

矿山机电一体化控制系统在矿井安全生产中的应用研究

闫永胜

内蒙古双利矿业有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 015543

摘要: 本文针对矿山机电一体化控制系统在矿井安全生产中的应用展开系统研究。首先,阐述了系统以感知层、传输层、控制层、执行层为核心的架构构成及其集成化管控功能。其次,分析了系统在设备运行稳定性、子系统集成联动性、人员操作运维规范性三个方面的现存问题及成因。在此基础上,重点论述了设备运行状态智能监测、井下作业环境安全防控、故障自动预警与应急调控三项核心安全应用技术的原理与功能。最后,从优化设备安装与防护配置、落实全过程精细化运维管控、强化岗位人员专业能力三个角度,提出了提升系统安全应用效果的管控措施,为矿井安全生产提供技术支撑。

关键词: 矿山工程; 机电一体化; 控制系统; 矿井生产; 安全管控

引言: 矿井安全生产是矿山企业运营的核心底线,机电设备运行状态直接决定矿井生产安全水平。随着矿井开采深度增加、作业环境日趋复杂,传统单一设备人工操控模式已难以满足安全管控需求,机电一体化控制系统凭借自动化、集成化、实时化的技术优势,成为矿井安全生产管控的关键技术支撑。然而,在实际应用中,系统设备稳定性不足、子系统集成联动性差、人员操作运维不规范等问题仍然突出,制约了系统安全效能的充分发挥。本文围绕矿山机电一体化控制系统在矿井安全生产中的应用展开研究,系统梳理核心安全应用技术的管控措施,旨在为矿井安全生产提供系统性技术参考。

1 矿山机电一体化控制系统概述

矿山机电一体化控制系统是融合机械结构、电子控制、传感检测、数据处理与自动控制于一体的集成化管控系统,核心作用是对矿井各类机电设备进行统一监测、集中管控与智能调控,实现井下机电设备的协同稳定运行,充分适配矿井安全生产的核心需求。该系统彻底改变了传统单一设备人工操控的运行模式,将矿井提升系统、通风系统、排水系统、运输系统、采掘设备及安全监控设备等各类机电设备纳入统一管控体系,实现设备运行数据互通共享、工况实时联动、故障同步监测,大幅提升矿井整体管控效率^[1]。

从系统核心构成来看,主要分为感知层、传输层、控制层与执行层四个部分。(1)感知层以高精度传感器为核心,负责实时采集设备转速、温度、压力、电流、电压等运行参数,同时同步采集井下瓦斯浓度、空气湿

度、巷道风量、积水水位等环境参数,构成系统数据采集基础。(2)传输层依托井下专用通信线路与网络,实现感知数据向控制终端的稳定、实时上传,保障信息传输的连续性与可靠性。(3)控制层为系统核心终端,具备数据分析、参数比对、逻辑判断与决策下发功能,可根据预设运行参数自动生成调控指令。(4)执行层由各类机电设备与电控装置组成,负责接收控制指令,完成设备启停控制、运行参数调节、故障自动保护等动作。整体系统具备自动化、集成化、精准化、实时化的运行特点,是矿井安全生产管控体系中不可替代的核心技术载体。

2 矿井机电一体化控制系统应用现存问题及成因

2.1 系统设备运行稳定性不足

井下作业环境粉尘浓度高、湿度大、空间狭窄,且存在电磁干扰,极易影响机电一体化控制系统设备的运行稳定性,是现场最常见的问题。各类传感监测设备长期暴露在粉尘、潮湿环境中,探头易被粉尘覆盖、线路易受潮老化,导致数据采集失真、延迟、缺失,无法精准反馈设备真实运行状态与井下环境参数。同时,井下各类大功率机电设备运行时会产生电磁辐射,干扰控制系统数据传输信号,造成数据波动、指令传输滞后,引发设备调控不及时、启停错乱等问题。此外,部分井下设备长期高负荷连续运行,控制系统核心元件易出现老化、损耗,导致系统灵敏度下降,频繁出现误报警、漏报警现象,无法有效发挥安全预警作用。

2.2 系统集成联动性较差

现阶段部分矿井机电一体化控制系统存在设备集成度不足、各子系统联动性差的问题,制约了安全生产管控效果。矿井通风、排水、运输、采掘、提升等机电电子系统多为分步改造、分批安装,不同设备、不同批次的控制系统参数不统一、接口兼容性差,导致各子系统相互独立、数据无法共享,形成管控孤岛。在复杂作业场景下,单一设备出现故障时,关联设备无法同步联动调控,例如井下局部风量异常时,通风控制系统无法联动采掘设备、运输设备及时调整运行状态,易引发局部作业环境安全隐患。同时,系统集成不完善会导致整体管控逻辑混乱,无法实现井下机电设备一体化协同运行,大幅降低系统安全防控能力^[2]。

