

## 目錄 Contents

輪軌磨耗分析與對策探討.....	陳鴻麟	1
An Analysis of Wheel-rail Attrition and Investigation of Countermeasures .....	Chen,Hon-ling	
列車舒適度之研析.....	郭振銘.林智強.林駿璋.陳韋凱	27
An Analysis of the Comfort Index .....	Guo,Zhen-Ming . Lin,Zhi-Qiang . Lin,Jun-Wei . Chen,Wei-Kai	
軌道扣夾之功能要求與設計測試.....	陳嘉昌.楊子騰.王怡華.黃彥斌.林安祥	33
The Functional Requirements of Track Fastenings and Test Design .....	Chen,Jia-Chang, Yang, Zi-Sheng Wang, Yi-Hua, Huang, Yen-Pin, Lin, An-Xiang	
從機電工程性能式驗收談地下車站節能與安全.....	蘇水波	42
An Examination and Discussion of Subway Station Energy-efficiency and Safety from the Perspective of Mechatronics Engineering Functional Acceptance Testing .....	Su, Shui-Po	
鐵路恆春支線電氣化與非電氣化之碳排放差異研究.....	王雅南	60
Research into the Disparity in Carbon Emissions between Electrified and DE electrified Rail in Hengchun Branch Railway.....	Wang, Ya-Nan	
日本鐵道開發營運模式對臺灣鐵道建設的啟發-以東京急行電鐵株式會社 (Tokyo Corporation)為例.....	朱來順.簡文彥	81
The inspiration of the Japanese railroad development and operating model in Taiwan-using the Tokyu Corporation as an example....	Ju,Lai-Shun & Jiang,Wen-Yan	

# 輪軌磨耗分析與對策探討

## An Analysis of Wheel-rail Attrition and Investigation of Countermeasures

陳鴻麟 Chen,Hon-ling<sup>1</sup>

聯絡地址：臺北市大安區金山南路二段 141 巷 17 號 3 樓  
Address：3F.,No.17,Lane141,Sec.2,Jin Shan south Road,Taipei city,Taiwan

電話：(02) 2391-2956

Tel：(886) 2-2391-2956

電子信箱：honling.chen@msa.hinet.net

E-mail：honling.chen@msa.hinet.net

### 摘要

輪軌系統對鐵路運輸的舒適度與維修成本具關鍵性影響，車輪踏面與鋼軌斷面間形狀的配合是否良好，決定車輪鏃削、鋼軌更換等維修作業的頻率，更影響其使用壽命，關係鐵路行車安全至鉅。本文旨在探討輪軌間的滾動摩擦作用，及車輪踏面與鋼軌斷面形位的匹配問題，並提出各國的處理對策，以供讀者比較參考。

**關鍵詞：**鋼軌，車輪，滾動摩擦。

### Abstract

*The suitability and maintenance cost of wheel-rail motors in rail transport are decisively influential, and whether the rail surface and wheel rim are suited to one another decides the frequency of the train's jiggering, rail replacement, and other maintenance, further influencing its use life and it is also strongly connected to the train's safety. This article aims to explore the scraping effect of locomotion on rails and problems with wheel- rail coupling, and mentions response strategies from around the world for the reader's reference.*

**Keywords:** Iron rail, wheel, rolling friction

---

<sup>1</sup>臺鐵局 專案工程處 處長(已退休)

# 一、前言

鐵路機車車輛沿軌道運行時，車輪與軌道接觸面間的相互作用良否，對車輛運行與軌道養護都具有關鍵性的影響。而車輪配合軌道的兩股鋼軌必須兩個一組成對配置，中間以車軸連結，所以，稱為「輪對」；車輪與鋼軌頭部的接觸面，略呈向內傾斜面，稱為「輪踏面」。輪對在沿著鋼軌滾動的接觸過程中，不僅承受著較大的載荷，還兼具列車的牽引、制動和導向等重要作用。它們之間的作用行為直接影響著列車的運動穩定性和安全，輪軌滾動接觸行為和很多因素有關，如輪軌接觸表面狀態、材料、環境、運動行為和輪軌的幾何型面等。

故輪軌滾動摩擦接觸是十分複雜的問題，有關輪軌接觸摩擦學和輪軌關係的研究課題，是鐵路技術中的關鍵問題，概分為以下幾個研究領域：

- (1)輪軌彈塑性滾動接觸理論及分析方法。
- (2)輪軌黏著及制動效果問題。
- (3)輪軌損傷問題。
- (4)輪軌斷面形狀匹配問題。
- (5)輪軌材質與硬度匹配問題。
- (6)列車脫軌原因分析。
- (7)輪軌噪音問題。

本文主要係研究上述第 3~5 項課題，並略述輪軌接觸之力學行為，針對輪軌間之滾動摩擦作用、車輪踏面與鋼軌斷面形位及硬度的匹配問題加以探討，並試舉各國之處理對策作為比較，冀以提供臺灣鐵路單位研訂車輪及鋼軌採購規範時之參考。

## 二、鐵路車輛行走機制

### 2.1 輪對

支撐機車車輛行走之基本構件稱之為輪對，「輪對」是由一根車軸及兩個車輪組成，車輪及車軸是以強大的壓力將之組裝於一起，並以軸承固定兩輪的相互位置，輪與軸只能一起轉動，如圖 1 所示。

早期使用的車輪由輪轂和輪箍組成，輪轂內徑較輪軸外徑小（一般約小於 1/800~1/1000 之間），組裝時將輪轂加熱到 300 °C 左右，此時輪轂內

徑擴大，套於輪軸，輪轂冷卻後即與輪軸套死。爰鍛造技術進步，目前絕大多數鐵路車輪已改用一次成型之一體車輪。

車輪沿鋼軌滾動之接觸面稱為「車輪踏面」，在車輪踏面的內側製成凸緣，稱為「輪緣」，以保證車輪沿鋼軌滾動時不致脫軌。輪緣內側的豎直面稱車輪內側面，輪踏面外側的豎直面稱車輪的外側面，內、外側面間的距離稱車輪寬度。輪緣的正常厚度和高度應在規定的位置量測，以標準軌距為例，量測車輪各部尺寸規格位置為：機車輪緣厚在距輪緣頂 18 mm 處量測，其正常厚度為 33 mm，正常高度為 28 mm，車輛輪緣厚在距輪緣頂 15 mm 處量測，其正常厚度為 34 mm，輪緣高為 25 mm，如圖 2 所示。

輪踏面為圓錐面組成，其斜度分為兩段，如圖 2 所示，與軌頂面經常接觸的一段為 1:20，只在軌距加寬較大時才與軌頂面接觸的一段為 1:10。其中，1:20 的一段是經常與鋼軌頂面相接處的主要區段，1:10 的一段是經過小半徑曲線時，受曲線加寬度及離心力之影響，外軌頂面與輪踏面接觸點，將向外偏移至輪緣附近，而內軌頂面與輪踏面接觸點，將向外偏移至本區段。

輪踏面做成圓錐面的優點是，可以減少橫向力的影響，增加行車的平穩性。在直線軌道上行駛的車輛，當偏離軌道中心時，由於左右車輪滾動半徑不同，易於使輪對回到軌道中線上；在曲線軌道上行駛的車輛，由於離心力的作用，使輪對靠外軌行駛，外輪以較大的輪徑沿外軌滾動，內輪以較小的輪徑沿內軌滾動，可以部分地彌補內外股鋼軌的長度之差，使列車順利地通過曲線。

為改善輪軌接觸條件，有些國家根據輪軌相互磨耗後，形成比較穩定的形狀，把輪踏面做成曲線形，稱為「磨耗型踏面」，經由試驗證明，磨耗型踏面具有輪軌磨耗小，接觸應力低和轉向性能好等優點。

輪對上兩車輪內側面間的距離稱輪背內側距  $T$ ，設輪緣厚為  $d$ ，如圖 1 所示，內側距加兩個輪緣厚稱輪對寬度  $q$ ，即

$$q=T+2d \quad (1)$$

輪對寬度  $q$  與軌道的幾何關係應密切配合，不僅應嚴格限制製造公差與鋪設誤差，還應限制在運營過程中因磨耗造成的尺寸變化。

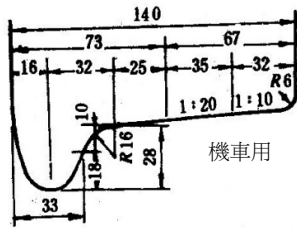
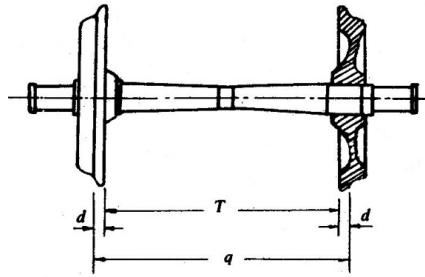


圖 1 輪對及軸承示意圖

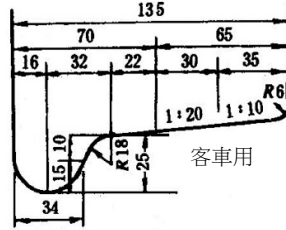


圖 2 車輪踏面圖

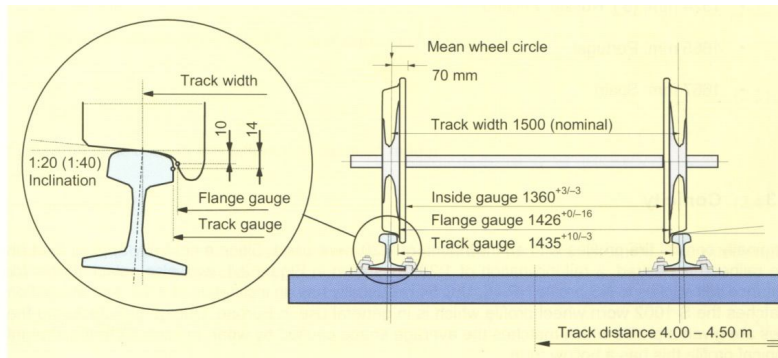


圖 3 輪對與鋼軌尺寸圖（標準軌距）

前述車輪踏面及輪對有關尺寸，均係指標準軌而言；惟對於 1,067 公厘軌距而言亦可適用，因為輪軌關係自成相互影響對象，與軌距大小無關，在臺灣鐵路管理局建設作業程序第 76~78 條中，對於車輛之車輪各部分尺寸均作詳細規定，臺灣鐵路之車輪斷面尺寸，如圖 4 所示。

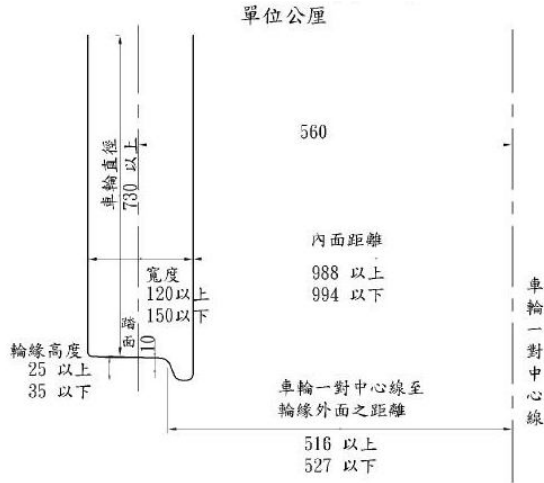


圖 4 臺鐵用車輪踏面圖

## 2.2 轉向架

為使裝有多個輪對的車輛能安全平順地通過曲線，避免單一個輪對歪斜，造成車輛顛簸，通常將兩個或三個輪對，聯結固定在同一個鋼性架構上，稱為「轉向架」，如圖 5~圖 9 所示。車廂置於轉向架的可旋轉心盤上，轉向架可相對車廂體轉動，一個轉向架上的各個輪對則始終保持平行，不能相對轉動或平移。轉向架須支承客、貨車體，並使其平順行駛於軌道之上，轉向架由轉向架框、驅動裝置、輪軸、搖枕梁、軸簧裝置、軔機裝置等所構成。

轉向架依照其用途分為，電車用、機車用、氣動車用等，其功能構造雖不盡相同，然在設計上應注意的不外乎行駛穩定性、良好的曲線通過性能、行車安全性、良好粘着性、乘坐舒適性、維修簡易性、充分的強度與勁度、輕量化、對軌道影響最小及符合環境需求等。

客車與貨車的轉向架下一般安裝兩個輪對，稱為「雙軸轉向架」；內燃、電力機車的轉向架下多裝有三個輪對，稱為「三軸轉向架」；而早期使用的蒸氣機車則是將多個動輪固定在一個轉向架上。

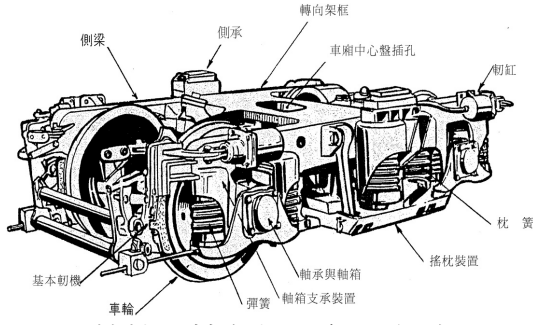


圖 5 搖枕梁轉向架示意圖(組合圖)

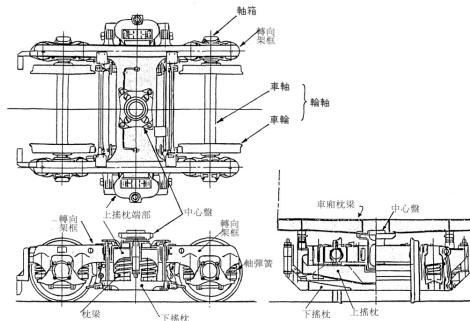


圖 6 搖枕梁轉向架(平面圖，側視圖，正面圖)

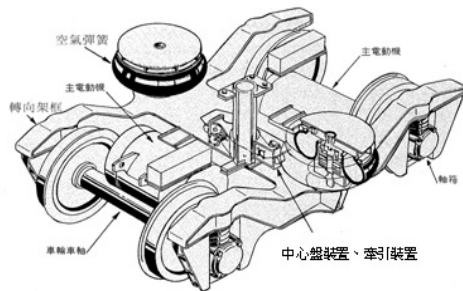


圖 7 無搖枕轉向架

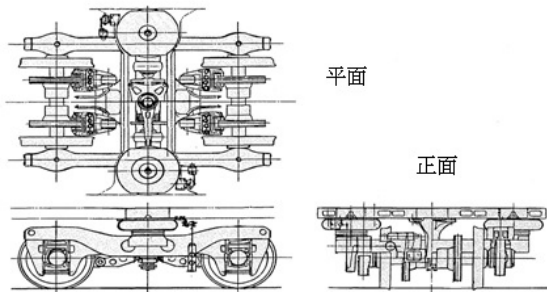


圖 8 無搖枕轉向架三視圖

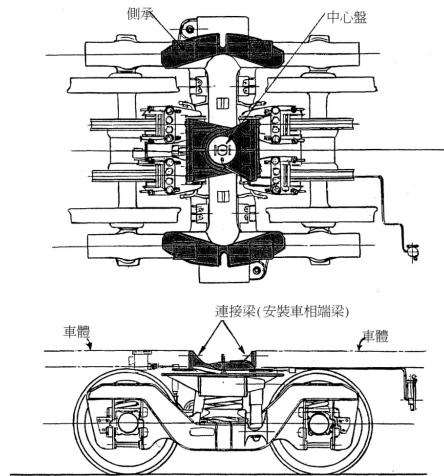


圖 9 TGV 連結轉向架

### 2.2.1 自動操舵(Self Steering)轉向架

車輛在通過曲線時，若車輪經常維持與鋼軌方向一致，則不會因車輪踏面坡度之內外輪直徑差，肇致內外輪通過距離相差之補償使內車輪滑行，很平順的通過曲線，同時可以防止鋼軌面波狀磨損、車輪輪緣及鋼軌側面磨耗，而又可得到高速行駛穩定，如圖 10 所示，故軌道工業發達國家競相研發。

要使車軸有自己操舵向曲線中心，一般都要使軸箱前後方向(水平方向)柔性支撐，而對付蛇行動則前後方向的軸箱支撐勁度要高，因此需要中庸才能在這兩相矛盾中取得平衡。圖 10 為代表性的自動操舵轉向架模式，由前後輪軸與軸箱各安裝副框架(Sub-frame)，對角上裝設交叉軸(Cross anchor link)所構成。通過曲線時一側的輪軸沿著鋼軌變位，透過交叉軸強制另一側車輪向反方向變位，很自然的前後輪軸都向著曲線中心位置平順通過曲線。

日本 JR 東海鐵道株式會社於西元 1994 年 9 月起以 383 系車輛試車半年結果，不但速度提升，平均橫壓力更減少 30 %，尤其小半徑曲線效果更為明顯，半徑 400 m，超高度 90 mm，速度 105 km/h，橫壓僅約 1.05 t。



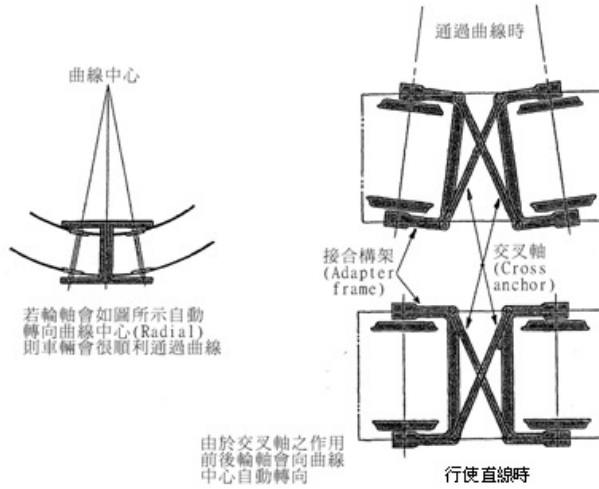


圖 10 自動操舵轉向架模式

### 2.3 軸距

同一機車或車輛最前位和最後位車軸中心間的水平距離，稱為機車的「全軸距」。為使全軸距較長的機車、車輛順利通過曲線，將車軸分別安裝在幾個車架或轉向架上，一個車架或轉向架上，最前位及最後位車軸中心間的距離，稱為「固定軸距」（如圖 11 及照片所示），固定軸距是決定機車、車輛能通過的最小曲線半徑，以及其曲線軌距加寬的主要依據。

在「臺灣鐵路管理局建設作業程序」第 6 條中，對於車輛之「固定軸距」定義如下：指裝在同一個不撓曲車架，未裝設橫動遊隙之車軸中，最前一軸至最後一軸之車軸中心間水平距離。

該作業程序第 75 條規定：固定軸距應在 4.6 公尺以下。

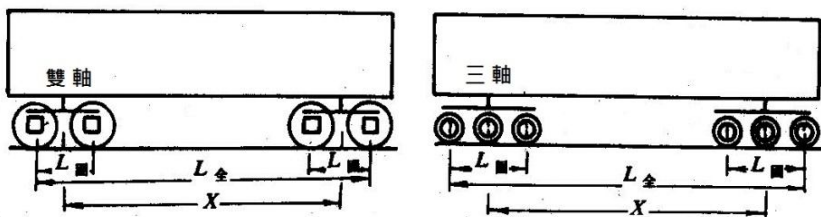


圖 11 固定軸距車輛示意圖



照片：固定軸距車輛-雙軸貨車 (a) (b)

## 2.4 鋼軌

鋼軌是鐵路軌道的主要組件，其作用是引導機車車輛車輪前進，承受車輪的巨大壓力並將該力傳遞到軌枕或其他支承上。因此鋼軌必須為車輪提供連續、平順和阻力最小的滾動表面。在電氣化鐵路或自動閉塞區段，鋼軌還可供軌道電路使用，如目前國內之臺鐵系統、高鐵系統及捷運系統即以軌道電路供號誌系統控制使用。

鋼軌的工作條件非常複雜，車輪作用於鋼軌上的力有垂直力、橫向水平力及縱向水平力。此外，氣候及其他因素亦影響鋼軌使用性能。鋼軌除承受基本彎曲應力外，此外還有接觸應力、殘餘應力、局部應力及溫度應力等，使鋼軌產生壓縮、伸長、彎曲、扭轉、壓潰、磨損及斷裂等。因此，鋼軌應具有足夠之強度、韌性及耐磨性。

鋼軌要有足夠的強度，以延長其使用壽命，又被要求具有一定的塑性，以防脆性折斷；需具有一定的硬度增加耐磨性，又要有適當的韌性；要有相當的剛度，抵抗撓曲，又要有可撓性，以減輕輪軌的衝擊；鋼軌踏面應粗糙，以增加輪軌間的黏著力，又要光滑，以減少行車阻力。

以上矛盾的性能要求使鋼軌的設計及製造成為一個非常複雜的問題。鋼軌斷面採用抵抗彎曲最佳的 I 字形，斷面分為軌頭、軌腰和軌底三個部分，如圖 12、13 所示。軌頭提供車輪之滾動表面，其外形應與車輪踏面相匹配，且應耐磨和抵抗壓潰，故軌頭宜厚。支承在軌枕上的軌底宜寬，以保證鋼軌的穩定性，並具有一定的厚度，以增加剛度和抵抗銹蝕的能力；為了使鋼軌有較大的承載能力和抗彎能力，要求軌腰有足夠的高度和厚度；從整個鋼軌高度來說，應盡可能大一些，以保證有足夠的慣性矩和斷面係數來承受垂直動荷載，如圖 14 所示。但鋼軌過高，又影響其橫向水平穩定性，一般要求軌高與軌底寬之比為 1.15~1.20。此外，軌頭、軌腰和軌底各部分面積應比例適合，以保證在軋製過程中冷卻均勻。

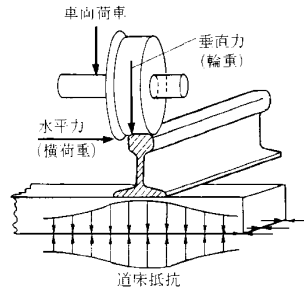
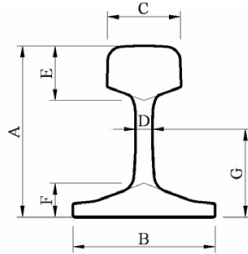
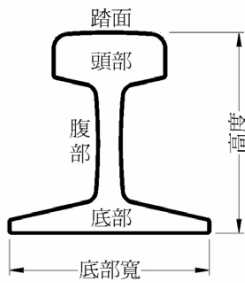


圖 12 平底鋼軌 圖 13 鋼軌斷面尺寸 圖 14 作用於鋼軌上之力

隨著列車載重與速度提升，鋼軌斷面也有愈來愈大的趨勢。臺鐵近年來採取重軌化策略，換鋪鋼軌主要以 60 公斤鋼軌為主，其鋼軌斷面，如圖 15 所示。此外，中國(大陸)大陸在提速之後，特重型路線軌道上也開始採用 75 公斤鋼軌，如圖 16 所示，歐洲地區使用之鋼軌型號及斷面圖，如圖 17 所示。

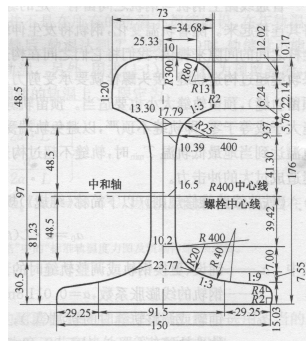
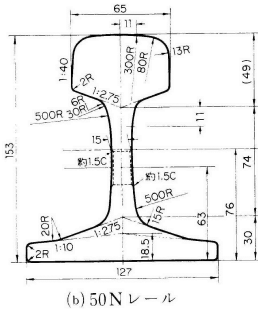


圖 15 臺鐵採用的 50N 及 UIC60 鋼軌斷面圖

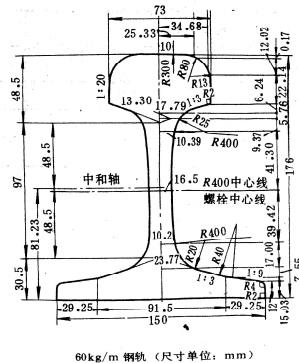
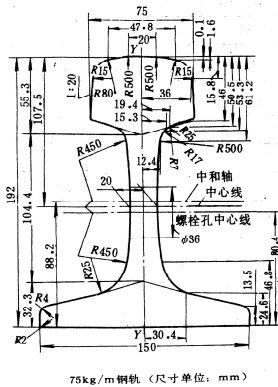


圖 16 中國(大陸)使用的 75kg 及 60kg 鋼軌斷面圖

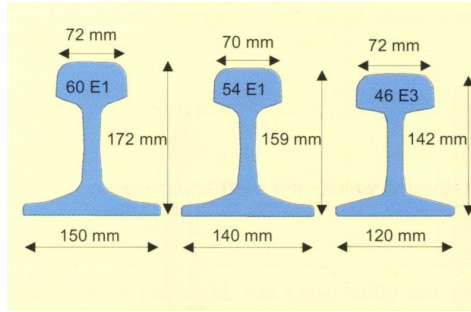


圖 17 歐洲鐵路使用的鋼軌斷面圖

### 三、輪軌互制作用

#### 3.1 輪軌接觸狀態

機車車輛沿軌道運行時，為了避免車輪輪緣與鋼軌側面經常接觸而導致輪緣和鋼軌軌頭內側磨損，以及便於機車車輛通過曲線而不導致輪軌之間撞擊破壞，左右車輪的輪緣外側距離應小於軌距，即輪緣外側和鋼軌內側應留有一定的間隙(遊隙)，如圖 19 所示，(假設輪對沿鋼軌滾動方向指向讀者，即 X 軸方向)。因此輪對沿軌道滾動過程中可以相對軌道作橫向運動 ( $y$  為輪對中心橫移量) 和搖頭運動 ( $\psi$  為輪對搖頭角)。輪對在不同的橫向位移和搖頭角位移的狀態下，左右車輪和鋼軌之間接觸點的位置不同，於是輪軌之間的接觸幾何參數也相應出現變化，並且輪軌接觸表面之間剛性相對滑動量和轉動量也將發生變化，對輪軌滾動摩擦接觸力學行為和摩擦磨損產生較大的影響。輪軌接觸幾何部分參數，如圖 19 所示，定義如下：

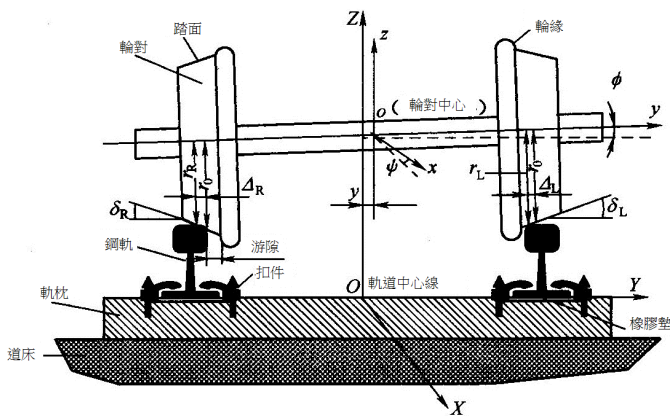


圖 19 輪對和軌道接觸示意圖

左右輪瞬時滾動圓半徑  $r_L$  和  $r_R$ 。當輪對中心偏離軌道中央位置時，即輪對有橫移時，左右輪實際滾動半徑  $r_L \neq r_R$ ，且隨輪對中心橫移和搖頭角的改變而改變。當將輪對視為剛體時，輪對繞其軸線轉動，各點的轉動角速度相同，但左右輪接觸點處滾動圓半徑不同，接觸點處相對軸線轉動的線速度是不同的，所以同一個輪對的左右輪在相同的時間內行走過的距離不同。由於左右車輪由剛性車軸固結，鋼軌對輪對的運動一起受約束，那麼輪對左右輪軌接觸斑處將會產生微小的且方向相反的縱向滑動，直接影響輪軌之間的縱向切向作用力(或縱向蠕滑力)。另外車輪滾動半徑大小也影響接觸斑大小、法向力的分佈和粘著係數。圖 20 所示之  $r_0$  是輪對處於軌道中央位置時車輪的滾動圓半徑，稱為名義滾動圓半徑。

