誠信·創新·品質·服務

# 中興工程 158

SINOTECH ENGINEERING

1983 年 10 月 創刊 | 2023 年 01 月 出刊 | ISSN 0257-554X

封面故事：談工程產業發展與工程人才培育

從駐外人力管理平台建置－談人力效益最大化

安通行動服務應用異業合作之案例回顧與探討

軌道系統司機員輪班問題之研究

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

高技術、高實用、高品質、高效率 | SINOTECH INC.

工程不只源於需求 更在於生活價值的實現

財團法人中興工程顧問社係以提昇我國工程相關技術水準為宗旨之研發機構，並經行政院國科會評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位。

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
臺北市內湖區新湖二路280號 Tel:886-2-87919198 / Fax:886-2-87912198
http://www.sinotech.org.tw / E-mail:sinotech@sinotech.org.tw

# 土木水利及軌道運輸研究中心

## 部門重要實績

鐵道系統營運規劃、營運機構安全管理系統導入
臺鐵第四代票務系統開發、台灣高鐵營運規劃決策輔助系統
鐵公路業者班表及票務分析

長庚醫療財團法人建物耐震評估檢查申報
明志科技大學結構安全監測系統建立
南科管理局振動干擾分析改善

地理資訊系統於國內外之土木、水利、環保、
道路、城市設施維護、風力發電、工業區等領域之應用

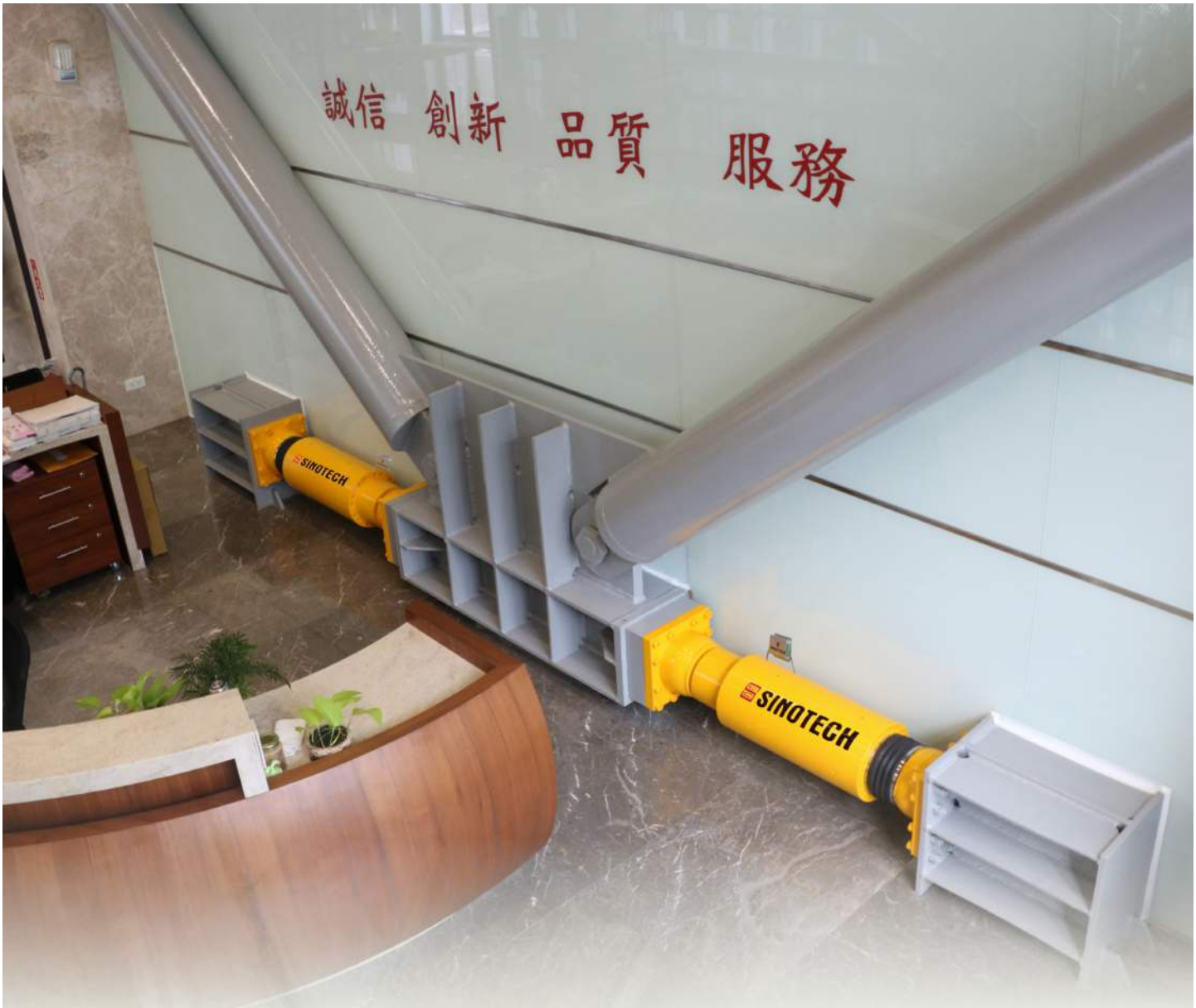
鐵道系統之運轉及安全管理整合技術服務擘劃
公共運輸營運數據整合分析
耐震評估補強、結構安全監測、振動分析防治、耐久性評估
地表水（河川、水庫、河口等）水理、污染質及泥砂傳輸
模擬分析
工程專業領域電子政務、地理資訊、手持式巡查等資訊系統
之研發與開發

## 聯絡資訊

地 址：臺北市內湖區新湖二路280號
電 話：(02) 8791-9198
E-mail : chrc-ctr@sinotech.org.tw

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.




# 防震制振技術研究中心

## 防震設備產品

中興社自主研發「國產液流黏滯阻尼器」及各種防震設備，
以提供優質臺灣製造之產品選擇及技術服務！
從零件加工至組裝品管測試皆採用臺灣在地化生產，
並通過認證合格實驗室的多項性能試驗，以確保產品品質與消費者權益。

- 液流黏滯阻尼器(FVD) FLUID VISCOUS DAMPER
- 位移型消能斜撐(SDB) STEEL DAMPING BRACE
- 地震力分散裝置(STU) SHOCK TRANSMISSION UNIT
- 效能監測系統(EMS) EFFICIENCY MONITORING SYSTEM
- 鋼板制震壁(SDW) STEEL DAMPING WALL
- 防震力學試驗室(SML) LABORATORY FOR VIBRATION

## 專業服務

**防震設備研製**
新型消能元件研發
設備隔震技術研發
各類消能元件性能試驗

**國防減振研製**
高科技減振機械研發客製
國防減振測試方法開發

**監測系統技服**
工程智慧監測系統
防震效能監測系統
智慧綠電儲能微電網系統

**振控設計技服**
防震系統規劃設計
高鐵防震/減振工程
設施隔震設計規劃

## 聯絡資訊

A 114065 臺北市內湖區新湖二路280號
W www.sinotech.org.tw
T (02)8791-9198#171 F (02)8792-3070
E ast-proj@sinotech.org.tw

誠信・創新・品質・服務

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

防震制振

# 環境工程研究中心

## 重要實績

事業廢水特性調查及管理評估
公共污水處理廠評鑑與永續營運管理
污染土地再利用政策與制度架構建立
廢家電回收管理與影像辨識技術開發
海洋污染防治法規及品質標準研修
微量新興污染物方法開發與應用
溫室氣體盤查及量測分析

提供高品質的研究服務和發展先進的環保技術，針對廢污水處理及再生、污染土地活化、廢棄物減量與循環經濟、淨零碳排等領域進行研究；所屬環境實驗室為環保署認可實驗室，取得水質水量、地下水、土壤及底泥等兩百餘項認證

## 聯絡資訊


**11494 臺北市內湖區新湖二路 280 號 6 樓**

**電話：*02-8791-9198* 傳真：*02-2791-8858***

***Email：eerc-ctr@sinotech.org.tw***

***https://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr***

誠信 創新 品質 服務

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

「跨山渡河無畏懼，探深納淺我都行！
橫向東西縱南北，惟有中興深地質！」

我們是一群擁有十年以上山區及平原區地下水資源調查經驗的探勘者，也是觀遍全台崩塌地影像的鑑識家，未來將整合創新科技ABCD*，邁向深地質科技跨領域結合研究!
* A (Artificial Intelligence), B (Big data), C (Cloud computing), D (Domain Knowledge)

# 深地質研究
## 專案計畫

### 部門重要實績

臺灣山區及平原補注敏感區之地下水資源調查研究
區域地質描述模型建置及評估模式應用
山崩巨量資料應用及智慧動態山崩模式發展
潛在大規模崩塌調查、監測及規劃

### 聯絡資訊

114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198　傳真：(02)8791-1536
Email：agr-proj@sinotech.org.tw

### 專業服務內容

**I. 進階型孔內水文地質調查**
高精度地下水流速 / 深層水化學特性調查 / 單(跨)孔示蹤劑試驗

**II. 智慧崩塌地(坡地)調查分析技術**
空拍影像之PIV分析 / UAV露頭調查及位態分析
多尺度地球物理 / 地球化學觀測系統整合規劃
智慧山崩目錄判釋與檢核技術

**III. 數值模式分析**
裂隙岩體之複合DFN-EPM模型建立與分析
地球科學領域之場址描述模型建置

**IV. 高階岩石力學試驗** (Carried out by **MTS Model 815 System**)
高強度(460T)單壓試驗 / 高圍壓(80MPa) 三軸試驗

誠信　創新　品質　服務

財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

廣告

# 中興工程
SINOTECH ENGINEERING

第 158 期　2023 年 1 月　出刊

- 創刊日期 / 中華民國 72 年 10 月
- 行政院新聞局登記局版臺誌字第 03793 號
- 中華郵政登記執照北臺字第 1023 號
- 發行人 / 曾參寶
- 編審小組
  - ・委　員 / 張國揚　黃崇仁　蔡文豪　孫世勤　周頌安　冀樹勇　鍾志成
  - ・召集人 / 游麗慧
- ISSN / 0257-554X
- 出版者 / 財團法人中興工程顧問社
- 社址 / 114065 臺北市內湖區新湖二路 280 號
- 電話 / （02）8791-9198
- 傳真 / （02）8791-2198
- 電子信箱 / adm-dpt@sinotech.org.tw
- 網址 / www.sinotech.org.tw
- 印刷 / 鴻友印前數位整合股份有限公司


※ 本刊圖文未經同意不得轉載 ※

## 徵　稿　簡　則

一、本刊歡迎有關水利、電力、地工、環工、都市計劃、交通運輸、生態工法及其他土木工程之論著、譯述、專題研究、新技、新知及報導等學術性文稿，請投稿至「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄，來稿請加註中、英文篇名、摘要及關鍵字。

二、有關介紹工程之遊記、工程界人物軼事等報導性文稿之文體應力求輕鬆活潑，請投稿至「工程窗外」專欄，惟此專欄僅接受中興工程集團之現職或退休同仁投稿。

三、來稿請附「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」並連同文稿電子檔（.doc）E-mail 至 adm-dpt@sinotech.org.tw，撰寫時請參考「文稿格式範本」及「英文摘要範本」（上述表單及範本請至本社網站 www.sinotech.org.tw 下載，或洽本社行政處提供）。

四、「工程窗外」文稿以 5,000 字為限；「工程技術」及「案例／計畫報導」文稿以排印後 8 頁（約 8,500 字）為原則。

五、本刊所有度量衡單位請採用 SI 國際單位。

六、來稿文責由作者自負，請勿侵害他人智慧財產權或違反其他法律規定。來稿如引用他人論文或著述，務請註明其出處，並儘可能依序將原作者姓名、出版年份（加小括弧）、引用文獻名稱、書刊名稱、卷號、期別、頁次等在參考文獻中註明。所附圖表或照片等須為作者自行創作，或取得原創者授權刊登使用。

七、本刊稿件之審查係由編審小組送請學者專家評審，審查通過後方具刊登資格，惟本刊編審小組保有最終刊登與否之權力。

八、來稿經刊載後將發給稿酬，其著作財產權即為本社所有；本刊對來稿有增刪權。不用稿件，恕不退還。

九、本刊每年刊印四期，逢一、四、七、十月出版，如蒙來稿請於出版前六個月送交本社行政處中興工程季刊編審小組。

註：本刊經行政院公共工程委員會名列為水利工程、土木工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、機械工程、冷凍空調工程、電機工程、電子工程、資訊、工業工程、水土保持、應用地質、交通工程等科技師執業執照換發辦法內之「國內外專業期刊」，歡迎踴躍投稿，兼可取得換發執業執照所需積分。作者只需於申請技師訓練積分審查時附上「中興工程」季刊目錄及文稿（前開工程類相關文稿）影印本作為證明，經該會審核確認後，每篇文稿即可獲得六十分，作者兩人以上者，平均分配得分。

# 中 興 工 程 第 158 期 目 錄

## 封　面　故　事


談工程產業發展與工程人才培育—訪台大土木系謝尚賢教授.....中興工程編審小組.....3


## 工　程　技　術


主動式鑽井洩氣工法用於降低地層可燃性氣體濃度之技術開發.....

.....蕭富元・蔡政憲・汪世輝.....11

如何維持列車安全營運下更換導電軌.....

.....陳珈祐・周祖德・陳銘豐・曾啟鵬・余遠添・林根勝.....23

彈藥庫設計解說.....王定國.....35

原鄉部落坡地災害潛勢評估—跨時空情資整合.....

.....李璟芳・藍振維・林士淵・林玉菁・蘇文瑞.....45

國內外鐵路行車事故定義回顧.....徐任宏・林杜寰・孫千山.....55

從駐外人力管理平台建置—談人力效益最大化.....林芳輝・張建信・何祖皜・蔡宗翰.....69

捷運規劃階段之營運成本估算初探.....張晏瑜・周易陵・陳則銘.....79

應用無線通訊技術於水土保持設施巡查.....林伯勳・許振崑・牟彥蓁・陳俊愷・賴承農.....87


## 案 例 / 計 畫 報 導


交通行動服務應用異業合作之案例回顧與探討.....

.....張和盛・李崑育・胡仲瑋・林良泰・吳東凌・呂思慧・王瑋瑤・葉　曜.....97

捷運三鶯線電聯車出廠前品質查證.....

.....李政安・魏德輝・林冠成・蕭仁維・賈逸斌・陳鵬宇.....107


## 研 發 成 果 介 紹


軌道系統司機員輪班問題之研究.....陳桂豪・鍾志成・韓復華.....117

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 談工程產業發展與工程人才培育
# —訪台大土木系謝尚賢教授

中興工程編審小組

近年來國內工程界有一個共同的問題，就是找不到人！不論是工程顧問公司或是營造廠，大家都在搶人。為什麼開出的職缺一直補不足，是少子化的結果，還是工程專業的畢業生被其他行業吸引過去了？

中興工程的編輯團隊特地前往國立臺灣大學拜訪土木系剛卸任的主任謝尚賢教授，希望了解在學校培育工程人才方面的現況，以及產業界應如何接軌；業界不僅僅是要求才，還要能育才及留才，才能將工程系所的畢業生留在營建產業，不致因人力斷層影響到國家工程建設及產業發展。

**提問：**

謝教授擔任台大土木系系主任多年，可否分享台大土木系目前在工程教育之特色與縮短學用落差之努力？

**回應：**

臺大土木非常重視教學，尤其是由虞兆中校長開始所建立起的傳承，因此持續有進行課程及教學方面的討論；我記得當年我回國進入臺大擔任教職，那時剛開始一波的課程改革，尤其是針對高年級的課程，將一些必修課鬆綁，接著產生了現在稱為『學群』的概念，讓學生選課有一些彈性。同時我們組成了課程委員會，針對系上的課程進行改革及規劃，而且持續檢討調整及改善。課程的調整不僅是針對授課老師的安排，也是針對學生的需要。尤其是早年大一生的課程中，除了土木工程概論外，幾乎沒有任何土木系的專屬課程，也因此讓新生對土木沒有歸屬感。因此在2000年左右時，我們重新規劃了土木工程概論，

我們挑選四個領域的案例，包括建築領域的雪梨歌劇院、交通領域的高速鐵路、水利領域的員山子分洪及結構領域的舊金山大橋等建設；透過分組討論，將被動的聽課轉化成師生互動及動手實作，讓大一新生有機會思考究竟土木工程是要學

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



些甚麼。這門課程成功改革後，現在是要求學生能思考，自己尋找案例來實作，例如有一年曾經要求學生巡視校園的環境及活動，挑選其中的兩棟建築物並設計一座空橋連接起來。為了完成這個目標，我們還將需要用到的測量學及圖學等課程改到大一來教授。大一下的學期還接續土木工程概念設計的成果，開設了實作的課程，讓學生動手，例如將空橋建成數位的 3D 模型，並用水刀切割鋁板來進行組裝。跟以往的課程相比較，過去比較偏向理論講解及抽象思考，但這對許多想動手的工科學生來說並不符合心中的預期，因此有些學生就會想轉換到其他領域。我們將課程改革後，同時強調思考及動手實作，讓學生不只是被動的學習知識，更能了解所學及所用，某種程度能達到縮短學用之間落差的效果。

謝尚賢教授接受本刊專訪

近年來教育部也認知高等教育課程需要改革，因此開始推動「新工程教育方法實驗計畫」，鼓勵大學的工程學系去重新思考、設計新的課程架構，以真實世界的工程問題將必修課程串聯起來，讓學生瞭解學習的目的，以激發學生的學習熱情。臺大土木也重新檢討課程的安排及目標，作了一個全部課群的調整，在大一階段發展出兩個課群，到大四階段發展出大地水利交通結構等四個課群，作為工程方面的基石（Corner Stone）及要石（Key Stone）課程。此外，除了課堂授課外，我們也積極努力縮短學用落差，包括尋找適合的在建工程作為案例，讓學生能應用於實作，例如桃園捷運綠線等工程；這樣的特色就是實作與理論盡量結合，當教師帶領實作的同時，也會說明使用到的理論基礎，讓學生明白所學到理論在實務上有哪些應用。

此外，我們還檢討了學生暑期實習的辦理方式，以更進一步的縮短學用落差。過去的實習往往只是跟產業取得實習名額，再安排有意願的學生前往，讓雙方有一個媒合的機會。只是這樣的實習方式，對教學帶來的效益並不明顯，因此我們作了調整，每年會針對有意願實習的學生特別開設一門課程，先在課堂教導學生對於實習應有的認識與心態，例如撰寫履歷、選擇實習機構、面試及職場文化、回饋實習經驗等。不少學生表

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



示在實習之後才瞭解到實務工作需要的知識與能力，也發現自己所學不足之處，在日後選課與就業方面就更清楚自己的需要。

另外就是近年來科技的進步太快，學校的教育根本上是因應不及。這不僅是發生在臺灣，全球皆是如此。因此，學校的方向需要調整，我們要傳遞的內容不再只是知識，更需要傳授的是能力。如何培養學生應有的能力才是重點。這裡所謂的能力，不僅是學習的能力，還包括跨領域交流與合作的能力，因為業界所遭遇的問題，往往不會是單一領域的問題。以學校課程而言，不能只教授知識，而是要培養學生解決問題的能力，尤其是針對跨領域的問題。例如以目前很常見的學生競賽活動，往往是由有經驗的業界人士出題，由老師帶領學生來解題。而這些題目經常不是單一領域的專業，需要多方面的考慮。因此，解決產學落差問題，不能只靠學術界，也需要業界的投入才行。

**提問：**

近兩年半導體等高科技產業發展蓬勃，吸收了許多電資及工程學院系所畢業生，其中也包括土木系所畢業生。相對地，營建產業就出現了不小的人力缺口。老師可否提供建議，我們應如何吸引更多優秀同學選擇進入營建產業。

**回應：**

現在的年輕人比較有自己的想法。有些人想要安定，不想經常換工作；但是更多的年輕人重視生活的品質，期望能有存在感，創造自己的價值。因此就教育而言，除了要能激發興趣、產生熱忱，最重要的是如何將土木人留在營建這個領域，否則我們培養出來的人才最終並未能為這個產業服務。以土木工程而言，我們需要夠聰明的學生，但是不一定要絕頂聰明，因此臺大土木在招生時，會透過書審等方式了解學生的性向，希望多招收願意以造橋鋪路等建設作為自己志業的學生。這樣的學生進到校園之後，就需要企業的幫忙，不論是透過工程參觀或是實習，讓學生有學到東西，又有實質的回饋，產生興趣與成就，就願意留在這個產業。對求才的企業而言，針對需要的人才，應及早跟學校在教學方面合作，提供實習機會與獎學金，甚至考慮類似早期綁定的策略，不須等學生畢業才開始找人。

另外就是現在土木工程牽涉很廣，其實經常是需要跨領域人才間的共同合作，所以我們現在研究所的招生，也會收到非土木背景的人，例如念法律或生態的人，這些非土木本科專業的學生進入土木所，畢業之後很可能又回到自己的專業，因此我們不能太過本位，我們要幫其他領域的人做培訓，讓其他領域的人了解土木，將來可以跟我們合作。經過這樣的跨領域學習，我們的學生就很多元，發展就很有彈性。

還有就是針對產業發展環境方面，因為現在的環境變動快，企業不能只想著守成，始終一成不變，這會讓某些人才覺得失去動力。企業中要有各式各樣的人才，有認真思考未來的，也有

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



積極動手做實作的，應可針對不同條件的員工設計不同的生涯規劃來吸引人才，例如對不喜歡 Routine 工作的員工，可以指派一些計畫性的工作，對有發展潛力的員工，可以擬訂幹部培訓計畫，讓某些優秀的員工能盡早參與管理方面的工作，了解到工程業務的複雜度，除了一成不變的事務外，要能接觸到一些變化；人才不僅是需要技術及創新方面的人才，管理方面的人才也要盡早培養，否則許多技術出身的工程師雖然熟悉技術，對於管理卻是一竅不通。國內目前許多產業，如金融業，在人才培養方面都開始朝這個方向努力，值得我們效法。企業要將人資當成公司的重要業務，要能做人力的布局，尤其對於公司未來三到五年的人才缺口要能預見並積極作規劃處理。決戰不是在現在，而是在未來。但是人力的規劃要長期經營，要能感動員工，才能找到人才並且將人才留下來。

**提問：**

近年來網路技術發達，資源也相當豐富多元，例如有許多的線上課程及網路教學。謝教授也在網路上開設一些課程，包括台大開放式課程 Open Courseware 一系列的 BIM 課程，還有 Coursera 上的 BIM 基礎及應用等課程。您覺得企業應該如何善用網路來鼓勵員工進修及學習？

**回應：**

線上教學有一個好處是可以做到非同步教學，對於不同程度的人而言都可以滿足所需要的學習步調，例如有的人需要反覆仔細觀看才能了解課程內容，有些人學習速度很快，甚至已經熟悉教學的內容，在這一方面採用 E-Learning 就可以做到適才適性，得到傳統演講式教學方式無法獲得的好處。因此就學校而言，線上教學可以發揮很不錯的效果，也就是可以做到真正的因材施教。企業當然也可以採用線上學習的方式來教育員工，因為畢竟學校教育不可能什麼都教，許多的技能是到了業界之後才去養成的。尤其現在大學的課程有大幅的調整及鬆綁，必修課程也減少許多，因此畢業生進到職場後，持續學習是有必要的。企業也必須負起教育工程師的責任，線上教學就是一個很好的方式。

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



除了個人的自主學習，企業還需要鼓勵形成團隊，因為許多想法是經過討論，慢慢累積而激發出來的。企業應營造一個環境，讓員工自己選擇適合的學習及溝通模式，主要是能相互交流，這是企業文化的塑造。團隊可以是跨部門、跨專業，未來有需要組成團隊時，才不致於手忙腳亂。而這樣的團隊組成，也是可以透過網路來號召。以台大為例，今年有資工系的學生組隊參加一項國際競賽，成員就是透過網路號召來的。企業在人員培訓及團隊溝通方面應可以善用資訊科技，將會發揮不錯的效果。

**提問：**

這幾年許多產業都在推數位轉型，如金融業的 Fintech、製造業的工業 4.0，甚至農業方面都提出智慧農業，老師對於營建業的數位轉型有甚麼看法？

**回應：**

有一個因素加速了各行各業的數位轉型，就是 Covid-19；疫情的影響，使得許多產業不得不採用數位工具並進行轉型。此外還有另一個拉力，就是永續，例如因應氣候變遷的影響，需要有所作為，數位轉型是躲不掉的。大家對於數位轉型的目標是有共識的，問題在於怎麼做。首先，各企業目前對於推動數位轉型，很關鍵的條件大概都是要先得到高階主管的支持，也就是說，數位轉型的推動不能只是 Button-Up，也是需要 Top-Down。在高層的支持下，企業需要思考策略，因為何時推動、推動到甚麼程度，都需要規劃。再來就是要有所謂的 Champion，要有成功案例，才能宣傳擴散。讓這些 Champion 能發揮影響力。

推動數位轉型，還有一個因素要思考，就是人員。以往解決問題的模式是將問題切割，交給不同專業去解決，因此個別專業都是沒問題的，但是會發現橫向溝通及整合上就常會遭遇困難。這也是數位轉型需要面對的最大問題，也就是人員的心態。如何打破僵化的穀倉文化，才是數位轉型成功的關鍵。

至於營建產業的數位轉型為什麼相對困難，就是因我們營建業的分工太過破碎，也就是介面相當多，整合上不容易。反觀其他產業如製造業，有很好的生產線及供應鏈管理，就比較可做到標準化及整合。因為營建業推動數位轉型的難度很高，效益也不容易顯現，於是許多廠商就保持觀望心態裹足不前。我認為解決方式之一，要做跨領域整合，針對複雜的工程，不僅要能將工作切割分工出去，而且要能整合成果，才能有利數位轉型。

**提問：**

老師跟中興工程在過去及現在都有許多往來及合作項目，您覺得中興工程的表現如何？ 有甚麼不足處，應朝甚麼方向做改進。

**回應：**

中興工程在許多方面都表現很亮眼，尤其在數位轉型方面，有高層主管明確的支持，也有 Champion，要去想的是如何擴散。這方面可以思

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



考透過建立制度的方式來推動。只是制度是文化的形成，不能訂的太僵硬，需要有彈性，才能因應變化來隨時調整。至於制度無法滿足的時候，或許可循內部創業模式，以鼓勵同仁提出創意，這些手段及方式都是可以考慮的。

至於未來的發展方向，以中興工程現在的經驗及能力，應該可以作為國家在工程方面的智庫。就長期而言，我認為中興工程應就發展方向做思考，例如是否維持現行架構、或是成立子公司以保持成長創新、或是參考中鼎模式，走向民營化以提升國際競爭力等等。

**提問：**

您認為政府機關及營建產業應如何持續推動數位轉型，例如 BIM，我們何有需要修正或加強之處，願景為何？

**回應：**

營建業的許多轉變，例如 BIM 的提倡，其實是由歐洲發跡的。因為歐洲是比較有系統的在做調整，尤其是因為歐洲有為數不少的小國家，許多事情由政府主導，因此民眾相信政府，願意讓政府對未來發展做資源分配，以便享有較好的社會福利。早期臺灣的發展是比較接近美國的體系，或是會去參考鄰近的新加坡。只是新加坡畢竟是一個城市國家，跟我們還是有差別；而美國是一個聯邦，相對於歐洲國家，美國是比較傾向於自由市場，不會訂出許多的國家規定來做限制，而是開放民間自動自發及自主管理。我們現在可以說是介於歐洲跟美國之間的 in-between，也就是政府會有一些宣示，但之後的執行又希望民間會自動跟上，並不像歐洲國家會持續加強力道並提出配套辦法，例如對數位轉型有補助措施。我認為我們政府在數位轉型方面可以多跟歐洲學習，尤其是在這方面有許多 soft-landing 做法的英國，而不是學美國。

以營建產業來說，我們需要對數位轉型的發展做評估，究竟需要有多少人力來提昇到下一個層次，以及需要準備多少的資源以吸引這些人力的投入。當這些人力提升之後，國家在營建產業的水準自然就提升了。對於沒能跟上的廠商，就交給市場機制去汰弱留強。這一方面的轉變，需

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/



要達到一定的量，才能達到改變現狀的目的，以力學比喻，也就是要達到一定的 critical mass。至於要有多少量，應該要有一個評估。至於評估的工作，政府可以交由這方面的智庫來做，像是民間的法人團體如中興工程顧問社等單位。以歐洲為例，政府跟民間彼此信任，因此許多我們以為是政府的責任，例如核發專業證照等工作，都由政府委託民間單位如公協會來辦理，也就是賦權給民間，這些民間的公協會也會認真執行，維持一定的公信力。這一方面的公私協力，也是我們政府可以考慮的採行方式，不一定全部工作都要靠政府來完成，而且這種合作模式也有過不少前例。像是我國結構耐震規範的修定，就是由國家地震中心這樣的團體先完成了大部分的草案，再提請政府單位做最後的審查核定及發布實施。

因此，不論是推動淨零碳排或是數位轉型，都可以考慮採行這個模式，當民間覺得這是很重要的工作時，必須由民間團體自己先做，先投入資源做出一定的成果，再吸引政府參與並取得信任，讓政府作為一個投資人，在雙贏的目標下，雙方共享成果才能完成。

在對政府的溝通方面，因為營建產業對應的部會相當多，包括工程會、營建署、經濟部、交通部等，因此找任何一位部長都很難達成上述目標，我的建議是找負責橫向協調的行政院政務委員，由業界集合公學協會的力量對政府提出建言，透過政委穿針引線，才能跨部會解決問題。

**提問：**

疫情這幾年來，許多國際交流活動都被迫中斷。近期解封之後，您曾前往許多地區參訪，可否提一下您看到其他國家這幾年來的改變，有甚麼是值得我們參考的。

**回應：**

我覺得全世界都在進步。在幾個國家走一遍，會覺得人民活力、社會文化、基礎建設等等，都持續在進步，國家實力仍然強勁。以巴黎的地鐵為例，因為興建年代不同，有比較新的建設但有些則相當老舊，例如有些車門要人工按鈕開啟、有些是能自動開啟；但整體的民眾活動仍然旺盛。在社會秩序方面、信任制度等，都相當井然有序，儼然已經由疫情的影響中恢復。當然也發現有一些改變，例如歐美有些人在疫情期間已習慣在家工作，疫後對於要進到辦公室上班就有些抗拒。在營建產業方面，國外也面臨缺工問題，所以也在發展一些自動化技術，希望能減少對人力的依賴。人力短缺問題也是我們需要面對的問題，台灣除了少子化，尤其是因為 Covid 的關係造成缺工，未來三到五年如何因應，是大家需要面對的。最近聽說有一些中小型的營造廠往台灣的中南部發展，主要也是因為北部地區的工人不好找，只好往中南部移動。未來解封之後，缺工的問題仍然會存在，營建業應朝自動化及智慧化的方向去思考，盡快去做調整及適應。

除了人力問題受到重視，永續議題及綠色經濟的呼聲正紅，例如對循環經濟的提倡，會翻轉現在的作業模式。以紡織業為例，咖啡渣過去只是被當成廢棄物丟棄，現在發現可以用於再生布料的製程中，因此咖啡渣不再是廢棄物，而是可以賣錢的東西。由這個案例可以認知，循環經濟已經不是單一議題，大家開始做跨域的整合。營建業也是，過去我們認為營建廢棄物是沒有用的東西，如何善用營建產生的廢棄物是一個重要的議題。以混凝土為例，國外已有研究將碳打回混凝土中使用，達到固碳的效果，以降低混凝土的碳排量。這方面的材料科學進展很快，尤其是對節能減碳的應用，將對營建業產生不小的影響。未來五年到十年，我們要多加注意這方面的變化，以追上國際的腳步。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 3-10
http://www.sinotech.org.tw/journal/

謝尚賢教授與黃崇仁執行副總經理合影

左至右：陳正忠經理、黃志民協理、黃崇仁執行副總經理、謝尚賢教授、周頌安總工程師、賴建名協理

## 謝尚賢

國立臺灣大學土木工程學系　教授

謝尚賢博士，現為國立臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程組教授，兼工程資訊模擬與管理研究中心（簡稱 BIM 研究中心）主任。曾任國立臺灣大學土木工程學系主任與副主任、國際事務處副國際長、及學生事務處課外活動指導組組長。謝博士曾長期擔任國際土木與建築工程計算學會（International Society for Computing in Civil and Building Engineering）的理事，並曾擔任該學會之理事長。他也是亞洲土木工程資訊學群（Asian Group for Civil Engineering Informatics) 及營建工程與專案管理國際協會（International Consortium of Construction Engineering and Project Management ) 的現任理事。於 2021 年獲選為俄羅斯國際工程院之通訊院士（Associate Member of the Russian International Academy of Engineering）。

謝博士的研究興趣廣泛，主要在新興科技於土木工程上之整合應用，包括：工程智慧模擬、工程資訊與知識管理系統、永續智慧城市、跨領域創新工程教育等。近年來致力於以 BIM（Building Information Modeling）帶動營建產業數位轉型以因應永續發展與淨零碳排之相關研究，及跨領域教師發展與人才培育之推動工作。他於 1985 年取得國立臺灣大學土木工程學系的學士學位，於 1990 年及 1993 年分別取得美國康乃爾大學土木與環境工程學系的碩士與博士學位，接著於美國普渡大學從事博士後研究兩年後回到臺灣服務。

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
中興工程・第158期・2023年1月・PP. 11-21
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 主動式鑽井洩氣工法用於降低地層可燃性氣體濃度之技術開發

蕭富元 *　蔡政憲 **　汪世輝 ***

## 摘　要

隧道施工遭遇可燃性氣體，在隧道侷限空間低濃度下即有爆炸的風險。目前常用的施工對策，包括通風稀釋、止氣灌漿、豎井排氣等，基本上均係待氣體入滲隧道內後，再被動採取相關因應作為。被動式作為倘若遭遇大量氣體突出時，可能有來不及因應風險。本文提出主動式鑽井洩氣工法構思與技術發展介紹，並以實際工程應用與成效檢討。鑽井洩氣係在隧道沿線主要的產氣地層設置洩氣井，藉由高性能抽氣設備，預先排除地層中的可燃性氣體，降低隧道開挖遭遇高濃度可燃性氣體突出風險，配合足量通風、仰拱閉合及施工管理等手段，可建構可燃性氣體地盤之隧道施工主動式對策，降低氣爆風險發生。

關鍵字：可燃性氣體、洩氣井、主動式對策、氣爆風險

## 一、前　言

地層中蘊藏多種可燃性氣體，例如甲烷（$CH_4$），乙烷（$C_2H_6$）、丙烷（$C_3H_8$）、丁烷（$C_4H_{10}$）等，主要係源自於埋存在地下的各種有機物，經由生化作用及地層長期高溫高壓所形成。甲烷是地層中最常見的可燃性氣體，在油氣中的含量超過 70％以上，而煤層氣中的含量更高達 80~90％。甲烷為無色、無味且無臭的氣體，其比重較空氣輕，僅約 0.55，密度約 0.679g/l，燃點約攝氏 537 度，濃度在 5~15.4％時如遇火源，並有適量氧氣時將會產生爆炸（如圖 1）。而當濃度 9％時，爆炸力最強，每立方公尺約可產生 9,500 千卡的熱值，爆炸時產生的高溫（約 2000 ºC）及強大壓力（7 kg/cm$^2$）與爆風，使爆炸中心呈真空狀態。隧道如發生氣爆，除爆炸瞬間的高溫與高壓外，爆炸後的強烈迴流風吹入隧道內，將造成施工機具設備損壞，亦將危及作業人員安全。由於油氣類的可燃性氣體中除甲烷之外，亦含有微量的乙烷、丙烷、丁烷等，而乙烷、丙烷、丁烷等氣體的爆炸濃度下限大致約在 2 ～ 3％之間，因此油氣類可燃性氣體的實際爆炸濃度下限多較 5％略低（Doyle, 2001）。此外若隧道內空氣含氧量不足時，甲烷的不完全燃燒，將產生對人體有害的一氧化碳（CO）及缺氧狀態，威脅作業人員安全與健康。

*　中興工程顧問社大地工程研究中心地工維安組組長
**　中興工程顧問社大地工程研究中心正工程師
***　利德工程股份有限公司經理

臺灣西部麓山帶有許多油氣蘊藏（如圖 2），然臺灣儲氣砂岩厚度較薄，且受斷層及次生裂隙影響下，導致油氣構造規模通常較小，在歷經百餘年開採後，多已不具經濟生產價值。但隧道開挖通過蘊藏氣體地層時，可燃性氣體入滲隧道內侷限空間內，仍可能有隧道氣爆風險。臺灣過去已有數起隧道施工氣爆案例，例如民國 85 年的鯉魚潭水庫卓蘭電廠頭水隧道氣爆事件及民國 96 年的曾文水庫越域引水西隧道的氣爆事件，均對隧道造成嚴重損害（圖 3）及施工作業人員罹難。

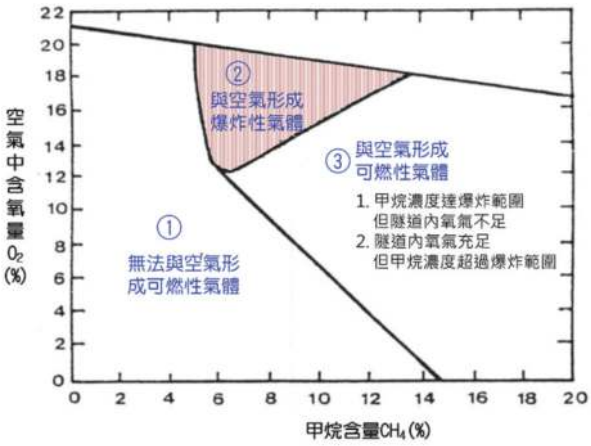



圖 1　甲烷爆炸性和空氣中含氧量關係圖

圖 2　臺灣油氣構造與隧道工程位置示意圖

（a）開挖面氣爆抽坍

（b）爆風造成停放洞口噴漿機騰空翻覆

圖 3　曾文水庫越域引水隧道氣爆造成損害情形

## 二、現行施工對策檢視

彙整臺灣隧道施工遭遇可燃性氣體的處理對策（侯秉承等，1999；內政部營建署，2000；蕭富元等，2009；李慶龍，2016），常用對策大致

可歸納為：抑制、稀釋與預防三大方向，如圖 4 所示。茲分別說明如下：

（一）抑制：本項對策主要是在可燃性氣體存在或可能影響區段，在隧道內採取各種抑制措施，以阻絕或減緩地層中氣體入滲，具體可採用的工法包括：噴凝土加厚、不施打岩栓、仰拱閉合，氣密噴凝土、噴佈式塗層、襯砌澆築、地層止氣灌漿等。實際對策之選用需視現場狀況，如機具設備、材料供應、施工動線、工期狀況等，規劃使用之。

（二）稀釋：本對策係將隧道內可燃性氣體稀釋或排出洞外，一般最常用的方法係以風機送風或抽氣，將隧道內可燃性氣體濃度稀釋至安全範圍。其中通風管材需具有耐磨擦、耐腐蝕、容易運送及組裝等特點，風管接頭處應避免破洞漏氣發生。長隧道之通風應注意風量可能的損耗與不足問題，可在中間適當位置安裝加壓設備，增強風壓及風量，另考慮設置備用電源，以防止電力突然中斷的影響。

由於可燃性氣體比重較輕，設置通風豎井亦為常被考慮的工法。主要在隧道沿線適當位置開挖豎井，透過自然通風或抽風機將隧道內氣體濃度稀釋並排出洞外。因豎井排氣將會改變隧道內原通風路徑，故通風系統需重新規劃配置，避免局部區段可能因風量未能送達，而有氣體殘留風險。

（三）預防：隧道氣爆發生的三要素為具有可爆炸氣體濃度、足夠氧氣及起爆火源，因此可透過強化施工管理，來預防爆炸風險。例如避免明火進入隧道內、不在隧道內進行火焰切割及電焊作業、使用具防爆或滅焰之機具設施等，並可在隧道內每隔適當距離設置氣體偵測系統，監控隧道內可燃性氣體濃度變化情形。當隧道內可燃性氣體濃度超出警戒值時，立即發出警訊並採取必要應變措施，如加強通風或撤離人員工班等。隧道內工班需配置攜帶式氣體偵測器，隨時偵測可燃性氣體可能滯留區域，例如隧道開挖面、土碴堆積處、抽水馬達開關處、內襯砌鋼模附近等，每組工班在鑽炸作業前後及人員換班前後等時機，需量測掌握工作場所的氣體濃度狀況。

檢視上述諸項對策，大致屬於被動式作為，係於可燃性氣體入滲隧道後，再被動採取相關因應作為，抑制或稀釋入滲氣體濃度。被動式作為倘若遭遇大量氣體突出時，可能會有來不及因應的風險，除有安全疑慮外，亦可能需暫停施工，轉而先進行必要措施，例如持續通風稀釋或止氣灌漿等，直至隧道內氣體濃度降至安全範圍後，方可恢復施工，如此一來，可能導致工期延宕。本文乃提出主動式施工對策，在隧道尚未開挖前，即將地層中的可燃性氣體濃度降低，使隧道開挖時不致遭遇高濃度氣體突出，導致應變不及停工或釀災風險。

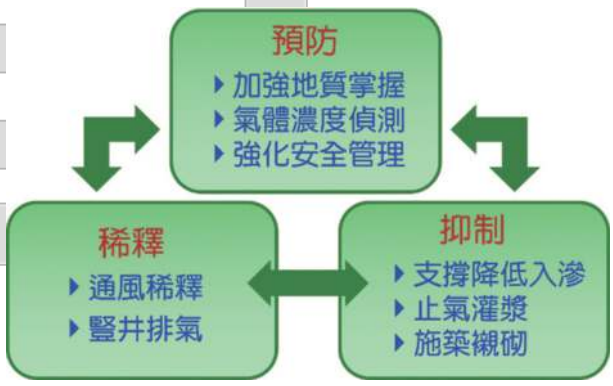



圖 4　隧道施工遭遇可燃性氣體處理對策彙整圖

## 三、鑽井洩氣工法

本文所研發之主動式鑽井洩氣工法，係參考大地工程的點井降水工法架構，在地層蘊藏高濃度可燃性氣體區域設置鑽井，於施工前即鑽井卸除地層中的可燃性氣體，避免開挖時遭遇大量高濃度氣體進入隧道內風險，如圖 5 所示。有關鑽井洩氣與豎井通風（圖 6）兩者之差異比較，彙

整如表 1 所示。通風豎井主要係排除隧道內氣體，將入滲隧道內的可燃性氣體濃度逐步降低，但過程中隧道實際仍暴露於可能氣爆風險下；而鑽井洩氣則是排除地層中氣體，避免或降低高濃度可燃性氣體入滲隧道內，屬於積極主動式作為。

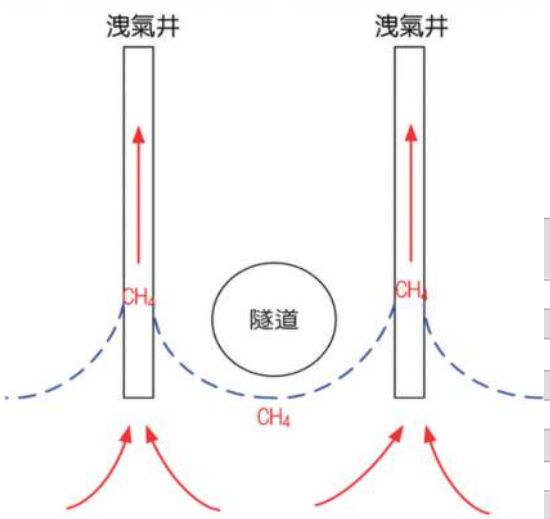



圖 5　鑽井洩除地層可燃性氣體工法示意圖

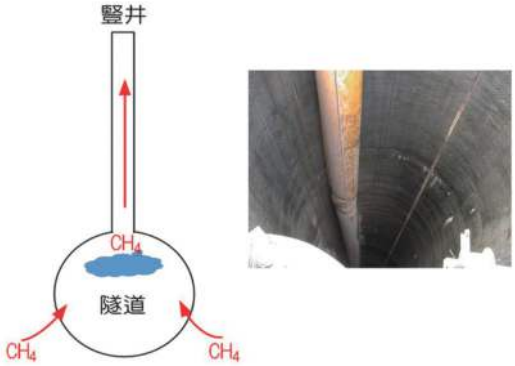



圖 6　豎井通風排氣工法示意圖

表 1　鑽井洩氣與通風豎井差異比較彙整表

| | 經費 | 工期 | 用地取得 | 施工風險 | 原理 |
|---|---|---|---|---|---|
| 通風豎井 | 高 | 長 | 難 | 高 | 排除隧道內氣體 |
| 鑽井洩氣 | 低 | 短 | 易 | 低 | 排除地層中氣體 |

考量山岳隧道沿線地形普遍較為陡峻，且可能無道路可抵達，故本鑽井洩氣工法採用小口徑鑽孔，用地取得相對容易，施工不須搬運大型機具，且可快速施作完成。由於可燃性氣體的比重較輕，鑽井完成後，可自然向上逸散，惟因本工法之鑽井口徑較小，氣體的自然逸散速度可能有所不足，故在井口處再設置高性能抽氣設備，地層中氣體經由已開篩井管進入孔內，透過抽氣使井內處於負壓狀態，加速周圍地層中氣體向井內低壓區快速移棲，提升排氣效果，達到降低地層中氣體濃度目的。此外，由於山區洩氣鑽井設置處，可能無電力設施可資使用，故本研究乃規劃太陽能電源供電系統，以供應高性能抽氣機所需電力，洩氣井設置與運作概念繪製如圖 7 所示。

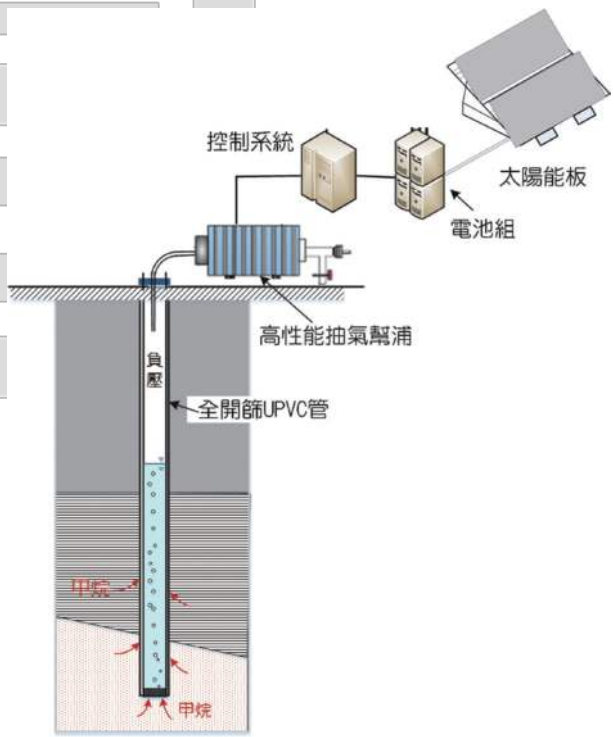



圖 7　洩氣井建置與運作示意圖

地層中氣體的移棲路徑不易精確掌握，洩氣井基本上應設置於可燃性氣體高蘊藏量區，或者鑽井應打穿通過高滲透率地層，故洩氣工法的施

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 11-21
http://www.sinotech.org.tw/journal/



作需搭配詳實的地質調查，研判適當的設置位置與鑽井規劃，並考量隧道施工進度，在隧道開挖到達前，即持續辦理相當時間之抽氣，以達預期效果。

## 四、工程實際應用

本文以遭遇可燃性氣體地層的新烏山嶺引水隧道為例，說明主動式鑽井洩氣工法的實際應用情形，說明如下：

### （一）案例背景

新烏山嶺引水隧道係將曾文水庫的放流水，透過隧道引流至烏山頭水庫蓄存再利用，以建立水資源聯合調度網。烏山頭水庫之既有舊引水隧道通水啟用至今，已逾85年，歷經數次維修補強，惟仍無法完全抑止隧道結構體日漸劣化，且在無法長期停水，進行全線補強加固下，為避免既設之舊引水隧道發生突發性崩壞，導致斷水風險，因此乃於其下游側約 200-400 公尺處，興建一座新引水隧道（即本文案例隧道），如圖 8 所示。

新烏山嶺引水隧道全長約 3.4 公里，穿越阿里山山脈南緣分支，東側為西部麓山帶之山區地形，西側則為低矮的丘陵區，標高約在 400~700 公尺之間。由隧道東口至西口依序經過現代沖積層、鹽水坑頁岩、糖恩山砂岩、六重溪層及崁下寮層。案例區地層除形成山脊線的糖恩山砂岩屬巨厚之緻密砂岩外，其餘地層皆以頁岩或泥岩為主。根據文獻資料顯示，案例隧道位在臺灣南部油氣蘊藏區域，鄰近的牛山背斜及竹頭崎背斜構造均有油氣生產記錄（魏稽生，2000），本文案例隧道位在上述兩處儲油氣構造間，意謂隧道所在位置亦可能有油氣蘊藏。案例隧道沿線所通過之糖恩山砂岩及六重溪層為臺灣西南部的油氣生產層，目前雖可能不具經濟開產價值，但隧道開挖過程中若遭遇油氣入滲，在隧道侷限空間內之低濃度（5-15％）下，倘遇火源並有適量氧氣時即有氣爆風險。根據資料顯示（許勝雄等，2016），鄰近的舊烏山嶺引水隧道在日治時期施工過程中，曾遭遇多達 25 次規模不等的油氣洩出事件，並曾發生 9 次氣爆災害。近期針對鄰近既有舊引水隧道的檢查結果，亦發現隧道內仍有數處持續有氣體突出或油氣外滲情形，顯示案例隧道沿線地層具有高度油氣蘊藏潛勢，在隧道開挖中需辦理必要之對策，以抑制隧道氣爆危害的發生。

