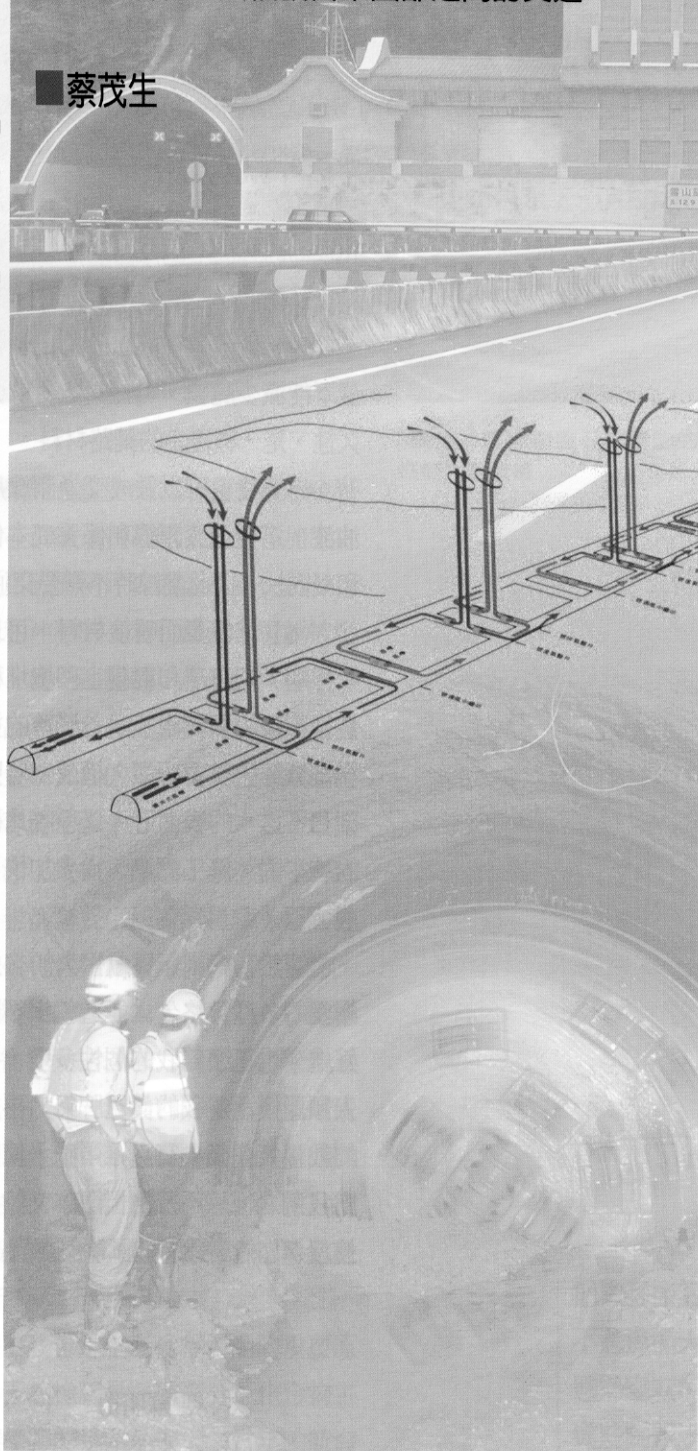


高施工難度的雪山隧道

雪山隧道是目前世界上排名第2長的雙孔公路隧道，曾被視為不可能完成的工程。施工團隊引進了先進的地質調查技術、開挖機具、和地盤改良工法，也採用多種機電交控設備，提供安全便利的行車環境，大幅改善東西部之間的交通。

■ 蔡茂生



雪山隧道

台灣地形受中央山脈阻隔，東西部之間的交通極為困難。台北宜蘭之間早年闢設淡蘭古道等步道，後來陸續興建北宜公路（台9線）、濱海公路（台2線）、北迴鐵路等。唯因受限於地形，安全性較差，行車時間長達2~3小時。交通不便影響東部地區發展，因此有興建快速公路穿越山區的提議。自民國72年起，歷經多年的調查、研究及規劃設計，國道5號北宜高速公路於民國81年開工，分段完成開放通車，雪山隧道是最後完成的路段。

