

选煤厂设备预防性维护体系构建与信息化管理

刘左权 张 博

陕西新能选煤技术有限公司 陕西西安 710000

摘要：选煤厂作为煤炭清洁加工的核心环节，其设备具有精密化、关联性强、工况恶劣、自动化程度高等鲜明特点，设备稳定运行直接决定生产连续性、产品质量与经济效益。传统事后维修模式已无法适配现代选煤生产需求，构建科学的预防性维护体系并融合信息化管理技术，成为提升设备管理水平的必然路径。本文基于选煤厂设备运行特性，从体系构建的核心逻辑出发，系统阐述设备分类分级、维护策略制定、流程标准化等关键环节，同时深入探讨信息化管理平台的架构设计及核心技术应用，为选煤厂设备管理从“经验驱动”向“数据驱动”转型提供技术支持与实践参考。

关键词：选煤厂设备；预防性维护；体系构建；信息化管理；全生命周期

前沿

在煤炭工业智能化转型背景下，选煤厂生产工艺不断优化，破碎机、重介质旋流器、压滤机、带式输送机等关键设备的自动化、集成化程度显著提升。选煤厂设备长期处于高负荷、多粉尘、高湿度的恶劣工况，且各设备间存在紧密的工艺关联性，单一设备故障易引发连锁反应，导致生产中断，造成重大经济损失。设备预防性维护是指在日常运行管理中采取必要的措施和方法，防止设备在运行中出现可能发生的磨损、疲劳、过热等故障，特别是近期内可能出现的不可预见性故障。预防性维护需要定期巡检设备，检查是否有异响、振动过大、过热等现象，定期采取适当的保养措施，如更换或补充润滑油、更换轴承等，以达到预防损坏和防止故障发生的目的。信息化管理技术的融入，能够突破传统维护模式中数据滞后、决策主观等瓶颈，实现设备状态实时监测、故障精准预警与维护高效协同。因此，结合选煤厂设备特点构建预防性维护体系，并依托信息化手段实现全流程管控，对于提升设备综合效率（OEE）、降低维护成本、保障生产安全稳定具有重要现实意义。

作者简介：

1. 刘左权（1985—），男，汉族，山西原平人，本科，研究方向：机电设备维护管理；
2. 张博（1985—），男，汉族，陕西佳县人，本科，工程师，研究方向：选煤厂机电设备管理。

一、选煤厂设备特点及对维护管理的要求

选煤厂设备种类繁多、功能各异，其独特的运行特性对维护管理提出了针对性要求，具体体现在以下方面：（1）精密化与集成化程度高。现代选煤设备如重介质旋流器、浮选机等，核心部件加工精度要求严格，且多与自动化控制系统集成，故障诊断难度大，对维护人员专业技能和检测手段提出更高要求。这要求维护工作需具备精准性和前瞻性，避免因维护不当导致设备精度下降或控制系统失效。（2）设备关联性强。选煤生产是连续化工艺过程，从原煤破碎、筛分、分选到产品脱水、运输，各环节设备紧密衔接。例如，带式输送机故障会导致原煤供应中断，直接影响后续分选设备运行；压滤机故障则会造成煤泥水处理系统堵塞，引发全流程生产停滞。因此，维护管理需兼顾单台设备状态与系统协同性，避免局部故障扩大化。（3）工况恶劣且负荷波动大。选煤厂粉尘浓度高、湿度大，设备易出现磨损、腐蚀、堵塞等问题；同时，原煤性质波动会导致设备负荷频繁变化，加剧零部件疲劳损伤，如破碎机锤头、筛网等易损件损耗速度快。这要求维护体系具备动态调整能力，强化对易损件的周期性监测与更换。（4）自动化设备占比提升。智能传感器、PLC控制器、工业机器人等在选煤厂广泛应用，设备运行状态依赖数据驱动，传统人工巡检难以全面捕捉设备异常信号。这亟需通过信息化手段实现设备运行数据的实时采集、分析与预警，支撑维护决策的科学性。

二、选煤厂设备预防性维护体系构建

基于选煤厂设备特点，预防性维护体系构建需遵循

“分类分级、精准施策、流程闭环”的核心逻辑，从组织保障、设备分类、策略制定等方面系统推进。

（一）组织保障体系构建

完善的组织架构是预防性维护体系落地的基础，需明确各层级职责，形成协同高效的管理机制。一是成立设备管理领导小组，由厂级领导牵头，统筹协调生产、机电、安全等部门资源，审批重大维护计划与费用，解决跨部门管理难题。二是设立专职设备管理部门，负责维护规程制定、计划编制、技术指导与效果评估，同时管理设备技术档案，组织人员培训。三是落实岗位责任制，生产车间班组负责人为区域设备维护第一责任人，组织日常巡检与基础保养；操作人员承担设备日常点检、清洁、润滑等基础工作；维修人员负责故障诊断与维护实施，确保责任闭环。

