

锅炉补给水系统智能化检修管理模式构建与应用

李家翰 蔚 焱 周向阳

国能陈家港发电有限公司 江苏 盐城 224600

摘要: 锅炉补给水系统运行工况复杂多变,传统固定周期检修模式难以适配设备状态的动态演变。本文围绕补给水系统设备运行特征与检修需求展开分析,构建了涵盖感知层、智能诊断层与决策执行层的智能化检修管理模式,探讨了多源数据融合故障定位、劣化趋势推演、检修工单自动编排及资源调度等关键环节的运行逻辑,并从流程数字化重组、数据闭环反馈与检修策略自学习等维度阐述了模式的持续优化路径,为补给水系统检修管理的智能化转型提供技术参照。

关键词: 锅炉补给水;智能化检修;故障诊断;数据融合;全生命周期管理

引言: 锅炉补给水系统承担着水态转换、水质净化与水压输送的完整运行链路,设备长期处于连续运转状态,水质指标的持续波动与工况参数的动态变化交织作用,使得设备腐蚀、结垢与微生物污染等问题呈现渐进式累积特征。传统周期性检修模式受限于固定作业节奏,对早期隐性故障的捕捉能力明显不足,运维工作与系统实际运行状态之间存在适配偏差。智能化检修技术的引入,为破解这一困境提供了可行路径,推动检修管理从被动响应向主动预防转变。

1 锅炉补给水系统运行特征与检修需求分析

1.1 补给水系统各环节的运行参数与工况变化规律

锅炉补给水系统涵盖水态转换、水质净化、水压输送的完整运行链路,不同运行环节对应差异化的运行参数标准^[1]。系统运行过程中,水温、水压、水流速率会跟随机组负荷变动产生持续性波动,净化处理单元的水质处理参数也会随运行时长产生渐进式变化。水处理设备长期处于连续运转状态,介质通量的动态变化会带动整体工况状态发生微调,各类运行参数始终处于动态浮动区间。设备连续运行产生的工况波动具备规律性变化特征,低负荷运行阶段的参数浮动幅度相对平缓,高负荷运行阶段的参数波动范围会显著扩大,各类运行参数的动态变化构成系统常态化运行的基本形态。

1.2 水质指标波动对设备状态的影响传导路径

水体内部各类理化指标的动态浮动,会逐步作用于补给水系统各类金属设备与管路结构,形成逐层递进的状态影响。水质硬度、含盐量、含氧量的细微变化,会先作用于管路内壁与换热设备表层材质,改变设备表层的介质附着状态。介质附着状态的持续改变,会逐步引发设备材质物理性能与化学状态的细微变动,逐步改变设备内部运行工况。水质指标的持续性偏移会沿着水流

输送链路不断传导,从前端净水设备逐步延伸至后端锅炉换热设备,实现对整套补给水系统设备运行状态的全域影响。

1.3 腐蚀、结垢与微生物污染的生成机理与分布特征

水体中留存的微量金属离子与杂质成分,会在温度与压力的长期作用下发生理化反应,逐步在设备内壁形成固态沉积物,持续累积后形成结垢层。水体含氧量超标会促使金属材质发生氧化反应,逐步破坏设备表层防护结构,引发金属腐蚀现象并持续向设备深层结构蔓延。水体长期处于恒温流通环境会滋生微生物群落,微生物代谢产物会附着于设备管路内部,形成持续性污染堆积问题。各类设备故障问题具备固定的分布规律,结垢问题多集中于高温换热与水流滞流区域,腐蚀问题广泛分布于全链路金属管路设备,微生物污染多出现于低温净水处理单元。

1.4 传统检修模式在响应时效与诊断精度上的适配局限

传统检修模式依托固定周期开展设备运维工作,运维工作开展节奏固定,难以适配系统动态波动的运行工况。设备隐患的形成过程具备渐进性特征,常规周期性检修无法捕捉工况变动过程中产生的细微设备异常,对早期隐性故障的识别能力存在明显不足。人工排查设备状态的工作模式,对水质波动引发的设备潜在隐患识别精准度有限,无法精准区分不同水质问题引发的设备状态异常。固定化的运维模式难以适配系统动态变化的运行状态,无法根据工况变动调整运维节奏,整体运维工作的适配性与精准度难以满足系统稳定运行的实际标准。

