

# 智能轨道快运系统路权控制技术研究

刘光勇<sup>1</sup>, 石阳阳<sup>1</sup>, 刘伟康<sup>2</sup>, 刘浏<sup>2</sup>, 贾碧胜<sup>3</sup>, 罗云峰<sup>4</sup>, 张恒<sup>1</sup>

(1. 湖南中车时代通信信号有限公司, 湖南长沙 410005; 2. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南株洲 412001;  
3. 四川川南轨道交通运营有限公司, 四川宜宾 644600; 4. 宜宾市公安局交通警察支队, 四川宜宾 644600)

**摘要:** 针对城市道路资源的有限性、公用性、十字路口多等特点, 开展在保证智轨电车运行效率的同时合理利用城市道路资源的智能轨道快运系统 (autonomous-rail rapid transit, ART) 路权控制技术研究是十分必要的。文章从合理使用城市道路资源、公共交通优先的角度出发, 首先介绍了路权的概念, 然后研究了智轨电车在半专用路权及混合路权场景下的运行情况, 提出了“移动路权系统+路口信号优先系统”的解决方案, 并就需要重点关注的技术项点进行了说明。采用该方案, 可在保证智轨电车运行效率的同时尽可能减少其对城市道路资源的占用, 实现城市道路运输效率的提升。

**关键词:** 智能轨道快运系统; 移动路权系统; 路口信号优先系统

中图分类号: U121; U49

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)01-0093-07

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.01.017

## Research on the Way Right Control Technology for Autonomous-rail Rapid Transit

LIU Guangyong<sup>1</sup>, SHI Yangyang<sup>1</sup>, LIU Weikang<sup>2</sup>, LIU Liu<sup>2</sup>, JIA Bisheng<sup>3</sup>, LUO Yunfeng<sup>4</sup>, ZHANG Heng<sup>1</sup>

(1. Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Changsha, Hunan 410005, China; 2. CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 3. Sichuan Chuannan Rail Transit Operation Co., Ltd., Yibin, Sichuan 644600, China; 4. Traffic Police Detachment of Yibin Public Security Bureau, Yibin, Sichuan 644600, China)

**Abstract:** The purpose of the way right control technology for autonomous-rail rapid transit (ART) is to study the technology of rational utilization of urban road resources while ensuring the operation efficiency of autonomous-rail rapid tram, based on the characteristics of limited, public and multiple intersections of urban road resources. From the perspective of rational use of road resources and public transport priority, this paper introduced the concept of right of way, then studied the operation of autonomous-rail rapid tram in the scenarios of segregated way right and integrated way right, and put forward a solution of "mobile right of way system + signal priority system at intersection", and explained the technical points needing to be focused on. This solution can ensure the operation efficiency of the autonomous-rail rapid tram and occupy the urban road resources as little as possible, and realize the improvement of the urban road transportation efficiency.

**Keywords:** autonomous-rail rapid transit(ART); mobile right of way system; signal priority system at intersection

## 0 引言

智轨电车作为一种城市道路交通运输方式, 其在运行过程中需占用城市道路资源, 与其他交通工具共享道

路使用权。交叉路口作为不同方向的两条及以上道路的分叉处, 是整个城市道路网不可或缺的组成部分<sup>[1]</sup>。对于大多数城市道路来说, 交叉路口是堵车最严重的区域; 在大车流的情况下, 交叉路口的服务水平决定着整条道路的通行能力。因此, 基于道路资源的有限性、公用性、十字路口多等特点, 需要开展智能轨道快运系统 (autonomous-rail rapid transit, ART) 路权控制技术的

收稿日期: 2019-12-10

作者简介: 刘光勇 (1985—), 男, 工程师, 主要从事轨道交通通信信号系统方面的研究工作。

基金项目: 湖南省科技重大专项 (2017GK1010)

研究。

本文从智轨电车路权使用的角度出发,首先介绍了路权的概念,然后基于对智轨电车在半专用路权及混合路权场景下的运行情况,提出了“移动路权系统+路口信号优先系统”的解决方案,该方案可在保证智轨电车运营效率的前提下尽量少地占用道路资源,提高城市道路交通运输效率。

