

# 有轨电车旅行速度提升方法

邢艳阳<sup>1,2</sup> 成正波<sup>1,2</sup> 刘华祥<sup>1,2</sup>

(1. 上海轨道交通无人驾驶列控系统工程技术研究中心, 200071, 上海; 2. 卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海 // 第一作者, 高级工程师)

**摘要** 有轨电车的平均旅行速度不高。影响有轨电车旅行速度的关键因素为平交路口不停车通过率。从车站布局、平交路口设计、优先策略、时刻表匹配等视角分析了如何提升平交路口不停车通过率, 提出了合理车站布局、平交路口的优化设计、灵活配置路口优先策略及增加控制中心的协同等方法。

**关键词** 有轨电车; 平交路口; 旅行速度

**中图分类号** U482.19

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2021.04.026

## Methods of Elevating Tram Travel Speed

XING Yanyang, CHENG Zhengbo, LIU Huaxiang

**Abstract** Average tram travel speed is relatively low. Key factors affecting the tram travel speed is the level crossing non-stop passing ratio. From the perspective of station layout, level crossing design, priority strategy and timetable matching, how to improve level crossing non-stop passing ratio is analyzed. Methods including reasonable station layout, level crossing optimization design, flexible crossing priority strategy and adding control center coordination are proposed.

**Key words** tram; level crossing; travel speed

**First-author's address** Shanghai Engineering Research Center of Driverless Train Control of Urban Guided Transport, 200071, Shanghai, China

有轨电车为中等运能的城市轨道交通, 具有节能、环保、美观、投资省及建设周期短等特点, 是城市轨道交通综合规划中的重要组成部分。在特大城市, 有轨电车是大运能地铁线路的补充和延伸, 能解决市民最后 1 km 的出行需求; 在中小城市, 有轨电车则可作为骨干交通线路, 承担大客流的运送。

## 1 有轨电车旅行速度现状

在平交路口, 有轨电车同社会车辆及行人共享路权, 并通过路口优先控制器来申请路口的优先通行权。由于每个平交路口的相位和配时方案不同, 在缺少路口优先通过权管理的情况下, 有轨电车到

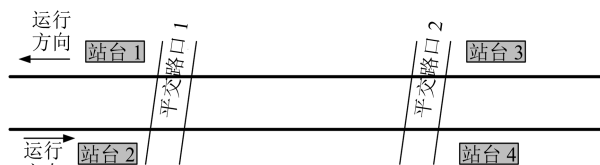
达平交路口恰逢有轨电车通行相位的概率较低, 难以避免有轨电车在路口停车等待通行许可。而频繁的路口停车等待直接导致有轨电车的平均旅行速度下降, 从而增加了乘客的出行时间, 降低了运营服务水平。本文通过分析影响旅行速度的关键因素, 探讨有轨电车旅行速度的提升方法。

## 2 制约旅行速度的影响要素

制约有轨电车旅行速度的影响要素较多。既有文献对车站停站时间、站间距、线路限速等常规因素的分析较多, 本文从有轨电车的车站布局、平交路口分布、平交路口优先策略、时刻表匹配等视角, 分析如何提升平交路口不停车通过率, 从而提高有轨电车的平均旅行速度。

### 2.1 车站布局

有轨电车的车站布局需要考虑有轨电车的运营安全和效率、道路的交通组织, 方便乘客乘车或换乘。车站布置一般分为路口前设站和路口后设站, 如图 1 所示。



注: 站台 1 和站台 4 为路口后设站, 站台 2 和站台 3 为路口前设站

图 1 有轨电车站台布置

对于路口前设站, 无论前方路口当前处于哪个相位, 有轨电车均需进站停车上下客。在乘客乘降期间, 司机充分利用停站时间来人工申请路口优先通过权, 以保证道路交通信号系统有足够长的时间来调整相位和配时。这样, 有轨电车从站台出发时不停车通过该路口的概率较高。

对于路口后设站, 有轨电车在接近路口时会自动申请路口优先通过权。由于有轨电车的区间运行速度较高, 其申请路口优先通过权至到达路口的

时间较短,不足以满足道路交通控制系统调整相位及配时的需要。因此,部分有轨电车到达路口时,路口专用信号灯仍未开放,有轨电车只能在路口前方等待通行许可,增加了有轨电车的区间运行时间。

## 2.2 平交路口分布

平交路口是制约有轨电车旅行速度的关键因素。由于各种车辆在平交路口共享路权,故有轨电车必须采用限速行驶。一般有轨电车直行通过平交路口的限速为 30 km/h,左右转弯通过平交路口的限速为 15 km/h。可见,有轨电车在平交路口的通行时间较长,如再加上有轨电车通过平交路口前申请优先通过权的等待时间,则每增加 1 个平交路口约增加 25 s 的区间运行时间。

