

Research on Signal Optimization Strategy of Modern Tram Intersection in Jiaxing, China

Luyi Hou Kexuan Lu Yuting Guo Yinkai Feng Jinhao Xu

Zhejiang College, Tongji University, Jiaxing, Zhejiang, 314051, China

Abstract

The paper proposes further signal optimization strategies based on the signal evolution of the tram intersection in Jiaxing, China, proposes a road phase protection mechanism during the transition period of the tram construction, and judges the change mode of the tram phase by coordinating and comparing the passenger flow that can be dredged by the priority release of the tram at the intersection and the passenger flow that can be dredged by the current phase release.

Keywords

tram; intersection; signal optimization

中国嘉兴市现代有轨电车交叉口信号优化策略研究

侯璐懿 陆珂渲 郭好婷 冯胤锴 许金昊

同济大学浙江学院, 中国·浙江 嘉兴 314051

摘要

论文根据中国嘉兴市有轨电车交叉口信号演变而提出进一步信号优化策略, 在有轨电车建设过渡时期提出道路相位保护机制, 将有轨电车在交叉口的优先通行权限制条件, 通过协调对比优先放行有轨电车所能疏通的客流及放行当前相位所能疏通的客流量, 判断有轨电车相位变化方式。

关键词

有轨电车; 交叉口; 信号优化

1 引言

自 1881 年世界首条有轨电车线路开通以来, 有轨电车已经历了 143 年的发展历史, 这期间有发展与繁荣, 亦有衰落和复兴。随着中国经济的快速发展及城市化水平的提高, 城市人口大幅增长, 城市交通问题也日益凸显。为解决城市交通问题, 中国嘉兴市政府选择开通有轨电车来助力城市公共交通的发展。截至 2023 年 1 月 1 日, 嘉兴市有轨电车 T1 线已全面开通, 运营里程共计 13.8km, 设站点 16 座。该线路连接了嘉兴南站和安乐路, 途径嘉兴火车站, 采用混合路权和人工驾驶, 线路为地面敷设, 在道路交叉口与其他交通参与者(机动车、非机动车、行人)共享路权。“十四五”规划中明确指出要建设智能交通、推广交通信号联动、公交优先通行控制, 但嘉兴市有轨电车的线网建设仍处于过渡阶段^[1]。随着有轨电车迅速发展, 城市道路的基础性工作未能同步跟上, 如有轨电车的线路设计、运行模式、路权优先等问题仍需要研究和完善。我组以项目前

期的跟车调查和嘉兴市有轨电车运营情况的实地探访资料为基础, 结合中国和其他国家相关研究数据, 认为嘉兴市有轨电车在交叉口的通行情况存在改进空间。因此论文通过聚焦嘉兴市由拳路-双溪路交叉口高峰时段的整体通行情况, 以所获数据为研究依据, 重新调配有轨电车在交叉口的信号相位规则。

2 嘉兴市有轨电车 T1 线交叉口交通信号

2.1 T1 线运行初期交叉口情况

2022 年 6 月 25 日嘉兴市有轨电车 T1 线全线开通。

嘉兴市有轨电车作为浙江省开通的首条有轨电车, 对于探寻现代有轨电车与城市道路的协同发展之道有着重大意义。在我组于 2022 年 6 月 4 日进行的有轨电车跟车调研(情况见表 1)中, 可略见交叉口数量对有轨电车线路运行时间、速度的影响。

2.2 T1 线运行初期交叉口交通信号

通过跟车调研, 我组熟知初运营时有轨电车的路权较低, 其主要表现为有轨电车与车辆同路权, 需于路口等待信号灯跳转。具体路权情况如图 1 所示。

【作者简介】侯璐懿(2001-), 女, 中国浙江湖州人, 在读本科生, 从事交通工程研究。

表 1 有轨电车各运营段基本情况

站点区间编号	停站时间 (s)	途径交叉口数	站点经过时间 (s)	车速变化 (km/h)	
				交叉口	路段
1	20	7	130	35 (±1)	60 (±3)
2	25	2	37	35 (±1)	70 (±2)
3	20	6	305	30 (±2)	60 (±1)
4	20	2	47	60 (±1)	50 (±3)
5	20	4	129	30 (±2)	50 (±3)
6	15	3	232	15 (±1)	60 (±2)
7	20	1	173	16 (±1)	70 (±1)
8	30	1	60	20 (±1)	55 (±2)
9	20	1	76	35 (±2)	60 (±1)
10	25	1	83	25 (±1)	70 (±1)
11	/	1	180	15 (±1)	60 (±2)

