

編按

日前報載國內首屈一指、長達13公里的雪山隧道，一旦隧道內車輛發生擦撞，一氧化碳有可能塞滿半個隧道，即便是風機全數打開，隧道內的溫度將有可能飆升至攝氏五十度，極易使用路人因高溫昏倒。此外，更有學者提出警語，認為甫通車的隧道經常出現大排長龍的塞車現象，將使空氣污濁產生致命之危機。對此論點，本刊特邀自雪隧規劃設計至設備安全管理系統制定階段皆全程參與的相關工程人員說分明。

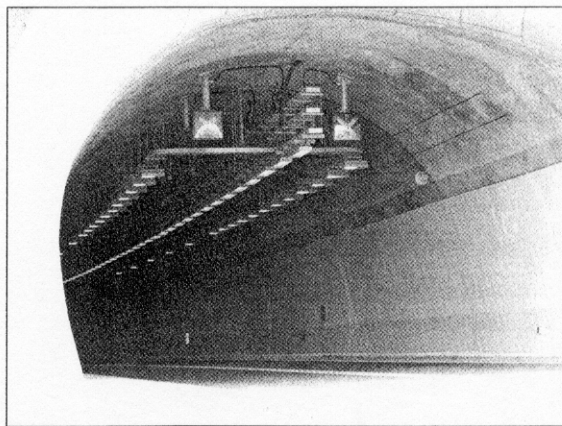
《新聞迴響》

隧道溫升 早在考慮之列

■ 李宏徹

國道新建工程局設施組組長

世界排名第五長公路隧道（已通車的隧道則是排名第四長）雪山隧道工程，可謂歷盡千辛萬苦，好不容易才完成。但通車前為了何時開放通車？即已紛紛攘攘，通車後雖尚不足兩個月，亦屢登媒體重要版面。台北到宜蘭間交通從2小時縮為不到40分鐘的便利性已被遺忘，留存在人們印象中的，似乎就只剩塞車以及危機四伏而已，好像車子開進去後能安全出來是一件該慶幸的事一般。耗資超過300億，犧牲十數條人命的世紀大工程，竟然淪落此地步，不禁讓人唏噓。



