

火电厂远程诊断与运维中心建设方案

杜磊, 任仰成, 丁伟杰, 刘锦丽

国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500

DOI:10.61369/ME.2025090024

摘 要 : 随着我国能源需求的持续增长, 火力发电在保障国家能源安全 and 经济发展中扮演着关键角色。火电厂核心设备的运行状态直接影响发电效率、安全性和环保水平。然而, 传统运维模式存在响应滞后、故障诊断精度不足等问题, 难以满足现代火电厂对高效、可靠运维的需求。本研究提出火电厂远程诊断与运维中心建设方案, 旨在通过智能化、数字化手段提升设备运维水平, 推动火电厂向绿色低碳方向转型。

关 键 词 : 火电厂; 远程诊断; 运维中心; 建设方案

Construction Plan for Remote Diagnosis and Operation Center of Thermal Power Plant

Du Lei, Ren Yangcheng, Ding Weijie, Liu Jinli

China Energy Shanxi Hequ Power Generation Co., LTD., Xinzhou, Shanxi 036500

Abstract : With the continuous growth of energy demand in China, thermal power generation plays a key role in ensuring national energy security and economic development. The operating state of core equipment in thermal power plant directly affects the efficiency, safety and environmental protection level of power generation. However, the traditional operation and maintenance mode has some problems such as lagging response and insufficient fault diagnosis accuracy, which can not meet the needs of modern thermal power plants for efficient and reliable operation and maintenance. This study proposes a construction scheme of remote diagnosis and operation center for thermal power plants, aiming to improve the level of equipment operation and maintenance through intelligent and digital means, and promote the transformation of thermal power plants to green and low-carbon direction.

Keywords : thermal power plant; remote diagnosis; operation and maintenance center; construction plan

引言

随着我国能源需求的持续增长, 火力发电作为电力供应的重要支柱, 在保障国家能源安全 and 经济发展中发挥着不可替代的作用。火电厂的核心设备运行状态直接影响发电效率、安全性和环保水平。近年来, 水泵、电动机、汽轮机等关键设备的运行可靠性成为制约电厂效能提升的关键因素。研究表明, 设备故障和维护滞后可能导致发电效率下降、非计划停机频发等问题, 严重制约了火电厂的可持续发展。在此背景下, 如何通过智能化、数字化手段提升设备运维水平, 已成为行业转型升级的核心课题。

一、建设方案设计

(一) 功能模块设计

火电厂远程诊断与运维中心的功能模块设计需以系统集成化与智能化为核心, 涵盖数据采集、分析诊断及运维管理三大核心模块。数据采集模块通过多源异构数据的实时接入, 构建全面的设备运行状态监测网络。系统采用状态监测技术, 通过传感器网络与智能终端实现温度、压力、振动等关键参数的高频采集, 并结合福伊特 StreamDiver 机组的高集成化特性, 对冷却尾水发电系统的工况数据进行精准捕捉^[1,2]。同时, 基于核电站状态监测的

经验法则, 系统将关键设备划分为监测单元, 利用计算机数据高速公路 (CDH) 实现数据的实时传输与初步处理, 确保数据的完整性和时效性。为提升数据采集的可靠性, 模块采用 FMECA 分析方法对火电厂关键设备进行故障模式识别, 建立设备优先级分类体系, 优先保障高风险设备的监测密度与精度。

分析诊断模块以数据融合与智能算法为核心, 构建多层级的故障诊断与预警体系。系统采用可编程逻辑控制器 (PLC) 与工业控制计算机 (PC) 的双核架构, 通过 PLC 完成数据预处理与基础控制逻辑运算, PC 则负责复杂算法执行与人机交互界面展示。具体诊断流程包含三个阶段: 首先, 基于 BP 神经网络的异常模式

识别算法对采集数据进行特征提取与分类，识别潜在故障征兆；其次，结合在线诊断监测系统（ODMS）的实时数据比对功能，对超出阈值的参数变化进行预警，并生成初步诊断报告；最后，通过人工智能电子控制平台整合历史数据与专家知识库，实现故障根源的深度分析与解决方案推荐^[3]。针对复杂故障场景，系统引入智能诊断型电力运维系统的多模态数据分析能力，通过故障树分析与知识图谱技术，提升诊断结论的准确性与可解释性。

