

Construction and practice of intelligent operation and maintenance management system for power plant

Weiwei Zhang

Shanghai Shangdian Caojing Power Generation Co., Ltd., Shanghai, 201507, China

Abstract

With the ongoing transformation of energy structures and digital technology advancements, establishing intelligent operation and maintenance (O&M) management systems for power plants has become a pivotal challenge in industry development. This study systematically examines three dimensions: architectural design, key technological applications, and management mechanism innovation, proposing an intelligent O&M framework centered on "data-driven, smart collaboration, and proactive defense." By analyzing the limitations of traditional O&M models and the underlying logic of digital transformation, the research clarifies hierarchical design principles for management systems. It explores collaborative mechanisms across IoT perception layer, edge computing layer, and cloud decision-making layer, while investigating AI algorithm integration pathways for equipment condition assessment and fault prediction. The findings demonstrate that intelligent O&M management systems can significantly enhance operational efficiency and safety standards in power plants, providing theoretical support and practical guidance for the digital transformation of the energy sector.

Keywords

power plant; intelligent operation and maintenance; management system; Internet of Things; artificial intelligence

发电厂智慧化运维管理体系构建与实践

张维维

上海上电漕泾发电有限公司, 中国·上海 201507

摘要

随着能源结构转型与数字技术迭代, 发电厂智慧化运维管理体系的构建已成为行业发展的核心命题。本文从体系架构设计、关键技术应用、管理机制创新三个维度展开系统性论述, 提出以"数据驱动、智能协同、主动防御"为核心的智慧化运维框架。通过剖析传统运维模式的痛点与智慧化转型的内在逻辑, 阐明管理体系的层次化设计原则, 探讨物联网感知层、边缘计算层、云端决策层的协同机制, 以及人工智能算法在设备状态评估、故障预测中的融合路径。研究表明, 智慧化运维管理体系可显著提升发电厂运行效率与安全水平, 为能源行业数字化转型提供理论支撑与实践方向。

关键词

发电厂; 智慧化运维; 管理体系; 物联网; 人工智能

1 引言

在全球能源革命与"双碳"目标的双重驱动下, 发电厂正从传统机械化生产向数字化、智能化方向转型。传统运维模式依赖人工经验与定期检修, 存在响应滞后、资源浪费、风险预判不足等问题, 难以满足新型电力系统对高可靠性、高灵活性的需求。智慧化运维管理体系通过整合新一代信息技术, 构建覆盖全设备生命周期的智能监测、诊断与决策系统, 成为破解行业痛点的关键路径。本文旨在从理论层面构建智慧化运维管理体系的框架模型, 阐明其核心要素与实施逻辑, 为发电厂智能化升级提供系统性解决方案。

【作者简介】张维维(1984-), 男, 中国安徽怀远人, 本科, 工程师, 从事火电厂集控运行研究。

2 发电厂智慧化运维管理体系的理论基础

2.1 智慧化运维的概念界定

智慧化运维是依托物联网、大数据、人工智能等技术, 构建覆盖设备感知、数据传输、智能分析与自主决策的全链条运维模式。其本质是通过数字化手段实现从"被动响应"到"主动预测"、从"经验驱动"到"数据驱动"的范式转变, 最终达成设备全生命周期管理最优化。这种转变不仅提高了运维效率, 还显著降低了运维成本, 为发电厂的可持续发展提供了有力支持。

2.2 体系构建的必要性分析

传统运维模式存在三大核心矛盾: 一是海量设备状态数据与有限人工监测能力的矛盾; 二是突发故障的不可预测性与电力系统连续性要求的矛盾; 三是单一专业分工与系统级协同需求的矛盾。随着发电厂规模的不断扩大和设备数量

的急剧增加,传统的人工监测方式已经无法满足对设备状态的实时、全面掌握。同时,电力系统对供电可靠性的要求越来越高,突发故障可能会导致严重的后果,而传统运维模式在故障预测和预防方面存在明显的不足^[1]。此外,现代发电厂的运行涉及到多个专业的协同配合,单一专业分工的模式难以适应复杂的系统级运维需求。智慧化运维管理体系通过技术赋能与管理重构,可有效化解上述矛盾,推动发电厂向"无人值守、少人干预、智能决策"的目标迈进。

3 智慧化运维管理体系的架构设计

3.1 总体框架模型

智慧化运维管理体系采用"三层两翼"架构:

感知层:由部署于发电机组、输变电设备、环境监测点的传感器网络构成,负责实时采集温度、振动、压力、电流等多维度数据。感知层是整个智慧化运维管理体系的基础,它就像人体的感官系统一样,能够实时感知发电厂设备的运行状态和环境参数。

