



工程

孫震 敬題



- 中國工程師學會榮幸受邀參加2018唐獎活動
- 本學會組團出席「2018三地（馬來西亞、台灣、香港）大地工程國際研討會」
- 工程會刊系列研討會—系列9：捷運工程建設與營運管理
- 專題報導—「智慧化交通機電」



智慧化 交通機電

打造城市天際線的**最佳選擇**

大跨距廠房結構的完美搭配

中龍熱軋型鋼及窄幅鋼板

- ✓ SM570 超強結構鋼
- ✓ 六國產品認證
- ✓ 強韌耐震鋼材
- ✓ 技術整合服務



陶朱隱園



遠雄 THE ONE



中鋼總部大樓



台積電廠房



中龍鋼鐵
DRAGON STEEL



中鋼集團

電話：(04) 2630 6088 #3219 (業務服務)、#8810(技術服務)



瞭解更多



電子型錄



封面介紹－ 智慧化交通機電

交通機電的範圍包括鐵路、公路、捷運、輕軌等交通建設所需具備之機電系統設施，如通訊、照明、供電、交控、通風、空調、號誌以及收費系統等。智慧化則是提升工程由設計到施工以至於營運維護，除了持續致力於提供更舒適便利的「行」之外，在邁向動態管理、系統容錯以及自動化偵測方面的各種努力，以達到節能、安全、效率等目的。本期共有 8 篇專文，除了探討當前數位化與智慧化趨勢外，亦涵蓋了系統保證作業以及獨立驗證與認證等面向，由各不同應用場景來探討智慧化交通機電應用現況，以饗讀者。

特別報導

- 2 本學會組團出席「2018 三地（馬來西亞、台灣、香港）大地工程國際研討會」
- 4 中國工程師學會榮幸受邀參加 2018 唐獎活動

活動專區

- 6 工程會刊系列研討會－系列 9：捷運工程建設與營運管理
- 7 2018 防災嘉年華在新北－107 年度防災科技應用技術優質獎頒獎典禮暨防災教育桌遊及防災成果發表會
- 8 圓滿完成優良工程參訪活動－中庄調整池工程

智慧化交通機電

專題指導及主編：林根勝／中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理

專題報導

- 11 國道公路隧道照明改善案例淺談／謝佳祥、張震宇、簡哲凡、劉諱讓
- 19 國道照明 LED 路燈應用評估淺談／劉智閔、林根勝
- 24 臺鐵車廂無階化規設暨設施通用設計可行性研究／利文廷、曾啟鵬、陳勝國、林根勝
- 33 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發／利文廷、吳培瑛、林志平、林根勝
- 45 臺鐵臺東機務段電車線設計案例／姜大駿、曾啟鵬、余遠添、黃光祥
- 52 軌道工程通訊系統淺析／曾堂坤、胡達振、簡憲章、周金賢
- 67 系統保證於軌道工程之應用／林逸羣、吳培瑛、徐筱晴、卓悌琨
- 79 國道 5 號雪山隧道－自動化科技執法系統建置簡述／吳俊良、林根勝、曾堂坤、張震宇

理事長：邱琳濱

常務理事：李世光 翁朝棟 楊宗興 廖慶榮

理事：王昭烈 朱文成 朱登子 吳玉珍

吳清陽 周永暉 林秋豐 姚立德

胡湘麟 徐善慧 涂元光 高宗正

陳彥伯 陳哲生 陳寶郎 陳耀維

黃一平 楊偉甫 歐來成 歐善惠

薛文珍 薛富盛

常務監事：李建中

監事：谷家恆 陳振川 程慶鐘 楊正宏

秘書長：張武訓

副秘書長：杜俊

發行所：中國工程師學會出版委員會

主任委員：陳國慶

副主任委員：張龍均

委員：李明哲 林根勝 高宗正 張武訓

曹樂群 楊文輝 楊智斌 劉沈榮

蔡正雄 冀樹勇 鍾志成 鍾裕仁

總編輯：周頌安

編輯：林秀琴 梁愛倫 陳佳榕 黃志民

劉展宏 蔣雪芬

聯絡地址：10570 台北市南京東路五段 171 號 10 樓

電話：(02)2769-8388 轉 11038

傳真：(02)8761-1591

會址：10055 台北市仁愛路二段 1 號 3 樓

電話：(02)2392-5128

傳真：(02)2397-3003

網址：<http://www.cie.org.tw>

郵政劃撥：00059892

戶名：社團法人中國工程師學會

編印：承亞興圖文印刷有限公司

地址：11494 台北市內湖區瑞湖街 103 號 3 樓之 4

電話：(02)2799-5911

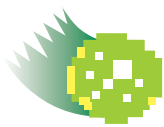
行政院新聞處出版事業登記證局版臺誌 0765 號

中華郵政台北誌字第 721 號執照登記為雜誌交寄

訂閱全年新台幣 800 元

入會申請手續請上本會網站查詢

※版權所有，本刊圖文未經同意，不得轉載。



本學會組團出席 「2018 三地（馬來西亞、台灣、 香港）大地工程國際研討會」

「2018 三地（馬來西亞、台灣、香港）大地工程國際研討會」於9月4日在馬來西亞布城聯邦直轄區（Putrajaya）舉辦。本學會代表團在中華台北亞太／國際工程師監督委員會副主任委員秦中天博士的率

領下出席會議，發表了3篇論文。獲邀前往馬來西亞發表論文的作者為亞新工程公司張榮峰博士、台灣世曦工程公司蔡淵堯工程師、中興工程公司吳嘉賓博士。



▲中工會代表團合影



▲馬來西亞 IEM 致贈秦中天博士紀念牌題



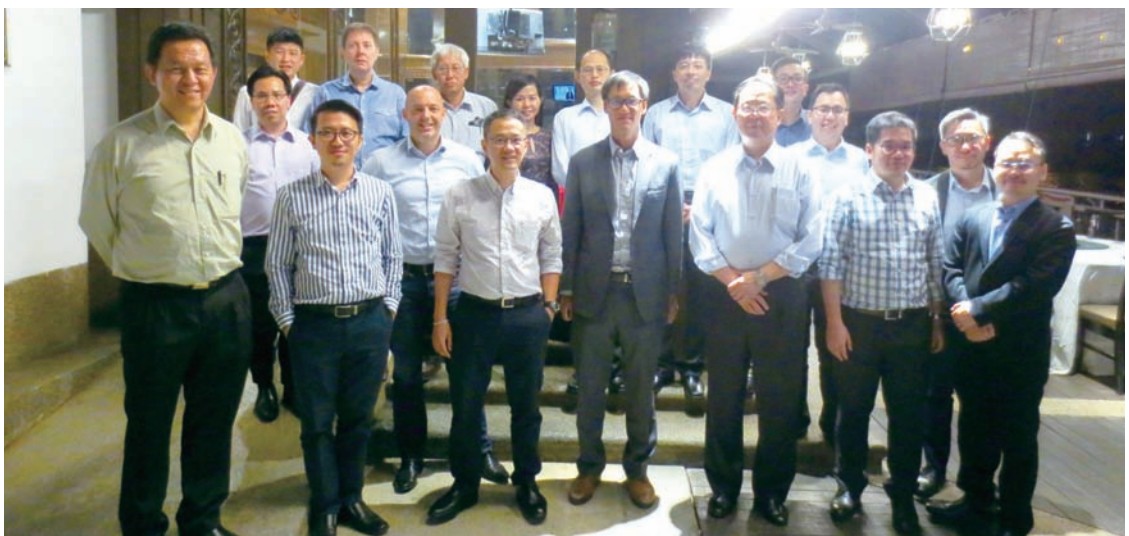
本項研討會自 2009 年起由本學會與香港 HKIE、馬來西亞 IEM 輪流主辦，旨在增進大地工程實務經驗之國際交流。本屆會議主題為 Geotechnical Challenges in Infrastructure and Transportation Projects，共發表 11 篇論文，馬、港、台三地合計約 120 人出席。 ◆



▲三地大地工程研討會開會場景



▲主持人及講師合影 -1



▲主持人及講師合影 -2

中國工程師學會榮幸受邀 參加 2018 唐獎活動

2018年9月21日本學會榮幸受邀參加唐獎第三屆頒獎典禮（2018 TANG PRIZE AWARD CEREMONY）與晚宴及音樂會，除理事外秘書處亦受邀參加。

唐獎由尹衍樑博士於2012年12月成立，基金會執行長為陳振川博士，獎項分生技醫藥、漢學、法治和永續發展四大獎項。今年辦理第三屆，在台北市國父紀念館舉行，與會來賓都是全球學術界巨擘，包括前中研院長李遠哲，美國前副總統丹奎爾及我國監察院長張博雅博士等。

頒獎典禮首先由陳執行長代表基金會致詞，續由評選召集人錢煦院士致詞，8位得主和代領人在海內外代表的祝賀下風光受獎，獎項頒贈儀式後，尹衍樑博士與得獎人進行合照，典禮成功圓滿順利閉幕。是日晚宴在圓山飯店金龍廳舉行，除得獎人與眷屬參加外，創辦人尹衍樑博士伉儷及其他賓客盛裝出席，張博雅院長代表致詞，全程交誼活絡，場面熱鬧溫馨。



▲唐獎頒獎典禮



9月22日於台北福華國際文教會館2樓卓越堂舉辦4場次演講，由各得獎人發表演講。本屆各獎項得獎人為：

- 生技醫藥獎：東尼·杭特 (Tony Hunter)、布萊恩·德魯克爾 (Brian J. Druker)、約翰·曼德森 (John Mendelsohn)。
- 漢學獎：宇文所安 (Stephen Owen)、斯波義信 (Yoshinobu Shiba)。
- 法治獎：約瑟夫·拉茲 (Joseph Raz)
- 永續發展獎：詹姆士·漢森 (James E. Hansen)、維拉布哈德蘭·拉馬納森 (Veerabhadran Ramanathan)

唐獎音樂會於24日中秋夜在國家音樂廳舉行，由國家交響樂團演奏，曲目共有4段：唐獎節慶、莫札特A大調單簧管協奏曲、莫札特安魂彌撒曲、日出台灣。本學會邱琳濱理事長和張武訓秘書長等均出席，很榮幸和唐獎陳振川執行長、唐獎生技醫藥獎得主東尼·杭特 (Tony Hunter) 伉儷、Lena Yin 等合影。杭特博士等是發現致癌基因 Src 的專

家，他在領獎致謝詞時強調成功靠努力、團隊與幸運，印象深刻。

9月25-28日舉辦大師論壇，由永續發展、生技醫藥、漢學與法治等4大領域、7位得獎人，到全台7所大學、6所高中與各界人士對話，並分享思學研歷程與開創成果。

本屆活動各項的直播連結如下，歡迎前往瀏覽。

<http://www.tang-prize.org/week.php?cat=1072&y=2018&cla=week> ◆



▲陳振川執行長 (左二) 與張武訓秘書長合影



▲唐獎晚宴

工程會刊系列研討會—系列 9： 捷運工程建設與營運管理

本學會 8 月份工程會刊「捷運工程建設與營運管理」專題報導，邀請各捷運工程建設及營運單位發表了關於捷運工程由規劃、設計、施工到營運維護管理有關之 9 篇論文，為使會員們對內容能更加深入與了解，特於 9 月 14 日假中興工程顧問股份有限公司 10 樓會議室舉辦研討會，邀請其中數篇作者出席演講。

研討會開始由本學會張武訓秘書長致詞感謝大家的參與，研討會交通部鐵道局北部工程處曹樂群處長擔任主持人，上半場邀請高雄市政府捷運工程局施嫩嫩總工程司演講「全線無架空線輕軌系統之營運特性」，臺北市政府捷運工程局綜合規劃處曾昭容正工程司演講「臺北捷運 30 而立，傳承技術與永續經營再發展」，下半場邀請桃園捷運公司梁容禎經理演講「機場捷運營運週年回顧及展望」。出席先進逾 80 位來自全省各單位，本學會由張武訓秘書長代表邱理事長致詞並致贈感謝狀。活動由出版委員會承辦，張龍均副主委與周頌安總編輯全程參與。本次座談討論熱烈，尤其針對系統相容方面討論最多，研討會活動於下午 5 時順利完成。



▲出席貴賓合影



▲張武訓秘書長致歡迎詞



▲會場情形



「工程」電子書可自學會官網瀏覽下載（設限有效會員）。演講簡報檔不限會員，但誠摯歡迎工程人員加入會員，享用權利。◆



▲座談討論

2018 防災嘉年華在新北－107 年度 防災科技應用技術優質獎頒獎典禮暨 防災教育桌遊及防災成果發表會

107年9月7日中國工程師學會協辦「2018 防災嘉年華在新北－107 年度防災科技應用技術優質獎頒獎典禮暨防災教育桌遊及防災成果發表會」，由「新北市政府」與「社團法人臺灣防災產業協會」共同主辦，中國工程師學會協辦。



▲張武訓秘書長主持發表會



▲張武訓秘書長與簡報人合影

開幕典禮由朱立倫市長親臨主持，並和貴賓及得獎代表合影，本活動上午頒發「防災科技應用技術優質獎」，以表彰在防災科技跨領域應用之商品及服務，具有優良及創新表現之成就者、貢獻者或產品開發者，由臺灣防災產業協會周天穎理事長，內政部消防署副署長和災害防救辦公室王怡文副主任頒獎。頒獎典禮後發表「防災教育桌遊」，作為新北市後續執行山坡地防災教育深耕計畫之重要宣導工具，由工務局朱惕之局長和臺灣防災產業協會鄭錦桐秘書長主持。活動下午，舉辦「防災科技應用技術優質獎」成果發表會，由中國工程師學會張武訓秘書長主持9個單位發表會，包含新北市政府有關單位、中央政府單位及各得獎廠商，藉由產官學界防災經驗之成果交流與成果展示，期能有助各界防災工作之推動，發表會後，並由主持人張武訓秘書長和主辦單位鄭錦桐秘書長邀請參與嘉年華活動的工作人員及最後發表人和學員合影肯定與留念。◆

圓滿完成優良工程參訪活動— 中庄調整池工程

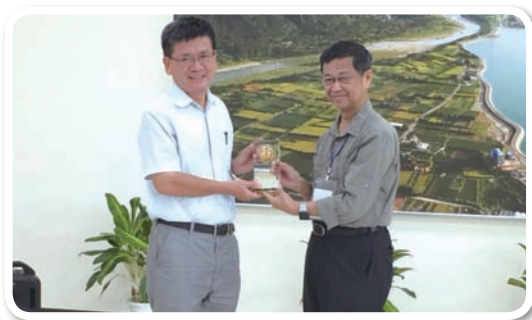
107年9月27日由中國工程師學會、財團法人台灣營建研究院、中國土木水利工程學會共同主辦，中國工程師學會倫理委員會承辦，參訪優良工程「中庄調整池工程」，經濟部水利署北區水資源局江明郎局長親自接待、解說影片和回答問題，並由吳啟順課長簡報，會中賴世聲前局長、李建中前理事長、劉進義前理事長等都所請教，江局長均一一詳答。

活動由倫理委員會高宗正主任委員領隊並頒贈感謝牌予江局長，全員在風光明媚的池邊合影留念後，搭車環湖至引水口聽取攔河堰、魚道等設施之作業簡報和現場觀摩。

中庄調整池位在石門水庫和鳶山堰中間，興建在大漢溪分流的廢河道上，面積約19公頃，環湖3.6公里，可容納506萬立方公尺淨水，必要時提供鳶山堰自來水需求。簡報可至本學會官網瀏覽下載：<http://www.cie.org.tw>。



▲聽取簡報



▲高宗正主委致贈江明郎局長感謝牌



▲參訪人員合影

智慧化交通機電—專輯序言

中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝

土建工程與機電工程是交通建設的兩大環節，前者類似人的骨架血肉、後者則為神經大腦，兩者對人的日常運作均屬不可或缺。是故，舉凡通訊、照明、供電、交控、通風、空調、號誌及收費等系統，均為現代化鐵、公路、捷運、輕軌等交通建設工程所需具備之機電系統設施。另一方面，近來交通相關主管機關，除了持續致力於提供社會大眾更舒適便利的「行」之外；亦不斷投注心力在「智慧化」、「安全」與「全生命週期成本」的改善與提升。因而，科技應用、系統保證作業(Reliability, Availability, Maintainability and Safety, RAMS)以及獨立驗證與認證(Independent Verification and Validation, IV&V)等功能，在交通建設工程裡亦漸次受到重視，我國也於民國99年之大眾捷運系統履勘作業要點第三條規定：應執行第三方獨立驗證與認證。

本期專輯主題為「智慧化交通機電」，即係針對機電工程，考量當前數位化與智慧化趨勢需求，提出部分相關案例，供同業先進參考。本專輯共收錄文章八篇，第一、二

篇-「國道公路隧道照明改善案例淺談」、「國道照明LED路燈應用評估淺談」，係報導交通部高速公路局推動執行之高速公路隧道照明評估與改善工程，藉由更具效益之照明降低營運成本，以節能減碳並確保用路人行車安全。同樣理念，負責台灣鐵路建設與營運之交通部鐵道局與臺灣鐵路管理局，也持續不斷的致力於客戶服務、營運效能的提昇，第三、四、五篇-「臺鐵車廂無階化規設暨設施通用設計可行性研究」、「鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發」、「臺鐵臺東機務段電車線設計案例」，係介紹車輛車門無階化、平交道安全控制智慧化以及顧問公司擔任臺鐵電車線系統細部設計工作的案例，展現主管機關對「服務與安全」優化的決心。第六、七篇-「軌道工程通訊系統淺析」、「系統保證於軌道工程之應用」，則是闡述交通部鐵道局桃園機場捷運核心機電工程之通訊系統架構功能以及系統保證作業案例。行的「安全」，除了建設期間需有系統性的計畫與管理之外，營運期間交通秩序的維持及稽查取締也是重點，因此，內政部警政署國道



公路警察局乃建置「國道 5 號雪山隧道自動化科技執法系統」，使用路人「行」的安全有最佳的保障，本專輯第八篇係簡述該自動化科技執法系統的架構及其特色。

最後，感謝各篇撰稿人的熱心投入，使本專輯得以順利付梓，也期盼藉此拋磚引玉，使未來能有更多學界、業界先進提出更佳的理念與創意，為未來機電工程的發展與智慧化應用，開拓出更寬廣的領域。 ◆



國道公路隧道照明改善案例淺談

中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 謝佳祥
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 張震宇
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 簡哲凡
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部技術經理 / 劉諄讓

關鍵字：隧道照明檢核、隧道照明量測、輝度規劃、照明改善

一、前言

隧道照明的其目的係在為用路人提供良好的視覺條件，以提高交通效率，降低黑洞效應，讓用路人可快速適應隧道內之照明環境，同時幫助用路人看清周圍環境，辨別障礙物，減少交通事故。

隨著社會經濟的發展和人民生活水準的不斷提高，北部高速公路之隧道群交通流量愈來愈大，已超過當初隧道照明之設計值，因此除了燈具老化問題之檢核，亦需依據交通部頒之交通工程規範第 7 章重新檢視隧道照明現況，進行改善以符合現代隧道照明之實際需求。

隧道照明光源常用者有高壓鈉 (HPS) 燈和日光燈及較新型之 LED 燈等，在目前比較成熟的路燈光源中，HPS 燈的光效最高，一般達 100 ~ 140lm/W，故目前提供隧道照明所需之燈具，以高壓鈉氣燈佔極大比率，而日光燈具在國內則常用在長隧道內。

隨著 LED 燈的技術不斷提升，且具有光效高、能耗低、壽命長及演色性佳等優勢，是否可以成為隧道照明的替代光源，有待其進一步觀察其發展情形而定，目前暫不予考慮。

二、隧道照明改善計畫

民國 101 年，中興公司團隊承攬交通部高速公路局北區養護工程分局轄內隧道群之隧道照明檢核、改善設計及監造技術服務工作，工作範圍如下表所示。

道路名稱	隧道名稱
國道 1 號	中興、大業等隧道
國道 3 號	基隆、七堵、汐止、福德、木柵、景美、新店、碧潭、安坑、中和、埔頂 I、II 等隧道
國道 3 甲	台北 I、台北 II 等隧道
國道 5 號	南港、石碇、烏塗、彭山等隧道
台 2 己線	忠孝、仁愛、信義、和平、大武崙、大笨林等隧道

備註：
 隧道為截至 106 年已完成部分，全案預定於 109 年完竣。



本技術服務工作內容包含照明檢核、設計、協助招標、施工監造等相關作業。在隧道照明檢核部分，主要包含蒐集隧道照明設計資料、燈具效能檢測、隧道照明量測、建構隧道照明模型計算分析及現況評估等工作；在隧道照明設計部分，係參照交通部頒之交通工程規範，比對照明檢核資料，依各隧道現場狀況及速限進行改善設計；現場改善工作完竣後，進行設計驗證工作。

三、隧道照明相關專業術語定義

(一) 燭光 (Candela cd)

點光源於一定方向放射 540×10^{12} Hz 頻率 (波長 555.016nm) 之單色光輻射能，並在該方向具有 $\frac{1}{683}$ 瓦特/立體弧角度之輻射強度，稱為 1 燭光。

(二) 流明 (Lumen lm)

點光源以 1 燭光均等強度放射至 1 公尺等距離之半球表面 1 平方公尺面積內之輻射通量稱為 1 流明。流明為光通量 (Luminous flux) 單位。

(三) 輝度 (Luminance cd/m^2 或 nit)

由光源或反光面上之任一點朝與觀測方向垂直之單位面積上放射或反射之光強度。

(四) 照度 (Illuminance lm/m^2 或 lux)

單位面積上所照射之光通量，適合於室內照明要求之參考值。

(五) 總均勻度 (Overall uniformity)

最小照度 (或輝度) 與平均照度 (或輝度) 之比值。

(六) 縱向均勻度 (Longitudinal uniformity)

每車道中心線上，最小輝度與最大輝度之比值。

(七) 眩光 (Glare)

視野內產生人眼無法適應之光亮感覺，可能引起厭惡、不舒服甚或喪失明視度。

(八) 門檻增量值 (Threshold increment, T.I.)

在眩光下較無眩光下恰可看清物體之門檻輝度所需增加之輝度，與無眩光下門檻輝度之百分比比值。

(九) 閃爍效應 (Flicker)

燈具裝設之間距避免產生光源顯著之不連續情形，造成閃爍頻率在 2.5Hz ~ 15Hz 之間，使視覺產生閃爍現象。

(十) 停車視距 (Stopping distance)

在設計速率下，駕駛者由反應至煞車將車輛完全停止時所需要的距離。停車視距包括反應距離及煞車距離。

(十一) 維護係數 (Maintenance factor)

設計所考慮光源衰減與燈具表面污染之寬容度。

(十二) 黑洞效應 (Black hole effect)

當駕駛者由隧道外駛進隧道時必須辨識隧道內之路況，此時如洞外輝度高，則隧道內有如黑洞無法辨識，此種現象稱為黑洞效應。

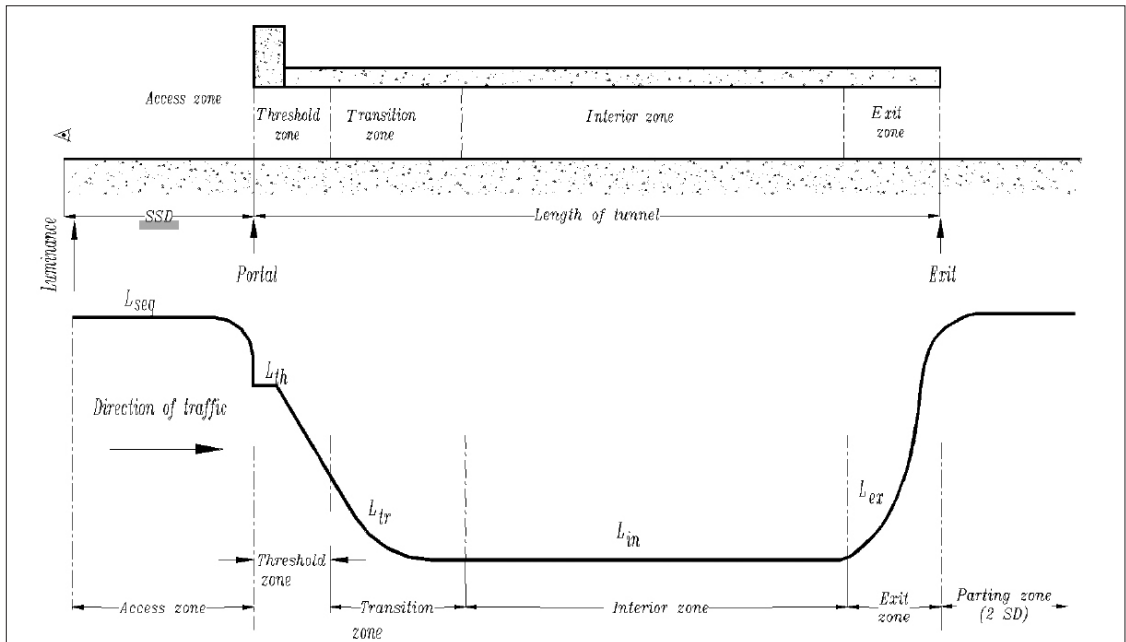


圖 1 單向隧道照明分區及輝度曲線圖。

(十三) 逆照式照明 (Counter-bean lighting)

在行車方向分佈為非對稱且朝向駕駛者，使物體與背景間產生較大對比，能以較低之輝度值而獲致較高的能見度。

(十四) 光幕輝度 (Veiling luminance)

由視野內之光源或區域所產生之輝度，使視網膜影像對比降低，減低視覺能力。

(十五) 演色性 (Color rendering Index)

原始的定義為與日光照射下比較起來，色彩的逼真程度。

(十六) 燈具光效率 (Luminaire Efficiency)

燈具光效率是用來評估燈具之能源效率的一項重要標準，其值為裸光源光通量與燈具輸出光通量之比。

(十七) 車流量 (Traffic flow)

在規定時間及方向通過特定點之車輛數，為每車道每小時尖峰時刻車流量。

四、隧道照明分區及其晝間輝度

為避免車輛進入隧道時駕駛者眼睛發生黑洞效應，隧道內的照明應依其眼睛之需要來設計不同的照明分區及其輝度，以調節駕駛者眼睛的適應能力。圖 1 為單向隧道照明分區及輝度曲線圖。

(一) 接近區 (Access zone)

接近區指隧道進口前端之路段；接近區之輝度 (L_{20}) 係指於隧道進口端前停車視距處，以 $\frac{1}{4}$ 洞口高度為中心點，由駕駛者眼睛所形成 20° 角錐視野內量測之平均輝度。

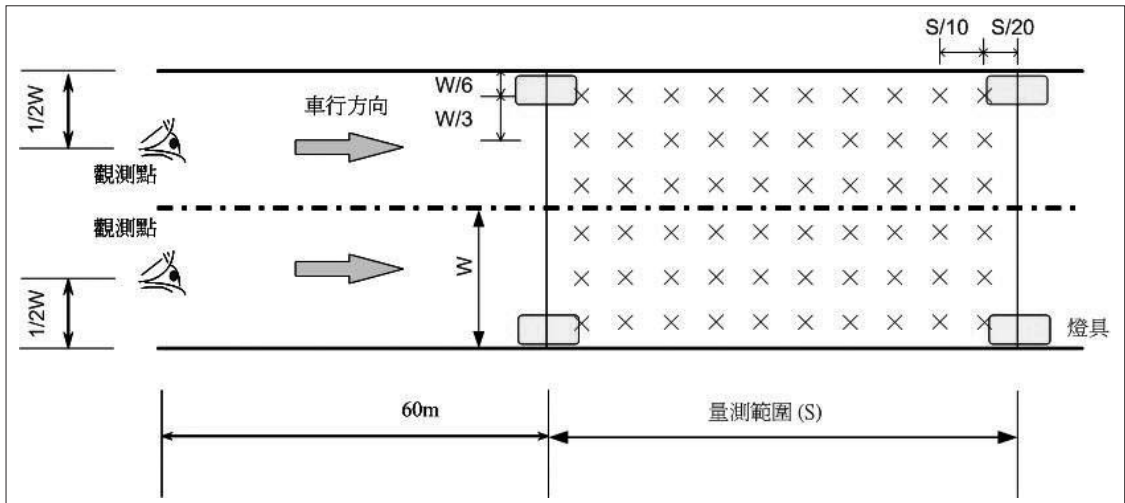


圖 2 輝度量測範圍說明圖

(二) 進口區 (Threshold zone)

進口區 (或譯為境界區) 指隧道入口端向內延伸適當距離鄰接漸變區之路段；進口區內任一位置之平均路面輝度稱為此一位置之進口區輝度 (L_{th})。

(三) 漸變區 (Transition zone)

漸變區指延續進口區向隧道內延伸至內部區之路段；漸變區內任一位置之平均路面輝度稱為此一位置之漸變區輝度 (L_{tr})。

(四) 內部區 (Interior zone)

內部區指鄰接漸變區延伸至出口區之路段；內部區內任一位置之平均路面輝度稱為此一位置之內部區輝度 (L_{in})。

(五) 出口區 (Exit zone)

出口區指駕駛者駛近隧道出口，受到洞口外輝度影響之路段；出口區內任一位置之平均路面輝度稱為此一位置之出口區輝度 (L_{ex})。

五、隧道照明量測

(一) 量測方法

參考 CIE140-2000 “Road Lighting Calculations” 量測隧道照明輝度，並計算平均輝度 (L_{av}) 及總均勻度 (U_o)。

(二) 測量區域的選擇

依據不同燈具的間距、高度、仰角及光源之光色等方面具有典型週期性的平坦路面上，測量範圍是位於同一列的兩個燈具之間，如圖 2 所示。

(三) 測量點取樣

對於道路輝度測量所需之點數，依據 CIE140 之建議於橫向每車道取 3 點，但為提供較高準確性之輝度計算分析，我們將採每車道橫向取 3 點，縱向第一個與最後一個燈具間格取 10 點，測量點與道路相關位置如圖 2 所示，在測量範圍前 60 公尺及高 1.5 公尺做觀測點。



(四) 量測點區域

隧道內各分區，包含進口區 (Threshold Zone)、漸變區 (Transition Zone)、內部區 (Internal Zone) 及出口區 (Exist Zone)，各區域若有再細分，再依據實際區域量測，如將漸變區分為漸變區(一)及漸變區(二)、(三)等。