雪山隧道自台北縣坪林鄉至宜蘭縣頭城鎮，全長約12.9公里，是雙孔隧道，兩隧道中心相距60公尺。由頭城往坪林方向以1.25%的坡度爬升，行車淨高4.6公尺，路面全寬是7.6公尺。

隧道直徑11.8公尺，以鑽掘機（Tunnel Boring Machine, TBM）開挖後，組裝預鑄環片，形成圓形斷面。若以鑽炸法施工時，則開挖斷面是馬蹄形，以噴凝土、岩釘、鋼支保等支撐，隧道內側再澆置混凝土（部分以鋼筋補強）。

兩隧道中間設有直徑4.8公尺的導坑，施工期間提供地質調查、排水、灌漿等作業需要，營運時供作維修及救援車輛的備用通路。

主坑每350公尺設有人行聯絡隧道（共28條），每1,400公尺設有車行聯絡隧道（共8條），以供事故時人員逃生和車輛疏散。車行聯絡隧道前，設置緊急停車彎，供故障車輛臨時停車和大型車輛迴轉以進入聯絡隧道。

兩隧道設有3組通風豎井（每組進氣井與出氣井各一），深度247~501公尺，內徑6公尺，豎井底部設置機房。因兩隧



國道 5 號北宜高速公路起自南港，經石碇、坪林至頭城，是台灣第一條穿越中央山脈連接東西部的高速公路，並與國道 1 號及 3 號連結，使環島高速公路網的建構邁進一大步。

雪山隧道配置示意圖



道行車分別是爬坡與降坡，車輛排煙量差異甚大，所以在兩通風豎井之間設置中繼站，使兩隧道空氣得以流通，以調和空氣品質。

地質調查

台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊衝撞處，東北方又有沖繩海槽的作用，

因而北部山區地層構造複雜，斷層與褶皺帶眾多。又因雨量豐沛，大量地下水蓄積於破碎地層，更增隧道施工的難度。雪山隧道穿越台灣西部麓山帶地質區和雪山山脈地質區，沿線地質由西口的第三紀中新世，向東口方向漸變為較古老的第三紀始新世，分別是枋腳層、媽岡層、大桶山層、乾溝層及四稜砂岩。

區域內的主要斷層包括石槽斷層、石牌斷層北支、石牌斷層南支、大金面斷層及金盈斷層，多分布在隧道線的南端。褶皺構造共 11 條，除鶯仔瀨向斜和倒吊子向斜兩主要褶皺外，其餘 9 條次要褶皺延伸較短。

