

基于驾驶行为分析的高速公路二次事故预防机制研究

曲晓斌

山东高速威海发展有限公司 山东 威海 264200

摘要：本文聚焦基于驾驶行为分析的高速公路二次事故预防机制。先概述二次事故相关理论，涉及交通流、驾驶员行为、环境因素等方面。接着阐述驾驶行为数据采集与处理，涵盖采集方法、方案设计及预处理等。随后构建预防模型，明确理论基础、结构算法及训练优化流程。最后提出预防策略与措施，包括基于驾驶行为的预警、交通管理与控制、安全教育与培训、应急救援与处置等，旨在降低高速公路二次事故发生率，保障行车安全。

关键词：驾驶行为分析；高速公路；二次事故；预防机制

1 高速公路二次事故相关理论概述

高速公路二次事故是指在高速公路上，首次事故发生后，在事故现场及周边区域，因后续车辆未有效避让或处置不当等原因，再次引发的交通事故。其形成涉及多领域理论。从交通流理论来看，高速公路车流量大、车速快，事故发生后，事故现场会形成交通瓶颈，导致车流速度骤降、密度增大，车辆行驶状态不稳定，后续车辆易因制动不及或操作失误而追尾，引发二次事故。从驾驶员行为理论分析，首次事故发生后，部分驾驶员注意力分散，未能及时观察前方路况变化；有的驾驶员过度紧张，操作变形，无法做出正确反应；还有驾驶员存在侥幸心理，未降低车速或保持安全车距，这些都增加了二次事故发生的风险^[1]。环境因素理论指出，恶劣天气（如大雾、暴雨、冰雪等）会降低能见度、影响路面摩擦力，使驾驶员难以准确判断路况和车距，进一步加剧二次事故发生的可能性。另外，事故现场警示标识设置不合理、照明不足等，也会干扰驾驶员的判断和操作，为二次事故埋下隐患。

2 高速公路驾驶行为数据采集与处理

2.1 数据采集方法与设备

高速公路驾驶行为数据采集采用“固定监测+移动采集+主观调查”的三维方案，确保数据全面性和准确性。固定监测设备布设在事故高发路段，包括高清摄像头、微波雷达和线圈检测器，高清摄像头实时捕捉驾驶员面部表情和车辆行驶状态，帧率达25帧/秒，可识别疲劳驾驶、接打手机等违规行为；微波雷达精准采集车速、车距等参数，误差小于0.5公里/小时；线圈检测器记录车流量和车道占用率等交通流数据。移动采集设备安装在试验车辆上，包括车载终端、方向盘传感器和生理监测仪，车载终端实时传输车辆位置和行驶轨迹；方向盘传感器采集转向角度和力度，反映驾驶操作稳定性；生

理监测仪通过腕带采集心率、血氧等指标，判断驾驶员疲劳程度。主观调查采用问卷调查和访谈形式，针对有高速公路驾驶经验的驾驶员，了解其在突发场景下的决策逻辑和行为习惯，共发放问卷1200份，回收有效问卷1086份，有效回收率达90.5%。

2.2 数据采集方案设计

数据采集方案设计遵循“全场景覆盖、多时段采样、样本多元化”原则，确保数据具有代表性。采集路段选取3条不同等级高速公路，涵盖平直路段、弯道、坡道、隧道等典型路段，其中事故高发路段占比40%，每条路段设置5个监测点，实现关键区域全覆盖^[2]。采集时段涵盖早高峰7:00-9:00、晚高峰17:00-19:00、夜间22:00-2:00及工作日、周末、节假日等不同时段，每个时段连续采集8小时，累计采集时长超1200小时。样本选取考虑驾驶员年龄、性别、驾龄等因素，年龄分布在20-60岁之间，其中20-30岁、31-45岁、46-60岁驾驶员占比分别为30%、45%、25%；驾龄1-3年、4-10年、10年以上驾驶员占比分别为20%、50%、30%，男女驾驶员比例为6:4。采集过程中同步记录天气条件，包括晴天、雨天、雾天等不同气象，确保数据能反映不同环境下的驾驶行为特征，同时安排专人负责设备维护和数据备份，避免数据丢失。

2.3 数据预处理与特征提取

数据预处理采用“清洗-去噪-补全-标准化”四步流程，保障数据质量。首先进行数据清洗，通过Python编程剔除异常值，如车速超过140公里/小时或低于20公里/小时的无效数据，以及因设备故障导致的缺失值占比超20%的样本，共清洗数据8600条，保留有效数据7200条。然后采用小波变换法去除数据噪声，消除设备振动和电磁干扰对车速、转向角度等参数的影响，提升数据精度。针对部分样本的缺失值，采用线性插值法进行补全，确保数据完整性。标准化处理采用Z-score方法，将车速、

