

膠輪捷運系統的導引構造回顧

Review the Conformation of the Guidance for Rubber-Tired rapid Transit System

作者：林世泰¹

1：國立台灣大學土木工程學研究所博士

萬鼎工程服務股份有限公司組長

Email：shyhtai_lin@hotmail.com

摘要

多數大城市正面臨人口集中及不同商業活動所需的運輸問題，都市運輸系統除解決交通擁擠、提供運輸績效及降低負面影響外，確保人類生活環境及健康亦是重要課題。膠輪捷運技術是在 1951 年至 1956 年被發展，供法國巴黎捷運系統使用，此技術的發展可達到下列功能：1.經由車輛良好的黏著力，改善加減速度以提高營運速度；2.採用膠輪減少行駛車輛的噪音；3.車廂體積較小及重量較輕，以減少投資成本。在市區的大眾捷運為改善系統功能及環境影響，已不再使用傳統捷運技術，用膠輪取代鋼輪支撐及導引車輛稱為膠輪捷運（Rubber Tired Rapid Transit 簡稱 RTRT），因行駛膠輪不具導引作用，在車架須安排導引設施（水平輪胎）。

膠輪捷運的各專業廠商發展個自特有的膠輪捷運技術，在軌道構造分為單軌及雙行駛路面，本文僅對雙行駛路面作說明；導引輪配置分為側式導引及中央導引等基本型式。膠輪捷運系統以都會大眾運輸系統及機場旅客運輸系統為主，機場旅客交通包括機場聯外及航站間運輸，系統技術朝向標準化、安全性、信賴度及利用率等更新，系統標準化的宗旨在提高系統設備規格化及量產，車輛及附屬設施在各計劃路線間可互相轉用與降低成本，系統的安全性、信賴度及利用率等目的在提昇營運績效。膠輪捷運系統技術具有減低噪音、減少車廂重量、降低工程成本、改良車輪黏著力及提高縱坡度等項，膠輪捷運的支撐結構以高架為主，隧道及路堤次之；以混凝土材料為主，鋼材為輔。

台灣地區的膠輪捷運建設，有已營運的中正機場旅客接駁系統及台北都會區木柵線，與施工階段的台北都會區內湖線，而後續的中正機場聯外捷運及都會區的捷運最佳建設方案係採膠輪捷運技術。故本文除回顧台灣地區既有的膠輪捷運的軌道構造及導引型式外，亦蒐集國際上已商業運轉的膠輪捷運系統，分別為日本新交通系統、法國 VAL 系統及美國龐巴迪公司的自動旅客運輸等膠輪捷運技術，作為國內捷運建設選擇核心系統及構築導引結構的參考。

關鍵字：膠輪捷運、專業廠商、行駛路面、導引輪，新交通系統、自動旅客運輸

Keyword：RTRT, Core System, Running Surface, Guide Wheel, New Transportation System, Automatic People Mover

膠輪捷運系統的導引構造回顧

Review the Conformation of the Guidance for Rubber-Tired rapid Transit System

作者：林世泰¹

1：萬鼎工程服務股份有限公司組長

Email：shyhtai_lin@hotmail.com

1.前言

多數大城市正面臨人口集中及不同商業活動所需的運輸問題，都市運輸系統除解決交通擁擠、提供運輸績效及降低負面影響外，確保人類生活環境及健康亦是重要課題。傳統捷運係指鋼輪車輛行駛在鋼軌導引結構的技術，而構築的軌道縱向坡須小於2%，列車所產生的震動及噪音超出現有環保規定，在發展密集的市區建造增加工程困難度。在市區的大眾捷運為改善系統功能及環境影響，已不再使用傳統捷運技術，用膠輪取代鋼輪支撐及導引車輛稱為膠輪捷運（Rubber Tired Rapid Transit 簡稱 RTRT），因行駛膠輪不具導引作用，在車架須安排導引設施（水平輪胎）。

膠輪捷運結合公路車輛及傳統軌道結構等概念，技術具備減低噪音、減少車廂重量、降低工程成本、改良車輪黏著力及提高縱坡度等特點，具有客車容量、行車間隔小、單位小時運量大及服務人員少等優點，提供中運量的運輸路廊最佳解決方案。膠輪捷運的支撐結構以高架構造為主，隧道及路堤構造次之；軌道構造材料以混凝土為主，鋼材為輔；適於土地發展已定型的商業區及住宅區。

台灣地區的膠輪捷運建設，有已營運的中正機場旅客接駁系統及台北都會區木柵線，與施工階段的台北都會區內湖線，而後續的中正機場聯外捷運及都會區的捷運最佳建設方案係採膠輪捷運技術。故本文除回顧台灣地區既有的膠輪捷運的軌道構造及導引型式外，亦蒐集國際上已商業運轉的膠輪捷運系統，分別為日本新交通系統（New Transportation System）、法國（MATRA）VAL系統及美國龐巴迪公司（BOMBARDIER）的自動旅客運輸（Automatic People Mover）等膠輪捷運技術，作為國內捷運建設選擇核心系統及構築導引結構的參考。

2.膠輪捷運架構及特性

大眾運輸的技術特徵包含支撐及導引（Support and Guidance）、動力設備（Propulsion Equipment）、服務設施（Service Devices）及控制設備（Control Equipment）等次系統[1]，支撐及導引細分為車輛及列車（Vehicles and Train）、導引軌結構（Guidance Structure）與轉轍器及機械（Switch and Machine）等項，動力設備細分為集電靴（Collection Shoes）及供電佈設（Power Distribution），服務設施細分為車站（Stations）、袋狀軌（Pocket Tracks）及機廠（Depot），控制設備細分為偵測設備（Detector Equipment）、號誌設備（Signal Equipment）及行車監控（Operation Monitoring and Control）等項。

- 1.支撐指與車輪接觸及承載荷重的結構，導引指維持車輛行駛方向的構造，在鋼輪技術由凸緣來導引，膠輪技術由水平輪胎導引。車輛為載運乘客的運輸工具，列車由數輛的車輛組成；導引結構提供車輛支撐及導引的鋼製或混凝土構件；轉轍器及機械為列車在路線間轉換的設施。
- 2.供電設備指供應列車運轉的電力線路及設施，集電靴為車輛與供電軌間的電力接點，供電佈設由牽引動力變電廠至供電軌間的線路佈置。
- 3.服務設施為供乘客進出及購票、列車調度及檢修的處所及設備，車站提供乘客購票、上下車及進出系統的處所，袋狀軌提供車輛調度及儲存場所，機廠提供車輛調度、清理、儲存及檢修的場所與設備。
- 4.控制設備即為車輛位置偵測、路線狀況顯示及車輛行進管制等設備，偵測設備係指車輛行進位置、導引軌完整及轉轍器轉向狀況等偵查，號誌設備係指偵測設備將偵查結果顯示於路線旁裝置及控制中心螢幕，行車監控係指車輛運轉及司機員操作等監視系統。

