

煤矿带式输送机状态监测与故障诊断系统分析

郭文龙

河南万合机械有限公司 河南 新密 452370

摘要: 煤矿带式输送机是煤炭运输关键设备, 长期处于恶劣环境易出现机械、电气故障及运行状态异常。本文剖析其常见故障类型, 阐述状态监测技术、故障诊断方法, 介绍系统实现与优化策略, 包括架构设计、实时性与可靠性优化、人机交互界面等, 为煤矿带式输送机智能化管理提供支持。

关键词: 煤矿带式输送机; 故障诊断; 状态监测; 传感器技术; 智能诊断系统

引言: 煤矿带式输送机是煤炭运输的关键设备, 其运行状态直接影响煤矿生产效率与安全。由于长期处于复杂恶劣的井下环境, 带式输送机易出现机械故障、电气故障以及运行状态异常等问题。准确的状态监测与故障诊断对及时发现设备隐患、预防事故发生至关重要。本文深入剖析带式输送机常见故障类型, 探讨状态监测与故障诊断技术, 并介绍系统实现与优化方法。

1 煤矿带式输送机常见故障类型

1.1 机械故障

滚筒作为带式输送机动力传递的关键部件, 表面出现磨损或裂纹会导致皮带与滚筒间摩擦力分布不均。长期运行中, 磨损区域引发皮带局部受力过大, 加速老化。滚筒轴承损坏时, 转动产生不规则卡顿, 使皮带运行速度波动, 影响运输稳定性^[1]。托辊安装在输送机机架两侧, 支撑皮带并减少运行阻力。外壳因碰撞或锈蚀破损, 内部滚珠可能脱落, 导致托辊无法转动。托辊轴与轴承间隙增大, 转动时产生径向摆动, 与皮带接触形成间歇性摩擦, 加剧两者损耗。皮带跑偏表现为运行中逐渐偏离中心位置, 接触机架侧边。多由托辊安装角度偏差或皮带接头不平整引发。边缘与机架持续摩擦导致磨损变薄, 严重时引发撕裂。撕裂常由尖锐异物卷入造成, 煤炭中混入的金属块或岩石碎片卡在皮带与托辊之间, 会在表面划出纵向裂口。裂口未及时处理会随运转扩大, 最终导致断裂。

1.2 电气故障

电机是带式输送机的动力源, 定子绕组绝缘老化导致运行时电流不稳定。绕组温度升高影响输出功率, 使输送机速度下降。转子与定子之间的间隙不均匀, 会引发磁场紊乱, 产生异常电磁力, 干扰正常运转。减速器通过齿轮啮合调节转速, 齿面磨损或断齿导致传动出现周期性冲击。润滑油泄漏使齿轮和轴承缺乏润滑, 加剧磨损, 甚至引发咬合失效。传感器监测输送机运行参

数, 感应元件被粉尘覆盖影响检测精度。振动传感器安装松动导致采集信号失真, 无法反映实际状态。温度传感器线路接触不良使传输数据跳变, 难以及时发现过热问题。供电模块故障导致数据采集中断, 使监测系统失去对设备运行状态的感知。

1.3 运行状态异常

过载因输送物料量超过设计负荷引发, 驱动电机输出扭矩增大, 皮带张力急剧上升。持续过载导致电机和减速器超负荷运行, 加速关键部件老化。打滑表现为皮带与驱动滚筒相对滑动, 多因张力不足或滚筒表面摩擦力下降。发生时皮带速度滞后于滚筒转速, 降低输送效率, 摩擦产生的大量热量可能引发过热损坏。振动异常表现为设备整体或局部出现超出正常范围的周期性震动, 主要由部件不平衡或连接松动导致。振动使螺栓等连接件逐渐松动, 扩大部件间隙, 形成恶性循环。噪声异常通常伴随振动出现, 不同故障产生的频率和强度有差异。齿轮啮合不良产生高频尖锐声, 轴承磨损引发低沉持续声响。这些异常逐渐加剧设备磨损, 影响运行稳定性。

2 状态监测技术

2.1 监测参数

温度监测聚焦于设备关键部位的热量变化。电机绕组、减速器箱体以及滚筒轴承等部件在异常运行时伴随温度升高, 通过捕捉这些部位的温度数值变化, 可判断部件是否处于正常工作范围^[2]。温度异常往往预示着部件磨损加剧或润滑失效, 及时监测能为故障预警提供基础信息。振动监测通过捕捉设备运行时的振动信号特征判断状态。滚筒、托辊和减速器等旋转部件在出现磨损、松动或不平衡时, 振动频率和振幅会偏离正常范围。不同故障类型对应特定的振动频谱特征, 分析这些特征可识别潜在的机械故障。电流与电压监测针对电气系统的运行状态。电机运行时的电流和电压波动能反映

