 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i8.11572

Research on the Necessity and Countermeasures for the Intelligent Upgrade of Electromechanical Equipment in Highways

Dugan·Mengkejiao

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

Abstract

As China's expressway network continues to expand, the operation and maintenance management of electromechanical equipment faces numerous challenges, including increasingly severe aging of existing equipment, low efficiency in manual inspections, and delayed fault response. The traditional maintenance model can no longer meet the inherent demands of smart expressway development. This paper analyzes the necessity of intelligent upgrading for expressway electromechanical equipment from four perspectives—policy implementation, shift in focus, cost-effectiveness, and safety assurance—and proposes four strategies: deploying intelligent sensing terminals, implementing remote smart inspections, enhancing AI-assisted support, and conducting specialized personnel training, aiming to provide actionable recommendations for expressway operators pursuing intelligent equipment transformation.

Keywords

expressway; electromechanical equipment; intelligent upgrading; artificial intelligence

高速公路机电设备智能化升级的必要性与对策研究

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

我国高速公路路网规模不断扩大，机电设备运维管理面临诸多现实问题，比如存量设备老化情况越来越严重，人工巡检效率比较低，故障响应不及时等，传统运维模式已无法适应智慧高速发展的内在要求。本文对高速公路机电设备智能化升级的必要性从政策落实、重心转移、成本效率、安全支撑这四个维度进行了分析，并且基于此提出了四项对策，分别是部署智能感知终端、推行远程智能巡检、强化AI技术帮助、进行人员专项技能培训，希望能为高速公路运营管理单位推进机电设备智能化改造提供一定参考。

关键词

高速公路；机电设备；智能化升级；人工智能

1 引言

随着路网持续扩张，众多机电设备步入老化阶段，故障出现的频率逐年增加。智慧高速建设对设备感知精度、响应速度、数据交互能力的要求，远远超过了传统模式。传统依靠人工巡检和定期维护的管理办法，在效率、成本、覆盖范围等方面，都明显地展现出了局限性。怎样借助智能化手段达成机电设备运维模式的转型升级，已然成为高速公路运营管理领域迫切需要回应的实际问题。本文依据行业实践，针对智能化升级的内在逻辑与可行途径展开探讨，期望能为相关工作给予一定参考。

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

2 高速公路机电设备智能化升级的必要性

2.1 落实交通运输设备更新智能化政策要求

近些年来，国家方面针对交通运输设备智能化更新进行了部署工作。国务院发布的《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》、交通运输部等十三部门联合发布的《交通运输大规模设备更新行动方案》，都明确提出来要推动高速公路机电系统设备的智能化改造，以此提高路网运行监测、协同管控的能力[1]。从那之后，各级地方政府相继出台了配套的实施方案，这也就意味着交通运输设备更新已经从顶层设计进入到全面实施的阶段。对于高速公路运营管理单位来讲，推进机电设备智能化升级不再是一个可选择的事项，而是一项必须按照时间要求落实的硬性任务。

2.2 匹配高速路网从建设向运营重心转移趋势

我国高速公路建设经过三十年高速发展，当前正从大规模建设阶段进入建管养并重且以运营为主导的新阶段。新

增里程增长速度逐渐慢下来，而存量路网运维需求不断上升，整个行业关注重点从“建设更多公路”变为“管好用好既有设施”。机电系统是路网运营管理的物质技术支撑，其运行可靠性对路网监测精准度、指挥调度及时性、应急处置高效性起到关键作用。面对运营重心这种历史性转移，传统管理模式无法满足日益繁杂的运维任务，只有通过智能化升级提高机电系统的自主感知与辅助决策能力，才能顺应路网运营从粗放向精细转变的时代发展要求。

2.3 解决传统运维成本高效率低现实矛盾

就成本方面而言，人工巡检需要投入数量可观的人力、车辆，在部分隧道和长大桥隧进行巡检时，甚至还需要中断交通，由此造成的间接损失远远超过了直接支出。在效率方面，人工巡检受到天气、可达性、人员技能等诸多因素的限制，其覆盖面比较有限，大量处于偏远区域的设备长时间处于监管缺失的状态，故障上报依靠人工传递，信息链条较长，响应速度迟缓。设备老化与运维资源增长受限之间的矛盾仍在不断加剧，部分运营时长超过十年的高速公路设备故障率逐年升高，然而运维经费与编制的增长非常有限 [2]。要化解这一矛盾，解决办法并非单纯增加人手，而是借助智能化手段实现从被动维修向主动预防的转变。