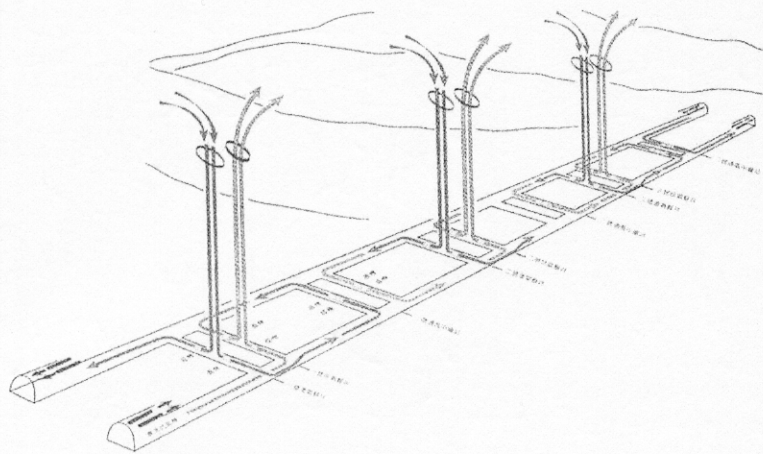
表一 雪山隧道與國外隧道之機電安全設施比較表

| 項 目 | St.Gotthard | Mont Blanc | 雪山隧道 | 日本關越隧道 |
|--|-------------|-----------------|------------------------------------|----------|
| 緊急電話 | 125M | 100M, 116 個 | 175M (及人、車行橫坑) (182) | 200M |
| 消防出水口 | 125M | 150M | 50M | 50M |
| 滅火器 | 125M | 100M | 50M | 50M |
| 一氧化碳(CO)偵測器 | 27 處 | ————— | 41 組 | |
| 能見度(VI) 偵測器 | 14 處 | ————— | 41 組 | |
| CCTV | 200M, 85 台 | 300M | 175M | 150~200M |
| 交通號誌燈(LCS) | 250M | 1200M | 350M | |
| FM 廣播系統 | 全頻及 GSM | ————— | 沿線佈設 | |
| 行車間距藍色 LED 燈 | ————— | 150M | ————— | |
| 綠色逃生指引線 | ————— | 300M | 50M 設逃生指示燈 | |
| 安全避難室 | ————— | 600M, 37 處 | 350M 人行橫坑共 28 處 1400M 車行橫坑共 8 處 | 750M |
| 擴音器 | ————— | ————— | 50M | 50M |
| 緊急停車彎 | ————— | 600M, 18 個 | 1400M (8 處) | |
| 火災偵測系統 | 25M | 隧道拱頂 | 沿線佈設 (350M 一分區) | |
| 速限可變標誌(CSLs) | 速限 80 公里 | 速限 50 公里至 70 公里 | 350M (及洞口) | |
| 資訊可變標誌(CMS) | ————— | ————— | 緊急停車彎 | |
| 柵欄 | ————— | 600M, 隧道洞口 | 洞口及洞內避車彎處 | |
| 導坑 | 有 | 無 | 有 | 有 |
| 備 | | 註 | | |
| 雪山隧道其他機電安全設施： 車輛偵測器(VD)：350M (及緊急停車彎) 通風系統：加強縱流式通風系統 無線電通訊系統：沿線布設 緊急通報按鈕：50M 噴流式風機：112 台 風向風速計：共 26 組 一氧化氮(NO)偵測器：共 8 組 軸流式風機：40 台 內照式逃生指引標誌：100M | | | | |

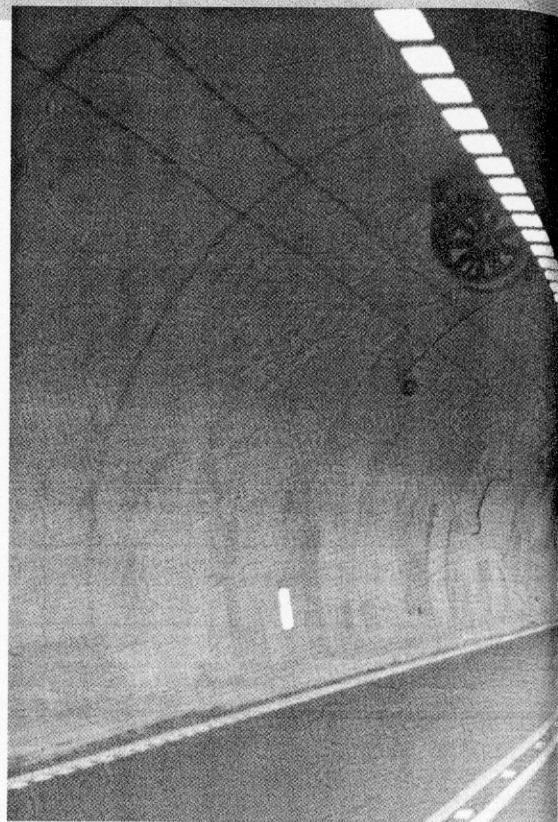
一通車就滿載 絕無僅有

除了開挖過程很艱辛，雪山隧道為維護用路人安全而設置的各項設備，絕不比其他國家長公路隧道遜色，甚至有過之而無不及（表

一），但媒體常將塞車現象歸責於交通管制過於嚴格所致。塞車的現象其實並非發生在隧道內，而是在進入隧道之前，這正是隧道管制的策略以「安全、順暢的通過」為最高的指導原則；國外長隧道內車輛間距必須保持 100m 甚