膠輪捷運技術是在 1951 年至 1956 年被發展，供法國巴黎捷運系統 (Paris Metro) 使用，此技術的發展可達到下列功能[2]：1.經由車輛良好的黏著力，改善加減速度以提高營運速度；2.採用膠輪減少行駛車輛的噪音；3.車廂體積較小及重量較輕，以減少投資成本。膠輪捷運的導引構造依據車輛荷重支撐及導引設施、轉轍器構造、行車控制與動力供應等條件，各專業廠商 (Core Systems) 發展個自特有的膠輪捷運技術，在軌道構造分為單軌 (Monorail) 及雙行駛路面 (Dual Running Surface)，本文僅對雙行駛路面作說明；導引輪配置分為側式導引 (Side Guidance) 及中央導引 (Central Guidance) 等基本型式。膠輪捷運的導引構造相關的設施及設備，有車輛與列車、供電佈設、行車訊號及控制與導引結構及施工標準等項，並於後分別說明。

3.車輛與列車

膠輪車輛轉向架 (bogie) 結構和鋼輪車輛不盡相同，鋼輪車輛轉向架的荷重支撐為雙輪軸組成，膠輪車輛轉向架的荷重支撐採單軸支撐為主，少部分轉向架的荷重支撐採雙輪軸支撐。膠輪車輛的行駛輪 (steering wheel) 發展過程如圖 1 至圖 4 的四種構想[3]，鋼輪車輛改採膠輪的最早轉向架荷重支撐，考量充氣膠輪在故障時有額外的安全保障，在膠輪內側保留原有鋼輪如圖 1 所示。由於膠輪最早轉向架荷重構造過於複雜及備品問題，為簡化建造、減少維修的備料及降低作業成本，故將鋼輪凸緣修平及合併鋼軌為行駛路面所演化的轉向架荷重結構如圖 2 所示。為更簡化備料及降低作業成本並確保充氣膠輪在故障時有額外安全保障，轉向架荷重完全由膠輪支撐的雙膠輪如圖 3 所示。現今的膠輪製造技術及安全性已提升許多，轉向架的荷重支撐更簡化為單膠輪如圖 4 所示。

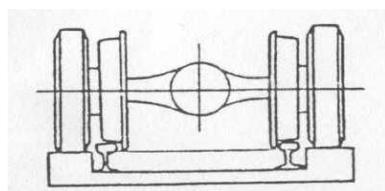


圖 1 膠輪最早車架構造

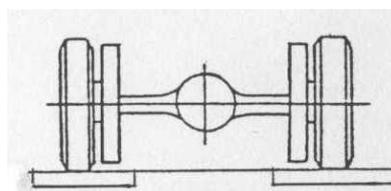


圖 2 演化後的膠輪及鋼圈車架構造

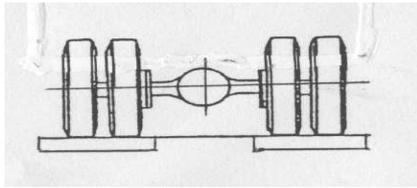


圖 3 雙輪車架構造

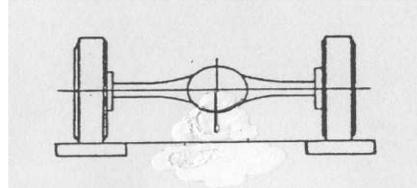


圖 4 單輪車架構造

膠輪捷運車廂由膠輪荷重支撐及側輪導引，車體採較輕的鋁合金及木材等材料建造，列車在轉彎時有較安靜及爬坡力較強（黏著力較佳）的優點。導引輪（guide wheels）架構依據側式導引及中央導引設於車架的兩側及底盤[3]，側式導引依導引輪佈設於行駛輪內側及外側劃分，外側式導引將導引輪佈於前後軸行駛輪外側如圖 5 所示，分別佈設於前轉向架及後轉向架；內側式導引將導引輪佈於前後軸行駛輪內側的底盤如圖 6 所示，同樣佈設於前轉向架及後轉向架；中央導引將導引輪佈於前後軸中央的底盤如圖 7 所示，分別佈設前轉向架及後轉向架的前後位置。

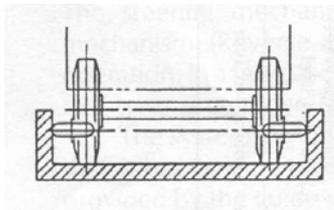


圖 5 外側式導引

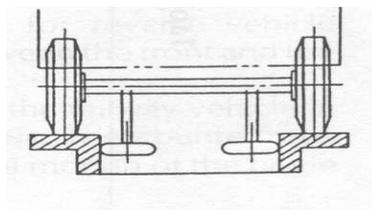


圖 6 內側式導引

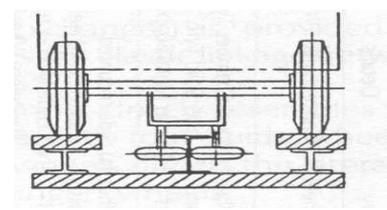


圖 7 中央導引

膠輪捷運依據車廂載客數分為[2]：個人捷運（Personal Rapid Transit 簡稱 PRT），單車廂載客量為 2 至 6 人；另一為團體捷運（Group Rapid Transit 簡稱 GRT），單車廂的最少載客量為 35 至 50 人。車輛尺寸範圍[4]：車長約為 4.7~17.0 公尺、車寬約為 2.0~3.0 公尺、車高由軌道頂面至車頂約為 2.6~3.9 公尺。膠輪捷運列車大多採自動導引運轉，可提供頻繁而快速的班次及可靠的運輸服務，在尖峰時段的候車時間最多只需一分鐘。在車上無須駕駛或服務人員可經由中央控制室的電腦來控制列車的運轉，並可節省營運時的車上服務人員費用的負擔。膠輪捷運的列車組成標準[1,5]，車廂基本架構分為單車及以兩車組成的對車（married pair），在北美地區商業運轉的列車標準，以單車、對車及四車組成為標準，日本的列車標準為四車及六車組成，歐洲地區的列車以單車及對車組成為標準。列車的單車組成架構如圖 8 所示，列車由對車組成架構如圖 9 所示，列車為四車或六車所組成時，可由圖 9 的對車組成架構依序及對車單元加以組成。

