

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.02.006

港湾式公交停靠站附近混合交通流交通冲突特性分析*

葛鹏¹, 陈梅²

(1. 贵州理工学院 交通工程学院, 贵州 贵阳 551700; 2. 贵州财经大学 发展规划处, 贵州 贵阳 551700)

摘要: 为了解港湾式公交停靠站附近混合交通流的交通冲突特性, 通过视频录像采集典型公交停靠站数据, 利用交通仿真技术输出车辆轨迹, 使用交通冲突分析方法获取交通冲突指标, 应用极值理论确定严重冲突(碰撞时间 T_{TTC}) 的阈值为 0.65 s, 将公交停靠站区域划分为加速段下游、加速段、停车段、减速段、减速段上游进行分析。结果显示, 加速段交通冲突数量占 38.07%、停车段占 35.53%、减速段占 11.68%、减速段上游占 9.64%、加速段下游占 5.08%; 各段冲突类型均以追尾冲突为主, 严重冲突主要发生在加速段, 占该段所有冲突的 45.33%; 电动自行车参与的交通冲突发生在减速段的最多, 占该段所有冲突的 73.91%。

关键词: 交通安全; 交通冲突; 港湾式公交停靠站; 混合交通流

中图分类号: U491.265

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)02-0027-06

“公交优先”是中国重要交通战略, 公交停靠站作为公交系统的重要组成部分, 其运行效率和安全性的程度不言而喻^[1]。在城市道路中, 路边港湾式公交停靠站设置较普遍^[2], 站台附近交通环境复杂, 公交车、小型机动车、电动自行车、人力自行车、行人等多种交通参与者在完成各自交通出行的过程中不可避免地产生交通冲突^[3]。汪济洲等分析了公交车进出站台时减速进站、驻站停车、加速出站 3 个阶段的安全性, 发现公交车进出站台过程中交通安全性主要受车速、速度差、加速度、与站台间距的影响, 并从车辆运动属性划分每个阶段的危险等级, 但未考虑其他外部环境造成的影响^[4]。Wan Q. 等考虑公交停靠站位置、交通量、与交叉口距离等因素对交通冲突的影响, 比较了路边和交叉口公交停靠站的安全性, 结果表明路边公交停靠站冲突数量更多, 但交叉口公交停靠站冲突严重性更高^[5]。除车辆自身运行特性、外部因素外, 动态交通环境、交通设施类型、交通参与者相互之间的作用也会影响交通冲突。王超研究发现公交到达率、服务时间、非机动车到达率、公交泊位数均会显著影响站台附近的交通冲突数量^[6]。Qi W.W. 等通过无人机和视频识别软件采集公交停靠站车流数据, 采用数理统计方法分析公交停靠站车流特征, 运用灰色聚类评价

理论, 在公交停靠站功能区栅格化的基础上, 提出了基于冲突率、冲突严重程度和潜在冲突风险指标的风险等级模型, 结果显示公交停靠站的风险区域集中在公交停靠站的中下游, 证明公交车出站过程对周边交通的影响大于公交车进站过程^[7]。电动自行车以其价格低廉、出行便捷等优点逐渐受到贵阳市民的喜爱, 但由于缺乏非机动车道, 目前贵阳的大部分城市道路存在机非混行现象, 而针对这类机非混行情形下公交停靠站附近交通冲突的分析较少。同时, 以往的研究主要从车辆自身运动属性、动态和静态交通环境、交通设施类型、交通参与者相互作用等方面进行分析比较, 较少关注公交停靠站不同位置的交通冲突及交通安全的差异。本文将公交停靠站进行划分, 通过实际调查, 结合交通仿真获取交通冲突数据, 分析公交停靠站各位置的交通冲突特性, 为公交停靠站精细化交通管理提供支撑。

1 数据的获取

目前获取交通冲突数据的方法主要有 3 种: 一是基于视频录像通过人工判别提取冲突数据; 二是基于视频录像, 借助 George、Track 轨迹追踪等半自动软件提取冲突数据; 三是基于 VISSIM 等微观仿真的轨迹文件通过 SSAM 软件提取冲突数

* 基金项目: 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教合 KY 字[2022]357 号)

