

煤矿井下智能化监控系统运行维护难点分析

王彦龙

国能神东煤炭寸草塔二矿 内蒙古 鄂尔多斯 017209

【摘要】：煤矿井下智能化监控系统运行维护的核心难点聚焦于井下视频监控、智能手机通讯、设备数据上传及远程控制等关键模块在复杂井下环境中的适配与稳定运行问题。恶劣环境侵蚀、设备协同兼容不足及维护技术适配欠缺等因素，导致系统易出现故障且排查修复难度大。深入剖析这些难点成因并构建针对性应对策略，是保障系统持续发挥安全监测与生产辅助作用的关键，对推动煤矿井下智能化生产安全推进具有重要意义。

【关键词】：煤矿井下；智能化监控系统；运行维护；视频监控；远程控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.055

引言

煤矿井下作业环境恶劣且风险极高，智能化监控系统的稳定运行是防范安全事故、提升生产效率的重要支撑，运行维护质量直接决定系统功能发挥程度。在系统运行过程中，视频监控清晰度保障、智能手机通讯信号稳定、设备数据上传及时准确及远程控制精准等核心问题相互关联，对维护工作提出严苛要求。若这些问题无法妥善解决，将导致系统监测失效、控制滞后，进而威胁井下作业安全。深入探究这些维护难点，挖掘内在成因并探寻有效应对路径，对推动煤矿井下智能化建设稳步发展具有重要意义。

1 煤矿井下智能化监控系统运行维护的核心难点识别

1.1 井下视频监控模块运行维护的环境适配难题

井下视频监控模块运行维护的核心挑战在于适配恶劣井下环境。井下空间狭小、光线昏暗，粉尘、水汽遍布，部分区域还存在高温高湿及腐蚀性气体，持续侵蚀监控设备。粉尘易附着镜头导致成像模糊，清理需兼顾安全，增加维护难度与频次；水汽和腐蚀性气体易损坏内部电路与元器件，引发短路等故障且故障点隐蔽^[1]。复杂地质结构还会导致设备安装不牢，受巷道变形、震动影响出现角度偏移，无法精准覆盖监控区域。

1.2 智能手机通讯在井下环境的信号保障维护难题

智能手机在井下的通讯信号保障是运行维护的重要难题。井下巷道深长多弯道，且存在大量金属支架与设备，会严重遮挡、反射无线信号，导致信号覆盖不全、通讯不稳定，深部采掘区域甚至可能无信号，影响指令传达与信息反馈。井下复杂电磁环境产生的干扰，还会造成数据传输丢包、延迟。信号基站需精准规划布局，其检修与参数调试均需适配井下特殊环境，提升了维护技术门槛与作业风险。

1.3 设备数据上传环节的稳定性与完整性维护难题

设备数据上传的稳定性与完整性维护面临诸多挑战。井下海量监控数据需通过传输链路实时上传至地面控制中心，链路可靠性直接决定上传质量。电缆敷设环境复杂，易受巷道变形、

机械碰撞等影响出现破损老化，导致传输中断；无线传输则受空间限制与电磁干扰，存在速率低、丢包等问题。不同设备数据格式、协议差异易引发兼容问题，且缺乏有效实时监测校验机制，难以及时处理数据缺失、错误等情况。

2 煤矿井下智能化监控系统运行维护难点的成因剖析

2.1 井下极端环境对监控设备性能的侵蚀作用

井下极端环境是监控系统运行维护难点的核心成因之一，其对设备性能的侵蚀兼具持续性与隐蔽性。井下高湿度环境中，水汽易渗透设备内部引发元器件化学反应，造成金属锈蚀、绝缘老化，逐步降低电气性能并诱发故障；粉尘不仅遮挡监控镜头，还会侵入设备内部堆积影响散热，加速元器件损耗。部分区域的腐蚀性气体会腐蚀设备外壳与电路板，井下采掘作业及巷道变形产生的震动冲击还会导致设备内部松动、结构损坏，这类损伤初期隐蔽，故障后才易发现。

2.2 多设备协同运行下的系统兼容性适配不足

多设备协同运行下的系统兼容性适配不足，进一步加剧了运行维护的难度。煤矿井下智能化监控系统包含视频监控、通讯终端、传感器、控制器等多种类型设备，这些设备可能来自不同厂商，在硬件接口、软件协议、数据格式等方面缺乏统一标准。不同设备接入系统后，易出现接口不匹配、协议不兼容的问题，导致设备之间无法正常通信与协同工作。部分传感器采集的数据格式无法被数据传输模块识别，导致数据无法顺利上传；智能手机通讯模块与地面控制中心的通讯协议不兼容，出现信号中断、数据传输延迟等情况。系统集成过程中缺乏全面的兼容性测试与优化，使得这些问题在系统运行阶段逐渐显现，且排查与解决需针对不同设备型号与厂商进行针对性处理，增加了维护的复杂性与成本。

