

煤矿机电设备预防性维护策略研究

李向钰

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要: 煤矿机电设备是矿井生产系统的核心支撑,其运行可靠性直接关系到生产效率与安全。针对传统事后维修模式难以适应现代化生产需求的问题,本文系统分析了煤矿机电设备维护管理现状与问题,阐述了预防性维护理论基础与故障模式分析方法,设计了设备重要度分级、定时维护周期优化、状态监测、预测性维护及备件管理优化等策略,构建了预防性维护组织体系与信息化平台。研究表明,实施预防性维护可显著降低设备故障率,延长设备使用寿命,为煤矿机电设备精细化管理提供技术支撑。

关键词: 煤矿机电设备;预防性维护;状态监测;维修策略

引言: 煤矿机电设备是采掘、运输、提升、通风、排水等生产环节的核心装备,其运行状态直接影响矿井生产效率与安全生产。传统“事后维修”模式在设备故障发生后进行处理,难以避免非计划停机带来的生产损失,且维修成本高、设备寿命损耗大。随着煤矿机械化、自动化水平提升,设备密集度和复杂程度显著增加,传统维护模式已难以满足现代化生产需求。预防性维护通过定期检查、状态监测和趋势预测,在故障发生前采取维护措施,可有效降低故障率、延长设备寿命。

1 煤矿机电设备维护管理现状与问题

1.1 煤矿主要机电设备构成及运行特点

煤矿机电设备涵盖采掘、运输、提升、通风、排水、供电等系统。采掘设备包括采煤机、掘进机等,长期处于高粉尘、高湿度、强振动环境中。运输设备包括带式输送机、刮板输送机等,连续运行时间长、负载波动大。提升设备故障将导致全矿停产。通风排水设备需连续运转,故障直接影响安全。供电设备可靠性要求极高。这些设备具有连续运转时间长、工作环境恶劣、故障影响面广的特点。设备之间相互关联,单台故障可能引发连锁反应,必须建立系统化的维护管理体系。

1.2 现行维护管理模式及存在问题

当前煤矿机电设备维护普遍采用事后维修与定期维修相结合的模式。事后维修在故障发生后进行,难以避免非计划停机。定期维修按固定周期检修,存在“过度维修”或“维修不足”问题。主要问题包括:维修周期缺乏科学依据;状态监测手段落后,难以及时发现早期故障;维修记录不完整,数据积累不足;备件管理混乱,关键备件缺货或积压并存;维修人员技能参差不齐。

这些问题导致故障率居高不下、维修成本持续上升,制约了生产效率和管理水平的提升^[1]。

2 预防性维护理论基础与故障模式分析

2.1 预防性维护的基本概念

预防性维护是在设备故障前按计划或基于状态监测进行的维护活动,目的是预防故障、延缓性能劣化。根据触发条件不同,分为定时维护、状态维护和预测性维护三类。定时维护按固定周期检修,适用于故障规律稳定的设备;状态维护通过监测状态参数,在达到阈值时进行维护;预测性维护利用数据分析预测剩余寿命和故障趋势,实现精准维护。三类策略各有适用场景,实践中应组合应用。预防性维护的核心价值在于减少非计划停机、延长设备寿命、降低全生命周期维修成本、提升设备综合效率。

2.2 设备可靠性理论基础

设备可靠性是指设备在规定条件下和时间内完成规定功能的能力,常用可靠度、故障率、平均无故障时间(MTBF)衡量。故障率变化规律可用浴盆曲线描述,划分为三个阶段:早期故障期故障率较高但递减,由设计或安装问题引起;偶然故障期故障率稳定,是最佳工作期;耗损故障期故障率上升,由磨损、老化引起。平均修复时间(MTTR)影响设备可用度,计算公式为 $MTBF/(MTBF+MTTR)$ 。理解可靠性理论,有助于在设备进入耗损故障期前安排预防性维护,避免突发故障。

2.3 煤矿典型机电设备故障模式分析

故障模式分析是识别设备主要故障类型的基础。采煤机常见故障有截割部齿轮磨损、摇臂油缸泄漏、牵引电机过载、变频器故障、行走轮磨损等。掘进机常见故障有截齿过度磨损、液压系统压力不足、行走机构

卡滞。带式输送机常见故障有输送带跑偏撕裂、滚筒轴承过热、减速机齿轮损坏。提升机故障集中在钢丝绳断丝、制动闸间隙超标、减速机异响。通风机故障有叶片裂纹、轴承温度过高、动不平衡。排水泵故障以叶轮汽蚀、密封泄漏为主。分析故障模式的发生频率和严重程度,是制定预防性维护策略的依据。

