

# 基于 5G+物联网的金矿井下机电设备远程监控系统研发

董阳林 刘震 赵家峰

招远市河西金矿有限公司 山东招远 265402

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18513

**[摘要]** 针对金矿井下复杂环境引发的机电设备监控受阻、通信断续、多类型设备数据适配不良及远程本地控制矛盾等问题, 本文研发基于 5G+物联网的井下机电设备远程监控系统。该系统搭建“地面核心网-井下 5G 基站-物联网网关-终端设备”分层通信架构, 依托专用采集模块完成多类型设备数据采集, 设置权限验证与指令互锁机制消解控制冲突, 从软硬件层面强化系统抗干扰能力与运行稳定性。硬件包含上位机、井下采集终端、5G 通信模块等核心设备, 软件整合数据采集管理、图形可视化等七大模块。实践证实, 系统可达成设备运行状态实时监控、故障预警与远程管控, 提升井下作业安全性与设备运维效率, 为金矿井下智能化管理提供技术支撑。

**[关键词]** 5G; 物联网; 金矿井下; 机电设备; 远程监控

## 引言

金矿井下环境存在地质结构复杂、高湿度、高粉尘、强电磁干扰等特点, 传统机电设备监控方式显现通信信号弱、数据传输滞后、设备适配性差、控制协同性不足等弊端, 易造成设备故障处置延误, 诱发安全隐患与生产损失。5G 与物联网技术快速发展, 为井下机电设备远程智能化监控创造条件。本文立足金矿井下生产实际需求, 研发基于 5G+物联网的远程监控系统, 解决传统监控模式核心痛点, 实现设备运行数据实时采集、传输与管控, 提升井下作业安全保障能力与设备运维智能化水平, 推动金矿开采行业智能化转型。

## 一、关键问题及技术途径

### (一) 5G 网络与物联网融合的井下通信架构搭建问题

金矿井下复杂地质结构造成信号传播阻碍与传输稳定性挑战, 本系统以高速以太网为基础骨干网络, 融合 5G 专网低时延、广连接、高带宽技术优势, 搭建“地面核心网-井下 5G 基站-物联网网关-终端设备”分层级井下通信架构。地面监控中心部署一主多从的多服务器互为备用配置模式, 形成完善冗余备份机制, 依托实时数据同步技术, 保证任一服务器出现故障时, 备用服务器可立即无缝接管工作, 规避单点故障引发的通信中断<sup>[1]</sup>。井下环节结合巷道走向、分支分布

及机电设备布局密度, 规划 5G 基站安装位置与覆盖范围, 运用分布式天线阵列技术增强信号穿透能力与覆盖全面性 (见图 1), 消除信号盲区。高性能物联网网关实现 Modbus、Profinet 等不同通信协议的兼容转换, 打通各类机电设备与通信网络的连接通道, 解决传统井下通信方式中信号弱、传输速率低、抗干扰能力差、数据传输不畅等核心问题, 为远程监控数据实时传输提供可靠保障。

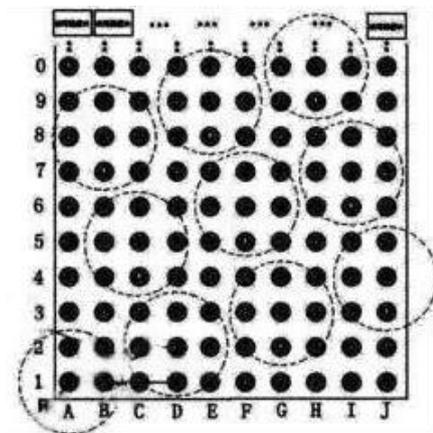


图 1 分布式天线阵列技术

### (二) 多类型机电设备数据实时采集与传输适配问题

参考工业领域成熟的 PRO-BUS 等设备通信适配逻辑, 针对金矿井下多类型机电设备接口规格差异与信号类型多样性等问题, 为各类设备配置专用数据采集模块, 包括通用数字

