

「長隧道通行機車條件」委託技術服務 期中報告書(修正版)

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 計畫緣起與目標.....	1
1.2 計畫範圍.....	2
1.3 計畫工作內容.....	3
1.4 工作流程.....	3
第二章 長隧道及機車文獻回顧、案例蒐集.....	5
2.1 國外長隧道案例蒐集與分析.....	5
2.1.1 國外長隧道案例蒐集.....	5
2.1.2 歐洲隧道管理與控制之借鏡.....	53
2.1.3 國外長隧道案例綜整分析.....	57
2.2 國內機車發展現況與安全議題.....	62
2.2.1 國內機車發展現況.....	62
2.2.2 國內外機車發展差異因素.....	68
2.2.3 臺灣與日本機車光譜差異因素：日本機車考照制度.....	70
2.2.4 機車安全行駛速度.....	76
2.2.5 國內機車肇事原因.....	85
2.3 長隧道通行機車相關資料回顧.....	89
2.3.1 國內隧道廢氣排放及溫升問題回顧.....	89
2.3.2 國內隧道交通事故特性分析.....	92
2.3.3 隧道科技執法與機車通行.....	103

2.4 小結.....	109
第三章 長隧道通行機車條件與課題探討.....	111
3.1 長隧道通行機車應考量之條件.....	111
3.2 關鍵課題與對策.....	117
第四章 意見徵詢及溝通.....	123
4.1 用路人或利害關係人相關意見蒐集.....	123
4.2 政策溝通作法.....	125
4.2.1 公眾參與溝通介紹.....	125
4.2.2 國內公眾參與借鏡案例.....	128
4.2.3 本研究意見溝通執行架構.....	131
第五章 車流模擬分析.....	133
5.1 混合車流文獻回顧與分析.....	133
5.1.1 靜態車流模式回顧.....	135
5.1.2 混合車流模式回顧.....	138
5.1.3 車流模擬軟體回顧.....	145
5.2 長隧道車流研究回顧.....	146
5.3 長隧道 SUMO 模擬模式.....	150
5.4 情境分析.....	151
第六章 長隧道通行機車條件研析.....	153
6.1 隧道硬體設施標準.....	153
6.2 未來通行機車之車種標準.....	158
6.3 科技執法結合流量管制.....	161
第七章 結論與後續工作項目說明.....	164
7.1 結論.....	164
7.2 後續工作項目說明.....	165

圖目錄

圖 1.4-1 計畫工作項目及流程圖	4
圖 2.1-1 挪威洛達爾隧道特殊光影設備	10
圖 2.1-2 日本山手隧道地下通風站(換氣所)位置	14
圖 2.1-3 日本山手隧道地下通風站設備	14
圖 2.1-4 日本山手隧道通風設施	15
圖 2.1-5 日本山手隧道水霧降溫系統	15
圖 2.1-6 中國秦嶺終南山公路隧道特殊燈光帶	16
圖 2.1-7 中國秦嶺終南山公路隧道剖面圖	17
圖 2.1-8 中國秦嶺終南山公路隧道通風豎井示意圖	18
圖 2.1-9 煙霧探測器	20
圖 2.1-10 瑞士聖哥達公路隧道通風系統	21
圖 2.1-11 瑞士聖哥達公路隧道通風橫斷面	21
圖 2.1-12 瑞士聖哥達公路隧道煙霧疏散系統	22
圖 2.1-13 奧地利阿爾貝格公路隧道出口方式示意圖	23
圖 2.1-14 奧地利阿爾貝格公路隧道新逃生口示意圖	23
圖 2.1-15 奧地利阿爾貝格公路隧道熱掃描儀器	24
圖 2.1-16 奧地利阿爾貝格公路隧道現有通風示意圖	25
圖 2.1-17 奧地利阿爾貝格公路隧道通風剖面圖	26
圖 2.1-18 法國-義大利弗雷瑞斯隧道新建第二管	27
圖 2.1-19 新加坡加冷-巴耶利峇高速公路隧道設施	29
圖 2.1-20 法國-義大利白朗峰隧道新型消防車	30
圖 2.1-21 法國-義大利白朗峰隧道設施	31
圖 2.1-22 日本關越隧道緊急安全告示	32
圖 2.1-23 日本關越隧道透視圖	33
圖 2.1-24 日本飛驒隧道重點照明	33
圖 2.1-25 日本飛驒隧道防災設施	34
圖 2.1-26 日本飛驒隧道通風設施	34
圖 2.1-27 東京灣示意圖	35
圖 2.1-28 日本 ETC 收費站	35
圖 2.1-29 東京灣跨海公路示意圖	36
圖 2.1-30 東京灣跨海公路隧道剖面圖	36

圖 2.1-31 東京灣跨海公路海底隧道緊急避難逃生滑梯與維護管理專用道路	37
圖 2.1-32 日本東京灣跨海公路海底隧道水噴霧系統節流閥	39
圖 2.1-33 日本東京灣跨海公路海底隧道水噴霧系統配水、泡沫管	39
圖 2.1-34 日本東京灣跨海公路海底隧道噴流式排風機與電動除塵器	40
圖 2.1-35 川崎人工島上風之塔	40
圖 2.1-36 飯田管理事務所的交控中心監控設備	41
圖 2.1-37 日本惠那山隧道位置	42
圖 2.1-38 日本惠那山隧道入口標示	42
圖 2.1-39 日本惠那山隧道剖面圖	44
圖 2.1-40 山梨縣一側的收費站	45
圖 2.1-41 日本雁坂隧道	45
圖 2.1-42 日本雁坂隧道剖面圖	46
圖 2.1-43 日本雁坂隧道通風塔	46
圖 2.1-44 荷蘭西斯凱爾特隧道	47
圖 2.1-45 越南海雲隧道位置	48
圖 2.1-46 越南海雲隧道載運機車及其用路人服務	49
圖 2.1-47 越南海雲隧道通風系統	50
圖 2.1-48 馬來西亞精明隧道之運作模式	51
圖 2.1-49 馬來西亞精明隧道 VMS 標誌	52
圖 2.1-50 馬來西亞精明隧道 SMART Ronda 團隊協助事故排除	52
圖 2.1-51 二車道及實體分隔自行車與行人專用道之 T11.5 隧道橫截面	54
圖 2.1-52 自行車與行人專用 T4 隧道橫截面	55
圖 2.1-53 喬治梅西隧道免費接駁服務	55
圖 2.1-54 喬治梅西隧道免費接駁上下車地點	56
圖 2.1-55 英法海底隧道接駁火車內情境	56
圖 2.1-56 奧大利(Austria)的 Autoschleuse wagons in Mallnitz 火車接駁	56
圖 2.1-57 德國 Autoverlad in Kandersteg 火車接駁	56
圖 2.2-1 107 年國內小客車與機車數量占比	62
圖 2.2-2 《國家地理雜誌》年度攝影大賽 M.CHAK 作品- motorcycle Waterfall	63
圖 2.2-3 100-108 年 8 月底國內機車登記數	63
圖 2.2-4 108 年 8 月底國內機車排氣量分布	64
圖 2.2-5 105 年使用中之機車車齡比例	65
圖 2.2-6 105 年使用中之機車車齡比例-按排氣量分	65

圖 2.2-7 機車車齡分布-按排氣量分	66
圖 2.2-8 電動機車發展趨勢	68
圖 2.2-9 機車光譜分布之比較-以臺灣、日本及英國為例	70
圖 2.2-10 日本 2015 年各種類機車駕照合格率	73
圖 2.2-11 法國歷年已銷售車速能超過 150km/h 之機車比例	78
圖 2.2-12 不同用路人受撞擊之碰撞速度與死亡機率	79
圖 2.2-13 行車速度增減對於發生交通事故之影響	79
圖 2.2-14 機動汽車與機車每百萬沿人公里致死與致重傷比率	83
圖 2.2-15 機動車輛事故意識到危險時的速度與用路人致死與致重傷之比例	83
圖 2.2-16 近 5 年機車肇事件數及占比	85
圖 2.2-17 民國 106 年我國機車死亡事故之主要傷處	87
圖 2.2-18 日本機車死亡事故之主要傷處(近五年平均).....	87
圖 2.2-19 胸部保護設備	88
圖 2.2-20 不穿著胸部保護設備原因	89
圖 2.3-1 雪山隧道違規車行分析	106
圖 2.3-2 雪山隧道違規時段分析	107
圖 2.3-3 雪山隧道假日/非假日違規分析	107
圖 2.3-4 雪山隧道科技執法啟用前後分析	108
圖 3.1-1 環境面因子對人車的影響	111
圖 3.1-2 交通面因子對人車的影響	113
圖 3.1-3 民意面因子對政策分析的影響	114
圖 3.1-4 科技與創新服務應用	116
圖 4.2-1 本研究意見溝通作業流程	131
圖 5.1-1 新竹科學園區汽機車混合車流路況	134
圖 5.1-2 單階段模式與實際車流資料比較圖	136
圖 5.1-3 多階段模式與實際車流資料比較圖	137
圖 5.1-4 機車行駛於多車道路段時分佈情形	145
圖 5.1-5 SUMO 模擬小汽車、大客車與機車混合車流示意圖.....	146
圖 5.2-1 依事故發生率之隧道分段圖	147
圖 5.2-2 雪山隧道北向流量-速率關係圖	148
圖 5.2-3 雪隧南口與瓶頸點臨界流量差異	149
圖 5.2-4 瀋大高速公路億車事故率	150
圖 5.4-1 車流模擬分析模式說明	152

圖 6.1-1 隧道分級標準-以臺灣、日本、美國及挪威為例	154
圖 6.1-2 雪山隧道通風系統運作流程圖	156
圖 6.2-1 各類型機車累積銷售數(民國 91 年~108 年 6 月).....	160
圖 6.2-2 臺灣電動機車車牌分類	161

表目錄

表 1.3-1 章節架構對照表	3
表 2.1-1 全球前五長之長隧道	5
表 2.1-2 國外長隧道基本資料綜整	7
表 2.1-3 挪威洛達爾隧道防災系統綜整	11
表 2.1-4 日本山手隧道防災設備	12
表 2.1-5 中國秦嶺終南山公路隧道防災系統綜整	17
表 2.1-6 瑞士聖哥達公路隧道防災系統綜整	19
表 2.1-7 奧地利阿爾貝格公路隧道防災系統綜整	24
表 2.1-8 奧地利阿爾貝格公路隧道通風系統的風扇規格	25
表 2.1-9 法國-義大利弗雷瑞斯隧道防災系統綜整	27
表 2.1-10 法國-義大利白朗峰隧道防災系統綜整	30
表 2.1-11 日本東京灣跨海公路海底隧道內部消防設施	38
表 2.1-12 日本惠那山隧道消防設施	43
表 2.1-13 越南海雲隧道設備	49
表 2.1-14 馬來西亞 SMART 隧道設備	51
表 2.1-15 411 行人和自行車騎士之英文條文與中文說明	53
表 2.1-16 國外長隧道機車行駛相關規定	57
表 2.1-17 國外長隧道機電設備綜整	59
表 2.1-18 國外長隧道特殊設備	61
表 2.2-1 108 年 8 月底國內各類型機車登記數	64
表 2.2-2 車齡 10 年(含)以上機車占總機車累積銷售量之比例-按排氣量分	66
表 2.2-3 107 年機車排氣定檢統計數據	67
表 2.2-4 環保署交通工具空氣污染排放標準	67
表 2.2-5 長隧道案例國家之汽機車持有率比較	69
表 2.2-6 日本不同等級機車的相關規定	71
表 2.2-7 臺灣與日本機車駕照考驗項目比較	72
表 2.2-8 臺灣與日本機車駕照合格率比較表	74
表 2.2-9 臺灣與日本機車考照總成本比較表	75
表 2.2-10 臺灣與日本機車考照總成本與月薪占比表	76
表 2.2-11 道路使用者因速度而受傷的風險	82
表 2.2-12 107 年機車肇事件數依主要肇事原因分析	86

表 2.2-13 機車用路人穿著注意事項	88
表 2.3-1 機車廢氣對健康的影響	89
表 2.3-2 隧道空氣品質設計標準	90
表 2.3-3 「雪山隧道空氣汙染物實場調查分析」車輛排放係數表	90
表 2.3-4 環保署汽機車空氣汙染排放係數表	91
表 2.3-5 105-107 年隧道交通事故一覽表	93
表 2.3-6 105 至 107 年我國各隧隧肇事嚴重性當量排名	94
表 2.3-7 國道三號 18K 至 35K 隧道里程及長度公尺一覽表	95
表 2.3-8 隧道事故熱點基本設置一覽表	96
表 2.3-9 105 至 107 年隧道事故類型及型態分析	97
表 2.3-10 追撞事故中主要肇因分析表	98
表 2.3-11 自撞肇事因素分析一覽表	98
表 2.3-12 105 至 107 年隧道內機車事故類型及型態分析	99
表 2.3-13 105 至 107 年隧道內機車常見肇事因素	100
表 2.3-14 高雄過港隧道基本資料一覽表	100
表 2.3-15 105 至 107 年高雄過港隧道交通事故類型及型態一覽表	101
表 2.3-16 105 年至 107 年高雄過港隧道交通事故主要肇因分析一覽表	102
表 2.3-17 105 年至 107 年高雄過港隧道交通事故事故位置一覽表	102
表 2.3-18 105-107 年高雄過港隧道交通違規舉發情形	103
表 3.2-1 汽油引擎及電動機車車牌分類標準	120
表 3.2-2 傳統意見徵集與溝通方式之缺失彙整表	121
表 3.2-3 傳統溝通缺失的對策說明	122
表 4.1-1 機車行駛不同車道之路權保障及事故嚴重性之比較	123
表 4.2-1 公眾參與會議流程	128
表 4.2-2 科技改善交通安全議題的公眾參與族群	129
表 4.2-3 汽車燃料使用費徵收方式研究知公眾參與溝通議題設計	130
表 5.1-1 單階段巨觀車流模式	135
表 5.1-2 多階段車流模式	137
表 5.1-3 小汽車實體尺寸	138
表 5.1-4 機車實體尺寸	139
表 5.1-5 動態車長	139
表 5.1-6 動態車寬	139
表 5.1-7 市區道路平均期望速率調查結果(km/h).....	144

表 6.1-1 隧道消防安全設備規範之比較-以臺灣、日本、美國及挪威為例	154
表 6.1-2 高溫作業勞工作息時間標準表	157
表 6.2-1 各類型機車登記數	159
表 6.3-1 預約時段兩方案優劣比較表	162
表 6.3-2 長隧道通行預約式服務初步構想	163

附件目錄

附件一	議價（議約）調整內容.....	附件 1
附件二	「長隧道通行機車條件」工作執行計畫書審查會 會議紀錄	附件 3
附件三	「長隧道通行機車條件」第 1 次工作會議紀錄.....	附件 6
附件四	「長隧道通行機車條件」第 2 次工作會議紀錄.....	附件 9
附件五	「長隧道通行機車條件」期中報告書審查會 會議紀錄.....	附件 12
附件六	「長隧道通行機車條件」期中報告書審查會 意見回覆表	附件 21
附件七	雪山隧道文獻資料回顧.....	附件 30
附件八	參考文獻.....	附件 44

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目標

截至 106 年底臺灣長隧道¹僅有國道 5 號的雪山隧道及台 76 線的八卦山隧道 2 座長隧道。隨著台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫(以下簡稱為「蘇花改」)、台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫之興建與通車，國內長隧道將逐漸增加(蘇花改路段將包含 4 座超過 3 公里之隧道、台 9 線南迴公路約 4.6 公里之草埔隧道)，非屬國道及快速公路也將有長隧道路段出現。

根據公路總局統計資料顯示，臺灣機車(含大型重型機車)至 108 年 8 月已達約 1,392 萬輛，每百人機車數為 58.99(輛/百人)，且機車光譜寬，種類複雜，顯示臺灣機車的多元車種特性及高持有率，不似歐美等國較為單純。為了解臺灣未來興建長隧道時需要在何種條件下，方適於機車通行。期透過本計畫研究成果作為臺灣未來興建長隧道及評估機車通行條件之參考，基於安全原則下提升民眾「行」的便利性。

本計畫目標係藉由蒐集國內外相關文獻及國外長隧道現況發展案例、國內機車發展現況及長隧道通行機車相關資料等，研提國內長隧道通行機車所需條件及面臨之關鍵課題，作為未來機車通行之參考依據。隨未來國內長隧道通車數日益增加，於隧道的設計與道路的規劃，至正式通車時的管控，於何種條件下適合機車通行，為本案探討課題之重點，且目前此一議題亦受到民眾、社會團體及政府單位重視，是為一不可忽視之重要議題。透過綜整國內外長隧道及機車相關發展經驗與案例資料，就「環境面因子對人車的影響」、「交通面因子對人車的影響」、「民意面因子對政策分析的影響」、「用科技與創新服務面對問題」等四個面向探討長隧道通行機車之必要條件與課題，並綜整後提出關鍵課題作對策之探討，期藉由本案為我國研定未來長隧道通行機車應具備之條件。

參酌國內外長隧道與機車相關發展經驗，將國內未來之長隧道作為分析探討的目標，並研析長隧道通行機車適宜的條件，進行車流模擬分析確使各項條件符合不同情境所需，透過深入之探討回應大眾對此一議題之關切。再者透過

¹根據「高速公路交通管制規則」第十四條之一規定：「行駛於長度四公里以上之隧道，應保持五十公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時二十公里或停止時，仍應保持二十公尺以上之安全距離。」，以及根據中華民國隧道協會出版之隧道工程用語詞彙：中長隧道係指長度介於 0.5 至 3 公里之隧道，特長隧道係指長度介於 3 至 10 公里的隧道，超長隧道係指長度大於 10 公里以上的隧道，且由於本計畫研究對象為機車，故採較嚴格之定義，將長隧道定為長度大於 3 公里以上的隧道。

創新的交通管理策略，輔以新科技針對長隧道內交通作管控，預期將可作為未來主管機關評估機車是否可通行其他長隧道之重要參考依據。

1.2 計畫範圍

檢視招標規範之計畫內容與工作項目，以及透過正式工作會議與甲方確認調整之本案研究範圍，如下所列：

- 一、分析至少 10 座國外長隧道通行機車（含大型重型及普通重型機車）的情形：包含隧道管制、交通量、隧道環境（如空氣品質、溫度、噪音及其他影響行車安全之項目）、道路幾何配置、隧道設備（如是否有特別針對隧道溫度過高而增設相關設備）、行車秩序及其他可具參考性質之項目。
- 二、分析國外開放機車（含重機）行駛長隧道現有之規定、設計原則或宣導事項。
- 三、辦理專家學者、用路人或利害關係人之訪談、問卷調查或以其他型式辦理；所需樣本數專家學者至少 10 人、利害關係人至少 10 人、一般用路人至少 150 人以上。
- 四、探討車種混行對機車影響（含車流模擬分析）。
- 五、透過本案分析長隧道在何種情況下能保障機車安全與權益，以建立之風險評估機制進行分析評估，研提臺灣長隧道應具備之硬體設備、行車環境或其他條件。

另依據招標文件所示，本團隊將配合辦理以下事項：

- 一、機關為工作需求，得定期或不定期召開工作會議，廠商應配合出席與會。各階段審查作業，廠商應配合與會說明。
- 二、機關得視實際需要辦理現勘，廠商人員應配合會同出席，不得推諉拒絕；廠商會勘人員差旅費用、交通費及加班費等，均已於契約「其他直接費用」項目內，廠商不得藉故要求額外給付。

1.3 計畫工作內容

檢視契約書規範，彙整本案工作內容主要包含四項工項進行說明，各工項內容可參閱表 1.3-1 所示對應章節架構對照表，將四項工作項目簡述說明如下。

- 一、文獻回顧與案例蒐集：國外長隧道案例分析、國內機車發展現況、國內外機車發展差異因素、機車安全行駛速度、國內機車肇事原因、國內隧道廢氣排放及溫升問題、國內隧道交通事故特性分析、隧道科技執法與機車通行及混合車流文獻回顧與分析。
- 二、長隧道通行機車之意見蒐集：用路人或利害關係人相關意見蒐集(訪談、問卷調查)、專家學者相關意見蒐集(訪談、座談會)納入醫學專家學者意見。
- 三、國內長隧道機車通行條件研析：課題研析(空氣品質、溫升問題、肇事分析)、隧道內行車規範、隧道設計原則(硬體設施)、長隧道通行機車之評定機制等。
- 四、車流模擬分析：混合車流文獻回顧與分析、長隧道混合車流模式、長隧道 SUMO 模擬模式、情境分析。

表 1.3-1 章節架構對照表

編號	章節架構對照表	對應章節
1	目錄	
2	摘要	
3	計畫概述(含計畫緣起與目標、計畫範圍、計畫工作內容及研究流程)	CH1
4	文獻回顧與案例蒐集	CH2、CH3
5	長隧道通行機車之意見蒐集	CH4
6	車流模擬分析	CH5
7	國內長隧道機車通行條件研析	CH6
8	結論與後續工作說明	CH7

1.4 工作流程

經由檢視招標文件及針對本計畫作初步研析，為利本計畫執行之方向與公眾看法一致，本團隊建議將專家學者座談會與用路人或利害關係人訪談提前執行，另為利國外實地考察之執行及其相關資料蒐集之完整，建議提前提送期中

報告書並完成審查，業經 108 年 8 月 20 日交通部公路總局工作會議之同意，於 108 年 10 月 4 日提送期中報告書，並於 108 年 11 月 13 日通過審查，調整後之工作項目及流程如圖 1.4-1 所示。

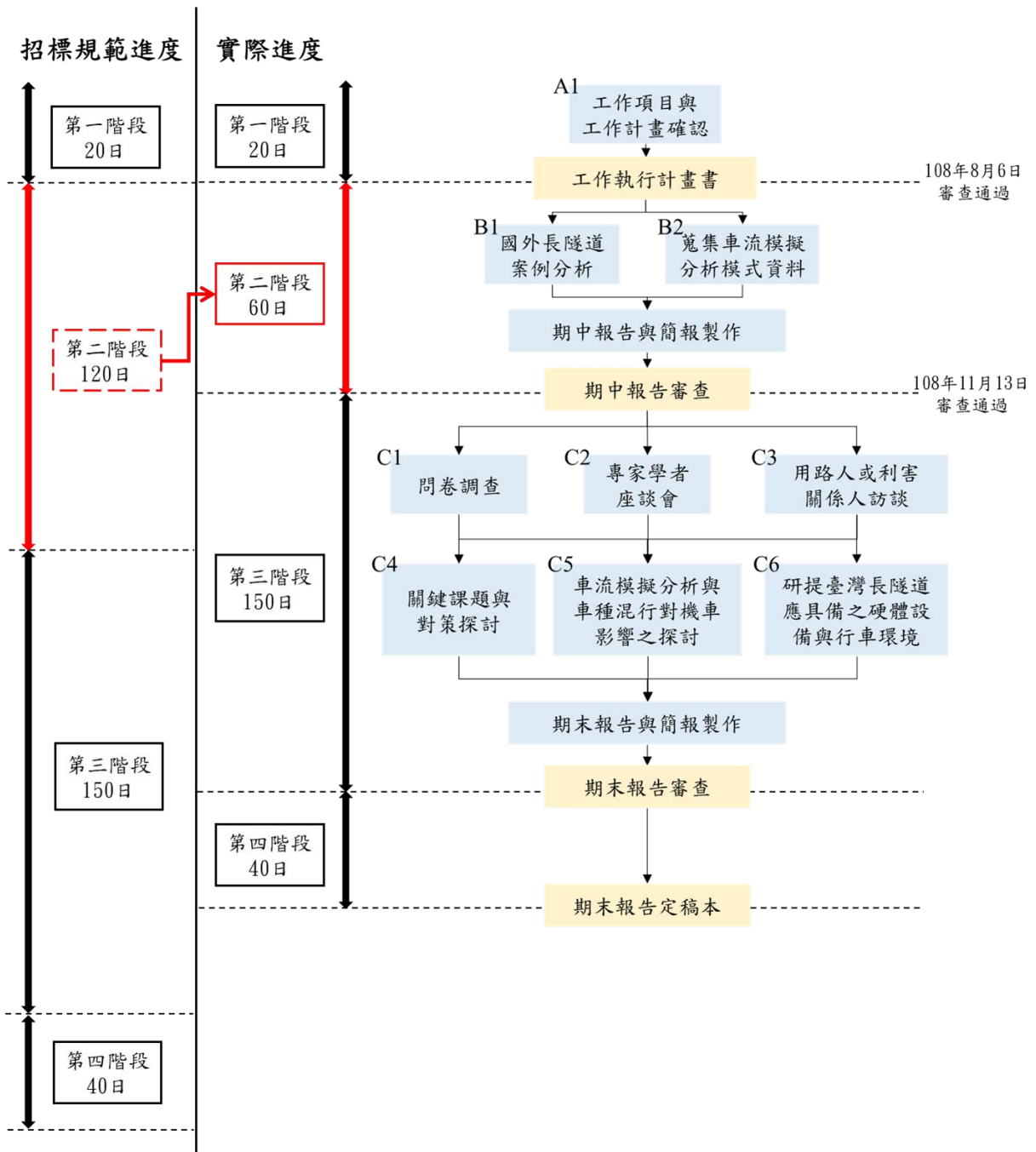


圖 1.4-1 計畫工作項目及流程圖

註：期程自 108 年 6 月 5 日起算，各階段依「工作執行計畫書」、「期中報告」及「期末報告」等經機關審查會議通過，並由機關書面通知日（發文日）次一日起算。

第二章 長隧道及機車文獻回顧、案例蒐集

前章節計畫緣起提及國內長隧道數個新路段即將通車，且其中亦包含非屬禁行機車道路層級之路段，而國內目前尚未有長隧道通行機車之案例，故本章將就國外長隧道案例作蒐集探討，針對國內機車發展現況及安全議題及長隧道通行機車之相關資料作回顧，期透過國內外的文獻回顧與案例蒐集，作為我國未來新建長隧道時探討通行機車之條件與課題的依據。

2.1 國外長隧道案例蒐集與分析

2.1.1 國外長隧道案例蒐集

探究國外長隧道通行機車的情形發現，多數國家機車都可通行長隧道並且無相關特殊規定。首先檢視目前全球前十五長之隧道之基本資料與其是否可通行機車，就已蒐集之資料可觀察到歐洲國家普遍並未有禁止機車通行相關限制。

表 2.1-1 全球前十五長之長隧道

編號	中文名稱	長度 (km)	通車年份	孔數	是否通行機車
1	挪威-洛達爾隧道	24.51	2000	1	○
2	日本-山手隧道	18.20	2010	2	○
			2015		
3	中國-秦嶺終南山公路隧道	18.04	2007	2	○
4	中國-錦屏山隧道	17.50	2011	2	-
5	瑞士-聖哥達公路隧道	16.92	1980	1	○
6	土耳其-歐維特山隧道	14.35	2018	2	○
7	奧地利-阿爾貝格公路隧道	13.97	1978	1	○
8	中國-米倉山隧道	13.83	2018	1	-
9	中國-西山隧道	13.65	2012	2	-

編號	中文名稱	長度 (km)	通車 年份	孔數	是否通 行機車
10	中國-二郎山隧道	13.47	2017	2	-
11	中國-虹梯關隧道	13.12	2013	2	-
12	臺灣-雪山隧道	12.94	2006	2	X
13	法國義大利-弗雷瑞斯隧道	12.90	1980	1	○
14	新加坡-加冷—巴耶利峇—濱海 高速公路隧道	12.70	2008	2	○
15	中國-麥積山隧道	12.29	2009	2	-

註： 1. ○：可通行機車。X：禁止通行機車。 -：無相關資料。

2. 通車年份若為兩個，代表為分段通車。

資料來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/世界公路隧道列表>及本計畫彙整。

以下就本研究蒐集之國外長隧道基本資料、相關通行規定如下表所示，其中主要以全球前五長隧道資料較完備者為主，另將各國外長隧道案例蒐集資料分述如後。

一、國外長隧道綜整比較

表 2.1-2 國外長隧道基本資料綜整

項次	隧道名稱	長度 (km)	通車 年份	速限 (km/h)	車流量 (輛/日)	道路層級	車輛限制	斷面形式	淨寬	坡度	備註
可通行機車											
1	挪威 洛達爾隧道	24.5	2000	80	2,040	同國內高速公路	-	單孔雙向 共兩車道	9M	2.50%	世界第一長隧道
2	日本 山手隧道	18.2	2015	60	31,000	同國內高速公路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	雙孔單向 各兩車道	9.7-12.3 公尺	-	世界第二長且為日本第一長隧道
3	中國 秦嶺終南山 公路隧道	18.02	2007	60-80	17,000	同國內高速公路	• 禁止變換車道 • 禁止載運危險物品之車輛通行	雙孔單向 各兩車道	10.5M	1.10%	-
4	瑞士 聖哥達 公路隧道	16.9	1980	80	17,000	同國內高速公路	-	單孔雙向 共兩車道	7.8M(含路肩 1.1M 人行道 0.7M)	2%	目前建置第二孔道中
5	奧地利 阿爾貝格 公路隧道	13.9	1978	80	8,370	同國內高速公路	-	單孔雙向 共兩車道	車道寬 7.5M (兩側人行道各 0.95M)	+0.13%及 -1.67%	-
6	法國-義大利 弗雷瑞斯隧道	12.9	1980	50-70	5,000	同國內高速公路	• 規範特殊車輛之通行時間 • 危險貨物車須提前登記	單孔雙向 共兩車道	9M(車道 3.55M)	0.54%	目前建置第二孔道中

項次	隧道名稱	長度(km)	通車年份	速限(km/h)	車流量(輛/日)	道路層級	車輛限制	斷面形式	淨寬	坡度	備註
可通行機車											
7	新加坡 加冷-巴耶利峇高速公路隧道	12.7	2013	70	-	同國內高速公路	• 禁止法定最高時速 40km/h 之車輛進入	雙孔 三車道	-	-	-
8	法國-義大利 白朗峰隧道	11.6	1965	50-70	5,000	同國內高速公路	• 限制特殊車輛之通行時間	單孔雙向 共兩車道	8.6M	-	-
9	日本 關越隧道	11.06	1991	80	15,141	同國內高速公路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	雙孔單向 各兩車道	-	1%及-0.5%	日本最長的山路隧道、日本第二長隧道
10	日本 飛驒隧道	10.7	2008	70	6,396	同國內高速公路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	單孔雙向 共兩車道	-	2%	日本第三長隧道
11	日本 東京灣跨海公路海底隧道	9.6	1997	80	45,600	同國內高速公路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	雙孔單向 各兩車道	10.5 公尺(含左側路肩 2.5 公尺, 每一車道寬 3.5 公尺及右側路肩 1 公尺)	4%	世界最長的水下公路隧道、日本第四長隧道
12	日本 惠那山隧道	8.6	1985	70	30,225	同國內高速公路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	雙孔單向 各兩車道	7 公尺	西線 +0.55%及 -1.64% 東線+1.5% 及-0.5%	建設時為日本最長的公路隧道

項次	隧道名稱	長度(km)	通車年份	速限(km/h)	車流量(輛/日)	道路層級	車輛限制	斷面形式	淨寬	坡度	備註
可通行機車											
13	日本雁坂隧道	6.6	1998	40 (機車：30)	918	同國內一般道路	• 禁止運輸危險物品之車輛通行	單孔雙向 共兩車道	7.5公尺(含兩側路肩 0.5公尺，每車道3公尺及中央車道分離帶 0.5公尺)	0.3%及-3%	日本最長的一般公路隧道(50c.c.以下機車可通行)
14	荷蘭西斯凱爾特隧道	6.6	2003	100	20,700	同國內高速公路	• 行人、自行車或50c.c.以下輕型機車無法進入 • 超過3m之車輛須提前登記 • 禁止載運有毒物質之車輛	雙孔單向 各兩車道	11M(車道3.5M)	4.50%	提供運輸服務，應要求(提前一小時)自行車和輕便摩托車可分別在公車和拖車運輸
禁止機車通行											
1	越南海雲隧道	6.28	2005	45-70	14,000-15,000	同國內高速公路	• 因安全考量，禁止機車、自行車和行人通行	單孔雙向 共兩車道	車道 3.75M 路肩 1.25M	-	越南第一長公路隧道
2	馬來西亞精明隧道	9.7 (4km為交通通道)	2007	60	38,000	同國內高速公路	• 禁止超過2公尺的車輛通行，已及機車和重型車輛通行	雙層 雙車道	-	-	舒緩市區交通擁擠及在發生洪水時排水

資料來源：取自各隧道官方網站，本計畫彙整。

二、可通行機車之長隧道

(一)挪威洛達爾隧道

1. 隧道概要

洛達爾隧道（Lærdalstunnelen）位於挪威西部的洛達爾（Lærdal）和艾於蘭（Aurland）之間，全長為 24.5 公里，於 2000 年通車，為目前全世界第一長之公路隧道，內部配置為單孔雙向車道，隧道限速為 80km/h。2013 年起實施區間平均速率執法，2017 年的平均每日交通量為 2,040 輛，7 月為 3,500 輛，而 2018 年 1 月則為 1,500 輛。

挪威政府為避免用路人在溫暖且單調的二十餘分鐘通行過程中倦怠、失神，特別挖掘 3 處各寬 10 公尺、彼此相隔約 6 公里的大型空間岩穴，並在隧道頂部和側壁底部架設一系列特殊燈具，藉以投射出特殊的光影，模擬清晨時分淡藍色陽光從頭頂滲透進來，以及兩側可見日出的景象。



資料來源：<https://no.wikipedia.org/wiki/Lærdalstunnelen>

圖 2.1-1 挪威洛達爾隧道特殊光影設備

2. 防災系統

洛達爾隧道雖沒有設置緊急逃生出口，但在考慮事故或火災的情況下，已具備許多安全預防措施，並且挪威公共道路管理局設有監控中心監測和檢查所有隧道系統，可監控滅火設備使用情況。

表 2.1-3 挪威洛達爾隧道防災系統綜整

名稱	功能
緊急通知電話	每 250 公尺設置 SOS 標記的緊急通知電話。
滅火器設備	每 125 公尺設置滅火設備。
迴轉處	共設置 15 個迴轉處，當公車和卡車通過迴轉處時，帶有「Turn and exit」文字的標誌將亮起。
岩石室	每 6 公里於轉彎點設置一個大型空間岩穴。
停車彎	每 500 公尺設置停車彎，提供故障的小型車輛臨停，等待救援。
緊急通道	提供警察、消防和醫療服務進入。
影像系統監控	可監控隧道內外所有車流量及監測和檢查通風系統、無線電轉播設備、照明系統、交通信號燈，緊急設備等設備是否正常運行。
監控攝影機	於 2015 年裝設監控攝影機以防嚴重超速。

資料來源：<https://www.engineering.com/Blogs/tabid/3207/ArticleID/60/Laerdal-Tunnel.aspx> 及本計畫彙整。

3. 通風與降溫設施

洛達爾隧道採縱流式通風，只有一個通風排氣豎井，是**全世界第一個內部配有「空氣處理廠」的隧道**，隧道兩端會有大型風扇導入新鮮空氣，而髒空氣則從排風設備導引出去，並設有靜電處理廠，兩個風扇通過淨化器吸入空氣，靜電過濾器除去灰塵和煙，然後空氣被抽出以去除二氧化氮，當有害氣體濃度超過規定水準時，風扇將自動啟動(也可以從監控中心手動操作)，若發生任何通風系統故障或者塞車情形，產生過多的廢氣，隧道將自動關閉。如果發生交通事故或其他情況需要關閉隧道，進入隧道的用路人都將通過 FM 廣播知道是否應該等待或迴轉離開隧道。

(二)日本山手隧道

1. 隧道概要

山手隧道(山手トンネル)是日本東京都首都高速道路中央環狀新宿線的一部份，自豐島區的高松交流道至品川區的大井交流道為止，全長 18.2 公里為世界最長也是亞洲最長的雙孔公路隧道，由首都高速公路有限公司建造管轄。2015 年 3 月 7 日山手隧道全線雙向通車，幾乎全線均位於地底下，深約 30 公尺。隧道限速為 60km/h，平均每日交通量約 31,000 輛，並禁止運輸危險貨物的車輛通行，允許變換車道但不可左側超車，行駛安全距離為 20 公尺。

2. 防災系統

山手隧道將災害處理分成兩個部分：事前預防與事後處理，且將預防事故發生視為首要重點，如在曲線路段採用不同顏色的標線，並設計不同的標線樣式，可以有效的傳達給用路人判別是否偏離車道。除上述特殊標線外，茲將其他設備列於下表當中：

表 2.1-4 日本山手隧道防災設備

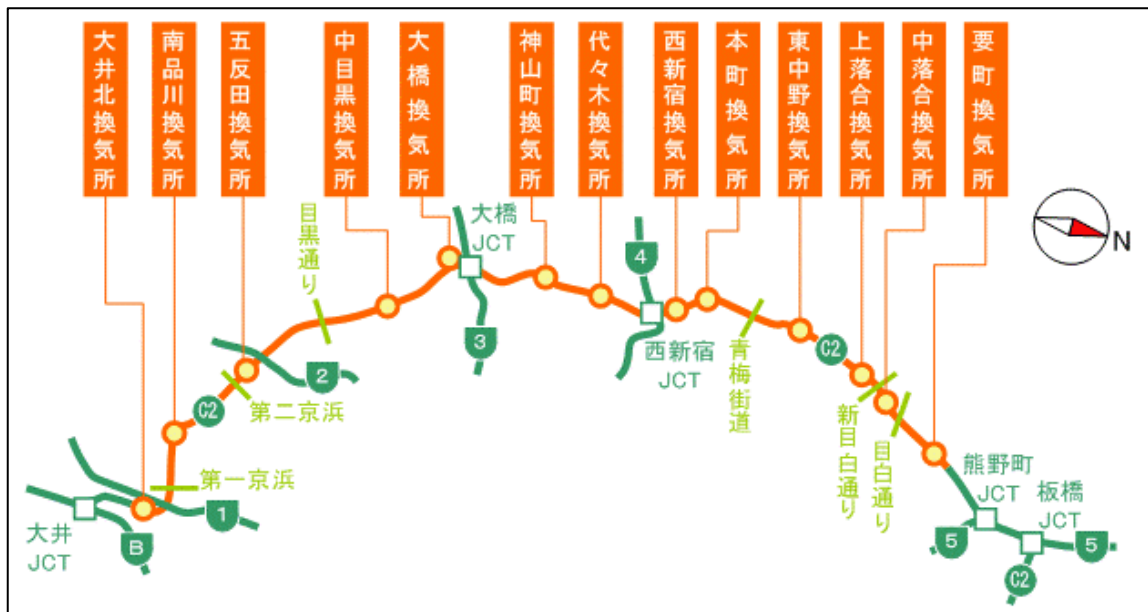
編號	名稱	功用
圖示		
1	控制室	作為預防措施，每天 24 小時監控交通狀況和每個設施的狀態。從監控攝影機掌握火災探測器的火災信息和隧道內的情況，並通過遠程控制快速準確地控制每個設備。
2	監控攝影機	每 100 公尺設置以監視隧道，能自動向控制室反應火災發生位置，並具有通過圖像處理向控制室通知隧道運行狀態異常的功能。
3	照明設備	安裝明亮的照明，特別是在隧道進入交流道時增加照明設備，提高用路人注意力。此外，即使發生電源故障，也能保持不妨礙用路人的亮度。
4	擴音機喇叭	每 200 公尺或更短間隔設置擴音機，用以向用路人傳達信息。
5	無線電轉播設備	信息通過無線電廣播傳輸。
6	火災偵測系統	每 25 公尺設置，會自動檢測火災並迅速通知控制室。
7	水噴霧設備	通過控制室的遠程控制，水霧噴灑範圍約 50 公尺，防止火勢蔓延。
8	信號燈	緊急情況下，告知用路人隧道內發生火災或事故。

編號	名稱	功用
	可變資訊電子看板	因轉彎處無法看到前方交通狀況，故設置可變資訊電子看板，告知用路人前方交通行車狀況及車輛行駛速度，並能顯示警告文字告知用路人事故發生。
9	排煙口及噴射風扇	火災的煙霧可由排煙口吸入並排出隧道外，且噴射風扇能調節氣流確保煙霧不會干擾用路人疏散。(平常用作保持隧道通風)
10	滅火器	每 50 公尺設置滅火器和泡沫消防栓。
	泡沫消防栓	
11	緊急通報按鈕	每 50 公尺設置。在發生火災或緊急情況時，可以按下緊急通報按鈕向控制室通報。
12	緊急通知電話	每 100 公尺設置，可以聯繫控制室。此外，在呼叫指示燈點亮後有「故障」、「事故」、「緊急」或「火警」按鈕，將訊息傳送到控制室，方便快速通報。
13	緊急逃生口	每 350 公尺設置，緊急逃生口經設計濃煙不會進入，隧道內有指示標誌引導撤離。

資料來源：<https://www.shutoko.jp/use/safety/tunnel/yamate/#anzen04> 及本計畫翻譯彙整。

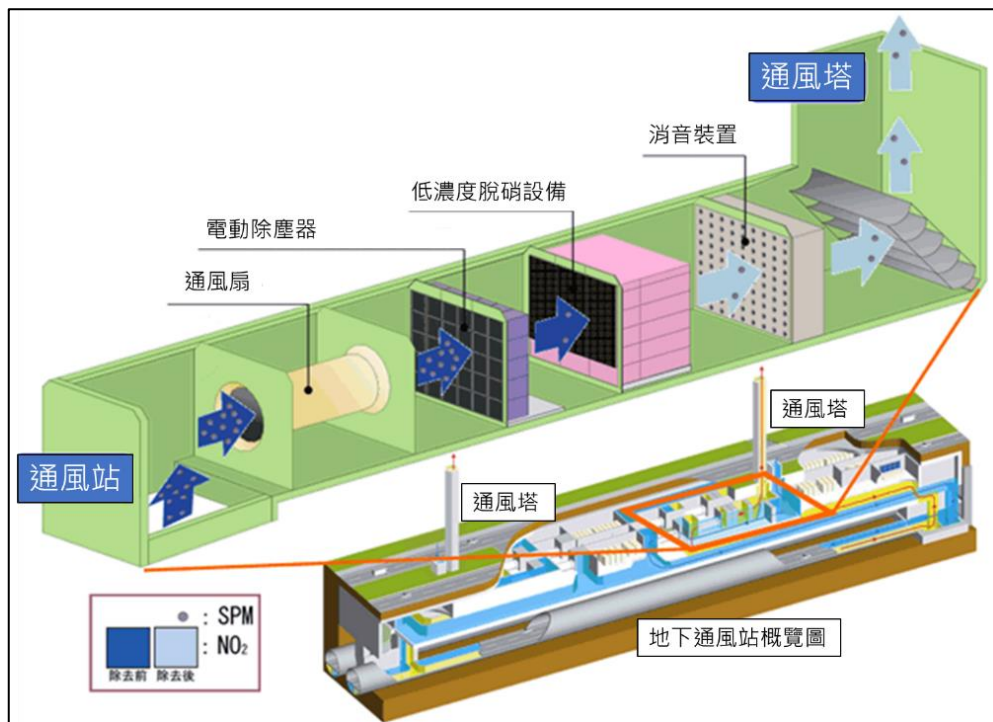
3. 通風與降溫設施

山手隧道採用橫流式通風系統，共設有 13 個地下通風站，通風站內設置電動除塵器和低濃度脫硝設備以減少通風站周圍的環境負擔。當隧道空氣進入通風站後，先經過電動除塵器去除空氣中所含的懸浮顆粒物質(SPM)，再透過低濃度脫硝設備除去二氧化氮(NO₂)，最後由通風塔排入大氣。各通風站由東京都高速公路公司東京西局研究環境課進行空氣檢測，檢測結果顯示各站懸浮顆粒物質(SPM)除去率大於 80% 以上，二氧化氮(NO₂)則達 90% 以上。



資料來源：https://www.shutoko.co.jp/efforts/environment/roadside/exhaust/ldds_management/及本計畫翻譯。

圖 2.1-2 日本山手隧道地下通風站(換氣所)位置



資料來源：https://www.shutoko.co.jp/efforts/environment/roadside/exhaust/ldds_construct/及本計畫翻譯。

圖 2.1-3 日本山手隧道地下通風站設備

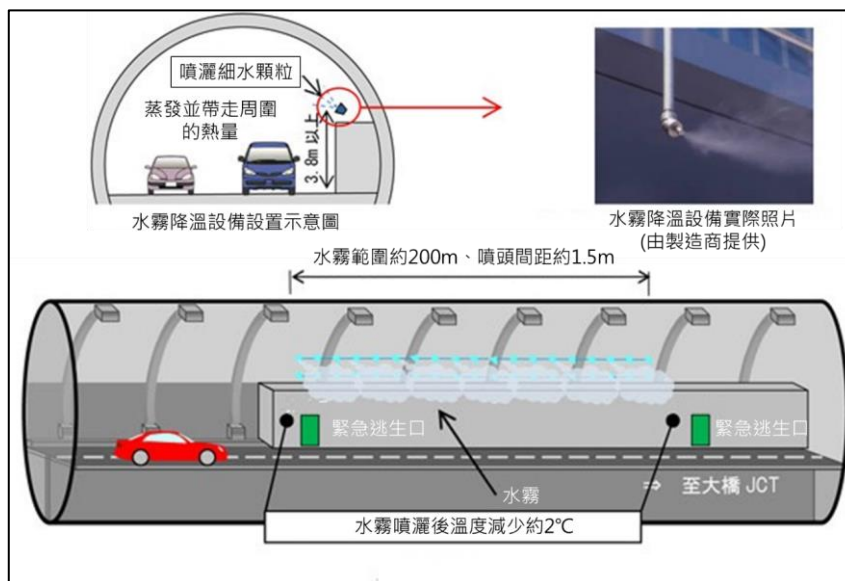
山手隧道內設有獨立於道路的供氣管道和排氣管道，隧道下方每隔 5 公尺設置一供氣口，用以送入新鮮空氣；隧道上方則是每 10 公尺間隔的排氣口，能排出火災產生的濃煙。透過控制供氣與排氣系統能在火災發生時保持隧道下方 1.5 公尺新鮮空氣層，如此可以確保隧道內足夠之逃生時間。



資料來源：首都高速中央環狀線 山手隧道通風設備(2012)

圖 2.1-4 日本山手隧道通風設施

此外，山手隧道內配備了溫度計進行溫度監測，在超過 35°C 的炎熱天氣時，隧道內測量到超過 40°C 的高溫。因此，為抑制隧道溫度之上升，山手隧道一直積極進行通風操作，並且進一步設置水霧降溫系統，主要裝置於易擁塞的路段及近隧道入口處。水霧降溫設備會不斷監測隧道內的溫度和濕度，當隧道內溫度過高時將從隧道頂部噴灑霧氣抑制溫度上升，經測試比對隧道內噴灑之後的溫度下降了約 2°C。



資料來源：首都高速道路株式會社 <https://www.shutoko.co.jp/updates/h24/data/11/1102yamate/>

圖 2.1-5 日本山手隧道水霧降溫系統

(三)中國秦嶺終南山公路隧道

1. 隧道概要

秦嶺終南山公路隧道穿越秦嶺山脈的終南山，於 2007 年 1 月 20 日正式通車，全長 18.04 公里為世界第三長之公路隧道，且為目前中國第一長之雙孔公路隧道，內部配置為雙孔單向共四車道，限速為 60-80 km/h，隧道內禁止變換車道以及載運危險物品的車輛通行，目前隧道日均和節假日車流量分別達到 1.7 萬餘輛和 3.3 萬餘輛。

秦嶺終南山公路隧道擁有目前世界上高速公路隧道最先進且為亞洲首創之特殊燈光帶，為緩解用路人行駛於漫長的隧道內產生視覺疲勞，特意在隧道內設計長 200 公尺之特殊燈光段(寬 16.9 公尺、高 9.4 公尺)以保持隧道內行車安全，上下行隧道各設計三處特殊燈光段，通過不同的燈光和圖案變化，可以將特長隧道(長度大於 3 公里)簡化成幾個短隧道，進而消除用路人的焦慮情緒和壓抑心理。



資料來源：<http://www.qltunnel.com/SitePage.aspx?ID=294>

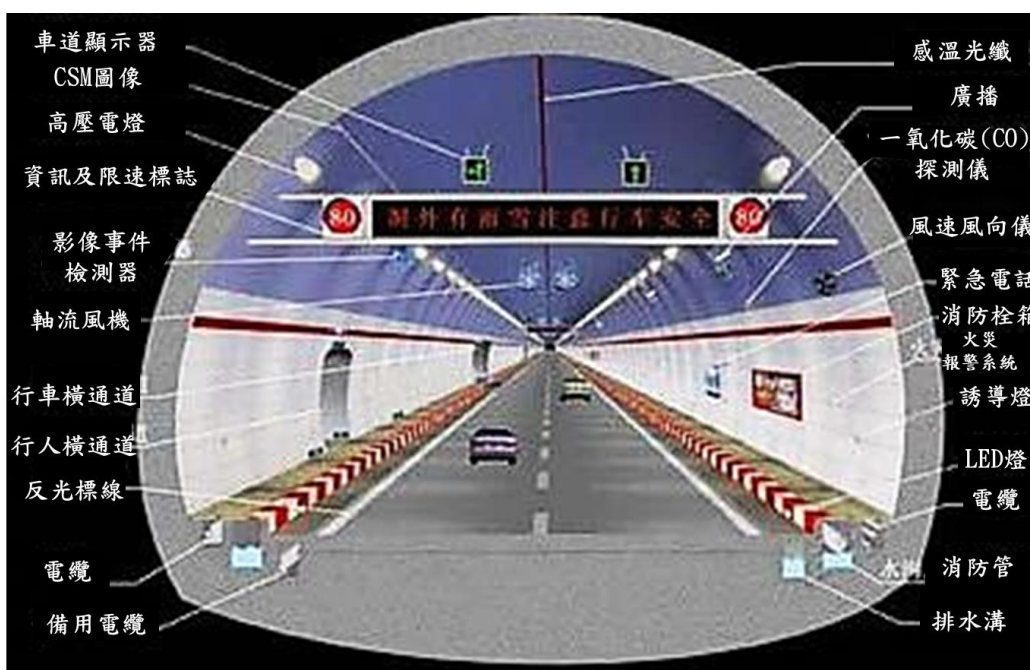
圖 2.1-6 中國秦嶺終南山公路隧道特殊燈光帶

2. 防災系統

秦嶺終南山公路隧道內監控系統包括：交通監視和控制系統、安全系統、通訊系統、設備管理、收費、電腦控制、中央控制室七個監控系統，並設置影像事件檢測器和火災報警系統，對突發事件採用雙系統全方位自動跟蹤監控，並根據事件類型提供最有效的救援方案，運用策略自動產生軟體，對火

災、交通事故、養護等方面發生事件進行自動監測和管理，只要事件發生，策略自動產生軟體就會自動產生相應的策略程式進行全方位聯動指揮，確保隧道運營管理的準確性和可靠性。

近年，隧道車流量劇增，廢氣排放量增加及部分變壓箱溫度較高，加上設備長期不間斷運作，部分配電設備及線路容易引發電氣火災，為保障變壓箱供電系統以及機電設備安全運作，將氣體自動滅火系統引入隧道，當變壓箱內任何部位發生火災時，安裝在變壓箱內部電氣設備四周的熱感應線可快速探測著火點並立即啟動滅火裝置，釋放氣體進行滅火。該套裝置可有效控制初期電氣火災，有效降低電氣火災事故影響，滅火設備所釋放的氣體（氮氣、二氧化碳、氣溶膠顆粒等）對電氣配件無腐蝕且無污染環境，且不影響變壓箱運作。