### （二）可燃性氣體蘊藏評估

新烏山嶺引水隧道沿線地層的可燃性氣體蘊藏狀況，於 2007~2014 年間執行多個階段的調查（包括初步探查、可行性規劃及基本設計），除文獻資料蒐集及現地踏勘外，亦辦理 21 座鑽孔探查。鑽探時在孔口以手持式氣體偵測器，量測可燃性氣體濃度，鑽探完成後則以 PVC 袋套封孔口收集氣體量測。規劃設計階段曾量測到甲烷氣體之鑽孔位置與量測值彙整如圖 9 所示。其中，位在糖恩山砂岩之 102-BH-02 鑽孔出現相對較高濃度的甲烷氣體（量測值為3000 ppm，即約0.3％），該孔岩性主要為細砂岩夾頁岩，部分區段岩層破碎並夾剪裂泥，孔口回水可見氣泡冒出，拔管後於孔口點火，出現階段性燃燒情形；其餘量測到可燃性甲烷氣體之鑽孔（98-BH-5、102-BH-03、98-BH-4）則分別位於鹽水坑層、糖恩山砂岩剪裂帶及崙後斷層處，惟其量測值極有限（僅約100ppm）。

基本上，規劃基設階段調查所辦理的鑽孔氣體濃度偵測方法甚為簡略，僅可知該鑽孔是否有可燃性氣體溢出，以及全孔的甲烷氣體濃度值，無法得知主要產氣層與可能出氣量資訊，對於隧道施工可燃性氣體處理對策因應助益有限。

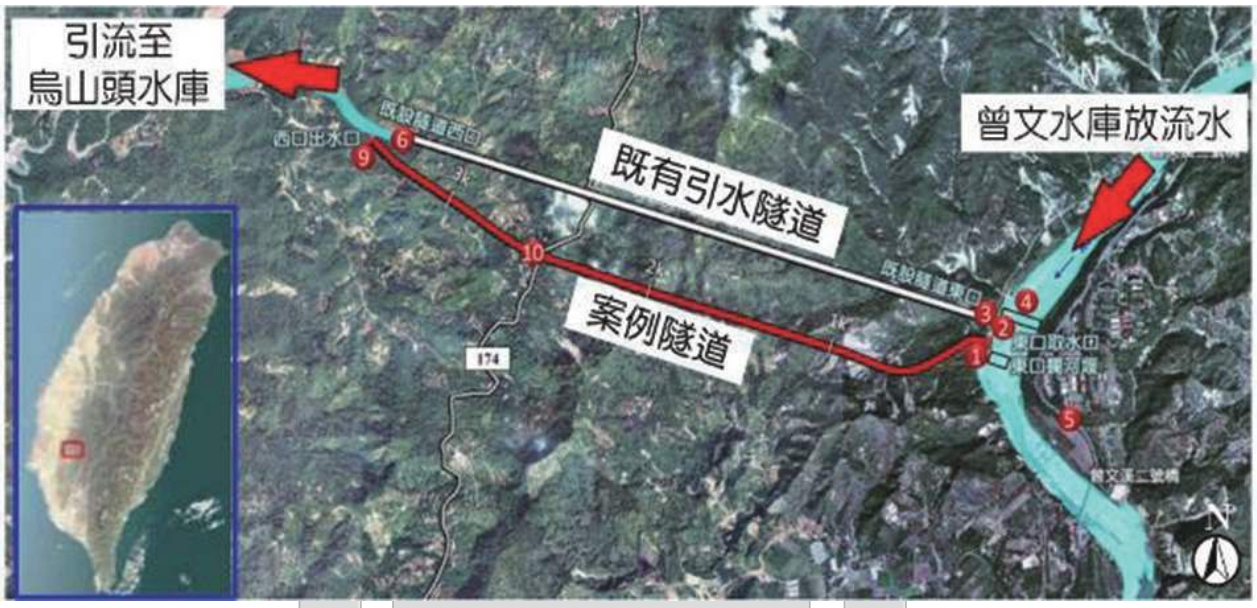



圖 8　新烏山嶺引水隧道平面位置圖

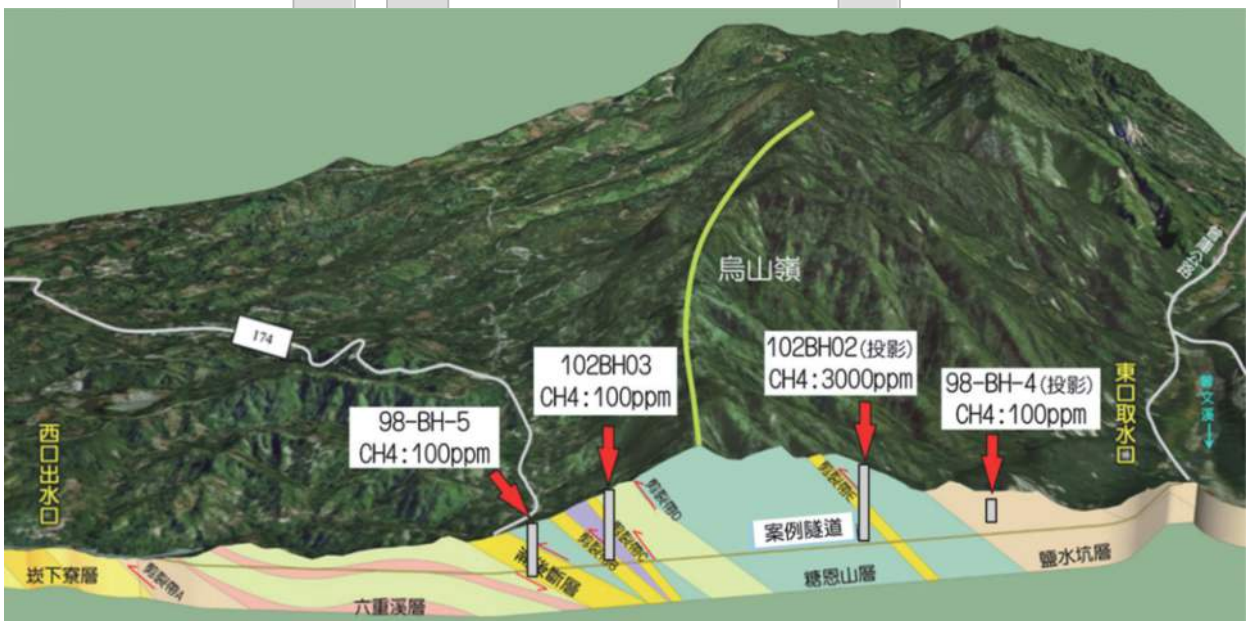



圖 9　新烏山嶺引水隧道於規劃基設階段之可燃性氣體鑽孔探查結果圖

規劃基設階段之定性評估資訊，對於隧道施工遭遇可燃性氣體危害因子的掌握度顯有不足，故本案施工統包廠商（利德公司）乃追加辦理 3 個補充鑽孔，並採用中興社所研發之「地層氣體紅外線光譜檢測系統」（蔡政憲等，2018），探查鑽孔不同深度氣體濃度與地層特性關係。結果顯示：（1）隧道西段的六重溪層亦有可燃性氣體蘊藏，惟濃度有限，可採用通風稀釋方式處理；（2）六重溪層與崙後斷層交界處，因斷層泥具阻氣特性，施工需留意氣體突出風險；（3）崙

後斷層及其東側的糖恩山砂岩（主要岩性為細砂岩及砂頁岩互層）具有高濃度可燃性氣體突出風險，研判瞬間氣體突出濃度甚可能超出 15%，開挖通過砂頁岩互層且裂隙發達時，需特別注意阻氣封閉與裂隙通路所可能造成之瞬間大量高濃度甲烷氣體突出風險，有必要採取特殊因應對策。

成功大學研究團隊根據中油公司的石油地質資料，建構案例隧道沿線地層模型（沈建豪等，2018）。中興社以此模型為架構，進一步彙整 3 座鑽孔之地層氣體紅外線光譜檢測結果，並考量鑽孔量測與隧道實際開挖的尺度效應（Scale effect），提出新烏山嶺引水隧道全線可燃性氣體風險評估，如圖 10 所示。其中，低風險區段之施工推估可能遭遇少量甲烷滲出，需辦理隧道內甲烷濃度偵測，並落實通風稀釋及火源管制；中度風險區段之施工，推估將遭遇濃度約在 0~5%之甲烷，需加強通風稀釋及火源管制，避免局部區域有瓦斯蓄積情形，隧道內除設置固定式氣體偵測系統外，各工班應配置攜帶式氣體偵測器，隨時掌握可燃性氣體濃度狀況，確定工作面處於可施工情形下，方可持續施工；高風險區段之施工，推估將面對高濃度甲烷突出風險，滲出濃度可能超過 5%，除通風稀釋及火源管制等作為外，需辦理必要之輔助措施，以降低大量可燃性氣體持續滲入隧道風險。

### （三）鑽井洩氣規劃與施作

隧道里程 1K+000~1K+900 之糖恩山砂岩及其西側的崙後斷層為氣體突出的高風險段，應辦理輔助措施，故在此區段規劃設置 5 座洩氣井，其編號為 GR-01~GR-05。洩氣井建置考量隧道施工進度，由東至西依序施作，依次為 GR-03、GR-01、GR-02、GR-04 及 GR-05。由於山區既有道路多已毀損，需進行修復，在施作位置限制及地形影響下，GR-01~GR-03 等 3 座洩氣井位置相鄰，GR-01 為垂直鑽井，而 GR-02 及 GR-03 則分別向東及向西傾斜 20 度 45 度，以延伸擴大地層洩氣範圍；另 GR-04 及 GR-05 兩座洩氣井位置亦相鄰，其中 GR-04 為垂直鑽井，GR-05 則向東傾斜約 65 度。各洩氣井位置詳見圖 10。

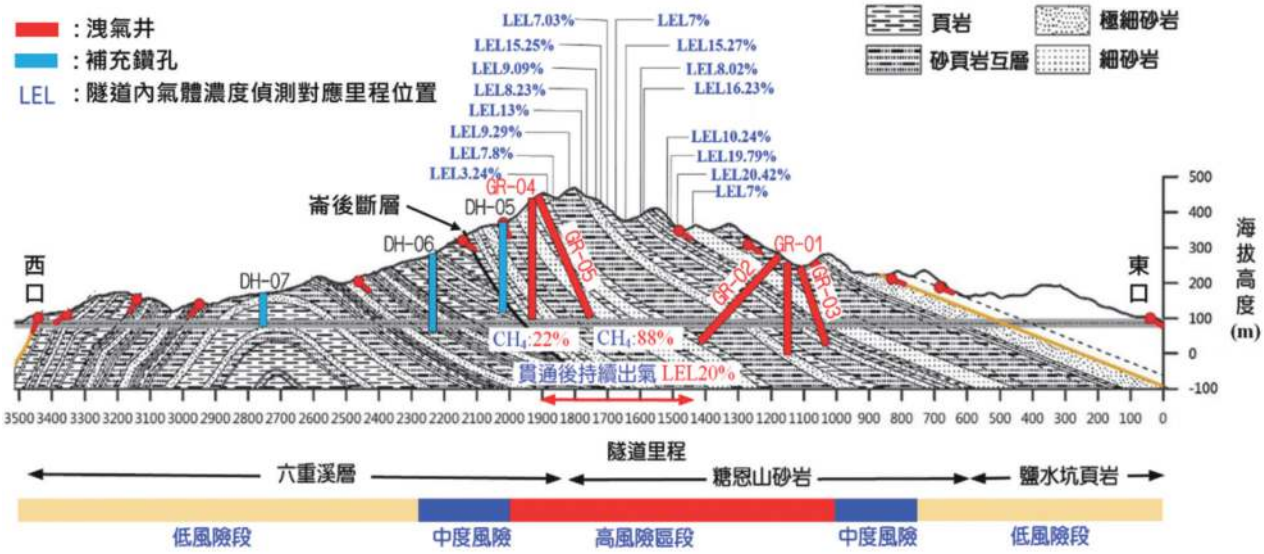



圖 10　新烏山嶺隧道鑽井洩氣施作位置與實際開挖氣體滲出量對照圖

洩氣井的設置工作於 2016 年 11 月啟動，井管採用兩英寸硬 PVC 材質，30 公尺以下為全開篩管。因應山區無電力提供問題，於井口處安裝太陽能電源供應系統，以供應高性能真空抽氣機運轉所需電力，每日固定自動啟動抽氣 3~4 次；另透過閥門轉換設計，在抽氣幫浦未運轉空檔，可以自然排氣方式持續洩除氣體。

由於洩氣井的抽氣系統係首次研發使用，故安裝前先進行各項設備及零組件（包括抽氣幫浦、流量計、充電控制系統、太陽能模組等）組裝測試，在確定整個系統組立可正常運作後，再於井口安裝。考量各洩氣井長期暴露於野外，故在井口處安裝防護箱，以保護抽氣設備及電路系統，保護箱並設置通氣口及風扇，避免保護箱內蓄積過高濃度可燃性氣體，設施完成全景如圖 11 所示。此外，為確認每座洩氣井的抽氣系統可每日定時啟動，乃於地面保護箱內加裝遠端監控系統（圖 12），可透過手機 APP 遠端監控抽氣系統啟動運作情形。2018 年 2 月完成 5 座洩氣井之設置工作，隨後立即啟動運作，確保隧道開挖至井孔位置下方時，各井皆有至少 1.5 個月以上的運轉洩氣時間，以降低隧道開挖遭遇可燃性氣體大量突出風險。

圖 11　洩氣井設置完成後全景

圖 12　保護箱內抽氣設備遠端監控畫面

（四）井內取樣氣體濃度量測

本計畫洩氣井鑽設過程中，持續進行取樣氣體濃度量測，一方面可探查研判主要產氣地層，另一方面可瞭解洩氣井所排出之氣體濃度。其中位於隧道里程 1K+000~1K+400 的洩氣井（GR-01~GR03），在鑽井過程曾測得明顯甲烷氣體濃度，但完井後取樣氣體濃度則大幅降低，僅有微量的甲烷氣體（如圖 13 所示），顯示本區地層中的甲烷氣體已大幅洩除。後續隧道開挖通過本區段時，確實未遭遇甲烷氣體突出問題。

位於里程 1K+950 處的 GR-04 洩氣井，完井後（2017 年 8 月底）採樣分析，發現甲烷氣體濃度高達 457,000ppm（約 45％），為甲烷氣炸濃度下限體積百分比 5％的 9 倍，隨後持續抽氣運轉，2017 年 9 月 ~2018 年 7 月間的取樣濃度雖略為下降，但仍有 206,000ppm~ 373,000ppm；2019 年 4 月間取樣氣體濃度突然劇降至 15.7ppm，查證後發現係因抽氣系統末端有漏氣所致，導致樣品出現誤差。修復後於 2019 年 5 月 ~9 月間氣體採樣濃度再提升至 700,000ppm~850,000ppm（如圖 14），顯示 GR-04 洩氣井持續有甲烷氣體補注，意謂所洩除之地層氣體並非棲止型氣包殘餘氣體，而屬於連通氣型態。2019 年 10 月底隧道襯砌施作完成後，GR-04 洩氣井在同年 10 月及 11 月的採樣氣體檢測濃度呈現大幅降低現象（僅約 33ppm），研判可能因隧道襯砌施築完成後，

鄰近區域地層氣體滲透性降低，地層中甲烷氣體通路改變，氣體主要沿通氣性較高的崙後斷層移棲，GR-04 係垂直向鑽井，氣體向上移棲路徑易受特定通氣地層改變影響，惟確實原因仍需長期觀測及詳細研究方可定論。

最晚施作之 GR-05 洩氣井，鑽井深度至 175m 處測得濃度為 13,100 ppm 之甲烷氣體，完井後（2017 年底）採樣濃度維持在 10,000~20,000 ppm。但 2018 年 3 月 20 日嘉義發生規模 5.2 地震，工區附近有 5 級震度，隨即 GR-05 井內氣體採樣濃度飆升至約 900,000 ppm，並於洩氣井未強制作動抽氣時，井口呈現氣體自流噴出情形，隨後取樣氣體濃度維持在 700,000~900,000 ppm 之間，直至隧道襯砌施築完成後，2019 年底取樣氣體濃度仍有 877,000 ppm，如圖 15 所示。GR-05 洩氣井所穿過地層具有源源不絕的氣體補注來源，研判係因 GR-05 洩氣井的井管向東傾斜，所通過的通氣地層較多且範圍較廣所致。GR-05 洩氣井的啟動提供隧道里程 1K+600~1K+900 區段地層氣體逸出的通路，降低隧道開挖遭遇高濃度甲烷氣體突出風險。

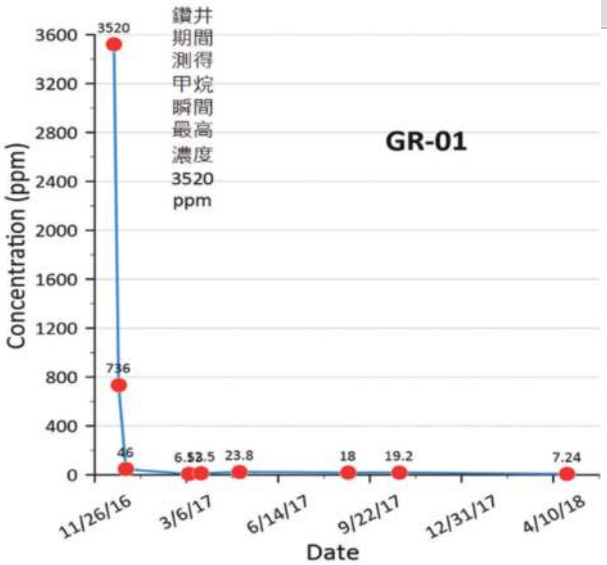



圖 13　GR-01 洩氣井氣體濃度量測結果圖

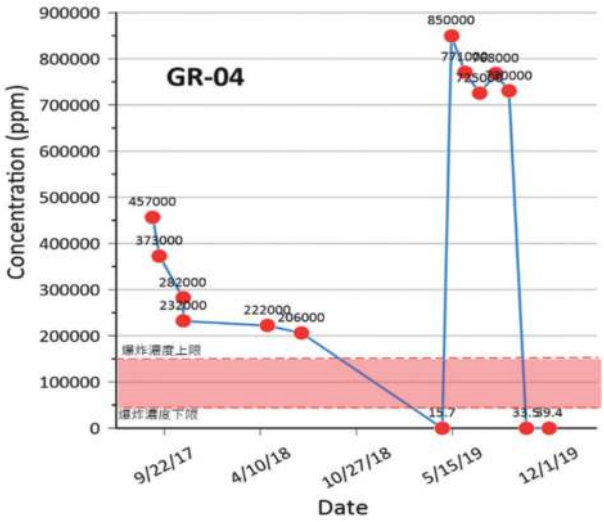



圖 14　GR-04 洩氣井氣體濃度量測結果圖

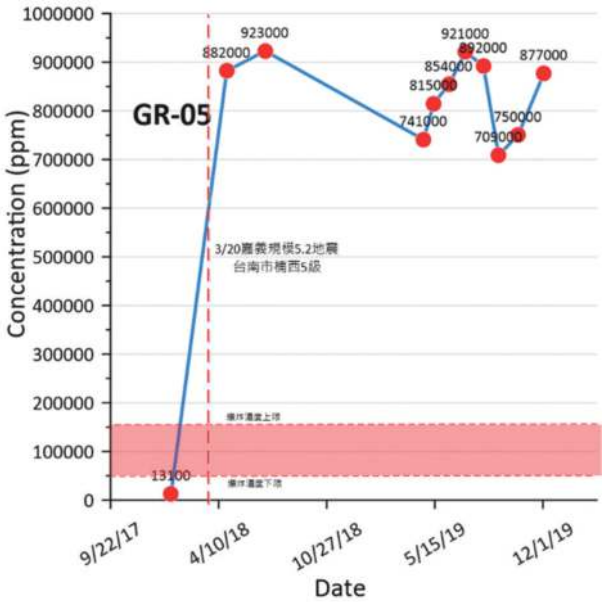



圖 15　GR-05 洩氣井氣體濃度量測結果圖

（五）井口氣體濃度即時偵測

鑽井洩氣工法的技術研發，為能更全面掌握井內氣體濃度變化，除在洩氣井口儀器保護箱內安裝遠端監控系統外，進一步在井口保護箱安裝「半導體熱阻式感測氣體感測器」，全程監控井內逸出氣體濃度變化情形，如圖 16 所示。資料

回傳後，搭配上述手機 APP 之遠端監控系統，可進行必要之抽氣頻率調整，以達最佳化之地層排氣成效。

洩氣井之設置與維護所涉及層面甚廣，天候日照條件亦需列入考慮，本案 2018 年 12 月中下旬時，受冬季太陽照射角度及邊坡上方樹木植生茂密影響，洩氣井太陽能板日照時間略有不足，導致洩氣井電源供應不穩，經過調整電路系統及加裝太陽能板，乃解決冬季日照不足所引發的供電不穩問題。當年 12 月 19 日因供電不穩，洩氣井抽氣系統曾短暫停止運作，僅靠井口自然洩氣，此時已開挖貫通之隧道內固定式氣體偵測器即測得甲烷濃度異常增加情形，而隨後洩氣井恢復正常運作後，隧道內氣體濃度隨即迅速降低，如圖 17 所示，顯示所設置之洩氣井運作對於隧道施工的安全影響，不僅在於隧道開挖過程，同時在隧道貫通後亦持續洩除地層內氣體，有效協助降低隧道內氣體濃度。

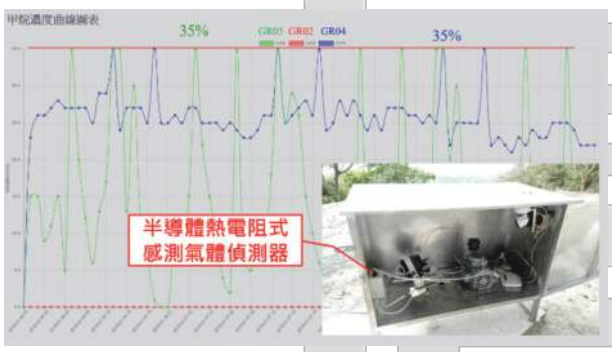



圖 16　半導體熱電阻式氣體感測器與量測示意圖

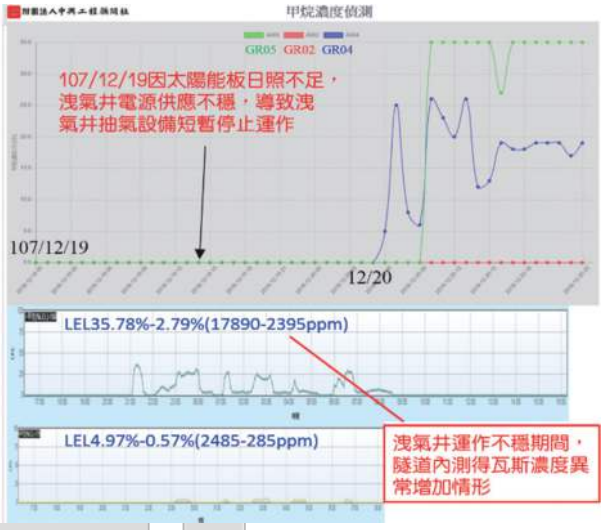



圖 17　隧道內氣體濃度異常增加與洩氣井運作關係圖

## 五、鑽井洩氣成效評估

主動式鑽井洩氣工法係首創使用，其成效可透過本次案例隧道開挖出氣情形瞭解。隧道氣體滲出高風險區段大致為里程 1K+000~1K+900 區間，其中里程 1K+000~1K+450 段開挖過程中，隧道內並未測得甲烷氣體滲出，顯示此段地層中的甲烷氣體已被 GR-01~GR-03 洩氣井所排除。

里程 1K+450~1K+900 為需關注之區段，負責卸除里程 1K+650~1K+900 區段地層甲烷氣體之 GR-04 及 GR-05 洩氣井，完井啟用後，井內氣體濃度持續偏高，顯示該段地層有相當可觀的甲烷氣體持續補注。兩座洩氣井雖持續抽氣，但短時間內地層中的氣體儲量未有顯著下降。隧道里程 1K+450~1K+900 區段開挖時，雖已加強通風稀釋，但隧道內仍測得甲烷氣體滲出。其中，里程 1K+450~1K+650 區段開挖時，隧道內固定式氣體偵測器測得之甲烷氣體濃度 LEL 值普遍大於 10%（甲烷氣體濃度 5%即等於 LEL100%），最大值達 LEL 20.42%，換算成濃度值約介於 5000 ppm 至 10210 ppm 之間；而里程 1K+700~1K+900 區段，隧道開挖通過時，測得的甲烷氣體濃度 LEL 值約 3% ~15%，平均值約為 9.41%，換算成濃度值約 4700 ppm 左右，如圖 10 所示。隧道開挖貫通後，在里程 1K+450~1K+900 仍測得甲烷氣體的滲出 LEL 約 20%。上述結果顯示，隧道通過的糖恩山

砂岩段蘊藏豐富的甲烷氣體，尤其在靠近崙後斷層處，比重較輕的甲烷氣沿斷層上盤破碎地層向上移棲，使隧道里程 1K+450~1K+900 區段雖已設置洩氣井排氣，但地層中仍持續有氣體補注，導致隧道施工仍有氣體滲出狀況，惟鑽井洩氣後，隧道滲出之甲烷氣控制於爆炸濃度之下，配合施工手段，順利完成本案例隧道的開挖施工。

## 六、結語

隧道施工遭遇具可燃性氣體地盤時，在隧道內侷限空間之低濃度下即具有爆炸風險。目前臺灣對於隧道施工遭遇可燃性氣體的對策仍處於被動式的因應，意即視實際遭遇的規模，再採取相關措施，此種方式對於突發性大量氣體突出時，可能會有來不及因應的風險。本文乃提出主動式的鑽井洩氣工法，在隧道尚未開挖到達前，即透過洩氣井將地層中的氣體濃度予以適度降低，使隧道開挖不致遭遇突發性預期外的氣體突出風險，同時亦可簡化隧道內應變作業複雜度，避免影響開挖施工進度。

洩氣井之設置應考慮可燃性氣體蘊藏情形，並應打穿高滲透率的產氣地層，故洩氣工法的施作規劃，需搭配詳實地質調查，例如採用中興社所研發之地層氣體紅外線光譜檢測系統，透過鑽探全井氣體濃度調查與理論情境分析，推估隧道開挖主要之出氣量地層，以研擬洩氣井設置位置與深度，以達有效卸除地層中可燃性氣體濃度目標。臺灣西部麓山帶有許多油氣及煤層的蘊藏，雖多不具經濟生產價值，但對隧道施工具有潛在風險，本文研發之主動式鑽井洩氣工法技術，在隧道開挖前提供地層中的可燃性氣體逸散通道，搭配隧道內氣體濃度偵測、不取心探查、落實施工安全管理、強化通風稀釋等作業，可確實降低災害發生風險。

## 謝誌

本文特別感謝利德工程股份有限公司，與中興社共同研發此項主動式鑽井洩氣工法，且在所承攬工程實際應用，得以順利發展成功，並取得高性能等時太陽能地層洩氣系統（新型第 M565237 號）專利技術。

## 參考文獻

內政部營建署（2000） 隧道氣爆處理技術，隧道營建自動化系列推廣手冊。

李慶龍 （2016） 鯉魚潭水庫卓蘭電廠頭水隧道氣爆案例經驗分享，具可燃性氣體地盤隧道因應對策與案例經驗研討論壇論文集，臺南。

沈建豪、許錕安、謝秉志、楊耿明、蕭富元、汪世輝 （2018） 新烏山嶺隧道地層模型與通氣模式評估，第 14 屆岩盤工程研討會論文集，臺南，第 235~240 頁。

許勝雄、顏呈仰、周坤賢、蕭富元 （2016） 新烏山嶺引水隧道工程，大地技師期刊，第 13 期，第 61-71 頁。

侯秉承、劉弘祥、宋至善、李慶龍 (1999) 隧道工程遭遇有害氣體之因應，第一屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，太原，第 1239-1244 頁。

蔡政憲、蕭富元 （2018） 紅外線光譜分析技術於地層甲烷氣體調查之應用發展，中興工程，第 138 期，第 11-23 頁。

蕭富元、劉俊杰、鄭俊昇 （2009） 曾文水庫越域引水隧道鑽炸段困難地質與因應對策，第 13 屆大地工程研討會論文集，第 I02-1~I02-10 頁。

魏稽生 （2000） 臺灣能源礦產及地下水資源，臺灣經濟礦物，第三卷，經濟部中央地質調查所，第 10-60 頁。

Doyle, B.R (2001) Hazardous gases underground – applications to tunnel engineering. Marcel Dekker, Inc., pp 1-15.

SINOTECH
*臺鐵局臺北都會區隧道段導電軌
全生命週期的智慧化機電領先者
中興團隊確保於不影響列車正常營運情況下
將懸垂式電車線更換為導電軌系統，取代既有傳統電車線
因其具有構造簡單、安裝容易及保養維護省力之特性
可大幅改善牽引供電系統之可靠度，並增加列車運行安全
系統電氣工程
中興團隊專業服務
水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理
聯絡資訊
105409 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw
正派經營・品質保證・追求卓越・創新突破
中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 如何維持列車安全營運下更換導電軌

陳珈祐 *　周祖德 **　陳銘豐 ***　曾啟鵬 ****
余遠添 *****　林根勝 ******

## 摘　要

導電軌系統（Rigid Overhead Contact System）係因應地下化或隧道段鐵路路線地理環境條件或遭遇空間限制等因素而發展出來的電車線供電系統技術。由於此種系統整體架構簡單、組合與安裝及維修等作業相較於傳統電車線系統容易，故逐漸為世界各國採用。本文將以中興工程顧問公司所承攬之臺灣鐵路管理局臺北電力段隧道段導電軌裝設專案管理技術服務之案例供參。

於臺北段隧道段（汐止引道段～浮洲引道段）路線進行懸垂式電車線更換為導電軌系統，因受列車正常營運時間影響，僅能利用於夜間停駛之時間進行施工，每日施作時間約為 3.5 小時，施工期間除須配合營運系統切換外，懸垂電車線將與導電軌亦同時並存於路線上，務必達到滿足列車行車需求及維持行車安全。

關鍵字：導電軌

## 一、前言

近年，臺鐵局配合政府推動綠色運輸與大眾交通運輸無縫銜接政策，於路線上增設車站及增加車輛行駛班次密度，以期達到鐵路系統捷運化運輸的目標，也因此大幅增加臺北段隧道段地下鐵路系統運輸負荷。又整個臺北都會區地下鐵路為臺灣北部區域之運輸樞紐，任何影響本區段正常營運之因素，均會嚴重衝擊整體旅運作業之運行，影響臺鐵局形象及聲譽。且臺北段隧道段鐵路系統正式營運已達 20 餘年，發生事故導致列車停駛係以電車線斷裂之原因比例最高且傳統電車線系統零組件繁多結構複雜，增加維修困難度。綜上，臺北都會區地下鐵路系統確因環境及人力等因素，隱藏潛在營運風險及維修盲點，茲說明如下：

*　交通部臺灣鐵路管理局臺北電力段段長
**　交通部臺灣鐵路管理局電務處處長
***　中興工程顧問公司系統及電氣工程部計畫經理
****　中興工程顧問公司系統及電氣工程部技術經理
*****　中興工程顧問公司系統及電氣工程部資深協理
******　中興工程顧問公司副總經理

### （一）電車線運行負載大、空間密閉且潮濕，接觸線應力集中處易銹蝕—

隨著臺鐵局運行條件及環境改變，例如車速提高、車班密度增加等，導致電車線運行負載增加，且地下隧道之空間密閉、潮濕，致使既有電車線系統之接觸線應力集中處容易發生銹蝕，恐有發生斷線之疑慮。

### （二）既有電車線系統零件繁多，施工環境光線不佳，維修保養不易—

傳統式電車線系統之構造組件多 ( 如圖 1.，且本計畫工程範圍為地下隧道段，致使作業環境及視線不佳，大幅增加保養維修之人力需求及作業負擔。

圖 1　傳統式電車線系統

### （三）軌道道岔多，且為雙接觸電車線系統，電車線調整不易—

臺北都會區地下隧道段為運輸關鍵樞紐，車站範圍設置有許多一般道岔及菱形道岔。其道岔處之電車線系統調整不易，若因調整不善導致電車線被列車集電弓拉斷，將造成營運中斷，會嚴重影響乘客權益及衍生客訴問題。

## 二、懸垂式電車線與導電軌差異分析

### （一）新舊系統差異分析

臺灣鐵路管理局為杜絕因傳統懸垂式電車線斷線造成行車事故，自民國 90 年引進國內導電軌系統並應用於北迴線鐵路 ( 民國 92 年啟用 )、樟樹灣隧道 ( 民國 102 年啟用 )、自強隧道 ( 民國 103 年啟用 ) 及南迴鐵路電氣化 (109 年啟用 )，迄今已逾 21 年時間未曾發生任何列車運行因電車線因素造成行車事故。高可靠度及高安全性的導電軌系統，陸續安裝於現正施工中之臺北隧道段導電軌裝設計畫。

本計畫採用之導電軌條設備，其材質為鋁合金，面對隧道潮濕的環境能有較佳之抗鏽蝕性，且擁有更簡單之構造，亦比傳統電車線有更快的安裝速度及保養方便之特性，茲將傳統懸垂式電車線系統與導電軌系統整理比較，如表 1 與表 2 所示。

表 1　新舊系統比較表

| 新舊系統比較表 | | |
|---|---|---|
| 主要列項 | 懸垂式系統 | 導電軌系統 |
| 系統構建 | 多而複雜 | 少而單純 |
| 施工方式 | 繁瑣 | 簡單 |
| 維修效率 | 低 | 高 |
| 維護成本 | 高 | 低 |
| 使用年限 | 低 | 高 |

表 2　性能分析比較表

| 效益 | 更新前 | 更新後 |
|---|---|---|
| ✓ 提升設備可靠度<br>✓ 增加行車安全性<br>✓ 符合節能減碳效益 | | |
| 保養週期 | 1 年 2 次 | 2 年 1 次 |
| 接觸線更換時間 | 6 小時 / 公里 | 40 分鐘 / 公里 |
| 更換時限 | 磨耗達 30%即須更換 | 磨耗達 50%方須更換 |
| 調整時間 | 8 小時 / 公里 | 1.5 小時 / 公里 |
| 最高允許車速 | 130km | 最高可達 160km |

### （二）工程效益

由新舊系統分析與性能分析比較後發現，從傳統懸垂式電車線系統更換為導電軌系統後，除將可減少事故發生且降低維護保養成本外，亦可增加供電系統之可靠度，並確保列車運行安全。

經統計預估，相關維護保養週期與節省之實際經費如下：

1. 維修人力可減少 80% 年—
   維修人力將由 3,240 工 / 年減少為 639 工 / 年。
2. 維護保養減少 75% 經費—
   維修更新成本由 9,583 萬 / 年減少為 2,395 萬 / 年。
3. 延長 25% 使用年限—
   接觸線及導電軌設備使用年限由 20 年增加 30 年，可靠度高，可提高列車運行安全性。

## 三、如何不影響列車安全營運下更換導電軌

### （一）施工風險評估

1. 配合臺灣鐵路管理局所推動的「安全管理系統」（Safety Management Sysetm，SMS）如圖 2，建立分析本工程相關危害因子，於更換導電軌施工作業中與施工作完成後可確保列車行安全。
   本工程施工地點為照度不足且施工環境不佳，極為容易產生危害風險，故於施工前利用魚骨圖研析可能造成之施工風險評估，如圖 3 所示。
2. 將上述各項危害分析的結果建立出本工程初步危害登記冊及風險舉證，如表 3 與表 4，發展出明顯對於施工人員、機具設備及行車安全之危害發生原因與影響結果，再對於所列之危害項目辦理追蹤，並研討出減輕措施或安全對策。

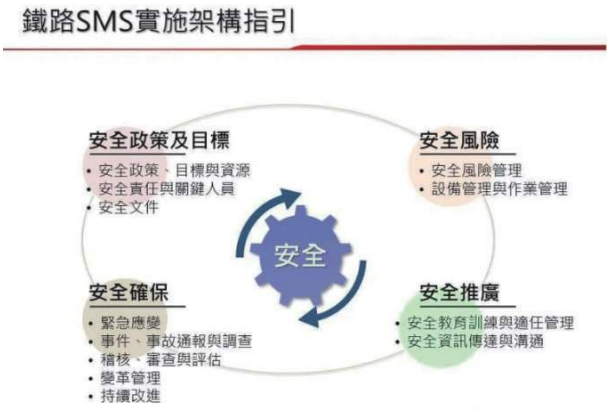



圖 2　鐵路安全管理系統

### （二）施工前準備

本工程雖於夜間施工，惟電車線系統之接觸線與主吊線仍帶有 25Kv 之高壓電，故於施工前須依循臺灣鐵路管理局相關夜間施工管制規定、斷電封鎖程序、環境安全衛生依據相關規定，辦理斷電封鎖，以維人員施工時安全。斷電封鎖流程與斷電封鎖作業如圖 3 與圖 4 所示。

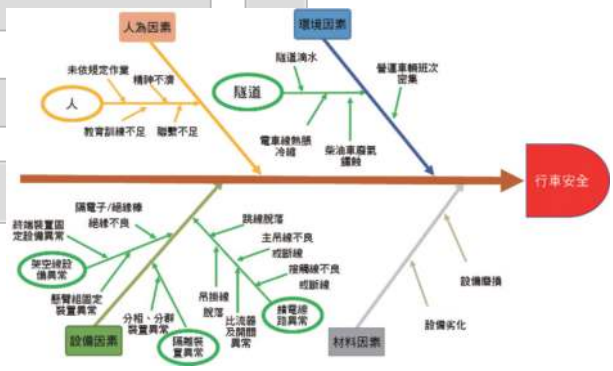



圖 3　施工風險研析

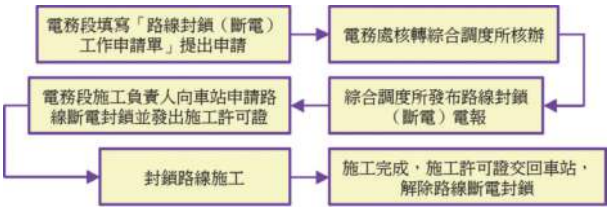



圖 4　斷電封鎖流程

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 3　初擬危害登記冊

| 系統 | 子系統 | 發生位置 | 模式 | 危害描述 | 危害發生原因 | | 影響 / 結果 | 影響類別 | | | | 原始風險 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 主要成因 | 觸發成因 | | 乘客 | 員工 | 營運 | 環境 | 頻率 | 嚴重性 | 等級 |
| 全系統 | | 地面段 | 全部模式 | 火災 | 短路 | 安裝不當、檢查不當、或訓練不足 | 乘客員工輕傷；營運中斷數小時；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | Y | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 地面段 | 全部模式 | 火災 | 野火 | 強風刮起燃燒物 | 營運中斷數小時；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | Y | G | 4 | R3 |
| 全系統 | | 地面段 | 全部模式 | 火災 | 雷擊 / 電弧 | 無降雨 | 營運中斷數小時；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | Y | G | 4 | R3 |
| 全系統 | | 隧道段 | 全部模式 | 火災 | 短路 | 隧道內積存可燃氣體、未設置滅火設備 | 營運中斷數小時；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | Y | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 外部威脅 | 電磁干擾 | 設計不良、防護不當 | 造成設備本身異常 | N | N | Y | N | D | 6 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 外部威脅 | 電磁干擾 | 設計不良、防護不當 | 造成臨近設備異常 | N | N | Y | N | D | 6 | R2 |
| 全系統 | | 地面段 | 正常營運 | 出軌 | 異物侵入軌道 | 部件鏽蝕、強度不足發生脫落，檢查不當 | 車站中斷 1 天，乘客死亡 <10 人。 | Y | Y | Y | N | G | 2 | R1 |
| 全系統 | | 地面段 | 全部模式 | 地震 | 設計不良 | 強度不足 | 電力桿倒塌營運中斷 1 天；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | N | G | 3 | R2 |



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 3　初擬危害登記冊（續）

| 系統 | 子系統 | 發生位置 | 模式 | 危害描述 | 危害發生原因 | | 影響 / 結果 | 影響類別 | | | | 原始風險 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 主要成因 | 觸發成因 | | 乘客 | 員工 | 營運 | 環境 | 頻率 | 嚴重性 | 等級 |
| 全系統 | | 隧道段 | 全部模式 | 地震 | 設計不良 | 強度不足 | 固定物倒塌營運中斷 1 天；產品損壞 / 報銷。 | Y | Y | Y | N | G | 3 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 正常營運 | 電擊 | 管理不當 | 檢查不當、維護不當造成的漏電、絕緣層破損 | 乘客重傷 / 死亡；車站營運中斷數小時。 | Y | N | Y | N | H | 2 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 維護 | 電擊 | 維護不當 | 維修前未斷電、且防護不足、且絕緣設計不良 | 員工重傷 / 死亡；車站營運中斷數小時。 | N | Y | N | N | J | 1 | R3 |
| 導電軌系統 | 匯流排軌條 | 全綫 | 正常營運 | 斷電 | 維護不當 | 匯流排軌條未適時更換，且檢查不當 | 扯斷集電弓，車站營運中斷數小時。 | Y | Y | Y | N | F | 5 | R3 |
| 全系統 | | 隧道段 | 全部模式 | 斷電 | 檢查不當 | 豪雨、防洪閘門故障 | 隧道湧水導致短路，車站營運中斷數小時。 | Y | Y | Y | N | F | 5 | R3 |
| 導電軌系統 | 匯流排軌條 | 全綫 | 緊急營運 | 斷電 | 檢查不當 | 火災 | 匯流排軌條斷線，車站營運中斷數小時。 | Y | Y | Y | N | F | 5 | R3 |
| 導電軌系統 | 匯流排軌條 | 全綫 | 全部模式 | 爆炸 | 檢查不當 | 共振效應累積 | 匯流排軌條斷線，車站營運中斷數小時。 | Y | Y | Y | N | F | 5 | R3 |

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 3　初擬危害登記冊（續）

| 系統 | 子系統 | 發生位置 | 模式 | 危害描述 | 危害發生原因 | | 影響 / 結果 | 影響類別 | | | | 原始風險 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 主要成因 | 觸發成因 | | 乘客 | 員工 | 營運 | 環境 | 頻率 | 嚴重性 | 等級 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 斷電 | 維護不當 | 備援電力故障 | 車站營運中斷數小時。 | Y | Y | Y | N | J | 5 | R4 |
| 導電軌系統 | 轉換區 | 地面段 | 維護 | 斷電 | 疏忽、犯錯 | 操作工具不精準 | 張力裝置錯誤變更 | N | Y | N | N | F | 5 | R3 |
| 導電軌系統 | 支撐裝置（支持臂） | 隧道段 | 維護 | 斷電 | 疏忽、犯錯 | 操作工具不精準 | 支撐裝置錯誤變更 | N | Y | N | N | F | 5 | R3 |
| 導電軌系統 | 接觸線 | 隧道段 | 維護 | 斷電 | 疏忽、犯錯 | 操作工具不精準 | 接觸線錯誤變更 | N | Y | N | N | F | 5 | R3 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 斷電 | 可靠性差 | 維護不當，或檢查不當 | 設備失效 | N | N | Y | N | E | 5 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 斷電 | 部件鏽蝕 | 設計不良、防護不當、檢查不當、鹽害 | 車站營運中斷數小時。 | N | N | Y | N | F | 5 | R3 |
| 隔離開關組 | 隔離開關 | 全綫 | 維護 | 斷電 | 檢查不當 | 維護不當 | 異物堆積造成斷路，車站營運中斷數小時。 | N | N | Y | N | D | 5 | R1 |
| 全系統 | | 地面段 | 全部模式 | 爆炸 | 檢查不當 | 產生電弧、接地不良 | 車站營運中斷 1 天。 | N | N | Y | N | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 隧道段 | 全部模式 | 爆炸 | 電擊保護不當 | 產生電弧、接地不良 | 車站營運中斷 2 天。 | N | N | Y | N | F | 4 | R2 |



財團法人中興工程顧問社 SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 3　初擬危害登記冊（續）

| 系統 | 子系統 | 發生位置 | 模式 | 危害描述 | 危害發生原因 | | 影響 / 結果 | 影響類別 | | | | 原始風險 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 主要成因 | 觸發成因 | | 乘客 | 員工 | 營運 | 環境 | 頻率 | 嚴重性 | 等級 |
| 全系統 | | 地面段 | 維護 | 人員跌落 | 疏忽、犯錯 | 遭掉落物擊中、缺乏安全帶、安全帶佩戴不良、照明不足 | 員工重傷、車站營運中斷 1 天。 | N | Y | N | N | E | 2 | R1 |
| 全系統 | | 隧道段 | 維護 | 人員跌落 | 疏忽、犯錯 | 設備絆倒、缺乏安全帶或安全帶佩戴不良、或缺乏訓練 | 車站營運中斷數小時。 | N | Y | N | N | F | 2 | R1 |
| 全系統 | | 全綫 | 維護 | 割傷 | 檢查不當 | 防護不當、疏忽 | 一員工輕傷。 | N | Y | N | N | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 地面段 | 緊急營運 | 颱風 / 颶風 / 龍捲風 | 設計不良 | 颱風 / 颶風 / 龍捲風 | 吹垮基座，電車線斷裂，車站營運中斷 1 天。 | N | N | Y | N | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 緊急營運 | 管理不當 | 缺乏培訓 | 操作、搶修失當 | 車站疏散不當、員工受傷 | Y | Y | Y | N | F | 4 | R2 |
| 全系統 | | 全綫 | 維護 | 車輛溜逸 | 疏忽、犯錯 | 地震、檢查不當 | 員工重傷 / 死亡；車輛碰撞 | N | Y | Y | N | G | 2 | R1 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 管理不當 | 維護不當 | 檢查不當、管理不當 | 老鼠咬壞電綫，白蟻侵入設備 | N | N | Y | N | G | 5 | R4 |
| 全系統 | | 全綫 | 全部模式 | 設備變形 | 冷縮熱脹 | 氣候溫差大 | 車站營運中斷數小時 | N | N | Y | N | E | 5 | R2 |

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 4　風險矩陣

| 風險矩陣 | | | | 嚴重程度 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| | | | | 可忽略 | 輕微 | 臨界的 | 重要 | 很重 | 慘重 | 悲劇 |
| | 員工 / 承包商安全 | 致命 | | | | | | | | ≧ 1 |
| | | 重傷 | | | | | | | 1-9 | ≧ 10 |
| | | 輕傷 | ≥ 3 天病休 | | | | | 1-9 | 10-99 | ≧ 100 |
| | | | ≤ 3 天病休 | | | | 1-9 | 10-99 | ≧ 100 | |
| | 乘客 / 公共安全 | 致命 | | | | | | | 1-9 | ≧ 10 |
| | | 重傷 | | | | | | 1-9 | 10-99 | ≧ 100 |
| | | 輕傷 | | | | | 1-9 | 10-99 | ≧ 100 | |
| | 服務 | 區段中斷 | | | | <20 分鐘 | 幾小時 | 1 天 | 1 星期 | ≧ 1 星期 |
| | | 站中斷 | | | <20 分鐘 | 幾小時 | 1 天 | 1 星期 | 1 個月 | ≧ 1 個月 |
| | | 產品故障 | | <20 分鐘 | 幾小時 | 1 天 | 1 星期 | 1 個月 | 1 年 | >1 年 |
| 頻次 A | 每月幾次 | $10^2$/ 年 > F ≥ 10/ 年 | | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 B | 每年幾次 | 10/ 年 > F ≥ 1/ 年 | | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 C | 10 年內幾次 | 1/ 年 > F ≥ $10^{-1}$/ 年 | | R2 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 D | 壽命週期 30 年會發生幾次 | $10^{-1}$/ 年 > F ≥ $10^{-2}$/ 年 | | R3 | R2 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 E | 壽命週期有機會發生 | $10^{-2}$/ 年 > F ≥ $10^{-3}$/ 年 | | R4 | R3 | R2 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 F | 壽命週期少可能發生 | $10^{-3}$/ 年 > F ≥ $10^{-4}$/ 年 | | R4 | R4 | R3 | R2 | R1 | R1 | R1 |
| 頻次 G | 壽命週期很罕見發生的 | $10^{-4}$/ 年 > F ≥ $10^{-5}$/ 年 | | R4 | R4 | R4 | R3 | R2 | R1 | R1 |
| 頻次 H | 不太可能的 | $10^{-5}$/ 年 > F ≥ $10^{-6}$/ 年 | | R4 | R4 | R4 | R4 | R3 | R2 | R1 |
| 頻次 I | 難以置信的 | $10^{-6}$/ 年 > F ≥ $10^{-7}$/ 年 | | R4 | R4 | R4 | R4 | R4 | R3 | R2 |
| 頻次 J | 不會發生的 | F 在 $10^{-8}$/ 年或以下 | | R4 | R4 | R4 | R4 | R4 | R4 | R3 |



