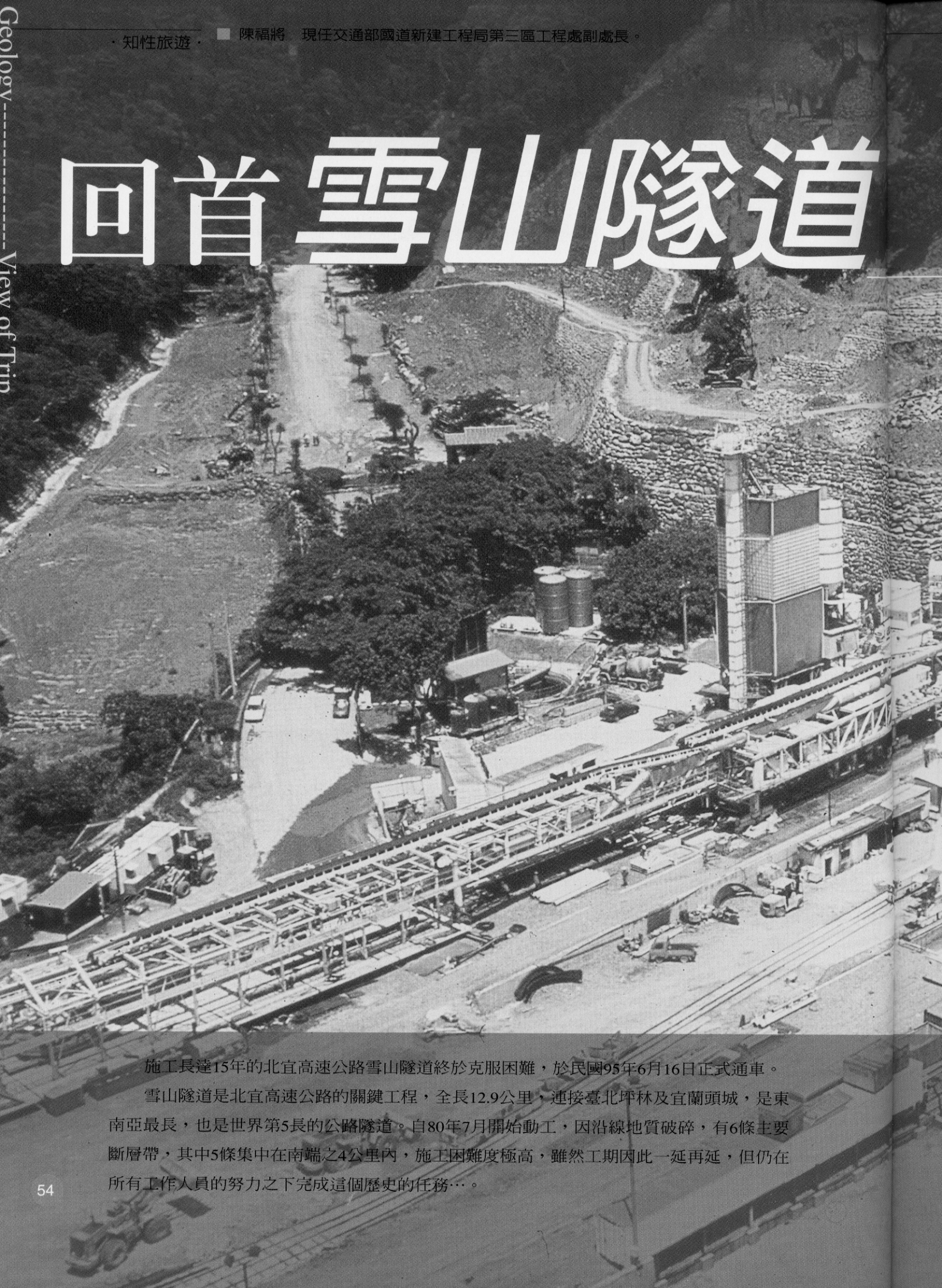


回首雪山隧道



施工長達15年的北宜高速公路雪山隧道終於克服困難，於民國95年6月16日正式通車。雪山隧道是北宜高速公路的關鍵工程，全長12.9公里，連接臺北坪林及宜蘭頭城，是東南亞最長，也是世界第5長的公路隧道。自80年7月開始動工，因沿線地質破碎，有6條主要斷層帶，其中5條集中在南端之4公里內，施工困難度極高，雖然工期因此一延再延，但仍在所有工作人員的努力之下完成這個歷史的任務…。

