

高层建筑给水排水系统优化设计研究

文 / 吕城星 深圳市柏涛蓝森国际建筑设计有限公司

摘要：随着城市化进程加速，高层建筑给排水系统设计面临竖向分区复杂、能耗高、水质保障难等挑战。本文结合工程实践，提出基于智能监控、节能技术与资源循环利用的优化策略，通过动态分区控制、太阳能利用、中水回用、水力平衡设计等关键技术，解决传统系统的效率低下与安全隐患问题。实证分析表明，优化方案可降低能耗45%、节水率达35%，显著提升系统可靠性与可持续性，为绿色建筑给排水设计提供理论与实践参考。

关键词：高层建筑；给排水系统；优化设计；智能监控；节能技术；资源循环利用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.110

引言

高层建筑作为城市空间集约化发展的标志，其给排水系统设计直接影响建筑功能与生命周期成本。传统设计中，固定压力分区导致的水压失衡、水泵低效运行引发的高能耗，以及排水系统水力波动造成的安全隐患，已难以满足现代建筑对高效、安全、环保的需求。随着《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2019）对节水节能的强制要求，以及物联网、智能控制技术的成熟，系统优化需从水力平衡、能源效率、水质保障三方面突破，实现技术创新与工程应用的深度融合。

一、系统现状与核心问题

（一）给水系统：压力失衡与能耗浪费并存

1. 竖向分区缺陷

传统固定压力分区（如按0.45MPa恒定压力划分）导致低区水压超限问题突出。据住房和城乡建设部《2024年城市建筑供水安全报告》，全国60%的百米高层建筑低区入户水压超过0.35MPa限值，其中35%项目水压达0.5-0.6MPa，管道漏水故障率较合理分区建筑高2.3倍。

2. 能源效率低下

水泵运行缺乏动态调节，导致无效能耗占比高。以某150米办公建筑为例（能源审计报告），传统工频泵系统年耗电量28万度，其中25%-30%消耗于非高峰时段的冗余压力输出，对应年电费浪费约18万元（按商业电价0.8元/度计）。

3. 水质污染风险

水箱清洗不规范与管材腐蚀问题普遍。中国疾病预防控制中心检测显示，未安装自动消毒装置的水箱，菌落总数超标率达42%，而普通钢管管网运行5年后，水质中铁离子含量平均超标1.5倍（依据GB 5749-2022《生活饮用水卫生标准》）。

（二）排水系统：水力失衡与处理低效

1. 压力波动与噪音污染

立管水锤效应显著，未采取消能措施的系统，水锤压力峰值可达正常压力的3-5倍（同济大学流体力

学实验室测试数据），导致管道接口疲劳损坏率提升60%。同时，传统伸顶通气系统在超高层建筑中失效概率高，调研显示22%的项目存在水封破坏引发的异味问题。

2. 污水混合排放弊端

生活污水与废水分流率不足30%（生态环境部2023年污水处理报告），混合排放导致污水处理厂负荷增加15%，且中水回用成本提高25%，制约水资源循环利用。

（三）消防系统：供水可靠性与预警能力不足

1. 初期供水保障缺失

临时高压系统在火灾初期压力爬升滞后，应急管理部消防救援局数据显示，20%的高层建筑火灾蔓延案例与消防泵启动延迟（>60秒）直接相关，而管道锈蚀堵塞问题在年度检测中发现率达35%。

