

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
湯坤仁 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

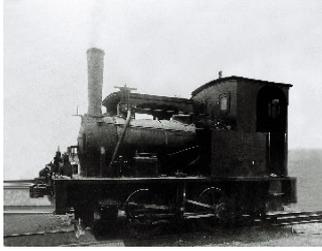
電子信箱：tr393352@msa.tra.gov.tw

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 北平西路 3 號 5 樓



御風號

目錄

CONTENTS

- 1 鐵路平面線形之迴歸分析 陳文德
Regression Analysis of Railway Horizontal Alignment
- 29 轉向架系統之乘坐舒適度研究
Bogie System Ride Comfort Research
彭聖橋、王宜達、江耀宗
- 54 軌道車輛連結器之研究
The Study of Rail Vehicles Coupler
林志陽、王宜達、江耀宗
- 75 傳統客車照明技術研究
The Study of Traditional Passenger Cars
Lighting Technology
張簡慶豐、陳銘政
- 83 SMEE 氣軔系統介紹 江正龍
SMEE Air Brake System
- 93 50N#8 關節式 PC 枕道岔研製 張慶生
50N#8 Articulated Pillow Turnout PC
Development
- 98 編後語
- 99 徵稿須知
- 102 勘誤表

鐵路平面線形之迴歸分析

Regression Analysis of Railway Horizontal Alignment

陳文德 CHEN, Wen-Te¹

地址：26844 宜蘭縣五結鄉文德路 35 巷 10 號

Address：No.10, Ln. 35, Wunde Rd., Wujie Township, Yilan County 26844

電話：03-9561909

Tel：03-9561909

電子信箱：tr411820@msa.tra.gov.tw

E-mail：tr411820@msa.tra.gov.tw

摘要

鐵路軌道平面線形是由直線、圓曲線及緩和曲線所組成，軌道線形會在施工偏差、列車行駛衝擊、軌道養護不佳或其他外力等因素影響下造成變形。其中曲線路段更因列車離心力的作用，其線形偏移成爲常態且會日趨嚴重。當軌道線形發生變動不整時，對高速列車行駛之車輪循跡平滑性會產生重大影響。

本研究旨在探討既有軌道線形之迴歸分析方法，傳統的曲線整正分析法是針對存有不整曲率之曲線段做局部整正，簡單易行且能配合現場修正移程。而在數值座標迴歸分析法方面，本研究則提出以最小二乘法理論模式（Least Square Estimation, LSE），作爲線形迴歸分析的參數估計方法，建構迴歸分析矩陣作爲運算求解工具，並觀察取樣點座標值在迴歸前後之誤差變化，來推估最適線形。

在本研究中所建構之數值座標迴歸方程式，經採用臺鐵縱貫線基隆至高雄間已重測完成之鐵路線形座標資料，取其中的三個實例作爲演算驗證，已確認本研究方法之正確性及實用性。

Abstract

The railway track horizontal alignment is composed by straight, curve, and transition curve. The distortion of the track will happen under the conditions of construction errors, impact of the train passing by, improper maintenance of the railway, or distorted by some external forces. Among different types of track for curve constantly occurs and becomes worse as time elapses because of the centrifugal force of the train applying on the rail. When the distortion of the track happens, there will be a serious impact to the wheels of the high speed train.

The topic of this research is to investigate the regression analysis method of the railway horizontal alignment. The curve-refining analysis is aimed at correcting the locally irregular period. It is easy to be performed

1. 本局宜蘭工務段養護主任陳文德

and can be coped with the refined distance. By the numerical coordinate regression analysis, constructing the regression analysis matrix as the tool to compute the solution under the Least Square Estimation theory, also the differential error of the sampled coordinate values before and after the regression are observed to estimate the optimal alignment.

Three real cases have been used to validate the numerical coordinate regression analysis constructed in this research. The data sets are obtained from the newly surveyed railway alignment coordinate of the Taiwan railway Western Line from Keelung to Kaohsiung. The results show both correctness and practicability of this research.

一、緒論

臺灣地區的鐵路創建於 1887 年，迄今已有 122 年的歷史，而早期鋪設之軌道結構均是石碴軌道，累積至今長度超過 2000 公里。在石碴軌道結構中，鋼軌及枕木組合而成之軌框是裝置於碎石道碴中，而石碴為顆粒組成，在列車巨大車輪輾壓推動衝擊下，整個軌道是呈柔性且活動狀態的。



圖 1 鐵路軌道為直線與曲線之結合

1.1 影響軌道線形準確性之原因

如圖 1 所示之鐵道，軌道線形是直線與曲線結合而成，以宜蘭線鐵路為例，八堵至蘇澳間里程長 94 公里，雙線軌道合計長 188 公里，其中直線路段長度 108.1 公里，佔全線總長度的 57.5%，而曲線路段長度 79.9 公里，佔全線總長度的 42.5%，曲線數量總計有 278 處，屬於曲線密集之路線。

鐵路列車以車輪循跡於鋼軌行駛，故軌道線形之準確性是影響列車平滑行駛之主要關鍵。鐵路線形會發生曲率不正確、線形不整或變形之情形，主要原因如下：

- 1、臺鐵某些興建年代久遠之軌道，因興建當時經濟尚未發展，行車標準較低，採用次級之速度標準作設計條件，故精度要求不高。且早期缺乏精密儀器與技術，施工標準較低，或因施工誤差而產生許多曲率不正確之線形，甚至有曲率半徑與設計值不符之情況。
- 2、當軌道受列車行駛作用時，對直線路段的變位影響較小，但在曲線路段則會因離心力作用而產生橫向壓力，長期作用累積下逐漸導致曲率不整或變形。

3、路線養護人員在日常維修中對軌道進行撥道、砸道等養護工作，使線形產生偏移或變位，而長期之慣性整修亦會使線形日趨變形。

這些曲率不精確之問題，在以前鐵路舊有列車速度不高的時候影響並不大，例如宜蘭線在民國 70 年代雙軌擴建完成通車後，自強號設計行車速度僅 95km/h。至 92 年間因鐵路電氣化完成，配合時代趨勢將現有自強號速限提高至 130km/h，但是既有軌道之線形並未變動或改線。而行車速度愈高，則對線形之精密程度要求也愈高，曲率線形不良即造成嚴重問題。

1.2 迴歸線形之方法

臺鐵於 96 年引進具有主動傾斜系統之太魯閣號列車，即必須精確讀取線形資料，經由電腦計算決定列車傾斜角度與時間，以傾斜機構抵消部分離心力，故其在曲線上可比一般列車提高 20~25km/hr 行駛，但前提是線形必須準確，否則將加大其搖晃程度甚或有出軌之危險性。太魯閣號於 96 年 1 月至 3 月間於臺鐵宜蘭線及北迴線試運轉時，曾檢測軌道線形之正確性，即發現有部份線形不整或資訊不正確，導致脫軌係數過高之情形。本案經養路單位全面整修，採用抽換鋼軌、鋼軌接頭整正及調派砸道車砸道等養護方法，已將脫軌係數值降低至安全範圍。但經量測出有部份曲率發生變動之曲線，若要加以改善整正仍需經由實際測量及迴歸分析才能求得最正確之曲率，並無其他捷徑，而鐵路系統常用迴歸線形之方法有二種：

- 1、曲線整正法：屬於傳統工法，利用釘樁並量測各樁位之曲線正矢，依據曲線整正計算表及其公式，可求解其現場正確半徑及緩和曲線長度，並可算得各測點之移程，經撥道後能獲得良好曲率之線形。因本法所需工具和人力均簡單易行，故在 20 世紀初期至 80 年代間是鐵路養護部門所常用之線形迴歸方法。
- 2、線形座標數值迴歸分析法：以經緯儀對軌道線形測量取樣，取得線形測點座標後，再運算求解其實際曲線半徑等各項條件，取得真實資訊或作為釘樁撥道整正之依據。數值迴歸分析法是近代因應測量技術與儀器的發展，及地理資訊系統的建置，所發展的座標數值迴歸分析法，必須採用現代精密儀器及技術才能施作。

本研究分別以曲線整正分析法及座標數值迴歸分析法作深入研討，並以座標數值迴歸分析方法作為研討重點。座標分析法是以測量平差領域中常用之最小二乘法為基礎，建構軌道線形座標數值迴歸分析之方程式與矩陣，作為運算求解工具，並以實例作迴歸計算，以驗證其可行性。最後取臺鐵現有軌道之重測後線形座標資料，作為應用與研討。

二、鐵路平面線形特性

鐵路行車速度依路線種別和軌道強度而不同，目前臺鐵規章所定最高速度為 130km/h，臺灣高鐵則為 300km/hr。在直線路段，只要軌道強度足夠並無限速問題，故影響列車最高速度之關鍵在於曲線路段之條件，曲線半徑愈大則容許行車速度愈快。但在闢建鐵路時常因考量減少挖填方或用地取得難易度及工程費等原因，而設計採用較小之曲線半徑，在山區路段更因受限於地形而常產生

連續且密集之曲線群。以臺鐵宜蘭線為例，列車能行駛最高速度之區段所佔比例甚短。

2.1 曲線半徑與各種列車速度之關係

臺鐵行駛於路線上之車種複雜，有貨物列車、普通車、行包專車，電聯車、復興號、莒光號、柴電自強號（DMU 型）、推拉式自強號（PP 型）、區間快車（EMU700 型）及傾斜式列車等，但對曲線限速則統分為三類：

- 1、一般列車限速：為動力集中型車種，例如莒光號、復興號、機車牽引之普通車，及貨物列車等，均屬機車頭牽引之列車，在路線上所設之曲線限速牌即依此速限設置。
- 2、機動列車限速：為動力分散型車種，例如推拉式自強號、柴電自強號及電聯車等，其速度為一般列車限速值再加 5 公里，作為列車限速。
- 3、傾斜式列車限速：為臺鐵最新車種，於 96 年 5 月開始營運，因其車輪轉向架之特殊結構設計，通過曲線之限速較一般列車可提高 20 公里至 25 公里。該車原設計之最高速度可達 160 公里，但受限於臺鐵商業運轉速度，故最高速度仍限制在 130km/h 以內。

有關臺鐵三類車種通過曲線速度之關係如圖 2 所示[臺鐵行車實施要點,2005]。

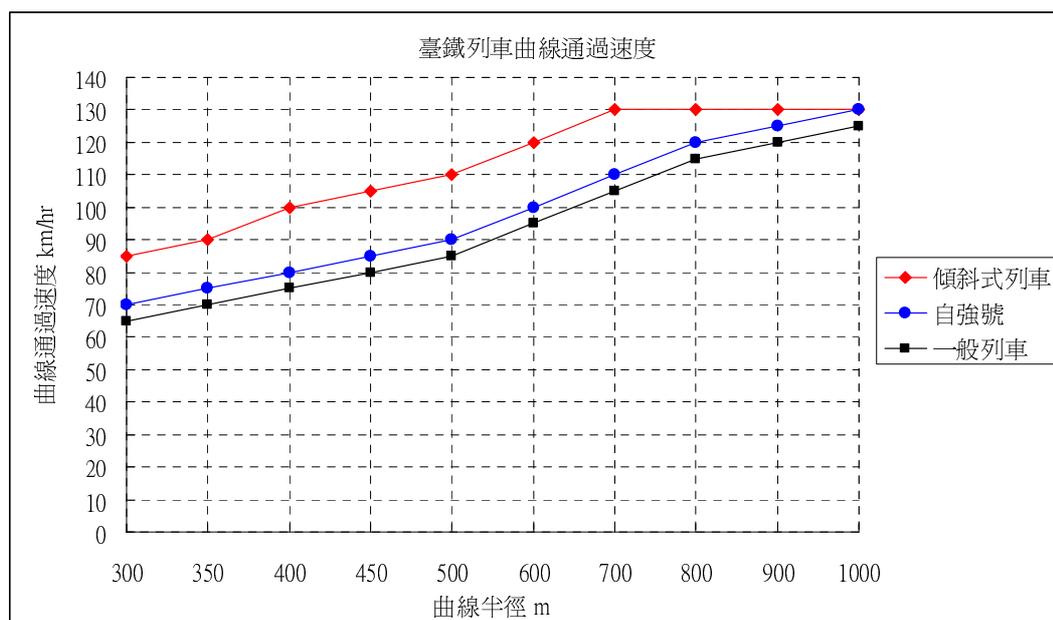


圖 2 臺鐵列車通過速度與曲線、車種之關係

2.2 緩和曲線

軌道線形在曲線段與直線段之間所加設之漸變曲線謂之緩和曲線，其原理是將緩和曲線全長之一半插入於圓曲線段，另一半插入於直線段，如圖 3 所示。

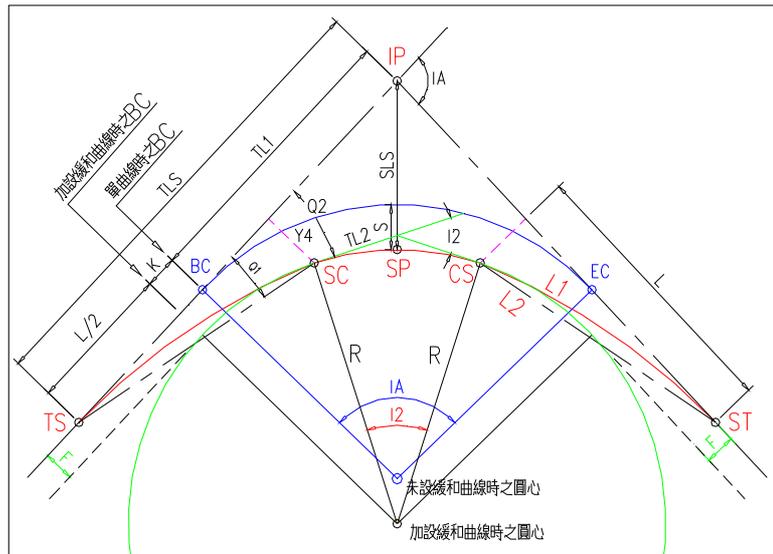


圖 3 圓曲線加入緩和曲線架構圖

緩和曲線功能有三種：

- 1、第一種為銜接曲率之變化，在正線軌道上行駛列車因速度快，從直線路段進入曲線路段時，列車會從曲率趨近於零的直線突然進入圓曲線內，將產生激烈之曲率變化，導致列車激烈搖晃，甚至產生出軌翻覆的潛在危險性。故必須在圓曲線段與直線路段間插入緩和曲線，將曲率半徑由無限大導引至圓曲線之曲率，使列車圓滑通過。
- 2、第二種功能為銜接超高度之變化，在圓曲線路段所設置之超高度必需在緩和曲線內將其遞增（或遞減）完成，也就是將直線段之零超高，透過緩和曲線段調整至曲線段之設計超高度，以維護列車行車安全和舒適性。
- 3、第三種功能為銜接軌距加寬度，因為軌距無法突然改變寬度，故必須將圓曲線內之軌距加寬量在緩和曲線中遞增（減）漸變完成。

臺鐵採用三次拋物線作為緩和曲線，其優點為符合曲率、超高、軌距加寬漸變需要，且施設、量測及養護容易。缺點為其曲率變化屬直線遞減，故在圖 3 之直線終點及緩和曲線起點 TS，緩和曲線終點及圓曲線起點 SC，圓曲線終點及緩和曲線起點 CS，緩和曲線終點及直線起點 ST 等曲率變化點處，曲率和超高度會有遞變不連續的狀況，高速列車通過時，其動搖性會較採用正弦半波長遞減曲線（臺灣高鐵採用）或四次拋物線（歐美之高速鐵路所採用）者為大，但與克羅梭曲線相當。

三、曲線整正分析法

在測量儀器及電腦不普及的年代，軌道線形的整正常採用曲線整正分析法，本工法只需要細線、鋼尺及木樁等簡單工具即可完成量測取樣，而計算過程中只需運用加、減、乘、除等簡單功能，亦即是用紙筆即可將曲線迴歸計算完成。除了曲線整正計算過程較為複雜外，測量釘樁及撥道整正等工作由一般軌道養路工人就能勝任，並不需要精密測量儀器及專業測量人員，而當曲線整

正完成後其結果亦能符合行車需求。故在曲線分析及整正上，本工法所需資源及成本最低，且施工快速，實是簡單易用之工具。

3.1 曲線整正原理

曲線整正的關鍵在於曲線的正矢，截取曲線的一段，連接其兩端的直線即是“弦”，對此弦取直角，引至曲線之直線為“矢”，位於弦的中央矢即為“正矢” [關英琦,1952]。

如圖 4 所示， \overline{CD} 即為弦， \overline{AE} 為該弦之正矢，依照幾何定理：

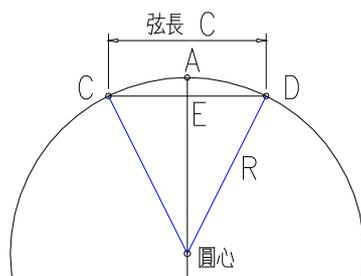


圖 4 圓曲線正矢原理

$$\overline{AE} \times \overline{BE} = \overline{CE} \times \overline{DE}$$

$$\text{則 } \overline{AE} = \frac{\overline{CE} \times \overline{DE}}{\overline{BE}} \dots\dots\dots(1)$$

其中 \overline{AE} 即為正矢，以 M 表示，而 \overline{BE} 為未知數，但因鐵路之曲線半徑一般均甚大，相對之下弦長甚小（一般在 20m 以下），故在實務之曲線整正上，未知數 \overline{BE} 均採用圓之直徑 $=2 \times R$ ，其計算所得差異極小。設弦長為 C ，得正矢

$$M = \frac{\frac{C}{2} \times \frac{C}{2}}{2R} = \frac{C^2}{8R} \dots\dots\dots(2)$$

3.2 正矢與曲率之關係

正矢之量測方法如圖 5 之量測示意圖。

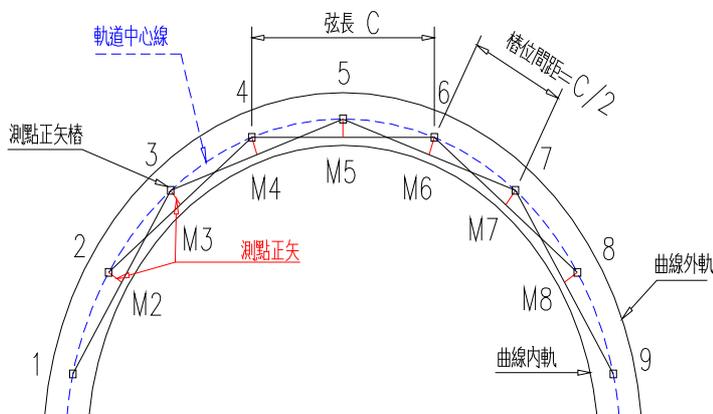


圖 5 曲線正矢樁量測示意圖

在圓曲線內，曲線上任何一點以 C 之弦長量測其正矢，若曲率準確線形未偏移，則量得之各點正矢 $M_2 \sim M_8$ 均應相等。再如圖 6 曲線偏移後對相鄰正矢之影響示意圖所示，若現有軌道在第 6 點處發生向外偏移，即造成曲率不整，則量測各點正矢時會同時影響前（第 5 點）、後（第 7 點）等共計 3 點的正矢。當第 6 點從標準正矢之位置向外偏移 K 時，則其前、後兩點之影響程度，為正矢各減少 $K/2$ 。在實務上，正矢的偏移是呈不規則分佈變化的，其影響亦有連續性，但計算原理相同。

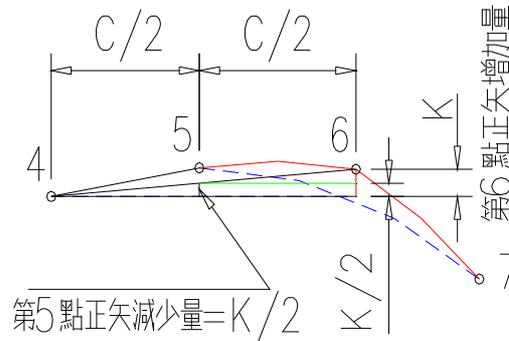


圖 6 曲線偏移後對相鄰正矢之影響示意圖

設有一曲線，半徑為 500m ，以 20m 之弦長量測其正矢應為 100mm ，若曲率完整並未發生變形，則各點的正矢均應相等，即是從第 2 點至第 8 點的正矢合計為：

$$M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8 = 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 = 700\text{mm}$$

假設上述曲線有二處不整，第 5 點向曲線內側（圓心側）偏移 20mm ，而第 6 點向外側偏移 40mm ，其相互影響所得之正矢量如圖 7 所示，則正矢合計 $= 100 + 100 + 110 + 60 + 150 + 80 + 100 = 700\text{mm}$

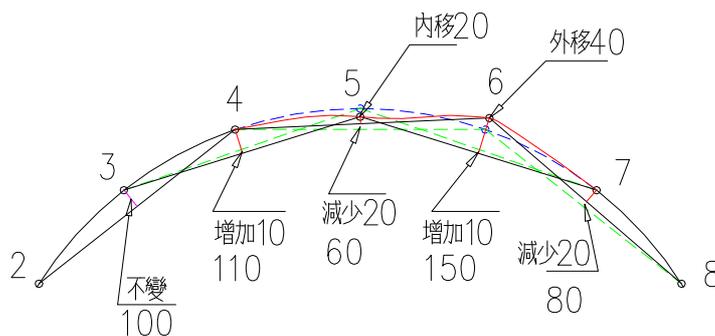


圖 7 第 5 點及第 6 點偏移後之正矢變化圖

從上述計算可知，在曲線內若發生曲率不整並不影響其正矢總和，此一特性遂能發展出曲線整正的方法，用以量測之正矢誤差變化，和曲線整正的計算步驟和工法。

3.3 施工步驟

- 1、選定弦長：一般常用 10m，15m 及 20m 等整長作為弦長。
- 2、打設正矢樁：如圖 3-7 所示，在軌道現地打設正矢樁，作為量測及移程修正之依據，正矢樁之間距（或稱點長）為選定弦長之 1/2，正矢樁之位置可設於軌道中心或距鋼軌一定距離處，正矢樁應超出全曲線段範圍，即是包含一部份直線段。
- 3、量測現地正矢：以細線作為弦，並以鋼尺（或折尺）量測各弦之中點現地正矢，如 f_1 、 f_2 、…… f_8 等數值。
- 4、填寫曲線修正表，將測點及現地正矢填入。
- 5、計算計畫正矢：依原設計半徑推算計畫正矢及緩和曲線段正矢率。
- 6、進行曲線修正計算，由現地正矢的合計值及所定的曲線半徑求曲線長。
- 7、求正確曲線的始終點位置。
- 8、做第 1 次曲線修正表計算，以取得在標準值時各測點所需撥道移程。
- 9、並檢討各測點移程之可行性，最大內移量及最大外移量之比較分析，及不動點狀況，再作修正並執行第 2 次或第 3 次曲線修正表計算，以取得最後定案之曲線修正數據。
- 10、研擬軌道維修封鎖計畫，申請辦理路線封鎖，並準備機具及人力，根據各測點現場樁位的移程，施作曲線修正工作。

3.4 曲線修正計算表

曲線修正計算表之計算方法如表一所示，一般需經一次以上之修正計算才能定案。在第 1 次計算時，先採用原始半徑和緩和曲線長作為標準值。依序計算各點樁位，將計算正矢換算後填入表一內之計畫正矢欄，並依據曲線修正計算法算出各值，接著再進行修正計畫正矢[陳文德,2008]。

表一 曲線修正計算方法

測點	現地正矢	計畫正矢	正矢差	差累計	半移程	移程
1	f_1	M_1	$f_1 - M_1 = d_1$	d_1	0	0
2	f_2	M_2	d_2	$d_1 + d_2$	d_1	$2d_1$
3	f_3	M_3	d_3	$d_1 + d_2 + d_3$	$2d_1 + d_2$	$2(2d_1 + d_2)$
4	f_4	M_4	d_4	$d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	$3d_1 + 2d_2 + d_3$	$2(3d_1 + 2d_2 + d_3)$
5	f_5	M_5	d_5	$d_1 + \dots + d_5$	$4d_1 + \dots + d_4$	$2(4d_1 + \dots + d_4)$
6	f_6	M_6	d_6	$d_1 + \dots + d_6$	$5d_1 + \dots + d_5$	$2(5d_1 + \dots + d_5)$
...
...
n	f_n	M_n	d_n	$d_1 + \dots + d_n$	$(n-1)d_1 + \dots + (n-1)d_n$	$2[(n-1)d_1 + \dots + d(n-1)]$

3.5 案例說明

本節以臺鐵宜蘭線編號 IE113 曲線作為實例，如表二之曲線整正第 1 次計算表，該曲線位於羅東車站南端之東正線，原始曲線半徑為 600m，換算其標準正矢依公式計算得標準計畫正矢 $M=83.333\text{mm}$ ，但因第 14 點位於平交道內，且限制移動 2mm。



圖 8 鐵路宜蘭線 IE113 號曲線現況（羅東車站南端）

3.5.1 曲線條件

曲線起點：K80+357.131

曲線終點：K80+557.869

曲線全長：200.738m

半徑 R：600m

緩和曲線 L：60m

曲線方向：左向

因曲線內有一處平交道（中山東路平交道），且曲率不整致列車搖晃嚴重，整修當時因考量平交道屬交通要道車多擁擠，避免移程過大影響鐵公路交通，乃決定採用曲線整正法，以限制平交道上之軌道移程。選用之弦長 $C=20\text{m}$ ，則測點間距 $n=C/2=10\text{m}$ ，並測訂正矢樁及量測正矢。

表二 曲線整正第 1 次計算

編號：IE113 區間：羅東站內 里程：K80+357.131~K80+557.869								
半徑 R=600m 緩和曲線 L=60m 弦長 C=20m 測點間距 n=10m								
樁位 編號	現地正矢 mm	正矢累計 mm	計畫正矢 mm	正矢差 mm	差累計 mm	半移程 mm	全移程 mm	曲線樁位置以 測點間距 n 為單位
1	0	1254	0	0	0	0	0	
2	0	1254	0	0	0	0	0	
3	4	1254	0	4	4	0	0	
4	0	1250	0.041	-0.041	3.959	4	8	TS= 4.74
5	5	1250	4.55	0.45	4.41	7.959	16	
6	15	1245	17.501	-2.501	1.909	12.369	25	
7	22	1230	31.39	-9.39	-7.48	14.278	29	
8	40	1208	45.278	-5.278	-12.759	6.798	14	
9	58	1168	59.167	-1.167	-13.926	-5.961	-12	
10	65	1110	73.015	-8.015	-21.942	-19.887	-40	SC=10.74
11	86	1045	82.395	3.605	-18.337	-41.829	-84	
12	86	959	83.333	2.667	-15.67	-60.166	-120	
13	98	873	83.333	14.667	-1.004	-75.836	-152	
14	80	775	83.333	-3.333	-4.337	-76.84	-154	平交道限制移動 +2mm
15	74	695	83.333	-9.333	-13.67	-81.177	-162	SP=15.26
16	103	621	83.333	19.667	5.996	-94.847	-190	
17	83	518	83.333	-0.333	5.663	-88.851	-178	
18	80	435	83.333	-3.333	2.33	-83.188	-166	
19	93	355	83.311	9.689	12.018	-80.859	-162	CS=19.79
20	82	262	79.256	2.744	14.763	-68.84	-138	
21	72	180	66.499	5.501	20.263	-54.078	-108	
22	50	108	52.61	-2.61	17.653	-33.815	-68	
23	35	58	38.722	-3.722	13.931	-16.162	-32	
24	15	23	24.833	-9.833	4.098	-2.231	-4	
25	5	8	10.966	-5.966	-1.868	1.868	4	ST=25.79
26	3	3	1.132	1.868	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
合計	1254	19141	1254	0.003	0	-837	-1674	

3.5.2 現地正矢檢討

經量測現地正矢，可發現本曲線有若干特性，說明如下：

- 1、第 1~4 點及第 26~28 點均位於直線上，第 5~10 點及第 20~25 點位於緩和曲線上，第 11 點至第 19 點為圓曲線段。

- 2、在圓曲線段之第 15 點現地正矢=74mm，第 16 點現地正矢=103mm，第 17 點現地正矢=83mm，因測點間距甚短（僅 10m），則高速列車通過時，假如以時速 100km/hr 通過，則從第 15 點至第 16 點之通過時間為 $10\text{m}/(27.78\text{m}/\text{每秒})=0.36$ 秒，但正矢差達 $(74-103)=-29\text{mm}$ ，造成曲率變化過於激烈，通過第 17 點時又因正矢差 $=(103-83)=+20\text{mm}$ ，在極短時間反向回傾，故造成列車高速通過時而產生激烈搖晃。
- 3、移程合計達-1640mm，表示曲線大部分為向內撥移（圓心方向），另在移動量最大值部份，向外移撥之最大值為第 7 點之+29mm，向內移撥之最大值為第 16 點的-190mm，因平交道有三股道，經檢討其向曲線內方之移程過大，難以執行。
- 4、第 14 點位於平交道中點，移程達-154mm，與現況僅能移動 $\pm 2\text{mm}$ 之狀況不符，且差值達-152mm，實無法據以整正，必須作第 2 次計算，否則就必需改建平交道了。

3.5.3 曲線整正計算（第 2 次）

第 2 次計算即為對計畫正矢作修正，一般採用檢討全移程之值再作修正，其作法有三：

- 1、無限制點時，可將全移程之總和調整為 0，即撥道量之正、負值之總和約略相等，可得移動最少之結果，讓軌道變動較小。
- 2、無限制點時，亦可將全移程中之正、負最大值讓其相當，亦即向曲線內方及曲線外方之撥道距離相等，等於取其中間值作撥道，較不致出現大移程之情況。
- 3、有限制點時，則必須採用全移程符合該點限制值之計畫正矢來計算曲線整正表。

本例經調整計算，最終定案結果如表三所示，結果說明如下：

合理計畫正矢：M=86.455mm

緩和曲線：仍採用 L=60m

合理半徑換算：
$$R = \frac{C^2}{(\text{合理正矢}) \times 8} = \frac{20^2}{86.455 \times 8} \times 1000 = 578 \text{ m}$$

經第 2 次推算，第 14 點之移程已限制在+2mm，且採用之計畫正矢實已平順而無突變，故本曲線整正計算表已符需求。但原設計半徑為 600m，經曲線整正後實際半徑應為 578m，若據以修正則將造成曲線半徑和架構之改變，故整正完成後必須將曲線各值重新計算。

表三 曲線整正第 2 次計算

曲線整正計算表 (第 2 次)								
編號：IE113 區間：羅東站內 里程：K80+357.131~K80+557.869								
半徑 R=600m 緩和曲線 L=60m 弦長 C=20m 測點間距 n=10m								
樁位 編號	現地正矢 mm	正矢累計 mm	計畫正矢 mm	正矢差 mm	差累計 mm	半移程 mm	全移程 mm	曲線樁位置 以測點間距 n 為單位
1	0	1254	0	0	0	0	0	
2	0	1254	0	0	0	0	0	
3	4	1254	0	4	4	0	0	
4	0	1250	0	0	4	4	8	
5	5	1250	2.319	2.681	6.681	8	16	TS= 5.01
6	15	1245	14.242	0.758	7.439	14.681	29	
7	22	1230	28.651	-6.651	0.789	22.121	44	
8	40	1208	43.06	-3.06	-2.271	22.909	46	
9	58	1168	57.469	0.531	-1.741	20.638	41	
10	65	1110	71.878	-6.878	-8.619	18.897	38	
11	86	1045	83.969	2.031	-6.588	10.278	21	SC=11.01
12	86	959	86.455	-0.455	-7.043	3.691	7	
13	98	873	86.455	11.545	4.503	-3.352	-7	
14	80	775	86.455	-6.455	-1.952	1.151	2	平交道限制 移動+2mm
15	74	695	86.455	-12.455	-14.407	-0.801	-2	SP=15.26
16	103	621	86.455	16.545	2.138	-15.209	-30	
17	83	518	86.455	-3.455	-1.317	-13.071	-26	
18	80	435	86.455	-6.455	-7.772	-14.388	-29	
19	93	355	86.183	6.817	-0.955	-22.16	-44	CS=19.52
20	82	262	79.155	2.845	1.89	-23.115	-46	
21	72	180	65.076	6.924	8.814	-21.224	-42	
22	50	108	50.667	-0.667	8.148	-12.41	-25	
23	35	58	36.258	-1.258	6.89	-4.262	-9	
24	15	23	21.848	-6.848	0.042	2.628	5	
25	5	8	7.711	-2.711	-2.67	2.67	5	ST=25.52
26	3	3	0.331	2.67	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	
合計	1254	19141	1254.002	-0.001	-0.001	1.672	2	

