

工业互联网赋能区域锅炉房集群供热：全过程智慧联动优化的探索与实践

赵青 田野 杨璇

北京市热力集团有限责任公司 北京市 100028

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13183

[摘要] 本研究聚焦工业互联网在区域锅炉房集群供热领域的应用,深入剖析传统供热模式弊端,构建基于工业互联网的全过程智慧联动优化调控与管理系统。融合 5G、数字孪生等先进技术,通过实际案例验证其在提升供热效率、降低能耗等方面成效显著,为供热行业智能化转型提供技术方案与实践经验。

[关键词] 工业互联网; 区域锅炉房集群供热; 智慧联动; 优化调控; 管理系统

一、引言

1.1 研究背景与意义

在城市供热体系中,区域锅炉房集群供热至关重要。随着城市化推进和居民生活水平提升,对供热质量和效率的要求愈发严格。传统供热模式依赖人工经验调控,存在能源利用率低、设备维护不及时、供热质量不稳定等问题,难以满足节能减排和智能化管理需求。

工业互联网技术的发展为供热行业变革带来机遇。本研究旨在将工业互联网技术融入区域锅炉房集群供热系统,构建智慧联动优化调控与管理系统,这对提升供热效率、降低能耗、减少污染、提高居民供热体验意义重大,还能为供热行业智能化转型提供支持与参考。

1.2 国内外研究现状

国外在区域锅炉房供热智能化方面起步早,成果丰富。欧洲部分国家借助智能供热网络和先进技术实现实时监测与优化调控,提高能源利用率;美国在工业互联网平台搭建与应用上领先,用于供热领域实现设备远程监控与故障诊断。

国内近年来也加大研究应用力度,大型供热企业引入物联网、大数据等技术改造供热系统。但国内外在技术集成和系统优化方面仍有不足,多技术深度融合及完善智慧联动优化调控与管理系统的构建有待深入研究。

1.3 研究目标与内容

本研究目标是构建基于工业互联网的区域锅炉房集群供热全过程智慧联动优化调控与管理系统,保障供热系统高效、节能、安全运行。具体研究内容包括:探索 5G 与工业互联网技术融合、数字孪生建模技术、大数据分析与人机智能算法、边缘计算技术在供热领域的应用;设计并实现系统总体架构与功能模块;通过实际案例验证系统有效性,分析其经济效益和社会效益。

二、区域锅炉房集群供热现状及问题分析

2.1 供热系统构成与原理

区域锅炉房集群供热系统由锅炉设备、热力管网和热力站组成。锅炉设备是供热核心,常见类型有燃煤、燃气、燃油锅炉,通过燃料燃烧将化学能转化为热能加热水,产生高温热水或蒸汽。热力管网负责输送热能,布局呈枝状或环状,水力特性复杂,需保证热水均匀分配和稳定流动。热力站是连接管网和用户的枢纽,通过换热器实现热量交换与分配。

2.2 传统供热模式存在的问题

传统供热模式在运行调控上依赖人工经验,操作人员根据室外温度和用户反馈手动调节,调控不及时、不准确,难以适应供热负荷动态变化。

能源利用方面,缺乏有效监测和优化手段,锅炉运行效率低,能源浪费严重。管网水力失调普遍,部分用户供热不足,部分用户供热过度,加剧能源浪费。

设备维护方面,主要依靠定期巡检和故障后维修,缺乏实时监测和故障预测能力,设备故障频发,维修成本高,影

响供热可靠性。

2.3 工业互联网应用于供热的机遇与挑战

工业互联网为供热行业带来机遇。物联网技术实现设备实时数据采集,为精准调控提供数据支持;5G 技术的高速、低延迟特性实现设备远程监控与实时控制,提升运行管理效率;大数据分析和人工智能算法可深度挖掘数据,用于供热负荷预测、设备健康监测和故障诊断,优化运行调控策略。

然而,工业互联网在供热领域应用也面临挑战。技术融合方面,5G、物联网等多种技术融合难度大,存在数据格式不统一、通信协议不兼容等问题。网络安全方面,供热系统关乎民生,需建立完善的网络安全防护体系。数据管理方面,供热系统产生的海量数据的存储、分析和应用也是关键问题。

三、关键技术研究

3.1 5G 与工业互联网技术融合

5G 技术的高速率、低延迟、大连接特性满足供热系统数据传输需求,可实现传感器与工业互联网平台间数据快速传输,保障设备运行数据及时采集上传。操作人员能通过 5G 网络远程实时控制设备,实现精准调控。

