

Study on optimal water transmission mode and coordinated optimization of pipe network zoning in municipal water supply and drainage system

Fei Han Rui Wang Hao Cai

East China Branch of China International Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

The water conveyance mode and pipeline zoning design of municipal water supply and drainage systems are core aspects that ensure efficient water resource allocation and system safety. This paper systematically analyzes the applicable scenarios and selection criteria for gravity flow, pressure flow, and composite conveyance modes, and proposes innovative solutions for challenging tasks such as river-crossing pipelines, long-distance conveyance, and water conveyance in mountainous areas with complex terrain. Additionally, it explores optimization paths for pipeline zoning from aspects like precise control of water supply zones, drainage zone planning, integration of intelligent water-saving systems, and three-dimensional pipeline modeling. Research shows that optimizing the water conveyance mode based on topographical characteristics and water supply needs, along with the application of multi-dimensional pipeline zoning strategies, can significantly enhance system operational efficiency, reduce energy consumption, and improve water quality stability.

Keywords

municipal water supply and drainage; water transmission mode optimization; pipe network zoning strategy; energy saving and consumption reduction

市政给排水系统输水模式优选与管网分区协同优化研究

韩飞 王瑞 蔡浩

中机国际工程设计研究院有限责任公司华东分院, 中国·江苏 南京 210000

摘要

市政给排水系统的输水模式与管网分区设计是保障水资源高效分配和系统安全运行的核心环节。本文结合重力流、压力流及复合输水模式的技术特征, 系统分析其适用场景与选择依据, 并针对输水管线跨河工程、长距离输水及山区复杂地形输水等难点提出创新解决方案。同时, 从供水分区精细化控制、排水分区规划、智能节水系统集成、三维管网建模等方面探讨管网分区的优化路径。研究表明, 基于地形特征与供水需求的输水模式优选, 以及多维度管网分区策略的应用, 可显著提升系统运行效率, 降低能耗并改善水质稳定性。

关键词

市政给排水; 输水模式优选; 管网分区策略; 节能降耗

1 引言

在现代市政给排水系统普遍采用重力流、压力流及复合输水模式。工程实践表明, 单一输水模式难以适应复杂地形、水文地质及城市空间约束条件。本文通过系统分析输水方式选择策略与管网分区优化方法, 提出基于多因素协同的设计框架, 为提升城市水系统效能提供理论支撑。

2 输水与管网分区的协同价值

市政给排水系统的输配模式优选与管网分区设计构成

水务工程的核心技术体系, 对于水资源的科学管理与高效利用至关重要, 它能够有效规避系统运行中的资源浪费与过度损耗, 保障系统的稳定与安全运行。通过重力流、压力流及复合输水模式的协同配置, 可建立地形适配型输配网络, 实现水力平衡与能耗优化。管网分区通过压力梯度调控, 保障供水管网末梢压力稳定性, 预防水锤效应及二次污染风险。城市化进程加速背景下, 科学分区管理能有效应对管网拓扑结构复杂化趋势, 提升系统运行可靠性^[1]。

3 系统设计的技术框架

目前, 市政给排水设计主要涵盖给水系统与排水系统两大领域, 其具体设计内容如下所述^[2]。

【作者简介】韩飞(1995-), 男, 中国山东德州人, 硕士, 从事市政给排水研究。

3.1 给水系统设计

在市政给水系统设计中,必须确保用户用水需求的持续满足,向居住社区及建筑业稳定提供足量且优质的供水。给水工程设计需遵循分级供水理念,根据建筑高度梯度设置压力分区。采用防回流装置与水质在线监测系统,确保饮用水安全。通过实地勘察建立水力模型,结合管材特性与泵站能效比,优化输配体系的空间拓扑结构。

3.2 排水系统设计

城市排水系统实行雨污分流制,通过地形分析确定重力排水主干线路^[2]。针对地势低洼区域,配置智能泵站实现压力流输配。排水管网设计优先采用管廊综合布置,通过水力计算确定管径坡度,保障暴雨重现期内的排放能力。特殊地质区域应用柔性接口管材,预防地基沉降引发的管道破裂。