四、線形座標測量方法與迴歸步驟

本研究採用『臺鐵路線養護圖資及 GIS 建置工程』案內「軌道中線測量」項目所測得線形成果座標，做為迴歸計算分析。臺鐵在辦理軌道中線測量時即引進 Leica GRP3000 型軌道檢測車，來進行軌道線形量測，其最大優點是可以密

集取樣且精度較高[Leica,2005]。

4.1 線形迴歸計算步驟

軌道線形迴歸分析之計算過程須依順序執行，而鐵路軌道平面線形實際上僅有三種，即為直線、圓曲線及緩和曲線（三次拋物線）結合而成，而三種線形各有特性，需分別作迴歸分析。其迴歸分析步驟分別如下：

4.1.1 直線路段迴歸方法

- 1、參考舊有之路線中心設計資料，並將取樣資料換算出相鄰觀測點之方位角，先區分直線路段之點位，以最小二乘法平差迴歸計算，求出最適現況之直線段。
- 2、第 1 次迴歸所得線形是“最或是值”切線，與各測點間之誤差值是最少的，但還需要檢討它延伸至相鄰曲線時之影響，若造成另一端曲線之 IP 交角產生較大之變化，則該曲線架構將產生改變，故必須兼顧線形的連續性。
- 3、根據迴歸所得各直線段之延伸線定出交會點（IP 點）及交角，再比對原設計線形之交點距離與交角，以取得兼顧原設計及現況之最適直線段。

4.1.2 圓曲線路段迴歸方法

- 1、將取樣測點先予檢算，以區分屬於圓曲線段內之各取樣點，再以最小二乘法平差公式對圓曲線作迴歸計算，以取得圓曲線段最或是值之半徑及圓心座標。
- 2、第 1 次迴歸所得之圓心座標與半徑是圓曲線內各測點偏移量最小時所得之結果，但在套入曲線整體架構運算（用交角和半徑、緩和曲線套入臺鐵公式）後，所得之曲線幾何圖形座標與迴歸值常有相對偏移，而各點殘差亦會改變。
- 3、利用迴歸所得之直線段延伸線交會點（IP 點），將原始設計半徑及緩和曲線長代入計算，比對其與實際取樣資料的支距，以取得兼顧原設計之最適曲線之半徑及緩和曲線。

4.1.3 緩和曲線路段之推算分析

- 1、緩和曲線為三次拋物線形，屬於漸變曲線，因公式複雜目前尚未發展出最小二乘法之迴歸方程式，但臺鐵在正線上之緩和曲線均是兩端對稱，因此可根據 IP 點與圓心座標以臺鐵曲線公式來推算緩和曲線之座標位置。
- 2、用曲線公式推算所得緩和曲線線形，與實測取樣點做比對校差，取得各觀測點之偏移量，作為比較分析之依據。

4.2 迴歸線形之淨空檢核

為免迴歸所得之線形失真，除了必須檢核現場觀測點之偏移量，和原始

設計線形之偏差值之外，另需檢討是否影響結構物的淨空。在鐵路軌道沿線有許多週邊結構物與設備，例如月台側之軌道即屬難以移動之處所，故最後迴歸所得線形仍需作淨空之檢核，必要時反覆進行上述步驟作多次迴歸分析，並參考鐵路工務規章規定，以求出最適宜之迴歸線形。

4.3 曲線條件及現場標誌重設

迴歸線形確定後，則重新計算取得正確之曲線條件及各樁位座標並重設里程及曲線標誌：

- 1、 依據臺鐵曲線公式重算曲線各值及曲線樁位 TS、SC、CS、ST 之座標及里程。
- 2、 依據迴歸分析所得之半徑及緩和曲線長度，並參考鐵路規章規定，重新計算迴歸完成路線之速限及超高等條件。
- 3、 軌道重測後，會將長久以來所存在之里程長短鍊消除，曲線部份也會因迴歸分析而造成數值及曲線樁位改變。故在迴歸分析完成後，需以重算後之線形資料及新里程值重新釘樁，並移設新里程標及曲線樁位標誌位置，以符實際路況。

五、線形座標迴歸分析模式建立

迴歸分析 (Regression Analysis) 是一種統計學上對數據進行分析的方法，主要是希望探討幾組數據之間是否存有一種特定關係。迴歸分析的目的在於了解兩個或多個變數間是否相關、相關方向與強度，並建立數學模型以便觀察特定變數，來預測研究者待求或感興趣的變數。

對於測量領域而言，迴歸分析的主要目的即在於找出一條最能夠代表所有觀測資料的函數 (或是迴歸估計式)，用此函數代表應變數和自變數之間的關係。本文採用測量上常用的最小二乘法 (Least Square Estimation, LSE) 作為迴歸分析的參數估計方法，以推求現有軌道之最適線型。

5.1 最小二乘法

最小二乘法是處理各種觀測資料，進行測量平差或擬合線形的一種常用之迴歸分析方法。在十八世紀末，測量學和天文測量學中即提出了如何消除因觀測誤差引起的觀測量間矛盾的問題，以及如何從帶有誤差的觀測值中找出待定量的最佳值。高斯 (Gauss) 首先提出了解決此問題的方法，即為最小二乘法，並發表於 1809 年由高斯所著作的『天體運動論』中。

高斯根據偶然誤差的特性：小誤差發生之次數較大誤差為多、正誤差與負誤差發生之機率約略相等、極大誤差發生之機率甚小等特性，再以算數平均值為待求量的最或是值出發，導出了偶然誤差的機率分布，並導出在最小二乘原理下求待定量最或是值的計算方法。最小二乘法是一種數學優化技術，它通過最小化誤差的平方和，來找出一組數據的最佳函數匹配值[李哲仁,2000]。

5.1.1 最小二乘法原理

在各種實驗模式中，經常會遇到利用一組觀測數據來估計某些未知參數的問題，例如一個作勻速運動的質點在時刻 τ 的位置 y ，可以用如下的線性函數來描述：

$$y = \alpha + \tau \beta \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中 α 是質點在 $\tau=0$ 時刻的初始位置， β 是平均速度，它們是待估計的未知參數，通常稱這類問題為線性參數的估計問題。此一問題如果觀測沒有誤差，則只要在兩個不同的時刻 τ_1 和 τ_2 觀測出質點的相應位置 y_1 和 y_2 ，由 (3) 式分別建立兩個方程式，就可以解出 α 和 β 的值了。但是實際上在觀測時，被觀測的不是 y 而是 $L=y+\Delta$ ， Δ 是觀測誤差，於是有

$$L = y + \Delta = \alpha + \tau\beta + \Delta \quad \dots\dots\dots(4)$$

故為了求得 α 和 β ，就需要在不同的時刻 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ 來測定其位置，求得一組觀測值 L_1, L_2, \dots, L_n ，則由上式可以得到

$$L_i = \alpha + \tau_i\beta + \Delta_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots\dots(5)$$

若令 $L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix}$ $A = \begin{bmatrix} 1 & \tau_1 \\ 1 & \tau_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \tau_n \end{bmatrix}$ $\tilde{X} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$ $\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_n \end{bmatrix}$

則 (5) 式可以寫成

$$L = A\tilde{X} + \Delta \quad \dots\dots\dots(6)$$

在(6)式中， L 為觀測向量， A 為已知的係數矩陣， \tilde{X} 為待求的未知參數向量， Δ 是觀測誤差向量。

若將對應的 $L_i, \tau_i (i=1,2,\dots,n)$ 用圖解來表示，如圖 7 之迴歸原理圖形，可以看出由於存在觀測誤差的緣故，由觀測數據繪出的連續觀測點，是描繪不成一直線，而會有某些“擺動”。此即產生一個問題，要用何種準則，來對參數 α 和 β 進行估計，從而使得估計線形 $\hat{L} = \hat{\alpha} + \tau_i \hat{\beta}$ 得到“最佳”的擬合於諸觀測點間。

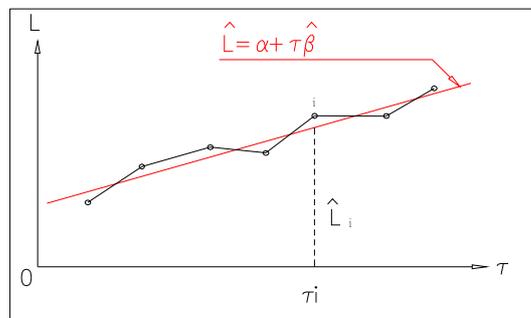


圖 9 線形迴歸分析示意圖

對於這個“最佳”一詞，可以有許多不同的理解：

- 1、可以認為是『各個觀測點至迴歸所得線形間之最大偏移距離取最小值時，迴歸所得線形為“最佳”』。
- 2、可以認為是『各個觀測點至迴歸所得線形的正負偏差總合為零時，迴歸所得線形為“最佳”』。
- 3、可以認為是『各個觀測點至迴歸所得線形的偏差絕對值之和取最小時，迴歸所得線形為“最佳”』。

故在不同的“最佳”要求下，均可以求得相應問題中參數 α 和 β 不同的估計值。若是採用最小二乘法來解這類問題時，按照最小二乘準則，認為“最佳”的擬合於諸觀測點的估計曲線，應使諸觀測點到該曲線的偏差的平方和達到最小，公式如下：

設觀測值 L_i 的估值為 $\hat{L}_i = L_i + v_i$ ， v_i 是觀測值 L_i 的改正數（或稱偏差、殘差），則由 $\hat{L}_i = \hat{\alpha} + \tau_i \hat{\beta}$ 可以寫出

$$v_i = \hat{\alpha} + \tau_i \hat{\beta} - L_i \quad (i=1,2,\dots,n)$$

所謂最小二乘準則，就是要在滿足

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{\alpha} + \tau_i \hat{\beta} - L_i)^2 = \text{最小} \quad \dots\dots\dots (7)$$

的條件下解出未知參數的估值 $\hat{\alpha}$ 和 $\hat{\beta}$

若令 $V^T = (v_1 \ v_2 \ \dots v_n)$ ，則上式（7式）也可寫為

$$V^T V = (A\hat{X} - L)^T (A\hat{X} - L) = \text{最小} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中 \hat{X} 表示未知參數的估計向量，在上述例子中， $\hat{X} = (\hat{\alpha} \ \hat{\beta})^T$ ，滿足（8）式的估計 \hat{X} 稱為 X 的最小二乘估計，這種求估計量的方法就稱為最小二乘法[於宗儔、魯林成,1983]。

5.2 間接觀測平差

間接觀測平差法是通過選定 t 個獨立參數，將每個觀測量分別表達成這 t 個參數的函數以建立平差使用的函數模型。然後按照最小二乘平差原理，以求極限值的方法解出參數的最或然值，從而求得各觀測量的平差值。間接平差之函數模型為：

$$L_{n \times 1} + V_{n \times 1} = A_{n \times t} \tilde{X}_{t \times 1} + A_{n \times 1}^0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

其中各項為：

$L_{n \times 1}$ = 觀測量

$V_{n \times 1}$ = 觀測量殘差

$A_{n \times t}$ = 常係數矩陣

$\tilde{X}_{t \times 1}$ = 參數真值

$A_{n \times 1}^0$ = 常數向量

以 $\tilde{X} = X^0 + \delta X$ ， X^0 為參數充分近似值，帶入（9）式，得

$$V_{n \times 1} = A_{n \times t} \delta X_{t \times 1} + l_{n \times 1} \quad \dots\dots\dots (10)$$

在(10式)中之 $l_{n \times 1} = AX^0 + A^0 - L$ ，其中各項為：

l = 將近似值帶入後的觀測量殘差。

X^0 = 參數充分近似值，例如在多點求圓心時，先取任三點即可以求一圓心，可得 X 的初始近似值 X^0 。 $AX^0 = A$ 之常係數矩陣乘上參數近似值 X^0 。 A^0 = 常數向量，計算時可以跟 L 合併表示。

L = 觀測量。

隨機模型為 $D_{n \times n} = \sigma_0^2 Q_{n \times n} = \sigma_0^2 P_{n \times n}^{-1}$ (11)

在(11)式中， P 為觀測值權矩陣， σ_0 為單位權中誤差。

(10)式即為誤差方程式，式中有 n 個待定殘差和 t 個未知數，共 $n+t$ 個待定量，由於誤差方程個數為 n ，而待定量共有 $n+t$ 個，所以(10)式有無限多組解。此時可按最小二乘原理 $V^T P V = \min$ 的準則求得 δX 的唯一估計值 X' ，依數學上求函數極限值的方法，求 $V^T P V$ 之極值，得

$$\frac{\partial V^T P V}{\partial \delta X} = 2V^T P \frac{\partial V}{\partial \delta X} = 2V^T P A = 0 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$V' \text{ 為 } V \text{ 之估計值，(12) 式轉置後得 } \dots\dots\dots(13)$$

將(10)式帶入(13)式，得

$$A^T P A \delta X' + A^T P l = 0 \quad \dots\dots\dots(14)$$

令 $N_{t \times t} = A^T P A$ ， $U_{t \times 1} = A^T P l$ ，則(14)式可改寫為 $N \delta X' + U = 0$

$$\dots\dots\dots(15)$$

(15)式為法方程式，若 A 為行滿秩矩陣，則法矩陣 N 亦是滿秩且對稱矩陣，它有唯一之逆矩陣，得

$$\delta X' = -N^{-1} U \quad \dots\dots\dots(16)$$

將上式帶回(10)式則可得殘差向量估計值 V' ，並可得到未知數估計值 X' 和後驗單位權中誤差

$$\sigma_0' = \sqrt{\frac{V'^T P V'}{n-t_0}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

上式中， n 為觀測值數目， t_0 為必要觀測數，通常即為未知數個數[於宗儔 1982]。

在(17)式中，殘差(V_i)是指各個觀測點與迴歸完成後之線形(直線段或曲線段)之垂距值，另中誤差或標準差(σ)是代表誤差分佈範圍，一般公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{V'^T P V'}{n-u}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

其中 σ 為中誤差或標準差， n 為觀測量個數， u 為自由度， V 為殘差矩陣， P 為權矩陣。

5.3 線型迴歸模式推導

鐵路平面線型分為直線、圓曲線及三次拋物線，故需將取樣點先區分為直線段、圓曲線段，分別作迴歸分析後，再加入三次拋物線做整體架構運算，以比對三次拋物線段的誤差值，視結果或需要再作迭代修正。

5.3.1 直線計算

迴歸計算作業需先推求曲線外方之直線段，設直線方程式為：

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots(19)$$

現場測量值為 x, y ，未知數為 a 及 b ，其中 a 為直線斜率， b 為直線截距，參照前述的間接觀測平差法列方程式：

$$V_i = ax_i + b - y_i \quad \dots\dots\dots(20)$$

則 $V_i = AX + l$

$$\text{其中 } A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}_{n \times 2} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{1 \times 2} \quad l = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

故 $X = -(A^T A)^{-1} (A^T l)$ 即可以求解得 X ，求得 a, b ，得到最適的直線。

5.3.2 圓曲線計算

在數學原理上 3 個觀測點可定一圓，若是 4 點以上則會有許多不同半徑及位置的圓可供選擇，故仍需求解最“適合”的圓曲線。若圓曲線段之現場觀測點座標為 (x, y) ，今假設圓曲線的未知數參數為圓心座標及半徑長度分別為 (x_c, y_c, R) ，則其觀測方程式為：

$$V_i = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} - R \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中： x_c = 圓心 X 軸坐標， y_c = 圓心 Y 軸坐標， R = 圓之半徑

假設圓心及半徑的初始值 $x_c = x_0 + \delta x$ ， $y_c = y_0 + \delta y$ ， $R_c = R_0 + \delta R$

對 (21) 式用泰勒展開式，取至一次項

$$v_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} - R_0 + \frac{(x_0 - x_i)}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} \delta x_c + \frac{(y_0 - y_i)}{\sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}} \delta y_c - \delta R$$

令 $S_{0i} = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$ 則上式可以改寫成

$$v_i = \frac{(x_0 - x_i)}{S_{0i}} \delta x_c + \frac{(y_0 - y_i)}{S_{0i}} \delta y_c - \delta R + (S_{0i} - R_0) \quad \dots\dots\dots(22)$$

得 $V_i = AX + l$ ， $X = -(A^T A)^{-1} (A^T l)$

$$\text{其中 } X = \begin{bmatrix} \delta x_c \\ \delta y_c \\ \delta R \end{bmatrix}_{1 \times 3} \quad l = \begin{bmatrix} R_0 - S_{01} \\ \vdots \\ R_0 - S_{0n} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad A = \begin{bmatrix} \frac{x_0 - x_1}{S_{01}} & \frac{y_0 - y_1}{S_{01}} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_0 - x_n}{S_{0n}} & \frac{y_0 - y_n}{S_{0n}} & -1 \end{bmatrix}_{n \times 3}$$

即可求解 X ，求得圓心及半徑。

5.3.3 角平分線推算

上節是對一般單純圓曲線的推算，而鐵路正線上的曲線均是兩端緩和和曲線長度相等，成為對稱的曲線，因此曲線圓心應是在兩迴歸直線的角平分線上。若圓心未在角平分線上，則會造成曲線架構變形或切線方向的改變，故在路線迴歸的做法上是先確定兩切線之角平分線公式。

角平分線是以圓曲線兩端之直線線形延伸為切線，在交點 IP 處對

曲線內方作角平分線，以限制曲線圓心位置，角平分線方程式為：
 $y = mx + c$ (23)

其中 m 為直線斜率， c 為直線截距，再設圓曲線兩端已迴歸完成之直線方程式分別為：

$$L_1 : y = m_1x + b_1$$

$$L_2 : y = m_2x + b_2$$

則兩直線的角平分線方程式為：

$$\frac{m_1x - y + b_1}{\sqrt{m_1^2 + 1}} = \pm \frac{m_2x - y + b_2}{\sqrt{m_2^2 + 1}} \text{(24)}$$

右項若取(-)號，則

$$y = \frac{m_1\sqrt{m_2^2 + 1} + m_2\sqrt{m_1^2 + 1}}{\sqrt{m_2^2 + 1} + \sqrt{m_1^2 + 1}}x + \frac{b_1\sqrt{m_2^2 + 1} + b_2\sqrt{m_1^2 + 1}}{\sqrt{m_2^2 + 1} + \sqrt{m_1^2 + 1}} \text{(25)}$$

右項若取(+)號，則

$$y = \frac{m_1\sqrt{m_2^2 + 1} - m_2\sqrt{m_1^2 + 1}}{\sqrt{m_2^2 + 1} - \sqrt{m_1^2 + 1}}x + \frac{b_1\sqrt{m_2^2 + 1} - b_2\sqrt{m_1^2 + 1}}{\sqrt{m_2^2 + 1} - \sqrt{m_1^2 + 1}} \text{(26)}$$

將 (25) 或 (26) 式之角平分線方程式加入 (21) 式中，即可求得與兩切線對稱的圓心及其半徑。

5.4 簡易計算範例

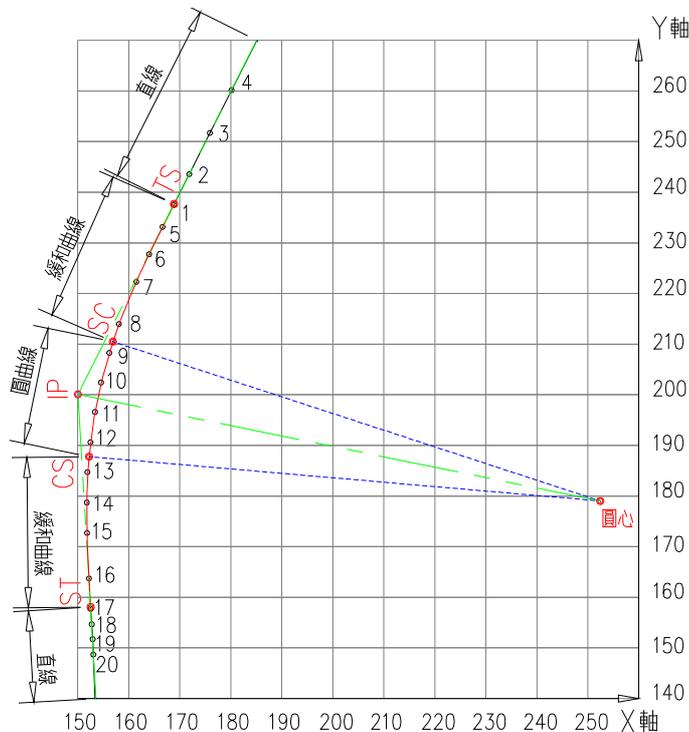


圖 10 試算線形之測量座標示意圖

在實務上測量線形數據均為地球二度分帶系統，座標位元龐大實難以手算，故本節以一個簡易數據，來驗證本研究之迴歸方程式用於迴歸分析之可行性。如圖 8 所示之假設線形圖，並假設此線形有 20 個觀測點，其測點名稱、座標及推估所在線段如表三之測點座標表。另有關假設簡易數據之原始曲線表資料，及曲線樁位座標數值可參考文獻[陳文德,2008]。

表四 假設線形量測點位座標表

樁號	X 座標	Y 座標	量測樁位推測其線段位置
1	168.879	237.697	起點方直線段
2	171.858	243.575	
3	175.896	251.707	
4	180.162	260.175	
5	166.615	233.146	起點方緩和曲線段
6	163.985	227.753	
7	161.473	222.304	
8	158.071	213.973	
9	156.178	208.266	圓曲線段
10	154.564	202.417	
11	153.380	196.604	
12	152.471	190.608	
13	151.973	184.712	終點方緩和曲線段
14	151.773	178.716	
15	151.820	172.716	
16	152.194	163.724	
17	152.524	157.693	終點方直線段
18	152.741	154.678	
19	152.928	151.724	
20	153.045	148.679	

5.4.1 直線回歸計算

1、先計算起點方直線段之迴歸，已知觀測值共有 4 點：

測點 1：座標[X=168.879,Y=237.697]

測點 2：座標[X=171.858,Y=243.575]

測點 3：座標[X=175.896,Y=251.707]

測點 4：座標[X=180.162,Y=260.175]

未知參數值:a、b（a 為直線斜率，b 為直線截距）

觀測方程式: $V_i = ax_i + b - y_i$

2、間接觀測平差法列方程式

因觀測方程式： $V_i = ax_i + b - y_i$ ，則 $V_i = AX + l$

$$\text{其中 } A = \begin{bmatrix} 168.879 & 1 \\ 171.858 & 1 \\ 175.896 & 1 \\ 180.162 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 2} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad l = \begin{bmatrix} -237.697 \\ -243.575 \\ -251.707 \\ -260.175 \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

3、直線參數計算

代入 $X = -(A^T A)^{-1}(A^T l)$ 即可以求解得 X

$$\begin{aligned} \text{則 } X &= -\left(\begin{bmatrix} 168.879 & 171.858 & 175.896 & 180.162 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 168.879 & 1 \\ 171.858 & 1 \\ 175.896 & 1 \\ 180.162 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \\ &= \left(\begin{bmatrix} 168.879 & 171.858 & 175.896 & 180.162 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -237.697 \\ -243.575 \\ -251.707 \\ -260.175 \end{bmatrix} \right) \\ X &= -\left(\begin{bmatrix} 121453 & 696.795 \\ 696.795 & 4 \end{bmatrix} \right)^{-1} \left(\begin{bmatrix} -173150 \\ -993.154 \end{bmatrix} \right) \\ X &= \begin{bmatrix} 1.99476 \\ -99.19666 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

經計算後可得 $a=1.99476$ 及 $b=-99.19666$ ，代人直線方程式；

得：直線方程式 $Y=1.99476X-99.19666$

4、求各點到迴歸直線線型之殘差計算

殘差是指各個觀測點至迴歸後直線段之垂距，以觀察取樣點與迴歸線形之偏移量，各觀測點座標[x,y] 到迴歸直線 $ax+by+c=0$ 的距離公式如下：

$$\text{距離} = \frac{|ax + by + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \dots\dots\dots(27)$$

因此將每一測點帶入迴歸的直線方程式 $1.99476x-y-99.19666=0$

得 $a=1.99476$ ， $b=-1$ ， $c=-99.19666$ ，即可換算每一點的殘差，例如測點 1 之座標[X=168.879,Y=237.697] 代入 (27) 式，則測點 1 到迴歸直線的距離殘差為：

$$\frac{|1.99476 \times 168.879 + (-1) \times 237.697 + (-99.19666)|}{\sqrt{1.99476^2 + (-1)^2}} = 0.009 \text{ mm}$$

其餘各點的殘差算法相同

5、終點方直線段相關計算資訊

同理可計算得終點方直線段之參數，已知觀測值共有 4 點：

測點 17：座標[X=152.524,Y=157.693]

測點 18：座標[X=152.741,Y=154.678]

測點 19：座標[X=152.928,Y=151.724]

測點 20：座標[X=153.045,Y=148.679]

依上式矩陣推算，可求得直線參數 $a_2=-16.84978$ $b_2=2728.00094$

6、IP 交點計算

根據此兩直線之延伸切線，進一步計算直線交會即可求得曲線 IP 交點座標及交角，得 IP 交點座標[X=150.027,Y=200.072]，曲線交角=30 度 01 分 17.7 秒。

5.4.2 角平分線計算

經計算所得曲線兩端迴歸路線的直線方程式分別為：

$$L_1: y = 1.99476x - 99.19666$$

$$L_2: y = -16.84978x + 2728.00094$$

則兩直線的角平分線方程式：

$$y = \frac{m_1\sqrt{m_2^2+1} + m_2\sqrt{m_1^2+1}}{\sqrt{m_2^2+1} + \sqrt{m_1^2+1}}x + \frac{b_1\sqrt{m_2^2+1} + b_2\sqrt{m_1^2+1}}{\sqrt{m_2^2+1} + \sqrt{m_1^2+1}}$$
$$y = \frac{1.99476\sqrt{(-16.84978)^2+1} - 16.84978\sqrt{1.99476^2+1}}{\sqrt{(-16.84978)^2+1} + \sqrt{1.99476^2+1}}x + \frac{-99.19666\sqrt{(-16.84978)^2+1} + 2728.00094\sqrt{1.99476^2+1}}{\sqrt{(-16.84978)^2+1} + \sqrt{1.99476^2+1}}$$

$$\text{又 } y_c = mx_c + c$$

其中 m 為直線斜率，c 為直線截距，得：m=-0.2055326，c=230.90775，代入上式

$$\text{得 } y_c = -0.2055326 x_c + 230.9077$$

5.4.3 考慮直線對稱時圓曲線迴歸計算

1、相關計算資訊

圓曲線段之已知觀測值共有 4 點：

測點 9：座標[X=156.178,Y=208.266]

測點 10：座標[X=154.564,Y=202.417]

測點 11：座標[X=153.380,Y=196.604]

測點 12：座標[X=152.471,Y=190.608]

未知參數值：圓心及半徑分別為 (x_c, y_c, R)

$$\text{觀測方程式: } V_i = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2} - R$$

2、間接觀測平差法列方程式

將 $y_c = mx_c + c$ 代入觀測方程式

$$V_i = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (mx_c + c - y_i)^2} - R$$

其中 m=-0.2055326 c=230.90775

依 $V_i = AX + l$

$$S_{0i} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - c - mx_0)^2}$$

$$X = \begin{bmatrix} \delta x_c \\ \delta R \end{bmatrix}_{1 \times 2} \quad l = \begin{bmatrix} R_0 - S_{01} \\ \vdots \\ R_0 - S_{0n} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad A = \begin{bmatrix} \frac{x_0 - x_1 - my_1 + m^2 x_0 + mc}{S_{01}} & -1 \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_0 - x_n - my_n + m^2 x_0 + mc}{S_{0n}} & -1 \end{bmatrix}_{n \times 2}$$

假設初始值 $R_0 = 100$ 、 $x_0 = 250$ 及 $y_0 = 179.5246$

$$S_{01} = \sqrt{(156.178 - 250)^2 + (208.266 - 230.90775 - (-0.2055326) \times 250)^2} = 98.125$$

$$S_{02} = \sqrt{(154.564 - 250)^2 + (202.417 - 230.90775 - (-0.2055326) \times 250)^2} = 98.143$$

$$S_{03} = \sqrt{(153.380 - 250)^2 + (196.604 - 230.90775 - (-0.2055326) \times 250)^2} = 98.118$$

$$S_{04} = \sqrt{(152.471 - 250)^2 + (190.608 - 230.90775 - (-0.2055326) \times 250)^2} = 98.157$$

$$\text{則 } l = \begin{bmatrix} 100 - 98.125 \\ 100 - 98.143 \\ 100 - 98.118 \\ 100 - 98.157 \end{bmatrix}_{4 \times 1} \quad A = \begin{bmatrix} 95.766 & -1 \\ 98.125 & -1 \\ 96.109 & -1 \\ 98.143 & -1 \\ 96.049 & -1 \\ 98.118 & -1 \\ 95.687 & -1 \\ 98.157 & -1 \end{bmatrix}_{4 \times 2}$$

5.4.4 圓曲線參數計算

將前述步驟之矩陣元素帶入下式：

$$X = -(A^T A)^{-1} (A^T l)$$

經過反覆迭代計算後可求得圓心及半徑分別如下：

$$x_c = x_0 + \delta x_c$$

$$R = R_0 + \delta R$$

得曲線圓心數值： $(x_c, y_c, R) = (252.428, 179.026, 100.609)$

計算得緩和曲線長度為 29.686

5.4.5 圓曲線段測點殘差計算

各測點到迴歸圓曲線的距離殘差，可利用以下公式計算：

若測點座標為 $[X, Y]$ ，迴歸圓心、半徑為 (x_c, y_c, R)

則各測點殘差為

$$\sqrt{(X - x_c)^2 + (Y - y_c)^2} - R \quad \dots \dots \dots (28)$$

例如測點 9：座標 $[X=156.178, Y=208.266]$ ，

而曲線圓心迴歸值： $(x_c, y_c, R) = (252.428, 179.026, 100.609)$

其殘差計算依 (28) 式得：

$$= \sqrt{(156.178 - 252.428)^2 + (208.266 - 179.026)^2} - 100.609 = 0.015$$

5.4.6 曲線架構條件檢核

經上節以最小二乘法矩陣計算所得之迴歸結果，僅是第 1 次迴歸計算，完成後尚須考慮三個問題：

- 1、迴歸所得之直線與各測點間之誤差值合計是最小的，但需要檢討它延伸至相鄰曲線時是否造成影響。
- 2、迴歸所得之圓心座標與半徑值，與圓曲線內各測點偏移量合計亦是最小的，但在套入曲線公式計算所得之座標，又會與迴歸線形間常有相對偏移，導致各測點殘差同時改變。
- 3、迴歸所得線形是否影響建築結構物之淨空。

故座標數值迴歸分析工作，是經過各線段獨立迴歸->檢討殘差->調整線形->檢討相鄰曲線->檢討建築物淨空->視需要重新迴歸等各階段的分析計算後，才能定案。而各階段之迴歸分析均需採用上節之公式及矩陣作運算，此一循環過程若採人工計算實難以執行，但只要建立電腦程式，即可應付多次迴歸驗算，或是微調線形成果，以取得最適線形。

