

宜宾市智能轨道快运系统工程设计及应用

蒋小晴¹, 肖磊¹, 吴雄韬¹, 胡正元², 李树培³, 贺捷⁴

(1. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001; 2. 宜宾市智轨指挥部办公室, 四川 宜宾 644000;
3. 四川川南轨道交通运营有限公司, 四川 宜宾 644600; 4. 中铁四院集团新型轨道交通设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215009)

摘要: 为解决市区日趋严重的交通拥堵、优化城区交通结构、提升城市形象, 四川省宜宾市规划了7条线路、共计156.9 km的智能轨道快运系统(ART)交通线网, 其中的T1线是宜宾市, 同时也是全球第一条ART商业化运营线路。宜宾智轨T1线贯穿老城区、长江两岸、工业新区, 接驳交通枢纽, 其城市中运量交通特征鲜明、交通管理方法创新灵活、线路后期运营效果良好, 很好地反映了ART作为城市中运量交通应用的特点及优势。文章以该线路为背景, 详细阐述了ART在线路规划、设计施工、交通组织、运营管理方面的探索成果, 为后续ART的市场化应用提供可参考复制的工程范例。

关键词: 智能轨道快运系统; 交通组织; 信号优先; 运营管理

中图分类号: U121

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)01-0105-08

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.01.019

Engineering Design and Application of the Autonomous-rail Rapid Transit in Yibin City

JIANG Xiaoqing¹, XIAO Lei¹, WU Xiongtao¹, HU Zhengyuan², LI Shupe³, HE Jie⁴

(1. CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 2. Yibin City ART Headquarters Office, Yibin, Sichuan 644000, China; 3. Sichuan Chuannan Rail Transit Operation Co., Ltd., Yibin, Sichuan 644600, China; 4. New-type Transit Design and Research Institute of China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract: In order to solve the increasing urban congestion problem, optimize the urban traffic structure and enhance the attractiveness of city, it planned seven lines, a total of 156.9 kilometers traffic network of autonomous-rail rapid transit (ART) in Yibin City of Sichuan Province. Among all 7 lines, Yibin T1 line is the first commercial operation ART line in the world. Yibin T1 line runs through the old town area, throat area of bridges, new industrial area and transportation junction. The T1 line is well approved the advantages of the ART in the application of the traffic volume in the city by the performance given below: distinct feature of the traffic middle volume in the city transportation system, feasible traffic management method, good operation result in late period. This paper took the T1 line as the background to elaborate the following exploration result of ART: alignment planning, design and construction, traffic organization, operation management. It is a referable and reproducible engineering sample for the subsequent market application of ART.

Keywords: autonomous-rail rapid transit(ART); traffic organization; signal priority; operation management

0 引言

伴随着我国城镇化的快速发展, 交通拥堵已成众多大中城市的固疾。为此, 各城市都积极响应“公交优先”

的战略方针, 致力于构建多元化、立体化、现代化的城市公共交通体系^[1]。宜宾市位于四川盆地南缘, 处于金沙江、岷江和长江的三江交汇处, 素有“万里长江第一城”之称。因宜宾市经济的快速发展, 且其处于多山地带, 受到三江六岸的分隔, 其交通拥堵情况日趋严峻, 特别是老城区及过江桥道路网中绝大部分路段已接近饱和, 道路拥堵严重。为优化城市交通结构, 支撑宜宾

收稿日期: 2019-12-18

作者简介: 蒋小晴(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事交通系统集成技术研究。

基金项目: 湖南省科技重大专项(2017GK1010)

“川南经济副中心”规划发展,综合宜宾的人口规模和财政负担能力后,市政府规划引入中运量轨道交通制式作为城市主干运力。

近年来,面对社会的实际需求,城市中运量交通呈现出多制式、立体化的发展趋势。同时,由于我国的交通环境迥异且存在运用经验不足等原因,所引入的传统中运量城市轨道交通制式也大多处于应用磨合期,存在着运输能力、成本投入、线路调配等方面问题,表现出诸多的“水土不服”现象^[2-3]。智能轨道快运系统(autonomous-rail rapid transit, ART)具有运量大、快速准点、节能环保的轨道交通特征,同时凭借无轨无网的技术特征继承了道路交通运营灵活、适应性好、基础设施建设少、建设成本低、性价比高等优势且无需新建跨江桥梁^[4],受到了宜宾城市管理者的青睐。

宜宾市于2018年上半年通过了《宜宾市智能轨道快运系统线网规划》,其涉及7条线路,总长156.9 km。其中宜宾智轨T1线于2018年10月开始施工建设,并于2019年12月5日全线开通试运营,是全球首条商业化运营的ART线路。该线路贯穿城市中心老城区、通行既有跨江桥梁、串联工业新城、接驳交通枢纽,是宜宾市区最重要的客流通道之一;其路权形式因地制宜,以半专用路权为主,桥梁咽喉段采用混合路权;沿线交通组织根据道路资源及通行量灵活调整,实用且高效。宜宾智轨T1线聚集了我国城市多种典型交通应用场景,具有很好的代表性,其顺利开通反映了ART对我国城市交通良好的适用性,对其他城市中运量交通组织也有一定的借鉴意义。

