

城市排水设施改造及排水防涝能力提升方法

张明杰

澧县澧阳大垸水利管理委员会

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6733

[摘要] 本文基于水文水动力耦合模型,系统分析内涝的主要原因,并提出排水体系优化路径。通过模型情景模拟、多目标优化,科学制定排涝通道整治方案,强调将LID措施和灰色基础设施进行深度融合,推动城市排水防涝向系统治理发展,为提高城市气候适应能力提供实践模式。

[关键词] 城市排水设施; 改造; 排水防涝能力提升方法

中图分类号: S276 文献标识码: A

Methods for renovating urban drainage facilities and enhancing drainage and flood prevention capabilities

Mingjie Zhang

Lixian Liyang Dayuan Water Conservancy Management Committee

[Abstract] Based on the coupling model of hydrology and hydrodynamics, this article systematically analyzes the main causes of waterlogging and proposes an optimization path for the drainage system. Through model scenario simulation and multi-objective optimization, scientifically formulate drainage channel remediation plans, emphasize the deep integration of LID measures and grey infrastructure, promote the development of urban drainage and flood prevention towards systematic governance, and provide practical models for improving urban climate adaptation capabilities.

[Key words] urban drainage facilities; reform; Methods for improving drainage and flood prevention capabilities

引言

随着城市化进程高速推进,地表硬化率持续提高,天然水文循环过程遭到一系列扰动,城市内涝已经演变为频发性、系统性公共安全风险。中国气象局统计表明,近十年我国年均超180座城市遭遇内涝侵袭,直接经济损失达数百亿元量级,该类灾害不仅造成交通瘫痪、地下空间淹没、基础设施损毁,还严重威胁居民生命安全。在此背景下,亟须利用高精度排水防涝模型,构建涵盖产汇流模拟、管网承载力评估、内涝风险动态预警的科学决策体系,推动城市排水系统从被动应对转向主动管理适应,为现代城市安全运行提供坚实技术支撑。

1 城市内涝的主要原因

1.1 气候变化

在全球气候变暖背景下,大气持水能力每升高1℃约增加7%,叠加城市化进程中“热岛”“雨岛”“混浊岛”效应协同作用,促使局地对流系统增强,小尺度、高强度短历时暴雨事件频次、峰值同步提升。世界气象组织数据显示,近50年全球极端降水强度年均增长约3.5%,我国也呈现类似趋势,以某城市为例,2018至2022年年均降雨量突破1800毫米,和1990年代相比,上涨幅度为20%;1小时降雨量≥20毫米的短时强降水年均发生次数由5次增

至8次,大幅度提高了地表产流速率、汇流峰值,该类超标准降雨远超现有排水管网设计重现期,通常为1-3年,导致雨水径流在短时间内无法及时排除,迅速形成地面积水,甚至深层内涝(见表1)。

表1 某城市2018-2022年降雨量及短时强降雨事件统计

年份	年均降雨量(毫米)	短时强降雨事件发生次数
2018	1820	6
2019	1850	7
2020	1780	5
2021	1900	9
2022	1880	8

1.2 排水体系完善程度不足

城市排水体系完善程度不足,首要体现在排水管渠设计标准严重滞后于城市发展实际需求。我国大量老旧城区建设初期缺乏系统性水文水力分析,雨水管网普遍按照1年一遇重现期标准设计,对应小时降雨强度不足30 mm/h,远低于当前中小城市普遍采用的2-5年一遇标准。加上早期施工受到技术经济条件限制,存在管道管径偏小、敷设坡度不足、倒坡等现象,严重限制重力流排水能力。在极端降雨事件频发背景下,该类低标准管网很容易在短时强降雨下迅速达到满管流状态,丧失调蓄、输送功能,地表径流无法及时汇入,内涝风险快速提升(见表2)。