5.5 電腦程式撰寫

臺鐵正線上的直線或曲線路段其長度均甚長，普遍在數百公尺以上甚或超過 1 公里以上，若每 20m 取樣一觀測點，則每個線段之取樣點動輒數十點或數百點以上，即需建構數十階以上之矩陣，其運算求解並非人力所能進行。故實務上座標數值迴歸分析必須以電腦程式處理，才具可行性。

電腦迴歸分析程式係依據直線段及圓曲線段之線性迴歸推導公式為基礎，使用『Microsoft Visual Basic 6.0』為程式開發工具，撰寫一套方便後續處理及計算測量數據之程式，達到省時省力之目的，並減少人為計算錯誤。

六、線形迴歸成果驗證

本研究採用臺鐵縱貫線八堵至高雄間，軌道重測之中線測量取樣座標作為迴歸分析驗證，實驗路段選擇三處地點，以比較其相互影響。

案例一：臺鐵台中線之豐原站至潭子站間路段，鐵路里程為 178K+918 至 181K+828 間，全長 2910m，線形包含 3 個直線段 153L、154L、155L 及 2 個曲線段 153C、154C。

案例二：臺鐵縱貫線林內站至斗六站間，鐵路里程為 256K+104~258K+115 間，全長 2011m，線形包含 3 個直線段 223L、224L、225L 及 2 個曲線段 223C、224C。

案例三：臺鐵縱貫線左營至高雄間之編號 291C 曲線及其前後方直線段，鐵路里程為 372K+557~374K+894 間。

三個案例均採用本研究所建構之迴歸方程式及分析模式，故僅列出案例一之成果，其餘可參考文獻[陳文德,2008]。

6.1 案例一線形特性

153L：起點方直線段，長 553m，共有 44 個測點。

153C：第 1 曲線段，長 224m，有 26 個測點，先檢算區分在圓曲線段內有 15 個測點，其餘測點則位於緩和曲線段內，原設計曲線條件為：

半徑 $R=595\text{m}$

緩和曲線 $L=60\text{m}$

曲線方向=右向（順時鐘）

154L：介於 153C 和 154C 兩曲線中間之直線段，長 832m，共有 53 個測點。

154C：第 2 曲線段，長 447m，有 52 個測點，先區分在圓曲線段內有 25 個測點，原設計曲線條件為：

半徑 $R=895\text{m}$

緩和曲線 $L=115\text{m}$

曲線方向=左向（逆時鐘）

155L：終點方直線段，長 856m，有 52 個測點。

案例一之線形走向如圖 9 所示。

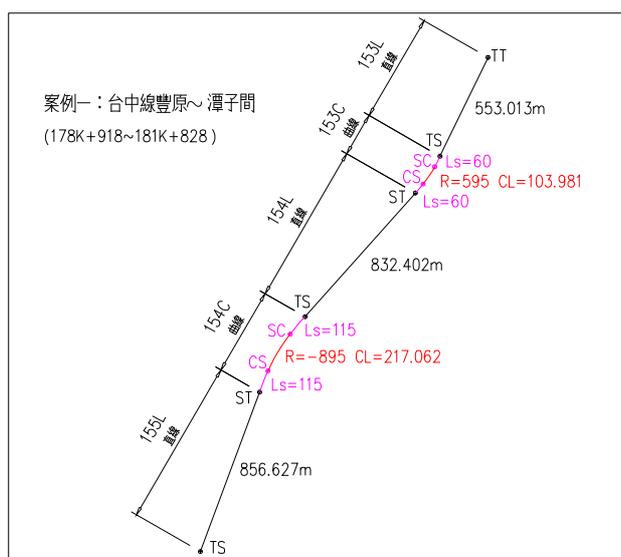


圖 11 案例一線形走向示意圖

6.2 第 1 次迴歸

在第 1 次迴歸計算中，暫不考慮直線與圓曲線之間的相對關係，僅以獨立的 3 個直線段與 2 個圓曲線段，分別以符合最小二乘法之條件來計算，以取得各個直線及圓曲線之獨立最適線形參數。在直線段部份，第 1 次迴歸（各直線段獨立迴歸）後所得最適線形數據表成果如下：

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1、直線段 153L：斜率=2.0755705 | 標準差=0.058m |
| 截距=2222618.2162 | 最大誤差值=0.147m |

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 2、直線段 154L：斜率=1.1295935 | 標準差=0.040m |
| 截距=2432320.4847 | 最大誤差值=0.086m |
| 3、直線段 155L：斜率=2.7099249 | 標準差=0.037m |
| 截距=2083222.0059 | 最大誤差值=0.085m |

由迴歸結果可以發現 154L 及 155L 路線養護工作較 153L 為佳。

另在曲線段部份，第 1 次迴歸（各圓曲線段獨立迴歸）後所得最適線形數據表成果如下：

- | | |
|---------------------------|------------|
| 1、圓曲線 153C：半徑值 R=599.245m | 標準差=0.015m |
| 最大誤差值=0.028m | |
| 2、圓曲線 154C：半徑值 R=881.158m | 標準差=0.033m |
| 最大誤差值=0.062m | |

迴歸分析結果顯示，153C 曲線之曲率正確性較 154C 曲線為佳。

6.3 第 2 次迴歸修正

將各曲線段及各直線段做獨立迴歸運算，雖然可得各取樣點誤差最小之線形，但各獨立迴歸之線形恐有相互無法銜接之情況發生，故第 2 次迴歸分析必須考量整體線形狀況。在作整體曲線架構考量時，各直線段與曲線段必定會產生相互影響，導致變動直線或曲線位置，也會造成各個測點殘差值發生改變。

一般在第 2 次迴歸分析時，是先不改變緩和曲線長度之設計值（因其牽涉到曲線速度條件），以試誤法調整圓曲線半徑值，找出標準差或殘差最小之情況，經調整計算後，成果較差如下：

- | |
|---|
| 1、圓曲線 153C：R=595m，L=50m，IP 角=15 度 47 分 35.1271 秒 |
| 標準差=0.048m，最大誤差值=0.090m |
| 2、圓曲線 154C：R=895m，L=115m，IP 角=21 度 15 分 46.3497 秒 |
| 標準差=0.045m，最大誤差值=0.140m |

將第 2 次迴歸分析之結果與第 1 次單純將圓曲線迴歸分析之結果作比較，可以發現：

- | |
|---------------------------------------|
| 1、圓曲線 153C：曲線半徑減少 599.245-595=4.245m |
| 標準差略增為 0.048-0.015=0.033m |
| 最大誤差值略增為 0.090-0.028=0.062m。 |
| 2、圓曲線 154C：曲線半徑增加 895-881.158=13.842m |
| 標準差略增為 0.045-0.033=0.012m |
| 最大誤差值略增為 0.140-0.062=0.078m。 |

第 2 次迴歸分析是經試誤法多次試算，並考量前後線形條件，取得最終線形成果，其中圓曲線 154C 之半徑已減少約 14m，尚在容許範圍內。因為

若迴歸後半徑變動過大，例如差異在 50m 以上時，則會導致行車速度改變，甚至須變更列車時刻表，故變更曲線數值必須審慎。有關案例一迴歸後線形座標資料庫，如表三所摘錄之部份取樣點座標及誤差比較表。

表五 案例一迴歸分析後各測點座標及誤差比較表（摘錄部份取樣點）

流水號	里程值	量測取樣值		回歸軸坐標值		線型	距離較差 mm
		E 坐標(m)	N 坐標(m)	E 坐標(m)	N 坐標(m)		
41	179K+458.45 3	221731.973	2682838.110	221731.942	2682838.181	直線	-0.133
42	179K+466.25 8	221728.59 6	2682831.073	221728.564	2682831.145	直線	-0.144
43	179K+467.85 3	221727.90 5	2682829.635	221727.874	2682829.707	直線	-0.147
44	179K+474.03 6	221725.22 0	2682824.064	221725.195	2682824.134	緩和曲線	-0.152
45	179K+485.65 7	221720.18 3	2682813.591	221720.162	2682813.660	緩和曲線	-0.182
46	179K+497.46 5	221714.98 9	2682802.983	221714.975	2682803.051	緩和曲線	-0.194
47	179K+509.23 5	221709.678	2682792.476	221709.674	2682792.539	緩和曲線	-0.167
48	179K+519.8	221704.784	2682783.110	221704.785	2682783.172	緩和曲線	-0.124
49	179K+525.11 8	221702.268	2682778.423	221702.272	2682778.484	緩和曲線	-0.100
50	179K+527.74 9	221701.010	2682776.110	221701.015	2682776.171	緩和曲線	-0.089
51	179K+532.75 1	221698.595	2682771.727	221698.601	2682771.790	圓曲線	-0.071
52	179K+537.64 8	221696.198	2682767.458	221696.175	2682767.536	圓曲線	-0.023
53	179K+546.09 7	221691.977	2682760.137	221691.986	2682760.199	圓曲線	-0.028

七、結論

7.1 曲線整正法

採用曲線整正分析法簡單快速，且能針對特殊限制地形作曲率修正，故在 80 年代以前為辦理鐵路線形整正之常用工法，但近年來已漸不採用，原因如下：

- 1、砸道車之廣泛採用：大型砸道車均配置電腦系統，可於砸道中在電腦控制下作線形撥道整正之工作，除了特殊情況（例如複曲線或特殊限

制路段)外,配合大型砸道車及穩定車之平整工作更能有效整修線形,且曲線整正撥道後仍需全面砸道以確定線形,故逐漸被砸道車所取代。

- 2、不符高速列車需求：曲線整正工法最終修正之計畫正矢常遷就現況，例如 IE113 號曲線，修正後曲線半徑實為 578m，若有限制移動點存在，則經修正後其現場曲率是漸變的，故其曲線幾何架構並非完整，高速列車通過時仍有影響而會逐漸產生列車搖晃，並造成曲率不整。例如太魯閣號通過時，若讀取原始數據（半徑為 600m）則其速度及主動傾斜機制與現場不符，主控電腦更不可能處理曲率漸變情況。
- 3、地理資訊系統之建置：近代測量儀器及電腦之發展及普及，軌道測量已全面採用電子經緯儀量測，並採 GIS 地理資訊系統化之處理，用座標數值資料作線形迴歸分析已成趨勢。

7.2 座標數值迴歸分析法

近代對於軌道線形之迴歸分析，均採用量測線形座標數值再加以迴歸分析之方法，研究結果證實可行：

- 1、在既有的鐵路線形上，經由軌道測量取得的線形取樣點坐標，以直線段、曲線段等分別採用最小二乘法作為迴歸分析的參數估計方法，以推求路線上各測點殘差最小之“最或是值”線形，在本研究中已證明其正確性和實用性。
- 2、本研究中為數值座標迴歸分析法所建構之最小二乘法迴歸矩陣方程式，因其運算資料極為龐大且迴歸過程繁複，在開發完成電腦化程式之後，已能快速運算所有迴歸過程，更能適時調整，兼具實用與方便性更能減少人為錯誤。

因臺鐵已完成八堵至高雄間之軌道重測及 GIS 地理資訊系統之建置，且線形均已迴歸分析計算完成，而宜蘭線及北迴線之軌道重測工作則預定於 98 年底可完成，屆時線形迴歸分析工作仍將以本文中之迴歸分析方法，作為迴歸分析工具，以取得現況實際線形資料。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局行車實施要點，臺灣鐵路管理局印行，2005 年。
2. 關英琦，鐵路曲線整正法，臺鐵叢書二，1952 年。
3. 臺灣鐵路管理局工務處養路標準作業程序，程序編號 007，曲線整正標準作業程序，臺灣鐵路管理局印行，2007 年。
4. Leica GRP3000 軌道檢測系統，瑞士 Leica 公司產品，2005 年。
5. 李哲仁，完全最小二乘法平差於坐標轉換之研究，國立成功大學測量工程學系碩士論文，2000 年。
6. 於宗儔，魯林成，測量平差基礎，北京測繪出版社，1983 年。
7. 陳文德，鐵路平面線形迴歸分析之研究，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，2008 年。

轉向架系統之乘坐舒適度研究

Bogie System Ride Comfort Research

彭聖橋 PENG, Seng-Chiao¹

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：M9703909@mail.ntust.edu.tw

E-mail：M9703909@mail.ntust.edu.tw

摘要

轉向架為支承車體之主要裝置，是軌道車輛在高速行駛中之關鍵設備，轉向架下的車輪會沿著鋼軌轉動而導引列車行進，自需符合安全及舒適性等各項條件，軌道車輛為大眾運輸工具，故如何使乘客感受到舒適是最重要的，轉向架的設計與振動及噪音的關係最為密切，整個轉向架系統中，振動的產生主要與車體運行有關，而轉向架系統中的懸吊系統更是作為減少振動的主要結構。因此，本研究將由轉向架系統加以討論如何改善乘坐舒適度的問題。

在本文中介紹轉向架的主要組成及其工作原理，另外針對轉向架如何去抵消列車在行駛中所產生的振動及懸吊系統結構之探討，並將重點集中在乘坐舒適度之改善方面，同時亦就特殊系統轉向架進行探討。

關鍵字：軌道車、轉向架、懸吊系統、舒適度。

Abstract

The bogies is the main structure to support the car body as well as the key component for the high speed railway vehicle. The wheel-set mounted on the bogie will guide the train on the rail by means of wheel-set rotating and conform to the qualifications of running safety and riding comfort. Consider the train as the public transportation, the comfort for passengers is the most important issue. Vibration and noise are mostly closed to the design of bogies. In the whole bogie system, vibration mainly comes from the vehicle in motion. The suspension system of bogies is the main structure to reduce the vibration. The bogie system relates to the comfort for passengers therefore we will discuss how to improve the comfort of riding based on bogie system.

First of all, we will introduce the working principle of bogie and how the bogie reduces the vibration while the train is running on the track in this paper. Secondly, we will discuss the suspension system. The main

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

topic of the research will focus on the ease of the passengers.

The research is summarized as below :

1、 The working principle of bogie.

2、 The configuration of bogie.

3、 The suspension system of bogie.

4、 The riding comfort to bogie.

5、 Special bogies.

Keywords: *railway vehicle、 bogie、 suspension system.*

一、概論

1.1 何謂轉向架

轉向架是一種不容易被乘客所注意到的組件，但卻在軌道車輛系統中扮演著重要的角色，它不僅影響列車乘車舒適性，亦兼負列車在軌道上行駛之安全重任，因此，可說明轉向架是乘載列車車廂行走於軌道上的一項裝置。

1.2 轉向架的基本原則

轉向架在軌道車輛系統中必須滿足下面幾項原則。

- 1、確實支承車體，使車體穩固的固定在轉向架上。
- 2、使軌道車輛穩定在直線或弧線車軌上行駛。
- 3、吸收軌道車輛在行駛過程中產生的振動，以確保乘客的舒適性。
- 4、在軌道車輛行駛弧線路段時減低離心力的作用。
- 5、可在轉向架上設置驅動馬達以產生牽引力，使車輛前進。
- 6、維持車輛於高速行駛時之穩定性，延長鋼軌之使用壽命。
- 7、可設置煞車系統，使車輛能減速或停止。

1.3 轉向架之基本組成

轉向架基本上係由框架、主懸吊、次懸吊、車軸、車輪等主要構件組成。至於馬達、齒輪箱、煞車裝置等，雖安裝於轉向架上，但多被視為外加設備，屬於其他系統。在轉向架中與乘坐舒適度有直接關係者為主懸吊、次懸吊、水平閥、橫向阻尼器、防滾桿組、車輪與輪緣潤滑器。

以下（圖 1-1）與（圖 1-2）是承樑式轉向架 (bolster bogie)及非承樑式轉向架(bolsterless bogie)的基本組成。

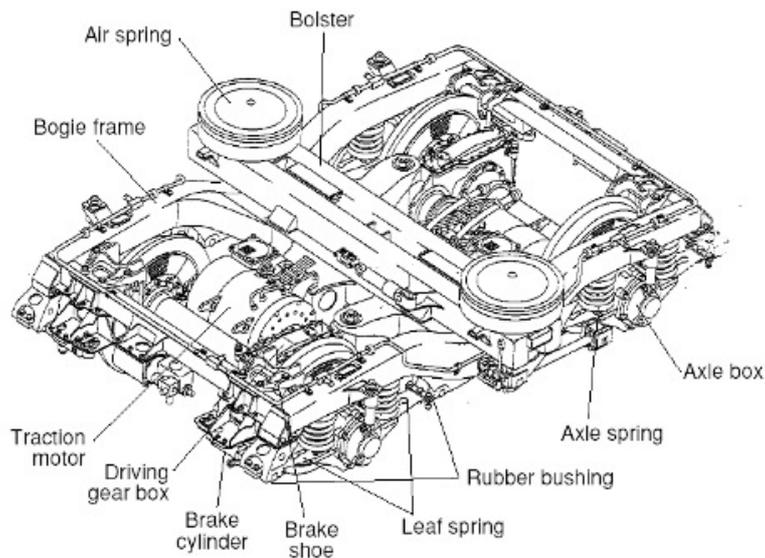


圖 1-1 承樑式轉向架 (bolster bogie)

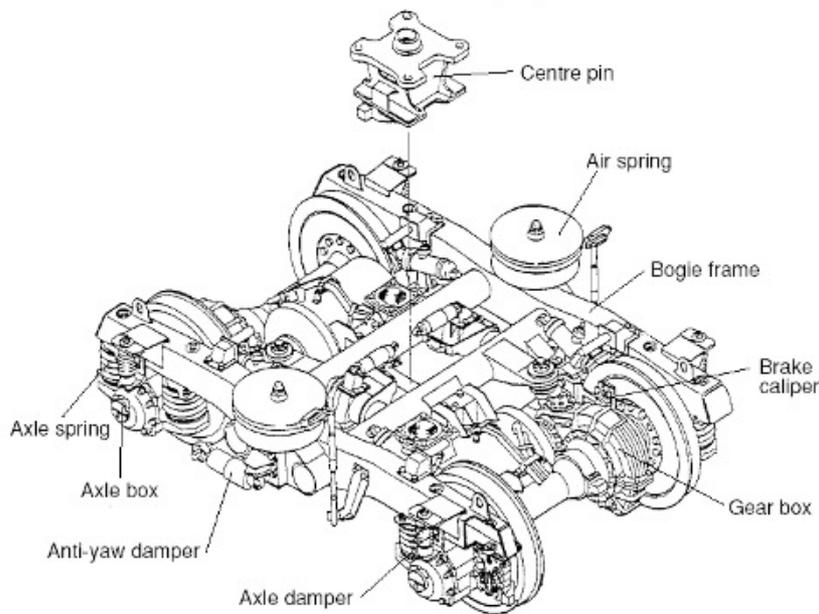


圖 1-2 非承樑式轉向架(bolsterless bogie)

1.4 Ride comfort

什麼是 Ride comfort 呢？所謂的 ride comfort 叫做乘適性，也就是乘車的舒適性，乘適性是指乘客對列車在行駛過程中因為路面、引擎或其它各種因素所引起的各種頻率之各個方向加速度的主觀感覺，它不但與身體各部份對各種頻率、振動敏感度有關，亦與時間有關聯，同時也受到個人聽覺、視覺、空間、空調、味覺與乘坐姿勢及身心狀況有關。

轉向架在煞車、轉彎及受外力作用後側滑(sideslip, 側向方向)所產生之滾翻(Roll), 搖擺(Yaw)如(圖 1-3)，這些都是跟乘坐舒適度有關的問題，而這些問題與懸吊系統的設計都有著密切關係。

在轉向架系統中，影響車輛舒適性的因素，主要來自主懸吊系統、次

懸吊系統，或一些特殊設計轉向架。因此在後面的章節中我們要介紹主懸吊系統、次懸吊系統及特殊系統轉向架的行為模式來避免造成任何舒適性不佳的因素。

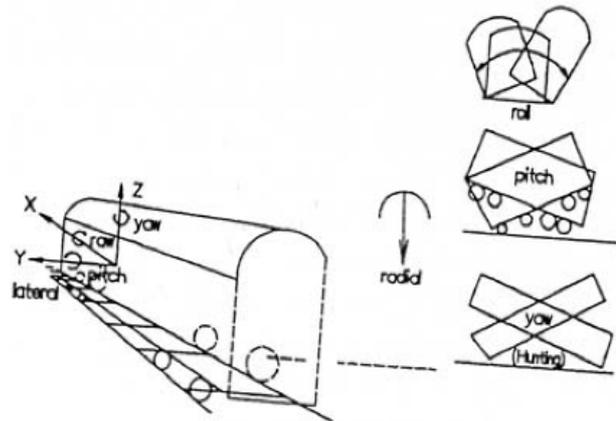


圖 1-3 車輛之動態運動模式

二、轉向架的基本元件

2.1 概念

轉向架的組成元件相當的多，在本章節中會細部介紹轉向架與舒適度有關聯之元件，並說明其作用的原理。

2.2 Suspension Gear

Suspension Gear 包含 bolster spring, traction transfer device, anti-yawing damper, lateral damper 等，Suspension Gear 在支撐車體上扮演重要的角色，它必須使車廂體獨立並阻絕振動與噪音，並使動力傳達至車體，而近代所發展出來的無承樑式轉向架 (bolsterless bogie)除了滿足上述的功能外，亦可允許水平方向的位移，而 anti-yawing damper 被安裝在 bogie frame 的側樑外，以防止輪組的蛇行運動(wheel-set hunting)如（圖 2-1）所示，以提升乘車舒適度。

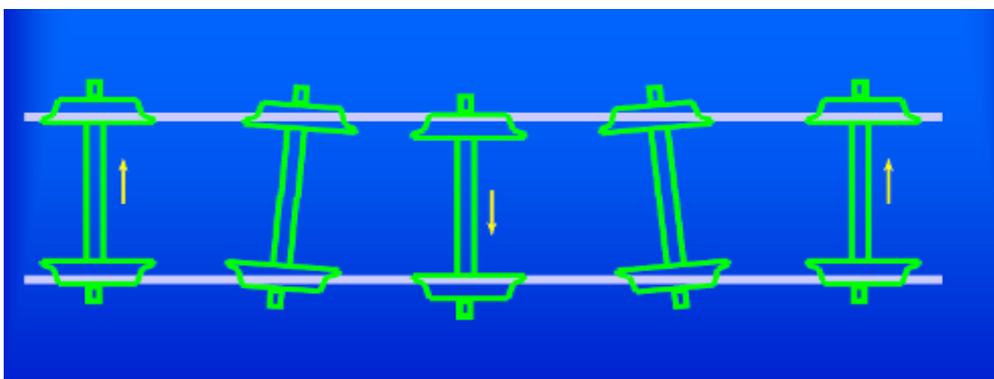


圖 2-1 車輪組之蛇行運動(Wheel-set hunting)

2.3 Bogie frame

Bogie frame 由兩邊的 side beams 和兩支 cross beams 所組成，可做為容納各種轉向架設備的主要結構，主要的形狀有 H 型及日字型，Bogie frame 稱為框架或稱結構(含軸箱)須能承受各方向(如垂直向、橫向、縱向及扭曲向)之一定負荷及疲勞負荷，以抵抗所有現階段多數牽引力和煞車動態作用力、減震裝置產生之作用力，以及輪組 (wheel-set)之轉向力等，框架是鋼板銲接而成。如(圖 2-2)為 H 型的 bogie frame。

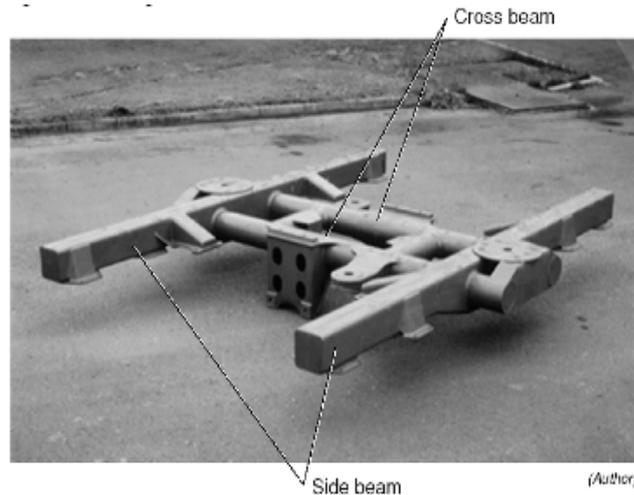


圖 2-2 H 型 bogie frame

2.4 Axle box suspension

Axle box 稱為軸箱，主要用來支撐車體與車軸重量，並吸收車輛行駛過程中所引起之振動。如(圖 2-3)為各種 Axle box suspension 的類型，pedestal swing spring 的設計是利用柱腳上 sliders 配搭 spring 去 support axle box，此種設計被廣泛的運用在早期的軌道車輛輪組上，但因為 sliders 會有磨耗的問題，且會造成蛇行運動(wheel-set hunting)的問題，因此，在高速列車上並不適用此類型的懸吊系統。再者 IS 型的懸吊系統，此系統有很好的緩衝橡膠，故避震效果極佳，然而它也有許多的缺點，安裝 IS 型懸吊系統必須增加 bogie frame 的長度，以容納此懸吊系統的 leaf springs，有鑑於此，目前亞洲區轉向架製造商所設計之無承樑式轉向架 (bolsterless bogie)則使用 coil spring with cylindrical laminated rubber type，同樣的，一些窄軌列車則使用 conical laminated rubber type 或 roll rubber type，目的就是因為這些懸吊系統的結構簡單且製造成本比較低。

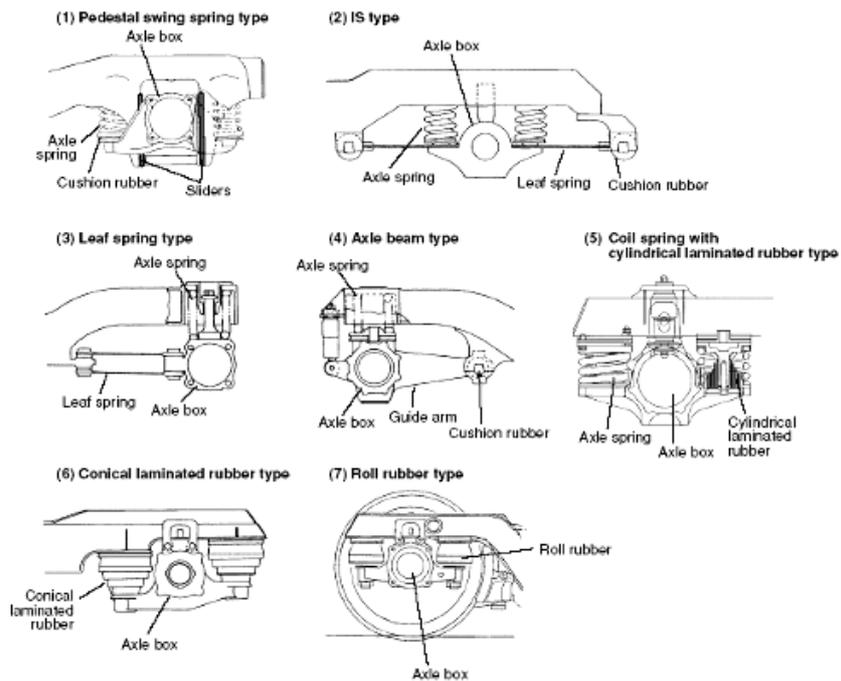


圖 2-3 各種 Axle-box suspension

2.5 車輪

車輪是用來承載車重，並在鋼軌上運行，常見之車輪有 3 種，實體車輪(Solid Wheel)、皺狀車輪(Corrugated Wheel)與彈性車輪(Resilient Wheel)，目前多數軌道車輛所使用之車輪為實體車輪，並採用美國鐵路協會(AAR ASSOCIATION OF AMERICAN RAILROADS)規範製作，此類車輪又稱一體壓延式車輪，其特點是製作成本較低，且具有良好的磨耗能力，而且安全性高，所以在電聯車上更被廣泛使用。依一般電聯車的行駛狀況來看，使用後之車輪踏面往往會發生硬點與波狀磨耗，而產生噪音及振動，因而降低乘車舒適度，目前的改善做法是定期巡檢車輛及針對硬點暨波狀磨耗車輪進行外輪車削，以減少噪音及振動進而提升乘車舒適度，在臺北捷運系統中，板南線之車削週期為五個月、淡水新店線之車削週期為七個月、南勢角線之車削週期為八個月，而新北投支線與小南門支線因為行駛路線較為彎曲，所以其車削週期更縮短為 1 個月與 10 天，臺北捷運系統的車削週期比較短，所以在乘車的舒適度上效果亦較好。(圖 2-4)為皺狀車輪(Corrugated Wheel)。



圖 2-4 皺狀車輪 (Corrugated Wheel)

2.6 水平閥

水平閥（如圖 2-5、圖 2-6）之主要功能為控制空氣彈簧內部之壓力，當車廂負荷不同時，都能將車廂調整至一定高度。當旅客進入車廂時，車體與轉向架之相對距離減少，水平閥控制桿便打開水平閥之壓縮空氣入口，使壓縮空氣進入次懸吊空氣彈簧內，直到車體與轉向架間之距離回復至原設定值，反之，若旅客離開車廂，水平閥控制桿便打開水平閥之壓縮空氣出口，使次懸吊空氣彈簧內之空氣排出至大氣，直到車體與轉向架之距離回復原設定值，若水平閥失效則發生之情形與空氣彈簧失效相同。



圖 2-5 臺北捷運 301 型水平閥

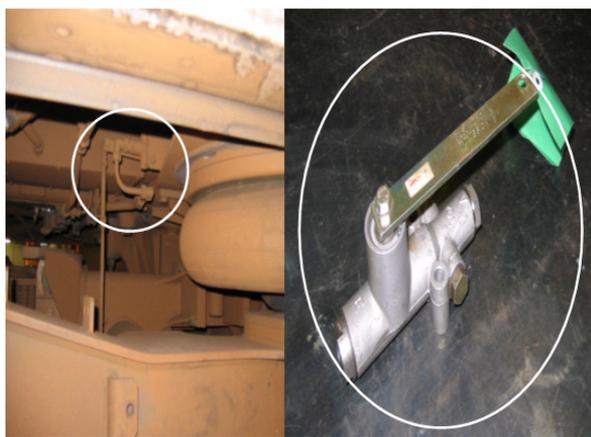


圖 2-6 臺北捷運 321 型水平閥

2.7 橫向阻尼器

橫向阻尼器（如圖 2-7、圖 2-8）其功用為緩衝車體對轉向架之側向加速度。當車體側向晃動時，則橫向阻尼器就如同彈簧般緩衝其作用力，若橫向阻尼器失效則列車於轉彎時之側向力直接由旅客承受，降低乘車舒適度。