## 1 路权

路权是指交通参与者的道路使用权,是交通范畴内特定的、由交通法规赋予给交通参与者的一定空间和时间内在道路上进行交通活动的一种权利,其包括行驶权、通行权、先行权和占用权<sup>[2]</sup>。

根据路权的专用程度,一般可将路权划分为专用路权、半专用路权和混合路权3类。

专用路权是路权优先的最高形式,即在空间上和时间内对路权绝对专用,与其他交通方式完全隔离。该路权形式下,线路通过能力不受交叉路口限制,车辆行驶速度较高,乘客舒适度、交叉路口的安全性较高,但土建成本较高。

半专用路权需划分专用车道,在空间上和时间内对路权部分专用,与其他交通方式存在平面交叉,需要与其他交通工具共享部分路权。该路权形式下,车辆行驶速度一般,系统运输能力受交叉路口影响,乘客舒适度、交叉路口的安全性一般,土建成本较低。

混合路权时不专门划分车道,与其他交通方式混行,共享道路资源。该路权形式下,车辆行驶速度低,乘客舒适度、交叉路口的安全性低,土建成本低。

专用路权虽然可以较好地保证智轨电车的通行效率,但因占用道路资源多、使用成本高,因此在实际应用中,ART一般采用半专用路权或者混合路权。下面分别对两种路权场景下如何合理地使用道路进行分析。

## 2 半专用路权下的道路使用策略

### 2.1 概述

半专用路权下,智轨电车仅在交叉路口与其他交通工具存在平面交叉,此时合理的路权使用策略即如何保证智轨电车在交叉路口处的有效通行。此场景下,可通过部署路口信号优先系统来实现,在综合考虑交叉路口的交通流情况下给予智轨电车在交叉路口的优先通行权。

路口信号优先系统的功能是根据智轨电车的运行情况,与道路交通信号控制系统一起,实现智轨电车在交叉路口处的优先通行。路口信号优先系统的整体构成如图1所示,主要由车载设备、路侧设备和中心管理设备

构成,图中灰色部分为道路交通信号控制系统设备。

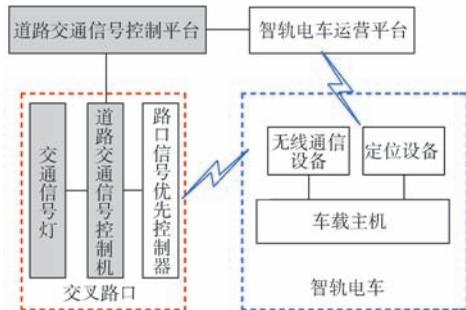


图1 路口信号优先系统结构

Fig.1 Structure of signal priority system at intersection

车载设备通过定位设备可实时获取智轨电车的位置信息,并基于车辆的位置适时地向路侧设备发送优先请求、车辆离去等信息,同时实时向中心设备发送车辆状态信息。车载设备可实时显示所获取的优先通行信息,并可形成速度引导曲线,指导司机驾驶。

路侧设备负责同道路交通信号控制设备的接口,向道路交通信号控制机发送智轨电车优先请求信息,并实时向智轨电车发送道路交通信号控制机的优先状态及交通信号灯灯色等信息,同时向中心设备发送自身运行状态信息。

中心管理设备实时监测车载设备、路侧设备的运行情况,并负责与道路交通信号控制平台的对接,一旦路侧设备发生故障,智轨电车运营平台可向道路交通信号控制平台发送优先请求,实现中心级的优先控制。

车辆通过路口时的优先控制流程<sup>[3]</sup>如图2所示。其中,特别需要考虑车地通信技术选择、定位手段、“允许通行信息”的显示方式<sup>[4]</sup>等问题。

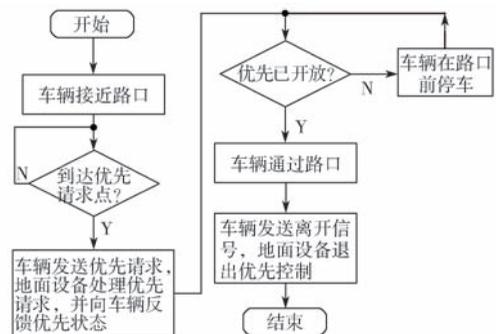


图2 车辆通过路口时的基本流程

Fig.2 Workflow of tram going through intersection

智轨电车线路未设置钢轨,因此不宜在线路上设置应答器、环线等设备,可考虑利用 Zigbee 和 WiFi 等技术来实现车辆与路侧设备的通信<sup>[5]</sup>。另外,智轨电车需要与调度中心保持实时的数据通信,可考虑采用同一种技术实现以上两种通信场景,如采用 LTE (long term evolution) 技术。