資料來源：<http://www.qltunnel.com/SitePage.aspx?ID=316&VID=2046&Url=browser.html>

圖 2.1-7 中國秦嶺終南山公路隧道剖面圖

表 2.1-5 中國秦嶺終南山公路隧道防災系統綜整

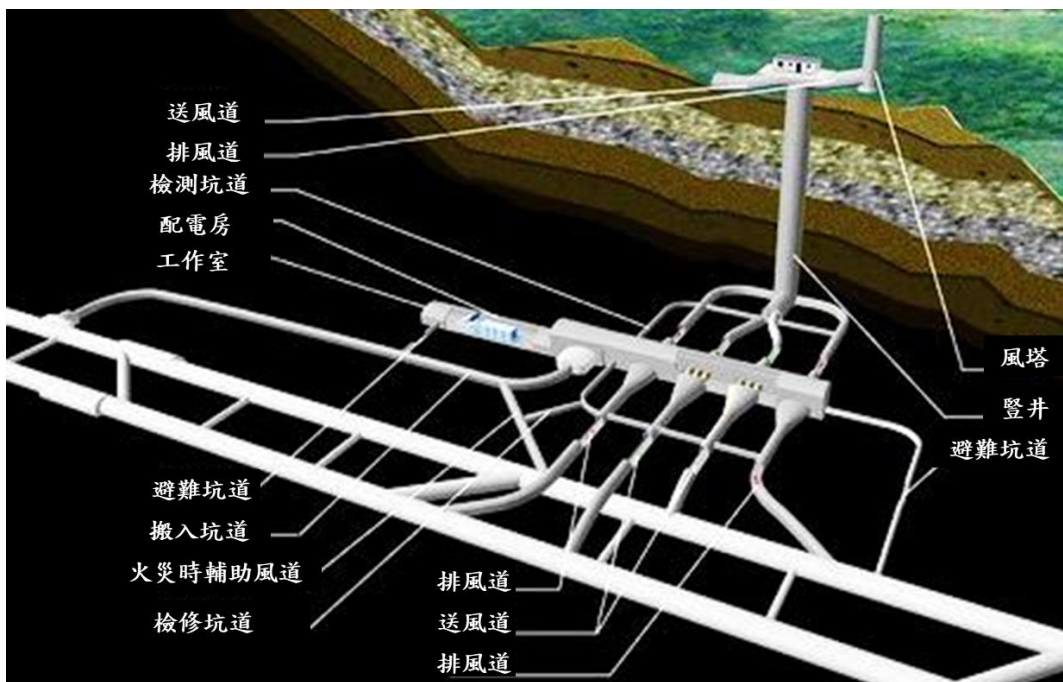
名稱	功能
緊急通知電話	每 50 公尺設置。
滅火器設備	每 125 公尺設置滅火設備。
無線電廣播設備	訊息通過無線電廣播傳輸。
特殊照明	隧道兩側距路面 0.8 公尺處設置，每 10 公尺設置(其中每 40 公尺設置疏散警示燈)，火災發生時，以利人員疏散及救援。

名稱	功能
停車彎	上、下行隧道每 750 公尺設置緊急停車彎，有效長度 30 公尺，全長 40 公尺。
緊急逃生口	每 500 公尺設置行車橫通道，淨寬 4.5 公尺，淨高 5.97 公尺。每 250 公尺設置人行橫通道，淨寬 2 公尺，淨高 2.5 公尺。
影像事件檢測器	每 250 公尺設置影像事件檢測器。
監控攝影機	每 125 公尺設置監控攝影機，雙孔道共有 288 台攝影機，為世界上高速公路攝影機安裝最密集的隧道。
火災報警系統	每 250 公尺設置火災報警系統。
沖淋裝置	在隧道與地下機房的連接處設置沖淋裝置，火災時以達到降溫、除塵目的。

資料來源：<http://www.qltunnel.com/SitePage.aspx?ID=294> 及本計畫彙整。

3. 通風與降溫設施

隧道內設置三座通風豎井採分段縱向式通風，最大井深 661 公尺，最大豎井直徑達 11.5 公尺，豎井下方設有大型地下風機廠房。當發生火災後，根據火災模式下通風組織原則，先調整火災發生處隧道風扇機，再調整非火災隧道風扇機，並且先調整射流風扇機，再調整主風扇機。



資料來源：<http://www.qltunnel.com/SitePage.aspx?ID=295>

圖 2.1-8 中國秦嶺終南山公路隧道通風豎井示意圖

(四)瑞士聖哥達公路隧道

1. 隧道概要

聖哥達隧道(Gotthard Road Tunnel)是連接德國漢堡和義大利西西里島最短路徑，為瑞士 2 號高速公路的一部分，於 1980 年 9 月 5 日開放。全長約 16.9 公里，內部配置為單孔雙向共兩車道，限速為 80 km/h，每日交通量約 17,000 輛，交通量自通車後逐年增加，每年增加約 680 萬輛以上，其中重車平均比例超過 20%，平日重車比例更高達 20-40%。隧道內限制各車種間須保持車距，如汽車、機車需保持 50 公尺間距、卡車、公共汽車均各 150 公尺，以確保行車安全，且為了減少火災之風險性，每小時不得超過 150 輛卡車進入隧道。

目前瑞士政府決定將第二條隧道(原為逃生路線)升級為完整的公路隧道，以便改造第一條公路隧道，待第一條隧道工程完工，新建隧道將開放北向交通，翻新之第一條隧道將開放南向交通以維持既有整體容量。2016 年 2 月經公民投票的通過，第二條公路隧道的施工將持續到 2020-2027 年，整個計畫成本為 27 億法郎(包括第一條隧道的重建)。

2. 防災系統

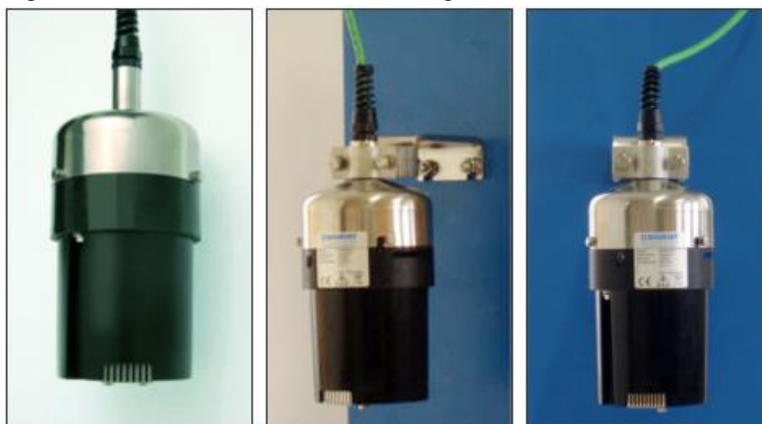
由於聖哥達公路隧道為單孔雙向隧道，又因 2000 年左右歐洲發生多起單孔隧道火災事故，造成許多傷亡及財損，使隧道內的防災系統逐漸改善。

表 2.1-6 瑞士聖哥達公路隧道防災系統綜整

名稱	功能
緊急通知電話	每 125 公尺設置緊急通知電話。
滅火器設備	SOS 站提供手持滅火器，如果將提起滅火器將觸發警報。
緊急通報按鈕	緊急情況下，使用者可以使用緊急通報按鈕直接聯繫指揮中心。如果按下緊急通報按鈕將顯示在指揮中心的控制面板。
無線電轉播設備	用路人可以隨時聯繫到警車及隧道監控人員，並且同時運用於 FM 廣播系統，警察在緊急情況下可中斷節目，並且直接從指揮中心向用路人傳送重要訊息。
緊急逃生口	每 250 公尺設置獨立的緊急逃生通風避難室，連接主隧道和安全隧道。

名稱	功能
控制室	設立於隧道兩端。
監控攝影機	每 250 公尺設置，總共設置 86 台，可以即時評估交通狀況或任何緊急情況，一旦觸發警報，監控攝影機將自動拍攝風險區間。並將影像傳輸到兩個控制室，可以同時查看最多 2 公里的區域。
特殊照明	在隧道的東側和西側安裝連續的光帶，出於安全考慮，每 10 個燈泡均連接到本身的緊急供電電源，故即使正常電源發生故障，十分之一的照明仍可正常運作。 每 50 公尺於車道上方約 80 公分設置緊急照明標誌燈，在火災或電源故障時自動開啟。
停車彎	緊急情況下，車輛可停於緊急停車彎中。東側（行駛方向北）每 1.5 公里設立一個，西側（行駛方向南）每 750 公尺設立一個。
能見度測量儀器	每 100-300 公尺設置能見度測量儀器，通常較線路火災探測器或其他依靠溫度的傳感器能更快探測到火災。
信號燈	設置於隧道入口前，如果由於故障、事故或過載等情形，則可以阻止車輛進入隧道。
可變資訊電子看板	每 250 公尺設置，整個標誌系統由管理流量的電腦系統控制。此外若有需要可以手動操作。如果發生火災或超過允許的一氧化碳濃度值，將自動切換所需的訊號。
煙霧探測器	近期配備了 FireGuard 煙霧探測器可即早檢測並發出火災訊息。

資料來源：<http://www.gotthard-strassentunnel.ch/de/mitteilungen/>及本計畫彙整。

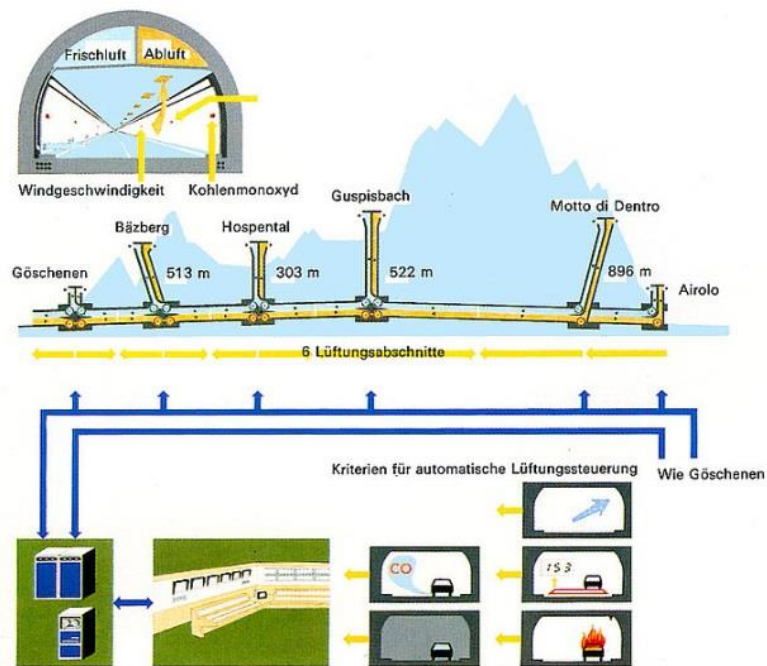


資料來源：<http://www.gotthard-strassentunnel.ch/de/technik/lueftung/>

圖 2.1-9 煙霧探測器

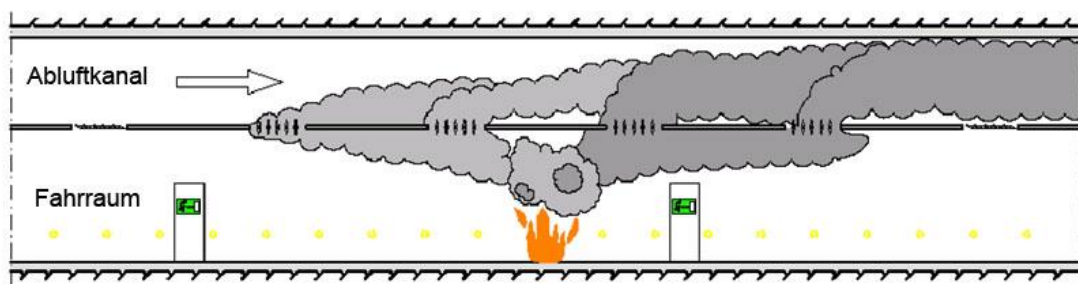
3. 通風與降溫設施

隧道內設有 6 個中央通風裝置，其中包括 23 個風扇提供良好的通風。通過打開或關閉雙速風扇葉片來調節所需的空氣量，17 公里隧道的風扇性能在 490-2,920 千瓦之間，整個系統的裝機容量為 24,255 千瓦。在交通量不高時可使用豎井的自然煙囪效應，因此可以較低能耗進行通風，當隧道發生火災將啟動特殊通風程序，盡可能限制隧道區域中煙霧和熱的擴散，有利於自救的可能性。



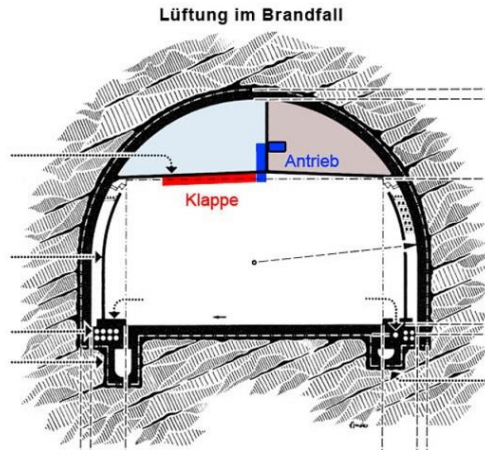
資料來源：<http://www.gotthard-strassentunnel.ch/de/technik/lueftung/>

圖 2.1-10 瑞士聖哥達公路隧道通風系統



資料來源：<http://www.gotthard-strassentunnel.ch/de/technik/lueftung/lueftung-im-brandfall/>

圖 2.1-11 瑞士聖哥達公路隧道通風橫斷面



資料來源：<http://www.gotthard-strassentunnel.ch/de/technik/lueftung/lueftung-im-brandfall/>

圖 2.1-12 瑞士聖哥達公路隧道煙霧疏散系統

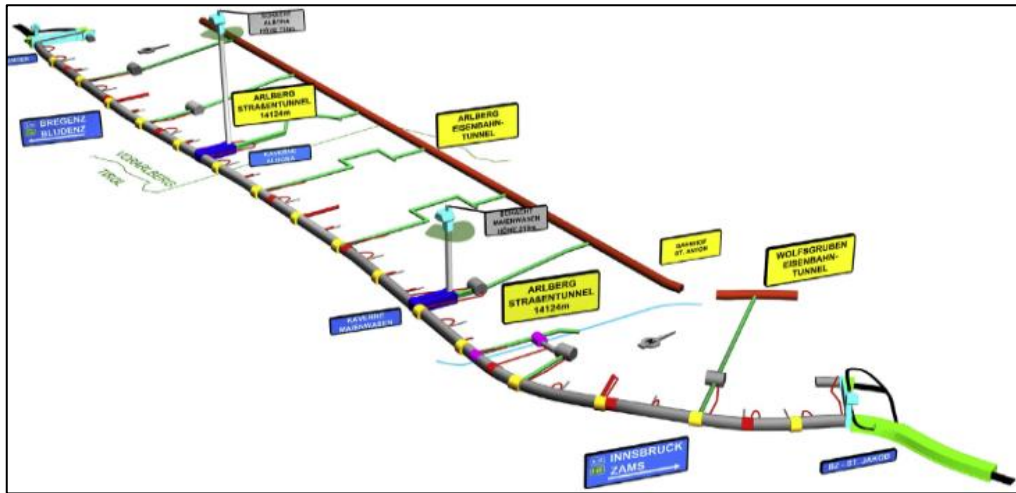
(五)奧地利阿爾貝格公路隧道

1. 隧道概要

阿爾貝格公路隧道(Arlberg Straßentunnel)是奧地利最長的公路隧道，連接提洛爾(Tirol)和福拉爾貝格(Vorarlberg)，也是冬季唯一的安全路線，於 1978 年 12 月 1 日開放，全長 13.9 公里，內部配置為單孔雙向共兩車道。限速 80 km/h，每日交通量約 8,370 輛，該隧道設計為每小時 1,800 輛車，阿爾貝格公路隧道是奧地利的一個著名景點，單程費用為 10 歐元（截至 2018 年 12 月）。從 2014 年到 2017 年，隧道運營商投入了 1.55 億歐元，對機電設備進行了全面的安全升級和翻新，並配備了現代安全系統，然阿爾貝格公路隧道交通量相對較低，建置第二孔道成本效益較低，故無修建第二孔道之計畫。

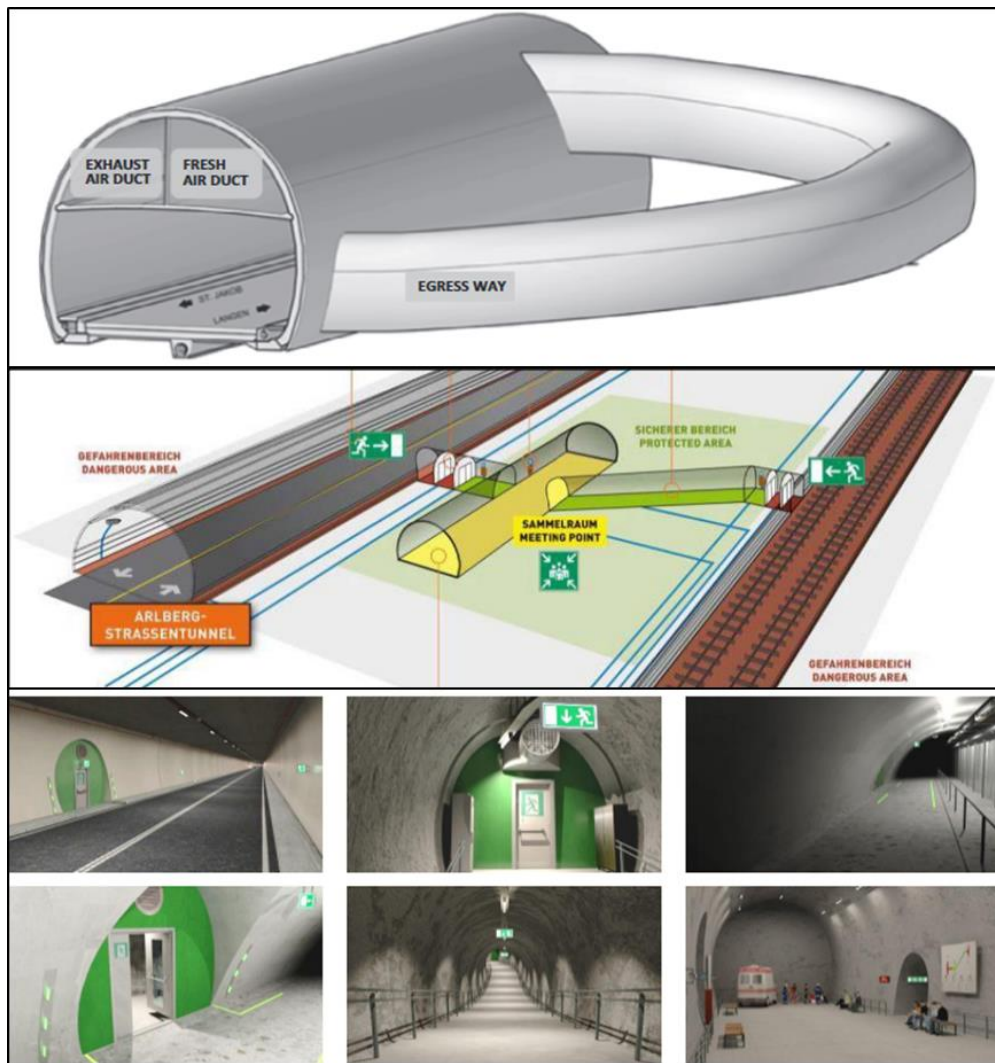
2. 防災系統

為了提高隧道的安全性且應歐盟隧道安全規定要求，每隔 500 公尺需提供新鮮空氣管道，而阿爾貝格公路隧道及鐵路隧道幾乎平行，故計畫將兩隧道間建造安全逃生口，在緊急情況下人員可從供氣管道/逃生隧道引導至現有的連接公路與鐵路隧道的逃生和救援路線。2008 年進行第一次擴建，建造了 8 條長 150-300 公尺的連接隧道，將隧道內逃生路線距離從 1,700 公尺縮短到最 500 公尺；2014 年開始進行第二個擴建階段，通過 8 條連接隧道連接到鐵路隧道，縮短逃生路線距離。2016 年完成最後一個擴建階段，並提供身心障礙斜坡(梯度低於 10%)以連接至逃生道。



資料來源： Peter J. Sturm, Michael Bacher ,2015.Upgrading the Arlberg tunnel to current safety standards

圖 2.1-13 奧地利阿爾貝格公路隧道出口方式示意圖



資料來源： Peter J. Sturm, Michael Bacher ,2015.Upgrading the Arlberg tunnel to current safety standards

圖 2.1-14 奧地利阿爾貝格公路隧道新逃生口示意圖

表 2.1-7 奧地利阿爾貝格公路隧道防災系統綜整

名稱	功能
緊急通知電話	每 212 公尺設置緊急通知電話。
滅火器設備	整個隧道設置固定消防系統 (FFFS) 以降低火災增長率和火勢蔓延率。發生火災時，有助於自救階段的緊急服務，並且能保護隧道設備免受火災損害，並最大限度地減少火災後造成道路中斷的時間。
高壓噴霧系統	每 125-150 公尺設置高壓噴霧系統以防止火災蔓延，在火災的情況下於受影響路段自動啟動。
無線電轉播設備	FM 廣播系統，如有必要，隧道運營商可發出無線電通知。
停車彎	每 1000 公尺設置。當汽車駛入停車彎時，隧道內的速度限制降至 60 km/h，所有安全設施均被啟動，每 250-500 公尺有一條人行道。
監控攝影機	配備 43 台監控攝影機，錄製影片可保留 72 小時。必要時可通過法院命令取得影片資料內容。72 小時後，資料會自動刪除。所有攝影機當然都要遵守數據保護機構的嚴格規定。
熱掃描儀器	隧道入口設置熱掃描儀，檢測過熱的卡車和公共汽車，使過熱車輛能先降溫再進入隧道，防止車輛在隧道中起火。

資料來源：<https://www.asfinag.at/verkehrssicherheit/tunnelsicherheit/>及本計畫彙整。



資料來源：<https://www.asfinag.at/verkehrssicherheit/tunnelsicherheit/>

圖 2.1-15 奧地利阿爾貝格公路隧道熱掃描儀器

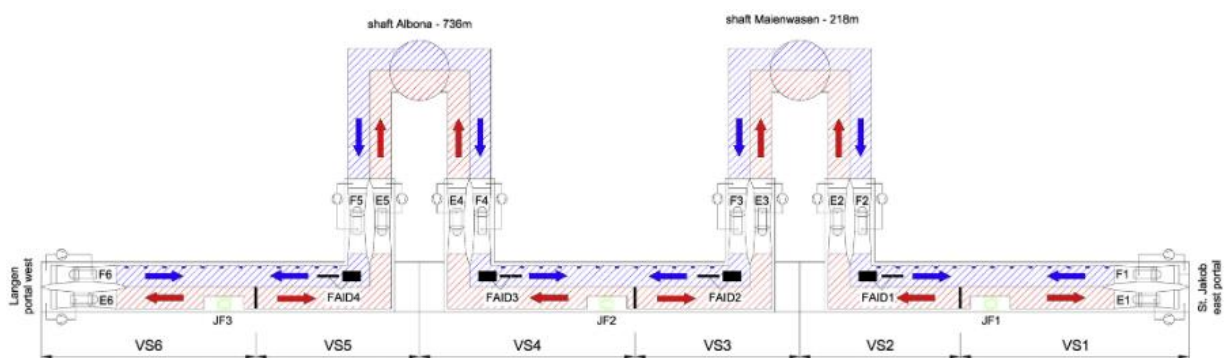
3. 通風與降溫設施

隧道內配備全橫流式通風系統，4 個通風豎井及 12 個通風口，通過 2 個通風中心和 2 個通風豎井進行空氣交換。火災時可以通過在靠近火源位置打開遙控風門來進行排煙，煙霧將被排入廢氣管道。提洛爾(Tirol)一側的通風井直徑為 8.3 公尺，深度為 218 公尺。福拉爾貝格 (Vorarlberg) 一側的通風豎井的直徑為 7.7 公尺，深度為 736 公尺。

表 2.1-8 奧地利阿爾貝格公路隧道通風系統的風扇規格

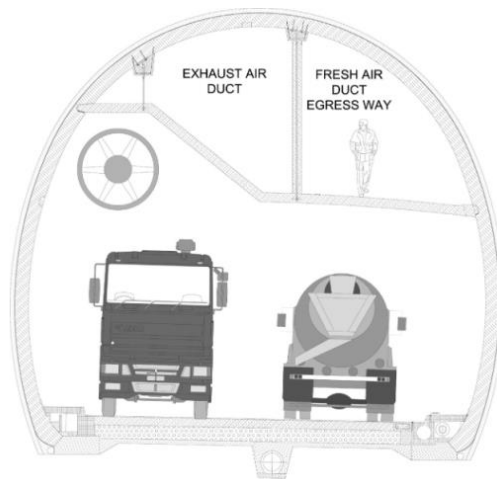
規格為 1.09kg/m ³		扇葉數量 (pcs)	葉輪直 徑(m)	增加壓力 (m ³ /s)	發電機功率 (kW)
St. Jakob	Fresh air	3	357	1,859	777
	Exhaust air	3	293	1,532	777
Maienwasen east	Fresh air	6	363	2,694	1,165
	Exhaust air	6	298	2,224	777
Maienwasenwest	Fresh air	6	363	2,779	1,165
	Exhaust air	6	298	2,154	777
Albona east	Fresh air	6	318	3,148	1,165
	Exhaust air	6	261	2,251	777
Albona west	Fresh air	6	318	3,023	1,165
	Exhaust air	6	261	2,361	777
Langen	Fresh air	6	370	2,004	1,165
	Exhaust air	3	304	1,930	777

資料來源：Peter J. Sturm ,2015.Upgrading the Arlberg tunnel to current safety standards



資料來源：Peter J. Sturm ,2015.Upgrading the Arlberg tunnel to current safety standards

圖 2.1-16 奧地利阿爾貝格公路隧道現有通風示意圖



資料來源：Peter J. Sturm ,2015.Upgrading the Arlberg tunnel to current safety standards

圖 2.1-17 奧地利阿爾貝格公路隧道通風剖面圖

(六)法國-義大利弗雷瑞斯隧道

1. 隧道概要

弗雷瑞斯隧道(Fréjus Road Tunnel)位於法國薩瓦(Savoie)與義大利皮埃蒙特(Piémont)間，主要跨阿爾卑斯山運輸路線之一，於 1980 年通車，主要用途為服務商業交通(80%)，其中車種 40%為重型貨車 (HGV)。全長為 12.9 公里，內部配置為單孔雙向車道，限速為 50-70 km/h，車輛安全距離為 150 公尺，每日交通量約 5,000 輛。弗雷瑞斯隧道由義大利中央控制站監控，在主控制站發生故障的情況下，可以隨時通知法國平台上的緊急檢查點。

2. 防災系統

1999 年歐洲白朗峰隧道發生火災後，為提高弗雷瑞斯隧道的安全性，隧道配備了事件檢測系統以檢測交通速度、火災和煙霧，裝設監控攝影機，並規定了較低的速度限制，並且規定車輛之間的安全距離為 150 公尺，裝設消防隊的必要供水系統，並在緊急避難所安裝緊急通知電話和可與控制室連接的揚聲器。

2004 年，歐洲頒布了歐洲隧道安全指令，故決定在 2009 年底開始建造一個平行的緊急通道，主要目的為通過緊急通道建立連接網，將安全避難所的數量從 11 個增加到 34 個，並將距離縮短至 400 公尺，而截面積至少為 50 平方公尺的安全避難所被整合到這些連接通道中。2012 年 12 月 3 日在里昂舉行的法國-義大利峰會上，兩國簽署了建造第二孔道之契約，技術

裝置的單一契約將確保每個系統正常工作，並包括升級舊孔道的技術設施，並開放第二孔道之單向交通（義大利-法國方向），而現有隧道也將用於單向交通（法國-義大利方向），預計 2021 年開通。第一孔道和第二孔道之間的 34 個連通道正在使用中，當發生意外事件時，由 2 個防火門保護，並供應內部新鮮空氣，內部也設有通訊設備可與隧道安全委員會聯絡。

表 2.1-9 法國-義大利弗雷瑞斯隧道防災系統綜整

名稱	功能
緊急站	每 20 公尺設置 SOS 按鈕，100 個緊急呼叫每 265 公尺分佈。
可變資訊電子看板	於隧道內、收費站和平台上的可變消息面板 (PMV) 可提供的信息。
照明設備	每隔 500 公尺有一個信號燈，每 160 公尺有一個藍色燈，警告需保持距離，以便告知用路人遵守行車速度和車間距。
無線電轉播設備	13 個 FM 收音機上永久性地向用戶廣播。
熱掃描儀器	隧道入口設置熱掃描儀，檢測過熱的卡車和公共汽車，使過熱車輛能先降溫再進入隧道，防止車輛在隧道中起火。
消防設備	義大利端的兩個水箱容量為 500 立方公尺，法國的容量為 250 立方公尺，在隧道內和外部平台上每隔 130 公尺分配 106 個消防栓，所有消防車輛都配備了紅外熱像儀，以便在煙霧密集的環境中前進。自 2019 年 1 月 4 日以來，隧道兩端平台都有兩輛可容納 7,200 升的新型消防車、4 輛超過 4,000 升水的消防車。
監控攝影機	250 多個攝像頭組成（隧道內有 204 個固定攝像頭，其他攝像頭在所有平台和技術室內）。所有影像都被記錄下來並傳送到監視器上的法國和義大利控制站。自動事件檢測 (ICD) 系統用於分析攝影機圖像，以快速檢測交通事故。

資料來源：http://www.sfrtf.fr/fr/il4-sfrtf_p93-reglement-du-tunnel.aspx 及本計畫彙整。



資料來源：http://www.sfrtf.fr/fr/il4-sfrtf_p93-reglement-du-tunnel.aspx

圖 2.1-18 法國-義大利弗雷瑞斯隧道新建第二管

3. 通風與降溫設施

採用全橫流式通風，兩個隧道入口之間的大氣壓力差異會在結構中產生縱向氣流，如發生火災時，控制縱向氣流是為了防止火災煙霧迅速擴散，隧道通風通過 6 個空氣處理處中的通風扇（12 個用於新鮮空氣，12 個用於排出空氣）。第一種通風方式，兩個管道位於隧道結構板的上方，從每隔 130 公尺的排煙門抽取和排出廢氣或煙霧。第二種方式於通過位於每 4.50 公尺的 2,860 個通風道將新鮮空氣注入隧道。新鮮空氣總容量為 $1,500\text{m}^3/\text{s}$ ，廢氣總容量為 $1,250\text{m}^3/\text{s}$ ，該系統完全自動化並連接到 GTC（集中技術管理）。

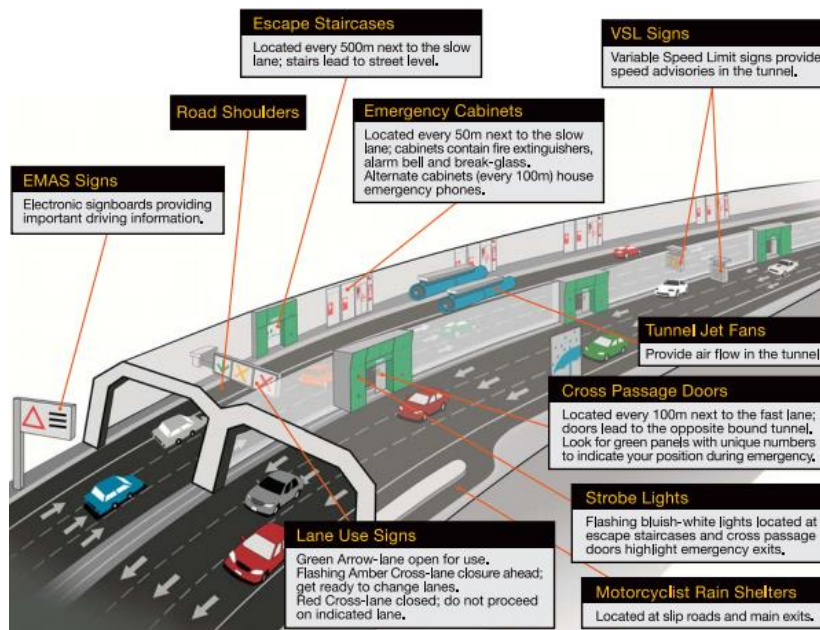
(七)新加坡加冷-巴耶利峇高速公路隧道

1. 隧道概要

加冷-巴耶利峇高速公路隧道(簡稱：KPE)為加冷-巴耶利峇高速公路和南部東海岸公園大道（ECP）與東北部的淡濱尼高速公路（TPE）相連，方便新加坡東西部快速往來濱海南新市區，其中約 10.7 公里為地下汽車隧道，隧道內限速為 70 km/h。隧道禁止自行車、設有旁車的機車、三輪車、油罐車、貨櫃車(車輛高於 4.5 公尺、寬度超過 3 公尺、長度超過 13 公尺)及運輸危險物品的車輛行駛隧道中。

2. 防災系統

KPE 營運控制中心每天 24 小時利用各種系統監控流量，例如自動事件檢測攝影機可以捕獲異常情況(如用路人沿主幹道停車)，此外，隧道每 50 公尺配置最先進的光纖熱探測器，用於探測火災和空氣監測傳感器，監測隧道空氣溫度和一氧化碳濃度，並在必要時啟動火警和隧道通風系統。隧道內每 500 公尺設有緊急通道可通往平面道路，每 100 公尺設有橫向通道及緊急通話系統，每 50 公尺設有緊急櫃裝有滅火器、警鈴和擊碎玻璃器及 SOS 電話。預計將於 2022 年底安裝加裝水霧系統



資料來源：

<https://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/roads-and-motoring/projects/kallang-paya-lebar-expressway-kpe.html>

圖 2.1-19 新加坡加冷-巴耶利峇高速公路隧道設施

(八)法國-義大利白朗峰隧道

1. 隧道概要

白朗峰隧道(法語:Tunnel du Mont-Blanc,義大利語:Traforo del Monte Bianco)位於法國與義大利間,於1965年7月19日開通,全長11.6公里,該隧道是主要的跨阿爾卑斯山運輸路線之一,特別是義大利,依靠白朗峰隧道將其三分之一的貨物運往北歐,隧道配置為單孔雙向車道。限速為50-70 km/h,每日交通量約5,000輛。為了防止車輛未保持安全車距,造成車輛追撞因而引起火災,於隧道洞口設置管制柵欄,每隔10秒放行車輛進入隧道,強迫前後車輛保持約150公尺安全車距,塞車時遵守最小車距100公尺,並限制易燃等危險物品之運送。

2. 防災系統

該隧道由法國和義大利共同管理,於1978年加裝監控攝影機,1990年進行了大規模的現代化改造並增加安全功能,如新的監控設備、8個加壓緊急避難所、滅火系統和其他安全維護,1997年安裝了火災探測系統,集中安全設備管理和新的可變信息標誌,隧道兩端出口均設有監控中心,擁有集中技術管理(CTM)不斷監視隧道,通過自動事件檢測將所有異常信號傳遞給控制站。

然而於 1999 年發生裝運麵粉卡車於隧道內起火造成傷亡，隧道封閉 3 年，期間裝修包括電腦化檢測設備，額外的安全避難室、平行逃生軸和隧道中間的消防站，配有雙層消防車。安全軸還有通過通風口流過的新鮮空氣，安全避難室能與控制中心進行影像聯繫，更清楚地告知隧道中發生的事情，並於隧道入口前加裝熱感應儀以偵測車輛是否過熱，於隧道內每隔 150 公尺設置一藍色 LED 燈，以提醒用路人保持安全車距，以避免前方車子發生火災時產生延燒之現象，也因此事故經驗促成法國陸路運輸事故調查局成立主要因素之一。

隧道配備新的 4 輛新型消防車，取代安裝在隧道的 3 個永久消防站，根據隧道永久性消防團隊以及安全委員會專家合作設計，最終完成投資 320 萬歐元，配備了獨一創新的系統，擁有 12,000 升的容量且水柱流量可改變，從每分鐘 1,000 升到 2,000 升，改善車輛的自我保護模式，可產生防火泡沫地毯，並於車輛設置熱像儀，可在火災時行駛隧道並確切感測事故車輛位置，有助於在極低能見度條件下使車輛前進。



資料來源：<https://www.tunnelmb.net/it-IT/innovazione>

圖 2.1-20 法國-義大利白朗峰隧道新型消防車

表 2.1-10 法國-義大利白朗峰隧道防災系統綜整

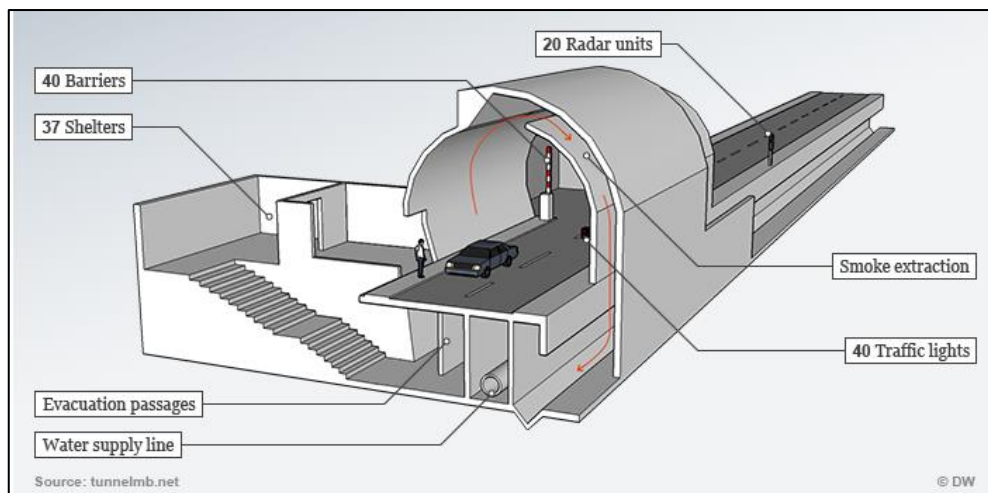
名稱	功能
緊急站	每 100 公尺設置 SOS 緊急站共 116 個交替位於兩個方向。每個 SOS 緊急站包含 1 個內部通信系統和 2 個帶有使用探測器的滅火器。

名稱	功能
可變資訊電子看板	於隧道內、收費站和平台上的可變消息面板 (PMV) 可提供的信息。
緊急逃生口	在義大利-法國方向每 300 公尺設置 37 個安全位置 (編號從 0 到 36)，通過疏散路線連接到安全地，疏散路線由電話連接站照明並配備控制和指揮站 (PCC)。
熱掃描儀器	隧道入口設置熱掃描儀，檢測過熱的卡車和公共汽車，使過熱車輛能先降溫再進入隧道，防止車輛在隧道中起火。
停車彎	每 600 公尺設置停車彎，共 36 個 (每個方向 18 個) 長 30 公尺、寬 3 公尺。
無線電轉播設備	20 個 FM 頻道，每隔 6 分鐘就會播放 3 種語言 (義大利語、法語和英語) 的訊息，訊息將回顧通過隧道所要遵守的規則; 如果發生事件，監控操作員會使用這些頻道直接向收音機發送有關訊息。
監控攝影機	設置 120 個監控攝影機連接到一個自動事件檢測系統 (檢測異常傳輸將傳送訊息到控制操作員螢幕的系統) 其中 37 個攝影機位於緊急停車位。

資料來源：<https://www.tunnelmb.net/it-IT/dispositivi-di-sicurezza> 及本計畫彙整。

3. 通風與降溫設施

隧道配備混合半橫向通風系統，包括：1 個新鮮空氣供應系統，在義大利-法國方向路肩上有 1,160 個通風口、1 個排煙系統，在隧道拱頂上有 116 個通風口，縱向流量控制系統，38 個噴射風扇對安裝在隧道天花板上用於存放的加壓系統。



資料來源：<https://www.tunnelmb.net/it-IT>

圖 2.1-21 法國-義大利白朗峰隧道設施

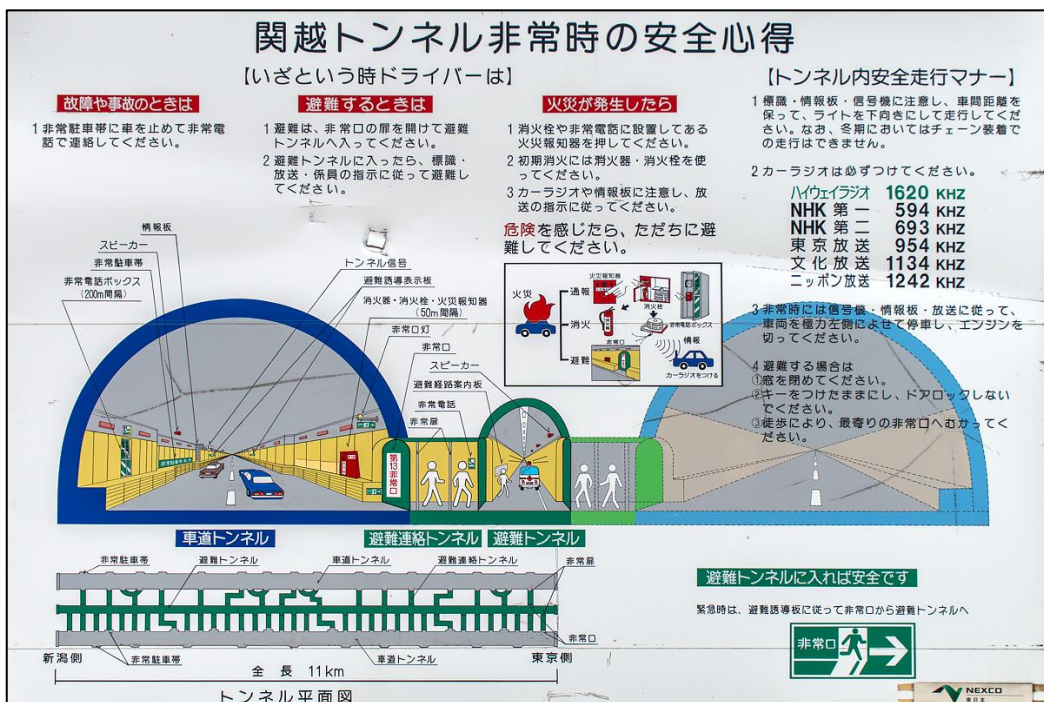
(九)日本關越隧道

1. 隧道概要

關越隧道(関越トンネル)是日本第二長的公路隧道，位於群馬縣與新潟縣之間，全長 11.06 公里，屬雙孔單向共四車道，隧道內可變換車道但不可左側超車。隧道開通後最高速度限制原訂 70 km/h，但新潟縣警察局根據國家警察廳發布的新版合理調速指南(2010 年)，加上東日本交通管理部門調查數據顯示在關越隧道中通行的車輛實際速度為 85 km/h，與群馬縣警察局和國家警察局之間進行協調，在 2015 年將速限提高至 80 km/h。

2. 防災系統

在緊急情況下如意外事故、火災或故障車輛發生時，隧道入口前方設置的紅綠燈會禁止用路人進入隧道。在防災設計的部分，每隔 350 公尺設有一個逃生出口連接導坑，以利發生災難時能讓車輛利用對向隧道順利離開事故現場。此外，可以從土樽休息站中公告的緊急安全告示了解關越隧道的結構，隧道內設備包含信息看板、擴音機喇叭、緊急停車彎、以 200 公尺為間距安裝的緊急通知電話、隧道內信號燈、疏散指導信息板、緊急出口指示燈及以 50 公尺為間距安裝的滅火器、消防栓箱和火災偵測系統。



資料來源：https://radiate.jp/20180824/kanetsu-tunnel_2018/

圖 2.1-22 日本關越隧道緊急安全告示

3. 通風設施

因為關越隧道外是非常陡峭的地形，甚至無法開闢山上工作道路，所以其通風設施與普通隧道不同，是在兩個垂直軸(万太郎軸和谷川軸)中輸送和排出空氣。並在隧道內設有電動除塵器於風扇豎井前面，用以吸附大部分的硫化物、氮化物和懸浮粒子，減少車道廢氣對環境的汙染，此通風設施稱為「帶電動除塵器的垂直排氣通風系統」。



資料來源：<http://jsce-niigata.com/introduction/article/025/art025.html>

圖 2.1-23 日本關越隧道透視圖

(十)日本飛驒隧道

1. 隧道概要

飛驒隧道(飛驒トンネル)是日本東海北陸高速公路由岐阜縣的飛驒市和大野郡間的高速公路隧道，長達 10.7 公里，為日本第三長的公路隧道，僅次於山手隧道與關越隧道，屬於單孔雙向通車隧道。隧道內限速為 70 km/h，不能左側超車，並禁止載運危險物品車輛通行。

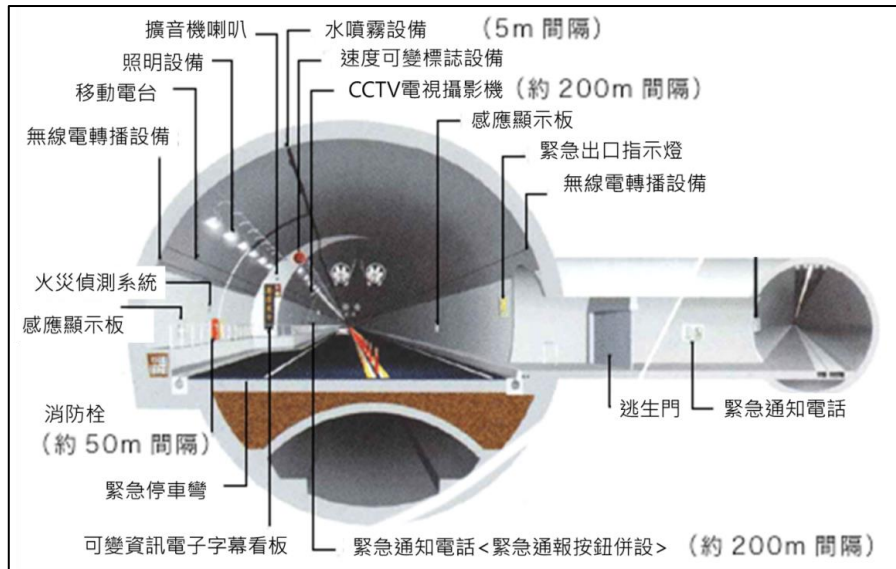


資料來源：<https://www.youtube.com/watch?v=fzvEER-mhmM>

圖 2.1-24 日本飛驒隧道重點照明

2. 防災系統

由於飛驒隧道位於降雪區域，因此在隧道的兩端安裝融雪和防凍加熱器。另外因隧道長度將近 11 公里，隧道內部分路段安裝粉紅色和藍色重點照明用來提醒用路人注意，其它飛驒隧道防災設施如下圖所示。

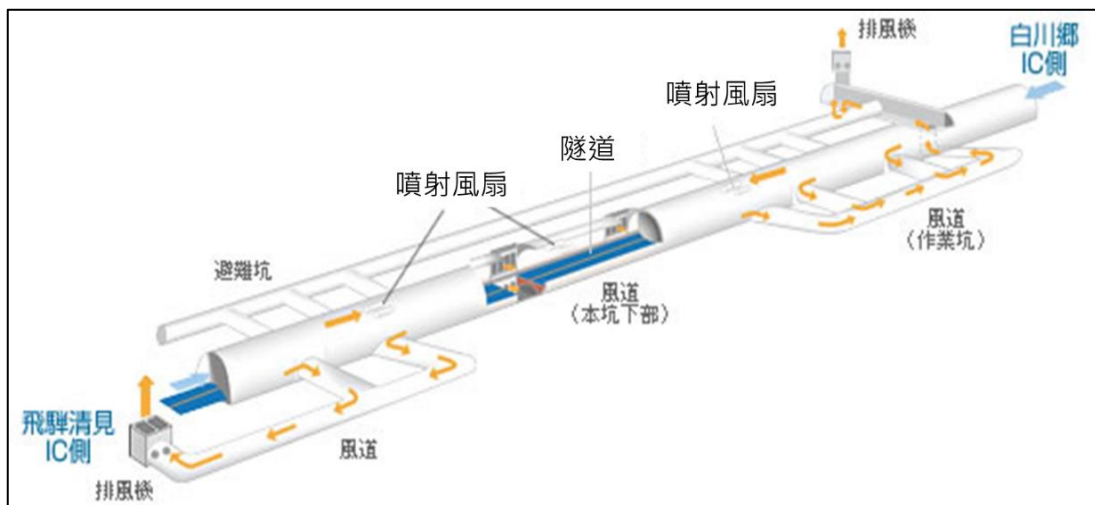


資料來源：https://www.c-nexco.co.jp/corporate/operation/construction/progress/hida_tunnel/ 及本計畫翻譯。

圖 2.1-25 日本飛驒隧道防災設施

3. 通風設施

飛驒隧道與其他長隧道通風設施不同的地方在於使用隧道截面的下半部分作為通風豎井的「選擇性集中式垂直接換氣系統」，也是世界上第一個採用此種通風方式的隧道。



資料來源：<http://www.sheet-metal.co.jp/new/new08/07-05.html> 及本計畫翻譯。

圖 2.1-26 日本飛驒隧道通風設施

(十一)日本東京灣跨海公路海底隧道

1. 隧道概要

東京灣跨海公路(東京灣橫斷道路)又稱為東京灣水線(Tokyo Bay Aqua-Line)，是一條橫跨日本東京灣的高速公路，銜接神奈川縣川崎市與千葉縣木更津市，由海底隧道與跨海大橋結合而成。1976年由日本建設省與日本道路公團(Japan Highway Public Corporation)成立東京灣跨海公路調查室共同進行調查工作，並於1989年正式展開東京灣跨海公路的興建工作。整條公路啟用於1997年，完工之時由日本道路公團營運，2005年改由東日本高速公路股份有限公司接手經營。

東京灣跨海公路為全長15.1公里之收費道路，此路段完工通車後大幅縮短川崎市與木更津市間行車距離與時間。全線靠近川崎的一邊，是長9.6公里的海底隧道，稱為「水隧」(Aqua Tunnel)，是日本第四長的公路隧道；靠近木更津的一邊，則是長4.4公里的高架橋，與隧道銜接處是木更津人工島(又稱海螢人工島)，島上設有公路服務區。



資料來源：
東京灣跨海公路開通20周年報告

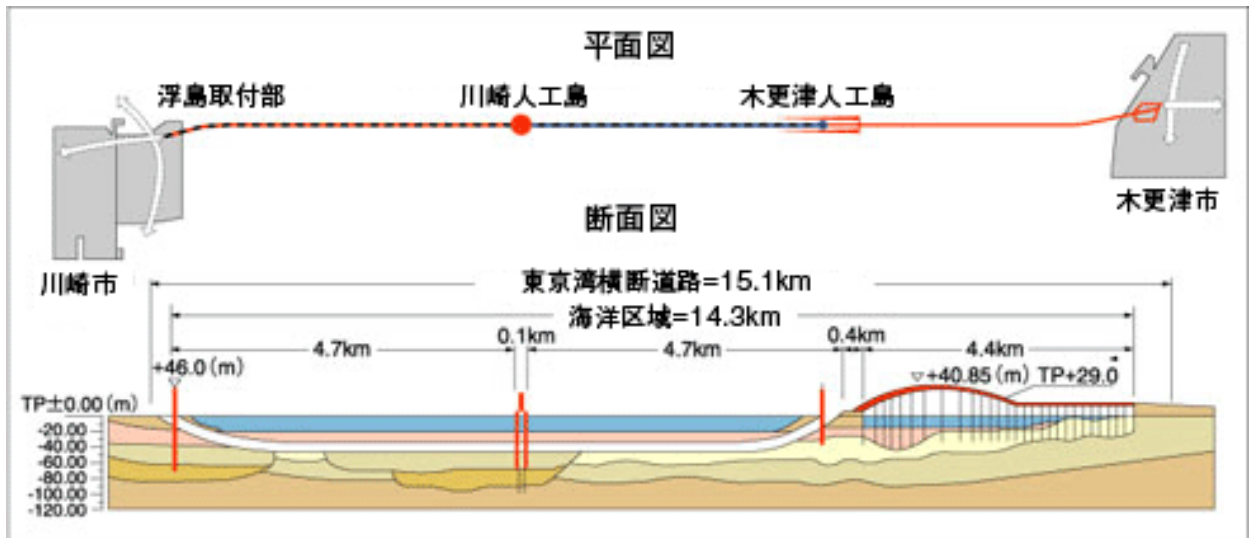
圖 2.1-27 東京灣示意圖



資料來源：
<https://www.youtube.com/watch?v=0kTkV0Rjn60>

圖 2.1-28 日本 ETC 收費站

東京灣跨海公路隧道段總長9.6公里，雙孔單向各兩車道，並有預留未來將拓建為三車道的空間。車道總寬度10.5公尺，包含左側路肩2.5公尺、每一車道寬3.5公尺及右側路肩1公尺。隧道內速限80 km/h且可變換車道。



