

基于大数据与人工智能的电厂智能运维系统构建研究

魏 晋 张兆坤 高仝瞰

华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

【摘 要】：电厂智能运维正面临设备老化、故障率高、数据孤岛等多重挑战。基于大数据与人工智能技术，构建高效协同的智能运维系统，有助于提升故障预测准确率、优化资源配置效率，并实现运维决策的智能化与精细化。通过建立统一数据平台，融合机器学习算法与专家知识，实现对设备状态的实时感知、趋势分析与主动干预，是推动电力行业智能化转型的关键路径。

【关键词】：电厂运维；大数据技术；人工智能算法；系统集成；智能化转型

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.055

引言

传统电厂运维方式面临人力成本高、响应速度慢、设备管理滞后等诸多困境，已难以适应现代能源体系对高效、安全、智能的运维需求。大数据与人工智能的深度融合，为电厂运维模式的转型升级提供了技术支撑与思路革新。通过构建覆盖数据采集、智能分析、协同控制等多个环节的一体化系统，能够显著提高故障预判能力和设备可用率，促进运维体系由“事后维护”向“预测预警”转变。构建智能运维系统不仅是技术路径的重塑，更是管理理念的革新，为电力行业的数字化发展注入新动能。

1 电厂传统运维模式存在的关键问题分析

1.1 人工巡检效率低下与故障响应滞后

传统电厂运维高度依赖人工巡检和经验判断，巡检周期固定，面对复杂设备和隐蔽性故障难以及时发现问题。多数情况下，操作人员需在高温、高压、高噪声等复杂工况下手动读取仪表，检修周期性强，缺乏实时性保障。由于设备众多、布局复杂，漏检与误检现象时有发生，导致轻微异常未被及时识别和处理，进一步演化为重大故障。在突发情况下，运维人员往往需要在获取设备信息、查阅资料和分析故障方面耗费大量时间，严重影响响应速度与处置效率。人员技能差异直接影响运维水平，缺乏标准化手段和辅助决策工具，使得整体运维质量波动较大，无法形成闭环管理机制，难以适应当代电厂对“准实时、全生命周期”设备管理的需求。

1.2 设备管理分散导致信息孤岛

当前多数电厂仍沿用分系统管理方式，运行、检修、点巡、技改等数据分别归属不同部门和系统，信息共享机制不健全，数据割裂现象突出。在设备管理中，主设备与辅助设备之间的运维信息往往未能有效关联，运行数据、故障记录、维修日志等重要信息未能形成统一归档，致使数据价值未被有效挖掘利用。不同信息系统之间缺乏统一的接口标准，数据互通困难，导致重复录入、人为转录等问题频发，既增加了工作负担，又埋下了数据差错的隐患。这种“信息孤岛”现象，阻碍了管理效率的提升，使得设备运行状态难以全面掌控，维修计划与资

源调配决策滞后，进一步影响整体设备的健康运行水平和系统可持续性。

1.3 运维决策缺乏数据支撑与前瞻性

在现行的电厂运维实践中，关键决策多依赖人工经验与历史记录，缺乏实时数据支撑和前瞻性分析。由于设备状态信息获取不完整，诊断与判断往往基于局部现象，难以精准锁定故障根源。在制定维保策略时，多采用“定期更换”或“计划检修”模式，忽视了不同设备间状态的差异化，既可能造成资源浪费，又存在潜在风险积压。在设备选型、技术改造、备件采购等决策环节中，也普遍缺乏基于大数据分析的系统支持，导致决策滞后、精准性不足。缺乏数据模型的支撑，使得趋势预判能力薄弱，不利于构建风险预警机制和动态调整机制，制约了电厂在运维管理上的智能化水平提升。

2 大数据技术在电厂运维中的融合应用机制研究

2.1 多源数据采集与清洗标准体系构建

电厂设备运行涉及海量多源异构数据，包括传感器数据、运行参数、维护记录、环境信息等，为保障数据可用性和系统协同性，需建立完备的数据采集与清洗标准体系。通过部署物联网设备与智能终端，实现对关键部件温度、压力、振动、电流等多维指标的高频采集，解决传统采集盲区问题。为提高数据一致性，采用统一的采集协议与时间戳机制，确保各类数据在结构化处理前具备可对比性与可融合性。清洗环节注重异常值识别、重复项剔除、缺失数据补全等处理机制，结合业务规则与专家知识对数据进行语义补正与归类，从而构建完整的基础数据池，支撑后续智能分析模型的训练与优化。

