

中 | 華 | 技 | 術 | 113

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2017. 01. 31 出版

永續的綠色運輸 · 捷運工程



台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

臺北市政府捷運工程局張澤雄局長

新北市政府捷運工程局趙紹廉局長

台灣世曦工程顧問股份有限公司周禮良董事長



環狀線DF112標於狹窄道路處之高架橋及車站
設計及施工規劃

先進城市捷運工程隧道通風系統探討

列車運行模擬與供電系統分析—以桃園都會
區大眾捷運系統航空城捷運線為例

輕軌軌道之設計與施工—以高雄輕軌為例



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製



永續的綠色運輸
捷運工程

CONTENTS

中華技術 113

目錄

專輯前言

1 | 人物專訪

6. 訪臺北市政府捷運工程局張澤雄局長談承先啟後，捷運經驗傳承
..... 整理：林建華·攝影：詹朝陽

14. 訪新北市政府捷運工程局趙紹廉局長談新北市捷運系統規劃藍圖與推動都市永續發展.....
..... 整理：馬坤祥·攝影：詹朝陽

26. 訪台灣世曦工程顧問股份有限公司周禮良董事長談台灣世曦發展的新方向.....
..... 整理：林建華·攝影：詹朝陽



發行人 林志明
主任委員 陳茂南
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02) 8732-5567
網址 <http://www.cec.org.tw>
本期定價新台幣480元，全年四期新台幣1,600元

編審工作小組
總召集人 周禮良
副總召集人 王昭烈
113期召集人 李元唐
113期審查委員 陳幼華、施亮輝、吳文隆
馮道亨、何泰源、劉國慶
總編輯 吳淑惠
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、劉彥男、吳小苓、季竺貞
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街323號
電話 (02) 8797-3567
網址 <http://www.cec.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



2 | 專題報導

34. 環狀線DF112標於狹窄道路處之高架橋及車站設計及施工規劃.....

..... 陳耀維、劉嘉哲、陳世任、宋建宏、詹宏義

52. 先進城市捷運工程隧道通風系統探討

..... 施亮輝、蔡福順、林啟基

64. 列車運行模擬與供電系統分析—以桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線為例.....

..... 鄧頂立、黃昱中、施良岳

86. 價值工程於捷運系統規劃設計之應用—捷運三鶯線價值工程研析.....

..... 于新源、李政安

98. 台北捷運萬大線LG02車站之遺址搶救

..... 程道信、李魁士、邱志榮、許文祥

108. 輕軌軌道之設計與施工—以高雄輕軌為例.....

..... 王慶麟、張思、鍾熙煜

124. 輕軌號誌系統及道路交通號誌整合探討.....

..... 簡聖民、江照雄、李妍曦、張哲端

136. 實現幸福安坑美麗願景—安坑輕軌建設設計理念.....

..... 謝慶和、歐文爵、何泰源、陳嘉芸、劉文瑞

156. 鑑往知來—國內都市軌道建設系統型式發展趨勢.....

..... 蘇振維、張舜淵、呂怡青、劉國慶、陳昭堯、吳雅惠



3 | 特稿

168. 紀念「宣導人文輕軌的陳俊融副總工程司」.....

..... 林建華、許朝榮、江照雄

編後語



專輯前言

臺北都會區捷運系統相繼完成文湖線、淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線和板南線等五條主線後，後續路網的三環三線緊接著施工。論其工程困難度，當以環狀線DF112設計標最為艱困。該工程地點坐落於人稠路窄、交通繁忙的路段，兩側民宅櫛次鱗比，地下管線密密麻麻，使得高架捷運幾無立基之處。此外，在中和區景平路上，約有2.21公里的捷運路廊與台64線(八里—新店)高架道路重疊，捷運橋墩只能設置在台64線東西向橋面版之間的3公尺間隙，橋墩高度均在20公尺以上，進行吊梁作業時，仍需維持台64線的交通。面對著如此惡劣的施工環境，如何配置軌道線形、車站月台及基礎型式，並規劃適當的架橋工法，以降低對週遭環境的衝擊，是工程師們最大的考驗。目前該標土建工程均接近完工，全國首創的疊式車站，和諧的融入於狹窄街道，是全體工作夥伴的智慧結晶。參與設計及施工的同仁，將整個過程的點點滴滴撰寫成文，共同見證此捷運工程技術的創新成果。

由於政府財政狀況日益緊絀，後續路網面臨的另一困境是工程經費問題，業主要求捷運經費必須力求撙節，錙銖必較。本期刊特別報導台灣世曦同仁在三鶯線的基本設計階段，如何運用價值工程的技術，為業主節省大筆工程費用，此案例證明了愈早應用價值工程，效益愈明顯的事實。

捷運技術日新月異，3D設計儼然已成為顯學。然而台灣世曦並不以此為滿足，深知BIM技術必須應用於捷運工程的全生命

週期，才能發揮其最大的效益。因此與台大BIM中心進行COBie的共同辦理研發計畫，目前已完成第一期，待第二期結束後，再將研發成果發表於下次之技術期刊，敬請讀者拭目以待。此外，有鑑於捷運的核心機電系統，長期以來必須仰賴國外顧問的技術指導，所費不貲，誠屬一大憾事。為此，台灣世曦同仁亦積極致力於核心機電技術的研發，將所獲得之初步成果發表於本期刊，尚祈讀者先進指教。

基於節約能源永續經營的世界潮流，以及財政短缺的現實壓力，輕軌捷運系統越來越受到地方政府的青睞。高雄市政府首開風氣之先，率先興建台灣第一條輕軌捷運，並於民國105年中展開C1站至C8站的試營運。台灣世曦同仁綜整輕軌捷運設計及施工階段的工作成果，發表於本期刊，期收拋磚引玉之效，以提升台灣輕軌技術的水準。

本期刊收集之論文以捷運軌道技術為主，其涵蓋之議題廣泛，內容相當豐富，在此短短的專輯前言篇幅裡，實無法一一詳盡介紹，尚祈各位讀者先進深入本書尋寶，相信會有更多的收穫。本期刊倉促付梓，疏漏在所難免，讀者先進的意見與指教，將是促使台灣世曦向前邁進的動力。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

李元章



專輯前言

臺北都會區捷運系統相繼完成文湖線、淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線和板南線等五條主線後，後續路網的三環三線緊接著施工。論其工程困難度，當以環狀線DF112設計標最為艱困。該工程地點坐落於人稠路窄、交通繁忙的路段，兩側民宅櫛次鱗比，地下管線密密麻麻，使得高架捷運幾無立基之處。此外，在中和區景平路上，約有2.21公里的捷運路廊與台64線(八里—新店)高架道路重疊，捷運橋墩只能設置在台64線東西向橋面版之間的3公尺間隙，橋墩高度均在20公尺以上，進行吊梁作業時，仍需維持台64線的交通。面對著如此惡劣的施工環境，如何配置軌道線形、車站月台及基礎型式，並規劃適當的架橋工法，以降低對週遭環境的衝擊，是工程師們最大的考驗。目前該標土建工程均接近完工，全國首創的疊式車站，和諧的融入於狹窄街道，是全體工作夥伴的智慧結晶。參與設計及施工的同仁，將整個過程的點點滴滴撰寫成文，共同見證此捷運工程技術的創新成果。

由於政府財政狀況日益緊絀，後續路網面臨的另一困境是工程經費問題，業主要求捷運經費必須力求撙節，錙銖必較。本期刊特別報導台灣世曦同仁在三鶯線的基本設計階段，如何運用價值工程的技術，為業主節省大筆工程費用，此案例證明了愈早應用價值工程，效益愈明顯的事實。

捷運技術日新月異，3D設計儼然已成為顯學。然而台灣世曦並不以此為滿足，深知BIM技術必須應用於捷運工程的全生命

週期，才能發揮其最大的效益。因此與台大BIM中心進行COBie的共同辦理研發計畫，目前已完成第一期，待第二期結束後，再將研發成果發表於下次之技術期刊，敬請讀者拭目以待。此外，有鑑於捷運的核心機電系統，長期以來必須仰賴國外顧問的技術指導，所費不貲，誠屬一大憾事。為此，台灣世曦同仁亦積極致力於核心機電技術的研發，將所獲得之初步成果發表於本期刊，尚祈讀者先進指教。

基於節約能源永續經營的世界潮流，以及財政短缺的現實壓力，輕軌捷運系統越來越受到地方政府的青睞。高雄市政府首開風氣之先，率先興建台灣第一條輕軌捷運，並於民國105年中展開C1站至C8站的試營運。台灣世曦同仁綜整輕軌捷運設計及施工階段的工作成果，發表於本期刊，期收拋磚引玉之效，以提升台灣輕軌技術的水準。

本期刊收集之論文以捷運軌道技術為主，其涵蓋之議題廣泛，內容相當豐富，在此短短的專輯前言篇幅裡，實無法一一詳盡介紹，尚祈各位讀者先進深入本書尋寶，相信會有更多的收穫。本期刊倉促付梓，疏漏在所難免，讀者先進的意見與指教，將是促使台灣世曦向前邁進的動力。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

李元章



訪臺北市政府捷運工程局局長

張澤雄

談

承先啟後， 捷運經驗傳承

整理：林建華 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

張澤雄局長畢業於國立成功大學交通管理(科學)系及研究所，先在交通部運輸研究所擔任助理規劃師，而後一路從臺北市捷運局幫工程司、課長、綜合規劃處副處長/處長、主任秘書、副局長至局長。

張局長分別於民國81年獲得中華民國道路協會獎狀，100年獲得中華民國運輸協會獎狀，在臺北市捷運局迄今已服務約30年，其中約15年皆在綜合規劃處服務，對臺北都會區捷運路網之擘劃、建設有極大之貢獻與心得，在目前各縣市政府多以臺北都會區便利的捷運系統為標竿，將捷運建設列為其施政藍圖，張局長的經驗值得借鏡與思考。

貳、訪談紀要

問：臺北市捷運局為國內最早引進捷運技術、培養人力，其經驗已有30年之久，且局內人員約有1300位優秀人才。然而六都未來發展捷運系統，除了局內代辦地方性計畫之外，是否有更具體策略、規劃以協助及長久發展？

答：臺北市捷運局除了承接臺北市捷運建設外，亦協助辦理新北市、桃園、台中等捷運工程；為了傳承捷運經驗與技術，除了刊載捷運月刊及捷運工程完成總報告書(其內容包含土建、機電系統等工程)，更建立捷運技術網路平台讓地方性涉及捷運工程時作為參考及分享經驗。



桃園國際機場捷運・A1車站預辦登機



桃園國際機場捷運・A1車站竹林流瀑



台中捷運



技術轉移方面，我們有建議合作單位可派員親自參與工程共同完成捷運工程，譬如目前新北市捷運聯合開發案，承辦人可於完成其作業程序及承辦中所遇到問題中學習到解決問題的能力及累積經驗。除此之外，亦有配合學校傳授專業技術，如逢甲大學安排傳授規劃、設計等專業技術的課程。

捷運工程局是個團隊作業單位，其資源豐富、作業制度化，整個運作順暢且衝突性低。由於捷運建設不是單打獨鬥可以完成；捷運局也有同仁調至地方服務，雖同仁經驗豐富，但其各單位間人員、資料無法配合、作業流程制度不成熟性，執行反而無法順遂。

問：目前其他五都均將捷運工程列為施政藍圖，以您長期辦理營運規劃的經驗，您對他們未來營運有何看法？是否需比照台北市成立捷運公司辦理營運維修？

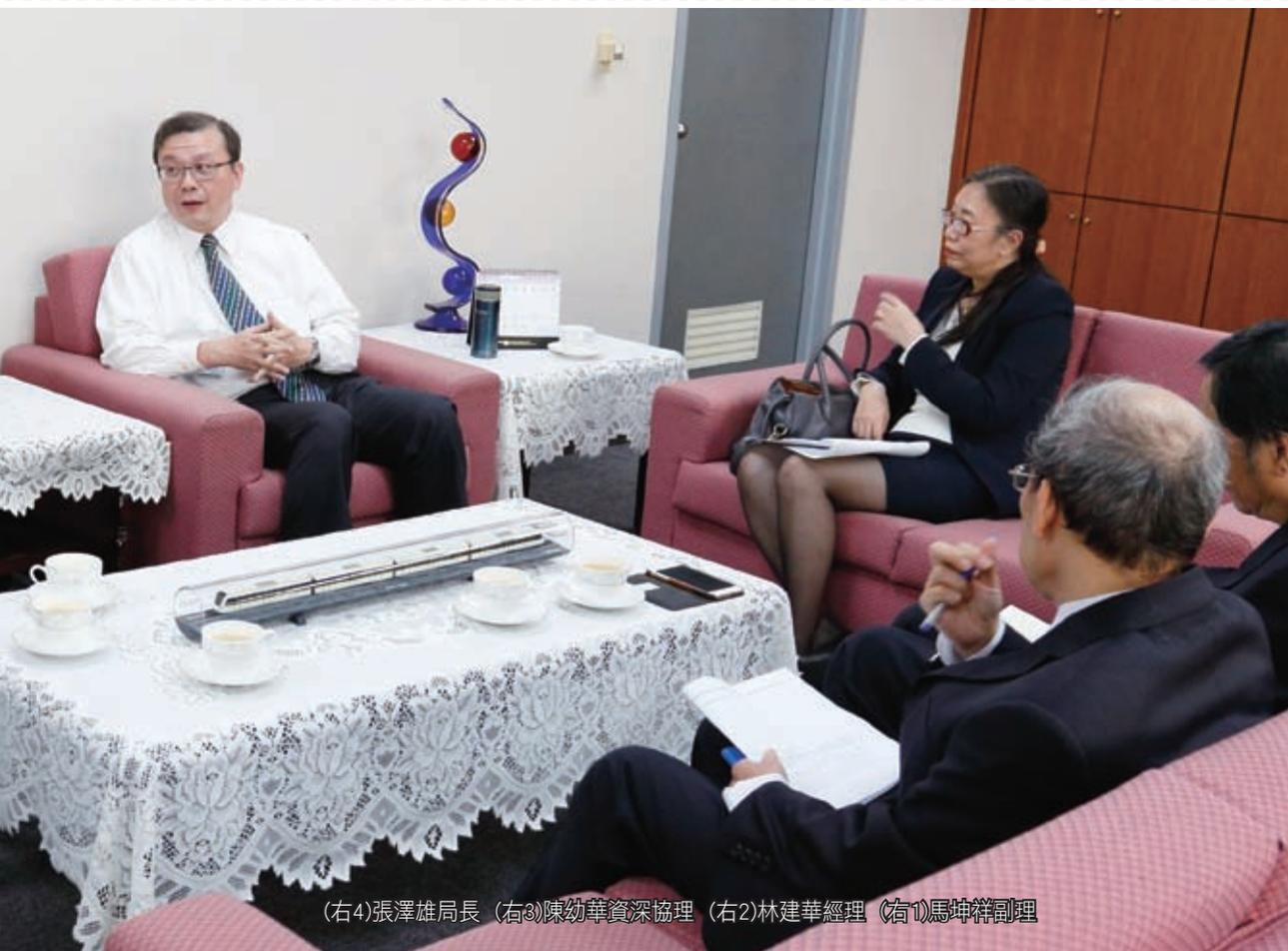
答：有關未來六都發展捷運之營運是否皆成立營運公司部分，目前中央政府在審議捷運工程計畫比較重視建設財務分析與分擔比例，然而可能對捷運工程系統、技術及營運維護較為忽略，造成各自為政自由發揮，且地方政府亦未充分了解，除建設捷運工程外還必須注意營運



(左1)蔡榮禎經理 (左2)李元唐副總經理

與維護問題；所以捷運局向台中市政府建議至少在通車前二年必須成立營運單位，以及早作準備，因為營運時間比建設捷運工程時間還長遠，必須非常重視，因此將向中央政府建議審議時需列入重要考量。

有關捷運工程興建單位與營運單位間權責的問題，以臺北市捷運營運維護事宜，捷運局與台北捷運公司合作已久，已培養雙方默契與解決問題機制，其營運時因已有經驗，所以減少很多問題，如在工程契約以外的問題開始營



(右4)張澤雄局長 (右3)陳幼華資深協理 (右2)林建華經理 (右1)馬坤祥副理



台中捷運

運前，建設單位仍需協助解決，例如臺北捷運公司接手後的捷運測試，所需電費由誰負擔，在當時爭議很久，最後以捷運公司未營運所以未有收入，因此由捷運建設單位負擔才解決。

問：張局長您的背景是運輸規劃的，也長期負責捷運路網/路線規劃，就捷運系統的系統特性、永續及全生命週期的觀點上，北捷當初對於高運量有完整之整體路網規劃，也是六條線一次核定，陸續開發。但目前捷運中運量或輕軌卻少有整體路網一次核定，分期興建，加上採購策略或採購法上的限制，造成採購上之困難，使得同一路線可能採購到不同系統或者機廠無法共用資源浪費的窘境，對於此一現象，您有何看法或建言？



答：早期臺北捷運工程是先規劃好整體路網架構，呈報中央政府核定後，再依捷運路線運量特性逐條執行，後來演變至中央政府以運輸角度而不完全以都市發展審視每條捷運；再來早期臺北捷運工程是以高運量系統為主，其系統規格於各家廠商皆可統一通用，而今受旅次需求、環境條件等因素，捷運工程多採中運量或輕軌系統，其在系統上因專利性的限制，各家廠商於系統規格不同，難以統一，確實造成系統多元、發散現象。本局已向中央政府建議，六都發展捷運系統，應可參考國外案例，以國家整體產業、軌道、都市發展策略為考量，訂定系統標準化的規範或建立一套有利於軌道產業與系統相容的機制，減少執行採購上之困擾。

再者，臺灣市場小，目前捷運系統運行中已有5個系統，施工中尚有4個系統，已有4個捷運建設單位、3個營運單位，以目前制度未來只會更多。如何整合也是困擾之一，因此曾向中央政府反應成立總局以整合地方區域工程局(處)，但受限許多因素難以達成，如中央政府設計興建後再轉交地方政府營運時，雙方認知不同交接困難，所以目前中央仍建議採地方政府興建，地方政府營運。

另以基隆延伸案為例，大家迷思於對台鐵運輸系統老舊服務不佳，只有興建捷運工程才

能解決運輸問題，但捷運系統係服務都市內通勤運輸旅次，所以站距短、車站多，而台鐵則以城際運輸服務為主，所以站距長，未來若改為捷運，其旅行時間不會比台鐵短，再加上捷運運輸需思考重複投資營運收支及競合問題。

所以應由區域城鄉發展的上位角度，檢視交通運具間的整合服務，故應由中央政府擬定國家發展策略與規範，導引地方政府去遵循執行，才可以減少很多問題。倘仍依目前作法，這些問題未來各地方政府皆會面臨且難以解決。

另，有關捷運因分段興建，後續階段系統採購方式也是一大問題，必須解決，如當初內湖線興建須接木柵線，就是痛苦經驗，所幸目前，以台北萬大線，在當時是一次核定，後續以增購條款方式辦理。

問：請問局長對臺北捷運路線未來發展方向有何看法？

答：還是要以捷運整體架構健全來看，現階段如環狀線南環段與北環段，再以地區發展角度檢視局部區域性是否有延伸考量。總而言之，還是希望都市發展檢視以總體路網架構出發。



1
人物專訪

張澤雄局長談臺北捷運路線未來發展



至於系統技術方面台北都會高運量系統已較無發展條件，未來各次要運輸路廊，其需求環境條件，多朝中運量(自動運輸導軌系統)或輕軌方向發展，如對台北市東側未來以輕軌或中運量興建的考量，將視運量、工程條件、財經交益等綜合考量選擇最適合系統。

有關未來捷運系統延續及更新時，由於單獨採購成本較高，考量台北捷運每日營運及系統龐大，未來系統應朝整體設備採購及系統更新方式一併辦理。

至於民生汐止線依然在推動，目前可行性評估已通過，綜合規劃中環評則尚未全段通過，已與新北市政府溝通取得共識，建議採一次核定分段興建方式辦理，以解決轉乘問題。

問：局長對聯合開發及用地取得有何建議及看法。

答：目前只有台北捷運工程局有執行聯合開發業務的經驗，在執行過程中遭遇許多困難與爭議，雖一一克服，但持續有不同挑戰，待解決。聯合開發主要創造政府、地主、民眾多贏

局面，但要成功，仍須地主及民眾有意願與支持才可以成就，地主對聯合開發興建效益與完成時程長，產生疑慮因而抗爭；所以目前已研擬聯開新制，增加透明度及確保效益能分配於地主，另外用地取得協議之價格以三家估價師評估之最高價來徵收，以期消弭民眾抗爭可能性，而權益分配採公平、公開方式辦理。



文湖線捷運·大湖公園站

問：台北捷運工程局長期與顧問公司配合，請問對於顧問公司在捷運工程上有何期許。

答：國內顧問公司從事捷運工程已具備專業人才與技術，但因應新變局提供幾點參考：

■ 隨著社會變遷及要求，設計上有關節能減碳、環控設備需求越來越重視，顧問公司可以加強。



(左1)馬坤祥副理 (左2)蔡榮發經理 (左3)李元唐副總經理 (右3)張澤雄局長 (右2)陳幼華資深協理 (右1)林建華經理

- 顧問公司雖有多年經驗，但政府單位對於品質、經費、時程要求越來越高，顧問公司對設計、規劃應更加嚴謹及自我提昇，除了維持品質外，一旦工程經費需增加時應提出合理的說明。
- 顧問公司應加強專案管理整合能力，包含培養國際觀，尤其機電部分仍需加強。再來，台北市捷運局專業人才、資訊、制度健全，但地方政府可能沒有這方面經驗及制度時，若以統包工程辦理時，顧問公司需以總顧問角色協助業主，具整合性專案管理及能力是重要的。

後記

承蒙張局長百忙之中撥冗接受專訪，由於張局長對於我們提問的回答深具宏觀且扼要、中肯，專訪尾聲時，李元唐副總經理表示，以後要常常向局長請益交流，以獲得進一步之捷運發展與業務訊息。另，有趣的是，專訪張局長與本公司周董事長時，兩位不約而同皆期許顧問公司要培養國際觀，走向海外展現實力。

Are you ready?



訪新北市政府捷運工程局局長

趙紹廉

談

新北市捷運系統規劃藍圖與推動都市永續發展

整理：馬坤祥 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

周趙紹廉局長為國立臺灣大學土木工程系博士候選人、交通大學交通運輸工程學系碩士畢業，歷經臺北市政府捷運工程局主任、處長、桃園縣政府交通處長，交通部高速鐵路工程局副總工程司、新北市政府交通局長、新北市政府顧問等職務，學識豐富，經歷完整。於民國105年2月1日奉新北市朱市長指派擔任新北市捷運工程局局長。

趙局長具備捷運專業及領導協調整合能力，以其完整捷運工程實務歷練帶領新北市捷運工程局推動三環三線建設、輕軌列車國車國造關鍵技術導入及推動都市的永續發展，可以看到努力發展及建設的成果，特別來訪談新北市捷運工程局趙局長分享這方面經驗給大家參考。

貳、訪談紀要

問：感謝新北市捷運局趙局長百忙之中為這次捷運工程做專訪，新北市政府為推動新北市成為智慧、低碳、永續的城市，在城市交通服務機能方面推動三環三線建設，建構一個安全、便利、快速、經濟且舒適的捷運系統，目前三環三線之進展如何？未來主要推動之重點為何。

答：

■ 推動三環三線之初衷

新北市捷運局推動三環三線捷運，其實是想藉著建設捷運工程，同時讓臺北都會區整體發展，不要像過去以台北市舊市區為單一核

心，而使新北市成為居住的外圍環境，應該推廣在地就業、在地就養、在地就學的均衡發展。台灣城市發展與歐美城市環境有所不同，歐美城市規劃為住商分離，於郊外居住城市工作，但這會造成交通嚴重問題。反觀台灣城市發展原以住商混合性，其優點為城市以TOD方式發展，可促進均衡性，而不是單一核心發展，所以新北市才會急於推動捷運工程就是希望提供這樣的機會。

以往捷運工程的捷運站只是都市計畫土地變更或是聯合開發的點，以後希望捷運工程跳脫舊有模式，而是配合捷運工程每個車站含周邊都市計畫擴大範圍一次檢討，朝向放寬容積或使用項目以吸引車站周邊整體發展，使現有道路系統、交通系統負荷降低，可惜目前尚未達成具體的效果。



未來追求藉由捷運站提供便利的生活機能，捷運站周邊設立便利店、超市、咖啡店、麵包店、托育中心、托老中心....等，進而豐富生活。雖新北市捷運目前因在都會中心外而致運量比台北捷運稍低，但若能提供生活機能、運輸性、便利性，使附近居民眾藉著捷運便利性提昇居住意願，進而增加運量，甚至構建出以大眾運輸導向(Transit Oriented Development)為主的都市(Transit City)，我非常樂見。譬如淡海輕軌工程，因淡海新市鎮隨著目前工程推動，商店快速進駐已帶動便利發展性。

在台灣，捷運系統的投資及營運成本都很高，所以捷運建設是以運量作為思考；反觀日本的捷運往往先由營運之商業集團，如阪急集團、東急集團、西武集團等投資，且有遠見性的在100年前將電車及土地開發結合再興建運輸工程。

■ 三環三線目前進展

捷運為本市重大交通建設，將積極爭取興建中捷運路線，如期如質完工通車，規劃中路線儘早獲中央核定。於本市境內目前環狀線(第一階段)及淡海輕軌預定於107年底完工，萬大中和樹林線第一期預定於109年底完工，安坑輕軌預定於110年底完工，三鶯線預



(左1)馬坤祥副理 (左2)陳幼華資深協理

定於112年完工。目前環狀線(第一階段)工程進度已超過70%，淡海輕軌、萬大中和樹林線第一期工程進度皆已大於30%，安坑輕軌主體工程於105年4月6日動工，三鶯線統包工程則已於105年7月21日動工。汐止民生線部分，已協調臺北市政府儘速展開第二期路線段環評作業。至本屆市長任期屆滿之107年卸任時，預計將有機場線、環狀線第一階段及淡海輕軌等路線陸續完工甚或通車，屆時營運中路線之長度將會達到127.76公里，佔三環三線總長度61.0%。



(右4)趙紹廉局長 (右3)李元唐副總經理 (右2)蔡榮濱經理 (右1)于新源副理

表 1 三環三線路線資料

捷運路線		進度		經費(億元)		站數	里程(km)	運量(目標年)	
				總經費	本府負擔				
三環	第1環	文湖線	已於98年7月通車			12	10.9	14.9萬/日 (實際運量)	
		環狀線 (第一階段)	興建中	73.45%	699.73	485.14	14	15.4	33.7萬/日
		環狀線 (第二階段)	規劃中		1,378.87	312.77	18	20.48	36.5萬/日
	第2環	新莊線	已於102年6月全線通車			17	19.7	22.7萬/日 (實際運量)	
		萬大中和樹林線 第一期	興建中	36.14%	777.81	309.11	9	8.8	46.2萬/日
		萬大中和樹林線 第二期	規劃中		577.93	331.31	13	13.3	
	第3環	板南線 (含延伸頂埔)	已於95年5月通車 (頂埔已於104年7月通車)			12	14.7	43.8萬/日 (實際運量)	
		機場線	興建中	98.02%	1,138.50	0	23	53.07	22萬/日
		三鶯線	興建中	6.18%	505.30	318.48	12	14.3	11.8萬/日

接下頁↓



捷運路線		進度		經費(億元)		站數	里程(km)	運量
				總經費	本府負擔			
三線	淡海線	興建中	36.64%	153.05	65.45	20	13.99	8.4萬/日
	汐止民生線	規劃中		1159.98	196.11	15	17.39	35.2萬/日
	安坑線	興建中	10.76%	166.32	126.64	9	7.5	6.9萬/日
小計				6,557.49	2,145.01	174		

■ 未來主要推動之重點

有關汐止民生線未來推動情形，交通部於105年6月13日函復應依審查作業要點規定，須完成第二期路線段環評程序後再送審議，為加速環評作業，本局已協調臺北市捷運局於105年底前辦理第二期路線環評委託技術服務招標及公告作業，本案並將爭取環評作業與交通部審查同時併進以爭取時效，俾利捷運汐止民生線推動。另在建工程路線部分，本局定當重視勞安、施工品質下，努力如期如質完工通車。最後在後續路網部分，有深坑輕軌、五股泰山輕軌和八里輕軌，仍持續進行規劃與推動中，讓整體捷運路網更加完整及便利。

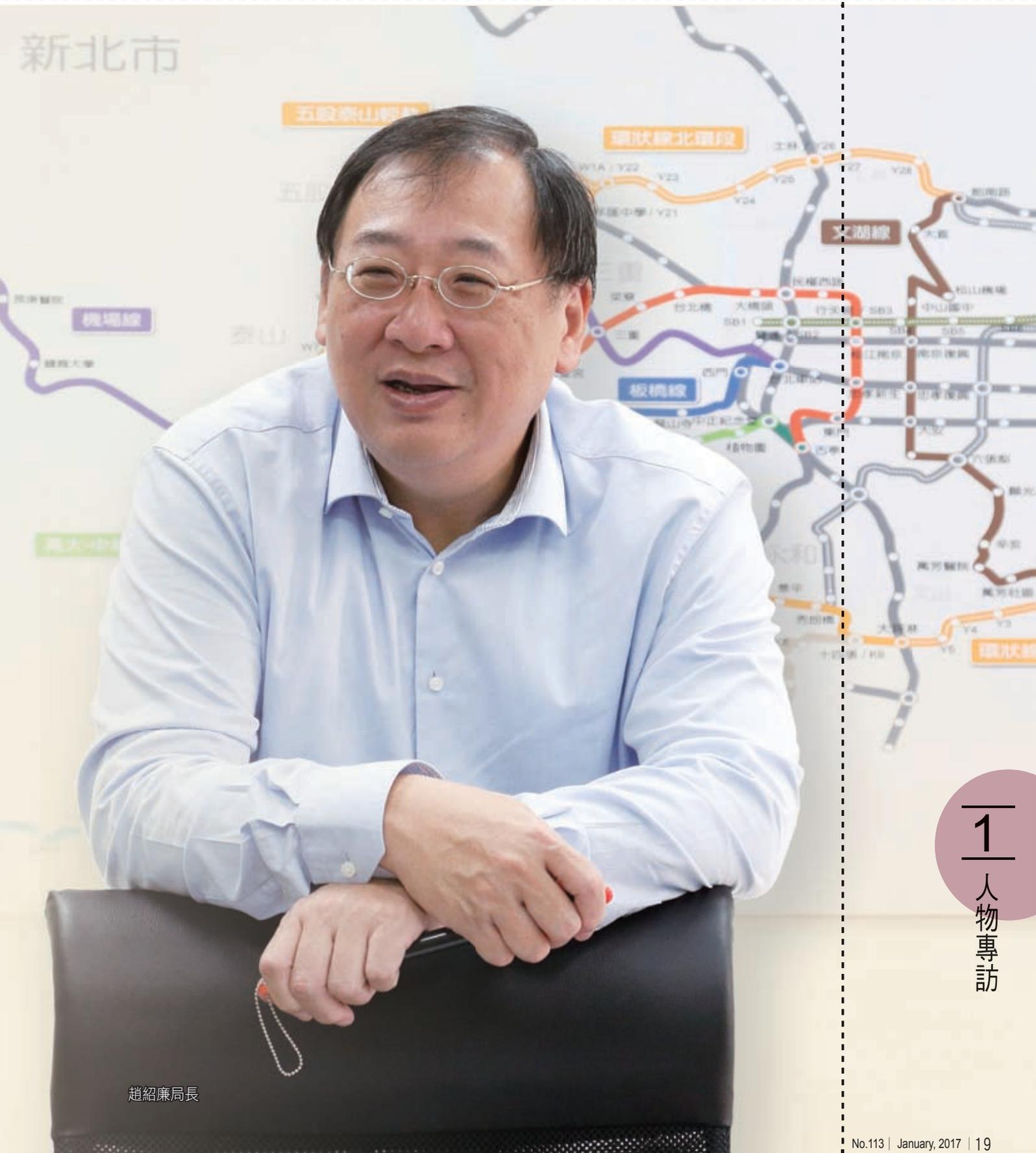
問：新北市輕軌建設核心機電朝單純化、最佳化推動，預期可降低壽年成本增加營運效益，目前擴大輕軌核心機電系統採購經濟規模，使機電系統單一化之目標是否已達成？未來國內其他城市是否亦可依循此模式？

答：為避免國內軌道工業發展長期受外商壟斷系統技術，新北市政府從招標策略切入此議題，將新北市整體輕軌路網採系統單純化為目標，藉由淡海輕軌系統推廣計畫，將新北市安坑、淡海二期、五股、八里與三芝地區輕軌建設，以後續擴充方式納入招標，輕軌內需市場規模也因此擴大達相當經濟規模，得以吸引國內廠商與國外專業設計廠商技術合作參與投標。

整個招標案規劃機電系統單純化及軌道工業本土化為藍圖，至今淡海輕軌乙案已拓展為台灣國車國造的亮點，且後續擴充的安坑輕軌業已完成招標，亦逐步落實新北市整體輕軌路網機電系統單純化之願景。

淡海輕軌案由台灣車輛股份有限公司與德國福伊特公司(Voith Engineering Service)跨國合作，依據本局訂定規範共同設計、製造、測試並取得德國第三公證單位南德公司的驗證，導入車輛設計與各車載系統整合能力，台車藉此在車輛設計、製造過程取得關鍵技術轉

新北市



趙紹廉局長

1
人物專訪



移，藉由淡海輕軌計畫來推動國車國造，協助國內廠商取得車輛的關鍵技術，包含模組化車體、100%低底盤、轉向架、牽引動力與儲能裝置等各項設備，同時培養軌道專業人才，扶植國內軌道工業，也讓國內輕軌系統朝向單純化、最佳化、本土化目標前進，對未來推展輕軌系統能有效降低建置、營運及維修成本，也可確保後續系統擴充的相容性，目標在民國114年將輕軌零組件國產化推展至50%以上。

經由淡海輕軌列車全車在台組裝的經驗，台車逐步掌握關鍵技術與設備規範後，可於國內挑選適合的重大零組件供應商，或配合相關研究單位協助廠商開發，建立國內自主的軌道工業、零組件供應鏈與培育相關生產技術人才，創造就業機會，初期規劃國產化項目為車體結構、車廂玻璃、客室座椅、車廂燈具、駕駛台、轉向架框等，預期可創造國產化產值至少新台幣38億元，後續營運維修商機達30億元以上，未來新竹、台中、嘉義、台南及高雄等各縣市採購若採後續擴充方式建設整體輕軌路網，搭配國車國造累積軌道工業本土化能量，國產化商機包含後續維運費用將可達144億元以上。

問：有關淡海輕軌列車國車國造，引進國外專業廠商，推動技術移轉，希望達成

軌道產業本土化，國內民眾均極關心與期待，105/11/16第一列車組裝完成里程碑已順利達成，未來定當可逐步完成測試、驗證，對國內軌道工業將產生變革，是否可對國內業界提出一些建言？

答：掌握技術深耕及產業本土化是軌道車輛工業達成國產化的重要關鍵，台灣已具有豐富的軌道工程經驗，例如台鐵EMU800電聯車與台北捷運新莊蘆洲線、信義松山線及桃園機場捷運線等電聯車生產經驗，已累積相當之車輛製造與組裝能力，目前新北市內輕軌路網藉由招標策略擴大規模，吸引國外廠商合作，使台車在車輛系統製造已逐步取得國外關鍵技術的轉移，若能有效利用長期以來所累積的經驗與資源，未來輔導國內中小企業從事相關車輛設備及零組件研發及生產，在各子系統同步整合成軌道車輛工業產業鏈，並因應國際上軌道工業環境變化與市場結構調整，減少台灣軌道車輛與國際車輛大廠之間差異，進而獲取進軍國際市場的契機。

台灣中小企業具靈活工業生產技術及品質，以往在軌道工業方面惟獨缺少關鍵技術的能力及市場發展機會，經由新北市三環三線輕軌路網成功案例，後續可作為各縣市發展基礎，可以更熟練相關關鍵技術，藉由與台車車



淡海輕軌列車

輛廠商技術合作，使國內諸多車輛生產業者均可投入軌道工業及相關零組件成為國內整體軌道發展的墊腳石，加速掌握各子系統設備發展之關鍵技術，提升車輛各項零組件設備自主性，使軌道工業落地生根成為國內新興產業。

軌道系統是疏運人潮之大眾運輸交通工具之一，在國際各大城市均扮演著重要角色，串連城市與城市、城市與鄉村間成為密集之交通網絡，除促進經濟發展外，也縮短城鄉間差距，係促進國際各大城市發展之重要建設。

國車國造由新北市政府開啟輕軌火車頭，台灣車輛承接輕軌車輛製造的第一棒，面對國

內市場及放眼於國際軌道工業發展市場，國內中小企業在取得關鍵技術零組件之主導權後除深根台灣外，對國內市場而言，在軌道工業能提升產品自主性，設備維修及維護保養可大幅降低成本；對國際市場而言，搭配國內車輛廠商伺機佈局亞洲與歐洲市場，打響台灣製造在國際名氣進一步與國際上 Siemens、Alstom、Bombardier及Ansaldo等國際車輛大廠知名度相媲美，期望台灣軌道工業能如同IC製造業邁向國際發展。

問：節約能源與全生命週期費用的永續考量為全球重視的議題，新北市政府基



此將營運/維修納入工程招標案，並以統包方式發包，雖然目前三鶯線中運量、淡海及安坑輕軌離完工通車也還有一段時間，但目前三條捷運路線均已開工，就目前契約執行情況，及統包商之過去經歷，趙局長是否有信心達成目標，或者對執行團隊有何期許？

答：淡海、安坑及三鶯線統包工程之推動，工程規模是隨時間成長，由淡海輕軌工程經費115億元、安坑輕軌工程經費120多億元、三鶯線捷運工程經費300多億元，藉著三個工程在時間性採漸進式的成長，讓台灣團隊在工程越來越有歷練。

民國70多年我在捷運工程局工作，這三十多年來發現台灣若仍沿用傳統方式，未培養團隊，就等於沒有競爭力，我非常重視這個問題！今日不管統包商或專案管理，藉著工程案例，若能培養國內專業廠商或團隊，我認為很值得！

(一)對新北市輕軌運輸系統之公共建設而言，興建並非唯一或最終標的，輕軌運輸系統的營運/維修及其成本必須納入建設計畫範疇及採購的考量。為達到輕軌系統單純化、本土化、最佳化及降低維修營運成本的目標，規劃單一系統招標，在淡海輕軌

統包工程招標時，將後續輕軌路網之機電系統、車輛系統零組件及耗材及第二階段代操作維修納入招標文件，目前已完成安坑線之後續擴充合約，規劃目標正在逐步實現。



(二)三鶯線由義商安薩爾多交通號誌系統公司、榮工工程股份有限公司及株式會社自立製作所共同承攬，安薩爾多及日立製作所皆為國際知名廠商，安薩爾多曾參與義大利米蘭3號線興建之經驗，日立製作所曾參與韓國大邱3號線興建之經驗，榮工公司曾參與台北捷運板南線及土城線等國內重大交通建設，也曾獲得公共工程金質獎4次特優之肯定。自105年7月21日開工至今，持續辦理細部設計作業及優先工程，目前計畫進度為6.18%，本局將持續努力達成112年完工之目標。

(三)淡海線由中國鋼鐵股份有限公司及聯鋼營造工程股份有限公司共同承攬，中鋼/聯鋼是國內知名大企業之一，曾參與高雄捷運建設等國內重大交通建設，也曾獲得公共工程金質獎1次特優及1次優等之肯定，是



三鶯線站體建築物外觀透視模擬圖
(三鶯線統包廠商提供)

優良的國家級團隊。自103年1月23日開工至今，持續進行高架段墩柱基礎施工、帽梁施工及預鑄箱梁吊裝等施工作業，目前計畫進度已過半，本局將持續努力達成107年完工通車之目標。

(四)安坑輕軌的土建統包工程由新亞建設開發股份有限公司承攬，機電系統統包工程由中國鋼鐵股份有限公司承攬。新亞公司曾參與桃園機場聯外捷運系統、五楊高速公路等國內重大交通建設，也曾獲得公共工程金質獎5次優等之肯定。土建工程自105

年4月6日開工至今，持續辦理細部設計作業及優先工程，目前計畫進度為10.76%，本局將持續努力達成110年完工之目標。

問：再延續上面的課題，新北市對於境內之環狀線第一階段及淡海經軌預計107年底完工，安坑輕軌及三鶯線也刻正展開施工，就推動大眾運輸及追求永續發展的決心，新北市是否成立自有捷運公司，或另有其他更好之營運策略？

答：現行法令上在捷運工程營運上規定必須設立營運公司/機構，如果可能希望可以修法或朝向將既有營運機構加以運用之努力。目前既有營運單位如台北捷運公司、桃園捷運公司，當初成立之時其成本、規模大，其前置作業下未有收益情形，容易造成虧損，但為符合現有法令不排除向市長呈報，若新北市設立營運公司/機構時，其規模將儘量精簡，譬如人員組織上以兼任方式，如局長兼任董事長、副局長兼任總經理…等等以減少人事上開銷，雖這方式其缺點為工程背景與營運商業角色有所衝突，但解決之道可尋找專業經理人擔任高階職務；或者，營運與維修方面可以委外勞務之管理方式。



因臺北市政府為環狀線全線(第一階段、第二階段)之地方主管機關，故基於經管管理、服務品質之一致性原則，環狀線將由臺北市政府設立之臺北捷運公司營運。另有關本府主管建設之淡海輕軌、安坑輕軌及三鶯線，本局刻正依大眾捷運法規定，研商前揭之捷運路線未來營運方式包括成立捷運公司或委託營運，尚未定案，後續將於淡海輕軌通車前予以確認營運方式。

問：新北市政府捷運工程局就推動捷運建設而言已創下國內多項第一，如國內捷運系統第一個獨立驗證認證顧問之引進、捷運中運量系統第一個土建/機電/軌道合併之大統包。然面臨多元社會及複雜之環境，未來捷運推動與整合之重點為何？如何使其發揮整體最大效益，並達到「永續工程」與「建構和諧生活環境」之目標？

答：未來捷運推動與整合之重點：新北市於推動淡海輕軌統包工程契約中，並規劃將安坑、八里、五股、三芝、深坑等輕軌計畫核心機電系統納入後續擴充，以使新北市輕軌路網規劃單一機電系統作為基礎，降低設備與系統維護費用；另三鶯線將延伸至桃園八德，後續機電需求併同納入已核定三鶯線統包工程採購中，以達到捷運設施與系統規模化及整合效果。

目前我們希望能發揮整體最大效益，達到「永續工程」與「建構和諧生活環境」之目標的策略：

(一)永續發展(Sustainable development)已是全球發展最重要課題，強調文明發展與環境生態共存，「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」亦規定大眾捷運系統於規劃階段應提出營運永續計畫書。因此，各捷運路線於規劃階段時，皆會制定營運永續計畫，在「建設發展與自然環境共生共存的永續發展目標」中，減少環境層面衝擊，像是規劃降低施工噪音，營運中電聯車對鄰近建築物噪音與振動防治，建築及景觀應尊重環境地貌與生態，提出符合地區、生活、文化之規劃；以及維持生態層面策略，如建築景觀減少對現有植栽破壞並選擇適合綠化樹種，土建規劃中納入以生態為基礎水土保持，落實生物多樣性保育之生態工法理念。

(二)捷運與都市發展相輔相成：捷運車站為城市的運輸節點，導入大眾運輸導向發展效益理念(Transit Oriented Development, TOD)，以車站方圓 500公尺為中心，透過土地使用變更、增額容積和都市更新等周邊土地開發方式，使得都市發展更為



(左1)馬坤祥副理 (左2)陳幼華資深協理 (左3)趙紹廉局長 (右3)李元唐副總經理 (右2)蔡榮禎經理 (右1)于新源副理

多元，靠近車站中心點，發展強度將越高，透過這樣的方式，除可提供車站周邊最便利、最豐富的生活外，適度提高容積比例，放寬使用項目類別來落實TOD的理念。另配合租稅增額融資制度(Tax Increment Financing, TIF)，當捷運站周邊土地使用變更及都市更新開發後，除使得生活機能更為便利且土地價值提升之外，進而產生房屋稅、地價稅、土地增值稅、契稅等租稅增額效益，更可作為挹注捷運建設基金，達到「捷運建設開創都市發展，都市發展成就捷運建設」，未來捷運建設將與生活緊密發展。

後記

感謝趙局長在百忙之中接受本次的訪談，訪談中可以知道趙局長在新北市捷運三環三線業務的全力以赴，推動三環三線早日完工通車，另外在國車國造及關鍵技術的導入部份讓人印象深刻，最後都市永續發展方面推動TOD搭配TIF，讓捷運與都市發展同時併行，以符合市民期盼並提供安全、便捷、舒適、快速完整的捷運路網服務。



訪台灣世曦工程顧問股份有限公司董事長

周禮良

談

台灣世曦發展的新方向

整理：林建華 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

周禮良董事長畢業於國立成功大學土木工程系，並獲得亞洲理工學院結構工程系碩士及日本東京大學土木工程系博士。從基層做起，在其公職生涯歷經臺北市捷運局局長、高雄市捷運局局長、交通部高速鐵路局副局長及交通部政務次長等職務，並曾任鼎鼎企業管理顧問公司顧問及日本高知工科大学教授，產官學經歷極為豐富，於民國105年9月奉交通部長指派擔任台灣世曦工程顧問股份有限公司董事長。

周董事長之前大部分時間皆在公部門服務，瞭解國家財政困難，因政府預算關係，目前工程顧問界之競爭環境愈趨激烈，亟須思考公司永續經營之道，以採一步一腳印，穩紮穩打，步步為營，做出成果，讓業主看到我們的實力，建立信賴感，爭取到業務的機會自然會多。經營方式包含：顧問業務從規劃設計、監造延伸至營運；盡全力進軍國際市場，發揮實力；並將專業技術傳承，永續經營。周董事長的理想是一旦本公司海外市場開拓成功後，可結合臺灣的營建廠商、系統廠商、票證製造廠商等，一起搶進海外市場，這樣餅才會越來越大。

貳、訪談紀要

問：非常榮幸能邀請到周董事長接受對捷運工程專業的專訪，周董事長經歷公部門工程單位的重要職位及對於中國大陸工程上經常交流往來，請周董事長對國內工程界未來發展提供建議及心得分享。

答：臺灣軌道工程界從民國73年鐵路地下化及75年臺北市捷運工程開始迄今的發展，臺北市捷運路網工程品質良好是有目共睹的，主要是

因為有完善的前置規劃，才有今日的成果。前置規劃包括成立總顧問、徵求專業人才、找中華顧問工程司、中興顧問社等大型顧問公司合作，所建立的制度涵蓋了規劃、設計、施工到營運、維修等等。一路走來對捷運工程的推動皆深具信心，但這段心路歷程卻少有人知。

以往國家重大工程皆由中央主管機關辦理，而大眾捷運法內有規定經行政院核定後，得由地方主管機關辦理工程興建。由於北高兩市捷運工程的成功讓人認為捷運工程推動成功是必然的，然而實際上卻不是如此；目前推動



失敗的例子如台中BRT，或許可重新思考是否亦需於辦理工程興建前，仍需花錢花心力成立總顧問，利用交通規劃專業人才，做更全面的整體規劃與研究。大眾捷運系統之建設，建議由中央主管機關辦理，但經中央主管機關報請行政院同意後，得由地方主管機關辦理。

目前國內各地方政府為了節省經費與縮短工期，紛紛將一條捷運路線的工程合併，並以統包方式辦理發包，承攬的統包廠商除了需具備豐富的工程專業及管理經驗外，還需具備充足的財務狀況。然而目前國內具專業、具規模又兼具財務良好的統包廠商寥寥可數，以機場捷運為例，統包商丸紅雖然財務充足，但專業及管理經驗不足導致執行不順利。

問：中國大陸工程目前突飛猛進，對臺灣形成很大壓力，請問周董事長，中國大陸在工程上與國內工程有什麼不同之處？

答：以目前由政府自辦完工通車的捷運工程成功案例，均為先完成細部設計後再發包施工，施工廠商只要按圖施工。然而以此方式發包興建仍有如桃園國際機場聯外捷運工程興建20年仍未有成果，以及臺中BRT興建最終走入歷史，將藍線BRT專用道改為「優化公車專用



(左1)周禮良董事長 (左2)李元唐副總經理

道」之例，如未記取教訓又作新的嚐試恐重蹈覆轍，似應深思。

目前臺北市以外的地方政府機關，現在捷運工程興建多採統包方式辦理，統包廠商的思維往往是以節省工程款來增加利潤，而地方主管機關又以臺北市捷運品質為標竿，互動過程中勢必產生許多需要時間溝通的問題，因此統包廠商必須財務充沛才能支撐。

個人認為在臺灣對於捷運工程專業很重



(右4)林建華經理 (右3)譚家瑞副理 (右2)王慶麟經理 (右1)陳幼華資深協理

視。反觀中國大陸，工程皆以國企單位辦理，較沒有成本概念，只有完工時程觀念，而且又有地方保護主義，個人曾探訪成都捷運，其捷運工程中仍有月台與車廂之高差問題產生，與臺灣大不同。總體而言，中國大陸在工程方面之效率及技術上都很優秀，只是比較沒有成本及管理觀念。

問：周董事長歷經臺北市捷運局局長及高雄市捷運局局長，對於臺灣地區捷運

未來發展，是否仍有改善空間？對於發包、捷運路網規劃、系統選擇等是否有其它的建議及心得分享？

答：臺北捷運系統在執行傳承、訓練、培養方面已建立一套制度，同時除了臺北市捷運局外還有幾家知名顧問公司、營造廠商散佈各地，其能力及水準上越來越有進步；但如今趨勢有往下走的現象，建議可以更大膽地對既有的設計規範做些改變，例如信義線、新莊蘆洲線營運噪音及維修上仍然有進步的空間。而以往捷



運系統以高運量系統為主，現今以輕軌及中運量系統為導向，目前臺灣有九種不同的捷運機電系統，而每一路線規劃與興建的時程不同，如未做好系統整合，以及在採購細節上予以關注，恐將成為九個獨立系統，日後稍有不慎恐造成營運及維修的問題。

另有關國內捷運系統建議由中央統籌捷運核心技術，進行全面規劃及發展後，再交由臺灣各地方主管機關執行較為妥當。而目前號誌系統仍是最大問題，建議可由中央政府出資共同開發系統，其系統可以由西門子、龐巴迪...等研發共同規範，再由地方政府遵循，這方式倒是可以一試。

問：目前對於政府公共工程預算不足以及案量減少的問題，請問周董事長能否提供因應對策給我們參考？

答：其實公共工程案量仍然很多，雖中央政府預算有減少，但地方政府預算仍很多，國內一年工程顧問費用約300億元，雖競爭很多，但是以我們的技術是可以至國外發展或接觸不同世界的國家，甚至可以推動東南亞市場，或是帶領優秀廠商一起合作推動海外市場。

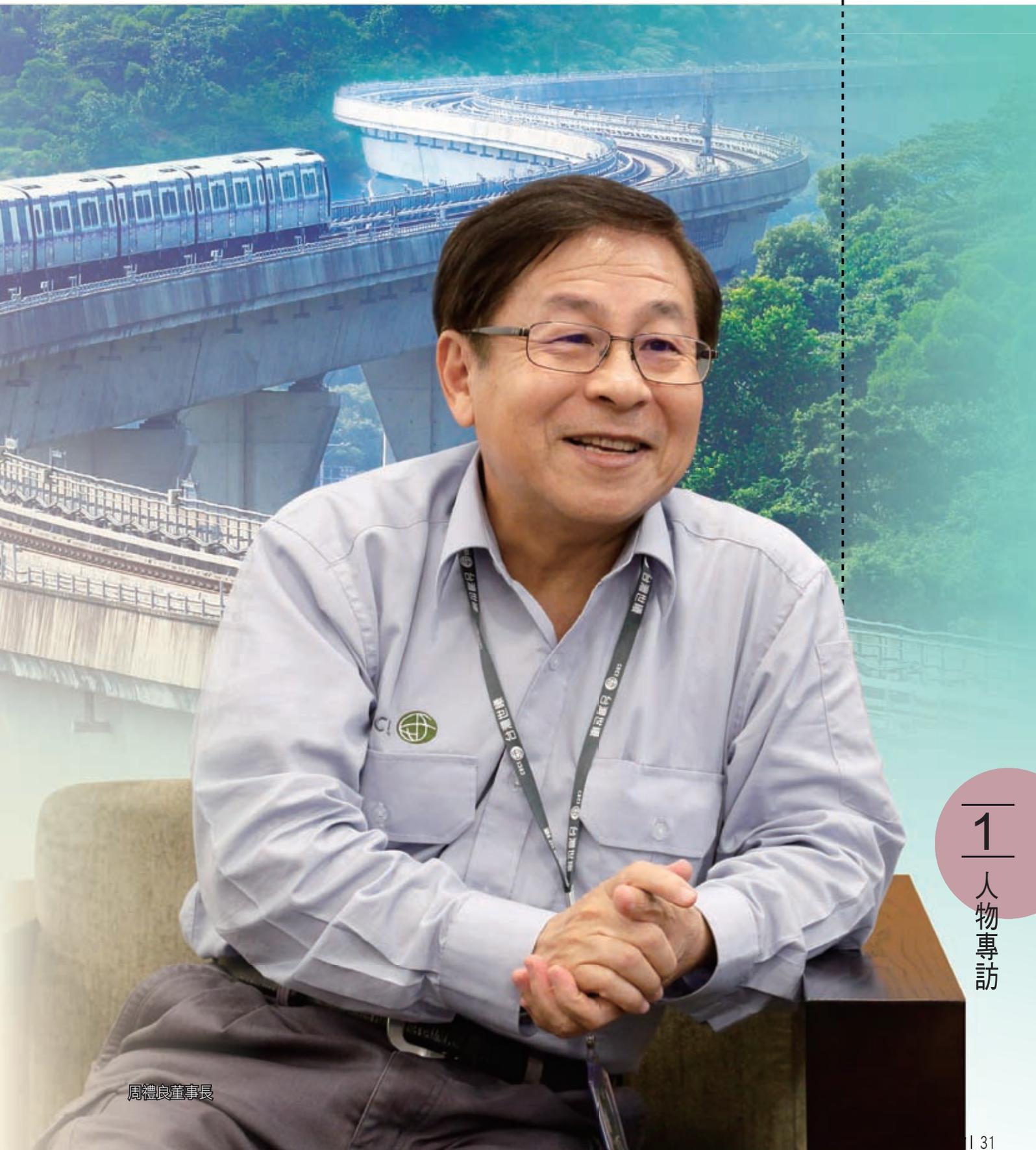
問：對於防災、災後復建，顧問公司應朝什麼方向努力？

答：對於防災問題，颱風、暴雨、地震的因應，可分事前預防、事中處理、事後復建來考慮，其工作量就會多了。以日本熊本地震災害為例，日本以專業有秩序地完成事後工作，相較台南維冠大樓、高雄氣爆災害處理方式，與臺灣處理方式就有不同，值得我們思考及學習。

CECI可以於災害發生前後，搜集資料主動提供協助，整合國內資源、動員專業人力例如工程師、技師等，盡一份社會責任。

問：國內捷運系統營運約25-30年之久，過去顧問業對於維修方面的市場未重視，對於未來更新或維修部份，CECI那些可以協助地方？

答：應推動3D立體化設計及BIM技術導入，讓設計、施工及營運維護的整體資訊，均以3D的方式留存於資料庫中，使其成為一個具全生命週期記憶性的虛擬建築物，可以隨時擷取資訊，除了作為後續更新及維修的參考依據外，更可以協助未來捷運系統在跨世代整合時的有力工具。



周禮良董事長

1
人物專訪



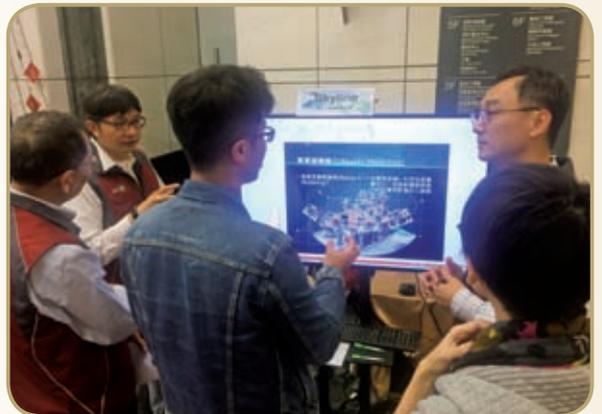
另外，設計觀念不斷更新，雖然在執行上仍有困難，但仍應持續推動；參考國外案例，車站設計還有很多可以優化的空間，如哥本哈根M1、M2捷運車站皆未設置驗票閘門，由於少了驗票的時間及相關閘門前後排隊停等空間，民眾更為便捷、有效率，相對增加空間配置的彈性，可以節省經費。但在國內民眾守法素養尚未能完全反映在開放式之大眾捷運系統以前，或可以考慮將來新開發運用如e-tag前端讀寫設備概念，取代驗票閘門的設置，可以減少對空間、經費的需求，另外可以從榮譽制度著手，教育民眾接受新的觀念。

問：「南進」為政府極力推展的政策，請問周董事長您對於進軍海外市場的整體策略與規劃為何？

答：一定要與國外競爭，才知本身實力及優缺點，所以第一步應力求表現、展現實力，自然有生意上門，甚至可以選擇參與比較好的國外工程；雖臺灣市場較小，但臺灣的顧問公司應把握時間，利用本身能力將市場拉大，也可以把國家具有優勢的產品結合之後走出去，產生共生共榮的團結力量。

問：周董事剛提到在設計上朝向3D BIM技術發展，目前實際上BIM設計仍未成熟，甚至有增加成本問題等盲點，請問對於公司未來執行3D BIM的看法及如何突破盲點。

答：對於3D BIM認知及應用應加以修飾及調整，3D BIM設計可以節省費用、提昇效率、自動數量統計分析..等等優點，公司應推動捷運工程設計朝3D BIM設計，朝領先國內專業技術發展。



3D VR實景建模



桃園國際機場第三航站3D VR



(左1)林建華經理 (左2)李元唐副總經理 (左3)王慶麟經理 (右3)周禮良董事長 (右2)陳幼華資深協理 (右1)譚家瑞副理

問：請問周董事長對於公司短、中、長期技術，未來發展及對同仁有何期許？

答：公司有很多資源，專業人才、設備、制度良好，尤其人才是公司最主要的資產；資深同仁的經驗及知識分享，加上新進年輕同仁新觀念及訓練3D BIM的發展，在在都是最好的組合。將來一定要朝國外走出去，期許同仁推動自身能力的發展之外，亦希望各位同仁身體健康！有健康的身心才能發揮最好的戰力。

