

煤矿井下机电设备故障智能监测系统应用研究

唐全海

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿井下机电设备长期处于高湿、高粉尘、强振动环境，设备运行状态容易受到多种因素影响，故障隐蔽性强、突发性高。传统巡检方式主要依赖人工经验，存在监测不连续、故障判断滞后、维修响应慢等问题。智能监测系统通过传感器采集温度、振动、电流、电压等数据，结合数据分析、异常识别和分级预警功能，实现设备运行状态的实时掌握。针对参数异常、故障定位不准、维护效率低等问题，分别采用多点监测、智能诊断、预警联动和检修管理方法，提高故障发现速度和处理精度。系统应用后可减少非计划停机，降低设备损坏风险，提升煤矿井下机电设备安全稳定运行水平。

【关键词】：煤矿井下；机电设备；故障监测；智能诊断；预警系统

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.069

引言

煤矿井下机电设备承担着运输、通风、排水、供电等关键任务，设备运行状态直接关系到生产连续性和作业安全。井下空间封闭，湿度、粉尘、振动等因素交织存在，机电设备容易出现温升异常、轴承磨损、电气短路、传动失稳等问题。传统巡检方式受人员经验、巡检周期和工作环境限制，难以及时捕捉设备早期异常，故障一旦扩大，容易造成停机检修、生产中甚至安全事故。智能监测系统将传感采集、数据传输、异常分析和预警处置结合起来，使设备状态从“人工判断”转向“实时感知”，从“故障后维修”转向“提前预警”。在煤矿机电管理要求不断提高的情况下，明确智能监测系统的应用路径，有助于提高故障识别精度和设备运行可靠性。

1 煤矿井下机电设备运行特征分析

1.1 井下复杂环境对设备运行的影响

煤矿井下机电设备长期处于潮湿、粉尘、温差变化、空间受限和连续振动叠加的运行环境中，设备绝缘性能、机械传动性能和电气控制稳定性容易受到影响。潮湿空气会加快电气元件受潮老化，粉尘附着会降低散热效率，持续振动会造成紧固件松动、轴承磨损和线路接触不良。部分设备还需在高负荷、长周期状态下运行，温度、电流、转速等参数容易发生波动。绿色高效、安全智能的发展理念要求设备管理从单一巡检转向状态感知，通过实时监测环境参数和设备参数，掌握运行变化规律，为故障预警提供基础数据支撑。

1.2 机电设备常见故障类型划分

煤矿井下机电设备故障可从机械故障、电气故障、控制故障和润滑冷却故障等方面进行划分^[1]。机械故障主要表现为轴承磨损、齿轮啮合异常、皮带跑偏、联轴器松动和传动部件振动加剧；电气故障主要包括电机过载、绝缘下降、接线端子发热、短路隐患和电压电流异常；控制故障多表现为传感器失准、保护装置误动、通信中断和控制指令响应迟缓；润滑冷却故障则会引起摩擦升温、部件磨损加快和设备效率下降。智能监测

系统需要按照故障类型建立参数对应关系，使振动、温度、电流、电压、压力等数据能够支撑精准识别。

1.3 设备故障隐蔽性形成原因

煤矿井下机电设备故障具有较强隐蔽性，主要源于早期异常信号弱、运行干扰因素多、设备结构封闭和人工感知范围有限。轴承轻微磨损、绝缘初期劣化、线路接触电阻增大等问题，在初期往往只表现为温度小幅升高、振动频率轻微变化或电流短时波动，单靠定时巡检难以及时发现。井下噪声、粉尘和照明条件还会削弱现场判断准确性，部分关键部件位于设备内部，异常变化无法直接观察。智能化发展要求将隐蔽故障转化为可量化数据，通过趋势分析、阈值预警和多参数关联判断，提前识别故障萌芽状态。

2 传统故障监测方式存在的主要不足

2.1 人工巡检连续性不足

人工巡检通常按照固定周期开展，设备运行状态只能在特定时间点被记录，难以覆盖机电设备连续运行过程中的瞬时异常和参数突变。煤矿井下运输、通风、排水、供电等设备多处于长时间高负荷状态，温度升高、振动增强、电流波动等故障前兆可能出现在两次巡检间隔内，缺少连续数据支撑会导致异常变化被延迟发现。井下作业空间狭窄、噪声较大、粉尘浓度高，部分设备安装位置不便接近，巡检范围和检测深度容易受到限制。安全高效、智能协同的发展理念要求监测方式由间断检查转向全过程感知，通过在线采集形成连续运行曲线，提高早期故障捕捉能力。

