

# 智能轨道快运系统株洲智轨体验线 项目特点及适用性分析

贺捷<sup>1,2</sup>

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉;

2. 中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司, 215009, 苏州//高级工程师)

**摘要** 结合株洲智轨体验线介绍了一种名为智能轨道快运系统的新型轨道交通制式,对其各组成部分进行了介绍,并分析了该制式的工程及建设特点。在对常见的三种路权形式进行对比分析的基础上,论述了一种结合智能轨道快运系统特点的分时半独立路权,以减少道路改造量,扩大轨道交通适用范围。分析了智能轨道快运系统的适用性与当前存在的不足,并就智能轨道快运系统的发展对国家有关部门、车辆厂商和城市决策者提出了相关建议。

**关键词** 智能轨道快运系统; 轨迹跟随; 分时半独立路权

**中图分类号** U489

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.01.007

## Characteristics of Zhuzhou Intelligent Rail Express Line Project and Feasibility Analysis

HE Jie

**Abstract** Based on Zhuzhou Automatic Rail Transit Experience Line, a new rail transit named intelligent rail express system and its compositions are introduced, the engineering and construction features of the system are analyzed. Through a comparison of three common forms of road right, a kind of time-sharing semi-independent road right adapted to the characteristics of new intelligent rail express system is discussed, in order to reduce the road reconstruction volume and expand the scope of rail transit application. With an analysis of the applicability and shortcomings for current automatic rail rapid transit, corresponding suggestions for relevant state agencies, vehicle manufacturers and urban decision makers are put forward.

**Key words** intelligent rail express system; trajectory following; time-sharing semi-independent road right

**Author's address** China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

中运量城市轨道交通系统具有节能环保、速度较快的优点<sup>[1]</sup>,既可作为大运量城市轨道交通系统的补充和加密<sup>[2]</sup>,又可作为郊区或中小城市的主干

交通<sup>[3-4]</sup>,还可提升城市形象、打造城市名片<sup>[5-7]</sup>。但传统中运量城市轨道交通存在建设周期较长、成本较高及线路固定等问题<sup>[8]</sup>,特别是地面中运量城市轨道交通,对既有道路影响较大。这些问题都制约着中运量城市轨道交通的建设和发展。

针对上述问题,中车株洲电力机车研究所有限公司(以下简为“中车株洲所”)在世界范围内首次提出了“智轨”概念,并于2017年6月在株洲举办了“全球首列智轨快运列车新闻发布会”,引起了广泛的关注<sup>[9]</sup>。“智轨”即智能轨道。智能轨道快运(以下简为“智轨快运”)系统,是一种介于有轨电车和BRT(快速公共汽车系统)之间的新型公共交通系统,既有轮轨系统的长编组、大运量优势,也有胶轮系统的灵活性。

2017年10月23日,株洲智轨体验线(一期)项目试运行,恰逢中国(湖南)国际轨道交通产业博览会暨高峰论坛在株洲举行,与会的专家们进行了试乘,并给予了高度肯定。该线路正线全长3.05 km,设4座车站,其中1座为充电站,设停车场1座(位于终点站体育中心站附近)。株洲智轨体验线(一期)工程的试运行,检验了智轨快运系统的可靠性和实用性。

## 1 智轨快运系统的组成

智轨快运系统主要由列车、车站、导向标线、车辆基地、通信及信号系统、供电系统及其他辅助系统等组成。与现代有轨电车相比,智轨快运系统取消了钢轨,其导向标线和导向控制系统代替了传统钢轨的导向作用。与18 m长的公交车相比,增加了约50%的载客量,同时利用多轴转向技术实现轨迹跟随,解决了18 m公交车转弯时后轮内偏的问题。

1) 智轨快运列车采用100%低地板胶轮车辆,

集成了车载通信信号终端,具有自主导向功能,可沿地面导向标志行进。车辆采用了系统集成、轨迹跟随、牵引-制动-转向协同控制、列车运行多网融合控制、智能驾驶、车-地-人信息耦合等六大核心技术。其中,轨迹跟随和牵引-制动-转向协同控制技术保证了智轨快运系统的无轨化和小半径转弯能力。列车设置了前后 2 个司机室,可实现折返功能。



