

# 电厂设备故障预警系统构建及运行应用研究

宋家辰 冯 强

北方联合电力有限责任公司包头第二热电厂 内蒙古自治区 包头 014030

**摘要:** 随着电力生产对设备运行可靠性与供电稳定性要求的不断提升, 电厂设备故障预警系统的构建与优化至关重要。首先阐述系统构建的核心技术支撑, 明确状态感知、特征提取等关键技术应用要点; 接着设计分层式系统整体架构, 完成核心功能模块标准化搭建; 最后规范系统全生命周期运行管控流程, 提出切实可行的系统落地与优化方法, 为电厂智能运维升级提供完整技术参考。

**关键词:** 电厂设备; 故障预警; 状态监测; 智能运维

引言: 电力工业是国民经济发展的重要基础支柱, 电厂设备的安全稳定运行直接决定电力供应的连续性与可靠性。传统计划检修与事后维修模式, 已无法适配现代化电厂大容量、高参数的运行需求, 极易因设备突发故障引发非计划停机, 造成严重经济损失与安全风险。设备故障预警技术可实现故障隐患的超前识别与主动防控, 已成为电厂数字化转型进程中亟待深入研究的核心方向。

## 1 电厂设备故障预警系统重要性

电厂设备故障预警系统通过实时监测设备运行参数, 精准识别潜在故障征兆, 有效避免非计划停机对电力供应稳定性造成冲击。该系统依托传感器网络与智能算法, 实现设备状态动态评估, 提前预判磨损、老化、异常振动等风险, 将被动维修转变为主动预防, 显著提升设备全生命周期管理效能。系统运行过程中, 数据采集、传输、分析各环节紧密协同, 确保故障信号捕捉灵敏、响应迅速, 减少因设备突发故障引发的连锁反应, 保障生产流程连续性; 同时, 预警信息可视化呈现, 帮助运维人员快速定位问题根源, 优化维护资源分配, 降低无效检修频率, 在保障安全的前提下提升整体运营效率, 形成设备健康管理与生产效益提升的良性循环<sup>[1]</sup>。

## 2 电厂设备故障预警系统构建的核心技术支撑

### 2.1 设备状态感知技术

电厂设备状态感知技术是构建故障预警系统的核心基础, 聚焦于多维度物理信号的高精度捕捉与动态解析。该技术通过部署高灵敏度传感器阵列, 实现对温度、振动、声波、电流等关键参数的实时同步采集, 并采用自适应滤波算法抑制环境噪声干扰, 提升信号信噪比; 运用小波变换与傅里叶分析技术提取信号特征频段, 识别设备早期劣化征兆, 如轴承磨损、转子不平衡等隐性故障模式。多模态数据融合算法整合不同传感器信息, 构建设备健康状态的三维动态画像, 突破传统单参数监测

局限, 通过边缘计算节点实现本地数据预处理, 降低传输延迟, 保障预警响应时效性; 该技术形成全维度、高精度的设备状态感知网络, 为后续故障诊断与预警提供坚实数据基础, 推动预警系统向智能化、自主化方向演进, 实现从被动维护到主动预防的转型, 提升设备运行可靠性与全生命周期管理效能。

### 2.2 故障特征提取技术

故障特征提取技术聚焦于从多维度监测数据中挖掘设备故障的隐性表征, 通过时域统计分析提取信号幅值、波形畸变等特征, 结合频域变换识别异常频率分量如谐波失真、边带频率等; 时频分析方法如短时傅里叶变换与小波包分解, 可捕捉非平稳信号的瞬态特征, 揭示故障发生时刻的局部能量变化; 深度学习算法如卷积神经网络与自编码器, 能自动学习复杂特征映射关系, 从海量数据中提取高阶抽象特征, 提升特征表达鲁棒性; 多特征融合策略整合时域、频域、时频域等多维度特征信息, 构建设备故障的数字指纹库, 增强故障模式识别的精准度与泛化能力; 特征选择算法如互信息法与递归特征消除, 可筛选出最具区分度的特征子集, 降低模型复杂度并提升计算效率, 该技术形成从原始信号到特征向量的完整处理链路, 为故障预警模型提供高分度、低冗余的特征输入, 推动预警系统向智能化、精准化方向演进, 实现故障早期识别与健康状态评估的双重提升<sup>[2]</sup>。

### 2.3 预警模型搭建技术

预警模型搭建技术以数据驱动为核心, 构建高精度故障预测框架。采用集成学习算法如随机森林、梯度提升树, 通过多模型协同提升预测鲁棒性; 深度学习模型如长短期记忆网络、门控循环单元, 擅长捕捉时序数据的长期依赖关系, 识别故障发展趋势; 生成对抗网络可生成虚拟故障样本, 扩充训练数据集, 缓解样本不均衡问题; 模型优化策略如贝叶斯优化、遗传算法, 自动调

