

城镇集中供热系统热能损耗治理与节能运行优化路径研究

闫冬梅, 宋 涛, 周长兴

(临沂智慧新能源科技有限公司, 山东 临沂 276000)

摘要 城镇集中供热系统是我国北方地区城市基础设施的重要组成部分,但其运行过程中普遍存在能源消耗大、输配效率低等问题。本文从热能损耗的系统性入手,系统梳理了热源侧、输配侧、用户侧及控制侧的问题,从硬件系统层和软件层探讨热能治理的技术路径,并提出了基于动态平衡调控的节能运行优化策略。结果表明,通过“数据感知—智能控制—终端补偿—云平台交互”的全链条技术体系,可实现热力平衡率提升至 90% 以上、综合节能率突破 18% 的显著效果。

关键词 集中供热; 热能损耗; 节能运行; 源网荷协同; 智能调控

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.14.027

0 引言

我国北方城镇集中供热系统规模居世界前列。相关数据显示,截至 2024 年底,全国集中供热面积已超过 144 亿平方米,供热管网总长度约 65 万公里,形成了覆盖热源生产、管网输配与终端用户的庞大供热网络。2023-2024 供暖季,供热总能耗约 2.22 亿吨标准煤,其中无效能耗约 6 700 ~ 7 800 万吨。随着“2030 碳达峰、2060 碳中和”战略的推进,建筑供热这一碳排放占比超过 10% 的领域,已成为实现“双碳”目标的重要突破方向。本文旨在为我国城镇集中供热系统的节能改造提供理论依据与实践参考。

1 集中供热系统节能技术路线概述

供热系统如何识别出过程中的热损失机理,通过什么技术手段和管理手段可以实现真实有效的节能减排,是目前供热行业中研究重要方向之一。当前行业中供热系统在生产、输送、分配等关键节点上存在不同程度的损耗。鉴于以上情况,本文通过构建感知、预测、调控和优化评估这样的技术路线,引入短期热负荷预测模型和 LSTM 与随机森林算法,在模拟预测短期热需求的同时,优化热源、供水温度以及循环泵频率等,实现源—网—荷的技术、管理优化。最后,通过各项数据进行综合评估,测算能源和碳排放等技术指标(如图 1 所示)。

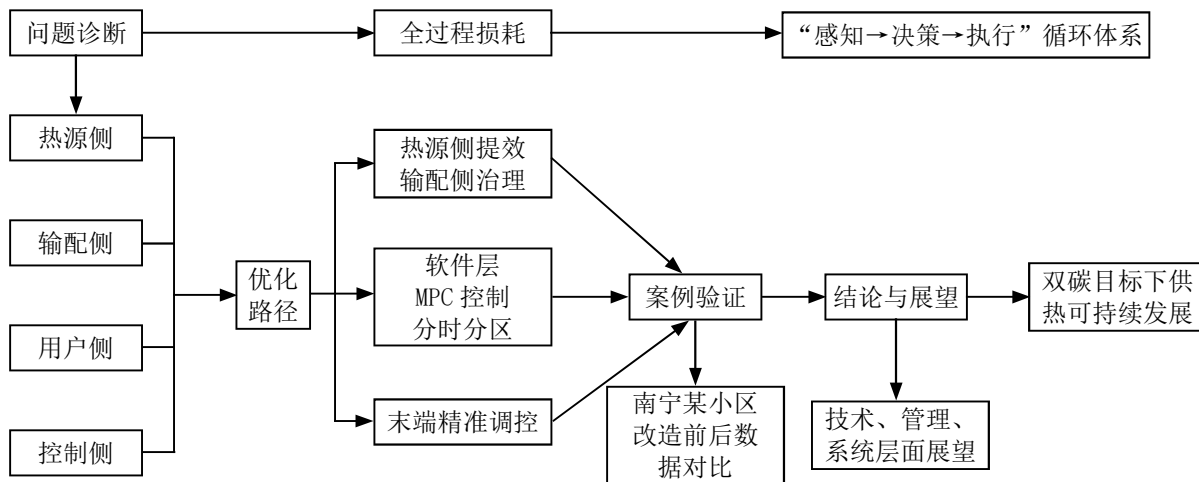


图 1 集中供热系统节能优化研究技术路线图

作者简介: 闫冬梅(1990-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 供热节能、暖通空调。

2 集中供热系统热能损耗的系统性成因诊断

2.1 热源侧：热电解耦能力不足与负荷跟踪滞后

《中国建设报》2025年10月一篇报道中提及：我国集中供热一直存在的一个痛点，就是“以产定需、大水漫灌”。在某些特殊环节，如供暖初期及末期，温度起伏较大，当热负荷低于设计负荷的60%时，锅炉不得不频繁启停，燃料消耗普遍较高，能量浪费比较严重；对于热电联产机组，在供暖季时常被迫偏离最佳电热比工况运行，导致单位供热量能源消耗量持续上升。以上是目前比较明显的初始能源浪费。

