

臺鐵資料季刊

第 335 期目錄

出席大洋洲鐵路會議 (Aus Rail Plus 2007) 報告.....	1~11
徐亦南	
南迴線金崙等七座隧道安全檢測與改善規劃設計 (三).....	12~49
李佳翰、王兆賢、陳志榮	
減少民眾跨越軌道發生事故價值工程研析.....	50~67
程玉傑	
臺鐵現有路線行駛傾斜式列車養護作業探討.....	68~84
溫彩炎	
企業併購對勞資關係影響的探討.....	85~94
張簡坤國	
價值工程分析及 TRIZ 方法應用在鐵路便當改善之研究.....	95~117
劉淑芬	
勘誤表.....	118

出席大洋洲鐵路會議 (Aus Rail Plus 2007)報告

徐亦南¹

1、前言

大洋洲鐵路會議每年輪流在澳洲 (Australia) 各省與紐西蘭 (New Zealand) 主要城市舉行，2007 年又輪轉至澳洲第一大城雪梨 (Sydney)，國際鐵路聯盟 (Union of International Railway Congress, UIC) 特予贊助，聯合舉辦，臺灣鐵路管理局為 UIC 會員之一，亦受邀出席。自 2007 年 12 月 4 日至 6 日會議期間，有各國鐵路資深領導人與鐵路界專業人士之專題演講，會場所在地之雪梨市 達令港區國際會議中心旁之世貿展覽場，另有鐵路產品展供各界人士參觀瞭解新趨勢。

筆者會後並搭乘 XPT 赴墨爾本市參訪新落成鐵路總站，再經布里斯班赴香港參訪兩鐵合併成果。

2、會議紀要

2.1 緬懷從前 (12 月 4 日會議主題)

大會由澳洲鐵路協會執行長賴白楊先生 (Bryan Nye, CEO, Australia Railway Association) 主持，強調唯有檢視過去的得失，方能策勵正確的未來。

雪梨市所在的澳洲新南威爾斯省副省長兼運輸與財政廳長華特金先生 (The Hon John Watkins MP, Deputy Premier, Minister for Transport & Minister for Finance, NSW) 致詞，強調運輸之重要，但任何投資均需考量政府財力，避免犯錯、浪費。

澳洲觀光協會前會長費雪先生 (The Hon Tim Fischer, Former Chair, Tourism Australia) 強調，掌握優良的傳統資源與經濟發展，是邁向未來的奠基石。

澳洲數一數二的鐵礦公司 (BHP Billiton Iron Ore 與 Pilbarra Iron) 的兩位總經理厄普氏 (Mik Vande Worp) 與柯恩氏 (Richard Cohen) 分別陳

¹本局副局長

述，兩家公司如何一步步邁向世界最成功的重載貨運鐵路（ heavy haul ）之歷程。

SCT 物流公司執行長史密斯先生（ Geoff Smith, CEO, SCT Logistics ）則陳述 SCT 如何從原公營鐵路的部門獨立出來，並擴展成現在的規模。

昆士蘭鐵路營運長肯特威爾先生（ Stephen Cantwell, Chief Operating Officer, QR ）介紹窄軌傾斜列車（ tilt train ）的引進與運轉經驗。

澳洲著名的煤礦公司負責人之一麥克米蘭氏（ Denise Mcmillan-Hall, Chairman, Hunter Valley Coal Chain Logistics Team Steering Committee ）說明，如何有效運轉運煤鐵路，達到超目標載運量，滿足世界各地（特別是中國大陸）的強烈需求。

2.2 創造未來（ 12 月 5 日會議主題）

澳洲昆士蘭省秘書長暨運輸廳長李維先生（ Phil Reeves, MP, Parliamentary Secretary, the Minister for Transport, Queensland ）說明，該省將持續重視與發展健全的鐵路系統，成為大洋洲的鐵路楷模。

美國諾福克南方鐵路前副總裁山謬爾氏（ John Samuels, former Senior Vice President, Norfolk Southern Corporation, USA ）介紹行車控制與安全的新技術－長途貨運列車的衛星定位（ GPS ）。

昆士蘭鐵路人力資源處長羅蘭女士（ Lyn Rowland, Executive General Manager Human Resources, QR ）特別指出，婦女在鐵路業之現況（ women in rail-the cultural challenge or necessity ）及鐵路文化改變的必要性。澳洲目前空前繁榮，失業率創新低，婦女就業已成必然，鐵路業面臨人力缺乏，也必須有效的引進女性勞動力，在傳統以男性為主的澳洲鐵路十分不容易，隨即介紹昆士蘭鐵路如何逐步引進女性，調整工作時間與設置適合工作場所的作為，開發了女性的生產力，並證明其不輸男性。

太平洋國際物流執行長鐵佛氏（ Don Telford, CEO, Pacific National ）強調，未來鐵路必須扮演提供顧客整體物流系統的角色（ the total logistic solution-rail's role in the future ）。

澳洲墨爾本市亞拉電車公司執行長克利奇氏（ Dennis Cliche, CEO, Yarra Trams ）介紹，傳統電車－輕軌系統（ Light Rail ）如何協助解決墨爾本都會區交通擁擠的問題。

美國龐巴帝運輸公司專案副總裁固特氏(Bob J. Good, Vice President of Special Projects, Bombardier Transportation, USA) 介紹其開發中的新一代自動無人駕駛的捷運系統，將朝更省能源、更低污染的綠色世代前進。

2.3 專題座談（12月6日會議主題）

鐵路安全座談（Rail Safety Reform – National Consistency ?）提到，隨著澳洲經濟景氣，運輸量增加，平交道及勞安事故亦層出不窮，各省安全要求標準不一，需要通盤檢討，政府應重視此一問題，並提高安全條件的標準。

鐵路面對環境挑戰座談（Meeting The Environmental Challenge），與會者皆公認，鐵路可以有更多的貢獻，除去朝零空氣污染的鐵路（Carbon Free Rail）邁進外，世界各國鐵路宜加強合作、聯營，抹除國界限制，歐洲鐵路已首先跨向無國界貨運，北美（加拿大、美國、墨西哥）亦因北美共同市場的建立，而緊追在後。澳洲各省鐵路仍各自發展聯營，合作雖有進展，但腳步不夠快，今後宜由中央政府主導，邁向整合。總之，擴大鐵路的使用，對環境的維護是正面的。

2.4 鐵路產品展

伴隨會議的鐵路展覽會場計有近 200 個攤位，除澳洲及紐西蘭本土的各類鐵路零件、成品、車輛、號誌、軌道、勞安、資訊設備製造廠外，世界級大廠有 Bombardier, Westinghouse, Thales, Union Switch, Harlcrow, GE, Siemens, Voith 等等。中國大陸近年鐵路建設突飛猛進，亦設有中國北方鐵路車輛公司集團及中國南方鐵路車輛公司集團兩大攤位，引人注目，其產品包羅甚廣，除零組件外，亦有準高速列車、捷運車輛、貨車、特種維修車等，多半係與世界級大廠技術合作，共同投資或技術轉移後的成果，而其輸出對象，則以中東、非洲、南美洲為主。澳洲本土展出成品中，以新開發的可攜帶式警告養路工列車接近影音警示器以及斷軌冷焊劑吸引不少業者注意。蓋近年，澳洲鐵路養路工勞安傷亡件數不少，而澳洲地廣人稀，日夜溫差大，斷軌問題亦一直無法有效解決，此兩產品所費不多，確能針對問題解決問題，至為可喜。

3、澳洲的鐵路系統環境

澳洲地廣人稀，面積約 769 萬平方公里，是臺灣的 200 倍，比歐洲還大，人口只有約 2,000 萬人，和臺灣差不多，人口密度全球最低。澳洲由 6 省、1 領地及首都特別行政區構成：北領地（Northern Territory）人口約 20 萬人，省會是達爾文市（Darwin）；南澳省（South Australia）人口約 158 萬人，省會是亞德雷德市（Adelaide）；西澳省（West Australia）人口約 192 萬人，省會是伯斯市（Perth）；昆士蘭省（Queensland）面積最大，人口約 369 萬人，省會是布里斯班市（Brisbane）；新南威爾斯省（New South Wales）人口最多，約 670 萬人，省會是雪梨市（Sydney）；澳洲首都特別行政區（Australian Capital Territory）人口約 32 萬人，首都是坎培拉市（Canberra）；維多利亞省（Victoria）人口次多，約 490 萬人，首都是墨爾本市（Melbourne）；塔斯馬尼亞省（Tasmania）有蘋果島之稱，位於最南端，人口約 47 萬人，省會是郝柏特市（Hobart）。

澳洲原為英國殖民地，公元 1900 年將 6 大殖民地升格為省，1901 年成立了澳洲聯邦，大幅採用英國和美國的政治組織制度，實施上下兩院議會制，與美國各州相似的聯邦制，各省自主權利甚大。澳洲的鐵路由各省各自建設，以滿足當地需求，起始有 4 種不同的軌距，二次世界大戰後才逐步改成標準軌，但昆士蘭省西澳省鐵路仍以窄軌（如同臺鐵）為主，維多利亞和南澳省則仍多寬軌。

1991 年成立國家鐵路公司（National Rail Corporation Ltd., NR），提供省際間的貨運服務。1997 年中央政府要求各省公營鐵路必須允許第三者借軌經營鐵路客貨運（3rd parties access）。

各省公營鐵路多半將其分成客運、貨運與基本設施三大部門。列車設備如連結器、剎車、機車頭高度等已漸趨一致標準化，不過號誌系統仍未統一，有 22 種號誌分區（22 signaling regimes）與 18 種不同的無線電通訊系統（18 different radio systems）。1975 年中央政府成立全國性的國家鐵路管理委員會（Australian National Railways Commission, AN），主管鐵路相關業務，惟成效不如預期，遂於 1997 年將其主要業務以契約方式委託予澳洲鐵道公司（Australian Rail Track Corporation, Ltd., ARTC）辦理，省際間跨線過軌問題，各省營鐵路基本設施之發展建設，標準軌系統之推廣，省際鐵路客貨運價之制定，安全條件標準之訂定等，可說是涉及省際間鐵路有關問題的單一窗口

one-stop shop)。

4、澳洲的主要鐵路簡介

1. 澳洲南方鐵路 (Australia Southern Railroad, ASR) 是南澳省營鐵路，里程約 1,600 公里，軌距 1.6 公尺，貨運為主，年運量約 1 百萬公噸。
2. BHP 鐵礦砂貨運鐵路 (BHP Iron Ore Railroad) 位於西澳省的私營鐵路，里程約 643 公里，每年貨運量約 64 百萬公噸。
3. 新南威爾斯省貨運鐵路公司 (Freight Corp. of NSW) 里程約 7,649 公里，年貨運量 72.6 百萬公噸，每列車平均載重 1850 公噸。
4. Hamersley 鐵礦砂貨運鐵路 (Hamerley Iron Ore Railway) 亦位於西澳省的私營鐵路，里程約 541 公里，年貨運量 58 百萬公噸，是世界上單線鐵路系統承運貨物最多的鐵路之一。
5. 國家鐵路公司 (National Rail Corporation Ltd., NR) 係 1991 年由中央政府新南威爾斯省及維多利亞省共同出資成立，做跨鄰近 5 省區的省際跨線運輸整合，以貨運為主，里程 7,751 公里，年運量約 10 百萬公噸，雪梨是公司所在地，但提供機車頭供跨省際的客運列車行駛。
6. 昆士蘭省營鐵路 (Queensland Rail, QR) 是澳洲最大的鐵路系統，窄軌里程高達 9,364 公里，標準軌里程 98 公里，共軌里程 34 公里，電化里程 1,871 公里，採用 25KV 50HZ 交流電力。客運部分有負責布里斯班都會區的市區(郊區)鐵路 (City Train)，共有 11 條路線，至少每 30 分鐘 1 班車，年載客量約 42 百萬人次。長途客運方面，每天有 1 班傾斜列車 (tilt train) 行駛於布里斯班至洛克汗普敦 (Rockhampton) 之間，另有每週 1~3 次不等的長途列車至 1,000 公里以外凱恩斯 (Cairns)、湯斯維爾 (Townsville)、長堤 (Longbeach)、查爾斯維爾 (Charleville) 等省內重要城市。
7. 新南威爾斯省營鐵路 (State Rail Authority of NSW, SRA) 分成 4 大部門：貨運部門 (Freight Corp.)、物料部門 (RSA Corp.)、城市客運 (City Rail) 與長途客運 (Country Links)，有員工近萬人。
8. City Rail 有里程 2,060 公里，31 個車站，員工 5,430 人，每日載客 75 萬人次，營收比 43%，經營雪梨都會區 12 條路線。Country Links 經營雪梨至省內及維多利亞省、昆士蘭省、首都特別行政區內 334 個地點的長途鐵路客運服務，每日有 3 班車至首都坎培拉，2 班車至墨爾本市，每日 1 班車至布里斯班市

- 等，年載客量 2.5 百萬人次，長途部份全部使用柴油（電）（ all diesel fleet ），最高級客車 XPT 屬推拉式客車組，設備服務尚不及臺鐵 PP 自強號，7 至 9 輛一編組，最高時速 160 公里，員工 870 人。
9. 塔斯馬尼亞省營鐵路（ Tas Rail ）係窄軌，里程 733 公里，員工僅 177 人，運量不高。
 10. 南澳省營鐵路（ Trans Adelaide of South Australia ）係軌距 1.6 公尺寬軌，里程 120 公里，6 條路線，84 個車站，年載客量 8 百萬人次。
 11. 維多利亞公共運輸公司（ Victoria Public Transport Corporation ）係 1.6 公尺寬軌，里程 4582 公里，年載客量 62.4 百萬人次，墨爾本都會區部分稱為 MET，有 19 條路線，209 個車站，網路里程 427 公里，採 1.5KV 直流電力，部分地下化，每日載客 12 萬人次。
 12. 維多利亞省營鐵路軌道公司（ Victoria Rail Track Corp. VRT ）係 1.6 公尺寬軌為主，擁有 5,648 公里路權（MET 部分除外），負責基本設施建設與維修。交由 V/Line 客運公司（ V/Line Passenger Corp. ）經營南墨爾本地區 10 個車站客運，年載客量 7.5 百萬人次；另交由維多利亞貨運公司（ V/L Freight Victoria ）經營 3,458 公里的地區貨運，年載貨量 8.2 百萬公噸。
 13. 西澳省營鐵路（ Western Australian Government Railway, West Rail ）有 4,071 公里窄軌鐵路，1212 公里標準軌鐵路，共軌里程 172 公里，年度貨運量約 29 百萬公噸。省會伯斯市（ Perth ）地區 95 公里已經電氣化，採 25KV50HZ 交流電力，計 4 條路線，56 個車站。另外，每日有 2 班長途列車從 Perth 至 Kalgoorlie 及 Bunburg，年客運總量約 29 百萬人次。
 14. 總之，澳洲幅員大，鐵路總里程超過 3 萬公里，分由百餘家大小不等、軌距不同、電力不一的公民營鐵路公司經營，貨運為主，客運比重不大，卻因大部分人口集中於省會地區，而其重要性不減，周邊鐵路服務群亦不小，總人口雖略小於臺灣，其鐵路業之蓬勃與占國家經濟比重則遠超過 臺灣。

5、QR 的窄軌傾斜列車

連接澳洲昆士蘭省省會，也是度假勝地的布里斯班（ Brisbane ），與南回歸線正下方，位於大堡礁南方的洛克汗普敦（ Rockhampton ）間 639 公里的路線，就是澳洲的黃金度假路線，並於 1990 年初電氣化。昆士蘭省鐵路公司（ Queensland Rail, QR ）自 1994 年起，在此一多彎道路線上著手進行提速計畫，由於軌距和

日本在來線同為窄軌（1067mm 軌距與臺鐵相同），外加此地日本移民與遊客甚多，再加 600 處彎道，區間總長度達 212 公里，佔總里程 1/3，與日本 JR 四國鐵道類似，於是導入以 JR 四國自豪的 8000 系電車相同的傾斜式電車（tilt train），過彎道時速度提升了 25%，最高時速也自原先 120 公里大幅提升至 160 公里，於是原先由「摩羯星精神號」（Spirit of Capricorn）行駛費時 9 小時 20 分鐘，改由傾斜列車（Tilt Train）取代行駛只需 7 小時，一舉縮短了 2 小時，競爭能力大為提高，成為澳洲鐵路招牌列車。

QR「Tilt Train」銀灰色不銹鋼車體畫上紅黃 QR 傳統線條，6 車組，是擁有 4 節動力車（motor car）的電聯車列車（EMU），第 1 車為商務艙，餘為經濟艙。商務艙座位為 2+1 列，配置迴轉式可調座椅，經濟艙則為 2+2 列，配置固定式可調座椅，商務艙座席 30 個，經濟艙座席 280 個，全列車計 310 個座位。各車廂天花板處仿飛機設有電視螢幕，座位下方亦如飛機有乘務員呼叫鈕、音樂插座、讀書燈等，行李架亦採有蓋式。商務艙除提供咖啡、茶、餐點外，也有書報、雜誌，座位上另設電腦插座，電話間且置有傳真機，甚獲好評，總之，一切設備和服務向飛機看齊，俾能與之一較長短。

目前每日一班往返兩地之間，QR 為擴大 Tilt Train 的運行區間，又完成最高時速 160 公里柴油車（DMU）版的 Tilt Train 測試，延伸行駛於布里斯班~凱恩斯（Cairnes）間 1,680 公里的東海岸線上，每週 3 往返，費時 25 小時，較前縮短約 6 小時，中途增停 Mackay、Proserpine、Townsville 三站。

6、香港的城市交通

香港全境含九龍、新界、離島等面積約 1,092 平方公里，人口約 700 萬，相當於臺灣的大臺北都會區。

這樣一個地狹人稠地區，大眾運輸系統的發達自不在話下。巴士（公共汽車）有三種：九龍巴士（KMB）、中華巴士（CMS 行駛於香港）、城市巴士（City Bus，以港島市區為主），其中，仿英倫的雙層巴士已成港島著名地標。

在主要巴士不行駛地區，尚有機動性高、四通八達的小巴士（16 人座），亦稱「十六座」，有的專線行駛，有的非專線，車資直接給付司機，非當地熟人最好不要坐。港島、九龍間最早的大眾運輸工具是渡輪，有 2 公司：天星小輪（Star Ferry）和油麻地小輪（HKF），分別從港島的中環、灣仔等到九龍的尖沙咀、紅磡等航線，遠至離島，多達 20 多條，現仍為市民所喜。

電車是香港很特別、很有風格的交通工具，古老雙層車廂，外貼廣告，叮叮噹噹，速度不疾不徐，給人懷舊感，行駛於港島上環至舂筲灣的老市區精華區，甚受市民與觀光客眷戀不捨。

7、廣九鐵路（KCR）公司

前述私營大眾運輸工具不足應付龐大的人潮，尤其是大批的大陸來客。早期 1910 年興建的廣九鐵路（KCR），從廣東邊界羅湖至九龍紅磡，80 年代電氣化，2004 年後延伸至尖東（尖沙咀東）及馬鞍山兩條支線稱為 KCR 東鐵，全長 46.5 公里，22 個車站，每年乘客約 90 萬人次，過境客佔 1/3，新落成落馬洲支線長 7.4 公里，是連接香港與大陸第二條跨境鐵路，除客運外，KCR 東鐵亦經營直通中國大陸內地各城市的客運服務、貨櫃與散裝貨物等貨運。KCR 的西鐵是英國人離去前規劃的，於 2003 年底通車，從屯門站至南昌站與地鐵東涌線相接，全長 30.5 公里，9 個車站，其八鄉維修中心佔地 32.5 公頃，號稱東南亞最大機廠，具最先進設施，有 27 股（未來可擴充至 43 股）停留線，6 股維修線，室內 4 個維修坑。KCR 另經營天水圍至濕地公園等的環狀輕鐵線（light rail），全長 36.2 公里，共有 68 個車站及 11 條路線，與 KCR 西鐵共有 4 個交匯站，其間有免費接駁巴士。廣九鐵路公司採標準軌，使用 25KV、50HZ 交流電力，是歷史悠久的政府機構，但營業作風受到香港地鐵（MTR）刺激，近年轉型頗多，捷運化車廂，共用八達通儲值卡，擴大車站商店、廣告業務、電訊光纖租賃、觀光套裝旅遊、商務與住宅出租、物業開發、建設與管理等，業務蒸蒸日上

8、香港地鐵公司（MTR）

MTR 於 2000 年 6 月 30 日成立運作，其前身係 1975 年的地下鐵路公司，乃一家由政府全資擁有的公營機構，2000 年 10 月 5 日在香港聯合交易所上市，成功公開招股，目前股權中政府占 76%，私人占 24%，公司業務分為車務、工程、人力資源、財務、中國及國際業務、法律與秘書、物業等 7 項主要業務，以及行銷、公共事務等 22 項支援業務。MTR 採用標準軌、1500V 直流電力，目前經營觀塘、荃灣、港島、東涌、將軍澳、迪士尼等 6 條地鐵路線及機場快線，全長 91 公里，53 個車站，行控中心設於青衣站，另有 5 個維修車廠，每日載客約 250 萬人次，年成長率約 3.5%，員工約 6,500 人。

MTR 每年營收超過 65 億港元，票務收入約佔總收入的 28.7%，車站商占 7.2%，廣告收入占 5%，電訊業務（光纖租賃）占 3%，顧問業務占 2%，旅遊服務占 1%，而物業發展則占總收入的 60.3%。物業發展分物業開發及物業管理兩大部份，有員工近 700 人，前者占收入 4/5 強，後者收入占 1/5 弱，但後勁甚強，香港地鐵公司負責管理物業大樓，甚具口碑，已發展成爲香港地區績效最好、管理物業最多的物業管理公司。

9、機場快線

香港機場快線於 1998 年 8 月啓用，營運採標準軌，25KV 交流電，全長 35.3 公里，設計時速 135 公里，營運時速 80 公里，平均全程單價 2.8 港元，爲其他地鐵單程線單價之 5 倍，共設香港、九龍、青衣、機場及博覽館等 5 個車站，列車每 12 分鐘一班，由機場至香港站（中環）車程約 24 分鐘，快速便捷的運輸。上下行分開，但固定的發車月臺以及簡化驗票程序（進站不驗票）等，使機場快線具世界頂級水準，爲旅客提供全套類似機場的服務，各站區具有完善的公車地下鐵轉接服務，並有免費巴士穿梭鬧區主要旅館，另有航空公司合作提供免費市區預辦登機服務（含行李託運）。目前機場快線每日約有 25000 旅次，其中至機場的各類通勤員工即占 1/5，渠等票價有 40%折扣。

10、廣九鐵路與香港地鐵合併成港鐵

2008 年元月 KCR 與 MTR 正式合併成新公司：香港鐵路公司（HKR）。

過程中雖有雜音，如廣九鐵路董事會認爲不被尊重，未事先徵詢意見，全由交通局主導，曾一度拒絕簽署合併同意書，在香港險釀成大新聞，終在各方爲大局著想，順利落幕。按兩家公司組織及營運規模相當，營運服務指標、運輸及車站商務之各項成績均列世界一流水準，不惶多讓，但香港地鐵公司在物業發展之績效較可觀，載客量亦較多，且該公司持有通用八達通卡儲值票最大股份，遂成爲合併後新公司之法定機構主體。

11、會議/參訪心得

11.1 邁向零污染鐵路（Carbon Free Rail）

澳洲/紐西蘭及北歐諸國可能是世界上最重視環境保育的國家，爲節省能源、避免空氣污染等，雖然人口不多，對鐵路運輸之投資及提倡卻仍

不遺餘力，值得人口眾多、幅員不大的開發中國家（例如我國）學習。

11.2 婦女在鐵路界的就業及其貢獻，值得尊重

傳統男主外、女主內的文化習俗，或由於經濟發展，勞力缺乏，或由於部份男性好逸惡勞，或由於 M 型社會等，一家之主一人已難維持家計，婦女既然已接受同男性一樣的教育，其生產力的開發不容受觀念限制；既然軍警界已開始大量接收女性同仁，鐵路界當可展大胸襟，讓有志女性也能發揮其應有的貢獻；惟女性亦須自重，不要求特權才是。

11.3 傳統電車－輕軌系統（Light Rail）不失為解決都會交通的選項

能源價格趨高，空污嚴重，而重運量軌道系統上天下地投資龐大，原為公共汽車（巴士）取代的電車，可以輕軌系統面目重新問世，再度取代公車專用道，做為解決中小型都市交通的另一優良選項。

11.4 勞工安全零事故是鐵路業的首要目標之一

安全性高是鐵路自傲於其他運輸業的利器，鐵路自己員工的安全更不能忽視，避免成為諷刺對象。無論歐洲、澳洲、臺鐵員工（尤其是養路工、道班工）事故近年有增加現象，電氣化、車速快、班次多、防護設施不足、或民營化人員縮編、可工作時間短、重軌工作量大、或員工警覺性降低等，均為成因之一。除加強訓練外，防護設施更應加強研發，如澳洲退休工頭自組公司研發展示的列車影音警示器，以及斷軌冷焊劑（無需太多附帶機具）等難能可貴，惟成效尚需觀察。

11.5 窄軌傾斜列車可以更進一步提速

傾斜列車（tilt train）可以在既有軌道路線上過彎道少減速，提高平均車速，避免龐大的高速鐵路新幹線投資，在歐洲等標準軌地區時速可高達 250 公里，在日本、澳洲（QR 昆士蘭省鐵路）窄軌時速已達 160 公里，本局（臺鐵局）新引進的太魯閣號傾斜列車時速 130 公里左右，可再考慮引進新車種，先在東線運用，再逐步作跨線行駛，造福旅客。

11.6 香港鐵路客運擠身世界一流水準地產開發尤稱楷模

華人世界的新加坡、香港、臺北的捷運系統營運水準已擠身世界一流，不輸西歐、日本，其中香港地鐵（MTR）的房地產開發、出租營運，收入佔總收入 6 成以上，影響所及，港九傳統鐵路（KCR）亦急起直追，不惶多讓。香港離臺灣甚近，未來合併後的香港鐵路（HKR）各方面經驗

值得臺鐵多多派員學習。

12、建議事項

12.1 每年多派各層級人員赴港日學習觀摩

港、日離臺灣甚近，惟其鐵路營運已臻世界一流，可就近全方位學習、觀摩，並課以實施成效，所費應不至於太多，相信一定物超所值。

12.2 房地產開發出租管理仍應鏗而不捨

多角化經營經驗在臺鐵成效並未令人滿意，如餐旅、貨服、搬運公司等，即使轉投資亞太電信案亦未達預期成果。房地產開發、出租在多年努力下，堪稱差強人意，但千萬不能灰心，一定要持續努力，找出最適合國情的模式，因為單靠客運收入，舉世鐵路無一能自給自足。

12.3 傾斜列車除應增加數量外，可開始提速研究

臺鐵 10 年前已預防屆時不能經營高速鐵路，必須要有競爭準備，故曾進行窄軌傾斜列車之可行性研究，10 年後終見太魯閣號傾斜列車行駛於北迴線，且頗受好評。現今澳、日更進一步朝 160 公里時速邁進，臺鐵亦可加緊準備提速，並從東幹線先行，次及跨線運輸等，相信在 M 型社會下，臺鐵一定能繼續存在、茁壯。

12.4 零污染鐵路除電氣化外，天然氣（gas）柴電列車亦可考慮

全島電氣化可能是較長遠目標，短期面臨柴（油）電機車（輛）之汰換，為達普世追求的零污染鐵路（carbon free oil）目標，內然引擎改用天然氣，宜先多方收集各先進國家鐵路成例，進行研究選擇。

12.5 高鐵出現，臺鐵轉型成區域捷運，類似各先進國家對捷運鐵路定位與補貼，政策亦應法制化

政策干預即需補助、補貼的觀念是學者提倡多年的理論，UIC 鐵路宣言已予納入，先進國家如歐美、澳紐等已明列鐵路政策並予法制化，臺灣的鐵路政策亦應具有國際觀，切勿陷入萬事只待民營化的迷思中。

12.6 員工安全是鐵路不可忽視的義務

鐵路對外號稱是安全性最高的運輸工具，員工安全更不能忽略，訓練應與時俱進，設備更應隨軌道電氣設備的增加、班次增多、車速提高、人員減少等而有待加強。

南迴線金崙等七座隧道安全檢測與改善 規劃設計(三)

李佳翰¹ 王兆賢² 陳志榮³

3.6 隧道襯砌及背後空洞調查

3.6.1 透地雷達野外作業說明

透地雷達探測方法是以高壓線圈為探測源，產生高頻電磁波射入結構體內，在行經電磁特性如導電率或介電常數變化的界面或異常體時，會依斯涅爾定律(Snell's)將部份能量反射回來，分析反射波的走時、強度及相位，即可獲得隧道襯砌內電磁特性異常之幾何位置，進而可有效地瞭解探查區域襯砌厚度完整性及襯砌背填灌漿之狀況，對於日後補強設計與施工的特殊劣化區段確認，相當具有助益。

為求得高解析度的資料並同時兼顧探測深度，本案透地雷達探測採用美國 GSSI 公司新型透地雷達主機 SIR 3000，搭配 900MHz 天線；掃描影像依現地狀況對主機加以最佳化調整，估計可以適用於探測襯砌背後 1m 範圍內的可疑空隙。該主機具備即時彈性調整發射參數功能，記錄儀器依目標物可能深度範圍，適用於不同探測目的及探測場地之施測工作。現場施測參數設定之探測總歷時為 100 奈秒，每條掃描跡線取樣率 2048，每米進行 100 次掃描，內含 32 位元 Intel StrongArm RISC 206 處理器、1G compact Flash 記憶卡、高速數值轉換器、64K 彩色影像顯示、自充式 12V 電池包，儀器輕巧便於隧道檢測使用。GPR 主機與現場施測概況如圖 49 所示。



圖 49 GPR 主機及現場施測照片

¹聯合大地工程公司主任 ²本局工務處幫工程司 ³本局臺東工務段技術員

襯砌背後檢測主要依據開挖災變資料、初期目視檢查、GRP5000 影像檢測時所發現的可疑位置綜合彙整調查，在現場探測長度上會根據既有劣化區段予以實測。

透地雷達探測方式分為縱向(頂拱線)與橫向(側壁-頂拱-側壁)兩種。縱向探測長度基本單位為 100m，部份區段減為 50m；橫向探測長度基本單位在單線隧道為 15m，雙線隧道為 18m，依此共計施作 9818m。詳細數量如表 26 所示。

表 26 透地雷達數量說明表

隧道名稱		安朔	大武二號	大鳥	大竹一號	大竹二號	多良一號	金崙
縱向	100	15	4	22	11	5	4	16
	50	0	0	2	2	1	0	0
小計		1,500	400	2,300	1,200	550	400	1,600
橫向	15	0	14	30	16	6	12	20
	18	11	0	0	0	0	0	0
小計		198	210	300	240	90	180	300
合計		9,618						

3.6.2 透地雷達資料處理

為明確分別出襯砌劣化反應以及干擾雜訊，本報告採用之透地雷達之施測剖面圖以灰階黑白圖示代表雷達波場振幅最為合適。基本探測成果判釋如圖 50 所示，當雷達波遭遇特殊的孔隙時，會在掃描呈現影像中顯示出繞射，暗色調位置代表反射能量較弱，亦即介電常數的差異較小，通常是地下水的低電阻特性導致，亮色調表示該位置下方具有與起始介質差異性較大的反射物質，影像反應在介質之間的介電常數變化劇烈時，可以偵測出襯砌異常的位置。

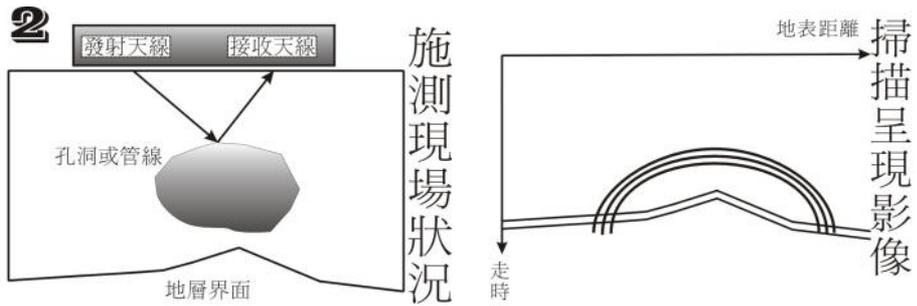


圖 50 透地雷達基本探測說明圖

由於透地雷達屬於電磁影像，在野外所看到的影像可能會因現地狀況產生扭曲，因此必須在室內進行後續資料處理，同時根據物質介電常數表加以確認施測物質之電磁特性，若掃描位置接近襯砌部分具有特殊金屬物或襯砌產生較大的空隙，可在反射剖面中判斷出空隙的位置。茲就透地雷達標準資料處理步驟概略介紹於下：

