



輕軌使用的軌道有何不同

The Difference Between Light Rail And Heavy Rail Tracks

陳存永 Tsun-yung Chen¹、林仁生 Ren-sheng Lin²、楊瓊貴 Chiung-kuei Yang³

¹ 高雄市政府捷運工程局局長 cy991225@kcg.gov.tw

² 高雄市政府捷運工程局科長 linjs@kcg.gov.tw

³ 高雄市政府捷運工程局副工程司 yangck@kcg.gov.tw



摘要

高雄環狀輕軌是國內第一條奉行政院核定之輕軌建設計畫，為國內現有大眾運輸系統中預定新引進軌道之系統。目前國內大眾運輸系統中之軌道運輸包含傳統鐵路、高速鐵路、重（中）運量捷運三大類。本文將簡介高雄環狀輕軌建設案，並概述軌道運輸的發展演進，輕軌運輸的特性，進而比較並說明適用於輕軌軌道之特點。

關鍵字：高雄環狀輕軌、軌道、輕軌

Abstract

Kaohsiung Circular Light Rail system is the first light rail project that has been approved by the Executive Yuan in Taiwan. It is a new public rail transportation system that has been introduced. Taiwan public rail transportation systems include heavy rail system, high speed rail system, mass and medium transit systems. In this article, the development of rail track and the characteristics of light rail system are described and Kaohsiung Circular Light Rail is introduced. Further more the comparison of light rail and heavy rail tracks is explained.

Keywords : Kaohsiung Circular Light Rail System, Track, Light Rail System





前言

自 99 年 12 月 25 日高雄縣市合併，高雄社經環境變化快速，港區部分在中央全力推動高雄海空經貿城計畫下，各重大建設相繼展開－海洋文化及流行音樂中心、高雄港客運中心暨港務大樓整體開發計畫、高雄世界貿易展覽中心、高雄市立圖書館總館、高雄軟體科學園區、多功能經貿園區、中鋼總部、高雄 DC21 開發等計畫，均預定於 103 年陸續啓用（圖 1）。高雄市政府規劃高雄 1-22 號碼頭為「國際郵輪經濟區」。

配合高雄港區經貿發展，需有一順暢的運輸動線能串連各項重大建設，帶動沿線地區開發，爰將原核定環狀輕軌路線微調，以連結港區水岸發展。第一階段路線自凱旋三路與一心路口北側之臺鐵前鎮調車場，沿凱旋路旁之臺鐵臨港線路廊往南佈設輕軌設施，直至凱旋四路南端終點後，右轉進入成功二路續往北行，於成功路與新

光路交叉路口（C8 車站）沿著海邊路佈設，至新田路、英雄路交叉路口處左轉，利用現有自行車道路廊，經光榮碼頭跨越愛河至真愛碼頭，進入駁二特區，至七賢三路口轉臨海二路至 C14 車站可與捷運橋線 O1（西子灣站）轉乘，為第一階段工程，全長約 8.7 公里，設置 14 個候車站，1 座機廠。

未來第二階段路線續佈設於目前為自行車道之臨港線鐵路路廊，往北沿臺鐵園道至美術館，沿美術館路佈設，行經市立聯合醫院後於農十六街接大順一路，再續沿大順一至三路往東南方向佈設，最後於中正路口西南隅之凱旋公園佈設軌道銜接凱旋二路旁之臺鐵臨港線路廊後，沿路廊接回起點。二階段全環完成後，總計路線長約 22.1 公里，將設置 36 處候車站（圖 2）。第一階段已於 102 年動工，104 年完工，第二階段配合 106 年市區鐵路地下化工程時程。

高雄環狀輕軌完成後將提高市區軌道路網覆蓋率，路網轉運點增為 11 處，其中與捷運紅橋線、臺鐵、高鐵、國際空港、海港（旅運大樓）結合，打造無縫運輸服務，減少私人運具使用，減少旅行時間，落實節能減碳，減輕道路擁塞等。