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/

圖 5　斷電封鎖作業

（三）施工切換工法與流程

既有懸垂式電車線系統線路錯綜複雜且老舊、維修點多，橫渡線多且須克服隧道淨空變化問題如圖 6。

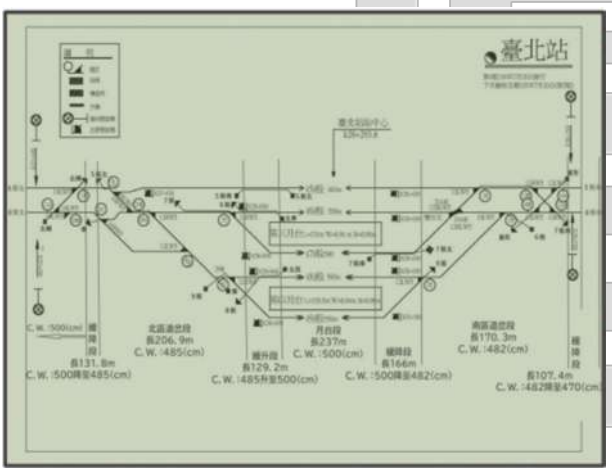



圖 6　複雜路線及多處橫渡線

懸垂式電車線切換為導電軌系統，可分為兩大類型，係為一般路線段與特殊路線段。而一般路線段又可包含一般區間 ( 原有電車線單線部分 ) 及一般道岔區，特殊路線則涵蓋電車線開關區間及橫渡線段，茲將以一般路線段之一般區間 ( 原有電車線單線部分 ) 與特殊路線段之切換工法與流程作為說明 :

1. 一般路段之一般區間（原有電車線單線部分）：

為確保每日營運狀態，新舊電車線系統切換時須採用先建（導電軌）後拆（傳統電車線）為原則。

（1）當一般區間落臂架及支持臂組（圖 7）等支撐結構完成後，即進行導電軌條安裝。

（2）將既有一條主吊線兩條接觸線的電車線系統一分為二，一條接觸線提高並以臨時掛夾（圖 8）附掛於導電軌軌條旁，另一條接觸線嵌入導電軌溝槽中供隔日行車使用（圖 9）。

（3）此時主吊線仍保持懸吊功能，階段完成導電軌時兩端將產生系統轉換點，此處為列車集電弓由電車線進入導電軌或由導電軌進入電車線區間，須妥善調整以確保營運安全。

（4）當導電軌施作配合既有電車線張力長度後，可依序進行提高之接觸線與主吊線之拆除，脫離兩系統並行狀態。

圖 7　落臂架及支持臂組

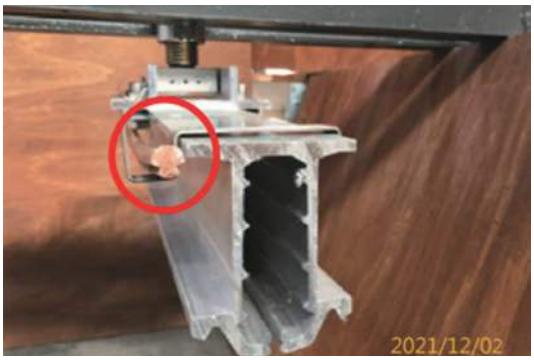



圖 8　臨時掛夾

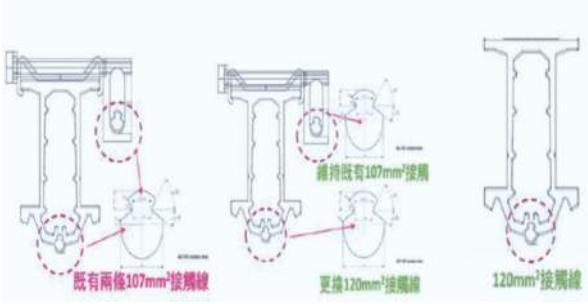



圖 9　雙接觸線切換為單一接觸線

2. 特殊路線段之橫渡線段（以南港車站為例）：

南港車站內共有四處橫渡線（圖 10）須採分階段路線停用施工，以維持原有運量及營運狀況條件，且橫渡線之電車線除行車供電外，線路上安裝之電車線區分絕緣器（圖 11）亦為東西兩電群分隔之重要設備，此路段之施工法需保持東西兩電群相互獨立狀態下進行。其施工切換流程分為 3 階段，相關說明如下：

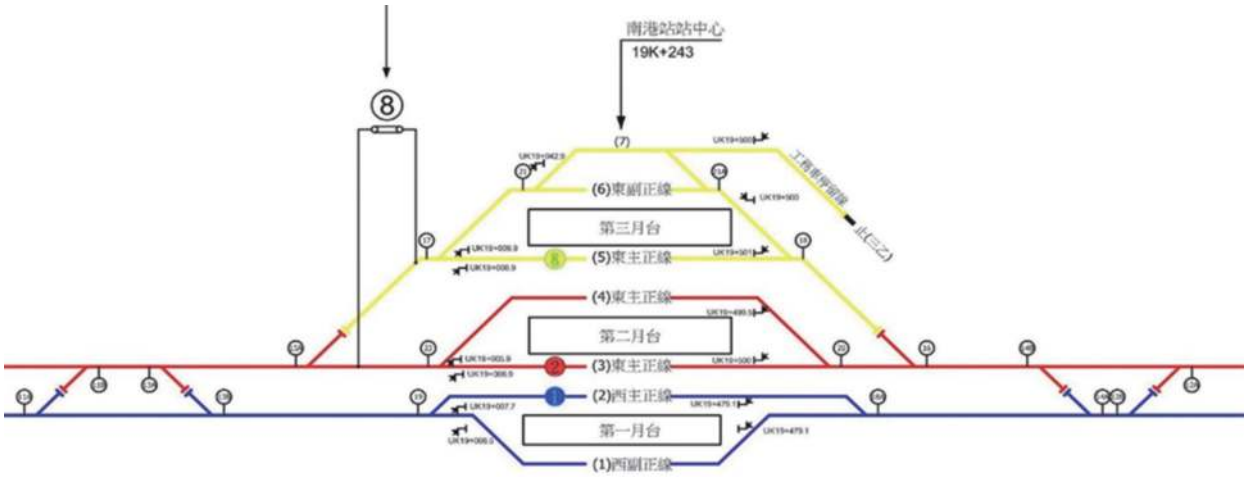



圖 10　南港車站橫渡線位置圖

圖 11　區分絕緣器

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 23-34
http://www.sinotech.org.tw/journal/



（1）第 1 階段—

斷電接地完成後，先進行東線及西線尚未連接之導電軌並嵌入接觸線，而後將橫渡線兩端終端裝置固定，固定後將既有懸垂橫渡線電車線系統提高（自既有懸臂組處提高至少 15 公分），當日工作結束施工車輛離開後，安裝軌道尖軌鎖定器防止營運調度誤觸，如圖 12。

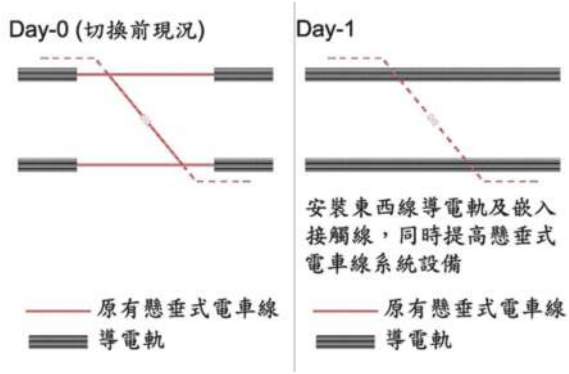



圖 12　第一階段施工切換示意圖

（2）第 2 階段—

斷電接地完成後拆除軌道尖軌鎖定器，進行橫渡線之導電軌安裝並嵌入接觸線，完成後進行導電軌區分絕緣器安裝，如圖 8，當日工作結束施工車輛離開後，安裝軌道尖軌鎖定器防止營運調度誤觸。

（3）第 3 階段—

斷電接地完成後拆除軌道尖軌鎖定器，進行橫渡線、東西線道岔及橫渡線全區細部調整，並針對各項淨空及各部構件所有螺栓螺帽接點等逐一進行點檢，確認無誤後結束道岔停用狀態，剩餘不影響行車安全之既有懸垂式電車線相關設備待隔天夜間再進行拆除作業，如圖 13 及橫渡線完整更換導電軌線現場實景圖，如圖 14。

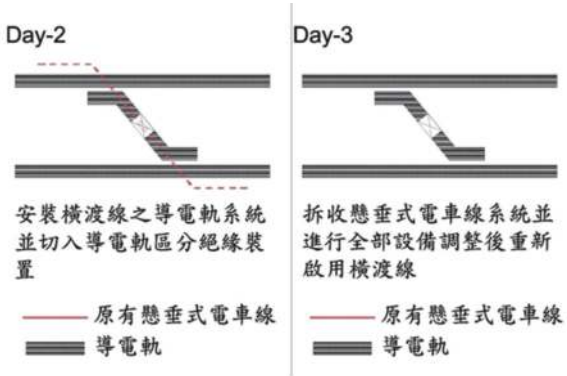



圖 13　第二階段施工切換示意圖

圖 14　橫渡線完整更換導電軌線現場實景

## 四、結論與建議

（一）結論

全球都市化的趨勢，都市交通頻繁，運輸需求量提升，擁有準點、舒適和安全特性的鐵道運輸，軌道建設不可或缺的重要基礎建設，本案施工係為不同電車線系統於夜間施工完成後即辦理切換，且確保每日運轉無虞並解決系統切換界面

問題，利用臨時掛夾及擬定施工程序，克服由既設懸垂式電車線雙接觸線系統，逐步切換為導電軌系統單一接觸線。並於隔日清晨列車不降速正常營運行駛之施工方法，於國內外之工程案例皆屬首創案。

本案施工難度極具挑戰性，每日夜間施工僅有極為短暫 3.5 小時，惟考量導電軌系統供電系統各項優點特性，除可大幅降低傳統電車線故障及行車事故發生，同時提升臺灣鐵路管理局營運之正面形象外，更可因其具備構造簡單、安裝容易及保養維護省力的特性，節省相關維護成本及人力之支出，實為目前最理想且具全生命週期之鐵路行車供電設備。

### （二）建議

導電軌系統為軌道運輸帶來甚多具體效益，惟相關實務工法正處於發展階段，尤其於列車營運中之區域，如何加強人員軌道專業知能之人才培育與實務經驗之累積惟刻不容緩之課題。臺北隧道段導電軌更換長度約為 52 公里，現已全數更換完成並貫通，其已累積相關實務經驗，應就其經驗予以傳承並將相關施工流程或規範訂定標準作業流程，為爾後執行類似之工程品質更佳化。

## 參考文獻

1. 曾啟鵬、林根勝「導電軌電車線系統技術及實務案例」，中興工程，第 146 期，2020 年 1 月，PP. 89-99
2. 陳銘豐、姜大駿、曾啟鵬、林根勝「導電軌系統於隧道實務運用—以臺北段隧道段工程為例」，第 17 屆臺灣電力電子研討會暨第 41 屆中華民國電力工程研討會・2020 年。
3. 台北電力段隧道段導電軌裝設統包工程，危害分析及危害登記冊 1 版，2022 年。

## 中興社研發叢書及電腦程式銷售

中興工程顧問社已發行研發、編譯叢書 316 種及電腦程式 23 套，多屬規劃、設計、施工、管理等方面之工程技術，其叢書及程式目錄、售價、摘要、申購表、繳款方式及信用卡繳費單等，皆已上「中興工程顧問社」之網站 **www.sinotech.org.tw**，歡迎上網查閱選購；若需進一步查詢請電話或傳真至電話：**(02)8791-9198** 轉 **467** 陳小姐，或傳真：**(02)8791-2198**

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 35-44
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 彈藥庫設計解說

王定國 *

## 摘　要

彈藥庫設計將從：（一）彈藥庫相關設計規範資訊、（二）彈藥庫構型分類、（三）彈藥庫設計要點、（四）彈藥室分堆與尺寸決定、（五）彈藥庫防護設計流程、（六）彈藥庫結構設計、（七）彈藥庫安全量距之擬訂、（八）彈藥庫特殊機電設計…等。八項設計主題切入解說，建構整體彈藥庫設計的基本知識架構，並初步探詢未來彈藥庫之設計議題，及可能的發展與研究的方向，作為初步認識本類建築之工具管道。

關鍵字：彈藥庫、彈藥庫設計

## 一、前言

彈藥庫雖屬軍事建築的一種，一般建築師較少接觸，其軍事需求的特殊性，亦有其專業技術的背景知識，但分析其功能亦為倉儲建築的一種，只要從其功能需求去了解分析，亦能逐步窺其架構掌握設計重點，從事相關類型建築設計。

本篇「彈藥庫設計解說」短文揭示內容，自然無法鉅細靡遺完整說明其全部背景知識內容，且彈藥庫之種類亦多樣化，較細之需求及設計規範內容，亦可能涉軍事敏感資訊，故本文之解說，將著重於基本知識架構及設計流程之說明，設計需求的分析與掌握，關鍵問題之對策，相關設計議題拆解分析，對未來彈藥庫之設計議題，及可能的發展與研究的方向，從非儲放大型或特殊彈藥的一般彈庫為例，以常見的拱型（多圓心拱及垂壁型組合）（Stradley）半地下彈藥庫（ECM）為主，展開設計解說。

茲針對各項主題分列如下：

## 二、主題及說明

（一）彈藥庫相關設計規範資訊
（二）彈藥庫構型分類
（三）彈藥庫設計要點
（四）彈藥室分堆與尺寸決定
（五）彈藥庫防護設計流程
（六）彈藥庫結構設計
（七）彈藥庫安全量距之擬訂
（八）彈藥庫特殊機電設計

### （一）彈藥庫相關設計規範資訊

國軍彈藥庫相關設計規範及依據，主要依據國防部聯勤司令部頒布之相關規定，因非屬一般

* 中興工程顧問公司建築工程部建築師

資料來源：https://ammunitionlogistics.com/2020/01/24/ammunition-and-explosive-magazines/

圖 1　國外彈藥庫案例照片

公開資訊，國內設計投標單位應可於招標時取得。而國軍相關標準早期則多參考修正美軍彈藥庫之相關規範，如美國國防部彈藥安全標準、美國陸軍彈藥安全標準……等，故整理提供網路可取得之相關規範文獻資訊如下：

表 1　彈藥庫相關設計規範資訊

| 項次 | 彈藥庫相關設計規範資訊 |
|---|---|
| 0 | 彈藥安全手冊等相關教範，國防部聯勤司令部 |
| 1 | DoD 6055.09-M, DoD Ammunition and explosives safety standards (2019 以前 )<br>( 美國國防部彈藥安全標準 )<br>DESR 6055.09, Edition 1 (2019 以後 ) will replace: DoD 6055.09-M, “DoD Ammunition and Explosives Safety Standards” |
| 2 | DA PAM 385-64, Ammunition and explosives Safety Standards ( 美國陸軍彈藥安全標準 ) |
| 3 | DDESB TP15, Approved Protective Construction ( 獲認可的彈藥庫 ), Technical Paper No. 15, revision 3 |
| 4 | UFC 3-340-02,Structures to Resist the effects of accidental explosions ( 抗意外爆炸結構物 ), Change 2, 2014(TM 5-1300) |
| 5 | UFC 4-420-01, Ammunition and Explosives Storage Magazines ( 彈藥庫 ), 2015 |
| 6 | Army Definitive Drawing DEF 149-30-01, Standard Definitive Design of Barricade ( 擋牆標準圖 ), 2011 |
| 7 | UFC 3-340-01, Design and analysis of hardened structures to conventional weapons effect ( 抗傳統武器威力結構物之分析與設計 ), 2002(TM 5-855-1) |
| 8 | 海岸、山地及重要軍事設施管制區與禁建、限建範圍劃定、公告及管制作業規定，內政部營建署 。 |

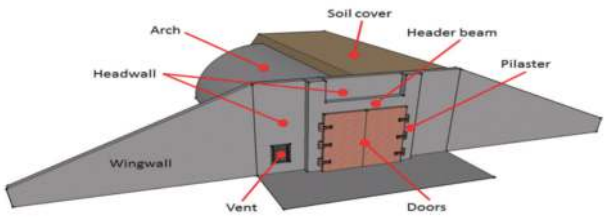
## （二）彈藥庫構型分類

參考相關文獻對彈藥庫構型分類，常見之洞庫型（Igloo Type）彈藥庫可包括以下三類：

1. 圓型（Igloo-Earth Covered）（單圓心拱型）
2. 拱型（Stradley）（多圓心拱及垂壁組合）
3. 地下庫（Subsurface Type）

均為優良儲存各式彈藥或火藥之庫房。其中 2. 拱型（Stradley）為標準半地下庫房，亦為最常見之彈藥庫類型，主要構造由土蓋（覆土層）、鋼筋水泥（結構防護層），拱頂式庫房（空間型式）構成，或稱為制式土蓋拱形庫房。（圖 4、5）

此制式土蓋拱形庫房可參考美軍 FRELOC-Stradley 之類型，為多圓心拱及垂壁組合之土蓋形彈藥庫房（Earth-covered Magazines, ECM）。此種結構為垂直側壁與拱形屋頂共同構成，用以抵抗外部轟炸、土壓力及內部爆炸……等應力。

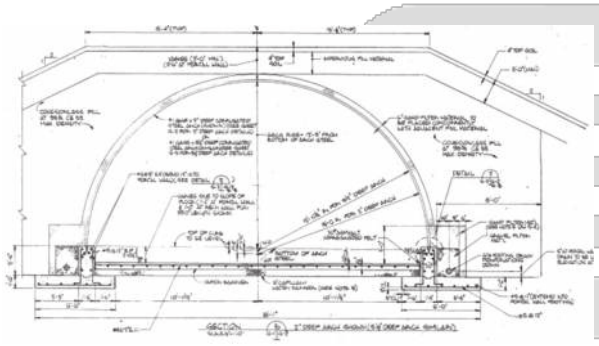



資料來源：UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC)-AMMUNITION AND EXPLOSIVES-STORAGE MAGAZINES https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_4_420_01_2015.pdf

圖 2　圓型（Igloo - Earth Covered）庫房

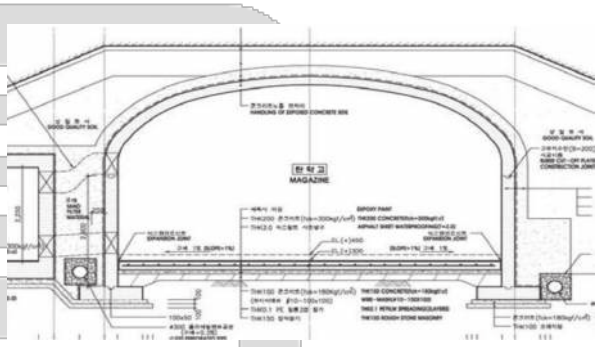
資料來源： https://www.terre-armee.com/reinforced-earth/secured-storage/

圖 4　拱型（Stradley）標準半地下庫房外觀



資料來源：DDESB Technical Paper (TP) 15 Update and Standard ECM Designs Approved for New Construction https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2018/intexpsafety/BowersPaper.pdf

圖 3　圓型（Igloo - Earth Covered）庫房剖面



資料來源：DDESB Technical Paper (TP) 15 Update and Standard ECM Designs Approved for New Construction https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2018/intexpsafety/BowersPaper.pdf

圖 5　拱型（Stradley）標準半地下庫房剖面

此型彈藥庫房主要的優點，拱型結構傳遞上方載重及爆炸衝擊波至兩側垂壁屬較佳模式，垂壁之部分外推力，側面覆土亦可提供平衡反力，而垂壁兩側儲存空間淨高及可利用性更佳，故成為地下化洞庫型彈藥庫常見型式。

### （三）彈藥庫設計要點

茲針對常見之洞庫型（Igloo Type）彈藥庫，整理相關設計要點如下：

### （四）彈藥室分堆與空間尺寸決定

#### 1. 彈藥分堆

彈藥室分隔可避免彈藥意外爆炸時，所有彈藥同時引爆，彈藥分堆則為因應庫房空間尺寸、彈藥（箱）尺寸、儲放量、搬運及使用需求而來。彈藥分堆疊架方式，如以人員搬運為主，庫房內部主通道寬至少 120cm，堆架間距寬至少 60cm，距牆面寬至少 60cm，標準堆高與庫頂部間至少需留 45cm 間隔，機械化作業庫房應加大預留叉動車（堆高機）作業空間。以 3 噸叉動車為例，所需作業安全空間主通道寬度至少 1.8m，迴轉半徑至少 3.6m，但考量人員操作經驗可能不足，迴轉半徑可加大採用 4.5m。

表 2　洞庫型彈庫設計要點列表

| 項目 | 考量因素 |
|---|---|
| 構型選擇 | 構型有圓型、拱型或地下庫，考量有效容量與經濟性 |
| 有效容積 | 彈藥搬運作業考量下，考量採人力 ( 主通道 1.2m) 或機械搬運 ( 主通道 1.8m，最小迴轉半徑 3.6m，作業高度建議至少 4m)，側通道 0.6m，分堆數 (2、4 或 6 堆 ) 及堆積層數 ( 最高 3 層 ) |
| 炸藥淨重 | 考量彈藥危害類別 (HD1.1 爆壓破片及火球危害、HD1.2 破片危害與 HD1.3 火球危害 ) 周邊彈庫 ( 庫間距離 IMD)、人員與裝備 ( 廠間距離 ILD 與公用交通道路距離 PTRD)、建物安全 ( 住宅距離 IBD) 等，與禁限建範圍影響 |
| 庫間距離 IMD | 避免彈庫間發生連續性爆炸，造成彈藥或財產損失，影響戰備 |
| 廠間距離 ILD | 避免彈庫爆炸後危害其他作業場所、安全警衛人員與安管中心，造成人員傷亡 |
| 公共交通道路距離 PTRD | 避免彈庫爆炸危害道路上行人及車輛，造成人員傷亡或財產損失 |
| 住宅距離 IBD | 避免彈庫爆炸危害民宅及兵舍，造成人員傷亡或財產損失，檢討住宅距離 |
| 彈室間隔牆 | 考量是否分隔彈室設置隔牆，降低連續性爆炸威力，以減少人員或財產損失 |
| 入口擋牆 | 考量各彈室入口是否設置擋牆，減少破片四處飛散，造成人員傷亡財產損失 |
| 環境電磁輻射安全 | 避免彈藥中電引信，被環境電磁輻射引爆 |
| 炸彈直接命中 | 彈庫上方及側邊設防貫穿層擋住炸彈，使其引爆後爆炸波被爆壓衰減層減弱至不造成彈庫頂板與側牆受損，以免危及庫內彈藥 |
| 炸彈非直接命中 | 1. 彈庫入口及空調口需能承受炸彈在入口處前方地表爆炸之爆炸波，不危及庫內彈<br>2. 炸彈擊中彈庫旁鑽入土壤下方，爆炸波不造成基礎板受損 |

## 2. 彈藥室尺寸決定

考量搬運空間便利性，避免彈藥庫縱深過長，或過寬過高不利於結構設計，或堆放彈藥過多內爆時威力過大，須額外加強結構設計，一般彈藥之儲放空間應綜合考量擬定單元容量標準。

假設以 500 噸儲量為例，如將彈藥室（標準儲放區）彈藥分成四堆存放，側通道寬採 60cm 僅供人員通行，主通道寬 1.8m 以上，以利叉動車（堆高機）通行，且前後端有一側預留 4.5m 叉動車作業空間，每堆三層時高度約為 3.75m，堆放上層預留 0.45m 以上淨空。

預估庫房內部深度約需 38 m 以上，淨寬需 7.8m 以上，設定淨高約為 4.2m 以上，其庫房之有效容積約可滿足 500 噸儲量之需求。

資料來源：Explosive and Chemical Site Plan Development and Submission

圖 6　大型彈藥室堆放

資料來源：https://www.terre-armee.com/reinforced-earth/secured-storage/

圖 7　圓型小型彈藥室堆放

資料來源：https://ammoterra.com/product/new-and-military-surplus-firearms-ammunition-and-equipment

圖 8　彈藥室堆放案例

資料來源：中央通訊社網站 https://www.cna.com.tw/news/aloc/202103310199.aspx

圖 9　澎湖彈藥庫開放內部參觀

—如覆土材質、抗貫穿層材質、爆壓衰減層材質、主結構體材質、防爆門材質、防爆閥規格等。再依周邊地形環境決定設計為半地下化或地下化彈藥庫。到第二階段：從直接命中、非直接命中兩種情境，分析相對應的構造部位，是否符合需求及作適當之因應設計，如直接命中：拱頂型式、側牆結構的分析，非直接命中：出入口、空調口、基礎的結構保護是否符合需求。

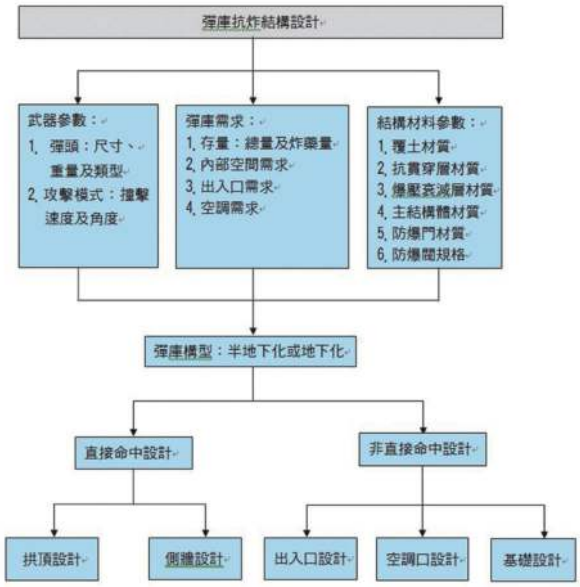



圖 10　彈庫抗炸結構設計流程圖

## （五）彈藥庫防護設計流程

彈藥庫防護設計流程一般可分為：1. 彈庫抗炸結構設計 2. 彈庫安全量距，兩項內容檢討，茲分述如下：

### 1. 彈庫抗炸結構設計：

主要著重於外部炸彈攻擊之防護相關議題之檢討流程，第一階段：從武器參數 - 彈頭尺寸、重量及類型，到攻擊模式撞擊速度及角度分析。到彈庫需求—存量總量、炸藥量及內部空間需求、出入口需求、及空調需求。再訂定結構材料參數

### 2. 彈庫安全量距：

著重於彈藥庫受攻擊爆炸，或因內部管理操作維護不良……等因素自爆後，造成對周邊建物設施及住宅居民人員的損害可能評估，及避免或減輕傷害可能設計手法，主要從彈藥庫型式的評估，到內部炸藥量爆炸力的估算，規劃隔牆設計，並檢討對外部其他建築設施的適當退讓安全距離，最後決定合宜的彈藥庫設置位置。茲整理上述兩項檢討流程分列如下：

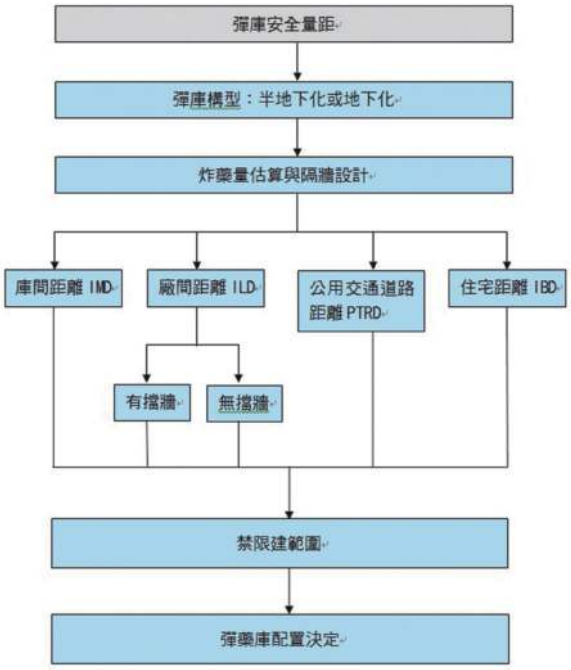



圖 11　彈庫安全量距流程圖

（六）彈藥庫結構設計

1. 武器威脅及覆土覆蓋厚度

彈庫之軍事防護設計理念為，考量所受的武器威脅，在最外側先依彈藥庫外覆蓋厚度之要求，以減緩爆炸時破片衝擊破壞。

2. 防貫穿層（抗炸層）

內以混凝土板防貫穿層（上方及側面均需要）來阻止炸彈直接命中後貫入彈庫。

3. 爆壓衰減層

防貫穿層與彈庫主結構體間可填乾砂、卵礫石、控制性低強度回填材料（CLSM 俗稱劣質混凝土）或砂質材料作為爆壓衰減層，使停留在防貫穿層炸彈，爆炸威力經砂層衰減，不會造成彈庫受損。彈庫屋頂主要為拱型結構，在拱頂上方之爆壓衰減層可填當地小卵礫石材料，若不足則加入乾砂，以避免棄土處理，可達爆炸威力衰減之目的。黏土會乾裂硬化不適合作回填材料。

4. 筏基外擴設計

若炸彈未直接命中，則炸彈貫入土壤後可能以 J 字型路徑停留在彈庫下方，可將彈庫下方之筏式基礎外擴使炸彈無法在彈庫下方引爆，以降低爆壓。

5. 入口擋牆、防爆門及通氣口防爆閥

若於彈庫入口處爆炸，則用彈庫入口擋牆、通道處防爆門及通氣口防爆閥，來衰減與抵抗爆壓。

針對上述（1）~（5）項內容，詳述說明如下：

1. 武器威脅及覆土覆蓋厚度

考量的常用武器類型一般可參考美軍通用彈（GP）與半穿甲彈（SAP），或中國通用彈（GP）之火藥磅數威力，炸藥重量占彈頭重量之比例不同（Charge-to-Mass Ratio），使彈在撞擊目標時，有可能因速度過高而破裂，因此，每種彈皆有對應之撞擊速度上限（Breakup Velocity）作為結構應力分析因素。

2. 防貫穿層（抗炸層）

（1）覆蓋厚度

假設計算彈藥庫結構其上方的覆土層厚度（相關回填土壤）之貫入指標值，並採用相關假設彈藥之貫穿公式檢核覆土層厚度，通常再以簡化查表分析計算。

（2）防貫穿層

假設採用預定厚度之鋼筋混凝土層（配溫度鋼筋即可），計算其抗壓強度，並以其結構之貫穿公式進行分析。

（3）各種武器之貫入結果分析

依前述各種武器之貫入結果分析，預定厚度之 RC 結構頂板，是否可抵擋預定彈藥種類磅數之通用彈（GP）與半穿甲彈（SAP）各種武器之貫穿。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 35-44
http://www.sinotech.org.tw/journal/



3. 爆壓衰減層

採用相關形式之彈藥庫之地下爆炸公式，併計算合宜厚度之卵礫石與砂質材料來作為衰減爆壓之覆土。

各種武器在離鋼筋混凝土拱頂與牆不同距離處引爆，假設互制係數後，拱頂與牆所承受之反射爆壓與衝量、牆中點位移與旋轉角分析，所有旋轉角皆在彈性限制規範角度以內，使拱頂與牆之鋼筋混凝土不剝落。

將反射爆壓與反射衝量最大值，作用在彈庫主結構體（鋼筋混凝土）之拱頂與側牆外炸點，最大旋轉角規範標準以內，使鋼筋混凝土不剝落。

4. 筏基外擴設計

假設彈庫主結構體側邊依覆土順坡回填，應有一定厚度以上之卵礫石與砂質材料回填，並對應設計厚度之鋼筋混凝土筏基，與大量回填土坡，攻擊炸彈不易到達筏式基礎正下方，一般可忽略地下爆炸對筏式基礎之影響。

5. 入口擋牆、防爆門及通氣口防爆閥

（1）入口擋牆

考量武器精準度高，假設武器落在入口處擋牆前方若干距離處，參考相關文獻規範之地表爆炸參數，計算擋牆可能承受各種武器之入射爆壓（Pso）、入射衝量（Is）、反射爆壓（Pr）與反射衝量（Ir）。擋牆設計如單獨採用外側單牆厚度之鋼筋混凝土牆，通常須設計較厚之尺寸才能抵抗爆炸能量，建議可用背填緩衝砂土之雙層牆來吸收爆壓破片衝擊，以吸收能量之結構型式，降低爆炸破壞之影響。

（2）防爆門

假設武器在入口處或卸貨平台走道前方引爆，如防爆門設置於前室搬運通道內，則爆壓可經由通道衰減，參考相關文獻計算衰減係數及總衰減係數，計算衰減後爆壓作為防爆門入射爆壓最大值，計算或查表後可得反射爆壓與入射爆壓比值，可分析防爆門反射爆壓與反射衝量，並取防爆門反射衝量最大值，進行防爆門結構動力分析，門中點最大旋轉角應小於規範角度，用以估計受炸後門仍可在彈性狀態，擬定門結構尺寸。

（3）通氣口防爆閥

通氣口處防爆閥與防爆門位置相近，可引用防爆門入射爆壓作為參考值。通常其爆壓值過高，一般防爆閥無法抵擋，一般可採用至少二片爆壓衰減孔版，計算其爆壓衰減係數，檢核入射爆壓是否低於設定標準，對彈庫內部不造成危害，其構造型式亦可阻擋破片進入。

資料來源：蘋果日報網站資料 https://tw.appledaily.com/headline/20060511/LDMIBG5AMTMSC4PUP76G25NWMU/

圖 12　南港彈藥庫爆炸資料照片

### （七）彈藥庫安全量距之擬訂

土蓋拱形彈藥庫安全量距之擬訂，以四項距離檢討為主：

1. 住宅距離（IBD）、
2. 公共交通道路距離（PTRD）、
3. 廠間距離（ILD）
4. 庫間距離（IMD）

並可依國軍相關設計規範檢討。其間隔距離要求：住宅距離（IBD）＞公共交通道路距離（PTRD）＞廠間距離（ILD）＞庫間距離（IMD）。其彈藥庫之結構各面向：側邊（S）、後方（B）、前方（F）有無擋牆（FB）之安全量距檢討標準皆不同，須分別檢討劃定。

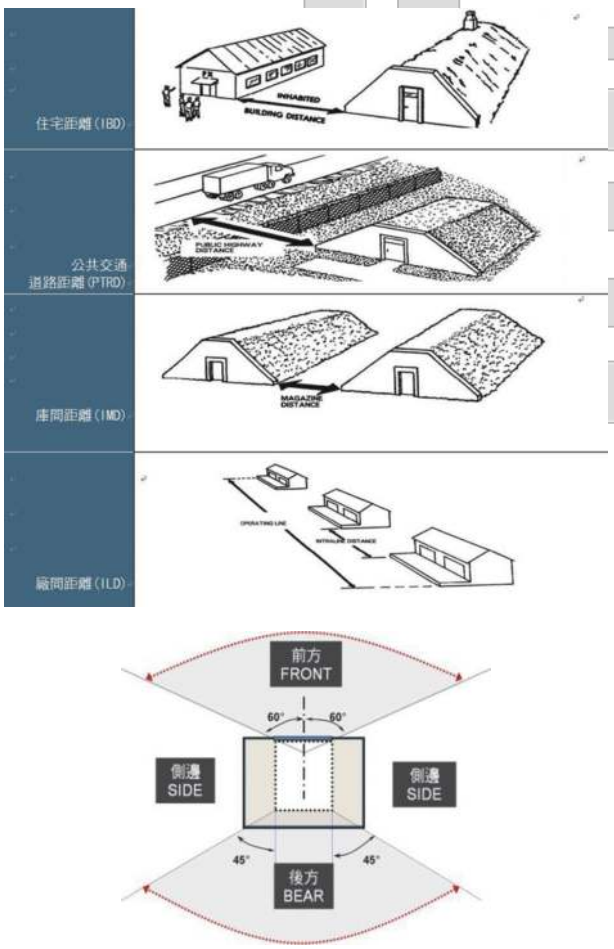



圖 13　彈藥庫安全量距檢討示意圖

禁限建範圍：

依海岸、山地及重要軍事設施管制區與禁建、限建範圍劃定、公告及管制作業規定第肆、三、（二）、6、（1）條之具爆炸性廠庫管制區禁止建築範圍：具爆炸危險性之軍事工廠、倉庫，應行禁止建築範圍。

參照各爆炸之危險物品之安全手冊，以製造或儲存爆炸危險物品之工廠或庫房為基點，依庫儲方式、儲存爆炸物品之數量、爆炸威力、地形、設施結構及防爆措施等，律定其禁止建築範圍，洞庫或地下化庫房不得超過 200 公尺、半地下化庫房不得超過 250 公尺，其餘不得超過 500 公尺。並申請劃定禁建限建管制範圍。

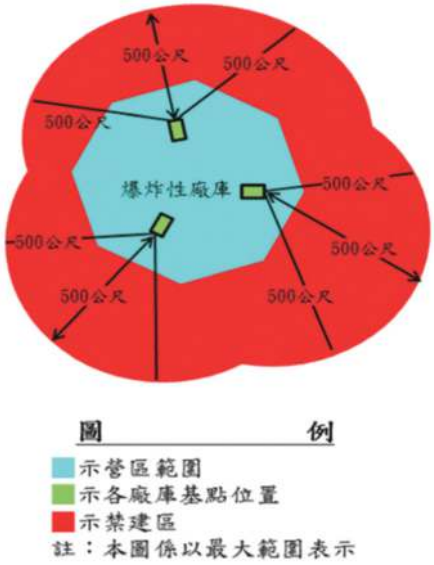



圖 14　禁限建範圍檢討示意圖

先標示營區範圍與土蓋拱形庫房位置，再以土蓋拱形庫房結構體為基點，繪製庫房前面、側邊與後邊之住宅距離（IBD），並申請劃定禁限建管制範圍。

### （八）彈藥庫特殊機電設計

彈藥庫除一般倉儲建築之機電設計、保全監

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 35-44
http://www.sinotech.org.tw/journal/



控、不斷電備援系統，與因應一般建築、消防、危險物品場所等法規必要之對應設計外，依彈藥庫特殊功能之機電需求，分述如下：

1. 電氣防爆配管及配線：

彈藥庫工程屬於火藥庫危險場所，其電機設備及配線設施應依「屋內線路裝置規則」第 324 條規定辦理，並且室內外燈具、插頭、控制盤體、管線應符合防爆性能，以避免電氣開關啟動火花引起爆炸。

2. 靜電防制設計：

為避免在彈藥庫內因人員或物品的靜電而產生火花，必須設置靜電接地系統，其具體作法為：

（1）彈藥庫入口處各裝置一支靜電消除棒，於人員或物品進出時加以碰觸消除身上所帶的靜電。
（2）靜電消除棒需接至建築物底下之接地系統，其接地電阻值須小於 25 歐姆。
（3）靜電消除棒須為實心銅棒或銅管，其高度為 1.2M。
（4）彈藥儲藏室四周離地 20cm 處設置導電銅板。
（5）彈藥儲藏室地面須鋪設導電地坪，以防止靜電荷蓄積。

3. 避雷防制設計

為有效保護整體彈藥庫，每座彈藥庫之覆蓋層頂部應設置 1 支高桅桿增強型放電式避雷針，藉由雷雲層成形時產生之電暈而激發內部高電壓脈波產生器，向上方大氣中釋放短暫時間的高電壓脈衝波提升無形高度 h，以提早接觸雷雲下行先導電荷，其避雷保護半徑達 150m，可有效涵蓋。另為防止側擊雷，沿彈藥庫上方邊界裝置富蘭克林避雷針作為避雷環路保護，突針高度為 60cm，彈藥庫中間高度為 2m，採用 45 角計算保護範圍。

4. 接地系統及電磁脈衝防制

下列系統應分別設置獨立接地網：電力系統接地：接地電阻≦ 10Ω、避雷接地系統：≦ 10Ω。弱電及通訊接地系統：接地電阻≦ 10Ω。

避雷針引下導體與建築物鋼筋間須以接地箝制器搭接，以提供落雷時之等電位浮動。重要負載之電源盤安裝突波吸收器（SVL），以防止感應雷擊（Induce Lightning）。並且應根據下方地質電阻值，設計相關導電地網或導電深井連結地下水層，以達成良好之整體避雷導電效能。

建築脈衝防護設計主要重點包括：鋼筋混凝土牆僅對 100kHz 以下低頻電磁脈衝具有屏蔽效能，而鋼板則對高頻電磁脈衝具有極高防護效能。通廊內壁需設計成具有電磁遮蔽衰減構造。通風窗需採蜂槽型導波管型式，而排水管需採圓型導波管型式以抑制電磁脈衝，電磁遮蔽門則需具有門縫電磁遮蔽構造。

5. 空調與濕度控制

彈藥庫儲存物質之本質，為金屬、粉末及易燃物。其特性為對濕度之敏感性。金屬類相對濕度高於 60% RH 時，金屬之表面銹蝕狀態開始展開，於愈高之相對濕度狀態下，銹蝕之情況愈快速顯著。故彈藥庫高濕度狀態必須予以抑制。

然而，低濕度狀態並非全然有利。當相對濕度低於 35% RH 時，靜電之發生頻率旋即快速增加，增加爆炸之潛在可能性。故彈藥庫之低濕度狀態亦須避免。因此 35% RH ≦空間相對濕度≦ 65% RH 為一般儲存空間之濕度適合區間。

空調系統建議採恆溫恆濕控制處理，提供全年乾球溫度約 28℃與相對濕度約 60% RH 之最佳儲存環境。

6. 消防極早期預警（VESDA）設備

彈藥庫內各儲存區單一偵測回路，樣品空氣經由抽氣取樣管路，傳遞至雷射微粒子分析偵測儀；透過抽氣、過濾、分析、比對、發布警訊、排氣等過程，提供 VESDA 系統，對防護區域有效地及早偵測火警。

## 三、結語及建議

本篇彈藥庫設計解說，僅就一般類型提供了相關內容的初步簡介，相關專業之結構分析及設計需求參數，則應另從軍事資訊管道取得，而造價昂貴、功能特殊之大型彈藥儲放空間，則更有其特殊之設計輸入及構造因應。

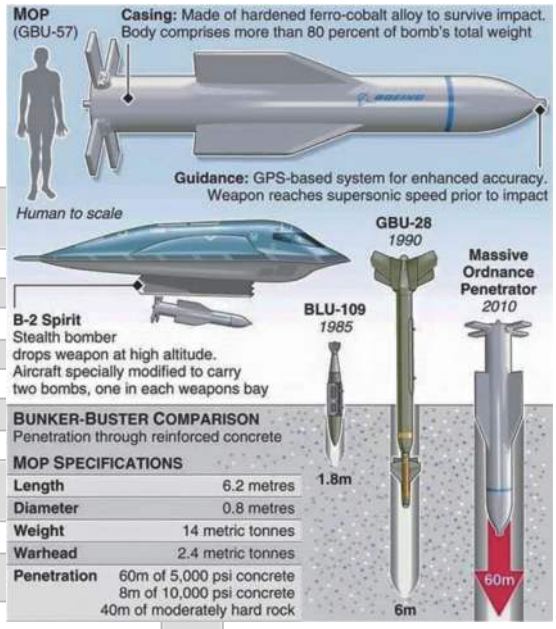
環顧現今偵查衛星廣布，精確制導穿透威力強大之攻擊性彈藥發展，目前彈藥庫之設計未來可能不足以因應武器科技之變化。針對彈藥庫之整體隱蔽及結構防護設計，茲提供三項可能之研究方向建議：

（一）彈藥庫外觀一般建築化

（二）彈藥庫主動式防護設計

（三）超級（抗炸）水泥

說明：（一）彈藥庫外觀一般建築化：目前覆土型彈庫雖有草坡及迷彩偽裝，但其特殊之草坡擋土斜牆及入口廣場，可從衛星偵測相片判斷其為彈藥庫。建議可研擬以一般建築或兵舍之外觀偽裝於覆土型彈庫外部，用以混淆衛星情資對於彈藥庫之位置判斷，甚或配合節能綠建築設計，統一於兵舍及彈藥庫屋頂安裝太陽能板，作為偽裝及節能，額外之 RC 外觀構造亦可增加防護力。（二）彈藥庫主動式防護設計：可思考應用目前常見於坦克外部之爆破式反應裝甲（Explosive reactive armour）或目前發展中之電子裝甲，設置於彈藥庫結構外部，用以抵抗或緩衝穿透式炸彈攻擊，並可降低僅以增加結構或緩衝層厚度方式之應力負擔，加強抵禦穿透式炸彈或鑽地彈之能力。（三）超級（抗炸）水泥：依中國大陸近年公布之消息，其已研發出可抵抗美軍鑽地彈之超高強度水泥，此項研發無論其真實性如何，應可作為相關國防建築結構工程精進之方向之一，如可確實研發突破，亦可能轉移應用於一般土木及建築工程隱含潛大商機。




資料來源：每日頭條網站資料 https://kknews.cc/military/nkxar9q.html

圖 15　美軍各型穿透式鑽地彈說明圖

## 參考文獻

UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC) - AMMUNITION AND EXPLOSIVES STORAGE MAGAZINES / May 2015

DDESB Technical Paper (TP) 15 Update and Standard ECM Designs Approved for New Construction-Author: Ryan W. Bowers, MS, PE; U.S. Army Engineering & Support Center; Huntsville, AL, USA / August 2018

Ammunition & Explosive Magazines: by TranSystems Corporation (Compiled for the Unified Facilities Criteria (UFC)) / Mar 2017

APPROVED PROTECTIVE CONSTRUCTION / Technical Paper No. 15 Revision 3 / Department of Defense Explosives Safety Board / Alexandria, VA / May 2010

A Guide to Ammunition Storage / GICHD CIDHG / Nov 2008

火炸藥安全量距之研析—林鵬舉—2013

Applicability of a Design Assessment and Management for the Current Ammunition Depots in Taiwan-Hsin-hung Lai / Feb 2020

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 45-53
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 原鄉部落坡地災害潛勢評估—跨時空情資整合

李璟芳 *　藍振維 **　林士淵 ***　林玉菁 ****　蘇文瑞 *****

## 摘　要

潛在大規模崩塌地與土石流潛勢溪流位處於偏鄉山區，其中多與原民部落重疊。政府自莫拉克風災後，對於集水區土砂災害潛勢區亦逐年投注大量資源，惟此類土砂災害潛勢區數量眾多，無法完全涵蓋進行監測。本應用研究旨在解決原鄉部落對於防災監測資訊的雙向落差，建構從天空到地平線（空間域），從過去到未來（時間軸），從傳統到科學（智慧融合）三個層面都能適用的遙測評估與地理資訊技術，包含多時序雷達衛星差分干涉技術（InSAR）、物聯網環境感測器（IoT Sensors）、自發性地理資訊（Volunteered Geographic Information）災害回報軟體及坡地災害示警擴充實境軟體（Augmented Reality）。本研究以新北市烏來區原鄉部落為對象，蒐整多元尺度的時間與空間資訊，進而融合部落住民傳承已久的耆老智慧，產製部落安全地圖。企盼在災害面貌多變且複雜的未來，賦予原鄉部落自主防災的量能，於極端氣候事件中預先避災進而超前部署，並在降低生命安全與災損的前提下，長久地與災害和平共處，逐步達成防災公私協力之目標。

關鍵字：適應性時間序列差分干涉、物聯網感測器、自發性地理資訊、災害示警擴增實境

## 一、緒論

自 2009 年莫拉克風災之後，政府長期關注潛在大規模崩塌、山崩與土石流等集水區邊坡土砂災害議題，對於山區重點關注邊坡導入相關地工監測與工程整治。惟地調所與林務局已判釋之潛在大規模崩塌地為數眾多，且分布於山區場址與原民聚落鄉鎮多有重疊。另全臺 439 處露營區約 49％位於山崩地滑地質敏感區內。受限於資源有限，公部門現階段仍難以對其位處易致災邊坡影響之聚落，施以廣泛之常時監測與災害預警。對於已進行山區監測邊坡場址，位處鄰近區域之民眾及區公所通常無法同步獲知監測資訊，其相關資料僅多回傳於權管機關。因此在防災監測資訊

*　中興工程顧問社防災科技研究中心坡地防災科技組組長
**　中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員
***　國立政治大學地政學系副教授
****　國防大學理工學院環境資訊及工程學系副教授
*****　行政法人國家災害防救科技中心正研究員

的傳遞上，存在著監測端與身處潛勢區內居民端之間的資訊鴻溝與痛點。再者，過去各部落承襲已久的在地防災知識（如耕地遴選與天然地形避險等）與地誌學鮮少被納入邊坡災害潛勢圖的考量因子，惟經現地田野訪查，察覺其中仍有科學模式無法獲得之寶貴傳統知識，實有將其融入之必要。

關於山區聚落與社區之邊坡災害監測，Dong et al.,（2018）曾以 InSAR 技術對造成中國成都省茂縣新磨村的大規模山崩滅村災害進行評估，該事件造成了邊坡下方聚落 40 餘住戶掩埋，造成 100 餘人死亡或失聯，其研究指出該災害於發生前的 InSAR 地表形變量分析，在稜線坡頂發生破壞前已有前兆可循。Bekaert et al.,（2020）曾以 Sentinel-1 衛星影像（2014-2017 年）對尼泊爾山地社區進行評估，並發掘六處與聚落重疊的潛移邊坡（2.1-8.8 mm/yr），證實開放 SAR 影像技術於篩選易致災邊坡區位之可行性。Bassols et al.,（2020）, Cenni et al.,（2021）, Lee et al.,（2021）也運用多時序 InSAR 於對於山坡地周緣之潛在滑動區進行山崩活動性評估，進而篩選易致災熱區及訂定風險等級。

官大偉（2013，2015）對臺灣北部泰雅族進行田野考察，蒐集了原民聚落與災害相關之語群地名，此類知識為耆老根據世代觀察所傳承，旨在告知後代子民部落傳統場域內可能發生的潛在危險區，如地名 Luhiy longu 表示過去曾發生土石流之處；Hnway 為水沖過的地方。諸如此類之地名已揭露歷史災害地及類型，惟過去多以口述相傳，鮮少有系統地以文字記錄保存。然而此類紀錄對於後人進行災害潛勢分析時，也著實提供了在地觀察的社會科學基礎資料，甚而能與科學評估模式所得熱區圖資與歷史災害區交互驗證。陳亮全（2018）則以新竹縣尖石鄉鎮西堡為對象，整合空間環境、產業作物及社會組織探討部落防災韌性與建構防災作為。