2.4 支撑智慧高速安全运行与公众出行品质

从安全角度来看，车路协同、自动驾驶等新型交通方式，对路侧设备的感知精度、通信时延、可靠性都提出了达到毫秒级别的要求。传统设备在算力方面、响应速度上，与新型交通方式的要求存在明显差距。要是不及时进行设备升级，那么智慧高速的诸多应用场景，将会因为感知能力不足而难以实现落地。在服务方面，公众对于实时路况播报、精准气象预警、智慧服务区等品质化出行需求一直在不断增多，而这些服务都依靠机电系统对海量数据的实时采集、交互来得以实现。尤为重要的是，高速公路的运行安全和千家万户息息相关，智能化升级后的机电系统能够借助在线监测，在故障刚刚出现萌芽阶段就发出预警，从而把运行风险降到最低程度，切实保障公众出行的安全。

3 高速公路机电设备智能化升级对策

近些年，我国的高速公路发展非常迅速，高速公路网正在逐步形成，伴随着智能化技术的发展，智能化系统的建设和完善成为了备受瞩目的焦点。高速公路通信系统已开始从单条路的内部通信向路网环境的广域通信转变，高速公路各现场监控站有大量监测数据需要及时传送给监控中心；各个收费站也有大批数据文件要定时传送给收费中心，这些传输任务都由通信系统承担。因此为了保证通信的高可靠性，高速公路辟有专用的通信网络，这对高速公路的长远发展意义重大，关系到智能化发展进程。

3.1 部署智能感知终端构建全域监测网络

要实现机电设备智能化升级，建立全域监测网络很关键，这个网络要覆盖全面而且响应及时。现在很多设备的状态信息靠人工定期采集，数据的连续性、完整性、及时性都不能满足智能化运维要求 [3]。运营管理单位需要在隧道、桥梁、互通立交、收费站还有服务区等关键节点大规模部署智能感知终端，比如说温湿度传感器、振动监测器、电流电压互感器、图像识别摄像头、光纤光栅应变传感器等，以此形成立体感知模式。选择的终端要有边缘计算能力，能在本地对数据做初步清洗并提取特征，只把关键信息上传到中心平台，这样可减轻传输带宽压力。规划布局要按照全面覆盖、重点加强的原则，对事故多发路段、长大隧道和特殊结构桥梁加密布设，保证监测数据的空间分辨率能满足安全评估需求。同时还要配套建设统一的设备管理平台，实现对大量感知终端的远程配置、批量升级、状态监控，保证监测网络长期稳定运行。

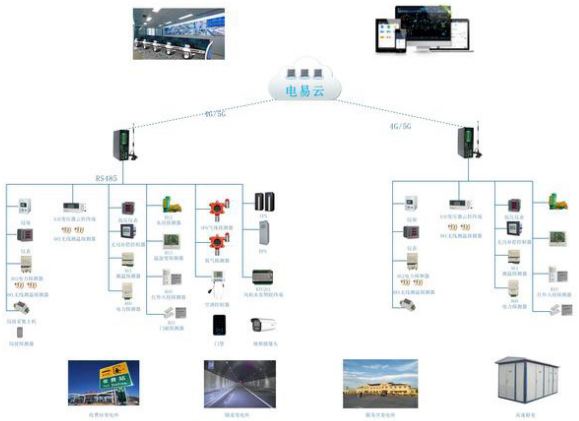


图 1 智能感知终端构建全域监测网络

3.2 推行远程智能巡检替代现场人工巡检

巡检属于机电设备运维中的基础性工作，其效率、质量会直接对故障发现的及时性造成影响。传统人工巡检受人员数量、技能水平、工作强度的限制，巡检频次很难得到保障，而且巡检记录的标准化程度、数据利用率通常都比较低。推行远程智能巡检时，要借助高清视频监控、热成像检测、无人机巡查还有物联网传感技术，达成对设备运行状态的不间断监测、自动化巡检。可在隧道变电所、通信机房、门架系统等关键点位部署高清摄像机、热成像仪及振动、电流等传感器，融合图像识别与感知数据，不仅识别外观、发热、指示灯等外部异常，还能感知内部振动与电气参数变化，实现更全面的状态监测 [4]。对于沿线长距离设施像标志标牌和护栏等，能够采用无人机按照规划航线实施定期巡检，提高覆盖范围和作业效率。远程智能巡检的优势不但在于替代人工劳动、降低作业风险，还在于能够实现巡检数据的结构化存储、历史趋势比对，为预测性维护提供可靠的数据基础。