平交路口越多,则区间运行时间越长,进而使有轨电车的平均旅行速度越低。尤其对于连续多个平交路口的区间,由于路口与路口的间距较小,且路口与车站的间距也较小,有轨电车速度尚未加速到线路限速前就需施加制动减速。频繁的牵引和制动既浪费能源,又严重限制有轨电车的运行速度。因此,平交路口的分布情况是影响有轨电车平均旅行速度的关键因素。

## 2.3 平交路口的优先策略

平交路口的有轨电车优先策略一般有绿灯延长、红灯缩短、插入相位、跳跃相位等,如图 2 所示。

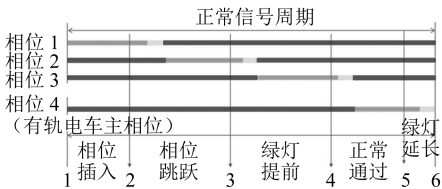


图 2 信号相位周期示意图

**绿灯延长:**当有轨电车即将进入路口或进入路口后,如当前相位为有轨电车专用相位,则道路交通控制系统将为该有轨电车延长通行时间,以确保有轨电车安全出清路口。

**红灯缩短:**当有轨电车接近路口时,如当前相位为非有轨电车专用相位,则道路交通控制系统将通过压缩相应相位的配时,或缩短有轨电车专用相位的红灯等待时间,以尽快进入有轨电车专用相位。

**插入相位:**通常情况下,该路口不设置有轨电车专用相位,以避免路口资源的浪费。当有轨电车接近路口时,道路交通控制系统为该路口插入有轨电车专用相位。

**跳跃相位:**当有轨电车接近路口时,道路交通

控制系统打破相位固定轮转的次序,将有轨电车专用相位直接调整到当前相位,以快速进入有轨电车专用相位。

绿灯延长和红灯缩短为常用的优先策略,对社会交通的影响较小。插入相位可用于有轨电车出入车库相邻路口,其调整速度快,但对社会车辆的行驶有影响,较少采用。

有轨电车信号系统与道路交通信号系统通过接口交换信息。商定每个平交路口的优先策略,根据不同的道路交通控制系统的优先调整能力来确定申请优先通过权的时机。

## 2.4 时刻表匹配

有轨电车的智能控制系统具有时刻表管理功能,由在线时刻表定义每列运营有轨电车在每个车站的到发点和停站时间,以及有轨电车运行的交路。当有轨电车偏离时刻表时,智能控制系统可实时自动调整有轨电车的停站时间,使有轨电车准点运行。

道路交通信号控制系统在每个路口都有特有的相位和配时,其中包含了有轨电车通行的相位。相位和配时可根据路口优先申请进行动态调整。

在最有利情况下,当有轨电车接近路口时,该路口的有轨电车相位恰好开放通行,有轨电车可不停车通过该路口。而在最不利情况下,当有轨电车接近路口时,该路口的有轨电车相位恰好结束,有轨电车需要在该路口等待较长时间后方可通行。若最有利情况的概率远高于最不利情况,则有轨电车平均旅行速度较高;若最有利情况的概率远低于最不利情况,则有轨电车平均旅行速度较低。

因此,在设计时,应着重考虑有轨电车的时刻表与道路交通信号控制系统路口相位的匹配性。

# 3 有轨电车旅行速度提升方法

在同等边际条件下,有轨电车的平均旅行速度越高,则该线路的运能越大,经济效益更佳,运营服务水平更优。本文将从四个方面分析如何提升有轨电车的平均旅行速度。

## 3.1 合理的车站布局

按前文所述,一般情况下,为减少路口二次停车,应尽量采用路口前设站,以使有轨电车发车后有较大概率能不停车通过站台前方路口。

社会车辆和有轨电车的平均旅行速度不同,故二者在同一路段的运行用时是不一样的。这将导致社会车辆和有轨电车对道路交通信号控制系统

路口的相位和配时的需求不一致。因此,在考虑车站布置时,应采用路口前设站和路口后设站相结合的方案,并仿真计算社会车辆和有轨电车的绿波协调性。当社会车辆和有轨电车可以协调在 1 个相位周期内通过时,则该路口应优化为路口后设站;当社会车辆和有轨电车无法协调在 1 个相位周期内通过时,则该路口应采用路口前设站。