資料來源：<http://www.nccnet.co.jp/introduction/project/submarine.htm>

圖 2.1-29 東京灣跨海公路示意圖

2. 防災系統

東京灣跨海公路隧道段總長將近 10 公里，在日本需符合 AA 級隧道安全標準，因隧道建造在地盤軟弱的東京灣海床下，先天地質條件不良加上考量強大水壓力之影響，此隧道防災系統特徵為利用車道下方空間作為逃生及救援通道。即將直徑 14 公尺的隧道斷面規劃為兩部分，上半部為行車空間而下半部則分成三部分，分別為消防管線廊道、隧道維護管理用道路與高壓電纜線廊道，且雙孔隧道各自獨立，不會因為其中一孔隧道發生事故而影響另一向隧道之正常使用。



資料來源：日本長隧道及交通建設安全管理考察報告(2007)、
<https://www.youtube.com/watch?v=Cujz41jH-go&t=207s>

圖 2.1-30 東京灣跨海公路隧道剖面圖

平時隧道維護與災難救援時車輛可由木更津人工島直接搭乘車輛運送電梯直接下到隧道下半部之維護管理用道路進行相關工作。火災發生時，受災者以車道行進方向後方(隧道入口方向)為基本的逃生路線指引方向，並可透過每 300 公尺設置一處的緊急避難逃生滑梯出口通往道路下方的疏散通道，在通道中有壓力調節系統防止煙霧進入通道。而為能在最短時間內完成救災以減低因災害所造成之損失，日本道路公團於木更津人工島設置防災中心，並備有平時隧道維護與災難救援車輛，其中島上設有直昇機停機坪，以利於在最短時間內完成相關救災工作。

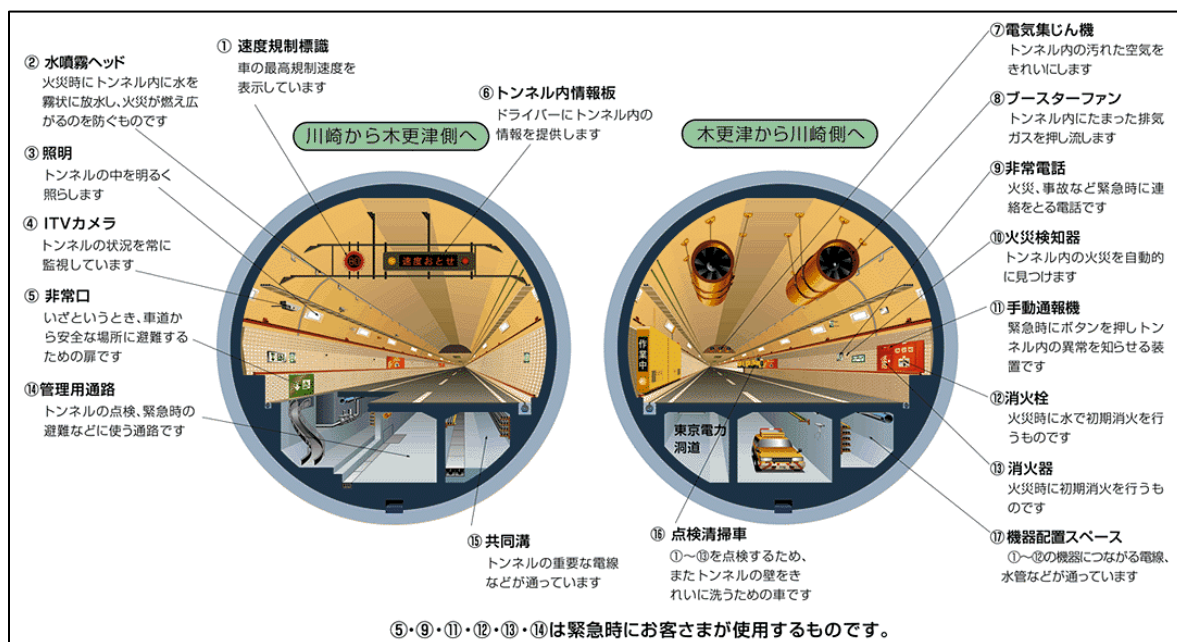


資料來源：<https://style.nikkei.com/article/DGXMZO97639700U6A220C1000000/>

圖 2.1-31 東京灣跨海公路海底隧道緊急避難逃生滑梯與維護管理專用道路

隧道入口端與隧道內部設有資訊可變標誌板、速限可變標誌等交通管制設施，照明設備則採用高壓鈉氣燈裝設於隧道兩側上方。隧道內部還配備有確認事故以及應變的各項設備，如每 25 公尺設置擴音機喇叭 1 組、每 150 公尺設逃生指示燈 1 組、同時可在隧道中收聽 FM 廣播並提供管理單位使用無線電及其他偵測設施，將其它安全設施列於下表：

表 2.1-11 日本東京灣跨海公路海底隧道內部消防設施



編號	名稱	功用
1	速限可變標誌設備	電子面板顯示車輛的最高速度限制。
2	水噴霧設備	泡沫式的水噴霧系統，每 5 公尺設置噴頭 1 組。
3	照明設備	提供隧道內照明。
4	監控攝影機	每 150 公尺設置 1 處，用來監視隧道內部情形。
5	緊急出口	在緊急情況下，是從隧道內撤離到安全區域的門。
6	可變資訊電子看板	向用路人提供有關隧道的信息。
7	電動集塵機	集塵機清除隧道中遭汙染的空氣。
8	噴射風扇	將累積在隧道中的廢氣。
9	緊急通知電話	每 150 公尺設置 1 處，在發生火災或事故等緊急情況時進行聯繫的電話，且為方便初次使用者快速通報，緊急通知電話面板上有車輛故障、交通事故、人員救護與火災警告等 4 種按鈕。
10	火災偵測系統	每 50 公尺設置 1 組，能自動在隧道中偵測火災。
11	緊急通報按鈕	在緊急情況下能按下按鈕通知隧道內部異常的裝置。
12	消防栓箱	每 50 公尺設置 1 處，內含火警報知按鈕及手提式滅火器與消防水帶。
13	滅火器	發生火災時可用來滅火的設備。
14	隧道維護管理用道路	用於隧道例行檢查，緊急疏散等的通道。
15	共同溝	又稱為共同管線、城市地下管道綜合走廊或地下共同管，容納隧道中的重要電線，並留有供檢修人員行走的空間。
16	檢查清潔車	用來檢查編號 1 到 13 的設備，並清洗隧道牆的清

編號	名稱	功用
		車。
17	設備安放空間	有編號 1 到 12 的設備連接電線、水管等。
設備編號 5、9、11、12、13、14 在緊急情況下供民眾使用。		

資料來源：<https://www.jsce.or.jp/contents/hakase/tunnel/tunnel14.html> 及本計畫翻譯彙整。



資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)

圖 2.1-32 日本東京灣跨海公路海底隧道水噴霧系統節流閥



資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)

圖 2.1-33 日本東京灣跨海公路海底隧道水噴霧系統配水、泡沫管

3. 通風設施

海底隧道有三個氣體交換出口：西側川崎入口處浮島的金字塔型換氣口、進入隧道後 5 公里處的川崎人工島隧道換氣設施(風之塔)及東側出口與跨海大橋銜接處的木更津人工島，隧道內採用噴射風扇搭配電動除塵器，再利用風之塔內部獨立進排氣之排風機達到過濾隧道內煙塵及換氣目的。



資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)

圖 2.1-34 日本東京灣跨海公路海底隧道噴流式排風機與電動除塵器



排風機。風在隧道中沿著行進方向流動，隧道內的空氣通過排氣扇從小塔中排出。



送風機。從塔中吸入新鮮空氣並通過送風機吹入隧道。

資料來源：https://www.kajima.co.jp/news/digest/jan_1998/tokushu/toku3.htm

圖 2.1-35 川崎人工島上風之塔

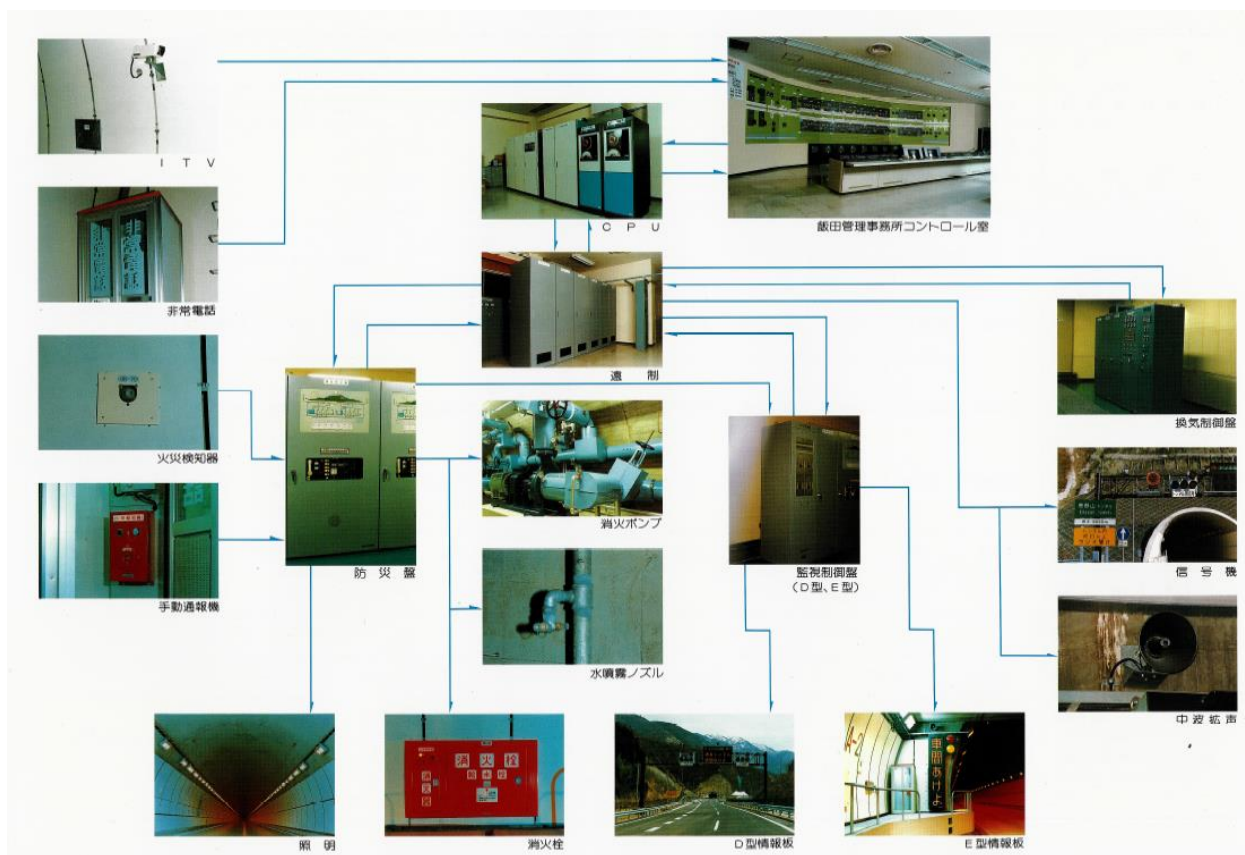
(十二)日本惠那山隧道

1. 隧道概要

惠那山隧道(惠那山トンネル)位於日本本州島距離名古屋市約 130 公里處，東西向貫穿岐阜與長野二縣的惠那山區，西起岐阜縣中津川，東至長野縣的阿智村富士見台。隧道內禁止載運危險物品之車輛進入，管理單位在隧道前方之出入口閘道設置載運危險物品車輛出口引導標誌，告知用路人並導引車輛駛離或至卸貨區將危險物品卸載。日本道路公團委託飯田

管理事務所管理中央自動車道伊北至中津川交流道路段，惠那山隧道亦在其管轄範圍之內。

隧道內之機房皆為無人機房，其相關機電、交控等設備之監測訊號如圖 2.1-36 所示，均直接傳輸至飯田管理事務所的交控中心，並經由管理人員進行資料之紀錄與判讀。惠那山隧道的交通控制系統，與我國高速公路公路交通控制系統雷同，為一項綜合交通、電腦、電子、電機、有線與無線電通訊等工程技術組合而成之線上即時運轉系統，用以監視路況、控制車流及提供用路人即時之道路資訊。



資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)

圖 2.1-36 飯田管理事務所的交控中心監控設備

惠那山隧道為雙孔單向各兩車道通車的公路隧道，速限為 70 km/h，往東京、長野方向為上行線(亦稱東行線)，往名古屋方向則為下行線(亦稱西行線)。下行線於 1975 年完工先行通車，全長為 8.5 公里，當時上行線尚未完工，故下行線先採單孔雙向通車，隧道坡度為+0.55%(3,111 公尺)及-1.64%(5,178 公尺)。上行線則於 1985 年完工通車，全長 8,649 公尺，隧道坡度為+1.5%(5,152 公尺)及-0.5%(3,497 公尺)。



資料來源：https://media2.c-nexco.co.jp/images/news_old/3212/937c51204414fd490d3a778ba471e56e.pdf

圖 2.1-37 日本惠那山隧道位置



資料來源：<https://pbs.twimg.com/media/C8JenDmVwAA8e1y.jpg>

圖 2.1-38 日本惠那山隧道入口標示

2. 防災系統

在上行線完工通車之同時，將隧道上、下行線回復單向通車，並於兩行線間設置十處人行連絡隧道及兩處車行連絡隧道予以相連，為人員避難及養護、救災(車行連絡隧道為養護、消防、救護等專業車輛使用)路徑之用。隧道內消防栓及水噴霧設備之用水，則利用立坑豎井及斜坑豎井下之

集水坑回收利用。將上述之水噴霧設備與其它安全設施設置原則列於下表：

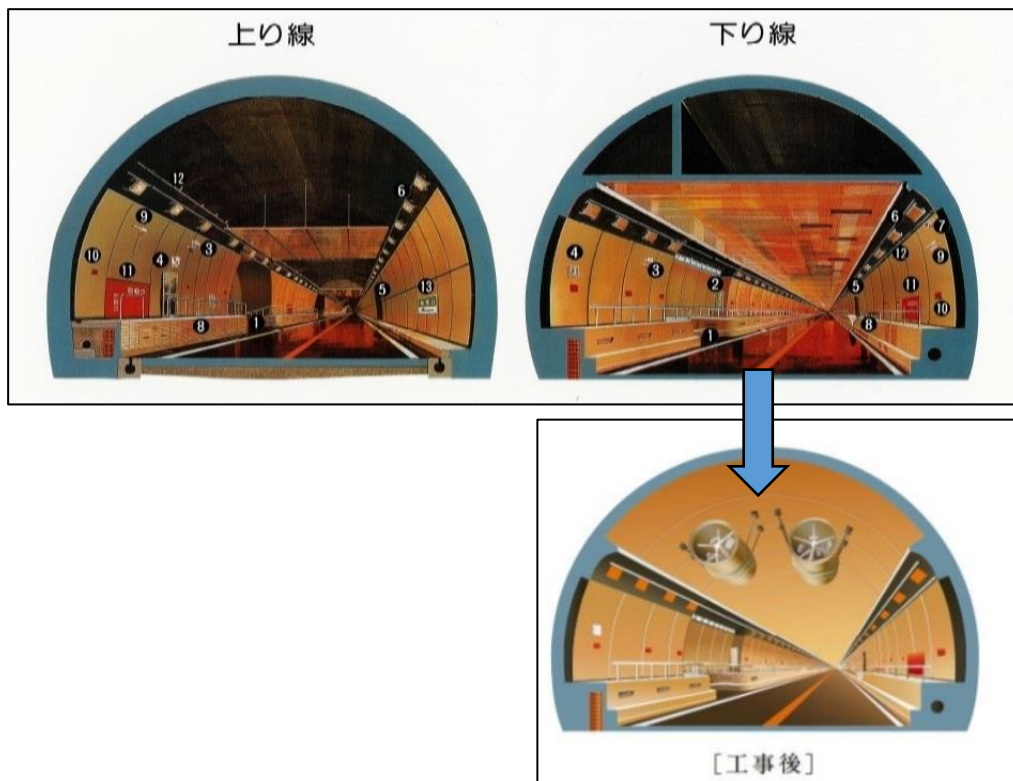
表 2.1-12 日本惠那山隧道消防設施

名稱	功用
緊急通知電話	每 200 公尺設置 1 座(設有內照式標誌),用路人於隧道中發生事故時,可即時通報交控中心迅速獲得協助。
火警偵測器	每 25 公尺設置 1 只,可自動偵測隧道火災之發生,即時將火災訊號通報交控中心迅速處理,並自動與相關設施連動,進行必要之滅火措施。
停車彎	每 700 公尺設置 1 處,可提供事故車輛臨停等待救援,不致影響其他車輛行進。
資訊可變標誌設備	每 750 公尺設置 1 座,由交控中心管理人員將隧道內之交通資訊即時提供給用路人參考。
消防栓箱	每 50 公尺設置 1 個於隧道側壁凹槽內,提供消防人員現場進行滅火使用,裡面設置 2 個 6 公斤裝之 ABC 乾粉滅火器。
水噴霧設備	於隧道頂端每 50 公尺設置一個噴霧區間,每間隔 5 公尺設置 1 個水噴霧頭,當隧道內火災發生 3 分鐘後,水噴霧設備將於火災發生區域自動啟動噴霧,有降溫與控制煙塵擴散之作用。
照明設備	全區間採高壓鈉氣燈之設置,並於入、出口處加強照明設置。
手動報警機	P 型 1 級押釦式,每 50 公尺設置 1 個手動報警機。
逃生指示標誌	於隧道側壁上每 700 公尺設置 1 個,其距離地面高度約 50 公分,可導引用路人於火災發生時之指示逃生方向,並告知用路人距最近人行聯絡道之距離,以利逃生。
監控攝影機	每 200 公尺設置 1 個,可監視隧道內事故或災害情形並自動將異常訊號傳至交控中心。
無線電設備	於隧道全區間設置電纜與無線電中繼設施,以提昇無線電品質。
速限可變標誌設備	每 700 公尺設置 1 處速限可變標誌設備。
車道管制號誌	設置於隧道內及洞口前主線上。
擴音機喇叭	隧道內每 50 公尺設置 1 組擴音機喇叭,可經由擴音喇叭告知用路人隧道內之緊急狀況。

資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)及本計畫彙整。

3. 通風設施

惠那山隧道的下行線原採全橫流式模式,但因 2012 年發生磯子隧道天花板墜落事故,決定拆除下行線天花板並推動通風設備更新計劃。上行線通風則採帶電動除塵器的垂直排氣通風系統,設有四個電動除塵器及兩處噴射風扇。



資料來源：日本長隧道行車安全與管理參訪報告(2005)、
https://media2.c-nexco.co.jp/images/news_old/3212/937c51204414fd490d3a778ba471e56e.pdf

圖 2.1-39 日本惠那山隧道剖面圖

(十三)日本雁坂隧道

1. 隧道概要

雁坂隧道總長度為 6.6 公里，位於日本一般國道 140 線(類似國內一般道路)上，穿越日本雁坂山聯結埼玉縣熊谷市及山梨縣增穂町兩地，隧道的開通使兩縣之產業、經濟與文化交流日趨活絡。另外，日本的國道相當於我國的一般道路，所以雁坂隧道是日本 50c.c.以上機車可通行的最長隧道。此外為配合發展觀光產業及隧道管理養護所需經費，雁坂隧道採用使用者付費之經營模式，係為一收費隧道，由雁坂隧道收費道路管理事務所負責管理，並於山梨縣側隧道口設置收費站，且針對不同車種擬訂不同收費金額，也有回數票提供消費者採用。

考量行駛長隧道與一般道路不同，雁坂隧道採取階段性通車，通車初期僅限通行小型車，經過 6 個月讓用路人熟悉行駛長隧道所需遵守的規定及用路人習慣後，再開放大型車通行，但為避免發生重大災害導，目前仍禁止載運危險物品車輛進入行駛隧道。



資料來源：<https://chinobouken.com/karisaka-tunnel/2/>

圖 2.1-40 山梨縣一側的收費站

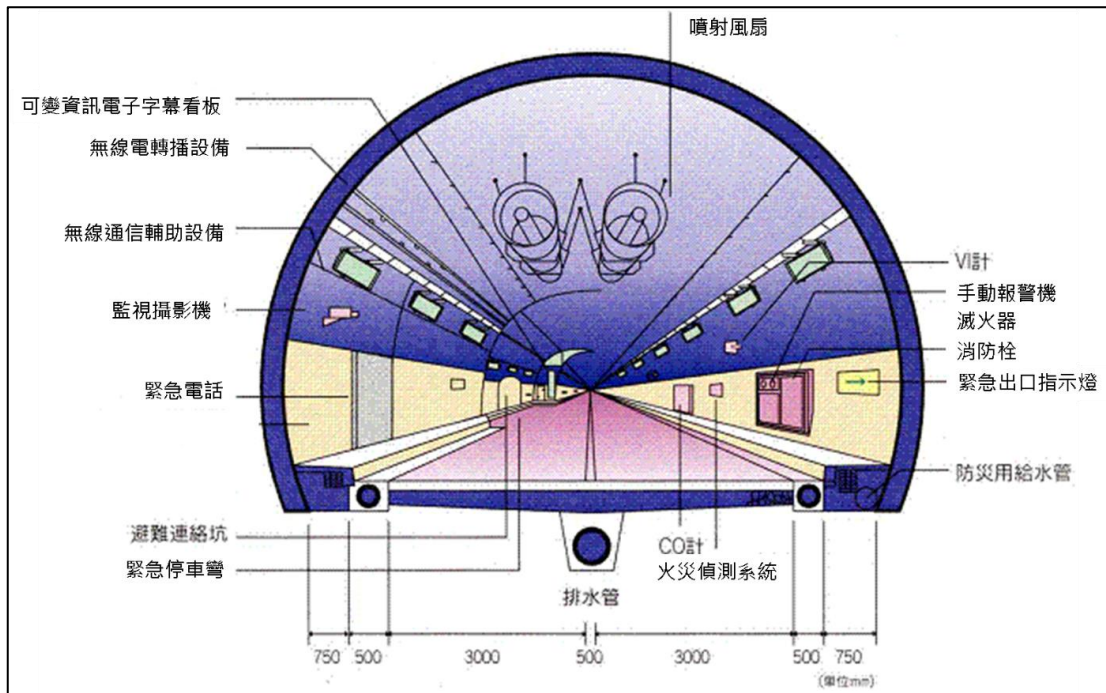


資料來源：<https://chinobouken.com/karisaka-tunnel/2/>

圖 2.1-41 日本雁坂隧道

2. 防災系統

有關隧道相關設施方面，雁坂隧道為單孔雙向隧道，於隧道內發生車禍的機率較一般雙孔單向隧道為高，因此隧道速限僅設定為 40 km/h，大幅減低因車速過快產生之災害。此外，為避免用路人無法適應行駛在黑暗的隧道中，隧道內設置鈉氣燈以利用路人能夠在足夠的光線下行駛隧道；另為防止災害發生及確保交通行駛安全，雁坂隧道仍依日本道路公團所訂長隧道設計準則，設置有隧道通風設備、通報/警報器、滅火設備、避難導引設備及監控攝影機等交通設施，並在雁坂隧道收費道路管理事務所辦事處設置 24 小時監控室，以集中管理隧道相關事宜。



資料來源：https://www.fruits.jp/~karisaka/tunnel_outline.html 及本計畫翻譯。

圖 2.1-42 日本雁坂隧道剖面圖

3. 通風設施

雁坂隧道的通風設備採用縱流式集中排氣系統，隧道體與通風井相連，長度為 1,588 公尺。



資料來源：<http://www7a.biglobe.ne.jp/~inamaru/chapter-77/chapter-77entotu.html>

圖 2.1-43 日本雁坂隧道通風塔

(十四)荷蘭西斯凱爾特隧道

1. 隧道概要

荷蘭西斯凱爾特(Westerschelde Tunnel)隧道全長 6.6 公里，開通於 2003 年 3 月 14 日，位於高速公路 N62，內部配置為雙孔單向共四車道，為荷蘭最長之公路隧道，限速為 100 km/h，每日平均交通量約 20,700 輛/日。隧道內可變換車道，大車僅能行駛外側車道，並禁止輕型的運具，例如輕型機車、自行車、微型汽車和人通過隧道，但有提供公共汽車服務，應要求（提前 1 小時）預約，自行車和輕型機車即可分別搭乘公共汽車和拖車通過。超過 3 公尺之車須提前登記，並禁止載運有毒物質之車輛通行。



資料來源：<https://structurae.net/en/structures/westerschelde-tunnel>

圖 2.1-44 荷蘭西斯凱爾特隧道

2. 防災系統

西斯凱爾特隧道可抵抗最高溫度達到 1,350°C 的 2 小時火災，隧道運營商每天 24 小時從控制室監控隧道，例如攝影機、檢測設備、交通控制和應急站和許多其他系統。每 250 公尺設有安全逃生通道共 26 個，每隔 50 公尺就有一個光線充足的緊急站，配有泡沫滅火器，消防水帶和可與隧道操作員直接通話的對講機，發生事故時，緊急標誌上將出現「緊急逃離」指令，隧道操作員將解鎖逃生門或連通通道，以使用路人逃到另一個隧道。每條通道都有一個對講機，可直接與隧道操作員通話，並可接收 10 個 FM 電台，在發生災難時，隧道運營商可以中斷這些廣播公司，中斷無線電廣播允許隧道運營商通過他們的汽車收音機或任何特殊情況通知道路使用者，以便即時接近救護車。

3. 通風與降溫設施

當一氧化碳濃度、溫度和能見度自動測量測量值超過最大允許限值，例如在交通堵塞的情況下，隧道中的風扇將自動啟動並排出廢氣，發生火災時，風扇會將煙霧和氣體吹向行駛方向。

三、禁止機車通行之長隧道

(一)越南海雲隧道

1. 隧道概要

海雲隧道(Hàm Hải Vân)位在越南中部連接順化和峴港，總長 6.28 公里為東南亞最長的隧道。為單孔雙向隧道，車道寬 3.75 公尺，路肩寬 1.25 公尺，橫截面 89 平方公尺，長 6,280 公尺，鋪設間距 400 公尺，建設海雲隧道之目的為取代交通路況較為危險的海雲關(舊路)，從 21 公里大幅縮短至 6.2 公里，目前海雲隧道也成為該地區之交通要道，日車流量高達約 14,500 輛。隧道內不允許機車、自行車和行人通行，但隧道營運商海雲公路隧道開發管理公司(HAMADECO)為機車提供定期運輸服務(如圖 2.1-46)，在隧道兩端建立了等候區，每 10-20 分鐘以卡車運載機車和機車用路人，票價為每輛機車 25,000 或 30,000 越南盾(約新台幣 33-40 元)、自行車 15,000 越南盾(約新台幣 20 元)以及每人 10,000 越南盾(約新台幣 13 元)。

在海雲隧道施工項目報告當中，僅敘述禁行機車是考量安全因素，並無針對機車行駛長隧道安全研究進行更詳細之說明。由於隧道容量已達飽和，目前正在興建第二孔道隧道(未來變成雙孔單向)，目前已完成 85%。



資料來源：越南交通運輸部 85 號項目管委會

圖 2.1-45 越南海雲隧道位置



資料來源：Hai Van Pass Tunnel Construction Project

圖 2.1-46 越南海雲隧道載運機車及其用路人服務

2. 防災系統

表 2.1-13 越南海雲隧道設備

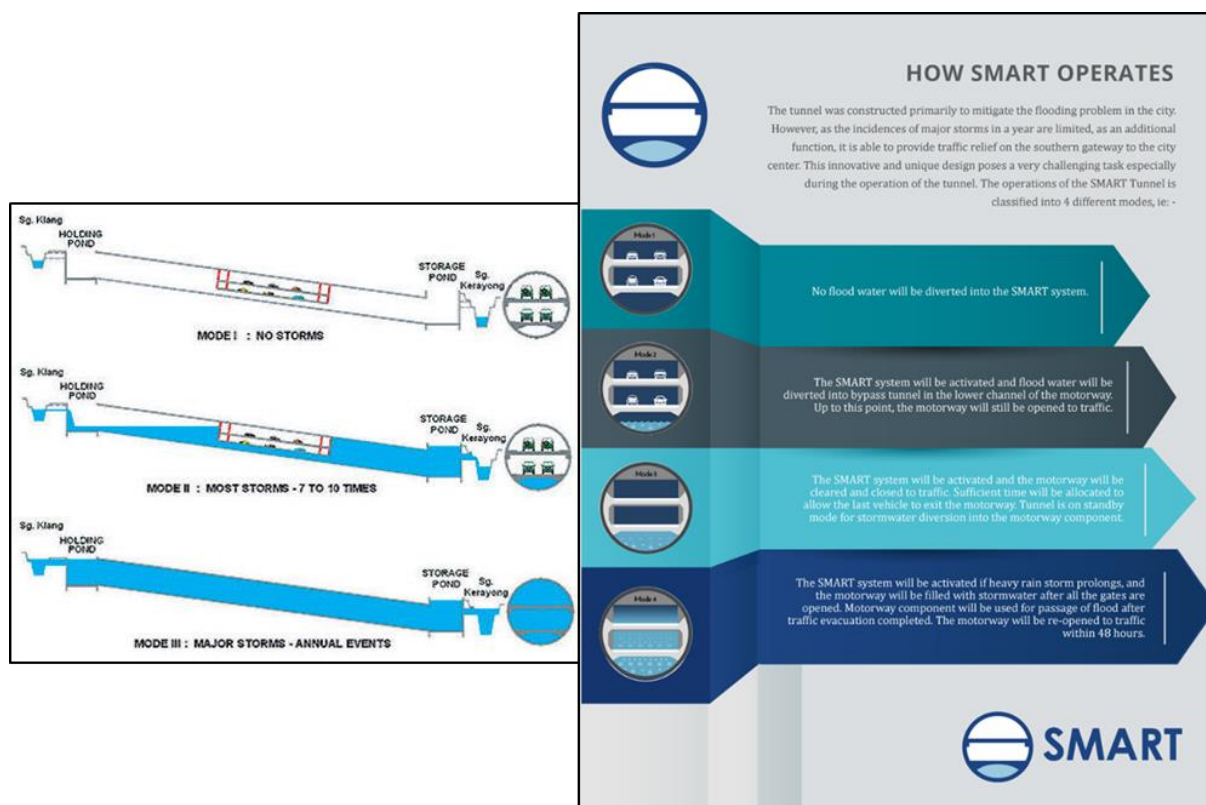
隧道設施	說明
疏散隧道	橫截面 15.5 平方公尺，長 6,286 公尺。
車輛和行人過路通道	1 個車輛通道(15.5 平方公尺)。 11 個行人通道(8.1 平方公尺)。
交通監控系統	設置資訊可變系統，交通控制和監控 SCADA 系統。
火災報警系統	隧道上方設有 2 條火災報警電纜，沿隧道長度運行。在發生火災時，向控制中心發送火警信號和火災位置。沿隧道每 50 公尺設置滅火器及火警按鈕。如果發生火災，可以點擊火警按鈕通知操作員。

資料來源：

<http://www.moc.gov.vn/en/thong-tin-tu-lieu/-/tin-chi-tiet/ek4I/86/15896/ham-hai-van-buoc-phet-trien-moi-trong-cong-nghe-thiet-ke-thi-cong-va-khai-thac-ham-giao-thong-o-viet-nam.html>，本研究彙整。

3. 通風設施

海雲隧道使用噴射風扇縱向通風系統，包含一個中間的通風平台和三個電動除塵器。



資料來源：<http://smarttunnel.com.my>

圖 2.1-48 馬來西亞精明隧道之運作模式

2. 防災設備

精明隧道的操作控制室配備了先進的 SMART 系統，用以監視管理隧道安全。精明隧道之相關設備配置說明如下：

表 2.1-14 馬來西亞 SMART 隧道設備

名稱	功用
監控攝影機	每 1,000 公尺設置監視設備，由高速公路控制中心 24 小時監控隧道流量，並在遠端協助相關交通堵塞及事故排除。現場由 SMART Ronda 團隊 24 小時巡邏，並和高速公路控制中心合作，以立即排除道路突發狀況。
SCADA 監控	使用最先進的 SCADA 監控進行 24 小時監控，配備超過 212 台監控攝影機，BARCO Wall(監控牆)可同時顯示 70 個監控攝影機螢幕。自動檢測系統使用影像圖像和雷射來檢測異常事件。
應變訊息標誌	隧道入口的應變訊息標誌(VMS)通知用路人隧道路況。
緊急通知電話	每 1,000 公尺設置，並由高速公路控制中心接應用路人之緊急通知電話。

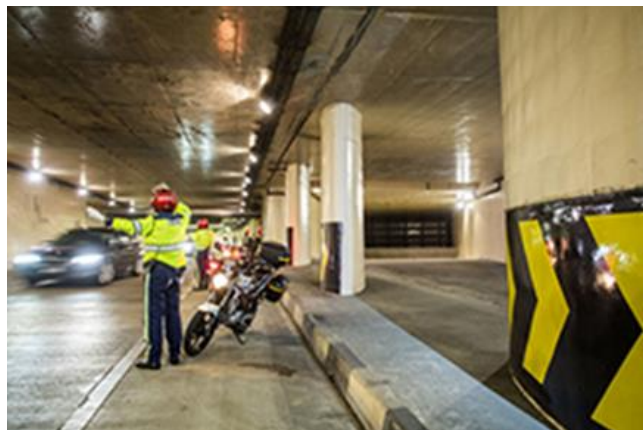
名稱	功用
滅火器設備	每 90 公尺設置於慢車道設置消防栓和滅火器。消防車裝置停放在兩個不同的位置，以便在兩條車道發生火災時快速進入隧道。
緊急出口	設有 15 個緊急出口，包括 6 個逃生通道可通往地面。

註：表中「慢車道」於馬來西亞中為服務車速較慢的車，與我國慢車道為服務機慢車不同。
資料來源：<http://smarttunnel.com.my> 及本計畫彙整。



資料來源：SMART 官方網站：<http://smarttunnel.com.my>。 https://en.wikipedia.org/wiki/SMART_Tunnel。

圖 2.1-49 馬來西亞精明隧道 VMS 標誌



資料來源：SMART 官方網站：<http://smarttunnel.com.my>。 https://en.wikipedia.org/wiki/SMART_Tunnel。

圖 2.1-50 馬來西亞精明隧道 SMART Ronda 團隊協助事故排除

3. 通風設施

通風系統將根據空氣品質監測系統自動運行，並分上下部分提供空氣輸送。每個通風通道包含 8 組風扇，每隔 1 公里設有通風/逃生通道，將不斷更新空氣並保持隧道內的空氣品質。此外通風設備由一系列通道組成，每個通道包含一個排氣和新鮮空氣輸送器，此種設計使風扇能夠在通道之間的隧道中形成縱向流動，從而允許隧道中的空氣不斷更新並排出廢氣，並允許在火災時進行煙霧控制。

2.1.2 歐洲隧道管理與控制之借鏡

歐洲有非常多的公路隧道，因此歐洲各國在公路隧道的設計、安全、管理與控制已有多年歷史，尤其發生幾個重大公路隧道火災，不僅人員死傷慘重，隧道也因為嚴重受損，必須關閉修復多時，造成國家社會的重大損失。因此歐洲不僅公路隧道研究單位多、文獻多而且也執行許多著名的隧道安全實驗，連泱泱大國之美國的公路管理當局都自嘆弗如，組團去歐洲參訪學習。雖我國與歐洲國情與環境不相同但仍有借鏡之處。歐洲各國對於公路隧道之安全非常注重，但各國對隧道安全管理與控制的做法大致相同，各國也會參酌自己的國情不同之處採取不同的做法，因此各國都有其特色。

從挪威的 Road Tunnels 2004(挪威公共道路管理手冊-隧道)，第四章幾何設計中，看到(411 行人和自行車騎士)節，卻無機車章節，乍看之下是挪威將「機車」視為汽車，因此沒有針對機車的章節，但是 411 節(行人和自行車騎士)一開始就強調「某些情況下，在沒有替代道路的隧道可能需要允許行人和自行車通行。也只有在特殊情況下，才允許行人和自行車通行超過 4 公里長度的隧道；這些隧道的照明和通風有特殊的要求。」從這一節的幾句話可以呈現挪威公路管理當局對於行人與自行車騎士的基本民行權利是充分考慮到，甚至還考慮安全必須有實體分隔的車道(如下面圖所示)，可以說是「同時兼顧服務與安全」，應可作為我國未來借鑑之對象。國外資料可以歸納四種做法，如下：

一、保障安全提供專用車道

挪威公共道路管理手冊隧道篇(Road Tunnels, Norwegian Public Roads Administration Handbooks) 第四章幾何設計之 411 行人和自行車騎士(4 Geometric design, 411 Pedestrians and cyclists)的條文要求在公路隧道中對行人和自行車騎士有需要提供實體分隔專用車道 T11.5 或單獨的隧道 T4。

表 2.1-15 411 行人和自行車騎士之英文條文與中文說明

英文條文	中文說明
Under certain circumstances it may be necessary to permit pedestrian and cycle traffic in tunnels where no alternative route exists. Only in exceptional	在某些情況下，在沒有替代道路的隧道可能需要允許行人和自行車通行。也只有在特殊情況下，才允許行人和自行車通行超過4公里長度的隧道；這

英文條文	中文說明
<p>circumstances should pedestrian and cycle traffic be permitted in tunnels longer than 4 km. There are special requirements for lighting and ventilation for these tunnels, as described in Chapter 10 “Technical equipment”.</p> <p>The pedestrian and cycling area is located on one side of the tunnel, having a minimum breadth of 2.0 m and a minimum height of 3.0 m. A concrete safety barrier separates pedestrian/cycle traffic from automobile traffic.</p> <p>Public Roads can permit pedestrian and cycle traffic in tunnels with other cross-sections, and without a concrete barrier. One solution can be a footway with a high kerbstone combined with a low speed limit.</p> <p>Where pedestrian and cycle traffic proceed in a separate tunnels cross-section T4 is used.</p>	<p>些隧道的照明和通風有特殊的要求，敘述在第10章「技術設備」中。</p> <p>行人與自行車區域位於隧道的一側，最小寬度為2.0公尺，最小高度為3.0公尺。實體的混凝土安全屏障將行人/自行車交通與汽車交通分隔開。</p> <p>隧道的橫截面T11.5旨在允許通過混凝土安全屏障將人行道/自行車道與兩車道分隔開(圖4.16)。在特殊情況下，公共道路總署可以允許具有其他橫截面且沒有混凝土障礙的隧道中之行人和自行車通道，另一種解決方案可以是較高的人行道結合低速限制。</p> <p>在行人和自行車交通在單獨的隧道中進行的情況下，使用橫截面T4。</p>

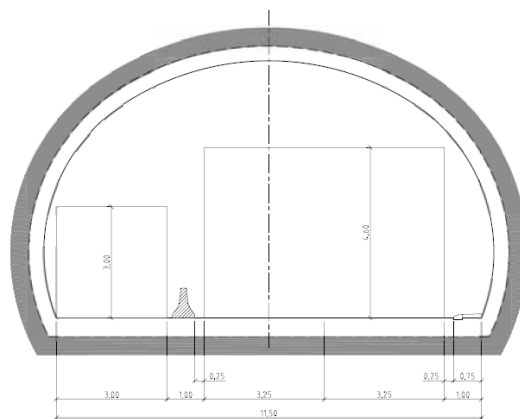
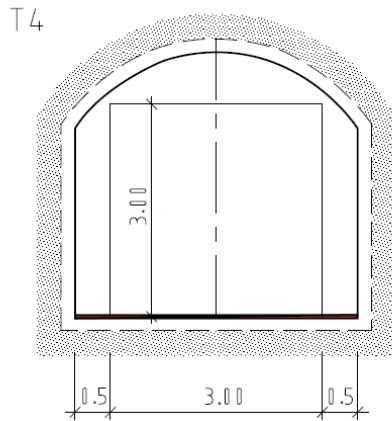


Figure 4.16 Pedestrian and cycle paths in a two-lane tunnel, tunnel cross-section T11.5

資料來源：Road Tunnels 2004。

圖 2.1-51 二車道及實體分隔自行車與行人專用道之 T11.5 隧道橫截面



Figur 4.3 Tunnel cross-section T4 (measured in metres) T4 is used for pedestrian and cycle paths. Stipulated clearance height is 3 m. This cross-section is also used for footway interconnections in tunnels with two tubes (Tunnel categories E and F)

資料來源：Road Tunnels 2004。

圖 2.1-52 自行車與行人專用 T4 隧道橫截面

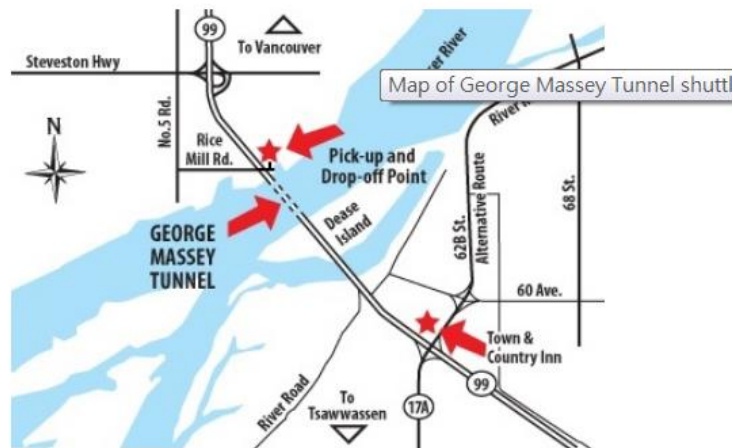
二、禁止自行車通行則提供免費接駁服務

在英國的喬治梅西隧道(George Massey Tunnel)不允許自行車通行，但設置喬治梅西隧道接駁車(George Massey Tunnel Shuttle)，提供免費接駁服務，還包括行人。

The screenshot shows a webpage from the British Columbia government website. The main heading is 'George Massey Tunnel Shuttle'. The text explains that cyclists are not permitted to travel through the tunnel, but a free shuttle service is available to travel safely from one side of the tunnel to the other. It also mentions that buses with racks for two bikes can travel through the tunnel. There is a 'Report a Problem' section with a photo of a road hazard and a 'Join the Conversation' section with a 'cleanBC' logo.

資料來源：
<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/driving-and-cycling/cycling/cycling-regulations-restrictions-rules/george-massey-shuttle>

圖 2.1-53 喬治梅西隧道免費接駁服務



資料來源：

<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/driving-and-cycling/cycling/cycling-regulations-restrictions-rule-s/george-massey-shuttle>

圖 2.1-54 喬治梅西隧道免費接駁上下車地點

三、無公路隧道只有鐵路隧道則提供汽車等運具之鐵路接駁服務

在只有鐵路隧道無公路隧道的地方，就利用汽車接駁列車或載車火車 (Car shuttle train, or car-carrying train) 提供車輛等運具接駁服務，因為選擇搭乘火車行駛距離相對較車輛等運具自己行駛公路的距離短，也會提供接駁列車給公路車輛。接駁列車通常在穿過「鐵路隧道的線路上運行，並且透過 2 個從道路容易連接近鐵路的車站通行。在汽車接駁列車服務中，在火車上乘載的公路車輛乘客通常在整個鐵路旅程中與他們的車輛一起停留。」



資料來源：

https://en.wikipedia.org/wiki/Car_shuttle_train

圖 2.1-55 英法海底隧道接駁火車內情境



資料來源：

https://en.wikipedia.org/wiki/Car_shuttle_train

圖 2.1-56 奧地利(Austria)的 Autoschleuse wagons in Mallnitz 火車接駁



資料來源：

https://en.wikipedia.org/wiki/Car_shuttle_train

圖 2.1-57 德國 Autoverlad in Kandersteg 火車接駁

四、擁擠的橋梁也有採用接駁船(Road-Ferries)來舒緩橋梁的交通

接駁列車(shuttle transport)和接駁船(road-ferries)的方式在隧道火災安全手冊(Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd Edition)中被建議可以用於解決公路隧道機車或自行車與行人問題。

國內機車發展及交通特性雖不同於歐洲，但歐洲各國的做法已「同時兼顧服務與安全」，應可作為我國未來發展時借鑑之經驗。

2.1.3 國外長隧道案例綜整分析

經前節回顧各國長隧道之案例，此節將就機車之現有規定、設計原則或宣導事項，以及長隧道相關硬體設備兩大項進行綜整分析，擷取各國長隧道之優點，以作為本案後續執行之參考依據。

一、機車之現有規定、設計原則或宣導事項

經回顧各國長隧道之案例，並無特別針對機車(含重機)通行長隧道訂定相關規定、設計原則或宣導事項，僅為各車種之行駛注意事項，或因該長隧道屬高速公路層級之相關規定，初步探討可能為國外普遍將機車視為汽車看待、車流量較小及國外駕駛行為較佳等原因，惟各國與機車有關之規定亦具有參考價值，綜整如下表：

表 2.1-16 國外長隧道機車行駛相關規定

項次	隧道名稱	機車行駛相關規定	項次	隧道名稱	機車行駛相關規定
1	挪威 洛達爾隧道	-	8	法國-義大利 白朗峰隧道	• 車距間隔 150m (塞車時 100m)
2	日本 山手隧道	• 可變換車道 • 不可左側超車 • 車距間隔 20m • 禁止 126c.c.(含) 以下機車通行	9	日本 關越隧道	• 可變換車道 • 不可左側超車 • 禁止 125c.c.(含) 以下機車通行
3	中國 秦嶺終南山 公路隧道	• 禁止變換車道	10	日本 飛驒隧道	• 禁止 125c.c.(含) 以下機車通行
4	瑞士 聖哥達公路 隧道	• 汽機車車距間隔 50m • 卡車公車車距間隔 150m	11	日本 東京灣跨海 公路海底隧道	• 可變換車道 • 不可左側超車 • 禁止 125c.c.(含) 以下機車通行

項次	隧道名稱	機車行駛相關規定	項次	隧道名稱	機車行駛相關規定
5	奧地利阿爾貝格公路隧道	-	12	日本惠那山隧道	<ul style="list-style-type: none"> • 可變換車道 • 不可左側超車
6	法國-義大利弗雷瑞斯隧道	<ul style="list-style-type: none"> • 車距間隔 150m 	13	日本雁坂隧道	<ul style="list-style-type: none"> • 禁止小於 50c.c. 機車通行
7	新加坡加冷-巴耶利峇高速公路隧道 (KPE)	<ul style="list-style-type: none"> • 禁止設有旁車的機車通行 	14	荷蘭西斯凱爾特隧道	<ul style="list-style-type: none"> • 可變換車道 • 禁止 50c.c.(含)以下機車通行(但有接駁服務)

二、硬體設備

彙整相關機電設備如表 2.1-17。除一般長隧道普遍均會裝設之設備，為提升長隧道之行車安全，部分國家亦會裝設特殊之硬體設備(如表 2.1-18)，如目前世界第一長之挪威洛達爾隧道及第三長之中國秦嶺終南山公路隧道皆於隧道內加裝特殊燈光以避免用路人在漫長、單調且封閉的隧道內易疲勞而影響行車安全，而日本飛驒隧道則以粉紅色及藍色照明提醒用路人，另除一般隧道均會裝設之消防用水霧外，為使隧道內高溫下降，日本山手隧道裝設降溫用之細水霧以使隧道內環境溫度下降，而歐洲多個長隧道均於隧道入口安裝熱掃描儀以降低車輛過熱之疑慮。

鑒於我國地處副熱帶及熱帶氣候區，夏季氣溫十分炎熱，考量長隧道內因機動車輛排放廢氣溫度可能更高，故初步建議未來我國長隧道應可參考歐洲隧道之熱掃描儀及日本手隧道之細水霧設備等發展經驗，確保隧道內行車的安全性，同時亦可參酌挪威洛達爾及中國秦嶺終南山隧道之特殊燈光設備，降低用路人行駛於長隧道易產生疲勞之現象。

表 2.1-17 國外長隧道機電設備綜整

項次	隧道名稱	緊急通知電話	緊急通報按鈕	火災偵測系統	消防出水口	滅火器	水噴霧噴頭	監控攝影機 (C.C.TV)	擴音機喇叭	FM 廣播系統	緊急逃生口	緊急停車彎	資訊可變系統 (CMS)	噴射風扇
可通行機車														
1	挪威 洛達爾隧道	250M	-	-	125M	125M	-	○	-	○	○	500M 15 個	X	X
2	日本 山手隧道	100M	50M	25M	50M	50M	○	100M	200M	○	350M	X	○	○
3	中國 秦嶺終南山 公路隧道	50M	○	250M	○	○	-	125M 288 台	-	○	500M 車行 橫坑 250M 人行橫坑	750M	○	○
4	瑞士 聖哥達公路隧道	125M	○	25M	125M	125M	-	200M 85 台	-	○	250M	東側 1.5KM 西側 0.75KM	X	X
5	奧地利 阿爾貝格 公路隧道	150M	○	○	○	○	○	○	○	○	250-500M 人行橫坑	1000M	-	-
6	法國-義大利 弗雷瑞斯隧道	265M 100 個	○	○	130M	130M 106 個	-	250 台(隧 道 204 台)	-	○	265M	430M	○	-
7	新加坡 加冷-巴耶利峇 高速公路隧道 (KPE)	100M	○	○	50M	50M	X(預 計 2022)	○	-	○	100M 橫坑	1500M	○	○
8	法國-義大利 白朗峰隧道	110M 116 個	○	25M	150M	100M	○	300M	-	○	300M 37 處	300M 37 個	○	○

項次	隧道名稱	緊急通知電話	緊急通報按鈕	火災偵測系統	消防出水口	滅火器	水噴霧噴頭	監控攝影機(C.C.TV)	擴音機喇叭	FM廣播系統	緊急逃生口	緊急停車彎	資訊可變系統(CMS)	噴射風扇
9	日本關越隧道	200M	50M	50M	50M	50M	X	150-200M	○	○	350M	○	○	X
10	日本飛驒隧道	200M	200M	○	50M	50M	5M	200M	○	○	○	○	○	○
11	日本東京灣跨海公路海底隧道	150M	○	50M	50M	50M	5M	150M	25M	○	300M	X	○	○
12	日本惠那山隧道	200M	50M	25M	50M	50M	5M	200M	50M	○	○	700M	750M	○
13	日本雁坂隧道	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○
14	荷蘭西斯凱爾特隧道	50M	-	○	50M	50M	-	52台	○	○	250M 36處	-	-	○
禁止機車通行														
15	越南海雲隧道	200M	○	○	50M	50M	-	58台	-	○	400M(連接15逃生道)	18個	○	○
16	馬來西亞精明隧道	1KM	-	-	90M	90M	-	212台	-	○	250M(15個緊急出口,6個逃生道通往地面)	-	○	○

