

文章编号：1005-8451 (2016) 11-0062-05

现代有轨电车路口优先控制系统方案研究

易志刚

(中国铁道科学研究院 通信信号研究所, 北京 100081)

摘要：在阐述现代有轨电车路口优先控制研究现状的基础上，分析系统方案存在控制策略固化简单、控制模式单一和优化效果局限性大等问题，提出现代有轨电车路口优先控制系统方案，将有轨电车运营调度指挥与社会交通信号控制相结合，通过列车运行计划协同编制、路口优先协同控制策略优化、社会交通信号协调控制实现一体化的协同控制。

关键词：现代有轨电车；平交路口；信号优先控制；协同

中图分类号：U231.6 TP39 文献标识码：A

Intersection Priority Control System for modern tramcar

YI Zhigang

(Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This article expounded the current research status of intersection priority control for modern tramcar, analyzed problems related to simple control strategy, single control mode and limited optimization effect, put forward the program of Intersection Priority Control System for modern tramcar. The System was combined the operation dispatching command with the social traffic signal control, through collaborative program train timetable, optimization control strategy and social traffic signal control to implement the coordinated control.

Key words: modern tramcar; intersection; signal priority control; coordination

现代有轨电车具有投资较低、建设周期短、节约能源、绿色环保、运营灵活等特点，近年来大力发展有轨电车成为一种新的趋势。现代有轨电车与轻轨等轨道交通存在着较多的不同^[1~2]，路权形式就是其中一个显著区别^[3]。现代有轨电车路权形式分为独立路权、半独立路权和混合路权3种^[4~5]，其中，在路段中设置专用路权，在交叉路口处采用与道路平交的半独立路权是目前国内应用非常普遍的形式。半独立路权形式具有减少建设成本、缩短建设周期等优势，但在国内复杂的城市交通环境下，有轨电车在交叉路口平交与行人、车辆公共交通存在着冲突，据有关数据统计显示，在有轨电车运营中出现的运行延误，约有八成来自有轨电车在平交路口的停等延误。有轨电车在平交路口的通行效率直接影响现代有轨电车系统的运营效率、运行速度以及准点率，在平交路口前频繁加速、减速和停车，给乘客体验、节能及运营安全等方面也带来诸多问题。

收稿日期：2016-04-22

基金项目：中国铁道科学研究院通信信号研究所青年基金课题(2015HT11)。

作者简介：易志刚，助理研究员。

1 问题提出

目前，我国一些城市如北京、上海、沈阳、天津、大连、广州、深圳等，都在积极规划建设现代有轨电车系统，总体来看，现代有轨电车在我国尚处于起步阶段，对于有轨电车在平交路口的优先控制研究较少。对有轨电车在平交路口的优先控制策略，一般可分为空间优先和时间优先两个方面。空间优先主要是有轨电车规划设计时，选择设置平交路口的通行车道、路权形式等，尽可能减少与其他交通流的路权冲突。时间优先则是体现在对路口信号的控制上，给予有轨电车优先通行的信号，保证其高效运行。目前，国内已运营的现代有轨电车，其路口优先控制系统大多采用在平交路口接近和离去两个方向设置虚拟和物理检测环线，通过环线检测到列车通过信息，发送给社会车辆交通灯控制器，由社会车辆交通灯控制器进行路口交通相位转换，司机和调度员可以设置优先级打开和关闭。这种路口优先控制基本上就是在优先级打开时采用绝对优先控制策略，优先级关闭时采用被动优先控制策略，该方式能够

对有轨电车通过路口进行防护，但优先级关闭时对降低有轨电车延误没有明显作用，还会导致交叉路口公共车辆的延误，当优先级打开时采用绝对优先控制策略，有轨电车运营效率得到保障，但社会车辆延误成倍增长。这种方式在交通环境简单、交通流量较少、道路通行能力富足的情况下，能取得较好效果，但在国内城市交通环境复杂^[6]，每个路口都有其自身的特点，城市早晚高峰时段与平时交通情况差异很大的条件下，使得方案存在很多问题。