後記

承蒙周董事長百忙之中撥冗接受專訪，訪談中周董事長特別強調我們要朝領先國內專業技術發展，同時一定要與國外競爭，這樣才知道自身的實力及優缺點，慢慢累積展現實力並力求表現之後，自然會有後續之業務機會。

環狀線DF112標 於狹窄道路處之 高架橋及車站設 計及施工規劃

關鍵詞：單柱式框架鋼橋墩、轉換區高架橋、臨時支撐塔、背拉鋼索

台北市政府捷運工程局／副局長／陳耀維 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／劉嘉哲 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／陳世任 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫副理／宋建宏 ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／詹宏義 ❺

摘要 ABSTRACT

臺北都會區捷運系統中已營運之捷運路線多為輻射狀佈設，須有「環狀路線」將其結合成完備之捷運路網，本計畫DF112標為臺北捷運環狀線之第一階段工程內最艱困之重要高架工程，亦為環狀線三個設計標中首先完成發包標案。

本計畫捷運路線後段自Y11車站起至Y13車站間所在之道路寬度狹窄，如中山路約24m寬、板南路約20m寬等，且道路上交通繁忙、路面下管線密佈。若採一般高架捷運側式月台或島式月台車站型式佈設，因側式月台車站寬度約為20~22m幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房隱私權、日照權等居住品質，因此本計畫規劃於中山路及板南路三座高架捷運車站為「疊式月台」之型式，而連接車站間之高架橋為疊式高架橋型式，疊式線形全長計約2.61公里。

疊式線形雖已於臺北捷運中和線之潛盾隧道及地下車站採用，然於國內捷運軌道工程採疊式高架橋及高架疊式月台車站為首次採用之技術。由於配合疊式線形架橋結構型式從兩側式軌道轉換成兩疊式軌道之轉換區，每支橋墩變化型式皆不同，設計十分複雜，加以於板南路中正路路口，疊式高架橋必須斜向跨越八里新店高架橋(後續文簡稱64線高架橋)，致使工程更加艱鉅，因此於設計階段邀請各專業廠商討論，並將規劃施工方式反映於設計圖及工程費用中，使得施工廠商能了解工程狀況，如期如質達成預期目標。



壹、工程範圍及特性

捷運環狀線DF112設計標(後續文簡稱為本計畫)為臺北捷運環狀線第一階段工程之重要一標，分別與既有營運之中和線，以及未來萬大線、南北線連接，如圖1所示。

本計畫工程範圍起自中和市景平路秀朗橋端之Y8車站，路線向西沿景平路、中山路、板南路、中正路，轉入板橋市板新路，止於板新路口與中山路口之Y14車站，全長約6.3公里，包括高架橋及Y8~Y14等七座高架車站，以及Y10車站至Y11車站間剪式橫渡線等工程，並於Y8車站、Y10車站、Y11車站分

別與南北線Y44車站、中和線景安站及萬大線LG06車站連接。

本計畫後半段路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約24m寬、板南路約20m寬等，若依一般高架捷運車站型式佈設，因車站



圖1 環狀線DF112標與中和線、來萬大線、南北線連接圖



圖2 狹窄道路工程範圍

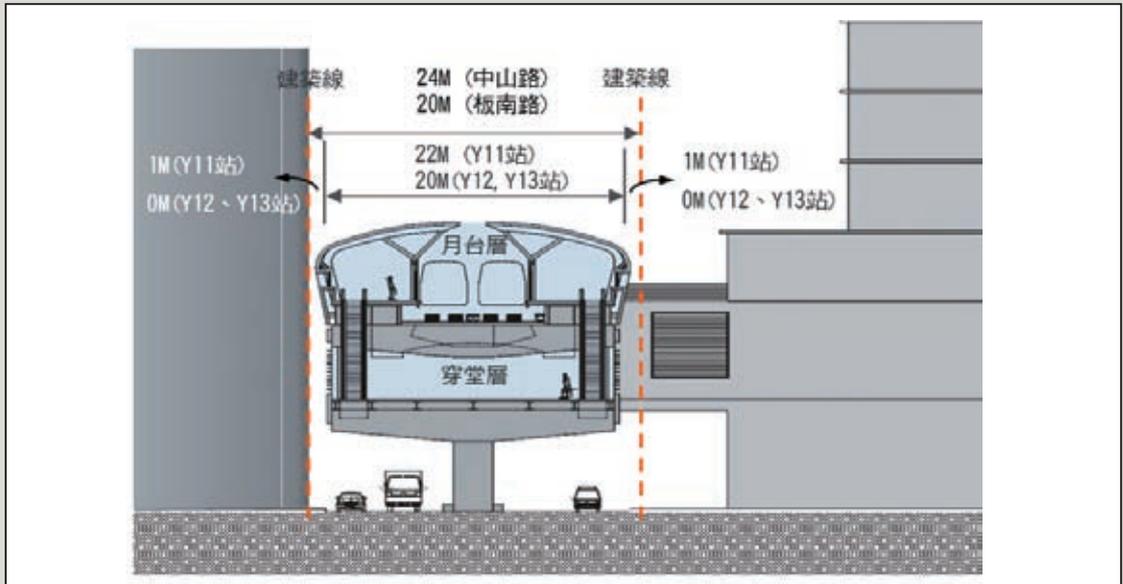


圖3 側式月台車站型式

寬度約為20m~22m，幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房居住品質，此外道路上交通繁忙、路面下管線密布，亦須跨越台64線高架橋及緊貼台64線中和一匝道等亦造成本工程施作之困難，狹窄道路工程範圍如圖2所示，因而如何解決為設計重要課題。

貳、基設規劃評估

臺北市政府捷運局頒布之基本設計係將車站穿堂層及機房空間規劃於道路上方，並採側式月台車站，車站寬度約20m~22m，而於道路寬度較狹窄之中山路(路寬24m)、板南路(路寬20m)共設置3個高架車站(Y11~Y13站)，站體兩側與建築線間距離僅有0m-1m，如圖3所示。

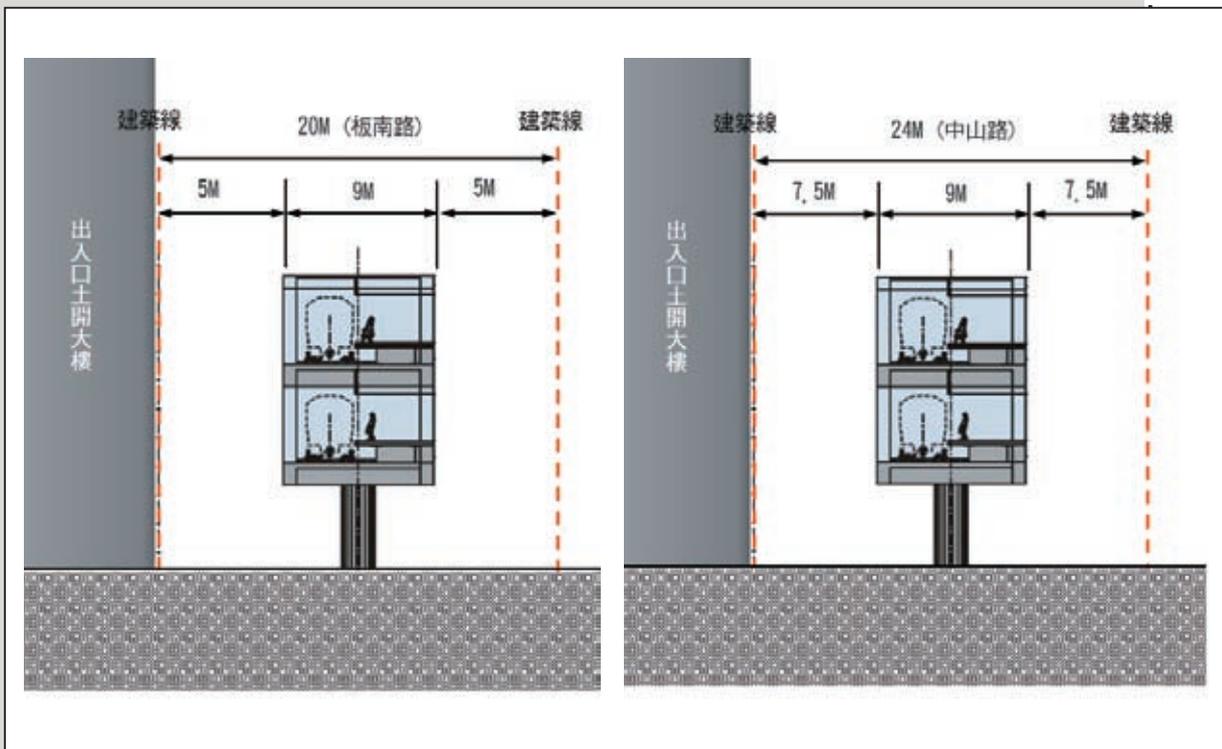


圖4 疊式月台車站配置橫剖面圖

細部設計階段評估龐大量體之側式月台車站，除嚴重衝擊都市景觀並造成都市空間緊張與壓迫感外，亦產生下列問題：

- 一、依【大眾捷運系統兩側禁限建辦法】規定：「高架段之路線及車站：水平方向為自捷運設施結構體外緣起算向外六公尺以內，垂直方向為自地面起算向上至捷運設施或行車安全之最小淨空以內，其有屋頂者則向上至屋頂結構上緣以內，兩者所形成之封閉區域均屬禁建範圍」；未來兩側鄰房改建時，需退縮至少5m~6m，影響未來週邊開發權益甚大。
- 二、雖車站旁大樓消防救災首先須藉大樓自身設備外，但周遭環境亦須檢視是否有滿足內政部「劃設消防車輛救災活動空間指導原則」規定：【供雲梯消防車救災活動之空間需求如下：1.長寬尺寸：六層以上未

達十層之建築物，應為寬六公尺、長十五公尺以上；十層以上建築物，應為寬八公尺、長二十公尺以上】。

- 三、對周圍建物有日照、噪音、私密性等衝擊。

因此將Y11、Y12、Y13車站採「疊式月台」車站方式設站，可減少車站寬度至9m，使車站與建築線之間的距離加大到6~7.5m，如圖4所示。

參、疊式線形設計

本計畫設計規劃疊式線形路線考慮現有道路特性以及系統機電之線形規範要求，如圖5所示，說明如下：

系統商AnsaldoBreda提供之技術參數

項目	希望選用	絕對需求
1. 平面曲線		
(1) 最大曲率半徑	3000 m	5000m
(2) 最小曲率半徑		
A. 主線	-	45m
B. 車站內	-	直線
C. 機廠連接線	-	50m
D. 機廠內	-	50m
E. 側線及停車線	-	140m
(3) 同向兩曲線間直線段長	-	0
(4) 反向兩曲線間直線段長	-	12.85m
(5) 可不設緩和曲線之最小半徑	-	5000m
(6) 月台端前之直線段長度	-	12.85m
2. 超高及超高不足		
(1) 主線軌道之最大選用超高	130mm	150mm
(2) 最大負超高	-	-
(3) 最大超高不足：		
A. $R \geq 150m$ 之曲線	90mm	150mm
B. $35m \leq R < 150m$ 之曲線	-	90mm~150mm線性內插
C. $R=35m$ 之曲線	-	90mm
(4) 超高最大變化率(最大超高縱坡)		
A. $R \geq 150m$ 之曲線		3‰
B. $35m \leq R < 150m$ 之曲線		2‰~3‰線性內插
C. $R=35m$ 之曲線		2‰
(5) 超高、超高不足之最大時變率		
A. 越高最大時變率		55mm/s
B. 超高不足最大時變率		55mm/s
3. 縱坡		
(1) 主線軌道最大縱坡	2%	5.5%
(2) 車站、側線及機廠最大縱坡	水平	0.3%
(3) 主線隧道之最小縱坡	-	0.3%
4. 豎曲線(採拋物線)		
(1) 豎曲線最小半徑	3000m	1500m
(2) 豎曲線最大長度	-	200m
(3) 兩曲線間固定縱坡之最小長度	50m	25m

圖5 系統機電之線形規範要求

一、Y11車站前轉換區線形規劃

(一) Y11站前440m之景平路上橫渡線結束處開始進行轉換，如圖2所示，為確保兩軌間之寬度能足夠上、下軌脫離同一高

程轉換為單軌之疊式橋梁，兩軌中心距離須由4,150mm增加至5,000mm。

(二) 上行線(下部軌道線形)以2.746%坡度緩降，並控制高架橋帽梁下之道路至

少有5.1m之車行淨高；另下行線(上部軌道線形)則以3.0%坡度爬升，並待上行線(下部軌道線形)軌頂高程距離下行線(上部軌道線形)軌道梁底部已充足提供列車行車安全淨高時(本計畫採5.2m)，再調整上、下行軌道之平面線形使之成為疊式線形後再以半徑45公尺之曲線由景平路進入中山路上Y11車站，如圖6所示，此符合系統機電之線形規範最小平面曲率半徑要求。

二、Y11車站至Y13車站疊式線形規劃

為維持車站建築結構外緣距建築線至少有6m淨距，Y11車站之出入口土開大樓位於南側，亦即月台位於南側，配合車站配置，上下兩軌中心須於道路中心北側0.8m處。而Y12站之出入口土開大樓位於軌道另一側，因此上下兩軌中心須將中山路道路中心北側0.8m，調整至板南路處道路中心西側0.8m，如圖7所示。



圖6 疊式線形以半徑45公尺之曲線進入Y11車站

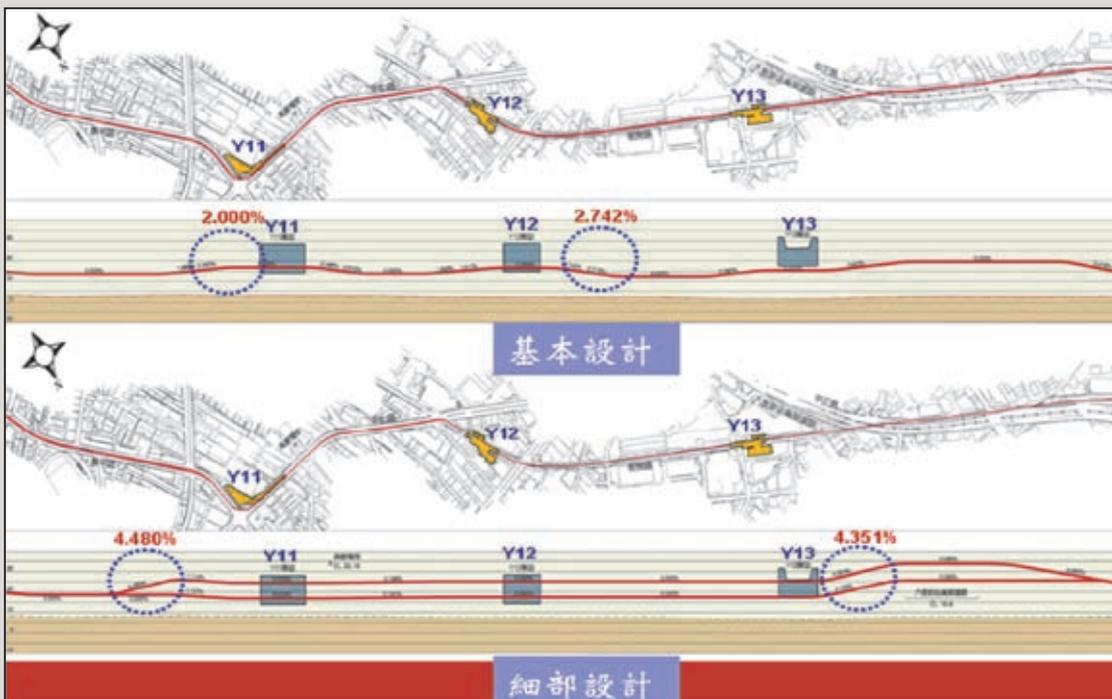


圖7 設計規劃疊式線形與基設線形縱坡比較圖

三、Y13車站後轉換區線形規劃

- (一) 出Y13站後即須斜交跨越中正路台64線高架橋，跨越台64線高架橋處之下軌(上行線)高程設計須考量高架道路車行淨高5.1m、新建之捷運高架橋梁深、軌面基座高度。
- (二) 斜交跨越中正路台64線高架橋後(Y13站後約+300)，下行線(上部軌道線形)以3.072%坡度下降，上行線(下部軌道線形)維持一定坡度，兩軌中心距離由5000mm縮減至4150mm。於Y13站後約1+086轉回側式配置，轉換區總長約786m。

上述設計規劃疊式線形與原基設線形縱坡比較，如圖7所示，最大線形縱坡為4.48%，其仍符合機電系統之線形規範最大線形縱坡5.5%要求。

肆、疊式高架車站設計

為減少Y11、Y12、Y13車站道路上方車站龐大量體，降低都市景觀衝擊與道路壓迫感設計規劃為寬度約9m的疊式月台車站，道路上方

僅保留月台及軌道，至於穿堂層與機房層則移至路外出入口基地。

疊式月台車站設計方式係將原兩平行並排之軌道，將一條軌道下移至穿堂層高度，另一條軌道則高度維持不變，原穿堂層則移至路外基地，故車站原高度不變，但車站量體大幅縮減，如圖8說明。

疊式月台分為上層月台與下層月台，兩月台高程相差7.7m，如圖9所示，月台長度仍維持80m，月台頭尾兩端配置空調機房與緊急樓梯，兩月台間以樓梯、電梯及電扶梯連通。

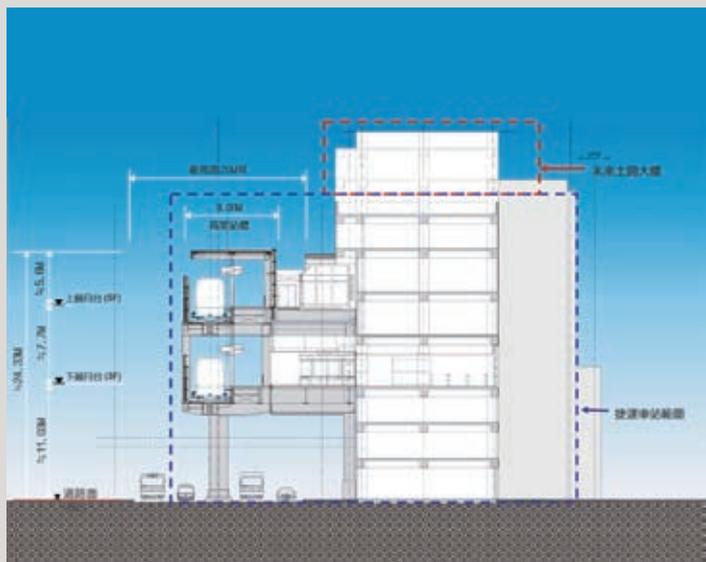


圖9 疊式月台高架車站剖面圖

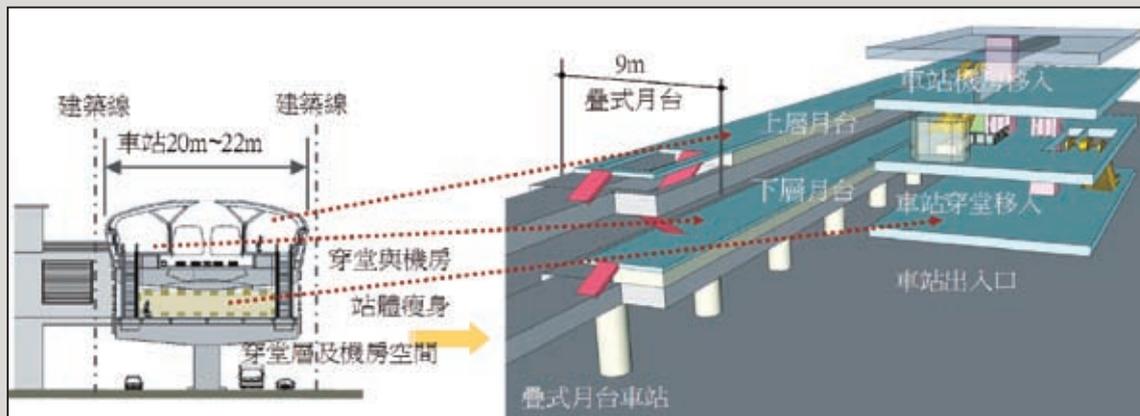


圖8 疊式月台高架車站空間配置說明

站體結構以「倒Y」型鋼柱作為整體車站造型之一部份，如圖10所示。在車站造型的設計上，以「輕」、「簡」、「透」為設計目標，



圖10 疊式月台高架車站結構透視圖及照片

避免過大量體或過多裝飾的設計，增加都市的壓迫性。在車站外型設計上，因考量與鄰房距離過近，避免車站噪音影響擾鄰，外牆盡量以包覆方式隔絕站內噪音。

在旅客舒適性的設計上，因高架捷運車站屬開放式車站，且捷運列車班次較為密集，因此在能源節約的考量下，月台候車區僅設置局部空調，如圖11所示，以增加候車旅客在夏季炎熱時的舒適性，冬季時則將玻璃帷幕活動窗開啟做自然通風，車站造型如圖12。

伍、疊式高架橋設計

配合「疊式車站」及「疊式線形」之佈設，高架橋亦需採「疊式高架橋」設計，為能使雙向之軌道梁維持不同高程上、下疊放，且又必須確保下層軌道上之行駛列車有足夠之動態包絡空間，加以捷

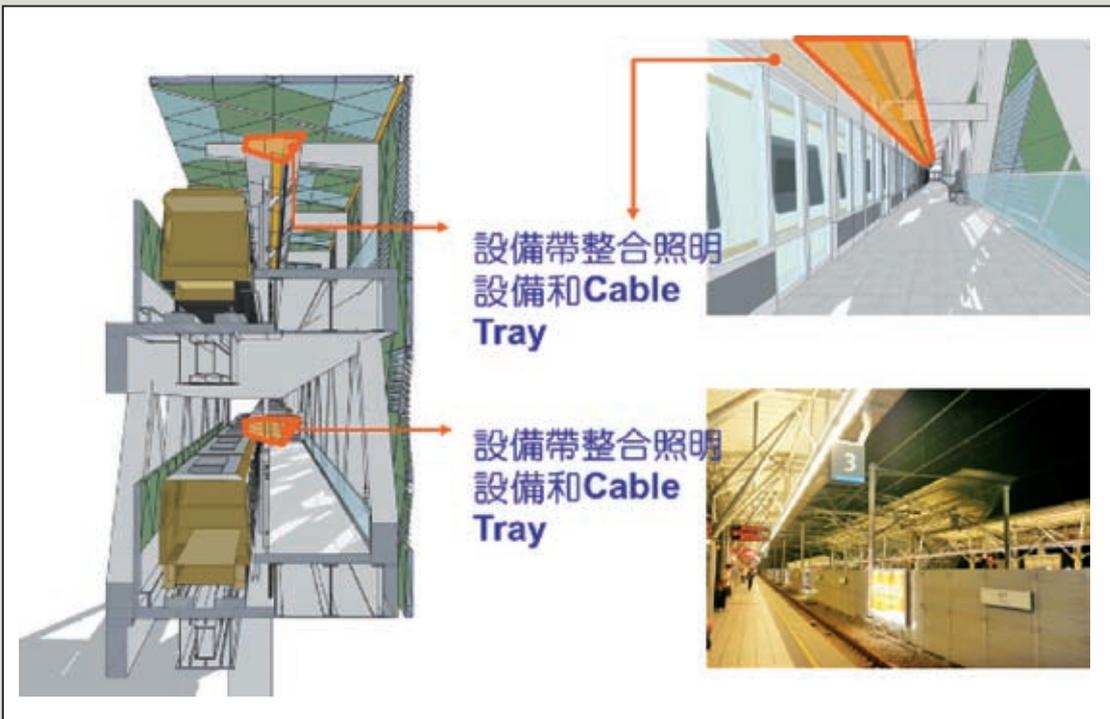


圖11 月台候車區設置局部空調



圖12 疊式月台高架車站外觀造型透視圖

運路線通常沿著既有道路佈設，新建之高架墩柱即利用道路中央之分隔綠帶(約3m寬)立墩，因此規劃「單柱式框架鋼橋墩」設計。此外考量既有道路路幅狹窄、交通擁擠，為使捷運高架橋施工對現有都會道路之交通影響最小，採用「預鑄」或「預製」之大梁及橋墩結構，並且應考量容易於現場吊裝組立之形式，因此本計畫下部結構採「鋼橋墩」，而上部結構於路口間採短跨長制式之簡支預鑄預力U型梁，現場照片如圖13所示，對於跨路口之長跨橋或曲線上之橋跨，則採連續鋼箱型梁，現場照片如圖14所示。

一、狹窄道路簡支預鑄預力U型梁吊裝規劃與施工

本計畫路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約24m寬、板南路約20m寬等，如何進行簡支預鑄預力U型梁吊裝為重要課題，原規劃設計框架鋼橋墩與U型梁吊裝方式如圖15所示。然施工廠商先完成框架鋼橋墩後再吊U型梁，致使下層U型梁須穿越框架鋼橋墩，現場照片如圖16所示，加以平面及垂直空間受限必須

採用700T及400T兩輛吊車進行約130T之U型梁吊裝。

二、爬昇段及下降段之轉換區高架橋段設計規劃與施工

為使一般側式型式之高架橋轉換成疊式高架橋，即須佈設爬昇段及下降段之轉換區高架橋段，首先配合軌道線形佈設時需將原一般型式之高架橋中上、下行軌之間距(標準間距4.15公尺)逐漸加大，中央步道寬度亦增大，俟寬度大至可設置兩單軌橋(約5.5公尺)，然後開始進行單一軌道爬昇。當上、下行軌間之高程差達足夠相疊之淨距後，兩軌開始向柱中心線靠近，於是兩軌橋梁形成上、下重疊之「疊式高架橋」。

轉換區高架橋段應須配合線形、橋跨度及現有道路路型，因此須逐墩檢討繪製不同樣式橋墩，於Y10~Y11站間轉換區高架橋段設計規劃如圖17所示，現場照片如圖18所示，於Y13~Y14站間轉換區高架橋段設計規劃如圖19所示，現場照片如圖20所示。



圖13 簡支預鑄預力U型梁現場照片



圖14 連續鋼箱型梁現場照片

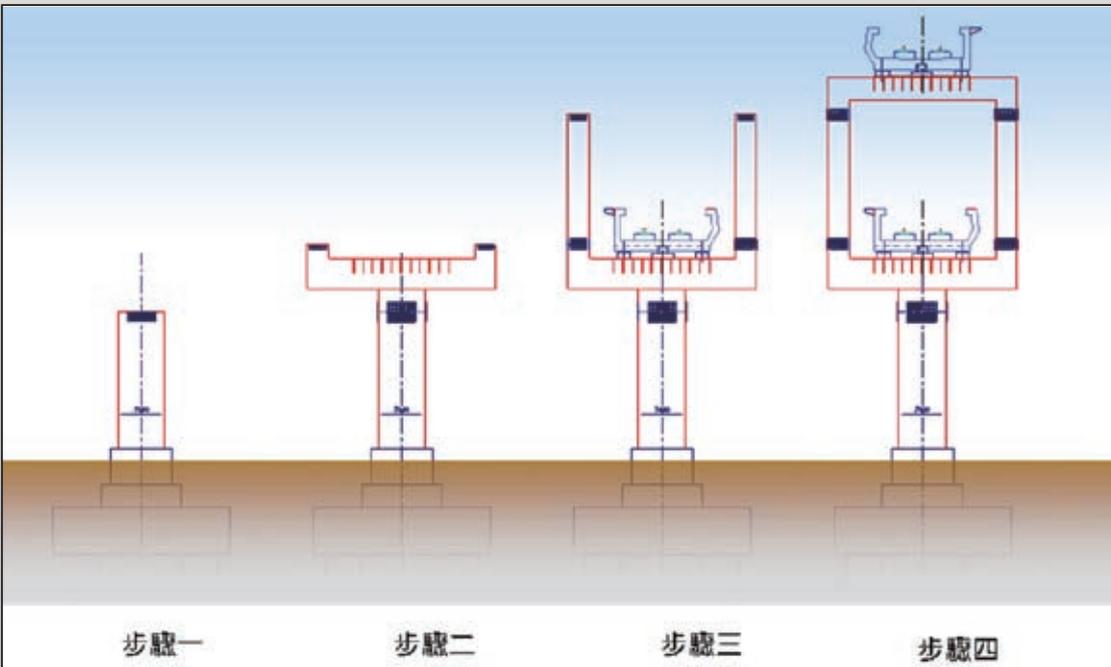


圖15 疊式高架橋施工步驟示意圖

三、台64線(中和一)下橋匝道介面疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線緊貼台64線(中和一)下橋匝道，

其位置如圖2所示，經現場測量得知台64線(中和一)下橋匝道匯入地面側車道，地面車道寬度僅剩6.2~8.2m，如圖21所示。蒐集台64線(中和一)下橋匝道竣工圖得知下橋匝道擋土牆基礎突



圖16 下層U型梁吊裝現場照片

出路面約1m，如圖22所示。若依據基設規劃位置，於不破壞下橋匝道結構，亦即採「避開」擋土牆基礎突出施作，完工後橋墩距離匝道結構外緣至少須2.0m，將衍生下列問題：

- (一) 須配置2.1m寬墩柱寬及0.5m寬緣石寬度，慢車道僅剩1.6m寬，無法提供一車道最小需求，將影響全坤富貴賞大樓車輛出入，亦影響加油站車輛出入。
- (二) 捷運結構外緣離全坤富貴賞大樓外緣僅 $6.4 - 2.0 = 4.2$ 公尺，無法滿足兩側禁建限建6m之規定。

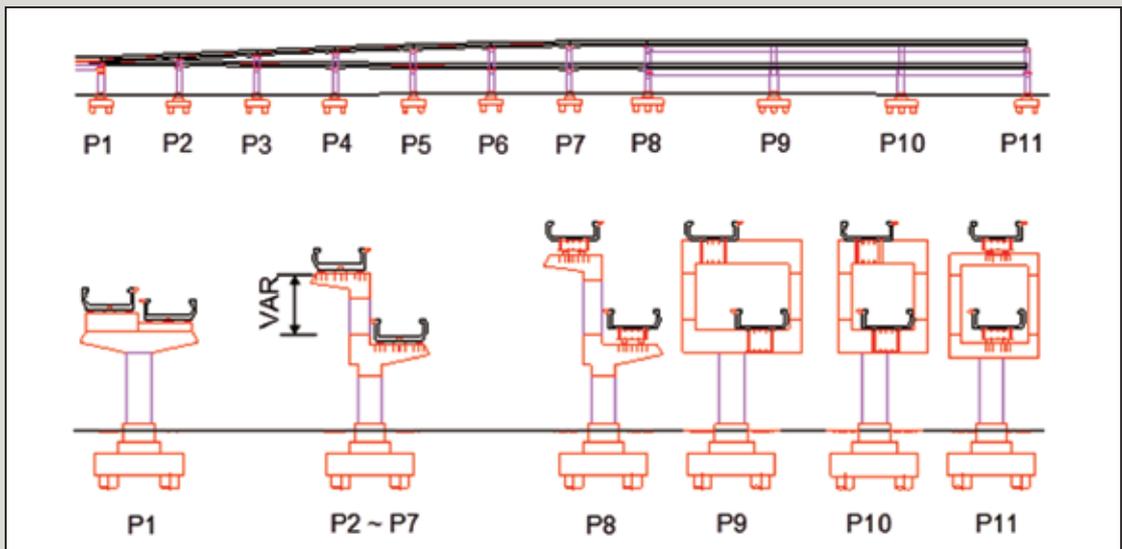


圖17 Y10~Y11站間轉換區高架橋段設計規劃



圖18 Y10~Y11站間轉換區高架橋段現場照片

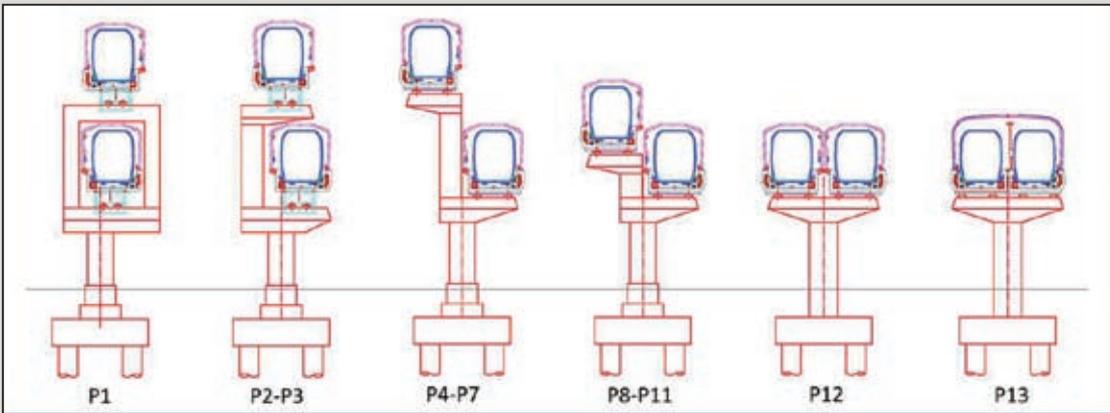


圖19 Y13~Y14站間轉換區高架橋段設計規劃



圖20 Y13~Y14站間轉換區高架橋段現場照片



圖21 台64線(中和一)下橋匝道匯入地面側車道出口

因此捷運橋墩需緊貼下橋匝道佈設，並考量橋墩基礎打設基樁及開挖樁帽時之施工作業空間，以及施工中地面側車道交通維持之必要寬度，此處橋墩相對於基礎需採偏心設計，並使基礎偏向於現有下橋匝道位置下方，如圖23所示，而施工之方式則必須先將匝道做臨時性之拆除，包括：

(一) 拆除台64線(中和一)下匝道擋土牆。

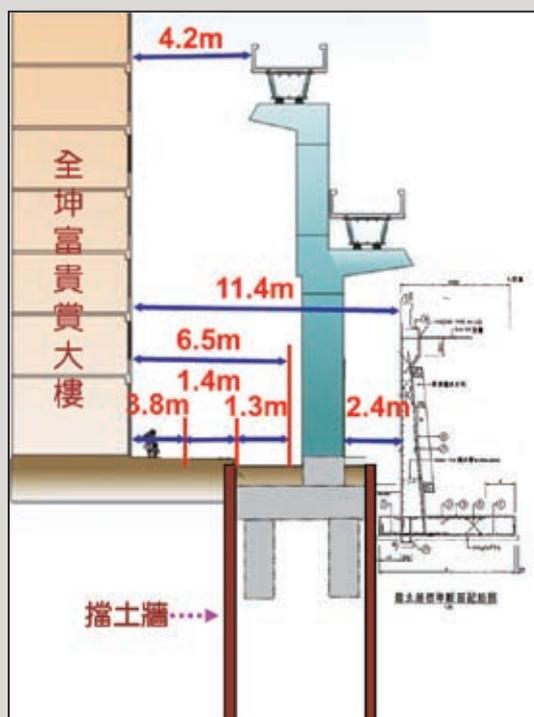


圖22 高架橋採「避開」擋土牆基礎突出施作配置圖

- (二) 拆除引橋三跨大梁及橋面板，現場照片如圖24所示。
- (三) 拆除隔音牆等結構。
- (四) 保留引橋橋墩及橋台。

以利施作基樁及基礎擋土支撐，俟此路段捷運橋墩施作完成後再復舊匝道，現場照片如圖25所示。

四、跨越中正路台64線高架橋之疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線過Y13站後疊式高架橋沿板南路前行至中正路口需跨越台64線高架橋，因計畫路線係以約13度之小角度斜交跨越，因而設計規劃此處配置跨徑40m+80m+36.2m三跨之連續鋼箱梁高架橋，而有兩座橋墩(P1308及P1309)僅能利用既有台64線高架橋東西行線間預留之3m間隙設置，如圖26所示。

此座跨越中正路台64線疊式高架橋設計施工規劃須考量下列課題：

- 台64線高架橋橋下低淨空施作基礎基樁
- 台64線高架橋兩橋面間3m空隙施作橋墩
- 台64線高架橋上吊裝疊式鋼箱梁

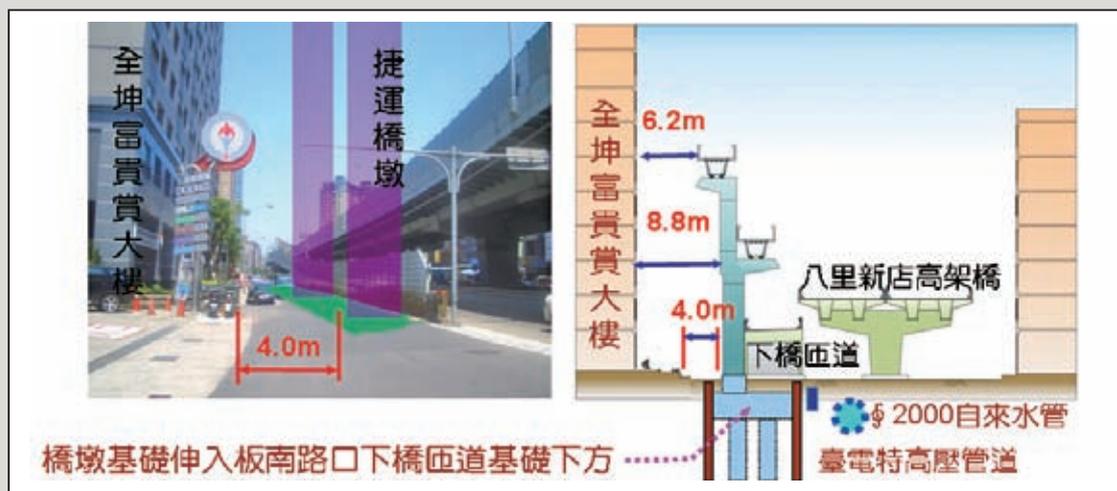


圖23 捷運橋墩基礎伸入下橋匝道基礎下方配置圖



圖24 拆除匝道引橋三跨大梁及橋面板現場照片



圖25 台64線(中和一)下橋匝道復舊現場照片

(一) 台64線高架橋橋下低淨空施作基樁及基礎

於台64線高架橋路段橋下淨空僅約7m

高度左右，調查市場上改裝後之全套管基樁機具，至少需要8.5m高度，如圖27所示，因而需局部降挖約2m左右，降挖區施工機具如吊車+搖管機、發電機、挖土機、棄土筒、降挖區斜坡道等平面規劃配置如圖28所示，降挖區現場照片如圖29所示。

降挖區之下全套管基樁低淨空施工其淨高雖約有9m公尺，施工機具仍須改裝，基樁施工考量因素如下：

1. 吊車－現有機型須改裝符合橋下施工限高及鋼筋籠吊裝。
2. 搖管機－基樁必須貫入礫石層為工率，考量一般採用可施作直徑 $\geq 2.0\text{m}$ 的搖管機，機台高度約1.5m。
3. 套管－基樁套管長度必須改短至 $\leq 3.0\text{m}$ 以致裁切後另製接頭數量增加。
4. 重錘－遇到大卵石或岩層須使用重錘（Chisel）將其擊碎後以抓斗取出。
5. 鋼筋籠－鋼筋籠預計每段長度4m，各節以鋼環與上下節鋼筋焊接作為鋼筋籠續接，現場照片如圖30所示。

(二) 台64線高架橋兩橋面間3m空隙施作橋墩

框式鋼橋墩須於既有台64線高架橋上下行橋面間3公尺間隙立墩，由於框式部份面須垂直捷運線形，而墩柱面須垂直3公尺間隙，因捷運線形與台64線高架橋呈約13度夾角，致使框式部份面與墩柱面亦呈約13度旋轉角度，除造成設計困難亦增加施工困難。

施工廠商企圖更改墩柱成旋轉狀，嗣因增加製造及現場安裝困難度而放棄，最後施工廠商於台64橋兩橋面間3m空隙完成橋墩現場照片如圖31所示。

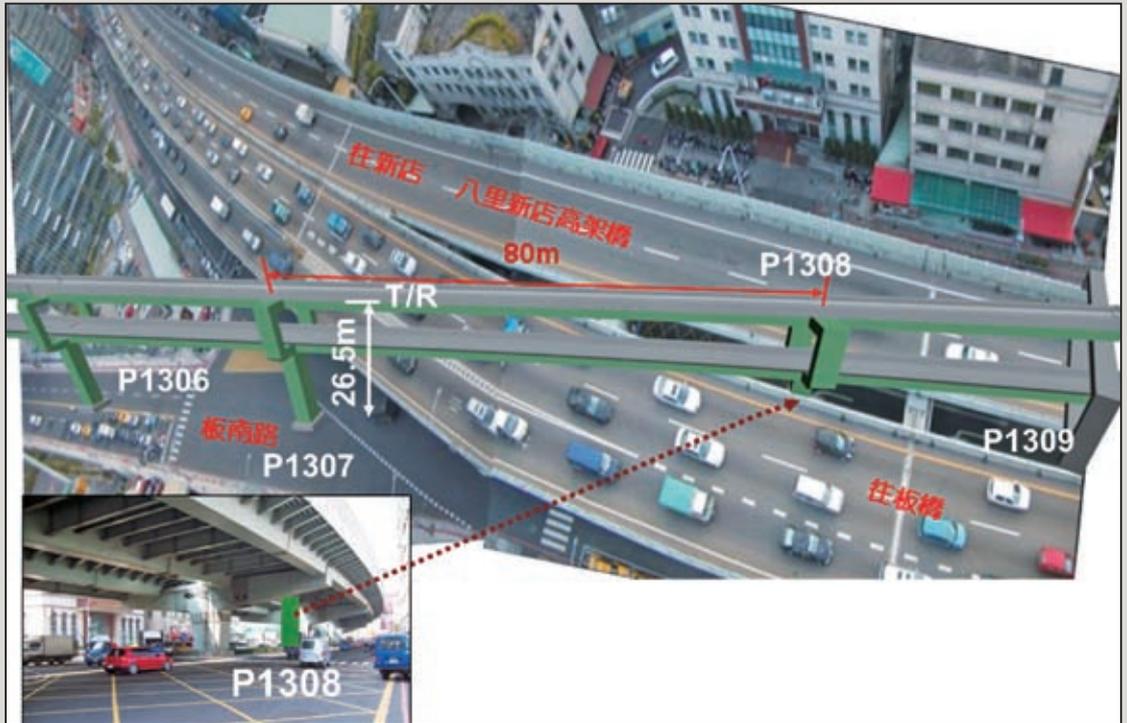


圖26 跨越中正路台64線高架橋疊式高架橋設計規劃

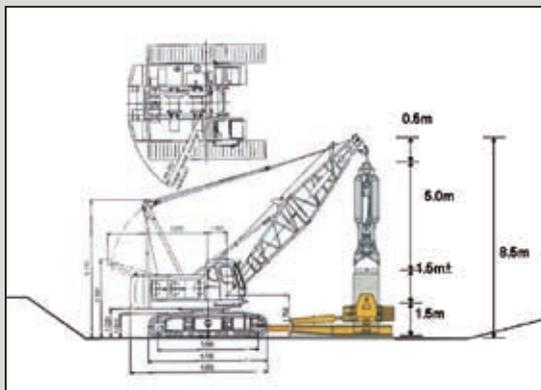


圖27 全套管基樁低淨空機具設計施工規劃



圖29 降挖區現場照片

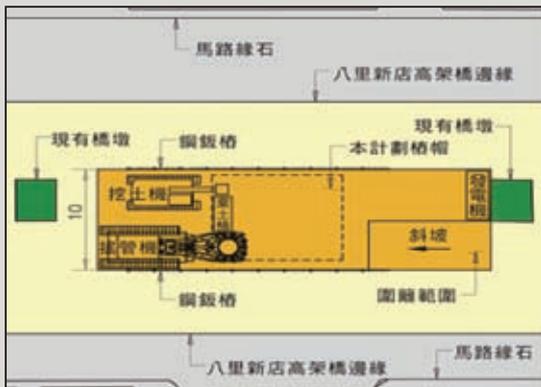


圖28 降挖區施工機具平面配置設計施工規劃



圖30 鋼筋籠上下節鋼筋焊接現場照片



圖31 台64線高架橋兩橋面間3M空隙完成P1308橋墩現場照片

(三) 台64線高架橋上吊裝疊式鋼箱梁

三跨(40m+80m+36.2m)之連續鋼箱梁高架橋以約13度之小角度斜交跨越台64線高架橋，端跨鋼箱梁可於地面全跨吊裝，然中間80m長跨鋼箱梁吊裝施工須考量台64線高架橋橋寬配合前、後之匝道而橋面加寬，導致台64線高架橋兩側地面車道狹窄，欲採一般於地面全跨吊裝鋼梁十分困難，因此施工時需採鋼梁節塊逐步吊裝之方式。

若於台64線高架橋上進行鋼梁節塊逐步吊裝，則考量既有台64線高架橋須負載吊車鋼梁及鋼梁節塊重，則勢必須採小節塊以減輕重量，如此施工工期較長，且需封閉橋上交通以進行吊梁，影響橋上交通甚大。因此於設計階段規劃背拉鋼索吊裝

施工方式，於地面吊裝鋼梁節塊並以背拉鋼索固定方式施工組立此80m長跨鋼箱梁，其平面配置及主要施工步驟如圖32所示。

施工廠商評估原設計規劃背拉鋼索吊裝施工方式有鋼索較多、支撐長度長、空中螺栓接頭多等施工困難因素，為縮短工期提出另一種背拉鋼索吊裝施工方式，由於此方式須背拉鋼索固定於P1308橋墩框架鋼柱上，現場照片如圖33所示，施工廠商須核算P1308橋墩框架鋼柱強度及變形，

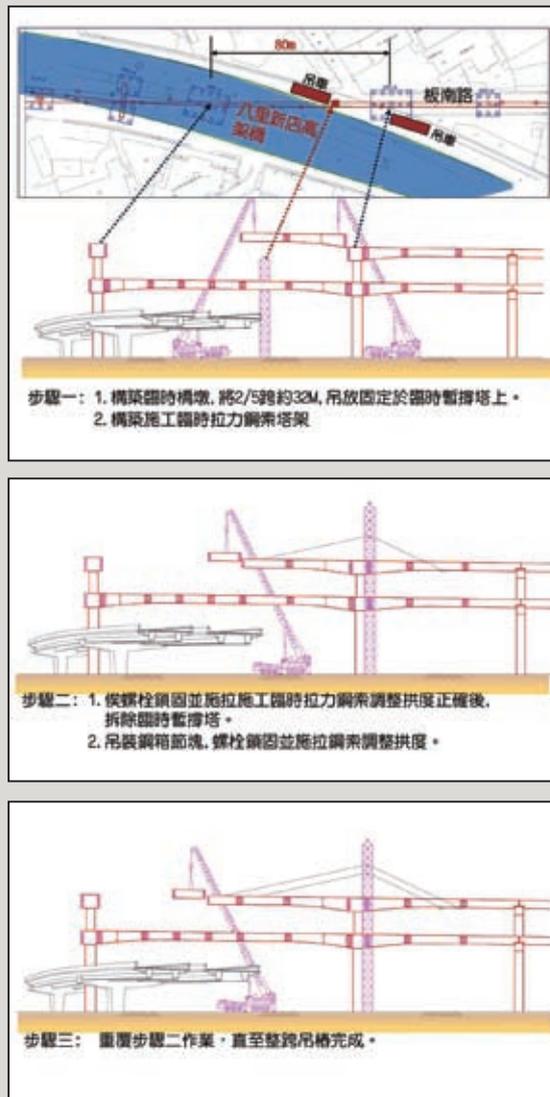


圖32 設計階段規劃背拉鋼索吊裝設計施工規劃

且吊裝上鋼箱梁時須臨時支撐於下鋼箱梁上，上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片如圖34所示，亦須核算下鋼箱梁強度及變形，以符合設計需求。

陸、結論與展望

高架疊式線形之技術於國內捷運工程為首次採用於本計畫，由於計畫路線經過地狹人稠區域，施工困難度更勝以往，設計階段將數



圖33 P1308橋墩框架鋼柱背拉鋼索吊裝現場照片



圖34 上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片

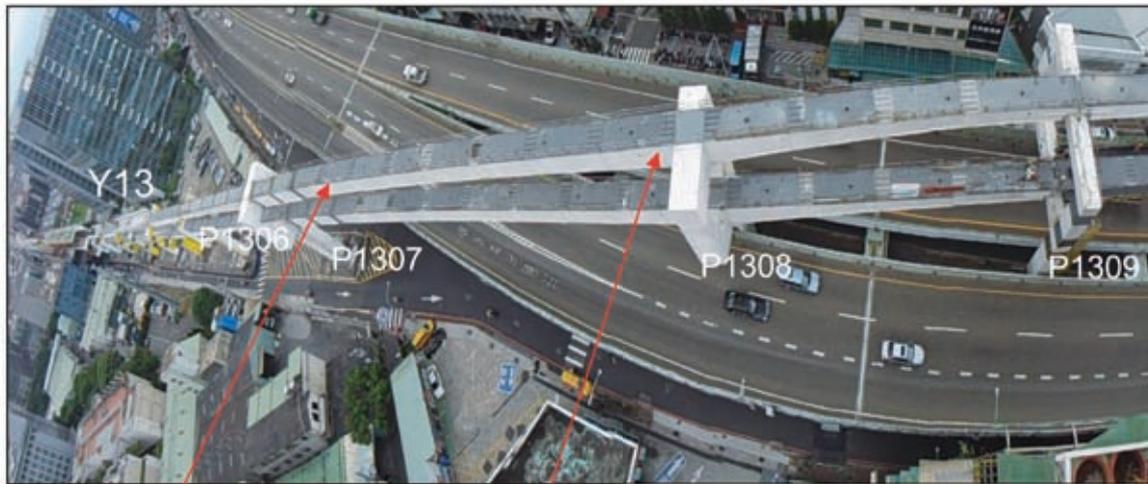


圖35 臺北市政府捷運工程局104年8月工務會議觀摩

個關鍵問題徵詢專業廠商，並於設計圖上表現規劃之假設工程，提供施工廠商作施工計畫參考資料，使得施工廠商能更快進入核心施工問題，並考量本身施工技術提出可行施工計畫。

本計畫施工監造主辦機關為臺北市政府捷運工程局東區工程處，大部份監造人員皆來自捷運內湖線DB145標計畫，而此計畫亦為本公司完成設計及施工中服務，因此秉持以往互動模式能有默契協助施工廠商順利完成此艱困工程。

後續捷運路網往往佈設多為串聯人口較為稠密，商業活動旺盛，現有交通較為繁忙之地方，亦常會有經過狹窄之道路情形，「疊式高架橋及疊式月台高架車站」於捷運設施之運用，將成為未來常見之現象，因此臺北市政府捷運工程局104年8月工務會議以本計畫為觀摩標的，如圖34所示，亦可藉由本文之介紹，期能讓後續高架捷運工程設計上更能有系統化、模組化地規劃設計「疊式高架橋及疊式月台高架車站」。

先進城市捷運 工程隧道通風 系統探討

關鍵詞：隧道通風、煙控策略、捷運工程、環控系統、避難逃生

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／協理／施亮輝 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／技術經理／蔡福順 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／副理／林啟基 ❸

摘要 ABSTRACT

隧道通風系統在正常情況下，須維持隧道空氣符合溫度要求之環境，列車因故障停於隧道內，需提供隧道通風氣流，以維持列車空調設備繼續運轉。當列車於隧道內發生火警，由隧道通風系統產生一定速度的氣流，以抵擋煙塵擴散，維持逃生路徑，確保旅客安全。

本文分別針對各國先進城市地下捷運系統隧道通風、煙控系統進行探討，包含臺灣地區都會區捷運隧道通風系統設計原則及方法，另外探討彙整相關國家，包含中國大陸、印尼雅加達、法國土魯斯、丹麥哥本哈根等地小空間捷運車站之隧道通風系統設計理念、配置方法與臺灣都會區之差異性，以作為後續捷運隧道通風系統精進參考。



壹、捷運工程隧道通風系統規劃理念

捷運環境控制系統(Environment Control System; ECS)目的，在正常營運狀況下，提供乘客一個舒適環境，塞車時降低列車冷凝器周遭環境溫度，以維持列車空調系統及車內人員適當之環境條件，在緊急情況下能保障旅客安全。

以臺灣都會區捷運環境控制系統為例，分為開放系統、密閉系統與月台門系統，其車站及隧道配置示意，如圖1~3所示，分述如下：

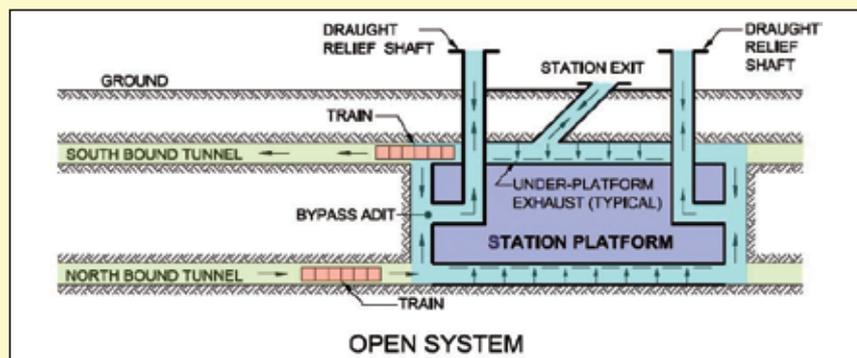


圖1 地下捷運車站開放式環控系統示意圖

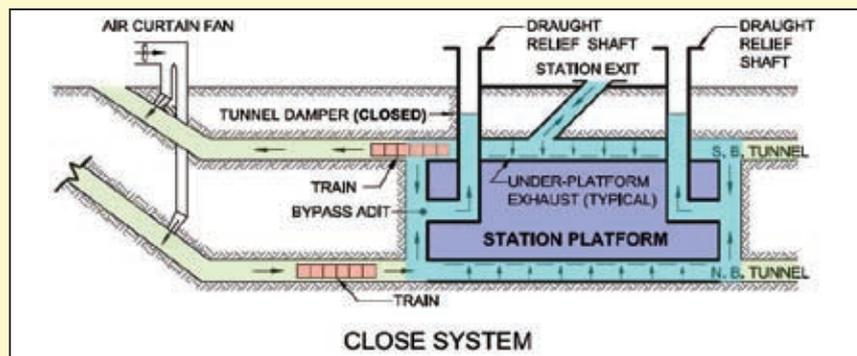


圖2 地下捷運車站密閉式環控系統示意圖

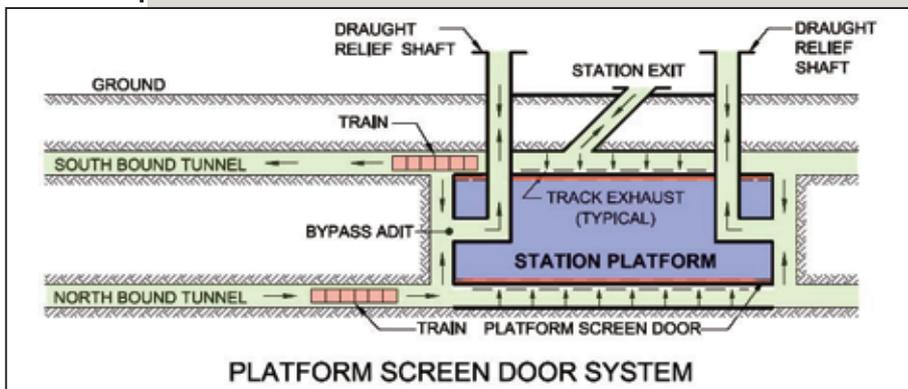


圖3 地下捷運車站月台門環控系統示意圖

一、開放系統

地下車站月台層公共區與軌道區相通，隧道內的空氣，經由列車行駛時推拉，隧道內的空氣經釋壓井與外界氣流交換。隧道高溫氣流進入車站月台，成為車站空調負荷來源。臺北捷運初期路網於冬天或外氣溫度較低的季節，即採用此種全外氣模式，此種系統亦可應用於高緯度地區，外氣溫度較低之城市。

二、密閉系統

地下車站月台層公共區與隧道側相連通，但關閉隧道通風井風門隔絕外氣流通，以減少活塞效應引入外界熱空氣成為車站冷氣負荷。空調循環方式與前述開放式系統相同，月台下方排氣系統(UPE)是車站公共區空調系統之回

風，抽回空調系統後，再行循環送風。臺北捷運初期路網，車站供應冷氣時採用此模式運轉。

三、月台門系統

月台門系統(PSD)是指沿車站月台兩側設置電動滑門之系統，其又分為密閉式、非全密閉式二種。若月台門採用全

密閉式，則以月台門區分，內側屬車站冷氣區域，外側則為隧道區；隧道是藉由列車活塞效應，氣流經釋壓井進行換氣及散熱，軌道側排氣系統(UPE、OTE)經由排氣通風井排出，而地下車站內冷氣不會與隧道空氣混合。公共區回風，須另設回風風機(RAF)，以完成空調系統循環。臺北捷運後期路網的新莊線、蘆洲線、松山線、信義線及高雄捷運紅橘線路網、桃園機場聯外捷運等皆採用全密閉式月台門系統。

隧道內發生火災時，隧道通風設備所需容量，係由火災模式的臨界速度 V_c (Critical Velocity)來決定。當密閉空間發生火災，為控制煙氣擴散方向，防止逆流現象發生，所需的速率即為臨界速度。隧道中風速與煙塵擴散關係示意如圖4所示，隧道通風系統設計經常採用臨界速度作為設計目標。

