

洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断技术研究

高虎卫 吴浩

陕西有色榆林煤业有限公司, 陕西榆林, 719000;

摘要: 洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断技术对保障洗煤厂稳定运行意义重大。关键技术涵盖振动监测与分析, 能捕捉设备早期故障; 油液分析技术可评估设备内部磨损状况; 红外热成像与温度场监测能直观呈现温度变化, 定位故障点; 声学及超声波检测技术凭借独特抗干扰与高灵敏度, 实现故障极早期发现与定位。其应用场景广泛, 涉及破碎筛分、离心脱水分选、泵类与管道输送、关键传动与动力系统等。实施策略包括构建分层次监测体系、推动多源信息融合智能化诊断、强化人才培养与组织文化变革、建立管理与技术良性互动闭环机制。

关键词: 洗煤厂; 机械设备; 状态监测; 故障诊断技术

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.045

引言

洗煤厂机械设备在复杂工况下持续运行, 其运行状态直接关系到生产系统的可靠性与经济性。随着智能制造理念的深入, 传统定期维修模式已难以适应现代洗煤厂高效生产需求。通过引入先进状态监测与故障诊断技术, 实现对设备健康状态的实时感知与智能预警, 不仅能够有效避免突发性停机损失, 更能科学指导维修决策, 推动设备管理从被动应对向主动预防转变。本文深入探讨了洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断的关键技术、应用场景及实施策略, 以期为行业的技术升级与管理优化提供有价值的参考。

1 洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断的关键技术

1.1 振动监测与分析技术

振动监测是辨识旋转机械运行状态的核心技术手段, 其理论基础在于设备内部机械动力学特性的变化会直接反映在振动信号中。当旋转部件如轴承、齿轮出现磨损、间隙增大或对中不良时, 将引发振动能量分布与频率结构的特征性改变。通过在设备关键部位部署加速度传感器, 系统能够持续采集包含时域波形与频域谱图的完整振动数据。深入分析这些数据, 不仅可监测振动总量的变化趋势, 更重要的是能够通过频谱分析解构复杂的振动信号, 将特定的频率成分与机械故障类型建立精确对应关系^[1]。例如, 轴承各元件的通过频率可指示其损伤状态, 而齿轮的啮合频率及其边带则反映了齿面磨损或装配问题。基于这种精确的故障机理映射, 维护人员能够识别出潜在的早期故障征兆, 从而在设备性能退化初期制定预防性维修策略, 有效避免非计划停机与连锁性损坏。该技术因其对旋转动力学故障的敏感性与准确性, 已成为风机、泵组、压缩机等关键设备状态监

测的首选方案。

1.2 油液分析技术与磨损颗粒管理

油液分析技术作为一种精细的设备状态评估手段, 其核心在于通过对润滑油理化特性及其携带的磨损颗粒进行系统监测, 从而准确判断机械设备的内部磨损状况。在洗煤厂充斥着煤粉和水分的环境中, 润滑油极易受到污染和劣化。该技术一方面检测润滑油的粘度、酸值、水分含量等指标, 判断其是否仍具备有效的润滑性能; 另一方面, 通过铁谱分析或光谱分析, 对油液中的金属磨损颗粒进行定性和定量分析。这些微小颗粒的形状、尺寸和成分, 直接揭示了诸如齿轮表面点蚀、轴承疲劳剥落或液压缸拉伤等磨损机理与部位。通过建立定期的油液监测档案, 可以清晰地描绘出设备磨损的动态演变趋势, 为按质换油和预测关键摩擦副寿命提供了科学依据^[2]。

1.3 红外热成像与温度场监测

红外热成像技术通过将物体表面的红外辐射能量转化为可视化温度场分布图像, 为设备状态监测提供了重要技术手段。该技术采用非接触测量方式, 可在设备持续运行状态下实现大面积快速扫描, 兼具检测安全性与生产连续性。在洗煤厂特定工况下, 该技术能够有效识别电气连接部位接触电阻增大引发的局部过热、旋转设备轴承润滑不良导致的异常温升, 以及输送系统机械卡阻产生的摩擦发热。通过对温度场分布特征的专业解析, 不仅可实现故障点的精确定位, 更能通过分析温度梯度和动态变化趋势, 深入掌握设备内部热力学状态演变规律^[3]。相较于传统单点测温方法, 全场温度监测可提供更全面、更具代表性的设备状态信息, 使潜在热隐患在发展为严重故障前得到及时识别。在高压电气设备绝缘状态评估和密闭空间设备运行状态监测等特殊场