本文以宜宾智轨T1线商业应用为背景,总结了ART在线路规划、设计施工、交通组织、运营管理方面的经验,为后续ART的建设提供“可复制、可推广”的应用模式,加快其推广应用。

1 线路设计

宜宾市是一座典型中等规模城市,管辖3区、7县,市区规划建设用地140 km²。截至2018年末,其中中心城区常住人口117.7万。根据《宜宾市城市总体规划(2013-2020年)》,宜宾市中心城区2020年规划形成“一城四区、三江多组团”的组合型带状城市。宜宾市2018年地区生产总值(GDP)实现2 026.37亿元,比上年增长9.2%。随着宜宾市经济的快速发展,其交通拥堵情况日趋严峻,急需建立起与其经济及社会发展匹配的现代化交通体系。

宜宾市智轨交通T1线经长江大桥串联了宜宾市近

期重点建设区域——南岸组团及临港组团,可满足规划期南岸主城区与临港新区之间客运出行需求。该线路是一条覆盖城市发展主轴之间主要客流走廊、加强长江两岸之间联系的中运量骨干线路,是宜宾市城市公共交通体系的重要组成部分;此外,T1线连接宜宾高铁西站、临港汽车站等对外客运枢纽,是宜宾市沟通内外的纽带。

宜宾市智轨交通T1线项目工程分为主线与支线。主线全长16.1 km,其中地面线15.7 km,高架线约0.4 km;共设站14座,均为地面站,平均站间距约1.1 km;线路起自成贵宜宾西站,沿南八路→金沙江大道→叙府立交→叙府路→蜀南大道→长江大道→长江大桥→长江北路走行,止于嘉信路西侧的企业服务中心站,串联起宜宾对外交通重要枢纽高铁宜宾西站、赵场综合服务中心、南岸CBD、临港新区白沙组团和轨道交通产业园等重要城市节点。支线全长约1.6 km,设站2座,均为地面站,站间距约1.2 km;线路起自主线长翠路站,沿长翠路走行,止于峥嵘路南侧的白酒学院附近,串联起临港大学城与T1线主线^[5]。具体线路走向如图1所示。



图1 宜宾智轨T1线路概况
Fig.1 Yibin ART T1 line profile

ART通常采用地面的敷设方式,主要通过借用原有市政主干道路运行。在智轨T1线宜宾西站,为实现与高铁站无缝接驳,设计有一段0.4 km的新建专用跨线桥;为保障ART的运行效率,T1线路总体采用了“区间专用路权、交叉口优先通行”的半独立路权形式;同时,考虑到宜宾长江大桥交通咽喉区道路资源紧张的现状,在该区间段采用与社会车辆混行的路权形式。

为提升智轨线路运行的安全性及旅行速度、减少对智轨沿线其他道路交通的影响、方便首末折返线布置,智轨T1全线采用路中敷设方式;同时,结合沿线道路路况,16座车站均采用中央岛式站台设计。在T1线路中,乘客进入路中站台方式有平面过街式及立体过街式。根据站点路口人流量集中程度及周边道路条件,沿线的时代广场、紫金城、龙兴路3个站点设计有地下通道,解决了乘客以立体方式进出车站及过街问题;其余站点都

设置于交叉路口附近，借用原有人行横道平面过街。宜宾 T1 线地下通道过街方式效果如图 2 所示。



图 2 地下通道过街方式效果图

Fig.2 Design sketch of street passing way for underground passageway

2 系统方案

基于宜宾智轨 T1 线的总体规划，并综合考虑线路条件、投资额度、运营效果等因素，由业主方、设计方、机电供应商及宜宾市政府主管部门确定了项目线路基建设计及机电配置方案。

2.1 基建工程

由于 ART 的无轨无网特性，线路建设中主要涉及的基建部分为车站及车辆段两项工程。

2.1.1 车站

线路沿道路中央敷设，站台设置于道路中分带中，岛式站台宽度不小于 4 m（各站台具体宽度结合中分带宽度设定）。站台一般采用钢结构设计，使用年限为 50 年；站台采用半封闭式设计，考虑到后续车辆编组增加，有效站台区设计为长 55 m。在站台靠近路口一端设置坡道及乘客通道与地面人行横道相接，通过坡道及地面人行横道解决无障碍通行问题。乘客通过地面人行横道（信号控制）过街及进出站，车站靠近路口一侧设置有售检票区。站台边缘至线路中心线水平距离 1 450 mm，站台台面至路面高度 300 mm。宜宾智轨 T1 线站台平面布置如图 3 所示。