- 1.速度分析：由於深度轉換必須有精確的雷達波傳遞速度，以確保深度剖面正確無誤。藉由不同支距的雷達波掃描線作速度譜分析，求出雷達波在地層中的傳遞速度。
- 2.頻率濾波：濾掉和反射波不同頻率之雜訊。
- 3.解迴旋：將波漣變成釘形或其它指定形狀，使雷達波掃描線直接反應地層界面位置。
- 4.傾斜濾波：濾掉側向來的干擾。
- 5.移位處理：當雷達波碰到繞射點時，會產生繞射現象使得無法分辨繞射點的真正位置、大小及個數。移位處理就是將繞射能量移回繞射點的位置，以提升在空間上的解析能力，也可利用移位處理找出最佳之雷達波傳遞速度。
- 6.影像處理：突顯特定構造影像使剖面影像更清晰，以利判釋。

3.6.3 透地雷達成果評估

根據透地雷達探測襯砌的影像，具代表性的異狀可歸納成三種不同型態，分別是：(A)裂縫發達、(B)背後疏鬆、(C)厚度改變。不同的劣化現象在透地雷達影像中有可能會呈現類似效果，表 27 說明以上三種不同型態的劣化現象所代表的特性。

裂縫發達種類(A)的影像代表透地雷達在襯砌結構的內部發現異常繞射現象，說明襯砌內部具有特殊的劣化現象；背後疏鬆種類(B)的影像代表透地雷達在襯砌結構的各個電性界面發現大範圍異常繞射現象，說明襯砌的各個電性介面發生大範圍的劣化現象；厚度改變種類(C)的影像代表透地雷達掃描範圍內發現異常繞射介面(或物體)，該異常繞射介面的影像延伸性相當完整，並且在襯砌均勻的層狀結構中的繞射振幅起伏較大者，可能屬於襯砌或圍岩間產生的不接合面。

表 27 透地雷達劣化影像說明表

影像種類	名稱	說明
A	裂縫發達	襯砌具劣化影像
B	背後疏鬆	襯砌外緣具劣化影像
C	厚度改變	襯砌或圍岩產生不接合面

透地雷達縱向及橫向的影像解析成果，可歸納成表 28 的縱向施測成果表與 29 的橫向施測成果表。在橫向施測成果統計表各對應的欄位中，Y 代表發現該項目的異狀，N 代表未發現該項目的異狀；而縱向成果統計表中，各種劣化型態的里程紀錄分別歸納至各種不同影像種類，N 代表未發現該項目的異狀。

表 28 透地雷達縱向施測成果表(1/4)

隧道名稱	組數	編號	開始里程	結束里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
安朔	15	1.	32K+800	32K+700	100	N	N	N	55~60
		2.	33K+250	33K+150	100	N	N	N	55~60
		3.	33K+590	33K+490	100	N	505~523	N	55~60
		4.	33K+800	33K+700	100	N	N	N	55~60
		5.	34K+200	34K+100	100	N	N	N	55~60
		6.	34K+300	34K+200	100	N	220~229	N	50~55
		7.	34K+500	34K+400	100	N	445~453	N	50~55
		8.	35K+100	35K+000	100	N	N	060~067	55~60
		9.	36K+000	35K+900	100	N	N	N	55~60
		10.	37K+100	37K+000	100	N	N	N	55~60
		11.	37K+300	37K+200	100	N	N	N	55~60
		12.	37K+500	37K+400	100	N	N	N	55~60
		13.	37K+600	37K+500	100	N	N	N	55~60
		14.	37K+700	37K+600	100	N	N	N	55~60
		15.	37K+900	37K+800	100	N	N	N	55~60

表 28 透地雷達縱向施測成果表(2/4)

隧道名稱	組數	編號	開始里程	結束里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
大武二號	4	16.	44K+600	44K+500	100	N	575~584	N	50~60
		17.	44K+700	44K+600	100	N	N	N	50~60
		18.	44K+800	44K+700	100	N	742~744 781~787	N	50~60
		19.	44K+900	44K+800	100	N	810~822 885~895	N	50~60
大鳥	24	20.	46K+200	46K+150	50	N	154~157 184~188	157~168 173~184	40~55
		21.	46K+400	46K+300	100	327~337	N	317~323	40~55
		22.	46K+500	46K+400	100	435~439, 441~453, 494~497	N	458~467	40~55
		23.	46K+600	46K+500	100	523~526, 530~533	N	574~578, 585~600	40~55
		24.	46K+700	46K+600	100	692~696	635~655	660~664, 673~682	40~55
		25.	46K+800	46K+700	100	766~771	722~727, 732~737, 743~748, 755~759, 768~777	738~742, 768~776	40~55
		26.	46K+900	46K+800	100	N	804~819, 872~874	N	40~55
		27.	47K+100	47K+000	100	N	085~091	N	40~55
		28.	47K+300	47K+200	100	N	203~211, 216~223	N	40~55
		29.	47K+400	47K+300	100	N	325~328, 338~343, 351~353	N	40~55
		30.	47K+500	47K+400	100	N	410~427, 429~432	N	40~55
		31.	47K+600	47K+500	100	547~551	N	501~505	40~55
		32.	47K+700	47K+600	100	631~634	680~685	689~695	40~55
		33.	47K+900	47K+800	100	N	N	N	40~55
		34.	48K+000	47K+900	100	N	N	N	40~55
		35.	48K+400	48K+300	100	N	N	320~338	40~55
		36.	48K+600	48K+500	100	N	N	N	40~55
		37.	48K+700	48K+600	100	N	609~627	N	40~55
		38.	48K+900	48K+850	50	N	863~865	N	40~55
		39.	49K+000	48K+900	100	950~953	N	N	40~55
		40.	49K+200	49K+100	100	N	186~200	148~159	40~55
		41.	49K+300	49K+200	100	N	241~249, 253~260, 261~298	261~300	40~55
		42.	49K+400	49K+300	100	N	360~369, 371~379	300~341, 345~355	40~55
		43.	49K+600	49K+500	100	N	N	N	40~55

表 28 透地雷達縱向施測成果表(3/4)

隧道名稱	組數	編號	開始里程	結束里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
大竹一號	13	44.	53K+600	53K+550	50	N	N	N	55~60
		45.	53K+700	53K+600	100	N	635~640	N	55~60
		46.	53K+900	53K+800	100	N	808~814	N	55~60
		47.	54K+000	53K+900	100	N	915~923, 924~933, 990~995	N	55~60
		48.	54K+200	54K+100	100	N	N	N	55~60
		49.	54K+300	54K+200	100	209~212 , 218~225	N	N	55~60
		50.	54K+400	54K+300	100	N	335~339	N	55~60
		51.	54K+500	54K+400	100	N	N	N	55~60
		52.	54K+600	54K+500	100	N	N	N	55~60
		53.	54K+700	54K+600	100	N	N	N	55~60
		54.	54K+800	54K+700	100	N	N	N	55~60
		55.	54K+900	54K+800	100	N	N	N	55~60
		56.	54K+950	54K+900	50	N	N	N	55~60
		57.	55K+600	55K+500	100	N	515~530	N	55~60
大竹二號	6	58.	56K+200	56K+100	100	N	N	N	50~55
		59.	56K+500	56K+400	100	N	N	N	50~55
		60.	56K+800	56K+700	100	N	N	N	50~55
		61.	56K+900	56K+800	100	N	873~889	N	50~55
		62.	56K+950	56K+900	50	N	932~937	940~942, 946~949	50~55
多良一號	4	63.	60K+200	60K+100	100	N	N	N	40~45
		64.	60K+300	60K+200	100	N	N	N	40~45
		65.	60K+400	60K+300	100	N	N	N	40~45
		66.	60K+500	60K+400	100	N	N	N	40~45
金崙	16	67.	64K+700	64K+600	100	N	676~683	603~606, 631~634, 637~641	55~60
		68.	64K+800	64K+700	100	N	704~707, 738~743, 748~751, 752~757, 758~764, 768~773	700~707, 715~720, 720~724, 729~747, 752~768, 763~777, 779~793	55~60
		69.	64K+900	64K+800	100	N	816~822	823~836, 863~888	55~60
		70.	65K+000	64K+900	100	N	978~981	N	55~60

表 28 透地雷達縱向施測成果表(4/4)

隧道名稱	組數	編號	開始里程	結束里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
金 崙	16	71.	65K+100	65K+000	100	N	022~027, 032~038, 071~078	004~015, 017~024	55-60
		72.	65K+600	65K+500	100	N	538~541, 564~568	N	55-60
		73.	66K+200	66K+100	100	N	178~180	146~152, 160~166	55-60
		74.	66K+700	66K+600	100	N	600~603, 615~617, 625~629, 663~667, 680~683	600~605, 606~623, 645~649, 654~658, 663~668, 673~677, 680~683	55-60
		75.	67K+600	67K+500	100	N	515~520, 535~542, 545~550, 554~559, 563~566, 581~587	521~530, 554~558, 563~567, 582~588	55-60
		76.	67K+700	67K+600	100	N	657~663, 680~690	646~662, 674~677, 681~688, 692~698	55-60
		77.	67K+800	67K+700	100	N	733~737	718~723, 737~748	55-60
		78.	67K+900	67K+800	100	N	N	N	55-60
		79.	68K+000	67K+900	100	N	926~935, 937~944, 949~956, 960~965, 967~974	927~934, 936~945, 947~988	55-60
		80.	68K+100	68K+000	100	N	N	010~020, 025~032, 037~043, 052~067, 074~078	55-60
		81.	68K+200	68K+100	100	N	116~118, 124~130, 197~200	N	55-60
		82.	68K+300	68K+200	100	N	233~237, 261~266	233~237, 246~249, 261~269, 275~284, 292~295	55-60
合計	82				7950				

表 29 透地雷達橫向施測成果表(1/3)

隧道名稱	組數	編號	里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
安朔	11	1	33K+490	18	N	N	N	55-60
		2	33K+785	18	N	N	N	55-60
		3	34K+095	18	N	N	N	55-60
		4	34K+155	18	N	N	N	55-60
		5	34K+210	18	N	N	N	55-60
		6	34K+230	18	N	Y	N	55-60
		7	34K+495	18	N	N	N	55-60
		8	35K+990	18	N	N	N	55-60
		9	37K+085	18	N	Y	N	55-60
		10	37K+610	18	N	N	N	55-60
		11	37K+985	18	N	N	N	55-60
大武二號	14	12	44K+200	15	N	Y	N	50-60
		13	44K+245	15	N	Y	N	50-60
		14	44K+520	15	N	N	N	50-60
		15	44K+565	15	N	Y	N	50-60
		16	44K+660	15	N	Y	N	50-60
		17	44K+760	15	N	Y	N	50-60
		18	44K+850	15	N	Y	N	50-60
		19	44K+870	15	N	Y	Y	50-60
		20	44K+880	15	Y	N	N	50-60
		21	44K+900	15	N	Y	N	50-60
		22	44K+920	15	N	N	N	50-60
		23	45K+040	15	N	N	N	50-60
		24	45K+135	15	N	Y	N	50-60
		25	45K+165	15	N	N	N	50-60
大鳥	30	26	46K+160	15	N	N	Y	40-55
		27	46K+200	15	Y	N	N	40-55
		28	46K+285	15	N	N	Y	40-55
		29	46K+330	15	Y	N	N	40-55
		30	46K+360	15	Y	N	N	40-55
		31	46K+405	15	N	N	Y	40-55
		32	46K+435	15	Y	N	N	40-55
		33	46K+535	15	Y	N	N	40-55
		34	46K+630	15	N	N	Y	40-55
		35	46K+680	15	Y	N	N	40-55

表 29 透地雷達橫向施測成果表(2/3)

隧道名稱	組數	編號	里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
大鳥	30	36	46K+700	15	N	N	N	40-55
		37	46K+765	15	N	N	Y	40-55
		38	46K+860	15	N	Y	N	40-55
		39	47K+305	15	N	Y	Y	40-55
		40	47K+380	15	N	Y	Y	40-55
		41	47K+495	15	N	Y	N	40-55
		42	47K+545	15	N	Y	N	40-55
		43	47K+645	15	N	Y	N	40-55
		44	47K+850	15	N	N	N	40-55
		45	47K+895	15	N	N	N	40-55
		46	48K+360	15	N	N	N	40-55
		47	48K+535	15	N	N	N	40-55
		48	48K+655	15	N	Y	N	40-55
		49	48K+865	15	N	Y	N	40-55
		50	49K+235	15	N	N	N	40-55
		51	49K+265	15	N	N	N	40-55
		52	49K+390	15	N	N	N	40-55
		53	49K+510	15	N	Y	N	40-55
		54	49K+580	15	N	N	N	40-55
		55	49K+715	15	N	Y	N	40-55
大竹一號	16	56	53K+635	15	N	N	N	55-60
		57	53K+690	15	N	Y	N	55-60
		58	53K+810	15	Y	N	N	55-60
		59	54K+110	15	N	Y	N	55-60
		60	54K+140	15	N	Y	N	55-60
		61	54K+200	15	N	N	N	55-60
		62	54K+275	15	N	N	Y	55-60
		63	54K+340	15	N	N	N	55-60
		64	54K+390	15	Y	N	N	55-60
		65	54K+430	15	Y	N	N	55-60
		66	54K+470	15	N	N	N	55-60
		67	54K+490	15	N	N	N	55-60
		68	54K+520	15	Y	N	N	55-60
		69	54K+540	15	Y	N	N	55-60
		70	54K+625	15	N	Y	N	55-60
		71	54K+750	15	Y	N	N	55-60

表 29 透地雷達橫向施測成果表(3/3)

隧道名稱	組數	編號	里程	長度(m)	A	B	C	頂拱可能襯砌厚度範圍(cm)
大竹二號	6	72	56K+165	15	Y	N	N	50-55
		73	56K+435	15	N	N	N	50-55
		74	56K+445	15	Y	N	N	50-55
		75	56K+650	15	N	Y	N	50-55
		76	56K+755	15	N	N	N	50-55
		77	56K+950	15	N	N	N	50-55
多良一號	12	78	59K+285	15	N	N	N	40-45
		79	60K+080	15	N	Y	N	40-45
		80	60K+115	15	N	N	N	40-45
		81	60K+125	15	N	N	N	40-45
		82	60K+135	15	N	N	N	40-45
		83	60K+145	15	N	N	N	40-45
		84	60K+155	15	N	Y	N	40-45
		85	60K+165	15	N	N	N	40-45
		86	60K+200	15	N	N	N	40-45
		87	60K+210	15	N	N	N	40-45
		88	60K+400	15	N	N	Y	40-45
		89	60K+515	15	N	N	N	40-45
金崙	20	90	64K+450	15	N	N	N	55-60
		91	64K+650	15	N	N	N	55-60
		92	64K+715	15	N	N	N	55-60
		93	64K+760	15	N	N	N	55-60
		94	64K+810	15	N	N	N	55-60
		95	64K+835	15	N	N	N	55-60
		96	64K+860	15	N	N	N	55-60
		97	64K+995	15	N	N	N	55-60
		98	65K+110	15	N	N	N	55-60
		99	65K+595	15	N	N	N	55-60
		100	66K+060	15	N	Y	N	55-60
		101	66K+147	15	N	N	N	55-60
		102	66K+680	15	N	Y	N	55-60
		103	67K+265	15	N	N	N	55-60
		104	67K+910	15	N	Y	N	55-60
		105	68K+160	15	N	N	Y	55-60
		106	68K+185	15	N	Y	N	55-60
		107	68K+205	15	N	N	Y	55-60
		108	68K+230	15	N	Y	N	55-60
109	68K+240	15	N	N	Y	55-60		
合計	109			1668				

各隧道檢測結果整理如圖 51，並分項說明如下：

1.安朔隧道

安朔隧道長度 5,481 公尺，主要發生襯砌明顯背後疏鬆現象區段在縱向 33K+505~33K+520、34K+230~34K+220、34K+450~34K+460、以及 37K+050~37K+060，影響深度大約在 20~50cm 左右，少數疏鬆影像超過 60cm；在橫向剖面部份，34K+230 與 37K+085 亦發現可疑的背後疏鬆現象。安朔隧道 35K+980~35K+999 發現的厚度改變在襯砌範圍內，可能是鋼絲網繞射影像，而 35K+060~35K+070 發生在襯砌範圍外，可能是圍岩起伏所產生的小規模繞射影像，因此本隧道的厚度改變大多屬於僅為小範圍襯砌與圍岩的接觸面變化。由於 34K+100~34K+230 頂拱至山側側壁發生多處規模相當大的縱向裂縫，對於接近 34K+220~34K+230 所發現的背後疏鬆現象應持續進行追蹤，並採取適當的維修手段以補強襯砌受損之處。

2.大武二號隧道

大武二號隧道長度 1,181 公尺，主要發生襯砌背後劣化區段在縱向剖面 44K+584~44K+575、44K+742~44K+744、44K+781~44K+787、44K+810~44K+822、及 44K+885~44K+895 五個區段，影響深度約在 20~50cm 範圍之內；在橫向剖面部份，44K+600 至 44K+870 之間發現較為密集的裂縫發達與背後疏鬆等現象，大武二號隧道並沒有發現厚度改變現象。由於在 44K+400~44+415、44K+715~44K+723、44K+745、44K+765、44K+880、44K+886、44K+913 及 45K+125 的襯砌表面，發現大小不等的縱向裂縫與混凝土剝落現象，本隧道應針對縱向掃描所發現五個劣化區段應採取適當的維修，以補強襯砌受損之處。

3.大鳥隧道

大鳥隧道長度 3,652 公尺，發生襯砌明顯背後疏鬆現象區段的分布範圍相當平均，主要劣化區段分別在縱向剖面 46K+154~46K+553、46K+600~46K+777、47K+203~47K+695、47K+970~49K+386 等四個區段，影響深度約在 20~60cm 範圍之內，劣化影像的範圍延伸性相當大；在橫向剖面部份，46K+860~47K+675 與 48K+655~49K+265 兩個區段發現較為密集的背後疏鬆等現象。大鳥隧道發現的厚度改變影像大多發生在頂拱可能襯砌範圍以內，其中以 46K+157~46K+168、46K+173~46K+184、46K+770~46K+776、46K+802~46K+818、

49K+300~49K+340 五處最爲明顯，同時厚度改變的幅度相當大，可能已形成明顯的襯砌厚度改變；而 49K+147~49K+159 影像發生在襯砌範圍外，可能是圍岩起伏所產生的小規模繞射影像，因此本隧道的厚度改變首要注意 46K+157~46K+168、46K+173~46K+184、46K+770~46K+776、46K+802~46K+818、49K+300~49K+340 五個區段周邊的襯砌狀態是否有持續惡化。在襯砌現況調查時，在 46K+800、47K+390、47K+680、47K+900、48K+950、49K+020、49K+100 及 49K+350 發現混凝土剝落及頂拱及側壁漏水的現象，顯示襯砌表面劣化型態的分布範圍相當平均，因此對於縱向掃描所發現四個主要劣化區段與橫向掃描所發現兩個主要劣化區段應在短期間內進行適當維修，以補強受損襯砌。

4.大竹一號隧道

大竹一號隧道長度 1,452 公尺，主要發生襯砌明顯背後疏鬆現象區段大部分集中在縱向剖面 53K+635~53+995 與 54K+209~54K+339 兩個區段之中，影響深度約在 30~50cm 左右，少數可達 70cm，幾乎已達襯砌與圍岩的交界處，大竹一號隧道頂拱縱向部份，僅在 54K+442~54K+448 的頂拱可能襯砌厚度範圍內發現小規模厚度改變現象，推估影響程度不大；在橫向剖面部份，53K+690、53K+810、54K+110、54K+140、54K+275、54K+390、54K+430、54K+490、54K+520、54K+540、54K+625、54K+750 均發現可疑的裂縫發達、背後疏鬆或是厚度改變的現象，但厚度變化範圍僅發生在襯砌與圍岩小範圍邊界，影響程度有限。依據現場襯砌調查所獲得的結果來看，53K+083 與 54K+390 環拱發生漏水現象，54K+205 與 54+440 側壁發生縱向裂縫，54K+467、54K+495 與 54K+542 側壁發生混凝土剝落現象，與透地雷達縱向掃描所發現的 54K+209~54K+339 區段最爲接近，建議在本隧道該區段應持續進行細部調查，並進行適當的維修補強。

5.大竹二號隧道

大竹二號隧道長度 1,236 公尺，主要發生襯砌劣化影像區段在縱向剖面 56K+873~56+889 與 56K+932~56K+949 兩個區段之中，深度分布範圍在 20~60cm 左右，劣化影像相當侷限，沒有擴大跡象，大竹二號隧道頂拱縱向部份，僅在 56K+122~56K+141 的頂拱可能襯砌厚度範

圍內發現小規模厚度改變現象，並且發現小型金屬繞射散佈，推測可能是鋼絲網所產生；在橫向剖面部份，僅在 56K+165、56K+445、56K+650 三處發現可疑的背後疏鬆現象，沒有發現厚度改變的影像。依據現場襯砌調查所獲得的結果來看，僅在 56K+165、56k+625 及 56K+755 側壁發生局部漏水現象，與透地雷達掃描所得可能的劣化區段尚有距離，推測該隧道僅在小範圍呈現滲水現象，劣化程度應不致過於嚴重，建議本隧道實行定期檢查漏水狀態是否繼續擴大，及持續追蹤 56K+873~56+889 與 56K+932~56K+949 兩個區段的襯砌狀態是否繼續惡化。

6.多良一號隧道

多良一號隧道長度 1,649 公尺，在縱向剖面並沒有發現襯砌明顯背後疏鬆現象，也沒有發現厚度改變的情況，但襯砌內影像各介面的連續性較差，推測襯砌材質可能產生整體性劣化現象，但依然可維持既有結構；在橫向剖面部份，60K+080 與 60+155 各發現一處可疑的背後疏鬆現象，60k+400 在可能襯砌厚度範圍內發現一處小型厚度改變的影像，但影響程度有限。由於 60K+100~60K+515 發生多處規模相當大的縱向裂縫與頂拱嚴重變形現象，這種現象反映在縱向掃描影像中即為影像各介面的連續性較差，並呈現出大範圍的疏鬆現象，建議該區段應在短期間內進行適當維修，以補強受損襯砌。

7.金崙隧道

金崙隧道長度 4,392 公尺，在透地雷達掃描中均有各項襯砌劣化影像的分佈相當平均，主要發生襯砌明顯背後疏鬆現象區段在縱向剖面 64K+600~65K+600、66K+100~67K+800 及 67K+900~68K+300 三個區段，影響深度大約在 20~50cm 左右，少數可達 60cm，厚度改變的位置多出現在頂拱可能襯砌厚度範圍內，其中以 64K+730~64K+792、64K+809~64K+838、66K+600~66K+625、67K+520~67K+565、67K+925~67K+989 四處的厚度變化延伸型態最明顯，並伴隨著背後疏鬆的情形，值得特別注意；在橫向剖面部份，64K+450、64K+715、64K+760、64K+810、64K+835、64K+860、64K+995、65K+110、66K+060、66K+147、66K+680、67K+265、67K+910、68K+160、68K+185、68K+205、68K+230 及 68K+240 等多處亦發現可疑的背後

疏鬆現象，沒有發現厚度改變的情形。根據金崙隧道現場的襯砌調查，裂縫大多集中在 65K+600、66K+120~66K+165、66K+680、67K+910、68K+160~68K+275 等五處，側壁發生的裂縫型態以橫向較多，建議本隧道應針對縱向剖面所發現的三個區段進行襯砌破壞程度評估，並採取適當的維修手段以補強受損的部份。

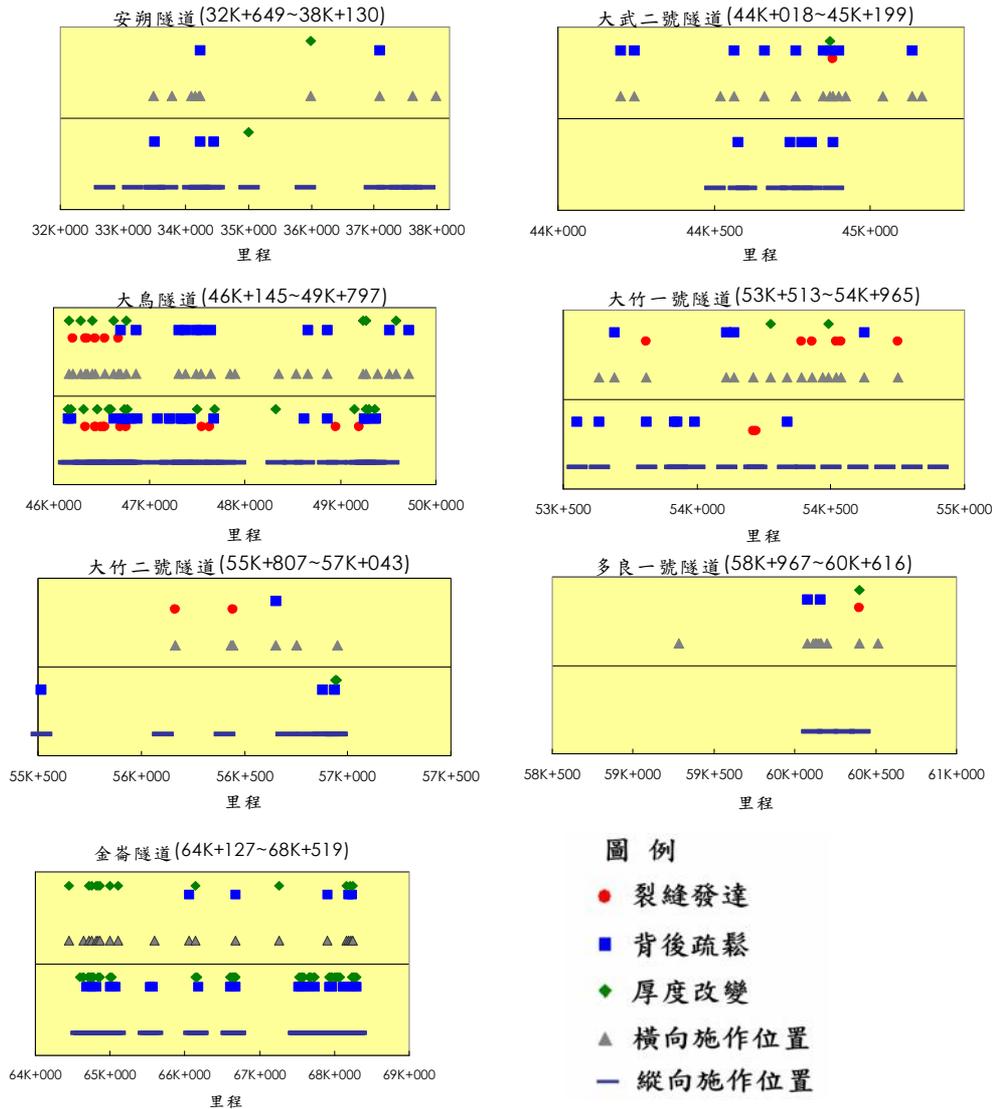


圖 51 各隧道透地雷達檢測成果圖

3.6.4 敲擊回音檢測野外作業說明

敲擊回音法是以敲擊表面的方法導入應力波(聲波)於混凝土內部，由結構體內瑕疵或邊界回傳之應力波所造成的反應來做非破壞評估的一種方法。此法可用來決定鋼筋及混凝土結構物中之瑕疵—例如垂直裂縫、斷層、孔隙、以及蜂窩之深度、位置與範圍，並可精確量測混凝土樓版或橋面版之厚度以及介面接合程度(例如新修補混凝土與舊混凝土、瀝青路面與鋼筋混凝土橋版、涵管坑道與岩壁或土壁等)。南迴鐵路金崙、多良一號、大竹二號、大竹一號、大鳥、大武二號及安朔等七座隧道內施作非破壞檢測作業，評估其襯砌厚度，共計有 16 個測點，測點相關位置詳如表 30 所示。

現場檢測時可有效檢測之瑕疵深度，與敲擊源直徑的選擇有關，敲擊源越大，敲擊時注入混凝土中之高頻能量越低，則較近表面的瑕疵或埋置物之檢測反應會因高頻能量不足而抑制。當敲擊源接觸地面時間(簡稱敲擊接觸時間)為 t_c 時，高於 $1.5/t_c$ 頻率之能量即可忽略。本檢測案檢測標的物為隧道混凝土襯砌，因此每測點均以不同直徑之敲擊源施測以有效求取襯砌厚度及淺層瑕疵之反應，每種敲擊源均做三次重複敲擊以確定其檢測結果之穩定性。此外，敲擊回音法可以檢測到之瑕疵尺寸(b)須大於瑕疵深度(d)之 $1/3$ 以上(即 $b/d > 1/3$)。舉例而言，瑕疵深度 9 cm 時，其水平尺寸為 3 cm 可被偵測，但深度在 21 cm 時則其水平尺寸須達 7 cm 才可被偵測。

現場進行施作敲擊回音檢測時，依照美國材料與試驗協會標準規範 ASTM C1383 所建議之配置進行施做，先於受測點位量取混凝土縱波波速後，再以敲擊源敲擊測點表面導入暫態之彈性應力波於混凝土內部量測其表面位移擾動訊號，在資料擷取方面每隔 2.668×10^{-6} 秒 ($2.668 \mu s$) 抓取一筆資料，抓取 2048 筆而形成一筆記錄長度 (record length)，經 FFT 轉換所得之頻譜解析度則分別為 0.183kHz。在頻譜解析度誤差方面，以敲擊回音進行版厚頻率量測時會產生偏差值 (Δf) 乃為頻譜解析度誤差，檢測頻譜所得之厚度頻率 (f) 之最大可能偏差值 (δf_{\max}) 為頻譜之解析度 (Δf) 之一半，在本案中偏差值即為 0.0915 kHz，在波速固定為 3900m/s 的狀況下，檢測出厚度為 50cm 的誤差值在 ± 1.2 cm 左右；40cm 的誤差值在 ± 0.8 cm 左右；30cm 的誤差值在 ± 0.5 cm 左右。

表 30 南迴鐵路隧道敲擊回音檢測位置及成果表

隧道名稱	測點點位	檢測位置	波速(m/s)	敲擊源(大小)	尖峰頻率(kHz)	對應厚度(cm)	備註	可能襯砌厚度(cm)
安朔	34k+180	起拱線以上 30~50cm處	3569	大球(B)	3.843	48.7	-	48.7
				小球(S)	3.843	48.7	-	
	34k+295	起拱線以上 30~50cm處	3811	大球(B)	3.66	-	撓曲振動頻率	-
				小球(S)	6.222	30.1	明顯層隙裂縫深度	
大武二號	44k+850	起拱線以上 30~50cm處	3598	大球(B)	3.477	53.8	-	53.8
				小球(S)	6.405	29.2	疑似瑕疵深度	
	44k+880	起拱線以上 30~50cm處	4088	大球(B)	3.11	60.2	-	60.2
				小球(S)	12.811	14.6	疑似瑕疵深度	
大鳥	48k+360	起拱線以上 30~50cm處	3513	大球(B)	4.062	46.1	-	46.1
				小球(S)	4.062	46.1	可能為襯砌與噴凝 土黏結良好狀況	
	48k+865	起拱線以上 30~50cm處	4015	大球(B)	-	-	N	-
				小球(S)	-	-	N	
大竹一號	54k+433	起拱線以上 30~50cm處	3514	大球(B)	5.49	34.1	明顯層隙裂縫深度	34.1
				小球(S)	5.49	34.1	明顯層隙裂縫深度	
	54k+540	起拱線以上 30~50cm處	3627	大球(B)	5.124	36.5	撓曲振動頻率	-
				小球(S)	15.556	12.0	明顯層隙裂縫深度	
大竹二	56k+435	起拱線以上 30~50cm處	3877	大球(B)	-	-	N	-
				小球(S)	-	-	N	
	56k+453	起拱線以上 30~50cm處	3877	大球(B)	4.758	39.3	-	39.3
				小球(S)	9.334	20.1	疑似瑕疵深度	
多良一號	60k+260	頂拱	3598	大球(B)	3.294	56.8	撓曲振動頻率	-
				小球(S)	9.517	19.7	明顯層隙裂縫深度	
	60k+380	頂拱	3844	大球(B)	7.138	26.2	明顯層隙裂縫深度	-
				小球(S)	7.138	26.2	明顯層隙裂縫深度	
多良一號	60k+400	頂拱	3812	大球(B)	2.745	68.2	可能為襯砌與噴凝 土黏結良好狀況	68.2
				小球(S)	9.7	19.3	疑似瑕疵深度	
	60k+415	頂拱	3877	大球(B)	3.294	56.8	-	56.8
				小球(S)	3.294	56.8	-	
金崙	64k+458	路基面以上約 130cm 處	3945	大球(B)	-	-	N	-
				小球(S)	-	-	N	
	68k+160	路基面以上約 130cm 處	4015	大球(B)	4.392	42.6	可能為襯砌與噴凝 土黏結良好狀況	42.6
				小球(S)	4.392	42.6	可能為襯砌與噴凝 土黏結良好狀況	