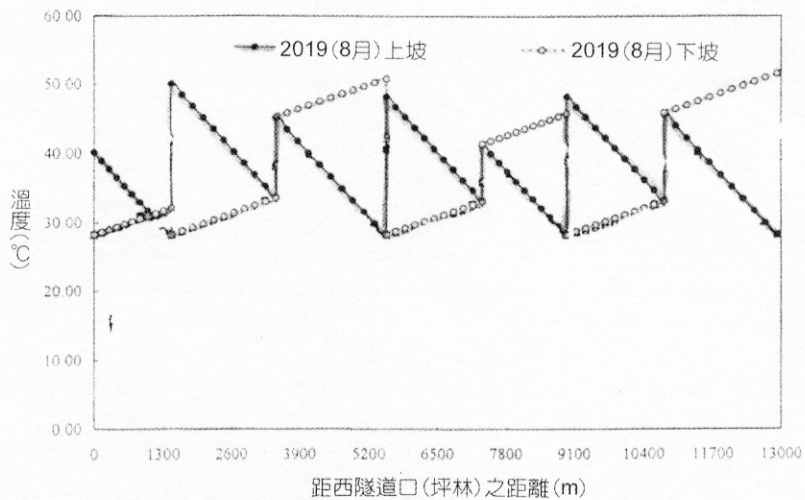


圖一 雪山隧道通風系統示意圖

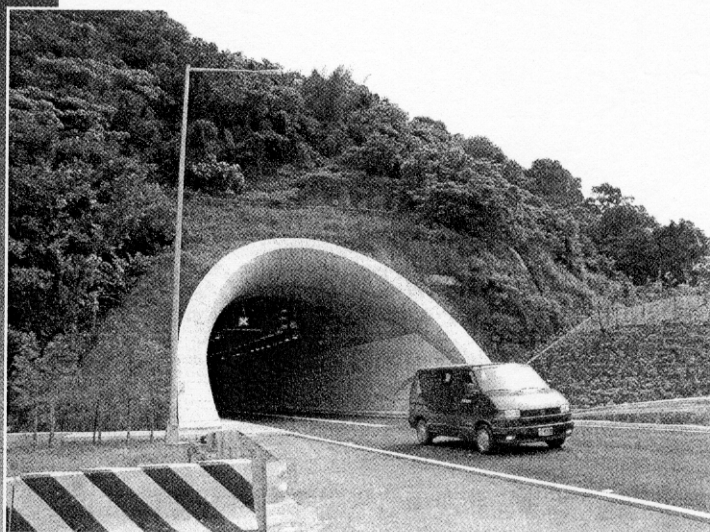
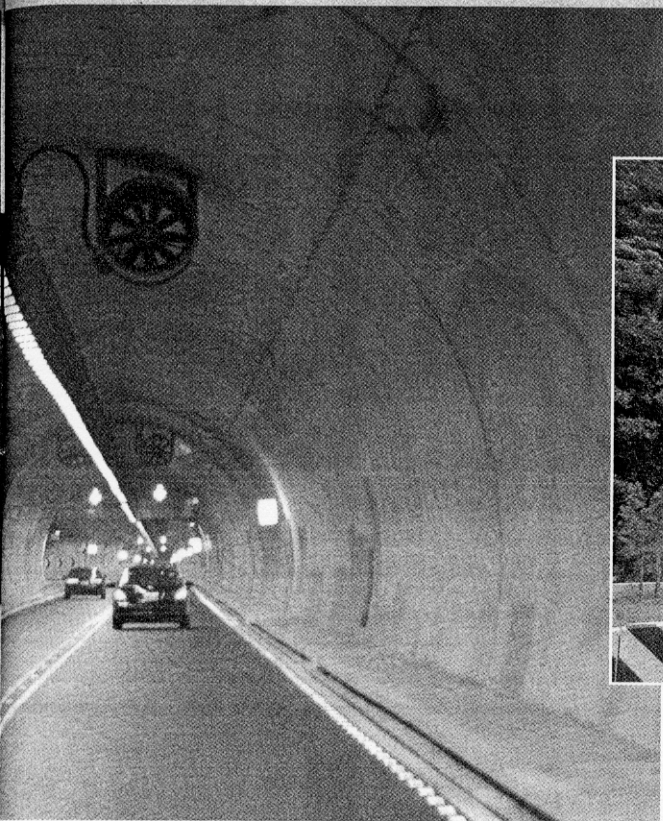


或150m以上之限制，致使隧道外大排長龍之現象亦所在多有。不過世界上其他長隧道像雪山隧道這樣才一通車就幾乎達到「滿載」的情況，恐怕也是絕無僅有。

雪山隧道長12.9km，因中間設有三組豎井(如圖一)，每組豎井有一單獨隧道吸入新鮮空氣，另一隧道排除廢氣，故就通風、排煙而言是由四段隧道所組成。雪山隧道屬縱流式通風，故無論是一氧化碳(CO)或溫度均會在排氣口排出之前累積達到最高，過了排氣