註：表中 100M 代表設置的間距為 100 公尺。○：代表有設置(間距規定待補充)。X：代表無設置。-：代表待資料補充。

資料來源：各隧道官方網站，本計畫彙整。

表 2.1-18 國外長隧道特殊設備

特殊設備	隧道名稱	設備說明	
特殊燈光	挪威 洛達爾隧道	三處大型空間岩穴，於隧道頂部和側壁底部架設一系列特殊燈具，藉以投射出迷幻的光影，模擬出清晨時分淡藍色陽光從頭頂滲透進來，以及兩側已見日出的景象。	
	中國 秦嶺終南山 公路隧道	緩解用路人視覺疲勞，保證行車安全，特意在隧道內設計特殊燈光段，東西線隧道各設計三處。	
	日本 飛驒隧道	路段安裝粉紅色和藍色重點照明提醒用路人注意。	
細水霧	日本 山手隧道	細水霧降溫-從隧道頂部噴灑霧氣以抑制溫度上升，經測試比對隧道內噴灑之後的溫度下降了約 2°C。	
熱掃描儀	奧地利 阿爾貝格 公路隧道	隧道入口設置熱掃描儀，檢測過熱的卡車和公共汽車，使過熱車輛能先降溫再進入隧道，防止車輛在隧道中起火。	
	法國-義大利 弗雷瑞斯隧道		
	法國-義大利 白朗峰隧道		

資料來源：本計畫彙整。

2.2 國內機車發展現況與安全議題

長隧道通行機車條件之兩大重點為長隧道及機車，經前節國外長隧道案例之回顧後，因國內機車特性獨特，機車密度為世界第一，且擁有許多特有的機車行駛規範，且排氣量範圍分布廣及集中於小排氣量，故本節將著重於探討國內外機車特性之比較，透過回顧國內外機車分布與比較差異因素，並就其回顧結果針對日本作進一步之案例探討。此外，由於機車因體積小且用路人非包圍於車體內，即使遭遇小碰撞亦可能造成事故，且長隧道長期封閉環境對於暴露環境中的機車駕駛較不友善，故機車之行車安全亦為一須關注之議題。因此，本節期透過我國機車發展背景及相關特性之瞭解，俾利後續長隧道通行機車條件之探討與研擬。

2.2.1 國內機車發展現況

根據行政院內政部戶政司統計資料，107 年我國人口約達 2,359 萬人，而依公路總局統計查詢網之機動車輛登記數，107 年我國汽機車總量約為 2,187 萬輛，其中機車約 1,384 萬輛，小客車約 685 萬輛，故機車/小客車占比約達 2.02(比例如圖 2.2-1)。而我國每千人機車持有率為 587，為全世界之冠，更於 107 年入選《國家地理雜誌》年度攝影大賽，顯示我國機車特性十分獨特，與國外並不類似。雖 102 年政府實施逾 10 年老舊機車須切結報廢，導致機車數量大幅減少 100 萬輛，然因我國地理狹窄、人口密度高及機車購買與使用成本低廉等因素，導致國人「行」的需求十分依賴機車，致使機車使用數量仍無顯著下降趨勢(如圖 2.2-3)。

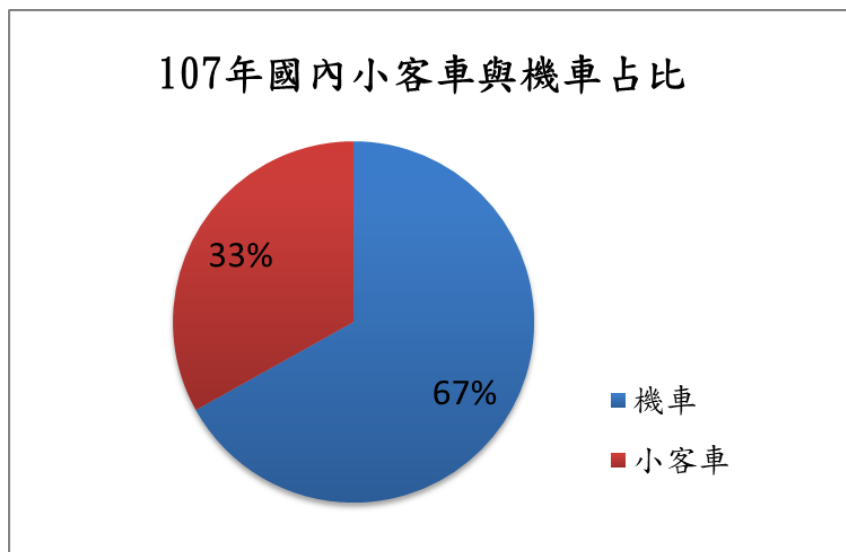
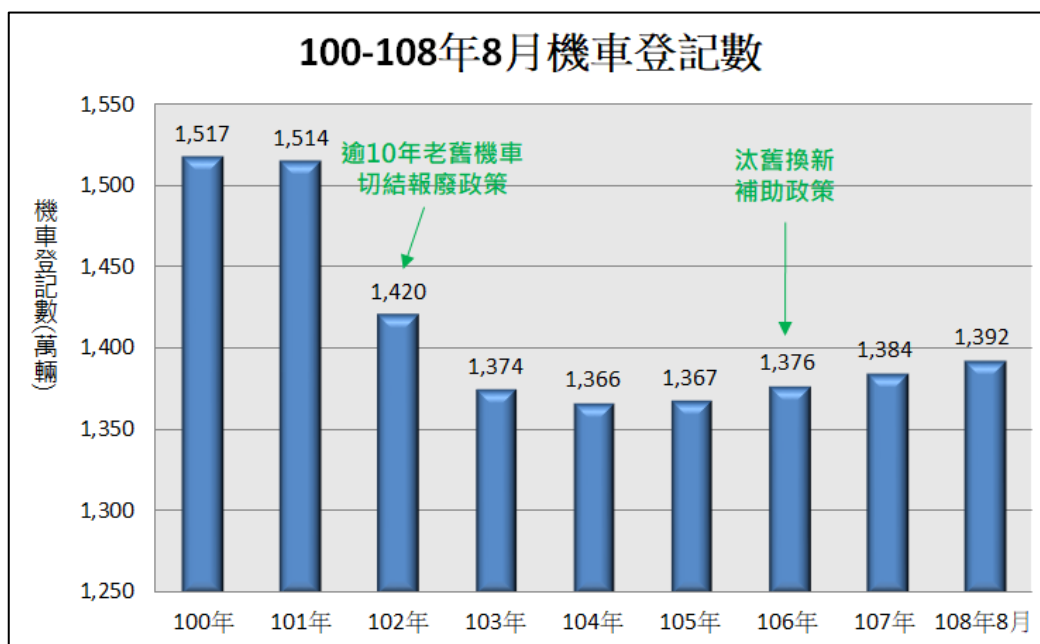


圖 2.2-1 107 年國內小客車與機車數量占比



資料來源：關鍵評論-機車密度亞洲之冠，台北橋「機車瀑布」登上《國家地理雜誌》網站(107)

圖 2.2-2 《國家地理雜誌》年度攝影大賽 M.CHAK 作品- motorcycle Waterfall



資料來源：交通部公路總局 統計查詢網

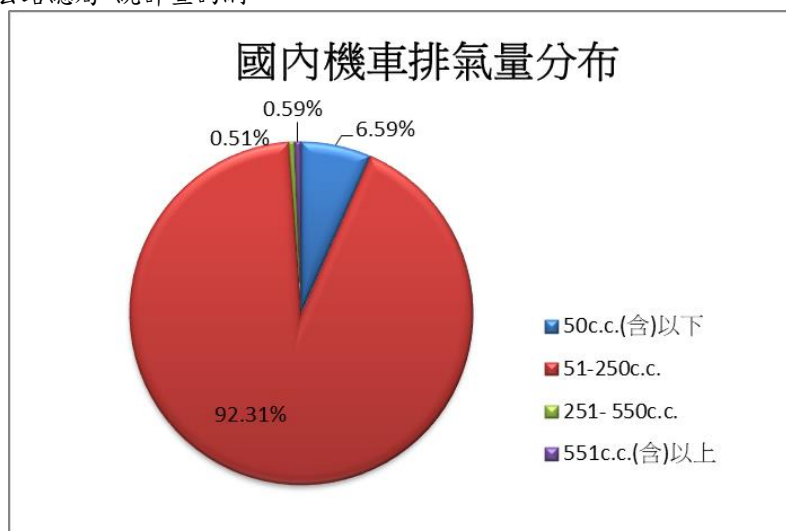
圖 2.2-3 100-108 年 8 月底國內機車登記數

根據交通部 105 年機車使用狀況調查原始資料，國內民眾使用機車之**主要用途為通勤(57.4%)**，其次為購物用途(20.9%)。另依據交通部統計查詢網，截至 108 年 8 月底，國內機車總量為 1,392 萬輛，且**主要分布於排氣量 51-250c.c. 之普通重型機車，比例高達 92.31%**，其次為 50c.c.(含)以下之普通輕型機車(占 6.59%)，次之則為 251c.c.(含)以上之大型重型機車(僅占 1.10%)。

表 2.2-1 108 年 8 月底國內各類型機車登記數

車種	普通輕型	普通重型	大型重型		合計
	50c.c.(含)以下	51-250c.c.	251- 550c.c.	551c.c.(含)以上	
數量	916,497	12,846,810	71,371	81,707	13,917,504
占比	6.59%	92.31%	0.51%	0.59%	100%

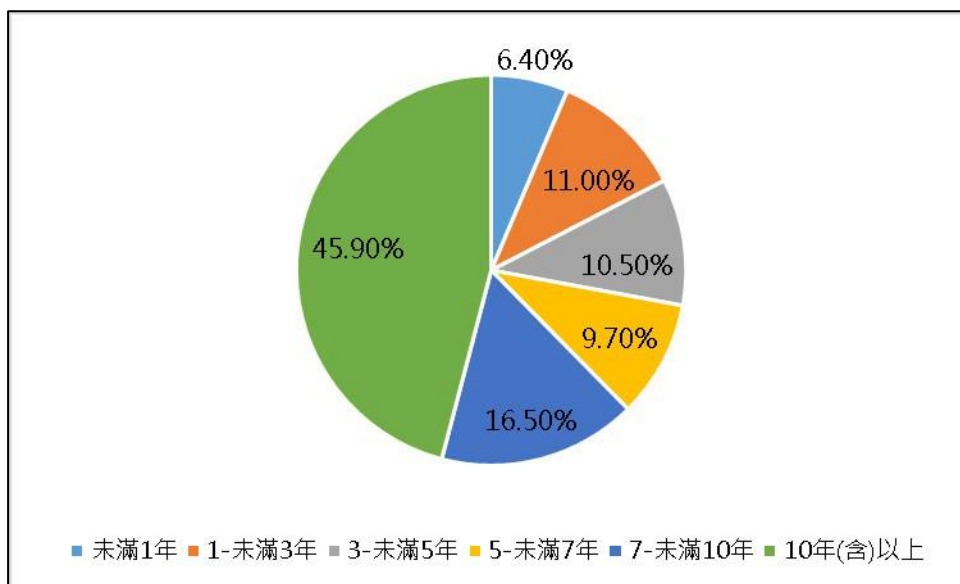
資料來源：交通部公路總局 統計查詢網



資料來源：交通部統計查詢網，本計畫繪製

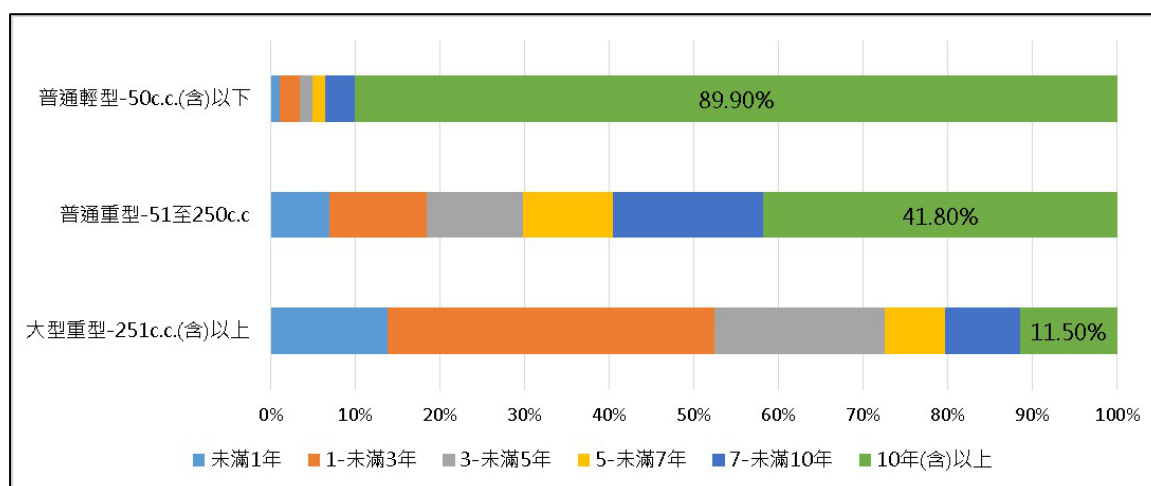
圖 2.2-4 108 年 8 月底國內機車排氣量分布

根據交通部 105 年機車使用狀況調查原始資料，截至 105 年底，目前國內使用中之機車平均車齡為 10.2 年，其中車齡在「10 年及以上」者占 45.9% 最多，而 3 年以下新車約占 17.4%，顯示國內車齡分布普遍偏高。另以排氣量區分進行觀察，50c.c.(含)以下輕型機車平均車齡最高(約 15.9 年)，51-125c.c. 普通重型次之(約 9.8 年)，251c.c(含)以上大型重型再次之(約 4.6 年)，深入觀察 10 年(含)以上老舊車輛占各排氣量之比例，可知輕型機車中 10 年(含)以上之老舊機車約占 90%，可推論大部分 50c.c.以下輕型機車之車齡多較為老舊，可能具潛在之行車安全風險。



資料來源：交通部 105 年機車使用狀況調查(2017)，本計畫繪製

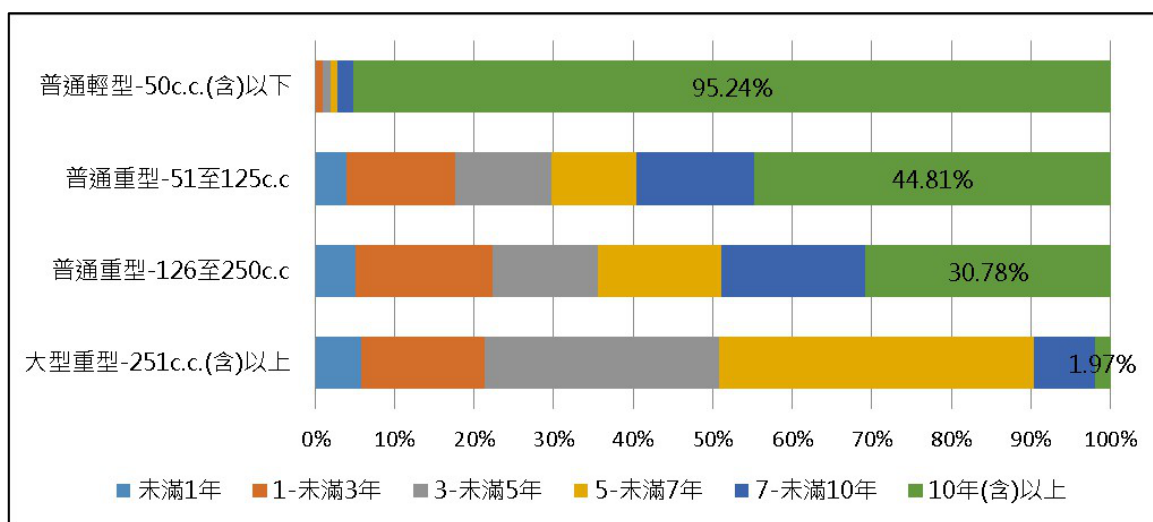
圖 2.2-5 105 年使用中之機車車齡比例



資料來源：交通部 105 年機車使用狀況調查(2017)，本計畫繪製

圖 2.2-6 105 年使用中之機車車齡比例-按排氣量分

由於普通重型機車排氣量分布較廣，故依據台灣區車輛工業同業公會之機車銷量紀錄，細分排氣量之劃分級距以進一步探勘資料(如圖 2.2-5)，若僅觀察車齡 10 年(含)以上之比例，可知 50c.c.(含)以下及 51-250c.c.之比例與交通部 105 年機車使用狀況調查差異不大，而 251c.c. (含)以上之比例差異較大之原因，推測為大型重型機車多為國外進口，故無列入台灣區車輛工業同業公會之統計資料中。而就車齡 10 年(含)以上機車各排氣量占總機車累積銷售量之比例(如表 2.2-3)，得知車齡 10 年(含)以上之機車中以 51-125 c.c.為大宗，共占總機車數量之 38.55%。



資料來源：台灣區車輛工業同業公會(<https://www.ttvma.org.tw/statistics>)，本計畫繪製

圖 2.2-7 機車車齡分布-按排氣量分

表 2.2-2 車齡 10 年(含)以上機車占總機車累積銷售量之比例-按排氣量分

排氣量	占比	累積占比
50c.c. (含)以下	5.6%	5.6%
51-125c.c.	38.55%	44.15%
126-250c.c.	2.41%	46.56%
251c.c. (含)以上	0.01%	46.57%

資料來源：台灣區車輛工業同業公會(<https://www.ttvma.org.tw/statistics>)

二、機車排放與環保議題

依據動力來源，機車可區分為汽油引擎機車及電動機車，目前汽油引擎機車藉由在引擎之內燃機燃燒汽油產生動力，內燃機須經過進氣、壓縮、爆氣和排氣共四個運動完成一個循環以產生動力，依設計型式不同，可將內燃機分為二行程引擎和四行程引擎。二行程引擎將燃燒過程中的四個運動濃縮在兩次完成，造成燃料燃燒較不完全，容易產生較多廢氣；四行程引擎則是依照四個運動分成四次，燃料燃燒較完全。

依據 107 年環保署機車排氣定檢統計數據，二行程機車在碳氫化合物(HC)的排放量比四行程機車高出 21 倍以上，一氧化碳(CO)則約高出 3 倍，因二行程引擎的特性是將機油與汽油混合燃燒後排出，容易燃燒不完全而產生含有大量重金屬與其他有害物質的廢氣。而同一排氣量時，二行程引擎的馬力和扭力較大，故 50c.c.的車型為避免動力不足，大多採用高污染的二行程引擎。

表 2.2-3 107 年機車排氣定檢統計數據

民國(年)	項目	樣本數	平均污染度	
			CO(%)	HC(ppm)
107	二行程	487,012	3.07	5,319
	四行程	6,512,925	1.20	252

資料來源：https://mobile.epa.gov.tw/motorbike_7.aspx

因應各國對於機車污染排放法規日趨嚴苛，環保署亦實施機車污染排放標準，於 93 年起不再生產銷售二行程機車，加上政府補助汰換二行程機車已逾 10 年，故目前二行程機車數量已大幅減少，如 105 年 6 月為 154 萬輛，108 年 6 月則降至 73 萬輛，顯示近四年來二行程機車數量減少將近一半。另檢視 107 年 6 月 25 日三讀通過的《空氣污染防治法》修正草案，自 109 年起將嚴格管制車齡 10 年以上老舊機車的廢氣排放，可預期未來國內二行程機車數量將逐漸減少。

表 2.2-4 環保署交通工具空氣污染排放標準

期	施行日期	適用情形		排放標準(惰轉狀態測定)	
				CO(%)	HC(ppm)
第四期	民國 93 年 1 月 1 日	排氣量未達 700c.c.	二行程機車	3.5	2000
			四行程機車	3.5	2000
第五期	民國 96 年 1 月 1 日	排氣量未達 150c.c.		3.5	1600
		排氣量 150c.c. 以上		3.5	1600
第六期	民國 106 年 1 月 1 日	最大車速未達 130 km/h		2.0	1000
		最大車速達 130km/h 以上		2.0	1000

註：惰轉是怠速運轉的意思，指停車等待時不熄火，車輛在惰轉狀態下排放之空氣污染物濃度較行進時高，對人體健康的影響亦較高。

資料來源：行政院環境保護署-交通工具空氣污染物排放標準；本計畫彙整

除高污染之二行程機車數量減少有助於提升環保效益，因低二氧化碳排放量與零空氣污染排放之電動機車亦成為新興之綠色運具。依據環保署「電動機車購置與推廣補助方案」²，電動機車每行駛 1 公里需消耗 0.0395 度的電，故其每公里排放之二氧化碳應為 25.2g，而汽油引擎機車里程碳排放係數為

²根據行政院環境保護署「電動機車購置與推廣補助方案」：

1. 電動機車在實驗室以標準行車型態測試，其耗電率為 30wh/km，加計電池充放電效率 95%及充電器效率 80%，其耗電率為 39.5wh/km (30wh/km÷95%÷80%)，即電動機車每行駛 1 公里需要消耗 0.0395 度的電 (1 度電=1kwh=1,000wh)，所以其每公里排放的二氧化碳應為 25.2g (0.0395kwh/km×0.637kgCO₂/kwh×1,000g/kg=25.2gCO₂/km)。
2. 汽油引擎機車里程碳排放係數= 0.0184L/km× (2.26+0.5) KgCO₂/L=50.8g/km，其中耗油率 0.0184 表示每公升汽油可行駛 54.3 公里。
3. 因此電動機車碳排放量，每公里較汽油引擎機車可減少 25.6gCO₂/km，若以每日行駛 30 公里計算，每年可減碳量可達 280.32kgCO₂/年。

50.8g/km，又每公升汽油可行駛 54.3 公里，故電動機車每公里碳排放量較汽油引擎機車可減少 25.6g 之CO₂，若以每日行駛 30 公里計算，每年之減碳量將可達 280.32kg。

近年政府積極推廣電動機車給予新購車相關補助，根據經濟部工業局統計資料自 98 年開始截至 108 年 8 月已補助約 25.5 萬輛電動機車，雖 107 年電動機車僅占機車總市場之 1.4%，然其 101-107 年之銷售量占比自 1.4% 成長至 9.6%，且繼睿能創意、中華 emoving、光陽等機車廠商，台灣山葉(Yamaha) 與宏佳騰亦於 108 年 8 月跟進推出電動機車車款，未來消費者之購買選項將逐漸增加，加上 106 年立院三讀通過《電業法》修正案促使電業自由化，鬆綁發電及售電權，以及中油宣布預計 109 年完成 250 座以上屋頂型加油站，推動全臺加油站陸續轉型為綠能加油站，以及 108 年 8 月經濟部宣布 108-111 年預計投入 4.5 億元以輔導機車行升級轉型，讓傳統機車行瞭解電動機車之新領域技術等，綜上電動機車發展之大環境，再再顯示**電動機車未來成長潛力不容小覷**。



圖 2.2-8 電動機車發展趨勢

2.2.2 國內外機車發展差異因素

經前小節針對我國機車發展背景之回顧已可初步掌握我國機車發展特性，而檢視國外環境、政策及生活水平與國內不同，各國長隧道之車道配置、硬體設備及行車規範等為皆因應該國之車輛使用特性而設計，故借鑑機車發展背景相似於我國之國家較具參考價值，瞭解其針對長隧道是否通行機車背後之思考因素與條件，有助於制定未來符合我國機車發展特性之長隧道通行機車條件。

一、國內外汽機車持有率之差異

綜整 2.1 節長隧道案例國家的汽機車持有率背景(如表 2.2-5)可知，在中高緯度地區的歐洲國家，受限於天氣環境影響，加上土地面積廣大與生活水平相對較高等因素，導致機車持有率較低，相對而言有較高的汽車持有率。亞洲國家的部分，**臺灣機車持有率為全世界最高**，而除了機車考照成本昂貴的日本及有「限摩令」的中國，其餘亞洲國家大多亦擁有較高的機車持有率；新加坡則因政府限制車牌配額且買車成本高昂，使得汽機車持有率均偏低；越南機汽車占比第一(高達 27%)，推究其原因為越南對於汽車課徵重稅加上基礎建設不足，使得越南機車數量遠大於汽車數量。

表 2.2-5 長隧道案例國家之汽機車持有率比較

國家(資料年份)	機車持有率 (輛/千人)	小客車持有率 (輛/千人)	機車/小客車 占比
歐洲			
義大利(2014)	107	610	0.18
奧地利(2018)	93	788	0.12
瑞士(2018)	87	541	0.16
荷蘭(2018)	39	485	0.08
法國(2013)	26	482	0.05
亞洲			
臺灣(2018)	587	290	2.02
越南(2018)	577	21	27.12
馬來西亞(2017)	409	420	0.97
日本(2017)	86	487	0.18
中國(2018)	62	172	0.36
新加坡(2017)	25	97	0.26

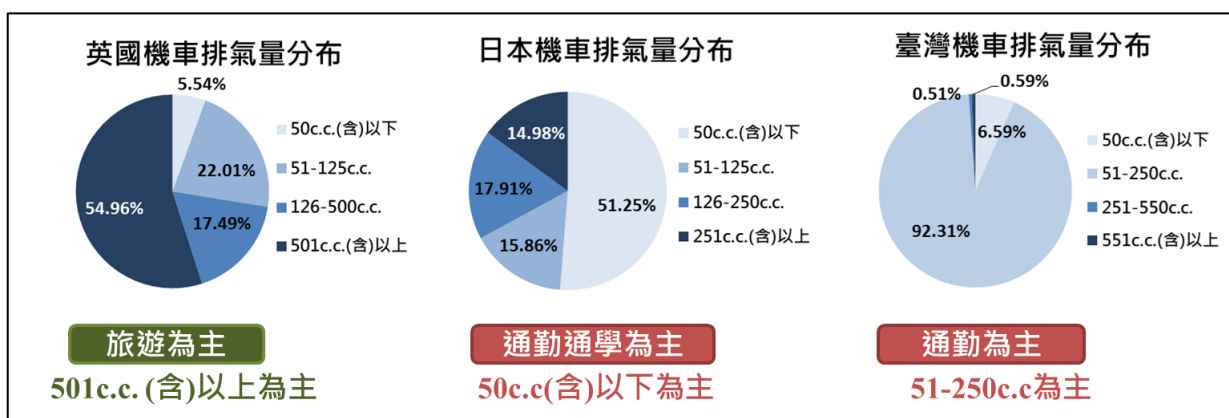
資料來源：本計畫彙整。

二、國內外機車光譜分布與使用目的之差異

根據前小節所述，國內機車之主要用途為**通勤(57.4%)**，其次為購物用途(20.9%)。而光譜分布主要於排氣量**51-250c.c.之普通重型機車(占 92.31%)**，其次為 50c.c. (含)以下之普通輕型及小型輕型機車(占 6.59%)，次之則為 251c.c. (含)以上之大型重型機車(僅占 1.10%)。

而根據日本機車發展現況，日本機車主要使用目的為**通勤和上學(占近 50%)**，與國內使用目的相近，其次為購物消費(占 18%)，而光譜分布主要

於排氣量 50c.c.(含)以下(占 51.25%)，51-125c.c.則占約 15.9%，126c.c.(含)以上則占 32.85%，其中 126c.c.(含)以上之機車可行駛高、快速道路，用途多為旅遊使用。而根據世界道路協會 World Road Association (PIARC)相關研究報告「[Harold the Bock, “Motorcycle Safety and Accidents in Europe : a summary report”](#) , FEMA, 2012」，歐洲機車使用目的為旅遊約占 50%，光譜分布主要於排氣量 700c.c.(含)以上之重型機車(超過 50%)。



資料來源：本計畫彙整

圖 2.2-9 機車光譜分布之比較-以臺灣、日本及英國為例

由於氣候、國土面積、生活水平等因素，歐洲國家較為依賴汽車，亞洲國家則較為仰賴機車，而我國機車使用情形與亞洲國家較為相近。其中如生活水平、基礎建設、機車使用目的等各方面尤以日本更為相似，同為亞洲地區鄰近國家，且機車光譜主要分布於排氣量較小之區域，然日本機車主要為 50c.c.(含)以下為主，與國內以 51-250c.c.為主之分布則為不同，駕駛行為方面日本用路人普遍較為守法，推測其原因可能與日本較嚴謹之考照制度相關，而駕駛行為對於長隧道內之行車安全至關重要，故後續將以日本機車考照制度與我國之差異作探討。

2.2.3 臺灣與日本機車光譜差異因素：日本機車考照制度

一、日本機車分類及考照制度

引用關鍵評論網(The News Lens) 「[16歲就可考機車駕照會有更多車禍？看看日本你就知道，道路不安全根本是因為台灣考照太簡單](#)」(2015.04)，其內文提及日本機車駕照考照制度，在日本除了大型重型機車(排氣量 401(含)c.c.以上)駕照是滿 18 歲才能報考之外，50c.c.(含)以下的「原付」駕照、51-125c.c.的「普通自動小型二輪」駕照與 126-400c.c.

的「普通自動二輪」駕照都是滿 16 歲就能報考。日本機車考照除了最入門的 50c.c.「原付」駕照沒有駕訓課程以外，其他等級的駕照可透過駕訓教育來取代測驗，因為直接報考的測驗項目難度較高（平均考 12.5 次才會合格），所以自行報考者成功合格機率低。有關不同等級之機車車種相關規定比較如下表所示。

表 2.2-6 日本不同等級機車的相關規定

車種	規定			
	速限	載客	行駛高速公路	其他規定
原動機付自轉車 50c.c.(含)以下	<ul style="list-style-type: none"> 一般道路 30km/h 	禁止	禁止	<ul style="list-style-type: none"> 規定必須兩段式右轉。 僅考筆試。 持有小客車駕照者可騎乘。
小型機車 51c.c. -125c.c.	<ul style="list-style-type: none"> 一般道路 60km/h 	可載 1 名	<ul style="list-style-type: none"> 可行駛 2005 年 4 月 1 日起，符合條件下可搭載 1 名乘客。 	-
普通自動二輪車 126c.c. - 400c.c.	<ul style="list-style-type: none"> 一般道路 60km/h 高速道路最高 100km/h，最低 50km/h 			-
大型自動二輪車 401c.c.(含)以上	<ul style="list-style-type: none"> 一般道路 60km/h 高速道路最高 100km/h，最低 50km/h 			<ul style="list-style-type: none"> 必須接受 24 小時的訓練課程才可考照

資料來源：交通部運輸研究所(2005)，開放試辦大型重型機車行駛台 68 線及台 72 線省道快速公路之行駛問題分析與安全評估，頁 3-13。

日本機車考照制度為讓民眾參加駕訓課程、習得完整課程才能拿到駕照，擁有完整健全之考照制度，故日本機車考照制度與臺灣的汽車駕照考照比較類似。此外，日本的機車駕照筆試通常是最後才進行，也就是確認民眾掌握騎乘車輛的技巧後再來釐清其觀念是否正確，且筆試的試題內容非常的細微與困難，有高達 95 題的題目，以 90 分為合格分數，大多數應試者通常無法一次過關。

二、臺灣與日本機車考照制度之比較

臺灣機車駕駛執照年滿18歲即可考取，然因考照科目難易度不高，即便通過考驗取得機車駕照，並無法保證持有人具有良好之駕駛知識與習慣，又因機車體積小、機動性高等特性，使得機車具有常變換車道與鑽車之駕駛行為，進而造成臺灣機車事故頻傳。106年臺灣機車數量約為1,375萬輛，同時期日本機車數量約為1,096萬輛，兩者機車數量相較世界各國均屬多數，然日本長達18.2公里之山手隧道並無禁行機車，故本小節將就臺灣與日本之機車考照成本(如考照項目、考照合格率、考照成本等)進行比較研析，探討是否由於日本機車考照制度較為嚴謹，且其考照成本較為昂貴，造就日本機車用路人具有較佳之駕駛行為與習慣，最終導致日本對於機車通行長隧道較無限制。

(一)考照項目

機車駕照考試基本可分為筆試與路考兩大項目，筆試部分臺灣與日本之差異為日本考題較多，且須答對之比例較高；路考部分之差異則為日本考驗項目較多，花費之時間較長，且對於技術考驗項目之外的細節較為嚴謹，十分注重機車用路人對於周遭環境之影響。

表 2.2-7 臺灣與日本機車駕照考驗項目比較

項目		臺灣	日本
筆試	題數	• 50 題選擇及是非題	• 95 題文章及圖像問題(50c.c. (含) 以下為 48 題)
	合格	• 答對 85% 以上及格	• 答對 90% 以上及格
路考	考驗時間	• 約花費 1 分鐘	• 至少花費 10 分鐘
	題數	• 8 項目(251c.c.(含)以上為 9 項)	• 11 項目(401c.c. (含)以上為 14 項)
	合格	• 70 分以上及格(滿分 100 分)	• 70 分以上及格(滿分 100 分)
	考驗項目 (250c.c. 以下)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直線平衡駕駛(須超過 7 秒) 2. 鐵路平交道 3. 斑馬紋行人穿越道線 4. 直角轉彎 5. 停車再開 6. 變換車道 7. 交岔路口 8. 二段式轉彎 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直線平衡駕駛(51-125c.c. 須超過 5 秒、126-400c.c. 須超過 7 秒、401c.c. (含)以上須超過 10 秒) 2. 連續障礙物閃避 3. 緊急煞車 4. S 型彎道 5. L 型彎道 6. 鐵路平交道

項目	臺灣	日本
考驗項目 (251c.c. (含)以上)	<ol style="list-style-type: none"> 取車 直線平衡駕駛(須超過7秒) 定圓行駛 斑馬紋行人穿越道線 鐵路平交道 坡道行駛 交岔路口 直線煞車 架車 	<ol style="list-style-type: none"> 斑馬紋行人穿越道線 停車再開、模擬岔路 變換車道、模擬岔路 直角轉彎 上坡停車起步 *取車 *架車 *波浪路線
其他	<ul style="list-style-type: none"> 考照過程較注重技術操作方面 路考路線公布於網路 	<ul style="list-style-type: none"> 對於確認周遭安全，以及檢查煞車、方向燈功能是否正常等細節相當嚴格 路考路線考照當天才公布

註：*為 401c.c. (含)以上之大型重機才須考驗。

資料來源：1.臺北市區監理所：<https://tpcmv.thb.gov.tw/MotorVehicles/DriverLicense/DriverTest/dt02.htm>

2.新竹安全駕駛教育中心：<http://www.e-hsc.com.tw/hsc/exams/index/39>

3.自動車運転免許 なんでも屋：<https://driver-license.net/archives/786/>

4.帶你看日本最難考最機車的駕照：<https://www.youtube.com/watch?v=0tiVrUO2-aM>

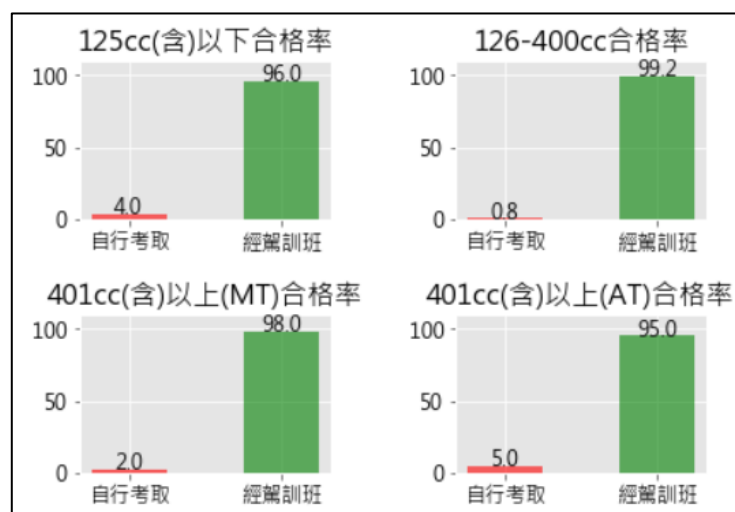
5.普通自動二輪 實技試験：https://www.youtube.com/watch?v=9_xII4Dff_M

6.小型限定二輪免許 みきわめ4コース佐世保：<https://www.youtube.com/watch?v=XSqigi6KtbA>

7.本計畫彙整。

(二) 考照合格率

根據統計資料顯示，臺灣機車考照合格率大致超過 60.0%，而日本若為自行考取則合格率僅 0.8-4.0%，顯示臺灣與日本機車駕照考取合格率差距甚大。再者日本若經駕訓班訓練後考取合格率高達 96.0-99.2%，凸顯出日本自行考照難易度之高，故日本一般若欲取得機車駕照者，大多會選擇透過駕訓班之方式考取。



資料來源：一発試験ロードマップ <http://license.com/goukakuritu/kogata-nirin-menkyo-ippatushiken-goukakuritu/>

圖 2.2-10 日本 2015 年各種類機車駕照合格率

表 2.2-8 臺灣與日本機車駕照合格率比較表

國家	年分	排氣量	自行考取 合格率(%)	經駕訓班 合格率(%)
臺灣	2015 年	250c.c.(含)以下	70.6	
	2016 年		64.3	
	2017 年		62.2	
日本	2013 年	125c.c. (含)以下	4.0	96.0
		126-400c.c.	1.0	99.0
		401c.c.以上(MT)	2.0	98.0
		401c.c.以上(AT)	7.0	93.0
	2014 年	125c.c. (含)以下	4.0	96.0
		126-400c.c.	1.0	99.0
		401c.c.以上(MT)	3.0	97.0
		401c.c.以上(AT)	4.0	96.0
	2015 年	125c.c. (含)以下	4.0	96.0
		126-400c.c.	0.8	99.2
		401c.c.以上(MT)	2.0	98.0
		401c.c.以上(AT)	5.0	95.0

註：MT 為手排車，AT 為自排車。

資料來源：1.自由時報機車考照及格率下滑：<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2523323>

2.一發試驗ロードマップ：<http://license.com/goukakuritu/kogata-nirin-menkyo-ippatushiken-goukakuritu/>

3.本計畫彙整。

(三)考照成本

機車考照成本一般除筆試、路考、發放駕照及代辦費等考照費用外，另亦可能涵蓋駕訓班訓練學費，如臺灣規定考取大型重機(251c.c.以上)駕照者必須經過駕訓班訓練，而日本則因自行考取合格率過低，故大多數考生會選擇報名駕訓班。

根據中央規定及駕訓班收費標準，表 2.2-9 列出臺灣與日本考取各機車駕照種類之成本，臺灣考照成本自新台幣約 450 元到 9,000 元，日本自新台幣約 2,310 元到 94,079 元，而根據《TheEconomist》旗下的「經濟學人智庫」(Economist Intelligence Unit)發佈的「2017 年全球生活成本調查」(Worldwide Cost of Living Report 2017)報告，2016 年 9 月日本東京物價指數約為 110，臺灣臺北則約為 78，顯示日本物價指數較臺灣高，另根據經濟部主計總處及厚生勞動省，

2018 年臺灣平均每人每月薪資為新台幣 51,957 元，日本則約為新台幣 125,827 元，兩者物價與薪資水平差異甚大，故若直接以考照費用金額進行比較較無意義，應以考照成本占平均月薪之比例作相對數值之比較依據，如表 2.2-10 所示。

表 2.2-9 臺灣與日本機車考照總成本比較表

單位：新台幣

機車考照總成本					
國家 \ 機車種類	50c.c. (含) 以下	51-125c.c	126-250c.c.	251-400c.c.	401c.c. (含) 以上
臺灣	450 元	450 元		*6,600-9,000 元	
日本 (自行考取)	2,310 元	6,600 元	6,600 元		6,733 元
日本 (經駕訓班)	2,310 元	*28,005-59,053 元	*34,580-68,259 元		*43,529-94,079 元

註：1.考照總成包含筆試、路考、發放執照、駕訓班費用等。

2.臺灣規定大型重機(251c.c.以上)須經駕訓班訓練，故表中費用已含駕訓班費用。

3.日本駕訓班依考照者原持有之駕照種類收取不同費用，若已擁有駕照可駕駛之機車 c.c.數越大，收費越便宜。

資料來源：1.臺北市區監理所：<https://tpcmv.thb.gov.tw/MotorVehicles/DriverLicense/DriverTest/dt02.htm>

2.公路總局：<https://www.thb.gov.tw/page?node=3aeeb988-137e-40ea-bbc4-b5dc4c45c5af>

3.HONDA：<https://www.honda.co.jp/get-license/index.html>

4.輕便摩托車和小特別許可|茨城縣警察：http://www.pref.ibaraki.lg.jp/kenkei/a03_license/exam/gentsuki.html

5.兵庫縣警察—交通關係：<https://www.police.pref.hyogo.lg.jp/traffic/license/acq/jidou2/index.htm>

6.丹羽郡汽車學院大口町|名鐵汽車學院：<https://www.meitetsu.ac.jp/mdso/price/>

7.本計畫彙整。

下表列出臺灣與日本考取各機車駕照之費用占平均月薪之比例，臺灣自 0.87% 到 17.32%，日本則自 1.83% 到 74.20%。日本除原付 (50c.c.以下)無須路考，意即無須經駕訓班訓練外，其餘依據考生原持有之駕照種類，占比約自 21.64% 到 74.20%，相較臺灣最高之 17.32% 高出許多，故日本若欲取得機車駕照所花費之成本代價相比臺灣確實較高。

表 2.2-10 臺灣與日本機車考照總成本與月薪占比表

機車考照總成本與月薪占比					
國家 \ 機車種類	50c.c. (含) 以下	51-125c.c	126-250c.c.	251-400c.c.	401c.c. (含) 以上
臺灣	0.87%	0.87%		*12.70-17.32%	
日本 (自行考取)	1.83%	5.27%	5.27%		5.37%
日本 (經駕訓班)	1.83%	21.64-46.34%	26.87-53.66%		33.99-74.20%

註：考照總成包含筆試、路考、發放執照、駕訓班費用等。

資料來源：1.遠見雜誌：<https://www.gvm.com.tw/article.html?id=37449>

2.行政院主計總處：<https://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=43927&ctNode=5624&mp=1>

3.厚生労働省：<https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/monthly/30/30-2fr/dl/pdf30fr.pdf>

綜上所述，於機車考驗項目、考驗時間、考照成本及對於考照之嚴謹度等，臺灣與日本之考照制度差異甚大，進而造成兩國之機車用路人駕駛行為不同，而機車於長隧道內之駕駛行為對於行車安全影響甚鉅，若無相關有效執法以規範不良駕駛行為，機車通行長隧道對於肇事具有較大之風險，故建議後續可以日本作為長隧道通行機車條件之重要參考案例，期藉此訂定更為符合臺灣機車特性之長隧道通行條件。

2.2.4 機車安全行駛速度

世界衛生組織 WHO 2017 年有關兩輪和三輪機動車安全：供決策者和業者使用的道路安全手冊 (World Health Organization, 2017) 指出，統計 2013 年全世界二與三輪機動車的道路交通事故，總計造成 28.6 萬人死亡(占死亡總數 23%)，凸顯在道路安全政策中更多關注機車及其使用相關問題的必要性。分析二與三輪機動車輛用路人因交通事故傷亡的重要風險因素：未戴安全帽、飲酒或使用藥物、超速、交通混流、路側危害設施、車輛穩定性和剎車制動錯誤等項目。本節主要從道路環境、行車速度，探討機車行駛安全有關的風險因素，而其他與機車用路人有關的風險因素，如飲酒、缺乏安全配備設備等項目，以及機車車輛本身有關的風險因素暫不列入討論範圍。

一、機車行駛安全與道路環境有關的風險因素

(一)交通混流

車道在無分隔的情況，駕駛二輪或三輪機車與其他車輛互動，顯著

增加交通衝突發生碰撞的可能性。交通衝突亦是導致機車碰撞事故最常見的因素，道路路段與交岔路口交通流量增加，機車面對更多以不同車速行駛的其他車輛，進而增加碰撞的可能性。

(二)道路基礎設施設計

道路基礎設施設計會影響發生機車碰撞事故的可能性和嚴重程度。WHO 機車道路安全手冊指出 (World Health Organization, 2017)，機車用路人特別容易在彎道、轉彎處、匝道(轉彎半徑小的道路)和圓環處發生碰撞。主要係由於加速、減速，或難以保持穩定，因而可能導致失控。澳大利亞和紐西蘭的研究顯示，彎道和其它路段(例如交岔路口或直路)的機車碰撞風險也與旅次目的有關，彎道上的事故更高比例發生在休閒時段，直路與交岔路口的碰撞多發生於通勤時段。

(三)路面狀況

路面狀況對機車用路人造成獨特事故碰撞風險，包括：路面不平、路面衰壞、坑洞、未鋪築的路緣石、人孔蓋、路面隆起、排水設施、道路標線不清和散落物等路面因素均會增加機車事故風險。

(四)路側危害物

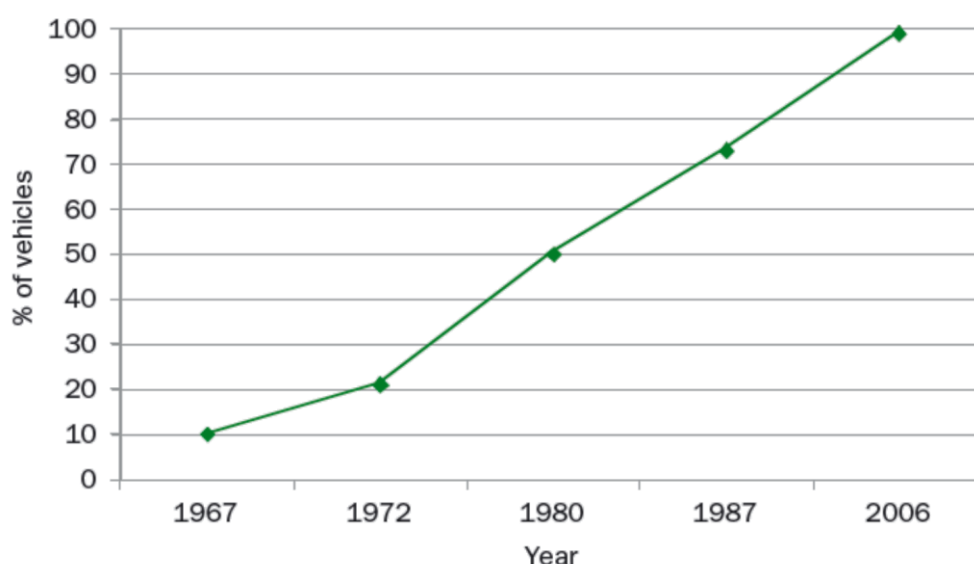
固定路側物體(如樹木、路標、護欄、電線桿和排水設施等)與臨時性的路側物體(如停放的汽車等)對機車而言都是構成危害的物體，並對機車使用者帶來的風險最大。機車與路側固定危害物體碰撞造成死亡，比起發生在地面上(身體未與固定危害物接觸碰撞)造成死亡的可能性高 15 倍。機車與路側物體發生碰撞的嚴重程度取決於碰撞速度、碰撞角度、物體表面積、物體吸收衝擊力的能力。研究指出路側物體與機車車速二項因素的結合，為造成機車用路人受致命傷害的主要機制(Nunn S., 2011)。而這些路側物體之所以會對機車使用者產生危害，主要係由於所有物體都是為汽車及其乘員安全設計，而不是為機車設計(Milling D and Hillier P., 2015)。

二、機車行駛安全與速度有關的風險因素

(一)機車可行駛速度已遠超過道路所設定的限速

隨著科技進步，車輛製造與道路建設均提高機車在道路上的行駛速

度，現今機車可達到的速度已遠高於社會通常認為對公共街道上合理的旅行速度，且大多數機動車輛上的速度表顯示的最大速度亦遠超過大多數道路上的最大法定速限，這讓用路人依照公佈的道路速限範圍內駕車變得極具挑戰性。圖 2.2-11 顯示，過去 40 年來發動機技術的發展，已使得大多數機車的最高速度遠遠超過道路最大速度限制(OECD/ECMT, 2006)。



資料來源：OECD/ECMT, 2006

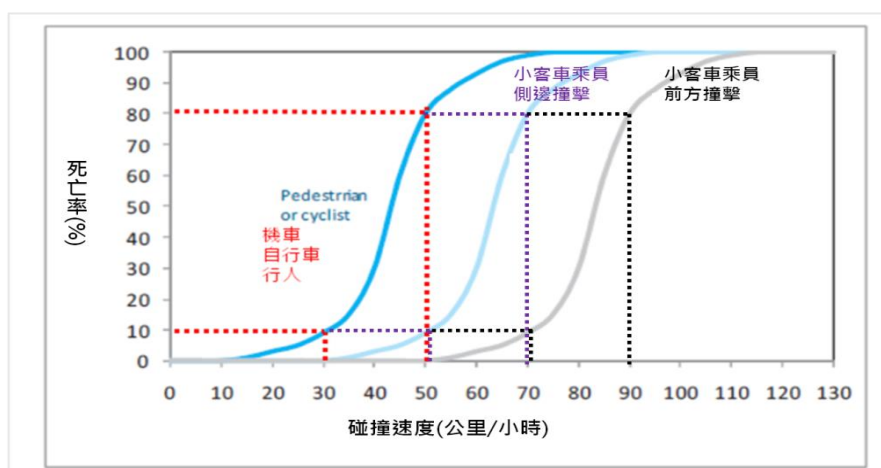
圖 2.2-11 法國歷年已銷售車速能超過 150km/h 之機車比例

(二)速度過快和速度不適當為機車重要的風險因素

行車速度已被證實是導致道路交通事故傷害的關鍵風險因素，會影響交通事故的發生機率，以及發生後的傷害嚴重度。依據世界衛生組織(WHO)及經濟合作暨發展組織(OECD)對於人體受車輛碰撞時速度與死亡率關係的研究(OECD/ITF, 2008)指出：當車輛以時速 30 公里以下的速度撞擊行人、自行車等用路人時，多數(90%以上)無車體保護的用路人會存活，而當車輛撞擊速度提高至時速 50 公里時，則多數(80%以上)無車體保護的用路人會死亡(如圖 2.2-12)。另依據 OECD 速度管理報告有關降低行車速度對於降低死傷事故件數的效果發現：當行車速度增加 5%，導致增加約 10% 的受傷事故件數，死亡事故件數更增加 20%；反之，當行車速度減少 5%，將減少所有受傷事故件數 10%，死亡事故件數更減少達 20%(如圖 2.2-13)，顯示出速度管理的重要性。

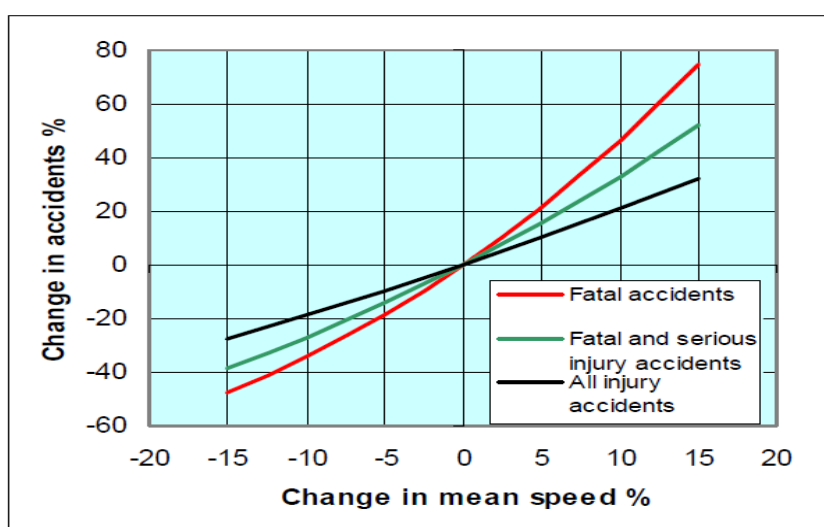
速度過快和速度不適當更是許多國家發生道路創傷的主要原因

(Abdul Manan MM and Várhelyi A, 2012 ; Radin URS *et al.*, 1996)。車輛運行速度越快，剎車距離越長，加上發生交通事故碰撞過程，機車用路人缺乏防護裝(設)備，更容易因為超速致生重傷或死亡的結果。相較其他車種的道路用路人，超速導致機車使用者死亡比例更高，超速成為機車群體使用道路特別重要的風險因素 (Harnen S, *et al.*, 2004)。兩輪和三輪機動車道路安全手冊(World Health Organization, 2017)亦指出，2013 年，美國涉入死亡交通事故的機車用路人有 34%超速，相較高於涉入死亡交通事故的小汽車、輕型貨車和大型貨車用路人超速者分別占 21%、18%和 8%)。另機車用路人(特別是駕駛運動型機車者)比其它道路用路人行駛速度更快，且更常發生嚴重超速。



