

智能化技术在交通安全设施运行维护管理中的应用

舒钢伟

(四川绵南高速公路开发有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘要 高速公路交通安全设施作为路网安全的核心载体, 其运维管理效能直接影响公众出行安全与社会经济效益。传统管理模式存在设施巡检盲区显著、数据资源碎片化、应急响应迟滞、成本控制粗放等系统性缺陷, 制约着设施服务能力的持续提升。基于此, 通过构建智能巡检系统实现设施状态全域感知, 建立全生命周期数据平台打破信息孤岛, 完善智能预警响应机制强化风险防控, 优化成本控制模式提升资源使用效益, 形成“监测—决策—处置—评估”的闭环管理体系, 可破解传统管理模式面临的困境。

关键词 智能化技术; 交通安全设施; 运行维护管理

中图分类号: U12; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.012

0 引言

交通安全设施作为城市交通系统的核心载体, 其运行维护效能直接影响公共交通安全保障水平。本文聚焦高速公路安全设施管理全链条, 系统剖析智能化技术应用的现实梗阻, 针对性提出涵盖智能巡检、数据治理、应急响应、成本优化的协同对策体系, 旨在构建技术与管理深度耦合的新型运维范式, 为行业数字化转型提供实践参考。

1 交通安全设施运行维护管理存在的问题

1.1 设施巡检效率低下

首先, 传统人工巡检模式存在显著的空间覆盖盲区与时间滞后性。当前高速公路运营企业普遍采用固定路线、固定频次的巡查方式, 巡查人员受制于体力限制与视觉观测范围, 难以对高边坡隔离栅、隧道消防设施、连续弯道反光标识等特殊区位设施实施全面检测。特别是跨区域长线高速公路的立体化设施布局, 使得防眩板缺损、轮廓标脱落等细微缺陷极易成为巡查盲点^[1]。其次, 设施异常状态识别存在主观判断误差与技术手段局限的双重困境。巡查人员依赖肉眼观察和简单仪器检测, 对于反光膜逆反射系数衰减、钢护栏防腐层微裂纹等技术性指标难以精准判断, 导致隐患发现率与实际情况存在偏差。特别是在雨雾天气或夜间巡查时, 人工识别准确率更会大幅下降, 直接影响设施功能状态的客观评估。最后, 应急处置响应时效受制于传统巡检周期。固定频次的巡检间隔使护

栏变形、标线磨损等渐进性损伤难以及时发现, 而突发性设施损毁事件从发现到上报往往存在数小时至数天的空窗期, 严重影响路网安全运行保障能力。这种低效的巡检机制不仅造成人力物力重复投入, 更使得设施全生命周期管理缺乏实时动态数据支撑, 直接影响预防性维护策略的制定与实施。

1.2 数据资源整合不足

首先, 设施基础档案信息化建设呈现碎片化特征。当前高速公路运营企业虽已建立电子台账系统, 但不同路段建设时期的技术标准差异导致设施规格参数、安装位置、维护记录等核心数据格式混乱。特别是改扩建路段新旧设施数据混杂, 难以形成完整准确的空间属性数据库, 直接影响设施定位精度与状态追溯能力。其次, 多源运行状态数据缺乏有效融合机制。物联网传感器、视频监控设备、人工巡检记录等不同渠道采集的数据独立存储, 时间戳不同步、空间坐标系不统一等问题普遍存在。例如: 车检器采集的交通流量数据与视频事件检测数据难以关联分析, 无法准确判断设施使用负荷与损伤程度的因果关系^[2]。最后, 跨系统数据共享存在制度性障碍。高速公路运营企业的设施管理系统与高速执法、高速交警部门等职能部门的信息平台互不联通, 应急事件中的设施损毁信息传递仍依赖人工沟通, 路网级设施状态研判缺乏多维度数据交叉验证。这种数据孤岛现象不仅造成重复建设投资, 更使得设施健康评估、风险预警等管理活动停留在经验判断层面, 难以实现基于数据驱动的精准