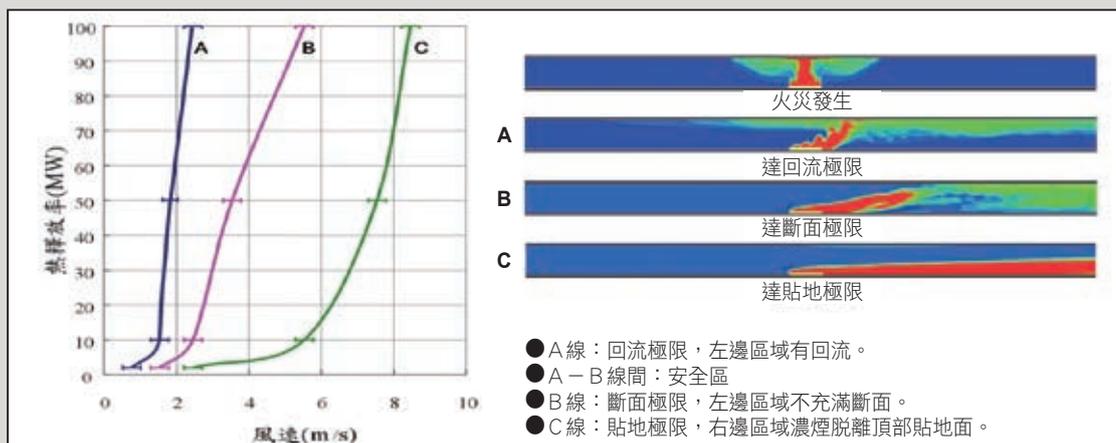


圖4 隧道風速與煙塵擴散示意圖

貳、臺灣都會區捷運隧道通風系統

一、臺北捷運系統隧道通風系統

臺北捷運之高運量系統車輛為鋼軌鋼輪系統，標準軌1435mm，第三軌750V直流供電，每列車6節車廂，車廂間互相連通，車站月台長度141m。

隧道通風系統主要採用設計參考文件為「高運量地下捷運系統環控工程設計指南」[1]、臺北都會區大眾捷運系統規劃手冊第四冊固定設施需求[2]、及NFPA 130[7]，以SES程式[8、9]模擬分析，主要設計要求如下：

- (一) 隧道通風系統在地下車站月台兩側末端，設置釋壓通風井，在正常運轉時，採自然通風以節省運轉費用，隧道平均溫度維持40°C以下。
- (二) 當列車於隧道中停止20秒至20分鐘或更久，由於列車行駛時活塞效應所造成的氣流逐漸趨於消失，列車散發的熱量會使隧道中密閉空間的溫度升高。應維持隧道內列車冷凝器周遭環境溫度低於46°C以下，以維持列車空調系統可運轉。
- (三) 緊急模式考量通風區間內，考量單一列車發生火災事故，最大釋熱量20MW，隧道內風速超過臨界速度或至少2.5m/s。逃生方向與通風氣流相反，最大氣流速度低於11m/s，溫度低於60°C。設置全密閉式月台門的各路線，緊急模式隧道通風機統一採用四送二排，以利行控中心操作。

臺北捷運系統隧道通風系統流程圖如圖5所示，典型機房配置如圖6所示。

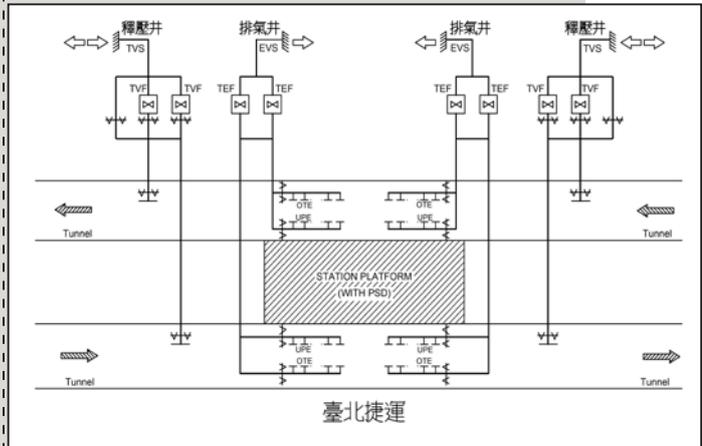


圖5 臺北捷運系統典型隧道通風系統流程示意圖

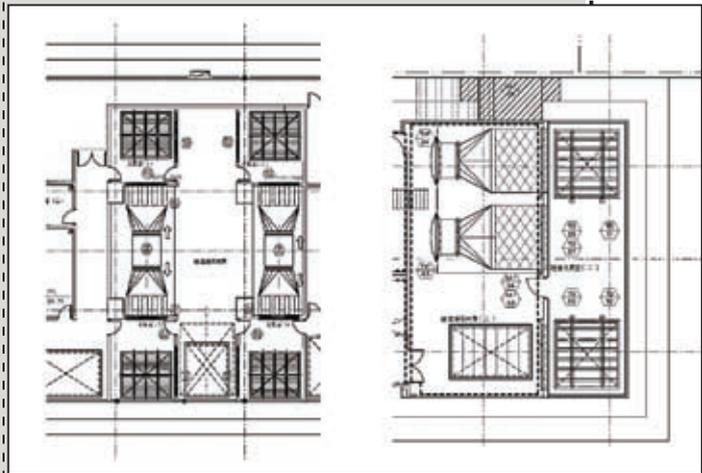


圖6 臺北捷運系統典型隧道通風機房配置示意圖

二、高雄捷運系統隧道通風系統

目前高運量部分有紅線、橘線二條路線營運，高運量系統之車輛為鋼軌鋼輪，標準軌1435mm，第三軌750V直流供電。初期每列車3節車廂營運，未來可擴充為6節車廂，車廂間互相連通，列車長度131m，採全密閉式月台門系統。

隧道通風系統[3]採用加壓式通風系統，通風設備包含是位於車站二端的隧道通風機 (TVF)、位於橫渡線或特殊軌處的噴流式風機 (JAF)、軌道排氣風機 (TEF) 及隧道風門等，隧道通風系統配置同圖5所示。

地下車站之環控系統設置通風井，大致與臺北地區捷運類似。釋壓井面積約為 26m^2 。每一通風井長度以 60m 為原則，若總長超過 60m ，則通風井面積須酌予增加。緊急模式運轉事故地點前後相鄰車站，四處隧道通風機房，原則採一送一送一排一排共4台隧道風機的模式啟動。

三、桃園國際機場聯外捷運系統

機場捷運為鋼軌鋼輪系統，標準軌 1435mm ，直達車5節車廂列車長度為 104m ，普通車4節車廂列車長 84m ，第三軌 750V 直流供電，採全密閉式月台門系統。車廂間互相連通。隧道通風系統設計要求[4]，大致與臺北都會區捷運系統、高雄捷運系統相同。正常運轉時，隧道平均溫度應維持 40°C 以下，塞車時，使隧道內列車空調冷凝器周遭之平均空氣溫度維持在 45°C 以下。

緊急模式考量在相鄰站間僅單一列車發生火災事故，使隧道內風速大於臨界速度或至少 2.5m/s ，氣流速度不可大於 11m/s ，溫度低於 60°C 。人員採逆風逃生，

通風井的設置原則[3]大致與高雄捷運系統相同。

參、中國大陸、雅加達等地捷運隧道通風系統

一、中國大陸捷運隧道通風系統

(一) 設計規範

中國「地鐵設計規範」(GB 50157-2013) [5]對於隧道通風系統防、排煙規定如下：

1. 區間隧道火災的排煙量，按單洞區間隧道斷面的排煙流速 $2-11\text{m/s}$ 計算。
2. 區間隧道事故，排煙風機、地下車站公共區和車站設備與管理用房排煙風機，耐溫等級 $250^\circ\text{C}/1\text{hr}$ 。
3. 列車阻塞(即塞車模式)在區間隧道時的送排風量，控制列車頂部的隧道溫度低於 45°C 。
4. 在事故工況(即緊急模式)下參與運轉的設備，從靜止狀態轉換為事故工況狀態所需時間不應超過 30s ，從運轉狀態轉換為事故工況狀態所需時間不應超過 60s 。

(二) 風亭(通風井)相關規定

地下車站應按通風、空調系統要求設置進風亭、排風亭和活塞風亭。在滿足功能的前提下，根據地面建築的現狀或規劃要求，風亭可集中或分散佈置。

1. 當採用側面開設風口的風亭時，進風、排風、活塞風口部之間的水平淨距不應小於 5m ，且進風與排風、進風與活塞風口部應錯開方向布置或排風、活塞風口部高於進風口部 5m 。
2. 當採用頂面開設風口的風亭時，進風、排風、活塞風口部之間的水平淨距不應小於 10m ，活塞風亭口部之間、活塞風亭與或排風亭口部之間的水平淨距不應小於 5m 。
3. 當風亭在事故工況下用於排煙時，排煙風亭口部與進風亭口部、出入口口部的直線距離宜大於 10m ；當直線距離不足 10m 時，排煙風亭口部宜高於進風亭口

部、出入口口部5m。

(三) 單活塞、雙活塞風亭(通風井)配置

中國大陸捷運隧道通風系統最常用的配置方式，於車站兩端分別設置兩個活塞風井(即雙釋壓通風井，亦稱雙活塞風井)，其系統流程圖如圖7所示，典型機房配置如圖9-a所示。車站兩端各有釋壓通風井2座、排氣井1處、進氣井1座，共有4座通風井；分別設置TVF、TEF風機，所需地面用地與機房空間較大。

釋壓通風井面積 16m^2 ，長度 40m 以內，自然通風井、機械通風井合併使用。若僅為機械通風井，則面積為 10m^2 ，風速為 6m/s 。每一隧道通風機房配置2台隧道風機，風量 $60\text{m}^3/\text{s}$ ，風壓 1000Pa ，可逆轉軸流式風機。依據運轉模式啟動TVF對隧道送風或排氣。兩台TVF可互為備用。月臺發生火災，站廳至月臺樓梯通道處向下氣流速度不小於 1.5m/s ，區間(隧道間)火災，列車釋熱量 7.5MW (考慮1.5倍安全係數)，按單隧道區間斷面風速 $2\sim 2.5\text{m/s}$ 。

近來部分城市對於捷運隧道通風系統進行優化設計[6]，將TVF兼作TEF，同時取消進站端的釋壓井，如此車站每端僅有一處活塞風井(釋壓井)、進氣井、排氣井各一座，稱為單活塞風井，系統流程如圖8所示，典型機房配置如圖9-b所示。平時TVF運轉，具TEF功能，其排氣由排氣井排除，釋壓通風井僅提供自然式通風口功能，若有緊急模式發生，與TVF/TEF相通之OTE、UPE風門關閉，則TVF變成隧道通風風機，對事故隧道進行排氣或送風。因TVF常態下處於運轉狀態，可維持較高妥善率，避免因TVF僅供隧道通風使用，平時不需運轉，若妥善率不佳反而於緊急模式無法運轉。

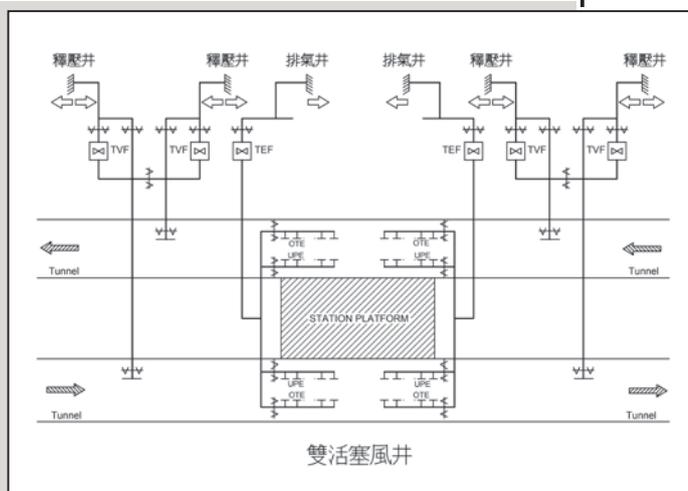


圖7 雙活塞風井流程示意圖

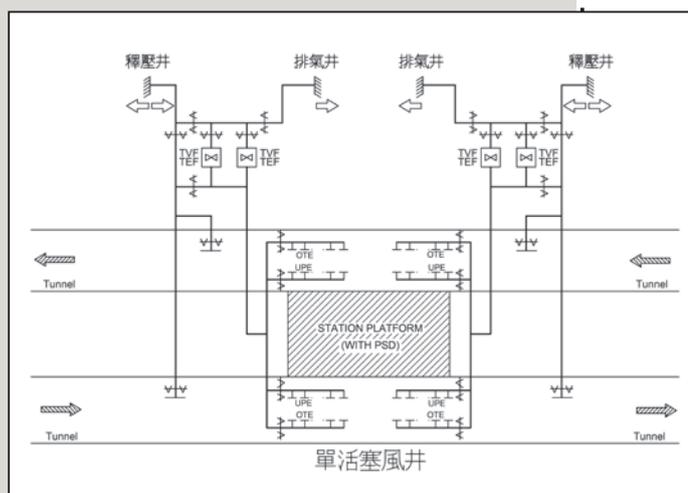


圖8 單活塞風井流程示意圖

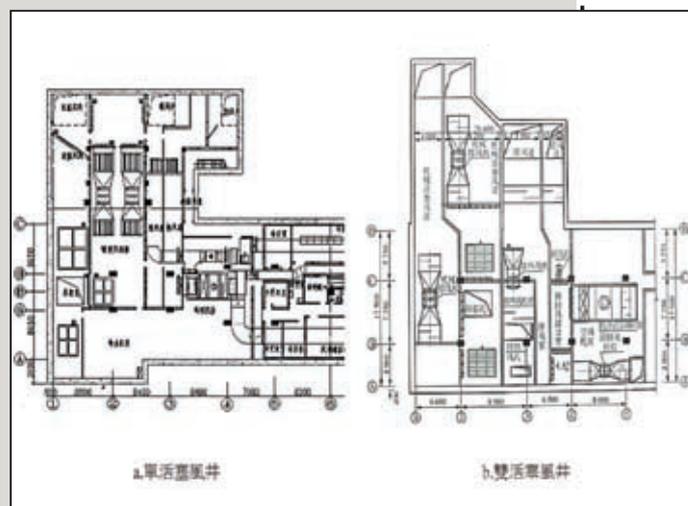


圖9 單/雙活塞風井典型配置示意圖

單活塞隧道通風系統尤其適合設置月台門系統的島式捷運車站，與傳統的雙活塞風井相比較，單活塞風井可減少釋壓井所需用地，縮短車站長度，節省土建投資，地面的風亭數量相應地減少兩個，降低通風井對地面景觀衝擊，減少地面用地需求。

二、印尼雅加達捷運隧道通風系統

印尼首都雅加達，人口超過900萬，鄰近地區另有超過400萬人通勤進出市區，市中心交通非常擁塞。印尼交通運輸部於2010年9月批准第一條捷運-南北線捷運計畫。向日本國際合作銀行(Japan Bank for International Cooperation, JBIC)貸款提供資金，採統包方式興建，南北線第一期由Lebak Bulus站至Bundaran HI站，全長15.5公里，設置13個車站，包括7個高架站、6個地下站，第一期工程預計將於2017年完成。

地下段車站採全閉式月台門系統，窄軌1067mm，架空線供電1500V DC，初期列車長度120m，6節車廂，未來可擴充8車廂160m。隧道通風系統[10]設計以日本鐵道相關法規標準為主，或採用其他國際標準。地下段分為3個統包工程標，由2家不同顧問公司進行設計，本公司負責其中2個地下車站的設計。

隧道通風系統以SES程式[8、9]模擬分析，包括營運時段之正常、塞車、緊急模式等，及非營運時段冷卻隧道的維護模式。採用加壓式通風系統，火災最大釋熱量10MW，主要通風設備是位於車站二端的TVF、TEF及隧道風門、位於橫渡線設置衝流式風機(IAF)等，緊急模式隧道內風速應大於臨界風速。

(一) 通風井的設置原則如下：

地下車站二端設置供進氣、排氣與釋壓通風井各三座。每個通風井之斷面積視

各車站環控通風設備容量而定。釋壓井面積為20m²。隧道通風設備經整合兩家顧問公司之設計，每一隧道通風機房配置2台可逆轉軸流式TVF風機，風量60m³/s，可互為備用。另設置2台TEF風機，風量17.5m³/s，連接軌道側的OTE、UPE排氣系統。

(二) 隧道通風系統模式要求[10]

1. 正常操作模式

列車正常運轉期間，不運轉TVF風機。正常、塞車狀態，隧道內平均空氣溫度低於45°C以下。

2. 塞車操作模式

塞車狀態時，採用以一送一排的方式，啟動列車後方車站一部TVF風機吸入外氣，順著列車行進方向吹送；同時以列車前方車站的一部TVF風機，對隧道排氣。除考慮一處塞車外，亦包含全線隧道區間均出現列車塞車的情境。

3. 緊急操作模式

當列車在隧道中發生火災，且無法移動需就地疏散時，隧道中列車失火，可有2個方向逃生，依發生事故地點接近車頭、或車尾，依遠離火場方向來進行疏散逃生。緊急操作控制模式，啟動上游車站的TVF風機將外氣送入隧道；下游車站之TVF風機將煙氣排放至外界，且排氣側車站之TEF配合操作協助隧道排氣。考慮設備的備用，緊急模式運轉事故地點前後相鄰車站，四處隧道通風機房，原則採一送一送一排一排共4台隧道風機的模式啟動。

雅加達捷運隧道通風系統流程與臺北捷運類同，如圖5所示，典型機房配置如圖10所示。

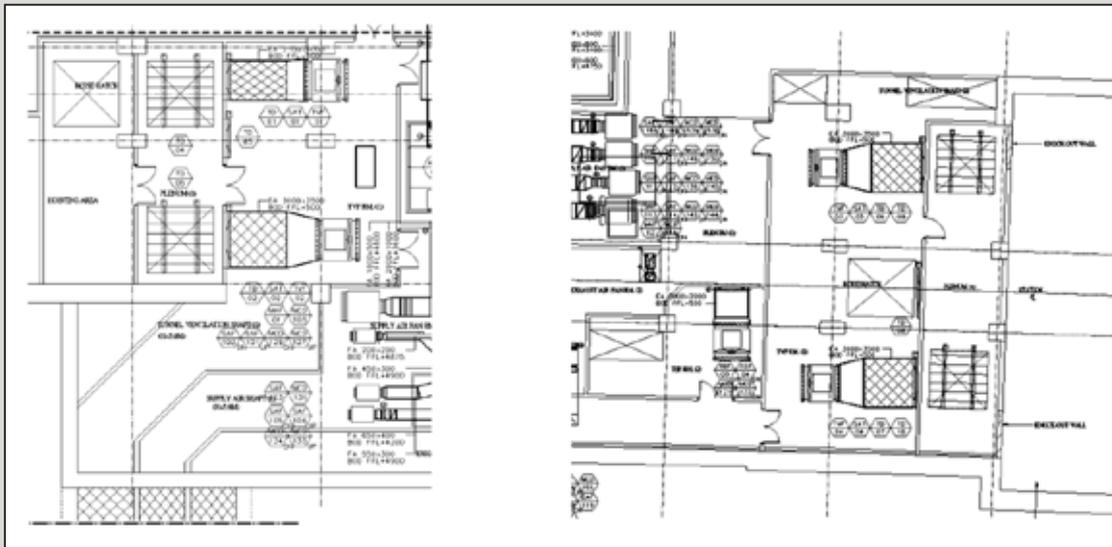


圖10 雅加達捷運典型隧道通風機房配置示意圖

肆、法國土魯斯、丹麥哥本哈根等地捷運隧道通風系統

一、土魯斯捷運地下車站隧道通風系統

土魯斯(Toulouse)位於法國西南部加龍河畔，是法國第四大城市，僅次於巴黎(1210萬)，里昂(210萬)，和馬賽(170萬)。土魯斯捷運目前營運共兩個地下捷運線路A線和B線。A線全長12.5公里、18個車站。1993年6月營運；B線：全長15.7公里、20個車站。2007年6月營運。採用西門子(馬特拉)VAL 206/208全自動無人駕駛，膠輪系統。系統爬坡最大坡度為7%，第三軌750V DC 供電。膠輪，標準軌1435mm，二節車廂，列車長度26m，車廂間不連通，車站月台長度52m。

土魯斯捷運為短車站，地下車站採全閉式月台門系統，典型地下車站公共區排煙風管設置於車站軌道區上方，以側向支管與車站公共區相連接，如圖11所示。於軌道上方則無任何排氣口。

土魯斯位於北緯43.6度，夏天乾球溫度1.0%危險率為31.2°C，列車車廂未提供冷氣，



圖11 土魯斯捷運地下車站照片

軌道側未設置OTE系統，隧道內散熱以列車行進的活塞效應進行換氣。

車站排煙系統將熱煙排往隧道區，由車站間的隧道通風機排出。

當列車於地下段發生火災，若列車尚可移動，標準程序為進入下一車站進行人員逃生，不在隧道中進行疏散，其他車站則停止營運，此種設計理念，與臺灣地區的捷運系統頗為不同，亦為可行的作法。

地下車站進排氣通風井，直接設置於人行道上，供車站一般通風使用。至於隧道通風系統用的釋壓井，則設置地下車站間的隧道區，並非設於地下車站月台兩側。

土魯斯捷運A線，1993年開始營運，至今已逾20年，土魯斯交通主管當局TISSEO，針對營運的捷運A線(長12.5公里，其中隧道段9.5公里)，於2008年起進行改善設計，2014年完成A線隧道通風系統安全改善工程，包括更換隧道通風機、豎井相關機電設施，設計過程採用一維流場模擬，設計火災規模為6MW，隧道排煙所需通風量以臨界風速為設計依據，緊急排煙模式[11]整理如圖12所示，主要說明如下：

(一) 緊急排煙模式(通風設施正常條件下)：依據該國2005年11月22日公告法令，有關公共人員運輸系統隧道安全標準要求，若車輛材質不符合NF F16101/102和103標準(A線VAL車輛的

現況)，則車站間火災氣流速度，應以火災規模高於6MW的臨界風速(V_c)來考慮，煙氣由排氣井N排出，兩側風速無逆流現象發生。

(二) 降級模式(排氣風機失效條件下)：由通風井N-1取代失效的通風井N進行排氣，通風井N+1進行送風，另一處通風井N+2(N+2或N-2視情況而定)對隧道送風，隧道氣流速度應大於臨界風速，以確保煙氣由排氣井排出，不會擴散至其他車站。

(三) 降級模式(送氣風機失效條件下)：當送風無法操作，煙氣由排氣井排出，並在事發站間，隧道氣流速度必須大於1.0m/s，煙氣不可造成擴散。

二、哥本哈根捷運地下車站隧道通風系統

哥本哈根捷運現階段已有M1及M2二條路線營運，共計有21公里、22座捷運車站，共有9座地下車站，其餘為地面或高架車站，屬於深開挖的地下車站有6站，淺開挖則有3站。

哥本哈根位於北緯55.6度，夏天乾球溫度1%危險率為24.0°C，地下車站採全閉式月台門系統，未設置冷氣，列車車廂未提供冷氣。捷運車站為中運量小空間車站，捷運列車長39m，三節車廂，車廂間互相連，車站月台長44m，第三軌供電(750V DC)，鋼輪鋼軌，軌距1435mm。且穿越古老城區，地面用地取得困難，通風井優先考慮量體減化，地面突出物之通井、採光井，採用玻璃材質。

(一)哥本哈根地下車站空間設計概況

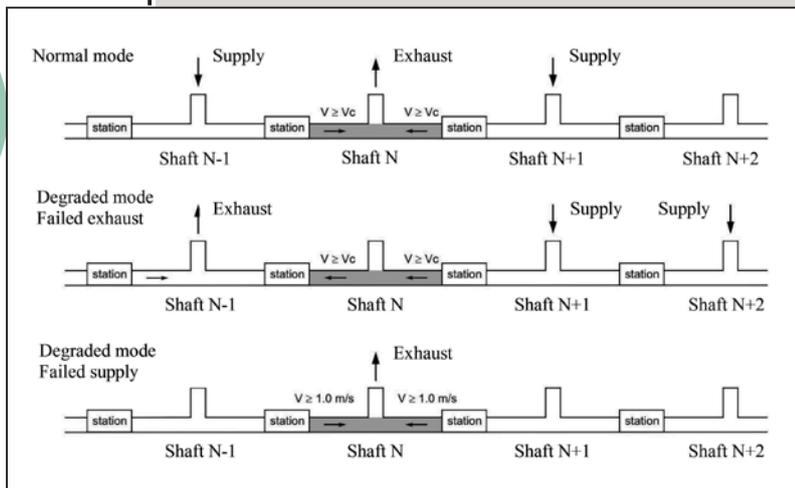


圖12 土魯斯捷運隧道通風排煙系統模式及降級模式[11]

以車站站體開挖長度僅約61.5m，寬度約18.6m，站體高度約22.67m，地下車站月台層、地面通風井的照片如圖13所示，車站縱向剖面如圖14所示。

(二) 哥本哈根捷運隧道通風系統設計概況 [12]

地下隧道長度約10公里，內含二處橫渡段(Crossover)及一處道岔段，隧道通風系統共有23組軸流式風機安裝在地下車站及隧道內；並有14組吊掛式噴流式風機，安裝於淺開挖車站間隧道頂部；另有8組壁掛式噴流式風機安裝於側面隧道入口的隧道牆壁；在較長隧道內增設中間通風豎井，如圖15所示。

前述6座深開挖地下車站為短車站，站體開挖長度僅61.5m，隧道通風系統架構，如圖16所示，一側為自然換氣的釋壓井，另一側為機械通風井，並與軌道上方OTE開口相連，安裝100m³/s直立式可逆轉軸流風機二組，每組風機額定馬力為225kW，風機葉輪直徑約2.36m，每組風機風量均設計100%備用，若一組故障或維修，另一組可備援運轉。設計最大火載量20MW，火災前10分鐘的最大火載量5MW，依NFPA 130設計，排煙設備耐溫要求250°C/1hr。

當列車在站與站之間的地下隧道起火時，規定列車駛向下一座車站，開啟全密閉式的月台門，並啟動隧道風機，火災煙流將由月台門外側軌道上方樓板排風口抽排，軌道側形成相對負壓，月台側形成相

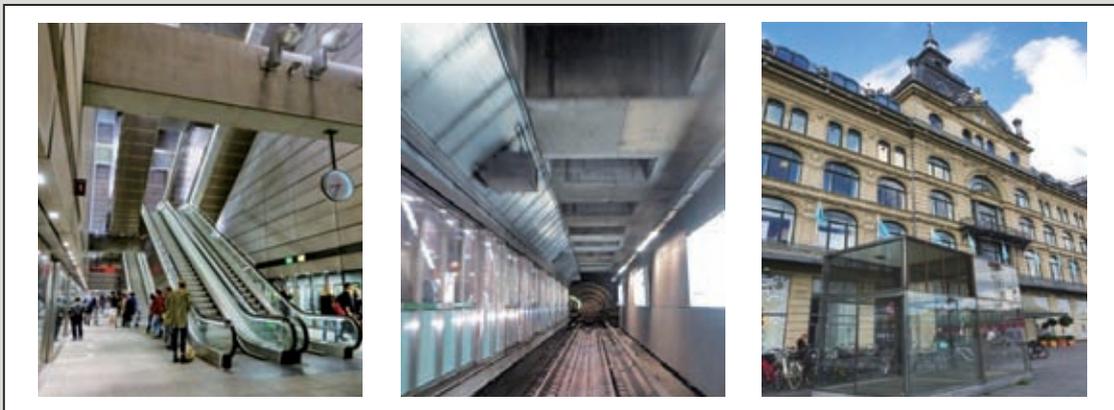


圖13 哥本哈根捷運地下車站照片

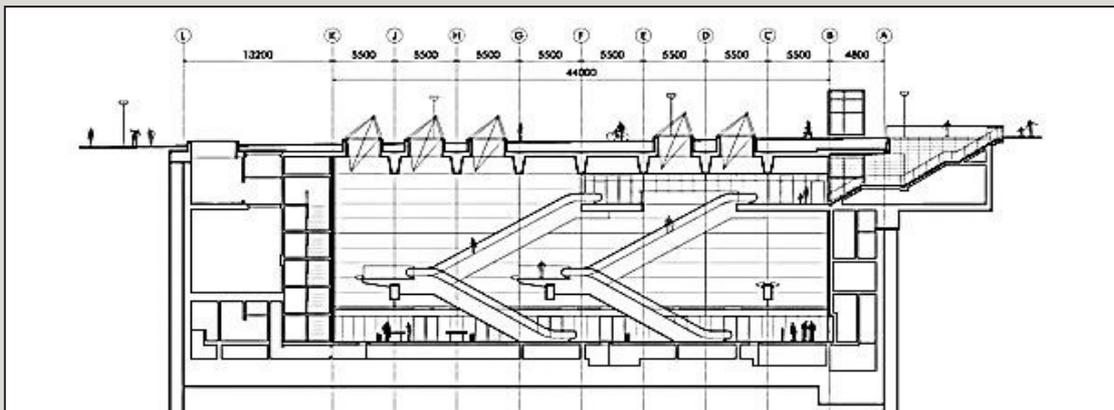


圖14 哥本哈根捷運地下車站縱向剖面圖

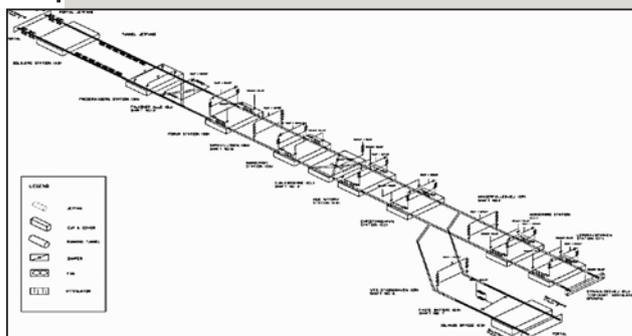


圖15 哥本哈根捷運地下隧道通風系統圖[12]

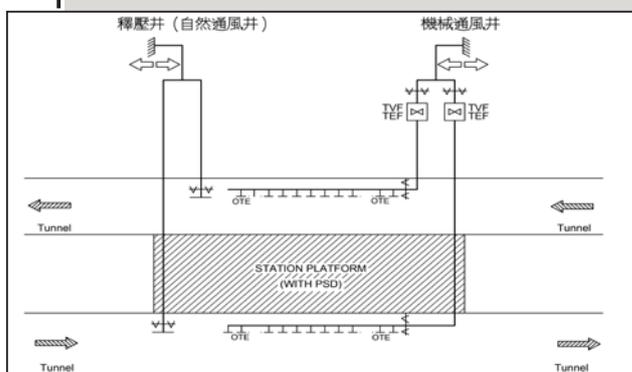


圖16 哥本哈根地下車站及隧道通風示意圖

對正壓，煙流將由月台流向軌道側，避免煙氣進入車站，利於人員逃生，煙流在軌道上方開口，經水平混凝土管道，由通風井排出。

伍、結語

一、隧道通風系統設計參數比較

本文針對高運量捷運車站或短車站隧道通風系統，針對釋壓井數量、斷面積、長度、風速要求、火災釋熱量等主要設計原則，綜整如表1所示。

二、隧道通風系統設計原則及相關設計方式差異探討

由表1可看出，各城市的捷運系統，因氣候

件、車站長度、系統特性等因素互有不同，所以主要參數亦會有差異。隧道通風系統設計，須滿足系統在正常、塞車、緊急及夜間維修等需求，因這些功能與捷運車站所在溫度條件、設計法規標準、車站長度及捷運系統性能均有相關，透過程式計算與分析與相關案例經驗探討，配置隧道通風機房、通風井、隧道通風設備及配置操作模式，不斷精進成長，以達到合理適當的設計。

參考文獻

1. 臺北市政捷運工程局，民國95年10月，高運量地下捷運系統環控工程設計指南，2006年版，pp.1-91，臺北市，臺北市政捷運工程局
2. 臺北市政府捷運工程局，民國93年08月，臺北都會區大眾捷運系統規畫手冊，第四冊(2004年版)固定設施需求，2004年版 pp.120 ~ 121, 158-165，臺北市，臺北市政捷運工程局
3. 高雄捷運股份有限公司，民國91年7月，高雄都會區大眾捷運系統紅橘線路網建設案，土建及車站工程設計規範，第四篇廠站設計，pp. 4-42 ~4-44、第六篇環境控制系統，pp. 6-17 ~ 6-20，高雄市，高雄捷運股份有限公司
4. 交通部高速鐵路工程局，民國95年5月，中正國際機場聯外捷運系統建設計畫，土建、車站及其他機電設備設計規範，第五篇車站工程，第七篇環境控制系統，E版，(V) 2-42 ~ 2-43, (VII) 4-1~4-6，臺北市，交通部高速鐵路工程局
5. 中華人民共和國國家標準，2013，地鐵設

表1 隧道通風系統主要參數比較

	臺灣地區捷運	大陸地區捷運 (以鄭州市為例)	雅加達捷運	土魯斯捷運	哥本哈根捷運
捷運系統基本資料	鋼輪鋼軌(重運量路網)，標準軌1435mm列車長141m(臺北捷運)，六節車廂，車廂間互相連	鋼輪鋼軌，標準軌1435mm，六節車廂，車廂間互相連	鋼輪鋼軌，窄軌1067mm，列車長120m，六節車廂(初期)，車廂間互相連	膠輪，標準軌1435mm，列車長26m，二節車廂，車廂間不連通	鋼輪鋼軌，標準軌1435mm列車長39m，三節車廂，車廂間互相連
供電	第三軌供電(750 V DC)	架空線供電(1500V DC)	架空線供電(1500V DC)	第三軌供電(750 V DC)	第三軌供電(750 V DC)
釋壓井數量	每車站兩端各一	每車站兩端各一或各二	每車站兩端各一	設於兩車站間隧道	每車站機械通風井、自然通風井各一
釋壓井斷面積，m ²	20~26	16，自然/機械通風井合併使用；10，機械通風井	15~20	依需求	依需求
隧道風速要求，m/s	>2.5，或V _c	2~2.5	1~2，或V _c	V _c	V _c
釋壓井長度，m	<60m為原則	<40m為原則	依需求	依需求	依需求
列車火災釋熱量，MW	20	7.5	10	6	10

計規範GB 50157-2013，2013，pp. 66-67，119-132，北京，中國建築工業出版社

6. 季益文，2016，地鐵車站通風空調系統優化設計探討，中文科技期刊資料庫(引文版)工程技術3期-1月期，<http://www.yunfabiao.com/paper/38973/23249.html>

7. NFPA, “NFPA 130, 2014, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems”, 2014 Edition, MA, U.S., NFPA

8. U.S. Department of Transportation, Urban Mass Transportation Administration Office of Research and Development, 1976, “Subway Environmental Design Handbook, Volume I: Principles and Applications, 2nd Edition, Washington, D C, US Department of Transportation

9. U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, 2002, “Subway Environmental Design Handbook, Volume II: Subway Environmental Simulation

Computer Program, SES Version 4.1” Part 1, User’s Manual, Washington, D C, U.S. Department of Transportation

10. Dki Jakarta Provincial Government, Republic of Indonesia, January 2012, Outline Design Specification, Volume 4, Tender Documents for Jakarta Mass Rapid Transit Project, Phase 1, Jakarta, Dki Jakarta Provincial Government

11. Xavier Guigas, Rapha l Defert, Nicolas Delpech, Bruno Rivault, “Am lioration de la s curit des tunnels de la ligne A du m tro de Toulouse”, http://www.bg-21.com/sites/default/files/documents/ARTICLE_AFTES_2014_-_Metro_de_Toulouse_LA_-_V01.pdf

12. Nick Mavromihales, 21-22 November 2002. “Emergency Tunnel Ventilation”, Copenhagen Metro Inauguration Seminar, pp.125-132

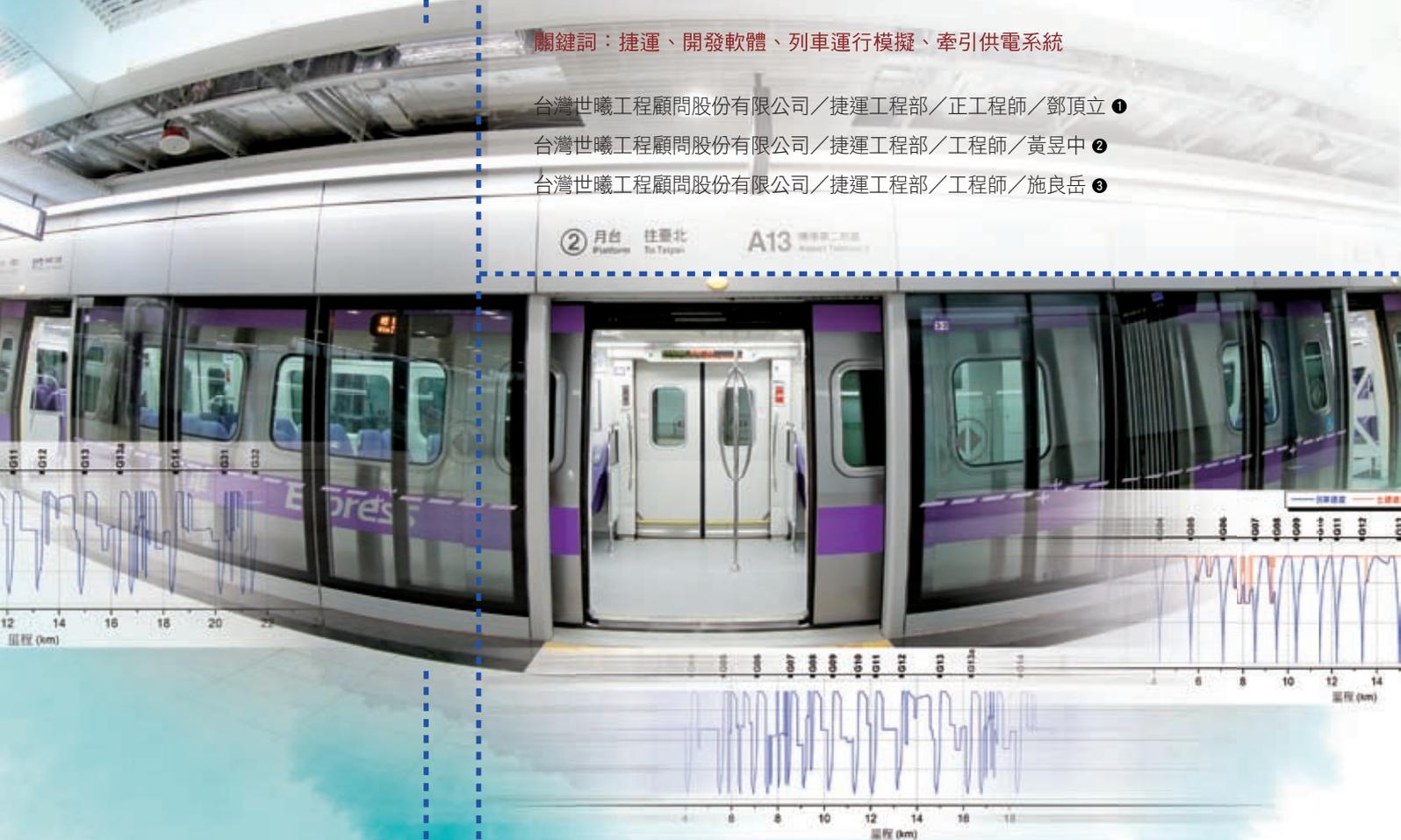
列車運行模擬與供電系統分析——以桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線為例

關鍵詞：捷運、開發軟體、列車運行模擬、牽引供電系統

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／鄧頂立 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／黃昱中 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／施良岳 ③



摘要

ABSTRACT

捷運系統綜合規劃與基本設計過程中，有關決定牽引變電站位置、數量與主變電站位置、容量之議題，因影響土建用地與線形配置，一直都是很重要的關鍵技術。過去本部捷運供電系統模擬與列車運行模擬多委託國外系統顧問辦理，然為掌握綜合規劃與基本設計的關鍵技術，自103年起本部與亞東技術學院曾乙申博士合作研發計畫，以桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線為例，分兩年度計畫，旨在開發軟體DCRAIL，內容包括列車運行模擬、直流牽引動力系統分析、交流供電模擬、雜散電流與鋼軌電位分析、諧波分析等，本文將著重於列車運行模擬與直流牽引動力分析，第二年度計畫除模組升級外亦可讓軟體於WINDOWS 7作業系統操作。

本計畫藉蒐集桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運相關參數，以軟體DCRAIL進行各項參數輸入與分析，且DCRAIL已有台北捷運內湖線、台北捷運新莊蘆洲線、台北捷運信義松山線…等實績，驗證具可行性。經本研究後，已完成相關技術轉移，對於本公司爭取未來捷運線之綜合規劃、基本設計與專案管理能力有很大的提升。



壹、緒論

以往本部參與之捷運系統規劃與基本設計案，有關捷運供電系統多委託國外系統顧問公司進行模擬分析、規劃設計與最適系統建議等，此因模擬輸入所需之列車基本參數係掌握於國外各大系統車輛廠商手中，而基設完成之後才會招標，系統車輛廠商在投標前多不願將其自身車輛資料曝光，故本部無從取得，而國外顧問有長期豐富之經驗，可由其所完成之眾多案例中選擇較適合本計畫路線、運量之車型參數以利進行模擬分析。然而外籍顧問在設計規劃過程所用分析方法與軟體有許多種類與計算方式，且較細部的資料與技術內容不易得知，產生國內雖已有興建北、高兩市捷運網絡之多條路線經驗，往往核心技術仍需仰賴外籍顧問之協助，而需提供其相對於國內較高額的服務費用。

國內捷運之牽引動力用電大約佔系統總電能消耗之40%，因列車運轉係由牽引動力變電站供給直流電轉為動能，其供電系統選用正確且合適的設備規格與容量非常重要，因此本研發計畫藉DCRAIL進行列車運行模擬與捷運供電系統分析，可計算列車在運行時的平均速度、電力動態負載、變電站之設置與容量需求等項目，使本部掌握捷運系統綜合規劃與基本設計的關鍵技術。

桃園航空城捷運線將採雙主線之營運方式如圖1所示，一為G04站至G18，另一為G01至G32站，因此本計畫在進行列車運行模擬與交/直流供電系統負載潮流分析時，將以“雙主線營運方式”進行分析。

2

專題報導



圖1 桃園航空城捷運線全線雙主線營運方式之示意圖

貳、捷運供電系統分析項目

綜整國內近期捷運工程之機電系統工程功能規範或供電系統特別技術規範(PTS)有關概念設計階段(CDR)供電系統分析的規定，供電標廠商應進行之相關分析項目如下：[1][2][3]

一、牽引動力系統分析

應以實際路網線形資料、實際電聯車資料及導電軌特性、設計之最小行車間距、設計之各種系統操作狀態及旅客負載等資料應用電腦

模擬分析模擬出每一牽引動力變電站(PPSS/TSS)之負載、設置位置。

二、直流短路分析

所有直流電路中之元件(整流器組、二極體、斷路器、開關、電纜、終端接頭及連接頭等相關配件)有足夠的額定來承受所預期之非正常狀況(變電站停電、短路)。

三、軌道電位及雜散電流分析

參考EN 50122-2相關規定進行系統軌道電位及雜散電流計算，係以牽引動力系統分析之相關資料為基礎，考量軌道對地及結構體與大地間之有限電阻值情況，計算沿線軌道區域之結構體對地電位之平均正偏移量(參考EN 50122-2)，分析之結果不可有明顯過量雜散電流干擾情形。

四、交流系統分析

交流分析應至少包括電力潮流分析及短路電流分析等相關之計算，以驗證161kV及22kV系統上所採用之設備、電纜之容量及額定能符合運轉要求。

五、諧波分析

在161kV電源側所引入之諧波失真應符合台電最新公佈之『諧波管制暫行標準』，在22kV側部分，以專屬系統而言(for dedicated system)，其總諧波電壓失真(THD)不得超過8%，若非專屬系統則不可超過5%，必要時應提供如阻尼濾波器(damping unit)或調整並選擇適當之供電架構等改善措施，以抑制諧波失真，而符合上述各諧波管制要求。

六、過電壓分析

廠商應針對系統異常過電壓形式(雷擊突波、開關突波及商用頻率過電壓，尤其161kV電力電纜輕載過電壓下之開關切投)提出電腦模擬評估報告，以確認各級電壓BIL準位是否應安裝避雷裝置或突波保護裝置，以及納入後續各設備之絕緣設計考量。

如前述本文限於篇幅，有關捷運供電系統分析部分著重在牽引動力系統分析、直流短路分析及交流系統分析。

參、DCRAIL模擬功能及升級

捷運供電系統模擬軟體DCRAIL之軟體架構可概分為「系統模擬模組」與「輸出入模組」兩大部份，圖2所示為DCRAIL之主畫面。

一、系統模擬模組係由

- (一) 列車運行模擬
 - (二) 直流電力分析
 - (三) 雜散電流分析與鋼軌電位分析
 - (四) 交流電力分析
 - (五) 交流短路分析
 - (六) 頻率掃描
 - (七) 諧波分析
- ，等七個模擬程式所組成。

二、輸出入模組係由

- (一) 檔案建構
 - (二) 資料庫
 - (三) 繪圖
- ，等三個程式組成。

三、DCRAIL V1.0

DCRAIL之開發始於民國89年，第一階段研發列車運行模擬、直流電力分析、交流電力分析、頻率掃描與諧波分析等五項分析模組，同時完成中文化視窗化人機介面之建立。第二階段完成雜散電流分析、鋼軌電位分析與交流短路分析程式之開發，以及中文化視窗化人機介面之建立[4]

上述兩階段的DCRAIL研發計畫結束之後，持續就各項分析模組進行功能提升的自主研發。就列車運行模擬與直流電力分析兩項分析模組而言，於第二階段研發計畫之後所完成的主要升級項目如下：

- (一) 採非質點方法計算列車坡度與彎道附加阻力
- (二) 考慮列車推進電流限制功能
- (三) 直流牽引供電系統之負載潮流計算改採導納矩陣及節點電流法
- (四) 考量多路線、多營運模式與多列車種類模擬功能



圖2 DCRAIL主畫面

肆、DCRAIL模擬輸入資料

以下為本列車運行模擬與牽引電力系統分

析所採用之列車主要輸入資料項目，各項列車參數係參照車輛廠商Ansaldo於Copenhagen Metro所採用之列車設計參數。

一、列車基本參數輸入

表1 列車基本參數輸入

項次	參數	輸入值
1	每列車之車數	3
2	列車長度	39.0m
3	列車轉動慣量係數	AW3之6.0%(假設值)
4	每列車之平均輔助電力負載	100kW
5	每列車之空車重量(AW0)	57ton
6	每列車之總重量(AW3)	80.76ton
7	列車基本行駛阻力公式	$R=M \cdot (24.525 + 0.01154V^2)$ (N)，其中，M=列車重量(ton)，V=列車速度(km/h)
8	列車牽引(煞車)效率	0.866

二、線形參數

(一) 車站資料

(二) 路線坡度資料

(三) 路線曲度資料

(四) 路線速限資料

三、牽引電力系統資料

表2 牽引電力系統輸入資料

項次	參數	輸入值
1	公稱線電壓	直流750V
2	最高線電壓(再生期間)	直流900V
3	最低線電壓	直流500V
4	導電軌電阻	0.009Ω/km
5	鋼軌電阻(每一軌道)	0.019Ω/km
6	牽引整流器無載輸出電壓	直流795V(SYSTRAN分析報告採790V)
7	牽引整流器額定輸出電壓	直流750V
8	牽引整流器額定容量	2500kW/3750kW/7500kW(連續/2小時/1分鐘) 3333A/5000A/10000A(連續/2小時/1分鐘) (參照IEC 60146-1-1[5])
9	直流正極饋線電纜	300mm ² 銅電纜
10	直流負極饋線電纜	300mm ² 銅電纜
11	300mm ² 銅電纜基本資料	額定電流578A，電阻0.0635Ω/km。
12	鋼軌跨軌連接電纜	2×300mm ² 銅電纜50m，跨軌連接位置為無PPSS之車站月台外側。
13	牽引電力系統架構	如圖3所示。

四、牽引系統操作資料

表3 牽引系統操作資料

項次	參數	輸入值
1	最大運轉速度	80km/h
2	最大運轉加速度	1.1m/s ²
3	最大運轉煞車率	1.1m/s ²
4	靠站時間	25~50秒。
5	最小預定行車間距	G01~G32：180秒，G04~G18：180秒， G04~G14：90秒。
6	行車準則	採全速運行，不考慮滑行。
7	再生與動態煞車操作準則	線電壓低於900V時，全部再生煞車； 線電壓高於900V時，全部動態煞車。

五、交流電力系統資料

(一) 交流電力系統架構

圖4所示為桃園航空城捷運線之正常配置模式下的高壓交流電力系統單線圖，該圖係擷取自SYSTRA公司提送之捷運供電系統模擬報告。

(二) 台電短路容量資料

(三) 電力電纜與變壓器資料

(四) 牽引動力變電站負載資料

(五) 設施變電站負載資料

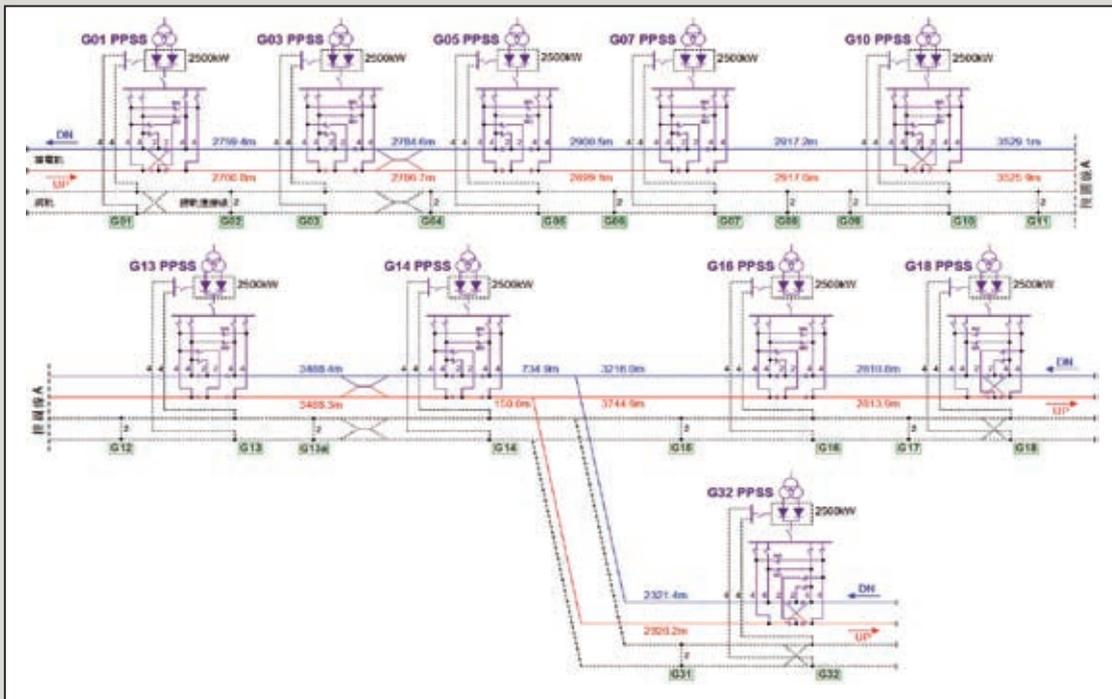


圖3 牽引電力系統架構示意圖(SYSTRA所提架構)

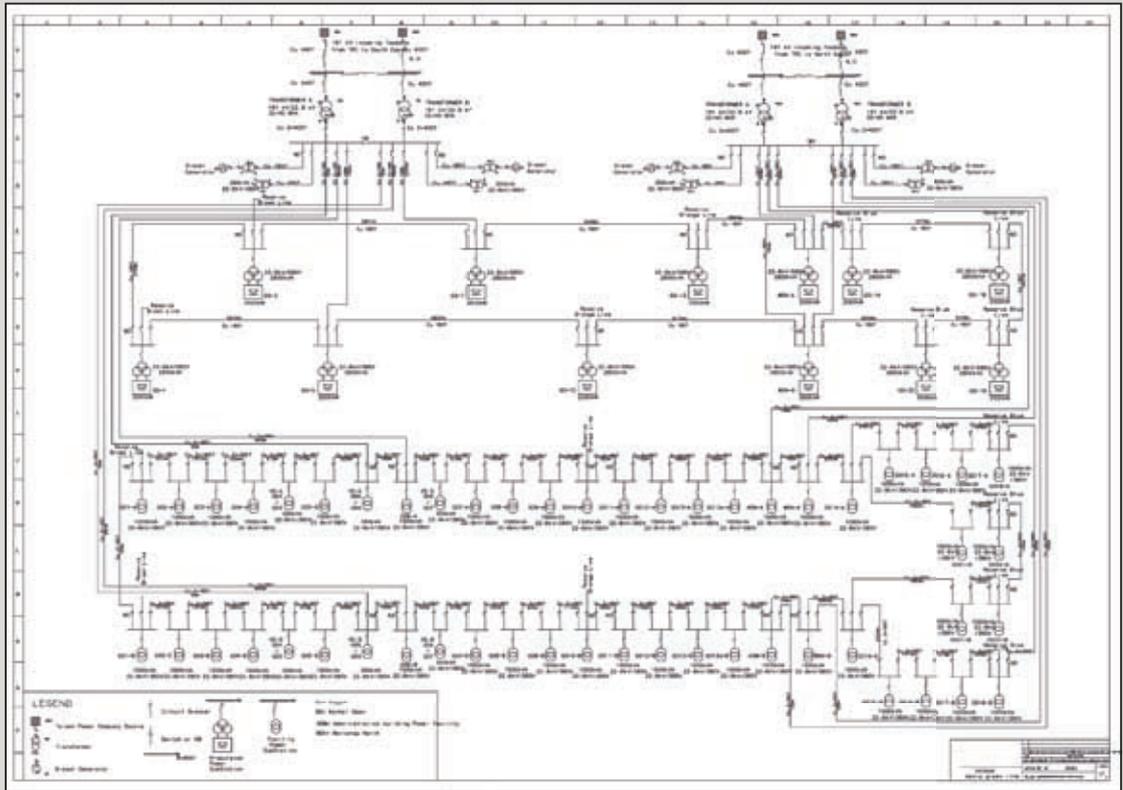


圖4 交流電力系統單線圖(正常配置模式)

伍、桃園航空城捷運線列車運行模擬結果

一、G04至G18上行軌列車運行模擬結果

圖5至圖10所示分別為G04至G18上行軌列車於路線各處之牽引(煞車)力與阻力、加速度、速度、功率、電流及耗能變化圖。

表4所示則是G04至G18上行軌列車之站間運行模擬結果摘要統計表。該表除顯示各兩站之間的站距、行駛時間、靠站時間、平均速度、牽引能量(不含列車輔助負載的能量)、再生能量與消耗能量(即牽引能量與再生能量之差值)等資訊外，亦顯示列車於上、下行線全線之總運行距離、總運行時間(含靠站時間)、總靠站時間、平均速度(不含靠站時間)、表定速度(含靠站時間)、總牽引能量、總再生能量與總消耗能量等資訊。