- (1)左右輪軌接觸點處輪踏面橫向曲率半徑  $\rho_{wL}$ 、 $\rho_{wR}$  和軌頭橫截面的曲率半徑  $\rho_{rL}$ 、 $\rho_{rR}$ 。圖 7 所示左輪軌接觸點  $C_L$  處型面橫向曲率半徑。車輪的縱向曲率半徑為  $r_L$  和  $r_R$ ，鋼軌的縱向曲率半徑為無窮大。輪軌接觸點處曲率半徑影響輪軌接觸斑的大小、形狀和接觸斑上法向力的分佈。
- (2)左右輪軌接觸處的接觸角  $\delta_L$  和  $\delta_R$ ，即輪軌接觸點處公切面與輪對軸線之間夾角(或者與圖 6 所示座標面  $oxy$  的夾角)。接觸角的大小對輪軌蠕滑力影響十分大，因為接觸角越大，輪對繞軸線旋轉的角速度在接觸點處的法向分量越大，輪軌接觸斑質點對自旋蠕滑率也越大，影響輪軌縱橫向蠕滑力分配，也影響輪軌之間的法向力和切向力在垂向和水準方向分量的大小，以至影響輪軌接觸表面材料的疲勞壽命。
- (3)輪對側滾角  $\psi$ ，即輪對軸線和水平面夾角。其大小影響輪軌接觸斑的蠕滑率，對輪軌接觸點處垂向和水準方向作用力的分量有一走的影響，也會影響到轉向架和車體的側滾運動，與機車車輛的運動穩定性和安全有較大的關係。
- (4)左右輪軌接觸點在車輪踏面上的移動量  $\Delta L$  和  $\Delta R$ ，對輪軌接觸斑縱橫向蠕滑率的計算有一定影響。
- (5)輪對中心沿垂直方向的位移  $Z_0$ ，也就是輪對在偏離軌道中心時引起輪對中心在垂直方向的位移改變量。它不僅影響橫向蠕滑率的計算，其變化也會引起轉向架和車體的垂向位移。

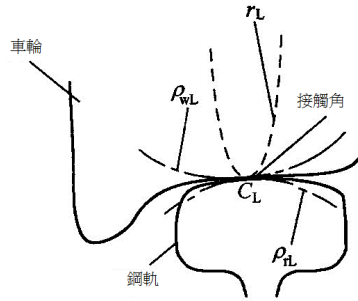


圖 20 左輪軌接觸點  $C_L$  處之橫向曲率半徑  $\rho_{wL}$

輪對在運動過程中，上述所列接觸幾何參數不是獨立變化的，它們之間有一走的聯繫，在輪軌幾何型面和軌距確定時，它們由輪對中心橫移量  $\Delta z$  和輪對搖頭角  $\psi$  確定，即可寫成

$$r_i = r_i(y, \psi), \delta_i = \delta_i(y, \psi), \Delta_i = \Delta_i(y, \psi), \Phi = \Phi(y, \psi), \Delta z = \Delta z(y, \psi) \quad (2)$$

它們都是  $y$  和  $\psi$  函數。式中  $i=L, R$ ，分別表示左右輪軌接觸。通常輪軌型面(部分為接觸面)是由若干條不同半徑的圓弧曲線和直線構成的，對輪軌接觸幾何空間問題，很難用數學運算式來精確表示式(2)，通常只能給出它們的數值解。若對型面作適當近似處理後，則式(2)可寫成近似解析式，而前述這些數值解法，並不在本文研究範圍。

在研究輪軌接觸關係時，應當特別注意輪軌之間的接觸狀態。車輪與鋼軌之間的接觸狀態可能有兩種，即一點接觸和兩點接觸，如圖 21(a)、(b)所示。當輪對相對軌道的移動量不大時，車輪踏面與鋼軌頂面處接觸，稱為「一點接觸」；當輪對相對軌道的橫移和搖頭角位移量超過一定範圍時，可能引起車輪踏面和輪緣同時與鋼軌頂面和側面接觸，即所謂「兩點接觸」。一般說來，當輪對相對軌道有足夠大的橫移量時，輪對搖頭角越大，輪軌間出現兩點接觸的可能性也越大。另外，輪軌在使用一段時間後，由於輪軌間的嚴重磨耗，導致輪軌間大面積接觸，接觸斑可能是曲面形式，這種類型的接觸叫「共形接觸」，如圖 21(b)所示。現有的輪軌滾動接觸理論不適合求解輪軌"共形接觸"或發生"兩點接觸"時的力學行為。

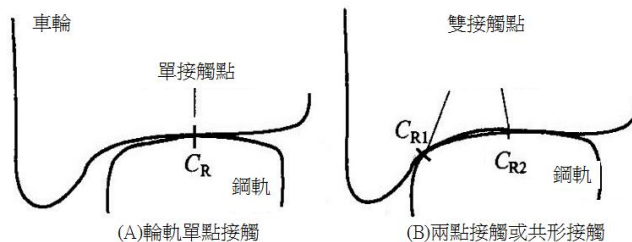


圖 21 輪軌接觸狀態

當輪對相對軌道只有橫移而無搖頭角位移時，輪軌間的接觸點處於通過輪對中心線的橫向鉛垂平面內；但當輪對相對軌道有搖頭角位移時，即使輪軌之間仍保持踏面一點接觸的情況，輪軌接觸點也不再位於通過輪對中心線的鉛垂平面內。此時接觸點與軌道橫向鉛垂平面之間有段距離  $\lambda_L$  和  $\lambda_R$ ，稱為接觸點超前量(或落後量)此時，車輪接觸點到輪對軸線的連線與鉛垂線的夾角  $\alpha_L$  和  $\alpha_R$  稱為超前角或落後角，如圖 22 所示。若將車輪踏面看成錐形，將鋼軌頂面看成近似的圓弧，則可推導出超前角或落後角的近似運算式。一般情況下，只能求得它們的數值解。輪緣接觸點超前角(如  $\alpha_L$ )對車輪爬軌有較大影響。

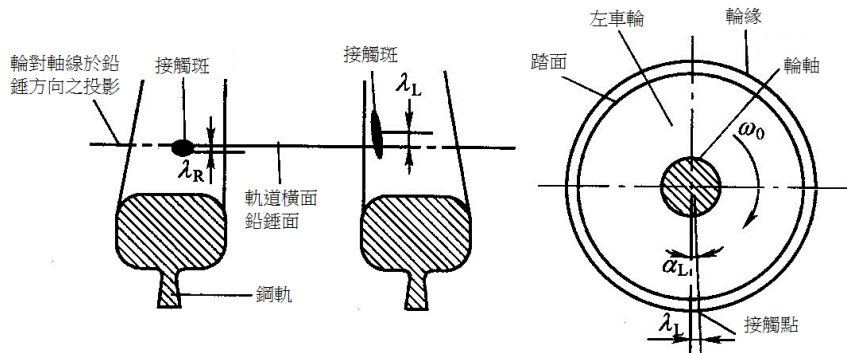


圖 22 輪軌接觸斑超前量或落後量

從宏觀來看，車輪沿軌道運行時，輪軌接觸點不斷變化，左右車輪踏面與鋼軌頂面的接觸點的連線可近似為車輪轉動的暫態轉動中心軸，輪軌之間近似為無相對滑動。但在輪對橫移量和搖頭角較大而發生兩點接觸的情況下，由於車輪繞暫態轉動中心軸轉動，車輪輪緣與鋼軌側面的接觸點處輪軌接觸面有較大的相對滑動量，造成輪緣與鋼軌側面的嚴重磨耗，而且輪緣接觸點與踏面接觸點的垂向距離越大，則摩擦越嚴重。因此，在輪軌斷面形狀設計時應儘量避免兩點接觸並儘可能減小兩點接觸之間的垂向距離以減少輪軌磨損。由於車輪和鋼軌整體結構的彈性變形並不大，接近剛體。而且在正常條件下輪軌始終保持接觸，輪對除了沿鋼軌滾動之外，只要輪對存在橫移和搖頭運動，車輪就會發生相對於鋼軌的縱向、橫向滑動和旋轉運動，這種運動對於自由滾動狀態下的車輪來說是微小的，但對制動狀態下或牽引狀態下的輪對來說，這種運動就不是微小的了。這些運動的有關參數是研究車輛動力學和輪軌摩擦磨損的重要參考數據。

輪軸一體成型軋壓車輪。輪轂燒熱壓入的車輪雖然輪轂磨耗後可以取出抽換，但燒接部份有容易鬆弛或損害之缺點，現在絕大部分使用軋壓一體成型者為多。

踏面形狀為考慮提高通過曲線的性能或防止蛇行動及防止鋼軌磨耗等條件，通常規定有最適合的尺寸，如圖 23 所示，自輪緣部分起向外側形成 1/20 的坡度(日本新幹線為 1/40 坡度)。其原因為希望在直線行駛時左右車輪經常定位在中心轉動。而行駛在曲線時因離心力關係，外側車輪壓著外軌行駛，希望以內外車輪的直徑差很順利的通過曲線。

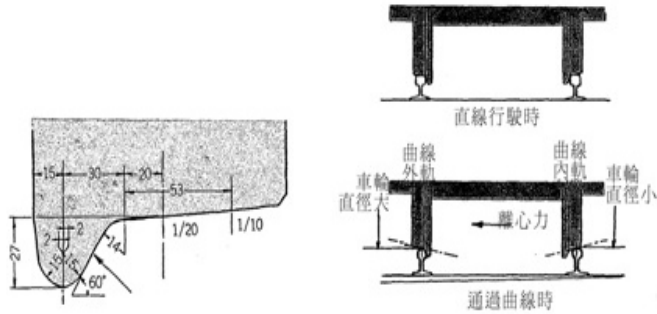


圖 23 標準車輪踏面與行駛情形

### 3.2 車輪踏面與軌頭截面的相互關係

鋼軌斷面形狀歷經多年演變，已確認以 I 字型最佳化設計，主要是取其抵抗彎距能力最高，但 I 字型斷面又可依其功用分為軌頭、軌腰及軌底三部分。而鋼軌頭部係直接與車輪接觸的部位，必須具備高度抵抗壓陷和耐磨能力，故軌頭宜大而厚且具有可以和車輪踏面相匹配的外形，軌頭頂面應有足夠的寬度，使在上面滾動的车輪踏面與軌頭頂面的磨耗均勻，所以，鋼軌頭部頂面製成圓弧形，中央稍稍隆起，不是平面設計，圓弧的半徑愈小，壓力愈集中於軌軸，但輪軌之間的接觸面積愈小，接觸壓力也會愈大。經歷長期的統計發現，鋼軌被車輪長期滾壓以後，軌頭頂面形成一個近似 200 mm~300 mm 半徑的圓弧。因此，鐵路早期較輕型鋼軌的頂面多由一 300 mm 半徑的圓弧構成，近年來因鋼軌益趨重型化，軌頭頂面改採複合圓弧組成，一般在 80 mm、300 mm、80 mm 到 80 mm、500 mm、80 mm 之間。

軌頭側面有垂直、向上擴大和向下擴大三種型式，一般以向下擴大型為主流，漸變擴大的斜坡為 1:20 到 1:40 之間，臺鐵採用的 50N 鋼軌採用 1:40，而近年開始改鋪的 UIC60 鋼軌則用 1:20 斜坡。軌頭頂面與側面之間，復以一小圓弧連接，半徑為 13 mm~15 mm，剛好比輪緣內圓角的半徑 16 mm~18 mm 略小一些；此值若太大，就增加輪緣爬上鋼軌的風險，此值若過小，則將加速輪緣的磨耗。

在臺灣鐵路管理局建設作業程序第 76~78 條中，對於車輛之車輪各部分尺寸均作詳細規定（圖 4），臺灣鐵路之鋼軌斷面尺寸如圖 16。



中國(大陸)鐵路上沿用的車輛車輪踏面採用鐵道部標準 TB449-76 規定的形狀，在車輪經長期使用表面磨損超過規定限度後，採用銼切加工恢復至原形。TB449-76 車輛車輪踏面形狀(下簡稱為 TB 型踏面)，如圖 24(a) 所示。距車輪輪緣內側 48 mm 至 100 mm 範圍內由一段斜度為 1:20 的直線段組成，繼續向外一段斜度為 1:10 的直線段，最後與車輪外側的 5:5 的小倒角相連接。車輪輪緣由 R=23 mm, R=16 mm, R=16 mm 及 R=48 mm 四段圓弧組成。

輪緣與直線段之間有一段 R=18 mm 的圓弧，該部分與鋼軌側面的圓角相配合，這段圓弧的半徑以及圓弧中心位置的選擇十分重要，它的形狀關係到輪軌之間是否可能出現兩點接觸以及兩點接觸之間垂向距離的大小，而這些情況對輪緣磨耗都是有較大影響的。

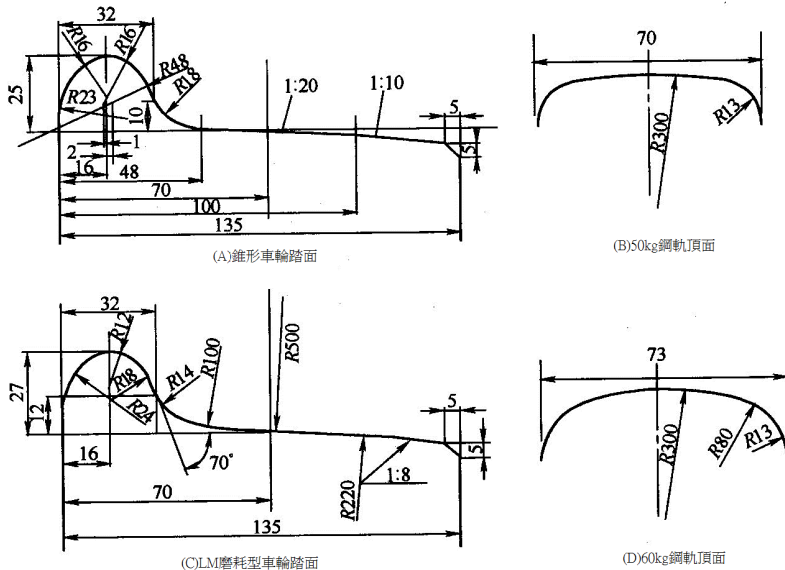


圖 24 中國(大陸)標準輪軌斷面幾何尺寸圖

TB 型踏面新車輪在使用過程中，踏面和輪緣逐漸磨損，在使用初期磨損較快，但經過一定走行距離之後，輪軌表面外形逐漸磨合並且冷壓硬化，此後車輪踏面形狀變化緩慢並且相對穩定。如果把磨耗的車輪經過機械加工使其恢復原形，需要銼削去大量金屬材料，而銼削後的車輪再經過一段時間使用後又將成為磨耗形狀。因此不少國家鐵路便把磨耗後的車輪踏面和鋼軌形狀定為標準型，從而減輕輪軌磨耗。這種磨耗型車輪可以減少金屬銼削量並能延長輪軌使用壽命。中國鐵路也研製了一種車輪磨耗型踏面，並定名為 LM 型踏面，現正在推廣使用，其外形見圖 24(c)。這種車輪踏面由兩段 R=100 mm 及 R=500 mm 的正圓弧（圓心在車輪外側），一段 R=220 mm 的反圓弧（圓心在車輪內側）和一段斜度為 1:8 的直線

相切而成。在車輪最外側有一個 5:5 的小倒角。輪緣由  $R=24\text{ mm}$ 、 $R=12\text{ mm}$  及  $R=18\text{ mm}$  的三段圓弧相切而成。距輪緣頂部 15 mm 處的輪緣厚度仍保持為 32 mm，輪緣與踏面之間有一段  $R=14\text{ mm}$  的過渡圓弧。由於 LM 型踏面設計較為合理，當輪對無搖頭角位移時，輪對在不同橫移情況下均不致出現輪軌之間的兩點接觸。

中國(大陸)TB 型踏面的形狀是與其每公尺長 50 kg 標準鋼軌相配合設計使用的。50 kg 標準鋼軌頂面形狀示於圖 24(b)中。軌頂由  $R=13\text{ mm}$ 、 $R=300\text{ mm}$  和  $R=13\text{ mm}$  三段圓弧組成，軌頭寬 70 mm，軌頭兩側面與軌底相垂直。60 kg 標準鋼軌截面也是按磨耗型原則設計的，LM 磨耗型車輪踏面外形與 60 kg 鋼軌配合使用，60 kg 鋼軌頂面形狀示於圖 24(d)。其軌頭部分由兩段  $R=13\text{ mm}$  圓弧，兩段  $R=80\text{ mm}$  圓弧和一段  $R=300\text{ mm}$  圓弧相切而成，軌頭寬 73 mm，兩軌頭側面與鋼軌中心線之間呈 1:20 斜度。

中國(大陸)現在除車輛車輪踏面採用 LM 磨耗型踏面外，還研製了 JM 型機車車輪磨耗型踏面。由於機車配屬各機務段，運行區間是固定的，因此各機務段可根據本段線路實際情況取得路局主管部門認可後，採用各自不同的車輪踏面外形。近年世界各國正在研究和發展快速和高速鐵路，根據高速列車的運行特點和安全要求，紛紛研究開發了高速列車車輪型面，如 HL 型等，日本、德國、英國、法國等鐵路均針對本國鐵路的實際情況研製各自的磨耗型車輪踏面和鋼軌截面外形，根據各國運用經驗顯示，輪軌採用磨耗型後確能延長其使用壽命。

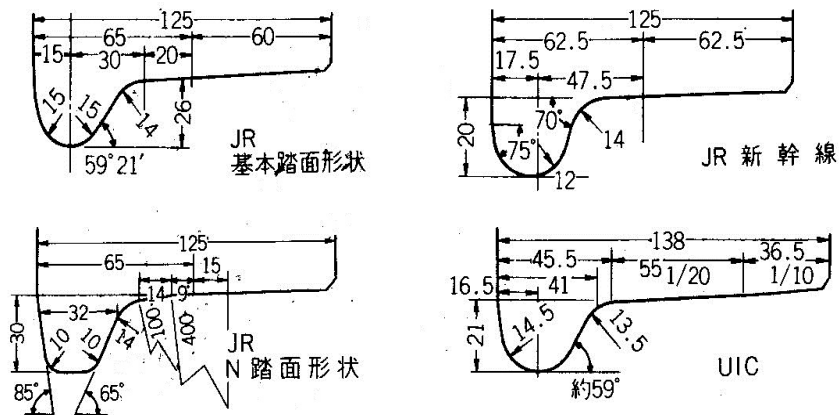


圖 25 日本標準車輪踏面幾何尺寸圖

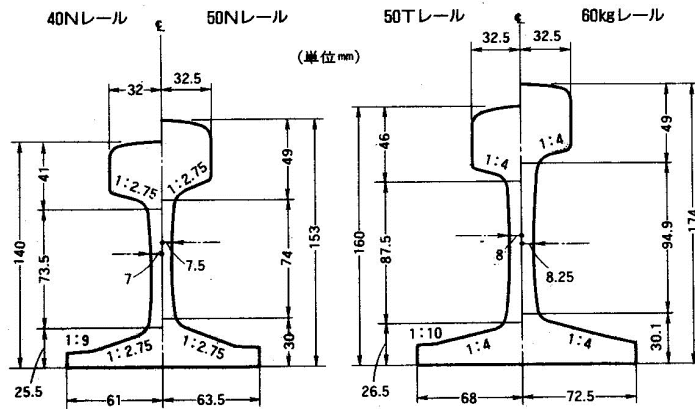


圖 26 日本標準鋼軌斷面幾何尺寸圖

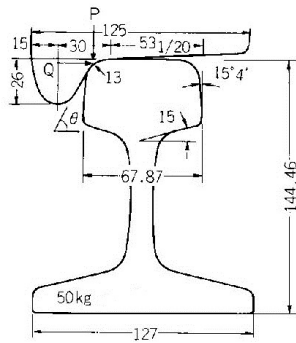


圖 27 日本標準輪軌幾何尺寸關係圖

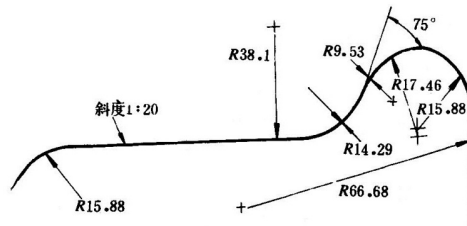


圖 28 美國鐵路磨耗型踏面

## 四、減少磨耗的對策

### 4.1 軌底坡度

車輪踏面的主要部分是 1:20 的圓錐面。為使鋼軌與車輪很好配合，鋼軌不應豎直鋪設，而要適當地向內傾斜；這種傾斜是通過將軌底設置一

定坡度實現的，故稱「軌底坡」，造成軌底坡的辦法是在鋼軌底面與軌枕水平面之間安裝一塊帶有一定坡度的軌枕墊板，此墊板的坡度即為「軌底坡」。鋼軌設置軌底坡可使車輪壓力大體與鋼軌豎直軸線重合，避免或減小鋼軌偏載，減小軌腰的彎曲應力，不使軌腰縱向開裂或折損，如圖 29 所示。一般軌底坡為 1：20，以便與車輪踏面之斜度取得平衡；但近來漸有些線路的軌底坡改設為 1：40，使得輪軌接觸點之切線方向作用力呈一偏差角度，其目的在減少磨耗，及保留一部分因車輪踏面呈 1：20 斜坡，所產生的指向兩軌中間的橫向作用力，此作用力對行駛中列車之穩定有一定的幫助，臺灣鐵路 1,067 公厘軌距的軌底坡即採用 1：40。

一般軌底坡的大小應與輪踏面的斜度相同，即 1：20。但考慮鋼軌受力後，軌枕撓曲變形，墊板與軌枕不密貼，實際軌底坡與原設軌底坡有一定出入，而且車輪踏面使用一段時間後，往往磨成接近 1：40 的坡度，故在應用上也有把直線地段的標準軌底坡改為 1：40 的情形，如臺灣的臺鐵、中國(大陸)及日本，目前所用規範均已改成 1：40 的軌底坡。軌底坡是否正確，可從軌頂面上光帶的位置判定，光帶偏向內側，說明軌底坡不足；光帶偏向外側，說明軌底坡過大。

在木枕地段，軌底坡用帶斜坡的鐵墊板做成(1：40)，在混凝土枕上，軌底坡直接做在承軌台上。在曲線地段，由於外軌超高，使軌枕面產生一定程度的傾斜，故內股鋼軌的軌底坡有時需做適當的調整，以保證鋼軌不向軌道外側傾斜。

此外，當列車進入曲線軌道後，其運動狀態和受力情況都發生了變化，相應地，輪軌間的關係也與直線上不同，這就確走了曲線軌道的幾何形位元所具有的特徵，主要是：

- (1) 為平衡車輛在曲線上運動所產生的離心力，需設置外軌超高，
- (2) 為使列車順利通過，在小半徑曲線上，軌距應適當加寬
- (3) 為使直線與圓曲線圓順連接曲率連續變化，直線與圓曲線間應設置緩和曲線；
- (4) 曲線上內外股鋼軌長度不同。為保持接頭相對，內股鋼軌應採用縮短軌；
- (5) 為使曲線軌道幾何形位元保持正確關係特別是曲線方向的正確，必須加強曲線養護與整正。

為滿足曲線軌道幾何形位元的要求，在軌道構造上還需要採取一些加強措施。這些都表明曲特殊性，也說明曲線是軌道的薄弱環節之一。

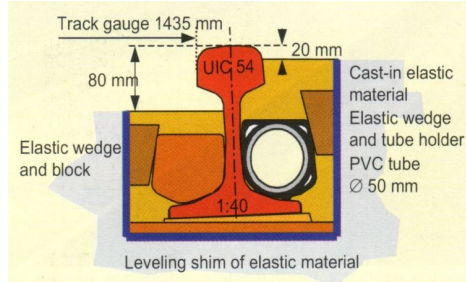


圖 29 軌底坡度圖

## 4.2 轉向架通過曲線狀況

由於輪軌之間存有游隙（間隙），機車車輛的車架或轉向架，通過曲線軌道時，四個輪子（雙軸）踏面與鋼軌內側的接觸點位置，呈現四種不同的內接形式：

- (1) 斜接，如圖 30a 所示。機車車輛車架或轉向架的外側最前位車輪輪緣與外軌作用邊接觸，內側最後位車輪輪緣與內軌作用邊接觸。
- (2) 自由內接，如圖 30b 所示。車輛轉向架的外側最前位車輪輪緣與外軌作用邊接觸，其他車輪輪緣與外軌無接觸，且轉向架的後軸位於曲線半徑方向上。
- (3) 楔形內接，如圖 30c 所示。機車車輛車架或轉向架的最前位和最後位車輪輪緣同時與外軌作用邊接觸，內側最前位車輪輪緣與最後位車輪輪緣，同時與內軌作用邊接觸，這是車輛通過曲線最不利的形式，其出現的機率與各種車輛之軸距有關，在同一軌距下，軸距愈大的車輛愈容易造成楔形內接。
- (4) 正常強制內接。為避免車輛以楔形內接形式通過曲線，對造成楔形內接所需的軌距增加一個  $\delta_{\min}$  一半的距離，此時轉向架在取線上所處位置稱為「正常強制內接」。此處  $\delta_{\min}$ ，指的是直線路段輪軌間的最小間隙（游隙）。

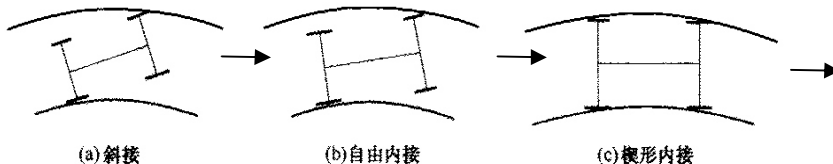


圖 30 機車車輛通過曲線的內接形式

## 4.3 曲線軌距加寬

因為絕大部分的車輛轉向架都是雙軸轉向架，只有少數的機車車架是

三軸或四軸，當雙軸轉向架以自由內接形式通過曲線時，前軸外車輪輪緣與外軌作用邊接觸，後軸位於曲線半徑方向上，如圖 31 所示。則自由內接所需最小軌距為：

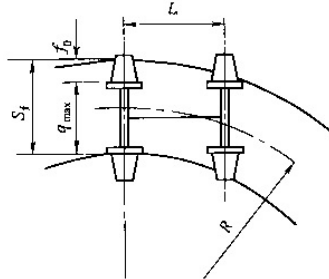


圖 31 轉向架自由內接形式

$$S_f = q_{\max} + f_0 \quad (3)$$

式中  $S_f$ ：自由內接所需最小軌距（mm）

$q_{\max}$ ：最大輪對寬度（mm）

$f_0$ ：外矢距（mm），其值為軸距與曲線半徑的函數。

$$f_0 = \frac{L^2}{2R} \quad (4)$$

上式中  $L$ ：轉向架固定軸距（mm）， $R$ ：曲線半徑。

若以  $S_0$  表直線段之標準軌距，以  $e$  表曲線加寬值，則有

$$e = S_f - S_0 \quad (5)$$

<計算例>有一新型客車，為雙軸轉向架，固定軸距 2.4 公尺，輪對寬度為 1,424 mm，今通過一半徑 250 公尺曲線段，依規定該處軌距加寬為 5 mm，試檢算其是否足夠？

<解說>依（4）式

$$f_0 = \frac{L^2}{2R} = \frac{(2.4 \times 1000)^2}{2 \times 250 \times 1000} = 11.5 \text{ mm}$$

