

城市道路交叉口电动自行车行驶特征识别方法及优化策略

——以汕头市金砂路为例

韩子韬^{1,2}, 宋程^{1,2}, 易斌^{1,2}

(1. 广州市交通规划研究院有限公司, 广东 广州 510030; 2. 广东省可持续交通工程技术研究中心, 广东 广州 510030)

摘要: 研究城市道路交叉口电动自行车行驶特征能够为拥堵治理和渠化改善提供量化依据。受设施环境、交通量及驾驶人行为等因素影响, 电动自行车在停驻等候、启动加速和通过交叉口3个阶段呈现显著差异性特征。基于无人机航拍数据, 采用 Data From Sky 交通轨迹分析软件提取基础数据, 建立了包括停驻面积、机动车启动延误、电动自行车行驶速度和行驶轨迹膨胀度等关键参数的量化分析方法。以汕头市金砂路4个典型交叉口为例进行应用分析, 结果表明: 停驻等候阶段, 停驻数量与面积呈非线性函数关系; 启动加速阶段, 当等候区位于机动车前方时, 电动自行车停驻数量与机动车启动延误显著正相关, 每10辆电动自行车造成0.6~0.9 s机动车延误; 通过交叉口阶段, 电动自行车85%位速度为23.5 km·h⁻¹, 且行驶轨迹膨胀度呈先增后稳的变化趋势。

关键词: 电动自行车; 城市道路交叉口; 停驻面积; 启动延误; 行驶速度; 行驶轨迹膨胀度

Identification of E-Bike Riding Characteristics and Optimization Strategies at Urban Road Intersections: A Case Study of Jinsha Road in Shantou

HAN Zitao^{1,2}, SONG Cheng^{1,2}, YI Bin^{1,2}

(1. Guangzhou Transport Planning Research Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510030, China; 2. Guangdong Sustainable Transportation Engineering Technology Research Center, Guangzhou Guangdong 510030, China)

Abstract: Understanding the e-bike riding characteristics at urban road intersections provides a quantitative basis for congestion mitigation and channelization design improvements. This paper presents a systematic analysis of e-bike riding characteristics at urban road intersections, revealing distinct patterns across three key stages—queuing, starting/accelerating, and passing through intersections—influenced by infrastructure environment, traffic volume, and rider behavior. Using drone footage data and the Data From Sky trajectory analysis software, this paper extracts basic data and develops a quantitative analysis methodology based on key parameters such as queuing area, motor vehicle start-up delay, e-bike travel speed, and trajectory expansion. The approach is applied to four representative intersections along Jinsha Road in Shantou. The results suggest a nonlinear functional relationship between the number of stopped e-bikes and the occupied area during the queuing stage. At the starting/accelerating stage, when e-bikes queue ahead of motor vehicles, their number is significantly and positively correlated with vehicle start-up delays—each additional 10 e-bikes may cause a delay of approximately 0.6 to 0.9 seconds for motor vehicles. At the stage of passing intersections, 85% of e-bikes travel at a speed of 23.5 kilometers per hour, with trajectory expansion initially increasing then stabilizing.

Keywords: e-bikes; urban road intersections; queuing area; start-up delay; travel speed; trajectory expansion

收稿日期: 2025-02-11

基金项目: 广州市交通规划研究院有限公司科技基金项目“数据驱动的时空推演城市活动模型研究”(KYHT-2023-01)

作者简介: 韩子韬(1996—), 男, 黑龙江鹤岗人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为交通规划, 电子邮箱244866947@qq.com。

0 引言

电动自行车凭借便捷、经济、“门到

门”服务的特点, 在中短距离出行中具有显著成本优势, 并迅速发展为居民出行的重要方式^[1]。伴随电动自行车出行分担率的迅速

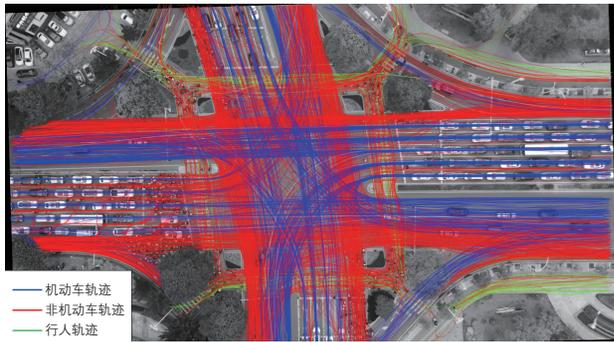
增长, 电动自行车与其他交通方式在路权、安全方面的冲突日益凸显, 尤其在城市道路平面交叉口, 对交通系统效率和出行品质造成诸多挑战。因此, 通过数据驱动方法挖掘电动自行车在交叉口的行驶特征, 解析其对交叉口运行的影响机理, 对于缓解交叉口拥堵、减少交通冲突、改善交叉口运行秩序、实现城市交通从“走得通”到“走得好”^[2]具有重要意义。