路口信号优先系统需要根据车辆的位置适时地发送

优先请求，因此，智轨电车需要对车辆进行定位，为优先请求提供触发时机，可考虑采用GPS、UWB及“差分GPS+惯导”等技术。

对于“允许通行信息”的显示，由于道路交通中的机动车、行人在通过交叉路口时均按照交通信号灯指示通过，智轨电车作为城市道路交通的参与者，同样也需要按照交通指示行车。宜在交叉路口处设置智轨电车专用信号灯，专用信号灯的制式、灯色可参考交通信号灯要求，但显示样式需与常规交通信号灯进行区分。另外，需要重点关注车辆优先请求信息的发送时机及路口信号优先策略问题。

### 2.2 优先请求时机

智轨电车需要在路口合适的位置发送优先请求。道路交通信号控制机在响应优先请求时存在一个最短响应时间问题，其与车辆的动力性能和车速、路段限速和路口限速有关。申请过早，会造成路口绿灯时间的浪费；申请过晚，则会导致智轨电车无法在路口获得及时的优先。图3示出车辆通过路口时需要考虑的检测点。

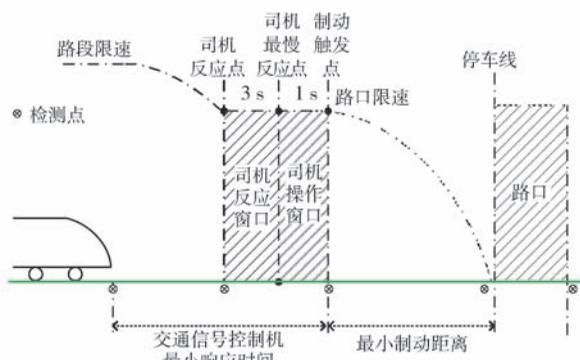


图3 检测点设置示意  
Fig.3 Diagram of detection points setting

可考虑设置5个检测点（图3），从左到右各检测点的用途如表1所示。

表1 检测点说明  
Tab.1 Description of the detection points

检测点	作用	备注
优先检测点	确定何时发送优先请求	该位置根据道路交通信号控制机的响应时间、车辆动力性能及车速等因素确定
提醒制动检测点	提醒司机进行制动	用于路口指示灯未给出允许通行信号的情况
强制制动检测点	可利用该位置进行车辆的强制制动	——
进入检测点	用于检测车辆是否进入路口，也可用于闯红灯检测	——
离去检测点	用于检测车辆驶离路口	检测智轨电车车尾是否通过路口

通常，进入检测点被设置在停车线前，离去检测点

的设置应确保当车辆通过该点时智轨电车整个车身已通过路口。设置优先检测点、提醒制动检测点和强制制动检测点三者的位置时需要考虑车速、路段限速及路口限速等因素。一般智轨电车最高行驶速度 70 km/h，车辆减速度 1.5 m/s<sup>2</sup>，路段限速 40 km/h，路口限速 25 km/h，假设车辆在路段行驶速度可达 40 km/h。基于以上数据，对3种检测点的设置位置进行说明：

(1) 强制制动检测点。智轨电车通过该检测点时开始制动，为保证能够在停车线前停车，该检测点应该设置在停车线前约 16 m 的位置。

(2) 提醒制动检测点。在强制制动检测点的位置基础上，考虑了司机反应时间和动作时间，假设司机反应时间为 3 s，动作时间为 1 s，那么该检测点应设置在停车线前约 44 m 的位置。

(3) 优先检测点。优先检测点的设置除了上述两种检测点的考虑因素外，还与道路交通信号控制机的响应时间有关系。通常，机动车信号灯按照“红→绿→绿闪→黄→红”的灯色变换逻辑进行切换（图4），图4中的各灯色时间<sup>[6]</sup>说明如表2所示。



