

热电厂智能监控系统现状和发展趋势探讨

韩 超

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

摘要: 热电厂智能监控系统现已形成“感知-传输-应用”分层架构,集成高精度传感器、5G/光纤混合传输网络及AI算法,实现设备状态实时感知、故障预测与能效优化。典型应用包括设备健康管理、热网精准调控及排放智能控制,显著提升运维效率、降低能耗与排放。当前面临数据孤岛、模型泛化不足及网络安全挑战,未来将向AIoT融合、边缘计算及区块链技术方向演进,推动全生命周期碳管理、自主决策与多能互补协同优化。

关键词: 热电厂;智能监控系统;现状;发展趋势

引言:在全球能源结构转型与“双碳”目标背景下,热电厂作为能源供应的核心环节,正面临设备运维效率低、能效优化空间有限及环保合规压力增大等挑战。传统监控系统因数据孤岛、人工决策滞后等问题,难以满足智能化升级需求。智能监控系统通过融合物联网、大数据、AI等技术,实现设备状态实时感知、故障预测及能效动态优化,成为提升热电厂安全、经济、绿色运行的关键支撑。本文系统梳理其技术架构、应用现状,并探讨未来发展趋势。

1 热电厂智能监控系统技术架构与核心功能

1.1 分层架构设计

(1) 感知层:部署多类型高精度传感器网络,覆盖温度、压力、流量、振动等关键参数监测,如在锅炉管壁安装红外温度传感器、汽轮机轴承处布置振动传感器,同步配备数据采集终端(RTU)与边缘计算网关,实现设备运行状态毫秒级实时感知,同时对原始数据进行降噪、滤波预处理,减少无效数据传输量,为后续分析奠定高质量数据基础。(2) 传输层:构建工业以太网、光纤通信与5G/Wi-Fi无线技术融合的混合传输网络。核心控制信号通过工业以太网与光纤通信传输,保障高可靠性与低时延;车间级移动监测设备、临时监测点数据通过5G/Wi-Fi无线技术接入,灵活覆盖监控盲区。同时配备网络冗余机制与数据加密协议,防止数据丢失与泄露,确保全厂区数据高速稳定传输。(3) 应用层:搭建基于Hadoop、Spark的大数据处理平台,实现海量监测数据的存储与快速计算;集成机器学习(如随机森林)、深度学习(如CNN)等AI算法,构建决策支持系统。通过对多维度数据的综合分析,为故障预测、能效优化与排放控制提供精准决策依据,推动热电厂从“被动运维”向“主动管理”转型^[1]。

1.2 核心功能模块

(1) 实时监测与预警:建立设备运行参数阈值体系,结合异常检测算法(如孤立森林),对温度超标、压力波动、流量异常等情况进行实时识别。一旦发现风险,系统立即触发声光报警,并通过短信、APP推送等方式通知运维人员,同时自动调取相关设备历史数据,辅助快速判断故障原因,有效缩短应急响应时间。(2) 故障诊断与预测性维护:利用LSTM神经网络对设备历史运行数据(如振动频率、温度变化趋势)进行深度学习,构建设备剩余寿命(RUL)预测模型。基于预测结果,系统自动生成维护计划,合理安排检修时间与备件储备,避免“过度维护”与“维护不足”,降低设备故障率与运维成本,保障机组连续稳定运行。(3) 能效优化与负荷调度:结合强化学习算法,实时分析电网负荷需求、煤质参数、设备运行状态等因素,动态调整锅炉燃烧效率、汽轮机转速等运行参数。通过优化机组运行工况,实现煤耗率降低与碳排放减少,同时根据电网峰谷电价差异,智能调整发电负荷,提升热电厂经济收益与能源利用效率。(4) 环保合规性管理:在烟气排放口安装在线监测设备,实时采集NO_x、SO₂、颗粒物等污染物浓度数据,并与国家环保标准进行自动比对。若出现超标趋势,系统自动发出预警,并联动脱硫、脱硝系统调整运行参数,确保排放数据持续达标。同时自动生成环保监测报告,满足环保部门监管要求,实现环保管理的数字化与规范化。

2 热电厂智能监控系统应用现状分析

2.1 典型应用场景

(1) 设备健康管理:在设备运维领域,智能监控系统已实现从“事后维修”到“预测性维护”的跨越。以国内某大型燃煤热电厂为例,其在汽轮机、锅炉等核心设备关键部位部署高密度振动传感器与温度传感器,结合训练优化后的AI诊断模型,可实时捕捉设备运行异常信号。通过对振动频率、温度波动等数据的动态分析,