据^[8-9]。为了避免人工提取数据误差大、费时费力的缺点,本文首先采用视频录像收集基础数据,然后构建 VISSIM 仿真模型,经过校准后获取车辆轨迹数据,使用 SSAM 交通冲突分析软件提取冲突数据^[10]。

1.1 实地数据调查

采用大疆 Air2s 无人机在贵阳市花溪区甲秀南路花溪平桥站进行拍摄。该路段为双向六车道,车道宽度为 3.5 m。公交停靠站为典型的城市道路港湾式公交停靠站,对称设计,其中一侧在公交停靠站范围内有停车场出口,提取数据时在出口车辆汇入主路的时段不对公交及电动自行车行为参数进行采集(见图 1)。公交停靠站运营路线 12 条。观测时间为 2023 年 4 月 12—13 日。受电池续航影响,在早晚高峰期间各拍摄 1 h,共计 4 h,观测时段内小型机动车双向交通流量为 6 696 辆/h,公交车为 182 辆/h,电动自行车为 563 辆/h(占 8.2%),机动车、电动自行车平均行驶速度分别为 46 km/h、

30 km/h。拍摄高度为 80 m。

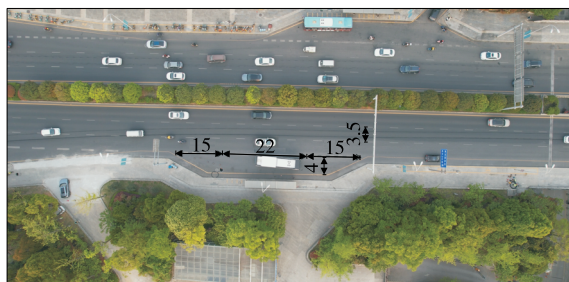


图 1 数据采集区域(单位:m)

1.2 仿真模型的建立与校准

VISSIM 模型的基础部分按照现场调查获得的参数进行设置。调整 VISSIM 参数使其更加接近实际交通情况,通过对比仿真与实测车头时距进行模型校准,其中跟车模型选择更适合城市交通的 Wiedemann 74 模型,校准方法参考文献^[10]。最终当安全距离的附加部分选择 1.2,倍数部分选择 5 时,仿真数据与实测数据吻合度较高(见表 1)。

表 1 仿真模型的校准关键参数

主要参数	说明	默认值	修正值
跟车模型	适用于车辆跟随的生理-心理模型	无交互作用	Wiedemann 74
平均停车距离	两车之间的平均期望距离	2	2.0
安全距离的附加影响	用于测定期望安全距离 d 的值	2	1.2
安全距离的倍数影响	用于测定期望安全距离 d 的值	3	5.0
默认的路段驾驶行为	针对路段或连接器设置行驶规则	无	机非混行路段

由于实测和仿真统计的样本数量不一致,采用各车头时距所占百分比进行卡方检验,默认参数下仿真车头时距与实测车头时距存在统计学显著差异,2 s 车头时距占比显著高于实际值,也就是说车辆行驶过程中与前车安全间距的期望值高于实际值。因此,调整安全距离的“加”系数和“乘”系数直到两组数据通过差异性检验^[11]。校准后,其渐进显

著性等于 $0.98 > 0.05$,接受原假设,两组数据之间无显著差异(见图 2)。至此,VISSIM 构建及校准完成。设置仿真时间为 1 h,随机种子数为 12,单次增量为 3,连续运行 10 次,输出轨迹文件。

1.3 SSAM 冲突的提取

采用交通冲突技术,使交通事故分析可以追溯到事故发生的前一级和初始状态^[12],通过交通冲突

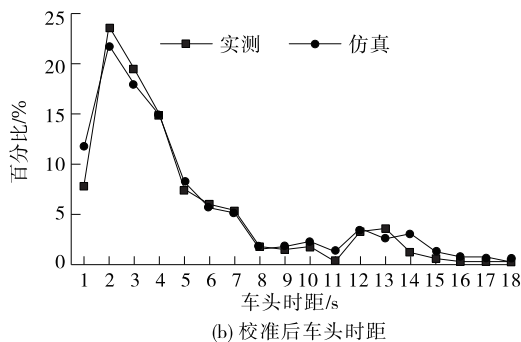
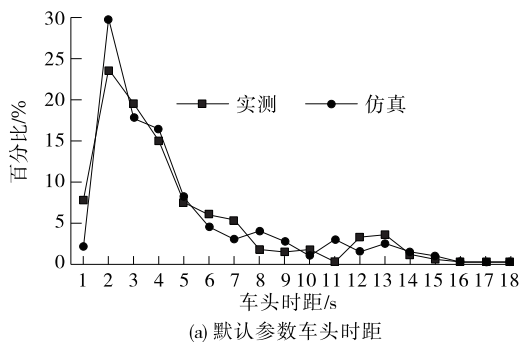