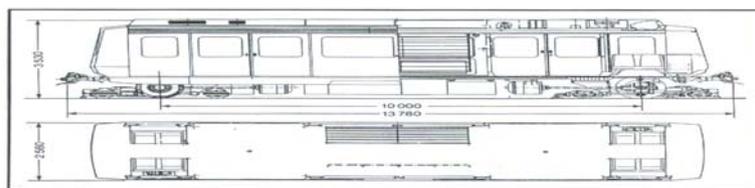


圖 8 單車組成列車架構

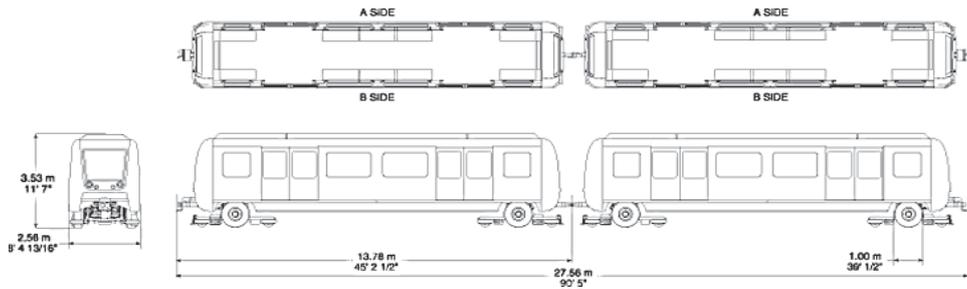


圖 9 對車組成列車架構（兩車廂）

4. 供電佈設

捷運電車的供電架構，是以第三軌（正極軌）經集電靴供電給動力馬達用，電流須流回牽引動力變電站，構成推動列車的電力迴路。在鋼輪及鋼軌組成的捷運電車供電系統，可藉動力馬達負回流連接車廂的接地電刷與鋼輪接觸，並經負回流鋼軌連接至動力變電站，構成列車啟動及運轉所需的電力迴路。在膠輪及混凝土或鋼製行駛路面組成的捷運電車供電系統，無法依輪軌構造形成電力迴路，須在軌道設施另佈設負回流軌以構成供電迴路。捷運電車供電系統為利列車調度、軌道維修及供電維護，第三軌（正極軌）須配合車站、道岔、橫渡線、袋狀軌及機廠等設施範圍劃分供電區段，在相鄰兩供電區段間的第三軌（正極軌）用絕緣塊區隔。

捷運電車第三軌（正極軌）的電源[1,6]，由牽引動力變電站至供電區段的線路佈設，除依軌道構造配置電力管道外，須特別考量供電線路與供電軌的連接位置如圖 10 所示，供電軌的佈設分為單側（One Side）、雙側（Two Side）及中央（Center）等基本模式。捷運電車供電模式分為交流電（AC）及直流電（DC）等兩者，交流電（AC）供電模式為三相，電壓在 400~600V 間，供電軌的佈設分為單側及中央如圖 11 及圖 12 所示；直流電（DC）供電模式為單向，電壓為 750V，供電軌的佈設為雙側在行駛路面的外側如圖 13 所示。交流電供電模式的供電軌佈設，在側式導引列車只設於單側且負回流軌位於最上面如圖 11 所示；在中央導引列車則設於導引軌上方且負回流軌位於中央如圖 12 所示。直流電供電模式的供電軌佈設，在側式導引列車都與導引軌共用如圖 13 所示，在中央導引列車亦設於導引軌上方如圖 12 所示，正極及負極供電軌在橫斷面位置是固定的。



圖 10 供電線路與供電軌接點

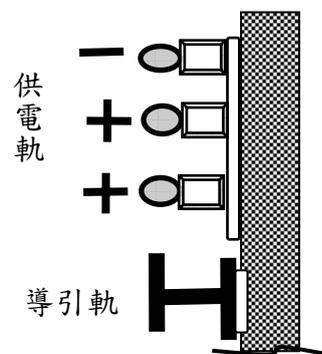


圖 11 交流電單側供電佈設

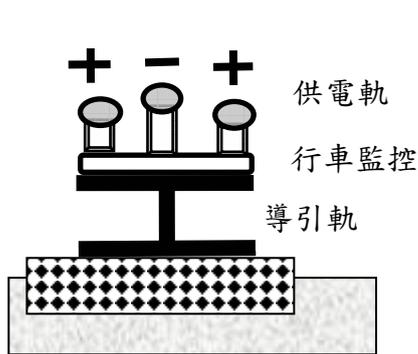


圖 12 交流電中央供電佈設

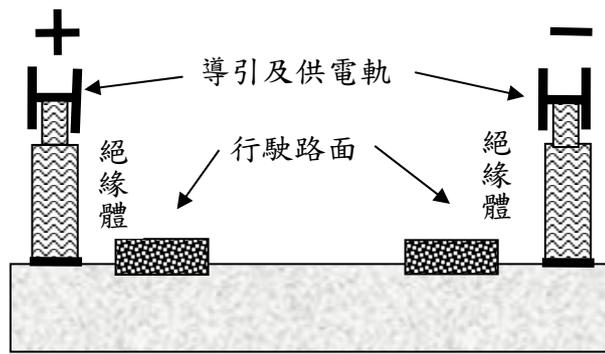


圖 13 直流電供電軌佈設

捷運車輛的集電方式是以集電靴接觸供電軌，而取得列車電動馬達的動力，為確保供電不間斷，則車輛集電靴須左右側皆佈設。在營運安全的前題下，特殊軌區的供電軌佈設較為複雜，須考量電聯車及集電靴運行的側向及垂直位置變動〔6〕，故供電軌的位置及長度皆須配合車輛前後集電靴間隔佈設，以構成動力變電站、供電線路、供電軌及集電靴的完整供電迴路。在道岔（Turn Out）區的供電軌佈設較簡單，在交流電供電模式只須補充空檔部分，而直流電供電模式則須計算前後集電靴間隔。橫渡線（Cross Over）區的供電軌佈設較複雜，在交流電供電模式須補充空檔部分及計算前後集電靴間隔，而直流電供電模式亦須補充空檔部分及計算前後集電靴間隔。直流電供電模式因正極及負極軌固定佈設較複雜，交直流電供電模式因正極及負極軌在同側佈設較易。

5. 行車訊號及控制

捷運的交通控制系統（Traffic Control System）架構依據軌道線形、車站及列車運轉技術而定，一般膠輪車輛所組成的列車多採自動導引運轉，因此總交通控制（Total Traffic Control 簡稱 TTC）中心及系統是不可缺少的〔1,6〕。行車監控用以管理、監督及控制線上列車，使所有列車均依總交通控制命令行止，以達軌道運轉順暢及安全無虞的目的。列車與行車監控間須密切及安適地配合，為確保列車運轉順暢須在軌道劃分交通管制區間（traffic control block），在列車間距（headway）須包括訊號傳遞區間（signal proceed block）、緊急停車區間（emergency stop block）及停等區間（queuing block）等行車空間，在控制室螢幕顯示的行車資訊，包含軌道及轉轍器狀況、列車位置、行車速度。

傳統捷運的交通管制區間及列車偵測器佈設，可藉由鋼軌及其絕緣接縫來構成迴路，但膠輪膠捷運因膠輪及混凝土等電不良導體，則交通管制區間、列車偵測器、訊號顯示設備及安全控制裝置（fail safe control）等必須另安排線路，在側式導引的軌道構造將管制區間及列車偵測器佈設於中央如圖 14 所示，在中央導引的軌道構造將管制區間及列車偵測器佈設於中央導引軌之上如圖 15 所示。車站、道岔、橫渡線及軌道末端等區域須裝設行車偵測器，偵測列車進出蓋區域外，亦作為停車定位置之依據，小型偵測器如圖 16 所示，大型偵測器如圖 17 所示。行車訊號顯示設備設在路側（wayside），佈設以車站、機廠、袋狀軌、道岔、橫渡線及軌道末端等區域為主，其餘路段次之。

