

基于风险驾驶行为的道路交通安全影响因素辨识

——以北京市为例

张建波^{1,2}, 孙建平^{1,2}, 张溪^{1,2}, 张一鸣^{1,2}

(1.北京交通发展研究院,北京 100073; 2.城市交通运行仿真与决策支持北京市重点实验室,北京 100073)

摘要:通过挖掘机动车风险驾驶行为数据,建立街道尺度的道路交通安全风险影响因素辨识方法,旨在实现对超(特)大城市道路交通安全风险的精细化解析与量化评价。首先,基于机动车行驶轨迹数据,设计一种考虑加速度变化强度与连续性的风险驾驶行为诊断方法,进而提取机动车急加速与急减速行为特征;其次,结合道路建成环境与交通运行特征,构建面向街道尺度的道路交通安全影响因素辨识方法,利用回归分析解析影响区域道路交通安全的环境因素;最后,提出街道级道路交通安全风险指数评价方法,用于量化和追踪区域道路交通安全风险水平的动态变化。实证分析结果表明:机动车风险驾驶行为频率分布与交通事故频率分布之间存在显著正相关性,且二者呈现相似的双峰分布模式;车站里程密度、节点里程密度、严重拥堵里程比和主干路行驶速度标准差等因素,是影响街道尺度下区域道路交通安全风险的关键因素。

关键词:道路交通安全; 风险驾驶行为; 影响因素; 回归分析; 北京市

Identification of Influencing Factors of Road Traffic Safety Based on Risky Driving Behaviors: A Case Study of Beijing

Zhang Jianbo^{1,2}, Sun Jianping^{1,2}, Zhang Xi^{1,2}, Zhang Yiming^{1,2}

(1. Beijing Transport Institute, Beijing 100073, China; 2. Beijing Key Laboratory of Urban Transport Simulation and Decision Making Support, Beijing 100073, China)

Abstract: By mining data on risky driving behaviors of motor vehicles, this paper establishes a street-scale methodology for identifying the influencing factors of road traffic safety risks, with the aim of enabling refined analysis and quantitative assessment of road traffic safety risks in megacities and super-large cities. First, based on vehicle trajectory data, a diagnostic method for risky driving behaviors is designed, which accounts for both the intensity and continuity of acceleration changes, thereby extracting characteristics of rapid acceleration and rapid deceleration behaviors of motor vehicles. Second, by integrating the road built environment and traffic operation characteristics, a street-scale identification method for identifying the influencing factors of road traffic safety is established, and regression analysis is utilized to analyze the environmental factors affecting regional road traffic safety. Finally, a street-level road traffic safety risk index evaluation method is proposed to quantify and track the dynamics changes in regional traffic safety risk levels. Empirical results indicate a significant positive correlation between the frequency distribution of risky driving behaviors and that of traffic accidents, with both exhibiting a similar bimodal distribution pattern. Key factors affecting regional road traffic safety risks at the street scale include station mileage density, node mileage density, proportion of severely congested road mileage, and the standard deviation of operating speeds on arterial roads.

Keywords: road traffic safety; risky driving behavior; influencing factors; regression analysis; Beijing

收稿日期: 2024-11-15

基金项目: 国家自然科学基金项目“面向需求管理的非集计路网交通动态仿真与控制模型研究”(62173167)

作者简介: 张建波(1991—),男,河北唐山人,博士,高级工程师,研究方向为智能交通,电子邮箱 zhangjb928@163.com。

引用格式: 张建波, 孙建平, 张溪, 等. 基于风险驾驶行为的道路交通安全影响因素辨识: 以北京市为例[J]. 城市交通, 2026, 24(2): 78-86.

Zhang Jianbo, Sun Jianping, Zhang Xi, et al. Identification of influencing factors of road traffic safety based on risky driving behaviors: a case study of Beijing[J]. Urban Transport of China, 2026, 24(2): 78-86.

0 引言

近年来,学者们从多角度探讨了道路交通安全影响因素的作用机制及其评价方法^[1]。城市建成环境^[2]与交通流是影响道路交通安全的重要因素。研究表明,商业和工业用地通常与较高的事故频率相关,这可能源于该类用地类型吸引了更大规模的交通量^[3]。谢波等^[4]综述了城市道路网络特征对交通事故的作用机理,指出网格型、平行曲线型、回路尽端型等道路网络布局形式,以及中心性、连通性等道路网络拓扑指标,对事故类型、频率和严重程度的影响具有差异性和空间尺度效应。肖扬谋等^[5]研究了道路网络几何拓扑特征、交通量和行驶速度与严重交通事故频率之间的多维关系,发现行驶速度的影响效应大于交通量,且道路网络几何拓扑特征对严重交通事故的影响更为显著。此外,道路网密度、主干路和次干路长度也被证明与事故频率呈正相关,可能与交通量增加和交通冲突增多有关^[6]。