景中, 红外热成像技术凭借其独特的检测优势, 为预防电气火灾和设备过热故障提供了可靠保障。

1.4 声学 & 超声波检测技术

机械设备在运行过程中产生的声波信号, 如同独特的“声音指纹”, 蕴含着丰富的设备状态信息。声学监测技术通过采集和分析这些声学特征, 实现对设备健康状况的精准诊断。这项技术主要涵盖两个相辅相成的层面: 在可听声频段, 利用高灵敏度声学传感器采集设备运行噪声, 通过先进的声纹识别算法, 将实时声学特征与设备健康状态下建立的基准声谱进行深度比对, 从而识别出表征性能劣化的异常声学模式。声学监测技术的优势在于能从复杂背景噪声中精准提取有效信息, 实现对设备运行状态的综合评估。而在超声波频段, 该技术展现出更高灵敏度与特异性。得益于方向性强、衰减小的物理特性, 超声波可穿透洗煤厂强烈的低频噪声干扰, 精准捕捉早期故障产生的微弱高频信号。无论是压力系统微泄漏、运动部件早期磨损, 还是润滑状态变化, 都会在超声波频段产生显著特征响应。这种高频检测既能实现故障的极早期发现, 又可对故障源进行精确定位。在洗煤厂嘈杂环境中, 声学 & 超声波技术凭借其卓越的抗干扰能力与高灵敏度, 成为预防性维护的可靠技术手段^[4]。

2 洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断技术的应用场景

2.1 破碎与筛分设备的状态预警

破碎机与振动筛是洗煤流程中的首道关口, 承受着巨大的冲击负荷和振动负荷。在这些设备上部署振动监测系统, 能够有效捕捉主轴轴承因冲击载荷产生的疲劳裂纹、锤头或齿辊的不均匀磨损以及筛网松动等故障的早期征兆。同时, 利用红外热成像技术定期扫描轴承座部位, 可以及时发现因润滑失效或安装不当引起的异常升温。通过分析振动趋势与温度变化, 系统能够在设备性能显著下降或完全失效前发出预警, 指导维护人员在计划停机时间内进行针对性维修, 从而避免因突然断轴或轴承烧毁导致的整个生产线的长时间中断, 保障了原煤处理系统的连续稳定运行。

2.2 离心脱水与分选设备的过程保障

离心机等脱水设备以及重介旋流器等分选设备, 其核心在于维持稳定的旋转动力学特性。高速旋转的转鼓任何微小的不平衡或不对中, 都会引发剧烈振动, 影响脱水效果和分选精度, 甚至造成机械密封的快速损坏。在此类设备上应用在线振动监测系统, 可以实时监测转子的动平衡状态和轴承的健康度。一旦振动值超过设定

的报警阈值, 系统便会自动报警, 提示需要进行动平衡校正或检查轴承间隙。这种基于状态的维护, 取代了固定的拆解检查周期, 既避免了过度维修, 也防止了在状态恶化时仍继续运行的风险, 确保了分选产品的质量和脱水效率。

2.3 泵类与管道输送系统的健康管理

洗煤厂的煤泥水泵、循环水泵及介质泵是流体输送的心脏, 其可靠性至关重要。针对这些设备, 可采用振动监测与油液分析相结合的策略。振动监测用于诊断泵轴的不对中、叶轮的气蚀或磨损、以及轴承和机械密封的早期故障。而定期的油液分析则能揭示齿轮箱或轴承内部是否存在异常磨损。此外, 对于复杂的管道系统, 超声波检测技术能够高效地定位因磨损或腐蚀导致的管壁减薄区域, 以及阀门的内漏问题。通过系统化的监测, 可以精准规划泵的检修周期和管道的预防性更换计划, 有效防止突发性的泵体损坏或管道泄漏事故, 保障整个浆体输送系统的畅通无阻。

2.4 关键传动与动力系统的可靠性提升

驱动整个生产线的核心动力装置, 如大型减速机、联轴器和电机, 其运行状态决定了全厂的动力供应。对这些关键传动系统实施多技术融合监测, 能全面提升其可靠性。振动监测是诊断齿轮断齿、点蚀和轴承故障的首选方法; 红外热成像可用于检查电机绕组绝缘老化、接线端子松动以及减速机壳体各点的温度均匀性, 防止局部过热; 对减速机进行严格的油液分析, 则可以监控齿轮和轴承的磨损速率与磨损机理。这种立体化的监测网络, 构成了传动系统的“全方位健康体检体系”, 能够前瞻性地发现动力传递链中的薄弱环节, 为实现预测性维修、杜绝灾难性设备故障提供决策支持。

3 洗煤厂机械设备状态监测与故障诊断技术的实施策略

3.1 构建分层次、全覆盖的监测体系

高效的状态监测始于设计精良的体系架构。实施策略上, 不应追求一蹴而就的全盘自动化, 而应采取分层次、渐进式的路径。首先, 对全厂设备进行关键性分析, 识别出那些一旦故障会导致严重安全、环境或生产损失的 A 类设备。对这些核心设备, 如主洗选设备的核心减速机、高压电机等, 部署在线实时监测系统, 实现不间断的数据采集与预警。对于次要的 B 类设备, 可采用便携式采集仪的定期巡检模式。而对于 C 类辅助设备, 则可以简单依赖操作人员的感官检查与简易工具检测。这种分层策略确保了资源的最优配置, 将有限的技术力量和资金投入 to 最需要、回报最高的环节, 逐步构建起