(五) 輝度計算

1. 平均輝度 (L_{av}) 計算， cd/m^2

$$L_{av} = \sum_{i=1}^n L_i / n$$

L_i ：各測量點輝度， cd/m^2 ； n ：測量點數

2. 輝度總均勻度 (U_o) 的計算

$$U_o = L_{min} / L_{av}$$

L_{min} ：各測量點上找出的最小輝度， cd/m^2

六、隧道照明改善設計

本技術服務工作範圍包含北部 27 座隧道，以下節錄福德隧道南下線照明改善設計實例說明如下。

(一) 改善設計原則

福德隧道原設計採用 CIE 88-1990 規劃，本案則採用新版的 CIE 88-2004 來加強其適切性。

在 CIE 88-1990 與 CIE 88-2004 版中，在隧道加強區照明方面，有一個最大的差異，就在於隧道進口區的輝度值計算。

在 CIE 88-1990 版中，以 L_{20} (隧道洞口外輝度值)，再乘上一個依安全停車視距及照射方式(對比)不同所得到的一個比值求得隧道進口區的輝度值；而 CIE 88-2004 版中，採用被察覺對比度的方法，依照一個等量漫射

光的區域極限圖，來算出隧道進口區的輝度值，由於該方法需要準確的知道隧道洞口地理環境才可行，一般在設計階段無法有效取得，而本案由於隧道洞口地理環境容易取得，故可採用 CIE 88-2004 版方式計算，更準確得到隧道進口區的輝度值。

隧道的照明要求，白天和夜間是完全不同的。在夜間，問題相當簡單，包括在隧道內照明路線上提供的至少等於隧道外面照明的輝度等級。白天照明的設計則由於人的視覺系統而特別關鍵。

(二) 隧道環境及照明設計資料蒐集

福德隧道，位於國道三號北部路段，為雙孔單向 3 車道，隧道座向為東北向南，隧道環境及照明設計條件資料如表 1 及表 2 所示。

表 1 福德隧道長度一覽表

福德隧道	里程	隧道長	車道數
南下線	18K+232M~ 19K+994M	1762M	3
北上線	19K+911M~ 18K+185M	1726M	3

表 2 福德隧道照明設計條件

設計速率	90 km/hr
車流量	1,800
道路鋪面	瀝青混凝土 (R3)
洞口外輝度	S : 2800 cd/ m ² N : 2200 cd/ m ²
停車視距	135 m
道路寬度	3.75 m
車道數	3
隧道淨高	8 m
燈具安裝高度	5.8 m



(三) 進口區照明平均輝度 (L_{th}) 分析

參照 CIE 88-2004 方式，使用極限圖 (Polar diagram) 與隧道洞口套繪如圖 3 藉由 L_{ij} 及 L_{ije} 矩陣分析，計算求得進口區平均輝度如表 3 所示。其中極限圖中心對準隧道洞口高度 1/4，觀測位置於於停車視距。

(四) 洞口野外輝度 (L_{20}) 規劃

洞口野外輝度參照 CIE 88-2004 建議，依據表 4 數值，以內差法計算，求得洞口野外輝度 (L_{20}) 為 3000 nit。

(五) 進口區長度輝度規劃

參照 CIE 88-2004 建議，進口區的總長度必須至少等於於停車視距，且由進口區起點 1/2 以上之停視距，其輝度值必須等於 L_{th} ，

隨後各區照明輝度等級可逐漸縮小，其中 CIE 88-2004 建議如圖 4 所示。

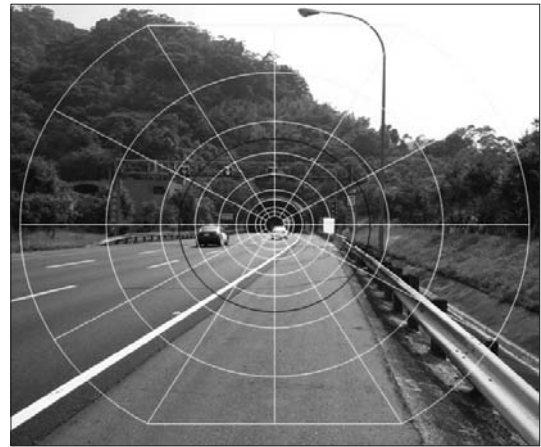


圖 3 極限圖及其各環幾何特性

表 3 隧道洞口界區平均輝度

福德隧道 南下線	Lseq	Lm	L_{th}
	117.8	309.8	141.3

※ L_{th} 為逆照式照明設置條件下數值。

表 4 各種車速條件下 L_{th} / L_{20} 比率

速度	$k = L_{th} / L_{20}$
< 60 km/h	0.05
80 km/h	0.06
120 km/h	0.10

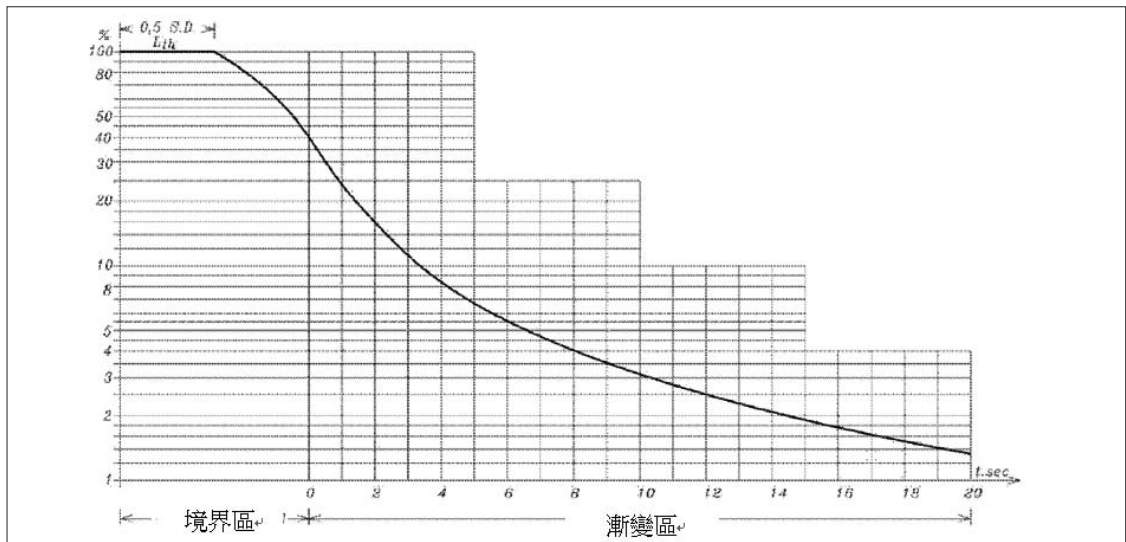


圖 4 隧道沿途變化曲線圖



表 5 內部區輝度值 單位：cd/m²

停車視距	長隧道交通流量	
	低	高
160 m	6	10
60 m	3	6

表 6 交通流量分類

交通流量	單向交通	雙向交通
高	> 1500	> 10
低	< 500	< 6

(六) 漸變區輝度規劃

漸變區照明輝度漸減原則如圖 4 所示，唯各區漸減之照明輝度梯階允許的最大輝度比率為 3，且漸變區最後一區間輝度不應大於內部區輝度的 2 倍。

(七) 內部區日間輝度規劃

內部區照明輝度參照 CIE 88-2004 建議，依據表 5 數值，以內差法計算求得。其中交通流量分類如表 6 所示。

(八) 出口區照明輝度規劃

為了確保小型車輛能有足夠的照明，且能從後視鏡清楚看到後方視野，CIE 88-2004 建議出口區的照明應與內部區的照明相同。唯如果隧道出口處可能有預期的危險，且內部區行駛距離長，則建議出口區的日間輝度應線性增加，其距離相當於停車視距，且在距離出口 20 公尺處輝度應為內部區輝度的五倍。

(九) 福德南下隧道照明改善實例

福德隧道照明改善設計，採用非對稱高壓鈉氣燈具作為基本區燈具；加強區採用逆

表 7 福德南下隧道設計及施工後量測值

照明區域	控制階段	設計值		施工測量值	
		L _{av}	U _o	L _{av}	U _o
進口區	7	155	0.5	215.9	0.6
	6	118		211.9	0.62
	5	80		143.5	0.63
	4	43		77.8	0.63
漸變一	6	80		138.8	0.75
	5	55		105.2	0.89
	4	30		60.7	0.88
漸變二	6	65		120.6	0.9
	5	45		86.8	0.89
	4	25		48.8	0.92
漸變三	6	35		51.1	0.67
	5	25		46.9	0.85
	4	15		34.5	0.84
漸變四	5	15		36.9	0.88
	4	10		24.9	0.89
漸變五	4	10	21.6	0.77	
	3	5	8.2	0.7	
內部區	2	2.5	3.6	0.83	
	1	1.3	2.8	0.73	
	4	10	16.5	0.83	
出口一	5	25	38.5	0.81	
	4	15	23.3	0.8	
	4	10	16.5	0.83	

照式高壓鈉氣燈具，且燈泡改採強光型高壓鈉氣燈泡。藉由照明設計軟體建立隧道照明模型，實際模擬隧道內各區各階照明輝度及均勻度，隧道照明改善設計及改善後測量值如表 7 所示。



表 8 福德隧道南下照明點滅控制階段

照明點滅控制		洞口野外輝度值	
階段	區分	點燈	滅燈
7	白天 1	2250	1800
6	白天 2	1500	1200
5	白天 3	750	600
4	白天 4	100	80
3	黎明	時控	時控
2	夜間	時控	時控
1	深夜	時控	時控

在照明控制部分，依不同時段、天候陰晴及交通量等因素，利用監控軟體編輯與洞外輝度偵測值作比較，控制隧道內各階段照明迴路，使洞內輝度隨著洞外輝度比例變化。

隧道內照明採七階控制模式，第 1～3 階為隧道基本照明，第 4～7 階照明分別設置於隧道進口區、漸變區及出口區位置，各階控制設定如表 8 所示。

七、結論

國道 1 號、國道 3 號及國 3 甲、台 2 己線等隧道，往來交通流量大，故隧道內行車照明極為重要，改善隧道照明可增加用路人視覺享受，減輕駕駛員疲勞，降低用路人行車風險，提高隧道通行能力及行車安全。隧道照明改善作業中，選擇使用高效率及低耗能的光源，在符合現行法規需求之前提下，改善及提升隧道內照明，並汰換及更新更具節能效益之照明燈具，進而降低隧道照明的營運成本，符合政府節能減碳目標，確保用路人之行車安全。◆

參考文獻

1. 高公局隧道照明檢核改善設計及監造案隧道照明檢核報告。
2. 高公局隧道照明檢核改善設計及監造案隧道照明設計報告。
3. 交通工程規範，交通部 104 年 12 月
4. 國道公路照明設計準則，國工局 1997 年
5. 國道公路隧道照明設計實務，照明學刊第 21 卷第 1 期。
6. Guide for The Lighting of Road Tunnels and Underpasses，Publication CIE 88，2004。



國道照明 LED 路燈應用評估淺談

中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 劉智閔
中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝

關鍵字：LED 路燈

前言

國道高速公路局為提供人車通行所需之照明並基於安全性的考量，多年來於所轄管之國道、服務區設置發光效率高之高壓鈉氣路燈。但地球暖化日益嚴重，為了因應全球氣候變遷與減少能源消耗，唯有積極發展綠色能源之應用，因此藉由 LED 產品優勢取代高壓鈉氣路燈，以達到節能的目標，是目前最為關切的議題之一。

近年來 LED 技術快速成長，如發光效率、配光曲線等產品特性不斷提升，其與既有路燈光源比較，LED 路燈在色溫、演色性、可控制性均較既有路燈光源優良，而發光效率與總光通量輸出相較於水銀燈、高壓鈉氣燈更有優勢，將來勢必成為可採用的替代光源。

但在廣泛的使用 LED 路燈前須審慎評估，包括瞭解 LED 路燈的功能性、穩定性、環保性及維護性等，以達到兼顧安全及節能的目標。

一、前置作業

本前置作業為將來高速公路採用 LED 燈具，以平行置換方式汰換傳統燈具之主要前置工作項目。主要步驟包含：現況了解、蒐集資料、可行性評估、現場量測。

(一) 高速公路之現況及需求

目前現有高速公路（以中山高速公路為例）路燈設置概況，主要分為主線道、匝道，說明如下：

1. 主線道部分：分為雙向六車道、八車道，其歸納整理如表 1。



表 1 主線道現況

主線道	雙向六車道		雙向八車道
車道寬	3.65 公尺		
桿高	12 公尺		
懸臂長	2.74 公尺		
仰角	5 度		
燈具排列方式	雙邊交錯、對稱排列		
單邊燈具間隔	40 公尺	60 公尺	50 公尺
光源消耗功率	250W HPS	400W HPS	400W HPS

表 2 匝道現況

匝道	單向單車道	單向雙車道
車道寬	4.5 公尺	3.75 公尺
桿高	10 公尺	
懸臂長	2.74 公尺	
仰角	5 度	
燈具排列方式	單邊排列	
單邊燈具間隔	35 公尺	30 公尺
燈具消耗功率	150W HPS	150W HPS

2. 匝道部分：分為單向單車道、單向雙車道，其歸納整理如表 2。

照度需求，依據國道新建工程局之「國道公路照明設計準則」規定 [1] 高速公路之照明標準平均照度需 15 Lux (約 1 cd/m²) 以上，最低照度與平均照度比必須大於 1：3，眩光限制 (T.I.) ≤ 15 %。

(二) 資料蒐集

本評估應先行蒐集國內外 LED 路燈規範及調查國內外 LED 路燈產品，其目的在於檢討各廠商製造 LED 路燈之差異性。藉此分析結果，整理可應用於高速公路照明之 LED 路

燈產品，同時兼顧安全、法規與維護之要求，再依各廠牌 LED 路燈之配光曲線利用電腦軟體模擬在主幹道及匝道之照度水準。

1. 國內外 LED 路燈相關標準及準則

鑒於國際市場及標準之嚴謹性與產品技術，大多仍參考美國及歐洲標準，而日本主要仍由政府主導，期望達成標準國際化，在國際合作架構下推動國際標準化，政策方面與 IEA/APP 合作，技術層面則與 IEC/CIE 共同合作，大多與歐洲標準相當。故 LED 路燈標準在國外方面建議應以美國、歐洲及大陸來做為了解國際 LED 發展概況之主軸。

2. 各國 LED 路燈規格比較

各國 LED 路燈規格比較，係針對下列主要項目作比較、分析後並提出建議。

- (1) 功率因數
- (2) 色溫
- (3) 配光特性
- (4) 發光效率
- (5) 光束維持率
- (6) 點滅試驗
- (7) LED 晶粒壽命
- (8) 安全要求
- (9) 防護等級
- (10) 電器特性

(三) 可行性初步評估

將蒐集到的國內外 LED 路燈產品之配光曲線，運用電腦軟體來進行模擬分析。

1. 維護係數研討

配合現場量測及推估之維護係數，原則採維護係數為 0.65，但相關參數需定義詳表



表 3 高速公路維護係數相關參數

參數項目	參數值
周溫	30°C
晶粒工作溫度 (Tj)	70°C 以下
晶粒經濟壽命 (在 Tj=85°C，光束維持率 90%)	22,000 小時
燈具防塵等級	IP65 或 IP66
配光裝置防護	須加裝玻璃外罩
散熱機構	須為一體成型
燈具清洗週期	每年清洗一次
燈具使用壽命	10 年

3。另現有一般量測光衰，大多採用燈具直下量測照度來判定，由現場量測發現，一般 LED 燈具光源均由多顆組成，故往往受到光源各晶粒光衰不一致、燈具受周圍灰塵影響大小不一，故造成配光型式的改變，而無法有效採用燈具直下量測照度來判定光衰，且不僅僅只有光衰問題，還有燈具品質上的問題，故將來在判定上，應從燈具開始時，就需拆下檢測光電特性，量測時應採 CIE 140 標準量測，除檢核光衰外，還要檢核照明品質。

2. 道路照明模擬分析說明

現有高速公路道路照明標準，仍以平均照度做為其要求標準。以中山高速公路為例，路燈設置概況主要分為主線道、匝道（詳一、（一）節所述），依據上述標準路段，利用目前蒐集之配光曲線資料（IES 檔），以維護係數 0.65 做照度模擬分析，並以國工局「國道公路照明設計準則」規定做為適用依據。

然而一般駕駛者在道路路面實際感受到的亮度是輝度而非照度。在正常情況下，應該以輝度概念來考量較為適宜；但實際情況下，由於輝度與路面材質及其燈具與道路及駕駛者的相對位置有關，且受到外在環境因素影響很高，故如以平均輝度作為驗收標準是有其困難度，但其量測值可作為參考依據。本文建議對於輝度要求，可採電腦模擬方式作為規範要求，依其電腦模擬的輝度及相對應的照度，來作為將來現場照度量測標準。

(四) 現場量測

1. 量測地點：國道 1 號台中交流道、國道 3 號南投服務區
2. 工程概述：LED 路燈三年量測評估，由於現有市售 LED 路燈產品尚未規格化，且對於配光裝置不同於傳統方式，為瞭解其差異性，評估採 3 款不同配光方式燈具（1 款反射板規格及 1 款凸透鏡含燈罩規格與 1 款凸透鏡不含燈罩規格），設置於南投服務區共設置 24 盞，台中交流道共設置 5 盞，剩餘凸透鏡式（不含燈罩）1 盞燈具作為備品，以作為模擬現場條件用。
3. 工程內容：依現場實際配置、燈桿高度、臂長、傾斜角等資料所完成之燈具，依實際狀況滿足 CIE 140-2000 之標準規定做照輝度電腦模擬，並經執行單位核可、裝置後進行現場量測。現場（南投服務區）量測應依電腦模擬之相關計算點做為量測點，且需含各點照度值、輝度值、色溫值、平均照度值、平均輝度值、平均色溫值、均勻度比值（包含全均勻度及縱向均勻度與



色溫均勻度)等。另針對台中交流道及南投服務區量測區域再對量測之燈具分別做直下照度之量測。

4. 量測燈具：

名稱	燈具款式
A-Type	反射式
B-Type	凸透鏡式不含燈罩
C-Type	凸透鏡式含燈罩

二、現階段考量及未來趨勢

LED 燈具具有節能、環保(無汞)及易操控等優點，單就市面上的燈具效率(Luminaire efficiency)已可做到 160 lm/W，已經超過傳統強光型高壓鈉氣燈泡的 140 lm/W，然而 LED 燈具除了發光效率的提升外，是否就足以取代傳統燈具。而 LED 光源與傳統燈特性上的不同，造成在考量上的不同，對於現階段模組化的方式、燈具備品購置問題、規格未統一化及互換性問題、養護的問題及甚至在智慧照明系統發展上的考量，均會對取代而產生影響，針對這些問題，將是日後 LED 燈具平行置換之主要課題。

三、結論

LED 燈具除了節能、環保及易操控外，並可依照環境特性，提供不同的演色性及色溫需求，也就是適切的地點提供適宜的光源及燈具，但因 LED 光源與傳統燈特性上不同，造成有不同的考量，對現階段模組化方式、規格未統一化及互換性問題、養護上的問題等的考量，會對取代傳統燈產生影響，因此

模組化部份考量維修養護方便，採用一體成形的自然鱗片散熱裝置。而在 LED 配光裝置，現有國內大都採用透鏡方式設計 LED 路燈，且將透鏡當作為燈罩，導致配光裝置外露於戶外，經過一段時間使用，在交通流量大的場所，應其積塵厚薄不一，使其應具備的配光功能造成影響，另外依量測中發現，LED 路燈未加燈罩的情形下，配光裝置外露易受環境影響，比 LED 路燈有加燈罩容易發生光衰情形，所以選用有燈罩的燈具，對配光影響降低及可靠度增加，對用路人的安全有所提升。

電源供應器部份，由於 LED 光源，發光效率直接受到溫度及電流的影響，如採定電壓型，無法有效控制電流，造成發光效率不穩定，現有國內工程在制定電源供應器上，均趨向採用電流型電源供應器，故電源供應器選用定電流型。目前燈具光效率雖已有達到 160 lm/W，但考量加燈罩的情況，燈具光效率約會下降，再加上如色溫在低色溫(3,000K)及演色性 CRI 70 要求及模擬現有高速公路主線道及匝道，燈具發光效率現階段選擇為 110 ~ 120 lm/W。

然而 LED 路燈的散熱鱗片多採外露方式配置，容易積塵且對燈具產生腐蝕作用，使散熱機構能力降低，造成 LED 光源輸出光流明數下降，考量高速公路之車流量容易堆積灰塵，建議高速公路之 LED 燈具至少一年需清洗一次，維持散熱機構的功能性。未來如考量 LED 路燈加入智慧照明系統，電源供應器建議採內置型，也建議 LED 燈具得預留調光控制介面(如 1-10V 或 DALI)以利未來擴充智慧照明功能。



在規範部分，現有 LED 路燈產品，均未有規格化，且 LED 光源除發光效率仍會提升外，對於光源品質也會有要求，故現階段建議規範以初期將以「系統」取向之規範，也就是以依據裝設道路之設計特性，來評估燈具表現之要求，併納入量測工程所得到的一些分析結果，將以「材料」取向限制來搭配，以作為現有規範之方式，而將來將配合新的科技及新的相關業界標準，而隨時更新。等到 LED 路燈產品有規格化時，再研訂以「材料」取向之規範。 ◆

15. 國際無線電干擾特別委員會，CISPR 15，2013 年。
16. 美國國家標準協會，ANSI C136.10，Locking-Type Photocontrol Devices and Mating Receptacles—Physical and Electrical Interchangeability and Testing，2017 年。
17. 美國國家標準協會，ANSI C136.41，For Roadway and Area Lighting Equipment—Dimming Control Between an External Locking Type Photocontrol and Ballast or Driver，2013 年。
18. 國際照明委員會，CIE 144:2001，Road surface and road marking reflection characteristics，2001 年。
19. CNS，標準總號 10779，發光二極體道路照明燈具，類號 Z1039，民國 100 年。
20. 照明北美工程學會，IESNA RP-8-00，Roadway Lighting ANSI Approved，2012 年。

參考文獻

1. 交通部台灣區國道新建工程局，國道公路照明設計準則，民國 88 年 1 月。
2. CNS，標準總號 15233，發光二極體道路照明燈具，類號 C4504，民國 101 年。
3. 中華人民共和國國家標準，GB/T 24907-2010，道路照明用 LED 燈性能要求，2010 年 6 月。
4. 中華人民共和國國家標準，GB/T 24827-2009，道路與街路照明燈具性能要求，2009 年 12 月。
5. <https://www.energystar.gov/>，能源之星。
6. 中華人民共和國國家標準，GB/T 31832-2015，LED 城市道路照明應用技術要求，2015 年 6 月。
7. 照明北美工程學會，IESNA LM-80-08，Measuring lumen maintenance of LED light source，2008 年。
8. 國際電工委員會，IEC 62031，LED modules for general lighting - Safety specifications，2014 年。
9. I3，Lamp controlgear - Part 2-13: Particular requirements for DC / AC supplied electronic controlgear for LED modules，2014 年。
10. 國際電工委員會，IEC 60598-1，Luminaires - Part 1: General requirements and tests，2014 年。
11. 國際電工委員會，IEC 60598-2-3，Luminaires - Part 2-3: Particular requirements - Luminaires for road and street lighting，2002 年。
12. 國際電工委員會，IEC 60529，Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)，2004 年。
13. 國際電工委員會，IEC 62384，DC or AC supplied electronic control gear for LED modules - Performance requirements，2006 年。
14. 國際電工委員會，IEC 61000，Electromagnetic compatibility (EMC)，2016 年。



臺鐵車廂無階化規設暨 設施通用設計可行性研究

中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 利文廷
中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫經理 / 曾啟鵬
臺鐵局機務處車輛科承辦人 / 陳勝國
中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝

關鍵字：車廂無階化、上下台門、門板、門機系統

一、前言

交通部臺灣鐵路管理局(以下簡稱臺鐵局)，為因應高鐵通車及都會區捷運路網陸續興建完成，投入營運後之競爭轉型，以及配合政府推動綠色運輸與大眾交通運輸無縫銜接之政策，除逐步規劃全島鐵路路網之城際運輸外，並劃分北、中、南、東等區，辦理區域鐵路捷運化之運輸，爭取都會區捷運路網未達地區及鄰近市、鎮間之通勤客源。加上近年政府推動觀光及國際油價不斷上漲，造成民眾改搭大眾運輸工具，亦大幅增加鐵路運輸需求。因此，如何讓民眾能夠更便捷、舒適及安全的使用鐵路系統係本計畫推動之目標。

臺鐵局配合政府推動之計畫，分三階段執行月台與列車無階化改善工程，茲概述如下。

- 第1階段：月台提高至92-96公分。
- 第2階段：透過新購入列車及改造車廂，消除車廂台階。

- 第3階段：將全線車站之月台提高至115公分。

本計畫屬於第2階段工作，即透過改造車廂之上下台門，消除車廂台階，使車廂通道地板與月台同高，提升旅客大量進出車廂之安全性與便利性。

二、研究目的

依據臺鐵局於103年9月報交通部核定之「鐵路行車安全改善六年計畫(104至109年)」可行性研究暨綜合規劃報告，預定於民國108年底完成推拉式(Push-Pull, PP)客車、自強號(TEMU1000、EMU300)、自強號柴聯車(DR2800、DR2900、DR3000、DR3100)、通勤電聯車(EMU500、EMU600、EMU700)及具自動門莒光號等，計1,349輛車廂無階化改造作業。經彙整統計，納入車廂無階化改造之現車條件及數量，如表1及圖1所示。



表 1 納入車廂無階化改造計畫之現車條件彙整表

車種	車型	車輛數	每輛車門數	現有車門型式	現有車門驅動型式	車門板材質
PP 客車	PPT1000	200	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
	PPH1300	68	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
	PPC1400	68	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
	PPT2000	13	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
PP 客車	PPD2500	31	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
			2	扇門	手動	不鏽鋼
	PPD2521	1	2	內藏滑門	電動	鋁合金
			2	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
自強號電聯車	EMU300	16	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層
			2	扇門	手動	
	TEMU1000	48	4	滑塞門	氣動	鋁合金
			4	滑塞門	氣動	鋁合金
柴聯車	DR2800	30	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼
			2	扇門	手動	
	DR2850	15	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼
			2	扇門	手動	
	DR2900	10	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼
			2	扇門	手動	
	DR2950	5	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼
			4	滑塞門	氣動	不鏽鋼
	DR3000	50	2	滑塞門	氣動	不鏽鋼
			2	扇門	手動	
DR3070	25	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼	
DR3100	20	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼	
DR3150	10	4	滑塞門	氣動	不鏽鋼	
通勤電聯車	EMU500	340	6	內藏滑門	氣動	不鏽鋼
	EMU600	56	6	內藏滑門	氣動	不鏽鋼
	EMU700	160	6	內藏滑門	氣動	不鏽鋼
具自動門莒光號	FPK10400 FPK11400	41	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	FPK10500	42	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	FPK11500	7	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	DC10500	6	2	內藏滑門	氣動	鋁合金
			2	扇門	手動	
		2	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	PC10500	3	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	BCK10600	13	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	BCK10700	7	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	FPK10600 FPK 11600	39	4	內藏滑門	氣動	鋁合金
	SP32800	5	2	內藏滑門	電動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁
			2	扇門	手動	
SP32700	10	2	內藏滑門	電動	不鏽鋼板 + 蜂巢鋁夾層	
		2	扇門	手動		
合計		1,349				



圖 1 各型列車既有之上下台門台階及門機裝置

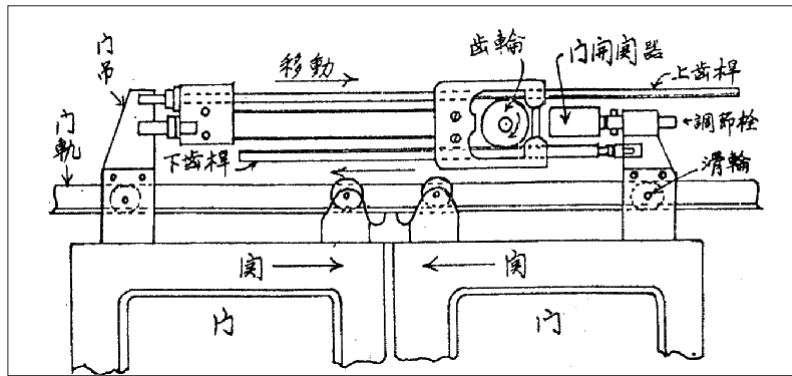


圖 2 氣動式車門系統示意圖

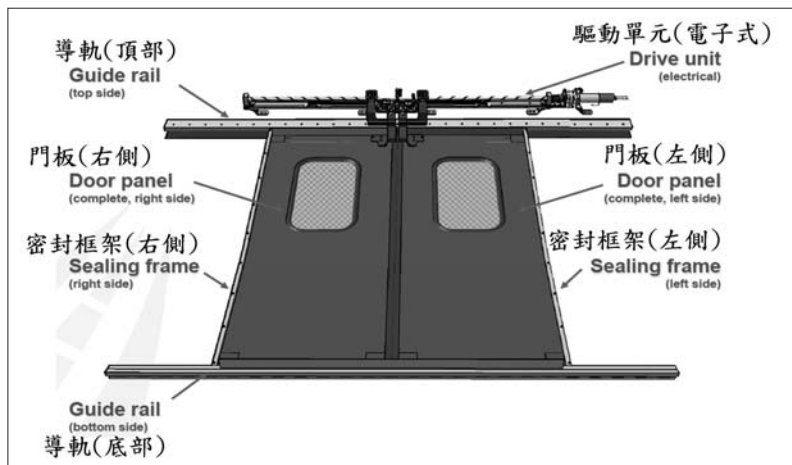


圖 3 電動式車門系統示意圖

三、國際現有門機產品調查及評析

(一) 蒐集之車門系統廠牌、電動門機型式介紹

1. 氣動式車門系統構造簡介

氣動式車門系統之主要組成包含電磁閥、氣動門機、驅動機構、門板及鎖閉機構等，如圖 2 所示。氣動門機之標準操作壓力為 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，其主要機構為氣壓缸。開、關

