鐵路路線全長約 345 公里，北起台北車站南迄高雄左營，沿途設置台北、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄等十個車站，並在北部汐止、中部烏日、南部左營設三處車輛基地及在高雄燕巢設置總機廠，另在新竹、嘉義設置工務、電務維修段。路線中由台灣高鐵公司負責興建者計 330 公里，其土建結構概分為高架橋 242 公里(占 73%)、路堤/路塹 40 公里(占 12%) 及隧道 48 公里(共 48 座，占 15%)。全線土建工程區分為 12 個標段，分由德國、日本、荷蘭、韓國、義大利、泰國、香港之大營造公司與國內廠商結合而成的 12 個聯合承攬團隊統包，負責設計與施工(廖慶隆，2002)。高鐵隧道集中於台灣的中北部山區，其中長隧道(超過 2 公里者)共有五座，位置詳附圖所示，由北而南分別為迴龍隧道 2158 公尺、林口隧道 6456 公尺、湖口隧道 4292 公尺、苗栗隧道 3060 公尺及八卦山隧道 7357 公尺，合計長 23323 公尺，是本計畫是否能如期完工通車的主要關鍵。



台灣高速鐵路車站及長隧道位置示意圖

二. 高鐵長隧道之設計與施工

高速鐵路隧道設計之淨斷面空間為 90 平方公尺，供設置上行下行各一軌道、電纜槽、電車線、緊急走道及排水管道等設施。本文所述的五座山岳長隧道，經地質調查後，均決定採用 1979 年引進國內之新奧(NATM)工法(林文進，1983)施工，其原理係利用隧道開挖後地層本身潛在的自撐能力、輕型鋼支堡、鋼線網及噴凝土快速凝結支撐等，將開挖面補強與開挖地層結合為一體，使隧道開挖能夠於最小變形及安全環境下完成。五座隧道共設計 25 個工作面進行開挖，截至 2002 年 4 月底止，已有 24 個工作面展開施工，平均每月隧道上半部之鑽掘工率約 80 公尺/工作面，其中挖掘最快的工作面每月可前進達 235 公尺，使長隧道主控高鐵通車之關鍵，漸趨樂觀。茲就五座山岳長隧道之地質狀況、細部設計、施工方法及執行現況敘述如后。

2.1 迴龍隧道

迴龍隧道全長 2158 公尺，其中鑽掘段 1960 公尺，明挖覆蓋段 198 公尺，位於台北縣樹林市北側，隧道由東向西穿過大同山之迴龍丘陵地進入龜山鄉，覆蓋層厚約 18-180 公尺，地質屬砂岩及頁岩互層，並含煤層，地下水位大部份高於隧道高程，設計為排水式隧道。由於東口地形陡峭，又鄰近住宅區，因此僅設計西口一處開挖面向東側開挖。本隧道是由日本大林組及國內互助營造公司聯合承攬設計與施工，其中設計是由中興工程顧問公司負責，施工之協力廠商為東丕營造公司。施工工法主要係採用新奧工法，分上半部、台階及仰拱開挖，並輔助以管幕工法、固結灌漿、岩栓、排水及瓦斯探測鑽孔等工法一起施工。

本隧道開挖所使用之機具設備，除挖土機、出碴機、噴漿機及鑽堡機等一般必備機具外，另外引進可供下仰拱同步開挖、繫筋及澆築混凝土結構之 12 公尺長棧橋，可在隧道內原地迴轉調頭的六輪運碴傾卸卡車，可供車輛於隧道內調頭之迴轉台，以及滾動破岩機等，以提升隧道開挖之效率。自 2001 年 4 月開挖以來，曾因滲水量大，導致地層發生擠壓，立即採取打設排水孔、打設岩栓補強、樹脂灌漿、側壁下方灌漿及提早閉合仰拱等措施，而獲改善，目前進度尚稱順利；每月平均開挖進程約 76 公尺，預計 2003 年 10 月隧道上半部可全部貫通，2004 年初完成全部襯砌。

2.2 林口隧道

林口隧道全長 6456 公尺，位於桃園縣龜山鄉，隧道由東向西北穿過林口台地，覆蓋層厚約 5-110 公尺，地質屬紅土、礫石，砂泥及夾砂與粉砂之凸鏡體，地下水位大部份高於隧道高程，由於隧道上方林口台地之工廠、聚落有

許多使用地下水之現況，因此本隧道設計為不排水隧道。隧道開挖分東口向西、西口向東、豎井 A 向東與向西、及豎井 B 向東與向西等六個工作面。本隧道也是由日本大林組及國內互助營造公司聯合承攬設計與施工，其中設計是由中興工程顧問公司負責，施工之協力廠商包括東丕營造公司及紀信營造公司，施工主要係採新奧工法分上半部、台階及仰拱進行開挖，輔助工法則採管幕工法、深井法、固結灌漿、臨時仰拱、開挖面排水鑽孔等一起施工，再配合採用可移動式棧橋及下部開放各自獨立之防水膜工作架、鋼筋工作架及襯砌鋼模、六輪原地迴轉運渣傾卸卡車及車輛調頭迴轉台等，使隧道開挖與混凝土襯砌工作可同時進行，有效縮短隧道整體工作時程。