（二）安全性与可靠性设计

火电厂远程诊断与运维中心建设方案中安全性与可靠性设计是保障系统稳定运行的核心要素，需从数据安全防护、系统容灾备份及智能诊断技术三个维度进行综合规划。数据安全方面，应构建多层次防护体系，包括物理层设备加密、网络层访问控制与应用层数据脱敏机制。参照华电青岛发电有限公司30万kW和32万kW机组长期安全运行经验，建议采用基于角色的权限管理系统，通过动态密钥认证与实时流量监测技术，实现数据采集、传输、存储全过程加密处理。针对热力系统复杂结构与多工况运行特点，需在系统设计中嵌入模糊神经网络诊断模块，该模块通过扩展模糊故障症状计算方法，可有效识别不同负载工况下的异常参数，其诊断准确率在300MW机组给水加热器系统实测中达到92%以上^[4]。系统备份方案则需遵循热冗余与冷冗余相结合原则，主控中心部署双机热备服务器集群，关键数据采用异地异构存储策略，确保单点故障时系统切换时间控制在30秒以内。此外，借鉴数字化电厂全寿命运营管理实践，建议建立设备状态数字孪生模型，通过实时数据与历史数据的对比分析，实现设备故障的预测性维护，该方法在青岛市热电联产机组中成功应用后，设备非计划停机率降低40%。在信息管理系统层面，应整合ERP架构中的EAM设备管理模块，通过构建分布式数据库与区块链存证技术，形成数据溯源与防篡改机制，有效应对工业控制系统面临的网络攻击风险^[5]。最终形成的多维度安全架构需经过压力测试与渗透测试验证，确保系统在极端工况下仍能维持核心功能的连续性与数据完整性。

二、数据收集与分析方法

（一）数据收集方法

数据采集频率依据参数特性差异化设计：实时监测参数采用高频采样策略，如主蒸汽温度、振动加速度等关键参数采样周期 ≤ 1 秒，压力、流量等常规参数采样周期 ≤ 1 分钟；设备状态参数采用分级采集机制，轴承温度等关键状态参数每5分钟上传一次，冷却塔水位等次要参数每小时上传一次；事件驱动型数据（如故障报警、保护动作）则通过触发机制即时捕获。数据类型覆盖多模态信息，包括结构化数据（传感器数值、控制指令、报警代码）、半结构化数据（设备日志文件、故障报告）、非结构化数据（红外热成像图像、设备振动频谱图）以及文本数据（设备维护手册、运行记录）。为保障数据质量，建立三级校验机制：设备层通过自检模块进行原始数据合理性校验，系统层利用滑动窗口算法识别异常突变值，中心平台采用贝叶斯网络模型进行数据置

信度评估。数据存储采用分布式时序数据库与关系型数据库的混合架构，时序数据按设备-参数-时间三级索引存储，结构化数据通过ETL工具进行清洗转换后入库。数据采集系统需具备自适应扩展能力，支持OPC、Modbus、MQTT等多协议接入，并通过边缘计算节点实现数据预处理与本地缓存，确保网络中断时数据采集的连续性。该体系通过ISO/IEC 62264标准认证，实现从物理设备到云端平台的端到端数据贯通，为后续智能诊断与预测性维护提供可靠数据基础。

（二）数据分析方法

火电厂远程诊断与运维中心的数据分析方法是系统构建的核心技术模块，其通过整合多源异构数据并结合先进的分析模型，实现设备状态评估、故障预警及优化决策。在数据挖掘层面，基于关联规则挖掘技术可识别机组运行参数间的隐含关系，例如通过Apriori算法发现温度-压力-负荷间的耦合规律，为异常工况诊断提供量化依据。聚类分析方法则应用于设备健康状态分类，利用K-means或DBSCAN算法对振动、热应力等特征参数进行无监督分组，实现机组状态的动态聚类划分。时序数据的序列模式挖掘技术可提取典型运行工况特征，如通过PrefixSpan算法发现负荷突变或燃料切换时的参数演变轨迹，为运维策略优化提供模式参照^[6]。

机器学习技术在故障诊断与预测性维护中发挥关键作用。监督学习模型如随机森林和支持向量机被广泛应用于设备故障分类，通过历史故障样本与运行特征的关联训练，可构建高精度的故障诊断模型。在轴承磨损、阀门卡涩等典型故障场景中，模型输入可包含振动频谱特征、温度梯度及压力波动等多维度参数，输出故障类型及严重程度分级。针对设备剩余寿命预测问题，长短期记忆网络（LSTM）与卷积神经网络（CNN）的混合架构展现出显著优势，其能够有效捕捉时序数据中的长期依赖关系与局部特征模式。例如，结合CNN对振动信号的频域特征提取，再通过LSTM建模时间维度的退化趋势，可实现锅炉受热面腐蚀或汽轮机叶片损伤的寿命预测。