輕軌運輸多為地面設施，且具多關節，轉彎半徑小的特性，輕軌不但能讓乘客更貼近都市，良好設計的輕軌車輛系統更能成為都市移動地標的表徵。

本文將就軌道演變的歷史，輕軌特性及軌道運輸之鐵路系統、重（中）運量捷運系統及輕軌捷運系統之差異作概述，期將輕軌運輸系統概念隨臺灣第一條輕軌從高雄出發傳送。



▲ 圖 1 高雄海空經貿城計畫



▲ 圖 2 高雄環狀輕軌捷運建設路線示意圖

軌道演變的歷史

伴隨地球暖化等各項環境問題，節能減碳儼然已成為全球追求焦點，大眾運輸再次被重視並推行，尤其搭配自行車轉乘更已蔚為風潮。高雄市在兼顧發展及環境永續經營理念，繼紅橘捷運兩線再推出環狀輕軌，以高效能運輸及低碳排放量交通系統，打造幸福高雄、宜居城市。

回溯軌道運輸的發展約源於西元 1600 年左右，當時英國礦區為了將煤礦或鐵礦運送至附近的港口，發展出軌道運輸系統。當時利用馬匹拉著簡單車輛，為防止車輪陷入泥土中，以二根木材鋪在路上是為最早的軌道，其



▲ 圖 3 高速鐵路（臺灣高鐵）



▲ 圖 4 傳統鐵路（臺鐵）



▲ 圖 5 捷運（重軌）系統（高雄捷運隧道段）

後約在 1776 年改以鋼條代替木條，逐漸演化為現代鐵路系統遍佈整個歐洲。1789 年英國人 William Jessup 設計了第一個有凸緣形狀的車輪，使輪子和鐵軌具契合性，而後於 1829 年美國人 James Wright 則發明了錐狀的輪子。

高速鐵路、鐵路系統、捷運系統（或稱重軌系統）或輕軌系統雖然都是在二條鐵軌上運行，但重軌系統或輕軌系統這二者採用的鐵軌是不同的，車輛的車輪也是不同的。（如圖 3 至圖 6）



▲ 圖 6-2 輕軌系統（簡易型停車站，無候車站設施）



▲ 圖 6-1 輕軌系統



▲ 圖 6-3 輕軌系統（候車站）



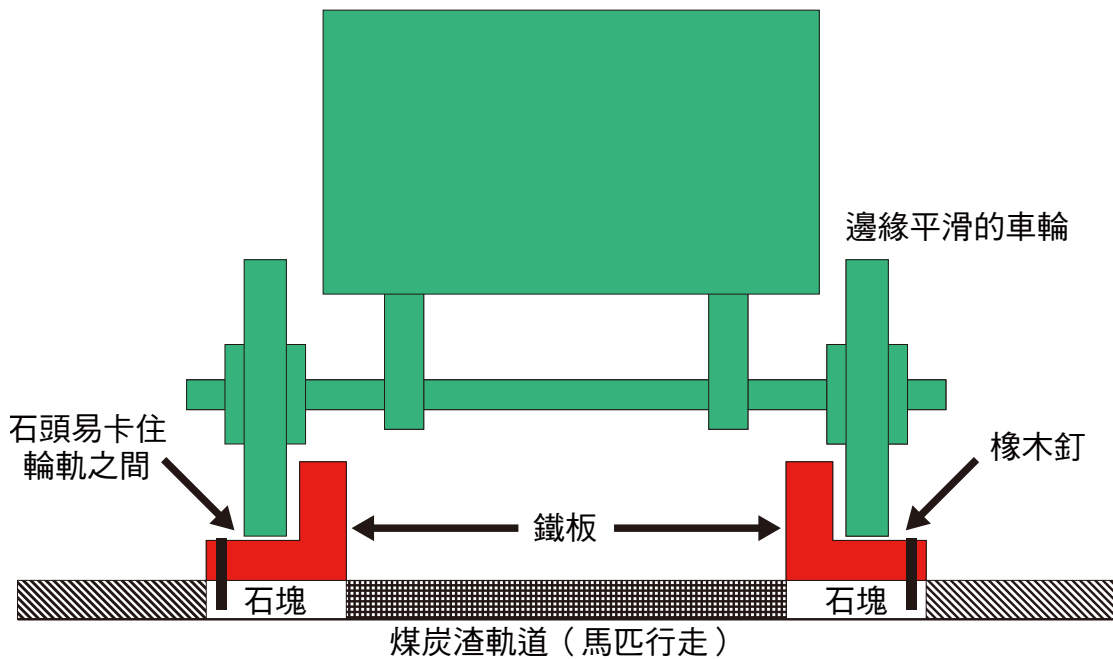
軌道車輛是在二條鐵軌上運行，這二條鐵軌有二個目的：導引車輛前進和將電流傳回變電站。底下說明軌道系統的演進，早期的軌道系統是鐵板系統，後來演化到錐狀導引系統。