資料來源：OECD/ITF, 2008

圖 2.2-12 不同用路人受撞擊之碰撞速度與死亡機率



資料來源：OECD/ECMT, 2006

圖 2.2-13 行車速度增減對於發生交通事故之影響

三、採用安全系統方法促進機車道路交通安全

WHO 2017 年兩輪和三輪機動車安全手冊（World Health Organization, 2017）指出，研究證明安全系統方法在世界各國多種環境下均可適用，且在提升道路安全方面獲得實質助益。安全系統方法主要有五個重要原則：

(一)原則一：人會在交通系統中犯錯而導致事故

人會在交通環境會犯錯，並可能導致傷亡事故發生，故安全系統方法不忽略對道路使用者進行行為干預。而僅靠改善用路者行為並無法消除交通事故傷害，期望每位用路者在使用道路系統時都不會犯錯亦不切實際，故安全的道路系統須要能容錯。

(二)原則二：人的身體是脆弱性

人體無法承受超過 30km/h 車速的衝擊力，超過該速度的衝擊力都會大大增加死亡風險，故在建立一個安全的道路系統時，減少死亡和嚴重傷害，都應該以人體對衝擊力的耐受程度為指導依據。

(三)原則三：道路安全是共同的責任

傳統上認為，道路安全責任落在用路者個人身上。然而，安全系統係認為，除期望用路人遵守交通法規外，系統設計者與營運者有責任提供用路人更安全的交通系統，交通安全責任必須由用路人與系統設計營運者共同承擔。

(四)原則四：建設安全、寬容的道路系統

安全系統方法的理念為交通系統中發生任何程度的嚴重創傷都是不可接受的。人們要去學更安全的行為，但某些情況下不可避免發生錯誤時，可能導致交通事故，但人們應該受到保護，盡量避免造成重傷或死亡的結果。

(五)原則五：採用系統性方式以產生綜效

建立安全的道路、安全速度、安全車輛、安全用路人與事故後的護理，綜合各種道路安全措施，發揮加成的綜效，結果勢必勝於單獨個別措施。

四、速度管理促進機車道路交通安全

20%到30%的死亡交通事故都是因為不適當的速度。IRTAD (International Traffic Safety Data and Analysis Group)報告 (OECD/ITF, 2018) 指出，許多國家透過改變速限或採取大規模自動速度控制(如道路區間平均速度方法)，證實速度與事故風險關係強烈，較高的速度與事故發生、事故嚴重度均具有關連。

降低道路上機車使用者及其他道路使用者的速度，會對機車安全產生積極的結果。降速除降低衝擊力外，以較低旅行速度的機車，可讓其它車輛用路人有更多時間可察覺，並減少剎車距離，以及對未預見的緊急情況採取即時反應而停止。機車用路人本身也因此更能判斷其它車輛的速度，並在即將發生碰撞時增加反應時間。訂定車輛行駛速限與道路類型和道路設計密切相關。根據道路類型設定速限，並由警方開展執法活動，可以減少機車相關死亡和傷害。評估車流擁擠對都市地區影響的研究證明，降低車速可以有效地減少機車碰撞事故件數。擁擠可以降低所有車輛的行駛速度，也使機車碰撞事故的嚴重程度降低 (Albalade D and Fernandez-Villadangos L., 2010)。城市邊緣地區和都市道路於塞車時，機車碰撞事故更少，而在高速公路上，塞車時間機車發生的事故增加 (Brownfield J, et al., 2003)。

由於速度管理為前述安全系統的核心，透過訂定合適的速限與強制執行，並強化教育與宣導讓用路人依所在環境選擇合適的行車速度，應可提升機車在道路行駛的安全。

(一)減少道路上與車輛間的速度差異

對個人，發生嚴重交通事故的風險似乎很小，但對社會，降低道路的平均速度可帶來很大的安全收益。為減少道路創傷，政府須採取行動來降低道路上的行車速度，同時也須降低使用同條道路之車輛間的速度差異。

(二)依據安全系統原則設置速限

在設計道路系統和設定速限時，必須考慮人體能夠承受且仍能生存的撞擊力量。為建立一個安全的系統，在都市地區，車速超過 50km/h 不符合安全系統的原則，因為弱勢用路者與機動車輛混雜的地區，合理

的車速限制應為 30km/h；在交岔路口與側撞風險高的地區，車速限制為 50km/h；在沒有中央分隔島的鄉村公路，具對撞風險時，車速限制為 70km/h；在沒有發生上述碰撞型態可能性且與對向交通有實體分隔之主要幹道，車速限制為 100km/h(詳如表 2.2-11)。

表 2.2-11 道路使用者因速度而受傷的風險

傷害可能性	安全速度	一般的道路類型
與行人或自行車用路人撞擊的可能性	< 30km/h	當地社區道路(為提高可步行性(walkability)、鼓勵市民步行，比如荷蘭的住宅街(Woonerf)，英國的家園區(Home Zones)和美國的完整街(Complete Streets)等倡議)
與另一輛車發生側撞的可能性	50 km/h	連絡道路(collector roads)
與另一輛車發生對撞的可能性	70 km/h	次要幹道(Minor arteries)
沒有發生上述碰撞型態的可能性	~ 100 km/h	與對向交通分隔之主要幹道(Major arteries)

資料來源：Arason N., 2014

(三)提高道路速限，應有對應補強措施

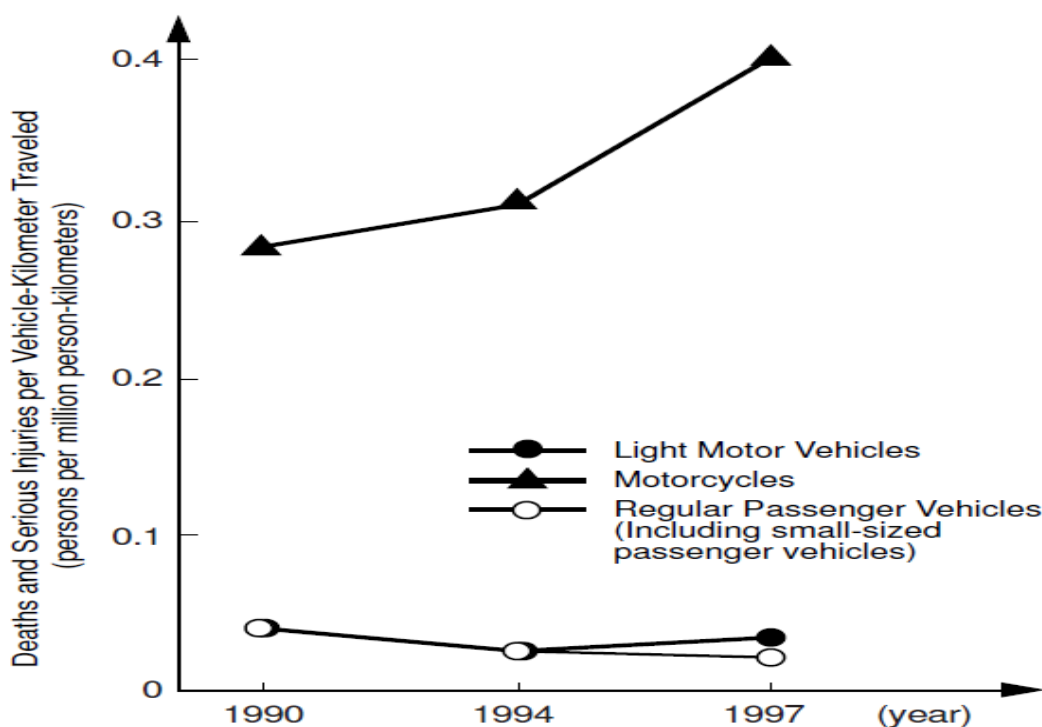
若欲提高道路速度限制，建議對應採行更嚴格的執法或升級道路基礎設施，以補償平均車速提高所增加的風險，提高道路速限如又缺乏對應的強化措施，預期會增加更多用路者傷亡(OECD/ITF, 2018)。

(四)以自動控速方法(automatic speed control)，有效減速並使車流更均質

世界各地的經驗已經證明，自動速度控制系統能有效降低速度，且降低事故頻率。路段控制(測量路段上的平均車速)是一項相對較新的措施，不僅在降低車速方面非常有效，而有助於使交通流量更加均質(OECD/ITF, 2018)。

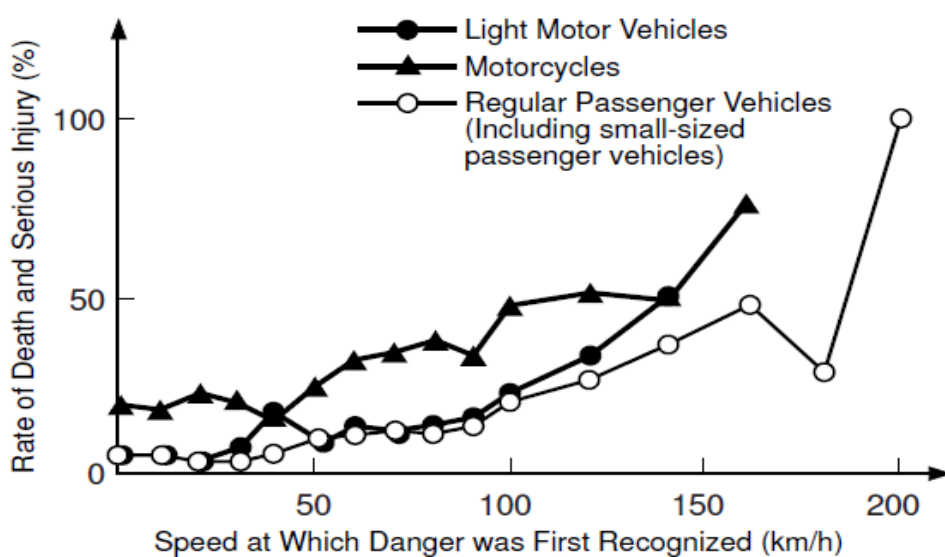
日本交通法規，允許排氣量 125c.c.的機車上高速公路。2000 年日本將輕型汽車與機車(輕型汽車是指長度或其他尺寸低於某些固定值的普通機動車輛；機車是指總排量大於 125c.c.的大型機車和普通機車)在國家高速公路上最高行駛速限由每小時 80 公里，提高至與大型客車或普通客車均為每小時 100 公里(2000 年 10 月 1 日生效)。圖 2.2-14 顯示，日本輕型汽車、小客車與機車每百萬延人公里致死與致重傷之比率，機

車相較其他二類機動汽車肇事率高出許多。圖 2.2-15 為事故意識到危險時的速度高低，對應用路人的死亡和重傷比例。可以看出，無論何種車型，速度越快，死亡率和重傷率都越高，而機車的死亡率普遍高於輕型汽車和小客車（Shunsuke SUMIDA, 2002）。



資料來源：Shunsuke SUMIDA, 2002

圖 2.2-14 機動汽車與機車每百萬沿人公里致死與致重傷比率



資料來源：Shunsuke SUMIDA, 2002

圖 2.2-15 機動車輛事故意識到危險時的速度與用路人致死與致重傷之比例

透過研究 (Shunsuke SUMIDA, 2002) 也確認，以最高車速 100km/h 駕駛輕型汽車與機車，相較 80km/h，並未因此產生車輛性能、用路人生理和心理變化或車輛行為等問題。但在高速公路上的交通事故中，較高的速度往往會對輕型汽車，機車與普通客車造成更大的損害。也因為提高輕型汽車和機車的最高速度限制，讓車流更均質與減少超車等事件引發事故，促成更平穩和更安全的駕駛環境，預防高速公路事故。

五、從道路環境因素增進機車行駛安全有效或有希望的方法

世界衛生組織 WHO2017 年兩輪和三輪機動車安全手冊 (World Health Organization, 2017) 提出，從道路環境因素增進機車行駛安全有效或有希望的方法，說明如下：

(一)設置機車專用道與車速較快的道路應進行監管

機車在交通環境所面臨主要風險因素為在高速運行時與其他車輛的互動，機車專用道的設置主要目的為將機車與其他機動汽車為分隔，透過實體設施或結構各自將機車與汽車之車道分開，減少汽車機車混流互動頻繁所產生的碰撞風險與機車用路人傷亡情形。該報告指出，考量許多道路最初設計係為汽車而建設，故機車車速較高的道路(高速公路、快速公路與多車道公路等)行駛應進行必要的監管，或者將機車與其他機動汽車分流區隔，以減少碰撞事故並提升道路容量。

(二)道路設計提升機車行駛安全

以較更高抓地力的路面或標線材料，對於機車行駛安全非常重要。道路或交岔路口車道佈設，如設置轉彎車道和適當的路肩寬度(馬來西亞)對機車碰撞和受傷嚴重程度有顯著影響。適當標誌標線可以機車能夠清晰理解前方的道路條件，有助於機車用路人做好準備。

(三)限速與交通寧靜區

交通寧靜區用來減低車流速度的措施，可以有效減少所有車輛的碰撞事故。但若是透過設置路中障礙物(如減速丘)，可能對機車用路人造成傷害。其他形式的措施，如在路面上設置抗滑性的水平標線，對機車用路人者產生警示作用。由於這些設計最初係針對其它類型車輛，故仍應考量機車通過的安全性。

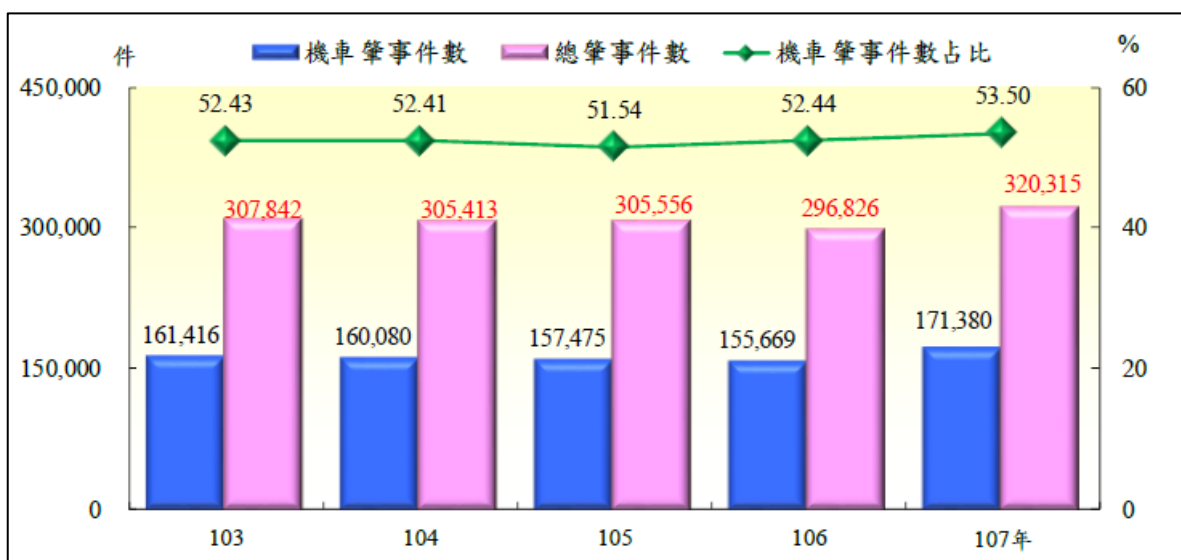
(四)消除路側固定物對機車用路人的危害

道路環境中的路側固定危害物對機車用路人造成重大潛在風險，移除樹木、固定樁、電線桿等路側危害物，或減少使用侵略性道路設備，可以顯著減少機車碰撞受傷的嚴重程度，並可多出一個路側淨空區，提供機車用路人修正錯誤的空間。允許機車通行的道路，有關防撞護欄的設計，應允許摔倒的機車用路人沿路面滑行而不會撞到整個設施的任何具體組成。

2.2.5 國內機車肇事原因

一、機車死亡事故之主要肇事原因

依據內政部警政署道路交通事故(第1當事者)車種別統計資料顯示，95年起機車事故成為各車種之最大宗，占率自95年42%提高至107年53.50%，且近五年內占交通事故總件數均超過50%。另依警政署統計室警政統計通報(108年第25週)顯示，107年A1類事故騎乘機車死亡者占總死亡人數約59.01%，A1及A2機車肇事件數前7項肇事原因，依序為「未依規定讓車」(17.13%)、「轉彎(向)不當」件(10.17%)、「未保持安全距離、間隔」(8.89%)、「違反號誌、標誌管制」(8.59%)、「起步時未注意其他車(人)安全」(2.75%)、「未依規定減速、超速失控」(1.88%)及「酒後駕車」(1.76%)。顯示機車之行車安全為一不可忽視之重要課題，長隧道通行機車應規劃及設計適切之設施與管理，以確保機車用路人的安全。



資料來源：警政署-警政統計通報(108年第25週)

圖 2.2-16 近 5 年機車肇事件數及占比

另外，機車行駛隧道發生事故之案例不在少數，例如 106 年 04 月 08 日桃園一名重機騎士沿著蘇花公路南下，在台 9 線 173.4k 新、舊錦文隧道口的彎道，自撞隧道內對向水泥護欄，導致頭部重創送醫搶救後不治；106 年 07 月 19 日一輛機車行經萬里隧道，不明原因自撞隧道邊壁而不治。又依據花蓮縣警察局新城分局統計指出大型重機車在台 9 線上經常發生事故，特別在和平隧道北口起至崇德隧道南口（163K-176K），其中包含重機車騎士自撞隧道墩柱致死案。隧道內並沒有任何急促彎角卻仍有許多騎士自摔之案例，檢視其原因為長隧道因環境封閉不如一般戶外道路，汽車廢氣內殘留的油氣大多難以散去，甚至車主不知情的底盤滲油問題，也都直接積存在隧道路面上，若高速行駛又快速變換車道，車輛就很容易發生打滑失控事故。機車由於本身無車體防護，發生事故時將產生較嚴重之影響，又長隧道具有獨特之行駛環境，機車用路人行駛其中將面臨油氣殘留等風險，須具有完善之軟硬體措施，始能進一步保障用路人行車安全。

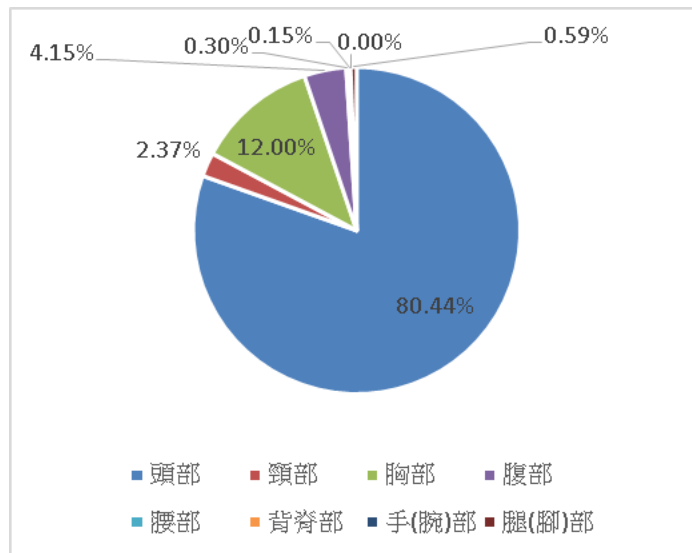
表 2.2-12 107 年機車肇事件數依主要肇事原因分析

主要肇事原因	107年A1及A2類件數		107年與106年比較	
	(件)	結構比(%)	增減數(件)	增減率(%)
機車肇事總件數	171,380	100.00	15,711	10.09
前7項肇事原因合計	87,692	51.17	7,482	9.33
未依規定讓車	29,356	17.13	3,038	11.54
轉彎(向)不當	17,421	10.17	2,028	13.17
未保持安全距離、間隔	15,236	8.89	1,031	7.26
違反號誌、標誌管制	14,725	8.59	961	6.98
起步時未注意其他車(人)安全	4,721	2.75	739	18.56
未依規定減速、超速失控	3,218	1.88	-91	-2.75
酒後駕車	3,015	1.76	-224	-6.92

資料來源：警政署-警政統計通報(108 年第 25 週)

二、機車死亡事故分析與安全配備

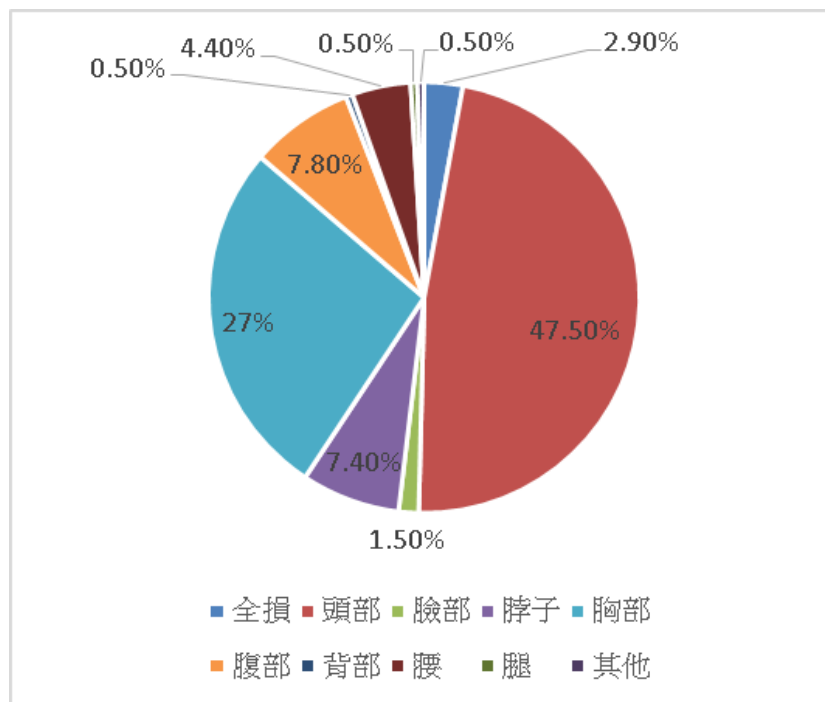
根據交通事故統計資料查詢系統之結果顯示，我國於民國 106 年機車死亡事故中之主要傷處，按占率排序依次為頭部、胸部與腹部，與日本情形相同，但因頭部受損致死的比例卻是日本的兩倍。因此，機車不論是行駛一般道路或通行長隧道，均建議政府加強宣導正確配戴安全帽之資訊，以預防事故發生時造成之損傷。



資料來源：<http://talas-pub.iot.gov.tw/MainQuery.aspx>

圖 2.2-17 民國 106 年我國機車死亡事故之主要傷處

根據日本東京都警察局每年機車事故傷亡的統計資料顯示，近五年因頭部受損導致死亡的人數為各受傷部位之最大宗，占率為 47.5%。其次為胸部和腹部的 34.8%，顯示機車行駛時頭部及胸腹部為首要保護之重點。因此，先進發展國家均規定國民駕駛機車時須佩戴安全帽，在日本更宣導民眾穿著胸部保護設備，類型可分為硬式與安全氣囊式等。



資料來源：https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/nirinsha/heru_pro.html

圖 2.2-18 日本機車死亡事故之主要傷處(近五年平均)



資料來源：https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/nirinsha/safety_riders.html

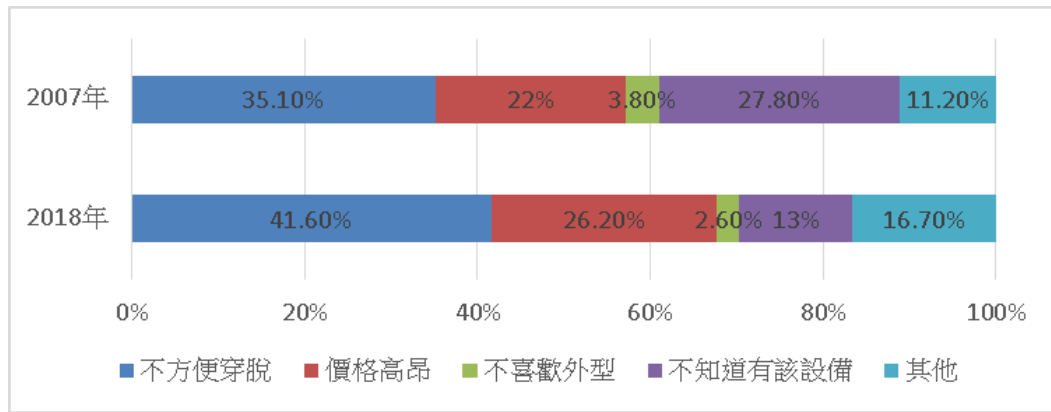
圖 2.2-19 胸部保護設備

依據高公局 107 年「國外大型重機車肇事情形大型重機車肇事情形報告」指出我國針對機車用路人須依道路交通安全規則佩戴安全帽，且其安全帽型式應為全面式或露臉式，並自行穿戴相關安全裝備，如眼睛防護具、防摔衣、防摔褲、防摔靴及防摔手套等，以維護用路人及後座乘客行車安全，國內目前之機車用路人穿著注意事項如下表：

表 2.2-13 機車用路人穿著注意事項

項目	內容
安全帽	應選用帽體黏貼有經濟部標準檢驗局商品檢驗合格標識之機車用安全帽。
	全罩式安全帽防護性最佳，但要注意視野必須足夠用路人搜尋道路上的訊息。
	戴安全帽時角度不可太低，以免遮蔽視線。
	繫緊扣環後，頤帶應儘量緊貼下顎下方。
護目鏡	用來阻擋強風、沙塵、異物或蚊蠅，避免用路人的眼睛受到干擾而影響行車安全。
	夜間、陰雨天及光線不足的地方儘量不要使用護目鏡，才能使視覺清晰。
防護衣	穿著被視性高的明亮服裝。
手套	穿戴具有摩擦力，且方便手指、手掌活動的手套，讓手部可以準確的控制油門與煞車。
鞋子	穿著有防滑功能、且包覆整個腳部的鞋子，避免腳部受傷或因為腳底滑溜而發生危險。

至於日本民眾之胸部保護設備穿著率較低之原因，經東京都警察局調查結果發現「胸部保護設備不方便穿脫」的比例最高，約占非穿著者的 35.1%，占率第二高的「不知道有胸部保護設備」則有 27.8%。因此，日本東京都警察局與明星拍攝影片並與知名漫畫家合作，推廣穿戴胸部保護裝置之措施以保障民眾安全。胸部保護裝置之穿著率自 2007 年至 2018 年，從 4.0% 提升為 7.8%，而「不知道有胸部保護設備」的比例更下降至 13.0%，顯示民眾的穿戴情形與政府之宣導有關。



資料來源：https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/nirinsha/heru_pro.html

圖 2.2-20 不穿著胸部保護設備原因

「國外大型重型機車肇事情形及相關研究與規範回顧」亦整理如西班牙、英國及澳洲等國家的機車駕駛人穿著資料，其中各國家均規定須配戴符合安全標準的安全帽，針對騎乘機車時穿著的防護衣並無法規規範。

2.3 長隧道通行機車相關資料回顧

2.3.1 國內隧道廢氣排放及溫升問題回顧

一、隧道內廢氣排放問題

隧道內汽機車排放之空氣污染物對人體有不同程度的危害，根據行政院環境保護署，由於汽機車的排氣管相比煙囪等固定污染源更接近人體，其所排放之污染物也更易被人體接觸，又根據臺灣健康空氣行動聯盟發起人葉光芄醫師，臺灣十大死因中有七大與空氣汙染密切相關，以及臺北醫學大學公共衛生學院副教授莊校奇，暴露於環境中的細懸浮微粒 PM2.5 會導致短期記憶下降、引起大腦結構改變與腦部發炎反應，顯示汽機車等移動污染源排放之廢氣，將對於人體健康產生負面影響，又因長隧道之半封閉特性，若通風設備運轉效能不足或塞車嚴重時，隧道內之廢氣將迅速累積，對於暴露在外的機車用路人產生健康威脅(如下表)。

表 2.3-1 機車廢氣對健康的影響

機車廢氣所含物質	對健康的影響
懸浮微粒	增加慢性支氣管炎病患的呼吸道症狀及氣喘發生的頻率。
硫氧化物 (二氧化硫)	與二氧化硫有關的呼吸道病症包括呼吸短促、咳嗽、氣喘及支氣管炎等。

機車廢氣所含物質	對健康的影響
一氧化碳 (CO)	一氧化碳接觸過多首先會出現知覺及思考力減低的現象，進而反射動作趨緩，然後會有暈眩、昏昏欲睡的症狀，嚴重者會因心臟衰竭或窒息致死。
二氧化氮 (NO ₂)	症狀有支氣管炎、肺炎及降低免疫力，造成呼吸器官感染，發生諸如感冒的症狀。
碳氫化合物 (HC)	某些成分如二乙基硫化合物、四甲基鉛毒性很強；苯等芳香烴物及氯乙烯則是已知的致癌物。

資料來源：桃園市政府環境保護局-103 年度機車稽查管制與定檢站管理計畫
(<http://web.tydep.gov.tw/01gbs/motor/harm.html>)

鑒於隧道內廢氣對人體之威脅，須制定空氣汙染物之限制標準，如世界道路協會(PIARC)之 Road Tunnels-Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation(2019)研究，以及我國雪山隧道訂定之隧道空氣品質標準(如表 2.3-2)。為避免隧道內單位時段內之車流量過大，導致溫升與空氣品質問題，可以車流模擬事先模擬長隧道內車輛所排放之空氣汙染物濃度，引用行政院環境保護署之空氣汙染排放量查詢系統「TEDS10.0 線源」之 105 年資料及雪山隧道空氣汙染物實場調查分析(2009 年(如表 2.3-3 與表 2.3-4)，作為後續構建長隧道內車流與環境因素模式之依據。模式設定之限制包含 CO(一氧化碳)、NO(一氧化氮)、VI(能見度)等，可以各車種各空氣汙染物之排放量模擬出各種情境下之限制條件。

表 2.3-2 隧道空氣品質設計標準

狀況	項目	訂定單位		備註
		世界道路協會 (PIARC)	雪山隧道	
正常運轉	一氧化碳(CO)	100ppm	75ppm	通風依序運轉
	一氧化氮(NO)	25ppm (日本設計值)	25ppm	
	能見度(VI)	0.007m ⁻¹	0.007m ⁻¹	
塞車狀況	一氧化碳(CO)	150ppm	150ppm	交通管制策略
	能見度(VI)	0.009m ⁻¹	0.009m ⁻¹	
封閉車道	一氧化碳(CO)	250ppm	200ppm	達 15 分鐘為改善 即關閉隧道
	能見度(VI)	0.012m ⁻¹	0.012m ⁻¹	

資料來源：國道 5 號雪山隧道空氣品質設計與實測(國道網 180 期-95 年 12 月)

表 2.3-3 「雪山隧道空氣汙染物實場調查分析」車輛排放係數表

車輛排放係數	隧道方向	
	南下	北上
CO(一氧化碳)	1.45±0.13	1.90±0.43
NO(一氧化氮)	0.21±0.03	0.31±0.05
NO _x (氮氧化物)	0.26±0.03	0.38±0.07
SO ₂ (二氧化硫)	1.28±0.18	2.22±0.29
THC(總碳氫化合物)	0.27±0.03	0.32±0.06
NMHC(分甲烷碳氫化合物)	0.14±0.02	1.17±0.04

註：除SO₂(單位為 mg veh⁻¹ km⁻¹，其餘單位均為 g veh⁻¹ km⁻¹)

資料來源：「雪山隧道空氣汙染物實場調查分析」

表 2.3-4 環保署汽機車空氣汙染排放係數表

車種	空氣 汙染物	CO (一氧化碳)	NO _x (氮氧化 物)	SO _x (硫氧化 物)	THC (總碳氫 化合物)	NMHC (分甲烷碳 氫化合物)
四行程機車		1.98	0.17	0.000382	0.82	0.77
汽油小客車		1.51	0.26	0.000900	0.54	0.49
公車客運		1.32	5.03	0.003900	0.21	0.21

- 註：1. 機車排放係數係引用四行程機車排放係數，因據環保署 106 年指出機車以四行程機車為主，且近年政策也朝向逐步淘汰二行程機車的方向。
2. 汽車排放係數係引用自用汽油小客車之係數，因據交通部統計查詢網之機動車輛登記數，108 年 8 月底，汽油小客車占小客車數量之 88.09%。
3. 排放係數單位為 g/km。

資料來源：環保署空氣汙染排放量查詢系統 TEDS10.0 線源之 105 年資料

二、隧道內溫升問題

李宏徹於「隧道溫升 早在考慮之列」提出在雪山隧道設計時就預警會有高溫問題，因國外長隧道均位於高緯度地區，降雪數月的時間足以冷卻隧道溫度，而臺灣因地處常年平均氣溫高的亞熱帶，隧道溫度會持續累積，因此委託陳發林進行「隧道溫升問題研究」及「長隧道降溫方法評估」。

1996 年 7 月陳發林「隧道溫升問題研究」以北宜高速公路之坪林、彭山、南港二號等三座隧道為對象，作長期溫升之分析。發現坪林隧道雖長，但因設有氣交換站，長期之溫升情況與其他二座較短的隧道相似。可見氣交換站在溫度的控制上已發揮預期效果，相信在控制汙染空氣上也有相同結果。另外，若三座隧道之通風量能維持在 1/2Q_{max} 以上，則整體隧道應無溫升問題。因以長度平均量所得之最高的平均溫度約在 40°C 左右，問

題並不嚴重。

1997 年 4 月陳發林「長隧道降溫方法評估」之研究，在正常通車狀況下，隧道溫升的問題並不嚴重，雖某些路段可能有 45°C 以上的高溫存在，但因路線短，並不至於影響行車安全。然在某些特殊狀況下，如夏季中午（當地氣溫平均高達 33°C）交通流量大（如塞車）時，某些路段可能有高達 60°C 以上的高溫。根據臺灣大學公共衛生學院教授郭育良，體感溫度若達 30.7 度，溫度每上升 1 度，心血管及呼吸系統疾病之死亡率便增加 3.5%；體感溫度若達 31.4 度，溫度每上升 1 度，心血管及呼吸系統疾病之死亡率便增加 12.5%，顯示溫度高之環境對於人體健康為一負擔，將增加呼吸道疾病等之死亡率，而長隧道因長度長，機車用路人須一定時間處於悶熱之環境下，對其健康安全為一風險。

2008 年宜蘭縣政府建設處「宜蘭縣政府建議高公局改善雪山隧道高溫現象」，宜蘭縣政府電話徵詢交通部國道高速公路局（以下簡稱高公局）雪隧內溫度升高情形，經該局表示 98 年雪山隧道最高溫為 43.8 度，惟 99 年最高溫卻高達 46.3 度，溫度比前一年上升 2.5 度；另因北上隧道路段屬上坡段，車速較慢易造成燃料燃燒不完全及增加廢氣量亦為溫度升高原因。經高公局統計至 2010 年度 8 月底前，雪山隧道共發生 144 件事故，其中因車輛無法啟動及溫度過高，而拋錨之件數就高達 69 件，占總件數之 48%。

2019 年李克聰提出蘇花改全線通車後，雪山隧道車流量會增加，隧道內溫度累積導致車輛引擎溫度升高，造成更多車輛故障，雪山隧道應設置降溫計畫啟動機制。在 2012 年李宏徹曾提出水霧降溫法，於同年 7 月開始水霧降溫實驗計畫，實驗結果為隧道內溫度明顯下降。

2.3.2 國內隧道交通事故特性分析

於前一節機車隧道內事故分析中提及，最常見的肇事因素為「未注意車前狀態」及「其他引起事故之違規或不當行為」，其中第一項應該透過適當之行車安全間距改善，違規與不當行為亦可透過行車規範法令約束，惟現行執法面可能無法全面落實，導致用路人有僥倖心態未按照實際規定行車，後續透過科技執法達到 100%取締，則可大幅改善行車安全、減少肇事發生。

根據內政部警政署 105 年到 107 年之事故統計資料顯示，每年的隧道事故總件數大約在 170 件以上，其中 A2 類事故居多（如表 2.3-5 所示），「有機

車參與的件數」係指交通事故其中一方以上為機車，A1 交通事故幾乎均有機車參與，在隧道裡面的事故機車的死亡風險較大，另外，A2 交通事故中有機車參與的件數比例超過一半，在隧道裡的交通事故機車的肇事率也很高。相較於汽車而言，機車在隧道內的事故傷亡比例較高。

表 2.3-5 105-107 年隧道交通事故一覽表

年份	隧道事故類別	件數	有機車參與的件數	有機車參與的件數所占比例
105	A1	5	5	100%
	A2	165	88	53%
106	A1	1	1	100%
	A2	185	102	55%
107	A1	4	2	50%
	A2	170	96	56%

資料來源：本計畫整理。

一、隧道危害發生程度排序

由內政部警政署所提供之 105 至 107 年全國 A1、A2 交通事故資料由中，篩選「道路交通事故調查報告表」表(一)中「道路型態」中的「隧道」將所有發生於隧道之交通事故加以分類排序。

再者，以交通部運輸研究所所提供的「肇事嚴重性當量法」做為比較排序的依據，其公式如下：

$$ETAN=(9.5*F)+(3.5*J)+TAN$$

ETAN：肇事當量次數

F：肇事死亡人數

J：肇事受傷人數

TAN：總肇事次數

依據此公式所得之各年我國各隧道肇事嚴重性當量排名如表 2.3-4 所示，在國道三號上多個連續隧道的肇事嚴重性當量值都偏高，如：木柵隧道、福德隧道、中和隧道、新店隧道，其中木柵隧道在 105 年及 106 年的肇事嚴重性當量值都排名在全國第一名，直到 107 年才由中和隧道接手第一名的位置。在國道三號 18K 到 35K 短短十七公里的距離中共有七個隧道

(如表 2.3-7)，分別是福德隧道、木柵隧道、景美隧道、新店隧道、碧潭隧道、安坑隧道、中和隧道，由於七個隧道的距離相近，可以假定車流量是相同的，此時長度越長的隧道，除了發生交通事故的機率本就比較高外，是不是還有其他的因素容易造成交通事故更容易發生，例如：長隧道配置單調可能造成的視覺疲勞或是長時間受隧道光線影響的昏眩...等，以上因素和交通事故的發生之間是否存在相關性？另外，平面道路部分則是高雄過港隧道較為嚴重，從 105 年肇事嚴重性當量值是全國第六名，106 年及 107 年肇事嚴重性當量值是全國第二名。其他如臺北市的辛亥隧道、自強隧道及懷恩隧道、基隆市的自強隧道及八堵隧道、新北市的萬里隧道、宜蘭縣的蘭陽隧道、南投縣的人止關明隧道等肇事嚴重性當量值相對較高。

表 2.3-6 105 至 107 年我國各隧隧肇事嚴重性當量排名

縣市	隧道名稱	種類	人數	次數	105		排名	106		排名	107		排名
臺北市	自強隧道	A1	F	1							1	2	
		A2	J	22	10	13		6	10		6	6	
					ETAN	55.5	2	ETAN	41	4	ETAN	47	6
臺北市	辛亥隧道	A1	F	0									
		A2	J	15	7	7		6	8		2	2	
					ETAN	31.5	7	ETAN	34	6	ETAN	9	12
臺北市	懷恩隧道	A1	F	0									
		A2	J	15	3	6		6	9		6	8	
					ETAN	24	9	ETAN	37.5	5	ETAN	34	9
基隆市	自強隧道	A1	F	0									
		A2	J	12	3	3		2	2		7	10	
					ETAN	13.5	12	ETAN	9	10	ETAN	42	8
高雄市	過港隧道	A1	F	2	1	1					1	1	
		A2	J	27	2	6		12	22		13	21	
					ETAN	33.5	6	ETAN	89	2	ETAN	97	2
宜蘭縣	蘭陽隧道	A1	F	0									
		A2	J	12	2	2		5	6		5	6	
					ETAN	9	13	ETAN	26	8	ETAN	26	10
新北市	萬里隧道	A1	F	3	2	2		1	1				
		A2	J	8	3	5		2	2		3	4	
					ETAN	41.5	5	ETAN	19.5	9	ETAN	17	11
國道新北	中和隧道	A1	F	0									
		A2	J	22	6	7		6	9		10	25	
					ETAN	30.5	8	ETAN	37.5	5	ETAN	97.5	1

縣市	隧道名稱	種類	人數	次數	105		排名	106		排名	107		排名
南投縣	人止關明隧道	A1	F	0									
		A2	J	15	3	4		5	7		7	11	
					ETAN	17	11	ETAN	29.5	7	ETAN	45.5	7
國道臺北	木柵隧道	A1	F	0									
		A2	J	38	16	28		15	28		7	14	
					ETAN	114	1	ETAN	113	1	ETAN	56	5
國道臺北	福德隧道	A1	F	0									
		A2	J	32	8	11		12	19		12	16	
					ETAN	46.5	3	ETAN	78.5	3	ETAN	68	3
國道新北	新店隧道	A1	F	0									
		A2	J	17	4	11		5	7		8	15	
					ETAN	42.5	4	ETAN	29.5	7	ETAN	60.5	4
基隆市	八堵隧道	A1	F	0									
		A2	J	7	3	5		2	2		2	2	
					ETAN	20.5	10	ETAN	9	10	ETAN	9	12

資料來源：本計畫整理。

表 2.3-7 國道三號 18K 至 35K 隧道里程及長度公尺一覽表

道路編號	隧道名稱	車行方向	起迄里程	長度公尺
國道 3 號	福德	南下	18k+268~ 19k+994	1,726
國道 3 號	福德	北上	18k+185~ 19k+911	1,726
國道 3 號	木柵	南下	21k+888~ 23k+736	1,848
國道 3 號	木柵	北上	21k+860~ 23k+735	1,875
國道 3 號	景美	南下	23k+939~ 24k+503	564
國道 3 號	景美	北上	23k+919~ 24k+492	573
國道 3 號	新店	南下	27k+219~ 28k+404	1,185
國道 3 號	新店	北上	27k+170~ 28k+392	1,222
國道 3 號	碧潭	南下	28k+559~ 29k+080	521
國道 3 號	碧潭	北上	28k+541~ 29k+044	503
國道 3 號	安坑	南下	32k+626~ 33k+092	466
國道 3 號	安坑	北上	32k+710~ 33k+108	398
國道 3 號	中和	南下	34k+223~ 35k+095	872
國道 3 號	中和	北上	34k+262~ 35k+093	831

資料來源：交通部高速公路局。

接續前述 105 至 107 年全國各隧道肇事嚴重性當量值排名，進一步整理該 12 個易發生交通事故之隧道的基本車道配置和長度（如表 2.3-8）。

表 2.3-8 隧道事故熱點基本設置一覽表

隧道名稱	長度公尺	車道配置	闊度公尺	設計時速	備註
臺北自強隧道	北向：821 南向：819	北向：二快一機車專用道 南向：二車道一人行道	9.0	50	
臺北辛亥隧道	487.5	雙孔二車道一人行道 (內側禁行機車)	9.0	50	
臺北懷恩隧道	北向：484.5 南向：490.0	雙孔二車道一人行道 (南向內側禁行機車)	9.4	50	
基隆自強隧道	193	單孔二車道 (無中央分隔)	-	50	
高雄過港隧道	1670	二汽車道一機車道	-	60	
宜蘭蘭陽隧道	980	北向：二車道 南向：二車道一機車專用道	-	50	
新北萬里隧道	北向：1016 南向：1145	雙孔二車道	-	50	
基隆八堵隧道	-	北向：二車道 南向：一車道	-	50	
南投人止關明 隧道	-	單孔二車道	-	30	
國道福德隧道	北向：1726 南向：1762	雙孔六車道	-	90	
國道木柵隧道	北向：1875 南向：1848	雙孔六車道	-	90	
國道中和隧道	北向：831 南向：872	雙孔六車道	-	90	
國道新店隧道	北向：1222 南向：1185	雙孔六車道	-	90	

資料來源：本計畫整理。

二、隧道常見事故類型

本計畫將 105 至 107 年的隧道 A1 及 A2 交通事故加以整理後，根據「道路交通事故調查報告表」表(一)中「事故類型及型態」加以排序並排名各項分類，並且將「(三)汽機車本身」大項內的項目，即「路上翻車、摔倒」

至「其他」視為同一種事故型態（「自撞」）。我國 105 至 107 年隧道常見事故類型詳如表 2.3-9 所示，由於隧道通常為沒有其他道路交岔的直路，也很少會有行人在道路上通行，因此事故型態和類型通常為追撞、自撞、同向擦撞，相對於其他平面道路較為單純。而從表 2.3-9 發現追撞是最多的事故型態，其次是自撞、同向擦撞；另外，對向擦撞和對撞則是發生於有肇事的一方逆向行駛，且沒有中央立體分隔的隧道，因為目前多數隧道都是雙孔分開不同行向，所以此類事故型態發生件數較少。

表 2.3-9 105 至 107 年隧道事故類型及型態分析

事故類型及型態	105年	106年	107年	總計
追撞	71	68	70	209
汽(機)車本身自撞	49	62	61	172
同向擦撞	17	17	16	50
其他	11	17	8	36
側撞	5	9	8	22
對向擦撞	7	7	5	19
對撞	7	3	3	13
同向通行中	2	2	2	6
其他	1	1	0	2
在路上作業中	0	0	1	1

資料來源：本計畫整理。

三、追撞主要肇事因素分析

為了減少隧道的交通事故發生，針對發生最多的事故類型分析其主要肇事因素為何？由「道路交通事故調查報告表」表(二)中「主要肇因研判」為依據，加以排序後再排名如表 2.3-10 所示，在追撞事故的主要肇因分析中，前二名分別為「未保持行車安全距離」及「未注意車前狀態」。以上兩種原因都可以透過保持更長的行車間距及強化對均勻速度的管理來降低肇事發生的風險；「超速失控」也是要回到速度管理問題；其他肇事原因有「疲勞(患病)駕駛失控」、「違規超車」、「酒醉(後)駕駛失控」、「違規停車或暫停不當而肇事」等。

表 2.3-10 追撞事故中主要肇因分析表

主要肇因	件數
未保持行車安全距離	119
未注意車前狀態	57
不明原因肇事	13
尚未發現肇事因素	8
超速失控	4
疲勞(患病)駕駛失控	3
其他引起事故之違規或不當行為	2
違規超車	1
酒醉(後)駕駛失控	1
違規停車或暫停不當而肇事	1

資料來源：本計畫整理。

四、自撞肇事因素分析

隧道事故的另一種大宗的案類就是自撞事故，不論自撞事故的相對物為何，均視為同一類型的交通事故。由「道路交通事故調查報告表」表(二)中「主要肇因研判」排序結果如表 2.3-11 所示，自撞事故的肇事因素分類成「明確的違規肇事」和「不明確的違規肇事」。「不明確的違規肇事」包括：「未注意車前狀態」、「不明原因肇事」、「尚未發現肇事因素」、「尚未發現肇事因素」、「未依規定減速」、「未保持行車安全距離」、「變換車道或方向不當」等應注意而未注意之駕駛疏忽行為，需要用路人的專注力及對距離的感知能力和反應能力，而用路人進入隧道行駛環境是否影響上述能力致使發生事故。

表 2.3-11 自撞肇事因素分析一覽表

自撞肇事因素	件數
未注意車前狀態	73
不明原因肇事	44
其他引起事故之違規或不當行為	24
尚未發現肇事因素	18
疲勞(患病)駕駛失控	13
酒醉(後)駕駛失控	11

自撞肇事因素	件數
超速失控	6
尚未發現肇事因素	6
違反特定標誌(線)禁制	3
車輪脫落或輪胎爆裂	3
未依規定減速	2
未保持行車安全距離	2
變換車道或方向不當	1
貨物超長、寬、高而肇事	1
違規停車或暫停不當而肇事	1
煞車失靈	1

資料來源：本計畫分析。

五、隧道內機車事故類型及肇事因素

分析 105 年至 107 年隧道內機車常見事故型態如表 2.3-12 所示，在與機車有關的隧道交通事故中，自撞或自摔歷年都大約占了四成的比例，並且是在有與機車有關的隧道交通事故中的最多數。其次是追撞歷年占了兩成；同向擦撞歷年占了一成四。故自撞或自摔是隧道內有關機車事故的主要類型，也是需要加強防治的重點。

表 2.3-12 105 至 107 年隧道內機車事故類型及型態分析

事故類型及型態	105年	106年	107年	總計
追撞	18	20	13	51
汽(機)車本身自撞	33	38	45	116
同向擦撞	12	14	13	39
側撞	5	7	6	18
對向擦撞	4	4	3	11
對撞	5	3	2	10
同向通行中	0	1	2	3

資料來源：本計畫整理。

如表 2.3-13 所示在隧道內機車事故最常見的肇事因素為「未注意車前狀態」，「其他引起事故之違規或不當行為」居次，第三是「不明原因肇事」，一般而言「未注意車前狀態」是追撞的主要肇事因素，「其他引起事故之違規或不當行為」、「不明原因肇事」和「未注意車前狀態」也是自撞和自摔常見的肇事因素。

表 2.3-13 105 至 107 年隧道內機車常見肇事因素

肇事因素	105 年	106 年	107 年
未注意車前狀態	24 件	30 件	26 件
其他引起事故之違規或不當行為	8 件	5 件	10 件
不明原因肇事	16 件	26 件	19 件

資料來源：本計畫整理。

六、個案檢討-高雄過港隧道

在隧道事故熱點排名中，除了國道的隧道外，在平面道路中就屬高雄過港隧道的事故嚴重度排名持續位居第二名，且該隧道通行車種包含了機車，可一併檢視機車通行隧道會有哪些風險？對後續隧道機車通行條件的研究有所幫助。有關高雄過港隧道的基本資料如表 2.3-14 所示。

表 2.3-14 高雄過港隧道基本資料一覽表

項目	說明
長度	1,670 公尺
車道數	雙向各 2 線汽車道及 1 線機車道
營運速度	快車道最高時速不得超過 60 km/h(機車道最高時速不得超過 50 km/h)，最低不得低於 20 km/h
最高海拔	海平面下 14 公尺
最低海拔	海平面下 19 公尺
闊度	快車道寬 3.5 公尺、機車道寬 2.8 公尺
最大埋深	海底最深位置為 25 公尺
坡度	最大 4.5%，最小 0.15%
日車流量	設計交通流量：每天 15,111 輛，單向每小時尖峰車數為 1,270 輛。(現況實際交通流量民國 101 年全年為 4,716,849 輛，平均每天 12,922 輛)
結構凹曲	最小凹曲線半徑為 1,200 公尺，最小凸曲線半徑為 3,000 公尺
隧道內空氣品質要求	通風系統應控制一氧化碳含量在 250PPM 以下，容許煤煙濃度值不超過 (12×10^{-3}) M-1
照明	隧道照明內部為 2.5cd/m ² 以上，入口照明為 400cd/m ² 以上。道路照明在引道部份照度為 1cd/m ² 以上
隧道內淨高	6.75 公尺
隧道內人行步道寬	0.5~0.55 公尺
緊急聯絡電話	南北側各 60 具，汽車、機車道每隔 50 公尺設一個