門之訊號經過電磁閥控制氣壓缸帶動驅動機構，使車門開啟或關閉。當車門關閉到位時，其鎖閉方式係利用氣壓缸之高壓氣體抵緊車門，使車門無法被手動開啟。

氣動門機之空氣源皆需經過三點式空氣源調理組，以進行油水分離及過濾空氣雜質。若空氣源不夠純淨，則會使氣動門機容易產生故障或無法正常作動。



2. 電動式車門系統構造簡介

電動式車門系統主要組成，包含電動門機、控制單元 (DCU)、密封框架、導軌、門板等。其中，控制單元係設定車門作動方式的主要控制器，而密封框架之設置係為增加車門關閉之緊密性。

車門之作動方式為電動馬達驅動軸承，並藉由軸承與車門之間的連結機構帶動車門門板，使車門門板順著導軌開啟或關閉，如圖 3 為電動滑門示意圖。

電動式門機內部含有自動鎖固裝置，如圖 4 所示，當門板移動到指定位置時，鎖固裝置將自動落鎖固定門板，使車門不會因為受到外力影響而開啟。當遇緊急狀況需要開啟車門時，可啟動緊急釋放開關，將鎖固裝置解鎖即可用手動方式開啟車門。

電動門機驅動裝置又可細分為驅動馬達、軸承、鎖固單元、門機機構底板及固定架等組成單元，如圖 5 驅動裝置示意圖。其中，馬達本身有電流感測功能，即馬達運轉過程中，可藉由感測其電流變化，以達偵測是否有障礙物影響車門正常關閉或開啟。

車門控制單元 (Door Control Unit -DCU)，如圖 6 所示。係控制車門作動方式的主要裝置，藉由設定內部程式參數及可調整其開、關門時間、開、門力量、障礙物偵測時間、關門遇障礙物再開門作動方式、緩衝距離、相關數據紀錄及傳輸等。

車門控制單元負責車門控制、監視、安全等工作。當收到零速度訊號及車門開啟訊

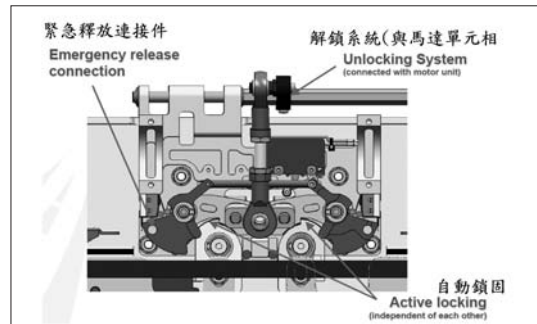


圖 4 自動鎖固裝置

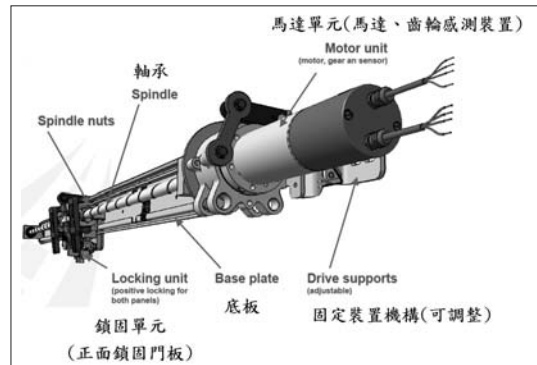


圖 5 電動門機驅動單元



圖 6 車門控制單元 (DCU)



表 2 門機廠商彙整表

門機廠商名稱	出產國	門機型式
WEGH GROUP	義大利	氣動
Train door solutions (TDS)	英國	氣動
PMC Polarteknik Doorsystems	芬蘭	氣動
Parker Pneumatic	英國	氣動
Norgren	美國	氣動
Tamware	芬蘭	氣動
Rail Door Solutions	英國	氣動
YUJIN	韓國	氣動
Ivy Machinery(Nanjing)	中國大陸	氣動
Nabtesco	日本	氣動 / 電動
Ultimate	中國大陸	氣動
KNORR-BREMSE	奧地利	電動
Faiveley	法國	電動
BODE	德國	電動
KANGNI-Nanjing	中國大陸	電動
SOMYUNG	韓國	電動
Mors Smitt	荷蘭	電動

號時，車門控制單元才會輸出訊號並使車門開啟。車門作動時，車門控制單元隨時監控並儲存車門狀態，當車門開啟或關閉過程中，車門控制單元藉由馬達運轉電流的變化來偵測是否有障礙物導致車門無法正常運作。

車門控制單元儲存之車門狀態資料，可藉由本身擁有之通訊界面，將資料傳輸至外部系統進行統整分析，並藉由相對應之分析軟體，針對車門作動之過程進行詳細紀錄、分析及計算。

經蒐集與彙整，目前市面上生產車門門機之廠商及產地國。其中，氣動門機廠商，計為 11 家；電動門機廠商，計為 6 家，統計彙整資料如表 2 所示。

四、車門系統驅動型式比較

(一) 電動門機與氣動門機比較

臺鐵局目前各客車車輛所使用之門機型式，大多為氣動驅動方式。針對未來修改車門淨高時，亦可考量更換不同驅動型式門機裝置。氣動式及電動式門機裝置各項性能比較，詳表 3 所示。

總體而言，氣動門機系統障礙偵測性能較不靈敏，需另外加裝特定的控制單元及感測器才有自動故障偵測紀錄及傳輸功能。需更換之耗材成本較低、耗材項目較多、備品需求較多、維修週期短、機構較複雜、所需之人力成本較高；電動門機系統障礙偵測性能較佳，本身即有控制單元及自動故障偵測



表 3 門機型式比較表

		氣動式	電動式
性能	障礙物偵測系統	<ol style="list-style-type: none"> 藉由門板邊緣設置感應壓條，以偵測夾持力量感應是否有障礙物，反應較不敏感。 須設置壓力開關與繼電器等元件，增加設置及維修成本並影響可靠度。 	<ol style="list-style-type: none"> 可藉由馬達電流之變化反映障礙物偵測，偵測效果較為敏感。 僅需增加感測元件，可靠度不受影響。
	監控系統	<ol style="list-style-type: none"> 需另外加裝感應裝置，以達到監控部分元件(如氣缸、電磁閥、過濾器等)的功能，增加了安裝成本及元件故障的機率。 需另外安裝特定的控制單元，才能擁有自動故障偵測及紀錄、傳輸維修資料等功能。 	<ol style="list-style-type: none"> 不需另外加裝感測裝置，所有主要元件(如馬達、斬波器、繼電器)的狀態資料皆可顯示於控制面板上。部分機械原件的損壞檢測亦可透過電流監控取得。 控制單元本身即擁有自動故障偵測、紀錄，即數據傳輸功能。
維修	維修週期	<ol style="list-style-type: none"> 氣動機構維修週期短，需更換之耗材較多，花費之人力及時間成本亦較高。 	<ol style="list-style-type: none"> 電動機構維修週期長，平時只需進行簡易清潔，需更換之耗材較少，花費之人力及時間成本亦較少。
	耗材	<ol style="list-style-type: none"> 耗材成本較低，但需更換之項目(如氣缸墊片、管路等)較多，備品需求亦較多。 氣動門機於每次更換耗材時，需拆專門機裝置、氣源管路等，所需之人力及時間成本較高。 	<ol style="list-style-type: none"> 耗材成本較高，但需更換之項目較少(如馬達電源控制單元的額外配線)，備品之需求較少。 由於電動門機元件之設置位置較集中，更換耗材時不需拆裝其餘裝置或線路，所需之人力及時間成本較低。
可靠度	應納入考慮項目	<ol style="list-style-type: none"> 氣缸 電磁閥 過濾器 管路 	<ol style="list-style-type: none"> 直流馬達 螺桿 極少的額外配線

紀錄及傳輸功能。需更換之耗材成本較高、耗材項目少、備品需求較少、維修週期長、機構較簡單、所需之人力成本較，惟門機驅動型式之選擇，仍需應視車輛實際支援條件、評估結果及需求而定。

五、車輛改造之初步構想

臺鐵局依據車輛使用壽命等因素，對車輛無階化改造案，初步決定 TEMU1000 型、DR2800 型、DR2900 型、DR3000 型之列車不進行改造。其餘各型列車之改造構想，茲說明如下：

(一) 上下台門台階填平

各型列車需進行上下台門台階填平、受影響區域之車廂地板鋪層更新及配合台階填平後之上下台門扶手更新或裝設，以及標示、標誌與標語重新設置。

為了車廂美觀及避免不良影響產生，車廂入口台階填平及車廂地板更新所採用之材料應盡可能與原車車廂地板材料相同或具相容性之材質。另台階填平面應覆蓋與車廂地板相同或近似之防滑材料，惟顏色應與原車相地板鋪設之防滑材料顏色、圖案契合。

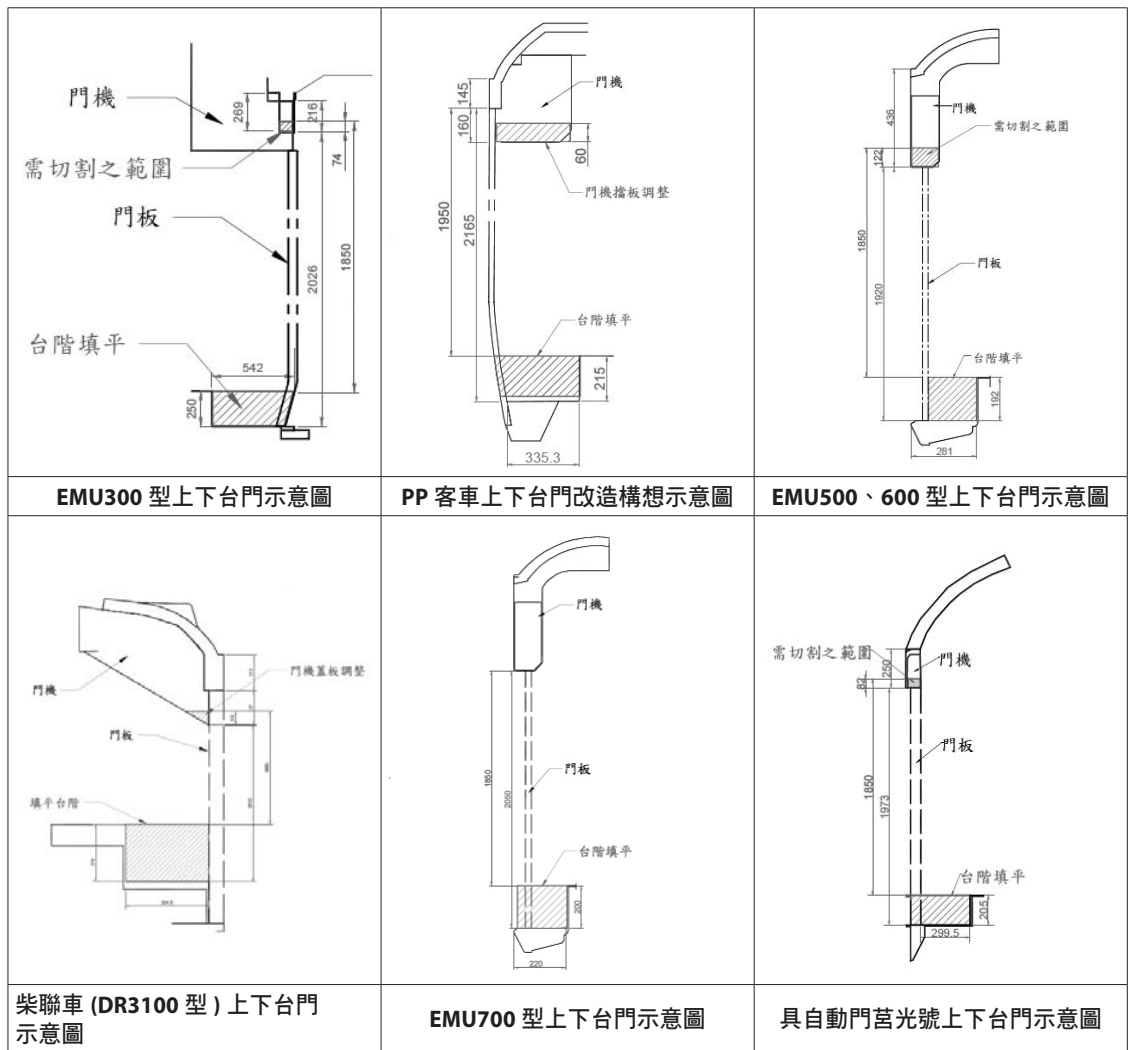


圖 7 各型列車改造之初步構想示意圖

(二) 上下台門門框切割及門板、門機系統更新

配合台階填平，上下台門之門板及門機系統需更新且上下台門通行高度不足 1,850mm 之車型需進行門框切割或是調整門機蓋板。

各型列車改造之初步構想示意圖如下圖 7 所示。

六、結論

本計畫主要工作內容為協助臺鐵局辦理前期規劃與基本設計及製作車廂無階化改造



工程之招標文件、編製預算等作業。規劃階段，針對所有改造目標車型進行上下台門現況及列車 24V 電量使用狀況調查，以評估列車裝設電動門機之可行性。

為確保了解市場上各家廠商之門機產品可滿足本計畫之需求，更蒐集了各家門機廠商之型錄及規格資料，並針對電動、氣動門機進行優、缺點比較分析，使業主了解不同驅動型式之門機系統在營運及保養維修上所帶來的差異，並確立採用未來採購車輛之門機型式。

本案業已於 104 年 12 月 18 日完成發包作業，目前各型列車正在改造中，預定於 109 年底完成所有改造作業。未來，俟臺鐵局完成全線所有月台高度提升至 115 公分，即可達成車廂通道地板與月台高度同高之目標，更加提升了旅客進、出車廂之安全性與便利性。 ◆

參考文獻

1. 各型車廂無階化規劃報告，中興工程顧問股份有限公司。
2. 各型車廂無階化基本設計報告，中興工程顧問股份有限公司。



鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發

中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 利文廷
中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫經理 / 吳培瑛
國家中山科學研究院材料暨光電研究所雷射物理組 / 林志平
中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝

關鍵字：鐵路平交道、安全控制系統、障礙物偵測、影像傳輸

一、前言

鐵路系統在可靠度及環保上具有優勢，然而其載運旅客量大且具有高動能特性，一旦發生事故往往造成生命財產的重大損失，對社會也產生嚴重衝擊，緣此，交通部於2009年進行「建立臺鐵安全績效指標之研究」，就臺鐵各種事故的風險進行評量，結果顯示「搶越闖越平交道」高居臺鐵事故風險排序的第二名。嗣後，交通部為提昇鐵路平交道安全，於2010至2012年間，廢續辦理臺鐵平交道風險辨識、分析、評量、風險處理、管理監督、管理改善等研究，研究過程中發現，「鐵公路車輛於平交道碰撞」的風險水準屬於「必須降低」的等級，亦即，必須盡最大的可能將平交道的風險降至可接受的水準之下。

2012年1月發生砂石車闖越平交道事故，人員傷亡與財物損失高達數億元，再度引起民眾重視平交道安全，因此如何達到減少鐵路平交道事故發生次數，以及減少民眾生命與財產損失，是當前臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵局）必須面對的重大議題，也是臺鐵局重要的施政目標之一。

根據交通部運輸研究所的研究，「公路駕駛因素」為鐵路列車與公路車輛在平交道上發生撞擊的主因，其中又以公路駕駛人「誤判短時間無車而闖越」（公路車輛駕駛誤判短時間內無列車通過平交道而闖越）、「未保持安全間距」（公路車輛駕駛因道路壅塞而未保持平交道淨空區域之安全間距）、「誤判未侵入」（公路車輛駕駛誤認未侵入平交道淨空區域）為最關鍵的因素。職是之故，臺鐵局已陸續完成平交道監視錄影設備的建置工作，從平交道遮斷桿被撞斷的數量來分析，證



明監視錄影告發可有效降低平交道闖越的事件。然而，一旦發生公路運具誤入平交道的危險區，最後的機會將是列車必須於平交道之前煞停，或將速度降至安全水準之下，以減少列車撞擊的嚴重程度。

由於鐵路列車的鋼輪與鋼軌的黏著力較低，列車所需的煞車距離甚長，一旦司機員發現平交道有人車闖越，此時施以緊軔已然不及。因此，臺鐵局目前在 77 處平交道已裝設雷射 / 紅外線感應障礙物偵測裝置，以便當公路運具侵入平交道時，得以儘早通知司機員啟動煞車。惟現有設備係從日本進口，設置成本較高，不利於全面裝置，因此有必要發展本土化鐵路智慧平交道安全控制系統，針對平交道事故主要原因，研提智慧化平交道安全控制系統的關鍵技術（例如：公路車輛闖越平交道違規攝影取締技術、平交道影像傳送至駕駛室技術、列車趨近平交道訊息傳送至公路車輛導航設備或手機之警示技術、鐵路平交道與公路臨近路口路誌整合…等），開發低成本與偵測效率高之平交道障礙物偵測器，以降低其設置成本，利於全面改善臺鐵的平交道相關設施。

二、研究目的

本研發計畫的研究對象為鐵路平交道，研究範圍包括鐵路平交道的鐵路側以及公路側的各項控制設備（如圖 1），但以障礙物偵測設備的研發為主，以便取代目前所使用之日本遮斷式雷射 / 紅外線障礙物偵測設備。

本研發計畫的主要目的是研發智慧平交道控制系統，以提升平交道的安全水準，並

帶動國內相關產業的發展。由中興工程顧問負責規劃、設計、招標及監造，後由中科院得標負責製作本控制系統。具體目標如下：

- (一) 建立完整且技術自主的鐵路
- (二) 平交道安全控制系統，創造並且整合平交道資訊、通訊、控制等產業鏈。
- (三) 該系統功能需包括事件偵測啟動告警、觸發平交道遠端監控系統、平交道固定警報時間及交會列車間隔 10 秒限制開啟遮斷（解除警報）、平交道事件偵測動態影像傳送至車上等。

三、系統架構說明

障礙物偵測採用雷射雷達偵測技術，可即時偵測障礙物，每個雷射雷達的偵測區域皆可涵蓋整個平交道的淨空區，若有需要可以設置雙雷射雷達架構，整合成一個備援裝置。如圖 2 所示，當偵測器偵測到障礙物入侵，經確認會送出指令，將 IP camera 影像，經由無線影像傳輸模組傳送到列車上，並用另外通訊通道，將警示訊號也一併送到駕駛艙內，供駕駛員判斷後，進行適當的處置。

四、測試方法及結果

(一) 障礙物偵測之實驗室測試

本團隊於台中漢翔公司建置一模擬平交道進行相關情境測試，包括：晴天、雨天、日間、夜晚，其事件包括：行人、倒臥行人、汽車、腳踏車、掉落物等等，並依評估指標檢測率和誤判率進行檢測，在測試期間要求廠商回應偵測訊息至伺服主機，由伺服主機自動判斷，將其測試資料儲存至資料庫。

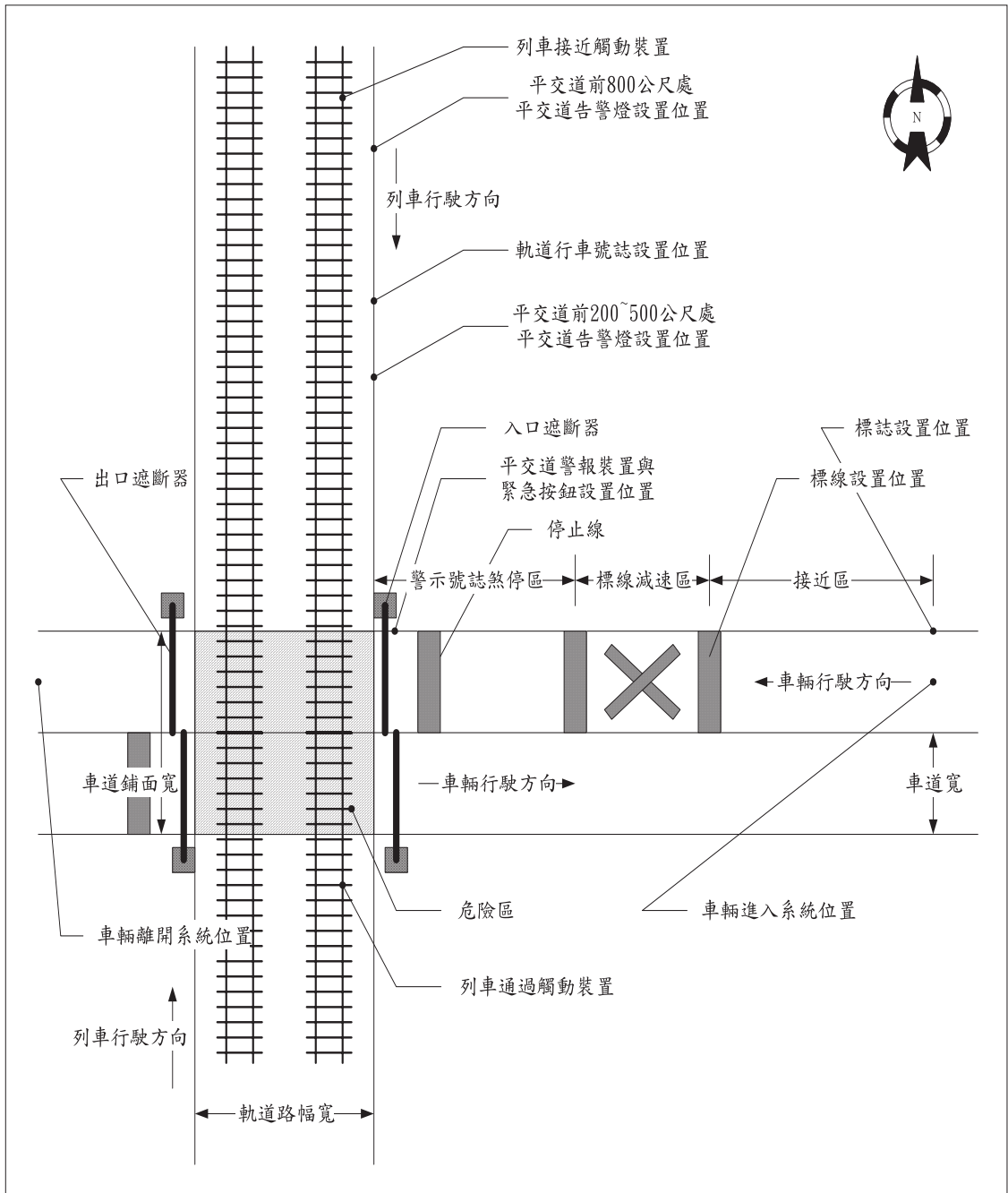


圖 1 平交道範圍與周邊設備

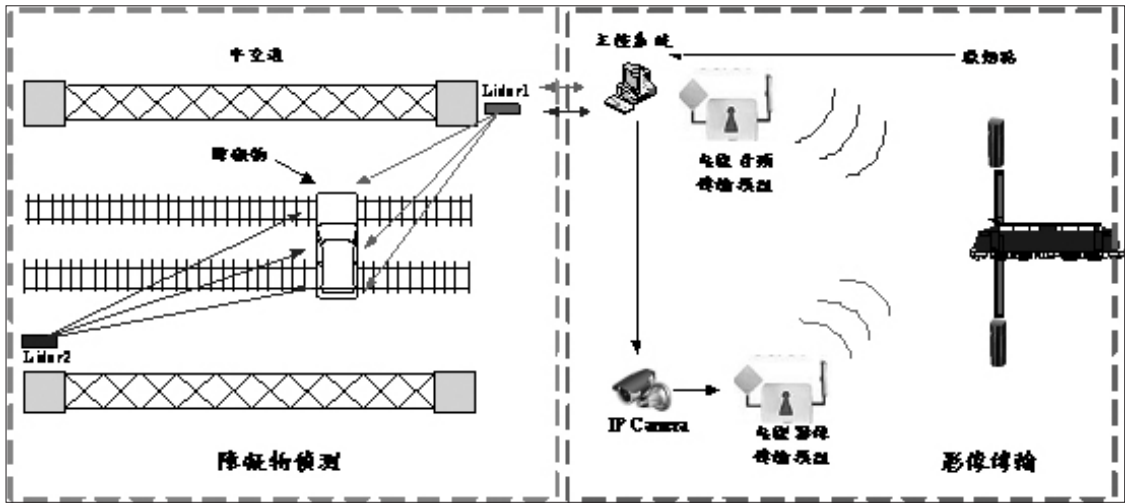


圖 2 系統架構示意圖

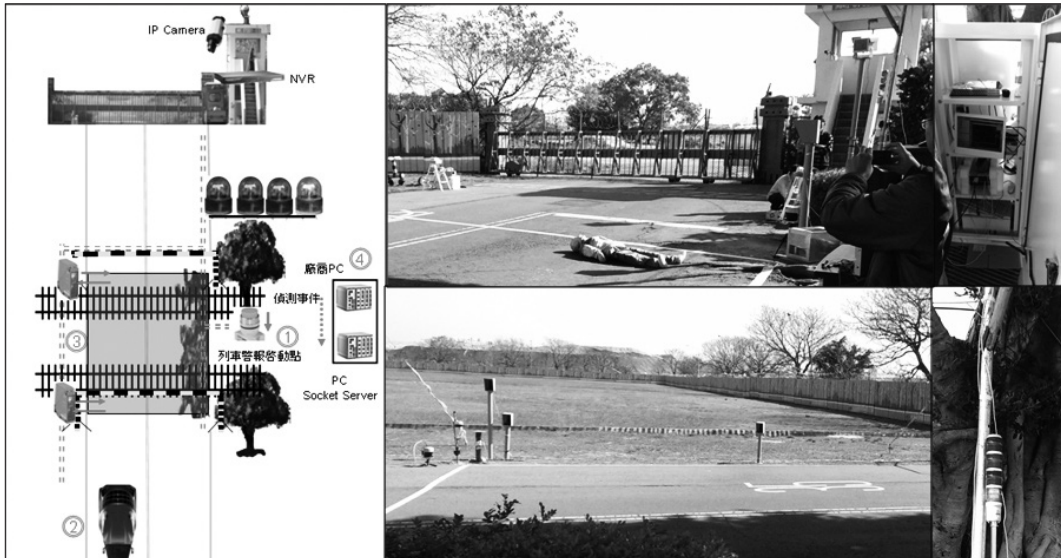


圖 3 各項實驗設備佈建位置現場

1. 設備及場地佈置

模擬平交道之設備包括：柱子和橫桿、設備櫃、弱電管線、電力照明等基礎工程建設，以及紅外感應器、IP Camera、電腦主機、

NVR 錄影主機、指示燈、啟動開關等資訊硬體設備，如圖 3 所示。



第一階段測試		
測試指標	項目	內容
檢測率 (查全率)	時間	白天/ 晚上
	事件	行人/ 倒臥行人/ 腳踏車/ 拋錘腳踏車/ 汽車/ 掉落物(A4紙箱)/ 滾動掉落物(籃球)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右上/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2 - 4次
	總次數	292次
誤判率 (誤報率)	時間	白天/ 晚上
	事件	陰影(行人/ 旗幟/ 飛球)
	位置	左上/ 中上/ 中下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2 - 10次
	總次數	33次

第二階段測試		
測試指標	項目	內容
檢測率 (查全率)	時間	白天/ 晚上
	事件	倒臥行人/ 拋錘腳踏車/ 掉落物(紙箱)/ 滾動掉落物(籃球)/ 錘毬(倒臥行人/ 掉落物- 紙箱)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右上/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	2次
	總次數	72次
誤判率 (誤報率)	時間	白天/ 晚上
	事件	強光/ 陰影(旗幟)
	位置	左上/ 左下/ 中上/ 中下/ 右下
	天候	晴天/ 雨天
	場次	3 - 10次
	總次數	36次

圖 4 測試情境及次數

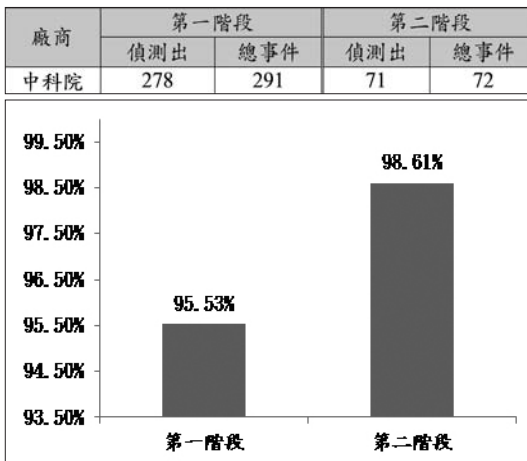


圖 5 障礙物偵測器實驗室檢測率

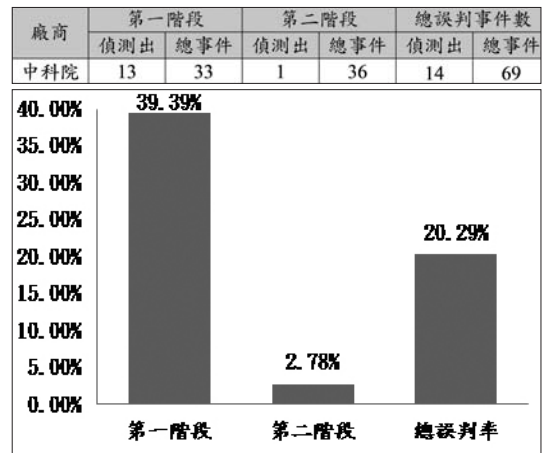


圖 6 障礙物偵測器實驗室誤判率

2. 測試情境與方法

- 測試情境與項目 - 依據時間、事件、位置、天候設計各種情境，如圖 4 所示。
- 分兩階段進行測試
 - 第一階段針對所有的情境進行測試。
 - 第二階段針對第一階段測試效果不佳的情境再進行測試。

3. 測試結果

(1) 檢測率

第一階段測試障礙物件數共計 929 件，第二階段為針對第一階段測試結果，選擇較不易偵測出之障礙物事件進行測試，同時廠商亦針對第一次測試結果，校調設備參數，第二階段之障礙物測試件數共計 72 件，其檢測率如圖 5 所示。



