

雪山隧道規劃設計回顧

- 呂介斌 / 國道新建工程局設計組 組長
- 李友恒 / 國道新建工程局設計組 科長
- 呂芳森 / 國道新建工程局設計組 副工程司

摘要 公路長隧道由於行車安全需求，其規劃設計遠較一般短隧道複雜很多，雪山隧道長12.8公里，除兩座南北向的主隧道及1座導坑，沿線還有28個人行聯絡道、8個車行聯絡道、3處通風站（每處2座橫向通風隧道）及3處通風中繼站（每處2座橫向通風隧道）連通兩個主隧道，另外還有6座豎井，加上1號豎井頂部之橫向排氣隧道，總計58座大小隧道，構成全世界最大的雙孔公路隧道群，開挖隧道總長達43,784公尺。雪山隧道群間之配置複雜且環環相扣，因此自規設階段即經過周詳之調查與考量，同時山岳長隧道對於地下水與環保水源之影響亦是設計階段考量之重點，如此大規模之隧道設計為國內首見，因此亦邀請國際間隧道工程相關領域之顧問與專家共同參與並從中吸取經驗。雪山隧道覆土深度高達750m，沿線地質構造複雜，岩盤破碎並蘊含大量高壓地下水，自80年7月15日導坑工程開工，期間數度遭遇高壓湧水，嚴重遲滯工程進度，經工程人員不斷努力逐次克服，於92年10月21日全線貫通，主坑工程續於93年9月16日完成，全線於95年6月通車。本文彙整本工程規設經過、設計原則理念與重點、地質調查，並就施工湧水對周遭環境與翡翠水庫之影響提出說明，以為爾後推動類似重大工程建設之參考。

一、前言

為縮短台北和蘭陽平原間之距離，加速蘭陽地區發展，並帶動東部開發，而興建第一條橫貫台灣東西部之北宜高速公路。其路線自台北市起，向東南方經石碇、坪林後，以長隧道貫穿雪山山脈，由頭城附近出口直抵蘭陽平原，全長約31公里，採雙向各二車道設計，全線在山區蜿蜒通過，隧道特多且長，全段共有隧道五座，總長

度達20.1公里，佔北宜高全長65%，其中雪山隧道長12.9公里更列為全球第五長之公路隧道，為北宜高計畫之關鍵工程，其引進全斷面隧道鑽掘機（TBM），亦是台灣隧道工程史上的首創。

雪山隧道貫穿雪山山脈北翼，最大覆蓋層高達750公尺，沿途通過六條主要區域斷層、頻繁之剪裂帶及大量高壓地下湧水，地層複雜多變。台灣以往並無高速公路山嶺區長隧道的設計經

驗，自可行性研究、路線評選、基本設計及細部設計各階段，即邀請歐美著名的顧問公司及國內顧問公司，共同參與規劃設計，以藉重國外之經驗及技術，並融合本土之工程環境與文化，完成雪山隧道的現代化設計。

二、規劃設計經過

本計畫之開始要追溯至民國71年公路總局辦理之「南港頭城隧道公路可行性」研究，到76年間才由中央機關交通部運研所接手辦理，委託美國De Leuw Cather、奧國Geoconsult及國內中華顧問工程司辦理之「南港宜蘭公路可行性研究」，研究成果經報請行政院核定，奉示辦理進一步之地質評估及環境影響，自路線"2"及"3"中評選出最佳路線，國工局（當時之南宜籌備處）即於78年間接續辦理，委託De Leuw Cather、奧國Geoconsult與國內中興顧問社合作辦理路線評選。評選結果建議採用路線"3"，惟為利後續路線銜接，將隧道東口向南偏移，是為"3A"線，如圖1所示。

繼路線評選之後經公開評選由美國 Parsons Brincherhoff International, Inc.(以下簡稱 PBI)、瑞士 Electrowatt Engineering Services Ltd.(以下簡稱EWI)及中興工程顧問社組成之團隊聯合承辦基本設計，包括隧道、通風豎井、橫坑、洞口佈置、通風、照明、消防、逃生、通信、監控、維修、緊急供電系統及其他必要之功能研究與設計。基本設計階段鑑於此一長隧道地質調查及營運維修需要，顧問公司、專家一致建議設置導坑，並採用TBM開挖儘早施工，故於79年12月採基本設計成果辦理發包施工，由承包商配合施工需要辦理詳細設計，並依國際慣例提供地工設計

