

《國內工程篇》

雪山隧道安全設施大觀

■李宏徹

國道新建工程局設施組組長

■楊振忠

國道新建工程局設施組機電科科长

■尹義松

國道新建工程局設施組機電科工程員

北宜高速公路預定民國九十四年底通車，目前工地工程師及所有工作人員正不眠不休如火如荼地趕工；或在高聳橋墩上頂著寒風烈日、或在暗不見天日的隧道中忍受漫地煙塵與滾滾湧水。所有的人目標一致，如期完成通車的目標。北宜高速公路工程中最為人注目的莫過於雪山隧道，目前導坑已經貫通，主隧道貫通指日可待，隧道機電工程亦已進

場配合施工，通車日子近了。由於雪山隧道是全世界少有的長公路隧道，為維持隧道中行車安全及舒適，隧道內須設有各項安全設施，以確保行車人員安全。

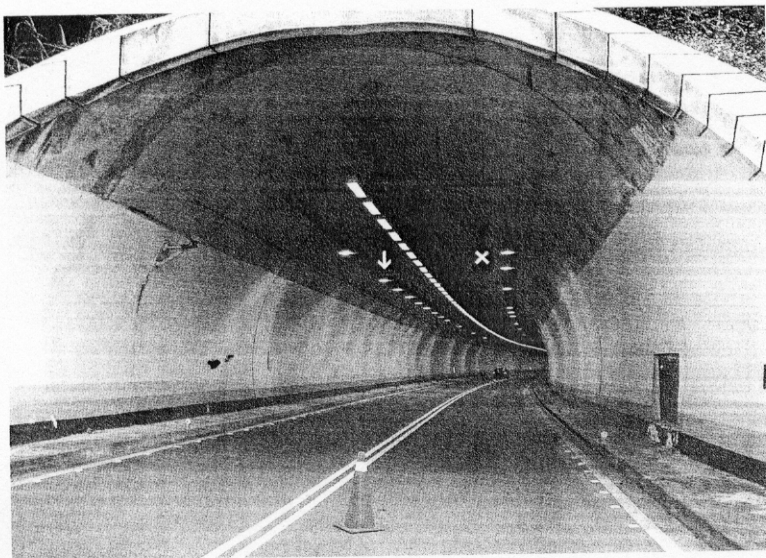
雪山隧道 雙孔車道

1. 地理位置

雪山隧道貫穿雪山山脈，為一雙孔單向雙車道隧道，另於兩隧道中間下方與主隧道平行處設有一供維修

及緊急救難用之導坑。隧道西口位於台北縣坪林鄉，洞口附近設置一坪林行控中心專用道，專用道內配置有坪林行控中心，隧道東口則位於宜蘭縣頭城鎮，離東洞口約兩公里處設有頭城交流道，頭城交流道內配置有頭城工務段、頭城收費站及國道公路警察隊部辦公室。導坑東西洞口均與坪林及頭城地方道路相通。

2. 設計概述



• 洞口設施(圖為南港隧道)