2.2 输配侧：管网物理老化与热桥效应叠加

2025年，各地检修维护供热管网33万公里、改造老化管网1.38万公里。这些大量服役超过十几年的老旧管网系统，保温层材料老化，导热系数劣化。以上种种原因使得形成局部高热流密度的“热桥”，这种阶梯式温降使得一次网、二次网的实际热损失率普遍超过设计规范的8%~10%的预期值，部分极端案例中，二次网回水温度较设计值偏高5~8℃（北京日报报道中，北京莲水怡园小区回水高达42℃，设计约35℃，偏高约7℃），直接削弱了热源的供热效率^[1-2]。

2.3 用户侧：水力失衡与无效过量供热

输送至用户侧的热量，由于管网先天阻力不均及后天调节手段缺失，在楼栋间、单元间、户间呈现出严重的分配失衡。近端用户因资用压头过剩导致流量超标，室内温度过高迫使居民开窗散热，形成直接的无效热能浪费；远端用户则因流量不足长期处于欠温状态。整个系统陷入“大流量、小温差”的运行困境，单位供热面积的水循环量远超设计值，热力平衡度往往低于80%，无效供热成为能耗黑洞^[3]。

2.4 控制侧：多环节协同缺失与智能化水平低下

尽管先进的控制系统可以协调热源、管网与负荷三端的运行，但目前热源、管网、换热站以及用户端之间缺少真正的数据互通，缺少基于统一数据平台的大方向调控，使得例如气候补偿功能在内的多项调控手段难以真正发挥作用，分时、分区控制更无从谈起。结果就使得“热源与管网不匹配、管网与负荷不匹配”的问题始终得不到改善，各个环节无从下手，只能各扫门前雪，使整个供热系统长期、持续的运行在能效低谷^[4]。

3 城镇集中供热系统节能运行优化路径

3.1 硬件层优化：提升系统物理架构能效

3.1.1 热源侧优化：热电联产与余热回收的协同利用
针对热电联产机组在供暖季调峰能力不足的问题，

可以通过热源侧蓄热罐热量储存、电锅炉与吸收式热泵的协同配置构建柔性供热系统，实现热电解耦，机组在夜间低谷电时段优先蓄热、白天高峰电时段减少供热出力，充分将余热回收这一纸面目标落实到实际的生产当中，不仅平衡了热负荷波动，又为风电消纳提供了空间，从而实现能源的梯级利用^[5]。

3.1.2 输配侧治理：保温改造与在线监测结合的漏损管理

在供热管网与热力站保温改造中，采用化学稳定性好、耐老化的材料（气凝胶毡、聚氨酯喷涂等），可显著降低输送环节热损，提升供热系统整体能效。同时，引入分布式光纤测温技术，实现一次管网沿线温度连续监测，将热损定位精度从百米级提升至米级，为精准维修提供决策依据。

3.1.3 末端控制优化：智能阀门与循环泵优化控制

以管网最不利端压差为核心控制基准，在调控系统中，其实静态平衡阀与动态压差平衡阀、电动调节阀的功能差异是非常显著的，静态调压阀没有实时调节能力，不能捕捉管网压力的瞬时波动。但是，动态和电动阀可以通过自动反馈与调节，实现压力与流量的“即调即稳”，使得优化效率大幅上升，这是在传统调控系统改善最有效处理各个运输线路之间的冲突和不平衡的方法之一。

3.2 软件层策略：基于数据驱动的运行调控优化

3.2.1 基于多因素负荷预测的供需动态匹配

短期热负荷预测是集中供热系统实现精准调控、节能降损的核心前提，传统单一变量预测模型因输入维度有限、预测精度不足，难以适配热负荷的动态波动特性。因此，有必要突破传统仅依赖室外温度单变量预测的方法，引入气象因素、建筑特性及用户行为等多维数据，构建更加全面的热负荷输入特征体系。基于多因素数据驱动的短期热负荷预测模型应运而生，该模型以数据为核心，整合多维度影响因素，结合先进算法构建预测框架，大幅提升短期热负荷预测工程实践表明的高精度与可靠性，为供热系统按需出力、优化运行提供科学支撑。

在算法选型上，模型采用数据驱动的先进算法，重点应用LSTM神经网络与随机森林算法，兼顾时序特征捕捉与非线性关系拟合能力：LSTM神经网络具备强大的时序数据处理能力，可有效挖掘各输入因素随时间变化的规律及相互关联，精准拟合短期热负荷的动态波动特性；随机森林算法则能高效处理多因素间的复杂非线性关系，抵御异常气象数据、用户用热波动

