

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2022.03.015

中低运量城轨交通系统分析与选型

王军贤

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

摘要: 分析新型中低运量城市轨道交通系统的技术特点、类型、关键技术以及国内外各系统的应用情况, 阐明各系统的市场应用定位, 并对新型中低运量城轨交通系统的性能特点和应用前景进行综合分析, 为轨道交通系统选型以及城市规划提供一定的参考。

关键词: 新型中低运量; 有轨电车; 单轨; 技术特征

中图分类号: U292.91

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2022)03-0075-04

Analysis and Selection of Urban Rail Transit System With Medium and Low Volume

Wang Junxian

(CRSC Urban Rail Transit Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: This paper analyzes the technical characteristics, types, key technology, and the application of the system at home and abroad of new low and medium volume urban rail transit, expounds the market application positioning of each system, and then comprehensively analyzes the characteristics and the application prospect of new type low and medium urban rail transit system, so as to provide reference for the selection of urban rail transit system and urban planning.

Keywords: medium and low volume; tram; monorail; technical characteristics

1 概述

城轨交通是指利用电力作为动力进行牵引车辆在轨道或导轨上运行的公共交通。近些年, 国内城市发展迅猛, 人口不断增加, 城市交通拥堵与环境问题日益突出。因此, 许多城市选择修建地铁、轻轨等轨道交通来缓解城市交通压力, 同时减少尾气的排放量。但是由于地铁项目普遍投资高、审批相

对困难, 所以价格低廉且高效的单轨和有轨电车交通系统成为了中小型城市的新宠。

2 单轨系统

2.1 单轨系统的技术特征

单轨系统是指轨道车辆在仅有一个支撑梁的轨道上运行的交通系统。单轨系统具有诸多优势, 如爬坡能力强、转弯半径小、噪声低等, 其主要通过轨道梁系统、道岔系统、车辆转向架系统这3大关键技术来实现。

生产轨道梁时, 轨道梁系统具有任意调整曲线活动模板的功能, 生产的轨道梁对误差、现场安装、

收稿日期: 2021-02-02; 修回日期: 2022-01-20

基金项目: 通号城市轨道交通技术有限公司科研项目 (5100-K1210004)

作者简介: 王军贤 (1985—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号系统集成, 邮箱: wjx@crscu.com.cn。

调校工艺要求高；单轨系统采用一种多级钢箱梁结构的道岔结构，道岔梁上安装了供电和信号系统设备；转向架系统包括走行轮和导向轮两部分，走行轮承载车体重量，负责牵引、制动功能，导向轮胎沿径向方向引导车辆在轨道上行驶。

2.2 单轨系统的分类

2.2.1 跨坐式

单轨系统根据车辆与轨道的接触方式划分为跨坐式、悬挂式和中低速磁悬浮。跨坐式单轨是一种非常适合中大型城市的经济实用的交通系统，其轨道采用强度混凝土或钢制箱梁，车辆跨骑在轨道梁上运行。

目前在重庆跨坐式单轨有很多应用，使用日立技术、重载车型、载客量与地铁相差不多。因为跨坐式单轨车辆轮对具有稳定的作用，在极端大风天气下，跨坐式单轨的安全性、稳定性远远高于悬挂式单轨系统，所以跨坐式单轨系统应用更加广泛。

2.2.2 悬挂式

悬挂单轨车体悬挂在走行部下方，走行部上安装有橡胶轮胎，车辆整体悬吊在轨道下方运行，轨道为单根带形轨道梁并有支撑柱支撑。

悬挂式单轨是解决城市核心区地面空间不足的一种短途运输方式，单程高峰客流为 5 000 ~ 20 000 人 / 小时，由于其独特的悬挂式轨道结构，对地面资源的要求低、工期短，同时由于其良好的视野，可承担城市旅游的功能。

悬挂式单轨有 3 种类型：非对称悬挂钢轮钢轨单轨、对称悬挂实心橡胶轮胎单轨和对称悬挂充气橡胶轮胎单轨。3 种类型悬挂式单轨对比如表 1 所示。

2.2.3 中低速磁悬浮

中低速磁浮交通是指线性驱动由非接触磁力提供支撑及导向的不超过 120 km/h 最大工作速度的新型交通工具。磁浮列车的浮起、推动和导向是根据同性相斥、异性相吸原理实现的。磁浮交通和轮轨交通的主要区别是车辆与轮轨无接触的悬浮在轨道上方，因此不存在黏着速度的极限。磁浮列车可分为常导型和超导型两类，而中低速磁浮列车属

