

基于物联网技术的智慧供热系统设计与优化研究

张欣欣

洛阳热力公司 河南 洛阳 471000

摘要: 文章聚焦智慧供热领域,提出了基于物联网技术的系统设计与优化方案。通过架构设计、数据处理、优化控制和性能评估等环节的系统性研究,构建了集感知、传输、分析、决策、执行于一体的智慧供热系统。实验结果表明该方案在提升能源利用效率、降低运行成本、改善用户体验等方面具有显著优势,为传统供热行业的智慧化变革提供了新的思路和方法。

关键词: 智慧供热; 物联网; 系统设计; 数据处理

1 引言

在能源革命和数字化转型的时代背景下,传统供热行业面临能源利用率低、运行成本高、服务质量差等诸多挑战。本文立足供热领域的痛点和智能化发展趋势,探索物联网技术在供热系统中的创新应用,旨在通过架构设计、数据处理、优化控制、性能评估等环节的系统研究,构建高效、经济、舒适的智慧供热系统,为供热行业的变革发展提供新思路与新方法。

2 智慧供热系统架构设计

2.1 物联网技术在供热系统中的应用

物联网技术在供热系统中的应用彰显了现代科技与传统行业深度融合所释放的巨大潜力。在热源侧,分布式传感器网络实现了锅炉、热泵等核心设备的实时监测,海量的温度、压力、流量数据经过智能网关的本地处理后,通过工业以太网、4G/5G等通信方式快速上传至云平台。热网侧的各个换热站通过物联网技术实现了全局感知,管道温度、压力、流速等关键参数实时采集并回传,结合GIS系统实现了管网状态的可视化呈现。在用户侧,智能温控面板与分户计量装置相结合,既满足了居民的个性化供热需求,又提供了精准的能耗数据^[1]。云平台利用大数据分析技术,对海量、异构的系统数据进行处理,刻画了供热系统的能效特征,优化了系统调度策略。机器学习算法通过对历史数据和实时数据的训练,形成了热负荷预测模型,可提前预判用户侧的用热需求,从而实现精准调控。控制系统根据优化模型自主调节关键设备的运行参数,在确保用户舒适度的前提下,最小化系统能耗,提高了供热系统的经济性。物联网技术还促进了移动互联网与供热行业的融合,用户可以通过手机APP随时掌握室内温度、能耗统计等信息,并远程设置温控策略,真正实现了供热系统的人性化服务。

2.2 智慧供热系统的总体架构

智慧供热系统的总体架构采用分层设计理念,由感知层、网络层、平台层和应用层自下而上构成完整的物联网生态。感知层通过各类传感器、仪表、智能终端等实现对供热系统的全面感知,获取热源、热网、换热站、用户等各个环节的温度、压力、流量、能耗等关键数据。网络层综合利用NB-IOT、LORA、RADIO、MBUS、ZIGBEE等低功耗广域网技术和5G、工业以太网等高速通信技术,构建了覆盖广泛、性能可靠、安全可信的数据传输通道,保障海量数据的实时上传和指令的可靠下达。平台层以云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术为支撑,搭建了数据采集处理、生产调度、智慧供热、能耗分析、设备管理、设备诊断、能耗统计等核心功能模块,支撑供热全流程的智慧化管控。应用层面向供热企业和热用户提供丰富的应用服务,包括室温调节、线上收费、网上营业厅、智能客服、手机app移动端服务等,极大地提升了系统的管理效率和服务品质。值得一提的是,在架构设计中还融入了信息安全理念,采用身份认证、数据加密、访问控制等措施,构建了纵深防御体系,全面保障系统的网络安全、数据安全和控制安全。

2.3 关键子系统的设计方案

智慧供热系统的关键子系统设计紧扣供热全流程,针对热源系统、热网系统、换热站系统、用户系统等环节,提出了精细化、模块化、标准化的解决方案。热源系统采用分布式测控终端,对锅炉、热泵、蓄热装置等核心设备的运行状态实施精准监测,并引入智能调节阀、变频控制器等执行装置,实现热源的优化调度和协同控制,在确保热量供应的同时提升能源利用效率。热网系统部署管网状态检测装置,融合GIS地理信息系统,实现管网的实时监测、故障诊断和风险预警,并通过大数据分析技术优化管网水力平衡和热量分配,降低输配

损耗。换热站系统引入模块化设计理念,对板式换热器、循环泵、补水装置等关键设备进行集成和优化,提高了系统的可靠性和灵活性,并嵌入智能控制算法,实现站内设备的协同调控和远程管理。用户系统推广应用智能热计量表和温控器,支持远程抄表、分户计量和温度独立调节,满足居民的个性化供热需求,同时引导用户主动参与节能,培养节约意识。