圖二 隧道溫升研究



• 國人並不熟悉長隧道行駛環境，是以雪山隧道初期最高速限設為 70 公里／小時，且僅開放小型車輛通行。（攝影：田潔生、黃基容）

口就又另有新鮮空氣供應，廢氣濃度當然也跟著下降，非整條隧道都達到高溫（如圖二）。

地處亞熱帶 溫升已考量

而且雪山隧道在設計時即已考慮到未來可能影響長隧道行車安全的各種不同因素，而分別進行相關研究以尋求因應之道。世界現有之長公路隧道均位於高緯度的地方，而台灣因處亞熱帶，常年平均氣溫高，不像高緯度國家，寒冬時間甚長，有些地方可能降雪數個月之久，故以前均未有溫升的問題。當時我們提出此問題時，外國顧問都不以為然，認為不需特別考慮，但經研究後，卻發現在某些狀況下，確有可能溫度達到 50°C 以上。這其中「隧道溫升問題研究」及「長隧道降溫方法評估」分別

於 85 年 7 月及 86 年 4 月主動委託臺灣大學應力所陳發林教授辦理。當初研究案採用模擬計算分析之交通條件前提為設計速率 80 公里／小時、每小時單車道容量 2100PCU、大型車流量佔 23%（其發熱量則佔估計總能量之 70%）；雪山隧道現通車初期僅開放小型車通行，且因隧道長將近 13 公里，恐國人尚未熟悉長隧道行駛環境，且為避免車禍產生火災後果堪慮，故規定最高速限 70 公里／小時，車距需維持 50 公尺，遇塞車時仍需保持 20 公尺，且採嚴格管制方式通行，故每小時單車道流量僅在 1200~1400PCU 之間。換而言之，其總交通量較原設計為低，加上亦無大型車行駛，所可能產生熱量實較原設計值為低。此外，雪山隧道之路線設計標準係由坪林一路下坡到頭城，坡

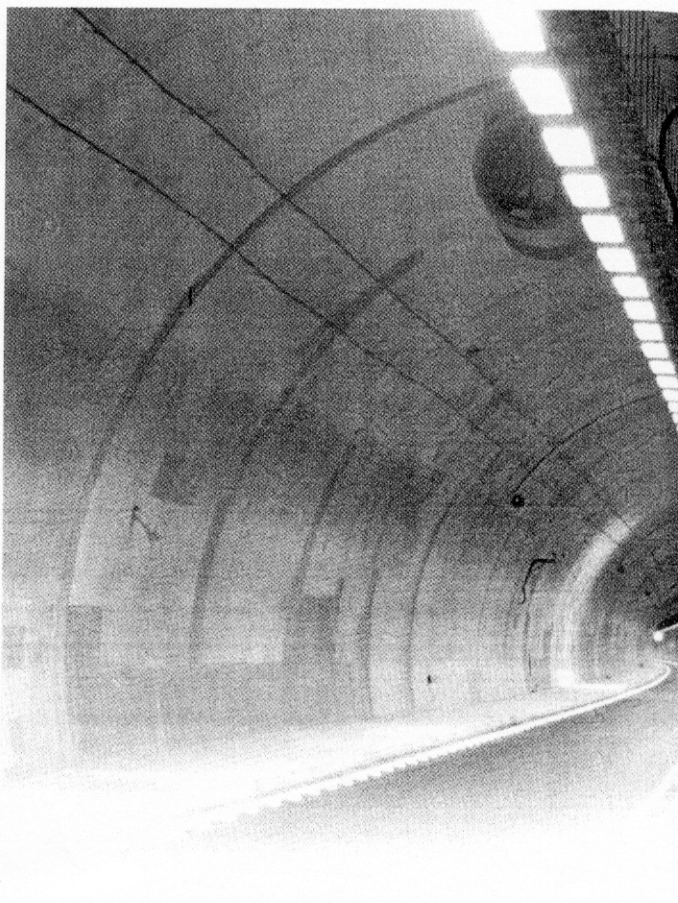
度僅 1.255%，並非如報載高達 3%，通風設計已考量隧道坡度、線型及斷面等因素，可提供符合安全需求之隧道行車環境。

