

ISSN 1011-6850



交通部臺灣鐵路管理局
TAIWAN RAILWAYS ADMINISTRATION MOTC

臺灣鐵路

2009 98年臺鐵資料

TAIWAN Railway Journal



季 刊
Quarterly
第 340 期
NO : 340

中華民國 98 年 12 月出版
December 2009

臺鐵資料季刊

發行人：范植谷

發行所：交通部臺灣鐵路管理局

編輯者：臺鐵資料編輯委員會

主任委員：范植谷

委員：徐亦南 黃民仁 張應輝 陳世昌
陳明海 高明鑿 鹿潔身 何進郊
陳憲頂 黃運傑 黃茂禎 吳世瑛
黃振聲 李傑松 陳瑞良 蔣東安
鍾朝雄 賴秋金

總幹事：陳世昌

幹事：賴威舟 李忻瓊

總編輯：許文鑫

電話：23815226 轉 2302

電子信箱：tr393352@msa.tra.gov.tw

編輯：王宜達

電話：23815226 轉 3338

電子信箱：tr754604@msa.tra.gov.tw

地址：臺北市 10041 中正區北平西路 3 號 5 樓



L D K 5 8

目錄 CONTENTS

- 1 軌道配置之原理與實務 林文雄
The principles and practice of track layout
- 46 主吊線 49.5 mm^2 更換為 95 mm^2 吊掛線長度之計算 陳文晉
Calculating length when changing 49.5 mm^2 messenger wire into a 95 mm^2 dropper
- 77 軌道車輛舒適度探討
Study of railway vehicle comfort
許立育 王宜達 江耀宗
- 93 機車車輪黏著力控制系統研究 王宜達
Study of locomotive wheel adhesion force control systems
- 105 從引申需求的觀點看觀光發展與旅運需求
Looking at tourism development and travel demand from the angle of derived demand
謝武昌
- 109 編後語 王宜達
- 110 徵稿須知

軌道配置之原理與實務（一）

The principles and practice of track layout

林文雄 LIN, Wen-Hsiung¹

地址：10367 臺北市大同區酒泉街 33 號 6 樓
Address：6F 33 Jiou Chiuan St. Taipei 10367 Taiwan

電話：02-23119192
Tel：02-23119192

電子信箱：tr420360@msa.tra.gov.tw
E-mail：tr420360@msa.tra.gov.tw

摘要

本文之軌道配置係指各種路線之配置與連接（connect）方法，其範圍包括路網與站場之路線。站場包含車站與調車場，路線包含正線與側線。

軌道配置係結合工程技術、區域地理、地形、地質、水文、列車運轉、國家發展計畫、財經等各領域知識之綜合規劃。卓越之軌道配置可充分發揮路線功能，使車輛進出動線順暢，路徑短，運轉效率提高，用地面積小，節約建造成本，降低維修保養與營運成本。為達到上述目的，本文除分析說明軌道配置之基本原理與相關法規外，同時介紹軌道配置之基本步驟，並以不同類型之站場為例說明其作法，俾供工程界參考，期能拋磚引玉，藉以提升國內軌道工程技術水準，是所至盼。

關鍵字：站場、路線、曲線、配線。

Abstract

“Track layout” in this paper refers to the layout and connection of various tracks including network and station tracks. Stations include stations and marshalling yards and tracks include main tracks and sidings.

Track layout is overall planning that combines engineering technology, regional geography, hydrology, train operation, national development plans and finance and other areas of knowledge. Excellent track layout can bring route function fully into play, making train entry and exit smooth, shortening routes, increasing operating efficiency, reducing area used, reducing building costs and lowering maintenance and operating costs. To achieve the aforementioned objectives, this paper analyzes and explains basic principles of track layout and related laws and, at the same time, introduces the basic steps in track layout, explaining the method using different station type examples. The aim is to provide reference for engineers and encourage others to carry out research in this field so that the level of track engineering in Taiwan is raised

Keywords: station site, route, curve, arrangement of tracks

1. 本局副總工程司

一、路線與運轉基本概念

1.1 內容概述

本文內容包含鐵路系統中之站間正線規劃與站場路線佈置。文中闡述軌道配置之組成內容及其影響因素、軌道配置規劃之基本原理及其相關規定，同時介紹站間正線規劃與站場路線佈置之基本步驟與做法，俾供鐵路工程界之參考。

軌道係鐵路營運之必要基本設施，作為鐵路車輛運行之基礎。為使軌道路線能滿足運輸能力之需求目標，並經常保持路線最佳狀態，確保行車安全，定線工程師對影響運輸能力、行車安全與站場運轉效率等相關之行車制度、路線容量、行車速度、號誌與聯鎖、站場設備與作業方法等基本知識，運轉所需設施之相關規定及其原理，應深入了解始能規劃出最佳之軌道定線方案與站場路線配置。

路線規劃設計之基本目標是安全、快速、舒適與經濟等，因此，除遵守規章之規定外，亦應考慮施工期間工程成本、營運期間運轉效率與路線維修保養費用之經濟性，此項目標常被忽略，就提昇鐵路技術水準與企業永續經營而言，此點尤需重視。

路線之建設時機包括新建、改線或改善、擴建等，其基本原理雖然相同，但作業方式或重點略有差異，為求思慮周密，提高規劃設計作業效率，本文對各建設時機之規劃設計步驟亦作一些介紹。

鐵路車輛行駛某些里程或經過一定時間後，必須進入維修場所進行檢查或維修作業。維修場所之所在，早年臺鐵多以維修單位之名稱代之，如動力車之檢修處所稱為機務段，客貨車之檢修場所稱為檢車段，動力車及客貨車之大修場所稱為機廠。隨著時代之變遷與營運方式之改變，車輛維修體系與維修場所之配置方式，亦須配合因應，因之維修場所常有不同之名詞出現，如基地、車輛基地、客車場、調車場等，令人眼花撩亂，造成諸多困擾。上述名詞在規章未統一界定之前，本文將就其發展歷程及內涵加以說明，釐清觀念，俾利規劃設計與溝通協調。

1.2 站場與路線

1.2.1 站場之意義與分類

鐵路運輸系統為能把旅客與貨物安全、準時、迅速地運達目的地，除須有適當之路網與載運旅客與貨物之車輛外，在路網之適當距離內，為旅客上下及貨物之裝卸，需設置有車站；為列車運轉，在適當地點亦需設置列車交會待避等設備；又為機車與客貨車之清掃、加油加砂、與小規模修理，以確保運轉安全，應設有實施車輛保養所必須之設備；為達成順利運輸之目的，編組列車之車輛，應經常按適當順序連掛；為實施列車編組之整理，應設有實施車輛摘掛及調車等設備。如上所述設有辦理客貨業務與運轉上所需設備之處所，統稱為站場。

站場可依各種不同之觀點予以分類。臺鐵「行車實施要點」，將站場分為下列三類：

一、車站(Station)：指辦理行車及營業之場所。

車站為辦理旅客及貨運業務而設，絕大多數之站場皆屬之。車站除設有辦理客貨業務之設備外，另亦有合併設置車輛保養、列車編組、車輛調

整、列車交會，以及列車待避等設備者。不辦理客貨運業務僅具有運轉上所需設備之站場，不得稱其為車站。

二、號誌站(Signal Station)：指專辦理列車交會、避讓，不辦營業之場所。

號誌站乃專為列車交會待避而設，概不辦理客貨運業務，以縮短站間距離，提高行車速度，故亦稱錯車站，設置於區間較長的兩站之間。因其既不辦理客貨運營業，亦不辦理調車作業，故日本將號誌站稱為信號場，我國一般皆稱為號誌站。號誌站依其管理方式，或為無人號誌站，或為有人號誌站，前者設置於中央控制行車制區間，後者設置於非中央控制行車制區間。

三、調車場(Yard)：指專辦理列車編組及車輛調移之場所。

調車場不辦理客貨運業務，乃專為列車編組及調車而設。調車場依使用目的，分為客車調車場(Coach Yard)及貨車調車場(Freight Car Yard)兩種。客車調車場係為旅客列車變更編組、檢查修繕、洗刷留置、以及其他為客車運用上作必需之準備。貨車調車場則為貨物列車編組與整理其編組而設。一般調車場均兼設機車及客貨車等保養設備。

車站之類別，可區分如下：

一、依運輸對象分類

- (一) 客運站 (Passenger Station)：大都會區之車站因客運業務繁忙，且用地取得困難，不能兼辦貨運業務，僅能專辦旅客業務及行李的車站，稱為旅客車站。
- (二) 貨運站 (Freight Station)：在工業區或大都會區貨運特別繁忙之處，需在接近調車場附近設立貨物車站，專辦貨運業務，包括貨物列車到開、裝卸、倉儲等業務。
- (三) 一般車站 (Station)：鐵路之一般車站，其客貨運量不大者，毋須將旅客與貨物車站分別設立，而將客貨運業合併在同一車站辦理，以節省場地、設備及人力。車站以此類佔最大多數。

二、依業務量而分：臺鐵內部基於管理之需要，依各站經辦業務之繁簡，而分下列等級。

- (一) 特等站：客貨量業務特別繁忙之車站。
- (二) 頭等站：客貨運業務較為繁忙之車站。
- (三) 二等站：客貨運業務不甚繁忙之車站。
- (四) 三等站：客貨運業務清淡之車站。
- (五) 簡易站：僅派站員未派站長之車站。
- (六) 招呼站：未派站員而有列車停靠，旅客在車上辦理購票之車站。

三、依平面形狀分類

- (一) 貫通式車站 (Through Type Station)：路線貫通站場、站房等主要建築物，即站場設於路線兩側之車站。惟高架路線區間，其站場建築物設在路線下方，或地下路線區間，站房建築物設在路線上方者，仍屬貫通式車站。
- (二) 端末式車站 (Stub Type Station)：路線呈盡頭狀，站場之主要建築

物位於路線之末端。位於路線終點之站場，以此種型式居多。

四、依路線位置分類

- (一) 終點站 (Terminal Station)：終點站依觀點之不同而有兩種解釋。通常係以位於路線之終端者稱之，端末式之站場屬之。但就另一觀點而言，舉凡列車始發終點之站場，縱其為貫通式，亦可稱為終點站。旅客列車之終點站，需設有旅客列車編組及洗車等設備。貨物列車之終點站，需設有貨車分解、編組等設備。又如更換機車之站場，即稱為機車終點站之站場，則需備有機車檢查、保養等設備。
- (二) 中間站 (Intermediate Station)：位於路線中途之站場，即列車通過之站場，為貫通式之形式。
- (三) 支線分歧站或連絡站 (Junction Station or Branch - off Station)：位於兩條以上路線之匯合地點而辦理聯運者，其中有列車向幹線直通往支線者。及因支線為端末式者致不能直通運轉者。

1.2.2 路線之分類

鐵路路線之名稱用語甚多，為避免混淆且便於爾後規劃設計與維修管理之需要，特依其性質分類說明如下：

一、依路網之組成而分

- (一) 幹線：為鐵路網中之主要路線，如臺灣環島鐵路系統之縱貫線、屏東線、南迴線、臺東線、北迴線、宜蘭線等。
- (二) 支線：由幹線分支而出到達某一地域之次要路線，如臺鐵之平溪支線、內灣支線、集集支線、林口支線等。
- (三) 區間路線：為聯絡重要市鎮或幹線之路線，如臺鐵之臺中線(竹南至彰化及成功至追分)。

二、依軌道數目而分

- (一) 單軌路線：路線上僅鋪設一股軌道，供來往列車行駛。
- (二) 雙軌路線：路線上鋪設二股軌道，供來往列車各自行駛一股軌道。
- (三) 多軌路線：路線上鋪設多股軌道，可供數列車來往行駛。

三、依規劃設計標準而分

臺鐵路線設計及設施標準之訂定，按軌道通過負荷量、行車速率及業務性質等，將其路線等級區分如下：

- (一) 特甲級線：包括縱貫線（基隆至高雄及鼓山至高雄港）、臺中線（竹南至彰化及成功至追分）、宜蘭線（八堵至蘇澳）、北迴線（蘇澳新站至花蓮）、臺東線（花蓮至臺東）、南迴線（臺東至枋寮）、屏東線（高雄至枋寮）。
- (二) 甲級線：包括花蓮至花蓮港、北埔至花蓮港。
- (三) 乙級線：指特甲級線、甲級線以外之各線。

四、依運轉作業而分

- (一) 正線：提供旅客運送服務使用之路線或其他列車運轉經常使用之路

線稱為正線。可分為站場內列車到開或通過常用路線之站內正線，及行駛於兩站間之站外正線。

(二) 側線：正線以外之路線稱為側線。

1.3 路線與運能

欲評估路線定線、站場軌道配置等軌道系統規劃，對未來列車運能之影響，需對列車運轉性能及其原理有所了解。

影響運能之列車運轉性能，主要為機車牽引噸數與列車運轉時分等因素，上述因素與路線定線、站場軌道配置有關之項目為列車載重、行車制度、行車密度與路線容量、行車速度等。

1.3.1 列車載重

列車載重係指機車牽引客車或貨車所組成的列車，在某種坡度、曲線和行車速度下，所應牽引之噸數。影響列車載重的主要因素為機車牽引力和列車阻力等。

一、機車牽引力

機車經由主電動機(牽引馬達)或引擎所產生之迴轉力，傳達至動輪，促使自身前進並牽引客貨車行駛之拉力，稱為牽引力。牽引力依其作用處所，可分為動輪牽引力和連結器牽引力。

(一)動輪牽引力

主電動機(牽引馬達)或引擎之迴轉力，經動力傳動裝置，在動輪周圍與鋼軌間產生之牽引力，稱為動輪牽引力。

動輪牽引力 = (指示牽引力) - (動力傳動裝置之損失)

指示牽引力係指發生在電樞或引擎之迴轉力傳動至動輪時，假定動力傳動裝置無損失(即機械效率 100%)時之牽引力。

由上可知，動輪牽引力係實際發揮在動輪周圍之牽引力，因此，一般所謂之牽引力即為動輪牽引力。

(二)連結器牽引力

連結器牽引力係指機車牽引客貨車時，發生在機車後端連結器的牽引力。

連結器牽引力 = (動輪牽引力) - (機車本身之阻力)

由上可知，連結器牽引力係實際可用於牽引客貨車之有效牽引力。

二、列車阻力

列車在直線上，如保持一定之牽引力行駛時，列車速度會逐漸下降，係因列車行進之反方向上，有一反抗列車前進的作用力所致，此種反抗列車前進之阻力，稱為列車阻力。

列車阻力相當複雜，因素很多，主要者為：出發阻力、行駛阻力、曲線阻力、坡度阻力、隧道阻力等五種。

列車阻力的單位，一般以全列車每噸列車重量之阻力 kg/t 表示之。

(一) 出發阻力

在平坦直線上呈停車狀態之列車，啓動行駛時之阻力，稱爲出發阻力。圖 1.3-1 爲出發阻力與行駛阻力之關係圖，圖中顯示，列車啓動時之阻力較大，啓動之後，隨著列車速度之升高而急遽變小，至一最小值後，即變爲一般的行駛阻力而增大。

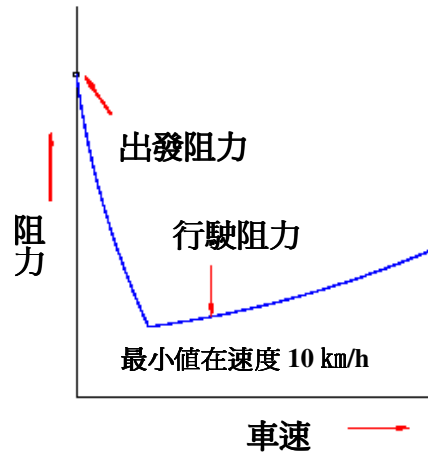


圖 1.3-1 出發阻力與行駛阻力之關係

(二) 行駛阻力 (Running Resistance)

列車在平坦直線上行駛之阻力，稱爲行駛阻力。其主要原因有：車輪與軸承間之摩擦、車輛與軌面間之摩擦、車輛搖動、空氣阻力、閘瓦與輪筭接觸摩擦、機械部分摩擦等。因此，行駛阻力乃係各阻力之總和，行駛阻力之起因複雜，欲個別計算其阻力值，不但不易且計算繁雜誤差亦多。通常利用實車測試等實驗方式，求出行駛阻力之經驗式：

$$R = a + bV + cV^2 \text{ ----- (1-1)}$$

上式中 R：行駛阻力 (kg/t)；

V：行駛速度 (km/h)；

a：與速度無關之常數 (如車軸之摩擦、閘瓦與輪筭之接觸摩擦、機械部分之摩擦等)；

b：與速度成正比之係數 (如車輛與軌面間摩擦有關之部分)；

c：與速度平方成正比之係數 (如空氣阻力、車輛搖動有關之部分)；

(三) 坡度阻力 (Grade Resistance)

列車行駛於上坡之路線上，如圖 1.3-2 所示，因受地心引力之作用，將產生與列車成相反方向抵抗列車前進之阻力 $W \sin \alpha$ ，故坡度行車除直線行駛之行駛阻力外，又須增加一種坡度阻力，其大小爲 $R_i = W \sin \alpha$ ，W 爲列車總重。

路線坡度，普通以 1:n 之比例表示之，最好以千分之幾 (‰) 或百分之幾 (%) 表示之。如坡度 S 以 ‰ 表示，L=長度，h=升高，因路線之傾斜角 α 甚小， $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ 則

$$\tan \alpha = \frac{h}{L} = \frac{S}{1000}$$

$$R_i (\text{kg}) = W (\text{t}) \sin \alpha \cdot 1000 (\text{kg})$$

$$= W (t) \cdot \frac{S}{1000} \cdot 1000 (kg)$$

$$= W (t) \cdot S‰$$

列車每一公噸 (ton) 重量產生之阻力 R_i (kg / t) 即等於路線之坡度 S (‰)，其公式如下：

$$R_i (kg / ton) = \pm S (‰) \text{ ----- (1-2)}$$

上坡為正數，下坡為負數，因下坡重力可幫助機車牽引力，並使阻力減少。無論標準軌或窄軌路線，坡度阻力之計算公式相同。

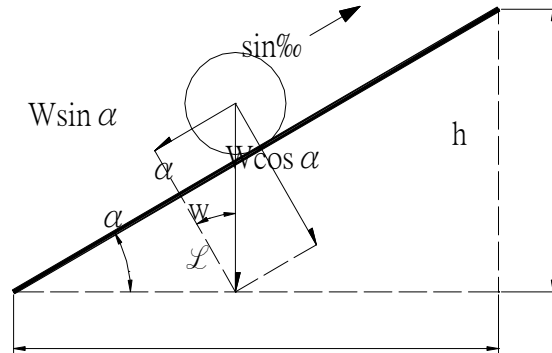


圖 1.3-2 坡度阻力

(四) 曲線阻力 (Curve Resistance)

列車在曲線上行駛時，阻力加大，此種增加的阻力稱為曲線阻力。產生曲線阻力之主要原因有三：

- 離心力。普通之離心力計算式為 $\frac{m \times v^2}{R}$
- 外軌滑行及內軌滑轉，因行走路程不同。
- 外軌前輪及內軌後輪之壓力增強。

由其發生之原因可知，曲線阻力之大小與曲線半徑、軸距、輪邊之構造、輪軌間之空隙、車輪直徑、軌距及軌距加寬、外軌超高、行車速度等有關，甚難訂定一適合各種條件的公式，通常以莫里遜 (Morison) 式所發表之公式估算之。

$$R_c = \frac{1000\mu(G + L)}{2R} \text{ ----- (1-3)}$$

上式中 R_c ：曲線阻力 (kg / t)；

μ ：車輛與鋼軌間之摩擦係數；

G ：軌距 (m)；

L ：固定軸距 (m)；

R ：曲線半徑 (m)。

(五) 隧道阻力

列車在隧道行駛時，由於隧道之風壓變化而增加之空氣阻力，稱為隧道阻力。隧道阻力因隧道斷面形狀與大小、隧道長度、列車

形式、速度等因素之影響而有很大之變化。

三、列車載重

連結器牽引力除以車輛每噸阻力所得之商稱為機車牽引重量，即機車實際牽引各種車輛的自重和載重之和，亦稱列車載重，通常以公噸（t）表示之。其原理如下：

機車在平直路線上行駛，實際上可用於牽引客貨車的連結器牽引力 T_0 為

$$\text{連結器牽引力 } T_0 = (\text{動輪牽引力 } T) - (\text{機車本身之阻力 } R_t)$$

當列車在平直路線上以一等速度運轉時，連結器牽引力 T_0 應與牽引客貨車之行駛阻力 r 相等，此時之牽引重量即列車載重 W 可由下式求得：

$$T_0 = r W$$

$$\therefore W = \frac{T_0}{r} \text{ ----- (1-4)}$$

列車在曲線及坡度上行駛時，平直路線上之連結器牽引力 T_0 尚須減去機車之曲線阻力及坡度阻力，始為機車在曲線與坡度上之實際可牽引客貨車之有效牽引力。相對的牽引客貨車之行駛阻力，亦須加上曲線及坡度之阻力。因此，機車在曲線及坡度上之牽引重量 W ，可由下式求得：

其關係可由下式求得：

$$T_0 - (r_c + r_s) W_t = (r + r_c + r_s) W$$

$$\therefore W = \frac{T_0 - (r_c + r_s) W_t}{r + r_c + r_s} \text{ ----- (1-5)}$$

上式中

W ：列車載重（t）；

T_0 ：機車之連結器牽引力（kg）；

W_t ：機車重量（t）；

r ：牽引客貨車之行駛阻力（kg / t）；

r_s ：坡道阻力（kg / t）；

r_c ：曲線阻力（kg / t）。

停留在平直路線上之列車，啟動時之機車牽引重量，得由下式求之：

$$T_0 = r_0 W$$

$$\therefore W = \frac{T_0}{r_0} \text{ ----- (1-6)}$$

上式中 r_0 為牽引客貨車之出發阻力（kg / t）。

由式（1-4）、（1-5）中，可得知列車載重（即機車牽引重量） W 與行駛阻力成反比，由式（1-1）可知，行駛阻力與速度之平方呈正比。故運轉速度愈高行駛阻力愈大，牽引重量愈小，坡度愈大，曲線半徑愈小，阻力愈大，牽引重量亦越小。

四、機車牽引定數（Nominal Tractive Capacity）

列車按其「牽引類別」所定之運轉時分，機車能安全且準點，其所能

牽引之車輛重量，或列車在行駛過程中，一度停車能再起步時之前提下，對車輛編組比之限制數，稱為機車牽引定數。

「牽引類別」又稱「速度類別」。機車牽引定數之表示方法，計有換算噸數法、換算車數法、實際噸數法、連結器牽引力法、調整噸數法等。換算車數法在日本是以車輛 10 噸換算一輛，各車輛均需表示空重、載重。臺鐵在行車特定事項第 11 條規定以 2 軸車為 1 車，作為換算標準。換算噸數則依部頒車輛換算須知。

換算噸數法係參照式 (1-4)、(1-5)，列表估算各類型機車在各站間所定之運轉時分，安全而準時到達之速度限制下，機車所能牽引之最大重量，據而繪製各型機車之牽引重量曲線圖（牽引重量－速度關係圖）。

1.3.2 行車制度

鐵路行車以專用路權為其特徵，一股路線上行駛二組以上之列車時，因缺乏錯讓空間，對向列車有對撞的危險，同向列車則有追撞之可能。行車制度 (Train Operation System) 乃為保障列車安全運轉，所採用的行車方法。

一、行車制度之分類

行車制度係為保障行車安全與提高運轉效率的行車技術，依其作業方式，可分為二類：隔時法 (Time Interval)、隔地法 (Space Interval)。

(一) 隔時法

隔時法係以時間隔離兩列車的運轉方法，即前車行駛後，非經相當時間，後車不得運轉。此種行車制度，列車的運行依據列車時刻表及行車命令行駛，在正常情況下，各定點列車的行駛，依照時刻表規定時間與次序間隔行駛並交會避讓，如遇列車誤點、加開列車或行車事故運轉紊亂時，列車的行駛與交會避讓，則由調度員以行車命令書，通知乘務員執行。

隔時法早期為美國鐵路所採用，雖然長久以來仍普遍存在，惟絕大部分的鐵路系統，不會單獨採用隔時法，仍需併用通信方式或隔地法等技術。

(二) 隔地法

隔地法係以空間隔離兩列車的運轉方法，將路線分隔成許多區間，每一區間只允許一列車佔用，先行列車完全駛離該區間後，始准其他列車進入該區間，以避免意外事故的發生，此種區間稱為閉塞區間 (Block)，故隔地法之行車方法亦稱閉塞制 (Block System)。

二、隔地法之各種閉塞制度

閉塞區間內之列車會影響前後列車之運行，依列車在閉塞區間內之佔用情況，閉塞制可分為絕對閉塞制 (Absolute Block System) 和容許閉塞制 (Permissible Block System) 二類。前者係將兩站間當作一個閉塞區間，兩站間只准一列車運轉，絕對不允許同時有兩列車同向行駛，後者則在兩站間以設置閉塞號誌機之方式，區隔成數個閉塞區間，兩站間允許有兩列以上之列車，在適當安全距離內作同方向跟蹤行駛。

絕對閉塞制之行車控制方法有人工閉塞行車制及聯動閉塞行車制；容許閉塞制則有自動閉塞行車制及中央控制行車制。

(一)人工閉塞行車制(Manual Block System)

人工閉塞行車制，係利用人工來操作固定號誌機，本站與鄰站號誌機間，並無聯鎖關係。相鄰兩站間以進站號誌機為界，站外作為一閉塞區間，站內不作為閉塞區間。其列車之行駛以通訊方式，或嚮導方式，或電氣路牌憑證，或牌券憑證來管制。

通訊方式係由兩站間之負責人利用電話詢問方式來確認閉塞區間是否淨空(Clear)，以操作進出站號誌機，允許列車之行駛。

嚮導方式係兩站間備嚮導員一人，列車由此唯一合法之嚮導員，隨車嚮導，始能在兩站間行駛。

電氣路牌憑證係在相鄰兩站間各設電氣路牌閉塞機一臺，以一對架空電線連接成一組，並備有銅質圓餅型路牌若干個，分別鎖置於雙方閉塞機內。該機之開啓，端賴電流互動以彼此控制，而不能由站內人員自行開啓。如甲站欲開一列車到乙站，甲站人員必先詢問乙站，如無列車由乙站迎面而來，乙站人員除以電話通知甲站外，並須將電鎖開放，甲站才得以取出路牌交給司機，作為司機開行之憑證。當路牌取出後，乙站儲存路牌之閉塞機，即為電磁鎖牢，等該路牌由列車攜抵乙站，置於乙站之路牌閉塞機後，甲站才能取出第二個路牌。由於司機在行駛中已有憑證，並與號誌顯示充分配合，如有發生意外事件，其責任即由乙站負責，責任明確，既安全亦有保障。

牌券憑證之原理與電氣路牌憑證相同，差別只在以牌券(通行券)代替銅質路牌，較為簡易，但是安全可靠度亦較低。

人工閉塞行車制因行車效率較低，僅適用於行車密度不高的鐵路。

(二)聯動閉塞行車制 (Interlocked Block System)

實施聯動閉塞行車制的鐵路，其閉塞區間的固定號誌機，藉軌道電路的作用與路線聯鎖，列車的行駛，無論在單線或複線運轉區間，均不需要路牌等信物，完全以號誌指示列車的行駛。號誌之操縱，雖亦由人工，但由於兩站間軌道電路之作用，雙方站之出發號誌相互聯鎖，即本站之出發號誌為鄰站所控制，故欲開行列車，必須取得鄰站的合作，送來電流，方能使出發號誌顯示平安，列車才能開出。此制因出發號誌機與路線聯鎖，安全性大為提高，且行車手續簡化，行車密度亦可提高。

(三)自動閉塞行車制 (Automatic Block System ,ABS)

自動閉塞行車制簡稱 ABS，係將兩站之間分割成若干閉塞區間，每一區間設有軌道電路(Track Circuit)或計軸器 (Axle Counter) 與號誌機聯鎖而成的號誌自動閉塞，利用軌道電路或計軸器之感應，使號誌自動顯示，無需人力操作。當列車駛入區間時，在該區入口處之號誌立即顯示險阻，待列車駛離該區間，號誌即自動恢復顯示平安。採用 ABS 的鐵路，站內外全部正線及站內主要側線，均裝置軌道電路或計軸器，與站內各號誌機構成自動聯鎖關係。各站除進站及出發號誌機外，以兩號誌機間為一閉塞區間。一般而言，所有號誌機至少可產生險阻、注意、平安的紅黃綠三位式號誌，甚至有四位式或五位式號誌，其顯示完全受軌道電路或計軸器的控制，因列車的經過而自動變換，列車的行止悉依號誌的指示。ABS 可在站間同方向開行跟隨列車，單

線或複線均適用，安全且效率高，為目前有效的行車控制方式之一，普遍被現代化鐵路所採用。

(四)中央控制行車制(Centralized Traffic Control ,CTC)

中央控制行車制簡稱 CTC，係將實施 ABS 區間裡的數十處站場之行車號誌控制集中於一處調度所，由調度員合併辦理行車調度及號誌事宜，以發揮鐵路運轉之最大效益，為 ABS 的進一步運用。其作法係在調度所設一控制總機(Control Machine)，以遙控方式(Remote Control)控制該區間之號誌機及轉轍器。同時，該區段各站場之號誌機顯示情形及轉轍器的狀態，也自動顯示在控制總機上，以方便調度員監視與操控。

現代化的 CTC 裝置，已經由大型電腦擔負起控制總機的任務。所有號誌顯示及轉轍器的控制，也由電腦負責進行。以臺鐵之 CTC 設備為例，只要將調度行車計劃包括時間計劃、各站進路計劃及所有行車調度之條件特質等，輸入電腦主機後，系統將依此一行車計劃自動設定列車進路，並依列車實際運行情形，列車等級，前方進路作自動調度，並自動發出誤點警告。司機只要遵守現場號誌行車，即使班次密集，鐵路運轉亦可有條不紊地進行。因此除非司機不遵守現場號誌行駛，否則幾乎不可能發生肇事。為避免司機疏忽或不遵守現場號誌指示，可以靠列車自動警告列車自動停止裝置(ATW/ATS)或列車控制裝置(Automatic Train Control, ATC)或列車自動防護(Automatic Train Protection, ATP)系統來控制執行號誌命令，控制車速加以補救。所以 CTC 堪稱最安全的現代化行車控制設備。

臺鐵在中央控制行車制之複線區間，多數以雙單線方式行車。複線區間，通常路線分上下行行車，各靠左側行車，各不相擾，避免列車之錯讓。雙單線行車方式，則每一單線均可上下行行車，不僅列車運行比較靈活，可以提高路線容量，如果遇到一線不通，或因路線保養需封鎖不能使用時，另一線也可以不變更行車制度照常運轉。CTC 在調度所內裝置控制總機，在各車站另裝置就地控制設備，其目的在於便利站長於控制板上獲得行車資訊，遇到控制總機障礙時，經調度員同意，站長可就地控制行車主控調車作業。

1.3.3 行車密度與路線容量

一、影響列車密度之因素

行車密度係指某一區間在某一定時間內所運轉之列車次數。運能之大小，與行車密度大小成正比。影響行車密度之主要因素如下：

- (一) 站間距離之長短：站間之距離愈近，則列車在站等候錯讓所需時間愈少，兩站間的行車密度愈高。各站間距離如過於不均，嚴重影響行車密度。整個路線的行車次數常受制於最弱或較弱之區間，故計算行車密度時，須以該線段內運能最薄弱之區間作為計算的標準。由於新式行車制度採取兩站間之容許閉塞制可開跟隨列車後，站間距離之影響已不如昔日採行絕對閉塞時之重要。
- (二) 停站時間之長短：停站的時間愈短，不但可提高行車密度，亦會增加路線及車輛的使用率。停站時間的長短與軌道佈置、股道數目、路線

有效長、通信設備及作業效率有關。

- (三) 行車號誌制度：新式之行車與號誌制度，除兼顧安全外，尤其重視行車運轉效率之提昇，以提高行車密度。概而言之，行車密度以採用中央控制行車制最高、自動閉塞行車制次之，聯動閉塞行車制更次之，人工閉塞行車制最低。
- (四) 正線軌道的多寡：單線與複線之行車密度差異極大。複線鐵路無論採用何種行車制度，上下行列車均可對向行駛，單向行車僅有待避而無交會；單線鐵路則否，雙向行車之交會與待避影響行車次數至大。
- (五) 行車速度之快慢：列車速度愈高，則列車在兩站間行駛所需的時間愈短，兩站間的行車密度愈高，惟各列車速度如差異太大，也會影響行車密度。
- (六) 機車及車輛之配合是否適宜：機車車輛為運輸行為的必要工具，如數量過少，則有調度困難之虞，使行車密度無法增加。如數量過多，則有壅塞站場之虞，對行車密度的增加無濟於事。唯有機車車輛數量適當，彼此比例適宜，方能調度得心應手，有效增加行車密度。

二、行車密度或路線容量之計算方法

行車密度與路線容量二者皆指列車次數而言。行車密度係指某一區間在一定時間內所運行之列車次數；路線容量（亦稱軌道容量）係指每日可行駛之最多列車次數。一條路線之容量大，行車密度即可提高。由此可知，路線容量與行車密度的涵義，雖相似但不盡相同，行車密度指鐵路某一區段，實際行駛的列車次數，理論上應小於路線容量，故一般規劃設計所考慮的列車次數，係指一天能夠運行的最高列車次數，即路線容量。影響路線容量之因素頗多，評估現行路線容量應考慮路線條件、機車及車輛性能、號誌條件、行車制度等所構成之區間運轉時分，考慮站場股道配置，有效時間帶等主要因素，誘導一種算式，以求其概數，供決策單位瞭解現有設施使用情形，及藉以投資改善設備之參考數據。

路線容量之計算方法，有圖解法和分析計算法兩種。圖解法較精確，但因圖解作業量大，費時費力，一般用於路線容量利用率接近飽和時或個別特殊狀況的圖解驗算。近年來，圖解法已被電腦模擬法所取代。分析計算法簡便易行，又可分為直接計算法和利用率計算法兩種。二者型式雖異，但原理相同，結果一致。作業性質單一時，宜用直接計算法，作業複雜種類繁多時，宜利用利用率計算法較為簡便。以下摘列臺鐵及國外鐵路區間路線容量之計算方法，以資參考。

(一) 臺鐵現行使用之經驗計算方式

$$N = \frac{1440}{\frac{T_1 + T_2}{2} + S} \times f_1 \times f_2 \times C \quad \text{----- (1-5)}$$

上式中 N：路線容量（列次 / 日）；

T1、T2：分別為站間上、下行客貨列車所佔比例之平均運轉時分（分）；

S：辦理閉塞及處理號誌所需時間（分），臺鐵採用 1.5 分；

f1：路線利用率。國外一般採用 0.65 ~ 0.75，臺鐵採用 0.7；

f2：跟隨係數。在電氣路牌閉塞行車制區間 f1=1，在自動閉塞區間

(ABS) 及中央控制行車制區間列車得跟隨行駛，臺鐵使用三位式號誌系統 (R.Y.G) 以二閉塞區間始得顯示 G，因此以二閉塞區間為 1，每增加一閉塞區間增加 0.1、三閉塞區間惟 1.1，以下類推。

C：軌道數目。單線區間為 1，雙線區間為 2，雙單線或三軌區間為 3。

今舉一例說明其用法：假定甲乙兩站間為雙線區間，採用自動閉塞行車制，區隔四個閉塞區間，計畫之列車密度為 220 列次/日，其中旅客列車佔百分之八十，貨物列車佔百分之二十。旅客列車的運轉時間，上下行別為 7.5 分及 7 分。貨運列車的運轉時間，上下行分別為 11 分及 8.5 分，則該兩站間的路線容量為

$$N = \frac{1440}{\frac{0.8 \times (7.5 + 7.0) + 0.2(11.0 + 8.5)}{2} + 1.5} \times 0.7 \times 1.2 \times 2$$

$$= 263 \text{ 列次 / 日}$$

鐵路正線數與月臺等站場股道配置是否適當，常需參考路線容量、路線使用率、月臺佔有率等相關數據，惟其涉及之因素至為複雜，無法精確計算，僅能依據經驗作一概估，因此，其結果難免與實情略有出入。例如理論上路線容量應大於行車密度，但有些區間現有行車密度大於路線容量，即路線使用率（現行列車次數除以路線容量）大於 100 %，因此各種計算式之採用應配合該區間之運轉速度，行車制度等作業系統選用適當之參數。以臺鐵經驗公式為例，站間上下行列車平均運轉時分而言，旅客列車車種即有數種之多，其列車之平均運轉時分，宜按各種列車次數比例，或行駛該區間所有列車運轉總時分除以該區間之總列次數，較符實際狀況。又辦理閉塞及號誌時間，宜按該區間之閉塞方式估計之，如電氣路牌閉塞區間採用 2.5 分，聯動閉塞區間採用 1.5 分，自動閉塞式及中央控制行車制區間採用 1.0 分，較符實情。

月臺之配置，依據日本中央鐵道學園所編之「運轉經營概論」，對於旅客月臺容量之判斷指標，如月臺佔用率達 50 ~ 60 % 時，表示列車排點受到限制，如達 60 ~ 70% 則列車排點發生困難，此時應考慮增設月臺面股道數。

$$\text{月臺佔用率} = \frac{(\text{設定停車時分} + \text{列車處理時分})}{1440} \times 100\% \quad \text{--- (1-6)}$$

列車處理時分為：到達列車 3 分鐘；出發列車 2 分鐘；通過列車 3 分鐘。設甲乙兩站間之到開列車分別為甲站停車 150 列（含客車、迴送貨物列車）、通過 21 列；乙站停車 69 列（含客車、迴送貨物列車），通過 97 列，並停車 1 分鐘。甲站設有一島式一岸壁式月臺，乙站設有一島式月臺，則甲、乙二站之月臺佔有率分別為：

$$\text{甲站月臺佔有率} = \frac{150 \times (1 + 3 + 2) + 21 \times 3}{1440 \times 3} \times 100 = 22.3 \%$$

$$\text{乙站月臺佔有率} = \frac{69 \times (1 + 3 + 2) + 97 \times 3}{1440 \times 2} \times 100 = 24.5 \%$$

故甲、乙二站之月臺及股道數足敷應用。

(二) 日本國鐵簡易計算式

(1) 單線區間

$$N = \frac{1440}{E + S} \times f \quad \text{----- (1-7)}$$

上式中 N：路線容量（上下行列車列次 / 日）；

E：站間平均運轉時分（上、下行列車運轉時分總平均）；

S：辦理閉塞及號誌時間（自動閉塞為 1.5 分，其他閉塞方式為 2.5 分）；

f：路線利用率（0.55~0.70，一般為 0.6）。

此算式雖然計算簡單，易於掌握，但其係按每一區間計算，未考慮與相鄰區間的配合，也沒有考慮快速列車的通過條件，精度不高，故未被廣泛採用。

(2) 複線區間

$$N = \frac{1440}{hV_1 + (r + u + 1)V} \times f \quad \text{----- (1-8)}$$

上式中 N：路線容量（列次 / 日，單方向），應按上下行方向分別計算之；

h：列車追蹤運行間隔時分，一般取 4~6 分；

r：先到站之低速列車與後到站之高速列車間須保持最小時隔（一般取 3~4 分）；

u：先開之高速列車與後開之低速列車間須保持最小時隔（約 2.5 分）；

V：高速列車比例，高速列車次數除以單方向列車總次數；

V₁：低速列車比例，低速列車次數除以單方向列車總次數；

f：路線利用率，按區間性質訂定，一般取 0.6~0.7。

速度差異之列車，混合行駛之線區，通常 h=6 分、r=4 分、u=2.5 分，因此上式分母中之第一項為 6V₁，第二項為 7.5V，而 V 與 V₁ 係自 0 至 1 止，依比率之大小而得列車次數。此種簡易算式係由比較複雜的山岸輝雄所建議的雙線自動閉塞區間路線容量計算式（如下所列）演化出來的，並未被廣泛使用。

$$N = \frac{1440}{hV_1 + d \sum V} \times f \quad \text{(列) ----- (1-9)}$$

$$d = \frac{P}{2g} \times (t_n' - t_n) + r + u - \left(1 - \frac{P}{2g}\right) \times (s' - s) \quad \text{----- (1-10)}$$