目前, 关于电动自行车驾驶特征的研究主要集中在驾驶行为、交通流特征等方面。董春娇等^[3]针对电动自行车正常行驶、占用机动车道行驶、穿插行驶和逆行行驶等典型

决策行为, 建立了基于Elman神经网络和多元Logistic回归的电动自行车骑行决策行为模型; 刘雪宁^[4]根据非机动车在路段和交叉口的行驶轨迹数据, 分析了不同停驻行为下非机动车在交叉口的特征, 建立了综合考虑红灯期间过街与停驻行为的预测模型; 基于大量实测数据, 徐宗匠^[5]研究了电动自行车在信号控制交叉口的交通流特性、释放规律和冲突特性, 为交通流管控和治理提供参考; 钟栋青等^[6]等采集了左转电动自行车的视频数据, 基于最小二乘法构建交通流参数模型, 分析了平面交叉口左转电动自行车的交通流安全特性。于海明^[7]对非机动车左转

表1 城市道路交叉口电动自行车行驶特征
Tab.1 E-bike riding characteristics at urban road intersections

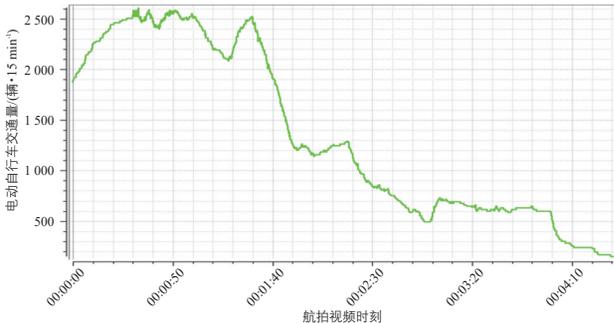
阶段	特征	行为说明	导致的问题	分析方法
停驻等候	超前集聚性	以集群形式, 偏好选择距离交叉口较近、机动车干扰小的区域停驻等候	等候区(施划的专用停驻区域)被忽视, 同时由于二次过街与直行车辆车头方向不完全统一, 形成较为混乱的停驻带	电动自行车停驻范围识别
启动加速	快速响应性	由于灵活性和操作便利性, 在交叉口启动时能够快速响应	启动速度快于机动车, 但电动自行车驾驶人趋向于在停止线前方等候且行驶轨迹多变, 对机动车启动造成一定延误	机动车启动延误分析
通过交叉口	行驶轨迹膨胀性	跟随前车行驶轨迹, 前车避让产生减速时, 跟随车辆会择机变道超车, 出现行驶轨迹膨胀	在交叉口分、合流区域出现膨胀阻滞区域, 影响整体通行效率	电动自行车行驶速度和行驶轨迹膨胀度分析



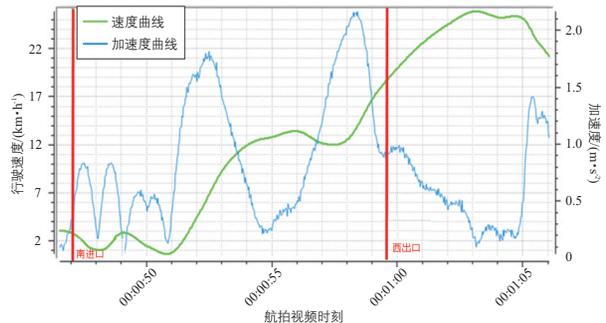
a 不同交通方式行驶轨迹



b 电动自行车行驶速度



c 西进口电动自行车瞬时交通量曲线



d 南进口某左转电动自行车瞬时速度、加速度曲线

图1 Data From Sky 软件对汕头市金沙路金环交叉口可视化分析示意

Fig.1 Visualized analysis of the Jinhuan Intersection on Jinsha road, Shantou, using the Data From Sky software

过街模式和行驶轨迹膨胀宽度特性进行研究并构建了计算模型，为交叉口左转空间的规划方法提供指导。

综上，既有研究多通过采集交通流数据、建立理论模型来探究交叉口电动自行车行驶特征，但理论模型在构建过程中与实际特征存在误差，因此需要更直观易得的行为特征分析方法。本文基于无人机视频数据，提取交叉口电动自行车行驶轨迹，分析电动自行车的停驻面积需求、行驶速度特性和行驶轨迹膨胀度，以及机非干扰等因素，为交叉口的拥堵治理和渠化改善提供依据。

1 城市道路交叉口电动自行车行驶特征

电动自行车在交叉口的行驶过程可划分为3个主要阶段：停驻等候、启动加速和通过交叉口。受电动自行车设施环境、交通量、驾驶人心理等因素影响，其特征呈现显著差异性(见表1)。

1) 停驻等候阶段。驾驶人会充分发挥电动自行车灵活的优势，通过穿插至机动车

停止线前方或人行渠化岛等更接近交叉口且受机动车干扰较小的区域，以求快速通过，形成超前集聚性。

2) 启动加速阶段。由于电动自行车启动快、转向灵活，驾驶人不仅能够快速响应交通信号，还会通过超车、变道等行为争夺领头位置，表现出快速响应性。

表2 城市道路交叉口电动自行车行驶特征分析及软件主要应用模块
Tab.2 Analytical methods for e-bike riding characteristics and core functional modules of the software

分析方法	应用模块	提取数据	关键步骤
电动自行车停驻范围识别	交通区域(Traffic region) 热力图(Heat map)	识别交叉口每个信号周期电动自行车停驻数量与停驻面积	停驻状态识别参数标定
机动车启动延误分析	入口闸门(Entry gate) 活动区域(Action region)	记录每辆机动车的启动时刻和通过停止线的时刻	
电动自行车行驶速度分析	入口闸门(Entry gate) 出口闸门(Exit gate) 活动区域(Action region)	记录交叉口每辆电动自行车进出时刻和行驶距离，以及连续瞬时速度	
电动自行车行驶轨迹膨胀度分析	跟踪日志(Tracking log)	记录每辆电动自行车的可视化行驶轨迹及连续坐标	投影偏移校正

