

# 煤矿智能机电保护系统应用

郭新峰

国家能源集团宁夏煤业有限公司梅花井煤矿 宁夏 银川 750001

**摘要:** 煤矿智能机电保护系统对保障煤矿安全生产意义重大。其技术架构涵盖数据采集、分析与处理、决策与执行层。具备实时监测、故障预警等核心功能,在电机、变压器等设备保护中发挥关键作用。但应用面临环境、技术人才等挑战,可通过强化研发、培养人才等策略应对,推动煤矿生产安全高效发展。

**关键词:** 煤矿;智能机电保护系统;技术架构;核心功能;挑战对策

引言:煤矿生产中,机电设备的安全稳定运行至关重要。传统机电保护方式难以满足复杂生产需求,智能机电保护系统应运而生。它融合多种先进技术,能实时监测设备状态、提前预警故障,为煤矿安全生产提供有力保障,成为煤矿行业发展的重要支撑。

## 1 智能机电保护系统的技术架构

### 1.1 数据采集层

数据采集层是智能机电保护系统的基础,犹如敏锐的感官,精准捕捉设备运行的每一丝变化。为实现全方位、高精度的数据获取,传感器网络发挥着关键作用。在煤矿复杂的环境中,在一条典型的主运输线上通常部署超过50个各类传感器,电流传感器时刻监测电流大小,电压传感器精准感知电压波动,温度传感器敏锐捕捉设备温度变化,振动传感器捕捉设备运行中的细微振动,转速传感器则实时跟踪设备转动速度<sup>[1]</sup>。这些传感器协同工作,实时采集设备运行参数,为后续的分析处理提供丰富且准确的数据支持。采集到的数据需要通过高效稳定的方式传输,数据传输技术便承担起这一重要使命。工业以太网凭借其高速、稳定的特点,成为数据传输的主力军,确保大量数据能够快速、准确地传输。其网络延迟可控制在10毫秒以内,保证关键指令的实时性。无线通信技术则为数据传输增添了灵活性,LoRa技术以其低功耗、远距离传输的优势,适用于一些对功耗和传输距离有特殊要求的场景;5G技术则以其高速率、低时延的特性,为实时性要求极高的数据传输提供了有力保障,其端到端时延可低至5毫秒,将数据高速、稳定地传输至云端或边缘计算节点。

### 1.2 数据分析与处理层

数据分析与处理层是智能机电保护系统的智慧大脑,对采集到的数据进行深度挖掘与分析。边缘计算设备在设备端或就近节点部署,如同分布在各个角落的智能助手,对实时数据进行初步处理。它能够快速检测异常数

据,进行初步诊断,将一些简单的故障在本地解决,大大降低了云端负载,提高了系统的响应速度。云计算平台则基于大数据分析技术,构建起设备健康管理模型。通过对海量数据的分析,挖掘数据深层价值,实现故障预测、寿命评估等功能,为设备的维护与管理提供科学依据。人工智能算法的融入,让系统具备了更强大的智能分析能力。机器学习、深度学习算法,如LSTM神经网络、支持向量机等,能够对故障模式进行精准识别,对设备运行趋势进行准确预测,为系统的决策提供有力支持。

### 1.3 决策与执行层

决策与执行层是智能机电保护系统的行动指挥官。智能控制模块根据分析结果迅速做出反应,自动调整设备运行参数。当检测到电机转速异常时,智能控制模块会及时调整电机转速,确保设备稳定运行;当发现备用电源需要切换时,会迅速触发切换动作,切换动作时间小于200毫秒。在遇到严重故障时,智能控制模块会果断触发保护动作,如断电、报警等,从故障识别到执行保护动作的整体时间不超过500毫秒,有效保障设备和人员安全。人机交互界面则为操作人员提供了直观便捷的操作平台,通过可视化平台展示设备状态、故障信息与维护建议,支持远程操控与决策支持,让操作人员能够实时掌握设备情况,做出科学合理的决策。

## 2 智能机电保护系统的核心功能

### 2.1 实时监测与状态感知

实时捕捉电机、变压器、输送机等关键设备的各项运行参数,涵盖电流、电压、温度、振动频率等核心指标。通过高精度传感器与数据采集模块,将物理设备的运行状态转化为数字信号,构建设备全生命周期的数字孪生模型。数字孪生模型不仅能完整复现设备外观结构,更能同步映射运行状态,实现设备健康状况的可视化呈现,让运维人员直观掌握设备实时动态<sup>[2]</sup>。针对多台联动运行的设备,系统可实现多设备、多参数的关联分析,

通过算法挖掘参数间的内在关联,精准识别潜在故障链。比如电机过载时,系统能快速捕捉电流异常,并联动追踪轴承温度变化,通常在温度异常升高超过 $15^{\circ}\text{C}$ 的3分钟内提前锁定由过载引发的连锁隐患,为后续处理争取时间。不仅如此,这种综合监测还打通了设备间的数据孤岛,使得整个系统的运行态势尽在掌握,为后续的预警与控制提供了坚实基础。