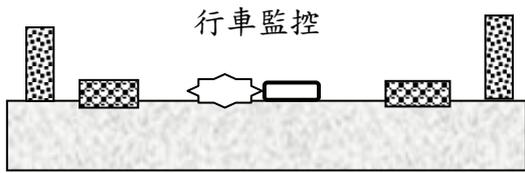


圖 14 側式導引的行車監控



圖 16 小型列車偵測器

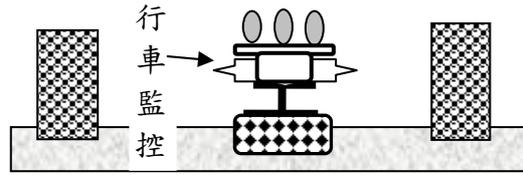


圖 15 中央導引的行車監控

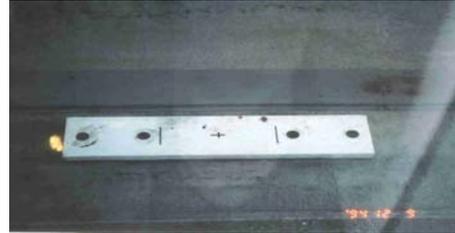


圖 17 大型列車偵測器

列車調度要聯鎖路段、車站、袋狀軌及機廠等處所，在每一組道岔尖軌處安裝一台轉轍器〔9〕，係軌道運輸的重要行車監控，轉轍器藉由點偵測器（point detector）的電路控制器，檢查轉轍軌是否在基本軌的正確距離內，顯示尖軌的間隙及鎖定位位置。設置自動導引控制的捷運路線，其表訂的班車啟動及停止皆由總交通控制中心控制及監視，依據列車班次及行駛路徑將尖軌轉到正確位置後實行機械鎖閉，防止外力轉動道岔並顯示尖軌轉向正位或反位。

6. 導引結構與施工標準

膠輪捷運的導引結構分為行駛路面（running surface）及道版（slab）等構件，提供全天候且平穩及安全的列車行駛環境。行駛路面是介於輪胎與道版間的結構，其材料可用混凝土或 H 型鋼等項；道版為支撐行駛路面及設置導引軌基座的構件，其材料可為鋼筋混凝土或混凝土鋼結構〔3,8,9〕。膠輪車輛只將行走輪（steering wheels）改為膠輪，車輛行駛於左右兩側行駛路面（running surface）上，行駛路面材料可為混凝土或 H 型鋼，混凝土分為預鑄及場鑄等兩者施築方式。此左右兩側條狀之寬度及高度，可依據車架的輪軸數、輪胎尺寸、轉轍器及平縱面線形而定。膠輪捷運軌道結構分為行駛路面及導引軌等兩部分，其結構的差異分為一般路段（general section）及特殊軌（special track）等兩種，並分別說明於後。

6.1 輪軌機構

鐵路軌道（permanent way）係依列車調度、行駛舒適、運轉安全及維護簡易等條件建造，膠輪捷運軌道及導引構造須符合簡易性、成本低及行駛路面具高黏滯性等目標。在鋼輪鋼軌技術的輪軌機構如圖 18 所示，鋼軌為承載列車鋼輪荷重，經過軌道支撐結構將荷重均勻傳遞至路基下土壤或橋版；列車藉鋼輪及其凸緣與鋼軌面接觸，凸緣與鋼軌面內側密切結合成列車方向導引結構，鋼輪與鋼軌的荷重傳遞以點接觸。在膠輪行駛路面技術的輪軌機構如圖 19 所示，行駛路面為承載列車膠輪荷重，經過

軌道支撐結構將荷重均勻傳遞至路基下土壤或橋版；列車藉導引輪與導引軌面接觸，輪與軌面密切結合成列車方向導引結構，膠輪與行駛路面的荷重傳遞以面接觸。導引輪佈設於車架側面或底盤，車架側面導引的導引軌分為左右兩側，車架底盤的導引軌位於軌道中央，其材料採用 H 型鋼。

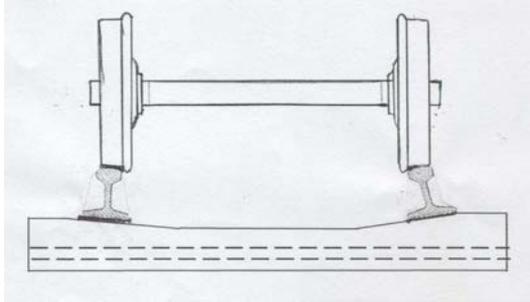


圖 18 鋼輪鋼軌技術的輪軌機構

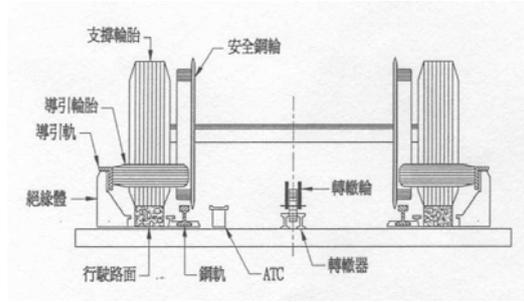


圖 19 膠輪行駛路面技術的輪軌機構

捷運路線構築型式分為路堤路塹、橋樑及隧道等三類，在路堤路塹及隧道等路段之軌道結構，其為行駛路面及混凝土道版結構；在橋樑路段之軌道結構，其為行駛路面及鋼筋混凝土或混凝土鋼結構橋版。混凝土道版下的基礎，為實現車輛能在軌道上行駛的基礎，同時也是軌道設施的支撐結構，保證路線暢通和行車安全，對混凝土道版基礎的要求為整體穩定及變形量要小。

6.2 一般路段

鐵路軌道主要界限由外向內為建築界限、車輛界限及運行裝置界限等三者如圖 20 所示，建築界限為土建結構不能入侵範圍，車輛界限為車廂外圍線，運行裝置界限為膠輪、導引輪及集電靴的外圍線 [3,8,10,11]。膠輪捷運的行駛路面依據兩側輪胎軌跡施築，其材料及施築方式有預鑄混凝土、場鑄混凝土或 H 型鋼等項，而行駛路面構造所需的寬及深度，係依據列車的轉轍器、輪胎寬及混凝土特性等而定。行駛路面不論採金屬構造或者混凝土構造，與膠輪接觸面須注意摩擦能力處理，以增加膠輪與行駛路面間的黏著性，使路線運轉能達到平穩、快速、舒適及安全等要求。

