

复杂地质条件下立井大型箕斗提升系统的故障诊断与处理

黄向峰

山东能源西北矿业亭南煤矿 陕西 咸阳 713600

摘要:为解决复杂地质条件对立井大型箕斗提升系统安全运行的制约问题,本文分析了复杂地质通过载荷扰动、环境侵蚀等路径的影响机制,探究了系统核心构成及多源性、耦合性等故障特性。构建多源信息融合诊断体系,提出加权平均初级诊断、证据理论深度诊断及神经网络智能诊断方法,针对性制定围岩变形、地质沉降、地下水突涌诱发故障的专项处理策略。研究成果实现了复杂地质下提升系统故障的精准诊断与高效处置,为提升系统安全稳定运行提供技术支持,具有重要工程应用价值。

关键词:复杂地质条件;立井大型箕斗;提升系统;故障诊断方法;处理策略

引言:立井大型箕斗提升系统是煤矿井下物料运输的核心装备,其运行稳定性直接影响矿井生产效率与安全。我国诸多煤矿所处区域地质条件复杂,围岩变形、地质沉降、地下水突涌等地质灾害频发,易诱发提升系统故障,甚至导致安全事故。当前故障诊断与处理方法针对性不足,难以适配复杂地质的动态影响。因此,开展复杂地质条件下立井大型箕斗提升系统故障诊断与处理研究,明确影响机制、优化诊断方法、制定专项策略,对保障矿井生产安全、提升运输效率具有重要现实意义与工程价值。

1 复杂地质条件对立井大型箕斗提升系统的影响

复杂地质条件通过载荷扰动、环境侵蚀及结构适配性破坏三大路径,对立井大型箕斗提升系统产生多维度耦合影响。(1)在载荷扰动层面,复杂地质易引发井帮围岩变形、断层活动及岩层应力释放,导致提升井筒空间形态改变,使箕斗运行过程中受到非均匀侧向载荷,破坏提升系统的受力平衡,进而加剧提升钢丝绳、罐道等关键部件的疲劳损伤。(2)在环境侵蚀层面,复杂地质区域常伴随高湿度、高矿化度地下水渗透,或存在有害气体、腐蚀性介质,会对提升系统的金属构件产生锈蚀、腐蚀作用,降低构件力学性能和使用寿命,同时可能影响电气控制系统的绝缘性能,诱发电气故障。(3)在结构适配性破坏层面,地质沉降、岩层移动会导致提升机房基础、井筒装备安装基准发生偏移,使提升系统的传动机构、导向装置等出现同轴度偏差,破坏系统运行的协调性,增加提升过程中的冲击载荷和振动幅度,进一步放大系统故障风险,最终影响提升系统的运行稳定性和安全性^[1]。

2 立井大型箕斗提升系统核心构成及故障特性

2.1 立井大型箕斗提升系统核心构成

立井大型箕斗提升系统是由以下四大核心模块构成的复杂机电一体化系统。(1)机械执行模块核心为箕斗容器与井筒装备,前者承担物料装载与提升核心功能,后者包括罐道、罐道梁等导向支撑部件;(2)传动驱动模块涵盖主电动机、减速器、卷筒等动力传递单元,为系统运行提供动力并实现速度调节;(3)安全保护模块包含防过卷、防过放、限速、制动等关键装置,是保障系统安全运行的核心屏障;(4)控制监测模块由PLC控制系统、传感器组及上位机监控平台组成,实现提升过程的自动化控制与运行参数实时监测。各模块通过机械连接与信号交互形成协同工作体系,确保提升作业连续稳定。

2.2 立井大型箕斗提升系统故障特性

受复杂地质环境与长期重载运行影响,该系统故障呈现多源性、耦合性、潜伏性及突发性等典型特性。(1)多源性体现为故障诱因涵盖地质扰动、构件疲劳、电气故障、控制偏差等多个维度;耦合性表现为单一构件故障易通过系统关联传导引发连锁反应,形成多部件协同失效;(2)潜伏性源于复杂地质作用下的构件损伤多为渐进式发展,初期损伤信号微弱且易被环境干扰掩盖,难以早期识别;(3)突发性则与地质灾害的不可预见性相关,极端地质条件易导致关键部件突发失效,引发提升系统紧急停机甚至安全事故。(4)故障发生还呈现明显的环境关联性,其频率与严重程度随地质条件恶化而显著提升^[2]。