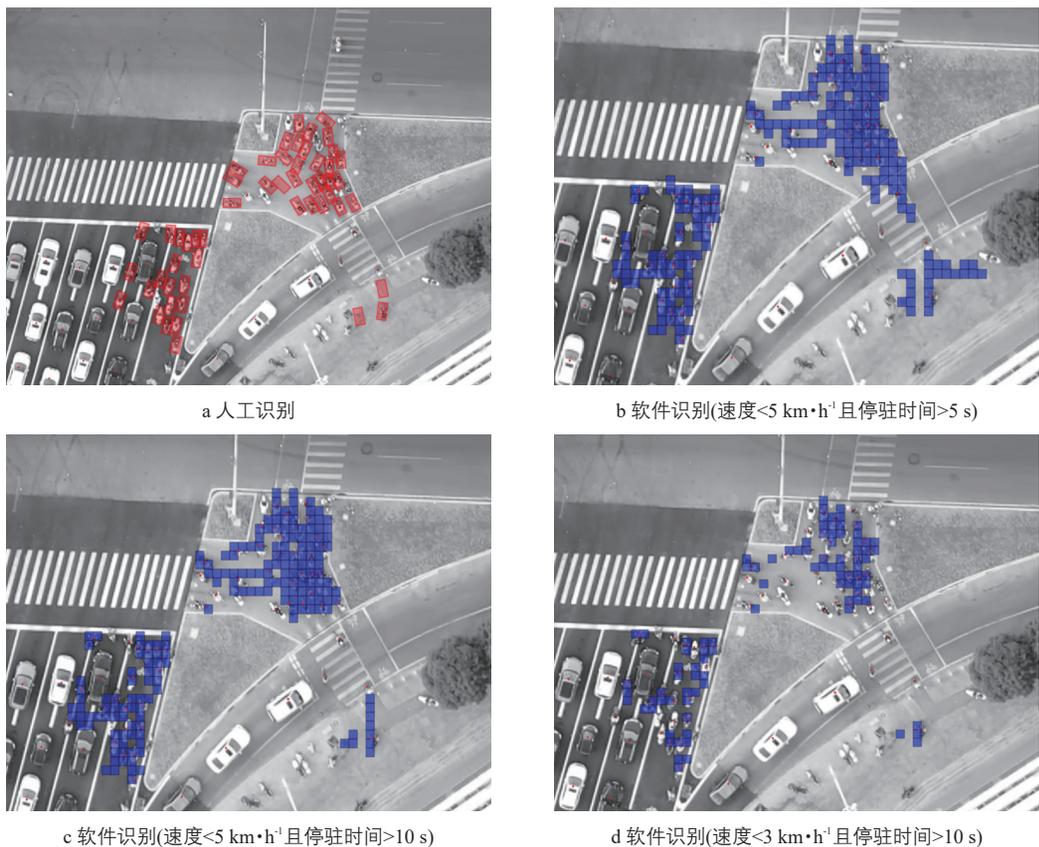


图2 不同参数值下软件识别的电动自行车停驻面积与人工标定结果对比

Fig.2 Comparison between software-identified and manually calibrated e-bike queuing areas under different parameter settings

3) 通过交叉口阶段, 相较于机动车的跟驰行为模式, 电动自行车因较强的灵活性, 其行驶轨迹的不可控性和行驶速度的多变性增强, 频繁的超车与变道导致其具有行驶轨迹膨胀性。

2 研究与计算方法

2.1 研究方法

本文采用交通轨迹分析软件 Data From Sky 自动识别无人机航拍视频数据中的机动车、电动自行车等目标, 记录其坐标、时刻、速度等数据, 可通过导出数据进行统计分析或通过内置模块进行分析(见图1)。

基于交叉口电动自行车驾驶行为的3个主要阶段, 利用 Data From Sky 软件的应用

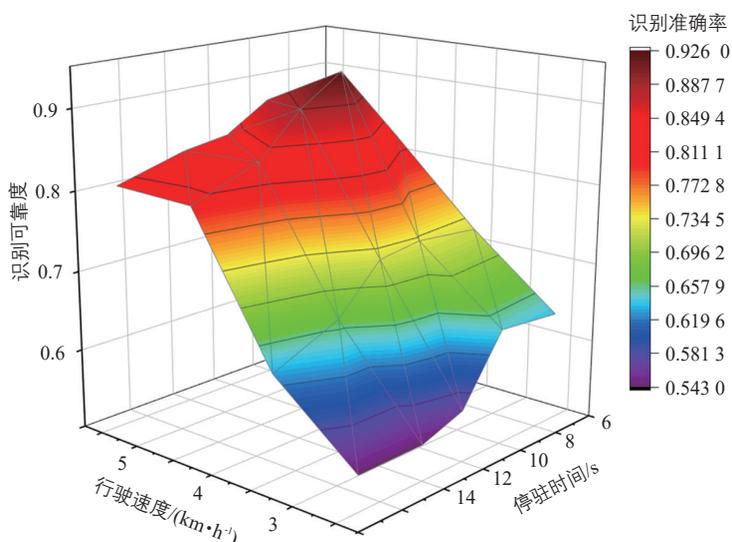


图3 不同行驶速度和停留时间下电动自行车停留范围识别可靠度

Fig.3 Recognition reliability of the e-bike queuing area under different travel speeds and queuing durations