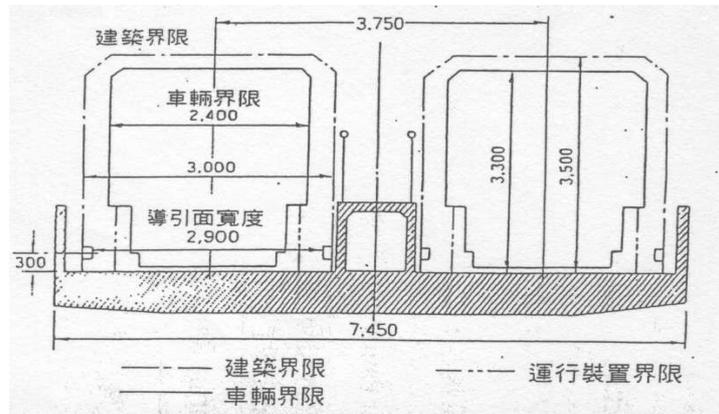


圖 20 膠輪捷運的軌道及導引結構界限

A. 混凝土行駛路面

膠輪捷運的軌道及導引軌的佈設，依據供電軌、導引軌及行駛輪等條件，分為交流電供電的側式導引的軌道及導引構造如圖 21 所示〔8〕中正機場旅客接駁系統的軌道及導引軌為圖 21 的型式，即為交流電供電的側式導引的軌道及導引構造 (Airtrans)；直流電供電的側式導引的軌道及導引構造如圖 22 所示〔3〕台北都會區木柵線及其延伸線的軌道及導引軌為圖 22 的型式，即為直流電供電的側式導引的軌道及導引構造；與交流電或直流電供電的中央導引的軌道及導引構造如圖 23 所示〔10,11〕，美國舊金山機場旅客接駁系統的軌道及導引軌為圖 23 的型式，即為交流電供電的中央導引的軌道及導引構造。前兩者的導引構造設於兩側，第三者導引構造設於車輛底盤下方，第一者的行駛路面與混凝土道版或橋版頂齊，係車輛底盤下方只須設行車監控設備；後兩者的行駛路面高出混凝土道版或橋版頂，係車輛底盤下方設有轉轍器及導引輪，則行駛路面高度須配合車輛底盤所需空間。

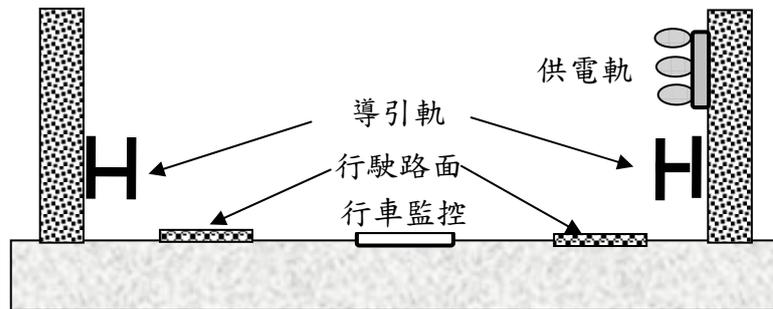


圖 21 交流電供電的側式導引的軌道及導引構造

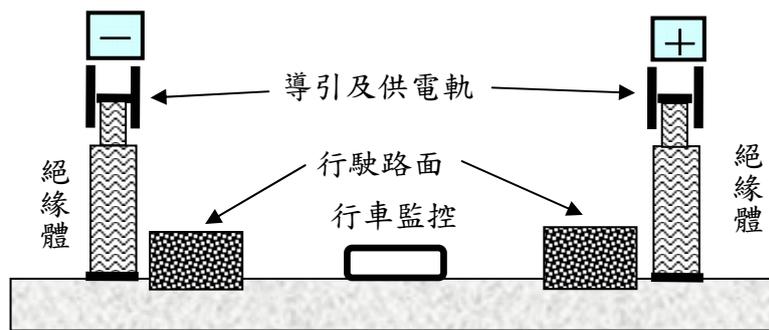


圖 22 直流電供電的側式導引的軌道及導引構造

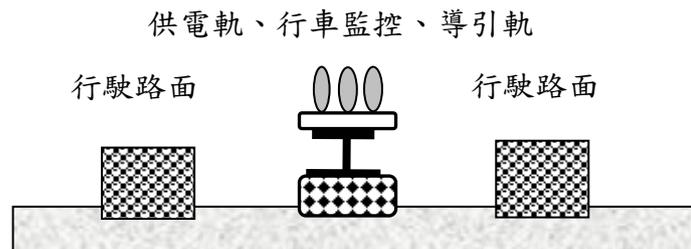


圖 23 中央導引的軌道及導引構造

在行駛路面施築前，土建結構體的導引版面或軌道版之高程及縱橫坡度等，應已依據設計圖說及規範修整完成。混凝土行駛路面採現場澆注施工過程，其類似公路水泥混凝土路面之施工，因台北都會區木柵線採混凝土行駛路面，依據台北市政府捷運工程局木柵線工程總報告〔9〕，其材料強度屬於普通混凝土。行駛路面使用固定模版鋪築，是將混凝土澆注於模版內，然後由人工整平、搗實及修飾，以求混凝土密度均勻。混凝土行駛路面亦可使用滑動模版鋪築，是將混凝土澆注於撒佈機前，然後由撒佈機整平、搗實及修飾，以求混凝土密度均勻。

B.鋼材行駛路面

膠輪捷運技術對潮濕及冰雪的天氣較為敏感，主要為輪胎與路面間的摩擦係數，為改善天氣所造成的困擾，可在行駛路面增設加熱系統或者在路線上方增設遮蔽物。在冰雪地區的膠輪捷運系統，為改善混凝土加熱績效及負面影響，提高路線營運績效及降低能源消耗，行駛路面改採用金屬材料（H型鋼）。依據國際上已商業運轉的膠輪捷運系統，膠輪捷運技術採用 H 型鋼為行駛路面，以馬特拉國際捷運公司建造的為主，計有美國芝加哥奧海爾機場（O'Hare airport）、法國里耳市第二條 VAL 系統、托洛薩市第一條 VAL 系統與義大利杜林市（Turin city）等。

台北都會區木柵線的行駛路面如圖 24 所示，其混凝土採二次澆置及使用績效不佳，在每天維修作業只有四個小時的情況下，對軌道維修人員是一大挑戰。台北都會區內湖線已進入施工階段，為改善混凝土行駛路面而建議採 H 型鋼材如圖 25 所示。在 H 型鋼與混凝土道版或高架橋版還需混凝土基座及墊層，作為調整行駛路面高程及設置道版或高架橋版排水孔之用。

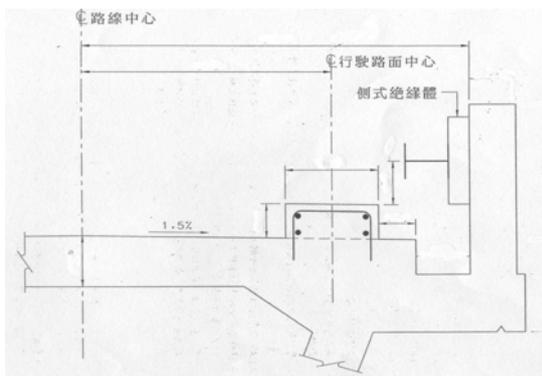


圖 24 混凝土行駛路面構造

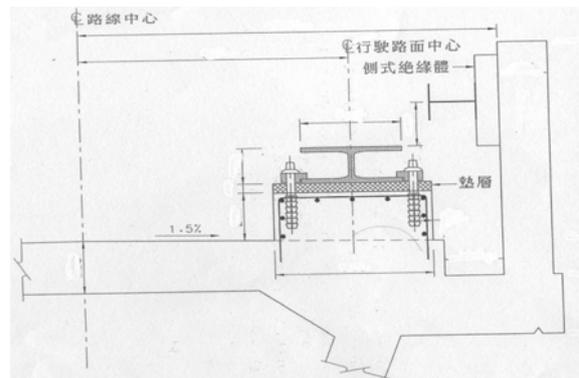


圖 25 鋼製行駛路面構造

內湖線行駛路面如採鋼製材料，其 H 型鋼雖為一般鋼材規格即可，但為國內膠輪捷運技術首次的鋼製行駛路面工程。另根據國內 H 型鋼生產廠及供應商的經驗，在國內生產鋼製行駛路面的 H 型鋼，須經試製、材質檢驗及產品功能測試後，才進入量產作業。鋼製行駛路面的基座，除需混凝土製造技術外，尚須考量行駛路面基座的配件（固定螺絲及墊層），H 型鋼表面摩擦處理，雖可以仰賴國內供應商但生產能力具不確定性。

