

城市建成区智能化轨道快运系统的线路规划^{*}

隆冰 李涵 石小林

(重庆市交通规划研究院, 401147, 重庆//第一作者, 工程师)

摘要 介绍了智能化轨道快运系统的技术特点及优势, 分析了建成区道路拓宽困难、道路交通流量大、用地空间有限等现实条件, 并从线路敷设、路权方式、车站设置等方面讨论了智能化轨道快运系统规划的相关内容。以重庆市南滨路智能化轨道快运系统线路为应用案例提出规划建议。

关键词 智能化轨道快运系统; 线路规划; 城市建成区

中图分类号 U482

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.12.004

Line Planning of Urban Built-up Area Autonomous-rail Rapid Transit

LONG Bing, LI Han, SHI Xiaolin

Abstract The technical features and advantages of ART (autonomous-rail rapid transit) are introduced. Practical conditions including construction area road widening difficulty, large road traffic volume, tight land use space are analyzed. Issues related to ART planning are discussed from aspects including line laying, right-of-way format, station setting. Taking ART Line of Chongqing Nanbin Road as an example, planning suggestions for implementation cases are put forward.

Key words ART (autonomous-rail rapid transit); line planning; urban built-up area

Author's address Chongqing Transport Planning Institute, 401147, Chongqing, China

智能化轨道快运系统(以下简称“智轨”)由中车株洲电力机车研究所有限公司研制, 是一种新型智能化中低运量公共交通方式。其列车依靠电力驱动, 行驶在虚拟轨道上。智轨既具有有轨电车准时、运量大、节能环保的优点, 又具有传统道路公交运营灵活、建设成本低、建设周期短的优势。

在城市建成区内, 受用地条件、交通、客流出行习惯等影响, 智轨等中低运量公共交通在道路路权分配、布设方式、车站处理等方面仍面临诸多困难^[1]。本文以城市建成区为背景, 讨论了智轨线路

规划的相关问题。

1 智轨概述

智轨列车编组方式灵活。目前常用的3节编组列车载客量约为280人, 其车辆长31.6 m, 宽2.65 m, 为100%低地板车辆。智轨列车最大运行速度为70 km/h, 最大爬坡能力为10%, 最小转弯半径为15 m。智轨列车可灵活采用储能电池、接触网或超级电容等多种供能方式。国内已建成运营的智轨线路有株洲智轨A1试验线、宜宾智轨T1示范线等。

1.1 智轨的主要技术特点

1) 虚拟轨道、轨迹跟随。智轨通过地面施划的虚拟轨道线, 采用轨迹跟随技术沿预设的虚拟轨道行驶。智轨技术摆脱了物理轨道, 使建设成本更低、建设周期更短、线路灵活性更强。

2) 主动安防、智能化驾驶。智轨采用全轴转向控制技术, 并通过主动安全控制、车载信号控制、机器视觉等技术进行电子约束, 实现在虚拟轨道上的类轨道行驶, 避免了行驶过程中的甩尾和脱轨。

3) 纯胶轮驱动。智轨列车完全由胶轮承载驱动和导向, 附着力好, 爬坡能力更强, 静音舒适。按照智轨的设计参数, 智轨车辆最大爬坡能力为10%, 基本能适应所有城市道路的纵坡条件。

1.2 智轨的优势

智轨具备普通道路公交灵活便捷的特点, 采用城市轨道交通运营组织方式, 交通可靠性更高、体验感更佳。智轨路权通常为半独立路权模式。智轨主要有5方面优势。

1) 运量较大。3节编组的智轨列车运能约为1.0万~1.2万人次/h, 是普通道路公交运能的3倍。此外, 智轨可根据客流需求, 灵活采用多种编组形式。

2) 运行效率高。按照目前相关资料, 智轨列车

^{*} 重庆市科委自然科学基金项目(cstc2015shms-ztx3002)

最高运行速度可达 70 km/h,旅行速度约为 25 km/h,显著高于普通地面道路公交。

3) 道路适应性好、景观好。智轨列车爬坡、转弯能力强,具有良好的道路适应性。智轨可实现路面无轨、空中无网,满足城市景观的要求。

4) 建设成本相对较低、建设周期短、移植性好。参考已建成线路的经验可得:智轨的综合投资成本约 6 000 万元/km,涵盖土地成本以外的所有建设成本;运维费用约 200 万元/(km·年),涵盖人工费、电费、维护费用、行车保险费及管理费等运维成本。