(1) 交通环境复杂。我国各个城市的交通情况复杂，而且随着城市的发展，规划建设时和运营一定时间后，各个路口的交通情况都会发生很大的变化，而且每个交叉路口车道布置各有特点，城市早晚高峰时段与平时交通情况差异很大，采用一种或几种固化的策略无法有效满足有轨电车路口控制。

(2) 路口优先控制模式单一。路口优先控制系统简单，采用绝对优先策略，能保证有轨电车的运营效率，但社会车辆延误会成倍增长。而且有轨电车运行间隔较短时，优先权引起的时段变化太过频繁，会降低交叉路口的总体效益。

(3) 人工控制路口优先控制开关效果无法保证。系统不结合实际情况自动控制优先模式开关，只能依靠调度员、司机的经验进行简单判断，无法保证选择的时机是否适合优先通过路口，盲目选择对通行效率提高有限，还对路口其他社会交通流通行产生很大影响。

(4) 路口优先控制涉及到空间、时间、有轨电车运行情况、实际社会交通流等多个因素的影响，割裂各个因素的联系，无法有效提高交叉路口的通行效率。

2 现代有轨电车路口优先控制方案

2.1 设计思路

现代有轨电车路口优先控制系统的根本目标是保证列车高效、安全通过平交路口，减少在平交路口频繁加速、减速、停车，提高乘客乘坐体验，减少能源消耗，对路口的其他社会交通流产生尽可能小的影响，适应安全生产、满足旅客出行、实现一流运营品质、一流服务品质的要求。

系统以每个平交路口的空间条件为基础，以有轨电车的实际运行状态为依据，结合路口实际交通情况，并采用路口检测装置精确检测有轨电车预告、占用、出清平交路口的信息，实现路口优先控制系统与运营调度系统、社会交通信号控制系统的整合、协调、协同控制，自动选择最优的路口优先控制时机和策略。

系统应能够适应路口空间和时间条件的变化，灵活地进行变更和扩展。

系统可以独立运行，也可以作为现代有轨电车综合运营调度系统标准模块与其协同工作，能与综合运营调度系统内部各子系统之间做到完全匹配、有效集成、严密对接，具有极高的稳定性和可靠性。

2.2 系统方案

有轨电车路口优先控制系统由路口优先控制单元、通信接口模块、路口优先控制模块组成，其中，路口优先控制单元安装在路口的地面控制柜中，通信接口模块和路口优先控制模块部署在控制中心，可以独立部署，也可以与综合运营调度系统集成到一起。系统技术方案如图1所示。

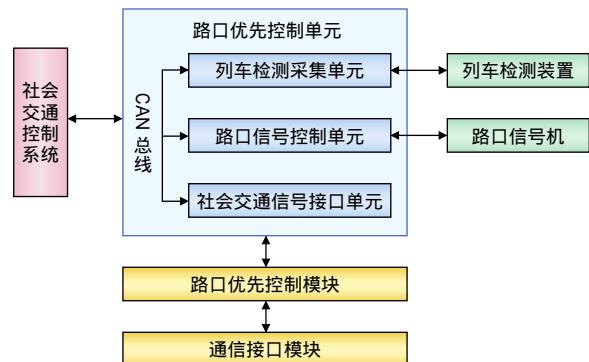


图1 有轨电车路口优先控制系统技术方案

路口优先控制单元主要包括列车检测采集单元、路口信号控制单元、社会交通信号接口单元。

(1) 列车检测采集单元

列车检测采集单元通过列车位置检测装置采集有轨电车优先预告、优先请求、进入路口、出清路口的状态，并通过CAN总线将有轨电车的位置信息发送给路口信号控制单元、路口优先控制模块。

(2) 路口信号控制单元

路口信号控制单元依据路口优先控制模块下发

的路口优先控制策略，将列车检测采集单元采集的有轨电车在平交路口的位置状态信息，通过社会交通信号接口单元发送给社会交通控制系统，由社会交通控制系统根据路口交通流状态、交通控制策略等进行路口交通相位的控制。

平交路口信号控制器根据有轨电车位置状态信息及社会交通相位信息控制有轨电车路口信号机显示，并将信号机显示状态及自检状态等上传至路口优先控制模块和综合运营调度系统运营调度监视模块。

