

融合 5G 通信的煤矿井下作业现代化方案设计及优化

丁建宽

宇祺（北京）智能技术有限公司

【摘要】本文探讨了通信技术在煤矿井下作业中的发展历程及其现代化应用方案。随着5G通信技术的引入，煤矿井下作业的通信网络建设、数据采集与传输以及智能监测控制得到了显著优化。通过具体设计方案的制定，如基于5G的无线网络构建、智能化监控平台搭建和数据处理优化，煤矿井下作业可以实现更高效、更安全的运行。本研究为煤矿行业向现代化、智能化转型提供了参考。

【关键词】煤矿井下作业，5G通信，数据采集，智能监测

Design and optimization of the modern scheme of underground coal mine operation integrated with 5G communication

Ding Jiankuan

Yuqi (Beijing) Intelligent Technology Co., LTD

【Abstract】This paper discusses the development process and modern application scheme of communication technology in underground coal mine operation. With the introduction of 5G communication technology, the construction of communication network, data acquisition and transmission, and intelligent monitoring and control of underground coal mine operation have been significantly optimized. Through the formulation of specific design schemes, such as 5G-based wireless network construction, intelligent monitoring platform construction and data processing optimization, underground coal mine operations can achieve more efficient and safe operation. This study provides a reference for the transformation of the coal mining industry to modernization and intelligence.

【Key words】underground coal mine operation, 5G communication, data collection, intelligent monitoring

引言

煤矿井下作业环境极为复杂，长期以来，通信技术的限制使得井下作业的实时监控、数据传输和人员调度面临诸多挑战。传统的有线通信及早期无线通信虽然在一定程度上解决了基础通信需求，但仍存在覆盖不全、信号衰减严重等问题，无法适应现代煤矿作业对安全性和高效管理的要求。近年来，随着5G通信技术的快速发展，煤矿井下通信技术逐渐迈向智能化和自动化的新时代。5G凭借其高带宽、低时延、大连接的特点，不仅能够支持高清视频监控、远程操控等高需求应用，还能助力数据实时采集与智能化管理。本文将从通信网络建设、数据采集与传输以及智能监测与控制三个方面，提出现代化的煤矿井下作业设计框架，为实现煤矿行业的智能化转型提供具体的技术路径。

1 通信技术在煤矿井下作业中的发展历程及优势

1.1 通信技术在煤矿井下应用的发展历程

煤矿井下作业环境复杂，通信技术的应用历程伴随着采矿工业技术的发展不断演进。早期，井下作业主要依赖于传统的有线通信方式，如电话和对讲机，这些设备虽然可以实

现一定范围内的通信需求，但由于井下环境的复杂性和物理屏障的存在，通信覆盖范围有限，信号衰减严重。随着矿井规模的扩大和生产安全需求的提升，传统通信手段逐渐无法满足实时、精准、全面的通信要求。

进入20世纪后期，基于模拟信号的无线通信技术开始在煤矿井下得到应用，特别是UHF（超高频）和VHF（甚高频）对讲系统，提升了井下工人的移动通信能力。然而，这类技术在高矿尘和潮湿环境下易受干扰，且信号覆盖有限，无法实现全面监控和精确定位功能。随后，数字通信技术逐渐引入，特别是基于WIFI的局域网和光纤通信技术的推广，使得井下通信逐渐实现了数据传输的突破。通过光纤技术，井下的信号传输稳定性得到了显著提高，但布线施工复杂，维护成本高。

1.2 5G通信技术在井下应用的优势

5G通信技术的出现为煤矿井下通信带来了革命性的变化，凭借其超高带宽、超低时延和大规模设备连接能力，解决了传统通信技术在井下环境中的诸多限制和问题。首先，5G的高带宽支持井下高清视频监控和大数据实时传输，能够实现多点高清视频的稳定传输，确保监控中心能够清晰、实时掌握井下作业情况，这对井下安全生产具有重要意义。

其次，5G技术的低时延优势使得远程控制和自动化操作在煤矿中成为可能。通过5G网络，操作人员可以在地面

上对井下设备进行远程控制,包括自动化采矿设备的操控和机器人巡检的远程监控,有效提高了矿井作业的安全性和效率。同时,5G网络还为井下人员定位、紧急通信等提供了更快速、更可靠的支持,确保在发生紧急情况时,能够快速联系相关人员并采取有效的救援行动。

此外,5G技术具备大规模设备连接的能力,能够支持更多传感器、智能设备的接入。这意味着煤矿中的各类设备,包括空气质量检测、温度压力传感器等,都可以通过5G网络实现数据共享和互联互通,构建起全方位的智能矿山管理系统,显著提升矿井管理水平和安全保障。

