

电气自动化技术在有色金属矿山开采中的应用

朝鲁门

(新巴尔虎右旗荣达矿业有限责任公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021300)

摘 要 电气自动化技术在有色金属矿山开采中的应用日益广泛, 极大地提高了矿山生产效率与安全水平。本文从矿山开采全流程电气自动化系统集成优化、工业物联网技术在矿山电气设备远程运维中的应用、矿山供配电系统智能化改造以及矿山人员定位与安全管控信息系统构建等方面系统阐述了电气自动化技术在现代化矿山建设中的关键作用, 重点分析了采矿、选矿、尾矿库等环节的自动化系统架构、设备智能化改造、故障诊断、能源优化管理以及安全监控等关键技术, 以期为推动矿山开采过程的数字化、网络化、智能化提供理论参考与实践指导。

关键词 电气自动化技术; 有色金属矿山; 系统集成; 工业物联网; 智能化改造

中图分类号: TD85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.023

0 引言

有色金属矿产资源是国民经济和社会发展的重要物质基础。随着矿山开采强度的不断加大, 矿石品位下降, 开采条件日益复杂, 传统的矿山开采模式已难以适应高效、绿色、安全生产的要求。电气自动化技术的发展为矿山开采领域的技术进步提供了新的契机。将现代电气自动化技术与信息技术深度融合, 应用于矿山开采的全流程管控, 可显著提升矿山生产的智能化水平, 实现资源利用效率最大化、能耗最优化、安全事故最小化, 对于推动矿业高质量发展具有重要意义。

1 电气自动化技术在矿山开采全流程中的系统集成与优化

1.1 矿山开采生产系统的电气自动化总体架构设计

在矿山开采生产系统电气自动化总体架构设计中, 需要综合考虑矿山开采的特点、生产工艺流程、设备布局、管理需求等多方面因素, 采用先进的系统工程理念和方法, 构建一个高度集成、灵活可扩展、安全可靠的自动化系统架构^[1]。该架构应包括现场设备层、过程控制层、管理决策层等不同层次, 实现数据采集、过程控制、优化决策、安全监测等各项功能。同时要重视系统分层设计和各子系统间的无缝集成, 采用标准化的通信协议和接口规范, 确保整个生产系统的高效协同运转和信息共享, 最终实现矿山开采过程的智能化管控和优化决策, 提升矿山的整体运行效率和经济效益。

1.2 采矿设备的智能化改造与集成

针对采矿设备的智能化改造与集成, 需要充分考虑

设备的工作特性、矿山环境条件、生产工艺要求等因素, 因地制宜地制定智能化升级方案。一方面要对传统采矿设备进行电气传动与控制系统的升级改造, 引入高效节能的电机、变频调速装置、PLC 等控制单元, 实现设备运行状态的实时监测和精确控制。另一方面要推进采矿设备的网络化和信息化, 通过传感器、工业以太网、无线通信等技术, 采集和传输设备运行参数, 并结合智能算法和大数据分析, 对设备性能进行优化控制和预测性维护。同时, 还要重视不同采矿设备间的互联互通和协同工作, 构建一个高度集成的采矿自动化系统, 最大限度地发挥设备效能, 提高采矿作业的效率和质量。

1.3 选矿厂电气自动化系统的优化

选矿厂电气自动化系统的优化要全面分析选矿工艺流程的特点和控制需求, 合理规划自动化系统的架构和功能, 实现从原矿破碎、磨矿、浮选、脱水等各工序的精准控制和实时监视。要重点加强对关键工艺参数如矿浆浓度、药剂添加量、pH 值等的自动检测和闭环控制, 确保选矿指标的稳定达标。同时, 要建立完善的设备状态监测和故障诊断体系, 采用振动、温度、电流等多参数综合分析, 及时发现设备的异常状况, 开展预防性维护, 减少非计划停机时间。此外, 应用现代信息技术手段如三维可视化、虚拟仿真等, 构建选矿厂全流程数字孪生模型, 为生产优化决策提供依据, 不断提升选矿自动化水平和管理效益。

1.4 尾矿库电气自动化系统的安全监控

尾矿库作为矿山开采的关键配套设施, 其安全稳定运行至关重要。建立完善的尾矿库电气自动化安全监

控系统,是防范尾矿事故、保护生态环境的重要举措。要从尾矿坝的变形、渗流、干滩面积等多个维度,布设各类传感器和监测设备,实现对坝体的全方位实时监测。采用光纤、振弦等先进的数据采集技术,保证监测数据的准确性和可靠性。在监测数据分析方面,要充分运用大数据挖掘、智能算法等手段,及时发现尾矿坝的异常状况并预警,为尾矿库的安全评估和风险管控提供科学依据^[2]。同时,要构建完备的尾矿库视频监控和人员定位系统,加强现场巡查和应急管理,最大限度地降低尾矿事故风险,确保矿区和周边环境的安全。