項目	說明
避難逃生門	共有 7 扇，設於南北側車道中間，為單向往南側開啟，因平時無上鎖可以雙向直接開啟，每扇間隔 125M(位於 CH 725、850、975、1100、1225、1350 及 1475)
通風設備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設有 32 座縱流式噴氣風扇，南北側車道各 16 座，運轉方向可以正、逆轉，啟動或關閉皆由控制室控制 2. 過港隧道在通風設計之初，即是以交通量來做為考量，並非以火災控制煙層為主。設計上以經濟為前提採用無導管縱流式通風系統 3. 有關交通量與噴氣風扇運轉臺數如表 8 所示

資料來源：董柏維，2014。

(一) 高雄過港隧道交通事故類型及型態

高雄過港隧道交通事故類型及型態如表 2.3-15 所示，由表中可以發現，在高雄過港隧道中「同向擦撞」及「追撞」三年來各有 8 件，占所有事故的八成以上。然而，過港隧道的道路配置為中央立體分隔，且汽、機車亦是立體分隔，因此正常狀況下的事故型態應為「同向擦撞」、「追撞」、「自撞」。

表 2.3-15 105 至 107 年高雄過港隧道交通事故類型及型態一覽表

事故類型	105	106	107	合計
對撞	0	1	0	1
對向擦撞	0	0	1	1
同向擦撞	1	4	3	8
追撞	0	4	4	8
其他	0	1	0	1

資料來源：本計畫整理。

(二) 高雄過港隧道交通事故主要肇因分析

高雄過港隧道交通事故的主要肇事因素如表 2.3-16 所示，由前述的事故型態及類型為「同向擦撞」、「追撞」、「自撞」，所以事故的主要肇因有同向擦撞的「違規超車」、追撞及自撞的「未保持行車安全距離」，以及「不明原因肇事」三大主要原因。

表 2.3-16 105 年至 107 年高雄過港隧道交通事故主要肇因分析一覽表

項目	年份	105	106	107	合計
(一) 用路人					
違規超車		1	5	2	8
逆向行駛		0	1	0	1
未依規定讓車		0	0	1	1
未保持行車安全距離		0	3	3	6
未注意車前狀態		0	1	0	1
(三) 裝載					
貨物超長、寬、高而肇事		1	0	0	1
(四) 其他					
不明原因肇事		1	2	7	10
(五) 無 (車輛用路人因素)					
尚未發現肇事因素		0	0	1	1

資料來源：本計畫整理。

(三) 高雄過港隧道交通事故事故位置分析

高雄過港隧道交通事故之「事故位置」分類如表 2.3-17 所示，發生於慢車道有 26 件、發生於快車道有 3 件；A1 類有 2 件均發生於快車道，相對嚴重性較高於機車道；機車事故同向擦撞 8 件、自撞 9 件、追撞 6 件。

表 2.3-17 105 年至 107 年高雄過港隧道交通事故事故位置一覽表

事故位置	105	106	107	合計
快車道	1	1	1	3
機慢車道	2	11	13	26

資料來源：本計畫整理。

(四) 高雄過港隧道交通違規舉發分析

依據高雄港務警察總隊 105 至 107 年之舉發件數統計資料，其中，超速取締約占全部之 92% (如表 2.3-18 所示)，顯現超速是目前隧道違規之首，如何防制係當前之課題。其次，爭道行駛及無照駕駛是相較其他違規中較多之件數，雖然比例不大，但由此研判在隧道中屬封閉空間，所以發生爭道行駛的違規。高雄過港隧道舉發違規，屬於逕行舉發 (含

民眾檢舉、肇事舉發) 約占 99%，攔停舉發每年僅約 30 件左右，因隧道屬特殊的行車環境，在隧道中執法不易、又危險，現行交通執法措施必須有所改變，除透過警察執法方式來維護交通秩序外，尚須利用科技執法來輔助交通違規取締，進而保障隧道內民眾行車與警察執法之安全。

表 2.3-18 105-107 年高雄過港隧道交通違規舉發情形

違規項目	105年	106年	107年	總計	比例
超速	4,424	3,269	3,617	11,310	92%
爭道行駛	14	23	14	51	0.4%
無照駕駛	6	8	8	22	0.1%
總件數	4,493	3,349	4,476	12,318	100%

資料來源：高雄港務警察總隊。

2.3.3 隧道科技執法與機車通行

於前一節機車隧道內事故分析中提及，最常見的肇事因素為「未注意車前狀態」及「其他引起事故之違規或不當行為」，其中第一項應該透過適當之行車安全間距改善，違規與不當行為亦可透過行車規範法令約束，惟現行執法面可能無法全面落實，導致用路人有僥倖心態未按照實際規定行車，後續透過科技執法達到 100%取締，則可大幅改善行車安全、減少肇事發生。

國內雪山隧道於民國 106 年 6 月正式啟用新型態的科技執法設備，以掃描雷射、無線電波等高科技取締違規變換車道、未保持安全、超速及龜速車；或是在特定的高速公路路段以高解析度的監控錄影系統，取締插隊、任意變換車道、跨越雙白實線等違規。而近期的科技執法設備是於民國 107 年 7 月於新北市萬里隧道實施的「平均速率」科技執法，規定行經萬里隧道的用路人得依照速限 50 公里的速度行駛，而時速 70 公里為萬里隧道開罰的標準；所謂平均速率科技執法，是在進、出口設置偵測設備，記錄車輛進出時間，換算車輛通過時間及通行速率，辨別車輛有無超速行駛，要求用路人以穩定且合理行車速率使用道路。桃園市政府交通局 107 年 7 月起結合「科技執法」，陸續在桃園、中壢火車站以及桃園、平鎮、中壢、龜山、八德的公車停靠處建置違規智慧偵測系統，利用影像識別、AI 辨識及地磁技術，自動偵測車輛違規停放行為。

據國外研究，科技執法措施實施後除降低交通事故率有 33%至 85%不等的效果，另在空氣污染方面，一氧化碳的排放量降低了 15.3%，氮氧化物降低了 4.6%，空氣懸浮微粒降低了 6.4%，二氧化碳的排放量降低了 5%。現行測速照相設備也是運用平均速率的概念，利用雷達波偵測車輛在特定範圍內移動距離與時間差來計算車速，只是偵測距離非常短，如同瞬間速率；此種執法設備所能控制速率範圍相當有限，且部分用路人發現固定桿時會驟然減速，容易引起事故。區間平均速率執法可隨距離之增加，擴大速率監控範圍，用路人為避免超速受罰，於監控路段多將依循速限行駛，可確實達到維護行車安全目的。科技執法具有減少警力派遣、克服執法視角限制、長時間持續執行及減少舉發錯誤率等優點，在科技的進步下，其未來在交通管理之擴大運用乃勢所必然。(楊漢鵬，2019)

以下就國外自動區段速度控制系統(automatic section speed control system)、國內隧道科技執法說明如後。

一、國外自動區段速度控制系統 (automatic section speed control system) (同國內區間測速系統)

過去的二十年中，波蘭為改善其道路安全的狀況，辦理許多改善措施或活動，包括垂直和水平的標線改造、交通事故發生集中黑點(black spots)改善、測速照相、道路改建、遏止超速和毒駕等電視廣播宣導活動，但是結果不令人滿意或效果有限，因此，仍在尋求新的解決方案。

(一)成立自動交通監控中心預防超速行駛

自 2011 年起，波蘭自動交通監控中心 (Centre for Automated Traffic Surveillance, CANARD) 開始運作，主要目的為預防道路上最大的威脅，亦即超速行駛。2016 年 CANARD 在歐盟資金的支持下完成了自動區段速度控制系統 (automatic section speed control system) 的安裝，該系統裝置位於波蘭國道上的 30 個區段。類似的系統亦已經在歐洲運作，也在安全統計數據上展現成效。在荷蘭和奧地利，死亡和嚴重受傷事故的數量減少超過 50%；在意大利，平均行車速度降低 15%，死亡人數降低 51%，受傷人數降低 27%；在挪威，受傷事故減少 12%，較不顯著，但死亡或重傷人數顯著降低 49%。

(二)自動區段速度控制系統設備

自動區段速度控制系統的操作，區段的速度數據係從系統操作者獲取。系統設備部分，在這些區段進行速度測量時，係使用安裝在檢查點上一組兩個自動車牌識別(Automatic Number Plate Recognition, ANPR)的攝影機。車輛通過每個受控區段起點與終點的檢查點時，會被攝影機偵測與紀錄。每個攝影機會讀取車牌並使用密碼方法對其進行加密。當車輛離開受控區段時，再次讀取車牌，並將其與在區段開始時所截取的車牌進行比對。使用這兩個數據記錄以及它們之間的經過時間，系統會根據區段的長度計算平均速度(Ziolkowski R., 2019)。

二、雪山隧道自動科技化執法系統

雪山隧道通車於2006年6月16日，全長12.9公里，該隧道位於新北市坪林區與宜蘭縣頭城鎮之間，屬於北宜高速公路橫貫雪山山脈之路段，建造目的為改善台北至宜蘭之間的交通，及促進東部地區的經濟發展，雙向四車道之型態，規劃最高限速為每小時90公里、最低速限為每小時70公里(國道高速公路局，2017)。

(一)取締項目

在交通管制措施方面，除限制特定車輛進入之措施及隧道內禁止變換車道之一般限制外，規定一般小型車應保持50公尺以上之行車安全距離，大型車應保持100公尺以上之安全距離。如因隧道內發生道路壅塞、交通事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時20公里或停止時，所有車輛應保持20公尺以上之行車安全距離。且隧道內並無路肩設置，除每1,400公尺設置一處緊急避車彎外，無任何可安全停駐之執法區域，故執法實務上，不宜於隧道內進行攔停車輛，必須仰賴固定式數位自動照相執法設備來輔助警察進行交通違規的取締。該系統兼具有：數位違規影像具有加密及防篡改機制，以確保影像及資料之真實性及證據能力；系統具備遠端設定、遠端檢修及檢測校正功能，對系統功能異常時自動提出警訊並通報勤務指揮中心通知必要人員進行檢修；可偵測車流量、即時速率，判斷車流是否壅塞，壅塞時系統可依使用者設定是否自動關閉系統。而雪山隧道科技執法系統於106年6月15日正式啟用，取締項目如下：

- 1.取締超速及慢速車：速度偵測雷達所應用的原理，是發射無線電波及反彈回來的無線電波中間的變化頻率。由這兩個不同頻率的差值，便可依特定的比例關係，而計算出該電波所碰撞到物體的速度。
- 2.取締未保持行車安全距離：偵測方式是將雷射光束在道路上建立一條掃描牆，當車輛經過會造成雷射光束反射，控制主機藉由雷射光束反射回的時間差計算出車輛之距離，惟此項違規目前暫時由執勤員警現場取締之。
- 3.雙白實線區段禁止變換車道：於兩車道中央上方及中線上方各裝設一顆掃描雷射(共計三顆)，當車輛碰觸中線上方掃描雷射即觸發訊號至照相及錄影等蒐證設備，取締違規的車輛。

(二)取締成效分析

根據國道公路警察局的統計資料，自 106 年 6 月 15 日至 107 年 6 月 14 日止，取締成效說明如下：

- 1.違規車行分析：由圖 2.3-1 所示，不論南向或北向違規，超速高居雪山隧道違規的第一名，因此，速度管理會是首要在建造隧道的重要課題。

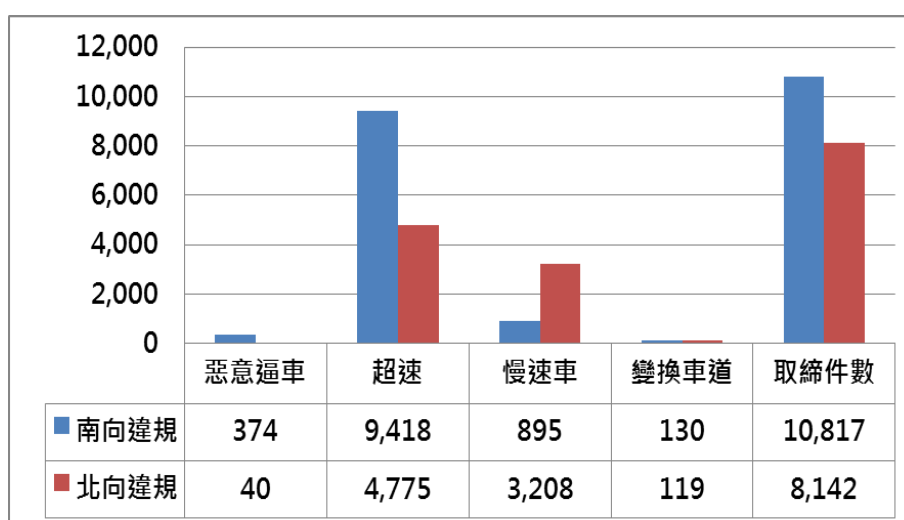


圖 2.3-1 雪山隧道違規車行分析

- 2.違規時段分析：由圖 2.3-2 所示，不論日間或夜間時段，超速高居雪山隧道違規之首，顯然易見，超速跟慢速車之違規仍占大宗，與時段或車行無關。

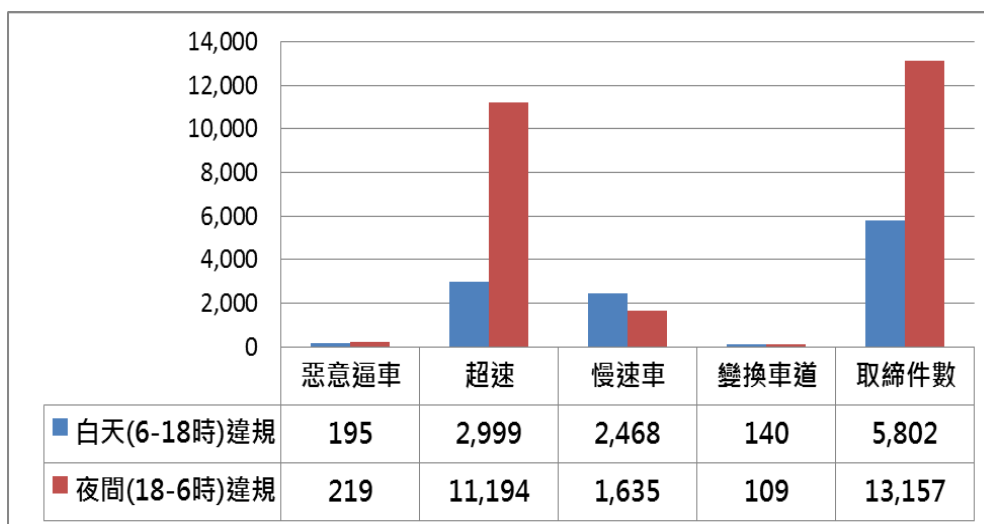


圖 2.3-2 雪山隧道違規時段分析

3.假日/非假日分析：由圖 2.3-3 所示，非假日的違規幾乎是假日違規件數的兩倍之多，此原因可能是因為假日雪山隧道車流壅塞的關係，所以假日的違規件數較少。

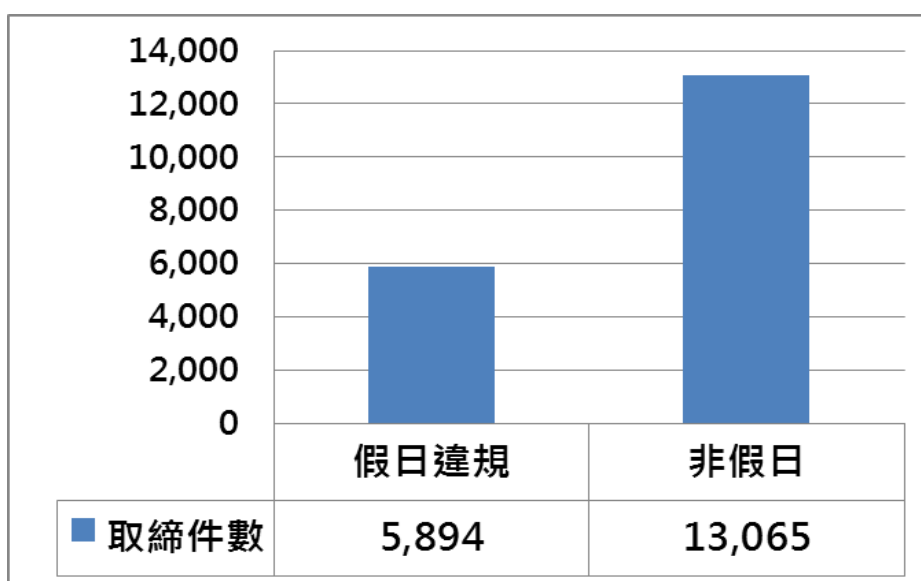


圖 2.3-3 雪山隧道假日/非假日違規分析

4.啟用前後分析：106 年 6 月 15 日至 107 年 6 月 14 日(啟用後)與 105 年同期比較(未啟用)，由圖 2.3-4 所示啟用前違規取締件數為 7575 件、交通事故件數為 74 件，啟用後違規取締件數為 18959 件、交通事故件數為 46 件，違規取締件數明顯增加、交通事故件數明顯減少，顯現科技設備的確可以彌補員警之不足，且 24 小時不間斷地監督，可有效遏阻用路人僥倖違規行為。

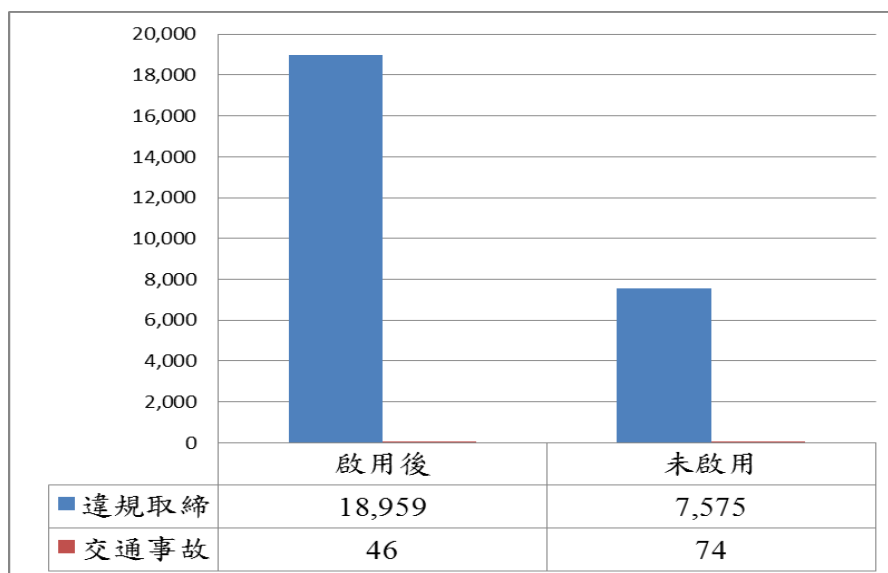


圖 2.3-4 雪山隧道科技執法啟用前後分析

三、萬里隧道區間平均速率執法系統

平均速率執法是在現行許多交通執法技術中，一種相對較新的技術方法，在許多的國家越來越盛行。雖然這種技術實際使用上是對於執行道路速率的管制，但也存在了其他領域的應用，例如用於監視範圍內的其他交通違法行為、區域進入監管、被盜車輛追蹤等。每台車輛進入這個執法區間時，車輛號牌或車輛特徵，以圖像的方式被機械自動捕捉，隨後記錄進入系統中，接著再利用車牌自動識別(Automatic Number Plate Recognition, ANPR)和最佳字符識別(Optimal Character Recognition, OCR)技術，核對車輛並登記細節，而車輛的平均速度是通過將兩個照相點之間的已知固定距離，與通過這兩個偵測點之間的旅行時間來計算，如果計算出車輛的平均速率超過該路段規定的車速限制，車輛圖像和違規紀錄，將從地區處理器經由通信網絡傳送到中央處理單元，作為取締的依據。

平均速率執法是在現行交通執法技術中，一個相對較新的和創新的技術方法，在一些高度機動的國家是越來越流行。雖然這種技術使用上最常見的是實現對於執行道路速率的限制，但其實也存在了其他的應用，諸如用於監視範圍內的其他交通違法行為，其中包括車道和收費執法、區域進入監管、被盜車輛追蹤、識別無照駕駛者等（吳坤霖，2016）。我國新北市萬里隧道實施國內第一個平均速率執法系統，從 108 年 5、6 月宣導，7 月 1 日起開始執法，以均速超過 70 公里優先舉發，經統計 4 月份（宣導前）行車速率超過 70 公里車輛數約占總通行車輛數 10.56%，自 5 月設置相關

告示牌面全面宣導後，違規率降為 6.02%，6 月份再降低至 4.60%，7 月初實施半個多月後，雙向超速比例從已從原本的 6.8%到 13.9%降至 0.9%到 1.47%，整個 7 月正式執法後，更下降至 1.10%，已有效降低超速違規。

2.4 小結

- 一、當長隧道壅塞時，將因車輛引擎溫度高、廢氣排放及上坡熱氣之累積而使隧道內之溫度上升，並使排煙量因體積膨脹而下降，故排煙性能模擬應考量煙塵「中性面」因浮力所造成隧道內外的壓力差。
- 二、長隧道內通行機車將面臨溫升與空氣品質問題，高溫將對人體產生傷害造成熱衰竭，而空氣品質亦可能導致不適危害健康。機車用路人無法像汽車用路人與外部隔絕，汽機車排放之廢氣將造成直接的影響，造成用路人不適提高車禍發生機率，且嚴重者恐致休克或死亡。
- 三、我國冬季時隧道內部仍維持二十幾度，使隧道將產生內外溫差，於進出隧道時，會造成鏡面霧化，能見度降低，應考量此一情形造成行車安全上之疑慮。
- 四、國內機車發展背景獨特，以排氣量 51-250c.c.及通勤目的為主，使用目的與日本較為相近，且同為基礎建設完備及為已開發國家，故建議以日本作為參考之目標。
- 五、於無法對機動車輛採取直接設備限速的前提下，應對其進行速度管理，以維護道路安全。
- 六、隧道事故分析中得知「追撞」為最常發生之事故型態，且其主要肇因前二名分別為「未保持行車安全距離」及「未注意車前狀態」，均可透過保持更長的行車間距及強化對均勻速度的管理來降低肇事風險。
- 七、經高雄過港隧道個案檢討，違規中屬逕行舉發者（含民眾檢舉、肇事舉發）約占 99%，可知因隧道特殊行車環境導致隧道內執法不易，故現行交通執法措施須有所改變，可利用科技執法來輔助交通違規之取締，進而保障隧道內用路人行車與警察執法之安全。
- 八、隧道內事故因碰撞路側物體之死亡率較高，應檢視相關路側設施是否易使用路人摔倒滑行造成危害。

- 九、混合車流為應探討之議題，在車道無分隔的情況下，機車與其他車種之交通衝突機率將增加，設置機車專用道為有效之改善方法，若條件無法設置機車專用道，則可訂定隧道行駛規範(如禁止併行)、汽機車互動準則等亦，以列為相關推動之配套。
- 十、依據世界衛生組織(WHO)及經濟合作暨發展組織(OECD)對於人體受車輛碰撞時速度與死亡率關係的研究 (OECD/ITF, 2008)，當車輛撞擊速度提高至時速 50 公里時，則多數(80%以上)無車體保護的用路人會死亡，故依據安全系統的原則，應評估訂定比純汽車行車環境更低的速限，且基於使車流均質的考量，汽機車建議採相同速限。
- 十一、經雪山隧道科技執法之案例，推動前與推動後最顯著的差異是違規取締件數明顯增加及交通事故件數明顯減少，未來長隧道機車通行之條件之一，初步建議相應之科技執法(如區間測速等)應列為相關推動配套。綜整本章國內外文獻回顧與案例蒐集，已可初步掌握長隧道通行機車時可能遭遇之各項挑戰，後續將就本章蒐集之資料羅列長隧道通行機車時應具備的各項條件。

第三章 長隧道通行機車條件與課題探討

前述章節就國外長隧道案例蒐集、國內外機車發展現況與安全議題及長隧道通行機車相關資料等作回顧，本章將綜觀長隧道通行機車時應考量之各項條件與要素並將其方別作探討，分為環境面因子對人車的影響、交通面因子對人車的影響、民意面因子對政策分析的影響、用科技與創新服務面對問題等，並就可能之發展瓶頸提出關鍵課題與對策。

3.1 長隧道通行機車應考量之條件

一、環境面因子對人車的影響

綜觀隧道內行車環境可能對機車用路人造成的影響，主要可分為汽機車廢氣排放、隧道內高溫及隧道內照明三項，探討可能之影響因素包含隧道內車流量、氣溫、安全設備及現行標準等，將可能之影響因素分項作說明如下所列。



圖 3.1-1 環境面因子對人車的影響

(一) 隧道內車流量

車流量多寡直接影響到隧道內廢氣排放量及溫度，故探討行車環境時，應思考有效的車流量管制手段，避免交通壅塞導致短時間內廢氣濃度及溫度急遽上升之情形發生。

(二) 氣溫

臺灣地處亞熱帶季風及熱帶季風氣候區，每年5月至9月天氣炎熱，氣溫直接影響隧道內的溫度，探討隧道內溫升問題發生時應將此一因素納入考量。

(三) 安全設備

隧道內通風設備直接影響隧道內廢氣濃度與溫度，應仔細評估通風設備的設計標準與操作特性，檢視其是否能應付交通壅塞時頻繁的運作，以減少對硬體壽命及電費的負擔。另由於進出隧道時因環境亮度之變化會導致行車速率變動較大而增加事故風險³，而目前國內長隧道照明設計上主要以汽車用路人為考量，未來興建長隧道時應考量機車用路人一併納入照明設備之設計規劃，方可打造適合機車通行之環境，以提升機車用路人於長隧道內之行車安全。

(四) 環境標準

隧道空氣品質上，國際上普遍引用世界道路協會 PIARC (Permanent International Association of Road Congress) 所制定之隧道空氣品質標準，惟未來長隧道如要通行機車應該考量機車之特性，在用路人暴露於車體外之環境下，交通壅塞時廢氣濃度及溫度將急遽上升至可能危害健康之程度，應妥善規劃與訂定未來隧道內環境標準是否適用於機車用路人。

二、交通面因子對人車的影響

綜觀隧道內通行機車時，可能影響機車用路人行車安全之交通因子包含隧道內行駛車種、駕駛安全配備、道路設計及隧道內行車規範等，將可能影響之因素分項作說明如下所列。

³根據 Statistical Analysis of Traffic Accidents in Shanghai River Crossing Tunnels and Safety Countermeasures，為了消除進入隧道內的「黑洞現象」(進入隧道用路人需時間適應昏暗的光線條件)及出隧道的「白洞現象」(出隧道用路人需適應明亮的日光條件)，建議仔細設計隧道出入口前後各 50m 的照明設備，可有效減少這些區域較高的肇事率情形。

交通面因子對人車的影響



圖 3.1-2 交通面因子對人車的影響

(一) 行駛車種

交通事故發生之常見原因包含人為因素與速差，若未來長隧道如要通行機車，則應考量允許的機車車種(如大型重型、重型、輕型、電動機車等)，以及在與不同車種共同行駛時可能產生速差危險之情形，考量允許行駛之機車車型時，應同時考量隧道內上下速限及可行駛之車種限制，避免隧道內產生速差影響用路人之行車安全。

(二) 駕駛配備

駕駛配備於行車安全上亦為一重要考量因素，目前國內便有規定機車用路人須配戴安全帽始可上路，參考國外亦有要求機車用路人於通行長隧道時應配戴指定配備之要求，如接收廣播裝置、頭盔與安全服裝等，藉以提升用路人的行車安全。另亦可考量空氣污染防制裝置，保障用路人於隧道內廢氣濃度急遽升高時不受影響。

(三) 道路設計

道路設計及斷面配置應考量不同車種行駛時可能造成之危險，並考量不同車種的路權作設計與配置，如機車專用車道設置、車道路寬、車道間隔、分隔帶的標線劃設、進隧道前的門架指示牌等，透過完善的道路設計提升用路人行車安全。另長隧道因環境封閉不如一般戶外道路，汽車廢氣內殘留的油氣大多難以散去，甚至車主不知情的底盤滲油問題，也都直接積存在隧道路面上，機車若高速

行駛又快速變換車道亦很容易發生打滑失控事故，應於道路設計時納入考量。

(四) 行車規範

人為因素為國內交通事故發生之主因，故未來長隧道機車通行之條件，應考量國內機車用路人使用習慣，制定隧道內的行駛規範，如隧道內禁止超車、併行、開大燈及閃黃警示燈、車速上下限、跟車間距等，以減小事故發生的機率。

三、民意面因子對政策分析的影響

國內現行尚未有長隧道開放機車通行之案例，惟目前各界已開始關注此一議題。107年2月熱心民眾於公共政策參與平台上提案「開放蘇花改多車種通行」，更跨越5,000人連署門檻成為開放政府聯絡人協作會議的討論主題。在此次討論中關注的議題包含開放策略、混合車流、行車規範等，未來民眾意見須充分溝通，包括贊成、不贊成的族群，取得大多數民眾對政策決策的認同。



民意面因子對政策分析的影響

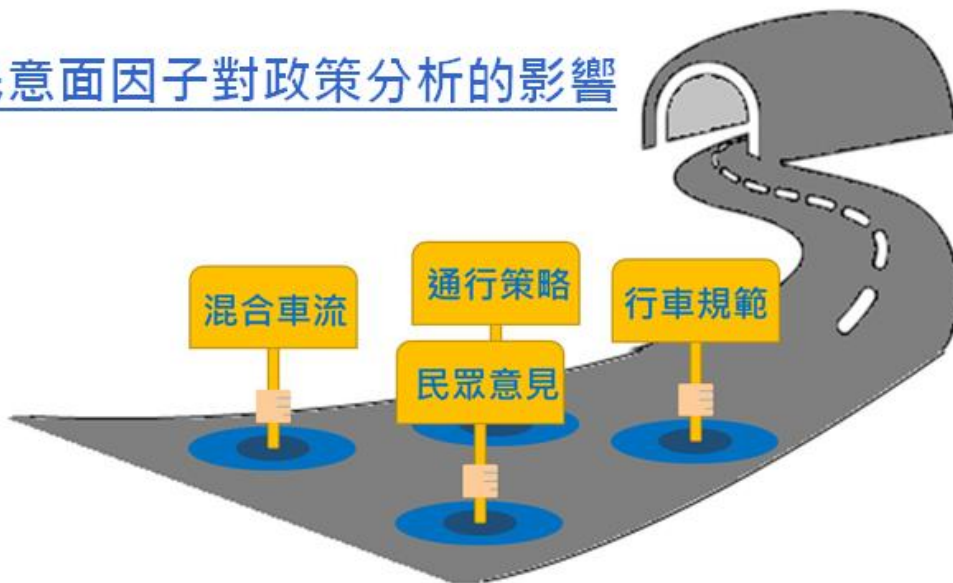


圖 3.1-3 民意面因子對政策分析的影響

(一) 混合車流

考量國內特有之混合車流情形，未來長隧道通行機車之評估，應於設計規劃階段以多維度研擬需模擬的情境，包括車流量多寡、汽機車比例（當混行的時候，流量低時分道行駛沒有混行問題）、汽車車種、機車不同車型比例（因機械操作特性不同）、機車用路人族群（年齡性別有影響）、隧道內行車規範等，以確使機車通行無疑慮。

(二) 行車規範

未來長隧道機車通行之條件，須考量總量管制與隧道內行車規範（如速限、車間距、禁止變換車道等），並考量行車安全各項因素，可配合階段策略作分逐步測試與導入，確使各車種行駛長隧道之安全無虞。

(三) 通行策略

現行並無長隧道機車通行之案例，未來新建之長隧道應採用何種形式確認各車種之通行，是否採漸進式逐步通行，以避免車種通行後有收不回對民眾承諾的情形發生，另漸進式開放應搭配行車規範試辦，並於期間累積測試並檢討是否與規劃構想相符。

(四) 民眾意見

日前民眾透過公共政策網路參與平臺，已對於長隧道開放機車通行之議題表達熱切之關注，本計畫亦因應此提案進行政策研究，因此，後續應充分溝通民眾意見，讓民眾能共同參與政策討論，用充分的資訊，讓參與者理性思考，達到政策共識。

四、用科技與創新服務面對問題

科技於交通面之應用日新月異，創新服務亦可見於世界不同交通管理案例中，如何以科技技術與創新服務保障長隧道內機車之行車安全與確保隧道通行順暢，透過探討科技設備、科技應用、創新服務等因素，應可以智慧化管理取代以往成本較高或成效不彰之管理手段，有效解決隧道內行車的交通課題。



圖 3.1-4 科技與創新服務應用

(一) 科技設備

近年科技設備快速進步，也已有許多於交通管理實務上之應用，透過即時交通資訊、良好的網路及通訊環境、感測設備及影像辨識等技術精進，於長隧道管理上可望作更多應用。

(二) 科技應用

透過科技的應用，未來僅需設定隧道流量與速度目標值，並透過即時監控交通數據，進行匝道儀控便可達到管理之效。國內案例中，國道 5 號雪山隧道已有長隧道透過掃描雷射、無線電波等高科技取締未保持行車間距、超速、過慢車及任意變換車道等違規行為，透過科技執法預期將可更有效的作為未來長隧道通行機車時之管理手段。另於交通量管制上亦可透過即時的資訊系統作管理，預防交通壅塞之情形發生。

(三) 創新服務

目前交通方面之創新服務於全世界各地皆有不同之應用，長隧道通行機車之方式亦有許多創新作法，如英法隧道是一座 50.5 公里長之海底鐵路隧道，透過列車之行駛可直接載運汽車及機車到達目的地，汽機車可直接駛上列車中，等待列車行駛到目的地時，再將車輛駛出列車。另如建置實名制的上路預約系統，以預約式的交通服務亦可達到管控通行隧道之各車種數量之效。

3.2 關鍵課題與對策

隧道為一封閉空間，環境品質將影響駕駛人身體狀況，進而影響到駕駛能力。另一方面，交通量的多寡亦將影響隧道內的環境品質，因此，亦應釐清交通量或行車速度的管制機制，以確保隧道內環境品質。此外，國內機車車種性能差異甚鉅，為避免速差危險情形發生，亦應深入探討如何界定可通行之機車車種。

本計畫研究範疇在：長隧道通行機車可行性研究，因此，綜合前述各面向影響分析，本研究歸納後續研究長隧道通行機車的關鍵課題，說明如下。

長隧道內流量管制

一、隧道內流量過多的問題

長隧道具有長期封閉之特性，長時間處於溫度高及空氣品質糟之環境將危害到機車用路人健康，故須管控隧道內單位時間之車流，減少機車用路人之通行時間及對隧道內環境之影響。隧道內流量管制包含總流量、分車種及分時段之管制等，隧道內車流量及行駛車種將直接影響到行車安全與行車環境，國內目前尚未有長隧道通行機車之案例，且混合車流特性較為複雜，亦需考量不同車種行駛時可能產生之影響，以及塞車時可能導致隧道內溫度與廢氣濃度快速上升，導致可能危害機車用路人之情形發生。

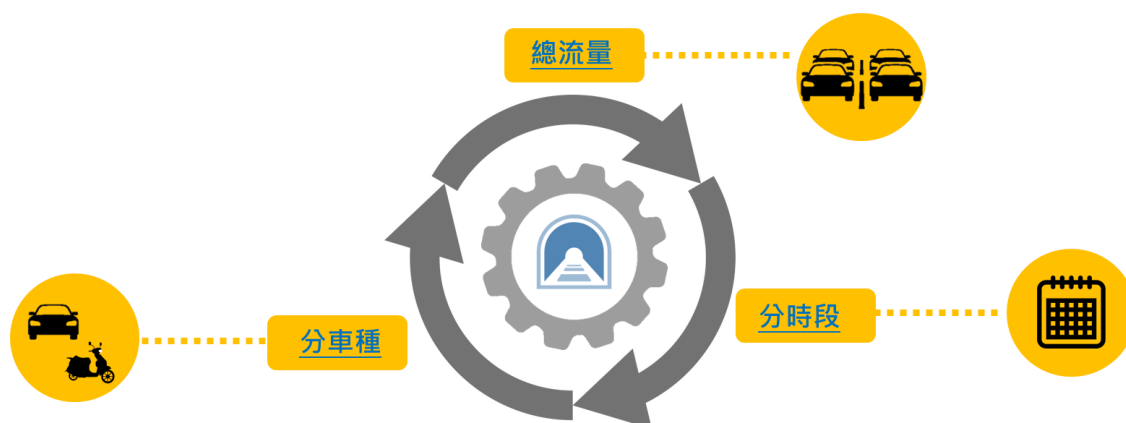


圖 3.2-1 長隧道內流量管制之課題

二、後續因應做法

一般而言，國內外車流管制方式包含紅綠燈、匝道儀控、柵欄、收費站、高乘載等方式控管，此些手段雖可達到管制流量之效，但可能成本較

高或不適用於長隧道之管理，後續研究應深入探討符合我國未來機車通行長隧道之流量管制策略與手段，以保障機車用路人的健康與安全。除一般常見之流量管制策略外，亦可善用資訊科技之優勢於此一課題上，故本團隊提出創新之「預約式服務」，用路人須事先預約通行之時間，以各時段預約名額限制通行之車流量，以創新手段達到有效之管理，詳見 6.3 小節-科技執法結合流量管制。

落實行車安全規範

一、行車規範難以落實的問題

隧道內行車規範將直接影響用路人行車安全，國內外雖已有許多長隧道內行車規範可作參考，惟各隧道特性不同，其流量、道路設計、消防安全設備等皆須納入行車安全規範時的考量，確保隧道內行車安全在速率上下限、行車間距及變換車道等規則訂定時可能對隧道內行車產生之影響，故應因地制宜訂定適宜之行車規範，另考量國內混合車流及用路人行為等特性，如何落實隧道內行車安全規範使用路人遵守亦是一項重要之課題。



圖 3.2-2 落實行車安全規範之課題

於日本山手隧道案例中可見，目前已是汽機車混流的混合車流型態，前述章節探討日本駕駛行為，探討其機車考照制度較國內嚴謹故用路人行為亦較為嚴謹，國內短期內若無法於考照制度方面著手改善用路人習慣，則無法確使長隧道內機車用路人皆恪守交通法規。故應可透過加強取締與罰則等方式，達到嚇阻之效，減少民眾違反隧道內行車規則之情形發生，以保障長隧道內通行機車之安全。



圖 3.2-3 導入新科技輔助的創新應用之課題

二、後續因應做法

行車安全規範應如何落實是一項重要之課題，若已訂定詳細嚴格之行車規範，但執行效率不彰就無法有效制止用路人之不良駕駛行為，如 2.3.2 小節-國內隧道交通事故特性分析之高雄過港隧道交通違規舉發分析，隧道內人力執法難度大且風險高，故可運用科技力取代傳統人力達到取締違規之效。目前國內已有導入新科技輔助的創新應用，如科技執法於雪山隧道及萬里隧道等案例，從此些案例皆已證明有效的落實執法是改善用路人行為的良方，可以高違規取締率來嚇阻用路人，避免因任意變換車道等行為造成隧道事故之發生，未來應可朝此一方向作更深入之探討，詳見 6.3 小節-科技執法結合流量管制。

通行之機車車種

一、未來新建長隧道機車通行之車種問題

探討長隧道通行機車時，亦應考量國內機車車種繁多，且汽機車各車種之性能不同差異甚鉅，考量隧道內若未適當規範可通行之車種可能產生速差之情形，導致肇事機率上升，故未來長隧道可通行機車之車種探討亦是本案一大重點課題，建議應就國內機車之發展特性作更深入之探討研究。

依據我國《道路交通安全規則》第三條第六款(民國 108 年 03 月 29 日)制定，現今機車之分類方式如下所列。

機車：

一、重型機車：

(一)普通重型機車：

1. 汽缸總排氣量逾五十立方公分且在二百五十立方公分以下之二輪或三輪機車。

2. 電動機車之馬達及控制器最大輸出馬力逾五馬力且在四十馬力（HP）以下之二輪或三輪機車。

(二)大型重型機車：

1. 汽缸總排氣量逾二百五十立方公分之二輪或三輪機車。
2. 電動機車之馬達及控制器最大輸出馬力逾四十馬力（HP）之二輪或三輪機車。

二、輕型機車：

(一)普通輕型機車：

1. 汽缸總排氣量在五十立方公分以下之二輪或三輪機車。
2. 電動機車之馬達及控制器最大輸出馬力在五馬力（HP）以下、一·三四馬力（電動機功率一千瓦）以上或最大輸出馬力小於一·三四馬力（電動機功率小於一千瓦），且最大行駛速率逾每小時四十五公里之二輪或三輪機車。

(二)小型輕型機車：電動機車之馬達及控制器最大輸出馬力小於一·三四馬力（電動機功率小於一千瓦），且最大行駛速率在每小時四十五公里以下之二輪或三輪機車。

三、前二目三輪機車以車輪為前一後二或前二後一對稱型式排列之機車為限。

表 3.2-1 汽油引擎及電動機車車牌分類標準

項目 \ 車種	普通輕型	普通重型	大型重型-黃牌	大型重型-紅牌
汽油引擎機車 (排氣量)	50cm ³ (c.c.)以下	51-250cm ³ (c.c.)	251-550cm ³ (c.c.)	551cm ³ (c.c.) 以上
電動機車 (馬力)	1.34-5hp	6-40hp	41-54hp	55hp 以上
車牌範例				
車牌說明	綠底白字	白底黑字	黃底黑字	紅底白字

二、後續因應做法

汽油引擎機車係以車種排氣量大小作為分類依據，而電動機車係以車種馬力大小作為分類依據，共可分為五種不同之車牌種類，檢視國內訂定機車行駛車種限制時，普遍係以車牌顏色作為標準，然而排氣量及馬力的大小不能實際反應車輛行駛之安全速率，且目前我國普通重型機車車種繁雜，汽油引擎機車、電動機車及不同廠牌車種的性能亦有所不同，建議未來探討長隧道通行機車之車種限制標準時，應進一步探討就車牌分類訂定標準之適切性。各不同隧道行駛條件與特性不同，其行駛之限制亦可能不同，如坡度、道路寬度、速率上下限等，制定標準時應審慎考量各車種之特性，避免隧道內不同車種速差情形產生，以利長隧道內之行車安全。詳見 6.2 小節-機車可通行種類之標準。

如何有效溝通政策，獲取共識

一、過去政策溝通方式的問題

國內政策研究或大型規劃案均要求列入意見徵詢或政策溝通工作項目，然由於工作方法僅侷限單向政策說明，缺乏與利害關係人的意見交流，導致未能達到意見溝通的成效，甚至造成政府與民眾間的不信任。過去政策研究對於意見徵集與政策溝通的做法一般為辦理座談會、說明會或單位訪談，這些做法的缺失綜整如表 3.2-2。

表 3.2-2 傳統意見徵集與溝通方式之缺失彙整表

溝通方式	缺失項目	說明
1.座談會	1.1 無意見溝通，僅意見表述	邀請專家多，各自表述意見後，已近會議預定時間，並無溝通，會議即該結束。
	1.2 僅專家意見，缺乏利害相關人意見	因邀請人多為專家學者，或受限人數，缺乏不同利益相關人參與意見。
	1.3 意見分散無共識	由於各專家僅就各自立場表述，無意見交流，或針對不同意見做交叉溝通，找出共識，故會議意見分散，最後由主辦單位選擇偏好意見。
2.說明會	2.1 人數多，無法溝通	參與人數數百人，或多為反對者，場面難以控制，更難溝通。
	2.2 民眾意見難以納入規劃方案	因說明會辦理時間多在成果已接近完成階段，如期末階段，成果已接近完成，民眾意見自然難以納入修正調整。說明會僅流於計畫執行的一個過程，並無徵詢民意的機制。
	2.3 造成民眾與政府	說明會過程因政府與民眾各自表述，無法達

溝通方式	缺失項目	說明
	的相互不信任	到溝通目的，且民眾意見難以納入規劃方案，導致民眾認為政府無溝通誠意，政府則認為民眾無法溝通，加深雙方的隔閡。
3.單位訪談	3.1 個人意見，過於狹隘	單位訪談常由非主管或承辦業務同仁擔任，然承辦業務同仁多數為年資不深的第一線人員，侷限個人所知範圍。
	3.2 不易對未來發展提出想像或評估影響	個人意見，不易刺激想像，對未來發展提出看法或評估影響。
	3.3 不同單位意見難以收斂，且造成不信任	訪談時對於各單位意見大都全盤接收，表明會納入考量，但不同單位立場不一，自然意見不同，規劃單位無法配合某一單位想法，故各單位對於提出方案均有意見，且認為溝通單位未能反映意見。

資料來源：汽車燃料使用費徵收制度之研究，交通部運輸研究所，民國 106 年 12 月。

二、後續因應做法

整體而言，上述意見徵集與政策溝通傳統做法之缺失，大抵可歸納為「期末階段辦理，民意難以納入」、「各自表述意見，無交流溝通」、「意見分散無共識」、「民眾多無法溝通」等四方面。本研究對於傳統溝通做法缺失之相應對策說明歸納如表 3.2-3，概述如下：

- (一)納入民意：於計畫執行過程即同步進行意見徵集；
- (二)意見溝通：採小組交流、腦力激盪方式取代大型說明會；
- (三)意見共識：透過議題與流程設計引導小組成員充分討論；

表 3.2-3 傳統溝通缺失的對策說明

傳統溝通缺失	對策	說明
1.期末階段辦理，民意難以納入	意見徵集與方案研擬、評估同步執行	研究過程即進行意見徵集，廣收各利益相關人意見，納入方案研擬與評估因子，評估成果亦公開說明
2.各自表述意見，無交流溝通 3.民眾多，無法溝通	採小組溝通	提供可溝通的環境，包括舉辦小組討論式的溝通會議，透過議題設計並引導討論，使不同意見進行交流溝通及激盪。
4.意見分散無共識	設計凝聚共識流程	針對意見不同處，充分討論優缺點，由小組成員找出共識意見

資料來源：汽車燃料使用費徵收制度之研究，交通部運輸研究所，民國 106 年 12 月。

建議採用成熟運作的公眾參與作法，邀請利害相關人針對關注的議題進行討論，並提供充分資訊，讓參與者有充分資訊，並聽到不同立場人的意見，充分交流，找出各立場可以接受的方向，提出政策建議。

第四章 意見徵詢及溝通

本案除透過文獻回顧與蒐集長隧道通行機車條件與課題探討外，亦將透過多面向之意見徵詢及溝通，凝聚各界對於本案之共識，其中將包含用路人或利害關係人相關意見蒐集、專家學者相關意見蒐集及公眾參與溝通等，分項工作說明如後。

4.1 用路人或利害關係人相關意見蒐集

用路人及利害相關人意見將透過訪談及民意蒐集，現階段先整理國發會開放政府平台中第三十二次協作會議的交流成果。

關於長隧道通行機車，依據開放政府聯絡人第三十二次協作會議，邀請各級機車權益促進會人士及相關學者與公路總局、環保署共同座談，本計畫將此次座談會重點意見整理如下：

一、車種特性

針對車種的特性比較，機車的機動性較強，大型車的機動性就相對較差一點，因此相對上一些車種陸續進來時，都會有一個視線的死角及剎車距離會比較長，因此有一些機車跟大型車的特性是完全不一樣的。民間學者認為針對車種特性的不同，應該以嚴格執法為主要方式，而不是禁止機車行駛隧道。

二、機車風險爭議，發生機率與嚴重度均須考量

機車行駛在混合車道與專用車道比較，依據交通部運輸研究所研究事故發生的傷亡嚴重度來看，機車有專用道或是使用優先道是比較低的，在混合車道跟快車道傷亡的風險比較高（如表 4.1-1 所示）。

表 4.1-1 機車行駛不同車道之路權保障及事故嚴重性之比較

行駛車道	機車 專用道	機車 優先道	慢車道	一般車道 (混合車道)	快車道	路肩、 路緣
路權保障	優	良	良	一般	一般	無
事故嚴重性 (傷亡風險比)	0.86	1.28	1.00	1.28	1.51	1.77
註：傷亡風險之定義為((死亡+受傷)/(未受傷+不明))；傷亡風險比係各事故位置風險相對於慢車道風險之比值						

資料來源：交通部運輸研究所

而民間意見認為「交通部至少要提出 SWOT 分析，將優缺點並列，並不是說機車會死亡、機車肉包鐵。」認為不能一直以機車事故的死亡率高當作理由，而是要具體做出分析研究，給一個具體的科學答案。

三、車輛違規對安全的影響

依照 OECD 的研究來看，其實行駛的速度不當，機車的傷亡會比較大，所有的車種依照行駛速度來看的話，不同的車種還是一樣會有不同的行駛速率，一旦發生事故的話，機車沒有外在的保護，所以傷亡性會比較高一點。

民間學者提出建議：「將『速限 60、安全距離 50 公尺』定為標準，不應該禁止車種，因為一條單車道上含有各車種，所有用路人都遵守規矩，絕對不會有任何的危險，並不會發生什麼事故。」若能訂定規則，嚴格執法，那麼任何危險均不會發生。

另外，公路總局委託檢視台 64 及國三甲所有的駕駛行為人之自律部分及所產生違規的部分，計算出重機違規率是 8% 至 11%，小型車是 1% 至 2%，重機的違規率顯然高於小型車，若未來長隧道如要通行機車，勢必得加強規範機車在隧道中違規行駛行為，並且對症下藥。

四、行駛速度

依據經濟合作暨發展組織指出，機車在行駛速率「30」發生碰撞時，交通事故的死亡率是 10（%），但是如果碰撞速度超過「50」的話，死亡機率就會大大提升，蘇花改的速限是「60」，碰撞的死亡機率大於九成。希望透過不同車種的分流使運行順暢，以減少事故及衝度的發生。

五、隧道環境品質問題

根據研究隧道溫度只要超過 37 度，人就會不舒服。而一氧化碳與 PM2.5 的部分也是超標，目前沒有相關的法規來限制。

民間意見認為：「政府應提供臺灣隧道相關的溫度、空氣品質與噪音的數字，再討論才有一個依據。」以及「歐盟的白朗峰隧道已經禁行大型車，因大型車會造成空氣污染，我們卻是禁行小排氣量的機車，這是非常弔詭的一件事」。溫度、空氣品質是影響機車騎入隧道產生危害的因素之一，但目前我國並未提及相關數據研究證實的確有影響，亦未訂定

標準，無法讓民眾信服。

六、小結

依據開放政府聯絡人第三十二次協作會議中，民間意見之車種混流、速度管理及單一車道問題，可以藉由科技執法作為配套措施改善問題。

4.2 政策溝通作法

針對前述傳統溝通缺失，本計畫建議採取二作法，以有效改善溝通效果，包括：(1)以著重雙向溝通的工作坊強化溝通廣度及共識；(2)專家座談會採議題討論方式，避免流於各自表述。

一、以雙向溝通工作坊強化溝通廣度及共識

為改善傳統會議型式對於議題討論不易達成共識的溝通效果，本研究引進歐美社會廣泛使用之 Charrette 公眾參與溝通法的工作坊討論模式。Charrette 溝通法應用在公共議題推動上的功能是，可提供民眾參與公共議題規劃的管道，透過溝通討論，移轉民眾價值觀及思考面向，形成民眾自我教育，其方式可視為一種協同的規劃過程，集結各方意見並建立共識以形成一個可代表社會轉型變化的支持力。

