

ISSN 1011-6850

TAIWAN RAILWAY JOURNAL

TRJ 臺鐵資料

季刊

379

Dec.2021
Winter



交通部臺灣鐵路管理局

Taiwan Railways Administration, MOTC

目錄 Contents

以智慧型手機振動感測用於路線品質之初探.....林智強.陳楷勳.王政傑.劉德正 A Study of Track Quality on Vibration Applying Smartphone Sensors.....Lin,Chih-Chiang. Chen,Kai-Hsun. Wang,Cheng-Chieh. Liu, Ter-Cheng	1
依鋼軌毀損態樣分析原因·並研擬改善對策.....陳文德 According to the Damage Pattern of the Steel Rail Analysis of the Cause, and Developed to Improve the Countermeasures.....Chen,Wen-Te	23
鐵路融合兩側都市活動新解方-大車站平台之初探..楊建豐.賴東陽.陳利強.郭冠宏 The New Way to Integrate Urban Activities on Both Sides of the Railway- A Preliminary Study on Big Pedestrian Deck.....Yang,Jian-Feng. Lai,Dong-Yang. Chen,Li-Qiang. Guo,Guan-Hong	65
推拉式自強號電車組靜式變流器維修研析.....李裕鵬 The Analysis of Maintaining Static Converters for Push-Pull Tze-Chiang Limited Express.....Li,Yu-Peng	91
臨時托軌工程梁工法在車站地下道工程之應用-以追分車站旅運設施工程為例.....陳仕昇 The Application of Temporary Rail Joists in the Construction of Station Underpass – An Example of Transportation Facility Construction in Zhuifen Station.....Chen,Shih-Sheng	109

以智慧型手機振動感測用於路線品質之初探

A Study of Track Quality on Vibration Applying Smartphone Sensors

林智強 Lin, Chih-Chiang¹

陳楷勛 Chen, Kai-Hsun²

王政傑 Wang, Cheng-Chieh³

劉德正 Liu, Ter-Cheng⁴

聯絡地址：高雄市三民區建工路 415 號

Address : No. 415, Jianguo Rd. Sanmin Dist., Kaohsiung City 807618 , Taiwan
(R.O.C.)

電話 (Tel) : (07)3814526#15208

電子信箱 (E-mail) : cclin@nkust.edu.tw

摘要

軌道路線品質對於營運安全至關重要，而路線品質的量測需要透過人力的蒐集，相當耗費人力以及經費，近年來智慧型手機的功能與性能逐漸的提升，在振動感測器上也已達到相當好的水準，再加上其整合了 GPS、儲存、無線傳輸、藍芽…等功能，是現在人生活上已不可或缺的一個便利工具，因此本研究開發一套手機應用程式，整合這些功能來達到路線品質量測的目的，透過振動感測的方式，並結合定位系統，將數據存於手機內，在透過無線傳輸將資料傳輸於遠端資料庫，在透過後處理程式分析出振動最大位置，其對於軌道養護人員可降低其巡查上的壓力，並且對於軌道路線品質進行數位化資料庫的管理，本研究已建立初步的量測應用程式、後處理方法與資料庫，並進行實際列車之初步測試，從結果可確定此方法具有可行性。

¹國立高雄科技大學 土木工程系 助理教授

²國立高雄科技大學 土木工程系 碩士

³臺鐵局 工務處 技術助理

⁴臺鐵局 高雄工務段 助理工務員

關鍵字：智慧型手機、軌道路線品質、數位化資料庫

Abstract

Track Quality plays an important role for riding safety, and the measurement of track quality requires manpower that is labor-intensive and expensive. In recent years, the function and performance of smartphones have been dramatically improved; and the built-in vibration sensors can reach the respectable level. In addition, with the integration of GPS, storage, wireless, Bluetooth and other functions, smartphones can be deemed as an indispensable device in life. Therefore, this study develops a set of applications to integrate the above mentioned functions in order to achieve the purpose of track quality measurement. With the combination of vibration sensing and positioning system, data is collected and stored in the smartphone and transmitted to the database via wireless transmission. With post-processing program analysis, the maximum vibrating points can be located which results in the reduction of pressure on track maintenance personnel and increase the management of digital database on track quality. This study has established a preliminary measurement application program, post-processing method and database; and the preliminary test of actual trains has been carried out. From the results, it can be determined that this method is feasible.

Keywords: smartphone, track quality, digital database.

一、前言

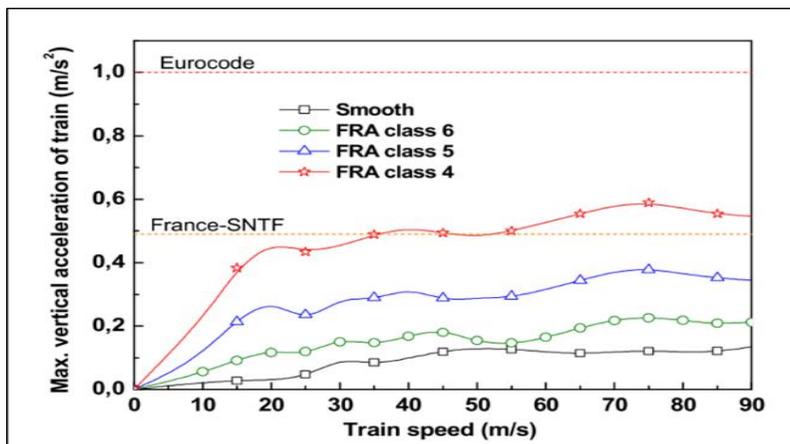
在廣闊的土地上，運輸載具已是生活日常的一部分，在現今社會中時間就是金錢的價值觀，能夠迅速且舒適是現在的交通載具所追求的，而鐵路運輸更是一項快速且安全的運輸載具。最早從古希臘時代透過馬車的路軌運輸，到工業革命後蒸汽火車在鐵軌上奔馳，一直到現在電氣化的時代，鐵路在人類發展史上一直是不可或缺的一環。雖然 20 世紀中期一度面臨到大航空時代的挑戰，但在 1964 年日本發展出高速鐵路後，鐵路運輸仍在近代交通史上占據了一席之地。為了使列車安全且高速運行，對於軌道路線的品質養護就是最基本的日常項目，現今最常見的方法乃透過軌道檢查車檢查軌道品質。Osman 等人^[1]對於軌道檢查車進行了相關資料的整理，其研究中主要針對軌道檢查車排程上所遇到的問題進行分析，提到近五年來新的檢查技術和方針的引入，其考量的項目包含人員、設備、軌道和費用。當軌道品質有所下降時，可透過磨軌車進行研磨，或是進行軌道線形之調整，以此確保列車能夠在軌道上快速且安全的運行。在臺灣由於臺鐵因軌道路線長度長達約 1065 公里，因此軌道檢查車對於每個路段必須安排時間進行週期性的檢測；再加上目前使用的軌道檢查車僅一台，勢必使得路線檢測週期增長，也會增加軌道檢查車的保養費用。對於路線而言很難顧及到臨時性的狀況，然而隨著科技的進步，許多國家透過在營運列車上加裝監測設備^[2-5]，透過營運列車的運行反覆進行監測，若監測到異常的區間，再安排人員進行修繕。目前臺鐵則是利用動搖設備，配合各種列車行駛在各工務段進行隨車量測，此設備能夠量測出列車的振動加速度且有 GPS 功能，但是進入隧道或地下段則須人工按壓按鈕紀錄里程標，其主要是透過振動加速度的大小，來判斷軌道品質，並透過 GPS 定位和標記里程位置定位路線品質較差之位置。

關於列車振動量測在 Suzuki^[6]的研究中提到，振動可以分為六個自由度，分別為 x、y 及 z 軸上的平移振動，以及 x、y 及 z 軸上的旋轉振動所組成；列車在行駛中受到軌道不整而引發振動，此些振動會造成列車安全性及舒適性降低，其研究是透過列車振動來了解列車乘坐舒適度。Karakasis 等人^[7]表明列車行駛中的振動可能是由焊接缺陷、軋製缺陷、鐵軌接頭、軌道對準差異、軌道表面的缺陷、不整或粗糙度及車輪表面的缺陷或粗糙度等諸多原因所引起；而石田^[8]表明軌道不整分為五大項目，分別為軌距不整、水平不整、高低不整、方向不整和平面性不整，路線品質亦從這五大不整量去衡量其軌道品質。由黃

民仁^[9]所撰寫的書中說明上述軌道不整的定義，軌距不整係因左右兩側鋼軌間之距離不整，一般正常軌距以 1067 毫米為基準；水平不整係因左右兩側鋼軌頭面間之水平不整，左右兩側鋼軌頭面保持水平時應為零；高低不整係指在同一側鋼軌上所發生之凹凸不平而言，在鋼軌頭面上拉開 10 公尺長之長弦，以對該直線之高低差表示之；方向不整係指在同一側鋼軌上所發生之左右方向變扭，在鋼軌頭部之內側面拉開 10 公尺長之長弦，對該直線之偏倚量表示；而根據中華民國交通部^[10]所部頒的 1067mm 軌距軌道養護檢查規範中提及，平面性不整係指軌道之平面歪扭狀態，係取近似固定軸距(4.6 公尺)以每 5 公尺間之水平不整代數差求之，平面不整在曲線超高遞減處須考量其由超高遞減而發生之水平差。

除了上述情況會引起軌道振動之外，Youcef 等人^[11]表明軌道剛性的瞬間變化會導致顛簸和其他振動產生，從而減低舒適性，不同類型的軌道型式也會造成軌道的振動，因此常見在勁度變化段的地方；例如橋梁與土堤段交界處，或是道碴軌道與非道碴軌道的交界處，皆會設置緩衝的合成軌枕，且其研究中說明列車的行進速度愈快會使振動的振幅愈大如圖 1；在 Kargarnovin 等人^[12]的研究中說明了列車在通過橋梁時，在列車、軌道、橋梁相互作用中，車輪與軌道粗糙程度是導致行駛於鐵路橋梁時乘坐不適的原因之一；Orvnäs^[13]表明當列車進入曲線時，因為曲率的變化使得旋轉振動量增加，而超高的設計可降低列車在側向方向上的振動，使列車保有較高的超速過彎，但相對於行駛在直線上，列車在通過曲線時側向振動仍較大，導致列車產生搖晃，再加上列車本身的機構條件也有可能造成振動振幅增大或減小。

圖 1 不同車速與路線等級之車內最大垂直加速度^[11]



列車在通過軌道的不連續面常會出現較大的振動，道岔就是其中之一，學者 Kaewunruen 等人^[14]表明在通過道岔時垂直振動會大幅增加，而 Ren 等人^[15]則表明道岔排列不當或劣化會導致顯著的垂直和側向振動，甚至可能導致列車脫軌的嚴重情況；由於列車與鋼軌所引起之較大的振動加速度會影響其安全性與舒適性，日本研究者小島等人^[16]將加速規設置在列車及轉向架的前軸如圖 2，以此來獲取列車因鋼軌所引起之振動加速度，經過幾年後小島等人^[17]持續在這方面進行相關研究，此時列車量測設備不單只是安裝加速規，需加裝其他設備進行完整的資料存取，並在列車上安裝麥克風、陀螺儀計、擷取卡、GPS、筆記型電腦才可完整呈現出一列車量測設備的樣貌如圖 3，此監測設備可以診斷出鋼輪與鋼軌的狀態，若行駛過程中出現較大的振動加速度，透過 GPS 定位並找出位置並進行養護，是一非常方便的即時檢測系統。

圖 2 加速規設置於列車及轉向架^[16]

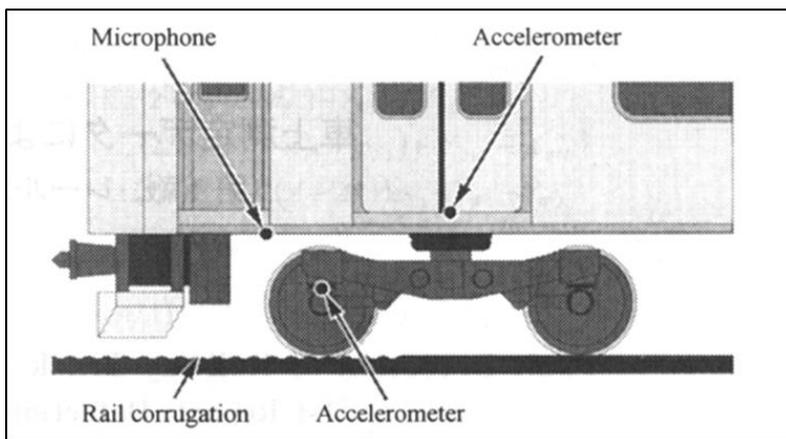
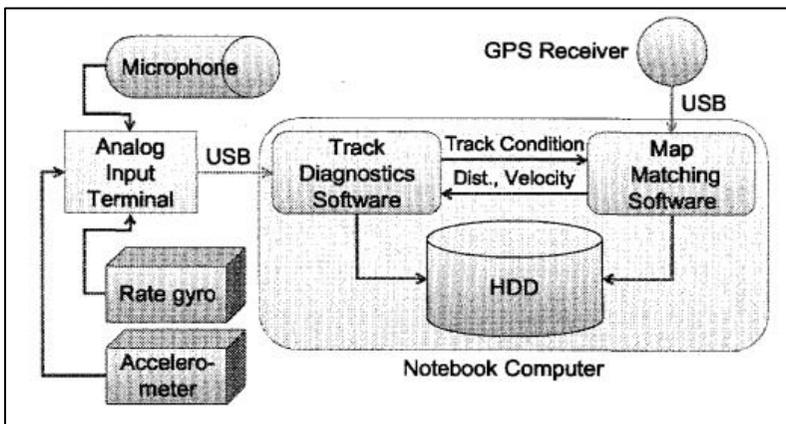


圖 3 感測器系統配置^[17]



隨著科技發展的進步，智慧型手機的出現也帶來了新的突破，英國 Azzoug 等人^[18]在 2017 年開發一套手機軟體，該軟體能夠量測並儲存振動加速度、GPS 位置訊息，並透過手機與加速規進行乘坐舒適度檢測，其進行量測實際設置如圖 4，由圖中可看到放置了兩台不同的智慧型手機進行比較，量測到的振動量如圖 5 所示，由圖可看出兩台智慧型手機的量測結果與加速規的結果，從時間間域上很難直接判斷其量測的成果，僅可知手機所能量測到的振幅較低但都有顯著峰值，而透過迴歸分析後發現手機與加速規的量測數據的判定係數 (coefficient of determination) R^2 為 85% 如圖 6，證實了智慧型手機在振動量測的可行性。

圖 4 智慧型手機與加速規^[18]

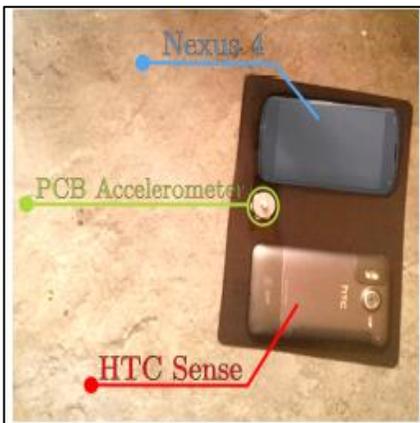


圖 5 智慧型手機與加速規量測數據^[18]

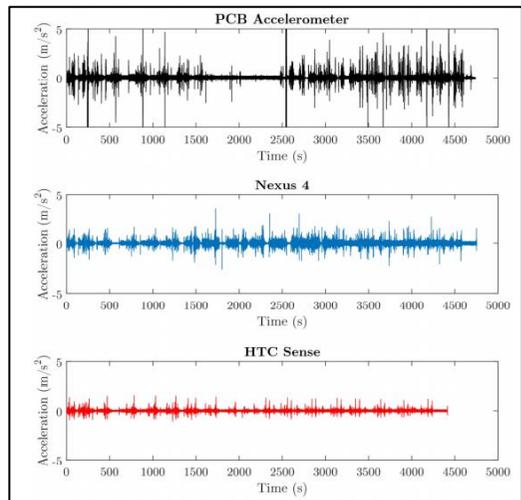
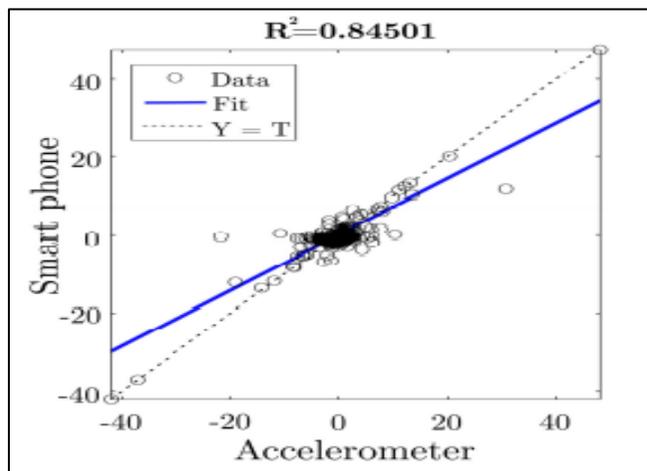


圖 6 智慧型手機與加速規量測數據迴歸分析 R^2 圖^[18]



本研究以智慧型手機量測列車振動，並透過振動量計算出路線上品質較差之位置，其振動為 XYZ 三軸方向之加速度量值，而為了掌握振動發生的位置，因此需要 GPS 來進行定位；而在地下段的部分，由於無法使用 GPS 進行定位，近幾年來有許多室內定位技術的出現，如紅外線、雷射、RFID、Wi-Fi、超音波、藍芽.....等室內定位技術。從一些文獻中^[19-23]可知藍芽定位系統具有一定的優勢在，不論是成本或是行動設備的結合度上都比其他幾種來的優勢，將常見的無線傳輸技術列表整理如表 1，雖然其定位準確度及定位範圍效果較差，但列車運行本身就分順行及逆行且軌道養護作業本身屬於較大尺度範圍的工作，即使精度較低也較不影響，因此本研究採用藍芽信標(Beacon)進行地下段定位。最後，為了能夠讓資料完整地進行分析，需要透過儲存設備來進行儲存的動作，以利後續處理之動作。這三種功能在智慧型手機上皆可實現，智慧型手機擁有量測加速度的功能、GPS、藍芽和儲存設備，此項功能更是每人每日不可或缺的重大功能，因此本研究開發一套手機程式，透過手機程式更加方便地進行量測作業。後處理分析將使用 MATLAB 進行，透過程式編寫分析出前 10 筆最大振動位置，因臺鐵路線是以里程做為標記，所以透過 GPS 和信標定位資訊計算出對應的里程。

表 1 室內定位系統比較^[19, 20]

	藍芽	紅外線 雷射	RFID	Wi-Fi	ZigBee	UWB
頻率	2.4G	無	125K ~ 1200M	2.4G	2.4G	2.4G
精準度	公分	公分	公尺	公尺	公尺	公尺
設備耗電量	低	中	低	中	低	高
設備成本	低	低	中	中	中	高
穿透性	中	低	低	中	中	高
定位準確度	低	高	中	低	中	高
定位範圍	小	小	中	大	中	中
受干擾影響程度	中	高	中	中	中	低
行動設備結合度	高	低	中	高	低	低

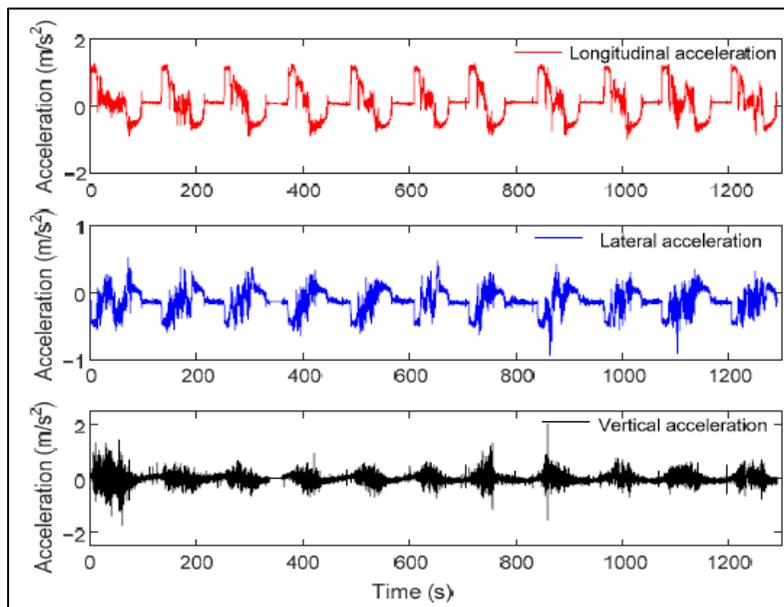
二、智慧型手機應用量測軟體開發

先前提到在 2017 年 Azzoug 等人^[18]透過手機開發一套量測列車乘坐舒適度的應用程式，其目的為使旅客乘車時透過手機來量測乘坐舒適性，從這研究中可知，智慧型手機可以達到本研究所需要的功能，因此需要進行軟體撰寫，本研究透過 Android Studio 進程式編碼，依照設計軟體所需功能，振動量測、定位功能、儲存功能、資料庫和設計界面依序說明。

2.1 量測功能-振動量、GPS 和 Beacon 定位

現在已有不少研究是透過智慧型手機，利用其內建的加速規進行數據收集^[24-27]，Cong 等人^[26]在列車上透過智慧型手機進行舒適度量測，從他的研究中可知，智慧型手機需要量測三軸方向之加速度如圖 7 所示，因此本研究亦先以量測並記錄三軸加速度方向為主。

圖 7 文獻之智慧型手機加速規結果^[26]



使用的智慧型手機為 ASUS Zenfone6，其內建之加速規感測器為 ICM-42605，而其相關設備資訊如表 2，而手機本身所設定的條件為 ACCEL_FS_SEL=0，其對應的滿刻度範圍為 $\pm 16g$ ，而靈敏度比例因數為 2048LSB/g。

表 2 ICM-42605 加速度規格

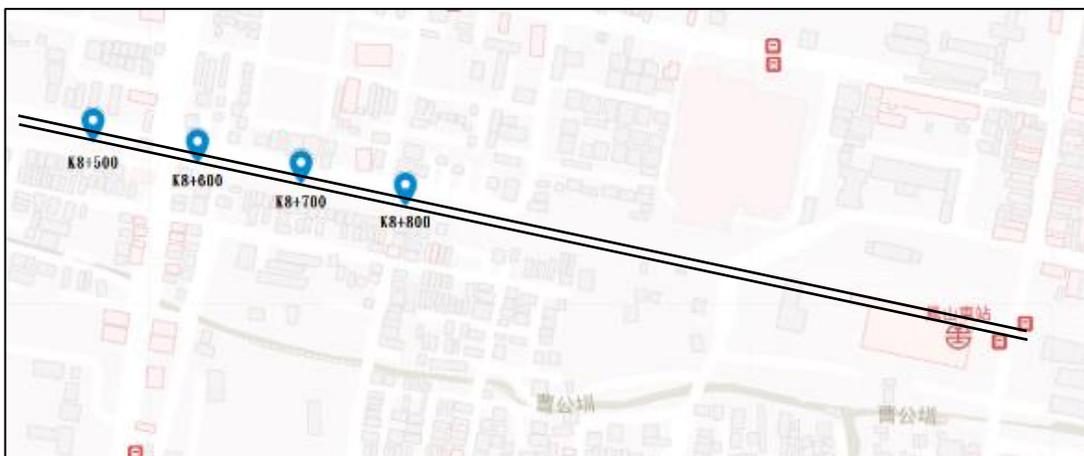
參數	條件	TYP	單位
滿刻度範圍	ACCEL_FS_SEL=0	±16	g
	ACCEL_FS_SEL=1	±8	
	ACCEL_FS_SEL=2	±4	
	ACCEL_FS_SEL=3	±2	
靈敏度比例因數	ACCEL_FS_SEL=0	2048	LSB/g
	ACCEL_FS_SEL=1	4096	
	ACCEL_FS_SEL=2	8192	
	ACCEL_FS_SEL=3	16384	
低通濾波器反應	ODR<1kHz	5~500	Hz
	ODR≥1kHz	5~995	

全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，GPS 在智慧型手機中是非常便利的功能，目前公路汽車所使用的導航皆是基於此功能，研究中針對高架路段和土堤段，皆是透過 GPS 的方式進行定位，但其仍有非常顯著的使用缺點，就是進入四周都是高強度的混凝土結構物中時，受到建築物的遮蔽，導致手機將無法有效接收 GPS 衛星訊號，而在鐵路路線上會遇到隧道和地下段，當列車進入此兩種區間或類似區間時，GPS 的缺點就會在此時呈現出來，因此為了在 GPS 無效的區間內進行定位，本研究以高雄地下段做為測試路段，使用研究所選擇的設備 USBeacon B4230T 如圖 8，目前共有四顆，測試前先將 Beacon 設置在臺鐵正義站與臺鐵鳳山站之間，首先是因為此區間內有道岔的存在，列車在道岔經過時會出現較大的振動加速度，再來是因部份普悠瑪自強號在往返臺鐵高雄、屏東兩站之區間中途皆不停車，能夠測試 Beacon 在較快速度下能否皆收到訊號；目前本研究以每百公尺標放置一顆 Beacon，而目前設置的四顆 Beacon 對應之里程分別為 K8+500、K8+600、K8+700 和 K8+800 如圖 9。

圖 8 USBeacon B4023T 之照片



圖 9 Beacon 安裝的里程標位置



2.2 儲存功能-本機儲存空間和上傳資料庫

本研究是將需要的資訊，如加速度量、GPS 定位資訊、Beacon 定位資訊和基本的日期時間資訊儲存起來後，將資料傳輸至電腦端再進行後處理分析，因此開啟儲存功能先創立 txt 檔，並將加速度感測器、GPS 和 Beacon 資料寫入 txt 檔，由於使用加速度量測，其最重要的就是取樣率，但由於智慧型手機無法像專業的加速度紀錄器一樣，為了確保手機能夠準確且穩定的量測，本研究設定超過 100Hz 後，儲存資料會大量重複導致失真，因此取樣率的部份設定在 100Hz，然而手機程式存取資料係以 100 毫秒為一單位進行，所以設定為每 100 毫秒存取 10 筆，因此每秒能夠存取 100 筆資料。

為了讓資料能夠準確地上傳至電腦端，智慧型手機在量測完成後，再具有網路的狀態下，可透過 FTP 協定將資料上傳至電腦資料庫內，此一步驟在程式內簡化成單一功能鍵執行，考慮未來可能對應多種手機形式，或是多手機量測，在資料定義上皆以分開處理，確保資料上傳的唯一性，且資料庫具識別資料是否重複，以降低資料庫儲存之壓力，資料可同時保存在手機本體與遠端資料庫中。數據存於資料庫的好處在於未來可隨時調閱當時量測之結果，並且可透過多支手機量測之結果，在大量數據下降低誤判的機率，亦可進行預估路線品質之相關計畫。

2.3 應用程式介面與後端分析程式說明

本節將介紹程式頁面和使用步驟，開啟程式後進入第一頁如圖 10，在車型選擇旁的紫色按鈕點選下去後，會跳出選擇車型頁面如圖 11，選擇完車型後便可往下輸入車次資料，輸入車次後按下確認送出，底下一排的文字會隨著車次進行改變，讓使用者再次確認是否輸入有誤，車型與車次輸入完成後便可按下 Start 按鈕，按下後會跳出提醒視窗，確認資料無誤後進入第二頁；所有相關資料會顯示在頁面如圖 12，GPS 的部份在接收到 GPS 訊號後會顯示出經緯度以及車速，加速度的部份在程式進入第二頁時便會開始感測並呈現在頁面上，Beacon 的部份則是進入佈有 Beacon 的區間時，接受到訊號後會顯示出相關資訊，並記錄目前經過的里程標，亦會顯示 Distance 值，此值代表的是手機與 Beacon 的距離；當量測完成後按下 END 鈕後會退回第一頁並在有網路的情況下自動上傳檔案至 FTP。

後端軟體使用 Matlab 進行分析，取得數據後讀取資料並找出前 50 筆側向及垂直向最大振動加速度值以及所對應的手機 GPS 經緯度資料，並對應到臺鐵百公尺里程標位置所對應的經緯度，由於 GPS 本身具有量測上的誤差，但軟體可以透過手機 GPS 經緯度資料，去找最近的百公尺里程標並計算出對百公尺里程標的距離差，在進一步算出此時的里程位置；找出所對應的位置後，因為數據中會有許多重複的點位，因此會篩選出 10 筆不同的位置，條件是每個點位距離差至少要在前後 25 公尺以上，若是重複的點出現在 25 公尺範圍內，則用相同一點作表示。順行車次的部份，會出現同一筆 GPS 資料重複寫入直到結束，原因是當列車開進地下段時接收不到 GPS 訊號，手機程式本身會不斷複寫最後一筆資料，所以軟體會在透過側向及垂直向的振動加速度歷時圖及 Beacon 資料

進行判斷確認；由於逆行車次是由高雄發車，一開始的數據資料都是在地下段內，且駛出地下段後也需要一小段時間才能接收到 GPS 訊號，若振動位置剛好在 Beacon 區間內則可以透過 Beacon 資料進行推算。

圖 10 手機程式主頁面設計



圖 11 手機程式車型選擇頁面設計



圖 12 手機程式量測之頁面設計



三、實際列車量測成果說明

本研究測試路段為臺鐵高雄站至屏東站之區間，此區間剛好包含了高架段、平面段和地下段，路線上的也有不少彎道與坡度變化段，是相當具有代表性的測試路段，研究中所搭乘的測試列車表列如表 3，首先針對整段測試路線分析結果進行說明，再特別針對地下段進行說明。

表 3 測試乘車資訊

順行	起點 - 終點		逆行	起點 - 終點	
	屏東站 - 高雄站			高雄站 - 屏東站	
乘車日期 (YY/MM/DD)	發車時間 (24 小時制)	車次 (次)	乘車日期 (YY/MM/DD)	發車時間 (24 小時制)	車次 (次)
2021/05/14	15:10	136	2021/05/14	11:41	111
	16:46	422		17:09	127
2021/05/15	16:46	422	2021/05/15	11:41	111
2021/05/17	15:10	136		17:09	127
	2021/05/18	16:46	422	2021/05/17	11:41
15:10		136	17:09		127
2021/05/19	16:46	422	2021/05/18	17:09	127
	15:10	136		2021/05/19	11:41
	16:46	422	17:09		127

3.1 測試路段軌道品質分析

由表 3 可知，不論是順行或是逆行皆進行了 9 次的量測，其量測結果將使用第一筆資料進行說明，第一筆資料為 2021/05/14 的 136 次，量測之三軸振動加速度如圖 13 所示，其中 X 軸為垂直於列車行徑之方向即列車之側向，Y 軸為列車行徑之方向即縱向，Z 軸為垂直於鋼軌面之方向即垂直向，由圖可知縱向方向的振動量值是三方向中最小的，而側向與垂直方向皆有顯著的振動量

值，且部分時刻兩者有同步狀況。在量測同時會記錄 GPS 量測的資料及 GPS 的速度，分別如圖 14 和圖 15；由圖中發現 GPS 速度圖在臺鐵屏東站時，因為車站的遮蔽暫時接收不到 GPS 訊號，但透過資料可得知在按下開始按鈕後手機在 1 分 8.22 秒後便接收到 GPS 訊號，而最後 GPS 速度紀錄最後一段重複顯示一直線是因為該時間域內列車已進入高雄地下段，由這些資料可知量測的數據是完整的，後續進行數據的分析。

