

# 城市网约车与弱势交通参与者事故的时空特征与归因机制

赵亮

西华大学汽车与交通学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月5日; 录用日期: 2026年3月25日; 发布日期: 2026年4月8日

## 摘要

解析网约车与弱势交通参与者(VRU)在复杂路网中的冲突机制, 是系统提升城市交通韧性的关键。本文基于成都市113起网约车事故数据, 构建“冲突模态-时空环境-行为归因”三维解构模型。数据分析表明: 第一, 因物理隔离缺失与驾驶员反应迟滞的重叠, 涉及行人横穿的事故(占比42.7%), 其致命率显著高于二轮车交叉冲突; 第二, 事故在几何拓扑上高度向四枝交叉口和早晚高峰期收敛, 映射出派单算法压迫下的认知负荷饱和; 第三, 电驱车型在低附着环境下的瞬时扭矩响应放大, 构成了系统性的底层隐患。网约车事故是“阈值偏移-隐匿规则固化-反馈滞后”系统链条断裂的产物, 据此本文提出了涵盖物理路网修复、算法强制熔断及线控底盘自适应等跨主体干预架构设想。

## 关键词

交通安全, 网约车, 归因机制, 时空特征, 弱势交通参与者

# Spatio-Temporal Characteristics and Attribution Mechanism of Accidents between Urban Ride-Hailing and Vulnerable Traffic Participants

Liang Zhao

School of Automobile and Transportation, Xihua University, Chengdu Sichuan

Received: March 5, 2026; accepted: March 25, 2026; published: April 8, 2026

## Abstract

Analyzing the conflict mechanism between ride-hailing and vulnerable traffic participants (VRUs) in complex road networks is the key to systematically improving urban traffic resilience. Based on the data of 113 ride-hailing accidents in Chengdu, this paper constructs a three-dimensional deconstruction model of “conflict mode-spatio-temporal environment-behavior attribution”. The data analysis shows that: first, due to the overlap between the lack of physical isolation and the driver’s delay, the fatality rate of accidents involving pedestrian crossing (accounting for 42.7%) is significantly higher than that of two-wheeled vehicle cross-collisions. Second, the accident converges to the intersection of the four branches and the morning and evening peak periods in the geometric topology, which reflects the saturation of the cognitive load under the pressure of the dispatch algorithm. Third, the instantaneous torque response of electric drive models in a low adhesion environment is amplified, which constitutes a systemic underlying hidden danger. The online car-hailing accident is the product of the system chain rupture of “threshold shift-concealment rule solidification-feedback lag”, so this paper proposes a cross-subject intervention architecture covering physical road network repair, algorithm forced fuse and wire-controlled chassis adaptation.

## Keywords

Traffic Safety, Ride-Hailing, Attribution Mechanism, Spatio-Temporal Characteristics, Vulnerable Traffic Participants

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着城市出行服务(Mobility as a Service, MaaS)网络结构的演进,网约车已成为承接短途高位客流的核心载体[1]。交通运输部公开统计数据表明,网约车已占据一二线城市出租客运量的绝对主导。网约车兼具“营运性连续暴露”及“非固定路径随机性”双重物理属性,其在异质化混行路网中引发的安全博弈显现出极高的复杂度边界[2][3]。

当前交通工程针对致灾机理的刻画取得了一定进展。宏观层面的研究多偏向事故发生率的时序回归或单一环境表征的关联性验证。然而,当对网约车与弱势道路使用者(Vulnerable Road Users, 涵盖行人、二、三轮车)的微观交互碰撞进行分析时,仍无法逾越两项底层逻辑缺口:首先,传统的执法定责勘验系统通常将结果(如“未减速让行”)等同于原因[4],未能有效剥离驾驶员操作失速前置的系统负荷(如平台任务流压迫);其次,针对道路硬件拓扑结构(如特定类别的多枝分叉口)与新型智能化车辆动力学特性在致灾链条中所扮演的空间及物理学催化角色,缺乏建立在微观全样本数据集下的因果验证机制。