该电厂将汽轮机故障识别准确率提升至98%，成功避免多次非计划停机事故。同时，基于设备剩余寿命预测结果制定检修计划，使传统定期检修周期缩短40%，运维人员工作量减少35%，显著提升设备可靠性与运维效率。(2) 热网智能调控：针对热网传输效率低、管损高的痛点，智能监控系统通过通信技术与调控算法优化实现突破。某沿海城市热电厂引入GPRS/CDMA无线通信技术，构建覆盖整个热网的实时监测网络，实时采集管网压力、温度、流量等数据，并传输至后台调控平台。系统结合热用户负荷变化规律，利用动态水力计算模型调整管网阀门开度与热源输出参数，实现热网精准按需供热。应用后，该热电厂热网管损从14.3%大幅降至2.54%，每年减少热量浪费折合标准煤超万吨，年节约运营成本超5000万元，同时提升热用户供暖满意度。(3) 排放智能控制：在环保治理方面，智能监控系统成为实现超低排放的关键支撑。某燃煤热电厂在烟气排放口部署多参数在线监测设备，实时采集NO_x、SO₂、颗粒物等污染物浓度数据，数据经边缘计算节点快速处理后，与预设环保标准进行比对。当监测到NO_x浓度接近限值时，系统自动联动脱硝系统，动态调整催化剂投加量与反应温度，确保污染物稳定控制在标准内。通过该模式，该电厂NO_x排放浓度较传统人工调控降低30%，完全满足国家超低排放标准，同时减少催化剂过度消耗，年节约环保耗材成本超200万元。

2.2 现存问题与挑战

(1) 数据孤岛与系统兼容性：当前多数热电厂存在多套控制系统并行运行的情况，厂级监控信息系统(SIS)负责生产过程监控，分散控制系统(DCS)承担设备实时控制，但两者接口标准不统一，部分老旧DCS系统甚至缺乏开放数据接口，导致数据无法顺畅流转。实际运行中，常出现SIS与DCS数据传输中断、数据延迟等问题，形成“数据孤岛”，无法实现全流程数据协同分析，制约智能监控系统整体效能发挥。(2) 模型泛化能力不足：AI模型是智能监控系统的核心，但当前多数模型训练依赖特定机组、特定工况下的历史数据，模型参数与工况特征高度绑定。当应用场景切换至其他机组，或运行工况发生较大变化(如煤质成分改变、负荷剧烈波动)时，模型预测精度大幅下降。例如，某电厂针对1号机组训练的故障预测模型，应用于2号机组时准确率从95%降至68%，模型跨机组、跨场景迁移能力有限，需重复投入大量资源进行模型重新训练与调试。(3) 网络安全威胁：热电厂智能监控系统需接入工业以太网、无线通信网络等，工业控制系统(ICS)与外部网络的连接增多，面临的网络安全风险显著提升。近年来，针对工业领域的高级持续

性威胁(APT)攻击频发，攻击者可通过漏洞入侵ICS系统，篡改监测数据、控制设备运行参数，甚至引发设备停机、生产事故。目前部分热电厂网络安全防护措施薄弱，缺乏完善的数据加密机制与实时入侵检测系统，难以有效抵御复杂网络攻击^[2]。

3 热电厂智能监控系统发展趋势

3.1 技术融合趋势

(1) AI+物联网(AIoT)：随着物联网技术的成熟，热电厂将进一步打通物理设备与数字系统的连接，通过数字孪生技术构建完整的虚拟电厂模型。该模型可实时映射锅炉、汽轮机等核心设备的运行状态，结合AI算法对设备参数进行仿真优化。例如，通过虚拟仿真模拟不同煤质、负荷条件下的机组运行情况，提前预判设备潜在故障风险，优化燃烧参数以降低能耗，实现物理电厂与虚拟电厂的协同运行，推动热电厂智能化水平从“监测控制”向“模拟优化”升级。(2) 5G+边缘计算：针对热电厂关键设备数据实时性要求高的特点，未来将在锅炉炉膛、汽轮机转轴等核心区域部署边缘计算节点，结合5G技术的低时延、高带宽特性，实现数据本地化快速处理。相较于传统云端计算模式，数据传输延迟可降至毫秒级，确保振动、温度等关键参数的实时分析与响应。例如，当汽轮机振动数据超出安全阈值时，边缘节点可直接触发紧急调控指令，避免数据上传云端的延迟导致故障扩大，大幅提升设备安全运行保障能力^[3]。(3) 区块链技术：为适应能源市场市场化改革趋势，区块链技术将逐步应用于热电厂智能监控系统。通过构建去中心化的能源交易平台，系统可实时记录热电厂发电量、用户侧用电量等数据，并利用区块链的不可篡改特性确保数据真实性。同时，支持热电厂与工业用户、居民用户之间的需求响应互动，例如用户侧用电高峰时，热电厂可根据平台反馈动态调整发电负荷，实现能源供需精准匹配，提升能源利用效率与市场交易透明度。