3 智慧供热系统的数据采集与处理

3.1 供热系统数据采集方案

智慧供热系统的数据采集方案立足于全面感知、精准测量和实时传输的目标,综合考虑供热系统的复杂性、多样性和动态性,设计了多层次、多维度、多手段的数据采集体系。在热源侧,针对锅炉、热泵等核心设备安装高精度温度、压力、流量传感器,并配备烟气分析仪、水质检测仪等专业仪器,全面采集设备运行参数和工况信息。对于分散式热源,还引入了远程测控终端,实现了异地数据的实时回传。在管网侧,采用分布式光纤测温、管道振动监测等先进技术,实时感知管网的温度分布、泄漏状态和结构健康,并在关键节点布设流量计、压力计,掌握全网的水力工况^[2]。换热站作为连接一次网和二次网的枢纽,配备了高密度的数据采集装置,对进出口温度、压力、流量、循环泵、变频器、电调阀开度、热量表等关键设备的参数进行精细化采集。二次网侧的数据采集则以用户为中心,推广热计量法和温控面板,形成用户端能耗和室温的实时数据流,通过室温的采集数据调控二次网的供温,从而实现既满足用户需求又节能降耗的目的。各级采集装置均支持多种通信方式,包括GPRS、NB-L0T、LORA、MBUS等,既保证了数据的实时上传,又兼顾了通信功耗和成本。

3.2 数据预处理与融合算法

智慧供热系统中的数据预处理与融合算法能够确保数据质量和提升数据价值。鉴于原始数据普遍存在噪声干扰、异常值、数据缺失等问题,系统采用了一系列数据清洗和修复技术,包括中值滤波、阈值过滤、HAMPEL滤波等,有效去除了数据中的无效信息和干扰因素。对于跨度较大的数据,通过最小-最大规范化、Z-score标准化等方法实现了数据归一化,消除了量纲和尺度差异。在数据融合方面,系统综合运用卡尔曼滤波、贝叶斯估计、DEMPSTER-SHAFER证据理论等多源信息融合算法,将热源、管网、换热站、用户等环节的多维异构数据进行关联和聚合,形成了全局一致的系统状态估计,大幅提升了数据的时效性和可靠性。系统还引入了增量学习、在线学习等机制,实现了数据处理算

法的自适应优化和动态更新,为复杂工况下的智能调控提供了数据保障。

3.3 数据质量控制与异常检测

智慧供热系统中的数据质量控制与异常检测机制确保了数据驱动决策的可靠性和有效性。系统遵循全面质控、主动预警的原则,构建了多层次、全流程的数据质量管理体系。通过数据血缘分析技术,实现了数据溯源和依赖关系追踪,并制定了完善的数据质量考核指标,包括完整性、准确性、一致性、及时性等,形成了数据全生命周期的质量监控网络。在异常检测方面,系统综合运用统计假设检验、聚类分析、支持向量机等算法,建立了基于规则、基于模型、基于学习的多重异常甄别机制。针对数据异常类型的差异,分别采取了阈值告警、趋势判断、关联分析等检测策略,做到精准识别、实时预警。监测到数据异常后系统可自动生成质量报告,触发预案流程,通过数据补偿、快速切换等应急措施保障业务连续性,同时追溯异常根源,优化采集设备和传输链路,持续改进数据质量,为智慧供热系统的可靠运行提供坚实的数据基础。

4 智慧供热系统的优化控制策略

4.1 供热系统优化控制的目标与约束

智慧供热系统优化控制的目标函数紧紧围绕能效提升、经济运行和用户满意度三个核心诉求,采用加权求和的多目标优化模型,量化表达了供热成本最小化、热损失最小化和用户舒适度最大化的综合期望。在约束条件的设置上,全面考虑了设备运行特性、管网水力平衡、用户室温需求等多重因素。通过设备级约束确保热源、换热站等关键设备在安全高效区运行,防止设备过载或低效运转。管网约束则着眼于整个供热系统的协调优化,包括管网压差约束、支路流量约束、供回水温度约束等,以保障管网的稳定运行和水力平衡。用户侧约束以室内温度为主要参数,根据国家标准和用户偏好设置舒适区间,同时预留一定的调节裕度,在满足用户需求的同时为节能控制提供灵活空间。优化控制模型还引入了热负荷预测、电价预测等信息,在动态约束中融合了负荷响应和削峰填谷等需求响应机制,实现了供热系统的主动优化和灵活调控。

4.2 基于数据驱动的优化控制算法

智慧供热系统采用基于数据驱动的优化控制算法,充分利用历史运行数据和实时采集数据,构建了精准反映系统特性的动态模型,并设计了自适应、多阶段的优化控制策略^[3]。针对热源系统,利用深度强化学习算法,通过不断的试错和经验累积,自主学习最优的设备组合