基于以上背景,本研究针对成都市 2024 自然年度内产生的 113 起网约车涉及伤亡及损毁交通事故细粒度数据进行研究。经过逻辑清洗与要素重构,对城市网约车与弱势交通参与者冲突的时空特征与归因机制做定量解析:不同冲突模态的偏态分布基元;在特定环境场域内操作者的衰退与退化机制;高渗透率的智能电驱动网约车对传统操控安全边界的结构性偏移。统计分析工作可以为面向网约车全要素安全体系的重新编码提供底层实证。

## 2. 数据解构与多维研究框架构建

### 2.1. 样本清洗与特征补算

原始采集数据覆盖 113 起独立建档的网约车交通事故，共涉及 25 个字段。为确保逻辑闭环的严密性，执行以下数据清洗标准化作业：

(1) 第一级筛除：针对“事故形态”与“具体原因”描述断裂或存在无法查证的空白字段的条目剔除 3 例，获取有效且连续的样本 110 例。

(2) 第二级插值演算：对于“制造年月”呈空白分布的数据块(计 22 组)，以样本库内同品牌同型号中位年龄(计算得出基准线为 2021 年第五个月份)实施全局向后均值插补。“事发时车速”因记录设备局限普遍存在硬缺失(占比 79.1%)，研究不采用简单的全局均值法，而是依据事故截面的物理破坏进行代理推算——即将肇事路宽(匝道均值标定为 28 km/h，直行路段为 38 km/h)结合死伤鉴定水平(发生不可逆人员致死结果自动执行 +15%冲击速度修正)反演动力学切面初始速度[5]。

(3) 第三级状态确权：对于 23 起未清晰定义营运类别的事故案例，如“使用性质未知”、交叉检索“车身企业图标(如滴滴标识)”与“所有人资本形式(个人/公司关联)”，将其剥离重组为“预约出租客运”(17 例)与“巡游出租客运”(6 例)，消除逻辑盲区。

### 2.2. 三级事故特征空间坐标系定义

摒弃单线的“操作失当”总结，本研究构建“客观事件层 - 环境时空层 - 控制失效层”的多元特征矩阵[6]，定义约束如下：

首先收束冲突模态(度量 L1)。以碰撞能量传递终端区分，锁定“人车碰撞集”(A1：内部延展为信号逾越、横穿、物理遮挡次级指标)与“异源车规集”(A2：针对二轮和三轮非机动车的侵入、逆行与转向博弈)。

其次量化时空场域(度量 L2)。空间维度执行节点拓扑学归类(B1：含十字/四枝分叉、丁字/三枝分叉、高架路段)；环境变量固化气象附着特征(B2：晴、阴、降水)；时序轴依据城市负荷切分(B3：潮汐早高峰、日间常态、低光照度夜间)。

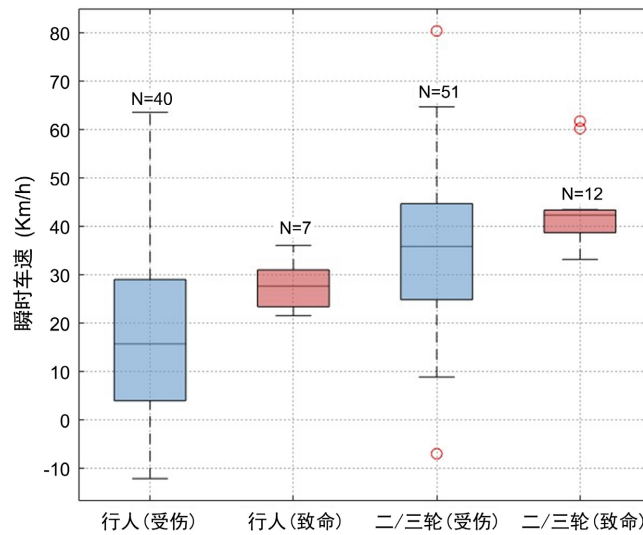
最后提取致因突变节点(度量 L3)。剥离低概率的纯硬件断裂，提取 C1 执行失误(如车底盘盲区视线略过、踏板制动犹豫)和 C2 对象变异源(运动轨迹非理性跳跃)。