2.3 T1 线运行后期交叉口交通信号

经过有轨电车线网运营策略整改, 为有轨电车提供交叉口绝对优先通行权, 通过在距离交叉口 200m 范围处布设信标, 通过传感器数据判断有轨电车运行位置, 平叉路口优先控制器通过不同信标上传位置与道路交通信号控制器配合, 进行交叉口相位切换^[2]。其运行规则如图 2 所示。

由拳路 - 双溪路交叉口信号相位如图 3 所示。

由拳路 - 双溪路交叉口为四相位, 在图中分别显示为 A、B、C、D, 而 T 相位为有轨电车经过时的插入相位。信号相位时长如表 2 所示。

根据实地调查, 该交叉口信号相位运行逻辑如图 4 所示。

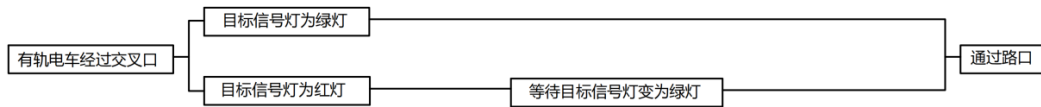


图 1 初期有轨电车在交叉口的运行规则

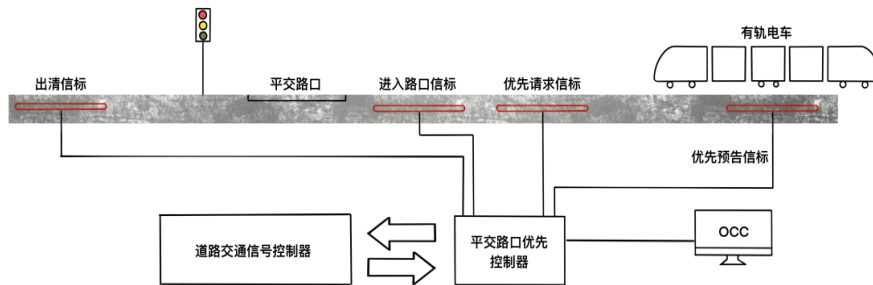


图 2 嘉兴市有轨电车的运行规则

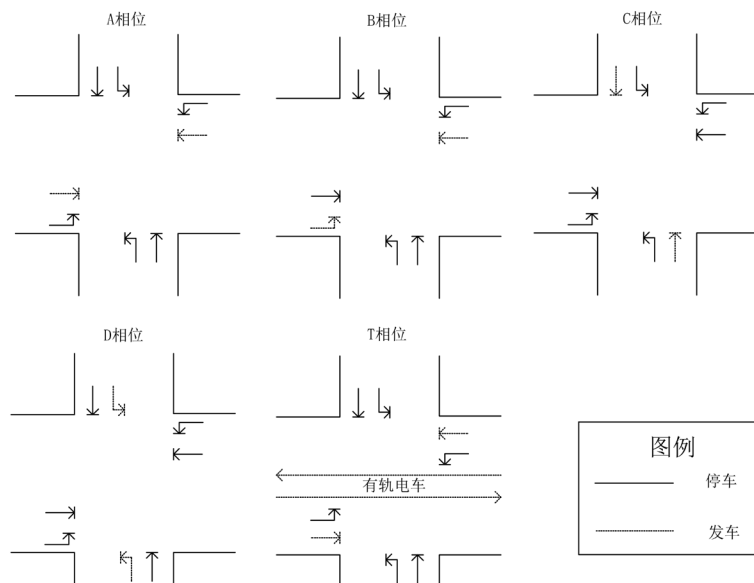


图 3 由拳路 - 双溪路交叉口信号相位

表 2 由拳路 - 双溪路交叉口信号相位

	A	B	C	D	T
相位 时段					
17:00—18:00	50s	32s	50s	32s	27s

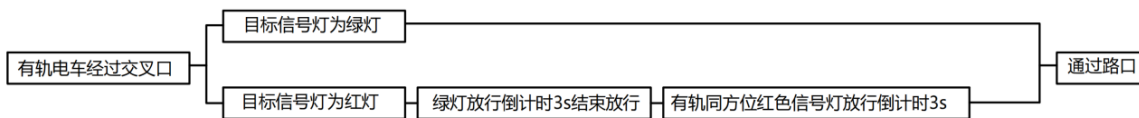


图 4 后期有轨电车在交叉口的运行规则

2.4 T1 线交叉口交通信号优化

2.4.1 优化方向

在道路交叉口为有轨电车提供优先通行的信号，是落实公共交通优先战略的体现，是提高有轨电车运营安全、运营速度、运营可靠性及运营效率的重要保障，是有轨电车智能化运营控制的重要特征。但有轨电车的交通信号优先与路权的分配密切相关，有轨电车采用混合路权时，在交叉口无法做到很好的信号优先。