Abbas et al.,（2020）將物聯網（Internet of Things）感測器大量佈署於林木樹幹，監測惡劣天候下強風吹拂造成的樹木傾斜（倒），以記錄極端氣候下住宅區的潛在危險，並利用 xGBoost 模型來量化樹木倒塌的風險危害。Abraham et al.,（2020）以微機電感測器（MEMS）對喜馬拉雅山區進行潛在滑坡的傾斜角及含水量長期變化監測，並於 2017-2019 年季風期間，成功地驗證前述指標與降雨量間的關係性。Kumar et al.,（2021）於印度山區採蜂巢式網路 IoT 感測器，改進坡地社區之監測資料多節點傳輸方案，並建議採用語音響應物聯網（Voice Response Internet of Things; VRITHI）來減少耗能與提升網路安全性。Gamperl et al.,（2021）則開發了整合傾斜、地表位移及地下水位量測之 MEMS 傳感器，作為山坡地社區之早期滑坡預警系統（Landslide Early Warning Systems, LEWS）之低功耗監測設施，藉由遠程 LoRa 通信技術回傳雲端空間長期紀錄與分析，顯見物聯網監測系統搭配適切資料傳輸模式，可以較低之成本 / 效益比達成傳統昂貴監測之觀測需求，有利於擴及受邊坡滑動影響之坡地社區或偏遠聚落。

鑑此，為兼顧廣域遙測與邊坡尺度之近域監測，同時整合在地知識導入坡地災害潛勢評估流程，並採用數位科技加速災害資訊的蒐集與宣導。本研究以新北市於 2015 年蘇迪勒颱風侵襲期間，受創最嚴重之唯一原鄉 - 烏來區為對象，整合了廣域雷達差分干涉地表形變評估技術（Interferometric SAR, InSAR）、低功耗物聯網環境感測器（IoT Sensor）、自發性地理資訊（Volunteered Geographic Information）災害回報軟體與歷史坡地災害示警擴充實境軟體（Augmented Reality）等技術，最終回饋至一站式 3D InSAR GIS 監測資訊圖台（如圖 1），提

供原鄉部落住民自主防災與關注自家環境變異資訊，進而達成避災預警與防災公私協力之目標。

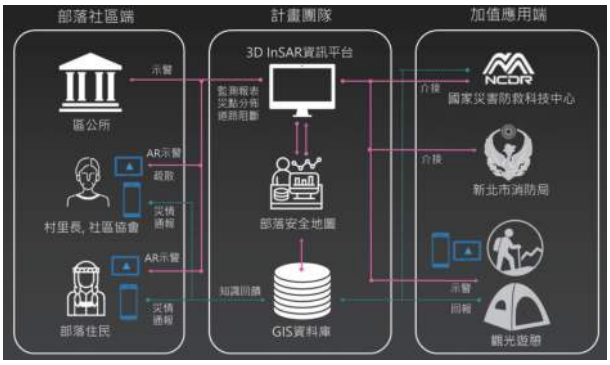



圖 1　計畫主軸與應用構想

## 二、研究方法

本研究採用之各項技術組成如圖 2 所示，不同的評估技術旨在從各種面向提供多元空間尺度與時序精度之環境變異資訊，以下茲逐項說明技術細節：

圖 2　原鄉聚落坡地災害評估技術組成

### （一）適應性時間序列雷達差分干涉技術

多時序 InSAR 技術於地表形變評估應用可廣泛地評估大範圍地表潛移現象與趨勢，如圖 3 所示。本法採統計同值像素法來獲取空間與時間域暫態的分布式散射體（Distributed Scatter; DS），並結合 PS-InSAR 分析法中穩定的永久散射體，以不過度且合理地提高解算後的地表量測點密度，稱之為適應性時間序列雷達差分干涉法（Adaptive time-series Interferometric SAR；以下以 ATS-InSAR 為簡稱，理論詳見藍振維等，2021；Lee et al., 2021；Weng et al., 2022）。

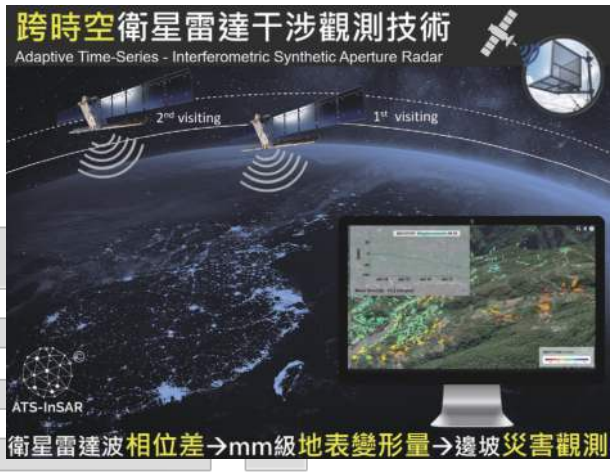



圖 3　ATS-InSAR 技術於山區評估成果圖

本研究之應用場域多座落於山區原鄉，受限於地表建物與人工設施密度較低（地表反射強度相對較弱），若以 PS-InSAR 法，較難獲得山區部落周緣地表之長期穩定 PS 點（Persistent Scatter；永久散射體），對於評估歷史山崩之復發活動或現生山崩之潛移趨勢力有未逮。故採用融合 PS 點與 HDS 點（Homogeneous Distributed Scatterer；均質分布式散射體）之新世代 ATS-InSAR 將有助於適度增揚地表形變點之可靠度與空間分布上的廣度，特別是在植生稀疏（如草坡）區、裸露地、電塔、橋梁及公路等山區邊坡。本計畫之影像來源以歐洲太空總署 Sentinel-1A/B 雷達衛星開放資料為分析對象（規格如表 1），分析方式將以廣域分析為先（如烏來區），初步視分析過程檢核（如視域分析、消除地形效應相位、大氣效應濾除、同調性圖與干涉圖分析、全相位回復等）與成果良窳。若屬偏遠聚落且孤立於其他聚落者，則改採小範圍分析（Small Area

Analysis）法來單獨評估，並以此成果作為部落安全地圖之山崩活動性指標之基礎，以及後續排定現場勘查、雷達角反射器（Corner Reflector）及 IoT 感測器部署之依據。

表 1　本研究使用 Sentinel-1 雷達影像規格參數

| 規格參數 | Senitnel-1 A/B |
|---|---|
| 偏極化 | VV |
| 重返週期 | 12/6 天 |
| 拍攝模式 | IW（Interferometric Wide Swath Mode） |
| 波長 | 5.6 公分（C-Band） |
| 空間解析度 | 5×20 公尺 |
| 像幅寬度 | 250 公里 |
| 軌道方向 | 升軌 / 降軌（依場域坡向選擇） |

### （二）雷達角反射器佈建

新北市烏來區受 2015 年蘇迪勒風災重創後，區域內有多處重大山崩及土石流造成之邊坡土砂災害，且於中央地質調查所公告之潛在大規模崩塌地共計 17 處，其中又以西羅岸潛在大規模崩塌地範圍最大，約 6.5 $km^2$，且涵蓋烏來部落主要居住區。鑑此，為釐清前述大規模崩塌地與舊山崩整治後之坡體穩定性，本計畫經現地勘查後於烏來運動場及高砂義勇紀念公園建置三座矩形四面體角反射器。佈署雷達角反射器之目的為提供邊坡茂密林區內之地表良好反射訊號，以利解析地表形變資訊（藍振維等，2021）。經考慮地形起伏、視域條件與坡向，因地制宜部署兩座定置型角單軌反射器及一座立柱型角反射器（如圖 4），其網型面狀設計有利於避免降雨積水與降低迎風面之風壓造成晃動（新型專利第 M607200 號）。

### （三）物聯網環境感測器開發

本研究之物聯網環境感測器之研發旨在兼顧低功耗、系統穩定、維護便利、經濟性與雲端儲存等各面向，提供原鄉部落環境監測使用，同時也作為太空廣域觀測之地端監測驗證資料來源（如圖 5）。在 MCU（Micro Processing Unit）開發平台選擇上，依觀測物理量、環境及網路等條件來遴選合適之微處理器（如 ARDUINO, ESP32 或 Raspberry Pi）搭配合用之感測元件進行研製與測試。經與居民訪談及實地訪查，共計開發採用 Nuvoton MS51 微控制器之氣象儀（含雨量、溫度、溼度、照度、氣壓、風速及風向）、三軸傾斜計（擋土牆或建物外牆）、雷射水位計（溪流或溝渠）、裂縫計（可量測拉裂距離與旋轉角）、土壤濕度計（淺層地表含水量）、定點式攝影機（環境現況）及毫米波（mmWave）雷達距離感測器等。觀測資料通訊傳輸則視現場條件，依資料量大小分別採 WIFI/4G 與 NB-IoT 因應。電力系統則適配兼顧陰雨日備援之太陽能板與蓄電池因應。

圖 4　雷達角反射器整合 IoT 感測器

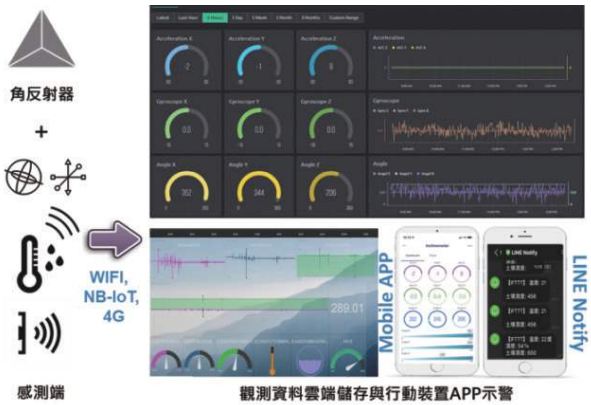



圖 5　IoT 感測器、通訊傳輸與雲端監測架構

### （四）歷史災害示警擴增實境

原鄉部落在颱風豪雨侵襲期間，較易受到土砂災害影響，特別是山崩（岩屑崩滑、岩體滑動與落石）與土石流災害。本研究蒐整了烏來區之山崩目錄、大規模崩塌劃定區及土石流潛勢溪流圖資，開發手機擴增實境服務（圖 6）。使用者可透過雷達方位圖，於行進路徑間瞭解身處位置與歷史邊坡災害點位之距離遠近。提供惡劣天候下，居民或遊客若於山區移動時，可預先瞭解前方道路之歷史災害分布，進而評估是否前往或改道而行。災害示警 AR 服務亦納入了重要地標、派出所、避難處所等基礎設施位置，供使用者緊急狀況下之避難選擇或求助參考。

圖 6　IoT 感測器、通訊傳輸與雲端監測架構

### （五）災害觀測回報 APP

過去山區原鄉災害觀測多仰賴公部門建置之監測系統作為災害評估與應變基準，較少取自山區部落現地真實地貌變異實況作為災害決策輔助資訊。為落實災害評估模式與原鄉部落安全地圖的集體創作，適時導入聚落第一手回報資訊，體現自發性地理資訊（VGI）的落地應用。本研究提出之「災害觀測回報 APP」軟體，共設計了八種山區部落常見之地貌變異類型（如圖 7），並以視覺化之插圖圖示利於住民理解。透過部落工作坊之雙向交流，傳遞 APP 安裝與操作技巧於村里重要防災要角（如村里長或總幹事等），再逐步擴及至各地之部落鄉親。待彙整各部落回傳資訊至 GIS 後台後，同步比對 InSAR 評估成果、開放遙測影像圖資及現場 IoT 感知器之時序資訊，經嚴謹驗證與資料偵錯排除後，匯集部落傳統災害知識，會同部落族人協同製作部落安全地圖。

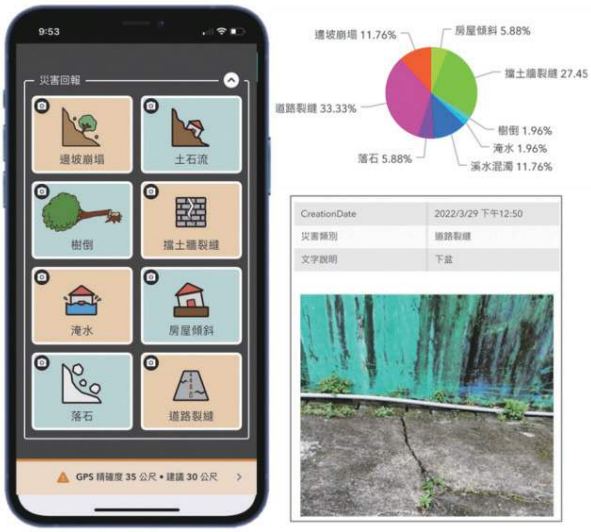



圖 7　災害觀測回報 APP 與蒐集資訊

## 三、坡地災害評估與三維情資整合

本研究以新北市烏來區下轄原鄉部落為評估場址，並以此建構全三維地理資訊平台，作為技術成果展示與應用架構雛形，詳情說明如后。

### （一）ATS-InSAR 評估與熱區識別

多時序 InSAR 評估首重應用標的與環境條件，不宜過度解釋，即無回波訊號處（植被茂密區或地形遮蔽）或無地表變異處（僅有地貌），即無法從解析後的地表形變圖中探測出細微的變化。首先對烏來區五個主要部落生活圈與歷年山崩目錄（含潛在大規模崩塌地）及土石流潛勢溪

流重疊區進行 ATS-InSAR 多時序地表形變評估（如圖 8），待相位圖分析、大氣校正與全相位回復等解算流程產製 PS 與 DS 地表形變點後，以 ADA 評估流程（Active Deformation Analysis; Navarro et al.,（2020））透過統計回歸檢定，篩選坐落於歷史坡地災害內的易致災熱區。如圖 8 中之紅色區塊範圍，可見潛移熱區多聚集於西羅岸潛在大規模崩塌地範圍的坡腹及坡趾，近期年形變速率約為 10-18 mm/yr。而忠治里之地表形變分析則顯示台 9 甲線道路下邊坡（忠治籃球場），存在約 3 cm/yr 滑移速率（中央地調所觀測資料為 5 cm/yr；朱偉嘉等，2020），是為忠治部落周緣較為顯著的易致災熱區（藍振維等，2021）。福山部落則以北 107 縣道旁的下盆聚落區地表潛移較明顯，近一年的最大形變量達 10 cm。藉由 ADA 分析與歷史災害山崩目錄的空間套疊評估（圖 9），可研析現生山崩（現況釐清）與潛在山崩（隱患識別）是否活動或復發。其中，InSAR 位移管理基準值可參考日本地滑對策技術協會（1978）率定之滑移量分級。

圖 8　烏來部落地表形變圖與易致災熱區快篩

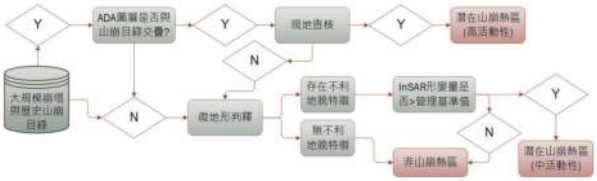



圖 9　山崩活動性熱區分析流程圖

（二）現地勘查與熱區驗證

前一小節 ATS-InSAR 評估提供了廣域地表潛移熱區快篩的初步成果，惟現場查核乃確認分析合理性的要務之一。以福山部落（下盆）分析為例，在 ADA 熱區圖中顯示其為區域內地表形變量值相對顯著的沉陷區，經現場會勘（如圖 10），在 InSAR 評估後的準確定變動區（每月潛移量 >2 mm；屬管理基準值中的準確定變動），不論道路鋪面、擋土牆、電桿或房建物上，均可發現地表延伸數米長之破裂跡線、傾斜樣態與牆面龜裂等跡證。訪談耆老時獲知此類緩慢潛移所造成的地表形變已持續數年之久，為此道路需定期鋪設瀝青，以防止地表逕流入滲造成基質流失致使裂縫擴大，而外牆傾斜開裂之住戶亦已遷徙他處。綜前所述，藉由地形幾何條件遴選適軌 SAR 影像分析，證明多時序 InSAR 技術在原鄉聚落區的歷史與現生的邊坡動態潛移行為，足以提供時空演育變化下的表徵微變觀測。然為了進一步地觀測當地的潛在邊坡隱患，本研究也於下盆教會建置了物聯網氣象儀與自轉式相機，除了蒐集未來可能驅動邊坡滑移的雨量與表層土壤濕度外，回傳雲端的環境資訊也有利於釐清雨量與 InSAR 觀測資料間的關聯性，作為後續防災管理基準值研訂基礎。

圖 10　福山部落（下盆）易致災熱區勘查

（三）3D 資訊整合圖台

本研究所蒐整之異質性環境資訊包含時序地

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 45-53
http://www.sinotech.org.tw/journal/



表形變量、感測器時序監測值、災害現況空間分佈點等，為有效地統一資訊管理並兼顧視覺化的呈現方式，本研究以 Cesium JS 開源的 3D 地球圖資服務，自行開發原鄉部落坡地災害情資整合平台（圖 11（a））。該平台的基本架構為將 ATS-InSAR 地表形變圖（含 ADA 熱區與角反射器佈建位置）與三維地貌套合，同時介接內政部 3D 國家底圖，呈現具體而直觀的聚落房建物樣貌。

圖 11　3D GIS 整合資訊圖台與國家災害防救科技中心（NCDR）災害情資網

在 IoT 感測器觀測資料的串接上，以 API 方式導入雲端資料匯流平台數據（如 Thingspeak, Adafruit-IO,Weather UG 等服務），於本研究 3D 圖台上創建監測儀表板以展示實時觀測數據。另取自災害觀測回報 APP 的災況類型、定位及影像等，經人工初篩濾除錯誤樣本後，餘保留於原 GIS 系統後台。使用上可依選取的部落位置，顯示此區域內數量最多的前兩類回報災害類型，並將整個烏來區各類災情回報之百分比以統計圓餅圖示之，提供部落（村里長或里幹事）或區公所管理單位掌握轄管境內之平時與災中邊坡災害情資。圖 11（b）為國家災害防救科技中心（NCDR）建構之災害情資網，目前已整合全國原鄉部落位置、易成孤島地區、收容所、土石流潛勢溪流、大規模崩塌等完整靜態圖層與攝影機即時影像，其他動態監測圖資，並且透過三維圖台技術朝數位孿生（Digital Twin）目標邁進，未來擬嘗試導入本研究之動態觀測資訊，並定期更新，在平時可提供原鄉住民與進入山區活動遊憩民眾之災害避險查詢資訊。而在災時，可同時優化一站式防災資訊統合圖台系統，縮短跨平台情資整合時間與提升災中決策作為。

### （四）部落安全地圖

不論採用統計法或專家法，災害潛勢模式發展至今可謂百家爭鳴，唯獨在地民族科學的傳統知識融入甚少被提及。本研究歷經多次訪談，傾聽原鄉住民對於災害地圖的需求，同時擷取反饋之傳統災害知識。因而瞭解過去以外地人之姿所倡議的科學化災害潛勢評估成果，對於落地應用仍存在著知識轉譯的巨大鴻溝。本研究最終之目標即團隊藉由擔任知識中介（Knowledge Brokering）的角色，回應來自部落的災害時空變異與痛點，將防災領域研究者與住民間的知識融合，採用共同設計準則（Co-Design Principles）重新詮釋一套適於也樂於被部落使用的部落安全地圖。更重要的是，在雙向討論過程中，災害評估、轉譯溝通、情資互換與模式再修正可以重複地循環，使知識流通得以消弭不同疆界、傳統、文化信仰與價值觀在災害防救上的隱形阻力。而傳統在地災害知識的萃取、融合與轉型，也有利

於建構完整的部落防災知識網，同時以數位孿生（Digital Twins）的方式保存較少見諸於文字紀錄的原鄉文化。以圖 12 為例，即為忠治與烏來部落安全地圖之雛形，由於本區域內之原住民族皆為泰雅族，故圖例中改以泰雅語（Atayal）為主體（中文為輔）。在官方公告的主管機關（如區公所）與避難處所外，圖面上的重要地標則經訪談後建議，改以住民較熟悉且與生活息息相關之點位進行標註（如雜貨店、特定山頭），利於識別地圖與逃生避難路線研判。由於目前仍缺乏全臺 746 個部落的詳細地理資訊圖層，在危險度的分級上，初步先以部落住宅群聚範圍為主體，並以災害矩陣（Hazard Matrix）將 ATS-InSAR 地表形變量（含 ADA 分析）、感測器觀測值及自主回報災情為主軸，進行四個維度的坡地災害危險度初評。為了適度簡化災害示警資訊，圖中也將不同部落過去較常發生的坡地災害類型以圖示強化風險感知。然對於居民回報之災害群聚點與 ADA 地表形變熱點則獨立揭示，提醒住民不量天候下，若於當地活動時須特別提高警覺。

圖 12　烏來與忠治部落安全地圖

## 四、結論與建議

本研究整合了太空雷達衛星與近域邊坡物聯網監測及自發性災害通報技術，除有助於落實原鄉部落自主防災與降低生命財產損失，亦發揮防災公私協力關係（Public-Private-Partnership, PPP），結合在地原住民長期累積的傳統災害經驗知識，進行部落坡地災害潛勢評估。本計畫之具體貢獻為改進過去防災評估多由政府施行至民間的思維，提供中介者整合串聯民間與公部門雙向知識的創新模式。在社會影響力方面，2004 年聯合國全球契約所提出的 ESG（環境 Environment, 社會 Social，治理 Governance）可視為企業經營的重要指標，可鼓勵企業投入防災工作實踐 ESG 精神。本研究產製之成果也符合聯合國永續發展目標（SDGs）項下之氣象變遷對策與永續城鄉方針，進一步深化防災種子培育角色與提供原鄉觀光遊憩安全資訊。

放眼未來之長期落地應用延伸，本研究產製圖資成果與觀測資料已提供國家災害防救科技中心（NCDR）介接，並攜手擴展至其他縣市原鄉部落版圖，以期提升臺灣部落抗災能力，讓民眾及政府提早察覺家鄉邊坡或土砂災害前兆，防患未然。在數位轉型的議題上，本研究成功地將實體災害地貌映射至數位評估模型，分析成果亦符合企業 ESG 永續經營之社會責任（Social）與環境保護（Environment）貢獻指標。

考量未來若於當地已有雨量站資料可供介接，可進一步將目的地之天候資訊串連公部門率定之防災警戒值（如公路總局之封路雨量基準、水土保持局頒布之潛在大規模崩塌地及土石流警戒避難雨量值），將歷史災害與動態氣象資訊整合於資訊平台，提供行人與居民更即時之避災示警服務。

## 謝誌

本研究特別感謝新北市烏來區公所、烏來衛生促進會、聯發科技教育基金會、國家災害防救

科技中心提供歷史災害情資、經費資助、現場設備安裝協作與技術整合建議，謹此一併申謝。

## 參考文獻

Abbas, S., Kwok, C.Y.T., Hui, K.K.W., Li, H., Chin, D.C.W., Ju, S., Heo, J., Wong, M.S. (2020) Tree tilt monitoring in rural and urban landscapes of Hong Kong using smart sensing technology. Trees, Forests and People, 10030.

Abraham, M.T., Satyam, N., Pradhan, B., Alamri, A.M. (2020). IoT-Based Geotechnical Monitoring of Unstable Slopes for Landslide EarlyWarning in the Darjeeling Himalayas. Sensors, 20, 2611.

Bekaert, D.P.S., Handwerger, A.L., Agram, P., Kirschbaum, D.B. (2020) InSAR-based detection method for mapping and monitoring slow-moving landslides in remote regions with steep and mountainous terrain: An application to Nepal. Remote Sensing of Environment, 249, 111983.

Bassols, J.B., Vazquez-Sune. E., Crosetto, M., Barra, A., Gerard, P. (2020) D-InSAR monitoring of ground deformation related to the dewatering of construction sites. A case study of Gl`ories Square, Barcelona. Engineering Geology, 286, 106041.

Cenni, N., Fiaschi, S., Fabris, M. (2021) Integrated use of archival aerial photogrammetry, GNSS, and InSAR data for the monitoring of the Patigno landslide (Northern Apennines, Italy). Landslides, 18, 2247-2263.

Dong, J., Zhang, L., Li, M., Yu, Y., Liao, M., Gong, J., Luo, H. (2018) Measuring precursory movements of the recent Xinmo landslide in Mao County, China with Sentinel-1 and ALOS-2 PALSAR-2 datasets. Landslides, 15, pp.135-144. https://doi.org/10.1007/s10346-017-0914-8.

Gamperl, M., Singer, J., Thuro, K. (2021) Internet of Things Geosensor Network for Cost-Effective Landslide Early Warning Systems. Sensors, 21, 2609.

Lee, C.F., Singhroy, V., Lin, S.Y., Huang, W.K., Li, J.H. (2021) Landslide activity assessment of subtropical area by integrating InSAR, landslide inventory, airborne LiDAR, and UAV investigation: a case study in northern Taiwan. Book: Advances in Remote Sensing for Infrastructure Monitoring, Springer Nature, pp.111-136, https://doi.org/10.1007/978-3-030-59109-0_5

Kumar, S., Duttagupta, S., Rangan, V.P. (2021) Resilient Green Cellular IoT for Landslide Monitoring Using Voice Channels. J. Sens. Actuator Netw. 10, 59. https://doi.org/10.3390/jsan10030059.

Navarro, J.A.; Tomás, R.; Barra, A.; Pagán, J.I.; Reyes-Carmona, C.; Solari, L.; Vinielles, J.L.; Falco, S.; Crosetto, M. (2020) ADAtools: Automatic detection and classification of active deformation areas from PSI displacement maps. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 9, 584. https://doi.org/10.3390/ijgi9100584.

Weng, M.C., Lin, C.H., Shiu, W.J., Chao W.A., Chiu, C.C., Lee, C.F., Huang, W.K., Yang, C.M. (2022) Towards a rapid assessment of highway slope disasters by using multidisciplinary techniques. Landslides, 19, pp.687-701. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01808-0

日本地滑對策技術協會（1978），地滑對策技術設計實施要領，Vol.2。

朱偉嘉、林錫宏、蔡政翰（2020） 烏來忠治籃球場邊坡滑動監測初步成果及滑動特性探討。經濟部中央地質調查所 108 年度業務成果發表會手冊，頁 23。

官大偉 （2013） 民族地形學與減災：以泰雅族 squliq 語群土地知識為例之研究．人文與社會科學簡訊，第 17 卷，第 4 期，頁 60-67。

官大偉 （2015） 原住民生態知識與當代災害管理：以石門水庫上游集水區之泰雅族部落為例。地理學報，第 76 期，頁 97-132。

陳亮全 （2018） 原住民防災社區行動計畫：運用傳統智慧建構災害韌性部落．行政院農業委員會水土保持局研究報告。

藍振維、李璟芳、林士淵、林玉菁 （2021） 新世代合成孔徑雷達影像評估技術 -ATS-InSAR 研發與應用。中興工程，第 153 期，頁 47-58。

廣告
防災科技研究中心
重要實績
✓ 水保局 土砂收支物聯網及大數據分析技術
✓ 科技部 地震數值模擬及地震危害分析
✓ 地調所 廣域山崩潛勢與警戒雨量評估
✓ 新加坡 AI於天災風險之廣域資料分析
專業服務
針對各項天然災害之防災技術，進行研究發展、技術服務、諮詢業務，跨領域整合地質、地工、地震、水保、水利、地球物理、地理資訊、遙測資訊等專業技術，提供全方位具體之國土保育與防災規劃，以確保公共工程之永續經營。
聯絡資訊
114065臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：dptrc-ctr@sinotech.org.tw
https://dptrc.sinotech.org.tw
誠信 創新 品質 服務
財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 55-67
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 國內外鐵路行車事故定義回顧 *

徐任宏 ** 林杜寰 *** 孫千山 ****

## 摘 要

運輸事故的趨勢比較為提升運輸安全的重要環節，透過跨國比較更能提供國家安全目標的制定依據，惟鐵路系統國際上尚缺乏統一、強制的事故分類標準。為釐清各國事故分類差異，本研究回顧我國、日本、歐盟以及英國的鐵路事故相關法規及定義，並綜整比較各國在鐵路事故定義上的差異。最後提出三點建議供我國監理機關參考，期望後續能精進事故定義、完善統計分析機制，以利與國外比較安全績效，訂定符合國際安全水準的國家安全目標，並以此檢視安全管理與監理的有效性。

關鍵字：鐵路系統、行車事故

## 一、前 言

運輸事故的趨勢分析為提升運輸安全的重要環節。各運輸系統除了應自我比較外（整體同比或公司別互比），營運機構或監理機關亦可與國外類似系統比較，據以確認國際安全水準、評估相關改善作為是否仍有不足之處。

其中，民用航空運輸業因業別的跨國特性，相關國際組織（如國際民航組織 ICAO、國際航空運輸協會 IATA 等）訂有各項飛航事故分類定義，各國可據以統計、分析國內外事故趨勢並改善相關飛安作為；水上運輸業則有國際海事組織（IMO）相關規定可循；大眾捷運系統運輸業亦有 CoMET & NOVA 地鐵聯盟訂定的各項關鍵績效指標，可供各國捷運系統比較、分析；鐵路業雖同樣存在國際鐵路聯盟（UIC）這類跨國專業組織，但因各國鐵路發展脈絡不同、分析重點不同、或者系統未與他國相容或相連接等因素，在鐵路事故分類定義上存在一定差異。目前 UIC 係廣邀各會員參與其安全資料庫、提出事故事件等資料並加以分析（分類方式與歐盟類似），至今參與者以歐盟相關單位為主，相對而言其範圍仍較為侷限。因此，有必要加以釐清各國（或國家聯盟）之差異。

爰此，本研究將蒐集先進鐵路系統國家（或國家聯盟）之事故定義，而後針對各國常見事故指標定義進行比較。相關成果可供鐵路營運機構、監理機關在客觀基礎下比較國內外鐵路安全水準；未來亦可作為鐵路監理機關的修法參考。

---

* 本研究係參考國家運輸安全調查委員會委外辦理「鐵道事故安全統計分析委外研究」的相關報告內容

** 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心副研究員
*** 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心高級研究員
**** 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心軌道運輸組組長

## 二、各國鐵路行車事故定義

本研究擬參考之國家（或國家聯盟）包含日本、歐盟、英國，主要考量我國鐵路組織、法規、設備等層面與日本淵源頗深。其次，歐盟訂有統一的事故定義，且目前應用於UIC安全資料庫中，可供我國事故比較參考。最後，英國的鐵路安全水準在歐盟各國是名列前茅，整合職業安全衛生的分類方式亦可作為我國發展學習的對象。

### （一）我國鐵路事故

我國鐵道系統包含鐵路系統及大眾捷運系統。前者定義於鐵路法，包含臺鐵、高鐵、林鐵、糖鐵等鐵路機構；後者則定義於大眾捷運法，包含北捷、高捷、桃捷、中捷等營運機構。其中，鐵路系統事故、事件分類主要定義於鐵路行車規則第60~62條，整理如表1，相關條目於2012年、2017年及2022年均有修訂（如圖1），說明如下：

1. 2012年修訂後奠定目前重大行車事故、一般行車事故、行車異常事件的分類基礎，但未有判斷次序關係。
2. 2017年將「重大死傷事故」、「人員受傷事故」整併為「死傷事故」，並新增判斷次序關係：「一般行車事故指前條所定重大行車事故以外之下列情事……」。
3. 2022年將重大行車事故限縮為「營運時段」的正線衝撞、出軌、火災等情事。

依鐵路行車規則第65條，鐵路機構須按月填具行車事故事件月報表，交通部會將上述事故資料彙整於交通部統計查詢網上（交通部，2022a）；並在約一年後於交通統計要覽中發布確定的事故資料（交通部，2022b）。

表1　我國 - 鐵路系統行車事故定義

| 事故事件分類 | 事故事件 | 說明 |
|---|---|---|
| 重大行車事故 | 正線碰撞 | 營運時段，於正線發生列車互相、車輛互相、或列車與車輛互相間之衝撞或撞觸 |
| | 正線出軌 | 營運時段，於正線發生列車或車輛傾覆或脫離軌道 |
| | 正線火災 | 營運時段，列車或車輛於正線發生火災 |
| 一般行車事故（排除前條所定重大行車事故） | 衝撞事故 | 發生列車互相、車輛互相、或列車與車輛互相間之衝撞或撞觸 |
| | 出軌事故 | 發生列車或車輛傾覆或脫離軌道 |
| | 火災事故 | 列車或車輛發生火災 |
| | 平交道事故 | 列車或車輛於平交道與道路車輛或行人發生衝撞或碰撞 |
| | 死傷事故 | 前四款外，因列車或車輛運轉或跳、墜車致發生人員死亡或受傷之情事 |
| | 設備損害事故 | 前五款外，因列車或車輛運轉且非因天然災變造成設備或結構物新臺幣一百五十萬元以上之損害 |
| | 運轉中斷事故 | 前六款外，因列車或車輛運轉且非因天然災變造成一小時以上之運轉中斷 |

表 1　我國 - 鐵路系統行車事故定義（續）

| 事故事件分類 | 事故事件 | 說明 |
|---|---|---|
| 行車異常事件<br>（排除前二條所定行車事故） | 列車或車輛分離 | 指列車或車輛非因正常作業所致之分離 |
| | 進入錯線 | 指列車或車輛進入錯誤軌道，或於應停止運轉之工程或維修作業區間內運轉 |
| | 冒進號誌 | 指列車或車輛停於顯示險阻號誌之號誌機內方或通過未停 |
| | 列車或車輛溜逸 | 指列車或車輛未經駕駛員或相關人員操作控制、或錯誤操作之移動 |
| | 違反閉塞運轉 | 指列車進入未辦理閉塞區間 |
| | 違反號誌運轉 | 指列車或車輛未依號誌指示運轉 |
| | 號誌處理錯誤 | 指人員錯誤操作號誌裝置或應操作而未操作 |
| | 車輛故障 | 指車輛之動力、傳動、行走、連結、集電設備、車門、軔機、車體或其他裝置等發生故障、損壞或功能異常等影響運轉之情事 |
| | 路線障礙 | 指土木結構物或軌道設備發生損壞、變形或功能異常致影響列車正常運轉之情事 |
| | 電力設備故障 | 指變電站設備、電車線設備、電力遙控設備及其他附屬裝置等發生故障、損壞或功能異常致影響列車正常運轉之情事 |
| | 運轉保安裝置故障 | 指列車自動控制裝置、聯鎖裝置、行車控制裝置、軌道防護裝置、轉轍裝置、列車偵測裝置、號誌顯示裝置、冒進防護裝置、災害偵測裝置及其附屬設備發生故障、損壞或功能異常致影響列車正常運轉之情事 |
| | 外物入侵 | 指人員或外物侵入鐵路路權範圍、破壞鐵路設備、擱置障礙物或其他行為，致影響列車或車輛正常運轉之情事 |
| | 危險品洩漏 | 指瓦斯、火藥或其他危險品從列車或車輛顯著洩漏之情事 |
| | 駕駛失能 | 指駕駛人員於駕駛列車或車輛過程中，因身心健康因素，致無法安全駕駛或完成勤務之情事 |
| | 天然災變 | 指強風、豪大雨、洪水、地震等其他自然異常現象，致影響列車正常運轉之情事 |
| | 列車取消 | 指前列各款以外之事件，造成未依規定或未經核准取消時刻表訂列車班次之情事 |
| | 其他事件 | 指前列各款以外，經交通部認定之情事 |

資料來源：本研究彙整

註：正線指提供旅客運送服務使用之路線或其他列車運轉經常使用之路線；側線指正線以外之路線；車輛指動力車、客車、貨車及特殊車輛；列車指動力車單行或牽引車輛，具有完備列車標誌（依據鐵路行車規則）。

參考資料：本研究彙整

圖 1　我國 - 鐵路系統行車事故分類改變歷程

## （二）日本鐵路事故

日本鐵道系統依據其特性不同，分別規範於鐵道事業法（日文：鉄道事業法）及軌道法（日文：軌道法）。前者包含 JR 在來線、JR 新幹線、大型民鐵、中小型民鐵、部分地鐵系統等，可對應我國鐵路系統及完全獨立專用路權大眾捷運系統；後者則包含各地路面電車、單軌系統、新交通（膠輪捷運）、部分地鐵系統等，可大致對應我國非完全獨立專用路權大眾捷運系統（即輕軌系統）。

前述鐵道營運機構須依其特性受鐵道事業法或軌道法規範，其中亦包含事故事件的通報。目前兩者子法中的事故事件通報分類相同，故相關報告中會一併進行統計與比較。以鐵道事業法子法－鐵道事故報告規則（日文：鉄道事故等報告規則）為例，各項事故事件定義如表 2。

另外每年日本國土交通省會公告前一年度「鐵軌道輸送安全相關情報（日文：鉄軌道輸送の安全に関わる情報）」，報告中將表 2 各項鐵道運轉事故重新分類彙整，以利於分析整體鐵道系統各類事故近年件數、死傷人數、死傷人員年齡、事故原因等，分類如表 3 所示。國土交通省亦在該報告中闡明，確定肇因為自殺的事件會被排除在統計之外以利後續分析（國土交通省，2021）。

表 2　日本—鐵道事故事件定義

| 事故事件分類 | 事故事件 | 說明 |
|---|---|---|
| 鐵道運轉事故 | 列車碰撞 | 列車與其他列車或鐵道車輛碰撞 |
| | 列車出軌 | 列車出軌 |
| | 列車火災 | 列車發生火災 |
| | 平交道障礙 | 在平交道上，列車或鐵道車輛與通行之行人或公路車輛發生碰撞 |
| | 道路障礙 | 在平交道以外道路，列車或鐵道車輛與通行之行人或公路車輛發生碰撞 |
| | 人員障礙 | 列車或鐵道車輛運轉過程導致人員傷亡（排除前五項事故） |

表 2　日本—鐵道事故事件定義（續）

| 事故事件分類 | 事故事件 | 說明 |
|---|---|---|
| 鐵道運轉事故 | 鐵道財損 | 列車或鐵道車輛運轉過程導致 500 萬日圓以上財物損失（排除前六項事故） |
| 運輸障礙事件 | - | 前列各項外，造成鐵道運輸障礙（列車臨時停開、旅客列車延誤 30 分鐘以上、其他列車延誤一小時以上）的情事 |
| 電氣事故 | 電擊死傷 | 因電擊導致人員傷亡 |
| | 電氣火災 | 因漏電、短路、等其他電氣因素而在建築物、車輛或其他工作物品、森林等之中發生火災 |
| | 電擊外死傷 | 因電力設備的缺陷、損壞、破壞等，或因電氣設備的操作不當而導致人員傷亡 |
| | 電源中斷 | 3kV 以上電氣設施的故障、損壞、破壞等而導致電力公司的電源中斷 |
| 災害 | - | 因暴風雨、大雨、大雪、洪水、風暴潮、地震、海嘯和其他異常自然現象、大規模火災或爆炸等，而對鐵路設施或車輛造成損害 |
| 應通報事件<br>( 排除前述事故事件 ) | 違反閉塞 | 列車違反閉塞運轉 |
| | 違反號誌 | 列車進入受阻，但號誌顯示通過 |
| | 冒進號誌 | 列車冒進險阻號誌 |
| | 主線溜逸 | 列車或車輛於主線上逸走 |
| | 維修違規 | 列車在停止營運、進行維修作業的區間運行 |
| | 車輛出軌 | 主線車輛出軌、側線車輛出軌造成主線受阻、側線車輛因設備以外的其他出軌 |
| | 設施損壞 | 鐵道線路、保安設備等故障、損傷、破壞 |
| | 車輛損壞 | 車輛運行設備、煞車、電氣設備、連結器、運轉保安設備等故障、損傷、破壞 |
| | 危險物洩漏 | 從列車或車輛上洩漏危險品、火藥等 |
| | 其他 | 其他 |

資料來源：本研究彙整

註 1：鐵道事故報告規則並未定義各類應通報事件的名稱；上表名稱係參考國土交通省「鐵軌道輸送安全相關情報」的用詞。

註 2：列車指為在停車站場（含車站、調車場、號誌站）外路線上運轉而編成之車輛；車輛指用於鐵道事業的機車、客車、貨車及特殊車輛（依據鐵道相關技術基準省令）。

表 3　日本鐵道運轉事故分析分類

| 運轉事故分析分類 | 涵蓋事故 | 說明 |
|---|---|---|
| 列車事故 | 列車碰撞 | 對應表 2 |
| | 列車出軌 | 對應表 2 |
| | 列車火災 | 對應表 2 |
| 平交道事故 | 平交道障礙 | 對應表 2 |
| | 平交道的列車事故 | 取列車事故中，肇因於平交道障礙者（亦即事故判定時，列車事故優先於平交道障礙） |
| 道路障礙 | 道路障礙 | 對應表 2 |
| 人員障礙 | 在路線內與列車碰撞 | - |
| | 在月台與列車碰撞 | 含月台上及跌落月台者 |
| | 其他 | - |
| 鐵道財損 | 鐵道財損 | 對應表 2 |

資料來源：國土交通省，2021

## （三）歐盟鐵路事故

歐盟具有跨國的鐵路路網，故歐盟訂有鐵路安全指令（Directive (EU) 2016/798）以統一要求各國鐵路安全法制，其規範範圍排除路面電車、輕軌、捷運、地區性或郊區通勤鐵路、遺產鐵路、產業鐵路等。該指令定義有鐵路通用安全指標（Common Safety Indicators，簡稱 CSIs），大多會以列車公里將各國指標標準化，其中死亡、重傷旅客會額外考量旅客列車公里、旅客延人公里等資訊，比較各國的旅程風險。指標如表 4。

鐵路安全指令並定義有「事故」及「重大事故」，說明如下：

### 1. 事故

不期望或未預料、且會造成有害後果的突發事件或一連串事件，事故可分為碰撞、出軌、平交道事故、人員遭移動中鐵路車輛撞擊、火災、其他等數類。

### 2. 重大事故（Significant Accident）

涉及至少一輛行駛中的鐵路車輛，且須滿足下列三種條件一項（含）以上的事故（不包括發生在車庫、機廠或其他維修廠房等地方的事故）：

(1) 導致至少一人死亡或重傷；

(2) 對軌道、其他設施或環境造成重大損害（相當於 15 萬歐元以上）；

(3) 對鐵路系統運行造成嚴重干擾（導致主線中斷運轉 6 小時以上）。

鐵路安全指令要求，各國鐵路監理機關應向歐盟鐵道局（European Union Agency for Railways，簡稱 ERA）通報各項重大事故，並依表 4 的事故相關指標、通報直接事故的種類，即便其造成之間接事故的嚴重性更高（如：因火災而造成出軌，則仍應通報火災）。至於各項通報注意事項，ERA 也訂有擬有通報指引可供營運機構參考（European Union Agency for Railways，2015）。

UIC 亦以歐盟之分類方式為基礎，廣邀各會員參與其安全資料庫、提出事故事件等資料並加以分析，至今參與者包含奧地利 ÖBB、法國 SNCF、英國 Network Rail 與 RSSB、德國 DB DB-Netz、韓國 KRRI 等 33 個國家的營運機構或研究機構。UIC 安全資料庫的事故分類方式如表 5 所示。

## （四）英國鐵路事故

針對歐盟指令，歐盟各國須擬定國內法規以將相關要求法制化。歐盟鐵路安全指令發布後，英國即制定鐵路安全監理規則（The Railway and Other Guided Transport Systems Safety Regulation，簡稱 ROGS），彙整前述歐盟通用安全指標項目。

表 4　歐盟—通用安全指標

| 指標類型 | 內容 |
|---|---|
| 事故相關指標 | 總和及相對（每列車公里）事故件數，包含：<br>1. 列車與鐵路車輛碰撞：<br>列車某部分與其他列車（或鐵路車輛、調車機車頭）的某部分，發生對撞、追撞或側撞之情事<br>2. 列車與淨空內障礙物碰撞：<br>列車某部分與固定或臨時存在軌道淨空內或附近的障礙物發生碰撞之情事（包含與接觸線的碰撞；不含與平交道上遺留物品的碰撞）<br>3. 列車出軌：<br>至少一組列車車軸脫離軌道之情事<br>4. 平交道事故：<br>發生在平交道上，涉及至少一鐵路車輛，以及一或多公路通過車輛、使用者（如行人）或障礙物（由公路車輛或使用者丟失而暫時出現在平交道區域之軌道上或附近）的事故<br>5. 人員遭移動中鐵路車輛撞擊：<br>一個或多位人員，被鐵路車輛、附於車輛上物品、從車輛上脫落物品擊中的情事。其中包含從鐵路車輛墜落的人員、在旅途中跌落或被鬆脫物品擊中的人員；<br>6. 車輛火災：<br>行駛於預定路線上（包含停靠於始發站、中間站、終點站，以及重新編組時）的鐵路車輛（含其載運物品），產生明火或爆炸等情事；<br>7. 其他事故（前述以外的其他類型事故）。 |
| | 總和及相對（每列車公里）死亡或重傷人員數量，包含：<br>1. 旅客（包含每旅客延人公里及每旅客列車公里的數值）；<br>2. 員工或承包商；<br>3. 平交道使用者；<br>4. 闖越者；<br>5. 其他月台上人員；<br>6. 其他非月台上人員。 |
| 危險貨物相關指標 | 總和及相對（每列車公里）涉及鐵道危險貨物運輸事故件數，包含：<br>1. 涉及至少一列運輸危險貨物鐵路車輛的事故；<br>2. 洩漏危險貨物的事故件數。 |
| 自殺相關指標 | 總和及相對（每列車公里）自殺及自殺未遂件數。 |
| 事故前兆指標 | 總和及相對（每列車公里）事故前兆件數，包含：<br>1. 軌道損壞；<br>2. 軌道挫屈或其他軌道線型偏差；<br>3. 錯誤側號誌故障（wrong-side signaling failure）；<br>4. 通過危險點的冒進號誌（signal passed at danger when passing a danger point）；<br>5. 尚未通過危險點的冒進號誌（signal passed at danger without passing a danger point）；<br>6. 營運中車輛車輪損壞；<br>7. 營運中車輛車軸損壞。 |
| 計算事故經濟影響相關指標 | 總和及相對（每列車公里）歐元成本：<br>1. 死亡與重傷數量乘上人員傷亡價值；<br>2. 環境損害成本；<br>3. 車輛或基礎設施材料損害成本；<br>4. 事故造成延滯之成本。 |

表 4　歐盟—通用安全指標（續）

| 指標類型 | 內容 |
|---|---|
| 系統設施安全指標 | 1. 具備運作中列車保護系統（Train Protection Systems, TPSs）的軌道比例、使用車載列車保護系統的列車公里比例，該系統提供以下功能：<br>A. 告警；<br>B. 告警與自動停止；<br>C. 告警、自動停止與不連續速度監控；<br>D. 告警、自動停止與連續速度監控。<br>2. 平交道數量（總和、每路線公里及軌道公里）：<br>A. 被動式平交道；<br>B. 主動式平交道：<br>i. 手動；<br>ii. 自動（具備使用者告警設備）；<br>iii. 自動（具備使用者保護設備）；<br>iv. 具備鐵路側保護設備。 |

資料來源：European Union Agency for Railways，2015

註：列車指一或多個鐵路車輛由一或多個機車、動力客車所牽引，或單一動力客車，以特定編號或名稱從起點運行至終點，包含單機車運轉；車輛指適用於鐵路路線上、透過車輪走行的鐵路車輛，可為有或無動力，並由一個或多個結構子系統及功能子系統所組成。

表 5　UIC—安全資料庫事故分類

| UIC 事故分類 | UIC 事故子分類 | 歐盟事故相關指標 |
|---|---|---|
| 列車出軌 | | 列車出軌 |
| 列車與鐵路車輛碰撞 | | 列車與鐵路車輛碰撞 |
| 列車與障礙物碰撞 | 列車與障礙物碰撞（不在平交道） | 列車與淨空內障礙物碰撞（不在平交道） |
| | 列車與障礙物碰撞（在平交道） | 平交道事故（在平交道） |
| 人員遭列車撞擊 | 人員遭列車撞擊（在平交道） | |
| | 人員遭列車撞擊（不在平交道） | 人員遭移動中鐵路車輛撞擊 |
| 人員從列車墜落 | | |
| 車輛火災 | | 車輛火災 |
| 觸電傷亡（架空線或第三軌） | | 其他事故 |
| 涉及危險貨物之事故 | | |
| 調車運轉 | | |
| 車輛溜逸 | | |

資料來源：International Union of Railways，2021

另外，英國過去歷史發展強調職業安全，故鐵道安全亦與其安全衛生制度（如 BS OHSAS 18001）息息相關。在法規層面上，英國安全衛生執行署（Health and Safety Executive，簡稱 HSE）更訂定人員傷亡、疾病及危險事件通報規則（The Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations，簡稱 RIDDOR），以規範相關事故事件及傷亡人員通報流程，其範圍涵蓋城際鐵路、倫敦地鐵、遺產鐵路等，甚至是其他產業的公司、個體戶等。針對 RIDDOR 中的通用通報項目、鐵道系統專門通報項目，鐵道安全監理機關 - 英國鐵公路辦公室（Office of Rail and Road，簡稱 ORR）擬有通報指引，與行車有關的通報內容大致可歸類如表 6。其中自殺事件無須通報，疑似自殺者則有評斷條件供參考（Office of Rail and Road，2016）。