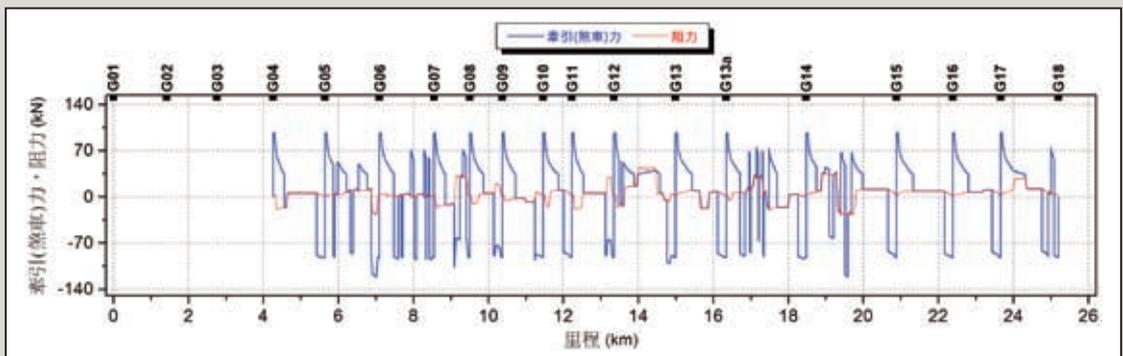


圖5 G04至G18上行軌列車牽引(煞車)力與阻力-里程變化圖

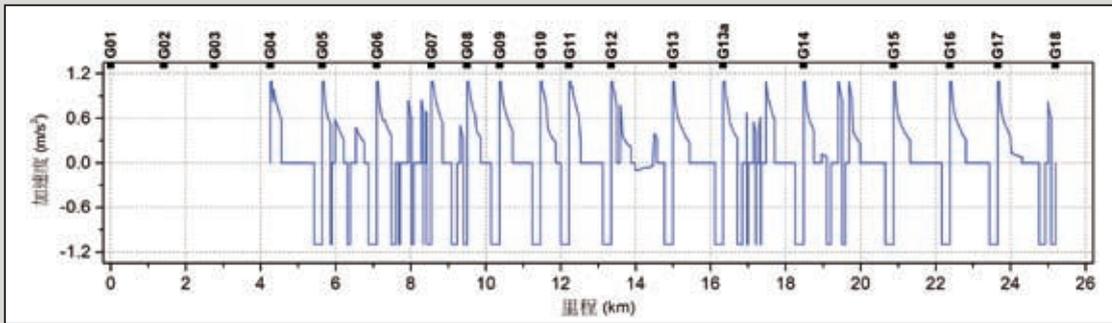


圖6 G04至G18上行軌列車加速度-里程變化圖

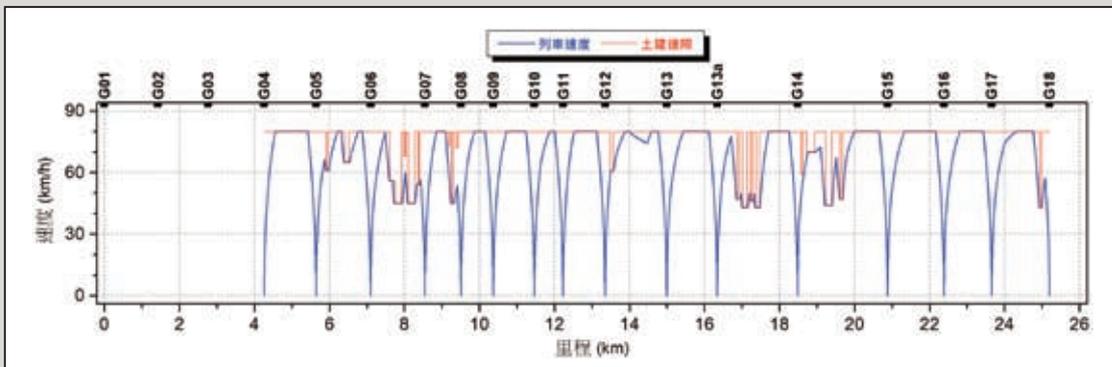


圖7 G04至G18上行軌列車速度-里程變化圖

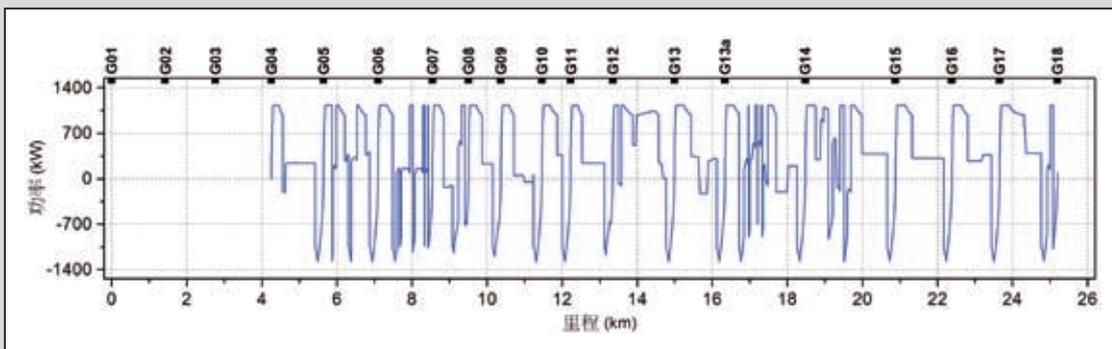


圖8 G04至G18上行軌列車功率-里程變化圖

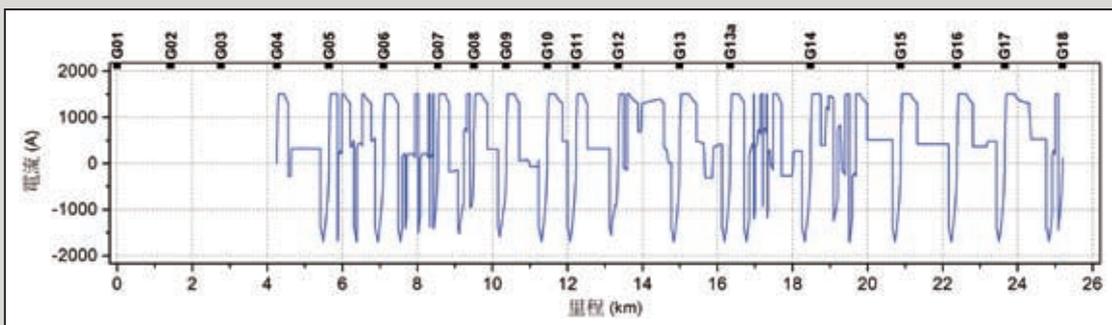


圖9 G04至G18上行軌列車電流-里程變化圖

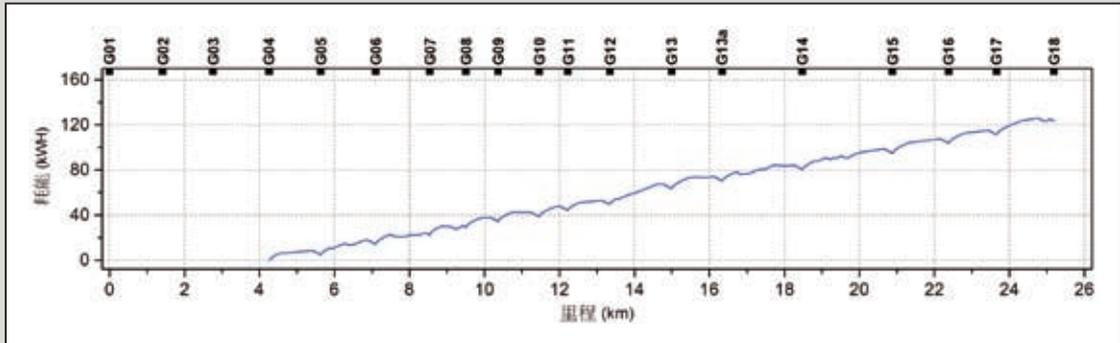


圖10 G04至G18上行軌列車耗能-里程變化圖

表4 G04至G18上行軌列車站間模擬結果

起站	訖站	靠站時間(sec)	平均速度(km/h)	牽引能量(kWh)	再生能量(kWh)	消耗能量(kWh)
G04	G05	30.0	59.88	8.71	4.01	4.70
G05	G06	30.0	56.66	15.00	5.53	9.47
G06	G07	50.0	46.70	13.76	5.62	8.14
G07	G08	30.0	49.22	10.70	4.02	6.69
G08	G09	30.0	51.76	8.89	3.57	5.32
G09	G10	30.0	55.73	8.18	3.98	4.20
G10	G11	25.0	49.33	9.32	3.83	5.49
G11	G12	25.0	56.65	8.84	3.33	5.51
G12	G13	25.0	60.53	17.91	3.94	13.97
G13	G13a	25.0	58.53	11.14	4.44	6.71
G13a	G14	25.0	53.27	18.31	8.07	10.24
G14	G15	25.0	57.64	22.01	7.50	14.52
G15	G16	25.0	60.12	12.70	3.84	8.86
G16	G17	25.0	57.75	11.44	3.82	7.62
G17	G18	25.0	56.37	16.67	4.76	11.91
總運行距離	20.9388km					
總運行時間	1783.22sec (含靠站時間)					
總靠站時間	425.0sec					
平均速度	55.50km/h (不含靠站時間)					
表定速度	42.27km/h(含靠站時間)					
總牽引能量	193.59kWh					
總再生能量	70.24kWh					
總消耗能量	123.35kWh					
每噸公里耗能	72.95kWh					

二、G18至G04下行軌列車運行模擬結果

圖11至圖16所示分別為G18至G04下行軌列車於路線各處之牽引(煞車)力與阻力、加速度、

速度、功率、電流及耗能變化圖。表5所示為G18至G04下行軌列車之站間運行模擬結果摘要統計表。

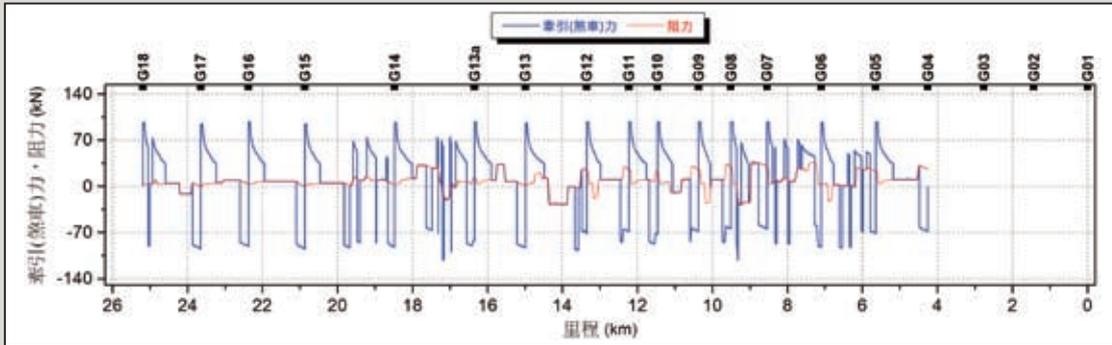


圖11 G18至G04下行軌列車牽引(煞車)力與阻力-里程變化圖

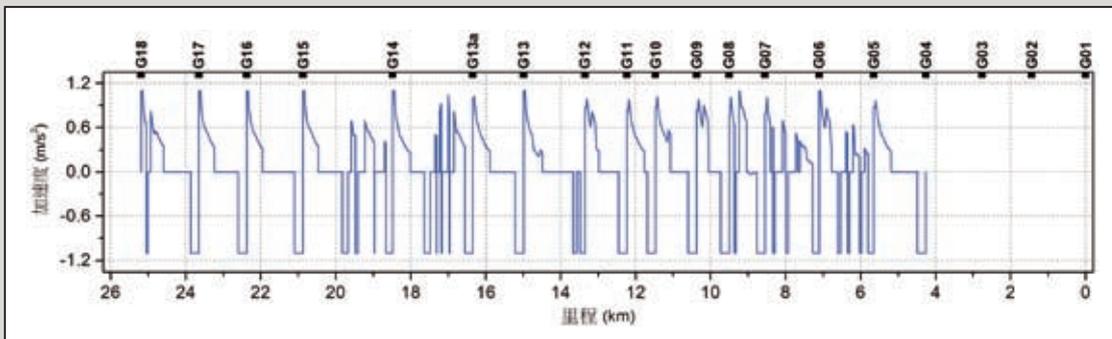


圖12 G18至G04下行軌列車加速度-里程變化圖

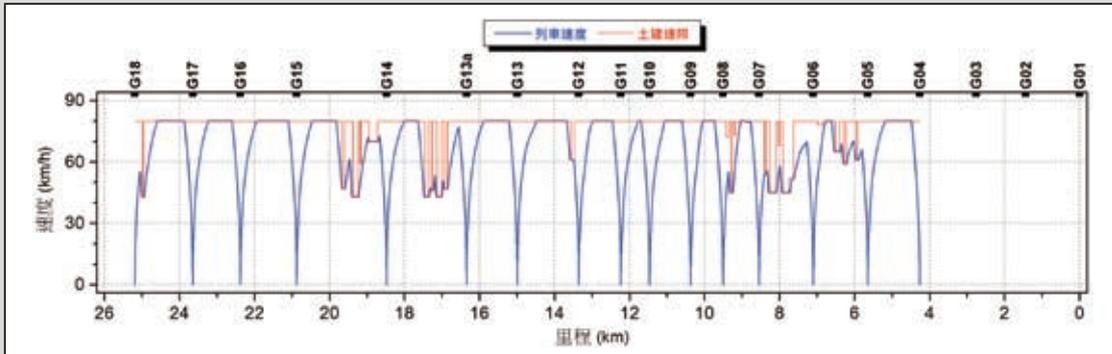


圖13 G18至G04下行軌列車速度-里程變化圖

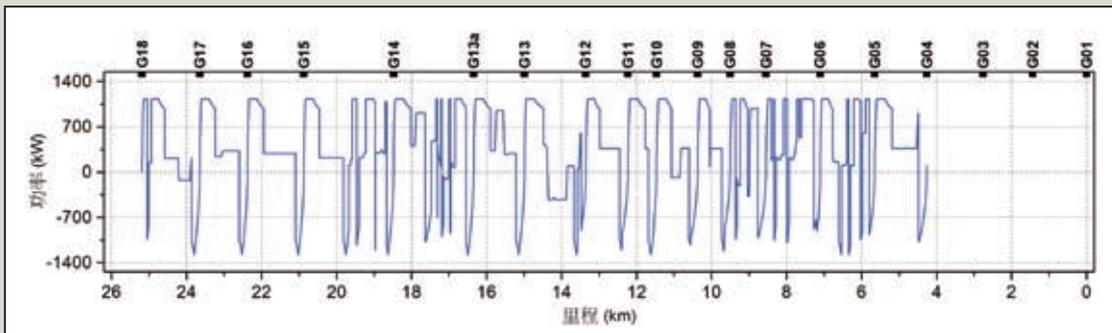


圖14 G18至G04下行軌列車功率-里程變化圖

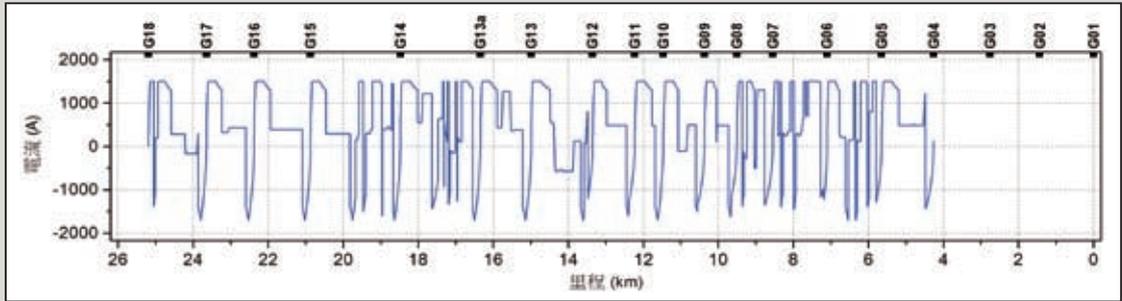


圖15 G18至G04下行軌列車電流-里程變化圖

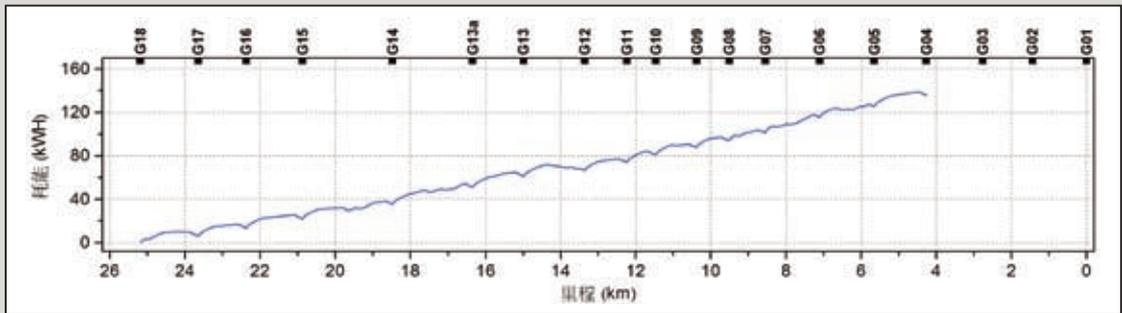


圖16 G18至G04下行軌列車耗能-里程變化圖

表5 G18至G04下行軌列車站間模擬結果

起站	訖站	靠站時間(sec)	平均速度(km/h)	牽引能量(kWh)	再生能量(kWh)	消耗能量(kWh)
G018	G017	25.0	56.95	11.03	5.10	5.93
G017	G016	25.0	57.76	11.31	3.84	7.47
G016	G015	25.0	60.24	12.25	3.83	8.43
G015	G014	25.0	56.94	20.76	7.23	13.53
G014	G13a	25.0	52.66	22.73	7.12	15.61
G13a	G013	25.0	58.12	13.91	3.84	10.07
G013	G012	25.0	60.43	11.37	5.92	5.45
G012	G011	25.0	54.79	10.80	3.10	7.70
G011	G010	30.0	46.93	10.25	3.63	6.62
G010	G009	30.0	54.03	10.17	3.23	6.94
G009	G008	30.0	49.94	9.33	2.98	6.35
G008	G007	50.0	48.11	11.12	3.96	7.16
G007	G006	30.0	45.16	18.42	4.25	14.17
G006	G005	30.0	54.85	14.85	4.82	10.03
G005	G004	30.0	57.79	13.44	2.98	10.46
總運行距離		20.9268km				
總運行時間		1811.63sec (含靠站時間)				
總靠站時間		430.0sec				
平均速度		54.53km/h (不含靠站時間)				
表定速度		41.58km/h (含靠站時間)				
總牽引能量		201.73kWh				
總再生能量		65.81kWh				
總消耗能量		135.92kWh				
每噸公里耗能		80.42kWh				

三、G01至G32上行軌列車運行模擬結果

圖17至圖22所示分別為G01至G32上行軌列

車於路線各處之牽引(煞車)力與阻力、加速度、速度、功率、電流及耗能變化圖。表6所示為G01至G32上行軌列車之站間運行模擬結果摘要統計表。

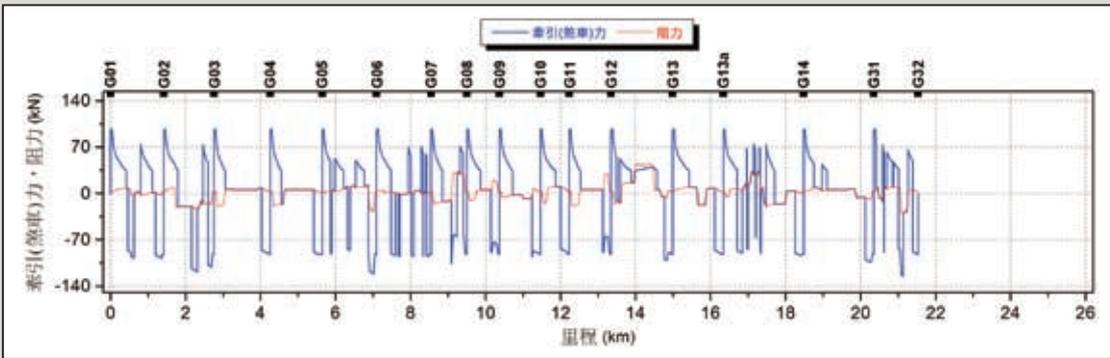


圖17 G01至G32上行軌列車牽引(煞車)力與阻力-里程變化圖

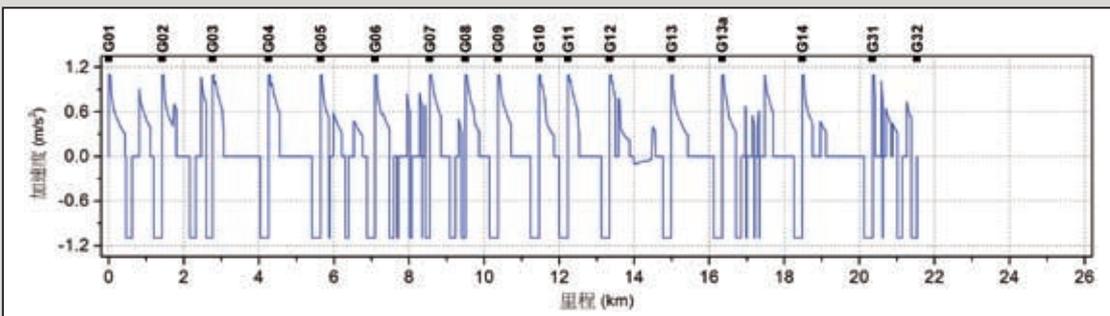


圖18 G01至G32上行軌列車加速度-里程變化圖

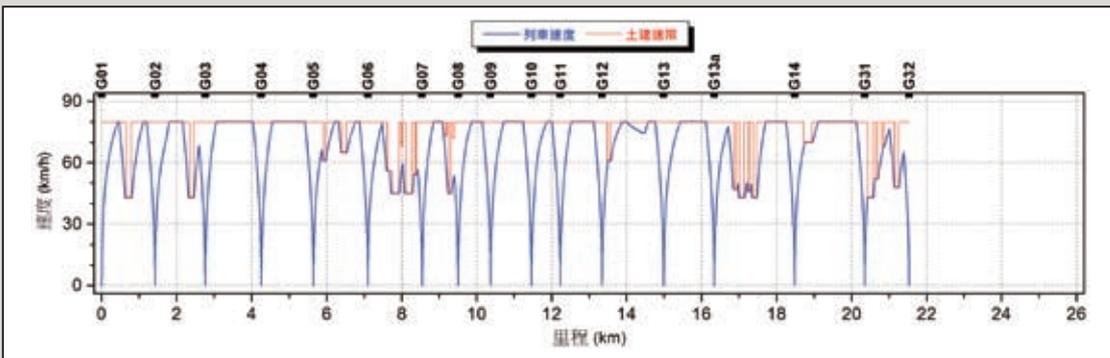


圖19 G01至G32上行軌列車速度-里程變化圖

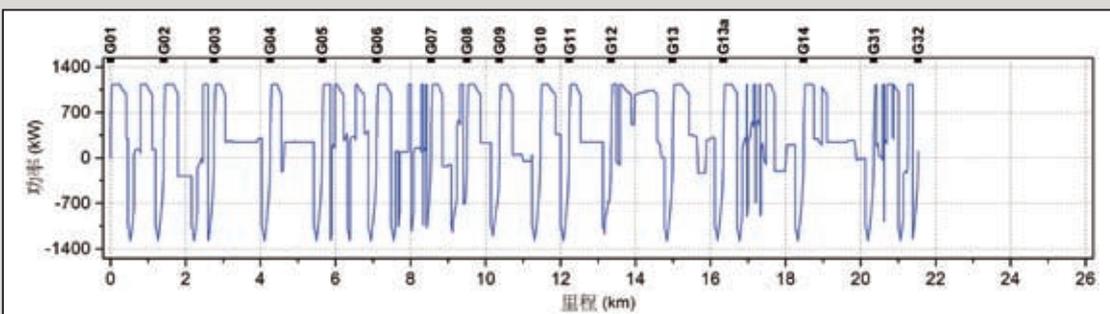


圖20 G01至G32上行軌列車功率-里程變化圖

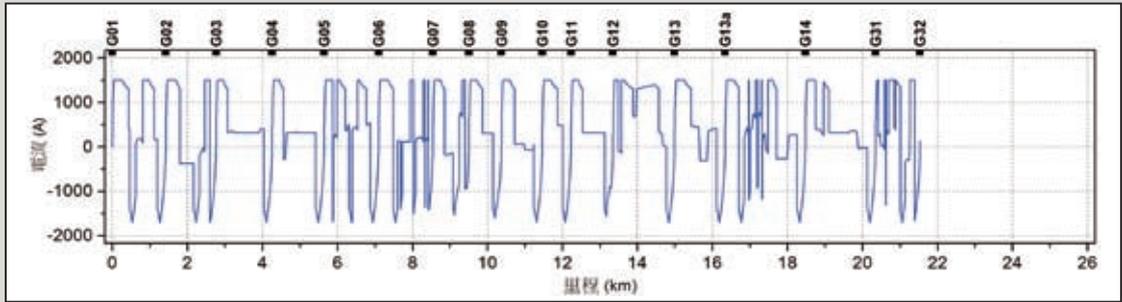


圖21 G01至G32上行軌列車電流-里程變化圖

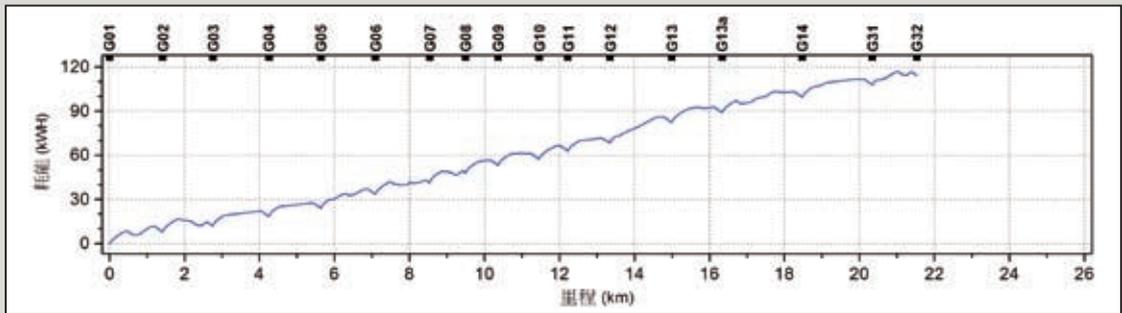


圖22 G01至G32上行軌列車耗能-里程變化圖

表6 G01至G32上行軌列車站間模擬結果

起站	訖站	靠站時間(sec)	平均速度(km/h)	牽引能量(kWh)	再生能量(kWh)	消耗能量(kWh)
G01	G02	30.0	51.74	14.46	6.60	7.86
G02	G03	30.0	52.14	11.27	7.22	4.05
G03	G04	30.0	61.09	10.24	3.83	6.41
G04	G05	30.0	59.92	9.50	3.98	5.52
G05	G06	30.0	56.66	15.05	5.52	9.53
G06	G07	50.0	46.70	13.40	5.64	7.77
G07	G08	30.0	49.22	10.71	4.03	6.68
G08	G09	30.0	51.76	8.90	3.57	5.33
G09	G10	30.0	55.73	8.18	4.00	4.18
G10	G11	25.0	49.33	9.32	3.82	5.49
G11	G12	25.0	56.65	8.85	3.32	5.53
G12	G13	25.0	60.53	17.91	3.96	13.96
G13	G13a	25.0	58.53	11.15	4.43	6.72
G13a	G14	25.0	53.27	18.39	8.01	10.37
G14	G31	25.0	62.56	12.20	3.88	8.32
G31	G32	25.0	46.72	11.91	5.47	6.44
總運行距離	21.5355km					
總運行時間	1884.01sec (含靠站時間)					
總靠站時間	465.0sec					
平均速度	54.63km/h (不含靠站時間)					
表定速度	41.15km/h (含靠站時間)					
總牽引能量	191.44kWh					
總再生能量	77.28kWh					
總消耗能量	114.16kWh					
每噸公里耗能	65.64kWh					

四、G32至G01下行軌列車運行模擬結果

圖23至圖28所示分別為G32至G01下行軌列

車於路線各處之牽引(煞車)力與阻力、加速度、速度、功率、電流及耗能變化圖。表7所示為G32至G01下行軌列車之站間運行模擬結果摘要統計表。

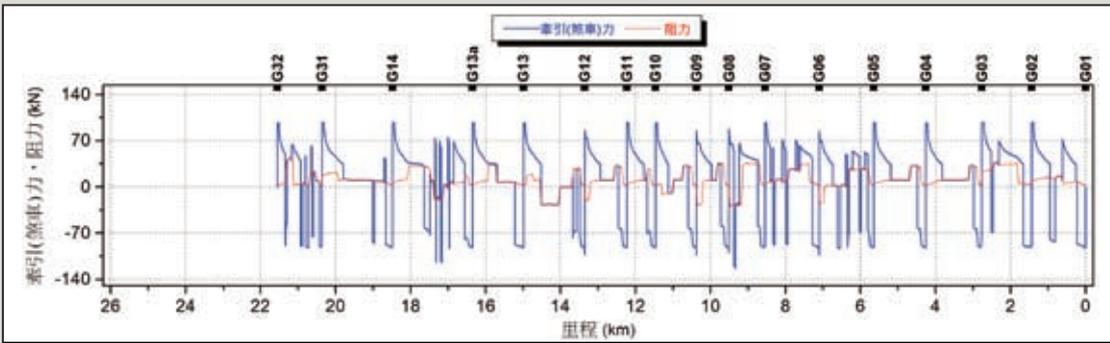


圖23 G32至G01下行軌列車牽引(煞車)力與阻力-里程變化圖

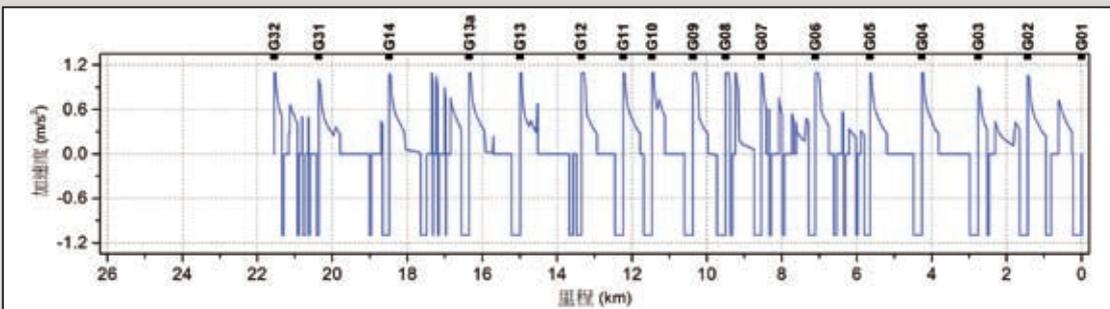


圖24 G32至G01下行軌列車加速度-里程變化圖

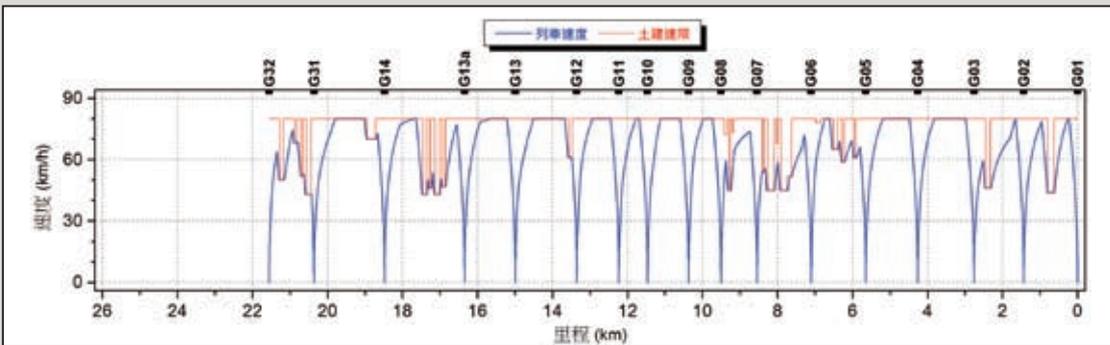


圖25 G32至G01下行軌列車速度-里程變化圖

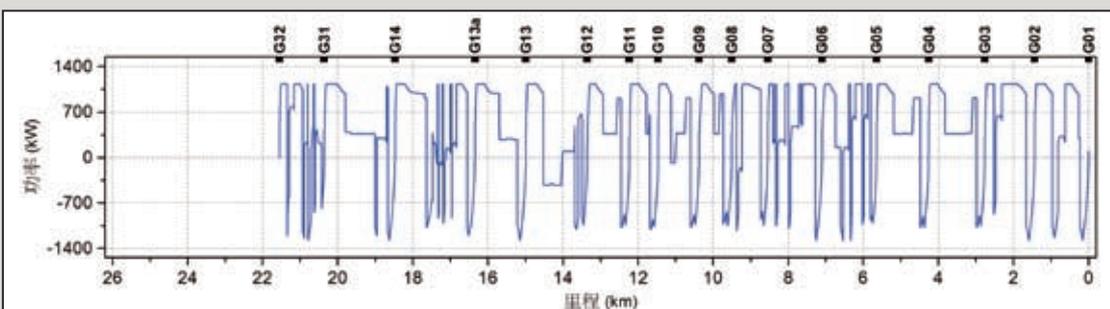


圖26 G32至G01下行軌列車功率-里程變化圖

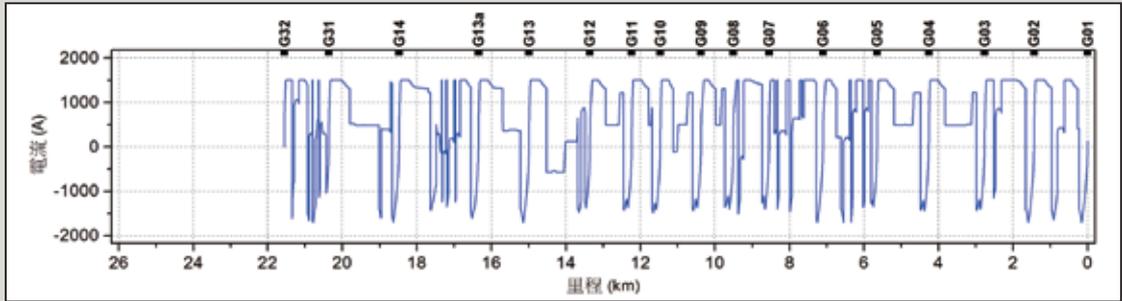


圖27 G32至G01下行軌列車電流-里程變化圖

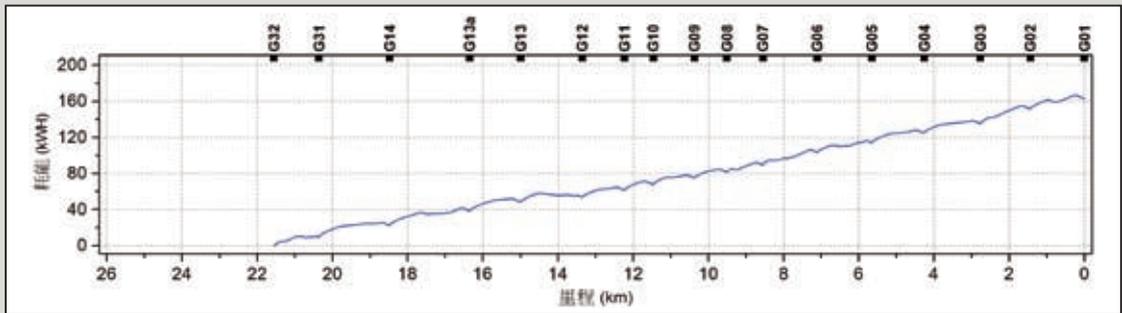


圖28 G32至G01下行軌列車耗能-里程變化圖

表7 G32至G01下行軌列車站間模擬結果

起站	訖站	靠站時間(sec)	平均速度(km/h)	牽引能量(kWh)	再生能量(kWh)	消耗能量(kWh)
G32	G31	25.0	46.65	13.71	4.29	9.41
G31	G14	25.0	60.70	17.07	4.08	13.00
G14	G13a	25.0	52.47	23.03	7.13	15.90
G13a	G13	25.0	58.47	13.67	3.84	9.83
G13	G12	25.0	60.05	11.57	6.18	5.39
G12	G11	25.0	56.18	11.33	3.55	7.78
G11	G10	30.0	48.42	10.03	3.65	6.38
G10	G09	30.0	55.51	10.83	3.64	7.19
G09	G08	30.0	51.92	9.89	3.44	6.46
G08	G07	50.0	48.40	12.22	4.38	7.84
G07	G06	30.0	45.79	19.08	4.86	14.22
G06	G05	30.0	55.01	15.65	5.10	10.55
G05	G04	30.0	58.82	14.31	3.59	10.72
G04	G03	30.0	60.20	14.08	3.53	10.55
G03	G02	30.0	48.80	20.73	4.55	16.18
G02	G01	30.0	51.26	17.75	6.41	11.35
總運行距離		21.5546km				
總運行時間		1914.76sec (含靠站時間)				
總靠站時間		470.0sec				
平均速度		53.71km/h (不含靠站時間)				
表定速度		40.53km/h (含靠站時間)				
總牽引能量		234.96kWh				
總再生能量		72.22kWh				
總消耗能量		162.74kWh				
每噸公里耗能		93.49kWh				

陸、桃園航空城捷運線之牽引供電系統模擬結果

一、前言

直流電力分析(或稱牽引動力分析)即直流牽引供電系統負載潮流分析，係以前述列車運行模擬為基礎，配合時刻表，於每一模擬時刻將列車置於路線，依列車里程將等效之列車電流源安插於直流供電網路中。直流牽引電力系統負載潮流分析結果可用於決定或驗證牽引動力變電站位置與直流設備額定容量，並檢驗列車電壓變動是否符合操作範圍，確保系統於正常、緊急與異常情況下均能達到所要求的營運目標。

為滿足 IEC 60146-1-1[5]有關牽引整流器額定容量的規定與 IEC 60850[6]有關列車最低運轉電壓的規定，本牽引電力系統分析將以圖29架構進行模擬，係由圖3之G10與G13 PPSS分別移設至G09與G12站，並增設G13a PPSS，據以獲得符合要求的牽引電力系統架構。

二、牽引電力系統之模擬結果

表8與表9所示分別為針對牽引電力系統架構(將SYSTRA所規劃之10個PPSS系統的G10與G13 PPSS分別移設至G09與G12站並增設G13a PPSS)所進行之牽引電力系統分析的PPSS牽引整流器均方根負載電流與列車最低電壓模擬結果。

表8顯示，就所有PPSS均上線的正常操作情況及任一PPSS故障離線的異常操作情況，各PPSS牽引整流器皆未過載，符合 IEC 60146-1-1 有關牽引整流器額定容量的規定。

表9顯示，就所有模擬案例，列車最低電壓均高於500V，符合 IEC 60850有關列車最低運轉電壓的規定。圖30至圖31所示分別為正常操作情況及任一PPSS故障離線的異常操作情況(僅舉G01 PPSS故障離線為例)之上行與下行列車於路線各處的電壓變化模擬結果。

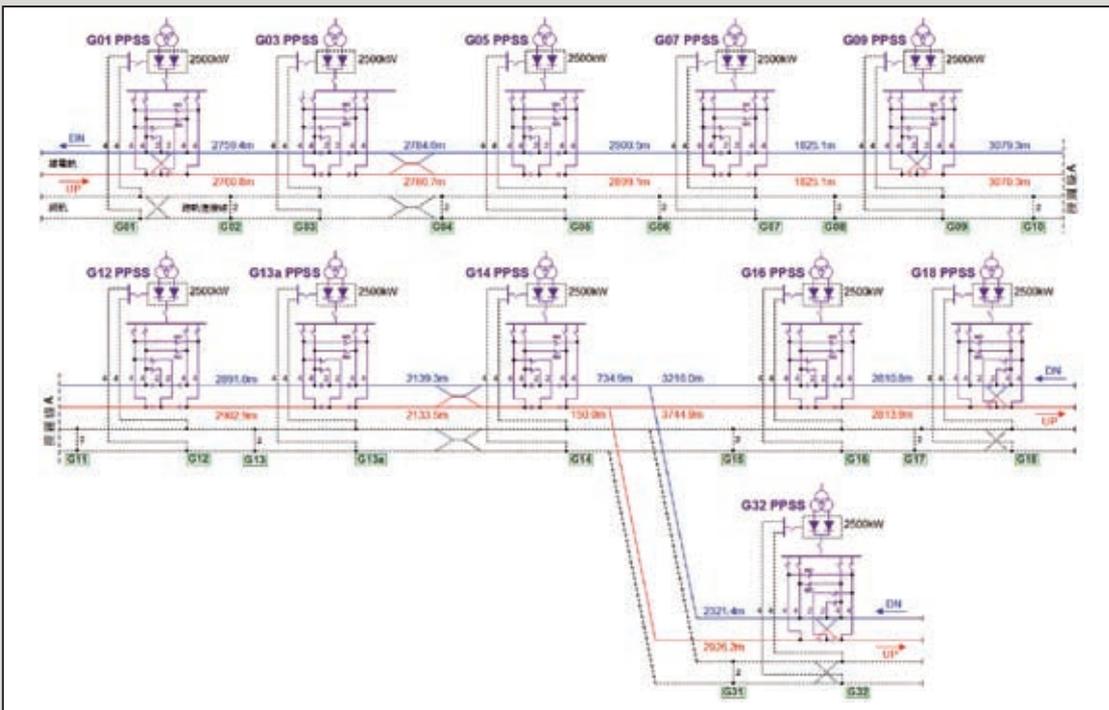


圖29 牽引電力系統架構示意圖

表8 PPSS牽引整流器均方根負載電流統計表

模擬案例		PPSS均方根負載電流(A)								
		G01	G03	G05	G10	G13	G14	G16	G18	G32
正常操作情況		997	1365	2003	2694	2308	2384	2015	1214	935
G01 PPSS故障離線		—	2235	2155	2700	2310	2385	2016	1214	935
G03 PPSS故障離線		1698	—	2592	2715	2314	2386	2016	1214	935
G05 PPSS故障離線		1184	2255	—	2853	2349	2397	2019	1215	935
G09 PPSS故障離線		1007	1408	2231	—	3504	2448	2032	1224	939
G12 PPSS故障離線		1000	1376	2056	3815	—	3107	2164	1255	950
G13a PPSS故障離線		998	1368	2017	2746	3041	—	3233	1349	959
G14 PPSS故障離線		998	1366	2006	2704	2413	3244	—	1639	1003
G16 PPSS故障離線		997	1365	2003	2699	2333	2457	2338	—	1566
G18 PPSS故障離線		997	1365	2003	2697	2319	2400	2079	2012	—
G32 PPSS故障離線		997	1365	2003	2701	2348	2526	2621	1415	982
PPSS 容量(A)	連續	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333
	2小時超載	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000

表9 列車最低電壓模擬結果

模擬案例	G04-G18列車最低電壓(V)		G01-G32列車最低電壓(V)	
	上行	下行	上行	下行
正常操作情況	658.8	658.4	663.3	661.2
G01 PPSS故障離線	658.7	658.4	601.5	641.1
G03 PPSS故障離線	658.6	658.2	642.5	655.0
G05 PPSS故障離線	602.5	593.3	628.4	596.0
G09 PPSS故障離線	526.8	535.9	526.5	518.3
G12 PPSS故障離線	534.8	535.8	520.3	550.4
G13a PPSS故障離線	545.5	541.6	534.2	527.5
G14 PPSS故障離線	622.2	624.9	627.8	609.6
G16 PPSS故障離線	649.8	656.2	663.1	661.0
G18 PPSS故障離線	639.0	630.4	663.2	661.1
G32 PPSS故障離線	658.5	658.1	595.0	612.5

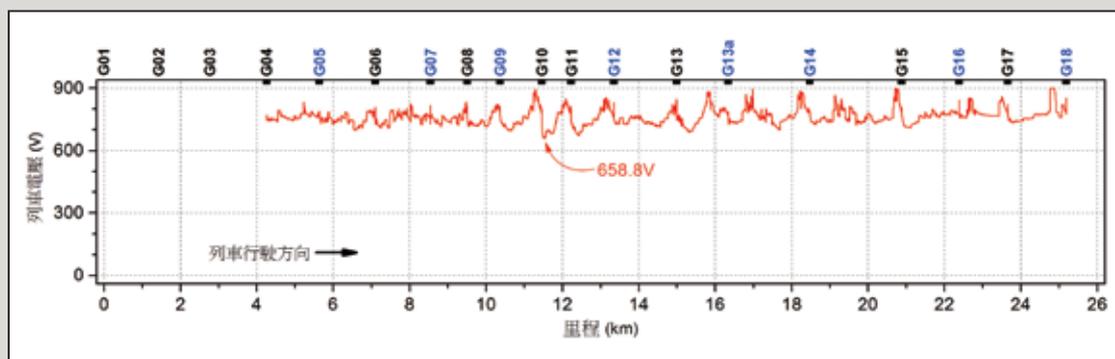


圖30(a) G04至G18上行軌列車電壓變化圖(正常操作情況)

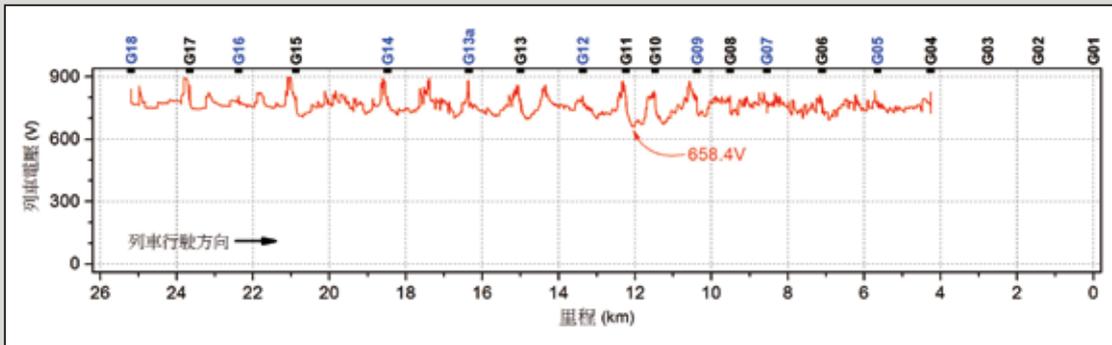


圖30(b) G04至G18下行軌列車電壓變化圖(正常操作情況)

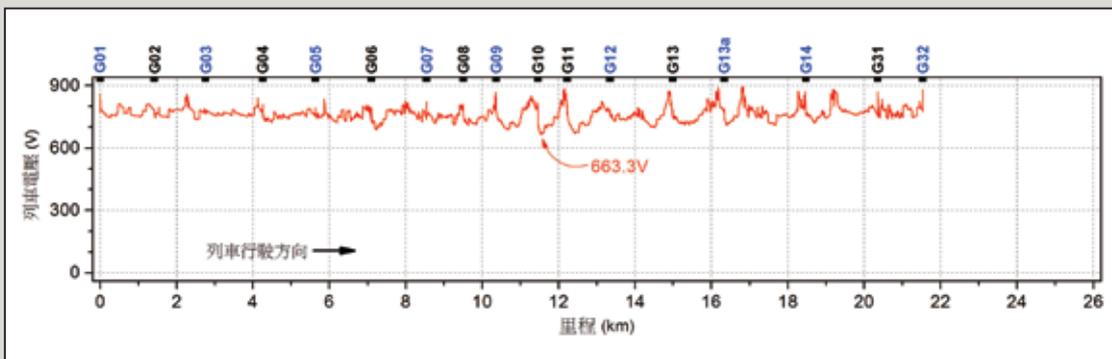


圖30(c) G01至G32上行軌列車電壓變化圖(正常操作情況)

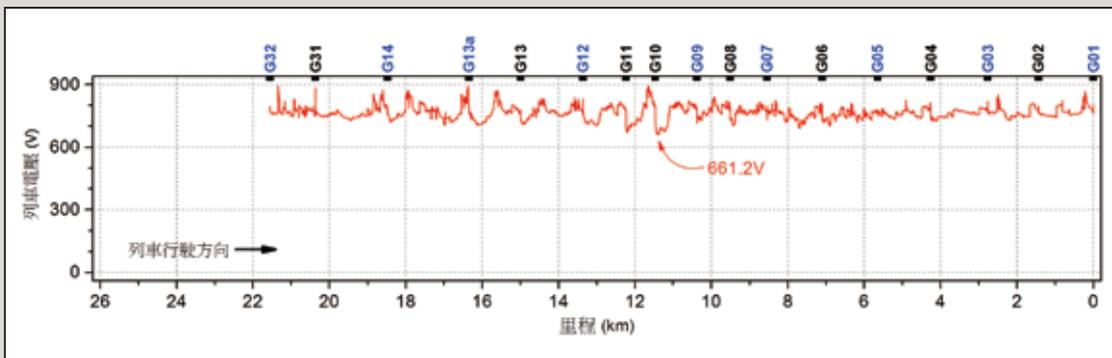


圖30(d) G01至G32下行軌列車電壓變化圖(正常操作情況)

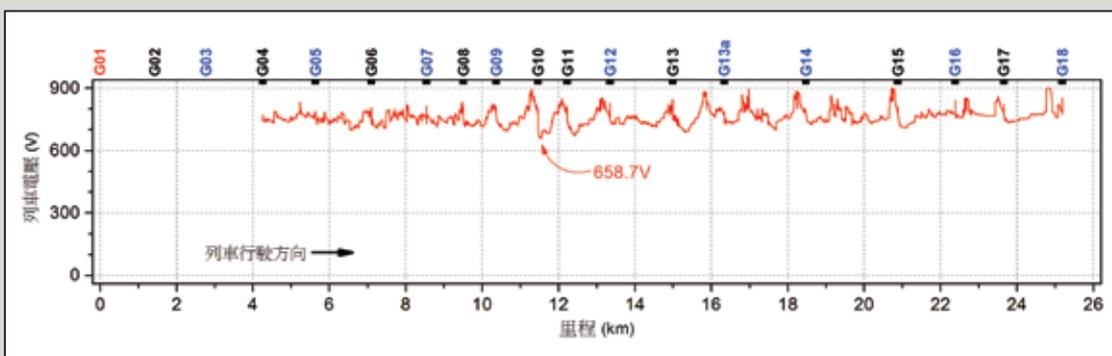


圖31(a) G04至G18上行軌列車電壓變化圖(G01 PPSS故障離線)

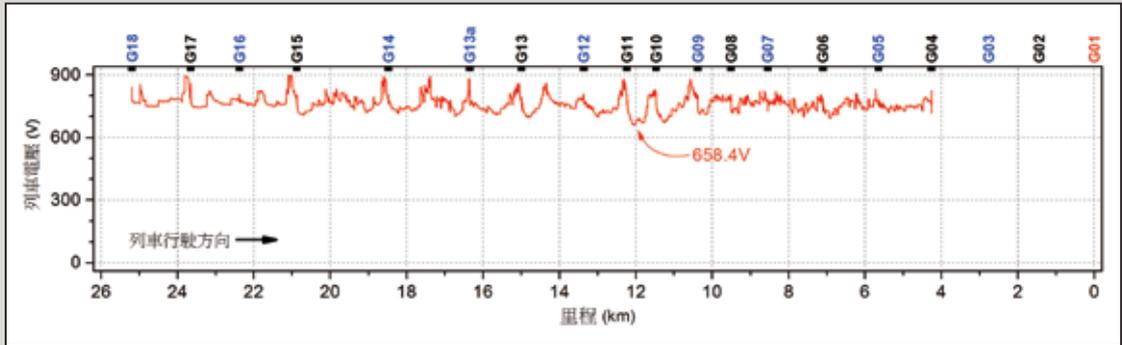


圖31(b) G04至G18下行軌列車電壓變化圖(G01 PPSS故障離線)

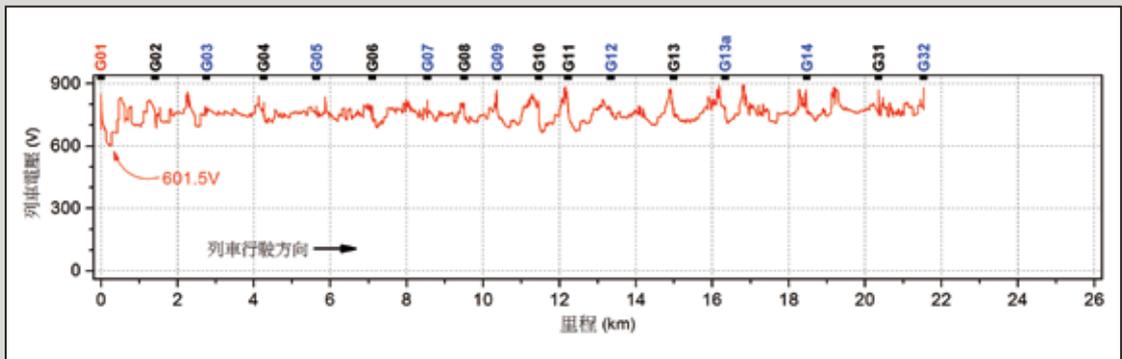


圖31(c) G01至G32上行軌列車電壓變化圖(G01 PPSS故障離線)

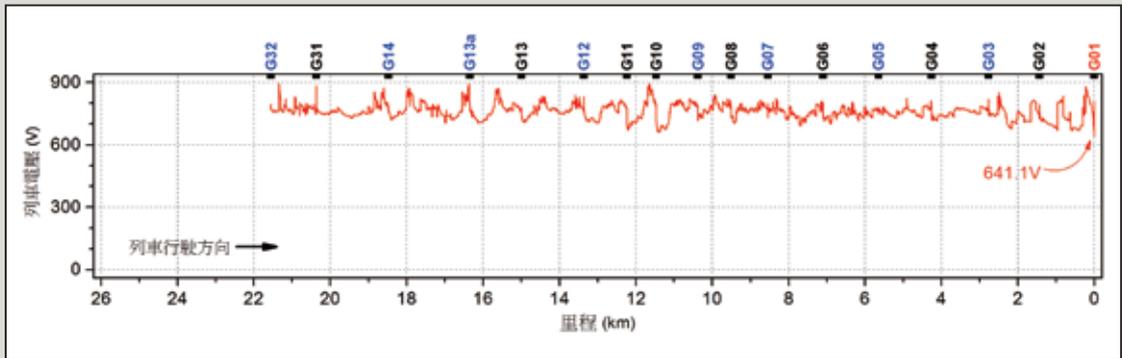


圖31(d) G01至G32下行軌列車電壓變化圖(G01 PPSS故障離線)

淡、桃園航空城捷運線之交流電力分析與短路分析結果

一、前言

交流電力分析之目的在於檢核高壓交流電力系統中各主變壓器與電力電纜皆無過載之虞，並確認各161kV與22kV匯流排之壓降符合規定；交流短路分析之目的則在於計算各交流匯

流排之最大短路電流，以供選擇斷路器之相關電流額定容量(額定瞬時容量與啟斷容量等)。交流電力分析與短路分析針對以下四種系統操作模式進行模擬與分析。

(一) 正常模式：

南BSS與北BSS之設備(161kV進線、主變壓器等)皆正常操作。

(二) 異常模式：

異常模式1：兩個BSS都各有一個主變壓器失效的操作情況，系統所需的PPSS和FPSS電力由兩個BSS中仍正常運作的另一個主變壓器提供。因各BSS之主變壓器A與主變壓器B係相同規格之變壓器，本交流電力分析僅選定各BSS之主變壓器A失效的情況進行模擬。

異常模式2：南BSS兩組161kV進線皆失效，由北BSS向整條線路供電。

異常模式3：北BSS兩組161kV進線皆失效，由南BSS向整條線路供電。

上述有關161kV與22kV匯流排之壓降限制如下：

依TPC規定，正常模式下，161kV匯流排壓降限制為不超過5%，即匯流排電壓不得低於152.950kV；異常模式下，161kV匯流排壓降限制為不超過8%，即匯流排電壓不得低於148.120kV。

依IEC 60038規定，22.8kV匯流排壓降限制為不超過10%，即匯流排電壓不得低於20.520kV。

二、交流電力分析結果

(一) 主變壓器負載

表10所示為桃園航空城捷運線交流供電系統於各種分析狀況下之各主變壓器負載統計表。該表顯示，就桃園航空城捷運線交流供電系統而言，於所有BSS皆正常供電、各BSS任一主變壓器無法正常供電的情況下，各BSS主變壓器負載皆低於強迫風冷(FA)容量，各主變壓器無過載之虞；當任一BSS之兩個主變壓器皆無法正常供電時，正常操作之BSS的其中一個主變壓器的負載則略微超過強迫風冷容量。

三、交流短路分析結果

交流短路分析之目的在於計算各匯流排之最大短路電流，以供選擇斷路器之相關電流額定容量。茲依各種系統操作模式下之短路電流分析結果，檢討交流系統161kV及22kV電壓階層之匯流排最大初始對稱短路電流 I_k^* 、峰值短路電流 i_p 、短路電流之直流成份 i_{dc} 與非對稱短路啟斷電流 $I_{p,asym}$ ，如表11至表14所示。

表10 桃園航空城捷運線各主變壓器負載統計表

系統操作模式	南BSS變壓器A 負載		南BSS變壓器B 負載		北BSS變壓器A 負載		北BSS變壓器B 負載	
	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)
正常模式	19.420	48.55	18.170	45.43	20.702	51.76	17.976	44.94
各BSS變壓器A失效	—	—	38.652	96.63	—	—	39.733	99.33
南BSS失效	—	—	—	—	40.542	101.36	38.898	97.25
北BSS失效	38.989	97.47	40.535	101.34	—	—	—	—
額定 容量	32.000(OA) 40.000(FA)		32.000(OA) 40.000(FA)		32.000(OA) 40.000(FA)		32.000(OA) 40.000(FA)	

註：各主變壓器負載百分比為主變壓器負載與強迫風冷(FA)容量之百分比值。

表11 161kV及22kV電壓階層之最大初始對稱短路電流 I_k 統計表

系統操作模式	161kV階層		22kV階層	
	最大短路電流(kA)	匯流排名稱	最大短路電流(kA)	匯流排名稱
正常模式	36.644	北BSS變壓器A 161kV匯流排	8.615	北BSS變壓器A 22kV側
各BSS變壓器A失效	36.644	北BSS變壓器A 161kV匯流排	8.615	北BSS變壓器A 22kV側
南BSS失效	36.644	北BSS變壓器A 161kV匯流排	8.615	北BSS變壓器A 22kV側
北BSS失效	28.859	南BSS變壓器A 161kV匯流排	8.539	南BSS變壓器A 22kV側

表12 161kV及22kV電壓階層之最大峰值短路電流 i_p 統計表

系統操作模式	161kV階層		22kV階層	
	最大短路電流(kA)	匯流排名稱	最大短路電流(kA)	匯流排名稱
正常模式	103.645	北BSS變壓器A 161kV匯流排	24.368	北BSS變壓器A 22kV側
各BSS變壓器A失效	103.645	北BSS變壓器A 161kV匯流排	24.368	北BSS變壓器A 22kV側
南BSS失效	103.645	北BSS變壓器A 161kV匯流排	24.368	北BSS變壓器A 22kV側
北BSS失效	80.239	南BSS變壓器A 161kV匯流排	24.153	南BSS變壓器A 22kV側

表13 161kV及22kV電壓階層之短路電流直流成份 i_{dc} 最大值統計表

系統操作模式	161kV階層		22kV階層	
	最大短路電流(kA)	匯流排名稱	最大短路電流(kA)	匯流排名稱
正常模式	10.277	北BSS變壓器A 161kV匯流排	4.535	北BSS變壓器A 22kV側
各BSS變壓器A失效	10.277	北BSS變壓器A 161kV匯流排	4.535	北BSS變壓器A 22kV側
南BSS失效	10.277	北BSS變壓器A 161kV匯流排	4.535	北BSS變壓器A 22kV側
北BSS失效	4.486	南BSS變壓器A 161kV匯流排	4.361	南BSS變壓器A 22kV側

表14 161kV及22kV電壓階層之非對稱短路啟斷電流 $I_{k,asym}$ 最大值統計表

系統操作模式	161kV階層		22kV階層	
	最大短路電流(kA)	匯流排名稱	最大短路電流(kA)	匯流排名稱
正常模式	38.058	北BSS變壓器A 161kV匯流排	9.736	北BSS變壓器A 22kV側
各BSS變壓器A失效	38.058	北BSS變壓器A 161kV匯流排	9.736	北BSS變壓器A 22kV側
南BSS失效	38.058	北BSS變壓器A 161kV匯流排	9.736	北BSS變壓器A 22kV側
北BSS失效	29.205	南BSS變壓器A 161kV匯流排	9.589	南BSS變壓器A 22kV側

捌、結論

經由本研究已實際完成研析列車運行模擬與直流牽引電力分析相關之系統參數及模擬分析原理，改善先前開發之捷運供電系統模擬軟體DCRAIL的列車運行模擬(TPS)模組與直流牽引電力分析(DCFLOW)模組功能升級之需求項目與實施內容，針對DCRAIL進行升級，使模擬功能與實際系統架構及操作特性相符，並使可於WINDOWS 7及以上之作業系統使用。

DCRAIL之主要升級項目包括以下四項：(I)採非質點方法計算列車坡度與彎道附加阻力、(II)考慮列車推進電流限制功能、(III)直流牽引供電系統之負載潮流計算改採導納矩陣及節點電流法、(IV)考量多路線、多營運模式與多列車種類模擬功能。

透過蒐集桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線之路線線形資料、直流牽引供電設備規格、列車性能、負載特性及相關數據，供列車運行模擬與直流牽引供電系統負載潮流分析使用，並以DCRAIL完成桃園航空城捷運線之列車運行模擬與牽引電力系統負載潮流分析，實現多年來捷運工程對捷運系統自主模擬分析的能力。

參考文獻

1. 台北市政府捷運工程局，台北都會區捷運系統環狀線(第一階段)機電系統工程CF610特別技術規範(PTS)，民國九十七年三月。
2. 台北市政府捷運工程局，台中都會區捷運系統烏日文心北屯線機電系統工程CJ900特別技術規範(PTS)，民國九十八年十一月。
3. 台北市政府捷運工程局，台北都會區捷運系統信義/松山線供電系統工程CR383/CG393特別技術規範(PTS)，民國九十五年二月。
4. 曾乙申、朱玉鳳，「捷運與輕軌供電系統分析與軟體開發計畫成果報告」，財團法人中華顧問工程司，台北，民國九十四年。
5. IEC 60146-1-1: 2009, Semiconductor converters-General requirements and line commutated converters - Part 1-1: Specification of basic requirements, International Electrotechnical Commission (IEC), Jun. 2009.
6. IEC 60850: 2007, Railway applications-Supply voltages of traction systems, International Electrotechnical Commission (IEC), Feb. 2007.

