

城市供水管网优化设计与水力模拟分析方法简介

蒋怀德

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司 上海 200092

摘要: 城市供水管网作为城市基础设施的关键部分,其设计与运行状况关乎城市的正常运转与居民的生活质量。本文先阐述城市供水管网对保障居民用水、支撑经济发展、维护社会稳定、保护生态环境的重要性。接着介绍优化设计方法,包括基于遗传算法、多目标、智能算法及考虑不确定性的设计。然后说明水力模拟分析,涵盖模型构建、参数确定、不同工况分析。最后指出水力模拟结果在设计阶段可优化管径布局,在改造阶段可评估方案,在管理阶段可实时监测,为城市供水管网高效稳定运行提供保障。

关键词: 城市;供水管网;优化设计;水力模拟;分析

引言

城市供水管网作为城市基础设施的核心组成部分,承担着保障居民用水、支撑经济发展、维护社会稳定及保护生态环境等多重关键职能。然而,随着城市化进程的加速,供水管网面临着日益复杂的挑战,包括用水需求增长、不确定性因素增多以及运行效率要求提升等。本文围绕城市供水管网的优化设计与水力模拟分析展开探讨,详细介绍了供水管网的重要性、多种优化设计方法、水力模拟模型的构建与参数确定,以及不同工况下的模拟分析,旨在为城市供水管网的高效、稳定运行提供科学依据与决策支持。

1 城市供水管网的重要性

(1) 保障居民用水需求是城市供水管网最基础且重要的功能,它作为城市输水关键通道,将清洁水源稳定输送至每家每户,满足居民饮用、烹饪、洗漱、清洁等基本生活用水需要。居民日常从清晨到夜晚的各类用水活动,都依赖供水管网提供稳定水量与水压。一旦供水管网出现爆管、漏水等故障,居民正常生活将受到直接影响,用水困难会降低生活质量,尤其在夏季用水高峰期,供水不足问题更为突出。(2) 城市供水管网对城市经济发展起到重要支撑作用,工业企业生产过程中,冷却水、工艺用水等都依赖供水管网供应,稳定的供水保障了工业生产正常运转。商业场所如酒店、餐厅、商场等的日常运营同样离不开稳定供水。而且,完善的供水管网系统能增强城市投资吸引力,促进产业升级与经济发展。具备良好供水条件的城市,能为新兴产业营造良好发展环境,吸引企业入驻,推动经济增长。(3) 稳定可靠的供水管网是维护城市社会稳定的重要因素,水是生命必需资源,大面积停水会引发居民不满与恐慌,破坏社会和谐稳定。在自然灾害、突发事件等特殊时期,

供水管网正常运行对保障居民基本生活和救援工作开展至关重要。如地震发生后,供水管网尽快恢复供水,能为受灾居民提供生活保障,增强社会凝聚力与稳定性。(4) 城市供水管网合理设计与运行对保护城市生态环境意义重大,优化供水管网设计可减少水资源浪费,提高利用效率,缓解城市水资源短缺状况^[1]。同时,良好的供水管网系统能避免污水外溢等环境问题,降低对土壤、水体等生态环境的污染。通过先进漏水检测技术与管网修复方法,及时修复漏水点、降低漏损率,可有效保护城市水资源环境。

2 城市供水管网优化设计方法

2.1 基于遗传算法的优化设计

城市供水管网优化设计可采用基于遗传算法的方法,遗传算法是模拟自然选择与遗传机制的优化算法,具有全局搜索能力强、适用于复杂问题求解的特性。在该优化设计中,将管网的管径、管材、节点压力等参数视为基因,通过遗传算法的迭代运算来探寻最优管网设计方案。具体流程为:先确定优化目标与约束条件,如最小化管网造价、保证节点压力达标等;接着生成初始种群,即随机产生一组管网设计方案;随后计算每个个体的适应度值,依据优化目标评估方案优劣;再经选择、交叉、变异等操作生成新一代种群;最后经过多次迭代,直至满足终止条件,得出最优管网设计方案。之所以选择基于遗传算法进行优化设计,是因为城市供水管网设计涉及众多变量和复杂条件,传统方法难以全面考量,而遗传算法凭借其全局搜索能力,能在广阔的设计空间中搜索,避免陷入局部最优解,找到全局最优解,有效提升管网设计的科学性与合理性,为城市供水管网的高效、稳定运行提供坚实保障。