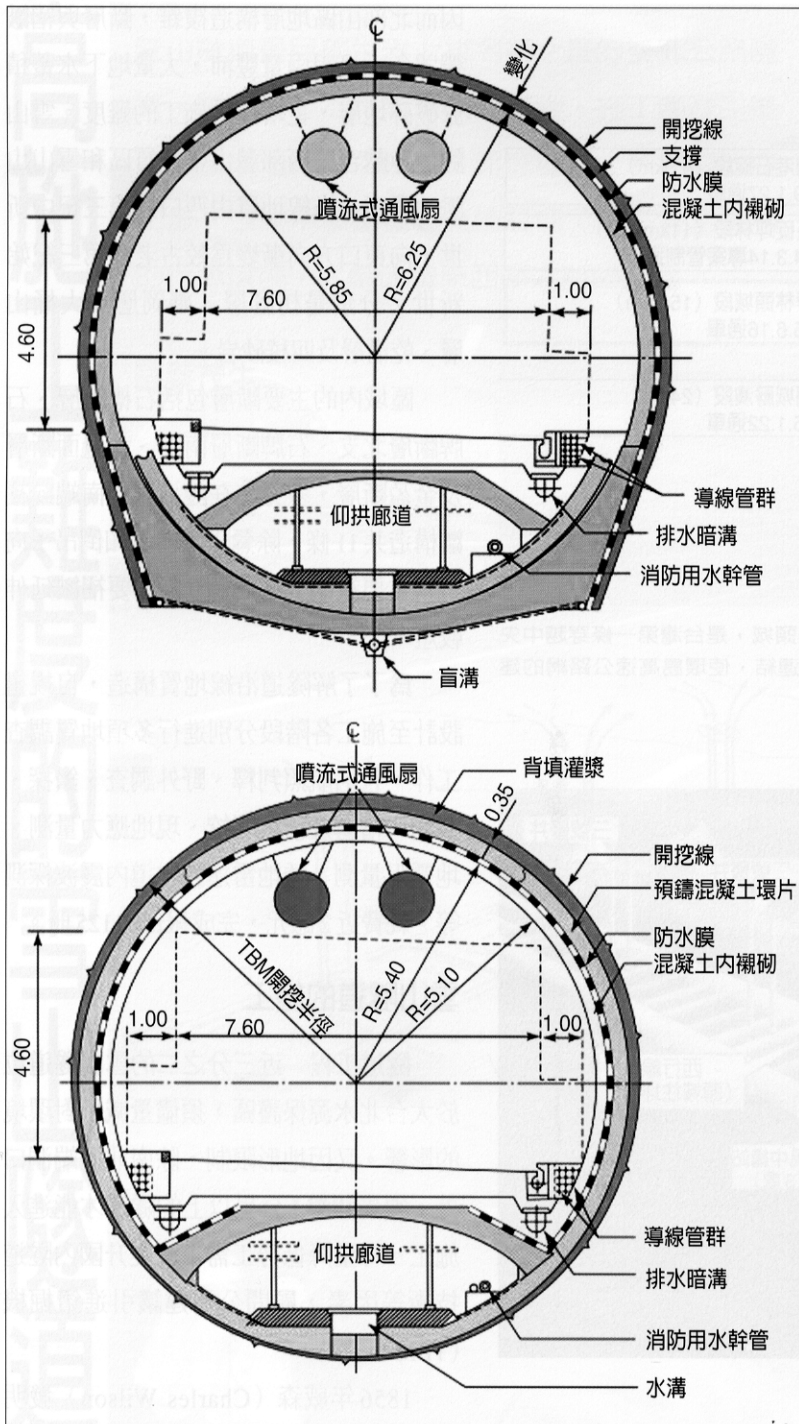
爲了解隧道沿線地質構造，自規畫設計至施工各階段分別進行多項地質調查工作，包括航照判釋、野外調查、鑽探、震測、槽溝及橫坑開挖、現地應力量測、地電阻量測、透地雷達和隧道內震波探測等，耗費近 2 億元，完成報告約 125 冊。

雪山隧道的施工

隧道工程 近三分之二的雪山隧道位於大台北水源保護區，須盡量減低對環境的影響。又因地形限制，除南北兩端洞口外，須先開鑿 1 公里以上的隧道才能進入施工。考量降低勞工需求、提升國內隧道技術等因素，顧問公司建議引進鑽掘機 (TBM) 工法。

1856 年威森 (Charles Wilson) 發明 TBM，經過約 100 年的改進，技術漸趨成熟。自 1951 年起，美國、歐洲、日本等地逐漸運用於引排水、鐵公路等隧道工程。

英法海峽隧道的海底段約 22 公里，以 TBM (主隧道直徑 8.76 公尺、服務隧道 4.8 公尺) 分別自兩端施工，而於海底接合，在 1991 年貫通。哥達隧道 (Gotthard