上式中 d：越行平均延誤時分；

P：區段的車站總數；

g：可供列車越行的站數（包括區段起點和終點車站在內）；

t_n'：低速列車平均的區間運行時分；

t_n ：高速列車平均的區間運行時分；
 s' ：低速列車在各站的規定停站時分；
 s ：高速列車在各站的規定停站時分。
 其他符號同前。

(三) JR 路線容量計算式

JR 路線容量計算式，係依據山岸輝雄之計算式，考量不同速度的列車間，個別所需之最小運轉時隔而予以簡化的計算式，為目前通用的計算式。

$$N = \frac{1440}{hV + (r + u + 1)V_1} \times f \quad \text{----- (1-11)}$$

上式中符號意義同前。

(四) UIC 之路線容量計算式

UIC 之路線容量計算式，以列車運轉時隔為計算基礎，其計算式如下：

$$C = \frac{1440}{T_h + T_m + T_s} \times f \quad \text{----- (1-12)}$$

上式中 C：路線容量（單向，列次/日）；

T_h ：最小運轉時隔（或稱為號誌距離之運轉時間）；

T_m ：列車運轉餘裕（ $T_h \times 0.67$ ）

T_s ：號誌運轉餘裕（綠燈顯示至少 15 秒）

f：路線利用率（採用 0.7）

UIC 之計算式其 T_h 相當於列車最小時隔。運轉最小時隔分為站間、進站及出站三種情況，並以 T_h 為基礎，附加列車運轉餘裕時間 $T_m = T_h \times 0.67$ 及號誌餘裕時間 15 秒，並以此三項總時間為列車運轉所需之時隔除可用於行車之時間。

三、增加路線容量之方法

增加路線容量的方法，通常除在將成為瓶頸的交會或待避站增加股道數，或全線雙軌化，或複雙軌化等增強設備外，尚有提高列車速度、減少辦理列車時分（即辦理閉塞及號誌時間）、縮短停車時分、改善號誌設備不足的區間等。一般的路線容量，單線上下合計約為 80~90 次/日，雙線上下合計約為 240~270 次/日。

四、捷運系統的路線容量

捷運系統運行區間之路線容量，一般不以一天可能運轉的最大列車次數來表示，而係以單位時間內可能運轉的最大次數表示之（例如 20 次/小時），或以續行列車之最小時隔（例如 3 分時隔）表示，這種表示方法要掌握運轉區間的路線容量較為簡便，如有必要須增設交會設備或增加路線，須對列車時刻表作詳細檢討。

五、列車平面交叉障礙

站外幹線與幹線，或幹線與支線之平面交叉，即列車與列車之平面交

叉，不但造成列車運行時刻表設定之困難，同時有礙行車安全。因此在配線規劃設計時，應盡量避免平面交叉，或將其障礙減至最低。若平面交叉之障礙嚴重時，必須配置立體交叉。配線設計無法避免平面交叉時，應進一步檢討路線平面交叉之容許界限，以確認列車運轉安全之可行性。

平面交叉處所之障礙程度，是以使用一天之總障礙時分比來表示，即一般所稱之平面交叉障礙率。依據日本鐵路公司之經驗，路線平面交叉障礙率超過 40~50%時，製作列車時刻表就很困難，宜改為立體交叉。

$$\text{平面交叉障礙率} = \frac{\sum T \times N}{1440} \times 100 (\%) \quad \text{----- (1-13)}$$

上式中 T：平面障礙處所之障礙時分（運轉時分 + 構成進路需要時分）（分）；

N：列車次數。

T 之估算方式如下（參閱圖 1.3-3）

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

t_1 ：從列車到達該平面交叉之掩護號誌機位置，到列車駛離該平面交叉進路鎖錠區間所需之時間。速度及運轉時分，依照基準運轉曲線圖訂定之。若防護該區間之號誌機為出發號誌機時，停車列車則從開車到離開鎖錠區間之時分；

t_2 ：轉轍器及號誌扳轉所需時分。若續行列車因不需扳轉，故為零。第一種繼電器採用 5 秒，其他聯鎖裝置採用 20 秒；

t_3 ：號誌機號誌顯示變化之時分 1 秒；

t_4 ：司機員確認號誌顯示，到開始進行手動煞車之時分 3 秒（通常採用 4 秒）；

t_5 ：從開始煞車地點至號誌機間，依照運轉速度所行駛之時分。

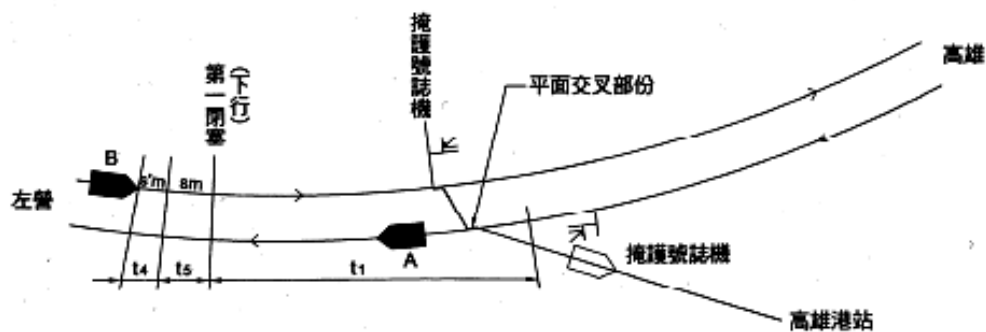


圖 1.3-3 平面交叉例

從減速到規定速度所行距離 S_m 按下式計算：

$$S_m = \frac{V_1^2 - V_2^2}{7.2\beta} \quad (\text{m}) \quad \text{----- (1-14)}$$

上式中 V_1 ：減速時之初速度 (km/h)；

V_2 ：目標速度（依照號誌機所顯示之速度）(km/h)；

β ：減速度 (km/h/sec)（依運轉計畫所定之減速度）。

研判平面交叉障礙程度，亦有簡便之方法，通常以通過障礙處所之列

車總數為基準，並以 200 次為限（惟單側較多時除外）。

1.3.4 行車速度

行車速度亦稱運轉速度，不僅是影響運能的重要因素，在時間就是金錢的現代化社會裡，行車速度亦是旅客選擇搭乘運具的主要考量因素。

列車行車速度可分為最高速度(限制速度)、平均速度與表定速度(Schedule Speed)三種。其中最高速度與工程之規劃設計有關，惟乘客所重視的是表定速度。就營運之觀點，欲提高行車速度，不外提高行車之最高速度與平均速度，並就表定速度加以檢討。

一、最高速度(限制速度)

列車運轉時所發生的各種危險大致隨運轉速度之升高而增加，為確保行車安全必須制定列車安全範圍內可運轉之最高速度，此項速度亦稱為限制速度。列車之最高速度應按路線、電車線之強度及車輛之構造情況而定，運轉於下坡道或曲線上之列車，應分別酌量其制軔距離或車輛之安全度，限制其速度。

〈一〉由路線強度及動力車型式而定之最高速度

列車運轉速度高時，車輛之振動及衝擊力因而增大，車輪對路線之衝擊力亦隨之增大。然路線之強度係依鋼軌重量、枕木間隔、道碴厚度、路基堅固性等因素而有所不同，亦即路線依其結構而有一定強度，故必須限制運轉速度，使列車通過時之軌道應力不超過路線強度。有關列車之運轉速度臺鐵運轉規章依路線強度之不同，限制不得超過表 1.3-1 之規定，但縱貫線、臺中線、宜蘭線、北迴線、屏東線、南迴線、臺東線在趕點運轉時，除推拉式電車組以 130km/hr 行駛者外，得提高限速 3km/hr。

表 1.3-1 依路線強度及動力車型式而定之最高速度 (km/h)

線 名	區 間	推拉式 電車組	電車組	機 車		機動車
				電力	柴電	
縱貫線	基隆－高雄	130	120	110	110	110
	鼓山－高雄港				85	95
臺中線	竹南－彰化 成功－追分	130	120	110	110	110
臨港線	高雄－前鎮	70	70	60	60	70
屏東線	高雄－屏東	120	120	110	110	110
	屏東－訪寮				110	110
宜蘭線	八堵－蘇澳	130	120	110	110	110
北迴線	蘇澳新－花蓮	130	120	110	110	110
臺東線	花蓮－臺東				90	100
南迴線	枋寮－臺東				110	110
內灣線	新竹－九鑽頭				60	70
	九鑽頭－內灣				40	50
集集線	二水－濁水				50	70

	濁水－車埕				50	60
深澳線	瑞芳－深澳				40	40
平溪線	三貂嶺－菁桐				40	40
花蓮港線	花蓮－花蓮港				50	50

註：1. 推拉式電車組：指特定客車編組，其前後兩端各掛一輛機車，由前端機車作總控制運轉組成之列車。

2. 電車組：指由電力客車、駕駛馬達車、馬達客車、駕駛拖車、拖車，依車輛型式三至五輛組成，可獨立行駛之電車編組。

3. 機動車：指具有內燃引擎之動力客車。

〈二〉曲線或道岔限制速度

在同一曲線上行駛之列車，因車種之不同，其速度高低不一，曲線上之超高僅能按通過各種列車之平均速度敷設，因之對高速列車而言，超高顯屬不足，致列車有出軌或傾覆之傾向，故必須按所設超高，依曲線半徑訂定曲線限制速度。

在直線上鋪設有道岔之處所，因道岔附設有曲線且其軌道結構不易敷設超高，故通常不敷設超高而將限制速度予以降低。

列車通過站場時原則上以同一速度為宜，整個站內的速度，受站場前後主正線上之道岔控制著，因此為提升列車在站內的通過速度，不宜行駛速度限制大的分歧側，而必須以直線通過。即使在交會站，除非萬不得已，否則需以一線直通配置，使列車經由道岔直線側通過。

道岔直線側能不限速度當然最為理想，事實上是不可能的，就現況而言，直線側能以 100km/h 高速通過者為 60kg 高速用道岔或 50N 道岔，參閱表 1.3-2。

車站兩端之道岔外方，若有銳曲線存在時，因通過速度受該銳曲線之限制，道岔構造、道岔號數只能配合曲線之速度限制配置。

表 1.3-2 道岔類型直線側容許通過速度

道岔類型 \ 最高速度	最高速度			
	100km/h	120km/h	130km/h	160km/h
50N	A	* B	* C	—
60kg	A	—	* C	D

註：* 號僅限於高性能列車

A：彈性尖軌、N 形尖軌或帽子形尖軌使用錳鋼岔心等之道岔。

B：N 形尖軌使用錳鋼岔心等經過改良之道岔。

C：彈性尖軌使用錳鋼岔心等經過改良之道岔。

D：彈性尖軌使用活動岔心之道岔。

臺鐵行車實施要點規定在半徑 900m 以下曲線運轉之列車，其速度不得超過如表 1.3-2 及表 1.3-3 所示之速度。曲線半徑在 201m 以上，其曲線半徑介於表中所列兩曲線半徑之間。其超過兩曲線半徑差之二分之一以上者，取較大半徑之速度，二分之一以下者，取較小曲線半徑之速度；曲線半徑在 200m 以下，其曲線半徑介於表所列兩曲線間者，其速度限制，取較小曲線半徑之速度。

表 1.3-2 曲線限制速度表

項目 曲線	每小時限速(公里)		
	無轉轍器		有轉轍器各種列車
	以推拉式電車組、電車 或機動車編組之列車	其他列車	
900	125	120	65
800	120	115	65
700	110	105	65
600	100	95	65
500	90	85	60
450	85	80	55
400	80	75	55
350	75	70	50
300	70	65	50
250	65	60	45
225	60	55	45
200	55	50	45
175	55	50	40
150	50	45	35
125	45	40	30
100 以下	40	35	25

註：1.列車：指一節以上之動力車單行或牽引車輛，具有完備列車標誌，以向站外路線運轉為目的者。

2.車輛：指動力車、客車及貨車。

3.動力車：指蒸氣、內燃、電力等動力車。

表 1.3-3 道岔限制速度表

道岔 號碼	單開道岔		雙開道岔	
	曲線半徑(m)	每小時限速(km)	曲線半徑(m)	每小時限速(km)
八號	107.1	25	220.6	45
十號	162.6	35	335.4	50
十二號	243.2	45	501.9	60
十六號	526.6	60		

本表係表示由直線分岐之道岔附帶曲線半徑及限制速度，如曲線分岐者，不適用本表之規定

〈三〉下坡路段之限制速度

列車在下坡路段運轉時，如運轉速度過高，須緊急停車時，會有因緊軔距離過長而冒進障礙處所之危險，故為行車安全計，列車於下坡路段運轉時，需按下坡之緩急程度，軔力之大小而制定限制速度。此項限制速度，係依下列方式而制定。

- 在各下坡地段由限制速度施行緊急停車時之緊軔距離。
- 在平坦之路線上由列車最高速度施行緊急停車時之緊軔距離。
- 以在規章上所定防護距離內能安全停車之最高速度作為限制速度。

臺鐵行車實施要點之下坡限制速度如表 1.3-4 所示，但在兩站間較標準下坡度為陡之下坡度，得將其速度提高至標準下坡度同一坡度之速度。標準下坡度係指在該區間聯結相距一公里之二點所成直線坡度中，對列車之下坡度而言。但該區間未滿一公里者，係指連結二端之直線坡度而言。

表 1.3-4 下坡路段之限制速度表(km/hr)

列車種別 下坡度	以推拉式電車組編組之列車	以電車編組之列車	以特甲客車編組之列車	以機動特甲客車或甲種客車編組之列車	以乙種客車編組之列車	以丙種客車編組之列車	以甲種貨車編組之列車	以乙種貨車編組之列車
< 5/1000	130	120	110	100	85	75	75	65
< 10/1000	125	115	105	95	85	75	65	65
< 15/1000	120	110	100	90	85	75	60	60
< 20/1000	115	105	95	85	85	75	55	55
< 25/1000	110	100	90	80	80	75	50	50

二、平均速度與表定速度

〈一〉平均速度

列車行駛距離除以淨運轉時間即得平均速度。平均速度有各站間之平均速度，及長區間距離之平均速度。此平均速度係指逐一列車之平均速度，但因其他目的，在某區間或地點所指全列車平均通過速度亦有被稱為平均速度者。

（二）表定速度

表定速度係指列車從起站到終站所行駛之距離除以所用的時間，包括中途停車的時間。因此表定速度應小於平均速度。

就旅客之立場來看，乘車時間的長短，比列車的最高速度更為重要。衡量列車到達目的地終點站所需的時間，用表定速度最為實在。表定速度高行車時間就短，所以要縮短行車時間就要提高表定速度，不一定要提高最高速度。

三、提高行車速度與路線規劃設計

為縮短行車時間，購買高性能車輛，固然可以提高最高速度，但表定速度不一定依比例提高，且列車自起站至終點站真正能發揮最高速度之機會不大，因此，衡量列車到達目的地終點站所需時間，以表定速度最為客觀，縮短行車時間以提高表定速度最為經濟有效。

提高表定速度需要車輛工程、軌道工程、簡化車種、減少停車站數及運輸安全設施等之配合及升級，才能發揮效果。有關軌道工程在路線規劃時應注意下列事項：

- （一）強化軌道結構：根本之道在於提高路線等級、鋪設長焊鋼軌、實施重軌化、強化鋼軌支撐系統如軌枕、扣件、道碴、路基等。
- （二）截彎取直或加大曲線半徑：理論上以截彎取直最為理想，如因工程經費過高或環境條件受限，則曲線段儘量以大半徑規劃設計。
- （三）提高路線容量：最有效的方法是規劃複線，避免單線行車。

- (四) 採用號數大之道岔：車站除簡易站外，為營運需要設有副正線，並鋪設道岔供列車進出副正線。道岔應選用大號之類型以減少行車限速與路線保養。
- (五) 減少平交道：公路與鐵路的平面交叉處是交通安全之毒瘤，平交道事故將嚴重影響行車事故，故路線規劃設計時應儘量採用立體化設計。

1.4 行車控制與保安 (Fail-Safe) 裝置

列車之前進，停止與快慢等鐵路行車控制，應依號誌之顯示辦理，故號誌是行車控制之基本設備。

為確保行車安全，號誌設備或司機等運轉人員，萬一發生故障或操作錯誤時，須有一套設備故障或人為失誤時，能自動操作的安全裝置，此一「故障仍安全」(Fail - Safe) 的裝置，簡稱為保安裝置。保安裝置由早期使用之機械式聯動裝置開始，逐漸發展出自動閉塞制 (ABS)、列車自動警告/列車自動停止 (ATW/ATS) 系統、列車自動防護 (ATP) 系統及至目前最先進之列車自動控制 (ATC) 系統等。

有關號誌系統之種類，功用與設置位置，號誌與轉轍器之聯鎖等保安裝置，定線工程師在站場股道配置時應予以考慮，以確保行車安全與提高行車效率。

1.4.1 號誌

一、號誌系統分類

依號誌所在位置分類：可分為道旁號誌與車上號誌二種。

(一)道旁號誌 (Wayside Signal)

凡號誌設於路線或股道旁，以供司機員目視之號誌稱為道旁號誌，此種號誌是最傳統也是現今最普遍的號誌型態。

道旁號誌依其顯示之方式可分為：臂木式號誌 (Semaphore Signal)、色燈式號誌 (Color Light Signal) 與燈列式號誌 (Position Light Signal) 三種。

臂木式號誌可說是歷史最為悠久的號誌系統。它是在號誌機的機柱上部裝置長方形臂木及色燈，白天依照臂木的形狀方位，夜間則依色燈顯示號誌。臂木式號誌機多使用於人工閉塞行車制區間，行車密度受限，使用時需搭配路牌簡易電氣聯鎖，耗時費事，不符經濟原則，目前已陸續被淘汰。

色燈式號誌是現今使用最普遍的號誌系統，通常利用紅燈 (險阻) 黃燈 (注意)、綠燈 (平安) 來顯示，需要時再加一些組合閃紅燈、閃黃燈等。

燈列式號誌係以白色燈排列型式，所代表的另一種輔助號誌，有別於以紅、黃、綠色燈的主體號誌。白色燈的排列型式，通常以直列、橫列、斜列最為常見。

色燈式及燈列式號誌之電氣燈，依其點燈條件，可分為接近點燈式號誌 (Approach Lighting Signal) 與非接近點燈式號誌 (Non-approach Lighting Signal)。前者係在列車接近時，其相關號制才亮燈，以節省列車未到時之消耗電源。後者係不論任何時間，所有的號誌皆亮燈，構

造較前者簡單，但電源損耗較多。

以上所述之各種道旁號誌，臺鐵均有使用。

(二)車上號誌 (Cab Signal)

根據計算，以 200km/hr 行駛之高速列車，在行駛中予以緊急剎車時，制軔距離約為 2.2km，司機看到號誌想要剎車已來不及，故高速鐵路已不用道旁號誌，而以車上號誌取代之。車上號誌係經由軌道電路或地上感應設施傳遞至機車或列車上，司機員可從駕駛座的儀表得知號誌。日本新幹線所使用的車上號誌，其號誌與控制剎車的機械系統聯鎖，使列車行駛速度與車上號誌所顯示的速度聯鎖一致。新幹線所使用的車上號誌，是用數目字來顯示前一區段允許該列車所應行駛的速度，而非慣常所用的色燈式或燈列式型態的號誌。捷運系統因路線曲線半徑小，坡度陡，道旁號誌透視不佳，故目前許多捷運系統也採用此種裝置。

二、臺鐵之號誌系統

臺鐵之道旁號誌依其使用時機，可分為固定號誌機 (Fixed Signal) 與臨時號誌機 (Temporary Signal)。固定號誌機係指設於固定處所，為一般正常運轉作業所需之號誌。臨時號誌機並無固定常設之處所，當路線因災害、工程施工或其他原因致使列車不能正常運轉時，所臨時設置之號誌。故固定號誌機為一般鐵路工程規劃設計所設置之號誌。

固定號誌機應設於所屬路線之正上方或左方，但限於地形或其他特殊事由時，不在此限。路線分歧二股以上之進路，而將二個以上之同一種類號誌機設於同一號誌桿時，對最左方之進路者，應設於最上位，對右方之進路者，應順序設置之。固定號誌機依其用途及主從關係，可分為主號誌機及從屬號誌機。

(一)主號誌機 (Main Signal)：

指設有防護區域之號誌機，依其用途計有下列六種。

(1)進站號誌機 (Home Signal)：

設於站外之車站入口處，指示列車准否進入站內。

(2)出發號誌機 (Starting Signal)：

設於站場出發線之起點，指示列車准否出發開出站外。臺鐵規章規定：站內應設進站號誌機及出發號誌機，但列車進出站無鐵路交叉，未設道岔或道岔經常鎖閉者得予免設。

(3)閉塞號誌機 (Block Signal)：

設於閉塞區間之起點，指示列車准否進入該防護區間，亦稱中途號誌機。臺鐵規章規定：但其起點在站內有下列情形之一者得予免設，設有進站號誌機和出發號誌機者或該站係終點站者。

(4)引導號誌機 (Call-on Signal)：

設於進站號誌機或出發號誌機之下位。當股道被列車佔用，進站號誌機或出站號誌機雖顯示險阻號誌，對經常有需要進入該防護區域之列車，預知進路上有列車或車輛，引導列車慢行進站或出站。

(5)調車號誌 (Shunting Signal)：

列車或車輛之調車進路，經由正線之轉轍器或交叉路線時，或調移搭乘旅客之列車或車輛，而使用頻繁時，在站內調車路線之適當地點，設置調車號誌機，指示調車車輛准否駛進該防護區間。

(6)掩護號誌 (Protecting Signal)：

對於需特別防護區段，如站外之活動橋、岔道或交叉路線等需特別防護之地點，在其外方 60m 以上之地點設置掩護號誌機，指示列車准否通過該處。

(二)從屬號誌機 (Subsidiary Signal)：

附屬於主號誌機，在彎道或視線不良之處，預告前方主號誌機之顯示情形，列車不必在此號誌機位置作速度調整之處置，車速控制仍以主號誌機為依據，目視從屬號誌機時可提前獲知路況，輔助主號誌機顯示號誌之辨認距離。從屬號誌機有下列三種：

(1)遠距號誌機 (Distant Signal)：

從屬於進站號誌機或掩護號誌機，在其外方預告主號誌機所顯示之號誌。

(2)通過號誌機 (Passing Signal)：

從屬於出發號誌機，在其外方預告主體號誌機之號誌顯示，指示列車可否通過。

(3)號誌預告機 (Repeating Signal)：

設於自動閉塞、中央控制行車區間或繼電、電氣聯動裝置之進站、出發或掩護號誌機外方，預告各該號誌機之顯示情形，一般多為燈列式號誌，又稱中轉號誌機。

如路線狀態不容許列車作正常運轉，而使列車停止或慢行時，應設置臨時號誌機。臨時號誌機可分為三種：

(一)慢行號誌機：

對列車或車輛顯示慢行號誌。慢行號誌機設在慢行區域之起點，應標明慢行速度。

(二)慢行預告機：

從屬於慢行號誌機，應在慢行號誌機外方 600m 之地方設置，對列車或車輛顯示慢行預告號誌。

(三)慢行解除號誌機：

對駛出慢行區域之列車或車輛，顯示慢行解除，設在慢行區域之終點。

依據鐵路行車規則，除了常用之固定號誌及臨時號誌機外，在特殊狀況下，輔以手作號誌或特殊號誌。手作號誌係以號誌其或號誌燈顯示，其顯示地點應在 400m 以上。特殊號誌係指響墩號誌及發焰號誌。

1.4.2 聯鎖裝置 (Interlocking System)

早期的保安機制是聯鎖裝置。聯鎖裝置著重於防止操作錯誤所導致的事務，將號誌與轉轍器，號誌與號誌，轉轍器與轉轍器彼此保持相互控制之關係，並限制一定之操控順序，此種裝置亦稱為聯動裝置。

聯鎖裝置係將號誌機與號誌機間，號誌機與轉轍器間，轉轍器與轉轍器間付與某種條件限制及一定的操縱順序，使辦理人員處理號誌機或轉轍器時不致發生錯誤而肇生事故。其聯鎖關係概如下述：

- 一、號誌機與號誌機之聯鎖：要使進路互相衝突的號誌機不能同時顯示進行號誌，或使從屬號誌機與主號誌機在操作上具有順序及聯帶關係。
- 二、號誌機與轉轍器之聯鎖：要使一號誌機顯示進行號誌，相關之轉轍器必先扳轉在開通進路的位置，且尖軌靠緊；若任一相關轉轍器不正確時，則號誌機絕不能顯示進行號誌；號誌機一旦顯示進行號誌後，相關進路上的轉轍器皆被鎖住，不能中途扳轉。
- 三、轉轍器與轉轍器之聯鎖：與號誌機有聯鎖關係之轉轍器，因有號誌機指示列車進路，操作上不致發生錯誤，惟未設號誌機進路上之轉轍器，可能發生危險，故必須將該轉轍器相互間之動作予以串聯，使其發生聯鎖關係，相互聯鎖。

以上各種聯鎖裝置依其動力(機械式、電氣式)而有各種不同型式之構造，就其管理與操縱方式而言，可分為二類：一為集中式的第一種聯動裝置，將站內所有的號誌機閘柄及轉轍器閘柄，集中於號誌樓或控制室操縱之，適用於運轉繁忙配線複雜之站場；另一種為分散式的第二種聯動裝置，將各號誌機閘柄集中於站臺上，由值班站長或指定專人操縱之，轉轍器閘柄則分散在現場由轉轍工操縱之，適用於運轉較單純配線較簡之站場。

1.4.3 閉塞裝置

閉塞區間係指相鄰兩站間或將兩站間之正線利用固定號誌機分隔成數個區間，在此區間內不能同時有二列以上之列車運轉。臺鐵所實施之閉塞方式，即閉塞區間之運轉方式有三種：常用閉塞方式，代用閉塞方式、閉塞準用法。其優先順序為正常情況下應施行常用閉塞方式；不能施行常用閉塞方式時，才施行代用閉塞方式；不能施行常用閉塞方式及代用閉塞方式時，才施行閉塞準用法。

一、常用閉塞方式之種類

- (一) 複線運轉：自動閉塞式 (ABS)、中央控制行車制 (CTC)、簡易聯動閉塞式。
- (二) 單線運轉：自動閉塞式 (ABS)、中央控制行車制 (CTC)、單線簡易聯動閉塞式、電器路牌閉塞式。

二、代用閉塞方式之種類

- (一) 複線運轉：通信式。
- (二) 單線運轉：嚮導通信式、指令式、嚮導式。

三、閉塞準用法之種類

- (一) 複線運轉：隔時法、傳令法。
- (二) 單線運轉：嚮導隔時法、傳令法。

臺鐵行車實施要點規定，正線應劃分閉塞區間運轉列車，但站內之正線，除施行自動閉塞式或中央控制行車制外，不作閉塞區間辦理。閉塞區間之分界點，施行自動閉塞式或中央控制行車制時，為進站號誌機、出發號誌機、掩護號誌機或閉塞號誌機之設置地點。

中途閉塞區間之劃分，係在兩站之進站/出站號誌機外方約 1km 處設中途閉塞號誌機，然後視該中途閉塞號誌機間之距離長短，劃分數處中途閉塞區間。中途閉塞區間之劃分方法，在自動閉塞式（ABS）區間採用「平均運轉時隔」法，在中央控制行車（CTC）區間則採用「近似等距離」法，用以劃分中途閉塞區間之長度與處數。中途閉塞區間之最小距離，以列車最高速度施以常用制軔停車所需之最大距離 + 停車後確認號誌顯示之距離（50m）+ 安全餘裕距離（通常為 100m）。臺鐵施行自動閉塞式或中央控制行車制之區間，其閉塞區間之長度大致為車站兩端出發號誌機至閉塞號誌機為 1,200m ~ 1,500m，進站號誌機至閉塞號誌機為 1,500m ~ 2,000m；中間地段之閉塞號誌機至閉塞號誌機為 1,500m ~ 2,500m。臺鐵營運路線之閉塞區間與閉塞方式如表 1.4-1 所示。

表 1.4-1 臺鐵營運路線之閉塞區間與閉塞方式

閉塞方式	線 名	區 間
一、自動閉塞制區間	縱貫線	鼓山 — 高雄港間
	宜蘭線	基隆 — 八堵間
		宜蘭 — 蘇澳間
	北迴線	蘇澳新站 — 花蓮間
	臺東線	花蓮 — 吉安間
山里 — 臺東間		
臨港線	高雄 — 前鎮車場間	
二、中央控制行車制區間	縱貫線	基隆 — 高雄間
	臺中線	竹南 — 彰化間
		成功 — 追分間
	屏東線	高雄 — 枋寮間
	南迴線	枋寮 — 臺東間
宜蘭線	八堵 — 宜蘭間	
三、單線簡易聯動閉塞制區間	內灣線	新竹 — 竹東間
	花蓮港線	北埔 — 花蓮港間
四、電氣路牌閉塞式區間	臺東線	吉安 — 山里間
	平溪線	三貂嶺 — 十分間
	內灣線	竹東 — 九讚頭間
	臺中港線	臺中港站 — 臺中港第一調車場間
	高雄港線	前鎮車場 — 高雄港間

註：鐵路設施逐年改善，本表僅供參考。

閉塞裝置即為顯示閉塞區間有無列車存在及列車能否進入之裝置。軌道電路或計軸器為其與主號誌機不可或缺之聯動閉塞裝置。

軌道電路（Track Circuit）係利用軌條作為電路之一部分，由車軸的短路作用，直接或間接控制號誌、道岔或其他保安裝置。閉塞區間之軌道電路能自動

反應軌道上有無列車存在。其原理係在軌道上選定一適當長度的區間，作為自動閉塞區間，在此區間內，兩端軌條接頭裝設絕緣接頭，利用該區間左右兩側的軌條作為一獨立之電氣迴路。此電器迴路之一端以電池送電至軌條，另一端由軌條接線至繼電器，構成一完整電路。茲以圖 1.4-1 為例，在閉塞區間之出口處連接電源，供輸電流；在入口處（安裝自動號誌機之處）安裝軌道繼電器接受電流。閉塞區間之兩端加裝跨接線連接另一側之軌條，使電流通暢。當無列車或車輛存在時，電流如圖（a）所示，順箭頭方向流通，即電流由電池陽極流出，經軌條進入軌道繼電器線圈中，電流流入線圈後產生激磁，接極片上吸，然後經另一側軌條流回電池之陰極，構成一完整的電路。此時軌道繼電器定位號誌機顯示綠燈（平安號誌）。

當列車或車輛進入閉塞區間時，如圖（b）所示，因車軸的短路作用，電流即以軌條及車軸為回路，使軌道繼電器斷磁，接極片落下，構成另一電氣回路號誌機顯示紅燈（險阻號誌）。

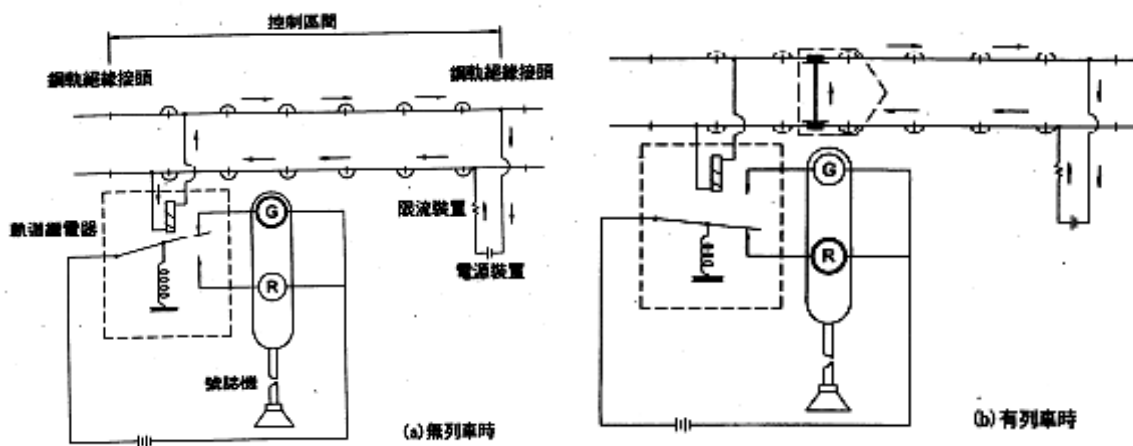


圖 1.4-1 軌道電路原理

軌道電路依接頭型式，可分為有絕緣接頭的直流和交流軌道電路，以及無絕緣接頭的音頻軌道電路三類。

一、有絕緣接頭之直流軌道電路

直流軌道電路由直流電源及直流繼電器（Relay）組成。直流軌道電路僅能執行列車偵測與斷軌偵測，但由於構造簡單經濟便宜，被廣泛運用於班次較不密集的長程鐵路運輸系統中。如臺鐵，使用 7.3 ~5.5V 蓄電池供應軌道電路電源，提供 CTC 自動軌道監測、自動閉塞號誌 ABS、以及平交道列車偵測之用。

直流軌道電路依絕緣型式，可分為雙軌式及單軌式。普通之閉塞區間其左右二根鋼軌的兩端均設絕緣接頭，以形成一完整回路，稱為雙軌式軌道電路，如圖 1.4-1 所示，臺鐵非電化區間即採用此種型式。由於左右二軌均無接地，如果只有一軌接地，號誌仍能正常運作，除非閉塞區間之二軌均接地，號誌才會故障；左右二軌中，只有一軌設絕緣接頭者，稱為單軌式軌道電路，如圖 1.4-2 所示。臺鐵電化區間之軌道電路採用單軌式，一條回流軌接地不分區間均無絕緣接頭，另一條為號誌軌設有絕緣接頭。單軌式軌道電路之絕緣接頭數目雖較少，但於非絕緣鋼軌斷裂，或鋼軌絕緣接頭遇及淹水、隧道濕氣重、道床不良噴泥、車輛磁化鐵屑掉落在接頭時，可能會造成繼電器動作錯誤之號誌故障，影響鐵路行車與效率。有鑑

於此，臺鐵遂將軌道電路分批改為計軸器。

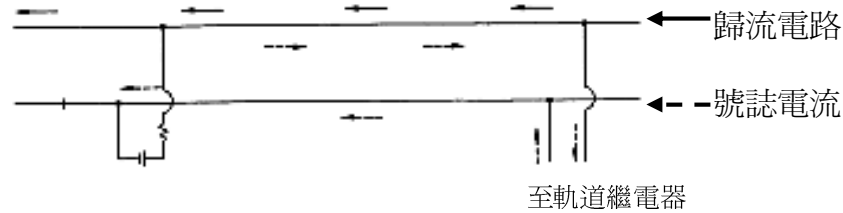


圖 1.4-2 單軌式直流軌道電路

二、有絕緣接頭之交流軌道電路

交流軌道電路是由交流電源及特殊的交流繼電器所組成，基本上該軌道電路利用鋼軌傳送交流頻率的信號給列車，作為行車控制的依據。而列車佔用所產生的訊號亦由軌道電路來接收，這種利用鋼軌傳送交流頻率信號的方式稱之為交流軌道電路。由於這種技術在鐵路捷運系統中已經非常成熟，被應用在 ATP 系統甚至提升至 ATC 層級，是偵測列車十分可靠的技術。臺北捷運系統使用交流軌道電路於主線交叉軌道區及機廠內之號誌控制區，但僅作為列車偵測之用。

交流軌道電路又可以分為雙軌式及單軌式交流軌道電路。其相較於直流軌道電路所增加的改善特點如下：

- (一) 交流電源及特殊的交流繼電器可傳送特定訊息。故除了偵測列車之外，亦可利用鋼軌交互傳送控制訊號給列車及道旁控制器等。
- (二) 交流軌道電路可以在絕緣接頭處增加「電力搭接線」(Power Bond)，既可以隔絕交流頻率的信號，亦可以接通列車運轉直流電再生的回流路徑，一舉兩得。

單軌交流軌道電路被使用於臺北 MRT 系統的機廠區及主線交叉軌區，因為使用市區電力 110 伏特 60 赫茲的交流電，故又稱為市電頻率軌道電路。由於頻率過低，無法使用調頻 (FM) 或調幅 (AM) 技術將訊號調變於載波中，故此種電路僅能執行列車偵測之用。

三、音頻軌道電路

音頻軌道電路是在 1923 年發明的，被大量使用於捷運系統。臺北捷運系統主線所使用的軌道電路即為此種，高速鐵路初期發展的 ATC 系統，也以此為基礎架構，後來 ATC 更被大量研發用於捷運及高鐵上。此種電路最為複雜，所能執行的功能也最多。

計軸器 (Axle Counter) 原始需求來自德國鐵路，因其採用大量鋼枕而無法使用軌道電路。計軸器大多用於軌道電路無法裝設之地點，如鋼製的橋樑、鋼枕、轉車臺、軌距拉桿等；或道床不良地點，如潮濕的隧道、淹水區、海邊、礦場等。

計軸器之原理係在閉塞區間之兩端 (入口處/出口處) 裝設輪軸偵測設備 (計軸子)，與設於軌道旁之計軸電腦相互連接，如圖 1.4-3 所示。當列車進入閉塞區間時，入口處之計軸子將所偵測到的通過輪軸數及車行方向，傳送到計軸電腦，軌道繼電器斷磁接極片離開，自動號誌機顯示紅燈；列車經過出口處，該處之計軸子亦將所偵測到的通過輪軸數及車行方向，傳送到計軸電腦，計軸電腦比對入口輪數等於出口輪軸數，確認該區間已無

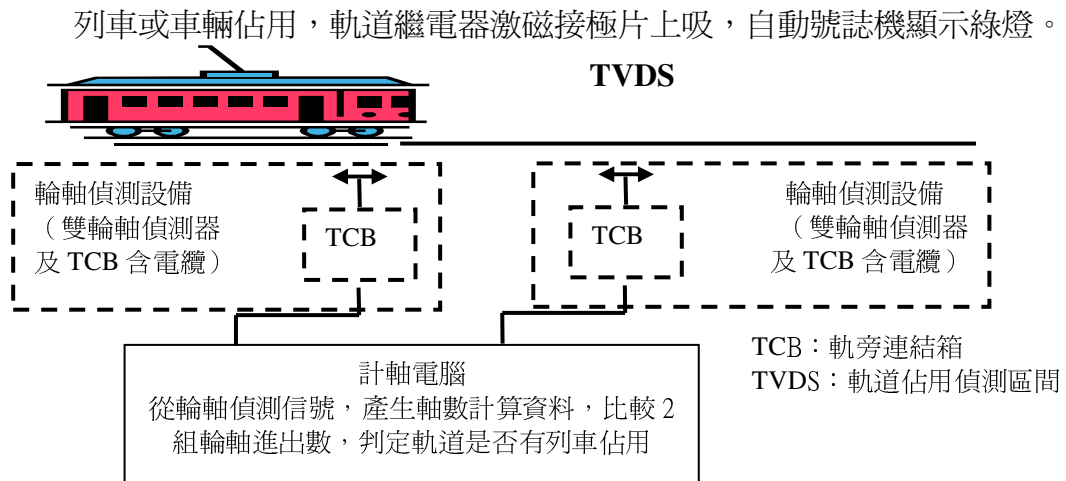


圖 1.4-3 計軸器之原理^[3-9]

1.4.4 列車自動警告/列車自動停止(ATW/ATS)系統

列車自動警告/列車自動停止 (Automatic Train Warning / Automatic Train STOP, ATW/ATS) 系統是由地上裝置與車上裝置所組成。地上裝置係傳遞號誌機所顯示的運行條件，車上裝置係根據地上裝置所得的資訊而採行動作。其作法係在號誌機前方適當地點裝設有列車自動警告裝置，當列車行經顯示平安之號誌機時，列車所接收之 ATW/ATS 訊號並無任何反應，列車得以依規定全速行使。當列車行經顯示減速之號誌機時，機車上即接收到一警告訊號自動啓動警告裝置，先亮紅燈且警告鈴鳴聲，以喚起司機員的注意，司機員應在四秒鐘內按下確認鈕，並採取減速行動，否則本裝置將產生緊急煞車，迫使列車停車。