不要只看到隧道對環境負面的影響，
而忽略隧道所帶來的環境效益也是很大的。
隧道可縮短城市之間的路程，
節省下通勤所花費的時間，也節省下石油的消耗，
對環境保護也有其助益的一面，
因此隧道是交通與環境的投資而非成本。

—Harvey W. Parker

的地質挑戰

文◎ 陳福將

回首雪山隧道的地質挑戰

國際著名公路長隧道

國家	隧道名稱	長度(m)	備註
挪威	Laerdal (單孔雙向)	24,510	
中國	終南山 (雙孔單向)	18,040	預計2007年完工
瑞士	St.Gotthard (單孔雙向)	16,918	
奧地利	Arlberg (單孔雙向)	13,972	主隧道10.5公里
臺灣	雪山 (雙孔單向)	12,900	導坑
法國－義大利	Frejus (單孔雙向)	12,895	
法國－義大利	Mont-Blanc (單孔雙向)	11,611	
挪威	Gudvanga (單孔雙向)	11,428	
挪威	Folgefonn (單孔雙向)	11,150	
日本	關越 (南下線)(雙孔單向)	11,055	

雪山隧道施工歷程一覽表

80.07.15	導坑開工
81.12.01	全斷面隧道鑽掘機(TBM)首度進入導坑
82.01.23	第一次TBM抽坍災變
82.07.23	主坑開工
86.12.15	主坑東口西行線發生嚴重湧水事故，TBM遭掩埋
88.09.01	行政院同意主坑西行線改採鑽炸法開挖
92.05.31	導坑西段貫通
92.09.15	西行線西段貫通
92.10.20	導坑全線貫通
93.03.17	主坑西行線全線貫通
93.08.12	東行線全斷面隧道鑽掘機(TBM)開挖完成
93.09.16	主坑東行線全線貫通
95.06.15	完工通車

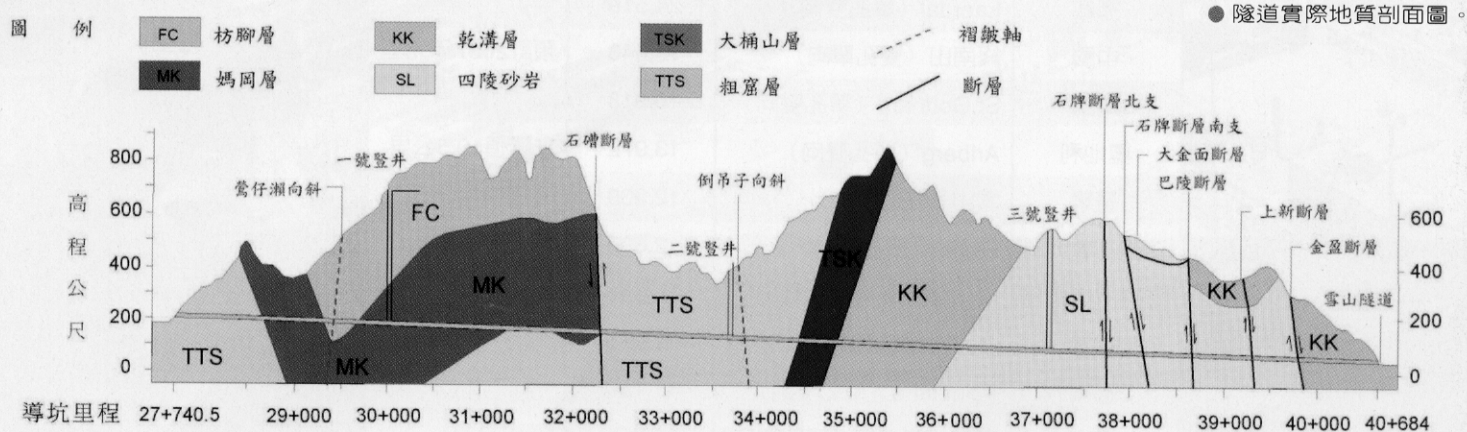
臺灣位處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊衝撞處，地質構造錯綜複雜，由於板塊互相擠壓作用，島內山巒疊起，地形多樣且複雜，遍布著高密度的斷層與褶皺等地質構造；且由於雨量豐沛，年降雨量高於世界其他地區，獨特之水文環境常造成地下水沿著地體構造之破碎帶蓄積，造成隧道施工時常常發生難以預期的湧水現象。雪山隧道工程也難以逃開如此的挑戰。