圖 13 列車量測之加速度歷時圖

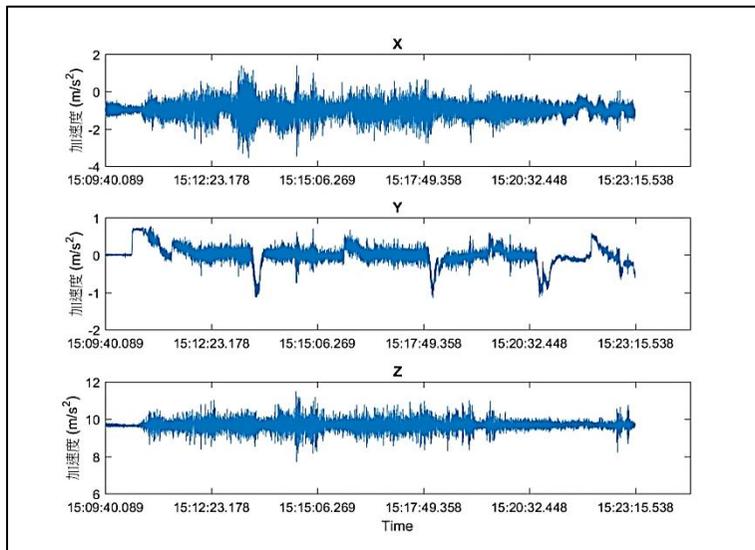


圖 14 列車量測之 GPS 路線

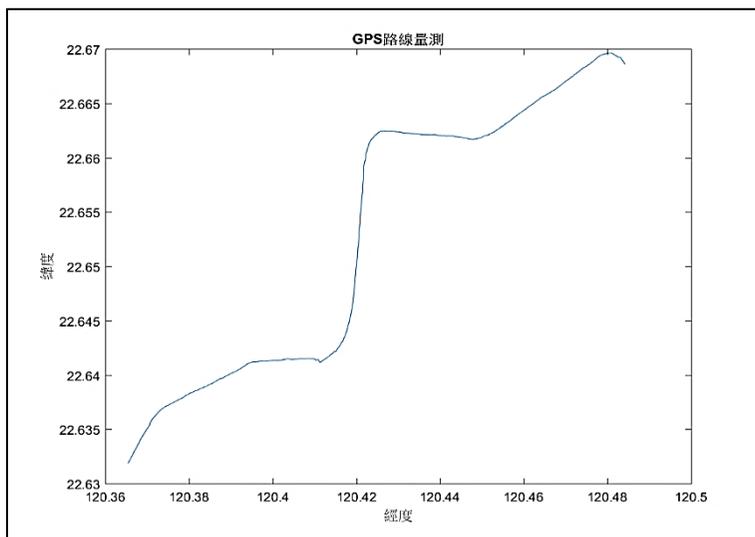


圖 15 列車量測之 GPS 車速



透過後處理程式計算出側向與垂直向出現前 10 筆最大振動加速度的位置如圖 16 和圖 17；圖中綠色的點代表振動出現的位置，而紅色點則是計算出距離最近的百公尺里程標位置，並計算其距離找出發生振動位置的里程標，由圖可知部分位置會同時出現在側向與垂直向都有前 10 筆最大振動量，但有些位置則只有單一方向，這可說明路線上的缺陷是由哪一種方向所主導，程式中會進一步將側向與垂直向的前 10 筆最大振動加速度的位置訊息輸出如表 4，並可同步輸出 GPS 座標。

表 4 列車量測之側向與垂直的前 10 筆最大振動里程標

前 10 筆最大振動里程標	
側向	垂直向
K17+498	K17+500
K19+908	K17+474
K19+812	K17+399
K19+327	K16+766
K20+037	K21+300
K19+712	K10+199
K16+845	K21+500
K19+630	K16+823
K17+399	K11+500
K19+421	K12+199

圖 16 後處理計算側向最大振動位置

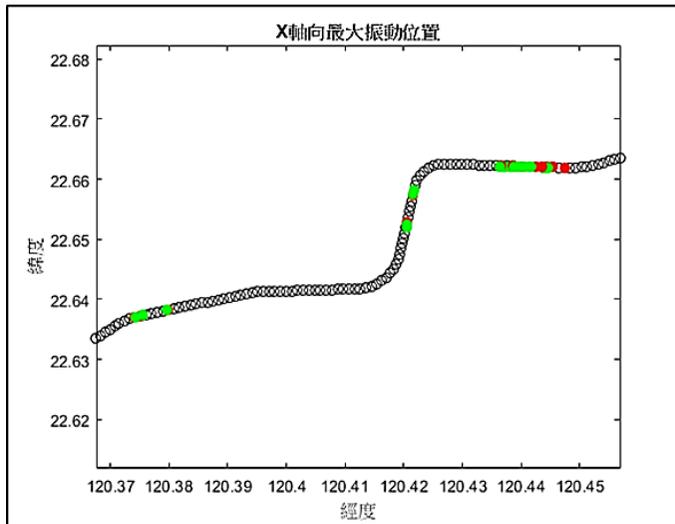
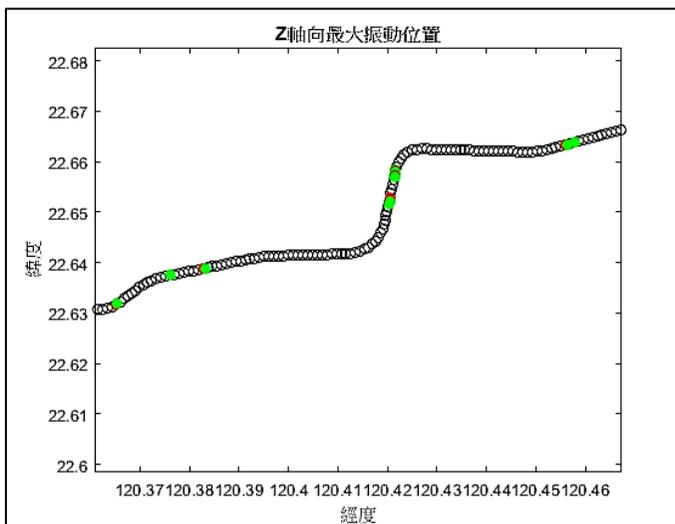


圖 17 後處理計算垂直向最大振動位置



透過順行和逆行列車的數據資料共 18 筆，可以得知列車行駛在高屏溪橋梁、九曲堂車站北邊彎道以及九曲堂車站南北邊道岔重複出現的次數非常多，但是撇除掉上述位置，仍有在路堤正線上出現的較大振動位置，而屏東高架段與高雄地下段則是沒有較大振動產生。然而地下段由於是新的路線，其振動量相對都沒有出現較大的加速度，因此後續僅探討裝設 Beacon 是否能夠確認里程。

3.2 高雄地下段 Beacon 測試結果

由於在高雄地下段是無法使用 GPS 定位，因此採用 Beacon 進行定位，先前已說明目前設置的四顆 Beacon 對應之里程分別為 K8+500、K8+600、K8+700 和 K8+800，由於列車車速較快，因此進行高速動態測試，以確保當手機在列車上時，不會因為車速或車體材質而導致無法接收 Beacon 的訊號，透過臺鐵官方網站的功能，可得知高雄-屏東總長為 21 公里，而使用臺鐵官方網站的列車時刻進行查詢，可得知最快的四班車耗時 13~15 分鐘，車次分別為順行 136 次，其次為逆行 111 次和 127 次，最後為順行 422 次，透過此四班列車進行 Beacon 訊號測試。

透過手機量測到的手機與 Beacon 之距離的歷時資料如圖 18，圖為 136 次通過 K8+800，而其他 Beacon 的資料類似此結果，透過程式計算出最接近的時間點，並將此時的位置設定為里程標，因此可知列車在一區間內之平均車速，其計算如表 5 所示；後續程式可利用此資訊，計算當列車在地下段發生較大之振動量時，透過 Beacon 得知量測的時間與里程，推算此振動量的里程位置。

圖 18 手機與 Beacon 之距離的歷時資料

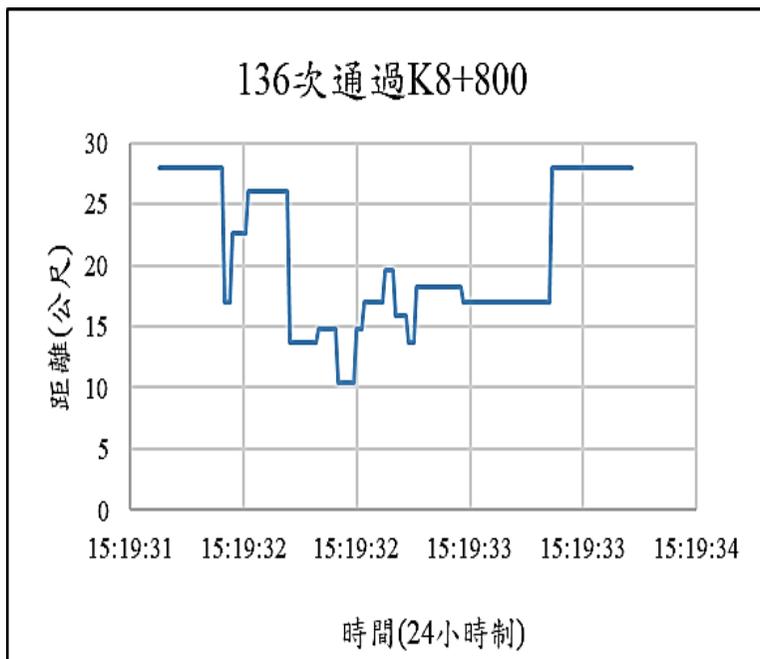


表 5 地下段 Beacon 定位計算車速

通過 Beacon 里程標	列車與 Beacon 最短距離(公尺)	列車與 Beacon 最短距離的時間(24 小時制)	秒差(秒)	車速(km/hr)
K8+800	10.361	15:19:32.289	3.86	93.264
K8+700	7.27	15:19:36.149		
K8+600	11.398	15:19:39.819	3.67	98.093
K8+500	8.377	15:19:43.489	3.67	98.093

四、結論

本研究嘗試透過智慧型手機進行路線品質的量測，雖然智慧型手機之感測器無法與傳統加速規的精準度相比，但其便利性與功能的整合性卻是相當豐富的，透過自行開發之手機應用程式與後處理技術，進行初步的測試，而測試所得的成果如下：

1. 智慧型手機量測得到資料可完整的標示出列車振動較大的位置，並且可透過後處理紀錄與追蹤此位置的狀況，當作是另一種輔助路線養護的資料。
2. 利用 Beacon 整合進入手機應用程式，以解決地下段定位之困擾，有別於其他地下段定位的方式，其優點在於可兼容於不同系統，只要有藍芽功能，皆可對其進行定位。
3. 由於目前量測的資料較少，只能確定量測方式的可行性，但對於量測結果的精準度，以及現場的狀況資訊需要再進一步地蒐集，其優點在於若有大量數據，則可進行大數據分析，提高養護效率，進一步可規劃養護資源的分配，來達到較好的效益。

参考文献

1. Osman, M. H. B., Kaewunruen, S., & Jack, A. (2018). Optimisation of schedules for the inspection of railway tracks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail Rapid Transit*, 232(6), 1577-1587.
2. Cannon, D. F., Edel, K.-O., Grassie, S. L., & Sawley, K. (2003), Rail defects: an overview. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 26(10), 865-886.
3. Quirke, P., Cantero, D., O'Brien, E. J., & Bowe, C. (2017). Drive-by detection of railway track stiffness variation using in-service vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail Rapid Transit*, 231(4), 498-514.
4. Balouchi, F., Bevan, A., & Formston, R. (2021). Development of railway track condition monitoring from multi-train in-service vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 59(9), 1397-1417.
5. Weston, P., Roberts, C., Yeo, G., & Stewart, E. (2015). Perspectives on railway track geometry condition monitoring from in-service railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 53(7), 1063-1091.
6. Suzuki, H. (1998). Research trends on riding comfort evaluation in Japan. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 212(1), 61-72.
7. Karakasis, K., Skarlatos, D., & Zakinthinos, T. (2005). A factorial analysis for the determination of an optimal train speed with a desired ride comfort. *Applied Acoustics*, 66(10), 1121-1134.
8. 石田誠 (2009)。鉄道軌道のメンテナンス。建設の施工企画，718，24-30。
9. 黄民仁、張欽亮 (2018)。新世紀鐵路工程學：基礎篇。文笙。

10. 中華民國交通部 (2014)。1067mm 軌距軌道養護檢查規範。
11. Youcef, K., Sabiha, T., El Mostafa, D., Ali, D., & Bachir, M. (2013). Dynamic analysis of train-bridge system and riding comfort of trains with rail irregularities. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(4), 951-962.
12. Kargarnovin, M. H., Younesian, D., Thompson, D., & Jones, C. (2005). Ride comfort of high-speed trains travelling over railway bridges. *Vehicle System Dynamics*, 43(3), 173-197.
13. Orvnäs, A. (2011). On active secondary suspension in rail vehicles to improve ride comfort. *KTH Royal Institute of Technology*.
14. Kaewunruen, S. (2014). Monitoring structural deterioration of railway turnout systems via dynamic wheel/rail interaction. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, 1, 19-24.
15. Ren, Z., Sun, S., & Zhai, W. (2005). Study on lateral dynamic characteristics of vehicle/turnout system. *Vehicle System Dynamics*, 43(4), 285-303.
16. 小島 崇，綱島 均，松本 陽，緒方 正剛，(2006)。車上測定データによる軌道の異常検出：第1報，レール波状摩耗の検出。日本機械学会論文集 C 編，72(720)，2447-2454。
17. 小島 崇，綱島 均，松本 陽，水間 毅，(2009)。車上測定データによる軌道の異常検出：第2報，プローブシステムの開発と検証(機械力学，計測，自動制御)。日本機械学会論文集 C 編，75(754)，1798-1805。
18. Azzoug, A. & Kaewunruen, S. (2017). RideComfort: A Development of Crowdsourcing Smartphones in Measuring Train Ride Quality. *Frontiers in Built Environment*, 3.
19. 徐章哲 (2018)。設計一個基於 Beacon 技術的精準定位系統。
20. 吳宗遠 (2016)。Beacon 微定位應用功能研究-以室內停車場管理系統為例。樹德科技大學。

21. Fall, B., Elbahhar, F., Heddebaut, M., & Rivenq, A. (2012). Time-Reversal UWB positioning beacon for railway application. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*.
22. Mackay, A. D., (2019). Engineering geological considerations for the 'Old' Beacon Hill Railway Tunnel, *Hong Kong Special Administrative Region*, 473(1), 233-239.
23. Etxeberria-Garcia, M., Labayen, M., Zamalloa, M., & Arana-Arexolaleiba, N. (2020). Application of Computer Vision and Deep Learning in the railway domain for autonomous train stop operation. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*.
24. Kwon, D. H., Jang, S. H., Mun, H. J., & Chey, M. H. (2019). 스마트폰 가속도센서를 이용한 대구도시철도 주행진동평가. *국융합학회/논문지*, 10(6), 179-184.
25. Du, R., Qiu, G., Gao, K., Hu, L., & Liu, L. (2020). Abnormal Road Surface Recognition Based on Smartphone Acceleration Sensor. *Sensors*, 20 (2), 451.
26. Cong, J. L., Gao, M. Y., Wang, Y., Chen, R., & Wang, P. (2020). Subway rail transit monitoring by built-in sensor platform of smartphone. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 21(8), 1226-1238.
27. Chen, D., Wu, J., & Yan, Q. (2019). A novel smartphone-based evaluation system of pedestrian-induced footbridge vibration comfort. *Advances in structural engineering*, 22(7), 1685-1697.

依鋼軌毀損態樣分析原因，並研擬改善對策

According to the Damage Pattern of the Steel Rail Analysis of the Cause, and Developed to Improve the Countermeasures

陳文德 Chen, Wen-Te¹

聯絡地址：10041 臺北市北平西路三號

Address: No.3, Beiping W. Rd., Jhongheng District, Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)

電話 (Tel)：02-23815226-3186

電子信箱 (E-mail)：0411820@railway.gov.tw

摘要

2020 年 3 月 3 日，臺鐵局臺中線成功～大肚溪南號誌站間西正線 K204+295 處發生鋼軌有橫向裂縫，隨即以魚尾鈹加固，至 5 月 19 日發生裂縫斷裂致鋼軌破端，軌頭掉落 44 公分。

斷軌事件經行政院、交通部及運安會等多次召開臺鐵斷軌專案檢討會議，經行政院指示臺鐵局「依鋼軌毀損態樣分析原因，並研擬改善對策」。

臺鐵局依據國際鐵路協會制定之「UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範」，將斷軌事件重新檢視分類，據以分析斷軌發生原因及研擬改善對策。

UIC-712R 主要用以定義及說明鋼軌缺陷之分類，並對各種鋼軌損傷提出維修建議及改善對策，作為軌道養護人員維修參考之依據。

關鍵詞：斷軌、UIC-712R

¹臺鐵局 工務處 正工程司

Abstract

On March 3, 2020, a horizontal crack occurred in the steel rail at the West Main Line K204-295 between the Taichung Railway Bureau's Taichung Central Line and the DatungXi southern Signal Station, and was reinforced with fishtail sheet metal, and by May 19, a crack broke and the rail end was broken, causing the rail head to drop 44 centimeters.

The derailment incident was repeatedly convened by the Administrative Council, the Ministry of Transport and the Transport and Safety Council, and the Taiwan Railways Bureau was instructed by the administrative body to analyze the causes according to the damaged state of the rails and to develop improvement measures.

According to the basic specification of classification of UIC Code 712R rail injury formulated by the International Railway Association, the Taiwan Railway Bureau re-examined the classification of derailment events to analyze the causes of derailments and formulate improvement measures.

UIC-712R is mainly used to define and explain the classification of rail defects, and put forward maintenance suggestions and improvement countermeasures for various rail damage, as the basis for track maintenance personnel maintenance reference.

Keywords: broken rail, Union Internationale des Chemins de fer , International union of railways (UIC-712R)

一、緣起

1.1 臺中線成功站斷軌事件

2020 年 3 月 3 日，臺鐵成功道班領班巡查轄區路線，至臺中線成功～大肚溪南號誌站間西正線 K204+295 處發現鋼軌有裂縫，隨即以魚尾鈹加固，然未於當日夜間路線封鎖時段將斷軌抽換，爰鋼軌之裂縫仍存在。

該處鋼軌裂縫持續受列車行駛衝擊，裂痕逐漸延伸擴大，於 77 天後之 5 月 19 日發生裂縫斷裂致鋼軌破端，軌頭掉落 44 公分，破端後又讓兩次列車高速通過斷軌處所，已嚴重影響外界對臺鐵局行車安全形象。

斷軌事件經行政院、交通部及運安會等多次召開專案檢討會議，經行政院指示交辦事項，其中列管待改善事項 S3 項次「依鋼軌毀損態樣分析原因，並研擬改善對策」，要求臺鐵局於歷次會議中提報辦理情形，並將非焊口處斷軌態樣納入分析，詳如表 1：行政院指示 0519 成功站斷軌事件交辦事項辦理情形。

表 1 臺鐵局就 1023 行政院指示 0519 成功站斷軌事件交辦事項辦理情形

項次	待改善事項	辦理情形	鐵道局意見
S3	依鋼軌毀損態樣分析原因，並研擬改善對策(110 年 6 月)	研議委外辦理研究議題及內容概要，已將鋼軌損壞態樣分析(含非焊口處)及納入需求，刻正辦理預算編列及草擬招標文件中，預定 110 年 4 月底前公告上網。	請儘速辦理，並將非焊口處斷軌態樣納入分析，另請提供各階段辦理情形預定作業期程。

1.2 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範

鐵路在日本及歐洲運行已逾 200 年，廣大的路網與悠久的運行歷史，對於發生鐵路鋼軌斷損事故已累積龐大之經驗，並制定完善之鋼軌損傷分類及維修方法。臺鐵局依據國際鐵路協會制定之「UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範」，將斷軌事件重新檢視分類，據以分析斷軌發生原因及研擬改善對策。

「UIC Code 712R」主要用以定義及說明鋼軌缺陷之分類，並對各種鋼軌損傷提出維修建議及改善對策，作為軌道養護人員維修參考之依據。

二、UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範

2.1 UIC Code 712R Rail defects^[1]

- 2.1.1 UIC (Union Internationale des Chemins de fer, International union of railways): 國際鐵路協會, 於 1922 年 12 月 1 日成立, 總部設於法國巴黎, 歐規鐵路系統標準主要由此協會制定。
- 2.1.2 UIC Code 712R Rail defects (第 4 版): 國際鐵路協會對於鋼軌損傷分類的基本規範, 目前世界上主流的鋼軌損傷分類標準, 最新版由各委員國於 2002 年 1 月修訂。2018 年 1 月被 IRS 70712 取代。
- 2.1.3 概述: 包含鋼軌損傷定義、發生位置、建議維修方式以及損傷分類與編碼等。
- 2.1.4 UIC-712R 主要用以定義及說明鋼軌缺陷之分類, 並將鋼軌可能發生的缺陷歸納及整理, 以作為軌道維修人員維護參考之依據, 本案摘錄其中之軌道缺陷定義、維修建議的定義及鋼軌缺陷位置的定義等。

2.2 鋼軌各部位名稱

鋼軌斷面各部位名稱定義, 如表 2: UIC Code 712R 鋼軌斷面各部位名稱表。

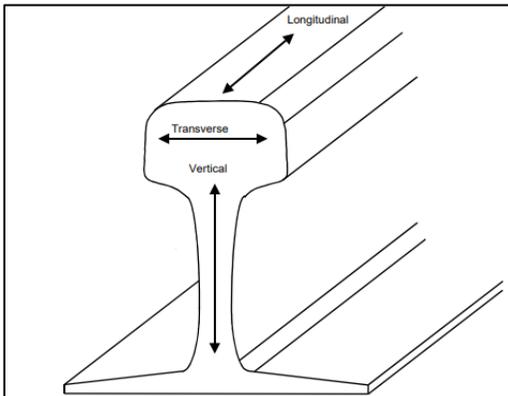
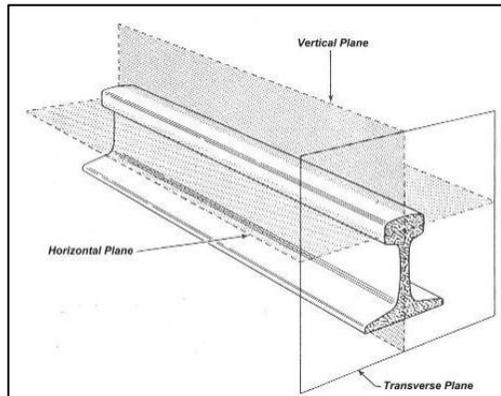
表 2 UIC Code 712R 鋼軌斷面各部位名稱表

位置 (position)	定義 (definition)	鋼軌斷面圖
接觸面 (running surface)	軌頭表面	
量測角範圍 (gauge corner region)	鋼軌內側與車輪接觸面	
量測角 (gauge corner)	與水平線形成之切線角度	
輪面接觸範圍 (field corner region)	鋼軌外側與車輪接觸範圍	
魚尾鉸接觸面 (fishing surface)	軌頭下緣直線範圍	
鋼軌對稱線 (rail central line)	鋼軌截面垂直中間線	
軌頭 (rail head)	鋼軌至魚尾鉸接觸面之範圍	
軌足 (rail foot)	鋼軌底部	
軌腹 (rail web)	介於軌頭及軌足之間範圍	
軌頭與軌腹銜接區 (head/web transition)	轉角範圍	
中性軸 (neutral axis)	受力為零	
軌足與軌腹銜接區 (web/foot transition)	軌腹與軌足接續轉角範圍	
軌足上緣 (top of rail foot)	鋼軌扣件及絕緣墊片接觸範圍	
軌足下緣 (bottom of rail foot)	與軌枕及鋼軌基座墊片接觸範圍	
軌足邊緣 (toe of foot)	軌足兩側	

2.3 鋼軌方向及平面說明

鋼軌之方向及平面定義，如表 3：UIC Code 712R 鋼軌方向及平面說明表。

表 3 UIC Code 712R 鋼軌方向及平面說明表

方向：縱向/行進方向、橫向、垂直 (longitudinal、transverse、vertical direction)	平面：垂直面、水平面、橫截面 (vertical、horizontal、transverse plane)
	
參考資料： Rail Defects Handbook ,Some Rail Defects, their Characteristics, Causes and Control ,Australian Rail Track Corporation	

2.4 鋼軌缺陷位置的定義 (Definition of the location of defects)

鋼軌缺陷位置可能位於鋼軌軌端，非鋼軌軌端或及焊接區域，其區域範圍定義如圖 1：UIC Code 712R 鋼軌缺陷位置定義圖，及表 4：UIC Code 712R 鋼軌缺陷位置定義表。

圖 1 UIC Code 712R 鋼軌缺陷位置定義圖

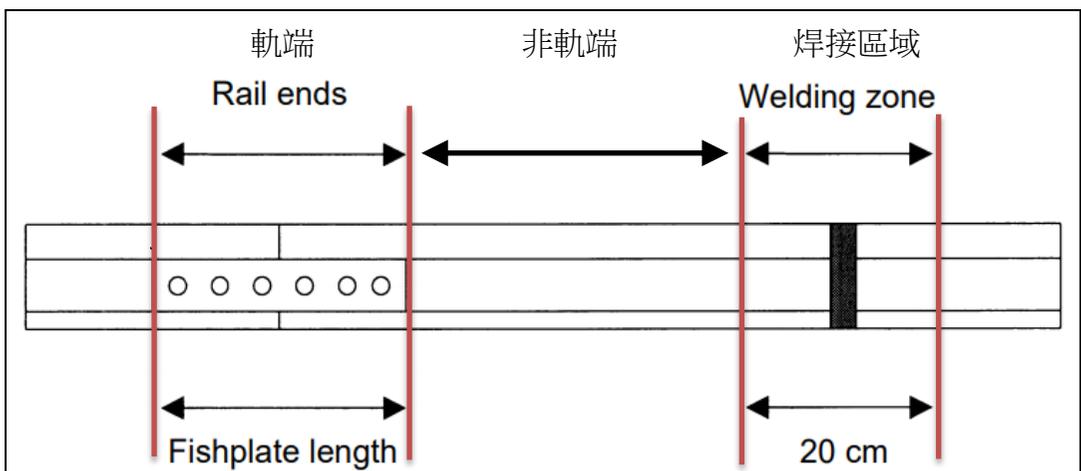


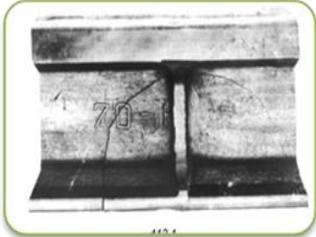
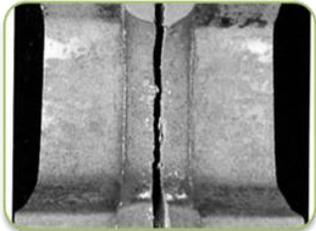
表 4 UIC Code 712R 鋼軌缺陷位置定義表

鋼軌缺陷位置	說明
軌端 Rail end	位於魚尾板的區域。
非軌端區域 Zone away from rail end	包括遠離軌端和遠離焊接的所有區域，屬鋼軌母材。
焊接區域 the welding zones	為鋼軌焊接處中心線前後10cm之區域，也就是寬20cm之區域。 在焊接區域所發生之任何內部缺陷，被分類為焊接缺陷。

2.5 鋼軌缺陷定義 (Definition of rail defects)

在軌道上之鋼軌可能發生缺陷，其缺陷定義如表 5：鋼軌缺陷定義表。

表 5 UIC Code 712R 鋼軌缺陷定義表

鋼軌缺陷	說明	示意圖
鋼軌損傷 damaged rail	鋼軌損壞現象既不是裂縫也非斷裂。通常是指在鋼軌表面有其他缺陷的現象。	
鋼軌裂縫 cracked rail	在鋼軌任何部位沿著其長度且不考慮其位於相關於輪廓的任何部位，而是有一個或更多的無固定模式或明顯與否之鋼軌縫隙缺陷存在。此種鋼軌缺陷會演變致使鋼軌相當迅速的斷裂。	
鋼軌斷裂 broken rail	鋼軌已損壞分裂二塊以上斷裂的現象，或在鋼軌表面已有金屬剝離現象。此金屬剝離導致有長度超過50mm且深度有大於10 mm的縫隙存在。	

2.6 維修建議的定義 (Definition of recommendations)

下列維修建議定義的說明，是為使維修建議更容易理解，詳如表 6：UIC Code 712R 維修建議的定義表。

表 6 UIC Code 712R 維修建議的定義表

維修建議	說明
持續觀測鋼軌狀況 Keep rail under inspection	如果發生之鋼軌缺陷在此階段並不致危害到營運適用。
排訂時程更換鋼軌 Removal of the rail	依維修排程更換鋼軌，適用於鋼軌缺陷在此階段雖無立即性危害到營運之虞，但此鋼軌缺陷可能於更換鋼軌後發展為潛在之危害。
立即設定期限更換鋼軌 Immediate removal of the rail	在根據鋼軌缺陷特性與現場狀況，設定期限更換鋼軌。此更換鋼軌行動屬特別介入的行動。此種維修建議適用於鋼軌缺陷已有立即性危害到營運之虞，但如果已採取應變措施，仍能維持營運。
停止營運立即更換鋼軌 Prohibition of traffic and immediate removal of the rail	此種維修建議適用於鋼軌缺陷已立即危害到營運，即使已採取特別或暫時之應變措施，亦不能營運。

三、臺鐵局斷軌事件統計

3.1 依鋼軌毀損態樣彙整統計

臺鐵局依指示彙整自 105 年至 110 年 3 月間發生之斷軌案件共計 25 件，並遵循「UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範」之準則，將斷軌之區域、毀損分類、發生原因等統計列表，並附上鋼軌斷損照片等，也將非焊口處之斷軌態樣納入。詳如表 7：臺鐵局 105 年至 110 年 3 月間斷軌列管統計表。

表 7 臺鐵局 105 年至 110 年 3 月間斷軌列管統計表

項次	時間	地點	毀損分類	斷軌區域
1	105 年 2 月 2 日 14:52	北迴線北埔~景美間 K73+205 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
2	105 年 3 月 15 日 14:50	屏東線歸來招呼站 K22+25 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
3	105 年 6 月 18 日 11:40	縱貫線鶯歌~桃園間 K53+600 東正線	軌足電力迴流 線焊接點	50N 非軌端
4	105 年 10 月 9 日 12:30	縱貫線內壢~中壢間 K65+630 東正線	魚尾鉸孔洞輻 射狀裂縫	50N 軌端
5	106 年 2 月 4 日 15:30	縱貫線香山~崎頂間 K120+180 東正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
6	107 年 3 月 7 日 18:58	縱貫線南港站內 20 號道 岔	軌足電力迴流 線焊接點	50N 非軌端
7	107 年 10 月 20 日 09:22	縱貫線新富~北湖間 K86+640 西正線	輪廓面橫向裂 縫	60E1 熱劑焊接
8	107 年 10 月 24 日 17:00	縱貫線楊梅~富岡間 K82+450 東正線	輪廓面橫向裂 縫	60E1 熱劑焊接
9	107 年 12 月 21 日 13:15	縱貫線楊梅~富岡間 K77+680 東正線	輪廓面橫向裂 縫	60E1 熱劑焊接
10	108 年 12 月 12 日 07:17	縱貫線湖口站內 K89+250 東主正線	魚尾鉸孔洞輻 射狀裂縫	60E1 軌端
11	109 年 2 月 16 日 21:22	縱貫線楊梅~埔心間 K73+480 西正線	輪廓面橫向裂 縫	60E1 熱劑焊接
12	109 年 5 月 19 日 18:59	臺中線成功~大肚溪南號 誌站間 K204+300 西正線	軌腹水平裂縫	50N 電阻火花焊接
13	109 年 9 月 28 日 20:11	縱貫線桃園~鶯歌間 K51+783 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 瓦斯壓接
14	109 年 10 月 28 日 07:31	縱貫線新市~永康間 K350+150 東正線	軌腹水平裂縫	50N 熱劑焊接
15	109 年 12 月 20 日 06:49	北迴線南澳站 12B 道岔趾 端 K19+360 東正線	軌腹水平裂縫	50N 軌端
16	110 年 1 月 2 日 09:58	縱貫線鶯歌~桃園間 K55+790 西正線	輪廓面橫向裂 縫	60E1 熱劑焊接

續下頁

表 7 (續)