摘要報告（GDSR），供施工廠商參考。

80年國工局委託中興工程顧問公司辦理細部設計，根據基本設計之構架完成各標發包文件，期間亦聘請多位國外專家指導。北宜高速公路及其雪山隧道經過上述階段之嚴謹作業程序，由歐美最具經驗之顧問公司及專家規劃，以及國內各顧問公司與專家學者參與作業，可謂彙集國內外工程界之專業技術。期間為控制建造成本，於基本設計過程，分兩階段辦理價值工程研析，第一個階段於基本設計完成隧道斷面配置、施工方法評選、通風方案等工作後，於79年10月至11月委託世紀工程顧問公司辦理，由國內外專家組成工作小組，依「公路橋梁」、「隧道工程」之不同特性進行編組研析，曾提出13項建議，其中隧道內徑縮小經評估接受採用。第二階段基本設計成果提出，經估建設經費達629.6億元，超出原編計畫經費601億元甚多，為控制建設經費於預算額度內，復經成立價值評估小組，進行「節省工程經費檢討」評估，提出可調整之設計建議方案，排定優先順序採行，使全線建設總經費控制在在601億元以內，就目前完工後之初步結算計畫總經費控制尚控制在601億元以內，其中雪山隧道土建部分約佔260餘億元。

三、隧道設計原則與理念

（一）路線規劃

1. 平面線型：雪山隧道北口連接坪林行控中心專用道，該處是坪林唯一設置交流道的開闊地形，別無選擇，亦即雪山隧道北口位置沒有其他較佳選案，而南口因面對蘭陽平原的廣大腹地，則有較多的選案，包括頭城、礁溪及宜蘭等三處出口，經詳細評估考量高速公路服務旅客功能

性、頭城交流道區位及頭城蘇澳段延伸線的銜接性，而選擇於頭城為出口，同時為了行車交通安全，避免出隧道即面對東方太陽旭昇強光的眩光影響，而將南口線型轉向南側，以策安全。

駕駛者在單調的長隧道密閉空間內行駛會有催眠作用，所以隧道線型以克羅梭曲線設計，最小變化曲率半徑為1000公尺，也就是駕駛者在隧道內必須隨時微調方向盤，保持清醒才能上車道行駛，並避免急轉彎，以維行車安全。

2. 縱向坡度：坪林的標高約200公尺，而蘭陽平原的標高均在40公尺以下，亦即兩端的高低差在160公尺以上，雪山隧道兩端高程先天上已受此地理上的限制。如以施工性考量，由隧道兩端對向開挖以縮短工期，則隧道縱坡自以兩段上下坡設計最為理想，可達到自然重力排水及順坡出碴的經濟效益，惟因原有的160公尺高差，再加上提高山形高差，則使另一段的縱坡增加，不利通風。如以長隧道通風考量，隧道縱坡越小，則汽車廢氣排放量越小，可降低通風設施費及動力費。

另雪山隧道全長有9.6公里長度係位於台北水源特定區內，規劃設計考量保護台北水源區的原則，施工中及營運後的隧道內廢污水不得排入北勢溪水源區，所以雪山隧道縱坡採單一坡度1.25%設計，兩端洞口高程相差161公尺，並可減少北上線爬坡車輛的廢氣排放量，以及陡坡的交通肇事率。

(二) 工程佈置

1. 主隧道間距：歐洲之長隧道大部分都是單孔雙向車道隧道，所以很容易造成車輛對撞交通事故，以及救難困難。雪山隧道是南下北上兩座隧道分離，各為單向雙車道，所以不會有上述之車

輛對撞情形。兩座主隧道的間距基於施工安全及地下通風機房設備空間之需要，平行間距為60公尺，於兩端洞口因銜接路工或橋梁工程才縮減為42公尺，雪山隧道路工程佈置示意圖，如圖2所示。

2. 導坑工程：雪山隧道預期將遭遇東段惡劣地質區，同時為了縮短工期及避免污染水源區，而決定採用TBM由南口向北口開挖，由於主隧道TBM直徑達11.75公尺，為了降低大TBM的施工風險，所以在主隧道之外佈置一座平行之導坑工程，直徑4.8公尺，比主隧道提早二年施工，以先行瞭解前方之地質情況、力學行為及TBM技術培訓，必要時先對主隧道作地質處理，讓主隧道大TBM得以安然開挖通過。導坑的佈置經比較評估後，選擇以設於兩座主隧道中央之稍下方（路面相差5公尺）最為理想。本配置具有以下之優點：

- (1) 可先行有效排除主隧道地下水，降低主隧道施工風險。
- (2) 處理兩側主隧道之地質弱帶最為便捷。
- (3) 必要時增加主隧道之工作面及材料運輸最為方便。
- (4) 導坑先行挖通，有利施工排水及通風改善。
- (5) 導坑完工後利用維修工作及緊急救難之通路最為方便。