價值工程於捷運系統 規劃設計之應用—捷運 三鶯線價值工程研析

關鍵詞：價值工程、中運量捷運系統、班距

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／于新源 ❶

新北市政府捷運工程局／副局長／李政安 ❷

摘要

ABSTRACT

本文概述三鶯線捷運系統計畫，列舉系統特性、規格及參數，針對捷運三鶯線進行價值工程之研析-長列車和短列車的評估和比較，透過短列車長度與高密度的列車服務，達到設施精簡、站體縮小、設施輕量化、定線彈性、營運靈活化，以降低費用，提高效率之目的。價值工程可以應用在整個捷運計畫包括規劃、基本設計、細部設計、施工興建、營運維修、改建更新等各階段，而越早應用價值工程所獲得的回饋越多。



壹、前言

2016年6月5日至7日，SAVE(國際價值工程師協會)年會(SAVE Value Summit 2016)於加拿大舉辦，中華價值管理學會建議本公司提出一篇論文參選，筆者提供「The Application Of Value Engineering In Rapid Transit Planning And Design」論文一篇，並於2016年3月2日獲SAVE通知論文被接受，且獲邀於2016年6月7日於加拿大喜來登尼亞加拉瀑布飯店-Sheraton On The Falls Hotel舉辦之SAVE Value Summit 2016發表，於會場簡報之一景如右。



自1987年首次應用價值工程(Value engineering, VE)在台北捷運系統的規劃設計以來，台北市政府捷運工程局發覺確有效益，因此規定

所有的基本設計與細部設計計畫均須執行價值工程，以提供業主最佳建議方案。我們知道整個捷運計畫包括規劃、基本設計、細部設計、

2

專題報導

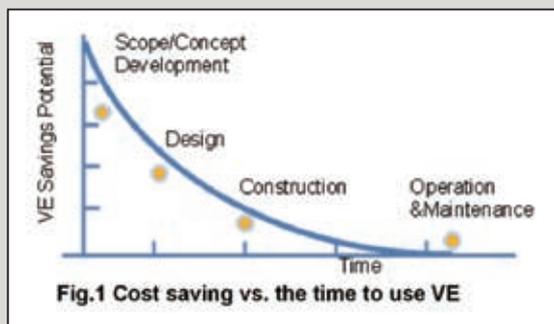


圖1 價值工程節省金額與應用時間曲線圖

施工興建、營運維修、改建更新等各階段，價值工程可以應用在各階段，然而越早應用價值工程所獲得的回饋越多。如圖1所示，價值工程節省金額與應用時間曲線圖可顯示隨著捷運計畫應用價值工程時機越往後面，所節省之金額亦遞減。

眾所周知，捷運系統建設計畫所需投資金額極為龐大，且捷運固定設施之設計壽命通常長達100年，此生命週期中約有90%都落在營運中，所以我們可預期花費在營運維修之經費勢必比初期設計興建階段的投資經費大的多。因此，捷運計畫之價值工程更適合以全生命週期為評估基礎，如此更可以看出其實績效，而且建議在整個捷運計畫愈早階段納入價值工程研析，其效益愈。執行價值工程研析之效益可以下列公式評估：

$$\text{Value}_{\max} = (\text{Performance}_{\max}) / (\text{Cost}_{\min}) \dots \dots \dots (\text{eq.1})$$

上列公式之Performance可包含功能、品質、時間及其他業主需求，由捷運計畫之觀點來看，最佳之價值係以最低之全生命週期成本達成提供旅客一安全舒適之搭乘環境與便捷之捷運系統。全生命週期成本涵蓋初期興建投資、人員費用、耗能及維修等。本文將以新北市政府捷運工程局三鶯線捷運系統為例，探討價值工程於捷運系統基本設計應用之效益，運用價值方法辨識所提出之改進構想，再發展相關構想成為相對於原計畫之可行建議方案。

貳、三鶯線捷運系統計畫概述

新北市政府係於民國(以下同)100年10月提報「臺北都會區大眾捷運系統三鶯線暨周邊土地開發可行性研究報告書」(以下簡稱「可行性研究」)至交通部審查，於101年5月獲交通部審查同意並函報行政院後，於101年9月3日獲行政院核定，並於同年12月啟動「捷運三鶯線路線規劃及沿線周邊土地整體開發計畫」(以下簡稱綜合規劃)，民國102年11月依據「大眾捷運法」第10條第2項辦理五場次公聽會，並於103年3月提報交通部，爭取行政院審議核定。行政院於104年6月2日核定三鶯線捷運系統計畫之綜合規劃報告。

一、路線

三鶯線捷運系統路線全長約14.29公里，共設置12座車站(土城2站、三峽5站、鶯歌5站)及1座機廠。規劃路線自土城線頂埔站起，採全線高架方式行經土城中央路四段，跨越國道3號後進入三峽介壽路三段，續行經橫溪環河道，於鶯訓班及舊瀝青廠附近向西跨三峽河，再利用新闢施工之臺北大學特定區聯外道路經國家教育研究院側，轉至三樹路、國慶路、復興路至臺北大學側沿國道3號路堤，續向西跨高速公路及大漢溪進入鶯歌三鶯新生地，並沿鶯歌溪跨文化路及縱貫鐵路，經三號公園後，續沿鶯歌溪側向北，轉中山路北側跨中山高架橋及縱貫鐵路後經鶯桃路，再於鳳鳴國中轉福德一街(路)設置端點站及尾軌，並保留未來延伸至桃園八德地區銜接桃園捷運綠線，詳圖2-三鶯線捷運系統路線示意圖。

三鶯線捷運系統於三鶯新生地LB08站設置調度軌道，以供未來區間營運使用。

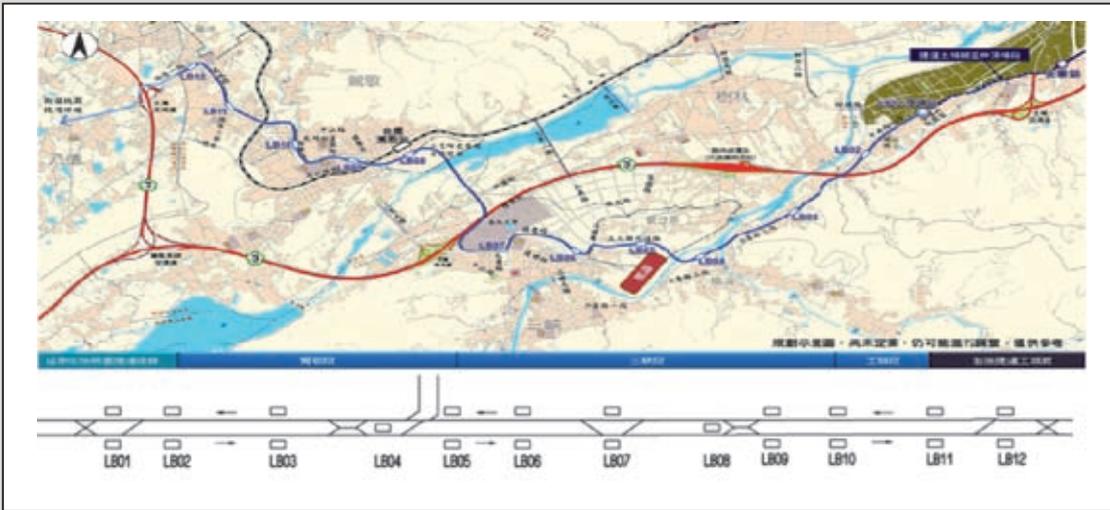


圖2 三鶯線捷運系統路線示意圖



圖3 三鶯線三峽主機廠示意圖

二、機廠

機廠設於三峽河北岸與籠埔路以南，機廠用地面積約需14.3公頃(詳圖3)，已納入變更三峽都市計畫(第三次通盤檢討)變更辦理。

三、三鶯線捷運計畫期程

依行政院核定綜合規劃後9年完工通車。

參、三鶯線捷運系統特性

在本價值工程研析之資料階段，了解三鶯線捷運系統在基本設計之重要參數如下：

- 一、系統型式：中運量捷運系統。
- 二、行車控制：全自動無人駕駛系統(UTO)，具備CBTC技術。
- 三、路權型式：全線高架軌道之A型路權。
- 四、最小轉彎半徑：50公尺。
- 五、總經費：新台幣505億。

六、路線長度：14.3公里。
七、設施：全線12個高架車站及1機廠。

八、系統參數：其餘重要系統規格及參數請詳表1：

表1 三鶯線捷運系統規格及參數表

項次	項目	規格及參數內容
1	最小運轉曲率半徑	主線≤50公尺，機廠段≤50公尺
2	爬坡能力	≥5.5%
3	輪軌型式	鋼軌鋼輪
4	列車長度(列車兩端聯結器面之間的距離)	40公尺為原則
5	車輛寬度	2.6公尺至2.8公尺
6	AW3載重下之最大軸重	以12噸為設計之參考
7	列車載客量	每列車乘載≥330人(以座位坐滿且立位6人/m ² 作計算，車間走道、輪椅區與隨車人員空間不計立位人數，單一個輪椅區得採計一位輪椅旅客)
8	車廂座位數量	≥車廂AW3載重下總載客人數15%
9	車輛防火標準	符合NFPA 130或EN 45545之規定
10	車輛疏散型式	採用列車車側車門或列車端門作疏散
11	車間走道	各節車廂之間均設置車間走道連通
12	車門數量與車門寬度	每列車任一側之車門應至少有6道，每道車門有兩片車門扇，車門開啟淨寬度≥1,500mm
13	車門型式	電力操作之車門
14	車廂地板至天花板間之最小淨高度	≥2,000mm
15	最大巡航(營運)速度	≥70公里/小時
16	設計速度	≥80公里/小時
17	緊急煞車率	≥1.3m/s ²
18	乘車舒適度	符合ISO 2631系列標準
19	牽引電力	750V DC標稱電壓，第三軌供電系統
20	列車控制	採用IEEE 1474標準之通訊式列車控制(CBTC)
21	號誌系統等級	採用IEC 62290-1標準之GoA 4等級(UTO)
22	系統最短運轉班距	90秒或更少
23	無線電系統	符合TETRA標準之數位無線電系統
24	機電系統(不含自動收費系統)可用度	99%以上
25	系統運能	(1) 8,790人次/時/單向(不含延伸桃園八德段) (2) 9,878人次/時/單向(含延伸桃園八德段)
26	班距(H)	(1) LB08-LB12路段：H1 < 4.4分鐘(規劃營運班距) (2) LB01-LB08路段：H2 < 2.2分鐘(規劃營運班距) (3) 系統設計班距應能符合單向班距90秒之需求
27	列車數量(N)	≥29列(不含延伸段)

肆、研析短列車與長列車

一、基本假設

(一) 運量需求8790人次/時/單向(pphpd)

考量三鶯線路線特性，參考國際上已有營運實績之現有車輛型式，選擇下列長列車與短列車進行分析。

1. 長列車(60m長，3.5分鐘班距，
520人/列車(立位6人/m²)
60m Train×3.5mins Hw
= 60m Train×17train/hr
=1020m 車廂總長度
520p/T(立位6人/m²)×17train/hr
= 8840 p/hr > 8790 【OK】

2. 短列車(40m長，2.2分鐘班距，
330人/列車(立位6人/m²)
40m Train×2.2mins Hw
= 40m Train×27train/hr
= 1080m 車廂總長度
330p/T(立位6人/m²)×27 train/hr
= 8910 p/hr ≥ 8790 【OK】

透過短列車長度與高密度的列車服務，達到設施精簡、站體縮小、設施輕量化、定線彈性、營運靈活化，以降低費用，提高效益之目的。

以相同車寬(2.65m)的條件下設算：

- (1) 離峰最大服務班距10min
- (2) 離峰期間之最大站間運量要滿足680 p/hr。

因維修及購車是以「車單元Car or Unit」作為實務統計及操作的方式，故須有車長轉換為車廂之參數，以作為推估的效益基準，惟因列車組成方式各廠商有所不同，市場既有的系統有分別約以17m及13m為車單元長度的列車組成模式，為考量不同列車組成方式時之不同情境以臻檢討完善，故就分別以Ansaldo Copenhagen Metro (13m單元模距-情境A)及 Bombardier Innovia ART 300系列(17m單元模距-情境B)之系統列車資料，作為車長轉換為車廂參數之案例：

情境	330人/列 (立位6人/m ²)	520人/列 (立位6人/m ²)
A	3 Cars(39m)	5 Cars(65m)
B	2 Cars(34m)	3 Cars(51m)

兩個方案都能夠滿足目標年運量預測最大站間運量8790人次的需求。

二、詳細比較

(一) 對長列車和短列車的比較將考慮以下指標：

1. 乘客舒適性
2. 乘客安全性
3. 建設和對城市的影響
4. 營運靈活性
5. 成本(包括投資成本、營運成本和維修成本)

以下將做詳細之比較，詳細比較表格中，被認為較佔據優勢者以粗體字標示。

1. 乘客的舒適性

項目	短列車	長列車
尖峰時刻的候車時間	短班距將降低乘客的平均候車時間	乘客的平均候車時間較長
離峰時刻的候車時間	為了保證一定的服務水準，離峰時刻的最大班距有一定的限制，因此這一指標兩個方案可以被認為無差別	
車站內的舒適性	由於車站長度縮短，乘客在車站內較擁擠	車站規模較大，月臺和其他基礎設施長度更長，舒適性較好
換乘舒適性	換乘運量到達車站分佈較為均勻，不容易造成月臺和換乘通道內的人潮堆積和衝突。	換乘運量到達車站不夠均勻，容易造成擁擠
降級模式下	在營運臨時中斷時，車站的應對能力欠缺，月臺會較易被填滿	車站規模大，在營運臨時中斷時，應對大運量的能力更強
突發大運量的情況下	在突發大運量的情況下(球賽或音樂會散場時)，車站的應對能力欠缺，月臺會較易被填滿	車站規模大，應對大運量的能力更強

2. 乘客的安全性

項目	短列車	長列車
車站上的安全性	車站規模減小，月臺空間可以被工作人員或閉路電視覆蓋，監控和管理較易	監控範圍擴大，難度增加
上下車的安全性	上下車乘客更加從容，風險更小	班距延長會促使乘客奔跑、趕車，風險增加
車站內的疏散	月臺和車站的長度更短，車站疏散速度更快	月臺長度增加使疏散距離和時間延長

3. 建設和對城市的影響

項目	短列車	長列車
月臺長度	採用短列車最主要的好處，即月臺長度得以縮減，也進一步使整個車站和土建設施的規模縮減，大大有利於土建成本的優化	採用長列車使月臺長度較長，也進一步使整個車站和土建設施的規模擴增，不利於土建成本的優化
路線設計	車站和其他營運路線所需的直線段距離得以縮短，對於線形的設計提供了更大的靈活性	車站和其他營運路線所需的直線段距離需加長，對於線形的設計較不具靈活性
軌道配線	<ul style="list-style-type: none"> 折返線和儲車線長度可以縮短 機廠的配置可以更加靈活 	<ul style="list-style-type: none"> 折返線和儲車線長度無法縮短 機廠的配置較不靈活

4. 營運的靈活性

項目	短列車	長列車
近期的運量需求增長	近期，短列車更適合相對較低的交通需求，同時可縮短發車班距，並提高路線載客效率(運能浪費較少)，營運組織較為靈活，並能同時兼顧服務水準(班距縮短)和營運效率(列車公里下降)	近期，長列車不適合較低的交通需求，可能會拉長發車班距，提供運能也難以得到優化，造成的運能浪費較多，導致營運成本的提升
遠期的運量需求增長	運能的儲備空間不足，距路線飽和更近	運能的儲備空間較為充裕，尤其是在運量預測結果被低估的情況下
尖峰和離峰時刻的車輛載客管理	尖峰和離峰時刻的車輛載客管理更加靈活	離峰時刻的發車班距延長，提供運能與實際載客的比例較低，營運成本上升

接下頁↓

項目	短列車	長列車
降級模式	調度員的操作和控制更加困難，空間較小 降級模式下營運較為不利	<ul style="list-style-type: none"> 降級模式下的行車調度空間較大 如果一側軌道出現故障，長列車更加有利於調度的組織 在從營運中斷後恢復的過程中，長列車能夠搭載更多的乘客以儘快清空月臺上的乘客
在一列車故障退出營運的情況下	在一列車故障退出營運的情況下，損失的運能較小，對營運的影響相對較小	在一列車故障退出營運的情況下，損失的運能較大，對營運的影響相對較大

5. 成本

(1) 投資成本

項目	短列車	長列車
土建	縮短月臺長度可以有效減少車站規模和土建成本	增加月臺長度不利於減少車站規模和土建成本
軌道	<ul style="list-style-type: none"> 折返線和儲車線長度可以縮短 機廠的配置可以更加靈活 	<ul style="list-style-type: none"> 折返線和儲車線長度不易縮短。 機廠的配置較不靈活
拆遷	<ul style="list-style-type: none"> 短列車線形設計的空間更大，更加靈活，避開較難穿越的區域或拆遷工作困難區域的可能性更大 佔地和拆遷量都有可能得以優化 	<ul style="list-style-type: none"> 長列車線形設計較不靈活，不易避開較難穿越的區域或拆遷工作困難區域 佔地和拆遷量都不易優化
車輛購置成本	<ul style="list-style-type: none"> 兩個方案的差距非常小(詳下節的詳細分析)。 然而，在營運初期，運量未達到遠期預測值的情況下，短列車方案可以更好的優化列車管理和營運效率，車輛配屬數也可以有所下降。 	
車載設備的購置成本	列車數量的增加會導致車載號誌設備數量的增加，尤其是全自動無人駕駛列車的可靠性目標需要實現的“複置”功能會提高設備數量	車載設備數量下降，成本較低
號誌系統	兩種方案基本一致，差距即使存在亦非常微小	

(2) 車輛購置成本

對車輛數的估算基於以下參數：

- A. 車輛數計算標準：6人/m²
- B. 平均速度：30km/h
- C. 備用率：10%
- D. 車輛：

(a) 案例1：ANSALDO-BREDA，Brescia車型，13m，短列車為3編組(載容量：346)；長列車為5編組(載容量：590)

(b) 案例2：BOMBARDIER ART 300，17m，短列車為2編組(載容量：330)；長列車為3編組(載容量：510)。

所有配置都以滿足遠期尖峰小時8790人次的目標來進行計算。

表中可知最終得出的車輛數結果。

表2 長列車與短列車車輛數比較表

區段	km	載客量 /列	尖峰小時單向最大運量 (pphpd)	尖峰小時行車數 (THP)	備車率 (%)	所需總 列車數	所需總 車輛數
案例1：短列車，ANSALDO-BREDA，Brescia車型，13m，3編組							
LB01-LB08	10.057	346	8790	11	10	29	87
LB01-LB12	13.78	346	8790	15	10		
案例1：長列車，ANSALDO-BREDA，Brescia車型，13m，5編組							
LB01-LB08	10.057	590	8790	7	10	18	90
LB01-LB12	13.78	590	8790	9	10		
案例2：短列車，BOMBARDIER ART 300，17m，2編組							
LB01-LB08	10.057	330	8790	11	10	29	58
LB01-LB12	13.78	330	8790	15	10		
案例2：長列車，BOMBARDIER ART 300，17m，3編組							
LB01-LB08	10.057	510	8790	7	10	18	54
LB01-LB12	13.78	510	8790	9	10		

可以看出，無論採用什麼編組方式（長列車還是短列車），為了滿足同樣的

交通需求(單向每小時8790人次)同一種車型所需的車輛數基本上是差異不大。

(3) 營運/維修成本

項目	短列車	長列車
營運人員	<ul style="list-style-type: none"> 隨車人員隨著車輛數的增加而增加，營運支出也由此提高 然而，在車站的站務人員由於車站規模的減小得以縮減 	<ul style="list-style-type: none"> 隨車人員隨著車輛數的減少而減少，營運支出也由此降低 然而，在車站的站務人員由於車站規模的增加或需增聘
牽引能耗	<ul style="list-style-type: none"> 如果兩個方案提供相同的運力，則短列車的牽引能耗要稍稍低於長列車。 但這一差異非常之小，幾乎可以忽略不計 	
車站設備 能耗	因車站總體規模減小，服務人數和設備數量減少，因此車站水、電等設施的能耗和營運成本也得以減少	因車站總體規模增大，服務人數和設備數量增加，因此車站水、電等設施的能耗和營運成本也會增加
軌道/土建的 維修成本	兩個方案無差異	
車輛的維修 成本	兩個方案無差異	

(4) 列車編組的可擴展性

列車編組的可擴展性從廣泛意義上看，也是需要考慮的一個因素。這是確定運能儲備策略的關鍵性因素：

- 列車最小和最大編組數
- 容納1節或多節車輛的編組方案

C. 對未來技術進步的敏感性

短列車方案更具靈活度和擴展性。一旦全自動無人駕駛路線達到其最佳性能(班距達到90秒)，則有必要增加列車的運能，以應對日益增長的運量需求。對於短列車方案，增加一節車始終是值

表3 月臺長度和列車長度之間的預留量

地點	系統廠商	列車寬度	月臺長度	營運列車長度
Toulouse地鐵：A和B線	SIEMENS VAL 206/208	2.08m	52m	26m
巴黎地鐵14號線	ALSTOM MP89	2.45m	120m	90m
Copenhagen：Orestad Line	ANSALDO	2.65m	44m	39m
Brescia地鐵	ANSALDO	2.65m	40m	39m
里昂地鐵：D線	ALSTOM MPL85	2.90m	80m	36m
Vancouver地鐵：Canada Line	ROTEM XG EMU	3.00m	50m	41m
Singapour地鐵：Northeast Line	ALSTOM Métropolis	3.20m	140m	139m

表4 民國130年三鶯線站間運量預測

路線區間		站間最大運量(人次/時/單向)	
		本計畫 (新北市路段)	本計畫+ 延伸桃園八德段
土城	LB01-LB02	8,790	9,878
	LB02-LB03	8,119	9,215
三峽	LB03-LB04	7,661	8,772
	LB04-LB05	7,300	8,424
	LB05-LB06	5,658	6,808
	LB06-LB07	3,871	5,085
	LB07-LB08	2,474	3,853
鶯歌	LB08-LB09	1,986	3,635
	LB09-LB10	1,762	3,470
	LB10-LB11	917	2,851
	LB11-LB12	559	2,586
八德	LB12-LB13	--	2,554
	LB13-LB14	--	2,550

得考慮的一種選項，且對月臺長度和土建設施成本的影響有限(詳表3月臺長度和列車長度之間的預留量)。

通常透過預留一定的月臺長度作為運能儲備的方式是很多路線的做法，從這個角度看，短列車能夠獲得的運能儲備要大於長列車。

(5) 與離峰時刻的適應性

兩個方案，40m長的短列車採2.2分鐘班距和60m長的長列車採3.5分鐘班距，均能夠滿足尖峰時刻交通需求。根據目標年(民國130年)的運量需求，最大班距為10分鐘，最小運量

為680p/h，2.65m寬40m長的列車(6人/m²，載客量：330人)可以完全滿足離峰時刻的運量需求，而如果採用長列車(載客量：520人)，則列車的滿載率將大大降低，為了保證最大班距小於10分鐘，則不得不考慮列車連掛的方案，但解連後單節車輛的運能是否可滿足需求也存在疑問。因此，只有短列車方案即能夠滿足尖峰時刻較高的運量需求，也能夠滿足離峰時刻較低的運量需求。由表4可知三鶯線在LB08-LB12區間運量較低，短列車搭配離峰班距更能符合區間營運之需求。

6. 比較結果

根據運量預測結果的估算，短列車方案能夠滿足遠期尖峰時刻的最大站間運量，是較為理想的一個方案，主要在：

- (1) 月臺長度縮減有效降低土建成本
- (2) 乘客候車時間縮短，提升交通服務品質和乘客的舒適性

此外，短列車方案即能夠滿足尖峰時刻較高的運量需求，也能夠滿足離峰時刻較低的運量需求，可以獲得較理想的營運效

率和靈活性，使備用或維修車輛的使用管理也更加靈活。

伍、短列車降低車站成本

由前述可確認短列車即可符合三鶯線計畫需求，因此縮短月台之替代方案即可降低車站興建成本甚至未來之營運成本。

下表以LB02車站為例，將月台長度由60m縮短為40m以降低車站土建興建成本，並顯示全線各站之價工成果比較。

表5 縮短車站月台替代方案比較表

LB02車站：原方案		LB02車站：替代方案	
車站寬度：21.2m，車站長度：76.25m，月台長度：60m，二出入口 估算重點：車站主結構採鋼結構及樁基礎		車站寬度：18.2m，車站長度：58.4m，月台長度：46m，二出入口 估算重點：車站主結構採鋼結構，依地質狀況採用適合之基礎	
優點： 電扶梯配置易連結上下月台		優點： 1. 道路寬度20m，車站結構柱可立於道路中央分隔島，因車站寬度可縮小至18.2m故可維持車站與民房建築6m之最小間隔 2. 可在維持尖峰運量之條件下縮短車站長度與寬度，進而降低車站興建成本	
缺點： 由於車站較長與較寬，故興建成本較高(車站結構體較龐大)		缺點： 依消防搶救需求，須維持車站與民房建築6m之最小間隔，因此減小車站寬度後僅能以電梯連結上下月台	
LB02車站成本分析與計算：			
	期初興建成本	營運維修成本	全生命週期成本
原方案	458,100,000		458,100,000
替代方案	427,240,000		427,240,000
節省金額			30,860,000
節省比例			6.7%
LB02高架車站，側式月台，二出入口			

各車站原設計與替代方案成本比較如下：

車站	原設計造價	替代方案造價	節省比例
LB02	458,100,000	427,240,000	6.7%
LB03	458,100,000	441,319,000	3.7%
LB04	412,300,000	343,004,000	16.8%
LB05	458,100,000	407,036,000	11.1%
LB04	458,100,000	443,509,000	1.4%
LB07	458,100,000	450,668,000	1.6%
LB08	421,800,000	304,262,000	27%
LB09	412,300,000	392,304,000	4%
LB10	412,300,000	394,770,000	4.3%
LB11	458,100,000	375,763,000	18%
LB12	458,100,000	420,190,000	8.3%

陸、結論

本價工以短列車及較高行車密度方式來縮短車站量體以降低成本，而仍能彈性營運以達成運輸功能，更提高了本計畫之價值。

本文亦說明了價值工程在捷運系統規劃設計之應用，經研析後之替代方案未影響營運需求與服務指標，是具體可行的。

台灣價值工程推廣已久，惟近年來不論公共工程或民間投資均有發展趨緩之情形，不見前期蓬勃發展之姿，雖因國內相關價值工程推動之法規未與時俱進，然價值工程或價值方法亦應有所突破。目前可觀察到價值工程已朝風險與價值方法(Risk and VM)、產品設計階段即充分考量製造和裝配的需求與價值方法(Design for Manufacturing and Assembly, DFMA and VM)、彈性與價值方法(Resiliency and VM)、估價與價值方法(Cost Estimating and VM)、價值工程與節能減碳技術結合之運用等，相信是未來價值工程推動之重要方向。

參考文獻

1. [三鶯線捷運系統計畫基本設計及專案管理顧問委託技術服務]邀標書，新北市政府捷運工程處，103年8月。
2. [三鶯線捷運系統計畫統包工程]投標須知，新北市政府捷運工程局，105年3月。

台北捷運萬大線 LG02車站之 遺址搶救

關鍵詞：植物園遺址、遺址搶救發掘、連續壁、支撐系統

臺北市捷運工程局南區工程處／副總工程司／程道信 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／管理部／協理／李魁士 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／計畫經理／邱志榮 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／正工程師／許文祥 ❹

摘要 ABSTRACT

台北捷運萬大線LG02車站位於植物園遺址範圍內，植物園遺址距今約4500年前至近代，包含多層考古文化遺留，分佈以埋藏深約2-6公尺之植物園文化層及訊塘埔文化層為主。車站站體採由地表往下開挖之明挖覆蓋工法，必須兼顧道路交通維持，搭配連續壁、中間柱、覆蓋版施工步驟，於祛水、擋土支撐保護下，進行遺址搶救發掘。



壹、植物園遺址概述

植物園遺址為一多文化層遺址，其範圍約以植物園為中心(如圖1所示)，北側分佈至南門國中附近，東側至南海學園、教育資料館附近，西、南界則約沿現今三元街一帶。1900年日人佐藤傳藏發現植物園遺址，並取出有陶器、石器及玉器等，當時稱之為「大加蚋堡貝塚」。歷經多年考古試掘、調查，植物園遺址自早期至近代包含：訊塘埔文化、圓山文化、植物園文化、十三行文化、近現代文化等多層考古文化遺留，各文化層分布範圍與深度因不同區域略有差異，部份區域文化層深達地表下約6公尺，各文化層分布深度及範圍說明如表1。根據2011年考古試掘顯示，LG02車站座落地區之地下文化層種類分佈以植物園文化層及訊塘埔文化層為主，埋藏深度約在地表下2~6公尺。



圖1 LG02車站位於植物園遺址範圍內

表1 植物園遺址各文化層分布狀況

文化層	年代(距今)	分布深度(公尺)	分布範圍及內容
訊塘埔	4500~3500年	2.8~5.9	植物園北側。出土遺留主要為褐色夾火成岩碎屑陶片、紅褐色泥質陶等，見罐形器口、圈足、陶蓋等。
圓山	3500~2500年	1.2~2.2	在建國中學、林試所、布政使司衙門及博愛路一帶。陶器見夾沉積岩系之紅褐色陶及少數夾火成岩系之陶片，見有帶把罐、圈足等。
植物園	2100~1800年	0.6~2.95	廣見於植物園區內，及南側建國中學內。典型之陶器即舊稱之方格印紋厚陶，石器主要有匙形斧鋤形器、磨製大型石斧、打製斧鋤形器、石片器、石鏃，有段石鏃、石鏟、石鏃、網墜等。
十三行	1800~350年	零星遺留	林試所至博愛路間。出土遺留以紅褐色夾砂陶為主，器型以罐形器為主，器表常施加各式拍印紋。
近現代	十九世紀左右	0.5~1.5	植物園區內及向南延伸至三元街一帶，包含原住民時期、漢人活動遺留、以及日本時期等人群活動遺留。

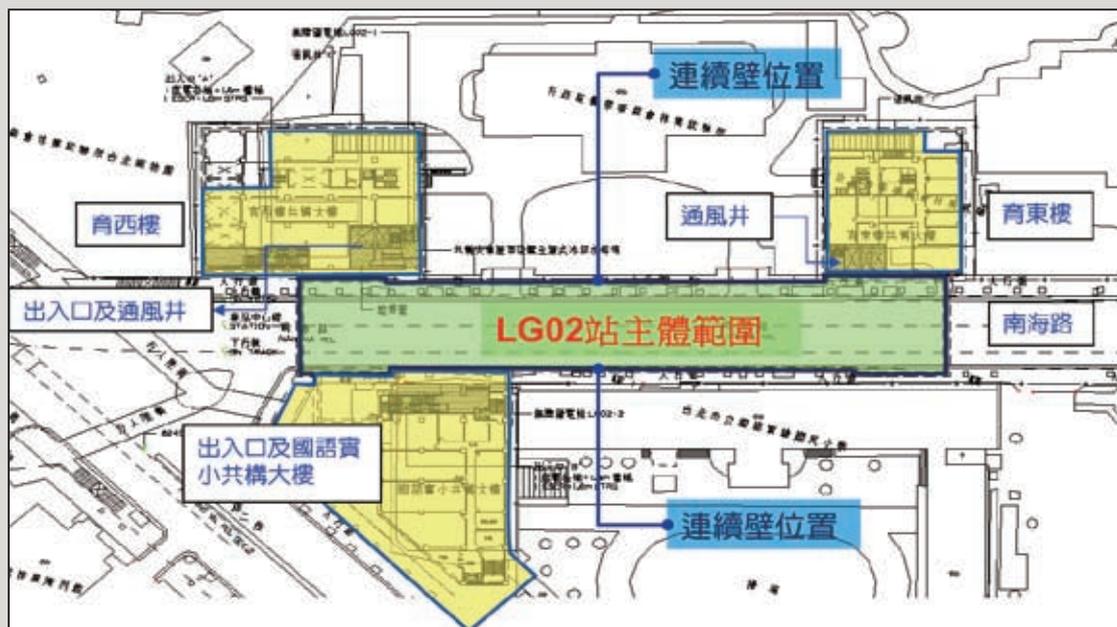


圖2 LG02車站遺址搶救發掘範圍示意圖

貳、遺址搶救發掘與站體施工之搭配

植物園遺址具歷史特殊性與相當高之文化資產價值，就文化資產保存的角度，於發現重要遺跡遺址，應該優先考慮改線以避免破壞遺址之完整性。惟經評估站體位置無法避開植物園遺址範圍，故改以遺址保護為前提，進行全開發範圍、全深度之遺址搶救發掘工作。

一、遺址搶救發掘範圍

站間捷運路線以潛盾施工，且覆土10餘公尺，站間之遺址不受工程開挖影響。至於採明挖覆蓋工法施工之站體，依「文化資產保存法」第45條、「遺址監管保護辦法」第8條，進行搶救考古發掘工作，遺址搶救發掘範圍包括：位於南海路上之LG02站主體，及道路外之出入口及通風井等用地，如圖2所示。

二、站體遺址搶救發掘之課題與對策

為搶救地表下0公尺至6公尺之各時代文化遺物，其中LG02站主體位於南海路上，必須兼顧交通維持、連續壁與中間柱施工方式，及考古發掘時的安全擋土支撐等課題。茲就LG02站主體在南海路下方執行遺址搶救遭遇之要點說明如下：

(一) 遺址搶救人員之安全

南海路下之遺址分布於地表至地表下6公尺深，配合南海路路寬24m，採三階段半半施工以維持交通，並採靜壓式鋼板樁



圖3 鋼板樁輔佐內支撐確保搶救發掘人員安全

輔佐內支撐與排水系統，以確保搶救發掘人員於現場工作之安全，現場作業狀況如圖3所示。

(二) 連續壁與中間柱施工搶救發掘

施築連續壁及中間柱前，必須先行就連續壁及中間柱範圍，進行遺址全深度6公尺搶救。考慮搶救發掘人員作業需求空間及後續施工作業需求，鋼板樁擋土壁打設寬度分別採2.8m(連續壁範圍)及2.5m(中間柱範圍)，遺址搶救完後先施築深導溝後再回填，才能承載重型機具以進行連續壁及中間柱施築，搶救步驟示意如圖4。

(三) 南海路交通維持

南海路路寬24m，採三階段半半施工以維持交通，因每一階段均需配合深度6公尺之遺址搶救、回填及再開挖，為疏導交通及保障用路人安全，將此段南海路雙向改為單行，並將國語實小學生接送區，由南海路側改至非施工區之和平西路側。

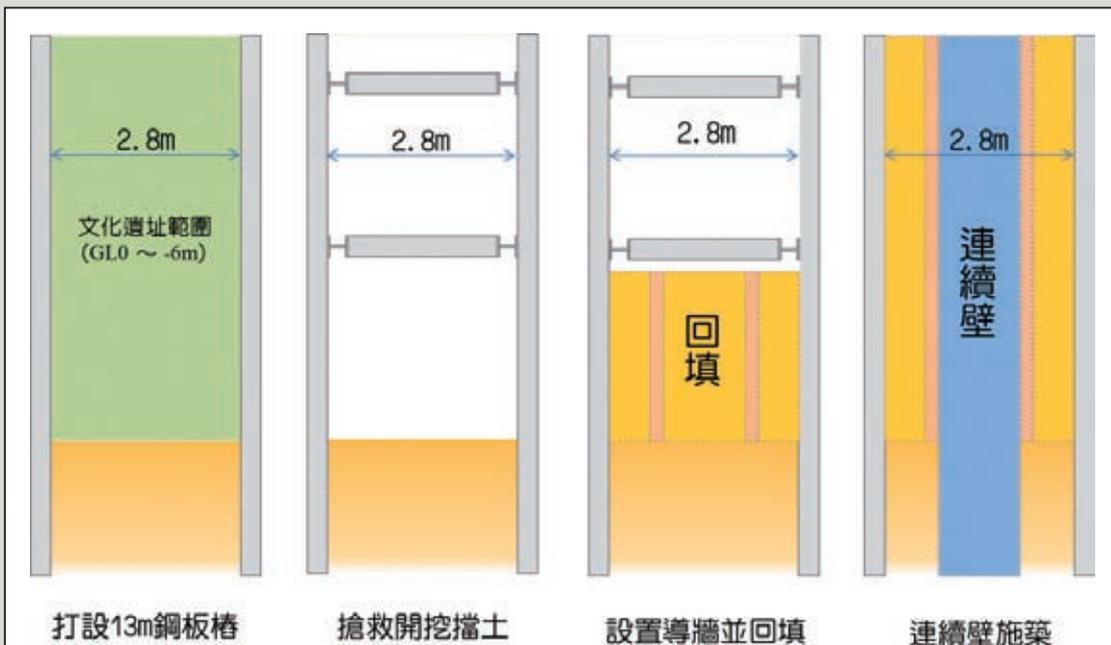


圖4 連續壁範圍搶救步驟示意圖

三、配合遺址搶救發掘之站體施工

採用三階段交維，研擬配合站體遺址搶救發掘之施工步驟如圖5所示，並說明如下：

第一階段交維，先進行北側連續壁範圍遺址搶救(深度6m)，打設13m深鋼板樁(寬約2.8m)，配合區域降水、管線吊掛或撥遷、兩階內支撐，完成搶救後，設置導牆並回填，施作

1. 第1階段交維，先進行北側連續壁及中間柱範圍遺址搶救(深度6m)，完成搶救後，再回填及施作連續壁、中間柱及覆蓋版
2. 第2階段交維，進行南側遺址搶救，施作南側連續壁、中間柱及覆蓋版
3. 第3階段交維，在道路全面鋪設覆蓋版下方，完成站體範圍遺址搶救

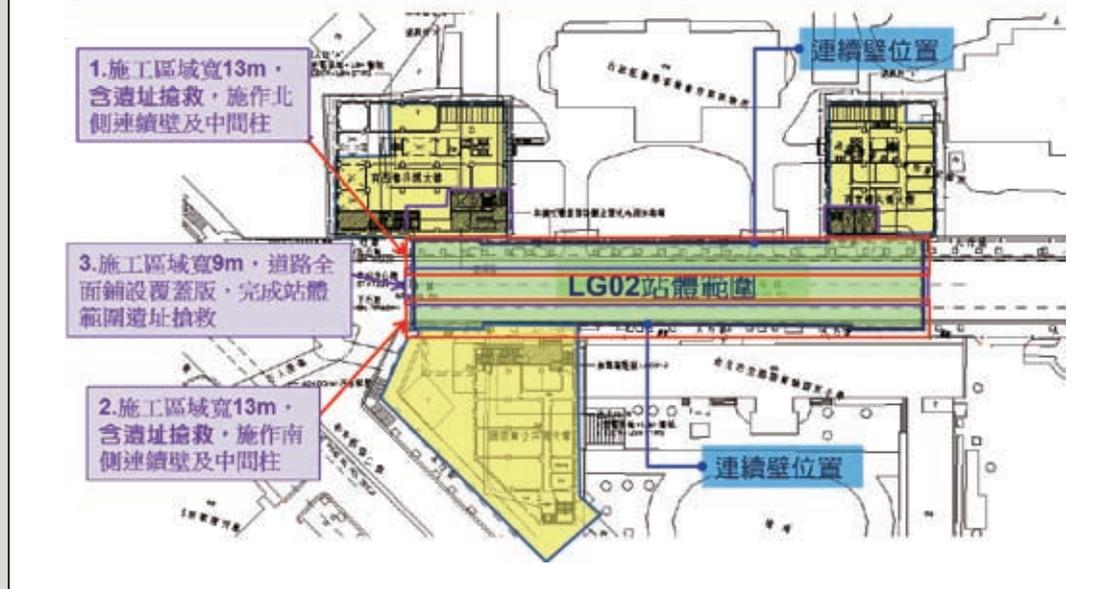


圖5 配合站體遺址搶救施工步驟

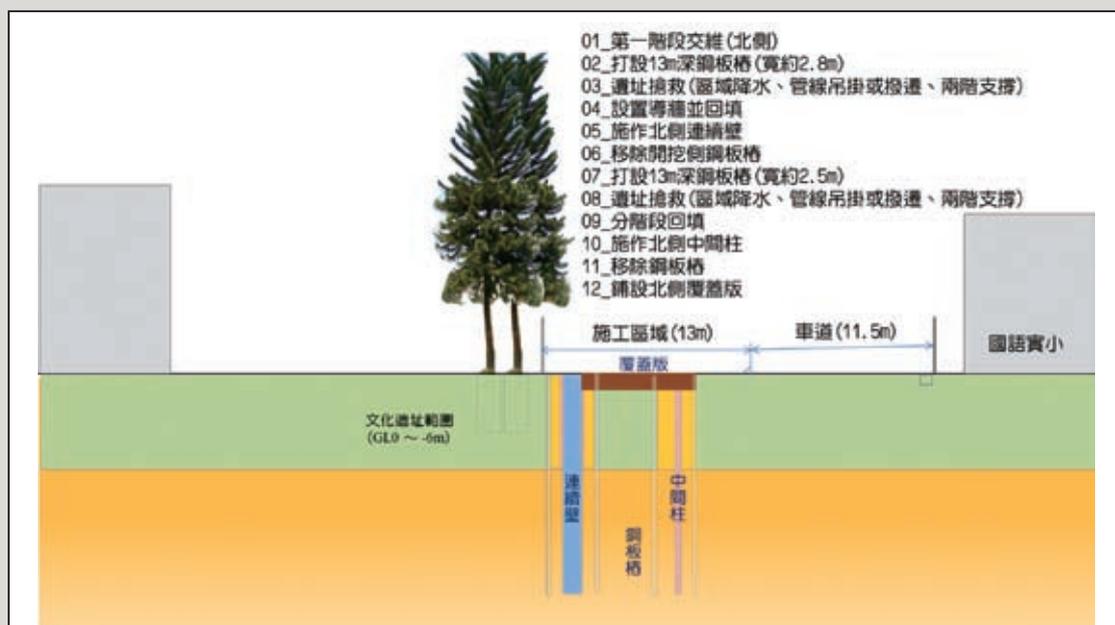


圖6 第一階段北側連續壁及中間柱搶救步驟示意圖

連續壁，移除開挖側鋼板樁。再進行北側中間柱範圍遺址搶救(深度6m)，採打設13m深鋼板樁(寬約2.5m)，同樣配合區域降水、管線吊掛或撥遷、兩階內支撐，完成搶救後，分階段回填，再施作中間柱，移除鋼板樁，最後鋪上覆蓋版，詳如圖6所示及現場工區全景圖7。

第二階段交維，同第一階段方式，先就

南側連續壁及中間柱範圍進行遺址搶救(深度6m)，再回填施作南側連續壁及中間柱，最後鋪上覆蓋版，詳如圖8所示及現場工區全景圖9。

第三階段交維，施工圍籬移至道路中央，道路全面鋪設覆蓋版，在覆蓋版下方及兩側連續壁保護下，全面進行站體範圍遺址搶救，詳如圖10所示。



圖7 第一階段交維現場工區全景

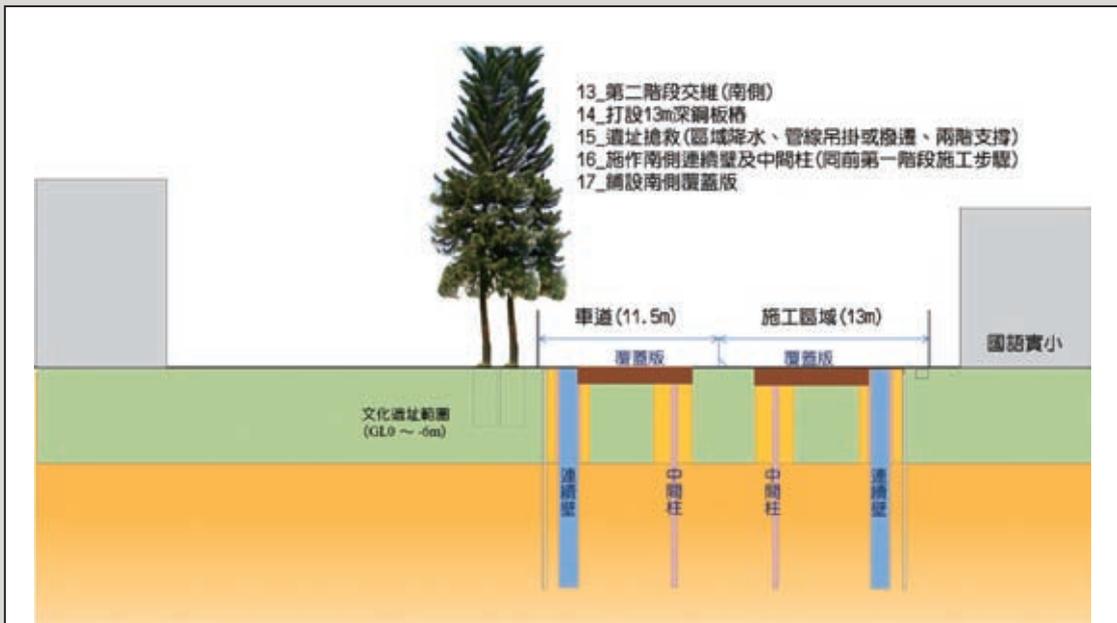


圖8 第二階段南側連續壁及中間柱搶救步驟示意圖



圖9 第二階段交維現場工區全景

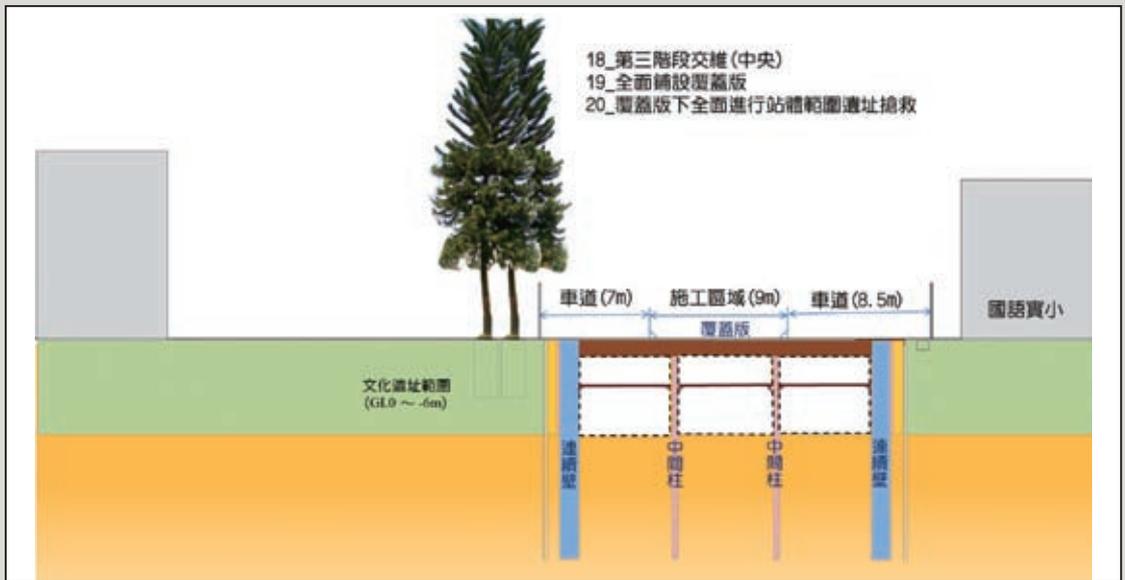


圖10 第三階段站體搶救步驟示意圖

參、土木工程與遺址搶救介面配合要點

本案位於市區道路下方，是台灣捷運工程首例在擋土支撐安全系統下進行遺址搶救，其土木工程與遺址搶救衍生之介面與配合要點，簡述如下：

一、考古團隊施工監看

於地表清除、掘除、構造物開挖、基地及路幅開挖、管線處理、人行道掘削、植栽移植、臨時排水路挖掘、鋼板樁打設試挖、地盤灌漿及相關開挖等施工作業，為了避免工程對文化遺留造成破壞，由考古團隊隨行進行施工監看，並視需要進行範圍內之搶救發掘工作。



圖11 現場遺址搶救作業環境

二、搶救人員安全確保

考古搶救人員非一般工程人員，但需長時間在地下開挖空間作業，除加強擋土支撐的安全穩定外，並提供祛水、工區照明、爬梯等安全輔助設施與個人安全裝備，且加強工地安全措施宣導，訂定緊急應變措施，以確保搶救發掘人員於現場工作之安全，現場作業環境如圖11所示。

三、餘土處理

搶救發掘工作期間，所開挖之土方需經考古團隊檢視及篩檢後，才能將剩餘土石方運離，避免文化資產之錯置。

四、搶救發掘工作進度管控

為避免搶救發掘工作延宕整體工程進度，故由土建廠商聘僱一批勞工，經過考古專業人員教育訓練後，專供考古團隊調派，協助遺址搶救發掘初階工作，克服專業搶救人員量少、調度不易之課題，也因此易掌握搶救發掘工

作，目前搶救挖掘超前預定進度，現場作業情形如圖12~14所示。



圖12 現場遺址探坑編號及紀錄



圖13 現場遺址搶救作業情況



圖14 現場出土遺物整理

五、遺址搶救階段確認

本案例因配合交維與深挖擋土支撐系統，分成若干階段搶救，為避免遺漏，每階段遺址搶救工作完成，經考古團隊主持人確認後，依相關規定均邀集臺北市政府文化局、專家學者共同會勘同意後，方進行下一步驟施工。目前現場出土部分遺物，已包括新近代文化層、植物園文化層、訊塘埔文化層，如圖15~17所示。



圖15 新近代文化層出土遺物(日本時期陶管瓷器等灰坑)



圖16 植物園文化層出土遺物



圖17 訊塘埔文化層出土遺物

肆、結語

本案於台北市區南海路下方，進行全面、全深度遺址搶救，除搭配分三階段交通維持外，必須一併納入鋼板樁擋土支撐、連續壁與中間柱施工步驟，其處置方式在台灣捷運工程尚屬首例。

在現場實際執行遺址搶救作業中，土建工程與遺址搶救考古團隊介面相互配合，包括確保搶救發掘人員現場工作安全，出土遺物不錯置、不遺漏，訓練專屬勞工協助初階搶救作業，克服專業搶救人員量少、調度不易之問題，使搶救發掘工作超前預定進度，經驗值得參採。

目前現場出土遺物，已包括新近代文化層、植物園文化層、訊塘埔文化層等豐富文物，也可配合將遺址文物納入車站建築裝修之設計主題，包括採用遺址搶救發掘出之文化層，配合造型設計營造入口意象及疊層之空

間；部分出土文物則搭配建築裝修規劃展示呈現，提供文化教育的機能。

參考文獻

1. 臺北市政府捷運工程局，2011.01，「萬大-中和-樹林線LG02站植物園遺址考古試掘成果報告」。
2. 劉益昌、莊詩盈，2011.11，「歷史的植物園腳步-從考古學研究談起」。
3. 臺北市政府捷運工程局，2013.12，「LG02站植物園遺址初步搶救執行計畫」。
4. 臺北市政府捷運工程局，2015.10，「CQ842標土建工程LG02站植物園遺址搶救發掘計畫書」。

輕軌軌道之設計 與施工—以高雄 輕軌為例

關鍵詞：輕軌、嵌埋式軌道、安全因子

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／技術經理／王慶麟 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／主任工程師／張思 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／鍾熙煜 ❸

摘要

ABSTRACT

高雄環狀輕軌為國內首座施作之輕軌系統，因輕軌施作時程較短及全壽年經費較低，預期將為國內軌道機構選用及研發之標的。

台灣原先從未有輕軌施作經驗，未來國內輕軌系統工程案漸多，如淡海輕軌、安坑輕軌等，但輕軌經驗及相關資料多有不足，故此文依本公司執行高雄嵌埋式軌道之設計及施工的實際工程經驗為基礎，進行研析說明，期使未來本公司輕軌軌道相關案例執行，可更有效且安全的進行。



壹、前言

台灣陸運交通主流在政府多方評估下，已偏重軌道運輸系統之發展，高雄輕軌為國內首座施作之輕軌系統，因輕軌施作工期較短及興建經費較低，預期將為國內軌道系統未來選用主要標的之一。

輕軌軌道系統特性將因使用地之區域特性、系統需求特性不同而有不同的規劃、設計、施工、營運、養護與整合型態，早期台灣並未有輕軌施作經驗，近年來國內輕軌系統工程案漸多，如高雄環狀輕軌二階、淡海輕軌及安坑輕軌等案，但輕軌軌道人才及研究多有不足，故本文針對國內首座輕軌系統規劃設計及施工實際執行經驗做一廣泛分析探討，其中包含軌道型式、區域及系統特性與問題探討等方面，進而歸納出輕軌規設及施工重點及主要注意事項，可為本公司執行輕軌相關案件之依據及參考。

本文如前述以台灣最早興建之輕軌案-「高雄環狀輕軌」為探討案例，目前高雄輕軌第一階段興建路線已完成近80%，其路線使用原台鐵東西臨港線從台鐵前鎮調車場(C0站)沿台鐵臨港線路廊，往南及往西佈設輕軌，一直到駁二特區及鐵道園道(C14站)，詳圖1。其中沿線經過河岸地形，在河岸地形上興建輕軌有其一定的困難度，因其地質較為軟弱且地下水位較高的問題導致路基較不穩定，當列車運行軌道上，一旦發現地基不穩導致沉陷的問題，軌道修復的困難度，相較於其他型式的軌道，以輕軌行駛的嵌埋式軌道最為困難，因為它無法像一般道碴及無道碴軌道以鋼軌加墊片、道碴補填或用灌混凝土調整...等方式支撐起來。所以在興建輕軌前要考慮因素非常多，同時高雄環狀輕軌系統採用非傳統的新式無架空線供電系統，前述為高雄輕軌軌道面臨的問題及專案特性說明。



圖1 高雄環狀輕軌路線



圖2 平面道路車輛進入輕軌車道

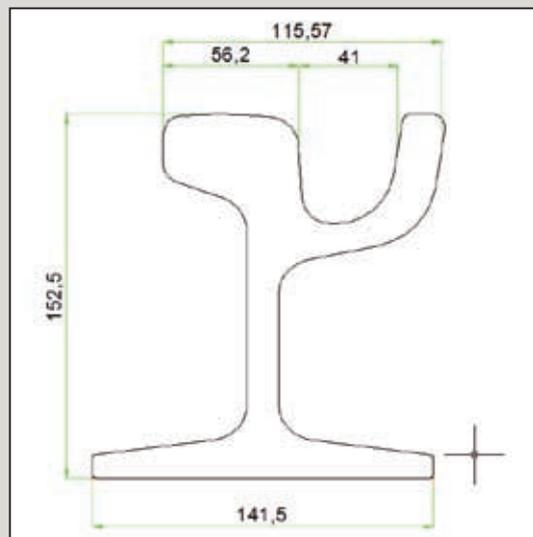


圖3 槽狀軌54R2/41GPU



圖4 槽狀軌排水設施

貳、軌道型式之選用

配合本案所採無架空線車輛系統，經評估後釐訂一般平面道路路段及平面道路交會路段採用嵌埋式軌道，行經台鐵臨港線路段，則採用綠化植被之嵌埋式植草軌道，其中海音中心過愛河橋高架路段，考量環境衝擊影響則採用減振抑噪軌道型式，以降低環境噪音污染。輕軌軌道主要組件主要分為五大類羅列如下，本文亦將以此推演分析：

一、鋼軌

因為輕軌是屬於B、C混型路權，本案主線之鋼軌型式選用時，需考慮到「平面道路膠輪

車輛必要時可進入輕軌軌道車道行駛」如圖2，故採用槽狀鋼軌，以使輕軌列車車輪行經嵌埋式軌道時，有適宜之輪緣槽供鋼輪運行通過，且亦可承受平面車輛行駛過輕軌時，較為平順且受力較均勻。本案採用之槽狀鋼軌，亦為傳統輕軌運輸所使用的鋼軌型式如圖3，槽狀鋼軌則須特別考量輪緣槽內排水設施如圖4。

二、鋼軌扣件

鋼軌扣件需具有足夠強度、穩定性、簡易安裝性、低養護性和耐久性，同時須具備彈性及吸音減振的功能。原規設考量採傳統鋼軌扣件或鋼軌彈性隔離材扣件系統，第一階段統包廠商經考量施工作業及整體評估後，採用鋼軌彈性隔離材扣件系統(嵌埋式軌道及植草式軌道如圖5、圖14)，此型軌道亦兼具電氣隔離功能。

三、軌道道床/軌道承托系統

軌道道床或稱軌道承托系統，包含軌道版及其下方之路基處理層/路床(地面段)或高架橋面版(高架段)，需具有足夠強度承載軌道荷重、雜散電流之阻絕及導引、噪音振動之隔離或降低、穩固連接土建結構等功能。本案廠商配合鋼軌彈性隔離材扣件系統採混凝土版槽，架設於土建路床混凝土上。

四、特殊軌(道岔)

特殊軌區為軌道運輸系統在營運中調度需求之軌道組件，其功能為可依營運需求進行列車調度，且可滿足運轉需求車速、安全切換列車轉換軌道等功能。特殊軌區本案採槽狀軌道岔型式。

五、軌道附屬件

軌道附屬件主要為保障營運安全、養護維修之便利性、養護維修需求等功能。原規劃軌道附屬件相關組件有止衝檔、防撞桿、阻輪器、鋼軌接頭、槽狀鋼軌及配合植草式軌道之排水設施(如圖4)。軌道之末端設置之安全設施，經統包商評估後，採傳統歐式阻輪器(如圖6及圖7與圖8)。

