

高层建筑消防给水系统设计优化研究

滕家浚

华东建筑设计研究院有限公司 上海 200200

摘要：高层建筑消防给水系统是保障消防安全的核心。当前设计存在水力计算误差、设备选型冗余、可靠性不足等问题。本文通过优化水力计算模型、解决供水压力与流量匹配难题、强化系统可靠性与冗余设计、引入智能化监控技术，并结合BIM协同设计、绿色节能、智能控制等策略，实现经济性与可靠性平衡，为高层建筑消防给水系统提供科学、高效、可持续的设计优化方案。

关键词：高层建筑；消防给水系统；设计优化

引言：城市化浪潮下，高层建筑如雨后春笋般涌现，其消防安全形势愈发严峻。消防给水系统作为高层建筑抵御火灾的关键防线，对初期火灾扑救和人员疏散至关重要。但目前部分系统在设计上存在水力计算偏差、供水压力失衡、可靠性欠佳等弊端，影响灭火效能。本文旨在深入研究高层建筑消防给水系统设计优化，以提升系统可靠性、经济性与适用性，筑牢消防安全根基。

1 高层建筑消防给水系统基础理论

1.1 消防给水系统组成与分类

高层建筑消防给水系统是保障建筑消防安全的核心设施，主要由四大关键部分构成。消防水源是系统的起点，包括市政给水、消防水池、天然水源等，需满足火灾持续供水的可靠性要求；增压设备如消防水泵、气压给水装置等，负责提升水压以克服高层建筑竖向供水阻力；管网系统由干管、立管、支管等组成，形成覆盖建筑各区域的供水网络，需具备抗腐、耐压性能；消防末端装置则是直接灭火的执行部件，常见的有消火栓、自动喷水灭火喷头。根据供水方式，系统可分为常高压、临时高压和低压消防给水系统，不同类型适用于不同建筑高度与功能需求。

1.2 高层建筑消防供水需求分析

高层建筑消防供水需精准匹配火灾应对需求，核心围绕两方面展开。（1）火灾延续时间与用水量计算，需结合建筑用途、高度确定火灾持续时长（如一类高层公共建筑通常为3小时），再依据规范计算消防用水量，确保水源储备充足；（2）水压要求与分区供水原则，因高层建筑竖向高度高，底层管网易因静压过大损坏，需按水压限值分区供水，常见分区方式包括串联分区、并联分区，保证各楼层消防末端装置水压稳定在有效灭火范围内（如消火栓栓口动压不低于0.35MPa）^[1]。

1.3 设计规范与标准解析

我国对高层建筑消防给水系统设计有严格规范约束，核心依据包括《建筑设计防火规范》（GB50016）与《消防给水及消火栓系统技术规范》（GB50974）。前者明确了不同类型高层建筑消防给水系统的设置要求，如超高层建筑需设置避难层消防给水设施；后者则细化了系统设计参数，涵盖消防水源选择、管网水力计算、设备选型标准等，为设计提供具体技术指引，确保系统符合消防安全底线。

1.4 现有设计方法的不足

当前高层建筑消防给水系统设计仍存在明显短板。（1）水力计算误差，传统计算方法未充分考虑管网局部阻力变化、水流状态波动等因素，易导致实际供水能力与设计值偏差；（2）设备选型冗余，部分设计为追求“安全系数”，过度放大水泵扬程、管网管径，造成投资浪费与能源损耗；（3）系统可靠性低，对管网维护、设备备用方案考虑不足，如单一消防水泵故障时，易出现供水中断风险，难以满足高层建筑火灾应急的高可靠性需求。

2 高层建筑消防给水系统关键问题分析

2.1 水力计算模型优化

（1）传统水力计算方法的局限性：传统方法多采用稳态计算，假设管网水流状态恒定，忽略火灾发生时水流速度变化、局部阻力系数动态调整等因素。例如，当消防泵启动瞬间，管网内水流易出现湍流，传统模型无法精准捕捉这一过程，导致计算出的管网压力、流量与实际工况偏差较大，可能造成末端装置水压不足或管网超压损坏。此外，传统方法对管网节点流量分配简化处理，未考虑不同楼层、不同防火分区同时灭火的流量叠加效应，进一步降低计算准确性^[2]。（2）动态水力模型构建与验证：动态水力模型需结合流体力学原理，引入

瞬态水流计算模块,实时模拟火灾发生时管网内压力、流量的变化过程。模型构建需采集管网实际参数,如管道材质、管径、阀门阻力特性等,通过CFD(计算流体动力学)软件建立三维仿真模型。验证阶段需结合现场测试,在建筑消防验收时,通过开启不同区域消防末端装置,监测管网关键节点压力、流量数据,与模型计算结果对比,不断修正模型参数,确保模型误差控制在5%以内,为系统设计与优化提供精准数据支撑。