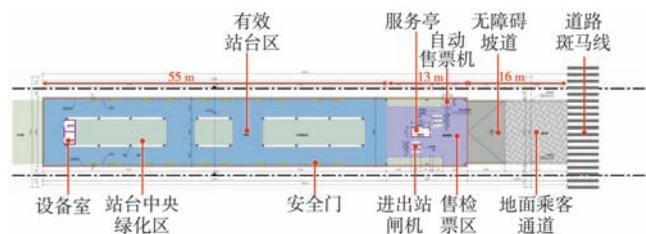


图 3 站台平面布置

Fig.3 Layout plan of the ART station

2.1.2 车辆段

全线设车辆段一座，即临港车辆基地，位于主线轨道交通产业园东侧。考虑到与后建 T4 线共用车辆段二期用地，车辆段占地总面积约 14.64 hm²，段址东西向

长约 652 m，南北向宽约 225 m。T1 线临港车辆基地主要承担以下任务：

- (1) 工程全部配属车辆的定临修、换轮、运用、停放、列检、双周检、三月检、车辆洗刷和清扫及定期消毒工作；
- (2) 工程事故列车的救援工作；
- (3) 工程全部区段各系统的维护、保养工作；
- (4) 车辆基地内设备、机具维修、整备工作；
- (5) 车辆基地的行政管理和技术管理。

运用库从南至北依次布置停车列检库、周月检库及辅跨，采用贯通式布置。停车列检库采用 1 线 3 列位设置，共计 8 线 24 列位；月检库按 1 线 1 列位布置，共设置 2 列位。检修库从南至北依次布置吹扫库、静调库、定临修库及辅助车间，设置吹扫线 1 条、静调线 1 条、定临修线 3 条，具体布置如图 4 所示。

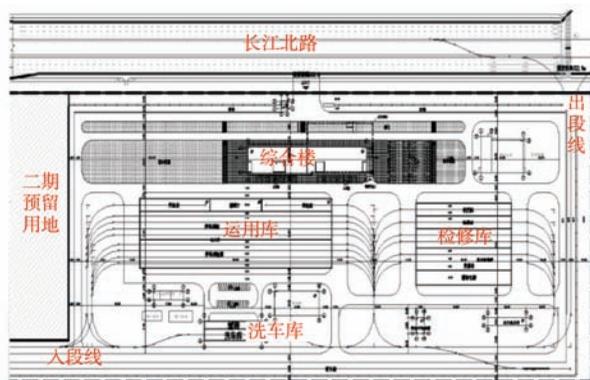


图 4 临港车辆段平面布置图

Fig.4 Layout plan of the ART depot

2.2 机电配置

作为交通运输的主体，ART 机电系统包含运载工具（智轨电车）和通信、信号、供电等相关地面机电系统，如图 5 所示。智轨电车的各个子系统有机融合，确保整个运输系统的安全、高效和智能运行。

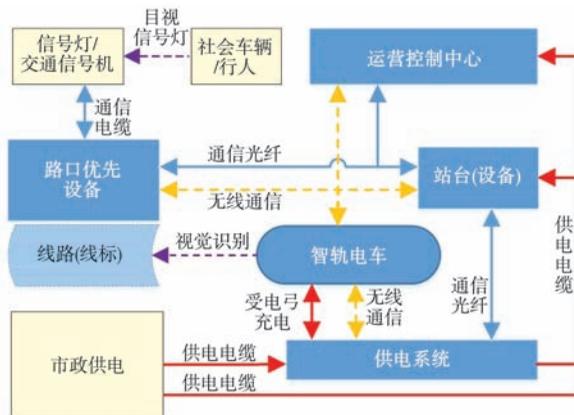


图 5 智能轨道快运系统框架

Fig.5 Topology of the ART

2.2.1 车辆

智轨电车是一种采用全轴转向、轨迹跟随控制技术，

通过主动安全、车载信号、机器视觉控制等对车辆行驶进行电子约束的全电力驱动、沿虚拟轨道运行的铰接式胶轮车辆。T1线所选用的三编组智轨电车采用两动一拖的编组形式(=Mc1+Tp+Mc2=),如图6所示。其中,Mc1与Mc2车厢带司机室模块且配备有驱动系统;Tp车厢无驱动装置,受流装置被安装在Tp车厢;+表示车间连接装置(含铰接装置和贯通道);=表示救援车钩的安装接口。



图6 车辆编组图

Fig.6 Diagram of the autonomous-rail rapid tram marshaling

智轨电车身质量轻、转弯半径小、爬坡能力强,这些性能很好地匹配了T1线路的道路及桥梁使用条件,如表1所示。

表1 智轨电车与T1线路的性能匹配表

Tab.1 Matching relationship between autonomous-rail rapid tram performance and T1 line condition

项目	线路指标	智轨电车性能
竖曲线半径/m	600	满足
最小平面曲线半径/m	正线30,车辆段20	正线20,车辆段15
线路最大坡度/%	>5.5	10
最高运营速度/(km·h ⁻¹)	>60	70
满载质量/t	<55	54
单轴荷载/t	<9	8.5
车站线路坡度/%	>2	5
供电方式	非接触式	车载动力电池