表 6　英國—RIDDOR 應通報項目

| 類別 | 項目 |
|---|---|
| 傷害或疾病 | 死亡、特定傷害、七日以上傷害、疾病（員工工作中） |
| | 死亡、特定傷害、七日以上傷害（自雇者於他處工作） |
| | 特定傷害、七日以上傷害（自雇者於自處工作） |
| | 疾病（自雇者於自處或他處工作） |
| | 死亡或需要送至醫院治療之傷害（非工作中人員） |
| 鐵道危險事件 | 客運列車出軌或碰撞<br>1. 客運列車與其他列車間的碰撞<br>2. 客運列車整體或部分的出軌 |
| | 非客運列車出軌或碰撞<br>1. 非客運列車間的碰撞<br>A. 在正線上造成列車損傷；<br>B. 在側線上造成列車損傷或進入正線路塞<br>2. 非客運列車的出軌<br>A. 在正線上，不含未造成正線路塞的調車出軌<br>B. 在側線上造成進入正線路塞 |
| | 涉及列車的事故<br>1. 火車與止衝擋間的碰撞，造成列車損害（不含側線碰撞）<br>2. 火車與牛、馬等碰撞（無論損害）；或與其他動物碰撞（造成列車損害）須立即進行臨時或永久維護（包含駕駛艙窗戶損壞）<br>3. 正線行駛列車撞擊物體（或遭任何物體撞擊），造成須立即進行臨時或永久維護的損害（包含駕駛艙窗戶損壞）或造成出軌可能<br>4. 列車遭公路車輛撞擊<br>5. 客運列車或非客運列車制靭不良造成車廂分離（非蓄意） |
| | 列車部分失效<br>1. 車軸、車輪、繩索、扣件、斜坡作業的工廠或設備，以及火車任何可能導致其他列車事故（或人員受傷）部分的失效，被發現或發生當列車行駛於正線上 |
| | 火災<br>1. 客運列車任何部分或載運危險貨物之列車發生火災<br>2. 在非客運列車的任何部分發生火災並被消防撲滅<br>3. 嚴重影響號誌設施功能的火災<br>4. 嚴重影響運輸系統沿線或工程的火災，須中斷路線營運、部分車站營運、中斷部分訊號或其他處所等一段時間<br>A. 在地下段為超過 30 分鐘<br>B. 在其他情況為超過一小時<br>C. 或造成損害並影響運輸系統運行 |
| | 嚴重電弧或熔化<br>1. 嚴重電弧或熔化<br>A. 在列車任何部分<br>B. 嚴重影響號誌設施功能 |
| | 平交道<br>1. 任何列車碰撞公路車輛或平交道閘門<br>2. 任何列車在未經授權情況下進入平交道<br>3. 平交道設施失效，並可能造成人員受傷的重大風險（公路或小徑使用者） |

表 6　英國—RIDDOR 應通報項目（續）

| 類別 | 項目 |
|---|---|
| 鐵道危險事件 | 運輸系統功能或作業<br>1. 正線軌道或齒軌失效，造成<br>A. 軌道橫斷面破裂<br>B. 軌道碎片分離，須中止運轉或採行立即速度限制<br>2. 正線軌道挫屈，須中止運轉或採行立即速度限制<br>3. 任何航空器、車輛等降落、進入路線上或損壞路線，如<br>A. 阻礙路線通行<br>B. 造成平交道鐵路設備損壞<br>4. 電扶梯、電梯或輸送帶失控<br>5. 以下事故可能造成列車事故或人員受傷的重大風險：<br>A. 隧道、橋樑、高架橋、涵洞、車站或其他結構或其任何部分的失效，包括電氣化運輸系統的固定電氣設備<br>B. 除號誌燈不能控制公路車輛行駛外，號誌系統的任何失效（可能對列車的安全通行造成重大風險）<br>C. 路堤或路塹的滑動<br>D. 運輸系統沿線的洪水<br>E. 船隻、公路車輛或其負載撞擊橋梁<br>F. 運輸系統沿線或工程的任何部分失效 |
| | 冒進號誌事件<br>1. 任何列車行駛於正線或從側線進入正線時，未經授權逕行通過顯阻號誌（除非險阻號誌未在駕駛員可安全停下的適當時間時顯示） |

資料來源：Office of Rail and Road，2016
註：僅列出與行車事故事件有關之項目，職業災害相關項目不予說明

## 三、綜合討論

比較各國鐵路行車事故定義後，可從以下幾個面向說明其中差異。

### （一）事故判定架構

1. 我國依嚴重性順序而判定，先判定重大行車事故而後才是一般行車事故、行車異常事件。其中一般行車事故的細項有判定順序要求。
2. 日本與我國類似，亦是依序判定鐵道運轉事故、運輸障礙事件、應通報事件等，鐵道運轉事故的細項也有判定順序要求。
3. 歐盟（及 UIC、英國 ROGS）與我國、日本完全不同，是以最先發生的事件來判定並分析，此種作法有利於分析事故的各項原因。
4. 英國既有的安全衛生通報（RIDDOR）則是透過完整指引界定各類通報事故的定義。

### （二）事故統計範圍

1. 我國的事故定義大多僅看客觀事實，例如出軌、火災等情事，並且不排除自殺事件。
2. 日本、英國 RIDDOR 也是看客觀事實，但會排除自殺事件。
3. 歐盟（及 UIC、英國 ROGS）各國鐵路機構在確定最先發生的事件之後，需一併檢視該事故的人員、環境或運轉損害，只有滿足一定標準才會向歐盟通報、統計。

### （三）各類事故細部定義

1. 以正線衝撞、出軌、火災事故來說（參考表 7~ 表 9）：我國在 2022 年修法後強調統計範圍為「營運時段的正線事故」；日本、歐

盟、英國等則透過列車之定義，隱約說明統計範圍為「營運中」且「在正線上」的事故，與我國大致相同（歐盟部分還須滿足人員、環境或運轉損害條件；英國 RIDDOR 另須滿足「客運列車」）。

2. 以平交道事故來說（參考表 10）：我國明確闡明則須先判定是否為重大行車事故；日本則在鐵軌道輸送安全相關情報中暗示列車衝撞、出軌、火災之判定優先於平交道障礙；歐盟則以第一個發生的事故為判定分類。因此，假使列車因在平交道與公路車輛碰撞而導致出軌，我國會納入正線出軌、日本會納入出軌事故，歐盟則歸類為平交道事故（須滿足人員、環境或運轉損害條件）。

表 7　各國衝撞事故定義比較

| 國家 | 我國 | 日本 | 歐盟、UIC、英國 (ROGS) | 英國 (RIDDOR) |
|---|---|---|---|---|
| 對應事故 | 正線衝撞 | 列車碰撞 | 列車與鐵路車輛碰撞 | 客運列車碰撞 |
| 地點 | 正線 | 隱含正線 | 隱含正線 | 隱含正線 |
| 時間 | 營運時段 (2022 年修法 ) | 隱含營運時段 | 隱含營運時段 | 隱含營運時段 |
| 對象 | 列車互相、車輛互相、或列車與車輛互相間 | 列車與其他列車或車輛 | 列車與其他列車、鐵路車輛、調車機車頭 | 客運列車與其他列車 |
| 發生情事 | 衝撞或撞觸 | 碰撞或接觸 | 對撞、追撞或側撞 | 碰撞 |
| 其他備註 | - | - | 統計重大事故 | - |

資料來源：本研究彙整

表 8　各國出軌事故定義比較

| 國家 | 我國 | 日本 | 歐盟、UIC、英國 (ROGS) | 英國 (RIDDOR) |
|---|---|---|---|---|
| 對應事故 | 正線出軌 | 列車出軌 | 列車出軌 | 客運列車出軌 |
| 地點 | 正線 | 隱含正線 | 隱含正線 | 隱含正線 |
| 時間 | 營運時段 (2022 年修法 ) | 隱含營運時段 | 隱含營運時段 | 隱含營運時段 |
| 對象 | 列車或車輛 | 列車 | 一組列車車軸 | 客運列車整體或部分 |
| 發生情事 | 傾覆或脫離軌道 | 出軌 | 脫離軌道 | 出軌 |
| 其他備註 | - | - | 統計重大事故 | - |

資料來源：本研究彙整

表 9　各國火災事故定義比較

| 國家 | 我國 | 日本 | 歐盟、UIC、英國 (ROGS) | 英國 (RIDDOR) |
|---|---|---|---|---|
| 對應事故 | 正線火災 | 列車火災 | 車輛火災 | 火災 - 客運列車任何部分或載運危險貨物之列車發生火災 |
| 地點 | 正線 | 隱含正線 | 預定路線上，含停靠於始發站、中間站、終點站，以及重新編組時 | |
| 時間 | 營運時段 (2022 年修法 ) | 隱含營運時段 | 通常營運時段 | 隱含營運時段 |
| 對象 | 列車或車輛 | 列車 | 鐵路車輛（含其載運物品） | 客運列車任何部分或載運危險貨物之列車 |
| 發生情事 | 發生火災 | 發生火災 | 產生明火或爆炸 | 發生火災 |
| 其他備註 | - | - | 統計重大事故 | - |

資料來源：本研究彙整

表 10　各國平交道事故定義比較

| 國家 | 我國 | 日本 | 歐盟、UIC、英國 (ROGS) | 英國 (RIDDOR) |
|---|---|---|---|---|
| 對應事故 | 平交道事故 | 平交道障礙 | 平交道事故 | 平交道 - 任何列車碰撞公路車輛或平交道閘門 |
| 地點 | 平交道 | 平交道 | 平交道 | 平交道 |
| 時間 | 不一定 | 不一定 | 不一定 | 不一定 |
| 對象 | 列車或車輛，與道路車輛或行人 | 列車或鐵路車輛，與公路之通行車輛或行人 | 涉及至少一鐵路車輛，以及一或多公路通過車輛、使用者或障礙物 | 任何列車，與公路車輛或平交道閘門 |
| 發生情事 | 衝撞或碰撞 | 碰撞或接觸 | 未明述 | 碰撞 |
| 其他備註 | 須優先判定是否符合正線出軌、衝撞、火災之條件 | 排除自殺；須優先判定是否符合列車出軌、衝撞、火災之條件 | 排除自殺；統計重大事故 | 排除自殺 |

資料來源：本研究彙整

## 四、建議

因各國鐵路發展脈絡不同，故在各種常見鐵路事故（衝撞、出軌、火災、平交道事故等）之細緻定義上均存在部分差異，包含：

（一）我國事故判定架構與日本較類似，係依事故嚴重性分類。與之相比，歐盟（及 UIC、英國 ROGS）則以最初事件類型做分類，並以嚴重性判定其通報層級，且因通報分類較複雜，故擬有細部通報指引可供營運機構參考。

（二）我國過去在重大行車事故範圍係以地點（正線或側線）界定；2022 年修法後已與日本、歐盟（及 UIC、英國 ROGS）等國逐漸相同，改以是否發生於營運時段界定。

（三）日本、歐盟（及 UIC、英國 ROGS）等多已排除自殺事件以利分析比較，但我國尚無。

爰此，建議後續監理機關可辦理以下作業，據以與國外比較安全績效，並以此提升安全管理與監理的有效性。

（一）短期：可更新交通部統計查詢網、交通統計要覽之資料，除了列表展現當時法規的事故、事件類型與件數以外，亦同步呈現 2022 年修法後重新判定的各類事故、事件類型與件數，以利相關單位追溯、統計安全績效。此外也建議能說明或排除有較高機率為自殺之事故件數，如此一來事故統計範疇與日本便可更加接近，有利於比較分析日本各鐵道機構之安全績效。

（二）中期：建議可參考歐盟、英國之作法，另訂通報或分類準則，包含判定與檢核方式（含自殺的檢核）、具體定義、通報作業流程等，以利營運機構遵循。準則內容亦可導入歐盟的事故判定方式，以利營運機構進行事故成因分析，並連結相關安全績效指標及危害登記冊內容（含危害與控制措施）。此外，上述措施亦有利於將事故事件彙整為 UIC 分類方式，後續可推動加入 UIC 安全資料庫，並與歐盟各國、韓國等比較、交換安全績效資訊。

（三）中長期：建議可在未來國家鐵路安全計畫進版時，將前述歐盟事故判定方式－事故成因－安全績效指標－危害登記冊的連結納入國家安全指標與目標中。如此一來可藉由績效管理的方式，提升安全管理與監理的有效性。

## 參考文獻

交通部（2022a）統計查詢網。檢自 https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100

交通部（2022b）109 年度臺灣地區鐵路行車事故（含異常事件）。檢自 https://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=59&parentpath=0%2C6&mcustomize=statistics501.jsp

國土交通省（2021）鉄軌道輸送の安全に関わる情報（令和 2 年度）。檢自 https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001459190.pdf

European Union Agency for Railways (2015) Implementation Guidance for CSIs. Available: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/implementation_guidance_for_csis_en.pdf

Office of Rail and Road (2016) Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations 2013 - Guidance for railways, tramways and other guided transport systems. Available: https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/om/riddor-guidance.pdf

International Union of Railways (2021) UIC Safety Report, Available: https://safetydb.uic.org/IMG/pdf/sdb_report_2021_public.pdf

**應用程式　　公開發售**

**結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式**

**售價：新臺幣 9,190 元/套(含報告)**

**訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐**
**傳　　真：(02)8791-2198**
**E-MAIL：louise@sinotech.org.tw**

財團法人中興工程顧問社已獲得專利如下，若有需要，歡迎洽詢。
聯絡電話 ：(02) 8791-9198 轉 467 陳小姐
E-MAIL：louise@sinotech.org.tw
網　　址 ：http://www.sinotech.org.tw

| 序號 | 專利名稱 | 發明字號 | 核准地區 | 種類 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 消能型金屬接合板消能機構 | 發明第 I 449832 號 | 台灣 | 發明 |
| 2 | 氣體採樣裝置與氣體採樣方法 | 發明第 I522605 號 | 台灣 | 發明 |
| 3 | 高濃度藻類的污水培養裝置與方法 | 發明第 I534103 號 | 台灣 | 發明 |
| 4 | 感測裝置及土石流監測系統 | 新型第 M 550399 號 | 台灣 | 新型 |
| 5 | 災害指示裝置以及災害應變系統 | 新型第 M 551733 號 | 台灣 | 新型 |
| 6 | 多功能熱反應裝置 | 發明第 I617357 號 | 台灣 | 發明 |
| 7 | 邊坡感測裝置 | 新型第 M 561293 號 | 台灣 | 新型 |
| 8 | 山區部落智能供水與坡地安全防護系統 | 新型第 M 561200 號 | 台灣 | 新型 |
| 9 | 現地表層沖刷無線監測系統 | 新型第 M 561201 號 | 台灣 | 新型 |
| 10 | 井下岩層特徵立體成像的系統及方法 | 發明第 I626622 號 | 台灣 | 發明 |
| 11 | 地層氣體紅外線光譜檢測系統 | 新型第 M 563548 號 | 台灣 | 新型 |
| 12 | 高性能等時太陽能地層洩氣系統 | 新型第 M 565237 號 | 台灣 | 新型 |
| 13 | 高精度無線節能傾斜感測系統 | 新型第 M 569420 號 | 台灣 | 新型 |
| 14 | 監測框架 | 設計第 D 193440 號 | 台灣 | 設計 |
| 15 | 水流分離裝置及包含其之水流量測系統 | 新型第 M 581200 號 | 台灣 | 新型 |
| 16 | 用來提升點雲精度之方法與裝置 | 發明第 I676151 號 | 台灣 | 發明 |
| 17 | 分離式封塞水力試驗測量系統 | 新型第 M 586745 號 | 台灣 | 新型 |
| 18 | 隧道空間紅外線光譜儀氣體量測系統 | 新型第 M 592513 號 | 台灣 | 新型 |
| 19 | 水砂盒 | 新型第 M 594123 號 | 台灣 | 新型 |
| 20 | 隧道光標定位發射器 | 發明第 I 696807 號 | 台灣 | 發明 |
| 21 | 分離式封塞水力試驗測量系統與方法 | 發明第 I 698574 號 | 台灣 | 發明 |
| 22 | 水砂盒 | 設計第 D 206644 號 | 台灣 | 設計 |
| 23 | 環境資料之前處理系統 | 新型第 M 601347 號 | 台灣 | 新型 |
| 24 | 建物震後性能診斷系統 | 新型第 M 601845 號 | 台灣 | 新型 |
| 25 | 隧道空間紅外線光譜儀氣體量測方法 | 發明第 I 707132 號 | 台灣 | 發明 |
| 26 | 井下岩層特徵立體成像的系統及方法(APPARATUS AND METHOD FOR SEMI-THREE-DIMENSIONAL ROCK FORMATION IMAGING ALONG THE BOREHOLE SIDEWALL) | US10,760,405 B2 | 美國 | 發明 |
| 27 | 人工沖蝕渠槽自動化監測裝置 | 新型第 M 603040 號 | 台灣 | 新型 |
| 28 | 角反射器及雙軌雷達反射器 | 新型第 M 607200 號 | 台灣 | 新型 |
| 29 | 高性能等時太陽能地層洩氣系統 | ZL 2019 1 0329350.5 | 大陸 | 發明 |
| 30 | 運用遙測資料建置災害曝險資料之系統 | 新型第 M 609811 號 | 台灣 | 新型 |
| 31 | 單攝影機建築結構層間變位監測系統及相關方法 | 發明第 I 730859 號 | 台灣 | 發明 |
| 32 | 不連續鋼板圍束鋼筋混凝土連接梁 | 發明第 I 736494 號 | 台灣 | 發明 |
| 33 | 人工沖蝕渠槽自動化監測方法 | 發明第 I 737413 號 | 台灣 | 發明 |
| 34 | 自供電角反射器 | 新型第 M 616769 號 | 台灣 | 新型 |
| 35 | 三維透地雷達的影像解析輔助裝置 | 新型第 M 621844 號 | 台灣 | 新型 |
| 36 | 智慧型變位監測系統 | 新型第 M 626729 號 | 台灣 | 新型 |
| 37 | 運用遙測資料建置災害曝險資料之系統 | 發明第 I 764326 號 | 台灣 | 發明 |

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 69-77
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 從駐外人力管理平台建置—談人力效益最大化

林芳輝 *　張建信 **　何祖皜 ***　蔡宗翰 ****

## 摘　要

工程顧問公司的概念，是以特定形式將專業工程人才組織起來的簡稱，「人」實為其主體，是公司中，無可替代的資產，而公司人力資源的表現，必然嚴重影響公司的經營績效。因此，如何高效地管理和運用人力資源，已成為工程顧問公司經營成敗的關鍵因素。

駐外人力管理平台作為公司員工調度管控之輔助系統，蒐集建置公司人事資料庫，提升資料正確性，除可將駐外監造、專案管理人力依據不同的招標需求條件進行線上自動篩選與媒合，也可運用平台資訊，使駐外同仁提早規劃職涯，使同仁安心，另更可將人力供需情形加以分析，作為後續業務的評估。

我國重大公共建設計畫年度經費近幾年持續攀升，整體營建產業人力卻因少子化、科技產業高薪排擠效應等環境因素，人力資源供給逐年下滑，爰此，面對專業人才競爭時代和國家發展的需要下，發展快速有效評估公司業務收益，及依經濟規模做有限人力的總額管控，已迫在眉睫，運用科技手段即速正確的業務爭取評估機制，及早洞悉趨勢，提前佈局未來十年營建產業新局，方能站在風頭浪尖上迎接新的時代來臨。

關鍵字：人力資源管理、駐外人力管理平台、調度媒合、業務人力評估、人力效益、人力趨勢

## 一、前　言

人力資源管理（HRM, Human Resource Management），可以追溯於英國起源的勞務管理（Labor Management），始於人類歷史中如初芽般呈現，而後，人力資源一詞由當代著名管理學家彼得杜拉克（Peter Drucker）於 1954 年在其著名的「管理實踐」一書中提出。隨著工業革命、工業化、科技革命以及一瞬千里的資訊網路世代，經過長年累月的演進及發展，人力資源管理在現今企業中所蓬勃發展的專業培訓制度、績效考績評核、人才管理等課題，以及解決未來面臨社經環境的變遷、少子化人力短缺等各面向之問題，已扮演著重要且無可替代的地位。

日本著名跨國公司松下電器（Panasonic）創始人，被人們稱為經營之神的松下幸之助先生曾經說過：「企業最重要的資產是人」，以考量「人性」的角度，經營者、管理者就必須先站在以人

*　中興工程顧問公司工程管理部資深協理
**　中興工程顧問公司工程管理部技術經理
***　中興工程顧問公司工程管理部工程師
****　中興工程顧問公司三鶯捷運工程處工程師

類需求的層次上，找到建立出「以人本關懷」的企業文化元素，對員工以愛屋及烏的心態，將之融入於企業之管理及日常之中。

監造或專管等計畫的駐外同仁，在該所屬計畫結束前，由於監造專管計畫係駐外工作屬性，若無法先讓該同仁得知接續的安排，將使同仁在計畫結束將屆時，產生惶惶不安之感。在不了解公司對於自身職涯規劃是何安排之情形下，將嚴重影響忠誠度與歸屬感。因此，駐外人力資源管理制度的建立，可系統性透明化揭示員工之工作安排與發展方向，奠定公司永續經營之基石。

21 世紀已進入網路與知識經濟的世代，網路的即時互動特性，可提升資訊的彙總及分析效率，為使管理者能可以更精準地做出決策，而進一步延伸出線上電子化的人力資源管理平台。

## 二、人力資源趨勢探討

隨國家經濟發展之政策，影響整體營建產業人力規模，以致於企業須因應業務及人力供需狀況，衡量經營規模及策略，已是不容忽視的課題。依據國家發展委員會歷年公共建設經費資料顯示，從民國 108 年新台幣 4,416 億元、109 年 5,046 億元到 110 年的 6,080 億元，近三年增幅達 37.7%（如圖 1），而今年國家發展委員會於工商時報之新聞稿顯示，111 年公共建設計畫經費規模也達 5,448 億元，可以發現我國工程營建產業之發展現況與趨勢，在新冠肺炎疫情衝擊、營造業缺工缺料的情形下仍與日俱增。綜觀我國整體營建市場有十年一榮枯之趨勢，公共建設經費現階段屬擴張區位。

圖 1　營建市場經濟規模走勢圖

邇來，由於社會價值觀的丕變，年輕工程師與土木工程相關科系應屆畢業生對於投入營建業工地現場的意願低落，再加上少子化的影響，據教育部統計處之大專校院學生及畢業生人數預測分析報告指出，整體大專院校畢業生每年以 -2.6% 遞減，且無回升跡象，而工程學門畢業生數量也持續探底，整體營建業面臨嚴峻的人才短缺潮（如圖 2）。

圖 2　工程學門畢業人數走勢圖

依據中興工程顧問公司（以下簡稱中興公司）內網人事資料 ( 如圖 3，資料更新至 111 年 9 月 27 日 ) 工作性質區分設計及監造，可以看出公司內部監造人力高齡化，且剛畢業之新進公司人力較喜從事設計業務，而監造資格條件通常需具 3 年以上工作經驗且須擁有品管證照，聘用監造即戰力不易。

承上所述，工程學門畢業人數衰減、監造人力已呈青黃不接，另如科技業搶才導致排擠效應，無疑使監造及專管增員難度雪上加霜，考量公司經營規模、駐外人力資源有限，須謹慎節制監造業務擴張趨勢，避免因市場緊縮需求人力減少，駐外人力供需急遽變化受上游端影響，產生長鞭效應（Bullwhip effect）。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 69-77
http://www.sinotech.org.tw/journal/

圖 3　中興公司設計監造人力年齡統計圖

## 三、平台功能及建置過程

掌握資料才能將資訊轉換成資源，進而成為公司資產，線上協同平台的建置是中興公司邁向雲端管理的第一步。平台的建置思維，係將原有較不合時宜的作業模式轉為數位化流程、雲端儲存運算，使之事半功倍，突破既有作業框架，並利用中興公司既有的資源進行破壞性創新（Disruptive Innovation）。平台建置前，需進行資料蒐集及擷取，建立系統性資料庫，並瞭解公司既有同質性平台功能，評估共存廢可行性，避免平台過度開發產生疊床架屋的情形。平台的功能須滿足公司業務需求及使用者的便利性。最後在建置完後，指派專人負責維護，並持續聽取使用者回饋意見進行優化。

中興公司工程管理事業責任中心（以下簡稱工管責任中心）被賦予駐外人力調動之協調事宜，故轄下工程管理部（以下簡稱工管部），爰此建立公司人力資料庫數位化，以達成適才適所適時高效媒合任務，發揮人才最大之效 。

為使公司駐外人力資源效益最大化，達到無待用人力管理目標，工管部與研發及資訊部（以下簡稱研資部）共同合作建置「駐外人力管理頁面」，擬利用已普及化之計畫管理資訊系統（Project Management Information System，以下簡稱 PMIS）為基礎平台，增設人資管理功能，其中人事資料須滿足業務契約篩選需求、迅速媒合調度，並以使用者的角度製作分鏡圖，藉此建構平台 UI，達成親民操作介面。茲將該平台相關功能概述如下：

### （一）PMIS 個人履歷資料庫

中興公司內部網站員工專區中，已有提供人員履歷編撰網頁，履歷基本資料包括學經歷、專長、證照、技術訓練等，可用於統計全公司員工職等、年齡、教育程度、專長及具技師證照員工數量等，儲存並建立資料庫。

駐外人力係指中興公司派駐總公司以外地區之服務計畫工作人力（包含監造、專管技術人員及行政管理人員），截至 111 年 8 月底，依據中興公司人才庫的資料顯示，約有 755 名駐外人力（如表 1）。有鑑於公司監造及專管業務與日俱增，內網履歷儲存格式無法滿足招標文件人員資格分類分級自動篩分要求，管理者無法有效率地做出適當的人選判斷及調度。

表 1　中興公司駐外人力

| 區域 | 民國 109 年 9 月 | 民國 110 年 9 月 | 民國 111 年 8 月 |
|---|---|---|---|
| 北 | 287 | 323 | 431 |
| 中 | 131 | 159 | 123 |
| 南 | 138 | 152 | 154 |
| 東 & 其他 | 39 | 38 | 47 |
| 總計 | 594 | 672 | 755 |

* 近三年駐外人力成長 27.1%

工管部與研資部於駐外人力管理頁面內，增設具備資料視覺化能力的 PMIS 履歷介面（如圖 4），並提供計畫主管審核的人員列表及維護系統的選項調整功能，並增加可統計中興公司駐外同仁從事「各類工程性質之年資」、「一般及特殊工程經歷年資」、「相關職務年資」等功能。

圖 4　PMIS 履歷填報頁面

為避免同仁須於內網履歷資料庫與 PMIS 個人履歷兩套系統填報困擾，故將兩套系統進行連動，同仁於中興公司內網履歷填報後，系統將會自動於 PMIS 履歷匯入基本資料（如圖 5）。

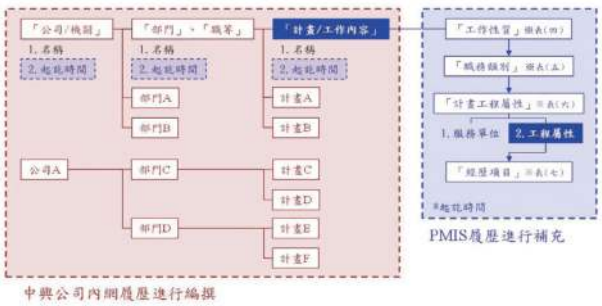



圖 5　中興公司與 PMIS 履歷建置基本架構

PMIS 履歷系統分為兩個部分，分別為同仁的「基本資料」及「履歷清單」：

1. 基本資料：

由公司內網履歷資料自動匯入，基於人本關懷及在地化，增加填報「畢業科系」、「希望工作地」、「現居地」、「是否希望轉任設計部門」、「相關證照」等資料；另有關證照填寫功能，增加系統選項功能，編列 57 項土木、建築、機電、技師、安衛領域之專業證照供參。

2. 履歷清單：

曾任職公司、部門職稱、計畫名稱皆由內網履歷資料庫自動匯入，增加「相關經歷年資」與「計畫 / 工作內容」兩種補充項目。

（1）相關經歷年資，主要係為統計同仁曾參與有關土建、機電等工程屬性相關的經歷年資，原則以「公司→部門→計畫 / 工作內容」方式進行填列，同仁於本系統補充「公司」、「部門」之起訖時間，系統即可自動累加經歷年資，俾利管理。

（2）計畫 / 工作內容，增加「工作性質」、「工程經歷」、「職務類別」等三項目。工作性質依業主機構屬性，分為海外工程、國內民間工程、公共工程及其他產業四項，計畫性質分為規劃、設計、監造、施工及專管等；工程經歷依駐外同仁所屬專案計畫的工程屬性，進行一般經歷及特殊經歷的選填（如表 2）；職務類別則依監造專管招標文件常用分類予以細分。

表 2　工程經歷填列一覽表

| 項目 | 說明 |
|---|---|
| 一般工程經歷 | 行政、水利、繪圖、機電、環工、土建、海事、建築、其他 |
| 特殊工程經歷 | 弱電與通訊、景觀植栽、地質、軌道監控與通訊、機械與通風空調、裝修、自動收費與票務、軌道、高（快）速公路、消防與給排水、海堤、防波堤、電氣與配電、下水道、管線、園區開發、壩工、護岸、橋梁、跑（滑）行道、軌道號誌、一般道路、隧道、碼頭、軌道車輛與維修設備、軌道月臺門、鋼構、無。<br>（※ 配合招標須知常有設定某種特殊工作經驗，統計臚列之項目） |

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 69-77
http://www.sinotech.org.tw/journal/



PMIS 履歷應滾動更新，方能使駐外人力資料及時正確，以提高調度媒合效益，故擬定駐外同仁填報配合事項，俾讓工管責任中心能適時適所的安排同仁後續工作，履歷維護原則如下：

1. 公司內網員工專區 / 人員履歷主管核可後，配合系統自動發信通知，同仁主動前往 PMIS 履歷系統補充資料。
2. 駐外同仁皆須於 PMIS 履歷補充履歷相關經歷年資、希望工作地等資訊，俾利調度安排。
3. 依據中興公司內部 ISO9001（品質安衛管理系統資訊）規定，員工應配合工作實況主動每半年檢視及更新履歷上傳一次，俾保持最新資料。
4. 於職等變更、調換駐外工作地及進修課程取得新證照時應及時更新。

## （二）需求填報平台

各部門可依據該平台介面右方「工管責任中心監造人力釋出即時分布」，該圖為中興公司未來 4 年駐外人力可釋出情形，依據六大工程屬性（土建、建築、機電、水利、軌道、環工）搭配臺灣北、中、南、東四類地域之動態分布（如圖 6），擬訂爭取包含監造及專管業務策略。

為能確保履約責任，需求部門應有即時填報資訊並提供正確資料的責任，爰此要求在填報需求訊息時（如圖 7）應能較需求日期提前至少 3 個月，俾利工管責任中心提前因應調派。需求填報平台填報須知如下：

1. 應就招標文件所述之條件，如地點、職務、資歷、證照要求、進駐時間等，按每一人力逐一詳實填寫。
2. 人力最早～最晚進駐填報時間以不超過三個月為原則。
3. 應於人力需求前 3 個月填報資料，並註記其計畫總期程。

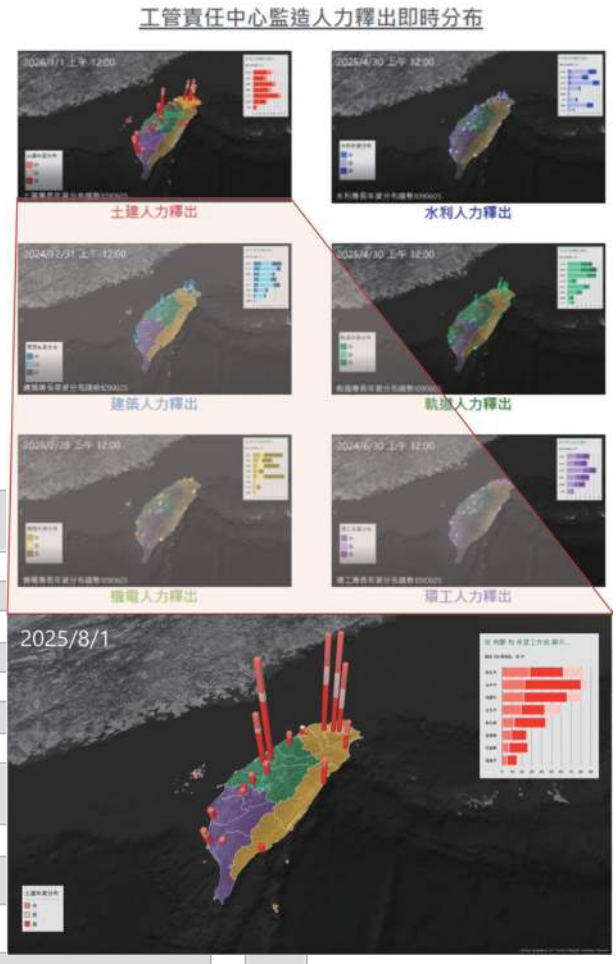



圖 6　工管責任中心監造人力釋出即時分布

4. 當平台上顯示人力無法供給，請檢討業務爭取之必要性。
5. 於平台上顯示人力安排妥當，則請部門主管於調動前 7 日完成調動申請單簽核。

## （三）釋出填報平台

依供需法則（Law of Demand and Supply），為確保人力供給端之資訊及時正確，公司原已建置人力協調平台供各部門人力資源釋出填報（如圖 8），控管原則如下。

1. 為確保平台資訊之有效性與正確性，部門主管及計畫主管應於每月或有人員調動時，於釋出填報平台填報及更新各成員最早最晚釋

圖 7　需求填報平台頁面

圖 8　釋出填報平台既有介面

出時間。

（1）系統每月 25 號發送各部門主管及計畫主管填報各成員人力釋出時間提醒信，系統將顯示最後更新日期。

（2）釋出單位填報最早及最晚釋出的時間範圍須在 1 個月以內，避免間距過長，降低精確性。

（3）釋出時間請填寫「離開該計畫的時間」，而非該計畫工程結束時間或某標案結束的時間。

2. 部門正、副主管可於「各部門之內部人力管理」瀏覽所屬各計畫之派駐外地人力需求及現有人力狀況等資訊，並可進行轄管人力之調度處置及註解後續安排（如圖 9）。

（1）部門主管應於派駐外地人力之計畫預定釋出日 3 至 6 個月前登錄其後續安排資訊，以利調配參考。

（2）工管責任中心主管於平台上綜整調度並核准。

圖 9　釋出填報調度介面

## （四）調度管控平台

部門主管所提出的駐外人力調度及媒合建議，由工管責任中心主管透過「調度管控平台」進行審核，既有人力協調平台釋出填報之人員調度資訊也與調度管控平台串聯，將全公司調度資訊綜整於該平台呈現；工管責任中心主管亦可直接使用該平台進行駐外人力後續安排調度（如圖 10），核可後，系統會於 PMIS 個人履歷中，基本資料上方的「調度安排」顯示該筆資訊，使駐外同仁提前 3 至 6 個月知曉未來工作派駐動向，穩定同仁工作情緒，達成以人為本的工作環境。

圖 10　調度管控平台介面

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 69-77
http://www.sinotech.org.tw/journal/



（五）媒合平台

駐外人力管理之媒合機制，係指各部門於需求填報平台填報之人員資格條件，於 PMIS 履歷資料庫搜尋符合條件並表列推薦名單（如圖 11），工管責任中心主管據此裁示前往派駐地；若無符合條件可釋出之人選，則於平台上回覆申辦部門自行招聘，回覆內容於需求填報平台之「媒合結果」欄位中呈現。

駐外人力供需媒合情形流程圖（如圖 12）如下所示：

圖 11　媒合平台推薦名單

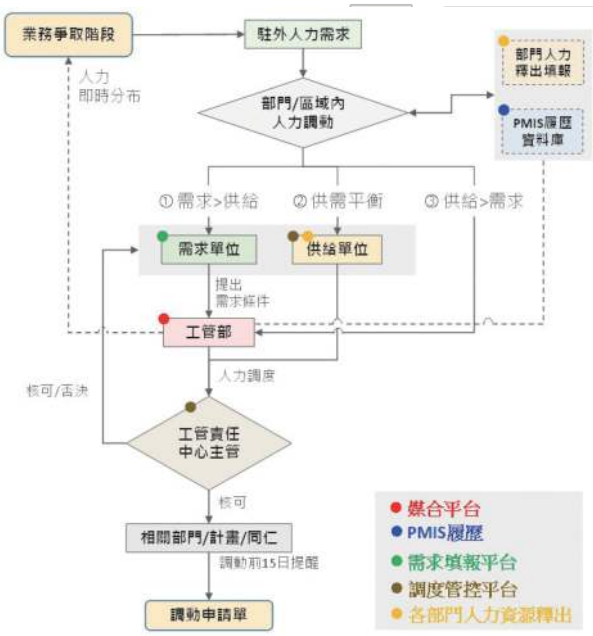



圖 12　駐外人力調派流程圖

## 四、人力效益最大化

（一）適才適所高效媒合：

經於 PMIS 履歷相關資 ，可迅速與需求填報平台求才訊息配對媒合，可借助科技進一步進行擷取平台數化資料加以分類統計處理，再以專業的角度依需求加以評估分析，提供管理者做決策時的參考，俾利人力資源效益最大化。

（二）業務規劃提前部屬：

駐外人力供、需及媒合平台三資訊可提供各部門推估來年的業務量及駐外人力需求，俾利工管責任中心及機工部提早安排駐外人力調派事宜；在爭取業務案件時，依經濟規模做總額管控，視得標情形做滾動式管理調整，以維護對業主之服務品質及後續人事管理。

（三）穩定均衡人資政策：

為確實掌握未來監造人力需求趨勢，俾超前部屬因應，養成蒐集業務訊息習慣，俾戰略性爭取公司業務，工管部與研資部合作，利用既有的業務訊息填報平台擴增「監造專管人力評估」功能（如圖 13），俾利監造人力資訊能全面且即時掌握。

圖 13　監造專管人力評估頁面

監造專管人力評估頁面提供各部門在填報監造專管業務訊息時補充未來人力需求，系統可依填報資料計算監造來價等資料，並按人月費進行高低排序，再將駐外人力管理平台之人力供需趨勢，提供給管理層評估判斷。以下為業務訊息排序與投標策略建議之流程（如圖 14）：

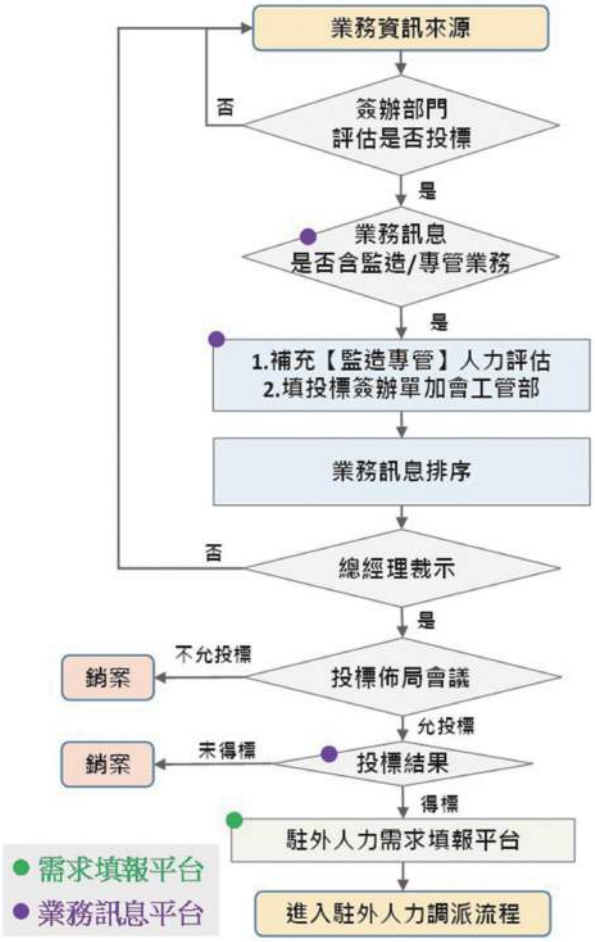



圖 14　業務投標人力評估參考流程

1. 各部門先行過濾業務訊息，評估是否有投標意願。
2. 業務如有監造或專管人力需求，於監造專管人力評估頁面進行補充。
3. 如有監造或專管人力需求之業務，投標簽辦單須加會工管部，以進行標案出標評估。
4. 投標結果前如有新增資訊皆須隨時於監造專管人力評估頁面進行資料更新。
5. 工管部依據填報資料概估監造人月數及單價，再依監造人月費來價高低進行排序。
6. 業務標案排序後，依既有人力員額進行假分配，訂定警示線以提醒過度擴張。
7. 管理層依據公司經營方針及駐外人力規模，參考駐外人力規模走勢及駐人力總水位線進行決策，決定業務爭取額度及人力增補員額。
8. 業務得標待執行階段，須於需求填報平台上填報駐外人力需求，俾利先行安排駐外人力。

## 五、結論與展望

資訊科技日新月異、臺灣人口結構少子化及營建市場經濟規模波動的時代，如何快速掌握業務趨勢及人力資源，預為因應佈局，達成最大的人力效益，是顧問業首要議題，如何優化人資管理作業系統，使其與時俱進，方能在數位轉型的世代中崢嶸競爭：

### （一）優化駐外人力管理平台：

以使用者角度出發，讓平台操作介面更親民，使原先散狀選填式的專長項目改為群組式的包裝，研擬 PMIS 履歷架構調整與介面的改版（如圖 15），使同仁填報上更為直觀；另建立專長填報的架構並定義準則，強化填報的正確性；最後為提升人事資料庫資料正確性，新增填寫防呆防錯機制，並於主管審核時提供檢核重點提示。

### （二）強化業務排序原則

鑒於監造專管人力為有限資源，宥於經濟形勢及公司經營策略規模，目前業務訊息平台 - 監

圖 15　PMIS 履歷介面改版

造專管人力評估頁面將涉及監造人力之業務予以排序並供管理層做投標策略之參考，使有限的人力效益最大化。系統平台能因應訊息更新連動修正資料，及時解析標案資料並能串聯既有釋出、需求填報平台，於平台自動產出駐外人力分配水位圖及線上駐外人力趨勢滾動分析圖等相關圖表（如圖 16），並於系統上設定業務標案人力假分配機制，分析標案量與人力庫存間關係，以強化投標策略判斷資訊，創造公司最大利潤（如圖 17）。

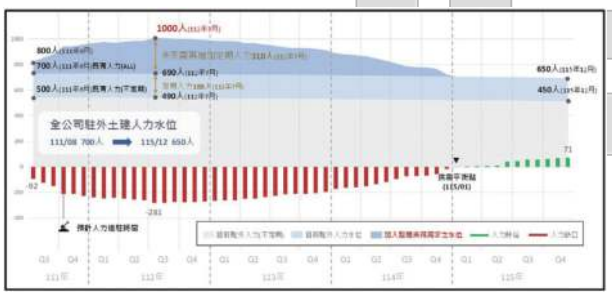



圖 16　人力分配水位圖

圖 17　業務訊息平台開發功能及展望

除了上述人力的供需管理及業務擇優判斷等對於人力資源量的控制作為，公司人力管理也應深耕核心人力，著眼質的提升，構建完整的知識學習體系，進行強化同仁本職能力、提升專長多元發展等作為，讓以人本關懷為底蘊的人資管理平台，能創造出人力最大效益。

## 參考文獻

110 年公共建設計畫經費創新高 首度突破 6000 億，中央社，2021/3/22
https://www.cna.com.tw/news/aipl/202103220265.aspx

今年公建經費規模 5,448 億 歷年次高，工商時報，2022/02/22
https://ctee.com.tw/news/policy/598808.html

大專校院學生及畢業生人數預測分析報告，教育部統計處，2019

張建一，數位時代下的人力發展趨勢與因應，臺灣勞工季刊，第 56 期，pp16-25，2018

黃永東、許榮譽，從全球化談電子化人力資源管理，品質月刊，第 40 卷第 2 期，pp22-26，2004

黃燕忠、張應中，網路人力銀行媒合機制模式探討，TANET2007 臺灣網際網路研討會論文集〔一〕，2007

林芳輝、郭鴻祥、黃正緯，從公共工程之監造科技管理 - 淺談數位轉型，土木水利雙月刊，第四十八卷第四期，pp95-101，2021

林芳輝、程慶寧、周子祥、陳志浩、林君頤，以施工規範預算平台之建構談招標文件品質提升，中興工程季刊，第 156 期，pp27-34，2022

趙志偉、黃志民、王承順，知識管理導向之施工規範編審輔助平台建立，中興工程季刊，第 108 期，pp47-54，2010

重要實績 專業服務
蓄水庫安全檢監測及風險管理
隧道安全維護管理系統建置
離岸風場地工試驗與詮釋
隧道鄰近地下水 資源影響評估
二氧化碳封存規劃、監測與風險管理
大地工程研究中心
配合國家永續政策，以傳統地工技術為基礎，
針對關鍵基礎設施營運安全、環境保育與綠能
產業等相關地工技術進行研發，結合理論與實務，
提供高品質之技術服務。
所屬大地工程試驗室為TAF認可，國內目前地工
試驗認證項目最完整之試驗室。
聯絡資訊
114065台北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：gerc-ctr@sinotech.org.tw
https://gerc.sinotech.org.tw
誠信 創新 品質 服務
財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 79-86
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 捷運規劃階段之營運成本估算初探

張晏瑜 *　周易陵 **　陳則銘 ***

## 摘　要

前瞻未來臺灣發展需求，國家發展委員會規劃自民國 106 年 9 月至 114 年 8 月推動「前瞻基礎建設計畫」，其中建構安全便捷之軌道建設為占比最高之項目，軌道建設包含高鐵、臺鐵、捷運及觀光鐵道，各都會區為因應未來都市發展，紛紛進行捷運規劃及建設程序。捷運規劃除了必須估算建設成本外，亦須針對該捷運系統特性估算營運期間成本，計算相關經濟效益、財務效益及經營比等，以作為是否值得推動之判斷。

臺北捷運公司成立至今將近 30 年，累積相當多之捷運營運數據，本研究係以其公開之數據進行研析探討，估算出鋼軌鋼輪系統捷運營運期間之單位營運成本，再與推動中之高雄捷運黃線可行性研究內容進行比較，研擬出營運成本之簡易推估算法。依統計資料可知營運成本中占比最高為用人費用，占比約 31.2%，若以永續經營的角度而言，必須適時導入智慧化維護系統，才能因應未來人口高齡化及少子化的現象。

關鍵字：前瞻基礎建設計畫、臺北捷運、捷運營運成本、運輸成本、永續經營、鋼軌鋼輪系統

## 一、前　言

臺灣近年來經濟快速成長，都市發展愈具規模與趨於複雜，都市中的旅運需求與日俱增，因此各都市首長均意識到前瞻性地規劃綠能、準點、舒適且安全的鐵道運輸為未來各都市發展重要指標項目。

有關軌道系統的選擇，除了於建設前考量運量需求、環境條件、建設成本及系統技術等要素，也必須以全生命週期成本的思維，於建設完成後盡可能地減少系統維運成本支出，以避免日後營運機構承擔高額的維運成本。因此本文主要針對軌道運輸之營運維護成本作為探討。

基於臺北都會區大眾捷運系統路網在永續經營的績效有目共睹，本文遂以臺北捷運公司目前之營運狀態為案例進行探討。

## 二、臺北捷運發展現況

臺北捷運公司自民國 83 年成立迄今，至今

*　財團法人鐵道技術研究及驗證中心軌道技術部副研究員
**　中興工程顧問公司軌道工程一部技術經理
***　中興工程顧問公司軌道工程一部協理

為止共有 6 條營運中路線，包含文湖線、淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線及板南線、環狀線等，營運車站共 131 個站，路網長度達 146.2 營運公里及 152 建設公里。系統包含重運量捷運系統與中運量捷運系統，軌道型式分為鋼軌鋼輪型式與膠輪型式，均為低污染性、具便捷性、可靠性、舒適性及安全性之系統。截至民國 108 年底月平均日旅運量約達 238 萬人次／日（受 Covid-19 影響民國 111 年 5 月降至約 108 多萬人次 / 日），列車營運公里每年可達 237 萬餘公里。捷運系統之運營穩定性高，且歷年之淨現金流均為正值，儘管近年來受疫情影響，年度運量僅為 108 年度之 5 成，而累積淨利仍可維持公司正常維運，實屬國內捷運公司運轉之典範。

臺北捷運公司之組織架構如圖 1 所示，總經理由董事會委任之，下轄 19 個處室，包括經營企劃處、站務處、行車處、車輛處、系統處、電機處、工務處、財務處、商業發展處、資訊處、人力資源處、供應處、工安處、遊憩休閒事業處、行政處、會計處、法政處、環運處及新事業開發處。至 111 年度預計員工數約 6,875 人。

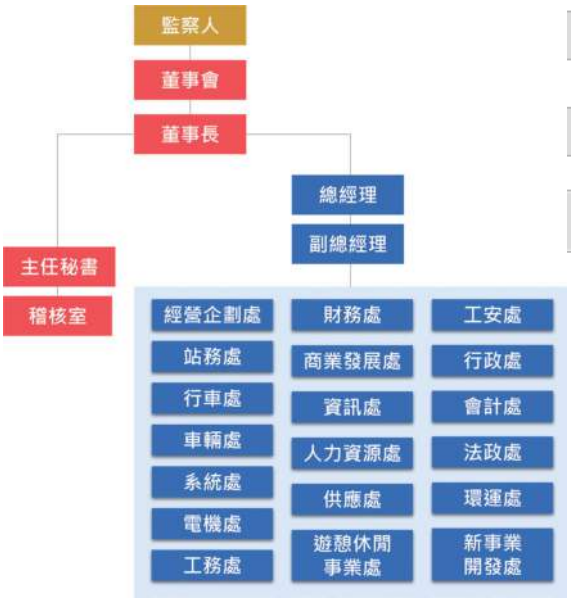



圖 1　臺北捷運公司組織結構圖[註 1]