(a) 雪山隧道長度12.9公里，為分離之雙孔隧道，每孔隧道為單向雙車道。

(b) 坡度由頭城往坪林方向為1.255%上坡。

(c) 共設三處通風豎井，每處包含進氣豎井及排氣豎井各乙座。配合通風豎井位置，兩孔隧道間設三處通風換氣站，另為兩主隧道通風循環，設置三處通風中繼站(如圖一)。

(d) 每一車道寬3.5公尺，行車淨高4.6公尺。

(e) 每一主隧道車道下方有一管線廊道(亦為通風廊

道)，供電力、通訊及控制線路使用及機房供氣系統之風道。

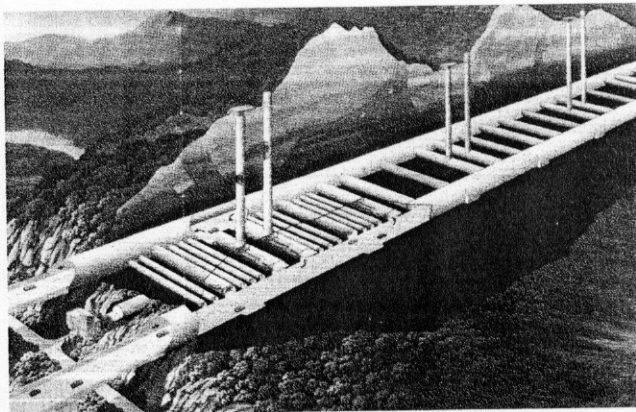
(f) 兩隧道間下方有一導

坑，直徑4.8公尺，供維護、救災及逃生等用途，亦為機房供氣系統之風道。

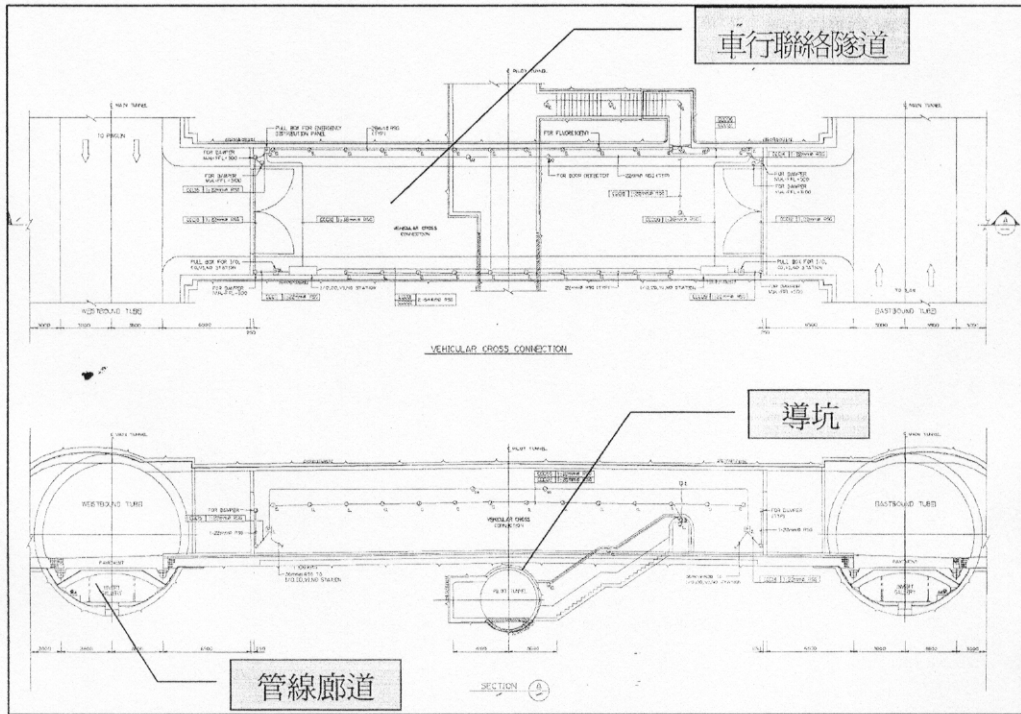
(g) 兩主隧道間設置橫向聯絡隧道，每350公尺設乙座人行聯絡隧道(共27座)，每1400公尺設乙座車行聯絡隧道(共9座)，供人員緊急避難及車輛緊急疏散用。人/車行聯絡隧道並以人行樓梯與導坑銜接，讓用路人通達導坑。(如圖二)

(h) 雪山隧道採全斷面隧道鑽掘機(TBM)及傳統鑽炸法(D & B)方式開挖。

(i) 交通控制及隧道機電系統：交通控制系統設置有閉路電視、緊急電話、車輛偵測器、車道管制號誌、資訊



圖一 雪山隧道透視圖

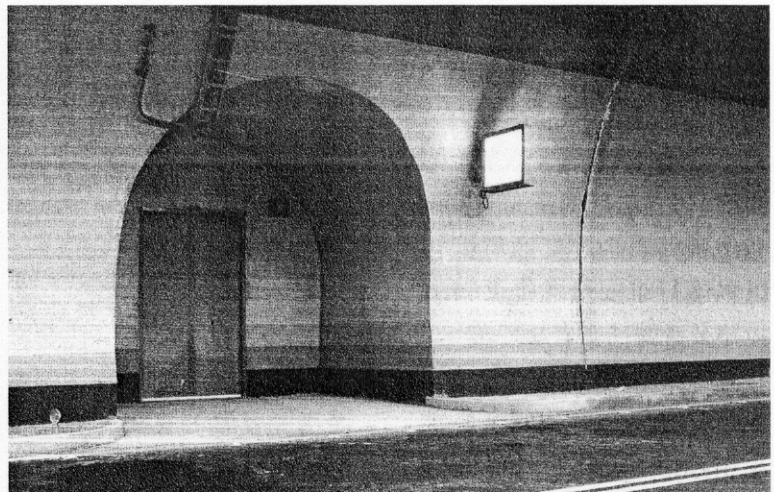


圖二 雪山隧道断面圖

可變標誌、無線電、廣播及中央電腦等子系統，隧道機電系統設置有電力、照明、火警偵測、通風空調、消防及監控等子系統。

3. 避難救援通道

雪山隧道為雙孔單向雙車道隧道，考慮當發生事故時，受傷人員及用路人逃生所需安全避難時間及救災需要，兩孔主隧道間以每隔 350 公尺一座人行聯絡隧道及每



• 人行聯絡道(圖為南港隧道)

