

公路养护作业区的交通组织智能化与安全保障技术研究

贾国庆

宁夏回族自治区贺兰县交通运输综合执法大队

DOI:10.32629/btr.v8i6.4851

[摘要] 公路养护作业区交通组织与安全保障至关重要。本文深入分析养护作业区交通特性,涵盖交通流、驾驶员行为与环境特性。系统研究交通组织智能化技术,包括信息采集、信号控制、导航诱导与车路协同。全面探讨安全保障技术,涉及安全防护设施、作业人员安全与应急救援智能化。精心设计集成系统架构并实现功能模块,为养护作业区安全高效运行提供技术支持。

[关键词] 公路养护作业区; 交通组织智能化; 安全保障技术; 集成系统架构

中图分类号: U418.2 文献标识码: A

Research on Intelligent Traffic Organization and Safety Assurance Technology for Highway Maintenance Work Zones

Guoqing Jia

Traffic Comprehensive Law Enforcement Brigade, Helan County, Ningxia Hui Autonomous Region

[Abstract] Traffic organization and safety assurance in highway maintenance work zones are of critical importance. This paper conducts an in-depth analysis of the traffic characteristics in maintenance work zones, covering traffic flow, driver behavior, and environmental factors. It systematically studies intelligent traffic organization technologies, including information collection, signal control, navigation guidance, and vehicle-road coordination. The paper comprehensively explores safety assurance technologies, involving safety protection facilities, worker safety, and intelligent emergency rescue. A carefully designed integrated system architecture and functional modules are presented to provide technical support for the safe and efficient operation of maintenance work zones.

[Key words] Highway maintenance work zone; Intelligent traffic organization; Safety assurance technology; Integrated system architecture

引言

公路养护作业是保障道路畅通与安全的重要工作,但养护作业区设置会改变交通流状态,影响驾驶员行为,且环境复杂,易引发交通事故。传统交通组织与安全保障方式存在信息滞后、响应不及时等问题。随着科技发展,智能化技术为解决这些问题提供新途径。研究公路养护作业区交通组织智能化与安全保障技术,对提升作业区交通安全与效率,保障人员生命财产安全意义重大。

1 公路养护作业区交通特性分析

1.1 养护作业区交通流特性

公路养护作业区的设置会显著改变原有交通流运行状态。在车速方面,养护作业区通常设置限速标志,车辆进入该区域后车速会明显降低,不同类型车辆速度变化幅度存在差异,小型车速度降幅相对较小,大型车因自身操控性能限制,速度下降更为明显。车流密度也会发生改变,作业区占据部分车道,有效通行空

间减少,导致单位长度道路上的车辆数量增加,尤其是在高峰时段,易出现交通拥堵,车流密度进一步增大^[1]。日常养护、专项养护与应急养护对交通流特征影响各不相同。日常养护作业规模较小、时间短,对交通流影响相对有限,车辆仍能保持相对顺畅通行,但局部路段车速会有小幅波动。专项养护作业涉及范围广、持续时间长,会长时间占用部分车道,导致交通流运行受阻,车速降低、车流密度增大现象更为突出,甚至可能引发区域交通拥堵。应急养护是在突发状况下开展,需紧急封闭部分道路,交通流会迅速向剩余道路转移,短时间内形成交通流高峰,车速变化剧烈,交通组织难度大幅增加。养护作业区交通流在时空分布上呈现出一定规律。时间上,早晚高峰时段进入作业区车辆增多,交通流压力增大;空间上,作业区上游路段车流密度逐渐增大,下游路段在车辆通过作业区后车流密度逐渐恢复正常。

1.2 驾驶员行为特性

驾驶员在养护作业区视觉认知特性对交通安全至关重要。交

通标志、标线是引导驾驶员安全通行的重要设施, 驾驶员需准确识别这些信息并做出反应。在养护作业区, 标志标线可能因施工被遮挡或改变位置, 增加驾驶员识别难度, 导致反应时间延长。面对养护作业区, 驾驶员决策行为直接影响交通运行。部分驾驶员会提前变道, 选择合适车道通行, 避免进入作业区; 而有些驾驶员在接近作业区时才紧急变道, 易引发交通冲突。减速行为方面, 多数驾驶员能根据限速标志降低车速, 但仍有少数驾驶员未及时减速, 增加事故风险。驾驶员心理因素对交通安全影响不容忽视。紧张、焦虑等负面情绪会使驾驶员注意力分散, 对交通信息处理能力下降, 增加误操作概率。过度自信心理则可能导致驾驶员忽视作业区警示信息, 不按规定行驶, 威胁自身与他人安全。