除了在號誌機前方適當地點，裝設有列車自動警告裝置外，在號誌機前方亦裝設有列車停車裝置，當號誌機顯示紅燈時，列車欲冒進而越過該裝置，機車上即接收到停車訊號，產生自動緊急煞車之作用，迫使列車停車。目前臺鐵設有此種裝置。以上兩種地上裝置與相關號誌機間的距離，依路線坡度及提高容許速度決定之。

1.4.5 列車自動防護 (ATP) 系統

ATW/ATS 此系統只查核一次，若司機確認後再繼續提高車速，則無法繼續警告，為加強行車安全臺鐵正全面將 ATW/ATS 系統，進一步改善為增加第二次警告與車速查核功能之 ATP 系統。ATP 系統可監督列車移動中的安全性，包括容許速度、容許前進距離及臨時的限制速度。

列車自動防護 (Automatic Train Protection, ATP) 系統係於地面裝設編碼器及感應器，將號誌顯示、轉轍器限速、坡度、彎道、慢行區段、距下一資訊點之距離及電車線中性區間等資訊傳送到車上，車上設備經由天線取得信號，交由電腦根據加速力、煞車能力、車輛限速、載重等列車特性加以處理後，輸出列車速度監控曲線，在控制盤上顯示限速程度及與停車位置之距離。司機員依據操作盤面之指示駕駛。若車速太快，接近限速，車上電腦會發出警報通知司機員，若司機員未及時降低速度，系統會啓動常用煞車，車速若無法如預期降下時，系統會啓動自動緊急煞車，使列車停在可移動範圍 (Movement Authority) 之終點，或降到安全的速度。

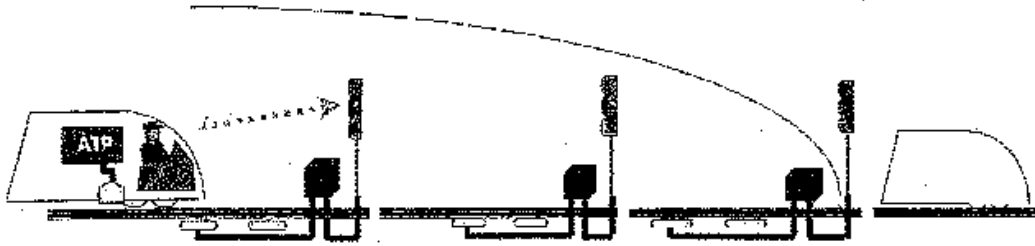


圖 1.4-4 ATP 系統原理^[3-9]

1.4.6 列車自動控制（ATC）系統

列車自動控制（Automatic Train Control ,ATC）系統為目前最先進之行車控制系統，利用現代化電腦控制號誌系統，以達成列車安全運轉及各種列車控制功能。

列車自動控制（ATC）系統係由 3 個主要子系統及相關附屬系統所組成：

（一）自動列車防護（Automatic Train Protection ,ATP）系統

ATP 子系統負責列車運轉之安全。它可以偵測各列車之位置，並由列車所在位置之曲線半徑、坡度及車輛安全煞車距離等，決定其相對速度，以避免遇有狀況時，列車能安全煞住而不發生追撞事故。ATP 子系統並能檢查列車前進路徑上所有轉轍器是否鎖定在正確位置，提供號誌聯鎖區之安全控制。

（二）自動列車監視（Automatic Train Supervision ,ATS）系統

ATS 子系統可監視列車之運行，並自動設定路徑，調整列車運行速度，依據時刻表所訂之車站發車時間自動發車。透過列車與道旁通訊系統，可使行控中心（Operation Control Centre ,OCC）即時控制並監督列車運轉，利用這些資訊資料並可統計、評估列車運行績效。

（三）自動列車操作（Automatic Train Operation ,ATO）系統

ATO 子系統可自動調節列車車速，進站時利用自動停車程式，使列車平穩而精確地停在月臺指定之位置。正線在正常狀態下（即正常營運）係以自動模式（ATO）運轉，車頭駕駛室仍有司機員，司機員僅需啓閉車門及車站發車之操控。駕駛室內亦同時提供人工駕駛所需之各種設備，在必要時仍可利用手動模式運轉。

行控中心（OCC）基本上是扮演監督整個系統運轉之角色，一切依預定的指令運轉，遇有需要時才發出修正指令，俾使班次趨於流暢，並使人為的干預減至最低。某些指令電腦可依實際之偏差狀況自動發出，某些影響較大之修正指令則需由行控中心人員判斷後才送出。

ATC 系統另包含一些附屬系統，如資料傳輸系統，傳輸道旁資訊至行控中心，並將行控中心之命令傳至道旁設備執行；另有列車識別碼系統，可將列車資訊傳送行控中心電腦，自動統計列車相關資訊。

ATW/ATS 依運轉需求，在必要的地點設置「資訊點」。列車依收到的資訊行進，列車離開資訊點，資訊即中斷，屬於定點式。ATC 屬於連續式，最為先進，日本新幹線、臺灣高鐵及臺北捷運系統即採用此一設備。臺鐵所用之 ATP

系統居於二者之間，屬半連續式。

1.5 道岔（轉轍器，Turnout）

1.5.1 道岔之類型與構造

一、道岔類型

道岔是提供列車或車輛從一股正線轉換至另一股正線行駛，或在站場內調移，從一股道轉至另一股道的一種軌道構造。道岔（Turnout）又名轉轍器。廣義的說法，道岔包括路線連接與路線交叉所需之設備。根據用途及平面形狀，道岔可分為下列二種類型：

- 〈一〉普通道岔：單開道岔。
- 〈二〉特種道岔：對稱道岔、三開道岔、交分道岔。

二、普通道岔之構造

臺鐵最常見的道岔是普通單開道岔，簡稱單開道岔。這種道岔主線是直線，分岔線由主線向左側〈左開道岔〉或右側〈右開道岔〉岔出。單開道岔使用最普遍，構造簡單，具有一定的代表性，了解與掌握其特性，對各類型道岔之配置規劃，極有助益。

單開道岔由尖軌部分、岔心部分、導軌部分所組成，如圖 1.5-1 所示。

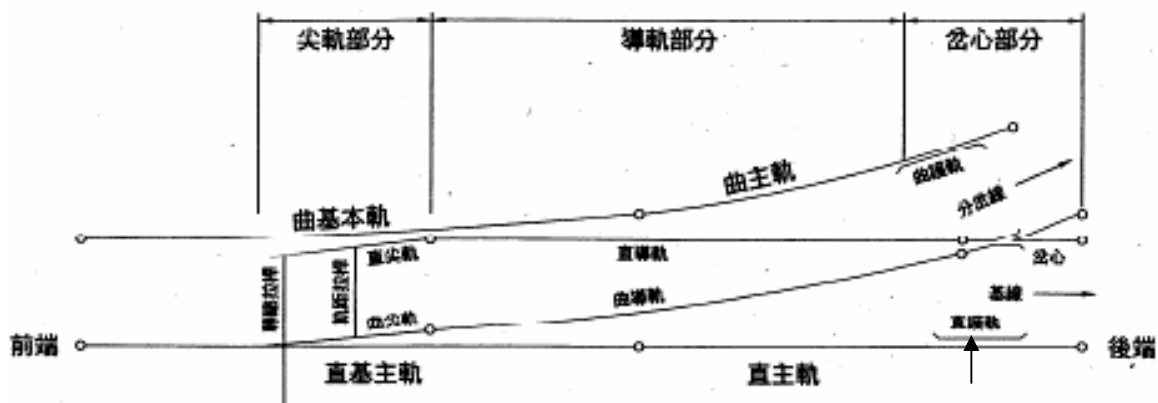


圖 1.5-1 普通道岔之構造

〈一〉尖軌部分（亦稱轉轍部分）

尖軌部分是引導機車車輛沿主線方向或分岔線方向行駛的路線設施，由兩根基本軌、兩根尖軌、及轉轍機構之各種連結組件組成。

- (1)基本軌：主股為直線軌，分岔股之導軌按軌距彎折成適當的曲線軌。
- (2)尖軌：尖軌是道岔的主要部分，機車車輛進出道岔靠它引導。尖軌在平面上可分為直線形和曲線形。臺鐵所採用之尖軌均為直線形。
- (3)轉轍機構及配件：包括滑床板、軌撐、各式墊板、轉轍拉桿和連接桿等。最常用的轉轍機構有機械式和電動式。轉轍機構必須具備轉換〈改變道岔開向〉、鎖閉〈鎖閉道岔〉和顯示〈顯示道岔的正位或反位〉等三種功能。

〈二〉岔心部分

岔心部分是使車輪由一股道越過另一股道之設備，它設置於道岔分岔線鋼軌與道岔主線鋼軌相交處。岔心部分由岔心、護軌和聯結零件組成。岔心之組成如圖 1.5-2 所示，其主要組件為鼻軌、翼軌及護軌。岔心之構造可分為整鑄岔心、組合式岔心二種。

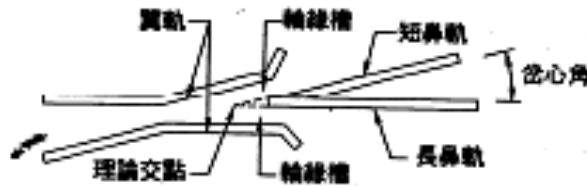


圖 1.5-2 岔心之組件

- (1) 整鑄岔心：係由高錳鋼整體澆鑄而成。高錳鋼是一種含錳、碳元素較高的合金鋼，具有較高的強度和良好的沖擊韌性，經處理後，在沖擊荷載作用下，會很快產生硬化，使表面具有良好的耐磨性。由於鼻軌與翼軌同時澆鑄，整體性與穩定性較好，可以不設轍叉墊板而直接鋪設在墊板上，具有使用壽命長，養護維修方便的優點，目前逐漸被廣為採用。
- (2) 組合式岔心：係由鋼軌及其他零件經刨切拼裝而成。它由長鼻軌、短鼻軌、翼軌、間隔鐵、轍叉墊板及其他聯結零件組成。

岔心兩側鼻軌作用邊之夾角稱岔心角 θ 。道岔號數 N 由岔心角來表決定。道岔號數的計算方法如圖 1.5-3 所示，為

$$N = \cot \theta = \frac{h}{b}$$

岔心角的計算方法為

$$\theta = \cot^{-1} \frac{1}{N}$$

臺鐵道岔號數與岔心角的對應值如表 1.5-1 所示。

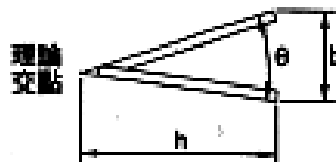


圖 1.5-3 道岔號數

鼻軌各工作邊延長線的交點稱為理論交點（理論尖端）。由於製作上之因素，實際之岔心尖端有 6~10mm 的寬度，此處稱為鼻軌的實際尖端。兩翼軌工作邊相距最近處稱為岔心咽喉。從岔心咽喉至鼻軌實際尖端間的軌線中斷距離，稱為有害距離。道岔號數越大，岔心角越小，這個有害距離就越大，車輪通過有害空間時，岔心容易受到撞擊。

表 1.5-1 道岔號數與岔心角之關係（單開道岔）

道岔號數	8	10	12	16
岔心角	7°09'10"	5°43'29"	4°46'19"	3°35'00"

為確保車輪安全通過有害空間，在岔心兩側相對位置的基本軌內側設置了護軌，如圖 1.5-4 所示。護軌用以引導車輪輪緣，使之進入適當的輪緣槽，防止與岔心碰撞。護軌可用鋼軌或特種斷面的鋼軌製作。

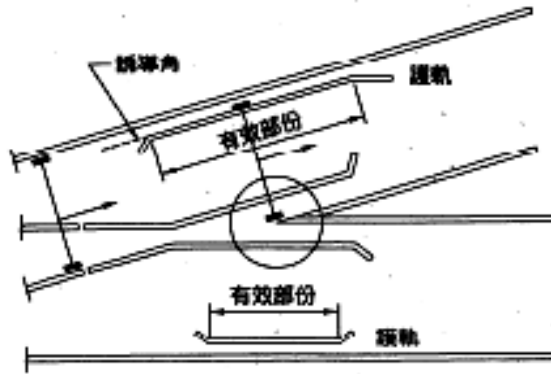


圖 1.5-4 岔心之護軌

〈三〉導軌部分

連接尖軌部分和岔心部分的軌道稱為導軌部分，它包括直導軌和曲導軌。直導軌和直線段的軌道構造相同，曲導軌又稱曲導線，曲導線的平面形式可以是圓曲線、介曲線或變曲率曲線。臺鐵路線上鋪設的道岔導曲線均為圓曲線。導曲線由於長度及界限的限制，一般不設超高和軌底坡。

三、特種道岔

〈一〉雙開對稱道岔

雙開對稱道岔是單開道岔的一種特殊型式，參閱圖 1.5-5。它具有以下之特點：

- (1) 整個道岔對稱於主線的中線和岔心角的中分線。列車通過時無直向與側向之分。
- (2) 尖軌長度相同時，尖軌作用邊和主線方向所成的夾角，約為單開道岔之半。
- (3) 導曲線半徑相等時，對稱道岔的長度要比單開道岔短，其他條件相同時，導曲線半徑約為單開道岔的二倍。
- (4) 在曲線半徑和長度保持不變時，可採用比單開道岔更小號碼的道岔。

在道岔長度固定之條件下，使用對稱道岔可獲得更大的導曲線半徑，故道岔通過速度可提高。在保持相同的道岔通過速度之條件下，對稱道岔能縮短道岔長度，因而縮短站場長度，增加股道有效長度。因此雙開對稱道岔適宜鋪設在駝峰頸部及迴轉線等地段，在不惡化路線平面條件下，亦可用在工廠專用線或城市之輕軌路線上。

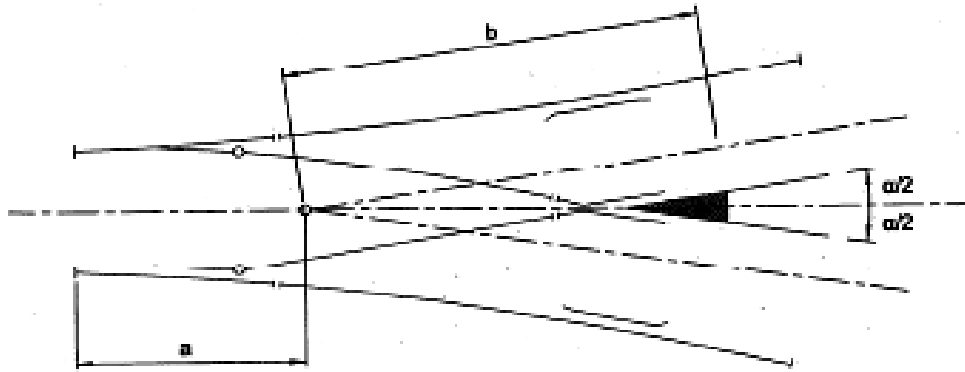


圖 1.5-5 雙開對稱道岔

〈二〉交分道岔

交分道岔能使兩股道在同一平面交叉，有單式與複式之分。可提供機車車輛由任一股道穿過另一股道，亦可由左右任一側轉往另一股道者，稱為複式交叉。限制祇能左側或右側才可轉往另一股道者，稱為單式交叉。複式交叉相當於兩組對向鋪設的單開道岔，它具有道岔長度短，開通進路多及兩個主要行車方向均為直線等優點，因而能節約用地，提高調車能力並改善列車運行條件。

交分道岔由菱形交叉、轉轍機構和導曲線等部分組成。菱形交叉一般是直線與直線交叉。菱形交叉由二副銳角岔心、二副鈍角岔心和連接鋼軌組成。參閱圖 1.5-6 之示意圖。

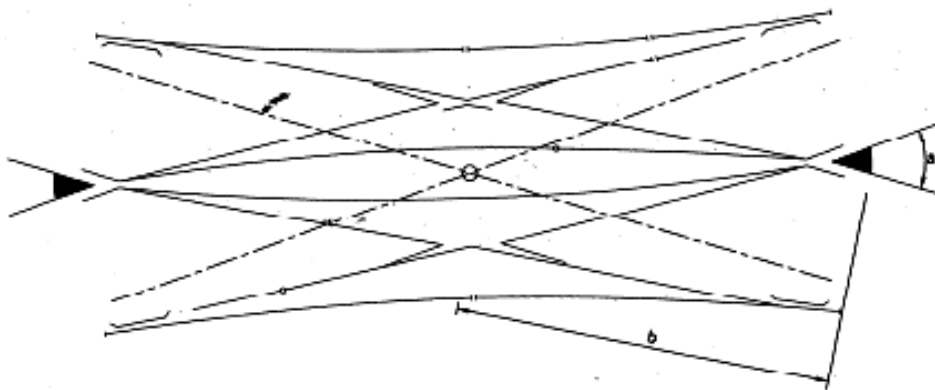


圖 1.5-6 交分道岔

〈三〉三開道岔

三開道岔係在同一地點自一股道分出兩股分岔股道的道岔。它相當於兩組異側順接的單開道岔，但其長度卻遠比兩組單開道岔的長度為短，故適用於駝峰調車場或地形狹窄又有特殊需要的地段。

三開道岔由一組轉轍機構，一組中間岔心和二組同號數的後端岔心所組成，如圖 1.5-7 所示。由於構造比較複雜，維修較困難，運行條件較差，除非十分困難，否則不宜輕易採用。

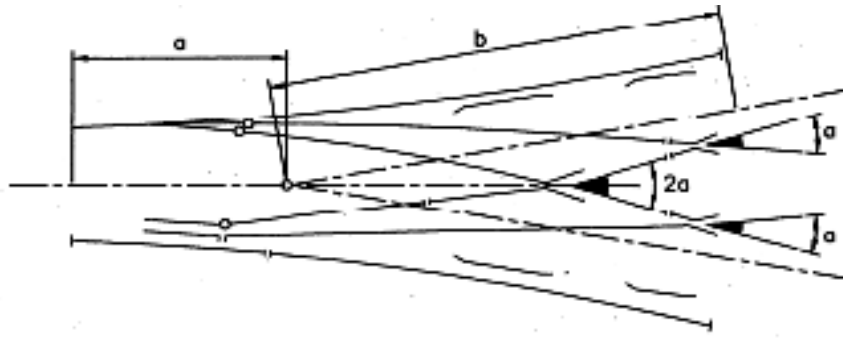


圖 1.5-7 三開道岔

1.5.2 通過道岔之行車速度

提高行車速度是提高鐵路運能的主要措施之一。通過道岔的行車速度是控制行車速度的重要因素。通過道岔的行車速度有側向通過速度與直向通過速度之分。

就一組單開道岔而言，側向通過速度包括尖軌、導曲線、岔心和護軌及道岔後之連接路線。無論從結構型式、強度條件和平面設計等觀點，岔心部分都不是控制側向速度的關鍵。道岔後的連接路線，按規定其容許通過速度不應低於道岔導曲線的容許通過速度。因此側向通過速度主要由尖軌和導曲線這兩個部位的通過速度來決定。

道岔岔心部分存在著有害空間。當車輪從翼軌滾向鼻軌時，將對心軌產生強烈的沖擊。當列車逆向道岔時，車輪輪緣將與岔心上護軌緩衝段的作用邊以及岔心咽喉至岔心尖端的翼軌緩衝段作用邊相撞。而當順著直向通過道岔時，車輪將與護軌及翼軌的另一緩衝段作用邊相撞。因此直向通過道岔速度主要取決於撞擊時的動能損失。

綜上所述，通過道岔的行車速度取決於下列三個基本參數：

〈一〉未被平衡的離心加速度

當列車進入分岔線〈側向〉時，道岔內的導曲線一般採用圓曲線，且道岔內之導曲線一般不設置超高，因此會產生離心加速度。過大的離心力作用會使人感到不適、人在車廂內行走困難、或物品移動傾倒等，因此必須限制這種加速度，亦即導曲線半徑確定時，推導並訂定其容許的側向通過速度。

〈二〉未被平衡的離心加速度之增量

道岔內的導曲線一般採用圓曲線不加介曲線，因此車輛從直線進入圓曲線時，未被平衡之離心加速度變化，其所產生的增量，會影響旅客的舒適度，因此針對此一因素要推導並訂定相對的容許側向通過道岔速度和最小導曲線半徑限值。

〈三〉動能損失

機車車輛由直線進入道岔分岔線時，在開始迫使其改變運行方向的瞬間，將發生車輪與鋼軌的撞擊，這時車輛運行的一部份動能，將轉變為對鋼軌的擠壓和機車車輛走行部分橫向彈性變形的位能，這就是動能損失。為防止列車側向通過道岔時，輪軌撞擊的動能損失過大，保證旅客必要的舒適度以及道岔結構的穩定，並延長其使用壽命，必須限制一個容許的動能損失值，即限制通過道岔速度和必須的最小導曲線半徑

值。

綜合考慮上述三個主要參數，結合現有臺鐵各種道岔結構情況，臺鐵規定通過側向道岔的限制速度如表 1.3-3 所示。

車輛直向通過道岔時，雖然沒有迫使其改變運行方向未被平衡離心加速度和加速度變化問題，但仍然有車輪對護軌和翼軌的撞擊問題，另外，為保證直向通過道岔之岔心咽喉至岔心尖端的翼軌地段時，車輪不爬軌等考慮，仍需規定一個動能的損失容許值，因此有些國家訂有道岔直向容許通過速度。

由上可知，欲提高列車通過道岔之行車速度，以提昇運能，可從二方面來考慮：

〈一〉改進道岔的平面和立面設計：

例如以曲線尖軌取代直線尖軌；採用變曲率的導曲線，以減少車輪進入曲線時之沖擊角，降低輪軌撞擊時的動能損失，減小未被平衡離心力加速度變化率，以提高側向通過速度；採取適當之措施，儘量減少各部位的沖擊角，以提高直向通過速度。

〈二〉路線配置規劃時，選取適當之道岔型號：

例如選用大號碼之道岔，以加大道岔導曲線半徑，減少車輪對道岔各部位的沖擊，以提高側向通過速度，但有一點需考慮，道岔號數增加後，道岔長度也增加了，相對應地增加站場長度，因而在使用上，受到一些限制。在道岔號數相同時，採用對稱道岔，導曲線半徑可比單開道岔增大約一倍，可提高側向通過速度約 30 ~ 40 %，但對稱道岔的二股均為曲線，這將使原為直線的股道運行條件變差，因而僅適用於兩個方向上的列車通過和行車密度相近的地段。

在高速鐵路中，道岔佔有特殊的地位。高速道岔分為二類：一為適用於直向高速行車的道岔，這一類為常用號碼道岔；另一為直向和側向都能通過高速列車的大號碼道岔。高速道岔在功能上和構造上與常速道岔相比，並沒有原則上的區別，而是它們對安全性與舒適度的要求更高。因此對高速道岔的平縱斷面、構造、製造技術、道岔範圍內的軌下基礎及養護維修，均經縝密的研究後，而設計製造出一系列適用於不同運行條件的高速道岔。

1.5.3 軌道連接

軌道連接有岔線、橫渡線、梯線和回轉線等多種型式。

〈一〉岔線

岔線有直線出岔和曲線出岔兩種。直線出岔時，首先要確定岔線與主線的交點和兩者的交角，然後選定出岔點的位置（即道岔中心）及所使用的號數。出岔後如銜接曲線段，在道岔尾部應有一段插直線。

在鐵路的曲線段上鋪設道岔，稱為曲線出岔。為避免曲線出岔時採用特殊設計的曲線道岔，可將曲線的一部份取直，以便在這段直線上鋪設標準的單開道岔，在這一直線段的前後，對原有曲線須作相對應的調整，使之圓順地連接。曲線取直的方法，通常有弦線取直、切線取直和割線取直三種，其中以割線取直時路線的總移動量最小。

(1)道岔配置

就列車運轉方向對道岔而言，當列車行進方向（以箭頭表示）由道岔前端向岔心方向時，該道岔稱為對向道岔(Facing Point)。列車行進方向由岔心向道岔前端時，則稱該道岔為背向道岔(Trailing Point)。如圖 1.5-8 所示。由於對向道岔之岔尖不密著時可能導致進錯路線，或前後輪走不同路線而造成出軌，故路線配置時應避免使用對向道岔。

道岔的分歧側列車速度受限，動搖劇烈，不利路線維修，因此速度高之列車以行駛於道岔直線側為宜。由於道岔有軌距線不連續處之存在，成為軌道結構的弱點，容易產生出軌或進錯路線等事故，且維修亦較為困難，故主正線上應盡量少配置道岔。另曲線與坡度上之道岔，不但對行車安全不利，同時維修困難，宜盡量避免。

特殊道岔的速度限制相當大，構造複雜應盡量避免，惟在都市等用地取得困難的車站、車輛基地，在不得已時仍需使用，不宜限制太嚴。

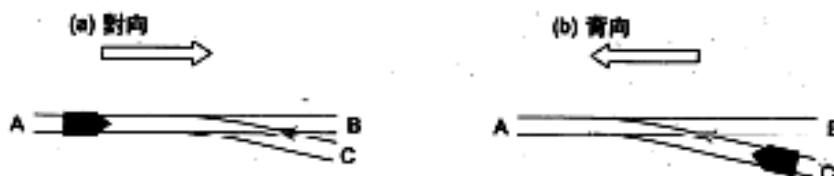


圖 1.5-8 對向、背向道岔

(2)道岔顯示

道岔經常開通的方向（一般為直線方向）稱為定位(Normal)，必要時暫時開通的方向稱為反位(Reverse)，列車通過後仍得扳回定位。定位或反位狀態，以標誌顯示。

(3)道岔開向之繪製

配線設計需插入道岔時，先在基準線上點出理論交叉點 A，爾後在基準線方向上量測 B，自 B 點與基準線呈直角量測 C，使 $BC:AB = 1:a$ ，量出 C 點，AC 方向就是 a 號道岔的分歧方向。以 8 號道岔為例，如圖 1.5-9，自理論交叉點 A 向 B 點以適當之比例量出 $AB = 80m$ ，定為 B 點，同樣之比例自 B 點直角方向量出 $BC = 10m$ 定為 C 點，則 AC 對 AB 即為 8 號道岔之分歧方向。A 點若要在 AB 線上之其他位置時，AC 必須平行移動。不等開道岔時應按不等開之比例在 BC 間取其等分定出不等開方向。

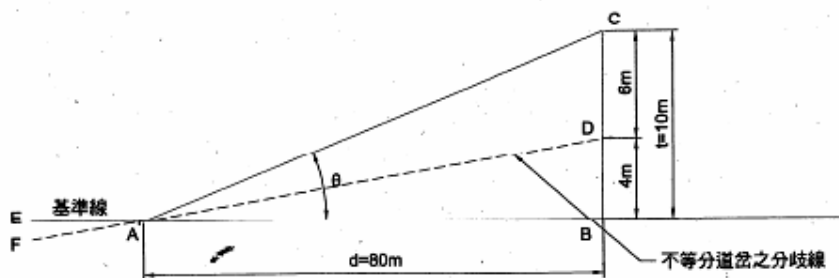


圖 1.5-9 8 號道岔分歧方向繪製例

(4)道岔配置形式

道岔配置之基本形式有下列幾種，參閱圖 1.5-10。

- 1 基線分歧型：與道岔連接之線群分歧自一基線，其角度等於某一號道岔之角度(如全為 8 號道岔時)，梯形線型即屬這一種形式。
- 1.5 基線分歧型：與道岔連接之線群跟道岔分歧基線間有 1.5 分歧角度(8 號道岔時 $10^{\circ}43'30''$) 的道岔形式。
- 2 基線分歧型：與道岔連接之線群跟道岔分歧基線間角度有 2 個道岔角(如 8 號道岔時為 $14^{\circ}18'$) 的配置形式。
- 3 基線分歧型：其他亦有 4 基線分歧型、5 基線分歧型，但不常使用。

線群最重要的是有效長，非有效長要盡量縮短。除有效長之外，對道岔形式之選擇比較，需考慮調車機車之行駛距離、通過道岔次數、道岔扳轉次數、所要之軌道總長、用地面積等。綜合上述因素以決定最合適之方案，雖頗為困難，惟依經驗通常採用下列方式：線群股道數 4 股以下時，可用 1 基線分歧型；3~4 用 1.5 基線分歧型；線群股道數 5 股以上時，可用 2 基線分歧型；線群股道數超過 10 股時，使用 3 基線分歧型。

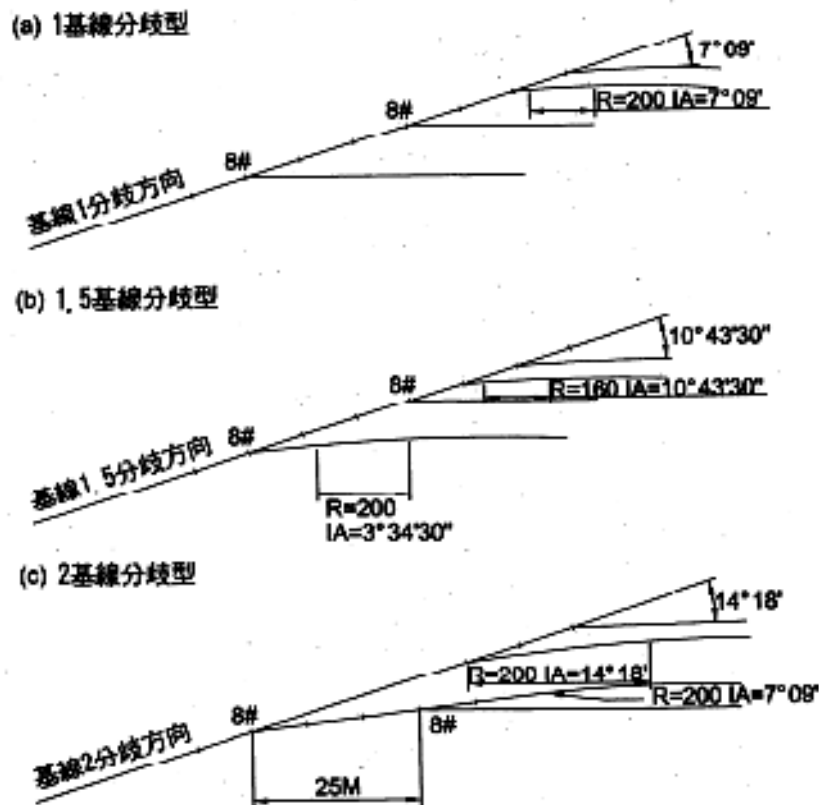


圖 1.5-10 道岔配置基本型式

〈二〉橫渡線

橫渡線用於兩股平行股道間的連接，可分為正常橫渡線、縮短橫渡線和交叉橫渡線三種。

- (1)正常橫渡線：由兩組類型和號數均相同的道岔組成。道岔的尾部有一段直線段連接，如圖 15-11 所示。正常橫渡線一般適用於軌道間距 $\geq 7\text{m}$ 的平行軌道連接。
- (2)縮短橫渡線：在股道間距大於 7m 時或橫渡線長度必須縮短的地段，可使用縮短橫渡線。此時兩個道岔的尾部用一段反向曲線取代直線如圖 1.5-12 所示。
- (3)交叉橫渡線：係由兩組橫渡線交叉通過，由 4 組類型和號數相同的單開道岔和一組菱形交叉，以及連接鋼軌所組成，亦稱剪形交叉，如圖 1.5-13 所示。交叉橫渡線僅在個別特殊場合才可使用。

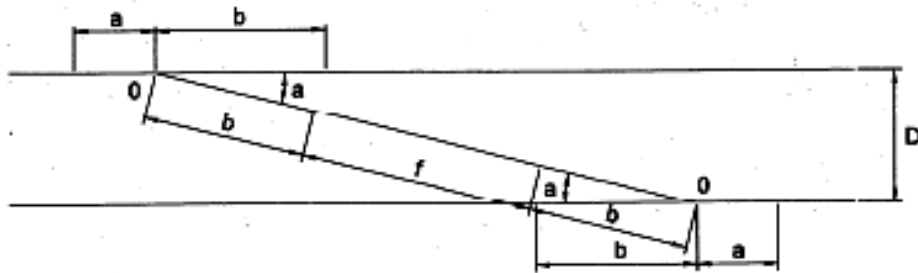


圖 1.5-11 正常橫渡線

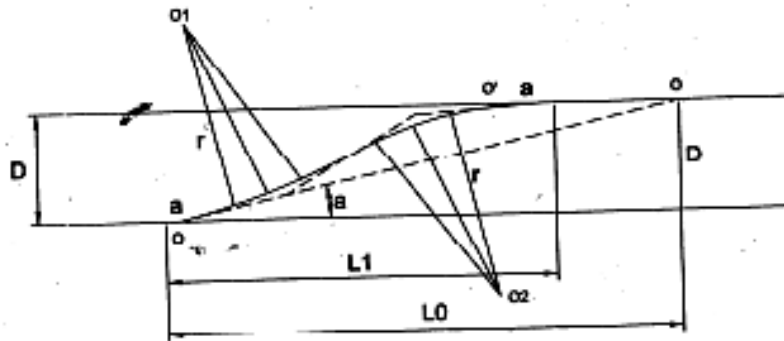


圖 1.5-12 縮短橫渡線

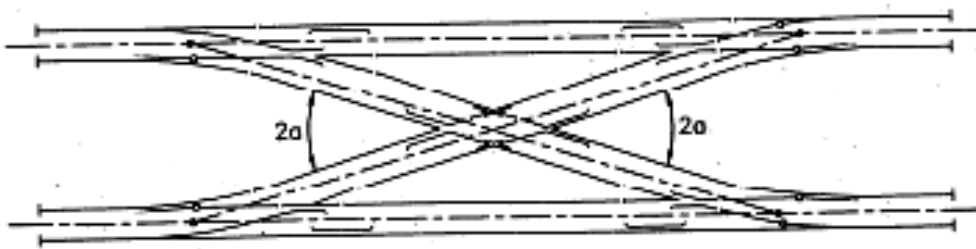


圖 1.5-13 交叉橫渡線

〈三〉梯線

用若干組單開道岔連接在一系列平行股道的路線，稱為梯線。梯線廣泛應用於調車場配置。梯線按道岔群組合方式的不同，分為正常型梯線、縮短型梯線、扇形梯線、複式型梯線等。

- (1) 正常型梯線：凡連接各平行股道的道岔依次排列在梯線上，且所有道岔號數均相同者，稱為正常型梯線。正常梯線有梯線本身就是拖上線的延長、梯線與拖上線成 α 角二種，如圖 1.5-14 所示。在梯線上設置道岔時，應注意道岔間插直線的規章規定。正常型梯線之配線最為單

純，配置 3~4 股道時最常使用。客運站正線邊有月臺時，宜使用縮短型梯線，如圖 1.5-15 所示。

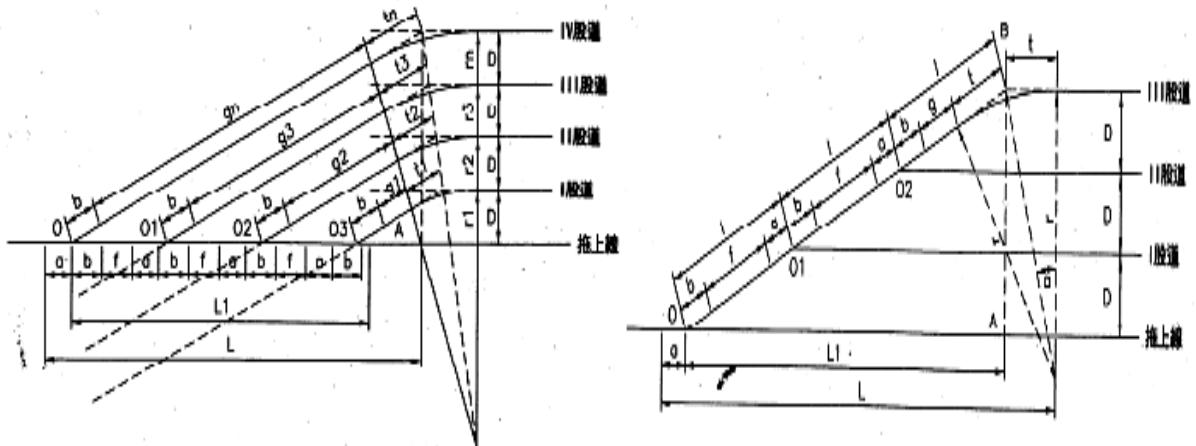


圖 1.5-14 正常梯線

- (2) 縮短型梯線：梯線與拖上線成大於岔心角 α 時，稱為縮短型梯線。如圖 1.5-15 所示。由圖 1.5-15 可知，梯線與拖上線所成的角度 δ 愈大，梯線在拖上線的投影愈短，則股道的有效長反而增加。

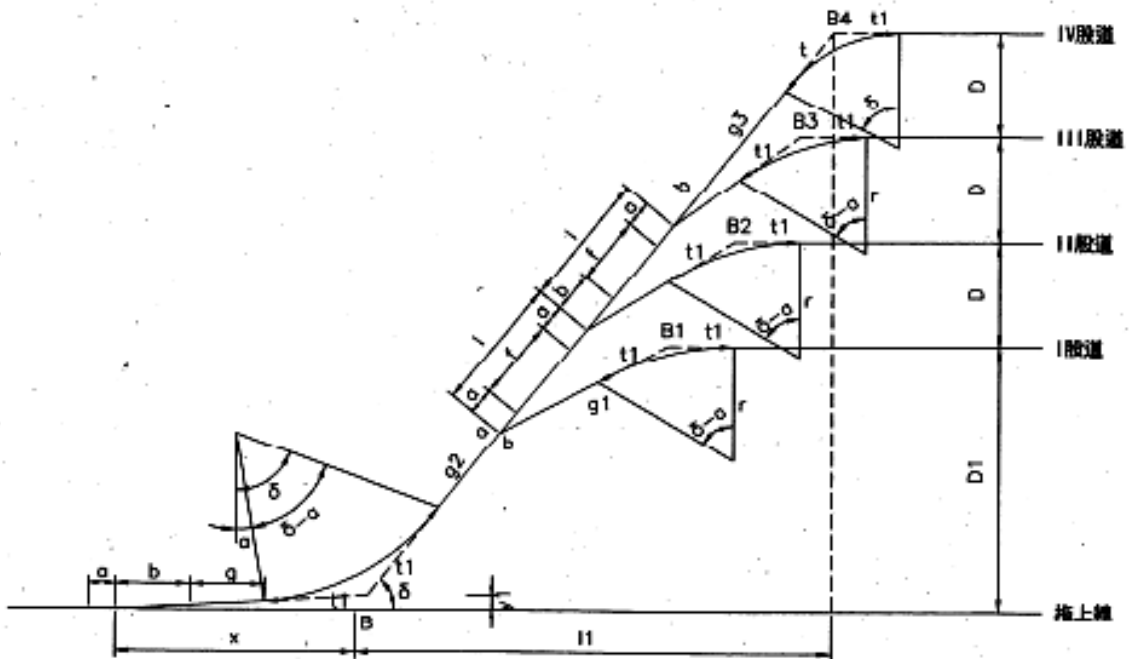


圖 1.5-15 縮短型梯線

- (3) 扇形梯線：各股道一次在前一股道上出岔，這時梯線便不再是一條直線，而成爲一條扇形線，如圖 1.5-16 所示。扇形梯線適用於股道轉角比較大的調車場、貨場和機廠等。扇形梯線的優點是扳道時不跨越軌道，缺點是瞭望條件較差，且向外繼續增添股道有困難。

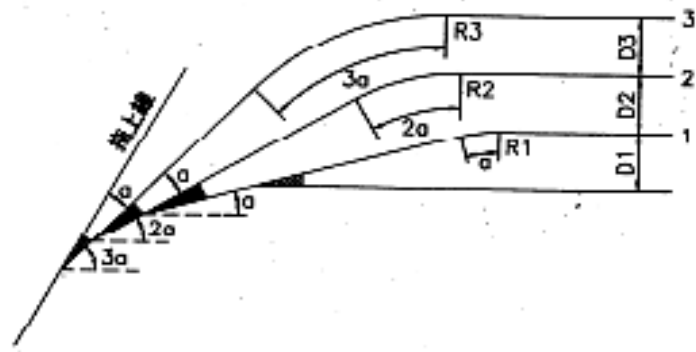


圖 1.5-16 扇形梯線

(4) 複式型梯線：複式梯線是上述不同形式梯線的組合，如圖 1.5-17 所示。它的佈置變化多樣，總的要求是把數量較多的平行股道，透過各種方式和拖上線連接起來，俾儘可能縮短梯線長度，使場地獲得充分利用，常使用在編組線、車輛基地等之配線。