图 1 株洲智轨快运列车车辆编组图

| 表 1 智轨快运列车(3 节编组)车辆参数 |       |
|-----------------------|-------|
| 参数                    | 取值    |
| 车长/ m                 | 31.64 |
| 车宽/ m                 | 2.65  |
| 满载车质量/t               | 51    |
| 最大载客量/人               | 307   |
| 最高车速/(km/h)           | 70    |
| 最大爬坡能力/%              | 10    |
| 最小平面曲线半径/ m           | 15    |
| 地板面高度/ mm             | 350   |

2) 车站是乘客候车区域,设置了相关的通信及信号系统终端设备。如有必要,也可设置安全门、闸机和自动售检票系统等。

3) 导向标线为画在路面上的双虚线,无需额外预埋感应设备,可代替轨道对列车进行导向,其材质为反光型道路标志涂料。如图 2 所示。



图 2 株洲智轨体验线导向标线

4) 车辆基地是停放、清洗、检修车辆的区域,可结合需求设置辅助车间、变电所、办公用房等辅助生产房屋。城市内第一条智轨线路车辆基地一般可与控制中心合建。

车体大量使用了碳纤维及铝合金等低密度材料,有效减轻车体质量。车辆的低地板、全通透玻璃窗、人性化座椅等设计,提升了其美观和舒适性。株洲智轨体验线(一期)工程使用的 3 节编组列车采用(带司机室的动车)Mc1 + T(拖车) + Mc2 编组形式(见图 1),其具体参数如表 1 所示。

5) 通信及信号系统。通信系统包括有线传输系统、综合无线通信系统、乘客信息系统、视频监视系统、广播系统、紧急呼叫系统及时钟系统等;信号系统包括调度管理系统和车载信号系统。

6) 供电系统。智轨快运列车使用快充动力电池。全线无需敷设接触网,仅在充电站(一般是首末站)架设充电网。车辆顶部安装了受电弓,在充电站可以升弓补电,其充电采用 DC 750 V,补电用时为 10 min,可续航 20 km 以上。

7) 其他辅助系统。为了提供安全、稳定、优质的服务,智轨快运系统一般会配备空调系统、火灾自动报警系统、给排水及消防系统等辅助系统。

## 2 智轨快运系统的关键技术

1) 智能轨道导向控制技术。该技术为中车株洲所首创,通过多轴转向技术来实现轨迹跟随。智能轨道导向控制技术主要包括自动循迹和轨迹跟随两部分。首先,智轨快运系统由识别子系统自动识别地面导向标线,并使第一对轮对自动沿导向标线直行或转弯,实现自动循迹;然后,智轨快运系统进行实时计算,并发出各轴转向指令,由自主导向子系统执行转向指令,使车辆各轴协同转向,实现轨迹跟随。

2) 智能驾驶技术。智轨快运系统的远期目标是实现全自动驾驶。目前,智轨快运系统的自主导向、轨迹跟随、车道偏离预警、侧向防撞预警及 360°环视等技术已成熟,但主动防护及前向防撞预警等技术还有待完善,预计 2020 年将完善自动驾驶和乘务值守技术。

3) 制动技术。智轨快运系统一般不具有独立

路权,故制动要求较高。3节编组的智轨快运列车采用了2套独立冗余的自动控制器、3路独立气路执行机构,其6轴制动互备冗余,具有5种人工和自动控制触发方式。故智轨快运系统的制动技术具有较高的可靠性和安全性。

4) 信号优先技术。为了提高准点率,智轨快运系统一般都会采用信号优先技术。车载信号系统通过车地短程无线通信,接收优先通行命令,并向道路交通信号控制机发送智轨快运列车优先通过的请求。道路交通信号控制机根据路口交通通行水平反馈优先处理结果,并根据道路交通信号控制机的处理结果来驱动专用表示器,进而指示智轨快运列车通过。

### 3 智轨快运系统的特点

智轨快运系统具有以下特点:

1) 运量适中。1辆3节编组的智轨快运列车长约32 m,以6人/m<sup>2</sup>计算的额定载客量为239人,略低于5节编组有轨电车,远大于18 m长的公交车(载客约150人)。