圖 2-7 臺北捷運 301 型橫向阻尼器



圖 2-8 臺北捷運 321 型橫向阻尼器

三、轉向架結構

3.1 概念

在本章節中，會介紹轉向架與乘適度有關的各種結構，並說明其作用原理。

3.2 車軸數與乘適度

轉向架為行駛於兩條平行鋼軌的設備，故其最基本的組成為，二個車輪及一根軸心，可稱為一個輪組 (wheel-set) 如 (圖 3-1) 所示。

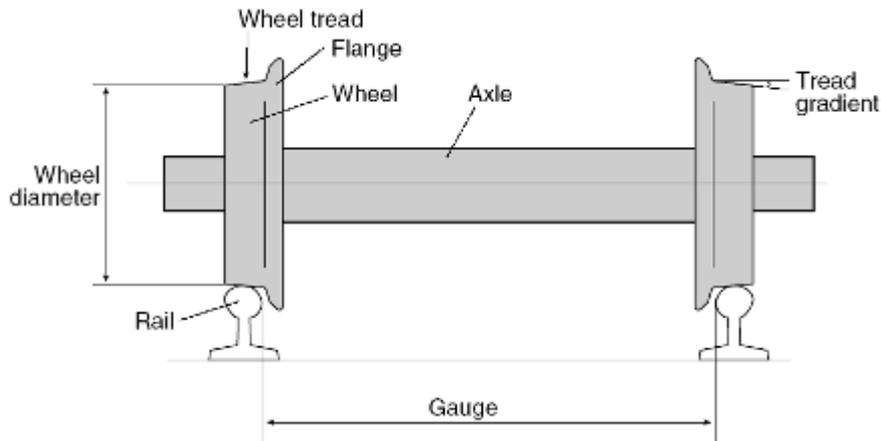


圖 3-1 Wheel and Axle Set

另外轉向架若是以軸數來做區分，常見的有單軸式、雙軸式、三軸式及多軸式，其中雙軸式是最為普遍的，因為其結構簡單，而且相對於單軸式的轉向架來說，雙軸式的轉向架更能吸收軌道的不平整所產生的振動衝擊，如 (圖 3-2) 所示，單軸式的轉向架會直接反應衝擊的能量傳送到車體，而雙軸式則能分散不平整的車軌所產生之能量衝擊。三軸式轉向架(圖 3-3)由於其結構複雜且不利於軌道運行的順暢性，所以很少被利用在客車車廂使用，但對於需要很大承載力的貨車車廂或機車頭就比較常被使用到。

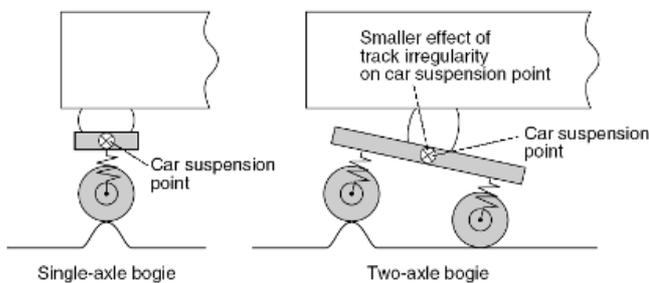


圖 3-2 單軸式與雙軸式轉向架之比較



圖 3-3 三軸式之轉向架

3.3 車廂承載與乘適度

轉向架若是以相對於車廂的承載方式來區分的話，則可分為非關節式轉向架(Non-articulated bogie)和關節式轉向架(articulated bogie)兩種，基本上兩組非關節式轉向架(Non-articulated bogie)被安裝去支撐一台軌道車輛，而一組關節式轉向架(articulated bogie)則可用來支撐一台前車的尾端並同時支撐後車的前端，西班牙 Talgo、法國的 TGV 及一些日本的快速列車都是採用關節式轉向架(articulated bogie)，雖然關節式轉向架(articulated bogie)有著結構複雜、單轉向架高負荷、維修困難等缺點，但其也提供了多方面的好處，例如降低車子的重心，再則因為轉向架不在底樑的下方，而是在底樑的前後兩端，因此乘客的座位不直接在轉向架上方，使乘車的舒適度提升，常用於需較高舒適性及長距離運輸列車使用。如（圖 3-4）為非關節式轉向架(Non-articulated bogie)和關節式轉向架(articulated bogie)的示意圖。

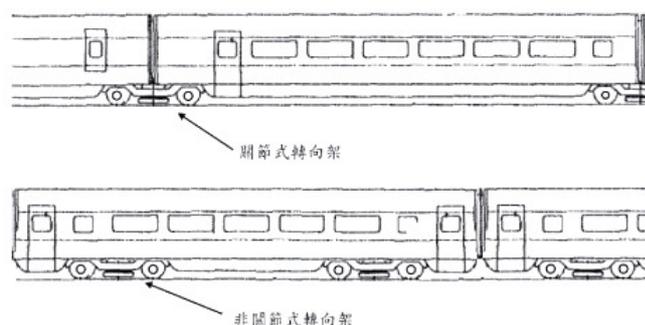


圖 3-4 關節式轉向架與非關節式轉向架示意圖

3.4 側向結構與乘適度

轉向架若依懸吊系統的側向結構來區分的話，可分為 Swing hanger bogie(圖 3-5)及 small lateral stiffness bolster spring bogie(圖 3-6)，為了確保乘車的舒適度，轉向架必須吸收軌道車輛在行駛時所產生的能量，傳統的 swing hanger bogie 是以 bogie frame 為主軸，再利用彈簧去承接上下的 swing bolster beam，如此結構可用來抵消垂直方向的位移。但是 swing hanger bogie 卻有著維修困難的缺點，因為其結構相當複雜，且也會造成大量的零件磨損，所以在一九六〇年，帶有空氣彈簧式的承樑式轉向架 (bolster bogie)被開發出來，此類型的轉向架可以吸收振動且結構較為簡單，因此很快的取代了 swing hanger bogie,如下圖為兩種轉向架的圖示。

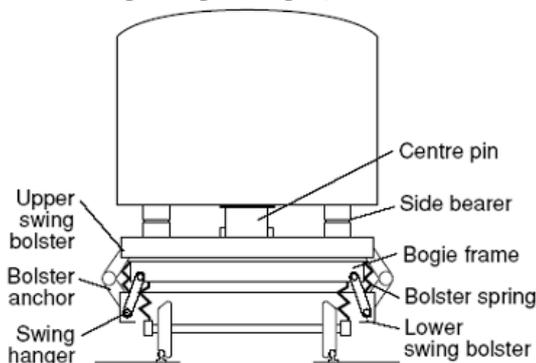


圖 3-5 Swing hanger bogie

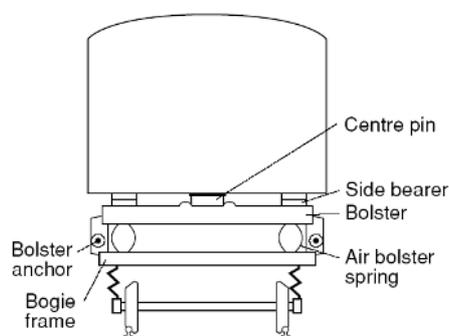


圖 3-6 Small lateral stiffness bolster spring bogie

3.5 承樑式與非承樑式轉向架

除了上述兩種轉向架外，從次懸吊系統來看，轉向架亦可分為承樑式轉向架 (bolster bogie)(圖 3-7)及無承樑式轉向架(bolsterless bogie)(圖 3-8)兩種，承樑式轉向架 (bolster bogie)屬於較傳統式的轉向架，其特性是車輛在轉彎時，車廂可利用承樑以轉向架中心銷為支點，對轉向架做相對旋轉運動，使車輛順利通過彎曲路線，適合於曲率半徑較小之軌道線型，但因為承樑的關係，造成車身整體位置提高，會增加車輛的動態包絡線尺寸，以及比較容易造成轉向架產生蛇行運動(wheel-set hunting 如下圖)。無承樑式轉向架(bolsterless bogie)是將有承樑轉向架上之承樑取消，則成為無承樑式轉向架(bolsterless bogie)，其扭轉角位移比較大，但車輛於轉彎時，車廂能對轉向架作較充足之旋轉移動，以便使車輛順利通過彎道，同時可得到較佳之穩定度與安全性。一九八〇年開始，無承樑式轉向架 (bolsterless bogie)開始被發展並使用，無承樑式轉向架 (bolsterless bogie)提供了相同的功能並因為零件的減少，使得轉向架更為輕量化，目前世界各國許多的窄軌列車，因為空間及輕量化的需求，亦開始大量使用無承樑式轉向架 (bolsterless bogie)。

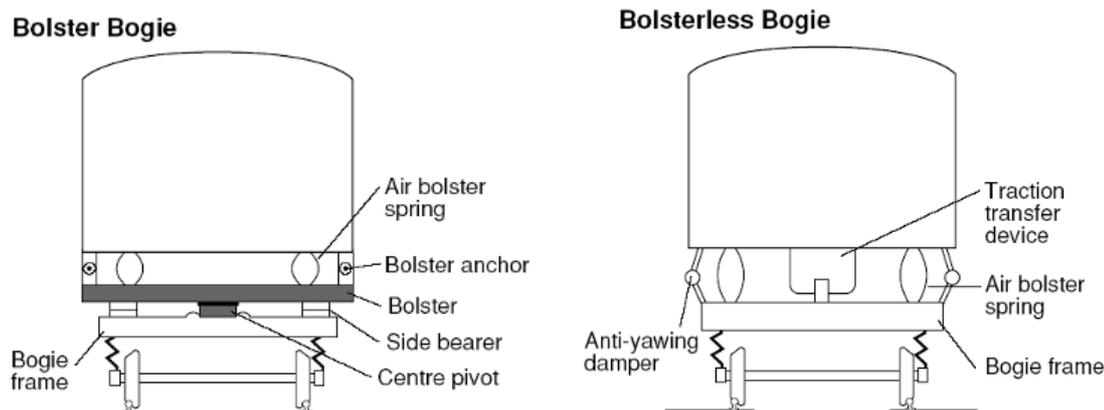


圖 3-7 承樑式轉向架 (bolster bogie) 圖 3-8 無承樑式轉向架(bolsterless bogie)

四、特殊系統之轉向架

4.1 傾斜式轉向架

當列車以高速行駛於弧型車軌時，會產生一離心作用力將乘客推向曲線外端，這種離心作用力會造成乘坐人員的不舒適感，因此傾斜式列車的轉向架(圖 4-1)開始發展起來，此種轉向架可藉由傾斜制動器，在列車行駛弧型車軌時，使車廂跟著傾斜，然後將離心作用力減至最低，道理如同我們騎摩托車通過彎道時，會不由自主把車身往內側彎道傾斜以減低離心力一樣。傾斜式列車有分為主動式傾斜及被動式傾斜，主動式傾斜為在轉向架上安裝一制動器，使得列車在通過弧型車軌時能以制動器推動車廂，使車廂產生傾斜，而被動式傾斜則採用慣性的原理，配合軌道斜面產生鐘擺

式的傾斜，在日本發展之 controlled tilt system (圖 4-2)傾斜式列車，在於它的主動式傾斜系統上再加上一先期預測系統，一般人認為傾斜式列車是在通過弧型車軌時開始傾斜，但太過快速的車廂旋轉會造成乘客的不舒適感，因此常為了顧及乘客的舒適度問題，必須減緩傾斜的速度，也因此使得列車在通過弧型車軌的速度也必須跟著降低，該 controlled tilt system 在於軌道列車在進入彎道前就有一訊號預先通知列車開始傾斜，因為列車在直線段便開始做緩慢的傾斜動作，乘客並不會感到有強烈的傾斜，且能提高通過弧型車軌的速度。

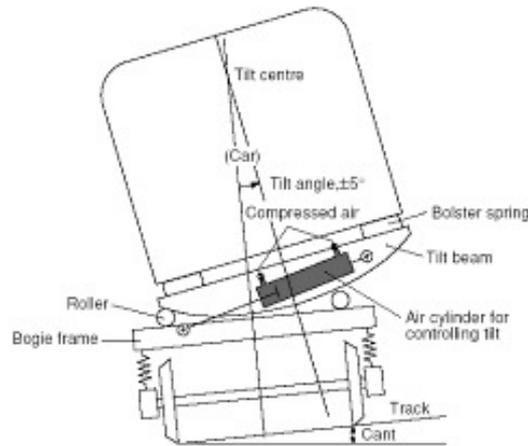


圖 4-1 傾斜式列車示意圖

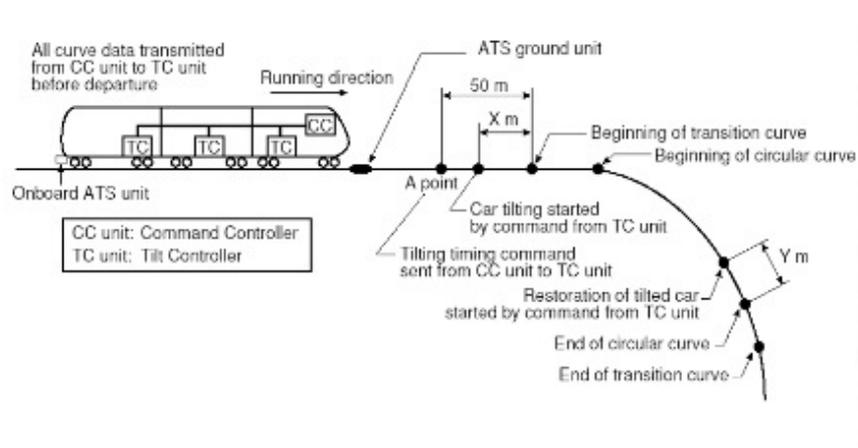


圖 4-2 Tilting control system

4.2 自導式轉向架

當列車在高速通過弧型車軌時，傳統式轉向架因為離心力的作用，在車輪的凸緣與鋼軌間會有 angle of attack 產生(圖 4-3)，這會使車輪的凸緣產生磨耗及振動噪音，嚴重時會造成脫軌的意外。一般來說，車輪的踏面採用類似啤酒桶的弧線設計，使得列車在行駛過程中能沿著軌道前進，但在弧線路段，因為有離心力作用，使得列車會往弧線外圍偏離，因此會造成車輪內側凸緣磨損，而自導式轉向架的發展，使列車在通過弧型車軌時能更為平順，以減少車輪的磨損及振動噪音。自導式轉向架的原理在於當列車

通過弧型車軌時，左、右輪的轉彎瞬時中心半徑能與弧型車軌之中心半徑相同，如（圖 4-4）所示，Z 型連桿機構能使列車在轉彎時，控制左、右輪開始旋轉運動，以使得輪軸中心能通過弧型車軌的中心運動，使得車輪的磨耗降至最低，不僅提高行車的速度，也提昇乘坐的舒適度。（圖 4-5）為自導式轉向架在運作時之情形。

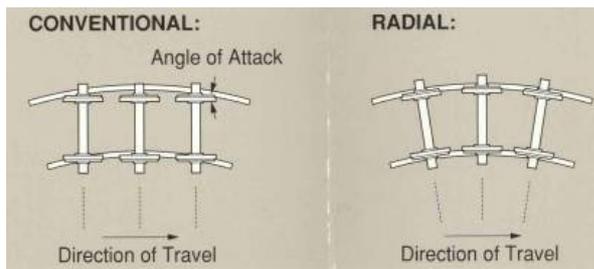


圖 4-3 傳統式與自動式轉向架圖

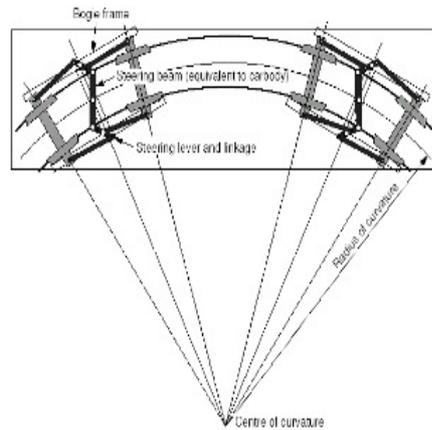


圖 4-4 Z 型連桿自導式轉向架

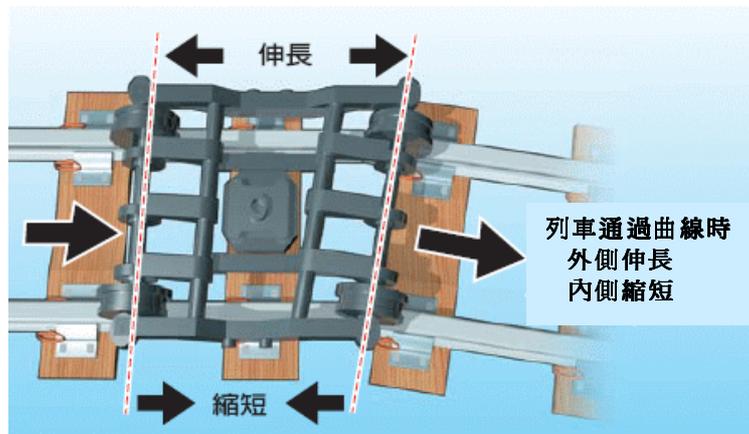


圖 4-5 自導式轉向架在運作時之情形

五、懸吊系統

隨著科技發展的進步，運動體之振動問題日漸被重視，從日常生活中的光碟機，到大型的車輛、工具機等，為了解決振動的問題，而採取阻絕振動的方法。在軌道車輛系統中，懸吊系統(Suspension system)是一個非常重要的隔振系統；簡單來說懸吊系統，便是用來支撐荷重，當遇到不平整車軌時，能夠避免振動直接傳遞到車廂。

在整體的懸吊系統中，共有兩組懸吊系統組成，介於車輪與轉向架間的懸吊系統稱為主懸吊系統，在轉向架與車體之間的懸吊系統稱爲次懸吊系統，如（圖 5-1）；懸吊系統不僅用來隔絕路面及轉向架本身在運作時所產生的振動及

噪音，也用來減輕車輛對車軌的負荷。一般來說懸吊系統的組成爲彈簧及阻尼，彈簧的功用是用來吸收車軌不平整所帶來的衝擊，阻尼的功用則利用材料本身的特性來達到能量轉換的效果。一組好的懸吊系統必須達到下列幾點：

車輛姿態維持：車輛在遇到不平整車軌時、或車輛加速及減速時所造成的慣性，或車輛轉彎時造成的微傾影響，懸吊系統必須能夠抑制車輛姿態，並具有良好的阻絕效果。

提升乘適度：懸吊系統需能夠吸收路面的不平整所造成之振動，減低車廂的晃動，以確保乘客乘坐舒適感及長途乘坐的耐久力。

增加車輛操控性與安全性：懸吊系統必須使車輛有良好的操控性，可以將車輛在行駛時的晃動或滑移等控制在一定的安全範圍內。

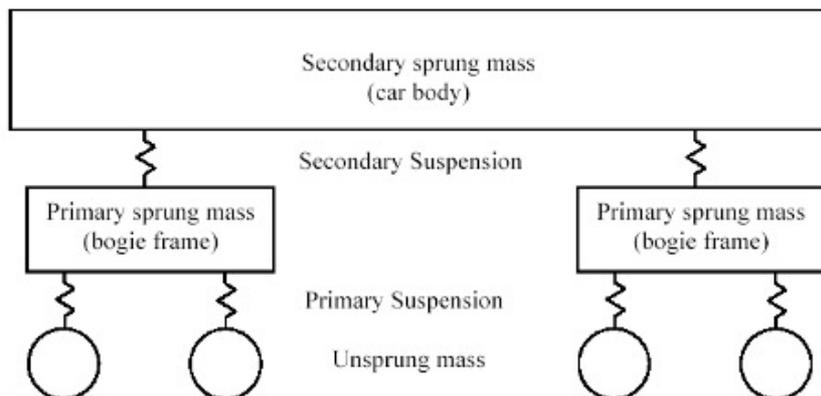


圖 5-1 車輛之懸吊系統

5.1 主懸吊系統

轉向架之車輪軸係藉由主懸吊（如圖 5-2、圖 5-3）而與框架連接，因此主懸吊又稱爲車軸彈簧，主懸吊其功能爲支撐車身重量，並吸收車輪行駛時產生的振動，提供良好的舒適度，並提供適當的側向與縱向剛性，以降低車輛之蛇行運動，一般而言，主懸吊約可分爲金屬彈簧與橡皮彈簧兩種，目前我國臺北捷運公司所使用之主懸吊多爲橡皮彈簧，其型式常爲錐形彈簧式（Conic Rubber Type）。

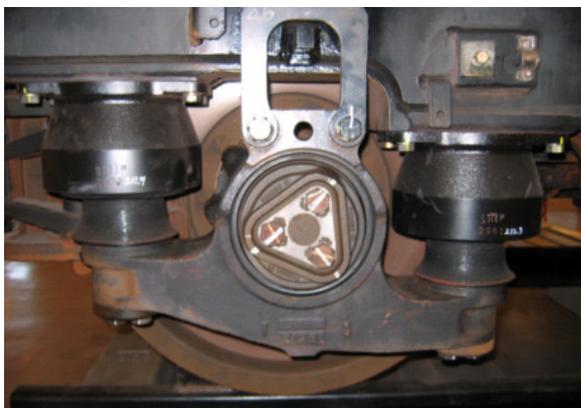


圖 5-2 臺北捷運 301 型主懸吊系統



圖 5-3 臺北捷運 321 型主懸吊系統

此種類型之主懸吊配置特性爲車輪軸任何方向之負荷，均可由車軸兩

側之錐形橡皮吸收。若錐形橡皮彈簧失效，則列車於行駛過程中所產生之各種振動會直接傳遞至旅客身上，造成旅客不適。

主懸吊系統在設計上，垂直方向所允許的剛性較小，故可以吸收由車軸及輪組 (wheel-set)所傳來的振動，而在側向及縱向的剛性較大，為的就是可以減低車輛的蛇行運動。

決定懸吊系統之彈簧常數可以下列四點著手，考慮有效變形、乘適性、操縱性及車輛之靜態平衡。

5.1.1 有效變形

有效變形為懸吊彈簧與車輪未承受質量之自由高度與承受靜承載質量(staticsprungmass)時高度之差，乘適頻率(Ridefrequency Fride)與有效變形 δ_{eff} 的關係為:

$$Fride = 4.98 / \sqrt{\delta_{eff}} \dots \dots \dots (1)$$

其中 Fride 的單位為 Hz， δ_{eff} 之單位為 cm(一般小於 3.4cm)。我們可將車輛視為等價(equivalent)質量、彈簧及阻尼組成的系統，系統本身具有固有頻率 W_a ， W_a 的公式如下：

$$W_a = 60 / 2 \pi \times \sqrt{K' / M} \dots \dots \dots (2)$$

其中 K' 為乘適率(Riderate)，車輪與懸吊彈簧之常數和，M 為承載質量。

而軌道激發之頻率為 W，當 W/W_a 接近 1 時，系統會產生共振使乘客產生不舒適的感覺，一般而言，選定適當的有效變形以求取適當的乘適頻率，再令乘適頻率與車輛整體固有頻率相等，可使得共振效應反應在彈簧上，以抵消乘客的不舒適感。

另外在縱向(longitudinal)及側向(lateral)的剛性(stiffness)上，我們必須選擇能兼顧運轉速度、載重及乘適性，因此這兩個方向的剛性，不可過硬(stiff)也不可以過軟(soft)，因為我們必須考慮到其控制性、穩定性、乘適性。如(圖 5-4)就是剛性主懸吊系統在縱向及側性因剛性過硬及過軟所容易產生的現象，過硬的轉向架會使車輪與輪軌間產生 angle of attack，過軟的轉向架會因為活動性太高，造成蛇行運動(Wheel-set hunting)。

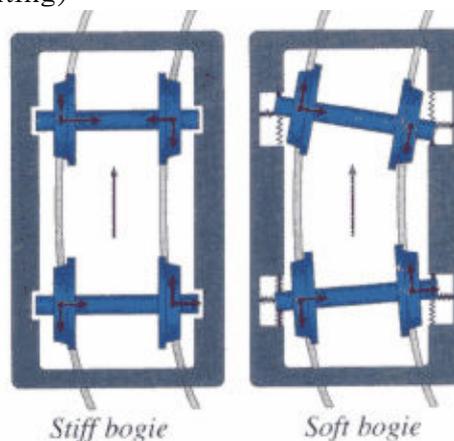


圖 5-4 Stiff bogie 與 soft bogie

5.1.2 乘適性

人類平常走路的頻率約在 1Hz，所以人類感到最舒適的頻率為 1Hz，因此就乘適性來看，車輛承載質量垂直(Bounce)、俯仰(Pitch)運動之頻率約設定在 6Hz 範圍，非承載質量垂直運動頻率則為 10~15Hz，其目的在於將承載與非承載質量運動分的較開，使兩者由於耦合所產生之互相影響減至最小。

5.1.2 操縱性

車輛為三度空間的運動系統，因為操縱性的好壞會影響到乘客的安全，對於車輛迴轉時的滾翻角度(Rollangle) 及車輛急劇煞車時俯仰角(pitchangle)，必須有所限制，這也是懸吊系統在設計上必須考慮的。

5.1.3 車輛之靜態平衡

靜態垂直變位與乘適品質有密切關係，變位小可能使乘適品質差，車輪位移空間較小可節省空間，車輪位移空間大則乘適品質會較佳，因此懸吊系統的靜態平衡亦為懸吊系統設計須考慮的因素之一。

5.2 次懸吊系統

轉向架藉由次懸吊系統(如圖 5-5)與車身連接，其功用為支撐車身高度與重量，並提供良好之舒適度，一般常見之種類有兩種，一種為空氣彈簧式 (Air Bag)，另一種為金屬彈簧式 (Metal Coil Spring)，目前客車常使用之型式為空氣彈簧式(圖 5-6)。

空氣彈簧式其本體為一橡皮氣囊，可藉由水平閥調整其中空氣壓力之大小，得到不同的彈簧特性，可不受車上旅客多寡之影響，使車廂地板保持在一定高度，該高度通常會考量設定與月台同高，以利旅客上下車，若空氣彈簧失效則會發生車廂地板與月台高度不同，造成旅客上下車之不便，並可能發生車身傾斜之情形。

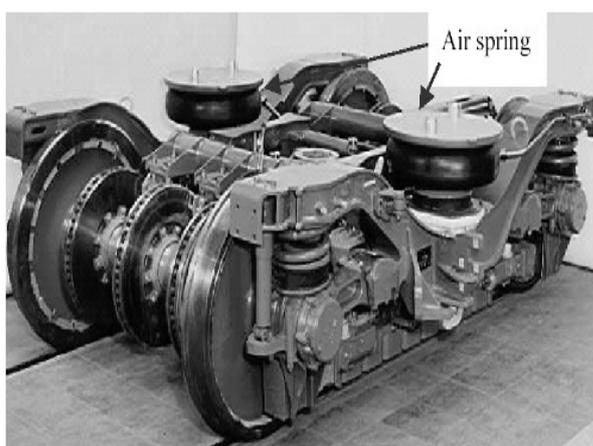


圖 5-5 次懸吊系統



圖 5-6 空氣彈簧之分解

5.3 空氣彈簧與金屬彈簧的比較

如前面所提，人類感到最適應的頻率為 1Hz，在空氣彈簧的設計上，它必須能過濾掉因為車體相對於轉向架移動許可範圍內所造成的振動，而這振動的頻率必須符合所設定的範圍。

振動的阻絕在傳統的理論裡是採用振動阻尼器，就一般規則而言，車體與阻尼器的自然頻率(nature frequency)必須低於激發頻率(Excitation frequency)。阻尼器變形的撓度與自然頻率的平方成反比，當自然頻率愈低時，靜態的撓度愈大，所以阻尼器設計時，它必須能儲存很大的潛在能量，以吸收靜態撓度變形及承受負載的能量。在材料的選擇上，被侷限在具有單位體積能儲存高能量性質的材料，例如彈簧，就是能承受很大的負載及變形的材料；然而，此彈簧材料即相當笨重及佔空間，在重量及空間節省上是較不具經濟性的。

因此，氣體彈簧開始被發展，氣體彈簧以利用氣體可被壓縮的原理來充當彈性體，亦考量到通常在轉向架上可使用的氣體為空氣，所以統稱為空氣彈簧(air spring)，就因為空氣具可被壓縮性，產生彈力去承載大負荷，而且空氣彈簧不需要很大變形撓度，所以在空間及重量的節省上，空氣彈簧佔了很大優勢，所以現今大部份的轉向架的次懸吊系統都是採用空氣彈簧。

再者，不若金屬彈簧，空氣彈簧在負載有所變更時可以維持一定的高度，而空氣彈簧本身可維持相當低的自然頻率，再則空氣彈簧可透過水平閥及輔助氣閥控制，維持一定的負載剛性，相等的車體高度，亦能維持較好的乘適度。而金屬彈簧其變形與負載對彈簧常數具有一個等比例限制，在負載較高的情形下，因為變形量相對需較大，然而於空間被侷限範圍下，相對就必須使用硬度較高的彈簧，因此乘適度上面會被打折扣。(圖 5-7) 空氣彈簧與金屬彈簧的比較。

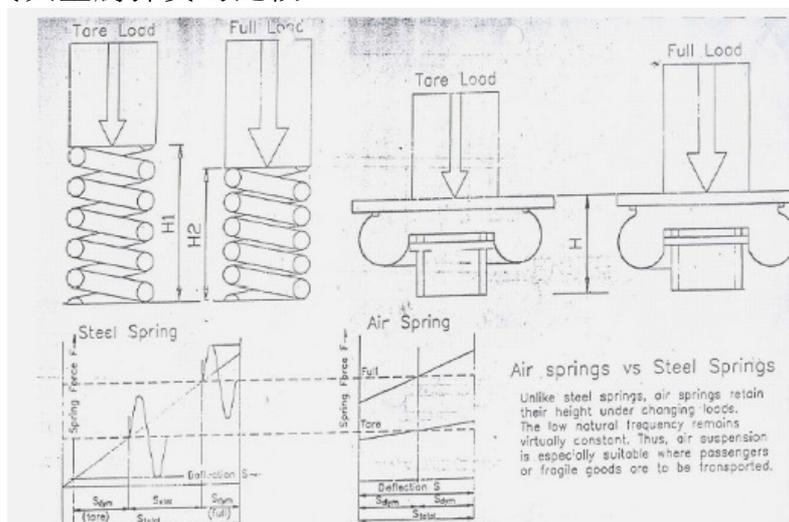


圖 5-7 空氣彈簧與金屬彈簧的比較

空氣彈簧的另一項優勢，其能量儲存的能力遠大於一般的機械式彈簧，所以空氣彈簧因為有高效率的能量儲存特性，所以常被應用在振動阻尼系統上，其所產生的自然頻率低於以彈簧鋼或橡膠製成的振動阻尼系統，而且範圍相差近十倍以上。

就任何彈簧而言，彈簧最重要的特性就是負載能力(load capacity)、彈簧常數(spring rate)、變形度(transmissibility)，雖然空氣彈簧的變形量不高，但它卻有很高的重量負載能力，而且就彈簧常數而言，空氣彈簧應能輕易的由氣壓調整，來達到需要的彈簧常數。

在一八〇〇年代中期，有許多的氣壓式彈簧被發展出來，而演進至今，空氣彈簧已經可以同時提供垂直向、縱向、及側向的懸吊功能，也因此bolsterless(無枕樑式)的轉向架可以被更廣泛應用，即簡化轉向架懸吊系統複雜之設計，使其輕量化及結構精簡化。

5.4 Additional springs

空氣彈簧除了原有的氣壓彈簧外，還會在中心軸另外加裝橡膠彈簧，橡膠彈簧可以額外提供轉向架的二次懸吊彈性力，亦或者當空氣彈簧的氣囊被刺破時，還可以保有次懸吊系統的彈性，圖 5-8 是一般常見的橡膠彈簧種類，此類似的特點在於其在垂直方向有很好的剛性，但在水平方向有很好的彈性。

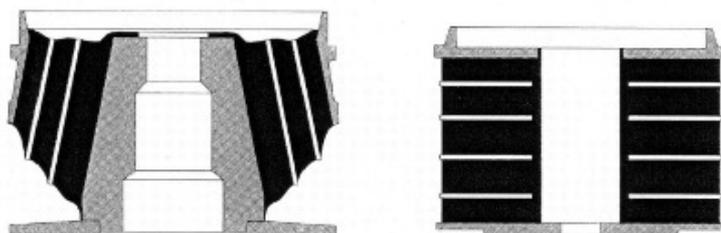


圖 5-3 Two different types of additional springs

5.5 空氣彈簧操作原理

空氣彈簧看起來是個簡單的空氣氣囊，然而這個氣囊卻有著非常重要的特性，氣囊的型狀會大大的影響到懸吊系統的效果好壞，藉由壓力調整改變氣囊的形狀，而氣囊形狀的改變會影響到所承受負荷力之大小。而空氣彈簧的軸向剛性與氣囊本身的體積成反比，當體積增加時，垂直方向的剛性會變的更為柔軟。