在道路交通安全评价方面,常见方法包括交通事故统计分析、交通冲突分析以及驾驶行为分析等^[7]。其中,基于交通事故统计和行驶速度分析的方法已发展出较为成熟的理论模型。然而,交通事故数据在时空覆盖范围和准确性方面存在局限,可能存在漏报或覆盖不全等问题^[8]。葛慧敏等^[9]对基于交通冲突理论的道路交通安全评价技术进行了综述,认为评价指标的选取应从事故指标转向非事故指标,以克服事故数据周期短、覆盖度不足等缺陷。驾驶行为分析则更侧重于挖掘异常驾驶的时空特征,并分析其影响因素。J. Stipancic等^[10]利用GPS数据提取机动车制动和加速信息,验证了不同设施类型与机动车的历史碰撞频率和严重程度之间的相关性。基于GPS设备和机动车主动报告数据,J. Jun等^[11]分析了驾驶活动和碰撞的关联,发现曾发生碰撞事故的驾驶人更倾向于频繁进行剧烈的减速操作。王玉婷等^[12]利用车载诊断系统数据研究了山地城市道路异常驾驶行为的时空分布特征,发现急加速、急减速、急转弯和超速等行为的频率与道路坡度、弯道曲率、公共汽车站及道路开口等因素密切相关。进一步研究表明,同一道路不同路段上的异常驾驶行为频率与交通事故数量呈正相关^[12-13]。因此,异常驾驶行为频率可作为交通事故的替代指标,用于表征道路交通安全状态^[14-15]。此外,研究者日益重视

时间维度在道路交通安全评价中的作用,例如Yang Di等^[16]基于行驶轨迹等多源融合数据建立了与时间相关的多变量条件自回归模型,分析了时间因素对交通事故的影响。Wang Xuesong等^[16]通过时间序列分析和时空加权回归模型来捕捉交通量的动态变化及其对事故的影响。

综上所述,城市道路的时空因素对交通安全的影响具有多维性,涉及土地利用、道路网络特征、交通流特征和驾驶行为等多个方面^[17]。既有研究多以事故统计指标作为交通安全的主要度量,受限于数据采集与指标覆盖范围,难以全面反映超(特)大城市细粒度道路交通安全状况。同时,基于驾驶行为的研究多依赖于驾驶模拟或小样本数据,尚缺乏以数据驱动的大规模道路网络安全实证分析。

针对上述问题,本文以北京市中心城区为研究对象,基于大规模、细粒度的机动车风险驾驶行为(即机动车急加速和急减速行为)数据,通过挖掘与时空关联分析,尝试建立一种面向中观尺度的道路交通安全风险影响因素辨识方法。其特点在于融合道路交通环境与运行因素,以数据驱动方法实现精细化的道路交通安全风险量化和解析,从而为规划、运营等不同阶段的道路交通安全精细化管理策略制定提供支持。

1 研究数据

1.1 机动车行驶轨迹数据

本研究采集了北京市中心城区5个工作日共2万辆机动车的运行数据,覆盖了中心城区大部分路段。首先,利用“智驾盒子”通过车载自诊断系统(On-Board Diagnostics, OBD)实时采集机动车位置、行驶速度和发动机运行等参数;进而对数据进行清洗,检验其时间连续性并剔除明显错误的信息。随后,将机动车位置及行驶轨迹信息与道路网络进行空间匹配,最终构建包含机动车位置、行驶速度和加速度等信息的机动车运行数据集。

1.2 道路交通安全影响因素数据

道路交通安全影响因素数据主要来源于历史交通大调查及日常运行监测数据。以北京市的乡级行政单位——街道^[18]作为基本空间单元,对数据进行处理和指标提取,该划分方式有助于在较小的空间尺度上评估道路

交通安全风险。根据特征差异,将这些影响因素划分为静态与动态两类:静态因素主要包括空间环境和基础设施供给等;动态因素则涵盖包括交通运行特征,如交通量、行驶速度和事故率等。

2 风险驾驶行为提取

既有研究对急加速和急减速的判断主要基于瞬时逐秒加速度的大小,而较少考虑机动车运行过程中行驶速度变化的连续性,因而难以全面捕捉风险驾驶行为的特征。从行驶速度变化的角度来看,急加速和急减速可视为车速在连续时间内发生的剧烈且持续的变化过程。该过程涉及两个关键要素:持续时间和加速度变化强度。持续时间指机动车行驶速度持续下降或上升的连续时间,反映行驶速度变化的稳定性和一致性;加速度变化强度则指机动车在单位时间内速度的变化率(即平均加速度),用以表征驾驶行为的激烈程度。

基于上述分析,本文提出一种考虑加速度连续性和强度特征的风险驾驶行为诊断方法。对于行驶片段 $t \in (m, n]$, 其判定条件如下:

$$a_t a_{t-1} > 0, \quad (1)$$

$$\Delta t = n - m \geq \Delta t_c, \quad (2)$$

$$\frac{|v_n - v_m|}{\Delta t} \geq a_c, \quad (3)$$

式中: a_t 为机动车在 t 时刻的加速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$); Δt 为加速度连续变化的时间差/s; Δt_c 为加速或减速持续时间的临界值/s; v_n 和 v_m 分别为机动车在 n 时刻和 m 时刻的行驶速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); a_c 为平均加速度临界值($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)。参考既有研究并结合数据特征,本文设定风险驾驶行为诊断参数如下: $\Delta t_c = 2 \text{ s}$, $a_c = 1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

3 道路交通安全风险影响因素辨识

机动车驾驶行为的危险不仅取决于道路建成环境,还与实时交通流动态特征(如交通拥堵、行驶速度波动)密切相关。为系统解析街道尺度下道路交通安全风险的影响因素,本文以机动车风险驾驶行为与交通环境的时空交互特征为基础,构建基于回归分析的道路交通安全风险影响因素辨识模型。该模型以考虑强度和连续性特征的机动车风险驾驶行为频率为因变量,表征道路交通安全