6.3 特殊軌

一般路段及車站停車區以外之軌道構造，包括道岔、橫渡線、阻輪器及止衝擋等項，道岔為單線分為雙線或雙線合併為單線的列車運轉設施，橫渡線為雙線或以上路線間列車轉換路線的運轉設施，本節僅針對道岔及橫渡線等區域的軌道及導引軌作說明。膠輪捷運技術的道岔及橫渡線的幾何線型與鋼輪捷運技術類似，但軌道、轉轍器、行車監控及供電軌等皆不相同，圖 21 的側式導引的軌道及導引構造的道岔構造如圖 26 所示，車輛導引輪與導引軌間藉由一端固定軌道架一端移動軌道架，將列車引道至預前往的路線上，而橫渡線構造係有兩道岔構造組合而成。

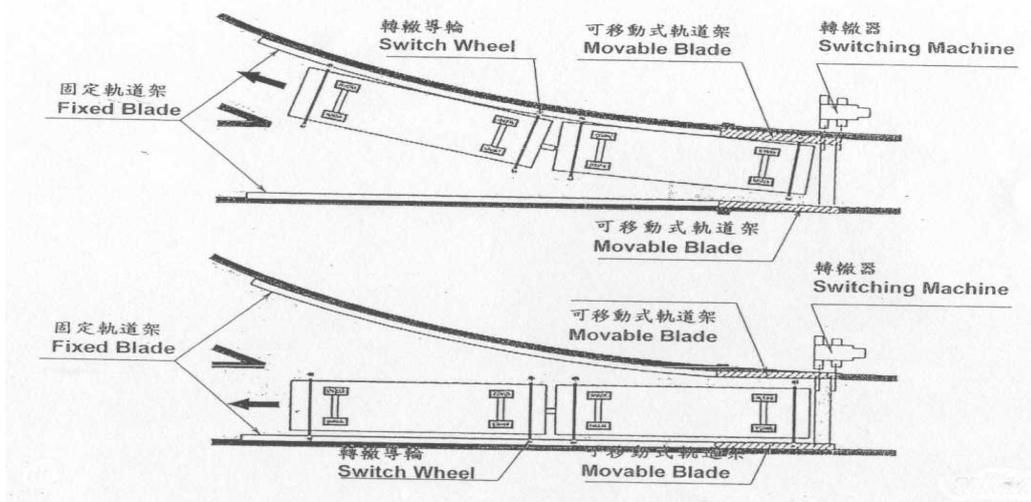


圖 26 水平移動式道岔

台北都會區木柵線及其延伸線的軌道及導引軌為圖 22 的型式，其側式導引的軌道及導引構造的道岔構造如圖 27 所示，由於車輛的轉向架設有轉轍器，在道岔區域須設置中央導軌如中心線所示，由於行駛路面突出道版或橋版，在列車駛過中央導軌前須維持行駛路面高程，故道岔區域的行駛路面須加寬以利列車運轉。橫渡線構造係有兩道岔構造組合而成，其亦同樣有道岔區域的問題，即加設中央導軌及行駛路面須加寬以利列車運轉如圖 28 所示。



圖 27 固定式道岔

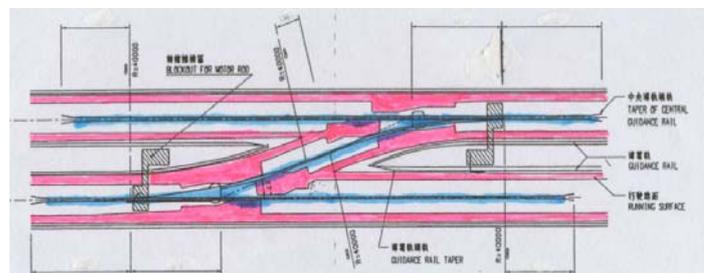


圖 28 固定式橫渡線

圖 23 的中央導引的軌道及導引構造之道岔構造 [10,11]，係在一混凝土版上方及下方各佈設導引軌，依據列車預前往路線旋轉混凝土版 180°，皆藉由版前後軸承將正確路線接上。既有道岔構造重量大及旋轉時間較久，而圖 29 所示的道查構造係經營

運經驗及導引軌技術加以改良而得。

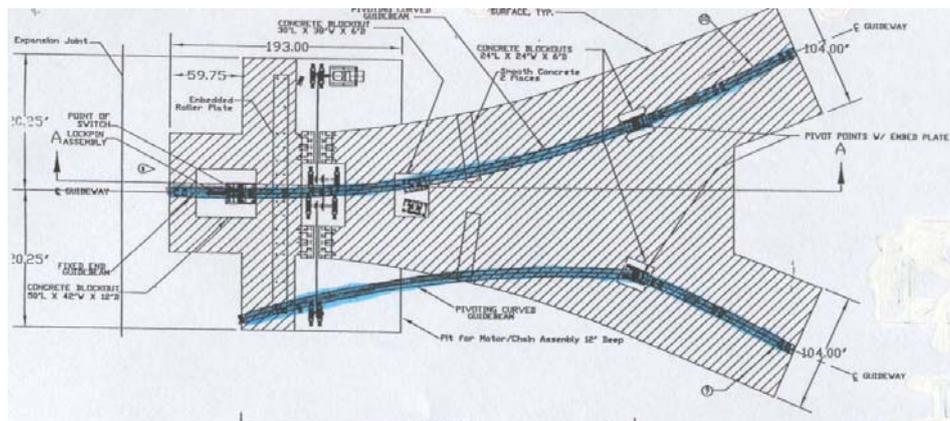


圖 29 中央導引移動式道岔

6.4 施工標準

行駛路面主要功用在抵抗交通荷重，且長期暴露於大氣中受溫濕度變化的影響，及表面受空氣中侵蝕性藥劑的化學作用，且表面還應具有良好的平整度、耐磨及抗滑等性能。考量土建結構體的施工平整度及排水，混凝土經初步修飾後，其表面需符合設計圖說及施工規範的要求，在混凝土終飾之前，需檢查表面平整度，如發現不符合規定時，在低凹處應進行填補、擣實及鏟平，在高凸處則挖低再鏟平，直至符合規定之平整度為止。在混凝土終飾後及養治之前，為確保混凝土的抗滑能力，進行路面掃紋作業。

