

城市集中供热系统能效优化与节能分析

王若川

(沈阳市热力工程设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110014)

摘要 在“双碳”战略目标落地与城市高质量发展的双重牵引下, 能源结构转型与能效提升已成为城市基础设施现代化建设的核心议题。城市集中供热系统作为北方地区冬季民生保障的关键载体, 亦是能源消耗的重点领域, 当前正面临热源结构亟待优化、管网老化问题凸显、调控模式相对粗放等多重现实挑战。随着可再生能源规模化接入与智慧城市建设的持续推进, 传统供热模式正经历深层次变革, 其能效水平直接关系到能源安全保障、生态环境承载力及供热企业可持续运营能力, 开展系统性节能优化已成为行业发展的必然要求。基于此, 本文对城市集中供热系统能效优化与节能分析进行研究, 以为相关人员提供借鉴。

关键词 城市集中供热系统; 热源侧能效; 热网输配; 用户侧节能

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.024

0 引言

提升集中供热系统能效, 不仅是促进能源资源集约利用的核心路径, 更是推动城市绿色低碳转型的重要抓手。通过技术创新与管理模式革新实现系统层面的节能, 可有效降低供热运营成本, 提升供热质量与运行稳定性。同时, 这也是供热行业主动适应能源价格波动、积极应对气候变化、切实履行碳减排责任的必然选择, 对构建清洁低碳、安全高效、智能协同的现代城市能源体系具有深远的战略意义与重要的实践价值。

1 城市集中供热系统组成与运行模式

城市集中供热系统核心架构涵盖热源、热网及热用户三大核心模块。其作为系统能量供给的源头, 热源形式呈现多元化特征, 既包含热电联产电厂、区域燃煤或燃气锅炉房等传统热源, 亦囊括地热利用装置、工业余热回收系统及清洁能源供热站等低碳化热源类型。热网作为热量传输与分配的关键载体, 采用一次管网与二次管网分级布局模式, 借助换热站完成热量的传递转换与精准分配, 实现热源与用户侧的高效衔接^[1]。热用户作为热量消耗终端, 覆盖各类民用与公共建筑, 其内部散热末端是热量利用的最终执行单元。在运行调控方面, 系统多遵循“以热定电”或“以电定热”的负荷协调原则, 依托中央智能调度平台, 结合室外环境气象参数动态变化及用户侧用热需求反馈信息, 对热源输出功率、管网介质流量等关键参数进行全域

联动调节, 进而在保障供热稳定性与舒适性的前提下, 提升系统整体运行的经济性^[2]。

2 影响供热系统能效的关键因素分析

2.1 热源侧能源转换效率偏低

热源侧能效水平直接决定了集中供热系统的整体节能效果, 是能效提升的核心抓手。燃煤、燃气锅炉的额定能效指标虽已达到较高水平, 但在实际运行过程中, 因用户热需求动态变化导致负荷频繁波动, 锅炉常脱离设计高效运行区间, 使得实际平均运行效率大幅回落。对于热电联产机组而言, “以热定电”的运行模式在保障供热稳定性的同时, 也限制了电负荷的调节灵活性, 尤其在非供暖季或热负荷低谷时段, 机组的热电联供综合能效优势难以充分发挥^[3]。此外, 部分热源设备已进入长期服役阶段, 设备老化现象较为突出, 加之自动化调控体系不完善, 燃烧工况的精准调控能力不足, 且排烟温度偏高的问题未得到有效解决, 进一步加剧了能源的无效损耗。

2.2 热网输配环节能量损失显著

热网作为集中供热系统的热量传输核心通道, 其保温性能优劣与水力工况稳定性直接影响输配阶段的能效水平。随着管网服役时间的延长, 保温层性能会逐步衰减, 其中直埋管道的接口及补偿器部位因结构特殊性, 成为热量散失的主要薄弱环节。更为关键的是, 当前多数供热管网普遍存在水力失调现象, 具体表现为管网近端与远端用户的流量分配失衡。为保障远端

作者简介: 王若川 (1993-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 热力方向。

不利环路用户的正常用热需求，需通过提升系统整体循环流量与扬程来弥补，这不仅导致大量电能消耗于克服管网无效阻力，还需通过提高供水温度确保远端用户采暖效果，最终造成管网沿途散热损失进一步加剧。

2.3 系统调控粗放，水力热力失调问题凸显

当前国内多数集中供热系统依旧延续“大流量、小温差”的传统质调节方式，尚未构建起基于用户实际用热需求的精细化调控体系。多数热力站缺乏自动化气候补偿装置，分时分区调控能力普遍不足，致使供水温度调节存在显著的滞后效应。在二次管网运行过程中，垂直方向与水平方向的热力失调问题交织存在，同一建筑内不同楼层、不同朝向的房间室温差异明显^[4]。为保障低温薄弱区域达到基本采暖标准，系统不得不被动提高整体供热量，最终形成“过量供热”的被动局面。这种热力分布不均的失调现象，正是诱发系统能耗居高不下与用户用热投诉频发的核心诱因。