## 三、臺北捷運營運收支探討

本研究依據臺北大眾捷運股份有限公司網站公告之預決算資料，分析自民國 95 年迄 111 年間之法定預算書[註 2]，並初步對於捷運營運維護之收支進行探討。分析項目包含收入、支出，以及針對支出項目中之「運輸費用」中各系統所占比例初步分析。

### （一）臺北捷運公司收入分析

臺北捷運公司之收入分為營業收入及營業外收入，合計為總收入。

1. 營業收入—包含客運收入、代理收入、政府補助收入及什項營業收入。客運收入為平均日運量 ×365 天 × 平均票價；代理收入為捷運公司代理營運貓空纜車、小巨蛋主場館、兒童新樂園等政府設施之收入；政府補助收入為政策相關或臺北捷運公司與政府機構合作之項目收入；什項營業收入為廣告、電子票證服務及對外捷運技術諮詢服務等項目收入。
2. 營業外收入—包含財務收入及其他營業外收入。財務收入為利息、投資收益、租賃、賠償收入。其他營業收入包含出售廢品、徵才考試、出租場地費等收入。

綜整近年來臺北捷運公司收入如圖 2，顯示臺北捷運收入項目主要來源為營業收入—客運收

註 1　臺北捷運公司官網民國 111 年 9 月資料（本文重新繪製）。
註 2　以預算書分析係由於公告之預算書詳列各項預算之使用目的與所轄處室，而公告之決算書未詳列各處室之細項預算，故為求分析之一致性，統一以預算資料進行討論。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 79-86
http://www.sinotech.org.tw/journal/

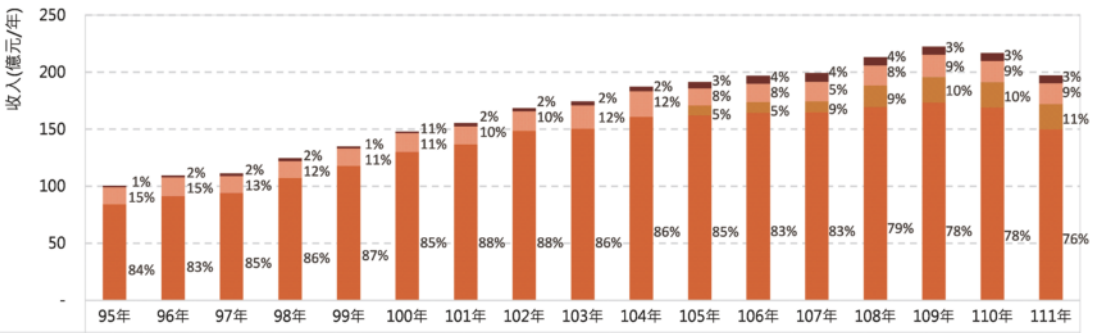


入（占比約 76%～ 88%），其次為營業收入—什項、其他（占比共約 9%～ 15%），另外自民國 105 年起營業收入—代理收入成第三個主要收入來源（占比約 5 ～ 11%）。

### （二）臺北捷運公司支出分析

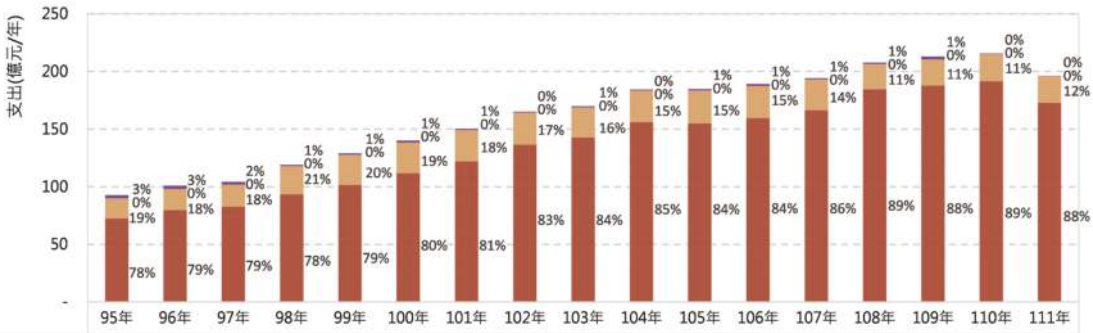
臺北捷運公司之支出分為營業成本、營業費、營業外費用及所得稅費用。

1. 營業成本—包含運輸費用、投資性不動產費用、代理費用及什項營業費用。運輸費用又稱為勞務費用，包含六大處室：車輛處、工務處、系統處、行車處、站務處及電機處所需之營運費用。投資性不動產費用為財務處掌理公司財務等事項之費用。代理費用為為捷運公司代理營運貓空纜車、小巨蛋主場館、兒童新樂園等政府設施之相關費用。什項營業費用為事業處掌理捷運之附屬事業之經營費用。
2. 營業費用—包含行銷（業務宣導、廣告）、業務（供應處、票務中心、資訊處、公安處）、管理（企劃處、財務處、人力處、行政處、會計處、




| | 95年 | 96年 | 97年 | 98年 | 99年 | 100年 | 101年 | 102年 | 103年 | 104年 | 105年 | 106年 | 107年 | 108年 | 109年 | 110年 | 111年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 營業外收入 | 1.43 | 1.71 | 2.23 | 2.57 | 1.75 | 1.46 | 2.78 | 2.82 | 3.43 | 3.91 | 5.70 | 7.17 | 7.62 | 7.11 | 7.22 | 7.08 | 6.79 |
| 營業收入-什項、其他 | 14.82 | 16.63 | 14.95 | 14.75 | 15.39 | 16.54 | 15.90 | 17.11 | 20.68 | 22.54 | 14.95 | 15.95 | 17.21 | 17.62 | 19.58 | 18.63 | 18.43 |
| 營業收入-政府補助 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.23 | 0.05 |
| 營業收入-代理 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 8.66 | 9.60 | 9.75 | 19.07 | 22.22 | 21.92 | 21.96 |
| 營業收入-客運 | 84.21 | 91.07 | 94.07 | 107.2 | 117.7 | 130.0 | 136.6 | 148.5 | 150.2 | 160.7 | 162.0 | 164.1 | 164.6 | 169.3 | 173.1 | 168.9 | 149.8 |

圖 2　臺北捷運公司歷年收入（民國 95 年～ 111 年）




| | 95年 | 96年 | 97年 | 98年 | 99年 | 100年 | 101年 | 102年 | 103年 | 104年 | 105年 | 106年 | 107年 | 108年 | 109年 | 110年 | 111年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 所得稅費用 | 2.60 | 2.82 | 2.34 | 1.05 | 1.13 | 1.63 | 1.04 | 0.67 | 0.92 | 0.60 | 1.34 | 1.58 | 1.02 | 1.33 | 2.40 | 0.31 | 0.24 |
| 營業外費用 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.12 | 0.16 | 0.06 | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 營業費用-代理費用 | 17.68 | 18.47 | 19.22 | 24.52 | 26.31 | 26.78 | 27.33 | 27.96 | 26.37 | 27.61 | 28.52 | 28.10 | 27.00 | 22.05 | 22.94 | 23.91 | 23.24 |
| 營業費用-運輸費用 | 72.32 | 79.60 | 82.59 | 93.34 | 101.3 | 111.5 | 121.8 | 136.4 | 142.4 | 155.9 | 154.9 | 159.4 | 166.1 | 184.3 | 187.5 | 191.3 | 172.6 |

圖 3　臺北捷運公司歷年支出（民國 95 年～ 111 年）

法政處、稽核處）、研究發展（車輛處—研發中心）及員工訓練（人力處）之經營費用。

3. 營業外費用—包含利息、兌換損失、投資損失、資產報廢損失及什項等。
4. 所得稅費用—包含收入應繳之所得稅。

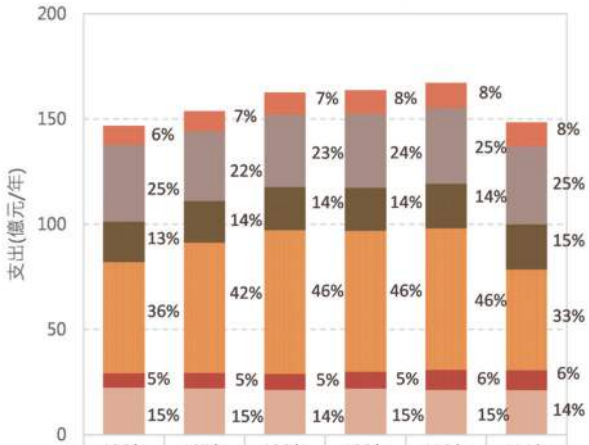
綜整近年來臺北捷運公司支出如圖 3，顯示臺北捷運支出項目主要來源為營業成本—運輸費用（占比約 78%～ 89%），其次為營業成本—代理費用（占比約 11%～ 21%），再者為所得稅費用（占比約 0.1 ～ 3%）、營業外費用（占比約 0.1%）。

### （三）臺北捷運公司營業成本—運輸費用

成本項目中以「營業成本—運輸費用」占大宗，該費用係為保證捷運系統營運期間正常運轉所花費之用人費、服務費、材料費、租金、折舊攤銷等。主要為六大處室所負責，包含車輛處、工務處、系統處、行車處、站務處及電機處。由於臺北捷運公開資料於民國 106 年起才以處室區別，故計自民國 106 年訖 111 年間之預算項目，如圖 4，初步可判斷以系統處、站務處、車輛處及行車處為大宗，分別約占營業成本—運輸費用之 33 ～ 46%、22 ～ 25%、14 ～ 15%及 14%～ 15%。

為探討各處室支出主要項目，圖 5 為民國 110 年[註 3] 各處室營業成本—運輸費用（167.1 億元）依據其支出劃分繪製，分別為用人費、服務費、材料費、租金、折舊攤銷費用。

1. 用人費用（52.1 億元／ 31.2%）：以站務、行車、車輛處所需費用較高，係與北捷公司編制相關，主要為站務人員、車輛維修員與司機員為需求人數較高所致。




| | 106年 | 107年 | 108年 | 109年 | 110年 | 111年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 電機處 | 9.04 | 9.80 | 10.68 | 11.34 | 11.85 | 11.71 |
| 站務處 | 36.64 | 33.00 | 34.32 | 35.03 | 36.13 | 36.89 |
| 行車處 | 19.08 | 19.85 | 20.60 | 20.51 | 21.17 | 21.34 |
| 系統處 | 52.88 | 61.78 | 68.07 | 66.93 | 67.22 | 48.01 |
| 工務處 | 6.86 | 7.36 | 7.78 | 8.01 | 9.51 | 9.35 |
| 車輛處 | 22.34 | 22.06 | 21.22 | 21.93 | 21.31 | 21.17 |

圖 4　臺北捷運公司歷年營業成本—運輸費用（民國 106 年～ 111 年）

以北捷公司 111 年度官網公告之組織架構：

(1) 車輛處預算員額約 1,068 人，主要為車輛廠技術員。
(2) 工務處預算員額約 460 人，主要為土木場及軌道場人員。
(3) 行車處預算員額約 1,133 人，主要為車務中心司機員。
(4) 系統處預算員額約 735 人，主要為號誌廠、供電廠、通訊廠人員。
(5) 站務處預算員額約 1,442 人，主要為運務中心評價副站長、站務員。
(6) 電機處預算員額約 355 人，主要為水電廠、環控廠人員。

2. 服務費用（42.2 億元／ 25.3%）：站務與行車處花費最高，由預算書細項拆分可見，站務處以車站及機廠工作場所電費為大宗，行車處以

註 3　110 年度預算書係為民國 109 年底法定傳染疾病影響捷運運量前所編定預算，可作為正常營運狀態下之預算編列參考。

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 79-86
http://www.sinotech.org.tw/journal/



行車動力所耗之電費為主。

3. 材料及用品費（11.9 億元／ 7.1％）：車輛處花費最高，由預算書細項拆分可見，主要為電聯車預防檢修及故障排除所需一般用料及專屬用料費。
4. 租金與利息（57.0 億元／ 34.1％）：系統處花費高達 57 億元，由預算書細項拆分可見，其主要為分年重置基金與挹注自償性經費。
5. 折舊、折耗及攤銷（3.8 億元／ 2.3％）：車輛處花費最高，由預算書細項拆分可見，其主要為交通及其他運輸設備之折舊。

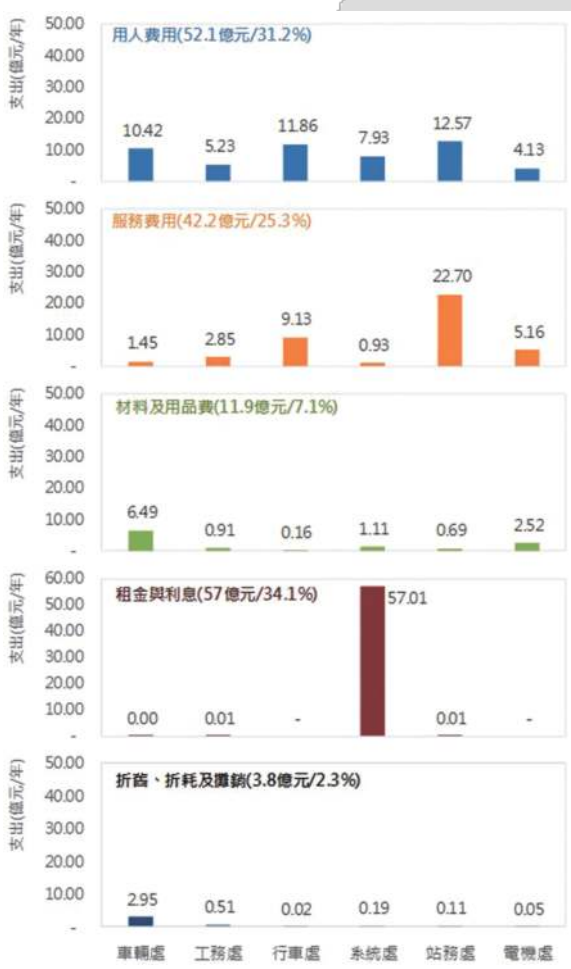



圖 5　臺北捷運公司民國 110 年各單位支出細項

綜觀以上各類別各處室之成本負擔，可見捷運系統維運成本中不可忽視之主要負擔項目為「用人費用」（站務人員、車輛維修員與司機員）、「服務費用」（廠站水電費、行車電費）、「租金與利息」（分年重置與自償費）以及「材料及用品費」（電聯車維護物料）。故如往後需節省捷運系統營運維護費用時，可由以上幾處作為節流設計之考量。

## 四、捷運路網規劃階段營運成本方式

依據前一節對於捷運系統營運成本之項目之分類探討後，本節將針對路網規劃階段對於興建路線之營運成本估算方式進一步探討。

### （一）營運成本估算概念

參照以往對於規劃／興建中之捷運路線營運成本估算，無法如建造成本之估算方式單以建造里程與車站數進行估算，因為各捷運路線亦可能因為運量密度之差異進而影響採購之車輛數及相關設施養護頻率等，故建議將捷運系統營運成本估算應拆分為「固定設施」、「非固定設施」兩種影響因子；而固定設施又拆分為路線里程、車站數、機廠數，非固定設施包含延車公里數與延車小時數[註 4]。比對臺北捷運公司年度預算中營業成本—運輸費用可依據各處室之執掌劃分，將預算依據固定設施與非固定設施類別歸納，如圖 6 所示。

固定設施中，路線里程之維護包含路線段之土建、軌道、供電、通訊與號誌系統之維護，近似工務處與系統處工作職掌，故將工務處與系統處之營運成本歸納為依據路線里程長度判斷之因子。車站之維護包含車站土建、水電環控及站務等，對應為站務處與電機處工作執掌，故將站務

註 4　由於北捷公司預算書中並未提及有關列車班距規劃之相關說明，故本文未進一步對於「延車小時數」之影響因子分析，且考量「延車公里數」即對於各列車之使用頻率具有相關聯性，故本文僅以「延車公里數」作為初步評估項目。

處與電機處之營運成本歸納為依據車站數判斷之因子。機廠設施主要為車輛廠維修人員，故對應為車輛處工作執掌，故將車輛處之營運成本中「材料及用品費」以外之費用，歸納為依據機廠數判斷之因子。

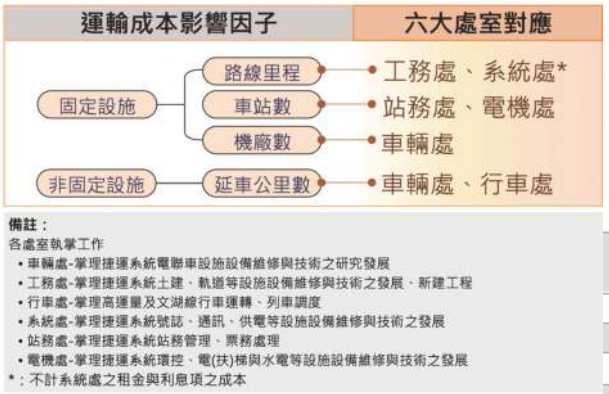



圖 6　運輸成本影響因子與各處室對應圖

非固定設施中，與列車相關之營運維護成本與車輛處及行車處工作執掌相關，故車輛處之營運成本中「材料及用品費」及行車處之營運成本歸納為依據延車公里數判斷之因子。

## （二）單位營運成本估算

以臺北捷運公司民國 110 年預算為基礎，依據上述之影響因子進行推算，單位里程／站之營運成本。

1. **路線里程**：臺北捷運民國 110 年路線營運里程為 146.2 公里，工務處與系統處之營業成本—運輸費用分別為 9.5 億元與 67.2 億元，其中系統處扣除 57.0 億元之重置與自償費，係考量規劃階段重置費與自償費通常另計，故合計約 19.7 億元。每年單位公里之營運成本約 0.13 億元。
2. **車站數**：臺北捷運 110 年度營運車站數為 131 個，站務處與電機處之營業成本—運輸費用分別為 36.1 億元與 11.9 億元，合計約 48.0 億元。每年每站之營運成本約 0.37[註 5] 億元。
3. **機廠數**：臺北捷運 110 年度營運機廠數為 10 處，車輛處之營業成本—運輸費用（不含材料及用品費）為 14.8 億元。每年每機廠之營運成本約 1.48 億元。
4. **延車公里數**：臺北捷運民國 110 年之營業成本—運輸費用為年度延車公里約 25.27 百萬公里，車輛處之營業成本—運輸費用之材料及用品費為 6.5 億元、行車處之營業成本—運輸費用為 21.2 億元。每百萬延車公里之營運成本約 1.09 億元。

## （三）營運成本估算試算

以高雄都會區大眾捷運系統都會線（黃線）建設及周邊土地開發計畫可行性研究報告書之估算作為對照參考。高雄捷運黃線規劃路線長 23.8 公里，設置 23 座地下車站、1 座平面機廠，民國 120 年預測延車公里約 2.26 百萬公里。參照前述之營運成本估算方式，試算如表 1 所示。

表 1　高雄捷運黃線營運成本試算

| 營運成本影響因子 | 營運成本（億元）(a) | 折減因子[註 6] (b) | 數量 (c) | 小計 (a)×(b)×(c) |
|---|---|---|---|---|
| 路線（公里） | 0.135 | - | 23.80 | 3.21 |
| 車站（座） | 0.37 | 0.6 | 23.00 | 5.05 |
| 機廠（座） | 1.48 | - | 1.00 | 1.48 |
| 延車公里（百萬公里） | 1.09 | 0.3 | 2.26 | 0.74 |
| 合計（億元／年） | | | | 10.48 |

註 5　臺北捷運 8 成為地下車站，地下車站因設有空調設備通常水電費較高架車站高。

註 6　**車站**：考量高雄捷運黃線之月台長設定為 50m，而臺北捷運約 150m，故推論車站之維護費占比相對較高之水電費，應可節省許多，惟實務運轉時，車站之站務、票務、水環、電（扶）梯等運作，不會因採站體縮小而減半服務，故車站之單位維護成本保守估計以係數 0.6 作為折減。
**延車公里**：高雄捷運黃線每列車容量以 500 人計，而臺北捷運高運量每列車（6 輛車）約可載運 1,936 人，故延車公里之單位成本保守估計乘以係數 0.3 作為折減。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 79-86
http://www.sinotech.org.tw/journal/



試算結果顯示高雄捷運黃線後續每年之營業成本—運輸費用需達 10.48 億元，與可行性研究報告所估算之 9.06 億元，雖有所差異，但若採用本研析之簡易算法推估高捷黃線營運成本，已近似可行性研究報告所推估之數值，因此該簡算法係具有一定之參考價值；後續相關規劃報告於估算營運成本時可參考本研析之拆分方式，再深入拆分細項探究。

高雄捷運黃線之興建成本達 1,440 億元，興建完成後 30 年之營運成本（不計入物價調整及其他可能影響維運之因素）約 10.48×30=314.4 億元，猶為可觀，故捷運建設之推動，應審慎評估其全生命週期建設與維管成本，避免捷運建設後，各營運公司面臨「養不起」之困境。

## 五、捷運建設與營運永續

借鑑日本軌道建設完成後之營運永續發展，根據日本國土交通省鐵道統計年報及鐵道局調查資料，顯示近年來日本 JR 等鐵路公司受人口老化及少子化影響，軌道運量逐年降低且軌道養護從業人員正面臨退休潮，相關統計如圖 7 所示。然而軌道系統之運量不足問題恐導致軌道公司之營收赤字；軌道養護從業人員不足之問題，將直接衝擊軌道安全之確保。

從臺北捷運公司之預算資料可見，用人費占運輸成本約 31.2%（根據民國 110 年預算之營業成本—運輸費用），又臺灣與日本之人口結構發展類似，未來臺北捷運公司亦可能面臨捷運養護從業人員缺乏之困境。故參照日本對於軌道養護之技術革新方針，配合資訊與通信科技（Information and Communications Technology, ICT）的蓬勃發展，導入智慧維護於軌道系統維護中，例如 JR 東日本公司於 2022 年度提出之目標計畫，包含列車無人駕駛、列車控制系統、設備狀態基準維修（Condition Based Maintenance, CBM）等軌道智慧化措施，後續不僅可降低人力成本，也因導入軌道智慧化監測而減少軌道維修耗材，進而降低整體維運成本。

軌道建設永續經營導入節流之概念並以降低營運成本為目標，除了於建設初期盡可能地透過土建及機電設計的手段降低建設成本外，後續亦可於營運階段投入智慧化養護概念來達成。

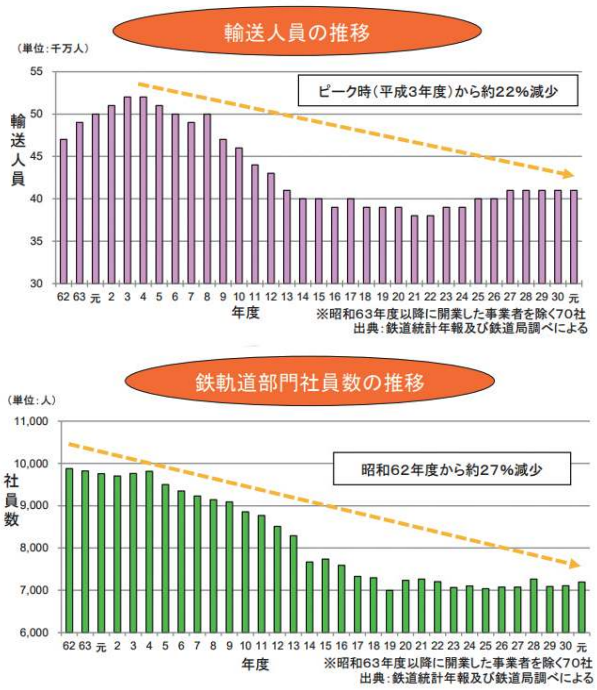



圖 7　日本國土交通省運量與軌道從業人員統計資料

## 六、結　論

軌道建設唯有適當管控全生命週期成本，同時創造足夠的運量，才能永續經營。而工程規劃與設計必須應營運需求，在提供高品質服務的前提下，盡可能降低營運維修成本、避免過度設計，投資適當的興建、營運與維護的成本，並可提供旅客穩定、安全且便利之運輸服務。

軌道建設為「百年建設」，透過即時蒐集保存軌道維運相關數據，藉此進一步的探討如何應

對永續經營之課題，方為未來發展趨勢。因此感謝臺北捷運公司歷年來整理並公告之維運相關資料，供大眾對於軌道養護之成本深入探討。借鑑日本對於軌道永續發展之策略，臺灣亦須與時俱進，適時地導入軌道智慧化維護系統。

## 參考文獻

臺北捷運公司預決算資料（2006~2022），https://www.metro.taipei

高雄捷運工程局（2020），高雄都會區大眾捷運系統都會線（黃線）建設及周邊土地開發計畫可行性研究報告書

交通部運輸研究所（2010），研提推動大眾捷運系統建設與營運永續發展機制之研究

日本國土交通省，鉄道事業者と地域の協働による地域モビリティの刷新に関する検討会，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000012.html

日本 EAST JAPAN RAILWAY COMPANY, 2022 FACT SHEETS, https://www.jreast.co.jp/investor/factsheet/pdf/factsheet.pdf

# 叢 書 訊 息

## (一) 廢污水生物急毒性檢測與應用評析

許國恩、林宜璇、吳佳娟、
鳥春梅、林淑滿等　編著　　2020 年 11 月初版

## (二) 台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究

詹穎雯、陳育聖、邱暉仁、
何季軒等　編著　　2020 年 7 月初版

## (三) 高岩覆對隧道設計與施工影響研究(二)

脆性破壞特性評估與因應對策
蕭富元、林金成、蔡明欣等　編著　　2017 年 10 月初版

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
中興工程・第158期・2023年1月・PP. 87-96
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 應用無線通訊技術於水土保持設施巡查

林伯勳 * 許振崑 ** 牟彥蓁 *** 陳俊愷 **** 賴承農 *****

## 摘 要

過去針對水土保持設施進行周遭環境現況與構造物功能評估巡查，除較耗時費力，亦使現調人員多曝露於溪谷急流、陡坡跌落之危險環境。隨著物聯網與資通訊整合技術精進，本文運用無線通訊技術於水土保持工程之構造物巡查作業，可避免人員現地曝險外，更大幅提升水土保持工程巡查效率，進一步回饋於水土保持設施資產管理相關應用。

關鍵字：水土保持設施、無線通訊技術、巡查作業

## 一、前 言

傳統水土保持工程構造物巡查作業，由現調人員於現地進行水土保持設施巡查、周遭環境現況與構造物功能評估，除較耗時費力，亦使現調人員多曝露於溪谷急流、陡坡峭壁等危險環境。本文整合物聯網（Internet of Things, IoT）與資訊及通訊科技（Information and Communication Technology, ICT）技術，投入水土保持工程構造物巡查作業，不僅可降低巡查人員現地巡查風險，更大幅提升水土保持工程巡查效率，希冀未來回饋於水土保持設施資產管理相關應用。

水土保持局近年逐漸採用無人航空載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）執行現勘作業，協助傳統水土保持工程之構造物巡查作業（水土保持局，2016、2018、2019），如圖 1，拍攝影像另可建立三維模型，加值應用於掌握地貌變化；水土保持局臺北分局（2018）曾針對所轄巡查大型或屬重要之水土保持設施，產製水土保持設施構造物二維條碼（QR-Code）標示牌，並規劃、建置所呈現資訊內容，如圖 2（水土保持局，2018）。惟以 UAV 執行構造物巡查時，不易快速獲得構造物編號、所屬工程名稱、近期巡查成果等資訊，仍需經由後續查詢作業確認相關資訊，且裝設於水土保持設施上之二維條碼，隨環境復育、植生環境演替後，易受茂密植被遮蔽，影響

* 中興工程顧問社防災科技研究中心土砂監測模擬組組長
** 中興工程顧問社防災科技研究中心高級工程師
*** 中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員
**** 中興工程顧問社防災科技研究中心高級研究員
***** 中興工程顧問社防災科技研究中心副工程師

條碼掃瞄辨識；鑑此，本文利用讀距較遠之無線射頻識別（Radio Frequency IDentification, RFID）技術取代二維條碼，即時讀取水土保持工程構造物治理履歷，以克服植被遮蔽或鄰近水土保持設施卻遍尋不著之境況。

當無線通訊技術建立完成後，可整合既有管理資訊，以資訊串接方式取得水土保持設施構造物工程名稱、工程編號、水土保持設施構造物編號、近期巡查成果、互動地圖及近期拍攝照片等豐富資訊，進以強化情資通報流動、提升資訊價值，並增加巡查效率。

（a）阿里山溪巡查區構造物　（b）東勢石麻巷坑溝崩塌整治工程

圖 1　UAV 拍攝水土保持設施加值產製三維模型圖（摘自水土保持局，2020）

（a）直接由遙控器螢幕畫面翻攝二維條碼　（b）由無人機搭載相機拍攝二維條碼

圖 2　以無人載具（UAV）進行構造物巡查示意圖（摘自水土保持局，2018）

## 二、無線射頻識別技術演進

無線射頻識別技術（Radio Frequency IDentification, RFID）屬無線通訊與資訊系統整合應用技術（圖 3）。其原理主要利用無線頻率（如電磁感應、微波等）識別目標並且進行資料的傳輸和讀取相關資訊，無需透過機械或光學接觸。該項技術於第二次世界大戰已被運用在飛機

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 87-96
http://www.sinotech.org.tw/journal/



辨識上；2003 年全球零售業龍頭 Wal-Mart 要求前 100 家供應商，需在貨箱和托盤上安裝 RFID 標籤，並於美國國防部的帶動下，開始廣泛應用，採用者包括美國國防部、沃爾瑪（Wal-Mart）、優衣褲（Uniqlo）、迪卡儂（Decathlo）等知名公司。RFID 被視為 21 世紀最重要的十大技術之一，其應用範圍包含倉儲與物流管理、生產製造與裝配、身分識別、動物識別、門禁與防盜系統、醫療服務、行李與郵件處理，文件管理等。澳門市政署曾於樹木管理系統中納入 RFID 作為樹木編號辨識應用。內政部建築研究所（2009）曾運用 RFID 技術，應用於山坡地社區自主巡檢機制，釐清問題點與歷史記錄，便於研究發生原因，以快速有效適當處理，確保山坡地社區環境安全。茲就無線射頻識別技術之組成、類型及應用等，說明如後。

圖 3　無線射頻識別（RFID）技術應用示意圖（摘自水土保持局，2018）

無線射頻識別技術（RFID）系統，主要分為硬體及軟體之應用系統端（Application System），電子標籤裡的資訊，以非接觸方式傳送到讀寫器後，再交由後端資訊應用系統進行資料處理作業，轉換為使用者需要資訊。硬體方面基本的元件為讀寫（感測）器及 RFID 電子標籤，讀寫器主要元件為天線、接收器、解碼器等；RFID 電子標籤主要由晶片和天線所構成，用於儲存構造物編號、所屬工程名稱，及近期巡查成果等資訊，當讀取器發出要求，標籤便將儲存資訊傳送至讀寫器，依 RFID 電子標籤電源類型可分為：主動式標籤、半被動式標籤、及被動式標籤等三種型式，綜整比較如表 1，分述如後。

### （一）主動式標籤（Active Tag）

主動式標籤內建電池，具充足電力發送功率較強的訊號，可讀取距離較長、記憶體容量較大，主要應用在軍用設備、汽車、高價物品等領域。

### （二）半被動式標籤（Semi-passive Tag）

與主動式標籤相同，具內建電池，差別在於半被動式平時電源關閉，接收到詢問訊號後才會啟動電源以回應訊息，故電池的壽命較長，其效率與反應速度較被動式標籤佳。

### （三）被動式標籤（Passive Tag）

被動式標籤無內建電池，電力主要是經由讀寫器發射的電磁波能量轉換而成，具有價格低廉、體積小、壽命長等優點，目前以被動式標籤為主流，廣泛應用於門禁與貨運管理等用途。

綜合評估標籤壽命、水土保持工程構造物區位、系統建置及維護成本等諸多因素，本文選擇

耐候、抗干擾，且壽命至少 10 年以上的抗金屬耐候性材質被動式 RFID 電子標籤，貼附於試辦區域水土保持設施。

表 1　各類型 RFID 電子標籤特性比較

| 標籤類型 | 主動式標籤 | 半被動式標籤 | 被動式標籤 |
|---|---|---|---|
| 發送功率 | 最佳 | 中等 | 無 |
| 壽命 | 最短（視功率與發射頻率，若無外部電力，約幾週～ 2 年） | 次之（視功率與發射頻率，若無外部電力，約幾週～ 2 年） | 最長（無外部電力，約可達 10 年） |
| 反應效率 | 最快 | 次之 | 較慢（取決讀取環境） |
| 體積 | 較大 | 次之 | 較小 |
| 建置及維護成本 | 較高（需同時考量，電力維運成本） | 次之 | 最少（數元～數十元） |
| 示意圖 | | | |

資料來源：https://www.bizpro.com.tw/wms_erp_pos_tms-topic1.html

## 三、無線射頻識別技術之測試與應用

本文以無線通訊技術應用於水土保持設施巡查，經應用架構規劃、室內測試、試辦區域選取、試辦區域現場佈設及現地巡查試驗等五個階段進行，分項說明如後。

### （一）應用架構規劃

RFID 應用架構主要包含 RFID 標籤、感測器和無線通訊設備、資訊管理服務等三項（圖 4）。

圖 4　RFID 應用架構組成圖

#### 1.RFID 標籤

採用適用於混凝土或鋼材上，外殼以 PCB 金屬材質製成的被動式標籤，操作溫度介於 -40~100℃、讀寫次數可達 10 萬次以上，以壁虎螺絲固定於混凝土材質設施。符合「產品電子碼標籤標準」（Electronic Product Code Tag Standards）的 RFID 標籤，包含 EPC（Electronic Product Code）、TID（Tag IDentification）、User、Reserved 等資訊。EPC 為商品識別碼，使用者可藉讀寫器變更資訊；TID 為 RFID 標籤獨立編號，形同身分證字號，標籤產製時依 ISO15963 之規範寫入，此內容無法異動，可提供防偽功能；User 提供用戶存儲自定義數據；Reserved 用以存儲消滅指令（Kill Password）和存取命令（Access Password），輸入消滅指令後，標籤將不可逆地永久失效。

中興工程．第158期．2023年1月．PP. 87-96
http://www.sinotech.org.tw/journal/



2. 讀寫器

讀寫器包括 RFID 讀寫器及天線，為克服讀取距離限制，採樹莓派搭配 RFID 讀寫器模組（最大功率 30dBi），並根據調查需求開發小型行動設備，如：手持式或搭載於 UAV 之讀寫器（如圖 5）。

圖 5　UAV 搭載 RFID 讀寫器示意圖

3. 資訊管理服務

RFID 標籤無法儲存、記錄大量數據，故需透過資訊管理系統，提供大量資料儲存、處理、分析，並轉化為使用者需要資訊等後端處理工作，鑑此，本文建立可視化網頁，囊括各式構造物調查資訊，便於使用者查詢展示資料（如圖 6）。

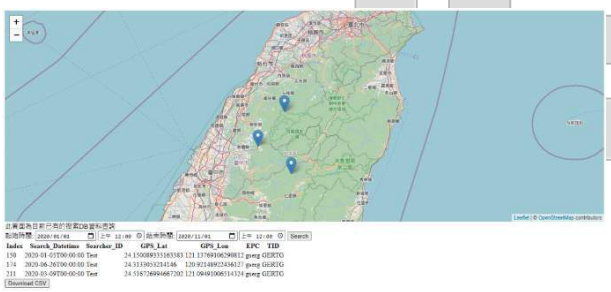


圖 6　RFID 資訊管理服務示意圖

（二）室內測試

於室內完成 RFID 標籤 User 資訊寫入（圖 7）及 RFID 標籤讀取測試，以樹莓派搭配符合全球性標準 EPC-C1G2（EPCglobal Class-1 Generation-2）之小型讀寫器為系統架構（如圖 8）；達 EPC-C1G2 標準之讀寫器資料存取速度快，測試數據速率可達 40kbps ～ 640kbps，具防寫設定，可同時讀取多個標籤資訊，安全性強。

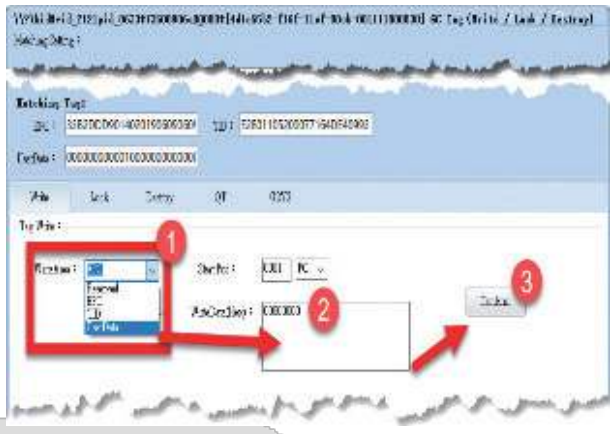


圖 7　寫入 User 資訊示意圖

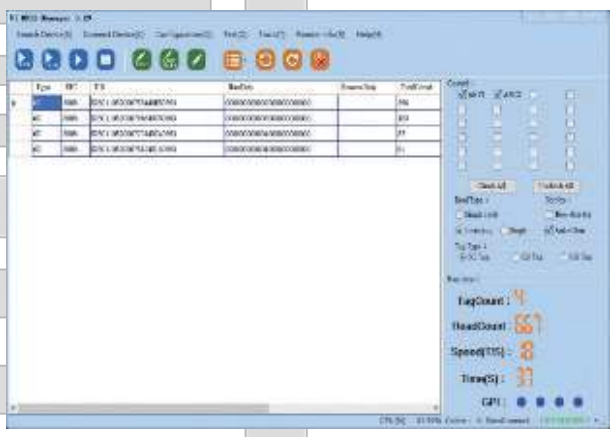


圖 8　RFID 讀取測試示意圖

（三）試辦區域選取

選定位於阿里山溪集水區內與行諄橋交會之哇嘟嘟娜野溪（圖 9）作為 RFID 測試樣區，此處土砂淤積量大、河床變動明顯、曾發生土石流災害，且構造物損害相關比例高，且河道曾築構一系列多類型防砂設施，同時含蓋防砂壩、固床工或護岸等，適於本研究水土保持設施巡查。針對試辦區域內防砂壩、固床工或護岸等三種以上橫向構造物，貼附二種無線通訊技術之識別標籤，於民國 109 年 11 月上旬完成識別標籤貼附，另於民國 110 年 2 月上旬復往現地以 UAV 進行設施巡查及標籤讀取試驗。

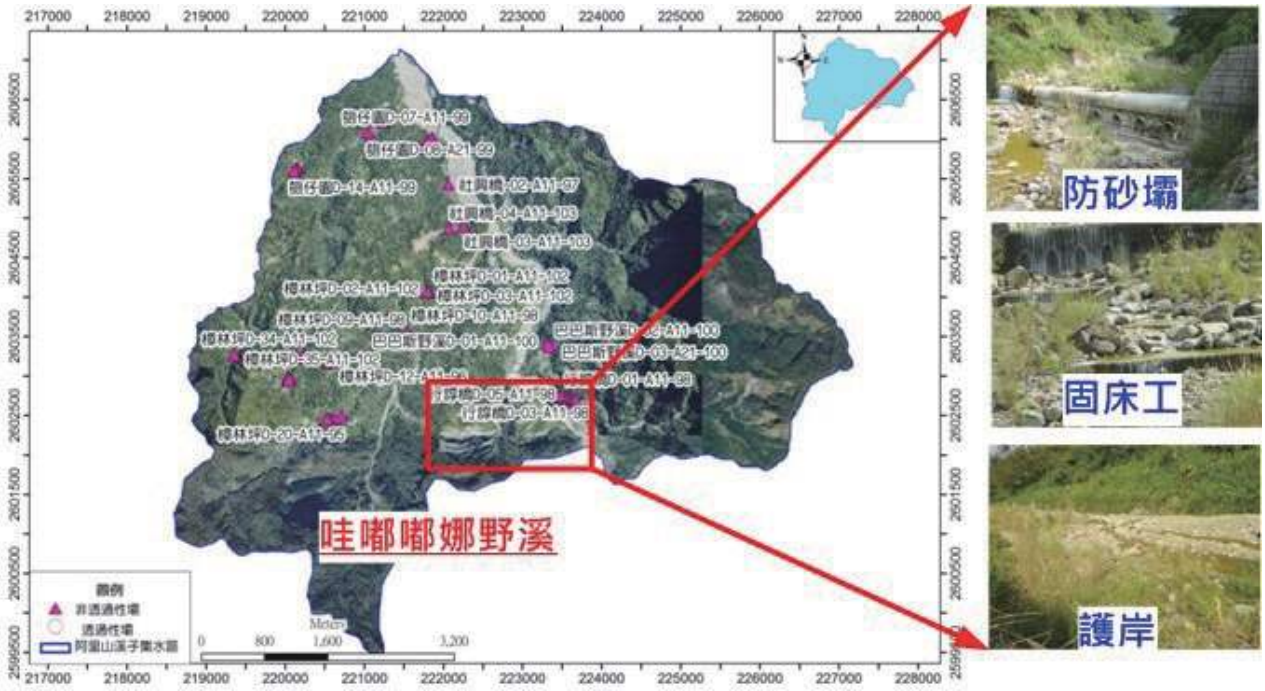



圖 9　阿里山溪集水區巡查試辦區

（四）試辦區域現場佈設

現場佈設需考量標籤貼附位置、訊號接收範圍及環境遮蔽等資訊（圖 10），佈設原則分述如下：

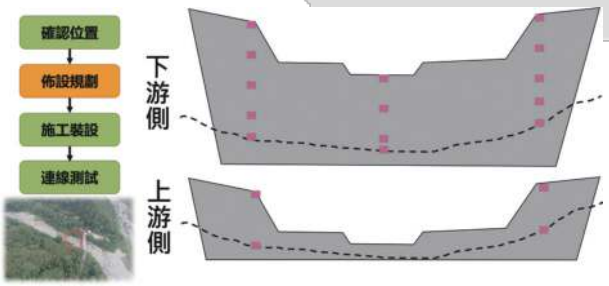



圖 10　佈設作業流程及貼附標籤位置示意圖

1. 標籤貼附位置

橫向構造物（如防砂壩、固床工等）於兩側壩翼及壩體下游面貼附標籤（圖 11），護岸等縱向構造物，則於起、中及終點貼附標籤（圖 12）；為利後續應用分析，以下游往上游、先左岸而後右岸的順序，系統性地建立標籤編號。

圖 11　橫向構造物貼附 RFID 標籤位置示意圖

圖 12　縱向構造物貼附 RFID 標籤位置示意圖

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 87-96
http://www.sinotech.org.tw/journal/



2. 訊號接收範圍

以手持或 UAV 搭載 RFID 讀寫器，利用手持測距儀進行現地讀距測試，由近而遠依序紀錄各標籤實測資料（圖 14），作為後續無線射頻識別技術設施巡查應用評估之基礎（圖 13）。經 21 次測試，裸露處最大讀距為 14.9m、最小讀距 4.8m、平均讀距 11.98m，彙整如表 2 所示。

圖 13　RFID 現地訊號接收範圍測試示意圖

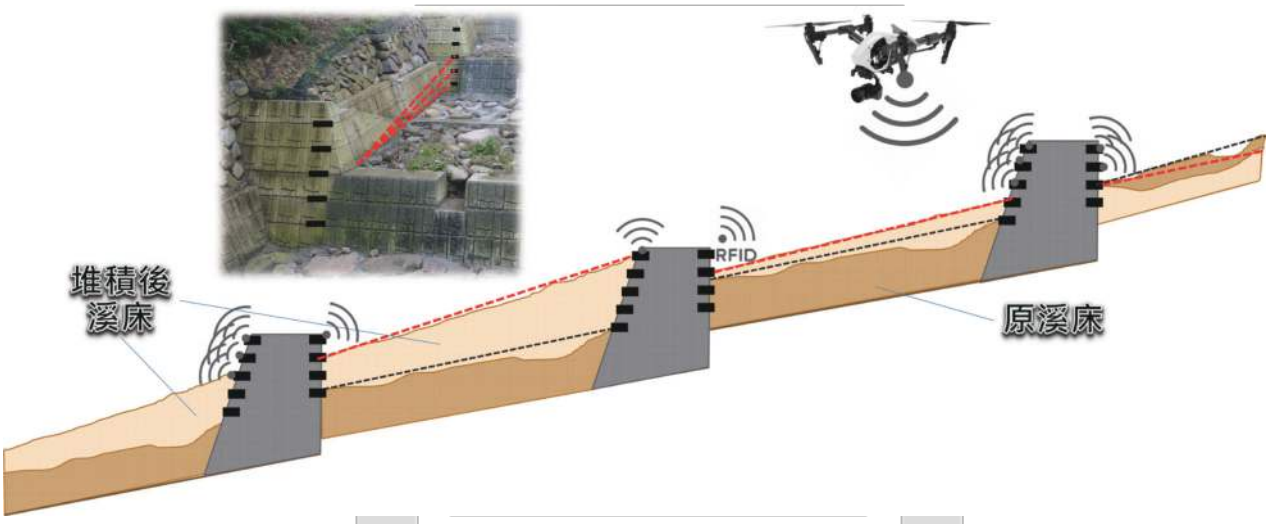



圖 14　以 UAV 搭載讀寫器掃描 RFID 標籤示意圖

表 2　不同環境遮蔽對 RFID 標籤讀距影響

| 環境類型 | 裸露 | 稀疏 | 茂密 |
|---|---|---|---|
| 最大讀距 | 14.9m | 14.7m | 11.2m |
| 最小讀距 | 4.8m | 3.4m | 2.9m |
| 總讀取次數 | 21 | 23 | 22 |
| 平均讀距 | 11.98m | 8.52m | 5.60m |
| 減少率（相對裸露） | - | 28.88% | 53.26% |

3. 環境遮蔽

為瞭解植生覆蓋影響，針對不同程度植被遮蔽情況進行讀距測試，測試成果彙整如表 2。依式（1）量化植生遮蔽影響，當植被稀疏時，讀距平均約減少 3 成；植被茂密時，則讀距平均相對裸露情況減少 5 成。

$$減少率 = \frac{(裸露狀況平均讀距 - 測試狀況平均讀距)}{裸露狀況平均讀距} \times 100\%$$

4. 無線射頻識別技術加值應用

於標籤佈設時，以造型模板高度（90cm）作為貼附標籤間距（圖 10），加值應用 RFID 技術，研判追蹤溪床坡度變化，據以回饋水土保持調適策略應用參考，提升技術效益。

（五）試辦區域現地巡查試驗

1. 試辦區域範圍

試辦區域位於哇嘟嘟娜野溪行諄橋上游至行來吊橋間河段，長度約 361 公尺，海拔約 792 公尺至 865 公尺（如圖 15）。

圖 15　RFID 標籤佈設範圍圖

2. 佈設數量

於佈設範圍內七座橫向防砂構造物，及兩座橫向構造物間的護岸，合計裝設 29 區、164 處 RFID 標籤，並於 RFID 標籤佈設後，完成第一次 RFID 標籤讀取作業。

3. 現地巡查試驗結果

第二次現地 RFID 標籤複巡作業，受嘉義縣阿里山鄉公所辦理「來吉村斯比斯比農路災害復建工程」影響，試辦區域第四座至第六座防砂壩間的左岸護岸 RFID 標籤遭土砂覆蓋，以致無法感應，此外，壩翼下游面接近河床處之標籤亦較不易讀寫，主因應為標籤受溪床砂石遮蔽，且距離天線較遠，故本次成功讀寫標籤數量共 139 個，約占總安裝數量 76.2%。

試辦區域第一座至第四座構造物間，由 UAV 空拍產製之高精度數值地形資料進行比較，兩次巡查作業期間地形變動約 2 公尺內，地形整體趨勢為左岸堆積（平均堆積深度約 60 公分），右岸沖淤平衡。對照以無線射頻識別技術加值應用追蹤溪床沖淤變化成果，與左側護岸最低處（距河床 0.2m）RFID 標籤均遭土砂覆蓋而致無法感測，然距河床 0.65m 高處，尚與讀寫標籤情形相符。

針對第三及第四座構造物間河段，以 RFID 標籤資料進行溪床淤砂坡降估算，計算結果約為 8.38% ~9.32%間，與人員現地巡查（9.50%），及 UAV 地形模型（9.03%）資料相近（詳表 3），顯現以 RFID 標籤加值回饋追蹤淤砂坡降變化構想確實可行，惟此方法的精度範圍，受垂直安裝間距所控，例如：本文試驗區域 RFID 標籤於壩體垂直安裝間距為 45 公分，若土砂沖淤所致高程變動小於安裝間距時，恐無法分辨判斷變化高度。

表 3 為不同方法所需巡查時間比較表，在不考慮前置作業時間的前提下，傳統人力現地巡查總花費時間約 4 小時；以 UAV 空拍搭配資料後處理（包含室內建模，以地面解析度 3 公分為例），現地所需作業時間約 30 分鐘；若以 UAV 搭載 RFID 讀寫器模組進行無線射頻識別，則現地所需作業時間約 45 分鐘，且可即時獲得巡查構造物編號、近期巡查成果等相關資訊。綜以上述，運用 RFID 技術，以 UAV 搭載讀寫器進行水土保持設施巡查作業，雖需進行構造物基礎資料建置、RFID 標籤佈設等前置作業，然於後續進行重複巡查時，不僅可大幅縮減現地巡查花費時間，更可即時獲得構造物完整基礎資訊，巡查效率較傳統人力現地巡查增進約 5.3 倍。

