 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i8.11436

Considerations on Smart Operation and Maintenance Strategies for Electromechanical Equipment in Highways

Dugan·Mengkejiao

Xinjiang Jiaotou Technology Co., Ltd. Intelligent Engineering Branch, Urumqi, Xinjiang, 830501, China

Abstract

With the comprehensive advancement of smart transportation development in China, highway networks across regions have continuously expanded and been upgraded. As the core component of smart transportation systems, electromechanical equipment serves as a critical physical foundation for ensuring traffic flow, safety management, and service provision on highways, characterized by their large quantity, diverse types, and routine operation. Maintaining these devices in optimal operational condition and implementing effective maintenance management are essential. Establishing a comprehensive perception system, developing a data integration platform, applying intelligent maintenance technologies, and promoting the smart and modernized management of highway electromechanical equipment can further enhance the efficiency of such maintenance practices.

Keywords

expressway; electromechanical equipment; operation and maintenance management; smart construction

高速公路机电设备智慧化运维策略思考

杜干·孟克交

新疆交投科技有限责任公司智能工程分公司，中国·新疆 乌鲁木齐 830501

摘　要

随着我国智慧交通建设全面推进，各地区的高速公路路网规模持续扩大升级。而机电设备作为智慧交通建设的核心，是高速公路通行保障、安全管控、服务供给的重要物质基础，具有数量多、类型杂、运行常态化的特质。保障机电设备始终处于最佳运转状态、落实机电设备运维管理是十分必要的。而搭建全域感知体系、构建数据融合平台、应用智慧运维技术、推动高速公路机电设备运维管理的智慧化、现代化建设则可以进一步提高高速公路机电设备运维管理成效。

关键词

高速公路；机电设备；运维管理；智慧化建设

1 引言

高速公路是综合交通运输体系的骨干支撑，保障高速公路的运行安全稳定对于区域经济发展、居民出行体验会起到至关重要的影响。而在高速公路运行期间配电监控、通信收费、照明、消防通风等相应机电设备对于高速公路运行的稳定性、可靠性及服务水平起着至关重要的作用。尤其是近几年来我国新建高速公路配套机电设备体系逐渐完善，设备复杂度、智能化水平大幅提升，对于机电设备运维管理的专业性、时效性和精准性也提出了更高的要求。在这样的背景下推动高速公路机电设备运维智慧化、现代化建设十分必要，相关单位可从如下几点出发做出优化和调整。

【作者简介】杜干·孟克交（1991–），男，蒙古族，中国新疆伊犁人，本科，中级职称，从事机械电子研究。

2 搭建全域智能感知体系

精准感知、获取完整全面的数据信息是高速公路机电设备运维智慧化、现代化建设的重要基础。只有保障收集到的数据精准完善，才可以为后续的智能预警、精准运维提供必要支撑。传统运维模式以人工定期巡检为主，感知范围有限、数据更新滞后、隐蔽隐患漏判问题较为常见，难以满足大规模、复杂化机电设备运维管理需求，因此需要构建全覆盖、高精度、智能化的感知体系。

在感知体系构建期间应遵循全域覆盖、精准适配、协同联动的原则，根据不同高速公路场景、机械设备类型布设差异化感知终端。例如供电系统、收费系统、监控系统等固定设备可布置电压、电流、温度、震动传感器，收集设备运行工况、能耗、老化等相应参数。而隧道通风、照明、消防等机电设备则需要加装环境传感器，实时监测隧道内部的温度、湿度、能见度、空气质量，配合设备运行参数监测确保设施设备功能得以有效发挥。露天户外机电设备的感知终端

设计中应保障传感器防水、防尘、抗干扰能力，降低大风、大雪、高温、低温等复杂天气对数据收集准确性、稳定性所产生的影响 [1]。

传感器设备布置完成后需借助 AI 视频识别、无人机巡检等智能化技术补齐感知短板。例如可借助 AI 视频监控技术快速识别收费设备卡顿、监控设备画面异常、照明设备损坏等显性故障。借助无人机技术完成沿线远距离、高难度空中巡检，解决人工巡检视野局限和区域盲区短板。为保障数据收集的完整性、全面性，为后续各项工作打下坚实基础，智能感知终端系统建设期间还需要做好通信协议、数据传输标准的统一，打破数据传输壁垒，避免在数据格式转换、数据收集整合期间出现数据丢失、损坏等问题。相较于传统运维模式，全域感知体系的构建在监测时长、监测范围、故障识别能力、数据更新频率和人力投入上都具有显著优势，如表 1 所示。