2.3 人员操作与运维管理不规范

机电一体化控制系统自动化、智能化程度较高,对操作人员和运维人员的专业能力要求较高,而现场人员操作不规范、运维不到位是引发系统故障、安全隐患的重要人为因素。部分一线操作人员缺乏系统的专业培训,对控制系统操作逻辑、参数调节标准、应急处置流程掌握不熟练,日常作业中存在随意改动系统参数、违规手动干预自动控制流程的情况,导致设备运行工况异常,诱发安全风险。同时,运维人员日常巡检、维护保养流于形式,未定期对传感器、传输线路、控制终端、执行设备进行校准、除尘、检修,无法及时发现系统元件老化、线路破损、数据偏差等隐性问题,导致小故障累积为系统故障,影响矿井安全生产。此外,故障处置不规范,出现系统报警、设备异常时,未按照标准流程排查故障,盲目重启设备,易导致故障反复出现。

3 机电一体化控制系统核心安全应用技术

3.1 设备运行状态智能监测技术

依托机电一体化控制系统的传感监测功能,可实现井下所有核心机电设备运行状态的全天候智能监测,从源头规避设备故障引发的安全事故,是矿井安全生产中最基础的技术保障手段。(1)系统通过在提升机、皮带运输机、主通风机、排水泵、采掘机械等关键机电设备上部署温度、振动、电流、压力、转速等高精度传感器,实时采集设备运行全过程的状态数据,同步传输至矿井控制终端。控制终端通过内置的数据分析模型,将采集数据与设备正常运行参数区间进行实时比对,精准判断设备当前运行工况,及时识别设备过载、过热、卡滞、异响、电压波动等异常状态,并自动生成预警信息。(2)相较于传统人工定时巡检模式,该技术可实现全天候不间断监测,消除人工巡检的时间盲区与判断误差,能够在设备性能劣化初期即发出预警,提前预判潜

在故障,避免设备带故障运行引发的非计划停机、设备损毁、电气起火等安全问题,有效保障矿井机电设备的持续稳定运行,为矿井安全生产提供可靠的技术支撑。

3.2 井下作业环境安全防控技术

机电一体化控制系统可实现井下作业环境参数的实时监测与联动调控,有效防控井下环境安全风险,是矿井安全生产中环境治理的核心技术手段。

系统可联动瓦斯浓度、粉尘浓度、空气湿度、巷道风速、积水水位等环境监测传感器,对井下采掘工作面、运输巷道、机电硐室等关键区域的环境参数进行持续采集与动态分析。一旦监测到瓦斯浓度超标、风量不足、水位过高等危险参数,系统可立即触发声光报警,并自动联动对应机电设备启动应急调控程序。例如,当瓦斯浓度超出安全阈值时,系统可自动联动通风设备加大供风量,同时联动采掘设备减速运行或紧急停机,从源头切断瓦斯积聚引发爆炸事故的风险链;当巷道积水水位超过警戒线时,系统可自动启动排水泵进行强排作业,待水位回落至安全区间后自动恢复待机状态。通过环境监测与设备联动调控的深度融合,实现井下环境风险由被动应对向主动防控的转变,大幅提升矿井作业环境的安全管控水平^[3]。

3.3 故障自动预警与应急调控技术

故障自动预警与应急调控是机电一体化控制系统保障矿井安全生产的核心技术,可有效提升故障处置效率,降低事故影响范围,是矿井安全防控体系中不可或缺的关键环节。

系统具备自主故障识别、分级预警、自动处置功能,能够根据设备运行异常与环境参数异常的严重程度,将故障划分为普通预警、重点预警、紧急预警三个等级,对应开展差异化处置。针对轻微参数偏差,系统自动记录异常数据并微调设备运行参数,无需人工干预即可恢复正常工况;针对中度异常,系统发出持续性报警信号,提醒运维人员及时赶赴现场排查处理;针对严重故障,如设备短路、瓦斯超限、透水隐患等紧急工况,系统立即启动应急保护机制,自动切断故障设备电源并实施停机保护,同时联动周边关联设备转入安全运行状态,防止故障向关联设备扩散蔓延。该技术有效解决了传统人工处置响应滞后、处置流程不规范的问题,最大限度降低故障引发的安全损失与生产影响。