目前，嘉兴有轨电车 T1 线的交通信号控制策略为绝对优先，即当有轨电车运行至交叉口时可不停车直接通过交叉口。此通行策略会侵占其他交通相位的时间资源，造成其他相位车辆的延误增加，尤其对于流量大的相交道路其影响更为突出，将导致交叉口服务水平的下降。同时，由于道路交叉口的服务水平具有关联性的特点，一个道路交叉口节点的瓶颈将会导致一个区域的交通阻塞，所以需要同步因有轨电车信号优先而受到影响的整体区域进行交通协调^[2]。

因此，我组在借鉴苏州高新区有轨电车 1 号线的主动请求式信号优先策略的基础上，结合被动式信号优先常用策略，创新考虑有轨电车交叉口优先级评价指标，提出道路相位正常疏通保护机制以提升交叉口总体客运通行能力。

2.4.2 被动式信号优先策略

传统的被动式信号优先主要通过采集有轨电车运行的历史数据以估算有轨电车需要的优先等级。常用的被动式优先方法如图 5 所示。

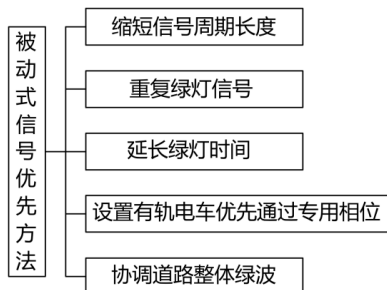


图 5 被动式优先方法

由于现实交通情况多变，应结合采用主动式信号优先方式优化信号。

2.4.3 主动式信号优先策略

有轨电车主动式信号优先的常用方法是基于延长同方向绿灯、缩短同方向红灯、插入相位等方法衍生出来的。根据有轨电车到达时刻与当前信号控制所处的阶段具体指定信号时间，该方案的实施应当在保证道路相位的最小绿灯时间、保证相位间的安全绿灯间隔的前提下进行。常见的主动式信号优先方法如图 6 所示。

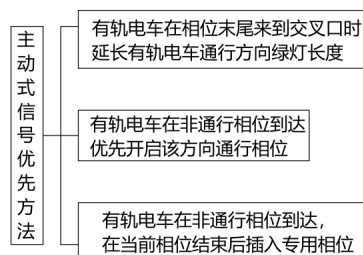


图 6 主动式优先方法

2.4.4 道路相位正常疏通保护机制

考虑嘉兴有轨电车站网正处在逐步完善阶段，过高的信号优先将会破坏原道路相位的交通舒畅性，且由于有轨电车的运营具有灵活性的特点，其经过交叉口的时间点不易控制，易出现有轨电车交替通过而造成的绿灯通行资源空放等情况，降低交叉口整体通行效率^[3]。因此，嘉兴市有轨电车的信号控制除考虑主动式、被动式优先策略以外，还应兼顾交叉口的总体运行情况，即建立道路相位正常疏通保护机制。有轨电车经过交叉口时将会导致垂直方向车道车辆进行等待，如图 7 所示。

嘉兴市有轨电车一班次五节车厢能够承载的人数为 368 人，如表 3 所示，根据 2021 年 6 月 25 日（嘉兴有轨电车初次开通日）至 2022 年 2 月 27 日有轨电车每日运营数据，取平均上座人数 40 人。

