

有轨电车停靠站位置布设与交叉口 延误时间的关系研究^{*}

周炜夏^{1,2} 滕 靖^{1,2,3} 姚 幸⁴ 张中杰⁴ 沈家林⁵

(1. 同济大学城市交通研究院, 201804, 上海; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海;
3. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海; 4. 上海市有轨电车工程技术中心, 200125, 上海;
5. 上海松江有轨电车投资运营有限公司, 201613, 上海)

摘 要 [目的] 为提升有轨电车行车服务效率与可靠性, 有必要研究有轨电车停靠站位置布设与交叉口延误时间的关系。[方法] 根据有轨电车运行轨迹数据, 区别不同车辆行驶过程特征情形, 构建有轨电车在交叉口上游、下游设站时的车均延误计算模型。基于运行轨迹数据统计有轨电车到达交叉口的时间分布, 进而计算不同类型(交通流特征、尺寸规模)交叉口在上游及下游设站时的期望延误。[结果及结论] 得出在一定的条件下有轨电车停靠站设在交叉口上游更优的一般性结论。针对停靠站设在交叉口上游的情形, 考虑了交叉口信号配时对有轨电车延误的影响, 提出了应根据有轨电车到达交叉口区域在信号周期内的时间分布合理设置有轨电车行驶方向绿灯启亮时间, 降低在停车线前长时间等待的车次比例, 以降低期望延误的建议。对确实需要设在交叉口下游时, 建议优先考虑有轨电车行驶方向绿信比较高、规模较小的交叉口, 以减少停靠站设在交叉口下游时对有轨电车延误的增加。

关键词 有轨电车; 信号交叉口; 延误时间; 停靠站位置

中图分类号 U492.1+1:U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.04.003

Study on the Relationship between Tram Stop Location Layout and Intersection Delay Time

ZHOU Weixia^{1,2}, TENG Jing^{1,2,3}, YAO Xing⁴, ZHANG Zhongjie⁴, SHEN Jialin⁵

(1. Urban Mobility Institute, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 3. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, 201804, Shanghai, China; 4. Shanghai Engineering Research Center of Tramway, 200125, Shanghai, China; 5. Shanghai Songjiang Tramway Investment and Operation Co., Ltd., 201613, Shanghai, China)

^{*} 国家重点研发计划项目(2021YFB1600100)

Abstract [Objective] In order to improve the operating service efficiency and reliability of trams, it is necessary to study the relationship between the layout of tram stop location and the intersection delay time. [Method] By distinguishing the driving characteristics of different vehicles based on the tram operation trajectory data, an average vehicle delay calculation model is constructed when tram stations are set up upstream and downstream at the intersection. Based on the operation trajectory data, the tram arrival time distribution at the intersection is calculated. Then, the expected delays of different types of intersections (traffic flow characteristics, size and scale) are calculated when stations are set up upstream and downstream. [Result & Conclusion] A general conclusion is that under certain conditions, it is proper to locate the tram stop upstream at the intersection. In this scenario, the influence of intersection signal timing on tram delay should be considered. It is suggested that the green light on time in the direction of tram travel should be reasonably set according to the time distribution of tram arrival at the intersection area within the signal cycle, so as to reduce the proportion of vehicles long time waiting in front of the stop line, so thus reducing the expected delay. If it is really necessary to locate the stop downstream at the intersection, it is recommended to give priority to the smaller intersections with a relatively high green signal in the direction of tram travel, so as to reduce the increase of tram delay when the stop is located downstream at the intersection.

Key words tram; signalized intersection; delay time; tram stop location

有轨电车是一种中运量公共交通运输系统, 可作为大城市郊区新城或中等城市中心的公共交通骨干。截至 2022 年 2 月, 我国内地共有 26 座城市开通了有轨电车线路。有轨电车在交叉口没有独

立路权,需要按照信号灯指示通行。为方便乘客换乘其他交通,有轨电车的停靠站大多设置在交叉口。有轨电车停靠站的位置布设同周边用地布局及道路车道划分等因素有关。为避免交叉口通行延误对有轨电车运行的影响,有必要处理好车站设置位置与信号配时,进而提升行车服务效率与可靠性。

