

智慧供热节能减排效果评估研究

吴 斌

(陕西首创天成工程技术有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要 在双碳目标导向下, 建筑领域碳排放管控构成绿色发展核心任务。集中供热作为建筑运行阶段主要碳排放源, 其节能减排潜力亟待挖掘释放。智慧供热整合信息技术、物联网、大数据等技术, 通过系统智能化调控、清洁能源融合及用户侧精准管理, 实现供热系统高效运行状态。基于碳排放因子法、实地调研与数据监测手段, 对智慧供热节能减排成效开展量化评估, 结果显示: 节能率达16.0%、节电率10.2%, 年减排二氧化碳0.84万吨, 大幅降低了燃煤消费引发的碳排放与颗粒物污染。智慧供热在提升能源利用效率、减少环境污染的同时, 也推动了供热行业技术创新与模式转型, 为建筑领域碳达峰、碳中和目标落地提供重要支撑, 具有实践价值与推广前景。

关键词 智慧供热; 节能减排; 评估体系; 集中供热; 碳减排

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.022

0 引言

在双碳目标引领下, 建筑领域碳排放治理已成为高质量发展核心议题。集中供热作为建筑运行阶段碳排放的主要贡献主体, 其低碳转型进程直接关系到生态环境改善与能源安全保障。智慧供热突破传统供热模式桎梏, 依托信息技术与低碳技术的深度融合, 实现热源、热网、用户端的智能化调控与协同优化, 为节能减排注入全新动能。科学评估智慧供热的节能减排成效, 是验证技术可行性、优化推广策略、完善政策支持的关键前提, 可为行业转型提供数据支撑, 亦能为同类低碳技术应用提供参考范式。立足这一现实需求, 聚焦智慧供热运行特性与减排逻辑, 通过量化指标与系统分析开展成效评估, 已成为推动供热行业高效低碳发展的重要研究方向。

1 智慧供热节能减排评估的现实困境

1.1 评估标准与指标体系异构性突出

智慧供热行业尚未形成统一的节能减排评估标准体系, 技术标准、管理规范与服务准则的缺失导致评估工作缺乏统一遵循。不同主体采用的评估指标存在显著差异, 部分评估侧重单位面积能耗降幅、节煤量等能源消耗指标, 部分聚焦二氧化碳、污染物排放削减量等环境指标, 还有的仅关注节电率、运行成本降低幅度等单一维度, 缺乏涵盖能源利用效率、污染物减排、系统运行稳定性、用户侧响应效果的综合指标框架。同时, 核心指标的定义与计算口径不统一, 如节能率

的测算既存在“基于设计能耗”与“基于实际运行能耗”的差异, 碳减排量计算中碳排放因子的选取也缺乏统一规范, 导致不同区域、不同项目的评估结果不具备横向可比性, 无法形成行业通用的成效判定依据。

1.2 数据采集与质量管控存在显著短板

智慧供热节能减排评估体系的构建与落地, 迫切需要全链条全流程的数据作为支撑。当前数据采集与管控环节却存在诸多现实瓶颈, 直接制约评估工作的全面性与准确性。数据来源呈现高度分散特征, 热源端、热网端及用户端的数据由各类独立设备分别采集, 缺少统一规划与管理。物联网终端与传感器采用的技术标准各不相同, 设备兼容性不佳、接口异构问题显著, 多源数据难以高效整合与互联互通^[1]。数据质量管控体系尚未健全, 部分区域仍在投用的老旧供热设备技术落后、监测精度不足, 极易造成关键数据失真。数据传输过程中, 受网络信号波动、带宽限制等因素影响, 数据延迟、丢包等现象频繁出现, 进一步削弱数据的实时性与可靠性。行业内部未建立有效的数据共享与协同机制, 不同企业、系统之间形成明显“数据孤岛”, 评估工作无法获取连续、完整的全流程数据, 直接影响最终评估结论的科学性与准确性, 也限制智慧供热系统在节能减排领域的实际应用成效。

