

暖通供热系统中流体力学优化方法及其应用

林继浩

国家能源集团置业有限公司, 北京 100010

[摘要] 在传统暖通供热系统中, 流体力学问题如管道中的压力损失、热传递效率低下和能源利用不充分, 常常导致系统性能不佳。随着建筑节能标准的提升和绿色建筑的重视, 如何在确保舒适性的前提下实现更高效的能源利用, 成为亟待解决的课题。现代暖通供热系统不仅包括传统的热水和蒸汽供热, 还广泛采用复合供热模式, 这种模式结合了多种热源和传热方式, 以提高系统的整体效能。这种系统的复杂性也带来了新的挑战, 如热源的合理配置、系统的协调运行和热量的均匀分配等。因此, 流体力学优化方法在这些系统中的应用显得尤为重要, 通过优化流体流动、热传递和能效, 可以显著提升供热系统的性能和能源利用效率。

[关键词] 暖通供热系统; 流体力学优化; 能效提升

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13397

中图分类号: TU83

文献标识码: A

Method and Its Application of Fluid Dynamics Optimization in HVAC Heating System

LIN Jihao

CHN Energy Group Real Estate Co., Ltd., Beijing, 100010, China

Abstract: In traditional HVAC heating systems, fluid dynamics problems such as pressure loss in pipelines, low heat transfer efficiency, and insufficient energy utilization often lead to poor system performance. With the improvement of building energy-saving standards and the emphasis on green buildings, how to achieve more efficient energy utilization while ensuring comfort has become an urgent issue to be solved. Modern HVAC heating systems not only include traditional hot water and steam heating, but also widely adopt composite heating modes, which combine multiple heat sources and heat transfer methods to improve the overall efficiency of the system. The complexity of this system also brings new challenges, such as the rational configuration of heat sources, coordinated operation of the system, and even distribution of heat. Therefore, the application of fluid dynamics optimization methods in these systems is particularly important. By optimizing fluid flow, heat transfer, and energy efficiency, the performance and energy utilization efficiency of heating systems can be significantly improved.

Keywords: HVAC heating system; fluid dynamics optimization; energy efficiency improvement

引言

暖通供热系统作为建筑工程中的关键组成部分, 直接影响着建筑物的舒适性和能源使用效率。随着能源成本的不断上涨和环境保护要求的日益严格, 提升暖通供热系统的能效和运行效果成为了工程师和研究者的重要任务。流体力学优化方法在这一领域的应用, 提供了一种有效的手段来解决系统中的诸多挑战。通过对流体流动、热传递和能效的深入研究和优化, 能够显著提高系统的整体性能降低能源消耗, 减少环境负担。

1 流体力学在暖通供热系统中的作用

流体力学在暖通供热系统中扮演着至关重要的角色, 它直接影响系统的性能、效率和稳定性。首先, 流体力学原理帮助我们理解和优化流体在管道系统中的流动行为, 包括流速、压力损失和流体分布。这些因素决定了热量在系统中的有效传递, 从而影响供热效果。其次, 流体力学还涉及热传递机制的优化, 确保热量能够均匀而高效地从热源传递到各个终端设备, 减少热量损失, 提高系统的整体能源利用效率。此外, 合理的流体力学设计有助于降低能耗和运行成本,

改善系统的舒适性和可靠性^[1]。例如, 通过优化管道布局 and 选择合适的流体流速, 可以显著降低泵送能耗和热损失。

2 暖通供热系统中的流体力学问题

2.1 流体流动问题

在暖通供热系统中, 流体流动问题主要表现为流体在管道网络中的流速、压力损失和流动分布不均。首先, 管道系统中的流速不均可能导致热量传递效率的下降, 尤其在复杂的管网设计中, 局部流速的变化可能引起区域性过热或过冷现象, 从而影响整体系统的舒适性和稳定性。其次, 流体在管道内的压力损失是一个关键问题, 主要由管道摩擦、弯头和阀门等造成, 这种损失不仅增加了泵的负担, 还可能导致系统运行的不稳定。再者, 管道中的气泡或气体夹带会引发气蚀现象, 进一步恶化流动状况, 降低系统的传热效率。最后, 管道设计中的流动阻力分布不均可能导致局部流动死区, 这些死区不仅影响热量的均匀分配, 还可能加剧管道的腐蚀和结垢问题。因此, 解决这些流体流动问题对于提高暖通供热系统的整体性能和可靠性至关重要。