2.2 电力设备状态特征提取与指标建模技术

基于采集后的高质量数据，对电力设备运行状态的特征提取与指标建模成为核心环节。需依据设备的工况特性与历史故障模式，构建特征参数集，涵盖静态属性（如设备型号、出厂信息）与动态行为（如负载波动、温升曲线）。利用统计分析与关联挖掘方法提取高相关性指标，形成健康评估维度矩阵。指标建模方面，引入数据驱动模型与物理机制模型相结合的混合方法，提升预测准确度与解释性。对典型设备如发电机、变

压器等,构建基于时间序列与概率图模型的运行状态模型,便于开展趋势分析与故障风险评估,为实现预测性维护提供科学依据。

2.3 基于大数据平台的智能预警与辅助决策支持

通过整合设备运行、环境监测与历史维护等多维数据,在统一大数据平台上实现智能预警功能。预警机制采用实时监控与异常检测双重机制,对关键指标波动进行建模,判断是否偏离正常区间并生成风险提示。结合专家系统与规则库,实现对不同预警等级的分类响应。辅助决策模块则围绕故障处置、维护排程与备件调度等维度,基于多目标优化算法提供多种方案选择。系统还可记录与分析以往决策效果,进行策略回溯与持续优化,形成闭环的智能决策支持体系,有效提升电厂在异常处理与资源配置上的应对能力与执行效率。

3 人工智能赋能电厂运维智能化的关键路径分析

3.1 设备故障预测中的机器学习模型优化应用

在电厂智能运维中,机器学习技术能够从海量历史运维数据中提取模式,对故障征兆实现提前识别。针对设备运行工况复杂、变量众多的特点,运用决策树、随机森林、支持向量机等模型对设备状态进行分类与预测,显著提升故障识别的准确性与响应时效。模型训练过程中,通过样本标签化与特征优化,增强模型泛化能力,并引入交叉验证机制规避过拟合风险。在实际应用中,将模型嵌入到实时监测系统中,使得系统具备自主学习与在线预测能力,不断修正预警策略,形成动态适应的预测性维护框架,有效替代传统被动式响应方式。

3.2 知识图谱构建提升运维知识智能检索能力

面对电厂运维过程中技术标准繁杂、经验知识分散的问题,构建电力设备运维知识图谱成为提高信息获取率的有效手段。以运维流程、设备属性、故障类型和处理方法为核心节点,建立多维度语义网络,实现场景化、结构化的知识组织方式。结合自然语言处理技术,将运维手册、维修记录等非结构化文本转化为可检索、可推理的知识资源,增强故障处理的关联性与可解释性。图谱系统可为现场人员提供基于语义理解的搜索支持,提升查阅效率,缩短故障处理时间,在复杂设备体系中实现“以图助决”的智能知识服务功能。

3.3 深度学习算法在图像识别与缺陷检测中的应用

在设备状态感知与外观缺陷识别方面,深度学习展现出强大的特征提取能力。利用卷积神经网络(CNN)对设备巡检图像进行自动识别,可精准定位裂纹、腐蚀、变形等隐患问题,降低对人工视觉检查的依赖。通过对不同工况下的大量图像样本进行训练,构建适用于多种设备材质和形态的识别模型,提升识别鲁棒性。该方法可集成于无人机、巡检机器人或固定摄像头中,实现连续图像采集与即时判别,适用于高空、高温等人工难以接触的场景,拓展了运维方式的空间边界,提高巡检

覆盖率和安全性。

4 智能运维系统的整体架构与功能模块设计

4.1 数据平台层与算法引擎的集成适配方案

为实现电厂运维系统的高效协同,需构建统一的数据平台,整合各类业务系统、设备接口与传感终端,形成底层数据汇聚通道。该平台支持对结构化与非结构化数据的统一接入,并具备高并发处理能力,为后端智能模块提供稳定数据支撑。算法引擎则集成各类分析模型与预测工具,依据业务场景调用不同算法模块,实现状态评估、趋势分析与策略输出。平台与算法之间通过中间件服务进行解耦,提高系统灵活性与可扩展性,确保各功能模块之间接口统一、响应高效,为后续系统升级与算法替换奠定基础。

4.2 运维管理端与执行端的协同联动机制

电厂智能运维系统需构建贯通“管控—执行”的全流程闭环机制,实现从任务下达、执行反馈到结果评估的多环节无缝对接。管理端借助统一调度平台,集中发布巡检计划、检修任务及应急处置指令,确保信息传递高效清晰。执行端由现场设备、机器人及作业人员共同组成,通过智能终端接收指令并完成相应操作,同时实时上传作业进度、检测数据与执行结果。系统内部应配备任务分发模块进行精准任务匹配,执行监控模块动态跟踪任务完成度,结果评价模块则负责自动分析执行质量与达成情况,实现任务闭环控制。借助移动通信设备、可穿戴装备和AR辅助技术,可大幅提高操作精度与数据采集效率,形成人机协作的智慧作业模式,减少人为差错,保障作业安全。系统内各环节数据互联互通,有效提升运维全过程的可视化、实时化水平,推动管理体系迈向规范化、智能化新阶段。