(圖 5-4)是空氣彈簧最簡單的例子，其組成包含空氣氣囊及經由 surge pipe 連接到輔助儲存閥系統，當車體系統在振動的模式下，氣囊內的空氣開始被壓縮，此時空氣氣囊內的空氣壓力與輔助儲存閥內的壓力不同，此時透過 surge pipe 之連接，空氣得以互相交換，空氣壓力得以中和，當空氣彈簧承載負載時，空氣會從空氣氣囊流入輔助儲存槽，反之當空氣彈簧無負載時，空氣的流向，則為反方向。

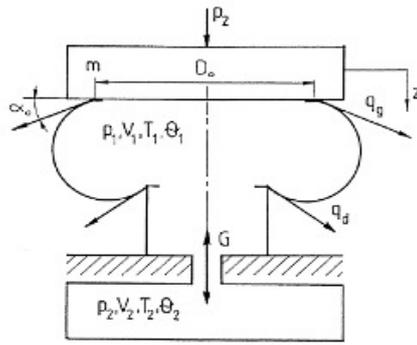


圖 5-4 空氣彈簧的基本模型

現階段發展之空氣彈簧更為複雜，包含一個水平閥及空氣壓縮機，(圖 5-5) 為整個空氣彈簧的系統。水平閥與空氣壓縮機可用來協助調整空氣彈簧的高度，帶有水平閥的壓縮空氣系統，可確保空氣彈簧在不管多少荷重下都會維持一固定自然頻率(圖 5-6)，當車體的重量增加時，壓縮機會把空氣灌入空氣彈簧，使壓力增加，以維持同樣的設定高度(圖 5-7)，當然當車體重量減少時，空氣彈簧的壓力亦會降低，使車體維持同樣高度(圖 5-8)。而彈簧常數與空氣壓力成爲一個方程式，彈簧常數會隨著重量的增加而增加，使其維持相同的自然頻率，亦維持相同的乘適度。

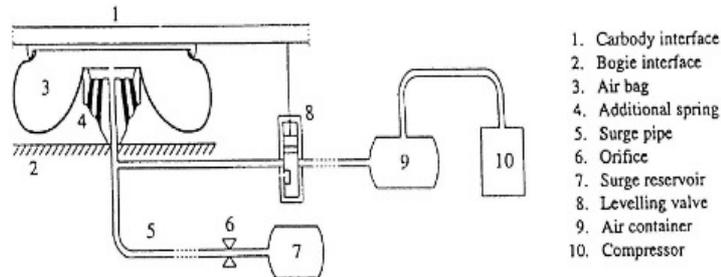


圖 5-5 空氣彈簧系統

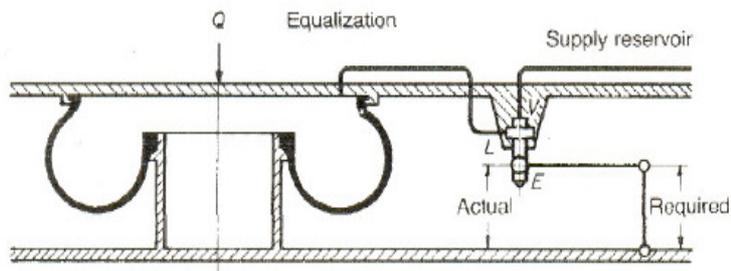


圖 5-6 空氣彈簧系統正常高度

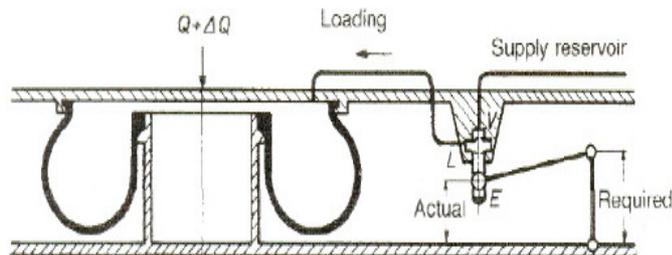


圖 5-7 車體承受重量，空氣流入空氣彈簧

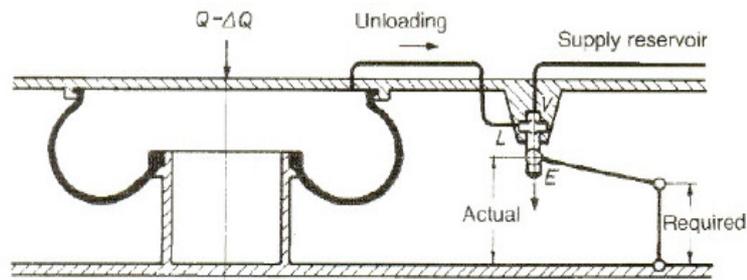


圖 5-8 車體減輕重量，空氣流出空氣彈簧

六、Mechatronic bogie

在過去十年間，電子及控制技術已經被廣泛的應用在各個領域，在軌道運輸上，動力機構傳輸部份，也由過去的純機械式(蒸氣火車)，逐漸發展至現代化電子搭配軟硬體控制。然而在軌道車輛懸吊系統方面，近幾年來亦有了很大的發展，Mechatronic system 就是以電子控制的一項技術，其整合電子感應器、控制器和制動器等元件在一起的一套系統。Mechatronic 基本原理是把電子控制整合到機械懸吊系統內，(圖 6-1) 為一個主動式懸吊系統之說明，以傳統式懸吊系統觀點來看，被動式懸吊系統是藉由彈簧及阻尼所組成，在車輪與車軌間有力量反應時才做被動式的反應，而主動式的懸吊技術會藉由感應器及電腦處理器去接收路面的情況並馬上計算並傳送至控制器，再傳送至懸吊系統的制動器，以主動反應來改善乘適度，並達到減動及低磨耗的要求。

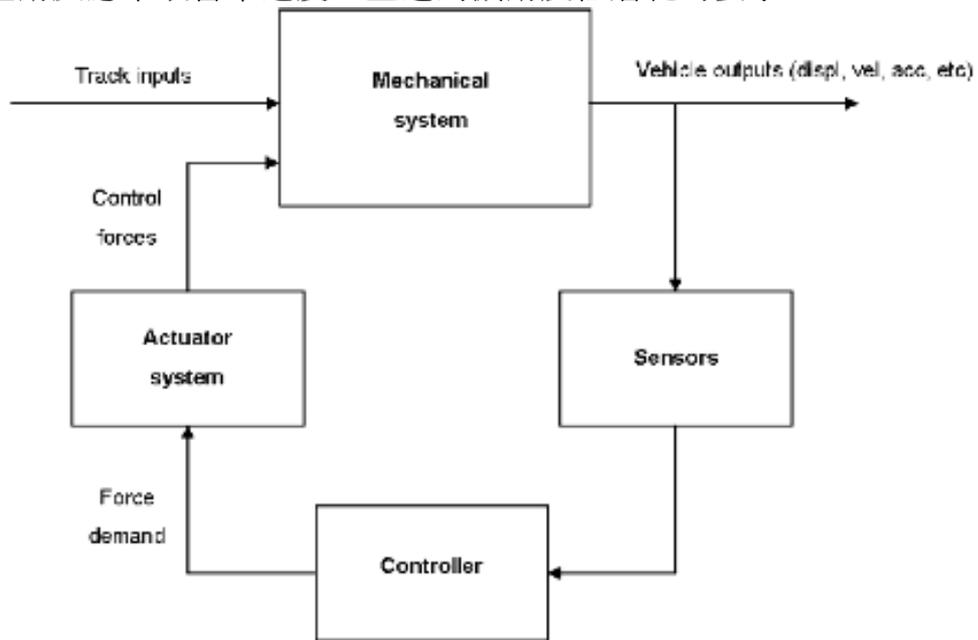


圖 6-1 Scheme of an active suspension

6.1 Mechatronic system 於次懸吊系統之應用原理

Mechatronic system 在懸吊系統上的應用，如(圖 6-2)所示，其組成包括一個 car-body，兩組轉向架，四組車輪組 (wheel-set)，車輪組 (wheel-set)

由主懸吊系統連接到轉向架，而轉向架由次懸吊系統連接到 car-body。

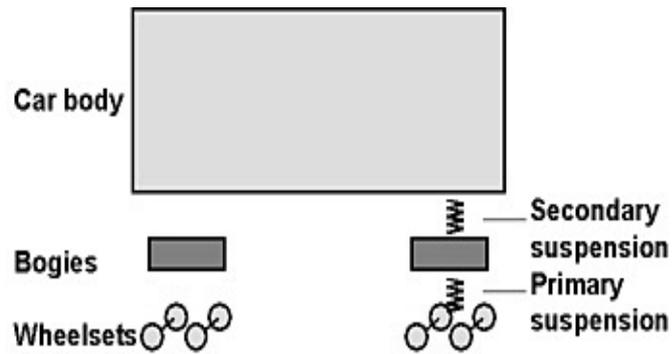


圖 6-2 Simplified scheme of railway vehicle

在 Mechatronic 技術中，最早被應用在懸吊系統上的技術是在次懸吊系統，傾斜式列車就是目前廣為應用的 mechatronic 技術的實例，如（圖 6-3）所示，而現在軌道系統的研究專家們也正試著把傾斜式列車的觀念延伸到其它懸吊系統。

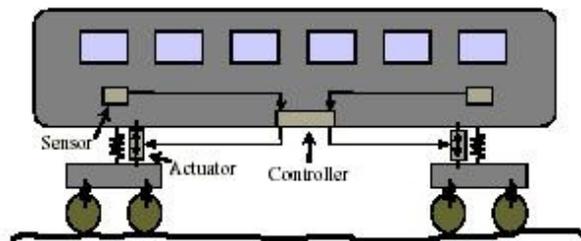


圖 6-3 Active secondary suspension control scheme

6.2 Mechatronic system 於主懸吊系統之應用原理

主動式車輪及輪組 (wheel-set) 操控比主動式次懸吊系統要來的複雜很多，因為要一組控制器驅動一個輪軸，而一個輪軸上卻同時有兩個獨立旋轉的車輪，圖 6-4 是一組 Directly-steered wheel-pairs 的示意圖。

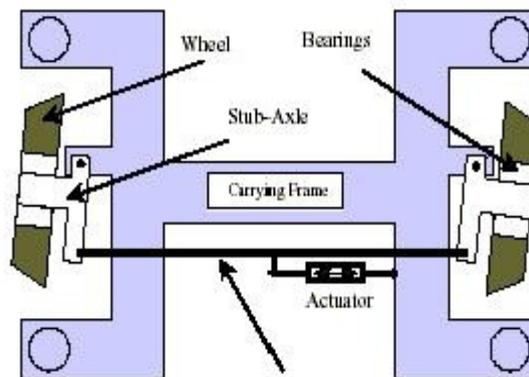


圖 6-4 Directly-steered wheels

基於前述之概念，爲了克服傳統轉向架在自導式控制及懸吊系統上的一些限制，mechatronic bogie 在主懸吊系統上開始發展，其特點在於主動式控制系統的加入，特點如下：

- 1、減少機械式結構及元件朝向小尺寸發展。
- 2、主動式控制系統，可因應各種不同的軌道參數條件。
- 3、反應迅速的制動器。
- 4、具可立即辨認目前情況的感應器。
- 5、強大的模式庫基礎(model-base)控制器，可在高效能的硬體執行。
- 6、將機械與電子整合，也就是以微電子理論來控制機械裝置並可以方便的與其它系統結合。
- 7、主動式的車輪操控及穩定性及控制車體相對於轉向架的移動或傾斜。

Mechatronic bogie 具有側向主動懸吊與主動式車輪操縱等優點，Mechatronic 的意義在於減少複雜的機械式結構，且減少元件的好處，使得轉向架小型化也輕量化，再則使得機械式噪音可以被減少。

在今日大部份的高速軌道車輛在通過弧型路線時都被要求應遵守安全性準則，因此在弧線部份會把速度犧牲，過去傳統的轉向架，以增加踏面的斜度或使踏面與車軌成一個點的接觸，雖然可以增快弧線路段的車速，但車輪與車軌不但會有高磨耗的問題，而且對車軌來說也必須承受相當大的力量。

另外，轉向架在車軌上行駛時必須因應不同的軌道特性，如車軌的傾斜、車輛的行駛有效空間、車輛界限等，因此傳統的轉向架必須以固定的參數來設計，以達到最理想化的軌道行駛狀態，但過大、沈重且複雜的機械結構往往造成振動與噪音等問題，在顧及乘客舒適度考量的情況下，投入更高級的轉向架研發，可減少振動、噪音，以提昇乘客舒適度的目標。

(圖 6-5)FLEXX tronic bogie 就是爲了克服這些問題所發展出來的新型態轉向架，具主動式車輪操控系統(active wheel-set steering) 被稱爲 Active Radial steering and Stability control(ARS)，強調在弧型車軌上可以使車輪與曲線間間隙被穩定的控制。並同時間獨立去操控每一對輪組 (wheel-set)使編排出最理想相對於車軌的輪組 (wheel-set)角度，而且面對車軌的不平整，也會主動調整制動器以符合路況。

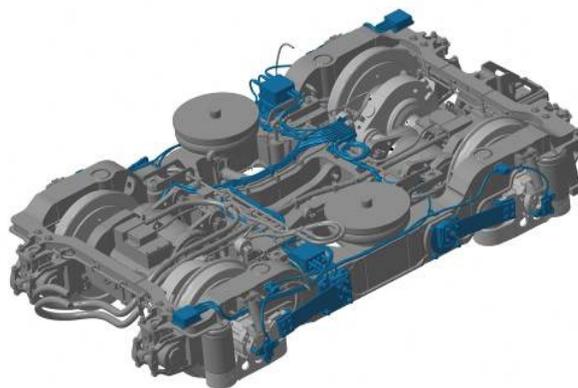


圖 6-5 FLEXX tronic bogie

6.3 Gröna Tåget (Green train)

Green train 計畫 2007 年 7 月於歐洲執行，一台兩節車廂，在這項的實驗中，重點除了在速度提昇外，對 mechatronic bogie 來說，減少車輛的不穩定性，例如搖擺(yaw)、蛇行運動(wheel-set hunting)等，如何讓軌道與車輪的磨耗減少，並增加軌道車輛在通過弧型路線的穩定性是其重點，而這些結果重點在於強調所謂的 track-friendliness(圖 6-6)，所謂 track-friendliness 就是如何使軌道車輛在行駛車軌時，能夠使軌道與車輪的磨耗減少，進而降低軌道的維修成本，也必須使軌道車輛能儘量配合現有軌道狀態不完美(non-perfect)的車軌行駛，再則提高弧型路線的行車速度。

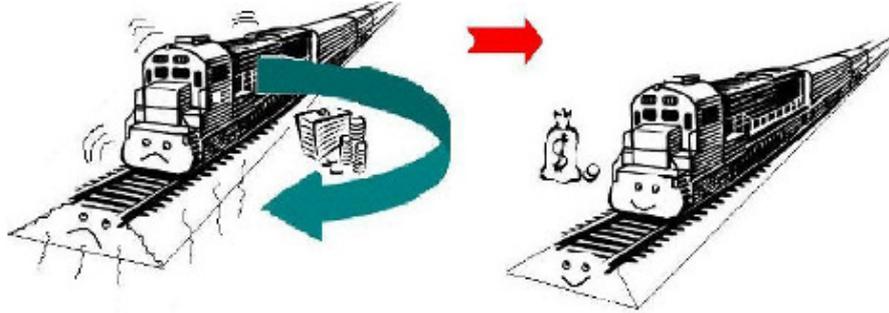


圖 6-6 track friendliness

對 track-friendly bogie 來說，車軌的側向破壞與軌道車輛在弧型車軌上行駛的 performance 有關，而弧型車軌上行駛的 performance 則與轉向型的側向剛性有關，所以降低轉向架的側向剛性，並選擇合適的阻尼器，就垂直方向的軌道破壞來看，則與轉向架的軸向承載有關，因為車輛給予軌道的負載輕量化變得特別重要，而當降低轉向架的側向剛性時，如果沒有適當的阻尼器，軌道車輛會產生蛇行(wheel-set hunting)現象，尤其在速度低於 100km/hr 時，這就是軌道車輛設計在弧線路段與直線路段衝突的地方，因此轉向架的側向剛性也不宜過低。

在轉向架最佳化輪組 (wheel-set) 導引及側向阻尼可達到高速行駛的穩定性及降低車輪及車軌磨耗(如圖 6-7)，而在具有力量回饋的車輪上測試，所得到的側向軌道力量值是 UIC 極限標準值的 50~65%。Active Lateral Actuator(圖 6-8) 加裝於側向連桿(圖 6-9、圖 6-10)，配合感應器及控制器，計算車軌的轉彎曲率，主動使車軸擺動以取得最佳的轉彎偏擺，來達到曲線行駛最佳化。

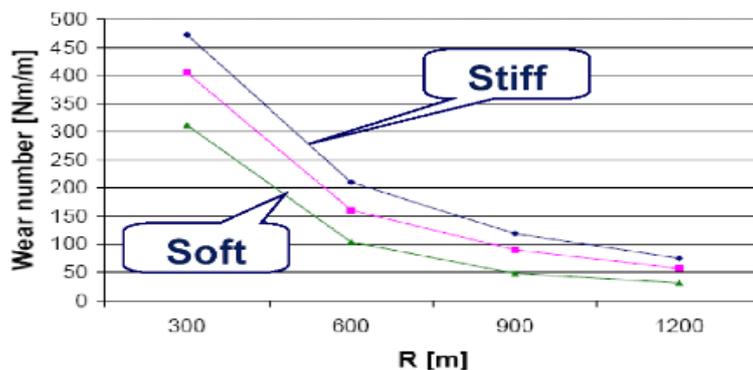


圖 6-7 弧線車軌上轉向架與車輪磨耗的關係

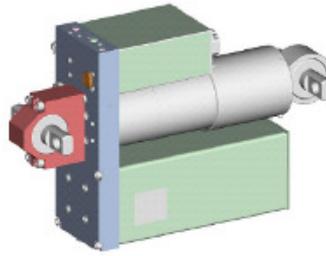


圖 6-8 Active lateral actuator

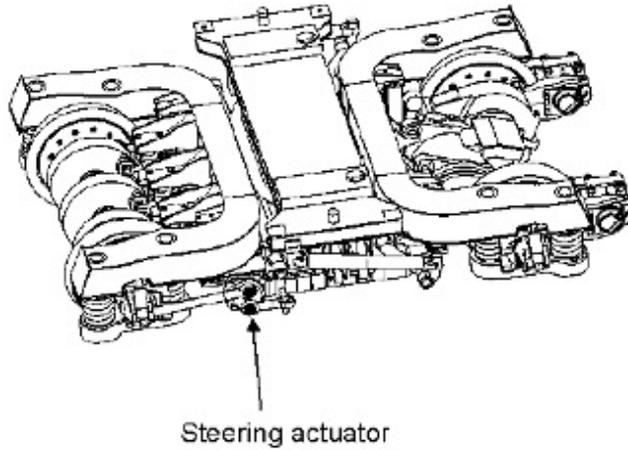


圖 6-9 Location of Steering actuator

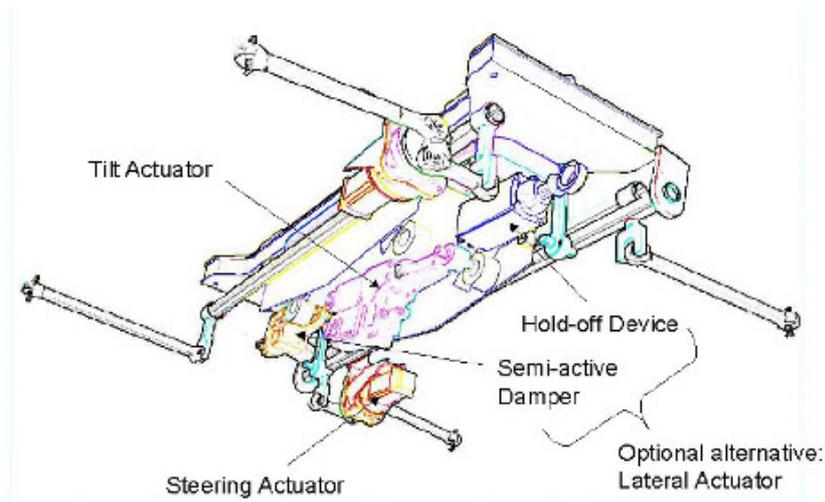


圖 6-10 Location of Steering actuator

6.4 主動式懸吊系統於汽車之應用

在汽車的懸吊系統設計上，傳統的懸吊系統都是採用減震筒與彈簧的組合來進行吸振與支撐的工作，巧妙處就在於減振筒阻尼的設定，搭配上特定係數的彈簧，控制懸吊的預載/Pre-Load、壓縮/Bounce、回彈/Rebound 等等。不過傳統懸吊受限於預先的設定，所以只能夠維持相同的系統特性。

但新一代懸吊設計則是結合了氣壓/油壓/或感應式減振筒與電腦控制系統、感應器加裝等優勢，而成爲主動式懸吊系統。

這種新系統能夠自動按照電腦控制程式的設定依據行車速度、荷重、加速、左右 G 值力、轉向程度等數據的變化，再利用即時/Real Time 方式調整懸吊的係數，以維持乘客之乘適度。(圖 6-11) 汽車懸吊系統於傳統式與主動式對凸出的路面所反應到的 body bounce，可以看出，主動式懸吊系統在 Body bounce 上較爲平順，亦有較佳的乘適性。

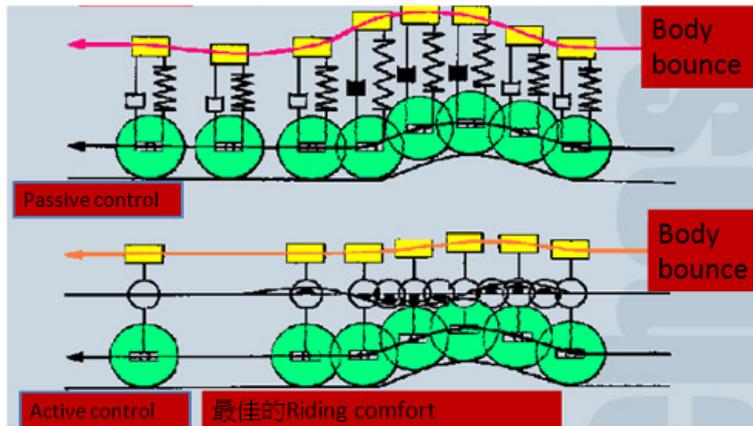


圖 6-11 汽車傳統懸吊系統與主動式懸吊系統比較

七、結論

轉向架是軌道車輛在乘適度上的最重要關鍵元件，傳統的機械式懸吊系統轉向架，結合電子控制技術，在主動式懸吊系統可應用於傾斜式列車、自導式車輪操控等，未來可朝軌道車輛之主懸吊系統上加裝感應器、制動器及加速規等，垂直方向於傳統式懸吊系統車輪及車軌間的 worst-case forces 可達 300 KN，Frequencies 可達 100Hz，如果能藉由感應器去針對車軌上的不平整做資料的擷取，配合處理器快速運算，再由制動器去主動反應進而調整主懸吊系統之彈簧高度去迎合不平整車軌所帶來之衝擊，把力量分散到轉向架上，可提昇乘適度，道理如同汽車的主動式懸吊系統。另外在設計上，轉向架也必須考慮到經濟性及維修性，未來更應該朝輕量化來發展，期能在最精簡的設備下，爲行車帶來更好的穩定性及乘適性，並達到高安全性的要求。

參考文獻

1. 江耀宗 “軌道車輛學” 國立臺灣科技大學上課講義.
2. 王總守 “高運量電聯車轉向架設計製造與測試” 臺北市政府捷運工程局.
3. 廖崑亮 “軌道機電系統” 國立臺灣科技大學上課講義.
4. Anneli Orvnäs (2008) “Active Secondary Suspension in Train” Publication 0803 ISBN 9789174151442 KTH Railway Group.
5. Dr. Ralph Streiter, DC FT1/FD, Dipl.-Ing. Marco Boller, Dr. Britta Riege, DC FT1/FD, Dipl.-Ing. Richard Schneider, Dipl.-Phys. Günther Himmelstein, BT SBO/E, “Active lateral suspension for high speed trains” .

6. <http://www.bombardier.com/>
7. <http://www.contitech.de>
8. <http://www.railwaygazette.com/home00.html>
9. <http://www.railway-energy.org>
10. Kanji Wako “ How bogies work”
11. Prof. Evert Andersson, M.Sc. Anneli Orvnäs, M.Sc. Rickard Persson (2007) ” Radial self-steering bogies- Development, advantages and limitations” Glasers Annalen, pp. 248-259.
12. Prof. Evert Andersson, M.Sc. Anneli Orvnäs, M.Sc. Rickard Persson (2007) “Development of Track-Friendly Bogies for High Speed” Publ 0703, ISBN 978-91-7178-726-2, Division of Rail Vehicles, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering, KTH, Stockholm, Sweden.
13. Presthus, Malin(2002) “derivation of air spring model parameters for train simulation” . CIV. ISSN:1402-1617.ISRN:LTU-EX—02/59—SE.
14. S.Shen, T.X.Mei, R.M.Goodall, J.Pearson and G.Himmelstein(2003)” A Study of Active Steering Strategies for a Bogie” IAVSD03, Kanagawa Japan.

軌道車輛連結器之研究

The Study of Rail Vehicles Coupler

林志陽 LIN, Chih-Yang¹

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：sunnylin@nspo.org.tw

E-mail：sunnylin@nspo.org.tw

摘要

「連結器」在軌道車輛系統中，扮演一絕對重要角色，提供車廂與車廂間之連結關係；各種不同樣式之設計工藝與演進，亦同樣令人好奇與著迷。在本研究，將介紹各種不同樣式連結器之設計特點，並以工程的角度分析其受力作用與元件功能；同時以我國臺鐵車輛之應用實例，針對自動連結器形式探討等。最後並列舉臺鐵列車之自動連結器與半永久連結器之實際操作解說。

Abstract

The 「coupler」 plays an important and absolutely interface connecting role in a train system. It' s invention and evolution history is also inetersted by people. In the following article, we will have a brief introduction of different types of representative coupler with associated component. Then, trying to figure out it' s working forces. The application in TRA system and general operation will also be mentioned.

一、認識連結器（Coupler）

所謂「連結器（Coupler）」，顧名思義即是提供兩物體間之連結功能。其連結之設計包含機械（Mechanical）與電（Electrical）機構；實務上小至電路排線，大至軌道車輛車廂間之連接等，而本文所要探討之主題為應用於軌道車輛之連結器。由於軌道車輛係將若干個別車廂藉由連結器連成一系列，故連結器為相當重要的一項元件。其最主要功能為提供車廂與車廂牽引力傳遞，同時亦提供緩衝之作用。此外，由於車輛（廂）運行操作時，需要具備基本照明、號誌燈甚至空調等電力需求外，尚須能提供煞車、廁所真空抽吸與給水加壓所需之氣源等傳遞操作訊號功能。而隨著需求增加，其功能

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

設計上亦逐漸涵蓋除基本之車輛機械連結外，更輔以提供上述電力與氣源之介面連接特性，同時要考量安全與方便操作。因此，依照其機械設計與功能之演進，可將其分為：

- 1、插銷聯環式連結器（Pin & Link Coupler）；
- 2、螺旋聯環式連結器（Screw & Link Coupler）；
- 3、自動連結器（Automatic Coupler）；
- 4、密著式連結器（Tight Lock Coupler）；
- 5、密著自動連結器（Tight Lock Automatic Coupler）；

等五種類型。以下將分別就上述各式連結器作一基本之介紹與說明。

1.1 插銷聯環式

係使用一支插銷裝置裝於兩車廂連接端之簡易連結頭中間，構造甚為簡單，但因強度不大，現僅為輕便鐵路之小型車輛所採用（圖 1、2），如我國阿里山森林鐵路。

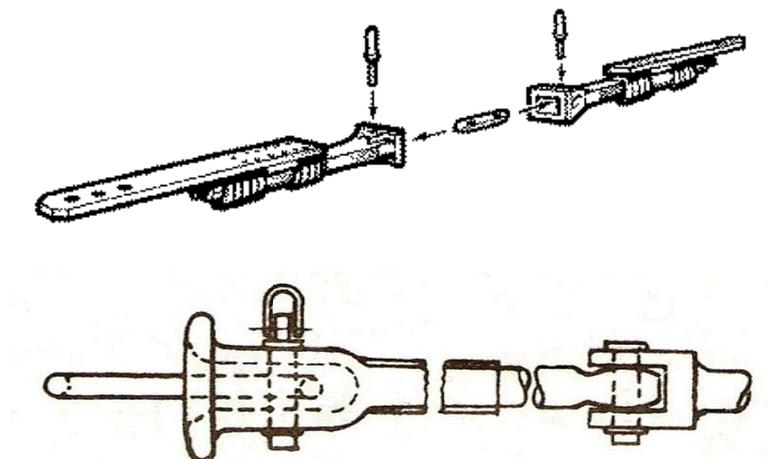


圖 1：插銷連環式連結器構造圖



圖 2：插銷連環式連結器安裝實例【3-9】

1.2 螺旋聯環式

亦屬早期之車廂連結器，其設計係在車端之中央牽引桿上裝設一聯環（Link），它端裝用螺栓，連結車輛時將聯環套裝於對方之掛勾，再使用螺栓予以拉緊，又於端樑之左右兩端設置二具緩衝器，內部有彈簧，藉以防止車輛間彼此之衝擊，也有「密著連結」之效。但因拆卸手續繁雜、危險性大，且牽引力不高（約 10 噸），僅在歐洲部份地區採用。臺鐵只在 1904 年以前曾在南部路線採用（圖 3、4、5、6）。

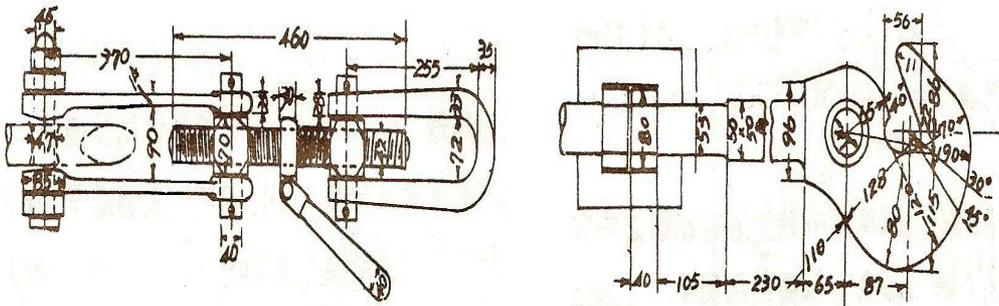


圖 3：螺旋聯環與掛勾設計

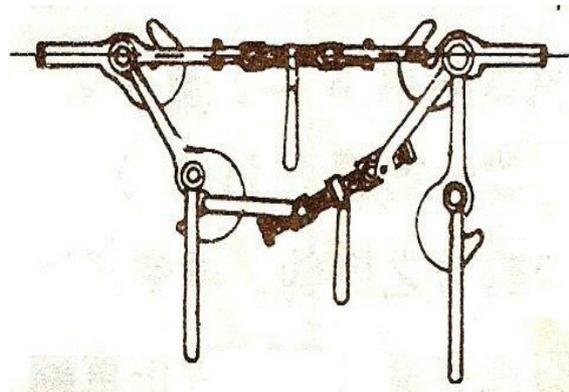


圖 4：裝置示意圖



圖 5：螺旋聯環式連結器及緩衝器安裝實例【3-9】



圖 6：螺旋聯環式連結器及緩衝器安裝實例（臺灣高鐵工程車）

1.3 自動連結器

隨著時代進步與需求的改變，人們便開始思考有無更加方便與安全的方式，達到車廂與車廂間之連結與分離。於是，便出現了自動連結器（Automatic Coupler, 圖 7、8）的設計。