已有交叉口附近停靠站的布设位置方法的研究主要针对常规道路公交展开。大部分研究使用车均延误模型,得出道路公交停靠站设置应根据道路公交车到达率来确定的结论,其中车流量较小时,停靠站应设置在进口道,而车流量较大时,建议停靠站设置在出口道^[1-2],同时还应考虑交叉口道路公交车行驶方向的绿灯时间^[3]。现有的研究构建了交叉口进口道上游设置停靠站的道路公交车延误计算公式^[4],以及停靠站设置在上游时道路公交车在交叉口的延误模型^[5],并提出了考虑减小绿灯时间的交叉口与停靠站之间合理距离^[6]。此外,还利用概率模型研究了有轨电车在交叉口设站延误时间的计算公式^[7-8]。

现有研究仅针对定信号配时的交叉口,并假定有轨电车到达交叉口的时间服从均匀分布,故得出的结论普适性较弱。本研究基于上海松江有轨电车T1线(以下简称“T1线”)运行轨迹数据,在得出有轨电车到达时间分布规律的基础上,通过车均延误模型,计算在不同类型的交叉口中,有轨电车在交叉口上、下游设站时的期望延误,评价其设站位置对期望延误的影响;并根据延误状况,提出有轨电车在交叉口附近停靠站布设的合理建议。

1 模型建立

本文的研究基于上海松江有轨电车运营数据。目前该系统共有2条线路,均采用路中式专用道行车。本文选取T1线作为研究对象。T1线起于新桥火车站,终于仓华路站,全长15.53 km,共设23座车站,途经新桥镇、松江经济技术开发区及松江城区,既通过繁华中心城区,也经由城区外围。

1.1 有轨电车停靠站在交叉口布置形式

本研究主要针对有轨电车在交叉口直行的情景。在交叉口附近的停靠站有两种设置模式,分别是在交叉口上游设站及在交叉口下游设站,如图1所示。通常有轨电车在交叉口设置停靠站紧邻交叉

天桥)出入车站。

不同类型交叉口的规模与车流特征存在差异,故信号灯的信号周期和绿信比有所不同。本研究选取其中具有代表性的4座交叉口附近车站作为研究对象,分别为曹农路站(位于城区外围,交叉道路为次要道路)、松卫公路站(位于城区外围,交叉道路为主要道路)、松江体育中心站(位于城区,交叉道路为主干路)及仓汇路站(位于城区,交叉道路为支路)。

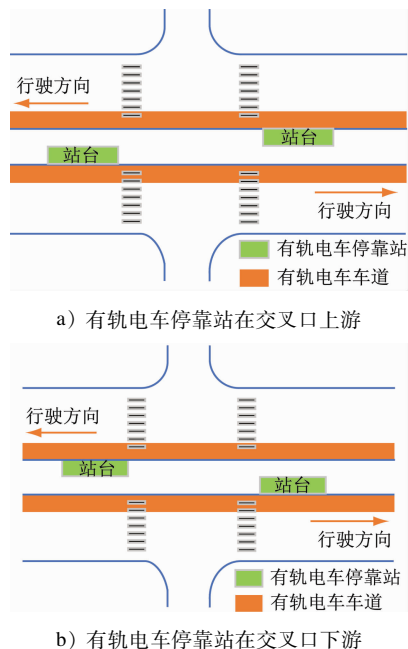


图1 有轨电车在交叉口附近设站示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tram stations near the intersection

1.2 有轨电车通过交叉口及停靠站的延误模型

1.2.1 基本设置

在计算有轨电车通过含有停靠站的交叉口的延误时间时,需要先对延误时间进行定义。本文中的延误时间指有轨电车通过交叉口时实际时间与理论最小时间的差值。

有轨电车在交叉口没有独立路权,因此需要按照交叉口信号灯的指示通行。为了提高有轨电车的通行效率,可以设置信号优先,在有轨电车到达交叉口时给予绿灯信号。有轨电车主动信号优先通常有红灯早断、绿灯延长两种方式。由于有轨电车交叉口清空时间较长,主动信号优先会增加社会车辆的延误,为了减少信号优先对社会车辆的影响,需要对信号优先有一定的限制。设最大红灯早断时间或绿灯延长时间为 t_m ,有轨电车需要在停靠

