

建筑供暖系统水力平衡调节与节能优化

叶洋

通用技术集团沈阳机床有限责任公司，辽宁省沈阳市，110000；

摘要：本文系统探讨建筑供暖系统中水力平衡调节与节能优化的关键问题，重点分析水力失调的成因及其对系统能效与热舒适性的影响。研究详细论述了静态与动态平衡阀调节、智能控制等水力平衡方法，并从热源、管网及用户三个层面提出一系列节能策略，包括燃烧优化、分布式变频与行为引导等措施。通过理论结合实践的方式，论证了水力平衡与节能技术在提升供暖效率、降低运行能耗方面的重要作用，为建筑供热系统的绿色、高效运行提供了理论依据与技术路径。

关键词：建筑供暖系统；水力平衡调节；节能优化；供暖效率

DOI：10.64216/3080-1508.25.08.006

在我国持续推进绿色建筑与节能减排的政策背景下，建筑供暖系统的能效提升和运行优化已成为实现“双碳”目标的重要抓手。《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等政策法规明确要求强化供热系统调节能力与能源管理水平。然而，当前供暖系统仍普遍存在因水力失调导致的冷热不均、能耗过高问题，严重影响用户体验与能源利用效率。因此，开展水力平衡精准调节与系统化节能优化研究，对提升供热质量、降低运行成本、促进行业可持续发展具有迫切现实意义。本文立足于当前技术现状与政策导向，系统探索水力平衡与节能策略的融合应用，以期为建筑供热系统的提质增效和绿色转型提供有效参考。

1 建筑供暖系统水力平衡概述

1.1 水力平衡的概念与重要性

水力平衡是指在供暖系统中，各并联环路的实际流量与设计流量的比值符合一定的要求，使系统内各用户的流量能够按照设计分配，从而保证各用户的室温达到设计标准。在建筑供暖系统中，水力平衡至关重要。一方面，它直接影响室内的热舒适性。如果系统存在水力失调，部分用户会出现过热或过冷的现象，降低了用户的满意度。另一方面，水力平衡有助于提高能源利用效率。当系统实现水力平衡时，能够避免因流量分配不均而导致的能源浪费，使热源提供的热量得到充分利用^[1]。

1.2 水力失调的表现与成因

水力失调主要表现为冷热不均，部分用户室温过高，而部分用户室温过低。造成水力失调的原因是多方面的。从设计角度来看，供暖系统的设计可能存在不合理之处，如管径选择不当、环路阻力计算不准确等，导致各环路的阻力特性差异较大，难以实现流量的合理分配。施工过程中的问题也会引发水力失调，例如管道安装不规范，存在弯头过多、管径突变等情况，增加了局部阻力。此

外，系统运行过程中的调节不当，如阀门开启度不合适、水泵选型不合理等，也会破坏系统的水力平衡。

2 建筑供暖系统水力平衡调节方法

2.1 静态平衡阀调节

2.1.1 工作原理与调节机制

静态平衡阀基于阀门开度与局部阻力之间的对应关系，通过人工或工具调节阀杆位置，改变流体通路的截面积，从而实现管路阻力的精确控制。在并联环路中，通过合理设置各支路平衡阀的开度，可补偿由于管长、管径、附件等因素引起的阻力差异，使各环路达到设计流量分配。该类阀门通常具备刻度指示或测量接口，便于流量的定量调试与监测。

2.1.2 工程应用流程与技术要求

在实际应用中，静态平衡阀的调节需遵循系统化流程。首先应进行供热系统的水力计算，确定各环路的设计流量与理想阻力值；随后使用超声波流量计等专业设备测量实际工况，对比设计参数逐阀调整，最终使系统实现设计工况下的水力平衡。该过程对技术人员专业水平要求较高，需熟悉系统特性和设备性能，且宜在系统初始调试或重大改造后实施^[2]。

2.1.3 优势与适用场景

静态平衡阀结构简单、成本较低，在定流量系统中表现出良好的稳定性与重复精度，尤其适用于热源工况稳定、负荷变动较小的中小型供暖系统。其另一显著优点是不依赖外部动力，故障率低，维护便捷。

2.1.4 局限性 with 改进方向

然而，该调节方式难以适应系统动态变化。当用户调节或系统增容改造导致工况变化时，需重新进行全网调试。此外，其调节精度受阀门本身性能、安装位置及测量工具准确性的限制。当前，部分新型静态平衡阀已集成数字显示与远程传输接口，为系统信息化管理提供

了可能。

2.2 动态平衡阀调节

2.2.1 分类与工作机理

动态平衡阀主要包括动态流量平衡阀和动态压差平衡阀两种类型。动态流量平衡阀通过内部感压元件与弹簧的平衡关系,在进口压力变化时自动调整开度,维持流量恒定;动态压差平衡阀则通过控制上下游压差,为受控环路提供稳定工况。两者均可有效隔离系统压力波动对末端设备的影响。