鐵板系統

最早期的街車（今日行駛於街道上的輕軌）是運貨馬車，由軌道的凸緣導引車輪行進，如圖 7 所示。

此種鐵板系統見於古代的煤礦場，這些軌道會將煤礦運送到港口，此系統二條鐵板的距離會有某種程度上的誤差。當時沒有用枕木固定軌距，因為當時是馬拉車，考慮二鐵軌之間如果有枕木，馬匹會被枕木絆倒，為了固定軌距僅利用橡木釘將軌道固定於石塊上（早期的類扣件）。

這種系統的缺點是道路的石頭會跑到軌道表面，當車子速度低，不會有危險。後來工業革命之後，機械動力取代馬匹，車輛速度增加，路面上的石頭跑到軌面之後，便會造成車輛出軌。



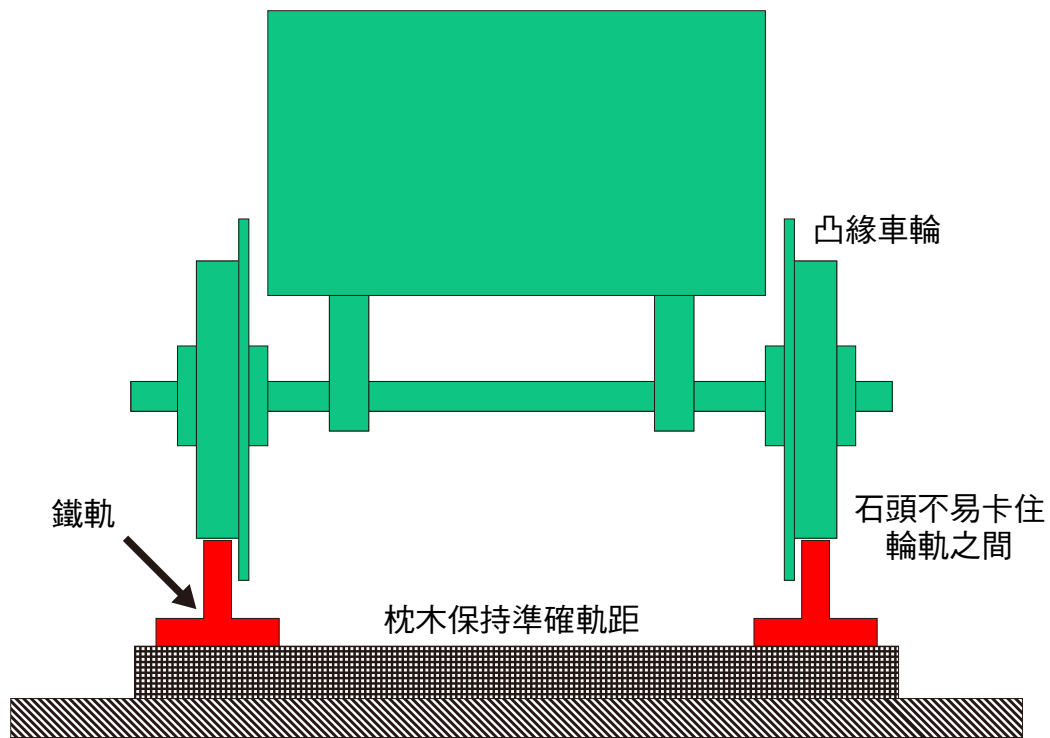
▲ 圖 7 鐵板系統

鐵軌系統

為了避免出軌的危險，軌道和車輛進行改變，鐵板系統的凸緣位置改在中央，車輛的車輪具有凸緣的導引設計，亦與前述車輪形狀不同，如圖 8 所示。車輪的凸緣和鐵軌的凸緣必須留有一些裕度才不會造成車輪和鐵軌卡緊，但如果裕度太大，車輪會脫離鐵軌。