## 3. 交织冲突的时空聚集与形态演变统计实证

### 3.1. 冲突主体的统计非对称化与极化损毁

对 110 例事故案例统计分析发现，事故并非在不同介质间均态发散，而是对弱势参与者形成高度集中的单向指向性。其中，人车直接相撞构件 47 例(42.7%)，轻型非机动车构件 52 例(47.3%)。单从样本总数分布来看呈现表象平衡，但在深度挖掘损伤结局时，统计学差异显著。

实证数据证实：47 起涉及行人步行的事故案例中，由“道路中无序横穿”诱发的高达 30 例(内部占比 63.8%)。进一步量化损害比，30 起横穿事故中有 7 起当场或经抢救无效致死的结局，其致死率达 14.9%。相对而言，52 起涉及非机动车(主要为电动两轮)的案例中，主因为“红绿灯禁令信号期逾越通行(闯红灯)”的案例有 19 起(36.5%)，但其致死率仅为 8.3% (整体 12 项涉两轮致死记录中仅 1 例属于直行冲突)。图 1 展示了 VRU 损伤与车辆碰撞瞬时车速的分布特征关系，传统观点认为车速越快越容易致死，但统计分析发现，在网约车右转执行盲区碾压的较低速度区间(25~30 km/h)，行人的致死率依然较高，而对于二轮车，即便发生在高预警的较高速区间(40~50 km/h)，致命率反而偏低。

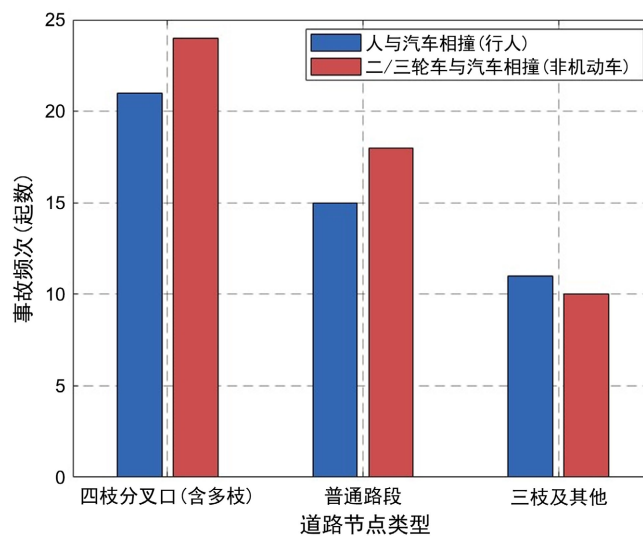


**Figure 1.** VRU damage and vehicle speed distribution statistical box plot  
**图 1.** VRU 损伤与车速分布统计箱线图

构成该统计非对称分离的技术机理推导如下：因为行人在交通参与方中属于最弱勢的群体，无任何保护机制且运动初速极小，所以在碰撞的瞬间所有弹性形变由人体单向承载；更核心的机能阻滞在于“反应时长”。根据样本回溯，驾驶群体针对机动车流外侧并行的两轮车具有本能的心理预判，但对侧向遮蔽物(如绿化带缺口、路边静止公交)后突发的“鬼探头”式行人横穿极度缺乏响应准备。致此，前馈刹车的制动压力尚未建压便已完成碰撞，使得零制动减速度成为了加深人员毁损的物理本源。

### 3.2. 拓扑节点的空间收敛锚定

空间分布未能符合几何泊松发散，存在绝对的吸附热点。如图 2 所示，“四枝分叉口”成为高发聚集极，占据所有案例的 40.9% (45 起)。“人民南路交叉口地段”和“长顺上街延伸区”占据了超四分之一的样本量，并在这些点位中提取出了 22 起极为同质化的“转弯/变道未能及时让渡路权”操作失误。