依（3）式

$$S_f = q_{\max} + f_0 = 1424 + 12 = 1436 \text{ mm}$$

由以上計算可知所需最小軌距為 1,436 mm，而該路段之軌距經加寬 5

mm 後為 1,440 mm，可以符合規範及安全要求。

#### 4.4 曲線上的最大容許軌距

考慮軌距加寬後，曲線軌道上的最大軌距，應以確保行車安全為重點，所以，以最不利狀況計算出臨界值為上限，做為最大軌距之規定。所謂最不利狀況，係指當輪對的一個車輪輪緣緊貼鋼軌時，另一個車輪踏面與鋼軌的接觸點，恰為車輪踏面的變坡點，如圖 32 所示。圖中  $d_{min}$  為車輪輪緣的最小厚度； $T_{min}$  為兩車輪間最小的輪背內側距離； $\epsilon_r$  為車輛車軸彎曲時兩車輪間的輪背內側距離減小量，一般取 1~2 mm 即可； $a$  為車輪輪背至踏面斜度 1:20 與 1:10 的變坡點距離，取 100 mm； $r$  為鋼軌頂面圓角寬度，取 12 mm； $\epsilon_s$  鋼軌彈性擠開量，取 2 mm。

由此，曲線軌道上的最大軌距  $S_{max}$ ，可以下式計算之：

$$S_{max} = d_{min} + T_{min} + a - \epsilon_r - \epsilon_s - r \quad (6)$$

在實務應用上，若採用上述各數值代入 (3-28) 式中，將得到一個曲線軌道上的最大容許軌距  $S_{max}$  值。當然，各國鐵路情況均不相同，所算得  $S_{max}$  值也不會完全相同，含有經驗值的意義在。

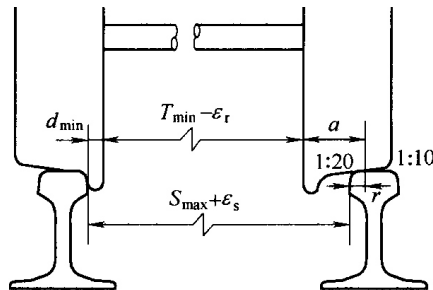


圖 32 曲線軌道上的最大容許軌距

臺鐵局採用 1,067 mm 軌距（以 G 表示），軌距 G 之最小值，依規章規定可小 4 mm，為 1,063 mm，而依據「臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序」第 78 條規定，『一對車輪中心線至輪緣外面之距離，自車輪踏面下 10 公厘處量起，應在 516 公厘以上，527 公厘以下』，即一對車輪，自輪緣外面至相對輪緣外面之距離 F 應在 1,032 公厘以上，1,054 公厘以下；而輪緣外面間距 F 之最大值係 1,054 mm，即考慮餘裕最小時亦尚有 9 mm，一般情形下，必有 10 mm 以上餘裕，如圖 33 所示。

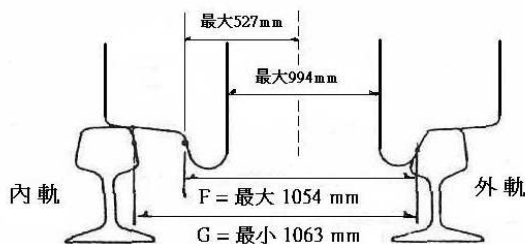


圖 33 直線上的最小輪軌間隙

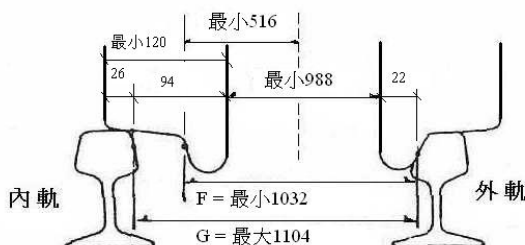


圖 34 曲線上的最大輪軌間隙

然而加寬度須有最大限制，因軌距加寬過大，車輪容易掉進軌距內。如加寬度為 30 mm 時，鋼軌與車輪之關係，如圖 34 所示。（ $G = 1067 + 30 + 7$ （公差） $= 1,104$  mm），由圖 34 可知加寬度為 30 mm 時，在最危險情形下，車輪仍有 26 mm 在軌面上尚無危險，因此，臺灣鐵路管理局規定：軌距加寬不得大於 30 mm。

## 五、輪軌硬度的相互匹配

採用合理的輪軌材質，也能在較大程度上減緩輪軌磨耗。根據國內外鐵路的研究，認為採用強度(硬度)較高的鋼軌及車輪是有利的；也就是說，輪軌的強度極限越高，則它們的磨耗也越少。例如日本鐵路有應用高碳鋼車輪的歷史，目的就是減少輪軌磨耗，但高碳鋼車輪也有它的缺點，如抗熱裂性較差，易產生制動剝離，材料的斷裂韌性低，易產生崩斷。德國的經驗是，鋼軌的強度極限增加  $200 \text{ N/mm}^2$  時，其磨耗可減小一半，所以，德國鐵路根據不同的線路曲線半徑，選用下列不同的鋼軌材質：

直線及 $R > 800 \text{ m}$ 曲線	普通鋼軌	強度極限	$690 \text{ N/mm}^2$
$R = 500 \sim 800 \text{ m}$ 曲線	耐磨鋼軌	強度極限	$880 \text{ N/mm}^2$
$R = 300 \sim 500 \text{ m}$ 曲線	矽錳鋼軌	強度極限	$980 \text{ N/mm}^2$
$R = 250 \sim 300 \text{ m}$ 曲線	鉻錳鋼軌	強度極限	$1,080 \text{ N/mm}^2$



目前一般採用的強化鋼軌硬度約在 HB262~331（勃氏硬度）之間，隨著曲線半徑的減小，由於車輪的衝角和輪軌間的橫向力增大，輪軌磨耗也越嚴重。因此曲線半徑愈小，採用強度極限更大的鋼軌應該說是合理的。以前不論是直線還是曲線，都使用同一種材料的鋼軌，因而曲線特別是小半徑曲線上鋼軌側磨劇烈，這也是必然的結果。

近年來，已開始在磨耗劇烈的曲線軌道上，試驗應用硬度較大的淬火鋼軌，以減緩鋼軌側磨，根據統計 HB320 鋼軌減磨效果達一倍以上，隨著硬度進一步提高減磨效果呈線性增加。美國鐵路曾對不同材質的鋼軌，進行耐磨性的線路試驗。在一般情況下，鉻鋁合金鋼軌和淬火鋼軌的側磨量都較小，但在塗油條件下，淬火鋼軌比合金鋼軌更耐磨。

對於機車車輛車輪的材質除要求耐磨外，還要求抗熱裂性及斷裂韌性要好，但這是相互矛盾的。目前認為，降低車輪或輪轂的含碳量是提高抗熱裂性的重要措施，但它的耐磨性卻受到影響。所以常用降低回火溫度（例如在 450~500 °C 溫度下，回火一個半小時）的熱處理工藝，以提高它的強度。

美國鐵路車輪材料的含碳量有各種規格，從中碳到高碳可供選用於不同的場合：

- U 級--不經熱處理的車輪。即可滿足一般使用；
- A 級--用於中等載荷的車輪，高速行駛，制動頻繁；
- B 級--用於較大載荷的車輪，高速行駛，制動頻繁；
- C 級--用於高載荷抑制動少(或不是踏面制動)的工況。

國外資料指出，考慮各方面因素，對整體車輪最適宜的材料成分是：0.50 %~0.55 %C；0.8 %~1.0 %Mn；Si 的含量是 0.5 %。

美國的 C 級鋼含碳量高，強度大，但抗熱裂性差，因此適用於高載荷和制動少的情況。而臺灣鐵路近年來所採購的電聯車，如太魯閣號、普悠瑪號等，得標廠商雖為日系車廠，但其中有關採購車輛之車輪規範，其硬度標準則比照前述美國規範的 B 級標準，即硬度應在 HB277~341 之間。

在同樣的制動條件下，車輪踏面的熱損傷，隨鋼中含碳量的增加和附加合金元素而更為劇烈，車輪中產生十分高的熱應力。故車輪或輪轂採用含碳量低和附加合金元素少的鋼，對減小熱應力是有利的。但車輪的抗磨性減低。要求達到既減輕熱損傷又耐磨的性能，可採用含碳量低的材料製造車輪，使踏面加速冷卻，以保證高的強度和耐磨性。

由於車輪踏面與鋼軌是一對相互摩擦的材料介面，兩者的硬度匹配應

該有一合理的比例。否則不論兩者的那二方把硬度提得過高，都是不經濟的。以中國(大陸)為例，車輪鋼的強度極限  $\sigma_b=882 \text{ N/mm}^2$ ，硬度為 HB255，普通鋼軌鋼的強度極限為  $883 \text{ N/mm}^2$ ，硬度為 HB260~280。國內外的研究認為，對輪轂和鋼軌的磨耗來說，它們的硬度有一合適的匹配關係。試驗結果指出，輪轂與鋼軌的硬度比值，以 1.1~1.2 為宜。對淬火軌來說，匹配關係相反，輪軌硬度比為 1：1.1~1.2。評定輪軌硬度的最佳匹配，最終應以輪軌兩者總的支出費用為依據，而不能從單方面來估算。

根據以上介紹可知，國外對車輪和鋼軌區分成各種規格按照實際運用條件來選取，應該說是比較合理也是科學的，正是物盡其材，按需要來選取。本文整理各國家的車輪材料成分及機械性能的資料，如表 1 所示。

表 1 各國的車輪材料成分及機械性能資料

國別	化學成分%					機械性能	
	C	Si	Mn	P	S	$\sigma_b(\text{N/mm}^2)$	硬度
中國(大陸)	0.55~0.65	0.17~0.37	0.5~0.8	$\leq 0.04$	0.045	$\geq 800$	HB $\geq 241$
俄羅斯	0.52~0.63	0.20~0.42	0.5~0.9	$\leq 0.035$	0.04	900~1,100	HB $\geq 248$
日本	0.6~0.75	0.15~0.35	0.5~0.9	$\leq 0.04$	0.04	800~1,000	
臺灣	0.6~0.75	0.15~0.35	0.5~0.9	$\leq 0.04$	0.04	800~1,000	HB277~341
美國	A 級 $\leq 0.57$ B 級 0.57~0.67 C 級 0.67~0.77	$\geq 0.15$	0.60~0.85	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$		A 級 HB255~321 B 級 HB277~341 C 級 HB321~363

## 六、討論與建議

鐵路的輪與軌關係極為密切，然而，彼此間卻是相剋的，它們相互磨損，直到壽命終了，不堪使用。「輪硬則傷軌，軌硬則傷輪」，輪與軌，既要耐磨，但又不能太硬，致傷害對方，所以，輪與軌的材料與製造煞費苦心，不但形態上要匹配，硬度也要匹配。

臺鐵局目前採用的鋼軌與車輪皆採購自國外，鋼軌之物理性質較為明確，一般分為普通軌與硬頭軌，普通軌的硬度規定，只要大於 HB235，即可符合；然而，車輪硬度則或因車輛採購年代與製造廠家不同，而有不同規格。根據臺鐵工務的路線養護經驗，及各路段的鋼軌抽換統計數據顯示，在一般直線及大半徑曲線路段，新鋼軌皆能維持十五年以上，尚可符合養路作業之工作量，但在小半徑曲線路段，幾乎二年內就必須更換鋼軌一次，使得負責路線保養人員大呼吃不消，所以，工務部門即以硬頭軌抽換，應用在小半徑曲線路段，其效

果可提升鋼軌抽換頻率，達三年以上。

如本文所述，輪軌之間，除了硬度匹配問題，還有斷面形狀的匹配問題，也就是工務部門的磨軌工程及機務部門的車輪銼削作業，如能相互配合，找出一個符合經濟的磨耗斷面形狀，將是臺鐵局爾後努力之目標。

## 參考文獻

1. 黃民仁(2007,3)，「新世紀鐵路工程學」(基礎篇)，文笙書局，臺北。
2. Coenraad Esveld(2001)，「MODERN RAILWAY TRACK」，MRT-Productions。
3. 童大碩(1996,1)，「鐵路軌道」，中國鐵道出版社，北京。
4. 陳岳源(1998)，「鐵路軌道」，中國鐵道出版社，北京。
5. 郝瀛(2005,12)，「鐵道工程」，中國鐵道出版社，北京。
6. 佐藤吉彥(日)著(2001,11)，徐涌等譯，「新軌道力學」，中國鐵道出版社，北京。
7. 佐藤吉彥著(1997,7)，「新軌道力學」，鐵道現業社，東京。
8. 高原清介著(1985,6)，「新軌道材料」，鐵道現業社，東京。
9. 久保田 博(2004,2)，「鐵道工學」，越後堂株式會社，東京。
10. 天野光三等(2005,6)，「圖說鐵道工學」，丸善株式會社，東京。
11. 金學松、劉啟躍(2004,3)，「輪軌摩擦學」，中國鐵道出版社，北京。
12. 徐有福(2007,12)，「漫談轉向架」，臺鐵資料第 332 期 79~119 頁，臺灣鐵路管理局，臺北。
13. 黃輝龍(2003,6、9)，「軌道與車輛的相互作用」，臺鐵資料第 314、315 期，臺灣鐵路管理局，臺北。
14. 陳武昌、陳俊安(2013)，「傾斜式電聯車 136 輛購案」赴日本車輛製造廠監造檢驗報告，臺灣鐵路管理局，臺北。

# 列車舒適度之研析

## An Analysis of the Comfort Index

郭振銘 Guo, Zhen-Ming<sup>1</sup>

林智強 Lin, Zhi-Qiang<sup>2</sup>

林駿瑋 Lin, Jun-Wei<sup>3</sup>

陳韋凱 Chen, Wei-Kai<sup>4</sup>

聯絡地址：70101 臺南市大學路 1 號

Address: No.1, University Rd., Tainan City 70101, Taiwan (R.O.C.)

電話：(06)2757575 轉 63170

Tel: (06)2757575 Ext 63170

電子信箱：ckuo@mail.ncku.edu.tw

E-Mail: ckuo@mail.ncku.edu.tw

### 摘要

臺灣鐵路管理局陸續引進傾斜式列車引起風潮，但坊間偶有對於舒適度的質疑，本文由此項話題來介紹列車舒適度指標規範，以 UIC513R 為主說明其舒適度的規範、量測方法與計算舒適度指標；其中量測方法使用套裝軟體 LabVIEW 接收數據並由 MATLAB 程式進行加權計算，以符合人體感受，最後以實車量測來驗證舒適度指標。

**關鍵詞：**UIC 513R、舒適度、傾斜式列車。

### Abstract

*The Taiwan Railways Administration continues to import cutting-edge tilting trains, but there are occasional suspicions with regard to their comfort. This paper introduces a specification for train comfort indices, using the UIC513R to explain standards of comfort, measurement methods and indices for calculating comfort. Of these, measurement methods use LabVIEW to input data and MATLAB to carry out weighted calculation to represent human experience, ultimately verifying comfort indices by means of taking measurements in an actual train.*

**Keywords:** UIC 513R, comfort index, tilting trains.

---

<sup>1</sup>國立成功大學 土木工程學系 教授

<sup>2</sup>國立成功大學 土木工程學系 博士班研究生

<sup>3</sup>國立成功大學 土木工程學系 碩士

<sup>4</sup>國立成功大學 土木工程學系 碩士班研究生

## 一、前言

交通部臺灣鐵路管理局為提升東部幹線的服務品質，近年陸續引進新穎之傾斜式電聯車。車輛新科技雖然滿足了在蜿蜒路線高速行駛的需求，但是否會因為車身的搖晃程度改變，而造成乘客主觀上的不舒適感，一直都有不同說法。究竟搭乘列車的舒適感是否有一定的標準？又要如何去測量列車行進間的不舒適感？本文就針對這樣的好奇，介紹與探討列車之舒適度指標。

## 二、何謂舒適度

一般提到舒適度，是以人體的感受為準，嚴格來說會因個人習慣或偏好等等主觀因素而有不同，是很難定義的概念。根據考量因素與用途不同，分為廣義及狹義的舒適度定義。廣義的舒適度概念是乘客對搭乘運具旅行的品質綜合反應指數，從噪音、氣壓變化、空氣品質、車廂振動、照明、空調及座椅舒適，到車廂外部的購票便利性及票價的合理性等等，都可納入舒適性的考量。而狹義的舒適度指標則是只評估列車行進產生的振動對乘客的影響。由於廣義的舒適度指標牽涉層面與項目過於廣泛，本文僅針對狹義的舒適度指標進行說明。

目前國際上最常見的軌道車輛舒適度評估規範包括國際標準化組織制定的 ISO 2631-1、國際鐵路聯盟制定的 UIC 513R、及德國鐵路試驗所制定的 Sperling 等，本文以介紹 UIC 513R 為主，進行舒適度之探討。

### 2.1 UIC 513R 簡介

1988 年 UIC(國際鐵路聯盟) 提出標準草案「鐵道車輛振動舒適度評定指南」，在 1994 年「Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles」正式以 UIC 513R 編號頒布實行<sup>[1]</sup>。

UIC 513R 的規範內容主要包括：

- (1) 評估乘客乘坐舒適性並規定試驗條件。
- (2) 規定進行量測的參數及確立評估因素的方法。
- (3) 訂定乘客舒適度評估等級。

這個規範的適用範圍為鐵路運輸環境，包括振動的量測、分析及評估。可以針對給定運行條件(車速、線型等)下之軌道車輛上，健康狀況良好的乘客舒適感進行評估。此規範並不適用於評估鐵路車輛工作環境，以及振動對人體健康的影響。

基於適用範圍為鐵路運輸的特性，規範具有下列幾項背景：

- (1) 鐵路車輛振動能量主要集中在 3Hz 頻率以下範圍。

- (2)人體振動加權主要介於 0.5Hz~5Hz 頻率範圍。
- (3)車廂及座椅測量振動之加速度，不納入側搖影響。
- (4)綜合車上乘客主觀感受與客觀振動量測，統計歸納獲致之評估方法。

評估方式分為兩種。簡化方式僅需要車廂地板上量測三個方向的振動加速度；完整方式則根據車廂地板的三方向加速度以及座椅上加速度，如圖 1 所示。

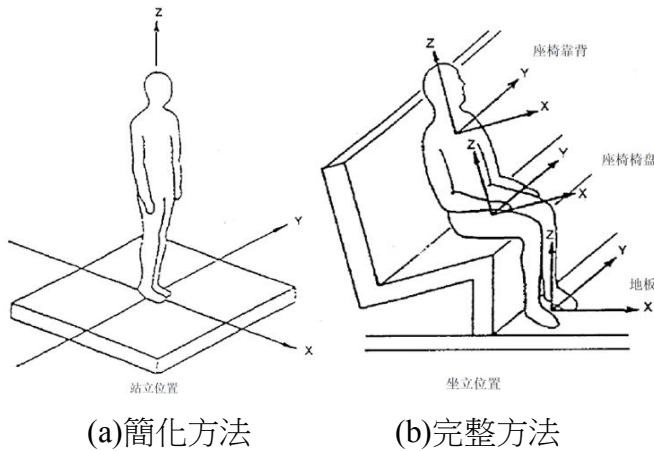


圖 1 UIC 513R 舒適度評估示意圖

因為車廂內不同位置的振動程度不同，UIC 513R 規定量測振動加速度的位置位於車廂前後轉向架正上方，及列車正中間位置等三處，如圖 2 所示：



圖 2 UIC 513R 測點示意圖

將這三個測點量測到的振動加速度，透過各方向人體感受度函數進行加權處理，再以五秒為單位計算振動加速度均方根，由小到大排序，取第 95 百分位加速度均方根值，代入公式計算乘坐舒適性指數，以五分鐘為

評估歷時。由於 UIC 513R 的舒適度指標是由 N 值所表示，如表 1 所示。

表 1 UIC 513R 舒適度指標

N 值換算振動量( $m/s^2$ )	$N$	舒適性指標
<0.16	$N < 1$	very good comfort
0.16~0.33	$1 \leq N < 2$	good comfort
0.33~0.66	$2 \leq N < 4$	moderate comfort
0.66~0.83	$4 \leq N < 5$	poor comfort
>0.83	$N \geq 5$	very poor comfort

### 三、舒適度評估流程

前節之量測與後處理過程，可以使用 LabVIEW 與 MATLAB 兩種程式來串連量測儀器與演算程序，在電腦中進行即時運算處理，其流程如圖 3 所示。透過 LabVIEW 程式接收數據匯入 MATLAB 進行加權運算後，再將結果傳回 LabVIEW 程式並以儀表板指針可以即時呈現列車運行中的即時舒適度<sup>[2]</sup>，如圖 4 所示。

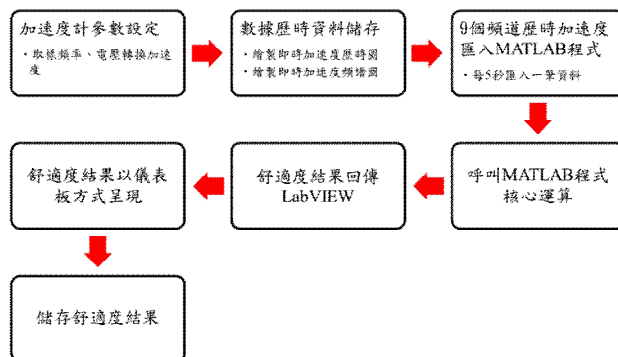


圖 3 舒適度評估處理流程

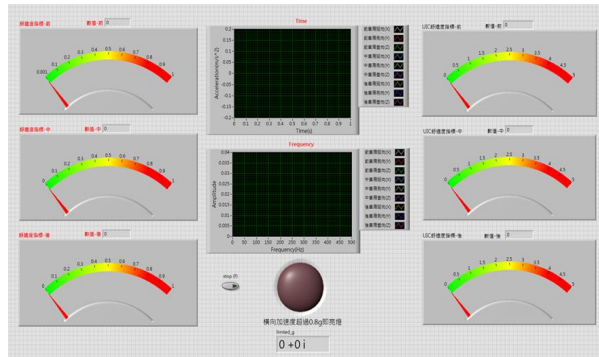


圖 4 舒適度即時顯示圖表

數據處理流程中，MATLAB 所進行的運算是先將接收到的加速度值以每五秒分段進行快速傅立葉轉換，在頻率域下依 UIC513R 規範之加權曲線進行加權，再反傅立葉轉換回時域振動歷時資料。根據規範取第 95 百分位均方根值代表振動加速度值，最後得出 UIC 舒適度指標(評估指數)，流程如圖 5 所示。

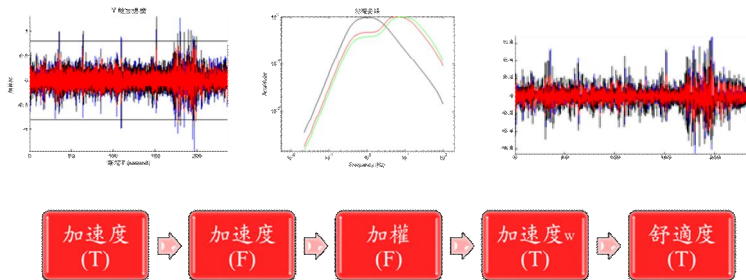


圖 5 振動加速度數據處理流程

## 四、實車量測結果

本團隊於 101 年實際將加速度計安裝於自強號列車，量測西部幹線新營與後壁兩站區間之車廂地面振動加速度值，依據 UIC513R 規範進行車廂舒適度評估的結果，如圖 6 及表 2 所示。量測評估結果顯示，本次量測之條件下(車輛設定、軌道、路面狀況、駕駛行為及行駛速度等)，車廂中央的舒適度比車廂前後位置的舒適度稍微差一點。但是整體而言，全程全車廂的舒適度都屬於 UIC513R 規範評定 moderate comfort 到 good comfort 的舒適等級，量測結果顯示傳統鐵路之乘坐品質為舒適性等級。



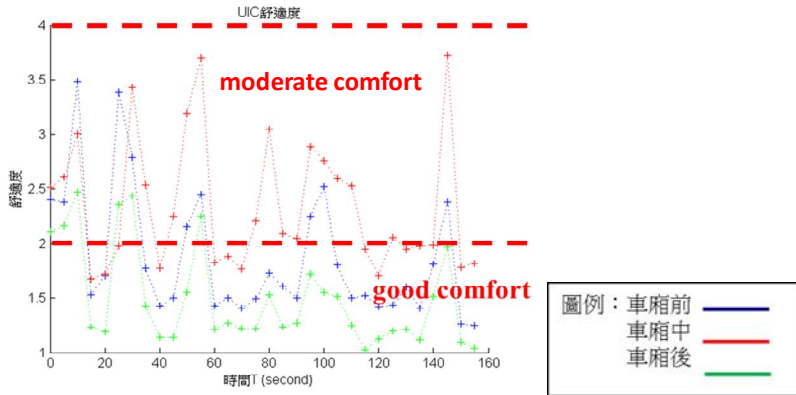


圖 6 新營-後壁車站間列車行駛舒適度指標(UIC 513R)歷時圖

表 2 UIC 513R 舒適度評比

UIC-513 指標對照表		
位置	舒適度值	指標換算感覺
車廂前	1.88	good comfort
車廂中	2.35	moderate comfort
車廂後	1.50	good comfort

## 五、結論

經由一開始所介紹的舒適度規範，讓大家對舒適度的定義有所了解，原來人體乘車的感受可以被量化來進行比較，藉由加權曲線將接收到加速度值根據人體敏感程度進行加權，使得到的數值更貼近人體實際的感受。而實際應用於列車量測可以比較各時段與各車種的舒適度，藉由量測所得到的實際數值來對列車進行調較，以提高旅客乘車的舒適度。如果能針對同一列車進行長期量測，當某次列車運行所得到之舒適度值異於之前的量測，則可以針對此次運行路線進行檢測，檢查軌道是否出現瑕疵。舒適度量測的應用範圍十分廣泛，目前主要是安裝儀器較為不便，若能夠簡化儀器安裝步驟，方便進行長期量測，不僅能夠量測舒適度，還可以讓列車進行軌道檢測，也能針對軌道瑕疵進行最即時的修復。

## 參考文獻

1. UIC 513R (1994): Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles.
2. 林駿璋(2013)，軌道車輛舒適度量測及應用於軌道檢查之初探。

# 軌道扣夾之功能要求與設計測試

## The Functional Requirements of Track Fastenings and Test Design

陳嘉昌 Chen, Jia-Chang<sup>1</sup>

楊子賡 Yang, Zi-Sheng<sup>2</sup>

王怡華 Wang, Yi-Hua<sup>3</sup>

黃彥賓 Huang, Yen-Pin<sup>4</sup>

林安祥 Lin, An-Xiang<sup>5</sup>

聯絡地址：81160 高雄市楠梓區高楠公路 1001 號

Address: No.1001, Gaonan Highway, Nanzi Dist., Kaohsiung City 81160, Taiwan  
(R.O.C.)