2.3 维护技术与井下特殊场景的适配性欠缺

维护技术与井下特殊场景的适配性欠缺，是导致维护难点难以有效破解的重要因素。现有维护技术多借鉴地面智能化系统的维护经验，未充分考虑井下极端环境的特殊性，导致维护

手段针对性不足^[2]。地面常用的故障诊断技术在井下复杂电磁环境中易出现误判,无法精准定位故障点;视频监控设备的清洁维护技术,难以适应井下粉尘量大、空间狭小的场景,清洁效果不佳且效率低下。井下维护作业受空间、安全等限制,大型维护设备无法进入,部分精密维护操作难以开展。维护人员对井下特殊环境下的设备故障机理与维护技术掌握不足,缺乏系统的专业培训,面对复杂故障时难以快速采取有效的应对措施,进一步延长了故障处理时间,影响系统的正常运行。

3 煤矿井下智能化监控系统运行维护难点的应对策略构建

3.1 针对视频监控适配难题的环境防护与设备优化方案

针对视频监控适配难题,需从环境防护与设备优化两方面构建应对方案。环境防护方面,需根据井下不同区域的环境特点,为视频监控设备配备针对性的防护装置。在粉尘浓度高的区域,采用密封性能优良的防尘外壳,并加装自动除尘装置,通过定时吹风或擦拭的方式清除镜头表面的粉尘,保障成像清晰度。在高湿度、腐蚀性气体区域,选用具有防腐、防潮性能的设备材质,并对设备内部进行密封处理,填充防潮、防腐材料,隔绝水汽与腐蚀性气体的侵蚀。设备优化方面,研发适配井下昏暗环境的低照度、高清摄像头,提升画面在弱光环境下的辨识度。优化设备安装结构,采用可调节角度的防震支架,增强设备对巷道震动与变形的适应能力,确保监控角度稳定,全面覆盖监控区域。

3.2 提升智能手机井下通讯稳定性的信号增强与抗干扰措施

提升智能手机井下通讯稳定性,需采取针对性的信号增强与抗干扰措施。信号增强方面,结合井下巷道布局,科学规划无线信号基站的安装位置与数量,在巷道转弯、分支等信号易衰减区域增设中继设备,扩大信号覆盖范围。采用分布式天线系统,将信号均匀分布至井下各个区域,提升信号强度与稳定性。针对深部采掘区域,探索采用漏泄电缆等特殊传输方式,保障信号能够有效穿透复杂地质结构。抗干扰方面,对通讯设备进行电磁屏蔽处理,选用抗干扰性能优良的元器件与通讯模块,降低井下电气设备运行产生的电磁干扰影响。优化通讯协议,采用跳频、扩频等技术,提升数据传输的抗干扰能力,减少信号丢包与延迟现象,确保智能手机与地面控制中心的实时顺畅通讯。

3.3 保障设备数据上传质量的传输链路优化与校验机制建设

保障设备数据上传质量,需从传输链路优化与校验机制建设两方面着手。传输链路优化方面,对井下电缆进行定期巡检与维护,及时更换老化、破损的电缆,采用耐腐蚀、抗拉伸、抗挤压的特种电缆,提升电缆在井下复杂环境中的使用寿命与可靠性。合理规划电缆敷设路径,避开巷道变形、机械作业等风险区域,减少外部因素对传输链路的破坏^[3]。构建有线与无

线相结合的混合传输网络,当某一传输链路出现故障时,自动切换至备用链路,保障数据传输的连续性。校验机制建设方面,在数据上传环节增设实时校验模块,采用数据加密与校验算法,对传输的数据进行完整性与准确性校验。一旦发现数据缺失、错误等问题,立即触发重传机制,确保数据能够完整、准确地上传至地面控制中心。建立数据传输状态监测平台,实时监控传输链路的运行状态,及时发现并处理链路故障。

4 远程控制模块运行维护难点专项应对与系统协同优化

4.1 远程控制指令传输延迟的成因破解与传输优化

远程控制指令传输延迟的成因破解与传输优化,是保障远程控制模块稳定运行的关键。成因破解方面,深入分析导致传输延迟的各类因素,包括传输链路带宽不足、信号衰减、电磁干扰以及数据处理效率低下等。针对不同成因采取针对性措施,对于带宽不足问题,优化数据传输格式,压缩控制指令数据量,减少带宽占用。对于信号衰减与电磁干扰问题,采用前文提及的信号增强与抗干扰措施,提升传输链路的稳定性。传输优化方面,采用边缘计算技术,在井下设置边缘节点,对远程控制指令进行就近处理与转发,减少指令传输的路径长度,降低传输延迟。优化控制指令的传输优先级,确保关键控制指令能够优先传输,提升指令执行的及时性。选用高速传输模块与协议,提升数据传输速率,进一步缩短指令传输时间,保障远程控制的精准性与时效性。