模块进行基础数据提取, 分析电动自行车的行驶特征(见表2)。

2.2 电动自行车停留范围识别

为探究交叉口等候的电动自行车停留数量与停留面积之间的关系, 通过 Data From Sky 软件识别电动自行车在各进口道的停留范围和停留数量。在 Data From Sky 软件中, 将电动自行车行驶速度和停留时间作为约束条件来定义停留车辆, 从而获得一定时间内的停留范围叠加结果。为减少其他行为可能造成的识别误差, 在进行停留范围分析前需首先确定软件判别停车行为的相关参数取值。

本文采集了汕头市中心城区电动自行车交通量较大的交叉口(4个信号周期)的晚高峰无人机航拍视频进行分析, 将不同参数下停留范围的软件识别结果与人工标定的停留车辆轮廓范围进行矢量空间叠加, 选取准确度最高情形下的行驶速度和停留时间作为停留范围分析的参数值(见图2)。考虑到相位末期, 部分车辆抵达后仅短暂等候即再次启动, 在软件识别中易与避让或排队时的减速让行相混淆, 因此将减速-启动过程小于5s的车辆予以剔除, 最终确定5s作为判断停留行为的最小时间阈值。

经过多轮参数调整验证, 当电动自行车行驶速度小于 $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 且停留时间大于8s时, 软件对停留范围识别结果与人工标定的停留车辆轮廓范围最为接近, 故采用这两个参数作为定义停留车辆的约束条件。不同行驶速度和停留时间下停留范围识别可靠度见图3。



图4 无人机航拍视频投影偏移校正

Fig.4 Correction of projection offset in drone footage

2.3 机动车启动延误分析

为探究电动自行车启动对机动车的影响程度，选择机动车启动延误时间作为判断指标。启动延误时间是指绿灯初期，由于前几辆等待车辆存在反应和加速行为，导致交通流未以饱和流率进入交叉口而产生的延误，其计算公式为：

$$t' = \sum_{i=1}^n h_i - nh_i,$$

式中： t' 为机动车启动延误时间/s； h_i 为机动车在非饱和运行状态下由启动到通过进口道核查线所花费的平均时间/s； h_i 为机动车在饱和运行状态下由启动到通过进口道核查线所花费的平均时间/s； n 为非饱和运行状态下通过的车辆数/辆。

由于非机动车存在溢出等候区现象，故选择靠近交叉口内部一侧的斑马线边线作为核查线进行监测和计算。

2.4 电动自行车行驶速度分析

在 Data From Sky 软件中，每个交通个体均被建模为具有独立运动学特征的实体对象，因此可获得较为精准的电动自行车行驶速度数据。在交叉口进口道和出口道的斑马线分别设置进、出核查线，可获得电动自行车进出交叉口的时刻数据和行驶距离数据。

电动自行车行驶速度的计算公式为：

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{T_i' - T_i},$$

式中： v 为电动自行车在交叉口内的平均速度/(m·s⁻¹)； S_i 为第 i 辆电动自行车的行驶距离/m； T_i' 为离开交叉口时刻； T_i 为进入交叉口时刻； n 为样本量/辆。

2.5 电动自行车行驶轨迹膨胀度分析

无人机航拍视频的拍摄角度和镜头畸变等因素可能影响软件对车辆及行人质心的识别精度，进而影响行驶轨迹分析的准确性。

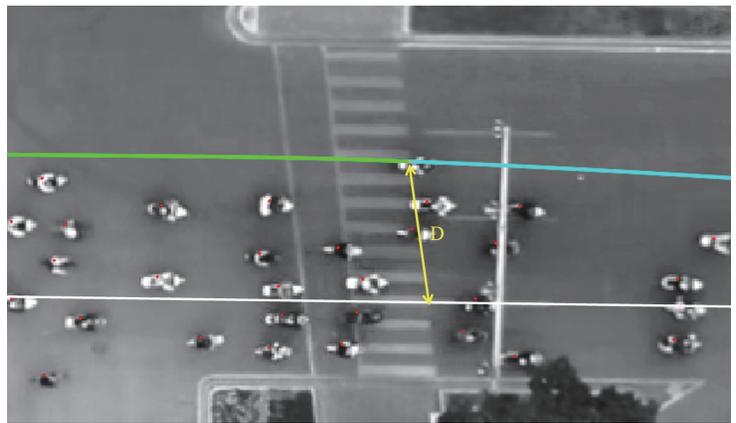


图5 城市道路交叉口电动自行车行驶轨迹膨胀度示意

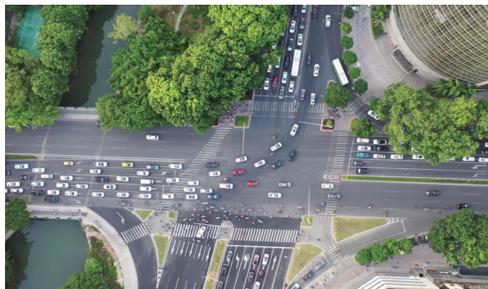
Fig.5 E-bike trajectory expansion at urban road intersections



a 金环交叉口



b 嵩山交叉口



c 天山交叉口



d 黄山交叉口

图6 汕头市金沙路沿线4个交叉口高峰时段无人机航拍影像

Fig.6 Peak time drone footage of four intersections along Jinsha road in Shantou

为提升行驶轨迹与实际情况的吻合度,减少软件对质心的定义误差,需进行投影偏移校正。通过参数调整,将原本偏移的质心矫正至车辆的几何中心处(见图4)。基于质心偏移校正后的电动自行车数据进行统计,可获得符合实际情况的行驶轨迹数据和分析结果。

