

5G 技术在矿山机电设备远程监控中的应用与优化

刘艳格

河南平煤神马电气股份有限公司 河南省平顶山市 467000

摘 要: 本文系统阐述了 5G 技术在矿山机电设备远程监控中的技术赋能与系统优化。通过分析 5G 毫米波通信、大规模天线阵列等关键技术特性及其对矿山复杂巷道环境的适配性,揭示了 5G 在传输速率、时延控制及网络容量方面相较传统通信的技术优势。针对现网架构存在的带宽受限、覆盖盲区等技术瓶颈,重点论述了 5G 在设备状态实时监测、数据传输优化、故障预警诊断及远程控制维护等环节的应用价值。

关键词: 5G 技术; 矿山机电; 远程监控; 机电设备

引言

5G 技术赋能矿山机电设备远程监控,提升实时性与可靠性。矿山生产环境通常较为恶劣,作业人员要经受高温、高湿、粉尘和有毒有害气体等危险,会对生产效率产生较大影响且严重威胁到矿山作业人员的健康。本文对矿山机电设备的远程控制技术应用意义及应用原则进行了总结,并详细探讨了其应用的方法以及提升应用水平的策略。研究发现应用远程控制技术提高了矿山机电设备的运行效率,且通过减少人员直接接触危险区域,有效地提升了矿山作业的安全水平。

1 5G 技术特性分析

1.1 5G 关键技术概述

5G 技术作为第五代移动通信系统,其核心技术体系为矿山机电设备远程监控提供了新型通信解决方案。关键技术特征主要体现在三个方面:首先,毫米波通信技术通过高频段频谱资源实现超高速率传输,满足矿山设备海量监测数据的实时传输需求;其次,大规模天线阵列技术通过波束赋形增强信号定向传输能力,有效克服矿山巷道多径效应带来的信号衰减问题;再者,网络切片技术支持按需构建虚拟专用网络,为不同优先级的监控业务提供差异化服务质量保障。此外,超可靠低时延通信技术将端到端时延控制在毫秒级,确保矿山设备远程控制的实时性;而边缘计算技术通过在网络边缘部署计算节点,实现设备数据的就近处理与分析。这些核心技术共同构成了 5G 支撑矿山机电设备智能化监控的技术基础。

1.2 5G 与矿山环境的适配性

5G 技术特性与矿山作业环境具有显著的适配优势。矿山作业环境通常呈现巷道结构复杂、设备分布广泛、电磁干扰源多等特点,5G 技术通过其特有的网络架构能够有效应对这些挑战^[1]。在覆盖能力方面,5G 基站支持灵活部署模式,可通过微基站、分布式天线系统等方式实现井下巷道的无缝覆盖。针对矿山环境中的多径效应问题,大规模 MIMO 技术能够利用空间分集提升信号传输质量。在抗干扰性能上,5G 采用的波束赋形技术可精准定向传输信号,降低巷道壁反射造成的信号干扰。同时,5G 网络切片技术能够为不同区域的监控设备分配专属网络资源,确保关键设备的通信优先级。在恶劣环境适应性方面,5G 设备具备更高的防护等级,能够适应矿山环境中的粉尘、潮湿等特殊工况。这些特性使 5G 技术成为解决矿山机电设备远程监控通信难题的理想选择。

1.3 5G 相较传统通信技术的优势

5G 技术在矿山机电设备远程监控领域展现出显著的技术优势。与传统通信技术相比,5G 网络具有更高的传输速率,能够承载矿山设备产生的高清视频监控数据与多源传感器数据的并发传输。在时延性能方面,5G 网络的端到端时延较 4G 网络降低一个数量级,为设备远程实时控制提供了必要的响应速度。网络容量方面,5G 技术通过大规模天线阵列和频谱效率提升,单位面积内可接入的设备数量大幅增加,满足矿山密集设备组网需求。可靠性方面,5G 特有的超可靠低时延通信技术保障了关键监控数据的传输稳定性。在组网灵活性上,5G 支持网络切片技术,可根据不同监控

业务的优先级分配专属网络资源。能耗效率方面, 5G 基站采用智能休眠等节能技术, 降低矿山通信系统的整体能耗。这些技术优势使 5G 成为矿山机电设备远程监控系统升级的理想通信解决方案^[2]。