图 2 模型校准参数仿真与实测车头时距对比

相关指标了解交通冲突的时空定量关系。如图 3 所示,将交通冲突分为 6 类,分别为公交车与公交车(B-B)、公交车与小型机动车(B-C)、公交车与电动自行车(B-E)、小型机动车与小型机动车(C-C)、小型机动车与电动自行车(C-E)、电动自行车与电动自行车(E-E)。

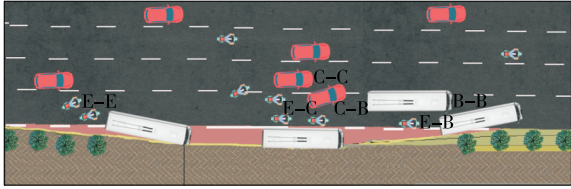


图 3 交通冲突类型划分示意图

碰撞时间 T_{TTC} 和后侵占时间 T_{PET} 一般分别设置为 $[2, 3]$ s、 $[5, 9]$ s^[13]。为了获得尽可能多的冲突数据,在 SSAM 中将最大 T_{TTC} 设置为 3 s、最大 T_{PET} 设置为 8 s、追尾冲突角度设为 30° 以下、交叉冲突角度设为 80° 以上。

经 SSAM 分析,得到 T_{TTC} 、 T_{PET} 、冲突位置、车长、时间、位置等参数。根据冲突位置、车长筛选交通冲突类型,共采集到 197 个有效冲突,其中追尾冲突 159 个、换道冲突 38 个。

2 基于极值理论的严重冲突阈值判断

为获得冲突严重性判别阈值,采用极值理论进行分析。根据极值理论,可将交通事故看作是某个交通事件范围内的极值事件^[14]。对于交通事故冲突指标超过某一阈值时发生的事件,应用图解法确定关键阈值。

2.1 平均剩余寿命图判断法

使用广义帕累托分布(GPD 分布)的平均超出量函数 $e(\mu)$,对于给定的样本 X_1, X_2, \dots, X_n ,定义样本的平均超出量函数为:

$$e(\mu) = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) \quad (1)$$

式中: N_n 表示超出量的个数。

对于阈值 μ_0 ,若超出量分布近似服从参数为 σ_{μ_0} 和 ξ 的广义帕累托分布,则大于该阈值的其他阈值的样本平均超出量函数应在一条直线附近上下波动。定义点集如下:

$$[\mu, e(\mu)]: \mu < x_{\max} \quad (2)$$

上述点集便是描述平均剩余寿命的点,根据平均剩余寿命图的波动情况可初步判断阈值范围。

2.2 阈值稳定性判断法

阈值稳定性判断法的核心是如果阈值 μ_0 是恰当的值,则超过阈值的样本服从 GPD 分布,此时如果取 $\mu_1 > \mu_0$,则相应的形状参数和位置参数应保持不变。基于此,选取若干个阈值,分别估计其形状参数和位置参数,通过判断不同阈值下估计值的稳定性进一步判断合适的阈值范围。方法如下:先观察平均剩余寿命图,选择近似线性关系的阈值范围 S_1 ;然后观察阈值稳定性图,选择尺度参数和形状参数基本不随阈值变化的范围 S_2 ;最后取 S_1 和 S_2 的交集作为阈值范围。

2.3 具体实现过程

由于 T_{PET} 一般只用于分析轨迹相交的交通冲突,如果应用于跟驰状态则会出现问题^[15]。而本次研究获取的主要为追尾冲突,且大部分发生在跟驰状态下,因此使用 T_{TTC} 指标进行分析更可靠。根据交通冲突理论, T_{TTC} 值越小,碰撞的可能性越大。碰撞事故往往是交通冲突值小于某一阈值的极端情况。GPD 分布实质上是拟合随机变量超过一个很大临界值条件下的分布,考虑了超过阈值的 r 个次序统计量。因此,将 T_{TTC} 取负值,找到 $-T_{TTC}$ 临界值即可转换为相应的交通冲突阈值。图 4 为 $-T_{TTC}$ 散点图。由图 4 可知: $-T_{TTC}$ 值分布范围为 $-3 \sim 0$ s,下部分布较密集,出现频次较高;越接近零,出现频次越低。