本隧道自 2001 年 2 月開挖以來，曾因礫石層夾有凸鏡體砂層與泥層等致滲水嚴重，形成擠壓性地層，經緊急採取上半斷面管幕工法、施作臨時仰拱、下半斷面採分階段側邊開挖法、打設水孔及探水孔等措施，而穩定擠壓地層，繼續開挖，目前進度相當順利，五個已開挖之工作面，每月平均上半部開挖進程約 62-143 公尺，工率穩定、進度超前，且在環境保護、水土保持、安全衛生及敦親睦鄰等工作，均有良好的表現，已成為國內隧道工程施工的典範。預定 2003 年 12 月上半部可全部貫通，2004 年初全部襯砌完成。

2.3 湖口隧道

湖口隧道全長 4292 公尺，位於新竹縣湖口鄉與新埔鎮，隧道由東北向西南穿過湖口台地及丘陵，至新埔鎮鳳山溪前出口，覆蓋層厚約 5-98 公尺，地質屬紅土、礫石、泥岩及夾砂之凸鏡體，地下水位大部份高於隧道高程，此隧道亦設計為不排水隧道。本隧道共有六個工作面，分別為北口向南、一號橫坑向北與向南、二號橫坑向北與向南及南口向北等。工程亦由日本大林組與國內互助營造公司聯合承攬設計與施工，其中設計是由中興工程顧問公司負責，施工之協力廠商為聖芳工程公司及義華營造公司，施工主要係採用新奧工法分上半部、台階及仰拱逐步開挖，輔助工法有管幕工法、深井法、固結灌漿、岩栓、臨時仰拱、排水鑽孔及橫向截水等，施工機具除採用迴龍隧道所述一般必備機具外，亦採用可原地迴轉六輪運渣傾卸卡車及可移動式 12 公尺長棧橋，使隧道上半部繼續開挖出渣時，棧橋下方之仰拱可同時開挖、紮筋及澆築混凝土襯砌(永久結構)，而縮短隧道施工時程。

本隧道自 2001 年 3 月開工以來，進度順利，設計的六個工作面均已展開施工，每月工作面平均上半部開挖進程約 76-120 公尺，惟在一號橫坑向北及向南兩個工作面均遭遇砂層大量滲水，導致頂拱崩塌，乃立即採用管幕工法、打設排水孔與探水孔及固結灌漿法，改良隧道地層地質後，再行鑽掘，因此進度稍有落後。預定 2003 年 9 月隧道上半部可全部完成開挖，2004 年初隧道襯砌全部完成。

2.4 苗栗隧道

苗栗隧道全長 3060 公尺，位於苗栗縣苗栗市經後龍鎮至西湖鄉，隧道由東北向西南穿過苗栗山區，覆蓋層厚約 10-61 公尺，地質屬砂岩、粉砂岩、泥岩及頁岩互層，地下水位大部份高於隧道高程，設計為不排水隧道。本隧道共設計五個工作面，分別為北口向南、中一口向北與向南、中二口向北及南口向北等。工程是由韓國現代與國內中麟營造公司聯合承攬設計與施工，其中設計是由英國 Hyder Consulting 公司負責，施工之協力廠商為韓國的三寶公司(SAMBO)。施工工法主要是採用新奧工法分上半部、台階及仰拱進行開挖，輔助工法採用管幕工法、固結灌漿、臨時仰拱、開挖面打設岩栓及噴漿等，施工機具採用管幕機、出渣機、控土機、卡車、支保組立、噴漿機組、灌漿機組、鑽堡機等一般必備機具。

本隧道自 2001 年 4 月底開挖以來，施工順利，設計的五個工作面均已展開施工，每月工作面平均上半部開挖進程約 50 公尺，預定 2002 年 12 月可完成上半部全部開挖，並在 2004 年初完成全部襯砌工作。

2.5 八卦山隧道

八卦山隧道全長 7357 公尺，位於彰化縣彰化市經芬園鄉至員林鎮東側，隧道由北向南穿越八卦山區，覆蓋層厚約 10-75 公尺，地質屬礫石、砂層及泥層夾凸鏡體砂層；地下水位局部高於隧道高程，大部份位於隧道下方，隧道設計為不排水隧道。本隧道是高鐵長隧道中最長之隧道，共設計有 6 個工作面，分別為北口向南、一號橫坑向北與向南、二號橫坑向北與向南及南口向北等。工程是由德國陌德工程公司(B&B)及國內大陸工程公司聯合承攬設計與施工，其中設計是由陌德工程與中興工程顧問公司負責，施工亦由陌德公司負責。施工工法主要是採用新奧工法分上半部、台階及仰拱逐步開挖，輔助工法包括管幕工法、固結灌漿、臨時仰拱及排水鑽孔等。施工機具採如苗栗隧道所述一般隧道施工之必備機具。