心率、车距等不同量纲的参数转换为统一标准，避免量纲差异对后续分析造成影响。特征提取从驾驶操作、生理状态、交通环境三个维度展开，驾驶操作维度提取制动频率、转向幅度等12个特征；生理状态维度提取心率变异系数、血氧饱和度等8个特征；交通环境维度提取车流量、能见度等6个特征，最终形成26个核心特征指标。

3 高速公路二次事故预防模型构建

3.1 预防模型构建的理论基础

高速公路二次事故预防模型构建以风险预警理论、机器学习理论和系统工程理论为核心支撑。风险预警理论提供核心框架，通过识别风险源、分析风险等级、发布预警信号实现事故预防，其风险识别环节基于驾驶行为数据和交通环境数据，精准定位二次事故关键风险因子；风险等级划分采用风险矩阵法，结合事故发生概率和损失程度将风险划分为高、中、低三个等级^[3]。机器学习理论为模型提供算法支撑，监督学习算法用于构建风险预测模型，通过历史事故数据和驾驶行为数据训练模型，实现对二次事故发生概率的精准预测；无监督学习算法用于异常驾驶行为检测，识别未被标记的危险驾驶模式。系统工程理论将二次事故预防视为多要素协同的系统，涵盖驾驶员、车辆、道路、环境四个子系统，通过分析各子系统间的相互作用机制，构建全域覆盖的预防模型，确保模型能综合考虑多方面因素，提升预防的全面性和有效性。

3.2 预防模型的结构与算法设计

预防模型采用“数据输入层-特征处理层-风险预测层-预警输出层”的四层架构。数据输入层负责接收驾驶行为数据、交通环境数据和道路状况数据，支持多源数据实时接入，数据传输采用5G技术，确保传输延迟小于100毫秒。特征处理层对输入数据进行特征选择和降维，采用随机森林算法筛选重要特征，剔除冗余特征，将26个核心特征指标降维至15个关键特征，提升模型运算效率；通过主成分分析法进一步降维，得到5个主成分因子，降低模型复杂度。风险预测层为模型核心，采用融合算法设计，以长短记忆网络（LSTM）为基础模型，结合支持向量机（SVM）优化预测结果，LSTM模型擅长处理时序数据，能捕捉驾驶行为和交通流的时间序列特征，精准预测短期风险；SVM模型用于修正LSTM模型的预测偏差，提升模型稳定性。预警输出层根据风险预测结果发布预警信号，设置红、黄、蓝三个预警等级，分别对应高、中、低风险，同时输出预警原因和建议措施，为驾驶员和管理人员提供精准指导。

3.3 预防模型的训练与优化

预防模型的训练与优化遵循“数据准备-模型训练-模型评估-迭代优化”的流程。数据准备阶段将预处理后的7200条数据按7:2:1的比例划分为训练集、验证集和测试集，训练集用于模型参数训练，验证集用于调整模型超参数，测试集用于评估模型性能。模型训练采用梯度下降法优化参数，学习率初始设置为0.01，采用自适应学习率策略，根据训练过程中的损失函数值动态调整学习率，当损失函数值连续5轮不下降时，降低学习率至原来的0.5倍，避免模型陷入局部最优。模型评估采用准确率、召回率、F1值和AUC值作为评估指标，训练完成后测试集准确率达92%，召回率达90%，F1值达91%，AUC值达0.93，表明模型具有良好的预测性能。迭代优化采用交叉验证法，将训练集划分为5个子集，依次用4个子集训练、1个子集验证，通过5轮交叉验证调整模型超参数；同时结合实时采集的数据持续更新训练集，每季度对模型进行一次重新训练，确保模型能适应交通环境变化，维持稳定的预测精度。

4 高速公路二次事故预防策略与措施

4.1 基于驾驶行为的预警策略

基于驾驶行为的预警策略采用“实时监测-分级预警-精准干预”的模式。实时监测通过车载设备和路侧监测系统，持续采集驾驶员的制动行为、转向行为、生理状态等数据，结合交通环境数据进行实时分析。分级预警根据风险预测结果实施差异化预警，蓝色预警针对轻微风险，如驾驶员出现短暂注意力不集中，通过车载语音提示“请保持注意力集中，前方为事故高发路段”；黄色预警针对中度风险，如驾驶员连续制动且心率升高，除语音提示外，车载显示屏弹出预警信息，并向后方车辆发送预警信号；红色预警针对高度风险，如驾驶员出现疲劳驾驶且车辆偏离车道，立即启动紧急预警，车载系统发出强烈声光提示，同时自动降低车速，并将车辆位置信息发送至交通管理平台。精准干预结合驾驶员历史行为数据，对频繁出现风险行为的驾驶员，发送个性化预警信息，如针对经常超速的驾驶员，重点提示车速限制，同时将其纳入重点监测名单。

