

智慧供热背景下城市供暖系统的 供需匹配优化研究

耿 志

(济南热力集团有限公司, 山东 济南 250014)

摘 要 智慧供热时代,城市供热系统面临需求快速变化以及对能源的需求较大等问题,导致传统的管理方式不能保证其良好运行。本文以解决供需平衡为核心目标,提出一种基于实时数据采集、负荷预测及优化控制等手段进行智慧供热供需协同的方法,在此基础上利用多种来源的信息进行动态需求辨识提高需求侧的变化响应能力,对整个热源—管网—用户进行协调优化以达到供方负荷分配的精确性,建立供需匹配的效果评估标准,从而对城市供热节能减排以及供热质量改善起到指导作用。本文旨在为城市供热在智能化的基础上提出新的管理模式以及提高能源使用效率的方法论和途径参考。

关键词 智慧供热; 城市供暖; 供需匹配; 负荷预测

中图分类号: TU833.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.028

0 引言

随着城市的不断发展,供热系统负荷变化幅度大、调节滞后造成的问题日益突出,而且存在大量的能源浪费现象。智慧供热的发展为上述问题带来了新希望。在此基础上,利用物联网感知技术、智能算法及数据驱动的方法可以更好地识别出用户的实际热量需求,并根据实际情况灵活调整供给量,从而使得供热效率得到提高。在供需匹配方面开展的相关工作越来越多地受到人们的关注,成为智慧供热的一个重要研究热点,而其核心就是寻找一种可以较好预测用户实时热需求以及能够在不同工况下有效进行调度的方法。因此,对于城市环境下适合的供需匹配方法及算法的研究有利于促进供热系统的精确化以及节能化发展。

1 城市供暖供需不平衡的主要矛盾与表现

为实现节能目标,城市集中供暖系统的设计除了要满足人们的供暖需求以外,还要保证设计的合理性和科学性,尽可能以较低的成本设计出实效性更高的供暖系统。否则,在运行的过程中势必会出现各种问题,后续还会浪费更多能源和资源,增加维护成本。城市供暖在高负荷运行阶段常出现供需节奏脱节的情况,体现在热源输出难以同步响应需求波动。随着智慧供热技术的应用范围不断扩大,供暖系统内部的矛盾愈加突出,其中最典型的是需求侧变化速率与供给侧调

节能力之间的差距^[1]。城市用户呈现出明显的负荷差异,居住建筑、商业建筑及公共设施的热需求随气候、时段和使用行为不断变化,而传统供暖模式的指令链路较长,调控节点有限,导致热源输出与实际负荷之间出现偏差。管网系统的热惯性进一步放大了供需失衡的影响,热量在传输过程中受管道老化、换热效率下降及调压迟滞等因素影响,使热量分布无法及时适应用户侧变化。

在供热空间布局不断扩大的背景下,城市管网呈现区域差异性明显的问题,部分区域因热密度较高而持续出现超负荷运行,另一部分区域则因用户密度相对较低而形成热量富余。管网水力特性的不均衡加剧了供需矛盾,流量分配与温度控制难以兼顾,使得某些区域存在阀门调节空间不足、回水温度偏高、局部压差异常等情况。系统高峰时段的负荷集中更易造成热源启停频繁、调节指令拥堵以及局部管网响应迟缓等问题,使得调度中心难以及时依据当前情况进行有效调度。随着智慧供热的发展,这种问题已经成为影响供热质量的主要障碍。

由于城市中老旧小区占比大、用户行为方式多元化等原因造成的供需不平衡还体现在需求预测与供热行为上存在偏差。传统的固定供热量难以体现不同用户在严寒天气或突然降温时对供热量的需求增大而导致用户端室温波动大的问题。部分区域仍采用较为粗

作者简介: 耿志(1995-),男,本科,助理工程师,研究方向:集中供热。

糙的方法进行调节,使得智慧供热所采集的数据不能很好地反映出真实的热需求变化情况,从而造成预测结果与实际情况不符。这也就使得供需矛盾加剧进一步增加耗煤量并加大了供暖工作的难度,形成冷热不均、温差拉大以及调控困难的问题。

2 智慧供热条件下需求侧动态特征的识别方法

在智慧供热环境中,需求侧具有较强的动态性和多样性,对用户的热行为进行识别需要有较强的数据获取能力。物联网传感设备对室温、流量、阀门开度、气象条件等各方面不间断地采集信息,让系统得到大量实时的数据,在此基础上分析其时间特性就可以发现不同种类用户在不同时间段内的热需求变化规律^[2]。由于建筑物本身的特点不同、保温效果不同以及人们的作息习惯不同等因素的影响,导致需求侧负荷具有很强的不确定性和波动性,而传统的静态估计方法不能很好地反映这一变化的趋势。在这种情况下,基于数据的方法来实现对需求侧特征的动态辨识就成为智慧供热的一个重要方面,从而能够使需求侧的信息从多种来源的数据中被提取并量化。