1.3 养护作业区环境特性

养护作业区道路几何特征对交通组织和安全影响显著。车道宽度变窄会限制车辆行驶空间, 增加车辆刮擦、碰撞风险; 坡度较大时, 车辆行驶阻力变化, 影响车速稳定性, 尤其是重型车辆上坡时速度降低, 下坡时速度过快, 易引发事故; 弯道半径过小, 驾驶员视线受阻, 难以准确判断前方路况, 增加操作难度。照明与气象环境因素同样关键。照明不足时, 驾驶员视觉范围缩小, 对标志标线、障碍物等识别能力下降, 影响操作准确性。恶劣气象条件如雨、雪、雾等, 会降低路面摩擦力, 影响车辆制动性能, 同时降低能见度, 使驾驶员难以看清作业区情况, 增加交通事故发生可能性。

2 公路养护作业区交通组织智能化技术

2.1 智能交通信息采集技术

公路养护作业区交通信息采集是智能化交通组织的基础。视频传感器凭借高分辨率成像能力, 能清晰捕捉作业区内车辆行驶轨迹、行人动态及交通标志标线状态。在光照充足、视野开阔场景, 视频传感器可全面记录交通信息, 为后续分析提供丰富素材。其分辨率可达4K(3840×2160像素), 帧率最高支持60帧/秒, 可覆盖半径100-150米范围。雷达传感器利用电磁波反射原理, 不受光照条件限制, 在夜间或恶劣天气下仍能精准检测车辆速度、距离与方位^[2]。尤其适用于对车速要求严格把控的养护作业区, 可实时监测车辆是否超速, 保障作业安全。其测速精度可达±1km/h, 测距精度±0.1米, 可同时跟踪200个以上目标。地磁传感器通过检测车辆经过时引起的地磁场变化, 确定车辆位置与行驶方向。它体积小、安装便捷, 对路面破坏小, 在车道边界、关键节点部署, 能有效掌握车辆通行情况。单个地磁传感器覆盖半径约3-5米, 响应时间小于0.1秒。单一传感器存在局限性, 多传感器数据融合技术应运而生。将视频、雷达、地磁传感器数据整合, 利用各自优势互补, 可消除信息误差, 提高采集准确性与完整性。例如, 视频传感器在恶劣天气下可能成像模糊, 雷达传感器可弥补这一不足, 共同提供可靠交通信息。

2.2 智能交通信号控制技术

基于实时交通信息的养护作业区信号灯控制策略至关重要。自适应信号控制根据实时车流量、车速等数据, 自动调整信号灯时长与相位。当作业区上游车流量增大时, 延长绿灯时间,

让更多车辆通过, 减少排队等待。动态配时策略依据养护作业进度和交通流量变化灵活调整。若养护作业范围扩大, 占用更多车道, 缩短相关方向绿灯时间, 引导车辆提前绕行。智能信号控制对交通流畅度和安全性影响显著。合理调整信号灯可均衡各方向车流, 避免局部拥堵, 提高道路通行能力。同时减少车辆急刹、频繁启停, 降低事故发生概率。

2.3 智能导航与诱导技术

基于移动互联网和车载终端的智能导航系统在养护作业区发挥重要作用。通过与交通信息平台实时连接, 获取作业区最新动态, 如施工范围、预计完成时间等。为驾驶员提供实时交通信息和最优绕行路线, 避开拥堵路段。利用大数据分析历史交通数据和实时路况, 结合养护作业信息, 规划出耗时最短、路况最佳的路线。智能诱导技术引导车辆合理分流, 减少拥堵。在作业区周边设置诱导屏, 显示前方路况和绕行建议, 驾驶员根据提示提前变道, 使车流均匀分布, 提升整体交通运行效率。

2.4 车路协同技术

车路协同系统由路侧设备、车载终端和通信网络构成。路侧设备收集道路环境、交通流量等信息, 通过通信网络传输至车载终端; 车载终端将车辆状态信息反馈给路侧设备, 实现信息双向交互。在养护作业区, 车辆与路侧设备可实时交换信息, 如作业区位置、警示信号等, 驾驶员提前做好应对准备。车辆之间也能协同驾驶, 保持安全车距, 避免追尾事故。车路协同技术潜力巨大, 能显著提高养护作业区交通安全和效率, 为智能化交通组织提供有力支撑。

3 公路养护作业区安全保障技术

3.1 安全防护设施智能化

智能警示标志与标线通过集成传感器与通信模块, 实现动态信息显示与主动预警功能。智能警示标志采用高亮度LED屏, 可根据实时交通状况切换警示内容, 例如在作业区上游提前显示“前方施工减速慢行”或“车道变窄限速40”等信息, 夜间还能自动调节亮度以增强可视性。LED屏亮度可达5000-10000cd/m², 可视距离达200-300米。智能标线则通过嵌入压力感应或光感材料, 在车辆偏离车道时触发地面警示灯闪烁, 引导驾驶员回归正确行驶路径^[3]。警示灯闪烁频率为1-2Hz, 可有效吸引驾驶员注意力。可变情报板作为核心信息发布终端, 通过无线通信接收交通管理中心指令, 实时更新作业区位置、占用车道数及预计完工时间等关键信息, 覆盖范围广且信息更新及时, 有效弥补了固定标志的信息滞后性。可变情报板显示面积可达10-20平方米, 信息更新频率可达1次/分钟。这些设施通过视觉与动态提示双重作用, 显著提升驾驶员对作业区的感知能力, 降低因疏忽或信息缺失导致的事故风险。