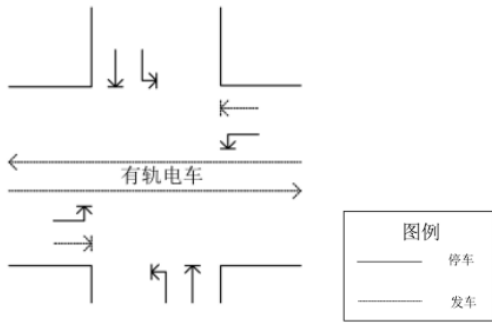


图 7 有轨电车经过交叉口时将会导致垂直方向车道车辆进行等待

表 3 2021 年 6 月 25 日至 2022 年 2 月 27 日嘉兴市有轨电车运营情况

日期	运营总天数(天)	载客列次	日均客流(人)	日均载客人数(人/列)
2021.6.25~2021.8.24	50	9266	10207	55
2021.8.25~2021.10.3	100	19760	7503	36
2021.10.4~2021.11.22	150	30388	6081	29
2021.11.23~2022.1.11	200	无数据	5096	无数据
2022.1.12~2022.2.27	247	无数据	4658	无数据
日均载客人数(人)	40			

汽车承载人数上限为 4 人，其中 1 人上座率为 50%，2 人上座率为 20%，3 人上座率为 15%、4 人上座率为 10%、5 人上座率为 5%。计算道路相位是否触发正常疏通保护机制公式如下：

$$judge = \frac{P_g + P_{直}}{P'_{当前}}$$

式中：judge——判断有轨电车经过时相位如何变换，

若 $judge \geq 1$ 则有轨电车相位正常插入下一相位，若 $judge < 1$ 则触发疏通保护机制，有轨电车在交叉口等待当前相位结束后插入相位；

P_g ——有轨电车承载人数，在嘉兴市有轨电车运营中取值为 40；

$P_{直}$ ——与有轨电车同方向放行的车流承载人数；

$P'_{当前}$ ——当前相位放行的车流承载人数。

$$P'_{当前} = P'_1 + P'_2 + P'_3 + P'_4 + P'_5$$

$$= q' \times 50\% \times 1 + q' \times 20\% \times 2 + q' \times 15\% \times 3 + q' \times 10\% \times 4 + q' \times 5\% \times 5$$

q' 为当前相位放行的车流量，同理：

$$P_{直} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$$

$$= q \times 50\% \times 1 + q \times 20\% \times 2 + q \times 15\% \times 3 + q \times 10\% \times 4 + q \times 5\% \times 5$$

将以上综合考虑，以交叉口疏通人数为衡量基准，当有轨电车方向直行车辆承载人数以及有轨电车载人数小于交叉口垂直方向车辆承载人数时，交叉口应采取道路相位正常疏通保护机制，取消有轨电车的优先通行权，而放行当前相位车流，进而提升交叉口总体客运通行能力。

2.5 T1 线交叉口信号优化最终方案

综合考虑有轨电车及所经过交叉口通行效率，结合嘉兴市有轨电车交叉口信号演变，论文提出 T1 线交叉口信号优化的最终方案（如图 8 所示）^[4]，在原有信号交叉口信号逻辑基础上增设道路相位是否触发保护，从而抑制突发的有轨电车信号优先造成的放行损失。

3 结语

论文通过提出道路相位正常疏通保护机制作为有轨电车与原有城市道路配合的纽带，提升有轨电车网络骨架与嘉兴市城市交通的适配性，抑制有轨电车路权过高导致的信号灯空放，从而提升有轨电车经过的交叉口整体协调客流水平。

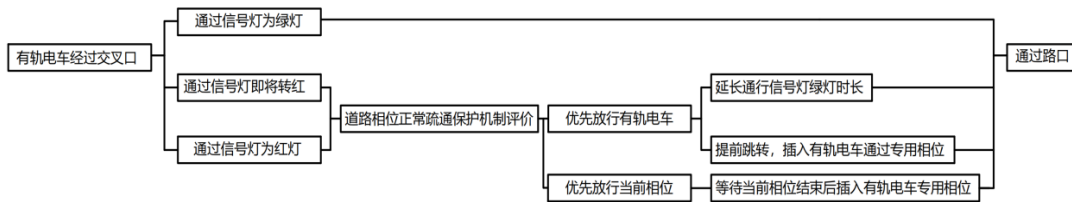


图 8 T1 线交叉口信号优化的最终方案

参考文献

[1] 徐正良.有轨电车概论[M].北京:中国铁道出版社,2018.
 [2] 吴兵.交通管理与控制[M].第5版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
 [3] 嘉兴有轨电车T1线全线开通运营[J].城市轨道交通研究,2022(S1):131.
 [4] 黄筱璐.以需求为导向,实现嘉兴市有轨电车交通的优化升级[J].城市轨道交通研究,2021,24(S2):6+137-138.