为描述电动自行车在交叉口通行过程中因避让、超车等行为造成的行驶轨迹膨胀现象,曲昭伟等^[8]、赵鹏飞等^[9]提出交叉口电动自行车膨胀度的概念,即在一定时间内电动自行车沿机动车道方向横向偏移机非分隔线(带)的最大宽度(见图5)。电动自行车膨胀度计算公式为:

$$D = \sqrt{(x_{in}^t - x_{line})^2 + (y_{in}^t - y_{line})^2}$$

式中: D 为电动自行车膨胀度/m; x_{in}^t, y_{in}^t 为 t 时刻电动自行车最内侧行驶的空间横、

纵坐标; x_{line}, y_{line} 为机非分隔线的空间横、纵坐标。

鉴于本文所调查交叉口的电动自行车等候区均位于机动车道前方,且所有车道均可用于等候,导致电动自行车进入交叉口的路径较为分散,故选择出口道汇入非机动车道位置作为膨胀度的核查断面进行研究。

3 汕头市金沙路案例

3.1 案例概况

本文选取汕头市中心城区东西向主干路金沙路沿线的4个典型交叉口作为研究对象。该路段机动车和电动自行车交通量较大(机动车为5 000~8 000 pcu·h⁻¹,电动自行车为5 000~7 000辆·h⁻¹),便于分析交叉口电动自行车行驶特征及其对机动车的影响。无人机航拍视频采集时间为早高峰(8:00—9:00)和晚高峰(17:00—18:00)时段,样本量共计7 822辆电动自行车。其中,金环交叉口电动自行车等候区位于停止线后方、机动车前方;嵩山交叉口电动自行车等候区位于停止线后方、机动车前方和渠化岛旁;天山交叉口电动自行车等候区位于渠化岛旁右转车道前方;黄山交叉口内未设置电动自行车等候区(见图6)。

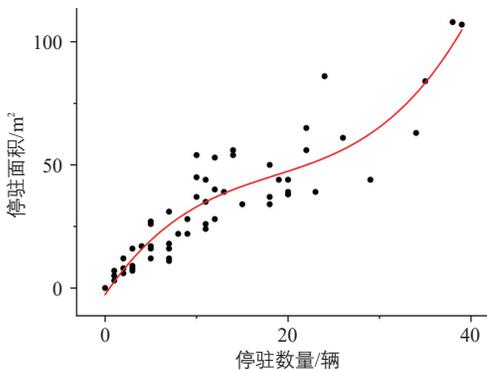


图7 汕头市金沙路沿线4个交叉口电动自行车停车数量与停车面积回归散点分布与拟合

Fig.7 Regression scatter distribution and fitting of e-bike queuing numbers and areas at four intersections along Jinsha road, Shantou

3.2 电动自行车停车面积需求及等候区布置建议

电动自行车在交叉口的停车面积与停车数量呈直接相关关系。基于采集的金沙路沿线4个交叉口视频数据,对停车范围进行分析,获取每个相位的电动自行车停车数量和停车面积,绘制电动自行车停车数量与停车面积回归散点分布图并进行拟合(见图7)和残差分析(见图8)。

电动自行车停车面积与停车数量之间存在非线性函数关系,其拟合多项式为

$$S = -2.647 + 5.441Q_{e-bike} - 0.229Q_{e-bike}^2 + 0.004Q_{e-bike}^3$$

拟合结果显示, $R^2 = 0.86$,表明二者具有较高的拟合优度。

从图7可以看出:1)电动自行车停车面积与停车数量呈正相关关系。当停车数量较少(<10辆)时,停车面积波动范围较小,基本呈现为固定斜率的线性增长趋势;2)当停车数量增加到一定规模时,为尽可能在等候

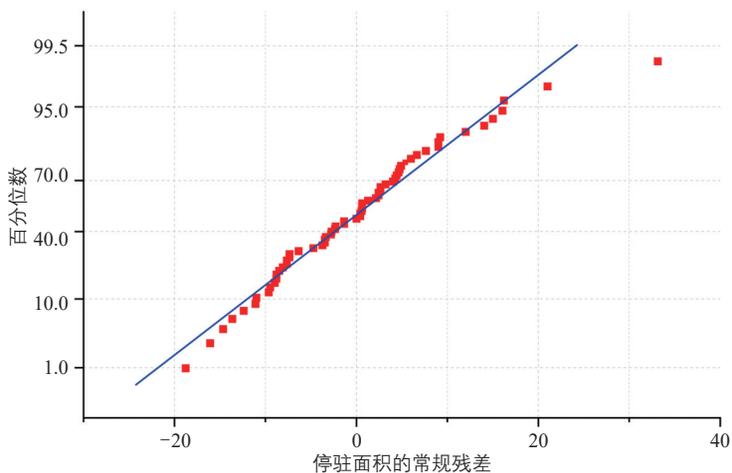


图8 汕头市金沙路沿线4个交叉口电动自行车停车面积残差分析

Fig.8 Residual analysis of e-bike queuing areas at four intersections along Jinsha road, Shantou

