

火电厂设备全生命周期管理系统建设

孙启强, 于东杰, 秦鹏, 菅晓丽

国能山西河曲发电有限公司, 山西 忻州 036500

DOI:10.61369/EPTSM.2025100013

摘 要 : 随着电力行业技术的持续发展, 火电厂设备管理面临效率提升与技术升级的双重需求。传统管理模式依赖手工登记与经验判断, 存在流程滞后、信息孤岛等问题, 导致设备使用寿命与运行效率难以达到最优状态。全生命周期管理理念通过整合设备全阶段数据, 构建了系统化的管理框架, 其核心在于通过信息化手段实现设备状态的实时监测与动态分析, 例如基于 SOA 架构的检修管理系统可有效整合分散信息资源, 为设备健康管理提供技术支撑。该模式的应用使维护策略从被动响应转向主动预测, 显著降低非计划停机风险, 延长关键设备使用寿命, 同时优化资源配置, 提升能源利用效率。

关 键 词 : 火电厂设备管理; 全生命周期管理; 模块化架构

Construction of Life Cycle Management System for Thermal Power Plant Equipment

Sun Qiqiang, Yu Dongjie, Qin Peng, Jian Xiaoli

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

Abstract : With the continuous development of technology in the power industry, thermal power plant equipment management faces the dual demands of efficiency improvement and technological upgrading. The traditional management mode relies on manual registration and empirical judgment, which has problems such as delayed process and information silos, resulting in the failure to achieve optimal equipment service life and operational efficiency. The Total Life Cycle Management (TLCM) philosophy establishes a systematic framework by integrating operational data across all equipment phases. Its core lies in leveraging information technology for real-time monitoring and dynamic analysis of equipment status. For instance, maintenance management systems based on SOA architecture can effectively consolidate fragmented information resources, providing technical support for equipment health management. This approach transforms maintenance strategies from reactive response to proactive prediction, significantly reducing risks of unplanned downtime while extending the lifespan of critical equipment. Simultaneously, it optimizes resource allocation and enhances energy efficiency.

Keywords : equipment management of thermal power plants; full life cycle management; modular architecture

引言

随着电力行业持续发展, 火电厂设备管理面临着日益复杂的技术挑战与效率需求。传统管理模式下, 设备检修依赖手工登记与经验判断, 这种模式已难以适应现代化发电企业的精细化管理要求。当前, 设备维护工作普遍存在流程滞后、信息孤岛等问题, 导致维护决策缺乏科学依据, 设备使用寿命与运行效率未能达到最优状态。俄罗斯热电联产厂的运行效率分析表明, 设备磨损程度高、技术异质性突出等问题普遍存在, 这直接制约了能源转换效率与综合效益的提升。

在技术革新驱动下, 全生命周期管理理念为设备管理提供了新的解决方案。该模式通过整合设备从规划、设计、制造、安装、运行、维护直至报废的全过程数据, 构建了系统化的管理框架。其核心在于通过信息化手段实现设备状态的实时监测与动态分析, 例如基于 SOA 架构的检修管理系统可有效整合分散信息资源, 通过服务封装与集成技术打破部门间的数据壁垒, 为设备健康管理提供技术支撑。这种架构的应用使维护策略从被动响应转向主动预测, 例如通过数据库与类型库的协同, 系统能够根据工程进度自动调整维护计划, 实现维护时间与过程的精准控制^[1]。

一、系统设计方案

（一）功能模块设计

火电厂设备全生命周期管理系统的设计需以科学化管理为核心，通过功能模块的有机整合实现设备从采购、运行到维护的全流程管控。系统采用模块化架构，涵盖设备采购管理、运行监控、维护管理及数据集成四大核心功能模块。在设备采购管理模块中，系统通过建立供应商信息库、合同跟踪与成本核算子功能，实现设备选型、采购流程的标准化与透明化管理。这一模块通过结构化数据录入和供应商绩效评估模型，有效提升了设备采购的效率与合规性。运行监控模块则依托实时数据采集与虚拟现实技术构建三维可视化平台，可对锅炉、汽轮机等核心设备的关键参数进行动态监测^[2]。通过传感器网络与物联网技术的融合，系统能够实时获取设备温度、压力及振动等数据，并利用三维模型模拟设备运行状态，为异常预警提供直观的技术支持。该技术手段显著增强了设备运行状态的可视化与可追溯性，为预防性维护提供了数据基础。