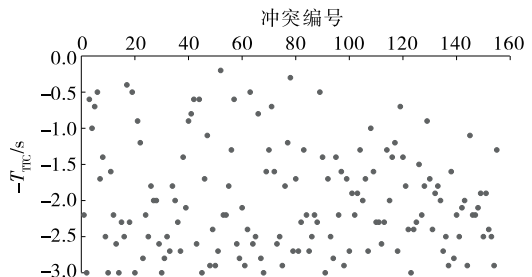


图 4 $-T_{TTC}$ 散点图

对获取的 197 个 T_{TTC} 样本绘制图 5(a)所示平均超出量函数图。由图 5(a)可知:阈值 S_1 为 $[-1.0, -0.5]$ s 时,平均超出量函数与阈值基本为线性关系。但根据平均超出量函数图确定冲突阈值存在一定的主观偏向性,得到的仅为范围数值,不同人选择的阈值不一定相同。为减小阈值的主观性,结合阈值稳定性进行判断。在上述阈值范围内均匀选择 100 个值,用超阈值极值模型进行估计,绘制尺度参数、形状参数与阈值的关系图[见图 5(b)]进行判断。由图 5(b)可知:阈值 S_2 为 $[-0.90, -0.65]$ s

时,尺度参数和形状参数基本稳定。 S_1 和 S_2 的交集为 $[-0.90, -0.65]$ s。根据估计量稳定性判断方法,若某一阈值对应的超出量服从 GPD 分布,则大于该阈值的其他阈值对应的尺度参数和形状参数应

基本保持不变。为保证模型的稳定性,在参数估计值稳定的情况下,应选择阈值中的最大值。因此,确定 $-T_{TTC}$ 的阈值为 -0.65 s,即 T_{TTC} 的阈值为 0.65 s, $T_{TTC} \leq 0.65$ s 的冲突为严重冲突(见表 2)。

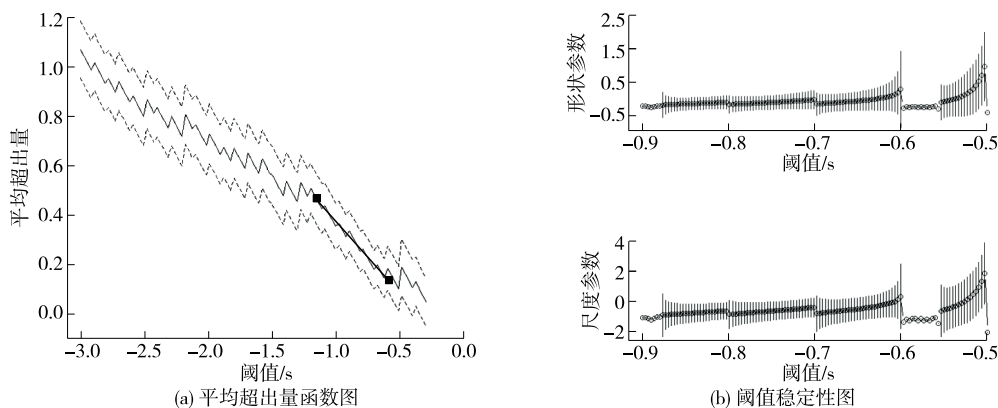


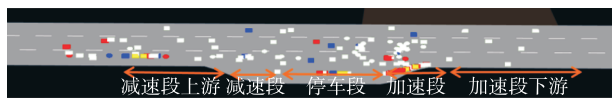
图 5 $-T_{TTC}$ 阈值判断图

表 2 冲突严重性分类

T_{TTC}/s	冲突类型	冲突描述
$0.00 < T_{TTC} \leq 0.65$	严重冲突	车辆处于碰撞的边缘,在时空上非常接近,驾驶员必须采取紧急制动措施
$0.65 < T_{TTC} \leq 1.30$	一般冲突	车辆有较大碰撞风险,在时空上比较接近,驾驶员必须采取相对紧急的制动措施
$1.30 < T_{TTC} \leq 1.95$	轻微冲突	车辆有碰撞风险,在时空上接近,驾驶员可采取正常制动措施
$T_{TTC} > 1.95$	潜在冲突	车辆有轻微碰撞风险,在时空上有所接近,驾驶员可采取轻柔制动措施

