

周武刚, 阮鹏程, 杨扬, 等. 基于 MIKE 模型的中心城区内涝模拟及道路内涝韧性评估方法[J]. 净水技术, 2025, 44(9): 148–156, 205.

ZHOU W G, RUAN P C, YANG Y, et al. Simulation of central urban waterlogging control and assessment of roads waterlogging resilience based on MIKE model [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(9): 148–156, 205.

基于 MIKE 模型的中心城区内涝模拟及道路内涝韧性评估方法

周武刚¹, 阮鹏程¹, 杨扬², 蔡文明^{3,*}

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010; 2. 丹华水利环境技术<上海>有限公司, 上海 200235; 3. 伊犁师范大学美术与设计学院, 新疆伊宁 835000)

摘要 【目的】目前我国大量城市中心城区存在内涝风险, 中心城区具有建设密度高以及排水管道标准偏低等特点, 致使内涝治理难度较大。为制定科学有效的排涝方案, 文章通过模拟技术评估典型中心城区管网高水位运行下的排水能力, 并对不同的排涝方案治理效果进行模拟, 基于洪涝模型结果对积水道路开展内涝韧性评估, 对比以选择最优方案。【方法】文章提出一种城市道路内涝韧性评估方法, 考虑内涝影响的道路功能稳定性与恢复性构建韧性评价指标体系, 利用层次分析法确定各项指标权重。以赣州市河套老城区八一四大道片区为例, 基于 MIKE FLOOD 平台, 耦合一维管网模型 MIKE URBAN 和二维地表漫流模型 MIKE 21 构建该片区内涝模型, 模拟不同降雨重现期下研究范围内的淹水深度和淹水范围, 评估系统排水能力、内涝风险, 模拟不同治理方案实施后的积水改善情况, 评估治理效果与韧性变化趋势。【结果】管网排水能力不足是导致中心城区内涝风险的主要因素, 研究片区范围内 55% 以上的管网排水能力不足 1 年一遇, 在 5 年一遇的降雨工况下, 有 76.11% 的管线不达标; 积水高风险区域集中在八一四大道与五龙路交叉路口处, 30 年一遇降雨条件下积水深度最大可达 1.14 m, 韧性指数降低到 0.28; 针对排水能力不足的管段提出 3 种管道改造方案, 经过模拟对比, 方案 2 作为最优方案可大幅提升中心城区排涝能力提升, 积水点基本消除, 积水面积减少 57.14%, 韧性指数为 0.64。【结论】基于 MIKE 模型可对中心城区不同降雨情景下的内涝情况进行模拟, 根据模拟结果可系统分析形成内涝风险的主要成因及评估道路内涝韧性, 能为中心城区制定针对性排涝方案及洪涝风险管理提供技术支撑。

关键词 MIKE 模型 排水能力 内涝治理 排水系统 内涝风险等级 韧性评估

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)09-0148-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.09.019

Simulation of Central Urban Waterlogging Control and Assessment of Roads Waterlogging Resilience Based on MIKE Model

ZHOU Wugang¹, RUAN Pengcheng¹, YANG Yang², CAI Wenming^{3,*}

(1. Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China;

2. Danhua Water Conservancy Environmental Technology <Shanghai> Co., Ltd., Shanghai 200235, China;

3. College of Art and Design, Yili Normal University, Yining 835000, China)

Abstract [Objective] At present, a large number of urban central urban areas in China have the risk of waterlogging. The central urban area has the characteristics of high construction density and low drainage pipeline standard, which makes it difficult to control waterlogging. In order to formulate a scientific and effective drainage scheme, this paper evaluated the drainage capacity of typical central urban pipe network under high water level operation through simulation technology, and compared the effects of different drainage schemes to select the optimal scheme. Based on the flood model, the waterlogging resilience assessment of waterlogged roads

[收稿日期] 2024-09-25

[基金项目] 2022 年湖北省重点研发计划项目(2022BCA066)