雪山隧道沿線地質概況

雪山隧道計畫路線全長13公里，全線位於雪山山脈地質區，由已褶皺之第三紀沉積岩地層構成，屬於造山帶中之褶皺衝斷帶。除區域性皺軸及衝斷層係主要構造單元外，造山運動亦可能產生橫切地層走向之橫移斷層及局部之正斷層。

隧道路線附近之地層，包括早漸新世四稜砂岩（厚層石英岩偶夾薄層硬頁岩、硬頁岩偶夾薄層粉質砂岩、細砂岩與硬頁岩互層）及中新世媽岡層（砂岩與頁岩互層、厚層砂岩偶夾頁岩）、枋腳層（砂岩與頁岩互層、厚層砂岩偶夾頁岩）等。

隧道沿線的斷層由北而南包括石碇斷層、石牌斷層北支、石牌斷層南支、大金面斷層、巴陵斷層、上新斷層及金盈斷層，除石碇斷層外，其餘



雪山隧道沿線6大斷層特性整理表

名稱	種類	寬度	位態	岩性
石碇斷層	逆衝斷層	20m	N74E/80S	上盤為大桶山層之砂頁岩互層，下盤上部為枋腳層之砂頁岩互層。
石牌斷層北支	正斷層	16m	N80W/80S	斷層兩側均為四稜砂岩之石英岩，主要為石英岩碎屑及剪磨泥。
石牌斷層南支	正斷層	8m	N25E/77S	斷層兩側均為四稜砂岩之石英岩，組成物質為石英岩屑夾灰白色剪磨泥。
大金面斷層	正斷層	超過30m		斷層兩側均為四稜砂岩之石英岩，具大量剪磨泥。
巴陵斷層	正斷層	6m	N85E/78S	上盤上部為乾溝層之硬頁岩，下盤為四稜砂岩之石英岩。
上新斷層	正斷層	6m	N50E/50S	斷層兩側上部為乾溝層之硬頁岩，下部為四稜砂岩之石英岩。
金盃斷層	正斷層	7m	N20E/70S	上盤為乾溝層之硬頁岩，下盤為四稜砂岩。在四稜砂岩出露部分之斷層破碎帶主要為斷層角礫岩，透水性頗高，部分為斷層泥。而在乾溝層硬頁岩出露部分之斷層材料主要為斷層泥及角礫岩。

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	-	v	-	v	v	v	v	v
遙感探測與航照判釋	-	-	-	v	v	-	-	v
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
	m ³	-	-	-	2099.3	-	-	2099.3
煤坑調查	-	-	-	-	-	-	-	-
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。

主要斷層多發育於隧道沿線的南半部。此外經辨別之主要褶皺軸有2條，分別為鶯仔瀨向斜及倒吊子向斜。

另在巴陵斷層附近，灰色粗粒石英砂岩受沿節理裂隙入侵之火山岩脈貫穿，各岩脈並有後期熱液換質現象。火山岩脈多為數十公分寬，為玄武岩質，具有杏仁狀結構，氣孔為碳酸鈣等礦物充填。

隧道沿線南端三分之一屬乾溝層及四稜砂岩地層，由硬頁岩及變質的石英砂岩所組成，主要斷層有5條發育於此，因剪裂帶及斷層帶出現頻繁，岩盤高度破碎，岩體品質多為差至極差，是造成雪山隧道施工進度嚴重落後的重要元兇。隧道沿線的其餘三分之二長度，主要由砂岩、頁岩及砂頁岩互層所組成，除石礮斷層、鶯仔瀨向斜及倒吊子向斜等區段外，岩體品質多為尚可至佳。

隧道南洞口處多鬆散不實之崩積層，為砂土混合風化硬頁岩塊。下伏於崩積層為高度至中度風化之硬頁岩。隧道北洞口處則硬頁岩偶夾薄層粉砂岩，岩層層理不顯著，有二組節理，其中之節理J：N79°E/72°N為順向節理，出現數量少且延伸不長。