(3) 社会交通信号接口单元

社会交通信号接口单元实现路口优先控制单元与社会交通控制系统在平交路口的数据交互，向社会交通控制系统提供有轨电车在平交路口的位置状态信息，接收社会交通信号相位、交通流状态等信息。

(4) 路口优先控制模块

路口优先控制模块以平交路口的空间条件为基础，从综合运营调度系统获取有轨电车列车运行计划、列车运行间隔、路口通行时间等基础数据，并实时获取有轨电车接近、进入、出清平交路口的位置信息，有轨电车运行速度、早晚点等运行状态信息，平交路口的车辆、行人等其他交通流状态信息，基于路口优先控制策略模型，自动选择有轨电车通过平交路口的最优控制策略，并将控制策略下发到路口信号控制单元，辅助有轨电车高效、安全通过平交路口。

(5) 通信接口模块

通信接口模块实现路口优先控制系统与有轨电车综合运营调度系统、社会交通信号控制系统之间的外部数据交换，以及系统内部路口优先控制模型与轨旁路口优先控制单元之间的数据接口。

2.3 路口优先协同控制原理及关键过程

每个平交路口都有其自身特点，需要结合每个路口的空间条件、时间条件、交通流状态等信息，

充分考虑路口优先控制与综合运营调度、社会交通信号控制之间联系，实现路口优先一体化协同控制。路口优先协同控制方案如图2所示。

在有轨电车路口优先控制中，其关键是对有轨电车通过平交路口的位置状态信息的采集、路口优先协同控制策略的选择及路口优先控制策略的执行。

2.3.1 有轨电车位置状态的采集

对于每个运行方向，配置有4个列车检测装置：列车预告检测装置、列车请求检测装置、入口列车接近检测装置及出口列车离去检测装置。

列车预告检测装置位于平交路口前方，用于保证有轨电车可以按正常行驶速度通过路口。

列车请求检测装置位于平交路口前方，距平交路口的距离为有轨电车在该位置按最大运行速度行驶可以安全制动的距离，用于保证有轨电车到达该位置路口信号灯为禁止通过时，有轨电车制动并能在信号机前方停车。