在动态特征识别中,负荷预测模型的设计起到至关重要的作用。随着机器学习、深度学习的发展,可以将用户的热需求看作是时间序列,在此基础上利用长短时记忆网络、卷积神经网络或者梯度提升树等方法建立负荷模式。而天气条件具有较强相关性,外界气温、风速、湿度的变化都会影响到人们的热需求,因此在模型中应将它们作为输入变量来进行特征编码,以增强预测的效果。另外,建筑类型的不同也会影响人们对热量的需求,如商业建筑会存在一定的规律,而居民用户早晨和晚上会有较大的需求变化,同时公共建筑也有着明显的高峰时间段等都会给预测带来一定的影响,通过对不同用户进行划分并聚类可以提高模型对于不同情况下的识别能力,进而使预测更具有合理性并且适用范围更广。

在需求侧动态识别的应用过程中,数据融合程度影响到该模型的有效性。单一方面的数据不能很好地完成精确识别工作,而多种传感器采集的数据、以往用电量以及地理位置的信息集成可以形成全方位的需求表示形式。智慧供热根据各个时间段的数据进行对比分析以及异常检测,可以发现短时间内负荷突然上升、某处热量需求改变或者某个区域的需求发生变化等情况,从而有利于供用双方协调一致。当越来越多的新鲜数据出现之后,该需求侧识别的方法就可以做到自我学习进而改善自身性能,在遇到寒冬、恶劣气候或者其他意外情况的时候,该供热系统更加稳定灵活,

这就为其进一步改进控制方案打下了良好的基础。

3 供给侧热源与管网调控的智能优化路径

在目前城市集中供暖系统设计中,热网设计是至关重要的内容,但同时由于热网设计也受到很多限制因素的影响,如地质情况、地理环境以及气温等,而造成能源浪费现象的发生。虽然不能够完全消除这种浪费现象,但是可以通过采用热网节能技术来缓解这些不利影响。供给侧在智慧供热体系中起着决定作用,能够根据需求变化及时调整热源及管网协调工作。热源供给受到机组负荷率、燃料性质、设备启停费用等多种因素影响,传统的盲目方法不能够达到要求的效果。随着信息化的发展,在热源端可利用能效评估方法、动态出力调整曲线及机组灵活性研究来进行不同机组之间的梯级调度^[3]。通过对锅炉效率进行在线检测,以及对换热站换热能力和回水温差进行监控,就可以建立一个完整的热源—换热站反馈回路,从而使供热更接近实际情况所需。基于预测负荷的热源调节方式可以提前做好最优出力安排,在保证可靠性的基础上节约不必要的开支。

管网侧的优化路径重点体现在水力平衡与热量输配效率的提升上。城市管网呈现结构复杂、阻力差异大、供回水温度梯度明显等特征,在高负荷运行条件下更容易出现局部压差失衡与热量传递滞后。智慧供热系统引入管网仿真模型与数字孪生技术,使管网运行状态能够被实时映射,通过对流量、压力和温度分布的模拟分析,为阀门调节与泵站运行提供决策依据。动态调节二网循环泵频率、优化主干管流向和调整分支节点阀门开度,可显著改善水力分布不均的状况,使热量更高效地传输至需求集中的区域。结合自适应调控算法,还可在天气突变或局部负荷骤升时实现快速响应。

在供给侧整体优化中,热源与管网的协同调度是提升系统运行质量的重要环节。智慧控制平台通过整合热源运行数据、管网状态信息与需求侧预测结果,构建跨层级的协调控制模型,使热量生产与输配过程形成完整链路。优化路径不仅依赖单点调节能力,还需要实现全局调控,如在负荷高峰期通过适度降低部分区域温度偏差容忍度来增强系统稳定性,或在热量富余时调整管网循环模式以减少热损失。随着智能化调控策略的不断深入,供给侧能够在复杂工况中保持更高的调节灵活性,为供需匹配的实现提供坚实的技术基础。

