

## 高层建筑给排水管网水力计算优化及防回流技术应用

赵青琳

石家庄市万成民用建筑设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]高层建筑给排水系统因管网结构复杂，用水点多，建筑高度大等典型特点，其给水排水系统在水力工况的稳定性维持以及用水安全性面临严峻挑战。水力计算偏差极易导致管网压力分布失衡，增加系统能耗，而回流污染现象的发生对饮用水安全造成直接影响。鉴于此，文章研究对高层给排水管网水力计算的核心难点进行了深入的剖析，并在此基础上提出基于EPANET 软件耦合动态节点流量模型的水力计算优化方法，同时也对防回流技术的类型进行系统的梳理，为实际工程的应用提供有力的指导。研究结果显示经优化后的水力计算方法应用效果显著，可以有效控制管网压力偏差，降低能耗，合理的选用防回流装置，可以杜绝回流污染现象的发生。文中所开展的研究可以为高层建筑给排水系统的设计与安全运行提供坚实的技术支撑。

[关键词]高层建筑；给排水管网；水力计算优化；EPANET 模拟；防回流技术；回流污染控制

DOI: 10.33142/aem.v7i12.18653

中图分类号: TU7

文献标识码: A

## Optimization of Hydraulic Calculation and Application of Backflow Prevention Technology for High-rise Building Water Supply and Drainage Pipeline Network

ZHAO Qinglin

Shijiazhuang Wancheng Civil Architecture Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The water supply and drainage system of high-rise buildings faces severe challenges in maintaining hydraulic stability and ensuring water safety due to its complex pipe network structure, multiple water points, and large building height. Hydraulic calculation deviation can easily lead to imbalanced pressure distribution in the pipeline network, increase system energy consumption, and the occurrence of backflow pollution has a direct impact on drinking water safety. In view of this, the article deeply analyzes the core difficulties in hydraulic calculation of high-rise water supply and drainage pipelines, and proposes a hydraulic calculation optimization method based on EPANET software coupled with dynamic node flow model. At the same time, the types of backflow prevention technologies are systematically sorted out, providing strong guidance for practical engineering applications. The research results show that the optimized hydraulic calculation method has significant application effects, which can effectively control the pressure deviation of the pipeline network, reduce energy consumption, and reasonably select anti reflux devices to prevent the occurrence of reflux pollution. The research conducted in the article can provide solid technical support for the design and safe operation of water supply and drainage systems in high-rise buildings.

**Keywords:** high-rise buildings; water supply and drainage pipeline network; hydraulic calculation optimization; EPANET simulation; anti reflux technology; reflux pollution control

### 引言

伴随着城市化进程的加快，高层建筑已经成为城市建设的主流趋势，伴随着建筑高度的增加，需要多级分区设计管网，进而导致各区域间的静水压差异较为明显，容易导致高、低层水压不均衡的问题出现，对不同楼层用户的正常用水体验造成了严重的影响<sup>[1]</sup>。此外，高层建筑内用水点分布较为密集，并且用水时间段高度集中，增加了水力工况的复杂性。在高层建筑给排水系统领域中，管道布置呈现出紧凑的特点，局部阻力损失占比高，传统计算方法难以实现精准的计算，导致计算结果偏差较大，从而导致水泵能耗居高不下，影响管网运行的稳定性，甚至会导致管道破损<sup>[2]</sup>。与此同时，回流污染是高层建筑给排水系统重大安全隐患，管网负压或压力失衡时，非饮用水可

能回流至生活饮用水管网，引发群体性用水事故。近年来国内外多起回流污染致饮用水污染事件，对居民的身体健康与生命安全造成严重的威胁。目前，高层建筑给排水管网水力计算研究多为单一工况静态计算，忽略节点流量动态变化，导致计算结果与实际工况情况存在很大的偏差。防回流技术应用存在选型不合理、安装不规范等问题。因此，本文聚焦高层建筑给排水管网水力计算与防回流技术应用开展系统性研究，以提出兼顾经济性与安全性的方案，填补研究空白。

### 1 高层建筑给排水管网水力计算现状与难点

#### 1.1 水力计算现状

当前高层建筑给排水管网水力计算主要采用《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)推荐的节点流量法，

