

选矿机械状态监测技术在维保及设备升级改造中的应用

郝维岩

呼伦贝尔山金矿业有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22265

[摘要] 选矿机械设备长期在恶劣工况下运行,易出现磨损、振动异常等故障,传统维保模式存在盲目性和滞后性。本文依托振动监测、油液分析、物联网等状态监测技术,构建数据驱动的预测性维保体系,优化选矿设备运维模式。同时结合监测数据定位设备性能缺陷,开展结构优化、智能模块加装及动力系统升级改造。实践表明,该技术可降低设备故障率与运维成本,提升设备运行稳定性与智能化程度。

[关键词] 选矿机械; 状态监测技术; 维保; 设备升级改造; 应用

中图分类号: TD453 **文献标识码:** A

Application of Condition Monitoring Technology for Mineral Processing Machinery in Maintenance and Equipment Upgrading and Renovation

Weiyan Hao

Hulunbuir Shanjin Mining Co., Ltd.

[Abstract] Mineral processing machinery and equipment operate under harsh working conditions for extended periods and are prone to failures such as wear and abnormal vibration. Traditional maintenance models are often characterized by a lack of precision and delayed response. Based on condition monitoring technologies such as vibration monitoring, oil analysis, and the Internet of Things, this paper establishes a data-driven predictive maintenance system to optimize the operation and maintenance model for mineral processing equipment. Meanwhile, equipment performance defects are identified based on monitoring data, and measures such as structural optimization, installation of intelligent modules, and power system upgrading and renovation are implemented. Practical results show that this technology can reduce equipment failure rates and operation and maintenance costs while improving equipment operating stability and intelligence.

[Key words] mineral processing machinery; condition monitoring technology; maintenance; equipment upgrading and renovation; application

引言

选矿生产依赖各类机械设备连续稳定作业,设备工况恶劣、故障类型繁杂,传统定期维保与事后抢修模式难以适应现代化选矿生产需求,运维资源浪费、生产停机等问题较为突出。状态监测技术逐步应用于选矿设备运维领域,以解决维保低效、设备性能滞后等实际问题。本文系统梳理该技术的理论体系与核心方法,探究其在设备精准维保、智能化改造中的具体应用路径,为选矿行业提质增效与智能化转型提供参考。

1 选矿机械状态监测技术理论与技术体系

1.1 选矿核心机械设备及故障类型分析

(1) 选矿核心设备工况特点: 破碎机承受高频率冲击载荷,衬板磨损剧烈; 球磨机低速重载,筒体振动与钢球撞击噪声显著; 浮选机转子高速旋转,矿浆腐蚀性较强; 磁选机磁场环境特殊,滚筒间隙要求严格。各设备连续作业,且多处于高粉尘、高

湿度的恶劣环境。(2) 各类设备常见机械故障: 破碎机出现动锥衬板松动、推力轴磨损; 球磨机主轴承巴氏合金烧损、大小齿轮齿面点蚀; 浮选机叶轮与定子间隙增大、轴承过热; 磁选机滚筒表面划伤、磁块退磁等。故障类型涵盖磨损、振动异常、轴承损坏、漏油及传动失效^[1]。(3) 故障诱因及影响机制: 润滑不良、载荷突变、安装对中偏差及疲劳累积是主要诱因。故障初期降低选别指标,中期引发非计划停机,严重时可导致关联设备连锁损坏,维修成本大幅增加,全流程作业率随之下降。

1.2 主流选矿机械状态监测关键技术

(1) 振动监测技术: 基于加速度传感器采集设备特征频率幅值变化,用于旋转类设备轴承、齿轮箱故障识别,可诊断不平衡、不对中、松动及早期点蚀。(2) 温度与油液监测技术: 红外热成像用于检测局部过热,油液光谱分析获取磨损元素浓度与粘度变化,判断润滑失效及摩擦副异常磨损程度。(3) 声学监测与无

损检测技术: 声发射技术捕捉裂纹扩展产生的弹性波, 超声波探伤发现内部缺陷, 实现不解体状态下的精准定位。(4) 物联网与在线实时监测技术: 由感知层、传输层、平台层、应用层构成, 通过5G与边缘计算实现远程数据采集与报警。

1. 3 状态监测数据处理与故障诊断模型

(1) 监测数据预处理方法: 对原始信号进行小波阈值降噪、异常值剔除及重采样处理, 采用EMD分解提取故障特征频率分量, 保证输入数据的有效性。(2) 大数据评估与预警模型: 构建BP神经网络与支持向量机融合诊断策略, 提取时域、频域多维度特征, 结合设备运行历史建立健康基准曲线, 实现早期故障趋势预警。(3) 故障定位与等级判定标准: 依据振动烈度、温度梯度、油液浓度超限程度及频谱边带特征, 将故障划分为轻微、一般、严重、危急四个等级, 各等级对应明确的处置流程。