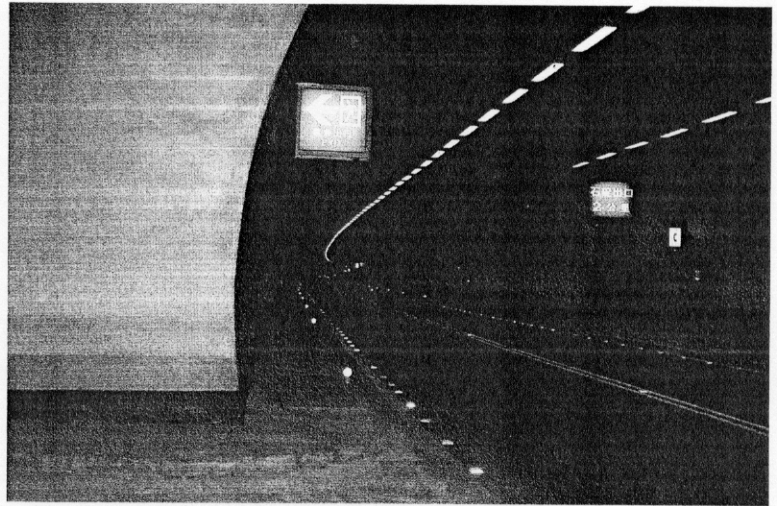
隔 1400 公尺一座車行聯絡隧道相互銜接；緊急停車彎配合車行聯絡隧道位置，於主隧道車行方向右側每 1400 公尺設置乙處；導坑平行於主隧道，位於兩孔主隧道間與人／車行聯絡隧道下方，導坑與人／車行聯絡隧道有人行樓梯銜接，必要時可供救難人員利用此通道進入隧道搶救及讓用路人通達導坑。車行聯絡隧道斷面足敷各型大小車輛之通行或導流，每座人行聯絡隧道可避難百人以上，導坑可提供最便捷之專用救援路徑。雪山隧道係由雙孔主隧道、人／車行聯絡隧道、緊急停車彎及導坑所通連而成的逃生、避難及救援路徑與空間。

安全設施 救難應變

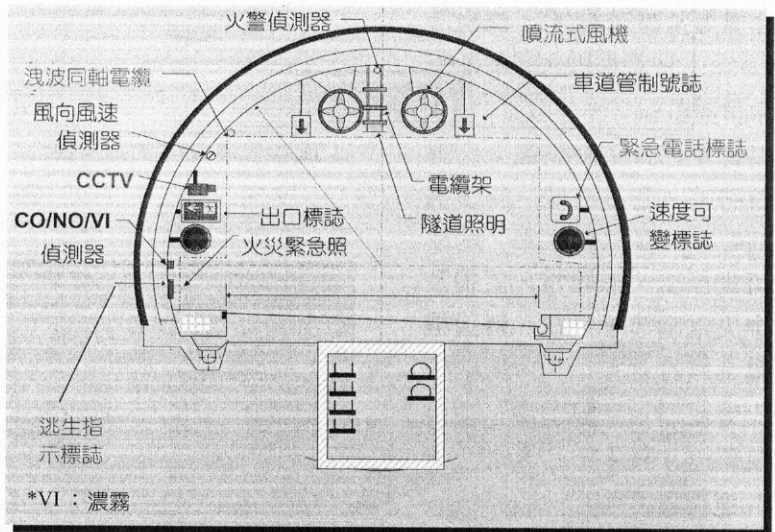
隧道內各項安全設施（如圖三）設置之目的在提供駕駛者舒適與安全之交通環境，以維護行車安全並提供緊急救難及避難所需各項設備。

