

# 城市内涝背景下市政排水管网优化布局与水力特性分析

秦立力

湖北省高速公路实业开发有限公司

**摘要:** 针对城市极端降雨下管网水力失效、内涝频发问题,本文以湖北咸宁浮山片区为研究对象,基于InfoWorks ICM构建一维管网-二维地表耦合水力模型,精准识别现状管网水力缺陷与内涝瓶颈。结合多目标遗传算法,构建排水管网布局优化体系,提出主干扩容、支管成环、调蓄联动的协同优化方案。结果表明:优化后片区管网综合排水能力由1.2年一遇提升至5年一遇,管道平均充满度降低31.5%,节点溢流时长缩短72.3%,重度积水区域面积缩减89.2%。研究可为南方低洼丘陵城市排水系统提质改造、水力效能提升提供技术参考。

**关键词:** 城市内涝;排水管网;布局优化;水力特性;数值模拟

**DOI:** 10.65976/3078-8145.2026.02.028

## 引言

湖北咸宁浮山片区地处淦水流域低洼地带,管网建设标准偏低、布局紊乱、暗涵过流能力不足,2024年7月极端降雨导致片区最大积水深度达1.74m,暴露了传统管网在极端工况下的水力失效问题湖北省住房和城乡建设厅。现有研究多聚焦管网改造单一措施,缺乏布局与水力协同优化的系统性方案,且针对丘陵低洼片区的适配性技术不足。本文以咸宁浮山片区为工程案例,构建耦合水力模型,揭示管网水力失效机制,提出多目标布局优化方案并验证效能,为同类城市内涝治理提供技术支撑。

## 1 研究区域概况与模型构建

### 1.1 研究区域基础特征

研究区域为湖北咸宁浮山片区属亚热带季风气候,降雨历时短、强度高,易引发短时内涝。片区现状排水系统为分流制,管网总长12.7km,其中DN300-DN600支管占比78%,DN800以上干管仅占12%,核心排水通道为浮山河暗涵(断面3.5m×2.8m),设计过流能力40m<sup>3</sup>/s,远低于片区70m<sup>3</sup>/s的峰值汇流流量湖北省住房和城乡建设厅。管网存在三大核心问题:(1)布局呈“树枝状”,缺乏环状连通,局部管段瓶颈突出;(2)管道老化淤积,平均淤积厚度0.15-0.3m,有效过流断面缩减25%-40%;(3)排涝设施单一,无调蓄设施,极端降雨时管网快速超载溢流湖北省住房和城乡建设厅。

### 1.2 耦合水力模型搭建

本文采用InfoWorks ICM构建一维管网与二维地表耦合模型,依托圣维南动力波方程模拟管网明满流交替、溢流回流等复杂水力过程,适配城市内涝精细

化模拟需求。

一维管网模块控制方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f = 0$$

二维地表模块采用扩散波方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = i_e$$

模型参数取值充分依托研究区实际条件:综合考虑片区地形测绘成果、管网竣工图纸与多年实测降雨序列,最终确定加权综合径流系数为0.68,管道曼宁系数取0.013;地表硬化区曼宁系数采用0.03,绿地取值0.15。设计降雨采用咸宁市当地暴雨强度公式推求,模型边界按实际汇流与水位条件设定:上游为自然坡面汇流,下游以淦水汛期水位作为控制边界。

### 1.3 模型验证

采用2024年7月16日典型实测暴雨过程对模型进行参数校验与精度验证。该场降雨历时2h,最大小时雨强达52.3mm,具有较好的代表性。验证以片区3处重点易涝点的实测积水过程为依据,对比模拟与实测结果:各测点积水深度相对误差均控制在8%以内,峰值出现时间偏差不超过10min,模型纳什效率系数NSE为0.89。整体来看,模拟结果与实测数据吻合度较高,模型能够较好地再现片区管网水力变化及内涝演进规律,可用于后续工况模拟与方案优化。

## 2 现状管网水力特性与失效机制

### 2.1 现状管网水力特性分析

在模型通过验证的基础上,分别对1年、2年、3年一遇降雨情景下的现状管网水力行为进行模拟,重点从管道充满度、节点溢流持续时间、管网整体排水

能力及地表积水深度等方面开展分析。

### 2.1.1 管道充满度分布特征

对现状管网的充满度统计表明：在 1 年一遇降雨条件下，约 35% 管段充满度超过 0.8，处于高负荷运行状态；当降雨标准提升至 2 年一遇时，68% 管段充满度大于 0.9，其中 22% 管段达到满流状态（充满度=1.0）。浮山大道 DN600 支管、始峰路 DN500 支管等关键瓶颈位置充满度甚至达到 1.05，管内出现明显承压流，局部水力损失显著增大。