(2) 誤判率

考量到障礙物偵測器應該降低其誤判率，以盡量避免發出假警報，因此，本計畫亦模擬一些易觸發假警報之情境事件，測試所有警報事件中因誤判而發出警報的比率。經資料分析後得知，第一階段大部分誤判事件集中在雨天情境，主要原因可能是在模擬大雨情境時，雨水會影響雷達、雷射偵測效能，同時當雨水掉落路面所產生的水滴附著在雷達、雷射設備鏡面故容易造成誤判，因此於第二階段測試時，除仍執行相關事件檢測，並加強在雨天測試。經過些微調整之後，第二階段之誤判率有明顯下降，如圖 6 所示。

(二) 障礙物偵測之現場測試

測試地點位於新北市鶯歌區尖山埔路平交道（介於鶯歌車站－桃園車站之間）。

1. 設備及場地佈設

現場基礎設備及廠商設備佈置如圖 7 所示。

2. 測試情境與方法

測試情境比照在實驗室測試之情境跟方法。

3. 測試結果

(1) 檢測率

測試障礙物件數共計 134 件，偵測出 133 件障礙物，檢測率為 99.25%。

(2) 誤判率

本團隊同樣於尖山埔路平交道現場測試障礙物偵測器之誤判率，由於現場為避免影響到列車行車安全及誤觸臺鐵既有障礙物偵測設備，故僅測試廠商之設備是否會誤

判列車為障礙物，測試情境計有上行列車、下行列車和雙向列車，分白天及夜晚共測試 20 個事件，其測試結果誤判率為 0%。

(三) 影像傳輸之現場測試

1. 設備及場地佈設

廠商須於尖山埔路平交道與鄰近軌道側安裝無線傳輸設備以及網路攝影機 (NVR)，圖 8 為各項設備之佈建。

2. 測試情境與方法

當列車觸動平交道警報信號後，即發送出平交道影像訊號，而該影像訊號中必須記錄於平交道裝設之全球衛星定位系統 (GPS) 所收到之 5 Hz 之即時時間，且廠商須即時記錄平交道影像，而列車駕駛室除接收平交道傳送之影像，亦同時接收全球衛星定位系統 (GPS) 之 5 Hz 之即時時間，藉以比對平交道影像信號傳送至列車駕駛室之秒差，如圖 9 所示。

3. 測試結果

影像傳輸功能以影像傳輸損失率 (頻寬)、流暢度以及影像可辨識度，進行檢驗與測試。本團隊以峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)、平均傳輸距離、時間差三個指標做為評斷影像傳輸品質依據。

(1) 峰值信噪比 (PSNR)

本團隊於 EMU800 區間車駕駛室所紀錄之影像，再與平交道側所紀錄之影像，使用峰值信噪比計算影像以無線傳輸之失真率，而 PSNR 為影像壓縮或傳送後，利用原信號與接收信號之數據，用以計算兩方

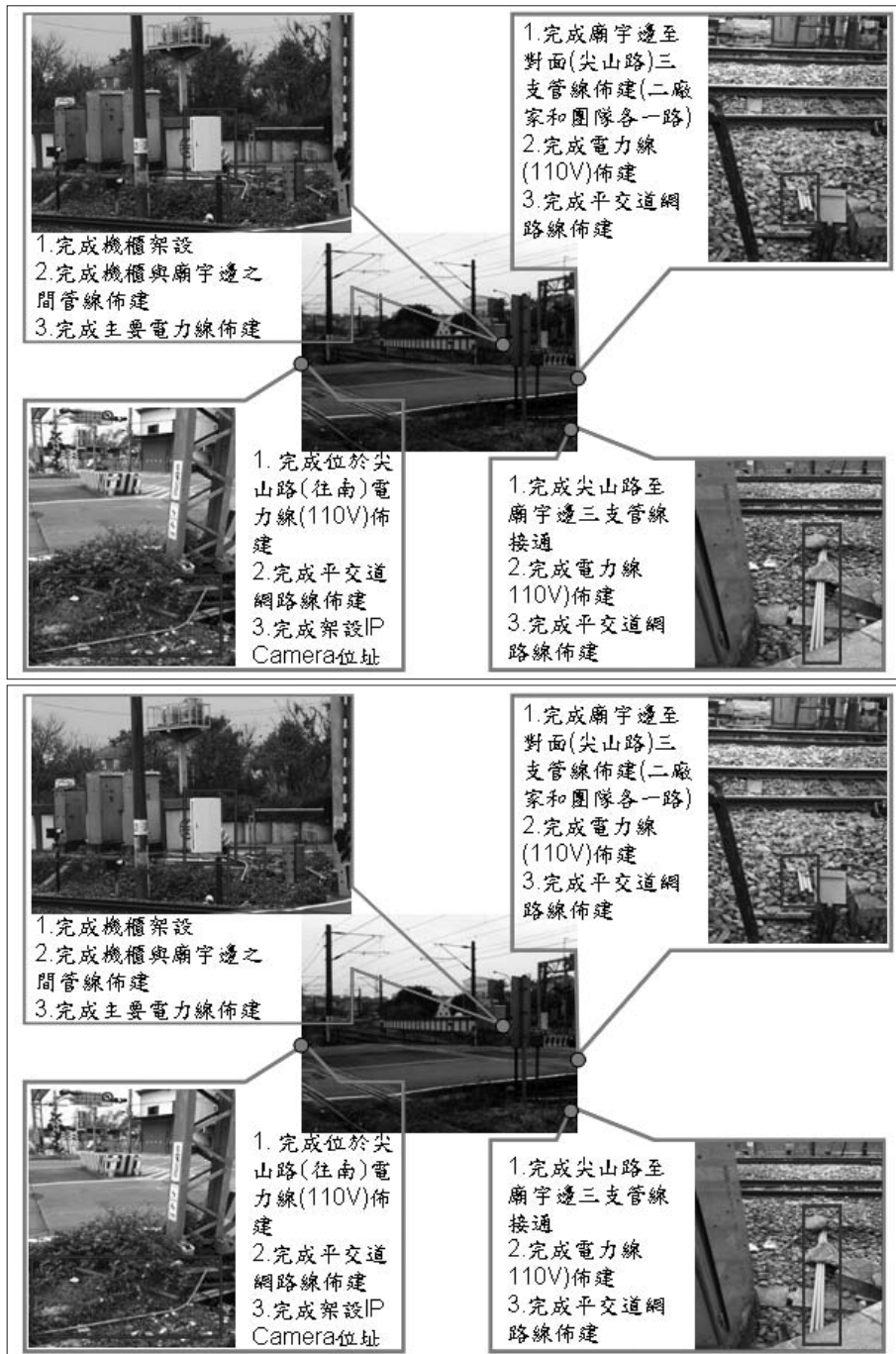


圖 7 現場基礎設備及廠商設備佈置



圖 8 影像傳輸設備佈建



圖 9 交道影像信號傳送秒差

面的數據最大值與影像中雜訊的比值，用以評估影像採無線傳輸方式，該無線傳輸之效能，其計算方式為

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE}$$

· MAX 為圖像點顏色最大值 (8 進位為 255) ,

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2$$

· m 為水平 pixel 數，n 為垂直 pixel 數，
 $I(i, j)$ 為原始影像第 (i, j) 點之顏色值
 $K(i, j)$ 為經過傳輸後接收到影像第 (i, j) 點之顏色值

PSNR 大於 30dB 表示其影像傳輸及影像壓縮傳送之資料遺失 (Data Loss) 量低，且影像還原與拍攝影像之差距較低，但不代表該影像有意義或該影像可資辨識，亦即傳輸至駕駛艙之影像，倘該影像中平交道侵入體為資料遺失部分，則應算該影像傳輸無效。

本研究團隊以自由軟體 FFmpeg 作為計算 PSNR 之程式，結果如表 1 所示。

(2) 平均傳輸距離

廠商之平均傳輸距離大於 1000 公尺，且可清楚接收平交道熙來攘往的車輛與人群畫面，如圖 10 所示。

(3) 時間差

廠商以拍攝平交道中央分隔區域架設全球衛星定位系統 (GPS) 接收即時時間，並藉以無線傳輸至列車駕駛室，並同步比對列車上所收到之全球衛星定位系統 (GPS) 即時時間，其測試結果時間差為 3 秒以內。



表 1 PSNR 運算結果

	車次	車行方向	計算結果
1.	1167	南下	average : 27.41 min : 23.75 max : 28.77
2.	1201	南下	average : 23.54 min : 17.68 max : 25.66
3.	1231	南下	average : 25.97 min : 18.47 max : 40.16
4.	1227	南下	average : 24.95 min : 18.32 max : 29.23
	車次	車行方向	計算結果
1.	2112	北上	average : 27.52 min : 27.07 max : 28.10
2.	1248	北上	average : 27.62 min : 27.28 max : 28.03
3.	1264	北上	average : 21.41 min : 20.90 max : 22.00



圖 10 平交道影像傳輸畫面

(四) 定時 / 延時警報之現場測試

1. 設備及場地佈設

偵測器設置範圍為：北上、南下方向距離平交道 500 ~ 1500 公尺範圍，每方向各有 10 個紅外線感測器 (如圖 11)，以利量測列車到達平交道的時間。

2. 測試情境與方法

(1) 定時警報

列車接近時，定時系統開始估算列車抵達平交道前的倒數時間，並於倒數時間設定為定時警報設定時間 (36 秒) 時，發送警報，此時測試裝備開始計時。火車抵達平交道時，測試裝備停止計時，並計算警報發送時間與火車抵達平交道時間的時間差。測試紀錄用平台如圖 12 所示。

(2) 延時警報

設定各型列車的延時警報為 10 秒，當列車駛離平交道時，可能發生之狀況有三種，說明如下：

- 狀況一：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向無來車，需發出解除警報。
- 狀況二：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向有來車，該車將在 10 秒內到達啟動點，需發出延時警報。

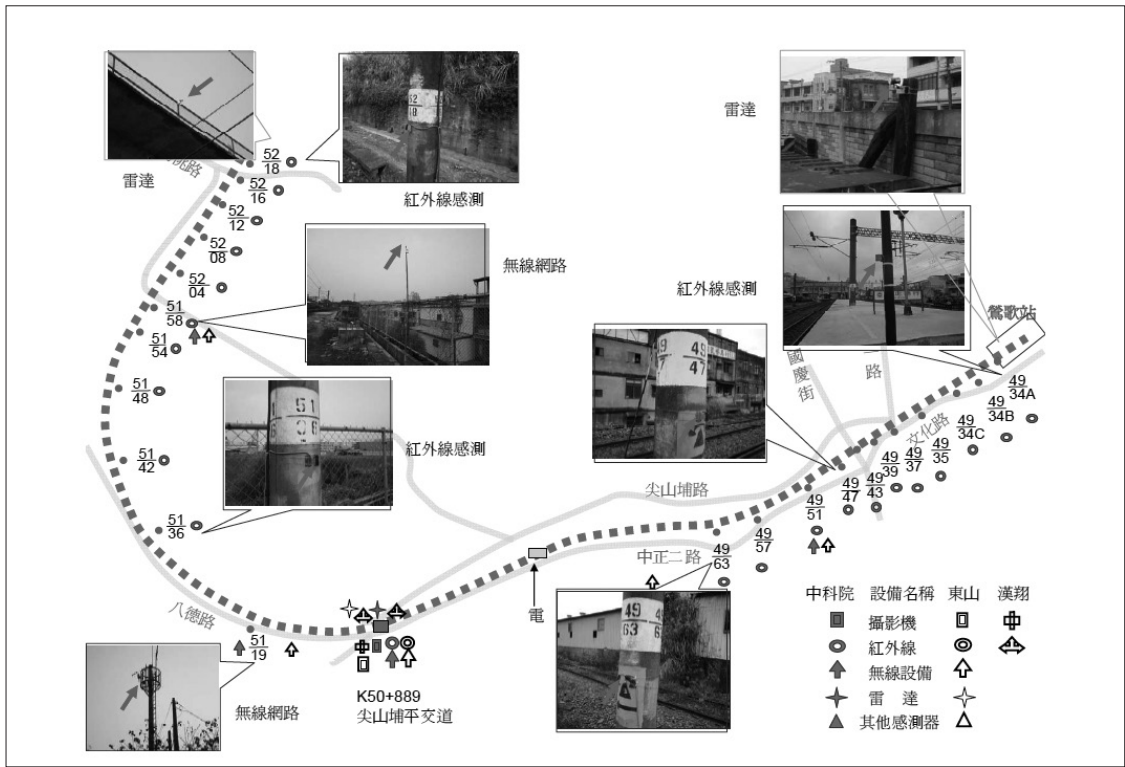


圖 11 定時 / 延時警報用偵測器架設點

尖山埔平交道定時警報測試						
I/O 狀態 IP: 192.168.2.36 連線 中斷 取消						
啟動測試時間: 2014/4/22 下午 04:03:53						
列車經過資訊 車種: [區區車] 方向: [北上]						
測試結果	廠商	定時警報時間	接收警報時間	實際啟動警報時間	列車到達時間	警報時間長度
合格	中科院	36秒	16:04:32	16:04:02	16:05:09	00:00:37
合格	東山	40秒	16:04:22	16:04:02	16:05:09	00:00:47
資訊收集: TCP Server (192.168.2.237)						
廠商	訊息內容					
192.168.2.237	16:01:01					
192.168.2.237	16:01:30					

尖山埔平交道延時警報測試						
I/O 狀態 IP: 192.168.2.36 連線 中斷 儲存 取消						
啟動測試時間: 2014/4/28 下午 01:58:55						
列車行駛平交道狀態						
N 車種: [區區車] 14:00:13 14:01:06 中斷 14:00:38 14:00:45 S						
測試結果	廠商	第一列車駛出時間	接收警報時間	接收解除警報時間	第二列車警報時間	延警時間差
合格	中科院	14:00:38	14:00:41	14:00:45	14:00:45	00:00:07
不合格	東山	14:00:38	14:00:42	14:00:45	14:00:45	00:00:07
資訊收集: TCP Server (192.168.2.237)						
廠商	訊息內容					
192.168.2.237	14:01:00					
192.168.2.237	14:01:30					

圖 12 定時 / 延時警報系統驗測平台

- 狀況三：當列車駛離平交道欲解除警報時，反向有來車，該列車到達啟動點的時間大於 10 秒，需發出解除警報。

測試紀錄用平台如圖 12 所示。

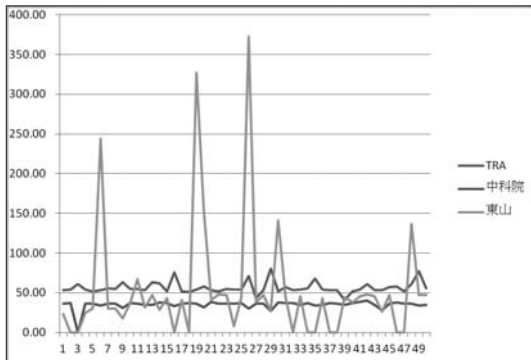


圖 13 定時警報測試結果

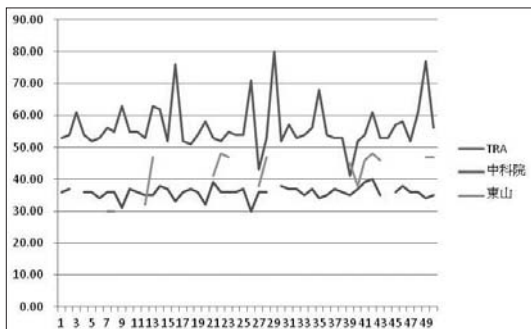


圖 14 定時警報測試成功之結果

ta：列車到達平交道時間
 tb：廠商提供警報開始時間
 ts：廠商設定時間

此外，同時紀錄臺鐵平交道警報訊號時間，以計算出當警報開始到列車實際抵達時間，測試結果如圖 13 所示，橫坐標為測試資料標號，縱坐標為時間 (秒)，藍色線為臺鐵實際發出警報到列車駛達平交道之實際時間差，大約介於 41 秒~ 80 秒之間，平均時間為 56.44 秒，標準差為 7.36 秒；紅色線為廠商之測試結果。將測試失敗之資料 (即未介於 30 秒至 60 秒之間的資料) 刪除，則如圖 14 所示，經計算得知，廠商之絕對時間差值平均數為 2.26 秒，標準差為 5.27 秒。

B. 警報時間長度

本次測試以定時警報時間長度介於 30 秒至 60 秒之間，由廠商自行設定警報時間，若實際測試出之警報時間到列車到達平交道時間少於 30 秒，或大於 60 秒，則視為不合格。總測試次數為 50 次，廠商之測試不合格次數為 3 次，測試合格比率為 94%。

3. 測試結果

(1) 定時警報

A. 時間差

為驗證廠商提供之定時警報的準確度，本團隊紀錄廠商提供警報開始訊號時間、列車到達平交道時間以計算出廠商所提供之定時警報功能之時間，透過與廠商設定之定時警報時間計算出時間差，以評估廠商定時警報之準確度，絕對時間差值計算方式如下：

$$T = |(ta - tb) - ts|$$

T：時間差值

(3) 延時警報

由於在現場延時警報功能測試中，實際需要延時警報之事件數為少數，為增加測試事件總數，本團隊採用觸發虛擬訊號的方式，模擬列車駛離訊號以測試廠商延時警報之檢測率及誤報率。其中，檢測率測試事件總數為 10 次，廠商之檢測率達 100%；誤報率測試總式件數為 50 次，廠商之誤報率為 2%。



五、結論

本計畫初步驗證台灣資通訊產業配合雷射與微波技術，可完成平交道之障礙物偵測、影像傳輸、定時警報與延時警報之初步原型機系統整合技術。針對本次測試結果，綜整說明如下。

(一) 障礙物偵測測試

大部分障礙物事件以白天有下雨的情境偵測效能較差，誤判之事件集中在氣候為雨天之情境。

(二) 影像傳輸測試

影像畫面可傳送至 1 公里外，然其畫面延遲狀況及斷訊問題仍未達高標準，且啟動連結時間並未納入本次測試當中，未來可研議進行進一步測試。

(三) 定時警報及延時警報測試

偵測器的佈設及數量會直接影響到定時 / 延時警報之準確度及穩定度，此外，定時警報測試結果仍有 6% 的未合格率，延時警報測試結果仍有 2% 的誤報率，為考量民眾之安全，應再降低定時警報之未合格數比例及降低延時警報誤報率。

本計畫目前僅針智慧平交道四項功能分別進行測試，建議未來應進行此四項功能之整合性測試，例如：影像傳輸部分結合障礙物偵測，並進行長期間現場測試，以驗證其設備於軌道現場之實際穩定度，使智慧平交道功能更趨成熟完善。◆

參考文獻

1. 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發結案報告，中興工程顧問。
2. 鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發研究成果展示簡報，中興工程顧問。
3. 赴日本考察平交道設施及技術，行政院及所屬機關出國報告，交通部臺灣鐵路管理局。



臺鐵臺東機務段電車線設計案例

中興工程顧問公司系統與電氣部工程師 / 姜大駿
中興工程顧問公司系統與電氣部正工程師 / 曾啟鵬
中興工程顧問公司系統與電氣部技術經理 / 余遠添
前臺鐵局嘉義電力段幫工程司兼分駐所主任 / 黃光祥

關鍵字：電氣淨空、桿距、電車線切換

一、前言

鐵路電氣化為我國經濟建設之重要一環，亦是臺鐵快捷化的關鍵要素。臺鐵鐵路電氣化建設始於民國 60 年 10 月行政院核定列入國家十大建設，於民國 68 年 6 月完成西部幹線鐵路的電氣化工程，提供民眾城際間的快捷電化交通。

其後，民國 87 年 3 月完成高雄至屏東電氣化、民國 89 年 5 月八堵至羅東電氣化通車、民國 92 年 7 月羅東至花蓮電氣化通車，民國 102 年底花蓮至臺東、民國 105 年屏東至潮州，預計 109 年完成南迴路段，達成環島鐵路電氣化通車。

綜觀國家基礎建設，鐵路為永續運輸之主軸，鐵路經營服務效益亦將隨鐵路電氣化的完成而更形提昇。

二、工程概述

臺鐵新購置之電聯車及傾斜式電聯車已於 2012 年起陸續交車並加入營運。為配合花東線電氣化車輛行駛至臺東及未來南迴線電氣化路線，本案需於臺東機務分段新建電化車庫等相關設施，作為日後電氣化車輛之整備及維修處所。

臺東機務分段改善工程(如圖 1 所示)共分為 2 個土建工程標(C701 標及 C702 標)及 2 個系統機電工程標(P701 標及 S701 標)，本次討論設計案例為電車線工程 P701 標。

三、電車線設計參考

- (一) 臺鐵局/鐵工局電車線規範之相關規定。
- (二) 臺鐵局電務規章。
- (三) 經濟部，“屋內(外)線路裝置規則”。
- (四) 現場踏勘、資料收集及現況訪談與調查。
- (五) 現場最新核定之軌道線圖。

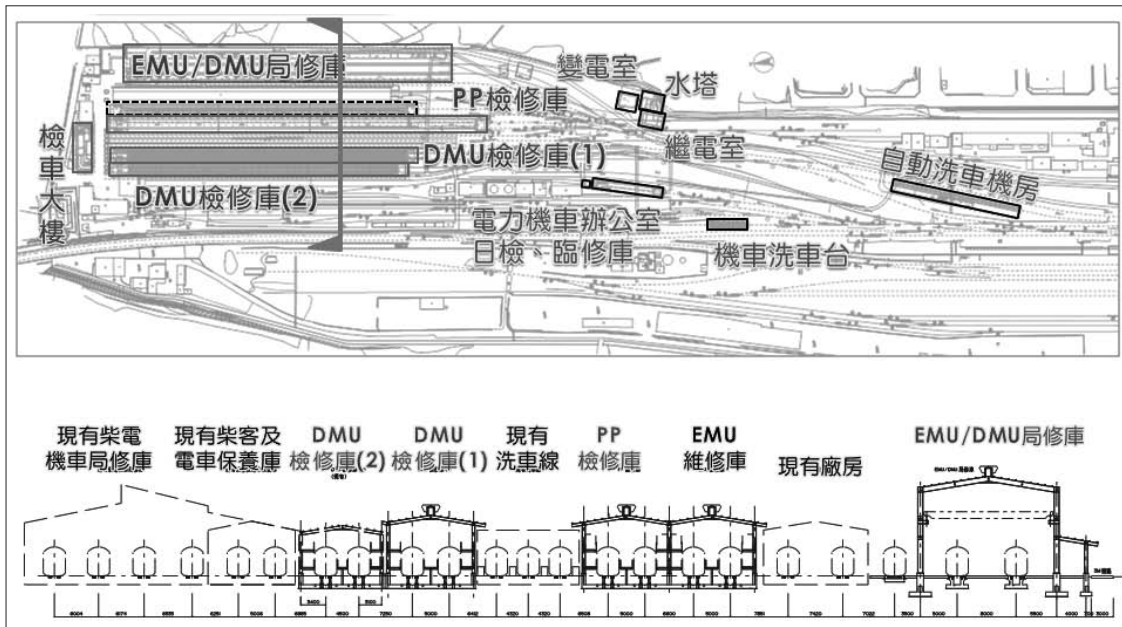


圖 1 臺東機務分段改善範圍示意圖

四、電車線設計準則

(一) 氣候條件

1. 環境溫度：0°C ~ 45°C。
2. 相對溼度：65% ~ 100%。
3. 風速：電車線設備在風速 26m/s(一般地區)及 29m/s(危險地區)時應仍能操作，但若風速超過 25m/s 時列車應停止運轉。電車線設備所承受之應力應以風速 40m/s(任何方向)加上適當安全系數來設計，電車線的設備在風速 60m/s 時應能維持機械之穩定性。

(二) 電氣淨空

1. 靜態電氣淨空為 270mm。
2. 動態電氣淨空為 200mm。

(三) 電桿基礎

1. 電桿基礎採用適合底座螺栓型電桿之型式，以便在安裝時能做垂直調整，同時在搶修時也較容易更換。
2. 基礎之設計在風速為 60m/s 時，基礎應仍能保持穩固。

(四) 張力長度

最大張力長度在正常線為 28 個桿距，海線為 32 個桿距，但實際設計時，常小於前述值，以方便必要時做調整。

(五) 桿距

正常線最大容許的設計桿距為 56m，海線為 50m。



(六) 接觸線高度

在考量軌道之夯實誤差為 100mm 的情況下接觸線高度除特殊地點外，站內、外自軌道最高容許面算起為 5m，平交道為 5.4m。

(七) 系統高度

系統高度除特殊情形外為 1.2m。

(八) 接觸線偏位

除特殊情況，另有規定外，原則上，接觸線偏位與軌道中心線維持左右各 200mm 的距離。

(九) 重疊區間

1. 絕緣重疊區間：相鄰兩張力系統若分屬不同之電車線群，則以絕緣重疊區間來銜接，兩系統線距間隔 460mm，高度間隔 230mm。
2. 非絕緣重疊區間：相鄰兩張力系統若屬於相同之電車線群，則以非絕緣重疊區間來加以銜接，兩系統線距間隔 350mm。
3. 重疊區間由 3 個桿距所組成。

(十) 區分絕緣器

1. 區分絕緣器主要是用來區隔不同的電車線群。
2. 區分絕緣器安裝處的理想偏位應為零，且最大以不超過 100mm 為原則。
3. 區分絕緣器的安裝高度需能允許集電弓平順地滑行通過。
4. 區分絕緣器需具有特殊之消弧角，以便吸收或消滅集電弓滑行通過時所產生之電弧。

(十一) 終端固定及自動張力調整裝置

1. 自動張力系統若設在只有 14 個最大桿距或以下之電車線系統，只在一端設自動張力調整裝置，另一端則使用終端固定裝置。
2. 全自動張力系統於該張力系統長度中央位置附近設中點錨錠，另設調整裝置於張力長度之二末端，用以自動調整電車線因溫度變化所引起的伸縮。
3. 自動張力調整裝置的滑輪組，其齒輪比為 1:3 或 1:4。
4. 當電車線斷裂時滑輪組應有防止平衡錘掉落之機制，以避免平衡錘因掉落而毀損增加搶修之困難。

(十二) 懸臂架

1. 懸臂架是用來吊掛電車線並使其在軌道上方保持正確的位置。
2. 懸臂架依使用位置的不同有拉式和推式兩種。
3. 懸臂架之安裝點應為活動式，以容許電車線因溫度變化產生位移時仍能維持其正常的支撐功能。
4. 懸臂架在導線之線溫為 40°C 時應在水平方向垂直於軌道，並於線溫介於 0 ~ 80°C 電車線熱脹冷縮時仍能維持其正常功能。

(十三) 接觸線

接觸線為截面積 107 mm² 附溝槽的鎂銅合金銅線，張力強度為 10 kN。

(十四) 主吊線

採用截面積為 95 mm² 的硬抽銅線，張力強度為 10kN。



(十五) 絕緣礙子

1. 絕緣礙子之額定電壓為 25kV, 60Hz。
2. 絕緣礙子之結構強度應符合 UIC、IEC 及 BS 之相關規定。
3. 絕緣礙子之洩漏距離在一般地區最小為 790mm。高污染區、隧道區及陸橋下之絕緣礙子洩漏距離為 1,070mm。隔離開關用絕緣礙子沿面洩漏路徑為 1,829mm。
4. 接觸線及主吊線末端用之懸垂礙子：一般地區使用 3 只礙子；高污染區使用 4 只礙子。

(十六) 吊掛線

採用直徑為 5mm 之不銹鋼吊掛線並以鼓輪取代鞍架，以防止主吊線斷落。臨時軌之吊掛線若考量經濟因素可採用 3mm 的不鏽鋼吊掛線。

(十七) 中點錨鉗裝置

1. 電車線易受溫度變化、風力、集電弓推力、坡度或其他外力而變化其張力，故在每一張力長度中央處加於固定，即可避免首尾兩端平衡錘往一端滑落而造成電車線故障。
2. 在站外，路線中點錨鉗裝置通常是利用拉線將懸臂固定在前後的電桿上，以防止主吊線沿軌道方向移動。
3. 在站內，門型架中點錨鉗裝置係利用絕緣礙子將主吊線固定於門型架橫樑之兩側，並以跳線來做電氣連接。

(十八) 接觸線坡度

坡度變化正線時速 120km 不得超過 4‰，且在坡度起終點必須有一段 2‰遞減坡度，時速 100km 為 5‰及 2.5‰。

(十九) 電桿淨空

1. 直線段電桿表面至軌道中心間之水平距離應至少為 2.5m。
2. 曲線段電桿表面至軌道中心間之水平距離應依據 OCS/14/25「軌道轉彎半徑與淨空對照表」予以決定。當曲線轉彎半徑減小時，淨空需相對增加。例如，R=800 時，淨空至少應為 2.859m(彎道內側)或 2.529m(彎道外側)以上。

(二十) 跳線

交叉或平行架設之電車線需設跳線來做電氣性連接。

(二十一) 隔離開關

1. 隔離開關額定電壓為 25kV, 60Hz。
2. 隔離開關必須具有負載操作的能力。
3. 隔離開關可由現場直接操作及遠方遙控操作。
4. 電動開關設置專用操作電源為 AC 220V/50A。

(二十二) 接地防護

1. 非金屬製電桿桿上非帶電之金屬物件均應電氣連結至回流線 (RF)。
2. 站間由北往南一路每逢第 4 根電桿 (相隔 3 根電桿) 回流線 (RC & RF) 須經由電桿基礎之接地鋼筋連接至兩股軌道之回流軌，再經對面電桿基礎之接地鋼筋連結至桿上回流線，構成完整接地迴路。
3. 站內於兩端 OS 區間及中間等三處適當位置，將電桿回流線經由電桿基礎之接地鋼筋連結至各股回流軌，再經對面電桿基礎接地鋼筋連結至桿上回流線。
4. 軌旁 5m 以內之非帶電金屬應與回流軌連接。



(二十三) 回流線 (RF)

回流線為 7 條直徑為 4.39 mm 之硬抽鋁絞線組合而成。截面積共為 106.2 mm²。使用 2 條回流線為一組，架設於電桿上。

五、電車線主要工作內容

本案工作內容包含：

- (一) 施工勘測、定位工程
- (二) 立桿工程
- (三) 小鋼件安裝及調整工程
- (四) 架線裝及調整工程
- (五) 接地、連軌及安全防護工程
- (六) 開關安裝及電纜佈放工程
- (七) 噴漆、油漆工程
- (八) 配合土建各階切換完成電車線系統之新設及既有電車線設備拆除工程。