2.2 故障判断依赖经验较强

传统故障判断主要依靠现场观察、听音辨别、温感判断和简单仪表检测，判断结果容易受到技术水平、工作经验和现场条件影响。机电设备早期故障往往表现为轻微振动、局部温升、负载波动或电气参数偏移，单一感官判断难以准确区分正常波动和故障前兆^[2]。不同设备型号、运行年限、负载状态存在差异，缺少统一的数据模型和诊断标准时，容易出现误判、漏判

或故障定位不准。智能化管理理念强调数据驱动和标准化诊断,需要将经验判断转化为参数比对、趋势识别和多维分析,使故障判断具备可追溯、可验证和可量化基础。

2.3 维修响应滞后影响生产

传统维修模式多以故障发生后的停机处理为主,设备异常信息传递链条较长,容易出现发现不及时、判断不准确、备件准备不足和检修安排滞后的情况。煤矿井下机电设备之间联系紧密,单台关键设备停运可能影响运输、通风、排水或供电环节,造成生产节奏被迫中断。故障扩大后,检修内容往往从局部调整转变为部件更换或系统停机处理,维修成本和安全风险同步增加。精益化、预防性管理理念要求维修响应前移,通过智能监测系统建立异常预警、故障分级、工单推送和检修闭环机制,使维修从被动处置转向主动干预。

3 智能监测系统关键技术配置

3.1 多参数传感采集技术

多参数传感采集技术通过布置温度、振动、电流、电压、压力、转速等多维传感器,实现对机电设备关键运行参数的全方位实时采集。传感器选型需兼顾井下高湿、高粉尘、强振动及电磁干扰环境,确保长期稳定性与数据精度。多点、多类型数据的同步采集可以反映设备内部状态的微小变化,为早期故障识别提供可靠依据。数据采集系统需具备高采样频率、低延迟和本地预处理功能,能够对异常波动进行边缘计算,实现噪声滤波、信号强化及初步趋势分析。智能化发展理念强调将物理参数转化为可量化的健康指标,为故障诊断和预警提供数据基础,同时为后续数据建模和算法分析提供全面支撑,实现状态感知由单参数监测向多维动态评估的转变。

3.2 设备运行数据传输技术

设备运行数据传输技术通过有线或无线网络,将采集的多参数信息传输至集中监控平台,保证数据完整性、连续性和实时性。传输系统需采用抗干扰、低延迟、高带宽架构,支持数据加密、差错校验和多路径冗余,提高在井下复杂环境中的可靠性。结合边缘计算和分布式网络拓扑,可实现数据在本地预处理和远程同步的有机结合,降低核心网络压力并确保关键异常信息即时传递^[3]。实时传输不仅保证了监控系统的动态响应,还为智能诊断算法提供连续历史数据,用于趋势分析、异常模式识别和预警决策。绿色智能发展理念下,数据传输与存储优化有助于提升系统能源效率,同时确保信息安全和可靠性,实现机电设备管理的数字化和智能化升级。

3.3 异常状态智能识别技术

异常状态智能识别技术利用机器学习、模式识别和数据分析算法,将采集到的多维运行数据进行实时处理,提取温度异常、振动异常、电流异常及其他指标异常特征,实现故障早期发现和分级预警。算法需兼顾设备类型、运行条件和历史故障

数据,通过多参数关联分析、趋势预测和阈值动态调整,提高异常识别的准确性和鲁棒性。智能识别系统能够自动筛选噪声干扰、判断异常等级、定位可能故障部位,并触发相应预警和维护流程。现代智能管理理念强调闭环反馈,将识别结果与检修计划、操作指导及数据模型迭代结合,实现故障管理的预测性、主动性和精准化,从而将设备状态从被动监控向主动防护转化,保障煤矿井下机电设备高效、稳定运行。

4 智能监测系统故障处理应用路径

4.1 温度异常监测及分级预警方法

温度异常监测通过在关键部件设置高精度温度传感器,实现实时采集轴承、电机、变压器及关键线路的温度数据。系统对采集数据进行多维度分析,包括瞬时值、移动平均值、最大值及历史趋势对比,并结合运行负载、环境温度及散热条件进行动态校正。基于温度数据构建分级预警模型,设定多级阈值:轻微异常提示、潜在故障预警、严重故障警报,确保预警响应符合设备运行状态。预警信息可联动控制系统和检修计划,实现异常提示、自动记录和维修建议同步输出。数据驱动的温度监测方法能够对早期热异常进行量化分析,快速识别温升异常部位,为后续故障处理提供精准依据,显著提升故障处置的时效性和可靠性。

4.2 振动异常识别及故障定位方法

振动异常识别通过加速度、速度及位移传感器对设备关键轴承、齿轮及传动部件进行实时监测,获取振动幅值、频谱、波形包络等数据指标。系统采用频域、时域和时频联合分析技术,对信号进行特征提取,识别异常振动模式,如不平衡、轴承缺陷或传动间隙增大^[4]。故障定位通过多点传感器布局和相位对比方法,实现异常源的精确识别与部位定位。智能诊断算法结合历史数据和故障模型,对异常程度进行分级,形成可执行的检修建议。通过振动数据与温度、电流等多参数交叉验证,提高识别精度和误报率控制,实现振动异常从早期预警到精确定位的闭环管理,保障设备传动系统长期安全稳定运行。