為了保持二條鐵軌之間一定的軌距寬度，二軌之間安裝枕木。

隨著時代的進步，車輛速度增加，車輪的凸緣會有側向移動，造成車輪凸緣和軌道接觸不平順。這種系統當車輛轉彎時會產生問題，於是發展出錐狀導引系統。



▲ 圖 8 鐵軌系統



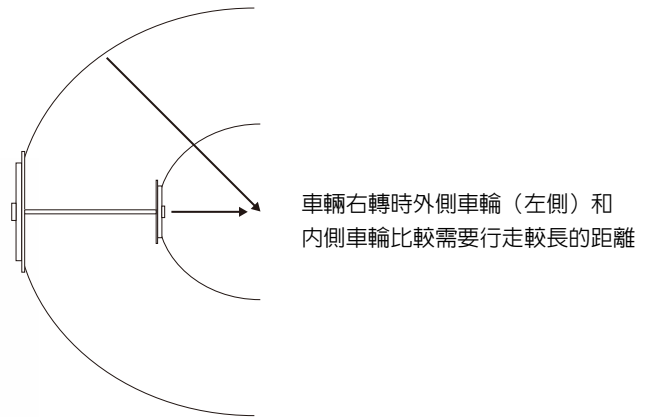
● 錐狀導引系統

車輪較為水平的部份稱踏面（Tread），主要目的是將車輛的重量轉移到鐵軌上，如果踏面是錐狀，對車輪的導引是非常有幫助的。

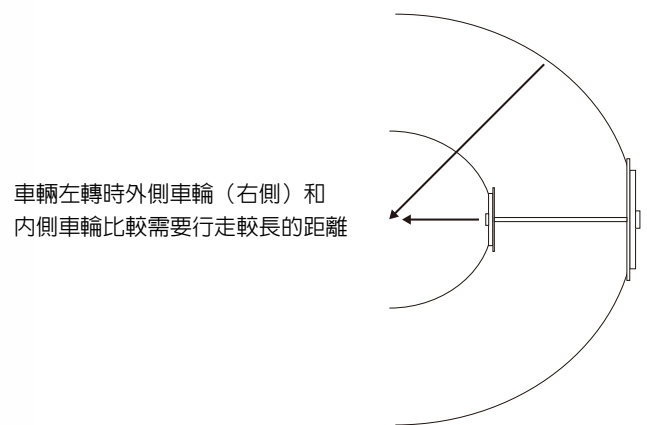
車輪內部垂直凸出部分稱為凸緣（flange），凸緣引導車輛沿著鐵軌內緣行進。

所謂的錐狀是指車輪剖面呈現錐狀，不同的接觸點其有效直徑是不同的。

軌道車輛的車輪是固定在車輪車軸的兩端，所以當車輛轉彎時，二個車輪是同時轉動。



▲ 圖 9-1



▲ 圖 9-2

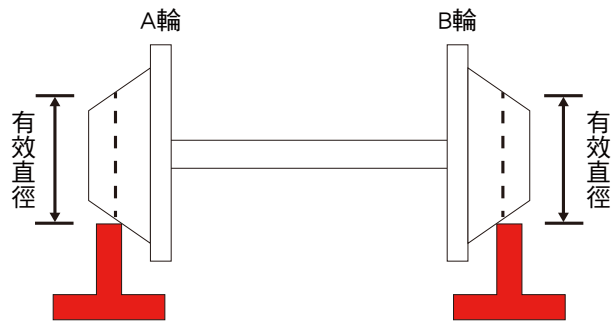
當車輛轉彎時，外側車輪（如右轉時的左輪）行走的距離比內側車輪行走的距離長，所以，外輪的有效直徑需要比內輪的有效直徑大，如圖 9-1 及 9-2 所示，如此，轉彎才平順，否則車輪就會打滑。但是車輪的大小是不可能隨著轉彎而改變的，約 1829 年美國 James Wright 發明了錐狀輪子，使得車輛轉彎時車輪的運動平順，車輪的大小也不須改變。下面將配合不按比例的示意圖，說明錐狀車輪轉彎時的運動情形。

當車輛直線行駛時，車輪和鐵軌的接觸面是在凸緣中心切面，二輪有效直徑是相等的，如圖 10 直線行駛所示。

