

火力发电厂锅炉防磨防爆管理信息化分析

郭波

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限公司煤矸石电厂 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要:火力发电厂锅炉防磨防爆管理信息化是提升设备安全与运行效率的关键。通过物联网、大数据、机器学习及三维可视化等技术,构建防磨防爆管理系统,实现数据实时采集、风险预警、寿命预测及检修智能策划。该系统集成设备台账、运行数据、检查记录,通过数据分析模型指导精准检查,降低非计划停机风险。信息化管理不仅强化了故障预判能力,还优化了运维流程,为火力发电厂安全生产提供了数字化、可视化、智能化的管理支撑。

关键词:火力发电厂;锅炉防磨防爆管理;信息化

引言:火力发电作为我国电力供应的重要支柱,锅炉的安全稳定运行至关重要。然而,锅炉受热面磨损与爆管问题长期困扰着电厂,不仅导致非计划停机,造成巨大经济损失,还严重威胁电网安全。传统防磨防爆管理依赖人工巡检与经验判断,存在效率低、漏洞多、响应滞后等弊端。在数字化浪潮下,信息化技术为锅炉管理带来革新契机。通过物联网、大数据、人工智能等技术的应用,可实现实时监测、精准预警与智能决策,为火力发电厂锅炉防磨防爆管理开辟新路径,提升行业安全水平与经济效益。

1 火力发电厂锅炉防磨防爆关键问题分析

1.1 磨损与爆管的机理及影响因素

(1) 物理化学作用是引发故障的核心诱因:飞灰冲刷方面,锅炉燃烧产生的高温飞灰以高速撞击受热面,长期作用下造成管壁减薄,尤其是烟气流速不均的区域磨损更为严重;高温腐蚀多发生在炉膛水冷壁、过热器等部位,燃料中的硫、氯等元素在高温下形成腐蚀性介质,破坏管壁金属组织结构;热应力则源于启停炉、负荷波动时的温度骤变,导致管壁产生热胀冷缩差异,反复循环后引发裂纹。(2) 管理相关因素加剧故障风险:设备老化表现为管材长期在高温高压环境下出现疲劳损伤、氧化脱皮,未及时更换易引发失效;运行参数异常如超温超压、水位波动、燃烧不充分等,会打破锅炉正常工作状态,进一步放大磨损与腐蚀效应,增加爆管概率^[1]。

1.2 传统管理模式的不足

(1) 人工巡检存在天然局限:依赖人工定期检查,不仅效率低下,难以覆盖锅炉复杂内部结构的全部区域,且巡检数据多以纸质记录为主,分散存储易造成信息遗漏,无法形成系统的故障追溯链条。(2) 应急响应存在明显滞后:传统模式多依赖故障发生后的被动处理,缺乏提前预警机制,难以在故障萌芽阶段及时发现隐患,导致应

急响应仓促,易扩大故障影响范围,造成更大损失。

1.3 信息化管理的必要性

(1) 满足实时数据管控需求:锅炉运行过程中需监测温度、压力、烟气流速等海量参数,信息化系统可实现数据实时采集、集中存储与精准分析,及时捕捉参数异常,为故障预判提供数据支撑。(2) 凸显预测性维护价值:通过信息化手段构建故障预警模型,可提前识别磨损、腐蚀等潜在风险,指导运维人员开展针对性维护,有效降低非计划停机概率,保障电厂安全稳定运行。

2 信息化技术在火力发电厂锅炉防磨防爆中的应用

2.1 物联网(IoT)技术应用

(1) 多类型传感器精准部署:针对锅炉易磨损、易爆管区域,科学布设温度、压力、振动、声学监测传感器。温度传感器实时追踪受热面管壁温度变化,及时发现局部超温隐患;压力传感器监测炉膛、汽包等关键部位压力波动,防范超压运行风险;振动传感器捕捉设备异常振动信号,判断部件松动或磨损程度;声学传感器通过分析声波特性,识别管壁冲刷、腐蚀产生的异常声响,实现对隐蔽性故障的早期感知。(2) 高效实时数据传输与边缘计算:借助5G、工业以太网等技术,将传感器采集的海量数据实时传输至管控平台,同时利用边缘计算在数据源头进行预处理,筛选关键信息、降低数据传输量,避免网络拥堵。边缘节点还能快速响应局部异常,如当某区域温度骤升时,立即触发预警信号,为现场处置争取时间。

2.2 大数据分析机器学习

(1) 深度挖掘磨损与爆管历史数据:整合电厂历年锅炉故障记录、运维数据、运行参数等历史信息,通过大数据分析技术梳理故障发生规律,识别如“高硫燃料+低风速运行易导致水冷壁腐蚀”等潜在关联,为故障预判提供数据基础,同时为设备选型、运行参数优化提