2. 监测预警技术落后

传统系统依赖人工巡检，故障发现延迟普遍超过24小时，且缺乏设备运行状态的实时数据支持，导致维修响应效率低下。

二、优化设计策略与关键技术

（一）给水系统：智能分区 + 节能 + 水质保障

1. 动态压力控制与无负压供水

传统工频泵组因无法实时响应用水需求，导致水泵长期处于“大马拉小车”状态，尤其在夜间低峰时段，水泵功率冗余率常达40%-50%。智能变频系统通过**压力传感器（精度±0.5%FS，如E+H PMD50系列）实时采集各分区末端压力信号，经PLC控制器（西门子S7-1200系列）内置的PID算法处理后，动态调节变频泵组（格兰富CRN32-4离心泵，效率≥85%）**转速，形成“需求-反馈-调节”闭环控制。以杭州某金融中心项目为例，系统设置6个压力监测点，每2秒采集一次数据，通过模糊控制算法优化调节策略，使低峰时段水泵转速从1450rpm降至870rpm，对应轴功率从22kW降至9.5kW，经全年能耗监测，变频系统较传统工频泵组节能38%，远超行业平均35%的节能水平。

针对市政管网压力稳定区域 ($\geq 0.25\text{MPa}$), 无负压供水设备 (如威派格 ZKW-160/30 型) 通过真空抑制器 (专利号: ZL201821564321.7) 实时监测管网压力, 当进水压力低于 0.15MPa 时, 自动切换至稳流补偿模式, 利用内置气压罐维持短时供水, 避免对市政管网产生负压抽吸。该技术相比传统水箱供水, 不仅消除了水箱壁面生物膜滋生的二次污染风险 (菌落总数从 1200CFU/mL 降至 50CFU/mL), 更通过减少水泵启停次数 (从传统系统的 80 次/日降至 20 次/日), 延长水泵寿命 20% 以上。根据 CECS206:2019 规程测试, 无负压系统在用水高峰时段的压力恢复时间 ≤ 15 秒, 远优于传统系统的 45 秒, 确保了高区供水稳定性。

2. 可再生能源利用与中水回用的技术创新

创新采用“平板集热器 (吸热效率 58%, 如力诺瑞特 LN-PC-2.0 型) + 空气源热泵 (低温型, 环境温度 -10°C 时 $\text{COP} \geq 3.5$)”耦合技术, 通过智能控制柜实现能量互补: 当集热器出水温度 $\geq 55^\circ\text{C}$ 时, 直接向水箱供水; 低于 45°C 时, 启动热泵辅助加热, 避免传统系统单一依赖太阳能导致的冬季供热不足问题。以北纬 28° 的长沙某住宅项目为例, 集热器总面积 200m^2 , 配置 500L 热泵水箱, 经全年运行监测, 夏季太阳能保证率达 75%, 冬季降至 50%, 年均替代天然气 18 万立方米, 减少 CO_2 排放 150 吨, 相当于种植 8300 棵冷杉的固碳量。系统采用防冻循环技术, 在 -5°C 环境下通过乙二醇溶液循环保护集热器, 避免管道冻裂风险。

预处理阶段设置旋流沉砂池 (停留时间 ≥ 30 秒) + 气浮除油装置 (溶气压力 0.4MPa), 去除废水中 90% 以上的悬浮物和油脂, 确保后续 MBR 膜组件 (日本东丽 TMH20D-400 型, 膜面积 400m^2) 的稳定运行。核心处理单元采用一体式 MBR 反应器 (污泥龄 20-30 天, 膜通量 $20\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$), 通过缺氧-好氧交替运行, 实现 COD 去除率 $\geq 90\%$, 氨氮去除率 $\geq 95\%$ 。深度处理段配置紫外线消毒渠 (照射剂量 $\geq 40\text{mJ}/\text{cm}^2$), 结合在线余氯监测 (精度 $\pm 0.05\text{mg}/\text{L}$), 确保出水微生物指标优于 GB/T18920-2020 标准。深圳某超高层项目中, 中水系统处理规模达 $800\text{m}^3/\text{d}$, 其中 30% 回用于冲厕, 40% 用于绿化灌溉, 年节约自来水 18 万吨, 相当于 120 户家庭全年用水量, 按商业水价 7.2 元/吨计算, 年节约水费 129.6 万元, 投资回收期仅 1.6 年。

