

机电智能巡检系统在高速公路机电管理中的应用

张鹏程

(四川营达高速公路有限公司, 四川 达州 635000)

摘 要 随着高速公路机电设备规模持续扩大, 应用机电智能巡检系统成为提升运维管理水平的重要手段。基于此, 本文从技术和管理两个层面提出“构建云边协同中台, 打破孤岛数据壁垒”“数据驱动预防养护, 分析规律提前预警”“部署立体感知终端, 采集全域设备状态”“加强调度统筹管理, 提升作业处置时效”四项应用策略, 旨在为提高公路运维效率提供参考, 进而提高智慧高速机电系统的智能化运维水平。

关键词 机电智能巡检; 高速公路; 机电管理

中图分类号: U418.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.024

0 引言

高速公路机电系统包含视频监控、数据通信、供电照明等多个功能模块, 设备种类繁多且运行环境复杂, 传统的人工巡检模式难以满足全面的运维要求。近年来, 人工智能等技术的快速发展, 助力机电智能巡检系统逐渐应用在高速公路运营管理领域。该系统凭借自动化采集等功能, 为机电管理提供了新的技术手段。然而, 如何系统部署和应用智能巡检系统, 使其真正发挥效能, 仍是需要研究的问题, 因此有必要结合工程实践, 探讨机电智能巡检系统的应用策略, 以保障路网运行安全畅通。

1 机电智能巡检系统在高速公路机电管理中的价值

1.1 提升运维效率

机电智能巡检系统凭借自动化手段, 能够大幅提升高速公路机电运维的效率^[1]。传统人工巡检模式下, 维护人员需前往现场逐台检查设备, 单次巡检耗时较长, 且受限于人力配置。智能巡检系统部署后, 可在极短时间内监测收费门架、工控机、摄像机等核心设备状态。同时, 系统支持远程操控功能, 对于设备死机及参数配置错误等常见故障, 运维人员无需赶赴现场, 直接利用远程重启或调整即可在数分钟内恢复设备运行, 从而显著降低设备宕机对收费通行和行车安全的影响。

1.2 实现故障预警与预防

智能巡检系统凭借对设备运行参数的毫秒级实时监测和连续跟踪, 能够在故障萌芽阶段精准捕捉异常

信号。当工控机温度持续升高、通信丢包率异常波动、硬盘读写错误率上升或供电电压不稳等情况出现时, 系统可自动触发多级预警, 并根据预设规则将预警信息推送至相应责任人, 提醒维护人员在设备完全失效前提前介入检查处置。这种预防性机制能有效保障机电系统的连续稳定运行, 从而显著提升运维工作的安全性, 使设备管理从事后处置转向事前掌控, 为高速公路机电系统的长效稳定运行奠定了坚实的基础^[2]。

1.3 弥补人工巡检短板

高速公路机电设备分布范围广且点位分散, 智能巡检系统凭借自动化手段可有效弥补传统人工巡检方式的局限。机电智能巡检系统可实现对隧道深处等人工巡检难度较大的区域进行无人化巡查, 能够显著拓展设备监测的覆盖范围。其次, 智能巡检具备高度一致的检测标准, 能够 7×24 小时不间断运行, 大幅提升巡检频次以及时效性, 使设备状态感知从间断性抽样升级为连续性监测。此外, 智能巡检系统能自动记录每一次巡检数据, 形成完整的设备运行档案, 可为后续分析和追溯提供可靠依据^[3]。因此, 有机结合智能巡检和人工巡检, 既能发挥了技术的精准高效优势, 又可保留人工处置复杂问题的灵活性, 形成协同高效的运维新格局。

1.4 数据驱动决策支持

机电智能巡检系统在持续运行过程中, 能够积累大量设备状态数据、故障记录和维修工单信息, 为运维管理决策提供坚实的数据基础。同时, 凭借对数据

作者简介: 张鹏程 (1996-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 高速公路机电维护。

进行统计分析,管理者可清晰掌握各类设备的运行规律、故障分布和性能衰减趋势,并自动生成设备健康评估报告,识别出故障频发的高风险区域,为制定年度保养计划和大中修方案提供量化依据。此外,系统记录的维修响应时长、故障处理效率等指标,可用于评估维护团队和第三方服务商的工作质量,推动运维服务的持续优化。因此,数据驱动的决策模式可使机电管理更科学精准,从而显著提升管理水平和资源利用效率^[4]。