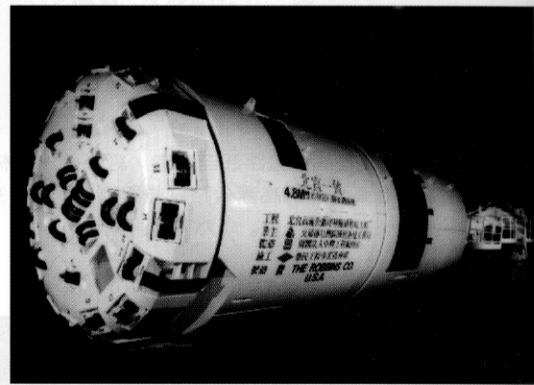


上圖是鑽炸施工的雪山隧道斷面，下圖是TBM施工的雪山隧道斷面。

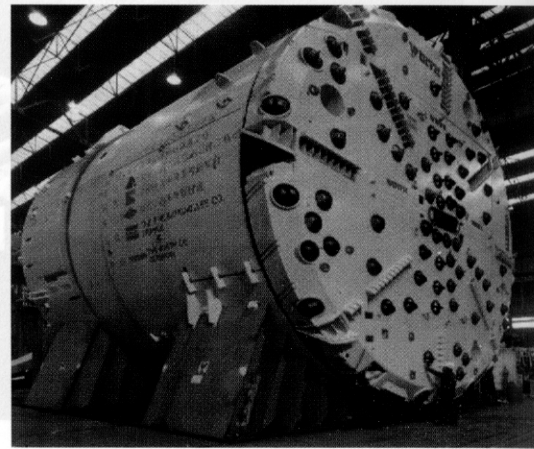
Tunnel) 分別有鐵路和公路，隧道長度超過17公里，也採TBM施工。目前世界上最大的TBM是2005年西班牙馬德里公路隧道採用的兩台，直徑達15公尺。截至目前為止，國內陸續有雪山隧道、士林水力

發電工程頭水隧道、新武界引水隧道、和平溪碧海水力發電頭水隧道等工程採用。

TBM有兩種類型。用於岩盤較完整的，多採用無鋼殼的機身，以「撐座」頂撐岩盤壁，以「推進千斤頂」把機頭頂入地層，掘削前進開挖，稱為「開放型」或「撐座式」TBM。地層較破碎的，機身設有鋼殼保護，稱為「盾構式」TBM，並配合採用RC或鋼製環片支撐隧道。為同時



雪山隧道導坑TBM



雪山隧道主坑TBM

近三分之二的雪山隧道位於大台北水源保護區，隧道的施工須儘量減低對環境的影響。

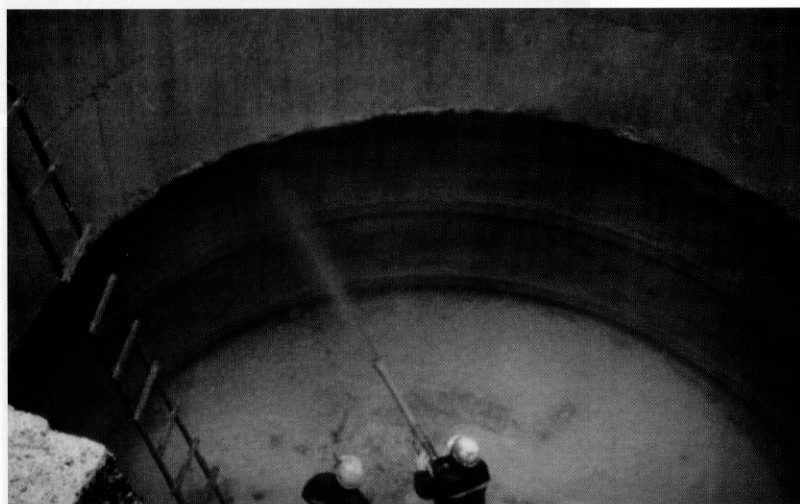
又因地形限制，除南北兩端洞口外，須先開鑿1公里以上的隧道才能進入施工。考量降低勞工需求、提升國內隧道技術等因素，因而引進鑽掘機工法。



斷層破碎帶改採頂導坑工法施工



導坑 TBM 開挖（混合工法）



噴漿作業

推進和組裝環片而設置兩節鋼殼的，稱為「雙盾式」TBM，雪山隧道導坑與主坑都採用這一型式。

因為TBM設計、製造和運輸耗時約需兩年，期間自頭城端，先行以鑽炸法施工。遺憾的是，一開挖就面對極端破碎地層的挑戰，包括斷層、剪裂帶、湧水等，致使隧道崩坍，TBM多次被夾埋，必須開挖迂迴導坑脫困。其中一次巨大崩坍甚至把北上線主坑TBM壓毀，進度嚴重遲緩，數度幾告停擺。