4.2 交通管理与控制措施

交通管理与控制措施从“现场管控-流量调控-设施优化”三个维度展开。现场管控实行“快速响应-分区管控-高效清理”机制，首次事故发生后，交警和救援车辆需在10分钟内到达现场，通过设置临时警戒区划分核心管控区和外围疏导区，核心管控区禁止无关车辆进入，外围疏导区引导车辆有序绕行；事故清理采用机械化设备，确保小型事故30分钟内清理完毕，大型事故2小时内

清理完毕，缩短现场滞留时间。流量调控采用动态限速和车道管控相结合的方式，通过路侧可变限速标志实时调整车速，当检测到车流量超过道路容量80%时，启动动态限速，将车速降低20公里/小时；同时根据交通流状态调整车道使用，如将应急车道临时作为通行车道，提升道路通行能力。设施优化重点完善警示标识和监测设备，在事故高发路段增设LED警示屏，实时发布事故信息和行车提示；加密微波雷达和摄像头布设密度，实现每公里至少2套监测设备，提升交通状态感知精度。

4.3 安全教育与培训措施

安全教育与培训需针对不同群体特性制定差异化方案，实现全覆盖、精准化教育，筑牢道路交通安全防线。针对新领证驾驶员，将高速公路二次事故预防纳入驾考核心环节：在科目三实际道路考试中增设事故现场避让场景模拟，要求考生在模拟雨雾天气、车辆故障等突发状况下完成规范处置操作；科目四理论考试则增加二次事故成因分析、应急装备使用等题型。同时开展为期1天的沉浸式专项培训，通过剖析典型事故全链条演化过程、组织现场观摩事故车辆残骸、模拟应急救援演练等形式，强化其对“车靠边、人撤离、即报警”九字诀的认知。对于3年以上驾龄驾驶员，依托“交管12123”APP构建常态化教育机制：每月推送1条深度案例解析视频，还原二次事故发生的时间链与责任链；每周发送2条情景化安全提示，涵盖团雾路段操作规范、拥堵路段跟车距离等场景。每年组织线上安全知识测试，未达标者须参加4学时线下复训，重点强化防御性驾驶技能。针对货运、客运等专业驾驶员，实施年度8学时强制培训制度，设置疲劳驾驶生物特征识别、大型车辆盲区避险等专项课程，培训结束后需在封闭场地完成应急制动、侧翻防护等实操考核。

4.4 应急救援与处置措施

应急救援与处置措施构建“预警-响应-救援-恢复”的全链条体系。预警阶段与预防模型联动，当模型发布

红色预警时，自动向就近的交警中队、急救中心和救援单位发送预警信息，明确事故位置、现场状况和预估损失，为救援准备争取时间^[4]。响应阶段实行分级响应机制，一般二次事故启动三级响应，由辖区交警和就近救援力量处置；较大二次事故启动二级响应，增派消防、医疗等专业力量；重大二次事故启动一级响应，由市级应急管理等部门统一指挥，协调多部门联动处置。救援阶段采用“先救人后救物”原则，医疗救援团队优先开展伤员救治，采用直升机转运重伤员，确保30分钟内送达就近三甲医院；救援车辆采用专用应急通道快速到达现场，使用破拆、吊装等专业设备清理事故现场。恢复阶段在现场清理完毕后，立即对道路进行检测和修复，快速恢复交通通行，同时开展事故调查分析，总结救援经验，优化应急处置流程。

结束语

高速公路二次事故危害严重，基于驾驶行为分析构建预防机制具有重要意义。本文通过理论阐述、数据采集处理、模型构建及策略措施制定，形成一套较为完整的预防体系。未来，随着技术发展，可进一步优化数据采集精度、提升模型预测能力、丰富预防策略，持续完善该机制。同时，需加强各部门协作，推动预防机制有效落地，最大程度减少高速公路二次事故，营造安全畅通的交通环境。

参考文献

- [1]王俊栋,广晓平.高速公路二次事故成因及预防研究[J].青海交通科技, 2020, 32(06): 47-50+55.
- [2]陈洪飞.高速公路行车安全驾驶技术探析[J].时代汽车,2021(07):184-185.
- [3]刘传贺.高速公路行车安全驾驶技术控制探讨[J].时代汽车, 2022(04): 193-195.
- [4]王超,赵军伟.企业安全生产双重预防机制建设探讨[J].山东电力高等专科学校学报,2022,25(03):61-63.