区内停驻，电动自行车停驻密度趋于集中，表现为散点图斜率降低；3)当停驻数量(>30辆)超过等候区容纳能力时，电动自行车将在等候区外无序停驻，导致停驻面积显著增加。

基于上述停驻面积与停驻数量的关系分析，以金砂路沿线4个交叉口为例，建议的电动自行车等候区面积布置方案见表3。

3.3 机动车启动延误及优化策略

一般情况下，电动自行车在交叉口的等候区设置于机动车前方。绿灯启亮后，电动自行车凭借加速性能优势率先占据通行空间，而机动车受电动自行车干扰会产生显著的启动延误。为量化电动自行车对机动车启动延误的影响程度，以金砂路金环交叉口为例，统计每个信号周期机动车的延误时间，并与该周期内停驻于机动车前方等候的电动自行车数量进行关联分析。

从图9可以看出，电动自行车停驻数量与机动车延误呈正相关关系，且具有一定的线性特征。具体表现为：停驻于机动车前方等候的电动自行车数量越多，机动车启动延误越显著，平均每10辆等候的电动自行车会造成0.6~0.9 s的机动车启动延误。

基于上述研究结果，在交叉口设计和信号优化时需要充分考虑电动自行车对机动车通行效率的影响，并根据道路功能和交叉口机非交通量比例采取差异化设计策略：1)对于机动车交通量较小的生活性支路交叉口，建议将电动自行车等候区设置于机动车前方，实现机非时空分离，提高道路资源利用效率；2)对于以机动车为主的通过性主干路交叉口，建议将电动自行车等候区设置于非机动车道内，与机动车等候区平行布置，最大限度减少机非空间冲突；3)对于机动车和非机动车交通量均较大的混合型交叉口，应基于实际交通量数据合理确定电动自行车等候区的位置和面积，在确保机非分离的前提下，兼顾电动自行车停驻需求和机动车延误控制。

3.4 电动自行车行驶速度及管理策略

以金砂路天山交叉口为例，基于电动自行车在交叉口内行驶过程的实测数据，对其行驶速度特征进行分析。

由表4可知，交叉口内电动自行车平均速度为18.34 km·h⁻¹。从偏度指标看，速度

表3 汕头市金砂路沿线4个交叉口电动自行车等候区面积布置建议

Tab.3 Recommended queuing area designation for e-bikes at four intersections along Jinsha road, Shantou

每个信号周期电动自行车停驻数量/辆	建议等候区面积/m ²
≤10	≤35
>10~30	>35~60
>30~40	>60~100
>40	>100

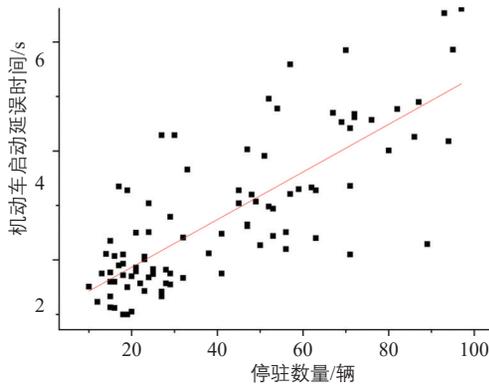


图9 汕头市金砂路金环交叉口电动自行车停驻数量与机动车启动延误时间散点分布

Fig.9 Scatter distribution of e-bike queuing numbers and motor vehicle start-up delay at Jinhuan Intersection on Jinsha road, Shantou

表4 汕头市金砂路天山交叉口内电动自行车行驶速度

Tab.4 E-bike travel speeds within Tianshan Intersection on Jinsha road, Shantou

均值/(km·h ⁻¹)	标准差/(km·h ⁻¹)	极小值/(km·h ⁻¹)	极大值/(km·h ⁻¹)	偏度	峰度	15%分位	85%分位
18.34	5.796 55	4.32	55.02	0.553	2.941	13.26	23.52

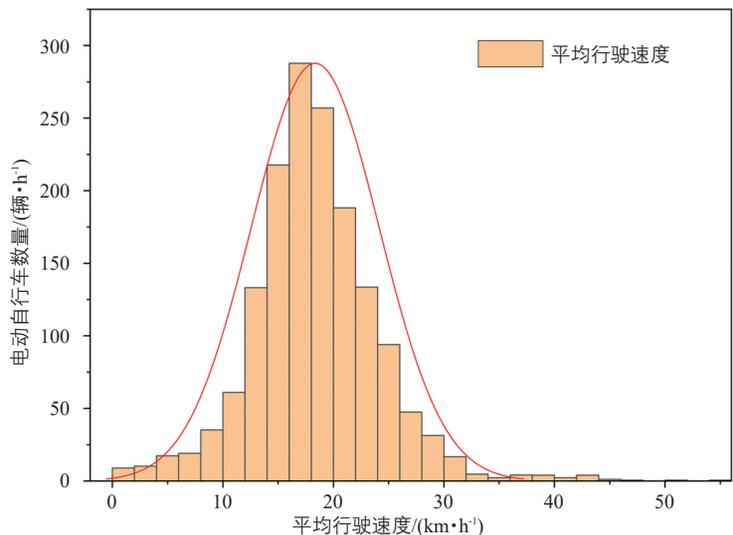


图10 汕头市金砂路天山交叉口电动自行车平均行驶速度直方分布

Fig.10 Histogram of e-bike average travel speed at Tianshan Intersection on Jinsha road, Shantou