3 港湾式公交停靠站冲突特性分析

根据严重冲突阈值将港湾式公交停靠站及附近区域划分为加速段下游、加速段、停车段、减速段、减速段上游,其中上下游范围为 50 m(见图 6)。由图 6 可知:在公交站减速区的上游车辆受减速进站公交车的影响产生交通冲突,在公交站加速区车辆受公交车出站影响产生交通冲突,在车流交汇处产生大量严重冲突。



矩形代表追尾冲突,椭圆代表换道冲突;红色(●)表示 $T_{TTC} \leq 0.65$ s 的冲突,黄色(●)表示 $T_{TTC} \leq 1.3$ s 的冲突,蓝色(●)表示 $T_{TTC} \leq 1.95$ s 的冲突,白色表示 $T_{TTC} > 1.95$ s 的冲突

图 6 港湾式公交停靠站及附近区域的冲突情况示意图

根据冲突的第一辆车和第二辆车所在车道编号可以判断冲突发生的车道,通过冲突起点和冲突结束点第一辆车的 x 坐标值可以判断冲突发生位置,通过冲突的第一辆车和第二辆车的长度可以判断发

生冲突的车型。公交车长度为 12 m,小型机动车长度为 3.75~4.76 m,电动自行车长度为 1.8 m。公交停靠站各位置交通冲突情况见图 7。

由图 7 可知:加速段冲突数量占 38.07%,停车段冲突数量占 35.53%,减速段冲突数量占 11.68%,减速段上游冲突数量占 9.64%,加速段下游冲突数量占 5.08%。在加速段,出站公交车与邻近车道车辆存在空间上交叉,会产生截停或迫使其他车辆变道的现象,冲突数量最多;截停或被迫变道的车辆进一步影响停车段的其他车辆,造成停车段也出现大量交通冲突;公交车进站时在减速段减速,进而从邻近车道分离,该过程会使其他车辆获得更多的通行空间,但其速度会受到减速的公交车影响而产生缓行或变道行为;在减速段上游,公交车辆在进站过程中的变道和初步减速行为会影响上游车辆的正常行驶,产生一部分交通冲突;公交车经过加速段驶入下游汇入车流正常行驶,产生少部分冲突,但相比其他区段冲突数量较少。