2 状态监测技术在选矿设备维保中的应用

2. 1 传统选矿设备维保模式及存在问题

(1) 传统维保模式运作流程: 定期维保依据设备运行小时数或日历周期, 编制年度、月度检修计划, 按计划执行停机拆卸、零部件更换与组装试车流程; 事后维修则在设备突发故障或参数严重异常后组织抢修。两类方式并行, 构成传统维保的主要运作框架。(2) 传统维保模式的弊端: 定期维保导致大量尚处于正常磨损阶段的零部件被强制更换, 产生过度维修; 事后维修对突发劣化缺乏预判能力, 故障发生后重启备件采购与人员调配, 维修响应滞后; 过度维修造成物料浪费, 突发抢修导致人员闲置与紧急调配并存, 资源利用效率整体偏低。(3) 故障率高与运维成本偏高的核心原因: 维修决策缺少设备真实健康状态数据支撑, 维修时机与维修范围的确定存在盲目性; 早期劣化信号无法被识别, 小缺陷持续发展为大故障后维修难度与修复成本明显上升; 个体设备差异化磨损规律及实时工况波动未被纳入维修考量, 统一周期难以适配实际劣化曲线, 全生命周期运维费用持续走高。

2. 2 基于状态监测的预测性维保体系构建

(1) 设备状态动态评估机制: 在设备关键部位布设振动、温度、油液等在线传感器, 实时采集运行参数, 结合设备负荷率与工艺参数构建多维健康评分模型, 每日自动输出设备状态等级与健康趋势, 实现设备状态从“静态周期判断”向“动态数据驱动”转变。(2) 故障预警驱动的精准维保实施流程: 监测系统识别到特征参数超阈值或趋势指标异常增长时, 自动生成分级预警工单并推送至维保人员终端; 现场复核确认后, 依据故障定位及等级判定结果制定维修方案, 在设备尚处于可运行期间完成备件准备与人员协调, 于计划停机窗口内实施维修, 形成预警—诊断—计划—实施—验证的闭环流程^[2]。(3) 维保计划智能优化与资源配置方案: 以设备健康评分、生产排程约束、备件库存量、维修人员技能矩阵等因素构建多目标优化模型, 动态调整检修优先级与检修窗口, 优先安排高风险等级设备维修; 同时基于历史故障数据统计规律优化备件安全库存品类与数量, 合理调配维修班组与工器具资源, 减少非必要检修工时与库存积压。

2. 3 状态监测技术在重点设备维保中的具体应用

(1) 球磨机、破碎机旋转类设备振动监测与维保优化: 在球磨机主轴承、大小齿轮啮合处及破碎机偏心轴部位布置加速度传感器, 实时监测振动速度有效值及啮合频率边带幅值。当特征频率边带能量持续攀升时, 提前预警齿轮齿面磨损, 安排计划停机更换, 避免齿面断裂引发箱体报废, 维保周期从固定时长转变为依据劣化曲线动态决策^[3]。(2) 浮选机、输送设备运行状态监测与损耗管控: 在浮选机轴承座安装温度振动一体传感器, 通过振动频谱变化判断叶轮平衡状态及定子磨损程度; 在输送带滚筒与托辊位置布设声学传感器, 识别轴承早期异常声发射信号, 结合电机电流监测判断负载波动, 定位托辊卡滞、皮带跑偏等损耗因素, 零部件更换从经验判断升级为数据量化决策。(3) 液压、润滑系统状态监测与长效维保管理: 每月采集油液样品开展粘度、水分、酸值及铁谱分析, 在关键润滑点加装在线磨粒计数器实时监测。当磨损元素浓度增长率或大颗粒计数超限时自动预警, 动态调整过滤器更换频率与换油周期, 从“按期换油”过渡为“按质换油”, 在保障润滑可靠性的前提下延长油品使用寿命, 减少非必要停机换油次数。

2. 4 维保应用效果分析

(1) 设备故障发生率与停机时长: 实施预测性维保后, 非计划停机频次明显下降, 突发性抢修事件减少, 故障发生率较传统模式得到控制, 计划停机时长更加可控, 长时间非计划停产现象基本消除。(2) 维保人力与物料成本节约: 维修人员从频繁被动抢修转变为有计划的状态复核与精准检修, 工时利用率提高; 备件更换依据实测劣化程度, 避免过早更换与过度储备, 物料消耗合理压缩, 备件库存结构优化, 综合运维成本实现压降。(3) 设备运行稳定性与使用寿命: 设备在良好润滑与对中状态下运行, 异常冲击与过度磨损被及时遏制, 关键零部件服役寿命延长, 运行平稳性增强, 综合效率与全生命周期价值得到提升。

3 状态监测技术在选矿设备升级改造中的应用

3. 1 选矿设备升级改造的核心需求与依据

(1) 老旧选矿设备存在问题: 早期投入的破碎机、球磨机等主体设备运行年限较长, 机械结构磨损老化导致运行精度下降, 电机与传动系统能耗偏高, 人工巡检依赖度大而智能化监测手段缺失, 制约选矿厂提质增效与智能化转型。(2) 基于监测数据的设备性能缺陷精准定位: 长期积累的振动频谱、温度场分布、油液磨损元素浓度及电流波动等历史监测数据, 可系统识别设备性能衰减的具体部位与程度。振动特征频率边带能量持续升高反映齿轮啮合状态恶化, 电流谐波成分变化揭示传动效率降低, 油液铁谱分析可定量判断摩擦副间隙超限, 为改造提供依据。(3) 设备升级改造核心目标: 以监测数据为依据, 以节能降耗、运行效率提升、故障率下降为三大目标, 制定结构优化、智能升级与节能改造方案, 提高改造投入的产出效益。