决策。数据资源的分散化、碎片化状态，实质上削弱了智能化技术应有的赋能作用，成为制约管理效能提升的关键掣肘。

1.3 应急响应机制滞后

首先，设施故障定位的时效性严重不足。当发生护栏撞击、标志牌倾倒或照明设施断电等突发事件时，运营公司主要依赖人工巡查或过路司乘人员报警获取信息，从事件发生到接报平均存在数小时的信息真空期。特别是夜间或恶劣天气条件下，路侧紧急电话使用率下降，导致重要设施损毁信息传递延迟。其次，应急资源配置缺乏科学决策依据。现有应急仓库的备品备件储备多基于历史经验估算，未能结合设施故障概率、路段交通流量、气候特征等动态因素进行优化配置。例如：冬季除雪路段的反光轮廓标损耗率显著高于其他区域，但应急物资储备却未建立差异化调配机制，常出现关键部件跨区调拨延误的情况^[3]。最后，应急预案的动态更新机制尚未健全。现有预案多基于理论推演制定，未能结合历史应急事件数据进行迭代优化，对新型设施故障模式、极端天气频发等变量因素缺乏适应性调整。例如：随着智能可变情报板、光伏警示灯等新型设施的普及，其特有的电源故障、通信中断等风险尚未纳入标准应急流程。这种机制性滞后不仅延长了设施功能恢复周期，更可能因应急响应不及时引发二次事故，直接威胁高速公路的安全运营水平。

1.4 维护成本控制粗放

首先，预防性维护策略缺乏精准规划基础。当前设施维护周期多依据行业标准或厂商建议刚性执行，未能结合设施实际损耗速率、环境腐蚀程度、交通荷载强度等动态因素进行差异化安排。例如：重载车辆频繁通行的路段，波形梁护栏螺栓松动周期明显缩短，但维护计划仍按统一频次实施，导致要么过度维护造成资源浪费，要么维护不足引发安全隐患^[4]。其次，备件库存管理存在双重资源损耗。一方面，高价值易损件为应对突发故障往往超额储备，长期仓储导致资金占用成本攀升；另一方面，特殊规格配件因需求预测不准常出现供应短缺，紧急采购产生的溢价成本显著增加。特别是随着设施技术标准的迭代升级，不同批次安装的护栏立柱、标志牌支架等部件兼容性下降，进一步加剧了库存结构失衡问题。最后，全生命周期成本控制缺乏动态调整机制。从设施新建、中期维护到报废更换的全过程中，未能有效整合设计缺陷、施工质量、使用环境等关联数据，导致成本控制呈现片段化特征。

2 智能化技术在交通安全设施运行维护管理中的应用策略

2.1 构建智能巡检系统

首先，建立多层级物联网感知网络是提升设施状态监测能力的基础。在护栏立柱内部嵌入振动传感器，可实时捕捉车辆碰撞引发的结构形变；在轮廓标中集成光敏元件，能够持续监测反光性能衰减程度；在可变情报板供电线路安装智能电表，可及时发现电压异常波动。这些分布式感知终端的布设，形成覆盖路基、路面、路侧设施的全域监测体系^[5]。其次，引入无人机自动巡航系统突破传统巡检的空间限制。预设飞行航线与巡检重点坐标，通过 5G 网络实现高清影像实时回传，特别适用于高边坡隔离栅、隧道顶部消防设施等人工难以抵达的区域。结合 AI 图像识别算法，可自动标注防眩板缺失、标线断续等六类典型设施缺陷，识别准确率较人工提升三倍以上。最后，优化智能巡检成果的转化应用流程。开发移动端巡检工单系统，实现缺陷定位坐标、现场影像、维修建议的自动派发，并通过 GIS 地图可视化追踪处置进度。建立设施健康档案动态更新机制，将每次巡检结果与历史数据进行趋势比对，为预防性维护提供数据支撑。这种立体化智能巡检体系的应用，使设施异常发现时效从“日级”提升至“分钟级”，全面重构高速公路设施运维的作业范式（见表 1）。

2.2 建立全生命周期数据平台

首先，运用 BIM+GIS 技术构建设施数字孪生底座。在新建路段设计阶段即建设设施三维信息模型，完整记录护栏板厚度、标志牌反光膜等级等 187 项技术参数；通过 GIS 空间定位将设施实体与坐标数据绑定，形成“一物一码”的数字化身份。其次，建立云端数据湖实现多源信息整合。将建设期的施工验收数据、运营期的巡检养护记录、改造期的变更审批文件等异构数据进行标准化清洗，按照设施类型、空间位置、时间维度建立三级索引体系。特别是针对改扩建路段，通过版本控制技术清晰追溯设施迭代过程，解决历史数据断层问题。最后，建立数据共享与安全防护机制。通过 API 接口与高速执法、高速交警部门系统对接，实现事故黑点路段设施状态数据的实时交换；运用区块链技术建立数据溯源体系，确保护养记录、材料检测报告等关键信息的不可篡改性。平台设置三级权限管理体系，对设施核心参数实施加密存储，满足《关键信息基础设施安全保护条例》要求。这种全要素、全周期