4.2 远程控制与现场设备协同的故障排查与调试优化

远程控制与现场设备协同的故障排查与调试优化,需构建高效的故障诊断与调试体系。故障排查方面,建立远程控制与现场设备协同运行状态监测系统,实时采集远程控制模块与现场设备的运行参数、状态信息,通过大数据分析技术,精准识别协同运行过程中出现的故障类型与成因^[4]。开发远程故障诊断工具,实现对现场设备的远程检测与故障定位,减少维护人员下井作业的频次与风险。调试优化方面,搭建模拟仿真平台,模拟井下复杂环境与设备运行状态,对远程控制指令与现场设备的协同逻辑进行反复调试与优化,提升协同运行的稳定性与可靠性。建立远程调试通道,维护人员可通过地面控制中心对现场设备的参数进行远程调整,对故障设备进行远程修复,缩短故障处理时间,提升维护效率。

4.3 基于全系统协同的维护流程规范化构建

基于全系统协同的维护流程规范化构建,能够提升远程控制模块与整个监控系统的维护效率与质量。梳理全系统各模块的运行关联与维护需求,制定涵盖设备巡检、故障预警、故障处理、维护记录等全流程的规范化维护方案。明确各维护环节的操作标准、技术要求与时间节点,确保维护工作有序开展。建立维护信息共享平台,整合远程控制模块与其他各模块的维

护数据、运行状态信息,实现维护信息的实时共享与协同管理。通过平台实现维护任务的统一调度与分配,提升维护资源的利用效率。将维护流程与设备全生命周期管理相结合,根据设备的运行年限、维护记录等信息,制定个性化的维护计划,实现预防性维护,减少故障发生概率。

5 运行维护质量提升的长效保障体系建设

5.1 全生命周期设备管理机制的完善与落地

全生命周期设备管理机制的完善与落地是提升运行维护质量的基础保障。选型阶段需结合井下环境与系统需求制定严格标准,选用适配性强、可靠性高的设备从源头降低维护难度;安装阶段严格遵循规范操作,强化质量检验验收,确保设备安装牢固、初始运行状态良好^[5]。运行阶段建立常态化巡检监测机制,及时排查潜在故障;报废阶段制定科学评估标准,及时更换老旧设备。通过全流程精细化管理,实现设备运行全程可控,为维护质量提升筑牢基础。

5.2 维护技术升级与人员能力提升的协同推进

维护技术升级与人员能力提升的协同推进是维护质量长效提升的核心动力。技术升级需加大研发投入,探索智能巡检机器人、远程诊断系统等适配井下环境的新技术设备,同时加

强与科研机构合作引进先进经验推动技术迭代。人员能力提升需搭建系统化培训体系,结合系统特点开展针对性专业培训,定期组织技术交流与实操演练,提升维护人员对设备故障机理的掌握及实际问题解决能力,全面增强维护工作专业性。

5.3 维护效果评估与持续改进机制的构建

维护效果评估与持续改进机制的构建可推动运行维护工作不断优化。需建立涵盖设备故障率、故障处理时间、系统稳定性、维护成本等多维度的评估指标体系,全面评判维护质量与效率。定期检测分析维护效果,对比目标查找不足,针对问题深挖成因并制定针对性改进措施,明确责任与时限。构建闭环管理机制,将改进效果纳入下一轮评估,通过循环优化持续提升维护水平,为井下智能化监控系统稳定运行提供长效保障。

6 结语

本文围绕煤矿井下智能化监控系统运行维护难点,剖析了视频监控、智能手机通讯等核心模块的适配与稳定问题及成因,构建了针对性应对策略与长效保障体系。研究成果为破解维护难题、提升系统运行稳定性提供了可行路径。井下智能化监控系统维护需结合技术与现场实际持续优化,方能更好支撑煤矿井下安全高效的智能化生产。

参考文献:

- [1] 张军,张鹏,赵朋朋,等.煤矿井下钻孔雷达信号智能化滤波方法研究[J].煤炭技术,2026,45(01):196-200.
- [2] 赵在兰.煤矿井下机电设备智能化远程控制系统的优化研究[J].自动化应用,2025,66(23):73-75+79.
- [3] 郭文君.煤矿井下综合机械化采掘设备智能化改造研究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(19):109-111.
- [4] 张伟,常轩铭,常奇惠.煤矿井下局扇集中智能化监控研究[J].煤,2024,33(04):78-80.
- [5] 庞志国,孙小伟,张杰,等.煤矿井下供电智能化防越级电力监控系统的应用[J].价值工程,2023,42(24):135-137.