## 2.2 故障预警与诊断

依托海量历史运行数据与实时监测信息,系统通过机器学习算法构建动态更新的故障预警模型。模型持续学习设备在不同工况下的运行规律,能够敏锐捕捉设备性能的细微变化,提前识别绝缘老化、轴承磨损、铁芯损耗等设备劣化趋势,发出分级预警信号。典型如轴承故障,系统可提前24至72小时发出预警。当设备出现异常时,系统整合故障树分析、专家系统等多种技术,对异常数据进行多维度拆解分析。结合设备型号、运行年限、历史故障记录等信息,精准定位故障发生的具体部位与根本原因,同时生成详细的维修建议,包括所需配件型号、维修步骤及注意事项,为快速修复提供可靠依据。通过这种精准预警与诊断,系统将传统的被动应对转变为主动干预,为运维优化创造了条件。

## 2.3 自适应保护与控制

突破传统固定阈值保护的局限,系统可根据设备实时运行状态动态调整保护参数。在设备负载波动时,过载保护电流值会随之智能调整,既避免负载峰值时保护装置误动作导致生产中断,也防止轻载时保护阈值过高引发保护失效。针对不同类型的故障风险,系统设置多级保护策略,从最初的预警提示,到自动限流降低设备负荷,再到故障扩大时的紧急断电,形成阶梯式响应机制。这种分级响应模式既能最大限度减少故障对设备的损害,又能根据故障严重程度采取适度措施,平衡设备保护与生产连续性的需求。自适应保护不仅提升了系统的智能化程度,也通过精细化的控制方式为延长设备寿命、优化运行效率提供了保障,使整个保护过程更加柔性且可靠。

## 2.4 运维优化与决策支持

系统结合设备实时健康状态与生产计划需求,对传统定期检修模式进行优化升级,推动维护方式向预测性维护转变。通过精准判断设备健康水平,只在设备出现劣化迹象时安排维护,避免不必要的停机检修,有效降低维护成本与备件消耗。系统具备全面的设备能效分析能力,通过对比不同工况下的能耗数据,精准识别能耗异常点。针对风机、水泵等能耗大户,生成能耗分析报

告,为制定节能优化策略提供数据支撑,帮助企业通过调整运行参数、优化设备组合等方式降低能源消耗,提升生产效益。由此可见,智能机电保护系统不仅着眼于安全防护,更通过数据驱动的运维与能效管理,深入支撑生产决策,帮助企业在保障设备稳定运行的同时,实现降本增效和可持续运营。

## 3 智能机电保护系统的应用场景

### 3.1 电机保护

电机作为工业生产核心动力源,运行状态直接影响整条生产线稳定性。智能机电保护系统持续捕捉电机运行中的电流、电压、温度等关键参数,通过实时数据比对与趋势分析,精准识别异常波动。当电流超出额定范围超过10%并持续5秒,系统迅速判断过载风险并触发预警,避免线圈过热烧毁;电压骤升骤降超过 $\pm 15\%$ 时及时介入,防止绝缘层击穿引发短路;温度传感器实时追踪定子、转子温度变化,当温度超过预设阈值(如 $105^{\circ}\text{C}$ )时立即告警,提前规避因散热不良导致的性能衰减<sup>[3]</sup>。针对电机启动阶段的特殊需求,系统全程监控启动电流曲线,通过软启动控制技术平稳调节电流上升速率,有效化解启动瞬间大电流对电机绕组和供电网络的冲击,可将启动电流限制在额定电流的3倍以内,从源头减少设备损坏概率,延长电机使用寿命。

### 3.2 变压器保护

变压器在电力传输中承担电压转换关键职责,其安全运行关乎电力系统可靠性。智能机电保护系统构建全方位监测网络,通过嵌入式传感器实时采集油温、绕组温度及内部气体含量等数据。油温超过 $85^{\circ}\text{C}$ 阈值时,自动启动冷却系统并发出警示,防止绝缘油劣化加速;绕组温度监测采用光纤传感技术,精准捕捉局部热点,当热点温度与平均温度差值超过 $15\text{K}$ 时提前预警,遏制局部放电引发的绝缘击穿故障;气体监测模块实时分析油中溶解气体组分,总烃含量增长速率超过 $0.5\text{mL/h}$ 时及时报警,定位铁芯故障、匝间短路等潜在问题。系统还能动态追踪变压器负载率的实时变化,并绘制负载波动曲线进行分析。当发现负载持续处于高位(如超过额定容量的90%)时,系统能自动发出提醒,指导操作人员合理调整与分配负荷,避免设备因长期过载而导致绝缘过早老化。通过这一系列集监测、预警与主动干预于一体的智能化功能,系统为保障电力传输的稳定与高效运行提供了坚实支撑。