當車輛右轉時，外側車輪（A 輪）、內側車輪（B 輪）和鐵軌的接觸面在凸緣不同切面，A 輪有效直徑大於 B 輪，極端的狀況是接觸面在 A 輪最大直徑處，B 輪最小直徑處，如圖 11-1 所示。

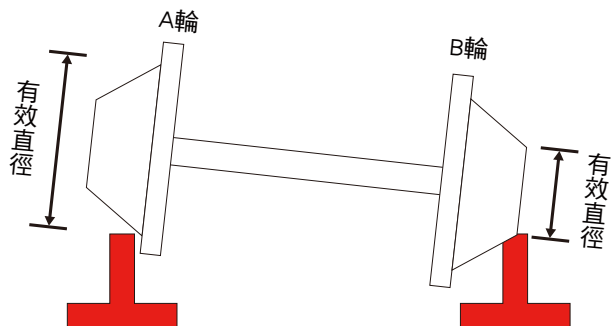
當車輛左轉時，B 輪有效直徑大於 A 輪，極端的狀況是接觸面在 B 輪最大直徑處，A 輪最小直徑處，如圖 11-2 所示。

如果軌道轉彎半徑太小，使得車輪錐狀的有效直徑超出最大有效直徑，因此車輪和軌道的接觸點將到凸緣，這時車子大部份的重量轉移到凸緣，變成凸緣導引車輛的行進。



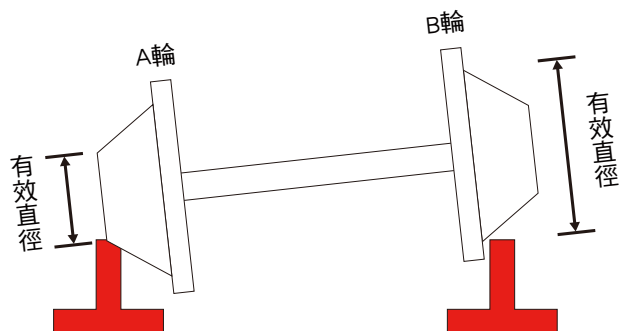
A輪、B輪和鐵軌的接觸面在凸緣中心切面，二輪有效直徑是相等的

▲ 圖 10 直線行駛（示意圖不按尺寸）



A輪、B輪和鐵軌的接觸面在凸緣不同切面，A輪有效直徑大於B輪

▲ 圖 11-1 車輛右轉（示意圖不按尺寸）



A輪、B輪和鐵軌的接觸面在凸緣不同切面，B輪有效直徑大於A輪

▲ 圖 11-2 車輛左轉（示意圖不按尺寸）



輕軌的特性

輕軌系統一般是由 1940 年代或更早利用電力驅動的有軌街車 (tram) 更新或再造而來的，行車速度降低，常見穿梭於狹窄的道路和行人區共用。

由於歐洲很多街道是中古世紀的城市所形成，故多屬狹窄型，為因應該種街道型態，現代輕軌車輛的設計不但具備多關節，每節車長也可能不同，車輛模組可能是 3 節，5 節或 7 節車等的聯結 (圖 12)，最小轉彎半徑可達 15 公尺，轉彎性極佳 (圖 13)，利於行駛在街道和十字路口。由於輕軌一般係行駛於街道上，路面應以明顯標線、鋪面或顏色區分輕軌系統與一般道路範圍。