风险,通过逐步回归法筛选空间环境变量与动态交通运行变量中的显著影响因素,旨在揭示静态与动态交通因素对道路交通安全风险的共同作用机制。

3.1 变量选择

综合考虑机动车风险驾驶行为的时空特征及数据可得性,共选取街道尺度下的22项自变量,并将其分为两类(见表1)。空间环境自变量(如道路里程、道路网密度等)用于表征区域的静态交通设施供给水平,短期内可视为相对稳定的因素;动态交通运行自变量则用于反映交通流的时空波动特性,包括分时段(早高峰、平峰、晚高峰、夜间)的严重拥堵里程比、道路网平均行驶速度及其标准差等指标。

基于上述变量,模型以统计时段内单位道路里程的机动车风险驾驶行为频率为因变量,将其作为道路交通安全风险的替代指标,用于量化评价和对比不同时空区域的道路交通安全风险水平。

3.2 逐步回归解析

为消除量纲差异并增强模型稳健性,采用 Z-score 法对所有变量进行标准化处理,计算公式为

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - u_j}{\sigma_j}, \quad (4)$$

式中: x_{ij} 为输入的模型变量; z_{ij} 为标准化后的变量值; u_j 与 σ_j 分别为第 j 项变量的均值和标准差。

采用线性逐步回归模型(Stepwise Regression Model)进行自变量筛选,逐步引入显著性水平 $p < 0.05$ 的自变量,并结合共线性诊断剔除导致严重多重共线性的变量,从而识别区域道路交通安全风险的显著因素。模型公式为

$$\lambda_i^p = \sum_j \beta_j w_{ij} + \sum_k \beta_k x_{ik}^p + \beta_0, \quad (5)$$

式中: λ_i^p 为街道 i 在时段 p 的风险驾驶行为频率/(次· $\text{km}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); β_j 为空间环境自变量的回归系数; w_{ij} 为街道 i 的第 j 个空间环境自变量; β_k 为对应交通运行自变量的回归系数; x_{ik}^p 为街道 i 在时段 p 的第 k 个交通运行自变量; β_0 为模型常数项。

3.3 安全风险评价

为实现街道层面道路交通安全风险的动态评价与横向对比,需构建一个兼具科学性

与可比性的量化指标,以综合反映不同区域的道路交通安全风险水平差异。基于上述影响因素辨识结果,本文提出一种面向区域空间尺度的道路交通安全风险评价指数(Road Safety Risk Index, RSRI)。该指数通过整合静态交通设施特征与动态交通运行状态因素,将多维信息转化为单一可比指标,计算公式为

$$R_i^p = \frac{e^{\hat{\lambda}_i^p}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e^{\hat{\lambda}_i^p}}, \quad (6)$$

式中: R_i^p 为街道 i 在时段 p 的道路交通安全风险指数; $\hat{\lambda}_i^p$ 为由式(5)回归得到的街道 i 在时段 p 的风险驾驶行为频率预测值/(次·km⁻¹·h⁻¹); n 为参与评价的街道或区域总数量/个。

由式(6)可知, R_i^p 值越大,表明街道在相应时段内的道路交通安全风险水平越高。

该指数能够有效刻画街道级道路交通安全风险的空间异质性,并可通过长期追踪其时序变化,评价交通管理措施(如节点优化、拥堵治理)的实施效果。

4 实证分析

4.1 风险驾驶行为的加速度变化特征

加速度变化是机动车驾驶行为最核心的表征。对机动车在城市道路上的逐秒加速度进行统计(见图1a),结果显示,加速度分布主要集中在-1.5~1.5 m·s⁻²,占总记录数的98.7%。尽管瞬时极端加速行为发生频率较低,但剧烈的加减速操作仍是评价驾驶行为风险的重要指标。进一步对任意连续2 s内的机动车平均加速度进行统计,并根据加速度的连续变化趋势,将机动车行驶速度变化分为3类:加减速波动、连续减速和连续加

表1 道路交通安全风险影响因素辨识模型自变量释义与统计值

Tab.1 Definitions and statistical value of independent variables in the identification model for influencing factors of road traffic safety risk