一张从关键到一般、从在线到离线的立体监测网络。

3.2 推动多源信息融合与智能化诊断

单纯的数据采集不足以形成决策智慧，必须走向信息的深度融合与智能分析。实施过程中，需要打破数据孤岛，将来自不同监测技术（如振动、温度、油液）的数据，以及与设备运行工况（如负荷、转速）相关的工艺参数进行关联整合。通过建立统一的数据平台，利用大数据分析和机器学习算法，挖掘多参数之间的内在联系与故障模式。例如，将振动频谱的微小变化与油液中特定金属元素含量的上升趋势相结合，可以更自信地判断某轴承已进入加速磨损期。这种基于数据融合的智能诊断，能够显著降低单一参数监测带来的误报和漏报率，使故障预测更加精准，维修决策更加科学，最终推动设备管理从经验驱动向数据驱动转变。

3.3 强化人才培养与组织文化变革

先进的技术需要与之匹配的人才和组织文化来驾驭。实施状态监测技术，必须同步规划人才培养计划。这包括对现有维护人员进行系统性的培训，使他们不仅会操作监测仪器，更能理解数据背后的物理意义，掌握基本的图谱分析和故障推理能力。同时，可能需要引入具备更深数据分析能力的专业人才。更重要的是，要推动整个维护组织从“坏了再修”的反应式文化，向“防患于未然”的预测性维护文化转型。这需要管理层的坚定支持和制度保障，例如将设备状态指标纳入绩效考核，鼓励基于状态的维修行为，从而激发全员参与设备健康管理的积极性，确保技术体系能够在正确的文化土壤中生根发芽。

3.4 建立管理与技术良性互动的闭环机制

状态监测与诊断的最终价值体现在维修行动的精准执行和持续改进上。因此，必须建立一个从数据采集到维修反馈的完整闭环管理流程。这个流程始于监测计划的执行与数据的自动报警，接着是专业工程师对警报的分析与诊断，形成明确的维修建议工单，然后由维修团队执行并记录维修过程及结果，最后将此次故障案例、处理方法和验证效果反馈至知识库。这个闭环不仅解决了当前问题，其积累的案例数据更成为优化未来诊断模型和报警阈值的宝贵资源。通过持续迭代，系统会变得越来越“聪明”，预警越来越精准，从而形成一个“监测-诊断-维修-优化”的良性循环，持续提升设备管理的整体效能。

3.5 注重系统集成与标准化建设

状态监测与故障诊断技术的有效实施，离不开完善

的系统集成与标准化支撑。在技术应用过程中，应高度重视监测系统的整体架构设计，确保不同厂商的设备、传感器和软件平台能够实现无缝对接与数据互通。通过建立统一的数据采集规范、通信协议和接口标准，消除信息孤岛，实现全厂设备状态数据的集中管理和协同分析。同时，需要制定标准化的设备状态评价指标体系，明确各类设备的健康状态阈值和报警级别，为智能化诊断提供统一的判断依据。这种系统化的集成与标准化建设，不仅能够降低系统维护复杂度，提高数据利用效率，更能为后续的数据挖掘和智能决策奠定坚实基础，从而实现设备状态监测系统效益的最大化^[5]。

综上所述，状态监测与故障诊断技术是现代洗煤厂提升设备管理现代化水平、实现降本增效的必然选择。通过综合运用振动、油液、红外及声学等多种技术，构建覆盖关键设备的监测网络，并将其深度融入日常维护管理之中，能够从根本上改变被动应对故障的旧有模式。然而，技术的成功应用绝非仅是传感器的堆砌，它更依赖于科学的实施策略、跨领域的专业人才以及与之相适应的管理文化与闭环流程。面对日益激烈的市场竞争与智能化发展浪潮，洗煤企业唯有主动拥抱这一技术变革，方能在保障生产安全与连续性的同时，赢得持续发展的核心竞争力。

参考文献

- [1] 李晋红. 煤矿机械设备振动监测与故障预警技术研究[J]. 机械管理开发, 2025, 40(5): 219-220, 243.
- [2] 张重泉. 煤矿机械磨损监测与防范技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (05): 55-57.
- [3] 吴景红. 煤矿机械故障诊断研究现状及发展趋势[J]. 煤炭工程, 2023, 55(6): 187-192.
- [4] 赵刚毅, 张帅, 杨虎雄, 等. 故障诊断技术在煤矿机械设备中的应用[J]. 价值工程, 2025, 44(02): 165-168.
- [5] 赵成. 故障诊断技术在煤矿机械设备中的应用研究[J]. 机械管理开发, 2025, 40(04): 199-201.

作者简介：高虎卫，男，1985.12.06-，汉，陕西省榆林市佳县上高寨乡水湾沟村人，本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

吴浩，男，1986.08.27，汉，陕西省子洲县马蹄沟镇赵家平村人，本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化。