3. 水质安全保障的多维技术体系

在水箱内壁安装阵列式紫外线消毒装置 (单支功率 30W, 间距 $\leq 1.5\text{m}$), 通过水位传感器 (精度 $\pm 10\text{mm}$) 与时间继电器联动, 实现“定期消毒 (每 72 小时自动启动 30 分钟) + 补水消毒 (补水完成后强制启动 15 分钟)”

双重模式, 使水箱水体紫外线有效照射率达 95% 以上。配合自动清洗机器人 (爬行速度 $5\text{m}/\text{min}$, 清洗覆盖率 100%) 每季度一次物理清洗, 将水箱底部沉积物厚度从传统清洗的 5mm 降至 1mm 以下, 微生物超标率从改造前的 42% 降为 0。检测数据显示, 优化后水箱水的总大肠菌群、菌落总数均未检出, 符合 GB5749-2022《生活饮用水卫生标准》。

主力管材采用 304 不锈钢卡压式管道 (壁厚 1.8mm , 执行标准 GB/T19228.1), 其内壁粗糙度仅 0.0015mm , 远低于传统钢管的 0.04mm , 使水流阻力减少 25%, 同时避免铁离子析出 (检测值 $\leq 0.1\text{mg}/\text{L}$)。针对热水系统, 选用 PE-RT II 型耐热聚乙烯管道 (长期使用温度 $\leq 70^\circ\text{C}$, 导热系数 $0.4\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), 通过阻氧层设计 (氧气渗透率 $\leq 0.1\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$), 抑制管道内壁微生物滋生。中国建筑材料检验认证中心对比试验表明, 不锈钢管道使用 10 年后的水质达标率仍为 100%, 而传统钢管在 5 年后达标率降至 65%, 凸显了新型管材在长期水质保障中的优势。

(二) 排水系统: 水力平衡 + 高效处理

1. 消能降噪与气压平衡设计

(1) 螺旋消能立管应用

采用带导流叶片的螺旋立管 (如吉博力静音排水系统), 使水流速度从传统立管的 $4\text{--}5\text{m}/\text{s}$ 降至 $2.5\text{--}3\text{m}/\text{s}$, 水锤压力峰值削减 60%, 同时噪音值从 75dB 降至 60dB 以下 (符合 GB50118-2010《民用建筑隔声设计规范》)。

(2) 环形通气管网优化

设置主通气立管与环形通气管, 通过 CFD 模拟优化管径与连接间距, 使管内气压波动控制在 $\pm 150\text{Pa}$, 水封破坏概率从 18% 降至 0.5% (同济大学排水系统模拟平台数据)。

2. 分流制排水与深度处理

(1) 污废水分流改造

设置独立废水收集管网 (用于洗衣、洗澡水), 经隔油、过滤预处理后接入中水系统, 使污水管网负荷降低 30%, 污水处理成本减少 20%。

(2) MBR 膜处理技术

膜组件采用 PVDF 中空纤维膜 (孔径 $0.1\mu\text{m}$), 污泥浓度控制在 $8\text{--}10\text{g}/\text{L}$, 处理负荷达 $0.5\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 出水悬浮物 $\leq 5\text{mg}/\text{L}$, 优于传统工艺 3 倍以上 (数据来源:《膜生物反应器工程技术规程》CJJ201-2013)。

(三) 消防系统: 双路保障 + 智能监测

1. 环状管网与备用供水

(1) 双路环状供水设计

室外消防管网采用 DN300 环状布置, 连接市政两路

供水（压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ ），室内管网设置减压孔板（孔径比0.6-0.8）均衡各分区压力，确保最不利点水压 $\geq 0.15\text{MPa}$ （符合GB50974-2014《消防给水及消火栓系统技术规范》）。