2.2 多目标优化设计方法

城市供水管网优化设计通常涉及多个目标,包括最

小化管网造价、最大化供水可靠性以及最小化漏损率等。多目标优化设计方法能够同时对这些目标进行考量，从而找出一组最优的折中解。在多目标优化设计领域，常用的算法有非支配排序遗传算法（NSGA-Ⅱ）和多目标粒子群优化算法等，其中非支配排序遗传算法（NSGA-Ⅱ）通过非支配排序和拥挤度计算来挑选优秀个体，以此保持种群多样性，避免陷入局部最优解^[2]。进行多目标优化设计时，需要确定各个目标的权重，权重大小反映了目标的重要程度，合理设置权重可得到契合实际需求的管网设计方案，毕竟不同目标在实际中的重要程度有差异，如在水资源紧张地区，降低漏损率可能比单纯追求造价最低更重要，通过权重调整能让设计方案更贴合实际。多目标优化设计方法优势显著，城市供水管网设计是复杂的系统工程，涉及经济、技术、环境等多个维度，该方法能综合考量多方面因素，使管网设计更全面合理，提高城市供水管网的整体性能和运行效率。

2.3 基于智能优化算法的管径优化

城市供水管网管径优化除遗传算法外，模拟退火算法、蚁群算法等智能优化算法也能发挥重要作用。模拟退火算法模拟金属退火过程，靠控制温度参数避免陷入局部最优解，逐步探寻全局最优解，应用于管径优化时将管径组合视为状态，持续调整管径降低目标函数值，优化中温度参数关键，高温能接受较差解，温度降低则聚焦优质解，最终获得较优管径组合；蚁群算法模拟蚂蚁觅食行为，借蚂蚁间信息交流找最优路径，在管径优化中蚂蚁代表不同管径组合，信息素浓度体现其优劣，蚂蚁依据信息素浓度选路径并释放信息素，信息素随时间挥发，经多次迭代信息素浓度高的路径对应的管径组合更优。这些智能优化算法各具优势，能从不同角度优化管径，突破传统方法局限，有效解决管径优化问题，降低管网造价、提升供水可靠性，让城市供水管网在经济性和可靠性上实现更好平衡。

2.4 考虑不确定性的优化设计

城市供水管网在实际运行中会面临诸多不确定性因素，包括用水量波动、管材性能变化以及难以预料的自然灾害等。为提升管网的适应性与鲁棒性，考虑这些不确定性的优化设计十分必要。一种常用方式是采用随机规划或模糊规划方法，将不确定性因素以随机变量或模糊变量表示，并据此构建相应的优化模型。当用水量不确定时，可将其看作随机变量，利用概率分布描述其不确定性特征，进而构建以管网造价和供水可靠性为目标的随机优化模型。此模型会综合考量不同用水量情景下各类因素对管网的影响，借助特定求解算法得出不同用

水量情景下的最优管网设计方案^[3]。这种考虑不确定性的优化设计意义非凡，城市供水管网是城市基础设施的关键部分，其稳定运行关乎居民日常生活与城市正常运转，通过这种优化设计，管网能更好地应对实际运行中的各种变化，保障供水稳定性和可靠性，为城市可持续发展提供坚实支撑。

3 城市供水管网的水力模拟分析

3.1 水力模拟模型构建

城市供水管网进行水力模拟分析时，构建准确的水力模型至关重要，常见的水力模型包含宏观、微观和混合三种类型。宏观模型基于管网水力平衡原理，将管网简化为若干节点与管段，通过建立节点流量方程和管段压降方程来展现管网水力特性，其计算相对简便，适用于大规模管网的初步分析与规划，能快速呈现管网整体大致的水力状况；微观模型充分考虑管网详细的拓扑结构以及管段的水力特性，可更精准地模拟管网水流情况，捕捉管网中细微的水力变化，为深入分析管网运行提供详细依据，不过计算量较大；混合模型融合了宏观与微观模型的优点，把管网划分成不同区域，对关键区域运用微观模型详细模拟以获取精确水力信息，对其他区域采用宏观模型简化模拟，在保证一定精度的同时减少计算量。无论构建何种水力模型，都需收集管网拓扑结构、管段参数、节点高程等基础数据，这些数据是模型准确性的基础保障，只有数据准确可靠，构建出的水力模型才能真实反映城市供水管网的水力状况。