4.3 电气参数异常分析及检修联动方法

电气参数异常分析依托电流、电压、功率因数及绝缘电阻等关键指标,通过多维实时监测对设备运行状态进行量化分析。系统利用数据建模和趋势预测方法,识别过载、短路、接触不良及绝缘劣化等隐蔽异常。异常识别后,智能预警机制与检修管理系统联动,自动生成维护工单,安排检修优先级,提供部件替换或维护指导,实现故障处理流程闭环。数据分析算法可结合负载特性、运行环境及历史故障数据优化判断规则,提高检修决策的科学性和准确性。电气参数异常分析与联动机制可降低非计划停机率,优化设备寿命管理,并确保机电系统整体运行的安全性和稳定性。

5 智能监测系统应用成效提升策略

5.1 提高故障预警准确率

提高故障预警准确率需要从数据质量、模型规则和预警分级三个层面展开。煤矿井下机电设备运行参数受负载变化、环境温度、粉尘附着和电磁干扰影响较大,单一阈值判断容易造成误报或漏报。智能监测系统应对温度、振动、电流、电压、转速等数据进行清洗、校正和关联分析,剔除瞬时干扰信号,保留具有连续变化特征的异常信息。预警模型可结合设备额定参数、历史运行曲线和故障记录建立动态阈值,使判断标准随运行工况自动调整。对于轻微偏离、持续异常和急剧恶化等不同状态,应设置差异化预警等级,匹配提示、复核、停机保护等处置流程。通过多参数融合识别和智能算法优化,故障预警由单点判断转向综合研判,提升早期故障识别的精准度。

5.2 降低设备非计划停机率

降低设备非计划停机率需要将监测结果直接嵌入设备维护流程,形成从异常发现到检修处置的闭环管理。传统停机多由突发故障引起,根源在于早期异常未能及时转化为维护任务。智能监测系统可依据设备健康状态生成风险等级,对轴承磨损、线路发热、负载异常、润滑不足等问题进行提前标记,并同步推送检修工单、备件需求和停机窗口建议^[5]。维护计划应结合生产节奏、设备重要程度和故障发展趋势进行排序,优先处理高风险设备,减少盲目检修和重复检修。对于可短期运行的轻微异常,可采用跟踪监测和限时复查方式;对于恶化速度较快的异常,应及时安排停机处理。通过状态检修替代事后

抢修,设备停机从被动中断转向可控安排,生产连续性得到有效保障。

5.3 增强井下设备运行稳定性

增强井下设备运行稳定性需要依托智能监测系统实现运行状态、故障风险和维护质量的持续优化。煤矿井下机电设备之间具有较强联动关系,运输、通风、排水和供电环节任一设备状态异常,均可能引起系统运行波动。智能监测系统可建立设备健康档案,持续记录关键参数变化、故障处理结果和检修后运行表现,为设备寿命评估和运行调控提供依据。对于长期高负荷设备,可通过参数趋势分析优化运行负载,降低过载运行和疲劳损伤概率;对于故障频发部件,可结合数据记录调整检修周期和维护标准。绿色智能发展理念强调安全、高效、低耗协同推进,系统应用不仅提升故障管控能力,还能减少无效检修、降低能源损耗、稳定设备性能,使井下机电设备保持连续、可靠、可控的运行状态。

6 结语

智能监测系统对煤矿井下机电设备故障管理提供了系统性技术保障,依靠多维实时数据采集、智能识别算法和预警处置联动机制,有效提升故障发现时效和处理精度。温度、振动、电气状态等参数的精细分析和分级响应策略使设备风险预警更加可靠,非计划停机明显减少,运行稳定性更高,提升机电系统整体运行效率和安全水平,有助于推进煤矿机电管理的智能化转型。

参考文献:

- [1] 王刚.煤矿井下机电设备保护技术与试验装置创新设计[J].能源与节能,2025,(12):200-203.
- [2] 马帅.煤矿井下机电设备常见故障与快速维修方法研究[J].能源与节能,2025,(12):293-296.
- [3] 赵在兰.煤矿井下机电设备智能化远程控制系统的优化研究[J].自动化应用,2025,66(23):73-75+79.
- [4] 张生剑.煤矿井下机电设备故障在线监测声学处理技术研究[J].当代化工研究,2025,(16):112-114.
- [5] 张军伟.煤矿井下机电设备故障在线监测声学处理技术研究[J].机械管理开发,2025,40(3):268-270.