另一特點是在街道上埋置軌道，需要考慮的問題是軌道的凹槽夠大能容納車輪，但又不會對其他道路的使用者造成危險。

輕軌系統是都市的一種交通運輸系統，車輛輕，軌道輕，一般地面構造興建簡單，在市區街道與其它交通工具，如汽車、公車、行人等共用道路 (共用路權)，以較慢速度營運。目前臺灣有重運量與中運量捷運系統，重運量系統，如臺北捷運與高雄捷運，有專有路權且營運速度快。在美國及加拿大，一般所謂的輕軌是有專有路權，車速較高。

茲就軌道系統之行車速度及轉彎半徑之性能作一比較與說明：



▲ 圖 12 車輛模組為 5 節聯結

➤ 車速

◆ 輕軌系統：

主要是都市內或郊區的運輸工具，如有專有路權，行駛速度可以高達 70-80 公里 / 小時；如在市區內與其他道路交通如汽車、巴士混合使用道路（共用路權），一般速度 20-30 公里 / 小時。

有些城市的輕軌系統在都市內慢速行進，出了都市則以較高的速度行駛。

高雄環狀輕軌則和歐洲較類似，速度只有 20~30 公里 / 小時左右。

◆ 重運量捷運系統：

主要是都市內或郊區的運輸工具，具專有路權，行駛速度可以高達 70-80 公里 / 小時，如高雄捷運和臺北捷運系統，或是國外地鐵（subway）系統，如倫敦、紐約地鐵等。

◆ 傳統鐵路（臺鐵）：

主要是都市間的運輸工具，具專有路權，有平交道，因為路線線形的限制，行駛速度不高於 160 公里 / 小時。

◆ 高速鐵路：

為都市長距離的運輸工具，具專有路權，行駛速度約 250 公里 / 小時或更高。



▲ 圖 13 輕軌轉彎半徑小，轉彎性極佳





➤ 轉彎半徑

- (一) 重運量捷運系統、高鐵或臺鐵等軌道系統，講究行車效率，具專用路權，行駛速度高，故轉彎半徑相當大，如高雄捷運紅橘線最小轉彎半徑 200 公尺，臺鐵火車最小轉彎半徑 850 公尺，高鐵最小轉彎半徑則為 6,250 公尺。
- (二) 在街上行駛的輕軌系統，為了符合道路的型態，轉彎半徑可以小至 15 公尺，一般 12 公尺長大客車最小轉彎內徑約為 8 公尺，最大轉彎外徑約 14 公尺，而 20 公尺全聯結車其所需之最小轉彎內徑約為 7 公尺，最大轉彎外徑約 14 公尺。

表1 軌道系統之行車速度及轉彎半徑性能比較

	行車速度 (公里 / 小時)	最小轉彎半徑 (公尺)
高速鐵路	250	6,250
傳統鐵路 (臺鐵)	160	850
重運量捷運系統	70 ~ 80	200
輕軌系統 (專用路權)	70 ~ 80	15
(混合路權)	20 ~ 30	