施工不順導因： "地質探勘不實"？

由於雪山隧道施工不順，因此有人質疑是設計規劃階段地質探勘不

實。雪山隧道長達12.9 km，最大覆蓋厚度750 m，沿線被覆深，露頭不多，且距歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊衝擊區不遠，地質構造複雜，希望藉由地表有限的露頭與鑽孔或震測，完全查明深層隧道沿線之地質細節，實有先天上的困難。儘管如此，自規劃設計階段民國72年起，就依據各階段所需精度，分期、分批進行地質調查，供施工單位參考。施工期間除於開挖面前以TSP震測及先進探查孔辦理精查外，亦於關鍵點做補充地質調查，以資配合。

雪山隧道地質推估與實際之差異性

由於雪山隧道已全線通車，全線地質也因兩條主隧道及導坑的開挖而

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
石礮斷層	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
四稜砂岩範圍	推估	3,250m		
	實際	3,671m		

瞭然。比對實際所顯示的地質狀況與規劃設計階段調查的預測，其實無論是斷層位置與規模、岩盤破碎情形、剪裂帶出現頻率及地下水情形均甚接近。

但區域斷層間分布不規則且延展不長之高低角度剪裂帶，其位置、位態與寬度則因科技限制，規劃設計階段調查的地面鑽探結果，確實無法完全掌握。而地下水的確實分布狀況與出水量的結果，雖湧水區段大致與推估相當，但最後完工隧道總滲水量約為每秒650公升，比推估值為低。

隧道工程的典範

北宜高速公路的規劃設計工作自民國71年至80年，長達10年之久，分由不同政府單位主辦及國內外著名之顧問公司所規劃，由於各階段所規劃的標準與環境不同，路線由一開始的偏北而逐漸偏南。

雪山隧道因施工困難，導致施工期由原先預估的8年延至15年，雖外界質疑是選線不當所致，但事實上坪林與頭城間為高聳的雪山山脈北翼，要開闢高標準的高速公路，唯有興建隧道一途，而在各階段選線時的規劃，雪山隧道的長度均將近13 km。

由雪山隧道已經挖通的地質狀況顯示，愈經北地質條件確實愈佳，亦即最初的路線偏北3km，其地質條件預期較佳。而在路線評選階段，從地質

探查資料、國外顧問親赴現場勘查沿線露頭及鑽孔岩心的結果，大致瞭解雪山隧道南段約3 km，通過破碎之乾溝層與四稜砂岩地層，斷層密集且地下水蘊藏豐沛，如果當時選線時，能將路線往北移，地質風險可能大為降低，但考慮北宜高速公路係以交通運輸功能為目的，路線之研選及工程布置，自然以交通功能需求為第一考量，且路線北移需要拆遷更多的民房，不可抗力的非技術性問題，反而較惡劣的地質更難克服。

雪山隧道南段的惡劣地質，無論採用鑽炸法（Drilling and Blasting，簡稱D & B）或全斷面隧道鑽掘機（Tunnel Boring Machine，簡稱TBM）開挖，均十分困難，尤其是臺灣在雪山隧道施工之前，並無TBM的施工經驗，施工時又是從世界上罕見的破碎性含高壓地下水的四稜砂岩開始開挖，更是困難重重，但也因而獲得許多寶貴的施工經驗，可作為日後長隧道施工之借鏡。

世界隧道協會(ITA)主席Harvey W.Parker在2005年11月7日－9日舉辦的「長隧道設計、施工及營運管理國際研討會」的雪山隧道專題演講中強調，不要只看到隧道對環境負面的影響，而忽略隧道所帶來的環境效益也是很大的。隧道可縮短城市之間的路程，節省下通勤所花費的時間，也節省下石油的消耗，對環境保護也有其助益的一面，因此隧道是交通與環境的投資而非成本。

北宜高速公路簡介

民國88年時，國工局曾邀請奧地利知名地質專家 G. Riedmueller教授研讀地質資料，並深入隧道瞭解實際地質情況，在赴野外勘查露頭後，他持悲觀的態度認為，惡劣的四稜砂岩層應比預估長1,000 m，石礮斷層帶則可能寬達100至200 m。但事實上隧道通過四稜砂岩層之分界點僅比原推估長255 m，總長度僅約增加421 m，而石礮斷層亦僅比預估者寬20 m，可見地質推估的困難性。