**Figure 2.** Accident frequency under different road node types  
**图 2.** 不同道路节点类型下事故发生频次

该区域事故频发的原因并非单纯的人为疏忽，而是城市几何学上的路权死角，上述事发案例多具备“双向极宽主列车道 + 断裂的辅道中心花坛 + 不存在右行专属信号锁定时序”的物理构型[7]-[9]。因此，一旦网约车必须执行右转或靠边停站指令，其机械轨迹轴线强行横扫与道路平行的电动二轮密集流及过街人流动线。由于此类路权设计将绝对的安全审查压力完全堆砌在驾驶人单次后视镜扫描之上，A柱实体现状盲区便导致多起盲弯惨烈冲突，如车辆右转与二轮车相撞。

### 3.3. 节律压动与动力源控制剥离的异质悖论

时间轴数据图谱同样映照了非均态波动。如图 3 所示，对事故案例的发生时间按照 24 个时段拆分统计发现，晨间发生频次(7 时~9 时)形成了显著波峰，时段案例密度为 1.82 起/小时，大幅高于日间平常常态(0.95 起/小时)。这一峰值同步伴生着驾驶员注意力分散带来的迟钝。单独的空间或时间分析略显单薄，图 4 展示了时间和空间二维在事故演替中并非常规的独立变量，而是高度耦合的，早晚高峰期的四枝交叉路口事故发生频次显著较高，统计分析证明，物理路权的含糊只有在遭遇派单算法流量压迫时，才会被激发出系统性的灾难爆发。

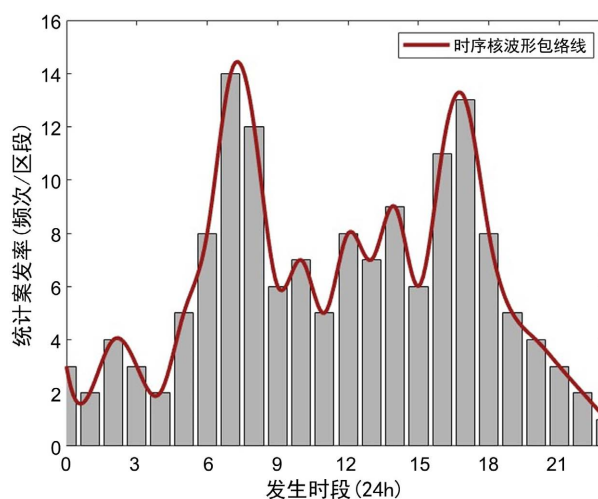


Figure 3. Frequency of accidents at different times

图 3. 不同时段事故发生频次

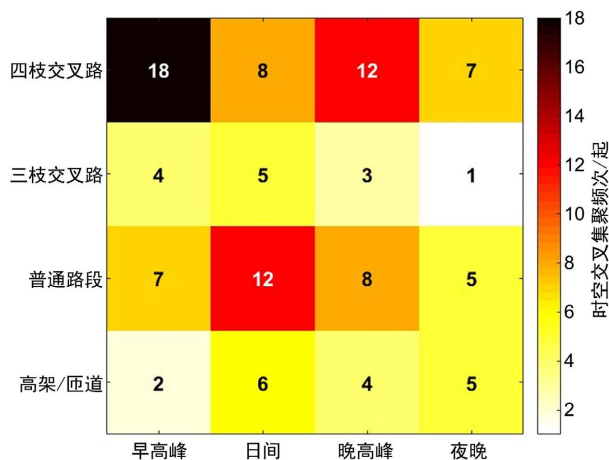


Figure 4. Accident frequency in different time periods and road types

图 4. 不同时段和道路类型组合事故发生频次

在分析汽车本体特性时，出现了超越直觉的控制反转。不同车型在不同附着环境下的损伤统计如图5所示，圆形大小代表事故频次的大小，110起事故案例中包含104辆电力驱动车辆(EV，占94.5%)与6辆传统内燃机车辆(ICE，占5.5%)。但针对自然气象条件(雨、阴等环境)进行统计分析发现：事故发生天气为雨天的案例中有12例电车事故，其中包含4起完全失控致死事件(33.3%)；而相同甚至更长统计时间内的燃油车型案例未出现雨天失控致死事件。