為減低被夾埋事故，在地層較破碎段，先在TBM前方開挖先進頂導坑，再以TBM開挖下半斷面，稱為「混合工法」。另為加速完成隧道開挖，必須設法增闢工作面，因此利用聯絡隧道和2號豎井加開工作面，最高曾達20餘處。在破碎地層和高湧水區段採行灌漿及排水措施，以使開挖工作得以順利進行。

雪山隧道開挖重大災害統計

隧道位置	崩坍次數	TBM夾埋次數
導坑	29	13
北上線隧道	23	10
南下線隧道	12	3

豎井工程 為通風需要，須自地面開挖連通隧道的垂直豎井，每處豎井由兩口直徑6公尺、相距50公尺的進氣井及排氣井構成，深度238～501公尺。施工方法有自地面逐階往下開挖的「降挖工法」；或先自地面以鑽機鑽設導孔貫穿隧道後，再自隧道內換裝擴挖頭自隧道向地面擴挖，最後再以鑽炸法自地面向下開挖完成，稱為「昇井工法」。

里程辨識系統 兩隧道壁面每1公里設置里程辨識系統，分別以漢民族及原住民編織圖案構成「時光拼織12.9」（隧道長



豎井地面門型吊車

12.9公里)，象徵隧道開鑿如同織布的一針一線般緊密又謹慎。圖案的使用也可舒緩用路人單調枯燥的心情。

機電及交控設施

電力系統 在隧道兩端分別設置變電站，採雙迴路供電，並各配置兩台4,160

伏、2,000千瓦並聯的發電機組。另設有不斷電電源供應設備，可供緊急用電15分鐘。

隧道照明 隧道照明共分5區段，依交通量、天氣、晝夜調整。主隧道照明採用40瓦×2日光燈，在洞口段輔以高壓鈉氣燈以加強照明。步道上每隔50公尺設置

1個逃生指示燈，在發生火警時點亮，導

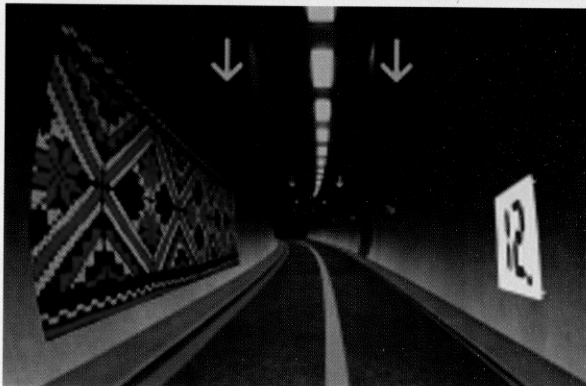
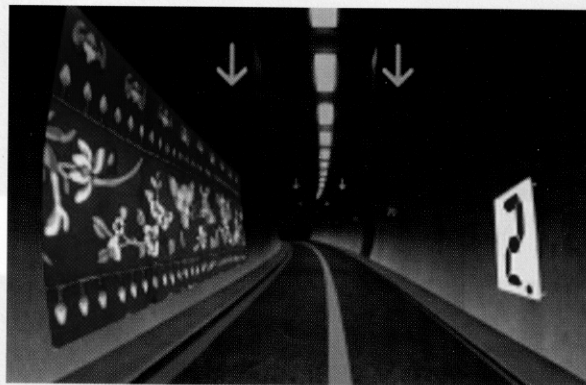
雪山隧道豎井深度統計

(單位：公尺)