3.2 作业人员安全保障技术

智能安全防护装备通过集成定位、通信与传感技术, 为作业人员提供全方位保护。智能安全帽内置GPS模块与跌落传感器, 可实时上传位置数据至监控平台, 并在检测到异常跌落时自动触发报警; 反光服则采用柔性太阳能板供电, 夜间主动发光并支

持闪烁模式,增强在复杂环境下的辨识度。智能安全帽定位精度可达±1米,跌落报警响应时间小于1秒;反光服发光亮度可达500-1000cd/m²,可视距离达150-200米。基于定位技术的安全监控系统通过在作业区部署UWB基站,实现人员位置厘米级精度定位,结合电子围栏功能,当人员进入危险区域或长时间静止时,系统立即向管理人员推送警报。UWB基站覆盖半径达50-100米,定位精度±10厘米,警报推送延迟小于0.5秒。智能化技术还通过虚拟现实培训、事故案例推送等方式强化安全意识,例如模拟作业场景中的突发状况,训练人员快速反应与规范操作,结合数据分析识别高风险行为模式,针对性开展安全教育,从而提升整体应急处理能力。

3.3 应急救援智能化技术

应急救援预案的智能化管理系统通过数字孪生技术构建作业区三维模型,集成交通流量、天气、设备状态等多维度数据,自动生成最优救援方案。系统可模拟不同事故场景下的救援路径与资源调配效果,辅助决策者快速制定响应策略。应急救援车辆智能调度技术结合实时路况与作业区动态信息,通过路径规划算法为救援车辆规划最短通行路线,并动态调整以避开拥堵路段。部分系统还支持车与车协同,引导多辆救援车保持安全距离、同步抵达现场。智能化应急救援技术通过缩短响应时间、优化资源配置,显著降低事故损失。

4 公路养护作业区智能化集成系统架构与实现

4.1 系统架构设计

公路养护作业区智能化集成系统采用分层递进式架构,以数据流为主线贯穿各层级。底层为多源感知层,通过视频、雷达、地磁及气象传感器网络,实时采集交通流量、车辆速度、车道占用率及环境状态等数据,形成作业区交通态势的原始画像^[4]。传感器网络覆盖半径达500-1000米,数据采集频率可达1次/秒。中层为数据处理层,依托边缘计算节点对原始数据进行清洗、校准与初步分析,提取关键特征后通过高速通信网络上传至云端控制中心。边缘计算节点处理延迟小于50毫秒,可同时处理1000个以上数据流。顶层为决策控制层,集成交通组织优化

引擎与安全预警模型,根据实时数据生成动态控制指令,并下发至信号灯、电子情报板、智能导航终端等执行设备。决策控制层响应时间小于100毫秒,可同时控制100个以上设备。各子系统间采用标准化通信协议,通过5G专网实现毫秒级数据同步,确保信息传递的及时性与准确性。接口设计遵循开放原则,支持新设备快速接入与旧系统无缝升级,为未来功能扩展预留充足空间。

4.2 功能模块实现

交通信息采集模块通过多传感器融合,整合视频轨迹、雷达速度与地磁车道状态,构建三维交通态势图。信号控制模块基于强化学习算法,动态调整信号灯相位与时长,例如上游增设专用相位,减少车辆等待,使单周期通过车辆数增加。导航诱导模块结合交通与地图数据,为驾驶员推送最优绕行路径,通过情报板与车载终端同步更新,引导车辆提前分流。安全保障模块集成警示标志、人员定位及应急系统,当检测到车辆违规或人员意外时,立即触发报警并推送救援指令,缩短响应时间。各模块基于事件驱动协同工作,形成“感知-决策-执行-反馈”闭环控制。

5 结束语

公路养护作业区交通组织智能化与安全保障技术研究,在交通特性分析基础上,提出多种智能化技术与安全保障措施,设计集成系统架构并实现功能模块。这些技术与措施可有效提升交通组织效率与安全水平,降低事故风险,对公路养护作业区管理具有重要应用价值。

[参考文献]

- [1]温红平.智能交通设施在公路养护施工安全保障中的作用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(05):191-193.
- [2]李爱英.公路桥梁施工安全及旧桥梁养护的管理措施分析[J].汽车周刊,2025,(06):181-183.
- [3]周卓.普通干线公路养护质量及安全生产管理技术研究[J].运输经理世界,2021,(36):149-151.
- [4]杜玉龙.浅析高速公路养护机械设备作业安全管理[J].现代职业安全,2023,(12):52-53.