項次	時間	地點	毀損分類	斷軌區域
17	110 年 1 月 3 日 07:31	縱貫線新埔~通霄間 K159+599 東正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
18	110 年 1 月 8 日 11:42	縱貫線斗六~斗南間 K269+330 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
19	110 年 1 月 8 日 19:20	臺東線池上~富里間 K111+800	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
20	110 年 1 月 8 日 21:20	宜蘭線四腳亭~瑞芳間 K6+000 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
21	110 年 1 月 9 日 09:30	北迴線漢本~和平間 K37+875 東正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
22	110 年 2 月 8 日 08:41	縱貫線二水~田中間 K243+943 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
23	110 年 2 月 11 日 06:57	宜蘭線暖暖~四腳亭間 K3+250 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
24	110 年 2 月 14 日 23:41	縱貫線斗六~斗南間 K268+830 西正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接
25	110 年 2 月 25 日 21:10	縱貫線新營站內 K318+996 東正線	輪廓面橫向裂 縫	50N 熱劑焊接

3.2 臺鐵鋼軌毀損分類

依據 UIC Code 712R 規範，重新定義臺鐵局之斷軌毀損分類，25 件斷軌事件中符合規範文件之毀損分類有 6 項。

其中項次 13 “50N 瓦斯壓接輪廓面橫向裂縫”，因「UIC Code 712R」無瓦斯壓接項目，且臺鐵局近年來已停用瓦斯壓接工法，另瓦斯壓接為人工焊接，與熱劑焊接法較為接近，爰併入熱劑焊接項目作檢討。

臺鐵之斷軌以熱劑焊接處的輪廓面橫向裂縫 18 件最多，佔 72%。其次為魚尾鉸孔洞幅射狀裂縫 2 件佔 8%、非軌端的軌足電纜連接處橫向裂縫有 2 件佔 8%、熱劑焊接處軌腹水平裂縫 1 件、電阻火花焊接軌腹水平裂縫 1 件及軌端軌腹水平裂縫 1 件。詳如表 8：臺鐵局 105 年至 110 年 3 月間斷軌毀損分類表。

表 8 臺鐵局 105 年至 110 年 3 月斷軌毀損分類表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例
1	熱劑焊接	輪廓面橫向裂縫	18	72%
2	熱劑焊接	軌腹水平裂縫	1	4%
3	電阻火花焊接	軌腹水平裂縫	1	4%
4	軌端	軌腹水平裂縫	1	4%
5	魚尾鈹	孔洞輻射狀裂縫	2	8%
6	非軌端	軌足電纜連接處橫向裂縫	2	8%
合計			25	100

3.3 斷軌區域

依據 UIC Code 712R 所定之斷軌區域，分為焊接區域、軌端及非軌端等 3 類，斷軌事件發生在焊接區域有 20 處佔 80% 最多，其次為軌端區域（鋼軌端部之魚尾鈹區域）有 3 次佔 12%，非軌端區域（屬鋼軌母材）有 2 次佔 8%。詳如表 9：斷軌區域統計表。

表 9 斷軌區域統計表

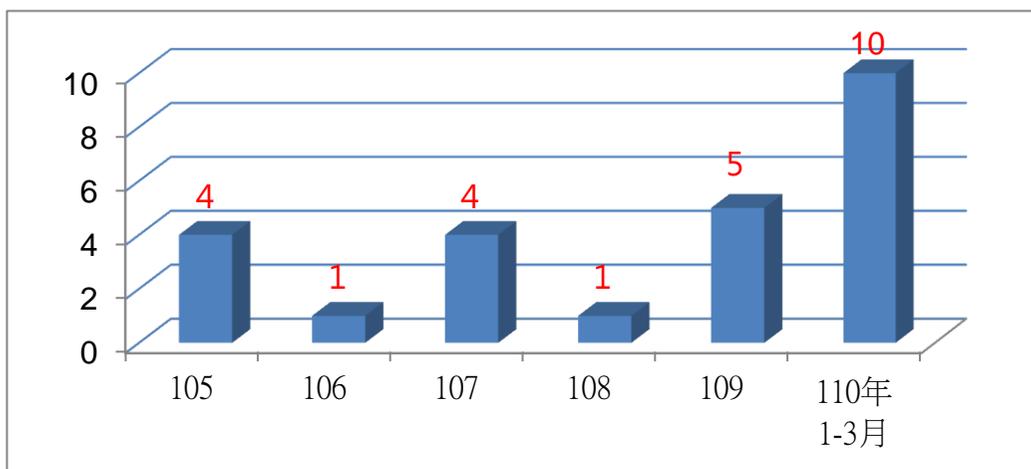
項次	斷軌區域	說明	數量	比例
1	焊接區域	熱劑焊接： 18 件 電阻火花焊接：1 件 瓦斯壓接： 1 件	20	80%
2	軌端	魚尾鈹區域	3	12%
3	非軌端	鋼軌母材	2	8%
合計			25	100%

焊接區域中，熱劑焊接工法造成斷軌有 18 件，顯示臺鐵局在熱劑焊接之材料、工法及焊接檢測技術應作提升。另電阻火花焊接及瓦斯壓接斷軌各 1 處，顯示此種焊接工法品質較為可靠。

3.4 各年度發生斷軌統計

統計自 105 年至 110 年 3 月間之各年度斷軌件數，105 年至 109 年間並未有明顯增加，惟 110 年僅 1-3 月即有 10 件，有急遽增加之趨勢，其中又以 110 年 1 月份發生 6 件增幅最大，疑與氣候寒冷有關。詳如圖 2：各年度發生斷軌統計圖。

圖 2 各年度發生斷軌統計圖



四、依鋼軌毀損態樣分析缺陷原因及維修建議

依據 UIC Code 712R 規範，臺鐵 25 件斷軌事件中，符合規範之毀損分類定義的有 6 項（如表 8）。

依 6 項毀損分類，即可參照 UIC Code 712R 規範中之維修建議的定義（Definition of recommendations）及鋼軌缺陷位置的定義（Definition of the location of defects），作為分析原因及改善對策之參考。

4.1 熱劑焊接處輪廓面橫向裂縫

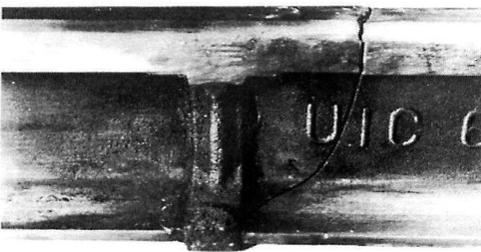
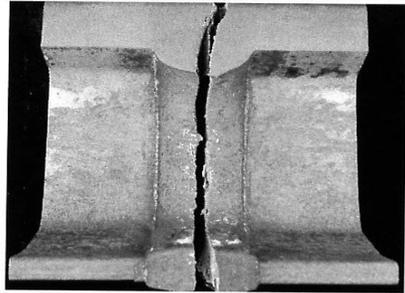
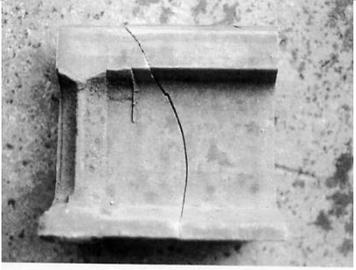
臺鐵局熱劑焊接橫裂有 18 件，其斷軌範例詳如表 10：熱劑焊接輪廓面橫向裂縫表。

表 10 熱劑焊接輪廓面橫向裂縫表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
1	熱劑焊接	輪廓面橫向裂縫	18	72%		

比對 UIC Code 712R，本分類符合 UIC Code 421 文件，缺陷名稱為「輪廓面橫向裂縫 TRANSVERSE CRACKING OF THE PROFILE」，詳如表 11：UIC Code 421 輪廓面橫裂縫。

表 11 UIC Code 712R 輪廓面橫向裂縫表

缺陷名稱	輪廓面橫向裂縫 TRANSVERSE CRACKING OF THE PROFILE		UIC Code
			421
缺陷位置	焊接和焊補區 Welding and resurfacing defects	缺陷種類	焊接和焊補缺陷 Welding and resurfacing defects
檢查方法	目視檢查、超音波檢測	缺陷部位	鋁熱焊接 42 Thermit welding
缺陷外觀			
			
421.1		421.2 (fig. 1)	
			
421.2 (fig. 2)	421.2 (fig. 3)	421.3	

續下頁

表 11 (續)

缺陷特徵	
<p>這個缺陷會沿著靠近輪廓垂直橫斷面的平面發展。最終此裂縫將造成鋼軌輪廓面斷裂。以下所述為此類缺陷的特性：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 裂縫起源於軌足下的焊接凸緣且沿著相鄰鋼軌橫向面發展（如圖421.1）。 ➤ 裂縫大部份位於焊接區垂直面（如圖421.2）。 ➤ 裂縫接近於焊接區垂直面。 	
維修建議	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ keep defect under inspection, 持續檢視鋼軌 ➤ carry out temporary fishplating, 安裝臨時魚尾鉸 ➤ immediate removal of the rail, 儘早設定更換時間置換鋼軌。 ➤ carry out temporary fishplating and remove the broken weld immediately by laying a new section 安裝臨時魚尾鉸並儘早設定更換時間置換鋼軌 ➤ However, repair the cracked or broken weld by welding whenever this is possible (crack or break located in a plane close to a normal cross-section of the profile). <p>若裂縫或斷裂面位置靠近於輪廓橫斷垂直面，可能可以焊接加工修復。</p>	

4.2 熱劑焊接處軌腹水平裂縫

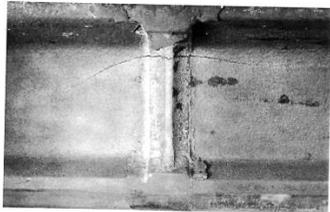
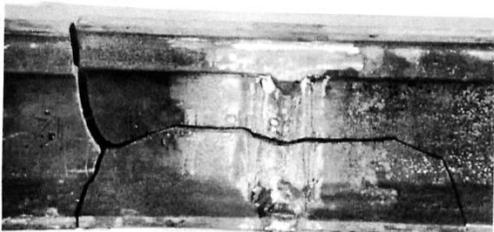
臺鐵局熱劑焊接處軌腹水平裂縫 1 件（項次 14），其斷軌範例詳如表 12：熱劑焊接輪廓面橫向裂縫表。

表 12 熱劑焊接輪廓面橫向裂縫表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
2	熱劑焊接	軌腹水平裂縫	1	4%		

經比對 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範，符合 UIC Code 422 文件，缺陷名稱為「軌腹水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING OF THE WEB」，詳如表 13：UIC Code 422 軌腹水平裂縫。

表 13 UIC Code 422 軌腹水平裂縫表

缺陷名稱	軌腹水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING OF THE WEB		UIC Code
			422
缺陷位置	焊接和焊補區 Welding and resurfacing defects	缺陷種類	焊接和焊補缺陷 Welding and resurfacing defects
檢查方法	目視檢查、超音波檢測	缺陷部位	鋁熱焊接 42 Thermit welding
缺陷特徵		缺陷外觀	
<p>此缺陷會在鋼軌焊接處發現，而軌端通常在焊接前未導角處理。</p> <p>水平裂縫通常會穿過焊接區連接魚尾孔洞（如圖 422.1），且會向鄰軌的軌頭或軌足擴展，而導致鋼軌斷裂。</p> <p>水平裂縫亦可在無魚尾孔洞的焊接區發現（如圖 422.2），雖其發生機會不多，在此情況下水平裂縫可由垂直凸緣的細縫發展而成，且會導致鋼軌斷裂。</p>		 <p>422.1 (fig. 1)</p>	
		 <p>422.1 (fig. 2)</p>	
維修建議	<ul style="list-style-type: none"> ➤ removal of the cracked weld immediately by laying a new section, 儘早設定更換時間置換有焊接裂縫的鋼軌。 ➤ prohibition of traffic and immediate removal of the broken weld by laying a new section, 停止營運立即置換有焊接斷裂的鋼軌。 		 <p>422.2</p>

4.3 電阻火花焊接處軌腹水平裂縫

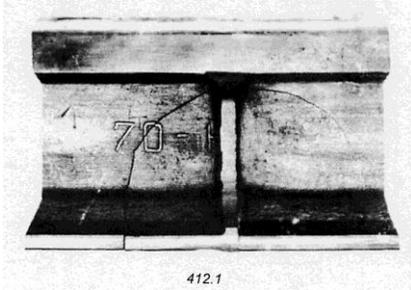
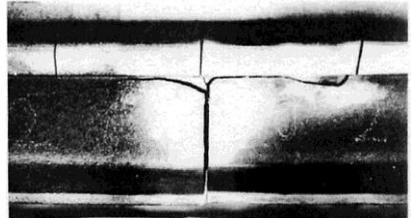
臺鐵局電阻火花焊接處軌腹水平裂縫有 1 件（項次 12），其斷軌範例詳如表 14：電阻火花焊接軌腹水平裂縫表。

表 14 電阻火花焊接軌腹水平裂縫表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
3	電阻火花 焊接	軌腹水平 裂縫	1	4%		

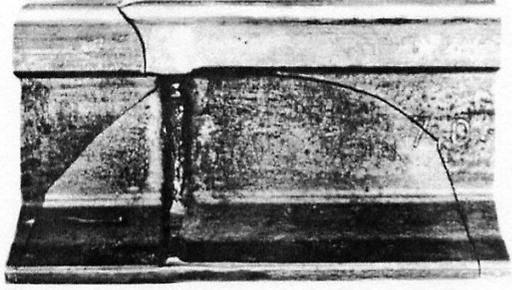
經比對 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範，符合 UIC Code 412 文件，缺陷名稱為「軌腹水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING OF THE WEB」，詳如表 15：UIC Code 412 軌腹水平裂縫。

表 15 UIC Code 412 軌腹水平裂縫

缺陷名稱	軌腹水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING OF THE WEB		UIC Code
			412
缺陷位置	焊接和焊補區 Welding and resurfacing defects	缺陷種類	焊接和焊補缺陷 Welding and resurfacing defects
檢查方法	目視檢查、超音波檢測	缺陷部位	閃電焊接 41 Electric flash-butt welding
缺陷特徵		缺陷外觀	
<p>此缺陷會穿過焊接區發展，通常會在軌腹呈現曲線狀。當此缺陷擴展時，可能會彎曲向下（如圖 412.1）或向上（如圖 412.2），或者同時向上向下擴展（如圖 412.3）。最終此裂縫將造成鄰近焊接區鋼軌斷裂。</p>		 <p>412.1</p>	
		 <p>412.2</p>	

續下頁

表 15 (續)

維 修 建 議	<ul style="list-style-type: none"> ➤ removal of the cracked weld immediately by laying a new section, 儘早設定更換時間置換有焊接裂縫的鋼軌。 ➤ prohibition of traffic and immediate removal of the broken weld by laying a new section, 停止營運立即置換有焊接斷裂的鋼軌。 	 <p>412.3</p>
------------------	--	---

4.4 軌端軌腹水平裂縫

臺鐵局軌端軌腹水平裂縫有 1 件 (項次 15)，其斷軌範例詳如表 16：軌端軌腹水平裂縫表。

表 16 軌端軌腹水平裂縫表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
4	軌端	軌腹水平裂縫	1	4%		

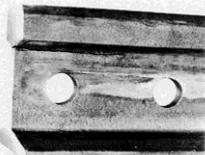
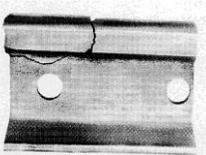
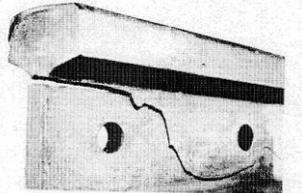
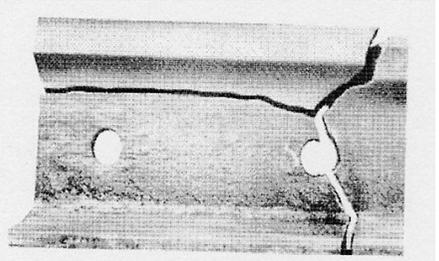
經比對 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範，符合 UIC Code 1321 文件，缺陷名稱為「軌端軌腹與軌頭間之水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING AT THE WEB-HEAD FILLET RADIUS」，詳如表 17：UIC Code1321 軌端軌腹與軌頭間之水平裂縫表。

表 17 UIC Code 1321 軌端軌腹與軌頭間之水平裂縫表

缺陷名稱	軌端軌腹與軌頭間之水平裂縫 HORIZONTAL CRACKING AT THE WEB-HEAD FILLET RADIUS		UIC Code
			1321
缺陷位置	軌端缺陷 Defects in rail ends	缺陷種類	水平裂縫 Horizontal cracking
檢查方法	敲擊測試、拆除魚尾鉸目視檢查軌腹兩側、超音波檢測。	缺陷部位	軌腹 13 WEB

續下頁

表 17 (續)

缺陷特徵		缺陷外觀
<p>裂縫起始於軌端，且有發展成軌頭與軌腹分離之傾向。初期裂縫將沿著軌端平行於頭腹間發展（如圖一）。如持續發展將成一曲線狀向上或向下發展（如圖二），再某些情況會繞過魚尾鉸之孔洞（如圖三），或者同時向下穿過孔洞並向上開裂（如圖四）。</p>		  <p>1321 (fig. 1) 1321 (fig. 2)</p>
		 <p>1321 (fig. 3)</p>
<p>維 修 建 議</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ removal of the cracked rail 排訂時程置換鋼軌 ➤ immediate removal of the cracked rail 儘早設定更換時間置換損壞之鋼軌。 ➤ broken rail (see -1321 (figs. 2 and 4)): prohibition of traffic and immediate removal of the rail, 鋼軌斷裂即停止運轉立即置換鋼軌 	 <p>1321 (fig. 4)</p>

4.5 軌腹魚尾鉸孔洞幅射狀裂縫

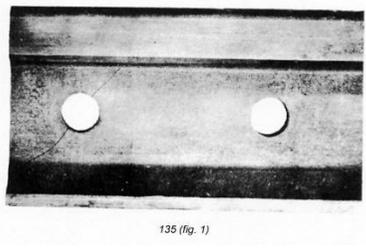
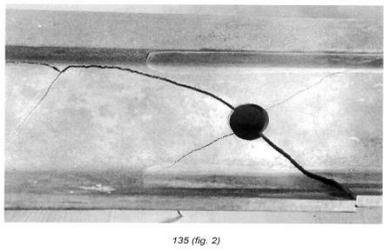
臺鐵局軌腹魚尾鉸孔洞幅射狀裂縫有 2 件（項次 4 及項次 10），其斷軌範例詳如表 18：軌腹魚尾鉸孔洞幅射狀裂縫表。

表 18 軌腹魚尾鉸孔洞幅射狀裂縫表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
5	魚尾鉸	孔洞幅射狀裂縫	2	8%		

經比對 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範，符合 UIC Code 135 文件，缺陷名稱為「軌腹魚尾鉸孔洞輻射狀裂縫 Star-cracking of fishbolt holes」，詳如表 19：UIC Code135 軌腹魚尾鉸孔洞輻射狀裂縫表。

表 19 UIC Code135 軌腹魚尾鉸孔洞輻射狀裂縫

缺陷名稱	軌腹魚尾鉸孔洞輻射狀裂縫 Star-cracking of fishbolt holes		UIC Code 135
缺陷位置	軌端缺陷 Defects in rail ends	缺陷種類	輻射狀裂縫 STAR-CRACKING
檢查方法	移除魚尾鉸後檢視軌腹兩側、超音波檢測	缺陷部位	軌腹 (13 WEB)
缺陷特徵		缺陷外觀	
<p>屬營運載重造成，此種瑕疵由魚尾鉸孔洞產生輻射狀之裂縫所組成（如圖一），裂縫呈 45 度角成長並會造成鋼軌斷裂。（如圖二）。</p> <p>形成這種類型的缺陷的可能性，通常是取決於鑽孔的品質。特別於鑽孔洞導角及較佳鑽孔面品質之鑽孔技術，相當有助於減少裂縫的危險。</p>			
			
維修建議	<ul style="list-style-type: none"> ➤ removal of the cracked rail 排訂時程置換鋼軌 ➤ immediate removal of the cracked rail 儘早設定更換時間置換損壞之鋼軌。 ➤ broken rail: prohibition of traffic and immediate removal of the rail (see -135 (fig. 2))鋼軌斷裂即停止運轉立即置換鋼軌 		

4.6 回流電纜連接處橫向裂縫

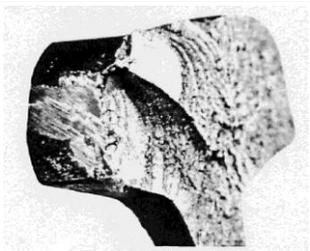
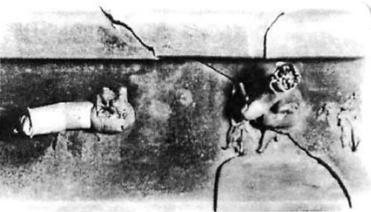
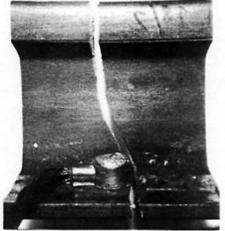
臺鐵局回流電纜連接處橫向裂縫有 2 件（項次 3 及項次 6），其斷軌範例詳如表 20：回流電纜連接處橫向裂縫軌表。

表 20 回流電纜連接處橫向裂縫軌表

項次	缺陷部位	毀損分類	數量	比例	示意圖 1	示意圖 2
6	非軌端	軌足電纜 連接處橫 向裂縫	2	8%		

經比對 UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範，符合 UIC Code 481 文件，缺陷名稱為「負回流電纜連接處橫向裂縫 Transverse cracking under electrical connection」，詳如表 21：UIC Code 481 負回流電纜連接處橫向裂縫。

表 21 UIC Code 481 負回流電纜連接處橫向裂縫

缺陷名稱	負回流電纜連接處橫向裂縫 Transverse cracking under electrical connection		UIC Code
			481
缺陷位置	焊接和焊補區 Welding and resurfacing	缺陷種類	焊接和焊補缺陷 Welding and resurfacing defects
檢查方法	目視檢查、軌頭與軌腹超音波檢測	缺陷部位	其他焊接 48 other welding methods
缺陷外觀			
 481.1	 481.2		 481.3
缺陷特徵			
此類橫向裂縫大致可分為導源於軌頭外側面的漸進式橫向裂縫（如481.1圖），或導源於軌腹面的漸進式橫向裂縫（如481.2圖），或導源於軌足直角面負回流電纜連接處的漸進式橫向裂縫（如481.3圖）。			
維修建議			
➤ immediate removal of the rail. 儘早設定更換時間置換鋼軌。			

五、焊接工法檢討

臺鐵 25 件斷軌，在焊接區域有 20 處佔 80%，其中電阻火花焊接僅 1 處，可見電阻火花焊接工法之可靠度極高。但亦顯示熱劑焊接工法在軌道現場施工時，因受天候及環境影響，是容易產生缺陷而導致接頭強度不足，衍生斷軌事件，故熱劑焊接工法應作檢討改善，以提升焊接品質。

5.1 鋼軌焊接

國內因不生產鋼軌，爰臺鐵局採購之鋼軌均依賴國外進口，而鋼軌因製造、搬運、裝船、海運、碼頭裝卸及公路輸送等作業需要，出廠之定尺軌一般均限制為 25m，若據以鋪設則每公里即有 40 個接頭，軌道有 2 根鋼軌則共計 80 個接頭。但是鋼軌接頭為軌道結構的最大弱點，受高速行駛列車的巨大衝擊及車輪載重碾壓下，接頭極易下沉、鬆動而變形弱化。

為消除接頭，將 25m 定尺鋼軌於焊軌基地焊接成 125m 長鋼軌，再以長軌輸送車運送至軌道現場鋪設後，再以機動性高、組裝簡便之鋁熱劑，焊接成連續焊接鋼軌（continuous weld rail），消除接頭後可提高行車速度及旅客乘車舒適度，並減緩鋼軌損耗及車輪損傷。

長焊鋼軌在夏季氣溫上升時內部產生軸壓力，必須加強軌道橫向阻力以避免造成挫屈，在冬季氣溫下降時內部產生軸拉力，須避免軸拉力拉斷鋼軌。故鋼軌接頭之焊接強度必須足夠。

臺鐵局使用之鋼軌焊接工法有三種：

- （一）電阻火花焊接法。
- （二）瓦斯壓接法。
- （三）熱劑焊接法。

5.2 電阻火花焊接（Electric Flash-butt Welds）

電阻火花焊接法（亦稱閃電對頭焊接法）：設備最龐大，需使用電阻火花焊接機，焊接管控程序大部分由機器及電腦控制，設備精密及自動化，鋼軌焊接品質最佳，品質穩定且效率最高，施工步驟如下：

- (一) 鋼軌接頭研磨整修。
- (二) 將鋼軌斷面夾持固定，在焊接初期兩鋼軌斷面預留縫隙約 2mm。
- (三) 焊接機接通約 900A 電流，在兩接觸斷面上因有電阻而產生高熱及火花。
- (四) 以加壓速度(約 0.25mm/sec)，軸向衝擊力約 30~40 噸將接頭擠壓。
- (五) 鋼軌前移擠壓約 40~42mm，完成焊接，焊接過程約 160 秒。
- (六) 剪除鼓起鋼材。
- (七) 研磨接頭及檢查。

電阻火花焊接並未使鋼軌端部完全熔化，而是以高電流透過電阻產生高溫的狀況，促使鋼軌轉變成可塑性狀態，再以壓力作用形成類似晶粒分子差排作用，產生鋼軌結構晶粒重新排列，最終獲得品質良好的焊接接頭。

電阻火花焊接工法雖然設備龐大，但因機器精密且自動化，具有高效率及高品質，每一個工作天的焊接數量可達 50 個接頭以上，爰適用於焊軌基地有大量定尺鋼軌需焊接為長鋼軌之場合。

早期電阻火花焊接機設備龐大難以移動，目前已有精密小型可移動式電阻火花焊接機，可於路線現場施作焊接。惟本工法需將鋼軌擠壓移動約 40mm，爰不適用於連續長焊鋼軌末端、道岔及伸縮接頭等不可移動之軌道設備環境。電阻火花焊接法之施工如圖 3：電阻火花焊接施工照片。

圖 3 電阻火花焊接施工照片



續下頁

圖 3 (續)



3.磨軌及檢查

4.電阻火花接頭最平整

5.3 瓦斯壓接法 (Gas Pressure Welding)

瓦斯壓接法：將兩根鋼軌的接頭對合壓緊，再以瓦斯火焰加熱接頭介面，軟化鋼軌接頭呈熔融狀態後，以高壓急速壓緊，使兩根鋼軌接合成一根，施工步驟如下：

- (一) 鋼軌接頭研磨整修。
- (二) 接頭對準靠密。
- (三) 加軸壓力。
- (四) 瓦斯火焰加熱至 1200~1300 度。
- (五) 接頭逐漸受壓鼓起，壓縮量約 24mm 以上。
- (六) 熄火並維持軸壓，鋼軌再壓縮約 2~3mm。
- (七) 停止軸壓，剪除鼓起鋼材。
- (八) 自然冷卻後研磨接頭及檢查。

瓦斯壓接法之加熱溫度只達 1300 度，尚未達鋼軌的溶點，因此接頭強度接近於鋼軌本身（母材）強度，品質極佳。

瓦斯壓接設備雖不龐大但複雜多樣，且需使用較多人力，多於焊軌基地內使用。例如將 25m 定尺軌焊接成 50m 或 75m 之焊接鋼軌，用於局部抽換半徑 300m~600m 曲線外軌或銳曲線硬頭鋼軌等磨耗快速場合，可增加養護維修靈活性。

因部頒「1067 公厘軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範」於 107 年修正為曲

線半徑 300m 以上即容許鋪設長焊鋼軌，爰定尺軌需求減低。又因其焊接效率遠低於電阻火花焊接法，已逐漸被電阻火花焊接工法取代，爰臺鐵局近年來已停用此工法。

瓦斯壓接法需將鋼軌擠壓移動約 26mm，爰不適用於連續長焊鋼軌末端、道岔及伸縮接頭等不可移動之軌道設備環境。瓦斯壓接法之施工如圖 4：瓦斯壓接施工照片。

圖 4 瓦斯壓接施工照片



5.4 熱劑焊接（Alumino Thermic Welding）

熱劑焊接是依據氧化鐵與鋁作用，還原為鐵的原理，此種化學反應強烈，可產生大量反應熱，使鐵達熔融狀態，理論上溫度可達 3100 度。化學反應產

生的氧化鋁及其他添加劑稱為爐渣，比重較輕會浮在熔融鐵上層。反應完成後，將熔融鐵導入鋼軌接縫處預先裝妥的鑄模內，降溫硬化後使兩根鋼軌熔接。施工步驟如下：

- (一) 調整鋼軌間隙約 25mm。
- (二) 調整接頭水平方向並固定。
- (三) 按裝模組，密封縫隙。
- (四) 預熱鋼軌接頭。
- (五) 點燃熱劑，將溶液注入接頭間隙。
- (六) 拆卸鐵模、鏟除爐渣。
- (七) 熱劑焊接頭溫度降至 300°C 以下時，研磨鋼軌。
- (八) 砸道及整碴。

熱劑焊接設備輕巧機動性高，施作簡便且不受地形限制，也不需拉動鋼軌，常用於路線現場之焊接工法。惟其焊接品質易受藥包材質、氣候、環境及人工技術影響，品質可靠度較差。

造成熱劑焊接強度較低之原因，除了易受人工技術、材料及環境影響外，兩鋼軌間留有約 25mm 間隙，由熔融鐵填補空隙作為連接介質，而熔融鐵屬外加材料，與鋼軌母材品質仍有不同。熔融鐵又受氣候及施工過程之差異，內部容易形成孔洞或氣泡，影響接頭強度。熱劑焊接法之施工如圖 5：熱劑焊接施工照片。

圖 5 熱劑焊接施工照片



續下頁

圖 5 (續)



5.5 鋼軌焊接效率

依據日本鐵道技術研究所對於三種焊接工法之接頭效率所作試驗結果比較，以電阻火花焊接最佳，瓦斯壓接法次之但二者品質相近，而熱劑焊接法其撓度及接頭效率最差，詳如表 22：日本鐵道技術研究所試驗 50kg 焊接鋼軌接頭效率表。

表 22 日本鐵道技術研究所試驗 50kg 焊接鋼軌接頭效率表^[2]

焊接方法	荷重 t	撓度 mm	彎曲強度 接頭效率 %	疲勞強度 接頭效率 %	備註
鋼軌母材			100	100	
電阻火花	111.3	62.0	97	99	支距 1m
瓦斯壓接	107.9	60.8	94	99	支距 1m
熱劑焊接	105.0	21.0	92	85	支距 1m

5.6 臺鐵鋼軌焊接工法比較

臺鐵的三種鋼軌焊接工法，其優缺點及使用現況比較，詳如表 23：臺鐵鋼軌焊接工法比較表。

表 23 臺鐵鋼軌焊接工法比較表

焊接方法	電阻火花焊接	瓦斯壓接	熱劑焊接
焊接方式	以強大電流使鋼軌接觸斷面因電阻產生高熱，呈可塑性狀態，再擠壓鋼軌接合	以瓦斯火焰加熱鋼軌，呈熔融狀態再擠壓鋼軌接合	以氧化鐵與鋁作用還原為鐵，產生高熱成熔融鐵，將熔融鐵導入接頭鑄模內熔接。
焊接場地	焊軌基地內 基地長度 350m 以上	焊軌基地內 基地長度 100m 以上	路線現場
焊接鋼軌長度	125m	50m 或 75m	配合現場鋼軌接頭
焊接鋼軌用途	鋪設長焊鋼軌	鋪設定尺軌 或硬頭鋼軌	消除鋼軌接頭
使用人力	具有焊接機之廠商	道班人員自辦	道班人員自辦
每天焊接數量	50 口以上	10 口~14 口	4 口~6 口
每口費用	17,000 元（含工、料）	4,000 元（料費）	4,000 元（料費）
工作效率	最佳	次佳	較差
接頭效率	最佳（97%~99%）	次佳（94%~99%）	較差（92%~85%）
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採電腦及機械自動化焊接，速度快，效率高。 2. 使用人力較少。 3. 人工技術及氣候影響小。 4. 接頭品質最佳。 5. 已有移動式電阻火花焊接機，可於路線現場焊接。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 道班可隨時依養路需要施作，具即時性。 2. 人工技術及氣候影響小。 3. 接頭品質佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 道班可隨時依養路需要施作，具即時性及機動性。 2. 設備輕巧，易於攜帶，施作簡便，不受環境地形限制。 3. 焊接時不需擠壓鋼軌，不影響軌道設備。