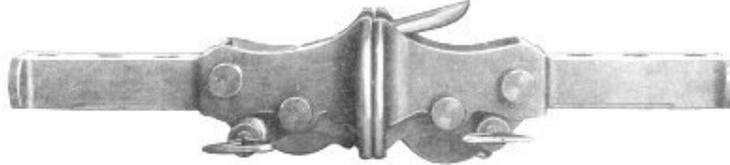


圖 7：A.B.C.公司自動連結器（Mar, 1912）【3-9】

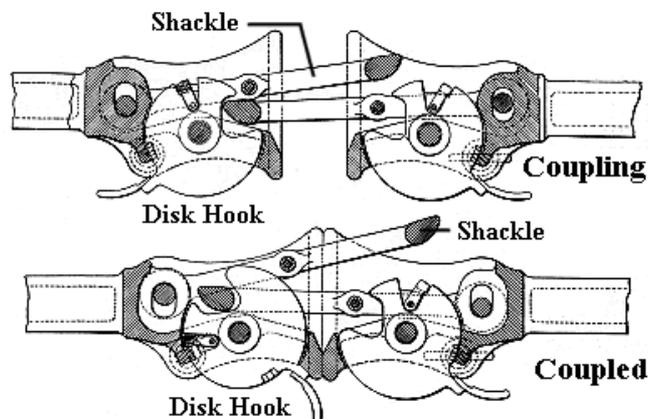


圖 8：A.B.C.自動連結器作動示意圖【3-9】

而其中勾爪型連結器為現時最普及的連結器，在多國均有使用；將於後續章節進一步深入探討。它的構造皆是採「右手式」設計，且依靠一邊固定和一邊活動的鋼勾，在掛接車廂時兩邊活動的鋼勾互相握著，從而緊扣兩個車廂。當連結車廂時，工作人員只需把 2 只連結器的鎖銷槓桿提起，使連結器打開，然後兩車輕輕相碰，鎖銷便會落下，連結器便會牢牢的扣在一起了。當需要解勾時，亦只需把提鎖槓桿提起，連結器便能分離（圖 9、10、11）。而在進行連結或解勾時，工作人員只需拉動設在連結器旁的鎖銷槓桿，便能控制連結器的開合，操作簡單容易，也解決插銷聯環式需費時對孔插裝

連結銷與螺旋連結式連結後之間距調整等。兼具省時、省力，同時更大大提高連結車廂時工作人員之安全性。



圖 9：自動連結器【3-9】



圖 10：連結器關閉時【3-9】



圖 11：連結器打開時【3-9】

1.4 密著式連結器

密著式連結器（Tight Lock Coupler）的出現，則是因為自動連結器因運轉及構造上的雙重需要設有餘隙，但在行駛時會產生前後衝撞，影響舒適性，故而設計出完全密著的連結器。而「柴田式密著連結器（圖 12、13）」更能與一般的自動連結器連結，甚為便利。該種連結器最大的不同，在於肘與互鉤之器體間空隙設計相同之厚度，而為使兩連結面互相密著，在鎖上設有 11 度的傾斜面，在鎖落下成為栓鎖狀態時，可使肘互相緊密抱住，成為無間隙的密著狀態。此種連結器亦考量能與一般客貨車廂之連結器連掛。



圖 12：柴田式密著連結器

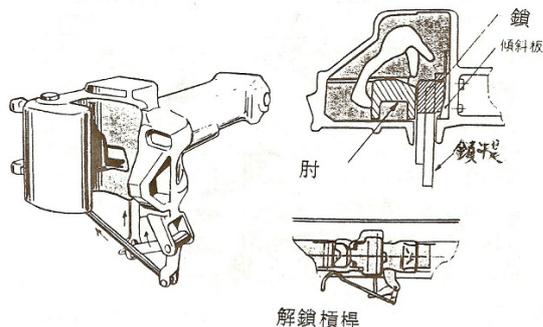


圖 13：柴田式密著連結器構造示意圖

1.5 密著自動連結器

密著自動連結器（Tight Lock Automatic Coupler）其連結作用方式與一般自動連結器作用相同，且較一般密著連結器方便。主要構造可分為連結器體、連結鎖、回動簧、解鎖固定裝置、軔管接頭等五大部分。只要兩方連結

器對準接合至連結鎖互相扣住對方之內環即完成連結（圖 14、15）。連結鎖及內環之形狀有特殊設計，即使有磨耗也能保持密著。解開時則將連結鎖之解鎖用把手拉出，藉解鎖固定裝置使其脫離對方內環後，即可拉出分離二者。其優點有以下幾點：

- 1、 在連結狀態時，兩連結面互相密著，可減少開車及煞車時之車輛間衝擊，提高舒適度；尤其在頻繁加、減速之車種（如通勤電聯車）上應用，效果顯著。
- 2、 操作容易，作用正確，且可縮短處理時間。
- 3、 於車輛連結或分離時，可將列車氣軔管路與電氣連接線等一併連結或解開，方便且省時。
- 4、 零組件磨耗少，保養成本低。

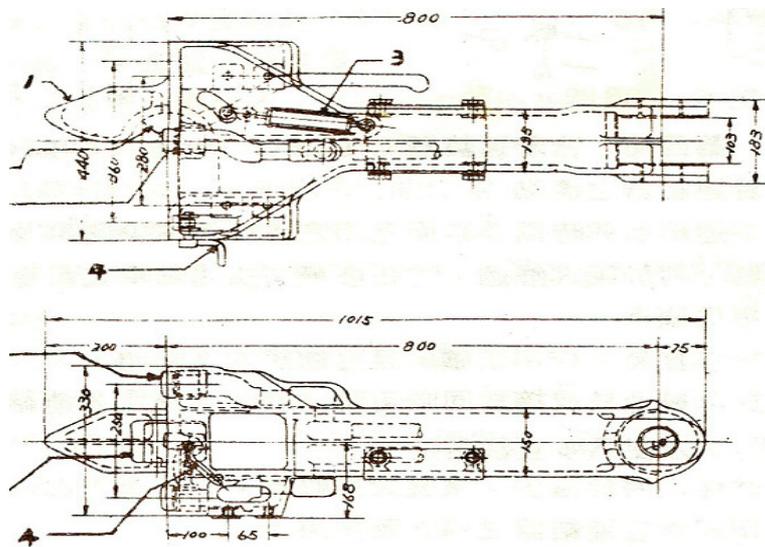


圖 14：密著自動連結器

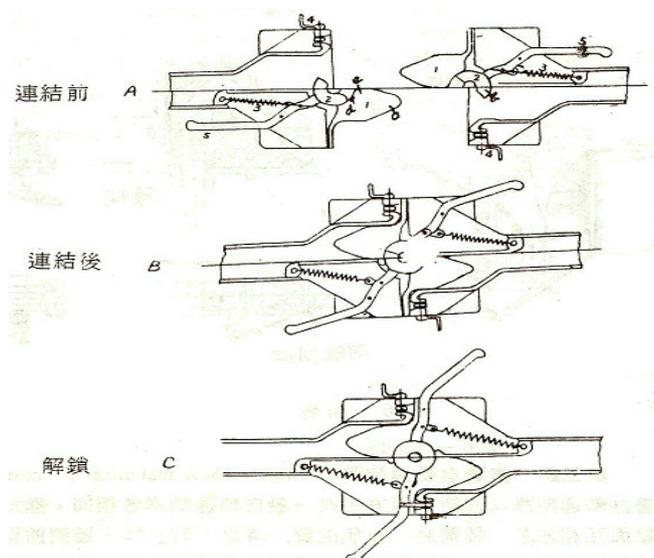


圖 15：密著自動連結器作用示意圖

而密著自動連結器也因其連結面完全無間隙，故通常亦可把氣軔管一併做在器體上，甚有將電氣連結線都做在一起的設計。當兩邊的連結器連接在一起時，氣喉閥門會自動開啓，讓壓縮空氣流通；當解開連結器時，閥門會自動關上。除此之外，連結器下方還設有電路插頭，它也能隨連結器自動提供電路的接駁與分離（圖 16、17）。

利用兩邊連器上的握鉤把兩個車廂扣緊，並同時提供氣喉和電力接駁，使整個掛接工序變得簡單快捷。工作人員只需將兩車輕輕相碰，便能完成有關工序，而解勾時亦只需在車上按掣便可。在理論上可以完全無需工作人員操作有關機械或接駁氣喉等程序，因此不但能提高工作效率，並進一步保障有關人員的安全。



圖 16: 密著自動連結器^{【3-9】}



圖 17: 密著自動連結器安裝實例^{【3-9】}

1.6 其它連結器

除了上述五種基本類型之外，當然若有特殊需要，有些連結器還有其它特別的設計可以利用，說明如下：

1.6.1 半永久連結器

如列車之設計為固定編組者，除大修時外，車輛彼此間極少需拆解分離者；或考慮連結器成本及輕量化之需要，就以簡單的連結棒連結，除維修時外，其它時間甚少拆解。因此半永久連結器(Semipermanent Coupler Half)就是爲了要保持車廂的特定組合而設計的，以確保這些車廂不會被胡亂拆開。它的構造就是一條金屬棒，利用金屬罩和螺栓與另一個車廂的金屬棒固定著，使其難以被拆開（圖 18）。當這些車廂需要被拆開進行維修時，工程人員需要把螺栓和金屬罩除去，並把相關的氣喉以及電路聯接解除，才能把兩個車廂分開。

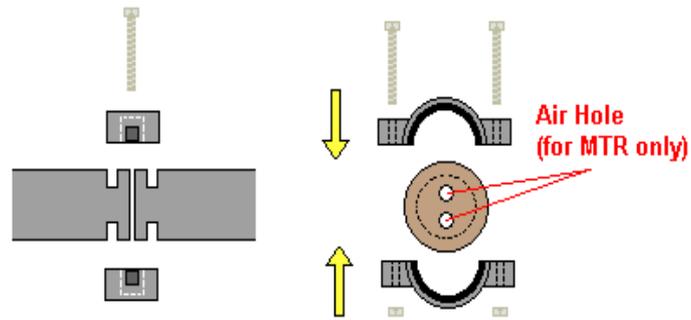


圖 18：半永久連結器結構示意圖【3-9】

臺鐵 EMU700 型通勤電車（阿福號）、太魯閣號列車以及臺北捷運車廂等，因應各種不同需求，而使用不同之連結器（圖 19、20、21、22、23）。



圖 19：臺鐵太魯閣號列車之半永久連結器



圖 20：臺鐵太魯閣號列車之半永久連結器



圖 21：臺鐵 EMU700 電聯車半永久連結器



圖 22：臺鐵 EMU700 電聯車半永久連結器特寫【3-9】

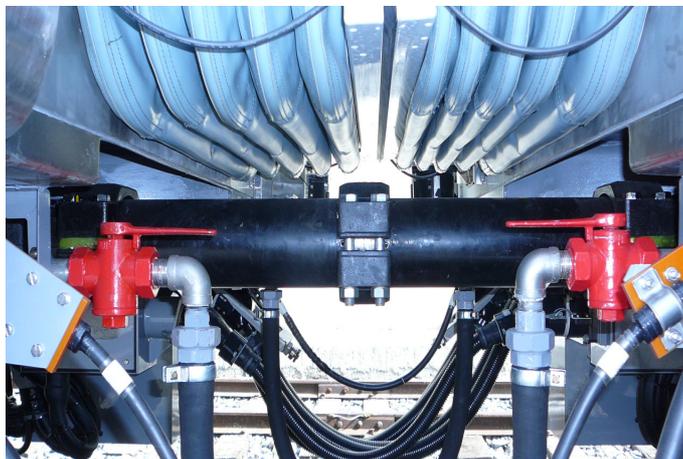


圖 23：臺鐵 EMU700 電聯車半永久連結器

1.6.2 雙頭連結器與轉接器

除此之外，因不同車廂之設計存在上述自動連結器形式與密著自動連結器二種不同的設計，使得車廂間無法互相連掛，因此變通方式即在經常要和二者互鉤的特殊車輛上安裝此種雙頭連結器（圖 24、25），只要將連結器視所需要連結之形式旋轉至適當角度即可。另外，亦或可視需要安裝轉接器到符合的連結器使用（圖 26、27、28），以作為轉接變通之辦法。



圖 24：雙頭連結器【3-9】



圖 25：雙頭連結器連結方式【3-9】



圖 26：不同連結器安裝轉接器之連結示意圖【3-9】



圖 27：臺鐵太魯閣號列車連結轉接器



圖 28：太魯閣號列車連結轉接器安裝示意圖

二、連結器之設計與功能分析

在前述章節中，我們對於連結器的發展與形式已有了一初步之認識，但是，卻也僅對於其「連結」之介面之不同形式與設計作為引入。以下，將對於組成連結器總成（Whole Assembly）之其它組件以及主要零組件之功能分別作介紹與探討。

2.1 連結器之作用與受力

如同前面章節所介紹，一般人對於連結器之第一印象，就是前述之連結介面形式的不同來作區分。但是，不論何種設計，其目的皆是以連結與分離車廂，並作為軌道車輛行進、煞車及轉彎等功能之用。因此對於列車在運動過程中，「連結器」如何完全達到上述所有必須滿足之目的，就必須加入其它功能之零組件方能達到上述目的。至於各種連結器之最大牽引負荷則因設計形式與目的（如客車與貨車、半永久式與輕軌列車等）不同，從數百噸至數萬噸之等級都有，在此將不探討。至於分解各組成元件之受力情況，以力學觀點來看則不外乎壓應力（Compression）、拉伸應力（Tension）及剪應力（Shear）三種。

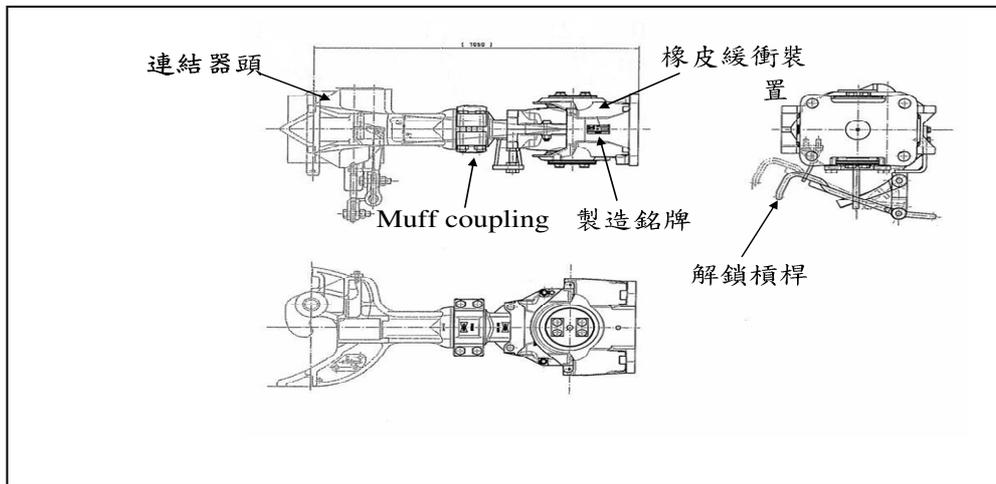


圖 29：自動連結器相關各部裝置示意圖

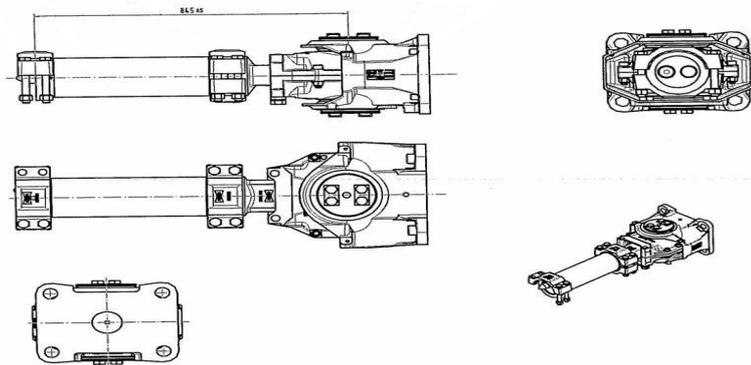


圖 30：半永久連結器（Semi-permanent）相關各部裝置示意圖

如（圖 29、30）之自動連結器與半永久連結器總成為例，我們瞭解除了連結介面上的不同之外，還有兩項主要組件才能完整滿足連結器之完整

功能。那就是「橡皮緩衝裝置」以及「旋轉肘節機構」。前者主要在吸收車輛間之碰撞能量，提供車體結構之受力緩衝；而後者則是作為列車轉彎行進間提供連結方向改變與兩者間上下擺動牽引之自由度（圖 31）。

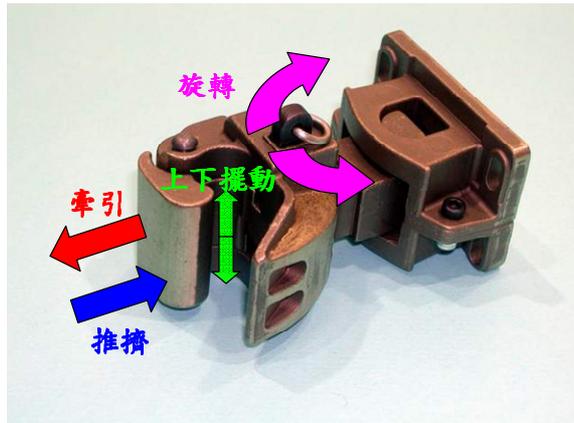


圖 31：連結器受力示意圖（此為模型）

2.2 牽引緩衝裝置

早期之牽引緩衝裝置係使用「卷簧」或「渦卷簧」（圖 32），其緩衝容量甚低，後因鐵路逐漸發達、列車重量隨著載運容量逐漸增加，連帶使得車輛彼此間於運轉中之交互作用力亦隨之增大，「卷簧」緩衝裝置已無法滿足需求，因此改用牽引摩擦裝置（Friction Draft Gear）或油壓緩衝裝置（Hydra-Cushion Draft Gear）。但因其是項金屬裝置，構造複雜且故障多，保養不無困難，因此便逐漸改採橡皮緩衝器（Rubber Cushion Type Draft Gear），亦即（圖 29）中所標示之「橡皮緩衝裝置」。

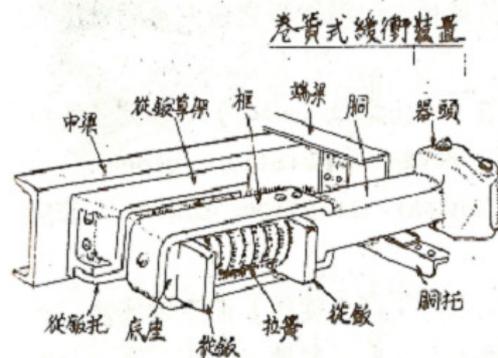


圖 32：卷簧式緩衝裝置



圖 33：卷簧式緩衝裝置安裝實例

至於使用橡皮緩衝裝置之優點，大致如下：

- 1、緩衝能力較大，可承受 120 噸以上之衝擊能力（大型者可達 180 噸以上）。
- 2、緩衝容量較大（120 噸者為 1,400~1,500 Kg-m，180 噸者為 2,500 Kg-m 以上。然 50 噸圈簧式為 1,250 Kg-m，而 30 噸圈簧式僅為 900 Kg-m）。
- 3、對於小衝擊及短週期振動之緩和性能較優。
- 4、輕量（120 噸荷重之橡皮緩衝器僅為 29~34 Kg，而 50 噸圈簧式則為 91 Kg）。
- 5、不會發生如圈簧之固著故障，且耐久性較大。
- 6、具防音效果。
- 7、不需給油，節省物料與人工維護成本。

下圖為日本 SR319C 橡皮緩衝器之設計與其荷重與撓度關係圖。當然，另有其它之設計可供利用並具備不同之設計特點。其主要功能為承受壓應力（Compression）為主。

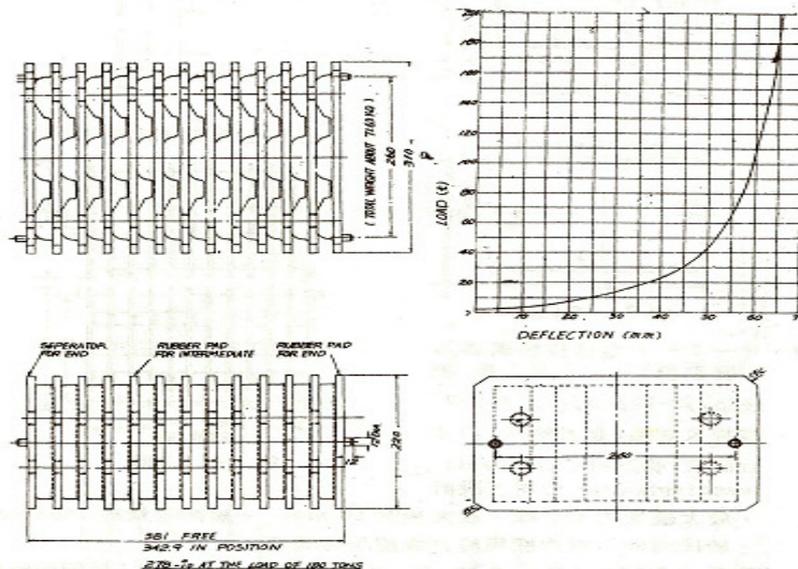


圖 34：日本 SR319C 橡皮緩衝器及其荷重與撓度關係圖

2.3 肘節機構

由 2.1 節中對連結器之受力分析描述中，我們可知列車在運動時，連結器除了受到車廂與車廂間行進時的牽引拉扯、煞車與車廂連結時的衝擊碰撞之外，還必須容許彎道行駛與變換軌道之左右擺動施力以及小範圍之上下擺動之自由度。因此，（圖 35）之連結器總成圖中虛線所標示之肘節機構可為一代表性之設計。至於其各組成元件之受力形式則同時具備壓應力（Compression）、拉伸應力（Tension）及剪應力（Shear）三種。

2.4 連節器之設計重點探討

由於連結器仍不外為一機械裝置，且其所扮演之角色在軌道車輛中亦佔有一舉足輕重之地位。而其所承受之力量與方式亦多且重，因此對於其結構之設計與材料之選擇則必須慎重考量。隨著材料科技的進步與功能需求的複雜，傳統連結器之設計重點將不外乎以下幾點：

- 1、提供列車可靠之連結機構。
- 2、可承受強大之牽引負荷。
- 3、可承受車廂連結與列車行進間之衝擊。
- 4、提供適當之緩衝與能量吸收。
- 5、不同設計形式下提供某些程度之相容性。
- 6、不易產生噪音。
- 7、材質穩定，耐候性佳。
- 8、拆裝簡單、方便。
- 9、確保人員連結與分離作業時之安全。
- 10、必要時可作為車廂之頂升（Jacking）施力點。

當然，如新型之密著自動連結器則因為連結與分離的同時，更伴隨電路與氣源管路之同步處理，因此除上述需求外，更必須確保以下幾點：

- 1、電子控制線路之訊號與電源之良好導通。
- 2、壓縮氣管之氣密。
- 3、分開時提供電氣接頭與氣管適當之保護，以避免不必要之污染與損傷。
- 4、電路與氣源管路之接頭亦可同步隨連結器快速拆裝。

不論各式連結器之設計形式與功能，其最終之目的就是提供軌道車輛車廂間之連結目的。而上述之各項設計重點，則無非是以如何達到車廂與車廂連結目的，且其工程目的亦即是解決其所發生之各種衍生問題的對策。至於各式連結器所能容許之推拉負荷能力，則因各種車輛之規格與用途而不同。

三、臺鐵車輛應用實例

本文根據所得之有限資訊，提出臺鐵使用過的連結器形式約有：

GOULD（1902年起採用，見二二八公園內之九號，一號已被換成緩衝器，臺糖的少數轉換車也用此種連結器）；

SHARON（1921年起採用之沙朗式，臺鐵貨車常有裝用）；

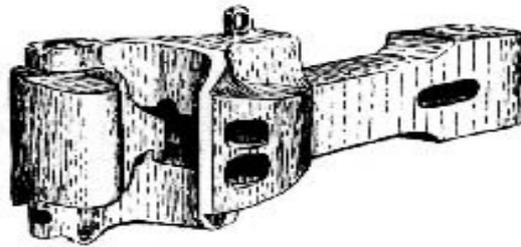
ALLIANCE（1928年起採用之愛蘭式）；

しばた（1931 年起採用之柴田式，係柴田兵衛所發明，為臺鐵自動連結器之主流）

而現行臺鐵車輛所使用之連結器是以「自動連結器形式」為主。本章節針對自動連結器之歷史發展沿革稍作介紹，並適時帶入臺鐵車輛所應用之連結器作實例說明。

在 1869 年美國各鐵路公司或設備生產廠商就有進行自動連結器的研發。由於幾年內有一千多種型式註冊，所以 1887 年由全國製車協會召集各廠商會商，一致通過採用 Eli Janney 所做的自動連結器，就是我們現在常看到的自動連接器始祖。

1916 年美國鐵路協會(Association of American Railroads, AAR)訂定了最初的統一規範，也就是 Type D 型，這款統一規範的連結器到 1932 年由使用情況長壽的 Type E 所取代。至於為何說它長壽，則是因為這款連結器性能良好到現在還被廣泛使用著，其中臺鐵所使用的 E200 電力機車頭等即是裝用此種(AAR Type E)。這種有間隙的自動連結器至今都還是臺鐵多種機車頭的指定裝備。



圖三十八：AAR type D 自動連結器【3-9】

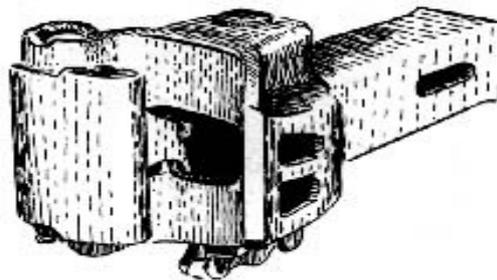


圖 39：AAR Standard type E 自動連結器【3-9】

而也由於有間隙，為了提升乘坐品質以及連結器的安定性，1937 年 Type H 成為客車的標準配備，也就是俗稱的密著式自動連結器(Tight lock passenger coupler, 圖 40)。

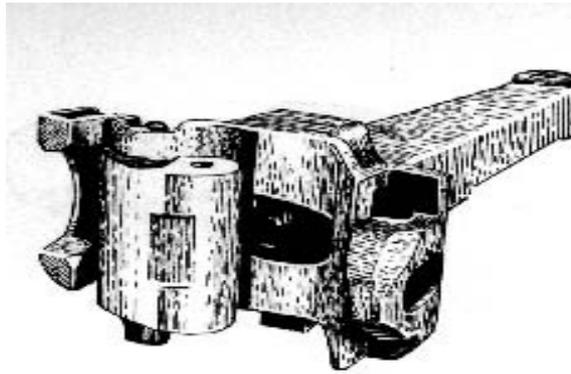


圖 40：AAR Type H 自動連結器【3-9】

Type H 連結器爲了避免連結介面的上下錯動，因此其設計特色就是具有 Tooth and Socket（圖 41）將兩個連結器更加固定與定位，再搭配有傾斜角的插銷以及大小剛好的結合面，使之更加緊密著合。理論上這種連結器勾起來之後就沒有間隙了，且這款符合 AAR 規範的連結器也可以跟 AAR Type E 的自動連結器互連，在臺灣亦屬常見。（圖 43、44）。

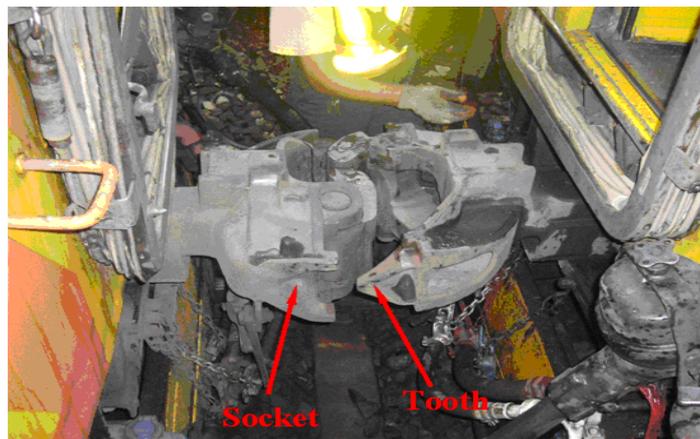


圖 41：臺鐵 DMU 自強號列車車廂安裝之 AAR Type H 自動連結器

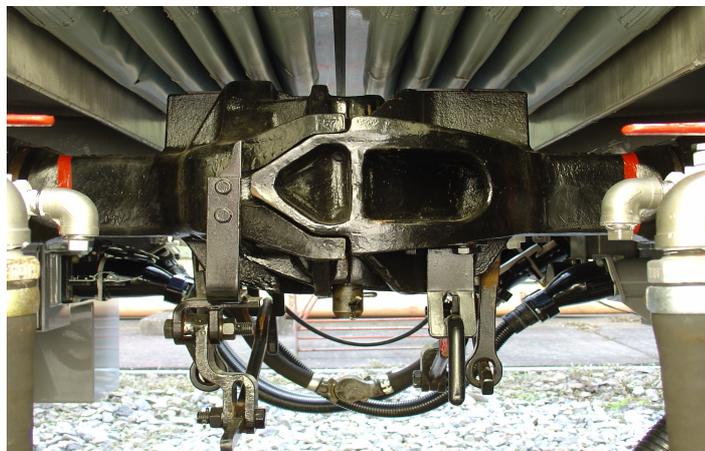


圖 42：臺鐵 EMU700 通勤電車安裝之 AAR Type H 自動連結器



圖 43：配備 AAR Type E 型連結器之臺鐵 E200 電車機車頭與配備 AAR Type H 型連結器之莒光號車廂連接狀態【3-9】



圖 44：配置不同形式連結器之車廂連結狀態【3-9】

而也由於這款密著式的連結器大獲好評，因此 AAR 也馬上著手發展貨車用的密著式自動連結器。然而它們發現了一個問題，就是密著式它的牙（Tooth）在出軌脫勾的時候是一個破壞力強的尖突物，衝擊的時候會把油罐車刺破。萬一裡面裝載危險化學物質那就很可怕了，因此 AAR 於 1954 年發展出比 Type H 更適合貨車的連結器 Type F。

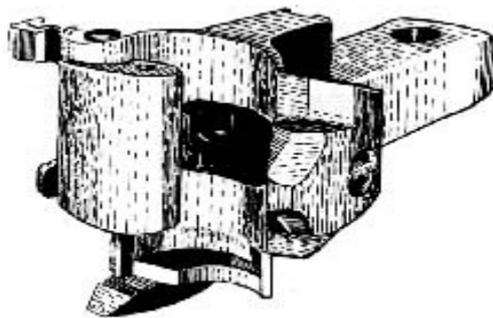


圖 45：AAR Type F 自動連結器【3-9】

Type F 連結器其實就是 Type H 密著式自動連結器下方多出來一個防止脫勾的擋板。這款連結器在 1970 年的時候才正式成為危險化學物質油罐車的標準連結器。那一陣子 AAR 亦發展了其它防止脫勾的連結器，有 Type SBE、Type SE 與 Type SF。Type SBE 出現於 1968 年，是 Type E 連結器下方多出擋板的型號。(圖 46)