1.5 降低长期运营成本

自动化巡检能够替代大量重复性的人工现场巡查工作,使维护人员得以从繁重的日常巡检任务中释放,将人力资源集中于高价值的维修工作,可有效降低人力成本投入。同时,实现远程操控功能,使得大量常见故障无需派车前往现场即可完成处置,大幅减少了车辆使用里程,降低了车辆运维及差旅费用。此外,预防性预警机制可将故障消除在萌芽阶段,避免了设备严重损坏带来的高额更换成本。全流程数字化管理也能替代纸质台账和人工报表,减少相应的行政资源消耗^[5]。因此,从全生命周期视角来看,智能巡检系统的投入成本凭借人力节约、车辆节支、设备延寿等多方面效益,可在较短时间内收回,形成可持续的低成本运维模式。

2 机电智能巡检系统在高速公路机电管理中的应用策略

2.1 构建云边协同中台,打破孤岛数据壁垒

高速公路机电系统包含收费、监控、通信、照明、通风等多个业务子系统,各系统独立运行且数据格式各异,形成了典型的“信息孤岛”现象,严重制约巡检数据的融合分析及统一调度。构建云边协同中台是解决这一问题的的重要途径,该中台采用云计算配合边缘计算的架构,边缘侧部署于各收费站或隧道管理所,负责数据实时采集及预处理,云端承担全局数据的汇聚存储和智能分析。凭借云边协同,可实现全路网机电设备状态的统一接入、统一管理及统一呈现,为智能巡检系统高效运行奠定数据基础。

在具体实践操作上,首先需标准化接入各业务子系统数据。针对收费系统、监控系统、通信系统等不同来源的数据,制定统一的数据接口规范及数据交换标准,采用工业网关或边缘采集终端将各类协议转换为标准格式。对于不具备接口条件的老旧设备,可用加装智能传感器的方式获取其运行参数。其次,搭建边缘计算节点,部署于各站点机房,承担数据清洗、聚合和实时分析的任务,对设备状态进行毫秒级监测,

发现异常后立即在本地触发预警,无需等待云端响应。同时,构建云端数据中台,汇聚全路网边缘节点上传的数据,建立统一设备台账及运行数据库,采用数据湖技术存储海量时序数据,支持跨路段及跨系统的综合分析。此外,采用安全隔离技术实现收费内网和办公外网的数据摆渡,利用单向光闸或二维码摆渡装置,确保核心收费网络安全隔离的同时,实现设备状态数据对外共享。凭借上述实践,可打破各子系统之间的数据壁垒,形成“一张图看全貌、一个平台管全局”的集中管控能力,为智能巡检系统的规模化应用提供坚实的数据支撑。

2.2 数据驱动预防养护,分析规律提前预警

机电设备的健康状态多呈现渐进式的变化规律,从参数轻微异常到性能显著下降再到功能完全失效,往往经历较长的时间。传统运维模式难以捕捉这一变化过程中的早期信号,而数据驱动的预防养护策略,正是基于对设备运行数据的持续追踪和深度分析,在故障发生前识别出异常趋势并触发预警,从而实现从“事后维修”向“事前养护”的跨越。该策略的重点在于建立设备健康评估模型,凭借挖掘历史数据,掌握各类设备正常运行的特征参数范围及性能衰减规律,进而比对判断实时监测数据,提前发现潜在风险。

在具体的操作上,需建立设备运行基准库,并对每类设备在正常工况下长期采集统计参数,主要是工控机CPU使用率及温度,继而形成动态更新的健康基线。在此基础上,构建多级预警指标体系,依据参数偏离正常基线的程度设置不同预警等级,轻微偏离触发三级预警提示,关注但不用立即处置;中度偏离触发二级预警,建议纳入近期的检修计划;若严重偏离触发一级预警,应尽快安排现场排查。同时,部署时序数据分析引擎,预测设备参数的长期变化情况,并用机器学习算法识别出参数缓慢漂移的特点。如果工控机温度在过去的三十天内不断地上升,即便当前值仍在正常的范围内,系统也要提前预测未来可能达到阈值的时间点并发出预警。此外,建立预警信息的分发及处置机制也十分重要,依据预警等级及设备重要性自动将信息推送至相应的责任人,三级预警推送给收费站日常巡检人员,二级预警推送至机电维护站,一级预警同步推送至公司管理部门及维护团队。此外,要构建预警处置环节,记录复盘每一条预警的触发原因、处置过程及处置结果,定期分析预警准确率及漏报率,且不断优化预警模型的参数设置和算法策略。凭借上述实践,能够主动掌控设备管理,继而提升机电系统的运行可靠性。