電話：(07)351-3121#2916

Tel：(07)351-3121#2916

電子信箱：siohwa@mail.mirdc.org.tw

E-mail：siohwa@mail.mirdc.org.tw

### 摘要

軌道運輸與整個社會生活行的部分息息相關，有如生命共同體。由於軌道交通建設投資規模大，工程複雜，因而會從建設、運營、設備採購等不同角度影響到多個產業。傳統鐵路的軌道係由鋼軌、扣件系統、枕木及道碴構成。其中扣件系統是軌道系統中之一個重要的次系統，由扣夾系統、彈性基鈹組件及錨定系統等三個子系統所組成，這三個子系統各有其特性，並由不同的元件組成，每一個元件有不同的物性與化性。扣夾系統主要功能將鋼軌適當固定於基鈹上，避免火車經過而出軌。目前許多軌道重要配件，大多仰賴國外進口，鐵路局擬提高鐵道系統性能與降低軌道工程等維修保養成本，積極開發國內軌道工業，而隨著捷運、高鐵等城市軌道交通系統，軌道扣件使用量將與日俱增。

**關鍵詞：**軌道交通、軌道扣件、城市運輸。

---

<sup>1</sup>財團法人金屬工業研究發展中心 檢測技術發展組 組長

<sup>2</sup>財團法人金屬工業研究發展中心 檢測技術發展組 副組長

<sup>3</sup>財團法人金屬工業研究發展中心 檢測技術發展組 副工程師

<sup>4</sup>財團法人金屬工業研究發展中心 檢測技術發展組 副工程師

<sup>5</sup>財團法人金屬工業研究發展中心 檢測技術發展組 副工程師

## Abstract

*Rail transport is closely connected to all aspects of life in society, like a community. As the investment required for construction of railroads is large, and construction is complex, it influences many industries from perspectives including construction, operations and purchasing equipment. Traditional railroads were constructed from iron rails, a fastening system, wooden planks and ballast. Of these, the fastening system is a key subsystem within a railway, made up of three parts: the fastening system, flexible base plates, and an anchor system. These three subsystems have their own characteristics, are made of different components, each with its own physical properties and resistance. The fastening system primarily serves to fix the rails to the base plates and prevent the train from derailing. Currently, most key rail components are imported from abroad. The Rail Bureau has proposed increasing the rail system's performance, reducing maintenance costs such as reducing track engineering, and actively developing the domestic railway industry. Following the development of MRT, high rail, and other urban transport systems, the amount of fastening components used is increasing by the day.*

**Keywords:** rail transport, fastening system, urban transportation.

## 一、前言

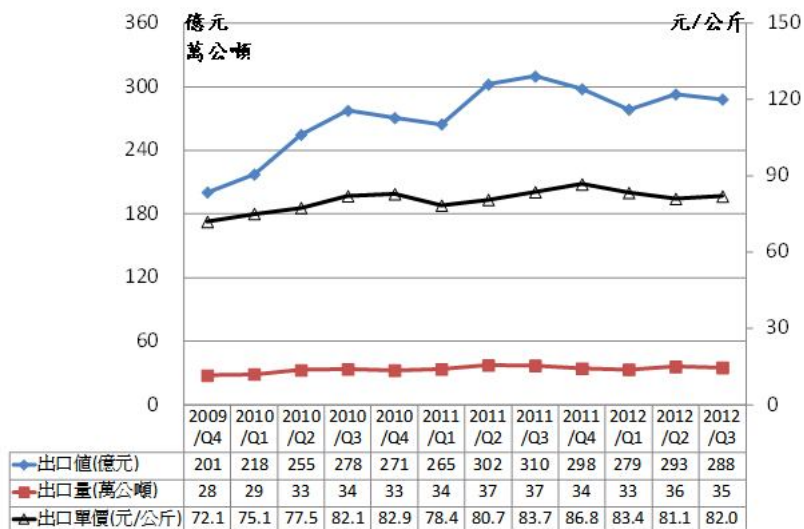
臺灣發展軌道自清朝開始，隨著高度經濟成長及商業活動頻繁，加上運輸新科技之引進，致整體運輸系統在服務架構及運具之使用上，均受到相當程度之衝擊而有大幅之改變。其中城市軌道運輸系統部分，目前的公共運輸政策主要以「軌道運輸為主、公路運輸為輔」為目標，城市軌道交通之所以受到各國的重視，是因為它的快捷、方便，即建立在高速、間隔時間短的基礎上，其決定軌道車輛不僅要保持一定的速度，更重要的是要保證一定的數量，這樣才能形成持續的運力背景。然而軌道交通除行駛之車輛外，構成系統運行之扣件更為重要一環，目前國內許多軌道扣件零配件數仰賴進口，臺灣鐵路管理局擬提高鐵道系統性能與降低軌道工程等維修保養成本，積極開發國內軌道工業，未來隨著鐵路地下化、捷運、環狀輕軌與高鐵維修等交通建設方向，軌道扣件的需求量勢必與日俱增。2012年運輸工具及零件製造業出口趨勢，如表1所示，及2009Q4~2012Q3我國扣件出口分析，如圖1所示，可知，軌道扣件為我國金屬製品重要產業之一。加上多年形成之產業聚落及專業細密分工，在產品品質與交期的全球競爭力，不亞於資訊產業與高科技產業。

在扣件產業中，軌道扣件隨著軌道工業的進化和高鐵、捷運、輕軌等現代化軌道及配合城市發展因應而走向高值化；軌道扣件(Fastening)其主要功能在於避免鋼軌因列車經過而脫落；通常軌道扣件相關配件如鋼肩、軌道墊片、絕

緣片等，組成軌道扣件組。我國一直致力於軌道工程之改進，其重點在於研發—「安全、耐久、低養護、高經濟效益、低環境污染」的軌道系統。

表 1 2012 年運輸工具及零件製造業出口趨勢

運輸工具及零件製造業出口趨勢					
年度	2008	2009	2010	2011	2012
金額（百萬元）	70,349	60,343	60,109	49,836	46,369
年成長率（%）	20.11 %	-14.22 %	-0.39 %	-0.1709	-6.96 %
佔全體比重（%）	0.92 %	0.95 %	0.73 %	0.58 %	0.55 %



資料來源：臺經院海關進出口資料庫/金屬中心 ITIS 計畫整理

圖 1 2009Q4~2012Q3 我國扣件出口分析

## 二、扣件系統種類

### 2.1 目前扣件系統區分以下種類

- (1) 混凝土枕（Concrete Cross Tie）扣件系統：鋼軌可直接座落在混凝土枕上，惟其間會使用一塊彈性係數較高的彈性材，稱為鋼軌墊片（Rail Pad），目的在提供絕緣需求。
- (2) 木枕（Wood Cross Tie）扣件系統：木枕質軟，鋼軌與木枕之間需使用金屬墊板（Baseplate），俾保護木枕並提供鋼軌較大承載面積。
- (3) 彈性基板或稱直接固定式扣件系統（Direct Fixation Fastener, DFF）：扣件系統除彈性扣夾（Spring Clip）外，無需軟的彈性材，扣件系統將視道床的減振功能而有不同的設計。

扣件的主要功能乃提供固定鋼軌所需的力量，此力量的形成是由裝設軌道扣件時的預拉力所產生。由於鋼軌受到火車經過時產生各種外力，如縱向力、垂直力、及橫向力等亦使其脫離原來軌道，因此需使用軌道扣件以抵抗鋼軌所受之橫向力與縱向力。所以軌道扣件的一個重要功能指標便是其產生扣夾力的大小，從力學的概念可知軌道扣件之尺寸、形狀與材質係決定其扣夾力之重要因素。

## 2.2 扣夾種類與特性

市面上常用軌道扣夾形式相當繁複，外形差異頗大，而軌道扣夾一般都與其他零組件搭配成獨立單元，直接固定鋼軌於整體扣件系統之上，提供鋼軌受三向力（垂直、縱向、側向）時，有足夠之扣壓力，得以阻擋鋼軌因三向力所造成三向變位不致過大。不同形式的扣件通常無法相互替換。

### 2.2.1 依使用不同區分

- (1) 道釘—大都使用於木枕之上，其型式有鉤頭道釘、螺紋道釘及彈性道釘。
- (2) 螺栓及楔形扣夾—以扣夾固定鋼軌於鋼軌座上，再以螺栓貫穿扣夾本體，固定於預埋件或錨定螺紋座內。
- (3) 彈性扣夾—先行將錨座與鋼肩預鑄於基鈹或軌道承托系統之內，再以彈性鋼棒扣夾嵌入錨座或鋼肩之上。

### 2.2.2 以功能區分

- (1) 固定方式。
- (2) 外觀。
- (3) 縱向阻力。
- (4) 彈性與否。

目前世界各國軌道所使用之扣夾，如表 2 所示。

表 2 各國大廠扣夾種類表

固定方式	外觀	扣夾名稱
螺栓式	鋼條	德國 Vossloh W 型扣夾
	鋼鈹	法國 Stedef Nabla 扣夾、RN 扣夾
		日本 102 型扣夾等
	鋼塊	德國 K 型扣夾
非螺栓式	鋼條	英國 Pandrol e 型扣夾、PR 型扣夾、FastClip
		荷蘭 DE 扣夾
		美國 Sidewinder 扣夾
		瑞士 Fist 扣夾
		瑞典 Hambo 扣夾
	鋼鈹	澳洲 Mc Kay Safelok 扣夾
		英國 Pandrol Safelok III 型扣夾
	澳洲 Rex-Lok 扣夾	

英國 Pandrol International Limited 公司 Pandrol 公司自 1937 年開始以生產各型軌道扣件系統聞名於世，遍佈全球。所發展的各型扣夾泛稱為 Pandrol 扣夾並以 PR 型扣夾、e 型扣夾、快速扣夾（FastClip）最為有名。Pandrol e 型扣夾，如圖 2 所示。除安裝方便且易於保養維修，故目前廣泛使用於臺鐵環島鐵路網各主要軌道路線。

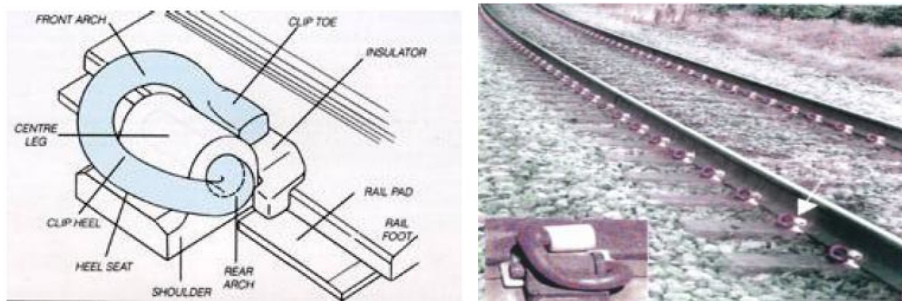


圖 2 Pandrol e 型扣夾

由於扣夾種類眾多，考慮軌道車輛行駛安全性、維修保養便利與制度、材料耐用性與疲勞度等因素，適當的載重安全設計和各項機能考量是設計的基本條件，若材料強度不足，需修正結構形式或重新選擇材料。依據規範鋼軌扣夾原材料為合金彈簧鋼，應符合於英國標準（BS970 PART2：1988 grade 251 A58）或 JIS G4801 SUP9 或其他相當標準，國內則參照 CNS 2905，該項扣夾應具良好之防銹性，並應作熱處理。每 50,000 個扣件為 1 組，於其中任選 20 個扣件作為樣品，其中 10 只切割研磨進行化學硬度測試。另 10 只先進行尺寸量測，之後以 2 只為 1 組共 5 組進扣

壓力測試，取 5 組中扣壓力最大的 1 組進行 300 萬次疲勞試驗後再進行此組扣壓力測試，計算試驗前後扣壓力鬆弛百分比。

### 2.2.3 實驗室測試項目

- (1) 尺度－允收依據提供之詳細尺度圖，或基於承商自行設計需求，如圖 3 所示。

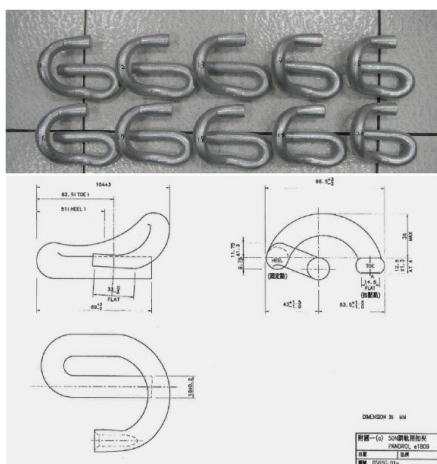


圖 3 e 型扣夾與詳細規格圖

- (2) 材料化學成份分析－依據規範 ASTM E415 或 CNS10006 測試方法，標準允收磷、硫含量不得超過 0.035 %。扣夾所使用之彈簧鋼需具備疲勞限高，耐衝擊且不易產生永久變形，通常使用為碳鋼、Si-Mn 鋼、Si-Cr 鋼。以規範 JIS G4801 規範中 SUP7 或 SUP9 之鋼種較為常用。一般鋼軌扣夾所含其材料成分規格，如表 3 所示。

表 3 鋼軌扣夾所含其材料成分規格表

(單位:%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Grade BS970-5805A60	0.55-0.65	0.10-0.35	0.70-1.00	-	-	0.40-0.60	0.40-0.70	0.15-0.25
Grade BS970-5925A60	0.55-0.65	1.70-2.10	0.70-1.00	-	-	0.20-0.40	0.20-0.30	-
JIS G4801SUP 9	0.50-0.60	0.15-0.35	0.65-0.95	<0.035	<0.035	0.65-0.95	-	-
JIS G4801SUP 9A	0.55-0.65	0.15-0.35	0.70-1.00	<0.035	<0.035	0.70-1.00	-	-

- (3) 硬度－依據規範 ASTM E18 或 CNS2114，洛氏硬度允收標準(HRC) 44 至 48。軌道扣夾硬度測試值，如表 4 所示。

表 4 軌道扣夾硬度值

(單位: HRC)

編號 \ 硬度	測 試 值				平均值	全距
	1	2	3	4		
鋼軌扣夾	1	2	3	4	44-48	—
NO.1	45.9	45.8	46.7	46.9	46.3	1.1
NO.2	45.6	46.0	46.0	46.8	46.1	1.2
NO.3	46.5	45.2	46.1	45.2	45.8	1.3
NO.4	46.2	45.8	46.5	47.1	46.4	1.3
NO.5	46.4	46.6	45.6	45.9	46.1	1.0
NO.6	45.3	45.1	46.4	45.9	45.7	1.3
NO.7	46.7	46.2	46.1	45.7	46.2	1.0
NO.8	46.1	46.2	46.5	45.5	46.1	1.0
NO.9	46.4	45.3	45.7	45.8	45.8	1.1
NO.10	45.8	46.4	46.7	46.5	46.4	0.9

註：全距=該編號測試之最大值減去最小值

- (4) 扣壓力—鋼軌用軌枕扣件規範，扣壓力在位移 12.7 mm時須達 750 kgf 以上，量測每組扣壓力值，每組扣壓力測試三次，求其平均值，軌道扣夾扣壓力測試圖，如圖 4 所示。



圖 4 軌道扣夾扣壓力測試圖

- (5) 疲勞測試—每組樣品中，選取扣壓力測試時，其扣壓力值最大者，供作疲勞測試，以 0.8 mm(相對載重 200 kgf)全振幅，均值位移 12.3 mm進行 3 百萬次疲勞測試後，再次測試扣壓力，疲勞前後其扣夾鬆弛率不得超過原扣壓力 5 % 。扣夾動態疲勞測試圖，如圖 5 所示。



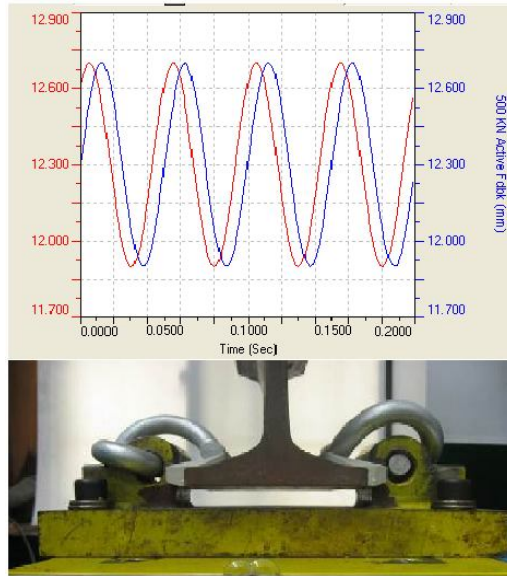


圖 5 軌道扣夾疲勞測試圖

扣夾為軌道扣件中承受外力最大之一零組件，當火車經過鋼軌時產生巨大作用力，鋼軌藉由軌道扣件將其完全穩固，避免火車出軌，故扣夾力為最重要功能參考指標，國外 Pandrole e 型與 PR 型扣夾特性曲線圖，如圖 6 所示。目前軌道車輛發展提高性能，其速度為一指標，提高行車速度，自然會增加車輛與鋼軌的衝擊力，所以提升扣夾力也成為一研發題材。因軌道扣件在行車安全影響甚大，舊式扣件面臨國內定期保養與一大汰換，現今新型軌道扣件均朝向高安全、易安裝保養維修趨式發展。

CLIP SERIES	BAR DIAMETER MM	APPROX. CLIP WEIGHTS Kg	TOE LOAD KGF
'e' 1200	12	0.18	200-400
'e' 1400	14	0.30	400-600
'e' 1600	16	0.44	500-700
'e' 1800	18	0.59	800-1000
'e' 2000	20	0.76	1100-1400
PR 80	12.7	0.25	250-350
PR 100	15.9	0.50	350-450
PR 200	17.5	0.69	450-550
PR 300	19.0	0.84	550-650
PR 400	20.0	1.00	650-750
PR 600	22.2	1.23	800-1000

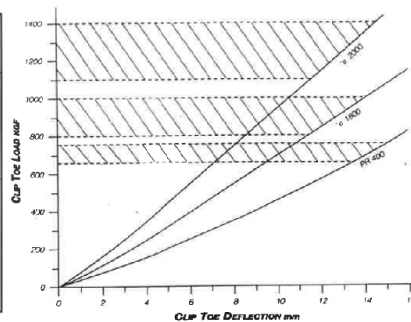


圖 6 扣夾特性曲線圖

### 三、結語

軌道車輛產業是高度技術密集且資本密集的產業，該產業投資額大、回收期長，不僅附加價值高，並可帶動龐大的關聯產業與改良交通運輸系統，對整合區域經濟結構具深遠影響。以三鐵共構，高鐵、傳統鐵路、捷運及正在推動

的輕軌電車，臺灣將形成一完整之軌道運輸網，這是一場運輸工具革命，也是追趕先進國家腳步的正確方向，更可以改善運輸效益而提昇經濟發展及國家競爭力。

隨著高鐵及各縣市捷運或輕軌計畫的陸續推展，國內的軌道車輛相關之機電、材料等設備採購及維修零組件與扣件需求極大，是發展我國產業良好機會。政府政策已明訂未來大眾運輸以發展軌道交通系統為主，在新購、更新及維修方面提供龐大的市場機會，若能有效掌握，將有利於重新加速發展軌道車輛工業。

## 參考文獻

1. 李信賢(2001,3)，軌道車輛技術專題 軌道扣件的功能要求與設計。
2. 黃民仁(1997,8)，軌道車輛技術專題 軌道工業是值得開發的處女地。
3. 臺灣經濟研究院產經資料庫(2012,11)，未分類其他運輸工具及零件製造業之現況與展望(代碼：19936)。
4. 交通部臺灣鐵路管理局(2012,1)，臺灣鐵路材料規範(工務材料) TRAS(E) 50 公斤用鋼軌扣夾規範。

# 從機電工程性能式驗收談地下車站節能與安全

## An Examination and Discussion of Subway Station Energy-efficiency and Safety from the Perspective of Mechatronics Engineering Functional Acceptance Testing

蘇水波 Su, Shui-po<sup>1</sup>

聯絡地址：22041 新北市板橋區縣民大道二段 7 號 22 樓  
Address：22F., No.7, Sec. 2, Sianmin Blvd., Banciao Dist., New Taipei City 22041, Taiwan

電話：(02) 89691900-2280  
Tel：+886-2-89691900ext 2280

電子信箱：msb\_su@rrb.gov.tw  
E-Mail：msb\_su@rrb.gov.tw

### 摘要

本文所謂「性能式驗收」，係指都會區地下車站機電工程驗收，以營運階段所面臨問題而進行抽驗測試，是否符合營運需求。測試結果「監控工作站、圖控、報表、資料庫及現場設備量測值與相關表報同步比對、查驗性能或功能是否正常」，範圍涵蓋車站內各機電系統整合完整度，其對地下車站安全營運及節能關係密切。茲就辦理剛完工地下車站及隧道機電工程「性能式驗收」抽驗代表性項目進行分析，供營運階段參考，以期降低營運風險及生命週期成本。

**關鍵字：**性能式驗收、地下車站、營運風險、生命週期成本。

### Abstract

*The "functional acceptance testing" in this paper refers to mechatronics acceptance testing in urban subway stations, and whether carrying out sample testing of all operating problems accords with operating requirements. Test results "monitoring workstations, graphic control, report forms, databases, and comparison with values taken from on-site equipment and relevant reports, testing functionality and whether operation is normal." Its scope covers all mechatronic systems in a subway station in their entirety, and their relation to safe operations and energy-efficiency. As a result, carrying out analysis of representative*

---

<sup>1</sup>交通部鐵路改建工程局 簡派工程師

*"functional acceptance testing" of recently-completed subway station and subway tunnel mechatronic engineering projects is provided for reference for all phases of operation, in the hope that this will reduce operational risk and cost over the project's lifetime.*

**Keywords:** *functional acceptance testing, subway station, operational risk.*

## 一、前言

氣候變遷導致地球溫室效應的擴散，人類大力推動減少能源的損耗與降低溫室氣體排放量，而所謂減少能源的損耗，並非強制減少使用能源，因而降低品質。正確的節約能源觀念應該是有效率的使用能源，也就是「能省則省、該用則用」。因此，車站除考量部分採再生能源運用外，既有設施以最佳效率運轉為最有效節能措施，而第一期臺北車站地下化工程設計相當先進，民國 78 年啟用營運之臺北車站已設置中央監控系統，率先採用智慧建築概念，導入節能與安全管理，足見前人遠見之智慧。而地下車站完工設施，最重要應持續維持系統功能正常、配合營運修正最佳效率運轉、管理策略及落實維保工作，為最快速而有效達成節能目的，可大幅降低每年單位樓地板面積耗電量(Energy Use Intensity; EUI)。

另都會區地下車站因環境特殊，在救災上較困難。其主要係空間屬半密閉特性，進氣及排煙不易、人員避難逃生路徑長，加上聯絡困難導致救援不易等等不利條件，第一時間防災應變顯得特別重要。設計階段除已採用國際先進標準如 NFPA 相關標準或交通部頒佈之「鐵路隧道及地下車站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，而竣工階段進行整體功能測試，驗收階段「性能式驗收」抽驗，可再次確認完工階段符合系統功能需求。因此，無論從節能或安全角度，對整體生命週期而言，剛完工營運車站「性能式驗收」、營運階段落實維保檢測，係一項重要課題，尤其近 10 年來國內外建築物所處環境變化與衝擊特別大，無論節能或防災安全特別受到重視與嚴苛考驗，系統整合功能顯得特別重要。

從最近 101 年 5 月 7 日，國道 5 號雪山隧道南下 26K 處，發生重大車禍事故並起火燃燒，現場計有 2 人死亡(自小客車乘客)、34 人受傷之重大事故案，事後安全設施調查重點包括相關防災設備功能是否正常動作、監控站相關動態報表紀錄資料及確認設備功能是否正常動作等等；其調查重點與本報告所謂「性能式驗收」查驗重點相同，而最大差異「性能式驗收」屬完工驗收階段，而非屬營運階段。

一般而言，地下車站防災設備係供營運單位使用，第一時間將災害損失控制降至最低，並非僅專供消防單位使用，地下車站設置監控站或防災中心，主要在事故發生時可即時反應車站現況，整合現場各系統自動回報之相關資訊，

以供現場指揮官立即得到正確且充分資訊進行決策，營運單位可加速且正確進行緊急處理，以降低營運風險，若監控站資訊錯誤或現場設備未動作回報，易形成防災漏洞並增加整體營運風險。國內大力推動綠建築及智慧建築但其執行面較偏重於設計階段及現場勘查，「性能式驗收」其最主要重點為再次確認完工階段各系統功能正常，俾利後續維保銜接，以確保安全設施及性能維持正常符合營運需求；預防事故發生或事故發生時減緩事故影響，以降低營運風險與成本。而車站一般機電工程，節能與安全設施相當多，最近各專案工程發包施工方式，大部分以機電併土建標發包為主，可減少工程施工介面，竣工階段執行各系統整合測試，驗收階段進行「性能式驗收」抽驗再次確認系統性能，因同一承商整體施工，各系統間，較無介面整合問題，執行「性能式驗收」成效最佳且較無介面爭議，而剛開始進行性能式驗收過程，與一般僅單一工程發包進行設備或系統現場查驗不同，抽驗項目主要係以接管使用單位營運中會面臨之問題進行測試，例如地下車站發生火災、停電、列車火災及營運耗電量等等問題進行抽測確認各系統功能及整合度是否正常，而測試所需人力較多及相關儀器需配合準備，無論承包商或監造單位，應事先協調準備，茲就民國 98 年～101 年驗收抽驗過程相關代表性系統測試項目如下：

(1) 地下車站或隧道安全營運相關測試：

- A. 隧道中央監控系統緊急運轉模式。
- B. 車站火警連動。
- C. 車站自動灑水系統連動。
- D. 緊急發電機加卸載測試。

(2) 地下車站節能減碳(耗電量) 相關測試：

- A. 空調系統主機性能整合測試及主機台數控制測試。
- B. 儲冰系統性能測試。
- C. 空調系統節能系統測試。

## 二、地下車站及隧道安全營運相關測試

蒐集民國 98～101 年最近 4 年間，某營運中鐵路地下車站及隧道區域火警事件分析顯示，事故主要以電氣類火警居多，如表 1 所示。

表 1 民國 98~101 年某鐵路地下車站及隧道火警一覽表

發生時間	火警原因	通報方式
98.02	電氣故障	隧道火警警報
99.02	垃圾燃燒	司機員通報
99.12	施工燒焊	車站火警警報
100.06	電氣故障	隧道火警警報
101.02	電氣故障	隧道火警警報

任何災害事故以預防事故發生為首要，當不幸發生火災時，地下車站火警系統應可自動偵測警報及相關設備連動動作，火警連動動作正常，人員提早安全疏散可降低事故造成之傷害，人員即時處理可減緩事故影響。援此，茲就新設隧道及車站，相關重要系統進行「性能式驗收」抽驗，抽測代表性項目；如隧道通風緊急運轉模式、車站火警連動、車站自動灑水系統連動及緊急發電機加卸載等代表性測試說明如下：

## 2.1 隧道中央監控系統緊急運轉模式

隧道通風系統其功能，主要提供隧道內安全營運及健康環境，平時可維持隧道內適當空氣品質，當列車不幸於隧道內發生火災時，透過操作啟動隧道通風緊急運轉模式，機械通風產生一定速度的氣流，以抵擋煙塵擴散，維持人員可維生逃生路徑，以確保旅客安全，隧道火災緊急運轉模式與人員避難逃生示意圖，如圖 1 所示。

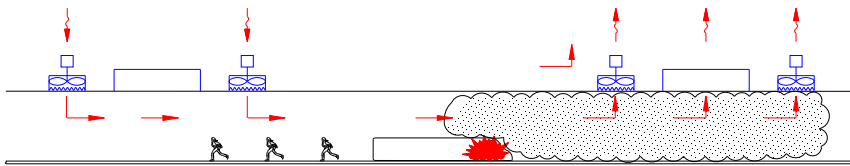


圖 1 隧道火災緊急運轉模式與人員避難示意圖

### 2.1.1 測試要求及結果

本項測試主要模擬隧道發生火災時，透過隧道中央監控系統管理人員啟動隧道通風緊急運轉模式，確認中央監控系統及通風設備是否依照設定模式並依照 NFPA130 規定 180 秒內全部完成運轉，且正常於監控站顯示狀態，查驗重點包含設備現場狀態、監控站顯示及報表資料是否相符，查驗流程，如圖 2 所示，代表性測試資料，如圖 3~圖 6 所示。