样本的偏度大于0，表明速度概率密度函数呈正偏态分布，即低于均值速度的频数较

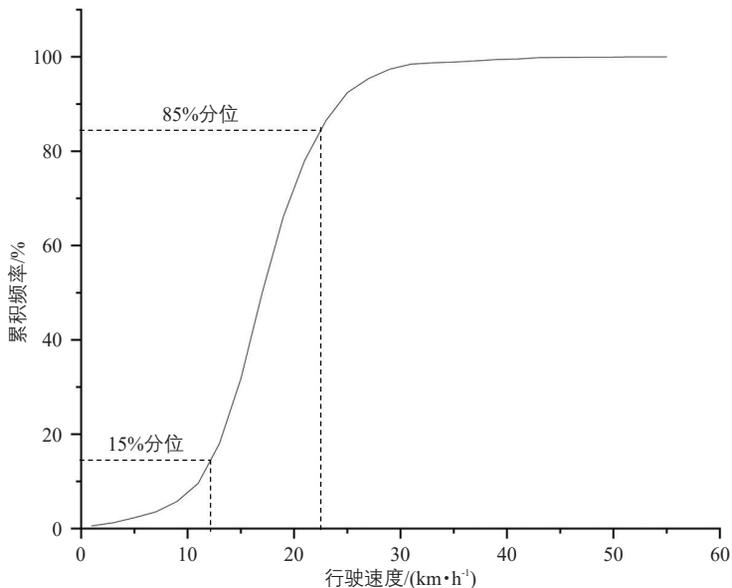


图11 汕头市金砂路天山交叉口电动自行车行驶速度累积分布
Fig.11 Cumulative distribution of e-bike travel speeds at Tianshan Intersection on Jinsha road, Shantou

表5 汕头市金砂路金环交叉口直行和左转电动自行车行驶轨迹膨胀度
Tab.5 Trajectory expansion degree of e-bike straight-through and left-turning at Jinhuan Intersection on Jinsha road, Shantou

行驶轨迹膨胀度指标	均值/m	标准差/m	极小值/m	极大值/m	偏度	峰度
直行电动自行车	5.77	1.399	3.05	7.98	-0.189	-0.899
左转电动自行车	7.58	0.863	5.93	8.97	-0.058	-1.081

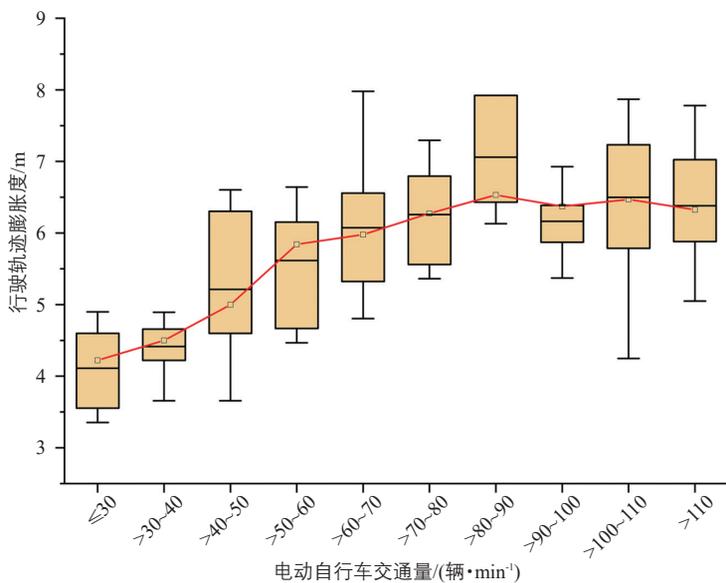


图12 汕头市金砂路金环交叉口电动自行车行驶轨迹膨胀度与交通量的关系
Fig.12 Relationship between trajectory expansion degree and traffic volume of e-bike at Jinhuan Intersection on Jinsha road, Shantou

高。图10显示，电动自行车行驶速度具有显著峰度特征；图11则表明，行驶速度累积分布呈现标准的S形曲线。电动自行车的85%分位速度(即常用的自由流速度)为23.52 km·h⁻¹，接近国家标准规定的电动自行车速度上限。这一现象是由于样本采集自电动自行车交通量较大的交叉口，集聚效应导致跟驰行为显著，使得电动自行车行驶速度较为集中，离散程度较低。

综上，由于金砂路天山交叉口进、出口道均设有非机动车道，且电动自行车等候区布置在右转车道前方，与机动车等候区平行，电动自行车行驶轨迹较直且行驶速度偏高，在交叉口的复杂交通环境下存在一定安全风险。建议从交通管理和渠化设计方面进行优化：1)通过宣传教育和现场监督等方式，对交叉口电动自行车秩序加强监管，控制电动自行车行驶速度；2)在交叉口内划设单独的电动自行车通行空间，并铺设彩色沥青和限速标记，与机动车和行人通行空间进行区分，减少各类交通方式由于速度差产生的安全风险。