續下頁

表 23 (續)

焊接方法	電阻火花焊接	瓦斯壓接	熱劑焊接
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電阻火花焊接機價格昂貴。 2. 需建置 350m 長之焊軌基地。 3. 焊接時需將鋼軌擠壓移動 40mm，不適用於連續長焊鋼軌末端、道岔及伸縮接頭等不可移動之軌道設備環境。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瓦斯壓接設備繁雜。 2. 外包商無此設備，僅能臺鐵路道班自辦。 3. 焊接時需將鋼軌擠壓移動 26mm，不適用於連續長焊鋼軌末端、道岔及伸縮接頭等環境。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 易受藥包品質、氣候、環境及人工技術影響，可靠度不穩定。 <small>續下頁</small> 2. 熔融鐵介質屬外加材料，與鋼軌母材有差異。 3. 熔融鐵內部易形成孔洞或氣泡，影響接頭強度。
現況	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各工務段均有建置焊軌基地，鋼軌分配至各段後，即自行發包辦理電阻火花焊接。 2. 若抽換或鋪設長焊鋼軌長度較長，可外包電阻火花焊接廠商於現場焊接。 3. 現場若有不可移動之軌道設備，仍需採用熱劑焊接。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 曲線半徑 300m 以上即可鋪設長焊鋼軌，爰定尺軌需求減低。 2. 國內發包辦理電阻火花焊接日漸普遍，瓦斯壓接工法已不使用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發生斷軌或災害事故，需局部抽換鋼軌時，因突發性及急迫性，無法出動電阻火花焊接車，爰需於現場採用熱劑焊接。 2. 軌道上遇有道岔、伸縮接頭或長焊鋼軌末端等鋼軌無法移動處所，均需採用熱劑焊接。

5.7 熱劑焊接斷裂原因

熱劑焊接斷裂原因，可歸納為焊接品質、通過噸數及溫度變化等三項，其影響層面分析詳如表 24：熱劑焊接斷裂原因分析表。

表 24 熱劑焊接斷裂原因分析表

原因	影響項目	說明
焊接品質	外加介質	氧化鐵與鋁作用還原為鐵，屬外加介質，與鋼軌母材有差異。
	熱劑藥包	製品瑕疵、置放過久、受潮、變質。
	瓦斯預熱	液化石油氣隨季節、製程及壓力而變，流量過小或氧氣過多均影響火焰品質。
	現場氣候	下雨時水氣濺入熔融鐵，強風吹襲異物侵入、灰塵等影響材質，或高溫及寒冷天候降溫速率差異。
	人工技術	焊軌人員技術不佳，未遵循 SOP 施工步驟，不當操作。
通過噸數	車輪碾壓	車輪經過焊接接頭時，焊道熔融鐵介質受荷重衝擊振盪，逐漸產生破壞。
	通過噸數	通過噸數愈大，接頭上下反覆振盪愈激烈，加速焊道熔融鐵介質疲勞老化，接合強度逐漸下降。
溫度變化	焊接溫度	低溫時為達規範鋪定溫度，先用拉軌器或增溫機施加預力，焊接時須釋放拉力及鬆放扣夾，但熱劑冷卻期間尚未達強度即因鋼軌降溫對接頭產生軸拉力，致熔融鐵內產生孔洞。
	夏季高溫	鋼軌縱向軸壓應力驟增（50N 型鋼軌每升高 1 度約 1.5 噸），對焊道熔融鐵介質形成擠壓。
	冬季低溫	鋼軌縱向軸拉應力驟增（50N 型鋼軌每降低 1 度約 1.5 噸），焊道熔融鐵介質產生強大拉應力，若超過接頭強度或延展極限，即形成裂縫，造成斷軌之潛因。

5.8 熱劑焊接斷軌對策

熱劑焊接處斷裂佔臺鐵斷軌數量之 72%，如何有效防範是臺鐵必需面對的課題，歸納熱劑焊接處斷軌的防範對策，有下列五項：

為研擬有效之防範對策，臺鐵局工務處辦理價值工程「焊接圈」之熱劑焊接不良率因素及改善方案，焊接不良率因素詳如表 25：「焊接圈」熱劑焊接不良率因素及改善方案表。

依「焊接圈」歸納分析熱劑焊接處斷軌的防範對策，有下列 4 項：

- (一) 人員技術
- (二) 保養維修

(三) 施工材料

(四) 天候環境

依前揭 4 項因素，逐項研擬其防範對策，以提升焊接品質。

表 25 「焊接圈」熱劑焊接不良率因素及改善方案表

表 4-4 不良率因素及改善方案			
不良率因素	問題呈現	改善方案	備註
人員技術	組模未確實	加強訓練，須有經驗人員指導	
	封模未確實	須有經驗人員指導，防漏膏塗抹須確實	
	預留焊縫不準確	利用間隙尺量測	
	接頭研磨不平	施作時有經驗人員指導，確實施作	
	鋼軌預熱不足	預熱時，注意時間掌控	
	未完成化學反應釋放熔漿	使用產品較穩定的廠牌藥包	
保養維修	道碴不足	定期路線檢查，遇有道碴不足，派員補碴	
	焊接處起道太高或下沉	接頭處左右高度須控制準確	
	路基軟弱下沉	將不良基土挖除，確實夯實並補碴	
施工材料	鋼軌接頭斷面傾斜	以水平尺量測並研磨	
	鋼軌接頭處氧化	研磨接頭處去除氧化部份	
	鋼軌端部裂損	切除再研磨	
	藥包受潮	放置乾燥處或增購除濕機	
天候環境	雨天或濕氣太重	避免雨天施工	
	氣溫過低	提高預熱溫度及延長預熱時間	
	夜間施工光線不足	增加照明燈光	
	地震	地震過後加強巡視	

5.8.1 人員技術：

5.8.1.1 建立鋼軌焊口檔案卡，追蹤並分析斷軌原因

- (1) 建立每一個熱劑焊接口的檔案卡，如表 26：鋼軌焊口檔案卡。
- (2) 建立焊接人員責任制。
- (3) 建立焊口探傷人員責任制。
- (4) 若發生斷軌，則依據「鋼軌焊口檔案卡」分析斷軌原因，究係人為、或因焊軌材料、或因天候影響。

5.8.1.2 建立人員訓練及回訓機制，減少人為操作不當因素造成斷軌

在人員技術之因素中，顯示人員經驗及技術不足，是導致不良率之主因。爰應定期辦理焊接人員及焊口探傷人員訓練及回訓，使人員熟練焊軌及探傷 SOP，防止人為操作不當因素導致斷軌。人員訓練及回訓照片如圖 6：焊接訓練圖片。

5.8.1.3 手持式鋼軌探傷儀檢查

於鋼軌焊接後即施以檢查，如有瑕疵即安排重焊，詳如表 27：手持式鋼軌探傷儀檢測分級及處置方式，及圖 7：手持式鋼軌探傷儀檢測照片。

5.8.1.4 精密鋼軌探傷檢查

定期委外辦理檢查所有鋼軌接頭、焊口，按其瑕疵分類標準，施以不同類型缺陷之預防管理。

圖 6 焊接訓練圖片



表 27 手持式鋼軌探傷儀檢測分級及處置方式表

檢測結果	瑕疵	處置方式	標記
A	未達 3mm	每年複檢 1 次	白色油漆
B	3mm 以上，未達 6mm	每 6 個月複檢 1 次	黃色油漆
C	6mm 以上，未達 10mm	2 個月內重新焊接	紅色油漆
D	10mm 以上	1 週內重新焊接	紅色油漆

圖 7 手持式鋼軌探傷儀檢測照片



1.熱劑焊接口探傷

2.超音波鋼軌探傷儀

3.夜間探傷檢測

4.標記

5.8.2 保養維修

1. 儘量以品質較高的「移動式電阻火花焊接機」於路線現場焊接鋼軌，減少熱劑焊接數量，提升接頭強度。
2. 焊口範圍內石碴充足，且清潔無噴泥，並應砸實，以強化軌框支承力。
3. 若有道床軟弱或路基噴泥，易造成鋼軌下沉加速彈性疲勞導致斷軌，應予抽換或強化。
4. 於兩枕間之鋼軌焊點下方，輔以短枕托撐，減低振幅。

5.8.3 施工材料

1. 熱劑藥包應建置乾燥通風處所存放，逾期之藥包停止使用，以維藥包品質。

2. 焊接處鋼軌應先除銹，清除表面雜質及氧化部分。
3. 鋼軌鋸斷後，軌頭端部之切面應削角，避免有應力集中情形。
4. 鋼軌鑽孔後，其孔徑周圍應做倒角，避免應力集中產生裂痕。
5. 發生斷軌、破端或絕緣接頭損壞等情況，需局部抽換短鋼軌時，應選擇磨耗相近之鋼軌，如有高低差時，應以加工型魚尾鈹連接。

5.8.4 天候環境

1. 在低溫環境下要焊接鋼軌消除接頭時，為避免溫度過低致鋼軌軸應力熱漲冷縮作用影響軌道穩定，常使用拉軌器或鋼軌增溫機對鋼軌施加溫度預力，使鋼軌達到或接近設計溫度。但使用拉軌器或增溫機施加熱預力時，常因環境濕冷鋼軌降溫或收縮較快，對未凝固之接頭造成拉應力作用，爰需謹慎估計及預留鋼軌冷卻降溫時間。
2. 須避免焊接作業時間過長致熱劑焊接頭尚未達一定強度即受鋼軌降溫產生之軸拉力，致熔融鐵內部產生孔洞。
3. 雨天時應避免水氣濺入熔融鐵，若遇豪大雨應停止施作。
4. 有強風吹襲時須避免有異物吹襲侵入，影響熔融鐵材質。

六、斷軌風險檢討

6.1 斷軌與挫屈

鋼軌挫屈與斷裂是兩種極端之狀況，當鋪定溫度過高，氣候寒冷時鋼軌承受極大軸拉力，容易導致斷軌。反之，鋪定溫度過低，酷熱時鋼軌承受極大軸壓力，又容易導致挫屈。但二種極端情況之出軌風險完全不同。

6.1.1 鋼軌斷裂時之出軌風險

1. 臺鐵營運已逾 130 年，但追溯自民國 70 年至 110 年間，近 40 來臺鐵曾因鋼軌挫屈導致列車出軌事故，但尚無因斷軌導致列車出軌案例。
2. 臺鐵宜蘭線在民國 90 年以前是使用 37kg 鋼軌，鋼軌質輕及斷面積小，較常發生軌端及非軌端處之斷軌（37kg 鋼軌無焊接），且因鋼軌弱小，

斷軌時常造成破端或軌頭脫落情況。

- 宜蘭線於 90 年間抽換為 50kg 重型鋼軌後，因斷面積增大，慣性矩也變大，發生斷軌之案例已大幅下降。惟統計自 70 年至 110 年間不論較脆弱之 37kg 鋼軌或重軌化後之 50kg 鋼軌，雖然斷軌事故頻繁，但均無造成列車出軌事故。

6.1.2 鋼軌挫屈時之出軌風險

再統計自 95 年傾斜式列車投入營運以來，至 110 年之 15 年間，鋼軌挫屈導致出軌事故有 2 件（圖 8：鋼軌挫屈出軌事故照片）：

- 105 年 6 月 4 日 651 次莒光號於東竹～富里間因鋼軌挫屈出軌。
- 105 年 6 月 22 日 307 次自強號於富源～光復間因鋼軌挫屈出軌。

圖 8 鋼軌挫屈出軌事故照片



6.1.3 臺鐵斷軌風險實例

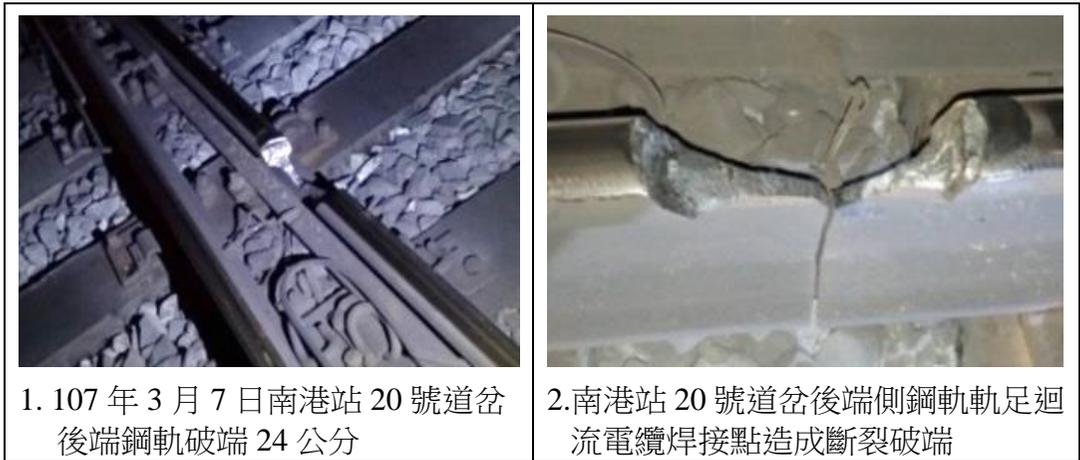
發生斷軌，風險最大之情況是產生破端，例如鋼軌頭部接觸面有一段脫落，或鋼軌端部斷損缺失一段，是屬於較高風險的。臺鐵局 105 年至 110 年 3 月間 25 件斷軌案件中，有 2 件破端事故，摘錄如表 28：臺鐵斷軌破端事故。

此 2 次斷軌事故均造成軌頭接觸面斷損缺失，但破端後仍有列車高速安全通過，顯示發生斷軌後造成列車出軌之風險，遠低於鋼軌挫曲。詳如圖 9：鋼軌斷裂造成破端照片。

表 28 臺鐵斷軌破端事故

項次	時間	地點	毀損分類	斷軌區域
6	107 年 3 月 7 日 18:58	縱貫線南港站內 20 號道岔	軌足電力迴流 線焊接點	50N-非軌端
12	109 年 5 月 19 日 18:59	臺中線成功~大肚溪南號誌站間 K204+300 西正線	軌腹水平裂縫	50N-電阻火花焊接

圖 9：鋼軌斷裂造成破端照片



續下頁

圖 9 (續)



6.1.4 斷軌與挫屈之風險比較

斷軌之風險遠較軌道挫屈低，在於軌道電路即時感應及產生破端時之應變時間，兩者之風險分析如表 29：臺鐵斷軌與挫屈之風險比較表。

表 29 臺鐵斷軌與挫屈之風險比較表

斷軌之風險	挫屈之風險
<ol style="list-style-type: none">1. 軌道電路：於號誌軌發生斷軌，軌道電路即發生短路現象，號誌立刻異常，可即時發現並通報應變、列車慢行、臨時加固及修復。2. 應變時間：鋼軌發生橫裂會突然發生，且初始裂縫細小不易發現。但鋼軌斷裂後造成破端常是持續應變所產生而非突然發生的。且發生破端時列車通過聲響及震動極大，爰常即時發現且有足夠之時間應變。	因鋼軌增溫累積軸壓力，當超過臨界點，克服石碴橫向阻力時，瞬間產生橫向大位移，屬於無預警的軌道破壞，常造成巨大災害。

6.2 斷軌之潛在危險因子分析

鋼軌發生破端缺損，若未察覺而使列車高速通過，其潛在之危險因子，分析如表 30：鋼軌破端之潛在危險因子分析表。

表 30 鋼軌破端之潛在危險因子分析表

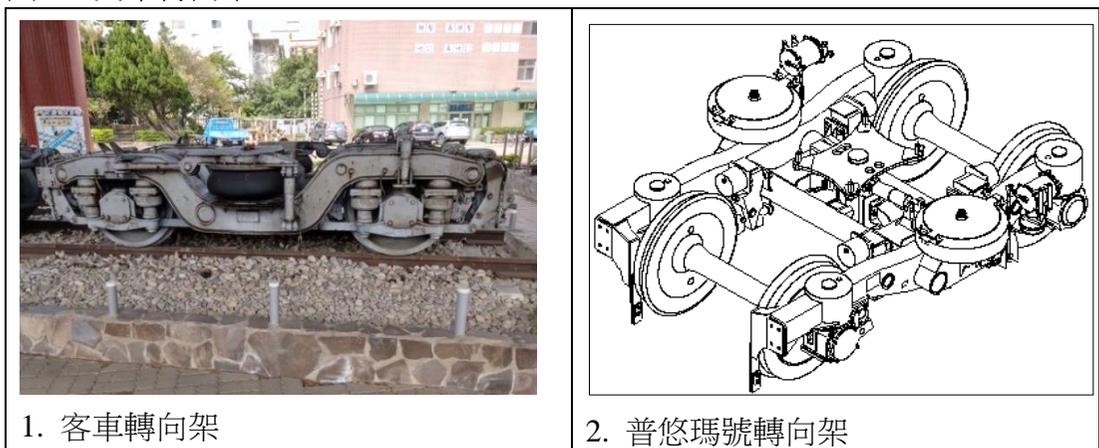
破端處所	說明
曲線外軌	列車因曲線物理作用，車體向曲線外軌施加離心力，外軌受力增大，尤其是傾斜式列車在曲線上提速過彎時，其容許超高不足量達 110mm，均會轉化為側向離心力，易因車輪側壓於接觸面缺口而爬上出軌。
直線路段	列車行駛直線段軌道，屬左、右搖擺前進，若軌頭接觸面缺損長度過大，亦有爬上出軌之潛在風險。
伸縮接頭	EJ 因容許鋼軌伸縮，設計上為自由端，若尖軌斷裂則受輪錘擠壓會產生大量位移，若未即時應變處理致位移持續擴大，將產生極大風險。

6.3 轉向架與鋼軌破端之關係

40 年來臺鐵發生斷軌均未造成列車出軌事故，其原因與列車轉向架之特性有關，火車之車輪是以轉向架固定 2 個車軸，爰 4 個車輪組成一個框架，與汽車常用之各個車輪獨立懸吊不同。

臺鐵有各型類型車輛，轉向架之固定軸距（轉向架內前、後車輪中心間距），機車約 1.5m 以上，一般客車約 2.3m，守車約 4.6m。以數量最多之客車為例，固定軸距約 2.3m。而轉向架之結構類似一個剛性框架（不考慮一次簧之影響），將 2 個車軸、四個車輪固結為一個整體，詳如圖 10：列車轉向架。

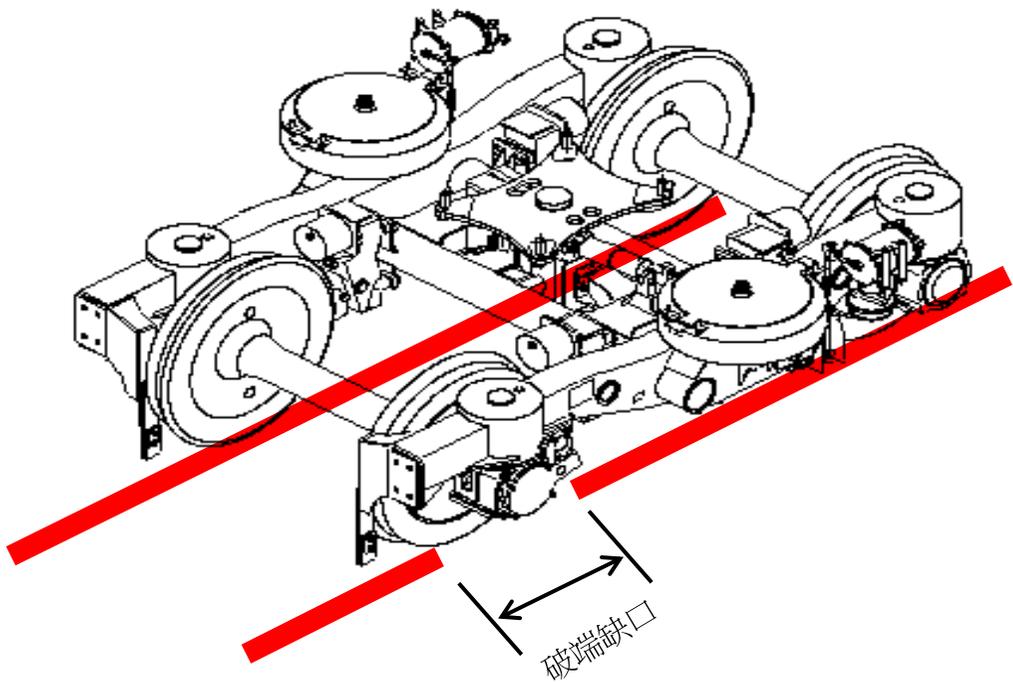
圖 10 列車轉向架



當發生鋼軌突然破端，列車通過時，轉向架之剛性結構通過破端處所，剛性框架仍有 3 點支承，並不會發生破端處所之車輪沉陷情況，爰列車仍能安全通過，詳如圖 11：轉向架通過鋼軌破端缺口示意圖。

但因車輪通過時會撞擊鋼軌產生極大異響（類似岔心情況），故鋼軌破端較容易及時發現與通報。

圖 11 轉向架通過鋼軌破端缺口示意圖



6.4 長焊鋼軌鋪定溫度檢討

長焊鋼軌鋪設之最佳時間應為夏季且自然氣溫 25 度以上，鋼軌溫度 36~40 度時，鋼軌可達到最佳鬆放狀態，惟此種條件僅日間才能符合。宜蘭線於 90 年間鋪設長焊鋼軌時均於日間封鎖路線施作，可達最佳狀態，惟臺鐵今日班次密集，近年來日間封鎖路線施工已不可行。

軌道養護為一年四季持續性之工作，無法避免於冬季或寒冷氣候時抽換長鋼軌，或在日、夜溫差大時於夜間抽換鋼軌，爰會產生鋪定溫度不符規章或與設計鋪定溫度有差異之情況。

依部頒「1067 公厘軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範」規定，若於容許鋪定溫度範圍（25°C~50°C）以外之溫度施作鋪軌作業，應安排於適當時間辦理應力解除作業。

惟應力解除作業是將鋼軌內部之溫度應力解除，或使之接近設計溫度，其目的是為防止鋼軌挫屈，因挫屈會造成出軌事故，是最優先的防制工作。另查國際鐵路協會制定之「UIC Code 712R 鋼軌損傷分類基本規範」，對各種斷軌缺陷之維修建議，並無應力解除之建議。

在某些情況下，應力解除作業對減少斷軌是有幫助的，例如在炎熱天候或日間陽光照射下鋪設鋼軌，鋪定溫度恐達 45 度~50 度，則在冬天低溫例如軌溫 5 度時，以 50N 鋼軌為例，冷縮應力將達 45 度 \times 1.53 噸 \div 69 噸，容易將強度較低之熱劑焊接拉斷，此種情況就須安排於適當時間辦理應力解除作業。

參考文獻

1. 國際鐵路協會（2002）。*UIC Code 712R Rail defects* 第 4 版。
https://dlscrib.com/uic-code-712-r-2002-rail-defects_58d173c8dc0d60c608c3462e_pdf.html。
2. 黃民仁（2007）。第 5 章軌道。*新世紀鐵路工程學*（基礎篇，5-1~5-47）。文笙書局。
3. 交通部（107 年 8 月 28 日）。**1067 公厘軌距鐵路長焊鋼軌鋪設及養護規範**。
<https://www.govbooks.com.tw/books/118416>。

鐵路融合兩側都市活動新解方-大車站平台之初探

The New Way to Integrate Urban Activities on Both Sides of the Railway- A Preliminary Study on Big Pedestrian Deck

楊建豐 Yang, Jian-Feng¹

賴東陽 Lai, Dong-Yang²

陳利強 Chen, Li-Qiang³

郭冠宏 Guo, Guan-Hong⁴

聯絡地址：10041 臺北市中正區北平西路 3 號

Address：No.3, Beiping W. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 10041,
Taiwan(R.O.C.)

電話 (Tel)：02-23815226#3878

電子信箱 (E-mail)：7005075@railway.gov.tw

摘要

交通是人們生活的軌跡，鐵路與都市活動的發展，共生共榮。隨著「前瞻基礎建設計畫-軌道建設」項目的執行開展，引發社會各界的關注與討論。面對鐵路立體化建設所遭遇的困難與檢討，交通部修訂《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》並訂定《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》，藉由法制層面的改善，發揮引領作用。

「大車站平台」概念於國外已行之有年，具有工期短、經費少，以及潛在開發效益高等特性，使得近年國內都市發展規劃與鐵路建設思維有所轉變，當全臺各地鐵路立體化建設計畫風行之時，即將進入綜合規劃階段的新竹大車站計畫即成了國內採行「大車站平台」概念

¹ 臺鐵局 企劃處 營運專員

² 臺鐵局 企劃處 專員

³ 臺鐵局 企劃處 視察

⁴ 臺鐵局 企劃處 處長

首例，於中央及地方政府財源有限之下，無疑是都市發展得以延續，並創造人民、政府以及臺鐵局三贏的一道曙光。

關鍵詞：都市發展、鐵路立體化、大車站平台、鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點

Abstract

As transportation is the path of life, railways and urban activities coexist and prosper together. As the "Forward-Looking Infrastructure Plan -Railroad Construction" project has begun, it has sparked concern and discussion from various sectors of society. The Ministry of Transportation and Communications revised the "Guidelines for Reviewing Plans for the Construction of Railway Level Crossings, Environmental Improvements, and Development of Surrounding Lands" and established the "Guidelines for Reviewing Plans for the Construction of Three-Dimensional Corridors and Pedestrian decks in Railway Station Areas and the Development of Neighboring Areas" to provide leadership by improving the legal system in the face of the difficulties and reviews encountered in the construction of railway structures.

The concept of "big station pedestrian deck" has been practiced overseas for many years, with the characteristics of short construction period, low cost, and high potential development benefits, which has led to a change in the thinking of urban development planning and railway construction in recent years. At a time when railway grade-separation projects are popular throughout Taiwan, the "Hsinchu Big Station Pedestrian Deck Project", which is about to enter the comprehensive planning stage, is the first example of the "big station pedestrian deck" concept being adopted in Taiwan. Given the limited financial resources of the central and local governments, this is undoubtedly a ray of hope for the continuation of urban development and the creation of a win-win-win situation for the people, the government and the Taiwan Railways

Administration.

Keywords: *Urban Development, Railway Grade Separation, Big Station Pedestrian Deck, Guidelines for Reviewing Plans for the Construction of Three-Dimensional Corridors and Pedestrian Decks in Railway Station Areas and the Development of Neighboring Areas*

一、前言

交通是人們生活所衍生的需求，「交通就是感動」也開展了交通部「以人為本」的願景目標以及「安全」、「效率」、「品質」及「綠色」等四大施政主軸^[1]，以人為取向，追求人類永續美好生活所需的交通環境。人們因集體生活產生都市活動，鐵路建設也應運而生，造就了人潮的聚集與流通，並帶動沿線都市發展，鐵路與都市活動的發展，共生共榮。

為打造下一個世代國家發展需要的基礎建設，行政院於 106 年 4 月 5 日核定「前瞻基礎建設計畫」，其中「軌道建設」即是政府因應綠色交通運輸趨勢，考量國內迄今仍面臨偏鄉交通不便、私人運具持有比例高、公共運輸量提升已達瓶頸等課題，有必要針對未來 30 年發展需求，就全國鐵路網之建置，包括骨幹、城際、都會內鐵道建設做全面性規劃，打造臺灣軌道系統成為友善無縫、具產業機會、安全可靠、悠遊易行、永續營運及具有觀光魅力的運輸服務。該計畫之軌道建設預算編列，將於 4 年(106 至 110 年)內分 3 期，其中第 1 期(106 年 9 月至 107 年 12 月)及第 2 期(108 至 109 年)已分別編列 166 億元、416 億元，並依「高鐵、臺鐵連結成網」、「臺鐵升級及改善東部服務」、「鐵路立體化或通勤提速」、「都市推捷運」及「中南部有觀光鐵路」等 5 大主軸推動 38 項軌道建設^[2]。

於前瞻基礎建設推動三年有餘之際，各項建設如火如荼展開，獲得社會重視，也引發各界廣泛討論與省思。107 年 10 月 16 日行政院前政務顧問張勝雄教授，亦是多項鐵路立體化計畫審查委員，有感而發，發表《致行政院賴院長的公開信》表示，「鐵路立體化等軌道建設有審慎檢討的必要，以免政府施政美意反成為後代子孫的負擔^[3]」。「鐵路立體化」是將鐵路以高架或地下化的方式融合兩側都市活動進行都市再生與發展，卻仍存在一定程度之限制與困境，隨著各式都市活動的開展，對應出多樣化的運輸模式與鐵路建設方式，借

二、國內現行鐵路立體化建設所遇之困難與檢討

2.1 國內鐵路立體化建設發展概述

當鐵路列車行駛通過平交道時，將阻擋平交道公路車輛與行人的通行，隨著經濟發展、交通需求增加，往返的鐵路列車班次漸趨密集與頻繁，造成平交道受阻斷的頻率增加，於交通繁忙之際造成交通堵塞，令人不耐；另有鑑於鐵路列車質量大及行車安全考量，當遇到人、車誤入或闖進平交道等緊急事件時，列車往往無法及時閃避，將造成重大交通事故發生。

為改善平交道問題，降低鐵公路衝突事故及改善都市交通道路的延滯，鐵路立體化及公路立體化工程相繼而生，不論鐵路高架跨越公路、鐵路地下化穿越公路、公路陸橋跨越鐵路及公路地下道穿越鐵路，皆試圖融合鐵路兩側的都市活動，重新規劃鐵路車站與沿線之都市發展，活化利用周邊土地，並整合與建立便利的公共運輸使用環境，提供行人與自行車等友善的使用空間，惟鐵路立體化工程須維持列車正常運行的限制，不易施作；公路立體化工程則經常受到陸橋或地下道兩端引道附近住戶反對，皆造成相關工程屢遭困難和挑戰，窒礙難行。

國內鐵路立體化之規劃最早可追溯到日治時代中期，當時已開始有臺北市區鐵路高架化之規劃構想，但因二戰爆發及戰後政經情勢而始終無法推動，直至民國 68 年行政院核定臺北市區之鐵路地下化政策，民國 91 年板橋至松山 13.6 公里的路線與車站地下化工程完成後，即成為各地方政府爭取交通部支持的公共建設政策之一。自臺北市區鐵路地下化至今，國內主要鐵路立體化工程之時間序如表 1 所示，各項計畫自展開可行性研究、綜合規劃、細部設計作業、興建施工至完工通車，均歷經長達十餘年的時間，全臺各都會區同步發展，除臺北市外，現已完成臺中、員林、屏東等地區之立體化工程，規劃、審議及興建施工中的計畫尚有臺中山海線、彰化、嘉義縣市、臺南延伸等案^[4](如表 2)，預計投資超過 4,058 億元，而完成近 154 公里的立體化工程。

表 1 臺灣鐵路立體化推動歷程^[4]

鐵路立體化工程	路線長度	施工期(年)	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
臺北市區												
● 鐵路地下化「臺北車站」	4.42km	72~78	●	●								
● 鐵路地下化「松山專案」	5.33km	78~83		●	●							
● 鐵路地下化「萬板專案」	15.38km	81~91			●	●	●					
● 鐵路地下化「南港專案」	19.40km	87~100				●	●	●	●			
桃園段鐵路地下化	15.825km	109~119								●	●	●
臺中段鐵路高架化	21.70km	98~106						●	●	●		
員林段鐵路高架化	3.98km	98~105						●	●	●		
臺南段鐵路地下化	8.23km	99~113						●	●	●	●	
高雄市區 鐵路地下化計畫(含左營及 鳳山)	15.37km	98~112						●	●	●	●	
臺鐵高雄 - 屏東潮州捷運化 計畫	19.30km	101~105							●	●		

資料來源：

交通部運輸研究所(2019)，「鐵路立體化建設對交通及都市發展之影響分析」。

網站：<https://www.rb.gov.tw/showpage.php?lmenuid=3&smenuid=84&tmenuid=140&pagetype=0>