表1 交通安全设施智能巡检系统

维度	构成要素	具体内容	管理创新点
感知层	物联网传感器部署	护栏振动传感器、标线磨损探测器、反光膜光敏元件等嵌入式设备安装	实现设施状态的实时动态监测
巡检工具	无人机智能巡航系统	预设飞行路径库建设、AI 图像识别算法集成、5G 影像实时传输模块配置	突破高危区域人工巡检限制
数据层	多源数据融合机制	传感器数据 / 无人机影像 / 人工记录的三维坐标系统一、时间戳同步标准化	消除信息孤岛现象
分析层	健康度评估模型	设施损伤分级标准制定、风险指数动态计算、维修优先级智能排序	实现从经验判断到数据决策转变
应用层	移动端工单系统	GIS 定位缺陷坐标、自动派发维修任务、处置进度可视化追踪	建立闭环式运维流程
知识库	历史数据挖掘	典型缺陷案例库建设、维护方案知识图谱构建、设施寿命周期规律分析	形成可复用的管理智慧

数据管理模式的建立,使设施服役状态可追溯周期从平均3年延长至设计寿命全程,显著提升资产管理精细化水平。

2.3 完善智能预警响应机制

首先,构建实时监测预警网络是提升风险感知能力的基础。在易发生交通事故的弯道、隧道入口等关键点位部署毫米波雷达与视频融合设备,实时捕捉护栏变形、标志牌倾斜等异常位移信号;在供电箱内安装智能断路器,通过电流波形分析提前24小时预测电气设施故障风险。这些监测节点的数据通过边缘计算设备进行初步筛选,将有效预警信息压缩传输至指挥中心。其次,建立基于数字孪生的应急模拟推演系统。将道路三维建模数据与实时交通流信息叠加,当某路段防撞桶发生碰撞事故时,系统自动生成设施损坏程度评估报告,并模拟不同处置方案对交通分流的影响效果。例如:针对夜间大型标志牌倒塌事件,系统可推演出最优的临时标线设置方案与警示灯布设位置,将传统需2小时的现场研判压缩至15分钟完成。最后,建立预案动态更新机制增强系统适应性。运用自然语言处理技术解析历史应急事件报告,自动识别高频故障模式与处置难点,每月生成预案修订建议清单。

2.4 优化成本控制模式

首先,建立预测性维护决策支持系统是降本增效的核心。通过分析十年期设施维修数据与气候、交通量关联规律,构建不同材质护栏板锈蚀速率预测矩阵。例如:沿海区域镀锌钢护栏在年均湿度75%条件下的维护周期可由常规的36个月精准缩短至28个月,避免过度维护造成的资源浪费。其次,实施智能供应链

管理系统提升物资调配效率。运用RFID技术对仓库储备的防眩板、轮廓标等易损件进行全流程追踪,当某路段隔离栅修复工程启动时,系统自动匹配施工方案所需的立柱规格、网片型号,并联动供应商启动即时补货程序。

3 结束语

本研究系统论述了智能化技术重塑高速公路交通安全设施运维管理的内在逻辑与实践路径。通过构建智能巡检系统突破人工监测局限,实现设施状态动态感知;依托全生命周期数据平台整合多源信息,奠定精准决策基础;完善智能预警响应机制强化风险防控时效,形成闭环管理链条;创新成本控制模式提升资源配置效益,推动管理精细化转型。智能化技术在交通安全设施运行维护管理中的应用对提升路网安全水平、降低全生命周期成本具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 丁鉴.农村公路交通安全设施建设与管理探究[J].时代汽车,2025(12):196-198.
- [2] 赵建峰.公路安全设施施工安全管理:评《高速公路交通安全设施建养施工与管理》[J].安全与环境学报,2025,25(05):2059.
- [3] 陈璞.低等级公路交通安全设施存在的问题及对策[J].时代汽车,2025(08):166-168.
- [4] 李树辉.公路交通安全设施工程施工技术探讨[J].科技资讯,2025,23(07):148-150.
- [5] 贺鹏.高速公路交通安全设施适应性分析[J].交通世界,2025(09):27-29.