編號	進氣井	排氣井
No.1	480	501
No.2	238	249
No.3	438	459

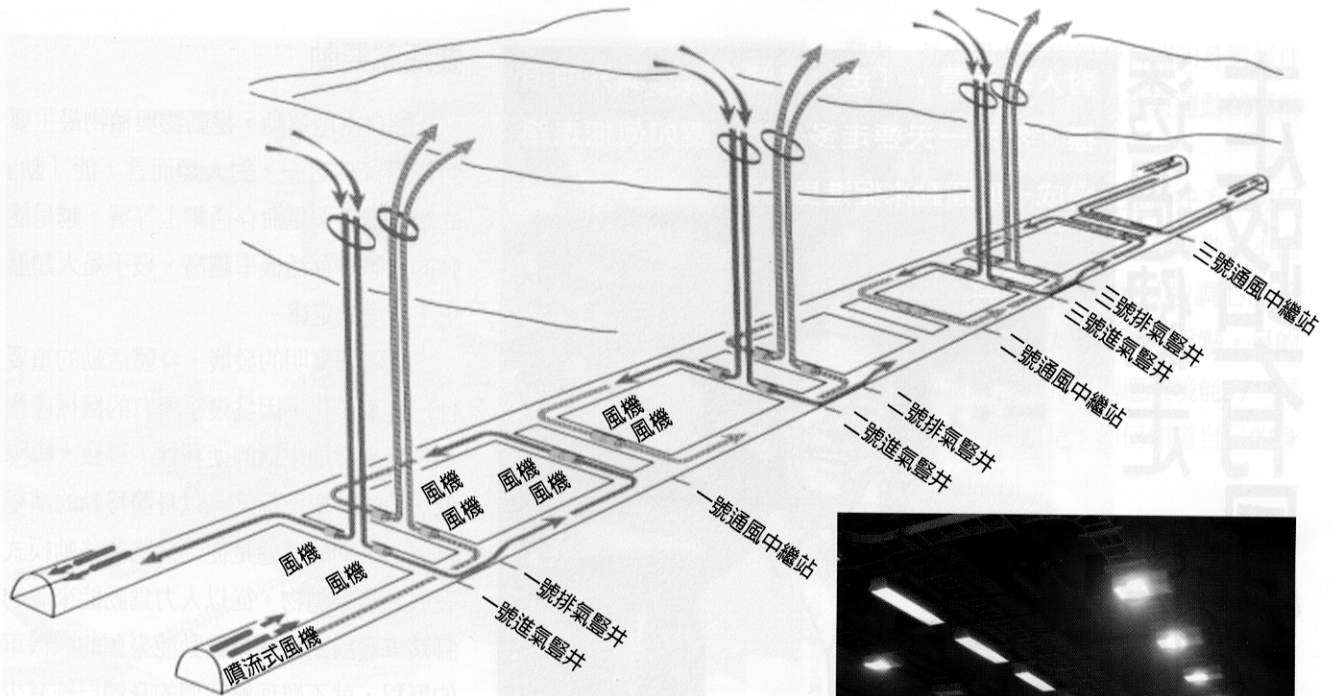


傘形鑽機



雪山隧道里程辨識系統的漢民族及原住民編織圖案

雪山隧道通風系統示意圖



引用路人逃生。

通風系統 雪山隧道採用加強縱流式通風系統，隧道上方共裝設 112 台噴流式風機。通風豎井、中繼站、隧道洞口等處機房裝設軸流式送風機共 44 具，依據天



在雪山隧道的洞口段輔以高壓鈉燈以加強照明

候、車流、空氣品質、能見度等設定多種運轉模式。

消防系統 雪山隧道設有火警受信總機、偵煙式火警探測器、差動式銅管、火警綜合盤等火警偵測系統，沿線每隔 50 公尺設置一個消防栓箱。

交控系統 雪山隧道設有行車狀況的監測設備，利用標誌、號誌、通訊和廣播、資訊看板等提供用路人交通資訊和採行必要的管制措施。

歷經多年的艱辛奮鬥，北宜高速公路雪山隧道在 95 年 6 月 16 日正式開放通車。通車以來，便捷的行車路徑導致大輛的車流，對東部地區的發展提供莫大的助益。在此把這項重大工程的相關內容做一彙整，提供國內外關注人士參考。 □

蔡茂生

交通部台灣區國道新建工程局



雪山隧道的資訊可變標誌，可提供用路人交通資訊和採行必要的管制措施。