5) 受审批程序约束小。按照国办发(2018)52 号文要求,智轨不须纳入城市轨道交通建设规划并履行报批程序。可见相较于地铁、跨座式单轨系统、悬挂式单轨系统、APM(自动旅客捷运系统)等,智轨受审批程序的约束更小。

2 城市建成区内规划智轨面临的现实条件

由于智轨通常利用既有道路进行改造,与既有社会车辆争夺路权,因此在城市建成区内,在既有道路上增设智轨往往带来短期交通拥堵问题。

1) 道路拓宽困难。一方面,建成区内道路两侧用地多已被占用,道路拓宽空间很有限;另一方面,道路两侧的管网复杂,道路改造工程投资高。此外,由于道路沿线均已经开发成熟,沿线居民对破坏道路绿化、人行道反对意见强烈,社会稳定性风险高。

2) 道路交通流量高,增设智轨后交通影响大。建成区主要客流走廊上的道路交通流量较高,增设智轨后,社会车辆通行空间将受到压缩,车道折减将可能造成道路交通拥堵。从各个城市的实践经验来看,建成区内路网条件相对较差,平行分流通道较少;近期,在客流出行习惯未转变的情况下,路网将面临不同程度的交通拥堵。

3) 与既有公共交通系统衔接配合难度高。智轨作为一种新型中低运量公共交通,需处理好与大中运量轨道、低运量公交之间的功能互补关系,承接高、中、低运量交通制式之间的衔接和转换。智轨车站应与轨道车站出入口便捷衔接,在运营和票制上应一体化管理;引入智轨后,道路公交线路应同步进行优化调整,减少与智轨共走廊的公交线路,避免客流争夺,同时,可通过增加接驳巴士等方式拓展智轨的客流腹地,延伸智轨交通服务。

3 智轨交通规划内容

3.1 路权形式

智轨的路权形式主要有独立路权、半独立路权、混合路权。

1) 独立路权。采用独立路权时,智轨运行环境独立,效率高、安全性好。在独立路权下,智轨与城市道路相交时需通过上跨或下穿等方式与既有道路分离,但建设成本较高,常应用于滨江路、沿山路等单侧服务的客流走廊。

2) 半独立路权。在大部分路段为独立路权模式,在平交路口采用信号优先措施,保障智轨列车的优先通行。半独立路权的运行环境相对独立,效率较高,安全性好;在平交路口智轨列车有优先通行权。该路权模式建设成本相对较低,通行效率较高,是国内各城市广泛采用的路权形式。

3) 混合路权。采用混合路权时,智轨列车与其他交通形式混行。混合路权模式的土建成本相对最低,但智轨列车的运行受社会车辆干扰大,运行效率低,交通运行秩序难以保障。在混合路权下,智轨将丧失轨道交通高效、准时、安全等优势。此外,由于智轨列车尺寸大,智轨与社会车辆交织影响大,运行灵活性较普通道路公交更差,运营速度将更低,低性价比缺点将凸显。

3.2 线路设置

3.2.1 线路布线方式

智轨线路布线方式主要有单线双向、单线单向及双线双向。

1) 单线双向布线。即仅设置 1 条车道供列车双向行驶。该方式通过增设停车港的方式来实现列车越行。单线双向布线方式占用道路资源少,对现状交通影响较小,但其需采用越线的组织方式,使得发车间隔长(约 15 min),严重限制了运能,故常用于旅游观光线路。对于桥梁或立交桥等局部短距离的瓶颈路段,可采用单线双向敷设方式来实现列车越行,必要时还可增设信号灯。

2) 单线单向布线。该布线方式分设 2 条单向的平行线路,形成“单向二分路”的环线组织形式。单线单向布线占用道路资源少,对现状交通影响较小,拓展了线路服务范围。单向运营方式与乘客的出行习惯有差异,两条平行线路之间的间距不宜过长,建议平行线路间距不宜大于 300 m(按步行 5 min 计算)。此外,平行线路之间需有便捷的步行通

道,以便客流出行。单线单向布线常用于步行街或商业街区等路网密度较高区域,并配合道路单向交通组织使用。

3) 双线双向布线。该布线方式设置双向 2 条智轨车道,上、下行方向列车各行其道。这是最为常见的线路布设方式,其运行效率高、便捷性好,在具备条件的路段宜优先选用。

3.2.2 智轨车道设置形式

智轨车道设置形式主要有路中式、两侧式及单侧式。

1) 路中式。智轨车道设置于道路中央的 2 条车道,并设置天桥、地下通道或人行横道线,以便乘客上下站台。路中式的列车运行环境相对独立,运行效率高,与社会车辆交织少,对沿线立交的交通影响小。在平交路口处,可在原有信号相位的基础上开展优先控制策略,保障智轨列车的优先通过权。通常,路中式智轨线路的车站需要配合立体人行过街设施一体化设计。