3. 2 基于监测数据的设备升级改造方案设计

(1) 核心磨损、振动部件结构优化升级: 根据振动监测与磨损分析结果, 对球磨机衬板进行波形结构优化以提升研磨效率,

破碎机动锥衬板采用高韧性合金材料替代并优化啮合角度，旋转设备轴承座增加阻尼结构以抑制异常振动，从设备动力学特性层面进行改善。(2)老旧设备智能化监测模块加装：在原有设备上加装无线振动温度一体传感器、油液在线磨粒计数器、电机电流特征分析模块等智能监测终端，搭建边缘计算网关，实现设备状态数据自动采集与远程传输，使传统设备具备实时感知与自诊断能力^[4]。(3)高能耗设备动力与传动系统节能改造：基于电机电流与负载匹配度监测数据，对长期低负荷运行的球磨机、输送带电机实施变频调速改造；针对传动效率偏低的皮带传动系统，依据转速差监测结果，采用永磁同步直驱或液力耦合器替代方案，降低传动损耗。

3.3 设备升级改造实施过程的监测管控

(1)改造前设备基线数据采集与状态基准确立：在停机改造前连续采集不低于7天的设备运行数据，涵盖正常负荷与满载工况下的振动、温度、电流、转速等参数，建立设备改造前的性能基准档案，为改造前后量化对比提供依据。(2)改造施工过程中设备工况实时监测与风险防控：在关键结构件拆卸与安装过程中，对相邻关联设备的振动、温度进行持续监测，防止施工冲击对周边设备造成损伤；对改造后新安装部件的空载试车与负荷试车实施全程监测，及时发现装配偏差、对中不良或异常温升等隐患。(3)改造完成后设备运行状态校验与性能评估：改造后设备正式投产运行后，以不低于改造前监测时长和工况条件进行对标数据采集，逐项对比振动烈度、运行电流、温升速率、产量与能耗等核心指标，验证改造效果是否达成预期目标，未达标项进入二次调整优化流程^[5]。

3.4 升级改造应用成效综合评估

(1)设备运行精度与生产效率提升：结构优化后设备运行振动幅值降低、对中精度提高，选矿粒度分布更加均匀，处理能力较改造前有所增长，设备运转率提升，台时产量相应增加。(2)设备能耗与故障频次优化：变频调速与传动系统改造后，吨矿电耗下降；核心部件材质升级后异常磨损与突发断裂事件减少，故障停机频次降低，维修投入同步缩减。(3)设备智能化水平与生产安全性提升：老旧设备通过加装智能监测模块实现状态实时可知可控，人工巡检频次减少，危险区域人员暴露时间缩短；设备异常自诊断与预警能力增强，安全隐患得以及时识别，综合效益明显。升级改造前后各项关键成效对比如表1所示。

表1 选矿设备升级改造前后关键成效对比

评估指标	改造前(传统老旧设备)	改造后(监测数据驱动升级)
设备振动烈度(mm/s)	偏高,部分超ISO标准限值	明显下降,处于优良区间
吨矿处理电耗(kW·h/t)	处于高位	有效压降,节能率可观
关键部件平均寿命	受异常磨损制约偏短	材质与结构优化后延长
故障停机频次(次/月)	较高,突发性强	明显减少,可预见性增强
设备运转率(%)	偏低,受故障制约	显著提升
人工巡检频次(次/日)	频繁,依赖经验	大幅减少,由在线监测替代
智能监测覆盖率	基本缺失或覆盖不足	关键设备全覆盖

4 结束语

本文探讨了选矿机械状态监测技术的应用价值，依托该技术实现设备维保从经验化、周期化向数据化、精准化转变，优化了选矿设备运维体系。同时，以监测数据为支撑的设备升级改造，改善了老旧设备能耗高、故障多、智能化不足等问题。未来可进一步融合人工智能算法，优化故障预警模型，持续挖掘监测数据的应用价值，助力选矿设备全生命周期高效运维。

【参考文献】

- [1]郭宣,王鹏.智能温振监测系统在选择机电设备维保中的应用[J].选煤技术,2024,8(06):92-97.
- [2]刘浩.振动监测技术在选择筛分设备故障预警及改造中的应用[J].选煤技术,2025,13(04):88-93.
- [3]周洋,吴迪.磨矿设备在线状态监测系统设计与维保升级应用[J].矿山机械,2024,52(09):45-50.
- [4]孙博文.选矿机械设备状态监测与预知性维护体系构建[J].煤炭与化工,2025,48(03):78-81.
- [5]田凯.智能化监测技术在选择设备提质改造中的应用研究[J].现代矿业,2024,40(11):156-159.

作者简介：

郝维岩(1976--),男,汉族,山东蓬莱人,本科,工程师,研究方向：矿山机械设计改造升级和维护保养。