2) 速度较快。智轨快运列车的设计运行速度为70 km/h,与有轨电车相当。在兼具半独立路权和路口信号优先技术的情况下,智轨快运列车旅行速度可达20~25 km/h。

3) 线形灵活,适应性强。智轨快运系统线路的最小转弯半径为15 m,列车最大爬坡能力为10%。根据《城市道路设计规范》,城市道路最小半径为20 m,最大坡度为8%。可见,智轨快运列车可适应绝大多数城市道路。

4) 充电简单,续航能力强。株洲智轨体验线(一期)项目列车装载了237 kWh的快充动力电池。列车在首末站补电10 min,可续航20 km以上。

5) 工程量小、投资小、工期短。由于智轨快运系统取消了传统钢轨,道路无需大规模改造,因此工程量小,投资也相应较少。投资额与路权形式有关。例如,半独立路权智轨快运系统的正线每公里投资指标约为6 000万~8 000万元。其工期较短,一般约为1年,约为地铁的1/5、有轨电车的1/3。

6) 审批简单。目前,智轨快运系统的审批尚无国家规定,一般参考现代有轨电车的审批流程,报市级或省级的发展改革委员会审批即可,且审批流程相对简单。

### 4 智轨快运系统的路权形式

目前,城市轨道交通比较常见的路权形式有独立路权、半独立路权和混合路权。智轨快运系统无需铺设轨道,其路权形式灵活。当道路改造条件较好时,建议智轨快运系统采用半独立路权;当沿线道路较为拥堵、不具备半独立路权实施条件时,在坚持公共交通优先的城市,智轨快运系统可采用分时半独立路权,在坚持个人交通优先的城市,智轨快运系统可采用混合路权。

分时半独立路权,即在早晚高峰时段采用半独立路权,在非高峰时段采用混合路权。分时半独立路权具有以下优点:

1) 在高峰时段,可保证智轨快运系统的准点高效,避免了拥堵,进而引导居民出行更多选用公共交通,从根本上缓解城市拥堵和环境污染的问题。

2) 在非高峰时段,可提高城市道路的利用率,降低智轨快运系统对道路交通的不良影响。

### 5 智轨快运系统的适用性

1) 适用于早晚高峰时段客流量大,但其他时段客流量较小的路段。采用分时半独立路权的智轨快运系统,在高峰时段采用城市轨道交通运营模式,在客流量小时采用混合路权的公交车运营模式,可有效解决客流不均衡导致的车辆空跑或车内拥挤问题。

2) 适用于城市轨道交通建设有需求但经济能力相对较弱的城市。智轨快运系统可以适应绝大多数城市道路,一般情况下无需对道路进行大规模改造,可直接在道路上行驶,是目前投资最省的城市轨道交通制式之一,也是支撑中小城市发展城市轨道交通的福音。

3) 适用于旅游城市。智轨快运系统的车辆采用100%低地板设计,车身美观大气,车内设置人性化座椅,车辆外形可结合城市特色定制。适合旅游城市打造特色化旅游线路和城市名片。

4) 适用于已建设或规划建设BRT线路的城市。智轨快运系统既可看作有轨电车的“去钢轨版”,又可看做BRT的加强版。BRT线路稍加改造即可运行智轨快运列车,因此,对于已建设运营或规划建设BRT线路的城市,均可直接用智轨快运系统车辆代替BRT车辆,以提高运量。

## 6 智轨快运系统的不足

1) 智能驾驶技术。目前智轨快运系统车辆仍处于人工驾驶模式,智能化程度较低,建议后续更新换代中逐步实现“智能驾驶+司机值守”的功能。

2) 储能技术。株洲智轨体验线使用容量为 237 kW·h 的电池,其容量有限,无法满足里程较长的线路需求。如使用大容量的储能设备,则列车需在首末站停靠很长时间充电,影响线路运营。

3) 受恶劣天气影响较大。由于智轨快运系统是基于对地面标线的图像识别来进行导向,因此雨雪天气的积水积雪将覆盖地面标线,使识别功能失效,是智轨快运列车退化为“加长版公交车”。