二、專家座談會採議題討論方式，避免流於各自表述

專家座談重點在釐清觀念及意見，故針對公民工作坊中爭議大或較需要專業看法部分，納入專家座談會引言及討論議題，採議題方式詢問專家意見，獲取深入討論成果，及專家對決策方向的建議與認同。

公眾參與方式一般稱工作坊或咖啡館，已運用在台灣多項公共政策討論，下面將簡介公眾參與的作業精神及借鏡案例，再說明本計畫公眾參與溝通的作業方式。

4.2.1 公眾參與溝通介紹

一、公眾參與溝通的精神

「公眾參與」是由 Juanita Brown 及 David Isaacs 所提出的世界咖啡館演變而來。世界咖啡館主張「人具有足夠的智慧與創造力，透過討論對話的方式，讓參與者分享知識、反思問題，藉以尋求新的解決方案」。世界咖啡館更強調的是聆聽的過程，藉由聆聽不同參與者的想法，能夠讓自己找

到全新的觀點，或者是體會到自己思考上的盲點，進而跳脫既有的思考框架，激盪出不同的思考模式。

在公民參與當中，可以發現一個共通的精神在：透過溝通討論，讓民眾得以學習新的知識，產生不同面向的思考模式，並在溝通的過程當中，可以交流不同參與者之間的想法，藉以求同存異，引導出彼此共識的建立。政府部門也可在公眾參與當中，探詢民眾的想法，讓政策的形成能夠更加貼近民眾需求。

二、公眾參與希望達到的目的

1. 公眾參與溝通程序是運用系統化的議題討論設計，逐步釐清議題觀點，並可結合具有創意的意見蒐集方式，有效率地達成意見蒐集及溝通的方式。
2. 公眾參與溝通程序提供民眾參與公共議題規劃的管道，透過溝通討論，可移轉民眾價值觀、思考面向，形成民眾自我教育的過程。
3. 公眾參與溝通程序是一個協同的規劃過程，集合各方人才和精力建立並支持一個代表社會轉型變化的可行計劃。

三、公眾參與執行流程

公眾參與的舉辦，主要有前置作業、邀集參與人、議題討論、資訊公開 4 階段工作。相關籌劃工作說明如下：

1. 前置作業

(1) 設定參與民眾討論的議題

由於參與的民眾不見得對於該議題會有過度深入的瞭解，因此議題在設定上，需要盡量化繁為簡，讓一般民眾也能夠輕易地理解欲討論的議題。議題設定可先藉由網路平台或相關管道蒐集民意，初步瞭解民眾對於相關議題的認識與反應，以確保後續議題在討論時，能夠契合民眾的需求。

(2) 分析利害關係人

就討論的議題分析可能受影響的族群，一方面進行意見訪談，另一方面邀請參加溝通工作坊。

(3) 分組參與人規劃

先統計利害關係人的參與數量，再以一桌 9~13 人方式，進行分組。每一組的參與人員盡量維持不同背景或立場組成，讓不同族群的意見可以充分交流溝通。

另外，主辦方需指派至一名桌長，桌長任務在引導該桌討論，綜整結論，但不得有個人意見。因此，桌長應具備該討論議題的專業能力，以清楚了解各方意見，並具備整合能力，可以在各方意見中，協助找出共識及爭議點。

2. 邀集參與人

主要可分為特定族群邀請及網路募集兩種方式。特定族群邀請，主要是針對相關領域的專家學者、已知的利害相關人或團體，讓討論會場上能夠有不同領域的人發聲並交流。

網路募集則主要是邀集不特定的民眾參與討論，確保討論會場上除了相關領域的專家學者及利害相關人外，還能夠有較為客觀的第三方觀點。此外，在參與民眾的募集上，則建議各個族群的參與人數盡量均等，並且也要確保會場上能夠有不同性別的民眾同時參與。

3. 議題討論

(1) 引言說明，提供討論的背景資料

與會民眾開始討論之前，需要先進行議題的介紹及後續討論規則的講解。議題介紹主要是要讓與會民眾清楚本次討論的議題範疇，並對於該議題有初步的背景認識，在討論開始之前，讓民眾具備一定基礎的知識。

(2) 分組討論，但不同背景人員一起討論

討論中則要將與會民眾分為兩組以上的組別，各組別中皆有不同背景或團體的成員。各桌安排一位有經驗的會議引導人，擔任桌長，引導討論的進行及綜整意見。

(3) 依設計議題逐次討論

討論的時程可分為上下兩個半場，上半場針對議題的產生背景做討論，激盪出各成員對於該議題的認識，權衡此議題對於大眾所可能產

生的影響；下半場則針對解決方案做討論，引導各成員提出議題在執行與否的狀況下，所可能的各種解決方案。

(4) 以便利貼加速意見收集

在各半場中，桌長依照排定的問題引導討論，提供各成員便利貼書寫想法，再將便利貼上的意見綜整歸納，引導各成員針對不同的意見發表看法，討論出彼此的共識。

(5) 分組共識分享

最後各組推派一名成員上台代表報告該組共識意見，做分組意見的綜整，最後歸納成此次會議的成果。

4. 資訊公開

資訊公開可以有二作法，一是討論階段的直播或可以擔任觀察員，得知討論過程及成果。另一作法是工作坊會議結束後，主辦單位將討論中的結論進行歸納，除了明列出各成員的共識外，也將未被所有成員所認可，但確實為與會民眾所提出的不同觀點一併陳列，並將這些結論公布於眾，供未參與的民眾能夠瞭解議題討論的內容及不同民眾間的觀點。

4.2.2 國內公眾參與借鏡案例

公眾參與在都市規劃部門運用很多，近年來交通規劃部門亦逐漸採行運用，因為交通議題影響廣泛，不同族群立場不同，更需要凝聚民眾共識。

近期交通議題運用公眾參與方式辦理意見溝通，包括運輸研究所執行的「汽車燃料使用費徵收方式研究」、交通部道安會執行的「交通安全咖啡館計畫」、台北市政府執行「內湖交通改善規劃」、「台北市機車管理研究」等，概述如下。

一、 交通安全公民咖啡館：科技改善交通安全

1. 會議流程

表 4.2-1 公眾參與會議流程

時間	活動主題	活動內容與議程
13:00-13:05	開場致詞	
13:05-13:25	引言及背景介紹	
13:25-13:35	遊戲規則說明	

時間	活動主題	活動內容與議程
13:35-14:15	第一回合議題討論	
14:15-14:45	成果分享及意見整合	各組代表報告
14:45-14:50	休息	
14:50-16:00	第二回合議題討論	
16:00-16:35	成果分享及意見整合	各組代表報告
16:35-16:40	休息	桌長交換心得
16:40-17:10	主持人總結 (大會結論)	焦國安教授

2. 議題設計

第一回合：30 min

- (1).用路人違法會造成哪些問題？
- (2).如何面對這些違法問題？
- (3).目前交通執法的困境為何？

第二回合：60 min

- (4).哪些違規行為與地點可以優先使用科技執法？
- (5).是否可以使用現有已裝設的科技設備？
例如：路口監視器、國道電子收費系統(ETC)
- (6).科技執法有甚麼負面影響？
- (7).支不支持導入科技協助改善交通安全？

3. 參與人

表 4.2-2 科技改善交通安全議題的公眾參與族群

六大背景	單位
產業	新安東京海上產險、全徽道安科技、資訊工業策進會、遠通電收、Uber
交通專業協會	中華民國運輸學會、社團法人中華智慧運輸協會
NGO	中華民國機車研究發展安全促進會、台灣交通安全協會、財團法人中華民國消費者文教基金會(交通委員會)、行政院青年諮詢委員會
政府單位	內政部警政署、交通部路政司、交通部科技顧問室、交通部

六大背景	單位
	運輸研究所、交通部公路總局、交通部國道高速公路局、臺北市政府警察局、新北市政府警察局、桃園市政府警察局
教育機構	中華大學、國立交通大學、臺灣警察專科學校、中央警察大學、中興大學
一般民眾	當地里民及網路自由報名

二、汽車燃料使用費徵收方式研究

該次會議目的在取得下列三項議題的意見，故針對三項議題設計細項議題如表 4.2-3。

1. 汽燃費是否改名
2. 汽燃費徵收方式優缺點及配套
3. 電動車、重車稅等其他討論議題

表 4.2-3 汽車燃料使用費徵收方式研究知公眾參與溝通議題設計

討論議題	時間規劃
1. 汽車燃料使用費更名為道路管理及使用費，你認為有哪些優缺點？ 你贊同？改成哪個用語較合適？	14:00-14:20
2. 汽燃費目前採隨車徵收方式，所列優缺點，你認同那些？不認同那些？ 後續應採納那些配套作法？	14:20-14:50
3. 汽燃費若採隨燃料徵收方式，所列優缺點，你認同那些？不認同那些？ 後續應採納那些配套作法？	14:50-15:20
4. 汽燃費若採隨里程徵收方式，所列優缺點，你認同那些？不認同那些？ 後續應採納那些配套作法？	15:20-15:50
5. 其他共同議題，包括： 電動車是否納入徵收範圍？ 汽缸分級是否更細緻？ 重車是否增加附加稅？	15:50-16:10

4.2.3 本研究意見溝通執行架構

本研究意見溝通作業流程如圖 4.2-1 所示，承接前述意見徵詢所得到的課題，及針對長隧道通行機車所面臨的課題進行分析，並蒐集參考案例，進行公眾參與設計，包括須討論的議題、與議題相關的借鏡做法、及與議題相關的利害關係人分析及邀請。

在溝通會議方面，預計辦理二場公眾參與會議，分別討論長隧道通行機車的條件及隧道行車規範，另就二場討論成果，再辦一場專家座談，以確認成果的完整性及品質。

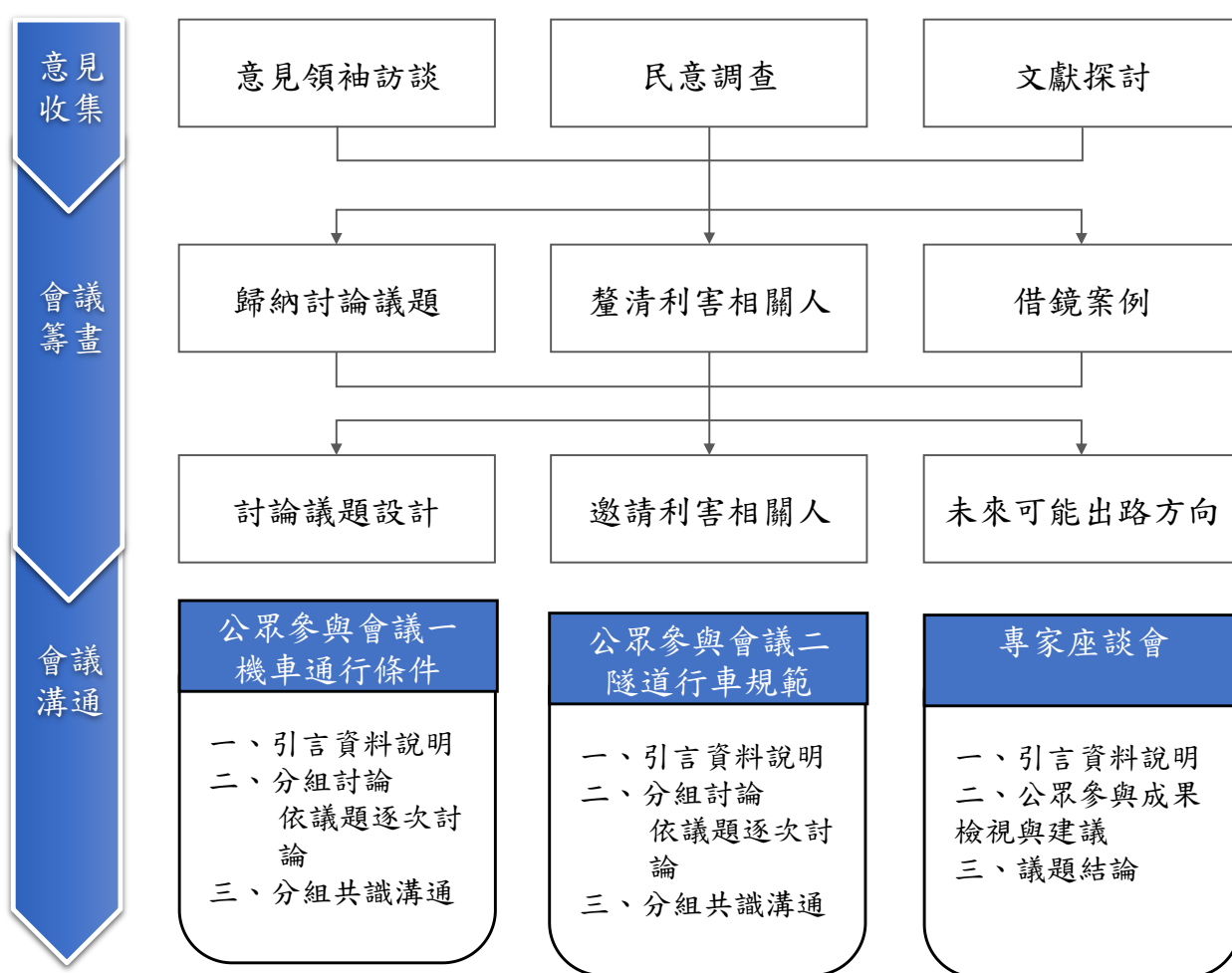


圖 4.2-1 本研究意見溝通作業流程

4. 本計畫初擬公眾參與辦理方式

綜整以上公眾參與執行方式，本計畫於辦理時，可將討論議題設定兩大方向，以供未來決定長隧道機車通行與否時的參考方向。

(1) 長隧道通行機車議題的初擬討論題綱

第一階段：釐清議題，設定背景

- 機車禁止使用長隧道有哪些影響
- 機車進入長隧道，對其他用路人產生的影響
- 機車進入長隧道，所面臨的隧道環境挑戰
- 期待的道路服務願景

第二階段：尋找共識面對的方案

- 假如禁止機車進入，有哪些做為可以改善影響
- 假如允許機車使用長隧道，有哪些做為可以改善影響
- 在哪些條件下，你接受讓機車進入長隧道通行

(2)邀集利害相關人

涉及環境品質對駕駛人影響、交通工程及安全問題、當地居民及所有在此道路的可能用路人

- 環境面專家學者
- 工程界專家學者
- 運輸界專家學者
- 機車用路人、貨車、汽車、自行車
- 東澳、南澳、和平等蘇花公路沿線居民

第五章 車流模擬分析

鑒於目前國內尚未有長隧道通行機車案例，故事先以車流模擬來探討實際狀況將能有利於規劃，提供長隧道通行機車應具備條件之參考，車流模擬之目的主要區分為兩項，一為車流量管理方面，可模擬隧道內車輛是否過多，造成隧道服務品質的下降；以及車間距管理可模擬隧道前塞車之長度是否會超過預期。二為空氣品質管理方面，機車部分廢氣排放量較汽車高，是否造成隧道內空氣品質惡化，或溫度的上升而造成系統負荷增加，可模擬隧道內車輛的廢氣排放量，而隧道內之空氣品質需視通風設備等條件而定。本章將探討長隧道通行機車對車流之影響，首先簡要回顧混合車流模式，其次回顧長隧道的車流特性，接著提出本研究之模擬模式與情境分析。最後，提出未來長隧道通行機車之條件。

5.1 混合車流文獻回顧與分析

亞洲國家普遍存在著汽機車混合車流的特性，相關研究較少著墨於此，多以小客車當量(passenger car equivalent, PCE)進行轉換。而國內過去相關之研究亦因模式限制與缺點及被接受度不高而無持續發展。主要的困難在於無法確定機車的 PCE 值，相關研究顯示(許添本等人，2011，交通部運輸研究所，2011)，PCE 隨著都市不同、旅次型態不同、道路幾何(路寬、車道佈設、優先道設置)與使用管制(路邊停車與否)有所差異。而國內機車數量龐大，尤其在上下班尖峰時，若 PCE 值無法描述機車對道路的影響，往往使得預測或估計都市車流量與路段旅行時間上有所偏誤，造成規劃出之號誌時制在實務操作時產生額外的延滯(許添本等人，2011)。圖 5.1-1 為新竹科學園區之實際汽機車混合車流之路況，圖中可見當汽車已因路口號誌停等時，機車仍會沿著等候車隊間的空隙前進至機車停等區停等，形成虛擬車道(Lan and Chang, 2005, Oketch, 2000, Sano et al., 2006, Lee, 2008)。



資料來源：第三十二次開放政府聯絡人協作會議(https://www.youtube.com/watch?v=VbwKBK24T_g)

圖 5.1-1 新竹科學園區汽機車混合車流路況

車流模式之應用在於提供交通資訊，使運輸管理及規劃者得以整合於智慧型運輸系統之應用，進而設計出優化的管理或規劃策略，達到優化運輸系統成本的目標。本研究擬以混合車流模式分析隧道進行機車與允許機車通行的情況下車流服務水準的差異，在允許機車通行時亦根據各隧道的幾何條件，構建不同車道使用狀況與可行的車道使用管制進行模擬比較，進而據此提出建議。隧道內之車流狀況，不僅影響長隧道整體的輸運效率、燃油消耗與空氣汙染，如在隧道中發生壅塞，隧道中之汙染物濃度是否危害人體健康亦為一應探究的議題。

一般在研究車流行為的方法中，大致可分為以下幾種：

- 一、**實驗控制(Controlled Test-Track Experiment)**：為蒐集較完整的車流資料，需要較理想之測試場地，但由於在人力、時間與成本的耗費均較高，且必須顧及不同用路人之反應行為，故較無法涵蓋全面性的車流行為。
- 二、**理論模式化(Theoretical Modelling)**：在一定之假設條件下，利用事前蒐集完成的車流特性資料來建立相關之理論模式，但推導後的模式僅能解釋車流行為之狀態，對於個別車輛行為現象則無法描述。
- 三、**現場觀測(Studies of Phenomena)**：現場觀測僅能觀察車流之整體行為特性，無法構建出完整的模式，若要建立描述車流行為之模式，仍需蒐集相關資料，方能建立描述車流行為的模式。
- 四、**電腦模擬(Computer Simulation)**：利用先前蒐集相關的車流資料，建立車流理論模式，再撰寫程式加以模擬真實之車流情形。或利用既有之模

擬軟體構建模擬路口、路段或路網之幾何，以實際資料校估參數後進行模擬。

5.1.1 靜態車流模式回顧

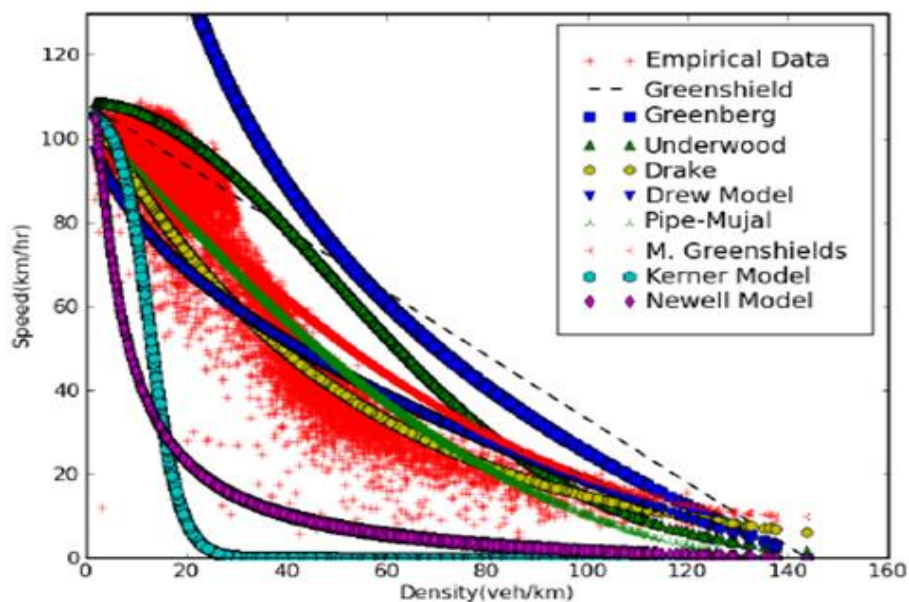
靜態巨觀車流模式為動態巨觀車流模式、模擬軟體、交控策略評估與智慧型運輸系統發展之基礎理論。藉由車流理論提供之交通資訊，運輸管理及規劃者得以整合於智慧型運輸系統之應用，進而設計出優化的管理或規劃策略，達到優化運輸系統成本的目標。在車流模式中，依探討的尺度分類，靜態車流模式可分為微觀與巨觀模式。微觀模式分析時間車間距與空間車間距，巨觀模式則是分析流量、密度與速度。在動態巨觀車流模式中，為描述複雜的車流現象，往往會產生變數多於方程式數量的情況(羅仕京，2002)。此時，需要藉由靜態巨觀模式提供變數間的關係。由此，即使為滿足智慧型運輸系統應用之需求，相關領域之學者較致力於投入動態模式發展的同時，靜態巨觀模式仍有研究之必要。

自 1935 年 Greenshields(1935)提出線性速度-密度模式後陸續有指數型、對數型及多項式型之模式提出。如表 5.1-1 所示之研究(Greenshield, 1935, Greenberg, 1959, Underwood, 1961, Drake et al., 1967, Drew, 1968, Pipes, 1967, Newell, 1961, Jayakrishnan, 1995, Kerner, 1994, Castillo, 1995, Aerde, 1995, MacNicholas, 2008, Wang, 2010)，圖 5.1-2 各模式之函數形式及與實際資料之比較。由圖 5.1-2 可知不同的模式所得的預測結果不同，部分模式可能有其適用範圍與車流情況，無法因應一般狀況，以至於用同樣的資料比較時各有優劣。就圖中而言，以 Drake model 與 Underwood model 的表現較佳，而 Drew、Kerner and Konhauser 與 Newell's model 則表現較差。表 5.1-1 中的模式以單一公式描述車流，為單階段模式。

表 5.1-1 單階段巨觀車流模式

出處	模式型態	參數
Greenshields (1935)	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	u_f, k_j
Greenberg (1959)	$u = u_o \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$	u_o, k_j
Underwood (1961)	$u = u_f \text{Exp}\left(-\frac{k}{k_j}\right)$	u_f, k_j
Drake et al. (1967)	$u = u_f \text{Exp}\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_o}\right)^2\right)$	u_f, k_o

出處	模式型態	參數
Drew (1968)	$u = u_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{n+1/2} \right]$	u_f, k_j
Pipes-Munjaj (1967)	$u = u_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^n \right]$	u_f, k_j
Newell's model (1961)	$u = u_f \left\{ 1 - \text{Exp} \left(-\frac{\lambda}{u_f} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_j} \right) \right) \right\}$	u_f, λ, k_j
Modified Greenshields model (1995)	$u = u_0 + (u_f - u_0) \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)^\alpha$	u_0, u_f, k_j
Kerner and Konhauser (1994)	$u = u_f \left[\frac{1}{1 + \text{Exp} \left(\frac{\frac{k}{k_j} - 0.25}{0.06} \right)} - 3.72 \times 10^{-6} \right]$	u_f, k_j
Del Castillo and Benites (1995)	$u = u_f \left\{ 1 - \text{Exp} \left(\frac{ C_j }{u_f} \left(1 - \frac{k_j}{k} \right) \right) \right\}$	u_f, k_j, C_j
Van Aerde Model (1995)	$k = \frac{1}{C_1 + \frac{C_2}{u_f - u} + C_3 u}$	C_1, C_2, C_3, u_f
Mac Nicholas Model (2008)	$u = u_f \left(\frac{k_j^n - k^n}{k_j^n + m k^n} \right)$	u_f, k_j, n, m



資料來源：Wang(2010)

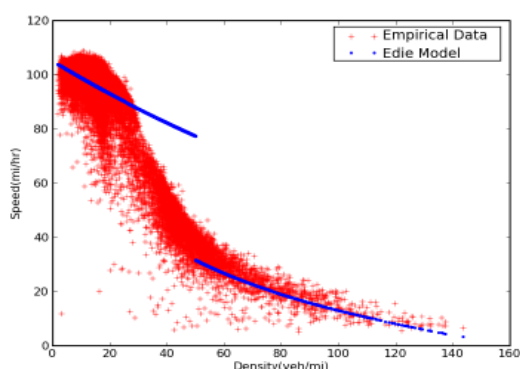
圖 5.1-2 單階段模式與實際車流資料比較圖

除了單階段車流模式外，亦有二階段與三階段模式等多階段模式之研究。考慮多階段模式的主因在於研究者發現自由車流與擁擠車流難以用單一公式或同一組參數描述。因此 Edie (1961)提出二段式車流模式。以不同型態的函

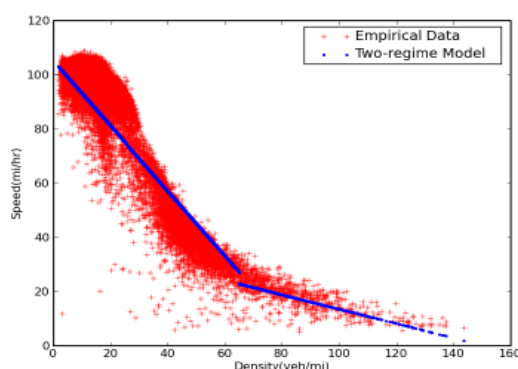
數分別描述自由車流及擁擠車流。其後陸續亦有不同模式提出，整理如表 5.1-3。儘管模式為多階段型態，但各階段中採用的公式仍為單階段模式(Edie, 1961, Drake, 1967, May, 1990, Su and Zhou, 2005)。圖 5.1-3 為文獻中(Wang, 2010)多階段模式與實際資料比較之結果，多階段模式若是分段之臨界點或公式型態的選擇不佳，對於車流的描述不一定能比單階段模式好。

表 5.1-2 多階段車流模式

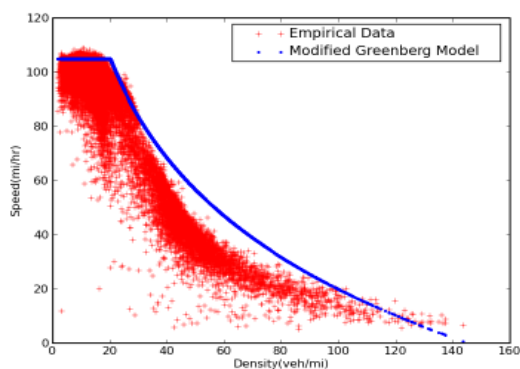
模式出處 \ 車流狀態	自由車流模式	過渡狀態模式	擁擠車流模式
Edie model (1961)	$u = u_f \text{Exp}\left(-\frac{k}{k_j}\right)$	-	$u = u_o \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$
Two-regime model (May, 1990)	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	-	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$
Modified Greenberg model (Drake, 1967)	constant	-	$u = u_o \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$
Three-regime linear model (May, 1990)	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$



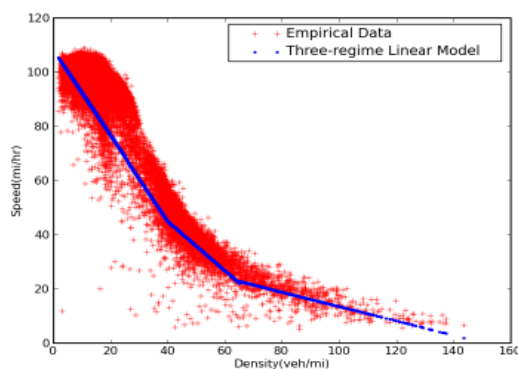
(a) Edie model



(b) Two-regime model



(c) Modified Greenberg model



(d) Three-regime linear model

資料來源：Wang(2010)

圖 5.1-3 多階段模式與實際車流資料比較圖

此外，因靜態模式主要描述穩定狀態的車流，但實際車流狀況並不總能達到穩定狀態。Wang(2010) 將確定性模式延伸至隨機性模式，並以實際的車流資料較估驗證。與比較確定性模式相較，隨機模式雖然較複雜，但對車流變數有較佳的描述。

若以動態模式構建與最佳化問題的角度，模式以單階段可微分之公式較易整合與處理。本研究亦將以發展單階段可微分公式為構建模式之構想。至於旅行時間估算則考慮以隨機模式或分佈模式處理。

5.1.2 混合車流模式回顧

國內研究車流行為多沿用國外純小汽車車流行為作為模式之基礎，而從民國五、六零年代開始，國內開始發展符合台灣實際狀況之混合車流模式，提供交通工程與交通設施設計之應用，經過長年之投入與研究，目前已有相當之研究成果。有關國內研究混合車流跟車與變換車道行為、二維座標法方面、汽機車車輛特性、混合車流偏向角模式與其他結合尖點突變理論、模糊推論模式、混沌理論與類神經網路等之相關文獻。探討相關研究前，首先比較汽車與機車之靜態與動態特性。車輛靜態特性主要可分成車輛實體尺寸、靜態尺寸與占用道路面積。其定義如下(交通部運輸研究所，2011，許義宏，2007)：

- 一、**實體尺寸**：係指車輛車體本身所延展的空間，亦稱為車輛設計尺寸。國內汽機車長、寬、高，如表 5.1-3 與 5.1-4。
- 二、**靜態尺寸**：係指車輛停等於道路上，用路人為維護其隱私性與安全性，所延展的空間。
- 三、**占用道路面積**：係指車輛靜止或移動時，投影在道路上的面積。該尺寸多用於設計停車格，或鄰近路口停等、待轉區設計之用。

表 5.1-3 小汽車實體尺寸

項目 \ 尺寸	長(m)	寬(m)	高(m)	軸距(m)
小汽車(小型)	3.6-4.4	1.5-1.7	1.3-1.5	2.2-2.6
小汽車(中型)	4.3-4.9	1.7-1.9	1.3-1.6	2.6-2.9
小汽車(大型)	4.8-5.2	1.8-2.0	1.4-1.6	2.8-3.2

表 5.1-4 機車實體尺寸

項目 \ 尺寸	長(m)		寬(m)		高(m)	
	整體範圍	集中範圍	整體範圍	集中範圍	整體範圍	集中範圍
國產機車	1.6-2.2	1.7-1.9	0.6-1.1	0.6-0.7	0.8-1.3	1.0-1.2
原裝機車	1.3-2.6	2.0-2.2	0.6-1.2	0.6-0.9	0.8-1.8	0.8-1.3

車輛的動態特性主要可分為動態尺寸、操作特性與車流特性三大項，簡述如下：

- 一、**動態尺寸**：係指車輛在運行時，用路人為顧及人車安全，與四周物體保持某程度距離，所延伸的空間，動態車長是利用跟車理論中，車輛會依據其速度保持一安全距離推導而成(黃國平，1983)；動態車寬則是假設大型車於高速公路上，以 3.75 公尺之車道寬作為大型車於設計速度每秒 33.3 公尺之動態車寬，再經內插法求得(魏健宏，1984)如表 5.1-5 與表 5.1-6 所示(許義宏，2007，陳世泉，1993)。
- 二、**操作特性**：機車較小客車輕巧、短小，車輛操控較小客車容易。用路人之肢體動作對車輛影響較直接。機車於低速時加速度較小客車大，高速時則不及小客車。機車車體之設計對騎乘者的保護不及小客車，安全性較低。

表 5.1-5 動態車長

項目 \ 車種	反應時間(秒)	0km/h (m)	30km/h (m)	40km/h (m)	50km/h (m)
機車	0.8	2.2	8.9	11.1	13.3
	0.9	2.2	9.7	12.2	14.7
	1.0	2.2	10.5	13.3	16.1
汽車	0.8	5.5	12.2	14.4	16.6
	0.9	5.5	13.0	15.5	18.0
	1.0	5.5	13.8	16.6	19.4

表 5.1-6 動態車寬

項目 \ 車種	0km/h (m)	30km/h (m)	40km/h (m)	50km/h (m)
機車	1.00	1.09	1.11	1.14
汽車	2.00	2.17	2.23	2.29

混合車流之研究多以微觀車流理論為基礎。微觀車流理論係以單一車輛個別行為現象及與其他車輛之關係進行分析，著眼於期望速率、間距、相對速度或用路人反應時間等參數。微觀車流的探討，多採用模擬的方法進行研究，其利用蒐集的車流相關資料，撰寫程式，透過電腦模擬車流現象並予以重現。主要可分為以事件發生為基準的事件掃描法，與以單位時間更新為基礎的時間掃描法。其著眼於車輛間的個別運作，可將不同的模式結合處理運用。在微觀車流理論中，探討最多的為跟車理論(car-following theory)。所謂跟車理論，係假設車輛在行駛過程中，會與前車保持一定之安全距離，最早發展於 1950 年代，由 Reuschel (1950) 和 Pipes (1953) 提出。一般常用的跟車模式有三種，簡述如下：

- 一、**四大限制方程式**：此模式為 Russell 與 Harold 於 1963 年，假設車輛行駛過程中，前後車必須保持最小安全間距，所產生四個限制式：間隔限制、加速限制、停車限制與轉彎限制。利用四個限制式求得車輛在單位時間所能推移的距離，藉此更新車輛座標。
- 二、**刺激－反應方程式(May, 1990)**：此模式是由 General Motor 利用場地實驗，所提出的刺激－反應方程式（反應= 敏感度× 刺激）。
- 三、**行為門檻模式(Leutzbach, 1988)**：該理論是由 Hoefs 與 Wiedemann 提出，研究認為刺激－反應方程式只用一組參數組合，無法充分反映用路人行為的複雜性，因此，需要將心理與物理間距的觀念導入車流模型。模式認為車流狀況可分成三個反應區：第一為無反應區，指用路人不受前車影響；第二為感知反應區，在後車接近前車並感知到距離前車太遠時，通常會加速貼進前車；第三為無意識反應區，指當前後車十分接近時，後車為維護安全距離，通常有速度震盪的現象。

將跟車理論應用於機車行為則需進行模式調整，原因在於跟車理論探討的是車輛在一維空間上的前後關係，而機車行駛時不像汽車受限於車道僅能跟隨前車。如果前方受阻，機車可以往側向前方移動，跟車模式需要調整。蔡嘉霖(1982)以德州模式之跟車邏輯分析交叉路口之混合車流。發現在混合車流下，因為機車蛇行鑽動，使車流軌跡難以找出規則。陳世泉(1993)將機車駕駛行為分類，進而分析其在都市化號誌道路路段之駕駛行為，構建以行為門檻為基礎之機車行為門檻模式。許敦淵(2001)經由肇事分析以及車流的觀察，建立「虛擬車道變化量」作為機車車流秩序的指標，進而分析機車實際受幹

擾後的車流變化現象。

周義華，陳天賜(1983)，研究使用二度空間座標系統，引入車輛可能前進範圍及最大偏向角等概念，採用車道寬限制及前車限制來推進車輛，而自成一套獨特的模擬方法。而後黃國平(1983)，經由實驗獲得機車可偏轉最大角度，再經由理論推導其他車種最大偏轉角度，並以動態車長、動態車寬取代跟車限制，而建立可在平面上推進車輛之混合車流二維模擬模式。魏健宏(1984)引用黃國平建立的二維模擬程式，並根據系統範圍及基本理論架構，修正車流推進的處理方式。傅耀南(1988)設定車輛無法以最大推進距離推進，且車速與願望速度相差 5m/s 以上，此時相鄰車道之車速若大於現行車道速度，則考慮變換車道，且符合路寬限制、前車限制、斜進角度小於最大偏向角及不影響後車前進四條件下，計算最大斜進縱向距離，然後推進車輛。邱德紋(2005)將機車運動推進模式分為縱向推進與橫向推進兩部分，而導致其分做兩部分的為偏向角，故若模式的橫向位移與縱向位移與真實機車運動軌跡越接近時，代表其透過模式所得到的偏向角度與真實機車的偏向角度將會越接近。周玉如(2001)則分析汽機車肇事之交通衝突特性，以縱向與側向距離碰撞時間作為控制參數，以縱向臨界安全時間間距、與側向臨界安全時間間距做為危險判斷準則，應用混合車流二維跟車模式，建立汽機車混合流模擬。Cho and Wu (2004)則建立考慮鄰近最近車輛位置判斷下一時刻前進方式之機車行進模式。

Lee et al. (2009) 觀察機車之移動將其操作特性分成八類建立模式：(1) 與車輛並行在同車道，(2) 往前移動到等候車隊前方，(3) 滲透(filtering)，(4) 交織(swerving or weaving)，(5) 緊跟前車行駛(tailgating)，(6) 斜向跟車(oblique following)，(7) 跟隨前側向車輛時會維持較短之車間距，(8) 沿著周遭車輛移動時形成的虛擬車道前進。許家齊(2011)亦觀察臺北市忠孝東路之車流發現兩車之側向偏移量(dy)，會對機車的縱向跟車行為有非常大的影響，側向偏移量越多，造成縱向跟車間距(dx)、時間車頭距(time headway)越小。引用馬可夫模式模擬用路人在當下跟車條件、狀況(速度、側向偏移量、時間車頭距)下之下一時之機率性的決策速度，建構三種側向偏移量範圍狀態(正向跟車、側向跟車、偏向跟車)之跟車模式。

何佳娟(2001)分析微觀汽機車混合車流行為，研究發現用路人變換車道必須考慮三個條件：(1)與本車道前車之關係。(2)與期望車道前車關係。(3)與期

望車道後車關係。當三者關係同時符合時才可以變換車道。與本車道前車的關係主要是考慮偏向角，當與前車的偏向角大於與目標車道前車的偏向角時才可以成立且與期望車道前後車關係必須大於動態安全間距即成立條件。張維翰(2006)針對郊區路段微觀混合車流進行特性研析與模式建立。其跟車模式是以適應性類神經模糊推論系統構建郊區的模式；車道變換模式則是分為變換車道的行為準則與偏向角模式兩種，依據本車為汽車和機車分為兩種不同的情況：如果本車為汽車的話，考量前車為機車的情形，並且將目標車道分為沒有車輛、有前車、有後車、有前車和後車四種不同的情境。其主要的考慮變數為偏向角，另外也考慮了本車速度、本車與鄰車的距離差與速度差、還有前方機車距右側車道緣等不同的變數。本車為機車另外考量了本車與前車的相對縱向距離與相對橫向距離，以變換行向代表機車變換車道之行為。

張正達(2012)研究機車在低速情況下的運動推進模式，研究機車在停止車陣中的低速鑽隙行為。研究中將機車的前方與左右方劃分為 14 個不同大小的格子，機車駕駛有三種方向選擇：左前方、前方、右前方。將 14 個格子的變數輸入，將數據資料格子化判斷機車駕駛在緩慢移動時的方向選擇，並將心理因素的領地效應加入變數中，建構機車推進距離的準則。李健豪(2012)則利用多項羅吉特模式進行超車行為路徑選擇決策模式，機車之考量變數有距離差、車速差、錯車距離、前一秒側向偏移量等，而機車的選擇共有五種：跟車、向左錯車、向右錯車、向左偏移跟車、向右偏移跟車。最後利用判中率來檢視結果。王鴻傑(2013)利用個體選擇模式與虛擬車道的概念應用至機車的車道變換模式，發現前方車輛的影響變數對於機車駕駛較具影響力。

除了以跟車理論為基礎分析汽機車混合車流之外，守恆律、細胞自動機制(Cellular Automata, CA)與格位元傳遞模式(Cell transmission model, CTM)亦有相關研究。羅仕京(2002)以波茲曼方程 (Boltzmann equation) 推導巨觀動態車流模式(守恆律模式)。其藉由二維空間的車流擴散模式 (Traffic dispersion model) 描述多車道與多車種間的互動，包含加速度、車輛間互動、系統均衡下的密度狀態分配。並透過分解演算法進行模擬求解。研究認為動態車流模式可以合理且容易處理多車種、多車道的交通狀態。張瓊文(2004)，利用細胞自動機制與模糊理論探討混合車流下機車車流特性。研究指出，GM 跟車模式無法有效的描述機車行駛的特性，而透過模糊推論模式來描述機車的跟車行為，可以提高模式的說服力。另一方面，利用 CA 模型可以合理模擬汽機車行駛特性，但當車道寬度增加，將會降低 CA 模型的有效性。認為用路

人的反應時間是影響 CA 計算更新的重要因素，因此未來需要針對該因素加以探討。格位元傳遞模式在國內亦被應用於描述混合車流狀況(謝志偉, 2010)，利用極大熵(maximum entropy)考慮兩者在道路上對空間的競爭。然而格位元傳遞模式之假設為車輛的移動力相同，在一段時間間隔內可以移動前進至下個格位(Daganzo, 1994)。汽機車之移動力明顯不同，而且兩者亦非對等競爭，機車尚能在側邊沿虛擬車道或以滲透方式前進(Lee, 2008, Lee et al., 2009)。因此格位元傳遞模式是否適用於混合車流仍有待商榷。胡大瀛等人(2005)，針對都市道路實際調查，應用 Greenshields 模式作為車流模式之基礎，配適出完整曲線，建立適合描述動態車流行為的混合車流模型；另外透過 VISSIM 軟體模擬，得到模擬之車流模型，並分析實際調查及模擬所得之結果是否一致，並評估未來市區道路車流行為利用 VISSIM 模擬之可行性。

交通部運輸研究所(2002)針對機車專用道的機車車流特性與容量加以探討，研究指出純機車車流之跟車行為受車道寬度影響，並非像一團液態流體，為連續性的函數；此外，機車車流的流量、密度、速度關係曲線有類似汽車車流的趨勢，但關係並不明確，且呈現發散現象，其中以速度—密度關係最為模糊，應尚有其他影響因數存在，造成傳統車流流量-密度-速度的公式並不直接適用於機車車流之特性。因此，Lo et al. (2019)以合成密度為基礎，以修正式 Greenshield 模式分別構建汽機車之模式。模式如下：

$$v_{pc} = \begin{cases} v_{pc}^{free} & , \text{ if } \rho_{mix} < \rho_{pc}^{min} \\ v_{pc}^{min} + (v_{pc}^{free} - v_{pc}^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_{mix} - \rho_{pc}^{min}}{\rho_{pc}^{jam} - \rho_{pc}^{min}} \right)^{\alpha_{pc}} \right] \cdot (1 - \sigma)^{\eta_{pc}} \left(\frac{\rho_{mix} - \rho_{pc}^{min}}{\rho_{pc}^{jam} - \rho_{pc}^{min}} \right) & , \text{ if } \rho_{mix} \in [\rho_{pc}^{min}, \rho_{pc}^{jam}] \\ v_{pc}^{min} & , \text{ if } \rho_{mix} > \rho_{pc}^{jam} \end{cases} \quad (1)$$

$$v_{moto} = \begin{cases} v_{moto}^{free} & , \text{ if } \rho_{mix} < \rho_{moto}^{min} \\ v_{moto}^{min} + (v_{moto}^{free} - v_{moto}^{min}) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_{mix} - \rho_{moto}^{min}}{\rho_{moto}^{jam} - \rho_{moto}^{min}} \right)^{\alpha_{moto}} \right] \cdot \sigma^{\eta_{moto}} \left(\frac{\rho_{mix} - \rho_{moto}^{min}}{\rho_{moto}^{jam} - \rho_{moto}^{min}} \right) & , \text{ if } \rho_{mix} \in [\rho_{moto}^{min}, \rho_{moto}^{jam}] \\ v_{moto}^{min} & , \text{ if } \rho_{mix} > \rho_{moto}^{jam} \end{cases} \quad (2)$$

式中， ρ_{mix} 為合成密度。 ρ_{pc}^{min} 和 ρ_{moto}^{min} 是自由流動和中間狀態的汽車和機車之間的臨界點。 ρ_{pc}^{jam} 和 ρ_{moto}^{jam} 是機車之間的過渡狀態和擁擠狀態的臨界點。 σ 為混合比。 α_{pc} 、 α_{moto} 、 η_{pc} 與 η_{moto} 為較估參數。 v_{pc}^{free} 和 v_{pc}^{min} 是自由流速度和擁擠流的汽車速度，而 v_{moto}^{free} 和 v_{moto}^{min} 是自由流動的速度和擁擠的機車速度。因為機車的體積較小可以通過兩台車之間間隙或者通過由

周圍車輛動態形成的虛擬通道。當汽車在車隊中停等時，機車仍然可以向前緩慢移動。因此， ρ_{moto}^{jam} 可能大於 ρ_{pc}^{jam} ， v_{moto}^{min} 可能大於 v_{pc}^{min} 。此外，臨界點 ρ_{pc}^{min} 和 ρ_{moto}^{min} 是不同的，因為大多數機車在稀疏車流中機車比周圍車輛更敏感，更容易受影響。所以， ρ_{moto}^{min} 可能小於 ρ_{pc}^{min} 。雖然此模式可以分別描述汽機車之行進特性，但公式呈三階段模式且具有不可微分之臨界點，於最佳化模式應用上有其限制。

研究曾指出機車在路段中的車速通常低於汽車(許添本等人, 1995)，而根據過去研究所整理的期望速率調查結果(表 5.1-7)，在市區道路機車平均速率均小於汽車平均速率(陳世泉, 1993)。

表 5.1-7 市區道路平均期望速率調查結果(km/h)

車種	大型車	小型車	機車
陳天賜	48.64	61.31	45.97
張舜清	-	41.31	-
劉子剛	38.71	44.07	37.29
傅耀南	-	55.48	51.66

資料來源：(陳世泉, 1993)

李樑堅(1993)分析機車在不同車道行駛時速度的特性：1.機車在內車道的期望速率高於在外車道的期望速率。2.機車在自由流之首車的情況下之期望速率平均值高於幹擾流之跟隨車情況下之期望速率。許添本等人(1995)之研究分析機車行駛於混合車道與機車專用道的行駛速率特性，發現 1.機車道上之機車速度分佈較集中，且有較低之速度趨向。2.混合車道上之機車速度分佈較分散，且有較高的速度趨向。3.混合車道之機車速度平均數(41.67km/h)顯著高於機車道上之機車速度平均數(31.75km/h)。在巷道路段中汽機車的速度比較方面，許添本與鄭雅文(1999)之研究指出，機車於巷道中的平均行駛速度(20.05km/h)顯著大過小汽車的平均行駛速度(16.44km/h)。另外研究也指出在車速低於 40km/h 時，機車之加速能力高於汽車，超過 40km/h 時則反之(吳祚炯, 1983)。黃國平(1983)則指出在車速低於 40km/h 時，機車減速率高於小型車。黃泰林(1994)也指出機車正常減速率高於小型車和大型車。

根據過去研究之觀測，機車行駛之車道分佈如圖 5.1-4 所示，顯示機車靠右行駛的現象非常明顯(許添本, 1982)。而根據過去研究的調查顯示，機車在各路段之車道上的分配並無一定的特性，但大體而言，大部分行駛於慢車道中，而慢車道中之流量分佈又集中於慢車道之內側；在快慢分隔路型之快車

道沒有機車，而在中央分隔路型的第二快車道上仍有 20 到 40% 的機車量(吳祚炯，1983)。許添本等人(1995)將道路以 0.2 公尺為橫向單位，對於設有機車專用道的路段進行觀測，發現：1.機車車道線兩旁之使用比率較高，車道線處則明顯偏低。2.觀測點之機車有沿機車車道線行駛之現象，因此機車道應有其規範意義。3.使用機車道之比例為 59.86%。

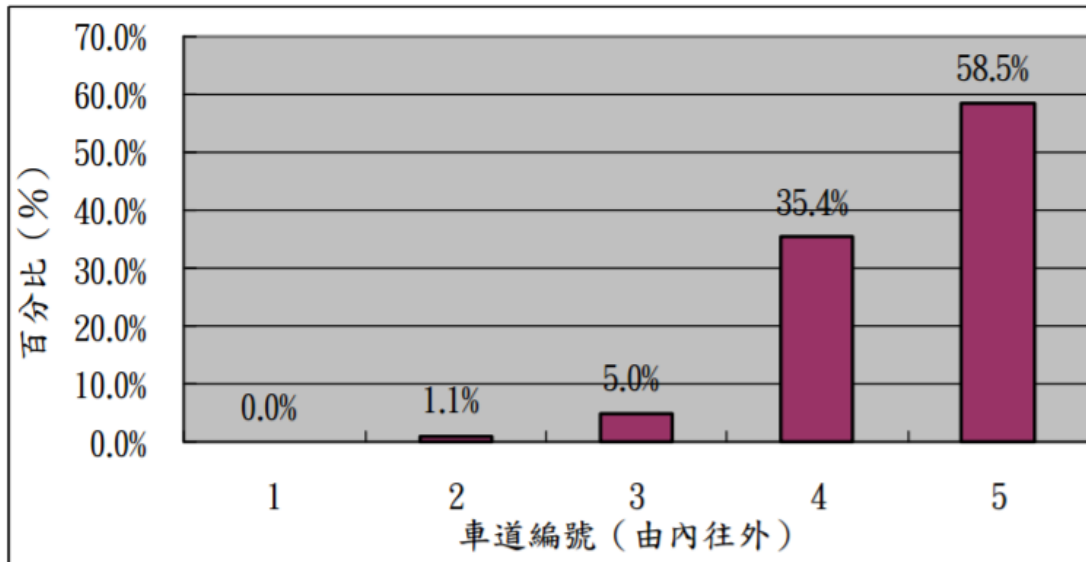


圖 5.1-4 機車行駛於多車道路段時分佈情形

彙整相關研究，路段機車車流特性有以下特性：1.混合車流可以提高路段的容量(郭敏能，1976)，但是機車錯車的行為以及較汽車為大的加速擾度(游淑玲，1993)，對於整體車流的安全性可能反而有不良之影響。2.行車速率低於 40km/h 時，機車之加減速率能力較汽車好。雖然文獻中市區道路調查的汽車期望速率高於機車，但是在車流密度高時壅塞時機車的平均行駛速率可能高於汽車。3.機車車流橫向分佈的比例在車流不受干擾的情形下，應有如圖 5.1-4 之趨勢。

比較各種模式，靜態模式適合應用於規劃，動態模式可用以分析車流傳遞的變化。巨觀模式較容易獲得車流變數，但需要歷史資料進行校估。微觀模式需花較多時間運算，但可根據駕駛行為參數模擬各種尚未發生的情境。本研究將以跟車模式為基礎構建長隧道車流模擬模式。

5.1.3 車流模擬軟體回顧

本研究回顧兩套可應用於混合車流之軟體：SUMO 與 VISSIM。SUMO 模擬軟體全名為 Simulation of Urban MObility，為開放免費的軟體資源，約於

2000年，由德國開發出的交通模擬軟體。SUMO 模擬軟體採用 C++ 語言開發，具高度可攜性，空間上連續、時間上離散的車輛運動模式，可模擬不同車種。其特徵包括可供車輛變換車道的多車道街道、不同的路權規則和交通號誌、並可產生超過 10,000 條街道的道路系統供模擬使用。除此之外，亦支援輸出關於模擬中道路、汽車和探測器的資料。具有快速的 OpenGL 圖形化介面，支援 Windows 和 Linux 系統，並可接受多種地圖格式的輸入，包括 VISUM, Vissim, Shapefiles, OSM, RoboCup, MATsim, openDRIVE, 及 XML-Descriptions 等。SUMO 可以真實模擬出交通流量及交通號誌，並會考慮道路限速、可容納車量、交通號誌、及交通路網中直線道或是彎道上車輛的方向性跟變動性。圖 5.1-5 為 SUMO 模擬混合車流之示意圖。