註：無明顯厚度反應以 N 代表。

用敲擊回音技術量測混凝土縱波波速以及混凝土板厚度的方法，已在美國材料試驗標準(ASTM)審核通過，已納入 ASTM C1383 的規範。當利用機械性敲擊測試物體表面產生暫態應力波動，該應力波動內含之縱波(P-wave)及剪力波(S-wave)會以球狀的波形方式向物體內部傳動，遇到反射介面時，如版內部的裂縫及孔隙或版的底部時，將被反射回去；當這些反射波回到敲擊面時，則產生表面的位移。利用表面放置的接收器可監測到此位移反應，如果接收器被安排在靠近敲擊點時，則監測到的位移主要是因為縱波所造成。當鋼珠敲擊於混凝土表面時，會導入應力波於混凝土中，並由內部瑕疵或邊界反射回表面，而這些反射波所造成的表面擾動位移，將擾動靠近敲擊源的位移感應器。位移感應器會產生與位移量成正比的類比電壓訊號，這些隨著時間改變的訊號經由資料擷取系統數位化後，傳遞到電腦記憶體中，此一位移波形可用來決定壓力波在敲擊面及反射介面間來回一趟所需要的時間，若反射介面的深度(T)已知，則可推求得到壓力波在該物體內部行進的速度，反之，若波速已知，則可推算出此一反射介面的深度。相關施作儀器及資料接收照片如圖 52。本試驗系統規格符合 ASTM C1383 之需求，分別說明如下：

- 1.可感測敲擊源：利用鋼珠內裝設感應元件開發之可感測敲擊時間原點裝置，當敲擊源敲擊測試物體的同時，嵌於鑽孔鋼珠內之壓電材料因受碰撞時之應力變化而產生電壓訊號，由波形圖上直接得到敲擊時間原點。敲擊鋼珠直徑有 3mm、5mm 及 8mm，本案採用之鋼珠直徑為 3mm。
- 2.接收器：目前敲擊回音法所採用的接收器，為一種寬頻的位移接收器，其與物體表面的接觸，為一種很小成倒錐體形之壓電材料，因此可視為類似點之接觸，所反應出來之訊號與垂直表面位移量成正比。介於壓電材料及混凝土表面間，使用一小片的薄鉛片或是不鏽鋼片來完成接收器之接觸，由於薄鉛片材質很軟，可使接收器與粗糙的混凝土表面緊密壓合而無須使用接合液或是對表面作特別磨平處理。
- 3.鋼珠自動敲擊機構：可重複自動執行敲擊動作，須配合敲擊器使用。
- 4.類比/數位轉換卡(Analog to Digital)：接收器接收連續之類比(Analog)訊號時，必須由 A/D 卡抓取並轉換成不連續之數位(Digital)之訊號，以便後續之訊號處理、分析及儲存。本案所使用之 A/D 為 Pico Technology

Limited 型號 ADC-212 之訊號擷取盒，提供兩個 BNC 插槽以外接接收器，資料的最快擷取速率為 1.5MHz(每 0.667 μ s 紀錄一筆資料)，解析度為 12 bits。

5.筆記型電腦：A/D 卡轉換完成之數位訊號，可透過軟體抓取到記憶體中，再進行訊號處理、分析或儲存於硬碟裡。



(a)敲擊源及接收器



(b)現場施作情形

圖 52 敲擊回音儀器及現場施作照片

3.6.5 敲擊回音檢測資料處理

進行量測混凝土厚度試驗前需先求得壓力 P-波波速(C_p)。本案採用 ASTM C1383 所建議的配置，P 波波速試驗的儀器配置為敲擊源及接收器位於同一直線上，敲擊點與接收器之距離為 $H=300\text{mm}$ ，當敲擊產生時，應力波首先抵達第一接收器，且同時啟動訊號擷取系統，從波形圖上即可紀錄波到的時間(t_1)，接著應力波再行經第二接收器，由第二接收器紀錄到表面位移波形，同時紀錄波到時間(t_2)，由於兩接收器接收訊號起始時間相同，應力波從第一接收器到第二接收器傳輸所需耗費的時間為($t_2 - t_1$)，兩接收器的距離(H)已知，便可推算應力波波速等於距離除以時間($C_p = H / (t_2 - t_1)$)。

以測點編號 64k+458 波速量測結果為例，第一接收器所接收到之起始時間為-34.7 μ s，而第二接收器所記錄之表面 P 波到達時間 t_2 為 42 μ s，第一接收器至第二接收器所行經路徑為 300 mm，可計算得表面壓力波波速 C_p 為 3911 m/s。同樣的檢測程序，對其他測點施作 P-波波速量測，所有表面 P-波波速列於表 30。從表 30 所列各檢測區之波速約介於 3513 至 4015 m/s 之間，有明顯之波速變異，在此需再注意到的是於現場檢測時發現到如受測點位表面較平滑，所量測到之表面壓力波波速約分佈在

4015m/s~3877m/s，而表面孔洞分佈較多之點位所量測到之壓力波波速較低，分佈在 3513m/s~3627m/s，研判是由於表面孔洞影響壓力波走時故量測到之波速較低，為消除此項誤差，在敲擊回音法頻譜領域分析中波速之基準均採一較合理的波速 3900m/s 作為計算基準。

3.6.6 敲擊回音檢測成果評估

本案共 16 個測點位置，測點編號為 34k+180-b 代表該點位為 34k+180 處之測點且該點位使用較大直徑鋼珠敲擊表面導入應力波於結構體；34k+180-s 則代表使用直徑較小之鋼珠敲擊表面導入應力波於結構體。

在本案中之隧道結構體在基本上而言，可謂之為三明治結構體，主要是由內襯砌、噴凝土、岩體等三種材料所組成，另一方面隧道襯砌在目視檢測時已發現有多處裂縫、滲水、襯砌剝落、修補介面等狀況發生，敲擊回音法在結構體上可能檢測到的瑕疵，有下列幾種可能狀態：

1. 狀態 A—襯砌內部有小範圍之層隙裂縫(或瑕疵)存在。
2. 狀態 B—襯砌內部有大範圍之層隙裂縫(或瑕疵)存在。
3. 狀態 C—襯砌內部無裂縫(或瑕疵)存在但與噴凝土層介面存在冷縫。
4. 狀態 D—襯砌內部無裂縫存(或瑕疵)且與噴凝土層黏結良好但噴凝土層與岩體界面分離。
5. 狀態 E—襯砌、噴凝土層、岩體等三材質黏結介面良好，且岩體聲阻係數小於混凝土。
6. 狀態 F—襯砌、噴凝土層、岩體等三材質黏結介面良好，且岩體聲阻係數接近混凝土。

一般而言，壓力波的波速可利用已知距離之雙接收器除以波的走時而得，有了波速後，即可偵測因瑕疵所形成的反射介面之深度(T)也就是瑕疵的位置。與本案有關之檢測訊號判斷可能反應，包括板狀構件反應，瑕疵反應，及介面黏結程度與撓曲振動反應，茲分述如下：

1. 板狀構件反應

在鋼珠敲擊檢測板表面時，由緊鄰之接收器所得之垂直位移波形，其中最顯著之位移為敲擊所產生之表面波，之後應力波在板底面與頂面間來回反射傳動而形成共振之訊號，其中以壓力波最為顯著。當產生一個共振條件，每次應力波到達頂面時，將引起一向下位移。

此位移波形具有週期性。對靠近敲擊位置的點而言，P 波來回一趟行經的路徑為版厚(T)的兩倍，所造成的週期波形則為行經路徑 (2T)除以 P 波的視波速，由於頻率(f)為週期的倒數，而檢測版之 P 波視波速為實際 P 波波速(Cp)之 96%。可由敲擊頻率及實際 P 波波速反推板厚。

2. 瑕疵反應

混凝土澆置過程中若是搗實振動不佳，再加上鋼筋配置過於密集，將可能在施工過程之中產生蜂窩或是孔隙，在敲擊回音試驗檢測時，這些孔隙將形成較顯著之反射界面，應力波會在孔隙與敲擊面間來回反射，故在頻譜上會出現較明顯對應到孔隙深度頻率 (f)之高振幅尖峰，藉以判斷其深度。

3. 黏結程度

檢測標的若為兩層結合之複合層面(例如舊有混凝土與修補混凝土結合或隧道噴凝土層與內襯砌結合)，在檢測結果的頻譜分析上，主要有兩種相對的情況：黏結良好與黏結不良。就黏結良好而言，若兩層間複合緊密，即既存混凝土與覆蓋材料之間緊密結合；若兩者材料之聲阻系數值相近，則當波傳遞至黏結面時，可能不會造成明顯的反射現象(視為無反射介面)，就如同對單一介質進行敲擊回音試驗，故頻譜上顯示單一高振幅尖峰位於兩層相加之總版厚頻率(應力波來回版頂面及底面一趟所需時間的倒數)。

就黏結失敗而言，倘若既存混凝土與覆蓋材料之間因存有粉末、雜質或其他因素(如接著劑使用不當)導致黏結效果失敗，則可視同在黏結面上存有瑕疵，此瑕疵會造成入射波無法穿透而成反射波反射回來，其敲擊回音頻譜將會出現黏結介面深度所對應的頻率尖峰，而此時前面黏結良好情況之版厚頻率也將因黏結不良阻礙波之傳動而變小。

4. 撓曲振動

在結構體中內部淺層隙之敲擊回音反應不同於深層隙，隨著不同層隙尺寸與不同敲擊位置的改變，淺層隙上方敲擊可激發出一個或是更多撓曲振動模態。而本案中之混凝土襯砌內部若有層隙裂縫存在，在此層隙上方敲擊，可能不僅造成層隙上方混凝土頸縮擴張造成版狀構件反應，也可能造成整個版上方之混凝土層產生彎曲變形之振動，

此即為所激發之撓曲振動模態。

採用敲擊回音頻譜領域分析時基於此法對裂縫之靈敏度，會有較複雜之反應，各點位敲擊回音檢測結果列於表 30，並整理如圖 53，各測點檢測結果詳述如下：

1. 襯砌、噴凝土層、岩體等三材質黏結介面良好且其材料之聲阻係數相近(狀態 F)，其典型之反應為波形圖中除表面位移波外無其他明顯反射訊號，近似於半無限域之反應，如測點編號 48k+865、56k+435、64k+458，由於無反射應力波介面故無法得到明顯的厚度訊號。
2. 在應力波反射界面可能發生在噴凝土層與岩體之介面時，襯砌內部無裂縫存在(或瑕疵)且與噴凝土層黏結良好但噴凝土層與岩體界面分離(狀態 D)；或襯砌、噴凝土層、岩體等三材質黏結介面良好，但岩體聲阻係數小於混凝土之狀況(狀態 E)，如測點 48k+360、60k+400、68k+160，與原始設計襯砌厚度比對，因為加上噴凝土層檢測厚度較原始為厚。
3. 敲擊源為大球之頻譜反應可看出襯砌厚度介面，但敲擊源為小球之頻譜有檢測出較不顯著的瑕疵訊號位於襯砌內部，推測瑕疵可能是小範圍裂縫或裂縫仍有部分混凝土黏結的狀況，此類型之測點有 44k+850、44k+880、56k+453，瑕疵相對應深度及襯砌厚度如表 30 中所示。
4. 襯砌內部無裂縫(或瑕疵)但與噴凝土層介面可能有冷縫存在(狀態 C)，如測點 34k+180 及 60k+415，敲擊源為小球時無明顯瑕疵訊號，應力波之反射介面應在襯砌與噴凝土間，故可檢測出明顯的襯砌厚度訊號。
5. 襯砌內部有明顯層隙裂縫訊號，如測點 54k+433 及 60k+380，由於敲擊源不論為大球或是小球在襯砌內部均有明顯的反射訊號，推測其層隙裂縫範圍可能大於四倍層隙裂縫深度。
6. 襯砌內部有明顯層隙裂縫訊號但亦伴隨撓曲振動的訊號，如測點 34k+295、54k+540、60k+260，測點在敲擊源為大球時有撓曲振動的訊號，而小球有層隙裂縫訊號，推測此層隙裂縫之範圍可能在其深度的二至四倍左右。
7. 檢視表 30 所列之檢測結果，可知大竹一號隧道 54k+540 點位及多良

一號隧道 60k+260 點位檢測出大範圍明顯層隙裂縫深度較小，分別為 12.0 及 19.7 公分，需注意此處裂縫與隧道表面間混凝土可能會局部剝離。

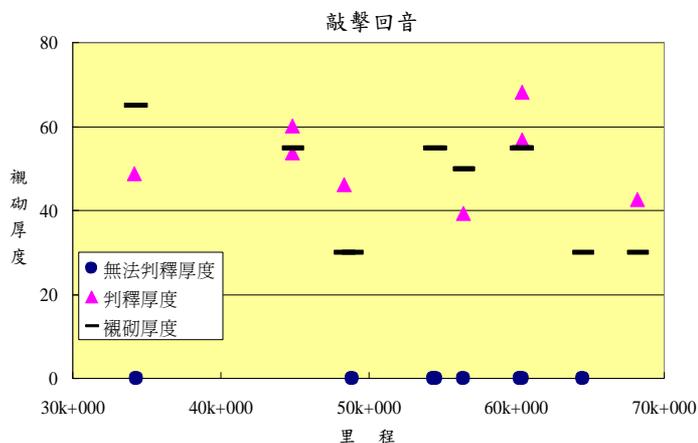


圖 53 各隧道敲擊回音檢測成果圖

3.7 裂縫寬度與深度探查

3.7.1 野外作業說明

詳細檢查階段的裂縫深度檢測，屬於不破壞受檢測物之原有特徵及其可用性，而能偵知其品質狀況的檢測方法。此項技術可針對混凝土表面發現的裂縫進行非破壞檢測，並成功地運用在新建土建工程的品質監管及建築物老劣化之診斷，對於混凝土的材料強度及其結構瑕疵可以有效地偵測。不僅迅速確實，且不破壞受檢結構物的完整性。圖 54 為本案實施裂縫深度及寬度檢測之實況。

以超音波波速量測材料品質選用適當頻率、確認超音波的傳遞時間並計算波在材料中移動的路徑長度，是最重要的品管要件。為使傳送端子與混凝土表面間能有良好的連結，需以凡士林、液體肥皂或潤滑油等塗抹其間。因為超音波無法傳送穿過裂縫，若有裂縫存在於傳送路徑上，則超音波會繞過裂縫而尋找其他路徑，故儀器顯示的時間，係由繞行孔裂縫後所得者，利用此特性可測得裂縫存在。



圖 54 裂縫深度及寬度檢測實況

超音波的基本原理是在待測物體上一點發出超音波脈波，量取從 A 點傳到 B 點所需要的時間。由於波的傳遞速度是根據介質的性質及質量而定，若已知質量及波的傳遞速度，便可評估其彈性性質，因此只要依據材料性質及所量測速度，便可用來評估材料之現存狀況。本案量測波速穿過混凝土的技術採用同面法 (same face method)，此法是當僅有一面混凝土表面可接近時採用。混凝土裂縫超音波檢測法基本原則，是透過聲波速度的量取了解該物體的彈性模數，受測物彈性模數與其強度極具相關性。本案以隧道掃描影像判釋為基礎量測重大裂縫之深度，共計 21 處。

3.7.2 資料處理及成果

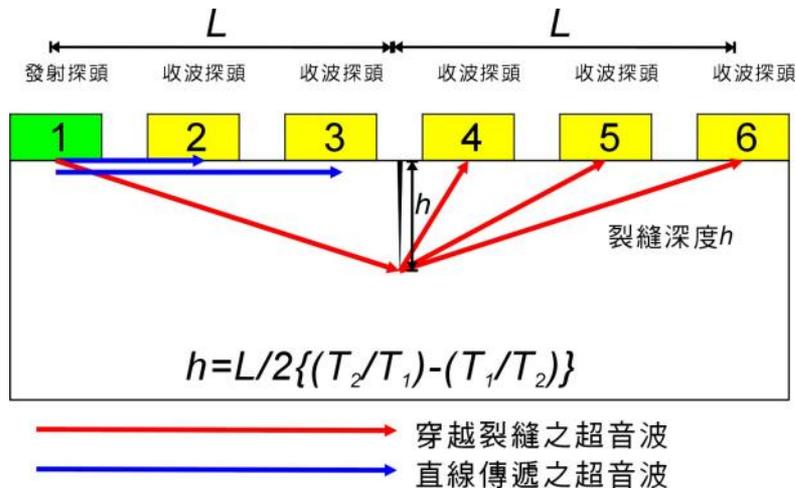


圖 55 超音波裂縫深度檢測原理

本案超音波最大能量大多受到混凝土劣化及地下水的影響，所接收到的訊號相當微弱，經由現場調整發射能量的強度後，亦能對於襯砌深層的混凝土裂隙進行檢測。如圖 55 所示，每個測站以 10cm 等距分佈；當裂隙位置在 3 號及 4 號之間時，超音波裂隙檢測首先放置發射探頭在 1 號位置，然後接收探頭依次放置在 2 號至 6 號位置；逐步紀錄超音波在不同位置所得到的初達波時間，即可構成該測站的超音波走時。

當發現裂隙位於 3 號與 4 號位置時，因波的行進受阻，所以會在此處產生 T1 與 T2 兩個時間落差。每個探頭間距 10cm(L=25cm)；由理論公式 $h(\text{裂隙深度})=L/2(T2/T1-T1/T2)$ 計算，可得此裂隙之計算深度。此外在量測深度時，亦使用裂隙量尺紀錄裂隙寬度，以增加裂隙觀測數值。詳細的裂隙量測成果列於表 31。

表 31 南迴鐵路隧道超音波檢測結果表

隧道名稱	組數	編號	里程	施測位置	裂隙觀測寬度(mm)	裂隙計算深度(cm)	襯砌設計厚度(cm)	裂隙深度比例(%)
安朔	2	1	34k+100	山側	0.8	27.7	65	43%
		2	34k+210	山側	0.6	22.4	65	34%
大武二號	2	3	44k+565	海側	0.4	8.4	55	15%
		4	44k+900	山側	0.7	22.9	55	42%
大鳥	3	5	46k+630	山側	0.4	9.5	30	32%
		6	47k+495	山側	0.6	14.5	30	48%
		7	48k+655	頂拱	0.7	17.1	30	57%
大竹一號	6	8	53k+700	山側	0.7	11.1	55	20%
		9	54k+110	山側	0.9	17.6	55	32%
		10	54k+180	山側	1.0	20.9	55	38%
		11	54k+275	山側	0.5	9.3	55	17%
		12	54k+440	山側	1.2	41.1	55	75%
13	54k+480	山側	0.7	17.3	55	31%		
大竹二號	1	14	56k+755	山側	0.5	8.8	55	16%
多良一號	3	15	60k+090	頂拱	0.7	14.6	55	27%
		16	60k+300	山側	0.8	15.8	55	29%
		17	60k+510	山側	0.7	10.8	55	20%
金崙	4	18	64k+800	山側	1.0	29.8	30	99%
		19	66k+505	山側	0.5	8.8	30	29%
		20	67k+745	山側	0.8	33	55	60%
		21	67k+825	山側	0.4	10.7	30	36%
合計	21							

註：表中“襯砌設計厚度”係參考各隧道新建工程竣工圖(東部鐵路改善工程局，民國 81 年)。

3.7.3 資料評估

由探測結果統計顯示，南迴七座隧道檢測中，裂縫深度 0~20cm 者計有 14 處，裂縫深度介於 20cm 與 40cm 者計有 6 處，裂縫深度大於 40cm 者計有 1 處。將檢測結果之裂縫深度與原設計襯砌厚度作比較，可顯示襯砌損壞程度，結果如圖 56。以下是將所有數據綜合之後進行初步損害評估的結果：

1. 在裂縫計算深度與襯砌厚度比較的樣本中，以金崙隧道里程 67K+745 的 33.0cm 與 64K+800 的 29.8cm、大竹一號隧道里程 54K+440 的 41.1cm 以及大鳥隧道里程 48K+655 的 17.1cm，均已超過原隧道襯砌設計厚度 50% 以上，顯示此處的裂縫深度已經達到相當嚴重的破壞程度，應予以適當補強以維安全。
2. 在裂縫計算深度介於襯砌厚度 25%~50% 的樣本中，共計發現 12 處。(金崙隧道里程 67K+825 的 10.7cm、66K+505 的 8.8cm、多良一號隧道里程 60K+300 的 15.8cm、60K+090 的 14.6cm、大竹一號隧道 54K+480 的 17.3cm、54K+180 的 20.9cm、54K+110 的 17.6cm、大鳥隧道里程 47K+495 的 14.5cm、46K+630 的 9.5cm、大武二號隧道 44K+900 的 22.9cm、安朔隧道 34K+210 的 22.4cm、34K+100 的 27.7cm) 這 12 處破壞程度已經將屆襯砌厚度的 50%，未來應持續觀察這 12 處裂縫附近的襯砌狀態，是否有繼續劣化的現象。

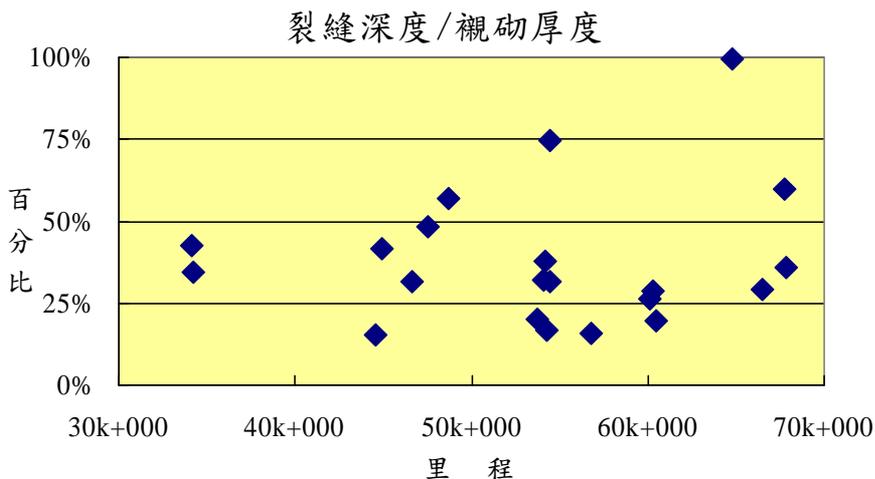


圖 56 超音波裂縫深度分析圖

3.8 混凝土強度錘試驗

3.8.1 野外作業

史密特錘試驗(Schmidt hammer test)為目前最常見的非破壞性混凝土簡易強度試驗。原本是處理混凝土品質檢測試驗，而後在岩石力學上被運用作為岩石強度評估的指數試驗，同樣也適用在混凝土強度檢測中。史密特錘試驗已列入 ASTM C805 規範之中，原理是利用彈簧壓縮釋放後，重錘撞擊岩石表面造成回彈，由重錘回彈位移的紀錄可得到試體強度的普遍特性。由史密特錘回彈值與岩石單壓強度關係的研究(Deere & Miller, 1966)中發現，回彈值與單壓強度間的關係受岩石之乾密度影響，根據此相關性可將成果繪製成試體單壓強度與不同乾密度下回彈值的關係，藉以快速修正回正確數值。本案共計施測 204 個測點，採用 Proceq 公司出品之 L-Type 型史密特錘(見圖 57)，最大衝擊能量約 0.75N-m，可有效使用在本案混凝土強度的檢測試驗。



圖 57 Proceq 公司 L-Type 史密特錘

在隧道目視發現有特殊異常的位置進行強度試驗，並配合混凝土抗壓強度試驗的數值予以修正。施測角度分為 0 及 90 度兩種，前者為垂直側壁，後者為垂直頂拱。檢測時取劣化位置點周邊九個試點，各試點間

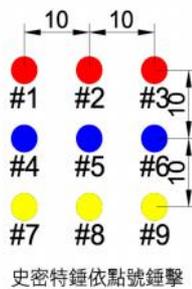


圖 58 史密特錘檢測說

距 10cm，而後將試錘的塞壓在試點的表面至退到錘體外殼邊緣，每個試點至少測試 2 次，如圖 58 所示；若各測點測試數值變化過大，則增加測試次數。當壓力達到釋放點時，試錘反彈高度的紀錄可作為反映硬度的指標。基本上每個施測位置最少可達 18 個紀錄數值，並取九個測點去除極大與極小的數值後綜合數值加以平均，作為該施測位置的標準讀數。

3.8.2 資料處理成果及研判

現場施測數量共計 204 組。將現場量測所得的史密特錘測試數據，根據原廠標準數值代換圖(如圖 59)進行數值讀取之後，即可得到表 25 的初步成果，進一步採用 ASTM 建議之程序修正史密特反彈錘之初步成果，根據混凝土鑽心之單壓強度與史密特反彈錘初步成果之比值，建立初步強度之修正係數，最大修正係數限定為 5，將史密特錘初步成果乘上修正係數，得到史密特錘之修正成果。

其中局部成果數值偏低，可能為現場施作位置多選擇為襯砌混凝土表面發生劣化現象處，致史密特反彈錘之初步成果數值偏低；另根據原廠數值代換圖(如圖 59)之建議，最終強度成果(Z_m)皆有極大值(Z_{max})與極小值(Z_{min})之分佈範圍，如強度為 100 kg/cm² 時分佈範圍分佈為±40 kg/cm²，強度為 200 kg/cm² 時分佈範圍分佈為±55 kg/cm²，鑒於此分佈之範圍相當大，建議本次利用史密特反彈錘推估之混凝土強度成果，僅具參考價值，混凝土實際強度仍以鑽心強度試驗成果代表為佳。

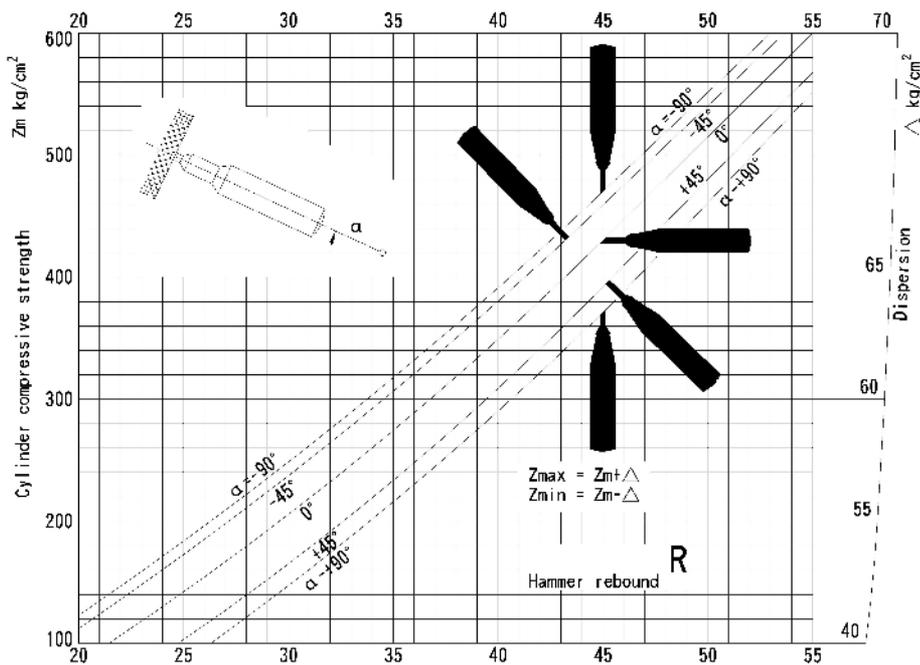


圖 59 史密特錘原廠數值代換圖

表 32 史密特錘現場施作成果表(1/5)

隧道名稱	組數	編號	隧道里程	施測位置	初步成果 (kg/cm ²)	混凝土強度 (kg/cm ²)	修正係數	修正成果 (kg/cm ²)
安朔	26	1	32k+700	山側	55.7	565.74	5.00	278
		2	32k+730	山側	37.0	565.74	5.00	185
		3	33k+075	山側	82.7	565.74	5.00	414
		4	33k+150	山側	73.2	565.74	5.00	366
		5	33k+250	山側	110.0	565.74	5.00	550
		6	33k+490	山側	70.4	565.74	5.00	352
		7	33k+580	山側	48.8	440.94	5.00	244
		8	33k+795	山側	49.0	173.62	3.54	174
		9	34k+095	山側	21.6	233.73	5.00	108
		10	34k+100	山側	49.5	233.73	4.72	234
		11	34k+115	山側	31.5	229.52	5.00	157
		12	34k+155	山側	61.4	229.52	3.74	230
		13	34k+175	頂拱	84.1	398.43	4.74	398
		14	34k+210	山側	55.9	232.93	4.17	233
		15	34k+233	山側	48.0	232.93	4.85	233
		16	34k+295	山側	162.5	414.38	2.55	414
		17	34k+495	山側	27.2	329.95	0.00	0
		18	35k+050	山側	30.2	329.95	0.00	0
		19	35k+935	山側	39.5	329.95	5.00	197
		20	37k+085	山側	94.4	281.71	2.98	282
		21	37k+245	山側	30.9	312.23	3.31	102
		22	37k+435	山側	79.5	312.23	3.93	312
		23	37k+555	山側	17.0	312.23	0.00	0
		24	37k+610	山側	0.0	312.23	0.00	0
		25	37k+800	山側	73.3	350.87	4.78	351
		26	37k+985	山側	34.4	350.87	5.00	172
大武二號	23	27	44k+200	山側	27.2	411.56	0.00	0
		28	44k+245	山側	159.5	363.80	2.28	364
		29	44k+260	山側	83.5	363.80	4.36	364
		30	44k+530	山側	65.5	363.80	5.00	327
		31	44k+555	山側	135.4	363.80	2.69	364
		32	44k+565	山側	116.5	363.80	3.12	364
		33	44k+575	山側	172.4	363.80	2.11	364
		34	44k+585	山側	229.4	469.40	2.05	469
		35	44k+640	山側	97.6	469.40	4.81	469
		36	44k+660	山側	107.4	505.72	4.71	506
		37	44k+675	山側	184.5	505.72	2.74	506
		38	44k+740	海側	85.8	505.72	5.00	429
		39	44k+760	山側	144.7	406.24	2.81	406
		40	44k+770	山側	42.7	406.24	5.00	214
		41	44k+850	頂拱	184.8	406.24	2.20	406
		42	44k+860	頂拱	250.6	318.04	1.72	431
		43	44k+870	頂拱	228.7	447.08	1.95	447

表 32 史密特錘現場施作成果表(2/5)