3. 人行聯絡隧道：隧道內發生重大交通事故造成火災時，根據研究濃煙會飄浮在隧道頂拱吹向車行下游，約400公尺煙流會逐漸下降，危及人員安全，所以雪山隧道設計每350公尺有一座橫向之人行聯絡隧道，共有28座，緊急情況時旅客可棄車逃離，進入人行聯絡隧道避難，人行聯絡隧道內設有獨立的通風系統供氣，並維持正壓，車道內之濃煙不會進入，避難人員可與行控中心

聯絡及聽從指揮，救難人員除可由主坑進行救援外，必要時可自導坑進行輔助救援。

4. 車行聯絡隧道：雪山隧道長達12.9公里，當隧道內發生交通事故，需要利用南下、北上兩座隧道之優勢進行車輛疏散、調撥或救難通行，需要有車行聯絡隧道，本隧道每1.4公里設置一座，共有8座，其功能與人行聯絡隧道相同，人員亦可避難。

5. 緊急停車彎：當一般車輛緊急事故或工務車輛有需要在隧道內暫停，在考量不影響正常車輛通行之情況下，有設置緊急停車彎的必要，所以於車行聯絡隧道兩端之對向車道各設44.5公尺長之緊急停車彎，並方便緊急情況時大型車輛轉向進入車行聯絡隧道，每座主隧道各有8座緊急停車彎。

(三) 隧道斷面設計

1. 隧道行車淨空：雪山隧道為山嶺區高速公路隧道，設計行車速率為每小時80公里，比1號及3號高速公路每小時100公里低，所以隧道斷面淨空亦略小，車道淨寬為3.5公尺，淨高為4.6公尺，也因此節省了巨額的工程費，隧道設兩車道寬7.0公尺，兩側各預留30公分路肩，所以路面總寬度7.6公尺，路面兩側各有1.0公尺寬之人行步道，高15公分，淨高2.0公尺，此項低式人行步道，係考量緊急情況時方便老弱婦孺的迅速逃離。雪山隧道斷面佈置示意圖，如圖3所示。

隧道行車淨空與頂拱之上弦形空間，正好利用佈置照明燈具、噴流式風機及其他機電交控設施，以充分利用可貴的有限空間。

2. 隧道開挖支撐工：雪山隧道約有10公里地質良好，適合TBM開挖，所以原則上雪山隧道係規劃以TBM開挖，南口段約1公里預估不良地質，

以傳統鑽炸法開挖，並利用本段時間訂製TBM，如本段之後地質仍然不佳，則鑽炸法可以繼續延長，以降低TBM的施工風險。

(1) 傳統鑽炸法支撐工：採用由鋼肋、岩柱、鋼線網及噴凝土所組成的半剛性支撐工，促使隧道周圍岩盤形成拱效應，以抵抗外圍之岩壓，並配合計測變形量之變化，採用必要之支撐工調整、補強、仰拱閉合或開挖面封面措施，以達安全。如遭遇不良地質，則儘可能預先作地質處理或排水措施，然後才開挖。

(2) TBM開挖支撐工：TBM開挖的速度甚快，唯有安裝預鑄混凝土環片才能配合保護開挖面的安全。環片安裝時其與開挖周圍的孔隙，必須儘速回填細礫料及水泥漿，使其與岩盤緊密接成一體，才能有限的發揮環片的支撐功能。導坑之環片厚度為18公分，主隧道之環片厚度為35公分，混凝土強度均為350kg/cm²。

3. 隧道內層襯砌：雪山隧道主線全部設置30公分厚之內襯砌混凝土，內層襯砌與外層襯砌之間鋪設防水層，以上目的是為增高行車安全、增加照明效果、增進通風效率、便於安裝交通安全設施及防止漏水。導坑工程因非公共行車之用，且為排除地下水以確保主隧道安全及節省工程費，所以不設內層襯砌。

4. 其他設施：

(1) 管線廊道：雪山隧道以TBM開挖形成圓型斷面，預鑄拱型蓋版隨TBM前進而安裝後，供運輸路面於路面下方之空間自然形成作為管線廊道，供安裝消防水管、給水管、電力電信電纜線及各橫向坑道之新鮮空氣送

風管道

(2) 電力管群：分別於人行步道下方佈設電力、電信及交控管群，強電及弱電則分邊佈設，以防干擾。

(3) 排水系統：排水系統分為路面污水排水系統及隧道壁岩盤滲水排水系統。前者分設於路面兩側下方之暗溝，每隔50公尺設集水井乙處，以防路面漏油時，得以收集，以免延漫全線火災時擴大危險，污水排水系統於出口設油水分離池處理後才排放。後者清水排水系統，係於隧道壁防水層之下方底部鋪設15公分直徑之水管，相距25公尺再排入中央盲溝幹管，管線廊道內亦設有排水溝以收集環片縫隙之地下水，導坑仰拱亦設排水溝排除地下滲水，以上地下滲水於南洞口收集後將供作頭城地區之自來水水源。