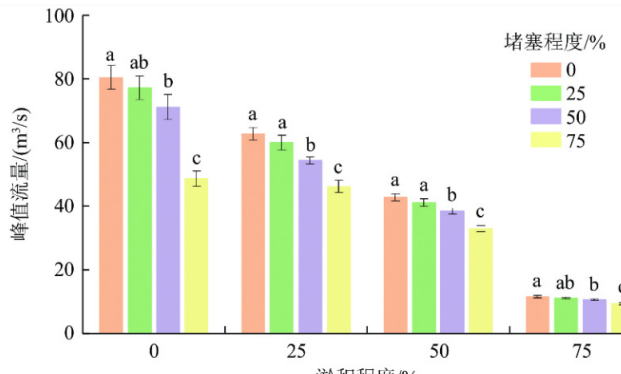


图 1 现状管网水力特性情况分布曲线图

### 2.1.2 节点溢流与地表积水

1 年一遇降雨下，片区溢流节点 12 个，溢流时长平均 45min，最大积水深度 0.68m；2 年一遇降雨下，溢流节点增至 28 个，溢流时长平均 112min，始峰悦府区域积水深度达 1.74m，与实际灾情一致湖北省住房和城乡建设厅；3 年一遇降雨下，管网全面超载，溢流节点 41 个，积水面积占片区总面积 38.5%，排水系统完全失效。

### 2.1.3 排水能力现状评估

综合研判片区整体排水条件，现状排水管网综合排涝标准为 1.2 年一遇，对照《室外排水设计标准》（GB50014-2021），重要区域排水设防标准需达到 3 至 5 年一遇，片区现状指标未满足规范要求，区域内涝问题多发。从水力运行角度分析，内涝频繁出现主要源于三方面问题：一是主干输水管道通水规模偏小，行洪泄水存在明显卡点；二是支管布设规划欠缺合理性，雨水汇集排布不均衡；三是地势低洼区域汇水量偏大，超出管道实际排水承载力，路面积水难以快速疏排。

## 2.2 管网水力失效机理分析

### 2.2.1 管网布局不合理产生行洪卡点

片区排水管网以树状排布为主，管线互通衔接程度较低，雨水径流易聚集在局部管段，缺少多条分流泄水路径。强降雨天气下，受限管段最先达到通水饱和状态，形成排水阻滞问题，管网上游水位快速抬升，

最终造成道路积水漫溢。其中浮山大道 DN600 管径支管承担片区近 45% 汇水范围，管线周边无并行分流管路，遭遇 2 年一遇强度降雨时管道即满载运行，致使上游三处点位持续出现积水溢流现象。

### 2.2.2 管道积泥堵塞削弱通水性能

管道常年投入使用后内壁淤积泥沙杂物，压缩实际通水截面，同时增大水流摩擦阻力。同等来水规模下，水流损耗加大、行进速度放缓，雨水汇集耗时增加，进一步加重管网排水超负荷状况。实地勘测数据表明，始峰路、浮山支路等淤积较重路段，实际水流速度仅为设计标准的 55%~65%，水力坡度相较设计数值提升 30%~40%，整体排水运行效率大幅下降。

### 2.2.3 排水形式单一，无雨水调蓄缓冲空间

片区范围内未配套建设雨水调蓄构筑物，降雨产生的地表径流全部直接汇入排水管网，雨水峰值流量集中凸显，管网瞬时排水压力超出既定设计限值。以 2024 年 7 月强降雨事件为例，现场实测雨水峰值流量 68.3m³/s，管网最大可承载排水量仅 42.5m³/s，无法削减洪峰体量，直接造成片区大范围积水内涝。

## 3 排水管网布局优化与水力效能评价

### 3.1 管网布局优化方案设计

#### 3.1.1 主干管扩容改造

针对片区排水主干管线通行瓶颈开展针对性升级改造。将浮山大道现状 DN600 分支管道拓宽改建为 DN1200 主干管道，改造总长 860 米，改造后管道过水能力可达 65m³/s；对淦水路口原有 DN800 地下暗涵进行断面扩建，改造为 4.5m×3.5m 矩形箱涵，通水能力提升至 80m³/s，改造后可满足区域五年一遇降雨标准下的雨水排涝要求。