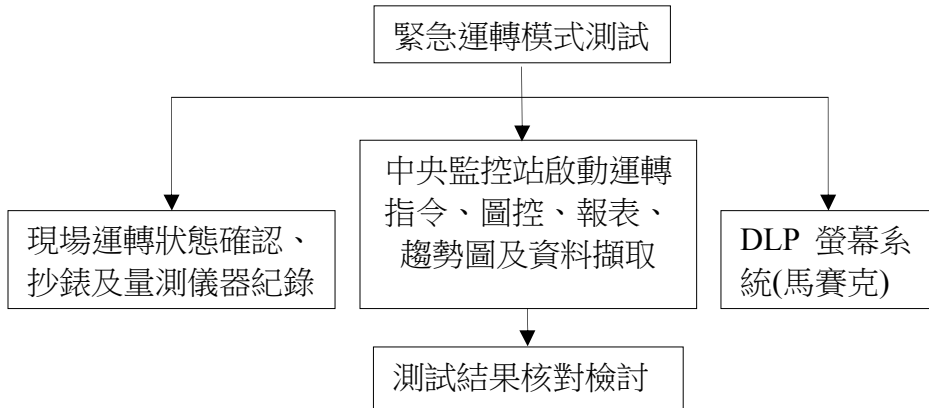


圖 2 緊急運轉模式查驗流程

### 2.1.2 常見問題

中央監控站顯示與現場不符，如現場風機故障監控站未顯示異常、運轉電壓電流異常、偵測器數值顯示異常及圖控與現場不符等等。



圖 3 緊急運轉模式—圖控

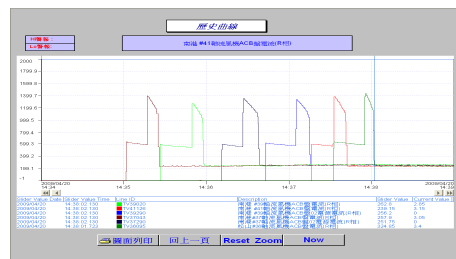


圖 4 緊急運轉模式—電流趨勢圖

2010/02/25 12:12:52 TV36603	南港 #36 軸流風機緊急模式 反轉(送風)
2010/02/25 12:12:54 TV31042	南港#31 TVF PANEL: 反轉(送風)狀態
2010/02/25 12:12:56 TV36056	南港#36 軸流風機 反轉(送風)狀態
2010/02/25 12:13:01 TV30007	南港車站 HIB-C11P22 緊急運轉
2010/02/25 12:13:09 TV33052	南港#33 圓流風機MCD-33S2 關閉
2010/02/25 12:13:12 TV33503	南港 #33 軸流風機緊急模式 反轉(送風)
2010/02/25 12:13:12 TV33503	南港 #33 軸流風機緊急模式 反轉(送風)
2010/02/25 12:13:13 TV33053	南港#33 圓流風機MCD-33S3 閉告
2010/02/25 12:13:13 TV37401	南港 #37 軸流風機-C1 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:13 TV37401	南港 #37 軸流風機-C1 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:15 TV33503	南港 #33 軸流風機緊急模式 反轉(送風)
2010/02/25 12:13:16 TV37401	南港 #37 軸流風機-C1 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:05 TV33043	南港#37 軸流風機 TVF PANEL: 反轉(送風)狀態
2010/02/25 12:13:26 TV37046	南港#37 TVF PANEL-01 正轉(排風)狀態
2010/02/25 12:13:33 TV34661	南港 #34 軸流風機緊急模式 正轉(送風)
2010/02/25 12:13:33 TV39401	南港 #39 軸流風機-C1 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:36 TV34661	南港 #34 軸流風機緊急模式 正轉(送風)
2010/02/25 12:13:37 TV39401	南港 #39 軸流風機-C1 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:38 TV34061	南港 #34 軸流風機 TVF 正轉(送風)狀態
2010/02/25 12:13:42 TV39017	南港 #39 軸流風機-C1 正轉(排風)狀態
2010/02/25 12:13:54 TV37404	南港 #37 軸流風機-C2 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:55 TV37404	南港 #37 軸流風機-C2 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:55 TV37404	南港 #37 軸流風機-C2 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:13:58 TV37404	南港 #37 軸流風機-C2 緊急模式 正轉(排風)
2010/02/25 12:14:01 TV37054	南港#37 TVF PANEL-02 正轉(排風)狀態

圖 5 風機啟停報表(參考用)



圖 6 緊急運轉模式—操作盤

## 2.2 地下車站火警連動

當地下車站若不幸發生火災時，火災初期透過火警系統自動進行偵測，當偵煙器偵測到火警警報動作後，防災中心應可同步接收相關訊息，其消防安全設備依火警連動流程正常動作，以保護旅客避難逃生安全；相關連動設施系統功能及報表動態資料是否正常為本項查驗重點，地下車站火警連動示意圖，如圖 7 所示，而現代化智慧型(R 型)火警受信總機，整體

功能測試完成後，盡可能保存完整程式檔備份，若有修改應配合更新，避免火警系統故障重新更換設備後，其程式需重新撰寫及現場火警連動測試需重作，不僅費時、費人力且又易影響正常營運。

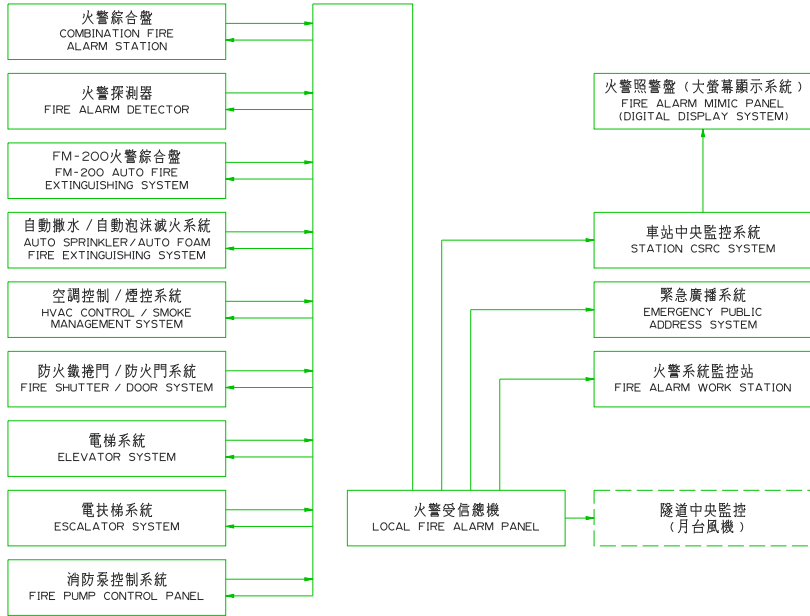


圖 7 地下車站火警連動示意圖

## 2.2.1 測試要求及結果

以某地下車站部分驗收進行火警連動測試為例，當假設月台發生火災時，啟動偵煙器動作後產生警報，確認火警系統是否連動現場相關設備，如緊急廣播、鐵捲門、電梯/電扶梯、空調設備、排煙設備及警鈴等等設施其動作是否正常，另現場狀態、監控站顯示資料、圖控及自動紀錄是否相符等，如圖 8~圖 11 所示。

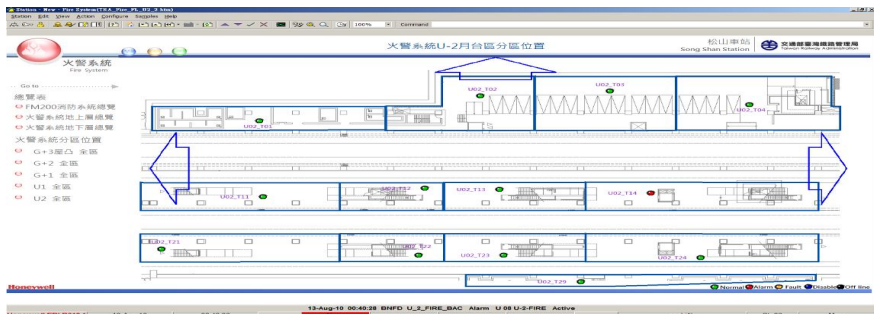


圖 8 U-2 月台發生火災警報—火警系統圖控





使消防水源不中斷，防災中心可同步接受相關訊息及連動設備狀態，而相關功能是否正常為查驗重點。

### 2.3.1 測試要求及結果

先進國家的火警統計資料顯示，自動灑水設備能有效地控制或撲滅 85 %~99.8 %火災事件。因此，消防單位與保險業界對其減少人員傷亡及火災嚴重性的功能，均大為認同。本項功能主要測試火災發生時，假設火警連動設備已動作，人員已開始避難或完成避難，火勢如持續擴大上方空間溫度升高，車站自動灑水設備於一定溫度下應可自動動作灑水滅火，將火勢控制俾使災難造成之損失降低，而自動灑水動作連動設備是否正常，防災中心是否同步收到相關資訊等等均為查驗重點，如圖 12~圖 13 所示。

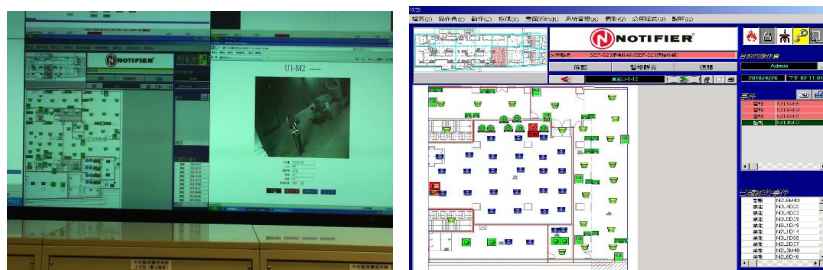


圖 12 DLP 系統與現場同步顯示 圖 13 自動灑水系統連動—圖控

註：DLP (Digital Light Processing)

### 2.3.2 常見問題

火或煙流造成上方空間溫度上升而灑水頭未動作、無法灑水滅火(如管路阻塞、施工不良膠著)、連動設備異常、消防泵未加壓運轉、防災中心未收到相關資訊或圖控與現場不符等等。

## 2.4 緊急發電機加卸載測試

緊急發電機主要提供市(臺)電停電或火災等緊急狀況下，提供重要設備電力，以提供維持車站基本維生及消防安全設備所需電力為主，包含如緊急照明、排煙設備、鐵捲門及消防安全設施等等，緊急發電機相關設備動作流程參考示意圖，如圖 14~圖 15 所示。

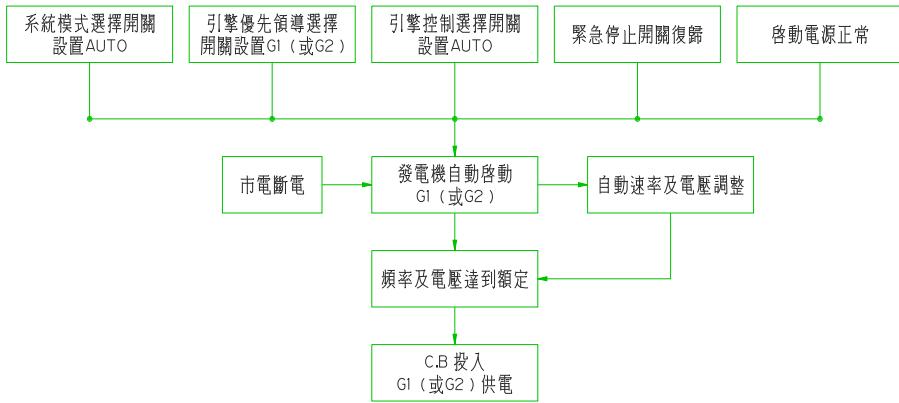


圖 14 市電斷電發電機自動啟動及投入示意圖

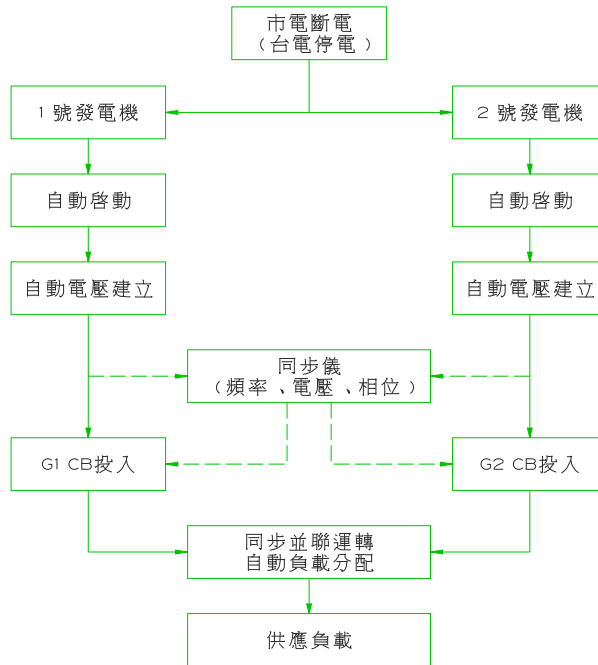


圖 15 並聯供電示意圖

### 2.4.1 測試要求及結果

本項主要測試緊急發電機，是否依設定流程提供穩定可靠緊急迴路所需電力，防災中心監控站是否同步接受相關訊息，確認功能正常以維護車站基本安全營運所需電力，如圖 16 及圖 17 所示。

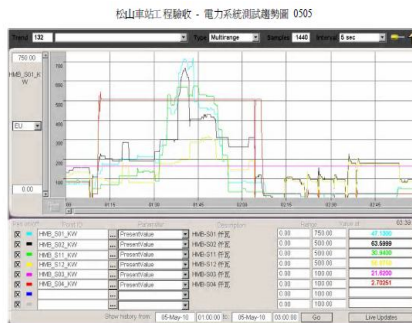
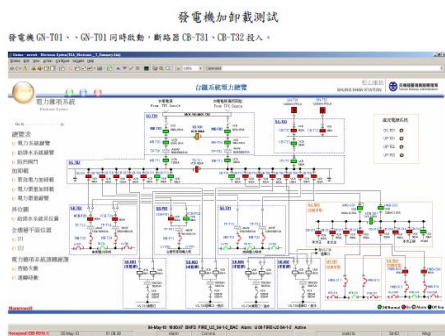


圖 16 緊急發電機加卸載—圖控 圖 17 緊急發電機加卸載—趨勢圖

## 2.4.2 常見問題

市電斷電後緊急發電機未啟動供電、無法並聯、機房散熱不良造成發電機過熱跳脫、加卸載異常或開關動作異常、防災中心未收到相關資訊或圖控與現場不符等等，上列若造成緊急狀況下無法有效提供緊急設備所需電力，如初期地下車站緊急避難時未適時提供相關設備動力，易造成旅客恐慌，排煙設備未動作時，逃生路徑恐無法維持可維生環境。

## 三、地下車站節能相關測試

國內傳統鐵路都會區地下車站及隧道，目前尚有柴油車行駛排放污染物，車站月台層空調系統常用全外氣設計，並考量避免擴散至其他樓層採負壓設計，冷氣因受污染未再回收使用，當戶外溫度較高時，將加重空調負荷，耗電量相對增加。以某專案新設地下車站為例，車站全年建築與外氣動態耗能模擬解析模擬其總耗電，使用 eQUEST (the Quick Energy Simulation Tool) 軟體模擬及耗能分析，其中空調用電約佔總耗電量之 60~70%，而空調負荷分佈，最高比例的項目為外氣，而以該專案大型地下車站為例，部分啟用時月台已大部分啟用，其他區域僅少部分開放，相對月台面積所佔啟用面積比例較高，因此，外氣所佔空調負荷比例高達 79%，全部工程完工啟用，外氣所佔空調負荷比例下降至約 58%，地下車站耗電量概算，如圖 18~圖 20 所示，(註：地面或高架車站條件不同，耗電量概算百分比與地下車站不同)。因此，地下車站相關耗能以空調工程佔最大比例，因而「性能式驗收」抽驗節能項目以空調工程為主，主要項目包含空調系統主機性能整合測試及主機台數控制測試、儲冰系統性能測試、空調系統節能系統測試等代表性項目，說明如下：

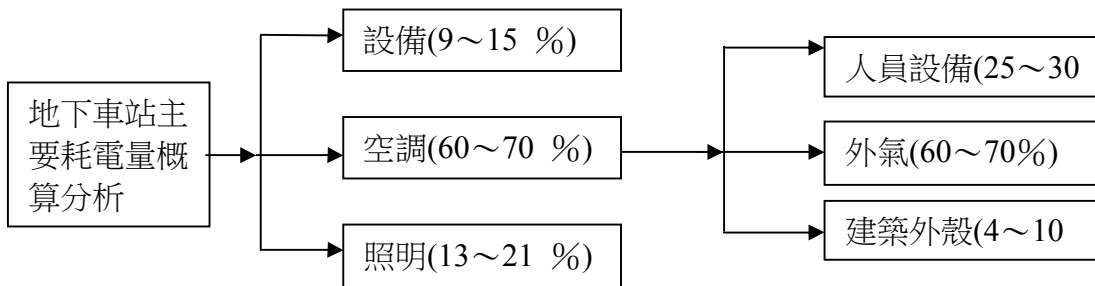


圖 18 地下車站耗電量概算百分比

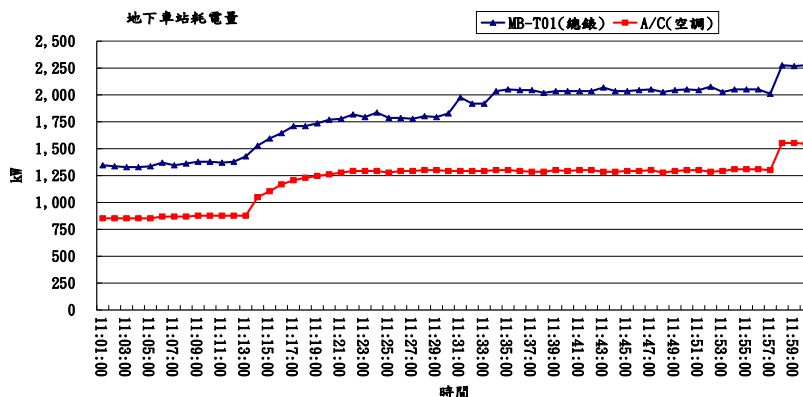


圖 19 某地下車站一期工程驗收測試空調與總耗電量趨勢圖

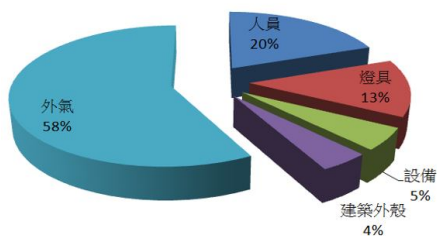


圖 20 某地下車站完工啟用尖峰空調負荷分佈圖

### 3.1 空調系統主機性能整合測試及主機台數控制測試

一般大型地下車站空調系統包含電力、控制、設備、管路及監控設施等等組成一套完整系統，而工程完工後，使用單位接管進駐，監控室人員螢幕所看到資訊，係收集現場感測器或設備(如溫度、溼度、流量、閥門開度、壓差、電壓及電流等等)資料再傳送資訊至監控站，因而現場感測器準確度相當重要，若誤差過大、失效或未校正，雖然系統看起來正常運轉，但監控站顯示資訊無法展現現場實際狀況或狀態，對機電系統功能而言，如其設備動作狀態、耗電量統計及設備加載與卸載控制等等，若與實際需

求不符或差距過大時，監控系統報表、統計資料意義已不大。因此，機電系統功能判定好壞無法以目測進行，而常需藉由儀器進行量測分析與比對(如電壓、電流、功率因素、溫度、流量等)，特別大型主機耗電量大，往往僅靠溫度、流量或壓差感測器控制加卸載及台數控制，感測器若未調校、不穩定或誤差過大，直接造成主機故障、開啟台數異常或未最佳化運轉，耗電量增加在所難免。因此，本項測試以主機性能整合測試及主機台數控制為主，而透過監控室(防災中心)DLP (Digital Light Processing)系統可將相關資訊同步進行投影顯示，俾使管理人員同步取得相當訊息，輕易了解整體狀況。

### 3.1.1 測試要求及結果

測試前事先應完成TAB (Testing, Adjusting and Balancing)、相關感測器調校及檢測工作為基本條件，系統調整完成後，進行主機性能整合測試及主機台數控制測試，現場量測及設備動作確認，現場量測如主機系統功能(例如溫度、流量等)及耗電量量測(例如電壓、電流、功率因素等)，並與監控站之圖控、趨勢圖、資料庫及報表進行比對資料是否正確，如圖21～圖23所示。

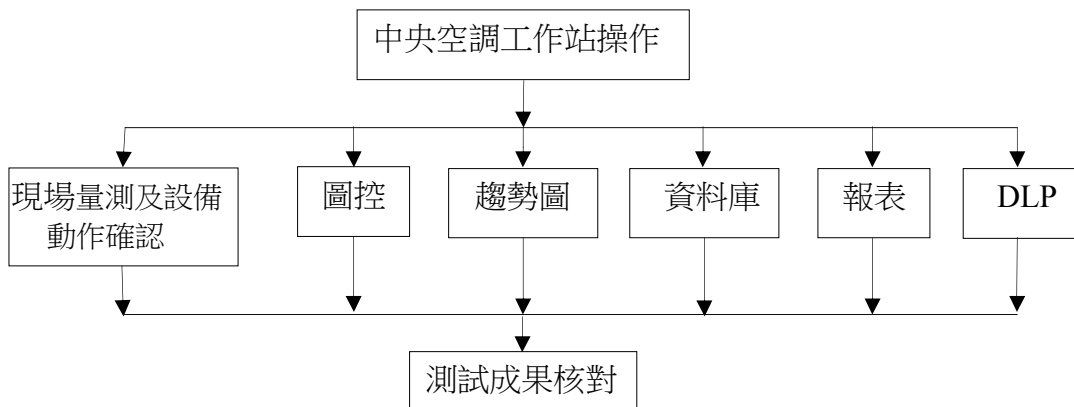


圖21中央空調系統性能測試查驗流程

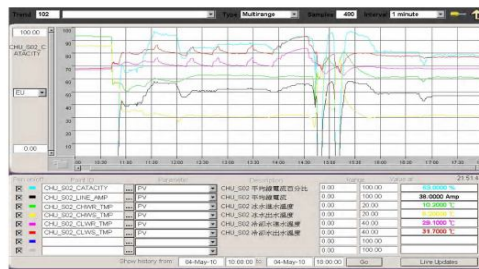
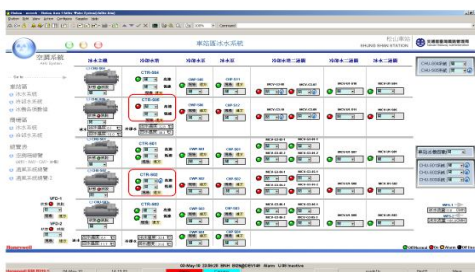


圖22中央空調系統性能測試—圖控 圖23 中央空調系統性能測試—趨勢圖

### 3.1.2 常見問題

主機性能不佳(TAB未落實、耗電量超過或冷凍噸不足)、溫度、流量異常、自動控制失效耗電量異常、設備故障或動作異常、感測器故障、不穩定或未校正、防災中心未收到相關資訊或圖控與現場不符等等。

註：當測試期間若為秋冬季時，當戶外溫度較低，室內空調負荷如不足時，正常設定溫度無法使主機正常連續運轉，可考慮引進月臺層空氣或外氣，並將室內空調設定溫度調低，進行測試。

### 3.2 儲冰系統性能測試

儲冰系統主要是利用離峰電力時間或非空調使用時間，運轉儲冷主機(滷水機)，將冷能以顯熱或潛熱方式儲存，利於尖峰電力時間將儲冷釋出，以達到轉移尖峰電力、節省電費及降低電力契約容量、設備容量之目的。目前臺鐵車站所使用之儲冰系統屬全凍結式，其原理係利用滷水流經浸泡於儲冰桶內的 PE 管，將封閉在儲冰桶內的水凍結成冰，由於 PE 管的分佈密度很大，滷水約 25 % 乙烯乙二醇和 75 % 水組成的溶液，作為傳遞冷能的媒介，由滷水機降溫至  $-5.5^{\circ}\text{C}$  後送至桶冰槽內，吸收水的熱量後溫度升高約為  $-2^{\circ}\text{C}$ ，儲冰末期熱傳量降低，主機出水溫度便逐漸下降，溫度達到約  $-6^{\circ}\text{C}$  時便可停止主機之運轉。溶冰時由熱交換器回流的溫滷水流經儲冰桶內的 PE 管，使附著於內壁上的冰逐漸融化，由冰層的內部開始溶化故亦稱為內溶冰，如圖 24~圖 25 所示。

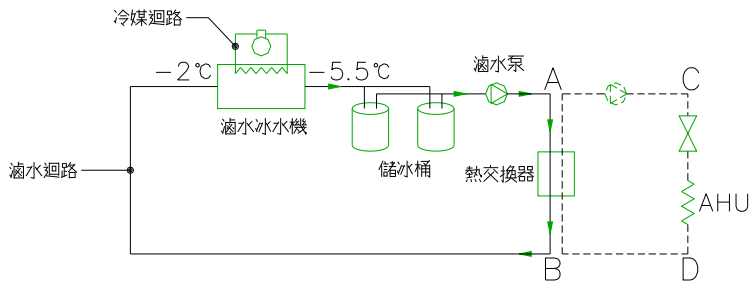


圖 24 儲冰示意圖

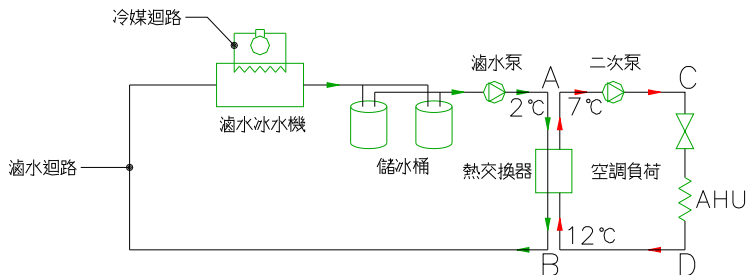


圖 25 溶冰示意圖

### 3.2.1 測試要求及結果

儲冰及溶冰性能為儲冰系統重要測試項目，主要量測項目包含耗電量與製冷能力。後續維保主要抽驗測試項目包含耗電量、製冷與釋冷能力，同時查驗監控系統及整合測驗功能。查驗目的主要供營運單位管理監控站，監控系統所產生資訊與現場現況相符，俾利達到實際控制節能管理目標。

### 3.2.2 常見問題

耗電量過大、製冷或釋冷能力不足、溫度、流量異常、感測器故障或未校正、防災中心(監控室)未收到相關資訊或圖控與現場不符等等。儲冰系統若系統功能不良，形成高耗能低效率系統，有違轉移尖峰電力、節省電費及降低電力契約容量、設備及減少容量之設置目的。

### 3.3 空調節能系統測試

空調系統主機整合測試及主機台數控制，為空調工程系統節能測試重要工作之一，其測試主要目的，係確保系統安裝測試後符合原設計功能，並於額定製冷能力維持一定耗電量以下，不致於形成高耗能低效率系統。而地下車站空調最大耗能項目屬外氣，其最佳化控制可達節能效果，但仍需考慮室內空氣品質；而二次變頻系統是指空調用二次側冰水流量，可因應空調負載變化而改變流量，常以控制閥開度變化改變冰水流量，實際達到變流量節能之目的，如室內溫度已降低控制閥開度變小，冰水流量需求減少降低泵浦的所需轉速並可降低揚程及流量，更可大量的降低耗電量，依照風扇定律，流量與耗電量成3次方正比的關係，當流量下降至80 %時耗電量理論上可下降至約51 %，因此，一台滿載水泵若改開啟兩台非滿載水泵透過監控管理，將可大量節省電力消耗，其節能的效益是非常可觀的，且變頻器直接驅動控制泵浦的馬達，可以很精確平順地控制馬達轉速，減少能量損失。因此，地下車站空調涉及節能系統相當多，外氣最佳化控制及二次變頻系統常被設計使用，屬節能系統測試重要項目，後續維保應加強抽測。

