

高速公路养护工程交通安全研究

韦焱戈

广西交通投资集团南宁高速公路运营有限公司南宁北分公司 广西 南宁 530001

摘要: 随着高速公路通车里程增长与车流量攀升, 养护作业常需在全封闭条件下进行, 导致车道占用、车速变化及冲突点增加, 显著提升交通事故风险。研究通过分析养护作业特点、交通流特性及事故诱因, 提出分阶段占道策略、动态交通组织优化、智能安全防护装备应用及多部门协同机制等系统性解决方案, 以为高速公路养护工程安全管理提供理论支撑与实践指导。

关键词: 高速公路; 养护工程; 交通安全

引言

高速公路作为国家交通基础设施的核心组成部分, 其安全运行直接关系到经济社会发展的效率与民生福祉。与传统新建工程不同, 高速公路养护作业需在保证交通基本畅通的前提下进行, 导致养护区与通行车道的空间冲突加剧, 交通流动态特性复杂化, 进而引发交通事故风险上升、通行效率下降及二次事故隐患增多等问题。现有研究多聚焦于养护作业区交通组织优化或单一安全设施改进, 但缺乏对“人-车-路-环境”全要素协同防控的系统性探索。

1 高速公路养护工程交通安全风险来源分类

(1) 人为因素是引发事故的直接诱因, 主要体现为驾驶员与施工人员两类主体的行为偏差。驾驶员在通过养护作业区时, 可能因分心驾驶、超速行驶或未及时观察交通标志, 导致对施工区域边界、临时限速等关键信息识别滞后, 进而引发追尾或碰撞施工设备的风险; 同时, 疲劳驾驶会显著降低驾驶员对复杂路况的应变能力, 尤其在夜间或连续长距离驾驶场景下, 反应时间延长与操作失误概率增加形成叠加效应。(2) 环境因素通过降低路况可视性与车辆操控性间接影响安全。恶劣天气如暴雨、浓雾或冰雪覆盖会显著削弱路面摩擦系数, 导致车辆制动距离延长或方向失控, 同时降低交通标志、警示灯的能见度, 使驾驶员难以提前感知施工区域存在。夜间施工则因光线不足进一步加剧这一矛盾, 即使配备照明设备, 光影分布不均仍可能造成驾驶员视觉盲区。(3) 工程因素源于养护作业本身对交通流的干扰, 占道作业布局不合理是典型问题, 若未根据交通流量、车道数量动态调整封闭区域长度或未设置足够长的过渡区, 会导致车辆在短时间内频繁变道, 增加刮擦或碰撞风险^[1]。交通标志被施工设备或堆放物料遮挡, 会破坏信息传递的连续性, 使驾驶员无法及时获取限速、绕行等指令。机

械设备移动过程中若未设置专人指挥或未关闭动力系统, 可能因误操作侵入行车道, 与高速行驶车辆形成直接冲突。(4) 管理因素则通过影响风险防控的时效性与系统性间接作用于安全, 安全培训不足导致施工人员对作业规范、应急流程认知模糊, 难以在突发情况下采取正确自救或互救措施; 应急预案缺失使事故发生后无法快速启动救援机制, 延误黄金处置时间; 多部门协调滞后表现为交通管理、路政、养护单位间信息共享不畅。

2 交通安全管控关键技术

2.1 动态交通组织设计

动态交通组织设计是高速公路养护工程中平衡施工需求与通行效率的核心手段, 其核心在于通过时空资源的动态调配降低作业对交通流的干扰。(1) 分阶段占道策略通过灵活调整封闭区域范围实现交通流的渐进式疏导, 单幅双向通行模式在半幅封闭期间利用中央分隔带或临时隔离设施引导对向车辆交替通行, 需结合交通流量计算通行能力阈值并设置潮汐车道指示标志, 避免车流对冲。借道通行则通过占用对向车道或应急车道拓展施工期通行空间, 需严格评估对向交通负荷并设置分级警示系统, 确保借道车辆在安全距离内完成变道。两种策略均需根据施工进度动态调整封闭范围, 并通过可变限速标志与压缩车道宽度控制车速, 减少车流紊乱风险。(2) 交通流仿真模型为车道分配优化提供量化依据, VISSIM通过微观建模模拟车辆跟驰、换道行为, 可分析不同占道方案下排队长度、延误时间等指标, 结合遗传算法迭代求解最优车道封闭组合。SUMO则擅长大规模路网宏观仿真, 通过输入实时交通数据生成动态车道功能分配方案, 例如将外侧车道临时调整为应急通道或施工车辆专用道。(3) 可变情报板通过LED矩阵实时显示施工位置、占道时长、限速值等关键信息, 需遵循“远端提示-中端诱导-近端警示”的布局原则, 在距离施工