4 提升机电一体化控制系统安全应用效果的管控措施

4.1 优化系统设备安装与防护配置

针对井下高粉尘、高湿度、强电磁干扰的复杂环境

对控制系统运行稳定性的影响,须针对性优化设备安装工艺与防护配置,从硬件层面保障控制系统的持续稳定运行。

结合井下环境特征,为各类传感设备、信号线路、控制元件统一配备防尘、防潮、防爆等级的防护外壳,定期对传感器探头进行除尘、擦拭与精度校准,避免粉尘附着与潮湿侵蚀导致的数据失真与检测偏差。在设备安装位置选择上,须避开强电磁设备集中区域、积水区域及剧烈振动区域,降低电磁耦合干扰与机械振动对控制系统信号采集精度的影响。同时,须统一各子系统设备的接口规格与数据传输协议,优化系统整体布线工艺,严格规范线路铺设路径、固定方式与防护标准,避免因线路破损、接头松动、接触不良引发的信号中断或系统误动作,全面提升机电一体化控制系统在井下恶劣环境中的运行可靠性^[4]。

4.2 落实系统全过程精细化运维管控

建立常态化、精细化的系统运维机制,是保障机电一体化控制系统长期稳定运行的关键管理手段,须从制度建设、人员配置、执行标准三个层面全面落实。

须制定专项运维台账,明确日常巡检、定期检修、设备校准、元件更换的周期与技术标准,安排专职人员负责常态化运维工作。日常巡检重点检查传感器运行状态、数据传输稳定性、终端设备运行工况及线路完整性,及时处理轻微故障与潜在隐患;定期对系统核心控制元件、传感设备进行精度校准,对老化、磨损、性能衰减的元件及时更换,杜绝设备超期带病运行。同时,须做好系统运行数据的留存与分析工作,定期梳理设备故障规律与参数异常趋势,针对性调整运维重点与检修计划,提前规避同类故障重复发生,实现系统运维由被动响应向主动管控的转变。

4.3 强化岗位人员专业能力管控

规范人员操作行为、提升专业能力是保障机电一体化控制系统安全高效应用的关键环节,须从培训体系、操作规范、实战演练三个角度系统推进。

建立常态化岗位培训机制,针对操作人员与运维人员开展专项技能培训,重点讲解控制系统操作流程、参

数设置标准、设备联动逻辑、故障识别方法及应急处置流程,确保全员熟练掌握系统功能与操作规范,杜绝违规操作行为。明确各岗位人员工作职责,规范系统日常操作流程,严禁随意更改系统预设参数、私自关闭报警功能、手动干预自动调控程序,所有操作与调整行为均须做好记录留存,确保操作过程可追溯。同时,定期开展实操演练与故障处置实训,重点提升人员在设备异常、环境突变等紧急工况下的故障排查与应急处置能力,确保系统出现异常时,人员能够快速响应、精准处置,充分发挥机电一体化控制系统的安全防控效能,全面保障矿井安全生产^[5]。

结束语

矿山机电一体化控制系统作为矿井安全生产的核心技术载体,通过感知层、传输层、控制层与执行层的协同配合,实现了井下机电设备的统一监测、集中管控与智能调控。本文系统论述了设备智能监测、环境安全防控、故障预警调控三项核心安全应用技术,深入分析了系统在运行稳定性、集成联动性、人员管理规范性方面的现存问题,并从设备防护配置、全过程运维管控、岗位能力建设三个维度提出了针对性管控措施。矿井安全生产是一项系统性工程,机电一体化控制系统的有效应用须依托技术优化与管理提升的双向驱动,方能充分发挥其在故障预防、环境治理、应急处置中的安全防控效能,切实保障矿井长期安全稳定运行。

参考文献

- [1] 於德通,薛维兵. 矿山机电一体化控制系统在矿井安全生产中的应用研究 [J]. 科技资讯,2024,22(12):190-192.
- [2] 冯绍玉,王福新. 智能控制在矿山机电一体化系统中的应用 [J]. 中国科技纵横,2024(4):123-125.
- [3] 闫云魁. 智能控制在矿山机电一体化系统中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(10):0056-0059.
- [4] 汪涛. 智能控制在矿山机电一体化系统中的应用 [J]. 中国高新科技,2024(5):71-73.
- [5] 李伟东. 智能控制在矿山机电一体化系统中的技术应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(8):052-055.