入口列车接近检测装置位于平交路口前方，距离为4~8 m，具体需要根据路口实际空间条件确认，用于检测确认有轨电车已进入并占用平交路口。

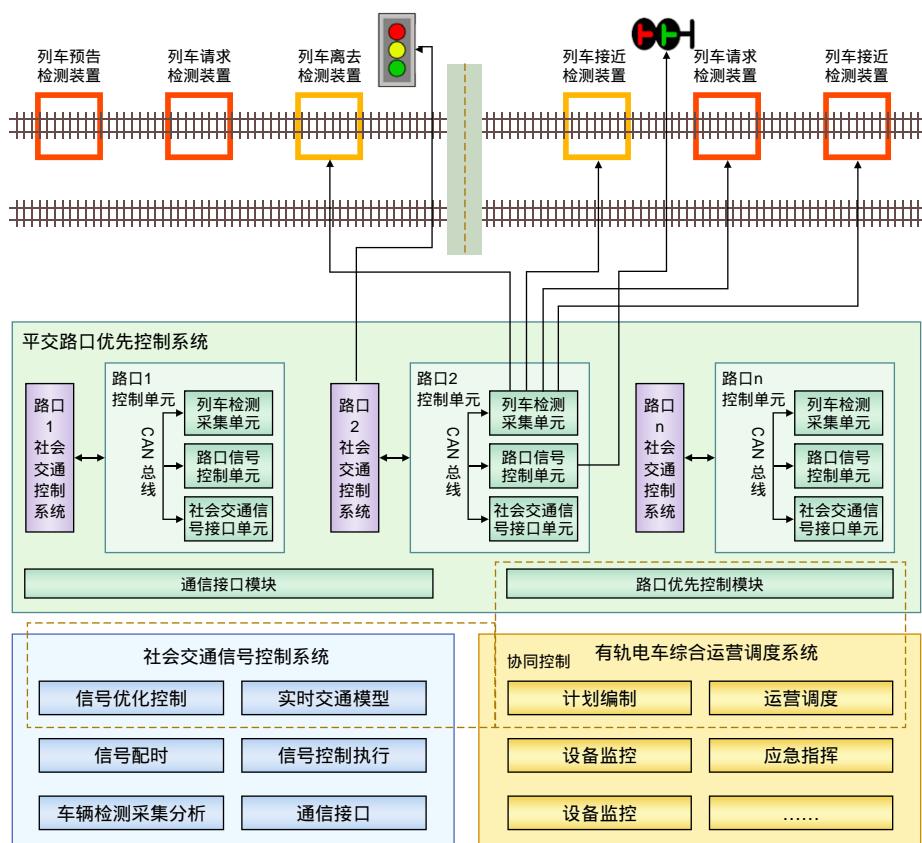


图2 有轨电车路口优先一体化控制方案

出口列车离去检测装置位于平交路口后方，距离为4~8m，具体需要根据路口实际空间条件确认，用于检测确认有轨电车已经完全离开平交路口区域。

2.3.2 路口优先协同控制策略的选择

有轨电车在平交路口会与行人、非机动车、机动车等其他社会交通流进行交叉交织，为保证有轨电车优先通过路口的同时减少对其他冲突交通流的影响，需要将有轨电车路口优先通行需求与社会交通信号控制、有轨电车运营调度相关功能进行整合，实现一体化的协同控制。

(1) 列车运行计划协同编制

列车运行计划是有轨电车的日常运营的依据，也是影响路口通行效率的一个重要因素。结合各个路口的社会交通信号控制配时方案、有轨电车路口通行时间、各个车站不同时段乘客上下车时间等参考经验值，优化列车运行计划编制，尽量避免在一个信号周期中出现多次有轨电车优先通行需求等情形，减少对其他冲突交通流的影响，并将运营过程中的实际路口通信时间、上下车时间等信息进行存储分析，逐步优化提高参考经验值的准确性。

(2) 路口优先协同控制策略优化

路口优先控制模块以有轨电车运行计划为基础，通过有轨电车综合运营调度系统实时接收列车运行位置、速度、早晚点等信息，结合社会交通信号控制系统提供的路口交通流状态，以保障有轨电车高效、安全通过路口，并对路口其他交通流的影响最小化为目标，建立路口优先控制模型，评估有轨电车是否能实现不停车通过下一平交路口，若无法实现，则通过采用发车指示器或车载控制单元提示司机控制停站时间、控制列车运行速度、向路口社会交通信号控制单元提交优先请求申请等多种方式，实现路口优先协同控制。

(3) 社会交通信号协调控制

各路口社会交通信号控制单元通过车辆检测采集分析模块获得路口实时的交通流状态，根据各相位交通流的饱和程度、各个方向的阻塞情况等[7]，制定优化各路口的配时方案。路口社会交通信号控制单元接收路口优先控制单元发送的有轨电车通过平交路口的位置状态、到达路口时间、优先请求等信息，

并结合信号配时方案和区域交通信号协调控制策略，采用延长绿灯相位时间、提前开放绿灯相位、插入有轨电车专用相位、绿灯相位重启等策略^[8~10]实现有轨电车的优先通行。

2.3.3 路口优先控制策略的执行

当有轨电车进站后，路口优先控制模块实时分析下一路口距离、交通流状态、交通信号配时方案等，确定路口优先控制策略，提示司机参考发车时间。有轨电车通过列车预告检测装置时，系统根据路口优先控制策略决定是否自动发送“有轨电车接近请求”给路口社会交通信号控制单元。社会交通信号控制单元依据社会交通信号协调控制策略，开启并保持冲突相位信号灯关闭。平交路口信号控制单元根据有轨电车接近信息及社会交通相位信息控制有轨电车信号机显示。仅当有轨电车接近并且收到冲突相位信号灯已关闭信号后，平交路口信号控制单元将有轨电车信号机显示从“红色”变为“绿色”。

当有轨电车通过列车请求检测装置时，系统给路口社会交通信号控制单元发送“有轨电车已接近”信号，通知社会交通信号控制系统有轨电车已接近且不能停在平交路口前方。社会交通信号控制系统保持冲突相位信号灯为“红色”并且保持“冲突相位信号灯已关闭”信号。有轨电车司机按照信号显示及允许的平交路口通行速度驾驶前行。