隧道名稱	組數	編號	隧道里程	施測位置	初步成果 (kg/cm ²)	混凝土強度 (kg/cm ²)	修正係數	修正成果 (kg/cm ²)
安朔	26	44	44k+880	頂拱	203.0	447.08	2.20	447
		45	44k+900	海側	116.0	266.08	1.31	152
		46	44k+920	山側	78.9	266.08	3.37	266
		47	45k+040	山側	23.9	319.68	5.00	119
		48	45k+135	山側	192.3	462.60	2.41	463
		49	45k+165	山側	49.8	462.60	5.00	249
大鳥	55	50	46k+160	山側	198.3	320.56	1.62	321
		51	46k+200	山側	181.1	320.56	1.77	321
		52	46k+225	山側	296.7	346.70	1.17	347
		53	46k+285	山側	93.0	346.70	3.73	347
		54	46k+320	山側	77.9	306.08	3.93	306
		55	46k+330	山側	82.3	355.45	4.32	355
		56	46k+360	山側	135.8	411.14	3.03	411
		57	46k+405	山側	145.8	411.14	2.82	411
		58	46k+435	山側	237.6	524.87	2.21	525
		59	46k+490	山側	133.0	524.87	3.95	525
		60	46k+525	山側	193.9	524.87	2.71	525
		61	46k+535	山側	39.8	399.52	5.00	199
		62	46k+630	山側	144.7	317.41	2.19	317
		63	46k+650	山側	249.7	317.41	1.27	317
		64	46k+680	山側	187.9	317.41	1.69	317
		65	46k+700	山側	169.7	317.41	1.87	317
		66	46k+765	山側	138.3	446.62	3.23	447
		67	46k+860	山側	205.2	446.62	2.18	447
		68	46k+950	山側	213.8	446.62	2.09	447
		69	47k+055	山側	97.4	446.62	4.59	447
		70	47k+265	山側	234.8	446.62	1.90	447
		71	47k+305	山側	156.8	446.62	2.85	447
		72	47k+330	山側	192.8	446.62	2.32	447
		73	47k+380	山側	61.2	446.62	5.00	306
		74	47k+430	山側	256.1	446.62	1.74	447
		75	47k+450	山側	36.9	446.62	5.00	185
		76	47k+495	山側	132.8	332.71	2.50	333
		77	47k+545	山側	204.7	332.71	1.63	333
		78	47k+645	山側	126.5	266.44	2.11	266
		79	47k+675	山側	161.2	266.44	1.65	266
		80	47k+695	山側	49.1	266.44	5.00	245
		81	47k+850	山側	98.0	266.44	2.72	266
		82	47k+895	山側	167.2	299.14	1.79	299
		83	47k+910	山側	257.7	299.14	1.16	299
		84	47k+930	山側	232.3	299.14	1.29	299
85	48k+020	山側	138.1	299.14	2.17	299		

表 32 史密特錘現場施作成果表(3/5)

隧道名稱	組數	編號	隧道里程	施測位置	初步成果 (kg/cm ²)	混凝土強度 (kg/cm ²)	修正係數	修正成果 (kg/cm ²)
大鳥	55	86	48k+080	山側	112.7	299.14	2.65	299
		87	48k+105	山側	116.4	299.14	2.57	299
		88	48k+360	山側	53.1	222.04	4.18	222
		89	48k+535	山側	90.9	336.64	3.70	337
		90	48k+655	山側	308.8	336.64	1.09	337
		91	48k+865	山側	174.5	383.00	2.20	383
		92	48k+915	山側	373.4	383.00	1.03	383
		93	49k+000	山側	78.3	383.00	4.89	383
		94	49k+035	山側	175.5	383.00	2.18	383
		95	49k+120	山側	156.6	383.00	2.45	383
		96	49k+201	山側	134.2	383.00	2.85	383
		97	49k+235	山側	194.7	502.68	2.58	503
		98	49k+255	山側	186.9	502.68	2.69	503
		99	49k+305	山側	144.4	502.68	3.48	503
		100	49k+390	山側	226.0	502.68	2.22	503
		大竹一號	32	101	49k+510	山側	224.3	335.60
102	49k+560			山側	154.0	335.60	2.18	336
103	49k+580			山側	134.7	335.60	2.49	336
104	49k+715			山側	126.3	335.60	2.66	336
105	53k+590			海側	344.1	335.60	0.98	336
106	53k+635			頂拱	150.6	335.60	2.23	336
107	53k+650			頂拱	108.2	237.39	2.19	237
108	53k+690			頂拱	130.7	237.39	1.82	237
109	53k+810			頂拱	79.5	271.57	3.42	272
110	53k+860			山側	46.5	271.57	5.00	232
111	53k+900			山側	148.7	271.57	1.83	272
112	53k+985			山側	29.6	271.57	0.00	0
113	54k+110			山側	113.7	271.57	2.39	272
114	54k+140			頂拱	57.1	457.82	5.00	285
115	54k+180			山側	66.5	457.82	5.00	333
116	54k+200			頂拱	93.8	435.05	4.64	435
117	54k+243			山側	38.3	435.05	0.00	0
118	54k+275			山側	52.0	435.05	5.00	260
119	54k+320			頂拱	100.3	435.05	4.34	435
120	54k+340			頂拱	92.1	240.72	2.61	241
121	54k+390			山側	44.4	240.72	5.00	222
122	54k+430			頂拱	257.6	240.72	0.93	241
123	54k+440			山側	138.6	113.14	0.82	113
124	54k+470			頂拱	189.2	81.02	0.43	81
125	54k+480			山側	80.7	81.02	1.00	81
126	54k+490			頂拱	148.8	81.02	0.54	81
127	54k+520			頂拱	95.7	429.87	4.49	430
128	54k+540			頂拱	168.7	412.36	2.44	412
129	54k+550			海側	58.0	412.36	5.00	290
130	54k+595			山側	139.2	412.36	2.96	412

表 32 史密特錘現場施作成果表(4/5)

隧道名稱	組數	編號	隧道里程	施測位置	初步成果 (kg/cm ²)	混凝土強度 (kg/cm ²)	修正係數	修正成果 (kg/cm ²)
大竹一號	32	131	54k+625	山側	80.9	412.36	5.00	405
		132	54k+675	山側	56.2	412.36	5.00	281
		133	54k+735	山側	245.4	412.36	1.68	412
		134	54k+750	頂拱	139.7	412.36	2.95	412
		135	54k+805	山側	134.6	412.36	3.06	412
		136	54k+945	山側	169.3	412.36	2.44	412
大竹二號	7	137	56k+165	山側	109.7	354.49	3.23	354
		138	56k+435	頂拱	119.8	286.30	2.39	286
		139	56k+445	頂拱	184.4	396.24	2.15	396
		140	56k+625	山側	108.6	319.26	2.94	319
		141	56k+755	山側	37.6	450.58	5.00	188
		142	56k+880	山側	0.0	450.58	0.00	0
		143	56k+975	山側	21.7	450.58	0.00	0
多良一號	24	144	59k+285	海側	155.5	450.58	2.90	451
		145	59k+378	頂拱	221.9	450.58	2.03	451
		146	60k+050	頂拱	184.3	450.58	2.45	451
		147	60k+080	頂拱	149.3	450.58	3.02	451
		148	60k+090	頂拱	87.8	379.24	4.32	379
		149	60k+115	頂拱	238.8	394.64	1.65	395
		150	60k+120	頂拱	210.9	394.64	1.87	395
		151	60k+150	頂拱	193.9	343.25	1.77	343
		152	60k+200	頂拱	33.3	460.09	5.00	167
		153	60k+240	頂拱	99.6	460.09	4.62	460
		154	60k+250	頂拱	143.3	460.09	3.21	460
		155	60k+260	頂拱	93.0	279.52	3.00	280
		156	60k+280	頂拱	125.3	279.52	2.23	280
		157	60k+300	頂拱	171.8	215.52	1.25	216
		158	60k+305	頂拱	163.0	315.32	1.93	315
		159	60k+315	頂拱	170.2	130.31	0.77	130
		160	60k+350	頂拱	172.9	130.31	0.75	130
		161	60k+370	頂拱	345.7	130.31	0.38	130
		162	60k+380	頂拱	97.3	321.87	3.31	322
		163	60k+390	頂拱	278.3	321.87	1.16	322
		164	60k+400	頂拱	177.8	314.50	1.77	315
		165	60k+450	頂拱	149.6	314.50	2.10	315
		166	60k+500	頂拱	55.2	122.95	2.23	123
		167	60k+515	頂拱	87.5	391.95	4.48	392

表 32 史密特錘現場施作成果表(5/5)

隧道名稱	組數	編號	隧道里程	施測位置	初步成果 (kg/cm ²)	混凝土強度 (kg/cm ²)	修正係數	修正成果 (kg/cm ²)
全崙	37	168	64k+700	山側	187.6	242.95	1.29	243
		169	64k+715	山側	159.2	242.95	1.53	243
		170	64k+730	山側	195.5	291.73	1.49	292
		171	64k+740	山側	81.9	291.73	3.56	292
		172	64k+750	山側	163.5	291.73	1.78	292
		178	64k+840	頂拱	129.2	188.44	1.46	188
		179	64k+860	頂拱	228.1	188.44	0.83	188
		180	64k+870	頂拱	119.9	188.44	1.57	188
		181	64k+950	頂拱	136.6	188.44	1.38	188
		182	64k+980	頂拱	168.9	418.21	2.48	418
		183	64k+990	山側	74.2	418.21	5.00	371
		184	64k+990	海側	223.8	258.94	1.16	259
		185	65k+000	海側	289.8	258.94	0.89	259
		186	65k+001	海側	223.7	258.94	1.16	259
		187	65k+100	山側	181.2	258.94	1.43	259
		188	65k+600	海側	56.7	360.88	5.00	284
		189	66k+060	山側	85.1	360.88	4.24	361
		190	66k+140	海側	229.5	360.88	1.57	361
		191	66k+165	海側	214.9	360.88	1.68	361
		192	66K+680	海側	128.4	343.54	2.68	344
		193	67K+265	山側	150.6	249.09	1.65	249
		194	67K+910	山側	123.4	249.09	2.02	249
		195	68k+120	海側	137.0	286.60	2.09	287
		196	68K+115	海側	174.5	286.60	1.64	287
		197	68K+160	山側	136.7	376.50	2.75	377
		198	68K+170	山側	142.2	376.50	2.65	377
		199	68K+185	山側	315.0	412.02	1.31	412
200	68K+205	山側	117.5	412.02	3.51	412		
201	68K+215	山側	113.3	412.02	3.64	412		
202	68K+230	山側	73.9	306.55	4.15	307		
203	68K+250	山側	86.3	306.55	3.55	307		
204	68K+275	山側	174.1	352.80	2.03	353		
合計	204							

考量史密特錘之試驗方法極易受混凝土表面狀況(蜂窩、裂縫、剝落)影響,故本項目之檢測數值僅可供作一般性襯砌強度檢驗之參考,依據部分偏低數值可用來判斷襯砌可能轉弱的區段,實際混凝土強度建議以鑽心抗壓試驗結果為準。若以南迴隧道襯砌原始混凝土設計強度為210kg/cm²作為基準,各隧道之檢測結果如圖60。

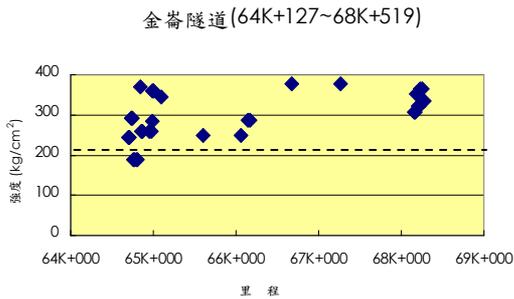
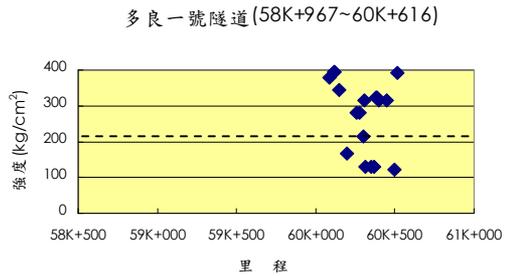
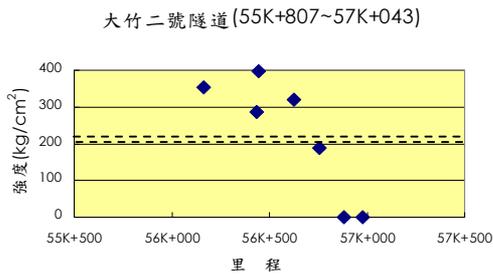
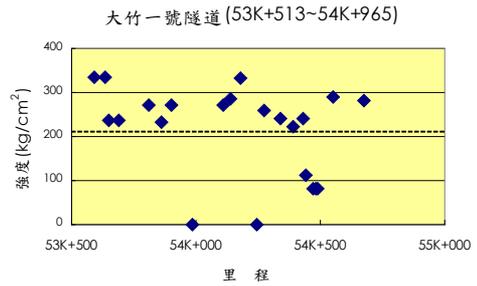
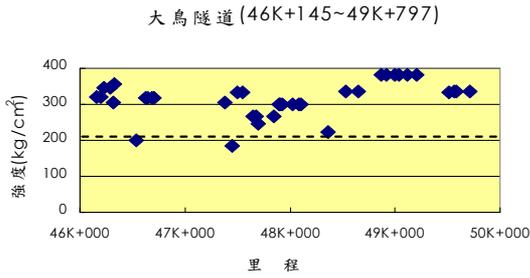
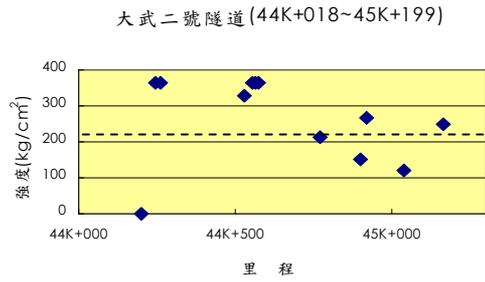
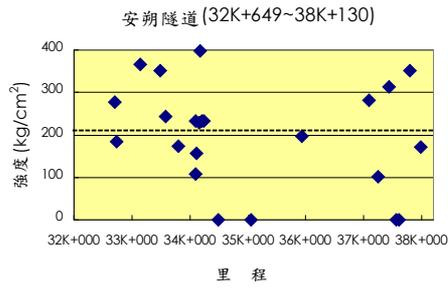


圖 60 各隧道史密特錘檢測成果圖

3.9 隧道鑽孔探查、取樣及室內抗壓強度試驗

3.9.1 鑽孔探查及取樣

本案鑽孔探查分別於隧道目視檢查之混凝土劣化處、襯砌剝落處、裂縫位置、混凝土膠結不良處、滲水位置等側壁或頂拱鑽孔取樣，共計 94 組鑽孔，每座隧道各取 1~2 處貫穿襯砌鑽心，以驗證襯砌真實厚度。詳細取樣數量及成果如表 26，現場作業實況如圖 61 所示。



圖 61 鑽心取樣現場作業照片

各隧道於鑽心取樣時均有部分鑽心穿透整個隧道襯砌，應可概略顯示隧道之襯砌厚度，可與設計厚度、透地雷達及敲擊回音檢測資料綜合研判襯砌厚度之變化。本案鑽孔探查時，因鑽心位置大多屬於混凝土劣化程度較高，或襯砌表面嚴重滲水的區段，在拔取不穩定鑽心時可能會因鑽心材質已經劣化，而導致鑽心邊緣受損斷裂的情況。

3.9.2 室內抗壓強度試驗

本工作共進行 94 組混凝土鑽心抗壓強度試驗，其中於金崙隧道計 18 組，多良一號隧道 12 組，大竹二號隧道 5 組，大竹一號隧道 10 組，大鳥隧道 20 組，大武二號隧道 13 組及安朔隧道 16 組，詳細試驗照片置於附錄 H，試驗結果整理如表 33。鑽心破壞形式如下所示：

表 33 混凝土鑽心取樣及抗壓試驗結果(1/3)

隧道名稱	組數	編號	里 程	取樣位置	長度 (cm)	長徑比 L/D	修正係數(f)	最大荷重 (kgf)	試體面積 (cm ²)	抗壓強度 (kgf/cm ²)	破壞型態 (*)
安朔	16	1	32K+691	海側	17.9	1.84	1	13441	23.76	565.74	C
		2	33K+491	山側	17.8	1.84	1	10476	23.76	440.94	C
		3	33K+784	海側	19.3	1.78	1	4125	23.76	173.62	C
		4	34K+093	海側	18.7	1.8	1	5553	23.76	233.73	C
		5	34K+114	海側	18.3	1.78	1	5453	23.76	229.52	B
		6	34K+156	山側	18.7	1.84	1	9466	23.76	398.43	B
		7	34K+176-3	山側	57.5	1.82	1	8409	23.76	353.94	A
		8	34K+206	山側	18.7	1.85	1	5534	23.76	232.93	C
		9	34K+241	山側	19.0	1.82	1	8614	23.76	362.57	A
		10	34K+293	山側頂	30.8	1.87	1	9845	23.76	414.38	A
		11	34K+490	海側	18.5	1.76	1	7839	23.76	329.95	A
		12	35K+987	山側	18.6	1.78	1	6693	23.76	281.71	A
		13	37K+087	海側	19.1	1.84	1	7418	23.76	312.23	A
		14	37K+617	海側	18.1	1.84	1	6406	23.76	269.63	C
		15	37K+621	海側	18.7	1.85	1	8336	23.76	350.87	C
		16	37K+987	山側	19.0	1.73	0.98	9778	23.76	411.56	B
大武二號	13	17	44K+202	山側	19.0	1.84	1	8368	23.76	352.20	A
		18	44K+244	山側	18.7	1.73	0.98	8643	23.76	363.80	A
		19	44K+585	山側	18.7	1.85	1	11152	23.76	469.40	B
		20	44K+660	海側	18.3	1.84	1	12015	23.76	505.72	A
		21	44K+743-2	海側	18.5	1.69	0.98	10294	23.76	433.28	C
		22	44K+760	山側	19.8	1.82	1	9652	23.76	406.24	B
		23	44K+854	山側頂	59.5	1.82	1	7556	23.76	318.04	A
		24	44K+867	山側	20.3	1.76	1	10622	23.76	447.08	C
		25	44K+884	海側	72.5	1.84	1	6322	23.76	266.08	A
		26	44K+962	山側	19.0	1.84	1	8330	23.76	350.61	B
		27	45K+023	海側	18.0	1.82	1	7595	23.76	319.68	C
		28	45K+070	山側	20.2	1.78	1	10991	23.76	462.60	B
		29	45K+172	山側	18.3	1.8	1	7904	23.76	332.70	C

表 33 混凝土鑽心取樣及抗壓試驗結果(2/3)

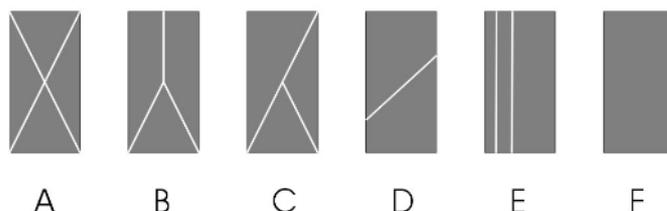
隧道名稱	組數	編號	里 程	取樣位置	長度 (cm)	長徑比 L/D	修正係數(f)	最大荷重 (kgf)	試體面積 (cm ²)	抗壓強度 (kgf/cm ²)	破壞型態 (*)
大鳥	20	30	46K+160	海側	19.8	1.87	1	7616	23.76	320.56	C
		31	46K+220	海側	19.7	1.87	1	8237	23.76	346.70	C
		32	46K+320	海側	19.0	1.85	1	7272	23.76	306.08	A
		33	46K+330	海側	18.7	1.84	1	8445	23.76	355.45	A
		34	46K+360	海側	18.1	1.82	1	9768	23.76	411.14	B
		35	46K+435	海側	17.9	1.84	1	12470	23.76	524.87	B
		36	46K+535	海側	18.5	1.73	0.98	9492	23.76	399.52	C
		37	46K+630	海側	19.0	1.76	1	7541	23.76	317.41	B
		38	46K+765	海側	18.1	1.84	1	10611	23.76	446.62	B
		39	47K+495	山側	19.0	1.85	1	7920	23.76	333.36	A
		40	47K+546	山側	19.5	1.64	0.97	9906	23.76	416.96	A
		41	47K+641	山側	18.0	1.84	1	6330	23.76	266.44	B
		42	47K+851	山側	18.0	1.82	1	8053	23.76	338.96	B
		43	47K+894	山側	18.0	1.73	0.98	7107	23.76	299.14	A
		44	48K+358	海側	54.2	1.84	1	5275	23.76	222.04	C
		45	48K+532	山側	18.0	1.69	0.98	7998	23.76	336.64	A
		46	48K+657	海側頂	18.5	1.78	1	6517	23.76	274.32	A
		47	48K+865	海側	36.3	1.82	1	9099	23.76	383.00	A
		48	49K+234	山側	18.1	1.84	1	11943	23.76	502.68	B
49	49K+392	山側	19.0	1.82	1	7973	23.76	335.6	A		
大竹一號	10	50	53K+650	海側	18.0	1.84	1	5640	23.76	237.39	B
		51	53K+810	海側	19.0	1.87	1	6452	23.76	271.57	C
		52	54K+140	海側	18.7	1.84	1	10877	23.76	457.82	A
		53	54K+200	海側	18.1	1.82	1	10336	23.76	435.05	A
		54	54K+340	海側	18.2	1.82	1	5719	23.76	240.72	A
		55	54K+432	山側	30.6	1.89	1	2688	23.76	113.14	C
		56	54K+470	山側	19.7	1.84	1	1925	23.76	81.02	C
		57	54K+520	山側	19.3	1.82	1	10213	23.76	429.87	B
		58	54K+540	海側	52.9	1.85	1	9797	23.76	412.36	B
		59	54K+965	海側	18.7	1.78	1	4996	23.76	210.27	D
大竹二號	5	60	56K+165	海側	19.0	1.82	1	8422	23.76	354.49	B
		61	56K+435	海側	52.4	1.89	1	6802	23.76	286.3	C
		62	56K+445	海側	18.6	1.87	1	9414	23.76	396.24	D
		63	56K+625	海側	18.3	1.91	1	7585	23.76	319.26	B
		64	56K+755	山側	18.7	1.95	1	10705	23.76	450.58	B
多良一號	12	65	60K+090	海側	18.7	1.76	1	9010	23.76	379.24	B
		66	60K+110	海側	19.1	1.78	1	9376	23.76	394.64	A
		67	60K+150	山側	19.0	1.8	1	8155	23.76	343.25	A

表 33 混凝土鑽心取樣及抗壓試驗結果(3/3)

隧道名稱	組數	編號	里 程	取樣位置	長度 (cm)	長徑比 L/D	修正係數(f)	最大荷重 (kgf)	試體面積 (cm ²)	抗壓強度 (kgf/cm ²)	破壞型態 (*)
多良一號	12	68	60K+200	山側	19.3	1.82	1	10931	23.76	460.09	A
		69	60K+260	山側	19.8	1.84	1	6641	23.76	279.52	C
		70	60K+300	山側	18.0	1.84	1	5120	23.76	215.52	D
		71	60K+305	山側	19.3	1.85	1	7491	23.76	315.32	C
		72	60K+315	海側	18.1	1.78	1	3096	23.76	130.31	C
		73	60K+380	海側	43.5	1.84	1	7647	23.76	321.87	A
		74	60K+400	山側	17.7	1.84	1	7472	23.76	314.50	B
		75	60K+500	山側	18.3	1.82	1	2921	23.76	122.95	A
		76	60K+515	山側	18.0	1.87	1	9312	23.76	391.95	A
金崙	18	77	64K+450	海側-內	41.6	1.73	0.98	9547	23.76	401.84	B
			64K+450	海側-外	17.8	1.78	1	10857	23.76	456.98	D
		78	64K+675	海側	18.1	1.84	1	5772	23.76	242.95	B
		79	64K+720	海側	19.0	1.78	1	6931	23.76	291.73	C
		80	64K+760	海側	18.1	1.82	1	4477	23.76	188.44	B
		81	64K+820	山側	19.0	1.78	1	9936	23.76	418.21	D
		82	64K+860	山側	19.7	1.82	1	6152	23.76	258.94	B
		83	64K+990	山側	19.0	1.84	1	8574	23.76	360.88	B
		84	65K+100	海側	18.0	1.78	1	8162	23.76	343.54	C
		85	65K+600	海側	18.1	1.82	1	5918	23.76	249.09	D
		86	66K+060	山側	19.0	1.84	1	5918	23.76	249.09	D
		87	66K+140	海側	19.7	1.84	1	6809	23.76	286.6	A
		88	66K+680	海側	19.1	1.69	0.98	8945	23.76	376.5	B
		89	67K+910	山側	18.7	1.82	1	9789	23.76	412.02	A
		90	68K+160	山側	19.0	1.85	1	7283	23.76	306.55	B
		91	68K+185	山側	19.3	1.84	1	8382	23.76	352.8	B
92	68K+205	山側	20.1	1.84	1	7626	23.76	320.98	A		
93	68K+230	海側	19.1	1.87	1	8691	23.76	365.81	C		
94	68K+275	海側	18.0	1.84	1	10973	23.76	461.86	C		
合計	94										

*註：

鑽心破壞形式



因南迴隧道襯砌之混凝土設計強度為 210kg/cm^2 ，故分析各隧道混凝土鑽心試體抗壓試驗結果，其中大竹二號、大鳥及大武二號隧道之試驗值均大於 210kg/cm^2 ，金崙隧道則有一個試體試驗值低於 210kg/cm^2 ，強度為 188.44kg/cm^2 （里程 $64\text{K}+740$ ），多良一號隧道有二個試體試驗值低於 210kg/cm^2 ，強度分別為 130.31 及 122.95kg/cm^2 （里程 $60\text{K}+315$ 、 $60\text{K}+500$ ），大竹一號隧道有二個試體試驗值低於 210kg/cm^2 ，強度分別為 113.14 及 81.02kg/cm^2 （里程 $54\text{K}+432$ 、 $54\text{K}+470$ ），安朔隧道有一個試體試驗值低於 210kg/cm^2 ，強度為 173.62kg/cm^2 （里程 $33\text{K}+784$ ），各隧道試驗結果分析如圖 62 所示。

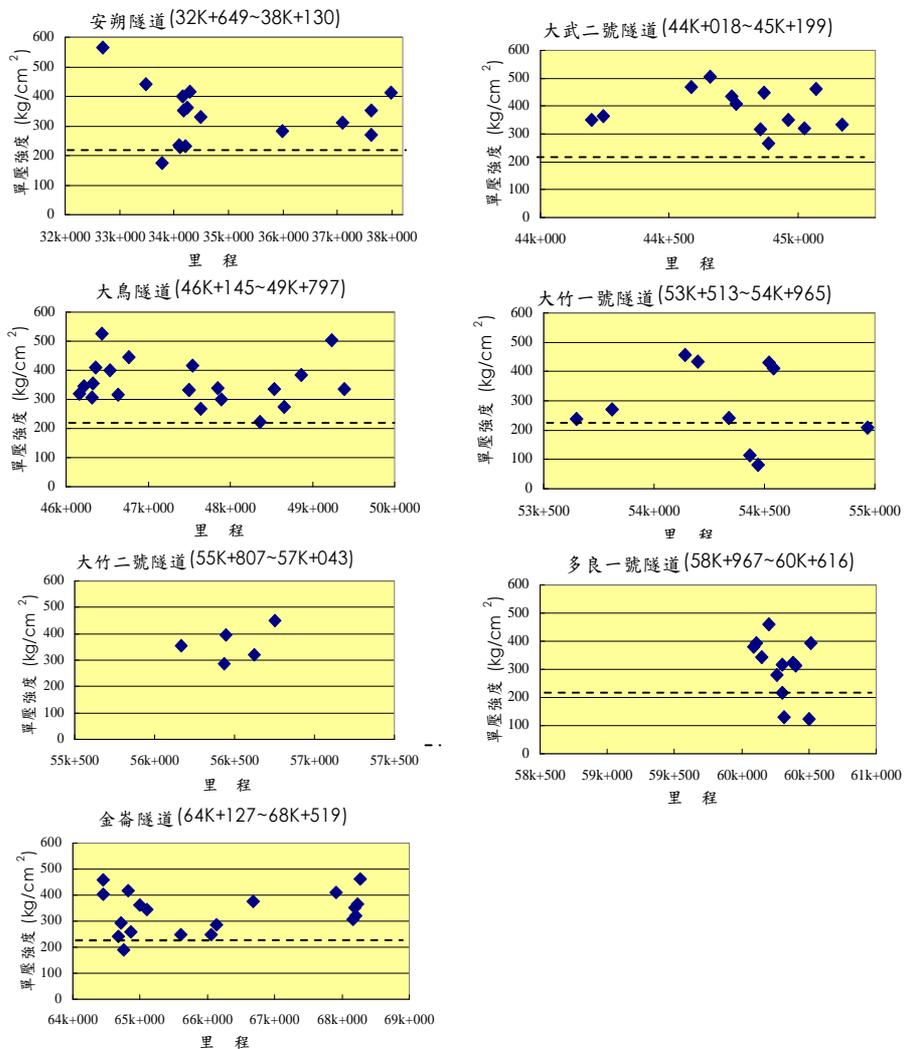


圖 62 各隧道混凝土鑽心抗壓試驗分析圖

減少民眾跨越軌道發生事故價值工程研析

程玉傑¹

1、緣起與目的

臺灣鐵路全長 1100 多公里，載客量每日達 47 萬人次，每隔約 10 多分鐘即有一列車次通過，堪稱全世界行車密度最高的國家之一。

臺鐵、高鐵與捷運之最大的差異點在於高鐵及捷運屬於 A 路權(註 1)，而臺鐵屬於 B 路權(註 2)，除平交道外，其餘大部分地區均以設置阻隔設施來防止民眾任意進入，也因此造成部分居住於路線兩側之居民常為貪圖便利，私自佔耕(註 3)、佔建(註 4)或任意跨越軌道，儘管臺鐵沿途廣設禁止通行之警告標語並大力宣導，仍無法有效嚇阻民眾任意跨越軌道。根據臺鐵行保會統計，自民國 91 年至 95 年間，於鐵路範圍發生事故而造成之人命損傷計 489 人，直接地影響列車運行，也造成乘客經濟時間的損耗及無價生命的損失，間接地也因破碎家庭的產生，而衍生國家社會的沉重負擔。

有鑒於人命之無價及提升國家社會的生產競爭力，本小組特地針對鐵路沿途如何隔絕民眾進入之構想，以價值工程之手法研析各項可行方案並進行成果評估，期使臺鐵進入一個準點、零災害以及不論臺鐵或社會都充滿微笑的一個嶄新年代。

2、標的說明與目標

2.1 目前現況

根據本小組由本局工務處所屬七個工務段所提供之行車事故報告資料顯示，自民國 91 年至 95 年間，民眾於軌道內發生傷亡人數合計 489 人，詳如下表所示：

91~95 年本局各工務段民眾於鐵路路線上之傷亡人數統計

單位：人

單位 項目	臺北 工務段	臺中 工務段	嘉義 工務段	高雄 工務段	宜蘭 工務段	花蓮 工務段	臺東 工務段	合計
死亡	88	78	65	82	43	17	6	379
受傷	46	11	11	13	19	7	3	110
合計	134	89	76	95	62	24	9	489

¹本局嘉義工務段永康道班技術副領班

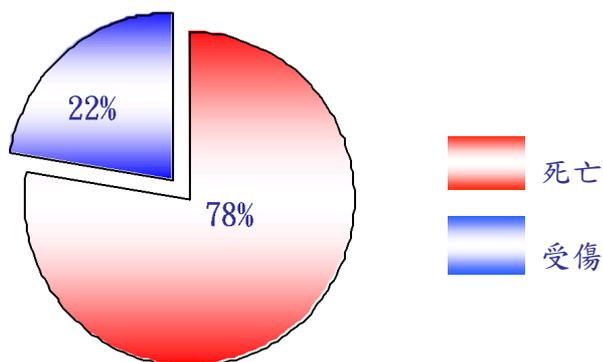
91~95 年民眾於鐵路路線上之傷亡事故統計

單位:人

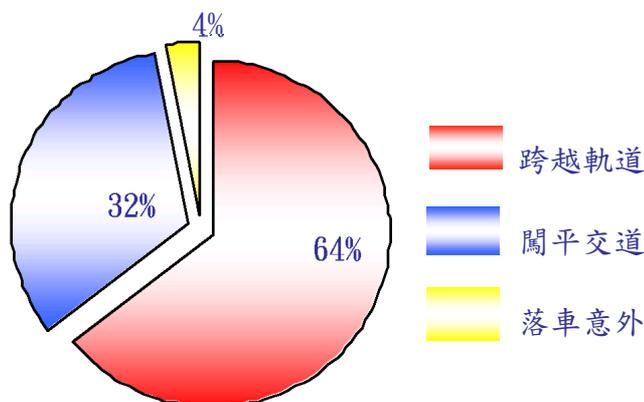
單位 項目	跨越軌道	闖越平交道	落車意外	合計	平均一年
死亡	277	90	12	379	76
受傷	38	69	3	110	22
合計	315	159	15	489	98