1. 通風系統

駕駛人若長時間處於空氣不良處，易產生頭暈目眩、注意力不易集中及反應



• 避車彎（圖為南港隧道）



圖三 隧道安全及防災設施示意圖

遲頓等現象，故通風系統的目地在稀釋車輛所排出之廢氣如一氧化碳、二氧化碳、

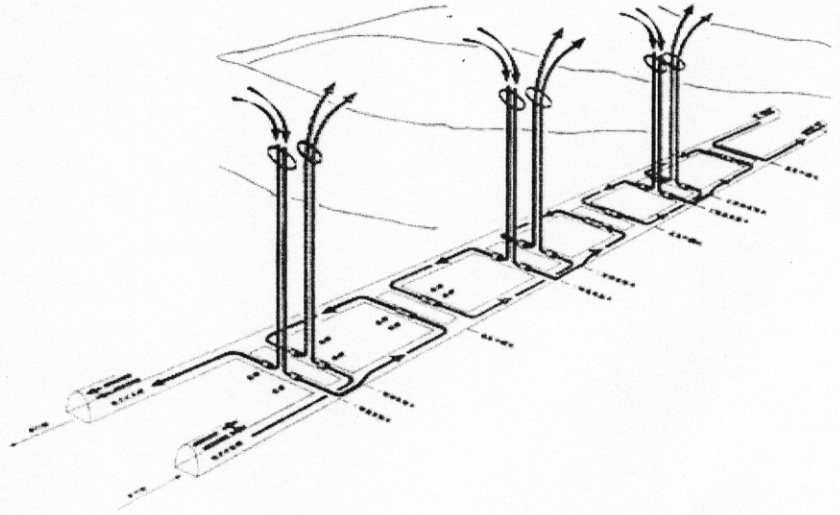
氮氧化物、碳氫化合物及粒狀污染物等之濃度，並與洞外新鮮空氣交換以維持隧道

內空氣品質，使隧道內空氣品質維持在安全質內，以確保行車安全。

· 雪山隧道通風系統概述

雪山隧道擁有兩套獨立通風系統，一為供應主隧道車道換氣之加強縱流式通風系統，除平時進行車道換氣外，在火災發生時，依自動控制程序進行火災運轉模式，除避免濃煙擴散至人／車行聯絡隧道及對向主隧道外，並控制在適當風速下，提供用路人最佳逃生環境；另一為提供導坑、管線廊道、人／車行聯絡隧道及隧道機房內之人員與機房空調用新鮮空氣之供氣系統，此供氣系統仍由雪山隧道東西洞口機房全天候引入新鮮空氣，由於風機持續加壓供氣，可讓此通風空間保持正壓。

當火災發生時，人／車行聯絡隧道內持續保持正壓，避免隧道火災濃煙由門縫竄入，讓逃生人員可以在聯絡隧道內獲得安全避難。雪山隧道是最長的雙孔公路隧道，共設有三組通風豎井，每組豎井包括進氣



圖四 雪山隧道通風系統圖

井與排氣井各一座，其通風系統為加強縱流式通風系統，包括三組通風換氣站與三組通風中繼站並裝有 36 台軸流式主風機，另於主隧道內裝有 112 台噴流風機。

新鮮空氣進氣由進氣豎井引入隧道，稀釋隧道內汽車所排放之廢氣及煙塵，污濁空氣再經由排氣豎井排出，又當一孔隧道內污染度高於另一孔隧道很多時，通風中繼站即進行兩孔空氣交換，使新鮮空氣由通風進氣豎井經通風中繼站至通風排氣豎井之路徑中，經過一半

污染度高及一半污染度低之隧道環境，如此藉由交換兩孔隧道空氣，以降低單孔隧道通風所需的龐大通風負荷，並減少豎井設置數量。

2. 照明設施

隧道照明設置之目的在確保駕駛者於行駛隧道時，能獲致與鄰接道路（隧道外）相同之行車安全與舒適程度。

· 主隧道照明設計

雪山隧道主隧道照明設計，考慮行車安全及舒適性，採用 40W*2 日光燈具作為基本照明，使隧道內照度均

段輝度基準採用 $15\text{cd}/\text{m}^2$ ，距離為 50 公尺。

(D) 內部區 (Interior Zone)：

輝度基準採用 $6\text{cd}/\text{m}^2$ 。

(E) 出口區 (Exit Zone)：分二段，前段輝度基準採用 $15\text{cd}/\text{m}^2$ ，距離為 30 公尺，後段輝度基準採用 $30\text{cd}/\text{m}^2$ ，距離為 30 公尺。