3.3 强化 AI 技术赋能机电系统智慧化升级

人工智能技术发展迅速，为机电设备的智慧化升级给予了强大的技术支持，AI 的作用贯穿于设备运维的整个生

命周期，形成了包括状态感知、健康评估、故障诊断、维护决策的完整智能链路。在健康管理领域，运用机器学习算法来训练历史运行数据，从而建立各类设备的健康基线模型，当实时监测数据偏离基线之时，便会自动触发异常告警，达成从阈值式报警到状态偏离式预警的转变。在故障诊断领域，建立基于深度学习的故障模式识别模型，对电压电流波形、振动频谱、温度变化曲线等多源数据展开融合分析，精确确定故障类型、可能的原因，显著缩短排查所需时间 [5]。在维护决策领域，利用优化算法全面考量设备重要度、健康状态、维护成本等因素，自动生成最佳的维护计划，促使从定期维修向状态维修转变。大语言模型技术还能够用于建立机电运维知识库，把设备说明书、历史维修记录、专家经验等非结构化知识进行系统整合，为一线人员提供及时且精准的技术支持。



图 2AI 技术赋能机电系统智慧化升级

3.4 开展运维人员智能化专项技能培训

高速公路机电设备智能化管理是指通过应用先进的信息技术、自动控制技术和人工智能技术合理监控高速公路具体情况，进行综合化的管理和运营，在智能化机电设备投入量日渐增多的背景下，对设备的管理和运维提出了更高的要求。不管感知终端有多密集，算法模型有多精准，最终承担维护管理责任的还是具体的人。要是运维人员技能水平不能同步提高，虽然系统再先进，也可能因操作不当而无法发挥作用。运营管理单位要把人员培训放到和设备改造同样重要的位置，精心进行系统规划，扎实进行智能化专项技能培训，稳步提高每一位工作人员的能力水平 [6]。培训内容包括智能感知终端基本原理和日常维护、远程巡检系统操作规程、异常判别、AI 辅助诊断工具使用方法和结果解读、数据分析基础与运维决策系统操作等模块，要做到理论和实操都很重要。培训方式适合分层分类推进，对管理层侧重智能化运维理念和决策方法培训，对一线技术人员侧重设备操作和故障研判技能培训。同时要建立常态化考核和更新机制，定期组织技术比武和经验交流，激发运维人员学习新技能的内在动力，实现从体力执行者向有数据分析素养的智慧运维工程师转变。

4 结语

总的来说，高速公路机电设备智能化升级是落实国家政策要求的刚性任务，是回应路网运营重心转移的现实需要，是破解传统运维困局的现实需要，也是支撑智慧高速高质量发展的现实需要。四项对策相互关联、互为支撑，共同构成推动机电设备运维模式转型升级的系统路径。各运营管理单位要在统一方向指引下，结合自身设备基础条件和实际需求制定分阶段实施方案，稳步推进机电设备从传统运维向智慧运维的根本性转变，为高速公路高质量发展筑牢技术底座。

参考文献

[1] 杨政军, 钟标, 邹三红, 周创, 樊升印. 高速公路机电设备全生命周期精细化养护管理体系构建与试点应用[J]. 中国交通信息化, 2025, (8): 30-34.

[2] 钱超. 基于智能感知与数据融合的智慧高速公路机电系统优化研究[J]. 交通世界, 2025, (9): 183-186.

[3] 尹鹏. 高速公路机电工程中交通诱导设施的智能化应用与发展趋势研究[J]. 中国设备工程, 2025, (3): 26-28.

[4] 林圣圣. 大数据与人工智能技术在高速公路机电设备运维管理中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2024, (35): 145-147.

[5] 陈志英. 基于物联网和大数据应用的高速公路机电系统数字监测与运维[J]. 运输经理世界, 2023, (21): 160-162.

[6] 李迪杰. 基于BIM+GIS技术的ETC门架系统运维管理平台应用探讨[J]. 西部交通科技, 2023, (6): 179-180+183.