1.3 评估方法与应用场景适配性不足

智慧供热节能减排评估方法现存显著技术适配短板, 难以充分匹配现实中多样供热场景与技术实施路

作者简介: 吴斌(1987-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 供热、锅炉、暖通工程。

径。当前多数评估依托碳排放因子法、能耗对比法等单一核算模型，这类模型未能全面覆盖智慧供热系统从设计、建设、运行至维护的全生命周期流程。现有评估手段常忽视不同热源类型、供热规模及建筑热工特性等关键场景差异，使得构建的评估模型在实际应用中针对性与适用性不足。面对多能互补集成系统、人工智能动态调控等新兴技术模式，现有评估方法的局限更为突出。既无法有效量化多元能源与技术间的协同减排效应，也难以精准区分并剥离智慧供热技术与其他节能管理措施的各自贡献占比，进而影响评估结果的科学性与可信度^[2]。当前评估体系普遍缺失灵活自适应的动态调整机制，无法及时响应并融合持续迭代的技术创新与运行数据，导致部分新型智慧供热技术的实际节能减排效果难以被客观精准测算与验证。

2 智慧供热节能减排评估体系构建

2.1 评估体系构建核心原则

评估体系以系统性、科学性、实操性、动态性为核心导向。系统性原则覆盖智慧供热全链条，兼顾热源端、热网端、用户端，整合能源消耗、污染物排放、系统运行、用户响应等多维度要素，规避单一维度评估的片面性。科学性原则锚定指标定义、计算口径与评估方法的标准化，参考《综合能耗计算通则》（GB/T 2589-2020）及《工业企业温室气体排放核算和报告通则》（GB/T 32150-2015）等国家标准，统一节能率、碳减排量等核心指标测算逻辑，保障评估结果横向可比。实操性原则聚焦数据可获取性与方法易用性，选取指标与现有智慧供热监测平台采集能力匹配，评估方法避免过度复杂模型，便于落地应用。动态性原则预留新型技术评估接口，定期更新碳排放因子、能耗基准值等关键参数，适配技术迭代与场景拓展需求。

2.2 多维度指标体系设计

指标体系采用“一级维度—二级核心指标—三级计算标准”层级结构，设 4 个一级维度、12 项核心指标。能源利用效率维度包含单位面积能耗降幅、综合能效提升率、节电率，其中单位面积能耗降幅以改造前实际运行能耗为基准，计算公式为（改造前单位面积能耗—改造后单位面积能耗）/ 改造前单位面积能耗 × 100%，综合能效提升率统筹热源、管网、终端效率协同提升效果。污染物减排维度涵盖二氧化碳减排量、污染物排放削减率，前者采用“能源消耗量 × 碳排放因子 × 节能率”的碳排放因子法计算，后者聚焦颗粒物、二氧化硫等关键污染物降幅^[3]。

系统运行优化维度主要包括管网传输损耗率、供

热平衡度以及故障预警准确率，这三个方面分别反映了热网运行效率、用户室温达标水平以及整体系统的稳定性和可靠性。通过降低管网传输损耗率，可以提升热网的能量传输效率；提高供热平衡度有助于保障不同区域用户的室温需求得到均衡满足；而优化故障预警准确率则能够提前发现并处理潜在问题，从而增强系统的持续稳定运行能力。用户侧响应维度则涵盖用户温控参与率、按需用热比例以及用户满意度，这些指标体现了供热系统在引导用户合理用热、提升能源利用效率方面的作用，同时也反映了供热服务的质量改善和用户实际体验的提升。

2.3 评估方法融合与场景适配

构建“基础核算+精准校验+场景细分”的多元评估方法体系。基础核算采用碳排放因子法与能耗对比法结合，优先选用区域本地化碳排放因子，缺乏时参考国家通用因子；能耗对比法通过改造前后同期数据纵向对比，排除气象、用热需求等外部干扰。精准校验引入数据监测法与全生命周期评估法（LCA），依托智慧供热平台实时追踪热源能耗、管网损耗等数据，LCA 覆盖系统建设、运行、维护全阶段，避免仅关注运行阶段的片面性。场景适配方面，针对热电联产、清洁能源互补等不同热源类型，以及集中供热、分布式供热等不同规模场景，制定差异化指标权重与方法参数，采用差分模型剥离智慧供热技术与其他节能措施的减排贡献度，提升评估针对性。

2.4 数据采集与质量保障机制

建立“统一标准—全链采集—分级管控”的数据支撑体系。数据采集标准统一物联网终端、传感器、热量表等设备的技术参数与数据接口，明确能耗、温度、流量等数据的采集频率（热源端每 15 分钟一次，用户端每小时一次）与传输格式，保障数据兼容性^[4]。全链采集依托智慧供热云平台，整合热源、热网、用户端数据，通过边缘计算实现实时上传与初步处理，打破“数据孤岛”。质量管控实施三级校验：设备自检剔除异常数据，数据一致性算法修正偏差，人工复核确认关键数据；同时建立数据溯源机制，记录采集、传输、处理全流程信息，确保评估数据可追溯、可核查。