负载变化和内部故障情况。电流异常升高可能源于电机过载或绕组短路,电压不稳则可能影响电机输出功率,干扰输送机正常运行节奏。皮带张力监测关注皮带运行时的张紧程度。张力过高会加速皮带和滚筒的磨损,张力过低则易引发打滑。实时掌握皮带张力变化,可及时调整张紧装置,维持皮带与滚筒之间的正常摩擦力,保障输送效率。

2.2 传感器技术

常用传感器类型根据监测参数不同而有所区分。温度传感器多采用热电偶或红外探测原理,适用于高温环境下的非接触式测量。振动传感器以压电式和磁电式为主,能将机械振动转化为电信号输出。电流电压传感器通过电磁感应原理采集电气参数,适应强电磁环境下的稳定工作。张力传感器则通过应变片感知皮带对传感器的压力,转化为可测量的电信号。传感器布置策略需结合设备结构和故障高发区域。温度传感器需贴近电机、减速器等发热部件的表面,确保感知真实温度。振动传感器应固定在滚筒轴承座、减速器壳体等振动传递直接的位置,减少信号衰减。皮带张力传感器需安装在张紧装置或托辊组附近,直接接触皮带受力部位。传感器安装位置需避开物料冲击和粉尘堆积区域,避免物理损坏和信号干扰。

2.3 数据采集与传输

实时数据采集方法强调对监测参数的持续捕捉。通过设定固定的采样间隔,传感器可按规律输出监测信号,经信号调理电路转换为标准电信号后进入采集模块。采集模块需具备快速响应能力,确保捕捉瞬时变化的参数,如电机启动时的电流峰值和皮带突发振动等情况。采集过程中需过滤环境干扰信号,保留有效数据特征。数据传输技术分为有线和无线两种方式。有线传输通过电缆连接传感器与数据处理终端,信号传输稳定且抗干扰能力强,适用于固定设备和短距离传输场景。无线传输依赖无线传感器网络,通过射频信号传递数据,可适应输送机长距离布置的特点,减少线缆铺设的复杂性。无线传输需解决井下复杂环境中的信号屏蔽问题,确保数据传输的连续性和完整性。不同传输方式需根据井下空间布局和设备移动需求合理选择,保障监测数据及时送达处理中心。

3 故障诊断方法

3.1 基于信号处理的诊断

时域分析通过观察信号随时间变化的波形特征识别故障。振动或电流信号的时域波形中,异常脉冲或幅值突变可能对应机械部件的瞬时冲击,如轴承滚珠与滚道

的碰撞。通过提取波形中的峰值、均值和方差等参数,可初步判断设备是否偏离正常运行状态^[1]。波形的持续波动形态也能反映故障发展趋势,连续出现的规律性脉冲可能暗示部件磨损正在加剧。频域分析将时域信号转换为频率域分布,揭示信号中隐藏的周期性特征。旋转部件的故障常表现为特定频率的能量集中,如齿轮啮合频率异常增强可能提示齿轮磨损。频谱图中出现的新频率成分,可能对应新产生的故障模式。不同故障类型在频谱上的能量分布存在差异,通过对比正常频谱特征,可快速锁定异常频率所在频段。小波变换应用于非平稳信号的分析处理,能够同时反映信号的时间和频率特征。对于皮带撕裂引发的突发振动信号,小波变换可准确定位异常发生的时刻和频率范围,区分故障信号与环境干扰信号的差异,提高故障识别的精准度。其多尺度分解能力可将复杂信号分解为不同频段的子信号,便于单独分析各频段内的故障特征。

3.2 基于机器学习的诊断

特征提取与选择从原始监测数据中提炼出与故障相关的关键信息。通过对振动、温度等信号进行处理,转化出能反映故障本质的特征量,如振动信号的峭度、温度信号的变化率。筛选出对故障敏感的特征,可减少冗余信息对诊断结果的干扰。特征之间的关联性分析能排除次要因素影响,聚焦核心特征与故障的内在联系。分类算法通过训练建立特征与故障类型的关联模型。SVM通过构建最优分类超平面实现不同故障类别的区分,适用于小样本情况下的故障识别。神经网络模拟人脑神经元连接方式,通过多层非线性映射处理复杂特征,对电机轴承磨损、皮带跑偏等多种故障具有较强的分类能力。这些算法通过学习历史故障数据,不断优化模型参数,提升对新故障的识别能力。模型的迭代更新可适应设备运行状态的动态变化,保持诊断性能的稳定性。

3.3 智能诊断系统架构

数据预处理是智能诊断的基础环节,对采集的原始数据进行清洗和标准化。去除信号中的噪声和异常值,修正传感器漂移导致的偏差,将不同类型的监测数据转换为统一格式,为后续处理提供一致的数据基础。预处理后的数据集能更真实地反映设备运行状态。针对缺失数据采用合理的插值方法进行补充,避免数据断层影响分析连续性。故障模式识别通过匹配处理后的数据与已知故障特征,确定故障类型和严重程度。系统将实时数据特征与预设的故障模式库进行比对,计算相似度并输出诊断结果。对于未被记录的新故障模式,系统可标记为异常并触发进一步分析流程,不断丰富故障模式库,