表2 部分城市老旧城区排水管道设计标准和实际需求对比

城市	排水管道设计标准(年一遇)	实际需求标准(年一遇)
北京部分老城区	1-2	3-5
上海部分老城区	1	3
广州部分老城区	1-2	3-4

排水系统结构性缺陷进一步降低排涝效能,主要表现为雨污混接、雨水口布设不合理、强排设施缺失。现场排查显示,部分老旧城区约30%道路存在雨水口密度严重不足问题,平均每500米仅设1-2个雨水口,远低于《室外排水设计标准》(GB 50014)推荐的200-300米间距要求,致使道路最低点积水无法有效收集。同时,大量区域存在雨污管道错接、混接现象,不仅挤占雨水排放通道,还可能进一步加剧内涝危害。

1.3地表调蓄能力下降

在城市快速扩张过程中,自然下垫面结构发生剧烈重构,原有农田、林地、坑塘等具备调蓄功能的生态单元被道路、广场、建筑等不透水表面大规模取代,导致地表水文过程差异较大。以某典型城市为例,过去20年不透水面积比例由30%增加到60%,直接降低了土壤入渗、植被截留、洼地滞蓄等天然水文调节机制。根据SCS-CN模型测算,该变化使区域综合径流系数从0.45提高到0.75以上,意味着同等降雨条件下,地表产流量增加近70%,洪峰到达时间提前30%-50%。雨水迅速汇流至管网系统,不仅加剧排水设施瞬时负荷,更在管网超载后形成大面积地面积水。

2 基于排水防涝模型的城市排水防涝能力提升方法

2.1数据采集及分析

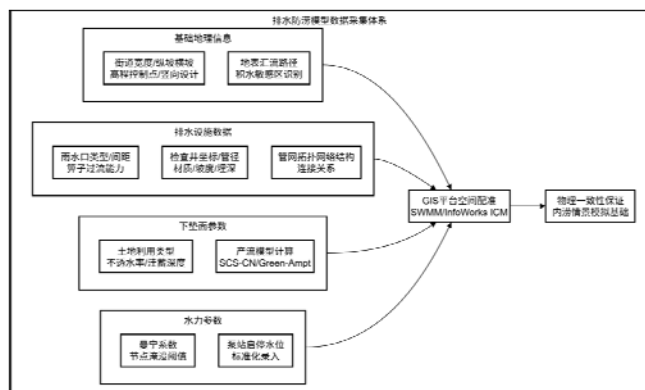


图1 数据采集体系

基础地理信息需要涵盖街道宽度、纵坡横坡、高程控制点、竖向设计参数,精确还原地表汇流路径和积水敏感区;排水设施数据则包括雨水口类型、间距、算子过流能力,检查井坐标、管径、材质、坡度、埋深、连接关系,形成完整的拓扑网络结构。同时,应整合土地利用类型、不透水率、洼蓄深度等下垫面参数,支撑SCS-CN、Green-Ampt等产流模型计算;曼宁系数、节点淹没阈值、泵站启停水位等管网水力参数也要标准化录入。上述数据通过GIS平台进行空间配准,保证模型在SWMM、InfoWorks ICM等平台中具备物理一致性,为后续内涝情景模拟、风险识别、改造方案比选提供可靠输入基础(见图1)。

2.2建立排水防涝模型

基于实测数据构建排水防涝模型,是实现城市内涝风险量化评估和系统优化的技术路径。以SWMM(Storm Water Management Model)为例,该模型通过融合地表产汇流模块、地下管网水动力模块,水量-水质联合模拟单一暴雨事件,输入参数涵盖设计暴雨时程、数字高程模型(DEM)、土地利用类型、管网拓扑结构、节点属性等,模型输出包括地表积水深度、淹没范围、管道满管率、检查井溢流频次等指标。此类模拟结果可精准识别排水瓶颈区域,为管网提标改造提供有力依据,大幅度提高规划决策的科学性(见图2)。

在数学机理层面,SWMM采用圣维南方程组描述管网非恒定流运动,并结合非线性水库法模拟地表漫流。其核心连续性方程表达为:

$$\frac{dV}{dt} = q_{in} - q_{out} \tag{1}$$

其中, dV 表示节点控制体积(m^3), dt 为时间(s), q_{in} 为流入节点的总流量(m^3/s),含上游管段来流及地表汇流量, q_{out} 为流出流量(m^3/s),由下游管段输送能力、泵站抽排能力决定。动量方程则考虑重力、摩擦阻力、惯性项:

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{A} \frac{dq}{dx} + gA \frac{dh}{dx} + gA(S_f - S_0) = 0 \tag{2}$$

式中, q 为断面流量(m^3/s), A 为过水断面面积(m^2), x 为流程方向坐标(m), h 为水深(m), S_0 为底坡, S_f 为摩阻坡度(通常按曼宁公式计算), g 为重力加速度($9.81 m/s^2$)。上述方程通过隐式有限差分法离散求解,保证在复杂工况下数值稳定性,为城市排水系统动态响应提供高保真模拟支撑。

2.3提升方法

2.3.1新建、改造、完善排水系统。一方面,科学规划排水管线布局,严格遵循“高水高排、低水低排”竖向控制原则,结合高精度DEM、水文分析,确保排出口和接纳水体之间具有合理高差,有效规避河道顶托倒灌风险。同时,依据道路纵断面识别汇水低点,加密雨水口布设密度,并构建地表行泄通道,实现短历时强降雨下径流的快速收集。以某市排水分区工程为例,其通过在黎明坝增设3孔 $2.0 \times 1.8m$ 闸门,精准调控西圩子壕、护城河水位,在20年一遇长历时降雨下实现零溢流;同步优化山水沟暗涵衔接节点,加强暴雨期间分流能力,有效缓解下游管网负荷。

在此基础上,需要同步推进雨污分流改造、管网建设标准提标,老旧城区通过精细化排查混接点,采用非开挖修复、定向钻进等低影响施工技术,全面实施雨污分流,从源头上降低入流入渗(I/I)对于雨水系统的挤占;新城区则严格执行分流制建设标准,杜绝增量污染。针对气候变化导致的径流系数上升,某市对于周边不达标管网进行结构性升级,进一步扩大管径,采用高密度聚乙烯(HDPE)、球墨铸铁等耐腐蚀管材,并将设计重现期由

1-2年提高到5-10年。此外,配套部署智能监测终端,实时感知水位、流量、淤积状态,构建“感知—预警—运维”闭环,让排水系统从被动响应转向主动韧性运行,全面筑牢城市内涝防线^[1]。

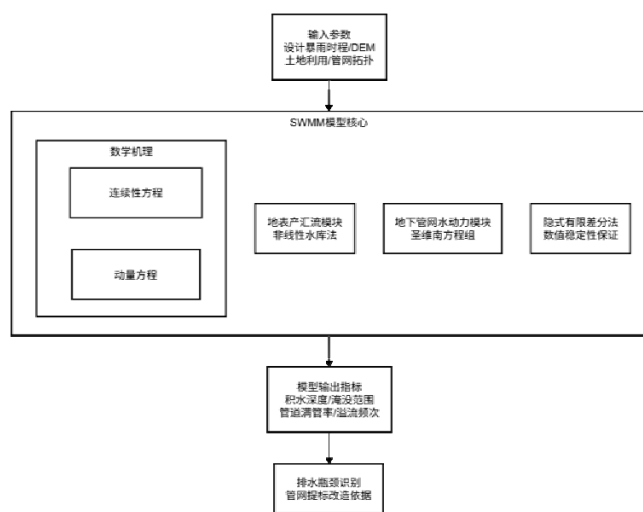


图2 基于实测数据构建排水防涝模型

2.3.2 兴建、扩建行泄通道。兴建、扩建行泄通道应打破传统“以管定排”的单一模式,建立集成地表、地下、河湖的多维排涝体系。在科学构建行泄通道时,要深度融合城市竖向规划、水系格局,利用自然地形坡降和既有河渠网络,打造由明渠、截洪沟、生态滞洪带、道路行泄断面组成的多层次行泄系统。该体系在暴雨期间可作为超量径流的临时转输通道,将涝水快速、有序导引至下游江河、湖泊、调蓄设施,有效缓解管网瞬时压力,避免内涝持续积聚。此类措施不仅符合“蓝绿灰”融合的海绵城市理念,还有效提高了城市面对超标准降雨的承载能力^[2]。