2.2 热传递问题

在暖通供热系统中,热传递问题主要集中在热量的有效分配和传递效率上。首先,热交换器中的传热效率直接影响热能的有效利用。如果热交换器设计不当或表面积不足,可能导致热量传递不充分,从而使供热效果不理想。其次,管道和设备中的热损失也是一个关键问题,尤其是在长距离传输过程中,热量通过管道壁的散失会显著降低系统的整体效率。此外,系统中存在的气泡、杂质或结垢现象会阻碍热量的有效传递,造成热传递不均或系统局部过热。最终,热负荷的动态变化可能导致热量分配的不均匀,影响系统的响应速度和舒适性。因此,如何优化热传递路径和减少热损失,是提升暖通供热系统性能的核心问题。

2.3 系统能效问题

系统能效问题在暖通供热系统中尤为关键,涉及到能源的利用效率和系统的运行成本。首先,能效的低下通常源于系统设计的不合理,如管道布置不当、设备选型不匹配等,这些问题会导致能源浪费和运行效率的降低。其次,热损失问题,例如管道绝热层的不足或热交换器的性能下降,也会显著影响系统的能效。此外,系统中的调节机制不完善,可能导致能源的过度消耗,例如在负荷变化时,系统无法精准调整输出,造成能量的浪费。最后,老旧设备的能效低下和频繁的维护需求,也是影响系统能效的重要因素。解决这些能效问题需要对系统进行全面评估与优化,以实现能源的高效利用和运行成本的最小化。

3 流体力学优化方法

3.1 流体流动优化

流体流动优化在暖通供热系统中至关重要,通过优化管道布局、控制流速和减少压力损失,以提升系统的整体性能和能效。首先,优化管道布局是流体流动优化的基础。通过合理布置管道减少不必要的弯头和分支,可以降低流动阻力,避免局部流速的剧烈变化,从而减小压力损失。管道的直径选择也应依据流体流量和流速进行优化,确保管道的流动状态尽量接近于层流而非湍流,层流条件下流体流动更为稳定且压力损失较小。流体流动优化的核心在于压力损失的最小化。根据达西-韦斯巴赫公式,管道中的压力损失(ΔP)可表示为:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

其中, f 为摩擦因子, L 为管道长度, D 为管道直径, ρ 为流体密度, v 为流速。通过优化管道直径(D)和控制流速(v),可以有效降低压力损失从而提高系统的能效。此外,流体流动优化还包括采用智能控制技术,动态调整流量和压力以适应负荷的变化。通过实时监测和反馈调整,确保系统在不同工作状态下都能维持最佳的流动条件,避免不必要的能耗和性能波动。最后,流体流动优化还需考虑系统的整体协调性,确保各个组件的工作状态协调一致。

3.2 热传递优化

热传递优化在暖通供热系统中至关重要,旨在提升热量的有效传递效率和降低热损失,从而提高系统的整体性能。优化热传递首先涉及到热交换器的设计和优化。热交换器的传热效率可以通过提高其传热面积和改善流体的流动状态来实现。根据热交换器的基本公式,传热量(Q)由以下公式给出:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (2)$$

其中, U 是总传热系数, A 是热交换器的有效传热面积, ΔT_{lm} 是对数平均温差。通过增加传热面积(A)或提升总传热系数(U),可以显著提高热交换器的传热效率。其次,优化管道的绝热设计是降低热损失的关键。管道绝热层的厚度和材料选择直接影响热量的保持。根据热传递的傅里叶定律,管道中的热损失(Q_{loss})可以表示为:

$$Q_{loss} = \frac{2 \pi k L (T_{hot} - T_{env})}{\ln \frac{r_{out}}{r_{in}}} \quad (3)$$