### 3.3 输送设备保护

皮带输送机、刮板输送机等输送设备是物料转运的关键环节,运行故障易造成生产中断。智能机电保护系

统针对这类设备特性,重点监测转速、张力、跑偏量等核心参数。转速传感器实时捕捉滚筒转动状态,转速骤降时立即判断打滑风险并触发制动,防止物料堆积;张力监测装置动态调节输送带张紧度,避免张力过大导致断带或张力不足引发打滑;跑偏监测模块通过红外传感技术精准识别输送带偏移量,自动启动纠偏装置,确保输送平稳。基于物联网技术,系统实现多设备运行数据共享,根据物料流量自动调节各设备运行速度,形成联动控制机制,在保障安全的同时优化运输效率,减少能源损耗。

#### 3.4 通风与排水设备保护

风机、水泵等通风排水设备是保障生产环境安全的重要屏障,运行状态与环境参数密切相关。智能机电保护系统实时监测设备运行振动、进出口压力、流量等参数,通过振动频率分析判断轴承磨损程度,当振动烈度超过4.5mm/s时发出预警,结合压力变化识别风机喘振、水泵气蚀等故障前兆,及时采取保护措施。系统深度融合环境监测数据,在煤矿场景中,根据瓦斯浓度自动调节风机转速,浓度超过1.0%时立即启动应急通风模式;在排水场景中,依据水位变化动态调整水泵运行台数和转速,水位达到警戒水位(如设定值的90%)时自动切换至应急排水状态。通过环境与设备参数的联动调控,既保障设备安全运行,又确保生产环境符合安全标准。

### 4 煤矿智能机电保护系统应用的挑战与对策

#### 4.1 应用过程中的核心挑战

煤矿环境复杂多变,给智能机电保护系统的稳定运行带来诸多阻碍。井下湿度大、粉尘多,部分区域还存在腐蚀性气体,这些恶劣条件易使系统中的电子元件受损,影响信号传输的准确性与稳定性,进而降低系统整体性能<sup>[4]</sup>。技术快速更新与人才队伍建设不匹配的问题日益凸显。智能机电保护系统涉及多学科前沿技术,更新换代速度快,但煤矿行业相关人才储备不足,现有技术人员对新技术的掌握和应用能力有限,难以充分发挥系统优势。系统长期运行的可靠性与维护成本控制也是一大难题。煤矿生产连续性强,智能机电保护系统需长时间不间断运行,这对系统的可靠性提出了极高要求。而且,系统维护涉及专业设备和技术,维护成本较高,如

何在保证系统可靠性的同时降低维护成本,是亟待解决的问题。多系统融合过程中,数据安全与隐私保护面临严峻挑战。智能机电保护系统需与其他生产管理系统融合,实现数据共享与交互,但数据在传输和存储过程中存在被窃取、篡改的风险,一旦数据泄露,将给煤矿生产带来严重损失。

#### 4.2 应对策略与解决路径

针对复杂环境问题,应强化设备国产化与环境适应性研发。加大研发投入,鼓励国内企业开展技术创新,研发出适应煤矿恶劣环境的智能机电保护设备,提高系统的稳定性和可靠性。构建多层次的人才培养与引进体系。煤矿企业可与高校、科研机构合作,开展定向人才培养,为行业输送专业人才。同时,积极引进外部高端人才,充实人才队伍,提升整体技术水平。建立全生命周期的系统运维管理机制。从系统规划、设计、安装、调试到运行、维护、更新,对每个环节进行精细化管理,制定详细的运维计划,定期对系统进行检测和维护,及时发现并解决问题,降低维护成本。完善数据安全保障技术与管理规范。采用先进的加密技术对数据进行加密处理,确保数据在传输和存储过程中的安全性。制定严格的数据访问权限管理制度,规范数据使用流程,防止数据泄露,保障煤矿生产安全。

#### 结束语

煤矿智能机电保护系统凭借先进架构与功能,在煤矿生产中发挥重要作用。虽面临环境、技术等多方面挑战,但通过强化设备研发、完善人才培养等举措,能有效应对。持续优化该系统,可提升煤矿生产的安全性与高效性,推动煤矿行业稳健发展。

#### 参考文献

- [1]张雪山,徐记全.煤矿智能机电保护系统应用[J].中国科技信息,2025,(19):72-74.
- [2]朱耀丽.智能电机保护系统在煤矿机电设备中的应用[J].电气开关,2023,61(04):89-90+94.
- [3]许连丙.矿用智能电机综合保护装置的设计[J].自动化仪表,2022,43(1):106-110.
- [4]程玮.简析智能电机保护器在电机保护中的应用[J].石河子科技,2022,(2):33-34.