· 其他照明

(A) 導坑照明：採用防溼型 $40\text{W} \times 2$ 日光燈，照明迴路由監控系統及手動控制方式。

(B) 管線廊道照明：採用防溼型 $40\text{W} \times 2$ 日光燈，照明迴路由監控系統及手動控制方式。

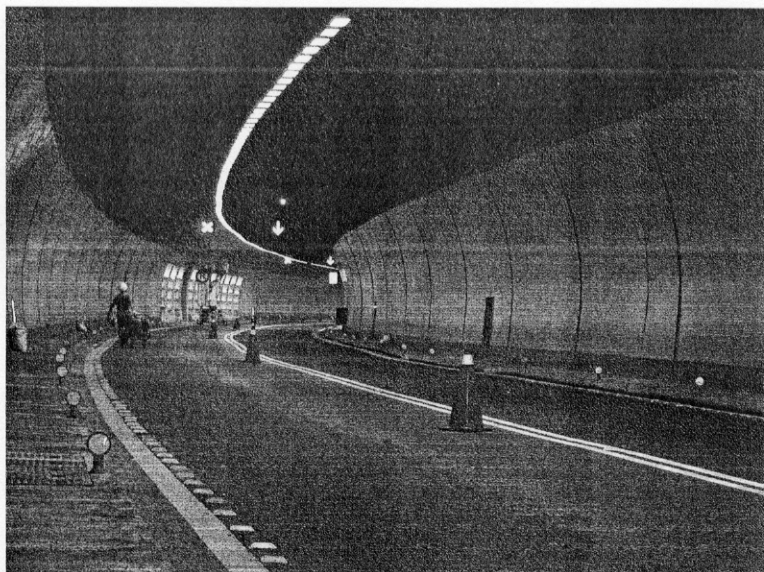
(C) 人行/車行聯絡道照明：採用防溼型 $40\text{W} \times 2$ 日光燈，當有人員及車輛進出時，燈具自動點滅控制。

(D) 主隧道火警緊急照明：採用 60W 白熾燈具，置於隧道車行方向之左側壁，平時不亮，當火災發生時由監控站接受火警訊號自動點亮。

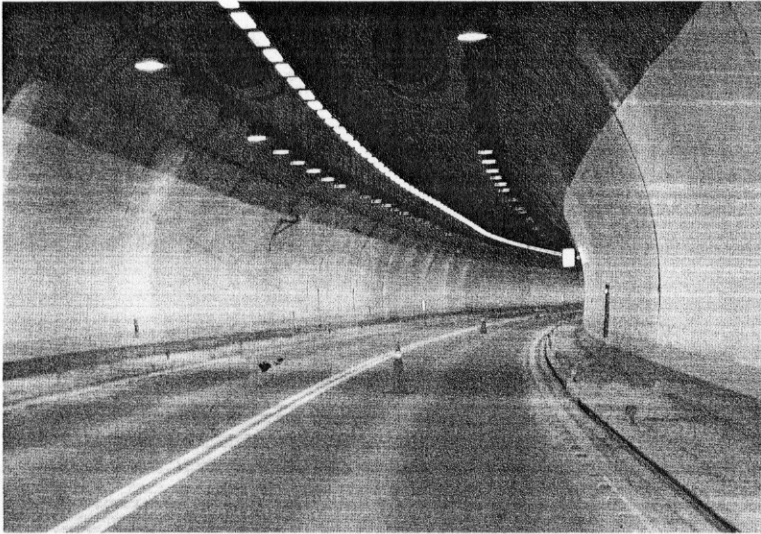
3. 火警偵測系統

火警偵測系統主要在即時偵測隧道內是否發生火警及當發生火警時能立即發出訊號連線監控系統作必要之處理。雪山隧道之主隧道採用差動式銅管型火警偵測系統，並配合人/車行聯絡隧道之間距分區，差動式火警感測銅管，安裝於隧道頂部，每 350 公尺長為一火警分區。管線廊道火警警報設備採用適用於管線廊道、管道間及電纜架等常用之偵熱式偵測線，以偵測管線廊道內高低壓電力電纜、通訊控制纜線及電氣設備之溫度。人行及車行聯絡隧道、變電站、通風豎井頂部建築物及電氣機房採用偵煙式探測器，火警受信總機安裝於洞口機房電子設備室或隧道內輔助機房內。當火警發生時本系統將依火警發生地點與其它各系統連動（如表一）。手動報警機、警示燈及警鈴裝置沿主隧道每 50 公尺，配合消防栓箱位置裝設。