### 3.2 优化平交路口设计

既然平交路口是制约有轨电车旅行速度的关键因素,那么减少平交路口的数量,就是一种直接而有效提升有轨电车平均旅行速度的方法。在部分车流人流较少的路段,可适当关闭一些平交路口,将平交路口改为有轨电车专用路权;为解决行人过街问题,可搭建人行天桥,取消部分行人过街路口;可在部分车站设置地下通道,使乘客能通过地下通道出入车站,以减少行人对地面交通的影响。

通过减少或合并部分平交路口,或通过人行天桥分流行人,或通过人行地道出入车站,可明显减少平交路口对行车的影响,缩短单程旅行时间,有效提升平均旅行速度。

### 3.3 灵活配置路口优先策略

路口优先控制设备应能提供可配置的优先策略,并根据不同时段的不同交通流量动态给出最优化的优先策略:当检测到平交路口的社会车辆流量较小时,可为有轨电车设置绝对优先通过权,以确保有轨电车优先快速通行;当检测到平交路口社会车辆流量较大时,可为有轨电车设置相对优先通过权,以确保有轨电车的优先通行;当检测到平交路口社会车辆流量很大且相关冲突车道已积压大量社会车辆时,可为有轨电车设置伴随相位,以降低有轨电车对社会车辆通行效率的影响。

有轨电车智能控制系统应根据有轨电车的运行速度、到达路口的距离、道路交通信号控制系统的优先调整能力等因素,来配置路口优先通过的预告、接近、进入、离开等接口信息。如图 3 所示,合理优化布置有轨电车位置检测点可有效提高路口不停车通过率,并可及早释放路口资源。

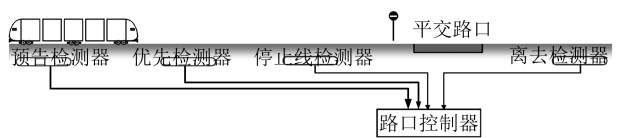


图3 平交路口有轨电车位置检测点设置

对于路口前设站,司机可根据驾驶经验,结合

路口相位轮转顺序及从站台出发驶至路口所需的时间,择机申请路口优先通过权。当前方路口当前相位距有轨电车专用相位的等待时间较长时,司机可适当提前,在进站时就申请路口优先通过权;当前方路口的道路交通信号灯已进入有轨电车专用相位的前一个相位时,司机可在站台发车前申请路口优先通过权。

### 3.4 增加控制中心的协同

有轨电车智能控制系统的控制中心管理着全线运营有轨电车的时刻表,并根据各有轨电车的早晚点情况实时调整其时刻表。道路交通信号控制系统可实现单点自适应控制和区域自适应控制,其控制中心管理路口配时逻辑。

国内有轨电车线路多采用半独立路权,各时段客流有明显差异。因此,有轨电车通过路口的时间和乘客站台乘降时间存在一定不确定性,有轨电车很难保证严格遵循时刻表定义的时间到达站台或路口。

如图 4 所示,有轨电车智能控制系统控制中心与道路交通信号控制系统控制中心的接口可提供实现轨-路协调的一体化解决方案,使得城市轨道交通融入市政道路交通系统,并将其对道路交通的影响降到最低。在双方控制中心的协同控制下,有轨电车的运行可被交通管理部门监控,有轨电车调度中心可实时获得道路交通的拥堵及车流信息;有轨电车智能控制系统主动将发车时间与交通信号灯周期时间相互匹配,以减少所需道路交通信号主动调整信号周期的次数,提高路口的不停车通行效率;有轨电车智能控制系统的控制中心可提前将每辆有轨电车到达相应路口的时刻发送到各道路交通系统路口控制设备,为路口控制设备预留足够的优先调整时间,确保及时为有轨电车开放通行相位,大幅压缩路口等待时间。