91-95 年間民眾於軌道路線內因跨越軌道(註 5)、闖越平交道(註 6)及落車意外(註 7)發生傷亡人數合計 489 人，其中以跨越軌道之 315 人傷亡為最高，平均每年有 98 人於軌道內發生傷亡事故，其中 76 人於軌道路線內死亡。

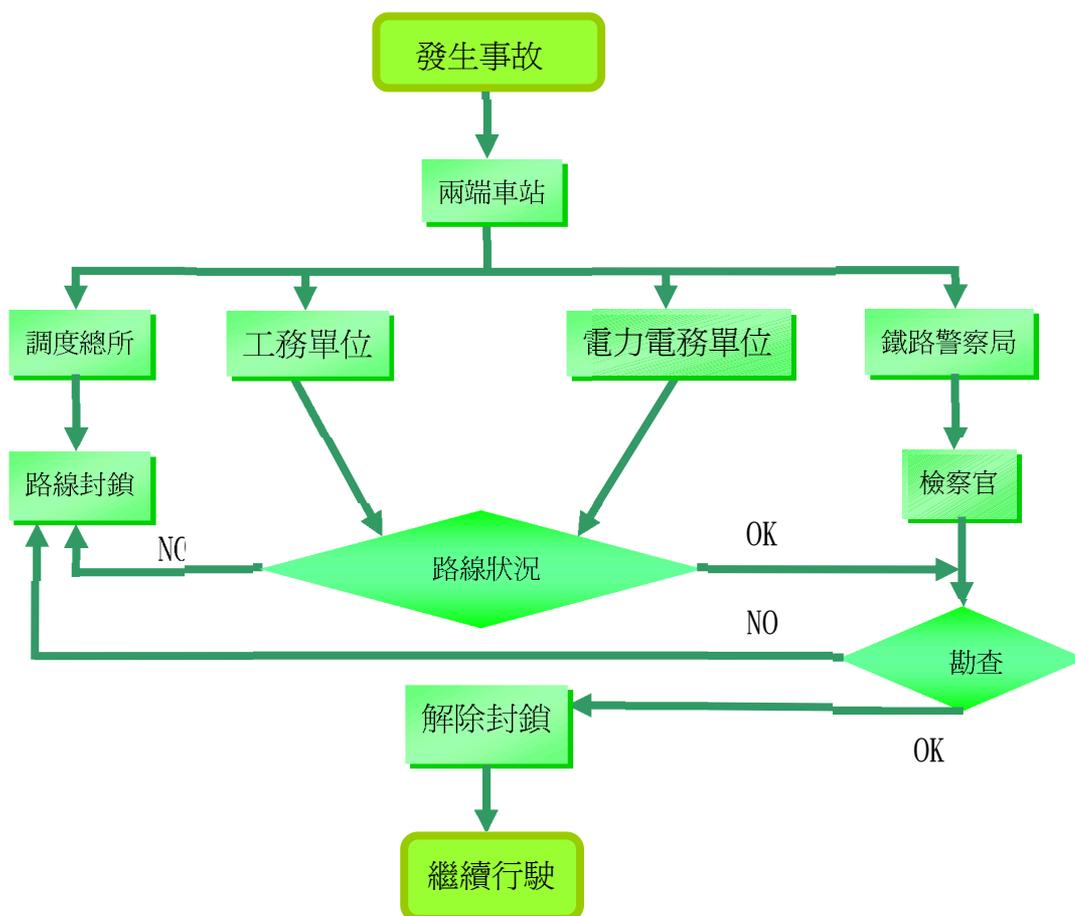
經過本小組以各工務段行車事故報告中所紀錄之事故原因及傷亡人數統計：379 人死亡佔全部死傷人數的 78%，110 人受傷佔全部死傷人數的 22%，其比例以如下之圓形圖表示：



以傷亡事故發生原因分析，其中以跨越軌道佔 64%、闖平交道佔 32% 及落車意外佔 4% 等三大事故因素為最主要，其比例以如下之圓形圖表示：



當列車於軌道內發生傷亡事故時，由列車長通知兩端車站並由兩端車站報告調度員進行路線封鎖(註 8)，並通知工務、電力、電務單位及鐵路警察局等至現場進行各項軌道設施檢查，待檢察官勘驗現場並經工務、電力及電務單位確認軌道運行無礙後，經調度員核可並解除路線封鎖，列車始可繼續行駛，詳細流程圖如下圖所示：



據統計，自列車發生事故起至列車恢復行駛，其所需總時間平均約為 1.5 小時，此時間僅為事故處理時間，尚未包括因路線封鎖所延誤之其他列車誤點時間，因此事故一旦發生後，所虛耗之人力成本、時間成本均不容輕忽。

2.2 研析目標

本小組希望在所有機能維持不變的狀況下，使民眾於軌道路線內發生傷亡人數減少 70%。

2.3 研析小組

本小組由本局最基層之工務處嘉義工務段道班員工及局本部秘書室所組成，成員如下：

姓名	單位
劉建宏	工務處嘉義工務段技術領班
劉旻霈	工務處嘉義工務段技術領班
王貴民	工務處嘉義工務段技術副領班
游子嫻	局本部秘書室二課
張 慧	局本部秘書室二課
程玉傑	工務處嘉義工務段技術副領班



3、研析過程

研析流程圖



研析進度計畫表

本小組依照既定之計畫逐步完成各項研析步驟，計畫表如下所示：

研析步驟	95 年								研析工具
	十一月				十二月				
研析標的選定	●								小組討論
研析計畫	●								進度計畫表
資料階段	●	●							成本模式圖 成本條狀圖
機能階段			●						機能分析表 Fast 圖
創意階段			●						機能創意構想表
評估階段			●	●	●				田口分析 評估 矩陣分析 優缺點比較
提出建議案						●	●	●	建議案工作表 書面報告 簡報

3.1 資料階段

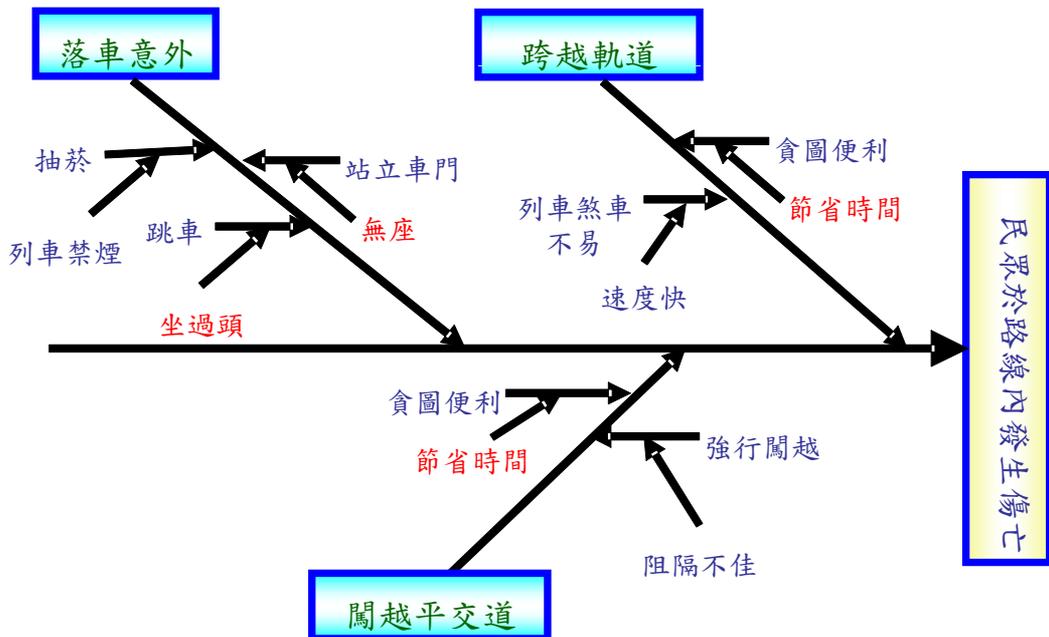
3.1.1 資料收集

為完成本次標的之各項研析工作，本小組由各小組成員至各單位進行資料收集並詳查整理，所收集之資料如下表所示：

項 目	已蒐集	未蒐集
各區間民眾跨越軌道死傷紀錄	※	
各區間民眾闖越平交道死傷紀錄	※	
各區間民眾發生落車意外死傷紀錄	※	

3.1.2 要因分析

本小組以魚骨圖進行跨越軌道、闖越平交道、落車意外三大傷亡要
因的分析，魚骨圖如下圖所示：



由魚骨圖可以發現到，民眾於軌道內發生傷亡有節省時間、貪圖便利、無座站立車門及坐過頭緊急跳車三大要因。

3.1.3 成本分析

本小組以減少民眾於路線內傷亡為研析標的將其成本資料整理成
成本模式與成本條狀圖，根據成本分析列出高成本的项目作為研析可能
的範圍，經分析，以跨越軌道之成本比例為最高，如下圖所示：

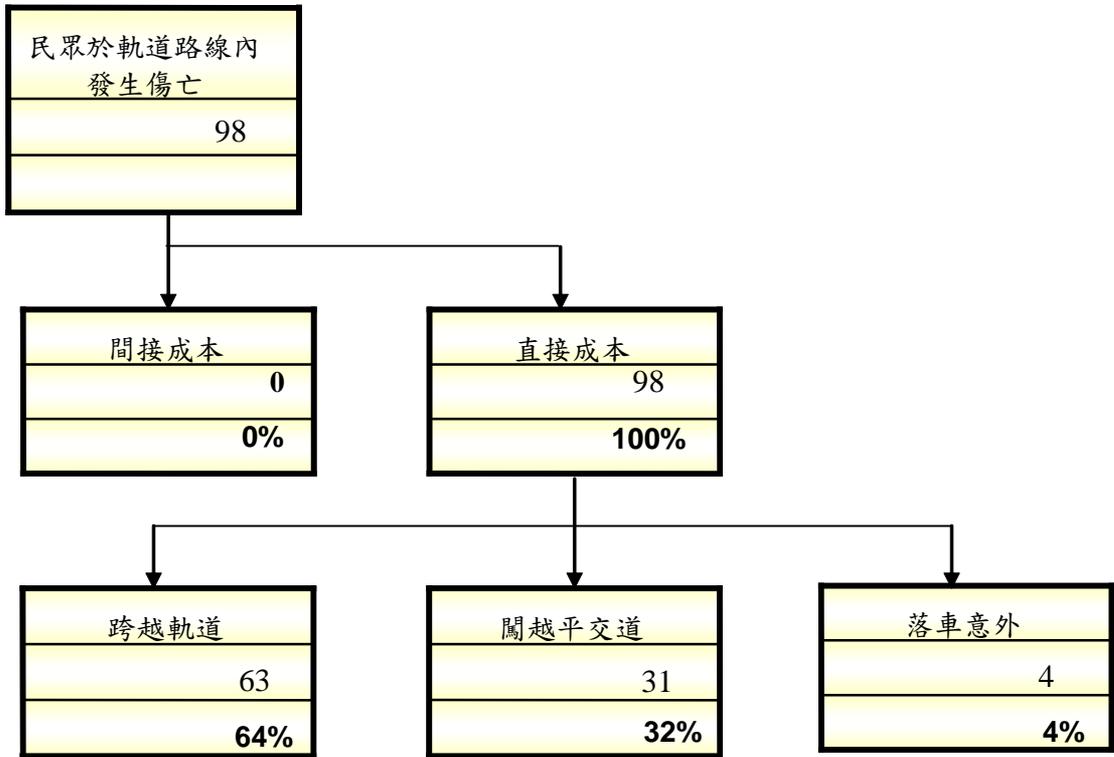
成本模式圖

實際/估算 VE 目標=70%

地點:鐵路全線

時間:年平均

單位:人



3.1.4 成本條狀圖

資料階段			成本條狀圖								
研析標的: 減少民眾跨越軌道發生事故											
項目: 總成本											
項目	成本	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90
跨越軌道	63 人	64	[Horizontal bar chart showing 64% of total cost]								
闖越平交道	31 人	32	[Horizontal bar chart showing 32% of total cost]								
落車意外	4 人	4	[Horizontal bar chart showing 4% of total cost]								
合計	98 人	100	[Horizontal bar chart showing 100% of total cost]								
成本額或百分比											

3.2 機能分析階段

3.2.1 研析範圍

本小組經過成本模式分析後，雖然以跨越軌道所佔成本比例 64% 為最大，但經本小組共同討論，由於生命之無價，因此決定將闖越平交道及落車意外一併列入研析項目。

3.2.2 機能分析

本小組於機能分析時，使用動詞+名詞為機能下定義，並製作機能分析表如下各表所示。

機能分爲 B=主要機能、S=次要機能、RS=必要的次要機能。			
機能分析表 1			
名稱:減少民眾跨越軌道發生事故	項目:軌道		
	機能		
	動詞	名詞	種類
軌道	行駛	列車	B
	承載	荷重	B
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能			

軌道有行駛列車、承載荷重兩項主要機能

機能分析表 2			
名稱:減少民眾跨越軌道發生事故			
項目:平交道			
	機能		
	動詞	名詞	種類
平交道	跨越	軌道	B
	確保	安全	B
	阻絕	跨越者	B
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能			

平交道有跨越軌道、確保安全、阻絕跨越三項主要機能

機能分析表 3			
名稱:減少民眾跨越軌道發生事故			
項目:警示牌			
	機能		
	動詞	名詞	種類
警示牌	嚇阻	民眾	B
	傳達	訊息	RS
	警告	民眾	B
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能			

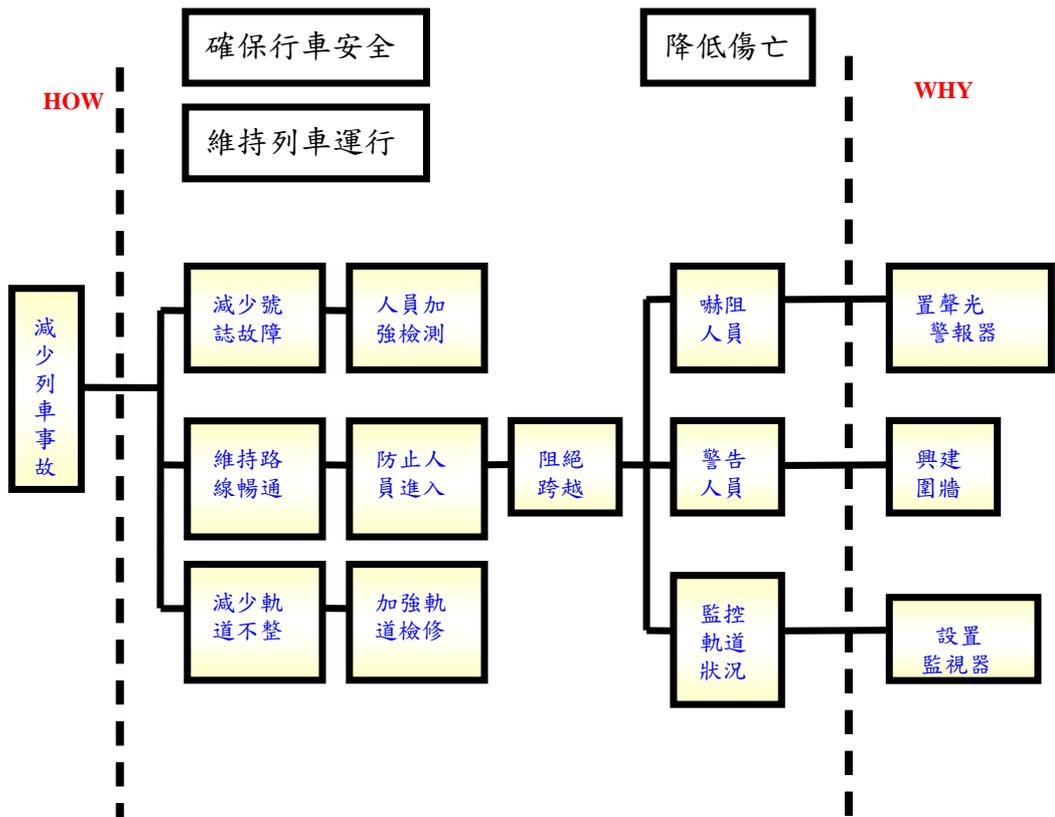
警示牌有嚇阻民眾、警告民眾兩項主要機能

機能分析表 4			
名稱:減少民眾跨越軌道發生事故			
項目:圍牆			
	機能		
	動詞	名詞	種類
圍牆	阻隔	民眾	B
	阻絕	民眾	B
	美化	環境	S
	界定	區域	RS
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能			

圍牆有阻隔民眾、阻絕民眾二項主要機能

3.3.3 系統化機能分析技術(FAST)圖解

本小組完成機能分析並定義研析範圍之主要機能、必要之次要機能與次要機能後，將各項機能加以處理，以了解其彼此間系統化的關係，並利用系統化機能分析技術(Functional Analysis Systems Technique 簡稱FAST)圖解法來解析複雜的程序，並以逐層分析的方式來決定計畫所需求之機能。本案之 FAST 圖如下：



3.3 創意階段

本小組根據機能分析之主、次要機能，經小組成員利用腦力激盪，在不影響主要機能之原則下，所提出之創意構想共 18 項，如下表所列：

利用媒體宣導	裝拒馬	設聲光警報器
興建圍牆	設置障礙物	挖溝渠
裝雷射探照鎗	雞爪釘	高架或地下化
裝置監視器	廢除平交道	專人看守
使用鐵鍊	車門加鎖	車門外裝防護網
改為電動門	減少車門	車門裝置警報器

本小組全體成員利用 5.3.1 三分法進行量化評估，並將可行之創意構想用以進行

防止跨越軌道			
創意	優點	缺點	評分
利用媒體宣導	能廣為宣傳	接受度不定	12
裝拒馬	能防止民眾進入	易遭到破壞	22
設聲光警報器	具嚇阻作用	易遭到破壞及偷竊	24
興建圍牆	能完全阻隔	工作人員進出困難	28
設置障礙物	方便施工	無法完全阻隔	16
挖溝渠	能完全阻隔	危險性亦高	18

上表以裝拒馬、設聲光警報器、興建圍牆三項創意為最高分

防止闖越平交道			
創意	優點	缺點	評分
裝雷射探照鎗	可第一時間警示	易遭到破壞且價格高	18
裝置雞爪釘	能阻絕闖越	易遭民怨	12
高架或地下化	可完全避免事故	工程浩大	22
裝設監視器	可第一時間警告	易遭到破壞	26
廢除平交道	能完全避免事故	易遭民怨	24
專人看守	可減少事故發生	容易疏忽	18

上表以高架或地下化、裝設監視器、廢除平交道三項創意為最高分

防止落車意外			
創意	優點	缺點	評分
使用鐵鍊	容易安裝	無法有效防止意外	18
車門加鎖	能完全防止意外	開啓費時	22
車門外裝防護網	容易安裝	容易遭到破壞	18
改為電動門	能完全防止意外	電動裝置容易失效	28
減少車門	減少意外發生機率	上下車困難	16
車門裝置警報器	能有嚇阻作用	仍無法防止意外	24

上表以車門加鎖、改為電動門及車門裝置警報器三項創意為最高分

4、評估階段

本小組將三項因子之評分最高的前三個創意構 想以田口分析法進行創意組合，以尋找最適當組合方案，其田口法評估如下所列：

	因子	水準一	水準二	水準三
A	防止跨越軌道	架設圍牆	裝設聲光警報器	設拒馬鐵絲網
B	防止闖平交道	廢除平交道	裝設監視器	高架化地下化
C	防止落車意外	車門裝設警報器	改裝電動門	車門加鎖

EXP	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6		SN
1	1	1	1	8	7	8	7	7	7	0.0154428	18.112744
2	1	2	2	9	9	8	8	9	9	0.011519	19.385868
3	1	3	3	7	6	7	9	6	6	0.0194993	17.099802
4	2	1	2	6	6	7	7	7	6	0.0206511	16.850564
5	2	2	3	7	6	7	6	6	6	0.0217039	16.634618
6	2	3	1	4	3	3	8	4	3	0.0677083	11.693579
7	3	1	3	7	6	2	7	4	3	0.070315	11.529518
8	3	2	1	8	6	6	6	6	7	0.0210206	16.773547
9	3	3	2	8	7	7	7	7	7	0.0168094	17.744477

	A	B	C
1	18.2	15.5	15.5
2	15.1	17.6	18
3	15.3	15.5	15.1
Effect	3.14	2.1	2.91
Rank	3	2	1
	A1	B2	C2

分析結果以 A1(架設圍牆)B2(裝設監視器)C2(改裝電動門)為最佳之創意組合

	因子	水準一	水準二	水準三
A	防止跨越軌道	架設圍牆	裝設聲光警報器	設拒馬鐵絲網
B	防止闖平交道	廢除平交道	裝設監視器	高架化地下化
C	防止落車意外	車門裝設警報器	改裝電動門	車門加鎖

根據田口分析法所評估之結果，取得二組可行方案如下：

方案一：於鐵路沿線加設圍牆，於平交道廣泛設置監視器，車門改裝為電動門。

方案二：於鐵路沿線設置拒馬鐵絲網，非必要平交道予以廢除，車門裝置警報器。

當確定替代方案後，本小組首先找出方案評選之評估因子，再利用成對比較法將評估因子進行兩兩比較，以決定其相互之重要性，並據此計算出各評估因子之權重。詳細資料如下表：

判斷階段	權重評估	
研析目標 減少民眾跨越軌道發生事故價值工程分析		
目標、期望標準	原始分數	指定權重
A.可行性	5	22
B.施工難易度	2	9
C.工期長短	3	13
D.效果	9	39
E.領導階層滿意度	4	17

以可行性及效果所佔之權重為最高。

評估矩陣分析

本小組利用權重評估所得之評估因子權重做為方案可行性評估，得出使用者構想方案之滿意程度，並依此作為判斷建議時之參考。茲將評估矩陣分析進行評估，詳細評估矩陣分析如下表：

評估項目							
有潛力的分析	評分人	可行性	施工難易度	工期長短	效果	領導階層滿意度	滿意度
1.原始方案：於鐵路沿線部分地段設圍牆，部分平交道設監視器，車門依目前現狀	領隊	4	6	6	6	2	442
	成本分析師	3	7	6	4	4	
	協調人	3	6	4	7	3	
	專業人員	4	6	6	4	4	
	專業人員	6	4	4	3	2	
	秘書	4	3	6	4	4	
平均分數		4	5.3	5.3	4.7	3.2	

2.替代方案 一於鐵路 沿線加設 圍牆，於 平交道廣 泛設置監 視器，為 防止落車 意外車門 改裝為電 動門	領隊	8	6	7	6	7	727
	成本分析師	7	6	8	9	6	
	協調人	7	9	6	7	7	
	專業人員	8	8	7	9	7	
	專業人員	6	8	7	8	8	
	秘書	7	8	8	6	6	
平均分數		7.2	7.5	7.2	7.5	6.8	
3.替代方案 二於鐵路 沿線設置 拒馬鐵絲 網，非必 要平交道 予以廢 除，為防 止落車意 外車門裝 置警報器	領隊	6	7	6	6	4	641
	成本分析師	7	8	6	4	6	
	協調人	6	7	6	8	6	
	專業人員	7	7	4	7	6	
	專業人員	8	7	8	8	7	
	秘書	4	6	6	7	6	
平均分數		6.3	7	6	6.7	5.9	
權 重		22	9	13	39	17	

經過評估矩陣分析後，以替代方案二：於鐵路沿線加設圍牆，於平交道廣泛設置監視器，為防止落車意外車門改裝為電動門；其滿意度 727 分為最高分。

本小組為使評估更加準確，繼續以方案優缺點比較法，並由小組成員進行比較評比，詳如下表所示：

判斷階段			構想比較
研析標的 減少民眾跨越軌道發生事故價值工程分析			
構想	優點	缺點	評比
原方案	無優點	1.意外死傷依然頻繁 2.列車因意外發生誤點 狀況依舊 3.誤點超時衍生退費問題	
替代方案 1	1.能有效阻絕民眾進入軌道 2.監視器能減少傷害 3.電動門對落車意外最有效效果 4.減少佔耕情形	全線施工工程較大	最可行
替代方案 2	1.鐵絲網能阻絕民眾進入 2.減少平交道是減少平交道事故最佳方案 3.警報器能達嚇阻作用	1.鐵絲網容易被破壞 2.減少平交道易遭附近居民反彈 3.警報器無法完全阻擋落車意外	

5、建議階段

本小組將其替代方案一發展成可運作之替代方案，以供管理階層做為參考，並收集部分有圍牆之處所、有設置平交道感應裝置之平交道及採用電動車門之列車，進行一年來的傷亡統計，將其統計結果列入最後之成本估算，其結果如下：

研析標的 減少民眾跨越軌道發生事故價值工程分析		單位:人
項目	原方案	新方案
	傷亡人數	預估傷亡人數
跨越軌道	63	6
闖越平交道	31	2
落車意外	4	0
合計	98	8

本小組參考中央警察大學陳高村教授所發表之文章交通事故衍生成本之探討，並摘錄其事故衍生各類成本表，作為本方案成本之量化依據，詳如下表所示：

類別	成本項目	說明	金額
無形成本	死亡		5,872,000
	永久性傷害		9,700,000
	非永久性傷害		459,3000
	毫無損傷		2,810,000
有形成本	醫療成本	死亡	16,000
		永久性傷害	7,529,000
		非永久性傷害	48,000
	復職成本		222,000
	財損	汽車	151,000
		機車	15,000
	突然之喪葬成本		157,000
	家庭生產力成本	死亡	506,000
		永久性傷害	397,000
		非永久性傷害	6,000
	市場生產力成本	死亡	8,869,000
受傷	5,556,000		

根據陳高村教授發表之交通事故衍生成本進行計算及量化，若僅以死亡人數進行量化，其中死亡之無形成本高達 5,872,000 元/人，本局一年於軌道路線內發生事故死亡人數為 76 人

$5,872,000 \times 76 = 446,272,000$ 每年可減少無形成本付出 4 億 4 仟多萬元，若再加上醫療、家庭生產力、喪葬及市場生產力等有形成本，其金額之大，實不容忽視。

6、建議案與結論

6.1 建議案工作表格

建議階段		建議案 第一方案
研析標的 減少民眾跨越軌道發生事故價值工程分析		
1.原方案 :於鐵路沿線部分地段設圍牆部分平交道設監視器車門依目前現狀		1.新方案 :於鐵路沿線全面設置圍牆 ,於各大小平交道廣泛設置監視器 ,為防止民眾發生落車意外 ,車門將全面改裝為電動門。
2.優點 無任何優點。		2.優點 :能有效阻止民眾進入軌道範圍內 ,減少闖越平交道遭受列車撞擊的傷害機會 ,並完全防止民眾發生落車意外。
3 缺點 :民眾於軌道內死傷依然頻繁。		3 缺點 :全線施工工程較大。
成 本		本方案除了能減少民眾於軌道內之死傷事件 ,且能減少列車發生事故後延宕之時間 ,目前每一撞擊事故平均處理時間為 90 分鐘 ,每年總共可減少 12,600 分鐘列車誤點時間
原方案	98 人	
新方案	8 人	
減少人數	90 人	
減少百分比	92%	

6.2 結論

- 1.由於「人命無價」生命是無法以價值來衡量的，因此本小組此次價值工程專案是以減少人命傷亡為出發點並加以研析，希透經過價值工程研析能獲致最有效之解決方式，並加以落實。
- 2.經過本小組利用各種價值工程研析方法所獲得之第一方案，每年約可減少將近 90 人於軌道路線範圍內發生傷亡事件。而減少 90 人傷亡就等於減少 90 個破碎家庭的產生，也減少龐大的社會成本支出。
- 3.當列車撞擊人員之傷亡事件減少後，列車因撞擊發生事故而封鎖路線所延宕之時間亦可消除。減少列車撞擊傷亡事件等於減少列車誤點的次數，等於減少列車誤點時間，亦可提升本局企業形象。
- 4.本案是由原方案及二個替代方案中，經過各項價值工程研析手法選出，替代方案一為最佳之建議案。

註解

- (註 1)A 路權：指封閉路權，全線為專用道路，無任何平交道及路面平面交叉。
- (註 2)B 路權：指半封閉路權，有平交道及路面平面交叉，其餘均為封閉之軌道。
- (註 3)佔耕：於本局鐵路用地範圍內，私自佔用土地施行耕種。
- (註 4)佔建：於本局鐵路用地範圍內，私自佔用土地私建。
- (註 5)跨越軌道：於鐵路路線上，任意越過軌道。
- (註 6)闖越平交道：於各大小平交道，當列車接近警示器作用時強行越過平交道。
- (註 7)落車意外：未及時下車而跳車及因擁擠而發生墜落車外等意外。
- (註 8)路線封鎖：指車站站內或站間，為進行施工或其他必要措施，而需禁止任何車輛及列車進入該軌道所進行之軌道封閉措施。

參考資料

- 1.91-95 年行車事故報告(工務處各工務段)
- 2.民眾傷亡事故統計(工務處各工務段)
- 3.交通事故衍生成本之探討(陳高村教授)
- 4.<http://168.motc.gov.tw/GIPSite/wSite/public/Attachment/1097207749262.pdf>

臺鐵現有路線行駛傾斜式列車養護作業探討

溫彩炎¹

1、前言

本局採購傾斜式列車共 48 輛，首批於 96 年 5 月 8 日正式加入宜蘭線、北迴線營運後（即「太魯閣」號），並於 97 年度又陸續延伸行駛縱貫線鐵路從臺北至員林站，目前該列車可說是臺鐵的行銷主力車種，未來將視傾斜式車輛的交貨期程，而擴及全線行駛傾斜式列車。

眾所周知，傾斜列車行經曲線時因車體傾斜可抵銷部分離心力，其速度可較一般列車提昇 20%—40%，當曲線上速度提昇，則車輛對軌道之作用力亦會增加，對於軌道的破壞力也可能相對增大，因此，本文針對傾斜式列車行駛區間的軌道養護標準、軌道養護技術、以及軌道結構加強等攸關行車安全措施，探討臺鐵與日本九州鐵路的養護作業模式。

2、傾斜式列車簡介

2.1 傾斜式列車原理

當列車通過曲線時，因受離心加速度的影響，一般係於軌道上將外側鋼軌起高稱為「超高」，利用此超高度來平衡離心力，使車輛重心儘量回位至軌道中心，但往往因兼顧低速列車及停車時車輛重心避免偏移至內軌，造成車輛往內軌側傾倒，外軌超高度必須受到限制，如臺鐵規定最大超高度為 105 公厘。當列車速度越高，離心力就越大，如僅利用曲線外軌超高度使車體傾斜仍不足平衡離心力時，則須限制列車通過曲線的速度，但如能使車體重心隨著列車速度增加，同時增加向曲線內側傾斜，也就可以彌補外軌超高度的不足，而達到提高曲線限速的目的。

因此，爲了在既有曲線條件無法改善，而又要提高速度的情況下，藉由傾斜列車之車體傾斜機構使車體向曲線內側傾斜，使得傾斜列車通過曲線時可以提高速度，這就是傾斜列車的功能。

¹本局工務處路線科長

2.2 臺鐵採購之傾斜式列車傾斜控制系統

臺鐵採購之 24 輛傾斜式列車「太魯閣」號已於 96 年 5 月正式加入樹林至花蓮間營運，該車的傾斜控制系統為：傾斜式列車於通過彎道時，其提高之車速應較傳統列車通過彎道之車速提高 15 至 25 公里/小時，當傾斜式列車靜止或速度低於 60 公里/小時時，列車之傾斜控制系統則鎖定於原有不傾斜狀態。

3、日本 JR 九州鐵路養護作業模式

3.1 傾斜式列車行駛路線

日本 JR 九州鐵路在來線與臺鐵鐵路同屬軌距 1067 公厘之窄軌系統，且目前營運之「KAMOME」及「SONIC」號列車亦屬本局採購之 885 系列，而該車在日本九州鐵路已行駛多年，其行駛路線分別為「鹿兒島線」、「長崎線」以及「日豐線」，最高速度為 130 公里/小時。



JR 九州 885 系 KAMOME 傾斜列車



885 系傾斜列車駕駛座旁之曲線運轉速度表

3.2 養護維修

JR 九州鐵路公司於傾斜式列車加入營運後，軌道結構、養護人力和維修費用並無明顯變化，日常保養及維修檢查的頻率不變，但在高速運轉區間加強施作特級列車的動搖檢測，以提昇旅客乘車舒適性。另外因傾斜式列車通過曲線時橫壓會增大，尤其在鋼軌接頭部分，為解決鋼軌接頭受上下及左右方向的衝擊力加大問題，JR 九州鐵路公司即推動半徑 400 公尺以上之曲線長軌化，而半徑 400 公尺以下之曲線，則視日後投資條件，再作決定是否施作。