从冲突严重度、冲突类型和冲突车型 3 个维度进行比较,各区段的冲突类型均以追尾冲突为主;发

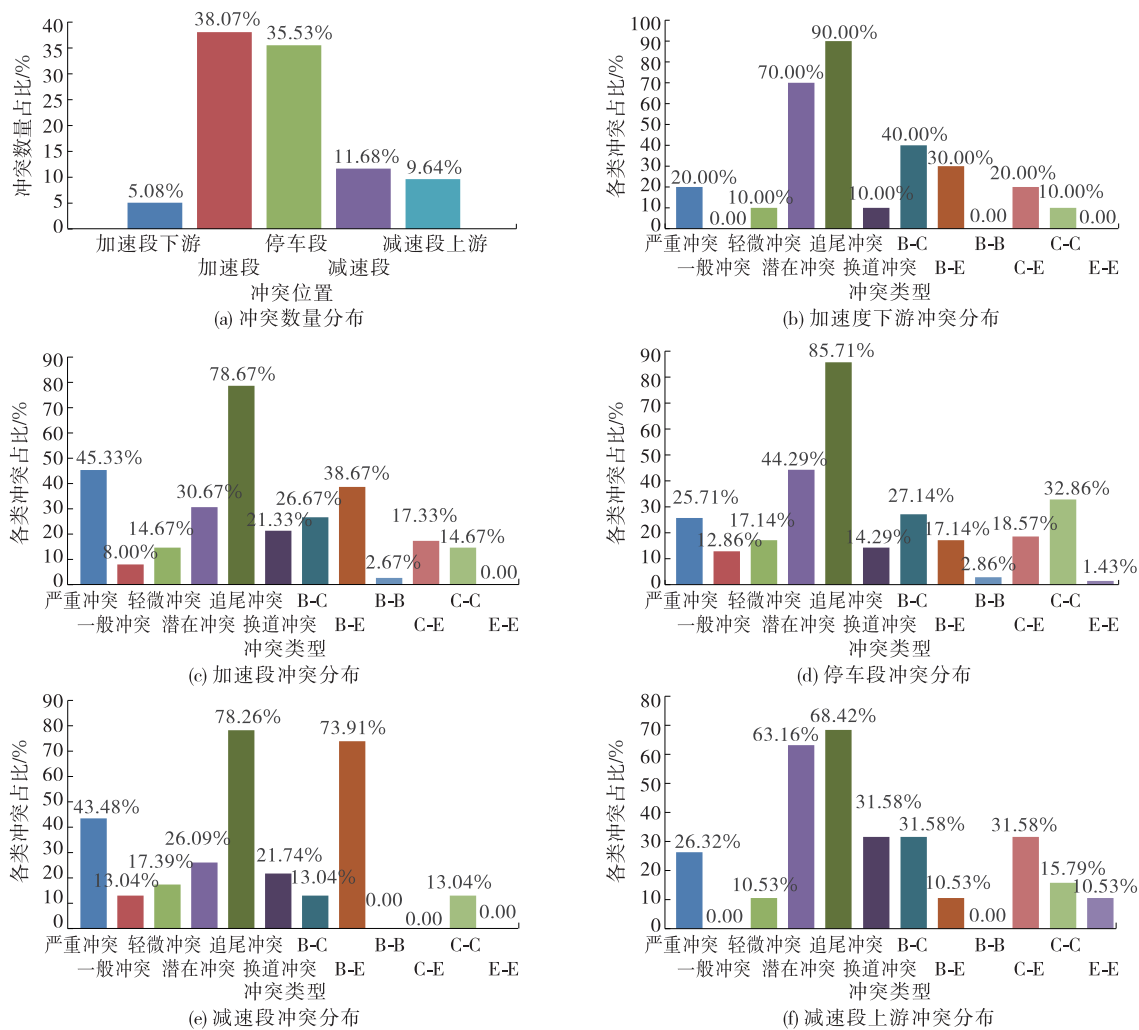


图 7 公交停靠站附近交通冲突特征统计

生追尾冲突最多的是加速段下游(占该段冲突的 90%),其次是停车段(占该段冲突的 85.71%);严重冲突主要发生在加速段(占该段冲突的 45.33%),其次是减速段(占该段冲突的 43.48%);最易发生公交车与小型机动车冲突的区段为加速段下游,最易发生公交车与电动自行车冲突的区段是减速段,最易发生公交车与公交车冲突的是停车段,最易发生电动自行车与电动自行车冲突的是减速段上游,最易发生小型机动车与电动自行车冲突的是减速段上游,最易发生小型机动车与小型机动车冲突的是停车段。

在加速段下游,严重冲突的占比最小,统计时段内为 20.00%。该段 90%的冲突类型为追尾冲突。最易发生冲突的车型是公交车与小型机动车,占 40%;其次是公交车与电动自行车,占 30%。

在加速段,严重冲突占比为 45.33%,该段 78.67%的冲突类型为追尾冲突。最易发生冲突的

车型是公交车与电动自行车,占 38.67%;其次是公交车与小型机动车,占 26.67%。

在停车段,严重冲突占比为 25.71%,该段 85.71%的冲突类型为追尾冲突。最易发生冲突的车型是小型机动车与小型机动车,占 32.86%;其次是公交车与小型机动车,占 27.14%。

在减速段,严重冲突占比为 43.48%,该段 78.26%的冲突类型为追尾冲突。最易发生冲突的车型是公交车与电动自行车,占 73.91%;其次是公交车与小型机动车和小型机动车与小型机动车,各占 13.04%。

在减速段上游,严重冲突占比为 26.32%,该段 68.42%的冲突类型为追尾冲突。最易发生冲突的车型是公交车与小型机动车及小型机动车与电动自行车,各占 31.58%;其次是小型机动车与小型机动车,占 15.79%。