2.4 基于故障模式的关键部件识别

基于故障模式分析,可识别各类设备的关键部件,作为预防性维护的重点对象。关键部件通常具备以下特征:故障发生频率高、故障后果严重(导致停机或安全事故)、维修难度大、备件采购周期长。采煤机关键部件包括截割部齿轮箱、牵引变频器、行走轮;掘进机关键部件为截割头、液压泵、行走减速机;带式输送机关键部件有驱动滚筒、输送带接头、减速机;提升机关键部件是钢丝绳、制动系统、减速机;通风机关键部件为叶片、轴承、电机绕组;排水泵关键部件是叶轮、密封装置、轴承。识别关键部件后,应建立重点监测清单,配置更严格的监测手段和更短的维护周期^[2]。同时,应建立关键备件库存,确保故障发生时能够快速更换。关键部件识别是资源优化配置的基础,避免对所有设备投入同等维护资源。

3 预防性维护策略设计

3.1 设备重要度分级与差异化策略

设备重要度分级是实现维护资源优化配置的前提。根据设备故障对生产、安全、环境的影响程度,将设备划分为关键设备、重要设备和一般设备三个等级。关键设备如主提升机、主通风机、主排水泵,故障将导致全矿停产或重大安全事故,需采用状态维护与预测性维护相结合的策略,配置在线监测系统,缩短巡检周期。重要设备如采煤机、掘进机、主运输带式输送机,故障影响较大但可局部应对,采用定时维护与状态维护结合策略,定期采集关键参数。一般设备如局部通风机、小型水泵、辅助电机等,故障影响有限,采用定时维护或事后维修策略,按固定周期进行检查保养。分级管理可使维护资源向关键设备倾斜,避免“一刀切”造成的资源浪费或保护不足。

3.2 定时维护周期优化方法

定时维护周期优化是预防性维护的核心内容之一。传统周期设定依赖经验,往往偏于保守,导致过度维修或维修不足。优化方法基于设备故障数据,以最小化单位时间维护成本为目标建立数学模型。常用模型包括年龄更换模型和成组更换模型。年龄更换模型假设设备

故障率随使用时间增加,在达到最优使用时间时进行更换,最优周期由故障率函数和维修成本决定。成组更换模型适用于多部件设备,在固定时间间隔内对所有部件进行更换。实际应用中,可采用统计分析方法处理历史故障数据,计算平均故障间隔时间,将维护周期设定为平均故障间隔时间的一定比例(如70%-80%)。对于缺乏历史数据的设备,可参考同类设备经验数据,并通过运行数据积累不断优化调整。优化后的周期应在保障可靠性的前提下,尽可能延长设备运行时间^[3]。

3.3 状态监测参数选择与阈值设定

状态监测是实施状态维护的技术基础,参数选择和阈值设定是关键环节。振动监测适用于旋转设备如通风机、水泵、减速机等,测点布置在轴承座处,监测振动速度有效值(mm/s),阈值参照ISO 10816标准设定。温度监测适用于电机绕组、轴承、齿轮箱等,采用红外测温或热电阻传感器,温升速率是重要判据。油液分析适用于齿轮箱、液压系统,监测粘度、水分、酸值、磨粒浓度等指标,磨损加剧时特征元素含量升高。电气参数监测包括电流、电压、绝缘电阻等,电流异常升高反映负载增大或机械故障。阈值设定采用分级报警方式:一级预警(注意值),提示状态异常需加强观察;二级报警(危险值),提示需安排检修;三级报警(停机值),提示立即停机。阈值应根据设备运行历史数据统计确定,并动态调整。

3.4 预测性维护技术应用

预测性维护是预防性维护的高级阶段,利用数据分析和人工智能技术实现故障趋势预测和剩余寿命估计。数据采集方面,在关键设备上部署智能传感器,实时采集振动、温度、电流等多维参数。数据处理方面,对原始数据进行清洗、降噪、特征提取,构建设备健康状态指标。故障预测模型可采用多种方法:基于趋势外推的时间序列预测,适用于退化规律明显的设备;基于机器学习的分类和回归模型,需大量历史数据训练;基于深度学习的自动特征提取,适合复杂模式识别。剩余寿命预测通过构建设备退化模型,将当前状态与失效阈值对比,估计可继续运行时间。预测结果用于指导维修决策,实现“按需维护”。煤矿可先选择关键设备试点,积累经验后逐步推广,最终建立基于数据驱动的预测性维护体系。