图4 交通灯灯色变换说明  
Fig.4 Description of traffic light color change

表2 交通灯灯色说明  
Tab.2 Description of traffic light color

灯色	说明
常绿	与路口的大小、车辆在路口的限速、行人过街速度有关系，一般应保证一波行人能够通过路口。通常不小于 6 s
绿闪	绿灯闪烁时间，用于提醒司机绿灯即将关闭，一般设置时间为 3 s
黄灯	用于提醒司机红灯即将亮起，已进入路口的车辆可以继续行驶，并尽快驶离路口；未进入路口的车辆应在停车线前停车。一般设置时间为 3 s
全红	用于清空路口的车辆。一般很少使用；若使用，一般设置时间为 1~3 s

通常，道路交通信号控制系统若在绿灯常亮时间内接收到智轨电车优先请求，可以采用绿灯延时或红灯时间缩短的方式立刻给予智轨电车优先通行权；若在绿闪时间及灯色过渡时间内接收到智轨电车优先请求，不一定在下一个相位就可以给予智轨电车优先通行权，此时有可能需要等待一个交通相位后才能够给予优先通行权。因此，智轨电车信号优先的最长等待时间可被定义为“绿闪时间 + 过渡时间 + 绿灯时间 + 过渡时间”。若绿闪时间和过渡时间均按 3 s 计，绿灯时间按照 9 s 计，则最长等待时间为 18 s，即当道路交通信号

控制机接收到智轨电车优先请求后,最迟 18 s 后即可给予优先通行权,那么该检测点可设置在停车线前约 147 m 的位置。

综上所述可以得出检测点的布点原则,具体如表 3 所示。

表 3 检测点布点  
Tab.3 Arrangement of detecton points

检测点	位置	备注
优先检测点	停车线前约 147 m	路段限速 40 km/h; 路口限速 25 km/h; 司机反应时间 3 s; 司机动作时间 1 s; 车辆减速度 1.5 m/s <sup>2</sup>
提醒制动检测点	停车线前约 44 m	
强制制动检测点	停车线前约 16 m	
进入检测点	停车线前	—
离去检测点	可判定车尾已通过路口的位置	—

在实际项目中,鉴于智轨电车采用人工目视行车的方式,可以取消强制制动检测点和提醒制动检测点。

特别是对于在路口临近设有站台的情况,由于智轨电车需要先到站停车然后才能够通过路口,此时可在完成车站上下客作业后再申请优先,对应的优先检测点应前移至车辆出站处。

### 2.3 优先策略原理

优先通行需要采用一定的信号优先策略。根据实现原理的不同,信号优先策略一般可以分为被动优先、主动优先和实时优先 3 种<sup>[7]</sup>。

#### 2.3.1 被动优先

被动优先是指不需要检测被优先车辆,而通过在信号配时方案中充分考虑被优先车辆的交通流特性,形成一个有利于被优先车辆通过交叉路口的配时方案。这里所说的被优先车辆的交通流特性主要是指历史交通数据,如车辆运行速度、发车频率及站台位置等。

#### 2.3.2 主动优先

主动优先是相对于被动优先来说的,主动优先需要检测被优先对象,根据检测到的车辆信息来调整路口的交通配时,给予被优先对象在路口的优先通行权。

主动优先根据优先级别的不同,又可以分为绝对优先和相对优先<sup>[8-9]</sup>。绝对优先是指保证被优先对象到达路口时,获得绿灯,顺利通过路口的优先方式。该方式很可能造成某个交通信号灯刚亮绿灯就变成红灯的情况,对其他方向的交通影响较大,一般多用于特种车辆的优先,如消防车、救护车等。相对优先是指在保证交叉路口整体通行效率的前提下,为被优先对象提供优先通行权。该方式会综合分析交叉口交通情况,根据设定的优先条件,决定是否给予被优先对象优先通行权,其对路口交通的影响较小。实际应用中,需要根据现场线路走向、交通流及运营速度等因素综合考虑后再选择是