2.2 供水压力与流量匹配问题

(1) 分区供水的压力平衡策略:针对分区供水的压力失衡问题,可在各分区管网设置压力调节阀,实时监测分区最不利点压力,通过阀门开度调节稳定水压。同时,采用“减压水箱+减压阀”组合方式,当串联分区供水时,在分区交界处设置减压水箱,缓冲上层供水压力,配合减压阀进一步精准控制下层管网压力,避免底层管网静压超压(通常控制静压不超过1.0MPa)。此外,通过水力计算优化分区划分,避免分区高度差过大,减少压力波动幅度。(2) 变频调速泵组的节能优化:传统恒速消防泵始终以额定转速运行,无论实际灭火需求流量大小,均消耗额定功率,能源浪费严重。变频调速泵组可根据管网实际流量需求,通过PLC控制系统调节水泵转速,实现“按需供水”。例如,火灾初期用水量较小时,降低水泵转速,减少能耗;当多个防火分区同时灭火,用水量骤增时,自动提升转速,保证供水量。同时,在泵组设计中采用“一用一备”变频泵组合,备用泵与主泵转速联动,确保流量、压力稳定,经测算,变频调速泵组相比传统泵组可节能30%~40%。

2.3 系统可靠性与冗余设计

(1) 单点故障风险分析:系统单点故障易引发整体瘫痪,如消防水泵故障会导致供水中断,管网干管破裂会造成大面积停水。需重点排查关键设备与管网薄弱环节,例如,单台消防水泵无备用时,故障风险达100%;管网焊接接口未做防腐处理,长期使用易锈蚀破裂,故障概率随使用年限逐年上升。此外,控制柜、阀门等附件若未定期维护,也可能因部件老化出现故障,影响系统正常运行。(2) 双电源、双水路保障机制:为提升可靠性,采用双电源供电,主电源为市政供电,备用电源为柴油发电机,当主电源中断时,发电机需在30秒内自动启动,保障消防水泵、控制柜等设备供电。双水路设计方面,市政给水需设置两路独立引入管,分别连接不同市政管网,确保一路管网检修或故障时,另一路可正常供水;消防水池需设置两座独立水池,通过连通管连接,且每座水池有效容积满足火灾延续时间内用水量需

求,避免单水池检修导致水源中断。

2.4 智能化监控与维护需求

物联网技术可实现消防给水系统全生命周期智能化管理。通过在管网关键节点安装压力传感器、流量传感器,在消防水泵、阀门等设备上安装状态监测模块,实时采集系统运行数据,传输至云端监控平台。平台可对数据进行分析,当出现压力异常、流量骤降、设备故障等情况时,自动发送报警信息至管理人员手机终端,实现故障快速定位与处置。此外,利用物联网技术构建设备维护档案,根据设备运行时长、工况数据,自动生成维护提醒,如消防水泵每运行200小时需进行润滑保养,平台可提前7天推送维护任务,避免因人工巡检遗漏导致设备故障,提升系统运维效率与可靠性。

3 高层建筑消防给水系统设计优化策略

3.1 基于BIM技术的协同设计优化

(1) 三维建模与管网冲突检测:借助BIM技术构建高层建筑消防给水系统三维模型,可整合建筑、结构、机电等多专业设计数据,将消防管网与给排水、电气管线等进行可视化叠加。在建模过程中,通过参数化设计明确管道管径、走向、阀门位置及设备安装尺寸,利用碰撞检测功能自动识别管网与梁、柱、其他管线的空间冲突。例如,当消防立管与强电桥架路径重叠时,系统可实时标记冲突位置并计算偏差距离,设计师无需等到施工阶段再调整方案,有效减少现场返工,经实践验证,该技术可使管网冲突问题解决率提升80%以上,显著缩短设计周期^[3]。(2) 施工模拟与成本优化:基于BIM三维模型开展施工模拟,按照实际施工流程模拟管网安装顺序,提前规划施工机械进场路线、作业空间及人员分工,避免交叉作业混乱。同时,将模型与工程量清单关联,自动统计管道长度、阀门数量、设备规格等数据,精准计算材料用量与施工成本。例如,在超高层建筑消防管网施工模拟中,可通过优化管道分段安装顺序,减少高空作业时间,降低人工成本;针对不同管径管道的采购方案,结合模型数据对比不同供应商报价,选择性价比最优的材料,整体可实现施工成本降低10%~15%。