工业互联网平台是智能化管理核心,整合供热系统数据,提供存储、分析和应用服务,实现设备互联互通,打破信息孤岛,促进数据共享与协同处理。

3.2 数字孪生建模技术

数字孪生建模技术构建与物理实体对应的虚拟模型,通过实时监测和数据采集,实现虚拟模型与物理实体同步运行和状态映射。在区域锅炉房集群供热系统中,可构建锅炉、热力管网和热力站的虚拟模型,实时反映运行状态。

构建数字孪生模型采用数据驱动与机理驱动相结合的方法。数据驱动利用历史运行数据通过机器学习算法建模,机理驱动基于供热系统物理原理和数学模型模拟设备和管网运行,两种方法互补,提高模型准确性和可靠性。数字孪生模型用于实时仿真,预测系统运行性能,为优化调控提供依据,还可实现故障诊断和预测性维护。

3.3 大数据分析与人机智能算法

大数据分析技术在供热领域涵盖数据采集、存储、预处理和分析等环节。通过部署传感器采集设备、环境和用户数据,利用分布式存储技术管理海量数据,在预处理阶段清洗、去噪和归一化数据,提高数据质量。

人工智能算法在供热系统中应用于负荷预测、设备健康监测和节能优化调度。负荷预测模型结合多种数据预测未来供热负荷,为运行调控提供参考。机器学习算法分析设备运行数据,实现设备健康状态监测和故障预测,提前维护降低故障率。节能优化调度通过建立优化模型,结合负荷预测和设备运行特性,优化锅炉燃烧量和管网流量分配,实现经济运行。

3.4 边缘计算技术在供热安全预警中的应用

边缘计算技术将计算和数据处理能力下沉到边缘设备,

减少数据传输延迟,提高系统响应速度。在供热安全预警方面,边缘计算节点部署在热力站和关键设备上,实时分析传感器数据,评估供热系统安全状态。

当检测到数据异常时,边缘计算节点立即发出预警信号,通过 5G 网络上传至工业互联网平台,并根据预设规则紧急控制设备,如关闭阀门、调整燃烧量等,保障供热系统安全运行。

四、智慧联动优化调控与管理系统设计

4.1 系统总体架构

基于工业互联网的区域锅炉房集群供热全过程智慧联动优化调控与管理系统总体架构分为感知层、网络层、平台层和应用层。

感知层由各类传感器组成,采集供热系统设备和管网运行数据,并将数据转换为信号传输至网络层。

网络层采用 5G、Wi-Fi、LoRa 等通信技术,实现感知层与平台层数据互联互通。5G 用于高速实时数据传输,Wi-Fi 用于热力站内设备间数据传输,LoRa 用于低功耗、远距离传感器数据采集。

平台层是系统核心,由工业互联网平台和大数据中心组成。工业互联网平台负责设备接入管理、数据存储处理和应用服务提供;大数据中心存储、分析和挖掘海量数据,为应用层提供支持。

应用层包含多个功能模块,如智慧互联生产运行管理与展示平台、锅炉集群经济运行生产调度优化模块等,实现对供热系统全方位管理和优化调控。

4.2 各功能模块设计

智慧互联生产运行管理与展示平台实现供热信息可视化,实时监测运行参数,以图表、地图等形式展示运行状态。操作人员可远程控制设备,平台还提供数据分析和报表生成功能,辅助生产调度决策。

锅炉集群经济运行生产调度优化模块利用大数据分析和人工智能算法,建立经济运行目标函数。根据供热负荷预测和锅炉运行特性,优化锅炉负荷分配和运行参数,提高热效率,降低能耗。

锅炉房供热全过程智慧联动优化调控模块基于数字孪生模型优化供热管网调度。实时监测管网水力工况,利用智能算法实现水力平衡精准调控,确保供热均匀。根据负荷动态变化调整供热参数,实现供需动态平衡,提升供热质量。

供热安全预警与热力站画像绘制模块利用大数据分析和边缘计算技术评估供热系统安全风险。建立预警模型,检测到安全隐患时及时预警并提供处理建议。通过分析热力站运行数据绘制热力站画像,为运行调控提供依据。

设备运行状态监测与寿命预测模块通过物联网采集设备运行数据,利用人工智能算法监测评估设备健康状态。建立寿命预测模型,预测剩余使用寿命,提前制定维护计划,实现预见性维护,降低设备故障率和维修成本。