主动优先还是被动优先。

#### 2.3.3 实时优先

实时优先的含义是基于实时检测的交通流量信息给予车辆路口通行权,同时以某个指标作为目标优化配时方案。实时优先通常是一种针对多个交叉路口进行的协调控制方式,其寻求给定指标的最优化,而不是只考虑单个路口的部分指标<sup>[10]</sup>。该方式通常要考虑社会车辆与优先车辆的效益平衡、优先次序、优先效率、信号优先程度与频率等问题,需要进行复杂的算法设计,并对采集到的交通数据进行分析计算,然后才能产生合适的配时方案<sup>[11]</sup>。

#### 2.3.4 优先策略对比

3 种优先策略的特点、适用范围和优缺点对比分析如表 4 所示。

表 4 优先策略  
Tab.4 Priority strategies

类型	特点	适用范围	优点	缺点
被动优先	只需根据历史数据设置交通信号配置方案	车辆运行状态稳定,基本以固定的时间到达线路关键点	实施简单,对社会车辆影响小	如果车辆运行状态不稳定,效果较差
主动优先	主动检测智轨车信息,具有多种实现方式,可以方便地实现智轨电车优先	适用于绝大多数道路	适应性强	需要设置车辆检测装置,有一定施工量
实时优先	全方位采集区域内交通信息,通过数据模型进行大量计算,实时产生各路信号配时方案	适用于数据采集精确、区域交通组织先进的地区	对路口及路网内信号进行实时调控,可保证区域交通指标最优	技术要求高,与社会车辆间的协调较难控制

对智轨电车而言,上述 3 种优先方式均可以采用;但是从实现难度或者系统复杂性的角度来说,推荐采用主动优先策略<sup>[12]</sup>。另外,道路交通信号控制系统设计时,应考虑在给予智轨电车优先后,对其他交通参与者给予绿灯补偿。特别需指出的是,应同时考虑智轨电车发车频率,当发车频率较大时,可适当降低智轨电车的优先等级。

### 2.4 优先策略实现方式

路口优先策略的具体实现方式一般包括绿灯延长、红灯缩短、插入相位、感应式专用相位和跳跃相位<sup>[13]</sup>。

#### 2.4.1 绿灯延长

绿灯延长是指当被优先对象在相位绿灯末尾到达路口,并且剩余绿灯时间无法满足被优先对象通过路口时,延长相位绿灯的做法。

#### 2.4.2 红灯缩短

红灯缩短是指当被优先对象到达路口时遇到红灯,

此时缩短当前相位的时间以便尽快启用被优先对象需求相位的方法。

### 2.4.3 插入相位

插入相位指当检测到被优先对象到达路口时，在原有相位中插入一个专用相位的方法。插入相位结束后，之前被打断的相位将继续执行。通常插入相位仅生效一次，如果本相位车辆未能通过路口，需要制定相应的处理措施。因对路口交通影响较大，该方式一般较少使用。

### 2.4.4 感应式专用相位

感应式专用相位的实现思路是：为被优先对象专门设置一个相位，当被优先对象到达路口时，执行该相位；当没有被优先对象到来时，该相位的时间被分配到其他相位当中。

### 2.4.5 跳跃相位

跳跃相位是当被优先对象到达路口时遇到红灯且下一个相位也不是需要的相位时所采用的一种控制方式，即直接跳到被优先对象需要的相位。

## 3 混合路权下的道路使用策略

混合路权下，智轨电车与其他交通工具共同使用道路，此时为兼顾智轨电车运营效率以及道路资源利用率，通过部署“移动路权系统+路口信号优先系统”来实现。可以将智轨电车线路看作“路段+交叉路口”的组合，下面分别针对两种情况进行说明。

### 3.1 路段

在路段上，智轨电车与其他交通工具共享道路，通过部署移动路权系统，可较好地保证智轨电车的运营效率。

移动路权系统是一种可实时根据智轨电车的行车位置，激活对应的警示装置，形成智轨电车前后一定距离（可配置）、可随着电车运行而移动的路权警示区域，以提醒周围共道行驶/共享路权的其他车辆在警示装置提示时迅速选择合适的道路行驶，或者在适当位置停车等候以保持安全距离。