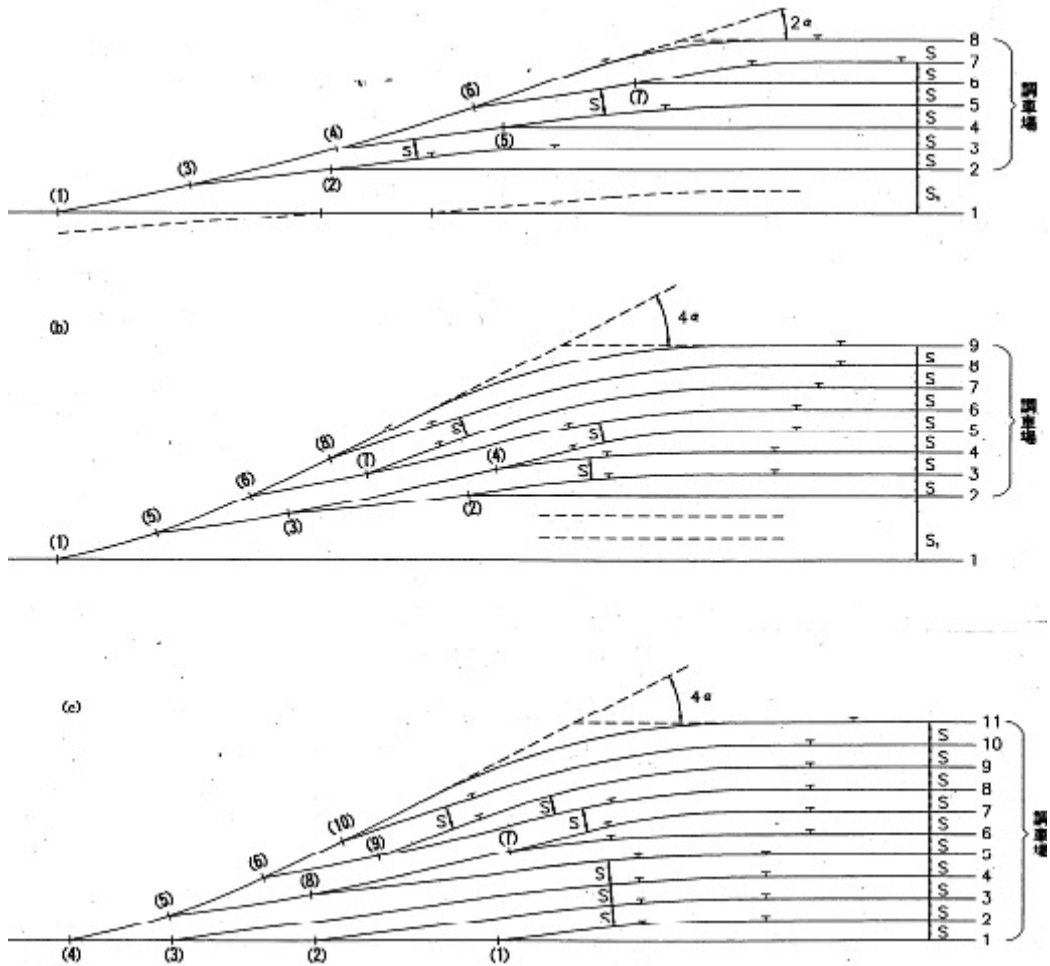


圖 1.5-17 複式梯線配置例

〈四〉回轉線

回轉線用於機車車輛的調頭。有轉車盤、轉頭線、三角線等型式。三角線是最常用的機車轉向設備之一，其型式有下列幾種：

(1) 使用一組對稱道岔及兩組單開道岔。

(2)使用三組對稱道岔。

(3)使用三組單開道岔，如圖 1.5-18 所示。

上述中以第三種使用最為普遍。三角線運行可靠，但佔地面積較大。

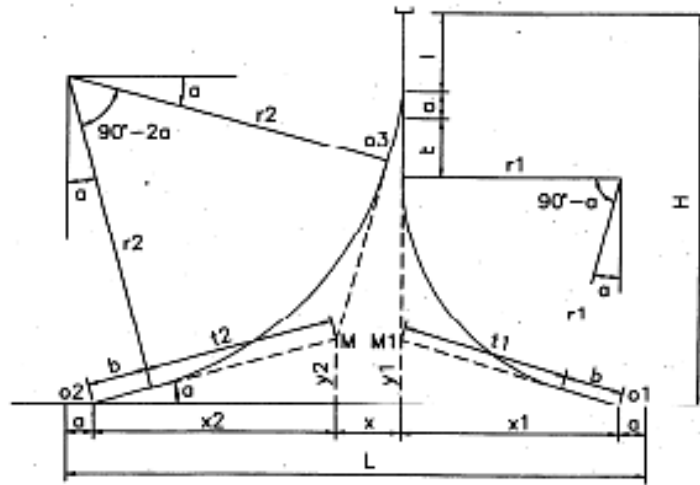


圖 1.5-18 三角線

1.6 鐵路電化之基本認知

1.6.1 鐵路電化之方式

各國鐵路電化之方式互不相同，即使同一國內，亦可能有不同之方式，茲以電化鐵路所用之電源及集電方法之不同，略述其方式如下：

一、依電源而分

(一) 直流式：即使用直流電。直流式又可分為直流高壓式，其使用之電壓多為 1,500 伏特、3,000 伏特、1200 伏特或 2,400 伏特等；直流低壓式，多使用 750 伏特、500 伏特或 600 伏特之電壓。

(二) 交流式：即使用交流電。依使用之頻率、相數、及電壓之不同，而有不同之分類。單相式多使用 16 2/3 Hz、25 Hz、50 Hz 或 60 Hz 等不同頻率，使用電壓多為 6.6~25KV，機車上電動機有採用整流子電動機，以交流電直接驅動者，亦有將交流電在車上整流後，以直流電驅動直流電機者；另有三相式，多使用 16 2/3 Hz、25 Hz 等不同頻率，使用電壓則為 3,600~6,000V，機車上電動機亦有直接型與整流型之分。

二、依集電方法而分

(一) 架空式：電源架設於軌道上空，機車以集電弓接取電源。依其架設方式又分為二種：

(1) 架空單線式：電源線一條架於空中，回流線則利用鋼軌，單相交流及直流均可使用。本方式之優點為設備較簡單，但以鋼軌作回流線，回流電大部分洩漏於大地，將會對軌道附近之地下埋設物，產生不良影響，為其缺點。

(2) 架空複線式：不以鋼軌為回流線，而將電源線及回流線均架

設於空中，機車裝有兩套接電裝置，都市內之無軌電車即採用此種方式。其缺點為構造複雜，但可避免洩漏電流則為其優點。

- (二) 地上式：電源之不架設於空中，而裝設於地面。此種方式因無支撐電車線之電桿，不會影響司機員之視線，視界較好為其優點，但因電源線距地面過近，易造成觸電危險，故除在隧道內或地下鐵路外，甚少使用。
- (三) 第三軌式：在行車用之兩條軌條外，另裝設一導軌，以用作輸送電源。機車裝有特製之集電靴接取電流，回流電則仍經鋼軌流回電源。
- (四) 第四軌式：另裝設導軌兩條以作為電源線及回流線之用。
- (五) 地下式：本方式與架空式相反，電車線安裝於軌條間之暗溝內，機車之集電弓，入溝內接取電源。因地面無電力設備，視界良好，亦較美觀。但因安裝於地面下，絕緣不易，保養困難，採用之鐵路不多。

1.6.2 臺鐵之電化方式

臺鐵已實施之鐵路電化系統，係採用單相、60 赫茲 (Hz)、25,000 伏特之交流電，電源由臺電供給。電車線採單線架空方式，裝設回流線，將回流鋼軌中之回流電吸上回流線，流回變電站，其餘大部分地區均採用雙回饋線，即架空地線方式將回流電送回變電站，經回流軌洩漏至大地之電流極微，可避免干擾之產生。

臺鐵電化系統因使用高壓交流電，其所引發之問題及因應措施如下：

一、高壓交流電之干擾感應問題：

因高壓交流電之電場及磁場作用，使沿線之金屬結構物產生靜電感應，並干擾電訊及電氣號誌。為解決此項困擾，故沿線所有金屬結構物已作接地安排，所有電氣號誌均加設防護干擾裝置，所有明線電訊線路均埋設地下。

二、牽引較重、速度較高列車之行車安全問題：

鐵路電化後，列車速度及牽引重量均較原有標準為高，路線標準亦須因而提高，如換用重軌、換枕、換碴、路基加寬、曲線改善等軌道加強工程，另亦將平交道升等，儘量將平交道改為立體交叉、電化區間之第四種平交道完全予以淘汰，以確保行車安全。

三、電化區間員工及公眾之安全防護問題：

電化系統採用 25,000 伏特高壓交流電，且電車線高度最高 5.4 公尺，最低處僅 4.42 公尺，遠較一般高壓電為低，故在電化路線上工作、乘車、通行之員工、客貨商及附近居民等，應如何防護高壓電之危險，以確保自身之安全，為鐵路電化所產生之另一問題。為此，臺鐵除辦理各項電化訓練外，並制訂辦法，將訓練及宣傳列為經常性之工作。

四、法令規章之制（修）訂問題：

電化後，設備及作業方法與傳統式鐵路諸多不同，除原有法令規章應配合修訂外，對電化設備之維修、電力調配及一般安全防護規定，均應制訂辦法，妥為規定。

1.6.3 臺鐵電車線設備之供電與分區

一、電流回路

臺鐵電化系統電源係由臺電供應電源由臺電一次變電所，以三相、交流、60 Hz 六萬九千伏特之高壓，送至臺鐵變電站，經臺鐵變電站將其降為二萬五千伏特後，分為兩單相，分別饋送至變電站南北兩方之電車線上。當電力車輛行駛時，電流即由機車之集電弓，引進車上設備，並經車輪、回流鋼軌、回饋線等，流回變電站，形成一完整的回路。

回流電流係以回流鋼軌及回饋線（即架空地線）為回流路徑。回饋線架設於電車線桿上，每隔四根電桿（約二百公尺）即與回流軌相連，以共同承載回流電流。

二、電車線之分區

臺鐵電車線所使用之電源係經由變電站所供應。每一變電站供電之範圍約為四十公里，此範圍以變電站為界，分為南北兩段，每段長約二十公里，此約二十公里之電車線即稱為一「區間」。區間與區間則以「中性區間」間隔。中性區間之長度為 5.162 公尺，係一段無電之裝置，並予以接地，電力機車通過前必須先切斷開關，通過後再接通，否則會引起電車線短路。

電車線保養或故障時，均可能影響供電，妨礙行車。為使影響供電之範圍不致過大，妨礙行車程度減至最低，每一區間之電車線復劃分為若干區間，其劃分之原則如下：

（一）站外：

兩站間之距離無論多長，其電車線均劃分為一分區間。其與站內電車線之分界處均在進站號誌機之外方，利用重疊區間將站內與站外之電車線予以隔開。

（二）站內：

依車站路線配置及運轉需要，劃分為若干分區間，每站不同，因站內每一分區間通常均含若干股路線，故站內分區間又稱電車線群。

三、電車線開關

每一區間電車線劃分為若干分區間，各分區間均以絕緣裝置互相隔離，惟為構成完整回路，各分區間另以開關接通，故各分區間可藉開關使其隔離或接通。

區間與區間間，係以中性區間分隔，惟兩區間間亦另裝有開關，以備一區間因故斷電時，可將開關接通，由鄰區間支援供電。另外變電站內，及變電站與電車線間，亦均裝有開關。

1.6.4 高壓電之安全防護措施

帶有高壓電之導體，如高壓電車線設備，並非互接或間接接觸才會造成傷亡，而係接近至相當距離時，電即會透過空氣，對人、物造成傷害。此外高壓電因電場作用，可使附近之金屬物體感應帶電，如無適當防護，萬一產生火花，亦足以使瓦斯、汽油等危險物品爆炸。為防範高壓電所產生之危險，臺鐵採取

下列三項防護措施：接地措施、規定安全距離、制定一般安全規定。

一、接地措施

所謂接地，即將帶電導體與大地導電連接。接地之目的，在清除導體與大地間之電位差，使導體的電位保持與大地者相同，不致對人或物造成傷害。臺鐵電車線設備之接地措施可分為臨時性與永久性兩種：

（一）臨時性接地措施：

電車線設備中，帶有高壓電之設備，如因故斷電，但已斷電之設備，並非絕對安全。即使已斷電之設備可能仍帶有殘留電，又可能受鄰近其他高壓活線設備之感應，使其帶電，亦可能因人為錯誤，使其重新通電或電力列車越入等。凡此，均可導致人員傷亡與財務毀損。故臺鐵電化規章規定，已斷電之設備，必須另辦接地後，方可視為安全。

（二）永久性接地措施：

為防感應帶電，電化路線附近所有之金屬物體，如金屬管線、號誌機、橋樑、電訊電纜之金屬外皮等，均以接地線與回流軌連接，而回流軌係與地線（含架空及埋設地線）、回流線及變電站用接地裝置等相互連接。

二、安全距離

為防過於接近，或直接接觸高壓設備，引起傷害事故，臺鐵電化鐵路安全須知中，規定有最短安全距離。此安全距離有 1.5 公尺及 0.6 公尺兩種。亦即高壓設備，在未斷電並接地以前，所有人員及其所持物件，均應與其保持 1.5 或 0.6 公尺以上之距離。1.5 公尺適用於一般人員，0.6 公尺適用於合格之技術人員或經訓練之人員，並且須在經特殊訓練之監督人員的監督下工作。前述安全距離，係僅對人員或其所持物件而訂。因人是活動的，如過於接近高壓設備，則可能因手臂之揮動，或所持物件之舉揚，誤觸高壓設備而引起不幸。其他固定設備，如橋樑、隧道、鐵路客貨車輛等及貨物裝載之高度不受前述安全距離之限制，僅須遵守既有之各項規定界限即可。

三、一般安全規定

對高壓電之防護，除前述之接地措施及保持規定之安全距離外，有關其他防護須知，臺鐵頒訂之「電化鐵路安全須知」，均有詳細之規章，僅摘錄數條，並作簡單之解釋，以便於了解其訂定之目的：

（一）回流軌條上之連軌線，及其他連接線，如有折斷，均可能產生危險電壓，故不可碰觸，並應立即通知電力調配室或電力段安排搶修。回流軌係用以承載回流電流者，不可中斷，故軌條接頭均以連軌線連接。此外，附近之金屬物體亦均以連接線連接於回流軌，架空及埋設地線亦每隔四支電桿即與回流軌連接，回流線亦在適當地點與回流軌連接，故回流軌上連接線數量及種類繁多，如有折斷，則在折斷處可能產生危險電壓，故不可任意接觸。

（二）電車線墜落地面，在未確認該墜落之電車線業已斷電並接地前，在其周圍 10 公尺之範圍內，任何人不得進入。電車線如斷落地面，即形同接地，依臺鐵之設備而言，變電站內之真空斷路器，應可在幾十分之一秒內跳開，使全區斷電。但為防萬一，如電車線墜落處

地質絕緣性良好，短路電流可能不足使真空斷路器立即動作，則電車線上仍繼續帶電，故有本項規定。

- (三) 在埋有高壓電纜附近之地面，不可挖掘或打入任何物體，以免損壞電纜，或遭觸電之危險。臺鐵各變電站與電車線間，以饋電線連接，此饋電線即埋設於地下，與電車線同樣帶有二萬五千伏特高壓電。此外為防高壓干擾，沿線電訊明線均改用地下電纜，埋設於路線旁，故挖掘或向地下打入物體亦可能損及地下電訊電纜。
- (四) 抽換鋼軌、鋸斷金屬管線等，應在拆開或鋸斷處先以跨接線連接，以免中斷其導電性能。
- (五) 平交道上電車線之高度為 5.40 公尺，如因故無法達到此高度者，即在平交道兩側裝設限高門，限高門上並裝設限制高度之標誌。

(待續)

主吊線 49.5mm² 更換為 95 mm² 吊掛線長度之計算 Calculating length when changing 49.5mm² messenger wire into a 95 mm² dropper

陳文晉 Chen, Wen-Chin¹

地址：107 臺北市文山區興隆路二段 96 巷 100 之 3 號

Address：No.100-3, Sec. 4, Xing Long Rd., Wen-Shan Dist., Taipei City 11689

電話：02-2932-7181

Tel：02-2932-7181

電子信箱：tr500443@msa.tra.gov.tw

E-mail：tr500443@msa.tra.gov.tw

摘要

目前臺灣鐵路管理局正進行西部幹線北部區段基隆至新竹間「臺鐵捷運化」規劃建造，其電力供應係由臺電 69kV 輸電系統供電，經主變壓器以 Le Blanc 接法，將三相 69kV 轉換成 25kV 兩單相(M 相及 T 相)電壓，分別引至電車線以供電力機車及電聯車所需之動力；而臺鐵列車為一種動態性的牽引動力負載(電力機車、電聯車)，針對其運轉特性加以探討，由於電化鐵路系統的耗電量與尖離峰載運量及列車班距有密切的關係，系統是否正常運轉關係著旅客的時間與安全，因此供電系統應相當嚴謹之規劃設計要求。

關鍵詞：鐵路電化系統、Le Blanc 變壓器、電車線。

Abstract

At present the TRA is carrying out engineering work for a plan to turn the Keelung-Xinzhu section of the western trunk line into an urban *rapid* transit system. Power is supplied by a Taipower 69 kV transmission system and, using the Le Blanc connecting method, the main transformer converts the three phase 69V to two single phase 25 kV (M phase and T phase) voltage, which powers electric locomotive and EMU respectively. This power conversion gives TRA trains a kind of dynamic (electric locomotive and EMU) traction load operating property. Electrified rail system power consumption is closely connected to peak and off-peak passenger volume and train headway and the normal operation of the system has a direct influence on passenger traveling time and safety, therefore the requirements of power supply systems are very strict.

Keywords: Railway electrification system, Le Blanc transformer, electric train wire

一、前言

近十幾年來，由於經濟快速成長，北部都會區範圍向周邊擴張，基隆－新竹間，沿著臺鐵路廊，成為臺灣北部都會區發展之主軸，匯聚大量人潮，社經活動頻繁，此廊帶上現有運輸服務系統已呈現過度飽和，無法滿足社會需求。

配合政策臺鐵局進行西部幹線北部區段基隆至新竹間推動「臺鐵都會區捷運化」計

1. 本局臺北電力段副段長

畫，沿線增設捷運車站，因此在列車密度提高及電聯車停靠站增加下，供電系統負荷增大，其中因電聯車啟動時電流相當大(如表 1)，以目前基隆~臺北~新竹間臺鐵現有變電站變壓器容量，除非提出完善配套措施來增加變電站容量及提高電車線載流量，否則會因負載增加，造成供電容量不足，進而影響行車調度。

表 1 臺鐵各型列車負載電流

列車種	CT 比	最大電流	運轉電流	靜止電流	期 間
PUSH-PULL	250/5	136A	40A	8A	電流達 136A 以上計 6 次
E200	175/5	173A	35A	9A	電流達 170A 以上計 6 次
EMU300	300/1	99A	45A	9A	電流達 90A 以上計 8 次
EMU200	200/1	108A	40A	9A	電流達 100A 以上計 20 次
E400	175/5	162A	38A	10A	電流達 157A 以上計 9 次
EMU100	150/5	70A	39A	7A	電流達 63A 以上計 11 次
EMU500	350/5	95A	45A	12A	僅測樹林~板橋站外區段，主要比較二組及三組聯掛運轉耗電量之差異

二、電力供應概要

2.1 電力系統

臺鐵路每一電化變電站皆以兩不同相位 M 相及 T 相(相差 90°)之電源，分別向南北兩方之電車線各饋電約 20 公里。因兩單相電源相位不同，故須在變電站出口端附近設置無電區間稱為中性區間(Neutral Section 簡稱 N/S)。又因臺鐵變電站類屬臺電二次變電所，依臺電規定二次變電所之電源不可相連，故在臺鐵兩變電站供電交界處，須設置另一無電區間稱為分界點(Section Post 簡稱 S/P)。中性區間及分界點上均裝有開關，平常均在開路(Open)位置，僅在某一變電站無法供電，需由相鄰變電站轉供，或電車線系統供電中斷時才得閉合(Close)，而變電站電力變壓器之容量由早期每臺 10MVA，因負載增加提高為每臺 15MVA。如今配合「鐵路捷運化」針對變電站容量、電車線載流量及臺鐵列車為一種動態性的牽引動力負載(電力機車、電聯車)之運轉特性需加以探討。由於電化鐵路系統的耗電量與尖離峰載運量及列車班距有密切的關係，系統是否正常運轉關係著旅客的時間與安全，供電系統之要求應相當嚴謹，因此針對臺鐵供電系統模式，利用電腦軟體(Rail Plan 及 Power Plan)進行分析。

2.2 分析軟體介紹

軌道運輸快速發展，為因應模擬軌道運輸成長的需求及軌道號誌與列車性能的複雜化，從最簡單的鐵路營運動態模擬程式發展到功能強大的商業化電力模擬程式，作為鐵路運輸計畫及系統設計的依據。這套軟體分成兩部份，分別被命名為 Rail Plan 及 Power Plan，它們可以被使用於下列的目標：

- 1、探討不同列車組態下的動態影響，也就是在電力路網下之動態效應。
- 2、評估既設供電系統的容量，以掌握營運上的改變。
- 3、在改善或新設軌道路網時作為在供電系統設計下的選擇。
- 4、評估在不同運轉模式狀況下的能源損耗。

在 Rail Plan 模擬執行的期間，每一時段內，每一部列車的狀況包括：時間、速度、位置、是否加速、滑行或煞車以及牽引動力等等，均被計算並記錄在內部的檔案，並且使用者能夠在重新計算被執行前，選擇列車可以移動的最大距離，而內部檔案繼續當成 Rail Plan 的輸入資料使用。

2.2.1 軌道規劃

Rail Plan 是一套全系統的模擬工具，它將負載組態模組化，並考慮到軌道、號誌及列車的性能。利用本程式可以進行時刻表的改善，以及選擇在最低成本下完成軌道、號誌及牽引動力性能的改進。在進行模擬的時間，Rail Plan 同時進行兩種相互影響的處理過程。一種是列車實際進行的過程，也就是移動中的班次使用情形的資料及列車特性，特別去計算列車的距離、速度及加速度。另一方向是邏輯上的處理，也就是列車起站、行進路線、行進區間及時刻表等等。Rail Plan 能夠被使用在許多不同的規劃條件，因此在不同的專案或研究計劃必須儲存在資料庫中，以利後續的修改或分析。這些被儲存的資訊包括有：

- 1、詳細的路網，也就是全部的分路、節點、交叉點及相關的速度限制。
- 2、路線的幾何圖形，包括：距離、坡度及曲度。
- 3、互鎖的邏輯及列車路線。
- 4、訊號系統及訊號性質。
- 5、列車性能及列車組態。
- 6、時刻表。

2.2.2 電力規劃

電力規劃(Power Plan)主要是用來計算大型複雜的軌道路網之電力需求。該路網必須先以軌道規劃 (Rail Plan) 求出列車動態情況，且適用於牽引動力供電為交流或直流的方式，它是後期處理的程式，作為列車的動能轉換成電能以及供電狀態計算的工具。所以電力路網程式將軌道路網程式的執行結果將每一部列車牽引動力的結果轉換成電能的方式表現，允許將供電系統模組化，並求解出每一瞬間供電系統及列車的狀態等問題。而 Power Plan 輸出檔案包括：

- 1、指示出匯流排上、電壓、電流與耗能的函數。
- 2、每一部列車的電壓與耗能。
- 3、每一個饋電主變壓器的電力需量。

以上均是以時間為變數。因為軌道路網是一個以事件為導向的模組程式，所以在每一個計算時段內的參數並不相等。電力路網程式的工作是轉換軌道路網的輸出資料成為標準化的時間，以插補法計算出所要的結果，而取樣的時間是由使用者決定。為了執行電力的計算首先將供電系統模組化，因此必須具備主變電站資料(含電壓、內部阻抗、實功率與虛功率)、饋線資料、電壓量測點的位置、電路網路的架構以及軌道網路的對照，其分析流程(如圖 1)。

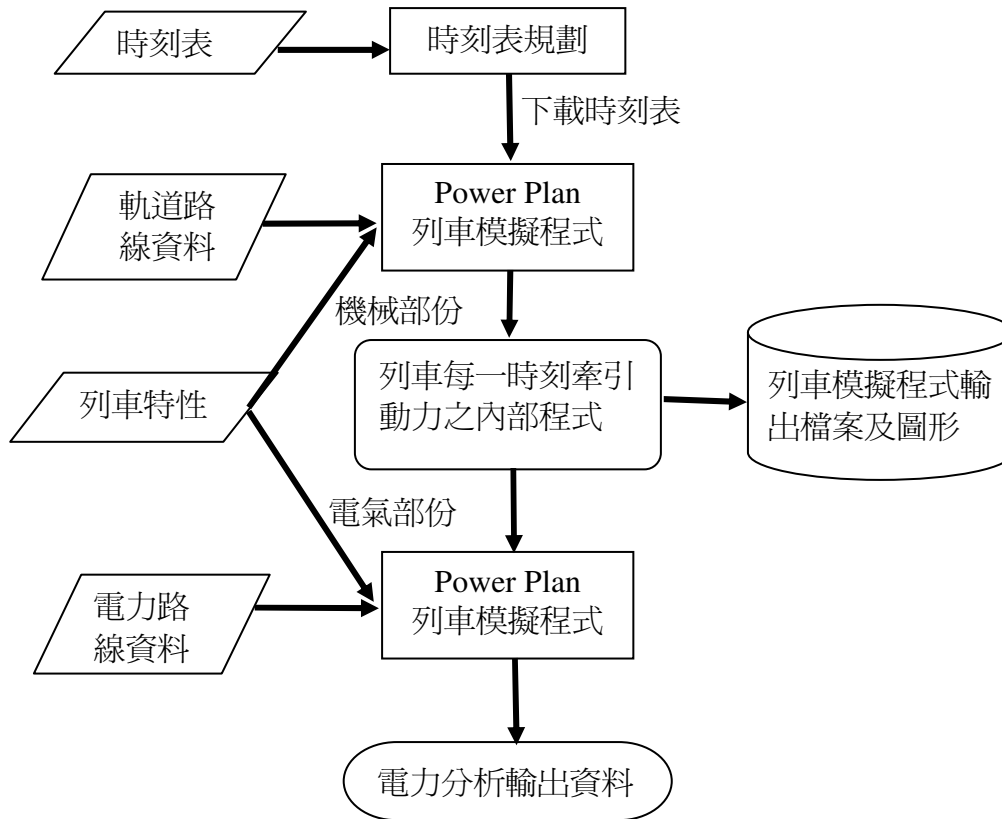


圖 1 研究流程圖

2.3 變電站需量、電流

將依據臺鐵目前路線路網、電力系統、列車行駛班次(Time Table)及北部未來捷運化(基隆~新竹間)等資料經過整理,輸入到電腦軟體(Rail Plan 及 Power Plan),分別執行各變電站正常供電區間之電壓、電流、需量及各變電站轉供(單一或雙變壓器停電)之電壓、電流及需量等案例,並依據其結果研擬捷運化後,各變電站因應負載遽增之對策。

2.3.1 南港變電站負載需量及電流日曲線

FEED	TIME	MW	MVAR	MVA	Vgen(PU)	Vnode(PU)	A(PU)
1	132900	12.045	9.265	15.196	26.125	24.06	0.632

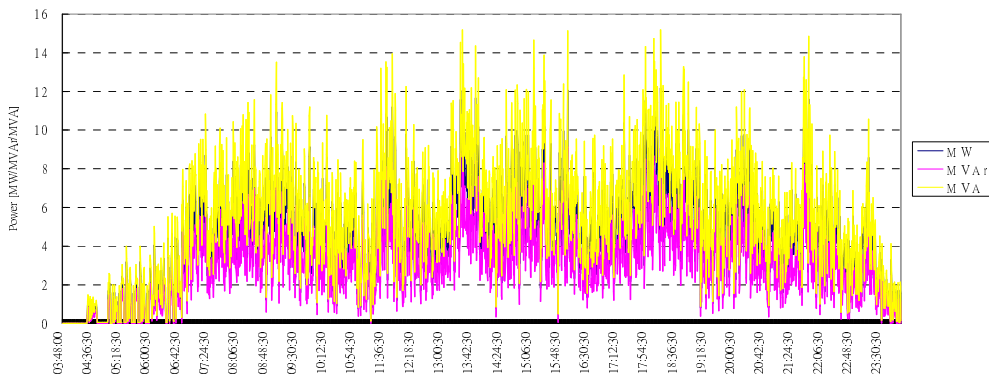


圖 2 南港變電站 1 號變壓器(FEED.1)日負載曲線圖

TIME	SECT.	VOLTS	AMPS	MW	MVAR
214630	-11 (方向)	23297	537	9.838938	7.754634
132900	-12 (方向)	23269	556	10.335835	7.786867

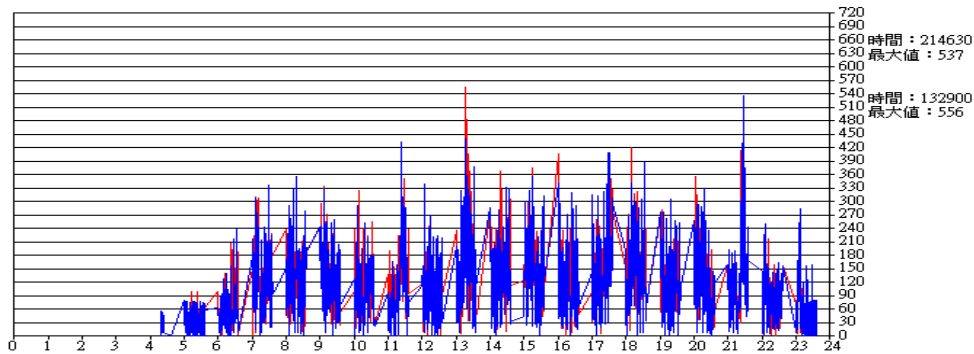


圖 3 南港變電站往北送(節點 11.12)日電流曲線圖

TIME	SECT.	VOLTS	AMPS	MW	MVAR
184800	13	24048	320	6.252708	4.523589
180400	14	23822	317	6.195456	4.342032

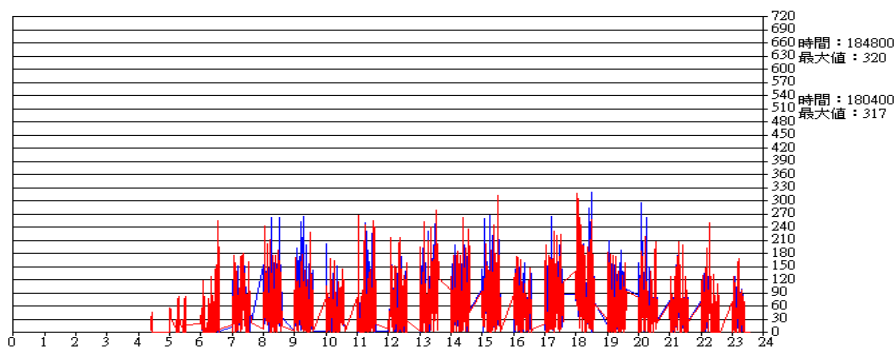


圖 4 南港變電站往南送(節點 13.14)日電流曲線圖

2.3.2 樹林變電站負載需量及電流日曲線

FEED	TIME	MW	MVAR	MVA	Vgen(PU)	Vnode(PU)	A(PU)
3	191100	17.843	13.948	22.648	26.125	22.774	0.994

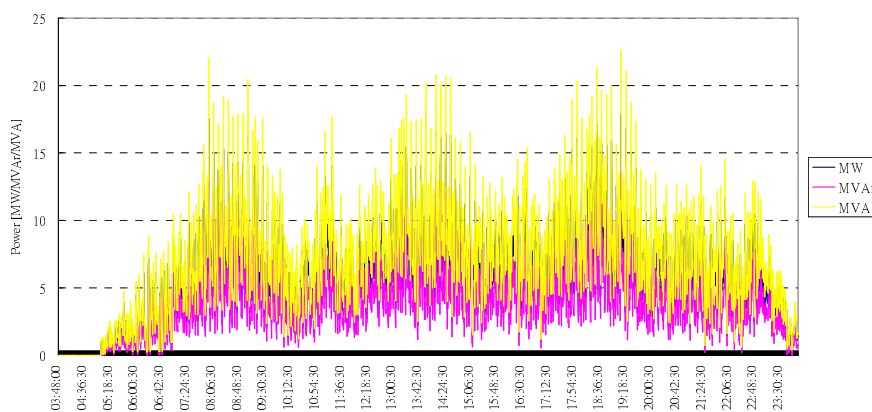


圖 5 樹林變電站 1 號變壓器(FEED.3)日負載曲線圖

TIME	SECT.	VOLTS	AMPS	MW	MVAR
141730	-25 (方向)	22512	562	10.1388	7.57326
140930	-26 (方向)	22293	622	11.1195	8.29498

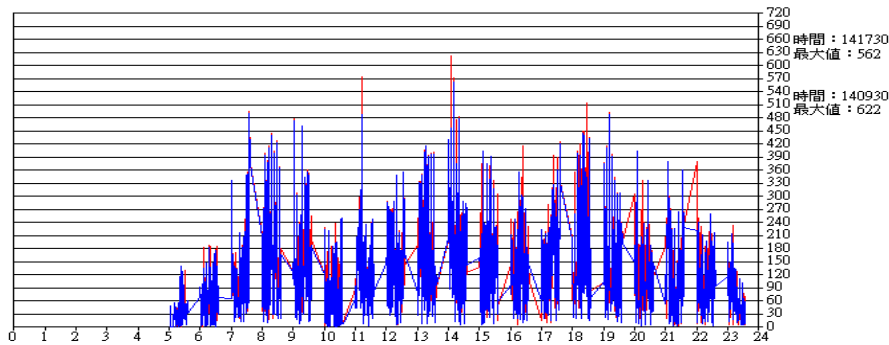


圖 6 樹林變電站往北送(節點 25..26)日電流曲線圖

TIME	SECT.	VOLTS	AMPS	MW	MVAR
191100	27	22347	567	10.036979	7.767697
91500	28	23313	505	9.392726	7.12181

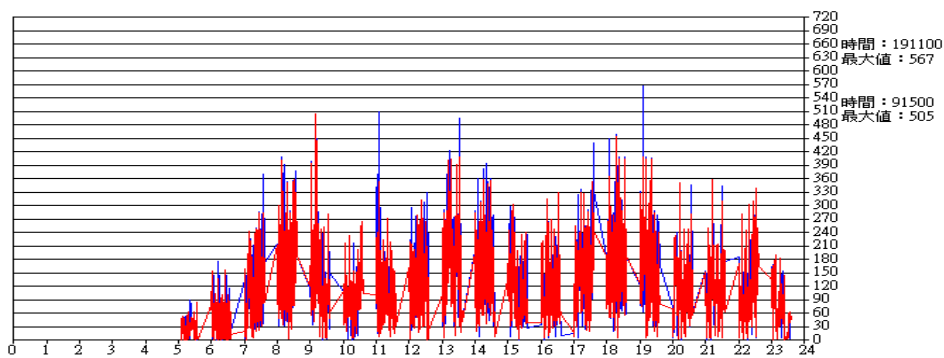


圖 7 樹林變電站往南送(節點 27..28)日電流曲線圖

三、電車線上之各種影響力及其反應作用

經由上述電腦軟體(Rail Plan 及 Power Plan)分析結果，南港、新竹等變電站每一具變壓器容量提升為 25 MVA(目前施工中)。而電車線設備主吊線截面積 49.5 mm^2 (0.443 kg/m) 更換為 95 mm^2 (0.845 kg/m)亦進行中，因此在既有電車線設備主吊線重量增加下是否符合電車線 OCS 之規範，例如風力、電車線偏位、跨距(桿距)對電車線之影響以及懸垂重量增加、吊掛線長度之變化等，須加以分析，作為現場施工時參考依據。

3.1 不同材料的線膨脹

電線及導線受到機械張力或正常之溫度變化，會使其長度增加或減少。因此不同材料之電線及導線依設計的機械張力裝設後，基於材料的性質，它會產生一種線性膨脹。

公式：

$$\Delta L_{\max} = \alpha \times L \times (t_2 - t_1)$$

α : 膨脹系數 (m/°C)

L : 張力長度 (m)

t₁ : 最低大氣溫度 (°C)

t₂ : 最高大氣溫度加電阻損失 (°C)

ΔL_{\max} : 電車線受到最高溫度(大氣溫及電阻損失)及最低溫度之考量下，最大膨脹長度。

其膨脹效應：

- 1、裝有自動張力調整電車線(AT)，電線的膨脹效應會影響到懸臂組或穩定臂之位置。其改變之長度將由平衡錘(BW)之移動而補償。
- 2、裝有終端固定方式(FT)電車線因膨脹或縮收，使線上之機械張力增加或減少，因此決定 OCS 電桿時，須將此等因素考慮在內。

3.2 電車線之復原力 (Restoring force)

自動張力調整對電化路線之電車線是最重要的一項設備，張力機構能連續將接觸線因受溫度影響而變化的水平機械張力加以調整，以維持集電弓的良好運轉條件。

電車線之有相等的機械張力有賴於路線的特性，如很多曲線或直的軌道及在張力長度的 OCS 支持點之數目。其支持點裝設有限長度之懸臂可產生對電車線的復原力。此等累積的力量須自所加之機械力量中減除，若所加之機械力量剩餘力量降低 10%，則接觸線及主吊線將會下垂或鬆弛，於是車輛集電弓的不良運轉就因此而產生。

3.2.1 直線上電車線

L	: 張力長度	: 800	(m)
SPL	: 跨距(桿距)	: 50	(m)
Rc	: 懸臂長度	: 3.50	(m)
α	: 膨脹系數	: 17×10^{-6}	(/°C)
T _{cw}	: 水平張力	: 1000	(kg)
S	: 電車線偏位	: 0.20	(m)

T₁ : 最低溫度 : 0 (°C)

T₂ : 最高溫度 : 40 (°C)

3.2.1.1 計劃支持點之數目

OCS 支持點之數目計算：

$$N_s = \frac{L \text{ (m)}}{SPL \text{ (m)}}$$

$$N_s = \frac{800 \text{ (m)}}{50 \text{ (m)}} = 16$$

N_s : 支持數

L : 張力長度

SPL : 跨距(桿距)

3.2.12 電車線之膨脹

電車線之膨脹可由張力長度及平均溫度加以計算

$$t_a = (t_2 - t_1) \div 2$$

$$t_a = (40 - 0) \div 2 = 20 \quad (^\circ\text{C})$$

$$E_n = \alpha \times (n \times \text{SPL}) \times t_a$$

$$\begin{aligned} E_1 &= 17 \times 10^{-6} \times (1 \times 50) \times 20 \\ &= 0.017 \quad (m) \end{aligned}$$

3.2.1.3 直線區段所產生之橫張力

在直線軌道上，電車線只有因偏位而生之力加在支持點上，其計算如下 (F_{sn} 加在支持點的橫張力)：

$$F_{sn} = \frac{4 \times S \times T_{CW}}{n \times \text{SPL}}$$

S : 電車線偏位

T_{CW} : 水平張力

SPL : 跨距(桿距)

$$\begin{aligned} F_{s1} &= \frac{4 \times 0.20 \times 1000}{1 \times 50} \\ &= 16.0 \quad (kg) \end{aligned}$$