(四) 通風系統：雪山隧道兩端洞口之高程相差161公尺，南下線下坡，車輛廢氣放量較少；北上線上坡，車輛廢氣排放量較多。南下線如為交通尖峰時段，則同一時間北上線為離峰時段，反之亦然，這是雪山隧道的交通特性。兩座隧道之通風系統如分開獨立設計，則南下線僅需二座通風豎井，北上線則需要五座通風豎井，工程費浩大，而且並非全載運轉，造成投資浪費，於是研究如何將南下、北上線之不同通風情況加以混合利用，以達空氣品質要求。經詳細研究評估，雪山隧道共設置三組通風豎井及通風機房，以引進外面之新鮮空氣，將隧道內之廢氣排除，並於兩組通風豎井之間加入一組通風中繼站，將一線之空氣抽到另一線加以調和，共有三組中繼站，使12.9公里之長隧道形成8個獨立之通風迴路，如圖4所示，當交通離峰時段則關閉中繼站之運轉，

以節省能源，此項利用通風中繼站的理念，在世界上為首創。

每組通風豎井之進氣與排氣分開設立，相距50公尺，目的是避免污染空氣迴流進入隧道並減少豎井之直徑。經風洞試驗及電腦數值模擬分析，除了進、排氣井相距50公尺之外，兩井進出口高程相差20公尺，以儘可能避免廢氣迴流。一號豎井位於大湖尾村茶園區附近，為了避免污染茶園，特於排氣井口加設一340公尺之水平排氣隧道，將廢氣排到山脊的背後，以消除民慮。三組通風豎井之高度分別為一號501公尺、二號245公尺及三號450公尺，內徑除二號豎井為6.5公尺之外，其餘均為6.0公尺。

通風豎井下方，於隧道高程設通風機房，進排氣機房相距50公尺，以避免大型地下洞穴開挖之岩體應力干擾。每組通風中繼站，分為A、B兩座機房雙向抽風，同樣相距50公尺。

四、地質調查

一般山岳隧道調查工作限於地形及可及性，通常僅施作地表地質調查及少量鑽探工作，但對於國內首見12.9公里超長之雪山隧道長，最大覆土深達750公尺，穿越雪山山脈，地質構造複雜，規劃設計至施工階段即依精度需求及考量時效循序辦理地質調查工作，結合國內、外專業地質調查顧問與機構，應用先進國家廣為採用之地質探查技術，如遙感探測、航照判釋，並進行震測、槽溝開挖、橫坑開挖及現地大地應力量測試驗等工作，是國內隧道工程地質計畫規模與項目相當完整的一次，期間亦包括社會大眾廣為重視之水文調查，各階段之地質調查重點項目與數量，如表1所示。雪山隧道地質由已褶皺之始新

大地工程

世、漸新世及少部份中新世沉積岩地層構成，地層之出露順序，隧道沿線地層的分佈以年代而言，由北口的第三紀中新世，向南口方向漸變為較古老的第三紀始新世，分別為枋腳層、媽岡層、大桶山層、乾溝層及四稜砂岩，沿線遭遇之區域性主要褶皺構造為鶯仔瀨向斜及倒吊仔向斜。主要斷層有六條，即石槽斷層、石牌斷層、大金面斷層、巴陵斷層、上新斷層及金盈斷層。

規設階段之地質調查工作，由於方法及技術限制，其調查成果常具有相當程度的不確定性，為進一步掌握開挖面前近距離之地質情況，於施工階段，亦擬定若干調查工作，以期能降低施工地質風險。調查工作包括開挖面地質記錄、監測、現地應力試驗、室內試驗、前進探測孔，其中配合TBM施工時施作之前進探測孔，藉以事

先了解TBM開挖面前方的地質情況，做為後續施工之依據。

雪山隧道除了一般傳統之野外地質調查、震測、鑽探等調查方法外，曾首次有系統的應用遙感探測與航照判釋之技術，以期充份了解大區域工程地質，此外亦首次引進水力破裂法當地應力測量技術，了解隧道沿線當地應力大小，做為隧道支撐分析設計之依據。以經費而言，規劃設計階段之地質調查工作總計約花費一億元。由於從地表完成的地質調查資料畢竟有限，為了彌補，乃設計開闢導坑工程，在主隧道開工前直接查明隧道實質路線地質縱剖面及力學行為，同時規定導坑TBM必須有足夠能力之鑽孔設備，全程作前進地質探查。施工期間亦編列8500萬元之補充地質調查經費，合計約佔總工程費之1%。