根据线路客流的预测结果^[6],在运营初期(2019~2022年),全日客运量将达到5.23万人次,主线高峰客运量为0.89万人次/h,最大断面流量为2017人;支线高峰客运量为0.15万人次/h,高峰小时最大断面流量为783人。根据运量要求,初期线路发车密度为12对/h,发车间隔为5min;需要的车辆配置数为21列,其中运用车18列、备用3列。

2.2.2 地面供电系统

地面供电系统由外部电源、充电系统、综合自动化系统等部分组成。根据智轨电车特性,充电制式采用首末端车站架空充电轨充电、区间及中间车站由车载储能电源牵引的供电型式。根据车辆在运营中的牵引耗电情况,在T1主、支线路的首末站点(宜宾西站、智轨产业园站和白酒学院站3处)设计有牵引供电点。牵引用电负荷为二级负荷,采用两路电源,一主一备或互为备用。图7所示为智轨产业园站充电区。

充电点箱式变压器从城市电网中引入10kV高压交流电源,通过充电站对中压供电网络中的10kV交流电

进行降压、整流后,再经过DC/DC斩波处理,输出可控的直流电压/电流,为车辆储能装置充电,以保证列车的安全、可靠运行。



图7 智轨产业园站后充电区

Fig.7 Charging station on extending line of the ART industrial park station (terminal station)

2.2.3 通信系统

通信系统为智轨电车运营、维护、管理服务,是行车指挥、运营管理的必备工具。为满足运营管理的需要,通信系统必须迅速、准确、可靠地传送各种运营管理信息。T1线通信系统构架借鉴了轨道交通的通信系统建设模式,由传输系统、电话系统、无线通信系统、视频监控、乘客信息系统、广播系统、时钟系统、电源系统及接地装置等子系统组成^[7]。ART综合无线通信系统架构如图8所示。

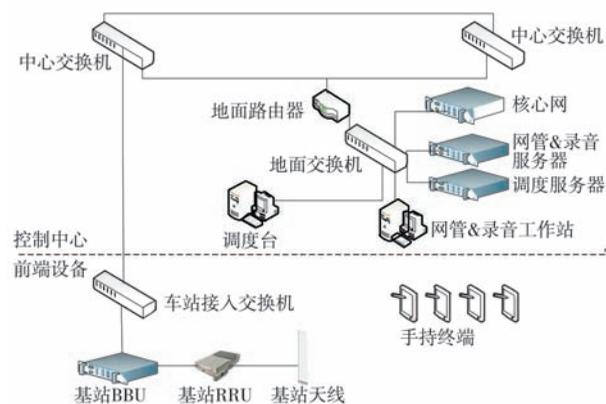


图8 ART综合无线通信系统架构

Fig.8 Topology of the ART integrated wireless communication system

2.2.4 信号系统

信号系统包含有中心调度管理子系统、路口信号控制子系统及车载辅助子系统。调度管理系统能够与车载信号系统通信,实时监测所有线路车辆运行位置及状态。车载信号系统通过列车定位、测速及人机交互实现辅助司机驾驶功能。中心调度管理子系统以列车司机目视路况驾驶为前提,司机对列车安全运行负责。路口信号优先控制系统能与车载信号系统、道路交通信号控制机实时通信,实现列车在路口处的优先通行。列车以地面信号机显示作为行车凭证。信号系统整体构架如图9所示。

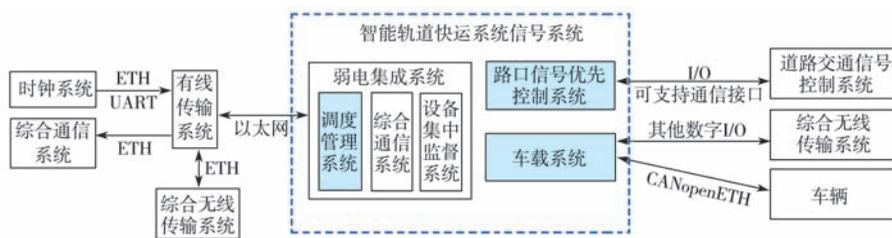


图9 智轨信号系统构架
Fig.9 Topology of the ART signal system

3 交通组织优化

由于T1线路采用地面的敷设方式，智轨电车与城市道路其他交通工具处在同一空间环境之中，因此通过交通设计手段与交通管理措施处理好智轨电车与行人、机动车等其他方式交通流之间的关系，合理分配路面空间的交通资源，对充分发挥其轨道交通的运能优势、减少道路改造工程量、提高沿线交通出行的服务水平具有重要意义。针对线路中的交通节点（老城区、长江大桥咽喉区及宜宾高铁枢纽接驳），市交管部门协同交通设计单位对区域既有交通情况进行评估，并通过仿真模拟验证，优化区域交通组织，确保ART进入后的交通整体顺畅^[8]。