六、電車線規劃與配置

本案電車線設計，依交通部鐵道局最新頒行之「95 mm² 主吊線電車線系統之設備規範」，並依照電車線相關設計準則、軌定線圖、現場實際需求及相關界面需求設計。本案所採設計最大張力長度為 1600m，電車線基礎設計採每 20m ~ 50m 設置 1 座。整體電車線工程約設計 6 組重疊區間、119 支電桿、119 座基礎、23 組電桿桁架、接觸線 6.5 公里、主吊線 6.5 公里及 193 組懸臂組。

設計完成之臺東機務分段電車線系統工程完整提供交通部鐵道局辦理後續招標作業，設計圖說包含：

電車線分群圖：規劃機務段與車站供電分群，達到保養及車輛調度之需求，如圖 2 所示。

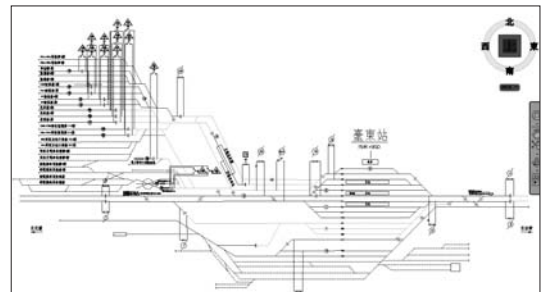


圖 2 電車線分群圖

電車線平面佈置圖：呈現電車線之每一電桿佈置位置及接觸線、主吊線高度等相關資訊，如圖 3 所示。

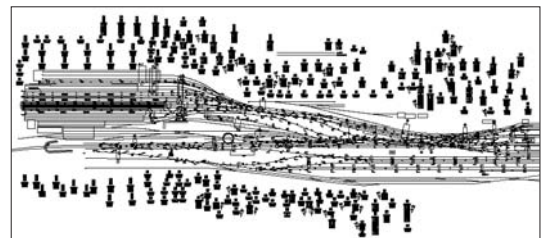


圖 3 電車線平面佈置圖

開關控制電纜佈置圖：佈設電桿上 25kV 電動隔離開關之控制電纜路徑，如圖 4 所示。

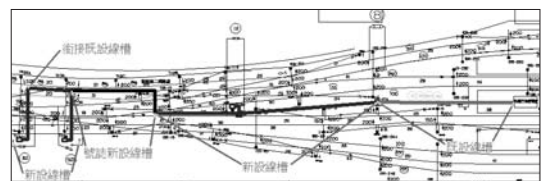


圖 4 開關控制電纜佈置圖



開關斷面圖：呈現裝設於電桿上開關之關關跳線裝設方式及開關型式，如圖 5 所示。

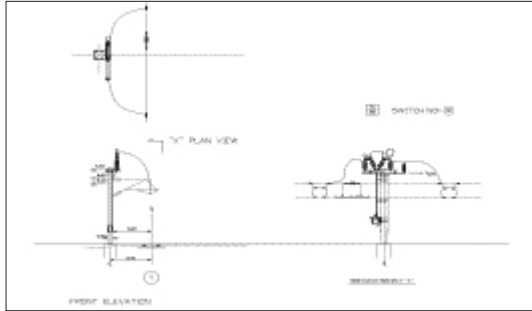


圖 5 開關斷面圖

接地聯軌佈置圖：配置電車線電桿接地及相關鄰近金屬物接地，確保至整體電車線系統安全，如圖 6 所示。

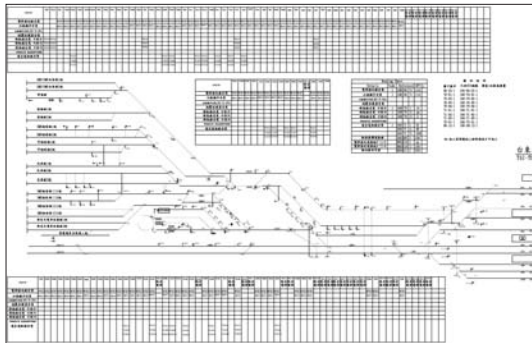


圖 6 接地聯軌佈置圖

電車線斷面圖：每一根電桿及該桿電車線之架設型式及偏位方向，以利後續保養及搶修對照，如圖 7 所示。

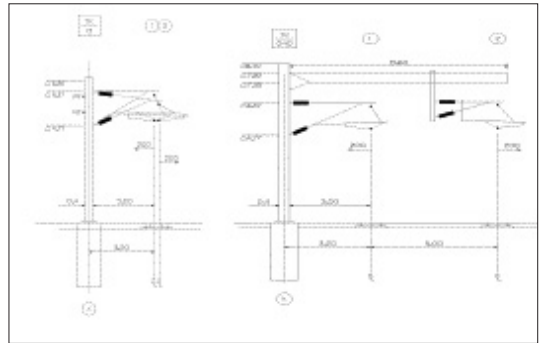


圖 7 電車線斷面圖

共構斷面圖：電車線與其他建築物或其他結構物之共同組合型式，可避免無法立電桿之情況發生，如圖 8 所示。

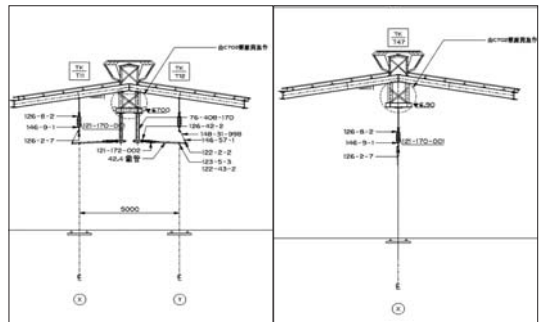


圖 8 共構斷面圖

七、電車線切換考量

臺東機務分段，為營運中之機務分段。興建電氣化廠房時，採維持既有柴聯車整備、維修功能條件下，分階段拆除現有廠房、設施方式興建。本案初步規劃分三階段興建。各階段主要工作項目，茲說明如下：

- (一) 第一階段，將未電氣化機車洗車台 (1)、機車洗車台 (2) 及 DMU/EMU 檢修庫等與土建標工程較無工程界面之股道完成



電氣化，以提供電力車輛之停靠及保養，如圖 9 所示。圖 9 紅色標示為第一階段通電股道。

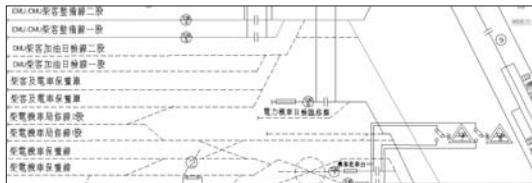


圖 9 第一階段通電股道

(二) 第二階段，俟土建標完成既有電氣化股道拆除及新設軌道之鋪設，以及新檢修庫房與電桿基礎興建完成後，銜接第一階段已架設之電車線，提供更多電氣化股道，供機關列車調度使用，如圖 10 所示。

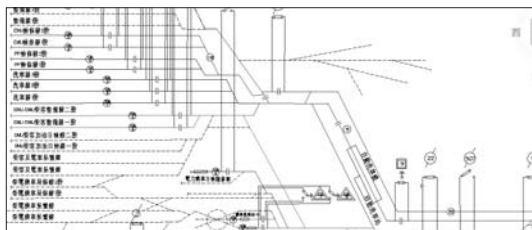


圖 10 第二階段通電股道

(三) 最終階段，待土建完成最後之軌道鋪設、廠房建設及電桿基礎施作後，電車線廠商銜接兩個階段之電車線，達成臺東機務分段整體電氣化目標，如圖 11 所示。

八、結語

鐵路電氣化為經濟建設重要一環，亦是臺鐵快捷化及降低環境污染之關鍵，但隨

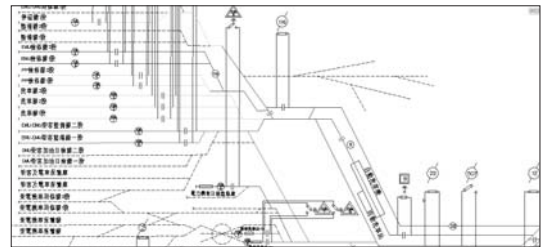


圖 11 最終階段通電股道

著花東線鐵路電氣化於 102 年完工通車及未來南迴線電氣化預計 109 年通車，對於東部及南迴整體電聯車的維修及保養量將逐漸增加，又南迴線除臺東機務分段外其餘車站皆無電聯車維修處所，因此本案「臺東機務分段新建電氣化工程」更顯重要。

本案共設計 13 條電氣化股道，不僅擴增環島鐵路電氣化路網所帶來的電聯車維修及保養量，更預留臺鐵局未來可能新購的電聯車維修容量，讓臺東機務分段能提供完善後勤維修保養及營運列車調度之處所。

綜上，足見臺東機務分段電氣化之新建，定能符合臺鐵局服務提升所需，提高列車行駛班次量及擁有安全舒適其必要之後勤完善車輛維修調度處所，最後希望本案的完工啟用後能幫助東部及南迴鐵路整體行車路網營運臻近完善。

參考文獻

1. 「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫」南迴線鐵路電氣化，基本設計階段及工程經費審議報告書，中興工程顧問。
2. 「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫」南迴線土建及一般機電工程設計暨配合工作技術服務，技術服務邀標書，交通部鐵道局。
3. 「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫」南迴線土建及一般機電工程設計暨配合工作技術服務，P701 標工程設計工作計畫書，中興工程顧問。
4. 「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫」南迴線土建及一般機電工程設計暨配合工作技術服務，P701 標設計圖說，中興工程顧問。



軌道工程通訊系統淺析

中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫副理 / 曾堂坤
中興工程顧問公司系統及電氣工程部組長 / 胡達振
交通部鐵道局機電技術組號誌電訊科科長 / 簡憲章
國家通訊傳播委員會電台與內容事務處技正 / 周金賢

關鍵字：骨幹傳輸網路、自動交換機、閉路電視系統、陸地中繼式無線電、全球定位系統

一、前言

國內軌道運輸型態，包含輕軌、捷運、臺鐵、高鐵等，其軌道機電核心系統，則由車輛、通訊、號誌、供電、中央監控、月台門等系統組成，其中通訊系統負責所有訊息（包含語音、數據及影像）之傳輸，達成軌道運輸之車站、機廠、行車控制中心（OCC; Operation Control Centre）、機廠控制中心（DCC; Depot Control Centre）及各車站之間相互傳遞各種訊息的目的，讓車站站務、營運等人員獲得旅客上下車及列車運轉現況監視，以達安全且智慧化營運目標。

二、通訊系統介紹

通訊系統之組成包含骨幹傳輸系統、電話系統、閉路電視系統、無線電系統、廣播系統、子母鐘系統等，每個系統各有其功能。藉由各功能之發揮，以形成一個完整之通訊

系統，其整體系統架構如圖 1 所示，相關內容分述如下。

三、骨幹傳輸系統

就軌道通訊系統而言，最重要且與機電各系統有所介接的是骨幹傳輸系統，因骨幹傳輸系統為對軌道機電系統提供一套可長期穩定且即時傳輸的系統，以維持整體機電系統之正常運作，為屬軌道營運核心設施。

由於技術之演進及軌道營運需求特性，軌道營運之骨幹傳輸系統主要可分為兩大類，一種是同步數位階層（SDH; Synchronous Digital Hierarchy）傳輸網路，另一種為超高速乙太網路（10GE; 10 Gigabits Ethernet），兩者各有其優缺點。對 SDH 而言，其系統穩定性高，且頻寬保證，但相對的頻寬使用效率低，且設備昂貴。而超高速乙太網路具頻寬使用效率高，設備便宜，但頻寬無法保證是其缺點。

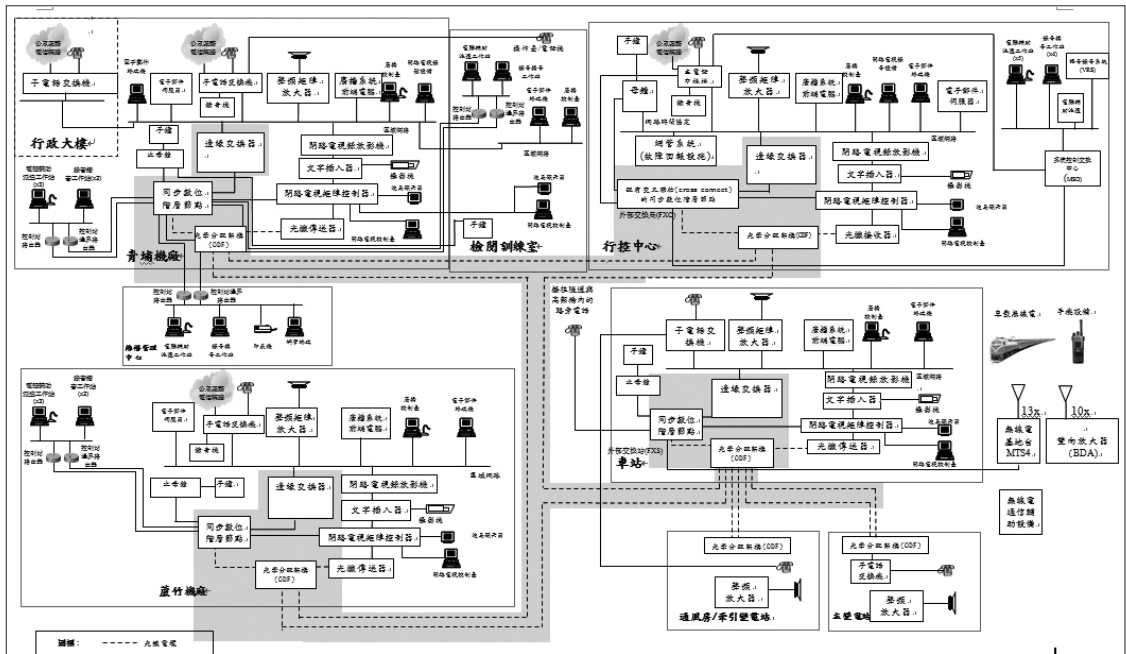


圖 1 整體通訊系統架構圖 (以桃園機場捷運通訊系統為例)

SDH 傳輸的基本單位稱為 STM-1(約 155 Mbps)，還包括 STM-4(約 622 Mbps)、STM-16(約 2.5 Gbps)、STM-64(約 10 Gbps)，它是歐洲國際電信聯盟 ITU 所制定的一種光纖傳輸標準。對於 SDH 傳輸網路而言，在接收端可能因不需太高速之傳輸需求，或配合使用者需要，提供 E1(2.048Mbps)、E3(34.368Mbps) 或乙太網路(10/100 Mbps) 等接取介面，並將各式傳輸介面訊號轉換成 STM-# 之封包格式。

SDH 傳輸系統是採分時多工(TDM; Time Division Multiplexer) 傳輸模式，所謂分時多工係指在一路傳輸頻道，同一時間只容許一個傳輸運作，如有其他傳輸需求產生，則以時間區隔來進行傳輸，不會發生因多個

訊息進行傳輸發生碰撞造成無法傳輸訊息。其優點是可保證頻寬，系統保護能力很強。但其缺點則是頻寬的使用彈性較差，造成頻寬之浪費，且較不適合於封包(Packet) 傳送之應用。

同步數位階層網路架構，通常設計採用雙環狀架構，且分主環及副環，並提供雙迴路自動切換保護能力，如圖 2：同步數位階層(SDH) 網路拓樸架構(雙環狀架構) 示意圖所示。其特點是，在傳輸網路某單一節點設備失效時，在很短的切換時間(通常低於 500 毫秒) 內，另一節點設備會立即替代進行備援傳輸，以提昇備援及保護能力。在每個傳輸節點將提供 SDH 骨幹傳輸網路傳輸設備，其主要為塞取多工機(ADM; Add Drop

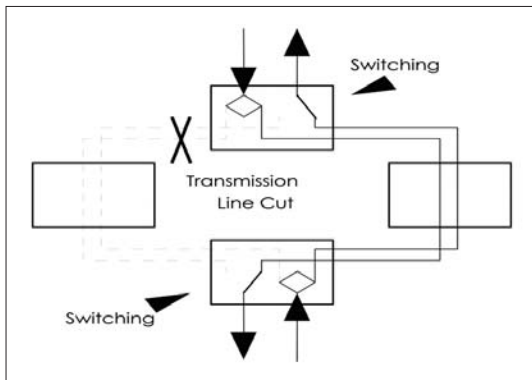
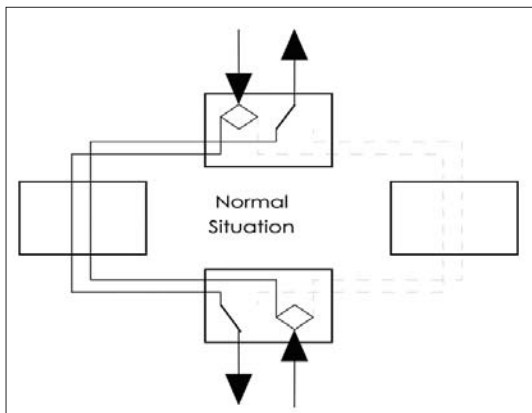
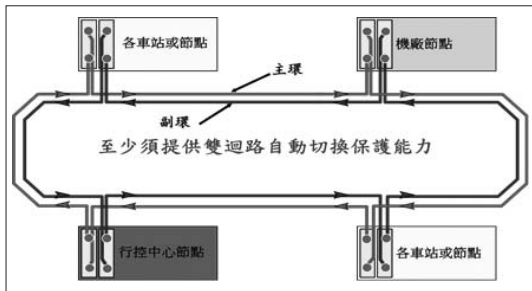


圖 2 同步數位階層 (SDH) 網路拓樸架構 (雙環狀架構) 示意圖

Multiplexer), 此設備係讓 STM-4 或 STM-16 或 STM-64 之骨幹傳輸訊號, 可塞 (Add)/ 取 (Drop) 至低速之 E3 或 E1 或乙太網路訊號, 即在各車站之低速傳輸訊號, 藉由 ADM 等

傳輸設備之作用, 塞入至高速骨幹傳輸訊號封包內, 再經傳輸設備及光纖之連結, 將訊號傳送各目的節點。而目的節點之骨幹傳輸設備, 將高速骨幹傳輸訊號封包解出至低速訊號, 獲取所要之訊號, 而完成訊號之傳送。

10GE 骨幹傳輸網路主要為星狀網狀拓樸 (Star-Mesh Topology) 架構, 藉由核心交換器 (Core Switch) 及邊緣交換器 (Edge Switch) 等設備組合而成。核心交換器骨幹傳輸率為 10Gps 或 100Gbps, 其接取端傳輸介面則以 100/1000Mbps 速率為主。而邊緣交換器輸出速率通常可至 1Gbps, 而其每個接取埠則為具 10M/100Mbps 速率。由於此兩種交換器所提供交換器接取埠為乙太網路埠 (Ethernet Port), 且支援 TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) 通訊協定, 故使用者需將其欲傳輸之訊號, 轉為符合 TCP/IP 通訊協定之訊號, 再由邊緣交換器而連上核心交換器所組成之 10GE 骨幹傳輸網路。

骨幹傳輸系統架構圖 (以桃園機場捷運傳輸系統為例) 如圖 3 所示, 傳輸系統主要設備一覽表如表 1 所示; 台北捷運普遍採用 SDH 網路, 而高雄捷運則採用 SDH+GE 網路之方式, 可看出其演進趨勢。但各電信公司之長途傳輸網路仍是以 SDH 傳輸網路為主, 其原因是 SDH 網路可提供穩定之傳輸能力。至於 SDH 網路或 GE 網路何者較優並無一定答案, 端視使用者之需求來決定。

四、電話系統

電話系統主要由自動交換機及各式話機組成, 並藉由骨幹傳輸系統 (SDH) 完成各站

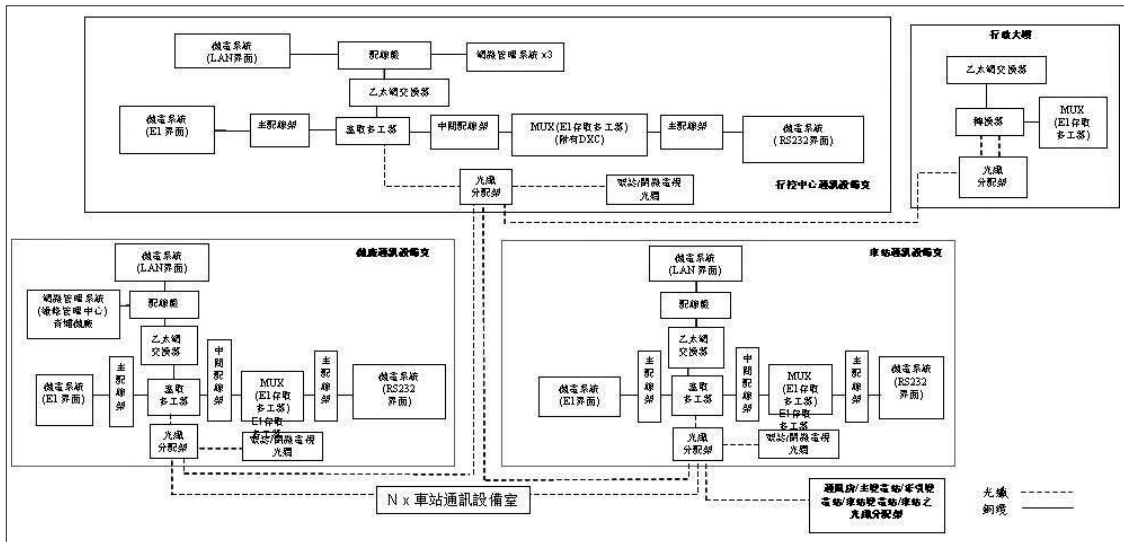


圖 3 骨幹傳輸系統架構圖 (以桃園機場捷運傳輸系統為例)

表 1 傳輸系統主要設備一覽表

設備名稱	邊緣交換器及核心交換器	光纖配線架及 SDH 傳輸設備
實體照片		

間語音訊息傳送。而各式話機包含直線電話、緊急電話、一般電話等。電話系統架構如圖 4 所示，其主要設備一覽表如表 2 所示。

對直線電話而言，它提供站務人員或特定地點之使用者，只要一拿起電話即可直接與車站控制室 (SOR; Station Operation Room, 或稱旅客查詢處 (PAO)) 或行控中心通話之功能。直線電話常用於路線控制員與車站控制室間、月台終端門與車站控制室間、旅客查詢站與車站控制室等之通訊使用。此外，在各車站之月臺亦會設置直線電話，使用者一拿起電話可與車站控制室人員通話，此電話通常僅提供由月臺處打電話至車站控制室使用。

緊急電話設置原則，係於月台、隧道口設置，供乘客或維運人員使用，或軌道沿線兩側設置 (通常一公里一具，視路段而定)。

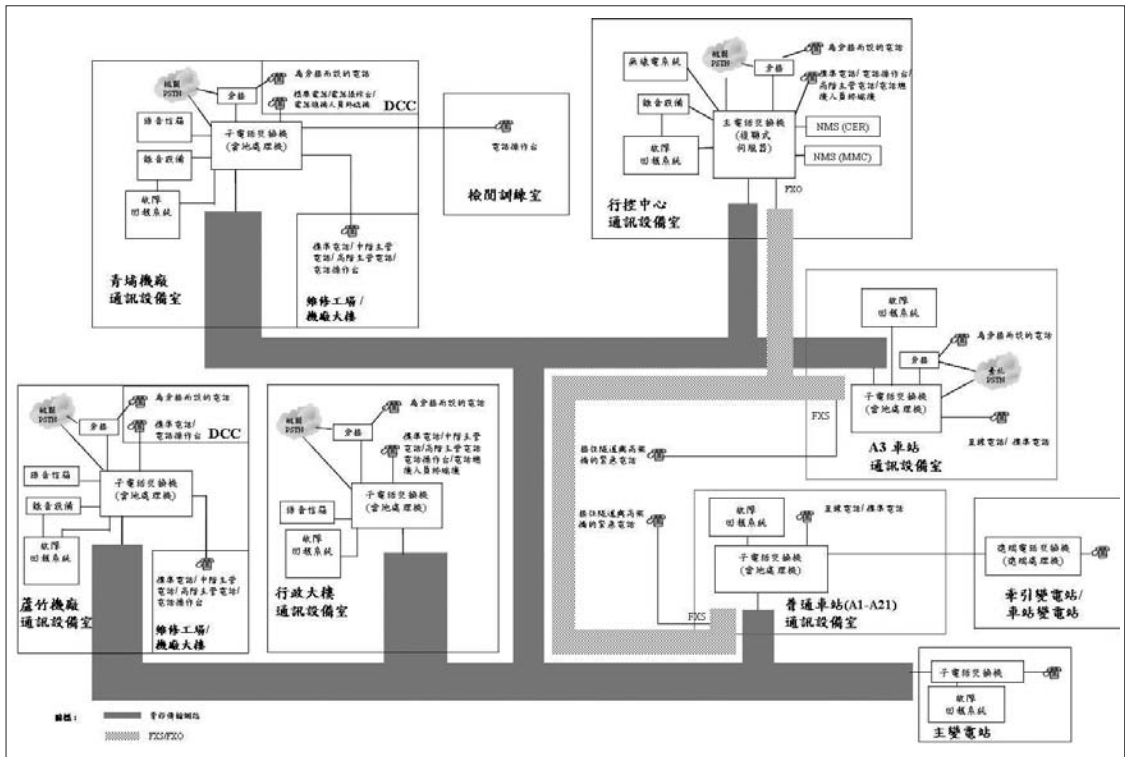


圖 4 電話系統架構圖 (以桃園機場捷運電話系統為例)

表 2 電話系統設備一覽表

設備名稱	各式話機	電話操控台	電子交換機 (機架式)
實體照片			



緊急電話提供使用者只要一拿起話機，即可與車站站務室或行控中心人員通話，其功能與直線電話相同。

一般電話則是供營運人員一般通話之使用，如車站控制室、售票室、現金房、通訊及號誌機房、不斷電設備室等處所。

各式話機會連接至自動交換機 (PABX; Private Automatic Branch Exchange)，藉由自動交換機進行語音交換之作用，而達到電話通訊之目的。而自動交換機需提供話機介面卡供話機連接，且其話機介面依話機型式而提供不同介面，一般話機是類比話機介面，多功能話機則為數位話機介面。自動交換機通常採模組式設計，以使後續交換機容量之擴充可輕易達成。至於話機之型式，對於一般使用者，如售票室或車站控制室之維運人員等，通常使用標準型話機，而其話機將提供數字按鍵、來話號碼顯示、LCD(液晶顯示幕)等性能。對於特別之使用者，如營運主管或重要站務人員等，則提供多功能話機，其話機除提供數字按鍵、來話號碼顯示功能、LCD 顯示幕外，另提供來話及去話記錄儲存與查詢功能、數據傳輸功能、電話會議功能等。至於緊急電話機，因配合安裝於開放性空間或環境位置需求，話機則採具耐候型式。此外，自動交換機通常會提供總機台或控制台(Console)，而其話機型式，通常為頭戴耳機之型式並附上麥克風。

五、閉路電視系統

閉路電視 (CCTV) 系統可讓營運人員於車站控制室內監視車站之月臺上等車與上下

車旅客狀況、以及車站內各處(如電扶梯附近、現金房之人員進出、自動收費柵欄之進出、車站出入口等)狀況，對於維運人員相當重要且實用。而在機廠區內之洗車場、道岔區等，亦會設置 CCTV 系統以進行監視。此外，在行控中心之中央控制室 (CCR; Central Control Room)、機廠控制中心、檢閱訓練室 (PTR; Playback Training Room) 之出入口設置閉路電視系統設備，以監視進出人員，進而提供門禁安全之管理。

傳統之閉路電視系統主要由攝影機、文字插入器、矩陣控制器、閉路電視控制台、監視器、影像儲存設備等所組成。閉路電視系統架構如圖 5 所示，其主要設備一覽表如表 3 所示。

各攝影機訊號進入矩陣控制器後，將由矩陣控制器配合閉路電視控制台之連接與操控，可對各影像訊號進行影像訊號選擇、切換與控制。而閉路電視控制台提供操控鍵盤及搖桿，以供使用人員操控。而影像訊號則於監視器顯示影像，並藉由矩陣控制器及閉路電視控制台之作用，可讓使用者選擇分割畫面(通常為四分分割九分割或十六分割)或全畫面。

由於攝影機所攝得之影像訊號未包含該攝影機之位置，故需要文字插入器對各影像加入攝影機地點之文字(需可為中文)，以使操控人員清楚知道各攝影機實際安裝位置，故各攝影機訊號需先接至文字插入器並經加入文字後，再將其處理後之影像訊號，傳送至矩陣控制器。

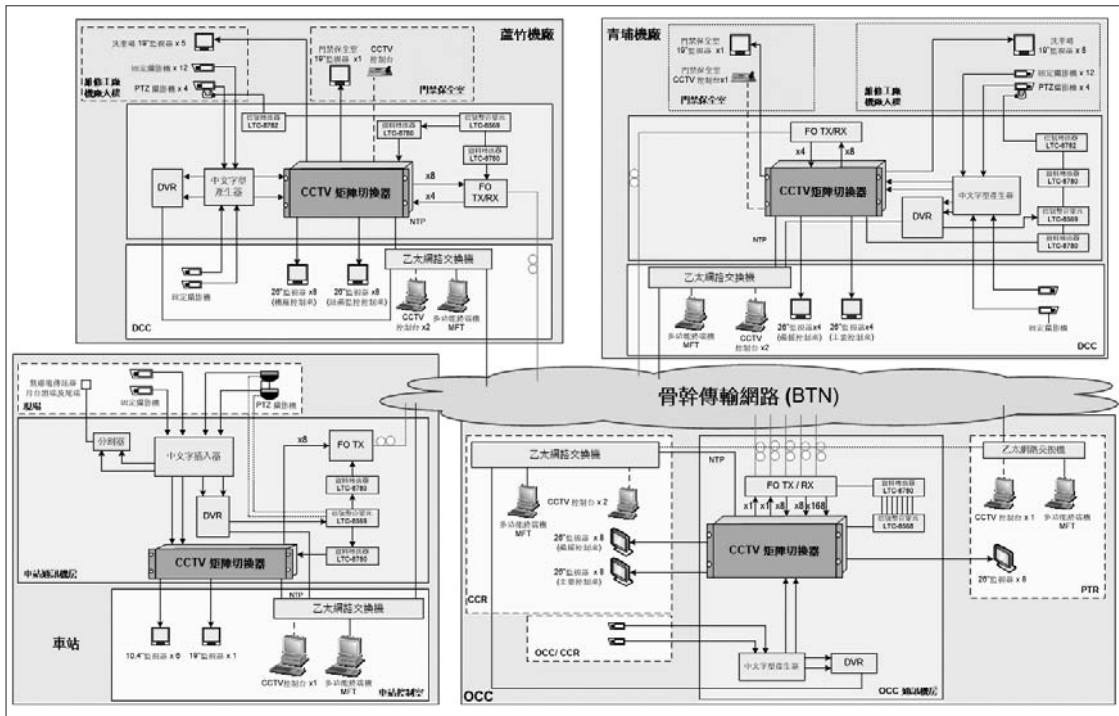


圖 5 閉路電視系統架構圖 (以桃園機場捷運閉路電視系統為例)

