

高层建筑给排水系统水力平衡优化与管道噪声控制策略研究

杨梓博

九易庄宸科技（集团）股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]本研究针对高层建筑给排水系统运行中存在的水力失衡与噪声污染问题，从系统设计、流体控制、声学优化等角度展开综合分析。通过对高层建筑给排水系统水力特性、噪声形成机理及控制技术的深入探讨，提出了基于分区供水、变频调速及智能监测的水力平衡优化策略，同时结合结构降噪、材料隔声与声学模拟等方法提出系统噪声控制方案。研究结果表明，科学的水力平衡调节与噪声抑制措施能够显著提高系统运行稳定性，降低能耗和环境噪声，提升建筑的综合使用性能和居住舒适度。该研究为高层建筑给排水系统的设计优化与后期运行管理提供了理论依据与实践指导。

[关键词]高层建筑；给排水系统；水力平衡；管道噪声；优化控制

DOI: 10.33142/ect.v3i10.18212

中图分类号: TU11

文献标识码: A

Research on Hydraulic Balance Optimization and Pipeline Noise Control Strategy for High-rise Building Water Supply and Drainage System

YANG Zibo

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: This study comprehensively analyzes the hydraulic imbalance and noise pollution problems in the operation of high-rise building water supply and drainage systems from the perspectives of system design, fluid control, and acoustic optimization. Through in-depth exploration of the hydraulic characteristics, noise formation mechanism, and control technology of high-rise building water supply and drainage systems, a hydraulic balance optimization strategy based on zoning water supply, variable frequency speed regulation, and intelligent monitoring is proposed. At the same time, a system noise control scheme is proposed by combining structural noise reduction, material sound insulation, and acoustic simulation methods. The research results indicate that scientific hydraulic balance regulation and noise suppression measures can significantly improve the stability of system operation, reduce energy consumption and environmental noise, and enhance the comprehensive performance and living comfort of buildings. This study provides theoretical basis and practical guidance for the design optimization and later operation management of high-rise building water supply and drainage systems.

Keywords: high-rise building; water supply and drainage system; hydraulic equilibrium; pipeline noise; optimal control

引言

随着城市空间的立体化发展，高层建筑在现代城市中占据越来越重要的地位。给排水系统作为建筑运行的“血脉”，其运行质量直接关系到建筑功能的实现和居住舒适度。由于高层建筑层数多、水压差大、管网复杂，系统在运行中常出现水压分布不均、水泵能耗高、管道噪声大等问题。尤其是在用水高峰期，水力波动与管道振动不仅影响供水稳定性，还可能导致结构损伤与噪声污染。传统的静态平衡设计和单一的噪声治理方式已难以满足现代建筑节能、舒适与智能化的要求。

近年来，随着自动控制技术、声学材料及流体模拟技

术的发展，高层建筑给排水系统的水力平衡与噪声控制研究得到了显著进展。本文从系统设计优化、动态调节机制和声学治理技术等方面入手，探讨高层建筑给排水系统的水力平衡优化思路及噪声控制策略，为提高建筑运行效率和环境质量提供可行方案。

1 高层建筑给排水系统的结构特点与运行现状

1.1 系统结构的复杂性

高层建筑给排水系统一般由生活供水、消防供水、排水与通气系统组成，其运行过程受建筑高度、用户分布和用水规律等因素影响显著。随着建筑高度的增加，系统分区供水成为普遍做法。通过设置中间水箱或加压泵组，将

建筑分为若干供水区域,以确保不同楼层的水压满足使用要求。然而,分区之间的压力协调及流量匹配成为系统运行的关键问题,一旦设计或运行不当,极易造成水力失衡。

1.2 水力失衡的典型表现

水力不平衡主要体现在:高层用水点压力不足,低层水压过高,导致用水体验不均;部分末端水龙头流量波动大,甚至出现“水锤效应”;局部管段流速过高引起能耗增加和噪声上升。这些现象不仅影响用户体验,还会造成设备磨损和水资源浪费。