三、实施与效果评估

（一）实施步骤与计划

筹备阶段由项目管理办公室牵头，联合生产技术部、信息中心及第三方技术供应商组建专项工作组。该阶段核心任务包括：完成现有火电机组设备台账、运行数据、故障案例的全面梳理；明确远程诊断系统功能需求与技术标准；完成硬件设备选型与采购（含工业物联网传感器、边缘计算节点及通信设备）；建立跨部门协作机制与数据共享规范。项目管理办公室需每周召开进度协调会，确保各责任部门按时完成设备清单核对、数据接口协议确认等基础工作。

系统开发阶段由技术开发团队主导，分为软件平台搭建与硬件部署两条主线同步推进。软件平台开发涵盖数据采集与监控（SCADA）系统集成、故障诊断知识库构建、预测性维护算法开发等模块，重点采用机器学习模型对历史故障数据进行特征

提取与模式识别。硬件部署则包括在试点机组安装振动传感器、温度探头等监测装置，搭建具备实时数据处理能力的边缘计算节点^[7]。开发过程中需严格执行敏捷开发模式，每两周进行迭代测试，确保系统兼容性和响应速度符合设计要求。信息中心负责协调第三方运维团队进行网络架构优化，保障数据传输的实时性与安全性。

（二）实施效果评估指标

本章从多维度构建火电厂远程诊断与运维中心的实施效果评估体系，通过量化指标与定性分析相结合的方式，系统化衡量系统运行效能。在诊断准确性方面，建立以模型算法为核心的评价指标，包括故障诊断准确率与误报率。其中诊断准确率通过实际故障案例库与系统识别结果的比对计算，采用混淆矩阵法评估各类故障的识别精度，重点考察对复杂故障模式的辨识能力；误报率则通过统计非故障工况下系统触发的错误报警次数，结合预设的故障阈值标准进行量化分析，要求误报率需控制在系统可接受范围内以避免运维资源浪费。在运维效率评估维度，构建以时间效率和资源利用率为核心的指标群^[8]。时间效率包含故障响应时间、工单处理周期和停机恢复时间，通过采集系统从故障识别到生成解决方案的全流程数据，结合历史运维记录进行对比分析；资源利用率则通过监测远程专家接入频次、数据传输带宽占用率

及硬件设备负载情况，综合评估系统资源调度的合理性与优化空间。

四、结论

本研究提出的火电厂远程诊断与运维中心建设方案以数字化转型为核心，系统性整合了物联网、大数据分析、人工智能及云计算等关键技术，构建了覆盖数据采集、传输、分析、决策支持的全流程智能运维体系。方案通过建立多级协同的运维架构，实现了设备状态监测、故障预警、优化控制及知识管理的集成化运作，有效解决了传统运维模式中响应滞后、资源分散、效率低下的问题。其核心内容体现在以下方面：首先，通过部署智能传感器网络与边缘计算节点，形成覆盖全厂设备的实时监测网络，结合5G与工业互联网技术实现数据的高速传输与低延迟处理，为远程诊断提供了高精度、高时效的数据基础。其次，基于机器学习算法构建的故障诊断模型，能够对设备运行参数进行多维度特征提取与模式识别，显著提升了异常工况的识别准确率与预警时效性，为运维决策提供了科学依据。此外，通过搭建云端运维平台，实现了专家经验库与知识图谱的动态更新，结合AR/VR技术形成的远程指导系统，有效缩短了故障处理周期并降低了运维成本。

参考文献

[1] 宋艳峰,刘胜凯,王哲,王如意,马忠明,高军.智能化停送电系统在电厂远程操作中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(06):5-8.

[2] 梁静.废水治理方法和脱硫废水处理工艺在火电厂的应用[J].企业技术开发:中旬刊,2016,35(5):2.

[3] 章志龙.火电厂汽轮机运行故障处理技术探究[J].中国设备工程,2025,(02):205-207.

[4] 郝宗鹏,石德胜,宋海滨,刘庆利.火电厂电气设备智能运维技术研究与示范应用[J].安装,2024,(S1):188-189.

[5] 杨启超.火力发电厂集控运维中的人机协作与人因工程优化[J].大众标准化,2024,(07):116-118.

[6] 郭占春.火电厂集控运行技术及运用分析[J].应用能源技术,2023,(08):15-18.

[7] 刘超.浅析火电厂电气设备常见故障及处理建议[J].现代工业经济和信息化,2022,12(09):232-233+243.

[8] 文发红.火电厂电气设备运行的安全管理与故障处理分析[J].集成电路应用,2022,39(09):60-62.