某市排水分区治理实践充分验证了该策略的有效性。针对历史易涝片区,工程结合区域北高南低的地势特征,新建总长2.3公里的梯形明渠、U型截洪沟,设计过流能力达15m³/s,直接连通小清河水系;同时进一步扩展既有截洪沟,优化底坡,其排水能力提升40%以上。行泄通道布设严格遵循重力流原则,保证涝水无需强排即可自流外排,大幅度降低能耗、运维风险。模型模拟显示,在50年一遇暴雨情景下,该区域最大积水深度由原0.85米降至0.25米以下,退水时间缩短60%^[3]。

2.3.3 修建、扩建调蓄设施。调蓄设施作为城市排水防涝体系中的“时间换空间”单元,其功能在于通过滞蓄、错峰、就地消纳,有效降低暴雨洪峰流量,有效延缓汇流过程^[4]。科学扩建调节水塘、人工河、景观湖、地下调蓄池等设施,可有效提高区域海绵体容量,降低管网峰值负荷^[5]。依据水文调节原理,调蓄容积V可按照公式估算:

$$V = Q_p \cdot t_d - Q_o \cdot t_d \quad (3)$$

其中: Q_p 为设计暴雨产流峰值(m³/s), Q_o 为下游受纳能力(m³/s), t_d 为调控延迟时间(s)。该策略不仅缓解排水系统瞬

时压力,还可实现雨洪资源化利用,符合低影响开发理念中“源头滞蓄、过程调控、末端弹性”的系统逻辑^[6]。

某市以为核心构建城市级调蓄枢纽,充分彰显调蓄设施的各种效益^[7]。近年来通过湖体清淤扩容、岸线生态化改造、闸坝联合调度优化,有效调蓄容积提高约18%,可达到120万立方米,配套建设智能监测平台,集成水位、水质、气象预报、上游来水数据,基于SWMM模型滚动预测未来6小时入湖径流,动态调整闸门启闭策略^[8]。在2023年“7·12”强降雨事件中,系统提前4小时预泄腾容,成功滞蓄超量雨水42万立方米,使护城河水位控制在警戒线以下,避免周边老城区发生内涝^[9]。该实践表明,将自然水体纳入城市韧性排水框架,并辅以精准调度机制,可高效实现防洪、生态、景观功能协同,为高密度城区提供可持续的雨洪管理路径^[10]。

3 结语

本文基于排水防涝模型系统剖析内涝成因,提出涵盖管网提标、行泄通道构建、调蓄设施优化、雨污分流改造的综合策略。面对气候变化、城市化压力,未来需要融合韧性城市理念,强化数字孪生技术应用,推动“灰绿蓝”基础设施协同,并借鉴国际先进经验,将生态优先、可持续发展深度嵌入排水防涝全周期治理,全面提高城市水安全。

【参考文献】

- [1]郑继红,刘兴让.城市排水设施改造及排水防涝能力提升研究——以郑州市为例[J].河南科技,2022,41(19):65-68.
- [2]黄玉琢.基于海绵城市理念的老旧小区排水系统改造策略[J].山西建筑,2025,51(19):122-125.
- [3]刘本定,刘雷,曹茜茜.安徽省城市排水防涝能力提升对策研究[J].工程与建设,2022,36(5):1217-1219.
- [4]麻芳.城市老旧排水系统改造与升级策略[J].建设科技,2024(21):59-61.
- [5]李航.海绵城市背景下的市政排水设计优化策略[J].建材发展导向,2025,23(4):124-126.
- [6]董祯,张芳,周志华,等.城市排水系统改造对内涝影响研究[J].中国防汛抗旱,2025,35(2):7-12,23.
- [7]熊小艳.改扩建矿井排水系统改造设计[J].煤矿机械,2018,39(6):103-104.
- [8]严晓波.浅谈老城镇排水系统改造设计[J].装饰装修天地,2019(14):144,147.
- [9]叶勇.江口水电厂顶盖排水系统改造[J].电力系统装备,2018(7):249-250.
- [10]苏德良.水电厂渗漏排水系统改造[J].城市建设理论研究(电子版),2012(19):11.

作者简介:

张明杰(1974--),男,汉族,湖南常德澧县人,大专,工程师,水利水电工程管理。