3 基于评估体系的智慧供热节能减排成效实证验证

3.1 实证案例概况

选取某城市片区集中供热智慧化改造项目作为实证对象，该项目供热范围涵盖居民住宅与小型公共建筑，总供热面积 180 万平方米，热源为热电联产，改造前采用传统人工调控模式，存在热耗偏高、管网冷

热不均、故障响应滞后等问题。项目于2023年完成智慧化升级，搭建覆盖“源—网—站—户”的全链条智慧供热管理平台，整合AI负荷预测、数字孪生管网仿真、分户智能调控等技术，同步完成45座换热站无人值守改造及末端智能阀门加装，配套建立全流程数据采集与质量管控体系，数据采集频率热源端每15分钟1次、用户端每小时1次，符合评估体系数据支撑要求。

3.2 实证测算与结果分析

依据构建的多维度评估体系，采用“碳排放因子法+能耗对比法+数据监测法”的融合评估方法，选取区域本地化燃煤碳排放因子 $2.49 \text{ tCO}_2/\text{tce}$ ，对项目改造前后2022-2023年采暖季与2023-2024年采暖季

的运行数据进行纵向对比，剥离气象、用热需求等外部干扰因素，核心指标测算结果如表1所示。

数据显示，项目改造后能源利用效率显著提升，单位面积能耗降幅达16.0%，超出行业平均节能率15%的基准线，综合能效提升率15.3%，印证了智慧调控对热源、管网、终端效率的协同优化作用；污染物减排成效突出，通过碳排放因子法测算，年减排二氧化碳0.84万吨，颗粒物排放削减率62.5%，实现环境效益与节能效益协同；系统运行稳定性大幅增强，管网传输损耗率从12.3%降至6.8%，故障预警准确率提升至95.7%，有效降低运维成本；用户侧响应效果显著，用户温控参与率提升至68.3%，用户满意度达94.2%，实

表1 智慧供热改造前后节能减排核心数据对比

一级维度	核心指标	改造前数值	改造后数值	变化幅度
能源利用效率	单位面积能耗 ($\text{kgce}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)	22.5	18.9	下降16.0%
	二氧化碳减排量 (万吨)	—	—	0.84
污染物减排	颗粒物排放削减量 (kg/m^2)	0.08	0.03	下降62.5%
	管网传输损耗率	12.3%	6.8%	下降44.7%
系统运行优化	故障预警准确率	65.2%	95.7%	提升30.5%
	用户温控参与率	12.1%	68.3%	提升56.2%
用户侧响应	用户满意度	78.5%	94.2%	提升15.7%

现从“粗放供热”向“按需用热”的转型。

3.3 成效验证结论

实证结果表明，构建的智慧供热节能减排评估体系具备良好的科学性与实操性，其指标选取、计算口径及评估方法能够精准量化智慧供热技术的减排成效。该180万平方米级项目的实践验证，进一步佐证了智慧供热可实现15%以上的节能率及10%以上的节电率，显著降低碳排放强度，同时提升系统运行效率与用户服务质量。评估体系对不同维度成效的差异化测算，为剥离智慧供热与其他节能措施的贡献度提供了有效路径，可为同类中大型集中供热项目的智慧化转型与成效评估提供参考范式^[5]。

4 结束语

智慧供热作为供热行业低碳转型的核心路径，其节能减排效果的科学评估是技术推广与政策落地的关键支撑。本文针对当前评估存在的指标不统一、方法适配性不足等困境，构建了涵盖节能率、节电率、碳减排量等核心指标，融合数据监测与碳排放因子法的评估体系，并通过实证分析验证了其可行性。结果表明，智慧供热可通过全流程优化与技术赋能实现显著减排，

为建筑领域“双碳”目标达成提供有效助力。未来，需进一步完善评估标准、扩大实证范围，推动智慧供热技术与评估体系深度融合，为行业绿色高质量发展提供更坚实的理论与实践支撑。

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] 齐雪.探究智慧供热助力城市节能减排[J].大众标准化,2024(11):155-157.
- [3] 关宝良,梁辰,乔梁,等.“双碳”背景下智慧供热发展与探讨[J].河南科技,2022,41(10):96-100.
- [4] 郭春梅,李家璇,贺中禄,等.智慧供热对集中供热节能减排影响的调研与分析[J].资源节约与环保,2023(07):1-4.
- [5] 陈爽.智慧供热助力城市节能减排[J].资源节约与环保,2021(07):5-6.