2.2.2 技术特点与性能优势

该类阀门的核心优势在于其自适应调节能力。例如在供热系统中,若某用户关闭或调节阀门导致管网压力变化,动态平衡阀可迅速响应,避免其他用户流量受到影响,从而维持系统整体稳定性。其调节过程完全自动,无需人工干预,特别适用于系统规模大、工况复杂的项目。

2.2.3 应用中的注意事项

尽管动态平衡阀性能优越,但其内部结构较为复杂,造价显著高于普通阀门。同时,阀门前需保证一定的直管段以确保测量准确性,对安装条件提出较高要求。在水质较差的系统中,还需防范阀芯堵塞或磨损引发的调节失效,故建议配合过滤器使用并制定定期检修计划。

2.3 智能控制系统调节

2.3.1 系统架构与组成

智能控制系统通常由三部分组成:感知层包括压力、温度、流量等多种传感器,负责实时采集系统数据;传输层依托有线或无线网络将数据汇总至控制中心;决策与执行层则根据预设策略生成控制指令,驱动电动调节阀、变频水泵等设备动作,形成全系统的动态平衡调节。

2.3.2 核心功能与调节策略

系统可基于实时数据识别水力失调状况,并通过预测控制、模糊控制等算法制定调节方案。例如,通过建立用户行为模型,系统可预测未来热负荷变化,提前调整阀门开度与水泵频率,在保证舒适性的同时避免能量浪费。此外,智能系统还支持分时分区控制,针对不同建筑功能和使用时段采取差异化调节策略。

2.3.3 实施难点与发展趋势

智能控制系统的推广仍面临一些挑战,如初始投资较高、对设备兼容性和数据准确性要求严格、需专业团队进行系统设计与维护等。未来,随着边缘计算与数字孪生技术的发展,智能控制系统将更强调本地化决策与系统虚拟仿真,在提升精度的同时降低对中央处理能力的依赖,进一步增强系统的可靠性与适用性^[3]。

3 建筑供暖系统节能优化策略

3.1 热源侧节能优化

在建筑供暖系统中,热源是实现热能转换与供给的核心环节,其运行效率直接关系到能源消耗和系统整体性能。优化热源侧运行,对于实现系统节能具有基础性作用。

3.1.1 提升燃烧效率与设备升级

锅炉是供暖系统最主要的热源设备,其燃烧效率的提升尤为关键。建议选用高效低氮燃烧器,并推广使用分层燃烧、空气分级等先进燃烧技术,以实现燃料的充分燃烧,减少不完全燃烧所带来的能源损失与污染物排放。同时,应结合实际负荷需求,合理调整过量空气系数,进一步提高锅炉热效率。

3.1.2 运行参数优化与负荷适配

锅炉的运行状态需与外界气候及用户实际用热需求动态匹配。可借助气候补偿技术,依据室外温度变化自动调整供水温度,避免能源过度供应。此外,应尽量避免锅炉长期低负荷运行,可通过多台锅炉并联调控或模块化组合运行方式,使其始终处于高效工作区间。

3.1.3 能源梯级利用与多能互补

为提升能源综合利用效率,可积极引入热电联产(CHP)系统,将发电过程中产生的废热用于建筑采暖,实现能量分级使用。空气源、地源热泵等可再生能源技术的整合,也有助于降低对传统化石能源的依赖,尤其适用于过渡季节或低温供热场景,从而提高系统整体的经济性与环保性。

3.2 管网侧节能优化

3.2.1 加强管道保温与降低热损失

管道保温性能的优劣直接决定了热能输送过程中的散失程度。在选择保温材料时,应优先采用导热系数较低且耐老化性能良好的类型,如离心玻璃棉、聚氨酯泡沫等,并确保保温层连续完整、接缝密封严密,以阻断热桥效应。尤其对于使用年限较长的老旧管网,必须重点排查保温结构的破损情况,及时更换失效部分,并应特别关注阀门、法兰及接头等易被忽略的薄弱环节,从而最大程度减少无效热损失,提升输热效率。

3.2.2 优化管网布局与水力特性

科学规划管网走向,尽可能缩减主干管线距离,减少冗余弯头与管径的剧烈变化,有助于控制系统流动阻力、改善水力均衡性能。在设计初期,可运用专业水力仿真软件对不同管径配置与环路匹配进行模拟分析,提前识别高阻力区与失调风险,从设计源头规避局部压损过大和流量分配不均的问题,为系统稳定、节能运行奠定基础。