4) 相应规范和法律法规体系有待完善。目前国内尚无智轨快运系统的设计、施工、运营规范或标准,同时,有关智轨快运系统车辆在道路上的权责也尚无法律依据。

## 7 建议

1) 国家有关部门宜尽快出台相应的规范标准和法律法规,为智轨快运系统工程的规划、设计、建设、研究、运营提供指导与支撑。

2) 车辆厂商应对智轨快运列车的性能进行充分测试,以支撑设计单位针对系统特点和城市具体情况,对智轨快运系统工程更好地进行设计研究。

(上接第 21 页)

算结果合适,即可应用。

对于新建线路设计配套,建议大小交路折返站,如有条件均可按照站后四线双折返轨配线型式设计,以适应近期、远期和超远期的客运能力增长变化的需要。

## 6 结语

随着城市轨道交通的高速发展,各城市出现的乘车拥挤度也越来越严重,仅通过增加新建线路来平衡各线路疏解客流,难以根本解决中心城区高峰断面大客流问题。

在高运能控制系统技术创新研究中,本文把信号系统、行车组织、线路配型、区间限速调控、乘客舒适度、运行交路等高运能核心设备技术深度融合后,提出了信号系统运能控制的极限值指标,对改善超载现状具有积极指导意义。

建议采取循序渐进的方式,从既有的最小发车

3) 智轨快运系统可解决一部分传统城市轨道交通建设存在的问题,但仍有其不足。各城市应结合自身特点,综合考虑交通需求、工程造价和建设周期等因素,合理选择城市轨道交通制式,避免为追求所谓的“创新”与“第一”而盲目建设。

## 参考文献

- [1] 金昱. 中低运量轨交系统在上海的适用性研究[J]. 上海建设科技, 2013(4): 21.
- [2] 张临辉. 上海张江科学城中运量交通系统规划研究[J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2016, 26(4): 33.
- [3] 董伟力, 郭高华, 王艳荣, 等. 轨道交通系统在公共交通级配体系中的定位研究[J]. 交通科技, 2016(5): 164.
- [4] 闵国水, 曾琼. 中小城市发展中低运量城市轨道交通系统制式选择研究[J]. 铁路技术创新, 2016(6): 40.
- [5] 曾栋鸿, 金伟. 玉溪市中心城区中运量公交发展适应性研究[J]. 城市地理, 2016(22): 34.
- [6] 章华金. 现代有轨电车与快速公交 BRT 的比较及其在我国的应用[J]. 交通标准化, 2013(11): 84.
- [7] 刘阳, 张玲, 沈小静, 等. 有轨电车与快速公交 BRT 适用性比较分析——以曲靖市为例[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2015, 31(3): 31.
- [8] 马永红, 黄海明. 各种中低运量制式轨道交通优势比较研究[J]. 世界轨道交通, 2013(12): 64.
- [9] 李永华. 虚拟轨道、超级电容、无人驾驶——“智轨快运列车”汇集了多少黑科技? [J]. 中国经济周刊, 2017(24): 39.

(收稿日期: 2018-06-01)

间隔为 120 s 出发,逐步减小发车间隔时间,逐步增加可运用列车数量,直至解决大运量高峰时段客流拥挤问题。建议配套研究多专业融合管理创新方法,完善区间救援突发工况危险源识别与应急预案匹配等配套标准,以满足日益增长的城市轨道交通运营安全、高效的服务质量和高速发展要求。

## 参考文献

- [1] 朱沪生. 上海城市轨道交通网络化建设的实践和对策[J]. 城市轨道交通研究, 2006(12): 5.
- [2] 丁建中, 张琼燕. 地铁无人驾驶系统及关注的主要问题[C]//第四届中国城市轨道交通可持续发展战略及建设论坛-轨道交通信息化建设论坛. 北京: 中国城市轨道交通网, 2008.
- [3] 张琼燕, 邓瀚, 赵霞. 城市轨道交通列车运行控制系统仿真分析与研究[J]. 城市轨道交通研究, 2012(8): 103.
- [4] 洪海珠, 胡宗福, 薛小平, 等. 轨道交通信号系统的安全认证[J]. 城市轨道交通研究, 2009(2): 21.

(收稿日期: 2019-05-28)