

集中供热系统节能技术研究

文 / 张家壮 辰鲁(山东)环境工程设计院有限公司

崔传睿 山东瑞通智胜工程技术有限公司

张成明 山东国舜建设集团有限公司

摘要: 集中供热系统作为城市供热的重要形式,其能效直接关系到能源的合理利用与环境保护。随着节能减排要求的不断提高,集中供热系统的节能技术发展显得尤为重要。通过采用高效燃烧、热能回收、自动化控制等技术,可以显著提高系统运行效率,减少能源浪费。同时,低温供热与分布式供热的应用为系统的优化提供了更多可能。尽管如此,技术实施过程中的经济性与适配性问题仍需解决。本文旨在深入探讨集中供热系统中的节能技术,分析其应用效果与面临的挑战,为未来供热系统的能效提升提供理论依据与实践指导。

关键词: 集中供热系统; 节能技术; 应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.072

引言

随着全球能源危机的加剧与环保压力的提升,节能技术的应用已成为能源行业发展的重要趋势。集中供热系统作为典型的能源消耗大户,其节能潜力在行业中备受关注。传统集中供热系统往往存在着热能浪费、能效低下等问题,需通过技术创新实现能源的高效利用。近年来,随着高效燃烧技术、热能回收技术、自动化控制技术先进技术的不断发展,集中供热系统的节能效果得到了显著改善。

一、集中供热系统节能技术的理论基础与发展

(一) 集中供热系统的构成与工作原理

集中供热系统是一种通过集中生产热能并通过热力管网输送至用户端的热力供应形式。其基本构成包括热源、热力管网、换热设备、调控系统和用户端设备。热源通常采用燃煤、燃气或可再生能源(如太阳能、地热能等)来提供热能。热能在锅炉或热电联产设备中被生产出来,并通过高温高压的蒸汽或热水形式,通过管网输送到各个用户终端。管网系统作为连接热源和用户的核心部分,需要具备良好的热损失控制和压力调节能力,以确保热量的稳定传递。换热设备则负责热量与用户供热需求之间的转换,通过换热器将输送过来的热能有效地传递给用户设备,实现供热^[1]。

(二) 绿色节能技术与可持续发展

绿色节能技术的核心目标在于通过技术创新实现能源的高效利用和资源的可持续利用。在集中供热系统中,绿色节能技术不仅强调能源消耗的最小化,还涉及减少污染排放和降低碳足迹。例如,低温热源的使用,尤其是地热能和太阳能的结合应用,已成为绿色节能技术的重要方向。通过低温热水系统进行热能供应,可以显著降低热源的能源消耗,同时减少对环境的负面影响。此外,结合可再生能源(如风能、太阳能)与热电联产技术,能够提升系统的综合效率,降低传

统化石能源的依赖。绿色节能技术的另一关键方向是智能化系统的应用,通过自动化、数字化手段对供热过程进行精确调控,以实现需求响应优化和能源使用效率的最大化。

二、主要节能技术研究与应用

(一) 高效燃烧技术

高效燃烧技术是提升集中供热系统能效的核心技术之一,主要通过优化燃烧过程以提高能源利用率,并减少污染物排放。传统的燃烧方式存在较高的热能损失和不完全燃烧现象,导致能源浪费和环境污染。高效燃烧技术通过优化燃料与空气的混合比、提高燃烧温度以及采用低氮燃烧技术,能够实现更完全的燃烧过程,减少不完全燃烧产物(如一氧化碳和氮氧化物)的排放。现代燃烧技术如超临界燃烧技术和流化床燃烧技术,利用更高的温度和压力水平,显著提升热效率。以流化床燃烧为例,其热效率可达到85%以上,相较传统燃烧方式提升约10%~15%。此外,采用低氮燃烧技术(如分级燃烧技术),能有效降低氮氧化物的排放,实现NO_x排放减少30%~50%。

(二) 热能回收与利用技术

热能回收与利用技术是提升集中供热系统整体能效的关键手段之一,旨在通过回收系统中存在的废弃热能,实现能源的最大化利用。热能回收技术主要包括烟气余热回收、废水余热回收以及地源热泵技术等。烟气余热回收技术通过在燃烧过程后安装热交换器,利用高温烟气中的热量加热进气或水流,减少外部能源需求。具体来说,烟气余热回收系统的热回收率可达到30%~40%。例如,在燃气锅炉中,采用烟气换热器将排放气体中的热量回收用于锅炉预热水或空气,显著降低了能源消耗。废水余热回收系统则通过回收排放废水中的热量,利用热交换器与供水系统进行能量交换,通常能够实现20%~25%的热能回收。地源热泵系统则利用地