2.4 用户侧用能信息缺失，供需互动机制亟待完善

用户作为供热服务的终端载体，其用能行为特征与建筑自身围护结构特性，对供热系统的整体能效起着决定性作用。既有建筑普遍存在围护结构保温性能欠佳的问题，直接导致热量散失量偏高。更为关键的是，分户热计量装置与室温自主调控设备配置率不足，用户难以根据自身用热偏好灵活调节供热量，既无法享受节能带来的实际收益，也缺乏有效的用热调节途径，进而出现开窗散热等非理性用热行为。从系统调控层面分析，由于无法精准捕获用户端实际用热数据，难以开展基于需求预测的精准供热调控工作，最终因供需匹配失衡，造成大量能源无效损耗。

3 集中供热系统能效优化关键技术

3.1 多源协同驱动与运行优化赋能热源侧提效

该技术以提升能源转换全链条能效为核心导向，核心思路在于构建热电联产机组、调峰锅炉与可再生能源互补的多热源协同运行架构，依托优化算法实现负荷的经济性动态分配，保障各类热源稳定运行于高效工况区间。具体实施路径可从三方面推进：一是针对大型燃煤锅炉，重点开展低氮燃烧技术改造，搭配智能吹灰自适应控制策略，破解传统燃烧效率偏低与积灰能耗损耗难题^[5]；二是对于燃气锅炉，着力完成比例调节系统升级，同步配套烟气冷凝热回收装置，最大化挖掘烟气余能潜力；三是聚焦热电联产机组，一方面推广吸收式热泵深度回收烟气余热技术，另一方面积极探索电热解耦灵活性改造路径，持续提升其在新型电力系统中的调节响应能力与综合能效水平。

3.2 水力平衡优化与智能调控主导热网输配升级

该技术聚焦热网输配环节能耗损耗削减，通过硬件装备迭代与运行策略优化双轮驱动，实现输配效率的系统性提升。在硬件配置层面，推广应用压力无关型平衡阀、分布式变频泵等关键设备，构建精细化水力平衡系统，从源头破解传统热网普遍存在的静态水力失调问题；在运行调控层面，大力推行二级泵变流量调节模式，将传统固定流量运行系统改造为适配末端用热需求的动态流量调控系统，有效降低循环水泵电耗。与此同时，推进智能换热站建设，配套部署气候补偿器、分时分区控制器等智能设备，实现供水温度与流量的实时自适应调控，推动供热模式从传统“供给导向”向现代“需求导向”转变，真正达到“按需供热”的核心目标。

3.3 建筑节能升级与计量温控协同的用户侧互动技术

该技术聚焦用户侧节能潜力的深度挖掘，核心目标在于构建供热系统供需两端高效联动的良性互动机制。在实践推进过程中，需紧密衔接城市更新战略部署，将既有建筑围护结构节能改造作为重要抓手，通过外墙保温强化、外窗气密性提升、屋面节能优化等具体举措，从源头上削减建筑自身基准热负荷，为后续节能增效奠定坚实的基础^[6]。技术实施的关键环节在于构建全覆盖的分户热计量与室温精准调控体系，通过为用户端加装通断控制阀或自力式恒温阀，切实赋予用户根据自身用热需求自主调节室温的主动权，既保障用户用热舒适度，又为行为节能提供硬件支撑。与此同时，将分户热计量数据深度融入供热收费核算体系，实现“用热多少、付费多少”的精准计费，充分激发用户节能内生动力；同时依托计量数据构建系统能效诊断平台，精准定位供热系统运行中的能效短板与优化空间。

3.4 物联网与人工智能融合的智慧供热管控技术

该技术以构建集中供热系统数字化、智能化管控中枢为核心目标。通过在供热全链路部署物联网感知终端，动态捕获热源运行特性参数、管网温度压力流量数据、换热站实时工况及典型用户用热反馈信息，进而构建覆盖“热源—管网—换热站—用户”全链条的数字孪生映射体系。依托大数据深度挖掘技术与人工智能算法模型，精准实现短期供热负荷预测、系统运行状态实时故障诊断及调度方案全局最优配置。通过构建一体化智慧供热管理平台，打通各环节管控壁垒，形成多维度联动智能调控机制，推动供热系统运