3.1 老城区交通组织优化

根据前期调查数据，宜宾老城区的路网道路狭窄（多为双向四车道）且车流量大，道路拥堵严重，绝大部分路段已经趋于饱和（老城区路网平均饱和度达到了0.89），高峰时段老城区主要道路平均车速为12.4 km/h。此外，老城区线网的部分交叉口没有进行过优化修整，绝大部分交叉口的服务水平偏低，只有部分主要交叉口的服务水平为D级，其余的主要交叉口服务水平均在E级或以下，老城区交通顺畅运行的阻力较大。如图10所示，在智轨T1线运行的叙府路以及长江北路（宜宾大道以西）交叉口服务水平在D以上；南岸东区交叉

口平均饱和度0.79，叙府路交叉口平均饱和度为0.88。智轨T1线开通后，如果简单地从修建车道与站台占用道路资源来看，虽然沿线客运能力有6%~20%的增加，但道路通行能力将下降20%~30%，这必然需要对沿线的交通组织进行优化提升。

宜宾市交警部门协同交通设计单位采集区域内的道路网与交叉口设施现状、交通流量与运行状态，通过建立的交通模型深入分析了多种优化方案。在保障智轨电车运行可靠性的前提下，主要采取了分流过境交通、节点扩容、取缔路内停车、完善配套设施、沿线全部信号控制及直左分离等方案，具体如下表2所示。

表2 宜宾T1线交通组织优化方案
Tab.2 Optimization plan of Yibin T1 line traffic organization

序号	方案	措施
1	分流方案	叙府立交与长江大桥北桥头采用尾号限行；叙府路-南广路东进口出口道、田园街到航天路南侧做非机动车专用道，禁止机动车驶入；蜀南大道-叙府路东进口、航天路-叙府路东进口采用只准右转方案；南广路(龙湾路到商贸路)段单行；叙府路沿线禁左
2	节点渠化拆除	渠化节点31个，拆除人行道及绿化的交叉口11个
3	道路改造	叙府路(蜀南大道至戎州路)北侧路段拓宽至两车道；叙府路(戎州路至酒都路)段南侧拓宽至两车道；长江大桥北桥头匝道拓宽；长江南桥头富隆多超市道路打通至长江大道
4	立体过街设施	长江大桥南桥头设置过街天桥一座；长江大桥北桥头设置地下通道一座
5	公交调整	叙府路改造公交站6个为港湾站；叙府路沿线调整5条公交线
6	泊车位	取消交通性主干道、ART周边道路等对交通影响较大的路内泊车位499个
7	辅助交通设施	增设违停抓拍113对；增设中央隔离护栏5179m，行人景观隔离护栏3100m；增设交叉口电子警察18套；增设诱导屏13套；增设路段人行过街信控点位7处，路口信号灯10处

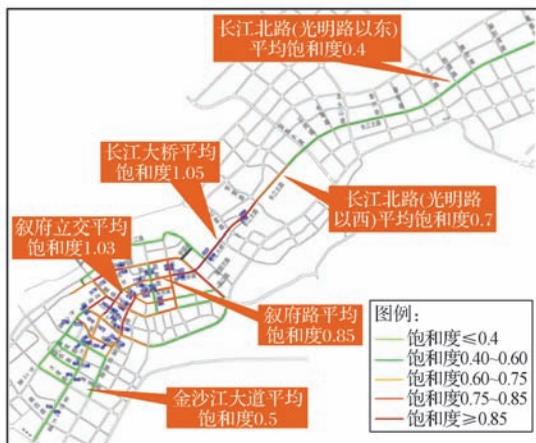


图10 宜宾智轨T1线影响范围内路段饱和度示意图
Fig.10 Diagram of road section saturation under the effect of Yibin ART T1 line

目前，上述交通组织优化措施大部分已得到了落实。根据实际监测，叙府路交通压力降低，平均饱和度下降了10%；周边道路交叉口饱和度有所提升，但还在可接受的范围。

3.2 长江大桥交通组织优化

两岸联动、跨江发展是跨江城市普遍的发展模式，

过江通道的交通拥堵同时也是制约跨江城市发展的主要因素之一^[9]。宜宾长江大桥是连接老城区与临港经济区的重要通道，桥面宽度为 22.5 m，设置双向四道，早晚高峰时段巨大的车流量造成长江大桥长时间拥堵，形成通行的咽喉口，南桥头通行饱和度达到 1.05。在桥面运行智轨电车后，由于智轨电车占用了道路资源，如果没有优化的交通组织方案，过桥交通情况将会更加严峻。

为了提升过桥路段的通行效率、提高整体交通服务水平，通过采集宜宾长江大桥各上、下桥交叉口及桥面通行的车流信息，分析了沿线的进出口路面设施、桥梁断面等制约因素，并对宜宾长江大桥加入智轨电车通行后的交通组织进行仿真分析，得出以下解决方案：