量输入/输出模块、高精度模拟量采集模块及专用脉冲信号采集模块等,实现设备运行状态参数、关键部件状态及故障预警信号等各类关键信息的全面捕获。基于5G通信技术搭建高速数据传输通道,设置数据优先级调度机制,将影响设备安全运行的核心运行数据设定为最高传输优先级,非关键数据采用错峰传输模式,保障核心数据实时传输。嵌入式协议适配技术对不同设备输出的数据进行标准化解析与格式转换,解决多类型设备数据采集不同步、传输协议不兼容、数据格式不统一等问题,保障整个监控系统数据传输的顺畅性、一致性与准确性。

## 二、系统硬件设计及部署

### (一) 上位机硬件系统配置

上位机硬件系统作为整个远程监控系统的核心指挥与数据处理中心,以高性能工业级工控机为核心设备,选用专门针对工业恶劣环境设计的机型,具备防尘、防震、抗电磁干扰特性,能够在地面监控中心连续运行环境中保持稳定性能,为系统各类软件顺畅运行提供坚实硬件支撑<sup>[2]</sup>。为满足海量监控数据存储与管理需求,配套部署高性能数据库服务器与大容量数据存储设备,采用一主一从的服务器备份架构,通过实时数据镜像同步技术,确保主服务器出现故障时,从服务器可立即接替工作,保障数据存储的安全性与完整性,防止数据丢失。根据系统数据交互与控制指令传输需求,配置核心可编程逻辑控制器(PLC)作为控制单元,搭配各类专用接口模块,构建多元化的数据传输链路,实现与井下各采集终端、通信模块之间的高效数据交互与控制指令传输,最终构建起功能完备、运行可靠、响应迅速的上位机硬件平台,适配地面监控中心的数据分析、状态监测、远程控制等核心需求。

### (二) 井下数据采集终端选型与布局

井下数据采集终端选型严格遵循煤矿安全规程及井下防爆标准,选用经权威机构认证的本质安全型设备,具备防爆、防潮、防尘特性,能够在井下高湿度、高粉尘、存在易燃易爆气体的特殊工作环境中安全稳定运行,从源头上保障采集

系统安全性。终端核心采集单元选用高性能工业级PLC,搭配各类专用传感器,通过校准与适配,实现对井下不同机电设备关键运行参数与状态信号的采集,确保采集数据能够真实反映设备运行状况。布局规划遵循“就近采集、集中传输”核心原则,结合井下巷道分布、设备安装位置及运行范围,在各核心机电设备关键监测点部署采集终端,通过专用防爆有线线路连接周边传感器,缩短信号传输距离,减少信号在传输过程中的衰减与干扰,保障采集数据的准确性与实时性,为后续数据传输与远程监控奠定坚实基础。

### (三) 5G通信模块与物联网网关部署

井下5G通信模块选用工业级低功耗型号,具备宽温工作范围与强环境适应性,能够耐受井下剧烈温度变化、振动及电磁干扰,支持多频段自适应切换功能,可根据井下不同区域的信号覆盖情况与干扰强度,自动选择最优通信频段,保障通信链路稳定性。部署位置规划结合井下巷道走向、信号遮挡情况及设备分布密度,重点在井下信号覆盖薄弱区域与机电设备集中区域部署5G通信模块,通过合理设置模块安装高度与角度,搭配分布式天线增强信号覆盖能力,与地面5G核心网形成无缝衔接的通信链路,消除井下通信盲区。物联网网关作为数据传输的关键枢纽,部署在井下各区域采集终端的汇聚点,具备多协议转换能力,能够实现井下各采集终端输出的不同协议数据与5G通信协议的相互转换,完成采集数据的标准化格式统一与集中上传。网关具备指令转发功能,能够将地面监控中心下发的远程控制指令准确转发至对应机电设备的控制单元,保障数据传输与指令执行的高效性,构建起“采集终端-网关-5G网络-地面中心”的完整数据传输链路。

## 三、系统软件设计及功能实现

### (一) 软件运行环境搭建

软件运行环境搭建以工业级工控机为硬件载体,考虑系统运行的稳定性、兼容性与可靠性,选用经过长期工业实践验证、稳定性强、兼容性好的Windows Server系列操作系统,具备完善的权限管理、进程调度及故障恢复功能,能够为系