（二）设备分类分级管理

结合选煤工艺特点，按设备故障影响程度、维护难度及重要性，将设备分为核心工艺设备、重要动力设备、关键辅助设备三类，实施差异化管理：（1）核心工艺设备包括重介质旋流器、跳汰机、压滤机、离心机等，此类设备直接决定分选效果与产品质量，故障将导致全流程中断，需采取“预防为主、高度监测”策略，强化状态监测与计划性维护。（2）重要动力设备如大型带式输送机、主通风机、给料机等，影响生产效率与作业环境，采取“定期保养、快速响应”策略，重点关注运行参数稳定性与易损件更换。（3）关键辅助设备包括渣浆泵、清水泵、阀门、液压系统等，虽不直接决定主流程，但故障频发会影响生产连续性，采取“强化巡检、及时修复”策略，重点监测密封性能、压力变化等指标。

（三）差异化预防性维护策略制定

基于设备分类分级结果，结合设备磨损规律、制造商手册及现场运行数据，制定差异化维护策略：（1）定期预防性维护。针对核心工艺设备和重要动力设备，根据运行时间制定固定周期维护计划，如定期更换润滑油（脂）及滤芯、检查紧固连接件、调整设备间隙与参数等。例如，对破碎机每运行500小时进行一次全面润滑，每1000小时检查锤头磨损情况；对带式输送机每周检查皮带张紧度，每月检测滚筒轴承温度。（2）状态基于性维护。借助监测设备实时采集核心设备运行数据，如振动、温度、压力、电流等，通过数据分析判断设备状态，当参数超出阈值时触发维护。例如，对重介质旋流器安

装压力传感器与振动传感器，实时监测分选压力与设备振动，及时发现衬板磨损、堵塞等问题；对电机安装温度传感器，避免过热损坏绕组。（3）预测性维护。基于设备历史运行数据、故障记录，通过算法模型预测零部件剩余寿命，提前制定维护计划。例如，利用磨损理论模型预测破碎机锤头、筛网等易损件使用寿命，结合生产负荷动态调整更换周期，避免过度维护或欠维护。

三、选煤厂设备信息化管理系统构建

信息化管理系统是预防性维护体系高效运行的技术支撑，通过整合数据采集、分析、决策、执行等环节，实现设备管理全流程数字化、智能化。结合选煤厂设备特点，系统采用“分层架构、模块化设计”思路，构建覆盖感知、传输、分析、应用的全链条管理平台。

（一）系统架构设计

系统分为五层架构，确保数据流畅通与功能协同：（1）数据采集层（感知端）。部署各类传感器（温度、振动、压力、流量、密度等）、PLC控制器、工业相机及物联网网关，实现设备运行参数、工艺指标、环境数据的毫秒级采集。针对选煤厂粉尘大、湿度高的特点，选用防尘防水等级 \geq IP65的传感器；对旋转设备如电机、破碎机，采用加速度传感器监测振动；对管道设备如渣浆泵，安装压力传感器监测运行状态。（2）边缘计算层（处理中枢）。在车间本地部署边缘服务器，对采集的数据进行实时清洗、降噪、归一化处理，过滤无效数据；同时运行轻量化算法模型，实现设备异常的快速检测与本地响应，减少云端延迟，保障关键设备故障的及时预警。（3）传输网络层。采用“有线+无线”融合传输方式，核心设备数据通过工业以太网（Profibus、Modbus协议）传输，确保稳定性；移动巡检数据通过5G/Wi-Fi传输，实现全覆盖。建立数据加密传输机制，保障数据安全。（4）平台管理层（数据中台）。基于云计算构建统一数据平台，整合设备档案、运行数据、维护记录、备件信息等12类异构数据，建立标准化数据库。集成MES（制造执行系统）、SCADA（数据采集与监控系统）、ERP（企业资源计划系统）功能，实现跨部门数据共享与业务协同。（5）应用服务层（人机交互端）。通过工业大屏、Web端、移动端APP、AR眼镜等终端，提供设备监测、故障预警、维护管理、备件管理等功能模块，满足不同岗位人员使用需求。例如，管理人员通过大屏实时掌握全厂设备运行状态；维修人员通过APP接收维护任务与预警信息，现场反馈处理结果。