其中, k 是绝热材料的热导率, L 是管道长度, T_{hot} 是管道内流体的温度, T_{env} 是环境温度, r_{out} 和 r_{in} 分别是绝热层的外径和内径。通过提高绝热层的厚度或选择低导热率的材料,可以有效减少热损失。此外,流体的温度控制和热负荷分配优化也是热传递优化的重要方面^[2]。采用智能控制系统,可以实时调整热源的输出和流体的温度,以匹配实际需求,从而提高热量的利用效率。最后,系统的热量均匀分配也是优化热传递的关键因素。通过合理的管道布局和分配装置,可以确保热量均匀地分布到各个区域,避免局部过热或过冷,提升整体系统的舒适性和性能。

3.3 能效优化

能效优化在暖通供热系统中是实现节能降耗和提升系统性能的关键。能效优化的核心在于减少能源浪费,提高能源利用率,从而降低运行成本和环境影响。首先,优化系统的负荷匹配是提高能效的重要措施。通过精确计算并动态调整供热系统的热负荷,可以避免能源的过度消耗。系统的热负荷(Q)可以通过以下公式计算:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

其中, \dot{m} 是流体的质量流量, C_p 是流体的比热容, ΔT 是流体的温度变化。精确匹配负荷和调节温度,可以有效减少能源浪费。其次,提升系统设备的能效是另一关键环节。泵和风机是暖通系统中主要的能耗设备,通过优化其运行效率和选择高效设备,可以显著降低能源消耗。例如,泵的功率消耗(P)可表示为:

$$P = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{\eta} \quad (5)$$

其中, ΔP 是泵的压力提升, \dot{V} 是流量, η 是泵的效率。通过提高泵的效率 and 选择合适的运行参数,可以减少能源消耗。另外,热回收技术也是提升系统能效的重要手段。通过回收系统中的废热并重新利用,可以显著减少能

源消耗。热回收效率 (η_{rec}) 可以表示为:

$$\eta_{rec} = \frac{Q_{rec}}{Q_{waste}} \quad (6)$$

其中, Q_{rec} 是回收的热量, Q_{waste} 是废热量。有效的热回收可以将废热转化为有用热能, 降低整体能源需求。最后, 智能控制系统的应用可以实时监测和调整系统运行状态, 优化能源使用。智能控制系统通过反馈机制和数据分析, 能够精确调节设备的运行参数, 提升系统的能效。

4 流体力学优化方法在暖通供热系统中的应用

4.1 热水循环系统中的优化

在热水循环系统中, 流体力学优化旨在提升热水的传输效率和系统的整体性能。优化的关键在于减少压力损失、提高流体流动的均匀性, 并改善热量的分配。首先, 管道系统的优化设计是提高热水循环效率的基础。合理设计管道布局, 减少不必要的弯头和管道分支, 可以降低流动阻力, 减小压力损失。管道的直径选择也至关重要, 过小的管道会导致流速过高, 增加摩擦损失, 而过大的管道则会导致流速不足, 影响系统的效率。应根据流量和流速的要求, 选择合适的管道直径, 以保证流动状态尽可能接近层流, 减少湍流带来的额外能耗。其次, 泵的选型和运行调整对热水循环系统的优化有重要影响。泵的作用是克服管道中的压力损失, 保持热水的稳定流动。选择高效泵和优化其运行参数 (如流量和扬程) 可以显著降低能耗。根据泵的性能曲线, 调整泵的运行状态, 以适应不同的热负荷需求, 可以减少能源浪费^[3]。热水循环系统中的流体流动均匀性也是优化的重要方面。通过安装流量平衡阀或流量调节装置, 可以确保热水在各个循环回路中的均匀分布, 避免局部过热或过冷现象。这不仅提高了系统的热效率, 还改善了舒适性。此外, 优化系统的控制策略也是提升热水循环系统效率的关键。智能控制系统可以实时监测热水需求和系统运行状态, 根据实际情况自动调节泵的运行和阀门的开关, 确保系统在不同负荷条件下都能保持最佳的运行状态。通过预测负荷变化和调整系统参数, 可以实现更高的能效和更低的运行成本。