表 2 規劃、審議及興建施工中之鐵路立體化計畫統計表

計畫名稱	範圍內容	建議方案	預估經費 (億元)	核定 情形
樹林鐵路立體化可行性研究計畫	北起新樹路，南至中山路，全長約 4 公里。	原線地下化	242	尚未核定
臺鐵都會區捷運化桃園段地下化建設計畫	起於鶯歌鳳鳴陸橋北側，止於平鎮台 66 線附近，全長約 17.945 公里。	改建現有 3 座車站（桃園、內壢及中壢），以及新增 5 座通勤站（鳳鳴、中路、桃園醫院、中原、平鎮）	1047.93	興建施工中
苗栗鐵路高架化計畫可行性研究	起於經國路北側 (K137+700) 至 K141+745 附近銜接既有苗南高架橋，全長約 4 公里。	原線高架化	62.53	尚未核定

續下頁

表 2 續

<p>大臺中地區山海線鐵路雙軌高架化建置可行性研究計畫</p>	<p>一、山線：大慶站到烏日站，約 3.7 公里。 二、海線：大甲站到追分站，約 25.9 公里。 三、彩虹線：新闢大甲站到后里站(北側路廊)，約 14.3 公里。</p>	<p>一、山線：烏日站高架。 二、海線：大甲成功陸橋至省牧場平交道，清水海濱路平交道至安良街平交道，兩路段高架化，其餘採平面雙軌化，可消除 6 處平交道，改建大甲、清水與沙鹿等 3 站。 三、彩虹線：新建廓子路、土城路及中社花海等 3 站。</p>	<p>整體山海環線： 714.02 一、山線：71.43 二、海線：344.76 三、彩虹線：297.83</p>	<p>尚未核定</p>
<p>彰化市鐵路高架化可行性研究計畫</p>	<p>北起大肚溪南側，止於花壇鄉大浦截水溝以南，全長約 9.2 公里。</p>	<p>原線高架化，可消除 4 處平交道、4 座陸橋及 2 處地下道。</p>	<p>399.46</p>	<p>已核定可行性研究報告</p>
<p>斗六市區鐵路立體化可行性研究計畫</p>	<p>起於達豐廠前平交道北側約 1 公里處，止於石林平交道南側約 1 公里處，全長約 8.75 公里。</p>	<p>原線高架化，增設雲林縣政府站，可消除 9 處平交道及 3 處陸橋及 2 處地下道。</p>	<p>127.44</p>	<p>尚未核定</p>
<p>嘉義縣市鐵路高架化延伸計畫</p>	<p>北段民雄約 8.92 公里、南段水上約 6.2 公里，全長約 15.12 公里。</p>	<p>北段民雄採高架化，南段水上則採水上基地整體發展作為替代方案。</p>	<p>133.43</p>	<p>已核定可行性研究報告</p>

續下頁

表 2 續

嘉義市區鐵路高架化計畫	北起牛稠溪北側 K291+737 處，銜接至嘉義水上車輛基地，全長約 10.9 公里。	高架段約 7.9 公里，高架車站 2 處(嘉北及嘉義站)、平面車站 1 處(北回歸線站)、新建水上車輛基地。	238.98	興建 施工中
臺南市區鐵路地下化計畫	北起臺南市大橋車站南端，南至大林路平交道以南，全長 8.23 公里。	增設林森站與南臺南站 2 座通勤車站。	293.6	興建 施工中
臺南鐵路立體化延伸至永康地區暨周邊土地整合發展可行性研究計畫	南起大橋車站以南 (K356+550)，北延至永康車站以北 (K349+350)，全長約 7.2 公里。	原址改建 2 座車站(大橋站、永康站)，另新建康橋地下三等站，可消除 3 處平交道與 3 處跨越橋。	359.93	尚未 核定
花蓮火車站至吉安干城車站間原線鐵路立體化可行性研究計畫	南起花蓮站 (0K+450)至木瓜溪北堤防 (8K+900) 止，全長約 8.45 公里。	原線高架化，可消除 7 處平交道、1 處陸橋及 2 處地下道	187.31	尚未 核定
宜蘭鐵路立體化建設及周邊土地開發可行性研究計畫	南起四城站至冬山排水橋，全長約 16.1 公里。	原線高架化，增設縣政中心站	252.09	尚未 核定

2.2 國內鐵路立體化建設所遇之困難^[5]

自民國 68 年起，臺北市區鐵路地下化開始推行，把近 23 公里的路線移至地下，然而 40 年的時光過去，1,741 億元的經費投入，加上難以估量的各項社會隱形成本，沿線並未出現具規模的開發或都市更新，僅集中在臺北、松山及萬華車站周邊，而板橋車站則因政府大規模區段徵收，有較多土地運用，開發面積相對較大，產生較為明顯的社會效益。

地方政府往往以改善平交道事故、都市縫合為政策目標，積極向中央爭取動輒上百億元的昂貴交通建設，以完成數十公里甚或僅數公里的路段改善與區域發展，如雨後春筍般出現的鐵路立體化建設計畫，儘管造成中央龐大財政負擔，卻也因鐵路立體化此一大型建設聲勢浩大，對於民眾與地方首長及民意代表而言，有感政績也成了現實考量。

耗時、花錢，鐵路立體化建設所帶來的效益卻不如預期中的美好。在鐵路立體化之前，營運百年有餘的臺鐵與各地方政府早先投入大筆經費針對橫越鐵路的道路進行高架或地下化，把評估可行的平交道交會處，儘可能落實改善，少數難以立體化的道路，幾乎剩下車流量本就不多的 8 米以下小巷道；在鐵路立體化風行之際，維護鐵路安全的智慧控制與偵測系統等科技亦快速進步，智慧鐵道與物聯網的發展更是現在進行式，令人期待；在鐵路立體化之後，鐵路的開發僅集中在車站周遭，而非沿線區域，對於臺鐵營運上的影響，多是產生的負面衝擊大於所帶來的正面效益^[6]。

2.2.1 規劃及審議階段

各地方政府規劃鐵路立體化計畫時，多欠缺整體都市發展之規劃即著手推動鐵路立體化計畫，造成應屬上位的都市發展規劃，淪為推動鐵路立體化時，基於經濟或財務分析而思考的土地開發計畫，導致區域發展的整體規劃不夠周全，容易造成相關基礎建設及功能產生重疊，進而使得資源的配置和運用產生無謂的浪費與效率不彰。

鐵路立體化建設初始之規劃常由地方政府主導及推動，於規劃過程常忽略鐵路營運機構臺鐵局的需求及影響，往往對於產生的財務效益評估過度樂觀，衝擊影響卻忽視不見，造成鐵路營運永續發展的隱憂。

鑒於鐵路立體化建設經費龐大，地方政府常因財政困窘而無法分擔過多經費，多將目光投注在中央的全額負擔或提高的補助比率，常有政治因素的摻入，導致審議機制無法完全落實，進而讓中央政府不得不面對財政惡化與負擔增加的現實。

2.2.2 施工建設階段

為維持施工建設期間鐵路正常營運，依場域條件不同，常見鐵路立體化施工方式有二：第一，先行建置臨時軌俟鐵路車輛切換後再施築永久軌；第二即

一次到位施築永久路線，再行廢棄既有軌道，但無論採行何種方式皆易衍生棘手的工程沿線用地徵收、建物拆遷補償等問題^[4]，引發民怨、抗爭，甚至相關訴訟，除向相關民眾、團體密切溝通座談與說明之外，更迫切與其建立互信基礎，才不致使工程延宕，造成預期的開發效益與機會難以掌握與實現，同時激起一波未平，一波又起的民怨與不耐。

施工建設期間，對於既有的交通環境亦造成影響，需多方研商整體的環境規劃與權責劃分，就既有公路不論是高架橋或地下道等立體交叉設施、鐵路立體化後所騰空廊帶的用途，以及相關工程經費的支應等議題，皆考驗著地方政府、鐵路營運機構以及中央主管機關集體的智慧，將困難的議題，透過討論研商與互相理解取得共識，共謀社會福祉。

2.2.3 完工後營運階段

鐵路立體化後，往往大幅降低車站內允許配置的股道數，勉強滿足客運需求之餘，貨運、機廠及調度場等需求多須配合遷移，增加運轉成本支出，並大幅降低列車調度彈性，進而衍生延誤情況惡化及準點率之影響。另新增之場站設施亦增加臺鐵的人事、營運及維修成本，反觀預期可帶來之票箱收入則因國家人口總數減少趨勢，多元運具的選擇與發展，增長有限甚至產生衰退現象。同時，配合鐵路立體化計畫所新增的通勤車站，廣設之下降低了路線容量，造成車次排班的影響與營運瓶頸。全臺眾多片段的立體化計畫使得臺鐵局難以提出周全的運轉規劃，也影響了提供大眾的軌道運輸服務品質，鐵路立體化建設使得臺鐵的營運與財務雪上加霜。

2.3 國內鐵路立體化建設之檢討

為使地方政府於提出鐵路立體化（含延伸）計畫需求時有所依循，整合都市發展及土地開發，以發揮鐵路立體化效益、合理化鐵路營運機構財務結構，交通部於民國 101 年 8 月 21 日發布《鐵路立體化建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點》，另為強化平衡國家資源分配與城鄉均衡發展，於 106 年 2 月 18 日針對要點附表修正發布。

鑒於鐵路立體化建設經費龐大且加重鐵路營運機構臺鐵局後續的營運維修成本，為期地方政府能從都市整體發展角度出發，審慎思考鐵路立體化之必

要性，交通部於 107 年 2 月 21 日修正發布名稱及全文 14 點，改為《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》(以下簡稱鐵路立體化審查作業要點)，其中第五點第二款第一目規定「地方政府所提改善方案，應優先具體量化評估設置智慧型平交道安全控制系統、車輛改道、公路立體化及鐵路車站跨站式站房等優先改善方案，若皆不可行，始評估鐵路立體化之必要性與可行性^[7]。」又修正期間，交通部於 106 年 9 月 4 日囑臺鐵局另案研擬配套之《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》(以下簡稱立體連通廊道平台審查作業要點)。

三、國內大車站平台計畫依循法規—《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》

3.1 緣起

近年來各地方政府積極擘劃區域發展藍圖，推行地方建設並尋求有感政績，惟普遍面臨財政困窘的現實，開始思考透過大型立體連通廊道與人工平台建設等方式，取代經費龐大且冗長耗時的鐵路立體化建設計畫。如新竹市政府即於民國 106 年 2 月提出「新竹大車站平台計畫」；同年屏東縣政府亦提出「枋寮大車站平台計畫」，由於可預期未來各地方政府將透過大型立體連通廊道與人工平台建設，連接車站與站外道路、公共設施或建築，形成立體整合的站區動線系統，並配合鐵路車站毗鄰地區之舊都心區域，推動較大規模的都市再生、都市更新或整體開發計畫，交通部於《鐵路立體化審查作業要點》修正期間，囑臺鐵局另案研擬配套之《立體連通廊道平台審查作業要點》，以利各地方政府辦理相關計畫時有所依循。

3.2 研擬歷程

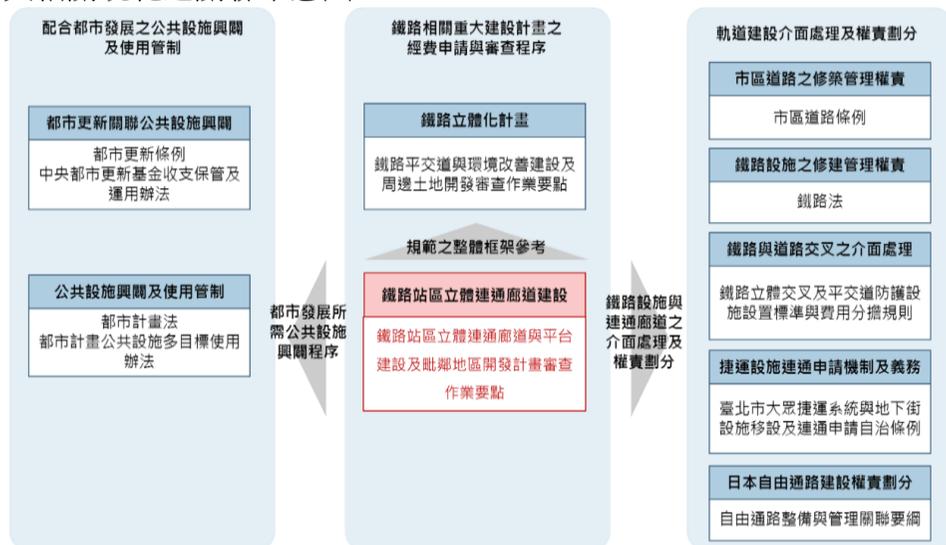
交通部於民國 106 年 9 月 4 日囑臺鐵局另案研擬《立體連通廊道平台審查作業要點》，臺鐵局於 107 年至 108 年間共計五次函報交通部審議，期間歷經多次會議研商，並於 108 年 7 月 10 日出席交通部研商會議，說明草案內容並逐點討論修正，最終交通部於 108 年 8 月 8 日發布施行^[8]。(如表 3)

表 3 臺鐵局辦理《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》研擬歷程表

時間	辦理內容
106 年 9 月	4 日交通部召開「『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(草案)』與『鐵路行車安全及環境改善建設暨周邊土地開發計畫申請與審查作業要點(草案)』研商會議」，並請臺鐵局另案研擬《立體連通廊道平台審查作業要點》。
106 年 10 月	24 日辦理「臺鐵營運事業策略管理諮詢總顧問」委託專業服務案，協助本要點之研擬諮詢。
106 年 12 月	28 日召開草案研擬成果報告審查會。
107 年 1 月	23 日召開草案研擬成果報告第二次審查會。
107 年 3 月	7 日第一次函報交通部審議。
107 年 4 月	20 日召開專家學者座談會。
107 年 5 月	16 日地方政府函文建議草案修正方向。
107 年 6 月	8 日第二次函報交通部審議。
107 年 8 月	2 日交通部函復審查意見，經研議修正後，於 16 日第三次函報交通部審議。
107 年 10 月	8 日出席交通部研商會議會前會，說明草案內容。 11 日出席交通部研商會議，並依交通部指示及與會機關意見修正草案。
108 年 1 月	8 日第四次函報交通部審議。
108 年 3 月	7 日出席交通部研商會議，依會議結論參酌各單位意見評估研議。
108 年 4 月	10 日邀集地方政府與交通部相關單位召開「與地方政府研商會議」。
108 年 5 月	21 日第五次函報交通部審議。
108 年 7 月	4 日出席交通部研商會議會前會，針對草案內容逐點討論。 10 日出席交通部研商會議，說明草案內容並逐點討論修正，後依會議討論與決議事項與立約商研擬修正。 12 日將修正後草案提送交通部。
108 年 8 月	8 日交通部發布施行。

鑒於鐵路站區立體連通廊道與平台建設性質皆屬大型公共建設，《立體連通廊道平台審查作業要點》參考《鐵路立體化審查作業要點》架構進行研訂，而建設本身的目標與整體都市發展密不可分，相關計畫之辦理程序及必要事項，參考《都市更新條例》及《中央都市更新基金收支保管及運用辦法》、《都市計畫法》及《都市計畫公共設施多目標使用辦法》等相關規範研訂。至於建設所屬類型及工程應視為鐵路設施或道路，其建設、管理維護、使用及經費籌措之權責亦有所不同，故相關事項規範參考《鐵路法》、《市區道路條例》、《鐵路立體交叉平交道防護設施設置標準與費用分攤規則》、捷運設施處理設施移設及連通申請的《臺北市大眾捷運系統與地下街設施移設及連通申請自治條例》，以及日本針對鐵路站區立體連通建設的《自由通路整備與管理關聯要綱》(自由通路の整備及び管理に関する要綱)等相關原則研訂^[9]。

圖 2 《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》與相關規範之關聯示意圖^[9]



資料來源：台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司(2019)，「臺鐵營運事業策略管理諮詢總顧問策略諮詢服務報告書」。

3.3 規範架構

《立體連通廊道平台審查作業要點》依循《鐵路立體化審查作業要點》之架構，並視立體連通廊道與平台建設及鐵路立體化建設之目的、規模、工程複

雜度及所生相關權益關係等差異進行研訂，調整評估項目、申請機制及釐清權責關係劃分原則。(如表 4)

表 4 《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》與《鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點》架構對照^[9]

鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發審查作業要點			鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點		
架構	條次	規範事項	架構	點次	規範事項
(一)要點目的	1	要點訂定目的	(一)要點目的	1*	本要點訂定之目的
	2	可行性研究補助經費申請	(二)用詞定義	2*	本要點用詞定義
(二)可行性研究經費申請與補助	3	可行性研究經費申請計畫書內容	(三)適用範疇界定	3*	本要點適用車站之申請門檻與範疇
	4	可行性研究補助辦法及原則	(四)建設類型與辦理流程界定	4*	立體連通廊道、平台建設類型與辦理方式
(三)可行性研究之審核內容	5	可行性研究辦理內容		2與4	可行性研究作業補助經費之申請與辦理依據及補助原則
	6	可行性研究報告之審查	→5*	3→6*	可行性研究經費申請計畫書內容
(四)綜合規劃之權責分工及辦理內容	7	綜合規劃階段地方政府及鐵路營運機構應配合辦理內容	5→7*	5→7*	可行性研究辦理內容
	8	財務計畫及經費分攤	(五)可行性研究申請依據、計畫書內容與補助原則	7→8*	綜合規劃階段地方政府及鐵路機構應配合辦理內容
	9	綜合規劃陳報行政院前應完成事項		9	可行性研究與綜合規劃之經費差異處理方式
(五)經費及用地差異處理	10	可行性研究及綜合規劃之經費及用地差異處理	8→10	財務計畫及經費補助	
	(六)審查機制	11	綜合規劃核定後之地方政府配合事項	(六)經費補助	11*
12		可行性研究及綜合規劃審查會之組成	12*		所有權歸屬
(七)適用條件	13	排除適用情形	13*	營運維護管理經費分攤原則	
	14	未奉行政院核定之可行性研究及綜合規劃皆應依循辦理	12→14*	可行性研究、綜合規劃審查會之組成	
			(七)審查機制	9→15	綜合規劃報告書報行政院核定前應確認之相關事項

第一類：新增規範 第二類：整併時另行規定或一併修正 第三類：規範內容雷同

資料來源：台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司(2019)，「臺鐵營運事業策略管理諮詢總顧問策略諮詢服務報告書」。

3.4 理念與應用

為利各地方政府與機關提出之鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫，有嚴謹、明確之作業規範可資遵循與審查，《立體連通廊道平台審查作業要點》之規範應運而生。相較於鐵路立體化建設規劃空間範圍廣、工期長及所需經費大等特性，鐵路站區立體連通廊道與平台建設以規模小、工期短及經費少的特點作為大規模立體化之替代方案，提供各地方政府與機關思考都市更新與再生時的另一選項。

四、國外經驗—德國柏林中央車站、日本東京品川車站

4.1 德國柏林中央車站

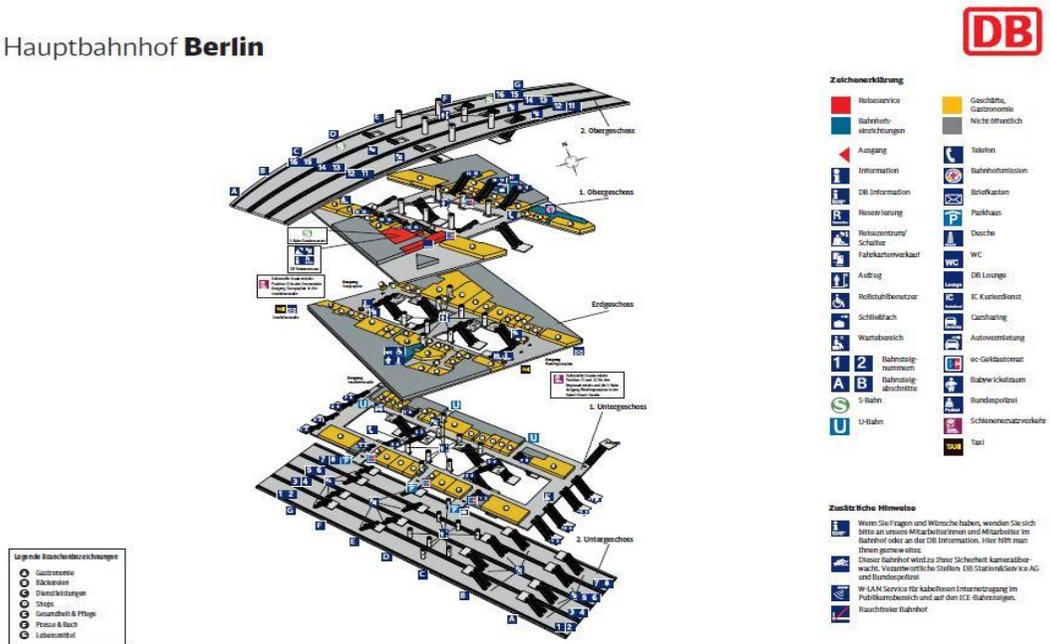
前往歐陸國家觀光旅遊、學術研討及從事其他交流活動時，總有機會來到歐洲最大的高架車站—德國柏林中央車站(Berlin Hauptbahnhof)，城際列車、區域列車與當地捷運、有軌電車及公共汽車等交通網絡系統連結，是柏林最重要的鐵路樞紐。

前身為 1871 年啟用之萊特車站，於第二次世界大戰時遭受嚴重破壞。1987 年東西德在柏林建城 750 周年紀念會上簽署備忘錄，研議重整柏林鐵路網，包括新建 1 條南北向的新主線，並在與東西向主線交會處興建一座現代化的中央車站，萊特車站遂被列入新站站址的考量之一。1989 年柏林圍牆倒塌兩德統一，中央車站計畫加速進行，由建築師葛肯、瑪格得標規劃設計，因萊特車站靠近柏林行政中樞地區，且人口密度尚未經開發，故確定成為站址，1995 年南北主線隧道主體工程動工，各項工程隨後分階段啟動，包括大廳磨菇型圓拱，兩側 60 公尺高的 12 樓層大廈等，最後在 2006 年世界盃足球賽前夕的 5 月 26 日正式啟用，總經費耗資 7 億歐元^[12]。

現由德國鐵路公司(DB)經營並有「交通大教堂」美名的柏林中央車站^[13]，設立於柏林行政中心旁，為連結國內外大城市的中心放射式樞紐車站，便於人們轉乘亦利於人潮匯聚，運用鋼架結構及大面積玻璃頂棚與玻璃帷幕設計，提高絕緣保溫效率，降低能源消耗，節能環保；整個車站大廳從 B2 到 3F 少有樓板的挑高設計，提高穿透性，採光充足，全站 B2 及 3F 為軌道設施，其餘中間三層樓的空間為商業活動空間(如圖 6)，共有 56 部電扶梯和 43 部電梯，配合設計良好的指標系統，使得轉乘及購物之動線流暢；全站區不乏購物商場與飲食天地，15,000 平方公尺約占四分之一建地面積的多元商業空間，提升站體服務品質與帶來可觀經濟效益；向站外望去，車站融入周邊古典建築群，包含行政中心建築群、國會大廈、波斯坦廣場，步行穿越施普雷河便可遊覽當代藝術館和自然歷史博物館中獨特的恐龍骨架。無縫運輸、感動服務，以及盡收眼底的柏林城市風景就是德國柏林中央車站最切實的描繪。

圖 6 德國柏林中央車站平面圖^[14]

Hauptbahnhof **Berlin**



資料來源：Deutsche Bahn 德國鐵路公司(2020)，Map Berlin Hauptbahnhof，擷取日期：2020年8月24日，網站：<https://www.bahnhof.de/bahnhof-en/Berlin-Hauptbahnhof-3803194>

4.2 日本東京品川車站

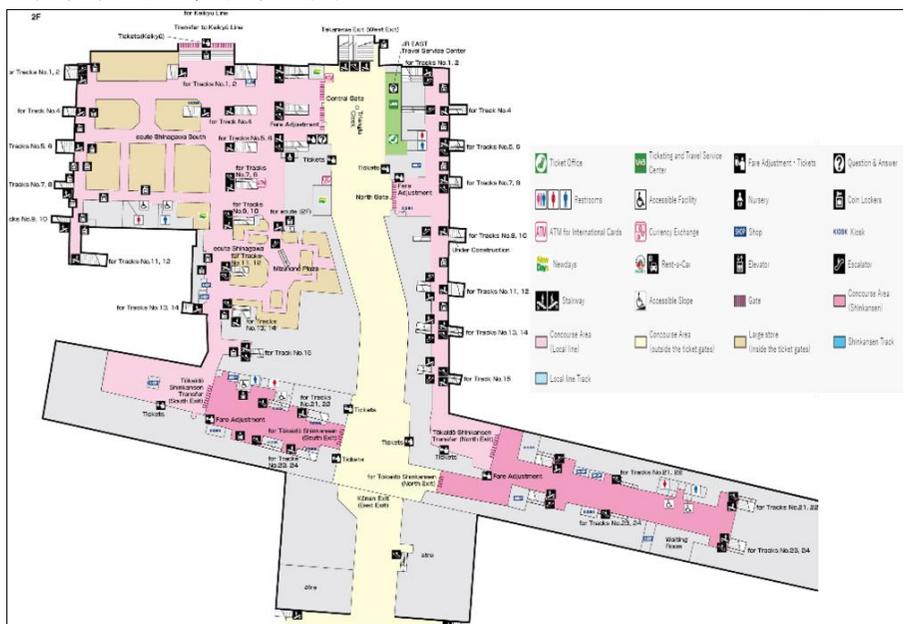
從臺北到東京直線距離約 2,100 公里，3 小時的飛機航程即可抵達，商業貿易、各界交流，往來頻繁。臺灣與日本社會經濟背景與都市發展條件相似，在國家發展歷程中，有許多值得借鑑之處，而日本所稱之「自由通路整備」，大車站平台便是其一。

1872 年啟用之品川車站，於第二次世界大戰時遭受空襲，由於車站東西側的連繫受到鐵路系統阻隔，低可及性的交通路網結構導致東側都市發展受到孤立。其中，雖建有銜接車站東側之地下道（長 300m，寬 4m），但設施之使用需購票進站，加上通路狹小老舊，不利行人通行，尖峰時刻相當耗時。隨著都市發展與人口不斷成長，品川車站逐漸定位為都會型轉乘站，龐大的通勤人口亦帶動興建自由通路之需求，自 1960 年居民與通勤使用者多次提出建設自由通路請願，以期改善。日本鐵路公司(JR)起初因長期面臨經營與財務問題回絕，但隨都市與交通發展日益蓬勃，需求日漸顯現，公司立場也隨之調整，在居民

與公司協議努力下，1995 年自由通路與站房高架化工程動工；1998 年車站東側之品川 Inter City 開發計畫完工；2001 年車站東口站前廣場啟用；2003 年伴隨新幹線品川站開通、車站東側品川 Grand Commons 開發計畫完工，自由通路正式啟用^[15]。

品川車站為東京重要的交通樞紐，四通八達，搭乘京急電鐵可至羽田機場，成田特快可達成田機場，JR 往鎌倉、新幹線到名古屋等其他城市，彩虹巴士 (Rainbow Bus) 可抵台場等人氣觀光景點，車站主要出入口為西側的高輪口及東側的港南口，鐵路軌道設置於地面層，車站二樓則以長 250 公尺、寬 20 公尺及高 8.7 公尺的自由通路銜接寬敞的人行空間，跨越整個站區，提高人們移動的便利性(如圖 7)，而兩側上方空間作為廣告投放使用，東側與 JR 附屬事業 atré 商業設施連接，並藉由站前廣場之人工地盤、立體連通設施與品川 Grand Commons、品川 Inter City 相接^[16]，增裕整體經濟效益。站區大規模整體規劃開發並以人工地盤及立體連通廊道串連各主題建築群，整合西側(高輪口)的住宿飯店、電影院、保齡球館及水族館，東側(港南口)的商業辦公大樓、跨國企業進駐以及高級餐飲店鋪等周遭設施與服務^[17]，成為極富生活機能的交通節點與地標。

圖 7 日本東京品川車站平面圖^[18]



資料來源：JR-EAST 日本鐵路公司(2020)，Shinagawa，擷取日期：2020 年 8 月 24 日，網站：<https://www.jreast.co.jp/e/stations/e788.html>

五、國內案例-新竹大車站計畫

5.1 新竹採行大車站平台方案原因

綜觀新竹地理環境，鐵路行經新竹市之核心區域，全長僅約 3 公里，沿線和台 1 線縱貫公路(中華路)幾乎呈平行走向，由南往北經過臺鐵北新竹站後就是頭前溪高灘地，而由新竹站往南亦很快就離開核心市區，進入香山區近郊，沿線與縱貫鐵路交叉之主要幹道多以高架橋模式跨越，由北至南依序為台 68 快速道路、公道五路高架橋、東光路高架橋、東大高架道、東大陸橋、振興路橋以及茄苳景觀大道等，其中台 68 線快速道路及茄苳景觀大道設計均為永久性重要幹道設計，難以鐵路高架化方式再行跨越^[10]。

聚焦建設核心—新竹車站，站區軌道配置複雜，一座岸式月台與兩座島式月台，客、貨及支應股道遍布，北側有貨運場站，南側有機務分駐所，另從北新竹站亦有分岔往新竹高鐵六家線及觀光旅遊的內灣支線，如要採行鐵路高架化將會面臨站區軌道配置及重要場站設施重新整體規劃等問題，而新竹車站前、後站之整體發展較為均衡，前站為舊城區；後站為轉運站，鄰近國立交通大學、國立清華大學、工業技術研究院，以及新竹科學工業園區，透過大車站平台建設串連前後站區，將創造更多商業、休憩等都市生活空間，為舊城區等市區核心注入新活力。

5.2 計畫簡介

新竹地區是臺灣高科技產業的重鎮，也是過去 30 年帶領著臺灣經濟成功轉型的重要動力引擎，隨著地區經濟發展，城市也面臨再生的壓力，地方政府積極推動都市再生工程，持續爭取中央及各方資源整合投入，讓科技城市發展動能持續向上提升，在全臺遍布的鐵路立體化建設中，新竹市率先採維持鐵道平面化，以大平台串連車站，進一步整合大車站計畫，在中央與地方通力合作之下，計畫可行性研究報告業經行政院於 109 年 3 月 31 日核復同意。

新竹大車站計畫是國內首座採跨站式車站改造的新典範，用以人為本、友善環境、低成本與高效益的方式串連新竹車站前後站，是富有創意且具體可行的計畫。

計畫仿效日本東京品川車站，以「一座百年古蹟，打造兩座南北公園，整合輕軌、火車、轉運站三個車站，將跨站平台四周連結，並整合周邊五處開發區」為主軸，整合新竹火車站的前後站之外，亦搭配步行城市計畫促進舊城區商圈的繁榮，使新舊城區的機能相互融合，再現百年車站風華^{【11】}。同時，考量民眾前往跨站平台轉乘和消費的便利性，規劃與臺鐵局共同開發前後車站區域，以帶動附近商圈，導入新竹地區的高消費力，成為新竹市的新地標，共創市民、地方及中央三贏的成果。

5.2.1 工程規劃

工程範圍以新竹市中心鐵路沿線街廓為範圍，並視車站運量及周邊發展情形分短、中長期規劃。短期以現有新竹車站周邊，東以南大路、西以中華路二段、南以振興路橋、北以東大路一段為範圍；中、長期則以現有北新竹站周邊，東以公園路及南大路、西以中華路二段、南以東大路一段、北以公道五路北側都市計畫邊界為範圍。(如圖 3)

