

煤矿井下机电设备故障诊断及预防技术研究

马建鹏 宋满刚

宁夏银星煤业有限公司 宁夏 银川 750408

摘要: 煤矿井下机电设备长期承受高粉尘、高湿及围岩振动等恶劣工况,故障频发直接制约井下生产连续性。本文围绕设备故障类型与成因展开分析,梳理了振动信号、温度油液、电气参数等多维诊断技术的应用逻辑,并从常态化防护、磨损管控、环境适配及周期养护等层面归纳预防技术路径。在此基础上,从诊断适配性优化、预防精细化升级、诊断预防协同融合三个维度提出技术优化策略,为井下机电设备运维体系的持续完善提供参考。

关键词: 煤矿井下;机电设备;故障诊断;预防技术;协同融合

引言:煤矿井下空间封闭、粉尘密集、湿度偏高,机电设备在此类环境中持续运转,结构磨损与性能衰减速度远超地面工况。设备一旦出现故障,轻则中断生产节奏,重则危及井下作业人员安全。传统运维模式偏重事后抢修,故障诊断依赖人工经验,预防手段缺乏针对性。将状态感知、多维信号分析与智能诊断技术嵌入设备管理全流程,构建诊断与预防协同联动的运维体系,已成为保障井下机电系统稳定运行的迫切需求。

1 煤矿井下机电设备运行特性及故障类型分析

1.1 井下特殊工况对机电设备的影响

井下作业空间长期充斥高粉尘与高湿度环境,空气中悬浮的细微硬质颗粒会持续附着于设备零部件表面,逐步侵入机械配合间隙与电气连接结构内部。潮湿环境会持续弱化金属构件表层防护性能,加速金属材质氧化锈蚀进程,改变机械结构原有配合精度。井下作业环境的空间封闭性会限制空气流通效率,设备持续运转产生的热量无法及时散出,造成机身内部温度持续攀升。围岩应力变化引发的轻微振动会持续传递至设备本体,改变零部件运行状态,长期作用下会打乱设备稳定运行节奏,加剧结构磨损程度,大幅缩减机电设备稳定运行周期。

1.2 煤矿井下主流机电设备结构与运行原理

井下常用机电设备整体分为机械传动结构与电气控制结构两大组成部分,各结构模块形成相互配合的运行体系^[1]。采掘类设备依托传动齿轮、液压组件构成动力传输体系,通过动力转换实现岩体破碎与物料剥离作业。运输类设备依靠滚筒、输送带与驱动电机组成循环运转结构,依托动力输出完成井下物料的连续输送作业。通风与排水类设备依托叶轮旋转、管路导流的基础结构,通过机械能转换实现井下空气流通与积水排出。供电类设备以变电组件、线路载体与保护构件为核心结构,实现电能稳定传输与电压电流的合理调控,保障全场景

设备供电稳定。各类设备依托专属结构完成能量转换与功能输出,适配井下各类生产作业需求。

1.3 井下机电设备常见故障分类

井下机电设备故障可依据运行结构属性划分为机械类故障与电气类故障两大类。机械类故障集中体现在传动结构磨损、液压系统泄压、转动构件卡滞、壳体结构形变等方面,多源于机械构件长期负荷运行产生的结构损耗。电气类故障涵盖线路导通异常、供电参数波动、控制组件失灵、绝缘性能衰减等问题,直接影响设备动力供给与操作调控功能。部分设备会出现综合性运行异常问题,由机械结构损伤与电气性能波动共同引发,会直接改变设备正常运行状态,干扰井下生产作业的有序推进。

1.4 机电设备故障产生的内在机理

机电设备长期处于恒定负荷或交变负荷状态,内部金属构件会产生持续性疲劳损伤,微观结构逐步出现细微形变与裂隙,损伤持续累积会引发整体结构失效。设备零部件运行过程中产生的摩擦损耗会逐步改变结构配合参数,破坏原有运行平衡状态,催生各类机械故障。电气组件长期处于复杂电磁环境中,绝缘介质性能会逐步衰减,电路导通稳定性持续下降,引发电气运行异常。环境介质持续侵蚀设备内外结构,会弱化构件材质性能与组件适配精度,逐步打破设备运行的稳定状态,最终诱发各类功能性故障。

2 煤矿井下机电设备故障诊断关键技术

2.1 设备状态感知监测技术

设备状态感知监测技术依托各类传感采集器件布置的监测网络,捕捉机电设备运行过程中的动态运行数据。传感器件可对设备运行过程中的物理参数进行持续采集,覆盖机械运行姿态、电气运行指标、环境适配参数等核心内容^[2]。采集得到的原始数据会完成滤波与提纯处理,剔除环境干扰带来的无效数据信息,保留能够反