类型	参数	释义	平均值	标准差
静态因素	区域面积/km ²	街道土地总面积	6.92	2.52
	居住人口/万人	区域常住人口总数	9.13	4.50
	职住比	区域内就业人数与居住人数比值	1.32	1.39
	道路里程/km	区域内道路总里程	116.35	35.32
	快速路里程比/%	道路里程中快速路里程的比例	12.00	7.00
	主干路里程比/%	道路里程中主干路里程的比例	32.00	7.00
	次支路里程比/%	道路里程中次、支路里程的比例	56.00	8.00
	道路网密度/(km·km ⁻²)	道路里程与区域面积的比值	17.55	3.77
	车站数量/个	区域内公共汽车站和地铁车站数量	216.57	81.46
	节点数量/个	区域内道路交叉口和出入口等节点数量	25.61	9.95
	车站密度/(个·km ⁻²)	区域内车站数量与区域面积的比值	31.93	9.26
	节点密度/(个·km ⁻²)	区域内节点数量与区域面积的比值	3.97	1.65
	车站里程密度/(个·km ⁻¹)	区域内车站数量与道路里程的比值	1.87	0.56
	节点里程密度/(个·km ⁻¹)	区域内节点数量与道路里程的比值	0.40	0.14
动态因素(平峰)	道路严重拥堵里程比/%	统计时段区域内道路严重拥堵里程占总里程的比例	4.13	2.33
	道路网平均行驶速度/(km·h ⁻¹)	统计时段区域内所有道路行驶速度的平均值	34.17	11.07
	快速路平均行驶速度/(km·h ⁻¹)	统计时段区域内快速路行驶速度的平均值	41.77	16.77
	主干路平均行驶速度/(km·h ⁻¹)	统计时段区域内主干路行驶速度的平均值	32.06	8.83
	次支路平均行驶速度/(km·h ⁻¹)	统计时段区域内次、支路行驶速度的平均值	26.75	6.12
	道路网行驶速度标准差	统计时段区域内所有道路行驶速度的标准差	4.42	1.45
	快速路行驶速度标准差	统计时段区域内快速路行驶速度的标准差	8.54	3.41
	主干路行驶速度标准差	统计时段区域内主干路行驶速度的标准差	4.87	2.01
	次支路行驶速度标准差	统计时段区域内次、支路行驶速度的标准差	3.52	1.96

速。如图1b所示,3类加速度变化的占比分别为79.6%,9.7%和10.7%。统计结果表明,在多数情况下机动车的加速度处于波动变化状态,即加减速交替发生。加速度连续变化不仅表征驾驶行为的稳定性,同时也隐含了潜在的驾驶风险。例如,长时间的连续减速可能表明驾驶人正在应对特定的交通情况,如前方车辆汇入、交叉口排队或紧急避险等。

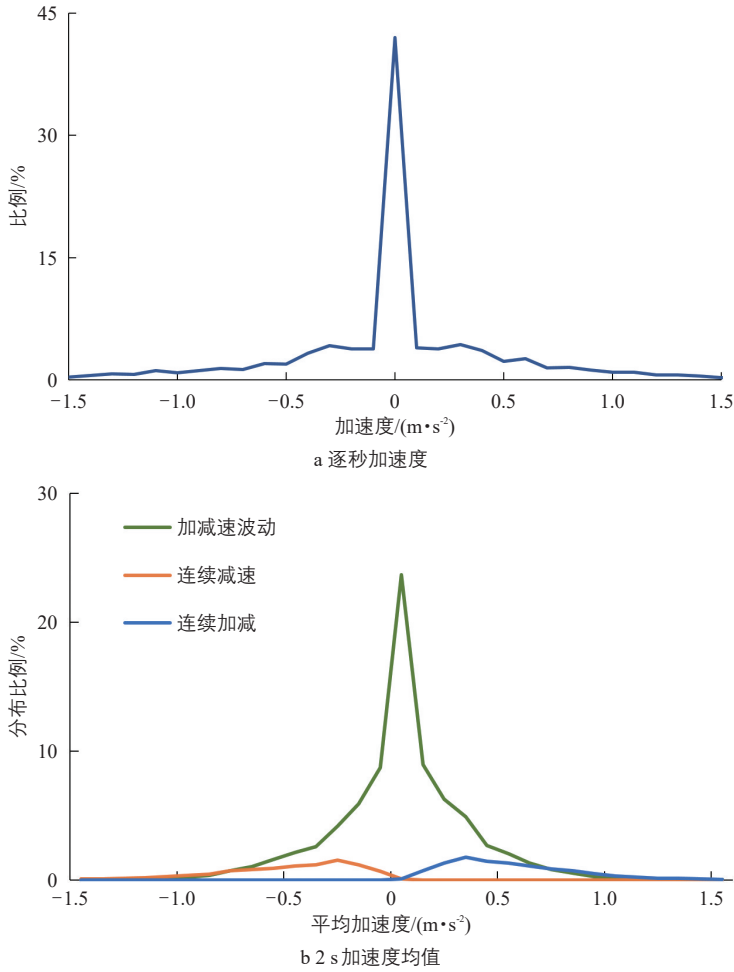


图1 不同时间粒度下机动车加速度分布
Fig.1 Distribution of motor vehicle acceleration under different temporal granularities

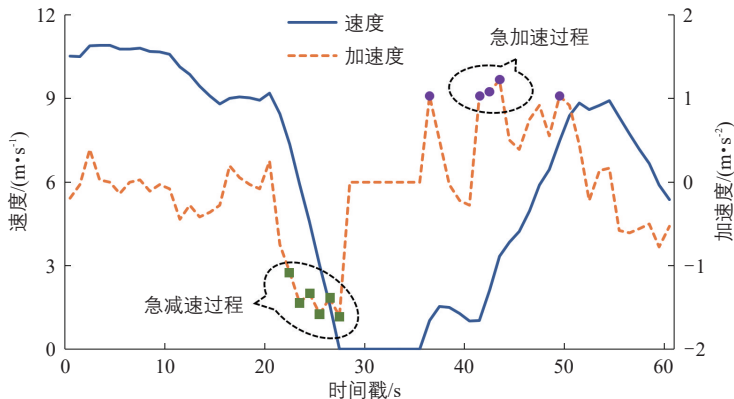


图2 机动车行驶速度瞬时变化过程
Fig.2 Transient variation process of motor vehicle speed

图2展示了某样本机动车瞬时行驶速度的变化过程,其中紫色点表示瞬时剧烈加速点($\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$),绿色点表示瞬时剧烈减速点($\leq -1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)。若仅根据瞬时加速度的大小直接筛选高风险的急加速或急减速事件,可能导致部分孤立的加速度点被错误识别为高风险行为。原因在于,基于单一时间点的判断难以真实反映机动车行驶速度变化的持续过程,进而可能导致对风险驾驶行为的漏判或误判。此外,这种基于瞬时变化的判断方式还可能受到数据采集设备精度的影响,数据中的异常突变点会进一步干扰对风险驾驶行为的准确识别。