3.5 备件管理优化策略

备件管理是预防性维护体系的重要组成部分,直接影响维修响应时间和库存成本。关键备件识别依据设

备重要度分级和故障模式分析结果,对关键设备的关键部件建立备件清单。安全库存计算综合考虑备件采购周期、消耗速率和供应可靠性,采购周期长、消耗量大、供应不稳定的备件需提高安全库存。常用库存模型包括定量订货模型和定期订货模型。定量订货模型设定订货点和订货量,库存降至订货点时触发采购;定期订货模型按固定周期盘点并补充至目标库存。备件分类管理采用 ABC 分类法: A 类备件价值高、消耗少,按需采购; B 类备件价值中等、消耗稳定,设安全库存; C 类备件价值低、消耗大,设较高库存。建立备件信息管理系统,实现库存动态监控和自动预警。与供应商建立长期合作,缩短供应周期,降低库存水平。

4 预防性维护组织体系与平台建设

4.1 组织架构与职责分工

预防性维护的有效实施需要健全的组织架构保障。建议设立设备管理委员会,由矿领导牵头,机电副矿长主抓,成员包括机电科、各区队机电负责人。委员会负责制定维护策略、审核维护计划、协调资源配置。机电科是维护管理的职能部门,负责制定维护标准、编制维护计划、监督执行质量、分析设备状态数据。区队设专职维护班组,负责日常巡检、定期保养、故障处理,执行维护计划。操作人员承担日常点检责任,按点检标准检查设备,发现异常及时报告。建立岗位责任制,明确各级人员职责。定期召开设备分析会,通报设备运行状态,分析故障原因,优化维护策略。组织架构的合理性和职责的清晰划分,是预防性维护落地的组织基础^[4]。

4.2 维护流程标准化

维护流程标准化是保障维护质量一致性的关键。标准作业程序(SOP)覆盖日常点检、定期保养、状态监测、故障维修、备件更换等环节。日常点检 SOP 明确点检路线、点位、内容、方法和标准,点检结果填入电子点检表。定期保养 SOP 规定保养周期、保养项目、操作步骤、验收标准,保养完成后记录执行情况。状态监测 SOP 规定监测参数、采集频率、分析方法、异常处理流程。故障维修 SOP 包括故障诊断、维修方案、备件领用、维修实施、试运行验收。建立维修工单管理系

统,实现工单申请、审批、执行、验收、归档全流程闭环管理。标准化流程可减少人为差异,提高维护效率和质量,便于新员工培训和技能传承。

4.3 维护信息化平台建设

维护信息化平台是实现预防性维护数字化、智能化的技术支撑。平台功能模块包括:设备台账管理模块,记录设备基本信息、技术参数、备件清单、维修历史;工单管理模块,实现工单创建、派发、执行、验收的在线流转;状态监测模块,接入在线监测数据,实时显示设备状态参数,越限自动报警;库存管理模块,动态监控备件库存,自动预警低库存;数据分析模块,统计设备故障率、MTBF、维修成本等指标,生成分析报表;移动应用模块,支持手机端点检、工单处理、数据录入。平台应与企业现有 ERP、MES 系统对接,实现数据共享。通过信息化平台,实现设备全生命周期管理数字化,为维护决策提供数据支撑。

结束语

煤矿机电设备预防性维护是实现设备精细化管理、提升运行可靠性的重要途径。本文从维护管理现状出发,分析了存在的主要问题,阐述了预防性维护理论基础,开展了设备故障模式分析,设计了设备重要度分级、定时维护周期优化、状态监测、预测性维护及备件管理等策略,构建了组织体系与信息化平台。未来应进一步推动智能传感器、大数据分析、人工智能等技术在预防性维护中的应用,实现煤矿机电设备维护从“计划修”向“状态修”“预测修”的转型升级。

参考文献

- [1] 刘继武. 煤矿机电设备的安全管理与预防性维护策略[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025(2):95-97.
- [2] 王秀丽, 陈云. 煤矿机电设备的预防性维护策略研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(20): 200-202.
- [3] 马广伟. 论煤矿机电设备预防性维护技术的应用[J]. 中国设备工程, 2025(4): 84-86.
- [4] 韩理论. 煤矿机电运输设备维护与故障诊断策略研究[J]. 建筑与施工, 2023, 2(22):91-92.