映设备真实运行状态的有效信息。数据处理后的有效信息可为后续故障研判提供基础依据,实现设备运行隐患的前置捕捉。

2.2 振动信号故障诊断技术

振动信号故障诊断技术依托设备运行振动规律完成故障判别,机电设备正常运行阶段会保持稳定且规律的振动波形。设备内部零部件出现磨损、卡滞或结构偏移问题后,振动波形会出现幅值、频率的异常波动。技术运用过程中可对振动信号进行分层拆解,区分常规运行振动与异常扰动振动,定位设备结构出现损伤的具体位置。信号特征的深度解析可精准甄别不同类型的机械故障,提升机械类故障诊断的精准程度。

2.3 温度与油液状态诊断技术

设备核心构件运行异常会引发热能堆积,关键部位温度数值会出现非常规上升,轴承温度超过75℃即触发预警阈值,温度监测可捕捉设备过载、摩擦异常、组件老化等各类运行问题。液压与润滑系统的油液状态直接决定设备运行稳定性,油液洁净度等级低于NAS 10级、粘度偏差超过原值 $\pm 10\%$ 时,能够直观反映系统内部构件的磨损与损耗情况。对温度参数与油液理化状态的持续监测,可实现设备隐性故障的有效识别,弥补单一监测方式的识别短板。

2.4 电气参数故障诊断技术

电气参数故障诊断技术针对供电与控制体系运行数据开展监测分析,重点监测电流、电压、绝缘电阻等核心电气指标。设备线路出现老化、接触不良或负载异常问题时,各类电气参数会偏离标准运行区间。电气参数的动态追踪可捕捉电路运行的细微异常,甄别电气组件性能衰减、线路运行不稳定等各类问题,实现电气故障的精准排查。在实际监测过程中,三相电流不平衡度超过5%或绝缘电阻低于0.5M Ω 时应立即启动排查程序,同时需关注谐波含量的变化趋势,谐波异常升高往往是电力电子器件老化或供电质量下降的早期信号。

2.5 智能故障诊断技术应用原理

智能故障诊断技术依托数据运算与特征比对模式升级传统诊断方式,依托海量设备运行数据搭建标准化特征数据库。系统可将实时采集的设备运行数据与数据库内部故障特征完成匹配比对,通过数据运算完成故障类型的自主判别。技术可整合多维度监测数据,打破单一参数诊断的局限性,提升复杂工况下设备故障识别的全面性,适配井下机电设备多样化的故障诊断需求。

3 煤矿井下机电设备故障预防核心技术

3.1 机电设备常态化防护技术

机电设备常态化防护技术贯穿设备整体运行周期,依托持续性管控手段削弱外界环境与不当运行状态带来的负面作用。作业过程持续清理设备外表附着的粉尘与杂质,保持机械传动缝隙与电气接触位置的洁净状态,减少固态颗粒物对精密结构的磨损作用^[3]。针对井下潮湿氛围对金属结构与电气元件的侵蚀问题,持续维持设备关键部位的干燥状态,稳固表层防护性能。动态调控设备运行负载区间,规避长时间超限运行引发的构件疲劳,维持设备基础运行工况的稳定状态,从源头减少隐性故障的持续滋生。

3.2 设备磨损与老化预防性管控技术

设备磨损与老化预防性管控技术依托构件损耗规律实施主动干预,延缓各类结构与组件的性能衰减进程。机械传动体系持续匹配适配的润滑介质,改善构件摩擦接触面的运行状态,弱化干摩擦与偏磨问题带来的结构损耗。结合设备长期运行产生的性能变化规律,预判零部件损耗趋势,对性能弱化的构件开展针对性预处理。电气系统运行过程中稳定电压与电流输入状态,削弱电磁扰动对绝缘材料与控制元件的损耗作用,维持电气体系运行性能的稳定状态。

3.3 井下恶劣环境适配防护技术

井下恶劣环境适配防护技术针对矿井特殊作业条件优化设备防护体系,提升机电设备对复杂场景的适配能力。对设备精密机械结构与核心电气组件布设封闭式防护结构,防护等级不低于IP54方可满足井下基本防尘防水需求,阻隔潮湿气流与细微粉尘的持续渗透。优化设备外部防护涂层材质属性,涂层厚度保持在80~120 μm 时抗腐蚀性能表现较优,强化表层抗腐蚀与抗冲刷能力,抵御井下复杂介质带来的结构侵蚀。结合巷道围岩动态变化特性加固设备安装基座,基座形变量控制在2mm以内可有效规避结构偏移风险,缓解地层微量形变产生的应力作用,规避结构偏移与构件受力不均引发的运行异常。