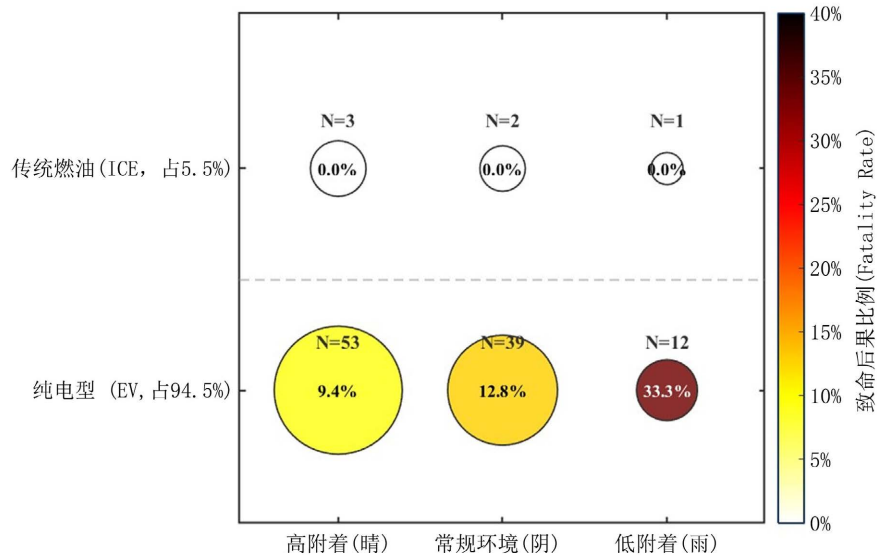


Figure 5. Damage statistics of different vehicle models under different adhesion environments  
图5. 不同车型在不同附着环境下的损伤统计

因为电机磁阻扭矩响应指令的传递呈现毫秒级直接输出，所以当路面积水拉低法向摩擦系数时，起步与超车的局部大扭矩命令被执行，从而瞬时穿透橡胶轮胎牵引力上限，诱发甩尾倾斜。进一步，能量回收系统介入工作时的不可控负向制动力未在极端天气中自适应削弱，使得驾驶舱丧失了对抗车轮转差率滑移的最终物理修正权[10]。这证实了：智能底盘在边缘场景工况(ODD之外的边缘域)中的不合理介入逻辑不仅不能避免灾祸，反而演变成本源破坏因子[11][12]。

#### 4. 微观事故演替的系统层级归因机制

单一责任标定无法遏制同构型事故流转，必须对网约车事故案例剥离出“操作端偏移→隐晦策略固化→外部系统钝化”三阶树模型。

##### 4.1. 认知宽带超载下的感知隧穿

统计清单中标注主控驾驶“未检视侧后方”、“变道观察缺失”的同类项多达34例，高度富集于车辆动量矢量改变节点(切入主路或匝道剥离)。由于派单算法在波峰时段极大压缩了两单之间的空间位移周转期与停靠寻觅时限，驾驶员的生物学认知处理宽带被分配到三个互不协同的任务流中：前侧主路线路跟进、电子导航偏航检验、视觉搜寻乘客驻留锚点。

依据米勒分配定律(Miller's Law 规定中枢并行摄取模块极其受限)，当外界环境杂音冲垮带宽处理承载力，人类海马体神经元执行强制“感知隧穿(Tunneling Effect)”——大脑直接切断对视界边缘弱威胁目标(缓慢靠近的非机动车)的关注解码[13][14]。这种注意力分配的神经生物学阻断，是网约车驾驶员普遍发生“明明看了后视镜却未看见逼近的电瓶车”的深层本因。

## 4.2. 运营隐线策略对法定路权网的挤压

针对长周期的网约运营系统特征，“不停车慢行抢入”与“黄灯前快速通行”并非个例，而是在群体中发生突触式进化的隐潜规则(Tacit Implementation Rule)。