即根据用水定额和人数计算设计秒流量，再通过管段流量平衡方程和能量方程求解管网压力与流速。该方法具有计算简便、适用性广的特点，在低层建筑设计中应用成熟，但在高层建筑中存在明显局限性：一是设计秒流量计算基于静态平均工况，未考虑不同时段（如早高峰、晚高峰、夜间低谷）的用水流量波动；二是对局部阻力损失的计算多采用经验系数估算，精度较低；三是未考虑竖向分区之间的水力耦合作用，难以精准反映管网整体水力工况。

## 1.2 核心计算难点

高层建筑不同功能区用水时段差异大，节点流量波动强。传统静态计算用固定设计秒流量，难以精准的捕捉变化，易致管网设计不合理。此外，高层建筑管网因空间受限，管道变化多<sup>[3]</sup>。传统经验系数估算误差大，影响计算精度。高层建筑竖向分区供水，分区间靠设备连接，水力工况相互影响。传统独立计算各分区，忽略耦合作用，整体水力预测偏差大。

## 2 高层建筑给排水管网水力计算优化方法

### 2.1 优化思路

针对传统水力计算短板，本文提出“动态流量预测+精准阻力计算+全管网耦合模拟”思路：基于用水监测数据建动态节点流量模型以精准预测流量；经管道水力试验得管件局部阻力系数提升计算精度；用 EPANET 软件建全管网模型实现分区耦合模拟精准求解水力参数。

### 2.2 动态节点流量模型构建

动态节点流量模型依建筑功能分区用水特性，以时间为变量构建。首先安装智能水表对高层建筑各功能区连续 72h 监测得小时流量数据，再用 K-means 聚类算法分类数据识别用水峰、谷、平时段；最后基于聚类结果建各节点流量随时间变化的拟合模型，表达式如下：

$$Q_i(t) = a_i \cdot \sin(b_i t + c_i) + d_i \quad (1)$$

式中： $Q_i(t)$  是第  $i$  个节点在时刻  $t$  的流量 ( $m^3/h$ )； $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为拟合参数，利用最小二乘法根据监测数据求出。

### 2.3 精准阻力损失计算

阻力损失包含沿程及局部阻力损失，对于沿程阻力损失，采用采用达西-魏斯巴赫公式计算：

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

式中： $h_f$  为沿程阻力损失 (m)； $\lambda$  为沿程阻力系数，由科尓布鲁克公式求解； $L$  为管段长度 (m)； $D$  为管道内径 (m)； $v$  为管内流速 (m/s)； $g$  为重力加速度 ( $m/s^2$ )。

局部阻力损失采用局部阻力系数法计算：

$$h_j = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

式中， $h$  表示局部阻力损失 (m)， $\zeta$  是局部阻力系数。

为更精准计算，本文通过管道水力试验，测得高层建筑常用管件（如 90° 弯头等）的局部阻力系数，如表 1 所示。

表 1 常用管件局部阻力系数实测结果对比

管件类型	公称直径 (mm)	实测局部阻力系数 $\zeta$	传统经验系数 $\zeta$	误差 (%)
90°光滑弯头	50	0.65	0.75	13.3
90°光滑弯头	100	0.52	0.60	15.4
三通（分流）	80	1.23	1.50	18.0
减压阀	150	2.85	3.50	18.6

### 2.4 基于 EPANET 的全管网耦合模拟

利用 EPANET 构建高层建筑给排水全管网水力模型步骤：

- ①拓扑构建，依施工图在软件中绘制元件，输入管段基础参数；
- ②动态流量加载，导入动态节点流量模型，设节点流量边界条件；
- ③阻力参数设置，输入实测的沿程和局部阻力系数；
- ④耦合模拟求解，设模拟时长 72h、步长 1h，求解水力参数。

全管网耦合模拟能直观呈现不同时段水力工况，找出问题管段，为优化设计提供依据。

## 3 防回流技术类型及应用选型

### 3.1 防回流技术核心原理

防回流技术的核心原理主要是通过借助水力机制或者物理手段阻断非饮用水向生活饮用水管网的回流通道，以免发生交叉污染的情况。以回流的类型差异主要分为两种情形，一种是虹吸回流，另一种是背压回流。防回流装置可细分为密封型、减压型以及阻断型，通过将回流路径快速的切断，以此为居民的生活饮用水安全提供保障。