移动路权系统主要由车载系统、路侧设备和中心管理系统组成，系统结构如图5所示。

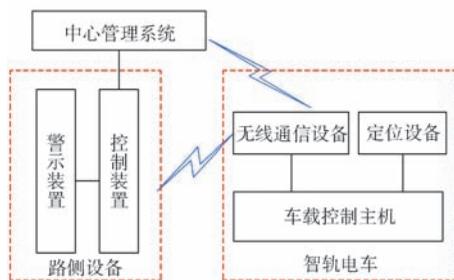


图5 移动路权系统结构

Fig.5 Structure of mobile right of way system

车载系统能够根据获取的智轨电车运行信息，适时地激活对应的路侧设备并读取其工作状态信息，实时监控路侧设备工作状态及相关指标，并向中心管理系统发送监控数据。

路侧设备根据车载系统/中心管理系统接收到的指令激活警示装置，形成连续的/同频频闪的/流水式频闪的发光线（显示样式可根据实际需求进行调整），从视觉上提醒周围共道行驶/共享路权的其他交通参与车辆选择合适的道路行驶，或者在适当位置停车等候以保持安全距离。路侧设备将自身状态、参数等信息上传给车载系统/中心管理系统。

中心管理系统接收车载系统/路侧设备上传的数据信息，并进行系统设备状态监视、维护管理及事件记录等，同时可对路侧设备进行参数配置，并与其他系统通信。

为保证使用效果，警示装置宜设置在智轨电车行车路径单侧/两侧的地面上（如每隔1m设置一个），可根据具体项目实际进行设置。警示装置布置示意如图6所示。



图6 地面警示装置示意

Fig.6 Arrangement of ground warning device

智轨电车车前需要预留足够的安全停车距离（根据车速的不同而不同），在该安全停车距离内（图7），不允许其他车辆驶入智轨电车前方道路。智轨电车车后，如果还有正在运营的智轨电车，两车之间的“其他车辆可进入智轨车道区域”需要首先保证满足智轨电车运营效率（可根据车间距及车辆速度确定），在该前提下，才允许开放两车间的路权，即地面警示装置才能够给出允许进入信号。

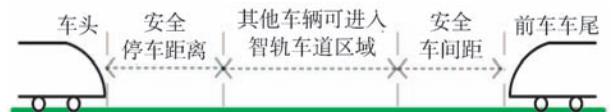


图7 路段可开放区域

Fig.7 Open areas in road section

警示装置的样式如图8所示，具体的显示方式可参照交通信号灯，如“红灯停，绿灯行”（可调整）。



图8 地面警示装置

Fig.8 Ground warning device

### 3.2 交叉路口

在交叉路口处,同时设置有移动路权系统及路口信号优先系统,此时智轨电车道路权的开放需要同时考虑前方路口交通信号灯的状态,只有在进入智轨电车道道的车辆不会影响到智轨电车运营效率的前提下,才可以共享路权。

在交叉路口处,智轨电车道在路口处设置导向车道线,该导向车道线区域禁止其他车辆驶入智轨电车道。根据路口处有无车站,导向车道线的长度略有区别。

路口附近无车站的情况如图9所示,此时导向车道线按照道路交通标线标准设置即可,一般长度约30 m。

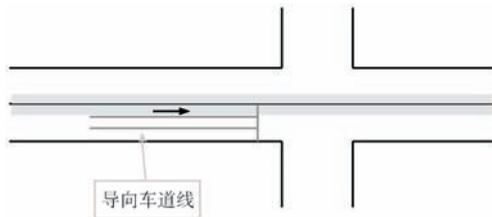


图9 路口无车站场景  
Fig.9 Intersection scene without station

路口附近有车站的情况如图10所示,此时导向车道线的长度为车站长度。

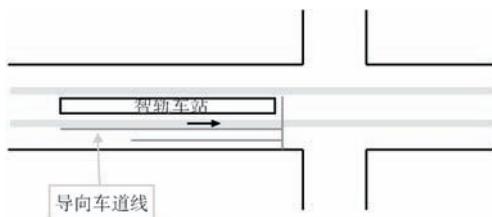


图10 路口有车站场景  
Fig.10 Intersection scene with station

导向车道线以外的区域为路权允许开放区域。同样,只有在不影响智轨电车运营效率的前提下,才能够共享路权,此时可开放区域的说明如图11所示。道路交通信号控制机应给出智轨电车道可获得的车道放行时间,移动路权系统根据该时间以及智轨电车的位置控制路侧设备的显示。车道放行时间可以参考以下规则转换为可开放的道路长度:

(1) 根据路口区域的限速,评估其他车辆换道进入智轨电车道的时间。

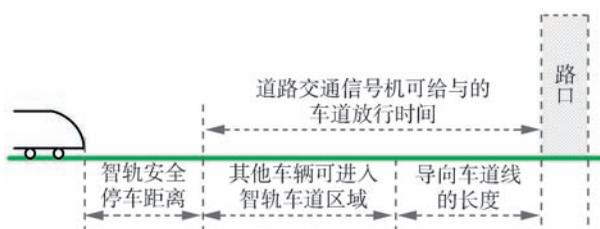


图11 路口可开放区域  
Fig.11 Open areas at intersection

(2) 根据车辆的平均换道时间,评估车辆在换道过程中需要的道路长度。

### 3.3 其他需要考虑的事项

当采用混合路权时,因为可能存在的守规则问题,仅仅依靠上述技术手段并不一定能保证智轨电车良好的运行效率,同时需要采用其他有效手段,如:

(1) 抓拍设备。可考虑在智轨电车上或者路侧设置抓拍设备,对违规进入智轨车道的车辆进行抓拍并上报交警系统进行处罚,以减少违规闯入智轨电车道行为的发生。

(2) 提示设备。可考虑在智轨电车线路路侧设置可变信息牌、声光报警装置等提示设备,显示智轨电车道是否允许进入、智轨电车车辆位置信息等内容,同时可对违规闯入智轨电车道行为进行报警提示。

(3) 交通流的优化。鉴于智轨电车线路上交叉路口多、智轨电车在路中运行等特点,宜在线路设计时尽量使线路走向与城市主要交通流相契合,并对线路上各交叉路口的交通流进行合理规划,尽量减少沿线路口左转冲突车流对智轨电车的影响。

## 4 结语

本文从合理使用道路资源、公共交通优先的角度出发,研究了智轨电车在半专用路权及混合路权情况下的运行情况,并提出了对应的解决方案。该方案不仅能为智轨电车的安全及高效运行提供有效保障,提高交叉路口的通行能力,同时可尽可能少地占用城市道路资源,实现城市道路运输效率的提升。所提出的移动路权系统在实验室测试线路上进行了测试验证,结果表明,地面警示装置能够根据车辆位置形成特定样式的发光线,具有较好的警示效果。所提出的路口信号优先系统已在宜宾智轨T1线上取得应用,宜宾智轨T1线全长约17 km,优先路口数量达34个。该线路自2019年6月10日载客试运行以来,智轨电车每日运行达13 h,发车间隔15 min,其路口优先效果明显,其平均运行速度接近30 km/h。

另外,面对复杂多变的道路环境,如何掌握更多路面信息,采用更加高效的路口通行策略,以降低智轨电车优先对其他交通流的影响,使城市道路交通整体达到较优的通行效率;如何避免因疏忽因素导致的近距离变道刮蹭甚至碰撞问题等,仍有许多需研究的课题。

交通物联网技术、大数据技术和5G等前沿通信技术的发展应用,将为ART提供更加丰富的技术手段、更加全面的环境信息,由此可进一步完善ART路权应

用技术。后续主要的研究方向为：

(1) 基于物联网技术的路口信号优先系统。基于交通物联网技术，可通过建立智轨电车、社会车辆、行人以及交通信号灯的耦合应用，实时获取交通路口所有相位的车辆和行人的位置、速度信息以及道路占用、排队以及空置情况信息，形成对路口交通信息进行管理与控制的综合系统；针对不同的路况，实时进行路口信号策略的调控以及车辆、行人的行为诱导，提高智轨电车以及其他社会车辆在路口的通行速度以及效率，整体降低各路车辆以及行人的等待时间，从而使路口交通达到最优的运行状态。