3 基于多源信息融合的故障诊断方法

3.1 多源信息采集与预处理方法

多源信息融合诊断的基础是实现提升系统运行状态信息的全面、精准采集，预处理则为后续融合分析提供高质量数据支撑，具体流程如下：（1）多源信息采集框架构建。结合立井大型箕斗提升系统的核心构成，确定采集维度涵盖机械振动、构件应力、运行参数及环境参数四大类。其中，机械振动信息通过部署在减速器、卷筒、电机等关键部件的加速度传感器获取；构件应力信息借助粘贴于钢丝绳、罐道等承载部件的应变片采集；运行参数通过提升系统自带的PLC控制系统提取，包括提升速度、载重、制动压力等；环境参数针对复杂地质特点，采集井内湿度、温度、瓦斯浓度等数据。（2）信息预处理关键步骤。首先进行数据清洗，采用插值法填补传感器故障导致的缺失数据，通过 3σ 准则剔除环境干扰引发的异常离群数据；其次开展数据标准化处理，采用min-max归一化方法将不同量纲、不同数量级的采集数据转换至同一区间，消除量纲差异对融合结果的影响；最后实施数据降维优化，通过主成分分析法筛选出对故障敏感的核心特征参数，剔除冗余信息，降低后续融合分析的计算复杂度，提升诊断效率。

3.2 基于加权平均融合的初级诊断方法

加权平均融合方法适用于多传感器采集的同类型状态信息融合，是实现故障初步定位的基础方法，其核心逻辑是通过赋予不同传感器数据合理权重，降低单一传感器的测量误差，提升诊断结果的可靠性，具体内容如下：（1）权重确定原则与方法。权重赋值以传感器的测量精度、安装位置敏感性及工作稳定性为核心依据：对于安装在故障高发区域、测量精度高且工作稳定的传感器，赋予较高权重；对于受环境干扰较大、测量误差相对明显的传感器，赋予较低权重。权重计算采用层次分析法，通过构建传感器性能评价指标体系，明确各指标的相对重要性，经一致性检验后确定最终权重系数，确保权重分配的合理性与科学性。（2）融合诊断实施流程。首先对预处理后的同类型传感器数据进行加权求和，得到融合后的综合状态参数；其次设定不同故障类型对应的阈值范围，将融合后的综合参数与阈值进行对比，实现故障的初步判断；最后输出初级诊断结果，明确故障是否发生及大致故障区域。

3.3 基于证据理论融合的深度诊断方法

证据理论融合方法具备处理不确定信息的优势，适用于不同类型多源信息的深度融合，能够有效解决复杂地质条件下提升系统故障诱因模糊、信息不确定的诊断难题，具体实施要点如下：（1）证据构建与可信度分

配。将预处理后的不同类型信息作为独立证据源，针对各类信息对应的故障特征，构建故障识别框架，明确可能的故障类型集合。通过模糊隶属度函数计算各证据源对不同故障类型的支持程度，完成可信度分配，将原始信息转化为符合证据理论要求的可信度函数，实现不同类型信息的统一表征。（2）证据融合规则与冲突处理。采用D-S合成规则对多源证据进行融合计算，通过正交和运算得到各故障类型的综合可信度。针对复杂地质环境下多源信息可能存在的冲突问题，引入冲突系数判断证据间的冲突程度：当冲突系数较小时，直接采用经典合成规则；当冲突系数较大时，先通过加权平均法对冲突证据进行预处理，降低冲突程度后再进行融合。（3）方法适配性优化。结合复杂地质条件下提升系统故障的多源性、耦合性特点，对证据理论的识别框架进行动态调整，增加“复合型故障”类别，避免因故障类型覆盖不全导致的诊断偏差。

3.4 基于神经网络融合的智能诊断方法

神经网络融合方法具备强大的非线性映射能力和自适应学习能力，能够精准挖掘多源信息与故障类型之间的复杂关联，适用于复杂地质条件下提升系统多故障耦合场景的诊断，具体实现方式如下：（1）神经网络模型构建。选择BP神经网络作为融合诊断核心模型，输入层节点数量对应预处理后的多源特征参数维度，隐含层节点数量通过试凑法结合经验公式确定，输出层节点数量对应可能的故障类型数量。针对复杂地质下故障特征的动态变化特点，引入动量项优化网络训练过程，提升模型的收敛速度和稳定性，避免陷入局部最优解。（2）模型训练与优化。采用预处理后的历史故障数据和正常运行数据构建训练样本集，对神经网络进行监督训练。训练过程中，通过梯度下降法不断调整网络权重和阈值，最小化预测输出与实际故障类型之间的误差。为提升模型的泛化能力，采用交叉验证法对样本集进行划分，避免过拟合现象。（3）融合诊断应用流程。将实时采集并预处理后的多源信息输入训练完成的神经网络模型，通过模型的前向传播计算得到各故障类型的预测概率，将预测概率最大的故障类型作为诊断结果。该方法能够自动学习多源信息中的深层故障特征，无需人工构建复杂的诊断规则，对耦合故障的识别能力较强，适用于复杂地质条件下提升系统故障的精准诊断，为故障处理提供可靠依据^[1]。