2 智能化检修技术体系与感知层构建

2.1 多参数在线监测传感器的选型与布设逻辑

智能化检修体系的前端感知建设依托多元监测设备

搭建数据采集基础,传感器选型工作需要匹配锅炉补给水系统的运行环境与监测需求。结合水处理流程的介质特性与运行环境条件,针对水质理化参数、设备运行工况参数选取适配的监测设备,保障监测设备可以长期适应潮湿、恒温、连续流通的运行场景^[2]。布设工作遵循全覆盖与重点聚焦的建设思路,针对管路拐点、换热装置、净水处理核心设备等易产生状态异常的区域加密监测点位。常规流通过路段保持均匀布设的建设原则,填补系统运行数据的采集空白,保障监测网络可以全面捕捉整套补给水系统的运行状态变化。

2.2 边缘计算节点在数据预处理中的部署方式

边缘计算架构的融入可以优化监测数据的处理流程,缓解云端数据处理的运行压力。计算节点部署贴合现场设备分布格局,在水处理装置集中区域设置对应的边缘处理单元,承接周边监测点位的原始数据归集工作。物理节点部署贴合现场空间布局,规避高温高湿环境对运算设备的干扰,维持数据处理环节的稳定运行。近端部署的运算单元可完成原始数据的清洗、筛选与规整处理,剔除采集过程中产生的无效数据与干扰数据,缩减无效数据向云端传输的数据流规模,提升数据处理的整体效率。

2.3 设备状态信号的采集传输与数据标准化处理

各类传感器捕捉的设备状态信号涵盖模拟量与数字量多种类型,信号采集工作贯穿系统全运行时段,实现设备运行状态的不间断捕捉。采集后的信号通过专用传输链路完成逐级上传,保障信号传输过程的完整性与安全性,规避外界环境干扰造成的数据丢失与失真问题。不同类型的监测数据存在格式差异与维度差异,统一的数据处理规范可以规整各类异构数据。通过规范化的转换规则统一数据存储格式与计量维度,实现多源监测数据的融合统一,为后续状态分析与特征提取提供规范的数据支撑。

2.4 故障特征参数库的搭建与更新机制

故障特征参数库依托海量标准化运行数据搭建,梳理补给水系统各类异常状态对应的参数变化规律,筛选具备识别价值的特征数据完成数据库初始化建设。参数库收录水质异常、设备磨损、管路积垢、材质腐蚀等各类常见异常对应的特征参数,形成覆盖系统多发异常的特征数据资源。动态更新机制支撑数据库的长效运行,持续吸纳设备不同运行阶段产生的新型状态数据。结合设备运行时长与工况变化积累的全新数据资源,逐步丰富特征数据储备,持续提升数据资源对设备异常状态的识别支撑能力。

3 智能诊断算法与检修决策逻辑

3.1 设备劣化趋势分析与剩余寿命推演方法

锅炉补给水设备长期在复杂水质与工况环境中持续运行,性能状态会随运行时长产生渐进式衰减。依托长期积累的设备运行数据与状态特征数据,可建立适配水处理设备运行规律的劣化分析模型^[3]。模型围绕设备性能衰减的连续变化轨迹开展深度分析,挖掘水质侵蚀、工况波动、介质冲刷等外界因素对设备性能的衰减影响。通过量化各类干扰因素的作用强度,精准捕捉设备性能的细微衰减变化,搭建贴合设备实际运行状态的寿命推演模型。基于持续更新的状态数据完成寿命动态推演,界定设备性能衰减的临界区间,为预防性检修工作开展提供科学依据。

3.2 多源数据融合下的故障定位与归因推理路径

系统运行过程产生的监测数据具备来源多样、维度多元的基本特点,单一数据维度无法完整反映设备故障的形成成因与发生位置。多源数据融合技术可整合水质监测数据、设备工况数据、环境运行数据等多维度信息,打破单一数据维度的分析局限。通过多维数据的关联匹配与深度融合,梳理设备异常参数与各类运行变量的内在关联。依托数据关联特征完成故障精准定位,锁定异常问题对应的设备区域与运行环节。结合各类影响因素的作用逻辑,逐层推演故障形成的核心诱因,完成故障问题的精准归因。

3.3 检修工单自动生成与优先级排序规则

智能诊断体系可依托设备异常识别结果,自主完成检修工作的流程梳理与工单生成。系统抓取设备故障类型、异常影响范围、性能衰减程度等核心信息,自动录入工单基础内容,完善检修作业的基础信息台账。结合设备在整套补给水系统中的运行权重,搭建标准化的工单排序评判体系。综合异常危害程度、设备运行重要程度、故障发展速度等多重维度,对各类检修任务进行层级划分。依据统一评判标准完成检修任务排序,梳理检修作业的执行次序,保障关键设备与高危异常问题得到优先处置。