下温度的稳定性，通过热交换器将地表下的低温热能转化为高效供热源，年均热效率系数（COP）可达到4~5，远超传统电加热设备的效率^[2]。主要热能回收与利用技术的热回收率及能效提升效果见表1。

表1 主要热能回收与利用技术的热回收率及能效提升效果

热能回收技术	热回收率	能效提升
烟气余热回收技术	30% ~ 40%	提升系统热效率约 10% ~ 15%
废水余热回收技术	20% ~ 25%	提升供水系统效率 10% ~ 12%
地源热泵技术	COP 4 ~ 5	系统热效率提升约 50% ~ 60%
热电联产余热回收	40% ~ 50%	提升热电联产效率 10% ~ 20%

（三）供热系统优化调度与自动化控制技术

供热系统的优化调度与自动化控制技术是提升系统整体能效的关键因素。通过对供热过程的实时监控和动态调整，可以实现供热负荷的合理分配，确保系统在各种工况下的高效运行。优化调度主要依赖于先进的算法和数据分析技术，通过对天气预报、用户需求以及系统运行状态的综合分析，动态调整热源输出和管网流量。根据某些研究，智能化调度能够提高供热系统的运行效率约15%~20%。此外，自动化控制系统通过集成传感器、控制器和执行机构，能够实现对锅炉、泵组、阀门等设备的精确调节。基于PID控制、模糊控制以及预测控制等技术，自动化系统能够实时响应系统波动，避免能源浪费。通过热负荷预测模型与实时调度系统的结合，供热系统的热效率提高了15%以上。

（四）管网节能技术

管网节能技术是集中供热系统中的一个重要组成部

分，直接影响到热量传输的效率和系统的能效水平。管网在热能传输过程中不可避免地会存在一定的热损失，这主要来自于管道的热辐射、热传导以及管网的压力损失。为了减少这些损失，管网保温技术成为首要手段。现代化的管网保温材料，如高效泡沫聚氨酯、岩棉等，能够有效降低热传导，减少热量损失。根据研究，采用高效保温材料的管网能够将热损失降低至15%以下，较传统管网系统降低了约30%的热损失。除了保温，管网压力优化也是一项重要的节能技术，通过合理设计管网的运行压力和流量，减少系统中的流动阻力和能量损失。例如，通过变频泵技术，依据实时需求调整泵的转速，从而优化水流量与压力，减少能源浪费。此外，智能管网监控系统通过实时监测管网运行状态，可以及时发现并处理管道泄漏、阀门失效等问题，进一步提高系统的运行效率^[3]。主要管网节能技术的节能效果与能效提升见表2。

表2 主要管网节能技术的节能效果与能效提升

管网节能技术	热损失减少	能效提升
高效保温材料	降低热损失 30% ~ 40%	提升能效 10% ~ 15%
压力优化控制	减少流动阻力 10% ~ 15%	提升系统热效率 5% ~ 10%
变频泵技术	减少能量消耗 15% ~ 20%	提升整体供热效率 12% ~ 15%
智能管网监控系统	提高运行效率 10% ~ 15%	提升系统稳定性 5% ~ 10%

（五）低温供热与分布式供热技术

低温供热与分布式供热技术是实现集中供热系统节能降耗的重要手段。低温供热技术通过降低供热水温至40℃~55℃，相较于传统的90℃~110℃的供热温度，显著减少了热能传输过程中的热损失，同时降低了系统运行压力。采用低温热水的供热方式，不仅能提升系统的能效，还能减少对锅炉和热源设备的能耗负担。据研究，低温供热系统的整体热效率可提高15%~20%。分布式供热技术则是通过在用户端布置小型热源系统，如燃气壁挂炉、热泵等，实现局部区域的独立供热。分布

式供热系统减少了长距离热能传输中的损耗，降低了管网建设和维护成本，并具备更灵活的调节能力。该技术能够根据用户的实际需求实时调节供热负荷，实现供热需求与热能供应的精准匹配，整体能效提升可达10%~15%。

三、节能技术的评价与挑战

（一）节能效果的评估方法

节能效果的评估方法主要通过能效比（EER）、能量利用效率（EEU）以及综合节能效益进行定量分析。能效比（EER）通常用于评价供热系统在消耗单位能源

的情况下所能提供的热量。能量利用效率（EEU）则关注系统在运作过程中的实际能量转化效率，如锅炉或热泵的热转换效率。为了全面评估节能效果，需结合生命周期分析（LCA），考虑设备运行期间的各项能源投入和节省。此外，热损失测量、负荷预测模型与实时调度系统的综合运用，也是节能评估的重要工具。通过这些方法，可以量化节能效果的优化空间，提供数据支撑，以改进技术选择与系统配置，确保节能目标的实现。