2 基于工业物联网的矿山电气设备远程运维技术

工业物联网技术正开启矿山电气设备智能化运维新时代。通过构建物联网平台,实现设备状态监测、故障诊断和预测性维护,推动设备管理向全生命周期、精细化、自适应方向发展。

2.1 矿山电气设备物联网平台的搭建

基于工业物联网技术构建矿山电气设备远程运维平台,是实现设备全生命周期智能管理的关键举措。其一,要科学规划传感器布设方案,综合考虑矿山环境特点、设备运行工况等因素,选用适配性强、可靠性高的传感器,对设备的温度、振动、电气参数等关键状态量进行全面采集。其二,要合理设计数据传输网络架构,充分利用无线通信技术如WIFI、ZigBee、LoRa等,构建一个覆盖全矿区、稳定可靠的物联网,实现海量设备数据的高效汇聚和远程传输。同时,要搭建一个高可用、易扩展的物联网平台,提供设备接入、数据存储、边缘计算、可视化展示等服务,为后续的设备监测诊断和智能运维奠定坚实基础。

2.2 电气设备状态监测与故障诊断

针对变压器、电动机、开关柜等典型矿用电气设备,要研究其故障机理和退化规律,构建多源异构的状态监测数据融合模型,实现设备健康状态的精准评估。在监测方法上,要综合运用振动分析、红外热成像、局部放电检测等先进技术手段,捕捉设备潜在的早期故障征兆。在数据分析方面,要充分发挥机器学习算法的优势,训练和优化故障诊断模型,对设备的老化程度、剩余寿命等进行智能预测^[3]。同时,要借鉴专家经验知识,建立设备故障案例库和知识图谱,形成一套集状态监测、故障诊断、原因分析、决策指导于一体的智能化运维体系,最大限度地减少电气设备非计划停运时间,提高矿山生产效率。

2.3 电气设备预测性维护决策优化

电气设备预测性维护决策优化旨在通过数据驱动的方法,精准预估设备健康状态和失效风险,动态优化维修策略和资源配置。这需要深入分析海量设备监测数据,刻画设备退化关键影响因素和演化规律,构建多尺度、跨领域的设备退化预测模型。在兼顾设备可靠性和经济性基础上,开展维修策略多目标优化求解,平衡检修成本、备件管理、故障风险等多维度,形成最优状态维修触发阈值和检修周期。挖掘设备历史大数据价值,分析总结设备故障共性规律和群体特征,持续优化维修标准和作业规程,再借助移动互联、可视化等新技术,为一线维修人员提供精准检修指导和辅助决策,提升预测性维护时效性和科学性,最终实现矿山电气设备全生命周期精细化管理。

3 矿山供电系统的智能化改造

智能电网技术成为保障矿山用能安全、推动绿色发展的利器。电力需求预测、新能源并网、微网控制和自愈式供配电等技术应用,能重塑矿山能源模式,助力“双碳”目标和高质量发展。

3.1 矿山电力负荷需求预测

智能化矿山供电系统建设的重要一环是精准预测未来电力负荷需求。传统的负荷预测方法已难以适应复杂多变的矿山生产环境,亟须创新。可充分挖掘历史负荷数据,通过时序分解、相关性分析等数据挖掘技术,深入分析矿山负荷的时间规律、影响因素等,构建多维度负荷特征库。在此基础上,可结合机器学习算法如支持向量机、长短期记忆神经网络等,充分考虑气象、生产计划等外部因素,建立多时间尺度、自学习自适应的负荷预测模型。通过该模型实现矿山电力需求的动态滚动预测,及时响应电网调度需求^[4]。同时,还可应用蒙特卡洛仿真等方法,开展负荷预测不确定性分析,提高预测可信度,为智能化电网优化运行提供精准的负荷数据支撑。

3.2 新能源接入与微电网优化控制

面对“双碳”目标和能源革命挑战,推进矿山新能源开发利用和微电网建设势在必行。应因地制宜规划分布式光伏发电系统,合理配置矿区屋顶光伏、山地光伏电站,提高能源自给率。在并网方面,要重点解决新能源出力波动性和间歇性问题,优化逆变器控制策略,采用低压穿越、无功补偿等技术,实现分布式电源的平滑并网。针对矿山负荷分散、供电可靠性要求高等特点,微电网是理想的供电模式。在微电网中,