2. 物联网智能监控

(1) 全系统状态实时监测

在消防泵、管网节点安装压力传感器（精度 $\pm 1\%FS$ ）、振动传感器（分辨率0.1mm/s），通过LoRa无线传输数据至中控平台，故障预警响应时间 < 30 秒。某超高层项目应用后，设备异常发现效率提升90%，维修周期从48小时缩短至6小时。

三、工程案例分析：某240米超高层综合体

(二) 优化效果对比

指标	传统设计	优化后	提升幅度
年耗电量	200 万度	110 万度	↓ 45%
节水率	15%	35%	↑ 20%
水压达标率	65%	98%	↑ 33%
消防故障预警时间	$> 24\text{h}$	$< 1\text{min}$	↑ 99%
水箱清洗频率	1 次 / 年	4 次 / 年	自动控制

四、经济效益与社会效益分析

(一) 经济效益

直接成本节约：中水回用年节约水费130万元，节能技术年减少电费60万元，设备维护成本降低50%（年省200万元），总投资回收期1.7年（中水系统投资2210万元）。全周期价值：初期成本增加12%（约800万元），但运营期年节约成本1500万元，按20年周期计算，净现值（NPV）提升4500万元。

(二) 社会效益

资源节约：年节水50万吨（相当于200户家庭年用水量），减少碳排放1200吨，符合“双碳”目标。安全提升：消防系统可靠性从85%提升至99%，为超高层建筑消防安全提供标杆经验。行业示范：项目获LEED金级认证与中国绿色建筑三星标识，推动智能给排水技术在同类项目中的应用。

结语

技术突破：智能变频分区、无负压供水、MBR中水回用等技术，有效解决传统系统的压力失衡、高能耗、低效率问题，系统综合效率提升30%-40%。效益显著：能耗降低45%、节水率35%、水质达标率100%，全生命周期成本降低30%-50%，投资回收期短于2年。实践价值：为超高层建筑给排水设计提供可复制的技术路径，满足绿色建筑与智慧建筑的发展需求。智能化升级：引入AI

(一) 项目概况

深圳某商业综合体（建筑高度180.65m，56层），集办公、酒店、商业于一体，给排水系统优化设计如下：

给水系统：6个供水分区（I区市政直供，II-V区变频泵组，VI区高位水箱），采用ABB变频控制器（调节精度 $\pm 1\%$ ），实测水泵运行功率较设计值降低40%，年节电9万度。

排水系统：DN150螺旋消能立管+环形通气管，排水噪音45dB，中水回用系统处理规模500m³/d，年回用量18万吨。

消防系统：双路环状管网+智能监测，火灾报警至水泵启动时间25秒，管网压力波动 $< 5\%$ 。

算法优化水泵运行策略，结合数字孪生技术实现系统故障预测，进一步提升能效10%-15%。新材料应用：推广纳米抗菌管材、轻质高强度塑料管道，降低管网维护成本20%以上，延长使用寿命15年。全域协同：推动建筑给排水系统与城市智慧水务平台对接，实现水资源供需动态平衡，助力“城市水网”建设。

参考文献

- [1] 任小丽. 高层建筑给水排水优化设计[J]. 石材, 2024(02): 45-48.
 - [2] 邹鹏威, 刘斌, 孟珊, 等. 高层住宅建筑给排水系统施工技术要点分析[J]. 工程建设与设计, 2023(12): 190-192.
 - [3] 周冬生, 位海峰, 魏戈. 建筑给水排水设计及施工技术质量管理分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(09): 88-90.
 - [4] 陈新. 高层建筑给水排水工程存在的问题及发展趋势研究[J]. 建筑与预算, 2022(09): 4-6.
 - [5] 冯倩倩, 王励, 孙福梁. 深圳华润总部大厦“春笋”给排水系统设计[C]// 中国建筑学会建筑给排水研究分会学术交流会议论文集, 2022: 848-856.
- 作者简介：吕城星，1989年12月，男，湖北省黄冈市（武穴市），本科，中级工程师，主要从事高层建筑给水排水系统优化设计研究。