3.4 设备周期性养护与运维技术

设备周期性养护与运维技术结合机电设备运行损耗规律制定标准化养护周期,落实规范化运维作业。按照既定时间节点完成设备内部积尘清理、连接结构紧固、润滑介质更换等基础操作,消除基础运行隐患。逐项排查机械传动间隙、液压系统压力、电气线路导通状态等核心运行指标,及时修正小幅偏离标准区间的运行参数。统一井下机电设备运维作业标准,规范养护操作流程,持续维持设备结构精度与运行性能,延缓整体设备性能退化速度,保障井下机电系统长期稳定运转。

4 煤矿井下机电设备故障诊断与预防技术优化

4.1 诊断技术的适配性优化方法

井下机电设备运行场景具备复杂性与多变性,传统诊断模式固定的识别逻辑难以适配差异化设备运行状态。诊断技术适配性优化围绕井下作业环境与设备运行特征开展针对性调整,重构数据采集与特征分析的核心逻辑。优化工作针对不同类型机电设备的运行参数特征,调整传感采集的频率与数据精度,适配采掘、运输、供电各类设备的运行特性^[4]。对信号分析算法进行迭代调整,弱化井下粉尘、振动、湿度等环境干扰因素对数据识别的影响,提升有效故障特征的提取效率。细化不同负荷工况下的故障判别标准,贴合设备动态运行状态调整识别阈值,让诊断模式适配井下多变的生产运行场景。适配性优化还需关注传感器在井下环境中的长期稳定性问题,定期校准传感设备可有效避免因传感器漂移导致的误判,建议每季度开展一次全面校准作业,确保诊断数据的可靠性与一致性。

4.2 预防技术的精细化升级思路

预防技术精细化升级打破粗放式运维防护模式,聚焦设备细微损耗与隐性隐患搭建精准防控体系。依托设备运行损耗规律细化防护层级,针对机械结构磨损、电气组件老化、环境侵蚀损伤等不同隐患类型,制定对应专项防控手段。细化设备养护管控标准,依据零部件材质、运行时长、负荷强度划分差异化养护等级,落实分层运维机制。深挖设备运行过程中的微小性能偏移问题,将防控节点前移至性能衰减初期,提升隐患干预的精准度。持续细化环境防护举措,结合井下不同作业区域的环境差异调整防护方案,全面提升预防技术的落地实效。精细化升级的关键在于建立设备健康度评估模型,将多维监测数据融合为单一健康指数,使运维人员能够直观掌握设备整体状态,从而做出更加科学合理的维护决策,减少主观判断带来的不确定性。

4.3 诊断与预防技术协同融合策略

故障诊断与故障预防属于设备运维体系的核心组成部分,两类技术的独立应用会造成运维数据与管控流程的割裂。协同融合发展打通诊断数据与防控作业的联动通道,将实时诊断获取的设备状态数据转化为预防性运维的核心依据。诊断技术捕捉的设备性能衰减趋势、结

构损耗特征,可直接指导精细化养护与防护方案的动态调整。防控作业过程积累的设备运行规律,能够反向优化诊断技术的特征数据库,提升故障识别的精准程度。双向联动的运行模式构建闭环式运维体系,让状态监测、故障研判、主动防控形成完整运行链条。

4.4 井下机电设备运维技术发展趋势

井下机电设备运维技术逐步朝着智能化、精细化、一体化的方向持续迭代。数据感知与智能分析技术的持续升级,会推动设备故障诊断摆脱传统人工研判模式,实现全自动化状态监测与隐患识别。防护运维模式持续升级革新,粗放式定期运维会逐步被状态化主动运维替代,大幅提升设备运维的科学性。技术融合程度持续加深,诊断、防控、运维各模块会形成高度集成的技术体系。井下恶劣环境的适配技术不断迭代优化,各类防护与诊断设备的环境抗干扰能力持续提升,全方位适配煤矿井下复杂多变的长期作业需求。

结束语

煤矿井下机电设备的故障诊断与预防工作,需立足井下特殊工况对设备运行状态的持续影响,将振动信号分析、油液状态监测、电气参数追踪等诊断手段与常态化防护、磨损管控、周期性养护等预防措施紧密衔接。诊断技术的适配性优化与预防技术的精细化升级相互支撑,协同融合策略打通了状态监测与主动防控之间的数据通道,形成闭环式运维体系。这一技术路径的落地,可有效压缩非计划停机时长,提升井下机电系统的整体运行可靠度。

参考文献

- [1]张闯.煤矿井下机电设备故障诊断及预防技术研究[J].大众科学,2026(1):163-165.
- [2]尚萌萌.煤矿机电液压系统的故障诊断和维护[J].机械管理开发,2025,40(3):74-76.
- [3]王平.基于物联网技术的井下机电设备运行状态监测方法[J].科学与信息化,2024(4):130-132.
- [4]孙乔,马波,时玉亭.矿用液压支架故障诊断及维护技术分析[J].中国设备工程,2026(2):185-187.