圖 3 新竹大車站計畫鐵路沿線整體工程規劃^{【11】}



資料來源：新竹市政府(2020)，新竹大車站計畫可行性研究報告書(核定本)。

5.2.2 新竹車站古蹟

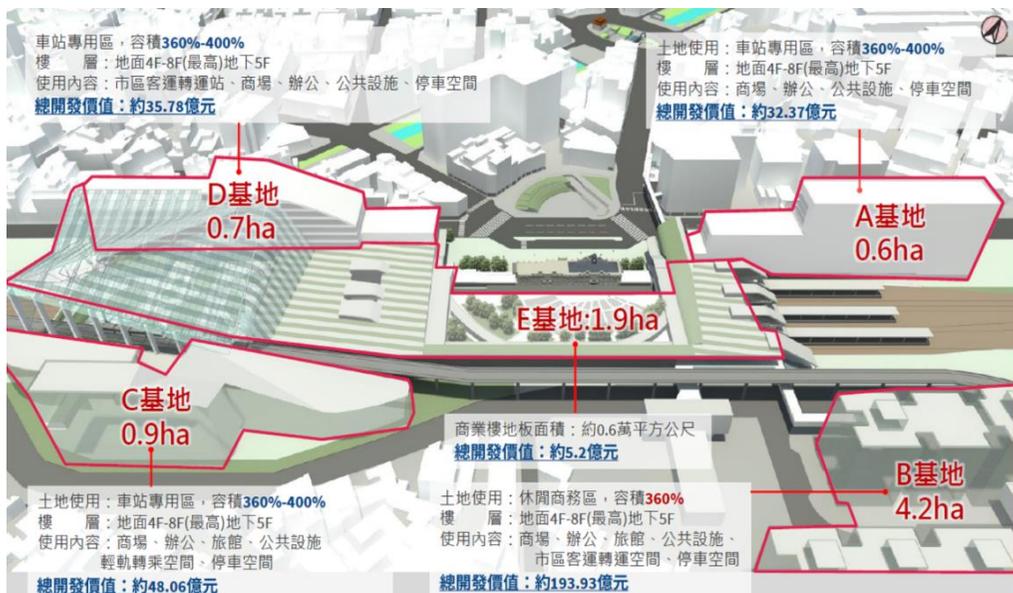
1893 年新竹火車站初建於枕頭山下（今東大路憲兵隊一帶），當時稱「新竹票房」，為土角厝建築；1895 年臺灣割日後，遭抗日軍焚毀；1913 年於現今站址的新竹火車站，日治時期稱「新竹驛」，建築本體竣工，包括以鐘塔為主的候車大廳及連接售票大廳的側體，屬加強磚造建築，由日人松ヶ崎萬長設計建造，屬後期文藝復興建築，兼具巴洛克與哥德式風格，為縱貫鐵路上長老級的日式百年車站，深具歷史與藝術價值，1998(民國 87)年由臺灣省政府核定為省定古蹟，1999(民國 88)年精省後改為國定古蹟。

未來，古蹟車站將配合修復騰空活化，規劃具文化特性的商業設施，不再作為車站出入口使用，並朝提升古蹟車站獨立性與確保其完整性的方向規劃。

5.2.3 開發規劃

計畫之開發規劃以六個基地(A 至 F)進行整體開發，帶動地區發展，並活絡站區周邊經濟。新竹車站周邊(A 至 E 基地)為優先發展地區，而北新竹站周邊(F 基地)則配合整體規劃，於中長期計畫一併開發。(如圖 4)

圖 4 優先發展地區(A 至 E 基地) 開發規劃^[11]



資料來源：新竹市政府(2020)，新竹大車站計畫可行性研究報告書(核定本)。

5.2.4 跨站平台施作工法

跨站平台建構於新竹車站營運鐵軌上方，以連結前後站並結合轉運、休閒與商業等功能，其土木工程內容包括基樁與基礎、墩柱、跨站平台版梁等結構，以及平台上方之建築構造物。

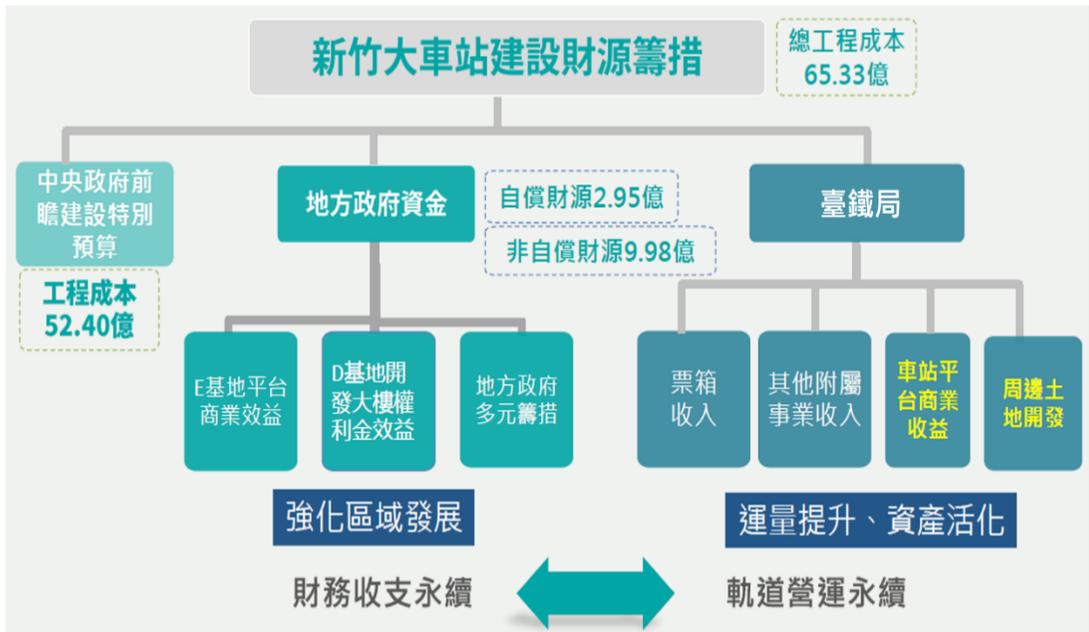
基樁與基礎、墩柱、跨站平台版梁等結構須橫跨寬達 65 公尺之站區及股道群，含 1 個岸壁式月台、2 個島式月台、6 股股道及維修調度相關建物及設施，基樁、基礎、墩柱、平台版梁等結構施工期間亦須維持營運中之站房、月台、股道、列車及維修調度等設施正常營運，並確保施工安全。如採一般傳統方法施工，僅能利用夜間非營運時間帶斷電封鎖期間作業，每日施作時間將被限縮於 4 小時以內，效率嚴重受限，進而衍生工期、成本以及估測難度之增加。

計畫施工方案參考日本東京最大的轉運點—JR 新宿車站的南口平台施工法（Rapitsu-0），該工法於車站上方構築可延伸、移動的臨時施工構台，所有施工作業均在構台上進行，除施工臨時構台利用夜間斷電封鎖施工外，其餘均可於白天作業，而於構台上方施作月台上墩柱之鑽掘、出土、吊放鋼筋籠、澆置混凝土等，均不需於地面作業，不影響構台下方列車營運調度，可全天候施工，縮短工期^[10]。

5.2.5 財源籌措方式

計畫總工程成本約為新臺幣 65.33 億元，依據《立體連通廊道平台審查作業要點》規定之經費分擔原則，中央政府負擔約 52.4 億元(占比約 80%)，地方政府負擔約 12.93 億元(占比約 20%)，由前瞻基礎建設計畫特別預算、地方政府基金投入建設，並由地方政府、鐵路營運機構等共同維運。(如圖 5)

圖 5 財源籌措方式^[11]



資料來源：新竹市政府(2020)，新竹大車站計畫可行性研究報告書(核定本)。

5.3 未來展望

行政院已於 109 年 3 月 31 日核復同意計畫可行性研究報告，後續由新竹市政府辦理綜合規劃作業，該府於同年 8 月 13 日發布新竹大車站綜合規劃案公開招標公告，實際規劃內容仍待新竹市政府與臺鐵局共同研議，攜手創造共榮與新舊融合相輔相成且相得益彰的城市新風貌。

當車站與周遭環境連結成為「大車站」，車站魅力將大幅提升，結合多種交通運輸系統、觀光旅遊、娛樂餐飲等異業多角化經營，開展商業空間，並展現地方文化特色，形塑都市意象與地區發展使命，振興繁榮之餘亦能成為地區生活集會的重心。「大車站」不再只是行旅者通過的地方，而是人潮匯聚，提供人們得以享受生活的好去處。

六、結語

鐵路建設帶來都市的繁榮與發展，卻也因都市發展紋理的變遷，成了一道待解決的問題，綜觀國外東、西方經驗，日本與德國對於車站站體結合周遭環境設施的大車站平台概念，以車站為核心，透過立體連通廊道設施與平台建設，於站區部分與車站設施作一連結，並整合、連通前後站區域，橫跨道路與鐵路站區，直接連接至毗鄰街廓建築或開放空間，促使都市朝向大眾運輸導向型發展，達到共站分流與整體開發目標，以點的積極開發取代鐵路立體化全線的改善，工期短、經費少及開發效益高等特性，讓中央及地方政府得以配合區域整體發展與再生需求，擘劃更經濟實惠又有感的建設計畫，大車站平台無疑是國內鐵路融合兩側都市活動的新解方。

國內首例新竹大車站計畫 110 年 9 月 30 日進入綜合規劃階段，針對運轉分析、營運計畫、計畫內容、土地開發等主要工作項目之執行策略及方法(包含分期(年)執行策略、執行步驟(方法)及分工)進行全面性規劃，並擬訂期程與資源需求，盼藉由大車站平台計畫的推動，車站周邊商業活動、交通運輸及休憩娛樂等整體需求的觀念養成，使得大眾運輸工具逐步取代私人汽機車的使用，經濟活動熱絡，開展更多人們放鬆身心靈的環境空間，車站站體完美融入生活，自 1913 年矗立迄今的新竹車站得以充分展現現代與傳統共存的嶄新風貌，值得眾人期待。

隨著都市蓬勃發展，當國內面臨鐵路如何融合兩側都市活動的問題時，新竹大車站計畫引領各方人士一條思索解方的新出路，讓大車站平台的做法在國內有被充分討論、被看見的機會，嘉義水上、屏東枋寮皆經地方政府評估考量在地需求與條件後，相繼提出「大車站平台」之可行性研究計畫，未來，結合周邊地區發展並完整開發之車站，將以大車站平台的型態，提供優質行旅服務、商場體驗以及成為享受生活的重要節點，讓人們感受到交通服務所帶來便利與感動，整體社會福祉也將更上層樓。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所 (2019)。「**2020 年版運輸政策白皮書**」。
2. 行政院 (2018)。「**前瞻基礎建設**」。擷取日期：2020 年 8 月 24 日，網站：<https://www.ey.gov.tw/achievement/A3939040D5E6AA2E>
3. 張勝雄 (2018)。「**致行政院賴院長的公開信**」。擷取日期：2020 年 8 月 24 日，網站：<https://nocomments2018.blogspot.com/2018/10/blog-post.html>
4. 交通部運輸研究所 (2019)。「**鐵路立體化建設對交通及都市發展之影響分析**」。
5. 葉名山、劉欣憲、周永暉 (2012)。「**以混合多準則評估模式建構臺灣鐵路立體化建設計畫之評選機制**」。運輸計劃季刊，**41** (1)。
6. 上報 UP Media (2019)。「**錢坑計畫遍地開花，全台瘋鐵路立體化，交通學者：愚蠢作法**」。擷取日期：2020 年 8 月 24 日，網站：https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=68150
7. 交通部 (2018)。「**鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點**」。101 年 8 月 21 日交通部交路字第 10100284091 號令訂定，107 年 2 月 21 日交通部交路字第 10700026871 號令修正發布。
8. 交通部 (2019)。「**鐵路站區立體連通廊道與平台建設及毗鄰地區開發計畫審查作業要點**」。108 年 8 月 8 日交通部交路字第 1085010079 號令訂定。
9. 台灣野村總研諮詢顧問股份有限公司 (2019)。「**臺鐵營運事業策略管理諮詢總顧問策略諮詢服務報告書**」。
10. 眼底城事 (2020)。「**軌道立體化之外：淺談新竹大車站計畫「跨站式平台**」」。擷取日期：2020 年 8 月 24 日，網站：<https://reurl.cc/d5VDWq>
11. 新竹市政府 (2020)。「**新竹大車站計畫可行性研究報告書(核定本)**」。
12. 交通部臺灣鐵路管理局 (2012)。「**考察法國、瑞士、德國鐵路行車、營運管理設施及國際軌道交通技術展**」。公務出國報告。

13. VisitBerlin (2020)。*Berlin Central Station-The Cathedral of Traffic*。擷取日期：2020年8月24日，網站：<https://www.visitberlin.de/en/berlin-central-station>
14. Deutsche Bahn 德國鐵路公司 (2020)。*Map Berlin Hauptbahnhof*。擷取日期：2020年8月24日，網站：
<https://www.bahnhof.de/bahnhof-en/Berlin-Hauptbahnhof-3803194>
15. 原田敬美 (2006)。「**鉄道駅自由通路整備における協議会方式による官民協働事業の研究：港区内 JR 品川駅と田町駅の自由通路整備の事例研究**」。
16. 交通部鐵道局 (2020)。「**考察日本鐵道調車場活化利用及車站改建之整體開發與指導引標誌系統實際案例**」。公務出國報告。
17. Japan Travel (2020)。**精選品川 16 個地點**。擷取日期：2020年8月24日，網站：<https://reurl.cc/lD0Dov>
18. JR-EAST 日本鐵路公司 (2020)。*Shinagawa*。擷取日期：2020年8月24日，網站：<https://www.jreast.co.jp/e/stations/e788.html>

推拉式自強號電車組靜式變流器維修研析

The Analysis of Maintaining Static Converters for Push-Pull Tze-Chiang Limited Express

李裕鵬 Li, Yu-Peng¹

聯絡地址：920013 屏東縣潮州鎮光復路 616 號

Address：No.616, Guangfu Rd., Chaozhou Township, Pingtung County 920013, Taiwan (R.O.C.)

電話(Tel)：(08)884-9899#164

電子信箱(E-mail)：0333536@railway.gov.tw

摘要

變流器是早期鐵路客車為供應車上照明系統運作所需電源之轉換裝置，一般可分旋轉式與固定式兩種，隨著時代進步及旅客需求而引進空調車廂，原本供應日光燈小負荷之變流器已無法供應空調裝置之大電流需求；為了供應空調裝置所需電源，臺鐵局引進電源車及民國 67 年鐵路電氣化由電力機車供應 3 相 440V 電源供應空調機使用；日後為了供電構成簡單化及電子元件日益進步，廠商遂推出靜式變流器以因應鐵路車輛供電需求，本文旨在紀錄過去二十多年來較特殊之「靜式變流器」故障檢修心得，以供相關檢修同仁參考。

關鍵詞：靜式變流器、電源轉換裝置、空調裝置、電源車

Abstract

The converter, generally divided (categorized) into rotary and fixed types, is the power conversion device required for the operation of lighting system for early railway carriages. As time goes by, due to the introduction of air-conditioning carriages and the rise of passenger

¹臺鐵局 高雄機務段 工務員

demands, the original load converter for fluorescent light is no longer able to supply the heavy electrical current demand from the air-conditioning devices. In order to supply the power required from the air-conditioning units, Taiwan Railway Administration introduced power vehicles. After the electrification of the railway in 1978, the electric locomotives supply 3-phase 440V power supply for air-conditioners. For the simplification of power supply plus with the progress of electronic components, manufacturers have introduced static converters to conform to the needs of power supply from railway carriages. This paper records specific faults of the static converters and documented relevant maintenance and repair experiences from the past two decades so that experience and knowledge can be provided to future reference.

***Keywords** :static converter, power conversion device, air-conditioning devices, power vehicles*

一、前言

「靜式變流器」之引進打破交通部臺灣鐵路管理局(下稱臺鐵局)傳統客車供電方式之思維，因為維修資料有限且沒有購置原廠檢測電腦，所以這二十多年來，我們一直在不斷在「摸索、學習」中努力嘗試做好「靜式變流器」的維修，這一路走來「跌跌撞撞」還好終於挺過來了，也略有心得可以讓「靜式變流器」持續的穩定運作，本文提供同仁參考。

二、客車供電演進

民國 85 年臺鐵局引進韓國現代公司與南非聯合車輛公司(UCW)製造之推拉式自強號電車組，該型客車為韓國現代公司參考法國高鐵而設計之車輛，在保養、維修等各方面較本土製造之車輛更為方便與標準化。

車輛設備中與臺鐵局使用中之車輛最大不同處在於每輛車裝置「靜式變流器(SIV)」；推拉式自強號電車組由前、後機車供應 AC1 ψ 1,500V 之電源，藉由

每輛客車下裝置之「靜式變流器」轉換為 3 ψ 440V 電源，以取代往昔由電力機車之交流發電機(MA-SET)或電源車直接供應 3 ψ 440V 以提供車廂空調機運轉所需電源，其優點為可避免因電力機車之 MA-SET 或電源車故障時，造成全編組無法供電之缺失，改善莒光號及復興號客車配電盤之雙頭開關容易鬆弛、燒損及勞、檢單位認為雙頭開關有操作安全上疑慮等缺失。

因為採用單相交流 1,500V 供電，其電流約為 3 ψ 440V 供電時之 1/3，故可縮小客車間供電迴路電線線徑及因為電流少了 2/3，可減少車輛通訊干擾問題、440V 供電構成簡單化及降低莒光號及復興號客車接線端子因電流過大常燒損等優點。

三、靜式變流器介紹

推拉式自強號使用之「靜式變流器」係由西班牙 SEPSA 公司製造，規格分：35KV(GTO 型式)、38.5KV(IGBT 型式)兩種，35KV(GTO 型式)使用於 PPC1400、PPT1000、PPH1300 等型式之車輛；38.5KV(IGBT 型式)使用於後期由台灣車輛公司製造之 PPT2000 及 PPD2500(每車裝備兩套)等型式之車輛。其中 PPD2500(現已改為 PPP、PPM)因當初為餐車考慮負荷問題，每車裝置兩套且有故障轉供功能，但因轉供功能構造複雜常造成不明原因故障，反觀 PPT2000 客車相同使用同一套 38.5KV(IGBT 型式)系統因無轉供問題，除了「IGBT 啟動模組」有若干瑕疵外(測試跳脫時間間隔過短會讓 IGBT 爆裂，問題有向代理廠商反映但無法解決)，使用上還算穩定。

因 PPD 車已不作餐車營運，車廂用電負荷減少，為了降低不明故障問題，遂關閉 PPD2500 型車之海側「靜式變流器」，只由山側「靜式變流器」供電。考慮由山側「靜式變流器」供電之理由為「充電器」安裝於山側，為方便維修及與 PPC1400、PPT1000、PPH1300 等車型編組連掛時，考量供電線路之平均負荷，將 PPT 及 PPH 等車廂以逆位排序，讓靜式變流器均呈現安裝於山側。但 PPD2500 前、後空調機分屬山、海側「靜式變流器」供電，改山側「靜式變流器」供電後，只要將空調機配電盤內之「11SC11」與「11SC41」短接即可讓前、後空調機正常運轉，以上為「靜式變流器」使用現況。

四、靜式變流器構造

「靜式變流器」正面部份可分為：

1. 切 換 開 關 附 保 險 絲 (HV FUSES & CHANGE-OVER SWITCH)-(K1、K2)
2. 斷流器(CIRCUIT BREAKER)(K3)
3. 控制組(CONTROL UNIT)與接觸器(AC CONTACTOR)(K4)
4. 整流器(RECTIFIER)
5. 變流器(INVERTER)
6. 鼓風機(BLOWER) 等六大部份。

背面部份可分為：

1. 變壓器與平滑線圈(TRANSFORMER & SMOOTHING REACTOR)
2. 電阻器(PRECHARGE RESISTORS)
3. 三相抗流線圈(THREE-PHASE REACTOR)
4. 2KVA 補助變壓器(AUXILIARY TRANSFORMER)
5. 直流電容列組(DC CAPACITORS BANK)等五大部份。

以下將就這 20 多年來檢修時發生之較特殊之故障與問題說明，藉此分享維修經驗，希望有助於減少故障降低維修。

4.1. 切 換 開 關 附 保 險 絲 (HV FUSES & CHANGE-OVER SWITCH)-(K1、K2)部份之特殊故障與問題

4.1.1. 故障態樣與處理

106 年 2 月 21 日列檢通知 PPC1424(第 1 車)·PPT1135(第 2 車)之 SIV 選擇開關選 1 時 SIV1 不作用，基於檢修經驗更換「切換開關附保險絲」總成，更換後將選擇開關短接依然 K1 不作用，量測卡 1 之 X1、X2、X3 端子電壓值不足 DC24V，兩車狀況相同；經拆卸 PPT1135 之低壓接線盒，發現多條電線燒損(如圖 1、圖 2 所示)，乃通知運轉股將 PPC1424 及 PPT1135 兩車換下檢修。

圖 1 低壓接線盒端子座

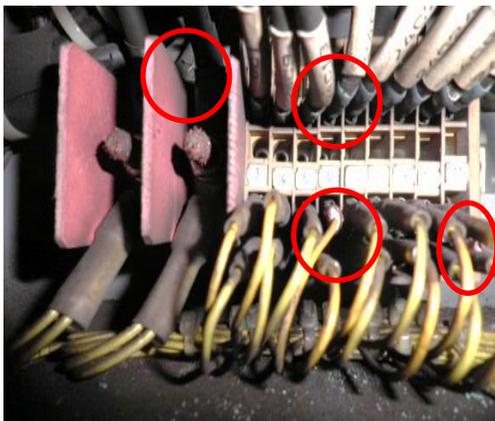


圖 2 低壓接線盒 440V 輸出電源線

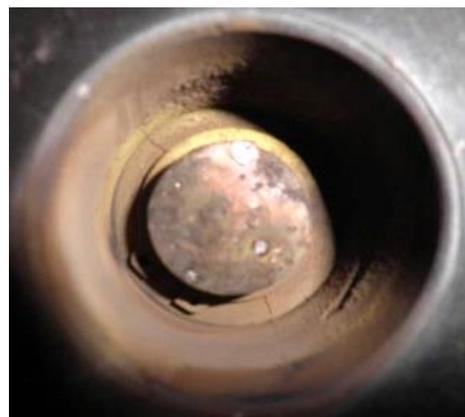


車輛換下後檢視 PPT1135 之第 4 位高壓線發現因 C 型扣環改用本地產品後因緊締力不足(品質無法到達原廠要求係數)可能在換車拆、裝高壓線時之衝擊造成脫落，而高壓線連掛裝上後，因接觸壓力不足且因電流大造成跳火現象讓電線及接觸點過熱燒損(如圖 3、圖 4 所示)。而 SIV 1 因電線燒損讓 1,500V 電源電壓不足而故障。

圖 3 高壓連結線頭接點凹陷



圖 4 高壓連結線頭接點凹陷近照



不只是第 1 車及第 2 車的問題，且第 2 車 1,500V 電線因 C 型扣環改用本地產品後因緊締力不足造成凹陷問題，與其連掛之第 3 車 PPH1366 之高壓連座因 2 車 PPT1135 之接觸子凹陷無法與 3 車 PPH1366 密貼，也就是說讓高壓線與高壓座之接觸子因接觸壓力不足，且因電流大造成跳火現象讓高壓座之轉動接觸器燒損(如圖 5、圖 6 所示)。

圖 5 高壓連結座轉動接觸器燒損



圖 6 轉動接觸器燒損



4.1.2. 故障態樣與處理

另 1 案例為 105 年 8 月 23 日 PPT1065 通知 SIV2 不作用，進段檢查時發現亮「UIN」故障燈，表示 SIV 輸入電壓不在 1050~1650V 範圍內，80A 輸入保險絲無融斷之現象，卡 1 之 X4、X5、X6 指示燈亮，表示 1500V 之輸入電壓正常，將機車「斷電、降弓」後，檢查發現 K2 接觸器之接點固定螺絲因螺絲孔滑牙脫落，造成無輸入電壓因而亮「UIN」故障燈，經檢查確認係檢修人員未確實更換因滑牙之 K2 接觸器接點，而以 A、B 膠點膠方式固定，殊不知如此點膠方式在會發熱之接點上使用，會因熱破壞 A、B 膠且使用在高電流之接點非常不恰當與不安全(如圖 7 所示)。

同樣狀況於 106 年 5 月 18 日 142 次通知 PPT1131 之 SIV2 不作用，進段檢查時發現亮「UIN」故障燈，但卡 1 之 X4、X5、X6 指示燈亮，表示 1,500V 之輸入電壓正常，將機車「斷電、降弓」檢查發現 K2 接觸器之接點固定螺絲因螺絲孔滑牙脫落(如圖 8、9 所示)，造成接點脫落無輸入電壓因而亮「UIN」故障燈，惟此次不是用點膠方式固定，而是以較長之螺絲插入固定(如圖 10 所示)，實是維修保養錯誤樣態造成故障。

圖 7 切換開關附保險絲接點固定螺絲點膠



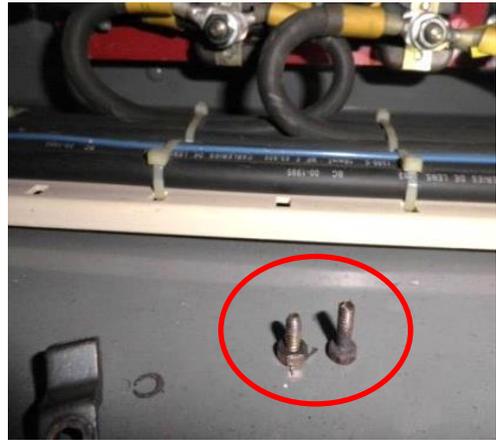
圖 8 切換開關附保險絲接點固定螺絲滑牙脫落



圖 9 固定螺絲滑牙脫落



圖 10 固定螺絲滑牙以長螺絲插入



4.2. 斷流器(CIRCUIT BREAKER)(K3) 部份之特殊故障與問題

4.2.1. 故障態樣與處理

斷流器(如圖 11 所示)最先發生的故障是約在民國 89 年,也就是推拉式自強號電車組來臺約 4 年左右,一直穩定運作之靜式變流器發生不明原因跳機找不出故障原因,後來發現輸入接觸器之線圈膠質外殼有裂縫,但冷卻後線圈阻抗值並未改變乃試著更換線圈,經追蹤使用情形發現不明原因跳機情況不再發生,但是此種接觸器之線圈(如圖 13 所示)膠質外殼有裂縫就產生不明原因跳機

情形，發生件數越來越多，如果只以更換線圈方式處理，約每 3、4 年會一直循環發生，要如何預防再度發生及線圈料件供應問題也需一併解決。

圖 11 斷流器



圖 12 輸入接觸器



圖 13 輸入接觸器用線圈



圖 14 串接電阻(30Ω80W)



因為當時臺鐵局只有「輸入接觸器」之料件並無單獨「線圈」之料件，且「輸入接觸器」庫存數量有限無法供應較多之維修需求，基於 EMU200 型(現已改造為 EMU1200 型)電車組之維修經驗，歐系車輛之接觸器設計及材質選擇均以可使用很長之時間為考量，因此都有單獨供應「線圈」之料件，此種維修方式除了可以省保養費用外，更重要的是可以減少廢棄物較環保，此點經求證 UCW 公司駐段工程師證實，但代理商並無單獨供應「線圈」之料件，致使維修成本高且經常缺料。剛好常往來之合作廠商要去歐洲渡假，段內同事家人又是外交部駐義大利人員，經協調合作廠商藉由同事弟弟協助直接到「輸入接觸器」原製造廠洽商引進「線圈」之料件，至此解決缺料問題也降低了維修成本。但線圈使用數年後膠質外殼會因高溫產生裂縫發生不明原因跳機問題並未解

決，經仿照韓國現代公司對於配電盤之「MC1、MC2、MC3」串接電阻之作法，也讓「輸入接觸器」自 89 年起加裝串接電阻(30Ω80W) (如圖 14 所示)，以降低「線圈」溫度延長「線圈」使用年限，減少「靜式變流器」不明原因跳機。

加裝串接電阻後「線圈」不再裂損，且因為「線圈」問題造成「靜式變流器」不明原因跳機之問題暫時消失；惟 96 年又發生「靜式變流器」不明原因跳機之情況，在找不出原因之情形下試著將串接電阻拆除後追蹤使用情形，發現「靜式變流器」不明原因跳機之問題又暫時消失了，經檢討認為串接電阻係屬繞線式電阻，長久使用(持續加熱)可能造成阻抗變大(冷卻後阻抗值恢復，但韓國現代公司裝於 PP 車配電盤之串接電阻使用至今卻無問題，推斷本地製品品質有待提升)，因此思考將繞線式電阻更換成其他材質之電阻是必要的，否則大約約每 3、4 年後又會發生「線圈」裂損產生「靜式變流器」不明原因跳機之問題，如此周而復始將讓檢修人員疲於奔命。

經找尋零件手冊發現原廠規範「312200」之「變流器緩衝電阻器」可能適合，乃以現有存貨進行改裝於 96 年 12 月 9 日 PPT1046、97 年 1 月 10 日 PPC1448 等 2 輛車裝車測試，因為這 2 輛車曾發生不明原因跳機經拆除 30Ω80W 電阻後就不再發生因為「串接電阻」產生之不明原因跳機，我們就以此為觀察指標進行改善(97 年 1 月 22 日發文各單位追蹤)至今狀況良好，證明改善成效良好；為什麼會選用原廠零件，其原因在於歐系零件相較於本地製品有耐用及可靠度高之優點，這個問題我們向代理商反映希望改善，其後我們在引進 38.5KV「靜式變流器」後，檢視斷流器(CIRCUIT BREAKER)(K3)原廠如何加裝串接電阻？其規格又如何？發現其改造規格與我們相同，只是我們不知道要如何計算選用電阻規格，這應該算是原廠知識財產(KNOW HOW)吧！

4.2.2. 故障態樣與處理

在民國 100 年左右「靜式變流器」也發生不明原因跳機，但經通報故障而將客車編組調入段內檢修時卻查不出故障；經加強檢修時發現機廠維修 K3 接觸器接點時，因接點損壞為節省維修費用改用本地產品且為延長使用年限增加接點厚度；原廠接點厚(厚)度 3.5 mm，本地產品厚度 4.7 mm(如圖 15 所示)，厚度增加 1.2 mm，因此造成與主接點連動作用之輔助接點作用不確實，而影響電路偵測造成 SIV 不明原因故障跳機，因為原廠接點價格高但品質可靠，因此採取由機廠供料，本段以拆換舊料(本地製品)換新(原廠製品)方式，將 K3 接觸器裝

用厚度較高(厚)接點之換回原廠製品(如圖 16 所示)，以迅速根絕故障。

圖 15 接觸器接點本地製品

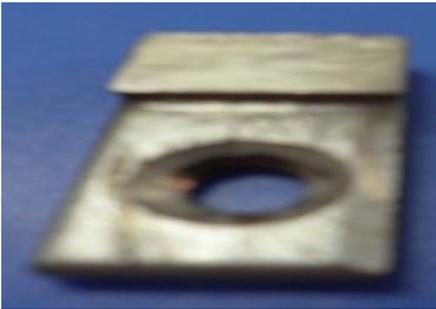
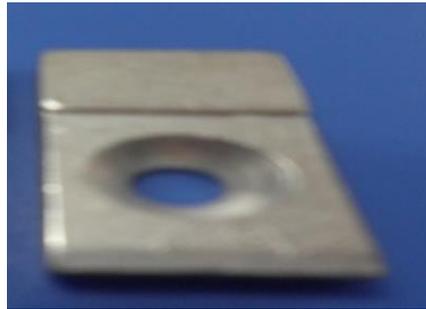


圖 16 接觸器接點原廠製品



4.2.3. 故障態樣與處理

在此同時期「靜式變流器」也因為其他原因造成不明原因跳機；其中斷流器的「K3 接觸器」部份，因更換新的「K3 接觸器」但因新的接觸器輔助接點之接線方式採用公母插方式與原有舊式接觸器之輔助接點針型端子接線方式不同，三級檢修更換時為求方便將公母插端子壓接於針型端子上(如圖 17 所示)，因針型端子硬度高導致壓接不確實且未以焊接處理造成阻抗值過高產生故障。

因為 K3 斷路器之輔助接點係作為後部電路偵測用，因此當輔助接點阻抗值過高時會讓靜式變流器偵測為後部電路故障，DRV、OVL、OVT 等指示燈亮起，靜式變流器故障，因此我們為防範此種故障，針對三級檢修已更換新的「K3 接觸器」的「斷流器」模組，逐步將輔助接點之輔助接線接線端子焊接處理以改善端子接續之阻抗值，消除此種造成不明原因跳機之因子(如圖 18、19 所示)。