供参考依据。(2) 基于深度学习的故障模式识别与预测: 构建深度学习模型, 输入海量历史故障数据进行训练, 使模型具备识别磨损、腐蚀、热应力裂纹等典型故障模式的能力。在实际运行中, 模型实时分析传感器采集的实时数据, 对比故障特征, 精准预测故障发生概率与时间, 如提前一周预警某段过热器管壁因磨损可能出现的爆管风险, 指导提前维护^[2]。

2.3 数字孪生技术

(1) 锅炉系统高精度虚拟建模与仿真: 依据锅炉实体结构、材质特性、运行原理, 构建1:1数字孪生模型, 还原炉膛、受热面、烟道等全部组件。通过仿真技术模拟不同工况下锅炉运行状态, 如模拟负荷骤增、燃料成分变化时的温度场、流场分布, 预判易发生磨损或腐蚀的区域, 为日常巡检重点区域划定提供支撑。(2) 运行状态可视化与优化决策支持: 数字孪生模型实时同步实体锅炉运行数据, 以三维可视化形式直观展示各部件温度、压力、磨损程度等状态, 让运维人员清晰掌握设备运行情况。当出现参数异常时, 模型可模拟不同调整方案的效果, 如对比“降低烟气流速”“调整配风比例”对磨损缓解的作用, 为优化运行决策提供科学依据。

2.4 区块链与数据安全

(1) 实现设备全生命周期数据追溯: 将锅炉从出厂、安装、运维到报废的全生命周期数据录入区块链, 每个环节数据生成唯一时间戳与加密标识, 确保数据不可篡改。当设备出现故障时, 可通过区块链快速追溯历史运维记录、更换部件信息等, 精准定位故障原因, 如追溯某段管道此前的腐蚀修复记录, 分析修复工艺是否存在缺陷。(2) 构建防篡改数据存储与共享机制: 利用区块链去中心化存储特性, 将锅炉运行关键数据分布式存储在多个节点, 避免单一节点故障导致数据丢失。同时, 通过智能合约设定数据访问权限, 实现电厂内部各部门、与设备厂商间的安全数据共享, 如向厂商共享某型号管材的实际磨损数据, 助力厂商优化产品设计, 且保障数据不被泄露或篡改^[3]。

3 火力发电厂锅炉防磨防爆信息化管理体系构建

3.1 系统架构设计

(1) 清晰分层架构搭建: 感知层作为数据源头, 整合温度、压力、振动等各类传感器, 实时捕捉锅炉运行关键数据, 实现设备状态全面感知; 网络层依托5G、工业以太网等技术, 构建高可靠、低延迟的数据传输通道, 保障感知数据高效上传; 平台层承担数据处理核心职责, 集成边缘计算、大数据分析引擎, 完成数据存储、清洗与建模, 为上层应用提供支撑; 应用层面面向实际业务需

求, 开发故障预警、维护管理等功能模块, 满足运维人员操作与决策需求, 四层架构协同实现“数据采集-传输-处理-应用”全流程闭环。(2) 明确模块功能定位: 数据采集模块对接感知层设备, 按预设频率自动采集并校验数据, 确保数据准确性; 风险评估模块基于实时数据与历史故障模型, 动态评估锅炉磨损、爆管风险等级, 生成风险报告; 预警决策模块针对风险评估结果, 触发分级预警机制, 同时推送应急处置建议; 维护管理模块整合设备维护记录, 制定个性化维护计划, 实现运维流程标准化。

3.2 核心功能模块

(1) 实时监测与异常报警: 通过可视化界面实时展示锅炉各部件温度、压力等参数变化曲线, 当数据超出预设阈值时, 系统自动触发声光报警, 同时推送报警信息至相关人员手机端, 确保异常情况快速响应, 避免故障扩大。(2) 磨损趋势预测与寿命评估: 结合设备运行数据与材质特性, 构建磨损趋势预测模型, 动态生成管壁磨损量变化曲线, 精准预测设备剩余使用寿命, 为提前安排更换计划提供依据, 减少非计划停机。(3) 智能巡检与工单自动化: 根据锅炉风险分布制定智能巡检路线, 引导巡检人员按路线检查重点区域; 系统自动生成巡检工单, 记录巡检结果, 发现隐患时一键转化为维修工单, 分配至对应责任人, 实现巡检与维修流程无缝衔接^[4]。(4) 维修策略优化与备件管理: 基于设备故障频率、维护成本等数据, 优化维修策略, 如对高风险部件采用预测性维修, 对低风险部件采用定期维修; 同时建立备件库存预警机制, 实时监控备件数量, 确保维修时备件及时供应, 缩短维修周期。