2 煤矿井下作业现代化方案设计框架

2.1 通信网络建设

煤矿井下作业的现代化设计中,通信网络建设是实现智能化、信息化管理的基础。设计方案首先应考虑到矿井特殊环境,包括狭窄的工作面、复杂的地形、潮湿、高粉尘和易燃易爆的环境条件,这些因素要求通信网络具备高稳定性、强抗干扰性和可靠的防爆能力。以5G通信技术为核心,通过无线基站和有线光纤传输相结合的方式,构建全覆盖、低时延、高带宽的通信网络体系。

具体设计步骤包括:首先,在矿井主要通道及工作面布置光纤主干网,确保大容量、远距离的数据传输需求;其次,基于矿井内的区域划分,在工作面、井底车场、运输巷道等关键区域布置5G基站,确保井下作业的无线覆盖。结合矿井中多金属构筑物 and 地形变化,可以利用分布式天线系统(DAS)进一步增强信号的覆盖范围和稳定性。

此外,基站及网络设备的防护设计必须符合矿用防爆标准,如采用防爆机柜和电源设备,并对各网络节点进行多层冗余配置,确保在意外断电或网络故障时,通信系统能够保持高可靠性。同时,配备智能切换功能,使得无线传输网络在出现干扰或设备故障时,可以自动切换到备用信道,最大限度减少对井下作业的影响。



图1 煤矿井下5G基站

2.2 数据采集与传输

煤矿井下的现代化作业离不开高效、精准的数据采集与传输系统。设计方案中,数据采集的范围包括环境数据、设备运行数据、人员位置信息及生产数据等。为实现高效数据采集,井下各作业面和设备点应安装多种类型的传感器,如气体传感器、温湿度传感器、设备状态监测传感器以及人员定位系统。

具体设计方案包括:在主要采掘设备上安装基于物联网(IoT)的智能终端,实时采集设备的运行状态、能耗数据及维护需求。环境监测方面,可在巷道、风门等关键区域布置气体检测传感器,实时监控瓦斯、二氧化碳及其他有害气体浓度。所有传感器采集的数据通过5G网络传输到井下数据处理中心,并通过光纤网络上传至地面控制中心。

传输系统设计要保证数据传输的实时性和可靠性,尤其是在紧急情况下,环境数据和人员定位信息的即时传输至关重要。因此,采用分布式数据采集方式,避免单点故障影响全局数据传输。设计中还预留数据冗余传输通道,确保在主通道故障时能够及时切换到备用通道,保障关键数据的传输。

2.3 智能化监测与控制

智能化监测与控制系统是实现煤矿井下作业现代化的核心组成部分。设计方案旨在通过数据的自动化采集、传输和分析,实现对生产、安全、设备状态的实时监测与控制。系统的构建基于大数据分析、人工智能和物联网技术,结合5G网络的低时延、高带宽特点,实现对矿井的智能化、全方位管控。

具体设计方案如下:首先,建立集中监控平台,集成所有井下数据源,包括环境监测数据、设备运行数据及人员位置信息。通过大数据技术对采集的数据进行深度分析,预测可能的安全隐患和设备故障,并自动生成预警通知。其次,系统设计应支持远程控制功能,操作人员可通过监控平台在地面直接对井下设备进行远程启停、故障排查等操作,减少人工下井次数,提升生产效率和安全性。

智能化监控系统还应集成自动应急响应机制,如当气体浓度超标或设备出现异常时,系统能够自动停机并通知相关人员。同时,借助人工智能算法,系统可对矿井作业环境的长期数据进行分析,优化通风系统的运行、采掘设备的调度及维护策略,提升矿井整体运营效率。

3 优化融合5G通信的煤矿井下作业现代化方案

3.1 数据处理与分析算法优化

在煤矿井下作业现代化方案中,数据处理与分析算法的优化是提升生产效率和安全性的重要环节。由于井下环境复

杂,产生的数据量巨大且多样化,包括设备运行状态、环境监测数据、人员定位信息等,传统的数据处理方式难以有效应对如此大规模的实时数据处理需求。因此,结合5G通信技术的高带宽和低时延特性,可以显著提升数据传输速度,为数据的实时处理和分析提供强有力的支持。