4.3 系统安全性与实时性保障技术策略研究

智能运维系统对信息安全和实时响应能力提出了更高要求。在安全方面,通过设置多层访问控制机制、用户权限分级、数据加密传输等手段,确保系统运行过程中数据的完整性与保密性。设置日志追溯与异常操作报警机制,强化系统审计与溯源能力。在实时性方面,采用边缘计算技术,将部分分析逻辑前置至设备侧,提高数据处理响应速度,减轻中心平台负荷。结合消息中间件与多线程架构设计,实现高并发任务调度与故障响应,确保系统在突发情况下保持稳定、高效运行,满足电厂对“零时延”管理的运维要求。

5 电厂智能运维系统实际部署效果与应用成效评估

5.1 典型电厂应用案例中的运行数据分析

在多个电厂实际部署过程中,智能运维系统已实现对设备运行状态的连续感知与全景分析。系统将历史运维数据与实时监控数据融合,通过可视化平台展示设备健康趋势与异常轨迹,帮助管理层掌握设备全寿命周期的运行特征。通过状态图谱与模型输出结果对比,快速识别易故障区域并预设维护策

略,实现早发现、早干预。系统在运行中可自动标记波动点并与既有故障模式进行比对,辅助判断异常等级,并推动现场响应机制,体现了以“智能判断”替代“经验推断”的管理价值。

5.2 智能运维对维护成本与故障率的影响评估

应用智能运维系统后,电厂设备维护模式从以时间为单位的“固定周期性”检修逐步转向以设备实际运行状态为依据的“状态驱动型”维护方式。通过系统实时监测与分析设备运行参数,能够精准判断设备健康状况,合理安排检修时机,避免过度维护与维护滞后现象,实现维保作业的精细化与差异化管理。预测性维护功能基于大数据与机器学习模型,可提前识别出可能出现故障的趋势,为调度中心提供有效的预判依据,进而提前组织资源、优化作业窗口,降低突发停机事件对整体生产的影响,提高设备利用率与发电连续性。系统根据任务优先级和风险等级动态调整人力配置,使维修人员分工更具针对性和时效性。精准预警与辅助决策功能有效规避重复检测、误判漏判等低效行为,减少资源浪费,避免无效采购与重复返工,全面推动电厂运维工作从经验驱动向数据驱动转型,实现成本可控与效率提升并重的管理目标。

参考文献:

- [1] 杨慧君,陈俊杰.电力设备智能运维系统设计与实现[J].电力系统保护与控制,2022,50(12):145-151.
- [2] 周泽东,胡昕怡.基于人工智能的发电企业智能运维平台研究[J].电子技术应用,2023,49(9):114-118.
- [3] 许博文,魏清莲.电厂智能运维系统架构与关键技术分析[J].电力自动化设备,2021,41(3):32-38.
- [4] 韩思远,梁沛君.大数据技术在电力设备状态评估中的应用研究[J].中国电力,2020,53(6):87-92.
- [5] 冯雪萍,容子睿.智能化电厂运维体系构建与优化路径探析[J].电力信息与通信技术,2023,21(4):59-65.

5.3 系统构建对电厂管理模式转型的推动效果

智能运维系统的构建不仅提升了技术层面的运维效率,也促进了电厂管理体系的全面革新。管理模式由传统“任务驱动”向“数据驱动”转变,推动管理层在制度设计、流程再造与职责分配上做出相应调整。各业务部门间协同更加紧密,数据信息壁垒逐步打破,实现了运维流程、信息系统与组织架构的深度融合。系统运行中形成的知识闭环与行为模型,也在推动运维从“经验主导”转向“智能主导”的方向发展,为电厂后续数字化转型与智能调控体系建设奠定了坚实基础。

6 结语

本文围绕电厂智能运维系统的构建路径,从传统运维中存在的问题出发,深入探讨了大数据与人工智能技术在智能化管理中的集成应用与关键支撑作用。通过分析数据平台、算法引擎、协同机制与实际部署成效,进一步明确了系统化、闭环化、智能化的运维方向。未来,随着技术的持续演进与电力行业数字化转型的推进,智能运维系统将在保障设备稳定运行、优化管理流程与提升经济效益方面发挥更为关键的作用。