(2) 基于物联网环境的避撞系统。基于物联网技术，可利用车辆自身定位设备辅以路旁图像辨识及雷达测距，从多维度平台获取智轨电车及周边社会车辆的速度信息进行汇集，再根据被精确定位的车辆的位置与速度信息，提前模拟出智轨电车与社会车辆的行进冲突点并进行预警，以引导各车辆进行驾驶行为规避，从而保障行车安全。

(3) 智慧调度平台。加强与道路交通信号控制平台等第三方平台的互联互通，及时获取道路交通流信息、拥堵信息等交通数据，用于车辆的灵活调度及运营信息的及时发布<sup>[14]</sup>；结合网络大数据分析技术，预测各个体日常出行的规律，较为准确地预估城市出行需求，形成城市范围内的整体出行指标，从而配套基于出行指标

的智能化的车辆调度体系，优化社会资源的配置。

参考文献：

- [1] 吴胜权,黄振晖,曹源.有轨电车路权配置与信号系统选择[J].中国铁路,2014(8): 97-99.
- [2] 宋嘉雯.有轨电车运营模式与运输能力研究[J].都市轨道交通,2014,27(2): 108-112.
- [3] 薛伟.现代有轨电车平交路口优先协调控制研究[J].城轨交通,2018(6): 52-55.
- [4] 张其强,钱晓予,孙蕾,等.有轨电车信号优先控制策略—以松江为例[J].交通与港航,2017,4(1): 27-30.
- [5] 巢国平,刘玉刚,卞春.面向中运量公交的信号优先方案设计及应用[J].科技经济导刊,2018,26(21): 9-12.
- [6] (德)道路与交通工程研究会.德国交通信号控制指南[M].李克平,译.北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [7] 马万经,杨晓光.公交信号优先控制策略研究综述[J].城市轨道交通,2010,8(6): 70-76.
- [8] SANG S P, CHO H R, KIM Y, et al. Signal Timing Calculation Model of Transit Signal Priority using Shockwave Theory[J]. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 2015, 35(4): 897-905.
- [9] 张杨杨.现代有轨电车交通信号优先控制技术[D].北京:北方工业大学,2017.
- [10] 周莉,王一喆,刘洋东.基于车路协同技术的BRT信号优先控制方法研究[J].交通工程,2017(6): 60-64.
- [11] 雷超阳,刘军华,蔡卫红.BRT交叉路口主动优先自适应通行控制方法[J].吉首大学学报(自然科学版),2016,37(1): 33-37.
- [12] 章瑀.有轨电车交叉路口信号优先策略研究及VISSIM仿真实现[D].成都:西南交通大学,2017.
- [13] 唐艳.现代有轨电车路口优先控制的设计与实现[D].成都:西南交通大学,2017.
- [14] 赵方.上海新一代公交信号优先方案[J].交通与运输,2018,34(3): 10-12.



(上接第81页)

参考文献：

- [1] 陶丽.现代有轨电车站设计要素分析[J].建材与装饰,2016,11(52): 271-272.
- [2] 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.
- [3] 马奇志.城市轨道交通乘客信息系统[J].电视技术,2013,37(19): 213-218,232.
- [4] 赵伟慧,付思,汪晓臣,等.现代有轨电车乘客信息系统的设计与实现[J].铁路计算机应用,2018,27(9): 71-75.
- [5] 宋春莉.关于新时代轨道交通乘客信息显示系统的发展趋势[J].数字通信世界,2019(9): 135.

- [6] 严兰.“互联互通+数字智能一体化”在现代有轨电车中的应用[J].都市轨道交通,2016,29(5): 125-130.
- [7] 万海川.语音智能技术在轨道交通广播系统中的应用[J].铁路通信信号工程技术,2018,15(7): 51-55.
- [8] 张志学,刘佩,李先上,等.城市轨道交通综合监控系统与闭路电视系统集成互联研究[J].城市轨道交通研究,2018,21(10): 96-100.
- [9] 蔡璟.城际铁路站台门控制技术[J].电子技术与软件工程,2018(4): 114.
- [10] 黄本勇.地铁屏蔽门自动控制系统设计分析[J].电子技术与软件工程,2013(16): 199-200.
- [11] 程昱.浅谈地铁AFC系统应用及发展[J].中国新通信,2012,14(10): 43-45.