表1 3种类型悬挂式单轨对比

Tab.1 Comparison of three types of suspended monorail

类型	非对称悬挂钢轮钢轨	对称悬挂实心橡胶轮胎	对称悬挂充气橡胶轮胎
技术特征	1) 由双轮缘结构的钢轮在钢轨上为车辆导向 2) 转向架为 C 形结构 3) 过曲线整个转向架及车体在轨道上摆动	1) 采用下部开口的箱梁作为轨道梁，转向架在其内部运行 2) 摇摆机构通过轨道梁下部开口与车体连接 3) 过曲线轨道梁只有外部结构摆动，内部结构不摆动	1) 转向架在轨道梁内运行，转向架上设置有导向及走行轮 2) 摇摆机构通过轨道梁下部开口与车体连接 3) 过曲线时轨道梁只有外部结构摆动，内部结构不摆动
车轮更换周期 / 年	2	1	1
运行速度 / (km/h)	120	50	120
最大坡度 / %	7	16	16

于常导型，但由于驱动原理，站间距设计不能太小，考虑到运营的经济性和效率性，站间距至少为 5 km。同时，中低速磁悬浮列车与高速磁悬浮列车相比具有更大的优势，如技术要求低、成本低、爬坡能力强、转弯半径小、噪音小、节能环保。

在国外，日本的中低速磁浮系统技术的应用比较成熟，具有 1.5 km 的试验线和 9.2 km 的运营线路。在国内，先后建成了长沙、唐山、上海等磁浮试验线和北京 S1 示范线等中低速磁悬浮系统线路。其中，北京 S1 示范线是国内首条采用中低速磁悬浮技术的示范线，信号系统由中国铁路通信信号股份有限公司（简称中国通号）提供，并于 2017 年 12 月 30 日正式开通运营。

2.3 单轨系统在国内外运用概况

目前国际上的单轨系统基本以庞巴迪、日立为主，广泛应用于国内外，如日本奈良线、美国加州迪士尼游览线、新泽西州机场线。在国内，已经开通运营的单轨系统有重庆轨道交通 2 号线、沈阳轨道交通 1 号线、重庆轨道交通 3 号线一期等。

3 现代有轨电车

在 20 世纪 90 年代，法国的现代有轨电车成为人们关注的焦点。由于新技术、新工艺和人性化的

设计，同时具有节能、方便、舒适、线路布置灵活和经济优势，在传统有轨电车的车辆设计、线路结构和控制等方面采用新技术，特别是全低地板有轨电车已被广泛使用，它分为钢轮钢轨有轨电车和胶轮路轨有轨电车两种类型。

3.1 现代有轨电车特点

现代有轨电车优势主要体现在经济性、高效性、便捷性、低碳性等方面，其中钢轮轨低地板有轨电车具有转弯半径小、投资低、建设速度快、运行速度高达 70 km/h 等优点。同时具有车辆乘降口与站台齐平的特点，方便乘客上下车，可设置极低的站台，适合在街市运行。除上述特点外，橡胶轮轨电车具有较强的爬坡能力（最大纵坡 130‰）、转弯半径较小、噪声和振动较低等特点。此外，钢轮钢轨低地板有轨电车存在一些缺陷，如轮轨磨损大、噪声高等，而胶轮路轨有轨电车具有耗能高、运营扬尘大的缺点。

3.2 现代有轨电车系统的型式

现代低地板有轨电车轨面高度距车内低地板面大约 300 ~ 400 mm，按照低地板面在整个车辆地板面中所占的比例，低地板分为分段式（15% ~ 20% 低地板）、中间贯通式（70% 低地板）及全低地板（100% 低地板）3 种，全低地板是目前最常见的，因此是现代有轨电车系统的主流。

3.3 现代有轨电车系统的关键技术

全低地板有轨电车主要采用转向架车轮独立同

步驱动的控制技术，即便同一车轴上的左右轮转速相同，此时独立轮对类似刚体轮对，即和刚性轮对具备相同的导向能力。由于独立车轮不存在纵向力矩，因此需要采取一些措施来提高导向能力，主要包括特殊的车轮踏面设计、使用槽轨、左右轮转动耦合、径向转向架、主动导向等技术措施。

胶轮路轨低地板有轨电车的核心部件为走行部系统，车辆的运行主要靠走行部，在走行部上设置有导向机构及走行轮，因此胶轮路轨有轨电车具有爬坡能力强劲、转弯半径小、噪声低的优势。

3.4 现代有轨电车国内外运用

目前，国外钢轮钢轨全低地板有轨电车厂商主要有西门子、阿尔斯通、庞巴迪等，在欧洲应用比较广泛。相比而言胶轮路轨低地板有轨电车比较少见，如法国劳尔公司的 Translohr 有轨电车系统。

在国内，低地板仍然处于发展的早期阶段，如大连、长春轨道交通采用的低地板有轨电车，动力车厢分布在两端，转向架采用传统车轮，其余车厢采用独立轮对，他们属于二代 70% 低地板轻轨车辆；100% 低地板有轨电车典型代表是中国通号的有轨电车系统，已于 2019 年 11 月在天水市投入运营。