3.2 绿色节能设计

(1) 太阳能辅助供水系统:在高层建筑屋顶设置太阳能集热板与储热水箱,将太阳能转化为热能加热水箱内的消防备用水,同时搭配太阳能光伏板为消防水泵的辅助设备(如控制柜、液位传感器)供电。在非火灾工况下,太阳能系统可维持消防水箱水温稳定,减少冬季水箱结冰风险;火灾发生时,若市政供电中断,光伏系统可临时为应急设备供电,延长系统应急运行时间。该

系统可降低消防给水系统对传统能源的依赖,经测算,年耗电量可减少20%~30%,且符合国家绿色建筑评价标准。(2)雨水收集与再利用技术:在高层建筑周边设置雨水收集池、沉淀池与过滤装置,收集屋顶、路面的雨水,经处理达标后储存至消防水池,作为消防备用水源。设计时需根据建筑所在地的降雨强度、屋面面积计算雨水收集量,确保雨水补充量满足消防水池容积的15%~20%。同时,在雨水管网与消防管网之间设置单向阀,防止雨水倒灌污染消防水源。该技术不仅可减少市政给水的依赖,降低水资源消耗,还能缓解城市排水压力,具有显著的环境与经济效益。

3.3 智能控制与动态调节

(1)压力传感器与变频泵联动控制:在消防管网各分区最不利点、水泵出口处安装高精度压力传感器,实时采集管网压力数据并传输至智能控制柜。当管网压力低于设定阈值(如消火栓栓口动压0.35MPa)时,控制柜自动调节变频泵转速,提升供水压力;当压力高于上限值时,降低转速或切换至备用小功率泵,避免管网超压。此外,通过压力传感器监测数据,可自动判断管网是否存在泄漏,若压力持续下降且无消防末端装置开启信号,立即发出泄漏报警,实现系统压力的动态精准控制,保障供水稳定性的同时减少能源浪费。(2)火灾工况下的动态流量分配:结合建筑火灾风险评估结果,在智能控制系统中预设不同防火分区的火灾流量需求。当火灾发生时,通过火灾自动报警系统定位着火区域,智能控制柜根据预设方案,自动调节对应分区管网的阀门开度与变频泵输出流量,优先保障着火分区的消防用水。例如,当高层建筑某楼层发生火灾时,系统可瞬间将该分区的供水流量提升至设计值,同时适当限制非着火分区的流量,避免管网总流量过载。此外,若多个分区同时发生火灾,系统可根据火灾严重程度动态分配流量,确保关键区域灭火需求得到满足^[4]。

3.4 经济性与可靠性平衡设计

(1)生命周期成本分析(LCCA):在消防给水系统设计阶段,引入生命周期成本分析方法,综合计算系统从设计、施工、运行到维护、报废的全周期成本。不

仅考虑初始投资(如设备采购、管网铺设费用),还需纳入运行能耗、维护费用、设备更换成本等长期支出。例如,虽然变频泵初始投资比传统恒速泵高20%,但通过LCCA分析可知,其运行阶段的节能效益可在3~5年内收回成本,且全生命周期成本比传统泵低30%以上。通过LCCA可避免单纯追求低价导致的后期高维护成本,实现系统经济性与可靠性的长期平衡。(2)关键设备选型优化(如消防泵、稳压装置):消防泵选型需结合管网水力计算结果,选择流量、扬程与系统需求匹配的型号,避免因扬程过大导致能耗增加或扬程不足影响供水。优先选择高效节能的消防泵,其效率应不低于80%,且具备良好的抗气蚀性能。稳压装置选型需根据系统稳压压力要求,选择隔膜式气压罐与稳压泵组合设备,确保稳压泵启停次数控制在每小时10次以内,延长设备使用寿命。同时,关键设备需选择具备3C认证、市场口碑良好的品牌,且预留一定的性能余量(如水泵流量余量10%),在保证可靠性的前提下,避免过度冗余造成的投资浪费。

结束语

高层建筑消防给水系统设计优化是保障消防安全、减少火灾损失的关键环节。本文通过剖析现有设计不足,针对性提出水力计算模型优化、动态压力流量匹配、智能化监控等创新策略,有效提升了系统的可靠性、节能性与运维效率。未来,随着新技术不断涌现,还需持续探索更精准、绿色的设计方法,推动高层建筑消防给水系统向智能化、可持续化方向发展,为城市消防安全筑牢坚实屏障。

参考文献

- [1]吴亚群.高层建筑生活供水系统节能与优化研究[J].水上安全,2024,(07):69-71.
- [2]惠翔.高层建筑消防给水系统设计分析[J].消防界(电子版),2020,(12):113-114.
- [3]王晔.高层建筑给排水和消防给水系统的设计探讨[J].居舍,2020,(05):61-62.
- [4]刘庭强.高层建筑消防给水系统设计分析[J].科技创新与应用,2020,(10):98-99.