传输层:依托5G、光纤通信与工业以太网技术,构建低时延、高可靠的数据传输通道,确保海量数据的实时性与完整性。传输层就像是智慧化运维管理体系的"神经网络",它负责将感知层采集到的数据快速、准确地传输到决策层。

决策层:基于云计算平台与边缘计算节点,融合机器学习算法与专家系统,实现设备状态评估、故障预警与运维策略生成。决策层是智慧化运维管理体系的"大脑",它通过对传输层传来的数据进行深度分析和处理,利用机器学习算法和专家系统,对设备的状态进行评估,提前预测可能出现的故障,并生成相应的运维策略。

"两翼"分别指标准化接口体系与安全防护体系:前者通过统一的数据格式与通信协议实现跨系统兼容;后者采用区块链存证、零信任架构等技术保障数据安全与操作合规性。标准化接口体系能够确保不同厂家、不同类型的设备和系统之间能够实现无缝对接和数据共享,避免了因接口不兼容而导致的数据孤岛问题^[2]。安全防护体系则是保障智慧化运维管理体系安全稳定运行的关键,通过采用先进的区块链存证技术和零信任架构,可以有效防止数据泄露、恶意攻击等安全威胁,确保数据的完整性和操作的安全性。

3.2 功能模块划分

1. **智能监测模块:**通过多源异构数据融合技术,构建设备健康状态的多维度画像。智能监测模块能够实时采集设备的各种运行数据,并通过数据融合技术将这些数据进行整合和分析,从而全面、准确地反映设备的健康状态。

2. **故障诊断模块:**运用深度学习模型识别设备异常模式,定位故障根源并评估严重程度。故障诊断模块利用先进的深度学习算法,对设备的运行数据进行实时分析和处理,能够快速准确地识别设备的异常模式,并定位故障的根源。

3. **预测维护模块:**基于时间序列分析与生存分析算法,

预测关键部件的剩余寿命与失效概率。预测维护模块通过对设备的历史运行数据和实时监测数据进行分析,利用时间序列分析和生存分析算法,能够预测关键部件的剩余寿命和失效概率。

4. **资源调度模块:**动态优化运维人员、备品备件与作业工具的配置效率。资源调度模块能够根据设备的运行状态、故障预测结果以及运维任务的需求,动态地优化运维人员、备品备件和作业工具的配置。

5. **知识管理模块:**沉淀运维经验形成结构化知识库,支撑智能决策与人员培训。知识管理模块可以将运维人员在长期的工作中积累的经验和知识进行整理和沉淀,形成结构化的知识库。

4 智慧化运维管理体系的关键技术支撑

4.1 物联网感知技术的深度应用

高精度传感器与无线传感网络技术的突破,使得设备状态监测从"点状覆盖"转向"全域感知"。MEMS传感器的小型化与低功耗特性,解决了传统监测设备安装复杂、维护成本高的痛点;无线Mesh网络的自组织能力,确保了复杂环境下的数据传输稳定性。物联网感知技术是智慧化运维管理体系的基础,它的发展使得我们能够更加全面、准确地获取设备的运行状态信息^[3]。

4.2 边缘计算与云端协同的算力分配

边缘计算节点部署于发电厂本地,承担实时数据处理与初步分析任务,降低云端负载并缩短响应时间。云端平台则聚焦海量数据的深度挖掘与全局优化,通过分布式存储与弹性计算资源池,满足大规模并发分析需求。两者协同形成"边缘实时响应+云端战略决策"的算力网络。边缘计算和云端协同的算力分配模式是智慧化运维管理体系的重要技术支撑。

4.3 人工智能算法的融合创新

卷积神经网络(CNN)在图像识别领域的成熟应用,拓展至设备外观缺陷检测与热力图分析;循环神经网络(RNN)与时序注意力机制结合,显著提升振动信号的特征提取能力;强化学习算法通过模拟运维决策过程,生成动态最优策略库。多模态学习框架的引入,进一步实现了文本、图像、传感器数据的跨模态关联分析。人工智能算法的融合创新是智慧化运维管理体系的核心驱动力。

5 智慧化运维管理体系的管理机制创新

5.1 全生命周期管理模式的重构

智慧化运维将设备管理从"运行阶段"延伸至"设计-制造-安装-运行-退役"全链条。在设计环节嵌入可监测性指标,在制造阶段植入数字孪生模型,在安装过程中校准传感器基准参数,形成覆盖设备全生命周期的数据闭环。全生命周期管理模式的重构是智慧化运维管理体系的重要理念创新。

5.2 跨部门协同机制的优化

通过建立统一的运维指挥平台，打破运行、检修、安监等部门的信息壁垒。基于角色权限的工单流转系统，实现故障报修、任务分派、进度跟踪的全程可视化；知识共享社区促进跨专业经验交流，提升团队整体技术水平。跨部门协同机制的优化是智慧化运维管理体系高效运行的关键。