4 供需匹配的综合优化模型与协调机制构建

供需匹配的综合优化模型以系统整体协调为核心,通过将热源、管网和用户侧的动态特征纳入统一框架,实现供暖过程中的多层级耦合调控。在智慧供热环境

中,不同环节的数据结构存在差异,时间尺度不一致,必须通过统一的数据接口和模型结构实现信息共享。将负荷预测结果、热源机组运行状态以及管网水力参数作为模型输入,可形成覆盖生产端、输配端与消费端的多变量优化体系^[4]。模型对供热过程中的非线性特征进行表达,包括热量传递的滞后性、水力分布的耦合性及需求变化的随机性,从而为后续的优化算法提供准确的结构基础。通过构建可量化的目标函数,如能耗最小化、供热偏差最小化和水力稳定性最大化,可为系统运行提供明确的数学约束。

对于所用优化方法而言,供需匹配模型应具有及时性和全面性。在智慧供热过程中,不同位置处需求变动速度不同,需要对局部进行及时调整的同时又要考虑整体供热均衡问题,因此可以使用混合优化的方法,即利用启发式算法的全局搜索能力和梯度优化算法的快速收敛性来使得模型能在较短时间内得到最优解。另外,将数字孪生管网仿真实验的结果与优化模型相结合,在每次优化时都对其所提建议是否可行进行验证,从而防止由于模型误差导致的问题(温度过高或过低以及压差过大等)发生,提高优化效果的稳定性。

供需协调机制重视各部分之间协同工作,把模型得到的结果转换成具体措施。智慧调节平台可以根据优化结果自动下发控制命令,如热源出力变化、换热站阀门开度以及管网循环水泵转速等,使供热系统能够根据实际需要作出相应改变。系统内部有反馈回路对调控后温度场、流量及回水温差是否符合预期进行检测,如果超出范围,则再次进行干预以保证供需协调稳定。

5 智慧供热供需匹配优化的运行成效与实践启示

智慧供热条件下的供需匹配优化在实际应用中取得良好效果,热源出力更加符合实际需要,锅炉启停次数降低。利用负荷预测及调节方法相结合的方式,热源效率不断提高,过多供热导致资源浪费显著下降。从运行结果来看,在恶劣天气情况下,优化后系统能够迅速给出应对方案,在对热源逐级分配的同时调整各个换热站参数,使温差处于可接受范围内^[5]。从而提高了整个供热系统的可靠性和安全性,在各种复杂工况下实现不间断供暖。由于智慧供热平台对信息汇集能力较强,使得运行过程更加公开透明,调节能效也能更快被发现并改进。

管网输配环节的运行表现在优化机制推动下更加平稳。动态水力平衡策略使各区域流量与压差趋于稳

定,局部高压点与低压区段的显现频率大幅下降。数字孪生模型与调控算法的协同作用,使管网运行参数能够被准确预测,从而在高负荷区段提前实施调节。管网热损失因循环路径优化与流向调整而减少,供回水温度梯度更符合负荷需求,使热量分配更加精准。多区域协同补偿机制在局部需求突增时发挥作用,使热量能够跨区流动,从而缓解局部超负荷问题。管网的整体压差水平在此基础上保持平稳,使系统在峰值负荷阶段依旧具备较强的调节能力。

从运行实践中可以看到,智慧供热的供需匹配优化不仅改善了能源利用效率,也推动了管理方式与调控模式的转变。调度中心在智能平台支持下,能够通过多维监测数据进行决策,摆脱传统依赖经验判断的方式,使运行管理更加科学化。负荷预测、实时监控、模型优化及自动执行相结合,使供热系统形成以数据为依据的联动机制,降低人为因素引起的不确定因素。用户端对供热质量的感受更平稳,温度变化控制在合理范围内,供热服务质量提高。随着智慧供热的应用日益广泛,对供需关系优化的结果逐步加强,在能源短缺、大负荷以及恶劣天气等多重不利条件下仍能良好运行,为今后的发展提供了一条可借鉴的道路。

6 结束语

智慧供热在城市供暖系统中的应用,使供需匹配由原来的静态调整发展到以数据为基础的动态优化。供给侧协同调控、管网侧精确输送、需求侧及时获取构成一个整体,使整个系统在各种情况下都能保证正常运行并且高效。实践证明,智慧供热大大提高了能源利用率和供热质量,为城市供暖方式改革提供了有力支撑,并为技术的进一步发展打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 周璐,房帅.智慧供热技术在城市供热管理中的应用与挑战[J].内蒙古科技与经济,2025(18):147-151.
- [2] 高婷婷.智慧供热系统优化策略及能效提升研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(09):50-52.
- [3] 刘喆.城市集中供暖的节能技术应用途径分析[J].产业创新研究,2025(08):114-116.
- [4] 王毅.基于分布式智慧供热数据信息中央控制系统的设计与实现[J].信息记录材料,2025,26(04):187-190,193.
- [5] 乐增孟,潘清华,王勇,等.智慧供热大数据监测平台的研究及应用[J].自动化应用,2024,65(05):38-40.