表1 北宜高速公路雪山隧道各階段地質探查一覽表

項目	單位	地質評估 (73年)	可行性研究 (76-77年)	路線評選 (78-79年)	基本設計 (79-80年)	細部設計 (81-82年)	施工 (80-92年)	合計
野外地質調查	-	√	-	√	√	√	√	√
遙感探測與航照判釋	-	-	-	√	√	-	-	√
鑽探	孔	16	-	15	30	15	10	86
	m	1144.5	-	1036.6	2246.0	834.0	2271.2	7532.3
震測	條	4	-	9	1	-	2	16
	m	1150.0	-	12190.0	13110.0	-	2000.0	28450.0
槽溝開挖	處	-	-	-	7	-	-	7
	m3	-	-	-	2099.3	-	-	2099.3
橫坑開挖	m	-	-	-	150	-	-	150
地電阻探測	m	-	-	-	-	3點	6770.0	6770.0
導坑TBM前進探查	次	-	-	-	-	-	154	154
	m	-	-	-	-	-	5661.6	5661.6
水平長鑽孔	孔	-	-	-	-	-	6	6
	m	-	-	-	-	-	1560.4	1560.4
震波探測	主坑TSP	次	-	-	-	-	9	9
	導坑TSP	次	-	-	-	-	27	27
	導坑HSP	次	-	-	-	-	5	5
地下水同位素定年	主坑	次	-	-	-	-	3	3
	導坑	次	-	-	-	-	17	17

* 本表未包括岩力室內及現地試驗

雪山隧道開挖完成後，全線地質已分別由兩條主隧道及導坑的開挖而瞭然，沿線地質剖面圖經實地開挖後比對修正，如圖5所示。根據比較之結果顯示，實際地質狀況與規設階段調查預測差異不大，有關斷層位置、規模、岩盤破碎情形，剪裂帶出現頻率及地下水情形均甚接近，惟區域斷層間之高低角度剪裂帶，其位置、位態與寬度則因科技限制，於規設階段調查時未能從地面鑽

探較難掌握；而地下水之分佈狀況與出水量方面，規設當時曾推估施工期間全線地下水總滲水量將達每秒3,000公升，瞬間最大湧水量可能達到每秒1,000公升以上，並據以設計導坑仰拱排水溝的容量，由最後完工初期隧道總滲水量約為每秒600公升，比當初推估值為低，湧水區段則與原推估相同，規設階段推估之區域斷層與實際比照如表2，可見地質推估準確性已達相當水準。

表2 雪山隧道區域斷層推估與實際比照表

地質構造		斷層帶寬度 (m)	擾動帶寬度 (m)	位態
石槽斷層	推估	10		N90E/80S
	實際	20	40	N74E/80S
石牌斷層北支	推估	20~30		N75E/80S
	實際	16	28	N80W/80S
石牌斷層南支	推估	10~20		N47E/80S
	實際	8	14	N25E/77S
巴陵斷層	推估	30		N40~70E/80S
	實際	6	20	N85E/78S
上新斷層	推估	10		N60E/80S
	實際	6	5	N50E/50S
金盈斷層	推估	20		N30E/70S
	實際	7	11	N20E/70S
四稜砂岩長度	推估	3,250m		
	實際	3,671m		

五、雪山隧道湧水對環境影響研究與再利用

雪山隧道穿越之岩層主要為受輕度變質之沈積岩地層，通過六條主要斷層及二處向斜構造。因沿線山區多雨致使地下水源豐沛，水位高出隧道高程達數百公尺。導坑及主線通過金盈斷層後，即進入四稜砂岩層。本四稜砂岩層因岩質脆硬及受大地應力擠壓，有多條斷層通過，岩體

破碎，節理發達，蓄含豐富地下水。導坑及主線開挖經過此地層遭遇大量湧水，國工局為釐清湧水對環境影響，於86年1月~89年1月進行長達3年之施工湧水問題評估調查，建立地下水與地表水之背景資料，並追蹤監測，並作為導坑施工受困因應防治措施及解決方案之研擬提供參考。又因北宜高速公路路線位於翡翠水庫集水區上游，於91年與92年間台灣北部地區之累積雨量較歷年為低，因而造成嚴重缺水，翡翠水庫水位逼

近嚴重下限，致民眾與民代關切，質疑水庫之水源是否受雪山隧道施工湧水影響，及翡翠水庫含水層疑遭破壞，國工局為此於民國93~94年度特委託國立中央大學進行「雪山隧道工程施工湧水與鄰近地表、地下水文及翡翠水庫進流變異之關聯研究」，以便對隧道湧水對翡翠水庫進流及地表植生、茶樹生長、水源之有無影響作一整體研究。