统各类应用软件顺畅运行提供安全、稳定的系统平台<sup>[3]</sup>。组态软件选用工业自动化领域主流的高可靠性组态软件,支持图形化编程方式,具备直观的开发界面与丰富的功能组件,兼容多种工业通信协议,能够快速实现与井下采集终端、通信模块及上位机硬件设备的通信对接,为系统功能模块开发与集成提供灵活高效的开发平台,降低开发难度、提升开发效率。为满足海量监控数据存储、管理与查询需求,配套部署专用工业数据库软件,支持海量数据的高速写入与快速查询,能够对设备运行数据、故障记录、操作日志、控制指令等各类信息进行分类、结构化存储,具备完善的数据备份与恢复功能,可根据需求设定自动备份策略,防止数据丢失。配置数据查询与统计分析工具,支持按设备类型、时间范围、数据类型等多维度对存储数据进行快速查询与统计分析,为系统各项功能实现奠定坚实软件基础。

## (二) 核心功能模块设计

系统核心功能模块采用模块化设计理念,涵盖数据采集与管理、系统管理、系统图形、管理控制、报表打印、系统查询、系统组态七大核心模块,各模块通过标准化接口实现数据交互与协同工作,确保系统整体功能的完整性与扩展性。数据采集与管理模块作为系统的数据核心,自动后台运行于服务器,通过预设的采集周期与通信链路,实时从井下各采集终端获取机电设备运行数据,对数据进行清洗、过滤、标准化处理后存储至数据库,负责数据的备份与恢复管理,保障数据的完整性与安全性。系统管理模块承担系统安全管控核心职责,实现操作人员账号密码管理、权限分级分配、系统时间校准、运行参数配置等基础功能,通过严格的权限管控,确保不同岗位人员仅能操作对应权限范围内的功能,保障系统操作安全与运行规范<sup>[4]</sup>。管理控制模块涵盖交接班管理、通信状态实时监测、设备运行参数阈值设置等功能,交接班管理实现操作权限的无缝交接与工作记录传承,通信状态监测可实时预警通信链路故障(见图2),参数设置功能支持根据设备运行需求灵活调整监控阈值,确保系统有序运行。报表打印与系统查询模块为数据追溯与故障分析提供支持,

可按需求生成设备运行日报、故障统计报表等各类报表并打印输出,查询模块支持多条件组合查询,快速定位目标数据。系统组态模块具备灵活性与适配性,满足用户根据井下设备增减、监控需求变化,对硬件参数、信号类型、监控界面等进行自定义配置的需求,实现系统的灵活适配与升级。

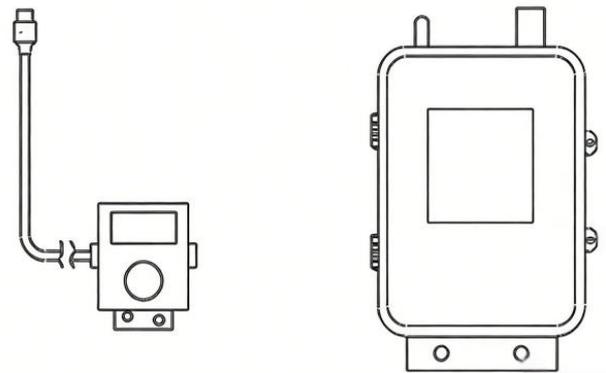


图2 通信状态监测

## 结语

本文研发的基于5G+物联网的金矿井下机电设备远程监控系统,解决井下通信架构搭建、多设备数据适配、控制冲突协调及复杂环境抗干扰等关键问题。软硬件协同设计,构建功能完备、运行可靠的远程监控体系,实现设备运行状态实时监测、故障预警与远程管控等核心功能。系统应用提升金矿井下机电设备运维效率,降低安全风险,为井下智能化作业提供支撑。未来可优化系统自诊断与自适应能力,结合大数据分析技术实现设备故障预测性维护,推动系统向更高级别的智能化、无人化监控方向升级。

## [参考文献]

- [1] 杜俊红. 物联网技术下煤矿机电设备运行状态安全监测方法研究[J]. 煤矿机械, 2025, 46(12): 255-258.
- [2] 梁从昊. 地铁机电设备智能运维技术与应用[J]. 人民公交, 2025, (22): 140-142.
- [3] 何佳珉. 基于物联网的高速公路机电设备状态监测与故障预警研究[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(22): 7-9.
- [4] 冷昉. 煤矿机电设备智能化管理的探索与实践[J]. 能源与节能, 2025, (11): 317-320.