圖 17 接線端子改善前

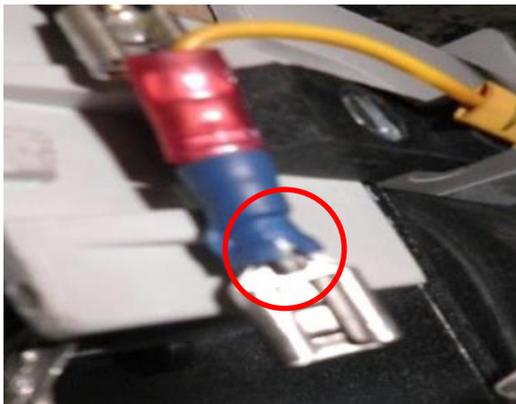


圖 18 接線端子改善後

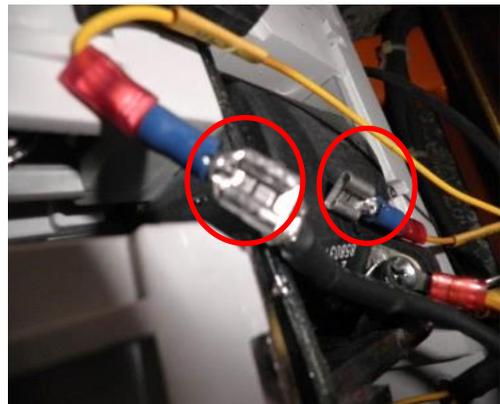


圖 19 斷流器改善完成後標示



4.3. 控制組(CONTROL UNIT)與接觸器(AC CONTACTOR)(K4)部份之特殊故障與問題

4.3.1. 缺料危機

「靜式變流器」引進初期所有電子零件均由臺鐵局向代理商購置，但數量仍無法滿足現場檢修需求，故現場為檢修需要均以「自購料」方式辦理；「電源供應卡」之 V48「閘流體」原廠使用「IOR」廠牌 IRFK6H250 產品(如圖 20 所示)，約在 97、98 年左右因原製造廠停產，無法於市面上取得，導致「電源供應卡」無料件可供檢修，且無相關資料可供比較以找尋替代品。

經協調代理商向西班牙 SEPSA 公司查詢替代品及 38.5KV「靜式變流器」之「電源供應卡」之 V48「閘流體」是使用何種型式之「閘流體」；請代理商提供相關資訊及提供樣品給臺北機廠，由臺北機廠將代理商提供樣品安裝於本段三檢出廠車試用，並由本段負責追蹤使用情形，代理商提供經由西班牙 SEPSA 公司指定之「IXYS」廠牌 IXFN180N20「閘流體」(如圖 21 所示)，經追蹤使用情形良好後正式使用於「電源供應卡」順利解決缺料危機。

圖 20 原使用之閘流體



圖 21 替代之閘流體



4.3.2. 配件選擇

另外控制組(CONTROL UNIT)是由基板卡(012191)、控制卡(012192)、電源供應卡(012193)、介面卡(012194)等組成，其中基板卡(012191)也會因為電源供應卡燒損造成插座一併融損故障(如圖 22、23 所示)，但是供應代理商並不單獨出售基板卡。

如果購買「控制組」亦即購買「總成」方式購料(如圖 24 所示)，較各單獨購控制卡(012192)、電源供應卡(012193)、介面卡(012194)之購買方式購料，至少有超過 10 萬元之差價，且購買「控制組」有基板卡可供維修使用且價格較便宜(如圖 25 所示)，單獨購買控制卡(012192)、電源供應卡(012193)、介面卡(012194)之價格較貴且無基板卡可供維修使用，這是我熟稔原廠零件手冊之收穫，除了可以降低故障外更可節省相當金額公帑。

圖 22 電源供應卡燒損

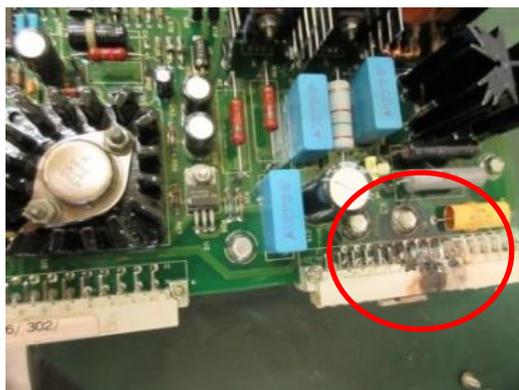


圖 23 基板卡燒損



圖 24 控制組

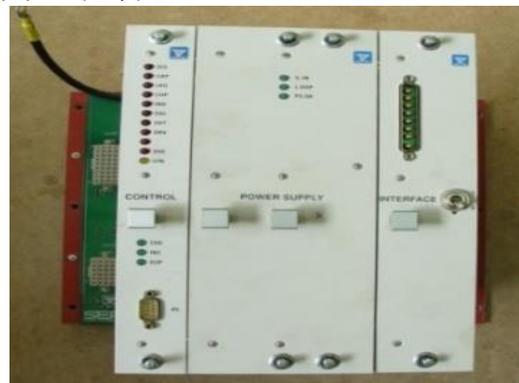


圖 25 基板卡



4.4. 整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER) 部份之特殊故障問題真因

一般來說整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER) 部份所產生不明原因跳機之問題很多，主要在於「GTO」與「GTO 驅動模組」這兩項佔了大部份，當然整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER)等共 4 個驅動模組之插頭線束，也會造成不明原因跳機之問題，不過件數不多。

因為「GTO」使用年限已久(經追蹤發現縱然新品不使用經一定年限也會衰退)，所引起之故障近年來發生非常多，當控制卡顯示「DRV」大部分都是「GTO」故障外，亦有因驅動模組故障而顯示「DRV」者。兩者要如何區分？除了用三用電錶二極體檔量測「GTO」作初步判斷外，段內電子室同事研發「驅動卡測試卡」，可做快速篩檢因驅動模組故障而顯示「DRV」故障的部分，經實際測試效果不錯。其餘因「GTO」引起之不明原因故障多到不勝枚舉，其中最經典的故障應是 PPC1464 這輛車，以往雖然也發生 2 件不明原因跳機但因無法查出故障而更換整組「靜式變流器」之狀況，但近年來整組全新之「靜式變流器」備品幾乎用盡，不明原因故障漸多，再也無法以更換整組「靜式變流器」方式處理。

103 年 3 月起 PPC1464 這輛車持續發生不明原因故障無法修復，雖然請機廠支援檢測仍然無法找出故障原因，導致 103 年 5 月再度由本段提供最後 1 組備用新品，由機廠以更換整組「靜式變流器」之方式來解決不明原因故障。惟更換整組備用新品「靜式變流器」後使用約 1 個月又發生不明原因故障，這些故障經觀察有一些共同特點，「在段內試機一整天均正常，掛入編組就發生故障」，更換了「切換開關附保險絲(HV FUSES & CHANGE-OVER SWITCH)-(K1、K2)」、「斷流器(CIRCUIT BREAKER)(K3)」、「控制組(CONTROL UNIT)與接觸器(AC CONTACTOR)(K4)」、直流電容列組(DC CAPACITORS BANK)等模組進行追蹤測試，均無法解決不明原因故障。

檢討「靜式變流器」構成模組排除上述已更換之模組，最大可能性就應該是整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER)模組，依往昔思維，這一組「靜式變流器」是全新備用機組，依使用 SEPSA 公司產品的經驗應無故障之可能。問題是在排除其他可能後就只剩下整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER) 模組未更換，因此將段內已檢修完成之「變流器(INVERTER)模組」備品裝上

PPC1464，於段內測試完成後請求試車。

為什麼選擇「變流器(INVERTER)模組」？應為此模組 GTO 數量較多且構造較複雜，PPC1464 經試車後不明原因故障不再出現，為保險起見試車完成後要求進段檢修，再度更換「整流器(RECTIFIER)模組」仍依上次方式 PPC1464 於段內測試完成後請求試車，以確認是否不再發生不明原因故障，經連掛專列試車無異常後掛入編組使用至今情況良好。

檢討原因及就拆卸下之整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER)模組，依多年檢修經驗自行訂定一套檢測基準來檢測 GTO 之良否？發現雖然「靜式變流器」當備品無使用，GTO 等零件因出廠時間過久，也會產生「老化」、「衰退」現象造成不明原因故障，這是 PPC1464 給我們最大啟示。經實車追蹤發現當發生靜式變流器常跳時，如果「變流器(INVERTER)模組」之 GTO 未達衰退之程度時，只有「整流器(RECTIFIER)模組」之 GTO 達衰退之程度，發生靜式變流器常跳之機率較低。

近年來整流器(RECTIFIER) 及變流器(INVERTER)模組，除了 GTO 因「老化」、「衰退」造成不明原因故障外，「GTO 驅動模組」也是造成不明原因故障之主要原因。「GTO 驅動模組」故障最主要原因為電容器因老化產生漏液現象(如圖 26 所示)。

漏液之電容器經拆卸檢測發現其容量並無明顯減少，但經追蹤發現確是造成不明原因故障之原因，更換後不明原因故障就會消失。其中「GTO 驅動模組」之規格 10,000 μ f 16VDC 之 C7、C17 電容器，較規格 3,300 μ f 40VDC 之 C8、C18 電容器更容易產生因漏液現象而發生不明原因故障之情況。我們亦將相關資訊分享機廠，並在改善初期提供料件供三級廠使用，日後再由機廠供料全面改善，以達快速改善之效；另外在更換電容器之過程中又發生極性錯接造成電容器燒損甚至造成 GTO 損壞情事(如圖 27、28 所示)，因此檢修人員之專業與態度謹慎真的很重要。

圖 26 「GTO 驅動模組」之電容漏液情形



圖 27 電容極性接錯



圖 28 電容極性接錯燒損情形



4.5. 直流電容列組(DC CAPACITORS BANK) 部份之特殊故障與問題

在機體背面部份之直流電容列組(DC CAPACITORS BANK) 故障時會造成控制卡故障燈亮「CAP」紅燈，其原因除了 R9、R10 電阻(3.3K 100W)燒損外，另外一原因為直流電容列組之電容器間之線排燒損(如圖 29 所示)，造成線排燒損之原因為直流電容列組之端子因有「絕緣電木」鎖緊固定時需特別注意否則線排燒損情事將不斷發生。以上故障問題屬於靜式變流器部份之故障。

圖 29 直流電容列組絕緣電木燒損



五、6KW 電瓶充電器

另外同屬 PP 車車下之電瓶充電器之特殊故障，積於長時間使用經驗確認這一部電瓶充電器是非常穩定、可靠的電瓶充電器，多年前有一輛車因電瓶充電器故障，問題是這一臺電瓶充電器是全新的電瓶充電器才由他段換裝上車，卻由臺北一路故障到高雄，經檢修發現高壓保險絲故障但高壓保險絲故障顯示卻無指示，經以三用電錶量測才發現問題在保險絲不良。

一種可靠性高之電瓶充電器卻因事故多造成電瓶充電器經常因不明外力撞擊造成故障，這些不明外力撞擊造成電瓶充電器之高壓保險絲及 IC 脫出，為防止電瓶充電器高壓保險絲因激撞高壓保險絲脫落造成故障，因此以束帶固定高壓保險絲以防止因強力撞擊時造成高壓保險絲脫落之本地特殊問題與現象，但是電瓶充電器控制卡 IC 脫出問題卻無法解決。詢問代理商相關產品在其他國家是否有上述問題，結果答覆是在其他國家及地區均無此問題。

臺鐵局因環境特殊，車輛常受不明外力撞擊，因此外力撞擊造成電瓶充電器之高壓保險絲及 IC 脫出之問題，是原製造商在設計時所始料未及的事情，不只如此靜式變流器之接線盒箱蓋原廠品為鋁合金材質，也是因為經常受外力撞擊造成破損，代理商告知此項零件在國外不曾損壞，因此幾乎無備料可供，但臺灣鐵路卻因事故多造成鋁合金材質接線盒箱蓋破損修不勝修，為了因應臺灣鐵路之特殊狀況，我們因此改變接線盒箱蓋供應方式，改為在本地委商開模製造材質由鋁合金改為不銹鋼材質可承受較大之外力撞擊，不只如此靜式變流器之外蓋固定不銹鋼螺絲也常常不明原因切斷頭，因此外來撞擊也是造成靜式變流器及電瓶充電器故障的原因之一，只是這些不明原因之外來撞擊不知何時會發生我們無從防範。

圖 30 以束帶固定高壓保險絲



圖 31 電瓶充電器控制卡 IC 脫出



六、結語

二十多年來因為相關檢修資料有限，我們一直以「摸索、實驗、追蹤」的「土法鍊鋼」方式來學習修理靜式變流器及電瓶充電器，近年為因為靜式變流器故障件數增加，其最主要之原因為電子元件老化未更換所致，因為每個電子元件都有其應更換年限，廠商將其各個組件模組化，最大的目的就是「大修時」應將各個模組以模組化之檢修思維來做檢修以降低故障。雖近年來「GTO」料件來源取得較困難，致供料不順但是仍然有相容性產品可用，但缺料也是基層維修人員的無奈。再不然就是改造將現有「GTO」模組改造為「IGBT」模組，然本地製造之模組其安裝時有「氣密性、可靠度、穩定性」較差。

因為穩定、可靠是鐵路設備基本要求，且將舊有模組改造成本也較低，近年來引進之新車供電方式亦均以靜式變流器轉換供電為趨勢，車輛改造亦須與時俱進，設備更新與重置為車輛延壽使用之重要方式。

參考文獻

1. 尤貴華 (1996)。E1000型推拉式機車運用手冊。交通部臺灣鐵路管理局機務處。
2. 林清一，張力 (1998)。現代電力電子技術。全華科技。
3. 葉進財，古碧源 (2005)。台北捷運木柵線電聯車推進電路更新。臺北科技大學機電整合研究所。
4. 賴祐炯，鄒慶源，林逢春 (2004)。靜態變流器電路設計與應用。大葉大學電機工程學系。
5. Sepsa (2002)。臺鐵推拉式(Push-Pull)客車35KVA靜態變流器保養操作教材(洪榮吉譯)。交通部臺灣鐵路管理局機務處。

臨時托軌工程梁工法在車站地下道工程之應用 -以追分車站旅運設施工程為例

The Application of Temporary Rail Joists in the Construction of Station Underpass – An Example of Transportation Facility Construction in Zhuifen Station

陳仕昇 Chen, Shih-Sheng¹

聯絡地址：414007 臺中市烏日區光日路 225-1 號

Address：No.225-1, Guangri Rd., Wuri Dist., Taichung City 414007, Taiwan
(R.O.C.)

電話 (Tel)：04-23373114

電子信箱 (E-mail)：0462753@railway.gov.tw

摘要

鐵路工程最困難之處為，在高風險作業環境下施工，須同時維持旅客動線及列車運轉，而涉及地下道開挖施工以採用臨時托軌工法為維持列車運轉之施工方法，亦為鐵路工程獨特之處。本文以追分車站站內人行地下道工程經驗，說明特殊工程梁施工前置作業、施工順序及監測搶修之協調配合過程，以提供後續車站增(改)建工程之參考。

關鍵詞：地下道、臨時托軌、工程梁

Abstract

The most difficult in railway engineering lies on the construction under high risk surroundings while maintaining passengers' traffic flow and train operation at the same time. Temporary rail joists is one of the major construction methods that involves underpass excavation; and it is also an unique feature of railway engineering. Based on the construction

¹臺鐵局 臺中工務段 工務員

experience of pedestrian underpass within Zhuifen Station, this article specifically indicated and explained the coordinating procedures by using special engineering beams through preliminary work, construction sequence and monitoring/emergency repair. It is hope that this experience can be provided to further similar addition or rebuild works in other train stations.

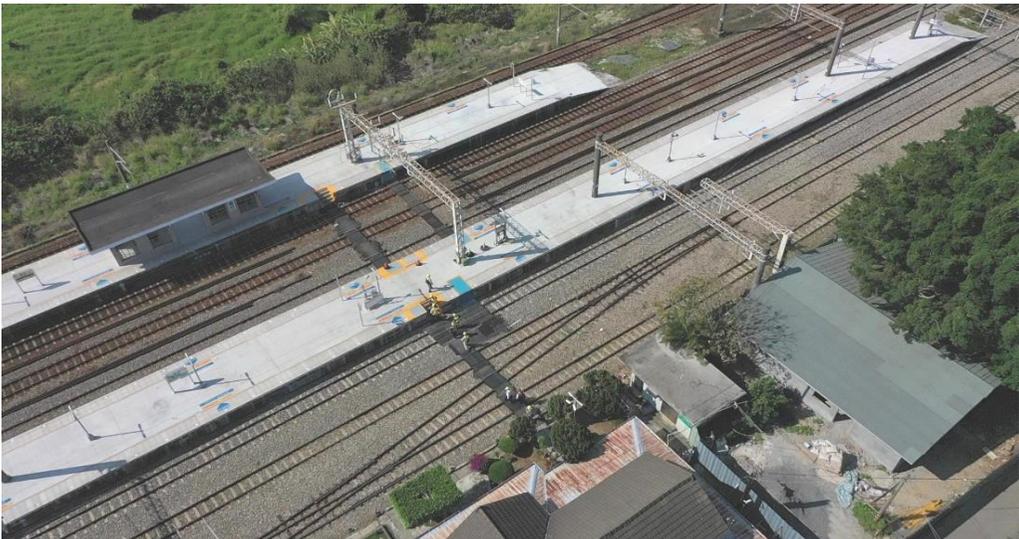
Keywords : underpass, temporary rail joists, construction beams

一、前言

鐵路工程特性為在「高壓電、高架作業、高速度」之三大高風險作業環境下，須維持旅客動線及列車運轉，施工難度極高；又鐵路車站以平面居多，站房連接月台須採用跨站式天橋或穿越地下道等方式，惟中部地區海線鐵路皆為平面，原追分站旅客上下車皆須行走人行通道穿越軌道，高速通過列車易造成危險，為車站一大危害因子。

本「臺鐵成功追分段鐵路雙軌化新建工程－追分車站旅運設施工程」為前瞻計畫之成功追分間之雙軌化工程項下，現增設電梯及地下道，提高行旅安全，並符合身心障礙保護法等規定；另增設月台雨棚及月台延長，提昇旅客搭乘舒適性及擴充未來站場運能。

圖 1 追分站旅客穿越軌道現況



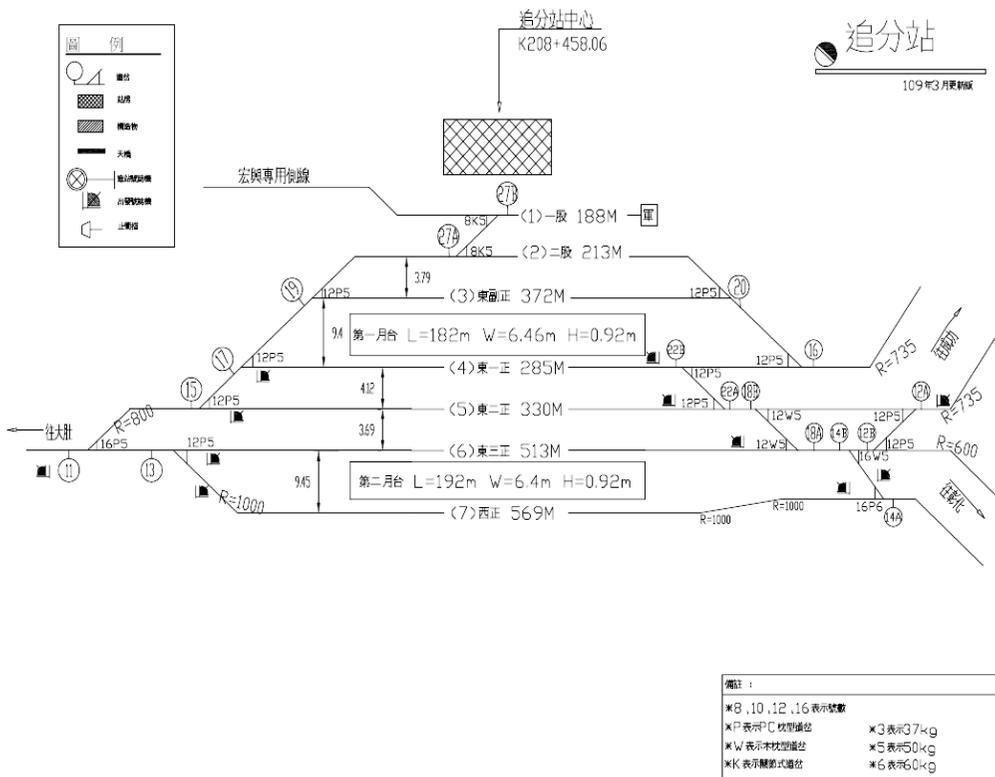
未來海線車站將有更多類似需求，考量工期及維持營運，掛設特殊工程梁為穿越鐵路地下道明挖工法之重要施工方式，藉本文以「臺鐵成功追分段鐵路雙軌化新建工程－追分車站旅運設施工程」為例，說明臨時托軌工程梁工法在車站地下道工程之應用，以提供後續相似工程之施工參考。

二、工程概述

2.1 工程概要

追分站目前為三等站，中心里程為縱貫線 K208+458.06，現有 2 座島式月台、站內共有 7 股道。追分站為海線五座木造車站之一，因施工地點鄰接市定古蹟，依法於工程進行前，須俟文資委員審查通過後始能開工，作業費時繁複。工程決標後召開施工界面協調會，後經臺中市政府建管通知須辦理文資審議，經積極配合於 109 年 4 月通過審查並開工。

圖 2 追分站站場配置圖



2.2 工程主要施作項目

- 1、假設工程及開挖擋土支撐工程：含 2 座特殊工程梁組拆工程。
- 2、拆除工程。
- 3、地下道工程：53M。
- 4、月台兩棚工程：第一月台 226M，第二月台 226M，共計 452M。
- 5、月台延長工程：第一月台 40M，第二月台 50M，共計 90M。
- 6、消防設備工程。
- 7、無障礙電梯工程：樓梯及電梯各 3 座。
- 8、車站旅運指標系統。

圖 3 追分車站旅運設施工程全區配置圖

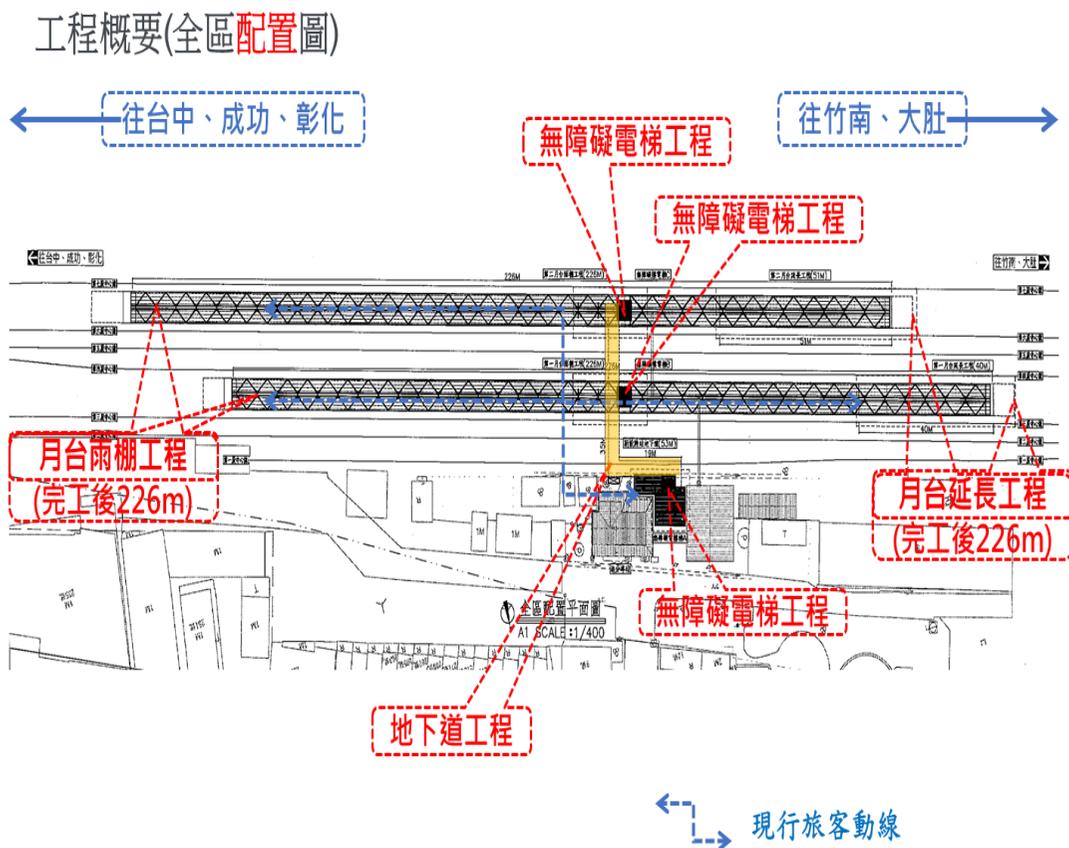
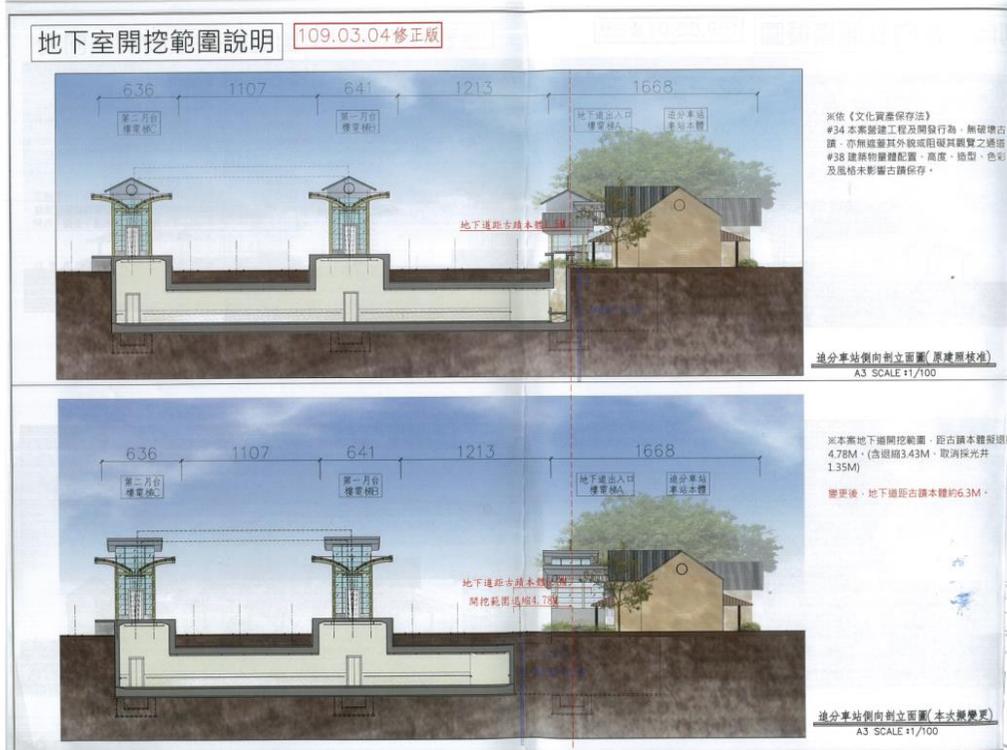


圖 4 追分站地下室開挖範圍說明圖



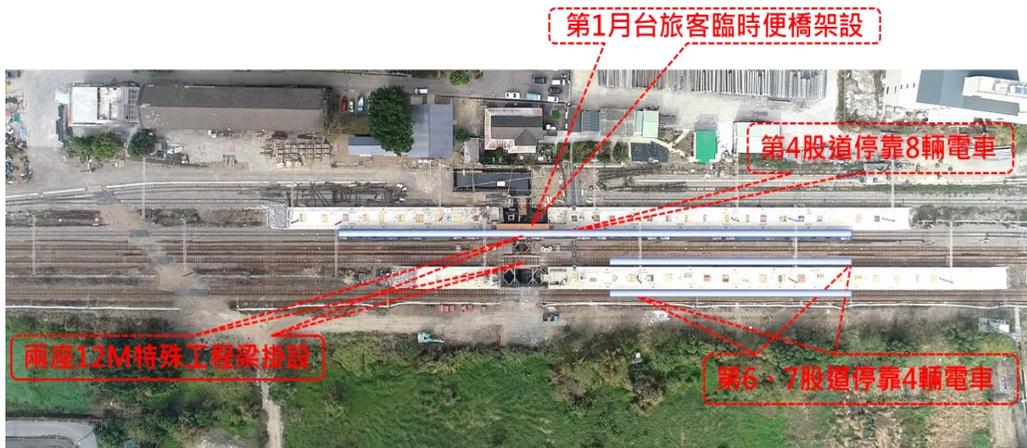
為不破壞古蹟天際線，站房連接月台層採地下道規劃。地下道工程因穿越站內 6 個股道，為維持旅客動線及列車運轉，採取施工措施如下：

- 1、第 1、2、3 股道路線停用拆除及電車線斷電，第 5 股道路線停用。
- 2、月台兩棚採夜間封鎖斷電施工，並於高架作業時要求安全母索及相關防墜設施。
- 3、第 1 月台架設人行棧道、移設停車標調整列車停靠位置，臨軌側施工指派瞭望員。
- 4、第 4、6 股道掛設工程梁，申請列車慢行，每日監測軌道沉陷量。

圖 5 追分站施工調整 1



圖 6 追分站施工調整 2



三、托軌工程梁工法及掛設前置作業

3.1 托軌工程梁工法

新(改)建穿越鐵路路基下方結構物(如地下道、橋梁改建、排水箱涵…等)，於路線上架設臨時工程梁，支撐既有鐵路及維持列車運轉，俟新建構物完成後，再拆除臨時工程梁恢復通車，稱之為工程梁法（抱枕工法-Underpinning Method）。

該工法之特點在於僅需要利用夜間列車停駛時間，快速架設工程梁，隔日即可恢復列車通行；在不影響列車運轉下，等工程完工後即可恢復正常運轉，使新工程施工時間對鐵路行車影響降至最低的特殊工法，於 70 年代自日本引進新鐵路施工工法。

本工程施作站內人行地下道部分共區分三階段，其中第二階段範圍需於既有 4 股及 6 股軌道掛設工程梁，增建路基下構造物完成後，再吊離工程梁回填石碴恢復原路線。

圖 7 掛設工程梁現場位置圖

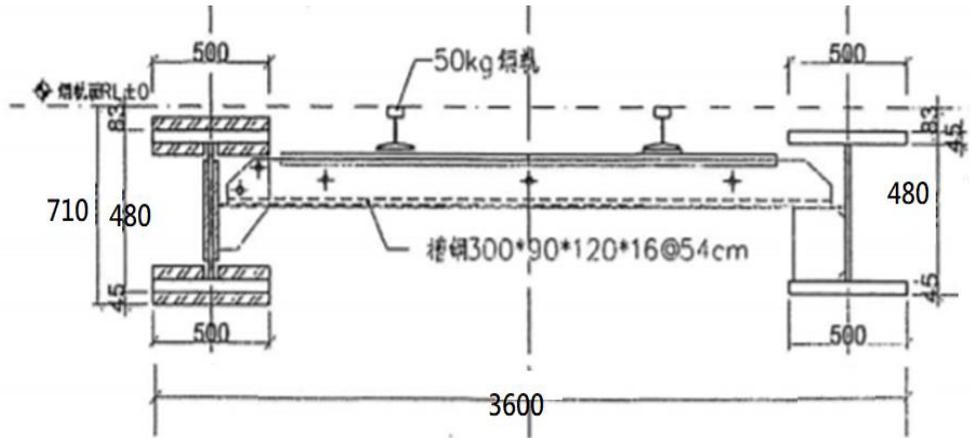


3.2 掛設工程梁相關前置作業

3.2.1 工程梁設計

工程梁主要功能在於撐托鐵軌，作為臨時支撐梁使用。因地下道設計淨寬為 3M、開挖寬度為 5.5M，一組工程梁以每單元長度 6M，有效淨跨 4.5M，接合成 12M 長度使用。