2) 两侧式。2 条智轨车道分别布设于道路两侧最外缘车道,结合既有道路公交站设置一体化车站。两侧式设置对原有城市道路的改造较少,与轨道交通及普通道路公交等其他交通方式换乘便捷。但由于道路两侧用地开口的进出车辆较多,智轨运行受出入地块车辆临时停车或进出的干扰较大。在与道路立交处,布局在道路两侧的智轨线路与立交左右转车流有交叉,需要增设信号灯,故影响了立交交通的效率和安全性。

3) 单侧式。智轨车道布设于道路一侧,可结合用地条件设置独立的运行空间,通常采用独立路权,应用于滨江路、沿山路等单侧服务的道路。单侧式车道运行环境相对独立,运行效率高。对于利用现状道路改造的单侧式智轨车道,需对原有车道进行重新划分,当智轨与相邻社会车道为对向行驶时,需设置分隔设施以保障安全。

3.3 车站设置

3.3.1 车站布局

智轨车站布局有路中式和路端式。

1) 路中式车站。车站设置于路段中部,需增设人行过街横道或立体人行过街设施以便于乘客进出车站。

2) 路端式车站。车站位于路段端头,毗邻平交路口设置,包括平交路口上游、下游两种方式,乘客可结合人行过街横道(斑马线)进、出站,是最为常

见的设站方式。

3.3.2 站台形式

智轨的车站站台主要有岛式站台和侧式站台。

1) 岛式站台。岛式站台设于对向 2 条车道之间,可集约利用道路空间,便于不同方向的乘客换乘。岛式站台需通过过街设施同两侧人行道及建筑物联系,常配合路中式智轨车道使用。

2) 侧式站台。站台分设对向车道两侧,便于站台同两侧人行道及建筑物的衔接,与道路公交换乘较为便捷,通常不需单独设置人行过街设施,常配合两侧式智轨车道使用。

4 应用案例

4.1 案例概况

已审批的重庆南滨路智轨示范线(以下简称为“南滨路线”)规划方案如图 1 所示。该线北起国际马戏城站,南至苏家坝站,全长约 11.7 km,共设 12 座车站,可与重庆轨道交通 3 号线、6 号线、10 号线及环线换乘(共设置 4 座换乘车站)。

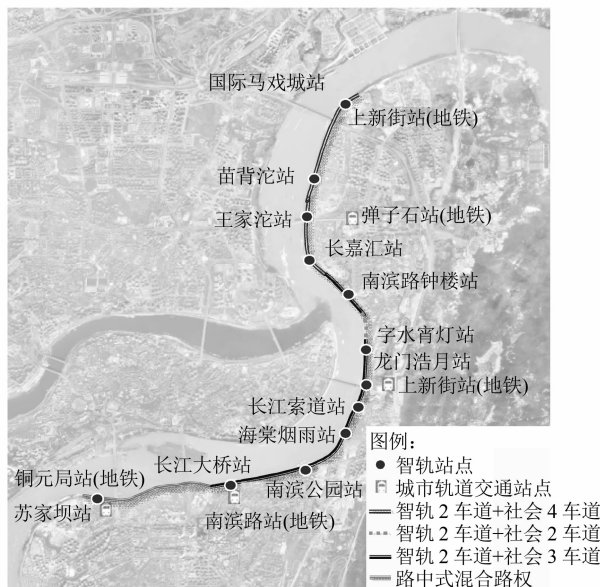


图 1 重庆南滨路智轨规划方案示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Chongqing Nanbin road ART planning

4.2 客流规模

按照南滨路线工程可行性研究报告,近期(2025 年)日客运量为 5.25 万人次,客流强度为 0.45 万人次/(km·d);远期(2035 年)日客运量为 7.78 万人次,客流强度为 0.66 人次/(km·d)。规划建议:近期采用 3 模块编组,发车间隔为 5 min;远期

采用 5 模块编组,发车间隔为 3 min。采用公交一体化票制,兼容公交一卡通,使乘客享有相同折扣及换乘等票价优惠;参考国内有轨电车的票价,推荐采用 2 元的通票价格。