(1) 桥面社会车辆与智轨电车保持车距进行共线行驶，桥面全路段禁止变道，智轨电车始终行驶在车流前端，货车全部行驶外侧车道，以保障混行时的智轨电车行车。在全路段桥面安装变道抓拍设备，对违规车辆进行处理。

(2) 长江大桥上南、北桥头上下桥均禁止左转，采取绕行策略，如图 11 所示。



(a) 南桥头禁止通行策略 (b) 南桥头绕行策略



(c) 北桥头禁止通行策略 (d) 北桥头绕行策略

图 11 宜宾长江大桥上下桥禁左交通规则

Fig.11 Turing-left forbidden of entry/exit of Yibin Yangtze River Bridge

(3) 长江南桥头叙府路主线直行与上桥匝道右转车辆轮流放行；长江北桥头长江北路主线直行与上桥匝道右转车辆轮流放行，增强长江大桥两端流出能力，控制桥面车流低于饱和状态，维持车流车速稳定，保证 ART 车辆行驶时间可靠性。

(4) 信号优先控制策略。在上下桥的路口的交通灯处设立信号优先装置，通过感应信号控制的方式保证智轨电车车辆到达长江大桥南北两端时优先进入大桥，从而保证智轨电车车辆与社会车辆的安全距离。

通过多措并举，智轨线路开通试运行后，长江大桥过桥交通通行效率得到有效提升。根据现场统计，试运营期间，长江大桥高峰期每小时单向通行能力提高 18%，每小时多通过 450 辆车；通行高峰期时间缩短 30~50 min；桥面交通事故降低 98%。可见，该方案在保障了智轨电车在大桥上快速通行的同时，也兼顾了社会车辆的通行效率。

3.3 交通枢纽接驳

宜宾成贵高铁西站枢纽为宜宾沟通外部的重要通道。为达到与高铁站便捷换乘的效果，考虑将起点站设于高铁站房东侧地块的匝道内，乘客通过扶梯直接前往高铁站落客平台；而线路向西下穿匝道后，在站房东侧地块内向东南展线，上跨金沙江大道至路中绿化带，沿金沙江大道向北高架走行，在南八路交叉口南侧逐渐落回地面，然后沿金沙江大道路中向北地面走行。该方案纵断面如图 12 所示。此外，通过天桥与高铁站前落客平台相连，形成集高铁、长途汽车和公交大巴联动的综合枢纽。

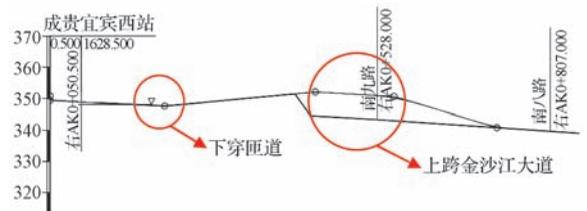


图 12 跨线桥纵断面图

Fig.12 Vertical section diagram of overpass bridge

3.4 信号优化

结合现状和规划路网，智轨 T1 沿线一共 26 个主要交叉口均为平面交叉口，其中信号控制交叉口为 21 个。智轨电车试验线工程沿线道路等级结构如图 13 所示。

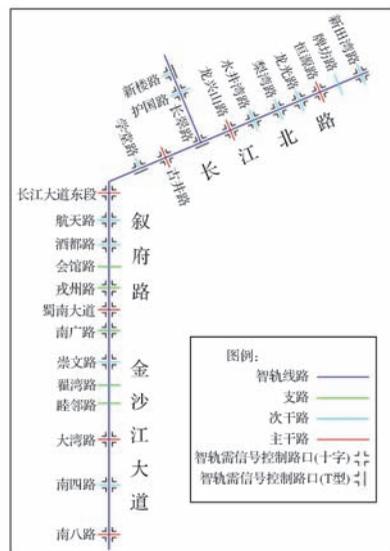


图 13 宜宾智轨 T1 线全线交叉口示意

Fig.13 Intersections of Yibin T1 Line

由于智轨 T1 线采用的是半专用路权形式，为了实现智轨电车快速、准时通行的目标，需要通过长距离无线通信的方式（long term evolution, LTE）实现与交叉路口信号机联动；并设立专门的智轨信号灯，实现对现有的交叉口单点信号控制方案改善及信号协调控制，提升道路交通系统的运行效能^[10]。信号优化的具体措施如下：

(1) 基于接入管理的基本原则，对于道路红线较窄、车道较少、等级较低相交道路，不开放轨行区；将相交道路路口改为右进右出的组织形式，以减少横向道路交通流对智轨电车及沿线交通的干扰。

(2) 考虑智轨电车车辆运行速度、车辆靠站停车等因素的情况下，通过向智轨电车提供沿线道路各交叉路口的信号协调控制，提高智轨电车到达各交叉口遇到绿灯的概率，实现智轨电车的被动优先控制。此方案主要用于道路服务水平较高的金沙江大道段及长江北路段，通过采取交叉口协调控制，辅助以相对信号优先措施，使得智轨电车运行时最大可能处在绿波带上。