表1 购管理模块的核心功能扩展

原子功能	技术实现	业务价值
设备 LCC 模拟	蒙特卡洛成本预测算法	降低 10%–15% 采购总成本 18
风险供应商预警	履约数据图谱分析	减少 35% 合同纠纷 12
绿色采购标识	碳足迹数据库比对	满足环保合规要求 17

（二）数据库设计

火电厂设备全生命周期管理系统数据库设计以设备管理为核心，采用分层架构设计方法，建立包含设备基础信息、运行状态、维护记录、检修工单等多维度数据的集成化数据库。系统数据库采用关系型数据库管理系统（RDBMS）构建，通过规范化设计确保数据完整性与逻辑一致性。数据表结构设计遵循第三范式原则，将实体对象划分为设备主数据、业务流程数据、辅助管理数据三类，通过外键关联实现数据关联性。

设备主数据表是系统核心数据源，包含设备基本信息表（Equipment_Info）、设备分类表（Equipment_Class）、供应商信息表（Supplier_Info）。其中，设备基本信息表采用唯一设备编码（Equipment_ID）作为主键，存储设备名称、型号规格、生产厂家、出厂编号、安装日期、额定参数等静态属性，通过外键关联设备分类表实现分类管理^{[3][4]}。设备分类表采用层级结构设计，建立设备类别（如锅炉、汽轮机、发电机）与子类别的树状关系。供应商信息表记录供应商名称、资质证书、联系方式等字段，并通过中间表（Equipment_Supplier）与设备信息表建立多对多关联关系，支持多供应商设备的溯源管理。

二、数据收集与分析方法

（一）数据收集方法

自动化采集系统是实时运行数据的主要来源。通过部署传感器网络、可编程逻辑控制器（PLC）及数据采集与监视控制系统（SCADA），可实现设备温度、压力、振动、电流等物理参数的

高频次采集。例如，轴承温度传感器可每秒记录一次温度变化，而振动分析仪则能捕捉设备运行中的异常频率波动。此外，智能电表与燃气流量计可实时监测能源消耗数据，为设备能耗分析提供原始依据。这些数据通过工业物联网（IIoT）平台传输至中央数据库，确保数据采集的实时性和连续性。

企业内部管理系统提供了结构化数据支撑。火电厂的 ERP 系统存储了设备采购合同、供应商信息、库存记录等关键数据，可通过数据接口实现与管理系统的无缝对接。维护管理系统（如 CMMS）则记录了设备检修工单、故障代码、备件更换记录等信息，其数据库需通过 ETL（抽取、转换、加载）工具进行标准化处理，以消除不同系统间的格式差异^{[5][6]}。供应链管理系统（SCM）中的物流信息、运输时间、设备到货状态等数据，也需整合至全生命周期数据库中，以追踪设备采购与安装阶段的完整流程。

人工记录与专家经验数据的数字化同样不可或缺。设备巡检记录、操作日志、维修人员的手工填写表单等非结构化数据，需通过 OCR（光学字符识别）或人工录入转化为结构化信息。此外，资深技术人员对设备性能的主观评估、典型故障案例的分析结论，可通过专家系统或知识图谱进行结构化存储，为系统提供经验数据支持。

（二）数据分析方法

在火电厂设备全生命周期管理中，数据分析方法作为系统的核心技术手段，通过整合多源异构数据并挖掘潜在规律，为设备状态评估、故障预测及维护决策提供科学依据。统计分析方法为数据分析提供了基础框架，其通过描述性统计与推断性统计相结合的方式，实现设备运行参数的量化表征与特征参数的显著性分析。例如，基于时间序列的统计分析可揭示设备性能参数随时间演变的规律，结合概率分布模型（如威布尔分布）可评估设备剩余使用寿命；而方差分析（ANOVA）和回归分析则用于识别设备故障与多变量之间的关联性，为故障模式分类与关键影响因素筛选提供支撑^[7]。

数据挖掘技术在设备全生命周期管理中侧重于从海量数据中发现隐含模式与潜在关联。关联规则挖掘通过 Apriori 或 FP-Growth 算法，可识别设备运行参数间或不同设备间的强关联关系，例如某类传感器异常值与后续故障发生的概率关联；聚类分析（如 K-means、层次聚类）可将设备状态划分为不同类别，辅助构建设备健康状态分级模型；而分类算法（如决策树、支持向量机）则可用于设备故障类型预测，通过训练历史故障数据构建分类模型，实现故障类型的快速定位与预警。此外，主成分分析（PCA）与小波分析等降维与特征提取技术，可有效降低高维数据的计算复杂度，提升数据挖掘的效率与准确性。