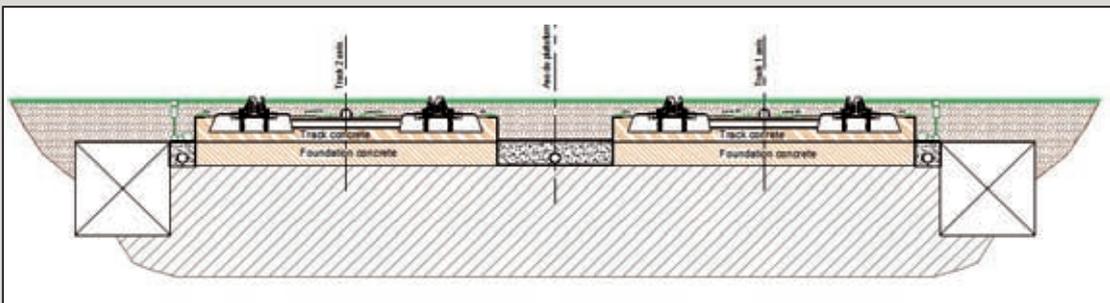


圖5 植草式軌道示意圖



圖6 阻輪器(西班牙zaragoza)



圖7 阻輪器(本案採用者)



圖8 阻輪器(本案採用者)

參、區域及系統需求特性

輕軌運輸系統因系統彈性較高，各個輕軌運輸建設可因其系統需求及區域特性不同，而有不同之特殊考量，此亦為每個輕軌運輸建設之設計重點。特別是現代軌道運輸系統，在近十年內輕軌系統發展快速，朝向親民、都市地標化、融合都市化目標發展，現就本案區域及系統需求特性分析說明如下：

- 一、高雄環狀輕軌捷運配合親民、融合都市化目的，降低都市景觀衝擊，軌道部分主要系統特性為須配合車輛採無架空線系統進行設計及配置。目前國際無架空線系統分為地面供電系統與充電式超級電容及蓄電池系統兩大型式，軌道則須配合採用之列車供電系統，設置必要性電氣隔離措施、負電回流及雜散電流防制設施，以避免電磁干擾及電氣腐蝕狀況產生。
- 二、除上述系統特性需求外，另有個案需求為：平面最小半徑為25公尺、鋼輪/鋼軌型式之軌道系統、軌距採用標準軌距1435mm、連續長銲接鋼軌、部分路段有長陡坡、全線為平面路段及高架路段。
- 三、本案位於高雄地區，須針對區域氣象、沿線之水文及環境、減振抑噪需求、交通特

性及路線上既有結構(箱涵、管涵、橋梁…等)之限制條件等進行軌道整體分析設計。譬如：高雄之特殊區域特性及條件為輕軌經過愛河，沿線河岸土壤軟弱且地下水位高；另因高雄夏季天候暴雨多易積水，可能導致水土流失快，地基不穩之狀況。另金屬構件則因緊鄰海邊，須做必要性之防蝕處理。

- 四、本案第一階段行經路線為原傳統鐵路台鐵臨港線路段，主要為路堤段道碴軌道且為B型路權(主線專有路權/平面道路交岔路口共用路權)。
- 五、沿線附近有一相鄰大廈離距輕軌路線6公尺以內(詳如圖9)，第二階段路線亦有經過醫院旁道路之狀況，為考量不擾民且無環境噪音振動之污染，則佈設有吸音減振措施，進而減少沿線居民不必要的困擾，且讓輕軌輕聲順暢通行。
- 六、輕軌運輸行經平面道路穿越交叉路口，本案採嵌埋式軌道對平面道路車輛行經軌道無任何阻礙，至於輕軌列車是否優先通行及道路使用路權規劃，則須配合相關法令及平面道路交通行控中心之整合。

肆、嵌埋式軌道之設計與施工

一般嵌埋式軌道的整體結構自上而下通常是由軌道版(含軌道及彈性包覆材)、路基處理層(prepared subgrade)及路基(subgrade)所組成，如圖10所示，但圖中之工字鋼軌在本計畫中則採如圖3中之槽狀軌。

為維持行車安全及旅客乘車的舒適，軌道結構須有足夠的強度及勁度，來維持軌道的穩定及嚴格控制軌道的變形。因此軌道設計必須

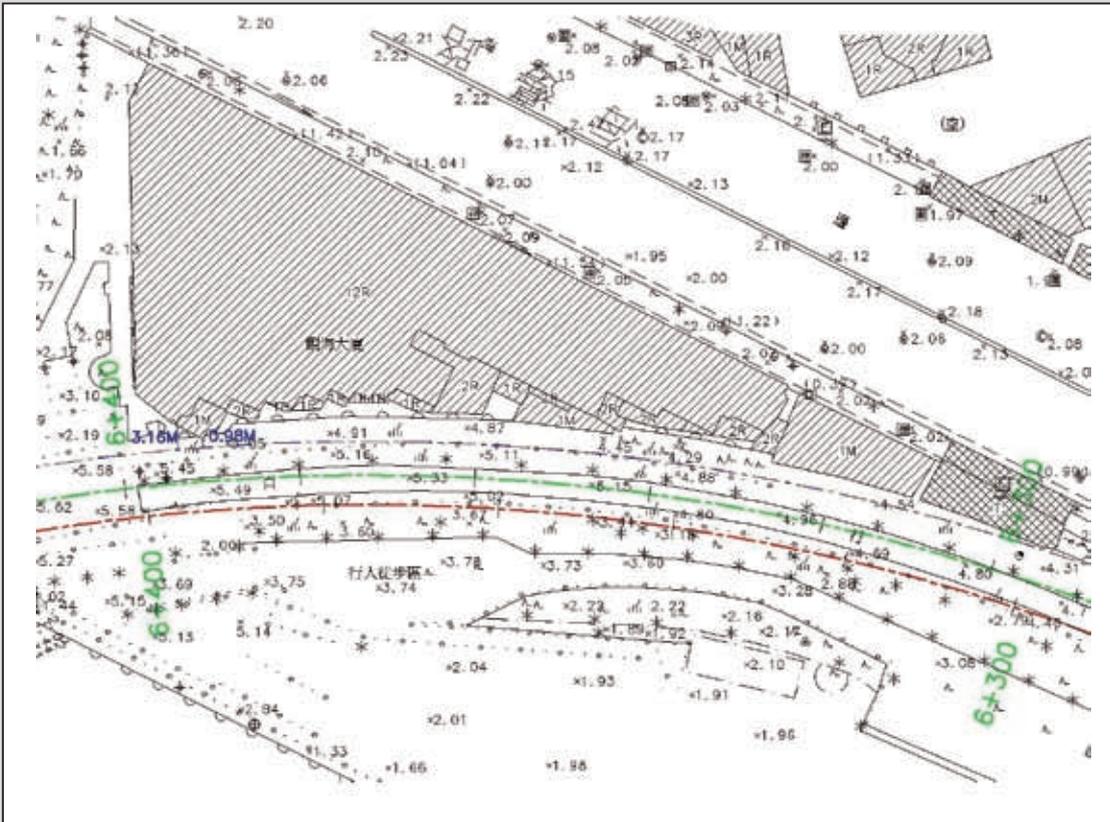


圖9 海音中心附近鄰近建物

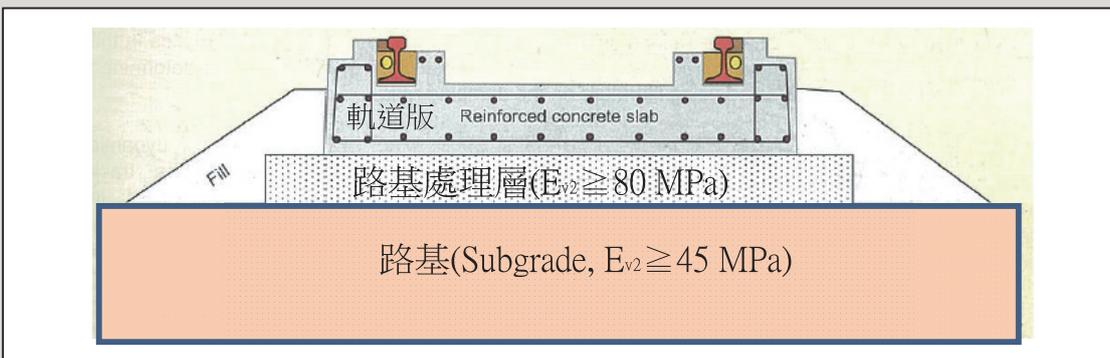


圖10 軌道結構示意及路基設計標準(德國)

將軌道版及其下方的路基土壤做整體的考慮，進行最佳化分析，才能達到經濟有效的設計 (cost effective design)。如圖11原設計(左)需要土壤改良，替代方案(右)則以增加軌道版厚度來達到相同的效果，二者進行成本分析比較，以決定最佳方案。

基本上軌道整體結構的設計可以分成軌道

路基及軌道結構兩部份分別進行，但必須考慮彼此之間的互制行為。以本計畫路線最長的植草段之地面軌道為例，分別說明如下：

一、路基處理(prepared subgrade)設計

(一) 工址之地質與地下水位

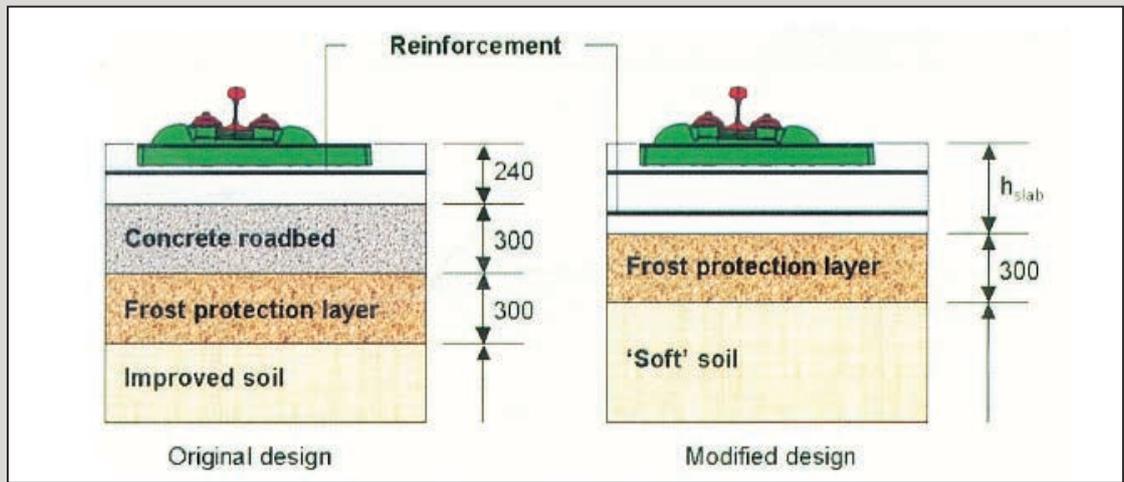


圖11 軟弱土壤之軌道路基原設計與替代方案

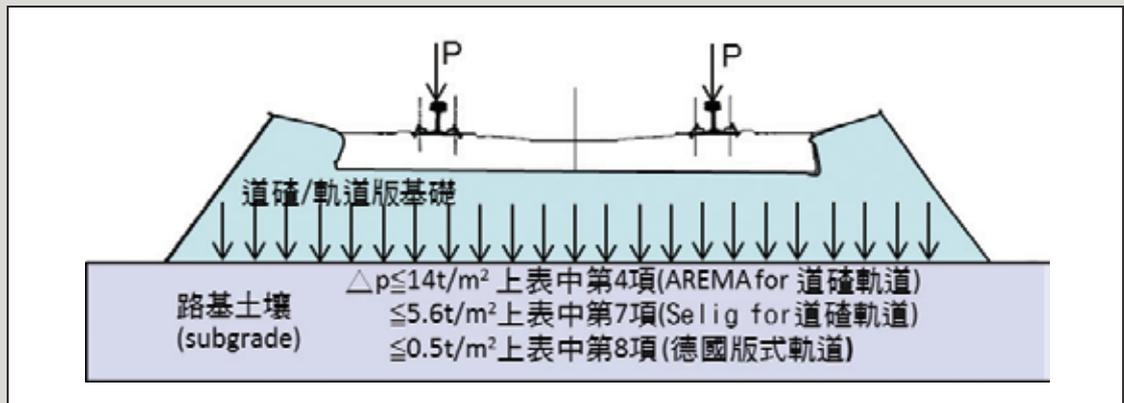


圖12 軌道載重傳至路基的容許應力增量(Δp)之規定(Bernhard Lichtberger, 2011)

高雄都會區地表下淺層2~12公尺不等深度內多屬於粉土質黏土層，標準貫入試驗N值大多小於10。就行政區域而言，以鹽埕區、左營區、三民區、苓雅區、新興區、前金區、梓官區、林園區等地區之地層相對較弱。其中，鹽埕區原為魚塢，後因港口繁榮而填土為商業區，地表下10公尺內多含貝殼或腐木，標準貫入試驗N值約在2~7下。輕軌沿線地下水位高，正常約在GL-2m~-3m，濱海路段甚至在GL-1m。針對軟弱或疏鬆地盤(N小於4)之路段，軌道基礎設計應特別注意施工後沉陷量的問題。版式軌道(Slab track，有軌道版者稱之)對於施工後沉陷量的要求遠比道碴軌道來得嚴格，因其維修困難費用較高，且可能

影響營運。因此必須於設計時周詳考慮軟弱路基的處理方案。

(二) 軌道路基之設計要求

軌道路基設計與一般結構基礎相異之處，主要在於：1.前者承受列車行駛的反覆載重，路基土壤的應力增加量，應控制在較低的應力位階(stress level)，以避免引起塑性變形(plastic shakedown)，如圖12說明各規範規定版式軌道與道碴軌道容許的應力增量 Δp ；其中若採德國的版式軌道規範，對高雄輕軌而言，恐失之過嚴；2.軌道路基容許的沉陷量遠小於結構基礎，且須考慮列車行駛的瞬時沉陷及永久沉陷，以維護行

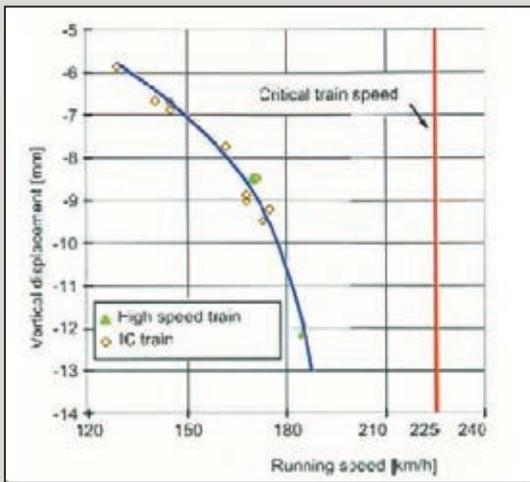


圖13 列車行駛中實測軟弱土壤之垂直變位(Bernhard Lichtberger, 2011)

車安全。為達到此要求，德國鐵路規定軌道版下方路基土壤的應變模數 E_{v2} 值(由平板載重求得)應大於45MPa(圖10所示)，但對於高雄輕軌速度較慢，重量較輕，若仍以此規範來設計，則對本工程之費用將會暴增，因此以下將詳細探討適用的規範。

1. 軌道頂之立即沉陷量

美國鐵路工程協會(AREMA)規定道碴軌道之軌道頂最大沉陷量不得大於1/4”(或6mm)。經調查列車速度小於80km/hr，在軟弱土壤中量測得之垂直變位約4mm(如圖13)，因此扣除土壤變位，單純由軌道受載引起的變形應小於2mm。對於高雄輕軌之版式軌道而言，此規範算是合理。

2. 軌道之容許長期沉陷量

日本國鐵規範規定版式軌道最終沉陷量不得大於30mm，軌道版間差異沉陷小於2 mm。對於高雄輕軌而言，此規範並不苛刻，因本計畫並無填土，長期沉陷量很小。反而要注意的是，列車長期行駛之反覆載重引起路基土壤之塑性變形。至於

軌道版間差異沉陷，因輕軌軌道版均為連續，列車重量輕速度慢，行經路線內之土壤也沒有突變之處，因此差異沉陷亦容易符合。

3. 軌道路基之容許承載力

根據經驗公式(Heukelom and Klomp)，版式軌道路基之容許承載力是反覆載重次數及土壤 E_{v2} 的函數，可由下式推算：

$$\bar{\sigma}_z = \frac{0.006E_{v2}}{1 + 0.7 \log n} \quad (\text{Eq.1})$$

式中： E_{v2} 是土壤應變模數，以高雄輕軌工址土壤之平板載重試驗結果，歸納其值約為：

$$E_{v2} = 6 \times N \quad [\text{MPa}] \quad (\text{Eq.2})$$

n 為使用年限內之反覆載重次數，本計畫約為2百萬次。將此數及軟弱土壤之 $E_{v2} = 20\text{Mpa}$ 代入(Eq.1)，則容許承載力約為 2.2t/m^2 。本計畫曾以三維有限元素法計算，當路基土壤之 $E_{v2} = 20\text{Mpa}$ ，承受列車載重後，土壤變位增大無法符合軌道變位標準，而須對列車應力顯著影響範圍內之路基土壤進行改良。

(三) 高雄環狀輕軌軌道路基處理

依統包商設計成果，本計畫C1~C8車站間之軌道道床依設計成果不同可概分為三大類，整理如表1。路基處理層與軌道版共同組成承載軌道荷重之道床，因此在類似地質條件下，就同一軌道系統而言，為符合相同之軌道變位限制條件，路基處理層之強度、勁度與軌道版理應呈反向關係。由表1可概略看出此一趨勢，大致上而

言，路基強度順序為「型式2」>「型式3」>「型式1」，而軌道版強度順序則為「型式2」=「型式3」<「型式1」。

二、軌道結構設計

(一) 軌道幾何形狀

本計畫之軌道使用槽型長銲鋼軌，置於軌道版上方的凹槽內，軌道除頂部外，周圍以彈性包覆材束制，使軌道有足夠的側向支撐，以確保軌距固定。兩軌道凹槽之間，填充有機土用以植草。軌道版厚度27cm，下方另打設有7cm的無筋混凝土，長度方向儘可能連續除非必要不予中斷。茲以表1中型式1的植草段軌道版(如圖14)為例，說明結構分析如下。

(二) 作用力

列車行駛中將有以下五種活載重，作用於車體再傳至軌道，分別敘述如下：

1. 列車自重

列車共有三個轉向架，分別位於兩側及中間，列車重量(考慮行駛速度)透過轉向架傳至6個輪軸(圖15)。

2. 行駛於曲線軌道之離心力

列車行駛於曲線軌道產生水平的離心力，作用於列車重心，滿載時重心位於軌道頂1.7m，空車時重心位於軌道頂1.95m。此離心力產生的翻倒力矩，使得軌道垂直力會有增/減，水平的離心力則作用於外軌。

表1 高雄環狀輕軌軌道路基設計成果摘要

型式	里程	路基處理層*	軌道版*	
			厚度(cm)	主筋
1	C1~1+750	夯實級配厚0.5m	27	#4@100、#7@100
2	1+750~3+500	礫石樁長4m 預壓填土高1.5m 夯實級配厚0.5m	22	#4@150
3	3+500~C8	水泥拌合土厚0.3~0.6m 部分路段預壓填土高1.0m 夯實級配厚0.5m	22	#4@150

*：部分路段因應局部地質變異及現場施工條件不同而有修改，不在此列。

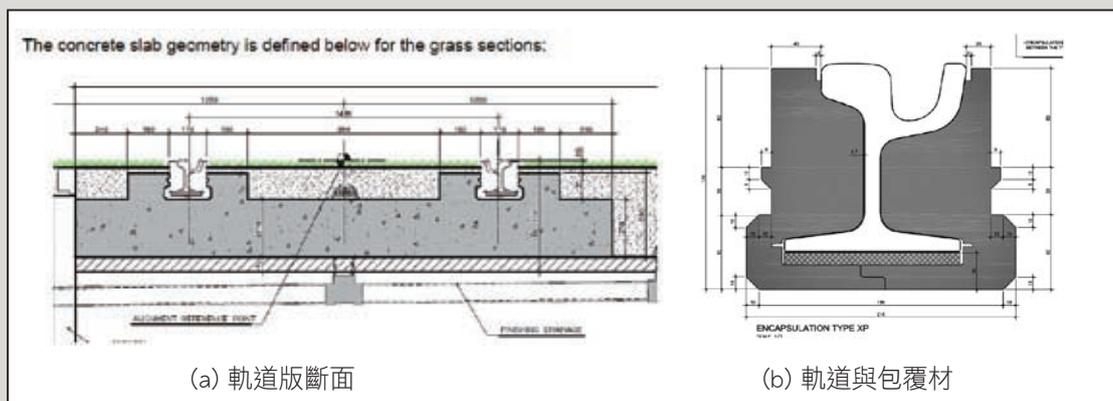


圖14 高雄輕軌植草段之標準軌道版及軌道剖面

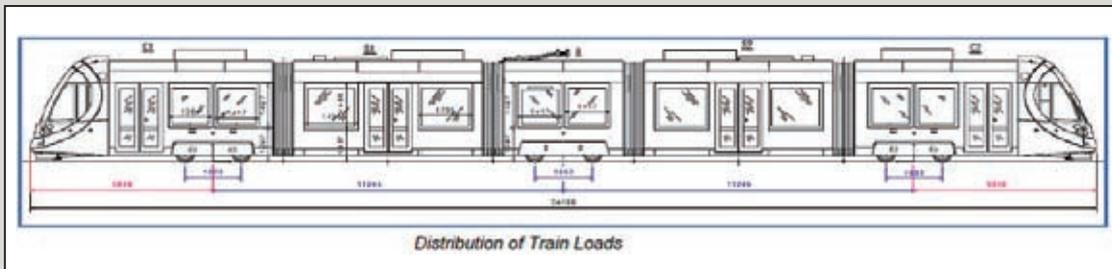


圖15 高雄輕軌列車載重分佈

3. 風力

依據高雄區域的常時風力速度，計算列車行駛的水平風力，作用於車體最後傳至軌道。

4. 列車行駛中的搖晃力(Reeling Load)

依據澳洲鐵路及輕軌規範，搖晃力50kN直接作用在軌道上。

5. 地震力

假設列車滿載承受地震加速度為0.35g，水平地震力為0.35g*W，作用於列車重心(軌道頂上方1.7m)，傳至軌道。

上述計算之活載重及呆重將作用於列車每一個軸上，綜整如表2。

(三) 分析模式

可採三維FEM模型(如圖16)，或簡化為二維模型(如圖17)，將上述載重分別作用於

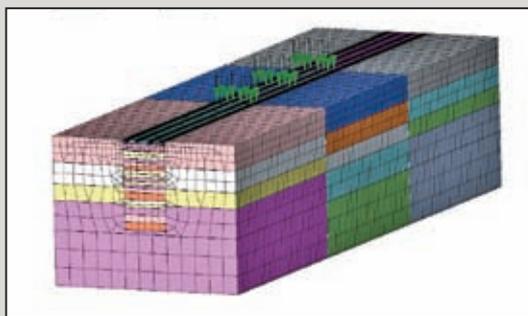


圖16 三維FEM模型

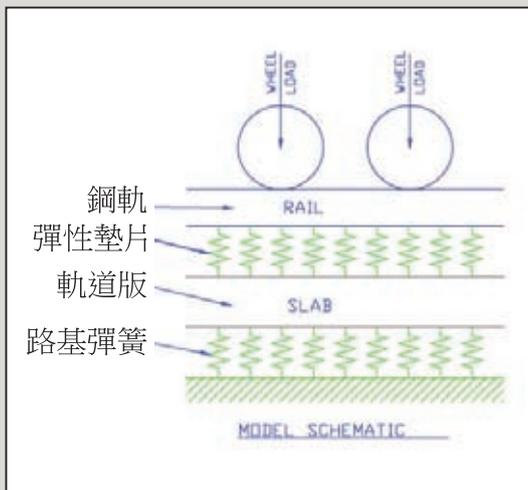


圖17 簡化二維模型

表2

載重類別	水平反力(kN)	外軌/內軌之垂直反力(kN)
離心力	8.1	9.52/-9.52
風力	20.06	25.08/-25.08
列車搖晃力	26	0/0
地震力	41.52	49.82/-49.82
列車自重	0	44.34/44.34
旅客載重	0	14.98/14.98
呆重(軌道版重)	0	+8.8

軌道正確位置，所得分析結果在進行載重組合。注意若採二維模式，其路基彈簧必須將軌道版應力影響範圍內的土壤涵蓋進來，否則影響精度甚大。

(四) 檢核要項

分析結果應檢核軌道之變形、應力與穩定性，以及路基承载力與沉陷量，以確

保行車安全及舒適度。同時應檢核軌道版振動頻率，以避開車輛系統頻率，但因前者頻率高，後者頻率低，通常都會通過。檢核項目至少應包括：1.軌道版之垂直、縱向及橫向變位；2.軌頂垂直及側向變位；3.鋼軌應力(須考慮反覆載重200萬次之疲勞效應)；4.鋼軌向上挫屈(圖18假設包覆材與軌道間無附着力)及側向挫屈(圖19)；5.彈性包覆材應力(須考慮反覆載重200萬次之疲勞效應)。

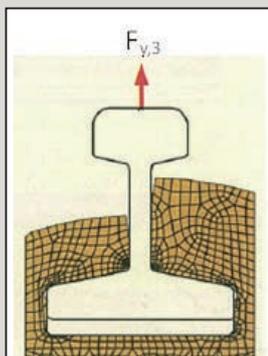


圖18 軌道向上挫屈檢核

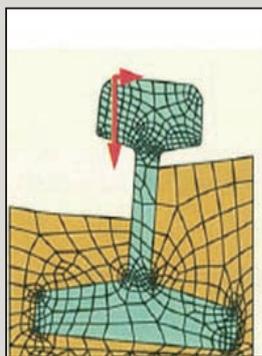


圖19 軌道側向檢核

伍、橋軌互制與浮式道床設計

一、高架橋之線形與關心課題

高雄輕軌工程最長的高架段位在愛河橋及其兩側，總長約達682m分成8個單元，各單元均為一連續梁結構(如表3)。設計上為了考量愛河景觀及減少落墩，以40m+32.2m+40m三跨連續的鋼拱橋(如圖20)造型來襯托愛河之美。同時，沿線兩側有周圍密集的高級住宅，必須採用浮式道床以達到減振抑噪的效果。

表3顯示本高架除了Unit 2 及 Unit 3為直線段外，其餘均為小半徑曲線的路段。由於軌道伸縮縫只能設於直線段，不能設置於半徑小於1500m之曲線段，因此全線682m僅能於Unit 2 及Unit 3設置一處軌道伸縮縫(REJ)。同時在全線設置浮式道床時，當橋梁溫度上升25°C以及軌面承受列車加速力與剎車力，不但使得軌道應力增加，而且軌道彈性包覆材及浮式道床下方彈性襯墊也會受到橋軌互制的影響，導致剪

表3 高架段各單元的特性

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8
跨數及跨度(m)	30+30+30	40+32.2+40	19.6+20+20	30+30	3@32.5	30+27.5+27.5	27.5+30+30	3@30
各單元長(m)	90	112.2	59.6	60	97.5	85	87.5	90
曲率半徑R(m)	240	直線段	直線段	82	210	210	210	210
合計(m)	681.8							

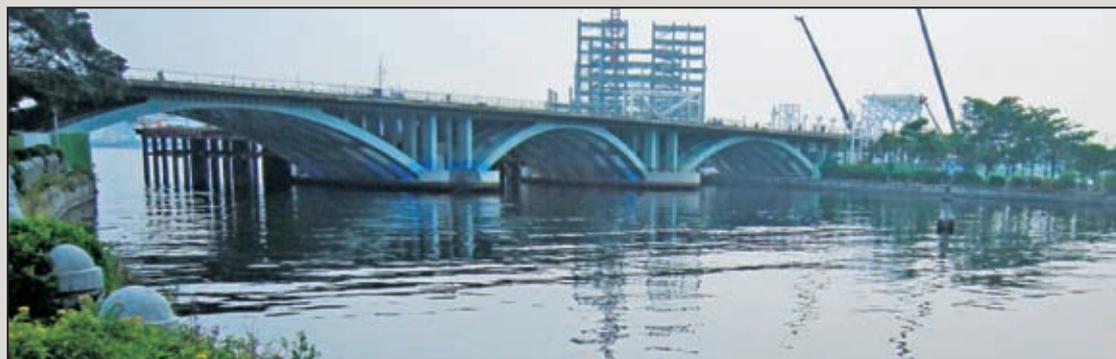


圖20 輕軌橫跨愛河的鋼拱橋(施工中)

力變形增加甚至破壞，這是本區段設計上最重要的課題。

(一) 浮式道床的設計與施工

浮式道床的剖面設計圖如圖21所示，為厚度21cm的RC版，兩側裝設制震角鐵以束制側向變位。本區段於橋面板完成後，即於上方鋪設L形彈性支撐墊塊(Rubber pad)，其尺寸為寬34cm,高10cm,長80cm,厚度5cm,間距1.3m。再於上方鋪設預鑄版(厚度7cm,長度1.3m,寬度=軌道版)，做為後續澆置軌道版混凝土的模版之用，其施工過程如圖22及圖23所示。軌道版在各單元之間中斷，餘均為連續結構。

(二) 主要設計參數

1. 軌道彈性包覆材的縱向彈簧係數

為了模擬橋軌互制中軌道受到彈性包覆材的縱向束制的影響，須於模型中沿著軌道輸入縱向彈簧係數k。本公司特委請國家地震中心進行試驗，以取得此非線性彈簧係數(圖24)。圖中顯示當變位大於7mm，即視為破壞。

2. 彈性支撐墊塊(Rubber pad)

為隔絕橋面板與軌道版，於其間鋪設彈性支撐墊塊，其功用有二：(1)必須使浮式道床自身頻率避開橋梁及車輛的自然振動頻率。(2)必須有足夠的勁度與強度，傳遞來自橋梁的溫度伸縮變形、軌面的加速力與剎車力至軌道版與軌道，而不致破壞，且在加速及剎車作用下軌道與橋梁的相對位移仍能符合規範需求(4mm)，因此彈性墊塊的材料必須慎選。統包商選的材料經試驗得到以下特性：垂直向靜態彈簧常數約

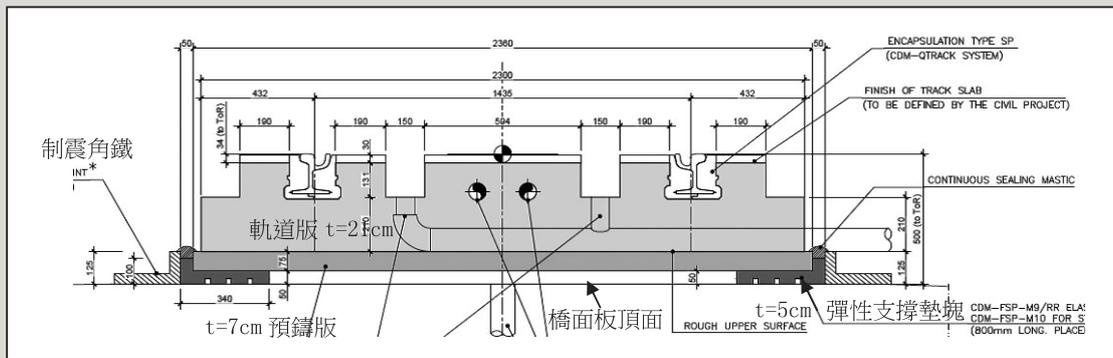


圖21 浮式道床的剖面



圖22 於橋面板上鋪設預鑄版



圖23 施工中的高架車站、預鑄版及橋面板

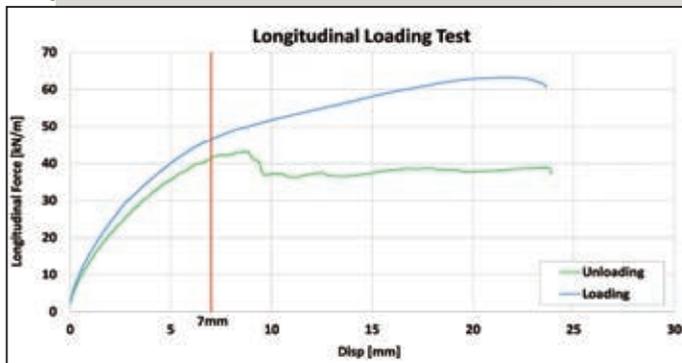


圖24 軌道之縱向束制力與位移關係
(以破壞試驗結果求彈簧常數k)

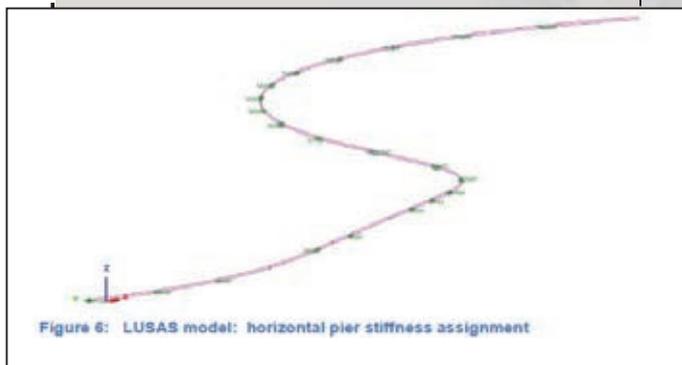


圖25 高架橋全線的橋軌互制模型
(圖中墩柱水平勁度以彈簧表示)

為 25MN/m^3 ，動態彈簧常數約為 50MN/m^3 ，縱向勁度(或剪力勁度)為 5.83MN/m/m ，其容許剪力變形為 4.22mm 。雖然是以 1.3m 間隔配置，但分析時則以連續性考量，故輸入電腦程式中的彈簧常數必須加以轉換。

3. 墩柱支撐的彈簧係數

本高架橋墩基礎均為樁基礎，可視為固定端。若墩柱頂端為移動支撐，可視為自由端，其彈簧係數以 $3EI/L^3$ 計算。其他邊界條件者則以結構力學計算求得。

(三) 分析模型

全區段約 682m 長之高架橋的橋軌互制模型，以LUSAS電腦軟體建立如圖25，並進行分析，其中墩柱不放入模型而改以彈

簧替代。橋梁結構於溫度增高 25°C 以及軌面承受列車加速力與剎車力時，分析軌道上產生之附加應力，以及彈性支撐墊塊與彈性包覆材是否破壞。

(四) 分析結果

經檢視分析結果，軌道的附加應力、彈性包覆材的剪力變形 4.7mm (小於 7mm)均可符合要求。但大部分的彈性支撐墊塊，其剪力變形均超過容許值的 4.22mm ，有可能導致破壞之虞。因此統包商將針對材料性質予以改善，所選之新材料(橡膠)的垂直向彈簧常數會較原設計低，並重新分析。依據中國大陸之研究顯示，橡膠材料在低頻率下有較好的減振效果，而且動靜剛度之比最好控制在 1.3 以下。惟截至交稿之前，筆者尚未收到新材料的彈性支撐墊塊資訊，無法在本文中繼續探討。

陸、本案特殊考量議題

一、坡度

本案車輛系統及供電系統採用主線路段無架空線供電系統，軌道路線線形則須配合車輛特性進行設計及配置；依循原臨港線線形及跨越愛河河道(確認保留河道船隻航行淨空之高架橋梁底部高度回推橋面版及軌道鋼軌面高程)釐訂軌道線形，然因無架空線輕軌列車於現有技術限制下，坡度或將成為線形設計考量的限制條件。

二、車輛及供電系統

(一) 採用地面供電系統之車輛系統：在主線坡度路段爬坡能力及爬坡續航能力，因地面供電軌可一直持續供應電

力給列車運行(傳統輕軌集電弓架空電纜列車系統亦同，可爬坡達7-9%)，並無電力供應中斷之狀況，故列車行駛進出豎線形陡坡及長陡坡續航上坡及下坡剎車，皆無特別限制。

(二) 採用車站充/蓄電與車載充電式超級電容及蓄電池系統之車輛系統：在列車滿載續航力與陡坡爬坡及剎車部分，因其列車無持續連接電力且目前電容/蓄電池設施效能等因素，無法與前述系統相同，則有相當程度上之限制。

(三) 解決方案：最後將跨越愛河橋梁之軌道坡度調降至5.1%以下及上下坡長度縮短至130公尺以下。

三、積水/多雨/土壤流失：

(一) 本案採用嵌埋式(植草)軌道，輕軌路線經過多暴雨及易積水地區，導致水土流失快，特別是植草軌道之土壤易於流失。

(二) 解決方案：詳細計算地表雨水逕流量，依計算結果安排槽狀鋼軌排水設施且儘量縮短排放至路面排水系統之距離，並確認原排水系統可承受輕軌系統排放量，如有必要，改善原排水系統之排放量，以便即時排放輕軌系統之軌道承雨量，同時亦可降低因積水衍生之土壤流失狀況。

四、系統界面

(一) 本案軌道與車輛系統主要之介面，在於車輪/槽狀鋼軌輪緣槽部分，其中行經平面路線小半徑處之車軸及車輪之偏移與槽狀軌輪緣槽寬度之搭配；軌

道與號誌系統主要之介面在與道岔/轉轍器部分，其中道岔及轉轍器銜接位置及推動力與幾何尺寸搭配；軌道與供電系統主要之介面在與電氣絕緣及負電回流部分。

(二) 解決方案：車輛系統部分要求統包商針對實際車輛系統進行輪軌搭配分析，確認列車鋼輪行經平面小半徑路線之軌道上，無鋼輪因輪緣槽寬度造成衝/撞擊及爬軌現象。號誌系統部分則要求廠商做整合設計以確認轉轍器推動力及配合道岔幾何線形及尺寸，可推動道岔尖軌無虞，以確保整合成果安全無虞。供電系統部分電氣絕緣因鋼軌採鋼軌隔離材包覆固定，隔離材本身為合成橡膠材質兼具電器絕緣功能，故無軌道雜散電流流失之顧慮。

另特別在審查廠商輪軌分析中關於車輪/槽狀鋼軌輪緣槽報告部分得知，(輪軌接觸關係詳圖26)

1. 鋼軌於軌距處圓弧半徑為13mm，而鋼輪該處輪廓弧度半徑為14.3mm，鋼輪大於鋼軌半徑符合鋼輪正常運行條件。
2. 鋼輪輪緣凸緣深度為25.5mm，槽狀鋼軌槽狀深度為45.9mm，鋼輪正常運行時，其下方有足夠空間不會跳起脫軌。
3. 槽狀鋼軌於軌距處槽寬為41mm(本案軌距採標準軌距1435mm施工公差2mm)，彈性隔離材軌道水平偏向預估為5.8mm，列車轉向架上兩車軸軸距為1800mm，鋼輪正常運行時，同軸鋼輪之兩輪背至輪背距為1380mm(製造公差為2mm)，其輪背厚為21mm，鋼輪正常



圖26 輪軌接觸關係

運行時，配合其輪/軸/轉向架變形/彈性等餘裕度，本案各狀況經檢算最小輪緣至鋼軌槽狀邊緣有約6.5mm淨距，其左右仍有足夠空間不會造成擠軌有額外振動及噪音進而有跳起脫軌。

柒、結論與建議

一、結論

本文主要在探討嵌埋式軌道的設計，分成地面植草段與愛河橋高架段。綜合上述分析可得以下結論：

- (一) 地面段軌道結構系統之設計，應從路基土壤及軌道版結構(含軌道)整體考慮，才能決定最佳的路基處理方案。
- (二) 嵌埋式軌道容許的變位量甚小，幾乎是以mm計，因此路基土壤的應變模數 E_{v2} 值必須精確評估，否則影響施工及維修成本甚鉅。經由平板載重試驗的結果推估， E_{v2} (MPa)=6N適用於本計畫沿線路段的路基土壤。
- (三) 目前有關於軟弱路基的軌道容許沉陷量規範非常多，但多用於一般鐵路、

捷運或高速鐵路，是否可以套用於嵌埋式輕軌，必須嚴謹的審視其背景及定義，而做適當的修正。本文提出了適用於本計畫的三個設計準則，規範軌頂的立即沉陷量、軌道版的長期沉陷量，以及容許土壤承載力。

- (四) 軟弱土壤之路基設計，應注意列車的反覆載重可能引起過量的塑性變形，故上部軌道載重傳至路基土壤的應力增量 $\Delta\rho$ ，應控制在較低的應力位階(low stress level)，以防產生塑性變形。
- (五) 軌道路基的設計理念，應秉持路基處理層與軌道版共同承載軌道荷重的原則。依此原則，本計畫C1~C8車站間之軌道道床依設計成果不同可概分為三大類，分別為1.回填夯實級配(厚0.5m)，軌道版厚27cm；2.礫石樁改良+預壓，軌道版厚22cm；3.水泥拌合樁+預壓，軌道版厚22cm。
- (六) 地面段軌道版結構若採二維彈簧模式，則路基彈簧常數K，應另以2D FEM分析軌道版影響範圍內的變形求得，再與二維彈簧模式分析進行迭代。
- (七) 本標愛河橋高架段的軌道線形曲折，以致全線只能於直線段設計一處軌道伸縮縫，曲線段則因無伸縮接頭可用，而無法設置。
- (八) 本標愛河橋高架段的軌道版被要求設計為浮式道床，橋面板與軌道版之間以鋪設彈性支承墊塊(Rubber pad)隔開，並裝設制震角鐵束制側移。橋軌互制分析結果顯示，須採垂直徑度較小的彈性支承墊塊，始可符合設計需求。

二、建議

- (一) 建造一個輕軌系統是會因興建的所在地點及區域不同而有不同的建設成果，每一次輕軌系統的建設都是要考慮個案之區域特性及系統需求，以確認其分析及設計是全面性且符合該案本土化需求。
- (二) 設計時要從不同面向去思考，並補足規劃不足之處且以施工及營運維修為設計考量重點。
- (三) 國際廠商進入國內進行輕軌系統設計及施工作業時亦須充分瞭解區域特性，才可適切做出適當之輕軌系統。
- (四) 輕軌軌道型式有傳統輕軌軌道及本案所採用彈性鋼軌隔離材型式軌道，前者涵蓋混凝土軌枕/道板/基座等道床配合傳統鋼軌扣件之傳統軌道型式，再配合填充包覆材至道路路面齊平，其優點為固定扣壓力點，相較後者單一扣件受力較後者大，但因有以往設計/施工/維修經驗傳承，有線形微調之功能；後者為較新軌道型式，其優點為軌道受力時均勻分散至包覆鋼軌三面之彈性鋼軌隔離材上，單位面積受力較小，附帶有部份吸音減振功能，但無線形微調之功能，故輕軌採用之軌道型式應視個案分析後再決定何種較為適宜。
- (五) 輕軌如採統包案，則業方及統包商須有較強之系統介面整合人才，可縮短執行時程及有效且即時解決問題。

高雄輕軌系統為台灣第一個輕軌系統，從本案例推演及相關問題研析過程中，釐清不少觀念上的盲點，並且充分解析出地面共用路權之輕軌的特性，其中包含輕軌運輸軌道系統從選線到施作的經過、嵌埋式軌道特殊需求，同時也瞭解槽狀鋼軌的應用，輕軌系統軌道工程依其型式及個案特性不同，將造成差異性之設計成果，故先行瞭解個案特性為必要之前置程序，希冀本文可做為本公司進行輕軌系統軌道設計之參考，進而降低因不當之軌道工程設計造成潛在或未來實質危機。

參考文獻

1. Coenraad Esveld. Modern Railway Track. MRT-Productions, 2nd Edition, 2001.
2. CAF. Love River Bridge Floating Slab Track And Rail Expansion Joint Design Report, 2016.
3. Bernhard Lichtberger. Track Compendium. DW Media Group GmbH EurailPress, 2011.
4. 陳俊融，許朝榮，王孟熙，蔡淵堯(2016)，「高雄環狀輕軌版式軌道路基之設計管理」，2016營建工程與管理學術研討會，台南。
5. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，嵌埋式軌道最佳化設計技術研發第二期期末報告，民國104年。
6. 何華武，無碴軌道技術，中國鐵道出版社，2009。

輕軌號誌系統 及道路交通號誌 整合探討

關鍵詞：輕軌運輸、輕軌號誌、號誌整合

高雄市政府捷運工程局／系統工程科／科長／簡聖民 ①

高雄市政府捷運工程局／系統工程科／股長／江照雄 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／正工程師／李妍彧 ③

棟鼎工程顧問有限公司／工程師／張哲端 ④



摘要 ABSTRACT

基於興建成本和工期的考量，輕軌採用平面方式興建的情形相當普遍，軌道鋪設於道路上，在一般路段設置隔離設施，而與平面道路相交處則設置交叉路口，形成輕軌列車與其他地面車輛、行人共用路口的情形(B型路權)。以往路口行車動線交織產生衝突僅一般機動車輛和行人，當輕軌列車加入平面道路，在路口產生了新型態的衝突，輕軌列車與一般車輛、行人動線交織，為了確保達成用路安全及交通順暢，並同時發展和鼓勵大眾運輸的目的，在分派交叉路口的行進路權和整合輕軌號誌和交通號誌時，必須滿足用路人和輕軌運輸系統的需求，也須將輕軌優先通行系統納入考慮。本文以高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)沿線路口為例，探討輕軌號誌系統用以解決路口衝突車流的設計方案，分析輕軌路口之車流衝突態樣，探討輕軌號誌系統與道路交通號誌整合設計方案，輕軌優先號誌策略，並說明輕軌沿線交叉路口號誌時相設計。



壹、前言

交通運輸是民眾日常生活中不可或缺的一部份，高雄市政府持續朝提供優質的大眾運輸系統及強化運具間無縫轉乘發展，提供便捷的大眾運輸吸引民眾搭乘，以轉移私人運具，改善運具使用失衡情形，進而減少溫室氣體排放，落實節能減碳政策，使高雄市成為大眾運輸導向的永續發展城市。

軌道運輸為大眾運輸系統相當重要的一環，具備安全、快速、可靠、便捷、低污染、省能源及運量大的特性，營運中的高雄捷運紅、橘線路網全長約42.7公里，設38座車站，兩條路線約略呈十字相交，服務南北向和東西向軸線，其涵蓋的服務範圍尚有不足，有賴接駁公車及自行車來做轉乘，為擴展軌道運輸服務範圍，持續建構捷運路網，提供民眾更便捷的大眾運輸服務，有其必要性和迫切性，因

此，高雄市政府持續規劃建設後續捷運及輕軌路網，高雄環狀輕軌繼捷運紅、橘線完成後首推的軌道運輸，屆時民眾可在輕軌與捷運紅、橘線及台鐵間互相轉乘，提升了軌道運輸的可及性及便利性，軌道運輸網絡雛型一旦成形，加以公車路網提供轉乘服務，期能逐漸改變民眾習於使用私人運具的習慣。

高雄環狀輕軌路線全長22.1公里，設置37處候車站，路線起自凱旋三路旁台鐵臨港線路廊往南佈設至凱旋四路後，右轉進入成功二路西側台鐵路廊續往北行，至新光路口，進入高雄港區腹地，沿海邊路、第三船渠旁計畫道路、七賢三路、臨海新路、西臨港線鐵路廊帶、美術館路、大順一~三路，最後於中正路口西南隅之凱旋公園東緣佈設銜接凱旋二路路旁之台鐵臨港線路廊後，沿路廊接回起點，形成一連結南、北高雄的環狀路網。[1]環狀輕軌分兩階段興建，其中第一階段路線長8.7公里，



圖1 高雄環狀輕軌捷運(第一階段)C1至C8路段試營運

設14處候車站，C1站至C4站路段已於104年10月16日通車試營運，105年7月4日起試營運路段進一步延續到C8站，營運情形如圖1。第二階段統包工程亦已發包施工中。

輕軌路權型式可因地制宜，同一路線可單獨或混合採用專用路權、隔離路權、共用路權。隔離路權(B型路權)，輕軌系統於一般路段設有隔離設施，僅與平面道路相交處得有平面交叉口且採輕軌系統優先通行號誌處理；共用路權(C型路權)，輕軌系統列車與道路車輛可共用行駛之路徑，但是輕軌系統行駛優先。[2] B型路權及C型路權分別如圖2及圖3所示。

高雄環狀輕軌採用隔離路權，在輕軌交叉路口，汽、機車、行人、列車等的動線交織，產生新型態的交通問題與衝擊，對道路用路人而



圖2 輕軌隔離(B型)路權(Dusseldorf, Germany)



圖3 輕軌共用(C型)路權(Dusseldorf, Germany)

言，輕軌是陌生和新型態的運具，輕軌列車在平面道路上，汽、機車及行人與輕軌列車之間的交通權利與義務需要重新界定，使彼此之間的互動有妥適的機制可供遵循。本文以高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)沿線路口為例，探討輕軌號誌系統用以解決路口衝突車流的設計方案，分析輕軌路口之車流衝突態樣，探討輕軌號誌系統與道路交通號誌整合設計方案，輕軌優先號誌策略，並說明輕軌沿線交叉路口號誌時相設計。

貳、路口型式與車流衝突態樣

根據國外經驗，輕軌引入道路後，肇事方式以汽車在轉彎時與輕軌車輛碰撞的情形最為頻繁，顯示轉向車輛之控制方式將是引進輕軌運輸系統之重要課題。[3]

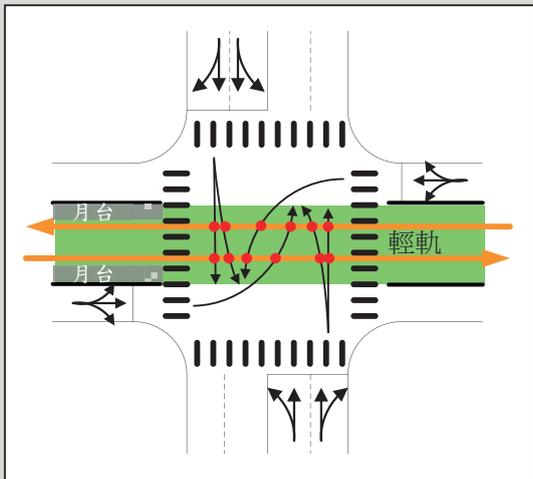


圖4 典型輕軌與平面車流衝突示意圖(一)

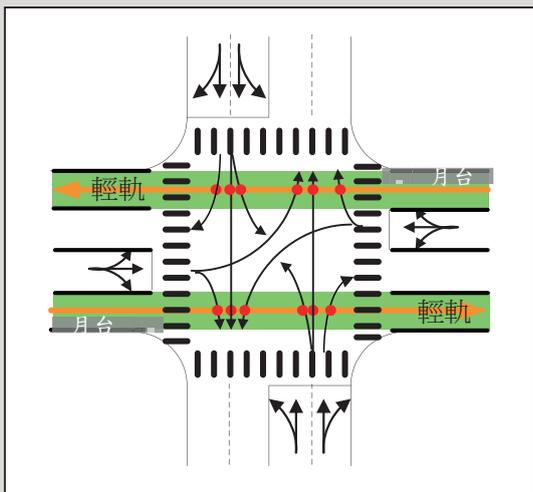


圖5 典型輕軌與平面車流衝突示意圖(二)

平面輕軌設在道路中央或路側是最常見的类型，設置道路中央，對行人的風險是旅客進出候車站跨越車道，增加發生意外的機率，而道路車流與輕軌車流有若干衝突點，如圖4：輕軌設在路側，旅客進出候車站不需跨越車道，減少行人被撞擊意外，但轉向的車流仍與輕軌車輛有衝突，如圖5。

一、高雄環狀輕軌路口型式與車流衝突態樣

高雄環狀輕軌第一階段沿線有許多既存的路口與輕軌交叉，各個路口的車流方向及車流量不盡相同，需逐一分析研討，妥為設計路口

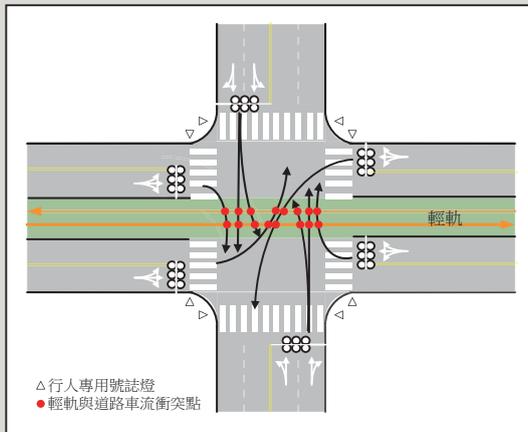


圖6 輕軌在雙十字路口車流衝突示意

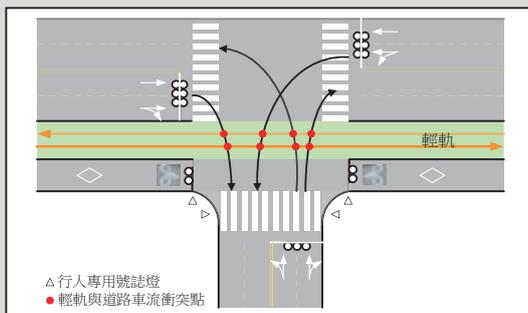


圖7 輕軌在T字路口車流衝突示意

管理措施，以確保路口交通安全，以及兼顧道路其他車輛及輕軌的行駛需求，盡可能不使平面車流擁塞，又能給輕軌有優先通行權，在進行號誌時制設計前，要先就路口型式及各路口的車流衝突態樣進行分析，並進行車流量及特性調查，以做為後續時相設計及管制措施之基礎。以下擇要說明環狀輕軌沿線部份路口型式及其衝突態樣。

凱旋四路段，輕軌佈設在原臨港線鐵路路廊，兩側為雙向車道，圖6是雙十字路口型式的車流衝突情形，平面道路的橫向車流及平行於輕軌的轉向車流都與輕軌有衝突。

成功二路段，輕軌佈設於道路外側原西臨港線鐵路路廊，交叉路口大多呈T字型或十字型，如圖7，另有多處為工廠或停車場出入口，進出車輛與輕軌衝突。

參、輕軌號誌系統與道路交通號誌整合設計

輕軌引進都市道路之後，勢必與其他原有之交通方式產生新型態的互動與衝突關係，此涉及到機動車輛、路面輕軌車輛與行人三方面衝突問題。[4]輕軌在國外已行之有年，行人、機動車輛與輕軌間互動，已逐漸調適，並形成輕軌特有的文化。輕軌在國內尚屬陌生，高雄環狀輕軌係國內首度引進，對在地其他機動車輛和行人而言，是一種新型態的運具，將產生新型態的互動與衝突，不同的路權型式會產生不同的衝擊，B型路權主要的衝突點在路口；而C型路權或行人徒步區，輕軌列車與道路機動車輛或行人混合使用路權，產生交通危險程度較高。為防範交通事故，輕軌這個新型態運具進入道路後，它與原有的車輛和行人，在使用道路的權力、責任與義務上的分配需要重新調整，路型設計、轉向管制、號誌整合、標誌、標線等需互相搭配運用做整體設計，其中輕軌號誌與交通號誌整合是不可或缺的，主要目的是化解可能的衝突車流，確保交通安全，而更進一步是使車流順暢，使路口整體績效最大化，換言之，在輕軌列車優先與道路車輛延滯及用路人使用道路的方便性之間取得平衡。

一、號誌整合方案探討

號誌控制系統用來管控路口交通，一般採用車流延滯最小化的運作邏輯，依車流量及用路人之需求設計時相與時比，採定時之時制計畫，控制交通號誌燈，以時間更迭分派道路通行權。路面輕軌系統穿越之交叉口應以輕軌車輛優先通行之原則，進行各類交通號誌及各類車道配置之整合設計，以降低輕軌車流與道路車流之衝突，提高交通服務效率。[2]輕軌通行的交叉路口，應設置輕軌專用號誌燈，指示輕軌依燈號行駛，而汽、機車和行人仍依交通號誌指示行止及轉向，兩種號誌予以整合，使

輕軌號誌燈與交通號誌燈連動，避免發生燈號衝突及危及行車安全的情形，號誌整合方式有二，說明如下：

(一) 號誌整合方案一：輕軌號誌與交通號誌由同一號誌控制器管控

一般路口號誌控制系統包括交通號誌燈及控制器，控制器用來控制號誌燈運轉，也可經由行人、特勤、鐵路連鎖、子母機連鎖等外部觸動或智慧運輸中心遙控，來管控號誌，而輕軌在交叉路口設置專用號誌燈來管控列車，為實施輕軌優先通行功能，運用列車偵測系統來偵測列車的位置，送到號誌控制器來計算輕軌列車到達路口的時間，執行優先判斷邏輯，決定優先策略，同時控制輕軌號誌與交通號誌，配合列車到達路口時間去調控交通號誌，關閉衝突方向交通號誌，開啟輕軌通行號誌及不衝突方向的交通號誌，使輕軌順利通過路口，整合架構示意如圖8。

(二) 號誌整合方案二：輕軌號誌與交通號誌由各自號誌控制器管控

交通號誌依舊由交通號誌控制器來管控，另設置一個輕軌號誌控制器，負責接收來自列車偵測系統的定位信號及管控輕軌號誌燈，兩控制器間做連結，以交換訊息和互相監視，避免因號誌顯示錯誤，造成輕軌與汽、機車車流或行人動線間的衝突，整合架構示意如圖9。

二、高雄環狀輕軌號誌整合設計

高雄環狀輕軌號誌與道路交通號誌整合如圖10，主要設施包括號誌控制器、計軸器、輕軌號誌燈、交通號誌燈等。

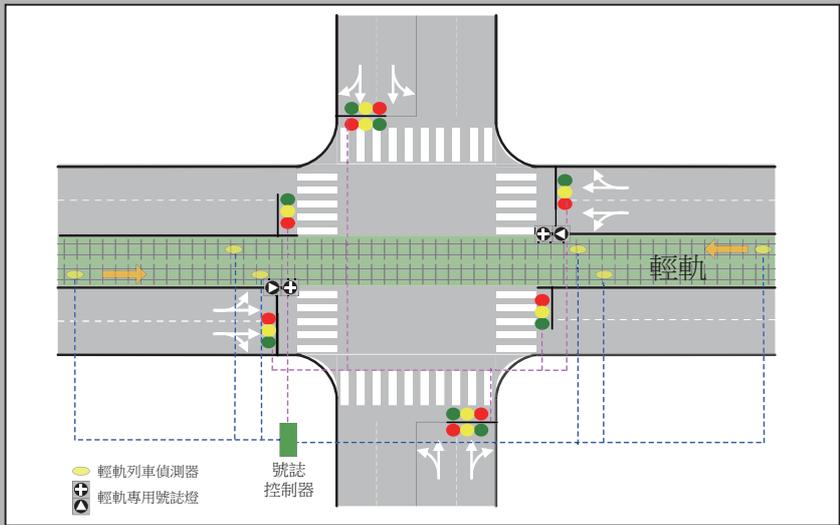


圖8 輕軌號誌與交通號誌整合架構示意(一)