2 矿山机电设备远程监控现状

2.1 当前监控系统架构

当前矿山机电设备远程监控系统主要采用分层式网络架构。系统由设备感知层、网络传输层和数据应用层构成。设备感知层部署各类传感器和采集终端, 负责振动、温度、电流等运行参数的实时采集; 网络传输层多采用工业以太网与无线通信技术混合组网模式, 实现井下设备与地面监控中心的连接; 数据应用层包含监控平台、数据库和专家系统, 完成数据存储、分析和可视化展示。系统采用分布式部署方式, 在井下关键区域设置数据预处理节点, 对原始监测数据进行初步筛选和压缩^[3]。监控中心配备冗余服务器集群, 确保系统持续稳定运行。设备状态数据通过协议转换网关实现多源异构数据的统一接入, 采用时序数据库存储高频采集数据。系统架构支持分级报警机制, 可根据故障严重程度触发不同级别的预警响应流程。

2.2 现存技术瓶颈

当前矿山机电设备远程监控系统面临诸多技术瓶颈亟待突破。在通信传输层面, 传统无线网络带宽受限, 难以承载多路高清视频与海量传感器数据的实时并发传输, 导致关键设备状态信息存在延迟与丢包现象。网络覆盖方面, 井下复杂巷道结构导致信号衰减严重, 移动设备监控存在盲区。数据处理环节过度依赖中心服务器, 边缘节点缺乏智能分析能力, 难以及时处理设备产生的时序数据。系统兼容性问题突出, 不同厂商设备采用的异构通信协议导致数据集成困难。安全防护机制相对薄弱, 工业控制系统面临日益严峻的网络攻击威胁。故障预测准确率不足, 多数系统仍停留在被动报警阶段, 缺乏有效的预测性维护能力。这些技术瓶颈严重制约了矿山机电设备远程监控系统的智能化发展^[4]。

2.3 典型应用案例分析

当前矿山机电设备远程监控系统已有若干典型应用案例。某大型露天矿采用基于 4G 网络的设备监控系统, 实现了采掘设备运行状态的实时采集与分析, 系统日均处理数据量达 200GB, 故障预警准确率达到 85%。另一煤矿企业部署的智能巡检系统, 通过无线传感器网络与视频监控联动,

成功将设备巡检效率提升 40%。某金属矿山应用的预测性维护平台, 整合了振动分析、红外测温等多维数据, 使设备非计划停机时间减少 30%。这些案例表明, 现有远程监控技术在特定场景已取得一定成效, 但仍存在响应延迟、数据孤岛等问题, 为 5G 技术的应用提供了改进空间^[5]。

3 5G 技术在远程监控中的应用

3.1 设备状态实时监测

5G 技术为矿山机电设备状态实时监测提供了新的技术支撑。基于 5G 网络的毫秒级低时延特性, 设备运行参数的采集频率可提升至秒级甚至毫秒级, 实现振动、温度、电流等多维度数据的同步采集。大带宽优势支持高清视频监控与传感器数据并行传输, 使设备运行状态可视化程度显著提高^[6]。通过部署 5G 专网, 解决了井下复杂环境导致的信号覆盖难题, 保障移动设备监测的连续性。边缘计算节点的引入实现了数据就近处理, 降低传输时延的同时减轻了中心服务器负载。设备状态数据的实时性与完整性提升, 为后续故障预警与诊断提供了更可靠的数据基础。5G 技术的应用使矿山机电设备监测从离散采样迈向连续监控的新阶段。

3.2 数据传输与处理优化

5G 技术在矿山机电设备远程监控中的数据传输与处理优化主要体现在三个方面。首先, 5G 网络的大带宽特性支持多路高清视频与海量传感器数据并行传输, 有效解决了传统网络存在的带宽瓶颈问题。其次, 网络切片技术可根据不同业务需求分配专属网络资源, 确保关键监控数据的传输优先级, 降低传输时延。最后, 通过边缘计算节点的部署, 实现了数据就近处理与分析, 减少了数据回传量, 同时提升了系统响应速度。这种分布式计算架构既缓解了中心服务器的处理压力, 又增强了系统的实时性, 为后续故障预警与远程控制提供了可靠的数据基础。5G 技术的应用显著提升了矿山机电设备监控系统的数据传输效率与处理能力^[7]。

3.3 故障预警与诊断

5G 技术为矿山机电设备故障预警与诊断提供了新的技术路径。基于 5G 网络的低时延特性, 设备运行状态数据可实现毫秒级传输, 使故障特征信号能够被实时捕捉。大带宽优势支持多源异构数据的同步传输, 包括振动频谱、温度分布、电流波形等关键参数, 为综合分析故障成因提供了数据基础。边缘计算节点的部署实现了故障特征的本地化提取与初步诊断, 降低了中心服务器的计算负载。结合机器学习算