当有轨电车通过入口列车接近检测装置时，系统发送“平交路口占用”信号给路口社会交通信号控制单元以通知有轨电车已经进入平交路口。平交路口信号控制单元将有轨电车信号机显示从“绿色”变为“红色”。社会交通信号控制系统将保持冲突相位信号灯为“红色”，并且保持“冲突相位信号灯已关闭”信号。

当有轨电车完全通过出口列车离去检测装置时，“入口”及“出口”的顺序占用及空闲确认有轨电车已经完全离开平交路口。平交路口信号控制单元撤销“平交路口占用”信号，通知路口社会交通信号控制单元有轨电车已离开平交路口。

此后，社会交通信号控制系统可根据配时方案继续控制路口的交通相位。

3 结束语

有轨电车安全、高效地通过平交路口是现代有轨电车运营调度过程中的一项重要工作，处理好现代有轨电车在交叉路口处的优先通行问题，不但会带来很好的运营效率和经济效益，也是保证其吸引力的关键因素。

文章结合目前国内交通环境、有轨电车路口优先控制研究现状，提出了有轨电车运营调度指挥与社会交通信号控制相结合，将有轨电车路口优先通行需求与社会交通信号优化控制、有轨电车综合运营调度指挥相关功能进行整合，实现路口优先一体化协同控制的解决方案，为协调有轨电车和社会车辆的路口通行冲突提供了新的思路和方法。

参考文献：

- [1] 中国建筑工业出版社. CJJ/T 114—2007 城市公共交通分类标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007, 7.

- [2] 现代有轨电车系统研究与实践 [R]. 北京: 北京市基础设施投资有限公司, 2011.
- [3] 易志刚, 刘皓玮. 现代有轨电车运营管理的研究 [J]. 铁道通信信号, 2014, 51 (7): 66-69.
- [4] 王舒祺. 现代有轨电车交叉路口优先控制管理方法研究综述 [J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17 (6): 17-22.
- [5] 王灏, 田振清. 现代有轨电车系统研究与实践 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011, 7.
- [6] 左忠义, 苗彦英, 刘岩. 现代有轨电车系统技术特性的研究 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [7] 罗霞, 刘澜. 交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008: 107-121.
- [8] 沈国江, 张伟. 城市道路智能交通控制技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 84-89.
- [9] 隽志才. 交通系统建模与仿真 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 126-189.
- [10] 赵凤艳. 城市智能交通运输系统中的智能技术应用 [J]. 铁路计算机应用, 2002, 11 (4): 4-6.

责任编辑 王浩

企业专用铁路可视化运输生产调度指挥系统 (iTMIS) 免费应用

iTMIS 不仅是一套企业铁路运输生产管控系统软件，更是针对拥有专用铁路的大型企业“整合资源、流程优化，建设企业专用铁路运输管控一体化信息平台”的全面解决方案，它是企业专用铁路物流系统的 MES（生产执行管理系统）。它可以使您在更短时间内，更好地完成企业对货物及铁路运输车辆的实时管控，降低铁路车辆停时费用，加快企业过轨自备车的周转，提高运输生产作业的效率，降低企业的运输成本，并为企业各部门管理及决策提供系统的信息服务与决策支持。该系统获得 2010 年度国家科技部创新基金的无偿资助。

推出基于互联网+的合作方式：

iTMIS 系统免费使用，有偿运维！

1. 无需投入，保证第一年至少降低 10% 以上的铁路延时费。2. 无建设周期，投入即使用，专业运维、贴心服务。
3. 优化人员构置，可替代或精简部分岗位人员工作，降低企业人力成本。4. 低运维成本，高效益回报。



成都劳杰斯信息技术有限公司

研发中心：西南交通大学科技园现代工业中心 A 座 211 号

营销中心：成都市二环路北一段 10 号万科加洲湾 V 派 1712 室

邮箱：logistics_it@126.com 邮编：610031

咨询电话：18980847041 18980847040 服务热线：400-000-5129