本隧道自 2001 年 4 月初開工以來，設計的六個工作面中，除北口向南工作面尚未施工外，其餘五個工作面均已展開施工，施工進度順利，每月工作面平均上半部開挖進程約 68-235 公尺，惟在南口向北開挖進洞至 370 公尺時，遭遇大量地下水湧流，立即採取開挖面噴凝土封面，兩側基腳埋設排水導管，改先進行下部開挖(以降低地下水位)，隨即進行仰拱閉合，再繼續上半部開挖(先保留土心)及開挖面噴凝土施作後，才移除保留之土心，如此重復上述開挖步驟至通過地下水段，再回復正常開挖施工。預定 2002 年 12 月完成上半部全部開挖，並於 2003 年 8 月全部襯砌完成。

三. 高鐵長隧道由民間發包施工的特點

3.1 提升技術水準

台灣高鐵公司將高鐵建設之長隧道等重要工程，均併在路線結構土建工程的12個標內，採設計與施工統包方式招開國際標，所有招標與投標文件以及設計與施工圖說，均以國際標準與慣例為之，並以英文表達與溝通，因此獲得國際著名的廠商不錯的回響，而與國內營造公司及設計顧問公司合作組成企業聯盟，參與競標。招標結果12個標的得標者均為國內、國外廠商合作的聯合承攬，不但引進隧道各種設計與施工之技術，而且對隧道進程的查核管理與應變處理等均建立嚴謹有效率的機制，使國內隧道施工之觀念與技術獲得很大的突破與提升，並為加入WTO後營建國際化訓練許多的技術人才。

3.2 選擇最有利工法發揮技術專長

高鐵各隧道之聯合承攬廠商，有百分之百的自主權依其經驗選擇最有利的施工方法，以發揮各自的技術專長與效率。在施工期間，因隧道地質變異、地下水量變化及地層擾動變形等因素交互作用，使開挖進程之意外狀況不斷發生，廠商均能當機立斷採取最有效之應變措施處理，緊急穩定開挖面並維護人員機具的安全，使隧道開挖迄今，所有的偶發事故均能在最短時間內處理控制，工率得以不斷超前。此與傳統隧道工程，由政府編列預算，完成規劃設計後發包施工，設計中指定工法、機具、材料，施工中如發生意外狀況必須先停工，待會同政風、會計人員會勘現場，並辦妥變更設計核准後才能繼續施工，在效率及經費上有相當大的差異。

3.3 統包計價中心制度，激發潛力與效率

台灣高鐵公司以設計與施工統包方式將高鐵工程交由聯合承攬廠商執行，其計價係採計價中心制度(無預付款)，先由承攬廠商就合約工程範圍之土建結構型式(隧道、橋樑、路堤、路塹)，做垂直及水平的分割，選定完整獨立結構體為單元，作為計價里程碑項目，並研提預定進度。在每一里程碑項目完成後，即按預定百分比計價付款。例如長隧道之里程碑項目，係將隧道先切割為數段獨立隧道，每一段獨立隧道再切分為貫通、襯砌完成及底部完成可供鋪軌等三項，作為里程碑項目，各項目施工完成後，即按預定百分比計價付款。這種以里程碑項目完成後計價之付款制度，自然促使廠商主動的想盡辦法，選擇最有效率之工法，動員其所有可運用的資源，全力鑽趕，而發揮其最大的潛力與效率。

四. 結論

台灣高速鐵路建設計畫係採由民間投資興建營運後移轉政府(BOT)之方式辦理，政府是以合作夥伴的立場，一方面監督管理整個計畫之執行，另一方面須依合約規定儘力履行承諾協助事項，協調解決所遭遇的問題，使高鐵建設能如期如質完工通車營運。而高鐵完工通車的主要關鍵，在於路線上五座長隧道工程是否能如期完成。經民間投資者台灣高鐵公司以設計與施工統包方式，委由國內外著名的營造廠商聯合承攬，自 2001 年初開工以來，採用高效率的新奧工法及輔助技術與機具全力施工，使五座隧道 24 個已展開的工作面，施工工率不斷的提高。依目前進度推測，這五座隧道的開挖施工，已可以如期完成，順利交付軌道工程施工；這要歸功於台灣高鐵公司引進國際慣用的統包制度，激發聯合承攬廠商的潛力與效率，除提升國內隧道工程施工的技術水準外，並在政府加入 WTO 之同時，可為台灣營建國際化訓練更多的工程技術人才。

後記

本文所述內容承蒙本局中區工程處陳錦勝處長協助提供相關工程資料，特此誌謝；並感謝歐靜媛秘書協助所有的文書處理與校稿，使得以順利完成。

參考文獻

1. 廖慶隆(2002)「台灣高速鐵路建設現況」，工程，第七十五卷，第二期。
2. 林文進(1983)「自強隧道之災變與新奧國隧道工法之介紹」，現代營建，第四卷，第三十九期。