(3) 通过插入相位、延长绿灯和缩短红灯 3 种信号优先方案实现主要单点信号主动优先控制。南岸城区段交通量较大、单行道较多，交通现状情况复杂，不利于协调控制，因而采用交叉口单点控制。

4 运营组织

2019 年 2 月，宜宾市政府出台了地方管理办法《宜宾市中心城区智能快运系统管理办法（试行）》，用来确立运营管理要求、车辆备案管理制度、智轨电车行驶路权、交通事故责任判定原则等相关政策的实施，保障了智轨电车在宜宾既定道路运行的合法合规性。

4.1 运营机构设置

为顺利推动智轨 T1 线建设及开展后续运营工作，由四川省铁投公司联合四川路桥集团、宜宾市城市与交通投资集团、九冶建设公司、宜宾公交公司共同出资，于 2018 年 12 月 28 日筹建了四川川南轨道交通运营有限公司。本着运营管理系统应机构精简、管理层次少、分工明确和办事效率高的原则，四川川南轨道交通运营有限公司初步规划组织机构如图 14 所示。

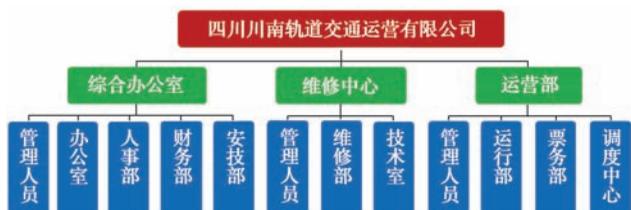


图 14 四川川南轨道交通运营有限公司组织机构示意图

Fig.14 Organization framework of Sichuan Chuannan Rail Transit Operation Co., Ltd.

4.2 售检票系统

车下售检票方式有利于提高旅客乘车效率，便于线路网络化运营收费，但需配备售检票设施，增加车站规模。为改善旅客出行乘车环境，提高公共交通服务水平及效率，在车站设有售检票机、站台门等设施。宜宾智轨 T1 线采用的是车下售检票、计程票价制模式。

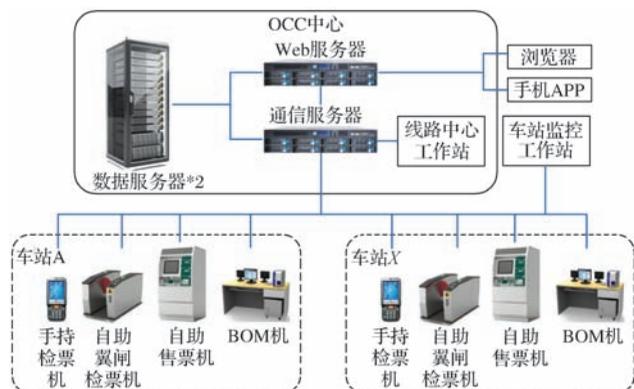


图 15 售检票系统拓扑图
Fig 15 Topology of the AFC system

(1) 车下售检票。通过封闭式车站设计，在站台上通过售票机购票或储值票完成购票、通过闸机非接触式付费同时完成检票。

(2) 车票形式。车票分为单程票和储值票。储值票不回收，可充值长期使用；其采用非接触式 IC 卡及“智轨通”APP 扫码经人脸识别后通过闸机进出站并完成收费。通过现金及网络支付的在站台取得当次单程票，单程票一次使用有效，出站后票据由闸机回收。

4.3 线路运营情况

自基础设施建设及系统联调联试、空载试运行后，宜宾智轨 T1 线先开段 10 km 于 2019 年 6 月 10 日实现载客试运行，12 月 5 日全线开通运行、12 月 31 日实现收费试运行。从 2019 年 3 月 29 日至 12 月 31 日，共运行智轨车 13 910 对次，累计运行 31.28 万列公里，乘客 213 万余人次。该线目前每天开行列车主线 74 对，支线 46 对。全线运营时段为 6:30~21:30；高峰时段发车间隔为 10 min；平峰时段发车间隔为 15 min。全线开通后，T1 线路设置车辆最高运行速度 55 km/h，正线全程耗时约 40 min，平均旅行速度为 24.8 km/h，相较宜宾传统公交线路全程耗时节约 25 min；列车运行图兑现率 98.8%、发车正点率 98.3%。ART 的大运量、舒适、准时、快速等特点已得到宜宾市民广泛认可。