1.3 噪声问题的普遍性

高层建筑的管道噪声普遍存在于厨房、卫生间及竖向管井中。其声源包括泵房机械噪声、流体振动产生的结构噪声以及水流冲击管壁的空气噪声。噪声沿管道及建筑结构传播,不仅破坏居住环境的安静性,也对建筑结构耐久性产生潜在影响。

2 水力平衡失调的成因分析

2.1 设计阶段水力计算简化

在设计阶段,若未充分考虑楼层高度差、瞬时流量变化以及同时用水系数等参数,容易造成管径设计不合理。部分设计单位为了降低造价,忽视了低区超压和高区欠压的动态变化,使得系统在运行阶段难以实现平衡。

2.2 设备参数匹配不足

当前许多高层建筑采用变频供水系统,但不同设备间的参数匹配性不足。水泵、阀门及压力传感器之间响应滞后,导致控制系统频繁启停,进而引起水压波动和流量震荡。同时,部分建筑仍沿用手动调节方式,缺乏自动化控制手段。

2.3 运行管理和维护不到位

给排水系统的水力平衡不仅取决于设计,更依赖于后期运行管理。阀门开度、管道老化、管内结垢等都会导致阻力分布变化,从而影响整体平衡。若缺乏实时监测手段,问题往往难以及时发现并调整,形成恶性循环。

3 水力平衡优化的关键策略

3.1 合理分区与管网布局优化

高层建筑供水系统的科学分区设计是确保供水安全与运行高效的关键环节。根据建筑高度及各楼层的用水分布特点,通常每隔约 60 米设置一个独立供水区,以实现压力分段控制与流量均衡。各分区之间应设置减压阀组或中间水箱,用以缓冲不同供水区间的压力差,避免因水头差异引发的水压不平衡和设备超压运行问题。中间水箱还可起到储能与调节作用,确保在高峰时段供水稳定。管道系统在设计中应尽量减少弯头、缩径和复杂交汇,以降低

局部阻力损失,使流体在管网中保持平稳流动。

3.2 应用变频恒压供水技术

变频恒压控制系统作为高层建筑供水的重要技术手段,通过实时监测管网压力变化,自动调整水泵转速,使系统压力始终保持在设定范围内。该系统利用压力传感器反馈信号,与变频控制器协同工作,根据实际用水量动态调节水泵运行状态,从而实现精准供压与持续平衡。传统供水方式在高峰与低谷时段容易出现压力波动,而变频恒压技术能够有效避免这一问题,提升供水的连续性与舒适度。该系统还减少了水泵频繁启停所带来的机械冲击与能量损耗,显著延长设备使用寿命。

3.3 动态平衡阀与智能监控系统的应用

在高层建筑给排水系统中,于系统末端或关键节点安装动态平衡阀,是实现水力平衡与流量稳定控制的有效手段。该阀门能够依据系统压差的实时变化自动调整通流量,使各分支管路的流量维持在设定范围内,避免高区出现供水不足或低区压力过大的问题,从而确保整个系统运行的均衡与高效。动态平衡阀的应用不仅减少了人工调节的复杂性,还能在系统负荷变化时实现快速响应,保持压力与流速的动态稳定。结合物联网监控技术,可在系统中布设智能传感器,对压力、流量及水温等关键参数进行实时监测,并通过云端平台实现数据分析与远程调控。监控系统能够依据实时数据自动优化运行策略,形成“监测-分析-调节”的闭环控制模式。通过动态平衡阀与智能监控系统的协同运行,建筑给排水系统实现了水力平衡的持续维持与能效的最优配置,显著提升系统的可靠性与节能水平。