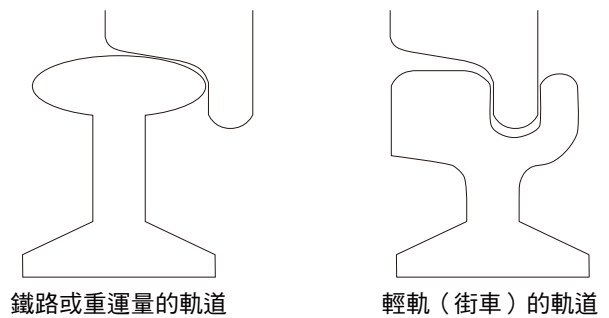
輕軌和重軌的軌道有何不同

鋼軌形狀

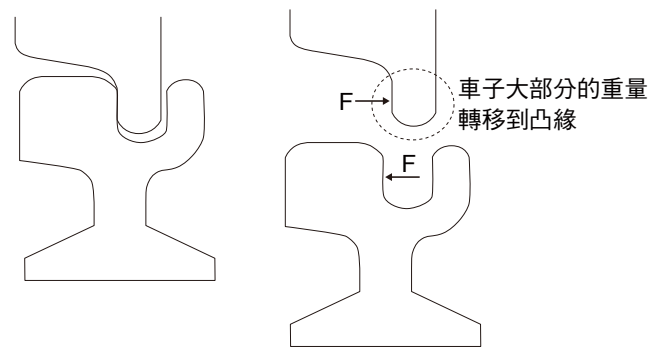
輕軌（街車）和鐵路或重運量的軌道是不同的，大多數的輕軌軌道系統採用埋置式軌道，將軌道直接埋在混凝土內而這種作法和傳統軌道施工是不同的。採用的是一般凹槽軌道，這種軌道使得軌道很容易埋置在街道表面，而凹槽可以避免輕軌車輪直接接觸混凝土，輕軌（街車）和鐵路或重運量的軌道如圖 14 所示，二者雖然都是有凸緣的車輪，但是設計是不同的。

鐵路或重運量系統的車輪沒有設計凸緣邊緣能承受車輛的重量，有些重運量的車輪在街車的路線上行進，遇到小轉彎時車輪會受到傷害。

鐵路或重運量系統車速高、轉彎半徑大，但輕軌（街車）為了符合街道的現況，通常會面臨小轉彎半徑所以車速低，而街車在路面上行駛，路面必須保持平順，所以軌道和路面必須等高，不可能有超高，通常軌道的凹槽很淺，所以轉彎時，外輪和軌道的接觸點在凸緣，轉彎比較容易，因為軌道有凹槽，可以承受車子的重量。在極端的情形下，也就是內車輪與軌道沒有相互作用力，而由外車輪的凸緣承受車輛所有的重量，而將此重量轉移到軌道，外輪的凸緣的作用好像是一塊承受重量垂直的鐵板，如圖 15 轉彎半徑太小時，外輪的凸緣的受力情形所示。



▲ 圖 14 輕軌（街車）和鐵路或重運量的軌道（示意圖不按尺寸）



▲ 圖 15 轉彎半徑太小時，外輪的凸緣的受力情形



高雄捷運重運量與輕軌軌道規範比較

高雄捷運重運量與輕軌均採用鋼軌鋼輪系統。環狀輕軌系統（第一階段）採統包方式辦理，故招標文件中敘明，部分規範廠商未來可依系統特性及整合成果，提送經高雄捷運局核准後施作。