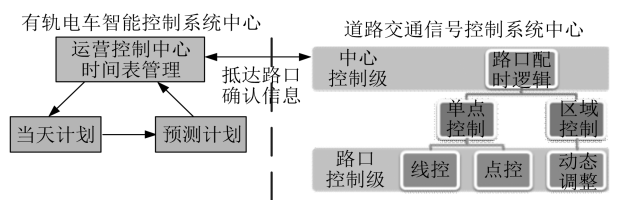
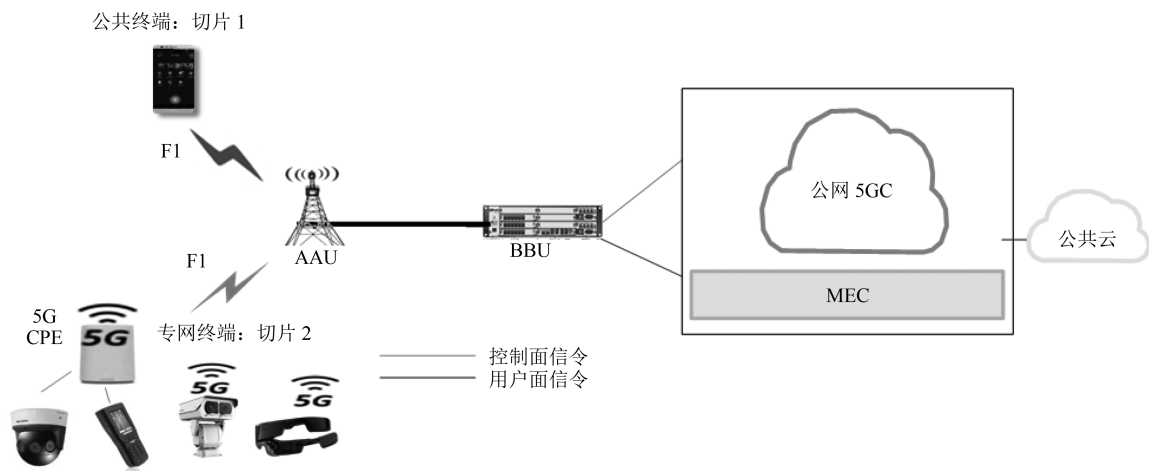


图4 双方控制中心的协同控制

## 4 结语

有轨电车是多制式轨道交通的重要组成部分。受制于平交路口的半独立路权,有轨电车的平均旅

(下转第 111 页)



注：缩略词含义同图 2。

图 4 方案三网络部署示意图

在运营商的核心网上,运营维护不便。

## 5 结语

在新型基础设施建设、智慧轨道交通的新形势下,会进一步加快对无线系统承载业务及建设方式的重新定义,从而影响轨道交通无线通信系统对技术的选择。随着智慧城轨的逐步落地及新技术的日趋成熟,城市轨道交通建设需要在符合中国需求和面向未来的概念下不断完善和融合轨道交通无线通信系统。本文探讨了轨道交通无线通信系统网络融合方案。网络融合方案各有优缺点,应从线路自身的具体情况、轨道交通制式、业务需求及投资等各方面进行综合考虑,决定未来无线通信技术

在轨道交通中的地位和使用方式,选择适合的网络融合应用方案。

## 参考文献

- [1] 张成国,李文明. 长期演进(LTE)技术在地铁无线通信中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2015(1): 112.
- [2] 邹劲柏,张科博,洪翔,等. 5G 在轨道交通中的应用前景分析[J]. 城市轨道交通研究,2019(7): 75.
- [3] 艾渤,马国玉,钟章队. 轨道交通场景 5G 关键技术[J]. 都市快轨交通,2019(5): 38.
- [4] 邓紫阳. EUHT 在城市地铁车地无线通信系统中的应用[J]. 铁路通信信号工程技术,2018(7): 40.
- [5] 王发平,缪立新,杨朋. 新型车地无线通信 eLTE-U 的综合承载研究及测试[J]. 兰州交通大学学报,2019(4): 43.

(收稿日期:2020-09-30)

(上接第 106 页)

行速度普遍偏低,制约了有轨电车的快速发展。影响有轨电车旅行速度的关键因素为平交路口不停车通过率。本文从车站布局、平交路口设计、优先策略、时刻表匹配等视角分析了如何提升平交路口不停车通过率。在规划车站位置时,应仿真计算社会车辆和有轨电车的绿波协调性,采用路口前设站和路口后设站相结合的方案。平交路口的数量和优先策略直接影响有轨电车的旅行速度,应缩减或合并车流人流量较小的路口,采用灵活配置的优先策略提高路口优先申请的效率。有轨电车的运行时刻表应与路口交通信号灯周期时间相互匹配,改被动调整为主动匹配,以提高路口的通行效率。在

有轨电车线路规划和系统设计时,可综合应用上述方法来提升有轨电车的旅行速度。

## 参考文献

- [1] 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,2014(6): 17.
- [2] 刘海军,赵正平. 现代有轨电车与交通信号系统接口方案分析[J]. 都市快轨交通,2014(2): 119.
- [3] 张海军,李红雨,胡军红. 现代有轨电车旅行速度计算与分析[J]. 城市轨道交通研究,2017(9): 43.
- [4] 何肖,顾保南. 我国大陆各城市轨道交通线路旅行速度统计分析[J]. 城市轨道交通研究,2020(1): 1.

(收稿日期:2020-09-18)