可合理配置磷酸铁锂、飞轮等储能装置,构建源—网—荷—储协调的能量管理系统。采用多目标优化算法,在保障电能质量的同时最大化新能源利用率,提高微网经济性^[5]。

3.3 供配电系统的自愈控制

供配电可靠性直接关系矿山生产安全,因此亟须创新自愈控制技术提升供电可靠性。首要任务是构建实时感知、快速分析、灵活调控的智能配电网。可大规模部署配电自动化终端,实现配网运行状态的全面在线监测。在拓扑分析方面,采用大数据技术准确识别网络拓扑结构,并实时评估供电可靠性,及时发现薄弱环节。当配网发生故障时,自愈控制系统可根据故障定位快速隔离故障区域,通过备用开关自动切换恢复非故障区供电,最大限度减小停电范围。同时针对重要负荷,可合理配置不间断电源、应急发电机等设备,构建分级可靠供电体系。此外,在配网规划阶段引入人工智能技术优化网架,提高系统可重构能力。

4 矿山人员定位与安全管控信息系统

4.1 矿山人员精确定位技术

矿山井下环境复杂多变,传统单一定位技术难以满足实时精准定位需求。创新研究 RFID 无线射频识别与 UWB 超宽带组合定位方案,构建多层次、全覆盖定位系统十分必要。RFID 负责人员身份识别与粗略定位,UWB 实现亚米级精确定位,双技术优势互补。定位算法上,融合粒子滤波、卡尔曼滤波等算法,综合处理多源异构传感器数据,考虑巷道等复杂地形对信号影响,提升定位精度与可靠性。采用模块化系统集成,实现与矿山其他系统的无缝对接。最终形成“定位—GIS—BIM”一体化解决方案,为安全生产提供坚实的时空数据支撑^[6]。

4.2 采矿作业人员行为安全分析

在复杂的矿山作业环境中,人员的不安全行为往往是引发事故的主要诱因。运用信息化手段智能分析预警人员行为,对提升矿山本质安全至关重要。首要任务是全面采集行为数据,通过视频、可穿戴设备等获取人员位置、动作、生理特征等多维信息。对海量异构数据进行清洗、特征提取,形成标准化行为数据集。在此基础上,利用卷积神经网络、LSTM 等深度学习算法,构建行为识别与风险评估模型。通过深度特征学习,智能识别野蛮操作、违规作业等违章行为,量化评估行为风险级别^[7]。挖掘群体行为异常模式,及时发现违章苗头。最终形成行为大数据智能分析决策系统,精准刻画人员行为风险,提高事故防范有效性。

4.3 智能安全帽与远程管控系统开发

智能安全帽作为矿工配备的重要个人防护装备,其智能化改造与功能拓展已成为矿山安全管理的新趋势。要在传统安全帽基础上集成多传感器模块,如防碰撞、气体检测、生命体征监测等,实时采集人员作业环境与健康状态信息。内置高精度定位和音视频模块,实现与调度中心的双向交互。系统采用模块化设计,兼顾不同安全帽个性化需求。开发一体化智慧安全管控平台是核心。平台采用微服务和大数据分布式计算框架,支撑海量异构数据高效存储和实时分析。通过数据可视化、虚拟仿真等技术,实现人员全生命周期管理、危险区域告警、应急救援指挥等多种应用。利用数据挖掘分析,洞察人员行为规律,优化作业流程。最终打造“端—边—云”一体化、闭环式的智慧安全管控体系。

5 结束语

电气自动化技术在有色金属矿山开采中的应用已成为行业发展的必然趋势。矿山开采流程的系统集成优化、设备智能化升级改造、供配电系统的智慧化管理、安全生产的信息化监控等,都对矿山电气自动化系统提出了更高要求。未来,以 5G、人工智能、大数据等为代表的新一代信息技术将与电气自动化技术加速融合,在矿山生产过程优化控制、资产健康管理、能源需求侧响应、多场景安全协同等方面发挥更大作用,为实现矿业高质量可持续发展提供强大技术支撑。

参考文献:

- [1] 程智鹏.智能化技术在矿山电气工程自动化控制中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2023(08):112-114.
- [2] 尹晓峰.矿山电气自动化控制技术中单片机的应用探讨[J].世界有色金属,2021(20):169-170.
- [3] 朱立刚.电气自动化在金属矿山中的应用[J].世界有色金属,2021(09):189-190.
- [4] 谭铮.电气自动化控制技术在矿山生产中的应用[J].世界有色金属,2020(19):23-24.
- [5] 王敏.电气自动化在金属矿山中的应用[J].世界有色金属,2020(11):15-16.
- [6] 刘强.浅论电气工程及其自动化控制中 PLC 技术的应用[J].中国设备工程,2019(13):143-144.
- [7] 刘大欣.矿山自动化的现状及未来发展趋势[J].世界有色金属,2022(20):50-52.