3.3 实施路径与保障措施

(1) 分阶段推进实施: 先选取1-2台锅炉开展试点验证, 部署核心传感器与基础功能模块, 测试系统稳定性与数据准确性, 根据试点结果优化方案; 待试点成功后, 逐步向全厂锅炉推广, 实现信息化管理体系全覆盖, 降低大规模实施风险。(2) 强化人员培训与组织架构调整: 开展多轮培训, 针对运维人员重点讲解系统操作与故障分析方法, 针对管理人员培训数据决策应用; 同时调整组织架构, 设立信息化运维专项小组, 明确各部门职责, 确保体系高效运转。(3) 完善信息化标准与制度建设: 制定数据采集、存储、共享等标准规范, 统一数据格式与接口, 保障数据互通; 建立系统运维管理制度、数据安全管理制度, 明确系统日常维护流程与数据保密要求, 为体系长期稳定运行提供制度保障。

4 火力发电厂锅炉防磨防爆信息化管理的挑战与对策

4.1 技术应用挑战

(1) 传感器可靠性与数据噪声处理难题突出：锅炉运行环境高温、高压且伴有粉尘冲刷，普通传感器易出现故障，如温度传感器受粉尘覆盖导致测量偏差，振动传感器因长期振动出现灵敏度下降，影响数据采集可靠性；同时，设备运行产生的电磁干扰、传感器自身误差等会引入数据噪声，若未有效处理，易导致后续数据分析出现偏差，误判故障风险或遗漏真实隐患。(2) 算法泛化能力与小样本学习存在短板：现有故障预测算法多基于特定电厂、特定型号锅炉的数据训练，当应用于不同工况、不同结构的锅炉时，泛化能力不足，预测准确率大幅下降；此外，锅炉严重磨损、爆管等故障属于小概率事件，相关历史数据样本量少，难以支撑算法充分训练，导致小样本场景下故障识别与预测效果不佳。

4.2 管理层面挑战

(1) 人员技能转型压力与数据安全风险并存：传统运维人员习惯依赖经验开展工作，对信息化系统操作、数据分析等技能掌握不足，面临技能转型压力，若培训不到位，易导致信息化系统无法充分发挥作用；同时，锅炉运行数据、故障数据涉及电厂核心生产信息，数据传输、存储过程中存在被泄露、篡改的风险，一旦发生数据安全事件，可能影响电厂正常生产甚至引发安全事故。(2) 信息化投入与长期效益平衡难度大：锅炉防磨防爆信息化建设需投入大量资金用于传感器部署、系统开发、硬件采购等，初期成本较高；而信息化带来的效益（如减少非计划停机损失、降低维护成本）多在长期运行中逐步体现，部分电厂对短期投入与长期效益的平衡存在顾虑，影响信息化建设推进力度。

4.3 应对策略

(1) 依托产学研合作推动技术攻关：电厂可联合高校、科研机构、设备厂商组建攻关团队，针对高温高压

环境下的传感器可靠性问题，研发专用耐高温、抗磨损传感器；共同探索数据噪声处理技术，如采用滤波算法、数据融合技术提升数据质量；针对算法泛化能力与小样本学习难题，引入迁移学习、半监督学习等先进算法，结合多电厂数据优化模型，提升算法适应性与小样本场景下的预测精度。(2) 制定完善的数据安全规范与应急预案：建立覆盖数据采集、传输、存储、使用全流程的安全规范，明确数据访问权限，采用加密技术保障数据传输与存储安全；定期开展数据安全风险评估，排查潜在漏洞；同时制定数据安全应急预案，明确数据泄露、篡改等突发事件的处置流程，如一旦发现数据异常，立即启动数据备份恢复机制，阻断风险扩散，保障数据安全与电厂生产稳定。

结束语

火力发电厂锅炉防磨防爆管理信息化是顺应时代发展的必然趋势。通过引入物联网、大数据、数字孪生等前沿技术，构建起全方位、智能化的管理体系，有效克服了传统管理模式的局限，显著提升了故障预测与处理能力，保障了锅炉的安全稳定运行。尽管在技术应用与管理层面仍面临挑战，但随着产学研合作的深化与数据安全机制的完善，信息化管理必将在火力发电领域发挥更大作用，推动行业向更高效、更安全的方向迈进。

参考文献

- [1]李响.火电厂锅炉“四管”防磨防爆及防泄漏措施[J].现代制造技术与装备,2023,59(08):72-74.
- [2]李翔.锅炉“四管”防磨防爆重点部位防护措施[J].设备管理与维修,2022,(18):13-14.
- [3]宋吉平.火力发电厂锅炉受热面防磨防爆检查专用连体服的设计与应用[J].电力设备管理,2020,(05):74-75.
- [4]陆云,陈捷.无人机遥感技术在电站锅炉防磨防爆检查中的应用[J].电力与能源,2021,40(01):81-84.