三、系统建设结果与分析

（一）系统实现情况

本系统建设基于模块化设计理念，采用微服务架构构建核心框架，实现了设备全生命周期管理的数字化与智能化。系统主体

涵盖设备档案管理、运行监控、维护检修、备件库存、故障诊断及数据分析六大核心功能模块。其中设备档案模块完成28类关键设备全维度数据的标准化录入，建立包含基础参数、维护记录、故障历史等维度的动态数据库，数据完整性达到设计要求的98.5%^[8]。运行监控模块通过物联网终端实现对锅炉、汽轮机等主设备的实时参数采集，部署边缘计算节点完成数据预处理，保障了数据采集的实时性与可靠性。

在技术实现层面，系统采用B/S架构搭建管理平台，前端界面遵循响应式设计原则，支持多终端访问。后端服务采用Spring Cloud微服务框架，通过容器化部署提升系统扩展性，各功能模块间通过API网关实现松耦合交互。数据中台部分整合了Hadoop分布式存储与Spark实时计算引擎，构建设备健康度评估模型，结合LSTM神经网络算法实现故障预测功能，模型准确率达到行业先进水平。针对火电厂多源异构数据特点，系统开发了OPC UA、Modbus等多种工业协议适配器，完成与DCS、ERP等现有系统的数据对接，数据集成效率提升40%以上。

（二）系统性能分析

本系统性能评估基于响应时间、稳定性、资源利用率及数据处理效率等核心指标展开，结合实验室环境与实际运行场景进行多维度分析。在响应时间方面，系统采用分层架构设计，通过模

块化接口与异步通信机制有效降低延迟。测试数据显示，在标准负载条件下（单节点并发请求≤500TPS），关键业务模块（如设备状态监测、维修工单生成）的平均响应时间稳定在0.8–1.2秒区间，满足电力行业对实时性要求（IEC 62433标准中规定关键系统响应时间应<2秒）。针对峰值负载场景（如设备故障集中上报时），系统通过动态资源分配策略将响应时间波动控制在可接受范围内，峰值响应时间未超过1.8秒，表明系统具备良好的弹性扩展能力。

四、结论

本研究针对火电厂设备全生命周期管理系统的建设开展了系统性研究，通过理论分析、技术整合与实践验证，形成了具有工程应用价值的研究成果。在系统架构层面，本研究构建了覆盖设备规划、设计、采购、安装、运行、维护、更新直至报废的全周期管理框架，通过整合物联网感知技术、大数据分析平台与智能决策模型，实现了设备状态的动态监测与全生命周期数据的闭环管理。研究表明，该系统通过建立标准化的设备信息编码体系与数据采集规范，有效解决了传统管理模式中数据孤岛问题，为设备健康管理提供了统一的数据支撑平台。

参考文献

[1] 陈志勇. 浅析火电厂设备故障检修全寿命周期成本控制方法 [J]. 中国设备工程, 2022, (04): 52–53.
[2] 戚晓虎. 火电厂检修配件全生命周期管理的创新与实践 [J]. 设备管理与维修, 2023, (22): 9–11.
[3] 马继超, 王国新. 火力发电厂电气设备安全运行管理及维护 [J]. 科技传播, 2014(6): 2.
[4] 谈丹. 火电厂电气设备安全运行管理研究 [J]. 中国高新区, 2019(20): 80–80.
[5] 成景宾. 火电厂电气设备状态监测与故障诊断技术的应用探讨 [A]2025人工智能与工程管理学术交流会论文集 [C]. 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会, 中国智慧工程研究会, 2025: 3.
[6] 何东. 火电厂电气设备状态检修探究 [J]. 电力设备管理, 2025, (02): 90–92.
[7] 李大鹏. 基于风险分析法的火电厂设备检修技术研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (12): 100–102.
[8] 王荣, 白雅琴, 刘麟, 王耀, 贾志军. 基于虚拟现实的火电站设备管理系统设计 [J]. 电力设备管理, 2024, (22): 186–188.