表 1：智慧化全域感知体系性能分析

对比维度	智慧化全域感知体系
监测时长	7×24 小时不间断实时监测，无监测盲区与空窗期
监测范围	覆盖全线所有机电设备，实现地面、高空、隧道全域全覆盖
故障识别	可识别显性故障与老化、参数异常等隐性隐患，隐患识别率超 95%
数据更新	秒级实时数据更新，动态同步设备运行状态
人力投入	自动化采集为主，仅需少量人员设备维护，人力投入减少 60% 以上

3 构建数据融合治理平台

在高速公路机电设备运维管理智慧化、现代化建设过程中需充分发挥大数据技术的核心优势，完成多源数据整合，打破数据壁垒与数据孤岛，避免运维数据闲置浪费，充分挖掘数据价值，为智能预警、运维决策、资源调度提供支撑。要达成这一目标就需要构建数据融合治理平台。在平台建设期间可从数据采集层、数据治理层、数据存储层、数据服务层四大层级出发，为数据开发应用提供更多助力。

在数据采集层需做好全域感知终端设备、控制系统、物联网系统、运维管理系统等系统的对接联动，快速收集整合不同系统平台的数据信息。在数据治理层应建立标准化数据治理体系，统一数据格式、传输协议、统计口径，利用大数据技术完成数据清洗、纠错、分类、关联，及时剔除无效数据、错误数据、冗余数据，保障数据精准性和可参考性 [2]。在数据存储层可采用云端存储和本地备份相结合的方式搭建数据资源池，对数据信息进行分类归档存储，在确保数据安全的同时为数据高效调取和后续数据追溯提供保障。在数据服务层可依托大数据分析技术建立数据关联模型，对不同设备、不同系统的数据开展联动分析，自动归纳分析设备运行故障、故障高发时段、隐患关联因素、能耗损耗特征，为后续运维决策制定提供数据参考。此外，可搭建可视化数据大屏，更直观地反馈不同线路设施设备的运行状态、故障分布、运维数据和能耗情况。最后，在平台构建过程中需完善数据安全管控机制，根据不同工作人员的岗位内容、工作需求设置分级管理权限，明确不同岗位工作人员可调取的数据范围，在为各部门、各岗位人员工作开展提供数据支撑的同时规避数据丢失、泄露、损坏等问题，确保数据安全合规。通过打破数据壁垒，盘活闲置数据资源充分释放数据价值，实现智能预判、精准维保、运维资源智能优化配置。

4 智能运维技术赋能

过去高速公路机电运维以故障抢修、事后处置为核心，不仅会影响高速公路正常运行、降低服务水平，还极易造成设备二次损坏、抬高运维成本。而智慧交通背景下可依托人工智能技术、大数据技术、数字孪生技术、边缘计算技术等现代化技术，推动运维模式从事后抢修向事前预判、事中管控、事后优化的全流程运维管理转型 [3]。

人工智能技术是智能预判和运维优化的核心，可依托人工智能技术整合平台海量运维数据，搭建故障预测模型与诊断知识库。通过机器学习算法持续吸纳更新运维数据，不断优化算法，迭代优化模型，精准捕捉设备参数异常、运行波动等隐患信号，提前预判设备老化、故障等风险并发出预警。依托数据库智能分析，80% 以上的常规故障均可通过人工智能技术快速锁定故障点位、成因及处置方案，大幅缩短故障诊断与处置时长，提高各类风险问题的响应能力，甚至可以通过历史数据和实时数据整合预测数据发展趋势，真正实现从事后维护向事前预测防控转型。

边缘计算技术可有效解决数据传输延迟问题，可在隧道、收费站、服务区等区域布设边缘计算网关，就近采集、分析、处理智能传感体系传回的数据信息，快速识别瞬时故障、突发异常，将预警时效提升至毫秒级，联动现场设备开展调控处置，规避云端传输延迟、处置滞后引发的次生问题，扩大性损失。同时边缘计算可对数据进行筛选、核查、甄别，剔除无效冗余数据，降低平台运行负荷，进一步提升运维管理效率。