3.5 电动自行车行驶轨迹膨胀度及优化策略

以金砂路金环交叉口为例，分别对直行电动自行车和左转电动自行车的行驶轨迹膨胀度进行统计(见表5)。

直行电动自行车的行驶轨迹膨胀度平均值为5.77 m，最高可达7.98 m，相当于1~2个机动车道的宽度。由于调查交叉口的电动自行车等候区位于机动车前方且排列分散，绿灯启亮后电动自行车倾向于直行通过交叉口，直至出口道位置才逐渐汇入非机动车道，导致其行驶轨迹占用全部直行机动车道，对机动车通行产生显著影响。相较而言，左转电动自行车的行驶轨迹膨胀度更高，平均值为7.58 m，极大值为8.97 m。这是因为左转电动自行车等候区同样位于机动车前方，且左转电动自行车会按照最短路径行驶，优先汇入最内侧出口道。

从图12可以看出，随着交叉口电动自行车交通量的增加，其行驶轨迹膨胀度相应增大。当交通量达到90辆·min⁻¹时，膨胀程度达到峰值；此后随交通量继续增加，膨胀度呈现平稳波动趋势，整体表现为先上升后趋稳的特征。

综上,当电动自行车等候区位于机动车前方时,若不采取引导措施,电动自行车在出口道处将占用1~2个机动车道,严重影响机动车通行。因此,建议在此类交叉口根据电动自行车交通流量增设4~6 m宽的导流区,并与出口非机动车道有效衔接,引导电动自行车在交叉口内逐渐收束轨迹,从而降低对机动车通行的干扰。

4 结束语

本文基于无人机航拍视频数据,利用Data From Sky交通轨迹软件提取交叉口电动自行车在停驻等候、启动加速和通过交叉口3个阶段的交通特征数据,并以汕头市金沙路沿线4个交叉口为例进行应用分析,为交叉口内电动自行车的渠化设计和秩序管理提供量化方法。

本文的分析过程未充分考虑不同交叉口交通环境对电动自行车行驶特征的影响,后续研究可针对交叉口物理条件进行分类,深入探究交通量、转向特征、信号相位和道路条件等因素对电动自行车驾驶行为的影响机理。

参考文献:

References:

[1] 易斌,宋程,幸晓辉.大、中城市典型出行特征及交通模式探讨[J].交通科学与工程,2023,39(4):121-130.
YI B, SONG C, XING X H. Discussion on typical urban travel characteristics and travel modes of large-sized and medium-sized cities [J]. Transportation science and engineering, 2023, 39(4): 121-130.

[2] 景国胜,宋程.数据驱动的城市更新与交通治理协同探索:以广州市为例[J].城市发展研究,2024,31(5):48-55.
JING G S, SONG C. Collaborative exploration of data driven urban renewal and transportation governance: a case study of Guangzhou [J]. Urban development studies, 2024, 31(5): 48-55.

[3] 董春娇,董黛悦,诸葛承祥,等.电动自行车出行特性及骑行决策行为建模[J].吉林大学学报(工学版),2022,52(11):2618-2625.

DONG C J, DONG D Y, ZHUGE C X, et al. Trip characteristics and decision-making behaviors modeling of electric bicycles riding [J]. Journal of Jilin University (engineering and technology edition), 2022, 52(11): 2618-2625.

[4] 刘雪宁.信号控制平面交叉口非机动车骑行者行为研究[D].南京:东南大学,2023.
LIU X N. Research on non-motorized vehicle riders' behavior at signal-controlled intersections[D]. Nanjing: Southeast University, 2023.

[5] 徐宗匠.信号交叉口电动自行车释放特性研究[D].长春:吉林大学,2018.
XU Z J. Research on release characteristics of e-bikes at signalized intersections[D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[6] 钟栋青,韦凌翔,李哲,等.信号控制交叉口左转电动自行车交通流特性分析[J].交通工程,2021,21(4):74-80.
ZHONG D Q, WEI L X, LI Z, et al. Characteristics of left-turn electric bicycle traffic flow at signalized intersections[J]. Traffic engineering, 2021, 21(4): 74-80.

[7] 于海明.交叉口非机动车左转交通流特性及空间规划方法[D].合肥:合肥工业大学,2021.
YU H M. Left-turn non-motorized traffic flow characteristics and spatial planning methods at intersections[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2021.

[8] 曲昭伟,高雨虹,宋现敏.信号交叉口车路环境对电动自行车释放膨胀特性的影响分析[J].中国公路学报,2020,33(4):126-136.
QU Z W, GAO Y H, SONG X M. Effect analysis of vehicle-road environment at signalized intersection on the release and expansion characteristics of e-bikes[J]. China journal of highway and transportation, 2020, 33(4): 126-136.

[9] 赵鹏飞,韦凌翔,杨锦诚,等.交叉口电动自行车交通流对其左转释放膨胀特性的影响[J].交通工程,2023,23(1):71-75.
ZHAO P F, WEI L X, YANG J C, et al. The influences of e-bike traffic flow at intersections on its left turn release expansion characteristics[J]. Traffic engineering, 2023, 23(1): 71-75.