4.2 蒸汽供热系统中的优化

在蒸汽供热系统中, 优化措施旨在提高蒸汽的传输效率和系统的整体运行性能。首先, 优化管道设计是提升系统效能的关键。合理规划管道布局, 避免过多的弯头和 unnecessary 的分支, 能够显著减少蒸汽流动中的阻力和压力损失, 从而提高传输效率。其次, 蒸汽压力的管理至关重要, 通过精确控制蒸汽发生器的输出压力和温度, 可以确保蒸汽在传输过程中的能量得到最有效的利用, 防止因压力过高或过低造成的能量浪费。安装高效的压力调节装置和安全阀有助于在不同负荷条件下稳定系统运行, 避免能量浪费和设备损坏。此外, 优化蒸汽的分配系统也是提高整体效率的关键, 通过使用流量平衡阀和调节装置, 可以确保蒸汽在供热区域的均匀分配, 防止局部过热或过冷现象。均

衡的蒸汽分配不仅提升了系统的舒适性, 还减少了过度加热带来的能量浪费。最后, 智能控制系统的应用能够进一步优化蒸汽供热系统的运行, 实时监测和数据分析使得系统能够动态调整运行参数, 根据实际需求优化蒸汽的生成和分配。这种智能化管理不仅提高了系统的能效, 还增强了系统的稳定性和可靠性。

4.3 复合供热系统中的优化

复合供热系统结合了多种热源和传热方式, 如热水、蒸汽和空气加热等, 通过综合利用不同热源的优点来提高整体系统的效率。优化复合供热系统的目标是实现热源的最佳配置和协调运行, 从而提升能效和减少运行成本。首先, 优化热源的选择和配置至关重要, 在复合供热系统中根据不同的负荷需求和外部环境条件, 合理配置多种热源 (如锅炉、热泵和太阳能集热器), 能够最大限度地发挥各热源的优势。例如, 利用热泵在低负荷情况下运行, 结合锅炉在高负荷期间提供补充热量, 能够有效提高系统的整体能效。其次, 系统的热量分配和调节策略需要进行优化, 通过智能控制系统和自动调节装置, 可以实时监测各个热源的运行状态和需求变化, 自动调整各热源的输出功率和运行模式。这种动态调节不仅提高了热量分配的精确性, 还能减少能源浪费和系统的过度负荷。此外, 系统中的热交换器和管道布局也应经过优化设计, 优化热交换器的配置提高其传热效率, 可以有效减少热量在传输过程中的损失。合理设计管道系统, 减少热量传输中的摩擦损失和热损失, 能够提升系统的整体效能。最后, 定期维护和监测也是保持复合供热系统高效运行的关键, 通过定期检查和维修各热源设备和控制系统, 能够及时发现和解决潜在问题, 确保系统稳定、可靠地运行。

5 结语

本文探讨了流体力学优化方法在暖通供热系统中的应用, 涵盖了热水循环系统、蒸汽供热系统及复合供热系统的优化策略。通过合理设计管道布局、精确控制热源、优化热量分配及应用智能控制技术, 可以显著提升系统的能效和运行稳定性。有效的流体力学优化不仅减少了能耗和运行成本, 还改善了系统的舒适性和可靠性。未来, 随着技术的不断进步和智能化控制的普及, 暖通供热系统的优化潜力将进一步释放, 为实现更加高效和可持续的能源利用提供坚实的基础。

[参考文献]

- [1] 段献葆, 魏甜, 高伟. 流体力学拓扑优化问题的 BES0 方法[J]. 数学的实践与认识, 2024, 54(5): 121-127.
 - [2] 王晓冬, 吴虹, 张光利, 等. 计算流体力学在真空技术中的应用[J]. 真空, 2018, 55(6): 45-48.
 - [3] 周绘彤. 集中供热系统运行调节及控制模式研究[D]. 山东: 山东科技大学, 2020.
- 作者简介: 林继浩 (1984.3—), 男, 籍贯: 河北衡水。