提升诊断系统的适应性。识别过程中结合故障发展的阶段性特征,可判断故障处于萌芽期、发展期还是严重期,为处理决策提供依据。

4 系统实现与优化

4.1 系统架构设计

硬件组成涵盖传感器集群、数据采集终端、传输设备和服务器节点。传感器集群分布在输送机驱动滚筒、托辊组、张紧装置等关键部位,包括振动传感器捕捉机械结构微小位移,温度传感器监测轴承和电机表面温度变化,速度传感器记录输送带运行速率,跑偏传感器感知输送带横向偏移幅度^[4]。数据采集终端通过有线连接汇总各传感器信号,进行初步转换与滤波。传输设备采用工业级以太网和无线中继相结合的方式,适应井下复杂地形布局。服务器节点部署在地面监控中心,具备高速运算和大容量存储能力,支撑数据深度处理与历史记录留存。软件功能模块包含数据接收层、分析层和应用层。数据接收层负责解析来自采集终端的信息,按照预设协议规整数据格式,确保不同类型信号兼容。分析层搭载信号处理算法和故障诊断模型,对连续接收的数据流进行特征提取与模式匹配,识别潜在异常。应用层整合数据存储调用、用户权限管理和系统配置调节等功能,为上层操作提供基础支撑。各模块通过内部接口实现数据流转,形成从信息采集到指令输出的完整闭环。

4.2 实时性与可靠性优化

数据处理效率提升依赖分层计算架构。边缘计算节点嵌入数据采集终端,对原始信号进行实时筛选,剔除无效波动数据,仅保留特征明显的关键信息。核心服务器采用并行计算框架,将复杂诊断任务拆解为多个子任务,分配至不同运算单元同步处理。算法层面引入增量学习机制,在持续接收数据过程中动态更新模型参数,减少重复计算量。通过缩短数据在各处理环节的滞留时间,确保从信号捕捉到状态判断的延迟控制在可接受范围。抗干扰措施贯穿硬件选型和系统部署全过程。传感器外壳采用金属屏蔽材质,内部电路设计加入滤波电容和浪涌保护器,降低电磁辐射影响。数据传输线路采用双绞屏蔽线,敷设路径避开高压电缆和电机等强干扰源。软件层面运用数字滤波算法,消除信号中的周期性噪声和随机脉冲干扰。在电路连接节点处增加防水密封和防尘涂层,避免潮湿与粉尘侵蚀导致接触不良。服务

器机房配备稳压电源和UPS不间断供电系统,防止电压波动造成数据丢失或系统重启。

4.3 人机交互界面

状态可视化通过多维度图表展示输送机运行细节。主界面以三维模型还原输送机整体布局,不同部件根据实时状态呈现不同颜色,绿色表示正常,黄色标记轻微异常,红色突出严重故障。振动信号以波形图动态刷新,温度变化通过热力图呈现空间分布,速度数值以仪表盘形式直观显示。点击任意部件可展开次级界面,查看该位置近段时间的状态曲线和关联参数,实现从整体到局部的逐层深入观察。报警与预警机制通过多级响应模式实现风险提示。当监测数值超出预设阈值,界面对应区域闪烁并发出蜂鸣提示。预警信息按紧急程度分级,轻微偏离正常范围时仅在状态栏显示文字提示,中度异常触发弹窗提醒,严重故障则激活声光报警并锁定操作界面。所有报警和预警事件自动关联至具体部件和相关历史数据,操作人员可直接点击事件记录调阅详细信息,为故障排查提供方向指引。界面设置手动确认按钮,确认后解除报警状态并记录处理时间,形成完整事件追溯链条。

结束语

煤矿带式输送机状态监测与故障诊断系统的研究,对保障煤矿生产安全与高效运行意义重大。通过分析常见故障类型,明确监测参数与诊断方法,设计合理的系统架构并优化其性能,可实现对设备状态的实时准确监测与故障及时预警。未来,随着技术发展,该系统将不断完善,为煤矿带式输送机的智能化管理提供更有力的支持,推动煤矿生产向更安全、高效、智能的方向发展。

参考文献

- [1]韩扬,陈林,冯聪,等.带式输送机状态远程监控与诊断系统[J].内蒙古煤炭经济,2023(24):25-27.
- [2]张硕.基于AI技术的矿用带式输送机驱动装置故障诊断预警研究[J].煤矿机电,2023,44(5):59-63.
- [3]王金亮,宋建国,汤浩,等.基于机械制造的煤矿用带式输送机托辊检测工艺研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(6):75-77.
- [4]武晓莉.矿用带式输送机运行状态监测系统应用[J].机械管理开发,2024,39(8):249-251.