表 3 閉路電視系統主要設備一覽表

設備名稱	攝影機 (可動式鏡頭及固定式鏡頭)	錄影及儲存設備	CCTV 監控電視牆
實體照片			

攝影機之鏡頭主要分為固定型及可動鏡頭型 (PTZ) 兩種，其差異為攝影機鏡頭是否可接受控制命令作上、下、左、右、遠、近等之鏡頭移動。攝影機一般為具彩色型式 (除

非有特殊需求才使用黑白的)、高解析度及高靈敏度，且具自動增益控制能力。而對於戶外型攝影機，為配合現場環境光線可能不足之需求，則需採具有低照度夜視之能力。此

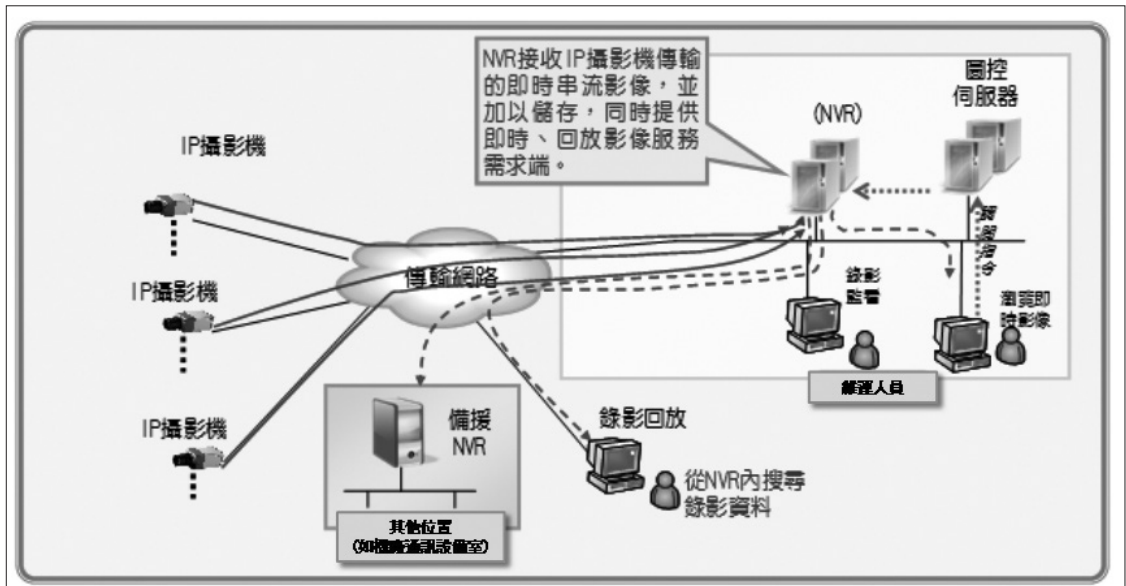


圖 6 全數位式閉路電視系統架構圖

外，戶外型攝影機應提供防護罩以保護攝影機，且該防護罩要求具自動雨刷與除霧之配件，並需具有防雷擊或突波之裝置。

藉由影像儲存設備達成影像訊號儲存之目的，而市面上主要儲存設備有數位影像記錄器 (DVR; Digital Video Recorder) 或影像伺服器 (Video Server) 等，兩者係將影像訊號先予數位化及壓縮編碼後，再儲存在硬碟上。

基於安全之考量，為使列車駕駛員能在車輛停靠月台後，能看清旅客之上下車情形，故於月臺上設置攝影機，並在其附近裝置無線傳訊設備，將月臺攝影機之影像傳送至列車上，供駕駛員觀看，以於旅客被電聯車車門或月台門夾住等意外情形之應變。

為提供監視影像後續之監看與追縱，閉路電視系統提供影像儲存設備以儲存影像訊

號，該儲存系統需可錄製每天 24 小時，且至少可達 30 天之影像容量。此外錄製之影像需加上日期及時間，及防竄改之浮水印影像，以滿足維運之所需。而對所儲存之任一支攝影機之影像，需可讓操作人員能根據日期及時間或攝影機名稱，進行影像之播放及列印等。

配合軌道營運安全防護提昇需求，現階段陸續建置的 CCTV 系統以全數位式為主，採數位式 IP(Internet Protocol) 攝影機、網路設備、資料儲存設備、傳輸網路等組成。IP 攝影機之影像經壓縮後回傳監控中心，並進行影像集中式儲存，且可讓各單位直接於網路上依權限調閱所需影像。全數位閉路電視系統架構如圖 6 所示。

對 IP 攝影機、網路設備需具支援乙太網路供電 PoE(Power of Ethernet)，且符合 IEEE



802.3at 標準通訊協定，傳輸線路主要採用 Cat5e 遮蔽網路線（設計距離建議應小於 90 公尺）及光纖電纜做為傳輸媒介。新增之攝錄影監視系統採網路全數位化，亦支援 TCP/IP 通訊協定，以進行影音及相關資料交換。於車站各樓層以半徑 70 公尺（直徑 140 公尺）為間距設置「L2-PoE 網路交換器」，以提供收容各攝影機訊號進行傳輸。而 PoE 功能將可提供各攝影機所需電源。另需設置 NVR、網管系統、儲存設備、圖控工作站、操作電腦等設備，儲存所收納各攝影機之影像訊號。

而對於 NVR(Network Video Recorder) 儲存而言，以目前的 NVR 產品來看，大致上一台 NVR 主機能處理的錄影數量約為 64 ~ 512 台攝影機，若以 128 路數量為基準計算，採用 H.264 壓縮模式、百萬畫質、每秒 15 張錄影時，且錄影容量須達 30 天時，則所需的儲存空間為： $1260\text{GB}(30\text{天容量}) \times 128(\text{支}) = 160,600\text{GB} \approx 160\text{TB}$ ，同理如果是 256 支則需約 320 TB。

六、無線電系統

因行動電話之普及，故一般人對於無線電系統大致有一基本概念，例如需有無線電手機及基地台與通訊頻道的使用，及電波有覆蓋之地區才能進行通話等。對於軌道機電無線電系統而言，其與商用行動通訊略有不同。由於軌道運輸在使用上，控制中心需對單一使用者及各使用群組進行通訊，為使有限的頻道資源得以充分發揮，故需要具有派遣之操作，而這些需求之達成，則需採用具派遣功能之中繼式無線電系統為宜。

TETRA(Terrestrial Trunked Radio) 是歐洲之電信標準協會所訂出之標準，中繼式無線電系統遵循之一種標準。而我國已建置之軌道無線電系統，以 TETRA 為主要，如台北捷運、高鐵、台鐵等無線電系統皆是，故基於系統整合的考量，後續系統以符合 TETRA 標準為主流。

無線電通訊系主要是提供廣域之語音及數據通訊，可提供捷運線工作人員，依授權等級與公眾服務電信網間之語音通訊，及正線及機廠所有地區內中央控制室操作人員、列車司機員、維修人員、機廠人員、車站人員的通訊。

TETRA 無線電系統架構如圖 7 所示，主要設備一覽表如表 4 所示，它由一個系統控制中心、若干個基地台、天線、雙向放大器與小型天線、行動之車上 / 手持無線電載具、漏波電纜等組成。

系統控制中心主要功能是追蹤車上無線電載具及手持無線電載具在無線電系統所涵蓋範圍內之位置移動、各無線電載具之無線電呼叫、無線電頻道之派遣與管理、無線電網路的監控與管理等，意即整個系統之無線電頻道之派遣控制及使用，皆在此進行調度與控制。一般系統控制中心設置於行控中心內，其有多項設備如無線電派遣控制台、電腦派遣軟體、網管設備、錄音設備等。在軌道捷運內之配置上則有主控派遣台、備用派遣台、設備監控派遣台、值班經理派遣台等，其規模與數量則需視整體無線電系統規模及營運之需求而定。對於基地台而言，其功能是将中繼式無線電之電波訊號，進行接收及再放大。因此，在基地台需設置接收天線及

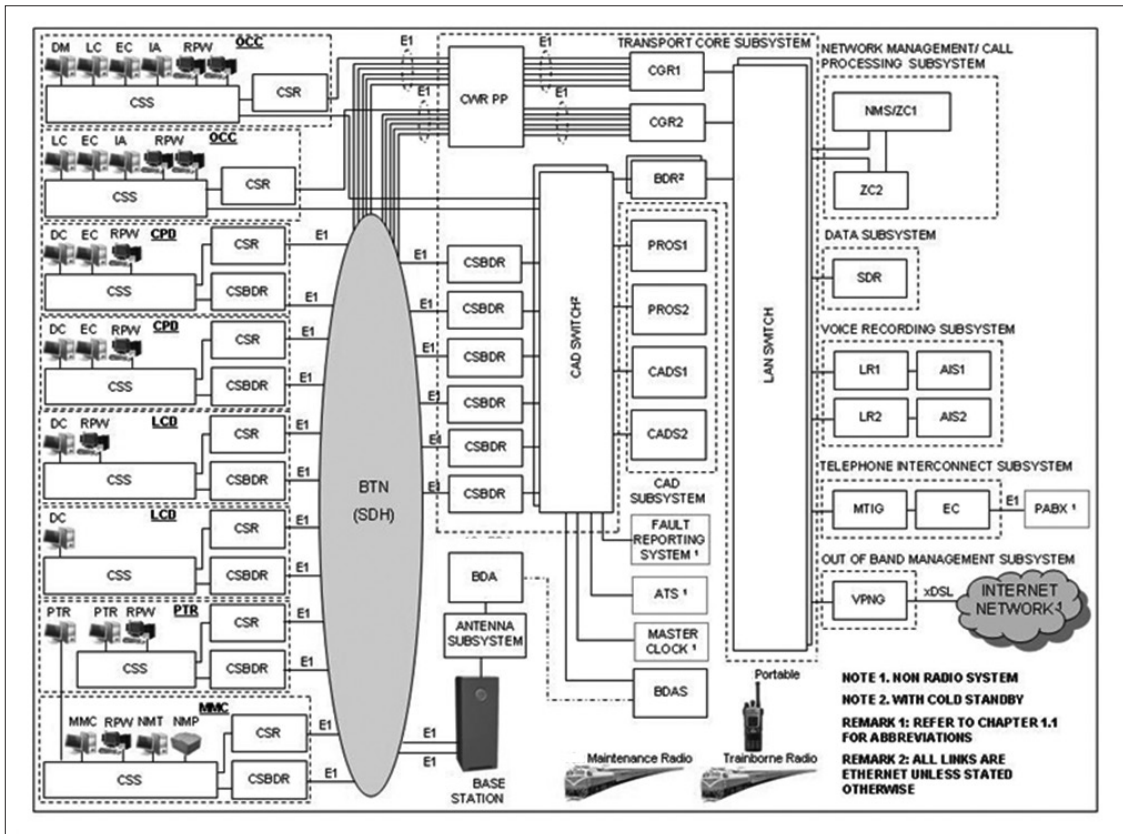


圖 7 無線電系統架構圖 (以桃園機場捷運無線電系統為例)

表 4 無線電系統主要設備一覽表

設備名稱	基地台設備	TETRA 無線電手機	車載無線電設備
實體照片			



發射天線，對接收天線係以接收電波訊號，而對發射天線則是將電波訊號發射出去，一般其天線型式為 Yagi 或 Panel 天線。基地台一般會架設一個很高的鐵塔以置放天線，其原因是藉由高功率之無線電發射設備、無線電天線，可將電波訊號發射至較遠的地方，天線愈高及功率愈大，則訊號傳遞愈遠，而行動載具（指無線電手機或車上無線電設備）在無線電波覆蓋範圍內，則可進行通訊。因軌道捷運無線電系統，其使用者為特定的少數人員或車輛，但其移動距離範圍可能較大，故高天線鐵塔及高無線電發射功率為其特性，惟為避免頻率使用者相互干擾，NCC（國家通訊傳播委員會）對無線電發射功率亦有所規範限制。

無線電雙向放大器置於路側或車站內，該設備搭配漏波電纜及小型天線使用，功用為將無線電之傳送與接收訊號進行放大後再送出，以補足基地台涵蓋不足處。雙向放大器放大倍數則依據漏波電纜之傳送損失、無線電載具之接收靈敏度、無線電所需覆蓋範圍來決定。

行動之車上或手持無線電載具，則是指電聯車上之車載無線電設備，或是列車駕駛員及其他維運人之手持無線電手機。車載無線電設備除可作為列車駕駛員與行控中心通訊之用外，亦提供行控中心對旅客廣播之用，列車上旅客於緊急情形無法與列車駕駛員通話時，皆可藉此車載無線電設備與行控中心操作人員通話。對於手持無線電手機，則需考量其體積大小、電池使用時間、發射功率、接收靈敏度、待機時間及通話時間等要求。

漏波電纜常被用於車站內部或隧道內做為無線電波傳遞之媒介，其阻抗以 50 歐姆，而其電纜直徑常用的有 7/8 英吋及 1.25 英吋，由於電纜直徑愈大雖然內阻愈小且纜線衰減愈小，但相對成本愈高重量亦愈重。由於漏波電纜在經一段長度（與電纜直徑有關，通常為 500 至 1000 公尺以內）後，其電波訊號在纜線衰減較大，尚需對電波訊號加以放大後，才可再利用。

無線電天線，基本上分為指向式與全向式天線兩種。指向式天線對某一方向之電波具有較大之增益，而其他方向較無法發揮其功用。全向式天線對所有方向皆可發揮其功用，但其增益較低。至於兩種天線之使用時機，則視整體無線電網路之設計而定。不論那一種無線電天線皆有其放大增益及方向性，故需視設計之要求，慎選所需之無線電天線。

對中繼式無線電之規劃，則需考量其所需之電波涵蓋範圍、無線電容量、無線電頻道規劃等需求，設計出符合需求之無線電系統。由於無線電頻道資源的稀少性，故可藉由無線電使用地點相距在某一距離時，其電波訊號將衰減至很微弱，故相同頻率之頻道將不會干擾而可再重覆使用（Frequency Reuse）之觀念，可將無線電頻道規劃獲得更高之使用效率。而由於無線電頻道規劃與各基地台間之距離、實際地形有很大關係，且其彼此間影響參數頗多，故現在多採用電腦軟體模擬方式為之，因係屬各無線電系統廠商之智慧財產權，於此不多加敘述。



對捷運操作營運之需求，於操作群組有列車服務群組、機廠服務群組、維修服務群組等之分類，且各群組下需再可分為多個小群組。因其可提供很多群組之設定與操作，故其亦適用軌道運輸無線電之使用。

七、廣播系統

廣播系統被使用在軌道運輸之各車站、機廠、行控中心、維修工場、通風房、主變電站等，為提供行控中心人員或站務室人員能藉由此系統可對車上、各月台、車站大廳、售票口、機房等地區之旅客或人員進行廣播。廣播依其使用區分，主要分為行政廣播及緊急廣播兩部份，行政廣播作為行政人員及操作人員對於一般訊息之播放。緊急廣播則是當有火警事件時，由火警受訊總機主動連動廣播系統，即時廣播播放預錄之緊急火警訊息。

於車站所需廣播的區域通常很大，故車站廣播系統對於廣播亦有“分區”之機制，且其分區可由各車站廣播系統控制台進行選擇及廣播。另由於整條捷運系統線將含有多個車站，基於行控中心可能需對單一車站、幾個車站、全部車站等廣播之情形，故廣播系統亦需具有由行控中心之廣播系統控制台對車站進行廣播及控制之功能（此需藉由通訊傳輸系統之協助），而此種功能是一般大樓內之廣播系統所沒有的。

廣播系統所播放之訊息，其可為直接口頭播放，或預錄之廣播訊息（可為中文、英文及其他等），或 FM 廣播訊息（需藉由 FM 接收機及天線）。此外當廣播系統接收到從車

站傳來之火警連動觸發訊號，則會停止其播音，改優先廣播車站火警警報訊息。

廣播系統系統架構如圖 8 所示，其主要設備一覽表如表 5 所示。系統主要包含廣播系統控制台、廣播現場控制設備、放大器、廣播喇叭等設備。廣播系統控制台設置於各車站之操作室內，作為車站操作人員操控廣播系統之用，其具有選擇分區、全車站播音等功能。對於播音之音源，亦提供口語廣播、預錄廣播訊息及 FM（調頻）電台節目播放之功能，對所廣播之語音訊息，並具音量控制及監聽之功能。

廣播現場控制設備將提供遠端及現場廣播功能，對欲廣播之訊息進行播放。有關遠端廣播，係指其可接受控制台所下達的指令進行廣播，而對於現場廣播則是可讓操作人員於現場進行廣播。有關遠端及現場廣播之優先權，通常是現場廣播之優先權大於遠端廣播。

放大器設備之主要功用，是將欲廣播之語音訊號作放大後，再送至廣播喇叭，以通知旅客及車站內相關人員，而其放大增益則視所連接之喇叭數目及需傳送之距離而定。

廣播喇叭之佈設原則，通常是依據我國消防法規之規定進行設置。喇叭型式是有壁掛式、崁頂式、號角式等廣播喇叭等。另若基於考慮喇叭可能因故損壞，將造成無法發揮其播放功能之情形，亦可考慮設置複聯的兩組喇叭，當有一組喇叭故障時，另一組喇叭可接替工作之機制。

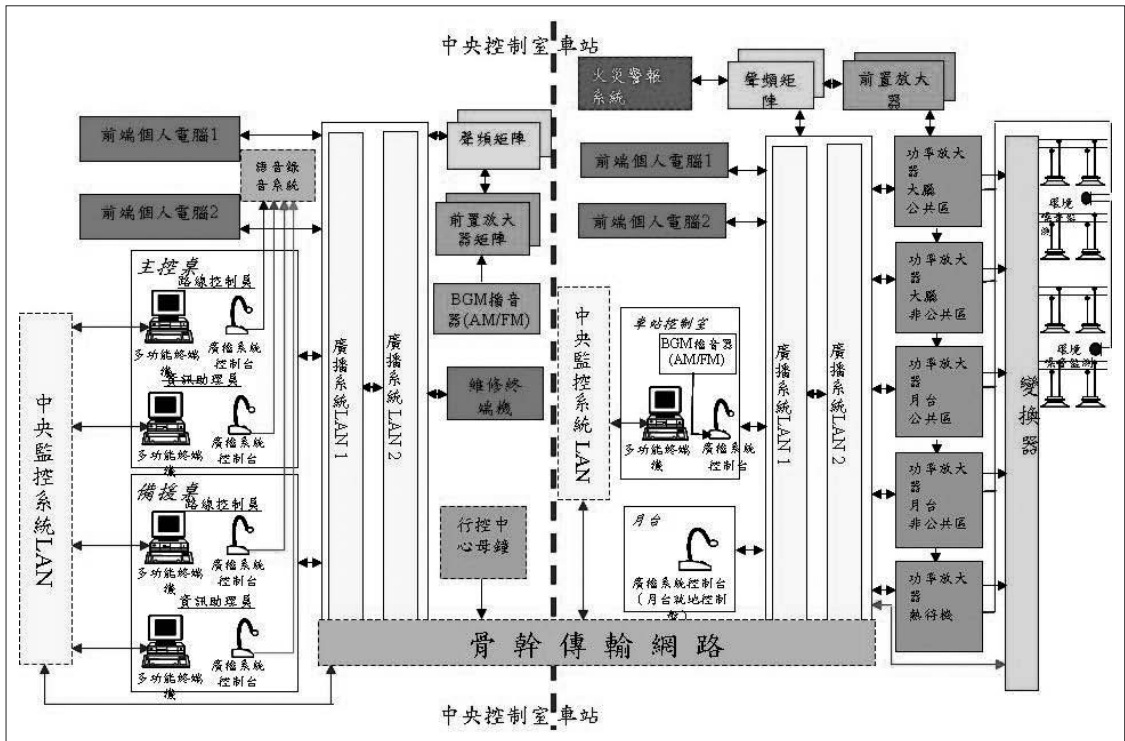


圖 8 廣播系統架構圖 (以桃園機場捷運廣播系統為例)

表 5 廣播系統主要設備一覽表

設備名稱	前置放大器	聲頻矩陣器	功率放大器
實體照片	 <p>前置放大器矩陣 Pre-amplifier</p>		 <p>功率放大器 Amplifiers</p>

八、子母鐘系統

子母鐘系統是由母鐘、次母鐘、子鐘、標準時間來源等組成，子母鐘系統架構如圖 9 所示，其主要設備一覽表如表 6 所示。主

要功用是提供各系統一個標準時間訊號，及各系統進行訊號傳輸之同步訊號來源。對於通訊之骨幹傳輸網路，一個共同參考之標準時間訊號是很重要的。

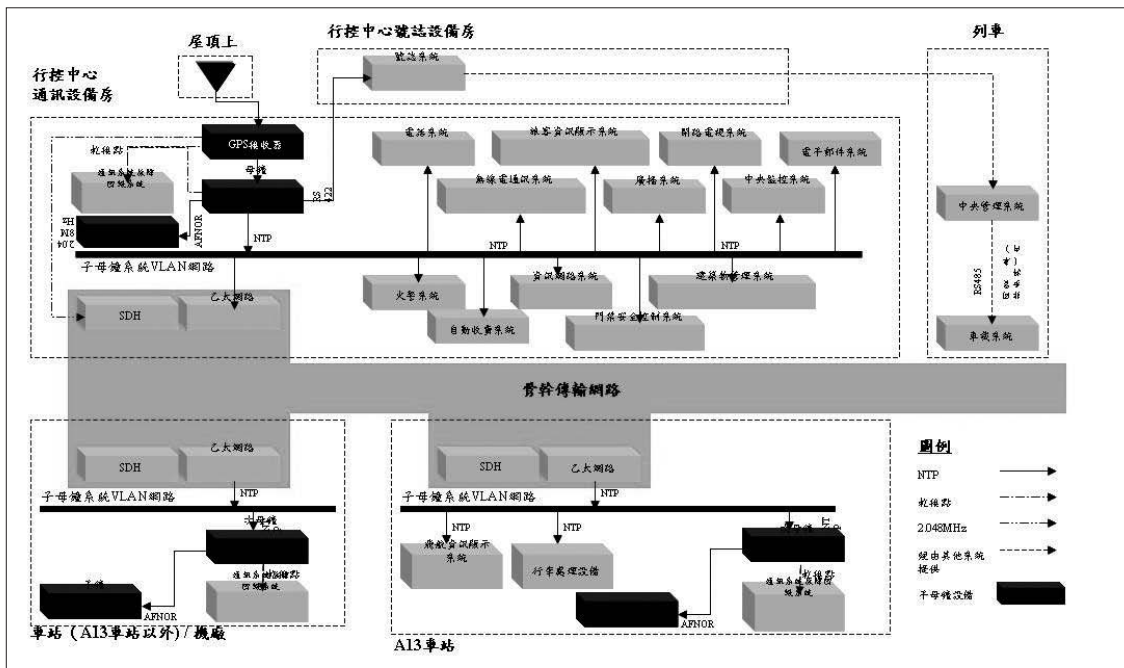


圖 9 子母系統架構圖 (以桃園機場捷運無線電系統為例)

表 6 子母鐘系統主要設備一覽表

設備名稱	母鐘設備	子鐘設備	GPS 接收器
實體照片			

母鐘可提供一個具有日期及時間之即時時間，且亦可接受外來之標準時間來源作定時校準。因此，母鐘通常具有兩個時間來源，以確保當某一時間源無法正常傳送標準時間時，仍可提供即時之時間訊號。而於捷運之應用上，母鐘設備通常設置於行控中心，以

作為通訊系統及其他各系統之標準時間訊號來源。

標準時間來源通常採用銫原子鐘或 GPS(全球定位系統)所提供之時間訊號作為來源。銫原子鐘其精度很高，惟建置費用昂



貴，而 GPS 則是接收衛星所傳來之時間訊號，其精度雖然不及銻原子鐘，但亦可符合捷運一般系統需求，且維修亦較方便。

次母鐘建置於車站，其將接收行控中心之母鐘所傳來之同步標準時間，並提供輸出為數個標準輸出時間脈衝訊號給車站內各子鐘。另次母鐘於行控中心內母鐘之同步標準時間訊號因故中斷時，次母鐘將啟動本身震盪計數器，輸出次母鐘本身的時間訊號以供此車站內各子鐘及其他系統使用，當母鐘之同步標準時間訊號恢復供應後，次母鐘將以母鐘所傳來之同步標準時間為標準。

子鐘通常置於捷運之公共區域，如大廳、出入口、收費區及非收費區等，以作為乘客參考時間之來源，子鐘之型式可分為數位子鐘與類比子鐘二種，通常子鐘型式為配合車站建築物或維運單位需求裝設。而子鐘之顯示解析度通常為至【秒】。

九、結論

對於捷運系統而言，如要發揮其運輸的效能，則軌道核心機電系統可說是具有關鍵性的地位，核心機電系統如無法正常運轉，則軌道運輸將無法維持其正常運轉。本文就軌道通訊系統之功能、技術特性等作一簡述，提供國內之相關業界瞭解軌道運輸核心機電通訊系統之基本概念與技術原理外，並可掌握未來通訊系統之發展趨勢。

軌道核心機電通訊系統對軌道運輸而言，有其需求性及重要性，缺少它則整體軌道運輸將無法提供便利且安全之服務。如何

將通訊各系統包含骨幹傳輸系統、電話系統、閉路電視系統、無線電系統、廣播系統、子母鐘系統等，完整整合，以達智慧且安全之效能，則是尚待後續通訊業界開發及努力之目標。 ◆

參考文獻

1. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程骨幹傳輸系統細設文件。
2. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程電話系統細設文件。
3. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程無線電系統細設文件。
4. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程閉路電視系統細設文件。
5. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程廣播系統細設文件。
6. 桃園機場捷運機電系統統包工程通訊系統工程子母鐘系統細設文件。
7. 曾堂坤、曾水田(民國92年) 第三代(3G)行動通訊系統簡介，中興工程，第79期，第49-61頁。
8. 曾堂坤、曾水田(民國92年) 寬頻接取技術之剖析，中興工程，第77期，第33-55頁。
9. 曾堂坤、洪啟邦、譚士敏(民國91年) 寬頻接取技術現況與趨勢，中興工程顧問社。
10. 陳克任(民國90年) 數位資料通訊—有線暨無線寬頻網路，儒林圖書公司。
11. 楊豐瑞等(民國88年) 多媒體網路通訊，松崗圖書公司。
12. Synchronous Transmission Systems (1999) Nortel Networks, July
13. ITU-T Recommendation H.323 (1998) Packet-based multimedia communications system ISO/IEC 802-3 (1993): ANSI/IEEE Std 802.3
14. ITU-T Recommendation H.263 (1996) Video coding for low bit rate communication Data Communication (19991) Technical Report IS-41.5-B, EIA/TIA。



系統保證於軌道工程之應用

新北捷運局副總工程司 / 林逸羣
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫副理 / 吳培瑛
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 徐筱晴
 中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 卓悌琨

關鍵字：系統保證作業、RAMS 分析、軌道系統工程

一、前言

系統保證作業已廣泛應用於軌道系統工程，透過系統保證相關之分析與研究，將可確保軌道系統之可靠度、可用度、可維修度與安全度 (Reliability, Availability, Maintainability and Safety, RAMS) 能夠完整地納入軌道系統生命週期之中，並透過系統驗證與展現的作為，來證明建置之系統與設備，均能符合規範所要求的可靠度、可用度、可維修度與安全需求，使軌道系統在營運時，能符合整體營運之目標。

歐盟針對軌道運輸系統制定安全管理的規範，如：EN50126、EN50128、EN50129 與 IEC61508 等，其中 IEC61508 為一通用的規範，適用於軌道運輸、航太工業、核能電廠及一般製造業；EN50126、EN50128 與 EN50129 則專為軌道運輸系統所制定，含括規劃設計、興建製造並延續至營運階段的所

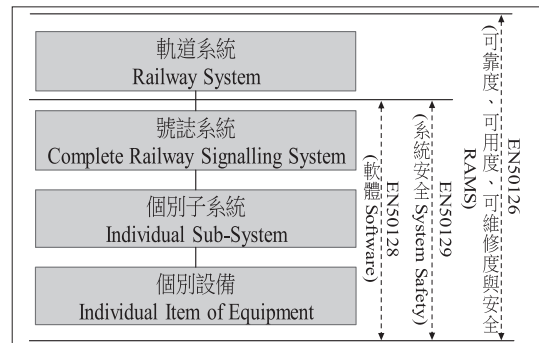


圖 1 EN5012X 之範疇

有安全規範，有關 EN50126、EN50128 與 EN50129 之範疇請詳圖 1。

軌道工程之系統保證工作要求，係依據軌道運輸系統之國際規範，並透過邏輯化與系統化的方法來規劃與執行系統保證作業，展示業主所約定的功能均已充分地融入於設計中，並以各項積極性及預防性之安全管理過程，應用於工程建設的所有階段，以確保軌道系統在



營運時旅客、工作人員及大眾的安全。本文主要介紹系統保證作業所包含的要素、執行方法，與其在軌道系統中所扮演之角色。

二、定義

(一) 可靠度 (reliability)

依據 EN50126-1(3.30) 之定義，可靠度為系統在特定條件與既定時間內，成功執行所需要功能的可能性。

可靠度可分為固有可靠度 (inherent reliability) 與操作可靠度 (operational reliability)。固有可靠度為系統或裝備在假設的任務定義條件下所得到的可靠度值，僅含括產品設計與製造之綜合影響，可用於度量產品研製單位之研製可靠度水準，常被用於契約中定義產品的可靠度需求；操作可用度為顧客或使用者實際操作時所獲得的可靠度評估值，含括產品於設計、製造、搬運、環境、維護操作等綜合影響，可用於定義產品使用的可靠度需求，但一般而言不適合直接當作契約之可靠度需求。