4 系统比较

综上所述，中低运量城轨交通系统的跨坐式单轨、悬挂式单轨以及低速磁悬浮系统和现代有轨电车系统的特点比较如表 2 所示。

表2 中低运量城轨交通系统特点比较
Tab.2 Characteristics comparison of urban rail transit system medium and low volume

类别	路面特点	运行速度/ (km/h)	转弯 半径/m	运营能力/ (万人/天)	造价/ (亿元/公里)	建设 周期/年	优势	劣势	应用范围
跨坐式 单轨	高架、专 用轨道梁	最高速度 80 旅行速度 30 ~ 35	≥ 50	0.6 ~ 1.1	0.9 ~ 1.3	1 ~ 2	爬坡强劲、噪 声小、路权独 立、占地小	维护成本高， 站台及车辆段 建设成本高	适宜山城 市及道路 狭窄地段
悬挂式 单轨	高架、专 用轨道梁	最高速度 70 旅行速度 30 ~ 35	≥ 30	0.8 ~ 1.1	1.1 ~ 1.5	1 ~ 2	景观效果好、 路权独立	乘坐舒适性 差，站台建设 成本高	景区和 观光点
低速磁 悬浮	高架、专 用轨道梁	最高速度 100 旅行速度 65	≥ 250	1.5 ~ 3	2.3 ~ 3.5	4 ~ 5	技术新颖、乘 坐舒适、独立 路权	建设及维护成 本高，救援难 度大	城际、机 场到市区
现代有 轨电车	轨道、专 用或混用	最高速度 70 旅行速度 20 ~ 35	≥ 25	0.6 ~ 1.5	0.6 ~ 1.5	1 ~ 2	维护及建设成 本低，救援方 便，车辆段建 设成本较低	占地面积大， 占用道路资源	城市新区 及近郊

5 结论

由此可见,跨坐式单轨、悬挂式单轨、现代有轨电车系统和低速磁悬浮轨交系统,在技术特点、系统原理、关键技术和实际应用方面都存在较大差别,跨坐式单轨、中低速磁悬浮都属于中低运量的城轨交通系统制式范畴,适合作为城市内公共交通制式的选择;而中低速磁悬浮在爬坡能力、成本造价、噪声环保方面与跨坐式单轨相比有很大的优越性,同时跨坐式单轨在国内的运营经验比较丰富,具有一定的积累,所以在城市轨道交通规划和选择时应根据每个城市的实际情况按需有针对和侧重的选择交通制式。

参考文献

- [1] 刘实秋. 重庆城轨快线列控系统选型分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(1): 66-70.
Liu Shiqiu. Analysis of Selection of Train Control System for Chongqing Urban Rail Express[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 66-70.
- [2] 孙汝蛟. 多种城市轨道交通制式的高架桥梁结构比较[J]. 铁道建筑, 2016, 56(7): 9-12.
Sun Rujiao. Comparison of Elevated Bridge Structures of Several Urban Rail Transit Modes[J]. Railway Engineering, 2016, 56(7): 9-12.
- [3] 王忠杰, 任利惠. 新型城市轨道交通系统及其性能特征[J]. 装备机械, 2012(2): 66-72.
Wang Zhongjie, Ren Lihui. The New Model City Railway Traffic System and Its Characteristics[J]. The Magazine on Equipment Machinery, 2012(2): 66-72.
- [4] 刘亚宁, 李梁, 刘家栋. 中低速磁浮列车与跨坐式单轨车辆的综合比选[J]. 技术与市场, 2017, 24(9): 29-30.
- [5] 佟力华, 马沂文, 胥刃佳. 适用于城市交通的中低速磁悬浮技术[J]. 电力机车与城轨车辆, 2003, 26(5): 4-6.
Tong Lihua, Ma Yiwen, Xu Renjia. Medium and Low Speed Maglev Technology Applicable to Urban Mass Transit[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2003, 26(5): 4-6.
- [6] 贺观. 跨坐式独轨交通的特点及其局限性[J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(1): 8-10.
He Guan. Development and Limitation of Straddle-Type Monorail Transit in China[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(1): 8-10.
- [7] 陈义志. 中低运量的新型城市轨道交通系统[J]. 山西建筑, 2019, 45(18): 100-101.
Chen Yizhi. New Urban Rail Transit System with Medium and Low Volume[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(18): 100-101.
- [8] 杜聪. 济南市中运量轨道交通功能定位与发展策略[J]. 交通企业管理, 2019, 34(5): 78-80.
Du Cong. Function Positioning and Development Strategy of Mass Transit Railway Transportation in Jinan City[J]. Transportation Enterprise Management, 2019, 34(5): 78-80.

本期广告企业简介

上海电气泰雷兹
THALES SEC TRANSPORT

中国新一代城市轨道交通信号系统

TSTCBTC[®] 2.0

(详见后插一)