4 不同地质灾害诱发立井大型箕斗提升系统故障的专项处理策略

4.1 围岩变形诱发故障的专项处理策略

围岩变形诱发的提升系统故障处理,具体措施如下:(1)应急控变处置。立即启动提升系统紧急停机程序,封锁作业区域并设置安全警戒;启用井筒围岩监测系统,实时采集变形速率、位移量等数据,动态评估变形发展趋势;对变形区域优先采用锚喷支护快速加固,针对高风险区段增设锚索进行深部锚固,抑制围岩持续松动。(2)装备修复治理。采用激光准直技术对罐道进行精准定位检测,确定偏移量及变形程度,通过调整罐道梁间距、校正垂直度实现罐道复位,对挤压变形或开裂的罐道构件进行整体更换;对卡阻箕斗实施分级卸载后,采用液压顶推装置缓慢复位,全面检测箕斗导向轮、连接销轴等部件的损伤情况,更换失效部件并重新校准装配精度。(3)长效防控保障。修复完成后依次开展空载、半载、重载分级试运行,实时监测箕斗运行轨迹、罐道摩擦系数、钢丝绳受力等关键参数;优化围岩监测方案,增设监测点位并设定多级预警阈值,建立24小时动态监测机制。

4.2 地质沉降诱发故障的专项处理策略

地质沉降易导致提升系统基础失稳、装备同轴度偏差,处理需按以下步骤推进:(1)沉降应急管控。立即停止提升作业,启动沉降应急响应机制;采用精密水准仪、全站仪对机房基础、井筒装备沉降量及沉降速率进行全面检测,划定沉降影响范围及危险区域;对机房基础采用高压注浆技术填充基底空隙,形成稳固的注浆结石体抑制持续沉降。(2)基础与装备修复。通过同步千斤顶系统实现机房基础精准复位,对基础裂缝采用压力灌浆修补并增设钢筋网增强承载能力;重新校准提升主机(电机、减速器、卷筒)的安装基准面,调整传动部件同轴度,更换因沉降扭曲变形的传动轴、联轴器等关键构件;对井筒内罐道、井底装载装置进行高程复核与调整,确保各装备部件相对位置符合设计规范。(3)系统调试与长效监测。对提升系统制动装置进行全面调试,重新设定制动力矩、制动行程等参数,确保制动响应灵敏可靠;开展全工况试运行,重点监测提升速度稳定性、传动系统振动值、制动系统温升等指标。

4.3 地下水突涌诱发故障的专项处理策略

地下水突涌诱发的故障处理,具体措施如下:(1)控涌排水应急措施。立即启动井筒主排水系统,增设临时排水泵组提升排水能力,快速降低井筒内水位;对突涌口采用“封堵+引流”组合方案,先通过聚氨酯注浆快速封堵涌水通道,再设置引流管控制涌水量;对提升系统电气设备(控制柜、传感器、电机)采取防水隔离措施,覆盖防水罩并铺设防水卷材,防止地下水浸泡引发短路故障。(2)装备清理与修复。待井筒水位降至安全范围后,清理提升装备表面的淤泥、杂物及腐蚀性介质;对锈蚀的金属构件(箕斗、罐道、钢丝绳)进行除锈处理,涂刷防腐涂层增强抗腐蚀能力,严重锈蚀构件直接更换;对受潮电气设备进行干燥处理,检测绝缘性能及电气参数,更换失效元件并重新调试控制系统。(3)防护体系强化。在井筒关键区段增设防水隔离层及排水廊道,完善排水系统冗余设计,提升突涌水应对能力;对提升系统电气设备进行防水升级,采用IP65及以上防水等级部件,优化设备布局避免低洼处积水;建立地下水动态监测系统,实时监测水位、水压及水质变化,提前预警突涌风险^[4]。

结束语:本文围绕复杂地质条件下立井大型箕斗提升系统故障诊断与处理展开研究,明确了地质条件的影响机制,构建了多源信息融合诊断体系,形成了针对性的专项处理策略。研究构建的诊断方法实现了故障精准识别,专项策略保障了系统故障高效处置,有效提升了复杂地质环境下提升系统的安全运行水平。

参考文献

- [1]王现平.煤矿立井提升机的实时监测与故障诊断[J].内蒙古煤炭经济,2025(13):145-147.
- [2]王高峰.基于区域矿山生产理念的矿山提升运输系统优化设计[J].凿岩机械气动工具,2025,51(7):63-65.
- [3]王建风,靳远志,张勇,王永振,和佳聪.立井提升系统刚性罐道故障诊断方法[J].工矿自动化,2025,51(6):113-121.
- [4]黄超.煤矿提升系统常见故障分析及故障诊断技术研究[J].机械管理开发,2025,40(9):262-264.