整超参数组合,提升模型泛化能力。动态阈值设定技术结合设备运行工况,自适应调整预警触发条件,降低误报漏报率;模型可解释性方法如SHAP值分析,揭示特征对预测结果的贡献度,增强预警结果的可信度;该技术形成从数据输入到预测输出的全流程闭环,推动预警系统向自适应、可解释方向演进,实现故障风险量化评估与动态预警的双重突破,提升设备运维的智能化水平与决策支持能力。

#### 2.4 数据处理与流转技术

数据处理与流转技术聚焦于设备监测数据的全生命周期管理,通过数据清洗算法剔除异常噪声与缺失值,保障输入数据的可靠性;采用分布式存储架构实现海量数据的高效存储与快速检索,支持多节点并行读写以提升系统吞吐量;运用数据压缩算法如LZ77与霍夫曼编码,降低传输带宽占用,保障实时数据流的稳定传输。基于消息队列技术实现跨系统数据的高效流转,支持生产者-消费者模式解耦数据采集与处理模块,通过数据标准化协议统一不同设备的数据格式,消除异构数据源的语义差异;融合边缘计算与云计算架构,实现本地实时处理与云端深度分析的协同优化;该技术构建起从数据采集、传输、存储到处理的全链路支撑体系,保障预警系统各模块间数据的高效流转与价值挖掘,推动故障预警向实时化、智能化方向演进,提升系统整体响应速度与决策质量。

### 3 电厂设备故障预警系统的架构设计与模块搭建

#### 3.1 系统整体架构设计

系统整体架构设计基于分层架构理念构建,形成从数据采集到智能决策的完整技术链路。底层集成多源传感器阵列实现设备参数的高精度同步采集,结合边缘计算节点完成本地数据预处理与特征提取,降低传输延迟;中层采用分布式计算框架实现海量数据的清洗、标准化及流批一体处理,平衡实时性与准确性需求;顶层部署机器学习模型实现故障模式识别与风险等级评估,通过动态阈值设定技术提升预警精准度。架构支持模块化扩展与插件式集成,适应不同规模电厂的个性化需求,推动系统向高可用、易维护方向演进,提升设备运维的智能化水平与响应效率。

#### 3.2 设备状态采集模块搭建

设备状态采集模块搭建围绕多维度参数精准获取展开,集成振动、温度、声波等多类型传感器实现设备运行数据的全息采集。采用自适应采样率控制技术,根据设备工况动态调整数据采集频率,平衡精度与能耗需求;通过数字滤波与信号调理电路优化原始信号质量,抑制高频噪声与电磁干扰,提升信号信噪比;部署边缘计算

节点实现本地数据清洗与特征提取,减少无效数据传输量,降低网络带宽压力;采用时间同步协议确保多传感器数据的时间对齐,消除时序偏差对状态分析的影响。模块设计支持传感器类型与数量的动态扩展,适应不同设备监测场景的个性化需求,推动数据采集向高精度、低延迟、高可靠性方向持续演进<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 故障预警分析模块搭建

故障预警分析模块搭建聚焦于多维度数据处理与智能算法融合,构建从特征输入到风险评估的闭环分析链路。采用流式计算框架处理实时数据流,结合批处理引擎分析历史数据,平衡实时性与准确性需求;部署深度学习模型如卷积神经网络与长短期记忆网络,识别设备故障模式并预测发展趋势,提升模式识别的精准度;运用动态阈值设定技术,根据设备运行工况自适应调整预警触发条件,降低误报漏报率。集成模型可解释性方法如SHAP值分析与特征重要性评估,揭示预测结果的驱动因素,增强预警结果的可信度;模块设计注重高可用性与可扩展性,支持模型热更新与在线学习能力,适应设备状态变化与新型故障模式识别需求;通过多源数据融合与多模型协同,提升故障风险评估的全面性与鲁棒性,推动预警系统向智能化、自适应方向演进,实现故障预警的精准化与决策支持的高效化。

#### 3.4 系统交互输出模块搭建

系统交互输出模块搭建以用户需求为核心,构建多模态信息交互体系。通过高精度可视化引擎实现设备状态三维动态展示,支持参数趋势预测与异常点位高亮,提升故障定位效率;集成智能语音交互功能,允许运维人员通过语音指令查询设备状态或触发报警处置,降低操作复杂度;采用自适应界面布局技术,根据屏幕尺寸自动调整图表比例与控件位置,保障桌面端与移动端的统一体验;运用多通道报警机制,结合声光、震动、弹窗等多维度提示方式,确保预警信息无遗漏传达;模块设计支持界面模板定制与第三方系统集成,通过标准化API接口实现与电厂现有监控系统的无缝对接,推动系统向高可用、易扩展方向持续演进,提升运维决策的精准性与时效性<sup>[4]</sup>。