（二）节能技术的经济性分析

节能技术的经济性分析主要通过净现值（NPV）、内部收益率（IRR）和投资回收期（Payback Period）等经济指标评估技术的投资效益。净现值（NPV）通过计算技术实施过程中预期节能收益与初期投资之间的差异，判断项目的长期经济可行性。内部收益率（IRR）则衡量技术项目的收益率，与传统能源方案的对比可以直观反映技术的经济优势。投资回收期则用于评估技术在多长时间内能够通过节能效益收回初期投资。具体应用中，采用高效燃烧、余热回收等节能技术时，其初期投资可能较高，但长周期内的能源节省能够有效降低总体运营成本，带来显著的经济回报^[4]。

（三）技术实施中的挑战

节能技术在实施过程中面临多方面的挑战，其中技术适配性与成本控制是主要瓶颈。首先，许多新型节能技术需要与现有的供热设施进行兼容，改造成本较高，特别是在老旧供热系统中，技术的升级改造往往需要较大的初期投资。其次，虽然节能技术能够带来长期的节能效益，但其前期的资金投入和复杂的实施过程常常成为决策的障碍。此外，节能技术的实际效果受到外部环境因素的影响，例如气候条件和用户需求的波动，导致系统负荷的不稳定性，从而影响节能效果的达成。另一个挑战是技术的维护和运行管理，尤其是智能化控制和自动化调节系统对技术人员的专业性要求较高，缺乏技术支持将影响系统的稳定性和持续性优化。

四、未来发展趋势与建议

（一）未来节能技术的方向

未来节能技术的发展方向将主要集中在智能化、低碳化和高效化三大领域。智能化节能技术的核心在于通过大数据、人工智能（AI）和物联网（IoT）等技术的融合，实现供热系统的精确调控。智能化控制系统能够基于用户需求、天气变化及实时数据，动态调整供热量和温度，从而优化系统能效。此外，低碳技术的发展将进一步推动可再生能源的利用，如太阳能、地热能和生物质能等，作为热源替代传统化石燃料，

实现系统碳排放的显著降低。高效化技术则着重于提升热能转换效率，诸如超临界热力学循环、热电联产技术及低温热泵系统，将成为未来重要的技术方向。根据最新研究，超临界蒸汽锅炉的热效率可超过90%，而地源热泵的COP值可以达到5以上，显著提升能源利用率。

（二）政策建议与行业展望

政策支持将是未来节能技术发展的关键因素之一。首先，政府应加大对节能技术研发和应用的财政支持，特别是对创新型节能技术的补贴和激励措施。通过设立专项基金和提供税收优惠，可以促进企业的技术研发和应用推广，降低初期投资门槛。其次，政策层面应加强节能技术的标准化和法规建设，出台相关政策，鼓励行业参与绿色转型。实施更加严格的能源消耗和排放标准，推动企业不断改进和优化现有系统，以达到更高的节能减排效果。同时，行业内应加强跨领域的协作，推动能源、信息技术及制造业的融合，提升系统的智能化水平。预计到2030年，全球节能技术市场的年均增长率将达到7%~9%，其中以智能化控制和可再生能源利用为重点的技术将成为主要增长点^[5]。

结语

总而言之，集中供热系统的节能技术在提升能源利用效率、降低碳排放、推动绿色发展方面具有重要意义。通过引入高效燃烧、热能回收、自动化控制以及低温供热等先进技术，不仅可以显著降低系统运行中的能源消耗，还能够有效减少热能传输过程中的损失。随着智能化和绿色能源的逐步应用，供热系统的节能潜力将得到进一步挖掘。然而，技术的实施仍面临着经济性、技术适配性及维护管理等多重挑战，亟须政策的引导与支持。未来，节能技术将朝着更高效、智能、绿色的方向发展，为实现可持续能源管理和环境保护目标提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 苏继程, 毛明强, 王永涛, 等. 供热节能技术在集中供热系统中的应用[J]. 能源与节能, 2024, (09): 78-80+111.
- [2] 齐大全. 集中供热系统节能技术研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(06): 208-209+214.
- [3] 熊会祥. 节能技术在集中供热系统改造工程中的应用[J]. 智能建筑, 2022, (10): 84-86.
- [4] 张真真, 浦龙梅, 胡洁. 基于绿色智能的集中供热系统节能技术分析[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(10): 157-158.
- [5] 杜野. 城市集中供热系统节能技术及热力站控制系统的思考[J]. 技术与市场, 2020, 27(09): 113+115.