#### 3.3.1 測試要求及結果

夏季外氣與室內空氣之熱值(焓值)差異很大，例如外氣在 33.3 °C 75 % RH(相對濕度) 時，其焓值約為 90.6 kJ/kg，室內空氣在 26 °C 50 % RH 時，其焓值約為 41.8 kJ/kg。尤其是夏季之尖峰，室內外空氣的焓值之差異更大，引入大量外氣會造成很大的負載；而春、秋季戶外溫度較室內溫度低，若戶外焓值較室內低，可利用外氣進行冷卻，達建築節能功能，而冬天時溫度低至某一程度，僅提供最低外氣量即可，避免溫度過低造成人



員不舒適。但臺灣地區之濕度高，不能如國外部分國家僅使用溫度作為外氣冷房之切換，國內北部地區需同時考慮溫濕度變化，故常以焓值進行控制。而二次變頻系統主要隨負載變化，將適時降低泵浦的轉速調整揚程及流量，可大量的降低耗電量，如圖 26~圖 27 所示。

註：焓-簡單解釋為物理學上指單位質量的物質所含的全部熱能。



圖 26 二次變頻壓差設定 圖 27 二次變頻變頻器頻率顯示

### 3.3.2 常見問題

外氣最佳化控制未設定最低外氣量、無法隨室內空氣品質或程式計算進行外氣調整、火警系統未連動風門或空調通風設備、外氣風門控制失效或圖控顯示數據與現場不符等等。二次變頻系統常見問題包含變頻系統未隨負載變化加卸載、二次測冰水泵開啟台數未依設定啟動、感測器故障或未調校、壓差設定未調整或失效、圖控顯示數據與現場不符等等。

## 四、結論與建議

(一) 火警系統為車站防火安全第一道守護神，當偵測到火警時立即警報，接下來透過火警連動功能，啟動相關安全防護設施，維持旅客逃生安全並將災害侷限某區域減緩事故影響，如未能立即滅火，當上方空間火災煙流溫度上升時，自動灑水系統將動作並產生自動滅火作用，而當市電失效時，緊急發電機乃可提供救災設備基本運作所需電力，上列四項功能互為整體性連帶關係，當不幸災難發生時，消防設備功能若能即時有效發揮，則消防單位未抵達火災現場前，火勢已遭控制或災難已消除。因此，火警系統之系統功能及穩定性相當重要，主要可提供營運使用單位一個安全環境，當遇到事故時，消防單位雖未抵達事故現場前，車站建築物本身即有足夠防護及處理能力，並可善加利用防災中心攝影機系統及 DLP 設備為輔助，監控室(防災中心)得以 3D 狀態同步取得現場狀況，以應付突發災變，而車站防災中心管理、人員訓練及設備系統功能維護保養顯得特別重要。因此，監控室(防災中心)管理者宜要求每日提送監控系統異常報表及處理情形、值日日誌、耗電量報表及維修追蹤報表等相關資料陳核，以了解車站實際狀況並維持於最佳狀況。

- (二) 地下車站主要耗能為空調設備(約佔總耗電量 60~70%)、照明(約佔總耗電量 13~21%)、車站設備(約佔總耗電量 9~15%)，而空調設備主機系統佔空調耗電量約 70%(含主機、冷卻水塔及泵浦)，由此可知，其主機性能直接影響耗電量相當大，一般而言，空調系統主機性能整合測試及主機台數控制，而感測器調校及穩定性相當重要，雖其單價佔系統造價很低，但系統是否可正常運轉，往來常成為關鍵零件，營運階段維保期間性能之維持，宜將列為抽驗重點項目。
- (三) 地下車站空調主要耗能項目為外氣(約佔空調耗能 60~70%)、人員設備(約佔空調耗能 25~30%)及建築外殼(約佔空調耗能 4~10%)，其中以外氣所耗能佔最大，因目前尚有柴油列車行駛，而車站月台層空調採全外氣系統及負壓設計，外氣耗能較高，若全面電氣化後，車站及隧道內已無柴油車污染問題，可針對地下車站月台層空調系統進行全外氣及負壓設計檢討，以達節能並降低營運成本。因此，節能及室內空氣品質需同時兼顧，系統測試、調整、平衡(簡稱 TAB)，外氣最佳化控制及二次變頻系統，對空調系統節能功能而言相當重要，後續定期維保宜列為抽驗重點項目。
- (四) 儲冰系統主要是利用離峰電力時間或非空調使用時間，運轉儲冷主機(滷水機)，將冷能以顯熱或潛熱方式儲存，尖峰電力時間空調需求時再將儲冷釋出，以達到轉移尖峰電力、節省電費、降低電力契約容量及設備容量之目的。但其系統管理較一般空調複雜，預估製冰量準確度不易，維保若未落實製冷或釋冷，常發現能力不佳、系統效率不良及耗電量偏高等缺失，後續定期維保宜列為抽驗重點項目。
- (五) 以整體國家建設而言，安全與節能係現代化車站營運必備條件，而性能確效(Commissioning)亦是生命週期中重要階段，機電工程性能表現常需藉由儀器量測進行判讀及感測器調校，方可確認性能是否符合需求，若未經由現場正確量測及調校判讀，無法確認動態式性能表現，後續定期維保宜列為抽驗重點項目。
- (六) 工程專案管理中之品質、時程、成本同樣重要，需同時兼顧；而承包商、監造，工程主辦單位及營運單位工作目標應一致，平時需針對契約相關規定詳讀、瞭解及落實執行，而非將問題留在最後驗收階段或營運單位提出再處理。而地下車站營運單位仍應及早積極參與介入，建議工程完工前一年成立接管小組，接管單位人員應實際參與各項測試，除可提前熟悉各複雜之系統外並培訓各系統專家外，最重要的是提早適應各系統及後續維修銜接並確認各項功能是否符合營運需求，營運後方可輕鬆立刻上手接管。而現代化智慧型火警受信總機，於整體功能測試完成後，盡可能保存完整程式檔備份，以利後續維修，避免火警系統設備故障重新更新時，其程式

又需重新撰寫及現場火警連動測試需重作，不僅費工耗時又易影響正常營運。

- (七) 隧道中央監控部分驗收過程，鐵路局接管單位亦派員參加出席，驗收期間詢問接管單位代表有無意見，接管人員首先表示：「鐵工局工程做得不錯，無意見」，接著立即改口，「不是工程做得不錯而是做得很好」，其最主要接管人員參與工程驗收過程，相關系統性能量測及品質看得到也清楚瞭解過程，就可較安心接管工程而非擔心接管工程後品質不良問題。
- (八) 「性能式驗收」係指機電工程完工驗收階段，抽驗項目為營運單位營運期間會遇到之問題進行系統測試，各系統需事先完成整合測試，而其執行過程相當艱辛，所幸各級長官協助指導下完成。畢竟公共工程建設目的，主要提供安全、舒適及節能營運環境，以符合現代社會各方面對公共工程越來越嚴苛的要求，而後續營運單位接管後維保應持續進行，若各系統分工過細、介面過多較不利整合測試工作，建議可適度檢討並強化人員訓練工作，明訂承包商契約執行項目，以每年或定期落實執行系統整合測試，以維持地下場站安全營運環境，提升整體競爭力。而後續營運單位若於地下場站招商裝修施工時，其使用之裝修材及相關管線材料仍應整體考量，應採用國際先進標準如 NFPA 相關標準或交通部頒佈之「鐵路隧道及地下車站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，較可符合營運單位最佳保障與利益，期降低營運階段風險及生命週期成本。

## 參考資料

1. 臺灣綠色生產力基金會-節能服務網(2012,4)，網址：  
<http://www.ecct.org.tw/print/>。
2. 臺灣綠色生產力基金會(2008)，建築能源管理(BEMS)節能手冊。
3. 臺灣綠色生產力基金會(2008)，空調系統管理與節能手冊。
4. 交通部鐵路改建工程局(2010~2012)，教育訓練資料。
5. 交通部鐵路改建工程局(2012)，南港專案南港車站竣工資料。
6. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案松山車站一期竣工資料。
7. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案中央監控竣工資料。
8. 交通部鐵路改建工程局(2008)，南港及松山車站機電系統節能與單位面積耗電量評估服務。
9. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案隧道通風竣工資料。
10. 交通部鐵路改建工程局(2007)，南港車站空調系統簡介。

- 11.李明憲(2004),灑水頭功能檢測之研究 中央警察大學行政警察研究所碩士論文。
- 12.交通部臺灣區國道高速公路局(2012,6),網址：<http://www.freeway.gov.tw/>。

# 鐵路恆春支線電氣化與非電氣化之碳排放差異研究

## Research into the Disparity in Carbon Emissions between Electrified and DE electrified Rail in Hengchun Branch Railway

王雅南 Wang, Ya-Nan<sup>1</sup>

聯絡地址：22041 新北市板橋區縣民大道 2 段 7 號 20 樓  
Address：20F., No.7, Sec. 2, Sianmin Blvd., Banciao Dist., New Taipei City 22041,  
Taiwan (R.O.C.)

電話：(02)8969-1900

Tel：(02)8969-1900

電子信箱：myn\_wang@rrb.gov.tw

E-mail：myn\_wang@rrb.gov.tw

### 摘 要

我國對於運輸工具碳排放的研究，以往主要集中於小客車、小貨車、公車及機車等公路運輸系統，對於鐵路運輸碳排放，則沒有客觀與一致的標準與流程。本研究選擇鐵路恆春支線，嘗試建立本土化之鐵路運輸營運期間其碳排放計算模式，以比較電氣化鐵路與非電氣化鐵路 2 者間之碳排放量，並取得減碳的關鍵熱點(hotspot)。研究結果顯示，恆春電氣化鐵路之碳排放量估計為 13,268 tCO<sub>2</sub>e，主要集中於範疇 2「能源間接排放」之外購電力，占 98%；非電氣化營運時，碳排放量估約 18,767 tCO<sub>2</sub>e，其中範疇 1「直接排放」量占 95.46%，主要為柴油客車柴油燃料、潤滑油、車站使用燃料、化糞池逸散之甲烷，以及工程維修車使用之燃料所產生之溫室氣體。數據顯示恆春鐵路電氣化後之溫室氣體約可較非電氣化減量約 29.3%，故鐵路電氣化不僅因動力一元化而能縮短列車運行時間及增加班次密度外，同時亦能減低空氣污染，達到節能減碳的實質效果。

次比較鐵路恆春支線與機車、小客車及大客車之溫室氣體排放量密集度，當大客車承載率達 30 人/車，是最綠色清潔的運輸工具，其次為滿載 2 人機車，再其次為電氣化鐵路；當大客車承載率為 22 人/車，溫室氣體排放量將高於電氣化鐵路，低於非電氣化鐵路，亦即大客車班次的平均每班需承載 23 人以上，始得與鐵路運輸節能減碳能力抗衡；機車承載率降至 1.2 人/車以下時，排放量將高於非電氣化鐵

---

<sup>1</sup>交通部鐵路改建工程局 正工程司代科長

路；至於小汽車無論採柴油或汽油動力，溫室氣體排碳量均高，汽油動力又高於柴油動力。

此一結果不僅明確揭示鐵路是相當綠色的運輸工具，而在鐵路尚未興建完成前，大客車在政策上也值得作為短期投資的標的，在此同時，公共運輸政策也須考慮以各項便民或補貼措施，提高大客車承載率，例如套票整合行銷及無縫轉乘，提高大眾使用公共運輸的意願，才能達成節能減碳的政策目標。

**關鍵詞：**綠色運輸、節能減碳、公共運輸、鐵路碳排放、鐵路電氣化。

## Abstract

*Research into the carbon emissions given off by transport in Taiwan has hitherto concentrated on road transport systems such as coaches, trucks, buses, and scooters; no objective and consistent standard and process has been applied to the carbon emissions of rail transport. The Hengchun Branch of the railway line was chosen, and an attempt to establish a localized emission calculation model over a railway operation period was made, comparing the emissions of an electrified and non-electrified railway, and obtaining hotspots for the reduction of carbon emissions. The results show that emissions from the electrified railway were 13,268 tCO<sub>2</sub>e, and were mainly concentrated in Category 2 [Indirect emissions] from externally-purchased electricity, which comprised 98% of total emissions. When the non-electrified rail was in operation, carbon emissions were approximately 18,767 tCO<sub>2</sub>e, of which Category 1 [Direct Emissions] comprised 95.46%, mainly resulting from diesel burned by diesel locomotives, lubricant oil, fuel used in railway stations, methane given off by septic tanks, as well as the greenhouse gases produced by constructing and repairing carriages. The data show that after the Hengchun Branch was electrified, emissions dropped by 29.3% compared to when it was not electrified, which implies that not only does electrification provide uniform motor power and reduce travel times and increase the density of services, but also that it can also achieve the actual effects of simultaneously reducing air pollution and saving energy.*

*Next, the greenhouse gas emission density from the Hengchun Branch and trains and small and large coaches was compared. When the capacity of large coaches reached 30 passengers, they were the greenest, most efficient transport tool. 2-person scooters were the next greenest, then electrified rail. When the capacity of coaches is 22 passengers, their environmental efficiency falls below that of electrified rail, and since the average capacity of coaches is over 23 passengers, they are inherently a*

*match for rail transport. When the capacity of a vehicle falls below 1.2 passengers, the quantity of emissions per passenger rises above that of non-electrified rail. No matter whether smaller vehicles use diesel or gasoline, greenhouse gas emissions are high, and gasoline provides more motive power than diesel.*

*These results not only show that railways are quite a green method of travel, but also that before railways have been built, large coaches are also worth short-term investment. Simultaneously, public convenience and all kinds of subsidies, improving the capacity of coaches, selling uniform tickets and seamless transferring which increase public willingness to use public transport must be taken into consideration in formulating public transport policy, if the political aims of saving energy and carbon reduction are to be achieved.*

**Keywords:***green transport, energy-efficiency and carbon reduction, public transport, railway carbon emissions, electrifying railways.*

## 一、緒論

回顧國內對於運輸工具碳排放的研究，主要集中在運輸研究所對於小客車、小貨車及公車等系統，對於鐵路運輸碳排放，則沒有客觀與一致的標準與流程。以往進行鐵路建設計畫節能減碳評估作業時，一般以自其他公路運輸系統轉移至鐵路系統之人旅次量，以承載率換算為小客車當量(passenger car unit, PCU)，再將 PCU 乘以小客車碳排放係數，得到計畫節能減碳量，但對於鐵路系統本身營運產生的排碳量則未詳予估算。究其原因，一是因鐵路系統仍為封閉式系統，資料取得不易，二是不同的鐵路營運模式，牽涉不同的動力來源、土建結構、鋼軌型式、道岔型號、道床型式、列車組數、班次等等，不同的路線間存有相當差異，綜此種種，皆使得建立國內鐵路營運碳排放計算方法有相當的困難度，而在計算過程中被忽略不計。

其次臺鐵局現有兩種主要動力系統：柴油動力及 25 kV 高壓電。柴油動力引擎噪音大，空氣汙染排放量也高，啟動與加速度不及電力機車，同時在已電氣化與非電器化區間交界處產生營運介面，必須摘掛機車，使行車調度受到很大的限制。因此臺鐵局現正積極推動「動力一元化」，將環島鐵路的非電氣化路段逐步改建為電氣化鐵路。如以臺鐵系統作為恆春地區聯外運輸管道，則臺鐵現存兩種主要動力系統皆須納入考量。

除動力來源之外，鐵路系統不同於公路運輸之處，主要在於其以「系統」方式運作，必須配合車隊計畫、路線長度、動力系統等等，制定營運計畫，因此不同的路線或路段，碳排放量也會不同。本研究選擇鐵路恆春支線，首度建

立本土化之鐵路運輸系統營運期間碳排放計算模式，以該支線的構造形式、車隊組成、班次及動力來源，使用工研院發展之生命週期評估軟體 Do IT Pro 相關參數，構建鐵路碳排放評估模式，並比較電氣化鐵路與非電氣化鐵路的碳排放量，取得減碳的關鍵熱點(hotspot)。未來其他鐵路路線需要進行碳排放計算時，可參考運用本研究建立之模式，配合不同的營運計畫予以調整，即可獲得該計畫的碳排放總量。

次外，本研究嘗試進一步與其他競爭運具比較碳排放量，以承載率作為控制變數，作為提供政策制定或各界進行產品碳足跡計算時之參考。未來民眾可經由各種運輸工具的碳排貢獻程度，來選擇對於環境最友善的方式，從而減輕運輸行為對環境的衝擊。

綜上所述，本研究主要目的有以下 3 點：

- (1) 探討臺灣鐵路運輸系統營運階段各種可能的碳排放來源。
- (2) 以系統觀點，建立鐵路運輸在營運階段的碳排放計算模式。
- (3) 與各種可能的競爭運輸工具比較，提出適合臺灣永續發展的交通建設投資方向，作為政策研擬及民眾選擇運輸工具時的參考。

## 二、鐵路恆春支線概述

南臺灣的「恆春半島」，多年來經由墾丁國家公園、海洋生物博物館及大鵬灣國家風景區之設置，以及近年蔚為南臺灣觀光旅遊指標性活動「春吶墾丁音樂季」發展，已經形成觀光遊憩發展重鎮，聯外運輸需求日益增加。但基於恆春地區腹地有限，無法容納大量車潮湧入，發展觀光又為活絡地方經濟必要之策略，因此需要一種同時兼顧環保、觀光及便利的運輸系統，使旅客能方便進出恆春地區，又能讓該地保有清新優美的生活型態。基於鐵路建設能使民眾不需自行開車，是重視環境、滿足觀光需求與落實節能減碳的綠色運輸選項，故有鐵路恆春支線之倡議。

本研究即依據 94 年度完成之「枋山至恆春區域鐵路可行性研究及先期規劃」成果，依照運輸需求預測結果、路線、場站、軌道及動力系統等，輔以鐵路工程最新趨勢，將前期規劃成果略作調整後，再參考現行產業溫室氣體盤查程序，擬訂屬於鐵路營運階段之溫室氣體盤查程序，包含鐵路營運邊界設定、排放源鑑別、量化及係數選擇等，建立鐵路營運盤查清冊等，使能與其他運具進行比較，以瞭解鐵路運輸在環保節能方面之優劣，提供後續研究及有興趣之各界參考。



## 2.1 路線規劃

依 94 年初步規劃成果，鐵路恆春支線計畫自南迴線枋山站岔出，原則上路線皆在臺 1 線或臺 26 線公路東側布設。其中枋山至恆春為新建路線之主線，全長約 31.5 公里。海生館支線（含三角線）長約 6.7 公里，總長約 38.2 公里。全線布設臺鐵甲級線標準之非電氣化單線鐵路，但預留電氣化空間，路線最大縱坡 12 ‰，最小半徑 600 m。車站除原枋山車站拆除重建外，另設枋山新、楓港、竹坑、車城、五里亭、恆春及海生館，共計 8 個車站。路線示意圖，如圖 1 所示。



資料來源：「枋山至恆春區域鐵路可行性研究及先期規劃」，2005，交通部鐵路改建工程局

圖 1 鐵路恆春支線路線示意圖

## 2.2 運量預測

本計畫由於與現有臺鐵屏東縣及縱貫線接軌，為考量未來高鐵通車後所帶來之北部長途旅次，營運路線考量與高鐵服務串連，故列車自新左營站發車往返恆春站。爰墾丁地區旅遊旅次逐年上升中，民國 102 年全年遊客數再度創下最高紀錄，高達 720 萬人次/年，故計畫中以新左營至恆春為主要營運路線，各站間運量預測結果，如表 1 所示。

表 1 平日及假日站間運量預測結果

單位：人旅次/日

年期			公里	通車年平日		通車年假日		目標年平日		目標年假日	
起	—	迄		往南	往北	往南	往北	往南	往北	往南	往北
枋山	—	楓港	10.9	2,179	2,695	2,528	2,587	2,867	3,461	3,366	3,324
楓港	—	車城	14.5	3,624	3,300	8,885	8,136	4,454	4,060	13,559	12,440
車城	—	海生館	3.5	3,450	3,124	8,493	7,740	4,222	3,829	13,330	12,229
海生館	—	五里亭	5.2	3,425	3,176	8,472	7,911	4,204	3,901	12,782	11,674
五里亭	—	恆春鎮	4.2	3,559	3,309	8,898	8,340	4,393	4,090	12,779	11,949

資料來源：「枋山至恆春區域鐵路可行性研究及先期規劃」，2005，交通部鐵路改建工程局

## 2.3 工程內容

本計畫原本 94 年規劃之初，鐵路恆春支線路線係以路堤、橋梁及隧道組成，沿線主要採立體高架型式構築。有鑑於目前鐵路改建之最新趨勢，以鐵路高架可避免地區發展阻隔、平交道影響平面交通，亦能穩定列車行駛速率，並降低車輛人員跨越之肇事機率，且高架橋梁技術已臻成熟，建造費用逐年降低，故本研究假設未來本路線將以全面高架方式興築，以簡化模式複雜度，並依此假設情境估算維護階段的碳排放量。

其次鐵路軌道必須經常維修以維持良好運作狀態。路軌維修是繁重的工作，緣此，就本路線應納入評估之年度維修保養，包含材料型式及重量細項等，檢討說明如下：

### 2.3.1 鋼軌規格

考慮承載率及維修問題，鋼軌以採用重軌為宜，目前臺鐵在西部地區，擬將現有之 JIS 50 Kg 鋼軌逐步改為 UIC 60 Kg 鋼軌，以增加行車速度。因此本研究設定以 UIC 60 Kg 鋼軌為標準，後續鋼軌抽換維護亦採 UIC 60 Kg 鋼軌製程作為溫室氣體排放量估算依據。

### 2.3.2 軌道型式

近年來列車速度與密度不斷增加、人事費用加重、勞動人口不足、養護維修時間縮短、維修標準提高，以及大型養路機械產生的噪音及空氣汙染問題，逐漸對臺鐵路線維修作業增加了非常大的困擾與限制。故鐵路新建及改建工程逐漸有優先採用近乎無須維修(maintenance free)的版式軌道

之趨勢，改使用混凝土版為道床結構。而以往常見於路基上之道碴補充與枕木抽換，在版式軌道維護作業時，其溫室氣體排放值可忽略不計，至於部分版式軌道上仍布置有部分道碴，其作用主要在於吸音與減震，消耗量極其有限，故該道碴製程之溫室氣體排放量亦不計入。

### 2.3.3 道岔號數

鐵路恆春支線原初步規劃配置 12 號道岔，惟鑒於臺鐵於西部主幹線搭配 UIC60 鋼軌，以 16 號道岔為主，因此本研究調整以 16 號道岔為維護型式，採該型式之鋼軌重量作為溫室氣體排放量之計算基準。

## 2.4 營運計畫

營運車輛考量路線及當時臺鐵系統之特性，以自強號柴聯車(DMU)為營運車輛，營運主線列車以 9 節車廂為一編組，至目標年尖峰班距縮短至 23 分鐘一班，海生館支線原規劃 6 節車廂為編組，並配合主線班距及班次調整。本研究就營運主線及海生館支線皆以柴聯車(DMU)9 節車廂為一編組，減少車廂加掛次數，並增加營運彈性。

就發車班次預估，營運主線至目標年假日全日雙向需發 46 班次列車，平日則以 20 班即符合需求；至於在電氣化鐵路的情境下，採電聯車(EMU)8 節車廂為一編組，班次與非電氣化鐵路相同。

## 2.5 場站規劃

鐵路恆春支線之建設原即以觀光為目的，故車站以辦理旅客業務及行李為主。枋山站至恆春站及海生館站間，依其不同之起迄位置或中途轉運之目的，沿線配置枋山、枋山新、楓港、竹坑、車城、五里亭、恆春及海生館 8 站。因鐵路恆春支線定位為觀光支線，因此本研究車站配置假設以臺鐵三等站作為營運規模。

## 三、鐵路恆春支線營運溫室氣體排放估算

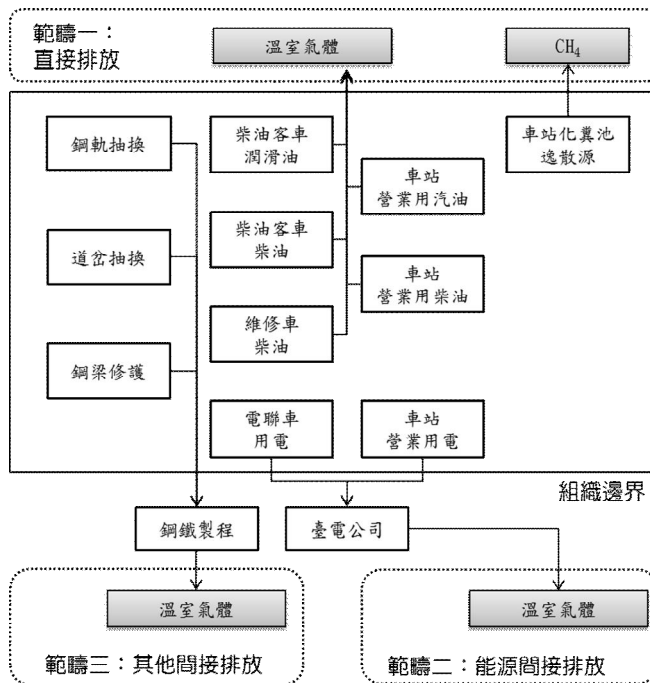
本節依照第二節產業溫室氣體盤查指引，以及第三節鐵路恆春支線之建設型式與營運規劃，進行溫室氣體排放計算。

### 3.1 鐵路恆春支線組織營運邊界設定

#### 3.1.1 組織邊界

本研究以「控制權」觀點，設定鐵路恆春支線地理邊界、建築邊界、設施邊界或活動，藉此定義盤查的範圍。

以恆春支線而言，組織邊界係指營運單位(臺鐵局)對於該支線系統擁有「所有權」、「經營權」或是「負擔其財務」，即視為具有控制權。本研究依照鐵路恆春支線營運期間，涉及軌道維護、橋梁修護、車輛運轉、車站營運等項目，繪製組織營運邊界，如圖 2 所示。



資料來源：本研究建立

圖 2 組織營運邊界示意圖

#### 3.1.2 營運邊界

以範疇的觀點，設定鐵路恆春支線應進行的排放源，包含直接與間接能源。

範疇一(Scope 1)：指直接溫室氣體排放，直接來自於組織所擁有或控制的排放源。以鐵路恆春支線而言，包含柴油客車使用之潤滑油使用及柴油，維修車的柴油，車站營運需使用的汽油及柴油，以及車站化糞池

甲烷逸散等。

範疇二(Scope 2)：指能源間接排放源，係指來自於輸入電力、熱或蒸汽而造成間接之溫室氣體排放。以鐵路恆春支線而言，包含使用來自於臺電電力供應之電聯車用電及車站用電等。

範疇三(Scope 3)：非屬能源間接溫室氣體排放，而來自於其他組織所擁有或控制的溫室氣體排放。以鐵路恆春支線而言，指於鋼軌、道岔及鋼梁製程中，產生的溫室氣體排放。

### 3.1.3 基準年設定

本研究未進行實質盤查作業，故未設定基準年，各輸入參數係直接援引最新公告統計值。至於鐵路恆春支線暫假設於民國 109 年通車，溫室氣體排放係數也配合歷史變動趨勢調整至民國 109 年。

## 3.2 排放源鑑別

為進一步掌握恆春鐵路在營運階段的排放特性，依排放源型式區分為固定式燃燒排放、移動式燃燒排放、製程排放、逸散排放等類型，各排放源類型分別列述如下：

### (1) 固定式燃燒排放源

指固定式設備之燃料燃燒，包括車站用電、車站用汽油及車站用柴油等燃料產生之溫室氣體。

### (2) 移動式燃燒排放源

指交通運輸設備之燃料燃燒，包括柴油客車使用之柴油及潤滑油，維修車使用之柴油等燃料產生之溫室氣體。

### (3) 製程排放源

指於鋼軌、道岔及鋼梁製程中，產生的溫室氣體排放。

### (4) 逸散排放源

車站化糞池逸散之  $\text{CH}_4$ 。

## 3.3 排放源量化

### 3.3.1 計算方式

有鑑於鐵路營運係以整體系統觀點，採車隊方式營運，最完整且具公

信力之資料來自於臺鐵局公布之年報及月報統計數據，因此本研究採用原料、物料、燃料之使用量乘上排放係數，即可獲得溫室氣體排放量，即「排放係數法」(排放量 = 活動數據 × 排放係數)，目前國內進行燃料溫室氣體排放量計算時也多採用此法。