3.2 水力模拟参数确定

水力模拟参数的准确性对模拟结果可靠性有决定性影响，主要参数包括管段粗糙系数和节点用水量模式等。管段粗糙系数反映管壁粗糙程度对水流阻力的影响，不同管材的粗糙系数不同，由于管壁粗糙程度不同会使水流通过时受到的摩擦阻力有差异，所以实际应用中需借助实验或参照相关标准确定该系数，以确保模拟更贴近实际。节点用水量模式用于描述节点在不同时间的用水量变化，一般用时变化系数和日变化系数表示，时变化系数反映一天内不同时段用水量波动，如用水高峰与低谷的差异，日变化系数反映一周内不同日期用水量变化，如工作日和周末用水量可能不同^[4]。合理确定这些参数意义重大，准确把握管段粗糙系数才能精确计算水流在管段中的阻力损失，清晰地了解节点用水量模式才能准确模拟管网不同时段的水力状态，进而有效提高水力模拟准确性，为城市供水管网的设计、优化和日常管理提供可靠依据，保障管网安全稳定运行。

3.3 不同工况下的水力模拟分析

城市供水管网因所处状况不同导致水力特性存在差异,所以有必要开展多种工况下的水力模拟分析,常见工况包含正常工况、事故工况和消防工况。正常工况下,对管网进行水力模拟分析时,着重关注水流分布、节点压力以及水头损失等情况,依据模拟结果评估管网运行性能,判断其是否处于良好运行状态、能否满足日常供水需求,以此为管网日常维护和稳定运行提供基础数据。事故工况模拟分析管网遭遇爆管、漏水等突发事件时的水流变化,明确事故发生后水流走向、压力变化等信息,确定事故影响范围,进而为事故抢修制定合理方案、为应急调度提供科学指导,最大程度降低事故对供水的影响。消防工况模拟分析管网在消防用水时的供水能力,考虑到火灾发生时用水量且集中的特点,通过模拟确保管网能提供足够水量和压力以满足消防用水需求,保障消防工作顺利开展。不同工况下的水力模拟分析可全面呈现管网运行状况,发现如某些区域压力不足、管网布局不合理等潜在问题,为管网优化设计和管理提供有力决策支持,提升管网运行的安全性与可靠性。

3.4 水力模拟结果的应用

水力模拟结果在城市供水管网的设计、改造与管理中有着极为广泛的应用。在设计阶段,借助水力模拟可对管网布局和管径选择进行优化,依据模拟结果能清晰地掌握不同布局与管径组合下管网的水力特性,保证管网在正常、事故、消防等各类工况下均可满足供水要求,避免出现供水不足或压力异常等问题,还能在确保性能的同时降低管网造价,达成经济效益与供水需求的平衡^[5]。进入改造阶段,水力模拟能够对多种改造方案进行效果评估,通过对比各方案下管网的水流分布、节点压力、水头损失等参数,从中挑选出最优方案,以此提高管网

的运行效率和可靠性,减少改造的盲目性,降低改造成本与风险。在管理阶段,水力模拟可实时监测管网的运行状态,借助持续的模拟分析,能及时发现管网中潜在的问题,如部分区域压力异常、水流不畅等,预测管网可能出现的故障并提前制定应对措施,再根据模拟结果及时对管网进行调整和维修,保障供水的稳定性与安全性,确保城市供水系统正常运行,满足居民和企业的用水需求。

结语

综上所述,城市供水管网的优化设计与水力模拟分析是保障城市供水安全、稳定、高效运行的关键环节。通过运用遗传算法、多目标优化、智能优化算法等先进设计方法,结合考虑不确定性的优化设计,可显著提升管网设计的科学性与合理性。同时,构建准确的水力模型、合理确定模拟参数,并开展不同工况下的水力模拟分析,能够全面呈现管网运行状况,为管网的设计、改造与管理提供有力决策支持。未来,应继续深化相关研究与应用,推动城市供水管网向更加智能化、精细化的方向发展。

参考文献

- [1]张芳.城市市政给水管网优化技术措施研究[J].科学技术创新,2026(1):166-169.
- [2]陈建栋.市政工程给排水管网改造设计关键技术要素分析[J].建材发展导向,2026,24(3):40-42.
- [3]赵晓丹.海绵城市理念下市政给排水管网设计优化分析[J].城市开发,2025(7):112-114.
- [4]李婷,杨曜宇.城市给水管网系统的优化设计与漏损控制技术研究[J].水上安全,2025(15):57-59.
- [5]骆泽旭,童超祯,韩冰,等.基于动态水力模型的城市供水管网智能评估系统[J].净水技术,2025,44(S2):213-219+227.