机动车风险驾驶行为特征的统计结果如图3所示。不同初始行驶速度区间内的急加速和急减速概率分布均呈对数正态分布。低行驶速度下的急加速可能源于拥堵状态下机动车的频繁启停,而较高行驶速度下的急减速则多与驾驶人应对突发情况的紧急操作相关。进一步对比不同加速度强度和持续时间条件下的急加速和急减速分布频率(见图4),结果发现,大多数此类行为的强度和持续时间均相对较小,表明这类事件通常具有强度较低、持续时间较短的特点。

4.2 风险驾驶行为时空分布

1) 时序特征。

利用地图平台采集与行驶轨迹数据同日的机动车交通事故信息,并分析道路交通运行状态、风险驾驶行为与机动车交通事故之间的时序关联性,结果如表2所示。风险驾驶行为频率与道路交通运行指数、机动车交通事故频率之间均存在显著的相关性。相关分析结果表明,风险驾驶行为的发生与机动车交通事故、道路交通运行状态之间存在稳定的关联模式,从而验证了以风险驾驶行为频率指标替代机动车交通事故频率指标的可行性。相较于传统交通事故数据,风险驾驶行为频率指标在数据采集成本、时空覆盖范围等方面具有明显优势。

由图5可知,风险驾驶行为频率、道路交通运行指数与机动车交通事故频率的时序分布均呈现双峰特征。在早高峰时段,风险驾驶行为频率、道路交通运行指数与机动车交通事故频率依次达到峰值,显示出明显的时序递进特征。这可能是由于早高峰时段通勤需求高度集中,形成了“交通需求增加—交通状态恶化—驾驶行为扰动增多—事故发生频率上升”的连锁反应过程。

2) 空间特征。

采用核密度估计(Kernel Density Estimation, KDE)对风险驾驶行为的空间分布特征进行分析。核密度估计的核心思想是在观测点周围生成一个平滑的局部密度估计曲面,从而以热力图形式呈现高风险区域的分布特征。对于服从密度函数 $f(x)$ 的随机变量 x , 其核密度估计计算公式为

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right), \quad (7)$$

式中: $\hat{f}(x)$ 为核密度估计值; n 为样本总量; h 为带宽; $K(x)$ 为核函数。

工作日分时段的风险驾驶行为核密度空间分布如图6所示。在早晚高峰时段, 风险驾驶行为分布呈现出明显的集聚特征, 主要集中在城市快速路以及桥区等关键道路节点周边, 例如复兴门桥、东直门桥和科丰桥等。在平峰和夜间等非高峰时段, 风险驾驶行为的热点区域显著减少, 但仍集中在西直门桥、复兴门桥和国贸桥等重要交通节点。这表明, 即使在交通量较低的时段, 受地理位置和交通组织特性的影响, 这些交通节点仍是风险驾驶行为的高发区域。

4.3 道路交通安全影响因素辨识

道路交通安全影响因素辨识结果如表3所示。在街道尺度下, 影响道路交通安全的环境因素主要包括道路里程、次支路里程比、道路网平均行驶速度、道路严重拥堵里程比等关键指标。

从静态因素来看, 车站密度 ($B=0.022$) 与节点密度 ($B=0.089$) 对风险驾驶行为频率具有显著正向影响。这表明, 区域内车站密度每增加1个单位(个· km^2), 风险驾驶行为频率增加2.2%; 节点密度每增加1个单位(个· km^2), 风险驾驶行为频率增加8.9%。其内在机理在于: 车站和节点的密集分布增加了机动车与行人、非机动车之间的冲突概率, 并引发频繁的交通流中断(如车辆停靠、转向), 从而导致机动车发生风险驾驶行为频率升高。

从动态因素来看, 道路严重拥堵里程比 ($B=0.014$) 和主干路行驶速度标准差 ($B=0.014$) 对风险驾驶行为频率的正向影响最为显著。道路严重拥堵里程比越高, 表明特定时段内拥堵程度越严重, 这会促使驾驶人采取更多紧急操作, 例如, 急加速或急减速, 进而增加驾驶风险。

4.4 安全风险评价的应用与改善对策

以北京市五环范围内的街道为例, 本文选取典型工作日的早晚高峰时段进行道路交通安全风险评价(见图7)。结果显示, 道路交通安全风险较高的街道主要集聚在三环至四环快速路之间的区域。例如, 方庄、安贞、麦子店和羊坊店等街道在早晚高峰时段的道路交通安全风险均处于较高水平, 这可能源于这些区域交通基础设施相对不足, 叠加交通量大、道路网结构复杂等多重因素的综合影响。