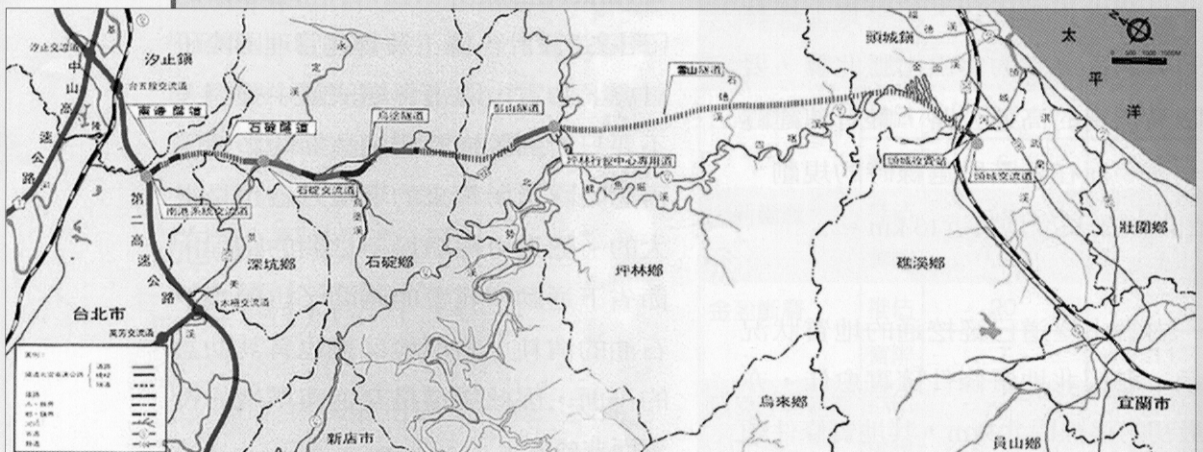
北宜高速公路全長約55公里，西以南港系統交流道與北二高銜接，經石碇、坪林，穿越雪山山脈後，經宜蘭縣境內頭城、礁溪、壯圍、宜蘭、五結、羅東、冬山，至蘇澳鎮新城溪南岸止。

全線沿山區及溪谷行走，為利於排水、減少土方開挖及避免施工污染水源，維持天然景觀，故多採隧道或高架橋樑的施工方式。其中包括南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道及雪山隧道，全線雙向連雪山隧道的導坑共有11座隧道，隧道總長度20.1公里；橋樑包括景美溪橋、石碇高架橋、潭邊橋、北勢溪橋、頭城高架橋、得子口溪橋、宜蘭河橋、蘭陽溪橋、冬山河橋，總長約30公里。

全線共設置坪林行控中心專用道，及南港、石碇、頭城、宜蘭北側與南側、羅東北側與南側及蘇澳交流道。

北宜高速公路隧道基本資料總表

隧道名稱	方向	長度(m)
南港隧道	南下	456
	北上	331
石碇隧道	南下	2698
	北上	2720
烏塗隧道	南下	216
	北上	248
彭山隧道	南下	3861
	北上	3806
雪山隧道	南下	12925
	北上	12955
導坑		12940
合計		53156



● 北宜高速公路路線圖。

Parker也特別強調雪山隧道就是一個吸取過去的工作經驗，應用於未來的最佳範例。由於大型隧道工程通常在完工前數十年即開始規劃工作，而且許多隧道之服務時間高達數百年，因此設計者不僅需從過去工作中擷取經驗應用於設計之中，更需要充分發揮前瞻性與創新的精神，使隧道於服

務時間內能因應未來之需要，提供足夠的服務。

由於隧道可能是未來聯絡都會的重要通道，因此雪山隧道的完工，除了讓臺北－宜蘭的距離拉進了，也同時提供未來隧道施工時的一個典範。



● 雪山隧道的通車，使得臺北與宜蘭之間的旅程只需45分鐘（95.8.2鄭文昕攝）。

延伸閱讀

- 交通部國道新建工程局 (2003) 國道北宜高速公路工程簡介。
- 交通部國道新建工程局 (2005) 情牽北宜：關於國道 5 號南港蘇澳段的故事。
- 交通部國道新建工程局 (2005) 雪山隧道施工專輯(DVD)。
- 交通部臺灣區國道新建工程局。http://gip.taneeb.gov.tw (95.8.30檢索)