另依據原設計公司評估，經豎井通風系統送至隧道之空氣，其溫度比洞口附近約低 4°C，故不論是正常通車或是塞車狀況，隧道內皆不致發生溫度過高而影響行車安全。隧道內之溫度與天候、交通條件、地下水活動及隧道通風量等多項因素均有關連，自 6 月 16 日通車起迄 7 月 9 日止，在未啟動任何通風系統的情形下，透過隧道各分區共設置溫度偵測器 71 點（隧道內每孔 19 點 * 2 共 38 點，另機房等共 33 點），各點實測溫度為 25°C~35°C 之間，較當時相對隧道外氣溫略低，並無特別溫度升高現象。隧道內之溫度也可能存在另一問題，即是隧道壁溫度因經年累月累積而逐漸失去降溫的能力，這當然也與地下水量有密切關係，而且是屬於長期觀測的問題，有待日後觀察；由於雪山山脈地下水豐富，預估對降溫應有相當的助益。

至於雪山隧道所設計空氣品質方面，依據世界道路協會（PIARC）1995 版之規定：一氧化碳在 100 ppm 以下係正常運轉狀況、100~150 ppm 係塞車運轉狀況、達到 250 ppm 則需封閉車道；另參考行政院環保署隧道空氣品質標準建議值：一氧化碳 1 小時平均值為 80 ppm、能見度(VI)為 0.009 m⁻¹。

一氧化碳濃度 低於標準值

經查核比對上述所訂空氣品質相關標準，雪山隧道所訂標準較以上兩者為高，扼要說明



設計細節如下：雪山隧道所訂安全係數甚高，一氧化碳在 75 ppm 以下係正常運轉狀況、100~150 ppm、能見度為 0.009 m⁻¹ 時為塞車運轉狀況，隧道通風量須隨著交通量之變化作適當調整，隧道監控系統亦將自動通知交控系統作必要之交通管制。如一氧化碳濃度超過 200 ppm 達 15 分鐘之久仍未改善，則採暫時關閉隧道或交通管制方式限制車輛進入。總計雪山隧道共設有 54 種通風模式，並完全自動監控；除了火警需經相關人員確認外，電腦均會自動運轉；而隧道內共設有一氧化碳偵測器 41 處；同樣的，通車至今偵測器實測各點之一氧化碳濃度為 4 ppm~60 ppm 之間（未啟動通風機），遠低



·雪山隧道自通車以來，在未啟動通風系統的情形下，隧道內之溫度偵測點數值皆低於隧道外氣溫。（攝影：田潔生）

操作的熟稔度更是重要的關鍵。另一方面用路人能否嚴守交通規則？也左右了雪山隧道交通事故發生之機率，北二高隧道通車後經統計隧道內事故大多因隨意變換車道、超速、未保持安全距離所致，可見好好守規則風險就可降低，否則風險將隨之增加。尤其國人對風險的認識似乎一直都缺乏，這從當年圍捕嫌犯的現場，民眾圍觀熱鬧的情況可略見一般。簡言之「人」可能才是最大的變數，也是最難掌控的因素。故特別呼籲用路人，於進入隧道後隨時接收行控中心管理人員所提供的資訊，相信必可愉快通過，享受隧道之便利。

筆者有幸參與北宜高工程，並從規劃設計到施工以至最後的設備工程及安全管理系統均實際接觸，尤其以土木工程背景，卻有幸承擔機電、交控等非自己專長之工作，更是兢兢業業，過程中並與消防、警政、醫療、救護、環境保護等相關人員，以及各領域之專家學者歷經無數次共同討論，並制訂最高指導原則的安全白皮書，和各細項作業之程序書、操作手冊等，對雪山隧道從最初計畫評估到營運管理制度之建立，可說是有始有終。人，終其一生不過短短數十寒暑，有幸效力於國家公共建設，尤其是世紀大工程建設，更是深感榮幸。

於 75ppm，故用路人應可安心通行。

相關單位對於後續雪山隧道的營運已建有長期監測計畫，並蒐集資訊以確認原設計評估之正確性，且近期將於洞口提供隧道內溫度及空氣品質指標數值之相關資訊，以提昇用路人在隧道行車安全之信心。

用路人 安全最大變數

再好的設備，再先進的系統，總還存在有「風險」；如何將風險降到最低，有賴於設備及系統的維修與維護，如何使各硬體設備一直處在正常運作的狀態，是需要靠良好的管理制度才能達到的；而同時管理人員對系統的了解及