5.3 安全与合规性保障体系的完善

制定覆盖数据采集、传输、存储、应用的全流程安全标准，采用国密算法对关键数据进行加密保护。引入区块链技术实现操作日志的不可篡改存证，满足电力行业监管与审计要求。定期开展网络安全攻防演练，提升系统抗风险能力。安全与合规性保障体系的完善是智慧化运维管理体系的重要保障。

6 智慧化运维管理体系的实施路径

6.1 分阶段推进策略

初期以关键设备智能化改造为试点，优先部署振动监测、温度传感等低成本高效益项目；中期构建跨系统数据中台，打通生产控制大区与管理信息大区的信息孤岛；远期实现全厂级数字孪生与自主决策，形成“数字世界映射物理世界”的智能运维生态^[4]。分阶段推进策略是智慧化运维管理体系实施的有效方法。初期选择关键设备进行智能化改造试点，可以在较小的范围内验证技术的可行性和有效性，积累经验，降低风险。同时，优先部署振动监测、温度传感等低成本高效益项目，可以快速取得成效，提高企业的经济效益。中期构建跨系统数据中台，打通生产控制大区与管理信息大区的信息孤岛，实现数据的共享和流通，为智慧化运维提供全面的数据支持。远期实现全厂级数字孪生与自主决策，形成“数字世界映射物理世界”的智能运维生态，是智慧化运维管理体系的最终目标。通过分阶段推进，可以逐步实现智慧化运维管理体系的建设，提高发电厂的智能化水平^[5]。

6.2 人才与组织保障措施

建立复合型人才培养体系，联合高校开设智慧运维专业课程，开展 AI 算法工程师、数据分析师等专项培训。设立跨职能项目组，整合 IT 工程师、设备专家与运维技工的知识结构，推动技术落地与业务融合。人才与组织保障措施是智慧化运维管理体系成功实施的关键因素。建立复合型人才培养体系，联合高校开设智慧运维专业课程，开展专项培

训，可以培养一批既懂技术又懂业务的复合型人才，为智慧化运维管理体系的实施提供人才支持。设立跨职能项目组，整合 IT 工程师、设备专家与运维技工的知识结构，能够打破专业壁垒，促进技术落地与业务融合，提高团队的协作能力和创新能力。

6.3 持续改进机制的设计

构建基于 PDCA（计划 - 执行 - 检查 - 改进）循环的评估体系，定期开展运维绩效指标（如设备可用率、故障响应时间、备件周转率）的量化分析。通过用户反馈与专家评审，动态优化算法模型与管理流程。持续改进机制的设计是智慧化运维管理体系不断完善和发展的动力。构建基于 PDCA 循环的评估体系，定期开展运维绩效指标的量化分析，可以及时发现体系中存在的问题和不足^[6]。通过用户反馈与专家评审，能够从不同的角度了解体系的实际运行情况和用户的满意度，为优化算法模型与管理流程提供依据。动态优化算法模型与管理流程，可以使智慧化运维管理体系不断适应新的技术发展和业务需求，提高体系的性能和效益。

7 结论与展望

发电厂智慧化运维管理体系的构建是一项涉及技术、管理、组织的系统性工程。本文提出的框架模型与实施路径，为行业转型提供了理论参考。未来研究可进一步探索数字孪生技术在虚拟调试中的应用，以及 5G-A、卫星互联网等新一代通信技术对运维模式的革新作用。随着技术的持续迭代与管理经验的积累，智慧化运维将成为发电厂高质量发展的核心驱动力，助力能源行业迈向绿色化、智能化新时代。

参考文献

- [1] 周刚. 基于智慧化全数字技术的智能发电厂系统构建与应用研究[J]. 智慧中国, 2025, (05): 61-63.
- [2] 廖美英, 胡列豪, 张勇军, 等. 人工智能技术在发电厂智能化建设中的应用与挑战[J]. 广东电力, 2024, 37(11): 109-119.
- [3] 李彦民. 大数据分析在智慧化电厂能效管理中的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(09): 82-85.
- [4] 张文建, 梁庚, 李庚达, 等. 智慧化全数字技术及其在电厂中的应用[J]. 中国电力, 2020, 53(11): 202-211.
- [5] 张海军, 周林, 王子彦, 等. 基于数字化技术的智慧电厂研究进展与应用深析[J]. 能源与环境, 2025, (01): 30-34+49.
- [6] 杨春芳. 基于物联网技术的发电厂智能运维系统设计改造研究[J]. 价值工程, 2024, 43(29): 28-30.