参考有轨电车线路试运营条件的关键指标^[11]，提取智轨试运营前 20 天的运营情况进行对比，结果如

表3所示,满足相关指标要求。

表3 宜宾智轨 T1 线运营指标对比结果
Tab.3 Benchmark of Yibin ART T1 line operation indicators

序号	对标项目	指标要求	智轨 T1 线运营情况
1	列车运行图兑现率	≥ 95%	98.8%
2	列车发车正点率	≥ 95%	98.3%
3	列车退出正线运营故障率	≤ 1 次 / 千列公里	满足
4	车辆系统故障率 (因车辆故障造成终点到站晚点 5 min 以上的事件次数)	< 1 次 / 千列公里	满足
5	调度系统故障率	≤ 2 次 / 万列公里	满足
6	供电系统故障率	≤ 0.5 次 / 万列公里	满足
7	非限速情况下旅行速度	≥ 20 km/h	24.8 km/h
8	屏蔽门故障率	≤ 1 次 / 万次	满足

5 结语

宜宾智轨 T1 线是一条具有众多典型城市中运量应用场景的线路,其实际运营效果很好地体现了 ART 在城市交通应用中的优势:

(1) 建设成本低。宜宾智轨 T1 线工程概算投资 11.28 亿元,其中智轨项目直接投资 9.4 亿元,配套的城市基础设施提升建设投资 1.88 亿元。线路平均每公里投资 0.637 2 亿元,约为其他中运量轨道交通制式建设成本的 1/3。

(2) 建设周期短。宜宾市智轨交通 T1 线从启动到首开段 10 km 开通载客体验,历时 12 个月;而从启动到全线开通试运营,历时 18 个月,建设周期约为其他中运量轨道制式的 1/2。

(3) 适应性强、运营灵活。ART 的“无轨无网”特性顺利地实现了线路贯穿老城区、通行既有长江大桥、串联临港工业新城,无缝接驳宜宾高铁交通枢纽,联通市民的生活、工作、外出的出行通道;同时,可结合道路实际,灵活调整从半专到混合的多种路权形式及交通组织。

宜宾智轨 T1 线的顺利开通,同时也标志着 ART 在

合规性、城市适应性、产品可靠性等方面通过了全方位的实践和检验。

T2 和 T4 线的建设即将开启,成网后的宜宾智轨中运量骨干交通线将大大提升处于 ART 沿线乘客的可达性,线网对客流的覆盖率进一步增加,由 ART 承载的中运量公共交通吸引力将再上台阶,最终将实现由 ART 承担城市客运干线及传统公交为支线的有机公共交通体系。此外,ART 是一个系统工程,在其后续的应用中,可进一步借助目前的物联网技术,开展智能化升级,为乘客提供更加便捷、舒适、智能的出行体验;同时,也需持续优化线路交通结构,开展动态优先路权的研究,让道路的通行能力得到最大化运用,满足城市的社会、经济可持续发展的需求。

参考文献:

- [1] 韩宝明,金天凤,方恒堃,等.中国城市轨道交通系统多制式发展综述[J].都市轨道交通,2018,31(1):45-50.
- [2] 刘高原,李鸿春,冯爱军.中国有轨电车行业发展分析与建议[J].都市轨道交通,2019,32(1):102-109.
- [3] 夏春生.新型中运量城市公共交通系统的分析与实践[J].城市轨道交通研究,2018,21(5):95-100.
- [4] 张恒.浅析城市智能轨道快运系统设计要点[J].智能城市,2018,4(4):106-107.
- [5] 中国新闻网.全球首条智能轨道快运系统运营线在四川宜宾开通[EB/OL].(2019-12-05)[2019-12-15].<http://www.chinanews.com/gn/2019/12-05/9025806.shtml>.
- [6] 中铁四院集团新型轨道交通设计研究院有限公司.宜宾市智轨交通示范线工程可行性研究[R].苏州:中铁四院集团新型轨道交通设计研究院有限公司,2018.
- [7] 赵帅.智轨信号系统关键技术方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(5),56-61.
- [8] 成都天佑衡致交通规划设计有限公司.宜宾市智能快运系统 ART(T1)线项目交通组织规划编制[R].成都:成都天佑衡致交通规划设计有限公司,2018.
- [9] 夏晶,黄承凤,宋融秋.跨江城市交通拥堵的成因与治理[J].重庆交通大学学报(社会科学版),2017,17(4):41-45.
- [10] 谭俊桦,肖习雨,张恒,等.智轨电车路口信号配时方法研究[J].计算机时代,2018(6):23-25,28.
- [11] 全国城市客运标准化技术委员会(SAC/TC 529).有轨电车试运营基本条件:JT/T 1091-2016[S].北京:人民交通出版社,2016:2-3.

广告目录:

中车株洲电力机车研究所有限公司城市发展事业部(封二);中车株洲电力机车研究所有限公司城市发展事业部(后插1,2);四川川南轨道交通运营有限公司(后插3);株洲中车时代电气股份有限公司(后插4);株洲时代新材料科技股份有限公司(后插5);中车时代电动汽车股份有限公司(后插6,7);登钛电子技术(上海)有限公司(后插8);湖南中车时代通信信号有限公司(后插9);南京菲尼克斯电气有限公司(后插10);安徽省康利亚股份有限公司(封三);中车株洲电力机车研究所有限公司城市发展事业部(封四)