## 四、結論與建議

本文選定嘉義縣阿里山鄉、行諄橋上游至行來吊橋間之野溪河段，作為無線射頻識別技術現地巡查試驗區，於防砂壩、固床工，及護岸等三種不同構造物型式，貼附 RFID 識別標籤，經試

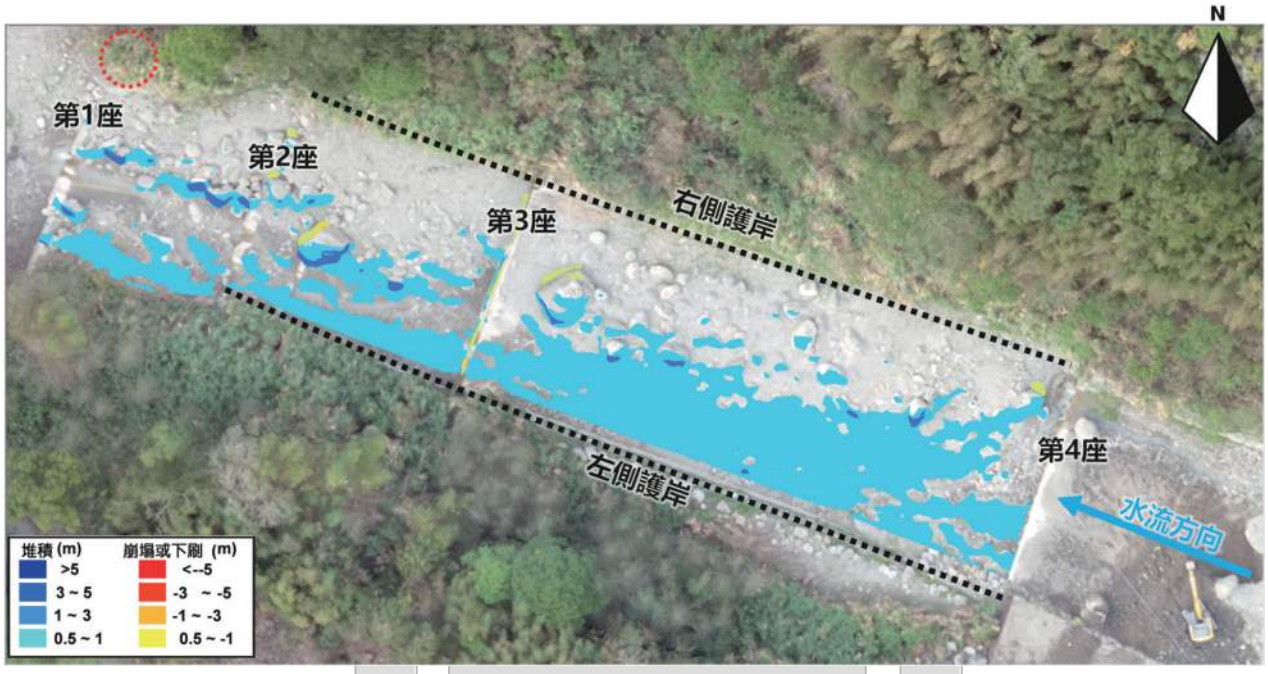



圖 16　第 1 座至第 4 座構造物間溪床沖淤變動情形

表 3　各巡查方式作業時間比較表

| 巡查方式 | 傳統人力巡查 | UAV | UAV+RFID |
|---|---|---|---|
| 現地巡查時間 | 4 hr | 30 min（需加計室內後處理時間） | 45 min |
| 巡查含資料處理時間 | 5 hr | 2 hr | 2 hr |
| 溪床坡度變化 | 9.50% | 9.03% | 8.38%～9.32% |
| 限制 | • 人員安全疑慮。<br>• 現地巡查視角受限。<br>• 觀察數據較為主觀。 | • 植被覆蓋處無法觀測。<br>• 禁限航區域（申請時效）。<br>• 產製精度受解析度影響。 | • 植被覆蓋無法觀測。<br>• RFID 標籤讀取距離限制。<br>• 土砂高程變動小於 RFID 標籤安裝間距時，無法加值應用，計算高程變化。 |

辦區巡查試驗顯示，RFID 電子標籤可應用於構造物感測及並進行巡查作業，相較傳統人力巡查，僅需 1/6~1/10 的時間。就防災應用面而言，針對大規模土砂災害發生時，人力無法到達調查，獲得第一時間防災資訊；就水保設計面而言，可應用於量測防砂設施上游側淤砂坡降變化或下游側沖刷深度演變，相關量化數據可回饋於設計手冊之參考。

此外，目前採用 RFID 係提供免維護、平價之快速普查參考資訊，無需增加高額硬體或軟體費用；唯技術仍有其限制性，除深受環境植生遮蔽影響，無法直接反應構造物結構功能，僅能針對構造物受土砂掩埋、斷裂或發生大位移等現象進行大範圍普查判斷；若針對構造物巡查時，需進行結構物功能細部影響估，建議未來可針對重要構造物，採用如 CCD、雙軸、裂縫伸縮計、應變計 ... 等感測器，並搭配 IoT 物聯網技術，較可直接獲得結構體表面變形等相關之資訊，據以做

為工程延壽策略之研擬。

## 參考文獻

財團法人中興工程顧問社（2010），「八八水災災害巡查成果與復建工程建議」。

行政院農業委員會水土保持局（2016），「濁水溪流域大型防砂設施調查建置」。

行政院農業委員會水土保持局（2018），「高屏溪等流域防砂設施調查建置」。

行政院農業委員會水土保持局臺北分局（2019），「108年度新竹縣茅圃及新北市基隆沿海等集水區之防砂設施調查建置」。

行政院農業委員會水土保持局（2020），「109年水土保持工程延壽評估及巡查作業研擬」。

內政部建築研究所（2009），「山坡地社區自主防治輔導暨RFID自主巡檢應用研究計畫」。

財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果，已開發下列程式，若有需要，歡迎洽購。
聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467 陳小姐
E-MAIL：louise@sinotech.org.tw
網　　址：http://www.sinotech.org.tw

| 序號 | 程式名稱 | 版次 |
|---|---|---|
| 1 | 泛用型非線性靜動態平面結構分析程式 | V1.0 |
| 2 | 深開挖土層參數回饋分析（DEXC-OPT）<br>深開挖土層參數回饋分析（RUIP） | V1.0 |
| 3 | 進出港操船模擬分析程式 | V1.0 |
| 4 | 預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式 | V1.0 |
| 5 | 單目標多座水庫系統運轉程式（ORES） | V1.0 |
| 6 | 區域流量延時曲線分析程式 | V1.0 |
| 7 | 台灣地區水庫資訊系統 | V1.0 |
| 8 | 台灣電子地圖網站 | V1.0 |
| 9 | 岩盤隧道施工資料自動化處理 | V1.0 |
| 10 | 預力預鑄混凝土橋柱分析 | V1.0 |
| 11 | 非線性混凝土結構分析系統 | V1.0 |
| 12 | 加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式 | V1.0 |
| 13 | 區域水資源系統即時操作模式建立 | V1.0 |
| 14 | 結合ETABS之位移法耐震性能設計及評析程式 | V2.0 |
| 15 | 混凝土非破壞檢測儀（Sino-NDT-IE）之改良 | V1.0 |
| 16 | SinoPad中興現地調查系統 | V1.0 |
| 17 | 隧道支撐設計整合系統 | V1.0 |
| 18★ | 二維泛用地表水分析軟體（註） | V2.5 |
| 19 | 柔性加勁檔土牆之設計參數與數值分析方法研究 | V1.0 |
| 20 | 台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立（一） | V1.0 |
| 21 | RFID設施巡檢系統、RFID設備盤點系統、RFID主動式監測系統 | V1.0 |
| 22 | 隧道（1）輸進資料、(2）地質資料、(3）監測資料等處理系統及（4）隧道施工資料查詢系統 | V2.0 |
| 23 | 沖刷監測預警裝置開發 | V1.0 |

（註）：序號18★之程式現階段僅開放政府機關申購。

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 97-105
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 交通行動服務應用異業合作之案例回顧與探討

張和盛 *　李崑育 **　胡仲瑋 ***　林良泰 ****　吳東凌 *****
呂思慧 ******　王瑋瑤 *******　葉曜 ********

## 摘　要

本文以交通行動服務（Mobility as a Service, MaaS）發展之異業合作為探討主軸，彙整日本、新加坡、英國、法國、德國與我國交通行動服務與交通服務之相關案例，並以旅遊產業中「食、宿、遊、購、行」五大類別整理異業合作之內容與店家數量。綜整國內外交通服務之異業合作類型，可歸納出特約商店優惠、異業整合與銷售通路拓展兩大模式，同時探討適合未來應用於 MaaS 服務之異業合作推展與擴充之方向、類型與模式，並提出應用異業合作之類型共計 10 大類別，以作為後續推動交通行動服務異業合作議題之參考依據。期望透過交通行動服務結合異業合作之推廣，整合與使用者「食、宿、遊、購、行」貼近之潛在需求，擴大交通行動服務之範疇，並提升使用者體驗與黏著性，最終達到提升大眾運輸使用率與降低私有運具使用率之目標。

關鍵字：交通行動服務、異業合作、特約優惠、異業整合

## 一、前　言

交通行動服務（Mobility as a Service, MaaS）是一項交通整合的服務，該服務的目的在於打造一個單一平台，整合一城市內之多元運具，並以使用者為核心，從出發前的旅運規劃，到車票預訂、付款、取票與乘車抵達目的地之間之作業進行整合，讓使用者能透過該平台達到無縫運輸的目標。交通部運輸研究所於民國 105 年起推動 MaaS 服務，同時將國內公共運輸導入，並累積發展實施與應用場域，除了目前已上線之高雄市 MeN Go 外，多個縣市如台中市、澎湖縣、台東縣等縣市亦逐步展開相關推動期程。

交通行動服務主要可分為下列五大構面如圖

*　逢甲大學建設規劃與工程博士學位學程博士生
**　臺北大眾捷運股份有限公司行車處行控中心控制員
***　中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心副研究員
****　逢甲大學學生事務處學務長
*****　交通部運輸研究所運輸資訊組組長
******　交通部運輸研究所運輸資訊組研究員
*******　交通部運輸研究所運輸資訊組副研究員
********　交通部運輸研究所運輸資訊組助理研究員

1 所示，分別為運具整合、旅運規劃、票證無縫、資訊無縫及異業整合之範疇，其中異業合作實為前述四大構面之延伸，可透過異業合作之推廣，滿足使用者的潛在需求，業者亦可提升交通服務吸引力及擴展服務範疇。

所謂異業合作（Cross-industry cooperation），或稱異業結盟（Cross-industry alliance）係指利用不同產業別或同產業別提供不同服務之業者，透過合作與結盟型式組成利益共同體，達到資源共享、優勢互補的目的，藉以擴大市場占有率與提升市場規模之作法。同時，對消費者而言，商家時常因異業合作提供之資源共享，因而省下部分廣告與行銷之成本，故其合作之產品通常提供相較優惠之價格，亦使消費者得以享有最大化之利益，達到業者與消費者雙贏的效果。

（圖片來源：本研究整理）

圖 1　交通行動服務五大構面

現階段各國為達到上述目的，許多營運機構利用其交通服務發行之套票除了提供整合型的運輸服務外，亦與旅遊產業中「食、宿、遊、購、行」五大類別中不同的產業相互進行異業合作，提供多元的生活及旅遊服務，以提升整體使用者體驗及大眾運輸的使用率。

本文將分別針對國內外交通服務之異業合作案例進行蒐集與回顧，並以「食、宿、遊、購、行」等五大類別統整異業合作之內容與店家數量，而後探討適合未來應用於 MaaS 服務之異業合作推展與擴充之方向、類型與模式，以作為後續推動交通行動服務異業合作議題之參考。

## 二、國際交通服務異業合作案例

本章節將回顧國外交通服務之異業合作案例，依回顧案例之國家，以下將分別以亞洲及歐洲國家進行說明。

### （一）亞洲國家案例

#### 1. 日本

日本推出之觀光票務產品十分多元，除提供如 JR、地鐵、私鐵、巴士、纜車等不同運具組合套票外，更結合了許多觀光地區的公車服務與旅遊地區特約商店之折價券的服務，異業合作發展十分成熟。

交通套票部分，許多營運單位均發行一日、多日票與周遊券等，提供許多訪日或日本國內旅客購買；部分套票亦限定非旅居日本的外國人方可購買，以刺激國際旅客訪日旅遊。舉例來說，JR 西日本依其旅遊地區性推出不同外國人限定的周遊券如圖 2 所示，旅客透過出示其實體周遊券車票即可享有關西地區多達 113 個商店之優惠，其異業合作對應之類別、內容與數量如表 1 所示，可於表中觀察出該週遊券套票主要提供遊程、體驗與套票中未包含之觀光型運具優惠。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 97-105
http://www.sinotech.org.tw/journal/



表 1　JR 西日本周遊券異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳、美食街、飯店等 | 14 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 景點門票、手作體驗等 | 53 |
| 購 | 百貨、Outlet、藥妝店等 | 15 |
| 行 | 觀光船、水上巴士、私鐵、纜車等 | 31 |

（圖片來源：JR-WEST 官方網站）

圖 2　JR 西日本周遊券外國人限定周遊券方案

另舉東京的地下鐵為例，該營運單位發行許多不同運具組合之一日與多日券套票，如東京 Metro 地鐵 24 小時車票、東京 Metro 都營地下鐵通用一日通票、東京環遊通票等，亦與許多商家合作，給予購票旅客限定優惠超過 100 項，其異業合作對應之類別、內容與數量如表 2 所示，該套票之異業合作多著重於餐廳與遊程之優惠，結合本身套票的交通服務，供旅客體驗在地的精采遊程。

（圖片來源：Tokyo Metro 官方網站）

圖 3　東京地下鐵時數型周遊券方案

表 2　東京地下鐵套票異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳、飯店等 | 39 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 動物園、植物園、水族館、溫泉等 | 73 |
| 購 | 百貨、商店街等 | 10 |
| 行 | 觀光巴士、水上巴士等 | 6 |

此外，日本部分地區亦推出觀光景點無限暢遊之旅遊套票，如大阪觀光局發行之大阪周遊卡 1 日與 2 日券，除了可於使用期限內無限搭乘大阪地鐵與巴士外，同時也包含 50 個付費景點與觀光船之門票，並享有異業合作之特約優惠，其對應之類別、內容與數量如表 3 所示。大阪周遊卡由於已涵蓋多個景點遊程之門票費用，因此更著重於餐飲與體驗類型優惠，與單純的交通套票有所區隔。

表 3　大阪周遊卡異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳、壽司店、燒肉店、飲料店等 | 18 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 手作、小吃製作、試飲體驗等 | 13 |
| 購 | 紀念品、特產店等 | 7 |
| 行 | 無 | 0 |

另一案例則如日本大阪 Aozora 一日套票，該套票為全日本航空運輸株式會社（ANA）與大阪機場交通株式會社、大阪市高速電氣軌道株式會社、大阪城市巴士株式會社及阪神巴士株式會社合作發行，旅客機票訂票完成後，可於全日空 App 查詢機場往來關西地區的交通方式，並可於線上加購該 Aozora 一日套票，達到 MaaS 強調的多元運具整合與無縫運輸之目的。此套票發售價格為 1,800 日圓，交通部分涵蓋大阪地鐵與市公車一日無限搭乘票與大阪機場的豪華巴士往返乘車券各乙張。憑此票券可於大阪市 27 個觀光設施（如表 4）享有入園門票優惠，以提供遊程之景點優惠為主。

（圖片來源：ANA 官方網站）

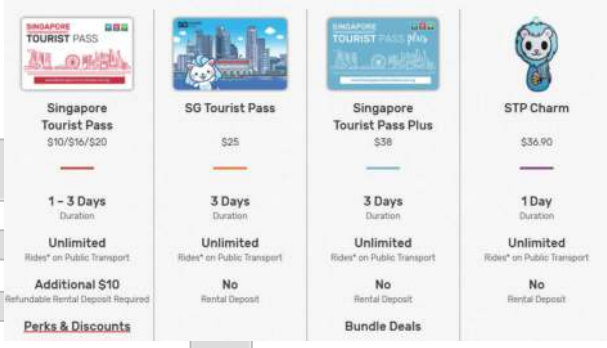
圖 4　日本 Aozora 一日套票

表 4　日本 Aozora 套票異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 無 | 0 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 博物館、美術館、景點、摩天輪、溫泉門票等 | 23 |
| 購 | 無 | 0 |
| 行 | 水上巴士等 | 4 |

2. 新加坡

新加坡旅遊票務產品針對不同旅客需求供發行四種 1 至 3 日不等的新加坡遊客通行卡（Singapore Tourist Pass），包含基本交通套票（押金支付與否版本）、附贈旅遊導覽之 Plus 版與特殊造型票卡版本，其各版本票卡間之詳細內容如圖 5 所示。




（圖片來源：Singapore Tourist Pass 官方網站）

圖 5　新加坡遊客通行卡方案

表 5　新加坡遊客通行卡異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳等 | 3 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 景點門票、SPA、遊樂園、導覽等 | 24 |
| 購 | 市集、中藥行、電信服務等 | 6 |
| 行 | 纜車 | 1 |

旅客購買任一旅遊套票即可憑此卡享有 34 個特約商店之優惠，其異業合作之特約優惠，其對應之類別、內容與數量如表 5 所示。新加坡遊客通行卡之特約優惠著重於遊程的推廣，包含各大景點如濱海灣花園、遊樂園、SPA、導覽及娛樂中心等，另提供多家電信服務優惠，遊客可獲得通話費、WiFi 等費用優惠。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 97-105
http://www.sinotech.org.tw/journal/



## （二）歐洲國家案例

### 1. 英國

英國國鐵（National Rail）與異業合作推行的優惠折扣為 2 For 1 專案，但其適用範圍非僅限於觀光導向的交通套票，旅客如持有「實體」的英國鐵路成人計價車票（如圖 6 所示），不論購買的票種別是早鳥票（Advance）、任意時段票（Anytime）、離峰票（Off-peak）、旅遊票（Travelcards）或季票（Season ticket），於車票有效時段內均可享有英國全國多達 295 項熱門景點與活動最低「兩人同行、一人免費」的優惠。

若欲使用該優惠，旅客需提前至英國國鐵網站選擇欲使用優惠的店家，並輸入預計前往的日期、旅客數量與當天預計出發的車站別，列印出紙本折價券，再於消費當天出示折價券與有效國鐵實體車票；部分需事先預約之活動與場館則透過索取折扣碼方式，後至店家官網進行兌換購買，再於使用當天同時出示車票方享折扣。計算其提供異業合作之優惠，對應之類別、內容與數量如表 6 所示，英國國鐵以發展遊程與體驗之異業合作最為多，多達 263 項，另由於其優惠方案允許旅遊前以折扣碼方式預訂，故能提供其他案例均無合作的住宿優惠。

（圖片來源：splitmyfare 網站）

圖 6　英國鐵路車票

表 6　英國 2 For 1 異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐酒館、咖啡廳、甜點店、酒吧等 | 21 |
| 宿 | 招待所 | 1 |
| 遊 | 遊程體驗、博物館、遊樂園、展覽等 | 263 |
| 購 | 百貨、市集等 | 3 |
| 行 | 觀光船等 | 7 |

### 2. 法國

法國推行之 Paris Visite travel pass 套票（如圖 7）提供異業合作之優惠，此套票方案包含 1/2/3/5 日票，可於連續天數內不限次數搭乘巴黎地鐵、快鐵、輕軌、纜車、公車與機場鐵路線等，並可至其 15 個合作的景點或商店享有高達 100 歐元約 7 至 95 折不等的優惠，其提供異業合作之優惠，對應之類別、內容與數量如表 7 所示。該套票則著重巴黎許多地標、劇場、博物館門票優惠，並無提供餐飲類型之優惠。

表 7　Paris Visite travel pass 異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 無 | 0 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 博物館、歷史地標、劇場、景觀台等 | 12 |
| 購 | 百貨公司 | 1 |
| 行 | 塞納河遊船、觀光巴士等 | 2 |

（圖片來源：civitatis Paris 網站）

圖 7　法國 Paris Visite travel pass

### 3. 德國

德國於不同城市如柏林、慕尼黑及漢堡，與當地交通運輸業者推出 24/48/72/168 小時的時效型 EasyCityPass，旅客購買後可於時效內無限暢遊該城市內的公共運具，並可享受超過 100 家的異業合作夥伴之優惠。舉柏林為例，該套票摺頁如圖 8，視其搭乘區域採不同計價，其提供異業合作之優惠如表 8 所示。與法國套票相似，歐洲推行之異業優惠多採與各大景點門票合作，且額外建立「夜生活」類別，顯示德國飲酒文化十分興盛，吸引許多觀光客至在地酒吧或俱樂部進行體驗。此套票更擴展至奧地利維也納，與奧地利國鐵 OBB 合作發行 EasyCityPass Vienna 版本。

（圖片來源：S Bahn Berlin 官方網站）

圖 8　德國 Berlin EasyCityPass

表 8　Berlin EasyCityPass 異業合作摘要

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳、酒吧、咖啡店、速食店等 | 27 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 導覽、博物館、展覽、劇場、體驗等 | 75 |
| 購 | 紀念品、服飾店等 | 9 |
| 行 | 觀光船 | 3 |

## 三、我國交通服務異業合作案例

### （一）台灣高鐵

台灣高鐵異業整合與銷售通路結盟之合作對象多元與完整，銷售通路結盟包含航空聯票、飯店聯票與活動聯票，異業整合則如高鐵假期，另與線上旅遊平臺結合發售國旅聯票，同時達到異業整合與銷售通路結盟之效果。以下分別針對此三種項目說明：

#### 1. 航空與飯店聯盟：聯票

台灣高鐵自 2009 年起與國內航空公司合作，旅客如購買國籍航空國際線機票，方可於「該航空公司網站」點選加購個人及同行親友之高鐵優惠車票，提供高鐵標準車廂 8 折、商務車廂 85 折之優惠。同時，亦與各縣市飯店合作發行聯票優惠，目前全台合作累計飯店數量已達 158 間，旅客可於各訂房網站以 8 折優惠加購高鐵車票，部分節慶與活動（如台灣燈會、中秋國慶等）期間，亦推行飯店聯票最低 7 折之優惠。

#### 2. 旅行社聯盟：高鐵假期

高鐵假期為一個銷售「行」結合其他「食、宿、遊、購」元素之套裝行程購買平臺，與航空

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 97-105
http://www.sinotech.org.tw/journal/

聯票和飯店聯票不同的是，高鐵假期為台灣高鐵與「旅行社業者」合作推行之旅遊產品，消費者於高鐵假期選購後，費用將委託旅行社收取，後續行程變更、退票等相關程序亦需洽詢原指定購買之旅行社辦理。高鐵假期之旅行社亦與部分飯店聯票之業者結合，推出許多包含住宿及其他遊程組合之套裝行程。值得說明的是，若購買高鐵假期產品，可持車票享高鐵車站內共計 53 間商店特約優惠。

### 3. 線上旅遊平臺整合與通路拓展

2021 年初疫情仍舊影響國人旅遊，企業紛紛開始轉攻國旅市場，台灣高鐵於此與四大旅遊預訂平臺 KLOOK、KKday、易遊網與 ibon 攜手合作推出「國旅聯票」如圖 9，民眾於四大旅遊預訂平臺購買指定商品，即可享高鐵車票 75 折起之優惠，併同時預訂如交通、樂園、展場等加購項目，省去在高鐵站及各大景點的購票時間。

（圖片來源：台灣高鐵官方網站）

圖 9　高鐵國旅聯票活動

## （二）捷運

台灣各縣市捷運系統時常發行交通套票，舉臺北捷運為例，其推出買捷運旅遊票送優惠手冊與好康優惠券之活動如圖 10，其優惠內容共 21 項列於表 9，多屬咖啡廳、麵包店、飲料店等餐飲類優惠，其次為觀光景點門票（如國立臺灣博物館、國立故宮博物院、兒童新樂園等），另提供貓空纜車單程票乘車優惠。

（圖片來源：臺北捷運官方網站）

圖 10　臺北捷運旅遊票活動

表 9　臺北捷運旅遊票異業合作類別與內容

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 咖啡店、麵包店、飲料店、甜點店等 | 10 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 博物館、遊樂園、劇院門票、手作體驗等 | 8 |
| 購 | 伴手禮店 | 2 |
| 行 | 貓空纜車 | 1 |

## （三）台灣好玩卡

交通部觀光局自民國 104 年起輔導縣市發行之「台灣好玩卡」，亦整合既有食、宿、遊、購、行等商家優惠，成為台灣景點無限暢遊套裝產品，透過該產品行銷與推廣在地觀光，讓國內民眾與國際旅客發現更多台灣城市魅力。目前推出地區包含北北基好玩卡、中台灣好玩卡、台南好玩卡、高屏澎好玩卡、台東好玩卡及宜蘭好玩卡共 6 個版本如圖 11。舉「高屏澎好玩卡」為例，此套票由高雄、屏東與澎湖三縣市政府同組團隊爭取補助，計畫執行期間民國 104 至 106 年共與 1,800 家店家合作，並於民國 107 年進一步增加高捷市集 2.0 平臺高屏澎好玩卡一卡通憑卡享優惠合作商家數 200 家，完成目標總數量達 2,000 家。

因應 2022 年台灣燈會重返高雄，高雄捷運公司、台灣高鐵公司與一卡通公司合作，推出結合 MeN Go 及高鐵國旅聯票之高雄好玩卡，除了高鐵及高雄市內公共運輸優惠外，亦包含高雄流行音樂中心、駁二展場、夢時代摩天輪等景點門票優惠，為國內「行」與「遊」之合作案例。

（圖片來源：台灣好玩卡官方網站）

圖 11　台灣好玩卡

### （四）高雄 MeN Go

高雄 MeN Go 為我國交通部運研所於民國 106 年起於高雄地區推動之 MaaS 示範建置計畫。截至民國 111 年 1 月，累計會員數逾 4.5 萬人，銷售套票逾 22.8 萬張。Men Go 主要提供無限暢遊型與民國 110 年新推出之時數型套票，前者客群鎖定通勤與通學旅客，後者則著重於觀光客群，發行 24/48/72 小時之時數型套票 MeN Go+。票卡啟用後，使用者可依購買版本於時限內無限搭乘高雄捷運、輕軌、市公車與公路客運，並可享有 2 次渡輪搭乘與 Youbike 2.0 前 30 分鐘免費的優惠。

不論使用任何無限暢遊型或計時型月票方案，使用者只要出示實體卡片或 App 票證畫面，共享特約商店享 8~95 折不等之優惠。盤點 MeN Go 現有異業合作之店家，包含百貨、伴手禮店、服飾店、觀光工廠、餐廳、飲料店、單車租賃站等，其對應之合作店家數量彙整於表 10。

表 10　MeN Go 異業合作類別與內容

| 異業合作種類 | 合作類型摘要 | 合作店家數量 |
|---|---|---|
| 食 | 餐廳、飲料店 | 6 |
| 宿 | 無 | 0 |
| 遊 | 觀光工廠、手作體驗 | 2 |
| 購 | 百貨公司、伴手禮店、服飾店等 | 34 |
| 行 | 單車租賃站 | 2 |

## 四、總結

本文透過回顧與綜整日本、新加坡、英國、法國、德國與我國交通服務異業合作案例，得以歸納出下列兩種模式：

### （一）特約優惠模式

此類合作模式與多數國外提供之旅遊票、臺北捷運旅遊票、高雄市 MeN Go 之異業合作相同，係與店家商談合作優惠後，旅客於消費時出示卡片或手機 App 之會員載具即可獲得對應優惠。惟此類特約商店之店家應針對套票目標客群有所區隔，意即需針對其對應族群之特性設計優惠方案，方能以精準行銷的方式提升使用者體驗，進而增加其產品黏著度。

### （二）異業整合與銷售通路拓展模式

此類合作模式與日本 Aozora 套票及台灣高鐵多樣的異業整合相似，即使用者購買時係以 MaaS 服務與「食、宿、遊、購、行」中一至多項產品相互結合，成為套裝（Package）產品，消費者可透過較優惠之金額購買此類套裝產品，同時於旅程內享有多重服務。本文回顧之票務產品如日本大阪周遊卡、台灣好玩卡等，甚至透過異業整合之形式，發售包含各大觀光景點無限暢遊（All-inclusive）套票，使旅客購買套票後除了能享受交通服務外，進入各大景點不需額外負擔入園費用，對觀光旅客來說極具吸引力。

無論是以特約優惠或整合之異業合作模式，盤點彙整國內外「食、宿、遊、購、行」與異業合作之案例，於該五大分類下可細分整理成如圖 12 之購物、觀光景點、藝文景點、旅宿、餐飲、夜生活、遊程、體驗、交通工具與其餘附加價值共 10 種異業合作之類型。依此作為我國交通行動服務後續推動與精進與其他產業間相互結盟應用的可能性

及服務模式，成為未來營運策略之基礎，藉以貼近使用者需求，提升整體交通行動服務之範疇。

（圖片來源：本研究整理）

圖 12　異業合作類型

針對國內 MaaS 實作案例，現正營運中之 MaaS 服務—高雄 MeN Go —合作內容採無限暢遊型月票及時數型方案共用特約優惠的方式執行，尚無針對如通勤通學與觀光旅客之目標客群進行區隔，合作店家類型與數量仍相對有限，且尚未與其他產業進行異業整合與銷售通路之延伸，可作為後續異業合作之推動參考，共創 MaaS 服務之多元性。

期望透過交通行動服務結合異業合作之推廣，整合與使用者「食、宿、遊、購、行」貼近之潛在需求，擴大交通行動服務之範疇、提升使用者體驗與黏著性，最終達到提升大眾運輸使用率與降低私有運具使用率之目標。

## 參考文獻

台灣高鐵（2022）國旅聯票，取自：https://www.thsrc.com.tw/ArticleContent/cf629e89-8cd6-4024-9961-f0f452d8575e

交通部觀光局（2019）台灣好玩卡，取自：https://www.funcard.tw/

高雄市政府（2018）Men Go，取自：https://www.men-go.tw/

逢甲大學（2020）110 年度交通行動服務（MaaS）縣市推廣與督導計畫期末報告。交通部運輸研究所。

臺北捷運（2021）搭捷運遊台北，取自：https://web.metro.taipei/event/taipeianytime2021/index.html

ANA（2021）大阪あおぞらきっぷ, Available: https://www.ana.co.jp/ja/jp/book-plan/airport-access/osakaaozorakippu.html

Del Medio Verlag GmbH (2022) EasyCityPass The City-Ticket For Explorers, Available: https://easycitypass.com/en/

EZ-Link (2021) Singapore Tourist Pass, Available: https://thesingaporetouristpass.com.sg/

JR-West (2022) Ticket Deals and Passes JR-West Rail Pass, Available: https://www.westjr.co.jp/global/tc/ ticket/pass/

National Rail Days (2022) Out Guide 2FOR1 offer, Available: https://www.daysoutguide.co.uk/

RATP (2017) Paris Visite travel pass, Available: https:// www.ratp.fr/en/titres-et-tarifs/paris-visite-travel-pass

Tokyo Metro (2022) Tokyo Subway Ticket, Available: https://www.tokyometro.jp/tcn/ticket/travel/index.html

水利工程應用程式　公 開 發 售

SEC-HY21（二維泛用地表水分析軟體）

a. 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
b. 定床水理模組
c. 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐
傳　　真：(02)8791-2198
E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

SINOTECH
*臺北捷運環狀線跨新店溪橋
縱橫四界的願景擘劃者
臺北捷運環狀線跨新店溪橋，橋梁採120公尺長跨設計
同時調整鋼梁與Y型橋墩結構之支承配置
有效降低噪音並利於後續運轉維護工作
全線外形簡潔搭配色彩計畫，與(尖)山、水(新店溪)相結合
軌道建設工程
中興團隊專業服務
水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理
聯絡資訊
10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw
正派經營・品質保證・追求卓越・創新突破
中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 107-116
http://www.sinotech.org.tw/journal/



# 捷運三鶯線
# 電聯車出廠前品質查證

李政安 *　魏德輝 **　林冠成 ***　蕭仁維 ****　賈逸斌 ****　陳鵬宇 ****

摘　要

公共工程品質管理系統分為品質管制、品質查證、品質查核等三階段。其中電聯車系統因組成較為複雜，施工週期中，於設備供應商、專業實驗室、電聯車組裝工廠、工程現地中，均有相對應之品質措施。本文針對中運量電聯車於車輛組裝工廠出廠前，說明監造單位於品質查證階段，需完成執行之例行性驗證測試項目、測試目的及相關內容，以確保電聯車出廠品質合乎所需。

關鍵字：公共工程、大眾捷運系統、電聯車、出廠驗證、品質管理

## 一、前言

列車測試涉及到整個列車或各個子系統零部件，在實際執行各種實驗室和主線測試，目的是確保車輛的系統安全，符合相關全球標準和法規。為驗證電聯車廠商設計之車輛系統功能是否符合契約與規範所規定之功能，廠商應依據契約規範所規定之測試項目，同時必須符合 IEC 61133/EN 50215 標準中所規定之測試內容辦理，該兩項國際標準皆述明軌道車輛在組裝完成後正式營運前所需進行的測試項目，廠商所提測試計畫必須符合前述國際標準其中之一即可，對於電聯車首件產品元件及原型車進行設計驗證測試，以確認電聯車系統功能設計／子系統組件符合性能規格、契約以及國家和國際軌道車輛法規，從而能將電聯車投入運轉。

其中例行測試的目的是評估製造過程可能影響的幾個安全參數及製造瑕疵。例行測試有助於識別製造中的故障或不可接受的容差，可以保證電氣產品的功能性和安全性，例行測試應在製造商的工廠對所有車輛上進行測試，以確保車輛設備與已通過型式試驗的首件子系統設備、首件元件功能相符，主要的出廠前例行測試項目如表 1。

*　新北市捷運工程局局長
**　中興工程顧問公司機電監造工程部資深協理
***　中興工程顧問公司軌道工程一部技術經理
****　中興工程顧問公司三鶯捷運監造工程電聯車監造工程師

表 1　電聯車出廠前例行測試項目

| 項次 | 測試項目 |
|---|---|
| 1. | 車體尺寸量測 Carbody Dimension Measurement |
| 2. | 車重量測測試 Vehicle Weight Measurement |
| 3. | 電路連續性測試 Wiring Continuity Test |
| 4. | 絕緣阻抗測試 Insulation Resistance Test |
| 5. | 耐壓測試 HI-POT Test |
| 6. | 車體水密測試 Carbody Watertightness Test |
| 7. | 列車管理系統 (TMS) 測試 TMS Test |
| 8. | 靜態功能測試 Static Function Test |
| 9. | 動態行駛測試 DYNAMIC FUNCTION TEST |

## 二、電聯車出廠前例行測試

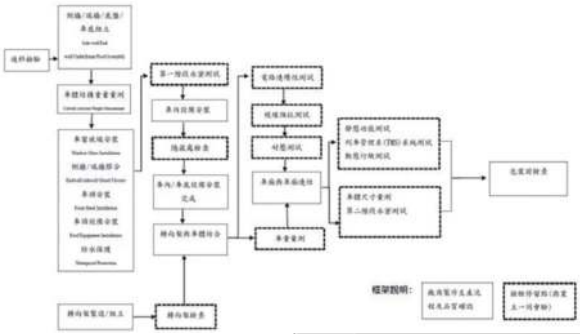


圖 1　車輛出廠前之製造、檢驗及測試流程圖

### （一）車輛水密測試

依據 IEC 61133、本地氣候（含颱風季節）之實際情況，以及受測車體表面噴水量不得少於 11L/min/$m^2$ 之條件，以決定噴嘴的配置，以及噴水的角度、壓力等特性，來驗證其電聯車車體內部各處仍不漏水。水密測試應在車體結構焊接完成後及車體組裝完成後分二階段進行。每一車輛（包括車體結構、車間走道、車門、車窗、車頂空調系統以及車外各式裝置與設備箱體等）均應進行測試。水密檢查前車體應噴水至少 15 分鐘，且除車外設備箱外，檢查期間仍應持續噴水。

車輛第一階段水密測試於施工階段中車體結構之組立、表面處理、車窗玻璃安裝、車頭安裝、端牆 / 側牆膠合作業、車頂設備安裝、防水保護等工項完成時將執行第一階段水密測試（完成車體結構焊接後），其目的在於部分覆蓋件、面板、飾板尚未完成安裝時，能降低目視檢驗及檢驗區域的限制，以確保車廂內部無漏水或滲水之現象。

表 2　電聯車第一階段水密測試檢測項目

| 項次 | 檢查項目 | 檢查標準 |
|---|---|---|
| 1. | 車身結構接合處（含焊接部位）<br>Carbody structure connection area（including welding part） | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 2. | 擋風玻璃及車窗<br>Windscreens and Vehicle Window | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 3. | 空調單元接口處<br>VAC connection area | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 4. | 車頭燈及車尾燈<br>Headlight and Taillight | 車廂內部不允許有滲漏<br>No Leaks in Vehicle Interior |
| 5. | 車頂接線箱<br>Roof terminal box | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 6. | 車門緊急把手接口處<br>Doors emergency handle connection area | 不允許有滲漏<br>No Leaks |

車輛第二階段水密測試於車輛所有設備皆已安裝完成（車頂設備、車底設備、車門等）且兩車廂進行聯結後執行第二階段水密測試，檢驗車門扇密封處、車門上緣、車門底部、天線安裝處、車間走道及車外設備箱與電纜接頭內部皆無漏水或滲水之現象，驗證車輛的密封技術（如依據 IEC 60529 的 IP 規格）能與契約規定相符。

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 107-116
http://www.sinotech.org.tw/journal/



表 3　電聯車第二階段水密測試檢測項目

| 項次 | 檢查項目 | 檢查標準 |
|---|---|---|
| 1. | 空調單元<br>VAC | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 2. | 旅客車門<br>Passenger Door | 沒有水從滴水盤及車門踏板溢出<br>No water overflow from drain plate and door threshold |
| | 車門底部<br>Door Bottom | 沒有水從滴水盤及車門踏板溢出<br>No water overflow from drain plate and door threshold |
| | 擋風玻璃及玻璃窗組裝<br>Windscreens & Window Assembly | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 車門上緣<br>Door Upper Edges | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 車門扇密封處<br>Door Leaf Edge Seals | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 3. | 目的地指示器<br>Destination indicators | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 雨刷安裝處<br>Wiper mounts | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 天線安裝處<br>Antenna mounts | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 開門指示器<br>Indicators for doors | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| | 車外緊急開門把手<br>External handle for emergency doors opening（DEH） | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 4. | 車窗<br>Vehicle Window | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 5. | 車間走道（車間走道本體及與車身接合處）<br>Gangway（Gangway itself and seam between Carbody） | 不允許有滲漏<br>No Leaks |
| 6. | 所有車底設備箱及接頭（含快速接頭）<br>All undercar Equipment Enclosures and connectors | 不允許有滲漏<br>No Leaks<br>設備箱及接頭內均不允許有水<br>No Water Is Allowed In Any |
| 7. | 車頭燈及車尾燈<br>Headlight and Taillight | 車廂內部不允許有滲漏<br>No Leaks in Vehicle Interior |

（來源：7595D-A108-15618-SYL-TK01-PRO-ERS-0318-0 車輛水密測試程序）

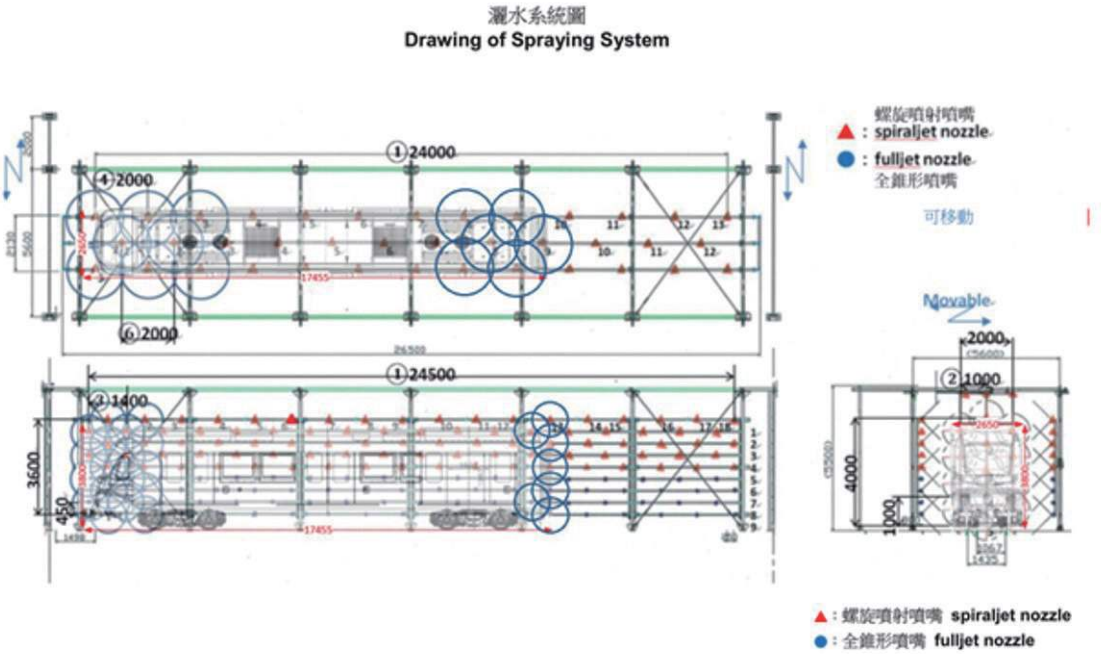



圖 2　車輛水密灑水系統配置

圖 3　車輛水密測試作業

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 107-116
http://www.sinotech.org.tw/journal/



### （二）電路連續性測試

電路連續性測試依據 EN 50215 是檢查電路是導通或斷路的測試方式，使用電鈴式導通測試器透過受測迴路檢測迴路是否導通。其目的在對於已完成單一節車廂之所有電線進行測試，確認每節車廂的高電壓／中電壓／低電壓及車間電纜的正確佈線，確認製造組裝過程中無因線路錯接的製造瑕疵可能導致後續靜態功能測試時該迴路之功能無法正常運轉或造成功能上判讀異常。

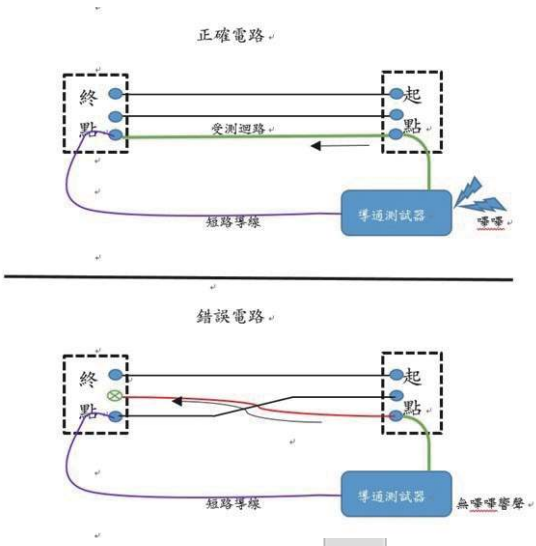



圖 4　電路連續性測試配置示意圖

圖 5　電路連續性測試作業（1）

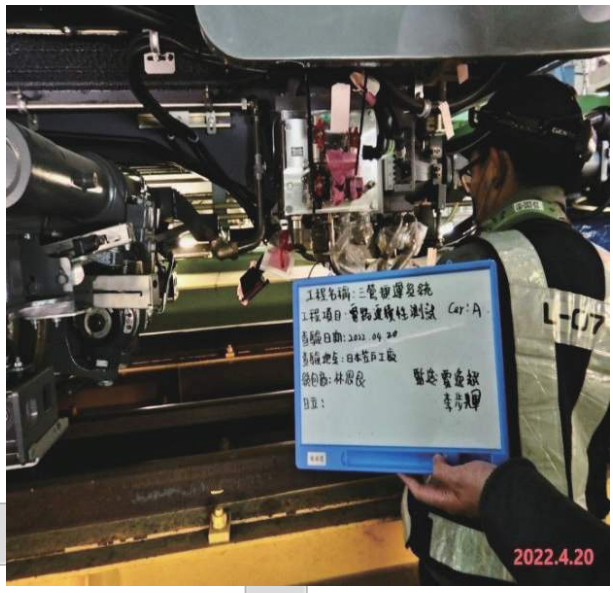



圖 6　電路連續性測試作業（2）

### （三）絕緣阻抗測試

依據 EN 50215 除契約中對於絕緣阻抗測試有特定之規定，則其最小值為 500V，所測得之絕緣阻抗值應不小於下列之規定：

1. 定電壓等於或大於 300Vdc 或 100Vac 的電路，阻抗值為 5MΩ。
2. 定電壓小於 300Vdc 或 100Vac 的電路，阻抗值為 1MΩ。

目的在於驗證車輛電路之絕緣阻抗完整性，以確保電氣設備和系統的可靠性，在開始絕緣測試之前，應先完成電路連續性測試以確保電纜的正確連接，以及測試的迴路是否已與系統接地以及避雷器、電容器和控制變壓器等設備進行隔離，防止系統設備單元損壞。

藉由執行絕緣阻抗測試確認每節車廂之電纜（高電壓／中電壓／低電壓）驗證正確連接的安裝要求，確保車輛電線電纜在車輛運轉過程中不會發生因電線電纜本身絕緣不合格及製造過程劃傷絕緣層而產生漏電現象。

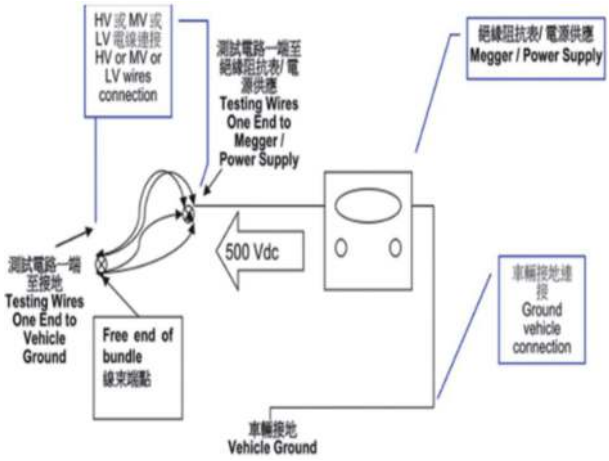



圖 7　絕緣阻抗測試設備配置

約要求。於耐壓測試前須完成絕緣阻抗測試，主要是在耐壓測試前對車輛電纜絕緣阻抗性進行的初步的測試，確保耐壓測試能順利進行。

出於安全和品質目的，執行 Hi-pot 測試，車輛耐壓測試採用交流耐壓測試方式，交流耐壓對絕緣性的考驗較為嚴苛，試驗電壓高於受測電纜設備實際運行時的電壓，在持續高壓下判斷是否發生擊穿或有漏電流的產生。確保車輛電線電纜在車輛運行過程中不會發生因電線電纜本身絕緣不合格及製造過程劃傷絕緣層而產生漏電現象，以保證車輛投入運行時系統及設備的安全性與穩定性。

圖 8　絕緣阻抗測試

圖 9　耐壓測試作業（1）

（四）耐壓測試

依據 EN 50155、交流電應使用 50Hz 或 60Hz，測試電壓應通過逐漸增加電壓幅度到試驗電壓，並且保持試驗電壓維持 1 分鐘。耐壓測試後應重複執行絕緣阻抗測試，驗收要求與初始測量值相比不得有電纜介電降級之情形。

為了確保電纜絕緣材料品質及排除製造過程中所產生的瑕疵，對車輛電線／電纜進行耐壓測試。測試展現了電路的絕緣阻抗是否可以承受瞬態過電壓，測試期間電線／電纜長時間暴露在高壓下，確保其絕緣層符合安全和品質標準符合契

圖 10　耐壓測試作業（2）

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 107-116
http://www.sinotech.org.tw/journal/



### （五）車重量測測試

電聯車轉向架輪重差、軸重差，影響電聯車牽引制動效率與運行安全，電聯車重量作為車輛基本性能參數，直接影響著電聯車的整體性能。

電聯車例行車重量測測試，國內軌道車輛整車驗收標準依據 IEC 61133 軌道應用—軌道車輛車輛組裝後和營運前的整車測試執行車輛重量測定方法，主要目的是驗證電聯車靜態的 AW0 自重及其分布是否滿足契約的規定，需透過測量電聯車的輪重、軸重等參數來進行驗證，這兩個參數不僅與電聯車的重量有關，而且與電聯車上各安裝之設備、零部件的重量分布有關，為取得到其真實值，需確保電聯車安裝完整。

為避免由於二次懸吊系統水平不一致，導致重心偏差造成輪重分布不均的影響，執行前確認二次懸吊系統功能是否正常且須執行二次懸吊水平高度調整，確保車體地板與軌面高度保持一定之水平。若有尚未安裝的設備／零部件，可以通過使用相同重量替代未安裝件的重量及平面重心位置，使電聯車的重量及分布狀態與真實安裝狀態等同，以滿足電聯車車重量測測試之測量條件，以保證測量的真實有效性。

圖 11　車重量測測試作業（1）

圖 12　車重量測測試作業（2）

圖 13　車重量測配置示意圖

為減少平衡及摩擦所造成的誤差，應執行兩次連續的秤重操作，需測量車輛往兩個方向（推／拉）移動的重量，測量結果為兩次連續秤重紀錄數值之平均值。透過車重量測驗證車輛 AW0 空車重量及軸重是否符合設計規範及契約規定。