[作者简介] 周武刚(1992—), 男, 工程师, 研究方向为城市排水防涝模型应用、水环境模型应用, E-mail: 3296942620@qq.com。

[通信作者] 蔡文明(1981—), 男, 副教授, 研究方向为城市排水工程规划、水生态环境景观规划, E-mail: caiwenming128@126.com。

is carried out. [Methods] Taking Bayisi road area in Hetao old urban area of Ganzhou City as an example, based on MIKE FLOOD platform, the waterlogging model was constructed by coupling one-dimensional pipe network model MIKE URBAN and two-dimensional land overflow model MIKE21 to simulate the waterlogging depth and waterlogging range in the study area under different rainfall recurrence periods, evaluate the drainage capacity and waterlogging risk of the system, simulate the improvement of waterlogging after the implementation of different treatment schemes, and evaluate the treatment effect. A resilience evaluation method of urban road waterlogging based on MIKE model was proposed. The resilience evaluation index system was constructed by considering the stability and recoverability of road affected by waterlogging, and the weight of each index is determined by analytic hierarchy process. [Results] Insufficient drainage capacity of the pipe network was the main factor leading to the risk of waterlogging in the central urban area. More than 55% of the pipe network drainage capacity was less than once a year and 76.11% of the pipelines were not up to standard under the 5-year rainfall condition. The high-risk area of water accumulation is concentrated at the intersection of Bayisi Road and Wulong Road. The maximum depth of water accumulation reaches 1.14 m under the condition of 30-year rainfall, the resilience index decreased to 0.28. Three pipeline reconstruction schemes were proposed to improve the drainage capacity. After comparison, Scheme 2, as the optimal scheme, can greatly improve the drainage capacity of the central urban area. The water accumulation points were basically eliminated, and the water accumulation area was reduced by 57.14%, the resilience index decreased to 0.64. [Conclusion] Based on the MIKE model, the waterlogging situation under different scenarios in the central urban area can be simulated. According to the simulation result, the main causes of waterlogging risk and the evaluation of road waterlogging resilience can be systematically analyzed which can provide technical support for the formulation of targeted drainage schemes and flood risk management in the central urban area.

Keywords MIKE model drainage capacity waterlogging control drainage system waterlogging risk level resilience assessment

在全球气候变化加剧,以及极端降雨事件不断增加和我国城市化建设快速发展的背景下,近些年来城市洪涝灾害事件频发^[1],如郑州“7·20”和涿州“7·31”等特大暴雨洪涝灾害造成了巨大的社会损失,城市洪涝问题已经成为影响社会稳定发展的自然灾害之一^[2]。由于历史发展原因,目前我国尚有大量城市中心城区依然保留了合流制排水系统体制,管网规划建设标准偏低,排水能力不足^[3-4],另外城镇建设用地高密度开发增加导致地面不透水率提高,地表径流总量加大,致使城市中心城区在应对洪涝灾害时韧性不足,严重影响城市居民的生命财产安全^[5-6]。

城市在受到雨洪灾害威胁时能够抵抗、吸收、适应并恢复的能力被称为城市内涝韧性,近年来国内外学者从不同角度开展内涝灾害下的城市韧性研究^[7]。李正兆等^[8]选取城市内涝致灾、抗灾和承灾3类特征指标,结合地理信息系统(GIS)和层次分析法构建了城市内涝韧性定量评估模型。朱诗尧^[9]结合社会-经济-自然理论与压力-状态-响应模式构建了城市内涝韧性度量模型。