等干扰，提升模型的稳定性与泛化能力。通过多因素输入与先进算法的深度融合，模型可实现对未来 1~24 小时短期热负荷的精准预测，显著降低预测误差^[6]。

3.2.2 基于模型预测控制的源—网—荷协同优化

为解决供热系统大时延、强耦合带来的控制滞后问题，引入模型预测控制策略。该策略以短期负荷预测结果为参考轨迹，以热源出力最小与室温达标为双重目标函数，在线滚动求解未来时域内的最优供水温度与循环泵频率，实现“源随荷动”的前瞻性调控。工程应用结果表明，相比传统 PID 调节方式，该方法在系统能效方面可进一步提升约 3%~5%。

3.2.3 基于建筑热特性的分时分区调控策略

基于建筑热惰性、蓄放热能力及使用场景的差异，打破传统“一刀切”供热模式，结合多因素短期热负荷预测结果，实现“分区适配、分时调节”的精准调控。

分区调控中，划分热负荷分区，依托动态压差平衡阀与电动调节阀实现各分区流量、压力的独立调控，解决热力失衡与支路干扰问题，同时针对不同保温水平区域差异化分配供热量，保障最不利端压差稳定。

分时调控中，结合建筑使用规律、用户行为因素及时段用热规律，联动蓄热罐、吸收式热泵优化能源分配，降低水泵与热源能耗。例如：在西宁昆仑阳光城项目应用中，有效减少供需不匹配导致的热能损耗，为集中供热精准调控提供了可行路径。

4 案例分析与实施效果

为验证前文所述集中供热系统节能降碳集成技术的可行性与实际成效，以西宁市某小区为工程案例开展实践与数据验证。该项目地处高寒地区，针对原有供热系统管网热损失大、热力失衡突出、运行调控粗放、负荷预测精度不足等导致热能损耗偏高的问题，构建了“余热提质+管网降损+输配优化+智能预测”的集成改造方案。

改造核心内容包括：采用吸收式热泵回收 30~40℃ 低品位余热并提质至 60~70℃ 用于供暖；采用气凝胶毡、聚氨酯喷涂新型保温材料替代传统岩棉，降低管网输送热损失；实施基于最不利端压差的循环泵变压变频控制，配套动态压差平衡阀与电动调节阀，解决支路调节干扰问题；搭建多因素数据驱动短期热负荷预测模型，融合室外温度、太阳辐射、风速、建筑热惰性及时假日模式等输入变量，采用 LSTM 神经网络与随机森林算法提升预测精度。

经完整供暖季连续监测验证，项目改造后成效显著，具体指标如表 1 所示。

表 1 改造前后供热系统运行指标对比表

指标	改造前	改造后	改善幅度
管网热损失率	17%	10.5%	↓ 38%
无效能耗占比	33%	21%	↓ 36%
热力平衡率	78%	92%	↑ 14%
用户室温合格率	85%	96%	↑ 11%
综合能耗	100%	81.7%	↓ 18.3%
年消耗标准煤	2 295 吨	1 875 吨	↓ 420 吨
年碳排放量	6 100 吨	5 500 吨	↓ 1 100 吨

5 结束语

城镇集中供热系统的热能损耗治理是一项系统工程，需要各地区因地制宜，从多个维度协同推进。本文研究表明：基于热源提效、输配降损及末端调控的硬件层面，为能效提升提供物理基础，而基于供需匹配、协同优化及分时分区调控的软件层面，则为系统运行提供了智能决策支撑。西宁昆仑阳光城项目的实践验证了上述技术路径的可行性，18%的节能率证明了其推广应用价值。未来，我国城镇集中供热系统将向智能化、低碳化方向持续发展。在技术层面，需进一步研发适用于不同建筑类型和气候分区的高效调控算法；在管理层面，应探索热计量与按需付费的激励相容机制；在系统层面，宜推动供热系统与电力系统的协同优化，利用热网蓄热能力消纳可再生能源电力。唯有技术创新与机制改革双轮驱动，方能实现城镇供热行业的可持续发展、助力“双碳”目标实现。

参考文献：

- [1] 何凯. 城镇化背景下集中供热管网设计优化措施[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(07): 151-154.
- [2] 万敏, 朱振, 夏军. 中国北方地区近五年区域供热运行关键指标统计分析[C]// 第十四届供暖、通风与空调国际研讨会论文集. 2026.
- [3] 卢超, 薛松, 张宇, 等. 严寒地区高校公共建筑供热系统运行控制策略研究[J]. 建筑学报, 2025, 15(06): 858.
- [4] 钟威, 林小杰. 智慧供热系统工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2024.
- [5] 马华勇. 工业余热利用的经济与环境双重效益: 以 L 县为例探讨中国城镇集中供热的未来[J]. 中国市场, 2024(24): 58-61.
- [6] 马涛. 基于注意力增强 LSTM 与改进 Adam 优化的多时间尺度供热负荷预测[J]. 信息学, 2025, 49(34): 1-12.