圖 8 特殊工程梁組合標準斷面圖



3.2.2 地下道兩側擋土設施

軌枕支承座範圍內打設鋼軌樁、開挖面側打設 9M 鋼板樁。

圖 9 工程梁與地下道擋土設施位置圖

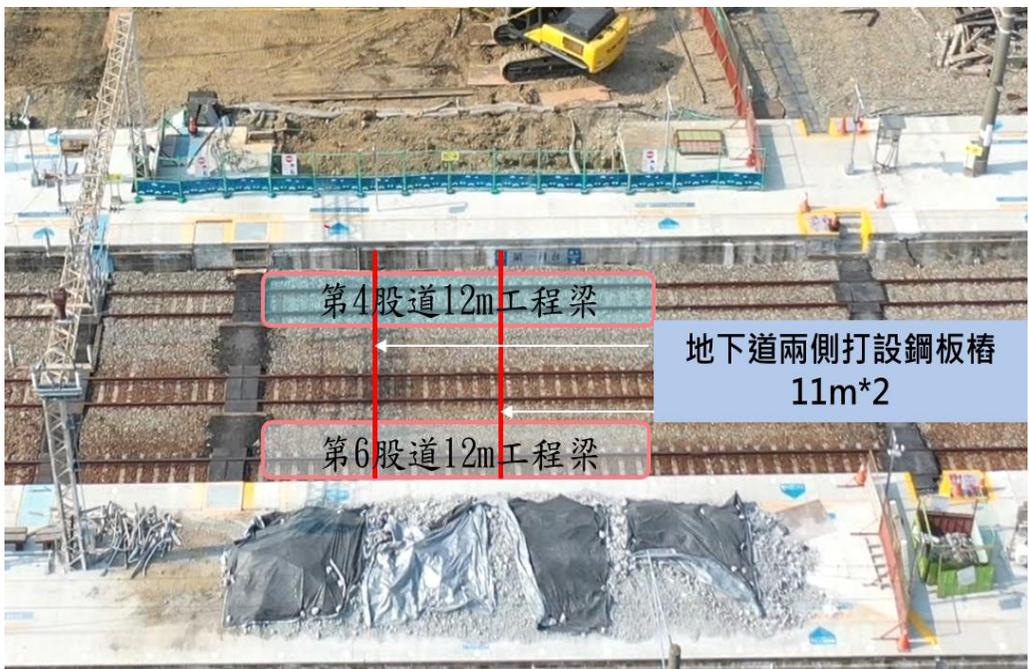
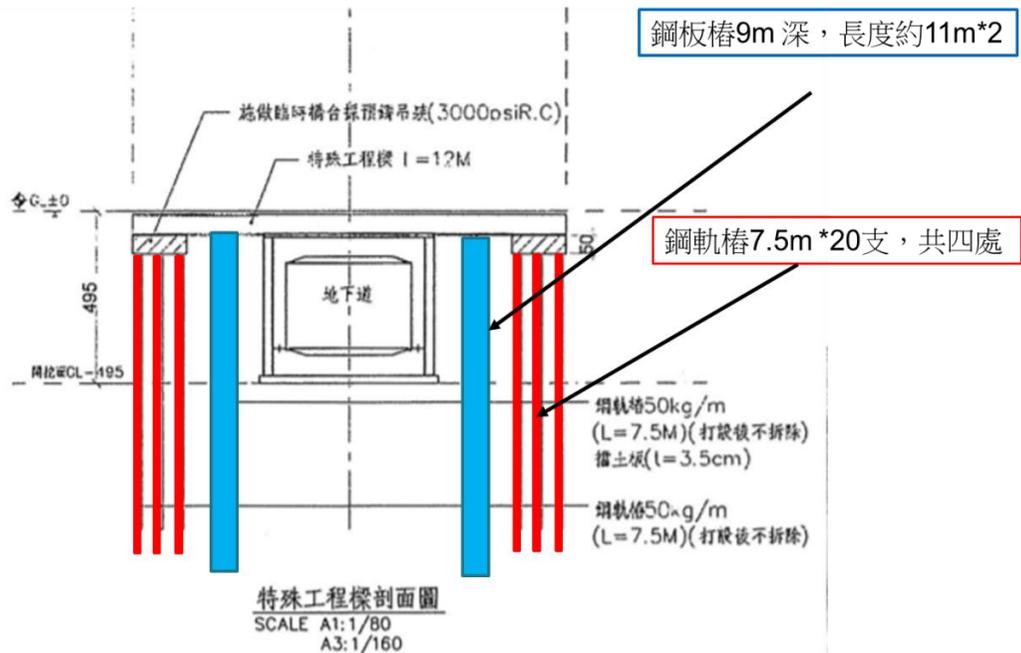


圖 10 地下道擋土設施及支承座施作位置



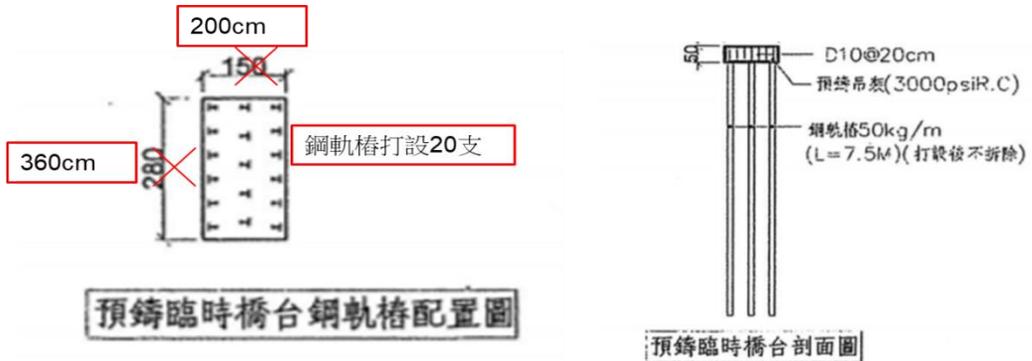
圖 11 特殊工程梁剖面圖



3.2.3 支承樁與支承座

經檢討設計圖說，為加強工程梁兩端穩定支撐，請廠商開挖約 130cm 深度澆置混凝土，初凝後於上方鋪設鋼板，並視需以石碇墊防震；跨梁墩座加寬為 200cm，厚度維持 50cm，並使鋼軌樁均勻分布。

圖 12 支承樁與支承座之配置圖及剖面圖



3.2.4 工程梁吊掛作業

吊裝計畫應檢討吊裝場地(吊車位置、噸數、構件重量、作業半徑、荷重表)、吊掛方式、編組(值班人員、作業主管、一機三證)、作業流程(自主檢查表)及時程表等，並於吊掛工程梁前審查核定。

圖 13 工程梁進場動線及吊掛方式



3.2.5 作業期程計畫

應提前排定打樁及支承座混凝土澆置時程，並考量養護時間需足夠；當日吊掛時間帶應逐項檢討各單位配合事項，並配合行車調度，提前拍發慢行電報及副局長電報。

表 1 工程梁相關作業施作排程

項次	任務名稱	開始時間	結束時間	8月份	9月份	10月份
工程樑前置作業	1 鋼軌樁打設(4處)及臨時橋台混凝土施作	2020/8/11	2020/8/29			
	2 鋼板樁打設(4-6股)	2020/9/1	2020/9/12			
工程樑吊掛作業	1 4股工程樑吊裝	2020/9/15	2020/9/16			
	2 6股工程樑吊裝	2020/9/16	2020/9/17			
	3 第五股跨站地下道上方鋼軌、PC枕拆除	2020/9/18	2020/9/22			

表 2 第 4 股道工程梁吊掛時間帶

項次	時程 施工項目	第一階段 第二階段 第三階段					備註
		22:00 至 22:30	22:30 至 00:05	00:05 至 01:55	01:55 至 03:35	03:35 至 05:30	
		30分	95分	110分	100分	115分	
1	施工前危害告知						廠商
2	施工機具檢查及整理						廠商
3	封鎖拆除鋼軌、枕木及挖除道碴及土石方						工務段配合
5	吊放1支12m 工程樑						廠商
6	鋼軌復舊及解除封鎖、恢復通電行車						工務段配合

※表上預定吊裝所需時間，應請臺中工務段召開相關單位協調，以達預定吊裝時間內完成。

※為縮短吊裝拆軌時間，建議每支工程樑之長度處，先行切斷鋼軌銜接以利當晚縮短拆軌長度及縮短時間。

表 3 第 6 股道工程梁吊掛時間帶

項次	時程 施工項目	第一階段		第二階段		第三階段		備註
		22:00 至 22:30	22:30 至 00:05	00:05 至 01:55	01:55 至 03:35	03:35 至 05:05	05:05 至 05:30	
		30分	95分	110分	100分	90分	25分	
1	施工前危害告知							廠商
2	施工機具檢查及整理				封鎖斷電	封鎖不斷電		廠商
3	封鎖拆除鋼軌、枕木及挖除道碴及土石方							工務段配合
5	吊放1支12m 工程樑							廠商
6	鋼軌復舊及解除封鎖、恢復通電行車							工務段配合

※表上預定吊裝所需時間，應請臺中工務段召開相關單位協調，以達預定吊裝時間內完成。

※為縮短吊裝拆軌時間，建議每支工程樑之長度處，先行切斷鋼軌銜接以利當晚縮短拆軌長度及縮短時間。

四、施工順序及監測搶修工作

4.1 掛設工程梁之施工順序

4.1.1 打設擋土支撐及支承樁

圖 14 擋土支撐之鋼板樁及鋼軌樁打設



圖 15 支承樁打設



4.1.2 支承座施作

圖 16 支承座範圍開挖



圖 17 支承座鋼筋網置放



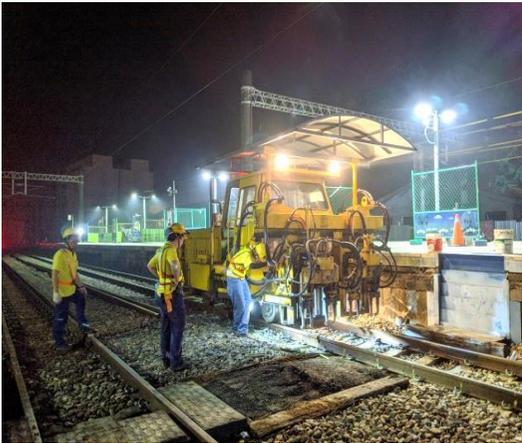
圖 18 支承座混凝土澆置



圖 19 復軌作業回填石碴



圖 20 配合路線砸道



4.1.3 架設工程梁階段

圖 21 工程梁檢查



圖 22 吊車臨時通道鋪設



圖 23 吊車定位



圖 24 拆軌作業



圖 25 開挖架設工程梁範圍



圖 26 工程梁進場橫移吊掛



圖 27 調整工程梁位置

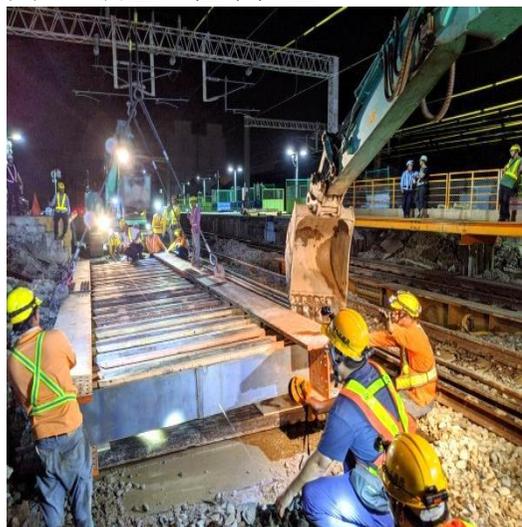


圖 28 復軌作業

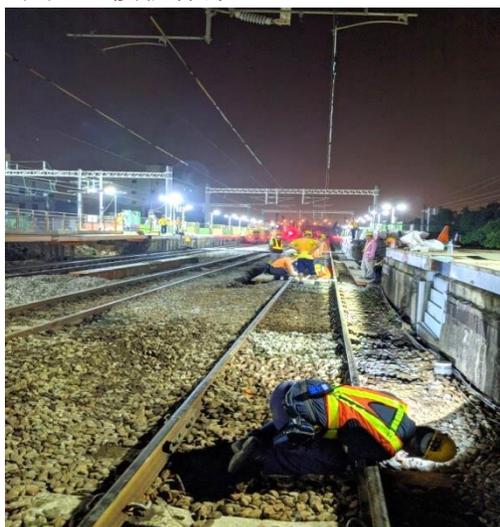


圖 29 架設工程梁完成

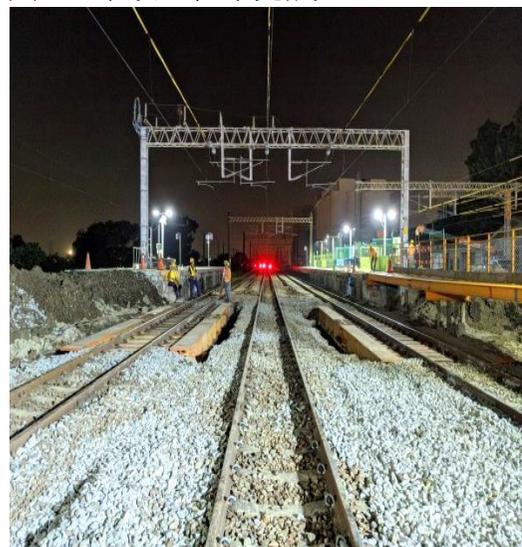


圖 30 樹立慢行標



4.2 後續監測及砸道作業

依據部頒 1067mm 軌距軌道養護檢查規範（如表 4），安全監測系統值超過平時養護標準值即進行整修。廠商每日共三個時段執行監測工作並判讀數據，倘有路基急速沉陷，接近緊急整修標準值，必要時於日間進行搶修工作或夜間排定砸道作業，以維行車安全。

表 4 軌道幾何不整容許標準

不整之種類	標準值種別			緊急整修標準值			大修或更新後之標準值	
	平時養護標準值			緊急整修標準值			各等級路線相同	
	特甲級	乙級	側線	特甲級	乙級	側線		
	甲線	線	線	甲線	線	線	一般區段	混凝土道床路段
軌距	+10 - 5	(+7) (-4)		直線及曲線半徑 600m 以上 20 (14) 600m > 曲線半徑 ≥ 200m 25 (19) 曲線半徑未滿 200m 20 (14)			(+1) (-3)	(0) (-3)
水平	11 (7)	12 (8)	13 (9)	依平面性之整修值為基準			(4)	(2)
高低	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
方向	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
平面性				23 (18) 包括超高遞減量			(4) (不包括超高遞減量)	

- 附註：(1) 表內的數值係依高速軌道檢查車測出之動態不整，括弧內則表示靜態不整。
 (2) 高低、方向之不整以弦長 10m 計。
 (3) 平面性係以每 5m 之水平變化量為標準。
 (4) 軌距、水平、高低與方向之容許標準值不包括曲線地段之正規加寬度、超高度及正矢量（包括豎曲線）在內。

表 5 工程梁監測紀錄表

暹分車站駁建股工程 軌道沉陷監測

控制點高程: 109 108.6 103.8

日期: 109年01月21日		時間: 09:40								時間: 14:20								時間: 16:25							
	位置		與控制點 高程差		位置		與控制點 高程差		左軌 讀數	左軌 差異	右軌 讀數	右軌 差異	左右軌 差值	左軌 讀數	左軌 差異	右軌 讀數	右軌 差異	左右軌 差值	左軌 讀數	左軌 差異	右軌 讀數	右軌 差異	左右軌 差值		
		A	左軌		B	右軌													A-B					A-B	
第四股	L1	4-1 L	159.8	R1	4-1 R	159.8	269.0	-0.2	269.0	-0.2	0.0	268.2	-0.2	268.3	-0.1	-0.1	263.6	0.0	263.4	-0.2	0.2				
	L2	4-2 L	160.6	R2	4-2 R	160.5	269.9	-0.3	269.2	0.3	-0.6	269.0	-0.2	269.0	-0.1	-0.1	264.3	-0.1	264.0	-0.3	0.2				
	L3	4-3 L	159.9	R3	4-3 R	159.9	269.0	-0.1	269.0	-0.1	0.0	268.3	-0.2	268.5	0.0	-0.2	263.6	-0.1	263.6	-0.1	0.0				
	L4	4-4 L	160.8	R4	4-4 R	160.8	269.8	0.0	269.9	-0.1	0.1	269.4	0.0	269.2	-0.2	0.2	264.4	-0.2	264.6	0.0	-0.2				
	L5-1	4-5-1L	160.9	R5-1	4-5-1 R	160.9	270.1	-0.2	270.1	-0.2	0.0	269.3	-0.2	269.3	-0.2	0.0	264.4	-0.3	264.6	-0.1	-0.2				
	L5	4-5 L	162.8	R5	4-5 R	162.8	272.0	-0.2	272.0	-0.2	0.0	271.2	-0.2	271.2	-0.2	0.0	266.4	-0.2	266.6	0.0	-0.2				
	L6	4-6 L	163.1	R6	4-6 R	163.4	272.2	-0.1	272.3	0.1	-0.2	271.5	-0.2	272.0	0.0	-0.2	266.9	0.0	267.0	-0.2	0.2				
	L7	4-7 L	163.8	R7	4-7 R	163.8	273.0	-0.2	273.0	-0.2	0.0	272.4	0.0	272.4	0.0	0.0	267.6	0.0	267.4	-0.2	0.2				
L8	4-8 L	164.8	R8	4-8 R	164.7	274.0	-0.2	273.5	0.2	-0.4	273.3	-0.1	273.1	-0.2	0.1	268.4	-0.2	268.5	0.0	-0.2					
第六股	L1	6-1 L	155.1	R1	6-1 R	154.8	264.0	0.1	264.0	-0.2	0.3	263.6	-0.1	263.4	0.0	-0.1	258.8	-0.1	258.5	-0.1	0.0				
	L2	6-2 L	155.6	R2	6-2 R	155.3	264.6	0.0	264.2	0.1	-0.1	264.2	0.0	264.0	0.1	-0.1	259.3	-0.1	259.0	-0.1	0.0				
	L3	6-3 L	154.9	R3	6-3 R	154.9	264.2	-0.3	264.2	-0.3	0.0	263.3	-0.2	263.1	-0.4	0.2	258.5	-0.2	258.4	-0.3	0.1				
	L4	6-4 L	154.8	R4	6-4 R	154.8	264.0	-0.2	264.0	-0.2	0.0	263.3	-0.1	263.4	0.0	-0.1	258.4	-0.2	258.4	-0.2	0.0				
	L5-1	6-5-1L	154.8	R5-1	6-5-1R	154.9	264.0	-0.2	264.2	-0.3	0.1	263.3	-0.1	263.3	-0.2	0.1	258.4	-0.2	258.4	-0.3	0.1				
	L5	6-5 L	156.5	R5	6-5 R	155.9	265.6	-0.1	265.0	-0.1	0.0	264.9	-0.2	264.5	0.0	-0.2	260.3	0.0	259.6	-0.1	0.1				
	L6	6-6 L	156.8	R6	6-6 R	156.8	266.0	-0.2	266.0	-0.2	0.0	265.4	0.0	265.2	-0.2	0.2	260.4	-0.2	260.4	-0.2	0.0				
	L7	6-7 L	157.0	R7	6-7 R	157.7	266.3	-0.3	267.0	-0.3	0.0	265.4	-0.2	266.2	-0.1	-0.1	260.7	-0.1	261.4	-0.1	0.0				
L8	6-8 L	157.9	R8	6-8 R	157.9	267.1	-0.2	267.1	-0.2	0.0	266.2	-0.3	266.4	-0.1	-0.2	261.6	-0.1	261.4	-0.3	0.2					

← 於2021/01/14重新砸道4、6股

鋼軌沉陷量: -沉陷+隆起
 管理值: 7mm 當監測值在管理值與警戒值之間時, 繼續施工, 照常監測
 警戒值: 15mm 當監測值達到警戒值時, 即時通報相關單位, 並特別注意設施是否有異常現象, 但繼續施工
 行動值: 23mm 當監測值達到行動值時, 立即停止施工

圖 31 每日監測作業

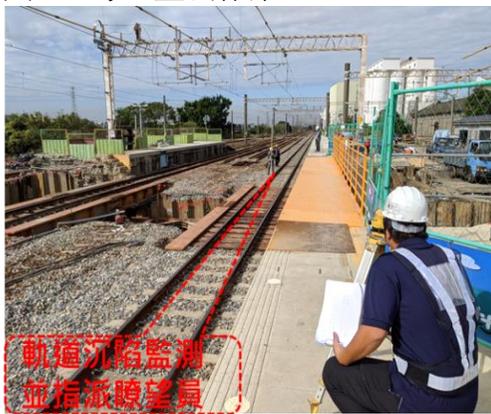


圖 32 道班人工砸道保修



五、結論與建議

1. 本工程自 109 年 4 月 1 日開工，地下道工程為施工主要徑，特殊工程梁相關作業皆須於夜間養護時間帶內完成；另站場既有管線眾多影響施工，除請廠商進行纜線防護，並請相關單位配合遷移及接續，故施工前協調工作極為重要。後於 109 年 9 月 16、17 日完成追分站 4 股及 6 股掛設工程梁工作，並趕趕後續工進。
2. 因夜間封鎖斷電施工時間有限，支承座施作時應選用坍度小、初凝速度快之混凝土，並視現場實際情況調整。在特殊工程梁相關作業施工過程中，可發現廠商最耗費時間的部分為拆復軌作業，究因為廠商對於軌道施工專業能力與熟悉度仍與負責養護的道班同仁有所差距，故建議日後拆復軌作業仍應以本局道班同仁為主，由廠商出具機具配合，以利爭取時效，及時解除路線封鎖斷電，恢復通車。
3. 因追分站地下水位高，故須以點井工法降低地下水位，惟於基礎開挖施設過程中，須不間斷的抽排水，易造成路基沉陷。因此，現場須備妥數量足夠之合格石碴，由廠商每日確實執行監測工作並判讀數據，倘有異常，於日間進行保(搶)修工作或夜間排定砸道作業，以維行車安全。

圖 33 施工中維持營運



參考文獻

1. 郭文才 (2019)。鐵路橋梁改建工程梁工法簡報-代辦嘉義市政府番仔溝橋改建工程為例。交通部臺灣鐵路管理局。
2. 陳敬明、呂正安、盧勇廷 (2017)。穿越鐵路之地下道托軌工程精進策略－以台 12 線沙鹿陸橋改建工程為例。臺灣公路工程，43 (8)，15-37。
3. 蔡東宏 (2009，8 月 8 日)。鐵路工程梁明挖托軌工法之技術探討 (社團法人臺灣省土木技師公會技師報第 661 期)。
<http://www.twce.org.tw/modules/freecontent/include.php?fname=twce/paper/661/3-1.htm>

約稿

1. 為將軌道運輸寶貴的實務經驗及心得紀錄保存，並提供經驗交換及心得交流的平台，以使各項成果得以具體展現，歡迎國內外軌道界人士、學術研究單位及臺鐵局相關人員踴躍投稿。
2. 本資料刊載未曾在國內外其他刊物發表之實務性論著，並以中文或英文撰寫為主。著重軌道業界各單位於營運時或因應特殊事件之資料及處理經驗，並兼顧研究發展未來領域，將寶貴的實務經驗或心得透過本刊物完整記錄保存及分享。來稿若僅有部分內容曾在國內外研討會議發表亦可接受，惟請註明該部分內容佔原著之比例。內容如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部份或經重新編稿者，惠請提附該委託單位之同意書，並請於文章中加註說明。
3. 本刊為政府出版品，投稿文章同時授權予主管機關－文化部以及文化部所授權他人流通利用
4. 來稿請力求精簡，另請提供包括中文與英文摘要各一篇。中、英文摘要除扼要說明主旨、因應作為結果外，並請說明其主要貢獻。
5. 本刊稿件將送請委員評審建議，經查核通過後，即予刊登。
6. 來稿文責由作者自負，且不得侵害他人之著作權，如有涉及抄襲重製或任何侵權情形，悉由作者自負法律責任。
7. 文章定稿刊登前，將請作者先行校對後提送完整稿件及其電腦檔案乙份(請使用 Microsoft Word 2003 以上中文版軟體)，以利編輯作業。
8. 所有來稿(函)請逕寄「11244 臺北市北投區公館路 83 號，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：02-28916250 轉 217；傳真：02-28919584；E-mail：0951044@railway.gov.tw。

臺鐵資料季刊撰寫格式

- 格式** 自行打印於 B5(18.2 公分*25.7 公分)，使用 Microsoft Word 軟體編排。上、下邊界 2.54 公分；左、右邊界 1.91 公分。中文字體以新細明體，英文字體以 Times New Roman 為原則。
請於首頁輸入題目、作者姓名、服務單位、職稱、聯絡地址、電話及 E-mail。
- 題目** 中文標題標楷體 18 點字粗體，置中對齊，與前段距離 1 列，與後段距離 0.5 列，單行間距。
英文標題 Times New Roman 16 點字粗體，置中對齊，與前段 0 列、後段距離 0.5 列，單行間距。
- 摘要標題** 標楷體 16 點字粗體，置中對齊，前、後段距離 1 列，單行間距。
- 摘要** 標楷體 12 點字，左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距
- 關鍵詞** 中英文關鍵詞 3 至 5 組，中文為標楷體 12 點字，英文為 Times New Roman 12 點字斜體。左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距。
- 標題 1** 新細明體 16 點字粗體，前、後段距離 1 列，置中對齊，單行間距，以國字數字編號 【一、二】。
- 標題 2** 新細明體 14 點字粗體，前、後段距離 1 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (【1.1、1.2】)。
- 標題 3** 新細明體 12 點字粗體，前、後段距離 0.75 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (1.1.1、1.1.2)
- 內文** 新細明體 12 點字，第一行縮排 2 個字元，前、後段距離為 0.25 列，左右對齊，單行間距，文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)
- *圖表標示** 新細明體 12 點字，圖、表之說明文字分別置於圖、表之上方**靠左對齊**，如為引用須於下方註明詳細的資料來源，**表格若跨頁須在跨頁前註明「續下頁」**，並依序以阿拉伯數字編號 (圖 1、圖 2、表 1、表 2)。
- 文獻引用** 引用資料，註明出處來源，以大引號標註參考文獻項次，12 點字，上標

***參考文獻** 按號碼順序排列，左右對齊，前後段距離 0.5 列，單行間距，中、英文凸排 2 個字元。如：

一、**期刊文章**：

※作者姓名（西元出版年）。標題。**期刊名稱**，卷（期），起訖頁數。

說明：中文期刊名、卷數需以**粗體字**呈現，若該期刊**無卷數**時，則僅列期數且不需括號。英文期刊名、卷數則以**斜體字**呈現。

1. 胡文郁、張雯雯、張榮珍、唐嘉君、蕭淑銖、呂宜欣（2020）。全球健康議題與護理研究之國際趨勢。**護理雜誌**，**67**（2），13-21。
[https://doi.org/ 10. 6224/JN.202004_67\(2\).03](https://doi.org/10.6224/JN.202004_67(2).03)
2. Gurkan, K. P., & Bahar, Z. (2020). Living with diabetes: Perceived barriers of adolescents. *The Journal of Nursing Research*, 28(2), e73.
<https://doi.org/10.1097/jnr.0000000000000349>

二、**一本書**：

※作者姓名（西元出版年）。書名。出版商。

說明：中文書名以**粗體字**呈現，若有版次可列於書名之後，出版地不用寫。英文書名則以**斜體字**呈現。

1. 簡莉盈，劉影梅（2017）。**實證護理學導論**（三版）。華杏。
2. Grady, P.A., & Hinshaw, A.S. (2017). *Using nursing research to shape healthy policy*. Springer.

三、**書的一章**：

※作者姓名（西元出版年）。標題。編者姓名，書名（起訖頁數）。出版商。

說明：中文書名以**粗體字**呈現，若有版次可加列。英文書名則以**斜體字**呈現。

1. 林元淑、黃靜微（2017）。新生兒及其護理。於陳月枝總校閱，**實用兒科護理**（八版，38-112）。華杏。

2. Balsam, K.F., Martell, C.R., Jones, K.B., & Safren, S.A. (2019). Affirmative cognitive behavior therapy with sexual and gender minority people. In G.Y. Iwamasa & P.A.Hays (Eds.), *Culturally responsive cognitive behavior therapy: Practice and supervision* (2nd ed., pp. 287-314). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000119-012>

四、**翻譯書**：

※原著作者(翻譯出版年)。翻譯書名(譯者；版次)。出版商。(原著出版年)

說明：於內文引用之寫法為，(原著作者，原著出版年/翻譯出版年)，如(Bickley & Szilagyi, 2013/2017)。

1. Bickley, L.S., & Szilagyi, P.G. (2017). 最新貝氏身體檢查指引(劉禹葶譯；11版)。合記。(原著出版於2013)

五、**政府、機構、組織**：

※作者姓名(西元年，月日)。報告名稱(文件號碼)。網址

說明：中文報告名稱以**粗體字**呈現。英文報告名稱則以**斜體字**呈現。

1. 衛生福利部疾病管制署(2020, 4月14日)。中央流行疫情指揮中心訂有「**COVID 19(武漢肺炎)住院病人分艙及雙向轉診建議**」，籲請醫界朋友落實執行(疾病管制署致醫界通函第427號)。
<https://www.cdc.gov.tw/Bulletin/Detail/rRy3FP5tFZgijnCguVvZoQ?typeid=48>
2. National Cancer Institute. (2018). *Facing forward: Life after cancer treatment* (NIH Publication No. 18-2424). U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health.
<https://www.cancer.gov/publications/patient-education/life-after-treatment.pdf>

資料來源：台灣護理學會

<https://journal.ntunhs.edu.tw/ezfiles/25/1025/img/485/apa7.pdf>。

臺鐵資料季刊論文授權書

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人撰寫之

論文。

(以下請擇一勾選)

同意 (立即開放)

同意 (一年後開放)，原因是：

同意 (二年後開放)，原因是：

不同意，原因是：

授與臺鐵資料編輯委員會，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。

簽名：

中華民國 年 月 日

備註：

1. 本授權書親筆填寫後（電子檔論文可用電腦打字），請影印裝訂於紙本論文书名頁之次頁，未附本授權書，編輯委員會將不予驗收。
2. 上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權立即開放。
3. 若論文全文有使用他人文章之部份，著作者本人擔保已取得著作權人版權所有者一切相關合法之授權與同意，且無抄襲剽竊侵害他人智慧財產權或不當引用之情事。

臺鐵 資料

季刊 第 379 期

發行人	杜微
編輯者	臺鐵資料季刊編輯委員會
審查者	臺鐵資料季刊審查委員會
主任委員	杜微
副主任委員	馮輝昇、朱來順、陳仕其
總編輯	顏文忠
副總編輯	劉建良
主編	劉淑芬
編輯	劉英宗
出版者	交通部臺灣鐵路管理局 地址：10041 臺北市北平西路 3 號 電話：02-23899854 網址： http://www.railway.gov.tw
出版日期	中華民國 110 年 12 月
創刊日期	中華民國 52 年 10 月
封面圖片說明	藍皮解憂號列車於太麻里站
封面圖片攝影者	邱家終
印刷者	柏采實業有限公司 地址：222 新北市深坑區北深路三段 111 號 電話：02-26626535
展售門市	國家書店松江門市 地址：10485 臺北市松江路 209 號 1 樓 電話：02-25180207 網址： http://www.govbooks.com.tw 五南文化廣場 地址：40042 臺中市區中山路 6 號 電話：TEL：(04)22260330 網址： http://www.wunanbooks.com.tw

電子全文登載於臺鐵網站

GPN：2005200020

ISSN：1011-6850

著作財產權人：交通部臺灣鐵路管理局

臺鐵核心價值

安全

準確

服務

創新

團結

榮譽

ISSN 1011-6850



9 771011 685005

中華郵政臺字第1776號登記第一類新聞紙類
行政院新聞局出版事業登記局版臺字第1081號

ISSN1011-6850
定價：新台幣200元