和运行参数,在满足负荷需求的同时实现能耗最小化。在热网控制中,综合应用了模型预测控制、智能PID控制等技术,建立了基于物理模型和数据模型的协同优化机制,通过实时滚动优化实现了供热参数的动态调整和多时间尺度的预测控制。换热站的优化控制则融合了多智能体协同优化理论,将换热站视为智能体,通过智能体间的协商博弈和分布式学习,形成了局部优化与全局协同相结合的控制范式。在用户侧,系统采用基于用户偏好的自适应控制策略,利用强化学习算法对用户行为进行建模,动态调整室温设定和运行模式,在保障舒适性的同时最大化节能效果。

4.3 优化控制策略的仿真验证与分析

智慧供热系统的性能评估指标体系从能源、经济、舒适、环保四个维度,构建了涵盖供热单耗、热损失率、运行成本、投资回报率、PMV指数、温度达标率、污染物排放强度等关键指标的评估矩阵。采用层次分析法确定各项指标权重,搭建指标间的数理逻辑关系,形成了一套操作简便、科学完备的综合评估方法。通过实时采集、动态更新运行数据,对智慧供热系统的性能进行多角度、全方位的定量评估,为精细化管理和持续优化提供可度量、可评价、可优化的量化依据。

5 智慧供热系统的性能评估与优化

5.1 供热系统的性能评估指标

智慧供热系统的性能评估指标体系立足于全面评价、突出重点、动态优化的理念,构建了涵盖能源、经济、舒适、环保等多维度的指标矩阵,形成了一套科学完备、操作简便的综合评估方法^[4]。在能源维度,系统重点关注单位面积供热热耗、水耗、电耗、热网输配效率、可再生能源利用率等指标,量化反映供热系统的节能水平和能源利用效率。经济维度聚焦于供热成本、运维成本、投资回报率等财务指标,全面评估系统的经济运行状况和投资收益水平。舒适维度则以用户为中心,采用热舒适指数PMV、室温达标率等指标,动态评估用户的热环境满意度。环保维度主要评价系统的污染物排放强度和清洁能源占比,衡量供热系统的低碳环保效益。指标体系采用层次分析法确定了各项指标的权重,突出了关键指标的影响力,同时搭建了指标间的数理逻辑关系,实现了评估结果的定量分析和情景模拟。

5.2 基于实测数据的性能评估与分析

智慧供热系统基于海量实测数据,开展了全方位、

多角度的性能评估与分析。通过对热源、热网、换热站、用户侧等环节的运行数据进行采集、清洗和挖掘,系统形成了精准反映实际运行状态的性能评估报告。运用统计分析、相关分析、回归分析等方法,系统揭示了各项KPI指标与影响因素间的内在联系,并采用数据可视化技术生成了直观易懂的分析图表。评估结果显示,系统在提高能源利用效率、降低运行成本、改善用户体验等方面取得了显著成效,为管理决策和优化控制提供了数据支撑。系统还采用机器学习算法,对性能短板和异常情况自动诊断,形成了持续改进的闭环机制。

5.3 供热系统的持续优化策略

智慧供热系统以持续优化为导向,构建了覆盖全生命周期的迭代改进机制。在规划设计阶段,系统充分吸收前期运行的经验教训,利用数字孪生技术对新建和改造工程进行方案优化,提升系统的先进性和可靠性。在运行阶段,系统实时监测各项KPI指标,通过控制参数自优化、运行策略自适应等技术,实现了系统性能的动态优化。针对评估中发现的薄弱环节,系统制定了针对性的优化方案,包括更新换热设备、优化管网布局、平衡供热分配等,并采用专家经验和智能算法相结合的方式,对优化方案进行评估和筛选,形成了专业化、精细化的持续优化策略,为智慧供热系统的长效运行奠定了坚实基础。

6 结论

智慧供热系统融合物联网、大数据、人工智能等前沿技术,实现了供热全流程的感知、分析、优化与控制,有效提升了系统效率,降低了能源消耗,改善了用户体验。未来,随着技术的进一步发展和应用的不断深化,智慧供热系统必将向更高效、更经济、更环保、更人性化的方向发展,为建设绿色、低碳、可持续的城市供热系统提供强大的技术支撑与智慧保障。

参考文献

- [1]杜俊杰.基于物联网技术的智慧供热系统设计与实现[J].科技与创新,2023(23):50-52.
- [2]赵竟凯.智慧供热系统研究与架构设计[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(3):0074-0074.
- [3]王洪伟,郭振宇,陈爱军,陈秀云,周伟博.智慧供热系统提升改造技术研究[J].建设科技,2020(18):45-48.
- [4]席江涛,聂诚飞,查波.智慧供热系统低碳运行的设计与研究[J].暖通空调,2024,54(2):56-62.