### 3.2 主要防回流技术类型及特性

常用防回流技术有空气隔断、真空破坏器、倒流防止器等，其工作原理、适用场景及优缺点详见表 2。

### 3.3 防回流技术选型策略

防回流技术的选型需要考虑管网的压力状况，回流风险等级以及安装空间条件等。针对污水处理间、化工企业、医院等高回流风险的区域，建议选用密封型或减压型倒流防止器。真空破坏器主要应用于绿化灌、成面雨水管等虹吸回流风险的场景中，可以有效控制成本。对于水箱溢流等回流风险较低，且安装空间充足的场景，主要应用于空气隔断。在二次供水系统、消防水系统与饮用水管网的衔接部位建议使用减压型倒流防止器，并按既定周期对其密封性能开展专业检测。防回流装置安装要求要远离振动源，倒流防止器装于回流污染源上游；空气隔断间隙  $\geq$  管道直径 2.5 倍且  $\geq 25\text{mm}$ ；真空破坏器装于管道最高点。

表 2 主要防回流技术类型及特性对比

防回流技术类型	工作原理	适用场景	优点	缺点
空气隔断	利用空气作为隔断介质，使生活饮用水管道与非饮用水容器之间保持一定的空气间隙	水箱溢流管、卫生器具排水口、污水提升设备接口	结构简单、成本低、无能耗、防回流效果可靠	占用空间大、需定期检查空气间隙是否被堵塞
真空破坏器	当管网出现负压时，自动开启进气阀引入空气，破坏虹吸效应，阻断虹吸引流	热水供应系统、屋面雨水管与饮用水管连接点、绿化灌溉用水接口	体积小、安装方便、响应速度快、成本较低	仅能防止虹吸引流，无法阻断背压回流；需定期维护进气阀
减压型倒流防止器	采用双止回阀结构，中间设置减压腔，当出现回流趋势时，减压腔压力降低，触发阀门关闭，阻断回流	消防水系统与饮用水管网连接点、工业用水与生活用水接口、二次供水加压设备出口	可同时防止虹吸引流和背压回流；防回流效果稳定	成本较高、存在一定水头损失、需定期校验双止回阀密封性
密封型倒流防止器	通过弹性密封件实现阀门的严密关闭，在管网压力波动时保持密封状态，阻断回流	高污染风险区域（如医院污水系统、化工企业用水接口）	密封性能好、防污染等级高	成本高、维护难度大、水头损失较大

## 4 工程案例验证

### 4.1 工程概况

某高层综合体集住宅、办公、商业于一体，地下两层、地上多楼层，分商业、办公、住宅区域。给排水系统竖向分区供水，低区由市政管网直供，中区采用变频加压泵供水，高区采用高位水箱+加压泵供水。管网采用 PPR 管，本次研究针对中、高区给排水管网开展水力计算优化，并在关键节点配置防回流装置。

### 4.2 水力计算优化实施

首先，对商业、办公、住宅区域进行 72h 用水流量监测，建立动态节点流量模型；其次，实测常用管件局部阻力系数，用 EPANET 软件构建全管网耦合模型；最后，经模拟求解不同时段水力参数，识别出原设计存在压力过高和不足的管段。

针对这些问题优化调整管网：

- ① 对压力过高管段扩径；
- ② 调整压力不足管段处变频加压泵运行参数以优化供水曲线；
- ③ 合理布置减压阀平衡分区压力。

根据工程回流风险评估，在关键节点配置防回流装置：

- ① 消防水系统与生活饮用水管网连接处装减压型倒流防止器<sup>[4]</sup>；
- ② 屋面雨水回收系统与绿化灌溉用水接口装真空破坏器；
- ③ 高位水箱溢流管与排水管道连接处设空气隔断；
- ④ 商业区域厨房污水提升设备与饮用水管邻近接口装密封型倒流防止器。