### 4 电厂设备故障预警系统的运行应用与全流程管控

#### 4.1 系统上线前的调试适配

系统上线前的调试适配需覆盖多维度技术验证与参数调优,确保各模块协同运行的稳定性。硬件层面开展传感器精度校准,通过标准信号源验证温度、振动等参数采集误差,调整增益系数以消除系统误差;软件层面进行算法模型验证,利用测试数据集评估故障识别准确

率与召回率,优化特征提取算法以提升模式识别能力;通信层面测试数据传输协议兼容性,验证有线与无线链路的稳定性及抗干扰能力,调整数据包大小与传输频率以平衡实时性与带宽占用;系统层面开展全链路压力测试,模拟高并发数据场景验证分布式计算框架的处理能力,调整资源分配策略以避免性能瓶颈,保障系统上线后快速适应实际运行环境,实现从调试到运行的无缝衔接。

#### 4.2 系统日常运行的流程管控

系统日常运行的流程管控需构建标准化、闭环化的运维体系,保障系统持续稳定输出价值。实时数据监控模块持续采集设备运行参数,通过动态阈值设定与异常检测算法识别数据波动,触发分级预警机制;异常处置流程采用“自动-半自动-人工”三级响应策略,根据故障严重程度自动调整设备参数、推送处置建议或通知运维人员介入。模型更新机制基于新采集数据定期优化算法模型,通过在线学习提升故障识别准确率与泛化能力;用户交互界面实时反馈设备状态、预警信息及处置建议,支持桌面端与移动端跨平台访问,满足不同场景下的监控需求;流程管控注重闭环优化,通过问题追踪、根因分析与策略迭代持续优化运行逻辑,保障系统长期可靠运行,提升设备运维效率与故障预警的精准度,推动系统向智能化、自适应方向持续演进。

#### 4.3 系统运行状态的动态监测

系统运行状态动态监测聚焦于实时数据驱动的智能评估与自适应调整,通过高精度传感器阵列持续采集设备振动、温度、电流等多维度参数,结合时域、频域分析算法提取状态特征;根据设备历史运行数据与工况变化自动调整预警边界,提升异常检测的灵敏度与准确性。集成自适应滤波算法抑制环境噪声干扰,优化信号质量以增强状态评估的可靠性;通过可视化引擎实时展示设备状态趋势与风险等级,支持运维人员快速定位异常点并采取干预措施。模块设计注重高可用性与可扩展性,支持传感器类型与数量的动态扩展,适应不同设备监测需求,推动系统向实时化、智能化方向演进,提升设备运行状

态感知的全面性与响应效率<sup>[5]</sup>。

#### 4.4 系统运行能力的优化迭代

系统运行能力优化迭代聚焦于持续技术升级与性能调优,通过在线学习机制实时融合新采集数据,动态优化故障识别模型的特征提取能力与泛化性能。采用A/B测试框架对比不同算法版本的实际效果,选择最优模型进行部署以提升预警准确率;集成自适应参数调整功能,根据设备运行工况变化自动优化数据处理流程与模型超参数,通过用户反馈机制收集运维人员操作数据,分析系统使用痛点并迭代交互逻辑;模块设计支持模块化升级与插件式扩展,适应未来技术发展需求,推动系统向高精度、低延迟、易维护方向持续演进,提升故障预警的智能化水平与长期运行可靠性。

结束语:电厂设备故障预警系统的落地应用,是推动电厂运维模式从被动处置向主动预防转型的核心抓手。通过多维度核心技术融合应用、标准化系统架构搭建与全流程运行管控体系完善,可有效实现设备故障早期识别与风险预判,大幅提升设备运行可靠性与运维管理效率。随着智能算法与物联网技术持续迭代,故障预警系统将不断优化升级,为电力行业高质量发展提供坚实技术支撑。

#### 参考文献

- [1]宋定航,莫宇.水电厂设备故障智能诊断与预警系统研究[J].能源新观察,2025(7):61-62.
- [2]陈文华.智慧电厂设备远程监测与故障预警系统的构建与应用[J].电力系统装备,2023(11):16-18.
- [3]郑肇会.火电厂旋转设备的状态监测与故障预警模型研究[J].自动化仪表,2025,46(8):66-70.
- [4]马战南,高杰,宋淼,蒋勇,常福荣.5G通讯技术在火电厂设备监测与故障诊断中的应用研究[J].电气技术与经济,2025(10):115-117.
- [5]赵文高.基于人工智能的水电站电气二次设备故障预警系统设计[J].电工技术,2025(21):268-270.