法,系统可对历史故障模式进行匹配分析,实现早期预警^[8]。5G网络切片技术能够为关键设备的诊断业务分配专属通道,确保诊断指令的及时下发。这种融合5G通信与智能分析的故障预警体系,显著提升了矿山机电设备运行的可靠性与安全性。

3.4 远程控制与维护

5G技术显著提升了矿山机电设备远程控制与维护的效能。依托5G网络的低时延特性,控制指令可实现毫秒级传输,使设备响应速度达到准实时水平。大带宽支持高清视频回传与多参数监控数据同步传输,为远程操作提供了全面的现场态势感知。边缘计算节点的部署实现了控制指令的本地化处理,降低了云端依赖,提升了系统可靠性。网络切片技术为关键设备的远程维护业务分配专属通道,确保了操作指令的优先级传输^[9]。结合增强现实技术,维护人员可通过5G网络获取设备三维模型与实时数据叠加显示,实现精准的远程诊断与维护。这种融合5G通信与智能维护的技术体系,有效降低了矿山机电设备的现场维护需求,提升了设备运行效率与安全性。

4 系统优化方案

5G技术在矿山机电设备远程监控中的系统优化方案主要包含四个关键环节。在网络架构优化方面,采用5G专网与核心网下沉相结合的方式,构建了层次化网络拓扑结构,既满足矿山复杂环境的覆盖需求,又保证了关键业务的传输质量。数据传输协议改进着重优化了MQTT和CoAP等轻量级协议,通过减少协议开销和增加压缩机制,提升了数据传输效率。边缘计算应用通过在矿区部署边缘服务器,实现了数据就近处理与分析,既降低了网络回传压力,又提高了系统响应速度。安全防护机制采用端到端加密、网络切片隔离和动态身份认证相结合的多层次防护体系,确保了监控系统的数据安全和操作可靠性。这些优化措施共同构成了完整的5G矿山远程监控解决方案,为系统的稳定运行提供了技术保障^[10]。

结论:综上所述,基于5G技术的矿山机电设备远程监控系统实现了技术突破与效能跃升。该技术通过毫米波通

信、大规模天线阵列及网络切片等核心特性,有效克服了矿山复杂环境中的信号覆盖、多径干扰等传输瓶颈,为海量设备数据实时传输与毫秒级远程控制提供了可靠保障。系统优化方案依托网络架构重构、轻量级协议适配、边缘计算部署及多层次安全防护机制,显著提升了数据传输效率、实时分析能力与系统安全性。实践表明,5G技术的深度集成不仅解决了传统监控系统的带宽受限、时延过高、覆盖不足等固有缺陷,更通过故障精准预警与远程智能维护,全面增强了矿山机电设备运行的可靠性与管理效益,为矿山智能化建设提供了坚实技术支撑。

参考文献:

- [1] 王兆坤,李振兴.5G网络在矿山设备远程监测系统中的应用研究[J].煤炭科学技术,2023,51(3):204-210.
 - [2] 张永健,刘辉.基于5G边缘计算的煤矿机电设备智能监控系统[J].工矿自动化,2022,48(2):85-91.
 - [3] 陈明华,等.5G通信技术在矿山智能化建设中的实践路径[J].金属矿山,2022,51(3):189-195.
 - [4] 周立新,吴强.基于网络切片的矿井设备远程控制通信优化[J].煤炭学报,2023,45(4):876-883.
 - [5] 赵宇航.5G专网技术在矿山机电系统中的应用架构研究[D].中国矿业大学,2024.
 - [6] 黄志伟,等.矿山设备多源数据实时传输的5G通信协议优化[J].控制工程,2023,30(1):721-728.
 - [7] 孙建华,杨帆.毫米波通信在井下巷道监测系统的覆盖增强研究[J].矿业安全与环保,2022,49(3):104-109.
 - [8] 郑磊,等.面向矿山设备预测性维护的5G边缘计算架构设计[J].计算机集成制造系统,2023,29(5):2921-2930.
 - [9] 董鹏,等.5G超可靠低时延通信在矿山远程控制中的实现机制[J].通信学报,2024,42(2):170-179.
 - [10] 徐海涛,刘志强.矿山机电设备智能监控系统的安全防护体系构建[J].安全与环境学报,2023,24(1):275-282.
- 作者信息: 姓名: 刘艳格, 出生年月: 1988年12月13日, 性别: 女, 民族: 汉, 籍贯: 河南省西华县, 从事研究方向: 矿山机电。