### （六）車體尺寸量測

目的在於驗證靜態車輛的外觀尺寸及車體限界，在車輛組裝完成後並進入運轉狀態，車體限界、繞性聯結裝置均應符合契約的要求，及車輛的包絡線與設計相符。

依據 IEC61133 軌道應用—軌道車輛組裝完成及運轉前之整車測試車體尺寸量測試程序，車體尺寸量測之例行測試，外觀尺寸及車體限界測試，應於 AW0 荷重狀態下進行測試。

應使用適當的測試方式，如使用等效尺寸之模板執行測試，測試每輛列車的包絡線、車體限界是否符合設計及契約要求。測試中驗證車輛的

側面、頂部和車輛的底部限界，將車輛置於平直軌道上，二次懸吊完全充氣，所有的車門關閉，將車輛進入限界模板逐點量測驗證車體限界是否符合設計及契約規定之規範，確保無觸碰到軌旁設備之風險。

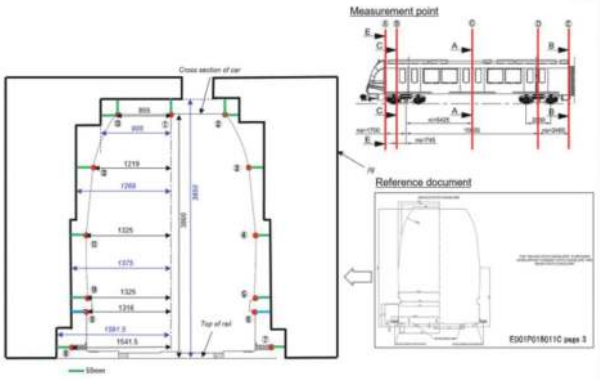



圖 14　車輛與夾具配置

圖 15　車體尺寸量測作業

### （七）靜態功能測試／列車管理系統（TMS）測試

目的在對於電聯車車載子系統設備功能進行測試確認各子系統功能的完整性，驗證是否能達成契約之規定及是否符合設計之功能，依據 IEC 61133/EN 50215 標準中所規定之相關測試項目，發展測試程序以確保車輛系統測試之完整性。驗證各車載子系統設備功能其測試標的包含：推進牽引動力控制、煞車制動控制、空壓機控制、輔助電力控制（靜態換流器）、電池充電控制、照明系統、空調控制、火災偵測系統、駕駛室控制器、控制台、診斷與監控系統、廣播系統、旅客資訊系統、車門控制、列車管理系統等系統控制邏輯，主要目的係驗證車輛控制邏輯、子系統之間的聯鎖控制功能及測試 TMS 系統與故障設備故障顯示之一致性，如車門關閉信號與推進系統的安全聯鎖、緊急煞車與推進系統聯鎖及發生設備故障 TMS 皆能精確顯示其故障位置，透過靜態功能測試驗證相關功能是否符合契約規定之規範及子系統功能、聯鎖控制功能符合設計需求。

圖 16　靜態功能測試作業（1）

圖 17　靜態功能測試作業（2）

圖 20　列車管理系統（TMS）測試作業（3）

圖 18　列車管理系統（TMS）測試作業（1）

### （八）列車動態測試

在進行任何動態測試之前，上述規定的靜態測試應已完成，出廠前之列車動態測試因礙於工廠場地限制僅以低速行駛下進行測試，依據 EN 50215 目的在於確認牽引 / 煞車系統對接收到的控制信號能做出正確反應，在有效或無效控制輸入指令下，驗證牽引動力的運行方向、煞車系統、駕駛控制器、指示器、診斷及監控系統、線電壓、線電流、馬達電流、減速率、煞車力、加速率及緊急煞車率確保系統功能運轉正常，後續以營運速度行駛之動態測試將於現地主線上執行，驗證列車符合設計性能規格及需求。

圖 19　列車管理系統（TMS）測試作業（2）

## 三、測試不合格之後續程序或動作

若有任何測試結果未能符合規定或不符合測試程序之允收標準，應採取下列處理程序：

（一）當測試失敗時，停止測試。
（二）應進一步評估，須找出測試失敗之根本原因。
（三）提出改善方案及採取改善行動。
（四）改善完成後重新執行測試。

如測試進行過程中，有發生異常或不符合測試程序允收標準時，將即刻暫停該項測試程序；監造單位見證人員會與相關見證單位（機關或第三方公正單位）及廠商立即召開檢討會議，並將改正措施編列於不合格清單，以保留完整記錄，俟改善完成後，再予以重新執行測試。若改正措施有涉及設計變更（如：功能邏輯、軟體版本、硬體型式、系統參數……等），廠商將依型態管理計畫進行檢討辦理變更及記錄，以確保電聯車製造組裝品質及可靠度。

## 四、結論與建議

電聯車出廠前查證作業，係捷運工程系統機電中較為特殊之環節，大部分機電設備僅執行出廠測試及到貨點驗。電聯車因組成複雜，且為日後旅客直接搭乘使用，為確保組裝階段品質，生產期間監造單位需執行駐廠監造業務，期間辦理電聯車之品質查證作業。有別於型式測試執行電聯車之設計驗證，品質查證作業則藉由各項例行性測試，輔以各個檢驗停留點，以確保電聯車之生產品質可符合契約功能規範、引用各項國際標準、設計文件及圖說之相關內容與規定。

電聯車完成出廠測試後，將接續執行下一階段之現地各項功能測試驗證，另於現地測試期間，所發生之異常及故障態樣皆會條列於相關統計表中以利控管，進而檢討精進改善作為，方能達至各階段之測試啟程。

## 參考文獻

IEC 61133-Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service

EN 50215-Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service

SYL-TK01-PRO-ERS-0288-0_ 車體尺寸量測測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0408-0_ 動態行駛測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0378-0_ 靜態功能測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0198-0_ 絕緣阻抗測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0318-0_ 車輛水密測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0228-0_ 耐壓測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0168-0_ 電路連續性測試程序

SYL-TK01-PRO-ERS-0258-0_ 車重量測測試程序

三鶯線捷運系統計畫統包工程業主需求書（一）、（二）

獨立驗證與認證（IV&V）如何結合獨立安全評估（ISA）作業說明—以新北市捷運車輛系統為例

電聯車國外駐廠監造報告

國內首列載運行李的機場捷運電聯車

財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.
中興工程・第158期・2023年1月・PP. 117-121
http://www.sinotech.org.tw/journal/

# 軌道系統司機員輪班問題之研究

陳桂豪 *　鍾志成 **　韓復華 ***

## 一、前　言

軌道系統往往需要大量人力方能維持正常運轉，所需要之技術人力大致可區分為乘務人員與站務人員兩大類。其中，乘務人員運用必須需考量業務分擔、乘務員人數、乘務員勤務條件，排定每一車次的乘務人員以及其任務銜接與輪班的作業。乘務人員運用包括司機員及列車長的排班與輪班兩大主要部分。

司機員輪班問題（Crew rostering problem）為鐵路營運業者營運時所面臨的重要課題之一，主要目標為規劃每位乘務人員於輪值期間內之工作日及休假日的安排，其內容須符合相關輪班規範，如不得超過最大連續工作天數、適用一例一休原則等。

實務上，司機員輪班為一程序性問題，係以前一排班階段所決策出之最適任務卡集合作為輸入資料來進行規劃，作業時須滿足相關勞動法規與公司規定，如預排特殊需求、每日任務數量需求及兩連續工作日之班別銜接等限制，求解輪值期間每位司機員的休假日及工作日的任務。

司機員輪班問題為作業研究著名問題之一，在考量複雜的硬、軟限制與勞資雙方的立場之下，難以單純運用最佳化方法來求解大規模之問題。此外，勞動部於 2017 年實施勞基新法後，對於勞資雙方影響最大的條文莫過於特別休假制度的訂定，其中大眾捷運系統為能於營運時符合例假日與休假日的出勤規定，輪班規劃專業人員所面臨的挑戰變得更是困窘。

有鑑於此，本研究以李俊德博士論文的研究為基礎，運用限制規劃法（Constraint Programming, CP）結合數學規劃法（Mathematical Programming, MP）來構建相關輪班模式。藉由限制規劃法的搜尋策略與值域限制式，並輔以數學規劃法求解最適解之機制，來建立有效率且具彈性的決策支援模式，以協助鐵路營運單位依據不同考量來評估輪班結果之優劣，進行有效人力資源配置。

## 二、模式構建

本研究專案將司機員輪班問題切割成休假指派及任務指派兩個子問題，其求解流程如圖 1 所示。第一階段之休假指派問題即為制定司機員排休表，此階段除考慮司機員預排需求、每日任務所需人力、工作及休假天數硬限制外，另將考慮休假公平性軟限制，滿足司機員對休假公平之期望，因此，即利用數學規劃法來構建司機員休假指派模式。第二階段的任務指派問題則以第一階段結果為輸入資料，將每日任務指派給需工作之司機員，為縮小變數規模並滿足多種邏輯限制式，此階段將運用限制規劃法來構建任務指派模式，其結果即為完整司機員輪值表，內容包含每位司機員之休假日、工作日之勤務及對應班別。

*　中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心副研究員
**　中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心主任
***　國立交通大學運輸與物流管理學系榮譽退休教授

（一）休假指派（Off-day Assignment）模式

司機員休假指派模式係在已知司機員預排資料及每日總任務需求下，依據工作及休假相關硬限制，求解輪值期中每位司機員的工作日及休假日，即司機員排休表。除硬限制外，此階段亦將考量總休假天數儘量相同及總例假休假天數儘量相同之軟限制，藉以滿足司機員最重視之休假公平性指標。

為達到上述公平性目標，本研究透過數學規劃法來構建模式並求解，目的為最小化司機員總休假天數與目標休假天數之差值、以及司機員總例假休假天數與目標例假休假天數之差值，其中，總休假天數係為司機員於輪值期間內所有休假天數之總和，與特定星期無關，而總例假休假天數則係為司機員於例假日休假之天數，此處例假日包含了一般星期六、日與國定假日。此外，為使司機員整體休假天數儘量接近目標天數，故本研究將以超休天數差距平方（即總休假超休平方與總例假超休平方之和）作為目標式，來估算其懲罰值。以下說明在此階段考量之限制條件。

1. 預排需求
   (1) 若司機員有預排特殊工作或特殊休假，則當日不得指派任務或一般休假
   (2) 特殊工作包含：教育訓練、體檢、公差、公出等。特殊休假包含：特休、補休、喪假、病假、事假等

2. 任務需求
   (1) 每日應有足夠的工作司機員值勤當日所有任務

3. 輪值相關規則
   (1) 司機員最大連續工作天數限制
   (2) 司機員最大連續休假天數限制
   (3) 避免出現休假、工作、休假之組合；避免出現休假、工作、預排休假之組合；避免出現預排休假、工作、休假之組合
   (4) 司機員於輪值期間總休假天數至少不低於每月平均休假數
   (5) 每位司機員的總休假天數盡量相同
   (6) 每位司機員的總例假休假天數盡量相同

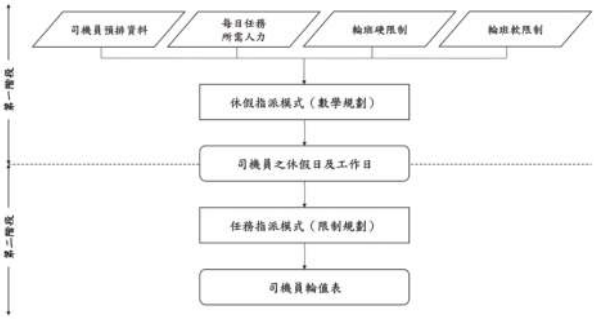



圖 1　司機員輪班問題求解流程圖

（二）任務指派（Duty Assignment）模式

司機員任務指派模式係將每日任務指派給需工作的司機員，制定出符合輪值硬限制與儘量滿足司機員期望的輪值表。此階段除了需要前一階段產生之司機員排休表外，另需要輪值期間每日對應的班表種類、各班表的任務結果、以及任務對應班別相關資料。於模式設計上，由於指派模式需運用大量判斷式來建構輪值限制式，因此本研究利用限制規劃法來構建任務指派模式。以下說明在此階段考量之限制條件。

1. 滿足每日任務需求
2. 每位司機員於工作日僅能指派一個任務
3. 連續兩日的工作結束時間與開始時間需間隔 11 小時
4. 晚班隔日不接早班限制
5. 午班隔日不接早班限制
6. 公平分配早班、極早班、極短班與極長班之任務次數

## 三、案例分析

本研究以國內某軌道營運機構的特定車班之營運資料作為研究範圍，來測試所提出之司機員輪班模式的彈性，其內容主要為十月份每日所需的任務卡數量以及該車班司機員人力的預排需

中興工程・第158期・2023年1月・PP. 117-121
http://www.sinotech.org.tw/journal/

求，其中各任務卡屬性包含了任務的開始時間、結束時間、班別長度與班別型態。本研究利用 C# 與 Google OR-Tools 軟體撰寫模式與求解程序，且於 Intel Core i7-6700K 處理器與 32 GB RAM 記憶體以及 Windows 10 作業系統的環境下執行測試。由於該營運機構的司機員輪班為各路線獨立規劃，並以車班為基礎，因此，不同路線的輪班規劃並不會相互影響。

### （一）司機員排休指派結果分析

在最小化司機員整體休假天數與目標休假天數之差值的情境下，求解結果如圖 2 所示。其呈現了 48 位司機員於十月份每日是否被安排須執行任務卡或是被安排休假，其中，以「0」表示該司機員於當日須執行任務卡；「1」表示該司機員於當日被安排休假；「V」表示該司機員於當日有預排之需求。

從結果可以看出，每位司機員若於輪值週期內已預先安排工作或是休假，則當日將不會被安排執行任務卡或被安排休假。由於考量了司機員於輪值週期內最多能連續工作 5 天以及最多能連續休假 3 天之限制，因此針對任一司機員於此排休表中並不會出現連續 5 個「0」或連續 3 個「1」之情形。

此外，模式排除出現休假、工作、休假之組合的情形，此情形容易造成司機員休息上不足，對於營運安全有一定程度的影響。因此針對任一司機員此排休表中並不會出現「1」、「0」、「1」相間的情形。除了休假、工作、休假組合之外，模式亦排除休假、工作、預排休假之組合，以及預排休假、工作、休假之組合兩種情形。

### （二）司機員任務指派結果分析

任務指派問題則以第一階段結果為基礎，將每日任務指派給必須工作之司機員，即排休表中當日為「0」者。求解結果如圖 3 所示，包含每位司機員之休假日、工作日之任務及對應班別。

由於此階段採取限制規劃法作為求解方式，因此所得解實為一滿足輪班規範之可行解。從結果得知，其任務指派的結果滿足了班別間轉換時之限制，如晚班隔日建議不接早班，午班隔日不接早班限制。

### （三）綜合分析

就求解時間而言，不論於利用數學規劃來進行求解的休假指派模式，抑或是透過限制規劃來進行求解的任務指派模式，均能於數十秒內求解出司機員的排休表或輪值表，整體流程更能於一分鐘內求解完成。由此結果可知，對於個案的非週期性輪值表，本研究模式可快速求解滿足所有輪值硬限制之輪班表。

而在公平性滿足程度上，本研究也針對每位司機員總休假數及總例假日休假數的結果進行探討。由總休假天數分布範圍結果可知（圖 2），48 位司機員中有 25 位其總休假天數超過目標天數 1 天，即總休假天數為 9 天，其餘司機員總休假天數即為目標天數（8 天）。於例假日休假方

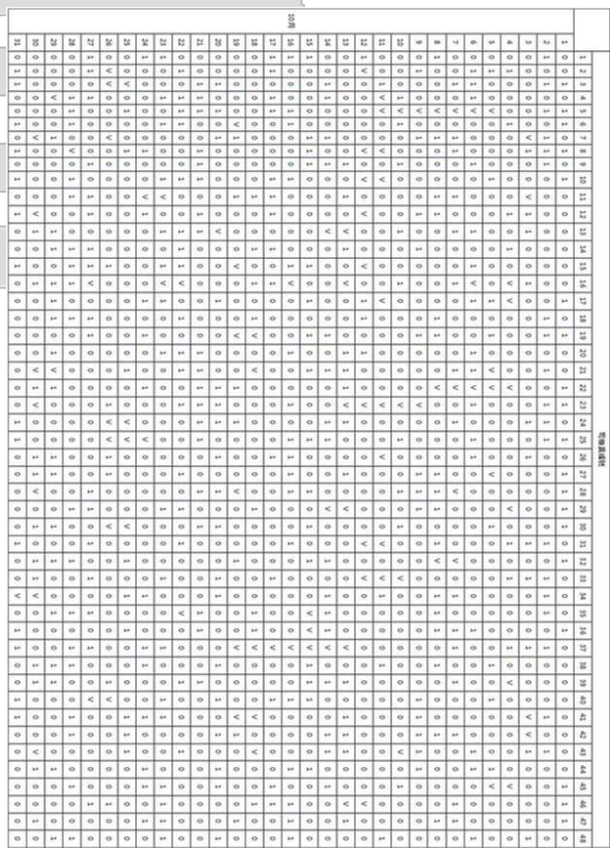


圖 2　司機員 10 月排休表

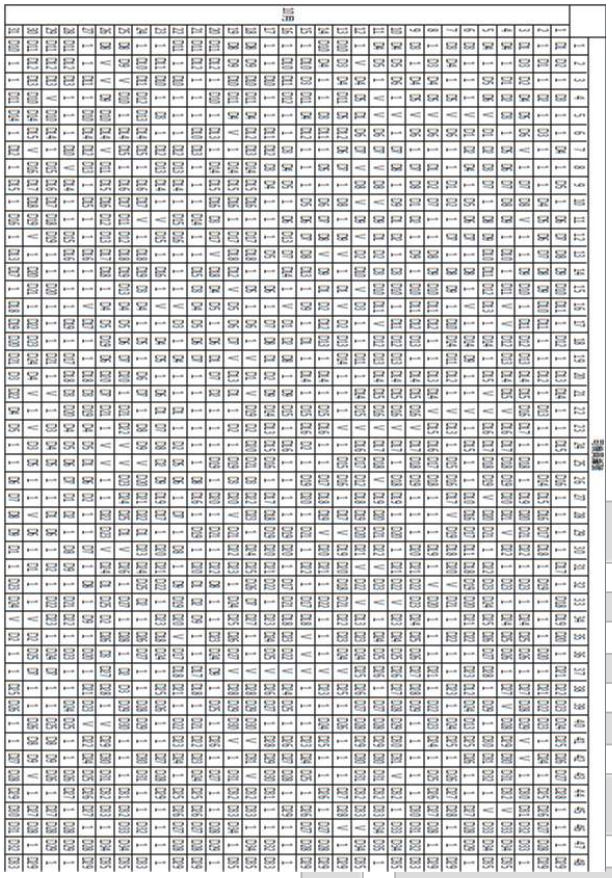


圖 3　司機員 10 月輪值表

面，48 位司機員中有 14 位司機員其總例假日休假天數超過目標天數 1 天，即總例假日休假天數為 2 天，其餘司機員總例假日休假天數即為目標天數（1 天）。從上述分析可以看出，並無任何司機員於輪值期間超休 2 天以上，其主要原因為當少數司機員超休天數越多時，其與目標天數差距之平方和將越大，對於最小化懲罰值而言並不樂見。反之，若大多數司機員超休天數僅一天，則其與目標天數差距之平方和將相對小，也因此整體來說每位司機員休假天數可以趨於公平。

## 四、結論

本研究以司機員輪班問題作為研析課題，並將研究成果分述如下：

### （一）週期性與非週期性輪值

「週期性」輪值原為一具公平性與穩定性的輪值類型，但由於實務上需考量司機員預排與其他公平性需求，因此，週期性輪值表需經過規劃人員調整才為真正可執行的輪值表，但其公平性與穩定性即會受到影響。反觀「非週期性」輪值可於求解程序中即考量司機員預排與不同公平性需求，其規劃結果較容易應用於實務上。

### （二）求解機制之優勢

不同於過往文獻多以啟發式演算法求解司機員輪班問題，本研究以李俊德博士論文研究為基礎，將司機員輪班問題切割成休假指派及任務指派兩個子問題，此做法有利於產生非週期性的輪值表。此外，由於限制規劃法的特性得以讓規劃人員有效率地根據問題需求調整限制，因此，面對不同的營運單位，或是隨著時間更迭而修改的輪班規範，僅需依照其輪班規則調整第二階段的任務指派模式之參數，即可產生滿足實務需求的輪值表，反映了本研究所構建的模式之適用性。

### （三）求解效率之提升

本研究以國內某軌道營運機構作為案例分析之對象，並針對不同求解階段之結果進行探討。相較於人工輪班規劃需耗時數週才得以完成，透過所提之兩階段輪班模式只需數分鐘便可得出實務可行之輪值表，此結果顯示本研究研擬之模式可產製效率更高的司機員輪值表，有益於營運機構於輪班規劃作業時降低人力成本。

### （四）公平性議題

公平性滿足程度上，人工規劃的週期性輪值表，其司機員的總休假數分布於 8~9 天，與本研究提出的休假指派模式之求解結果相同，然而，從總例假休假數的分布便可得知，與人工規劃相比，模式所求解之結果其天數分布較為集中，意即每位司機員被安排的總例假休假數差異不大，較為公平。雖然非週期性輪值較難達到與週期性輪值相同的輪值表穩定程度，但可同時滿足兩類司機員較重視的休假公平性，分別為輪值期總休假天數及總例假休假天數。

財團法人中興工程顧問社經累積多年之研發成果，已出版下列各項工程類別之銷售叢書，其內容精闢專業，深具參考價值。若有需要，歡迎申購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467
E-MAIL：louise@sinotech.org.tw
網　　址：http://www.sinotech.org.tw

| 類別 | 序號 | 書　　名 | 編　　號 |
|---|---|---|---|
| 水利工程類 | 1 | 台灣南部區域枯旱特性 | R-HY-01-01 |
| | 2 | 河川水理輸砂模式 SEC-HY11 | R-HY-01-02 |
| | 3 | 台灣地區地面水及地下水調查與運用 | R-HY-01-03 |
| | 4 | 混凝土壩非線性分析商業化程式發展（一） | R-HY-01-04 |
| | 5 | 攔河堰二維水理分析軟體 SEC-HY20 | R-HY-01-05 |
| | 6 | 敲擊彈性波技術應用在巨積混凝土結構物裂縫之檢測 | R-HY-01-06 |
| | 7 | 近岸地形變化之數值模式 | R-HY-01-07 |
| | 8 | 敲擊回音儀器改善開發及在混凝土波速與裂縫檢測上之應用 | R-HY-02-02 |
| | 9 | 巨積混凝土非破壞品質檢測技術之研發 | R-HY-02-03 |
| | 10 | 橋基側向侵蝕防治技術與設計指引（彩色版） | R-HY-02-04 |
| | 11 | 水平二維動床模式之應用 | R-HY-02-05 |
| | 12 | 多座水庫系統聯合運轉模式（四）多目標水庫串聯系統與攔河堰聯合運轉 | R-HY-02-06 |
| | 13 | 混凝土壩應力分析之工程應用模式建立（一） | R-HY-03-01 |
| | 14 | 即時逕流與河川演算人機介面模式 | R-HY-03-02 |
| | 15 | 敲擊回音儀器改善開發及其在巨積混凝土裂縫與隧道襯砌厚度檢測上之應用 | R-HY-03-04 |
| | 16 | 區域水資源系統即時操作模式之建立 | R-HY-04-02 |
| | 17 | 混凝土壩非線性分析商業化程式發展（二） | R-HY-04-03 |
| | 18 | 混凝土壩非線性分析商業化程式發展（三） | R-HY-04-04 |
| | 19 | 河川水理、輸砂及污染質傳輸模式 SEC-HY11 | R-HY-05-01 |
| | 20 | 混凝土非破壞檢測儀（Sino-NDT-IE）之改良 | R-HY-05-04 |
| | 21 | 含自由液面之三維不可壓縮黏性流數值模式發展與應用 | R-HY-05-05 |
| | 22 | 類神經網路於河川洪水預報系統 | R-HY-07-02 |
| | 23 | 蝶閥啟閉過程中閥體受力之數值模擬 | R-HY-07-03 |
| | 24 | 橋梁水理資訊系統 | R-HY-09-01 |
| | 25 | 蓄水庫風險管理（二）風險辨識與風險控制及壩安全導則研訂 | R-HY-09-02 |
| | 26 | 水平二維動床模式之研發及應用（二）岸壁沖刷 | R-HY-10-01 |
| | 27 | 都市水岸縫合與環境改善研究－以美崙溪為例 | R-HY-13-01 |
| | 28 | 宜蘭東澳地區海洋深層水多目標園區可行性研究 | R-HY-14-01 |
| | 29 | 集集南岸三小水力發電計畫可行性研究 | R-HY-16-01 |
| 大地工程類 | 1 | 堆石壩靜態與動態行為研究（二）軟岩材料含量對工程性質之影響 | R-GT-01-01 |
| | 2 | 大地工程流形數值分析方法之發展（一）流形方法之引進與大地工程上之應用 | R-GT-01-02 |
| | 3 | 隧道設計整合系統之發展（一）隧道支撐設計 | R-GT-01-03 |
| | 4 | 隧道水文地質調查準則（含解說） | R-GT-01-04 |
| | 5 | 基樁完整性檢測技術發展與應用 | R-GT-02-01 |
| | 6 | 多功能壓密沉陷數值程式之開發、模擬與驗證〔二〕施工模擬與尺寸效應 | R-GT-02-02 |
| | 7 | 軟弱土層特性與深開挖行為〔三〕深開挖施工訊息化系統 | R-GT-02-03 |
| | 8 | 岩盤隧道施工資料自動化處理系統 | R-GT-02-04 |
| | 9 | 鬆軟地盤改良作業之評估、設計與檢驗方法 | R-GT-03-01 |
| | 10 | Seismic Resistance Design of Earth Structures and Deep Foundation-（1）Dynamic Effective | R-GT-03-02 |
| | 11 | 隧道施工專家系統 | R-GT-04-01 |
| | 12 | 節理岩體力學特性研究（二）實際工程岩體力學參數之評估與應用 | R-GT-04-02 |
| | 13 | 大地工程流形數值分析方法之發展（二）節理岩體斷裂破壞程式發展 | R-GT-04-03 |
| | 14 | 地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析 | R-GT-04-04 |
| | 15 | 樁基礎分析及設計程式發展 | R-GT-05-01 |
| | 16 | 粉土細砂現地觸探結果設計參數之 CPT 標度 | R-GT-05-02 |
| | 17 | 隧道交叉段力學行為與支稱對策 | R-GT-05-03 |
| | 18 | 地理資訊系統於大地工程之應用（一）地質資料輸入、地質模型建立與地工分析模式發展 | R-GT-05-04 |
| | 19 | 新興感測科技於環片計測之應用（一） | R-GT-06-01 |
| | 20 | 強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（一） | R-GT-06-02 |
| | 21 | 預力混疑土既有應力非破壞檢測技術開發 | R-GT-07-01 |
| | 22 | 柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法 | R-GT-07-02 |
| | 23 | 台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動衰減模式建立 | R-GT-09-01 |
| | 24 | 強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（二）台灣地區隱沒帶強震資料建立 | R-GT-09-03 |
| | 25 | 暨有混凝土橋梁內部損傷監測資料無線傳輸技術開發及應用測試（二）無線音射資料感測模組研製 | R-GT-10-01 |
| | 26 | 落石問題分析技術 | R-GT-10-02 |
| | 27 | 隧道施工專家系統整合應用與改進 | R-GT-10-03 |
| | 28 | 集水區土砂災害分析 | R-GT-10-05 |
| | 29 | 遙測技術於土木水利工程上之應用（一）－台灣中部地區土石災害潛勢研究 | R-GT-10-06 |

| 類別 | 序號 | 書　　名 | 編　　號 |
|---|---|---|---|
| | 30 | 景美礫石層降水工法於大台北都會區深開挖工程之應用 | R-GT-10-07 |
| | 31 | 隧道前方地質弱帶探查技術 | R-GT-12-01 |
| | 32 | 高岩覆對隧道設計與施工影響研究－完整岩盤隧道影響探討 | R-GT-12-02 |
| | 33 | 隧道開炸振動環境影響評估與技術準則之研訂 | R-GT-12-06 |
| | 34 | 堆填壩施工手冊(增修版) | E-GT-12-01 |
| | 35 | 台灣山區地下水資源調查與評估技術之建立 | R-GT-13-01 |
| | 36 | 隧道施工資料管理系統（二）－應用與改進 | R-GT-13-02 |
| | 37 | 地下水補注敏感區判釋與評估技術之建立 | R-GT-15-02 |
| | 38 | 流體注儲行為之力學機制研究與工程應用 | R-GT-16-01 |
| | 39 | 高岩覆對隧道設計與施工影響研究（二）脆性破壞特性評估與因應對策 | R-GT-17-01 |
| 環境工程類 | 1 | 加速型溶劑萃取法萃取底泥樣品中有機錫 | R-EV-01-01 |
| | 2 | 土壤樣品中 Cu、Cd、Hg 和 Pb 的直接分析-利用 USS-ETV-ICP-MS 法 | R-EV-01-02 |
| | 3 | 粉狀活性碳在降低消毒副產物生成之應用 | R-EV-01-03 |
| | 4 | 界面活性劑液相層析質譜分析方法 | R-EV-01-04 |
| | 5 | 自來水水質生物穩定性評估方法 | R-EV-01-05 |
| | 6 | 應用固相微萃取法偵測水中微量亞拉生長素 | R-EV-01-06 |
| | 7 | 消毒系統在工業區廢水處理之應用 | R-EV-01-07 |
| | 8 | 國內污水下水道管材使用現況與發展趨勢 | R-EV-02-01 |
| | 9 | 去除染整廢水中色度及殘餘 COD 高級處理技術 | R-EV-02-02 |
| | 10 | 石化業製程廢水及污泥處理技術 | R-EV-02-03 |
| | 11 | 以 Fenton 法處理柴油污染之土壤 | R-EV-02-04 |
| | 12 | 工業區污水處理廠提昇生物處理技術 | R-EV-02-05 |
| | 13 | 下水道污泥之硒直接分析 | R-EV-02-06 |
| | 14 | 粉狀活性碳對自來水中土臭味物質之控制應用 | R-EV-03-01 |
| | 15 | 自來水處理之薄膜積垢物去除技術 | R-EV-03-02 |
| | 16 | 空氣污染排放總量及背景空氣品質預測 | R-EV-03-03 |
| | 17 | 利用陰離子界面活性劑移除土壤中重金屬 | R-EV-03-04 |
| | 18 | 利用不要的米（Unwanted Rice）製造活性碳之技術研發 | R-EV-03-05 |
| | 19 | 周界空氣中揮發性有機物分析 TO-14A 樣品製備及質譜鑑定分析 | R-EV-03-06 |
| | 20 | 水中鹵化乙酸（HAA）之鑑定 | R-EV-03-07 |
| | 21 | 幾丁聚醣擔體固定化細胞技術處理水中 VOCs | R-EV-04-01 |
| | 22 | 不明廢棄物棄置（掩埋）調查採樣計畫及污染判定標準程序訂定 | R-EV-04-02 |
| | 23 | 以 HPLC/Fluo 分析環境空氣中真菌含量 | R-EV-04-03 |
| | 24 | 空氣污染控制策略及成本效益分析 | R-EV-04-04 |
| | 25 | 彰濱金屬區電鍍廢水高級處理與資源化技術 | R-EV-04-05 |
| | 26 | 地下水 MTBE/BTEX 油品污染之物理處理技術 | R-EV-04-06 |
| | 27 | 固定化微生物擔體於反應式阻牆技術之應用 | R-EV-04-07 |
| | 28 | 以化學氧氣法處理受有機物污染之土壤 | R-EV-04-08 |
| | 29 | 自來水供水系統微量臭味物質鑑定技術 | R-EV-05-01 |
| | 30 | 塑膠管長期管剛性評估機制（一） | R-EV-05-02 |
| | 31 | 污染場址水文地質調查技術之發展 | R-EV-05-03 |
| | 32 | 高錳酸鉀氧化技術於地下水污染整治之應用 | R-EV-06-01 |
| | 33 | 薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術 | R-EV-06-02 |
| | 34 | 含高濃度 BTEX 尾氣之處理技術評估 | E-EV-06-01 |
| | 35 | 生物反應式透水阻牆整治工法應用研究－材質開發與模場驗證 | R-EV-06-03 |
| | 36 | 工業區污水處理廠放流水再生利用 | R-EV-07-01 |
| | 37 | 三合系統於場址評估之應用與方法建立 | R-EV-07-02 |
| | 38 | 塑膠管長期管剛性評估機制（二） | R-EV-07-04 |
| | 39 | Bio-MF 應用於都市污水處理之探討研究 | R-EV-07-05 |
| | 40 | 交通噪音振動改善措施研究 | R-EV-08-02 |
| | 41 | 生物性緩釋材之開發與應用 | R-EV-08-03 |
| | 42 | MBR 薄膜系統原型機開發與應用 | R-EV-08-04 |
| | 43 | 廢水處理廠生物即時監測系統 | R-EV-09-01 |
| | 44 | 現地氧化試劑配方之快速評估程序開發 | R-EV-09-03 |
| | 45 | 以截流式微過濾膜回收淨水場快濾池反沖洗水並產生污泥餅之研究 | R-EV-10-01 |
| | 46 | 不同化學氧化法搭配生物復育技術降解土壤中 BTEX 污染物 | R-EV-10-02 |
| | 47 | 生質物之造粒、裂解與氣化 | R-EV-11-01 |
| | 48 | 中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估 | R-EV-11-02 |
| | 49 | 以末端過濾操作微過濾薄膜分離富含油脂之藻類 | R-EV-12-02 |
| | 50 | 以液相層析串聯質譜儀建立水中全氟化物及抗生素之分析方法 | R-EV-12-06 |
| | 51 | 溫室氣體總量管制政策工具應用於能源技術服務之法規機制可行性評估 | R-EV-12-08 |
| | 52 | 以雙槽式薄膜反應器（Dual MBR）進行小球藻培養及濃縮之研究 | R-EV-13-02 |
| | 53 | 碳抵換合作模式分析研究 | R-EV-13-03 |

| 類別 | 序號 | 書　　名 | 編　號 |
|---|---|---|---|
| | 54 | 人工濕地作為低碳污水處理單元之生命週期研究－以高雄洲仔濕地為個案探討 | R-EV-15-01 |
| | 55 | 添加生物炭對土壤污染之影響研究－針對重金屬污染土壤與酸洗後土壤改良之評估 | R-EV-16-01 |
| | 56 | 廢污水生物急毒性檢測與應用評析 | R-EV-20-01 |
| 結構與耐震工程類 | 1 | 高壓阻尼器之研發 | R-ST-01-01 |
| | 2 | 封閉式液流阻尼器結構減震之模型試驗 | R-ST-01-02 |
| | 3 | 加長型單肋板補強梁柱接頭耐震行為與設計 | R-ST-01-03 |
| | 4 | 鋼筋混凝土耐震結構性能設計法（二）直接位移法及其結構實驗 | R-ST-01-04 |
| | 5 | 鐵路橋梁耐震設計可靠度分析（三）RC 連續橋梁地震反應分析 | R-ST-01-05 |
| | 6 | 雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（一）— 軸力與彎矩 | R-ST-02-01 |
| | 7 | 斜張橋空氣動力穩定性之風洞實驗與數值分析 | R-ST-02-02 |
| | 8 | 遲滯型消能器減震技術改良與應用加勁阻尼系統之結構耐震性能設計方法 | R-ST-02-03 |
| | 9 | 預鑄混凝土橋墩之耐震行為（三）綜合應力行為 | R-ST-02-04 |
| | 10 | 鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（一）鋼骨箱型柱肋板補強梁柱接頭耐震行為 | R-ST-02-05 |
| | 11 | 地震工程性能設計法之應用（一）單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計 | R-ST-02-06 |
| | 12 | 鋼筋混凝土耐震結構性能設計（三）消能隔減震系統之位移設計法 | R-ST-03-01 |
| | 13 | 液流阻尼器全尺寸結構防振功能之振動台測試 | R-ST-03-02 |
| | 14 | 雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（三）中空雙鋼管混凝土柱與基礎接合耐震行為 | R-ST-03-03 |
| | 15 | 斜張橋空氣動力穩定性之風動實驗與數值分析（二） | R-ST-03-04 |
| | 16 | 高韌性鋼橋柱耐震行為（一）－先期試驗 | R-ST-03-06 |
| | 17 | 流場引致結構物振動之分析技術現況評析 | R-ST-03-07 |
| | 18 | 垂提式閘門振動分析及評估指南 | R-ST-04-03 |
| | 19 | 鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（二）箱型柱與鋼梁偏心接合耐震行為 | R-ST-04-04 |
| | 20 | 載荷 100 噸級液流阻尼器特性試驗及技術推廣之預備工作 | R-ST-05-03 |
| | 21 | 加消能裝置鋼構架位移設計法之試驗 | R-ST-05-04 |
| | 22 | 建築結構之多振態性能評析與設計方法應用（一）考慮多振態之位移導向耐震評估與設計 | R-ST-06-01 |
| | 23 | 特殊形狀建築物承受風壓分析－Phoenics 軟體應用手冊 | E-ST-10-01 |
| | 24 | 雙間隙液流阻尼器 | R-ST-10-01 |
| | 25 | 工程保險巨災風險評估模型開發 | R-ST-10-02 |
| | 26 | 不規則建築物耐震性能導向設計與評析 | R-ST-12-01 |
| | 27 | 建築物環控分析 Flair 軟體應用指引 | E-ST-12-01 |
| | 28 | 橋梁監測及緊急調查回報系統 | R-ST-14-02 |
| 資訊應用類 | 1 | 台灣地區水庫資訊系統（二） | R-CS-01-01 |
| | 2 | 電腦繪圖支援系統（一）-Visual Fortran 繪圖程式庫 | R-CS-01-02 |
| | 3 | 地理資訊系統的發展及在營建工程上的應用與研發 | R-CS-01-03 |
| | 4 | 向量式地理資料在 Internet-Intranet 之應用 | R-CS-01-04 |
| | 5 | 台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統（一） | R-CS-02-01 |
| | 6 | PDA 圖型編繪核心及無線通訊、GPS 整合 | R-CS-03-01 |
| | 7 | Development of Neural Networks for Seismic Safety Evaluation of Prestressed Concrete Bridges | R-CS-03-02 |
| | 8 | PDA 與無線通訊、GPS 整合之應用－現場調查 | R-CS-04-01 |
| | 9 | 知識管理系統（一）電子圖書館 | R-CS-04-02 |
| | 10 | PDA 圖形編繪核心與 Web GIS 整合 | R-CS-06-01 |
| | 11 | 台灣地區大眾捷運安全管理系統（I）：緊急應變及視訊監控子系統 | R-CS-08-01 |
| | 12 | 台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統（二） | R-CS-08-02 |
| | 13 | 射頻識別應用在設施與設備安全管理之研究 | R-CS-12-01 |
| | 14 | 台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立(二)－設施巡檢、監測預警與基於風險之決策支援子系統 | R-CS-12-03 |
| 工程管理類 | 1 | 工程契約模式（一）EPC 統包與簡易型工程契約 EPC 統包與簡易型工程契約中興樣本 | R-CM-02-02 |
| | 2 | 公共工程施工管理與作業要點第一篇工務管理與作業標準（全兩冊） | E-CM-03-03 |
| | 3 | 契約管理常見問題及其解決預防之道 | E-CM-03-05 |
| | 4 | 契約管理作業概要 | E-CM-04-01 |
| | 5 | 公共工程品質管理作業指南 | E-CM-05-01 |
| | 6 | 公共工程施工品質查核常見錯誤態樣及改善對策 | E-CM-06-01 |
| | 7 | 工程專業管理人員處理及預防工程爭議之研究 | R-CM-07-01 |
| | 8 | 工程規劃設計階段之安衛風險管理研究 | R-CM-09-01 |
| | 9 | 工程契約管理與爭議處理案例研析 | E-CM-10-01 |
| | 10 | 公營事業閒置土地資產活化開發模式研究－以台鐵局及都更再開發案為例 | R-CM-14-01 |
| 工程材料 | 1 | 於地熱環境下澆置的鋼筋混凝土強度與耐久性 | R-MT-06-01 |
| | 2 | 自充填混凝土施工監造技術指引 | E-MT-06-01 |
| | 3 | 混凝土問題診斷與處理對策 | E-MT-07-01 |
| | 4 | 新舊混凝土黏結介面品質之非破壞檢測評估 | R-MT-07-02 |
| | 5 | 卜作嵐混凝土使用手冊 | E-MT-07-03 |
| | 6 | 自充填混凝土最佳化配比與水合特性之整合 | R-MT-08-01 |

| 類別 | 序號 | 書　　名 | 編　號 |
|---|---|---|---|
| | 7 | 混凝土結構物修補技術指引 | E-MT-09-01 |
| | 8 | 混凝土工程監造技術指引 | E-MT-09-02 |
| | 9 | 高流動化混凝土材料配比及施工規範探討 | R-MT-10-01 |
| | 10 | 開發應力波檢測技術以推估混凝土之早齡期強度 | R-MT-12-01 |
| | 11 | 高飛灰摻量混凝土於中興社研發大樓新建工程之應用 | R-MT-13-01 |
| 交通運輸 | 1 | 台北與東部運輸走廊交通預測模式建立 | R-TR-07-01 |
| | 2 | 台灣高鐵營收管理模式研發(一) | R-TR-08-01 |
| | 3 | 鐵路車站轉乘設施設計準則 | R-TR-11-03 |
| 防災科技 | 1 | 遙測技術於土木水利工程上之應用(二)－土砂災害資料倉儲系統建置及莫拉克災區案例分析 | R-DP-13-01 |
| | 2 | 坡地災害風險管理及其應用(一)莫拉克颱風災區坡地災害研究 | R-DP-13-02 |
| | 3 | 因應地質法與極端氣候研擬坡地防災調適策略－以坡地住宅及土地利用為例 | R-DP-14-01 |
| | 4 | 應用雷達影像評估坡地災害 | R-DP-16-01 |
| 其他 | 1 | 軌道運輸系統營運模式現狀評估 | R-MS-01-01 |
| | 2 | 半導體廠製程排氣設計方法(二) | R-MS-01-02 |
| | 3 | 捷運地下車站火災時人員安全避難容許時間之探討與分析模式 | R-MS-01-03 |
| | 4 | 3C 最佳化風管設計方法 | R-MS-02-01 |
| | 5 | 發電系統穩定度 | R-MS-02-03 |
| | 6 | 寬頻接取技術現況與趨勢 | R-MS-02-04 |
| | 7 | 長隧道通風研究(一)列車隧道空氣動力模擬程式研發 | R-MS-08-01 |
| | 8 | 長隧道通風研究(二)隧道空氣動力模擬程式視窗展示前後處理軟體研發 | R-MS-09-01 |
| | 9 | 建築節能之被動冷卻系統分析法－FDS5 軟體應用指引 | E-MS-12-01 |
| | 10 | 台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究 | R-MS-20-01 |

SINOTECH

*台中捷運北屯機廠

## 縱橫四界的願景擘劃者

台中捷運北屯機廠以田園基地的設計概念
打破傳統機廠予人剛硬冰冷及污染嘈雜的印象
從人文與機能共存之角度出發
融入綠建築與自然生態手法，配合依山傍水之地形特色
營造成為城市與田園接軌的新門戶地標

# 軌道建設工程

**中興團隊專業服務**

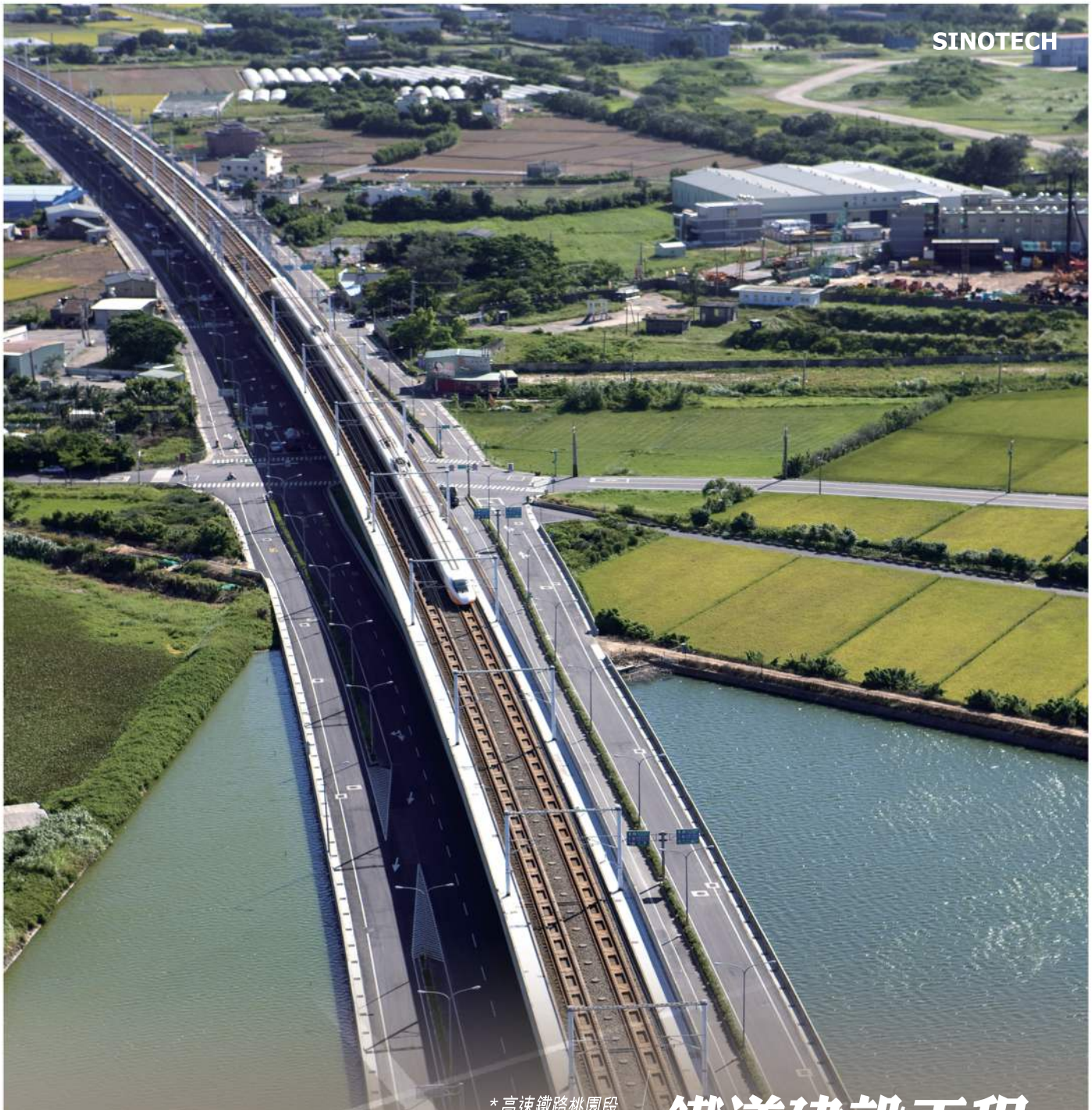
水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

**聯絡資訊**

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388　傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw

正派經營．品質保證．追求卓越．創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.




*高速鐵路桃園段

縱橫四界的願景擘劃者

溝通兩地的交通，聯繫著家人的情感，促發著經濟的繁盛
中興工程顧問公司以全方位的服務，串起臺灣交通建設網絡
在縱橫阡陌的路網與城鄉之中，構築出臺灣的發展動脈
也為每個角落延伸無限出廣闊願景

鐵道建設工程

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw

正派經營．品質保證．追求卓越．創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

SINOTECH

*花東線鐵路月美段高架橋

## 縱橫四界的願景擘劃者

花東線鐵路電氣化關山~月美間高架橋
座落於台9線旁的花東縱谷，由簡潔橋梁結構與
綿延秀麗山脈及自然田園風光，打造出令人印象深刻的
田園鐵道景觀，已於2014年6月正式營運通車。

# 鐵道建設工程

**中興團隊專業服務**

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

**聯絡資訊**

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388　傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw

正派經營．品質保證．追求卓越．創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

SINOTECH

*臺鐵南迴鐵路電氣化

## 縱橫四界的願景擘劃者

中興公司負責範圍從臺鐵南迴線枋寮站至台東站，長約98.2公里
本標計畫含10座客貨運站、2座號誌站、5處廢站
及臺鐵臺東機務分段，協助辦理電氣化工程細部設計工作
如質如實的完成最後一哩鐵路電氣化，達成環島鐵路電氣化目標。

# 鐵道建設工程

**中興團隊專業服務**

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

**聯絡資訊**

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388　傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
https : //www.sinotech.com.tw

正派經營．品質保證．追求卓越．創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

www.sinotech.com.tw

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.
10570臺北市南京東路五段171號
Tel: 886-2-27698388 / Fax:886-2-27634555
www.sinotech.com.tw
e-mail:sinotech@sinotech.com.tw

**封面照片 | 國立臺灣大學土木工程館 |**

學校是培育未來人才的大本營，年輕學子無不力爭上游，以進入心目中理想的學校及科系。但是近期各行各業都發現人才難覓，工程領域更是如此。國內營建產業要如何跟學校銜接，才能做到求才、育才及留才，將工程科系的畢業生留在營建產業，不致因人力斷層影響到國家工程建設及產業發展。

中興工程 Vol.158 / JANUARY 2023
ISSN 0257-554X

ISSN 0257-554X
9 770257 554007

出版者：財團法人中興工程顧問社
社址　：114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話　：(02) 8791-9198
傳真　：(02) 8791-2198
網址　：www.sinotech.org.tw
E-mail：adm-dpt@sinotech.org.tw
*本刊圖文未經同意不得轉載*

誠信．創新．品質．服務
財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.