表2 高雄捷運重運量與輕軌軌道規範比較

	重運量系統（紅橋線）	輕軌系統（環狀線 - 第一階段）
軌道分級	軌道分為兩級： 第一級軌道：係指機廠外正線及輔助線之軌道，並包括測試軌及機廠至正線之連接軌。 第二級軌道：係指機廠內之軌道及連結紅橋線間之轉軌。	軌道分為兩級： 第一級軌道：機廠外正線及輔助線等之軌道。 第二級軌道：機廠內之軌道。
設計速度	設計速度在第一級軌道為 90km/h，第二級軌道為 35km/h；第一級軌道之最高營運速度為 80km/h，第二級軌道之最高調車速度為 25km/h。	正線及輔助線的設計速度為 70km/h；最高營運速度為 50km/h。機廠線的設計速度為 25km/h；最高調車速度為 20km/h。在各規定速度下行駛之所有車輛應確保有規定之安全性及平穩性。
設計載重及作用力	第一級軌道設計之最大靜軸重為 17 噸，第二級軌道為 12 噸。	最大靜軸重不得超過 13 公噸。
軌距	1,435mm。	1,435mm。
鋼軌型式	連續長銲鋼軌。 第一級和第二級軌道及道岔均為 UIC60 鋼軌。 第一級軌道曲線半徑小於 600m 之圓曲線，包括相鄰之緩和曲線須使用耐磨鋼軌。	連續長銲鋼軌。 鋼軌建議採槽狀軌 41Gpu 及 50E6。 平面曲線半徑小於 150m 以下之正線路段應採耐磨鋼軌。
軌道型式	所有隧道段和高架橋段將使用無道碴式軌道，正線之地面段及機廠包括駐車軌在內，將使用道碴式軌道。 維修廠內軌道及洗車線軌道將使用無道碴式軌道。	地面段主線為埋置式軌道及埋置式植草軌道，機廠為埋置式軌道、養護機坑式軌道及道碴軌道。
橫渡線	依據營運和維修需求佈設，在橫渡線及道岔之安全距離內，其下部支撐結構不得設置伸縮縫。	廠商應依招標文件之橫渡線佈設及營運與維修需求進行橫渡線設計。
道岔	道岔之設置位置及尺寸需依營運和維修需求。	廠商應依招標文件、營運及維修需求設計道岔細部尺寸及其速限。

交通部於 100 年 12 月 29 日頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」3.5 軌道訂定軌距及軌道型式：

- (一) 除經中央交通主管機關同意外，軌距宜採 1,435 公厘標準軌距。
- (二) 軌道型式包括道碴軌道、無道碴軌道等。無道碴軌道包括嵌埋式、植草式（如圖 16）等。



▲ 圖 16 植草式軌道，於交叉路口段不植草

高雄捷運重運量與輕軌定線準則比較

交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範

交通部頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」對於線形之定線準則並無特別規定，另於「規範解說 3.1.2.1 路線線形」闡明各輕軌運輸系統計畫案所行經路線之現地狀況、經濟效益及核心系統設定等級，進而設定個案路線線形基準，以符合各案實際需求，並可避免不必要之系統限制。但仍就平面曲線及縱坡建議：

1. 正線段平面曲線宜大於等於最小半徑 25 公尺。
2. 最大縱坡度不宜超過 5.5%，此部分應考量平面道路坡度作修正。



◆ 高雄捷運重運量與環狀輕軌定線準則比較

表3 高雄捷運重運量與環狀輕軌路線定線之設計參數

	重運量系統（紅橘線）			輕軌系統（環狀線 - 第一階段）	
	優先採用	希望選用	絕對需求	建議值	絕對值
平面定線					
兩曲線間最小之直線段 (m)	36	22.5	14.8	12	7
圓曲線最小長度 (m)	-	-	-	36	7
最小圓曲率半徑 (m)	>350	300	200	50	25
最小緩和曲線長度 (m)	(依行車速度及最大超高不足變率而定)			12	7
縱面定線					
最大坡度 (%)	-	2	3	1	5.5
介於兩豎曲線間之最小直線長度 (m)	-	50	25	36	12
豎曲線之最小半徑 (m)	-	5,000	1,700	1,500	500
豎曲線之最小長度 (m)	-	50	25	36	12





結語

輕軌系統和目前臺灣軌道系統是不同的，我們的思考不能受限於捷運系統。本文說明了軌道系統的演變，從早期的鐵板系統到今日的鐵軌系統，車輪的剖面也由平面演化到錐狀，使得車輛轉彎時，不用改變形狀也能平順轉彎。

輕軌系統和鐵路或重運量系統在車速和轉彎半徑是大不相同，輕軌（街車），通常會面臨小轉彎半徑，軌道凹槽和車輪的設計必須滿足這種狀況，有些鐵路或重運量系統車輪則無此設計。