站停靠时的停站时间为 t_0 。有轨电车到达交叉口时若信号灯为红灯,则需要在停车线前停车,设停车时长为 t_1 。由于松江有轨电车在高峰期的发车间隔大于 3 min,故可以认为一个信号周期内只有 1 列有轨电车到达交叉口,有轨电车无须在站外等待进站。

有轨电车行驶至交叉口前需要根据信号灯决策是否停车。设该决策点 P_0 的位置对应的坐标为 X_0 ,交叉口停车线的位置 P_1 对应的坐标为 X_1 ,有轨电车完全离开交叉口区域时对应车头所在的位置 P_2 对应的坐标为 X_2 ,而有轨电车通过下游停靠站(若停靠站在下游)后加速至最高速度时的位置 P_3 对应的坐标为 X_3 。令 $x_0 = X_1 - X_0$, $x_1 = X_2 - X_1$ 。

有轨电车通过 P_0 及 P_3 的限速(即有轨电车路段限速)为 v_m ,通过交叉口的限速为 v_1 。根据有轨电车加减速特性曲线,可以模型化地设置有轨电车的加减速时间和距离。设从 v_m 减速至 v_1 或从 v_1 加速至 v_m 的用时为 t_2 ,这期间行驶的距离为 x_2 ;从 v_m 减速至 0 或从 0 加速至 v_m 的时间为 t_3 ,这期间行驶的距离为 x_3 ;从 v_1 减速至 0 或从 0 加速至 v_1 的时间为 t_4 ,这期间行驶的距离为 x_4 。由此有 $x_3 = X_3 - X_2$ 。

1.2.2 停靠站设在交叉口下游时的延误情形

若有轨电车停靠站在交叉口下游,有轨电车从 P_0 行驶至 P_3 的过程可以分为有轨电车直接减速到交叉口限速通过交叉口(情形 1)、有轨电车停车后通过交叉口(情形 2)、有轨电车减速至交叉口限速以下后不停车通过交叉口(情形 3)三种情形。

1) 情形 1 下,有轨电车通过 P_0 时为红灯,红灯剩余时间为 t_r ,且 $t_r \leq (x_0 - x_2)/v_m + t_2 + t_m$;或通过 P_0 时为绿灯,红灯剩余时间为 t_g ,且 $t_g \geq (x_0 - x_2)/v_m + t_2 - t_m$ 。此时,有轨电车到达停车线时信号灯为绿灯,可以 v_1 的速度通过交叉口;之后减速至 0,在停靠站停车;停站后加速至 v_m ,到达 P_3 。该过程中有轨电车从 P_0 行驶至 P_3 的用时 Δt_1 为:

$$\Delta t_1 = \frac{x_0 - x_2}{v_m} + t_2 + \frac{x_1 - x_4}{v_1} + t_4 + t_0 + t_3 \quad (1)$$

2) 情形 2 下,有轨电车通过 P_0 时为红灯,且 $t_r > (x_0 - x_3)/v_m + t_3 + t_m$;或通过 P_0 时为绿灯,且 $t_g < (x_0 - x_2)/v_m + t_2 - t_m$ 。此时,有轨电车到达停车线时信号灯为红灯,必须在停车线前停车,待信号灯转为绿灯后加速至 v_1 以下的速度通过交叉口;之后减速至 0,在停靠站停车;停站后加速至 v_m ,到达 P_3 。设该情形下有轨电车需在停车线前停车时间 t_1 ,设有轨电车从 P_1 行驶至 P_2 所用的时间为 t_5

(取历史运行数据的平均值),则有轨电车从 P_0 行驶至 P_3 的用时 Δt_2 为:

$$\Delta t_2 = \frac{x_0 - x_3}{v_m} + t_3 + t_1 + t_5 + t_0 + t_3 \quad (2)$$

3) 情形 3 下,有轨电车通过感应线圈时为红灯,且 $(x_0 - x_2)/v_m + t_2 + t_m < t_r \leq (x_0 - x_3)/v_m + t_3 + t_m$ 。此时,有轨电车先减速至 v_1 以下的某一个速度,当司机发现交叉口信号灯将要转绿时开始加速,以小于或等于 v_1 的速度通过交叉口,之后减速至 0,在停靠站停车,停站后加速至 v_m ,到达 P_3 。设有轨电车从 P_0 行驶至 P_2 所用的时间为 t_6 (取历史运行数据的平均值),则有轨电车从 P_0 行驶至 P_3 的用时 Δt_3 为:

$$\Delta t_3 = t_6 + t_0 + t_3 \quad (3)$$

三种情形下有轨电车的行驶速度-位置曲线如图 2 所示。

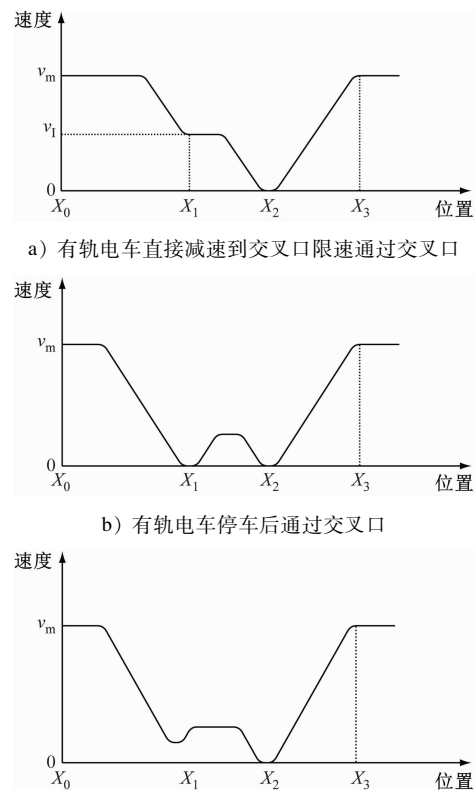


图 2 停靠站设在交叉口下游时三种情形下的速度-位置曲线
Fig. 2 Velocity-position curves under 3 scenarios with station located downstream of the intersection

1.2.3 停靠站设在交叉口上游时的延误情形

若停靠站设在交叉口上游(情形 4),则有轨电车进入进口道时减速至 0 并在车站停靠。若有轨电

车通过 P_0 时为红灯且 $t_r > (x_0 - x_3)/v_m + t_3 + t_m + t_0$, 或有轨电车通过 P_0 时为绿灯且 $t_g < (x_0 - x_3)/v_m + t_3 + t_m + t_0$, 则停靠完毕后交叉口信号灯为绿灯, 于是有轨电车起动加速至通过交叉口; 否则将等待信号灯转为绿灯后起动。该过程中有轨电车从 P_0 行驶至 P_3 的用时 Δt_4 为:

$$\Delta t_4 = \frac{x_0 - x_3}{v_m} + t_3 + t_0 + t_1 + t_4 + \frac{x_1 - x_4}{v_1} + t_2 + \frac{x_3 - x_2}{v_m} \quad (4)$$

该情况下有轨电车的行驶速度-位置曲线如图3所示。

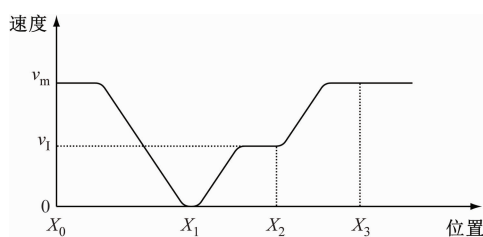


图3 停靠站设在交叉口上游时的速度-位置曲线

Fig. 3 Velocity-position curve with station located upstream of the intersection

以情形1的时间为标准时间,以第 n 种情形用时 Δt_n ($n=2,3,4$) 与 Δt_1 的时间差为延误时间,则第 n 种情况的延误时间 d_n 为:

$$d_n = \Delta t_n - \Delta t_1 \quad (5)$$

2 统计与分析

本文以 T1 线 2021 年 11 月 15—21 日的运行轨迹数据进行分析。

2.1 有轨电车交叉口到达时间分布

若要计算有轨电车在交叉口及停靠站的延误,则需要明确各种情况出现的概率分布。统计各车次到达各车站 P_0 处的时间分布后,需要获取各交叉口某一周期绿灯启亮的时间,并以该时间为标准,计算各车辆到达各车站 P_0 处的时刻在一个周期中的相对时间,即:

$$t_{a,T} = (t_{a,0} - t_{gs}) \quad (6)$$

式中:

$t_{a,T}$ ——第 a 个车次到达各车站 P_0 处的时刻处于一个交叉口信号周期 T 中的相对时间(以绿灯启亮的时刻为 0);

$t_{a,0}$ ——第 a 个车次到达各车站 P_0 处的时刻;

t_{gs} ——各交叉口某一周期绿灯启亮的时刻。

为了方便延误计算,需要分别统计停靠站设在交叉口上游及下游情况下对应时间段内的到达频率。对于到达停车线时为红灯的情形,该情形对应的时间区段较长,且区段内不同时刻对应的延误差距较大,可以 5 s 为步长,统计每个时段对应的到达频率。以曹农路站为例,绘制 $t_{a,T}$ 的频率分布直方图,如图4所示。可以看出,在一个周期内有轨电车到达交叉口的时间并不是均匀分布,有相对集中的时间区段。

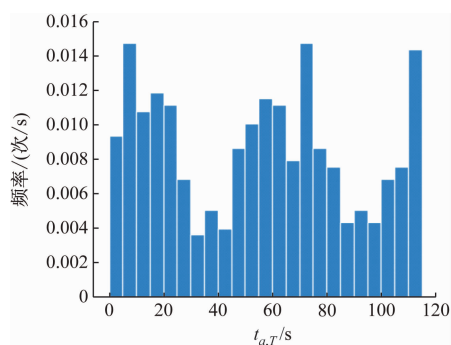


图4 曹农路站 $t_{a,T}$ 的频率分布直方图

Fig. 4 Frequency distribution histogram of $t_{a,T}$ at Caonong Road Station

2.2 有轨电车不同停靠站位置下的延误

本节将以曹农路站为例,根据计算模型,运用 $t_{a,T}$ 分布,比较停靠站设在交叉口下游与上游时的延误指标。对于某停靠站 $t_{a,T}$ 的各时间区段按照式(5)计算停靠站设在上、下游时的延误时间,其中,有轨电车在停车线的等待时间以每个时间区段的中值对应的时间为准。设第 i 个时间区段的频率为 p_i ,延误为 D_i ,则有轨电车在停靠站 j 处且停靠站在交叉口的 k 位置($k=1$ 表示上游, $k=2$ 表示下游)时,有轨电车的延误 $d_{j,k}$ 为:

$$d_{j,k} = \sum_i p_i D_i \quad (7)$$

各停靠站位置不同时的延误如表1所示。

表1 各停靠站位置不同时的延误

Tab.1 Delays at different stop locations

停靠站	设在交叉口上游的延误/s	设在交叉口下游的延误/s	差值/s
曹农路站	7.6	14.7	7.1
松卫公路站	24.9	34.5	9.6
松江体育中心站	20.7	33.9	13.2
仓汇路站	15.8	23.1	7.3

由表1可以得出如下结论:①在绿信比接近的情况下,信号周期较长的交叉口延误较大;②在信

号周期接近的情况下,绿信比较低的交叉口延误较大;③对于一般的交叉口而言,停靠站设在交叉口上游比设在交叉口下游产生的延误小;④对于绿信比较低且规模较大的交叉口,停靠站设在交叉口下游时的延误较设在交叉口上游时的延误更大。

经分析,有轨电车在停靠站及其附近的交叉口产生的延误分为两部分,第一部分是由于加减速及低速行驶产生的延误,第二部分是由于等待信号灯停车产生的延误。停靠站设在交叉口上游与下游时的第二部分延误差距不大,以曹农路站为例,停靠站设在交叉口上游时第二部分延误为 7.6 s,而设在交叉口下游时第二部分延误为 7.4 s。但停靠站设在交叉口上游时第一部分延误为 0,而设在交叉口下游时,第一部分延误不为 0,因此停靠站设在交叉口上游时延误更小。

2.3 信号配时对车站在交叉口上游时延误的影响

除了有轨电车的停车位置,交叉口的信号配时也会影响有轨电车在交叉口区域的延误。假设交叉口信号周期不变,有轨电车行驶方向绿灯启亮时间在一个信号周期内的时间为 t_{gs} ($0 \leq t_{gs} \leq T$)。由式(7)可计算在不同 t_{gs} 时有轨电车通过停靠站与交叉口时的期望延误。以曹农路站为例,不同 t_{gs} 下有轨电车通过停靠站与交叉口时的期望延误如表 2 所示。