2.3 部署立体感知终端，采集全域设备状态

高速公路机电设备分布范围十分广，且运行环境较复杂，单一的感知方法不能满足多方面的状态采集需求。部署立体感知终端指的是面对不同的设备类型、应用场景以及监测的需求，综合运用多种感知技术，形成层次分明且协同互补的全域采集网络。该策略在于依据设备的重要性，以及环境特点去合理配置感知资源，既能保证设备的实时监测精度，又能兼备大规模部署的经济程度。

在具体实践上，首先可针对收费系统核心设备部署软件定义的高频巡检终端，利用自动化脚本对收费工控机、门架服务器等进行每三分钟一次的状态轮询，采集CPU负载、内存占用、硬盘空间、进程状态等重要指标。其次，为隧道通风、照明、供电等环境敏感设备加装物联网传感器，以毫秒级采样频率获取环境参数及电气参数。对于通信链路质量，应部署探针设备持续监测各节点间的网络延迟、丢包率及带宽利用率，形成全路网通信质量拓扑图。针对桥梁、高边坡等结构物上的外场设备，采用低功耗广域网技术部署无线传感器节点，凭借太阳能供电及无线回传方式长期监测设备振动、倾斜、锈蚀等机械状态。最后，引入工业机器人及无人机作为移动感知终端，在隧道、机房等封闭空间内部署轨道式巡检机器人，按照预设路径自动完成设备外观检查及红外测温。在特大桥及长隧道区域部署无人机智能机巢，支持远程起飞及自动巡航，对人工难以到达的高位摄像机、情报板、气象检测器等设备进行高清图像采集及状态核查。各类感知终端采集的数据凭借边缘网关统一汇聚，按照标准化格式上传至云边协同中台，可以形成覆盖全路网、贯穿全系统的设备状态感知网络，为智能巡检的各项应用提供实时准确的数据支撑。

2.4 加强调度统筹管理，提升作业处置时效

机电运维作业涉及多个管理层级、多方维护力量以及大量现场工单，科学的调度管理直接决定了故障处置的响应速度及资源利用效率。加强调度统筹管理是指以智能巡检系统为支撑，建立集中化的运维调度中心，对全路网机电设备的故障告警、维修派单、人员调配、备件供应等环节进行统一协调和动态优化。该策略的重点在于利用数据融合及智能算法，实现“故障精准定位、人员就近匹配、资源按需配置”，从而显著减少发现故障到处置完成的全流程时间。

在操作中，首先要建立集中的运维调度平台，并接入全路网机电设备的各种数据，形成一个覆盖各路

段及各种设备的全局视图。调度平台要具有自动派单功能，当系统检测到设备存在故障或触发预警后，可依据故障信息，结合维护人员的实时位置及当前任务负载，利用智能算法分析出最合适的派单方案，把工单自动分到最合适的人员手中。其次，应构建分级的响应机制。对于普通的故障，可安排常规的维护人员在规定时间内去现场处理，对于重要设备故障或影响通行的紧急事件，要启动升级流程，同时通知技术专家介入这一事件，必要时应调配最近的资源进行跨区域的支援。在备件管理方面，可建立基于历史数据的备件库，把常用备件分级储备在收费站及维护站，特殊备件集中存放在区域中心。调度平台可实时查看各站点的备件库存状态，当维修人员确认要更换备件时，系统会选择距离最近的备件存放点并生成一份领用单。最后，还应部署移动端作业应用，维护人员可手持终端接收工单、查看故障详情等各种故障信息，这样管理人员可在调度平台实时查看工单的执行进度，并对超时没有处理的工单自动发出催办提醒。凭借上述的实践，能够精准投放运维资源，继而提升机电故障处置的规范化水平。

3 结束语

部署并应用机电智能巡检系统，能够推动高速公路机电管理从原来的人工分散方式转向智能化。云边协同、数据驱动、立体感知以及调度统筹等策略相互配合，可为机电运维的数字化转型提供一套较为系统的操作方式。未来，相关企业可进一步融入大数据分析以及人工智能技术，大幅提高运维管理的效率，为智慧高速建设打下更加坚实的机电保障基础。

参考文献：

- [1] 马英臣.高速公路机电设备智能管理要点分析[J].汽车周刊,2026(02):58-59,239.
- [2] 李忠.智能巡检机器人在高速公路机电系统运维中的关键技术探析[J].中国交通信息化,2025(S2):129-130,140.
- [3] 许树鑫.智能管理技术在高速公路机电设备管理中的应用[J].安装,2025(12):54-56.
- [4] 冯智.机电智能巡检系统在高速公路机电管理中的应用研究[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025中国建筑经济研讨会科技与管理分论坛论文集.朔州高速公路管理有限公司,2025.
- [5] 贾扬.智能管理技术在高速公路机电设备管理中的应用[J].流体测量与控制,2025,06(01):69-72.