街道级的道路交通安全风险评价为交通

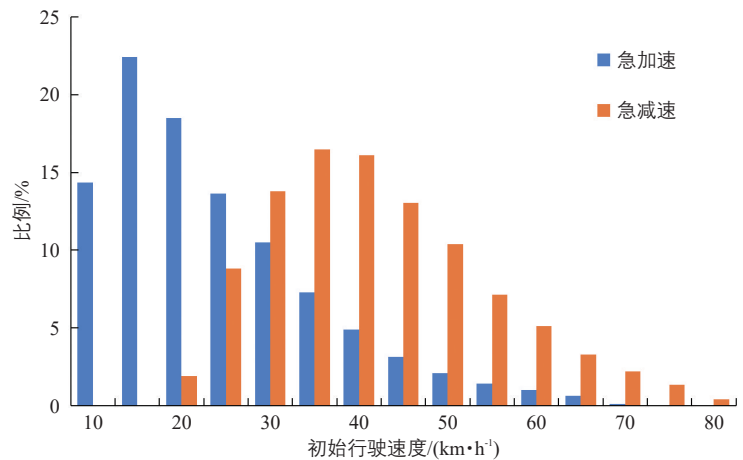


图3 不同初始行驶速度条件下风险驾驶行为概率分布

Fig.3 Probability distribution of risky driving behaviors under different initial speed

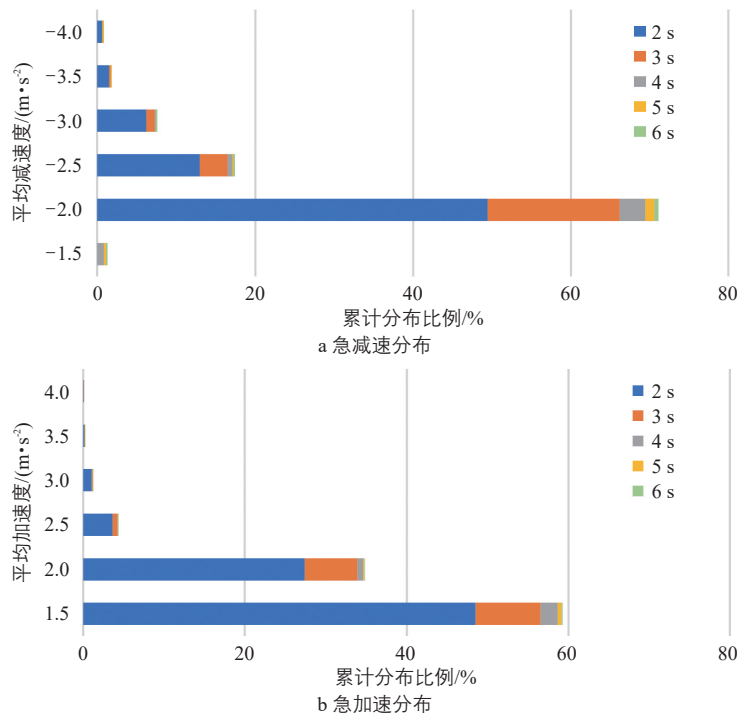


图4 不同加速度强度条件下风险驾驶行为分布

Fig.4 Distribution of risky driving behaviors under different acceleration intensity levels

表2 不同道路交通指标的相关系数

Tab.2 Correlation coefficients of different road traffic indicators

相关系数	风险驾驶行为频率	机动车交通事故频率	道路交通运行指数
风险驾驶行为频率	1.000	0.832	0.845
机动车交通事故频率		1.000	0.727
道路交通运行指数			1.000

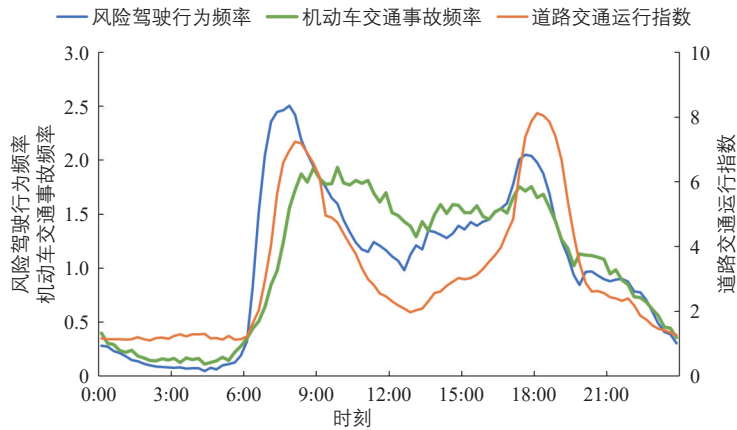


图5 不同道路交通指标的时序变化

Fig.5 Temporal variations of different road traffic indicators

管理者提供了量化的决策工具，有助于精准识别区域道路交通安全风险，从而为制定差异化的交通安全改善策略提供依据。基于北京市中心城区的道路交通安全风险评价结果，总结提出如下改善策略及建议：

1) 优化道路网络布局。在城市更新过程中，合理规划和调整车站与节点的空间分布，避免过度密集设置，减少其对道路通行能力的干扰；同时改善渠化设施，减少交通冲突点，以提升道路通行安全性。