圖 46：裝配 Type SBE 自動連結器的（竹北車站）臺鐵工程車【3-9】

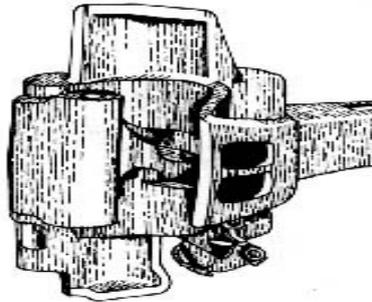


圖 47：Double shelf or hooded type E 自動連結器

四、連結器之操作說明

由於連結器之型式種類繁多，但如以現今臺鐵車輛之應用狀況而言，基本上可分為兩大種類。一為密著式自動連結器，另一則為半永久連結器。以下將舉臺鐵 EMU700 型電聯車為例，分別說明其連結與解連（鉤）之一般操作重點。

4.1 密著式自動連結器之連結與拆解

4.1.1 連結程序

- 1、將欲連結之兩組車輛緩慢地(5km/hr 以下)靠在一起。
- 2、假定是將第二單位列車組推向第一單位列車組進行連結，則必須確認第一列車組為無人狀態且已煞緊停留軔機（Parking）煞車系統。
- 3、為兩個列車組進行所有機械及管路的連接，確定兩個列車組所有的連接都已確實完成。

4.1.2 解鉤程序

- 1、 煞緊要進行解鉤之列車組的停留制機煞車系統，關閉所有作用中的機械及管路裝置。
- 2、 解除所有的機械及管路裝置連接，並將相關裝置固定後，完成解鉤動作。

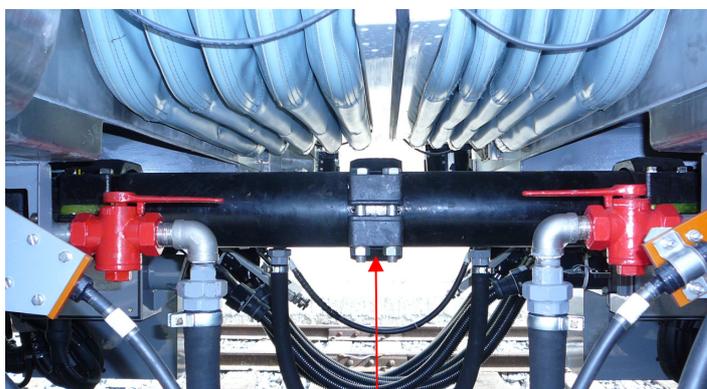


圖 48：自動連結器肘開操作狀態

4.2 半永久式連結器之連結與拆解

4.2.1 連結程序

- 1、 將欲連結之兩組車輛緩慢地(5km/hr 以下)靠在一起。
- 2、 在連接部位使用六角螺絲及螺帽將上下連接套環鎖緊，接著以鐵鎚輕輕敲打(墊一片木材)確認是否緊密結合，其中螺栓鎖緊方式是用扭力扳手以 295 ± 10 Nm 牢固地結合在一起。
- 3、 使用防銹的溶劑塗在接合部位。

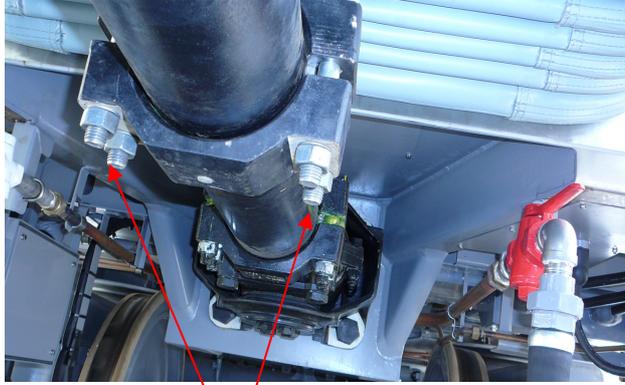


以套接方式連結車輛

圖 49：臺鐵 EMU700 型車輛半永久連結器連結介面圖

4.2.2 解連程序

- 1、將六角螺帽鬆開後，接著把墊圈、六角螺絲從套環連接處拿掉。
- 2、使用鐵鎚輕輕敲打連接部(墊一片木材)，將其鬆開。
- 3、將相關機械及管路裝置鬆開，完成解連動作。



解連時須將此四顆螺帽鬆開

圖 50：臺鐵 EMU700 型車輛半永久連結器解連示意圖

五、結語

本篇報告探討軌道車輛連結器，其出發點即源自對於火車這種又大又重的「鋼鐵巨龍」到底是用何種方式將其身軀串接而成、車廂與車廂又是如何連接與分離而來，過程就軌道車輛連結器不同之設計形式與應用探討，期能讓讀者對連結器有系統之瞭解，對於未來基於共通互換性與成本因素等現實考量，不免好奇且期待將來是否會有較為統一且滿足所有功能需求之設計出現。

參考文獻

1. 江耀宗，「軌道車輛學」，國立臺灣科技大學課程講義。
2. 謝秋傑，「一般維修操作訓練（TRSC）」，臺鐵人員訓練資料。
3. http://club.ntu.edu.tw/~club20322/train/Taiwan_trains/index.htm
4. <http://www.greatlakesrailcar.com/couplers.htm#anchor304320>
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_\(railway\)#Automatic_couplers](http://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_(railway)#Automatic_couplers)
6. <http://www.twbbs.net.tw/2643144.html>
7. <http://www.railway.org.tw/>
8. <http://www.tts.tw/forum/viewtopic.php?t=14762>
9. <http://railpictures.net/>

註：其他網路資訊因數量龐大，故僅附上具代表性之相關網址做為參考。如欲進一步搜尋可由上列網址之相關連結作深入研究。

傳統客車照明技術研究

The Study of Traditional Passenger Cars Lighting Technology

張簡慶豐 ZHANG JIAN, Qing-Feng¹

陳銘政 CHEN, Ming-Zheng²

地址：83081 高雄縣鳳山市武慶二路 221 號
Address: No.221, Wuqing 2nd Rd., Fengshan City, Kaohsiung County 83081

電話：07-7619654

Tel.：07-7619654

電子信箱：tr340532@msa.tra.gov.tw

E-mail: tr340532@msa.tra.gov.tw

摘要

臺鐵傳統客車使用迄今已久，照明系統老舊，為三檢車全面換裝日光燈用交流高功率安定器迴路電流異常之處置及對策。研提將傳統式 SCR 變流器換裝電子式變流器及電子式安定器換裝高功率安定器方案，結果顯示，客車照明迴路電流過載及發熱問題已獲改善，技術可行。

Abstract

Taiwan Railway Administration has been the use of traditional passenger cars as long as the old lighting system, fully equipped vehicles for seizure by the exchange of high-power fluorescent ballast circuit current disposal and countermeasures anomalies. Traditional-style inquiry to SCR converter installed electronic converter and electronic ballast change is a high-power ballast program, results showed that passenger car lighting circuit overload current and heat issues have been improved technically feasible.

一、前言

為配合政府能源政策(省電)規定，自 92 年元月起傳統式非高功率之安定器已不再生產，市售安定器以電子式高功率型為多，故本路部份客車燈具裝用後與車下傳統變流器匹配不佳，出現電流過載及發熱溫度偏高(62~72°C)之問題，急需處理解決。

高雄機廠為解決傳統客車照明問題，召開技術研討會會議，研討其改善解決方式。

1. 本局高雄機廠廠長張簡慶豐
2. 本局高雄機廠技術助理陳銘政

二、客車用變流器、安定器種類及功能說明

2.1 客車用變流器種類及功能說明

2.1.1 客車用變流器種類大致可分為兩種：

2.1.1.1 傳統式 SCR 變流器 1.5KVA (圖 1) 或 2KVA (圖 2)

傳統式 SCR 變流器輸出電壓無穩壓功能，當輸入直流電壓變動時，輸出交流電壓相對跟隨變動，負載電流有變動時其輸出電壓亦隨之變動，目前使用之變流器雖然其輸出變壓器有 95V，100V，105V，110V 抽頭，仍無法維持在所需之 110V 電壓。

2.1.1.2 電子式變流器 1KVA (圖 3)

電子式變流器其輸出電壓有穩壓功能，輸入直流電壓變動或額定負載電流變動時，輸出交流電壓能穩壓至所需之 110V 電壓。

2.1.2 客車用變流器主要功能：

提供備用電源，由整流充電器至蓄電池儲存之電源經此變流裝置，提供客車日光燈用交流電源。



(圖 1)



(圖 2)



(圖 3)

2.2 客車用日光燈安定器種類及功能說明。

臺鐵傳統客車日光燈安定器種類及功能可分為：

2.2.1 115V 交流普通日光燈安定器 (圖 4)

無外加電容器

2.2.2 115V 交流高功率日光燈安定器 (圖 5)

為現有客車用安定器，因應所外加電容器不同廠牌設計，而有 $4\mu F$ 或 $14\mu F$ 二種。

2.2.3 115V 交流電子式日光燈安定器 (圖 6)

該安定器又可分為主動功因及被動功因二種。(臺鐵材料編號:59-99-31-65-54,名稱:40W 電子式安定器,規格:AC115V)

2.2.4. 24V 直流日光燈安定器

適用部份傳統莒光號車種低壓之直流日光燈使用。



(圖 4)



(圖 5)



(圖 6)

三、客車用變流器與安定器使用實測說明

傳統客車用變流器包括傳統式與電子式，又依其裝接安定器型式不同，變流器功率、交流電壓、直流電量均有所不同，詳如表(1)。

表(1) 高雄機廠客車用變流機配合日光燈安定器測試比較表

變流器型式	裝接安定器型式	變流器功率	交流電壓	交流電量	直流電量	連接負載	直流電源輸入
傳統式	一般型安定器	2K	136.2V	11.3A	30.6A	40W× 12支 日光燈	30.3V (DC)
		1.5K	136.5V	10.5A	30.6A		
	高功率安定器 (附加 14 μ 電容器)	2K	139.9V	18.8A	36.3A		
		1.5K	142.8V	14.6A	37.8A		
	電子式安定器 (被動功因式)	2K	152.4V	3.6A	20.9A		
		1.5K	158.5V	3.6A	22.9A		
電子式	電子式安定器 (被動功因式)	1K	110.4V	3.6A	19A		
	高功率安定器 (附加 14 μ 電容器)	1K	110.4V	4.2A	17.8A		
	一般型安定器	1K	110.4V	9.2A	26A		
	註：電子式變流器供電回路與 440V 壓降 110V 直接供電回路測試值相同						製表日期
						文件編號	KM-930 211

註：電子式安定器有分主動功因及被動功因兩種，其電源輸入 90V~240V 皆適用。

四、現有客車部分照明電流過大之問題及改善

傳統客車部分照明裝用傳統式 SCR 變流器 1.5KVA 或 2KVA，當輸入直流電壓在 $29V \pm 1V$ 時，輸出交流電壓輕負載時約在 $125V \sim 150V$ ，且輸出波形為類似方波，非所希望之正弦波，若日光燈使用額定 115V 交流高功率安定器，其附加之電容器有 $4 \mu F$ 或 $14 \mu F$ 二種皆無法達到提高功因之目的，反而使安定器產生過載耗電（表 1）、發熱、劣化冒煙之問題（圖 7）。

若將該客車裝用電子式變流器 1KVA，因其輸出交流電壓穩壓至 110V 之正弦波（圖 8），搭配 115V 交流高功率日光燈安定器，則無前述之問題產生。惟若將傳統式 SCR 變流器 1.5KVA 或 2KVA 全部換裝電子式變流器 1KVA 或 1.5KVA，有汰換購撥費用高之問題，其效益倘待評估。



（圖 7）高功率安定器耗電波型



（圖 8）交流電壓穩壓至 110V 之正弦波



（圖 9）傳統 1.5K 變流器配電子安定器之波型

4.1 傳統式 SCR 變流器若無法使用電子式變流器或電子式日光燈安定器時，則尚有下列之問題：

- 1 變流器因直流側耗電過大影響，蓄電池需經常大電流使用，易損壞及壽命降低，且變流器亦因經常大電流使用，也易損壞。
- 2 變流器之交流側經常大電流使用，易損壞；且大電流時，變壓器抗流器產生噪音過大，夜間班車尤受其困擾。
- 3 大電流產生干擾諧波相對大增，易對車用電子設備產生影響。

4.2 傳統式 SCR 變流器若使用電子式日光燈安定器時，評估可解決下列之問題：

- 1 可解決干擾及噪音過大問題。
- 2 變流器故障減少，解決供應維修問題。
- 3 可降低直流側耗電（表 1），延長蓄電池待備供電時間。
- 4 可降低交流側耗電（表 1），避免燈具之安定器發熱冒煙，減少事故。
- 5 免用啓動器，減少故障保養維護人力。
- 6 電子式安定器可解決燈光閃爍問題。
- 7 現有客車部分照明電流過大問題（表 2）。

表（2）現車改裝交流高功率安定器的問題分析

變流器型式	裝接安定器型式	匹配使用狀況	說明
傳統式變流器	高功率安定器（附加 14 μ 電容器）	NG	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安定器過載耗電、發熱、劣化冒煙之問題。 2. 變流器因直流側耗電過大影響，蓄電池經常大電流使用易損壞及壽命降低，且變流器經常大電流使用易損壞。 3. 變流器之交流側經常大電流使用易損壞，且大電流時變壓器抗流器產生噪音過大，夜間班車尤受其困擾。 4. 大電流產生干擾諧波相對大增，會影響車用電子設備
	電子式安定器	OK	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可解決干擾及噪音過大之問題。

	(被動功因式)		2.變流器故障減少，解決供應維修之問題。 3.可降低直流側耗電，延長蓄電池待備供電時間。 4.可降低交流側耗電，避免燈具之安定器發熱 冒煙，減少事故。 5.免用啓動器，減少故障保養維護人力。 6.電子式安定器可解決燈光閃爍之問題。
電子式	電子式安定器 (被動功因式)	OK	參考表(1)耗電量
	高功率安定器 (附加 14 μ 電容器)	OK	參考表(1)耗電量

五、普通客車照度不足之問題及改善

普通客車照度不足若需改善，最簡便方式可採用電子式安定器，以達到日光燈省電，減少蓄電池電量消耗，發電機低速或停站太久皆可全車點燈，若照度不足可考慮使用三波長燈管改善，因其照度增加約 25%，上述改善方案尚需實裝測試。

六、高雄機廠電子安定器測試

本廠電子安定器測試文件、條件及結果如下：

6.1 測試元件：

測試元件包括主動功因型電子式安定器及被動功因型電子式安定器，詳如表(3)所示。

表(3) 測試元件

主動功因型電子式安定器	被動功因型電子式安定器
輸入電壓 115V \pm 10%	輸入電壓 120V \pm 6%
輸入電流 0.35A	輸入電流 0.332A
輸入功率 39W	輸入功率 39W
二次電流 0.29A	二次電流 0.33A
功率因數 99%	功率因數 98%
總諧波失真 6%以下	總諧波失真 20%以下
適用燈管 FL40/38	適用燈管 FHF38

6.2 測試條件：

變流器型式：傳統 1.5KVA 變流器。

測試點燈時間：連續 48 小時。

測試溫度：室溫 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$



(圖 10) 高雄機廠測試場所

6.3 測試結果：

電子式安定器（主動功因型）連續點燈 48 小時測試結果，安定器及燈管照明外觀溫度皆正常。變流器輸出電壓 148V 時，測試燈具使用 38W 日光燈管，配合主動功因式電子安定器及被動功因式電子安定器，其所耗電流皆相同，每支燈具耗電流約 0.26A(額定 110V 時在 0.35A)，以高功率安定器測試每支燈具耗電 1.6A~1.7A(額定 110V 時在 0.46A)超出額定負載過多。

上述條件測試燈管點燈兩端電壓，主動功因式從起動 0V→65V 穩定(額定 110V 時在 60V)，被動功因式從起動 0V→70V 穩定。高功率安定器從 0V 上升至 240V 再降至 110V，不穩定。若測試安定器外殼溫度，室溫 22°C 時，主動及被動功因電子式安定器溫度約在 $39^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 即溫升 18°C (額定外部 70°C)，高功率安定器溫度約 62°C 即溫升 40°C 。詳如表 (4) 所示。

表 (4)

安定器種類 測試項目	電子（主動功因）安定器	電子（被動功因）安定器	高功率安定器
連續點燈 48hr (安定器及燈管 照明外觀溫度)	正常		
變流器輸出 148V 電壓測試 38W 日 光燈電流值	正常 耗電流 0.26A (額定 110V 時在 0.35A)	正常 耗電流 0.26A (額定 110V 時 在 0.35A)	超出額定負載過多 耗電流 1.6~1.7A (額定 110V 時在 0.46A)
測量燈管 兩端電壓	穩定	穩定	不穩定
外殼溫度	$39^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 溫升 18°C 正常	$39^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 溫升 18°C 正常	62°C 溫升 40°C

七、結論

臺鐵傳統式客車因車齡老舊，維修成本日益增加，惟考輛客車整體之運用，無法全數報廢，對於傳統式 SCR 變流器全部換裝電子式變流器的方案，雖技術可行，但整體成本效益部分仍需再全盤務實檢討。高雄機廠廠內現有三檢客車仍以部份安裝高功率安定器，部分使用電子式日光燈安定器，客車照明迴路電流過載及發熱溫度偏高之問題已有改善。

參考文獻

1. 高雄機廠（2004），傳統客車照明技術研討會。
2. 高雄機廠（2004），電子安定器測試報告。
3. 臺灣鐵路管理局（1985），莒光號客車使用保養手冊(電氣)，唐榮鐵工廠股份有限公司機械廠鐵道車輛工場。
4. 臺灣鐵路管理局（1985），復興號客車使用保養手冊(電氣)，唐榮鐵工廠股份有限公司機械廠鐵道車輛工場。
5. 臺灣鐵路管理局（1969），50 輛通勤用客車取扱說明書，汽車製造株式會社、川崎重工業株式會社、株式會社新瀉鐵工所。
6. 空調客車 50 輛工程維修手冊（1995），唐榮鐵工廠股份有限公司機械廠鐵道車輛工場。
7. 變流器（2004），正元精密電子儀器有限公司編印。

SMEE 氣軔系統介紹

SMEE Air Brake System

江正龍 JIANG, Zheng-Long¹

地址：花蓮市國聯一路 100 之 5 號
Address：No.100-5, Guolian 1st Rd., Hualien City, Hualien County 97055

電話：052-486
Tel：052-486

電子信箱：march5342@yahoo.com.tw
E-mail：march5342@yahoo.com.tw

摘要

SMEE 氣軔系統為目前臺鐵柴聯車之主要煞車系統，本文針對系統分類、動作原理及主要閥組件整理歸納，良好之檢修服務品質來自於對系統之完全分解及務實之檢修態度，期望本文能大到拋磚引玉之效，讓技術深入，理論紮根。

Abstract

SMEE air brake system, the Taiwan Railway Administration for the current diesel vehicles together the main braking system, this paper, taxonomy, action theory and summarizing the main valve components, the maintenance of good quality of service from the complete decomposition of the system of maintenance and pragmatic attitude and expectations This article can be as large as the effect of forward, so that the technical depth and theoretical roots.

一、SMEE 氣軔系統概述

1.1 系統簡介

SMEE (圖 1) 是 Straight Motor Electric Emergency 的縮寫，S：直通；M：引擎動力；E：電磁控制；E：緊急緊軔，簡而言之這是一套以直通軔機為主；自動軔機為輔的煞車系統。平時車輛運轉時，司機員透過司軔閥，以直通軔機操作階段鬆緊軔動作。當有異常或突發狀況時，由司軔閥、車長閥、警醒裝置、ATP 等裝置啟動自動軔機，排除 EP 管空氣，使全列車同步緊急緊軔。本系統的自動軔機僅執行緊急緊軔，不做階段鬆緊軔，因此本系統軔管稱呼為“EP”管，不叫“BP”管。

本系統之車輛皆備有獨立的供給風缸，供應煞車時所需的壓力空氣，同

1. 本局花蓮機廠幫工程司江正龍

時不管是直通軔機或是自動軔機，皆由電磁控制列車組中各車同步緊軔，因此軔力均衡，車輛間不衝動

具有煞車距離短、減少空走時間、增進行車舒適度等優點，是一套安全性與可靠度極高的軔機系統。

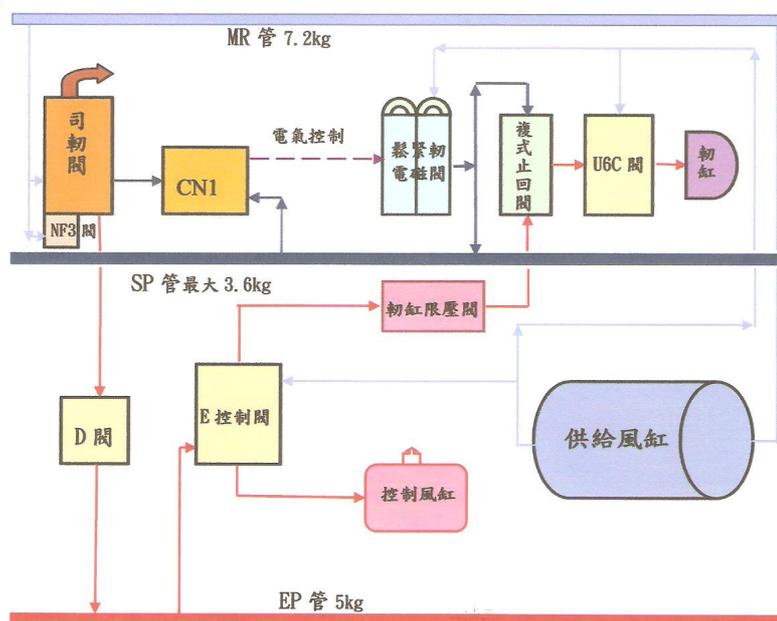


圖 1 SMEE 氣軔系統流程

1.2 系統分類

SMEE 氣軔系統主要是透過 H5 總成閥組件來完成制軔工作，而 H5 總成經過不斷改進，依序可分為 H5、H5A、H5B、H5C，目前本臺鐵路除 H5A 不再使用外，其餘各款閥組件總成，仍持續使用中。

1.2.1 H5

H5 使用車種為 DR2700 型，沿用基礎軔機及鑄鐵閘瓦，主要組件為 A-1 緊急閥 (A-1 EMERGENCY VALVE)、J 繼動閥 (J RELAY VALVE)、複式止回閥 (A-1-A DOUBLE CHECK VALVE)、軔缸限壓閥 (BRAKE CYLINDER LIMITING VALVE)、鬆緊軔電磁閥 (RA-2A APPLICATION AND RELEASE MAGNET VALVE)。A-1 緊急閥為本系統自動軔機的主要元件，為一傳統滑閥裝置，機械阻力大、容易卡住，閥件精密度高，鑲配技術要求高，僅有鬆軔位與緊急緊軔位兩種模式，無法與編組以外的車輛聯掛運轉，回送時必須以中間車連掛，貫通 BP 管，並關閉本車 BC 考克，此時本車無軔力，藉由前後車的軔力擋拉制軔，極為不便。

1.2.2 H5A

H5A 使用車種為動力更新前之 DR2800 型，後 DR2800 型經改造後更新 R1 引擎及變速機，並將 M 緊急閥 (M EMERGENCY VALVE) 更

換成 E 控制閥 (E CONTROL VALVE)，已由 H5A 升級為 H5B，目前臺鐵並無其它車輛採用 H5A 系統。本系統主要組件為 M 緊急閥、J 繼動閥 (圖 2)、複式止回閥、軔缸限壓閥、鬆緊軔電磁閥。M 緊急閥也是僅有鬆軔位與緊急緊軔位兩種模式。M 緊急閥改進 A-1 緊急閥滑閥裝置的缺失，採用膜板式，動作圓滑、確實，維修容易，不需精密技術。

H5A 與 H5 在運用上有相同的問題，因此回送或當拖車時與 DR2700 型情況相同，運用極為不便。

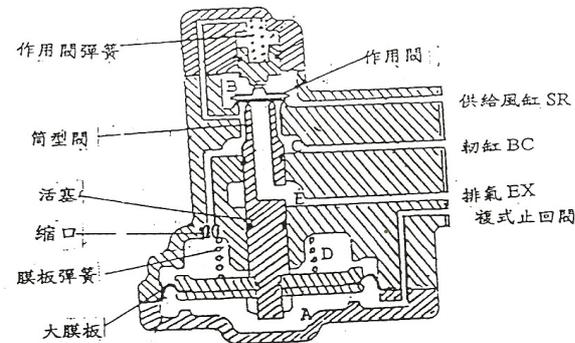


圖 2 J 繼動閥

1.2.3 H5B

H5B 使用車種為更新後之 DR2800 型，及初交車時的 DR2900 型，後 DR2900 型將 J 繼動閥更新為 U6C 閥 (VARIABLE RELAY VALVE)，已升級為 H5C，目前僅 DR2800 型採用 H5B 系統。H5B 主要組件為 E 控制閥、J 繼動閥、複式止回閥、軔缸限壓閥、鬆緊軔電磁閥。E 控制閥為一先進之膜板裝置閥，除了鬆軔位及緊急緊軔位之外，尚有階段鬆緊軔功能及保壓位，因此與任何自動軔機車輛聯掛皆可相容。DR2800 型與 DR2700 型一樣沿用基礎軔機及鑄鐵閘瓦，DR2800 型更新為 E 控制閥後，全部的 DMU 柴聯車編組，皆可任意與自動軔機車輛聯掛制軔。

1.2.4 H5C

目前臺鐵柴聯車組採用 H5C 的車輛最多，包括 DR2900 型、DR3000 型、DR3100 型、DR1000 型、DR2511、DR2512。其中 DR2900 型、DR3000 型為基礎軔機加裝閘瓦間隙自動調節器並使用合成閘瓦；DR3100 型、DR1000 型及 DR2511、DR2512 採用單元式軔缸及合成閘瓦。

H5C 的主要組件與 H5B 大致相同，但中繼閥由 J 繼動閥升級為 U6C 閥。J 繼動閥的軔力依據下皮碗來自 SP 或 E 閥的壓力相對應，1 比 1 忠實呈現，U6C 閥是因應使用閘瓦間隙自動調節器及單元式軔缸車輛，因軔機的機械阻力增大，致使軔缸的有效軔力至最大軔力的距離縮短了，司機員難以操作司軔閥把手施以精準軔力，而 U6C 閥的調節功能，在 SP 低壓力約 0.4 kg/c m^2 時，透過槓桿放大機構可將軔缸壓力放大至 1 kg/c m^2 ，但隨著 SP 壓力的上昇（最大至 3.6 kg/c m^2 ），U6C 逐漸縮小放大倍數，至最後 SP 壓力與軔缸壓力接近相同，方便司機員控

制軔力。

H5C 與 H5B 一樣，能與任何自動軔機車輛聯掛制軔，為目前 SMEE 軔機系統中功能完善，被廣泛運用的系統。

二、SMEE 氣軔系統動作原理

SMEE 氣軔系統包括：直通軔機及自動軔機，其動作原理分述如下：

2.1 直通軔機

直通軔機為早期鐵道車輛所使用的軔機，構造簡單，緊軔時由本務車司軔閥放行直通管空氣至各車軔缸，藉以制軔。但 SMEE 改良這種方式，包括：

- 1.各車自備供給風缸以利快速充氣。
- 2.使用中繼閥加快軔力建立。
- 3.使用電磁閥控制使制軔同步化。

藉由來自 MR 主風管的壓力空氣經 JM 濾清器過濾後，由司軔閥左側常用部進氣閥進入 CP1 氣室，經止回閥進入 CP 管，來到 CN1 電氣自動保壓部（CN-1 ELECTRO-PNEUMATIC MASTER CONTROLLER）。

CN1 電氣自動保壓部（圖 3）構造為左右兩個膜板，及連接兩膜板間的中間電源桿，及鬆緊軔桿所組成。由 CP 管進入 CN1 的壓力空氣推移緊軔端氣室膜板，並牽動電源作用桿，連接緊軔接點，緊軔接點通電至全列車緊軔電磁閥，開啓通路讓供給風缸的空氣進入 SP 管，當 SP 管壓力經 SAP 管回傳至 CN1 鬆軔端氣室，左右兩端氣室壓力平衡時，電源作用桿回到中央停止通電，形成保壓位。

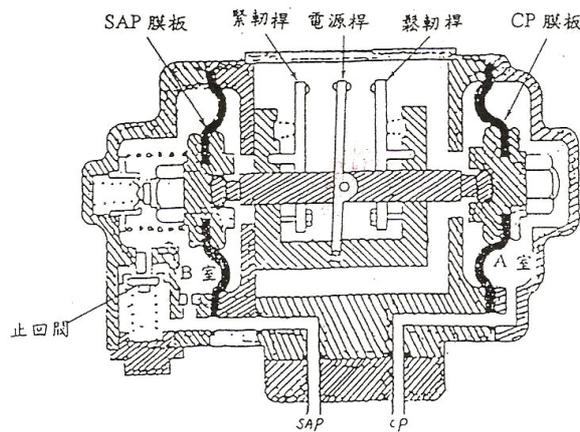


圖 3 CN1 電氣自動保壓部

當操作司軔閥排除 CP 管壓力時，CN1 鬆軔端氣室壓力大於緊軔端氣室，電源作用桿受鬆軔端氣室膜板牽動，連接鬆軔接點，通電至全列車鬆軔

電磁閥，開啓排氣通路，將 SP 管壓力排放至大氣。

供給風缸的壓力空氣通往 H5 總成，提供緊軔電磁閥、E 控制閥（或 M 緊急閥、A-1 緊急閥）、U6C 閥（或 J 繼動閥）所需空氣，當各車之緊軔電磁閥（圖 3）通電開啓氣路，壓力空氣進入 SP 管通往各車（即車輛前後端之藍色角考克管內空氣），並進入複式止回閥（圖 5）。

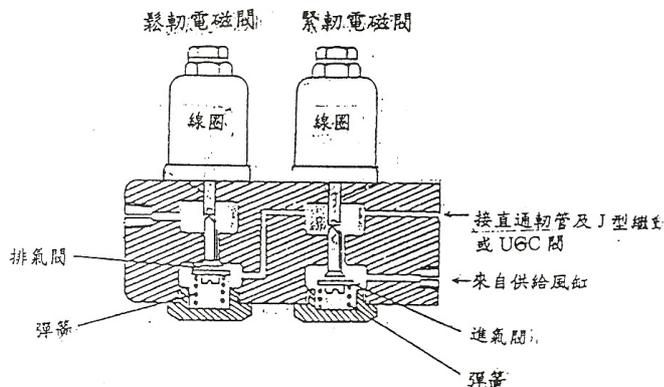


圖 4 鬆緊軔電磁閥

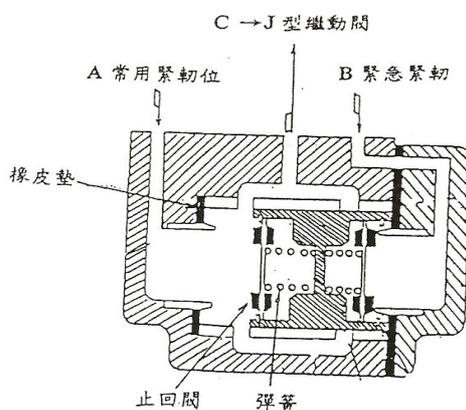


圖 5 A-1-A 複式止回閥

當壓力空氣來到複式止回閥時，此時複式止回閥另一端若無來自自動軔機的壓力空氣，則 SP 管的壓力空氣便能推開移動閥，開啓通往 U6C 閥的氣路。反之複式止回閥另一端若有自動軔機的壓力空氣，則該壓力大於 SP 管的壓力，複式止回閥會選擇開啓自動軔機通往 U6C 繼動閥的通道。