3.2.1.4 直線區段在支持點之總復原力

在 OCS 支持點上之復原力(F_{Rn})可依公式計算：

$$F_{Rn} = \frac{F_{cn} \times E (20^\circ\text{C})}{R_c}$$

F_{Rn} : 支持點之復原力

E_{20°C} : 支持點「n」處之膨脹

$$\begin{aligned} F_{R1} &= \frac{16 \times 0.017}{3.5} \\ &= 0.078 \quad (kg) \end{aligned}$$

R_c : 懸臂長度

3.2.2 曲線上的電車線

在曲線軌道上爲了容易計算，因此假設軌道是連續曲線。

L : 張力長度 : 700 (m)

SPL : 跨距(桿距) : 27 (m)

R_c : 懸臂長度 : 3.50 (m)

α : 膨脹系數 : 17×10^{-6} (/°C)

T_{cw} : 水平張力 : 1000 (kg)

R : 軌道半徑 : 300 (m)

t₁ : 最低溫度 : 0 (°C)

t₂ : 最高溫度 : 40 (°C)

3.2.2.1 計劃支持點之數目

OCS 支持點之數目下式計算：

$$N_s = \frac{L \text{ (m)}}{SPL \text{ (m)}} = \frac{700 \text{ (m)}}{27 \text{ (m)}} \cong 26$$

3.2.2.2 電車線之膨脹

電車線之膨脹由張力長度及平均溫度加以計算：

$$t_a = (t_2 - t_1) \div 2 = (40 - 0) \div 2 = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$E_n = \alpha \times (n \times spl) \times t_a$$

$$E_1 = 17 \times 10^{-6} \times (1 \times 27) \times 20 = 0.0092 \text{ (m)}$$

3.2.2.3 曲線區段所產生之橫張力

在曲線軌道上電車線因偏位而生之力，加在支持點上，其計算如下 (F_{cn} 加在支持點的橫張力)：

$$F_{cn} = \frac{n \times SPL \times T_{CW}}{R}$$

R : 軌道半徑

T_{CW} : 水平張力

SPL : 跨距(桿距)

$$F_{c1} = \frac{1 \times 27 \times 1000}{300}$$

$$= 90.0 \text{ (kg)}$$

3.2.2.4 支持點之復原力

在 OCS 支持點上之復原力(F_{Rn})依下列公式計算，其總復原力如表 2：

$$F_{Rn} = \frac{F_{cn} \times E \text{ (20}^\circ\text{C)}}{R_c}$$

F_{Cn} : 支持點之橫張力

E 20°C : 在支持點「n」處之膨脹

R_c : 懸臂長度

$$F_{R1} = \frac{90 \times 0.0092}{3.5}$$

$$= 0.237$$

表 2 復原力(曲線軌道之電車線)

支持點數	距離	線膨脹(20°C)	復原力(支持點)	總復原力
1	27	0.0092	0.237	0.237
2	54	0.0184	0.473	0.710
3	81	0.0275	0.707	1.417
4	108	0.0367	0.944	2.361
5	135	0.0459	1.189	3.541
6	162	0.0551	1.417	4.958
7	189	0.0643	1.653	6.611
8	216	0.0734	1.887	8.498
9	243	0.0826	2.124	10.622
10	270	0.0918	2.361	12.983
11	297	0.1010	2.597	15.580
12	324	0.1102	2.834	18.414
13	351	0.1193	3.068	21.482
14	378	0.1285	3.304	24.786
15	405	0.1377	3.540	28.326

16	432	0.1469	3.777	32.103
17	459	0.1530	3.934	36.037
18	486	0.1652	4.248	40.285
19	513	0.1744	4.485	44.770
20	540	0.1836	4.721	49.491
21	567	0.1928	4.958	54.449
22	594	0.2020	5.194	59.643
23	621	0.2111	5.428	64.071
24	648	0.2203	5.665	70.736
25	675	0.2295	5.904	76.640
26	702	0.2389	6.143	82.783

3.3 風力對電車線之影響

氣流的結構取決於它的速度。只有在速度小的情況下，氣流線才是平行的。速度提高以後，就會產生很複雜的渦流運動，它是由地表的不平和相鄰氣溫的差別所致。鑒於這個原因，風速不可能是恆定的，而是一陣一陣的吹。風速變化的時間是不長的，一般只有 0.5 至 2 秒，而且風速和風向都是變化的。因此，如果是根據某一資料來源求得平均風速的話，那麼應該可估計到個別時間上流速可能要超出平均風速。對電車線系統設計都是按平均風速進行計算的。

3.3.1 風力

除偏位及橫向力以外，加在電車線支持設備上的風力也是相當大的，這些風力主要依風速以及結構體之外形而異。加在電車線之接觸線、主吊線、饋電線和輸電線等之風力依下列公式計算。

$$W = c \times q \times d$$

c：壓力係數

q：風之動壓力(kg/m)

d：電線直徑(m)

c=1.2 若線徑 \leq 12.5mm 即 \leq 0.0125 m

c=1.1 若線徑 \leq 15.8mm 即 \leq 0.0158 m

c=1.0 若線徑 $>$ 15.8mm 即 $>$ 0.0158 m

c=1.4 直格結構體

c=2.0 圓形木桿或鐵桿

c=2.6 方形/長方形格結構體

例：接觸線(cw)= 0.01224 (m)

主吊線(mw)= 0.01250 (m)

風速 40 m/s

桿距 50.0(m)

風之動壓力 (主吊線更換為 95 mm²)

$$q = \frac{v^2}{16} \quad (\text{kg / m})$$

$$w = c \times a \times d$$

$$W_{mw} = 1.2 \times \frac{40^2}{16} \times 0.00125 = 1.5 \text{ kg/m}$$

$$W_{cw} = 1.2 \times \frac{40^2}{16} \times 0.01224 = 1.469 \text{ kg/m}$$

以風力每秒 40 公尺計，故加於電車線之全部風壓為

$$T = T_{mw} + T_{cw}$$

$$T = 1.5 \text{ kg/m} + 1.469 \text{ kg/m} = 2.969 \text{ kg/m}$$

3.3.2 電車線之偏位

為經濟上之理由，電桿之間距應儘可能加大，但電桿之間距受主吊線之弛度及設備所加於電桿之負載所限，尤其接觸線在路線垂直方向之位移為甚。以下將討論軌道上之兩個連續電桿跨距影響橫向位移之因素。

3.3.2.1 軌道為直線

在直線軌道區間，電車線是佈置在軌道中心線左右交錯成鋸齒狀(如圖 8)，其正常偏位為 200mm，如此將使集電弓在接觸線下方滑行時，左右橫掃來回滑移而不至於固定摩擦某一點，而造成集電弓凹損。

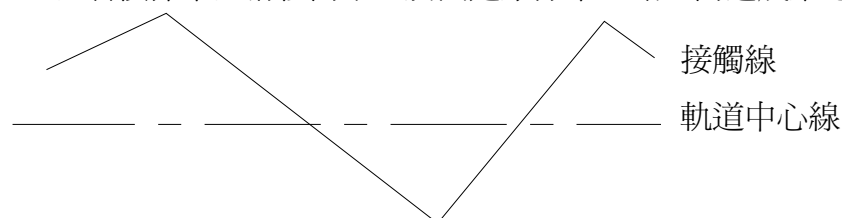
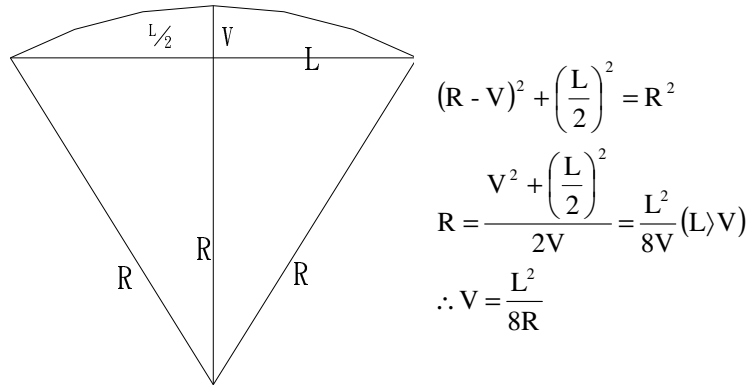


圖 8 軌道為直線

3.3.2.2 軌道為曲線

在連續彎道上電車線則被安排在集電弓中心線的一邊，且位於彎道之外側(如圖 9)如此將使集電弓滑行時有橫掃之效果，在此要提醒的是集電弓中心線滑行軌跡與軌道中心線並不一致(在直線上二者為一致)，其原因係由於軌道在彎道處，外軌與內軌間有高差(Cant)致使集電弓中心線向曲線中心線內移，但從事電車線設計不必考慮高差值，只要知道集電弓中心線軌跡的曲率，而軌道曲率以正矢(Versing)表示。在某兩點連線的中點至弦間之距離為正矢：



R：為軌道曲率半徑

L：為兩點間之弦長

V：為該弦長之正矢

通常 V 與 L 相較甚微，故 V^2 可略去不計：

當正矢 V 為已知時，可由上式求得曲率半徑 R；同樣的；當工務單位提供軌道的曲率半徑時，就可以求出正矢 V 值。

依據桿距、正矢、曲率半徑之關係，製成如表 2-1.曲線與電車線桿距對照表。

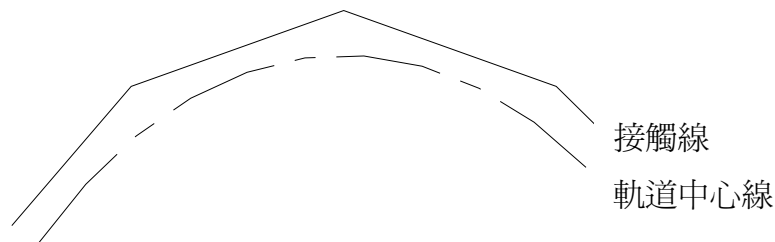


圖 9 軌道為曲線

3.3.2.3 軌道曲線與偏位

本節將討論在彎道上跨距之情形，從而導出公式以表示接觸線從集電弓中心線位移之情形。以集電弓中心線之弦為 x 軸，以弦中點為原點，由原點垂直弦之方向為 y 軸，原點向上為正，向下為負(如圖 10)。當該系統在靜止狀態，亦即無吹移存在時，從跨距中點集電弓中心線至接觸線之距離稱為靜態支距(Static offset) D_s 。其值可以下式表示之

$$D_s = \frac{S_1 + S_2}{2} - V \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

S_1 及 S_2 分別為兩端支持點之偏位(Stagger)，亦即在支持點處接觸線與集電弓中心線之距離。事實上 S_1 及 S_2 並非平行，但因 V 與 L 相較甚小， S_1 及 S_2 不平行所引起之誤差可忽略，故所有垂直於軌道中心線之次元均可視為與 y 軸平行。

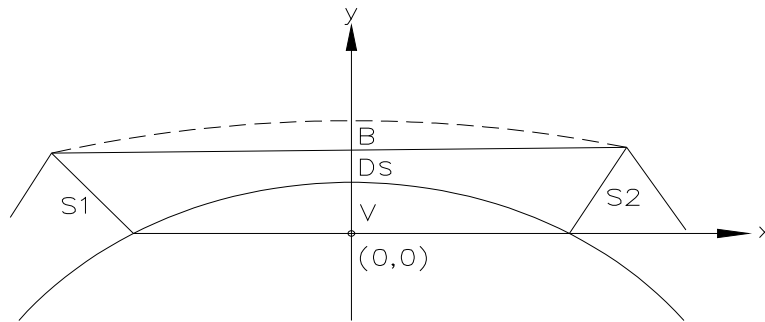


圖 10 軌道曲線與偏位概略圖

若接觸線向+y方向吹移，如圖 10 在跨距中點之吹移量為+ B ，則在跨距中點接觸線之位移(接觸線與集電弓中心之距離)為 $D_s + B$ ，除非偏位 S_1 及 S_2 相等，否則接觸線之最大位移並不發生在跨距之中點。設發生最大位移值為 x 處，則最大位移值與跨距中點位移值之差稱偏位效應(Stagger effect)，以 E 表示之，則最大位移 D_m 為。

$$D_m = D_s + (B + E) \dots\dots\dots(3-2)$$

※ E 之方向永遠與 B 相同

若風向相反，即 B 為負值，則 E 亦為負，(3-2)式仍可適用(如圖 11)。若 $(B + E)$ 之絕對值大於 D_s 之絕對值，則 D_m 為負，此與所規定之符號一致，因此(3-1).(3-2)式可適用於所有狀況，不管偏位正矢及吹移之方向為何。

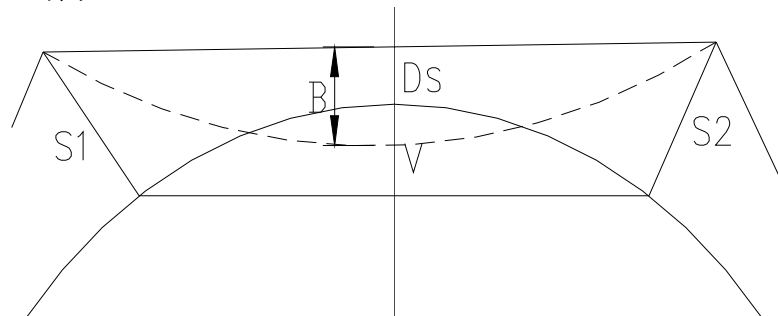


圖 11 軌道曲線與偏位概略圖

3.4 電車線上之風效應

所謂吹離是指電車線在兩個連續的支持間因風力反應而產生之位移，故吹離是決定電車線容許最大桿距的重要準則之一，其他因素尚有集電弓寬度及在曲線區間則另有曲線之正矢。

以典型的計算來研究電車線佈置，他亦將說明在何處有最大吹離反應。在德國及其他國家，電化鐵路須在最大風速 26m/s 時仍可以營運。而電車線之機械強度則須設計能耐在該地區可能產生之最高風速。唯桿距之決定，則以 26m/s 考慮之。

3.4.1 直線軌道

在正常情況，電車線在支持點接觸線具有偏位 0.200 m，主吊線裝在軌道中心線上，接觸線是偏位的，故主吊線會使接觸線之吹離減少約 10%。下面的公式是用於主吊線及接觸線均有偏位時的計算，則 T_{cw} 及 T_{mw} 之值須代入於下列各公式中，若僅接觸線有偏位(以 T_{cw} 之值代入)。

$$\text{公式 } B = \frac{W \times L^2}{8(T_{mw} + T_{cw})} + \frac{2S^2(T_{mw} + T_{cw})}{W \times L^2} \quad (m) \quad \dots\dots(3-3)$$

T_{mw} ：主吊線之水平張力 1000 (kg)

T_{cw} ：接觸線之水平張力 1000 (kg)

W ：反應在電車線接觸線上的風力 0.621 (kg/m)

L ：桿距 56 (m)

S ：電車線偏位 0.200 (m)

X ：桿距間電車線對軌道中心最大吹離位置

B_{cw} ：接觸線在 X 點之吹離 (m)

計算 X 之位置如下述， X 指電車線對軌道中心而言之最大吹離位置

$$X = \frac{L}{2} + \frac{2 \times S \times T_{cw}}{W \times L} = \frac{56}{2} + \frac{2 \times 0.2 \times 1000}{0.621 \times 56} = 39.5 \quad (m)$$

最大吹離發生於支持點 39.5 M 之處(如圖 12)。

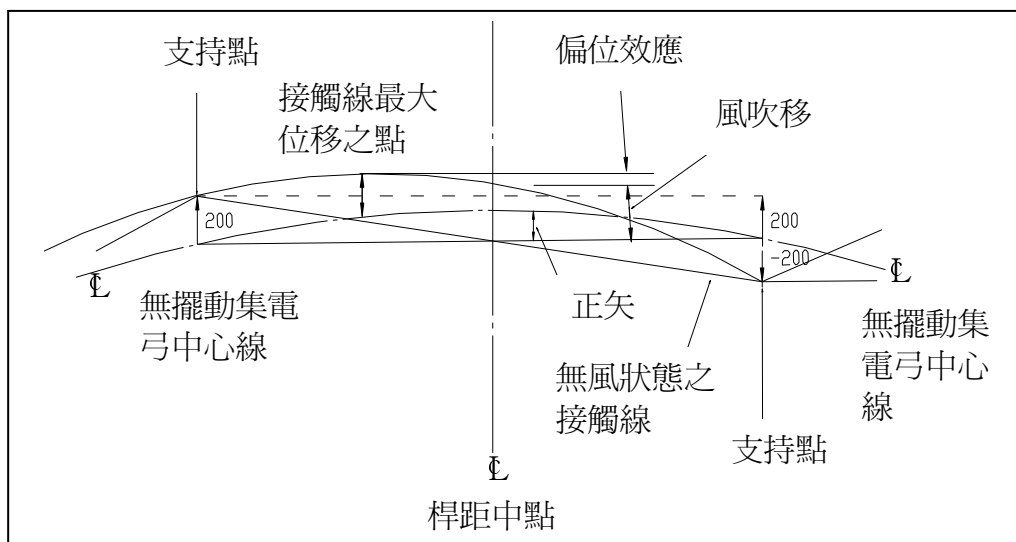


圖 12 電車線之風效應

計算接觸線在 X 點之最大吹離 B_{cw} ，可使用下式

$$B_{cw} = \frac{W \times L^2}{8(T_{mw} + T_{cw})} + \frac{2S^2(T_{mw} + T_{cw})}{W \times L^2} \quad (m) \quad \dots\dots(3-4)$$

$$\begin{aligned} B_{cw} &= \frac{0.621 \times 56^2}{8(1000)} + \frac{2 \times 0.2^2(1000)}{0.621 \times 56^2} \\ &= 0.24343 + 0.0411 \\ &= 0.2845 \cong 0.285 \quad (m) \end{aligned}$$

因主吊線會使接觸線之吹離減少約 10%。

$$B_{cw} = 0.285 - 0.285 \times \frac{10}{100} = 0.257 \quad (m)$$

此時之接觸線總吹離值為 0.257 m。桿距之風吹離低於集電弓寬度之
一半(0.4m)，即符合要求。

3.4.2 曲線軌道

電車線裝設最大偏移 0.200m，且電桿設置在曲線外側者，在曲線軌道，
其吹離須加在曲線之正矢上(主吊線為 95 mm²)。

設：L=26 (m) R=300 (m) W=1.254 kg/m (總風力)

3.4.2.1 計算桿距 26m 之中點處曲線軌道之正矢。

$$V = \frac{L^2}{8R} \quad V = \frac{26^2}{8 \times 300} = 0.282 \quad (m)$$

L：桿距長度(m) 26 m

R：曲線半徑(m) 300 m

v：桿距中點處曲線軌道之正矢 (m)

3.4.2.2 計算 Bmax 是指電車線對曲線外方向之最大吹離位置間之正矢。

$$B_{max} = \frac{W \times L^2}{8(T_{mw} + T_{cw})} = \frac{1.254 \times 26^2}{8(1000 + 1000)} = 0.053 \quad (m)$$

在無風的情況下在曲線軌道中電車線中點之偏移支距 D。

D=V-S (S：電車線偏位 0.20 m)

D= 0.282 m- 0.20 m=0.082 m

3.4.2.3 計算在曲線軌道上電車線之最大吹離 Bmax。

$$\begin{aligned} B_{max} &= \frac{W \times L^2}{8(T_{mw} + T_{cw})} + \frac{L^2}{8 \times R} - S \\ &= \frac{1.254 \times 26^2}{8 \times (1000 + 1000)} + \frac{26^2}{8 \times 300} - 0.20 \dots\dots\dots(3-5) \\ &= 0.053 + 0.282 - 0.20 \\ &= 0.135 \quad (m) \end{aligned}$$

在桿距中點之風吹離最大值遠低於集電弓寬度之半(0.4m)，即符合要求。

3.5 最大跨距長度

電車線不似一般輸電路線，他除了供電功能外，還要承受集電弓頻繁的摩擦和
推擠，因此電車線必須水平，否則高高低低的易使集電弓受損、接觸不良、產生火
花、燒毀電車線。設計電車線的第一步就是定位，也就是決定電桿的位置，電桿位
置取決於跨距，從簡單經濟學的觀點來看，路線跨距與工程費用成正比，但跨距在
超過允許範圍又與行車風險成反比。影響電車線跨距的因素很多，如主吊線弛度，
吊掛線的安排，設備負載加諸於電桿、接觸線高度的上升率、接觸線位移的限制..
等。

在沿軌道之兩連續支持點間之最大許可跨距長度，主要係依下列準則：電車線的最大吹離、車輛集電弓工作寬度之半、電車線最大容許偏位、軌道半徑、電車線水平方向之張力。

依據基隆～高雄間電車線技術規範提供之電車線桿距計算公式：

$$L_p = \sqrt{\frac{4 \times (T_{mw} + T_{cw})}{W} \times (e + \sqrt{e^2 - s^2})} \dots\dots\dots(3-6)$$

Lp : 桿距 m

Tmw : 主吊線張力 1000kg

Tcw : 接觸線張力 1000kg

W : Wcw+Wmw+Wh kg/m (接觸線、主吊線、Wh 吊掛線之風壓)

e : 軌道中心風吹最大容許偏移值 0.300 m

s : 偏位值 0.200 m

依據上述公式桿距計算如下

主吊線 95 mm² 直徑 0.01250 m

接觸線 107 mm² 直徑 0.01224 m

每公尺圓導體風壓 = c × q × d

3.5.1 直線軌道

3.5.1.1 一般區域路段

風速 26m/s 狀況下仍能運轉

$$W_{mw} = 1.2 \times \frac{26^2}{16} \times 0.01250 = 0.6337$$

$$W_{cw} = 1.2 \times \frac{26^2}{16} \times 0.01224 = 0.6206$$

Wh = 0.08 kg/m

$$W = W_{mw} + W_{cw} + W_h = 0.6337 + 0.6206 + 0.08 \doteq 1.34 \text{ (kg/m)}$$

$$L_p = \sqrt{\frac{4 \times (1000 + 1000)}{1.34} \times (0.30 + \sqrt{0.30^2 - 0.2^2})} \cong 56 \text{ (m)}$$

正常線之最大容許設計桿距為 56M，

3.2.1.2 海線區域路段

風速 29m/s 狀況下仍能運轉

$$W_{MW} = 1.2 \times \frac{29^2}{16} \times 0.0125 = 0.657$$

$$W_{cw} = 1.2 \times \frac{29^2}{16} \times 0.01224 = 0.772$$

$$W_h = 0.12 \text{ kg/m}$$

$$W = W_{mw} + W_{cw} + W_h = 0.657 + 0.772 + 0.12 = 1.55 \text{ (kg/m)}$$

$$L_p = \sqrt{\frac{4 \times (1000 + 1000)}{1.55} \times \left(0.30 + \sqrt{0.30^2 - 0.20^2} \right)} \cong 51.9 \text{ (m)}$$

海線之最大容許設計桿距為 50M

3.5.2 曲線軌道

電車線曲線桿距以 R=800m 為例，一般區域及海線區域其桿距限制以曲線公式換算

$$L_p = \sqrt{\frac{8 \times R \times (T_{mw} + T_{cw}) \times (e + s)}{(R \times W) + (T_{mw} + T_{cw})}} \dots\dots\dots(3-7)$$

3.5.2.1 一般區域桿距

$$L_p = \sqrt{\frac{8 \times 800 \times (1000 + 1000) \times (0.30 + 0.20)}{(800 \times 1.34) + (1000 + 1000)}} = 45.64 \text{ (m)}$$

3.5.2.2 海線區域桿距

$$L_p = \sqrt{\frac{8 \times 800 \times (1000 + 1000) \times (0.30 + 0.20)}{(800 \times 1.55) + (1000 + 1000)}} = 44.40 \text{ (m)}$$

四、電車線系統吊掛線長度之計算

4.1 懸垂線 (Catenary) 之基本方程式

4.1.1 單位跨距與單位長度重量之區別

一條充分柔軟且均勻、單位長度重量相等之線，懸掛於二固定點間，該線條所形成之曲線稱為懸垂線。其在直角座標系統中之方程式可以下式表示之：

$$y = k \cosh\left(\frac{x}{k}\right)$$

k 為常數，此為雙曲線函數，若手邊無雙曲線函數表，則此式不易求解。當該懸垂線掛有負載時（例如掛有接觸線時），其所形成之曲線已不再是懸垂線。上式對架空電車線而言並不實用，以下將導出較為實用之方程式，其所產生之誤差，相對於電車線之跨距而言可以忽略。

假設單位跨距之重量均勻，單位跨距之重量並非單位長度之重量，圖 13 表示二者之區別，在架空電車線系統中所稱單位長度之重量係指單位跨距之重量，在以後之敘述中均如此。

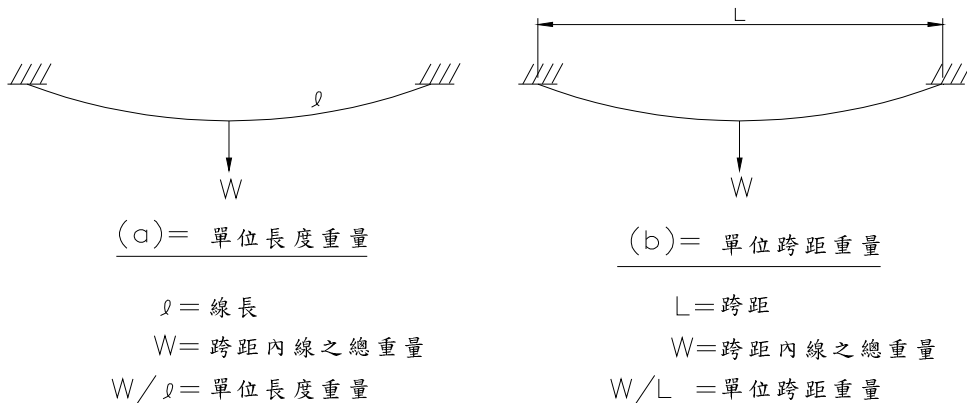


圖 13 單位跨距與單位長度重量之區別

4.1.2 A、B 固定點內懸垂線之力矩

一線條懸掛於二固定點 A、B 如圖 14，AB 之距離稱為跨距，單位跨距之重量為 w 。依據假設，該線條充分柔軟，即在該線條內無剪力及彎曲力，只有張力。在線上任何一點 P 之張力可以向量 T 表示之，其方向為該點之切線方向，張力 T_w 可分解為水平及垂直二分力，分別以 T_h 及 T_v 表示之。

$$\vec{T}_w = \vec{T}_h + \vec{T}_v \dots\dots\dots(4-1)$$

$$T_w^2 = T_h^2 + T_v^2 \dots\dots\dots(4-2)$$

當該線條靜止時，線上任何一點作用力之和為零，因此

- 1、在跨距內之任一點 p，其張力之水平分量 T_h 為常數。
- 2、在跨距內之任一點 P，其張力垂直分量等於 P 點至跨距內最低點間懸垂線之重量。
- 3、對 P 點之力矩和為零。

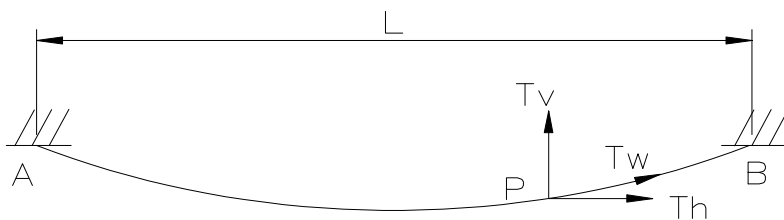


圖 14 一線條懸掛於二固定點 A、B

由(4-1)及(4-2)式得知 T_h 及 T_v 之最大值存在於跨距之兩端點，而最低點 $T_v=0$ 、 $T_w=T_h$ 。由(3)可決定該線任何點之垂直距離。

設直角座標之原點為跨距之最低點，線條上一點 P 之座標為(x,y)，如圖 15 所示：

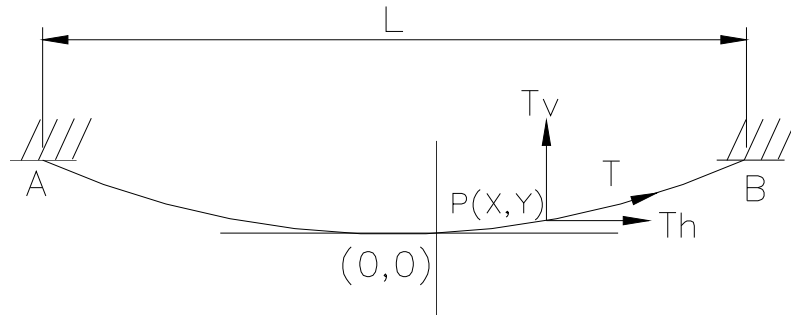


圖 15 線條上一點 P 之座標為 (x,y)

(1) 於 P 點張力之垂直分量 $T_v = wx$ ，式中 w 為單位跨距之重量。

T_v 對原點之力矩為 $w x x = wx^2$

(2) 由 P 點至原點之線條重量對原點之力矩為。

$$M = \int_0^x wx dx = \frac{1}{2} wx^2$$

張力之水平分量 T_h 對原點之力矩為 $T_h y$ ，順時針方向。

以上三力矩之和為零：

$$wx^2 - \frac{1}{2} wx^2 - T_h y = 0$$

$$y = \frac{wx^2}{2T_h} \dots\dots\dots(4-3)$$

若將原點改設在 P 點，則支持點 B 之座標為 (x_b, y_b) ，如圖 16 於支持點 B，其張力之垂直分量 T_v 等於支持點對線之反作用力 R_b ，諸力對 P 點之力矩和為 0：

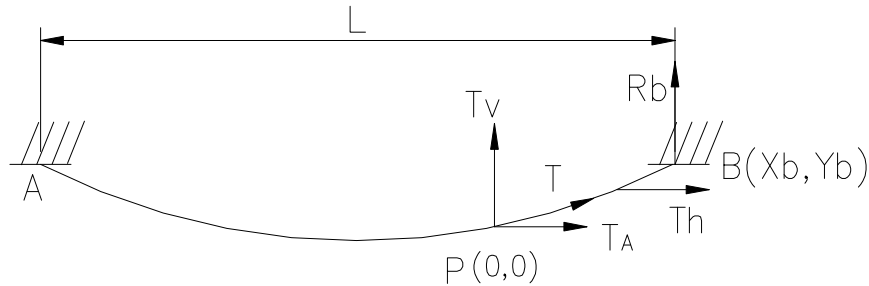


圖 16 原點改設在 P 點，支持點 B 之座標

$$R_b x_b - \frac{1}{2} wx_b^2 - T_h y_b = 0$$

$$y_b = \frac{R_b x_b - \frac{1}{2} wx_b^2}{T_h} \dots\dots\dots(4-4)$$

4.1.3 支持點 A，B 等高

若二支持點 A，B 等高，則最低點在跨距之中央，懸垂線對最低點對稱，稱之為對稱跨距， $R_b = \frac{1}{2} wL$

$$y_b = \frac{\frac{1}{2}wLx_b - \frac{1}{2}wx_b^2}{T_h} \quad \text{或} \quad y_b = \frac{wx_b(L-x_b)}{2T_h} \dots\dots\dots(4-5)$$

現將支持點至最低點之垂直距離定義為弛度 S ，由(4-5)式，當 $x = \frac{1}{2}L$ 時，
 $y_b = S$ ，即

$$S = \frac{wL^2}{8T_h}$$

事實上，因弛度 S 相較於跨距 L 甚小，故張力 T 與其水平分量 T_h 相差甚小，
為簡單計 T 與 T_h 可視為相等，則

$$S = \frac{wL^2}{8T} \dots\dots\dots(4-6)$$

4.1.4 支持點 A 及 B 不等高

若支持點 A 及 B 不等高，懸垂線之最低點位置可依下法求之，B 高於 A，
相差為 H ，最低點與 A 之水平距離為 x ，如圖 17。

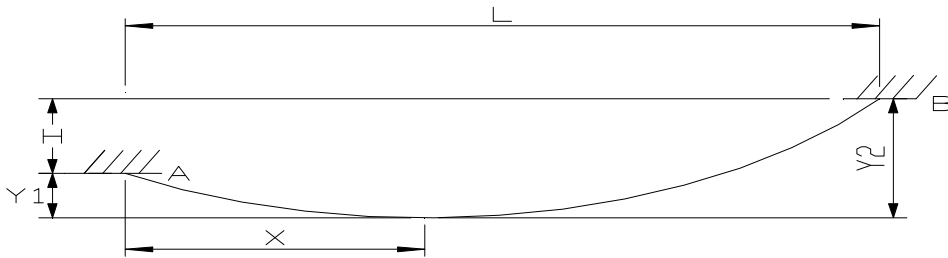


圖 17 支持點 A 及 B 不等高

設 A 點及 B 點至最低點之垂直距離分別為 y_1 及 y_2 ，A、B 間之水平距離為 L ，由公式(4-3)

$$y_1 = \frac{wx^2}{2T}$$

$$y_2 = \frac{w(L-x)^2}{2T}$$

$$H = y_2 - y_1 = \frac{w}{2T} [(L-x)^2 - x^2] = \frac{w}{2T} (L^2 - 2Lx)$$

$$x = \frac{L}{2} - \frac{TH}{wL} \dots\dots\dots(4-7)$$

支持點 A 之垂直反作用力 R_A 可由對 B 點之力矩和為 0 求得

$$R_a L - \frac{1}{2}wL^2 + TH = 0$$

$$R_a = \frac{wL}{2} - \frac{TH}{L} \dots\dots\dots(4-8)$$

支持點 B 之垂直反作用力 RB 可由對 A 點之力矩和為 0 求得

$$R_b L - \frac{1}{2} wL^2 - TH = 0$$

$$R_b = \frac{wL}{2} + \frac{TH}{L} = wL - R_a \dots\dots\dots(4-9)$$

由(4-7).(4-8).(4-9)可得

$$R_a = \frac{wL}{2} - \frac{TH}{L} = w\left(\frac{L}{2} - \frac{TH}{wL}\right) = wX$$

$$R_b = wL - R_a = w(L - X)$$

此種程序可應用於比懸垂線更複雜之電車線系統。

將(4-8)代入(4-4)可求得跨距內懸垂線上任何一點與二支持點連線之鉛垂線距離。於圖 17 中以最低點為參考點，其力矩和可由(4-4)得。

$$R_a x_a - \frac{1}{2} w x_a^2 - y_a T = 0$$

以(4-8)代入上式

$$y_a = \frac{R_a x_a - \frac{1}{2} w x_a^2}{T} = \frac{1}{T} \left[\left(\frac{wL}{2} - \frac{TH}{L} \right) x_a - \frac{1}{2} w x_a^2 \right]$$

$$= \frac{w x_a (L - x_a)}{2T} - \frac{H x_a}{L} \dots\dots\dots(4-10)$$

比較(4-10)及(4-5)得知非對稱跨距之鉛垂線距離較對稱跨距小，所減少之量為 $\left(H \frac{X}{L} \right)$ ， $\left(H \frac{X_a}{L} \right)$ 為二支持點連線之直線方程式，即圖 4.6 為對稱跨距與二支持點連線之直線重疊之結果。

如圖 18 可求得懸垂線上任何一點 $P(x_p, y_p)$ 至二支持點連線之鉛垂線之距離。於圖 18 中：

$$H = y_1 - y_2$$

$$= \frac{w x^2}{2T} - \frac{w(L-x)^2}{2T} = \frac{w[x^2 - (L-x)^2]}{2T} = \frac{w(-L^2 + 2Lx)}{2T}$$

$$x = \frac{L}{2} + \frac{TH}{wL}$$

以最低點為參考點，其力矩和

$$w(x_p - x)(x_p - x) - \frac{1}{2}w(x_p - x)^2 - y_p T = 0$$

$$y_p = \frac{w(x_p - x)^2}{2T}$$

$$y_p' = y_1 - y_p - H_p$$

$$= \frac{wx^2}{2T} - \frac{w(x_p - x^2)}{2T} - H_p = \frac{wx_p(2x - x_p)}{2T} - H_p$$

$$= \frac{wx_p(L' - x_p)}{2T} - H_p$$

其中第一項以 L' (即 $2x$) 為跨距之對稱跨距之鉛垂線距離如(4-5)式, $H_p = \frac{Hx_p}{L}$ 為二支持點連線之直線方程式。

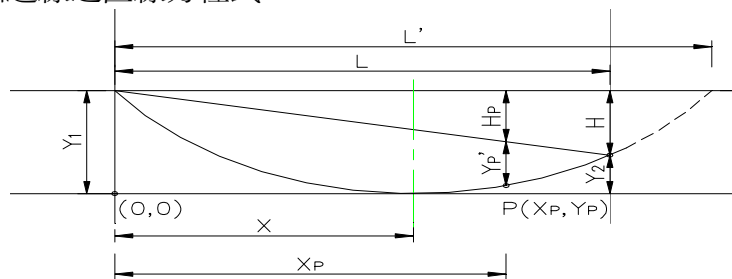


圖 18 非對稱與對稱跨距之鉛垂線比較

4.2 插入點負載

在 4.1 節中所討論者為重量均勻分佈之懸垂線，現假設線本身無重量，而將重量集中於一點如圖 19。

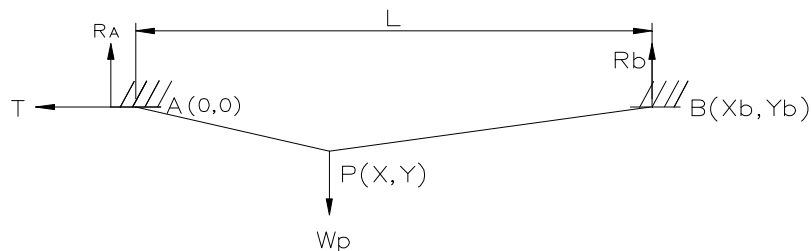


圖 19 重量集中於一點

以 B 為參考點，則

$$R_a \times L = W_p(L - x)$$

$$R_a = W_p \frac{L - x}{L}$$

以 P 為參考點，則

$$Y = \frac{R_a x}{T} = \frac{W_p x(L - x)}{TL} \dots\dots\dots(4-11)$$

若在單位跨距重量為 w 之均勻懸垂線上之點 P 加上點負載 W_p ，如圖 20：

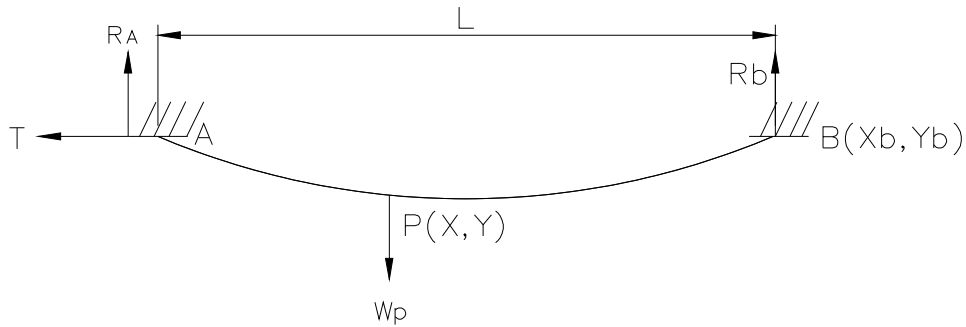


圖 20 均勻懸垂線上之點 P 加上點負載

$$R_a = \frac{wL}{2} + \frac{W_P(L-x)}{L}$$

以 P 為參考點之力矩和

$$R_a x - \frac{wx^2}{2} - Ty = 0$$

$$y = \frac{R_a x - \frac{wx^2}{2}}{T} = \frac{\frac{wxL}{2} + \frac{W_P x(L-x)}{L} - \frac{wx^2}{2}}{T}$$

$$= \frac{wx(L-x)}{2T} + \frac{W_P x(L-x)}{TL} \dots\dots\dots(4-12)$$

$$y = y_1 + y_2$$

$$y_1 = \frac{wx(L-x)}{2T} \qquad y_2 = \frac{W_P x(L-x)}{TL}$$

比較 y_1 與(4-5); y_2 與(4-11), y_1 為單位跨距重量為 w 之均勻懸垂線上點 P 之垂直距離, y_2 為線本身無重量有點負載 W_P 時之垂直距離, 因此, 單位跨距重量為 w 之均勻懸垂線上加上點負載 W_P , 其垂直距離為二者單獨存在時垂直距離之和。此可推廣至 n 個點負載。如圖 21, 點負載 W_1, W_2, \dots, W_n , 其與點 A 之水平距離分別為 X_1, X_2, \dots, X_n , 試求線上任何一點 P 之垂直距離。設點 P 在點負載 W_i 與 W_j 之間, 其與 A 點之水平距離為 X_p , 於此假設 A、B 為等高但未必對稱。以 B 為參考點:

$$R_a = \frac{wL}{2} + \frac{w_1(L-x_1)}{L} + \frac{w_2(L-x_2)}{L} + \dots + \frac{w_n(L-x_n)}{L}$$