行模式由传统经验主导向数据支撑与模型驱动并重转型,为持续提升系统能源利用效率、保障安全经济运行筑牢技术根基。

3.5 基于管网状态动态感知的泄漏与保温效能监测技术

该技术聚焦管网“数字神经网络”构建,精准捕捉输配系统隐性能量损耗特征并实现主动预警。核心思路在于依托主干线及关键节点部署分布式光纤测温系统、声学传感器与压力变送器,构建多物理量协同实时监测网络。通过解析管道压力波异常衰减规律,结合特定声波频谱的差异化特征,可智能辨识微小泄漏点位并完成定位,推动管网运维从传统“被动抢修”向“主动预警”转型。与此同时,融合红外热成像无人机巡检成果与分布式光纤温度监测数据,构建保温层热损失三维评估模型,精准量化防水层破损、土壤含水率波动及材料老化等因素引发的保温性能劣变程度,明晰其空间分布规律^[7]。该技术为管网维护决策提供可靠量化支撑,助力运维模式从定期检修向预测性维护升级,有效降低长期热损失,规避次生灾害发生风险。

4 节能效果量化分析模型

4.1 基于能量流分析的节能量计算模型

该模型以系统能量平衡原理为核心支撑,聚焦宏观层面的节能量核算工作,关键在于构建贯穿热源燃料消耗、管网输配电耗及各环节散热损失的全链条能量流图景。在实践中,通过锚定相同气候条件(一般采用日数或小时数完成工况修正),对比节能改造前后系统的总能耗差异,可直接实现节能量的量化统计。具体核算时,可进一步拆解为燃料节约量与电力节约量两个核心维度,再通过标准煤当量折算完成统一计量^[8]。该模型的核算精度高度依赖计量数据的全面性与可靠性,是评估节能项目整体成效的基础工具,在节能目标考核、项目效益核算等实际场景中应用广泛。

4.2 基于关键性能指标的能效对标分析模型

该模型通过构建并动态追踪一套精细化能效指标体系,实现对系统运行过程的精准诊断与对标管控。指标体系覆盖多维度关键参数:热源侧重点包含单位热量燃料消耗、热电联产机组热电比;管网侧聚焦单位面积输送电耗、供回水温差、循环水量系数等核心参数;系统侧则侧重单位面积供热能耗、管网热损失率等综合指标。通过对上述指标开展长期持续监测,结合设计标准值、历史最优运行值或行业先进水平进行对标研判,既能精准定位系统能效的薄弱环节,又

可量化各环节的节能改进空间。该模型更适配于系统运行优化调控、持续性能提升等精细化管理场景。

4.3 集成经济效益与环境效益的综合评估模型

该模型以节能量的精准量化为核心切入点,进一步拓展至技术措施经济价值与环境效益的协同测算维度。在经济性评估层面,通过系统核算节能产生的直接收益、运行维护成本的动态变动及项目初始投资规模,逐步推导静态投资回收期、净现值、内部收益率等核心财务评价指标^[9];环境效益评估则立足节约标准煤的总量数据,结合行业通用排放因子,精准量化二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及粉尘等关键污染物的减排成效。该模型可为决策主体提供全方位的成本效益分析视角,不仅是研判节能项目可行性、开展优先级排序的重要依据,更是对接绿色金融支持、兑现碳减排收益的核心支撑工具。

5 结束语

集中供热系统能效提升绝非单一环节的改进,而是涵盖技术创新、管理优化与政策保障的系统性工程,需始终秉持“源一网一站一户”全链条协同优化的核心原则。未来,随着智慧供热技术与多元化清洁能源的深度融合,集中供热系统将逐步向柔性化调节、低碳化运行、高效化管控的方向发展。持续推动关键技术突破与体制机制改革,为城市能源体系可持续发展注入强劲动力,为“双碳”目标实现提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 黄悦.基于大数据分析的城市集中供热系统节能优化技术研究[J].科学技术创新,2025(19):201-204.
- [2] 张月.城市集中供热运行调节及负荷预测分析[J].暖通空调,2024,54(S1):50-52.
- [3] 张哲宇.试论城市集中供热运行管理的节能降耗措施[J].居业,2024(01):131-133.
- [4] 李跃.城市集中供热系统优化运行及节能改造措施研究[J].工程技术研究,2023,08(24):226-228.
- [5] 李琳.“双碳”目标下的供热系统节能分析[J].能源与节能,2023(09):79-81.
- [6] 耿皖雨.城市集中供热二次网运行优化与决策支持系统开发研究[D].北京:北京交通大学,2023.
- [7] 武瑞朋.城市集中供热系统热源的能耗分析[J].江苏建材,2023(01):8-9,12.
- [8] 陈俊娜.城市集中供热系统节能改造分析[J].能源与节能,2023(07):65-67.
- [9] 杨林.集中供热系统多热源调度优化分析[J].建材与装饰,2020(21):245,248.