根據該研究衛星遙測判釋結果，從規劃至施工階段並未顯示有規律之地下水洩降之影響，而航空照片判釋結果亦顯示，隧道沿線地區之地表植生並無變化。由植物生長學理研究，一般山越隧道多屬越嶺隧道，隧道埋深甚深，而在山岳地區，地下水位通常離地表甚深，在地下幾十公尺很常見，故山上植物所吸收之水分很少是由地下水提供，主要是由土壤內之毛管重力水或毛管水所提供；而毛管重力水或毛管水是否充足，主要與降雨及氣溫有關。雪山隧道覆土平均達300公尺以上，最高達750公尺，其所導排出之地下水，並非植生所需的有效水份，因此雪山隧道湧水或排水並不會影響到地表植生與環境生態。

民國92年坪林地區發生之茶園枯萎事件，主要是由於當年為極端乾旱年，氣溫高、降雨少，枯水期幾無降雨，最高連續51天沒有降雨，致使淺根之茶樹，無法吸收水分而枯死，故相對的山泉水也會減少。且根據農委會茶葉改良場官方刊物茶情雙週刊第9期與第10期之報導，92年乾旱災情是全面的，包含台北縣市、桃園、新竹、苗栗、宜蘭、花蓮、台東均有茶園枯死的情形，非僅限於坪林地區，乾枯之農作物亦非僅限於茶樹，其他農作物亦普遍受到乾旱的影響，而根據了解，亦未曾有因山岳隧道排水而影響地表生態

之案例報導。至於部分位於淺覆蓋或洞口附近之水源有枯竭或減少的地方，國工局則以補償或改善供水條件方式協助處理，以降低對附近居民民生之影響。

至於湧水對翡翠水庫蓄水之有無影響方面，民國91年及92年翡翠水庫曾發生用水吃緊的情形，依水利署委託淡江大學合作成立的水文觀測技術團進行水文分析研究報告指出：「民國91年翡翠水庫入流量減少，應該和降雨形態改變有關」。根據翡翠水庫歷年雨量統計顯示，91年與92年為水庫蓄水以來年降雨量接近最低的乾旱年，年累積降雨量分別為2512mm及2434mm，僅佔水庫蓄水17年以來（77~93）平均年降雨量（3699mm）的67%及65%，大幅減少了33%及35%，不僅年入庫流量為歷年最低，而且枯水季降雨量甚低，其中91年三、四月及92年一、二月亦為歷年當月之最低量，又翡翠水庫用水量需求逐年增加，因此造成用水吃緊的情況。根據研究估計，整條隧道之長期湧水量中對水庫影響部份與水庫多年平均進流量相比，僅約為1.03%。由於此一隧道湧水量也並非100%完全補助流入翡翠水庫，因此本估計量為估計之上限值，對水庫之蓄水影響甚低。另雪山隧道之高程較翡翠水庫之最高水位還高，因此水庫之蓄水並不會流失至雪山隧道內。

有關隧道湧水量與再利用方面，雪山隧道貫通時洞口所累積之湧水量約為600 l/sec，預估長期之湧水量約為480 l/sec，以長度為12.9公里之隧道而言，平均每公里之湧水量（比湧水量）約為37.2 l/sec/km，與日本長期湧水較大之案例相較並不大，相較於歐洲法義兩國邊界之白朗峰隧道每公里湧水量平均約為103 l/sec/km言，達雪山

隧道之2倍以上，因此雪山隧道之長期湧水量並無特殊之處。惟為慎重起見，國工局已就隧道完工後進行長期水文監測，未來並將監測資料移交營運單位接續辦理，以掌握長期湧水情況。另對於長期湧水除作為自來水水源之外，剩餘之湧水量亦已規劃提供灌溉之用，讓地下水資源得以永續利用，不致浪費。

六、結語

雪山隧道除兩座南北向的主隧道及1座導坑，沿線還有28個人行聯絡道、8個車行聯絡道、3處通風站（每處各有2座橫向通風隧道）及3處通風中繼站（每處各有2座橫向通風隧道）連通

兩個主隧道，另外還有6座豎井，加上1號豎井頂部之橫向排氣隧道，總計58座長短、橫豎、大小不一的隧道，總長達43,784公尺，在充分考量環境保護、工程安全及交通安全的原則下，並有配備齊全之機、電及交控安全設施，是目前世界上雙孔公路隧道工程中規模最大、設備完整與現代化的長隧道。

而雪山隧道之規劃設計工作，十餘年來辦理過程所採用的技術與方法均達世界水準，其間在政府、國內顧問公司所累積之地質調查、規劃設計，以及對於水文環保議題與水資源所作之努力等累積之技術與經驗，足供未來工程之參考。