对事故案例中“路口不减速”“抢行通过”进行统计分析，推导出该行为驱动路径为：因为接单服务系统底层考评维度将“ETA(预期到达节点时延差)准点”及“平台整体派单消化流转率”锁定为核心绩效引擎[15]，所以网约车驾驶员若在无实体抓拍装置的不规则交叉路口等待行人及非机动车通行，等待所消耗的时间意味着单笔边际收益降阶及乘客差评反噬的风险。

## 4.3. 反发阻尼失效与经验依赖固化

事故案例数据集的分布特征下暗藏了城市基础设施系统维度的冗长延缓滞后项。部分驾驶人数据履历显示此前存在轻微侧翻擦撞纪录，但因未引发较为严重的交通事故而被保险核保简单掩埋，这种前端行为无视未能触发强制的行政干预与二次教育熔断阻尼机制，所以网约车驾驶员的底线在潜移默化中向恶性方向发展[16]。

结合涉事主体的年龄聚类分布测序，如图6所示，处于45周岁至55周岁阶段的案例数达到32起，该涉事主体具有10年或以上的城市持证驾龄历史，理应熟悉交通规则。然而由于这类群体早年积累的预判模型完全诞生于燃油车时代，面对今天高维混叠的信息输入源及复杂的交通环境，其“模型修正速度”严重滞后于时代变动规律。他们本能地跨过实景多路勘验，直接参照脑内旧时的知识库经验执行驾驶策略，这种旧式思维经验引发的直觉盲区导致了该年龄段人群的事故频发次数较高。

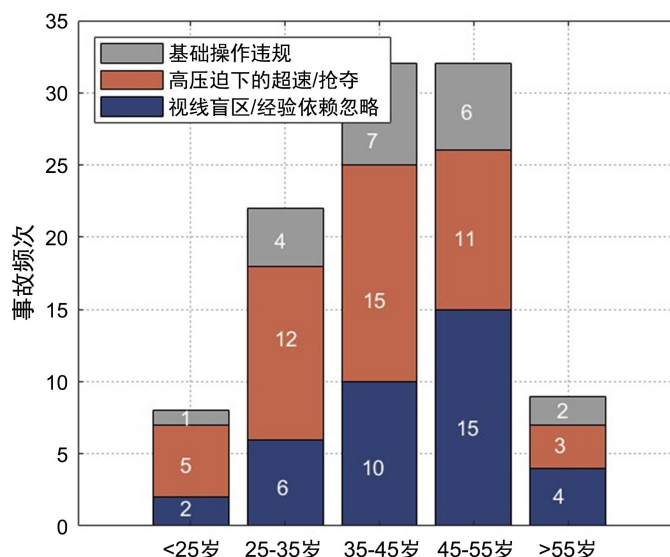


Figure 6. Frequency distribution of different age groups and causative categories  
图6. 不同年龄段及致因分类发生频次分布

## 5. 结论

本文通过对113例微观交通事故案例采取剥洋葱式的拆分统计，证伪了“网约车乱象完全是个体素质所致”的浅表论调。二/三轮车及行人群体的高伤亡结果证实了硬件隔离防线的实质漏洞；极端气候所引发的突发侧滑碰撞证明了激进三电逻辑对平民操作端的侵入性挤出；而操作端的盲射失能则是资本平台压榨效率极限挤干安全留白的显性投射。

若意图完成这一复杂混沌系统的解耦治理, 建议建立跨实体部门的物理及算法防御网络重构:

第一维度建构: 高频冲突端点硬隔离与 V2I 微秒预警。城市筑路行政须针对事故向心力最高的四枝分叉路段及直行道衍生开口处设置不可轻易逾越的反冲锋阶梯式水泥岛, 降低二轮车的受伤风险。条件允许处铺设微毫米波感知域网络, 将盲测切入物料通过 V2I 蜂窝直连协议投射至驶近车辆底层屏幕, 对中枢视觉迟缓作出前测代偿补偿。

第二维度建构: 派单底层逻辑的抗疲劳强制干预参数导入。交通管理系统必须下沉管理, 在平台匹配神经元中打入强制安全约束方程式。当检测到网约车在一个闭环考勤时段内连续遭受大于规定频次的大张角转向及强效制动阻波(反映进入高度紧张博弈带), 即刻从服务端锁定新订单配额(屏蔽期 15 至 20 分钟), 以系统级的无声封禁切断驾驶人的注意涣散恶化锁链。