4 管道噪声的形成机理与控制技术

4.1 噪声源分析

管道噪声的产生过程与流体动力学特性密切相关,其本质是流体扰动与结构振动之间的耦合作用。在高流速条件下,水流经过弯头、阀门或变径管等局部结构时,会出现速度突变与压力梯度变化,形成强烈的湍流与脉动压力。这些不稳定流动会激发管壁的周期性振动,从而产生显著的结构噪声。水流冲击弯头或阀门表面时的动能转换,也会导致局部振动增强,增加系统整体噪声水平。水泵在运行过程中由于叶轮不平衡和流体脉动,会产生连续的低频机械噪声;阀门启闭过程中的流体扰动和气泡破裂,则容易引发高频空气噪声。这两类噪声在传播过程中相互叠加,通过管壁、支架及空气路径向外辐射,形成复杂的声场分布。不同频段的噪声对人体感知与建筑声环境的影响各不相同,因此在设计阶段需结合流体特性与结构动力学规律,采取综合性降噪与隔振措施,以实现建筑给排水系统的安

静化运行目标。

4.2 结构与材料降噪措施

合理的管道布置与支撑设计是建筑给排水系统噪声控制的关键环节。在设计阶段应重视水流动力学特性,尽量避免急弯、突然缩径或不合理的管道交汇,以减少流体冲击与湍流引起的噪声。管道穿越楼板或墙体时,应设置柔性连接件与隔振支架,使振动在传递过程中得到有效衰减。泵房作为主要噪声源区域,其基础结构应采用减振设计,例如使用橡胶隔振垫或减振混凝土基础,以削弱机械振动向建筑主体的传播。对于靠近卧室、会议室等噪声敏感区域的排水立管,可选用多层复合消音管材,通过中空层与高密度材料的组合实现声能吸收与阻隔。管道外层包覆隔声棉或复合隔声毡,也能显著降低空气传播噪声。通过优化布管路径、改进支撑结构与强化隔振措施,可有效控制系统噪声源强度,提升建筑内部声环境质量,实现舒适、安静与节能的运行目标。

4.3 声学模拟与智能监测控制

通过建立流固耦合模型,对高层建筑给排水管道系统的噪声传播路径进行数值仿真,可在设计阶段精准预测噪声强度与空间分布特征,为声学优化提供科学依据。该模型能够综合考虑流体压力脉动与结构振动的相互作用,揭示噪声在管壁与支撑节点间的传递规律。结合声学优化算法,可对管道支撑间距、固定点位置以及材料参数进行智能调整,避免共振与放大效应的发生,从源头上减少噪声能量的累积。对于已投入运行的建筑系统,可在关键节点布设声压传感器,实现噪声水平的实时监测与数据记录。智能控制系统能够依据传感数据自动调节水泵运行频率或阀门开度,动态平衡水流速度与压力,降低噪声源强度并抑制振动传导。通过流固耦合仿真、声学优化设计与智能反馈控制的有机结合,建筑给排水系统实现了从被动降噪向主动控制的转变,显著提升运行的舒适性与环境质量。

5 系统协同优化与未来发展方向

5.1 水力与能耗的协同调节

水力平衡的改善在高层建筑给排水系统中具有重要意义,其优化效果与系统节能密切相关。研究表明,通过合理设计管网结构、优化水泵调速策略以及实施分区供水模式,可使系统整体能耗降低约 25%~35%。水泵变频调速控制技术能够根据实时流量与压力变化自动调整运行参数,避免过度供压与能量浪费。分区供水模式则根据建筑高度与用水特性划分压力区,确保各楼层供水均衡,减少因压力不均导致的水锤现象与设备损耗。在满足系统

压力要求的前提下,维持水流的稳定状态不仅能有效降低运行能耗,还可显著延长水泵、阀门与管网等关键设备的使用寿命。通过水力平衡调节,实现能量与流体的高效协同,使系统运行更加平稳可靠。水力优化已成为建筑给排水系统节能管理的重要方向,为实现绿色高效运行和降低维护成本提供了切实可行的技术路径。