#### 3.1.2 支管环形连通改造

调整区域支管走向与衔接形式，新增 3 条管径 DN400~DN500 连通管线，把原有树状单一流向管网体系，改造为主干管线搭配环形支管的复合型排水结构。改造后支管环线总长度 2.1 千米，全面覆盖片区各类易积水地段，管网水分散疏导与水力调配能力显著增强，可有效规避局部管段堵塞、过载造成的整片排水瘫痪问题。

#### 3.1.3 调蓄设施协同运行

选取始峰悦府低洼积水片区新建矩形雨水调蓄池，设施占地面积 1.2 万平方米，有效蓄水深度 3.5 米，实际调蓄库容 4.2 万立方米。配套布设智能控水闸及排涝泵站，泵站设计排水流量 2.5m³/s。依托调蓄设施实现降雨洪峰削减、错峰有序排水，极端降水天气下临时收纳超额雨水径流，待管网排水负荷回落再逐步

排空蓄水。

### 3.2 优化方案水力运行效果评价

#### 3.2.1 管网水力运行状态优化

管网改造后水力运行工况得到明显改善。五年一遇降雨条件下,管道平均充盈度为0.62,相较改造前下降31.5%,全程未出现管道满水承压运行现象;管内水体平均流速稳定在1.28m/s,符合市政排水管道合理流速区间,管道泥沙淤积隐患基本消除;管网节点溢流平均时长18分钟,相比现状缩减72.3%,不存在长时间积水溢流点位。

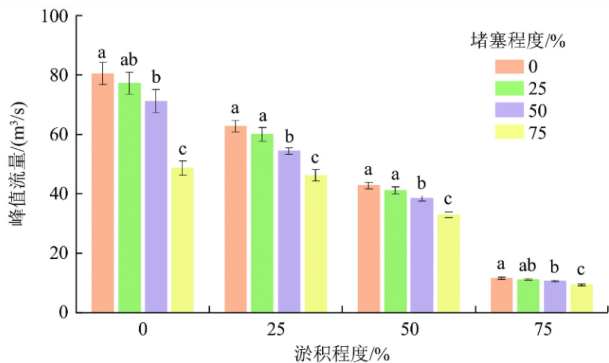


图2 优化后管网水力特性情况分布曲线图

#### 3.2.2 区域内涝治理成效

管网体系优化完成后,片区积水受灾风险显著下降。三年一遇降雨工况中,实际积水范围0.28平方千米,占片区整体面积9.8%,地表最大积水深度0.32米;五年一遇降雨工况下,积水面积扩大至0.41平方千米,最大积水深度0.45米,全域未出现积水深度超0.5米

的重度内涝区域,各项指标均符合城市内涝整治规范要求。

## 4 结束语

综上所述,本文以湖北咸宁浮山片区为工程案例,构建一维管网-二维地表耦合水力模型,揭示了丘陵低洼城市排水管网“布局瓶颈-淤积衰减-调蓄缺失”的水力失效机制,提出“主干扩容+支管成环+调蓄联动”的多目标布局优化方案。研究表明:优化方案可有效降低管道充满度、缩短溢流时长、缩减积水面积,将管网排水能力提升至五年一遇,显著缓解城市内涝风险。本文创新点在于构建了适配南方丘陵低洼片区的管网水力模拟与布局优化技术体系,量化了不同优化措施的水力效能贡献,为同类城市内涝治理提供了可复制、可推广的技术范式。后续研究可结合智慧水务技术,构建管网水力实时监测与动态调度系统,进一步提升排水系统韧性。

### 参考文献:

- [1] 李小宁, 郑世威, 李宥霖, 等. 基于地表-管道-河道耦合模拟的城市内涝风险评估 [J]. 水科学进展, 2024,35(5):738-751.
- [2] 张坤林, 徐佳颖, 郭旻睿, 等. 数据模型与水力仿真模型耦合的城市内涝分析技术研究 [J]. 水利水电技术(中英文), 2026,57(1):68-89.
- [3] 柳文波, 杨涛, 郑立安. 基于内涝风险预评估的道路排水工程方案设计与优化 [J]. 中国给水排水, 2025,41(2):102-108.