火警偵測系統能監視及顯示各火警分區，火警信號發生後火警分區除於火警受信總機顯示外，並藉由 RS-



· 基本照明 (圖為南港隧道)



• 入口段照明(圖為南港隧道)

根據 C I E 之推薦值採用 $4000\text{cd}/\text{m}^2$ 。

(B) 進口區(Threshold Zone) :

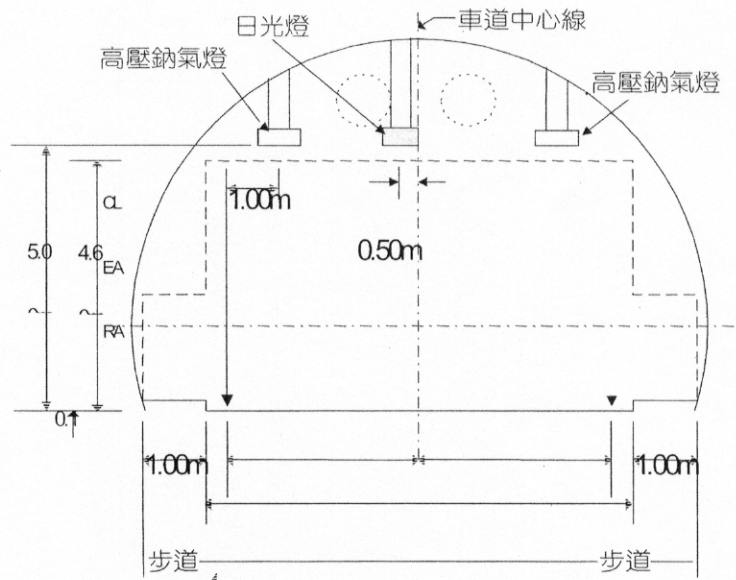
輝度基準為 $200\text{cd}/\text{m}^2$ ，但本設計使用 Counter Beam 作為加強照明，輝度基準則降為 $120\text{cd}/\text{m}^2$ ，前段距離 50 公尺，另後段輝度基準採用 $60\text{cd}/\text{m}^2$ ，距離為 50 公尺。

(C) 漸變區(Transition Zone) :

分二段，前段輝度基準採用 $30\text{cd}/\text{m}^2$ ，距離為 50 公尺，後

勻無斑馬紋；而日光燈之演色性較高，具有使駕駛人能提高辨識及眼睛不易疲勞等優點進而提高行車安全，另輔以高壓鈉氣燈作為加強照明(均安裝於隧道上方，如圖五)。駕駛人在進入隧道時會因光線變化太大產生"黑洞效應"，為免因此效應影響行車安全，故隧道照明之設計成入口處較亮，並分區遞減至隧道內基本照明，使駕駛人能適應隧道內環境。各區之平均輝度值及距離應設定如下：

(A) 接近區(Access Zone) :



圖五 隧道照明安裝示意圖

表一

自動連動系統	火災發生地點		
	主隧道	管線廊道	聯絡隧道
隧道通風系統	○	○	○
機房 HVAC 系統	○		
交控系統	○		
CCTV 系統	○		○
隧道緊急照明系統	○		

註：“○”表示啟動

232C 通訊介面，將火警訊息（含火警發生的地點及火警分區）送至隧道監控系統現場控制器。全系統須有自我診斷功能，能診斷現場控制器及受信總機本身之故障，並將該故障訊息送至隧道監控系統現場控制器。

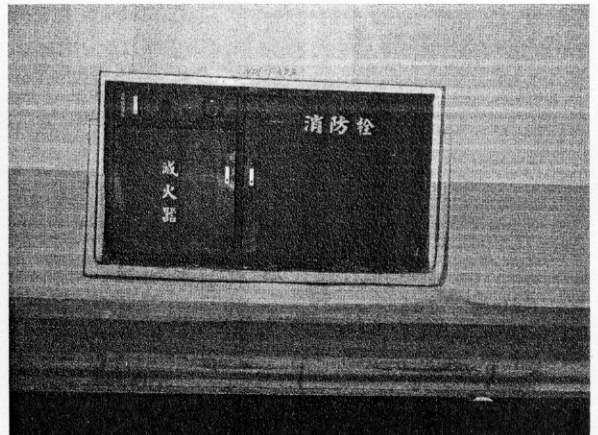
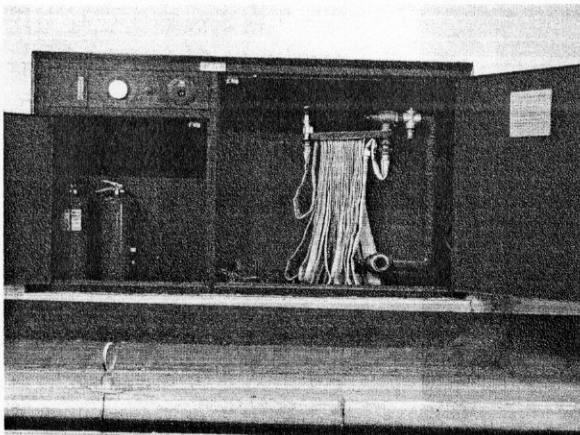
4. 消防設施