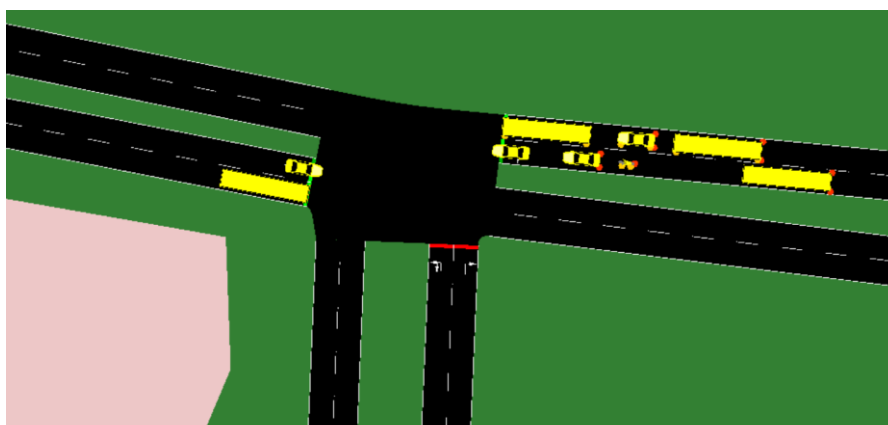


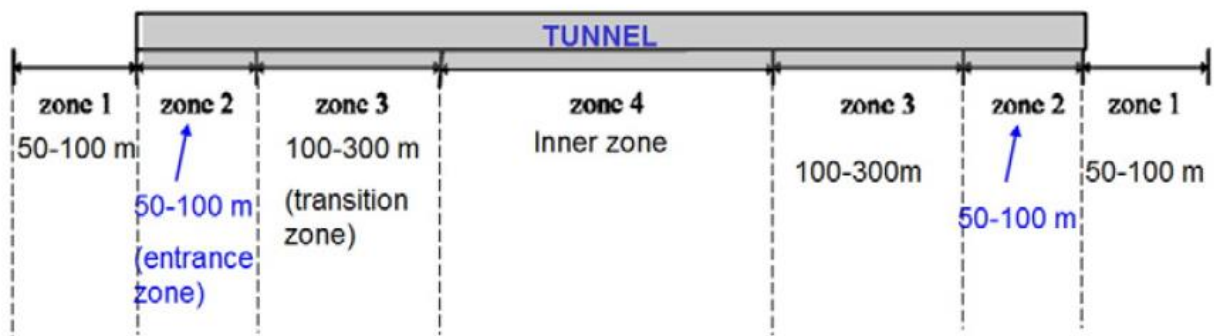
圖 5.1-5 SUMO 模擬小汽車、大客車與機車混合車流示意圖

VISSIM:為德國 PTV 交通顧問公司所發展的微觀車流與大眾運輸模擬模式。此模式在某些條件下，如車道佈設、交通組成、交通號誌、資訊可變標誌、大眾運輸停靠站、不同等級的大眾運輸系統與輕軌運輸優先通行號誌等，模擬分析複雜的交通狀況與大眾運輸系統的營運。VISSIM 精良的 3D 車輛模擬模式讓使用者可以道路交織路段、高速公路主線匝道、高乘載車道、公車專用道等的運作，甚至 ITS 等先進交通管理策略亦可藉由其動態控制模組進行微觀模擬分析。鑒於 SUMO 之功能符合本研究所需且為開放原始碼之模擬軟體，本研究車流模擬分析以 SUMO 進行。

5.2 長隧道車流研究回顧

車輛行駛於隧道中與行駛於開放空間的道路有很大的不同，一方面因為隧道中如果發生事故救援、排除與恢復比一般道路困難。所以，隧道中除了廣播、照明、通風、緊急救援、交通管制設備外，往往還配合最高速限、車

間距、車種、禁止變換車道等管制。Mashimo(2002)比較日本公路與隧道之事故率發現，隧道內的事故發生率略低於一般道路，但只要隧道內發生交通事故都比一般道路的是物嚴重很多，尤其是如果事故引起火災，造成的傷害更大。隧道內事故率較低可能是因為隧道內多禁止變換車道、速限降低且規定有跟車安全間距。此外隧道內執法亦較嚴格。Bassan(2016)回顧公路隧道的安全與設計，根據每百萬車公里之事故發生率將隧道分為四種區段，如圖 5.2-1 所示。就其回顧之研究中顯示，大多數國家的隧道 Zone1 事故的發生率最高，其次為 Zone2，通常 Zone4 的事故發生率最低。



資料來源：Bassan(2016)

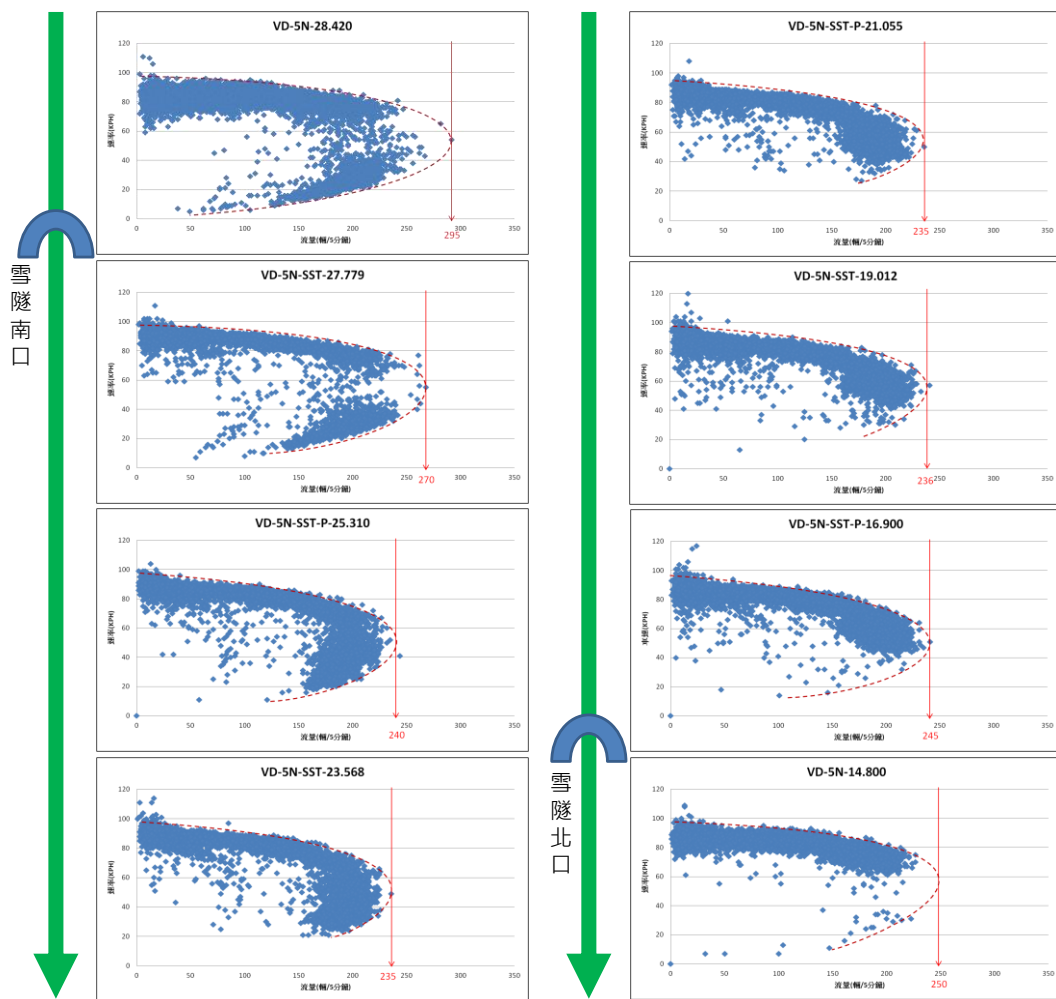
圖 5.2-1 依事故發生率之隧道分段圖

國內之長隧道研究主要著眼於雪山隧道之車流分析與管制策略績效。張瓊文等人(2010)分析雪山隧道速限由 70 km/h 提高至 80 km/h 後之容量變化，發現速限提高後雪山隧道的容量增加量僅約 0 ~ 160 pcphpl，非常有限。雪山隧道之容量遠低於一般高速公路車道容量。相較於平原區基本路段，雪山隧道之容量約低了 32% ~ 45%，部分原因應是受到最短 50 公尺跟車間距規定的限制。林豐博與蘇振維(2009)亦提及僅提高速限未降低跟車間距對改善雪山隧道運輸功能的效益有限。

鼎漢國際工程顧問公司(2017)，根據 2014 年 1 月至 2015 年 6 月資料以分時流量速率圖分析雪山隧道交通量的變化。發現科技執法後用路人跟車行為轉趨保守，北向壅塞特性產生改變，使原本沒有壅塞現象的平日下午，也出現壅塞。而根據北向雪山隧道口、雪山隧道內路段與瓶頸路段之 5 分鐘流量-速率，如圖 5.2-2，可見雪山隧道內不同的路段用路人呈現不同駕駛行為，造成不同路段間的臨界流量差異。國道 5 號非隧道段至隧道南口內，與南口至 25K 處左右兩處，發生車流行為的改變，造成臨界流量的下降，如圖 5.2-3 所示。雪山隧道內臨界流量以南口前臨界流量最高，進入隧道後逐漸下降至 25K

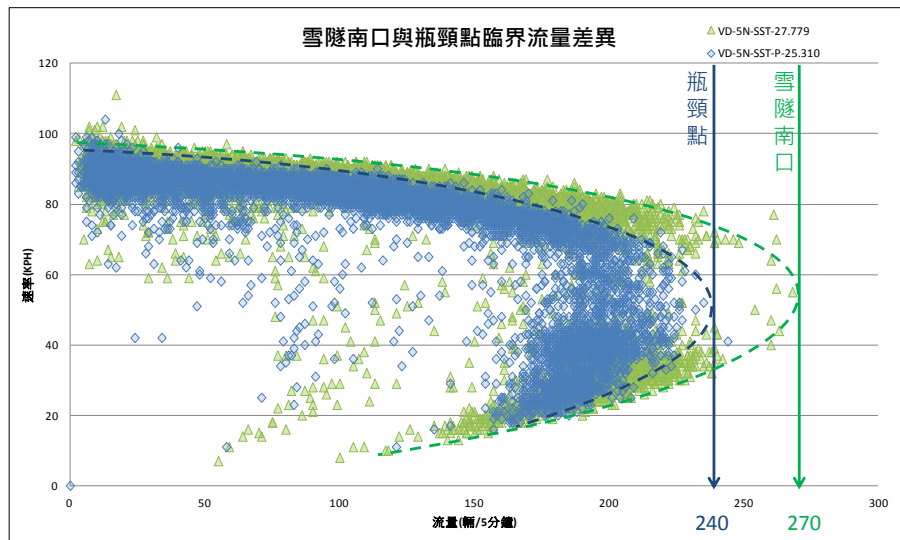
後，其臨界流量便維持穩定。由日流量與日平均速率大致可將雪山隧道北上分為三種不同車流特性路段：

- 一、**雪山隧道前段**：於雪山隧道南口至 25K 處日流量與日平均速率產生正相關震盪現象，可視為易產生壅塞車流路段。
- 二、**雪山隧道中段**：於 25K 至 17.5K 處日流量與日平均速率維持平衡，其車流行為進入穩定狀態。
- 三、**雪山隧道後段**：自 17.5K 後日流量維持穩定，但平均速率緩緩提升，逐漸提升至自由車流路段。



資料來源：鼎漢國際工程顧問公司(2017)

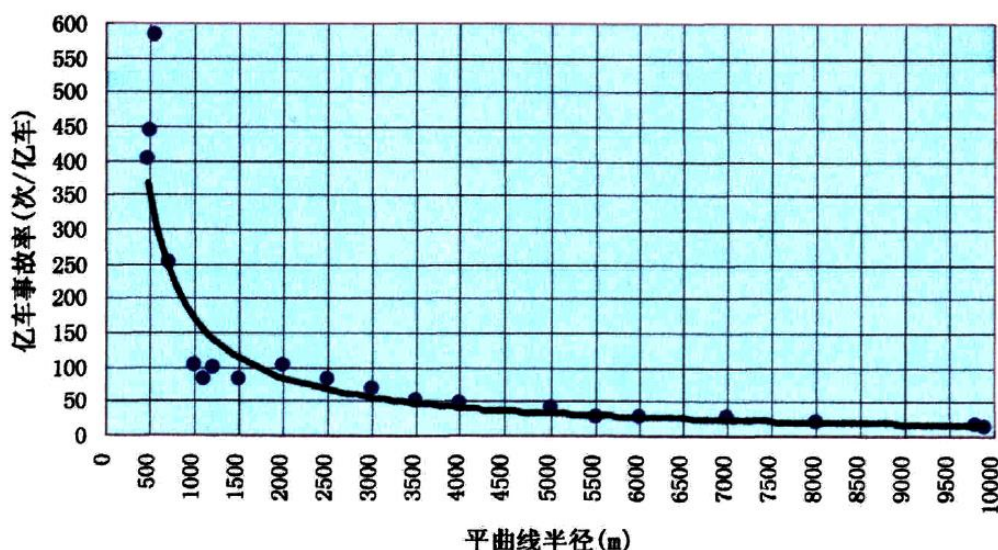
圖 5.2-2 雪山隧道北向流量-速率關係圖



資料來源：鼎漢國際工程顧問公司(2017)

圖 5.2-3 雪隧南口與瓶頸點臨界流量差異

毛建民(2010)則分析隧道交通事故類型分佈特徵，提及隧道內的線形設計亦為影響車流行進與事故發生率的重要原因。為了使汽車行駛平穩，在條件允許時應盡可能選用較大的平曲線半徑以避免車輛擦碰或駛出道路，並提供用路人足夠的視距。隧道進出口段平面線形應有利於光過渡與眼適應，在該段設計中應確保過渡期內的隧道線形與洞外連接線是一致或相互協調，應避免在隧道洞口銜接小半徑曲線。周廣振(2008)分析瀋大高速公路的事故與線形關係，提及當平曲線半徑小於 1000 公尺時，隨著半徑的減小，事故率急劇地增加，如圖 5.2-4 當平曲線半徑減小至 400 至 600 公尺時，接近一般高速公路極限最小半徑(400 公尺)時，事故率已高出全線平均水準的 5 至 6 倍。美國公路的平曲線半徑則以 400 公尺為最低標準。隧道內則需進一步考量視距，不僅平曲線，縱曲線亦需同時考量，確保用路人在隧道內的光線下有足夠的視距供其因應路況即時反應。根據相關研究顯示視距小於 100 公尺，事故發生率明顯增加；視距大於 200 公尺時，事故發生率隨視距增加而降低；視距大於 600 公尺時，事故發生率隨視距的變化趨於穩定。因此，100 公尺的視距為最低標準，隧道內必須考量照明等因素提高標準。



資料來源：周廣振(2008)

圖 5.2-4 瀋大高速公路億車事故率

5.3 長隧道 SUMO 模擬模式

本研究以 SUMO 為模擬環境，SUMO 之車流模擬係以 Krauß(1997)之跟車模式為基礎，如下：

$$v_{safe}(t) = v_{\alpha-1}(t) + \frac{s_{\alpha}(t) - v_{\alpha}(t)\tau_k}{\frac{v_{\alpha}(t) + v_{\alpha-1}(t)}{2b_{max}} + \tau_k}, \quad (3)$$

$$v_{des} = \min(v_{max}, v_{\alpha}(t) + a_{max}\Delta t, v_{safe}(t)), \quad (4)$$

$$v_{\alpha}(t + \Delta t) = \max(0, v_{des}(t) - \eta), \quad (5)$$

$v_{\alpha}(t)$ 是第 α 輛車在時間 t 時的速度， $v_{\alpha-1}(t)$ 為第 α 輛車前車的速度。 v_{des} 為第 α 輛車的期望速度，由其安全速度 v_{safe} 求出。 a_{max} 是用路人的最大期望加速度， b_{max} 是用路人在非緊急情況的最大減速度， τ_k 為用路人的反應時間。 v_{max} 是車輛的最大速度，若不考量用路人的超速行為， v_{max} 可設定為最高速限。 Δt 為時階，通常設定為 0.1 秒。 a_{max} 、 b_{max} 與 τ_k 的值通常由資料校估獲得。

雖然在長隧道中禁止變換車道，但是如果考量機車與機車、機車與汽車在混合車道併行、錯車或鑽行的駕駛行為，需將車道細分成更小的虛擬車道。SUMO 的子車道(sublane)模式可模擬此現象。在 SUMO 中可設定車道寬與子車道寬，若車道寬為 3.2 公尺，子車道寬為 1 公尺，則原車道可分成三個子車道供機車與機車、機車與汽車併行(CODECA' 與 HARRI, 2019)。模擬時，以跟車模式計算本車的速度，但若計算出之本車下一時階速度低於期望速度，而且落差大於門檻值，則進入變換車道程式。變換車道程式以速度提高機率(speed gain

probability)作為變換車道與否的準則(Erdmann, 2014)，其向左變換車道與向右變換車道的公式分別如公式(6)與(7)。

$$p_{gs}(t) = p_{gs}(t-1) + \frac{v_l(t)-u(t)}{v_l(t)}, \quad (6)$$

$$p_{gs}(t) = p_{gs}(t-1) - \frac{v_r(t)-u(t)}{v_r(t)}, \quad (7)$$

其中， $p_{gs}(t)$ 為變換車道機率， $v_l(t)$ 為左側車道的預期速度， $v_r(t)$ 為右側車道的預期速度， $u(t)$ 為留在原車道的預期速度。 $p_{gs}(t)$ 為具有正負號的數值，負值表示向右變換，正值表示向左變換。必須設定變換車道機率的門檻值，否則，若車輛一有機會即行變換車道，會出現不斷向左向右變換的乒乓現象，與實際車流的情況不符。模擬步驟可歸納如下：

- 一、以跟車模式計算下一時階時本車在各鄰近車道的預期車速。
- 二、計算本車留在原車道下一時階的安全速度。
- 三、呼叫變換車道模式判斷下一時階本車應向左、向右或留在原車道。
- 四、根據計算出之車速推進車輛，再回到第 1 步驟重複執行，直到模擬時間結束。

5.4 情境分析

車流模擬模式初步構想依相關研究建立不同隧道長度、幾何佈設、車道使用、車輛特性、環境因素等，並於限制條件下進行車流模擬。模擬之項目包含速率對車輛間距之影響、隧道內各車種最大可通行量等，模擬進行架構如圖 5.4-1 所示。相關說明舉例羅列如下：

一、輸入變數

1. 車流特性(各車種之數量、流量、車速、車流密度等)
2. 環境因素(溫度、空氣汙染物濃度(CO、NO 等)、能見度等)
3. 隧道基本資料(長度、坡度、方向等)
4. 車輛造成環境影響(各車種空氣汙染物排放係數、散發熱能等)

二、限制條件

1. 各車種最大通行車輛數
2. 環境因素達管制條件(溫度、空氣汙染物濃度、能見度等)

三、輸出結果

1. 車流特性與環境因素之關係
2. 各車種各車輛數造成溫度上升之度數
3. 各車種各車輛數造成空氣汙染物上升之濃度(如 CO、NO 等)
4. 各車種各車輛數造成能見度下降之程度

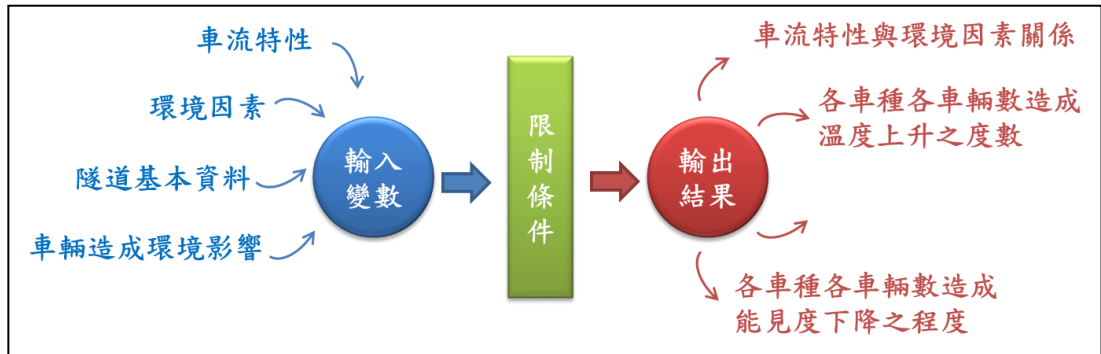


圖 5.4-1 車流模擬分析模式說明

後續車流模擬之情境可區分為「依幾何分類」及「依交通量分類」兩大項，初步規劃之模擬情境如下：

一、依幾何分類

1. 汽機車分流
2. 一汽車道，一機車道(寬度不允許機車併行)
3. 一汽車道，一機車道(寬度允許機車併行)
4. 汽機車混合
5. 一混合車道
6. 一汽車道，一混合車道
7. 二混合車道
8. 不同隧道長度

二、依交通量分類

1. 不同車流量
2. 隧道內變化
3. 隧道外影響
4. 不同混合比

第六章 長隧道通行機車條件研析

綜整本報告各章節成果，本章就未來國內長隧道通行機車之條件作研析，初步提出隧道硬體設施標準、機車可通行種類之標準及科技執法結合流量管制，後續將透過各利害關係人意見蒐集、專家學者訪談、座談會以及車流模擬分析等作更進一步之研析，以作為我國未來長隧道通行機車條件之參考依據。

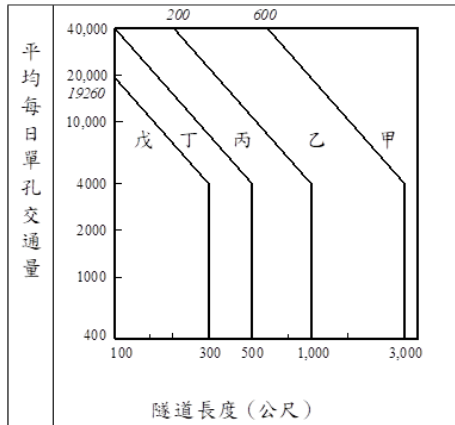
6.1 隧道硬體設施標準

近二十年來，國際間發生許多隧道火災意外的案例，不僅造成重大傷亡甚至破壞了隧道結構，並且對經濟和環境造成了巨大的影響，故針對隧道消防設備內容強化及分級標準成為一件非常重要的議題，由於對於長時間封閉特性之長隧道更為重要。以下就臺灣、日本、美國及挪威進行比較。

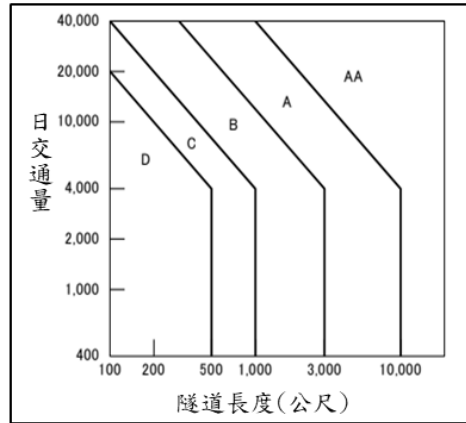
一、隧道分級標準

根據臺灣、日本、美國及挪威之隧道分級可知，美國之分級區分標準於隧道長度或日交通流量級距均較低，而挪威之分級標準主要由日交通流量作區分，只要流量低於 300 即使其長度長達 12.5 公里亦被歸類為最低層級，不似其他三個國家以長度及流量綜合區分隧道等級。

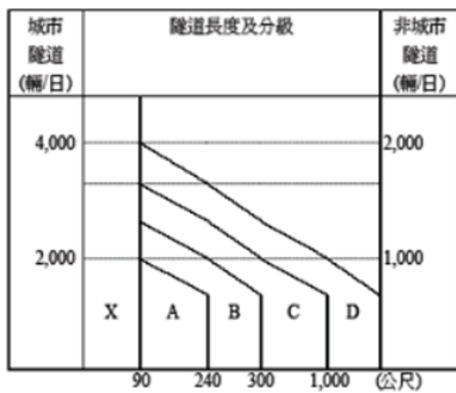
臺灣隧道分級



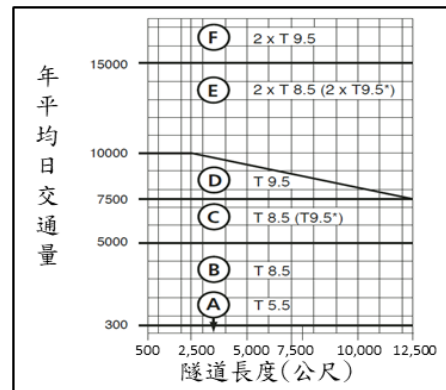
日本隧道分級



美國隧道分級



挪威隧道分級



資料來源：1.公路隧道消防工程設置規範及制度之探討(上)。
2. Road Tunnels-by Norwegian Public Roads Administration

圖 6.1-1 隧道分級標準-以臺灣、日本、美國及挪威為例

二、隧道消防安全設備規範之比較

各國對於隧道消防制定了各自之安全標準或規範，以下將就臺灣、日本、美國及挪威之隧道消防安全設備規範進行比較，本研究將以等同於本研究設定之臺灣長隧道等級(>3km)之規範進行比較，如表 6.1-1 所示。

表 6.1-1 隧道消防安全設備規範之比較-以臺灣、日本、美國及挪威為例

項目	國家	臺灣	日本	美國	挪威
消防及通風設備					
滅火器		○	○	○	○
消防栓		○	△	○	○
自動滅火設備(自動灑水器、水霧滅火設備等)		○	△	-	-
連接送水管		○	○	○	○

項目	國家	臺灣	日本	美國	挪威
通風設備		○	△	○	○
通知及警報設備					
火警自動報警設備		○	△	○	○
碳氫化合物偵測器		-	-	○	-
火災警報控制面板		-	-	○	-
手動報警設備		○	○	○	-
緊急電話		○	○	○	○
疏散及導引設備					
緊急停車彎		○	-	-	○
避難聯絡通道		○	△	○	○
避難設備標誌		○	△	○	○
隧道內資訊可變標誌		○	○	-	△
隧道入口資訊可變標誌		○	○	-	○
車道管制號誌		○	-	○	○
照明及電力設備					
緊急照明系統		○	-	○	○
緊急電力系統		○	-	○	○
供電安全計畫		-	-	○	-
通訊及監視設備					
監視設備		○	△	△	○
無線電台轉播設備		○	△	○	○
緊急廣播設備		○	△	○	○
無線電信輔助設備		○	△	○	○
行動電話設備		-	-	-	-
其他					
排水系統		-	-	○	○
緊急事故反應計畫		-	-	○	-

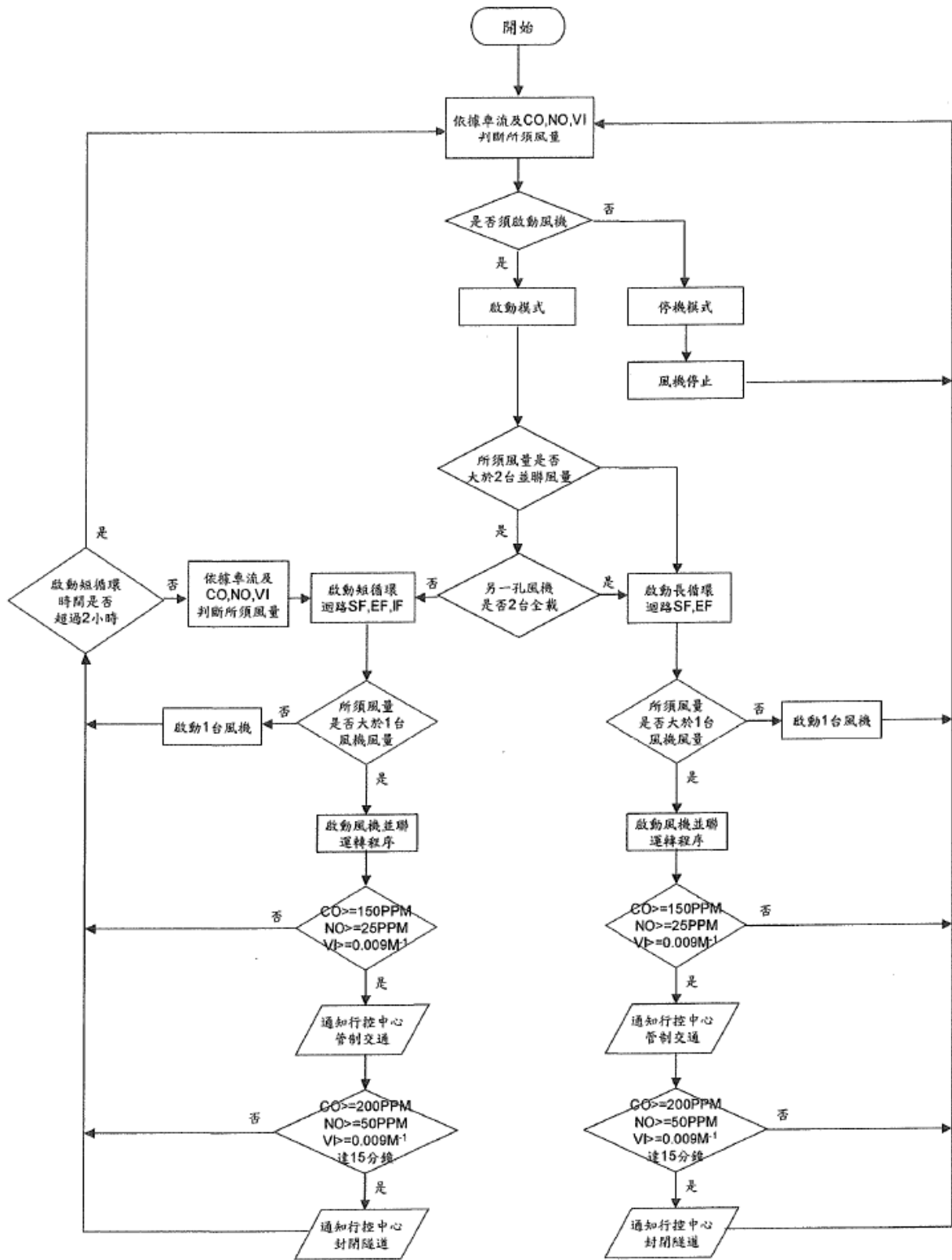
註：○表示必須設置。△表示視情況設置。-表示無規定須設置。

資料來源：公路隧道消防工程設置規範及制度之探討(上)及本計畫彙整。

三、雪山隧道消防安全設備規範之案例

由上表可知我國隧道設置標準與日本相似，甚至更為嚴謹，此可由我國雪山隧道之案例探知，根據 2019 年 7 月 26 日訪談高公局張崇智副局長結論，其表示雪山隧道通車時已具備當時最先進之相關設備，且通車至今 13 年間並無發生因空氣污染物濃度過高之情形，顯示雪隧之設備已相當完善。據北宜高速公路雪山隧道行車安全概述，雪隧通風系統為全自動電腦

控制，分為正常、塞車、緊急、停電、維修運轉等 56 種通風模式，並與交控系統整合，經監控系統輸入交通資料及現場資料。初步建議未來可參考雪山隧道現行之相關設備，作為評估長隧道通行機車之條件。



資料來源：雪山隧道通風排煙系統運作流程圖示

圖 6.1-2 雪山隧道通風系統運作流程圖

四、高溫作業勞工作息時間標準之借鏡

依據高溫環境下作業相關規定之「高溫作業勞工作息時間標準」，其綜合熱指數值分配作息時間比例如下表：

表 6.1-2 高溫作業勞工作息時間標準表

每小時作息時間比例	最大綜合溫度熱指數值班(°C)		
	輕工作	中度工作	重工作
連續作業	30.6	28.0	25.9
75%作業 25%休息	31.4	29.4	27.9
50%作業 50%休息	32.2	31.1	30.0
25%作業 75%休息	33.0	32.6	32.0

註：1. 戶外有日曬情形者： $\text{綜合溫度熱指數} = 0.7 \times (\text{濕球溫度}) + 0.2 \times (\text{黑球溫度}) + 0.1 \times (\text{乾球溫度})$

2. 戶內或戶外無日曬情形者： $\text{綜合溫度熱指數} = 0.7 \times (\text{濕球溫度}) + 0.3 \times (\text{黑球溫度})$

資料來源：高溫作業勞工作息時間標準

上表所謂之輕工作是指僅以坐姿或立姿進行手臂動作以操縱機器者，此與機車用路人之行駛動作相符合，雖長隧道內並不為規定內所指之高溫作業場所，但對需一定時間內暴露在長隧道高溫下之機車用路人，應保障其生命安全，降低高溫對人體帶來之危害。如日本山手隧道亦有因交通壅塞造成機車用路人缺氧暈倒之案例，所以特地派員來臺訪查水霧降溫實驗，並進行多次交流，且回國隔年就於山手隧道裝設細水霧降溫系統，故未來長隧道若通行機車，所應具備之硬體設施可參考「高溫作業勞工作息時間標準」，考量隧道內高溫不同時間下對機車用路人之威脅，據此規範設計所應具備之硬體設備。

五、長隧道通行機車之硬體設施標準初步建議

綜上各國案例規定之消防安全設備規範、我國具代表性長隧道-雪山隧道之案例回顧，以及高溫作業勞工作息時間標準，初步建議未來長隧道如要通行機車，則應具備之相關設備羅列如下：

一、隧道內設置**細水霧系統**，根據國內外文獻皆說明細水霧於通風環境中不影響其性能，且細水霧系統已經成功地通過火災測試及應用於通風環境良好之隧道和戶外場所中，可作用於降溫及滅火，抑或未來將只針對降溫之考量，可選擇於易壅塞路段，分段裝置細水霧系統，降低裝置成本並達到減緩隧道溫升之目的。

二、隧道內設置**氣體偵測系統**，配合通風設備，隨時監控隧道內空氣品質，

確保有害氣體於標準以下。

- 三、進行煙控模擬分析應增加「全尺寸煙控模擬」，性能驗證「複合型點排式通風系統」。
- 四、隧道照明必須考慮隧道內會產生特殊的視覺現象，不良的照明容易導致用路人看不清路況而容易發生交通事故，照明可採**智慧型照明控制系統**，避免照明燈具故障需工作人員巡視而延誤通報，而造成用路人的行車安全，並且**同時增加地面照明**，確保火災發生時煙塵下降，有足夠照明，能引導用路人即時避難逃生。
- 五、隧道內裝置**移動式泡沫滅火設備**(不確定原設既有無)。
- 六、高溫排除如遇塞車或熱氣累積情形產生，是否啟動水霧降溫(可能產生缺點為設備維護保養，潮濕，用路人能見度降低)，同時就**綜合熱指數評估設計**，是否對機車用路人造成熱衰竭，中暑之情形。
- 七、在半密閉隧道內除空氣品質外，噪音問題會使機車用路人對環境注意力降低及傷害聽力之可能，故針對隧道路面及壁面需**加強降噪設施**，如裝設吸音板降低隧道內分貝。

6.2 未來通行機車之車種標準

國內目前尚未有機車通行長隧道之案例，而機車動力性能普遍較汽車為弱，且車型種類繁多，性能各異，未來長隧道若通行機車，在混合車流的情況下，則須評估適宜通行之機車車種，以避免速差過大造成之事故風險。檢視目前國內機車依據動力來源可分為汽油引擎機車及電動機車，其中汽油引擎機車以排氣量大小區分為五種車牌顏色，電動機車則依據功率大小區分為五種車牌顏色，本小節將就兩種不同動力來源之機車種類探討其分類下各車種未來是否適合於長隧道安全通行。

一、汽油引擎機車

目前國內長隧道之最低速限約為 60km/h，而對於可通行快速道路的大型重機(251-550c.c.黃牌及 551c.c.(含)以上紅牌)而言，快速道路速限約為 60-90km/h，速限標準約等同長隧道或更為嚴苛。另外根據本研究國內外相關機車資料回顧顯示歐洲國家普遍將機車視為汽車，通行長隧道並無特殊相關規定，惟歐洲國家機車有 50%為超過 700c.c.之大型重機，故初步推斷

排氣量超過 700c.c 之大型重機若能遵守車輛行駛長隧道之相關規定，在隧道環境、設備、規範等適宜之條件下，應可在安全為前提下優先探討其通行未來長隧道之可行性。

國內白牌普通重型機車之排氣量分布為 51-250c.c.，其中車款繁多且性能差異大，部份車款性能可能不適合通行長隧道⁴，故不建議以車牌顏色作為可通行長隧道之分類標準。而除使用車牌顏色分類外，近年亦有關心機車族權益之民眾提及日本的發展現況，在日本 126c.c.(含)以上機車即可可通行高、快速道路⁵，亦有通行長隧道之案例，故本研究進一步取得並深入探討以 125c.c.為分界之車輛分布資料如下表 6.2-1 所示，普通重型機車在 126 至 250 c.c.占 8.16%，評估其性能差異較小，應可在大型重機之後，依據路段及長隧道之特性探討通行之可行性，惟實務執行上如何進行排氣量之區分(126c.c.以上非既有車牌區別分界)等，須更進一步探討。

另 51-125 c.c.之普通重型機車各車款行駛速率差異甚大，且占 90%以上比例，族群龐大，若要通行長隧道應審慎考量隧道內車輛性能及速差可能產生的風險。而國內綠牌普通輕型機車 50 c.c.(含)以下，其機車車種多為老舊二行程機車，行駛性能較差，產生之廢氣問題亦較為嚴重，依據環保署相關規範目前亦已逐漸淘汰，未來應審慎考量其車齡及性能等因素通行長隧道可能造成之危險。

表 6.2-1 各類型機車登記數

車種	普通重型		大型重型		合計
	51-125c.c.	126-250c.c.	251- 550c.c.	551c.c.(含)以上	
數量	11,398,067	1,025,847	72,463	78,413	12,574,790
占比	90.64%	8.16%	0.58%	0.62%	100%

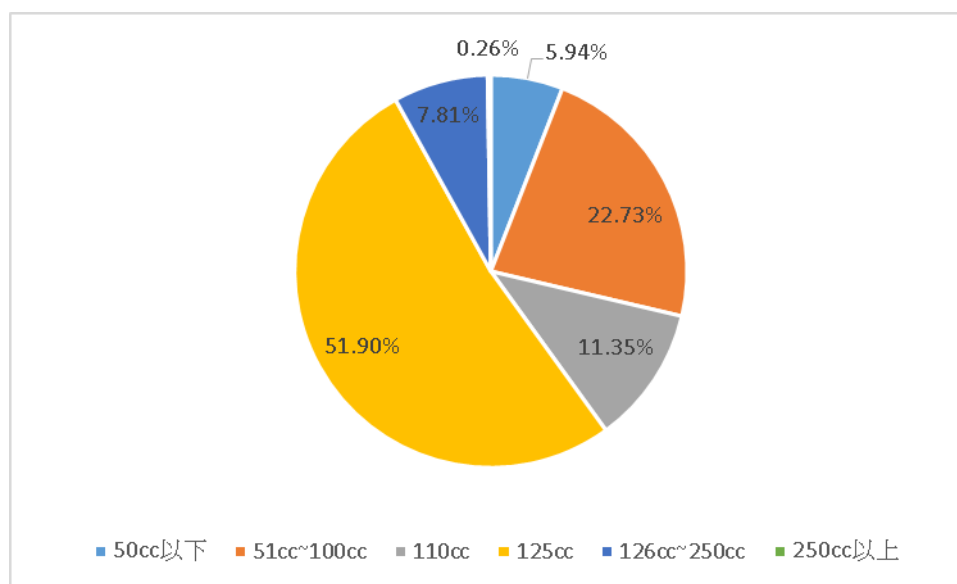
註：未包含 50 c.c.以下之車輛

資料來源：公路總局 108 年 8 月提供

⁴ 根據台灣區車輛工業同業公會之機車銷售統計月報表，直至 2018 年底仍有銷售 80c.c. 及 90c.c. 之機車，故未來長隧道如要通行白牌機車，則將使 80 及 90c.c. 之機車通行，惟其動力性能是否符合長隧道限速標準須進一步評估。

⁵ 日本機車駕照等級分為 50c.c.(含)以下的「原付」駕照、51-125c.c.的「普通自動小型二輪限定」駕照、126-400c.c.的「普通自動二輪」駕照以及 401c.c.(含)以上的「大型重型機車」駕照，其中 125c.c.(含)以下之駕照，法規速度僅能行駛 60km/h 一般道路上，且持有此駕照者最大僅能騎乘 125c.c.(含)以下之機車，而高速公路最高法定速限達 100km/h，且日本高路公路層級之長隧道中速限最低為 70km/h，因此日本禁止 125c.c.(含)以下機車行駛長隧道之評估依據，應是以機車駕照等級作為區分。

此外，檢視機車銷售資料排氣量 125c.c.之車輛數比例超過 50%，根據台灣區車輛工業同業公會統計共 17 年的機車內銷紀錄，車輛分布情形如圖 6.2-1。125c.c.之普通重型機車為國內機車銷量最大宗，次之為 110c.c.普通重型機車，建議未來可再深入比較評估機車排氣輛及性能，與其通行長隧道之可行性。



資料來源：台灣區車輛工業同業公會，機車銷售統計月報表；本研究整理；此資料並無扣除報廢機車數量及缺少外國進口機車資料，應提高大型重型機車比例以符合現況資料。

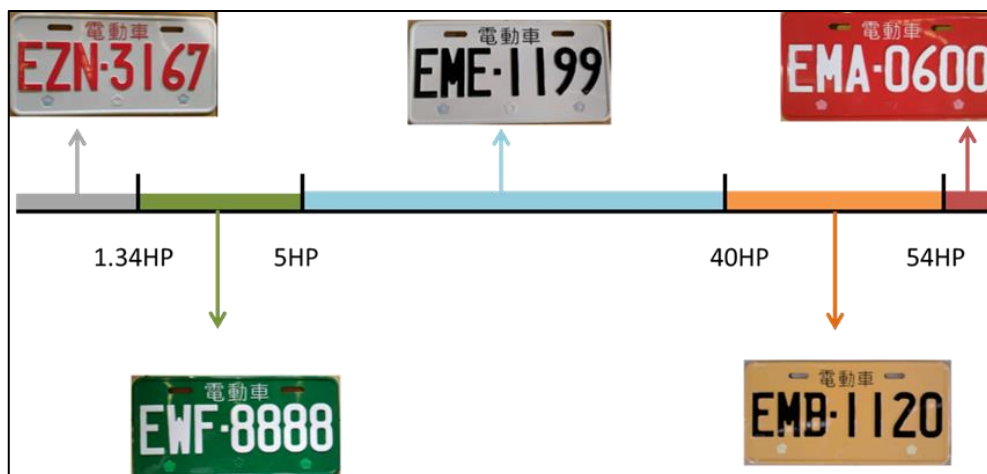
圖 6.2-1 各類型機車累積銷售數(民國 91 年~108 年 6 月)

二、電動機車

檢視我國電動機車 2012-2018 年之銷售量占比自 1.4% 成長至 9.6%，顯示電動機車未來成長潛力不容小覷，故如同汽油引擎機車，電動機車通行長隧道亦遭遇限速標準可能產生速差之問題。隨著相關技術之進步，目前電動機車動力已可與汽油引擎機車相差無幾，如 108 年 7 月底國內電動機車市占率高達 83.5% 的睿能創意，其 Gogoro 車款最大速率可達時速 82-95km，動力性能相當於 125c.c. 的汽油引擎機車。

目前國內電動機車車牌以功率區分為五種顏色(如圖 6.2-2 所示)，檢視國內電動機車規格均僅揭示最大速率，無明確之安全行駛速率。目前國內推出之普通重型(白牌)電動機車動力設計已約等同 125c.c. 汽油引擎機車，考量其安全行駛速率，在適宜之條件下應可探討通行未來新建長隧道之可行性，惟後續亦須評估未來推出之白牌電動機車之動力性能是否也相符；

而目前普通輕型(綠牌)之最大速率約落於時速 45-61km，其安全行駛速率於通行長隧道恐有疑慮，機車用路人暴露於隧道環境內時間較長，且可能因速差產生危險。未來應可就汽油引擎機車及電動機車再作更深入之差異比較，以充分掌握車種間不同通行長隧道可能之差異與疑慮。



資料來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%8B%95%E6%A9%9F%E8%BB%8A>

圖 6.2-2 臺灣電動機車車牌分類

綜上所述，建議未來探討長隧道適宜通行之機車車種時，應以可符合該長隧道速限標準之前提下，以及考量車種不同可能帶來之影響，針對車種性能作更深入之研究，探討各車種之安全行駛速率是否適宜通行長隧道，以作為未來規範之參考依據。

6.3 科技執法結合流量管制

長隧道內之流量對於環境因素(溫度、空氣污染物濃度)及行車安全至關重要，若隧道內單位時間內擁有過多車流，除將提升環境溫度、空氣污染物濃度，亦會造成嚴重塞車情形，對於暴露在外的機車用路人而言為一健康威脅，故未來新建長隧道之流量管制為機車通行之核心關鍵。而科技執法實施至今已有長久之經驗，於龜速超速、跨越雙白線、惡意逼車、任意變換車道等違規行為具有良好之執法及嚇阻效果，將可有效地把關隧道內用路人之駕駛行為，進一步降低事故風險之發生及確保行車安全。

本團隊針對流量管制提出一項創新之策略—「預約式服務」，預約式服務為針對未來新建設之長隧道之一項管理策略，用路人通行長隧道前須事先進行預約，類似於餐廳訂位般可管控各時段之最大可通行量，而為保障預約式服務之執行成效，建議結合科技執法以確保用路人確實遵守預約式服務之相關規定。

長隧道通行之預約式服務以平台系統為基礎，初步構想分為預約名額、預約時段、預約方式等羅列說明如下：

- 一、**預約名額**：未來新建之長隧道如要通行機車，則可以各時段訂定之最大預約名額，以限制尖離峰單位時間內通行之各車種數量，未來可視預約情況開放現場排隊通行，以利於有效地管制隧道總量。
- 二、**預約通行之時段**：除汽機車併同通行之方式，亦可考慮將汽機車以時段分隔之方式區分通行時間，如 A 時段僅開放機車預約，B 時段僅開放汽車預約，藉此將同時段通行隧道之車種單純化，俾利隧道內行車安全、環境因素之監控及待避之方便性，預約時段是否區分車種之方案分析如表 6.3-1。
- 三、**預約方式**：初步規劃有網路、APP 及便利超商等管道，另考量 UMAJI 為一政策支持但缺乏良好落實場域之服務，亦可思考介接 UMAJI 之可行性，以整合更多行程規劃功能。
- 四、**確保預約者準時抵達之初步規劃作法**：一旦預約成功後，只要輸入出發地點與時間，預約平台將會自動估算到達時間，且只要使用平台提供之 APP，行程若有延誤或提前，APP 將自動回報給平台系統修訂預約時段，以此確保預約者能夠準時抵達。

表 6.3-1 預約時段兩方案優劣比較表

編號	方案	優點	缺點
1	汽機車 同時段通行	1. 預約之執行較單純 2. 用路人預約限制較少	1. 安全性較低 2. 待避方便性較低 3. 行車環境較複雜
2	汽機車 不同時段通行	1. 安全性較高 2. 待避方便性較高 3. 行車環境較單純	1. 需額外評估各時段開放之車種及其名額數

長隧道通行除採預約式服務外，若該時段尚有多餘的預約名額，可考慮開放現場排隊等候通行，而非經預約也非現場排隊之名額而逕行通行者將開處罰單，但違規通行者可於之後補登記將罰單註銷。預約式服務之優點為藉用路人提前預約來管控隧道內各車種數量，進而控管隧道內環境危害因子(溫度、空氣汙染物等)，提供用路人一個良好之行車環境。預期將可減少用路人排隊等候通行之時間，以及停等時造成之環境汙染。長隧道通行預約式服務之整體初步構想如下表所示。

表 6.3-2 長隧道通行預約式服務初步構想

項目		內容
預約時段		<ol style="list-style-type: none"> 1. 開放預約之日期為預約當下 X 小時後至 X 天內 2. 開放時段為 24 小時(15 分鐘為區間)
預約規定		<ol style="list-style-type: none"> 1. 預約時段前 X 分鐘後停止該時段預約 2. 設定預約時段前後各 X 分鐘之緩衝時間 3. 未確實於預定時間通行者，開處較輕微之罰單 4. 未預約卻通行者，暫先開出罰單，待用路人補登記後，且確實了解通行規範後始可註銷罰單 5. 具有良好預約紀錄者，建議可提供相關獎勵
通行前	預約管道	網路、APP、便利超商機台(如 7-11 ibon)
	用路人需提供資訊	欲預約日期與時間、用路人姓名、車種、車牌號碼、手機號碼等
通行時	通行方法	預約者至現場即可直接通行，將以車牌辨識自動檢驗通行者是否確有預約，無需現場檢驗身分
預約優點		<ol style="list-style-type: none"> 1. 節省用路人排隊等候通行時間 2. 隧道內車輛總量管制，避免過度壅塞 3. 隧道內環境因素管制，提供良好隧道行車環境

註：X 為計畫執行時，視實際狀況評估而定。

第七章 結論與後續工作項目說明

7.1 結論

經本計畫針對長隧道、機車及長隧道機車相關之文獻回顧、案例蒐集與分析，具有下列幾點結論：

- 一、國外較為特殊之長隧道硬體設備為減少用路人行駛疲勞之特殊燈光帶、提醒用路人注意之不同燈光顏色、降溫用途之細水霧設備，以及偵測車輛是否過熱之熱掃描儀，此些皆為我國設計長隧道時可參酌之經驗。
- 二、國內機車發展特性獨特，雖機車持有率與日本差異大，然機車使用目的以通勤為主與日本相似，且同為基礎建設完備之已開發國家，具有參考價值。目前日本對於機車通行長隧道之規範較少，推測可能原因為其用路人行為與國內具差異，深入探究其機車駕照考照制度後，確實發現其相較國內嚴謹且考照費用較高。
- 三、機車用路人由於暴露於環境中，通行長隧道時將面臨溫升與空氣毒性等問題，尤其隧道內塞車時溫度及廢氣濃度皆可能急遽上升，設計長隧道時應考量汽機車差異並將機車通行條件列入考量。
- 四、隧道內事故以「追撞」最常發生，因與路側物體碰撞之死亡率較高，而隧道內違規屬逕行舉發者約占 99%，未來應可思考如何透過有效的行車安全規範駕駛人，避免追撞之情形發生。而路側物體碰撞方面應可於未來長隧道設計時作考量，並模擬通行機車時可能發生之事故。隧道內執法之落實未來應可透過科技執法提升，對駕駛人起到嚇阻之效。
- 五、公眾參與溝通可交流不同參與者之想法，藉以求同存異，引導出彼此共識的建立。凝聚共識後可透過專家學者座談會，透過專家提供專業意見完善各界之共同目標，作為未來發展之依據。
- 六、初步研提長隧道通行機車之條件，分為下列三項：
 1. 硬體設施標準應完備(細水霧、氣體偵測系統、全尺寸煙控模擬、智慧型照明控制系統、移動式泡沫滅火設備、降躁設施等)。
 2. 應嚴謹規劃未來長隧道通行機車之車種標準，就隧道內行車規範、行車環境、道路設計等綜合考量新建之長隧道內通行車種之可行性。

3. 應落實流量管制與執法，確使隧道內車流穩定且安全，科技執法結合預約式交通(預約式服務管制單位時間內隧道總量，並配以科技執法確保用路人遵守預約式規定及隧道內行車規範)。

7.2 後續工作項目說明

- 一、關於國外長隧道之隧道環境（如空氣品質、溫度、噪音及其他影響行車安全之項目）案例資料，因各隧道管理單位資料公開情形不同，目前蒐集上遭遇困難，建議後續可於國外實地考察時作訪談與資料蒐集。
- 二、預計辦理二場公眾參與會議，分別討論長隧道通行機車的條件及隧道行車規範，另就二場討論成果，再辦一場專家座談，以確認成果的完整性及品質。另亦將針對一般用路人作問卷調查(150份)。
- 三、探討長隧道通行機車之車種混行對機車影響（含車流模擬分析）。
- 四、研提臺灣長隧道應具備之硬體設備、行車環境或其他條件，可開放機車通行。