3.2.1 有關鋼軌更換標準值如下：

1. 鋼軌頭部的最大磨耗量限制條件如下表：

路線等級		鋼軌磨耗限度 (mm)			
		1 級線	2 級線	3 級線	4 級線
鋼軌重量	50kg	15	15	15	16
	60kg	15	15	15	17

2. 波狀磨耗之波高達到 1.5mm 以上時（有進行削正作業者除外）。
3. 一般鋼軌波狀磨耗程度達到 0.05 mm時即進行鋼軌削正作業。
4. 其它認為有運轉、保安上之危險性場合。

3.3 曲線限速

JR 九州鐵路行駛傳統列車與傾斜式列車路線之曲線超高計算方式並無不同，超高度最大不能超過 105mm，但長崎本線上 R=350m、R=600m、R=800m 等 3 種不同半徑曲線之場合，超高度均採用最大值 105mm，其目的在於可獲得較高之限速，尤其對於行駛傾斜列車曲線提高速度更為有利，惟有超高不足量兩者不同，傳統列車為 70 mm，傾斜列車為 110 mm，曲線上列車速度以下列公式算出。

1. 以超高作限制求出限速：

$$V \leq 0.345 \sqrt{(R \times (C_0 + Cd))}$$

2. 以緩和曲線長度作限制，由下列二式中取較低速度作為限速：

$$V \leq L / (0.007C_0)$$

$$V \leq L / (0.007Cd)$$

其中

L=緩和曲線長

C₀=設定之超高度

C_d=容許之超高不足量，885 型傾斜列車=110mm，一般列車=70mm

3.4 軌道幾何不整容許標準值

傳統列車與傾斜列車的養護標準及規定並無任何不同，軌道結構亦無變化，說明如下。

1. 軌道不整之養護標準值如下表：

種別	1 級線	2 級線	3 級線	4 級線	側線
軌距	20 (14) (直線及軌距加寬 20mm 以下之曲線路段)				
	15 (9) (加寬 25mm 之曲線路段)				
水平	以平面性之基準作為養護標準值				
高低、方向	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)	32 (24)
平面性	23(18) (包含超高遞減量)				

表內的數值係以軌道檢查車測出之動態不整，括弧內則表示靜態不整。

2. 軌道新設之標準值如下表：

幾何不整種類	新設標準值 (mm)	
	一般區間	混凝土道床區間
軌距	+ 1 , - 3	0 , -3
水平、高低、方向	± 4	± 2
平面性	± 4 (不含超高遞減量)	

3. 曲線上防脫護軌的設置基準

- (1) 推定脫軌係數不足 1.2 之場所。
- (2) 半徑未滿 250m 之曲線。
- (3) 其他認為有特別必要之處所。

4. JR 九州鐵路防脫護軌之設置，在長崎本線僅設置於銳曲線 (R<300m) 之場合，並設置於緩和曲線段，圓曲線及緩和曲線外方並不設置。

3.5 傳統列車與傾斜式列車的曲線限速標

1. 曲線限速標僅設置於半徑 < 300 公尺之曲線起點 (即 T.S 點)，以及其他認為有必要之處所，其限速標型式如下：

振 90
高 80
低 70
300

上段表示速度限制、下段表示速度限制之區間長度。

振 90：振子列車（傾斜列車）限速 90km/hr

高 80：高性能列車限速 80km/hr

低 70：其他列車限速 70km/hr

300：限速區間長度 300m

2. 在連續數個曲線之路段，則依運轉條件，除非有足夠的提、降速距離，否則僅於連續曲線路段最外方之起、終點處各設置 1 支限速標，而未於每個曲線均設置。

3.6 高速軌道檢測車（通稱：マヤ車）

1. JR 九州鐵路公司擁有高速軌道檢測車編號「マヤ 342009」一部，由機車牽引以時速 90 公里至 100 公里的速度檢測路線，每年四次檢測 JR 九州在來線長約 2,000 公里的路線。
2. 檢測車可測定「軌距」、「左軌高低」、「右軌高低」、「水平」、「左軌方向」、「右軌方向」、「平面性」、「上下振動」、「左右振動」、以及「脫軌係數」等項目。

3.7 鋼軌探傷檢測

為避免發生斷軌事件，JR 九州鐵路公司每年進行一次鋼軌探傷檢測，由鋼軌探傷車辦理。

3.8 養護作業時間

在北九州地區因列車班次密集，白天不辦理養護工作，大型養護工作均在夜間進行。南九州地區因班次較少（例如 1 小時 1 班次），白天在列車空間中仍要做養護工作。在班次密集的路線，每年要做 2 次以上的大型養護工作，在夜間工作時段的 0 時至 5 時中，有部分路段仍開行夜車及貨物列車，有些路段夜間最長封鎖時間僅 2 小時 30 分。

3.9 軌道檢查頻率

1. 高速軌道檢查車每年檢查 4 次。
2. 徒步巡查分 1、2、3 級，第 1 及第 2 級為 8 天 1 次，第 3 級則是每 2 星期 1 次。
3. 乘特急車巡查路線，在高級車部分為 2 天 1 次，其它列車為 4 天 1 次。

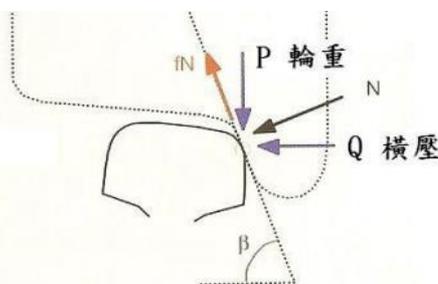
3.10 如何提高傾斜式列車的乘車舒適性

1. 傾斜列車的強制傾斜應在起點 TS 開始，並在終點 ST 結束，若傳到列車上的數值正確，且曲線曲率並無不整之問題，則調整傾斜動作之敏感度及改善鋼軌接頭，即可改善乘車舒適性。
2. 依經驗車尾確實比較搖晃，且乘坐於轉向架上方時因轉向架傾斜動作，也會較為嚴重，而車廂內中間之座位則較輕微。

4、臺鐵路線養護作業模式

4.1 太魯閣號正式營運前軌道養護

本局於 95 年 12 月起開始進行傾斜式列車密集試車及相關軌道測試，並於 96 年 5 月正式加入樹林至花蓮（宜蘭線及北迴線）的營運。傾斜式列車在試運轉期間，曾多次進行脫軌係數 Q/P 值的測定（ Q =橫壓， P =輪重），並針對脫軌係數超過 0.8 的部分列表提供工務處據以整修，經現場調查，脫軌係數超過 0.8 的路段大部分為接頭下沉所致（尤其在宜蘭線小半徑曲線內之接頭），另有少部分則為鋼軌波狀磨耗所造成，經宜蘭工務段抽換鋼軌、加高道碴及加強砸道等軌道整修作業，確保行車安全無虞後，太魯閣號方於 96 年 5 月正式加入樹林至花蓮的營運。



脫軌係數比 Q/P 值示意圖

4.2 太魯閣號行駛後軌道養護

太魯閣號 96 年 5 月正式營運迄今，已辦理或繼續辦理之軌道養護作業為：

1. 沿線道碴補充：全線道碴加高、加寬，以加強道碴橫向阻力。
2. 調整曲線超高度：部分曲線超高度不足處所，利用砸道車作業時調整超高度。

3. 軌道平整重建工程：初期辦理八堵～宜蘭間部分路段軌道平整工程，承商以砸道車、整碴車與穩定車等聯合作業方式，提升軌道平整度。
4. 道碴橫向阻力加強工程：初期辦理八堵至三貂嶺間小半徑曲線段，將軌枕外側 60cm 處施作厚度 28cm 之擋碴牆工程，以增加道碴橫向阻力。
5. 抽換 PC 枕型道岔工程：97 年度預定抽換 PC 枕型道岔 24 套。
6. 長焊鋼軌化：半徑 300 公尺至 600 公尺之小半徑曲線長軌化，擬俟加強道碴橫向阻力工程完工後，辦理抽換長焊鋼軌，並視鋼軌供應時程和年度執行能力，以及財源分配額度，預定於 98 年度起分三年內完成。
7. 鋼軌波狀磨耗及斷面削正工程：預定於 98 年度辦理宜蘭線和北迴線鋼軌波狀磨耗及斷面不良處所之削正工程，以改善車輪與鋼軌面之衝擊破壞，延長車輛、車輪及鋼軌使用壽年，同時減少噪音和振動以及降低脫軌係數比值，提昇路線品質及乘車舒適感。
8. 超音波鋼軌探傷檢測工程：預定於 98 年度辦理鋼軌鋁熱劑焊接接頭和絕緣接頭，施作超音波探傷檢測，檢測鋼軌表面及內部是否有裂痕，並針對鋼軌損傷及影響程度，分級管理及做必要之處置，俾能及早採取防範措施，以避免列車在行進中突然斷軌，導致號誌故障及影響行車安全。

4.3 軌道養護標準

1. 軌道幾何動態不整超過平時養護標準值的二分之一處所（如表 1 軌道幾何不整容許標準）。
2. 鋼軌頭部，其軌距外側有顯著磨耗，且軌距內側最大磨耗量達「表 2 鋼軌頭部軌距內側最大磨耗量抽換標準」程度者，應以新鋼軌或適當之再用軌抽換之。以及其他運轉上有危險之虞者。
3. GPS 振動檢查超過 3.0g 處所。
4. 小半徑曲線原則上每年實施軌道平整作業一次。
5. 路線巡查發現有影響行車安全之虞處所。
6. 為減少斷軌機率，原則上每 2 年辦理一次全線鋼軌探傷檢查。
7. 其他認為有必要維修處所則適時辦理。

表 1 軌道幾何不整容許標準（單位：公厘）

標準值種別 路 容 許 標 準 值 不 整 之 種 別	平時養護標準值			緊急整修標準值			大修或更新後之標準值	
	甲級線 特	乙級線	側 線	甲級線 特	乙級線	側 線	各等級路線相同	
							一般區段	混凝土道床路段
軌 距	+10 (+7) - 5 (-4)			直線及半徑 R 600 公尺 以上 20 (14), R 200 公尺~R 600 公尺 25 (19), R 200 公尺未滿之曲線 20 (14)			(+1) (-3)	(0) (-3)
水 平	11 (7)	12 (8)	13 (9)	依平面性之整修值為基準			(4)	(2)
高 低	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
方 向	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
平 面 性				23 (18) 包括超高遞減量			(4) (不包括超高遞減量)	

附註：1 表內的數值係依高速軌道檢查車測出之動態不整，括弧內則表示靜態不整。

2. 高低、方向之不整以延長 10 公尺計。

3. 平面性係以每 5 公尺之水平變化量為標準。

4 軌距、水平、高低與方向之容許標準值不包括曲線地段之正規加寬度、超高度及正矢量（包括豎曲線）在內。

表 2 鋼軌頭部軌距內側最大磨耗量抽換標準（單位：公厘）

軌重 路線等級	37 公斤鋼軌	45~50 公斤鋼軌	60 公斤鋼軌
特甲 級線	10	14	15
甲 乙級線	12	15	16
側 線	15	16	17

4.4 軌道檢查頻率

1. EM 80 軌道檢查車每年檢查 4 次。
2. GPS 振動檢查每個月檢查 1 次。
3. 乘車路線巡查每星期 6 天，人工查道每星期 1 天。

5、臺鐵現有路線曲線限速檢核

5.1 曲線限速

1. 依據本局採購傾斜式列車規範，傾斜式列車增加之速度如下表：

臺鐵列車在半徑 900 公尺以下曲線運轉速度表

曲線半徑	傳統列車限速		傾斜式電車組 (傾斜式列車限速)	增加速度
	推拉式電車組、 電車組 或 機 動車編組之列車 (設計速度)	一般列車 (限速標速度)		
300	70	65	85	20
350	75	70	90	20
400	80	75	100	25
450	85	80	105	25
500	90	85	110	25
600	100	95	120	25
700	110	105	130	25
800	120	115	130	15
900	125	120	130	10

說明：

右圖為半徑 600 公尺之曲線限速標，其「上板速限」表示「傾斜式電車組」速度，「下板速限」為「其他列車」速度。



2. 由於受地形限制，現有介曲線長度無法按規定標準設置，致同一半徑之曲線，因介曲線長度不足，而有行駛速度不一致，導致傾斜式列車提高速度不同，造成司機員在運轉上之辯認困擾，因此，我們將傾斜式列車提高之速度依設計規範，簡化歸納為兩大類：
 - (1) 半徑 300 公尺以上，未滿 400 公尺之曲線，傾斜式列車行駛之速度為現有「一般列車」速度 + 20 公里/小時。
 - (2) 半徑 400 公尺以上之曲線（含半徑 400 公尺），傾斜式列車行駛之速度為現有「一般列車」速度 + 25 公里/小時。
3. 為檢核上述推論是否合乎規定及可行，我們利用下列二種方式檢核：
 - (1) 檢核半徑 300 公尺至 1000 公尺之曲線，使用公式：

$V \leq 0.345 \sqrt{R(C + Cd)}$ 計算，得出其傳統列車與傾斜式列車超高不足量之差異如下表：(表中 $C_v = C + Cd$)

行駛傾斜式列車超高不足量檢核表

曲線半徑 R (m)	設計速度 (km/hr.)	一般列車速度	Cv (mm)	C (mm)	Cd (mm)	介曲線長 L (m)	傾斜式列車速度	Cv (mm)	Cd(mm)=(Cv-C)
300	70	65	137.20	98.00	39.20	80.00	85	202.30	104.30
350	75	70	135.00	96.43	38.57	80.00	90	194.40	97.97
400	80	75	134.40	96.00	38.40	80.00	100	210.00	114.00
450	85	80	134.87	96.33	38.53	85.00	105	205.80	109.47
500	90	85	136.08	97.20	38.88	90.00	110	203.28	106.08
600	100	95	140.00	100.00	40.00	100.00	120	201.60	101.60
700	110	105	145.20	103.71	41.49	115.00	130	202.80	99.09
800	120	115	151.20	105.00	46.20	130.00	140	205.80	100.80
900	125	120	145.83	104.17	41.67	130.00	150	210.00	105.83
1000	130	125	141.96	101.40	40.56	135.00	160	215.04	113.64

由上表中可知，傳統列車按公式計算時，其超高不足量 Cd 均符合規定小於 60 mm，而傾斜式列車除半徑 400m 及 1000m 之曲線其超高不足量 Cd 超過規定 110 mm 外，其餘均符合規定，但實際應用時可調增超高度 C，而使超高不足量 Cd 減少並保持在 110 mm 以內。

(2) 利用下列 a 及 b 之公式求出，並選擇最低之速度作為限速。

①以超高作限制求出限速

$$V \leq 0.345 \sqrt{R(C + Cd)}$$

②以介曲線長度作限制，由下列二式中取較低速度作為限速

A.特甲及甲級線時：

$$V \leq L_2 / (0.010C)$$

$$V \leq L_3 / (0.009Cd)$$

B.現有路線改善時：

$$V \leq L_2 / (0.006C)$$

$$V \leq L_3 / (0.007Cd)$$

式中：

$L_2、L_3$ =介曲線長

C =設定之超高度

Cd =容許之超高不足量 傳統列車=60mm、傾斜列車=110mm

- (3) 經研發一套電腦計算程式，可以很容易在短時間內核算曲線在傳統列車和傾斜式列車之適合限速為多少。

例：已知現場「編號 IV 140」曲線資料（如曲線限速檢核計算表）：特甲級線，曲線半徑 $R = 400\text{m}$ 、超高 $C = 80\text{ mm}$ 、介曲線長度 $L = 60\text{m}$ ，因受地形限制，曲線諸元條件無法調整。試檢核該曲線適合運轉速度為多少？

解：

1. 以 $R = 400\text{ m}$ 、 $V = 80\text{ km/hr}$. 按「特甲及甲級線」標準公式計算得

$$Cv = 8.4V^2R = 8.4 \times 80^2 / 400 = 134\text{ mm}$$

$$Cd = 134 - 80 = 54\text{ mm}$$

$$L_1 = 0.8C = 0.8 \times 80 = 64\text{m}$$

$$L_2 = 0.010CV = 0.01 \times 80 \times 80 = 64\text{m}$$

$$L_3 = 0.009CdV = 0.009 \times 54 \times 80 = 39\text{m}$$

$$L \text{ 取最大值} = 64 \approx 65\text{m} \text{ (取 5 的倍數)}$$

由上式可知，速度 $V = 80\text{ km/hr}$. 時，介曲線長度 $L = 65\text{m}$ ，而現場介曲線長度 $L = 60\text{m}$ ，因此不符合規定 (NO)。

2. 如按「現有路線改善時」標準公式計算得

$$Cv = 8.4V^2R = 8.4 \times 80^2 / 400 = 134\text{ mm}$$

$$Cd = 134 - 80 = 54\text{ mm}$$

$$L_1 = 0.4C = 0.4 \times 80 = 32\text{m}$$

$$L_2 = 0.006CV = 0.006 \times 80 \times 80 = 38.40\text{m}$$

$$L_3 = 0.007CdV = 0.007 \times 54 \times 80 = 30.24\text{m}$$

$$L \text{ 取最大值} = 38.40 \approx 40\text{m} \text{ (取 5 的倍數)}$$

因此現場介曲線長度 $L = 60\text{m} > 40\text{m}$ ，符合 $V = 80\text{ km/hr}$. 之規定 (OK)。

3. 檢核傾斜式列車行駛速度，按前述半徑 400 公尺以上之曲線（含半徑 400 公尺），傾斜式列車行駛之速度為現有「一般列車」速度 + 25 km/hr 計算，得傾斜式列車速度 $V = 80 - 5 + 25 = 100\text{ km/hr}$ 。代入下式得

$$V = 0.345 \sqrt{R(C + Cd)} \Rightarrow 100 = 0.345 \times \sqrt{400(80 + Cd)}$$

$Cd = 130 \text{ mm} > 110 \text{ mm}$ (傾斜式列車最大超高不足量)

所以不符合規定 (NO)。

4. 為符合現場介曲線長度 $L = 60\text{m}$ ，且超高 $C = 80 \text{ mm}$ 之現場條件，嘗試以降低速度 $V = 75 \text{ km/hr}$ 核算如下：

以 $V = 75 \text{ km/hr}$ 代入按「特甲及甲級線」標準計算得

$$Cv = 8.4V^2R = 8.4 \times 75^2 / 400 = 118 \text{ mm}$$

$$Cd = 118 - 80 = 38 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0.8C = 0.8 \times 80 = 64\text{m}$$

$$L_2 = 0.010CV = 0.01 \times 80 \times 75 = 60\text{m}$$

$$L_3 = 0.009CdV = 0.009 \times 38 \times 80 = 25.65\text{m}$$

L 取最大值 $= 64 \approx 65\text{m}$ (取 5 的倍數)

由上式可知，速度 $V = 75 \text{ km/hr}$ 時，介曲線長度 $L = 65\text{m} >$ 現場介曲線長度 $L = 60\text{m}$ ，因此不符合規定 (NO)。

5. 如以 $V = 75 \text{ km/hr}$ 代入「現有路線改善時」標準公式計算得

$$Cv = 8.4V^2R = 8.4 \times 75^2 / 400 = 118 \text{ mm}$$

$$Cd = 118 - 80 = 38 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0.4C = 0.4 \times 80 = 32\text{m}$$

$$L_2 = 0.006CV = 0.006 \times 80 \times 75 = 36\text{m}$$

$$L_3 = 0.007CdV = 0.007 \times 38 \times 75 = 19.95\text{m}$$

L 取最大值 $= 36 \approx 40\text{m}$ (取 5 的倍數)

因此現場介曲線長度 $L = 60\text{m} > 40\text{m}$ ，符合規定 (OK)。

6. 檢核傾斜式列車速度 $V = 95 \text{ km/hr}$ ($V = 70 + 25 = 95$)。代入下式得：

$$V = 0.345 \sqrt{R(C + Cd)} \Rightarrow 95 = 0.345 \times \sqrt{400(80 + Cd)} \Rightarrow \text{求得}$$

$Cd = 110 \text{ mm} = 110 \text{ mm}$ (傾斜式列車最大超高不足量)

所以符合規定 (OK)。

7. 「曲線適合運轉速度」檢核結果：由上式「五」及「六」可知，傳統列車之設計速度 $= 75 \text{ km/hr}$ (即一般列車速度為 70 km/hr)、而傾斜式列車速度 $=$ 一般列車速度 $70 + 25 = 95 \text{ km/hr}$ 時，依規定計算所得

之超高 C 及介曲線長度 L，均可符合現場之 C 及 L，所以得到：

(1) 「現場限速標」之速度為 70 km/hr. (即一般列車限速標為 70 km/hr.，設計速度為 75 km/hr.)。

(2) 「傾斜列車」限速標之速度為 95 km/hr.。

8. 以上所述之繁雜計算結果，藉由 Microsoft Excel 軟體，撰寫「曲線限速檢核計算表」程式，可以很容易的計算而得。如「曲線限速檢核計算表」所示。

96年8月19日

曲線限速檢核計算表

請於表中「紅色儲存格」中輸入數據

編號或里程	限速計算方法 (特甲及甲級線)	R(m)	現場設計速度	Cv(mm)	C(mm)	Cd(mm)	L(m)	核算速度 (V)	適合運轉速度 (km/hr.)		改善方式	說明
									設計速度	一般列車		
IW140	傳統 列車 $C_v=8.4V^2/R$ $L_2=0.010CV$ $L_3=0.009CdV$	400	80	118	80	38	65	75	設計速度	一般列車	NO	算式中使用之公式： 傳統列車 $C_v=C+Cd=8.4V^2/R$ 。 $L_1、L_2、L_3$ 為【特甲及甲級線】公式： $L_1=0.8C$ ， $L_2=0.010CV$ ， $L_3=0.009CdV$ 。 傳統列車超高不足量最大為60mm。 傾斜式列車超高不足量最大為110mm。 傾斜式列車： $C_v=8.4V^2/R$ ， V —一般列車速度+20 (R<400) 或 V —一般列車速度+25 (R≥400)。
			擬調整為	118	80	60	60	75	75.0	70.0		
			75		38	60	175					
花北025	傾斜 列車 $C_v=8.4V^2/R$	400	95	190	80	110		95	傾斜列車	速度增加	OK	
			擬調整為	108	60	48	60	95	95.0	25.0		
			95	108	60	115	192	95.0	90.0			
花北036	傳統 列車 $C_v=8.4V^2/R$ $L_2=0.010CV$ $L_3=0.009CdV$	700	115	159	60	99		115	傾斜列車	速度增加	OK	
			擬調整為	121	90	31	110	120	115.0	25.0		
			120	121	90	110	122	120.0	115.0			
花北009	傾斜 列車 $C_v=8.4V^2/R$ $L_2=0.010CV$ $L_3=0.009CdV$	1000	130	142	90	52		130	傾斜列車	速度增加	OK	
			擬調整為	142	90	52	120	130	130.0	15.0		
			130	142	90	52	120	133	130.0	125.0		
花北009	傳統 列車 $C_v=8.4V^2/R$ $L_2=0.010CV$ $L_3=0.009CdV$	1000	130	142	90	52		130	傾斜列車	速度增加	OK	
			擬調整為	146	100	46	125	125	130.0	5.0		
			125	146	100	46	130	130	125.0	120.0		
花北009	傾斜 列車 $C_v=8.4V^2/R$ $L_2=0.010CV$ $L_3=0.009CdV$	900	125	158	100	58		130	傾斜列車	速度增加	OK	
			擬調整為	146	100	46	130	130	130.0	10.0		
			125	146	100	46	130	130	130.0	10.0		

96年8月19日

曲線限速檢核計算表

請於表中「紅色儲存格」中輸入數據

編號或 里程	限速核算方法 (現有路線改善時)	R(m)	現場設計 速度	Cv(mm)	C(mm)	Cd(mm)	L(m)	核算速度 (V)	適合運轉速度 (km/hr.)		檢核	改善方式	說明
									設計速度	速度增加			
IW140	傳統 列車 $C_v = 8.4V^2/R$ $L_2 = 0.006Cv$ $L_3 = 0.007Cdv$	400	80	118	80	38	40	75	設計速度	一般列車	OK		算式中使用之公式： 傳統列車 $C_v = C + Cd$ $= 8.4V^2/R$ 。 L_1, L_2, L_3 為【現有路 線改善時】公式： $L_1 \geq 0.4C$ ， $L_2 \geq 0.006Cv$ ， $L_3 \geq 0.007Cdv$ 。 傳統列車超高不足量 最大為60mm。 傾斜式列車超高不足 量最大為110mm。 傾斜式列車： $C_v = 8.4V^2/R$ ， $V =$ 一般列車速度+20 ($R < 400$) 或 $V =$ 一般列車速度+25 ($R \geq 400$)。
			擬調整為	118	80	60	125	75.0	75.0	70.0			
			75		38	60	226						
花北025	傾斜 列車 $C_v = 8.4V^2/R$	400	95	190	80	110		95	傾斜列車	速度增加	OK		
			擬調整為	108	60	48	35	95	設計速度	一般列車			
			95		60	115	319	95.0	90.0				
花北036	傳統 列車 $C_v = 8.4V^2/R$ $L_2 = 0.006Cv$ $L_3 = 0.007Cdv$	700	115	159	60	99		115	傾斜列車	速度增加	OK		
			擬調整為	102	60	42	40	110	設計速度	一般列車			
			110		60	40	111	110.0	105.0				
花北009	傾斜 列車 $C_v = 8.4V^2/R$	1000	130	142	60	82		130	傾斜列車	速度增加	OK		
			擬調整為	131	130	1	100	125	設計速度	一般列車			
			125			1	14,286	125.0	120.0				
花北009	傳統 列車 $C_v = 8.4V^2/R$ $L_2 = 0.006Cv$ $L_3 = 0.007Cdv$	1000	125	131	130	1	100	128	設計速度	一般列車	OK		
			擬調整為	131	130	100	118	125.0	120.0				
			125			1	14,286	125.0	120.0				
花北009	傾斜 列車 $C_v = 8.4V^2/R$	1000	130	142	130	12		130	傾斜列車	速度增加	OK		
			擬調整為	123	85	38	60	115	設計速度	一般列車			
			115			38	226	115.0	110.0				
花北009	傳統 列車 $C_v = 8.4V^2/R$ $L_2 = 0.006Cv$ $L_3 = 0.007Cdv$	900	105	123	85		60	118	設計速度	一般列車	OK		
			擬調整為	123	85	60	118	115.0	110.0				
			115			38	226	115.0	110.0				
花北009	傾斜 列車 $C_v = 8.4V^2/R$	900	130	158	85	73		130	傾斜列車	速度增加	OK		
			擬調整為	123	85	60	118	115.0	110.0				
			115			38	226	115.0	110.0				

6、ATP 軟體資料建置

太魯閣號列車（傾斜式列車）正式加入營運前、後，工務處針對曲線半徑、曲線長度、曲線里程及曲線限速等，積極進行改善部分曲線條件，並再彙整確認，而工務處在與電務處、機務處的折衝協調作業過程中難免艱辛，但還是在各處的通力合作下完成 ATP 軟體資料建置。

7、挫屈與斷軌

以工務而言，影響行車安全的事故莫過於「挫屈」與「斷軌」，而「挫屈」事故常發生列車出軌，另「斷軌」事故通常只造成振動過大，尚不致於造成立即的出軌危險，茲將兩種狀況簡述如下：

7.1 「鋼軌挫屈」現象

經分析最近幾個月來發生的所謂「鋼軌挫屈」事故，嚴格的說，純以技術專用術語而論，標準的「挫屈」現象，應是軌道變形呈「S」形狀，且「方向不整」之程度超過「緊急整修標準值」等兩個要件時，方可稱為「軌道挫屈」。經查最近幾個月來發生多起的所謂「鋼軌挫屈」事故，其中部分事故點之「方向不整」之程度，僅止於超過「平時養護標準值」，而在「緊急整修標準值」範圍內，其餘事故點則超過「緊急整修標準值」，但全部均呈一個彎曲線形，因此嚴格的說，之前公布的所謂「鋼軌挫屈」事故，理應正名為「方向不整」較為適當。但在「方向不整」初期，如不依「方向不整」之程度儘速處理的話，往往就是造成「鋼軌挫屈」事故的潛在因素，因此工務同仁在查道或路線養護時，發現有此現象時，應即儘速通報並做適當之處置，方不致於影響行車安全。

7.2 「斷軌」

據統計，每年在焊接處斷軌之比率，以「鋁熱劑焊接」處最高，由於「鋁熱劑焊接」焊接時容易受天候及人為因素影響其品質，因此僅先就這部分採取因應措施如下：

1. 鋼軌熱劑焊接應使用同廠牌、同材料、以及同型式之焊接工具，在天候不良下絕對禁止焊接，如確需焊接時，務必要有遮雨設施。
2. 定期辦理焊接人員訓練，提昇焊接技術水準，鋼軌使用熱劑焊接時，應

- 確實依照工務處訂定之「熱劑焊接標準作業程序」辦理。
3. 採購簡易攜帶式鋼軌探傷設備，於鋼軌焊接完成後，即做焊接處探傷作業。
 4. 對於現有路線則利用超音波鋼軌探傷檢測設備，檢測焊接接頭及絕緣接頭鋼軌表面及內部是否有裂痕，並針對鋼軌損傷及影響程度，分級管理及做必要之處置。

8、結語

8.1 乘車舒適感與行車安全

路線養護的良窳攸關乘車舒適感與行車安全，乘車舒適度有賴軌道品質的提昇，行車安全則需靠平日的軌道管理才能防微杜漸，並在危險未發生之前即採取防範措施，避免嚴重影響行車安全。

- ### 8.2 路線的良窳，如同人們的喜、怒、哀、樂之表情，會即時顯示在軌道上，所以需要我們經常去巡查和養護，並建立管理制度，期以零事故、高品質的軌道為目標，誠摯的希望與工務同仁共同勉勵。

參考資料

1. 「傾斜式列車運轉路線曲線限速設定及軌道養護技術」－黃副局長民仁等七人 96 年 8 月出國考察報告。
2. 臺鐵員訓中心路線實務班教材「軌道線形」－溫彩炎。
3. 「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」。

企業併購對勞資關係影響的探討

張簡坤國¹

1、動機

在全球化的浪潮衝擊與資訊科技應用的「購併時代」(Age of the Deal) 當中，傳統企業組織與發展策略，已無法應付倍速變遷的商戰環境，企業為求在區域或全球經濟體中佔有領先優勢及市佔率，不得不藉購併 (Mergers & Acquisitions, M&A) 方式，進行垂直、水平橫向整合，或採多角化發展，並運用購併策略迅速擴張規模、競爭力、或掌握先進技術與管理制度，以產生合併綜效 (synergy) 達成追求企業生存或成長的終極目標。

為達成購併之預期綜效目標，企業高階經營者多藉由各種不同之策略角度思考規劃購併活動之動態流程，另輔以各式評估工具計算購併活動之合理化與效果。無可諱言的，絕大多數高階經營者在購併活動發展初期，均僅先將注意力集中在營運、財務及租稅等顯明因素之有形資產層面，但歷經併購過程之高階主管均心知肚明，載負企業智慧資產的「人」這種非顯明因素，才是購併活動可否極致發揮績效的關鍵，若未對「人」的指標加以認知、專業查核及判斷、與積極整合，則任一併購案均有導致無可估算損失之風險，此中外皆然 (劉忠欽 2004)。

在併購的過程中，雇主通常利用「僱用契約無效」的手段，藉以有效地達到經營整合之目的，而且在整合過程，通常都不讓勞動者知道將來的雇主是誰，以及相關整合決策。

此外，原本勞資之間基於信賴基礎，雙方所締結的勞動契約內容，除了明文規定之外，事實上還有依存於勞資雙方的信用與相互責任之基礎上 (暗默契約)，例如各種事實上的勞動慣行、企業內規等。但是由於併購的發生，這種「暗默契約」的內容，很有可能遭到變更，並且造成勞動者具體的不利益。為了進行併購，雇主經常使用這些計劃性地侵害內部規範的戰略，殘酷地行使其企業經營之權力。