第三维度建构: 智能控制阈值的防滥用强制降级。对于电动化阵营汽车原厂工程端(OEM), 要求对路面附着指标检测机制直接捆绑动力限制门阀。针对湿滑弱阻因子气象, 由车载 VCU 从源头无条件封锁驾驶员踏板激荡所发出的超额极限功率输出要求, 并将全功率制动转矩回收拉回传统平滑基线内操作, 贯彻预期功能安全(ISO 21448 SOTIF 标准)中系统对于人员误判误操防备底线的技术承诺。

## 参考文献

- [1] 张宇遒, 欧阳铭亮, 刘心雨. 巡游出租车与网约车运营服务规律对比分析[J]. 物流科技, 2026, 49(1): 67-71.
- [2] 袁紫微, 赵道致, 陈铭洋, 等. 出租车竞争市场中网约车平台开放策略选择研究[J]. 管理学报, 2026, 23(2): 368-377.
- [3] Munigety, C.R. and Mathew, T.V. (2016) Towards Behavioral Modeling of Drivers in Mixed Traffic Conditions. *Transportation in Developing Economies*, 2, Article No. 6. <https://doi.org/10.1007/s40890-016-0012-y>
- [4] Zhang, Y. and Fricker, J.D. (2021) Incorporating Conflict Risks in Pedestrian-Motorist Interactions: A Game Theoretical Approach. *Accident Analysis & Prevention*, 159, Article ID: 106254. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106254>
- [5] Pal, C., Hirayama, S., Narahari, S., Jeyabharath, M., Prakash, G., Kulothungan, V., et al. (2018) Improvement of Injury Severity Prediction (ISP) of AACN during On-Site Triage Using Vehicle Deformation Pattern for Car-To-Car (C2C) Side Impacts. *Traffic Injury Prevention*, 19, S201-S204. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1426933>
- [6] 刘福聚, 王辰, 陈桂华, 等. 智能网联汽车交通事故研究[J]. 中国司法鉴定, 2024(5): 34-41.
- [7] 城市建设理论研究(电子版) [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(22): 2.
- [8] 国家标准《城市道路交通设施设计规范》GB50688-2011 局部修订条文及条文说明[J]. 工程建设标准化, 2019(9): 41-46.
- [9] 王霄, 纪龙杰, 陈潘曦. 基于关联规则的酒驾交通事故成因分析[J]. 广东公安科技, 2021, 29(1): 44-47.
- [10] Levickas, R. and Žuraulis, V. (2025) Stability Issues of Rear-Wheel-Drive Electric Vehicle during Regenerative Braking. *Applied Sciences*, 15, Article 10926. <https://doi.org/10.3390/app152010926>
- [11] Patel, M., Jung, R. and Khatun, M. (2025). A Systematic Literature Review on Safety of the Intended Functionality for Automated Driving Systems. SAE Technical Paper 2025-01-5030. <https://doi.org/10.4271/2025-01-5030>
- [12] ISO (2022) Road Vehicles—Safety of the Intended Functionality: ISO 21448-2022. ISO.
- [13] Kortschot, S.W. and Jamieson, G.A. (2019) Classification of Attentional Tunneling through Behavioral Indices. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 62, 973-986. <https://doi.org/10.1177/0018720819857266>
- [14] Horrey, W.J. and Wickens, C.D. (2006) Examining the Impact of Cell Phone Conversations on Driving Using Meta-Analytic Techniques. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 48, 196-205. <https://doi.org/10.1518/001872006776412135>
- [15] 宿松亚, 黎真真. 基于道路交通安全交通事故成因分析——以兰州“11·3”重大道路交通事故为例[J]. 上海公路, 2022(4): 162-165, 183.
- [16] 寇敏, 张萌萌, 赵军学, 等. 道路交通安全风险辨识与分析方法综述[J]. 交通信息与安全, 2022, 40(6): 22-32.