区3公里、1公里、500米处分别设置预告标志、路径选择标志与强制减速标志^[2]。导航系统则通过API接口接收施工信息并动态调整路径规划, 优先推荐绕行路线或提示合并车道时机。

2.2 智能安全防护装备

移动式防撞缓冲车(TMA)作为高速公路养护作业的核心安全防护装备, 其部署需严格遵循动态风险评估原则。(1) 车辆应优先布置于施工区后方, 与作业面保持安全缓冲距离, 并根据交通流量、车速及作业类型动态调整位置。车载防撞模块需采用高强度铝蜂窝结构, 通过机具变形吸收撞击能量, 最大程度降低后方车辆与施工人员的碰撞风险。防撞车需配备智能导向装置, 通过LED箭头标志或电子情报板实时引导后方车辆变道避让, 同时集成测速雷达与高音喇叭, 对超速车辆实施声光预警, 形成“缓冲吸能+主动引导”的双重防护机制。(2) 基于物联网的施工设备定位与预警系统通过多源感知技术实现设备状态实时监控, 系统需集成北斗高精度定位模块, 对施工车辆、机械及安全设施进行厘米级定位, 并通过无线网络将位置数据传输至管理平台。设备端需配备碰撞传感器与倾角检测装置, 当检测到异常移动或碰撞时, 立即触发声光报警并向管理人员推送预警信息。系统还需与高德地图等导航平台联动, 将施工区域位置信息实时推送至过往车辆导航终端, 实现超视距预警。(3) 发光式交通标志与反光膜的能见度优化需从材料创新与结构设计两方面协同推进, 发光标志需采用稀土长余辉材料与高亮度LED光源复合技术, 实现主动发光与被动反光双重模式。主动发光模式下, 标志通过内置太阳能板或锂电池供电, 在低能见度条件下自动启动LED光源, 视认距离提升3倍以上; 被动反光模式下, 标志表面覆盖晶钻级反光膜, 通过微棱镜结构实现全反射光学效能, 确保雨雾天气下仍能保持清晰视认。反光膜需采用逆反射光学编码芯片技术, 通过集成RFID射频芯片赋予标志实时交互能力, 与车载终端或路侧单元通信, 动态调整反光强度以适应不同光照条件, 进一步提升复杂环境下的安全警示效果。

2.3 风险预警与监测系统

(1) 视频监控与AI行为识别系统采用高分辨率摄像头与边缘计算架构, 对施工区域实施24小时无死角监控, 通过深度学习算法实时分析人员行为特征, 识别未佩戴安全帽、违规跨越隔离设施、在作业区停留超时等危险动作。系统在检测到异常行为后立即触发声光报警并推送至管理人员终端, 同时联动现场广播进行语音警示, 形成“检测-预警-干预”的闭环管理^[3]。AI模型需持

续迭代优化, 通过迁移学习技术适应不同光照、天气条件下的识别场景, 并集成目标跟踪算法提升对快速移动物体的识别精度, 确保复杂施工环境下行为识别的准确率。(2) 气象监测与路面状态感知系统通过部署在路侧的多参数传感器网络, 实时采集温度、湿度、风速、降水等气象数据, 结合路面埋设的压电传感器或红外探测装置, 动态感知结冰、积水、团雾等危险状态。系统采用阈值预警与趋势预测相结合的模式, 当监测数据超过安全阈值时立即触发本地警示装置, 并通过物联网平台将预警信息推送至养护单位与交通管理部门。基于历史数据与机器学习算法构建的路面状态预测模型, 可提前2-4小时预测结冰或积水风险, 为除冰作业或限速管控提供决策支持。(3) 驾驶员状态监测系统通过车载终端或路侧雷达设备, 实时采集车辆行驶轨迹、方向盘转动频率、车道偏离次数等数据, 结合生理信号传感器监测驾驶员眨眼频率、头部姿态等生物特征, 综合评估疲劳驾驶与分心驾驶风险。系统采用多模态数据融合算法, 克服单一传感器误判问题, 当检测到驾驶员出现闭眼超过阈值、车道偏离频繁或手机使用行为时, 立即通过车载显示屏或语音提示发出预警, 并同步将风险信息上传至交通管理平台, 为执法部门提供数据支撑。对于高风险车辆, 系统可联动路侧可变情报板显示个性化警示信息, 或通过导航软件推送附近休息区位置, 引导驾驶员主动消除安全隐患。