由於解僱而產生的一個重要結果，則是各種所謂「非典型僱用」型態的成長，例如部分工時勞工、一定期間受僱者、臨時受僱者等。根據 ILO 的報告書顯示，企業之所以採取此種僱用型態，係來自三種壓力：一是由於根據團體協

¹ 本局高雄機廠副工程司兼工場主任

約內容的規定，屬於人事僱用的固定成本居高不下；二是由於國內本身勞動市場的勞動成本較高，只好轉向具有競爭力、低勞動成本的海外勞動市場尋求勞動力；最後則是由於對彈性化、立即反應力、適時（just time）生產的強調，以及高業績的勞動組織制度的導入等。

就非正式僱用的情形比較，美國的非典型僱用勞動人口占其全體受僱者的30%，是1980年初的三倍。在歐洲方面，瑞士為三分之一，荷蘭則占39.4%。亞洲方面，日本傳統上雖然有長期僱用的習慣，但為短期利益考量，非正式僱用的比例逐漸增加，已占全體25%（林良榮2003）。

企業為了提升整體競爭力，我們可以看到有很多的企業購併正在進行中。但是由於購併本身在商場上，一般屬於最高機密，僅由公司最高層級的核心人員知道，最後只有在簽約或因為股票上市上櫃公司，依法需事先宣佈的情形下，才會曝光。但是我們必須遺憾的說，企業在購併的前置作業或善後處理過程中並不重視人力資源管理、勞資關係管理。因此，往往發生很多的危機，造成整體購併事件最大的敗筆，明顯降低購併所預期的效益，甚至無法順利完成購併。

一般在購併時，因為購併公司，往往抱著較高姿態，強勢對待被購併員工，採取控制型溝通方式。同時在購併生效期限的壓力下，展開迅速裁員、資遣、降薪、製造出很多危機。其實，不只是被購併公司員工會有危機心態，原購併公司員工，也會因為怕競爭，擔心未來工作權是否仍有保障而不安。後果是，員工覺得前途茫茫未卜，到處謠言滿天，士氣低落。公司則因此發生生產力大減，勞資關係對立，組織氣氛惡劣，優秀員工紛紛離職等負面現象。將整個購併所預期的正面效應大打折扣（周昌湘2004）。

2、文獻整理

多數企業在購併的前置作業或善後處理過程中，並不重視人力資源管理及勞資關係管理，因此往往發生危機，造成整體購併事件最大的敗筆。企業針對這兩方面做加強，才能讓購併後的新企業迅速而順利走向成功之路（周昌湘2004）。

與美國始於十九世紀末經濟大蕭條後之購併活動相較，本國近十年才進行之購併活動顯然相對落後將近一世紀。雖有文化社會等特性相異與寧為雞首之民族因素，我國無法盡以「典範移轉」（paradigm shift）移植西方社會之購併模式，然他山之石可攻錯，根據美國媒體譽為「購併大師」之 Timothy Galpin 研

究表示，在美國如火如荼進行之國內外購併熱潮中，近四分之三不是大失所望未達事前評估預期目標，或更有甚者就是徹底的失敗，其主要原因之一即「人」的議題多未加以謹慎處理。在購併整合效益評估上忽略對人員及文化的差異分析與應對方案，也欠缺留任關鍵人才與穩定人員軍心的策略，最終導致購併後企業之生產力下滑進而影響整體表現。故 Galpin 認為，人力資源與企業文化得否整合，已成為順利進行購併活動過程中的關鍵因素（劉忠欽等 2004）。

在景氣不佳、企業競爭激烈的情況下，企業必須開源節流以維持利潤。而人力節流的方法不外乎縮減工時、減薪、留職停薪、延後調薪或要求員工提早退休、甚至裁員等等。不論是哪種方式，對員工利益一定有所折損。如何因應企業必須裁員的窘境，並且做出對員工有利的安排，使勞資雙方保持和睦關係，同時也能維持留任的信任感和對工作的積極態度？這都是企業做出裁員決定前必須小心評估的重點（楊惠娣 2003）。

過去三、四年全球銀行業最重要動態是大購併、大裁員。亞洲金融危機爆發之後，IMF 對南韓這些國家的建議之一就是以裁員恢復其國內勞動力市場彈性，因此大幅裁員不僅發生在南韓，印尼、泰國等皆然，但經濟狀況仍不見起色；即使安渡金融危機的墨西哥，預計 2000 年至少有 25000 名銀行員將被資遣。2000 年三月，德國德意志銀行與德利銀行準備購併，並宣告裁員 16000 名，最後購併計畫雖然告吹，但德利銀行為了表示渴望被買的誠意，還是裁掉六千人，德意志銀行則裁員四千人。所以不論有無購併，員工被犧牲的命運早就注定了。即使是資本主義體系正常運作的金融業也有裁員，美國於 1999 年一至九月因購併裁員超過六萬人，其中美國銀行與 Nations Bank Corp. 合併裁掉 18000 人（主要是基層員工），約佔 10% 勞動力。

勞工運動不只保障自我工作權的運動，也是一個社會性的運動。面對 WTO 反民主體制、面對購併及裁員風潮，我們應該要將戰線拉開，不僅要爭勞工的權益，也要積極爭取職場工作規則的制定，包括制度的改變及科技的運用必須以保障現職人員的技能為前提（陳信行 2004）。

新世代人類的思考、行為模式都與過去不同；生產工具、生產模式也因不斷改變而不一樣，加上生活背景及對工作和對自我的期許也不盡相同，因此對於 HR 從業人員而言，未來的管理方式將產生前所未有的變化，各級主管們也需有截然不同的技巧領導新時代的員工。

可以預期，未來企業間的併購及企業內新事業部的成立及因事業部的裁撤

會不斷地發生，且頻率會越來越高，組織可能一邊裁員，一邊招募新員。這是因為員工具備的能力不同，對工作的適合度就不同，因此公司內部人員會不斷發生變動。再者由於公司員工的虛擬化，使得員工對公司的認同及企業文化的建立亦越來越困難，成為 HR 的另一挑戰。

另外，勞資關係及工作倫理的維繫方式也跟著改變，雇主與員工的界線將不若目前明確，勞基法如果繼續僵硬如昔，將會發生適用困難的情形。如彈性的工時、多樣化的工資該如何訂定，都很難規範。這種改變需要 HR 人員特別注意（王冠軍 2000）。

十年前通常我們想到一個公司裏的「人事部門」，所想到她的工作範圍的就是找人、補人、付薪水、加退保；而今科技的發展和全球化的浪潮、精密儀器不斷問世、通訊自由度產生的新工作型態、高技術工作的高成長需求，都使得員工的管理面臨全新的挑戰；而企業體併購頻繁、大者恆大，精簡體制者則須全方位高產能部隊，使得人力資源管理成了二十一世紀不分業種、不分規模、不分國家之公司企業產能與組織運轉首要課題與管理核心（李誠 2000）。

科技的發展，改變了職場工作者的工作型態與心態，連帶的也對勞資關係的互動產生了質變。面對這樣的變化，管理者及員工應該建立正確的觀念及充足的準備，才能創造和諧的勞資關係，為經營績效打下堅實基礎。

勞資糾紛不斷，企業及員工如何因應：受到經濟不景氣的影響，國內許多大型企業紛紛以減薪、裁員做為渡難關的解決方式；但是，由於影響到員工的工作權益，又缺乏良好的溝通，導致員工心生不滿，群起走上街頭。面對不斷上演的勞資糾紛，損失的不僅是當事人的勞資雙方，社會也常因此付出許多代價。真正有智慧的企業主、勞工、以至於政府當局應該記取教訓，共同建立一套完善的因應之道。

以同理心做好勞資溝通：勞資雙方要能同心向相同目標前進，彼此的溝通就非常重要。勞資溝通常面對的是管理階層與員工雙方的角力戰，通常兩者中間在思維上有相當的差距，唯有彼此以同理心、誠懇與互信相待，去除本位主義，跳出自限的框框，才有可能化干戈為玉帛（奚永明 2000）。

近年來，在政經環境的變遷、政策法規的轉向與產業結構的競爭等種種不確定因素之下，企業無論大小、不拘行業，無不絞盡腦汁想破繭而出，或求生存、或求成長、或求獲利、或求穩定，或比速度、或比價格、或比品質、或比彈性，電子商務、智慧資本、虛擬組織、流程再造、核心能力、策略聯盟、企

業併購、勞務外包……等競爭方法風起雲湧，猶如八仙過海各顯神通，令人眼花撩亂。尤其在人力資源運用上，對企業營運策略的擬定與競爭優勢的建立，更是扮演著關鍵的角色（陳國卿 2004）。

3、企業購併前後對勞資關係的影響

企業購併，乃由兩個或兩個以上企業的結合。由於彼此產業性質、作業程序、文化觀念等的不同，必然對被購併公司的組織與員工，造成莫大的影響。茲依其對企業組織、及員工的衝擊與影響來加以說明。

1. 對企業組織的影響

首先可以了解，企業完成購併手續後，購併者必然會介入被購併者組織與員工方面的運作。而購併公司在組織上的整合，猶如人體器官移植。隨著組織複雜度的提高，整合所需的時間也越長，對組織的影響也越大，且失敗率也越高。這種調整的進行過程，對購併業者的組織與員工，易因彼此的觀念、結構、程序等方面的不同，而產生適應上的衝擊。

另外，由於不同企業文化的結合，若不能融合兩種文化的衝擊，就易帶給企業全面的緊張氣氛，往往造成員工感受上的衝擊，使人員創傷，使其心理契約遭到破壞，進而產生防衛性的行爲，而使預期的綜效（經濟規模、科技移轉等），無從顯現。

國外的研究指出，企業購併有 1/2~1/3 的失敗，乃以員工不能互相了解，造成文化衝擊，為最主要的原因。而文化衝擊的形成，乃因企業購併後造成雙方組織文化的動盪。而如何協調這些企業文化，卻是購併中最複雜的部份。若未能謹慎處理，必會引起企業的緊張，進而演變為衝突。

從相關研究發現企業如購併較相關的企業，成功的比率為 36%，而購併較不相關的企業的成功率，僅為 26%。購併規模較小的企業，較購併規模較大的企業易成功，其比率為 41.5% 比 25.0%。因為較相關的企業，組織性質較相近，故對被購併組織的衝擊較小。而規模較小的企業，在組織性質上，較無強烈與獨特的自我特點，則易遵循規模較大企業的組織習性，故易接納被購併業者的組織性質，衝擊較小而較易融合。

2. 對員工的影響

學者們針對被購併公司的管理者與員工進行調查，整理出五項員工主要關心領域：

- 認同感的失落－由於購併使得員工原先在組織中的地位，忠誠、認同感、未來的期望，變得不再可信賴。
- 缺乏資訊且增加焦慮－關心未來工作展望、薪酬制度、角色改變、可能的工作地理位置改變、生涯規畫、幕僚改變、工作性質改變、組織文化改變。這些不確定性包括：(1) 工作的喪失 (2) 工作內容改變-新的工作角色與工作指派 (3) 調任新職務或工作地點 (4) 薪酬福利制度改變 (5) 獎金制度改變 (6) 生涯途徑改變 (7) 在組織中的影響力、地位和特權的改變 (8) 人員改變-新同事、上司、與部屬 (9) 企業文化改變和對公司的認同喪失
- 留任員工產生妄想 (Obsession)－受到謠言影響，員工只關心能否留任並保有現有的地位、特權、影響力和職業，造成了在員工間破壞性的競爭，並進而損及組織目標。
- 人才流失－購併導致許多人失去工作，許多員工也因而選擇離開。而留任員工對於他們的離職，情緒常是生氣、憤慨、沮喪。同時購併常也導致留任員工工作量的增加，他們必須經歷過去未經歷過的角色模式改變。
- 家庭影響－家庭除了面對經濟來源喪失，還要面臨失業在家者的情緒與心理反應。焦慮、罪惡感、沮喪和自尊的喪失影響他們的情緒、行為和與家庭成員間的互動。另外，學者也提出三項人力資源決策，可能會影響員工的知覺感受與行為，包括：

1. 裁撤員工

沒有明確的規畫，使員工產生不確定與無助感。通常由購併公司管理階層來主導整個裁撤過程，被購併公司管理階層則通常不能夠參與相關決策。

2. 企業文化的融合

企業文化的差異可能來自歷史背景、地理環境、產業類別，甚至是高層管理人員的行為模式和風格。購併雙方公司文化的契合度對於購併的成敗有著相當大的關聯。購併導致文化衝突問題，員工必須面臨新的價值觀與信念。

3. 獎酬制度

有四種獎酬的改變在購併中扮演重要角色，分別是工作保障、薪酬福利、工作自主程度、績效回饋。而其中工作保障是最重要的因素。

Pritchett 在 1996 年的調查中指出 47% 的被購併公司高階管理者在購

併後一年內離開；72%的高階主管在三年內離開；在 Walsh（1988）所做的調查也發現被購併的公司比一般公司中，高階管理者的離職率要高出許多。另外合併對組織造成一些明顯的損失，如：缺席、離職、產出。還有一些更複雜的成本，像是士氣、忠誠度、信任感和組織認同等。

合併壓力導致的金錢損失是很難估算的。壓力可能造成員工一些身體健康問題如：高血壓、偏頭痛、失眠...等；壓力也造成員工一些心理問題如：沮喪、氣憤、喪失自尊...等。而員工身心健康問題將直接影響員工行為和公司的營運，例如健康問題將影響到員工出勤和績效；另外，心理問題也可能使員工不肯面對工作（黃同圳 2004）。

假如是被購併的員工不同意留任，就不要簽署購併同意書，申請勞資爭議處理，要求公司提供資遣費、不休假獎金、年終獎金、薪水利息、績效獎金、退休金、產假（女性員工）、職工福利金、服務證明書、職災補償金等給付。

如果不排斥購併的員工，以員工權益不受損為前提，關心不同企業文化是否能彼此適應，以及購併後因員工職務重疊被裁員資遣問題，薪級差距、員工升遷、為降低成本措施以及僱用彈性化的壓力，勞工的工作保障降低，離職流動率也相對增加。購併直接導致工作位置減少，最受影響的就是業務內容技術層次較低的員工。在購併過程，雇主、組織、工作團隊、企業文化均不斷改變，目標與策略重新定義，且營業據點遷移或結束。這個趨勢帶來一股威脅，只要沒有達到預期目標，隨時會被裁撤；這將迫使勞資之間的集體共識崩解，取而代之的是個別化的待遇，而同事之間必須相互競爭來保有工作，例如強調產品促銷遠超過顧客服務，這是因為紅利來自於銷售業績與仲介佣金，傳統強調的服務品質現在已經不再受到獎勵。

新的雇主往往藉由購併機會，重新談判勞動條件，並且可能會打破過去團體協約的模式，另以個別契約取代，工會的協商權因此受挫。留任員工希望新團隊的管理階層要確保優良的人力資源管理政策，像是集體協商、薪資級距、退休模式或福利內涵等，而且公平、透明的勞動條件，才能提升員工的動力，並且不應該損害員工既有的薪資與權利。然而購併之後倖存下來的員工，通常都會面對工作量增加、壓力變大或工時變長等狀況，導致工作士氣低落，不利於組織表現，然而雇主卻執意

堅信是市場競爭的需要。

以中鋼機械廠為例，其前身係台灣機械公司機械場，員工編制約 550 人，因市場業務萎縮，未能達成經濟部核定目標，逐年虧損，遂於 1997 年依民營化移轉條例辦理資遣、優離優退等方案，實施組織變革。年資較淺員工近 190 人，續留原單位，由中鋼公司接手購併。

前台機公司機械場有成立產業工會，因在民營化過程當中，由於工會組織小、經費有限、外界奧援助力不大，造成年輕員工的種種勞動條件的降低，例如：薪資減半、工作量遞增、工作權不保等等。由於工會協商談判的勞動條件受挫，團體協約的模式被打破，功能不彰，造成會員對工會產生不信任感。

1997 年中鋼以前設備處長等 10 位高階主管，負責接掌廠務工作，由每年營業額 6 億元，逐年遞增目前近 30 多億元。各項工程業務多以委外承攬來進行，與編制內員工合計約 520 人的規模。被購併員工由於之前的工會，未能發揮功能，造成心靈創傷，迄今未再成立工會，此乃由購併之後文化差異、工會角色所造成的影響。

4、結論

企業透過併購或以持續實現獲利成長之目標、或以強化產業策略體系，或以提高整體之市場競爭力，原都是企業併購法鼓勵之目的。但於企業併購過程中，"人"實為最大之變因。不論是併購之接觸、談判、協商、併購條件之形成、人員之流動，均係由個體之人主導併購之進行。其中，在知識經濟之今日，透過併購之實踐，已不再是著重以有形資產之取得，對無形資產特別是 "人力資源"，已是企業併購獲利之保證。針對企業進行併購過程，人力資源所涉之處理程序，從管理與法律之不同角度出發，期藉由不同學門之思維方式，呈現較活潑之表現方法。

就管理面，在著手進行購併前，管理者應先認知，購併對企業組織將產生巨變，故需自我建立三百六十度的完整心理建設，備變革衝擊之用。然而在另一方面，就企業內人力資源來說，變革並非始於購併合約簽訂的那一刻，而是確定購併案的消息對內佈達以後。故針對併購本身與程序上所涉之不同人力資源挑戰，我們從企業併購發展流程，分別探討說明規劃、交涉、執行等不同購併階段，管理者所應面對之軟性溝通課題，並進一步提出可行之思考方向，供

企業各階層之管理者在進行併購決策時，能就人力資源的評估與結合流程為更適性的分析處理，俾使資方不違購併初衷，同時勞方亦針對變動得有較為周全之準備。

就法律面，我們討論被併購方之勞工就企業併購之際，其同意權之對象、內容，並對留用後之勞工是否得主張企業文化之差異而得向併購方以非個人因素請求資遣？就這點因涉企業併購法第十六條第二項之解釋，企業併購法第十六條第二項所指之「非個人因素」應回歸勞動基準法所建立之體系思考，尚不具嶄新之意義。至於金融機構是否得於留用後主張適用企業併購法第十六條之規定，因金融機構合併法為企業併購法之特別規定，故其於金融機構合併之際，關於金融機構之員工權益僅得適用勞動基準法。留用年資之承認，討論到之問題在於是否得因企業營運管理之需要採行先由被併購方資遣結算年資再重新由併購方聘用起算年資之處理模式？就這點，該條之規定尚非指強制規定，而得由企業基於併購之際之實際營運考量，於經勞工同意之前提下，自行規劃適宜之方案以取得優質之人力資源。

另於企業併購之際，一般亦帶有人事調動之規劃，雖然勞動基準法並未就此有明文之規定，然因調職與借調，均涉及勞動契約及勞務專屬性之規範，仍應遵守俗稱之內政部「調職五大原則」並應避免權利之濫用。因此，於企業併購後所形塑之組織結構間所涉之人員流動，宜於徵得勞工之同意後再予調動或以工作規則或相關企業管理規定訂立有關調職與借調之勞工權益之規範明文依據。就退休準備金之問題，雖然企業併購法規定應依合併或分割之比例等併購態樣而移轉退休準備金，惟因勞動基準法目前就退休準備金之設計並非以個人為提撥之對象，因此，立法上雖係考量維護勞工因企業併購後之退休權益，然這筆退休準備金移轉後是否均得用於這些被併購之勞工，仍有相當大之疑義。同時，雖然企業併購法第十五條規定企業併購之際應提撥足額之退休準備金，但是並未就該規定設有任何違反之效果，故被併購之企業如未提撥足額之勞工退休準備金，併購方是否得向被併購方主張減少併購之價金？仍需企業於進行併購之際，妥為規劃。

企業內之工會組織於企業併購之際所扮演之角色與地位，似乎並未被凸顯與討論。然因工會係一獨立之法人組織，為讓工會得以併購後存續之組織體為爭議之對象，設於被併購雙方均有工會組織時，當有工會合併之問題，或設如僅被併購方有工會組織，則仍有工會分立之問題猶待解決。值得注意

的是，在企業併購之際，為求穩定人事，似可考慮以工會之名義與併購企業締結團體協約以取得團體協約法之規範效力，促進並確保併購雙方勞資條件之一致性。對於以職工福利金成立之財團法人，於企業併購之際遇有財團法人解散、清算之時，關於該職工福利基金，因不具有公益性質，其剩餘財產之分配係以解散、清算之際，仍在職之職工為對象，尚不適用民法有關財團法人解散、清算之規定。

5、參考書目

1. 王冠軍，2000，「E 世代人力資源管理的新挑戰」，工商時報：11/25。
2. 李誠，2000，「人力資源管理的 12 堂課」，台北：天下文化。
3. 李誠等著，2004，「知識經濟的迷思與省思」，台北：天下文化。
4. 林良榮，2003，「金融併購對勞資關係的衝擊」，勞動電子報。
(<http://labor.ngo.org.tw/weekly/C230412.htm>)。
5. 林良榮，2003，「金融併購對於僱用及勞動條件的影響」，勞動電子報。
6. 周昌湘，2004，「忽略人力資源購併有危機」，哈佛企業管理顧問公司。
7. 奚永明，2000，「現代職場的新勞資關係」，管理雜誌：第 309 期，1—12。
8. 黃同圳，2004，「企業併購之人力資源管理策略」，電子雙週報。
9. 陳信行，2004，「加入 WTO 對台灣政經發展之影響」，銀行員工會全國聯合會刊，第 45 期。
10. 陳國卿，2001，「論勞動派遣對企業經營的影響」，亞洲資訊網。
11. 楊惠娣，2003，企業裁員有術，台北：EASY221。
12. 劉忠欽等，2004，「企業併購與人力資源之處理」，台北：律師知識園地第五期。

價值工程分析及 TRIZ 方法應用在鐵路便當改善之研究

劉淑芬¹

1、前言

鐵路便當長久以來為方便旅客用餐而存在，它不只是填飽肚子的食物，更蘊藏許多人成長的記憶。目前臺灣鐵路管理局鐵路便當係由餐旅服務總所的臺北、臺中、高雄餐廳及車勤部等單位所提供。

臺北餐廳成立於西元 1949 年，經營迄今已近 60 年的歷史。近年來，因受內、外在環境之衝擊，業績大不如昔；曾經考慮以外包、合作廠商包底抽成等方式辦理，但基於維持鐵路便當品牌及品質，臺北鐵路餐廳希望以自營方式繼續經營，並藉由價值工程研析方法，針對可提升鐵路便當銷售之因子加以評估，研析拓展銷售之方法，俾增裕餐廳營收並提升鐵路形象。故除維持既有客群外，如何賦予鐵路便當新生命並擴展銷售範疇，一直是鐵路餐廳努力經營的目標，也是本次工程研析的課題。

本研究以價值工程(VE)方法進行研析，於創意階段導入 TRIZ 手法，讓資源找出理想解消弭「矛盾」(Contradictions)後，進行腦力激盪(Brainstorming)，再以田口方法歸結出最適方案，使整個研究案更臻完善。

2、研究方法

價值工程(Value Engineering)和 TRIZ(Theory Resheneyva Isobretatelskehuh Zadach)均為強而有力且相互競爭解決問題的方法。VE 和 TRIZ 的發明者皆承認其方法各有其優、缺點。

VE 的缺點在創意階段(Speculation Phase)，由小組成員共同創意思考，其結果的好壞受制於小組成員。

TRIZ 的創意階段(Creative Phase)不受小組成員的限制，藉由其方法可提出數以千計的發明，且在思索創新的過程中克服物件相互的矛盾(contradictions)。TRIZ 的缺點在於缺乏 1.前置作業：確定工作的目標和範圍及可能侷限於框構中。2.對建議案缺乏一套公平性的成本評估。

¹ 本局秘書室視察

鮮少有工具相互合作後能克服彼此的缺點，而本研究 (Com bined VE& TRIZ Methods)乃是藉由 TRIZ 中創意階段的手法與 VE 的 FAST 圖之結合，來改善提升 VE 中創意階段的研析。

2.1 價值工程(VE)

價值工程是二次世界大戰後發展的管理技術，發生的起因是在戰時，由於物資缺乏，許多廠商被迫採用替代材料、製程、工法等來完成預定標的物的生產製作，事後他們卻發現這些替代方案的性能較原先規劃者，有過之而無不及，但成本卻明顯下降。這些現象一而再，再而三地發生，使有識之士相信一定有某種循序漸進的方法，用來發掘不必要的成本，並在不降低品質的考量之下，尋找替代方案，以降低成本。

就在這種認知之下，美國奇異電子公司於 1947 年任命 LAWRENCE MILES 全力開發降低成本方案。MILES 首先探討機能分析和成本互動關係的觀念，隨後機能評估、創造性思考等模式亦繼之建立，終於發展成型，起初名為價值分析(Value Analysis)，後來被稱之為價值工程 (Value Engineering) 或價值管理 (Value Management) 之管理技術。

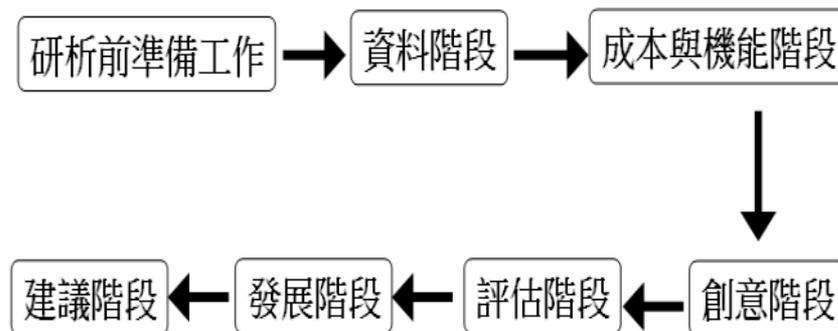


圖 1 價值工程研析流程圖

研析前準備工作：包括確定工作之目標及範圍；VE 應用對象和需解決的問題。

- 1.資料階段：包括完成現況資料的蒐集及整理。
- 2.成本與機能階段：定義機能並配合成本模式，製作成機能成本矩陣及成本分析。再系統化機能分析技術 FAST 圖(Function Analysis Systems

Technique)，幫助小組成員瞭解系統運作。

3. 創意階段：VE 小組集思廣義利用 Brainstorming 等方法提出各種有助於提高價值之替代方案。
4. 評估、發展及建議階段：藉由成本分析與各方案優、缺點比較，評選出最佳方案，應用田口方法預期最佳方案之成效。提出研究報告，獲得業主認可及確認資金的來源。

有效率的 VE 研析可降低成本、提高機能，但維持原有機能、降低成本亦廣被接受。VE 的優勢之一是應用系統化機能分析技術 FAST 圖；FAST 圖本身並不能解決問題，而是把系統架構或問題以機能邏輯的形式呈現出來，以激發 VE 小組產生滿足機能需求的構想。

VE 的缺點在於 VE 小組的運作，有效率的小組可運用 FAST 圖找出機能需求，針對機能需求做創意思考，因小組成員的相互認同、激勵可獲得不少滿足機能需求的創意；相對地，若小組成員彼此不信任、各持己見、墨守成規，則恐難激發創意，而淪於相互批評、攻訐。

2.2 TRIZ

TRIZ 的原義是「Theory of Inventive Problem Solving」，是一種系統化的發明工程方法論，它原本是要幫助發明家透過有系統、有規則的方法來解決發明過程中所可能碰到的種種問題。

1946 年，當時二十歲的 TRIZ 創始人—Genrich Altshuller，任職於前蘇聯海軍專利局擔任專利審核員，在專利的審核作業中，他察覺到任何一種技術系統(Technical System)的創新過程中都有其一定的型態與過程「3」。

他開始從 200,000 件的專利中著手進行研究，企圖從世界上最具創意的專利中找出其中的基本原則與型態。他發現每一個具有創意的專利，基本上都是在解決「創意性」的問題，所謂創意性的問題，Altshuller 的定義是：其中包含著「需求衝突」的問題，也就是他所謂的「矛盾」(Contradictions)。

同時他也發現解決這些衝突的基本解被一再的使用，如果後來的發明家能夠擁有早期解決方案的知識，那麼他們在創新發明的的工作將會更為容易；他開始著手此類相關知識的萃取、組織與編輯，經過整理後的專利資料庫與隨後陸續進行的分析工作，不斷地發現能夠幫助解決創意性問題的創新過程與方式。

在 Altshuller 與他的弟子五十多年的持續不斷努力下，終於演繹出一套能夠以系統化方式解決當前創意性問題的創新發明理論與技術，這套理論技術包含了創新問題定義與確認的規則程序、一套解決創新問題的工具箱與龐大的知識資料庫。

2.2.1 工程問題常見的矛盾

在面臨工程的問題時，Altshuller 指出發明者常面臨到「技術矛盾」與「物理矛盾」的問題。「技術矛盾」是指在一系統中，當一個參數被改善時，另一個參數即變差，例如：動力對照耗油量、重量對照強度等；「物理矛盾」則是指同一個參數的兩個互相相對的特性，例如冷和熱、長和短、軟和硬等。

茲以一家庭房車為例來說明這兩項矛盾；當我們在市區裡找停車位時，希望車子小以方便停車，但是在開車時又希望車子大，感覺寬敞舒適，這就是物理上的矛盾。而在汽車製造廠中，如果要使汽車內部空間寬敞，當然外型上也會跟著加大，這就是技術上的矛盾。其中，汽車內部空間寬敞為好的因子，外型大為壞的因子。

圖 2 為 TRIZ 用以解決矛盾之流程圖。當拿到一個問題時，必須先判定這個問題的矛盾點是技術矛盾還是物理矛盾，如果此矛盾點是技術矛盾，則可以使用 TRIZ 中的「矛盾矩陣」來解決矛盾。在利用矛盾矩陣的方法中，TRIZ 整理出常用的 39 個工程上的參數，利用參數間常出現的矛盾，用矛盾矩陣在 40 個創新法則中找出其中可能解決此矛盾點的法則，而從這些被建議的法則利用類比思考的方式可以提供解決矛盾的思考方向。如果在矛盾矩陣中的 39 個工程參數找不到適合的參數，或在 40 個創新法則中找不到適合的法則，則必須把技術上的矛盾轉換成物理上的矛盾，再利用時間、空間或尺寸上的分離原理將物理上的矛盾分離，然後使用類比思考的方式求解。

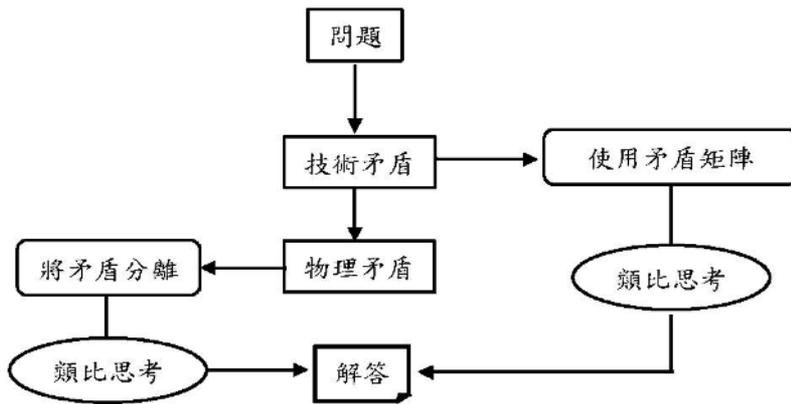


圖 2 TRIZ 解決矛盾流程圖

2.2.2 矛盾矩陣表與 39 參數

當我們遇到設計上的問題並試圖改善一個工程特性時，常發生的情況卻是導致另外一個工程特性惡化；傳統的方法是用妥協的方式，而 TRIZ 卻是利用消除的方法，依據 Altshuller 的分析歸納，經常遇到技術矛盾的系統特徵共有 39 個，將其對應解決的法則，整理成矩陣的方式，成為 TRIZ 方法中最廣為人知的矛盾矩陣。矛盾矩陣的縱軸為惡化的工程特性，而橫軸則為欲改善的工程特性，假設當設計者欲改善工程特性 A 時，將令工程特性 B 發生惡化的情況，即可經由直交快速找到解決問題的創新法則。矛盾矩陣為一 39×39 的矩陣，其中計有 1,263 個元素。表 1 為矛盾矩陣表的簡表，表 2 為 39 個工程參數依其屬性分類之六大群組分類表。

表 1 矛盾矩陣表簡表

欲改善的參數 \ 惡化的參數	1.移動件重量	2.固定件重量	...	
1.移動件重量				(35),(3),(24),(37)
2.固定件重量				(1),(28),(15),(35)
...				
39.生產性	(35),(26),(24),(37)	(28),(27),(15),(3)		