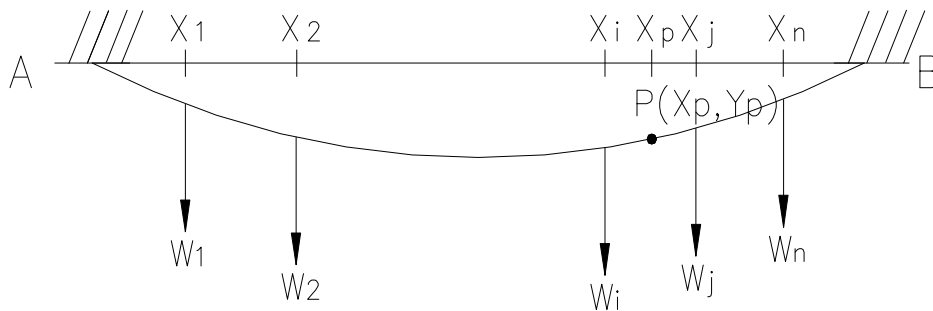


圖 21 推廣至 n 個點負載

4.3 簡單懸垂線與接觸線系統

4.3.1 電車線接觸線為水平

圖 22 示簡單型電車線系統之一個跨距，接觸線為水平，以一直線表示之，吊掛線之間距依次以 l_1 、 l_2 等表示之，主吊線之弛度受下列因素之影響：

- 1、主吊線本身的均勻重量
- 2、接觸線之重量，由吊掛線吊掛而形成點負載
- 3、主吊線之張力(若接觸線為水平，其張力無垂直分量，故對主吊線之弛度不發生影響)。

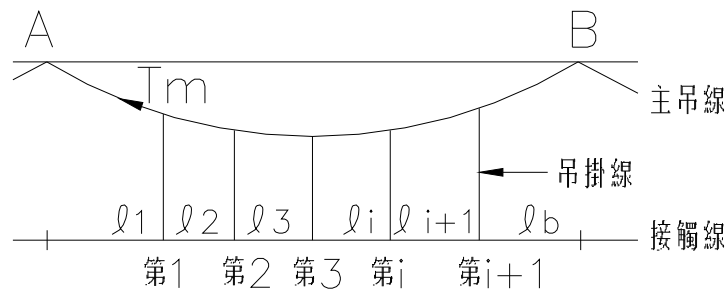


圖 22 簡單型電車線系統

4.3.2 跨距內之吊掛線

若一跨距內之吊掛線之數目很多，主吊線靜態位置可視為拋物線，其跨距中點之弛度為：

$$S = \frac{(w_m + w_c)L^2}{8T_m} \quad \text{式中}$$

w_m = 主吊線單位跨距之重量

w_c = 接觸線單位跨距之重量

T_m = 主吊線之張力

L = 跨距長度

上式僅能概估主吊線之弛度，實際運用中如吊掛線之長度、從支持點至吊掛線頂點之弛度等，需以力矩計算之。

為簡化方程式之寫法而作如下之規定：

$$l_{1-2} = l_1 + l_2$$

$$l_{3-6} = l_3 + l_4 + l_5 + l_6$$

餘此類推

首先計算經由吊掛線加於主吊線之負載，此負載等於由該吊掛線所承受之

接觸線重量，加上吊掛線本身及其附件之重量。但在吊掛線長度未計算出來以前，無法得知其確實重量，因此，以估算該跨距內所有吊掛線之總重量，

除以跨距長度，將其平均分佈於接觸線上，因吊掛線之總重量與主吊線和接觸線之總重量相較很小，此法可有相當之精確度。設平均分佈之吊掛線重量為 w_d ，則第 i 個吊掛線加於主吊線之點負載 P_i 為。

$$P_i = \frac{(w + w_d)l_{i-(i+1)}}{2} \dots\dots\dots(4-13)$$

第一個及最後一個吊掛線所加之點負載分別為

$$P_1 = \frac{(w + w_d)(2l_1 + l_2)}{2}$$

$$P_n = \frac{(w + w_d)(l_n + 2l_b)}{2}$$

以 B 點為參考點之力矩方程式可求得 A 點之垂直向上反作用力 R_A

$$R_A = \frac{1}{L} \left[\left(\frac{w_m L^2}{2} \right) + (L - l_1)P_1 + (L - l_{1-2})P_2 + \dots + (L - l_{1-n})P_n \right] \dots\dots(4-14)$$

從以第一吊掛線頂點為參考點之力矩方程式可求得其弛度 y_1

$$y_1 = \frac{R_A l_1 - \frac{w_m l_1^2}{2}}{T_m} \dots\dots\dots(4-15)$$

上式與 (4-4) 式相似。

計算弛度 y_2 時必須再增加點負載 P_1 與 l_2 之力矩

$$y_2 = \frac{R_A l_{1-2} - \frac{w_m l_{1-2}^2}{2} - P_1 l_2}{T_m} \dots\dots\dots(4-15a)$$

依此類推，可得計算第 i 吊掛線處之弛度 y_i 之一般式

$$y_i = \frac{R_A l_{1-i} - \frac{w_m l_{1-i}^2}{2} - P_1 l_{2-i} - P_2 l_{3-i} - \dots - P_{i-1} l_i}{T_m} \dots\dots\dots(4-15b)$$

現由系統高度及 y_i 求得吊掛線長度(主吊線頂面至接觸線底面)

$$d_i = H_a - y_i \dots\dots\dots(4-16)$$

在以上之計算中是假設二支持點等高，若二支持點不等高，其差為 h (當 A 點高於 B 點， h 為正、當 B 點高於 A 點， h 為負)，則以上公式必須修正之：

$$y_i = y_i - \frac{h l_{1-i}}{L} \dots\dots\dots(4-16a)$$

4.3.3 具預置弛度接觸線設備

在上節曾經討論到接觸線可在第一及最後吊掛線間預置弛度，如圖 17，必須適當調整標準吊掛線長度，以得到預置弛度的結果。

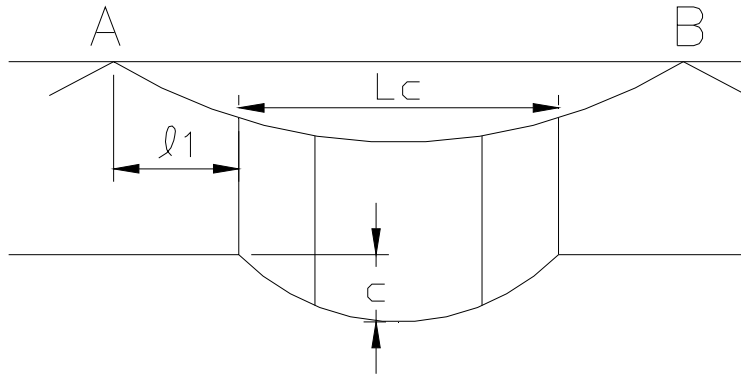


圖 17 具預置弛度接觸線設備

假設跨距為對稱、接觸線預置弛度為 c ，第一及最後吊掛線間之距離為 L_c 。

$$\text{則 } L_c = L - 2l_1$$

l_1 為支持點至第一吊掛線間之距離。若使接觸線預置弛度所形成之曲線為拋物線，則相當於一等效接觸線重量 w'' ，加接觸線實際張力 T_c 時之弛度，因此

$$w'' = \frac{8T_c c}{L_c^2} \dots\dots\dots (4-17)$$

此一等效重量為 w'' 之線懸掛於第一及最後吊掛線間，每一吊掛線(第一及最後)相當於增加(與接觸線無弛度時比較) $[(1/2)w'' \cdot L_c]$ 之負載，而在 L_c 間之主吊線，其單位跨距之重量相當於減輕 w'' ， L_c 間主吊線每單位跨距之垂直總負載為 $w - w''$ ，(w 為主吊線單位跨距之垂直總重量)，則 L_c 間 主吊線之弛度(跨距中點)變為：

$$s'_c = \frac{(w - w'')L_c^2}{8T_m} \dots\dots\dots (4-18)$$

由於該跨距仍保持對稱，因接觸線預置弛度致使 L_c 間負載發生變化，此變化並未改變二支持點之垂直向上反作用力 R_A 及 R_B ，且由 4-15 式知，由支持點至第一吊掛線之垂直距離 y_1 只與 R_A 及其間之 W_m 有關，因此， y_1 亦不改變，換言之，接觸線預置弛度對主吊線弛度之影響僅限於 L_c 範圍內。

由(4-17)式， $\frac{w'' L_c^2}{8T_m}$ 表示接觸線預置弛度時所引起主吊線弛度之變化(主吊線弛度變小)。

$$\frac{w'' L_c^2}{8T_m} = \frac{8T_c c}{L_c^2} \frac{L_c^2}{8T_m} = c \frac{T_c}{T_m}$$

在跨距中點主吊線與接觸線之垂直距離較接觸線為水平時之增加量為：

$$c + c \frac{T_c}{T_m} = c \left[1 + \frac{T_c}{T_m} \right] \dots\dots\dots(4-19)$$

由於主吊線及接觸線在 L_c 間均為拋物線，令 c_i 為第 i 個吊掛線處之接觸線預置弛度由 (4-5) 式。

$$c_i = \frac{w'' l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_c} \dots\dots\dots(4-19a)$$

在 i 處主吊線之弛度變化

$$\begin{aligned} &= \frac{w l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_m} - \frac{(w - w'') l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_m} \\ &= \frac{w'' l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_m} \dots\dots\dots(4-19b) \end{aligned}$$

在 i 處主吊線與接觸線垂直距離之變化為

$$\begin{aligned} &= \frac{w'' l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_c} + \frac{w'' l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_m} \\ &= \frac{w'' l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{2T_c} \left(1 + \frac{T_c}{T_m} \right) \\ &= c_i \left(1 + \frac{T_c}{T_m} \right) \dots\dots\dots(4-19c) \end{aligned}$$

因此，第 i 個吊掛線長度為

$$d_i' = d_i + c_i \dots\dots\dots(4-20)$$

由(4-17)代入(4-19a)式得

$$\frac{c_i}{c} = \frac{4l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{L_c^2} \dots\dots\dots(4-21)$$

吊掛線之間隔對整個設備之動態情況有所影響，在其他電化鐵路國家由於不斷的實驗而得下述結果：由支持點至第一吊掛線間之距離予以固定，其他吊掛線則平均分配於 L_c 。

以 $a_i = l_{2-i} / L_c$ 代入 (4-21) 式簡化之

$$\begin{aligned} \frac{c_i}{c} &= \frac{4l_{2-i} (L_c - l_{2-i})}{L_c^2} = \frac{4a_i L_c (L_c - a_i L_c)}{L_c^2} = 4 a_i L_c (L_c - a_i L_c) / L_c^2 \\ \frac{c_i}{c} &= 4a_i (1 - a_i) \dots\dots\dots(4-22) \end{aligned}$$

$$a_i = \frac{l_{2-i}}{L_c}$$

$$C_i = 4 C a_i (1 - a_i) \dots\dots\dots(4-22a)$$

4.3.4 吊掛線系統長度計算

電車線設備主吊線之截面積 49.5 mm^2 (0.443 kg/m) 更換為 95 mm^2 (0.845 kg/m)，電車線設備重量增加下針對懸吊系統之變化舉例分析，作為現場

施工時參考。

【範例 1】

Span 49 公尺，以西部幹線現在使用之系統，兩支持點系統高度為 1.2 公尺，求吊掛線條數、間隔及每條吊掛之長度。

說明：

- 1、西部幹線吊掛線間隔當 Span10 公尺至 33 公尺時，吊掛線間隔平均分配，但不得少於兩條；
- 2、Span 大於 33 公尺時，兩支持點距第一條吊掛線為 5.5 公尺，其他吊掛線間隔則平均分配，最大間隔 11 公尺。
- 3、依 O.C.S.14/1 每公尺等值總重量 1.420 公斤，主吊線每公尺 0.443 公斤，接觸線每公尺 0.952 公斤，兩線張力均為 1000 公斤；Span 在 39 公尺以下預置弛度為 0，預置弛度值參考 O.C.S.14/17。

【解】

(一) 吊掛線條數與間隔：

吊掛線條數： $49 \div 11 = 4.45 \rightarrow$ 超過 4 條，以 5 條安裝。

第一條吊掛線至支持點：5.5 公尺(l_1)。

吊掛線間隔： $(49-11) \div (5-1) = 9.5$ 公尺

(二) 吊掛線長度：

支持點反作用力：

$$R_f = R_a = R_b = (W_c \times Span) \div 2$$

$$R_f = (1.420 \times 49) \div 2 = 34.79 \text{ kg}$$

第一條 (第一條與最後一條不計算點負載 P_n)

$$Y_1 = \frac{1}{T_m} \times \left\{ (R_a \times l_1) - \left[\left(W_m \times l_1^2 \right) \div 2 \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{1000} \times \left\{ (34.79 \times 5.5) - \left[\left(0.443 \times 5.5^2 \right) \div 2 \right] \right\} = 0.185 \text{ (m)}$$

$$d_1 = H_s - Y_1 = 1.2 - 0.185 = 1.015 \text{ m} = 1015 \text{ mm}$$

第二條 (求點負載 P_1)

$$P_1 = (W_c + Wd) \times (2l_1 + l_2) \div 2$$

$$= 0.977 \times (2 \times 5.5 + 9.5) \div 2 = 10 \text{ kg}$$

$$2l_1 = 11 \quad . \quad l_2 = 9.5$$

$$Y_2 = \frac{1}{T_m} \times \left\{ (R_a \times l_{1-2}) - \left(\left(W_m \times l_{1-2}^2 \right) \div 2 \right) - (P_1 \times l_2) \right\}$$

$$= \frac{1}{1000} \times \left\{ (34.79 \times 15) - \left(\left(0.443 \times 15^2 \right) \div 2 \right) - (10 \times 9.5) \right\} = 0.377(m)$$

$$l_1 = 5.5 \quad l_2 = 9.5 \quad l_{1-2} = l_1 + l_2 = 5.5 + 9.5 = 15$$

$$d_2 = H_s - Y_2 = 1.2 - 0.377 = 0.823 \text{ m} = 823 \text{ mm}$$

Span 49 公尺知預置弛度爲 C=38 mm (O.C.S.14/2)

$$L_c = 49 - 11 = 38$$

$$a_2 = \frac{L_{2i}}{L_c} = \frac{9.5}{38} = \frac{1}{4}$$

$$C_i = C \times 4 \times a_i \times (1 - a_i)$$

$$C_2 = 38 \times 4 \times \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{1}{4} \right) = 28.5 \quad m$$

$$d'_2 = d_2 + C_2 \left(1 + \frac{T_c}{T_m} \right) = 823 + 28.5 \left(1 + \frac{1000}{1000} \right) = 880 \quad mm$$

第三條 (求點負載 P₁、P₂)

$$P_i = (W_c + W_d) \times l_i \quad (i+1) \div 2$$

$$P_2 = (W_c + W_d) \times (l_2 + l_3) \div 2$$

$$= 0.977 \times (9.5 + 9.5) \div 2 = 9.28 \quad kg$$

$$l_2 = 9.5 \quad l_3 = 9.5 \quad l_{2-3} = l_2 + l_3 = 19$$

$$Y_3 = \frac{1}{T_m} \times \left\{ (R_a \times l_{1-3}) - \left(\left(W_m \times l_{1-3}^2 \right) \div 2 \right) - (P_1 \times l_{2-3}) - (P_2 \times l_3) \right\}$$

$$= \frac{1}{1000} \times \left\{ (34.79 \times 24.5) - \left(\left(0.443 \times 24.5^2 \right) \div 2 \right) - (10 \times 19) - (9.28 \times 9.5) \right\}$$

$$= 0.441 \quad m$$

$$l_{1-3} = l_1 + l_2 + l_3 = 5.5 + 9.5 + 9.5 = 24.5 \quad l_{2-3} = l_2 + l_3 = 9.5 + 9.5 = 19$$

$$d_3 = H_s - Y_3 = 1.2 - 0.441 = 0.759 \text{ m} = 759 \text{ mm}$$

$$L_c = 49 - 11 = 38$$

$$a_3 = \frac{L_{23}}{L_c} = \frac{19}{38} = \frac{1}{2}$$

$$C_i = C \times 4 \times a_i \times (1 - a_i)$$

$$C_3 = 38 \times 4 \times \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{1}{2} \right) = 38 \quad m$$

$$d'_3 = d_3 + C_3 \left(1 + \frac{T_c}{T_m} \right) = 759 + 38 \left(1 + \frac{1000}{1000} \right) = 835 \quad mm$$

第四條與第二條相同，第五條與第一條相同。

其第一條、第二條、第三條之吊掛線長度與 BICCG 設計 OCS 規範相同。

【範例 2】

Span 49 公尺，以西部幹線更換主吊線為 95 mm 2 之系統，兩支持點系統高度為 1.2 公尺，求吊掛線條數、間隔及每條吊掛之長度(主吊線每 0.845kg/m、總重量 1.822kg/m)。

【解】

(一) 吊掛線條數與間隔：

吊掛線條數： $49 \div 11 = 4.45 \rightarrow$ 超過 4 條，以 5 條安裝。

第一條吊掛線至支持點： 5.5 公尺 (l_1)。

吊掛線間隔： $(49-11) \div (5-1) = 9.5$ 公尺

(二) 吊掛線長度：

支持點反作用力：

$$R_f = (1.822 \times 49) \div 2 = 44.64 \text{ kg}$$

第一條 (第一條與最後一條不計算點負載 P_n)

$$Y_1 = \frac{1}{1000} \times \left\{ (44.64 \times 5.5) - \left(\left(0.845 \times 5.5^2 \right) \div 2 \right) \right\} = 0.233(\text{m})$$

$$d_1 = 1.2 - 0.233 = 0.967 \text{ m} = 967 \text{ mm}$$

第二條 (求點負載 P_1)

$$P_1 = 0.977 \times (2 \times 5.5 + 9.5) \div 2 = 10 \text{ kg}$$

$$Y_2 = \frac{1}{1000} \times \left\{ (44.64 \times 15) - \left(\left(0.845 \times 15^2 \right) \div 2 \right) - (10 \times 9.5) \right\} = 0.480(\text{m})$$

$$d_2 = 1.2 - 0.480 = 0.72 \text{ m} = 720 \text{ mm}$$

Span 49 公尺知預置弛度為 $C=38 \text{ mm}$ (O.C.S.14/2)

$$C_2 = 38 \times 4 \times \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{1}{4} \right) = 28.5 \text{ mm}$$

$$d_2' = 720 + 28.5 \left(1 + \frac{1000}{1000} \right) = 777 \text{ mm}$$

第三條 (求點負載 P_1 、 P_2)

$$P_2 = (W_c + W_d) \times (l_2 + l_3) \div 2 = 0.977 \times (9.5 + 9.5) \div 2 = 9.28 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} Y_3 &= \frac{1}{1000} \times \left\{ (44.64 \times 24.5) - \left(\left(0.845 \times 24.5^2 \right) \div 2 \right) - (10 \times 19) - (9.28 \times 9.5) \right\} \\ &= 0.562(\text{m}) \end{aligned}$$

$$d_3 = 1.2 - 0.562 = 0.638m = 638 \quad mm$$

$$C_3 = 38 \times 4 \times \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 38 \quad mm$$

$$d'_3 = 638 + 38 \left(1 + \frac{1000}{1000}\right) = 714 \quad mm$$

由前面兩例子比較，電車線設備主吊線截面積 49.5 mm^2 (7/3.0mm、0.443 kg/m) 更爲截面積 95 mm^2 (19/2.5mm、0.845 kg/m)。其第一條吊掛線長度相差 48mm、第二條吊掛線長度相差 103mm、第三條之吊掛線長度相差 121mm。

五、結論

電車線設備爲電車線、饋電線、輸電線等之總稱，架空電車線系統爲電力供應設備中極重要的一部分，其中電車線可定義爲接觸線及主吊線(含其各種固定設施)，係直接將電力供應給電氣牽引車輛，因此保持接觸線與集電弓間良好接觸爲電車線系統最終目標。若電車線遇斷線故障，搶修十分費時，影響行車運轉少則 2 小時，多則達 5 小時，勢必造成行車秩序紊亂與旅客的不便，對我臺鐵之服務形象產生負面影響。因此確保供電穩定，行車運轉正常，定期檢討電車線故障原因及類型，針對電車線設備故障率較高材料尋求更換，以增加其機械強度降低故障發生。

參考文獻

1. 臺鐵西部幹線電化變電站電力改善計劃工程 Rail Plan & Power Plan 電腦軟體使用手冊。
2. 交通部臺北市區地下鐵路工程處電車線系統設計概要，1993 年。
3. 黃運傑，陳三旗，梁火南，周廷岳，李長澤，林朗焜，鄭猛巍，電車線主吊線 49.5 mm^2 (7/3.0) 變更爲 95 mm^2 (19/2.5) 之改善研究，2008 年。
4. 黃炎煌整理，交通部臺灣鐵路管理局電車線設計講義，2004 年。
5. 臺鐵電車線技術規範 (TECHNICAL SPECIFICATION FOR OVERHEAD CONTACT SYSTEM)。

軌道車輛舒適度探討

Study of railway vehicle riding comfort

許立育 HSU, Li-Yu¹
王宜達 WANG, Yi-Ta²
江耀宗 JIANG, Yao-Zong³

地址：臺北市 106 大安區基隆路 4 段 43 號
Address : No.43, Sec. 4, Keelung Rd, Da-an Dist, Taipei City 10607

電話：02-2733-3141 EX7281
Tel : 02-2733-3141 EX7281

電子信箱：M9603919@mail.ntust.edu.tw
E-mail : M9603919@mail.ntust.edu.tw

摘要

軌道運輸系統在臺灣的發展已有相當悠久的歷史，早期有載貨用的五分車、阿里山的森林火車，到後期的載客鐵路、然而再演進到都會區的捷運系統，近年來更有高速鐵路正式加入營運，這些軌道運輸系統的演進與發展，著實也將臺灣的軌道運輸產業推向另一個高峰。

然而在生活步調變的更加緊湊的同時，人類對於追求生活品質的需求也相對的提昇。對現在已經普遍化的軌道運輸系統而言，人們對其整體運輸過程中所要求的「舒適度」也漸漸變成了在選擇該交通工具時的一個考慮因素；但軌道車輛的行走及動線必需在專屬的軌道上，因此不論是在振動、噪音方面，都需要有一定的水準以達到該舒適度的指標。

本文將針對軌道車輛影響舒適度的來源進行探討，並藉由硬體的結構來加以分析，同時參考相關研究報告且提出適當的建議。

關鍵詞：軌道運輸系統、捷運系統、軌道運輸產業、舒適度

Abstract

Taiwan has had railways for well over 100 years. In the early days there were the freight-carrying steam locomotives and the Alishan Mountain Railway, then passenger trains, more recently urban mass rapid transport systems and, more recently still, the high-speed railway. These changes illustrate the fact that railways in Taiwan are always evolving.

As the pace of life quickens all the time, people are more demanding in terms of life quality. Today, with railway systems common, whole transportation process "Comfort" has become an important factor that influences people's choice of transport mode. Track vehicles have to run on their own special tracks and a certain amount of vibration and noise is inevitable, however, this vibration and noise has to be limited if comfort targets are to be achieved.

Consequently, this study discusses the factors that affect track vehicle comfort,

1.國立臺灣科技大學機械工程（系）所研究生
2.國立臺灣科技大學機械工程（系）所研究生
3.國立臺灣科技大學機械工程（系）所教授

analyzes hardware structure, refers to related research papers and also provides suitable suggestions.

Key words: Railway system, mass rapid transport system, railway industry, comfort

一、消費的目的是什麼

當消費者掏出錢包裡的錢消費時，你覺得他希望得到的是什麼樣的商品及品質？這是一個很有趣的問題，也是個很實際的問題！畢竟我們每個人都是一個消費者；也可能是提供消費的生產者、製造者。在這兩者之間，我們都希望可以取得一個平衡點，同時再加上現今的消費者意識抬頭，只要認為付出的與得到的不成正比，就會依管道來循求解決。

同樣的問題用在軌道運輸系統上，軌道運輸業者所提供的服務及硬體設備決定了消費者願不願以這樣的價格來搭乘，但以業者而言，什麼又是這個行業所該提供的品質呢？以搭公車為例，在十幾二十塊的花費之內，我們希望得到的應該是透過一個簡單的交通工具，在不限制的時間裡，可以輕鬆的將乘客從甲地送到乙地，有空調、有座椅那算是附加的價值；然而相較於搭計程車，同樣是將乘客從甲地送到乙地的過程，為什麼所需的花費就比較高？原因就是在於消費者選擇用什麼樣的價值換到什麼樣的回饋。

因此對軌道運輸系統而言，如果「舒適度」是一個很具意義的指標，那個我們也很容易從這樣的指標中去發現問題的所在，進而提出改善以滿足需求。

二、影響舒適度的來源

「舒適度」這三個字從主觀的角度看來，是屬於一個非常感官的判斷指標，從一個簡單的實驗來說，當我們在相同的環境條件下（溫度、濕度、風力強度、振動及噪音…等，都採用一個固定的條件），由一群不同的人來進行舒適度判斷，我們可以預期會得到很多種不同的答案，任何會對人體造成不愉快的各種外在影響，都有可能是影響到舒適度的次要原因。

對於軌道車輛舒適度而言，影響舒適度的最主要因數可以是振動造成的，但是否還有可能因為其他因素造成舒適度不佳？答案應該是肯定的。因為我們之前說過舒適度是一種很客觀的感官行為，任何可能造成人體心理或生理上影響的因素，都有可能造成不適。舉例來說，有些人在意的並非車輛行進時所產生的振動，而是車內空調的品質或是溫度；也有某些人會特別留意車廂內外噪音的隔絕效果；當然也會有人注意到的是硬體設施的美觀或實用性，諸如此類的因素可以說是不勝枚舉。

2.1 振動影響

只要是剛性的接觸就一定會有磨擦、只要有磨擦就會一定產生振動。這句話直接點出了軌道運輸系統要解決的最大課題就是振動，人體的感受藉由座椅而來，座椅固定在車體上，車體連結在轉向架上，轉向架由鋼輪與鋼軌的磨擦而產生前進的動力，鋼軌鋪設於土木的基礎上，土木基礎則建立在地面、山洞或是水面上。這樣的一個循環，都代表其每一個環節都是導致振動產生的來源。其實以現有的運輸工具來說，幾乎沒有一項是完全不會產生振動的，但我們既然知道無法避免，也就只能去尋求降低或減少的辦法。

避振器的發明，就帶給了車輛系統一個很好的工具；伺服減壓、增壓的輔助系統，也在原有的避振器架構上提供了一個更好的解決辦法；減振材料的選用當然也是一個選擇，各種的對策無不都是要提供更舒適的環境！

2.2 車內空調

在早期的車輛設計方法中，要在設計階段就預測出空調性能是非常困難的。因此早期在車輛完工後，如果不進行稱為氣候的環境試驗，就不可能知道是否能滿足客戶的要求。但現在有賴於科技的發達，相關的流體力學可以透過程式的計算來求出最佳化的設計方法，不過前提仍然是何者必需為優先考量的項目？

一般優良的空調要素需考慮到冷熱感、舒適感、空氣品質等，其彼此間應具備的功能如圖 1 所示：

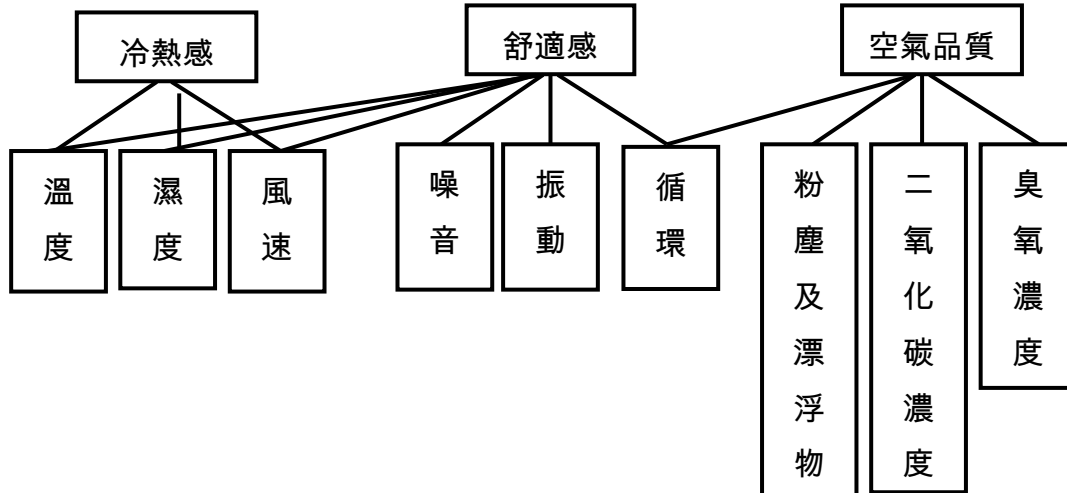


圖 1 車用空調硬體應考慮的功能

除了硬體的條件，車內空調還要考慮到軟體控制參數的能力，才能使其發揮出最佳的效果，圖 2 透過簡單的示意圖來說明利用微電腦控制各硬體的關連圖。

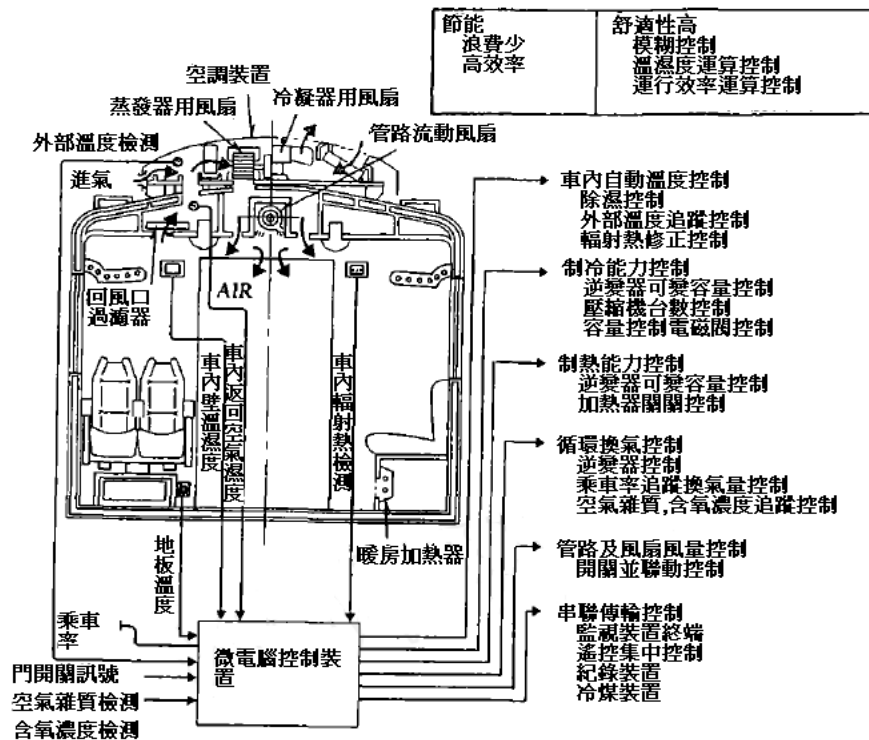


圖 2 空調控制圖^[3-9]

2.3 噪音影響

軌道運輸是一種迅速便捷的運輸模式，但是對於那些居住在軌道行駛路線附近，或者計畫開通的線路附近的人們來講，噪音影響仍然是一個大問題，對車內的乘客而言也是一個影響舒適度的重要指標。該如何降低噪音的影響當然也成為軌道基礎設施中一個主要的成本因素。

噪音和振動往往是相輔相成的，為了降低車內的噪音影響，在車輛設計的初期也需要進行一連串的規劃，圖 3 簡單說明降低噪音所需進行的相關作業流程。

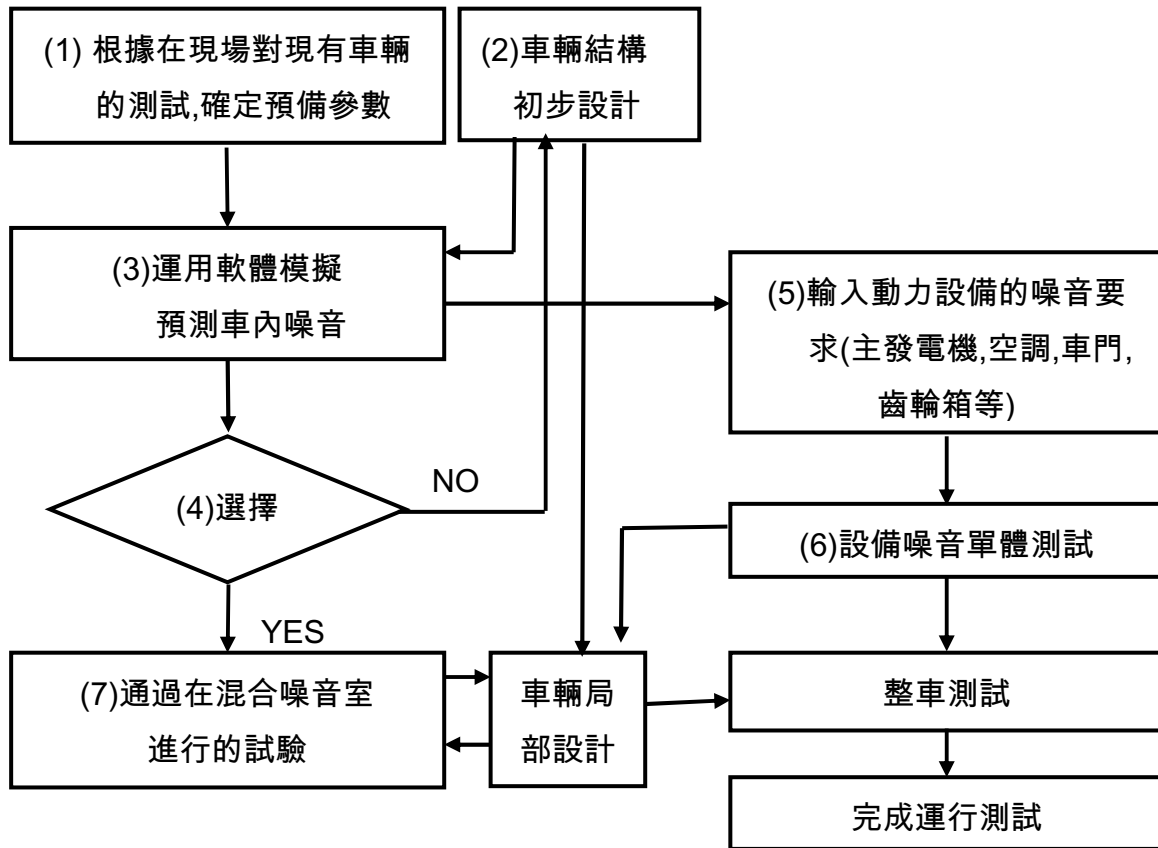


圖 3 噪音控制工程

在測試的過程中，也可以預先設計好幾種不同的方案，由多種不同材質的吸音吸振材料做不同的搭配，在做完軟體模擬之後再藉由測試結果來選出最好的材料。然而車體設計對運動過程中的流體力學所產生出噪音的防治也是必需要被考慮到的一環。

2.4 車廂內硬體設施

如果撇開技術層面的問題不談，仍有部分的乘客會認為舒適度取決於車內的硬體設施，主要原因就是因為軌道運輸系統中有一部份是屬於中長途運輸，一段不算短的旅程中應該還是要有足夠水準的硬體設施來滿足乘客的需求，所以不管是衛生設備、乘座空間、行走動線、置物空間…等，若忽略了其重要性，多少仍舊會影響到整體的舒適感。

再說來到 21 世紀的現在，現代人最重視的項目還有一個，那就是「服務品質」。人與人互動之間的成敗，是最能直接反應出愉快與不愉快的心情，甚至於有人認為花錢應該要買到的就是服務！而我們也不能忽略了硬體設施的服務品質，這些都是活在現代的我們最能感受到的一件事。因此，也千萬別小看了這項重要的行為指標。

三、認識舒適度評量與量化指標

舒適度評量所要考慮到的不單單只是每個人的生理層面，還要考慮到心理的層面。如果真的要由一套標準來統一且量化不同人不同的需求，那麼應該從何訂定呢？目前國際上已有幾種不同的標準來做這方面的定義，且讓我們透過以下的說明來瞭解這些標準是如何訂定出來的？

3.1 各種標準

在早期，有部分的學者及專家透過個別的建議來訂定軌道車輛的舒適度評量標準，但卻一直沒有統一，也未訂出一個屬於大眾化的標準。直到 1985 年由國際標準組織 (International Organization for Standardization, 簡稱 ISO) 首先制定了「ISO 2631 規範：人類曝露在全身振動情形下的評估」，之後再加上日本及歐洲也相繼訂定了類似的評量標準，因此使得舒適度的評量指標，可以用更科學及客觀的角度來加以量化。我們可以從表 1 中瞭解到截至目前為止，國際上已經出現的各種舒適度評量的標準及定義。

表 1 各種軌道車輛舒適度評量標準

標準編號	年份別	標準名稱(英文)	標準名稱(中文)
ISO 2631-1 (國際)	1985	Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements	人類曝露在全身振動情形下的評估--第 1 章:概論
ISO 2631-1 (國際)	1997	Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements	機械振動及衝擊--人類曝露在全身振動情形下的評估--第 1 章:概論
ISO 2631-4 (國際)	2001	Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems	機械振動及衝擊--人類曝露在全身振動情形下的評估--第 4 章:軌道運輸系統中振動及轉動的影響對乘客及機組員舒適度評估
ISO 2631-5 (國際)	2004	Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks	機械振動及衝擊--人類曝露在全身振動情形下的評估--第 5 章:振動與複合衝擊的評估方法
ENV 12299 (歐洲)	1999	Railway applications - Ride comfort for passengers - Measurement and evaluation	鐵路應用乘客乘坐舒適性測量和評估
JIS E 4023 (日本)	1990	Vibration characteristics of railway rolling stock -- Measuring methods	軌道車輛的振動特性--測量方法

ISO 2631 規範從 1985 年原版發展至今，前後進行了幾次改版，並延伸出許多更符合現代需求的規範，以至於此標準目前仍是進行舒適度方面研究的參考指標。而我們從以上各種標準的字面意思中不難發現，大家都把影響軌道車輛舒適度的來源指向「振動」這個因素，而我們雖非很專業的研究人員，但從很主觀的角度來看，振動對軌道車輛的影響的確是個無可避免的問題。

在 ISO 2631 規範中，對於振動曝露的容許範圍大致可以分為三個等級，若是以燈號來做識別的話，那麼我們也可以把它看作是紅綠燈，綠燈一般為在安全的範圍內，具有最低的風險；黃燈則表示需要透過專業的技術人員對身處在振動環境下的工作人員進行監控或量測；若是到達紅燈的警示，那麼應該立即的停止工作，待環境改善後再予以評估。而 ISO 2631-1 與 ISO 2631-5 在上述的三個等級中，對人體可以承受振動條件的定義上也有很大的不同，一者是以加速度做為基準；另一者則是以累積的能量做為上限。在圖 4 中，我們可以清楚的看到這兩個規格的差異。