数字孪生技术可通过构建数字映射模型，为机电设备智能管控提供全新路径。可通过搭建虚拟仿真模型真实还原全线机电设备的位置分布、设备结构、运行状态，实现物理设备与虚拟模型数据实时同步 [4]。工作人员可依托虚拟模型直观查看各类设施设备的运行参数、隐患状态与实际工况，通过仿真模拟预判极端天气、高频运行场景下的设备故障风险，提前完善管控预案，全面实现预防型维保。为更好发挥智能技术在机电运维中的应用成效，工作人员需结合各类技术的功能特性精准匹配核心应用场景，保障技术应用的适配性、针对性和实效性，如表 2 所示。

表 2：不同智能运维技术的核心应用场景

技术类型	核心应用场景
人工智能技术	故障预测、智能诊断、隐患识别
边缘计算技术	现场实时数据分析、突发故障处置、数据筛选
数字孪生技术	设备可视化管控、运行仿真、预案模拟

5 健全全周期运维管控机制

智慧化运维模式下运维管理的工作流程、方式方法、技术体系均发生显著变革。想要进一步提升运维管理质效、推进机电设备运维智能化升级，还需同步优化完善配套管理机制，规范运维管理流程，确保制度方法与技术应用的适配性。

首先，相关单位应建立设备全生命周期管控机制。围绕设备采购、安装调试、日常运行、智能维保、故障维修、老化报废等全流程环节完善规章制度，明确标准化管控规范，结合智能化技术应用特性删减冗余管控环节。为保障制度落地见效，可依托智慧运维平台搭建设备电子台账，运用区块链等信息技术归集全流程数据，实现设备从入网投用到报废退市的全程可溯源、可管控 [5]。

其次，构建闭环运维管理流程。依托智慧运维平台搭建“隐患预警、工单派发、现场处置、结果核验、数据归档、迭代优化”的闭环运维体系。系统自动识别设备故障隐患后，可结合故障等级、成因、运维人员位置智能派发工单，明确不同故障的处置人员与处置标准。运维人员完成现场维保作业后需要上传现场施工照片、工单记录，平台自动核验处置成效，核验无误后完成数据归档入库，同步更新设备运行状态，规避传统运维处置不规范、结果无核验、问题无复盘等短板。

最后，还应健全运维考核监管机制。结合智慧运维工作特点与岗位需求优化细化考核标准，设置设备故障率、隐患处置及时率、工单完成合格率、数据更新准确率、设备完好率等核心指标，明确各指标权重，将量化考核纳入运维人员绩效考核体系，替代传统模糊化、经验化考核模式，实现考核标准化、精细化。在此之后还应强化考核结果落地应用，一方面依托考核结果查摆现有管控机制的短板不足，持续优化流程、完善制度体系。另一方面将考核结果反馈至岗位人员，帮助工作人员明晰自身工作漏洞与能力短板，联动奖惩机制，对考核优异人员给予薪资激励、精神表彰，充分调动运维人员工作主动性与积极性，倒逼工作人员在实操工作中主动优化运维方式、熟练运用智能化技术，全面提升运维工作质量 [6]。

6 结语

推进高速公路机电设备智慧化运维建设能够大幅降低运维成本、提升运维工作效率，切实保障高速公路安全稳定运行，全面提升公路服务品质与资源利用效率。相关单位可立足感知体系搭建、数据平台优化、智能技术赋能、管理机制完善四大核心维度搭建科学完善、落地可行的智慧化运维体系，持续推动高速公路机电设备运维管理向智能化、现代化转型，全面提升高速公路运营管理综合成效。

参考文献

[1] 邓国红. 机电设备智慧运维管理系统在高速公路工程中的应用研究 [J]. 通讯世界, 2024, 31 (6) 193-195.

[2] 吴海花. 高速公路机电设备智慧运维策略 [J]. 低碳世界, 2023, 13 (12) 163-165.

[3] 康上. 高速公路机电设备智慧运维平台研究与应用 [J]. 机电信息, 2023, (19) 12-15.

[4] 孙晓宁. 高速公路机电设备智慧运维分析 [J]. 工程建设与设计, 2023, (14) 91-93.

[5] 范敬光. 高速公路机电设备智慧运维实践 [J]. 交通世界, 2022, (Z1) 219-220.

[6] “智慧高速一体化运维管理平台”产品正式上线 [J]. 中国交通信息化, 2021, (5) 87.