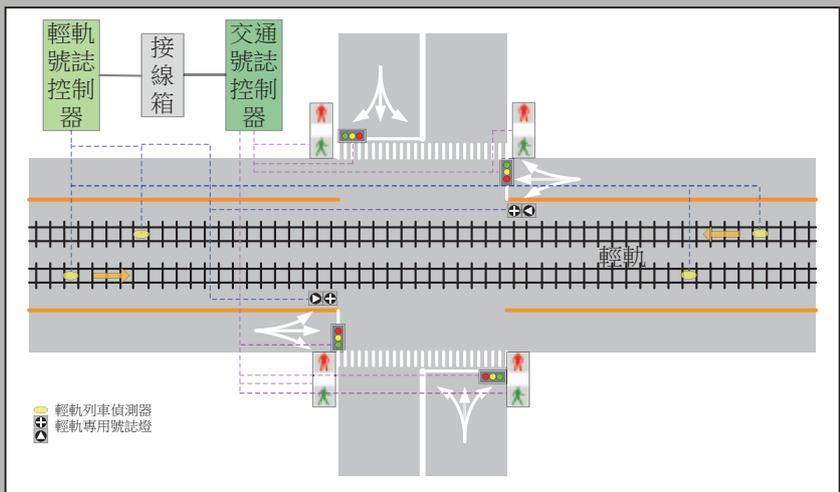


圖9 輕軌號誌與交通號誌整合架構示意(二)

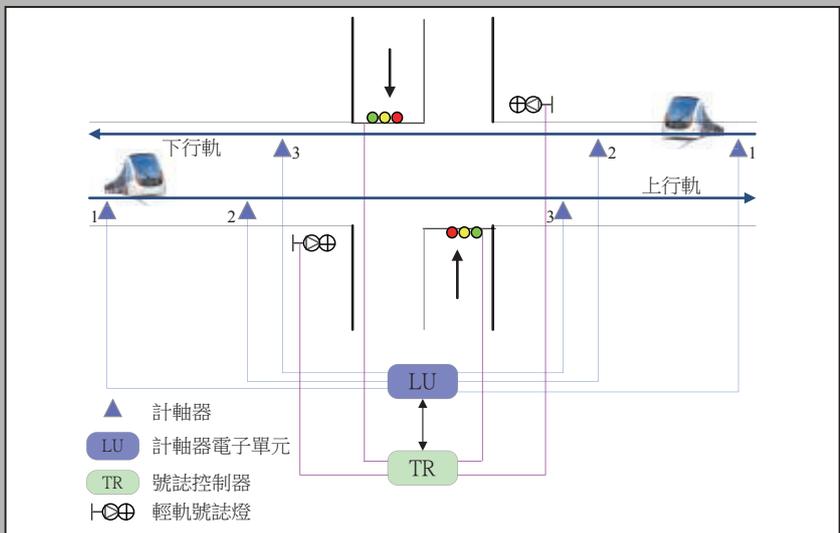


圖10 環狀輕軌號誌與道路交通號誌整合示意

(一) 號誌控制器(TR)

號誌控制器用來控制輕軌號誌及交通號誌運轉，平時依固定時制計畫自動運作，交互更迭光色訊號，來輪流開放各個方向的行車管制號誌及行人專用號誌，以分派各個方向的行進路權。當輕軌列車即將抵達交叉路口，計軸器1偵測到列車通過，列車壓佔軌道區間的信號經由計軸器電子單元(LU)處理並傳送到號誌控制器內的工業電腦，利用預先設定的趨近時間(approaching time)來預估列車到達路口的時點，根據列車到達路口當時交通號誌的開放情形，選擇適合的優先控制邏輯，通知號誌控制器調整交通號誌，改開放輕軌通行號誌及與輕軌不相衝突的交通號誌，以達成輕軌優先通行的目的。

(二) 計軸器

計軸器用來偵測列車的位置，安裝在鋼軌側面，感測列車是否通過，2個計軸器配對構成一段軌道區間，一旦列車進入軌道區間，計軸器電子單元判定此區間已被佔用，列車離開軌道區間，則判定此區間已清除。圖10，上行軌在路口附近設置3個計軸器，形成2個軌道區間。計軸器1和2所構成的區間1(Track Section 1)，用來偵測輕軌列車是否已趨近路口，而計軸器2和3形成的區間2(Track Section 2)，是路口區間，用以判斷輕軌列車是否已進入路口及完全離開路口，當輕軌列車的最後一個輪軸通過計軸器3時，代表列車已完全駛出路口。下行軌有相同的計軸器配置。

(三) 輕軌號誌燈

高雄環狀輕軌採「目視駕駛」號誌系統，駕駛員手動開車，除了須遵照道旁輕



圖11 輕軌司機員「目視駕駛」



圖12 道旁輕軌專用號誌與標誌

軌專用號誌及標誌指示行車外，跟其他車輛駕駛一樣，開車要提高警覺，留意路況，小心通過路口，注意有沒有其他人、車闖入輕軌車道，如圖11，圖12是輕軌專用號誌及標誌， 前方路口預告號誌；「RTS」：駕駛員可按「預發鈕」要求前方路口優先號誌；「R」：駕駛員可按「進路選擇鈕」要求輕軌系統在符合安全條件下開通前方道岔；「25」：前方路段限速25公里。

輕軌專用號誌燈設置於輕軌沿線號誌化交叉路口，參見示意圖13，其外觀、型式、燈號及顏色等有別於道路交通號誌，以避免造

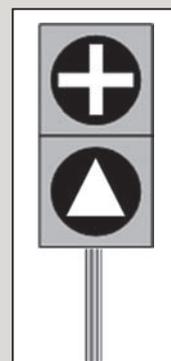


圖13 高雄環狀輕軌路口專用號誌示意

表1 交叉路口輕軌專用號誌意義

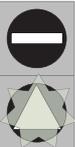
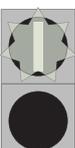
燈號	意義
	停止號誌
	橫桿+三角燈閃爍： 確認號誌(優先號誌需求已送出)
	橫桿+三角燈固定： 預告號誌(即將轉換為通行號誌)
	通行號誌
	直桿閃爍： 即將轉為停止號誌



圖14 大眾捷運系統聲光號誌

成用路人混淆。輕軌專用號誌是管制列車在交叉路口的行進路權的交通設施，它由兩個燈頭組成，包括三種燈：「橫桿」、「直桿」及「三角燈」，均為白色燈，各種燈號組合所表示意義如表1。交叉路口另設置大眾捷運系統聲光號誌，以動態閃爍燈



圖15 輕軌共用時相運轉情形

號，輔以固定音源的方式，警告接近的車輛及行人，列車即將通過路口，如圖14。

肆、高雄環狀輕軌優先號誌策略

高雄環狀輕軌採隔離路權，在交叉路口與其他車輛共用車道。提供輕軌優先通行，減少穿越交叉路口之停等和延滯，提升輕軌競爭優勢，有利於發展大眾運輸。優先號誌控制策略一般有主動式和被動式，環狀輕軌採主動式，利用智慧化偵測和控制技術，當偵測到列車接近路口時，利用電腦中預先設定的趨近時間來預估列車到達路口的時點，選用合適的優先控制邏輯，適時調控輕軌及交通號誌，使輕軌列車優先通過路口。在設計及實施優先號誌時，考量路口行車安全、行人與車行交通狀況、路口號誌等因素，以維持道路車流順暢。主要策略包括不調整號誌、延長綠燈時間、縮短紅燈時間、插入輕軌時相。

一、不調整號誌

時制中已設定輕軌共用時相，當輕軌列車壓估計軸器，號誌控制器預估列車到達路口時點，若交通號誌正開放輕軌共用時相，且判斷列車可在該綠燈時間結束前完全通過，則開放輕軌通行號誌，而交通號誌不需調整。所謂輕軌共用時相，基本原則是採用與輕軌平行且無衝突之車流方向為綠燈的方式，號誌運轉情形如圖15。

二、延長綠燈時間

時制中已設定輕軌共用時相，當輕軌列車壓估計軸器，號誌控制器預估列車到達路口時點，若交通號誌正開放輕軌共用時相，但剩餘綠燈秒數不足以讓列車完全通過路口，經估計列車完全通過路口所需時間，如果延長綠燈時間，不會超過最長綠燈時間的限制，則調整交通號誌，延長共用時相的綠燈時間，開放輕軌通行號誌，列車通過路口後，恢復原來的時制計畫。

三、縮短紅燈時間

時制中已設定輕軌共用時相，當輕軌列車壓估計軸器，號誌控制器預估列車到達路口時點，若交通號誌正開放輕軌共用時相的前一時相，且該車行方向已完成最短綠燈時間，則讓此時相提早進入清道時間再轉成紅燈，接下來就是輕軌共用時相，開放輕軌通行號誌及其他不衝突的交通號誌，這方式就是縮短輕軌的紅燈時間。輕軌列車通過後，恢復原來的時制計畫。但如果橫交道路是車流量大的幹道，應考慮在下一週期補償衝突時相的綠燈時間，以避免延滯時間過長。

四、插入輕軌時相

時制中已設定輕軌共用時相，而當預估列車到達路口時點，不是前述三種情況，則當目前時相執行完最短綠燈時間後，插入輕軌共用時相；若無輕軌共用時相，則在號誌控制器中設一個隱藏的輕軌專用時相，在預估列車到達路口時點，執行該輕軌專用時相，列車通過後，恢復原來的時制計畫。採用插入輕軌時相，幹、支道會先進入清道時間，接著才進入輕軌時相。

以上4種優先策略，其優缺點互見，且適

用時機不同。延長綠燈或縮短紅燈策略對車流影響較輕微，適用於車流量大的路口，時制計畫已有輕軌通行時相(可與不衝突時相結合)，如能配合轉向管制則可簡化路口時相，有利於提升路口整體績效，啟動優先時相已考慮衝突車流、行人及安全等，但在多時相路口，輕軌可能無法立即取得優先通行權，將使輕軌營運績效降低，此問題解決方式是，當延長綠燈、縮短紅燈策略派不上用場時，改用插入輕軌時相。若路口禁止部份轉向(禁左或禁右)，部份用路人須繞行替代道路，然若不禁止轉向車流，則時制計畫須搭配轉向專用車道設置轉向專用時相，這會使路口時相數增加，而影響路口績效。插入時相策略對車流影響較大，比較適用於車流量小的路口，時制計畫無預設輕軌時相，在多時相路口，輕軌較容易獲得優先，但如果輕軌班次密集時，時相轉換頻繁可能會造成路口績效降低，另外插入的輕軌專用時相將使原來的週期變長，可能增加平面車流的延滯時間，因而影響路口績效。

伍、輕軌號誌時相設計

以隔離路權為例，輕軌車輛與道路機動車輛、行人在路口共用車道，號誌時制設計要化解衝突的車流動線，確保輕軌及道路用路人安全，並提供輕軌優先功能，時制設計須考量路口幾何、交通需求、路口容量、車流動線等因素，設計原則包括：時相運作簡單易懂、盡可能減少時相數、考慮各個方向流動的安全、輕軌之流動附屬在同向且不衝突的時相中、道路車流與輕軌不相符時可考慮插入輕軌專用時相。[5]

圖16輕軌路線在凱旋路/一心路口與平面道路共用車道，未設置輕軌之前，淺綠色的部分是原來的台鐵東臨港線，當火車不再運轉之後平交道柵欄也就取消了，觀察東、西向汽車往往在平交道上待轉，用路人此一習慣將會影

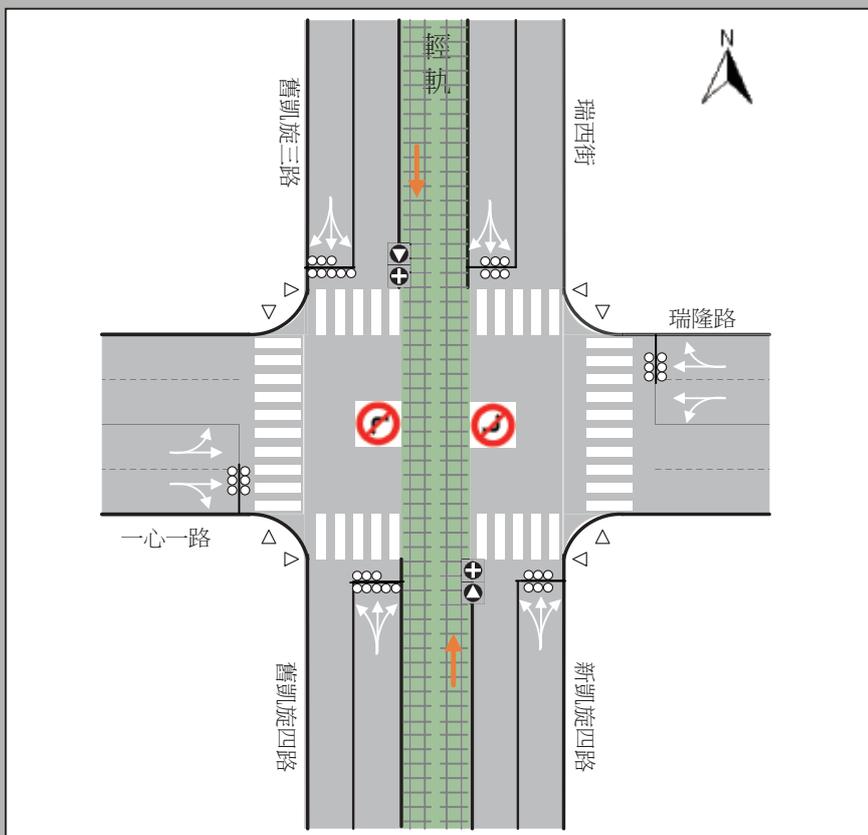


圖16 凱旋四路/一心一路/瑞隆路口車道及號誌配置示意圖

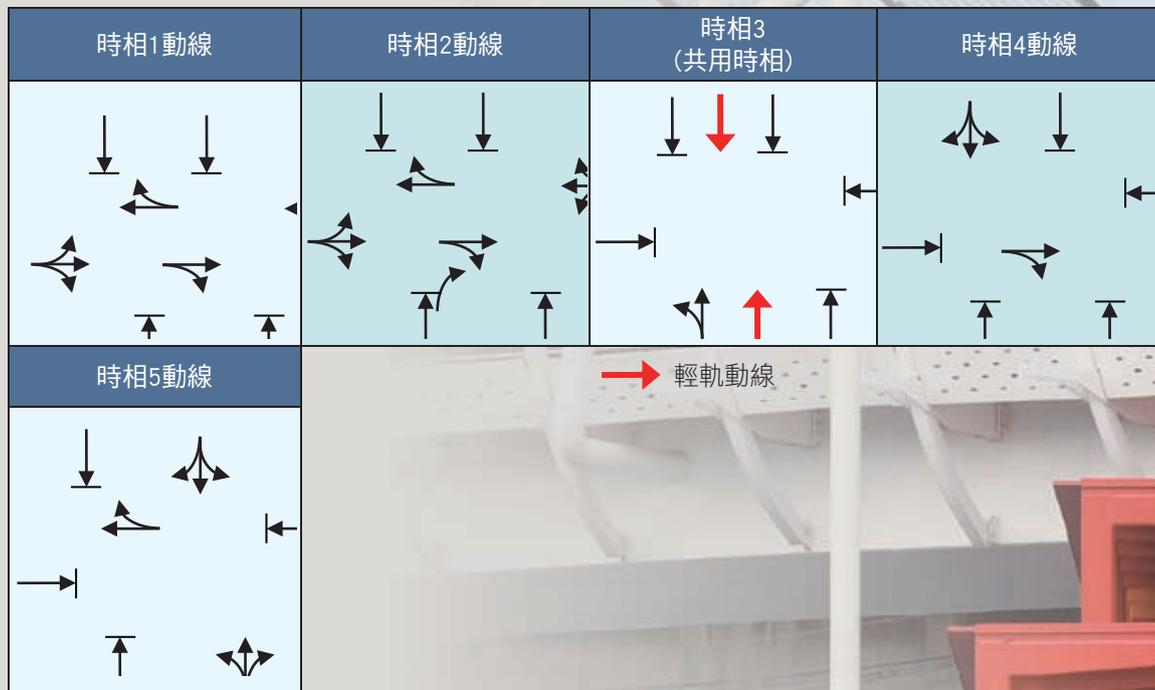
表2 凱旋四路/一心一路/瑞隆路口-原時相計畫

時相1動線	時相2動線	時相3動線

響輕軌營運順暢，甚至造成意外事故。輕軌未開通前的時相計畫如表2所示，採用3時相設計來滿足各個車流方向的需求。配合輕軌運轉特性及實施輕軌優先之需要，禁止東、西向車輛在通過軌道後進行左轉，並修改時制計畫，如表3，其中時相3是輕軌共用時相，輕軌列車沒有來之前，交通號誌依時相1、2、3、4、5輪放；當列車要通過路口，則視列車到達路口時

點，採用不同的優先控制策略，若列車在時相2到達，且已完成最短綠燈時間，截斷綠燈，經清道時間後，提早進入時相3，而若在時相3到達，則直接開放輕軌通行號誌或採用延長綠燈，若列車在時4或5到達，則在該時相完成最短綠燈後，經清道時間，插入一個時相3。時相2是時相1之延續，中間不需要清道時間，因此在時相1、2間不得插入輕軌時相。

表3 凱旋四路/一心一路/瑞隆路口-配合輕軌修改後時相計畫



陸、結論

採用B型路權的平面輕軌，應考量路口行車安全、行人與道路車流狀況、路口號誌等因素，設置優先通行及聲光號誌，並進行輕軌號誌與各類交通號誌之整合設計，以降低輕軌車流與道路車流之衝突，提高交通服務效率。高雄環狀輕軌運用智慧型路口號誌控制系統來管控輕軌號誌及交通號誌，使用主動式優先號誌策略，路口用計軸器偵測列車及觸動輕軌優先號誌，依交叉路口交通狀況設計新的時制計畫，更換新式號誌控制器(內含輕軌優先控制機制)、增設或修改交通號誌，改用新的時制計畫，也進行路型和車道調整、增設標誌、修改或增繪標線等工作。實施新的時制及交通管控方式，自民國104年10月C1站至C4站及105年7月C1站至C8站通車試營運以來，民眾已逐漸適應輕軌路口號誌的運作方式。

參考文獻

1. 高雄市政府捷運工程局網頁，「環狀輕軌/計畫內容/路線概述」，民105年12月5日，取自：http://mtbu.kcg.gov.tw/cht/project_LRT_circle_contents.php。
2. 「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」，交通部，2011年。
3. 「台灣地區引進輕軌運輸系統技術型式選擇之研究」，交通部運輸研究所，1998年。
4. 「輕軌與公車捷運系統納管之研析(II)」，交通部運輸研究所，2007年。
5. 「輕軌號誌與平面道路號誌整合規劃報告(期中報告)」，高雄市政府捷運工程局，2012年9月。



2

專題報導

實現幸福安坑 美麗願景—— 安坑輕軌建設 設計理念

關鍵詞：機廠、候車站、公共藝術、斜張橋、長鉸鋼軌、浮動式道床、埋入式軌道、槽型鋼軌、BIM、都會農學

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫經理／謝慶和 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／技術經理／歐文爵 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／協理／何泰源 ❸

十匯建築師事務所／建築師／陳嘉芸 ❹

新亞建設開發股份有限公司／專案副理／劉文瑞 ❺

摘要 ABSTRACT

安坑輕軌建設目的在提供「綠色、低碳、便利」的大眾運輸服務，配合新北市政府定位安坑地區「山林悠活」之發展方向，本工程設計旨在彰顯各種建築設施之都市農學意象，將安坑建設為一個悠活於山林之中的安居社區。以「光與綠的展演場，家與山的守護站」為概念，作為設計規劃之主軸，落實綠色運輸，融合智慧綠建築的設計概念，以永續節能為設計目標，建設潔淨能源運輸路網。



壹、前言

由於安坑地區持續不斷發展，使得交通問題更形嚴重，故為服務新店安坑地區民眾行的便利，並有效解決安坑地區交通困境，促進都市發展，乃由新北市政府啟動「捷運安坑線可行性研究」並完成綜合規劃、基本設計暨相關調查，希望藉由輕軌車站周邊土地開發計畫，使都市發展能與捷運建設結合，以土地開發收益挹注捷運建設，並期望本輕軌建設帶動都市發展與地方經濟。

本計畫於104年6月奉行政院核定，新北市政府考量沿線鄉親之期盼，為縮短時程，採用統包等平行作業方式，爰推出「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程」，於105年3月決標，統包商由新亞建設開發股份有限公司承攬，預計110年通車，本公司在本案中係為統包商之主要細設分包商，建築景觀設計部份主要為十匯

建築師事務所辦理，本文將提出本統包團隊設計理念供業界參閱。

貳、工程概要

安坑輕軌計畫位於新店區安坑地區，全線約7.5公里，共設置4座平面車站、5座高架車站及1座機廠(示意如圖1)，概述如下：

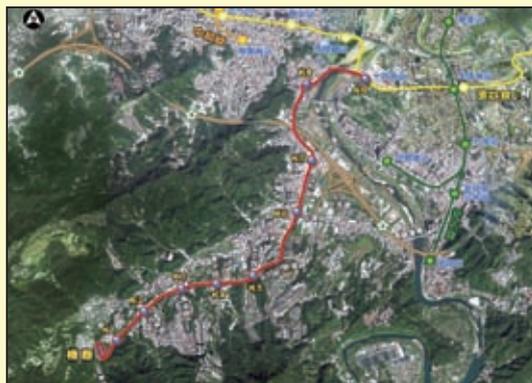


圖1 安坑輕軌計畫路線示意圖

一、路線

位於新北市新店區安坑地區，由安泰路與安坑一號道路(簡稱安一路)交會處之機廠起，沿安一路中央預留廊帶北行，續沿安和支線及安和路改以高架方式前行，跨越國道三號高速公路與五重溪後，於經濟部水利署水工試驗室前轉向東行，跨越新北環河快速道路、新店溪、新店十四張地區，銜接捷運環狀線十四張站(Y7站)。

二、車站

於安一路平面段上，分別於喜洋洋與甜蜜蜜社區附近設K1站，玫瑰路口南側設K2站、僑信路口南側設K3站、車子路口南北側設K4站、安忠路口東側設K5站，續沿安一路安和支線轉至安和路，並以高架方式沿安和路北行，於安和路與安康路交會處北側設K6站，台灣麥芽廠舊址附近設K7站，於安和路三段水利署新店辦公區設K8站，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，設置K9站與環狀線Y7站轉乘。

三、機廠

位於二叭子植物園旁之安泰路與安一路交會處北側，並採立體化配置，設置包括駐車維修區、行政辦公區，整體設施用地約需3.56公頃。

參、服務工作範圍及內容

本土建統包工程工作範圍涵蓋路線、車

站、機廠等主體工程之土木、結構、軌道、大地、建築、景觀、水電、環控、電梯電扶梯等工項，系統機電標則另由淡海輕軌廠商後續擴充。

肆、設計理念與構想

一、建築景觀

(一) 融合都市景觀

新北市政府定位安坑地區「山林悠活」之發展方向，前階段基本設計設計成果旨在彰顯各種建築設施之都市農學意象，統包團隊延續前期設計精神，善用安坑地區森林、山坡、梯田、農場、社區、駐地藝術家、台閩式老宅、部落風情、中央印製廠等地理、人文條件，於細部設計階段，深度詮釋設計主軸，並於後續施工發揮永續發展理念，將妥善運用資源、精準實踐規劃，達成於預定計畫時間內通車的目標。

1. 將「光與綠的展演場，家與山的守護站」的概念，作為建築設計規劃之主軸，進而衍生九個站體及機廠區之空間形象與配置重點。輕軌工程不僅提供沿線的公共藝術創作機會，並結合安坑當地人文歷史，展現變化豐富、精彩之都市風貌(意象如圖2)。



圖2 公共藝術意象

2. 落實綠色運輸，從整體配置到站體及機廠的設計均融入智慧綠建築的設計概念，以永續節能為設計之原則與目標，建設潔淨能源運輸路網(意象如圖3)。
3. 提倡人本交通，站體設施貼近使用者需求，滿足輕軌交通應具備之各項功能。並且扮演銜接在地山城社區私人運具的中繼站，整合接駁車停放位置，使與輕軌候車站順暢聯結。
4. 配合發展智慧型運輸系統(I.T.S.)的遠景，建築設計強調安全、環保、效率，及經濟的目標。

(二) 候車站整體造型設計

1. 植栽設計構想

植栽選擇以原生樹種，並以能夠淨化空氣、創造環境綠化為原則，依據各候車站體環境特性，植以防風喬木，靠近車軌處種植少落葉之常綠喬木。另配合周邊環境栽種適合之樹種，規劃開放空間，整合串連都市空間，創造休閒和諧的景觀環境(意象如圖4)。

2. 地坪鋪面設計構想

地坪以石材鋪面、人造石地磚及透水地磚為主，停車區採用植草磚，並栽種灌木及草皮，以塑造具有親和力並融入周遭環境之都市景觀(意象如圖5)。

3. 景觀照明設計構想

配合不同空間需求使用性，採用多樣之節能燈光照明，以營造出不同且豐富之空間氛圍(意象如圖6)。



圖3 綠色運輸意象



圖4 植栽意象



圖5 鋪面意象

4. 站體造型外觀透視模擬(如圖7~圖34)

本路線自山林延伸，穿越安坑至新店都會區，自K01站至K09站將以圖7之設計意象展現。

(三) 維修便利暨標準化設計

引入生命週期的觀點，提供符合使用年限的建材及設計細節。



圖6 景觀照明意象



圖7 車站意象示意圖

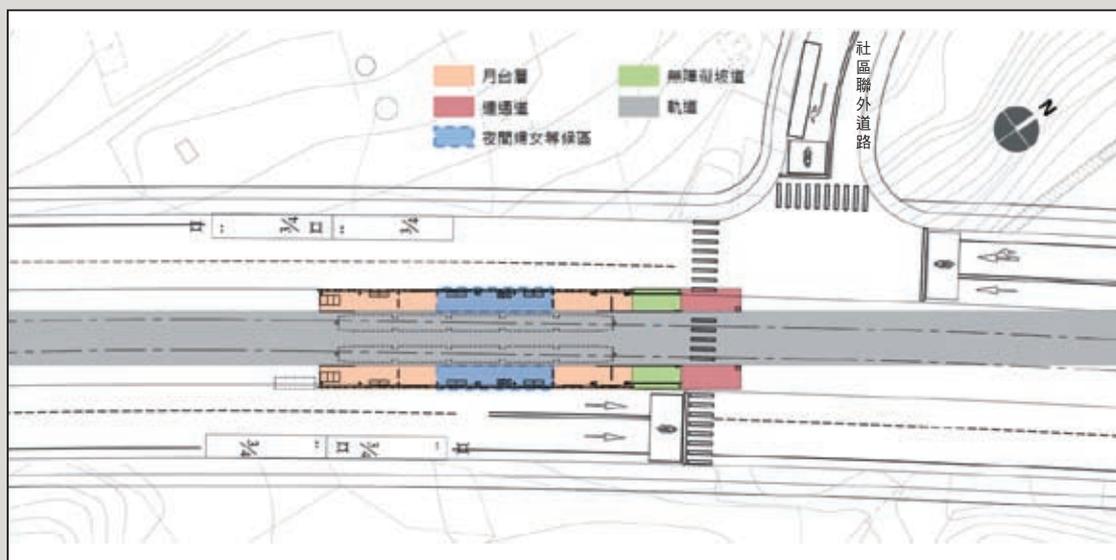


圖8 K1站(平面站)與路口關係位置



圖9 K1站造型外觀



圖10 K1站夜間照明

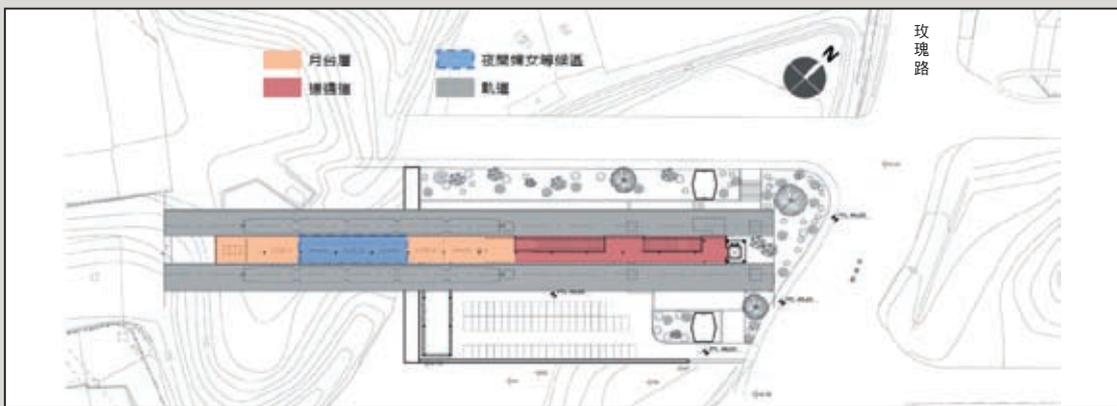


圖11 K2站(高架站)與路口關係位置



圖12 K2站造型外觀



圖13 K2站夜間照明模擬

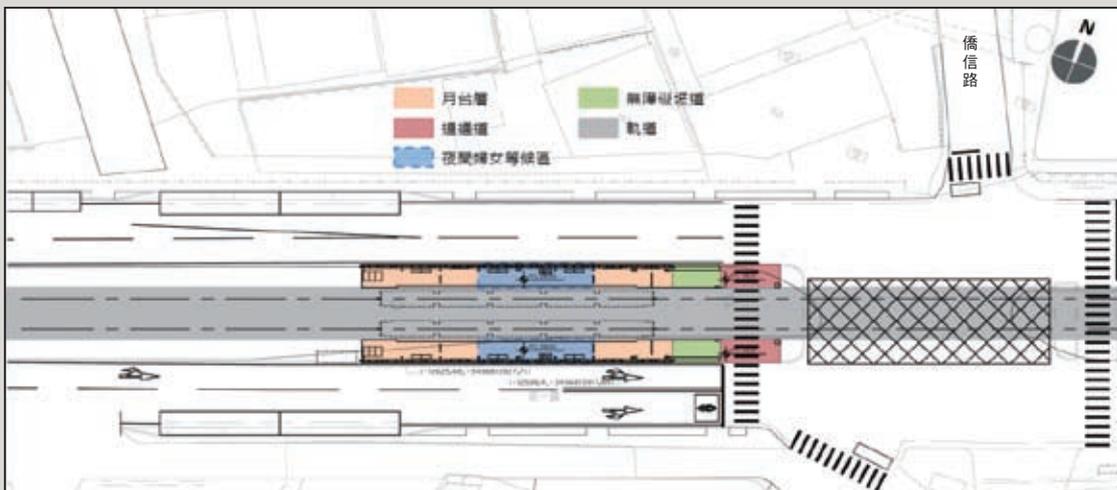


圖14 K3站(平面站)與路口關係位置



圖15 K3站造型外觀-1



圖16 K3站造型外觀-2

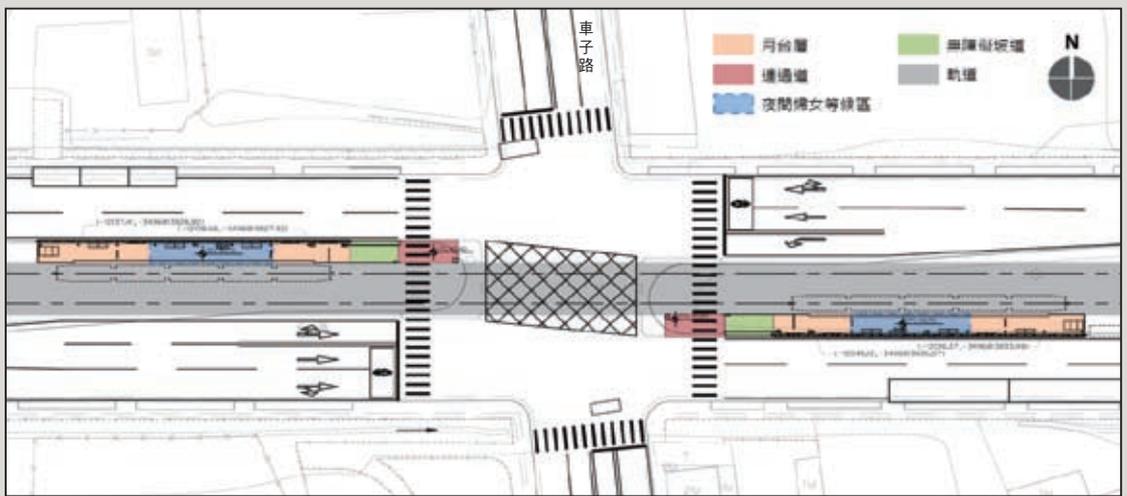


圖17 K4站(平面站)與路口關係位置



圖18 K4站造型外觀-1



圖19 K4站造型外觀-2

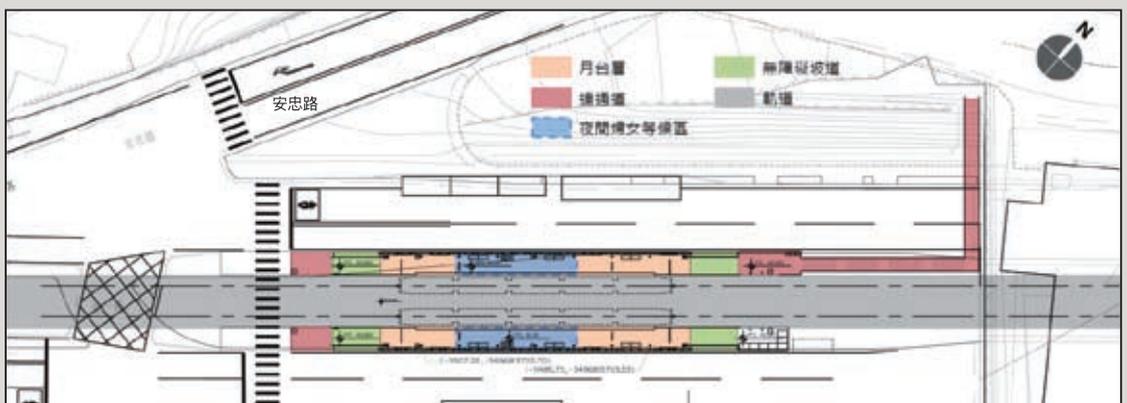


圖20 K5站(平面站)與路口關係位置



圖21 K5站造型外觀-1



圖22 K5站造型外觀-2

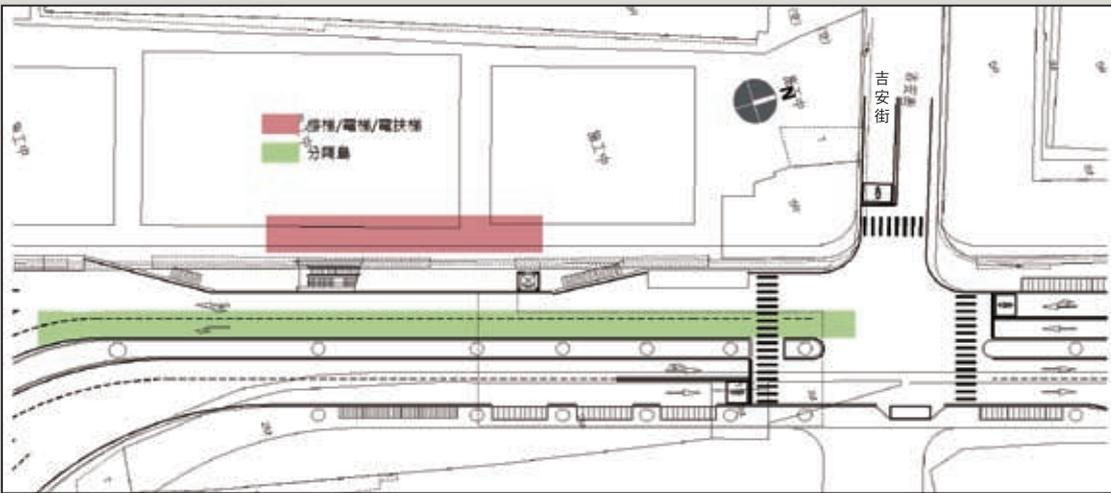


圖23 K6站(高架站)與路口關係位置



圖24 K6站造型外觀-1



圖25 K6站造型外觀-2

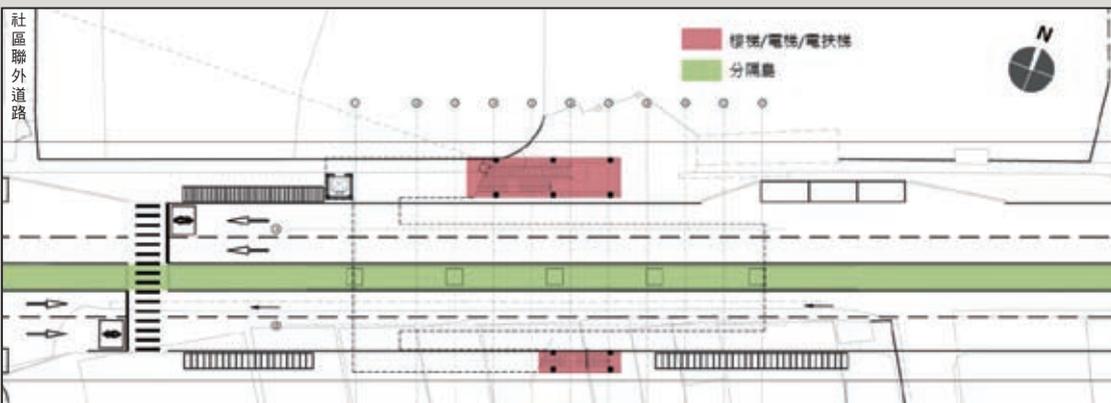


圖26 K7站(高架站)與平面道路關係位置



圖27 K7站造型外觀-1

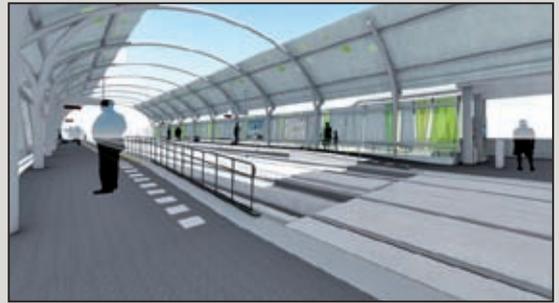


圖28 K7站造型外觀-2

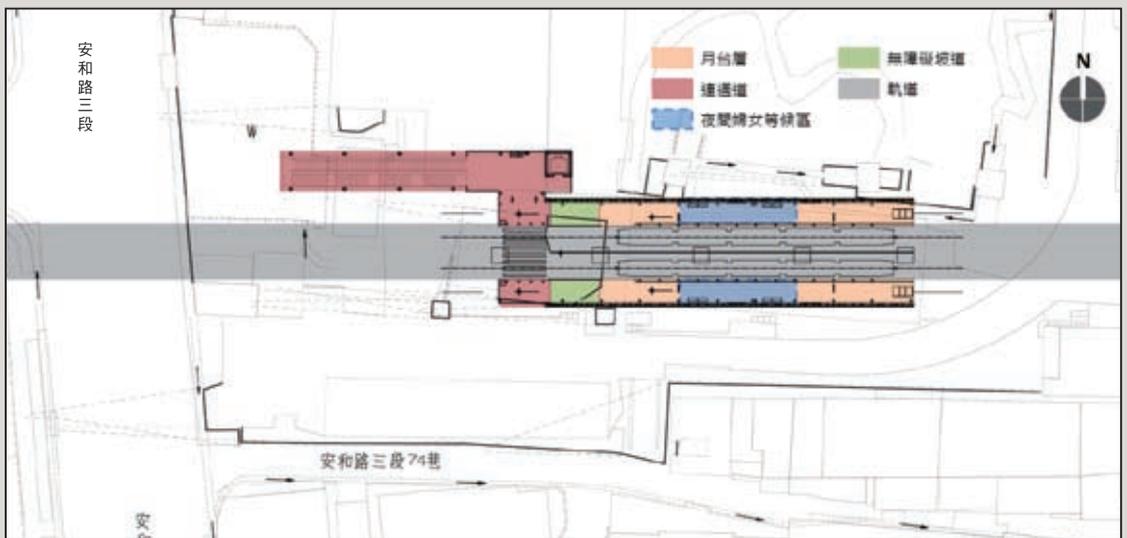


圖29 K8站(高架站)與平面道路關係位置



圖30 K8站造型外觀-1



圖31 K8站造型外觀-2

1. 維修便利之設計細節
 - (1) 建築造型以功能為基本考量，簡化造型及層次。
 - (2) 以易取得、易清潔保養、質量輕而對結構負荷小的建材為優先選項。
 - (3) 考慮導水順暢、減少積塵、易於組裝、方便搬運等。

- (4) 維護性包括管線配置維修檢測方便性、構件損傷時&髒污時的抽換、表面材清洗等。

2. 構件標準化之設計細節

- (1) 標準站主要構件採用相同規格、尺寸、顏色的桿件。

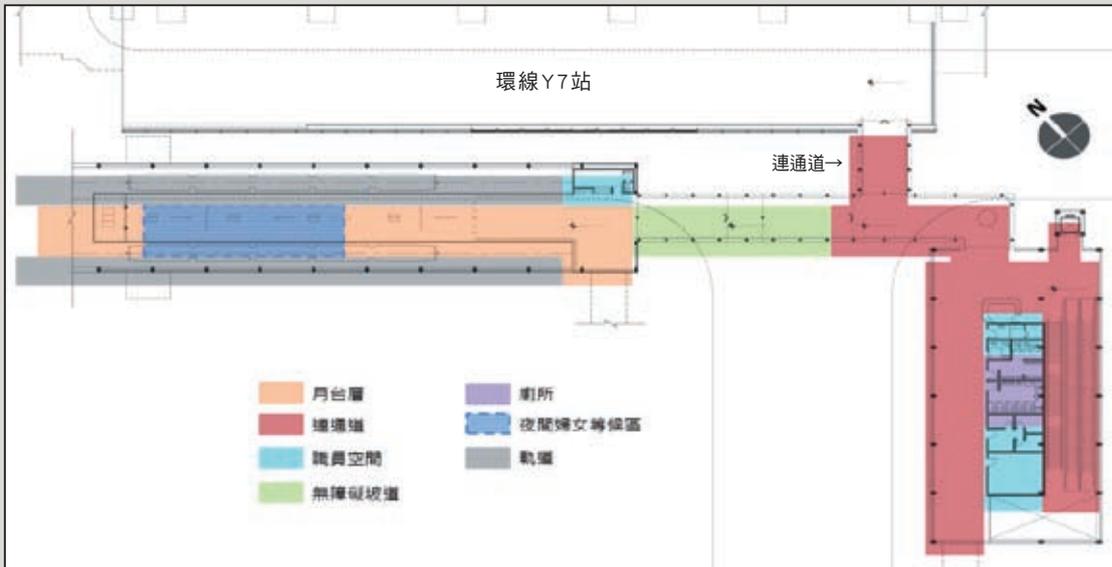


圖32 K9站(高架站)與平面道路關係位置



圖33 K9站造型外觀整體造型呈現森林小屋聚落形象



圖34 K9站夜間照明模擬夜間則代為守護遊子回家的溫暖門燈

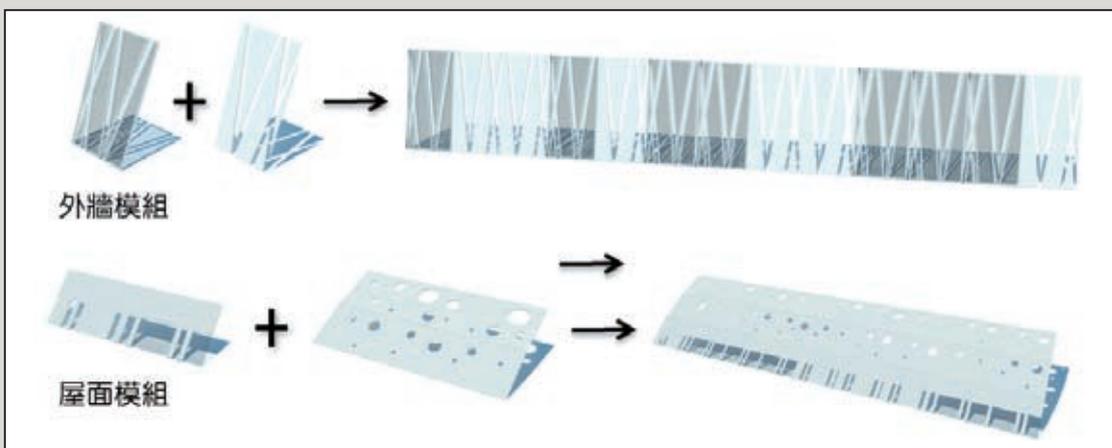


圖35 外牆及屋面片狀模組示意圖

(2) 在可運輸的尺寸限制下，在工廠預組完成外牆及屋面片狀模組，在施工現場組裝成形。

(3) 控制片狀模組為尺寸固定的單元，僅做表面材料或顏色變化，形成多樣化造型成果(如圖35)。



圖36 高架橋配置位置示意圖



圖37 高架橋與都市景觀結合透視圖

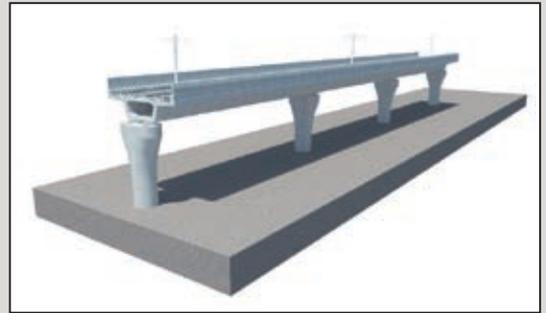


圖38 制式橋 - 預力箱型梁橋透視圖

(4) 工廠開模，或採用市場常規尺寸構件，預留一定數量備品，同氣候條件下儲存於機廠供未來抽換維護。

二、橋梁工程

(一) 型式研選原則與考量

沿線橋梁有其不同之交通狀況、施工條件與周遭環境，故橋梁研選除考量安全、經濟、美觀等基本原則外，亦須兼顧工程特性、規模、施工經費及施工技术水準等因素，本計畫高架橋梁平面配置位置如圖36。全線橋梁以制式橋梁為大宗，故設計將妥選結構系統、跨徑與材料，除確保行車安全、舒適，亦能方便施工及加速工進。

橋梁造型設計上，避免橋柱與橋面過於巨大的量體影響整體都市景觀，可考量

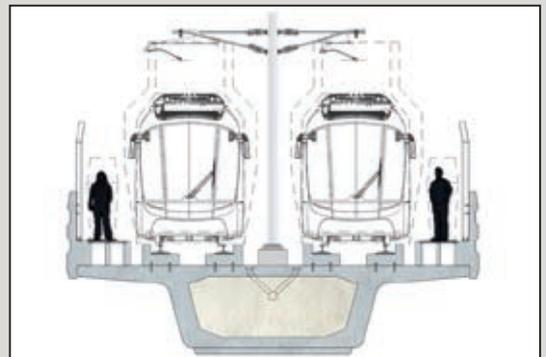


圖39 高架橋梁標準斷面圖

利用細部設計來達到視覺輕量化的效果(如圖37)。綜整考量要素，制式橋型方案採「單箱預力混凝土梁橋場撐工法」(如圖38)，標準斷面如圖39，利用熟練工法技術及普遍機具設備施作，除可提升工程品質，加速工進外，亦可創造本計畫特色與亮點。

高架橋行經之路線，如需跨越寬度較大之橫交道路、水路或下方淨高受限制，無



圖40 非制式橋 - 鋼箱型梁橋透視圖



圖41 非制式橋 - 連續預力箱型梁橋透視圖



圖42 跨國道3號、五重溪、中安大橋引道橋段鳥瞰圖

法採前述制式橋梁者，則改採非制式橋梁。考慮路段特性、結構特性及施工性後，研擬之型式為鋼箱型梁橋及連續預力箱型梁橋，其造型分別如圖40及圖41所示。

(二) 跨國道3號、五重溪及中安大橋引道橋梁設計構想

輕軌高架橋以小角度斜向依序跨越國道3號、五重溪及中安大橋引道高架橋，其中為避開挖子橋，路線線形將在國道3號前即逐漸偏向東側(如圖42)，此區段周遭路口及用地複雜且狹窄，可供立柱之地方相當侷限，且跨越國道3號及中安大橋引道高架橋尚需滿足淨高5.1m需求，因此在交通繁忙壅塞路段，橋梁之配置及施工方法須妥善規劃，以減少施工對周遭交通及既有建物設施之衝擊，以確保工程順利進行。



圖43 跨國道3號橋示意圖

1. 跨國道3號橋型建議(如圖43)

- (1) 橋梁融入街道景觀，採拋物線梁深變化，線條簡潔。
- (2) 採預力混凝土懸臂工法，利用懸臂工作車自動化施工，減少對國道3號交通造成衝擊。

2. 跨五重溪及中安大橋引道橋型(如圖44)

- (1) 避免河道中落墩，有利工作推動。
- (2) 採預力混凝土懸臂工法橋梁，利用懸臂工作車自動化施工，減少對區域交通及溪河通水造成衝擊。

(三) 跨新店溪設計構想

新店溪河道寬約310m，河道深槽區寬約70m，偏向安坑端，跨新店溪橋梁方案時須考量下列因素：



圖44 跨五重溪橋示意圖

1. 跨新店溪前後長約500公尺，橋梁跨距及高度皆須符合200年洪水位之水利需求。
2. 橋梁柱位應避開偏向安坑端寬約70m深槽區。
3. 與台北環狀線捷運DF111標界面搭配。
4. 軌道工程道岔位置將影響橋梁單元配置。
5. 橋梁型式對軌道伸縮縫設置之影響。
6. 跨新店溪兩側環快速路及K9站下方計畫道路淨高須維持5.1M。
7. 在整體區域景觀方面，需將鄰近上下游橋梁型式一併納入考量。

(四) 設計理念

鳥只在令牠“安心”的地方洗澡，以其微微展開翅膀享受洗澡的樣子，藉喻著把新店溪兩岸當成安全安心的家。將鳥展翅洗澡的形象轉化為斜張型式（如圖45），象徵每天都能平安順心，也指往來“安”坑“新”店—“安心”橋的意思。



鳥展翅洗澡



意象



斜張型式



圖45 跨新店溪斜張橋透視圖

(五) 結構特色

複合式混凝土斜張橋塔搭配鋼桁架橋組成，採非對稱斜張橋設計，呈現結構力學不對稱美感。主跨及邊跨之斜張鋼纜採雙索面扇形設置，簡約整齊，具現代美感，跨徑配置為225m+150m(如圖46)。

(六) 照明計畫

以正面白色光將橋塔打亮，如同一隻水鳥在水面洗澡，河水飛濺，波光淋漓；在橋體外的暖色點燈光，更讓橋體在黑夜中呈現弧形光影。纜繩則以白色光從底部往上發射，光源由強漸弱，照明計畫透視模擬如圖47。

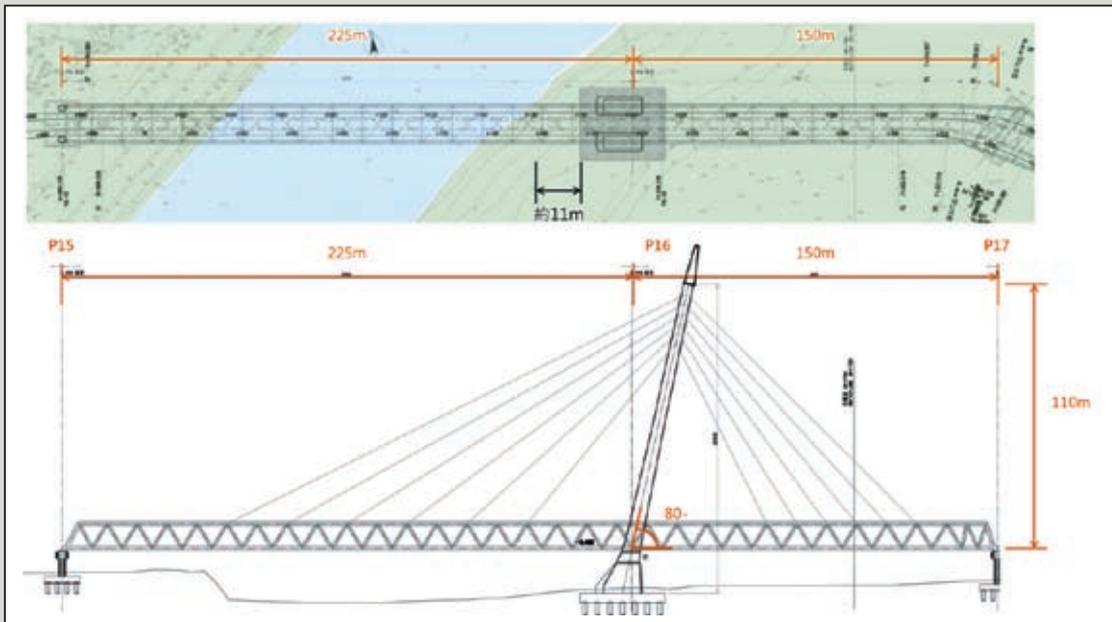


圖46 跨新店溪斜張橋－主橋配置示意圖



圖47 跨新店溪橋照明計畫透視模擬圖

表1 軌道型式配置建議一覽表

路段	軌道型式	鋪設地點
高架路段 隧道及出土段	無道碴基座式軌道 (如圖48&圖49)	高架段及高架橋引道： (1)正線(K2站前後、K5~K6間、K6~K9間) (2)進出廠軌道 K5站~K6站間三孔隧道段、出土段、明挖覆蓋隧道段 及委辦箱涵段
地面段	無道碴埋入式軌道 (混凝土或花崗石鋪面， 如圖50&圖51)	月台區及道路交叉口前後10m範圍
	無道碴埋入式軌道 (植草鋪面，如圖52&圖53)	除上格範圍外之區域： K1~K5間(除K2)及K5~K6箱涵與高架橋間
減振制噪軌道	浮動式道床軌道	環境保護需求中「沿線特殊振動敏感區」
	高隔振軌道	
機廠軌道	廠房內埋入式軌道 (如圖54)	駐車廠駐車線 維修工廠維修機坑前後軌道
	U型機坑軌道(如圖55) 柱式機坑軌道	維修工廠：土木軌道維修廠區 檢修軌區、維修軌區
	洗車線軌道	駐車廠特洗區
	道碴軌道	機廠廠房外區域測試軌



圖48 高架段基座式軌道(北捷)



圖49 高架段基座式軌道(北捷)



圖50 埋入式軌道/混凝土鋪面



圖51 埋入式軌道/花崗石鋪面



圖52 埋入式軌道/植草鋪面



圖53 埋入式軌道/植草鋪面



圖54 廠房內埋入式軌道



圖55 U型機坑軌道

三、軌道工程

本計畫將採鋼軌鋼輪軌道系統、標準軌距1435公厘及連續長鉚鋼軌。考量安坑地區之地理環境、交通景觀及既有結構之限制條件等，研擬線形及軌道型式配置。另配合機電系統需求以確保列車行駛時安全、平順，並滿足絕緣、防蝕及環境保護之需求。

考量本計畫之環境條件及使用需求，初步研擬各路段之軌道型式配置，參如表1，除使用需求，亦達有利景觀、減振降噪、便利人車通行等等需求。

四、機廠工程

(一) 機廠建築設計構想(全區配置如圖56)

1. 量體配置

駐車維修廠順應地形並依據道路高程配置，屋頂開放空間可供訪客使用，增加機廠與人之互動(如圖57)。機廠以樸實農學為意象，整體造型如大樹交織及梯田意象疊合，使機廠上下、內外空間交織出一曲悠遊慢活的旋律(如圖58)。

行政大樓以慢活山邑為發想，以山岩佇立的形象，提供一個安心的工作環境，呈南北向配置，以遮陽版對應局部西曬並增添造型特色(如圖59&圖60)。

2. 環廠動線

全區採人車分道設計。

3. 綠色運輸系統

貫徹綠色運輸理念，於主次入口、建築周邊及屋頂開放空間設置自行車租借系統，提供員工廠內交通及訪客使用；停車空間則提供電動汽車充電站，鼓勵使用替代能源運具。



圖56 機廠全區配置平面示意圖



圖57 維修機廠及屋頂景觀透視圖(示範都會農學之地景設計)

4. 噪音阻隔

駐車維修廠區三邊有地形包覆，且建築外牆距安泰路20M以上，基地四周劃複層植栽做為隔離綠帶，有效降低環境之噪音干擾。

5. 滯洪池生態設計

滯洪池兼具景觀與降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間及增加入滲等功能。池岸採

植生緩坡、多樣性棲地條件，外圍設置觀景平台，使其兼具滯洪防災、生態保育、環境教育及景觀休憩等功能。

(二) 機廠景觀設計概念

機廠屋頂景觀將以梵谷的畫布色彩豐富、情感充沛之概念(如圖61)，來表現出自然環境的旺盛生命力(如圖62)。

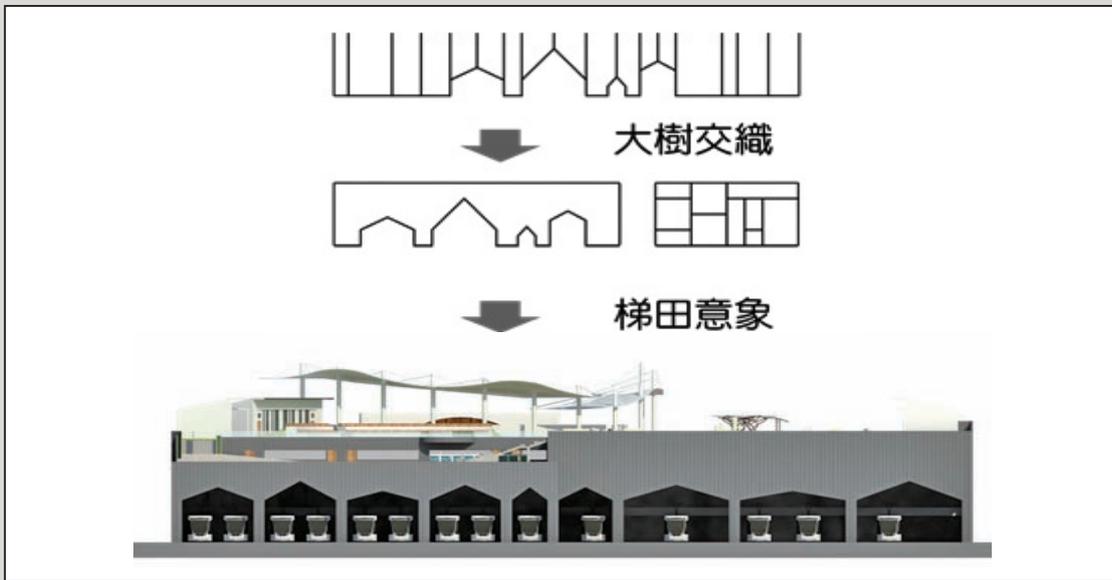


圖58 維修機廠立面透視圖



圖59 行政大樓以虛實變換造型與滯洪池相輝映



圖60 行政大樓透視圖(如山岩佇立)