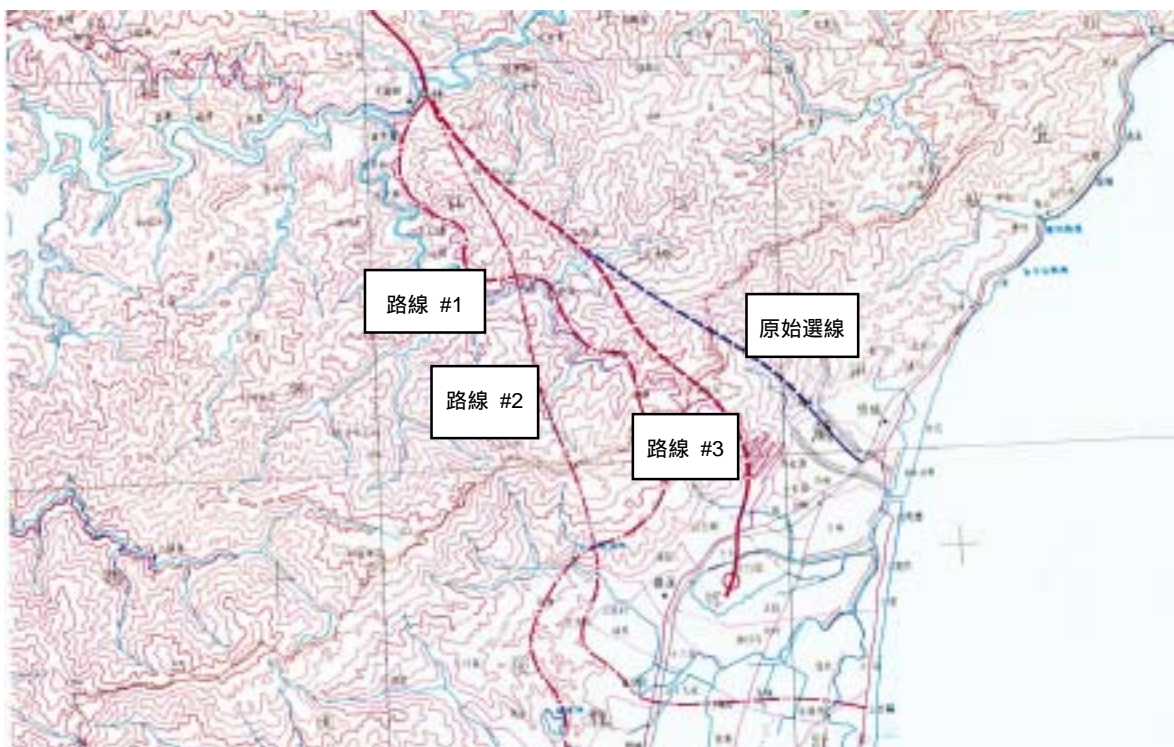


圖1 雪山隧道路線評選



圖2 雪山隧道路工程佈置示意圖

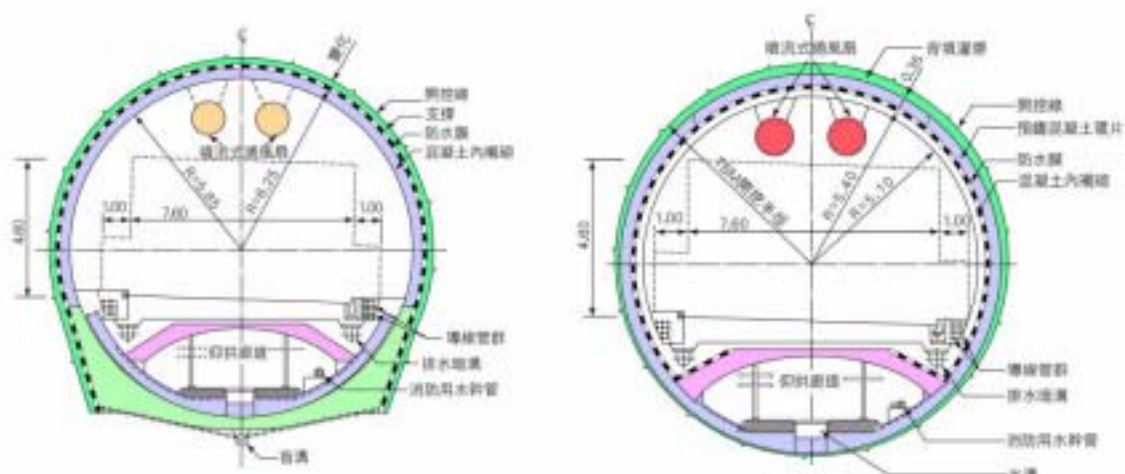


圖3 雪山隧道断面佈置示意圖 (左：鑽炸段，右TBM開挖段)