表 2 曹农路站不同 t_{gs} 下有轨电车通过停靠站与交叉口时的期望延误

Tab. 2 Expected delays of trams passing through stop and intersection under different t_{gs} at Caonong Road Station

t_{gs}/s	期望延误/s	t_{gs}/s	期望延误/s	t_{gs}/s	期望延误/s
0	8.86	40	9.03	80	11.13
5	9.47	45	7.75	85	11.15
10	11.28	50	7.59	90	10.11
15	11.53	55	7.60	95	9.38
20	12.33	60	8.85	100	8.13
25	12.13	65	9.37	105	7.56
30	11.45	70	9.69	110	7.49
35	11.45	75	10.98		

从表 2 中可以看出: $t_{gs} = 110$ s 时,有轨电车通过停靠站和交叉口的期望延误最小,因此,可以将该交叉口有轨电车行驶方向的绿灯启亮时间设置在一个周期的 110 s 时。此时,有轨电车在停车线前长时间停车的车次比例较低。对于其他停靠站位于上游的交叉口,也可采用类似的方法来设置有轨电车行驶方向的绿灯启亮时间。

3 结语

本文通过构建有轨电车在停靠站及其附近交叉口的延误计算模型,比较了不同设站位置对于延误的影响。讨论了停靠站设在交叉口下游、上游时有轨电车通过交叉口区域和停靠站的行驶特性,并给出了延误的计算公式。统计了有轨电车到达交叉口停车线前制动位置的频率,计算了有轨电车停靠站设在下游、上游时的延误时间。

根据计算的延误时间结果,本文得出了在单一线路且有轨电车行驶方向为直行的交叉口,停靠站设在上游时延误时间更小的结论。本文还讨论了信号配时对车站在交叉口上游时延误的影响,可通过合理设置信号配时减少有轨电车延误。

实际工程当中,出于多方面因素考虑有轨电车停靠站需要设在交叉口下游,例如某些车站需要为上下行乘客提供换乘服务或是交叉口下游有重要的客流集散地。此时建议优先考虑在有轨电车行驶方向绿信比较高、规模较小的交叉口设置停靠站,以减少停靠站设在交叉口下游时对有轨电车延误的增加。此外,交叉口与上游交叉口的相位差会影响延误,应根据有轨电车行驶时间及停靠时间合理设置交叉口间的相位差,降低在停车线前长时间等待的车次比例,以减小整体延误。

本研究所构建的延误模型的参数使用了有轨电车的实际运行轨迹数据,相比于理想化的模型构建更具有说服力。分析了信号周期、绿信比、交叉口规模等因素对于有轨电车交叉口附近延误时间的影响,得出了具有普适性的结论。下一步将研究有轨电车共线段高密度行车场景和车辆在交叉口转向场景下的车站设置方法。

参考文献

- [1] 杨晓光, 阴炳成. 公共汽车交通专用道及其停靠站最佳布置方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004, 32(7): 901.
YANG Xiaoguang, YIN Bingcheng. Optimal location of exclusive bus lane and bus stops[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2004, 32(7): 901.
- [2] 付晶燕, 赵靖. 基于车均延误的快速公交停靠站布设位置[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(11): 1676.
FU Jingyan, ZHAO Jing. Optimal layout of bus rapid transit stops at intersections based on delay analysis[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(11): 1676.

(下转第 20 页)

4 结语

本文通过 LuGre 摩擦模型建立二自由度盘形制动器动力学模型,分别探究了角速度、制动压力和摩擦因数差值对系统稳定性的影响。结果表明:

1) 当 $\omega = 0.286 \text{ rad/s}$ 时,制动系统处于一种黏滑振动状态,随着角速度的逐渐增大,制动系统从黏滑运动趋向于稳定运动状态。