圖61 梵谷的畫布



A.景觀滯洪池

B.草皮景觀

C.花園景觀

D.市集景觀



圖62 機廠景觀配置示意圖



圖63 可食地景



圖64 生態保育



圖65 農產市集案例

(三) 落實都會農學構想

響應社區、農業、山林平衡永續發展的趨勢，利用輕軌各項設施做為活動平台，推動以「人與自然和諧共處」為願景的新農業地景，包涵人文特色的醞釀培養，策略方式如可食地景、魚菜共生、資源回收、生態保育、人文風情及農產市集

等(參考如圖63~圖65)。

(四) 機廠配合外部參訪構想

營運時期機廠將視參訪者特質，搭配不同活動範圍及路徑的需求而調整，並規劃據點(如圖66)進行參訪活動。



解說平台



內部參觀走道



巡遊步道觀景天窗

圖66 建議之活動據點

(五) 結合農遊意象構想

營運期間運用地資源，在機廠及沿線候車站推廣農遊活動，以輕軌連結各個活動地點，藉綠色運具串聯，實踐永續理念，並依季節及節氣，設計當令活動，結合此區域位於山林間、水岸旁的各種耕種、農作，形成安坑特色生活模式。

伍、結論與建議

配合新北市三環三線政策，建置安坑輕軌後，將可連結結捷運環線，有利推動安坑發展，提供運輸新走廊，打造大台北一小時生活圈。

本統包團隊妥善考量安坑地區自然與人文條件，輔以光與綠的展演場，家與山的守護站之概念進行設計，朝山林悠活、都會農學之方向發展，希望透過輕軌之串聯，形成一風貌獨特的生活網絡，以實現幸福安坑的美麗願景。

參考文獻

1. 「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程-企劃書」，新亞建設&台灣世曦，105年02月
2. 新北市都市設計審議報告書(A版)/安坑輕軌運輸系統計畫/K1~K9輕軌候車站、高架橋造型、機廠，十匯建築師事務所，105年11月

鑑往知來—— 國內都市軌道 建設系統型式 發展趨勢

關鍵詞：系統型式發展趨勢、軌道建設成本、軌道營運成本、軌道發展參考門檻

交通部運輸研究所／主任秘書／蘇振維 ①

交通部運輸研究所／運輸計畫組／組長／張舜淵 ②

交通部運輸研究所／運輸計畫組／研究員／呂怡青 ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／協理／劉國慶 ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／副理／陳昭堯 ⑤

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／正工程師／吳雅惠 ⑥

摘要 ABSTRACT

「低碳、樂活、永續」環境是每個現代化都市的發展願景，鑒於臺北捷運與高雄捷運興建營運後，在發揮輸運交通功能的同時，也改善沿線周邊都市景觀與環境，其他都會區也希望透過都市軌道的興建，提供良好的公共運輸服務，紓解汽機車交通量不斷成長所造成的道路壅塞與空氣品質惡化問題。惟都市軌道建設除需投資巨大的沉沒成本，後續的系統營運維護與延續，更是重大的課題，畢竟興建是一時的，營運維護卻是長久的事。

本研究蒐集國內已完工與興建中捷運計畫之系統型式、建設成本，以及實際之路線營運成本資料，建立反映國內物價與人力成本之資料庫，期做為後續推動都市軌道設計畫之成本估算與系統評估之參考。此外，並透過國內實際營運成本與旅客平均里程、票箱收入等資料計算出計畫沿線人口或公共運輸比例門檻數值，供後續都市軌道計畫推動初期對於潛力路廊評選之參考。



壹、前言

「低碳、樂活、永續」環境是每個現代化都市的發展願景，鼓勵使用公共運輸、降低私人機動車輛的使用，為交通部門目前積極推動之重要政策。由於軌道運輸系統具有安全、快速、可靠、便利、低污染、省能源及運量大等營運特性，為目前永續運輸發展之國際趨勢。

在北高兩大都會區興建高運量捷運系統之後，由實際營運經驗與績效顯示，臺北都會區隨著路線的陸續通車，已越過運量成長的高峰期，後期通車路線所帶來的運量成長效益已趨緩，加上高雄捷運運量未如預期樂觀，因此後續推動之臺北都會區後續路網及臺中、桃園等改採中運量鋼輪鋼軌系統，或非核心區改用運能較低非全線專用路權之輕軌系統(新北市淡海輕軌及高雄環狀輕軌)，甚至人口規模更小的城市正研議或規劃單軌捷運系統、個人捷運系統等。

不同軌道型式的推動執行，恐面臨建置發包策略、國內軌道產業發展、相容性、維修及法規適用性等課題，對中央、地方主管機關及營運單位均為一大考驗。交通部運輸研究所與台灣世曦公司合作於民國105年進行「都市軌道運輸系統型式發展之研究」¹，希藉由蒐集國內外相關資料，探討適合國內都市運輸型態之軌道運輸系統型式，包含相關法規適用及未來國內技術開發及產業發展等，期望能為未來都市軌道運輸系統提供新的選項。

本文主要摘錄研究計畫中針對國內案例與計畫部分，探討國內已完工營運與興建中、計畫中之都市軌道系統發展趨勢、建設成本以及實際營運成本資料，建立反映國內物價與人力成本之資料庫，期做為後續推動都市軌道設計畫之成本估算與系統評估之參考。此外，並透過國內實際營運成本與旅客平均里程、票箱收入等資料計算出相關沿線人口或公共運輸比

表1 國內都會區捷運建設已完工路線(民國85年~104年)建設經費統計

都會區	路線名稱	系統型式	完工年期	路線長度(km)	平面(km)	高架(km)	地下(km)	用地徵收面積(公頃)	建造成本(億元)	用地徵收費用(億元)	總建設經費(億元)
臺北	木柵線	膠輪AGT	85年	10.9	-	10.1	0.8	13	218.0	28.6	246.6
	淡水線	鋼輪鋼軌	86年	22.8	9.5	10.5	3.8	140	505.8	252.6	758.4
	新店線	鋼輪鋼軌	88年	12.2	-	-	12.2	14	492.1	73.0	565.1
	南港線	鋼輪鋼軌	89年	12.6	0.3	-	12.3	11	563.4	111.9	675.3
	板橋線	鋼輪鋼軌	95年	7.1	-	-	7.1	2	218.3	48.8	267.1
	中和線	鋼輪鋼軌	87年	5.4	-	-	5.4	1	267.6	27.2	294.8
	板橋延伸土城線	鋼輪鋼軌	95年	5.6	-	-	5.6	38	192.1	109.4	301.5
	新莊線	鋼輪鋼軌	101年	14.3	-	-	14.3	19	841.1	188.1	1,029.2
	蘆洲線	鋼輪鋼軌	99年	6.4	-	-	6.4	24	287.1	113.6	400.7
	內湖線	膠輪AGT	98年	14.8	-	10.9	3.9	14	516.2	99.6	615.8
	南港東延段	鋼輪鋼軌	99年	2.5	-	-	2.5	0	108.8	8.3	117.1
	信義線	鋼輪鋼軌	102年	6.4	-	-	6.4	0	288.3	15.2	303.5
	松山線	鋼輪鋼軌	103年	8.5	-	-	8.5	1	389.5	45.0	434.5
	土城線延伸頂埔段	鋼輪鋼軌	104年	2.0	-	-	2.0	0	69.5	0.4	69.9
高雄	捷運紅線	鋼輪鋼軌	97年	32.5	1.9	10.3	20.3	134	1,289.8	170.4	1,460.2
	捷運橘線	鋼輪鋼軌	97年	13.9	0.8	-	13.1				
合計				177.9	12.5	41.8	124.6	413	6,247.6	1,292.1	7,539.7

資料來源：臺北市政府捷運工程局、高雄市政府捷運工程局。

例門檻數值，供後續都市軌道計畫推動初期對於潛力路廊評選之參考。

貳、國內都市軌道建設概況

國內已完工之捷運建設(如表1)包括臺北都會區捷運系統第一期路網(包含5條主要路線、2條單站支線，路線里程131.5公里，營運車站共121站)與高雄捷運紅線及橘線(兩路線共46.4公里，38座車站)，建造成本合計約6,247.6億元，用地徵收約413公頃，用地徵收費用約1,292.1億元，總建設經費約7,539.7億元。其中除了木柵線與內湖線(目前合稱文湖線)為膠輪AGT系統外，其他皆為鋼輪鋼軌捷運系統。

興建中路線(如表2)於臺北都會區、高雄都會區、臺中都會區共有8條，長度共約83.0公里，除淡海線、安坑線與高雄環狀線為輕軌系統外，其他皆為中運量鋼輪鋼軌系統，總建造成本2,275.9億元，用地徵收費用394.5億元。

一、營運中路線建造成本分析

就機電系統成本而言(如圖1)，鋼輪鋼軌系統為4.5億元/公里(高雄紅橘線)~14.0億元/公里(信義線)，平均為8.1億元/公里；膠輪AGT系統為8.6億元/公里(木柵線)~15.0億元/公里(內湖線)，平均為12.3億元/公里。平均而言，目前國內已完工通車之膠輪AGT系統機電系統單位成本較鋼輪鋼軌系統為高。

表2 國內都會區捷運建設與建中路線建設經費統計

都會區	路線名稱	系統型式	完工年期	路線長度(km)	平面(km)	高架(km)	地下(km)	用地徵收面積(公頃)	建造成本(億元)	用地徵收費用(億元)	總建設經費(億元)
臺北	信義線東延段	鋼輪鋼軌	111年	1.41	-	-	1.41	辦理中	73.31	16.54	89.85
	環狀線(一階)	鋼輪鋼軌	105年	15.4	-	14.2	1.2	2.38	606.9	39.1	645.97
	萬大樹林中和(一階)	鋼輪鋼軌	107年	9.5	-	-	9.5	辦理中	538.0	137.6	675.58
	淡海輕軌(一階)	輕軌	107年	9.44	4.84	4.6	-	7.08	93.5	11.4	104.94
	安坑輕軌	輕軌	110年	7.5	3.0	4.1	0.4	4	107.4	22.7	130.1
	三鶯線	鋼輪鋼軌	113年	14.3	-	14.3	-	34	314.0	56.9	370.86
高雄	環狀輕軌(一階)	輕軌	106年	-	8.7	-	-	1	56.8	2.9	59.65
臺中	綠線	鋼輪鋼軌	109年	16.7	0.8	15.9	-	辦理中	485.9	107.4	593.37
合計				83.0	17.3	53.2	12.5	48.0	2,275.9	394.5	2,670.4

資料來源：臺北市政府捷運工程局、高雄市政府捷運工程局、臺中市政府。

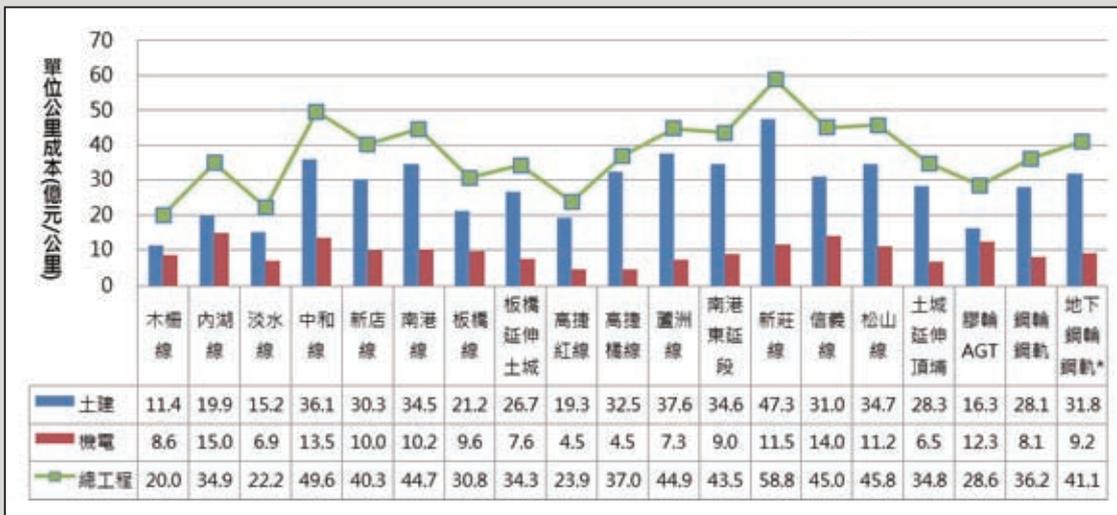


圖1 營運中之捷運系統平均單位公里造價分析(計畫年期幣值)

註：工程造價含直接工程成本、間接工程成本及物價調整費。

資料來源：都市軌道運輸系統型式發展之研究，交通部運輸研究所，民國105年12月。

於單位總工程成本方面，約為20.0億元/公里(木柵線)~58.8億元/公里(新莊線)，膠輪AGT系統平均單價(28.6億元/公里)較鋼輪鋼軌系統(36.2億元/公里)為低。

二、興建中路線建造成本分析

除了信義東延段延續臺北都會區一期路網，沿用相同的鋼輪鋼軌系統外，臺北環狀線(第一階段)、萬大中和樹林線(第一階段)因位於

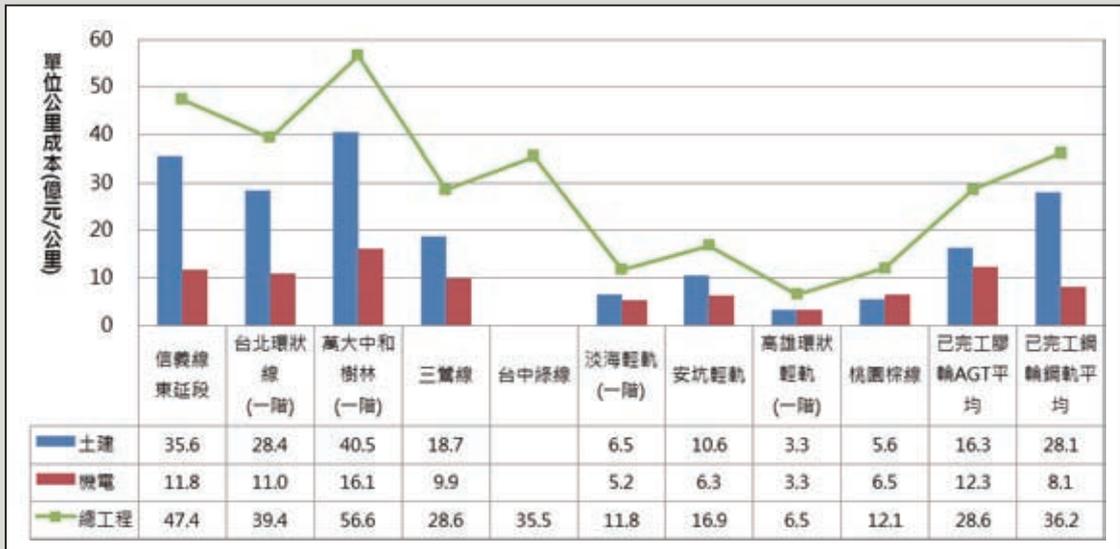


圖2 興建中之捷運系統平均單位公里造價分析(計畫年期幣值)

註：工程造價含直接工程成本、間接工程成本及物價調整費。

資料來源：交通部運輸研究所，「都市軌道運輸系統型式發展之研究」，民國105年12月。

都會區較外圍區，以及都會區之次走廊運量規模較小，朝向發展4車編組列車、無人駕駛鋼輪鋼軌系統，單位成本為39.4億元/公里(臺北環狀線(第一階段)~56.6億元/公里(萬大中和樹林線(第一階段))，主要差距仍在於建造型式不同，臺北環狀線(第一階段)以高架為主，萬大中和樹林線(第一階段)全線為地下化。臺中興建中綠線亦採用4車編組列車、無人駕駛鋼輪鋼軌系統，全線高架化，單位公里造價預估約35.5億元/公里，如圖2。

此外，北、高兩都會區也陸續興建輕軌運輸系統，如臺北都會區之淡海線與安坑線，高雄都會區的環狀輕軌，由於皆以行經平面道路為主，號誌與控制系統較為單純，故單位成本為6.5億元/公里至16.9億元/公里，約為其他捷運系統三分之一至二分之一。

三、綜合分析

由於各計畫執行年期皆不相同，為綜合評估各系統型式於不同建造型式下之單位成本，將各計畫年期建設成本以物價調整率(參考相關

計畫採1.5%)，調整至民國105年幣值(將計畫完工年調整至民國105年)，並彙整上述各計畫土建與機電成本，估算高運量鋼輪鋼軌、中運量鋼輪鋼軌、中運量膠輪、輕軌運輸系統於不同建造型式下每公里建造成本如圖3。

由圖3顯示，不同建造型式與系統型式對於成本皆有明顯之影響，尤其是土建型式影響較大。同樣為中運量鋼輪鋼軌系統，地下型式之每公里土建成本約為高架型式的2倍，機電成本地下型式約為高架型式的1.5倍；中運量膠輪系統地下型式之每公里土建成本約為高架型式的2.6倍，機電成本地下型式約為高架型式的1.5倍。

同樣是地下結構型式，高運量鋼輪鋼軌與中運量鋼輪鋼軌、中運量膠輪系統之土建成本為每公里39.1億元至40.7億元差異不大；惟機電系統方面，中運量系統不論是膠輪或鋼輪鋼軌皆約為高運量的1.5倍；而不論是高架或平面建造型式，輕軌系統每公里造價相對較為經濟。就每公里之總工程成本而言，中運量地下：中運量高架：輕軌高架：輕軌平面間之比例約為6：3：1.5：1。

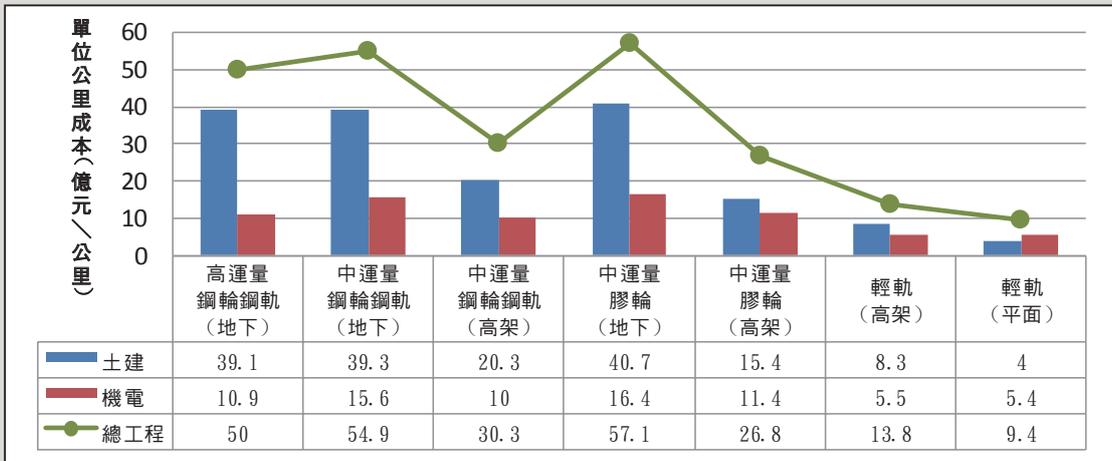


圖3 國內軌道系統型式單位公里建設成本彙整分析

註：工程造價含直接工程成本、間接工程成本及物價調整費。

資料來源：交通部運輸研究所，「都市軌道運輸系統型式發展之研究」，民國105年12月。

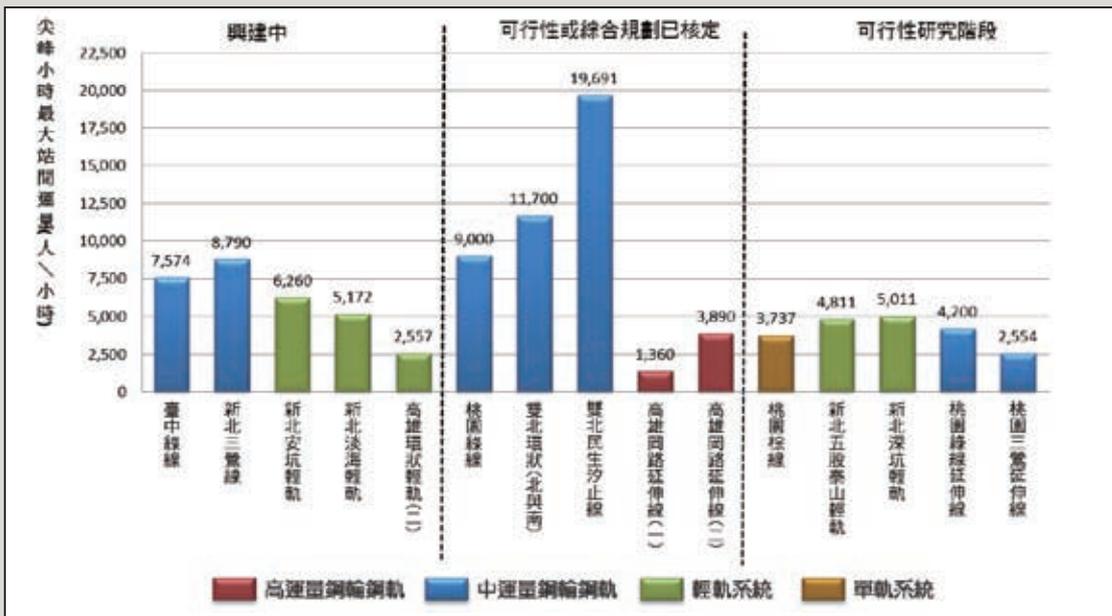


圖4 目前推動相關捷運計畫運量規模與系統型式

參、後續都會區推動軌道系統型式趨勢探討

本研究整理目前推動相關捷運計畫如圖4，顯示在北、高兩大大都會區主幹捷運路網興建完成後，後續推動之路線主要屬都會區之外圍或次要走廊，或是其他希望以軌道運輸提升整體公共運輸服務品質之縣市，由於運量規模較小(尖峰小時最大站間運量約為2,000人/小時～

20,000人/小時)，為撙節建設經費，朝向以高架型式，與採用中運量鋼輪鋼軌系統(如北捷環狀線為4車編組，每列車可乘坐650人)為主，或是推動平面輕軌系統(如淡海線、安坑線、高雄環狀線)，或採跨座式單軌系統(桃園棕線)。

就前述考量建造成本與運量規模(站間運量2,000人/小時～20,000人/小時)等因素，未來可能推動捷運系統型式如圖5所示，適合推動

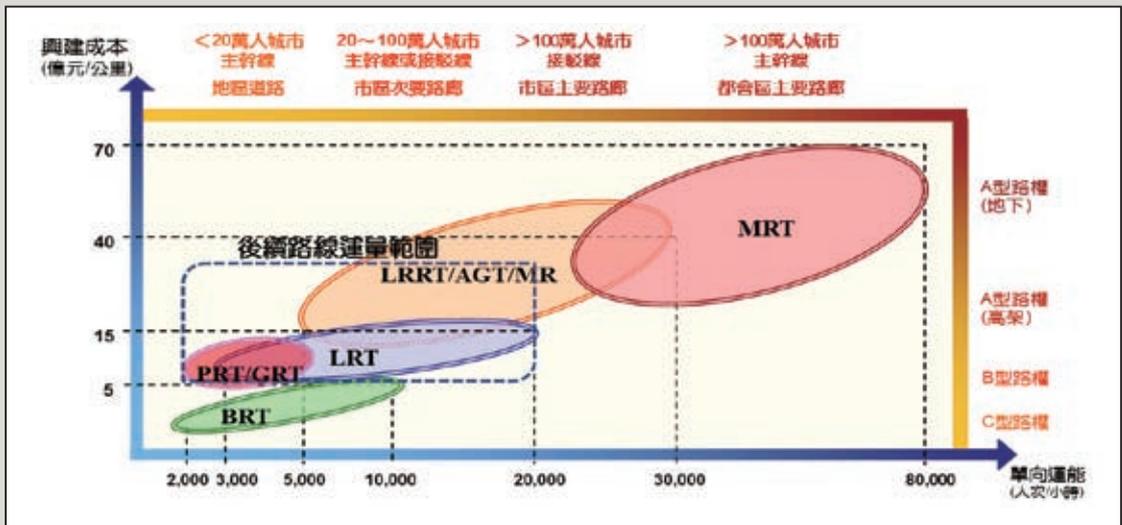


圖5 都會區軌道系統服務功能、運能與成本範疇圖

的系統包含中運量鋼輪鋼軌捷運(包含於LRRT/AGT)、膠輪AGT、平面輕軌(LRT)，與國內尚未引進的單軌運輸系統(Monorail，簡稱MR)與個人捷運(PRT)與團體捷運(GRT)系統等。

茲將相關系統於服務功能、工程條件、技術特性、環境影響、成本效益等特性與相對差異整理如表3。其中中運量鋼輪鋼軌(LRRT)、膠輪AGT、平面輕軌(LRT)之成本資料皆整理自國內已完工或興建中捷運系統資料如圖1~圖4，以反映國內建材物價與人力成本，而單軌系統與PRT系統則參考財團法人中華顧問工程司之「單軌捷運系統在台灣應用研究及評估計畫」(民國104年)⁵與「PRT系統應用研究及評估計畫」(民國103年)⁶的研究成果。

肆、都會區軌道系統發展門檻探討

軌道運輸需投入相當大之建設成本，且具有規模經濟之特性，故部分人士對於要投入龐大建設經費興建軌道系統，其可能獲得的效益，持保留態度。於美、日、德等國家的相關運輸或區域經濟分析專家，經過實際資料蒐集與分析，嘗試建立支撐軌道建設的最小運量或

是人口密度資料，作為評析軌道建設或系統型式之參考。

美國Pushkarev²等人於1982年透過經濟分析方法，以旅運量(平日每英里路線輸運旅客延人公里數(或英里數)，延人公里/公里/日)做為評估軌道建設之門檻指標；Pushkarev²等人亦整理德國輕軌交通顧問公司GmbH(LRTC)於1993年提出輕軌運輸系統應用範圍及設計數據，將輕軌按路權型式分為四個等級，並分析訂定各等級輕軌系統每日應達最小運量密度為2,000~15,000(延人公里/公里/日)。

1998年日本鐵道建設公團規劃部Akira Nehashi³針對日本因人口與汽機車增加導致之環境問題，思考在既有捷運或鐵路系統架構下，如何改善車站聯外接駁系統，或是引進新型系統，以使都市公共運輸系統更加完善。惟新建公共運輸系統在日本同樣面臨用地取得與融資等問題，故其蒐集分析日本相關之都市運輸系統，包括捷運、AGT、單軌、輕軌、公車捷運等之服務旅程長度、運能、建造與營運成本、損益平衡運量等相關資料，以選擇符合發展需求的運輸系統。

表3 中小型都會區軌道運輸系統特性評析

系統型式 評估項目		中運量 鋼輪鋼軌 (LRRT)	膠輪 AGT	平面輕軌 (LRT)	單軌捷運 (Monorail,MR)	團體捷運(GRT)	個人捷運(PRT)
服務功能	運輸功能	與既有鐵路或捷運之接駁大型都會區次要運輸走廊新市鎮區內及聯外系統				與既有捷運之接駁、中小型城市運輸路網	機場接駁、中小型城市運輸路網
	服務運能單向 (人次/小時)	20,000~30,000	20,000~25,000	2,500~20,000	5,000~30,000	1,900~5,700	1,800~5,400
工程條件	最大爬坡度 (考慮舒適度)	7%	7%	7%	6%	10%	
	最小轉彎半徑	18~20m	30m	25~30m	30~50m	6~10m	
技術特性	技術成熟性	發展成熟，全球使用案例多，且車輛製造商也多，產品採購較具普及性與便利性			車輛製造商較少，系統採購與後續維護成本上將受限於製造商，增加採購與維護之困難性	全球使用案例很少，且車輛製造商也很少，系統採購與後續維護成本上將受限於製造商，增加採購與維護之困難性	
	自動化程度	高	高	低	高	高	
	容量擴充彈性	高	低	高	高	低	
	產業發展	高	中	高	中	高	
環境影響	噪音	高	低	高	低	低	
	空氣污染	低	低	低	低	低	
	景觀破壞	中	低	低	低	低	
	交通衝擊	低	低	高	低	低	

加州大學運輸中心Erick Guerra 與 Robert Cervero於2011年提出「達到大眾運輸投資損益平衡之都市發展密度研究」⁴，透過59個案例(包括公車捷運、輕軌與捷運系統)進行分析，觀察居住人口與及業人口密度增加，可減少平均每位旅客所負擔的投資成本及相對節省效益，而達到成本效益的平衡。並探討如何透過TOD手段，在何時、何處增加多少都市人口，才能達到發展大眾運輸之效益。

參考上述文獻，本計畫蒐集臺北捷運與高雄捷運實際營運資料，分析於營運階段達到損益平衡的運量密度，並與國外相關資料比較，作為國內推動軌道計畫之參考。圖6與7分別整

理臺北捷運與高雄捷運每列車公里營運成本與旅客平均搭乘里程。臺北捷運高運量系統平均每列車營運成本為637.9元/延車公里~670.9元/延車公里，高雄捷運每列車營運成本為351.3元/延車公里~697.2元/延車公里(不計民國97年特別高者)。

高雄捷運營運成本由於民國102年高雄捷運公司與高雄市政府透過合約修訂，高雄市政府同意負擔部分固定資產重置費用，故使高雄捷運公司減少「折舊」、「權利金」、「利息費用」項目的部分金額，而使得由損益表上運輸成本計算出的單位延車公里成本於民國102年以後降低。

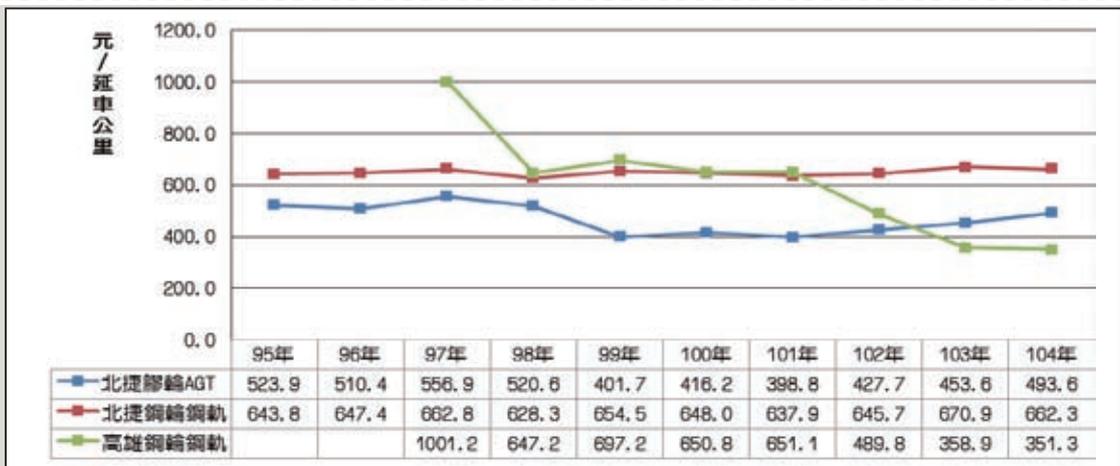


圖6 臺北捷運與高雄捷運每列車公里營運成本

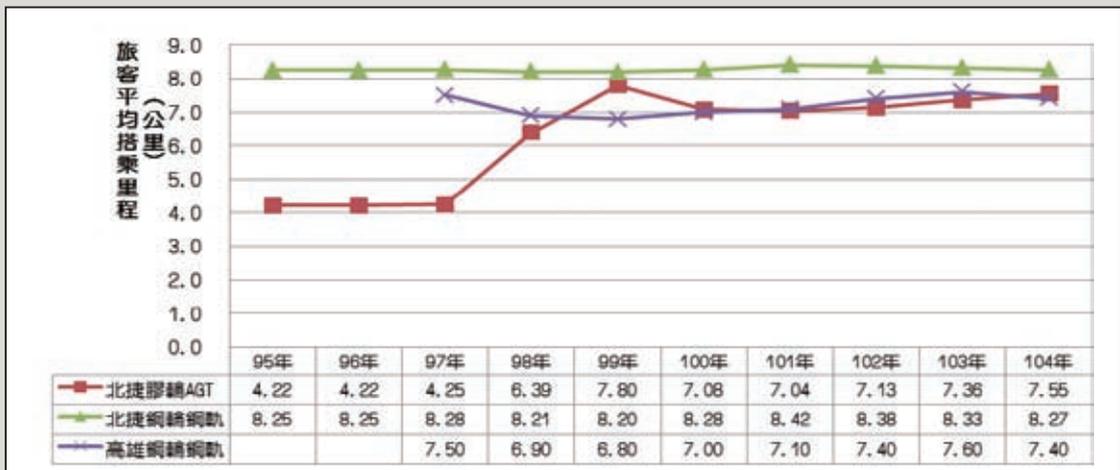


圖7 臺北捷運與高雄捷運旅客平均搭乘里程

惟損益平衡計算，必須反映真實運輸成本（包括人員、電力等能源費用、材料及用品與重增置成本等），與營收收入（票價與附屬事業）之平衡關係，故後續於引用高運量成本資料，將會以參考臺北捷運高運量系統與民國101年以前高雄捷運成本資料為主，輕軌每列車營運成本則參考高雄市政府捷運工程局預估為250元/車公里。

本研究以國內捷運路線之平均長度(14公里)為基礎，計算在不同班次情境下之每日營運成本，即為達到損益平衡之營運收入，扣除附屬事業收入(假設為票箱收入之一定比例)，得到所需之票箱收入，再除以平均每位旅客搭車票價

(利用圖7計算捷運旅客平均搭乘里程約8公里，再換算得平均票價)，得到路線營運損益平衡之每日運量，再除以路線長度，得到運量密度(旅客/公里)，並與日本鐵道建設公團規劃部Akira Nehashi對於日本都市軌道系統之統計資料比較，如表4。

由於Akira Nehashi計算基礎為每日126班，估算損益平衡運量密度，AGT為4,300人/公里，輕軌2,100人/公里，與本研究最大合理班距情境(每日124班)，AGT為4,081人/公里，輕軌2,362人/公里接近。參考國際上對於各系統運能之界定(表3)，與國內已營運路線之尖離峰列車班距，以及規劃路線對於各類型軌道系統運量規

表4 都市軌道系統營運損益平衡運量密度

項目	重/高運量捷運 (Metro)	中運量捷運		輕軌運輸	
		AGT	單軌捷運		
達到損益平衡 運量密度 (人/公里)	日本捷運統計 ¹	12,200	4,300	4,000	2,100
	國內捷運統計	6,719 ² ~9,218 ³	4,081 ² ~6,089 ³	--	2,362 ² ~3,524 ³

註：1. 日本捷運統計(每日營運17小時，尖峰4小時班距5分鐘，離峰13小時班距10分鐘，一日計126班次)
 2. 最大合理班距情境(每日營運18小時，尖峰4小時班距6分鐘，離峰14小時班距10分鐘，一日計124班次)。
 3. 配合運量規模班距情境(每日營運18小時，尖峰4小時班距3分鐘，離峰14小時班距8分鐘，一日計185班)。

表5 不同規劃作業階段都市軌道發展建議參考門檻

項目	重/高運量捷運 (Metro)	中運量捷運		輕軌運輸
		AGT	單軌捷運	
可行性研究與綜合規劃階段 都市軌道運量密度建議參考門檻 (人/公里)	9,000	6,000		3,500
整體路網階段公共運輸旅客門檻 (人/公里)	4,500	3,000		1,750

模與列車採購考量，一般是以尖峰4小時班距3分鐘，離峰14小時8分鐘，一日計185班進行規劃。在「配合運量規模班距」情境下，計算損益平衡運量密度，AGT為6,089人/公里，輕軌3,524人/公里。

本研究建議採「配合運量規模班距」情境下計算之損益平衡運量密度，為「可行性與綜合規劃」階段之參考門檻(考量「可行性與綜合規劃」階段須完成路線方案運量預測)。

於「整體路網規劃階段」，未進行路線運量預測情形下，則可利用現況之公共運輸使用情形作為路廊篩選之參考，並建議參考臺北捷運與高雄捷運經驗(如民國103年公共運輸運量約為捷運通車時之2~3倍)，即預期捷運通車後，運量仍有成長空間，以損益平衡運量密度之二分之一，作為「整體路網規劃階段」現況公共運輸旅客量之門檻值。

不同規劃作業階段都市軌道發展建議參考門檻如表5，建議「可行性研究與綜合規劃階段」計畫目標年運量預測，若欲採重/高運量捷運

(Metro)系統，需達到9,000人/公里；若欲採中運量捷運系統，需達到6,000人/公里；欲採輕軌運輸系統，需達到3,500人/公里，才有發展之潛力。

「整體路網規劃階段」都市軌道發展之潛力路廊，若欲採重/高運量捷運(Metro)系統，其現況公共運輸旅客量須達到4,500人/公里；若欲採中運量捷運系統，其現況公共運輸旅客量須達3,000人/公里；欲採輕軌運輸系統，現況公共運輸旅客量須達1,750人/公里。

以「最大合理班距」情境與「配合運量規模班距」情境下計算之損益平衡運量密度，利用運量等於旅次發生率(旅次/人)與人口密度(人/公里)以及公共運輸比例之乘積，以臺灣地區平均旅次(1.8旅次/人-日)繪製人口密度與公共運輸比例相對關係圖(圖8與圖9)，在固定之損益平衡運量密度下，人口密度越高，公共運輸比例可以較低，若是人口密度越低，公共運輸比例則需要提高。

本研究以安坑線、三鶯線與民汐線為例，分別估算民國103年，三條路線兩側500公尺

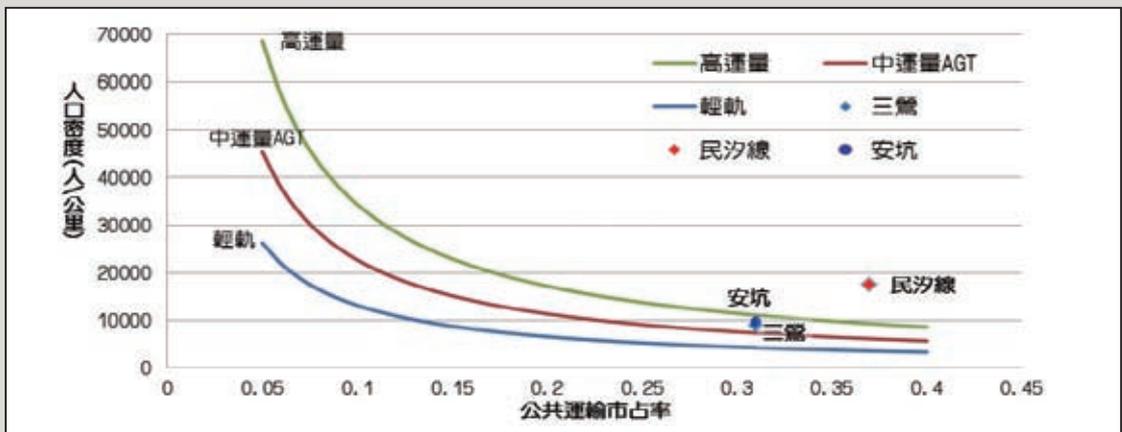


圖8 都市軌道運輸發展人口密度與公共運輸市占率參考值(最大合理班距)

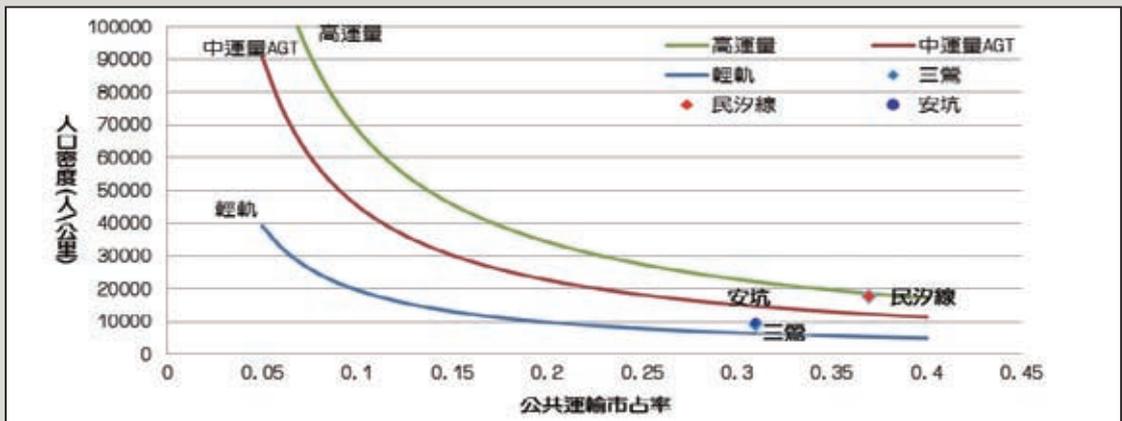


圖9 都市軌道運輸發展人口密度與公共運輸市占率參考值(配合運量規模班距)

廊帶之人口密度(如表6)，並對照新北市與臺北市公共運輸比例(安坑線、三鶯線以104年民眾日常使用運具狀況調查新北市公共運輸比例31%，民汐線以臺北市公共運輸比例37%)，以圖9「配合運量規模班距」標準，安坑線與三鶯線可達輕軌運輸系統發展門檻，民汐線達臺北捷運中運量系統發展門檻。

伍、結論與建議

臺北都會區隨著路線持續通車，已越過運量成長的高峰期，後期通車的路線所帶來運量成長效益已趨緩，加上高雄捷運運量未如預期樂觀，後期興建與目前研議中之路線站間運量約介於2,000人/小時~20,000人/小時。

依據本研究整理國內軌道建設成本資料，不同建造型式與系統型式對於成本皆有明顯之影響，尤其是土建型式影響較大，於相同軌道系統型式下，地下型式土建成本約為高架的2~2.6倍，地下型式機電成本約為高架型式的1.5倍；而不同軌道系統型式，在同樣的土建型式下差異不大，最大差別在機電系統。總計各系統每公里總工程成本比例，中運量地下：中運量高架：輕軌高架：輕軌平面約為6：3：1.5：1。

本研究從營運階段達到損益平衡之觀點，建議採用各系統型式之運量密度門檻值如表5，建議「可行性研究與綜合規劃階段」可以計畫目標年運量預測進行檢視，「整體路網規劃階段」可採現況公共運輸旅客量進行檢視。

表6 臺北都會區捷運路線路廊沿線兩側500公尺廊帶人口密度

路線	路線長 (公里)	人口數 (民國103年)	人口密度 (人/公里)	交通部調查 公共運輸比
文湖線	25.7	485,139	18,877	0.374
淡水信義線	29.2	559,153	19,149	0.374
松山新店線	20.7	517,264	24,989	0.374
中和新蘆線	28.7	909,100	31,689	0.374
板南線	24.2	605,708	25,029	0.374
三鶯線	14.3	123,444	8,639	0.314
安坑線	7.5	73,410	9,788	0.314
民汐線	19.623	343,658	17,513	0.314
五股線	11.48	114,774	9,998	0.314
桃園棕線	11.465	97,490	8,503	0.130
桃園綠線	27.8	244,126	8,781	0.130
桃園綠線延伸	7.62	80,422	10,554	0.130
淡海輕軌綠山線	7.5	31,034	4,138	0.314
淡海輕軌藍海線	6.7	29,967	4,473	0.314

由圖8與圖9可看出，在達到損益平衡之運量密度下，公共運輸使用率與活動人口密度之關係，由於臺北市與新北市公共運輸使用率皆達到30%以上，故大致皆可以達到輕軌與中運量系統之發展門檻，而其他縣市公共運輸使用率普遍皆在20%以下，未來若未能達到足夠之人口密度，對於永續營運將形成較大風險。

建議各縣市政府在爭取都市軌道建設計畫的同時，應透過TOD都市規劃手段，使捷運路線沿線朝向較密集土地開發與發展，以引進足夠之活動人口，並積極培養公共運輸旅客量，發揮都市軌道能之建設效益，並達到永續營運之目的。

參考文獻

- 交通部運輸研究所，「都市軌道運輸系統型式發展之研究」，2016年。
- Pushkarev, Boris S.; Jeffrey M. Zupan, and Robert S. Cumella, *Urban Rail in America: An Exploration of Criteria for Fixed-Guideway Transit*. Bloomington, IN: Indiana University Press.. 1982.
- Akira Nehashi, *New urban transit systems Reconsidered*, 1998.
- Erick Guerra and Robert Cervero, *Mass Transit & Mass : Densities Needed to Make Transit Investments Pay Off*, University of California, Berkeley ,2011.
- 財團法人中華顧問工程司，「單軌捷運系統在台灣應用研究及評估計畫」，2015年。
- 財團法人中華顧問工程司，「PRT系統應用研究及評估計畫」，2014年。

紀念
「宣導人文輕軌的陳俊融副總工程司」

摘要 ABSTRACT

故陳俊融君為前高雄市政府捷運工程局副總工程司，慟於民國(以下同)105年11月20日因病辭世，享年五十三歲，其親人、長官、同事、朋友及學長弟們皆甚為不捨！隨著高雄輕軌之規劃、設計、施工之進展，陳副總工程司熱心地宣導人文輕軌。陳副總工程司在最後一段日子裡，抱病完成了著作「那些年，我們一起迎接輕軌」，而高雄輕軌(第一階段)統包工程分別於104年10月16日通車C1至C4站、105年7月4日再通車至C8站，隨著高雄輕軌逐步地通車，代表10餘年來高雄發展輕軌建設已慢慢開花結果了。希望“移動的地標-輕軌”代表高雄再次的蛻變，重新形塑城市美學及生活文化。



關鍵字：捷運、輕軌、人文輕軌

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／經理／林建華 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／計畫副理／許朝榮 ②

高雄市政府捷運工程局／系統工程科／股長／江照雄 ③



壹、前言

高雄市政府捷運工程局陳俊融副總工程司，77年6月國立中興大學土木工程研究所碩士畢業，於79年6月至局服務，歷經股長、正工程司、科長，99年4月陞任副總工程司；亦擔任高雄第一科大營建系、高雄應用科技大學土木系、正修科大土木與工程資訊系業界專家協同教學講師。盡心盡力投入捷運、輕軌各項工作，戮力以赴，迄至病中，仍未忘工作初衷，心懷人文輕軌，直至105年11月20日於高雄醫學大學附設中和紀念醫院肝癌辭世。哲人已矣，為感念其人其事，幾位他高中、大學的學長、學弟等，特撰文以紀念之！

貳、著作與事蹟

陳副總工程司在其任內，完成諸多事項：

- 一、曾榮獲91年度中國工程師學會十大優秀青年工程師獎、98年度中國工程師學會高雄市分會傑出工程師獎、102年度中華民國隧道協會優良隧道工程師。籌編過「高雄捷運潛盾隧道施工專輯」、「高雄捷運軌道專輯」、「高雄捷運車站建築專輯」、「高雄捷運南岡山站影像專輯」，並於105撰寫完成「那些年，我們一起迎接輕軌」。
- 二、協助督導安全完成高雄捷運紅橘線全線潛盾隧道貫通（包括穿越蘋果森林大樓、半屏山、前鎮

河、博愛橋等)、O5/R10地下車站站體：轉乘站O5/R10直徑140公尺、開挖深度27.05公尺，為世界最大之圓形捷運車站，其複雜環境條件及施工案例，在國內及國際施工紀錄上均稱首次。

三、參與並協助各項工程榮獲殊榮：包括「紅線CR2區段標工程」榮獲96年行政院勞工委員會首屆「公共工程金安獎」、「高雄都會區大眾捷運系統紅線工程」榮獲97年中國工程師學會「工程優良獎」、「紅橘線路網建設案(CR4、CR5、CO2區段標工程)」榮獲台灣混凝土學會「2009混凝土工程優良獎」第一名；「R9中央公園站」則同時榮獲2008國家卓越建設獎「優良環境文化類金質獎」、2008建築園冶獎「優質公共景觀獎」及第三屆「都市設計景觀評選大獎」、FIABCI(The International Real Estate Federation世界不動產聯合會)2009 Prix d' Excellence Award全球卓越建設獎環境類金質獎等獎項；「O5/R10美麗島站」則同時榮獲2009建築園冶獎「特別獎」、2009國家卓越建設獎「優良環境文化類卓越獎」、98年中國工程師學會「工程優良獎」、2009國際照明設計獎、第四屆「都市設計景觀評選大獎」及FIABCI 2010 Prix d' Excellence Award全球卓越建設獎環境類金質獎等獎項；「R17世運站」榮獲第三屆「都市設計景觀評選大獎」、2009國家卓越建設獎「優良環境文化類金質獎」；「R18油廠國小站」榮獲2011國家卓越建設獎「優良環境文化類金質獎」等獎項。

四、協助規劃台灣獨一無二的高雄環狀輕軌：史無前例運用台鐵東西臨港線的路權，雖遭遇民眾嚴重質疑「去除平交道」、「走了鐵路、來了輕軌」，嚴重抗爭、紛擾不

斷，困難重重，仍克服艱辛，終底於成。

五、協助克服輕軌使用平面道路與都市空間整合問題：介面繁瑣，影響範圍眾多，光是要先讓民眾對路口的交通影響以及營運制度的熟悉等，各方均有相當程度的意見，況交通號誌整合、路型變更、轉乘設施的配套，更需眾多相關單位的磨合及整合，歷經十餘年，亦均逐一克服。

陳副總工程司在工作閒暇仍不斷的發表高雄捷運與輕軌興建工程相關的論文共50多篇，包括高雄捷運結構的抗鹽防蝕、高雄捷運民間參與之模式與經驗、美麗島車站案例探討、軌道工程規劃與施工實務、高爐水泥與自充填混凝土應用、潛盾隧道設計與施工及相關案例探討、地下隧道通風與防災規劃、公共藝術發展與規劃、高雄輕軌推動現況、輕軌軌道型式與設計、輕軌機廠綠建築設計等，並且倡導將建設與人文結合，在全球暖化的同時，他也開啟臉書做起教育下一代環保綠能在公共運輸的城市定位，啟發年輕人疼惜大地與故鄉的動機。

貳、處事態度與人生觀

從小到大，陳副總工程司面對困難所展現的堅忍不拔，無論在課業上或是生活常規上，從來不會讓父母擔心，並且深得鄰居、師長、男女同學們和兄弟們的喜愛。他對於工作上的態度是我們最佳的模範，他關心朋友、為家人付出，與人相處所顯現的貼心、幽默、重感情、人緣好、萬人迷的特質，將他的關懷毫無藏私的傳遞到身邊的每一個人，並有「消氣丸」的美譽。作者之一記得他常會對生活中心理有失落徬徨的朋友鼓勵說：



陳副總工程師於簽書會

『做不完的事情，停一停，放鬆心情；
掙不夠的錢財，看一看，身外之物；
看不慣的世俗，靜一靜，順其自然；
生不完的悶氣，說一說，心境寬廣；
接不完的應酬，辭一辭，有利健康；
盡不完的孝心，走一走，回家看看；
還不完的人情，掂一掂，量力而行；
走不完の旅程，緩一緩，漫步人生』

與朋友分享他處理事物的態度：『每天弄點糟心事，一輩子都得糟心下去，把糟心的事放下扔掉，每天陽光一點，你就燦爛一輩子！沒有人天生就懂得控制情緒，真正有智慧的人，是時刻留意不要讓自己栽在壞情緒中！』

他非常重視朋友與信用，無論是剛認識的還是深交已久的，一定是真心對待，任何問題求助於他，也必定牢牢地記在心上並盡力完成每一個請託，也正是因為這樣的真誠相待，讓他結交了許多朋友與粉絲們，不但成為了支持他的一大動力，也與大家一起共創出許許多多刻骨銘心的美好回憶。

在104年他身體出現不適狀況，縱使在面對生命這個嚴肅的課題下，他仍然樂觀以對，還經常開玩笑說因為自己的神經比較大條，所以沒那麼擔心病情。在病榻期間，還著手完成了人生的最後一部著作『那一年我們一起迎接輕軌』，熱鬧且成功地辦了2場簽書會，可以說是其人生燦爛的註腳。

參、雪泥鴻爪

作者之一的照雄和副總共事約21個年頭，副總的諸多人格特質，為同仁們塑造良好的學習典範，幫助大家度過許多困難。

21年前那時照雄剛到捷運局，陳副總工程司擔任股長，雖然不受他直接指揮，但發現，為什麼他好像什麼事都知道該怎麼做，都知道如何去完成，有什麼事情長官一定都會先詢問他，而他也總是胸有成竹，充滿信心，這就是副總給人的第一印象。讓照雄在往後幾年，可以在他的領導下順利進行各項工作，縱使在最緊急的突發狀況下，他的自信總是具備安定人心的力量，讓照雄能恢復平靜，不慌不忙，雖然常常只是簡單地提示方向，但只要依照他所說的去做，事情總能神奇地獲得解決，雖然總覺得自己好像也沒特別做什麼努力但工作自然水到渠成，其實是他把表面簡單的部分交給照雄去執行，背後真正困難的部分則由他負責溝通協調。記得93、94年時，因為市議會對預算審查有很多意見，那時他經常在晚上打電話請照雄準備各種說明資料，語氣中總會帶著歉意，可以明顯感受到他的體諒，更重要的是只要照雄把基本資料準備好，他就會盡一己之力去處理，他就是這樣一個勇於任事的好長官。

照雄記得102年與陳副總工程司一起到歐洲考察，每到一處城市，他總是興沖沖地去搭輕軌，彷彿終於見到期待已久的朋友；終於印證腦海中盤旋許久的理念一般，在波蘭克拉科夫微涼的晨曦中大家騎著腳踏車，看著輕軌列車停在道路上讓人們直接上車，而一旁汽車自然停在路上等待、禮讓；在捷克布爾諾看著汽車緩慢依序地跟在輕軌列車後方前進，火車站前輕軌列車、汽車、人群熱鬧交錯，卻無任何號誌管控，讓大家驚訝、佩服，感動許久，這正是陳副總工程司一直宣揚的人文素養體現。

一種『能設身處地為別人著想的善良』，他全心耕耘臉書社團，為建立及實現理想而努力，希望有朝一日高雄輕軌也會如此，他就是這樣熱愛他的工作，堅定地展現生命活力。



陳副總工程司對人更是關懷，總是願意替朋友解決困難，傾聽下屬的意見，他經常在公務上提點照雄，瞭解事情的始末與意見，然後指出應該注意哪些事情。對於不如意的事總是淡然以對，他希望讓每一個同仁都能適得其所，負責他所擅長的事。

肆、對軌道的熱忱與堅持

輕軌在高雄推動之前幾年，陳副總工程司開始在南部各大學演講宣導，有感於許多人提出的問題，都還是停留在用捷運的觀點來看輕軌，於是從2013年轉換以「人文輕軌」為主軸



陳副總工程司

開始他的輕軌演講，甚至在臉書上也不斷地po文宣導。他覺得應該從輕軌的演進過程、輕軌與城市的互動及市界上許多城市發展綠色交通理念等觀點來解釋。大家才容易瞭解，輕軌到底是甚麼樣的大眾運輸。

甚麼是人文？他很喜歡用網路上的一段話來做說明：

一種植根於內心的素養，以「承認約束」為前提的自由，一種「能設身處地為別人著想」的善良，它關乎公平、正義；就在我們日常的生活裏、就在人和人的關係中。想想我們有多少時候，不需要別人提醒。就知道檢點自己的行為，就能夠自覺地遵守法紀，恪守做人的本分，盡可能為別人著想，幫助他人。



陳副總工程司與周禮良董事長合影於高雄輕軌電聯車前

在他第一次演講人文輕軌時，即引用前段說明，因為輕軌是一個榮譽制，以及路口的號誌配合輕軌運作之考量，若大家騎摩托車時橫衝直撞，那城市與輕軌就無法相融了，故當城市有了輕軌，我們的一些生活習慣也要試著用人文的角度去調整，瞭解輕軌會對城市能產生甚麼樣的改變、人們如何搭乘輕軌、及遵守交通號誌，則台灣第一條輕軌在高雄就會成功的永續經營運轉。

前捷運局周禮良局長不只在任內推動高雄輕軌的規劃案，也創意地辦理「2004年輕軌試乘活動」，讓國內民眾親自體驗瞭解什麼叫做輕軌，說他是高雄與台灣輕軌的推手真的一點也不為過。此概念也在陳副總工程司的心理發芽。

起初陳副總工程司係以臉書宣導輕軌，但由於臉書朋友數增加的受限，於2013年10月17日成立JR Chen's Transportation World粉絲專頁。其粉絲專頁大頭貼採用輕軌槽狀鋼軌(54R2槽形軌)如右圖所示，陳副總工程司曾說其意義為：



54R2槽形軌斷面示意圖

- 一、高雄輕軌是台灣第一條輕軌，也是第一個採用嵌埋植草式槽狀鋼軌的輕軌；
- 二、槽狀鋼軌的形狀很像他的英文名字的縮寫JR，而JR又好像他對軌道工作的投入-Just Railway；

伍、感念

陳俊融副總工程司一生展現工程人員滿腔的熱情，高雄輕軌自規劃構想階段一路到施工營運階段，俊融副總工程司更是費盡心力協助高雄市政府及捷運局強力推動而有亮麗的成果，因為他深信，堅持是通往夢想唯一的路。這是一段很難遺忘的路，他一路走來，終至人生落幕，相信他的長官、親人及朋友們均見證了他的英雄歲月。



陳副總工程司與臉書粉絲合影