消防設施提供用路人初期滅火與消防人員滅火兩階段滅火作業所需之設備。包括消防栓、給水栓、滅火器、消防水管、消防泵及持壓泵等。提供迅速、有效滅火或抑制火災之基本功能。主隧道內沿車行方向每隔 50 公尺設有消防栓箱內含消防

栓、水帶、錨子、給水栓、滅火器、手動報警機、警示燈、通話插孔及警鈴裝置)。當用路人車輛失火時，應立即將車輛靠右側停放，迅速打開消防栓箱，利用箱內之消防栓或滅火器作初期之滅火作業。當用路人打開消防栓箱時將自動連結隧道監控系統，控制中心將接獲訊息同時閉路電視將自動轉向該區監控。

5. 監控設施

本機電監控系統為單一區段獨立運轉之系統，由區段工作站處理完畢後，將結果傳回行控中心，以供操作人員作監視或緊急控制用。



• 消防栓箱(圖為南港隧道之設施)

本系統之監控任務，平時由輪值於坪林行控中心及頭城69KV變電站之值班人員負責監控任務，若坪林行控中心工作站故障或維修時，再由監控人員轉進至區段控制中心以接掌本區段之監控任務。

· 監控設備範圍

以圖控方式對下列主要項目做監控：

A. 變電站電力系統之監控。

B. 隧道內照明系統及隧道洞外接續道路路燈照明之監控。

C. 隧道通風及機房空調系統之監控。

D. 隧道安全、消防及火警系統之監視及管制。

E. 蓄水池水位之監視。

F. 污水池設施之監視。

G. 調和池設施之監視。

· 監控主要設備

(A) 工作站：

本工作站必須即時(Real Time)蒐集各現場控制器及輸入／輸出監控站的資料，顯示於電腦螢幕或經由資料庫讀出所需資料並可顯示於螢幕。工作站必須具備有快速

圖形或影像顯示功能，對所蒐集之資料須能提供即時之分析、計算、儲存並下達控制命令至各現場控制器或監控站。本監控系統共有五組工作站，分別設置於坪林行控中心、69KV變電站、161KV變電站及第三區段控制中心(兩組)，每組有兩部相同的工作站，採用重置式(Redundant)架構，一為主工作站，一為副工作站，每組工作站共用一陣列磁碟機，其中一台運作時，另一台在準備狀態，一旦運作中之工作站故障或異常狀態時，準備中之工作站能及時承轉運作。

(B) 機電／安全設備監控用控制器(E & M / Security Controller)

本控制器係由二組相同的控制器組合而成的重置(Redundancy)架構，且每一組控制器至少須具有個別的CPU、記憶體、主機、框架、通訊及電源供應器等模組，當主控制器故障時，本控制器必須自動切換至副控制器繼續正常執行控制功能，且控制系統之輸出(Output)應

不受任何影響，此外本控制器至輸入／輸出監控站(I/O station)之通訊連線亦需有重置功能(Cable redundant)，當主線路故障時，控制系統需自動切換至另一線路維持正常通訊，繼續正常執行控制功能；並能將此主機或通訊故障信號往上傳至工作站顯示，提醒操作人員處理。