3.4 备品备件需求预测与检修资源调度策略

设备劣化规律与故障发生特征可作为备品备件储备规划的核心依据,通过分析各类设备部件的损耗周期与更换频次,预判不同阶段的备件使用需求。结合机组运行负荷变化与设备整体损耗状态,动态调整备件储备总量与储备结构,规避备件储备不足或过度囤积的问题。智能调度体系整合人力、物资、设备等各类检修资源,结合检修任务的执行需求完成资源统筹分配。依据检修

作业的时空需求匹配对应资源配置方案,优化各类检修资源的配置结构,提升检修作业的整体执行效率。

4 检修管理模式的运行优化与持续迭代

4.1 检修作业流程的数字化重组与标准化管控

传统检修作业依托线下人工推进各项工作,作业环节分散割裂,流程管控缺乏系统性约束,作业标准难以统一落地。数字化技术手段能够对传统检修作业链路进行深度重构,打破线下运维模式的碎片化弊端^[4]。智能化管理平台整合检修全流程作业环节,打通作业发起、任务分配、现场实施、质量校验、作业收尾的完整流程,构建贯通全流程的数字化作业体系。行业通用运维标准融入数字化管控体系,对现场操作规范、作业执行尺度、质量核查标准进行统一界定,细化各作业环节的执行细则与管控边界。数字化管控模式细化各流程节点的管控精度,规范人工作业行为,缩减作业流程中的随意性偏差,让整套检修作业体系具备稳定的标准化运行特质。

4.2 检修记录与运行数据的闭环反馈机制

锅炉补给水系统长期运行产生的运行数据与检修作业留存的运维信息,是检修体系持续优化的核心数据支撑。搭建完整的数据闭环运行机制,能够打通设备运行状态感知、检修作业执行、数据沉淀应用的完整链路。各类现场检修作业产生的运维信息会自动归集至系统数据库,完成运维数据的有序分类与持久留存。平台对归集的海量运行数据与检修记录进行深度挖掘,梳理作业执行过程中的潜在问题与设备运行的隐性规律。挖掘得到的有效信息反向赋能检修管理体系,推动运维数据持续服务于作业优化与设备管控,形成数据沉淀分析优化再应用的良性运行闭环。

4.3 检修策略的动态调整与知识库自学习路径

锅炉补给水系统的运行工况始终处于动态变化状态,设备损耗规律与故障诱发条件会随运行环境产生持续变动,固定固化的检修方案无法适配长期运维需求。智能化检修体系依托持续更新的设备运行数据与检修台账,持续打磨适配不同运行场景的运维处置方案。系统深度挖掘海量历史运维数据,梳理不同负荷状态、不同水质条件下的设备故障演化规律,积累各类异常状态的有效处置方式。运维知识库依托新增数据持续完成内容

迭代,不断扩充故障处置方法、流程优化细则、工况适配策略等核心内容。依托知识库的自主学习能力,检修体系可主动适配设备运行状态变化,完成检修策略的动态更新与精细优化。

4.4 全生命周期视角下检修成本与设备可靠性的平衡方式

锅炉补给水设备的全生命周期运维工作,需要兼顾运维资源投入效率与设备长期运行稳定性,单一侧重成本压缩或运维保障都会造成运维体系失衡。结合设备投入运行、稳定运行、老化衰减的不同生命周期阶段,针对性匹配差异化的检修运维方案,精准把控各阶段的运维投入强度与作业频次。智能化数据分析技术可以深度拆解运维投入、设备损耗速率、系统运行可靠性三者的内在关联,筛选适配不同设备、不同运行阶段的最优运维配比模式。科学调配各类检修资源,合理规划检修作业内容,规避过度运维造成的资源浪费,改善运维力度不足引发的设备性能衰减问题,实现设备全生命周期内运维成本与运行可靠性的动态平衡。

结束语

锅炉补给水系统智能化检修管理模式的构建,打通了从状态感知、故障诊断到检修执行的完整作业链路。多源数据融合与智能算法的深度嵌入,使设备异常识别与检修决策具备了更强的时效性与精准度。数字化流程重组与知识自学习机制的持续运转,推动检修体系在实践中不断打磨迭代。全生命周期视角下的成本与可靠性平衡策略,则为运维资源的科学调配提供了清晰方向,支撑补给水系统检修管理水平的稳步提升。

参考文献

- [1]郑慧慧.全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(3):263-265.
- [2]程会芹,田国良.全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(11):142-144.
- [3]王洋.全膜法水处理工艺在电厂锅炉补给水处理中的应用研究[J].当代化工研究,2025(19):104-106.
- [4]耿峰.全膜法工艺在锅炉补给水处理中的应用[J].清洗世界,2024,40(1):1-3.