為了明確判定系統或裝備的可靠度水準，可靠度必須以量化的數值加以規定，一般常用之度量指標如下：平均失效間格時間 (MTBF, 小時)、失效率 (失效次數 / 每百萬小時)、成功機率 (%) 等。

(二) 可用度 (availability)

依據 EN50126-1(3.4) 之定義，可用度為在所需要的外部資源均已獲得的情況下，產品在規定的條件下與規定的時刻 / 時間區間內處於可執行規定功能狀態的能力。

可用度分為固有可用度 (Inherent Availability)、達成可用度 (Achieved Availability) 與操作可用度 (Operational Availability)。固有可用度為在任何隨機時間，且理想的操作及支援環境條件下，產品被賦予任務時處於可用狀態的機率；達成可用度為在既定情況及理想支援環境 (有效的工具、零件及人力等) 下，系統被賦予任務時處於可用狀態的機率；操作可用度既定情況及實際作業環境下，系統被賦予任務時處於可用狀態的機率。

(三) 可維修度 (maintainability)

依據 EN50126-1(3.20) 之定義，可維修度為在特定使用條件下，並按照規定的程序與資源執行維修時，在規定的時間區間內完成有效維修動作之可能性。

維修為使一系統或產品保持或恢復正常可用的狀況，所執行的一切措施。維修可分為：矯正性維修 (Corrective Maintenance, CM) 與預防性維修 (Preventive Maintenance, PM)。矯正性維修為針對系統與產品之失效所執行之一切非預定之維修行動，以恢復系統治所規定的工作狀況；預防性維修為保持一系統或產品在規定之工作狀況下，所採取的一切預防性維修行動，包含：定期檢驗、更換重要組件、校驗與保養等。

一般常見之可維修度度量指標包含：平均維修時間 (MTTR)、完成修復機率 (M(t)) 等。

(四) 安全性 (safety)

依據 EN50126-2(3.1.9) 之定義，安全性為免於不可接受風險的能力。

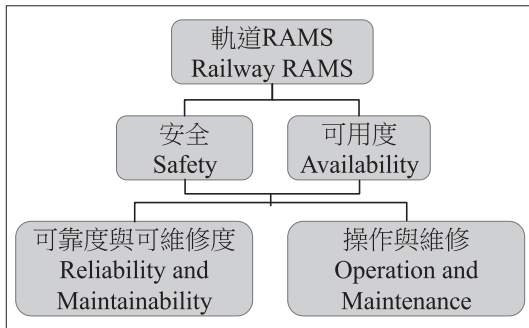


圖 2 EN50126 的 RAMS 架構

而系統安全 (System Safety) 為運用工程與管理的原理、原則、技術於系統 (產品) 生命週期各階段中，使得系統 (產品) 於有限的時間、成本、以及操作環境下獲致安全性的最適水準。

三、RAMS 組成要件

EN50126 說明於軌道系統中控制 RAMS 參數的方法，並述明 RAMS 的架構如圖 2，一般可依循此架構圖針對工程需求與發生的故障進行分類，以有效的與工程中各相關單位溝通。

軌道系統 RAMS 分為安全與可用度兩部分，當安全或可用度不符合需求時，均會影響整體軌道系統之 RAMS。而造成安全或可用度受威脅的原因，又分為系統可靠度與可維修度不足，或是營運與維修不良兩類原因。

當一個系統錯誤被判定是由於可靠度不足導致的，而與安全無關時，透過 RAMS 架構圖 (圖 2) 判斷此狀況將造成系統可用度無法達標。而可用度是由系統可靠度與維修度，以及營運與維護兩部分共同支持，此時

若是透過加強營運與維修工作的方式，將有機會提升可用度直至符合標準，得以讓整體 RAMS 符合需求，此過程即為控制系統 RAMS 的手段。

四、RAMS 與服務品質的關係

RAMS 用以定義系統長期運轉的性能特性，須經由工程概念、方法、工具與技術，以保障於系統生命週期中，得以持續達成系統目標。RAMS 指標對於提供旅客的服務品質有直接影響，例如：列車準點率等。透過 RAMS 作業，於興建階段即可系統化的預估與展現軌道系統能否符合營運目標。

五、系統保證執程序

依循 EN50126 訂定之生命週期 RAMS 相關工作項目，並綜整於軌道工程領域執行系統保證之經驗，繪製 RAMS 執行流程圖 (如圖 3 所示)，實際繳交之系統保證文件，仍依各工程案例規畫而定。

RAMS 活動涵蓋軌道工程之設計、施工、測試與驗收、試運轉與營運等階段，於每一階段結束前均應完成該階段應有之 RAM 分析、系統安全分析或驗證展現作業，並以文件之審查與確認，作為展現階段性成果及進入下一階段之憑藉。

為充分保證所執行工程之系統 RAMS，須先期規畫系統保證與系統安全計畫之執行標準、執行模式與應用規範，並遵循 EN50126 所律定之系統 V 型生命週期，訂定各階段工作應執行之系統保證作業。

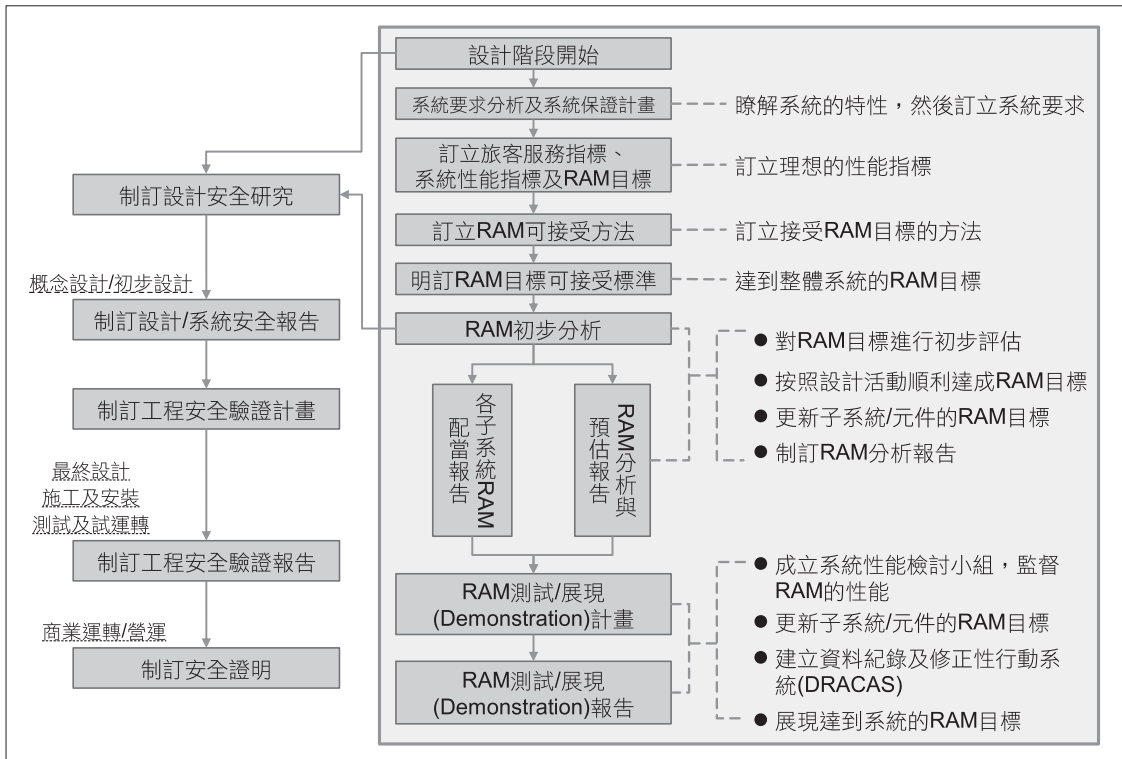


圖 3 RAMS 執行情序

系統 RAM 與安全需求之訂定，係依規範進行功能研究，並參考類似軌道系統依據所執行之工程系統特性進行需求分析，以完成系統 RAMS 需求訂定。

為符合系統 RAMS 需求，將於生命週期中依系統保證計畫，執行一系列 RAM 與安全分析作業，於設計階段針對設計內容，提出 RAM 預估報告以及設計 / 系統安全報告，並於測試階段執行工程安全驗證，以確認安全需求被確實執行，RAM 的作業成果，則透過 RAM 展現來驗證是否符合需求，詳細 RAMS 作業內容，將於後續內容呈現。

六、RAM 分析技術簡介

系統功能研究是 RAM 研究的基礎，在執行所規劃之各項工作之前，應先充分了解系統之設計原理、運作模式、組成元件及其間的功能關係。系統功能研究即透過設計圖審查，並將之轉換為系統功能方塊圖(FBD)，透過串並聯的邏輯關係將系統功能由全系統階層向下細分至次系統、裝備甚至線上更換單元(LRU)階層，並賦予適當編號，以利後續 RAM 分析之用。



(一) 系統功能研究

RAM 分析模式的基本資料起始於系統功能方塊圖 (FBD)，此方塊圖描述系統中必要性能之次系統及其組件間之功能關係。RAM 分析模式即將此功能方塊圖重新轉換為另一種串並聯關係的網路中，以顯示各個次系統、裝備甚至線上更換單元間可靠度相關性，即可靠度方塊圖 (RBD)；可維修度方塊圖原則以可靠度方塊圖為基礎，考慮可維修之線上更換單元階層，假設所有可維修單元為串聯關係，由可靠度方塊圖予以轉換而得。

(二) 可靠度分析

參考前述可靠度方塊圖，再結合工作時間、失效率資料，評估系統的可靠度水準，此分析模式即可據以建立後續可靠度配當、預估分析之基礎。典型的可靠度分析模式可分為串聯系統 (Series System) 及並聯系統 (Parallel System)，茲分述如後：

1. 串聯系統 (Series System)：為最常用的可靠度分析模式，在串聯系統中必須每一個分系統均正常操作全系統才算正常。假設各分系統均互相獨立，則全系統之可靠度為各個分系統可靠度之乘積，亦即

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

若每一個設備處於隨機失效期 (Random Failure Period)，或其失效時間分佈呈指數分佈，則系統可靠度為

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i t) = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t)$$

系統失效率為

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

依據失效呈指數分配的假設，系統平均失效間隔時間 (MTBF) 為

$$MTBF = \theta_s = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

2. 並聯系統 (Parallel System)：為另一種常用的可靠度分析模式，在並聯系統中，只要有一個分系統正常，全系統即正常，也就是要每一個分系統都失效，全系統才算失效。假設各分系統均互相獨立，則全系統之可靠度為

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t})$$

其平均失效間隔時間 (MTBF) 為

$$MTBF = \theta_s = \frac{1}{\lambda_s} = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$$

(三) 可維護度分析

可維護度分析之目的除滿足業主所頒佈之可維護度設計標準外，主要在於確定可維護度目標需求之展現，可維護度分析模式摘要說明如下：

1. 依據可靠度方塊圖轉換為可維修度方塊圖。
2. 依據可維修度方塊圖制定可維修件清單，即線上可更換單元 (LRU)。
3. 由可靠度預估結果獲得線上可更換單元零組件失效率。



4. 執行可維修度配當。
5. 制定線上可更換單元 (LRU) 之維修流程及步驟。
6. 執行可維修度預估 (含預防性保養需求、保養週期及備份件需求)。
7. 確定可維修度需求目標滿足。

平均維修時間 (MTTR) 的計算方法有三，分別為直接算術平均數法、零件數作為加權之算術平均數法及失效率加權之算術平均數法。前二者是以修護單元及該單元的零件數做基礎，去分攤修復時間。但此二種算法所得之 MTTR 仍較不公平正確，故一般採失效率加權之算術平均數法，公式如下，其可較為準確計算設備之 MTTR 值。

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times MTTR_i}{\lambda_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times MTTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

其中， λ_i ：各維修項目之失效率；
 $MTTR_i$ ：各維修項目的預估維修時間。

(四) 可用度分析

於 EN50126 定義可用度為

$$A = MUT / (MUT + MDT)$$

其中，MUT：平均正常運轉時間 (Mean Up Time)，一般可用 MTBF、MTBSF 等表示；

MDT：平均中斷時間 (Mean Down Time)，一般可用 MTM、MTTR 等表示。

於執行 RAM 預估時，一般以可靠度與可維修度之計算結果，採用固有可用度計算方式，其定義如下：

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

七、安全分析技術簡介

「安全」一詞之意義為可免於各種不可接受之風險，如人員死亡、受傷、職業災害或設備及財產損失... 等事件。為保障乘客、員工與大眾於軌道系統營運與維修期間之安全，於軌道工程案例之設計、施工、測試與驗收、試運轉及營運等階段需求條款中，大多明訂要求承包商須執行系統安全計畫與相關分析作業，以確保軌道系統未來營運與維修期間將意外發生之機率降至最低，且將意外危害之嚴重性控制在最小的程度。一般來說，安全管理涵蓋危害確認、風險評估、風險控制等三個程序，詳細內容將於後續內容呈現。

(一) 安全分析方法

危害分析是安全管理的必要分析工具，從危害確認開始，進而分析事件發生的因果關係、評估事件造成的不良影響及發生機率。危害分析又可分為定性危害分析及計量危害分析，定性危害分析一般包括初步危害分析 (PHA)、次系統危害分析 (SSHA)、系統危害分析 (SHA)、操作及支援危害分析 (OSHA) 等；計量危害分析則包括缺陷樹分析 (FTA)、事件樹分析 (ETA) 及故障模式、影響及重要性分析 (FMECA)。

(二) IEC61508 定義之風險

IEC61508 將「風險」視為衡量危險的指標，此處之風險為危害發生的機率與嚴重性的組合，並定義下列四種風險：

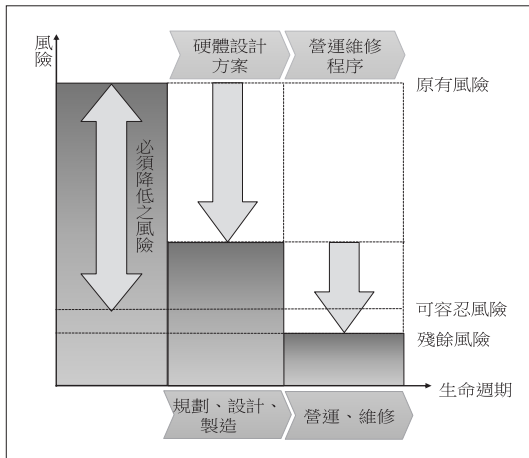


圖 4 IEC61508 降低系統風險的手段

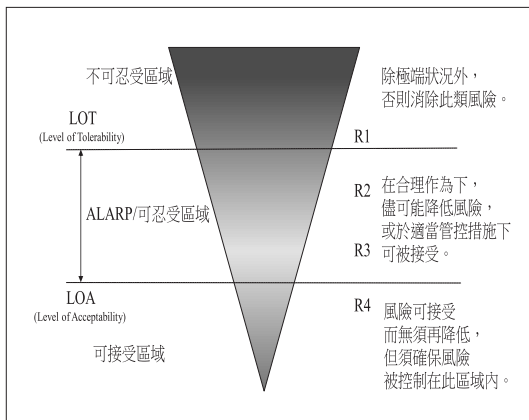


圖 5 ALARP 概念圖

1. 被控制的風險：只被控制裝置與裝置間互相作用產生的風險。
2. 可容忍的風險：在現行標準基礎下可以被接受的風險。
3. 殘餘風險：採取防護措施後仍殘留的風險。
4. 必須降低的風險：對安全相關系統進行需求分析及危害分析後，可得到系統的可容忍風險與被控裝置的風險（現存風險），兩者之差為必須降低的風險，管理者必須採取手段降低風險，使改善後的殘餘風險低於可容忍的風險。

者之差為必須降低的風險，管理者必須採取手段降低風險，使改善後的殘餘風險低於可容忍的風險。

一般而言，在建置階段會儘可能利用硬體的設計方案來降低風險，但若硬體設備的改善成本過高或技術無法達到時，則會進一步利用營運維修的程序來克服，直到系統剩餘風險低於可接受風險為止，請參考圖 4。

(三) 風險接受原則

於 EN50126 提到常用的風險接受原則，包含：英國 ALARP、德國 MEM 與法國 GAMAB，本文將以英國 ALARP 為例（請參考圖 5）。

(四) 安全風險矩陣

為了有效控制風險，必須先建立一套評估風險等級的方法，所有經安全分析後的系統，均應作風險評量，確認其可能導致意外的風險等級。於 EN50126 提出構成風險矩陣的兩項主要因素，其一為危害的可能性或其發生的頻率，其二為危害所造成後果的嚴重程度。由前述兩項因素組成的風險矩陣表，提供安全管理過程中風險分級與評估重要基礎，並針對不同風險等級之危害訂定不同之處置方式，以有效的控制風險。本文提出案例供參考，請詳表 1 至表 4，仍應依工程對於風險之忍受特性，予以評估與調整後應用。

(五) 系統功能研究

系統功能研究是系統安全分析的基礎，在執行安全管理計畫所規劃之各項工作之前，應先充分了解系統之設計原理、運作模式、組成元件及其間的功能關係。系統功能



表 1 風險矩陣

嚴重程度		輕微 (S4)	不嚴重 (S3)	嚴重 (S2)	災難 (S1)
頻率 (次 / 年)					
經常 (F1)	$F \geq 100$	R2	R1	R1	R1
有可能 (F2)	$100 > F \geq 1$	R3	R2	R1	R1
偶然 (F3)	$1 > F \geq 10^{-2}$	R3	R2	R2	R1
甚少 (F4)	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	R4	R3	R2	R2
不大可能 (F5)	$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$	R4	R4	R3	R3
不可能 (F6)	$F < 10^{-6}$	R4	R4	R4	R4

表 2 危害發生頻率分級

等級	頻率 F(次 / 年)	發生頻率說明
經常 (F1)	$F \geq 100$	可能會經常發生，可預料有關危害 / 失效將持續出現
有可能 (F2)	$100 > F \geq 1$	會發生多次，預料有關危害 / 失效會時常發生
偶然 (F3)	$1 > F \geq 10^{-2}$	可能會發生數次，預料有關危害 / 失效將發生數次
甚少 (F4)	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	可能在系統壽限內，在合理情況下將預料有關危害 / 失效發生
不大可能 (F5)	$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$	幾乎不會但有可能發生，可以假定只會在特殊情況下發生
不可能 (F6)	$F < 10^{-6}$	發生機會極微，可以假定危害 / 失效將不會發生

表 3 危害嚴重程度分級

等級	對人 / 環境的影響	對服務的影響
災難 (S1)	多人死亡 / 嚴重受傷 / 嚴重環境破壞	列車服務中斷 24 小時以上
嚴重 (S2)	一人死亡 / 嚴重受傷 / 對環境有相當程度的破壞	主要系統不能運作 / 造成系統服務中斷 1 小時以上
不嚴重 (S3)	輕微受傷 / 對環境有相當程度的威脅	系統嚴重損壞
輕微 (S4)	可能有人輕微受傷	系統輕微損壞

表 4 針對危害之處置

風險等級	定義
R1 不可忍受	必須消除該類風險。
R2 不理想	在一般情況下，必須將風險降低；只在沒有可行的風險減輕措施下，方可接受，需與業主達成協議。
R3 可忍受	可接受，但需有適當的管控措施並與業主達成協議。
R4 可忽略	可接受。



研究即透過設計藍圖審查，並將之轉換為系統功能方塊圖(FBD)及可靠度方塊圖(RBD)，透過串並聯的邏輯關係將系統功能由全系統階層向下細分至次系統、裝備甚至線上更換單元(Line Replacement Unit, LRU)階層，並賦予適當編號，以利後續安全管理相關災害分析之用。

(六) 危害確認

配合實際工程進度，適時對工程所涵蓋範圍執行危害辨識及危害確認，危害確認將同時依據由上至下(TOP-DOWN)及由下至上(BOTTOM-UP)的分析程序，分別說明如後。

1. 由上至下(TOP-DOWN)分析程序

以基設階段所發掘及確認的初步危害登記冊(Preliminary Hazard Log)為基礎，檢視並篩選出屬於工程安全管理作業所涵蓋範圍之危害項目，進一步向下細分至工程安全管理相關之次系統或裝備層次，賡續執行後續危害評估、必要之危害控制及改正措施。

2. 由下至上(BOTTOM-UP)分析程序

為確保危害辨識及危害確認結果能涵蓋工程安全管理作業所有範圍，除前述由上至下(TOP-DOWN)手法所產生系統階層之危害項目外，同時須採用由下至上(BOTTOM-UP)的歸納方法，即經由裝備及次系統階層之設計審查，執行危害分析，如初步危害分析(PHA)、次系統危害分析(SSHA)、系統危害分析(SHA)及操作及支援危害分析(OSHA)等分析手法，進一步確認裝備及次系統階層的危害項目。

危害確認是危害分析的基礎，所有經辨識/確認的危害項目，應透過危害分析評估其風險等級、檢討危害減輕措施，登錄於「危害登記冊(Hazard Log)」嚴密管制，同時透過FRACAS機制召集相關設計、製造及品保人員研討確認危害項目及減輕措施。

(七) 風險評估

1. 定性風險評估

透過次系統及裝備之設計審查，檢核類似次系統裝備曾經發生的危害事件、安全經驗、系統安全之設計理念，並運用危害分析之技術，檢視並確認該次系統或裝備是否也有相同的環境或發生類似危害事件的可能性。若有確認的危害項目，應評估其風險等級，並登錄於「危害登記冊(Hazard Log)」嚴密管制。

2. 定量風險評估

危害事件經過系統安全定性分析後，確認其風險等級為不可接受時，且該系統為龐雜時，為深入了解其危險因子組合與發生機率，應進一步執行系統安全計量分析，提供設計者與決策者作更精準之判斷，確保安全管理能滿足系統之安全規格需求。常用之定量分析手法包括缺陷樹分析(FTA)(如圖6)、事件樹分析(ETA)(如圖7)及故障模式、影響及重要性分析(FMECA)。

(八) 風險控制

風險控制為安全管理之具體展現，一般係透過危害減輕措施達到風險控制的目的，危害減輕措施包含以下四種手法：

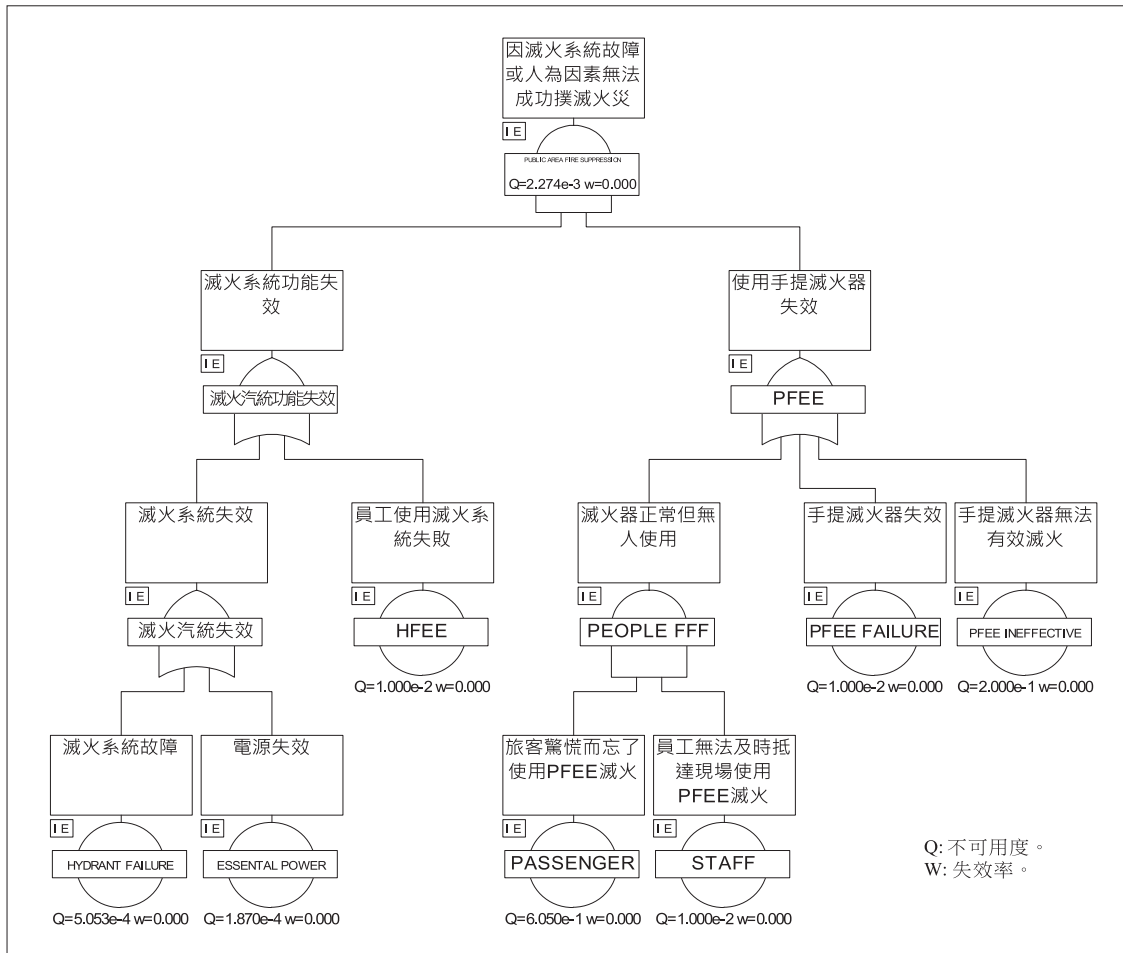


圖 6 缺陷樹分析 (FTA)

1. 設計修改。
2. 提供安全保護。
3. 增加警告裝置。
4. 建立特殊作業程序 / 訓練。

冊所列危害減輕措施，將風險減輕至 R3 或 R4 等級，只在沒有可行的設計辦法下，才可考慮營運、維修程序或為營運及維修員工提供訓練等方法來解決。

所有經危害確認項目均需透過風險評估程序評定風險等級，一般而言，評定為 R1 或 R2 風險等級的危害事項，必須盡快透過召開安全審查或類似功能會議，並檢視危害登記

八、結語

系統保證作業為軌道工程必要執行的工作，其目的是以合理且有系統的方式分析系

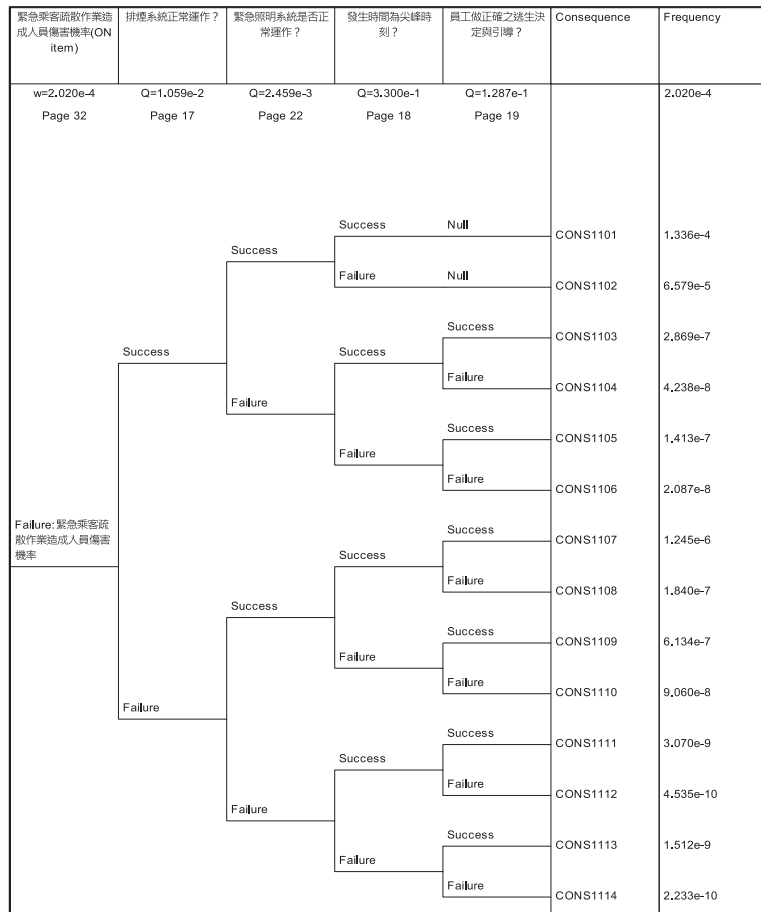


圖 7 事件樹分析 (ETA)

統可靠度、可用度、可維護度與安全，以保障軌道系統於未來營運時能夠達到工程所規範的 RAMS 目標，並確保系統運轉安全。

然而系統保證作業之執行成效，將取決於是否有完備的作業流程、正確的輸入數據與具豐富經驗的團隊執行。以統包工程而言，要實現系統 RAMS 目標除了需要考量採用高可靠度與維修度的設備 / 零件，同時必須強化對分包商與供應商的管控力度，並落實階

段性的設計審查與系統保證作業稽查，除此之外，亦須投入資源於軟體工具、技術發展與失效資料提報、分析與改正系統 (Failure Report, Analysis, and Corrective Action System) 之維持等，此些作業恐將增加系統建置成本，為執行系統保證作業不得不面對的挑戰。

若於工程初期即開始執行系統保證作業，可即早確認系統 RAMS 性能，以防患於未然的精神，以期能降低生命週期成本。並



確保系統於未來營運階段，具有高可靠度、低維修工時與高可用度，且令風險得以被有效控制在合理可接受的程度。 ◆

參考文獻

1. Railway Applications-The Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC).
2. Railway Applications-Communication, Signalling and Processing Systems. Software for Railway Control and Protection Systems, EN50128, European Committee for Electrotechnical Standardization(CENELEC).
3. Railway Applications-Communication, Signalling and Processing Systems-Safety Related Electronic Systems for Signalling, EN50129, European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC).
4. Quick Guide to the RAMS Standard EN50126/IEC62278, Troels Winther.
5. 捷運系統安全管理探討，中華顧問工程司。
6. 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探 - 以台鐵風險分析與評量為例，交通部運輸研究所。
7. RAM 分析技術於捷運系統之應用，中興工程顧問。