2) 保障交通运行平稳。采取有效措施缓解道路拥堵，例如优化信号灯配时方案，减少机动车因频繁启停而产生的急加速、急减速行为，从而降低碰撞等交通事故的发生风险。

3) 补齐交通安全措施短板。完善道路附属安全设施，如在视线受限的高架桥区等关键路段设置合理的限速标志、减速带等，通过物理引导与警示措施，规范驾驶人行为，提升行车安全。



图6 北京市工作日不同时段的风险驾驶行为核密度空间分布

Fig.6 Spatial distribution of kernel density of risky driving behaviors during different periods on weekdays in Beijing

表3 道路交通安全影响因素线性回归结果统计

Tab.3 Statistics results of linear regression for influencing factors of road traffic safety

自变量	非标准化系数		标准化系数	显著性概率值 (P)	方差膨胀因子 (VIF)	T检验值 (t)	决定系数 (R ²)	调整决定系数 (Adj R ²)	模型显著性检验 (F)
	B	标准误差	β						
道路里程	0.001	0.001	0.107	-2.141	0.034 ¹⁾	1.213			
次支路里程比	-0.255	0.071	-0.179	-3.572	0.001 ²⁾	1.215			
车站密度	0.022	0.010	0.103	2.165	0.032 ¹⁾	1.107			
节点密度	0.089	0.043	0.106	2.057	0.042 ¹⁾	1.296			
道路严重拥堵里程比	0.014	0.004	0.267	3.545	0.001 ²⁾	2.754	0.75	0.73	F=45.27 P=0.000 ²⁾
道路网平均行驶速度	-0.004	0.001	-0.370	-4.747	0.000 ²⁾	2.955			
主干路行驶速度标准差	0.014	0.004	0.232	3.087	0.002 ²⁾	2.752			
次支路行驶速度标准差	-0.029	0.005	-0.484	-6.015	0.000 ²⁾	3.146			
常数	0.450	0.069	0.000	6.546	0.002 ²⁾				

1)和2)分别表示在5%和1%的置信水平上显著。

4) 加强交通安全执法与教育。强化对重点路段和时段的交通执法力度，及时查处交通违法行为；同时深入开展交通安全宣传教育，提高驾驶人的安全意识和驾驶技能，从源头上降低人为因素导致的交通事故风险。

5 结论

面向超(特)大城市大范围道路交通安全风险评价的现实需求，本文提出了一种考虑加速度变化连续性的机动车风险驾驶行为诊断方法，进而构建区域尺度下道路交通安全风险影响因素辨识模型，并将其应用于区域道路交通安全风险评价。主要结论如下：

1) 实证分析表明，在区域尺度下，机动车风险驾驶行为频率分布与交通事故频率分布之间存在显著的时序正相关性，且二者具有相似的双峰分布模式。以风险驾驶行为频率作为机动车交通事故频率的替代指标具有可行性。

2) 工作日早晚高峰时段，北京市中心城区机动车风险驾驶行为的空间热点存在显著差异，其中早高峰时段的风险热点较晚高峰时段更为集中。从空间维度来看，机动车风险驾驶行为为高发的热点区域在不同时段均倾向于集中在城市快速路及道路交通节点周边。

3) 多因素回归分析综合考虑了影响道路交通安全的时空维度因素。结果表明，影响机动车风险驾驶行为发生频率的环境因素主要有车站密度、节点密度、道路严重拥堵里程比和主干路行驶速度标准差等。这些因素综合反映了道路交通设施的配置水平与交通运行的稳定性，是影响区域道路交通安全