此外,电动自行车参与的交通冲突不容小觑(见

表 3)。在无非机动车道的城市道路,特别是在公交停靠站附近,电动自行车参与的交通冲突占很大比例。鉴于仿真模型中未考虑逆行、违法停车等情形,实际上电动自行车参与的交通冲突可能更多。

表 3 电动自行车参与的交通冲突在

各区段冲突中的占比

单位: %

冲突位置	含电动自行车的交通冲突占比	冲突位置	含电动自行车的交通冲突占比
加速段下游	50.00	减速段	73.91
加速段	56.00	减速段上游	52.63
停车段	37.14		

4 结论

本文以视频数据为基础标定并校准 VISSIM 模型,利用交通冲突技术提取港湾式公交停靠站附近的 T_{TTC} 交通冲突数据,利用超阈值极值理论的图解法确定严重冲突的 T_{TTC} 阈值为 0.65 s。由于有关公交停靠站附近交通冲突阈值的研究较少,难以进行比较,与戢晓峰等应用极值理论对高速公路车辆冲突阈值的分析结果^[16]进行比较,结果显示该值偏小。原因是高速公路平均行驶速度和车距均大于城市道路,运行相对平稳,而公交停靠站附近受公交车进出站的影响,急刹车的情形更多,车辆之间的时空距离更短,其 T_{TTC} 阈值较小。

交通冲突位置分析结果显示加速段冲突数量占 38.07%、停车段占 35.53%、减速段占 11.68%、减速段上游占 9.64%、加速段下游占 5.08%,与文献[7]的结论相似。公交车在出站过程中与周边车辆交互更明显,受出站影响的车辆停车或换道避让行为对相邻车道形成连锁反应,导致站台中下游交通冲突数量多、严重性高。各区段的冲突类型均以追尾冲突为主;追尾冲突发生最多的是加速段下游,其次是停车段;严重冲突主要发生在加速段,其次是减速段;最易发生公交车与小型机动车冲突的区段为加速段下游,最易发生公交车与电动自行车冲突的区段是减速段,最易发生公交车与公交车冲突的是停车段,最易发生电动自行车与电动自行车冲突的是减速段上游,最易发生小型机动车与电动自行车冲突的是减速段上游,最易发生小型机动车与小型机动车冲突的是停车段。

本文确定了港湾式公交停靠站附近的严重冲突

阈值及交通冲突易发生的位置,对公交停靠站的优化设计、交通管理具有一定意义。不足之处在于仿真试验难以复制现实中电动自行车逆行、小型机动车违法停车等现象带来的交通冲突现象。后续研究可基于交通冲突建立安全评价体系并提出针对性改进措施。

参考文献:

- [1] 赵晨馨,方舟,郭君军,等.城市动态公交车道的研究现状及存在的问题分析[J].公路与汽运,2023(4):11-21.
- [2] 张兵,凌璐.港湾式公交停靠站对路段通行能力的影响[J].交通信息与安全,2014,32(1):21-24.
- [3] ZHANG C, DU B Y, WANG Q, et al. Observational study on multi-type conflicts between passengers and cyclists at the bus stop: a case study in Nanjing[J]. Travel Behaviour and Society, 2022, 29: 176-185.
- [4] 汪济洲,徐良杰,余金林,等.公交车进出港湾式停靠站安全性评价[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2017,41(3):458-462.
- [5] WAN Q, XU N, HU X, et al. Vehicle safety assessment of bus stops near intersections: a comparison between curbside bus stops and bus bays[J]. Advances in Transportation Studies, 2019, 49: 47-60.
- [6] 王超.地面公交停靠站通行能力分析与安全评价[D].南京:东南大学,2018.
- [7] QI W W, RUAN L J, ZHI Y, et al. Risk area identification model of bus bay stops based on distribution of conflicts[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2021, 2021: 1-11.
- [8] 吴宇晟,马永磊,李孟晖.危险驾驶环境下高速公路施工区交通冲突研究[J].公路与汽运,2022(4):29-32+38.
- [9] WANG C, XU C Y, XIA J X, et al. A combined use of microscopic traffic simulation and extreme value methods for traffic safety evaluation[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 90: 281-291.
- [10] HUANG F, LIU P, YU H, et al. Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013, 50: 1014-1024.
- [11] 安琨,杨晓光,白玉,等.城市道路连接交通安全分析与仿真评价研究[J].交通信息与安全,2010,28(1):112-116+120.