3.2 功能升级方向

(1) 自主决策与闭环控制：传统智能监控系统多依赖人工干预完成决策与调控，未来将通过强化学习训练具备自主决策能力的智能体(Agent)，实现“监测-分析-决策-执行”的全流程闭环控制。智能体可通过持续学习电厂历史运行数据、实时工况与外部环境(如电网负荷、气象条件)，自主优化设备运行参数，无需人工操作。例如，当电网负荷需求突增时，智能体可自动调整汽轮机转速、锅炉供煤量，同步协调辅机设备运行，确保机组在满足电网需求的同时，维持高效低耗状态，大幅降低人工操作强度与人为失误风险。(2) 全生命周期碳管理：

在“双碳”目标推动下,热电厂智能监控系统将新增全生命周期碳管理功能,实现从煤炭采购、燃烧发电到热力输送全环节的碳排放实时监测、核算与管理。系统将集成碳排放因子数据库,自动计算各环节碳排放量,并与全国碳市场交易平台对接,实时获取碳价信息,为热电厂制定碳减排策略提供数据支撑。同时,系统可模拟不同减排措施(如升级脱硫脱硝设备、掺烧生物质燃料)的碳减排效果与成本,辅助电厂制定最优碳管理方案,确保在满足碳配额要求的同时,最大化碳资产收益。(3)多能互补协同优化:随着可再生能源的大规模接入,热电厂将从单一能源生产主体向综合能源服务商转型,智能监控系统也将升级多能互补协同优化功能。系统将整合电厂内部热电联产机组与外部风光储系统、储能电站、用户侧储能设备的数据,构建多能源协同调度模型。通过AI算法分析风光发电出力波动、用户用能规律、储能设备充放电状态等因素,实现热电联产机组与可再生能源的高效协同运行。例如,当风电出力过剩时,系统可优先消纳风电,减少热电厂燃煤发电负荷,同时将多余电能存储至储能设备;当风光出力不足时,快速提升热电联产机组出力,确保能源供应稳定,提升整体能源利用效率与可再生能源消纳率^[4]。

3.3 行业标准化与生态构建

(1)推动行业标准制定:当前热电厂智能监控系统存在数据接口不统一、通信协议混乱、技术指标差异大等问题,制约行业规模化发展。未来,将由政府部门、行业协会牵头,联合电厂、设备制造商、科研机构共同推动《热电厂智能监控系统技术规范》《智能监控数据接口标准》等国家标准制定,明确数据采集范围、传输协议、模型性能指标、安全防护要求等关键内容。统一的标准将实现不同厂商系统的互联互通,避免“信息孤岛”与重复建设,降低电厂系统升级与集成成本,为行业技术创新与规模化应用奠定基础^[5]。(2)构建开放型工

业互联网平台:单一企业的技术研发与资源整合能力有限,未来将依托龙头企业或第三方机构,构建开放共享的热电厂工业互联网平台。平台将开放数据接口、算法模型框架与应用开发工具,吸引设备制造商、软件开发商、科研机构等多方参与生态建设。例如,设备制造商可通过平台获取设备运行数据,优化产品设计;软件开发商可基于平台开发定制化的监控应用模块;科研机构可利用平台数据开展AI算法、节能技术等创新研究。通过多方协同,形成“数据共享、技术共建、价值共创”的产业生态,推动热电厂智能监控技术快速迭代与行业整体升级。

结束语

热电厂智能监控系统作为能源行业数字化转型的核心工具,正通过技术融合与创新应用重塑行业格局。从当前分层架构的成熟落地到AIoT、5G边缘计算、区块链等前沿技术的深度渗透,系统正从“监测控制”向“自主优化”跨越。未来,随着全生命周期碳管理、多能互补协同等功能的完善,以及行业标准与开放生态的构建,智能监控系统将进一步推动热电厂实现高效、低碳、安全运行,为能源革命与“双碳”目标达成提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]杨志国,戚江平.热电厂循环水系统水处理技术分析[J].大众标准化,2024,(09):41-43.
- [2]彭一胜,柯伟良.热电厂循环水系统腐蚀分析[J].化工技术与开发,2022,51(05):70-73.
- [3]高超超.热电厂管理数字孪生系统应用综述[J].机械研究与应用.2021,34(06):189-193.
- [4]陈日利.DCS系统在热电厂锅炉控制中的运用[J].电子技术与软件工程,2021,(03):117-118.
- [5]张兆全.热电厂智能监控系统现状和发展趋势探讨[J].电力与能源系统学报,2025,(05):73-74.