3.2.3 推广分布式变频输配技术

传统定速水泵运行往往导致供热系统处于“大流量、

小温差”的高耗能状态。引入分布式变频水泵技术，可在系统各支路或建筑入口处设置变频装置，依据实际热负荷动态调整循环水量，实现精确的“按需配送”，显著降低水泵电耗。结合智能集控系统，还可统筹调节全网压力与流量分配，进一步提升系统调节能力与能效水平。

3.2.4 加强管网维护与泄漏控制

定期执行管网巡检与泄漏监测，及时发现并修复渗漏点，既能够防止热量流失，也有助于维持系统压力稳定，保障供热连续与安全。对于投运时间较长、腐蚀或密封老化严重的管段及附件，应有计划地进行更换或升级，避免因泄漏和损坏导致能源浪费和运行故障。

3.3 用户侧节能优化

3.3.1 开展节能宣传与行为引导

针对用户开展采暖节能宣传，帮助其树立科学用热观念，培养合理设置室温、减少门窗长时间开启、离家及时调低阀门等良好习惯。可通过社区讲座、智能化提醒或能耗公示等方式，增强节能意识，引导用户主动参与能耗管理。

3.3.2 推广智能温控与计量设备

在用户散热器或回水管路加装智能温控阀，使用户能根据实际需要灵活调节室温，避免过度供热。配合热计量收费机制，将节能行为与经济效益直接关联，可使用户更加主动地参与节能，进一步提高整体能效。

3.3.3 优化散热器选型与热分配设计

散热装置的选择应统筹热工性能与家居美观，推荐采用高效换热类型，如铜铝复合或钢制板式散热器。同时，需合理确定安装位置与高度，避开家具遮挡，促进热量均匀散布，提升实际采暖舒适度与节能效果^[4]。

4 实际案例分析

4.1 案例概况

某住宅小区的供暖系统采用集中供暖方式，共有10栋居民楼。该小区在供暖初期出现了严重的水力失调问题，部分居民反映室内温度过低，而部分居民则觉得室内过热。同时，供暖系统的能耗较高，能源浪费现象严重。

4.2 水力平衡调节与节能优化措施

针对该小区的问题，首先对供暖系统进行了全面的水力平衡测试，分析了各环节的阻力特性和流量分配情况。根据测试结果，采用静态平衡阀和动态平衡阀相结合的方式，进行水力平衡调节。在热源侧，对锅炉进行了燃烧优化调整，提高了锅炉的燃烧效率。在管网侧，对部分管道进行了保温改造，并采用分布式变频系统，根

据各楼的热需求调节水泵的转速。在用户侧，安装了智能温控阀，方便用户自行调节室内温度。

4.3 效果评估

经过水力平衡调节和节能优化措施的实施，该小区的供暖效果得到了显著改善。各用户的室温更加均匀，冷热不均的现象得到了有效解决，用户的满意度明显提高。同时，供暖系统的能耗大幅降低，经统计，节能率达到了15%以上。这表明合理的水力平衡调节和节能优化措施能够有效提高建筑供暖系统的运行效率和能源利用效率。

5 结论与展望

5.1 结论

建筑供暖系统的水力平衡调节与节能优化是提高供暖系统效率、降低能耗的关键措施。通过对水力平衡的调节，可以解决系统冷热不均的问题，提高用户的热舒适性。同时，从热源侧、管网侧和用户侧采取的一系列节能优化策略，能够有效降低能源消耗，实现节能减排的目标。实际案例也证明了这些措施的有效性和可行性。

5.2 展望

未来，随着建筑行业的发展和能源政策的不断完善，建筑供暖系统的水力平衡调节与节能优化将面临更高的要求。一方面，需要进一步研发更加先进的水力平衡调节技术和节能设备，提高调节的精度和节能效果。另一方面，要加强对建筑供暖系统的综合管理，建立完善的运行监测和评估体系，及时发现和解决系统运行过程中出现的问题。同时，还需要加强对用户的节能宣传和教育，提高全社会的节能意识，共同推动建筑供暖行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 魏文军. 建筑供暖系统的节能设计[J]. 江苏建材, 2025, (03): 68-69.
- [2] 邓新华, 李侃平. 散热器供暖二次网循环流量的探讨[J]. 节能技术, 2018, 36(05): 472-475.
- [3] 张震. 室内供暖系统设计节能措施探讨[J]. 住宅与房地产, 2017, (24): 105-183.
- [4] 高长亚. 集中供热分户计量温控一体化实施方法研究与应用[D]. 山东大学, 2016.

作者简介：叶洋（1982.05—），性别：男，民族：汉，籍贯：沈阳，学历：大学本科，职称：暖通中级工程师，研究方向：暖通、热力管道、给排水、制冷。