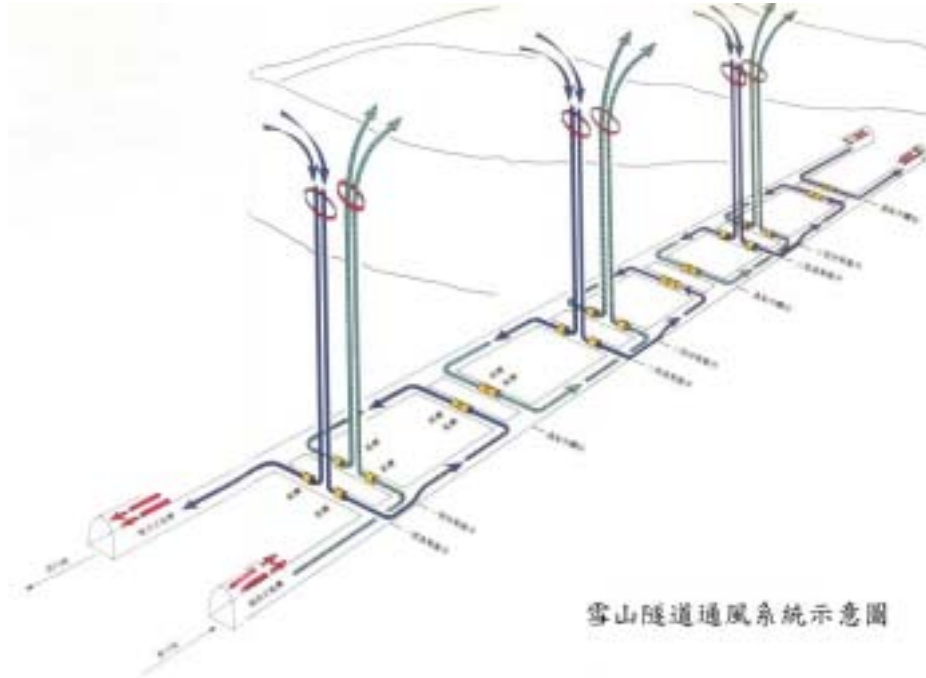


圖4 雪山隧道通風系統示意圖

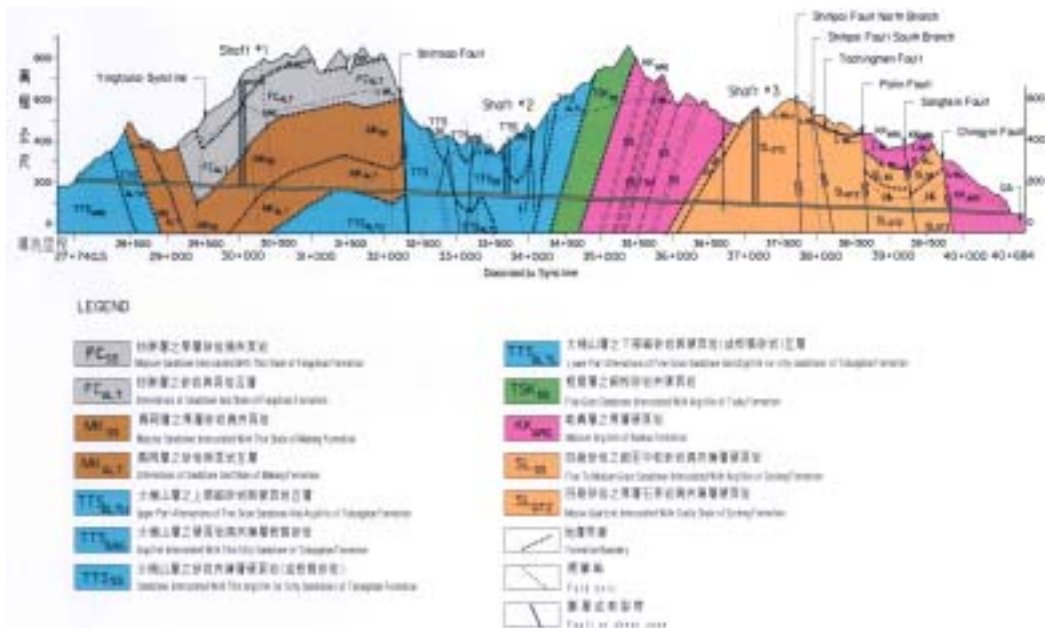


圖5 雪山隧道實際地質剖面圖