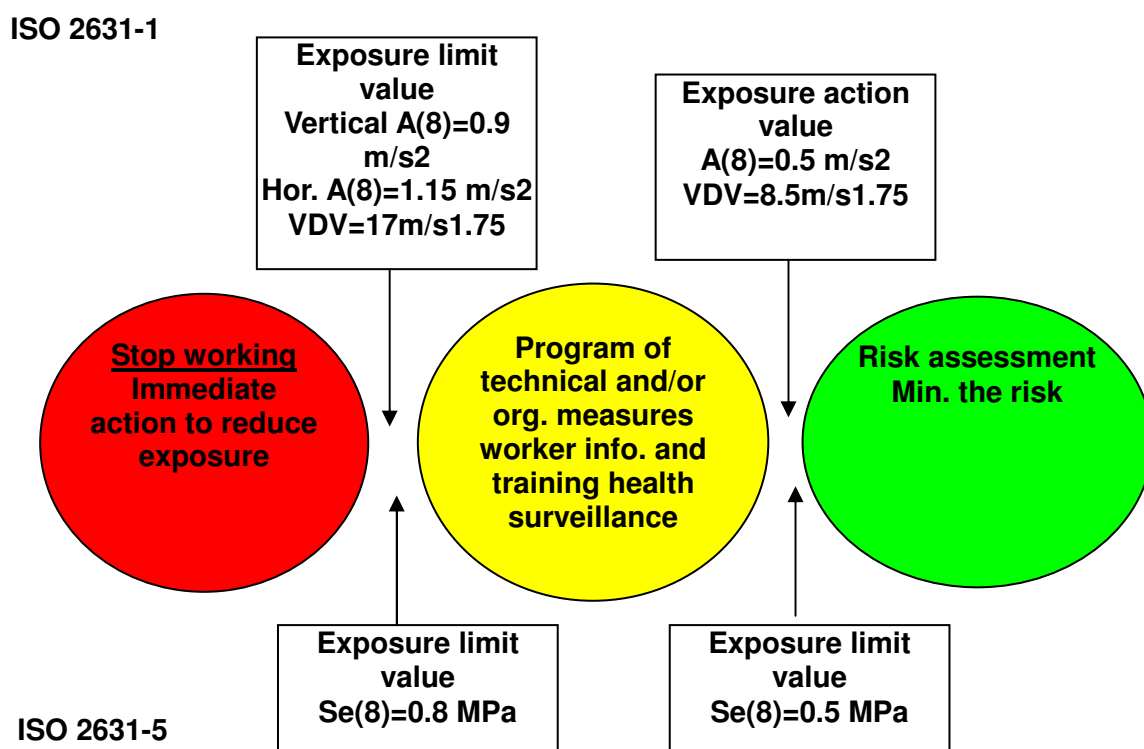


圖 4 ISO 2631 人類曝露在全身振動情形下的規範^[3,9]

3.2 基本定義

進而再談到這些規範的一些初步定義。我們瞭解在做評估之前，必需針對座標系統、乘客在量測系統中的姿勢這兩方面的定義先加以瞭解，然後再選擇不同的測試點來進行量測，再考慮到人與車輛運動的相互關係。

在前述的幾種標準中，除了 ISO 2631-1 規範是以人體中心做為座標系統，其餘的標準皆是以車輛中心做為座標系統，會有這兩者的差異主要是因為在車輛裡的乘客有可能依乘坐方向不同而有產生不同的座標系統，所以在不同的國際標準中也採用不同定義，如表 2。再加上乘客有可能坐著、站著或是躺著幾種不同的姿勢，因此評估的方式也不盡相同，透過圖 5 我們可以瞭解當以人體中心做為基準座標時的各軸向動態行為為何。

表 2 各種標準所採用的座標系統及乘客姿勢

標準編號	ISO 2631-1 (1985)	ISO 2631-1 (1997)	ISO 2631-4	ENV 12299	JIS E 4023
採用座標系	人體中心	人體中心	車輛中心	車輛中心	車輛中心
乘客姿勢	坐姿/ 站姿/ 臥姿	坐姿/ 站姿/ 臥姿	坐姿/ 站姿/ 臥姿	坐姿/ 站姿	無

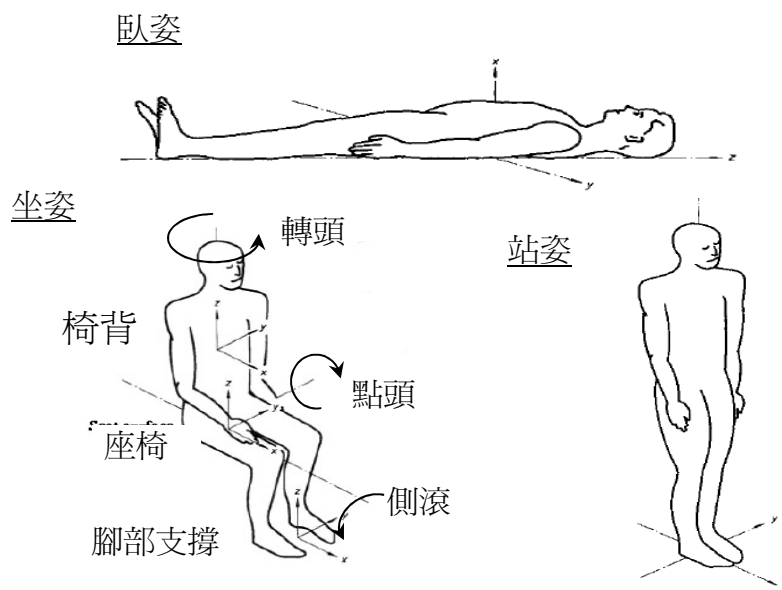


圖 5 以人體中心做為座標系統^[3-9]

座標系統選好時，接下來我們就要來看測試點的選定，一般來說我們會很主觀的認為選定的位置愈接近人體感受的範圍則愈能表現出實際的狀況，像 ISO 2631-1 規範推薦在振動源與人體接觸面的座椅進行振動的量測，但由於這樣的一種測量方法並不客觀，也將範圍限定於一個小的區域內，所以在其它規範中建議將量測點放大，例如以整個車輛的地板來做為量測點，不過考慮到車體本身仍具有彈性，故我們只選擇幾個受彈性影響較小的點來做為量測點。

而後我們再針對垂直振動、水平振動、縱向振動、轉頭、點頭、側滾幾種不同的動態行為選定可能發生的量測點，這樣我們即完成了大部份的前置步驟，下一步即是開始進行振動頻率的量測。下表 3 為各種標準在不同動態行為下所選定的量測點位置。

表 3 各種標準依動態行為所選定其量測點位置

標準編號	ISO 2631-1 (1985)	ISO 2631-1 (1997)	ISO 2631-4	ENV 12299	JIS E 4023
垂直振動	座椅面	地板、座椅面、椅背	地板	地板、椅背	地板
水平振動	座椅面	地板、座椅面、椅背	地板	地板、椅背	地板
縱向振動	座椅面	地板、座椅面、椅背	地板	地板、椅背	地板
轉頭	—	座椅面	地板	地板	地板
點頭	—	座椅面	—	—	地板
側滾	—	座椅面	—	—	地板

我們可以透過加速度盤、放大器、紀錄器…等來做量測，將加速度盤固定在需量測的位置上，然後根據實際的運動過程紀錄下振動的結果，圖 6 為加速度盤及擺放位置示意圖、圖 7 為利用程式在不同的測試點量測的示意圖。

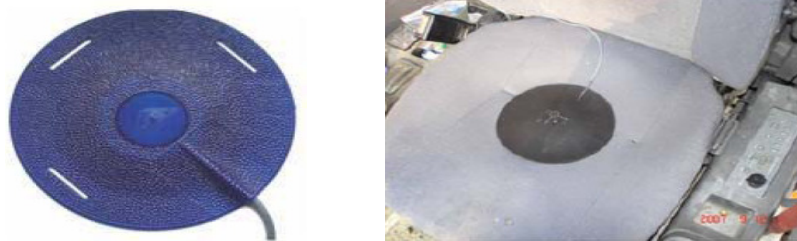


圖 6 加速度盤及擺放位置^{【3-9】}

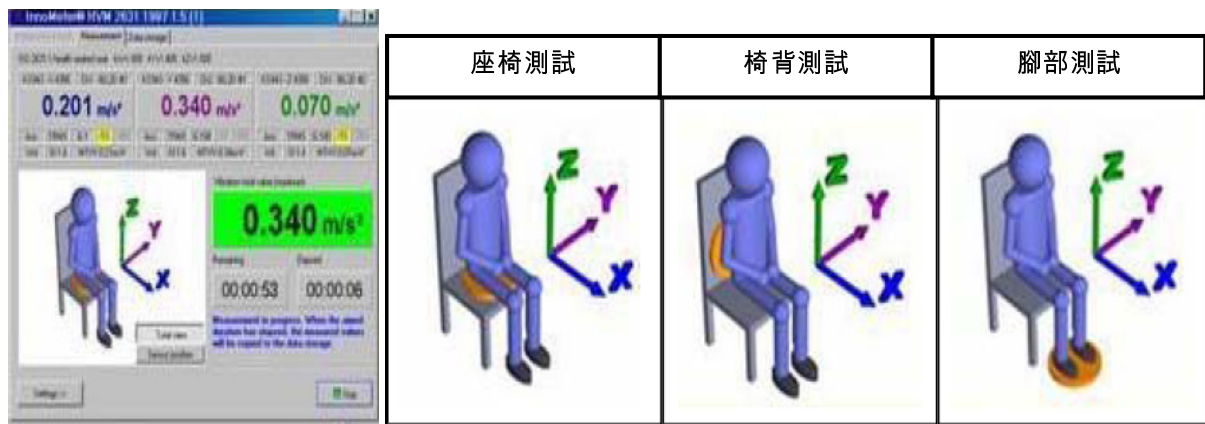


圖 7 利用程式在不同的測試點量測^{【3-9】}

3.2.1 瞭解振動頻率及各標準在此方面的演進

頻率的單位為赫茲(Hz)，即每秒內振動的次數。一般振動可以分為高頻振動和低頻振動，但對軌道車輛而言是以 5Hz 做為區分的界限，5Hz 以下的振動稱之為晃動、搖動，這是造成影響舒適度最主要的原因，通常頻率愈小所造成乘客暈車的機會就愈大(一般頻率約 0.1Hz 至 0.5Hz 左右)；6Hz 以上的振動則為高頻的振動，又稱為車輛彈性變形的振動。

而當人體與某個特定頻率產生共振時，即使振動非常的小，也容易使人體感到不愉快，但共振是會隨著人體的姿勢及體格的不同而有不同的變化，並非一陳不變的範圍。一般而言，人體在垂直方向振動的共振頻率範圍約在 4Hz 到 8Hz 之間。圖 8 及圖 9 是 ISO 在 1974 年所提出的水平及垂直方向振動的評估曲線，又稱為等感覺曲線，其中包含了振動強度、頻率、振動方向和曝露時間四個因素，該曲線說明了曝露的時間愈長，容許的振動強度就愈小。

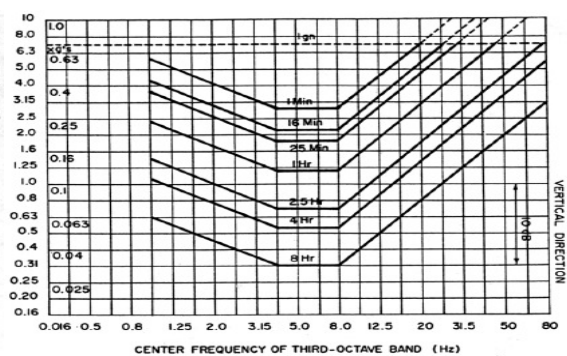
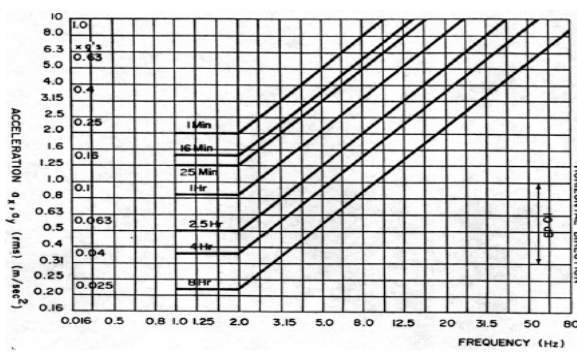


圖 8 水平方向振動^[3-9]

圖 9 垂直方向振動^[3-9]

接續日本就以 ISO 的這個曲線為基礎，於 1981 年時依車輛振動的特性做了部分修正：

- (1) 改變是不再以人體為座標系統而改為車輛座標系統。
- (2) 則是將頻率範圍由最低的 1Hz 向下修正至 0.5Hz，擴大了評估曲線的範圍。
- (3) 則是認為其振動的容許值依不同的曝露時間做為表示。

但曝露時間於不同的時間下有著不同的表示，用此做為定義仍有爭議，而改用振動加速度與基準加速度之比的對數值做為定義，ISO 緊接著在 1997 年也進行了類似的修訂，如圖 10。圖中表示人最敏感的頻率，垂直振動約在 4-8Hz、水平振動則在 2Hz 以內；而在低頻領域的話，人對水平振動的敏感度會高於垂直振動；高頻則反之。

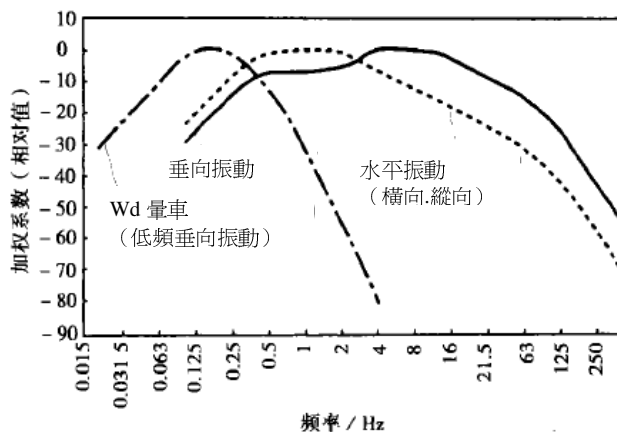


圖 10 ISO 2631-1 修正後的曲線^[3-9]

3.2.2 量化指標

有了以上的定義和基礎，各標準透過其不同公式計算得到振動與舒適度之間的量化評估指標。ISO 2631-1 採用頻率加權後加速度(Frequency-weighted acceleration)的 RMS 值作為全身振動的基本評估方式，分別用來考慮不同方向加速度頻率對人體健康所造成之影響。RMS 之計算公式如下：

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad \left\{ \begin{array}{l} a_w(t) \text{ 為圖7各曲線修正後的加速度瞬間值, 單位} \\ \text{為} \\ \text{m/s}^2 \text{ 或 rad/s}^2 \end{array} \right.$$

表 4 ISO 2631 振動與舒適度的指標

振動加速度值	舒適度評估
< 0.315	非常舒適
0.315 ~ 0.63	舒適
0.5 ~ 1.0	稍微舒適
0.8 ~ 1.6	稍微不舒適
1.25 ~ 2.5	不舒適
> 2	非常不舒適

而 ENV 12299 的量化方式如下：

$$N_{MV} = 6 \sqrt{(a_{xP95}^{Wad})^2 + (a_{yP95}^{Wad})^2 + (a_{zP95}^{Wab})^2}$$

- $\left\{ \begin{array}{l} a^{Wad} \text{ 為 } W_a \times W_d \text{ 曲線修正的振動加速度有效值} \\ X、Y、Z \text{ 表示座標軸，相當於縱向、水準、垂直振動} \\ P_{95} \text{ 表示在地板上測得振動加速度值的95\%} \end{array} \right.$

表 5 ENV 12299 振動與舒適度的指標

N _{MV} 值	舒適度評估
< 1	非常舒適
1 ~ 2	舒適
2 ~ 4	一般
4 ~ 5	不舒適
> 5	非常不舒適

其它歐洲國家如德、法、英則是以 UIC 515 中的 sperling 舒適度指標做為參考的基準，其量化方式如下：

$$W_z = 0.896 \left[\frac{a^3}{f} F(f) \right]^{0.1} \quad \left\{ \begin{array}{l} a \text{ 為加速度的振幅, cm/s}^2 \\ f \text{ 為頻率, Hz} \\ F(f) \text{ 為由頻率決定的係數, 如表7} \end{array} \right.$$

表 6 sperling 舒適度的指標

Wz 值	平穩度評估
< 1	非常好
1 ~ 2	良好
2 ~ 3	一般
3 ~ 4	可運行
4 ~ 4.5	不可運行，長時間即會有害
4.5 ~ 5	危險

表 7 頻率 f 對應 F(f)查表

垂直方向振動		水平方向振動	
f	F(f)	f	F(f)
$0 < f \leq 5.9$	$0.325f^2$	$0 < f \leq 5.4$	$0.8f^2$
$5.9 < f \leq 20$	$400/f^2$	$5.9 < f \leq 26$	$650/f^2$
$f > 20$	1	$f > 26$	1

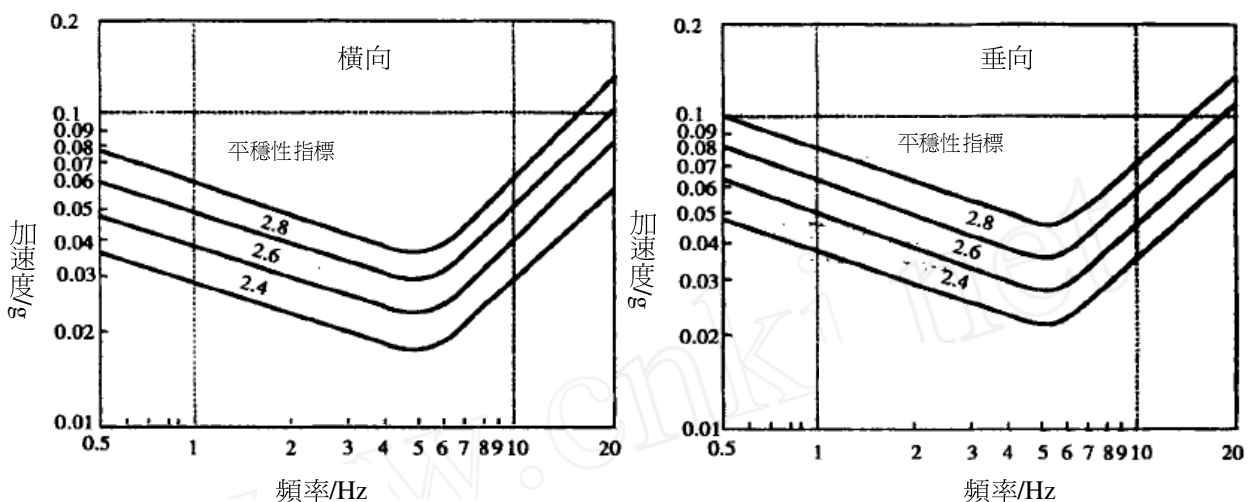


圖 11 sperling 舒適度指標^[3,9]

在上述的幾個標準中，不論我們是選用那個一標準來做為規範，我們都需要先了解所需要用到的舒適度評估方法及量化指標為何，才能進行有效的評估。

3.2 建議及改善方案

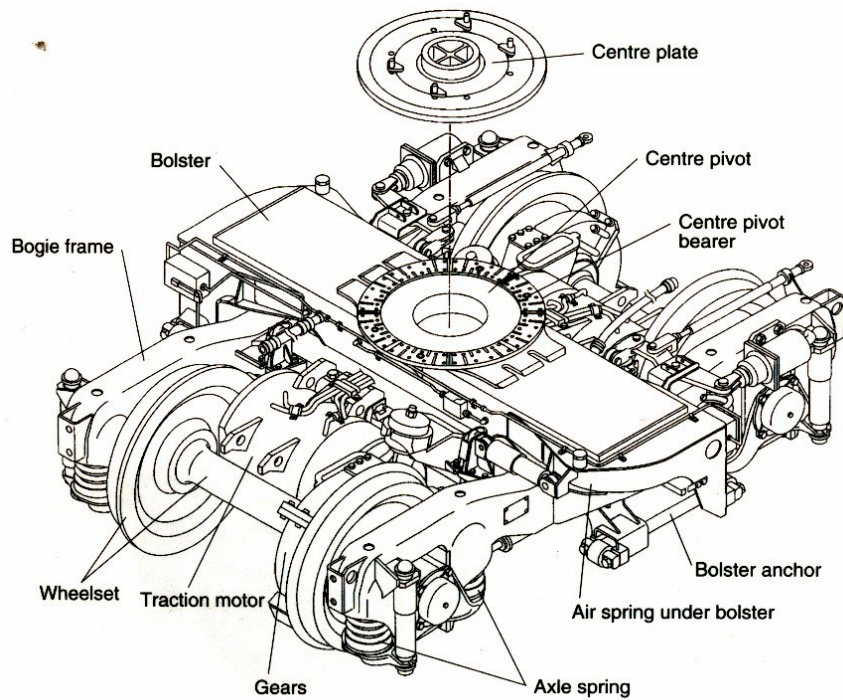
而從上述的各個標準中其實不難發現，影響軌道車輛的舒適度甚巨的不外乎是振動這個因素，下文將單獨針對轉向架的部份及振動預防來進行探討。

3.2.1 轉向架的功能

轉向架除了支承車體，產生驅動力和制動力並保持在軌道上的運行穩定性外，還要降低車輛運行時特別是高速運行時車體產生的振動。所以轉向架是軌

道車輛的重要部件，倘若我們可以有效的減少振動的影響，那麼不但可以保有原來的安全性，也同時提昇了乘坐舒適度。

3.2.2 轉向架的結構



轉向架的基本結構中，用來做為主要減振效果的為車軸上的減振彈簧及阻尼器，該機構吸收了大部份由路面及軌道傳遞至鋼輪上的振動，而其它不管是垂直或水平方向的振動，皆有相對應的彈簧結構可以來預防，下圖介紹幾種主懸吊的減振系統^[3-9]。

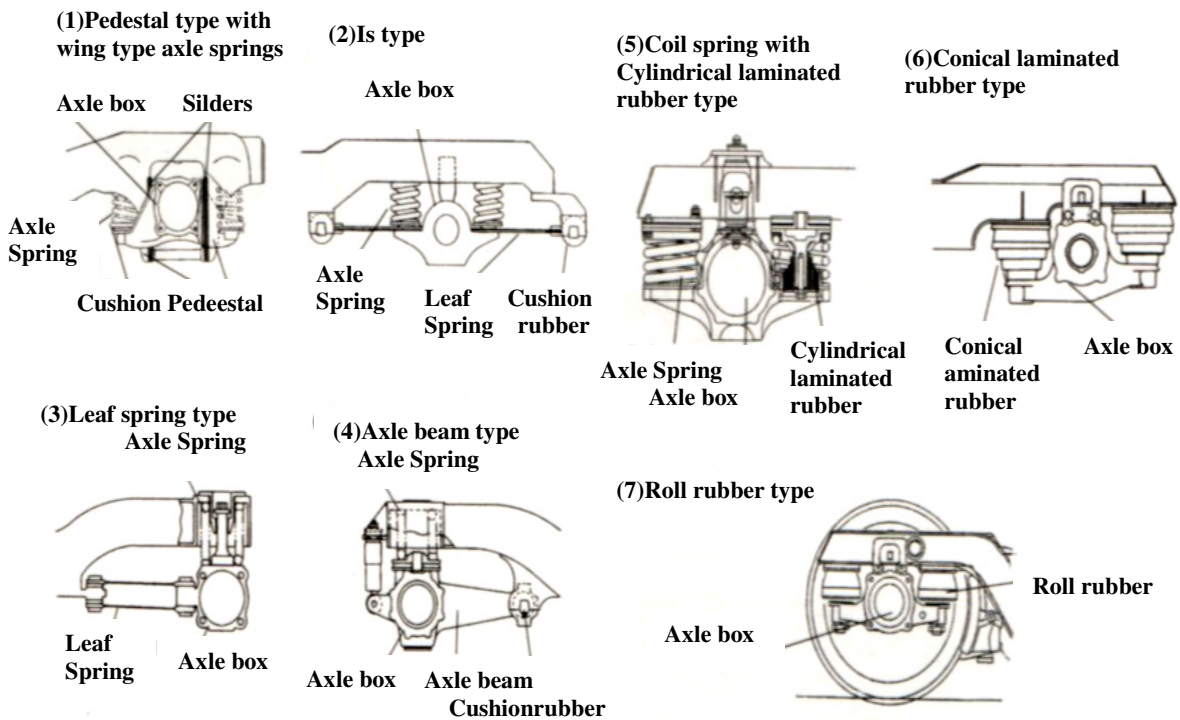




圖13 主懸吊的種類【3-9】

除了主懸吊系統之外，在轉向架上還有另外的次懸吊系統，一般是利用空氣彈簧，也就是所謂的氣囊（Air bag或Air spring）做為輔助。此氣囊介於轉向架與車體之間，可以靠著壓縮空氣所產生的力量去承托負重，同時也可隨時依車內載重的變化而調整變更氣壓，此機構可再降低主懸吊減振之後所剩餘的振動。



圖 14 次懸吊-Air spring【3-9】

3.2.3提昇舒適度

除了上述轉向架上的減振機構，提供了一般車輛行駛時的舒適度，但當滿足乘坐舒適度要求時，高速運行穩定性就不一定能完全滿足。因此若同時要求行車的速度又要具備乘坐舒適度，下列的做法可在原有的減振機構上進行改善，且可有效在舒適度與高速行駛間取得平衡。

表 8 懸吊系統的改善

改善目的	建議改善方法
降低垂直方向振動	為降低人們特別敏感的 10Hz 範圍內的垂直方向振動，除了可改善軸箱彈簧和空氣彈簧的剛性外，還應避免其老化而導致性能衰減。
降低橫向振動	使用油壓減振器降低橫向振動，以達到改善總體乘坐舒適度的目的，如下圖 15。
降低側滾方向振動	降低空氣彈簧剛性會引發側滾問題,考慮安裝抗側滾裝置。另外，對車體施加傾擺控制，如下圖 16。

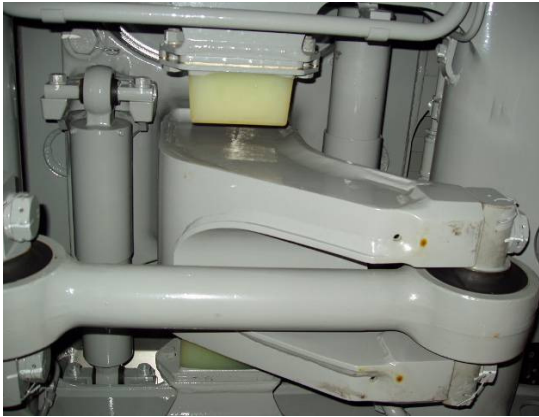


圖 15 Lateral Damper ^[3-9]



圖 16 Anti-Yaw Damper ^[3-9]

另外，若於轉向架和車體之間裝置主動式的懸吊控制系統，如圖17，則可抵消車體產生的橫向振動，尤其能抵消1Hz範圍內的車體振動，從而改善乘坐舒適度。新幹線高速列車包括部分東日本E2系和E3系新幹線列車，都安裝了以氣動作動器或可變阻尼減振器為基礎的主動懸吊控制系統，有效地降低了車輛運行時的橫向振，明顯改善了乘坐舒適度。

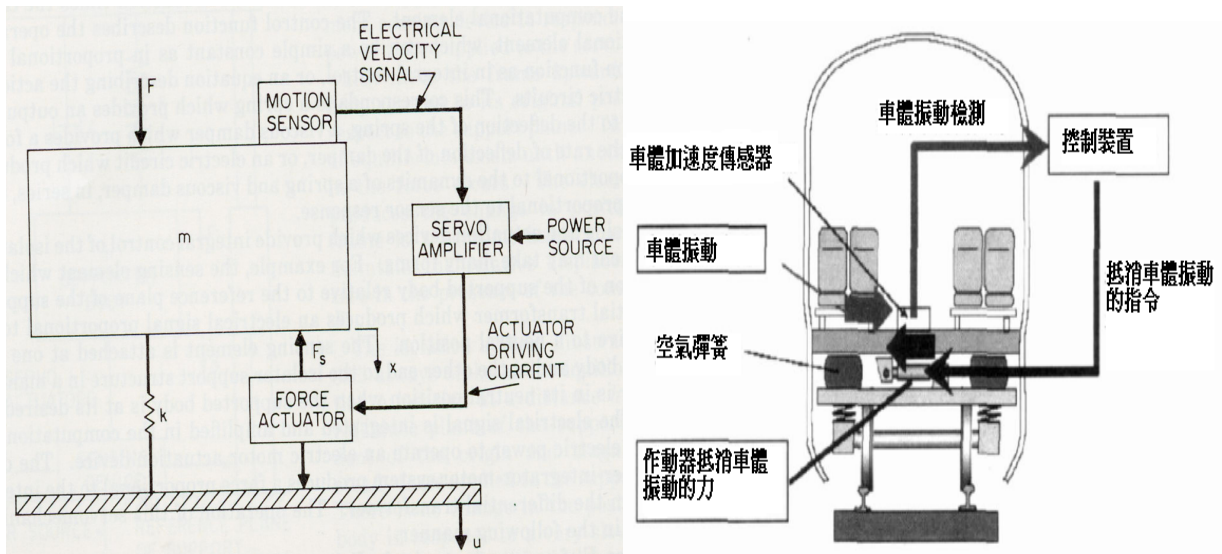


圖 17 主動式懸吊控制系統作用原理 ^[3-9]

而在車輛高速過彎或者是傾擺的問題上，會產生一個指向曲線外側的橫向加速度。除非採取一些防範措施，否則運行速度的提高就會超過乘坐舒適度的限度。我們可以選用具有必需的性能、結構簡單，且不需要改變轉向架結構的空氣彈簧升降式車體傾斜控制系統如圖18，原理與傾斜式列車雷同。根據預先準備的曲線資訊實施車體傾斜控制，曲線資訊根據車輛所在位置進行判斷，傾擺角根據車輛當前速度計算得出。通過向曲線外側的空氣彈簧充氣，使車體向曲線內側傾斜，以提升乘坐舒適度。

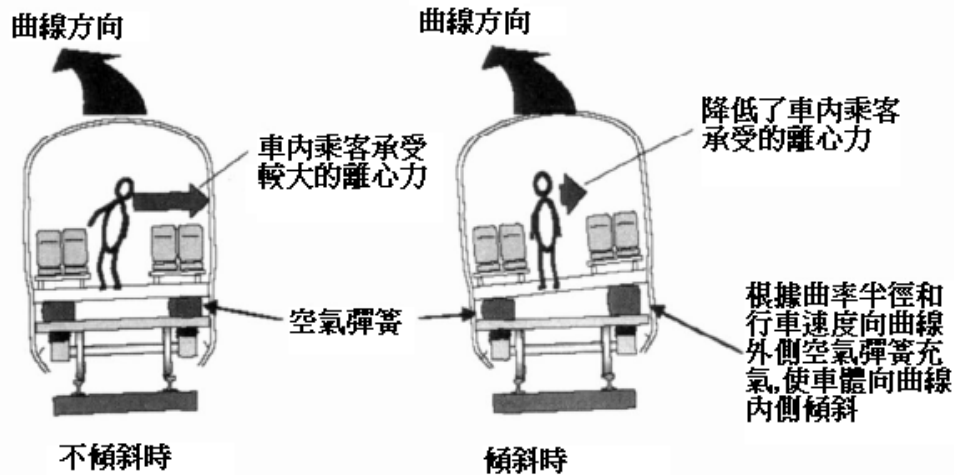


圖 18 車體傾斜控制

3.3 其它建議

從軌道車輛舒適度談到振動的影響，再到振動的防制。在做好防制之前我們就必須先要知道振動的來源，然後再選擇方法來加以處理。在振動的領域裡，我們不外乎利用以下的幾種方式來改善：

減振：隔離外來的振動(Vibration)

減振：隔離外來的陡振(Shock)

吸振：轉移振動能源到另外的次系統

因此一個完整的避振系統，一定包含著彈簧及阻尼，彈簧及阻尼各負責振動與陡振的影響，也就是在前一部份我們看到於轉向架上的避振機構。除此之外，我們也不妨從汽車工業的經驗來取經，例如何服作動的主動式懸吊控制系統在高級房車的應用上就非常的廣泛。

下圖為一吸振器的模型，該原理即是將主要的振動源藉由另一次要的減振系統來吸收，不使振動源傳遞至主要結構上，而這個主要結構相對於軌道車輛而言就是車身，故類似的結構若有機會使用在軌道車輛上，對於車輛舒適度的提升，應會有很大的幫。

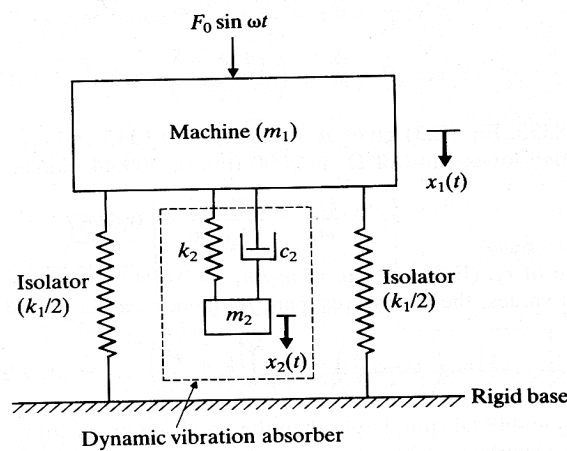


圖 19 吸振器的振動模型^[3-9]

四、結論

「舒適度」是每個人在追求生活品質提升時的一個很重要的指標，當人類有能力去享受更高品質的生活時，具有工程背景的人員就有責任要研發出更符合需求的產品出來。然而就以現在的發展趨勢來看，目前已經走到磁浮列車的領域，但這是不是就表示一個完全不靠摩擦做動的系統，就不會有振動的問題產生？

畢竟這還是屬於一個動態行為，不管是外界環境的影響所產生的振動還是車體上的設備所衍生出來的振動，都仍有直接或間接的影響。因此，振動的確帶給了乘客在乘坐上不便，也同時影響到周遭硬體設備的使用壽命及年限，但我們只要依循著步驟，當問題發生時→尋找振動的來源→建立起振動的模型→進行分析及改善→驗證改善效果→導入，便能有效的將問題改善。

參考文獻

1. ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirement. 1997-05-01。
2. ISO 2631-4 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed – guideway transport systems. 2001-01-01。
3. ISO 2631-4 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1Hz to 80Hz). 2003-04-01。
4. 2003-08-01. Guido Lauriks (Belgium). The comfortable quality evaluation of rolling stock。
5. 2007-01-24. Ken Iwanami (Japan). Measures for Improving Riding Comfort。
6. 2002-10-08.秋山悟(Japan). Development of quiet and comfortable railway passenger cars。
7. 2006-02-08.佐佐木浩一(Japan). Improvement of vertical vibration ride comfort of high speed trains in operation for shinkansen。
8. 2004-08-30.山城芳裕(Japan).Present conditions and prospects of the car-carrying air-conditioning with Mitsubishi motors。
9. 2003-11-24.俞展猷(中國).鐵道車輛舒適度評估法的發展與研究現況。

機車車輪黏著力控制系統研究

Study of locomotive wheel adhesion force control systems

王宜達 WANG, Yi-Ta¹

地址：10041 臺北市北平西路 3 號 5 樓

Address：5F., No.3, Beiping W. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 10041, Taiwan (R.O.C.)

電話：(02) 2381-5226 分機 3338

Tel：(02) 2381-5226 EX 3338

電子信箱：tr754604@msa.tra.gov.tw

E-mail：tr754604@msa.tra.gov.tw

摘要

當機車牽引馬達之牽引扭力大於輪軌摩擦力時，機車的車輪即在軌道上產生打轉，車輪在軌道上空轉，即表示車輪轉速大於車輪在軌道上前進之滾動速度。

為確保行車安全及可靠性，車輪於任何情況下，包括車輪轉速、輪軌狀況、天候……等，都應存有不同黏著力可被運用，而不會產生車輪在軌道上空轉，本文最大黏著力標準值 X，當增加牽引馬達扭力(電流值)大於軌道上車輪之 X 值時，於臨界條件下，藉由控制方式控制軌道上空轉車輪，使牽引力扭力在相對大於 X 標準值以上仍可被利用。機車動力”車輪躡行”監測控制，是藉由控制輪軌間之空轉行為，以取得適當牽引力；當車輪於躡行運動時，控制車輪輪速能維持比較穩定或較微緩之變化量，以確保行車性能最適化。

關鍵詞：牽引扭力，黏著力，馬達扭力，車輪躡行。

Abstract

When the tractive torque of a locomotive's traction motor is greater than wheel and track friction the locomotive's wheels will spin on the track. When they spin idly it shows that the rotating speed of the wheels is greater than the forward rolling speed of the wheels on the track.

For train operating safety and reliability, at different rotation speeds, on different tracks and in different weather conditions wheels should have different adhesion power that can be used to prevent idle wheel spinning. The largest adhesion power value in this research is X. When the torque of the traction motor (electrical current value) is higher than the wheels on the track, controlling the spinning of the wheels on the track near critical condition allows tractive torque to still be used when it is relatively higher than standard value X. Monitoring and controlling locomotive power “wheel tread line” achieves suitable traction by controlling the spinning behavior of wheels on the track. When the wheel tread line, controlling the speed of rotation of the wheels gives relatively good stability or smaller variations so that train performance is optimized.