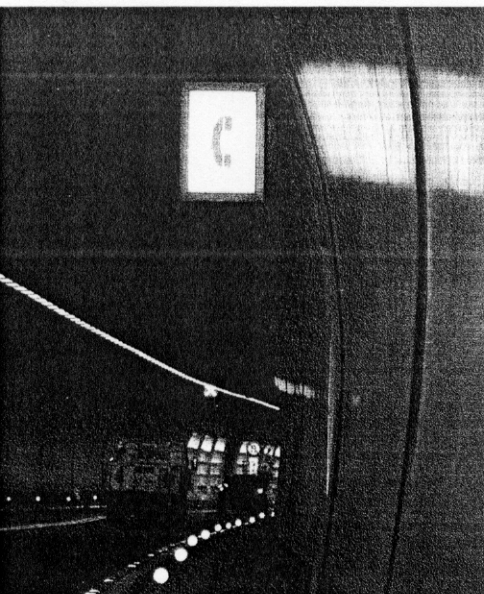
(C) 輸入／輸出監控站(I/O Station)：

主要功能係將現場設備之類比及數位信號經由資料傳輸界面(Data Communication Interface)，正確地傳送至機電／安全或通風／空調控制器做前置處理，並將經由控制器分析、比較及計算後所產生之控制命令，正確地傳回現場驅動相關設備；同時並將各設備之運轉狀態信號經由控制器傳送至工作站及監視盤(照景盤)顯示及供其他相關監控之用。輸入／輸出監控站係由電源供應單元、I/O 模組(I/O Modules)及資料傳輸界面(Data Communication Interface)組合而成。每一

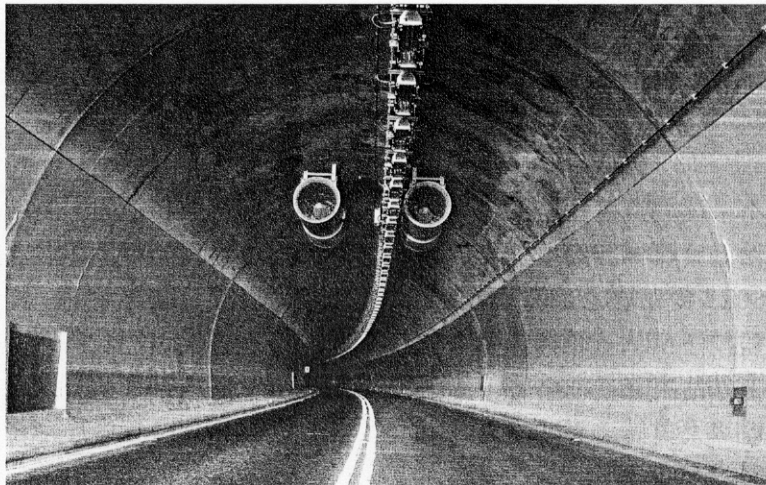
輸入／輸出站裝置可配合現場實際監控點數，由數個類比或數位模組組合成一個 I/O 機組(I/O Chassis)，每一機組電源線需設置避雷裝置，通訊線路須加裝突波吸收器，藉以保護內部組件，機組內每個 I/O 模組可分別傳送類比或數位信號。

6. 其他安全設備安裝設計

- 緊急避難方向指示燈：沿主隧道內車行方向左側壁，每 100m 設置一處及車行方向左側之聯絡隧道入口，高度離人行步道上



• 電話凹槽(圖為南港隧道)



• 用路人行車隧道應遵循交通規則，以減少事故發生。(圖為彭山隧道)

- 約 50cm。
- 緊急電話：裝設於主隧道內車行方向右側緊急電話凹槽內，每 175m 設置一處及每各人／車行聯絡隧道內設置一處，凹槽外設有指示標誌。緊急時用路人可打開電話凹槽大門，拿起話筒即可與行控中心值班人員通話，監控系統亦可立即測知該用路人之位置，提供必須之協助。
- 交通管制設施：包含資訊可變標誌、車道管制標誌及速限可變標誌。
- 路況監測設施：包含中央監視控制中心、閉路電視監視設備、車輛偵測器、隧道內空氣品質偵測器、輝度偵測器。

後續管理 行車安全關鍵

雪山隧道雖已提供安全行車所須之各項設備，唯行車安全最主要關鍵仍在於用路人及後續交通管理措施。用路人對於隧道內之各項設施應予熟悉，並遵守交通規則，如隧道內開車燈、不任意變換車道、不超速、保持適當車距、不打行動電話並保持良好精神狀態等即能減少事故發生；另適當的交通管制方法如車流量管制、大型車輛限制措施、禁行裝載危險物品車輛等均可提高行車安全。當隧道內發生緊急狀況時，用路人應保持鎮靜，依各項指示迅速逃出，切忌駐足停留觀望，影響救災並危害自身安全。