4 输水系统设计技术体系

市政给排水工程的输水模式优选需构建多维度决策框架,涵盖地形适配、水力平衡与经济可行性评估。通过重力流、压力流及复合模式的协同配置,实现系统能效优化^[3]。

4.1 输水方式的决策机制

输水系统设计需基于供水现状解析与需求分析,重点考量输水距离、高程差等关键参数。设计原则应优先发挥重力输水优势,通过路径优化与水力坡降控制实现自然流态输配。管径选择应依据经济流速准则,确保输水量与管径规格的匹配性。针对地形突变区域(高差 $\geq 15\%$),须设置压力调节设施(如减压井、能量消能器)保障系统稳定性。设计方案须统筹市政规划协调性及经济可行性,构建技术经济性均衡的输配水体系。

4.2 输水管线跨河工程

输水管线跨河方案主要分为架空过河与河底敷设两类。架空方案包含跨桥敷设与专用管桥两种形式:跨桥敷设具有施工便捷、经济性强的优势,但需着重处理管道防冻、抗老化及遮阳防护;管桥方案适用于无公路依托的狭窄河道,虽施工难度较低但需投入较多资源,要求两岸具备稳定地质条件。河底敷设普遍采用倒虹吸工艺,实施中需重点提升管网输送效率,设计人员应系统总结既有工程经验,在确保管线功能性的同时,统筹考虑后期维护便利性,结合水文地质特征选择合理穿越方案,实现工程实用性与耐久性的统一。

4.3 长距离输水优化路径

长距离输水设计需统筹三大核心要素:输水路径规划、输水模式选择及输水构筑物配置。设计过程中应建立多维评价体系,综合考量输水距离、地形地貌、环境约束及技术经济指标,运用现代工程技术进行多方案比选。重点从地形适应性、建设成本、用地效率及投资效益等维度优化方案,确保输水系统兼具运行高效性与工程经济性,全面提升城市供水网络的综合效能。

4.4 山区输水系统构建

山区输水设计需重点应对复杂地形挑战,设计前期应开展精细化地形测绘。当地形高差显著时,优先采用节能高效的重力输水方案,并在管网关键节点设置减压阀组控制系统压力。对于高差悬殊的特殊地形,宜采用分级压力输水系统,通过多级泵站与压力管的组合设计,既保证输水稳定性,又可有效降低单级系统运行风险。同时应建立动态监测机制,确保不同高程区段的水力工况协调。

5 市政给排水设计中的输水方式选择要点

在市政给排水工程设计中,输水方式的选择直接影响水资源利用效率与工程安全,需建立多维度决策体系。基于地形高程特征,优先采用自流输水以降低能耗,当地形条件受限时则切换至压力输水系统;对于地质稳定但不宜开挖区域,可采用顶管、定向钻等非开挖工艺实施地下压力输水。方案优选需构建综合评价模型,从输水安全、施工周期、工艺匹配、全周期成本四大核心维度开展技术经济比选,通过层次分析法量化评估各方案优先级。水力要素控制方面,需结合水力学计算与地形坡度分析,精准校核管径-流速-水压的动态平衡关系,同步评估泥沙输移效应对管材选型的影响。此外,应建立用水需求预测模型,动态分析区域用水负荷变化趋势,将水力计算结果与经济性指标进行耦合分析,最终确定兼顾技术可行性与运营效益的输水方案^[4]。

6 市政给排水设计中的管网分区设计

6.1 供水分区精细化控制

市政供水网络覆盖区域的界定策略,需以保障其实操可行性为核心,运用定制化、科学化的区域划分逻辑。市政供水分区设计应建立动态监测与调控机制,基于供水高程梯度和输水半径实施水力分析,采用分级压力控制技术优化管网布局。通过实时监测系统跟踪压力波动与渗漏隐患,结合分区计量管理有效控制漏损风险。重点优化进水点分布密度,配置水质在线监测装置防控二次污染,保障饮用水安全。针对既有管网系统,完善分压设施并强化安全监测功能,提升供水系统的整体可靠性^[5]。

6.2 排水分区规划

排水系统设计遵循重力优先原则,通过水力模型优化管网拓扑结构。合理匹配管径、坡度与流速参数,确保管道自净能力并防止淤积。采用流体力学技术验证排水口消能效果,重点区域通过集成化设计减少埋深。建立管网沉积物动态监测体系,制定差异化维护策略,避免管道倒坡及水力异常现象,同时确保建筑结构安全距离符合规范要求。