由複式止回閥來的壓力空氣，進入 U6C 繼動閥的下皮碗，推動下水平桿，帶動槓桿放大機構及上水平桿，最後頂起作用筒推開作用閥，開啓來自供給風缸的壓力空氣通往軔缸。當軔缸壓力建立至一定比例的壓力時，U6C 閥上皮碗上部氣室與軔缸相通，此時壓力亦建立，由於上皮碗膨脹將作用筒向下推移，經上水平桿、槓桿放大機構、下水平桿，最後將下皮碗推回原位，此時作用筒落下停止充氣，軔缸維持一定的壓力，形成保壓位。

當鬆軔作用啓動時，U6C 繼動閥下皮碗的壓力因排放減弱，此時上皮碗壓力大於下皮碗，作用筒因此下推，開啓軔缸經由作用筒中央通道通往大氣的路徑，排放軔缸壓力。

2.2 自動軔機

為求車輛行車安全，自動軔機的設計與直通軔機相反，當軔管（EP 管）充氣時鬆軔，排氣時緊軔，如此在列車分離時，方能將車輛安全停住，避免因空氣洩漏造成軔力喪失。

藉由來自 MR 的壓力空氣經 JM 濾清器過濾後，進入喂閥（NF3 調壓閥）調降壓力，將最大 7.2 kg/c m^2 的壓力空氣調降成 5 kg/c m^2 ，進入司軔閥 EP 充氣閥，對 EP 管充氣。EP 管通往 D 緊急閥，該閥在未充氣之前，因彈簧的彈力所致，緊急活塞被向下推移至關閉位，使 EP 管不致洩漏，順利對全列車 EP 管充氣，直到全列車 EP 管壓力達 5 kg/c m^2 。

EP 管的壓力空氣經各車的濾清器過濾後，來到 E 閥下活塞上方，向下推動下活塞，下活塞連動中間活塞、上活塞及筒形閥，筒形閥向下沉離開作用閥，開啓軔缸通往大氣的通道，完成鬆軔。

由 EP 管進入 E 閥的另一路空氣，來到緊急部急動膜板下方，向上推動膜板，開啓緊急部作用閥，將控制風缸的壓力空氣通往急動室，使急動室建立 4.7 kg/c m^2 的壓力，此時控制風缸壓力約下降至 4.8 kg/c m^2 而不足 5 kg/c m^2 ，此一動作抑制了過充氣的發生，也使 E 閥獲得鬆軔保證。

三、SMEE 的主要閥組件

SMEE 氣軔系統之主要閥組件包括：ME-36B 司軔閥、D 緊急閥及 E 控制閥，分別敘述如下。

3.1 ME-36B 司軔閥（ME-36B BRAKE VALVE）

ME-36-B 司軔閥（圖 6）可執行直通軔機及自動軔機鬆軔位、緊急緊軔位，司軔閥左半部為執行直通軔機之常用緊軔部，右半部為執行自動軔機之緊急部。司軔閥把手順時針旋轉到底為充氣鬆軔位，於充氣鬆軔位逆時針旋轉角度 90° 以內為常用緊軔位，超過 90° 為緊急緊軔位，逆時針到底為取把手位。

當司軔閥操作常用緊軔時，司軔閥軸凸輪會頂壓均衡槓桿，造成排氣閥被緊壓住；進氣閥被頂開，此時 CP 止回閥被另一組凸輪頂開，於是來自 MR 的壓力空氣由進氣閥進入 CP 止回閥，並通往 CP 管，此動作一直進行，直到司軔閥 CP 室壓力一直增大，開始壓擠排氣活塞並壓縮排氣活塞彈簧，均衡槓桿承受司軔閥軸凸輪的壓力得以紓解，於是均衡槓桿反向運動，同時因進氣閥彈簧壓力的反彈，自動關閉進氣閥，形成保壓位。

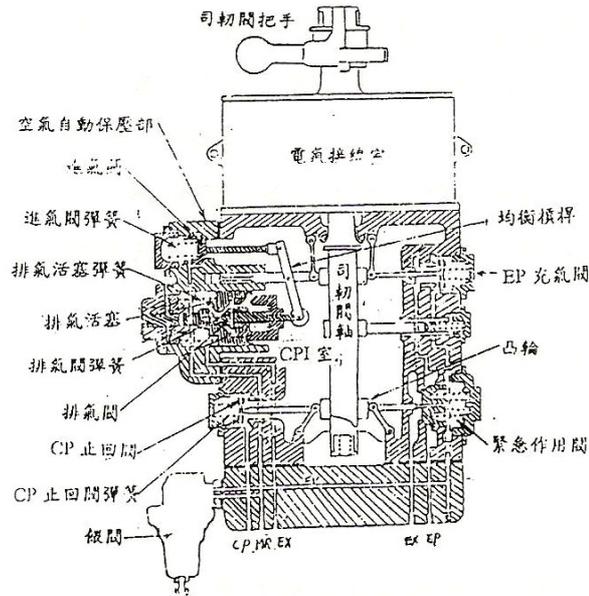


圖 6 ME-36B 司軔閥

當司軔閥操作階段鬆軔時，司軔閥軸凸輪會鬆開，均衡槓桿後退，排氣活塞的大面積仍受到壓力空氣擠壓無法鬆開，但排氣閥面積小未受影響，且受彈簧彈力彈開，遂開啓排氣通道通往大氣，排放 CP 管內壓力。當 CP 室壓力逐漸轉弱，壓迫排氣活塞的大面積壓力亦減弱，因為排氣活塞的彈簧回復力，將排氣活塞向外推移，使排氣活塞與排氣閥再度關閉停止排氣，形成階段鬆軔後保壓位。

當司軔閥操作 EP 充氣時，EP 充氣止回閥被司軔閥軸凸輪頂開，來自 MR 的壓力空氣經餵閥（NF3 調壓閥）調壓成 5 kg/c m^2 的壓力空氣，由 EP 充氣止回閥經緊急作用閥外側環形通道通往 EP 管，對全系列車 EP 管充氣。

當操作司軔閥置於緊急緊軔位時，此時司軔閥軸凸輪離開 EP 充氣止回閥，止回閥關閉停止充氣。而緊急作用閥的排氣引導閥被另一組司軔閥軸凸輪頂開，因此緊急作用閥後方的空氣被洩放了，而壓力的補充須由緊急作用閥前方的 EP 管壓力，經由縮口通往後方，於此刻緊急作用閥前方的壓力大於後方，因此緊急作用閥被向後推移，開啓通往大氣的通道，排放 EP 管內的壓力。

3.2 D 緊急閥（“D” BRAKE APPLICATION VALVE）

D 緊急閥（圖 7）的用途為受緊急緊軔電磁閥及 ATP 電磁閥的控制，當接收到緊急緊軔訊號後，快速將 EP 管壓力洩放，使自動軔機啓動，造成全系列車緊急緊軔。

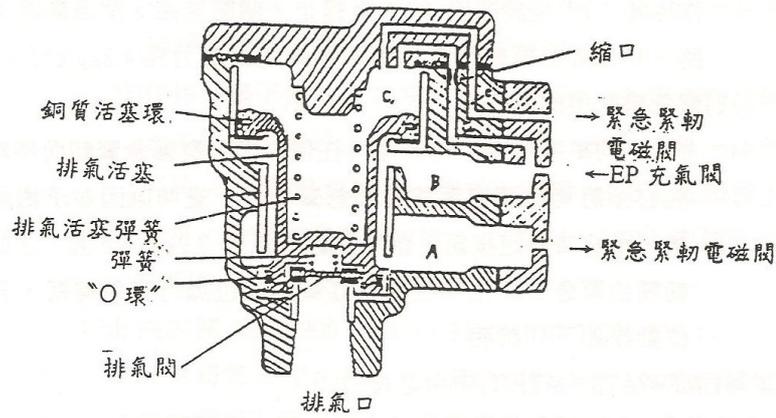


圖 7 D 緊急閥

當司軔閥對 EP 管充氣時，D 緊急閥之緊急活塞由於上部的彈簧作用，使在不受任何外力情況下，緊急活塞會向下關閉，因此司軔閥 EP 充氣閥的壓力空氣得以順利進入 D 緊急閥活塞下方，向 EP 管充氣，同時活塞下方的壓力空氣向上通過縮口，來到緊急活塞上方，一段時間之後，緊急活塞上下兩方的壓力平衡，EP 管建立 5 kg/c m^2 的壓力。

當緊急緊軔啟動時，緊急電磁閥或 ATP 電磁閥開啓，排放緊急活塞上方壓力空氣，造成緊急活塞上方壓力減弱，而補充的壓力空氣經由縮口進入產生延遲，此時緊急活塞下方的 EP 管壓力克服緊急活塞的彈簧壓力，將緊急活塞向上推開，開啓 EP 管通往大氣的通道，大量排放 EP 空氣，縮短緊急緊軔的時間。

3.3 E 控制閥 (E CONTROL VALVE)

E 控制閥 (圖 8) 為自動軔機最重要的元件，採用新型膜板裝置，無滑閥固著之虞，感應壓力變化迅速、確實，為目前各氣軔系統廣泛採用的閥組件，是本路的主力元件。

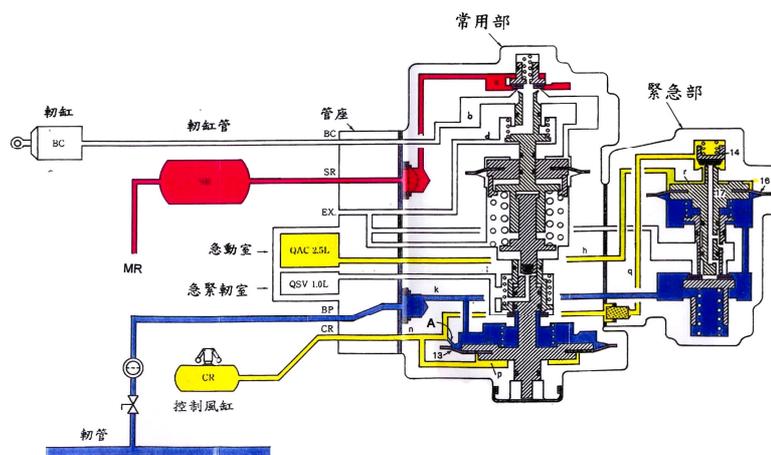


圖 8 E 控制閥

E 控制閥在構造上分爲：

- 1、常用部：依 EP 管減壓量，可獲得相對應的軔缸壓力，緊軔初期能將 EP 管空氣向急緊軔室充氣，加速軔缸壓力上昇。主要零件包括作用閥、上活塞膜板組、筒型閥、中間活塞組、下活塞膜板組等。
- 2、緊急部：軔管急劇減壓時，急動活塞排氣閥開啓，幫助軔管加速減壓。鬆軔時能將控制風缸壓力向急動室充氣，藉以獲得鬆軔保證。主要零件包括急動風缸充氣閥、急動活塞膜板組、急動活塞排氣閥。

主要特徵：

- 1、急緊軔作用增進常用緊軔之傳遞速度。
- 2、射氣性能，於緊軔初期加速軔缸壓力上昇，使軔力確實。
- 3、有軔缸保壓功能，軔缸壓力洩漏時能自動補充至應有壓力。
- 4、階段鬆緊軔功能。
- 5、緊急緊軔部不管在鬆軔位或常用緊軔位，皆能產生高壓力之緊急緊軔動作。
- 6、鬆軔時能將控制風缸的壓力向急動室充氣，降低控制風缸壓力約 0.2 kg/cm^2 ，獲得鬆軔保證。
- 7、維修容易，僅更換橡膠配件即可，不需研磨、鑲配，方便迅速。

3.4 U6C 閥 (VARIABLE RELAY VALVE)

J 繼動閥與 U6C 閥 (圖 9) 都是中繼閥，只要將來自複式止回閥的壓力空氣送至中繼閥下皮碗下方，即可產生相對應的壓力空氣至軔缸，差別是 J 繼動閥是 1 比 1，即來自複式止回閥的壓力與軔缸的壓力一致。而 U6C 閥是一種自動調節中繼閥，在 U6C 閥上、下水平桿之間，有一組複合式槓桿機構，當下皮碗接受壓力訊號時，剛開始下水平桿以第二種槓桿方式，推動上水平桿，此時爲省力放大機構，藉以將軔力放大。當下皮碗壓力持續增大時，因下水平桿上的彈簧推桿逐漸被壓縮至以鋼輪來推動上水平桿的第三種槓桿加入合併使用，因第三種槓桿爲費力機構，因此所產生的軔力接近下皮碗。此外 U6C 閥可藉由手動調節鋼輪前後移動，改變軔力大小。

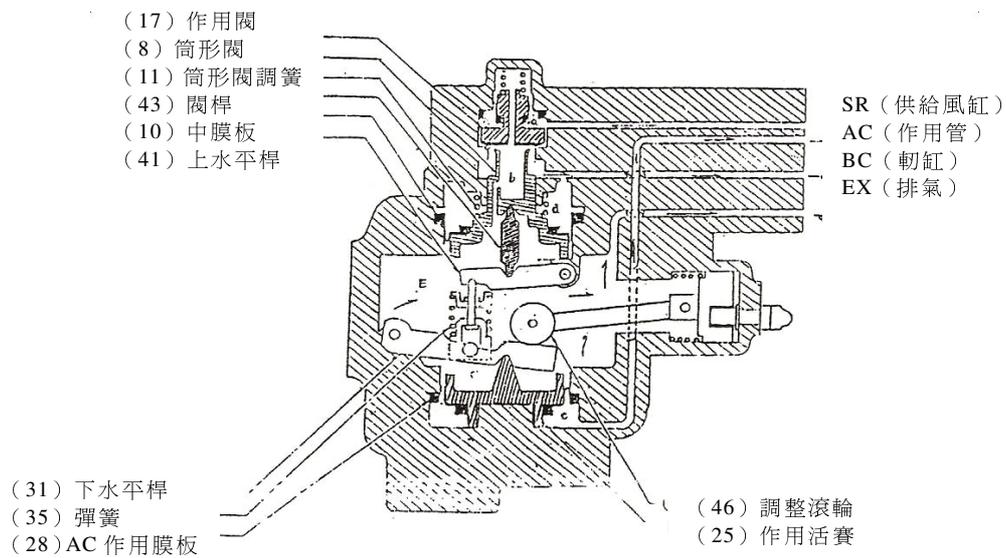


圖 9 U6C 閥

四、結論

SMEE 氣軔系統為臺鐵柴聯車之煞車系統，隨著時代之變遷，系統組件亦逐漸更新，本文將演變過程作一系統性整理。期能給相關人員提供參考，並就其作動原理進行探討，使技術與原理更臻完備，已深植檢修能量。

參考文獻

1. 柴油客車 DMU、DRC 構造概要上冊（2000），臺灣鐵路管理局機務處，頁 99-157。
2. 葉日好（1984），ERE 電磁自動空氣軔機裝置說明書，臺灣鐵路管理局機務處，頁 19-24。

50N#8 關節式 PC 枕道岔研製

50N # 8 Articulated Pillow Turnout PC Development

張慶生 CHANG, Ching-Sheng¹

聯絡地址：414 台中縣烏日鄉光日路 225 號
Address：No.225, Wuri Township, Taichung County 414

聯絡電話：(04)2338-1510
Tel：(04)2338-1510

摘要

近年來本局為強化軌道結構，確保行車安全，提高行車速度與縮短乘車時間，大量使用 PC 枕，以其堅固易維護的混凝土特性逐漸取代易腐的木枕，致 PC 枕之數量大幅增加。道枕的功用是保持兩鋼軌間的軌距不變，維持軌道線形，讓鐵道車輛之重量藉由枕木將荷重均勻分佈於道碴道床之中，減少維修人力。

Abstract

In recent years to strengthen the track structure of this Council to ensure road safety and to improve the traffic speed and to shorten the travel time, large-scale use of PC Pillow, with its easy to maintain sturdy concrete characteristics of the wood gradually replace perishable pillows, pillow of the number of PC-induced increase substantially. Road pillow is to maintain the function of the gauge between the two rail unchanged linear track so that the weight of vehicles by rail sleepers will be uniformly distributed load on the track bed ballast, the reduced maintenance manpower.

一、#8 關節式道岔 PC 枕

軌道系統基本上由鋼軌、扣件、承托系統三個部分所組成，本文以扣件及承托系統為主。

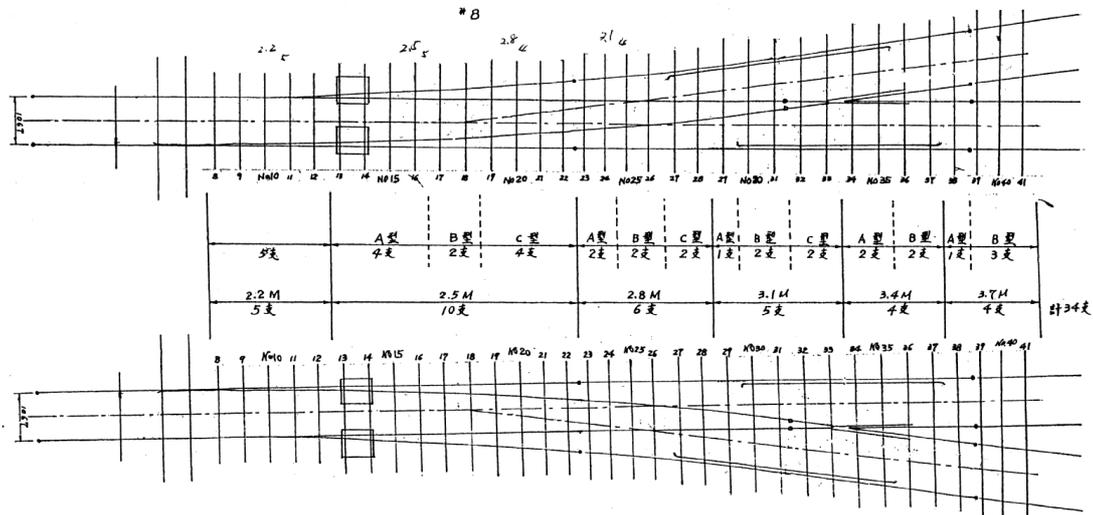
1、PC 枕型式

PC 枕自 No.8 枕至 No.41 枕一套共計 34 支 PC 枕，就長度而言，自最短的 2.2M 至最長的 3.7M，其中包括 2.5M、2.8M、3.1M、3.4M 等共 6 種尺寸。每種尺寸再細分為 A、B、C 等不一型式。

- (1) 2.2M-5 支。
- (2) 2.5M-A 型 4 支，B 型 2 支，C 型 4 支。
- (3) 2.8M-A 型 2 支，B 型 2 支，C 型 2 支。

1.本局工務養護總隊副工程師張慶生

- (4) 3.1M-A 型 1 支，B 型 2 支，C 型 2 支。
 - (5) 3.4M-A 型 2 支，B 型 2 支。
 - (6) 3.7M-A 型 1 支，B 型 3 支。
- 共 14 型 34 支 PC 枕。(圖 1)



(圖 1)#8 關節式道岔 PC 枕道岔排列

2、PC 枕設計考量

- (1) 左開或右開道岔都可以使用。
- (2) 有朝一日，#10、#12、#16 關節式道岔也 PC 枕化時，同一型式的 PC 枕都可以互相通用。
- (3) 製造時模具的型式數目固定 14 型，PC 枕數量若增加，每支 PC 枕之模具分攤費即可降低，PC 枕的製造費也隨之減低。
- (4) 在備料上，一個備料區只須要備料 14 型 34 支 (正線道岔 PC 枕須備料 7 型 46 支)，可減少備料的數量和使用空間。

3、PC 枕斷面構造

PC 枕的斷面為梯形斷面，上底 240mm、下底 265mm、高 210mm，拉筋數有 16 條、20 條及 24 條三種：

- (1) 拉筋數為 16 條之 PC 枕：2.2M、2.5M -A 型、B 型及 C 型。
- (2) 拉筋數為 20 條之 PC 枕：2.8M -A 型、B 型、C 型
- (3) 拉筋數為 24 條之 PC 枕：3.1M -A 型、B 型、C 型；3.4M -A 型、B 型；3.7M -A 型、B 型。

4、PC 枕重量

- (1) 2.2M 重量為 300 kg/支x5 支 = 1500 kg 。
- (2) 2.5M-A 型為 311 kg/支x4 支；B 型為 317 kg/支x2 支；C 型為 344 kg/支x4 支 = 3254 kg 。
- (3) 2.8M-A 型為 358 kg/支x2 支；B 型為 365 kg/支x2 支；

- C 型為 385 kg/支x2 支 = 2216 kg。
- (4) 3.1M-A 型為 405 kg/支x1 支；B 型為 412 kg/支x2 支；
C 型為 432 kg/支x2 支 = 2093 kg。
- (5) 3.4M-A 型為 446 kg/支x2 支；B 型為 459 kg/支x2 支 = 1810 kg。
- (6) 3.7M-A 型為 473 kg/支x1 支；B 型為 500 kg/支x3 支 = 1973 kg。
- 每套道岔 PC 枕總重量為 12,846KG。

二、床板、鋼軌與 PC 枕

1、扣結方式

本案床板與鋼軌之扣結是利用 e1809 班多爾扣件，一邊扣壓住床板的鋼肩，另一邊扣住鋼軌底部，使鋼軌和床板合為一體。而床板與 PC 枕之締結也利用 e1809 班多爾扣件扣住各床板之邊緣斜面及 PC 枕埋設之鋼肩。

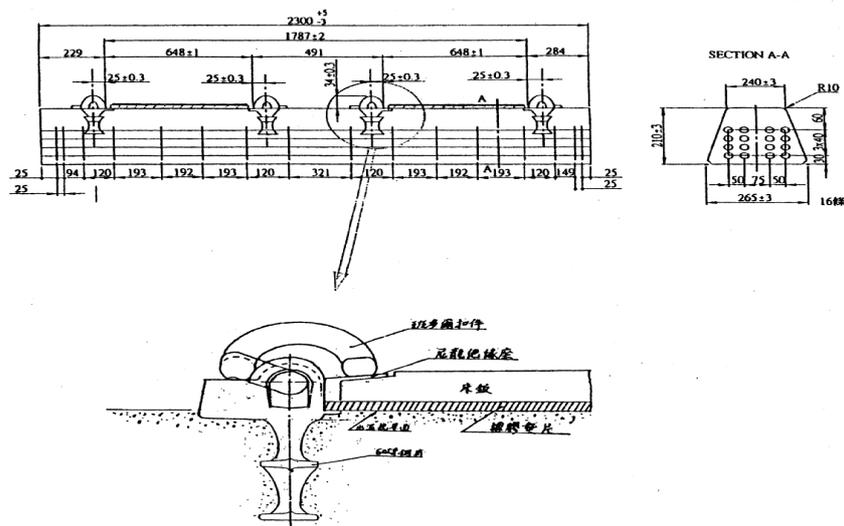
2、彈性與絕緣

床板底部和 PC 枕間鋪有橡膠墊片，吸收鋼軌傳到床板之平均壓力、振動兼絕緣作用。

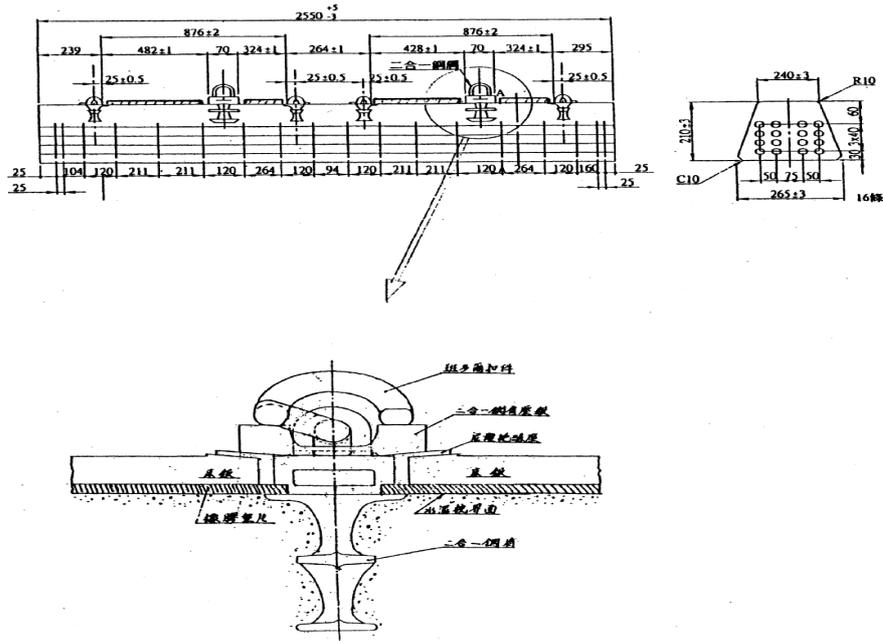
3、鋼肩之使用

PC 枕埋設之鋼肩分為兩種：其一為 60 公斤鋼軌用鋼肩（圖 2）、其二為本隊自行研製之二合一鋼肩。（圖 3）

所謂二合一鋼肩是：藉用一個鋼肩扣住兩邊的兩塊床板而稱呼之。使用時機是考慮兩鋼軌間必須絕緣，又兩鋼軌之間隙過於狹窄容不下埋設兩個 60KG 的鋼肩時使用之。例如兩導軌交叉前之處或導軌與基本軌交叉之處。



(圖 2) 60 kg 鋼肩與床板扣壓情形



- (圖 3)二合一鋼肩與床板扣壓情形

4、研製過程

研發最大的困擾是量少又需要模具，製造 PC 枕需要模具、製造橡膠墊片也需要模具。節省經費的方法就是儘量減少模具的數量。以 PC 枕為例，一個模具約為 2 萬元，若 34 根枕都需作模具則需花 68 萬元。本隊把它分成 14 組模具只需 28 萬元，可節省 40 萬元。又以製造橡膠墊片為例，每一個模具需 2.6 萬元，共需 15 個模具，若全數製造需花費 39 萬元，本隊把長度劃分為 5 組，只製造每組長度最長的墊片，再以人工裁剪成 15 種長度的橡膠墊片使用，可節省 26 萬元模具費。

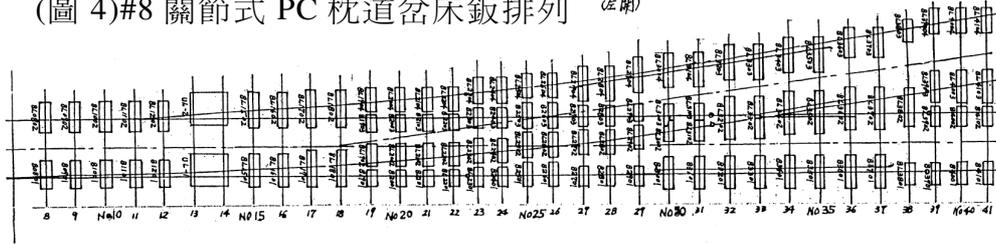
設計上考慮 PC 枕和橡膠墊片製造比較困難，以節省模具費為著眼，而床板因係鐵件，在裁切、加工都比較普遍且容易。因此這樣組合成的道岔床板的線形會成階梯狀。有些地方會發覺床板存在不合理長度的現象。

尼龍絕緣座的厚度，原則上以 9mm 為正常厚度，上下有 3mm 調整空間，也就是厚度最大為 12mm，最小為 6mm。

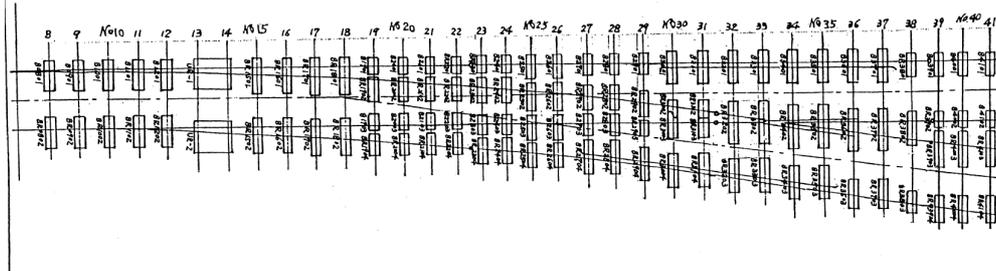
三、床板之編號與安裝

為了道班同仁安裝方便起見，床板的編號循以枕木編號為基礎，自直軌側向曲軌側起算，為第一塊、第二塊、第三塊、最多第四塊。例如 No.20 之 PC 枕有四塊床板，則直軌側向曲軌側編號分別為：82001、8L(R)2002、82003、8L(R)2004。這樣道班同仁在置放床板時很方便不會茫然。(R 為右開道岔用、L 為左開道岔用、沒有標記 R、L 的為左開、右開通用之床板) (圖 4)。

(圖 4)#8 關節式 PC 枕道岔床鈹排列 (左側)



(右側)



四、成本分析

1、量產費用

(1) PC 枕.....	150,000 元
(2) 各類床鈹.....	150,000 元
(3) 橡膠墊片.....	36,000 元
(4) 鋼軌加工及零組件.....	250,000 元
(5) 尼龍絕緣座.....	5,000 元
(6) 鋼肩 (60KG 鋼肩、二合一鋼肩) ..	16,000 元
(7) 班多爾扣件.....	25,000 元
合計.....	632,200 元

2、國產自製道岔每套計約..... .63 萬元

3、外洋購料道岔每套約.....140 萬元

4、兩相比較，可節省約... ..77 萬元

伍、結論

路線養護方面以 PC 枕逐漸取代木枕，避免軌道的扭曲及變形，以因應重軌化工程，但岔枕與橋枕則因使用於特殊路段，僅分別占 4.2% 及 1.1%。如何降低道班人力之需求，降低軌道養護之成本，為軌道營運業者所欲達到之目標。本隊研發 50 公斤 8 號關節式道岔 PC 化後使用年限增加、保養維修時間拉長，經濟效益提昇，道岔枕木 PC 化以後對行車的穩定性及安全性都有很大的助益。

參考文獻

1. 曾榮聰，50 公斤 8 號關節式道岔研製與軌枕 PC 枕化，交通部臺灣鐵路管理局工務養護總隊 (2008)。

編後語

隨著臺北捷運內湖線通車，我國軌道運輸路線長度再往前邁進，顯示綠色節能運輸的開花結果與蓬勃發展；6月9日臺灣鐵路122週年鐵路節熱鬧開幕，蒸愛臺鐵CK124山海線油輪式開航，帶動鐵路文化傳承再現風華。

「臺鐵資料」337期改版後，獲得不同之迴響，在傳統中尋求一點現代，惟因內容格式上的調整，或因習慣於原來格式之作者多了一點負荷，造成本期稿源短促，亦或需要多一點時間調適；蛻變過程，編輯群誠惶誠恐，步步為營，期盼能生的完整，長的漂亮。

本資料旨著重於軌道業界各單位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，期能透過本刊物將寶貴的實務經驗或心得完整記錄保存及分享，歡迎各界踴躍投稿。

本338期刊載主要為「工務」與「機務」內容及他山之石「進步中的印度鐵路」介紹，對於「運務」「材料」「會計財務」及「產管」部分較缺乏；盼望未來能提供讀者更豐富完整資料。

資料保存是豐富歷史的一種莊嚴，我等努力兢業向前，感謝各位給我們支持與鼓勵。

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 Word97 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 Name¹

中文姓名 English Name²

聯絡地址及電話（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

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

2. 中央大學土木系碩士。

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)。

參考文獻

10. 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。
11. 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：
12. http://www.motc.gov.tw/ana/20061220173350_951220.wdl。
13. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.

勘誤表

第 337 期第 3 頁表 1 交通部臺灣鐵路管理局資產負債表（存貨部份）誤植，更正如下：

	97 年 12 月止	百分比
存貨	4,542,390,737.27	100.000%
未分配運什費	340,297,921.92	7.491%
製成品	116,900.00	0.003%
在修品	14,671,758.34	0.323%
物料	4,108,732,343.94	90.453%
燃料	78,571,813.07	1.730%