表 2 39 項工程參數（六大群組）

幾何	3. 移動件長度 4. 固定件長度 5. 移動件面積 6. 固定件面積 7. 移動件體積 8. 固定件體積 12. 形狀	資源	9. 移動件消耗能量 20. 固定件消耗能量 22. 能量浪費 23. 物質浪費 24. 資訊喪失 25. 時間浪費 26. 物質數量
害處	30. 物體上有害因子 31. 有害的側效應	物理	1. 移動件重量 2. 固定件重量 9. 速度 10. 力量 11. 張力、壓力 17. 溫度 18. 亮度 21. 動力
能力	13. 物體穩定性 14. 強度 15. 移動件耐久性 16. 固定件重量 27. 可靠度 32. 製造性 34. 可修理性 35. 適合性 39. 生產性	操控	28. 量測精確度 29. 製造精確度 33. 使用方便性 36. 裝置複雜性 37. 控制複雜性 38. 自動化程度

2.2.3 40 個發明原則

依據表 1 中，利用欲改善之特性參數與惡化的參數對應而得到之矩陣元素中出現之數字即代表建議之法則，此為 TRIZ 方法中 40 個發明原則，其列舉如表 3。

表 3 40 個發明原則

(1)Segmentation (分割)	(11)Beforehand Cushioning (預先緩衝)
(2) Extraction (萃取)	(12)Equipotentiality (等位性)
(3)Local Quality (局部特性)	(13) Inversion (反向)
(4)Asymmetry (不對稱)	(14)Spheroidality-Curvature (球狀、曲線)
(5)Combining (合併)	(15)Dynamics (動態)
(6)Universality(通用／普遍性)	(16)Partial or Excessive Actions (部分或過份的作動)
(7)Nesting (依次套疊)	(17)Moving to a New Dimension (移至新的空間)
(8)Counterweight(平衡力)	(18)Mechanical Vibration (機械振動)
(9)Prior Counteraction (預先抵銷)	(19)Periodic Action (週期運動)
(10)Preliminary Action (預先作用)	(20) Continuity of Useful Action (有效動作的連續性)

(21) Rushing Through (急速通過)	(31) Porous Materials (多孔材料)
(22) Convert Harm into Benefit (將害處轉換為好處)	(32) Color Changes (改變顏色)
(23) Feedback (回饋)	(33) Homogeneity (同質)
(24) Mediator (媒介)	(34) Discarding and Recovering (拋棄與復原)
(25) Self-service (自助)	(35) Transformation of Properties (改變物質特性)
(26) Copying (複製)	(36) Phase Transitions (相轉變)
(27) Dispose (丟棄)	(37) Thermal Expansion (熱膨脹)
(28) Replacement of Mechanical Systems (取代機械系統)	(38) Strong Oxidants (強氧化劑)
(29) Pneumatics and Hydraulics (使用氣壓和液壓)	(39) Inert Atmosphere (惰性環境)
(30) Flexible Shells and Thin Films (使用撓性殼和薄膜)	(40) Composite Material (複合材料)

2.3 Combined VE&TRIZ Methods

The Combined VE&TRIZ Methods 結合 FAST 圖、TRIZ 的發明法則及 VE 的腦力激盪法。其流程如圖 3。

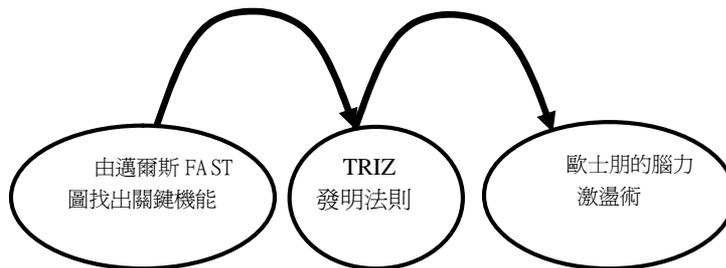


圖 3 整合 VE&TRIZ 方法

其步驟流程如下：

1. 首先應用 VE 之研析前準備工作：確定工作之目標及範圍；VE 應用對象和需解決的問題及其評估因子。

- 2.VE 之資料階段：完成資料的蒐集及整理、定義機能、成本分析並完成系統化機能分析技術 FAST 圖(Function Analysis System s Technique)。
- 3.完成系統化機能分析技術 FAST 圖並決定其要徑，建立 functional diagram，了解其機能相互好壞因果關係，即找出相互「矛盾」(Contradictions)，用矛盾矩陣在 40 個發明原則中找出其中可能解決此矛盾點的原則，而從這些被建議的原則利用類比思考的方式可以提供解決矛盾的思考方向。
- 4.利用 FAST 圖找出關鍵機能，結合 TRIZ 套用專利分析出來的參數與原則，藉由 VE 小組集思廣益，作創意思考，利用 TRIZ 以科學的方法來解析問題，找出最理想的問題替代方案。

3、實例研究(CASE STUDY)

3.1 研析標的物介紹

3.1.1 鐵路便當歷史

臺灣鐵路管理局之鐵路便當自 1949 年開始銷售至今，可謂歷史悠久；其包裝方式由最開始的回收鋁盒至回收不銹鋼盒，進而到鋁箔紙盒及塑膠 PP 盒，演變至目前的紙盒。

在菜色方面，傳統以排骨為主，配菜有酸菜、滷蛋及醃漬醬瓜等；另在售價方面，則由 25 元、30 元、45 元、60 元而至現在的 80 元。



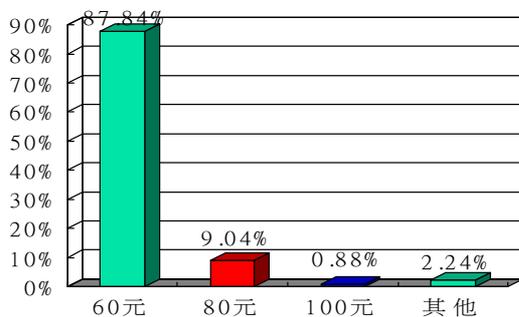
圖 4 傳統的鐵路便當

3.1.2 銷售狀況（價位屬性）

94 年度臺北鐵路餐廳共計銷售便當 656,993 份。主菜仍以排骨便當為主，主要有 60 元、80 元及 100 元三種價位，其中以 60 元低價位之便

當銷售量達 87.84% 為最高，如表 4。

表 4 94 年度鐵路便當各種價位銷售量分析表



3.1.3 顧客抱怨

在外部顧客方面，根據顧客滿意度問卷調查顯示，其滿意度不高之原因及所佔比例，分析如下：

1. 產品及菜色選擇太少 (70%)
2. 包裝賣相不佳 (12%)
3. 折扣較無彈性 (8%)
4. 其他 (10%)

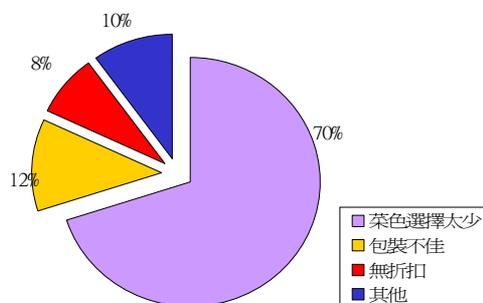
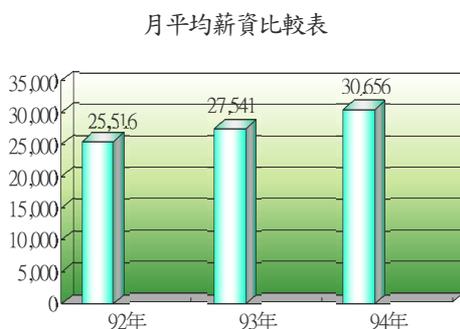


圖 5 顧客抱怨鐵路便當項目分析

在內部顧客【員工】方面，我們探究滿意度不高之原因，分析如下：

1. 工時長，工作一成不變。
2. 薪資低（如表 5），員工之薪資結構為 50% 的固定薪資加上 50% 的銷售獎金，便當銷售量不佳將影響員工薪資。

表 5 92 年至 94 年員工月平均薪資比較表



3.2 資料階段

3.2.1 SWOT 分析

針對優勢、劣勢、機會及威脅四個部分，以 SWOT 分析如表 6。

表 6 SWOT 分析表

SWOT 分析	
<p>優勢 Strength</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 悠久歷史，品牌知名度高 2. 銷售通路皆為人潮匯集處 3. 品質信任度高 4. 媒體關注及報導較多 5. 懷舊口味印象深植人心 6. 獨占列車飯盒市場 	<p>劣勢 Weakness</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 歷史較久，製作習慣及口味不易改變 2. 通路較少，侷限於車站及列車上 3. 賣點裝潢裝修變動，礙於採購法規及預算，變動較慢 4. 人員短缺，傳承不易 5. 包裝變化少
<p>機會 Opportunity</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 擴展網路訂購市場 2. 與異業結盟增加通路 3. 訂票可訂便當，拓展銷售 4. 各大站設立便當專賣點 5. 共構車站可吸引其他運輸客源購買鐵路便當 	<p>威脅 Threat</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高鐵通車後，減少客源 2. 車站週邊餐盒業競爭激烈，價格較低 3. 同業推出以鐵路便當為名之飯盒，搶食市場

3.2.2 要因特性分析

本小組利用要因分析法（圖 6），分析增加獲利之 6 大因素並圈選影響各因素之要因。

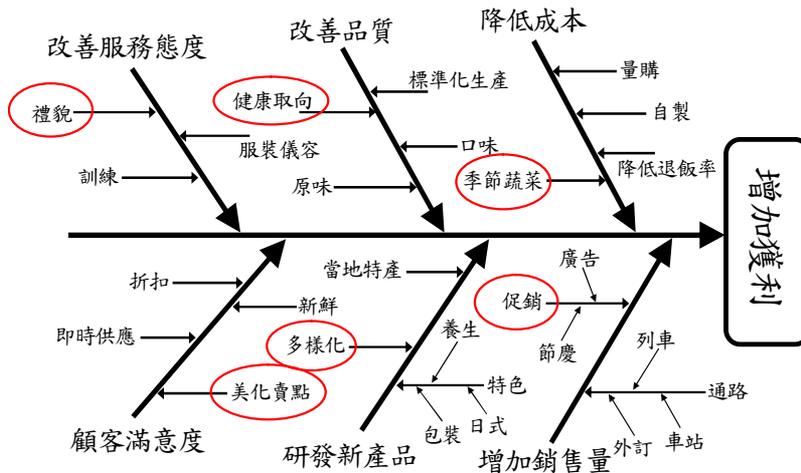
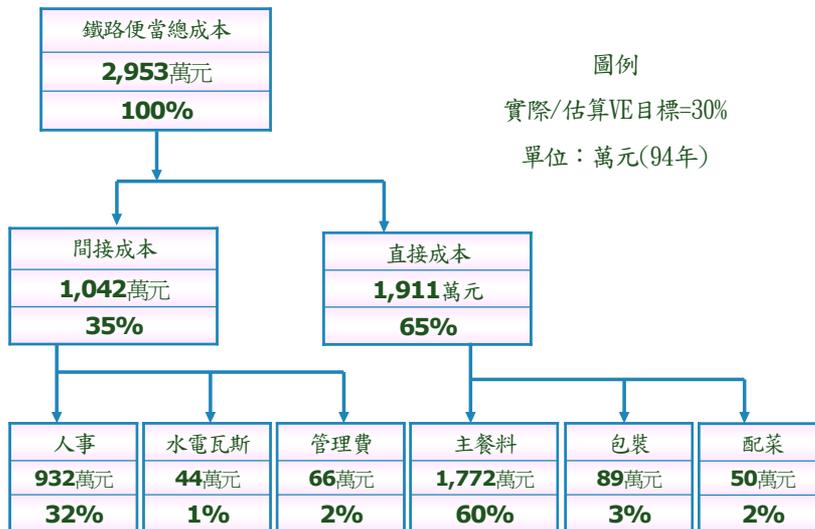


圖 6 要因分析圖

3.3.3 成本機能分析階段

3.3.1 成本模式分析

本小組以 94 年鐵路便當總成本 2,953 萬元進行分析，其分析成本模式圖如下：



圖例
實際/估算VE目標=30%
單位：萬元(94年)

圖 7 鐵路便當成本模式圖

3.3.2 成本條狀圖分析

由成本條狀圖（圖 8）中發現主餐料項目佔總成本的 60% 為最高，如能降低主餐料成本，就能降低總成本。

資料階段			成本條狀圖									
研析標的:鐵路便當之價值工程研析												
項目: 鐵路便當總成本(94年)												
項目	成本(萬元)	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
主餐料	1,772	60	█									
人事	932	32	█									
包裝	89	3	█									
管理費	66	2	█									
配菜	50	2	█									
水電瓦斯	44	1	█									
合計	2,953	100	█									

圖 8 成本條狀圖

3.3.3 定義機能

我們以動詞加名詞方式定義現有機能如(表 7)，並將機能分類為主要機能(B)、次要機能(S)、必要及次要機能(RS)。以表 7 主餐料為例，以變化菜色、降低成本、吸引客源為主要機能，以增加美觀、變化口味為必要次要機能，以俱全色香味為次要機能。

表 7 主餐料機能分析表

資料階段: 機能分析表 I		定義現有機能	
計畫名稱: 鐵路便當之價值工程研析			
項目: 主餐料			
	機能		
	動詞	名詞	種類
主餐料	變化	菜色	B
	增加	美觀	RS
	降低	成本	B
	變化	口味	RS
	吸引	客源	B
	俱全	色香味	S

B: 主要機能 S: 次要機能 RS: 必要次要機能

3.3.4 系統化機能分析技術

本組採顧客導向 FAST 分析如(圖 9)，以「增加獲利」為總體目標，以「確保衛生」為全時機能，藉由 FAST 分析及各事物機能比較，本小組討論以「吸引客源」及「行銷便當」為關鍵機能。

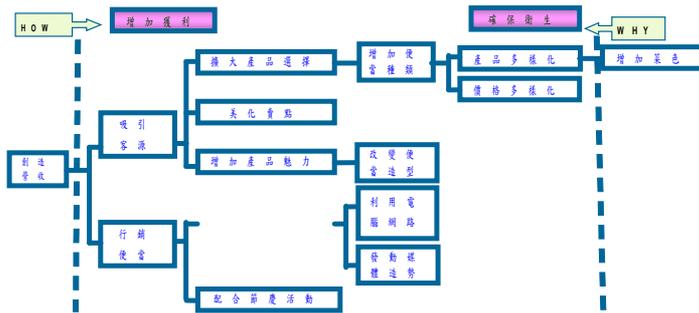


圖 9 鐵路便當價值工程之 FAST 圖

3.4 創意階段

本小組利用 TRIZ 方法分析其資源，於 39 個工程參數(Engineering parameters)中決定需要改善的參數；由矛盾矩陣表決定出發明原則供小組思考。

在需要改善的參數中，推演出 40 個發明法則中的：物理或化學狀態的變換、先前動作、局部或過度的動作、將害處轉換為益處、合成材料及局部特性等，再利用這些發明原則的方向去思考找尋解答。

經小組成員針對 TRIZ 的發明原則及 FAST 圖分析出變化菜色、行銷便當及美化賣點三大關鍵機能，進行腦力激盪產生以下構想。

	12、形狀	16、固定件重量	30、物體上有害因子	32、製造性	39、生產性
12、形狀					
16、固定件重量					
30、物體上有害因子	22 1 3 32	17 1 42 33			
32、製造性	1 28 13 27	35 16	24 2		
39、生產性	14 10 34 42	20 12 16 38	22 35 13 24	35 28 2 24	

圖 10 矛盾矩陣

3.4.1 產生構想

1.產生構想－變化菜色

- | | |
|-------------|--------------|
| 1. 主人&寵物 便當 | 9. 情人雙份便當 |
| 2. 快速滑輪便當 | 10. 韓式泡菜便當 |
| 3. 太空漂浮便當 | 11. 印度咖哩便當 |
| 4. 排骨燻魚雙併便當 | 12. 紫米鰻魚養生便當 |
| 5. 薰衣草雞腿便當 | 13. 結合地方風味餐 |
| 6. 彌月油飯便當 | 14. 太極養生便當 |
| 7. 寒天瘦身便當 | 15. 兒童、星座餐 |
| 8. 超大豪門便當 | 16. 孕婦、月子餐 |

2.產生構想-行銷便當

- | | |
|-------------|---------------|
| 1. 扮小丑發傳單 | 9. 買便當送紀念品 |
| 2. 鐵路節舉辦活動 | 10. 發行各式折價券 |
| 3. 利用媒體新聞報導 | 11. 綜藝節目介紹 |
| 4. 學校、異業結盟 | 12. 包裝精緻化 |
| 5. 明星、辣妹秀 | 13. 網路訂票附帶訂便當 |
| 6. 列車LED廣告 | 14. 便當宅急配 |
| 7. 車站播音 | 15. 降低售價 |
| 8. 買十送一 | |

3.產生構想-美化賣點

1. 車站造型商店
2. 機器卡通人造型超商
3. 鐵路咖啡廳
4. 火車運轉造型商店
5. 行動商店(花車)
6. 鐵路文物展覽館

3.5 評估階段

3.5.1 構想比較

針對創意構想，組員依構想列出優、缺點比較之，如表 8 創意構想優、缺點比較所示。

表 8 各創意構想優、缺點比較表

判斷階段 1/3		構想比較	
研析標的:鐵路便當價值工程研析			
項目:變化菜色		第 1 頁, 共 3 頁	
構想	優點	缺點	評等
紫米鱈魚養生便當	有益健康		A
彌月油飯便當	彌月送禮	接受度有限	C
主人&寵物 便當	培養感情	人畜難以溝通	A
排骨燻魚雙併便當	大眾化		A
薰衣草雞腿便當	粉領族	客群受限制	B
太極養生便當	健康養生	製作不易, 成本高	B
寒天瘦身便當	減肥專用且有飽食感	客群有限	C
超大豪門便當	份量夠	單價高	C
情人雙份便當	一次賣二份	客群有限	C
韓式泡菜便當	異國風味	重口味	B

判斷階段 2/3		構想比較	
研析標的:鐵路便當價值工程研析			
項目:促銷便當		第 2 頁, 共 3 頁	
構想	優點	缺點	評等
發行折價券	吸引顧客	利潤減少	C
鐵路節舉辦活動	吸引媒體大眾	節日有限	A
學校結盟	從小養成習慣	行銷不易	A
扮小丑發傳單	吸引人潮	人力有限	C
買便當送紀念品	吸引人潮	增加成本	B
列車LED廣告	免費宣傳	效果有限	B
辣妹秀表演	噱頭十足	成本較高	C
買十送一	吸引顧客	營收降低	C
網路廣告	年輕族群	銀髮族較少	A

判斷階段 3/3		構想比較	
研析標的:鐵路便當價值工程研析			
項目:美化賣點		第 3 頁, 共 3 頁	
構想	優點	缺點	評等
行動商店(花車)	活動式		A
鐵路超商	產品多	人力多	C
鐵路咖啡廳	複合式經營	限制多	C
火車運轉造型商店	有特色	成本高	A
機器卡通人造型商店	吸引人潮		B
車站造型商店	復古風		A

3.5.2 田口分析法

本小組以田口方法尋找最適當組合如下各表。

	因子	水準一	水準二	水準三
A	變化菜色	紫米鰻魚養生便當	主人 & 寵物 ♥ 便當	排骨燻魚雙併便當
B	促銷便當	鐵路節舉辦活動	網路廣告	學校結盟
C	美化賣點	車站造型商店	行動商店 (花車)	火車運轉造型商店

組合	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	$\Sigma 1/y^2$	S/N
1	1	1	1	9	8	9	8	9	0.013657	18.64632
2	1	2	2	7	7	5	6	6	0.027274	15.64245
3	1	3	3	6	5	5	5	6	0.035111	14.54555
4	2	1	2	7	8	6	7	8	0.019969	16.99648
5	2	2	3	6	5	6	6	5	0.032667	14.85895
6	2	3	1	6	6	5	5	7	0.031193	15.05946
7	3	1	3	6	8	8	7	9	0.018356	17.36214
8	3	2	1	6	9	7	8	9	0.0177	17.52015
9	3	3	2	4	7	7	6	8	0.029344	15.32483

	A	B	C
1	16.3	17.7	17.1
2	15.6	16	16
3	16.7	15	15.6
Effect	1.1	2.69	1.49

	因子	水準一	水準二	水準三
A	變化菜色	紫米鰻魚養生便當	主人 & 寵物 ♥ 便當	排骨燻魚雙併便當
B	促銷便當	鐵路節舉辦活動	網路廣告	學校結盟
C	美化賣點	車站造型商店	行動商店 (花車)	火車運轉造型商店

3.5.3 判斷階段

經本小組成員以田口方法尋找最適當組合如表 9，其中以替代方案一為最適方案。

表 9 構想比較表

判斷階段			構想比較
研析標的：鐵路便當價值工程研析			
構想	優點	缺點	評比
現況	1. 製作簡單 2. 採買食材方便	1. 旅客無選擇性 2. 無法提升營收 3. 菜色變化少	
替代方案一 . 排骨燻魚雙併便當 . 鐵路節辦活動 . 車站造型商店	1. 特定節日舉辦活動吸引人潮 2. 車站造型商店吸引顧客目光 3. 品質、形象提升 4. 物超所值	口味較傳統	
替代方案二 . 紫米鱈魚養生便當 . 網路廣告 . 行動商店(花車)	1. 養生概念符合健康潮流 2. 機動性高	成本增加 售價較高	

3.6 發展階段

3.6.1 成本估算

於判斷階段選出替代方案一為最適之構想，並將其發展成可運作之替代方案以供管理階層做為參考，其最後之成本估算如表 10。

表 10 新舊方案成本比較表

研析標的 鐵路便當 價值工程分析		本表格單位：萬元
項目	原案現況(94年)	替代方案一(95年)
	成本	成本
直接成本	1,911 萬元	2,226 萬元
間接成本	1,042 萬元	1,283 萬元
合計	2,953 萬元	3,509 萬元

3.6.2 原案與建議案之實績成效比較

原案總成本為 2,953 萬元，新方案成本為 3,509 萬元，將較原案總成本增加 18.83%，但因新方案實行後之便當銷售量將成長，盈餘亦將增加。

表 11 各種價位之新舊方案銷售量比較表

研析標的：鐵路便當價值工程分析		
單位：個		
項目	原案現況	方案一
	94年銷售量	95年銷售量
60元	577,107	509,255
80元	59,400	128,110
100元	5,798	63,812
其他	14,688	25,370
合計	656,993	726,547

表 12 94年與95年便當銷售量成長表

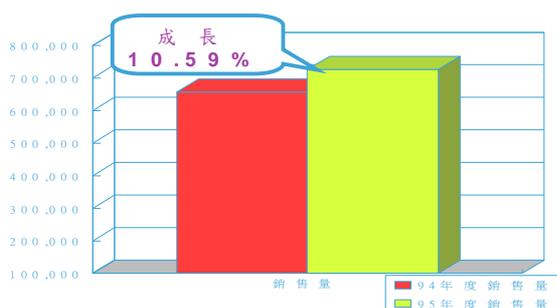
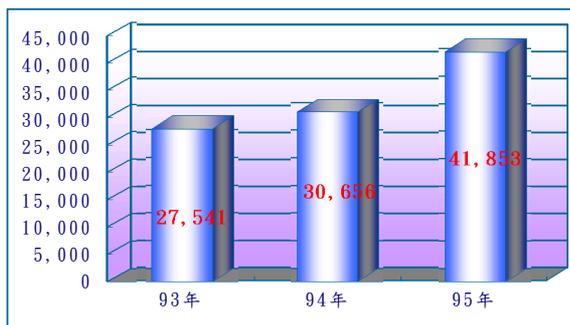


表 13 94年與95年便當銷售量分析表



表 14 93~95 年員工月平均薪資比較表



根據 93~95 年度臺北餐廳員工月平均薪資比較如表 13，採行新方案後，員工月平均薪資提高 36.52%，使員工對於工作的滿意度大幅提高。

3.7 建議階段

3.7.1 原案

原設計案：依傳統鐵路便當方式及菜色製作，未配合任何行銷活動，僅於原有販賣點銷售，業績無明顯提升。

3.7.2 建議案

建議案：推出新口味、新包裝之排骨燻魚雙併便當，將販賣點設計成懷舊車站造型，並利用鐵路節等特定節日舉辦活動，創造話題，吸引人潮。除盈餘大幅提升 61.32% 外，員工月平均薪資亦提高 36.52%。

3.7.3 原案與建議案之比較

從表 15 可發現：建議案成本比原設計案成本高，但整體獲利較原案可觀，且能滿足內、外部顧客的需求，提升鐵路便當的品牌及臺灣鐵路管理局的形象。

表 15 94~95 年營業額、成本、盈餘比較圖

建議階段		建議案：替代方案一
研析標的：鐵路便當之價值工程研析		
原方案：依目前製作鐵路便當方式，並於傳統販賣點銷售，業績無明顯上升		新方案：推出新包裝之排骨燻魚雙併便當，將賣點裝潢成車站設計，並利用鐵路節慶舉辦活動
優點：製作簡便、採買餐料較易 缺點：旅客選擇性少，菜色變化單調		優點： 1. 於特定節日辦活動可創造話題 2. 車站造型商店可吸引顧客目光 3. 品質、形象提升 4. 菜色豐富，感覺物超所值 缺點： 1. 菜色口味較傳統 2. 美化賣點成本較高
成 本		一、經採行新方案後，成本僅增加 18.83% ，盈餘則大幅提升 61.32% 二、員工月平均薪資提高 36.52%
原案： 2,953 萬元	原方案： 998 萬元	
新案： 3,509 萬元	新方案： 1,610 萬元	
增加： 556 萬元	增加： 612 萬元	
百分比： 18.83%	百分比： 61.32%	

3.7.4 執行成果

1 改變菜色

推出「排骨燻魚雙併便當」，亦同時嘗試製作「紫米鱘魚養生便當」試賣，結果確以排骨燻魚雙併便當 (約占 74%) 銷售最佳。



除招牌排骨外，燻魚係以生魚片滷製而成，為其特色。

圖 11 排骨燻魚雙併便當



養生飯以幫助消化及補血之紫米、燕麥、紅麴製作而成，並搭配鱘魚、私房菜為其特色。

圖 12 紫米鱘魚養生便當

推出超大豪門便當，會議時，養生、高檔餐盒，足以媲美高檔餐廳外送餐盒，深受業界訂購。



圖 13 超大豪門便當

2.行銷便當

95 年鐵路節於臺北車站舉辦鐵路便當及鐵路商品銷售會，吸引大批顧客排隊選購，活動三日之便當銷售量約較平日成長 50%。



圖 14 95 年 6 月 9 日鐵路節行銷實景

3 美化賣點

成立「臺鐵便當本舖」專賣店，以懷舊車站風格美化便當賣點，吸引大批旅客，購買人潮不斷。



圖 15 懷舊車站造型賣點

3.7.5 後續執行績效

1. 臺北餐廳更延續價工的精神，於 96 年 5 月推出原來創意構想中的「太極養生便當」，原先相當擔憂市場對高價位便當之接受度，未料經報章媒體免費報導，竟一炮而紅，供不應求。



圖 16 太極養生便當

2. 目前除日本方面力邀參展鐵路便當之外，臺北餐廳亦多次接受報章媒體之採訪，不僅拓增知名度，更提升臺鐵這個百年老店的能見度。

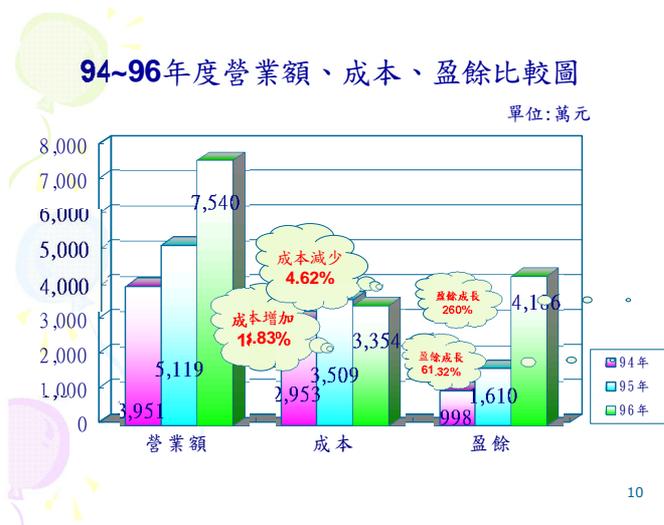


圖 17 日本京王百貨公司來台邀訪

3.今（97）年 5 月 20 日馬總統就職典禮當天中午以臺鐵便當款待各國慶賀團，獲報章媒體大幅報導，臺鐵這個百年老店亦備感殊榮。

4、結論

- 1.本研析案將 VE、田口方法與 TRIZ 做進一步結合，除發揮 VE 有系統的研析方法外，亦利用 TRIZ 分析出來的參數與原則，以科學的方法來解析問題，找出最理想的問題解決模式。由鐵路便當改善的案例，可發現 VE 與 TRIZ 結合確實是一有效的解決工具，對產品競爭力的提升大有助益。
- 2.臺北餐廳之鐵路便當在業績停滯時，適時引進價工的手法，在採行新方案後，飯盒銷售量於 95 年成長 10.59%，成本僅增加 18.83%，盈餘大幅提升 61.32%，超出預期提升盈餘 30% 的目標。另 95 年員工月平均薪資也提高 36.52%。



- 3.臺北鐵路餐廳利用價值工程研析的方式，在菜色、促銷手法及賣點美化方面，嘗試有別以往的創新與突破，目前已有顯著效果，亦獲得各界注目與好評。
- 4.臺鐵便當已成功搶佔車站便當市場，每日便當銷售量遠高於車站 7-11 單點之便當銷售量，甚至有單日銷售上萬份之紀錄，績效卓著。



圖 18 報紙報導「臺鐵便當革命，打敗國民便當」

5. 因臺北餐廳實施價工以來，成效卓著，目前臺灣鐵路管理局餐旅服務總所亦規劃臺北餐廳為示範餐廳，將經驗推及鐵路全線各餐廳及餐務室，共同創造鐵路便當新價值。

勘誤表

334 期的勘誤表

- 1.52 頁：倒數第 7 行的「(2)職員年全負擔 5 兆圓」應改為「(2)職員年金負擔 5 兆圓」。
- 2.54 頁：倒數第 9 行的「擺服政治干預」應改為「擺脫政治干預」。
- 3.55 頁：第 5 行的「5 兆 3 千多億圓」後增加下列文字「虧損 1 兆 7 千多億圓。民國 94 年六家客運公司之營業收入則提高至 4 兆 3 千多億圓，經費則降為 3 兆 5 千億圓」。
- 4.56 頁：倒數第 6 行的「雖然有有提議」應改為「雖然有人提議」。
- 5.57 頁：第 11 行的「路線改善公路運輸」應改為「路線改成公路運輸」。
- 6.58 頁：第 10 行的「資產租金收佔 67%」應改為「資產租金收入佔 67%」。
- 7.59 頁：表 3 北海道公司每人平均營收額「975 萬臺幣約 292 萬日幣」應改為「975 萬日幣約 292 萬臺幣」。
- 8.59 頁：表 3 東日本公司每人平均營收額「3,248 萬臺幣約 974 萬日幣」應改為「3,248 萬日幣約 974 萬臺幣」。
- 9.59 頁：表 3 東海公司每人平均營收額「5,970 萬臺幣約 1791 萬日幣」應改為「5,970 萬日幣約 1791 萬臺幣」。
- 10.59 頁：表 3 西日本公司每人平均營收額「2,737 萬臺幣約 821 萬日幣」應改為「2,737 萬日幣約 821 萬臺幣」。
11. 59 頁：表 3 四國公司每人平均營收額「1,226 萬臺幣約 368 萬日幣」應改為「1,226 萬日幣約 368 萬臺幣」。
12. 59 頁：表 3 九州公司每人平均營收額「1,947 萬臺幣約 584 萬日幣」應改為「1,947 萬日幣約 584 萬臺幣」。
13. 59 頁：表 3 日本公司合計每人平均營收額「3,189 萬臺幣約 596 萬日幣」應改為「3,189 萬日幣約 956 萬臺幣」。
- 14.59 頁：倒數第 13 行的「從日本國民營化」應改為「從日本國鐵民營化」。