3 养护工程交通安全管理体系构建

3.1 全生命周期管理框架

全生命周期管理框架以系统性思维贯穿高速公路养护工程全流程, 通过分阶段精准管控实现安全风险的全链条治理。(1) 规划阶段聚焦养护需求与交通影响评估的深度融合, 需综合路况检测数据、历史事故记录及交通流量预测模型, 科学确定养护范围与时序, 同步开展交通影响评估(TIA)量化分析施工对路网通行能力的影响, 重点评估占道作业引发的排队长度、延误时间及二次事故概率, 为后续设计提供安全阈值约束。(2) 设计阶段以安全设施标准化配置为核心, 依据道路等级、设计速度及交通组成确定防撞护栏等级、标志标线尺寸等关键参数, 严格执行相关标准要求, 同时融入智能防控元素, 构建“被动防护+主动干预”的双重保障体系, 设计文件需通过安全审查机制确保风险防控措施无遗漏。(3) 施工阶段实施动态风险评估与应急预案联动机制, 基于实时交通数据、天气状况及施工进度, 每日更新风险等级并调整管控策略^[4]。应急预案需与交警、消防、医疗等部门建立联动响应机制, 明确信息共享、资源调配及现场处

置流程,定期组织跨部门联合演练,确保突发事件处置时效性。(4)验收阶段建立安全绩效评价与责任追溯体系,制定涵盖事故率、违规操作次数、设备完好率等指标的量化评价标准,通过现场核查、数据比对及用户满意度调查综合评估养护工程安全成效,对未达标项目实施限期整改并纳入信用评价体系。此外,构建数字化责任追溯平台,记录各阶段决策依据、管控措施及执行人员信息,实现安全责任可追溯、可问责,倒逼全流程规范管理。

3.2 多部门协同机制

(1)交通管理部门承担统筹协调职责,负责审批养护施工计划、发布交通管制信息并监督执行情况,并整合路网运行数据为其他部门提供决策支持。养护单位作为施工主体,需严格按设计文件实施作业,实时上报施工进度与安全风险,并配合开展交通疏导。路政部门侧重路产保护与通行秩序维护,对违规占道、破坏安全设施等行为进行查处,确保施工区域符合路政管理规范。交警部门负责现场交通指挥与事故处理,根据施工影响范围调整信号灯配时或实施临时交通管制,保障车辆有序通行与应急救援通道畅通。各部门需签订协同工作协议,明确职责边界与协作界面,避免出现管理真空或重复干预。(2)跨部门数据共享平台通过物联网、云计算等技术构建统一数据底座,整合施工计划、交通流量、气象信息、事故记录等多源数据,实现“一图统管、一网联动”^[5]。平台需建立标准化数据接口,确保各部门系统数据实时接入与更新,同时部署数据清洗与关联分析模块,挖掘施工与交通运行的潜在关联规律,为动态调整

管控策略提供依据。(3)综合执法与应急响应流程以“快速处置、最小影响”为目标,构建分级响应机制。日常施工中,交通管理部门牵头组织养护、路政、交警开展联合巡查,对违规作业、安全隐患等问题综合执法,通过移动执法终端实时上传处理结果至共享平台。遇突发事件时,启动应急响应预案,交警部门第一时间封闭事故区域并疏导交通,养护单位快速清理现场,路政部门同步开展路产损失评估,交通管理部门通过可变情报板、导航软件等渠道发布绕行提示。

结语

综上所述,本文系统揭示了养护作业对交通流的扰动机制及事故致因链,提出了分阶段占道策略、动态交通组织优化、智能安全防护装备应用及多部门协同机制等创新方案。未来,相关部门需进一步探索自动驾驶技术、数字孪生等前沿科技在养护交通安全领域的应用,以持续提升高速公路养护工程的安全韧性。

参考文献:

- [1]吕金芬.高速公路交通安全设施的养护及改进优化研究[J].中国储运,2024,(3):186-188.
- [2]刘庭宇.对于公路交通安全设施养护与维修的分析[J].建材发展导向,2025,23(3):85-87.
- [3]胡立伟.基于车路协同的高速公路作业区主动预警系统研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2022,41(5):1-8.
- [4]刘文光.基于智能交通技术的高速公路安全设施设计与应用[J].交通世界,2024,31(4):13-15.
- [5]龙贵平.高速公路交通安全设施工程建设中的质量控制分析[J].交通建设与管理,2024,61(4):182-184.