Key Words:tractive torque,adhesion power,torque of the traction motor,wheel tread line

1. 本局機務處車輛科幫工程司

一、黏著力控制系統

1.1 簡介

黏著力控制系統包括下列兩個子系統：

- 1、躡行控制系統，又稱為微處理牽引力控制系統(MTC)。
- 2、車輪空轉控制系統，也稱為校正系統。

「躡行控制系統」是主要的黏著力控制子系統；在特殊狀況下啟動「車輪空轉控制系統」，上述兩個控制系統角色，在動力操作模式和操作條件下會有所不同。

當機車牽引力控制系統從靜止或低速加速時，牽引馬達電流/扭力非常大^[1]；此時，兩個黏著力控制子系統「躡行控制系統」及「車輪空轉控制系統」將同時啟動作用，直到牽引力達要求之最大值，可藉以防止車輪嚴重的空轉。在連續出力加速低速起步期間，在躡行控制系統控制下，車輪可能的躡行或者突然嚴重地空轉動作，都將產生被校正作用，若偵測車輪空轉行為，同時與動力系統連鎖，將更具效果；因此，黏著力控制作業系統也稱為「啟動作業系統」。

在機車啟動速度達到設定速度，躡行控制系統可以控制車輪躡行的黏著力在正常工作範圍，並可產生最大牽引效率。根據機車在地面之速度，藉由雷達和其他因子，如啟動時牽引馬達電流值大小來進行感應，躡行控制系統可連續計算出最大允許車輪轉速，並算出的最大車輪轉速轉換成最大允許的牽引馬達電流值，同時使用該數值作為電壓回授比較之參考。

在此機車啟動期間，藉躡行控制系統之作用以增加牽引力。當進行車輪空轉控制系統設定時，對於啟動速度超過設定值以上之監測，會有所不同；在大部份情況下，當速度高於設定值之監測，不需車輪空轉控制系統之協助，躡行控制系統可充份完全控制車輪空轉量。

然而於車速高於設定值時，有兩個狀況需要啟動車輪空轉控制系統：

- 1、軌道狀況極為不良。

該系統開始時，躡行控制系統與車輪空轉控制系統同時作用，躡行控制系統使車輪轉速最佳化時，藉由調整降低牽引馬達之扭力，達到將車輪空轉控制系統性能最佳化。

- 2、故障或躡行控制系統回饋錯失，如雷達訊號。

假如一個或多個躡行控制系統感應器，其回饋訊號故障或漏失時，系統只運作車輪空轉控制系統，以控制其黏著力；例如，當車輛運行於水中時，系統可能誤認雷達回饋方式是錯誤的；此為系統的速度偵測和解析度錯置所致，因當車輪空轉控制系統運作時，機車可能已發生輕微的車輪空轉躡行。

啟動速度訊號如下段所述，對於躡行控制系統和車輪空轉控制系統作業極為重要，躡行控制系統控制和空轉控制的詳細內容，記錄於動力速度訊號的內容之後。

二、機車速度訊號

黏著力控制需要全時間各方面可靠、正確的地面速度完整資料；在該系統中，需有多個速度訊號，但是沒有任何一個是可被個別利用的，因此系統持續評估三個不同的速度訊號，以便攫取動力速度訊號，而隨時可被系統所評估的速度訊號包括：

- 1、軸速---裝於車軸速度感應的軸速轉換器。
- 2、雷達速度---機車底下對路面所偵測到之速度。
- 3、計算之速度---由該系統以時間/距離計算出來之速度。

一般情形下，雷達速度訊號是決策過程中最重要的因子，因為它不受車輪空轉量和車輪磨耗之影響。但是，如不能取得雷達訊號，或者假如系統偵測雷達故障時，系統將選擇另外兩個速度訊號之一，用以取代雷達訊號。因此，於此瞬間啓動之速度訊號是當時情況下，真實的地面速度最佳替代值。

2.1 車軸速度

零速車軸轉換器於機車任一軸應儘量避免因軸重轉移發生空轉。

軸轉換器產生與軸速度成比例的輸出頻率，系統模組接受此訊號，將軸轉換器輸出頻率轉換成速度，作為動力速度訊號，並可於駕駛室電腦顯示器上顯示。

2.2 雷達速度

雷達發報器安裝置於機車底部固定架上^[8]，如下圖 1 所示。

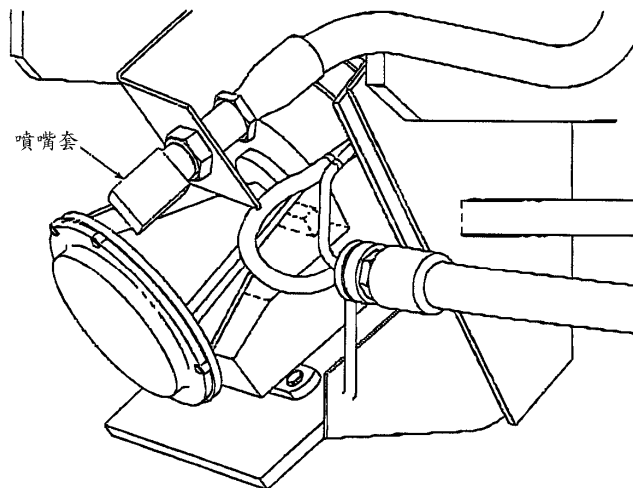


圖 1 雷達發報器，安裝於機車上(空氣噴嘴穿過面板)

雷達發射器電源可由電腦電源供應器分電盤接取，不管逆轉機於前進或後退位，隔絕開關始終維持啓動狀況，因此壓縮空氣維持定期貫注於發報器面板下方，以清除累積物。

雷達發報之作業，於電池開關和電腦控制開關關閉時繼續運作。如果渦輪潤滑

油泵繼電器作用時，而電池開關 Open、電腦控制斷電器 Close 時，系統仍能可運作。速度量測時，雷達監測到與雷達傳輸訊號頻率相關的雷達回饋反訊頻率，其差異稱為都卜勒變換值，其值與地面速度成比例。

發報器電路相對於都卜勒變換值中，與方形波上所發射輸出的訊號頻率成比例。當雷達速度訊號正常，用於躡行控制系統作業時可為最佳的地面訊號來源。然而，在兩個情況下其雷達訊號不適用，該系統使用其中的速度訊號之一，作為機車動力速度之來源^[3]；兩種無法使用之雷達速度為：

- 1、極低的動力速度---雷達輸出為零。
- 2、在非常平滑路面上的動力作業---當機車通過水面，或其他類似的光滑表面時，雷達訊號輸出微弱。

因為躡行控制和空轉控制系統，需要無空轉牽引馬達速度資料，該系統轉換雷達速度訊號成為相對的牽引馬達轉速，將公稱的雷達發報器安裝角度、車輪公稱尺寸、齒輪比和標準化因子也列入考慮。

2.3 雷達標準化

雷達標準化因子，考慮到車輪磨耗和發報器之安裝角度與公稱尺寸之差異；例如自動執行標準化模式時，無論操作條件是否適當，必需在沒有空轉和氣軔下監測。

2.4 系統之標準化

- 1、計算快轉牽引馬達的轉速，根據最低的牽引馬達電流標準及了解牽引馬達的電力特性。
- 2、用計算躡行控制系統標準比乘上牽引馬達轉速成 Km/h。

2.5 速度計算

根據牽引馬達電壓和電流回饋訊號，及持續相對於使用中牽引馬達相關的電力特性，該系統持續計算出牽引馬達之最快(最低電流)和最慢(最高電流)轉速，而這些訊號只能在某些況下取得。所以，存有一狀態訊號伴隨計算之速度訊號，用以指示何時可以使用之運轉^[2]。

在機車電腦顯示器中，某個牽引馬達的計算速度 Km/hK。在機車電腦顯示器中，計算速度使用 CalcKm/h。

2.6 機車速度訊號的測量單位

機車速度訊號使用線性速度單位 Km/h；但是，該系統某些功能，如調壓發電機，將動力速度單位轉換成等值的牽引馬達 RPM 單位。

2.7 躡行控制系統躡行控制

車輪躡行可用牽引馬達 RPM 表示，或使用車輪踏面線性速度相關的單位來表示，例如 MPH 或超過滾動速度的百分比數%。圖 2 顯示在某一設定之速度(約 10MPH 滾動速度)，於不同軌面條件下，典型的車輪躡行標準與牽引力之關係^[5]。

在每個軌面條件曲線圖中，標示為 PEAK 之垂直虛線指出，在各種不同軌道狀況下該滾動速度可能出現的最大牽引力躡行標準。△N 圖中垂直線是一條假設之線，該假設曲線可能無益於躡行控制系統電流最大化之功能，也就是說躡行標準可藉由電腦來設定，由電腦設定的躡行標準假設曲線，稱為”最大化電流”。

假如， ΔN 躡行標準更改，使牽引馬達電流最大化，垂直線將傾向其中另一條的 PEAK 線。

在電腦顯示器中， dN 項表示電腦當時可允許之最大值 ΔN ，包括調整成最大牽引力作用值。機車動力速度訊號如前所述之滾動速度(軌道上之機車速度)，及防止重要的躡行控制系統輸入作用。

要限制躡行控制系統作用中的牽引馬達/車輪速度，電腦根據躡行控制系統的參考電壓值，用以取代主發電機之參考電壓值，當車輪未出現空轉或躡行時，同時某些非參考電壓調節模式會發生作用。

在動力監測作業中，機車電腦持續計算 ΔN 值，用以表示車輪躡行限制(在躡行控制系統速度 N 值以上的牽引馬達可允許的最大速度值)，該系統用下列資料計算 ΔN 值。

- (1)躡行控制系統速度 N 值(機車速度轉換成牽引馬達 RPM)。
- (2)基本 ΔN 值。
- (3)負載補償因子。
- (4)可變躡行因子。
- (5)調整因子。

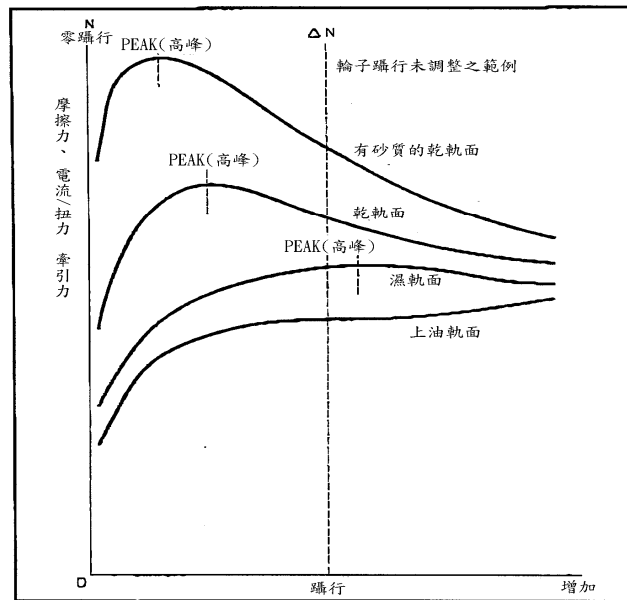


圖 2 不同軌面狀況下的牽引力/躡行曲線
上述所有曲線根據相同的非躡行速度(N)。

2.7.1 躡行控制系統速度 N 值

躡行控制系統速度 N 值係機車速度轉換成等值的牽引馬達 RPM，於前述中有機車速度訊號之描述。

2.7.2 基本 ΔN 值

ΔN 是許多因子的功能值，包括：

- (1)絕對最低 RPM 標準或最低的 N 百分比值，取其較大者。
- (2)絕對的 RPM 最大值。
- (3)加速度(當機車加速時，增加其躡行動作)。

2.7.3 負載補償因子

負載補償作用於可行的附著力限制牽引下，允許正常受控的躡行作業，但是當主發電機全輸出，而且於最大的電壓限制時(高黏著力或高動力速度運作時)，則調控其躡行作業。

2.7.4 可變躡行因子

可變躡行因子係根據黏著力限制最大的容許躡行作用(受牽引馬達電流標準調節)，藉由限制高黏著力標準下之躡行作用以降低輪/軸扭矩變動量，同時當不良低黏著力時，仍允許高躡行標準。

2.7.5 調整因子

當機車動力速度增加時，成比例地調整 ΔN 值，以降低可變躡行量，使在較低動力速度下允許較高之躡行；及在高速時適度調降躡行，避免可變躡行 ΔN 超過最大之限制值。躡行控制系統速度計算躡行限制每秒數次，而其影響因子如上所述。

但是，要導出最後的 ΔN 值，該系統用電流最大化功能所產生的趨弱因子乘上躡行限制值。

該系統用躡行控制系統速度加上 ΔN 最後值，成為 $N + \Delta N$ 。在控制牽引馬達速度中，將轉換 $N + \Delta N$ 成為主發電機調節之限制電壓；為此，該系統使用儲存的 E/N (電壓/RPM)資料，將已儲存的 E/N 資料用於機車動力的特徵數據值。在特定的發電機電力供應標準下，電壓電流比值隨速度改變。在低速時，牽引馬達阻抗低，電流比較高而電壓比較低；當牽引速度增加時，電流/電壓關係互為反比，高牽引速度時電流較高，而電壓較低。

此系統之牽引速度 E/N 應用比值為，於當時的電力標準下乘上 $N + \Delta N$ ，其結果是 $E + \Delta E$ ，為用以產生所需的牽引速度之電力理論值。

$E + \Delta E$ 表示牽引馬達位能，必需透過牽引馬達碳刷和纜線校正電壓損失；此系統將校正值加到 $E + \Delta E$ ，其總和是躡行控制系統電壓限制 $V + \Delta V$ 。

當系統調節標準下的主發電機電壓，以控制輪子躡行。

2.7.6 電流最大化

如圖 2 所示，軌面條件決定車輪躡行標準下產生之最大牽引力值。

牽引力與馬達電流成比例：大電流產生大之牽引力。電腦的電流擴大器，經常檢視一般牽引電流標準，藉由改變 ΔN 值產生些微的車輪躡行標準調整，這些小改變導致些微的改變；對於一般牽引電流標準改變，用以判定以何種方法改變 ΔN 值：假如先前的 ΔN 值改變，造成監測電流增加，將向較低值方向繼續改變 ΔN 值。假如先前的 ΔN 值改變造成監測電流降低，將改變 ΔN 值的

變動方向，用此方法，規律器能將牽引馬達監測電流/牽引力最大化。

2.7.7 躡行控制系統錯誤

躡行控制系統系統錯誤幾乎與超系統回饋錯誤不相關，回饋偵測規律器在瞬間偵測躡行控制系統回饋錯誤，已確認出需要避免主要的躡行控制系統脫載發生於回饋錯誤時，立即在回饋錯誤偵測到之後，電腦開關控制轉換到備用空轉控制規律器。一旦躡行控制系統錯誤產生時，仍保持錯誤狀態直到自動重新設定為止。

下列回饋錯誤型態係為躡行控制系統錯誤，造成必需使用備用的空轉保護系統，來取代躡行控制系統躡行控制。

- (1)主發電機電壓錯誤。
- (2)雷達訊號錯誤。
- (3)牽引馬達電流回饋錯誤
- (4)下列就敘述個別錯誤加以說明。

2.7.7.1 主發動機電壓錯誤

系統考慮有問題的訊號，使用備用空轉保護以取代躡行控制系統躡行控制。

2.7.7.2 雷達訊號錯誤

電腦用三種方法測試雷達訊號。

- (a)比較雷達速度訊號和轉換器速度訊號。
- (b)比較雷達速度訊號和算出最快速的牽引馬達速度訊號；在氣軔煞車中，比較雷達訊號和最慢速度的牽引馬達速度。
- (c)瞬間觀測雷達速度，降到最低值時。

當滿足電腦偵測特定狀況需求時，自動執行每個測試，這些條件發生於正常運作之機車中。

假如雷達速度訊號，未能採用方法(a)和(b)持續測試，雷達錯誤將紀錄於機車電腦記憶中，以通知規律器使用雷達速度訊號以區分錯誤回饋或雷達訊號信息。假如雷達訊號突然降低，且停留而機車動力速度大於設定值時(從馬達電流/電壓和/或軸發電機所算出)，備用空轉保護系統取代躡行控制系統躡行控制。但是，除非方法 (a)和(b)如此而行，否則雷達錯誤訊息此時並未達成而且未設定雷達錯誤訊號。一旦雷達錯誤訊號出現於任何測試中時，錯誤訊號仍持續維持錯誤狀態，直到由上述類似的測試方法通過後，加以重新更正設定。

2.7.7.3 牽引馬達電流回饋錯誤

當機車啓動時，而且最低牽引馬達電流大於設定值以上，機車電腦自動測試任何錯誤的牽引馬達電流訊號。假如前述正確而且未出現下列之任何狀況，預期會有牽引馬達電流回饋訊號錯誤。

假如懷疑有馬達電流回饋錯誤，則懸置躡行控制系統的躡行控制，並且採行備用空轉保護作業(此時未收到任何訊息)。

2.7.8 躡行控制系統之撒砂

躡行控制系統調節以兩種方法影響撒砂：

2.7.8.1 可免於手動撒砂

在牽引速度大於 5MPH 時，可免於人爲之手動撒砂。

在牽引速度大於 12MPH，使用撒砂開關可免於人爲之手動撒砂。

2.7.8.2 當節流閥大於設定值

偵測到不良的輪軌黏著力，將自動起始撒砂以改善牽引力。

2.8 空轉保護功能

在機車上，該系統空轉保護功能包括空轉偵測，電子式和機械式控制因子包括定義每個階段空轉程度，每一段位中可起始用於監測或者用於動力煞車或兩者兼用^[9]。

每段位中的空轉偵測定義標準，在動力模式和速度上有所不同，而且也包括特定動力電流配置、撒砂能力、牽引馬達纜線阻抗以及軸重差異。

當系統偵測空轉時，回應包括有特定電力降低標準、自動撒砂應用、開啓回應空轉偵測階段訊號和動作業模式及速度之校正^[4]。

注意：撒砂及個別的空轉指示燈，起始僅用於某些校正階段，並非針對其他項目。

該空轉偵測和校正系統足以成爲規定作業模態，而非僅作爲錯誤校正系統；尤其是與先前動力空轉系統所產生的巨大電力下降比較時。

空轉保護作業可在機車這些動力作用條件下作業^{[7][10]}：

- (1) 氣軔煞車。
- (2) 監測速度低於設定值以下。
- (3) 監測有躡行控制系統錯誤。
- (4) 監測有極爲不良黏著力。

爲防止錯誤的空轉偵測，該系統暫時懸置某些特定動力狀態下的空轉保護，就如主發電機傳輸以及測量氣軔煞車步驟改變之範圍。爲了偵測空轉現象和程度，規律器監測許多牽引馬達之訊號---直接回饋訊號和從直接回饋訊號算出之訊號。在監測作業中，空轉規律器使用下列訊號：

(1) 最低馬達電流：

從作用中的牽引馬達群中(非格離或開路者)，由回饋選取其較低和最低的電流標準。

(2) 空轉電流：

包括所有運作馬達(但是最快轉速/最低電流馬達除外)的平均電流標準，算自 ITM 之回饋值。

- (3)電流差異值。
- (4)主發電機電壓。
- (5)主發電機電壓導出值。
- (6)車輪加速度。
- (7)空轉速度。

2.8.1 空轉偵測階段

空轉規律器偵測許多階段或標準上的空轉現象。多標準偵測可有更平滑的整體作業，因為校正功能可用於適當的空轉狀態中，以避免過度校正及可以從空轉校正中快速回復。

- (1)階段 1、2、3($\Delta I/\Delta t$)：

初期三階段係根據牽引馬達的電流變換率；要啟動校正功能時，每個接續階段需要短期間的空轉，但有更大的磁力，這些階段於監測和氣軔煞車中運作。

- (2)階段 4(ΔI)(稱為”標準”階段)：

當最低電流牽引馬達和其他啟動牽引馬達的平均電流值大於節流閥標準時，此階段立即同時偵測。

- (3)階段 5：

非現用於本動力中也未接後續階段。

- (4)階段 6 ($\Delta V/\Delta t$)：

提供保護避免車輪同時空轉；監測主發電機電壓變換率(在一定電力標準下主發電機電壓與牽引馬達速度成一定比例關係)，該階段未於氣軔煞車中運作。

- (5)階段 7：

非現用於本動力中也未接後續階段。

- (6)階段 8 ($\Delta N/\Delta t$)：

在監測和氣軔煞車中，該系統持續監測車軸轉換器輸出頻率之加速率。當加速率/減速率值超過節流閥時，偵測到空轉產生；在監測中，過度加速率指出車輪作用於牽引力/躡行曲線右側上(非正確)(參考圖 2)。在氣軔煞車，過度減速率指出車輪正在進行空轉。

- (7)階段 9：

非現用於本階段也未出現於後續階段。

- (8)階段 10(WSR)：

只於氣軔煞車中運作以偵測空轉；牽引馬達中的轉子電壓差異指出本空轉階段。

除非 IWS 高於低節流閥標準，否則空轉偵測階段無法透過階段 1 至 4 運作。

2.8.2 空轉運作模式

模式如下：

- (1)起動模式：監測約設定值以下。
- (2)正常模式：監測設定值以及更高的動力煞車模式、混合系統模式。

這些啓動的運作模式有助於判定空轉偵測敏感度和空轉校正速率。

2.8.3 空轉校正

在該系統偵測空轉後，需要進行與空轉率成比例的校正行動，系統使用一或多種下列的空轉校正方法：

- (1)降低動力和/或電流電參考值以降低主發機之輸出。
- (2)進行軌道撒砂。
- (3)打開空轉指示器/啓動之列車同步線。

該系統根據空轉運作模式和空轉程度(偵測階段)選擇偵測方法和標準。空轉嚴重者，系統降低電流和/或動力參考值就越快；對於某些空轉偵測階段，系統啓用撒砂而且繼續在空轉停止後，仍作用一段時間；該系統只於某嚴重空轉的階段打開空轉指示器。

2.9 黏著力控制混合作業系統

在監測中，當軌道狀況極為不佳或不正常時，可能所有車輪同時發生短暫的空轉，導致動力環狀脫載---避免平滑和持續的車輪躡行作用；要處理這些極端的狀況，系統啓動躡行控制系統躡行控制和空轉保護功能，以降低同時的空轉量和平滑的整體表現。當躡行控制系統躡行控制系統藉由調整降低馬力和扭力嘗試調節最佳的輪速，空轉保護系統則用以增強其性能^[6]。

在混合系統黏著力控制作業中，惟一的空轉控制是透過階段 1 到階段 4 來作用，因為躡行控制系統躡行控制性能不需要其餘的空轉控制階段。

混合系統可算出高於最短期間中節流閥標準以上之黏著力。混合系統持續作用，直到操作人員將節流閥手把，轉到”惰性開機”位時，或直到動力速度上升到設定值。

三、車輪超速保護功能

當機車於監測狀態而且牽引馬達平均電流高於設定值時，車輪超速保護系統即產生作用；規律監視器算出牽引馬達平均速度，假如速度超過牽引馬達最大速度時，則紀錄為超速錯誤。

最高牽引馬達速度約高於配有正常新車輪機車速度差值。

假如紀錄有超速，電腦關閉發電機場連接器，牽引馬達扭力因此降到”0”；此外，電腦啓動繼電器，切換空轉指示燈和列車同步線，啓動關閉，電腦顯示和紀錄該訊息”車輪超速或同時空轉”。

當機車動力速度下降到低於空轉速度最低限制時，超速錯誤自動重新復位。

四、空轉齒輪保護

移動有齒輪空轉的機車是非常危險得，齒輪空轉現象是指任何能夠在沒有轉動牽引馬達齒輪，而使任何轉向架上之牽引馬達轉子旋轉之現象。當齒輪空轉時，牽引馬達至車輪組間幾乎沒有扭力傳輸，沒有聲響出現。

假如在有齒輪空轉之牽引馬達啓用電力而電力未立刻中斷，牽引馬達轉子將超速致使牽引馬達發出異常聲響（牽引馬達在產生轉子超速燒毀後就像是一個鳥巢，線圈與其他的馬達零件完全絞結，絞結部份可能促使牽引馬達座外脫）^[11]。

在下列所有情況時，電腦空轉齒輪保護規律器可正常作用：

- (1)於監測作業模式或低速監測模態下。
- (2)主發電機電壓正常。
- (3)牽引馬達平均電流大於設定值。
- (4)機車動力未超速。

於下列階段中，以規律器執行修正改善

- (1)疑有齒輪空轉。
- (2)提供最初響應給可疑之錯誤。
- (3)提供進一步響應給可疑之錯誤
- (4)檢出或自動清除錯誤
- (5)響應已檢出之錯誤
- (6)清除錯誤

五、動輪鎖定啓動之保護

對移動的機車鎖緊輪子是非常危險的。假如偵測到動輪鎖定时，牽引馬達轉子和齒輪(齒輪、軸心和車輪)形成一轉動組合，假如組合中之任何部份鎖住時，則全部組合將被鎖住。

假如牽引馬達的轉子鎖定，馬達未產生反機制，而僅生成最小電流阻抗。於此，鎖定的牽引馬達吸引比正常運轉牽引馬達更多的電流。

假如牽引馬達平均電流高於節流閥之低標準時，受鎖定的動輪其規律器於監測機車動力模式中(或低速監測模態時)進行運轉。

當任何牽引馬達吸引至少大於所有牽引馬達之平均電流兩倍以上時，則規律器可偵測到動輪鎖定。

參考文獻

1. 徐有福，「運轉理論」，財團法人中華顧問工程司高鐵總顧問計畫(88年)。
2. 陳南鳴、曾乙申、郭宏源，「高速鐵路機電系統模擬軟體開發計畫成果報告」，財團法人中華顧問工程司(89年)。

3. 曾乙申、朱玉鳳、蔡孟伸、李聰穎，「捷運與輕軌供電系統模擬軟體開發計畫成果報告」，財團法人中華顧問工程司(90年)。
4. 施能郁，「運轉理論(內燃客車及柴油電氣機車)」，台灣鐵路管理局員工訓練中心，第91~103頁 (72年6月)。
5. 孫樹威譯，「電機機械A p p l y i n g M A T A B L」，美商麥格羅.希爾，台北，第394~397 (2002.12)。
6. 交通部頒布，「捷運軌道車輛技術標準規範-高運量鋼軌車輛規劃基準」(87年)。
7. 軌道車輛煞車系統教材，蔡文田。
8. 軌道機電系統概論講義，吳翼貽。
9. 軌道車輛學講義，江耀宗。
10. 軌道機電系統講義，廖崑亮。
11. 電力機械煞車原理5版。

從引申需求的觀點看觀光發展與旅運需求

Looking at tourism development and travel demand from the angle of derived demand

謝武昌 Hsieh, Wu-Chang¹

地址：臺北市北平西路 3 號 6 樓
Address：6F, No. 3, Beiping West Road, Taipei City.

電話：02-23815226 轉 3664
TEL：02-23815226 ext 3664

電子信箱：tr702861@msa.tra.gov.tw
E-mail：tr702861@msa.tra.gov.tw

摘要

本文從引申需求的觀點探討觀光旅遊發展與旅運需求之間的關係，旅運需求是整體社會經濟環境下的一種靜態結果，而觀光旅遊的發展是該既定系統的外生變數，並足以促進旅運需求整體面的提升；臺鐵局配合時勢所趨所推出的郵輪式列車，除有效促進觀光旅次，增加本業營運收益外，更有助提升企業形象。

關鍵詞：引申需求、觀光發展、旅運需求、遊輪式列車、臺鐵局

Abstract

This paper discusses the relationship between tourism development and travel demand from the angle of derived demand. Travel demand is a static product of the national economic environment, while the development of tourism is an external variable of the existing system that can promote an increase in overall travel demand. The cruise ship trains introduced by TRA to meet the needs of the times have effectively attracted tourist passengers, increased core business revenues and also improved the TRA's image.

Key Words: Derived, demand tourism development, travel, cruise ship type train, TRA

一、引申需求的意義與特性

1.1 引申需求的意義

在經濟學的需求理論中，所謂的需求（Demand）乃指財貨在某一市場價格下，消費者願意且有能力購買的數量，然引申需求與一般需求的觀念迥異，引申需求（Derived Demand）的定義為「生產者對各種生產財的需要，亦即由消費者對消費財的需要引出生產者對各項生產要素的需要」，故引申需求又稱間接需求。例如麵包店對麵粉的需求，並非為滿足麵包店主人最終需求，而係為生產各式麵包以滿

¹ 本局企劃處開發科正工程師

足消費者所需。運輸經濟學上的旅運需求、產業經濟學上的能源需求與土地經濟學的住宅需求，皆為引申需求的顯例。

1.2 引申需求的特性

引申需求在經濟學上有一種特性，即「任何產品的投入要素需求，是由該產品的需求所帶動」，舉聖誕卡片為例，在十幾年前電子郵件與行動電話簡訊尚未普及化之前，聖誕卡片在聖誕節前夕普遍需求大增，根據需求理論，聖誕卡片的價格也必定水漲船高，此時對紙張的需求亦隨之增加，紙張的價格亦隨之上揚。若因此而歸納為「因為紙張的價格上漲，帶動聖誕卡片的價格上揚」，則犯了經濟學上的邏輯謬誤（fallacy），正確的說法應該是「因為聖誕卡片的價格上漲，帶動了紙張的價格上漲」。例中的紙張需求即為「引申需求」（是一種結「果」），亦即投入要素的需求；聖誕卡片的需求則為「產品需求」（是一種原「因」）。

二、旅運需求的屬性

2.1 引申需求之一種

運輸經濟學上的旅運需求，亦為引申需求之一種，因為消費者對旅運之需求係為完成其他目的（如上班、購物、旅遊、休閒等）而衍生，本身是一種手段，而非目的，乃為滿足某一活動之實現所使用之必要手段及過程，因而產生交通旅次，故屬於引申需求。從交通規劃與都市計畫的觀點，旅次發生的頻率、空間分布及各交通分區內的活動，皆與土地使用有密切的關係。

2.2 旅運需求的特性

由於消費者對旅運的需求屬於引申需求，故為完成該次旅次目的而產生之旅運需求講求及時完成，無法等待。旅運需求另有一種特性，即消費者在使用運輸服務過程中所感受到的服務屬性皆為負面，如時間與金錢的耗費、擁擠與振動的感受，故為負效用之需求。

三、觀光旅遊的促進效果

3.1 經濟學的觀點

如前述旅運需求屬於引申需求，是整體社會經濟環境下的一種既定結「果」，除非整體社會經濟因素有所變動，亦即須有既定系統的外生變數產生，否則不易造成旅運需求的提升。換句話說，必須有刺激「產品需要」的原「因」產生，才能帶動此一既定結「果」的變動。

目前觀光旅遊與休閒活動方興未艾，正是整體社會經濟環境的一大發展趨勢，對觀光旅次的增加有絕對的促進效果，因此促進觀光旅遊活動，可看作是刺激「產品需要」的原「因」，依照經濟推理，勢將帶動旅運需求（按：引申需求是一種結「果」）的大幅提升。

3.2 交通規劃與都市計畫的觀點

事實上從交通規劃與都市計畫的角度來看，也會得到相同的推論結果；不論是採用程序性運輸需求模式或土地使用與運輸整合模式來進行規劃，促進觀光旅遊活動都將使得旅次發生頻率增加，各路線所分派的運具旅客量也隨之增加。

3.3 本局的因應措施與成效

目前本局為配合地方政府舉辦觀光活動，而推出配套的郵輪式列車，突破以往列車到站即開之模式，以類似遠洋郵輪停泊於各港口一段時間再續開往下一港口之方式，開行特定之列車，選定數個可以停留賞景之車站，作一段時間之停留，讓旅客下車（或車上）欣賞車站週邊風光後，再開往下一目的地。

為配合臺中縣政府舉辦「鐵道追福－郵輪式列車逍遙遊」活動，臺鐵專案列車搭載 350 位遊客到臺中縣體驗媽祖國際文化節盛況、品嚐道地小吃及暢遊觀光景點；另配合屏東縣政府舉辦「情定鐵道緣・尋找我的茱麗葉 / 羅蜜歐」活動，本局即藉由搭乘高雄開往臺東之列車，沿途停靠多個車站進行單車深度旅遊，並開放鐵路秘站－屏東枋野站與臺東多良站，沿路讓旅客欣賞南迴鐵道原始森林生態景觀的山海。再如高雄運務段為因應「瘋單車」之趨勢，推出兩鐵列車，一路直駛臺東，深獲得單車族熱烈回響；屏東縣單車推廣教育協會隨即響應舉辦「鐵馬奔騰 bike 訪後山」活動，單車族從高雄上車，抵達臺東後，騎鐵馬暢遊卑南文化園區、小野柳，晚上住宿娜路彎飯店，隔日再騎愛車繞遍臺東環市自行車道。

依「表 1.交通部臺灣鐵路管理局郵輪式列車開行（票款收入）統計表」顯示，郵輪式列車自 97 年 8 月開行，97 年共開行 26 列次，旅客人數達 6,919 人次，票款收入合計 2,614,521 元；98 年第 1 季開行 33 列次，票款收入 3,147,514 元；第 2 季開行 34 列次，票款收入 4,345,911 元。本局為因應觀光旅遊與休閒活動的發展而推出遊輪式列車，除有效促進觀光旅次，增加本業營運收益外，亦有助於提升企業形象。

表 1 交通部臺灣鐵路管理局郵輪式列車開行（票款收入）統計表

運務段別	資料月份	9708-9712	9801-9803	9804	9805	9806	98 年總計
臺中	開行列次	4	6	2	2	3	13
	旅客人數	1,065	1,412	485	620	641	3,158
	票款收入	229,952	645,088	309,513	408,461	404,772	1,767,834
臺北	開行列次	4	5	2	3	4	14
	旅客人數	948	1,231	595	856	884	3,566
	票款收入	514,473	573,364	245,092	508,409	515,601	1,842,466
宜蘭	開行列次	7	13	3	1	4	21
	旅客人數	2,071	2,660	811	175	739	4,385
	票款收入	625,706	756,750	248,424	45,647	374,144	1,424,965
花蓮	開行列次	5	5		1		6
	旅客人數	1,203	1,013		173		1,186
	票款收入	589,538	641,212		97,428		738,640
高雄	開行列次	6	4	3	2	4	13
	旅客人數	1,632	929	768	569	1,178	3,444
	票款收入	654,852	407,046	379,864	258,216	550,340	1,595,466
開行列次合計		26	33	10	9	15	67
旅客人數合計		6,919	7,255	2,659	2,393	3,442	15,749
票款收入合計		2,614,521	3,147,514	1,182,893	1,318,161	1,844,857	7,493,425

※第1季：開行 33 列次，票款收入 3,147,514 元。
※第2季：開行 34 列次，票款收入 4,345,911 元。

資料來源：本局運務處。

四、未來展望

1908 年縱貫線完工後，鐵道部即設有「旅客係」負責旅客招徠與宣傳等事務，1937 年鐵道部為負責臺灣觀光事業，正式在運輸課下設「觀光係」，顯示鐵道部對臺灣觀光事業發展一直居於主導地位（蔡龍保，2009），可見觀光旅遊市場應是本局正視發展的事業之一。

配合觀光、文化或休閒等活動，作出合時適勢的配套措施，除有效促進觀光旅次，增加本業營運收益外，亦有助於提升企業形象；倘本局能強化本身的提升觀光行銷企劃能力，搶攻觀光旅遊與休閒事業的市場，相信對本業營運與附業發展，均具有正面的效益。

本局若能掌握此一趨勢，配合「鐵路法部分條文修正草案」通過後作出合時適勢的配套措施，除能提升本業營運收益外，相信也能帶動附業經營的利基，並進而產生土地開發的效益，是相當值得開發的潛在市場。

五、結論與建議

旅運需求屬於引申需求，是整體社會經濟環境下的一種靜態結果，而觀光旅遊與休閒活動的興起，是足以促進此一靜態結果有所提升的主要原因，倘本局能強化本身的提升觀光行銷企劃能力，並善用合時適勢的配套措施，相信對旅運需求的提升有一定的正面效果。

本局刻正戮力推動「鐵路法部分條文修正草案」，其重點在於增加土地開發與附業經營的自主性機制”另積極推展彰化扇形車庫、舊山線及三支線（內灣、集集、平溪）等觀光旅遊促參建設案，對鐵路文化經營與拓展鐵道知性旅遊及開創企業行銷能力等”均有正面之意義。

參考文獻

1. 范植谷等人（2008.5.8），「赴日本洽談傾斜式列車採購及考察鐵路營運管理」，交通部臺灣鐵路管理局出國考察報告。
2. 張清溪、許嘉棟、劉鶯釧、吳聰敏（2007.9），「經濟學（第三版）」，臺北：翰蘆圖書出版有限公司。
3. 夏玉泉（2007.6.3），「從引申需求看產品與投入要素關係」，亞洲國際工商資訊。
4. 蔡龍保（2009.2.12），「日治時期臺灣總督府鐵道部的觀光經營」，2009 文化資產及古蹟保存修護活化再利用教育訓練計畫，交通部臺灣鐵路管理局主辦。
5. 人間福報（2009.2.17），“朝拜媽祖 坐臺鐵追福”。
6. 自由時報（2009.1.08），“瘋單車 兩鐵列車 半年逼近萬人次”。
7. 中央社（2009.1.21），“情定鐵道緣單身聯誼 兩鐵陸上郵輪 2 月上路”。
8. 自由時報（2008.6.15），“火車載單車 首次遠征花東”。

編後語

時序入冬，窗外的氣候有如戀人之間的愛情，變化無常，兩三天高溫有如熱情，而後又突然的驟降，而馬路旁羊角蹄樹在 12 月天的臺北開滿了花，氣候在變，大自然界也在變，所有原來規律的律動出現了不規則的變化。

氣候變遷議題全球蔓延的同時，臺灣的聖誕節氣候從 10°C 以下瞬間上升，讓街頭有一個暖陽陽的耶誕夜；臺鐵資料繼第 339 期介紹「都會區鐵路車站以特種建築物研擬防災計畫之對策與案例研析」後，本（340）期承蒙本局林副總工程司將原本計劃出書的大作割愛，分享多年來的寶貴經驗登載「軌道配置之原理與實務」，從理論分析說明及實務經驗深入淺出研析，實為難得之著作，謹先在此致謝，而「主吊線 49.5mm²更換為 95 mm²吊掛線長度之計算」則配合臺鐵捷運化計畫執行，所作之系統更新技術文章，也是臺鐵民國 68 年電氣化之後，首次的供電系統吊掛線升級，「從引申需求的觀點看觀光發展與旅運需求」亦是就鐵路附屬事業發展另一面向的介紹。

歲末年終，「臺鐵資料」從 98 年改版以來已歷時 1 年，編輯群雖極力在內容編纂上求各面向平衡，惟仍然無法突破，稿源短促依然是最大的挑戰。宗喀巴大師說，觀功念恩；感謝這 1 年來對臺鐵資料奉獻及協助的每個人及每一份友情。

徵稿須知

臺鐵資料約稿

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臺，以使各項成果得以具體展現，歡迎國內外軌道界人士、學術研究單位及本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三號五樓，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：02-23815226 轉 3338；傳真：02-23831367；E-mail：tr752895@msa.tra.gov.tw。

「臺鐵資料」撰寫格式

中文題目

(中文標題字型大小為 18 點字粗體，置中對齊，與前段距離 1.5 列，與後段距離 0.5 列，單行間距。)

TITLE

(英文標題字型大小為 16 點字粗體，置中對齊，與前後段距離 1 列，單行間距。)

中文姓名 English Name²

中文姓名 English Name³

聯絡地址

電話

電子信箱

摘要 (字型大小為 16 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。)

摘要內容 (中文字型大小為 12 點字；英文字型大小為 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。)

關鍵詞 (字型為中黑體為粗體 12 點字)：關鍵詞 (字型為中黑體 12 點字，關鍵詞 3 至 5 組。)

Abstract

Abstract

Keywords (*Times New Roman* 粗體): *Keyword* (關鍵詞字型為 *Times New Roman*，關鍵詞 3 至 5 組。)

標題 1 (字型為 16 點字**粗體**，與前、後段距離 1 列，置中對齊，單行間距，以國字數字編號 **【一、二】**。)

內文 (字型大小為 12 點字。第一行縮排 2 個字元，與前、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)。)

標題 2 (字型為 14 點字**粗體**，與前、後段距離 1 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (**【1.1、1.2】**)。)

內文 (字型大小為 12 點字，左右對齊，與前、後段距離為 3 點，單行間距。第一行

².中央大學土木系教授 (聯絡地址：320 桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號，電話：03-4227151，E-mail:author@cc.ncu.edu.tw)。

³.中央大學土木系碩士。

縮排 0.85 公分 (兩字)。文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)。

圖片標示：

圖 1 圖名 (圖名字型大小為 12 點字，置中對齊，圖之說明文字置於圖之下方，並依序以阿拉伯數字編號 (圖 1、圖 2)。

標題 3 (字型為中黑體 12 點字**粗體**，與前、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 (字型大小為 12 點字，左右對齊，與前、後段距離為 3 點，單行間距。第一行縮排 0.85 公分 (兩字)。文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)。

表 1 表名 (表名字型大小為 12 點字，置中對齊，表之說明文字置於表之上方，並依序以阿拉伯數字編號 (表 1、表 2)。

內文^[1] (引用資料，註明出處來源，以大引號標註參考文獻項次，字型大小為 12 點字，上標)

參考文獻

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. http://www.motc.gov.tw/ana/20061220173350_951220.wdl。
4. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
5. 汪進財 (2003)，我國航空保安發展策略之研究，交通部科技顧問室委託研究。
6. 林淑姬、黃櫻美 (2006)，關係資本之衡量與管理，收錄於智慧資本管理，鄭丁旺 (編)，頁249-271，臺北：華泰文化。
7. 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。
8. 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.
9. 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.
10. Lan, L. W. and Huang, Y. S. (2005), "A Refined Parsimony Procedure to Investigating Nonlinear Traffic Dynamics," Proceedings, 10th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp. 23-32.
11. Menendez, M. and Daganzo, C. F. (2007), "Effects of HOV Lanes on Freeway Bottlenecks," Transportation Research Part B, Vol. 41, No. 8, pp. 809-822.

刊 名：**臺鐵資料**

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部臺灣鐵路管理局

機關地址：10041 臺北市中正區北平西路 3 號 5 樓

機關電話：(02)23899854

網 址：<http://www.railway.gov.tw>

編 者：臺鐵資料編輯委員會

出版日期：中華民國 98 年 09 月

創刊日期：中華民國 52 年 10 月

版 次：初版(電子全文同步登載於臺鐵網站)

定 價：新臺幣 200 元

展售門市：

(1) 國家書店松江門市

地址 10485 臺北市松江路 209 號 1 樓 TEL：(02)25180207

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

(2) 五南文化廣場(<http://www.wunanbooks.com.tw>)

地址：40042 臺中市區中山路 6 號 TEL：(04)22260330

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。

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

ISSN : 1011-6850



9 771011 685005

GPN : 2005200020

定價：新臺幣 200 元

臺鐵資料季刊第三四〇期 TAIWAN RAILWAY JOURNAL NO 340 中華民國98年12月出版