### 3.3.2 活動數據蒐集

排放係數法須選取適當的活動數據與排放係數，再進行排碳量計算。以下為本研究就鐵路恆春支線營運可能涉及的排放來源，估算來源及其活動數據。

- (1) 固定燃燒：參考 101 年西部縱貫線三等車站，包含內壢、埔心及楊梅站等，統計汽油及柴油使用度數及公升用量，並取平均值作為本研究路線沿線三等站之固定能源使用量。恆春支線因位處偏鄉，站員人數暫以 13 人估算。
- (2) 間接排放：電聯車電力需求依臺鐵局公布之統計數據；車站營業用電量採西部縱貫線三等車站用電量平均值。
- (3) 移動源排放：柴油客車柴油消耗量及潤滑油平均消耗量以 103 年 2 月份臺鐵統計月報平均數據估算；工程維修車油料參考民國 102 年臺鐵局概估之營運成本，每年每公里約需 6 萬元，因該金額包含油料與車輛維修，故油料部分暫以 80 % 估算，因此以恆春支線 38.2 公里，每年需消耗 56,944 公升柴油於工程維修車進行全線維修。
- (4) 製程排放：以鐵路恆春支線總營運里程 38.2 公里計算，以 103 年 2 月份臺鐵統計月報平均數據，每年抽換鋼軌長度比例為 0.86 %，UIC60 之重量規格為 60.21 公斤/公尺，估算每年消耗鋼軌重量約 19,780 公斤。鐵路恆春支線全線規劃布設道岔共 27 處，以 103 年 2 月份臺鐵統計月報平均數據，每年抽換套數比例為 0.47 %，參考國際規格，#16 道岔之重量規格為 27,355 公斤/套(不含號誌系統組件及岔後枕木)，其中鋼材佔 12,360 公斤，估算每年消耗鋼材總重約 1568.48 公斤。至於高架橋鋼梁修護所用鋼料公噸數，因臺鐵局公布之 102 年及 103 年統計資料噸數皆為 0，故暫不計入。
- (5) 逸散排放：鐵路車站因旅運需要，皆須設置化糞池，化糞池逸散之 CH<sub>4</sub> 貢獻量來自於車站人員及旅客。車站人員編制以值班站長、剪票員及售票員為主，以內壢、埔心及楊梅站

之三等站員工人數為 13~14 人，本研究採每座車站 13 人估算溫室氣體貢獻量；旅客數以運輸需求預測之每年進出車站人數估算，恆春站以 3,585,300 人次/年計，海生館站以 717,060 人次/年計，其餘枋山、枋山新、楓港、竹坑、車城、五里亭站合計以 12,000 人次/年計。

### 3.3.3 排放係數選用

本研究選擇工業技術研究院建立之本土化 DoITPro 資料庫排放係數，並為正確表達鐵路營運期間之溫室氣體排放量，引用之參數已納入能源生產期間的碳排放量，並按歷史趨勢調整至假設通車年 109 年。說明如下：

(1) 電力碳排放係數= 0.624 KgCO<sub>2</sub>e/度

依照工業技術研究院朱志弘工程師研究，自國家開始公告電力碳排放係數，至目前最新一期係數數值，進行線性迴歸分析，有以下線性關係：

當年電力排放係數(KgCO<sub>2</sub>e/度)= -0.0059\*(民國年份) + 1.1234  
 續經回溯納入生產電力之燃料碳排，約有 1.3 倍之關係存在，據此預測民國 109 年之電力碳排放係數為 0.624 KgCO<sub>2</sub>e/度。

(2) 柴油碳排放係數=我國熱值 \* 排放係數=35.169 MJ/L\*0.09836 KgCO<sub>2</sub>e/MJ=3.46 KgCO<sub>2</sub>e/L。

我國燃料熱值採用 2010 年經濟部能源局出版之更新能源統計手冊能源產品單位熱值表。

(3) 潤滑油碳排放係數= 0.025 MJ/L\*0.01129 KgCO<sub>2</sub>e/MJ =0.00028 KgCO<sub>2</sub>e/L。

(4) 鋼鐵碳排放係數：2.702 KgCO<sub>2</sub>e/Kg (鋼鐵係數為中鋼資料)。

(5) 化糞池碳排放係數：因站務人員及旅客於車站停留時間不同，排放係數分別計算，如表 2 所示。

表 2 化糞池甲烷碳排放係數計算表

來源	排放係數考量參數						排放係數
	BOD排放因子(公噸CH <sub>4</sub> /公噸-BOD)	平均污水濃度(mg/L)	工作天數(天)	工作時間(小時/人天)	廢水量(L/人小時)	化糞池處理效率(%)	CO <sub>2</sub> e排放(公斤/人-年)
站員貢獻	0.6	200	365	8.0	15.625	85	110
旅客貢獻	0.6	200	1	0.5	15.625	85	0.0199

註：1.CH<sub>4</sub>全球暖化潛勢採IPCC第四次評估報告(2007)以25計算

2. 參數來源為經濟部溫室氣體排放係數管理表6.0.1版－逸散排放源之化糞池計算表(102年11月)，工作天數及工作時間為本研究估計

### 3.3.4 彙整溫室氣體排放量

本節依照前列溫室氣體排放源類別，分別計算其排放量，並彙總說明之。

(1) 固定式燃燒排放源：

車站用油碳排放量=每年柴油公升數\*站數\*柴油碳排放係數=359.84 KgCO<sub>2</sub>e。

(2) 間接排放源：

A. 車站外購電力碳排放量=每年用電度數\*站數\*電力碳排放係數=792,045.7 KgCO<sub>2</sub>e。

B. 電聯車外購電力碳排放量=電聯車每組(unit)每公里平均電力消耗量\*編組數\*營運公里數\*一年總班次\*電力碳排放係數 (公里數為新左營至恆春營運里程)=12,220,621 KgCO<sub>2</sub>e

(3) 移動式燃燒排放源

A. 柴油客車之柴油碳排放量=柴油車每輛每公里平均柴油消耗\*輛數\*營運公里數\*一年總班次\*柴油碳排放係數 =17,719,786 KgCO<sub>2</sub>e。

B. 柴油客車之潤滑油用量=柴油車每輛每公里平均潤滑油消耗\*輛數\*營運公里數\*一年總班次\*潤滑油係數= 6 KgCO<sub>2</sub>e。

C. 工程維修車之柴油用量：以每年每年需消耗 56,944 公升柴油於工程維修車進行全線維修，估算方式詳前節說明 = 197,026.24 KgCO<sub>2</sub>e

(4) 製程排放

A. 鋼軌抽換碳排放量=每年鋼軌消耗公斤數\*鋼排放係數=53,446 KgCO<sub>2</sub>e。

B. 道岔抽換碳排放量=每年道岔鋼軌消耗公斤數\*鋼排放係數 =4,238 KgCO<sub>2</sub>e。

(5) 逸散排放

A. 站務人員化糞池碳排放=站務人員數\*CO<sub>2</sub>e 排放係數\*車站數 =11,440 KgCO<sub>2</sub>e/年。

B. 旅客化糞池碳排放=進出旅客數\*CO<sub>2</sub>e 排放係數=87,145



KgCO<sub>2</sub>e/年。

### 3.4 建立排放清冊

經由前列溫室氣體排放量估算，將各排放源之排放量彙整，如表 3 所示。

表 3 鐵路恆春支線碳排放清冊

排放源類別	排放源	範疇	碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e/年)	說明
固定式排放源	柴油	1	0.360	車站柴油
間接排放源	電力(外購)	2	792	車站電力
	電力(外購)	2	12,220	電聯車(電氣化鐵路)
移動式排放源	柴油	1	17,720	柴油客車(非電氣化鐵路)
	潤滑油	1	0.006	柴油客車(非電氣化鐵路)
	柴油	1	197	工程維修車柴油
製程排放	鋼鐵	3	53	鋼軌抽換
	鋼鐵	3	4	道岔抽換
逸散排放	化糞池	1	99	車站化糞池

資料來源：本研究計算

### 3.5 電氣化鐵路溫室氣體排放分析

評估結果顯示，當恆春鐵路為電氣化鐵路時，年平均溫室氣體排放量為 13,268 tCO<sub>2</sub>e，其中範疇 1 排放源之碳排放量約占 1.5%，主要為車站使用燃料、化糞池逸散之甲烷，以及工程維修車使用之燃料所產生之溫室氣體；範疇 2 之排放量占 98%，全部由外購電力所貢獻；至於範疇 3 之排放量佔 0.5%，由鋼軌及道岔之外購鋼鐵製程產生，恆春電氣化鐵路的各碳排放源比例，如圖 3 所示。

電氣化鐵路最主要的溫室氣體排放源，來自電聯車外購電力所需間接承擔之燃料燃燒溫室氣體排放量，約佔整體排放量的 92.07%，其次是車站外購電力，約佔 5.97%，排名第 3 為工程維修車之柴油燃燒溫室氣體排放，約佔 1.48%，其餘鋼軌及道岔抽換、車站用柴油、車站化糞池逸散之溫室氣體總量，僅佔全部排放量的 0.48%。

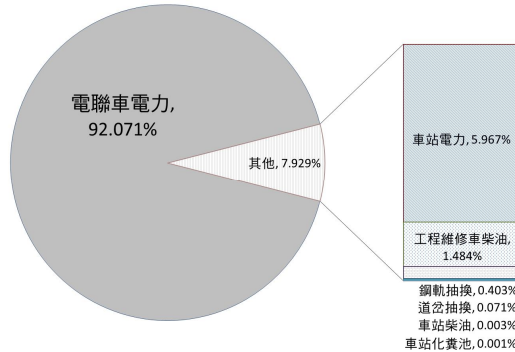
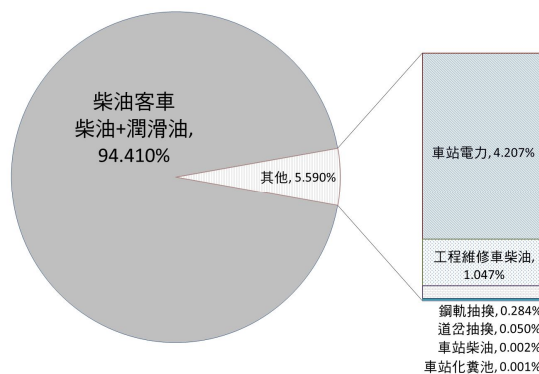


圖 3 鐵路恆春支線(電氣化)碳排放源比例圖

### 3.6 非電氣化鐵路碳排放分析

評估結果顯示，當恆春鐵路為非電氣化鐵路時，年平均溫室氣體排放量為 18,767 tCO<sub>2</sub>e，其中範疇 1 排放源之碳排放量約占 95.46%，由柴油客車柴油燃料、潤滑油、車站使用燃料、化糞池逸散之甲烷，以及工程維修車使用之燃料所產生之溫室氣體；範疇 2 之排放量占 4.21%，由車站外購電力所貢獻；至於範疇 3 之排放量佔 0.33%，由鋼軌及道岔之外購鋼鐵製程產生，恆春非電氣化鐵路的各碳排放源比例，如圖 4 所示。

非電氣化鐵路最主要的溫室氣體排放源，來自於柴油客車之柴油燃料燃燒溫室氣體排放，約佔整體排放量的 94.41%，其次是車站外購電力，約佔 4.21%，排名第 3 為工程維修車之柴油燃燒溫室氣體排放，約佔 1.05%，其餘鋼軌及道岔抽換、車站用柴油、車站化糞池逸散之溫室氣體總量，僅佔全部排放量的 0.33%。



資料來源：本研究分析

圖 4 鐵路恆春支線(非電氣化)碳排放源比例圖

綜言之，鐵路系統在營運階段，最大宗的溫室氣體排放來自於列車的

動力來源，當為電力系統時，電力外購自臺電公司發電廠，為範疇二之能源間接排放；動力來自於柴油引擎時，則轉為範疇一之組織邊界內直接排放為最大宗，也因此相對應的污染防治與減碳熱點，當由鐵路營運單位所承擔與控管。

其次在鐵路恆春支線同一系統範疇之下，比較電氣化鐵路與非電氣化鐵路的溫室氣體排放量，電氣化鐵路的總排放量為 13,268 tCO<sub>2</sub>e/年，非電氣化鐵路的總排放量為 18,767 tCO<sub>2</sub>e，恆春鐵路電氣化後之溫室氣體約可較非電氣化減量約 29.3%，故而鐵路電氣化不僅因為動力一元化，而能縮短列車運行時間、增加班次密度，依照本研究計算結果顯示，同時也能減低空氣污染，達到節能減碳的實質效果。

## 四、其他陸路運輸工具人均碳排比較

本節以「延人公里」人均觀點，評估恆春支線平均服務每位旅客每公里的溫室氣體排放量密集度，進而與其他運輸工具，包含機車、小客車、大客車比較。為設定相同比較基準，本節在下列限制條件下進行分析：

- (1)基於本路以觀光性質為主，民國 94 年預測交通量於平日與假日期間有相當落差，為與各運具在合理的基準比較，本節設定以假日為評估範圍。
- (2)因其他運具為實測值，此處鐵路電力及柴油碳排係數不再回溯至原料生產端，以經濟部公布之溫室氣體排放係數管理表 6.0.1 版(102.11)為準，電力係數採 0.532 KgCO<sub>2</sub>e /度，柴油係數採 2.66 KgCO<sub>2</sub>e/公升。

### 4.1 鐵路恆春支線人均碳排

參考「枋山至恆春區域鐵路可行性研究及先期規劃」假日交通量預測結果，合計南北雙向延人公里數為 910,237 延人公里/日。當恆春支線為電氣化鐵路時，平均溫室氣體排放量為 0.0543 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里(49,388 KgCO<sub>2</sub>e/910,237 延人公里)；當恆春支線以非電氣化鐵路形式營運時，平均溫室氣體排放量增加為 0.0700 KgCO<sub>2</sub>e/ 延人公里 (63,747 KgCO<sub>2</sub>e/910,237 延人公里)。

其次進一步探討我國電力來源對電氣化鐵路之影響，目前我國的電力來源包含火力(燃油、燃煤及燃氣)、核能及水力發電與再生能源等，其中核能為最大宗。而有碳能源(火力發電)與無碳能源(主要為核能)所佔比例將實際影響電力碳排係數高低，換言之，有碳能源越高，我國電力碳排係數也隨之提高。

因此假設柴油係數為 2.66 KgCO<sub>2</sub>e/公升固定不變的情境下，彈性調整電力係數，觀察電氣化鐵路與非電氣化鐵路間的人均碳排量變化。則當電力係數持續上升，至 0.696 KgCO<sub>2</sub>e /度時，電氣化鐵路的人均碳排將增加為 0.07 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里，與非電氣化鐵路相當，亦即當我國電力來源組成改變，增加有碳能源如火力發電之比例，使得電力每度排碳量增加 31% 時，電氣化鐵路與非電氣化鐵路的排碳量即相同，如圖 5 所示。其中非電氣化鐵路排碳量也會隨著電力係數增加而微幅上升，此係因車站用電排碳量增加所致。

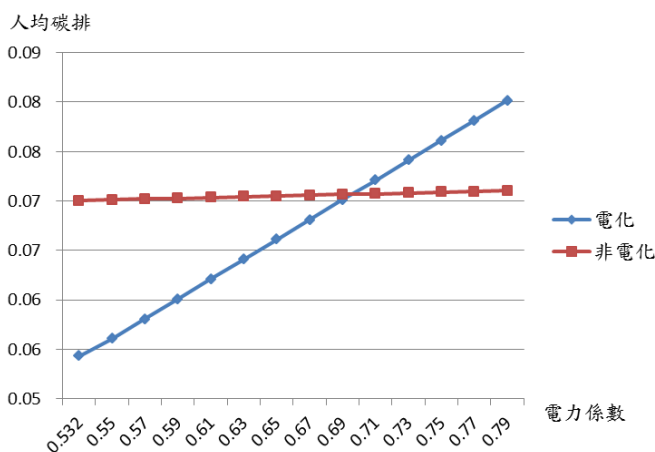


圖 5 電力係數對電氣化鐵路及非電氣化鐵路之排碳量影響趨勢

## 4.2 新左營至恆春機車溫室氣體排放量

依照交通部運輸研究所「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究—以 150 c.c.以下機車為例」(102 年 5 月)，以 5 期法規標準測試程序進行實驗，125 c.c.機車於未開啓頭燈且配重 75 kg，時速 40 公里的情況下，溫室氣體排放量為 45.79 公克/公里。假設未興建鐵路，潛在旅次需求以機車為運輸工具時，應發車輛數應能滿足新左營至恆春鎮區間內最大旅客需求數，亦即區間最高運量單向 8,898 人。當平均機車承載率為 1.2 人/車，人均碳排為 0.0862 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當機車承載率為 1，人均碳排提高為 0.1034 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當機車承載率為 2，人均碳排降低為 0.0517 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里。機車人均碳排估算表，如表 4 所示。

表 4 新左營恆春區間機車人均碳排估算表

區間最高運量 (人/日單向)	承載率 (人/輛)	應發輛次 (輛/日雙向)	碳排係數 (g/公里)	總排碳量 (KgCO <sub>2</sub> e/日)	人均碳排 (KgCO <sub>2</sub> e/ 延人公里)
8,898	1	17,796	45.79	94,119	0.1034
	1.2	14,830	45.79	78,432	0.0862
	2	8,898	45.79	47,059	0.0517

資料來源：本研究計算

### 4.3 新左營至恆春小客車溫室氣體排放量

依據交通部運輸研究所在「從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究」提出之汽、柴油車溫室氣體排放係數，該實驗未納入承載率變數，故本研究依照實車測試結果 3 種汽油實驗車之使用階段平均值，採排放係數為 192 公克/公里。假設所有鐵路旅次以汽油小客車為替代運輸工具時，依照平均承載率為 2.2 人/車計算，人均碳排為 0.1971 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當承載率為 2，人均碳排提高為 0.2168 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當承載率為滿載 4，人均碳排降低為 0.1084 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里。汽油小客車人均碳排估算表，如表 5 所示。

表 5 新左營恆春區間汽油小客車人均碳排估算表

區間最高運量 (人/日單向)	承載率 (人/輛)	應發輛次 (輛/日雙向)	碳排係數 (g/公里)	總排碳量 (KgCO <sub>2</sub> e/日)	人均碳排 (KgCO <sub>2</sub> e/ 延人公里)
8,898	2	8,898	192	197,322	0.2168
	2.2	8,089	192	179,384	0.1971
	4	4,449	192	98,661	0.1084

資料來源：本研究計算

當以柴油車為運輸工具時，3 種柴油實驗車之平均排放係數為 153 公克/公里，依照平均承載率為 2.2 人/車計算，人均碳排為 0.1154 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當承載率為 2，人均碳排提高為 0.1574 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里；當承載率為滿載 4，人均碳排降低為 0.0866 KgCO<sub>2</sub>e/延人公里。柴油小客車人均碳排估算表，如表 6 所示。

表 6 新左營恆春區間柴油小客車人均碳排估算表

區間最高運量 (人/日單向)	承載率 (人/輛)	應發輛次 (輛/日雙向)	碳排係數 (g/公里)	總排碳量 (KgCO <sub>2</sub> e/日)	人均碳排 (KgCO <sub>2</sub> e/ 延人公里)
8,898	2.2	8,898	153	143,258	0.1574
	3	8,089	153	105,056	0.1154
	4	4,449	153	78,792	0.0866

資料來源：本研究計算

#### 4.4 新左營至恆春大客車溫室氣體排放量

依據交通部運輸研究所在「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究—以大客車為例(2/2)」，行駛於省道低干擾雙向 2 車道以上之國道客運，行駛速率 50 公里/小時，其溫室氣體排放係數為 538 公克/公里。如果所有鐵路旅次改以大客車為運輸工具時，依照平均承載率為 35 人/車計算，年排碳量 15,629 tCO<sub>2</sub>e；當承載率為 30，年排碳量減為 34,870 tCO<sub>2</sub>e。大客車人均碳排估算表，如表 7 所示。

表 7 新左營恆春區間大客車人均碳排估算表

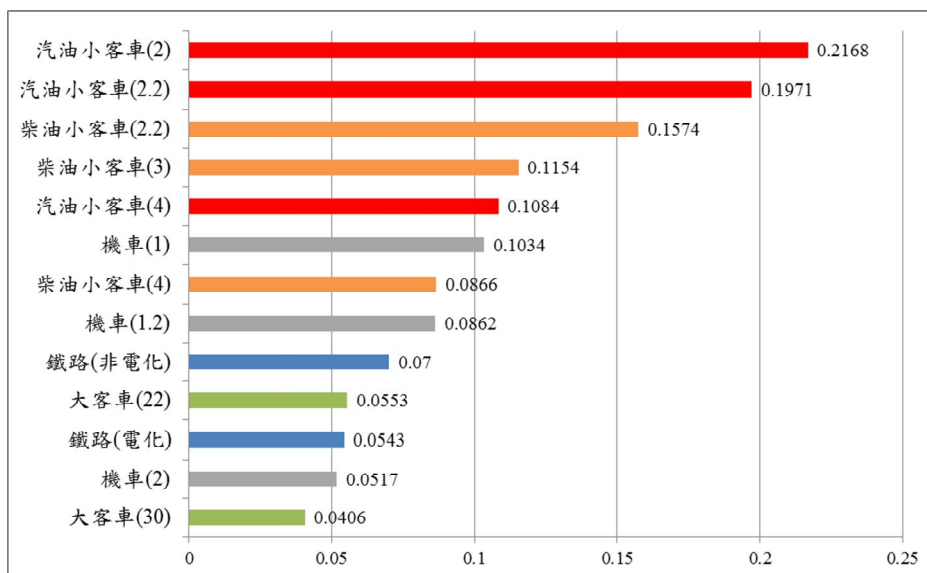
區間最高運量 (人/日單向)	承載率 (人/輛)	應發輛次 (輛/日雙向)	碳排係數 (g/公里)	總排碳量 (KgCO <sub>2</sub> e/日)	人均碳排 (KgCO <sub>2</sub> e/ 延人公里)
8,898	18	990	538	61,518	0.0676
	22	774	538	50,333	0.0553
	30	594	538	36,911	0.0406

資料來源：本研究計算

綜合前列各項運具的溫室氣體排放量計算結果，溫室氣體排放密集度 (KgCO<sub>2</sub>e/延人公里) 不僅隨運具變化，也因車輛承載率呈現相當幅度的變動，如圖 6 所示。擇要說明如下：

- (1) 當大客車承載率達 30 人/車，是最綠色清潔的運輸工具，其次為滿載 2 人機車，再其次為電氣化鐵路。
- (2) 大客車承載率為 22 人/車，溫室氣體排放量將高於電氣化鐵路，低於非電氣化鐵路。
- (3) 機車承載率降至 1.2 人/車以下時，排放量將高於非電氣化鐵路。
- (4) 小汽車無論採柴油或汽油動力，溫室氣體排碳量均高，汽油動力又高於柴油動力。

(5) 當機車僅 1 人騎乘時，排碳量則高於 4 人滿座之柴油小客車。



註：括號( )內為承載率變數

圖 6 新左營恆春區間運具別溫室氣體排放密集度序列

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

- (1) 有鑑於運輸工具的碳排放主要集中在使用階段，因此本研究嘗試以鐵路恆春支線為藍本，首度建立本土化的鐵路運輸系統營運期間碳排放計算模式，以便與其他交通部運輸研究所進行的其他競爭運具進行碳排放比較，作為提供政策制定或各界進行產品碳足跡計算時之參考。
- (2) 研究結果明確顯示鐵路是相當綠色的運輸工具，而在鐵路尚未興建完成前，大客車在政策上也值得作為短期投資的標的，在此同時，政府也須考慮以各項便民或補貼措施，提高大客車承載率，例如套票整合行銷及無縫轉乘，提高大眾使用公共運輸的意願，才能達成節能減碳的政策目標。惟須特別指出，此處的承載率為平均值，亦即大客車班次的平均每班需承載 23 人以上，始得與鐵路運輸節能減碳能力抗衡之。
- (3) 其次假設柴油係數固定不變的情境下，彈性調整電力係數，觀察電氣化鐵路與非電氣化鐵路間的人均碳排量變化。則當電力係數持續上升，至 0.696 KgCO<sub>2</sub>e /度時，電氣化鐵路的人均碳排將增加為 0.07

KgCO<sub>2</sub>e/延人公里，與非電氣化鐵路相當，亦即當我國電力來源組成改變，增加有碳能源如火力發電之比例，使得電力每度排碳量增加31%時，電氣化鐵路與非電氣化鐵路的排碳量即相同。其中非電氣化鐵路排碳量也會隨著電力係數增加而微幅上升，此係因車站用電排碳量增加所致。

## 5.2 建議

- (1) 本研究評估主體為鐵路恆春支線，有鑑於臺灣傳統鐵路仍有其他各種形式，如平面路線、地下化隧道、山岳隧道、地下車站，相關的機電、通風及設備更新必須納入考量，軌道形式也有道碴式、版式軌道之別，如為道碴式軌道，則枕木抽換及道碴補充也應計入；也有可能因為電氣化營運範圍增加，而必須新增變電站；如果計畫內包含機廠，也應將廠站設備維護列入等。
- (2) 後續相關研究如需進行全生命週期的鐵路系統溫室氣體排放評估，興建階段建議可採用目前公路系統興建探盤查評估結果，再另外計入軌道系統、系統機電及號誌系統布設、電力設備絕緣保護裝置 SF<sub>6</sub> 及變電站碳排放量；次因本研究以高架鐵路為評估範圍，因此其他計畫如需引用，應納入地下化車站之通風及照明等設備碳排放評估。
- (3) 臺鐵基於車輛日漸老舊，舊型列車已逐漸不符營運所需，為提升整體運轉效率，現正籌備車輛更新計畫中，倘因建設新線或改善舊有系統，致有增購新型列車需求時，則該等列車製造的鋼鐵製程碳排放量亦應納入計算。

## 參考文獻

1. 行政院環境保護署(2010)，產品與服務碳足跡計算指引，臺北：行政院環境保護署。
2. 行政院環境保護署(2010)，溫室氣體查驗指引，臺北：行政院環境保護署。
3. 林國顯等(2010)，能源消耗、污染排放推估模式與永續運輸模式之整合應用，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
4. 林國顯等(2012)，軌道運輸系統總體規劃(2/2)—我國軌道運輸系統發展政策之研究，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
5. 陳一昌等(1998)，運輸部門能源使用及二氧化碳排放減量策略之規劃，臺北：交通部運輸研究所自行研究報告。



6. 黃宗煌等(2012)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
7. 黃宗煌等(2013)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之應用，臺北：交通部運輸研究所合作/共同研究報告。
8. 黃新薰等(2012)，從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究，臺北：交通部運輸研究所自行研究報告。
9. 經濟部檢驗標準局(2006)，CNS 14064-1 組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告附指引之規範，臺北：經濟部檢驗標準局。
10. 蘇振維等(2011)，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究一以大客車為例(1/2)，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
11. 蘇振維等(2012)，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究一以大客車為例(2/2)，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
12. 蘇振維等(2013)，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究一以150c.c.以下機車為例，臺北：交通部運輸研究所合作研究報告。
13. 行政院環境保護署(2014)，臺灣產品碳足跡資訊網，<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLFootProduct/LifeCycleAppraisal.aspx>
14. 經濟部能源局，溫室氣體盤查介紹，能源產業溫室氣體減量資訊網，[http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/index.php?option=com\\_content&view=article&id=51&Itemid=36](http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=36)。
15. Intergovernmental Panel on Climate Change,(2006), IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
16. Intergovernmental Panel on Climate Change,(2007), Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