膠輪捷運軌道佈線及施工驗收之容許誤差，不論為混凝土或鋼製行駛路面皆以下列規範為準。

- a. 軌道中心線放樣，位置為 $\pm 5\text{mm}$ ，方向偏移為 $\pm 5\text{mm}/10\text{m}$ 。
- b. 行駛路面施工階段，位置為 $\pm 6\text{mm}$ ，高程差為 $\pm 6\text{mm}$ ，左右兩側高程差為 $\pm 3\text{mm}$ ，平整度為及 $\pm 3\text{mm}/6\text{m}$ ；營運維修作業：位置為 $\pm 6\text{mm}$ ，左右兩側高程差為 $\pm 6\text{mm}$ ，平整度為及 $\pm 3\text{mm}/6\text{m}$ 。
- c. 導引及供電軌施工階段：位置為 $+0$ 、 -6mm ，高程差為 $\pm 6\text{mm}$ ，左右兩側高程差為 $\pm 6\text{mm}$ ，傾斜角度 $\pm 2^\circ$ ；營運維修作業：位置為 $\pm 3\text{mm}$ 。

7. 技術發展及革新

膠輪捷運系統以都會大眾運輸系統（Urban Mass Transportation System）及機場旅客運輸系統（Airport Passenger Transportation System）為主，機場旅客交通包括機場聯外（Airport Access）及航站間運輸（Terminal Shuttle Mode），此技術經過 30 幾年的商業運轉及維修經驗，系統技術朝向標準化、安全性、信賴度及利用率等更新，系統標準化的宗旨在提高系統設備規格化及量產，車輛及附屬設施在各計劃路線間可互相轉用與降低成本，系統的安全性、信賴度及利用率等目的在提昇營運績效。

7.1 車輛特性

日本新交通系統的車輛導引輪為側式及中央式等兩者，系統技術為自動導引運輸 (AGT) 系統，在 1990 年代由官方、學者及民間共同訂定「新交通系統設計基準」，將 AGT 捷運技術完成標準化規範，在車輛尺寸為 8~9 公尺長×2.4 公尺寬×3.3 公尺高，輪胎配置為雙轉向架及四個行駛輪、四個側式或中央式導引輪，兩側輪胎間隔 (輪距) 為 1.7 公尺，列車編制為 4 車至 6 車。

西門子公司繼承法國馬特拉國際捷運公司，依據 VAL 系統的車輛特性 [12]，電聯車輪胎配置為雙轉向架及四個行駛輪、八個側式導引輪，為開放式高架橋且或重級交通的路線需求，將原電聯車發展為較佳的動力重量比 (Power to Weight Rate)，行駛品質較為舒適。新型式車輛有 VAL208 及 VAL258 等兩者，VAL208 車輛尺寸為 13.07 公尺長×2.08 公尺寬×1.95 公尺高，兩側輪胎間隔為 1.62 公尺；VAL258 車輛尺寸為 13.78 公尺長×2.57 公尺寬×3.56 公尺高，兩側輪胎間隔為 1.88 公尺。列車編制最少為對車 (兩車)，亦可編制為 4 車或 6 車，依據每平方公尺 4 至 6 人服務容量，一對 VAL208 電聯車可承載 140 人至 245 人，一對 VAL258 電聯車可承載 214 人至 284 人。

依據龐巴迪公司自動旅客運輸的車輛特性 [10,11]，電聯車輪胎配置為雙轉向架及雙行駛輪八個、八個中央式導引輪，最早車輛型式為 C-100 如圖 30 所示，因單車廂可載 100 人以上而命名，車輛尺寸為 11.85 公尺長×2.85 公尺寬×3.38 公尺高，兩側輪胎間隔為 2.03 公尺，導引輪較行駛輪的位置低。1994 年將 C-100 改進為 CX-100 如圖 30 所示，車輛尺寸為 12.75 公尺長×2.8 公尺寬×3.32 公尺高，兩側輪胎間隔為 2.02 公尺，導引輪較行駛輪的位置低，依據每平方公尺 4 人服務容量可承載 100 人。1997 年將 CX-100 車輛更新為 INNOVIA 車輛如圖 31 所示，電聯車輪胎配置為雙轉向架及四個行駛輪、四個中央式導引輪，車輛尺寸為 11.96 公尺長×2.84 公尺寬×3.38 公尺高，導引輪較行駛輪的位置高，依據每平方公尺 4 人服務容量可承載 100 人。台北都會區內湖線的膠輪捷運，車輛尺寸為 13.78 公尺長×2.45 公尺寬×3.53 公尺高，依據每平方公尺 4 至 6 人服務容量，一對電聯車可承載 184 人至 244 人。

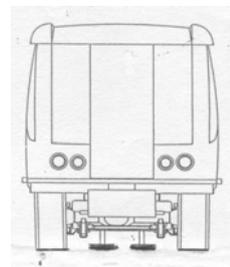
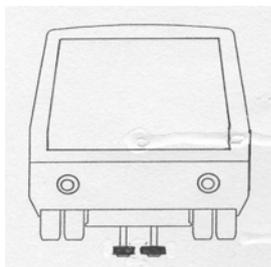


圖 30 C-100 系列的行駛路面構造 圖 31 INNOVIA 車輛的行駛路面構造

7.2 供電設備

日本新交通系統的列車動力供應，其電源以直流電 750V 為原則，亦可用交流電

三相 600V，電力供應及設備狀況透過中央控制室的行政作業及管理系統監視。西門子公司 VAL 系統的供電布設 [12]，列車動力供應仍維持直流電 750V，在中央控制室提供電力供應管理，當營運發生緊急疏散事件時，可將疏散區域及相鄰區域的牽引電壓關閉，允許乘客經安全且在無電的軌道空間逃生。龐巴迪公司的列車動力供應 [10,11]，C-100 及 CX-100 車輛電源以交流電三相 600V 為原則，牽引動力變電站採雙備援變電站；INNOVIA 車輛電源以直流電 750V 為原則，而台北都會區內湖線的列車動力供應，因需通行既有木柵線，列車動力供應則維持直流電 750V。

7.3 行車監控

日本新交通系統的號誌系統，有列車偵測 (Train Detection 簡稱 TD)、自動列車防護 (Automatic Train Protection 簡稱 ATP) 及自動列車運轉 (Automatic Train Operation 簡稱 ATO) 等，不僅可提供路線對列車自動運轉之管制，在中央控制室設有行政作業及管理整合系統，螢幕能顯示列車位置及路線狀況，進行運轉管制、動力供應及車站設施等監視。

西門子公司 VAL 系統在車上為無駕駛的全自動捷運 [12]，在尖峰時段的候車時間最多只需一分鐘，可由跟隨列車觸動前列車的自動運轉。VAL 系統為達營運安全及信賴，中央控制中心除提供列車位置及路線狀況顯示設備外，依據非表訂的故障及緊急事件關閉及開啟路線營運作業，並由遠端隊列車運轉、車站現況及電力供應等作管理。

龐巴迪公司的行車監視及控制，系統提供以通訊為基礎的列車控制技術 [10,11]，列車間固定的行車控制區段，藉由列車通訊設施偵測列車間的間距，此固定行車區段依據列車位置而移動，僅需較少的軌道硬體設施即能偵測，具有較短列車班距特性。自動化無人列車控制為 Cityflo550 自動列車控制 (ATC) 系統，係由列車自動防護 (ATP)、自動列車操作 (ATO) 及自動列車監督 (ATS) 等三系統所組成，系統作業具維生式交叉查核及雙重操作功能，使用既有音頻傳送接收設備，控制車輛速度、列車班距、列車停靠站之車門開啟。