(下转第 41 页)

路(行动点)标志与匝道分流点的距离。计算条件及参数选取见表 2。

表 2 仁望高速公路金沙南互通计算参数取值

参数	取值
超车道限制速度 $v_1/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	100
行车道限制速度 $v_2/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	80
平均换道时长 \bar{T}/s	4.7
行车道交通量 $/(veh \cdot h^{-1})$	980
反应时间 T_{PRT}/s	2.5
决策时间 T_{DMT}/s	2.0
动摩擦因数 μ	0.6
重力加速度 $g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.8

根据上述模型及参数条件,计算得 0 km 出口指路标志采用门架和悬臂支撑方式时建议设置位置分别为距离减速车道起点 121 m、146 m 处,此时能够有效提高指路标志的视认效果,降低互通出口处的事故发生风险。

5 结语

本文针对贵州省山区高速公路的特点,将最内侧车辆换道过程分成减速过程、换道时机等待过程和转向换道 3 个阶段,以减速车道渐变段起点为基准点,引入车辆安全换道概率函数,构建车辆安全换道条件下互通出口指路标志设置位置计算模型。考虑大型车比例对车辆安全换道概率的影响,分析不同大型车比例与车辆换道平均时长之间的关系,提出以车辆平均换道时长来计算安全换道概率的方法,该方法有效利用了现场观测数据,计算模型更符合实际。以 24.5 m 宽度的单减速车道互通出口为例进行分析,计算得 0 km 出口处悬臂和门架指路

标志的合理设置位置分别为距离理想分流基准点 121 m、146 m 处。

参考文献:

- [1] 陈钰斌.高速公路指路标志字高及板块数量对驾驶人认知负荷的影响研究[D].福州:福州大学,2021.
- [2] 田壮.基于贝叶斯网络的高速公路出口指路标志设置有效性评价[D].武汉:武汉工程大学,2022.
- [3] 李鹏飞,贾志绚,卓亚娟.基于理解性试验的交叉口指路标志设计体例研究[J].公路与汽运,2022(1):38-43.
- [4] 丁乃侃,田壮,逯兆友,等.高速公路出口指路标志设置有效性评价[J].公路,2022,67(4):243-249.
- [5] 闫兴奎.基于认知行为与负荷的高速公路枢纽互通立交出口指路标志设置研究[D].淄博:山东理工大学,2023.
- [6] 马新卫.高速公路出匝车辆车道变换模型及应用[D].天津:河北工业大学,2015.
- [7] 杨景瑞.高速公路枢纽互通式立交出口指路标志设置研究[D].西安:长安大学,2018.
- [8] 王蒙,喻伟,尹小梅,等.驾驶人车辆换道行为模型的建立与分析[J].交通科学与工程,2019,35(2):106-112.
- [9] 朱治邦,郭唐仪,潘姝.高速公路出口前置指路标志的安全设置距离模型[J].交通运输研究,2018,4(1):44-50+62.
- [10] 王俊彦,蔡骏宇.基于 RBF 神经网络的车辆安全换道时机决策模型研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(11):47-51+80.
- [11] 刘伟铭,邓如丰,张阳,等.高速出口前置指路标志的安全距离设置模型[J].华南理工大学学报(自然科学版),2013,41(2):37-43.
- [12] 郭唐仪,胡启洲,姚丁元.高速出口预告指路标志设置距离及其安全性能比较[J].公路交通科技,2011,28(12):106-111.

收稿日期:2023-06-25

(上接第 32 页)

- [12] GLAUZ W D, MIGLETZ D J. Application of traffic conflict analysis at intersections [R]. NCHRP 219, Washington DC: National Academy of Sciences, 1980.
- [13] WU J, RADWAN E, ABOU-SENNA H. Determination if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections [J]. Journal of Transportation Safety & Security, 2018, 10(6): 572-585.
- [14] TARKO A P. Use of crash surrogates and exceedance

statistics to estimate road safety [J]. Accident Analysis & Prevention, 2012, 45: 230-240.

- [15] 朱顺应,蒋若曦,王红,等.机动车交通冲突技术研究综述[J].中国公路学报,2020,33(2):15-33.
- [16] 戢晓峰,耿昭师.山区双车道公路货车碰撞预测的双变量冲突极值模型[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(2):230-238.

收稿日期:2023-04-17