排水区域规划应遵循管网短捷、埋深浅化的原则,以确保最大范围的雨污水得以自然排放,雨水顺畅汇入河道,污水自流入入污水处理设施。不当的排水分区将诱发管道淤积、管径过剩、管道埋深过大,并可能危及邻近建筑结构安全。

6.3 智能节水系统集成

在市政给排水系统升级过程中,工程设计人员应积极引入自动化节水设备,重点在管网关键节点部署智能控制系统^[6]。采用基于物联网的渗漏监测技术,通过压力传感与流量平衡分析构建渗漏预警体系,可将管网漏损率降低30%-50%。新型设备需集成自适应调控模块,依据实时用水数据动态优化供水压力与流量分配,同步配置管道自修复材料以提升防渗性能。智能节水系统应具备用水量可视化监测功能,通过大数据分析识别异常用水模式,为管网运维提供精准决策支持,实现水资源消耗的全过程管控。

6.4 三维管网模型设计

市政给排水管网设计的空间结构化模型,核心展现于BIM技术的管网建模应用。市政工程专家需采纳协同BIM策略,以全面融合管网分区设计的各项要素。针对管网供排水过程中潜在的滞流问题,应严格规避,并优化管网布局的整体策略。市政给排水基础设施需全面融入市政管网的科学布局范畴,以切实改进水资源配置模式。给排水安全保障的核心措施,应聚焦于管网系统的适应性构建与运营。针对三维管网BIM模型在创新改造中的应用,技术优化的核心路径在于管网结构的碰撞检测,以此有效预防管线冲突的安全隐患,确保给排水管网各区域运行的可靠性^[6]。

构建BIM分区设计模型以优化管网体系结构时,需综合考量管网碰撞检测与构筑物仿真建模。通过立体构建工程构筑物、特殊井及管线设备的动态仿真模型,能更客观地分析实时供排水方案的技术短板,进而实现分区管网给排水设计的精准优化。应科学划分给排水系统管网的改造区段,及时修复存在重大安全隐患的管网部分。管道分区设计的基础设施需体系化完善,以将排水分区的创新布局全面融入给排水设备的安全使用中。对于给排水的大体积市政工程管道,应明确区分为雨水管道与污水管道,避免混淆,确保管道系统的规范运行。市政给排水分区设计之BIM模型,如图1所示。

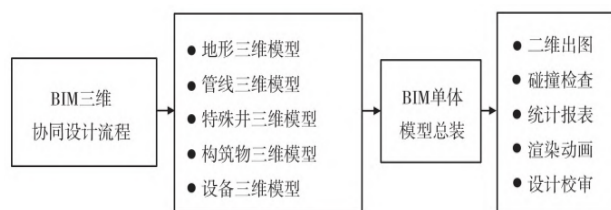


图1 市政给排水管网分区设计的BIM模型

7 结论

市政给排水系统的效能优化依托于输水方式的科学决策与管网分区的协同设计。本文通过对市政给排水系统中重力流、压力流及其复合输水模式的分析,强调根据具体地形、水文地质条件和用户需求进行合理设计的重要性。基于BIM技术的三维管网建模可实现管线碰撞预警与水力平衡分析,有效优化系统可靠性。总而言之,市政给排水系统的输水模式优选需以地形适配为核心,管网分区则需兼顾技术可行性与经济性。

参考文献

- [1] 路二梅.市政给排水管网的优化配置分析[J].石河子科技,2025,(02):39-41.
- [2] 周雪松.建筑给排水常见液位控制故障分析[J].建筑科技,2025,9(03):65-67.
- [3] 郭进军,林月雯,易尚栋,等.临江海产交易建筑给排水设计特点[J].给水排水,2025,61(01):101-107.
- [4] 费艳林.应急避难场所给排水设计探讨[J].给水排水,2024,60(S1):255-258.
- [5] 王蔚蔚,刘云帆,等.我国城镇给排水行业标准现状及国际标准采标探讨[J].中国给水排水,2024,40(16):55-59.
- [6] 赵靖.基于绿色建筑理念的给排水设计与技术研究——评《给排水安全节能、节水——应用技术及实施方案》[J].人民黄河,2024,46(08):165.