7.3 行駛路面

日本新交通系統的軌道及導引軌構造，建築限制為 3.0 公尺寬×3.5 公尺高，導引軌為 H 型鋼間隔 2.9 公尺、導軌中心高度為 0.3 公尺，車輛軸距為 5 公尺，設計速率為 55km/h 的最小迴轉半徑為 30 公尺，最大爬坡度為 5%，轉撤器為水平移動式，行駛路面為左右兩側突出道版或橋版的鋼筋混凝土或鋼製構件，並在鋼筋混凝土表面裝修樹指膜。

西門子公司 VAL 系統，建築限制為 3.5 公尺寬×4.0 公尺高，導引軌為 H 型鋼間隔 2.44 公尺、導軌中心高度為 0.187 公尺，車輛軸距為 10 公尺，設計速率為 80km/h 的最小迴轉半徑為 45 公尺，最大爬坡度為 10%，轉撤器為固定式的中央導軌，行

駛路面為左右兩側突出道版或橋版的鋼筋混凝土或鋼製構件，鋼筋混凝土行駛路面為 35.6 公分寬、15 公分高，鋼製行駛路面寬為 28 公分寬、37 公分高，鋼製行駛路面採刻花紋增加摩擦能力。

龐巴迪公司的自動旅客運輸 [10,11]，C-100 系列車輛的建築限制為 3.2 公尺寬×3.46 公尺高，導引軌為 I 型鋼如圖 28 所示，車輛軸距為 6.0 公尺，設計速率為 85km/h 的最小迴轉半徑為 22.0 公尺，最大爬坡度為 10% ，轉撤器為移動式的中央導軌，行駛路面為左右兩側突出道版或橋版的鋼筋混凝土如圖 32 所示，鋼筋混凝土行駛路面為 60 公分寬、33 公分高。INNOVIA 車輛的建築限制為 3.38 公尺寬×3.64 公尺高，導引軌為 H 型鋼如圖 33 所示，車輛軸距為 7.58 公尺，設計速率為 80km/h 的最小迴轉半徑為 22.0 公尺，最大爬坡度為 10% ，轉撤器為移動式的中央導軌，行駛路面為左右兩側與道版或橋版頂平齊如圖 29 所示。台北都會區內湖線車輛的建築最大限制為 3.5 公尺寬×3.9 公尺高，導引軌為 H 型鋼，車輛軸距為 10.0 公尺，設計速率為 80km/h 的最小迴轉半徑為 35 公尺，最大爬坡度為 10% ，轉撤器為固定式的中央導軌，行駛路面為左右兩側突出道版或橋版的鋼筋混凝土或鋼製構件，鋼筋混凝土行駛路面為 38 公分寬、15 公分高，鋼製行駛路面寬為 33 公分寬、42 公分高。

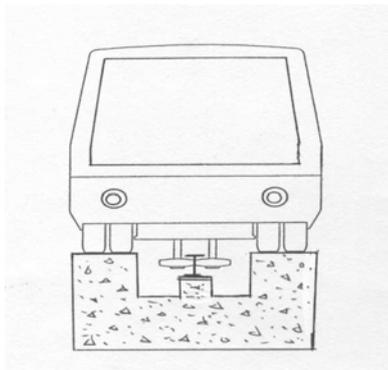


圖 32 C-100 系列的行駛路面構造

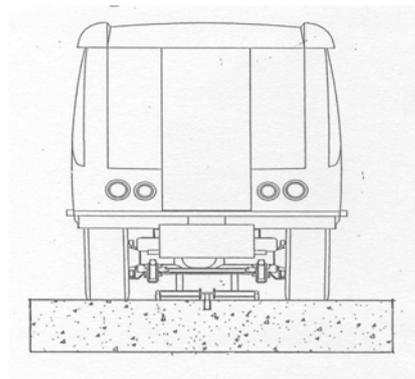


圖 33 INNOVIA 車輛的行駛路面構造

8. 結語

傳統捷運技術的震動、噪音及氣污染等缺失的改善，使捷運車輛及營運更適合人口集中的城市。膠輪捷運技術具有減低噪音及震動、減少車輛重量、降低工程及營運成本，改善車輪黏著力及增加爬坡度能力，雖然列車容量減少，但列車班距縮小，適用於短時間運量小而班次密集的機場、市區或城市。

膠輪捷運路線的基礎建設，以高架橋構造為主，以隧道及路堤構造次之。雙路線及包括緊急疏散走道（90 公分）的橫斷面約為 4.7 公尺，在高架橋構造的情況只須 15 公尺寬以上道路就能佈設線形，尤其具有設計速率為 80km/h 的最小迴轉半徑為 22.0 公尺，更是膠輪捷運技術在高樓密集區建設的優點。

台灣地區都市的每日交通量，除台北都會區適合高運量捷運技術外，其院轄市及省轄市的都會區適合中運量以下捷運技術，在環保運動及永續經營運輸等概念下，膠輪捷

運技術在台灣地區的大眾捷運建設將是若熱門話題，故膠輪捷運技術的設計基準應盡速的標準化，使捷運建設單位、產品供應商及系統專業廠商等所有遵循。

9. 參考文獻

1. “Airtrans System”, <http://www.vought.com/heritage/products/html/airtrans.html>
2. 「台北都會區大眾捷運系統木柵延伸（內湖）線—行駛路面材料選擇評估報告（定案版）」，萬鼎工程服務股份有限公司，民國九十年十月。
3. M.A. Sulkin and D.R. Miller, “Rubber-Tired Rapid Transit Part 2: Technical Characters”, *Journal of Mechanical Engineering*, June 1976, pp.39~45。
4. M.A. Sulkin and D.R. Miller, “Rubber-Tired Rapid Transit Part 1: System Concept”, *Journal of Mechanical Engineering*, May 1976, pp.26~33。
5. “The VAL by Siemens Transportation Systems”, SIEMENS, April 2002.
6. 「台北都會區大眾捷運系統木柵線延伸（內湖）線 DB146 標工程細部設計 CB438B 標第六卷設計報告書」，萬鼎工程服務股份有限公司，民國九十一年五月。
7. 周金賢，「轉轍器之應用」，*捷運技術*第十九卷第 3 期，民國八十七年十月，第 71 頁~第 79 頁。
8. Dennis M. Elliot, “Dallas-Fort Worth’s AIRTRANS: Model for Future PRT System”, *Civil Engineering-ASCE*, July 1974, pp.70~73.
9. 「台北都會區捷運系統木柵線工程總報告」，台北市政府捷運工程局，民國八十八年。
10. ”CX-100 General Guideway Design Criteria”, BOMDARDIER Transportation USA. Inc, May 10, 2002.
11. ”INNOVIA Guideway Design Criteria”, BOMDARDIER Transportation USA. Inc, January 13, 2003.
12. ”The VAL by Siemens Transportation Systems ”， Siemens， April, 2002.