（二）核心技术应用

借助先进技术提升系统智能化水平，支撑预防性维护精准实施：

（1）数字孪生技术

采用Unity 3D引擎构建选煤厂设备数字孪生体，实现“物理实体-虚拟模型-数据链路”的深度融合。建模流程包括：采用激光扫描技术（精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ）获取设备三维点云数据，构建破碎机、重介质旋流器、带式输送机等核心设备的高精度三维模型；通过OPC UA协议建立虚拟模型与物理设备的实时数据映射，实现虚拟模型的姿态、运行参数与物理设备同步（同步延迟 $\leq 100\text{ms}$ ）。应用场景包括：故障模拟与预案验证，如模拟重介质旋流器衬板磨损10mm、20mm、30mm时的分选压力变化，验证不同磨损程度下的调整方案（如调整进料量、补充重介质）；维护人员培训，通过虚拟模型模拟设备拆解、装配过程，设置常见故障（如轴承卡涩、输送带跑偏）的虚拟场景，让维护人员进行沉浸式实操训练，降低现场培训风险和成本；运行参数优化，结合浮选机数字孪生模型和FluidSIM流体仿真软件，模拟不同叶轮转速（180-240r/min）、充气量（ $0.8-1.2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ ）下的分选效果，优化得到最佳运行参数组合，使可燃体回收率提升2-3%。

（2）机器学习与大数据分析

基于Hadoop大数据平台构建数据存储与分析架构，采用HBase存储历史运行数据（存储周期 ≥ 3 年），采用Spark Streaming实现实时数据处理，通过Python的Scikit-learn、TensorFlow库构建机器学习模型。核心模型包括：电机轴承故障预测模型，采用CNN-LSTM混合模型，输入数据为振动信号的梅尔频率倒谱系数（MFCC）和温度数据，模型训练集包含1000组正常数据和500组故障数据（外圈故障、内圈故障、滚动体故障），模型准确率 $\geq 98\%$ ，可提前18-24小时预警故障；重介质旋流器分选效率预测模型，输入参数为进料量、分选密度、原煤灰分，输出分选效率，预测误差 $\leq 2\%$ ，结合模型优化分选参数，降低精煤损失；设备维护成本优化模型，整合维护工时、备件费用、停机损失等数据，采用遗传算法优化维护周期，使单位设备年维护成本降低10-15%。同

时，开发数据可视化看板，采用ECharts绘制设备运行参数趋势图、故障统计饼图、维护成本柱状图，支持管理人员直观掌握设备运行状态和维护效果。

（3）移动巡检

基于Android系统开发移动巡检APP，集成GPS定位、离线缓存、拍照上传等功能，实现巡检工作的全流程电子化。具体功能包括：任务分配，管理人员通过Web端将巡检任务（含设备清单、检查项目、标准值）推送至巡检人员手机，APP自动规划最优巡检路线；数据采集，巡检人员通过APP录入设备参数（如轴承温度、皮带张紧度），拍摄设备外观照片，异常情况可一键上报并标注故障位置；数据同步，巡检完成后数据自动同步至云端，生成巡检报告（含异常项统计、整改建议）。

结束语

选煤厂设备预防性维护体系构建与信息化管理是适应行业智能化转型的必然要求，其核心在于结合设备精密化、关联性强、工况恶劣等特点，实现维护策略的差异化与管理流程的数字化。通过构建“组织保障-分类分级-策略制定-流程标准化”的预防性维护体系，可有效提升设备维护的针对性与前瞻性；依托“分层架构-核心技术-功能模块”的信息管理系统，能够突破传统管理瓶颈，实现设备状态实时监测、故障精准预警与全生命周期管控。未来，随着人工智能、数字孪生、工业互联网等技术的不断发展，选煤厂设备管理将向“无人值守、自主诊断、智能决策”方向迈进，通过集成大模型构建企业知识图谱，实现设备维护的全流程智能化闭环管理，为选煤行业绿色、高效、安全发展提供更强有力的支撑。

参考文献

- [1] 中国煤炭科工集团. 选煤厂灵境系统：数字孪生赋能智能化维护[R].2025.
- [2] 李舒宇. 选煤机械设备维修管理的问题与对策[J]. 中国化工贸易, 2021(15): 215-217.
- [3] 蓝燕云. 选煤智能化生产管理系统如何实现高效、安全与可持续的煤炭加工流程[EB/OL].2025-09-01.