國道 5 號雪山隧道— 自動化科技執法系統建置簡述

警政署國道公路警察局第九公路警察大隊大隊長 / 吳俊良
中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理 / 林根勝
中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫副理 / 曾堂坤
中興工程顧問公司系統及電氣工程部工程師 / 張震宇

關鍵字：雪山隧道、自動化科技執法、系統建置、工程顧問公司、經驗學習、經驗傳承

一、前言

國道 5 號是往來台北、宜蘭的重要通道，造就了台北與宜蘭的一日生活圈。在週休二日的帶動下，大量的遊客利用國道 5 號外出旅遊更加省時及便利，卻也導致了開通後車流量不斷攀升，塞車情況越來越嚴重；不止是假日往返旅遊景點可見壅塞的車潮，平日通勤車輛也不計其數、十分擁擠。塞車已然成為國道 5 號雪山隧道的常態。其中，長達 12.9 公里的雪山隧道通過雪山山脈，使原先耗時近 1 小時之車程縮短為 10 多分鐘。相較於快捷的路程，行車安全則容易被忽略。此路段為長隧道，隧道內行車環境不同於一般平面道路，若發生意外，長隧道救援將比一般道路救援更加緩慢及困難，救援危險度也相繼提升。

雪山隧道自開通後發生過多次追撞事故而使多人傷亡。其中，最嚴重的事故當屬一起車禍火災造成 2 人死亡 31 人受傷，出動各種大型救援車輛；雪隧因為這件意外，史無前例全面封閉南北向車道近六小時，嚴重影響國道 5 號行車安全及效率；部分不守交通規則之用路人行駛雪隧時不但有超速行為外，還以逼車、任意變換車道及超車行駛，增加肇事機率，危及其它用路人之行車安全，因此，長隧道行駛安全問題不容忽視。之前雪山隧道內行車取締違規執法方式為固定樣式，以偵測超速之車輛並派遣巡邏車至現場存取資料，另派遣巡邏車現場取締任意變換車道及未保持行車距離違規行為，此種取締方式需要大量警力配合至現場執勤，執勤人員必須忍耐隧道內高溫炎熱及吸入大量車輛排放之廢氣，對執法員警的健康造成相當大的傷害。



科技的進步日新月異，若以過去人力方式取締違規，將不符效益，依交通部高速公路局的分析結果發現，於雪山隧道內最低限速提高後車速及每小時車流量有提升的趨勢，為維持隧道內車流順暢及行車安全管理，以提高雪山隧道最低限速並搭配警方加強執法取締，來確保行駛長隧道車輛確實遵守各項行車限制，維護交通安全秩序，提高長隧道行車之安全，中興工程顧問公司負責雪山隧道自動化科技執法系統之設計、規劃及監造作業之執行，並提供本系統建置案例供大家參酌。

二、建置案概述

雪山隧道長 12.9 公里，係一分離之雙孔隧道，每孔隧道為單向雙車道。隧道內有通行管制，限制特定車輛進入，並對隧道內之行車限制，在安全優先考量下與一般公路或隧道有所差異，除隧道內禁止變換車道之一般限制外，現階段速限為每小時 90 公里，最低速限為每小時 70 公里；小型車行駛於雪山隧道應保持 50 公尺行車安全距離，大型車應保持 100 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 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。

隧道內無設置路肩，除每 1400 公尺設置一處緊急停車彎外，沿途無任何可停駐之執法地點，且隧道內不宜進行攔停稽查車輛，故必須仰賴自動偵測及蒐證執法設備，以數據方式處理科學證據，避免工作人員停駐於隧道內，影響交通安全。

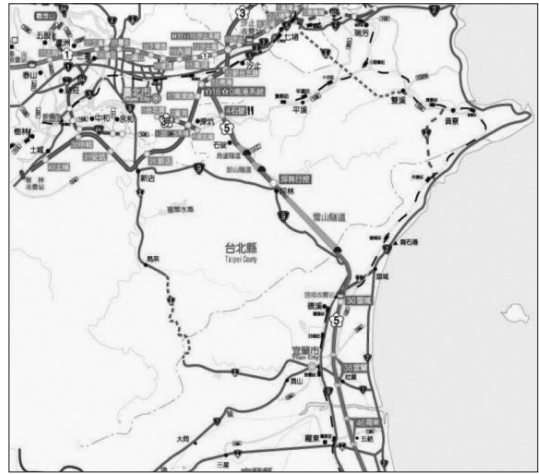


圖 1 國道 5 號路線圖



圖 2 雪山隧道坪林端



圖 3 雪山隧道車禍現場

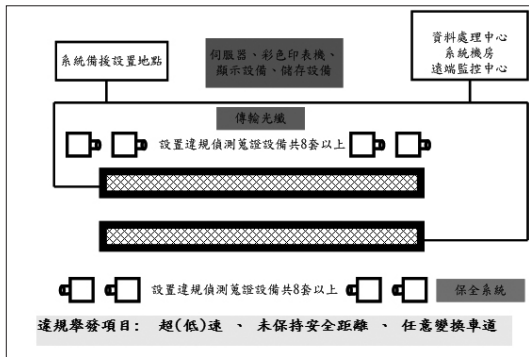


圖 4 雪山隧道自動化科技執法系統架構圖

雪山隧道自動化科技執法系統為一數位化系統，規劃運用設置於隧道內之違規偵測及蒐證設備採證違規資料，並透過光纖電纜將數位違規資料傳輸至系統機房等必要地點，建置一永續自動化科技執法系統，取締超(低)速、未保持行車安全距離及變換車道等 4 項違規。系統機房之規劃包括遠端監控中心及資料處理中心等資料處理設備及監視控制平台等相關設施，俾利警勤指揮及建置案系統控制。

雪山隧道自動化科技執法系統僅為輔助執法工具之一，目的為使用路人遵守行車規定，促進雪山隧道行車安全，科技執法系統實施前、後之行車規定及違規罰則均相同。此外，隧道內已設置完整的禁止變換車道雙白實線、最高及最低速限標誌等，另透過電子看板及隧道廣播，提醒用路人依標誌及標線遵守相關行車安全規定。

三、規劃與配置

(一) 於雪山隧道南、北向各設置 8 組，共 16 組，每處偵測及蒐證系統設備包括前端偵測功能設備及前端偵測蒐證遠端控制器等，偵測蒐證項目：超速、低速、未保持行車距離及變換車道。如圖 5 所示。

1. 超(低)速

違規偵測：車輛進入偵測範圍時，能測定行車瞬間速率，行車速率超過(低於)系統設定之門檻值時，立即啟動蒐證單元，採證違規車輛靜態影像，作為違規舉發之證據。

2. 未保持行車安全距離

違規偵測：車輛進入偵測範圍時，能立即測定其行車速率及前、後兩車間之行車距離，當行車距離低於系統設定之門檻值時，系統能取得違規證據資料，如：採證違規車輛之靜態影像及回溯違規前後之連續動態影像，作為違規舉發之證據。

前端蒐證之靜態影像拍攝範圍至少需涵蓋車輛全景及 2 個車道，未保持行車安全距離違規拍攝範圍必須涵蓋前後 2 車；且必須拍攝到目視可清晰辨識車牌之有效違規影像證據，以符合執法取締之相片解析度等級要求。動態影像必須擷取違規事件點，足以佐證違規事件之動態連續影像。

3. 變換車道

違規偵測：車輛進入偵測範圍時，能測定車輛跨越雙白實線之違規行為，至少涵蓋 2 車道並能取得違規證據資料，如：採證違



規車輛之靜態影像及回溯違規行為前後之連續動態影像，並符合下列條件：

- (1) 靜態影像：車輛於跨越雙白實線時之影像。
- (2) 動態影像：違規車輛自原行駛車道跨越雙白實線，及變換車道之連續影像。

(二) 偵測技術：偵測設備之技術規格如有國家標準時，不得低於交通執法器材之國家標準；如無國家標準者仍從嚴認定。
(本項設備之審查以獲得評選委員普遍認同及高度信賴為原則，以避免將來交貨安裝後取證之爭議。)

(三) 違規取締資料應以繁體中文顯示下列項目：

1. 違規項目及事實。
2. 違規日期及時間。
3. 違規地點。
4. 偵測蒐證設備序號。
5. 違規影像編號。

(四) 前端偵測及蒐證設備之違規資料須設置資料儲存設備，且其儲存容量至少足供五年儲存之所需。

(五) 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。

(六) 前端偵蒐設備要考量安全、防盜、防污、防水及高溫問題，並確保設備在相對濕度介於 20%-95%、溫度介於 0°C ~ 60°C 條件下能正常運作，須符合 CNS 防水防塵 IP 等級要求。

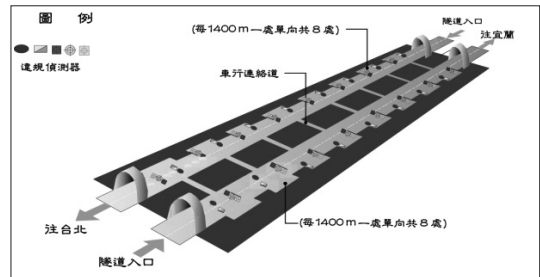


圖 5 前端偵測設備配置圖

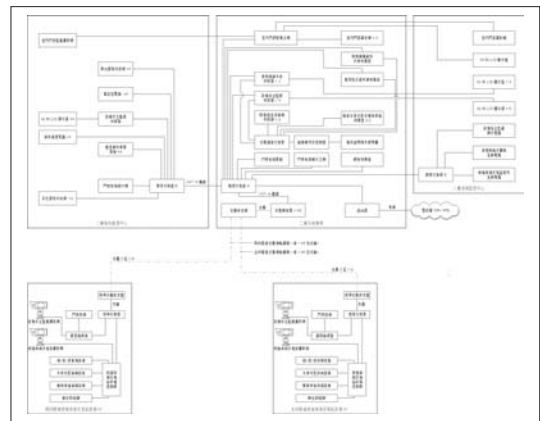


圖 6 雪隧執法系統整體系統架構圖

四、雪山隧道自動化科技執法系統架構

雪山隧道自動化科技執法系統為一數位化系統，運用設置於隧道內之違規偵測及蒐證設備採證違規資料，並透過光纖電纜將數位違規資料傳輸至資料處理中心及監控勤務指揮中心，資料處理中心除設置自動化之違規資料處理系統、自動輸出違規舉發相關資料外，並備有隧道行車及設備監視控制平台及相關設施，俾利警勤指揮及本案系統控制，其包含前端執法前端偵及蒐證系統、保全系統、資料處理系統，其整體雪山隧道自動化科技執法系統架構圖如圖 6 雪隧執法系統整體系統架構圖所示。

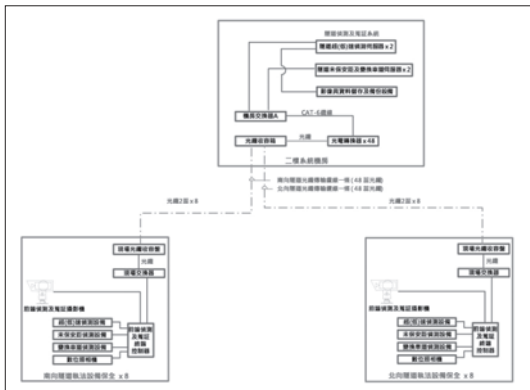


圖 7 雪隧執法系統前端偵及蒐證系統架構圖

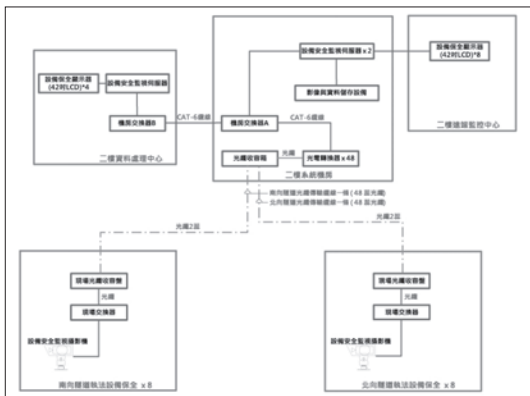


圖 8 保全系統架構圖

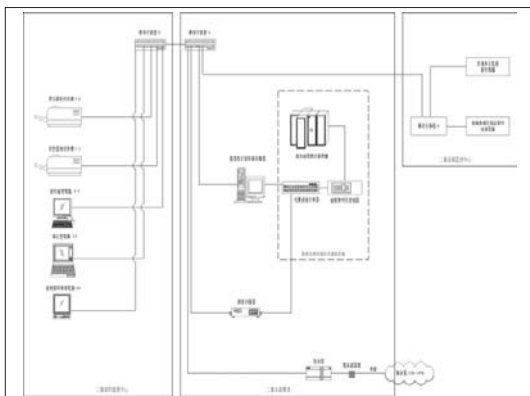


圖 9 資料處理系統架構圖

(一) 前端執法前端偵及蒐證系統

本系統在前端偵測及執法系統之 16 處佈設現場，違規偵測所蒐證之違規影像以數位影像檔案，經由光纖即時傳輸到第九警察大隊頭城隊部之資料處理中心與監控勤務指揮中心。其系統架構如圖 7 所示。

(二) 設備保全監視系統

本系統在前端偵測及蒐證設備之 16 處現場，設置有設備安全監視攝影機，這些攝影機除可即時監看 16 處前端偵測及執法系統設備現場狀況外，尚可一併監看雪山隧道內各處之現場車流狀況，且這些設備監視影像訊號將傳回資料處理中心與監控勤務指揮中心。而這些現場設備安全監視攝影機可直接將畫面即時傳回遠端系統機房內，並具全時錄影功能。其系統架構如圖 8 所示。

(三) 資料處理系統

資料處理中心之違規資料舉發電腦，可連接各隧道超(低)速偵測伺服器、隧道未保安距及變換車道偵測伺服器並進行違規資料舉發作業，及進行『前端偵測及蒐證系統軟體』、『設備保全監視系統軟體功能』及其資料庫之資料內容，進行資料處理設定、統計、列印及操作與進行『資料處理系統軟體』功能操作。其資料處理系統架構如圖 9 所示。

(四) 監控中心

可即時監看 16 處前端偵測及執法系統設備現場狀況外，尚可一併監看雪山隧道內各處之現場車流狀況。

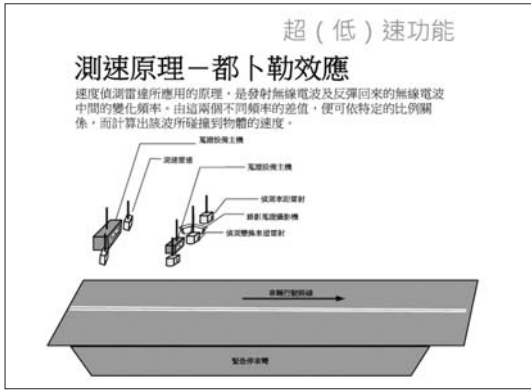


圖 10



圖 11 超速違規照片

五、系統特色

本系統兼具有：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、遠端檢測校正功能，對系統功能異常時自動提出警訊並通報監控勤務指揮中心通知必要人員進行檢修；系統可偵測車流量、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。

取締項目如下：

- (一) 超(低)速：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，而計算出該波所碰撞到物體的速度。其測速原理如圖 10～圖 12 所示。
- (二) 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。其偵測車間距原理如圖 13～圖 16 所示。



圖 12 低速違規照片

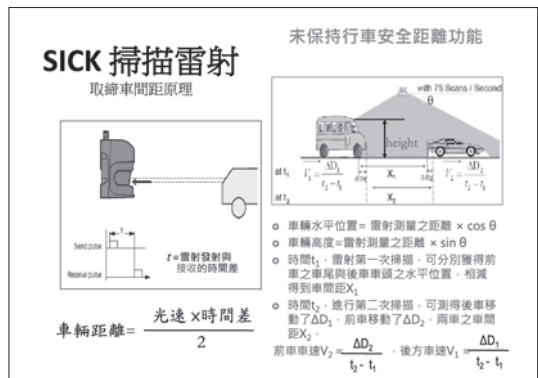


圖 13

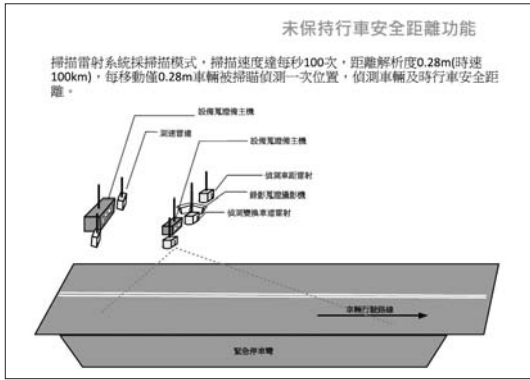


圖 14

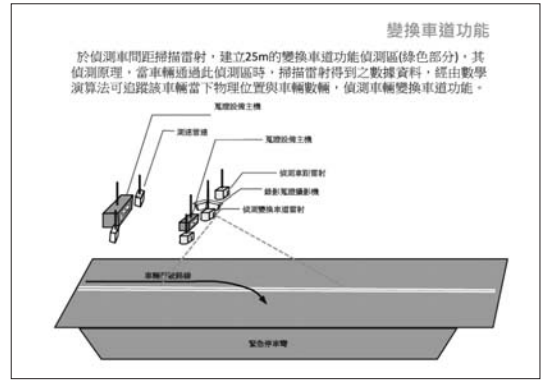


圖 17



圖 15 未保持行車安全距離違規照片



圖 18 變換車道違規照片

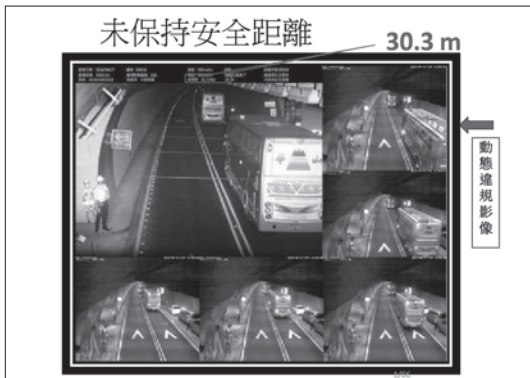


圖 16 未保持行車安全距離違規照

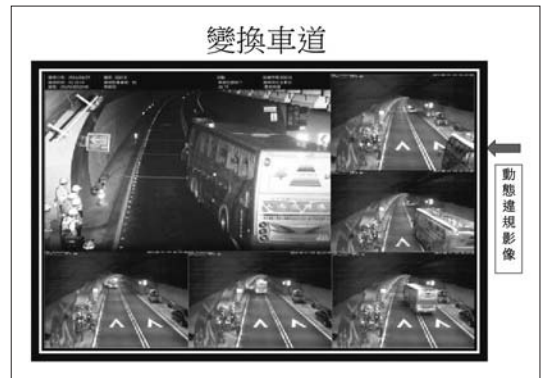


圖 19 變換車道違規照片



圖 20 變換車道違規照片

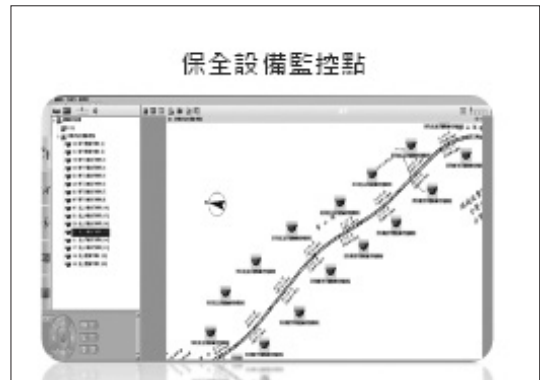


圖 21

(三) 雙白實線禁止變換車道：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)。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。其偵測原理如圖 17 ~ 圖 20 所示。

設備保全具備執法系統監看功能，可調整監視區域，監視影像回傳資料處理中心、遠端監控勤務指揮中心，並具全時錄影功能。如圖 21 ~ 圖 23 所示。



圖 22

目前雪山隧道內增設自動化科技執法系統，以加強執法，並強調龜(低)速、超速、任意變換車道、惡意逼車(未保持車距)之取締項目，以達到取締違規、遏止交通事故、減少慢速車導致隧道內塞車問題之發生。雪山隧道執法系統除可以降低交通事故或其它事件的發生，亦能提供事發過程紀錄供警察單位調閱，作為後續違規取締偵查的依據及證據。隨著科技日新月異，以科學儀器自動照相取締之方式，逐漸取代人工執法，此種利用科學儀器取證的執法方式，稱之為「科

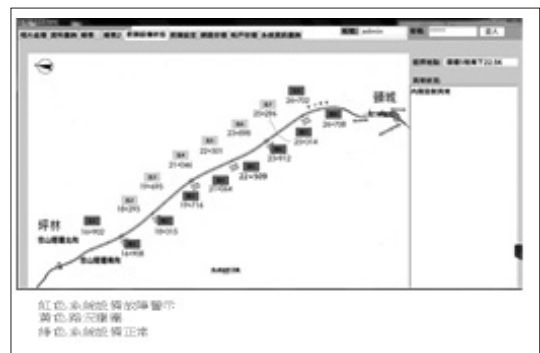


圖 23

表 1 雪山隧道自動化科技執法系統違規種類統計

項目年度	未保持行車安全間距	超速	低速	變換車道	合計
105 年 3 月 驗收試營運	891	1846	764	26	3527
106 年 6 月 系統啟動滿 1 個月	32	1263	731	0	2026

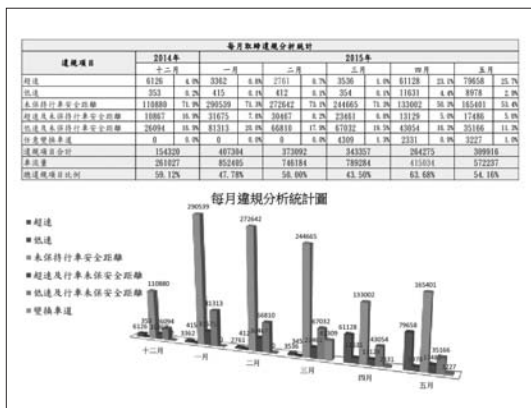
超(低速)----- 最高時速 90 公里, 最低時速 70 公里。
未保持車距 ----- 大、小車車距 50 公尺。
變換車道 ----- 隧道內全線。

技執法」。目前國內對於違規任意變換車道之取締, 執法機關大多採用傳統的錄影蒐證, 再以人工檢視審核後舉發, 如此方式耗費甚多人力物力。雪隧環境悶熱、空氣不佳, 考量到值勤人員健康, 主管機關採用新科技的方式來彌補產生的各種問題, 來增加雪隧裡面的執法強度。如表 1 所示。

自動化科技執法系統啟用前於 103 年 12 月先行南下線完成一處單一執法系統建置, 以南下線該處之違規行為車輛統計如圖 24 ~ 25 所示:(本階段為測試階段, 尚未開始執法)

在六個月的測試期間, 雪山隧道用路人之行車樣態, 違規行為多, 代表行駛於隧道內危險性高。

105 年 3 月本系統驗收試營運測試報告所測得之 3 月份行車違規行為有 3527 件; 雪山隧道自動化科技化執法 106 年 6 月 15 日正式啟用前進行 4 日之執法系統模擬上線測試依國道公路警察局第九公路警察大隊統計共有 1563 件違規行為, 而經啟用首日正式執行後共取締違規案件 210 件, 其中超速有 128 件, 低於最低速限 73 件、惡意逼車 9 件, 其中於南下段發現單一車輛連續 4 次違規之行為, 且 3 次均為嚴重超速行為(超速 60 公里以上, 時速 150 公里以上), 另依國道公路警察局第九公路警察大隊表示啟用 1 個月來共計取締違規件數 2026 件, 其中也有單一車輛於當日遭連續舉發 9 次, 皆由系統完整取締, 充分的發揮了自動執法系統的功效, 且經由 1 個月的宣導期, 也有效嚇阻雪隧違規行為, 進而提升行車安全。



超(低速)----- 最高時速 80 公里, 最低時速 60 公里。
未保持車距 ----- 大、小車車距 50 公尺。
變換車道 ----- 隧道內全線。

圖 24

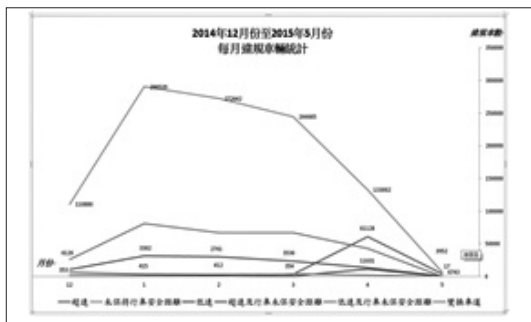


圖 25



長隧道有別於一般開放性之公路，擁有其密閉性與地下化等空間上之特殊性，對於其行車事故之排除及救難更增其困難度，因此危機的預防遠勝災害的搶救。

雪山隧道自動化科技執法系統，建構全方位的電子警察，除可節省警力、提升執法績效外，終極目的則在於有效防制交通事故發生與改善隧道內因慢速車長期堵塞之問題，除可嚇阻交通事故或其它事件，亦能提供事發過程紀錄供警察單位調閱，作為後續違規取締偵查的依據及證據。

系統啟動後隧道改善：

- ◆ 超速與未保持行車安全距離、變換車道及之違規車輛減少
- 確保隧道行車安全減少車輛事故機率與嚇阻交通事故發生
- ◆ 低速車取締
- 改善隧道因龜速車長期假日堵車問題
- ◆ 科技執法取代人力
- 隧道內環境不佳，以科技的方式來彌補人力的不足，來增加雪隧裡面的執法強度
- ◆ 科技執法效力
- 以科學儀器自動照相取締之方式，執法效率比人力高
- ◆ 違規連續影像與錄影影片
- 事發過程紀錄供警察單位調閱，作為後續違規取締偵查的依據及證據，降低民眾申訴案件。

六、結論

目前交通違規舉發及入案全面 e 化作業，以科學儀器取得證據資料並利用科技設

備資源，成為科技執法的一股主流。隨著科技的開發研新，各種數位化執法平台推陳出新，除可節省龐大之設備費用及維護費用，且因系統功能不斷更新、提升，對我國警察工作可發揮事半功倍之效。

雪山隧道執法系統啟用後，民眾擔心塞車會加更嚴重。實際上，自動科技執法系統啟用初期，由於民眾對行駛於隧道路段的交通法規並不熟悉，駛入雪山隧道會因為懼怕被取締而減速，造成車流回堵之現象。只要加強宣導及讓駕駛人明確了解行駛長隧道之取締標準及項目，讓駕駛人依據規定行車，塞車問題應可疏解。

取締只是提高車速紓解塞車的一種手段，由於雪山隧道內之道路條件限制，警察執法技術與交通安全上難以攔車進行舉發違規，而藉由隧道科技執法設備之建置，其違規資料可即時傳訊至公警隊執勤單位，不需要警車停駐現場執法或耗費人力架設照相設備，執勤員警不需長時間停留於隧道內，以減少執勤員警身心的負擔。

此科技執法系統為一新型態之執法系統在未來勢必是不可或缺的做法之一，以疏解塞車、提高行車效率、縮減大量人力資源及維護執勤人員之健康方向長遠來看，於長隧道、高速公路亦或一般道路上均可使用此系統來輔助執法作業，共同守護全國國民之行車安全。◆

參考文獻

1. 內政部警政署國道公路警察局。
2. 交通部高速公路局。
3. 雪山隧道自動化科技執法系統建置委託設計、規劃、監造案細部設計報告及圖說，中興工程顧問公司。
4. 雪山隧道自動化科技執法系統建置案現場單機收集報告、系統測試報告，中興工程顧問公司。

歡迎投稿

- 一、本刊宗旨為配合政府各項國家建設及科技發展政策之推動，報導科技新知，以提昇工程技術及產業競爭力。
- 二、本刊為一綜合性刊物，內容以知識性、報導性及聯誼性為主要取向，包括：電機、通信、土木，機械、化工、材料、運輸、生技、環保及能源等工程領域之新技術、產業資訊、國家建設計畫、工程建設、工程論壇、研討會、工程展覽會、傑出工程人才、本會及各分會會務報導等。
- 三、本刊文體以綜合性、通俗性，且為雅俗共賞、富可讀性為原則，不接受純理論之研究論文。
- 四、本刊文稿以中文為主，撰稿(含圖表)每篇文章請在壹萬字以內。文稿請列「前言」與「結論」，摘要則由作者斟酌，並請提供文稿之「關鍵字」，以利讀者上網搜尋。文章之年代應統一表示，西元年或民國年皆可。圖表請加註說明，並於本文中標示圖號。
- 五、文章如引用參考文獻，應依其出現之次序，排列於文末，並於文內以中括號〔〕附註編號。文獻之書寫方式，依序為作者、期刊或雜誌名稱、期號、卷數、頁數及年份。如屬書本、研討會論文或報告，則應加列出版人及地點，會議名稱及地點，或出版機構名稱及地點。
- 六、來稿請註明作者真實姓名、服務單位、職稱、通訊地址、電子郵件地址、傳真、電話等聯絡方式。
- 七、稿件一律先送專家審閱，通過後依順序發表並薄致稿酬；惟具有時效性之文章及報導，則由總編輯審核後優先刊登，不通過者，恕不退稿。本刊對來稿有修改或刪減權，不願被修改或刪減者請事先聲明。
- 八、來稿應包括原稿一份及 WORD 檔案之光碟片，請寄 105 台北市松山區南京東路五段 171 號 10 樓／研發及資訊部(中國工程師學會出版委員會)收，或 cmhuang@mail.sinotech.com.tw 註明「工程雙月刊稿」即可(黃志民先生 電話：02-2769-8388 轉 11038)。
- 九、來稿一經刊登，版權將歸本學會所有，文責並由作者自負。

當心落石 不長眼 遠離現場才安全

山區行車風險高 注意落石求自保



徵兆1
邊坡岩壁有裂縫或岩石倒懸
代表該路段岩層的垂直節理發達，屬地質不穩定區域。



徵兆2
路側護欄有扭曲變形的痕跡
代表該路段曾發生過落石或坍方情形，屬高風險區域。

徵兆3
路面四處散落不明的小石塊
代表該路段可能剛發生或正在落石，屬嚴禁前進區域。



交通部公路總局
Directorate General of Highways, MOTC

這裡還有最新道路訊息喔！

交通部公路總局全球資訊網 www.thb.gov.tw