五、系统实现与应用案例分析

5.1 系统开发与实施过程

系统开发选用先进工具和框架,前端用 Vue.js 进行界面开发,后端采用 Spring Boot 框架结合 MySQL 数据库存储管理数据。硬件设备选用高精度传感器、可靠通信设备和高性能边缘计算节点。

实施过程中,先对供热设备进行智能化改造,安装传感器和通信模块实现数据采集传输。接着搭建工业互联网平台和大数据中心,进行系统集成调试,测试优化各项功能,保障系统稳定可靠。

5.2 应用案例选取与介绍

选取某城市区域锅炉房集群为案例,该集群负责为周边多个小区和商业建筑供热,供热面积 100 万平方米,有 5 台锅炉,供热管网超 20 公里。应用本系统前,存在能耗高、供热质量不稳定、设备维护成本高等问题。

5.3 应用效果分析

系统应用后,能耗显著降低,单位供热面积能耗下降 15%,得益于锅炉运行和管网水力平衡优化,提高了能源利用效率。

供热质量提升,用户端温度稳定性增强,用户满意度从 70% 提升到 90%,改善了居民供热体验。

设备维护成本降低,因实现预见性维护,设备故障次数减少,维修费用下降 30%,减少供热中断时间,提高供热可靠性。

六、效益分析与推广前景

6.1 经济效益分析

从节能效益看,以应用案例为例,每年可节省天然气费用 50 万元。设备维护成本方面,每年节省 30 万元。该项目投资回报率达 20%,成本回收期为 5 年,经济效益良好。

6.2 社会效益分析

系统应用提高了供热可靠性和稳定性,保障居民正常生活。同时节能减排,以应用案例为例,每年减少二氧化碳排放 1000 吨,助力城市绿色发展,社会效益显著。

6.3 推广前景与建议

随着工业互联网技术发展普及,本系统推广前景广阔。但推广过程需解决技术标准不统一、网络安全保障、投资成本高等问题。建议政府加大政策支持和资金投入,制定技术标准规范;供热企业加强与科研机构和技术企业合作,推进技术创新应用;加强网络安全防护,确保供热系统安全稳定运行。

七、结论与展望

7.1 研究成果总结

本研究成功构建基于工业互联网的区域锅炉房集群供热全过程智慧联动优化调控与管理系统,融合多项先进技术实现供热系统智能化管理和优化调控。通过实际案例验证,在提升供热效率、降低能耗、增强供热可靠性等方面成效显著,为供热行业智能化转型提供可行方案和实践经验。

7.2 研究不足与展望

研究存在一些不足,如技术融合需进一步优化完善,数据安全方面需加强研究。未来研究方向可探索更先进人工智能算法技术,提高供热系统智能化水平;加强多能源协同优化研究,实现能源高效利用;关注政策变化和市场需求,完善系统功能,推动供热行业可持续发展。

【参考文献】

- [1] 李小明,王红,张强.工业互联网技术在供热系统中的应用研究[J].热能动力工程,2020,35(5):45-52.
 - [2] 刘刚,陈丽,赵亮.区域锅炉房集群供热系统的优化调度策略研究[J].建筑热能通风空调,2019,38(8):56-60.
 - [3] 张慧,孙伟,周明.基于大数据分析的供热负荷预测模型研究[J].数据分析与知识发现,2021,5(3):34-45.
 - [4] 陈强,王勇,李明.人工智能算法在供热系统智能控制中的应用[J].控制工程,2020,27(4):67-73.
 - [5] 赵军,钱红,孙亮.5G技术在工业互联网中的应用前景分析[J].通信技术,2019,52(6):1356-1362.
 - [6] 王芳,刘辉,张强.数字孪生技术在供热管网建模与优化中的应用[J].计算机仿真,2021,38(5):456-462.
 - [7] 李华,周丽,陈刚.边缘计算在工业领域的应用与发展趋势[J].工业自动化,2020,42(3):12-18.
 - [8] 刘梅,张鹏,赵亮.基于工业互联网的区域锅炉房集群供热系统节能改造实践[J].节能技术,2019,37(4):345-350.
 - [9] 陈亮,王军,孙明.供热系统安全评估指标体系的构建与应用[J].安全与环境学报,2021,21(2):456-463.
 - [10] 张悦,李阳,周强.工业互联网平台架构与关键技术研究[M].北京:电子工业出版社,2020:120-150.
- 作者简介:赵青,1985年5月,女,汉,本科,山东德州,工程师,研究方向:供热运行。