为验证效果，开展回流模拟试验：消防水系统压力高于生活饮用水管网时，倒流防止器快速关闭，无回流；屋面雨水管出现负压，真空破坏器自动进气，阻断虹吸引流。

工程实施后对管网运行工况结果显示：水力计算优化使各关键节点压力偏差控制在合理范围，满足设计要求；

管网运行能耗降低，年节约电费可观；防回流装置运行稳定，未出现回流污染；高层供水不足与低层水压过高问题得到彻底解决，用户用水满意度提升。

## 5 建筑工程给排水系统管网布局优化策略

### 5.1 优化设计方法

基于拓扑优化的管网布局：拓扑优化是一种新型的结构优化方法，它通过对结构的拓扑形式进行优化，以达到减轻结构重量、提高结构性能等目的。将拓扑优化方法应用于建筑工程给排水管网布局，以管网的总投资、水头损失、可靠性等为目标函数，通过优化管网的拓扑结构，确定最优的管道连接方式和布局形式。多目标优化方法：建筑工程给排水系统管网布局的优化往往涉及多个目标，如经济性、水力性能、可靠性等。采用多目标优化方法，如加权法、模糊综合评价法等，将多个目标进行综合考虑，通过对不同目标赋予不同的权重，得到满足不同需求的最优布局方案<sup>[5]</sup>。例如，在一个住宅小区的给排水管网设计中，对于经济较为紧张的开发商，可以适当提高经济性目标的权重，优先考虑降低建设成本；而对于对居住品质要求较高的小区，则可以提高水力性能和可靠性目标的权重，确保居民用水的舒适性和稳定性。

### 5.2 新技术应用

物联网技术在管网监测与优化中的应用：利用物联网技术，在给排水管网中安装各种传感器，如压力传感器、流量传感器、水质传感器等，实时采集管网的运行数据。通过对这些数据的分析和处理，及时发现管网中的故障和异常情况，如管道漏水、水压异常等，并采取相应的措施进行修复和调整。同时，根据实时监测的数据，对管网的运行进行优化调度，如合理调整水泵的运行频率和台数，实现节能降耗。BIM 技术在管网设计与布局中的应用：BIM（建筑信息模型）技术具有可视化、协同性、模拟性等特点，在建筑工程给排水系统管网设计与布局中具有广阔的应用前景。通过建立三维的 BIM 模型，可以直观地展示管网的布局情况，方便设计人员进行方

案的讨论和优化。同时，利用 BIM 模型的模拟功能，可以对管网在不同工况下的运行情况进行模拟分析，提前发现潜在的问题，如管道碰撞、水力失调等，并及时进行调整。

## 6 结论

城市给排水管网改造不仅是技术更新，更是城市管理理念的革新。给排水管网改造需要我们兼顾经济效益、环境效益和社会效益，本文针对高层建筑给排水管网水力计算与防回流技术应用开展研究，结论如下：“动态节点流量预测+精准阻力损失计算+全管网耦合模拟”的水力计算优化方法可提高计算精度、降低运行能耗；不同防回流技术适用场景不同，基于相关因素的选型策略能平衡防回流效果与经济性，减压型倒流防止器适用于高风险场景，工程案例验证，优化计算方法与合理应用防回流技术可保障管网稳定高效安全运行。

## 【参考文献】

- [1] 张琳明. 城镇老旧小区给排水改造中的问题及解决措施 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(13):219-221.
- [2] 刘旭晔, 由和璧, 陈泓光, 等. 城镇老旧小区给排水改造优化策略研究 [J]. 建设科技, 2022, 12(22):41-43.
- [3] 曲振军, 邸文正. 基于多目标优化算法的市政给排水管网改造模型 [J]. 工程建设与设计, 2022, 11(8):36-38.
- [4] 张慧, 秦玥, 杨娟. 市政工程给排水管网改造设计分析 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(21):182-184.
- [5] 张亮. 城市给排水管网的现状及建设改造方案探讨 [J]. 门窗, 2023(2):223-225.

作者简介：赵青琳（1993.7—），毕业院校：唐山学院，所学专业：建筑环境与设备工程，当前就职单位：石家庄市万成民用建筑设计有限公司，职务：给排水设计，职称级别：工程师。