2) 随着制动压力的增大,制动系统逐渐由稳定状态,向黏滑状态转变,运动情况更加复杂。

3) 摩擦因数差值的增大,会增加振动的幅值,且会增加制动系统进入稳定运动状态所需的时间。

参考文献

- [1] CHEN F, OUYANG H, WANG X. A new mechanism for friction-induced vibration and noise[J]. Friction, 2023, 11(2): 302.
- [2] LU C, WANG Q, WANG Z, et al. Stick-slip characteristic analysis of high-speed train brake systems; a disc-block friction system with different friction radii[J]. Vehicles, 2023, 5(1): 41.
- [3] 马莹莹, 杨晓光, 马万经. 快速公交站台形式及位置最佳布置方法[J]. 城市交通, 2006, 4(4): 50.
MA Yingying, YANG Xiaoguang, MA Wanjing. Types of BRT stations and their optimal locations[J]. Urban Transport of China, 2006, 4(4): 50.
- [4] 葛宏伟, 王伟, 陈学武. 信号交叉口上游公交站点实际停靠延误模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(12): 2062.
GE Hongwei, WANG Wei, CHEN Xuewu. Bus stopping delays at signal-controlled intersection with bus stops upstream[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(12): 2062.
- [5] WONG S C, YANG H, AU YEUNG W S, et al. Delay at signal-controlled intersection with bus stop upstream[J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124(3): 229.
- [6] 杨龙海, 李丽兰, 钟绍鹏. 信号交叉口进口道上游公交停靠站设置研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(2): 292.
YANG Longhai, LI Lilan, ZHONG Shaopeng. Research on the location of bus stops upstream the approach at signalized intersections[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39

- [3] WEI D, RUAN J, ZHU W, et al. Properties of stability, bifurcation, and chaos of the tangential motion disk brake[J]. Journal of Sound and Vibration, 2016, 375: 353.
- [4] YAN X, FAN C, WANG W, et al. Study on the influence of radial stiffness on the nonlinear vibration of brake system[J]. Industrial Lubrication and Tribology, 2022, 74(1): 10.
- [5] WEI D, WANG W, WANG B, et al. Bifurcation and chaotic behaviors of vehicle brake system under low speed braking condition[J]. Journal of Vibration Engineering & Technologies, 2021, 9(8): 2107.
- [6] HUANG Q, XIA J, LIU H. Friction-induced vibration of marine propeller shaft based on the LuGre friction model[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2023, 37(8): 3867.

· 收稿日期:2024-05-11 修回日期:2024-10-10 出版日期:2025-04-10
Received:2024-05-11 Revised:2024-10-10 Published:2025-04-10
· 第一作者:方浩,硕士研究生,2108020022028@stu.bucea.edu.cn
通信作者:王金海,副教授,wangjinhai@bucea.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 14 页)

- [3] 马莹莹, 杨晓光, 马万经. 快速公交站台形式及位置最佳布置方法[J]. 城市交通, 2006, 4(4): 50.
MA Yingying, YANG Xiaoguang, MA Wanjing. Types of BRT stations and their optimal locations[J]. Urban Transport of China, 2006, 4(4): 50.
- [4] 葛宏伟, 王伟, 陈学武. 信号交叉口上游公交站点实际停靠延误模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(12): 2062.
GE Hongwei, WANG Wei, CHEN Xuewu. Bus stopping delays at signal-controlled intersection with bus stops upstream[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(12): 2062.
- [5] WONG S C, YANG H, AU YEUNG W S, et al. Delay at signal-controlled intersection with bus stop upstream[J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124(3): 229.
- [6] 杨龙海, 李丽兰, 钟绍鹏. 信号交叉口进口道上游公交停靠站设置研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(2): 292.
YANG Longhai, LI Lilan, ZHONG Shaopeng. Research on the location of bus stops upstream the approach at signalized intersections[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39
- (2): 292.
- [7] 杨寿军. 有轨电车站站形布置及站位设置的技术要点[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(11): 128.
YANG Shoujun. Technical key pints in station layout and station setting for streetcar[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11): 128.
- [8] 潘琢. 有轨电车平交路口停站方案对延误时间的影响[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(3): 68.
PAN Zhuo. Influence of modern tram intersection stop strategy on the delay time[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(3): 68.
- 收稿日期:2023-02-13 修回日期:2023-03-30 出版日期:2025-04-10
Received:2023-02-13 Revised:2023-03-30 Published:2025-04-10
· 第一作者:周炜夏,博士研究生,2011389@tongji.edu.cn
通信作者:滕靖,教授,tengjing@tongji.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821