# 日本鐵道開發營運模式對臺灣鐵道建設的啟發- 以東京急行電鐵株式會社(Tokyu Corporation)為例 The inspiration of the Japanese railroad development and operating model in Taiwan-using the Tokyu Corporation as an example

朱來順 Ju,Lai-Shun<sup>1</sup>

簡文彥 Jiang,Wen-Yan<sup>2</sup>

地址：10041 臺北市北平西路 3 號

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

電話：(02)23815226-2601

Tel：(02) 23815226-2601

電子信箱：0297326@railway.gov.tw

E-mail：0297326 @ railway.gov.tw

## 摘 要

鐵路建設長久以來皆為政府重要的交通投資項目之一，也由於建設資金規模甚為龐大，當政府財政困窘時，對於鐵路建設或維修的成本及經營的損益就相當重視，中央主管單位動輒要求交通營運機構負擔部份建設成本，或要求提高鐵道投資的自償性。以都市活動的角度而言，交通建設（鐵路、高鐵、捷運及重要公路等重要交通系統）周邊地區，由於可及性提升，經常成為都市土地價值最高及商業活動最繁華的地區。因此，如何結合車站周邊發展，將車站周邊土地開發或商業活動的效益，部份挹注於鐵路建設或維護的成本，為目前政府政策相當重視的一環。本文參考日本東京急行電鐵株式會社的發展經驗，以該公司結合鐵路建設、不動產開發與零售業經營的策略方式，希望能夠提供國內相關單位推動鐵路建設之參考。

**關鍵字：**鐵道建設、都市更新、整體開發、東急集團。

## Abstract

*Constructing railways has long been an important investment aim for governments, and as a large-scale investment, when governments find themselves in difficulty, they tend to focus on the cost of constructing and*

---

<sup>1</sup>臺鐵局 企劃處 處長

<sup>2</sup>育辰工程顧問股份有限公司 主持技師

*maintaining railways and the gains and losses incurred in operating them. The central managing unit frequently demanded that the unit responsible for transport construction bear the burden of construction costs, or that railway investment become more self-liquidating.*

*From the perspective of urban activity, areas which are surrounded by transport facilities (railway stations, MRT stations, key road systems) are often those in which land value is highest and commercial activity most flourishing due to their increased accessibility. As a result, the question of how to combine development of the areas surrounding train stations and the efficiency and profitability of commercial activity so as to partially defray the cost of constructing and maintaining railways is emphasized in current government policy. This article discusses the development of the Japanese Tokyu Corporation in the hope that the Tokyu Corporation's strategy of combining railroad construction, fixed-asset development, and retail business operation can be provided as a reference for relevant units in Taiwan who are promoting railway construction.*

**Keywords:** *railway construction, urban renewal, integrated development, Tokyu Corporation*

## 一、日本鐵路簡介

### 1.1 日本社會背景

日本山地多、平原少，人口密度約為每平方公里 339 人，在土地稀少且人口密集的條件之下，日本以高密度的開發模式並嚴格控制和規範土地開發行為，避免土地資源的浪費，務求土地資源的使用與開發最佳化。同時，在交通運輸政策上，日本以快速軌道建設與便捷的交通運輸引導城市的發展模式，滿足民眾業務、通勤、通學、休閒與消費需求。

### 1.2 日本鐵路建設營運主體概述

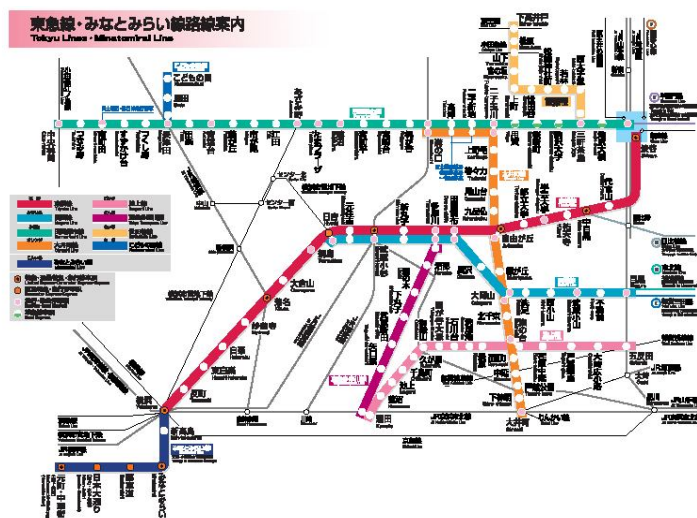
#### 1.2.1 國鐵

日本的鐵路分成國有鐵道與地區私人鐵道，國有鐵道貫通日本全國各地，投資興建公司為 JR(JAPAN Railroad)，JR 原本為 JNR『日本國有鐵道局』，例如我國的鐵路管理局，後來 JNR 日本國有鐵路因不堪長年虧損，遂於 1987 年民營化。日本國鐵局民營化後分成 6 家公司(JR 北海道、JR 東日本、JR 東海、JR 四國、JR 西日本、JR 九州)及專營貨物運送的 JR 貨物(JAPAN RAIL FREIGHT)等 7 家公司，繼續管理原本的國有鐵路，但是每一家公司都還是以 JR 為路線名稱的開頭，不過實際上已經具有民間企業的色

彩，且除鐵道事業經營之外，更參與車站周邊土地開發、物業經營與觀光等。

### 1.1.1.私鐵

日本當地還有許多民營(私鐵)及第三鐵道部門，皆為區域性經營，包括很多中小型規模的地方性鐵道會社，包括東武鐵道、東京急行電鐵、西武鐵道、阪神鐵道等，這些民營鐵路公司除了有本身的經營地域客運之外，也都結合事業集團中的建設事業、零售業、物業經營等，都可促進鐵路建設與營運上，配合地域性與融合企業文化的多元性。最重要的是，透過多元經營的模式，同時提升了交通運輸(運量)與土地使用(坪效)的效益，不僅讓鉅額的鐵路建設投資成本有回收的機會，也因為同時規劃鐵路車站與周邊地區土地的發展，讓都市運輸與土地使用的目標能同時滿足，提升都市環境的品質。本文介紹的東京急行電鐵，就是以東京都的澀谷為企業核心，主要營運來往東京都與神奈川縣西南部的多條鐵路線，如圖 1 所示。



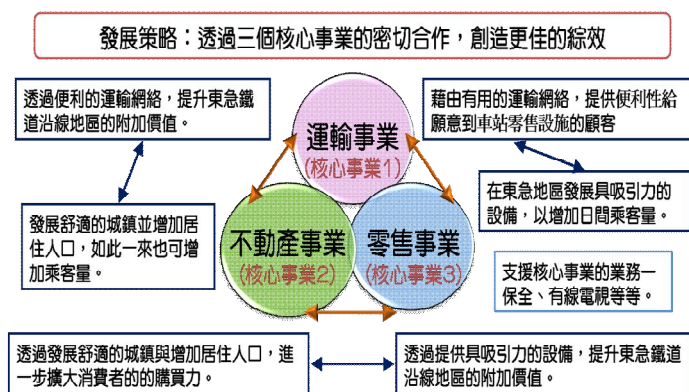
資料來源：東京急行電鐵株式會社官方網頁，2012。

圖 7 東急線營運路線圖

## 1.3 東京急行電鐵株式會社簡介

日本「東京急行電鐵株式會社」(Tokyu Corporation) 成立於 1922 年 9 月 2 日，總部位於東京都涉谷區，資本額約為 1,217 億日圓，2010 年營業收益約為 2,715 億日圓，員工人數 4,158 人。東京急行電鐵的經營可以分為三個核心事業群，分別為運輸事業、不動產事業、零售及生活服務事業，三個事業群相輔相成，形成一個機能互補的運作機制。也讓鐵道的建設經

營，增加更多彈性的考量。例如，運輸事業藉由提供便利性，可協助零售事業開發客群，同時也因為方便的交通具有提升區位優勢的利基，能夠讓不動產開發的價值增加。另一方面，零售事業則透過開發具吸引力的設施或服務，增加運輸事業的乘客量，並提升周邊住宅或辦公不動產的價值。不動產事業透過都市更新或整體開發，也能為地區吸引人口進駐，增加運輸事業乘客量，同時為零售事業帶來客群，如圖 2 所示。



資料來源：1.東急集團簡介，2012。  
2.Tokyu Corporation (3YMid-term\_Management\_plan 03/2012).  
3.本文整理。

圖 2 日本東京急行電鐵發展策略

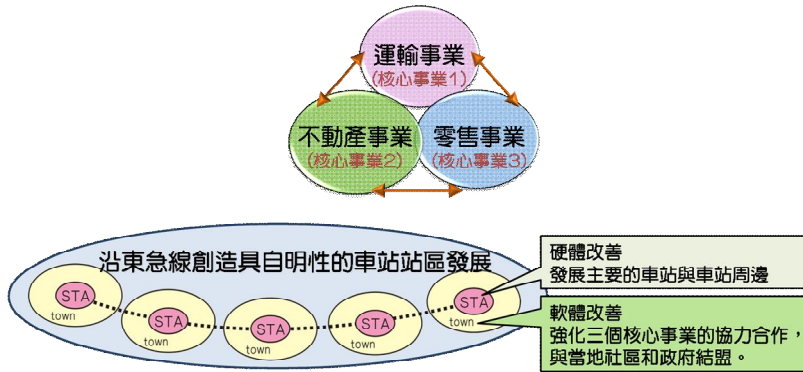
## 二、日本鐵路結合建設的開發策略

### 2.1 交通建設與周邊都市發展為一個整體

東京急行電鐵株式會社(Tokyu Corporation)研擬車站沿線發展策略，有效運用交通規劃建設為都市再發展的契機，結合區域特性與地區需求，規劃符合當地適用之都市發展策略，以創造具有地方發展特色的站區，並且促進交通建設與站區利用多元化，如圖 3 所示。

例如，東急集團推動的「二子玉川東地區第一種市街地再開發事業」，約 11.2 公頃的計畫範圍中，將二子玉川車站、國道建設(類似臺灣的省道)與車站周邊都市更新結合；此外，東急集團於 2012 年 4 月底開幕的澀谷東急文化會館新建大樓，也是透過新建的澀谷車站結合周邊地區都市更新事業。上述兩件開發計畫，不僅著重於車站硬體設施與機能的改善，更納入站區周邊社區環境整體開發，以滿足整體都市活動的改善需求，東急集團發揮運輸事業(包含公車轉乘)、不動產事業與零售事業三個核心事業整合發展之綜效。二子玉川車站與新澀谷車站的開發，都是車站建設與週邊土地都市更新事業結合發展之成功案例，與車站共同開發的購物中心、辦公室

與住宅社區建設完成後，不僅大幅改善車站周邊地區原本老舊的環境，更重要的是其經營效益提供企業組織長期財務貢獻及事業競爭力，讓鐵道公司永續經營。開發後現況如圖 4、圖 5 所示，以鐵路公司主導車站周邊更新開發作業，重新活化周邊地區環境與商業機能。



註：東京急行電鐵株式會社之三個核心事業為：運輸事業、不動產事業與零售事業  
資料來源：1. Tokyu Corporation (3Years Mid-term Management plan 03/2012).

2. 本文整理。

圖 3 交通建設與周邊地區共同發展策略



圖 4 二子玉川車站及周邊開發現況



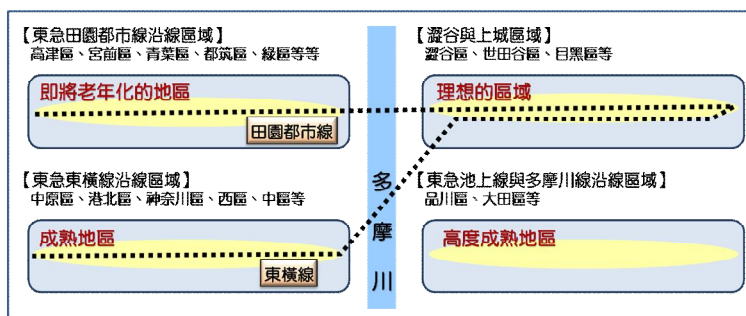
圖 5 東急澀谷車站及澀谷東急文化會館現況

## 2.2 針對區域特性發展階段與特性調整事業內容

東京急行電鐵在東京地區經營的鐵道路線包括：東橫線(澀谷站～橫濱

站，約 24.2km)、目黑線(目黑站～日吉站，11.9km)、田園都市線(澀谷站～中央林間站，約 31.5km)、池上線(五反田站～蒲田站，約 10.9km)、多摩川線(多摩川站～蒲田站，約 5.6km)、世田谷線(三軒茶屋站～下高井戶站，約 5.0km)等，每條路線所經過的區域發展狀況不同，鐵路公司針對區域發展狀況條件，配合地區的發展需求採取不同的策略，不僅增強鐵道服務對沿線居民的吸引力，同樣地也可增加集團的經營效益。

例如，東急電鐵在規劃區域發展策略時，依照站區車站與周邊之居民、乘客特性，將東急沿線地區分為四個區域，並針對不同區域使用者特性與人口、經濟現況發展，研擬不同的對策，以確定每條路線及車站的發展內容，配合公共設施、產業類型與房地產發展，將軌道建設與土地開發一體化規劃興建與營運。如此，不僅更名為老舊區域注入新的活力，也藉著軌道建設的興建，提供車站周邊最需要的都市發展機能，達到都市的活化與再生，同時創造鐵道事業經營最大的利潤，如圖 6、表 1 所示。



資料來源：1.Tokyu Corporation (3Years Mid-term Management plan 03/2005)。  
2.本文整理。

圖 6 東急鐵道沿線區域發展特性

表 1 鐵道沿線區域發展特性

區域	特性	策略	舉例
東急田園都市線沿線區域	現階段人口成長，但即將老年的地區；可預測不久後會快速老化。	將有用的設備聚集在車站周邊，透過這項措施，可改善城鎮的便利性。	高津區、宮前區、青葉區、都筑區、綠區等。
澀谷與上城區域	理想的區域；具有平衡的人口流動。	保持現況，可做為發展良好的範本，有助於提升東急的品牌價值。	澀谷區、世田谷區、目黑區等。

東急池上線與多摩川線沿線區域	高度成熟地區；需要被更新的地區。	透過增加有小孩的家庭人口流入，活躍更新區域周邊	品川區、大田區等。
東急東橫線沿線區域	成熟地區；將慢慢成為人口老年化社會。	藉由製造具吸引力的需求條件，創造橫濱地區鐵路使用的需要性。	中原區、港北區、神奈川區、西區、中區等。

資料來源：1.Tokyu Corporation (3Years Mid-term Management plan 03/2005) 2.本文整理。

## 2.3 推動綠色交通與社會責任

在都市運輸的方式上，鐵道是最安全便捷與節能減碳的運輸方式，因此吸引更多民眾搭乘，不僅是鐵道經營者的目標，也是都市交通的發展願景。根據東急集團經營的「田園城市地鐵線」的調查統計，居民到地鐵車站的方式之統計總量中，有 67.8% 為步行，24.7% 為公共汽車，僅有 6.1% 為使用私人小汽車。主要的因素，也在於東急鐵道本身也具有公車經營服務，便利的接駁公車系統除了可吸引遠距離乘客前往使用地鐵，同時還有效地降低社區內部機動車交通使用。除此之外，東急集團內部更注重企業內的綠色標章與節能減碳，希望在鐵道事業、建設與零售業經營核心之外，更能給予顧客愛護能源與愛護地球的企業形象，公司也積極參與社區活動的贊助與教育活動，加強東急鐵道車站周邊的社區意識。

## 2.4 拓展沿線居民生活的服務

在交通與通訊網路事業服務範圍更為密集的環境下，東急集團也準備發展非實體商店的服務(non-store convenience services)，顧客可以透過通訊設備、網路或電視訂貨，貨物或服務就可以直接宅配到家。由於東急集團內已經擁有百貨與零售店，搭配密集的電車路線網絡與公車系統，加上鐵路沿線部份社區的物業經營也屬東急集團子公司，透過事業體中的核心事業即可完成大部分非實體商店的服務機能，不僅可創造更多的經營效益，而且東急集團的服務與企業形象更能與地方民眾更緊密的連結。

## 三、產生效益

日本東急電鐵積極推動車站周邊的開發與發展相關事業，直接反映在營業利益的貢獻上，依照東急電鐵的營業利益統計(Operation Profit，如表 2 所示，附業營業利益佔收益的比例，近年來呈現穩定成長趨勢，比例也皆高於 60% 以上。透過結合鐵路事業周邊多角化經營，集團超過一半以上的營業利益來自於



不動產經營、生活服務、休閒服務、旅館等，展現其積極結合相關事業，提升鐵路事業的經營成效。

反觀我國臺鐵局近五年營業統計資料，如表 3 所示，本業收入(客、貨運)部分除 2009 年佔比較低(約 67%)之外，2010 年至 2013 年本業收入佔總收入約 73%~74%。相對來說，附業收入(租金、貨、餐、代理及出售利益)佔臺鐵局營業收入比例不高，除民國 98 年佔比較高(約 25%)之外，2010 年至 2013 年附業收入佔總收入僅約 15%~19%。顯示臺鐵主要收入來源仍依賴鐵路事業經營，超過 80% 的收入必須靠客、貨運的收入及政府補助，即表示臺鐵局在附業方面的成長上有極大的努力的空間。

表 2 日本東急電鐵近五年營業利益統計

年度		2009		2010		2011		2012		2013	
項目		金額(百萬日元)	比例	金額(百萬日元)	比例	金額(百萬日元)	比例	金額(百萬日元)	比例	金額(百萬日元)	比例
運輸本業		25,806	39.5 %	23,229	44.0 %	28,481	49.9 %	18,319	33.3 %	18,048	32.4 %
附業	不動產經營	23,587	36.1 %	22,851	43.3 %	16,923	29.6 %	22,429	40.8 %	26,803	48.1 %
	生活服務事業	10,896	16.7 %	3,866	7.3 %	7,632	13.4 %	10,114	18.4 %	5,968	10.7 %
	休閒服務事業	2,215	3.4 %	1,461	2.8 %	2,741	4.8 %	2,877	5.2 %	-	-
	旅館及度假事業	682	1.0 %	-1,422	-2.7 %	-1,443	-2.5 %	-828	-1.5 %	1,440	2.6 %
	支援事業	2,018	3.1 %	2,611	5.0 %	2,628	4.6 %	2,515	4.6 %	3,052	5.5 %
	其他	93	0.1 %	142	0.3 %	155	0.3 %	-395	-0.7 %	428	0.8 %
總計		65,301	100%	52,741	100%	57,119	100%	55,032	100%	55,742	100%

資料來源：東京急行電鐵株式會社，2014，網頁資料。

表 3 臺鐵局近五年營業利益統計

年度		2009		2010		2011		2012		2013	
項目		金額(億元)	比例	金額(億元)	比例	金額(億元)	比例	金額(億元)	比例	金額(億元)	比例
本業	客、貨運	143.45	67 %	156.24	73 %	165.62	74 %	170.88	73 %	177.31	74 %
附業	租金、貨、餐、代理	39.45	19 %	26.84	13 %	28.1	13 %	29.31	12 %	31.01	13 %
	出售利益	12.50	6 %	14.14	6 %	9.07	4 %	8.80	4 %	6.15	2 %
政府補助		17.94	8 %	16.39	8 %	20.47	9 %	26.42	11 %	25.55	11 %
總計		213.34	100 %	213.61	100%	223.26	100 %	235.41	100 %	240.02	100 %

資料來源：臺灣鐵路管理局，2014。

## 四、對我國鐵路事業的建議

日本鐵路公司整合交通事業、不動產開發、零售事業與其他事業共同經營的方式，確實有效提升交通事業體的經營效益。參考東急電鐵株式會社的事業經營經驗與策略，可供我國鐵道事業經營的相關建議如下：

### 4.1 臺鐵局

#### 4.1.1 應以鐵路事業為核心，積極拓展周邊事業

日本軌道交通營運雖然仍以鐵道為中心，與我國最大的差異是鐵道公司組織內部更包含「房地產開發及租賃業」、「購物中心零售服務業」、「公共汽車業」、「出租車業」、「旅遊觀光業」、「觀光旅館」等。因此，鐵道公司以鐵路事業為核心，結合周邊事業共同發展的經營模式，讓企業集團事業相當多元，也充分利用鐵道事業帶來的便利性效益。長期目標應突破鐵路法相關法令在擴充經營事業上的限制，但建議短期內仍可加強與旅客服務較為相關的業務，例如，以多目標使用提供車站內的餐飲、零售、百貨與觀光旅遊服務等，不僅有助於提升鐵路事業的經營效率，更可透過旅客服務的經驗，提升組織內部的經營管理能力與創意。

#### 4.1.2 加強鐵路周邊轉乘運輸的整合

日本鐵路公司通常也經營接駁公車系統，為鐵路提供轉乘與集散客流。雖然公路接駁系統營運之虧損率較高，但便利的公車系統，可支援運具間短程或長程的轉乘路徑，不僅有助於提高鐵路的搭乘並維持鐵路的客流量，更可增加轉乘站周邊的商業空間價值，提高鐵路公司內部的整體利潤水平。臺鐵局雖然不必要也兼營公路運輸事業，但是仍應重視鐵路與其他運輸工具轉乘的便利性，做為吸引更多旅客使用鐵路或車站空間的策略，例如，與其他運輸票證整合、聯合促銷或策略聯盟等，都是未來可以加強的方向。

#### 4.1.3 加強非實體商店的服務

臺鐵局可利用交通運輸環島服務的優勢，掌握每日超過 60 萬旅次之機會，可利用電腦訂票的紀錄資料，透過社群網站來與全省各縣市的旅遊及農特產品結合，可形成強大且極具商業價值的非實體商店服務，在目前物流業如此發達的情況，要做到及門的服務將可水到渠成。所產生的效益不僅是臺鐵局的收入增加，更是協助全省各縣市的商業活絡及幫助農民產品的銷售，潛在之外部經濟效益遠大於實質之內部商業效益，並且有助於提升臺鐵局的企業形象。

## 4.2 地方政府

### 4.2.1 重視鐵路車站為都市發展的中心

以都市發展的理論來看，由於車站建設帶來的便利性會隨距離遞減，愈靠近車站的物業價值相對越高。一般來說，房地產開發為追求利潤，房地產應該向車站集中，形成車站建築密度高，向外圍逐步降低的趨勢。雖然，日本鐵路公司通常也擁有車站周邊大面積土地，不過，仍需與負責規劃的地方政府積極配合，力求土地經營效益與客流的最大化。因此，地方政府應與臺鐵局合作車站周邊的整體規劃，加強鐵路車站周邊的步行活動空間與轉乘設施，改善都市環境品質，同時也符合了緊湊都市(Compact City)的發展理念，更能重新活化市中心區的商業活動，創造更大的都市發展效益。

### 4.2.2 車站周邊土地多元利用與提高使用強度

由於鐵路公司整體的經營策略，會影響車站與周邊都市發展，以達成大眾運輸導向(TOD)發展為目標。例如，為了充分利用鐵路建設的效益，應允許鐵路車站開發為商業大樓，提供百貨商店、遊樂場、旅館等機能，有些車站更可能與體育場、公園開發結合，利用鐵路所帶來人潮的契機，提升都市中心的魅力與都市競爭力。

### 4.2.3 以加強合作代替回饋捐贈要求

目前臺鐵車站配合都市更新或鐵路立體化工程，必須向地方都市計畫主管機關申請變更，以符合車站多元利用的目標，例如車站用地變更為車站專用區。不過，在申請都市計畫變更的過程中，地方政府通常會認定臺鐵土地由鐵路用地（公共設施）變更為車站專用區（可開發用地）產生土地增值，要求臺鐵捐贈土地或回饋代金。政府在車站或鐵路立體化建設未完成且土地開發為實現前，即要求臺鐵局捐贈回饋或負擔自償費用，不甚合理。又鐵路建設不僅可提升地方交通服務品質，立體化建設更可提升都市環境品質，與要求建商住宅開發利益回饋的思維應有不同。反之，若地方政府視臺鐵局為地方發展建設的合作夥伴，結合臺鐵建設計畫推動車站周邊都市再生，應可創造出更大的都市發展效益。

## 參考文獻

1. 二子玉川東地区市街地再開発組合(2007)，「二子玉川東地区第一種市街地再開発事業」。
2. 中華民國都市計畫學會(2009.12)，研提運輸建設與土地整體開發計畫及財務機制－以捷運建設為例，交通部高速鐵路工程局委託。

3. 臺灣鐵路管理局企劃處(2014)，臺鐵局營業統計資料。
4. 主婦と生活社(2008.7.17)，最新版東京`首都圏 近未來タウン地圖。
5. 東京計畫研究會(2010.7.22)，東京計畫地圖，かんき出版社。
6. 東京急行電鐵株式會社(2014)，東急集團(Tokyo Cooperation)網頁。
7. 東京急行電鐵株式會社(2012.3.28)，3 Years Mid-term Management plan。
8. 東京急行電鐵株式會社(2005.3)，3 Years Mid-term Management plan。
9. 東京急行電鐵株式會社(2014)，東急鐵道路線圖，東急集團網頁。
10. 簡文彥(2008.10)，日本東急建設參訪紀錄，經濟部工業局2008日本東京考察資料。
11. 簡文彥(2012.3.30)，日本二子玉川車站參訪，育辰工程顧問股份有限公司。

## 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. 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。
4. 本刊稿件將送請委員評審建議，經查核通過後，即予刊登。
5. 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。
6. 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 Word2003 以上中文版軟體)，以利編輯作業。
7. 所有來稿(函)請逕寄「10041 臺北市中正區北平西路 3 號 5 樓，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：(02)2381-5226 轉 3146；傳真：02-23831396；E-mail：[0752895@railway.gov.tw](mailto:0752895@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，置中對齊，圖之說明文字置於圖之下方，表之說明文字置於表之上方，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

以中文引述者為限，中文列於前、英文列於後，中文按姓氏筆畫，英文按姓氏字母先後排列，左右對齊，前後段距離 0.5 列，單行間距，第一行凸排 2 個字元。如：

1. 王永剛、李楠 (2007)，「機組原因導致事故徵候的預測研究」，中國民航學院學報，第廿五卷第一期，頁25-28。
2. 交通部統計處 (2006)，民用航空國內客運概況分析，擷取日期：2007年7月27日，網站：
3. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
4. 洪怡君、劉祐興、周榮昌、邱靜淑 (2005)，「高速鐵路接駁運具選擇行為之研究－以臺中烏日站為例」，中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會光碟。
5. Duckham, M. and Worboys, M. (2007), Automated Geographical Information Fusion and Ontology Alignment, In Belussi, A. et al. (Eds.), Spatial Data on the Web: Modeling and Management, New York: Springer, pp. 109-132.
6. FHWA (2006), Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan, FHWA-PL-06-001, Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C.

# 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。



# 臺鐵 資料

季刊 第 349 期

---

發行人	周永暉
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	周永暉
副主任委員	鹿潔身、何獻霖、鍾清達
總編輯	高明鑒
主編	楊安心
編輯	黎世俊
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： <a href="http://www.railway.gov.tw">http://www.railway.gov.tw</a>
出版日期	中華民國 103 年 6 月
創刊日期	中華民國 52 年 10 月
印刷者	文明文具印刷有限公司 地址：206 基隆市七堵區崇禮街 23 號 電話：02-24566075
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： <a href="http://www.govbooks.com.tw">http://www.govbooks.com.tw</a> 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： <a href="http://www.wunanbooks.com.tw">http://www.wunanbooks.com.tw</a>

電子全文同步登載於臺鐵網站

GPN：2005200020

ISSN：1011-6850

著作財產權人：交通部臺灣鐵路管理局

本書保留所有權利，欲利用部分或全部內容者，須徵求著作財產權人書面同意或授權。

---