5.2 智能化与信息化系统构建

未来高层建筑给排水系统的发展趋势将以信息化与智能化为核心,通过先进技术手段实现系统的高效运行与智慧管理。依托云平台与物联网技术,可在建筑内部布设多点传感器,对水压、水温、流量及能耗等关键参数进行实时采集与远程监控。系统能够将数据上传至云端进行集中处理,实现跨设备、跨区域的统一管理与信息互联。通过智能算法的引入,系统可对历史运行数据进行深度分析,识别用水规律与能源使用特征,从而实现精准供水与能效最优化。自学习与自适应调节机制使系统能够根据用户行为与环境变化动态调整运行参数,保持供水稳定与能源高效利用。信息化与智能化的结合不仅提高了运行效率与维护便捷性,也显著降低了水资源浪费与设备能耗,为建筑节能管理提供科学依据。高层建筑给排水系统正从传统人工控制迈向智能决策时代,推动建筑设施向智慧、绿色和可持续方向发展。

5.3 绿色与低噪节能理念的融合

随着可持续建筑理念的深入实施,绿色化与低噪化设计正逐渐成为未来给排水系统发展的核心方向。现代建筑在追求功能与舒适并重的同时,更加重视能源利用效率与环境友好特性。通过采用高效节能泵组、低噪阀门、再生能源驱动装置以及环保隔声材料,可有效降低系统运行过程中的噪声污染与能耗水平。节能型泵组通过优化水力结构与智能控制,实现流量与压力的自适应调节,减少能源浪费。低噪阀门与隔声材料的应用则显著改善管道振动与噪声传播问题,提升室内声环境的舒适度。利用太阳能或余热能驱动的再生系统,还能实现能量循环利用,体现绿色建筑的生态价值。绿色低噪给排水系统不仅提升建筑的综合环境品质,也符合“双碳”目标下节能减排的时代要求,为建筑行业向智能化、可持续化方向转型提供技术支撑与设计范式,推动绿色建筑理念的全面落实与长远发展。

6 结论

高层建筑给排水系统的水力平衡与噪声控制是影响建筑运行性能与舒适度的关键因素。本文研究表明,水力失衡主要由设计不合理、设备匹配不足和运行监控滞后引

起。通过分区供水、变频恒压控制及动态平衡阀应用,可显著改善系统稳定性和能耗表现。针对噪声问题,通过结构优化、减振隔声及声学仿真分析等综合措施,能够有效降低噪声传播,提高居住环境质量。未来,应进一步推动智能化技术与绿色节能理念在给排水系统中的深度融合,使高层建筑的运行管理更加精准、高效与环保。在智能化方面,可依托物联网、水质在线监测、智能阀控系统与数字孪生平台,实现供水压力动态调控、用水行为预测分析及排水系统风险预警,通过实时数据协同,使系统能够自动识别异常工况并进行闭环调节,从而减少能耗与运行故障。在绿色节能方面,可引入变频加压供水、雨水回收利用、中水净化回用与太阳能辅助水处理等技术,通过优化设备能效与循环利用水资源,降低建筑整体能耗水平。在系统运行层面,可构建智能管理平台,将水量、水压、水质及能耗数据统一调度,形成面向物业管理、维护人员及

用户的分级服务模式,提高系统透明度与可控性。同时,应建立绿色运行标准与节能评估机制,为建筑全生命周期的可持续运行提供量化依据。智能技术与节能理念的协同应用,将为高层建筑构筑更安全、更高效、更环保的给排水系统,进一步推动城市建筑向智慧化与低碳化方向发展。

[参考文献]

- [1]王建军,李强.高层建筑给排水系统水力平衡与节能优化研究[J].给水排水,2022(10):95-100.
- [2]陈伟,张晓明.建筑给排水系统噪声控制技术分析[J].建筑科学,2021(8):72-77.
- [3]刘志鹏,王凯.智能控制技术在高层建筑供水系统中的应用研究[J].建筑技术开发,2023(4):68-73.

作者简介:杨梓博(2000.1—),男,汉族,毕业学校:河北工程大学,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司。