4.3 线路方案

考虑南滨路道路交通条件和景观需要,南滨路线采用滨江单侧车道双线双向布设,通过车道瘦身+局部拓宽的方式,整体上形成 2 条智轨车道+3 条社会

车道的道路断面形式,其中设置了 1 条潮汐车道。
在拓宽难度大、代价高的桥梁路段,采用动态混合路权方式(见图 2),对车道进行汇入管控。在道路增设动态的信号标识,并结合智轨运行调度工作,在智轨列车运行的安全区间(方案中取社会车辆 3 s 行程距离,约 50 m)以外,通过路段动态感应信号控制,准许社会车辆驶入智轨车道,在保障智轨运营安全和效率的同时,提升道路利用效率。

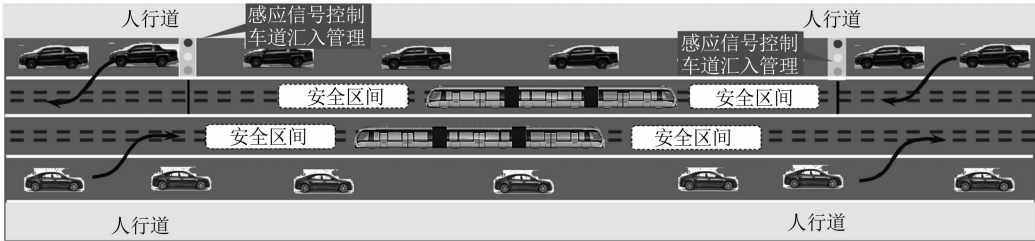


图 2 智轨动态混合路权方案示意图
Fig. 2 Schematic diagram of ART dynamic hybrid right-of-way

4.4 车站方案

智轨车站、普通道路公交车站及出租车停靠站采用一体化设计,实现普通道路公交与智轨的共线、共站台换乘。一体化布局出租车及社会车辆停车港,满足滨江外侧的临时停车需求。典型的智轨车站一体化设计如图 3 所示。

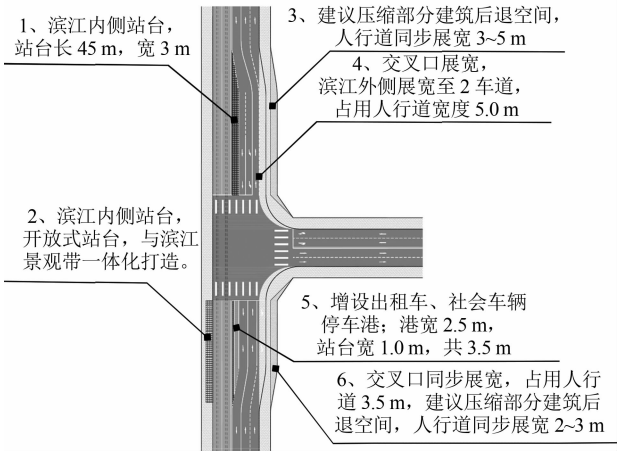


图 3 典型的智轨车站一体化设计方案示意图
Fig. 3 Schematic diagram of typical ART station integration design

4.5 交通管理方案

采用“备案登记+预约”的方式对进出南滨路的车辆进行管控。结合南滨路停车位供给,对利用滨江路开口进出的住宅、办公项目,采用“备案登记”的方式,不对其进出南滨路进行限制。对进出南滨

路消费、旅游休闲的车辆,结合南滨路沿线的停车位供给状态,采用“预约”的方式。仅允许已预约车辆进出管控区域,以控制南滨路车流量。

5 结语

随着城市社会经济的快速发展,居民对高品质的交通出行充满期待,投资更省、建设周期更快、审批约束更小、体验感更佳的中低运量轨道交通将成为居民交通出行的一种新的选择方式。本文探讨了在空间受限、交通敏感性较大的建成区内结合既有道路规划智轨交通的相关问题,对智轨路权方式、线路设置、车站设置等提出了规划思考建议,为其他城市在开展中低运量轨道交通规划中提供参考。

参考文献

[1] 郝小亮,徐成永. 有轨电车可持续发展研究[J]. 都市快轨交通,2019(1):98.
HAO Xiaoliang, XU Chengyong. Research on the sustainable development of trams[J]. Urban Rapid Rail Transit,2019(1):98.
[2] 王远回,宗传苓,刘永平. 深圳市现代有轨电车发展策略[J]. 城市轨道交通研究,2014(6):11.
WANG Yuanhui, ZONG Chuanling, LIU Yongping. Modern tramcar development strategy in Shenzhen [J]. Urban Mass Transit,2014(6):11.
[3] 张旭旻,赵怀明,王大奇. 完整街道与现代有轨电车的路径规划[J]. 都市快轨交通,2019(2):115.

(下转第 27 页)