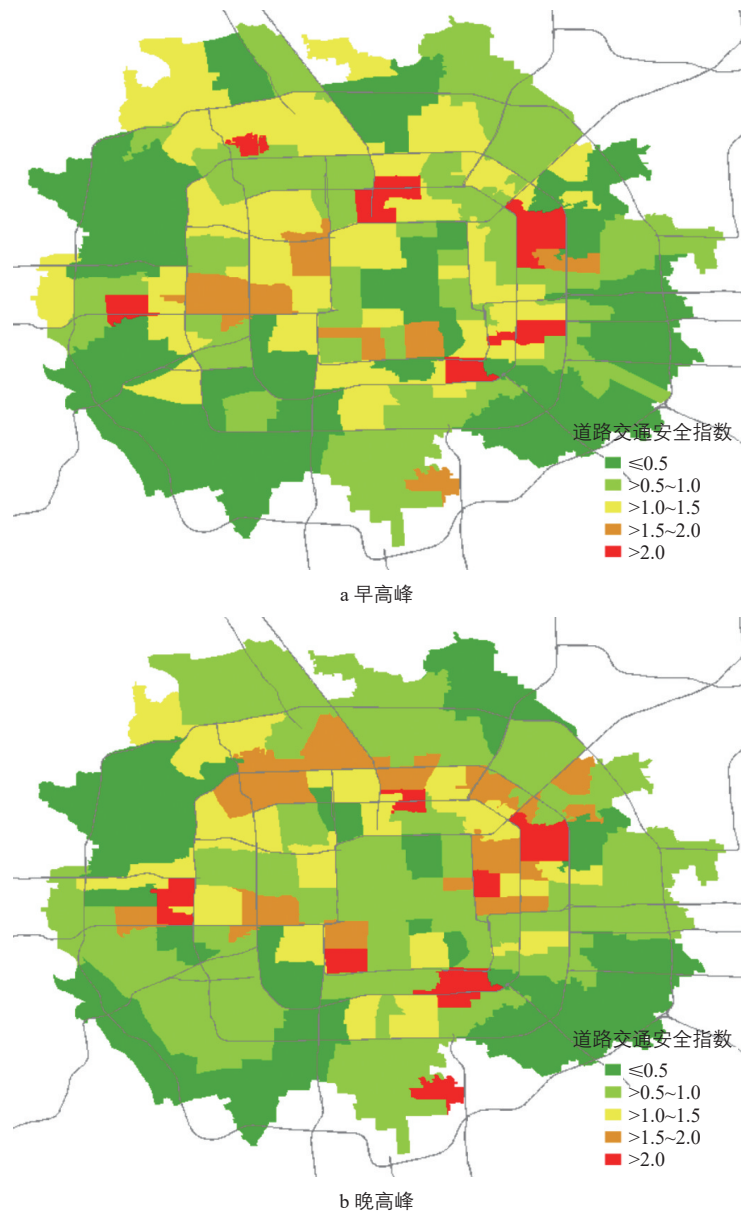


图7 北京市工作日早晚高峰时段道路交通安全指数

Fig.7 Road traffic safety index during morning and evening peak hours on weekdays in Beijing

的核心时空要素。

4) 区域级道路交通安全风险指数为不同区域、不同时段的风险水平横向与纵向对比提供了量化工具, 可支持道路交通安全风险的长期趋势追踪和改善措施的效果评价。

本文在道路交通安全影响因素解析过程中, 未充分考虑社会经济与天气因素, 这也是后续研究需进一步补充完善的内容。同时, 后续研究可在道路交通安全风险影响因素辨识模型中尝试引入更为复杂的非线性模型, 以更准确地捕捉变量之间的复杂关联及其空间异质性。

参考文献:

References:

- [1] Wang Xuesong, Zhou Qingya, Yang Junguang, et al. Macro-level traffic safety analysis in Shanghai, China[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 125: 249-256.
- [2] Ellison A B, Greaves S, Bliemer M. Examining heterogeneity of driver behavior with temporal and spatial factors[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2013, 2386(1): 158-167.
- [3] Saha D, Dumbaugh E, Merlin L A. A conceptual framework to understand the role of built environment on traffic safety[J]. *Journal of Safety Research*, 2020, 75: 41-50.
- [4] 谢波, 肖扬谋. 城市道路网络特征对交通事故作用机理的研究进展[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(10): 1956-1968.
Xie Bo, Xiao Yangmou. Progress of research on the mechanism of impact of urban road network characteristics on traffic accidents[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(10): 1956-1968.
- [5] 肖扬谋, 谢波, 庞哲. 城市道路网络特征对交通事故的作用机理研究[J]. *南方建筑*, 2023(4): 61-68.
Xiao Yangmou, Xie Bo, Pang Zhe. Urban road network characteristics and their influence on traffic accidents[J]. *South Architecture*, 2023(4): 61-68.
- [6] Wang Xuesong, Zhang Xueyu, Pei Yingying. A systematic approach to macro-level safety assessment and contributing factors analysis considering traffic crashes and violations[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2024, 194: 107323.
- [7] 吕能超, 王玉刚, 周颖, 等. 道路交通安全分析与评价方法综述[J]. *中国公路学报*, 2023, 36(4): 183-201.
Lyu Nengchao, Wang Yugang, Zhou Ying, et al. Review of road traffic safety analysis and evaluation methods[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2023, 36(4): 183-201.
- [8] Agerholm N, Jensen R, Andersen C S. Identification of hazardous road locations on the basis of jerks[C]//28th Workshop of International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic safety, 2015: 1-17.
- [9] 葛慧敏, 周礼军, 薄云钰, 等. 基于交通冲突理论的道路安全评价技术研究综述[J]. *交通信息与安全*, 2022, 40(6): 12-21.
Ge Huimin, Zhou Lijun, Bo Yunyu, et al. A review of road safety evaluation techniques based on traffic conflict theories[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2022, 40(6): 12-21.
- [10] Stipancic J, Miranda-Moreno L, Saunier N. Vehicle manoeuvres as surrogate safety measures: extracting data from the GPS-enabled smartphones of regular drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2018, 115: 160-169.
- [11] Jun J, Ogle J, Guensler R. Relationships between crash involvement and temporal-spatial driving behavior activity patterns: use of data for vehicles with global positioning systems[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 2019(1): 246-255.
- [12] 王玉婷, 张梦歌, 彭博, 等. 基于车辆车载诊断数据的山地城市道路异常驾驶行为空间分布特征[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(13): 5472-5480.
Wang Yuting, Zhang Mengge, Peng Bo, et al. Spatial distribution characteristics of abnormal driving behavior on mountain roads based on vehicle on-board diagnostics data [J]. *Science Technology and Engineering*, 2022, 22(13): 5472-5480.
- [13] 张建波, 孙建平, 温慧敏, 等. 基于轨迹数据的小汽车急减速行为特征分析[J]. *北京工业大学学报*, 2021, 47(12): 1360-1366.
Zhang Jianbo, Sun Jianping, Wen Huimin, et al. Characteristic analysis of vehicles' rapid deceleration based on trajectory data[J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2021, 47(12): 1360-1366.

(下转第96页)