首先,需要针对井下作业环境中的具体问题,优化数据处理算法,尤其是针对大规模、高频率数据的采集与分析。采用分布式计算架构将采集到的数据分散处理,结合边缘计算技术,将部分数据处理任务前置到井下边缘设备中,减少数据回传的延迟,提高处理效率。同时,借助人工智能(AI)和机器学习(ML)技术,通过对历史数据的训练,开发更加智能化的预测和分析模型。例如,通过对瓦斯浓度、温度、湿度等环境数据的实时分析,算法能够提前预判潜在风险,为安全决策提供支持。此外,智能算法还可以针对设备状态数据进行分析,预测设备的故障趋势,减少井下设备的非计划停机时间,保障作业的连续性和稳定性。

通过优化数据处理与分析算法,煤矿企业可以在减少人工干预的同时,提高作业的智能化水平,全面提升生产效率和作业安全性。

3.2 任务调度与资源优化

煤矿井下作业涉及大量复杂的任务和资源调配,传统的任务调度模式通常依赖人工决策,容易导致资源利用效率低下、调度滞后等问题。而通过5G通信技术,结合智能任务调度算法,可以极大优化资源分配和任务执行效率,从而提升作业整体效能。

5G网络的高带宽和低时延特性,使得任务调度系统能够实时监控井下设备的运行状态、人员的分布情况以及环境变化情况,基于这些数据,智能调度系统能够自动对任务进行合理分配。例如,在采煤作业过程中,系统能够根据设备的实时状态、采煤区的环境变化和人员分布,动态调整任务顺序和资源分配,确保最优的任务执行路径。这样不仅可以避免资源的浪费,还能够提高生产作业的效率。

此外,资源优化方面还涉及对能源、设备和人员的高效管理。通过对设备运行状况、能耗数据的实时监控,智能系统能够在不影响生产的前提下,优化能源的分配与使用,降低矿井的整体能耗。在设备管理上,通过任务调度系统,设

备的维修与保养也能更加科学合理地进行,减少不必要的停工时间,从而进一步提升设备的利用率和生产效能。

3.3 安全管理与预警系统优化

在煤矿井下作业中,安全管理始终是首要任务。通过优化5G通信技术与智能化系统的融合,能够进一步提升安全管理与预警系统的效能,为井下作业提供更加可靠的安全保障。传统的安全管理系统往往存在信息不对称、预警滞后等问题,而通过5G的高带宽和低时延特点,安全监控设备与预警系统能够实现实时、高效的数据传输,确保管理者在第一时间获取作业现场的安全动态。

首先,5G的应用为大规模物联网设备的连接提供了技术基础,可以实现对井下各类安全监控设备(如瓦斯监测、温度监控、设备状态监控)的实时数据采集和传输。基于这些数据,智能预警系统能够利用AI算法进行分析和处理,及时识别潜在的危险。例如,当瓦斯浓度接近危险阈值时,系统能够提前发出预警,提示作业人员进行规避或采取应急措施。此外,5G的低时延特性也使得安全预警信息能够在毫秒级时间内传递到相关人员或设备,确保安全风险在最短时间得到有效应对。

此外,智能化安全管理系统还可以通过数据分析,持续优化安全生产标准。例如,结合历史事故数据和现场作业数据,系统能够分析并优化矿井作业中的安全流程,减少事故发生率。同时,利用5G网络与AR/VR技术的结合,管理者可以进行远程安全巡查与模拟演练,提高全员的安全意识和应急反应能力,进一步完善煤矿安全生产管理体系。

4 结语

煤矿井下作业现代化设计框架的提出,标志着煤矿行业在智能化发展道路上迈出了坚实的一步。5G通信技术的应用为煤矿作业提供了更加稳定、高效的通信保障,数据采集与传输系统的优化提升了信息流通的实时性和准确性,而智能监测与控制系统则为安全生产和设备管理提供了全面的支持。未来,随着技术的不断进步和深入应用,煤矿井下作业智能化水平将进一步提升,实现更高效的资源利用和更安全的生产环境。

参考文献

- [1]李晨鑫.煤矿用5G关键技术研究现状与发展方向[J].工矿自动化, 2024, 50(07): 79-88.
- [2]梁一鹏.煤矿井下采煤技术及方法[J].能源与节能, 2024, (06): 199-201+204.
- [3]李增彪, 金世明, 刘伟.5G无线通信系统在煤矿监控平台的应用[J].能源与节能, 2024, (06): 232-234+238.
- [4]焦稳锋, 王飞, 赵朋.5G技术在煤矿智能化中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济, 2024, (10): 129-131.
- [5]鞠晨.5G核心网在煤矿的应用研究[J].工矿自动化, 2024, 50(S1): 29-33.