基于城市水文学、水动力学原理的城市雨洪模型是研究城市洪涝灾害的有力工具,随着计算机技术的进步已经发展出大量应用广泛的雨洪模

型,包括 MIKE 系列模型、InfoWorks ICM、SWMM、IFMS URBAN 等,国内外学者利用城市雨洪模型开展了大量研究工作^[10-12]。徐宗学等^[13]提出了海绵城市建设加上水工程调度的协同治理模式解决城市防洪排涝问题,利用 InfoWorks ICM 模型构建了福州晋安河片区洪涝模型,验证了协同治理方案对城市内涝改善效果明显。朱呈浩等^[14]基于 SWMM 模型模拟研究了西安市沣西新城区洪涝过程,分析不同降雨重现期下积水深度对行人和车辆稳定性影响程度。刘嵩等^[15]以深圳市黄沙河片区为例,基于 MIKE FLOOD 模型研究分析了易涝点成因并提出改造建议。卓小燕等^[16]应用 MIKE 系列软件构建管网与地形耦合的城市雨洪模型,探究强降雨对高密度城区淹没情况和内涝风险等级影响。

以上研究表明,城市雨洪模型为洪涝风险评估、洪水风险管理、内涝治理方案效果评估等业务提供了技术支撑^[17-18]。然而在以往的研究中,城市雨洪模型在城市内涝韧性评估中应用较少,且目前关于城市内涝韧性评估的研究指标体系较为宏观,不够聚焦,一些定性指标难以量化分析。由于在暴雨事件中城市道路成为重要泄洪通道,道路水流致使人体车辆失稳成为人员溺亡的重要原因^[19],本文聚焦于城市道路暴雨内涝韧性评估研

究,基于洪涝模拟道路水流数据,从功能稳定性和恢复性角度构建韧性评估体系,以赣州市河套老城区八一四大道片区为研究对象,应用 MIKE FLOOD 模型评估分析管道排水能力,模拟片区不同降雨条件下的内涝情况,对不同排涝方案进行模拟评估,基于道路内涝模拟结果对其内涝韧性进行评估。本次研究成果可以为中心城区合流制排水系统制定排涝方案提供支撑,为提高城市洪涝韧性提供参考。

1 研究区域概况

研究区域位于我国江西省赣州市河套老城区。该地区处中亚热带南缘属亚热带季风气候区,具有冬夏季风盛行、春夏降水集中、四季分明、气候温和、热量丰富、雨量充沛、酷暑和严寒流时间短、无霜期长等气候特征。研究区域面积为 142 hm^2 ,位于章江和贡江之间,北起红旗大道,东起康定路、拜将台路、京九路,南至赣南大道,西至张家围路、章江,地势东西高,中间低,排水体制为截流式合流制,初期雨水沿河截污管进入污水厂,截流量按 6 mm 考虑,后期雨水经管道系统收集后,就近自排进入章江,如图 1 所示。



图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Study Area

2 模型构建

2.1 MIKE URBAN 模型构建

MIKE URBAN 模型可用于模拟城市集水区和排水系统的地表径流、管流、水质和泥沙传输。本研究主要采用降雨径流过程计算和管道水动力计算 2 个模块,地表径流过程使用时间-面积曲线模型,将径流计算结果作为管道水流计算边界,求解一维圣

维南方程组得到管网系统水流状态。

该排水区地形基本东高西低,雨污水除一部分就近排入冲沟外,大部分雨污水往西进入八一四大道;此外,八一四大道以西局部地区雨污水也进入八一四大道,排水分区范围外上下游管网与范围内管网存在连接关系,实际存在水量交互,模型实际模拟范围考虑了独立的汇水区。因此,在模型中汇水区和管网范围较实际研究区域大,利用泰森多边形将汇水区划分为多个子汇水区,如图 2 所示。



图 2 模拟排水范围

Fig. 2 Simulated Drainage Range

所构建的 MIKE URBAN 管网如图 3 所示,包含检查井 749 个,圆管 744 段,涵管 19 段,如图 3 所示。通过统计分析,所有检查井的地面标高在合理的范围之内,圆形管道最小的尺寸为直径 0.3 m ,最大为 2.2 m ,系统中还存在一些方涵,涵洞宽度在

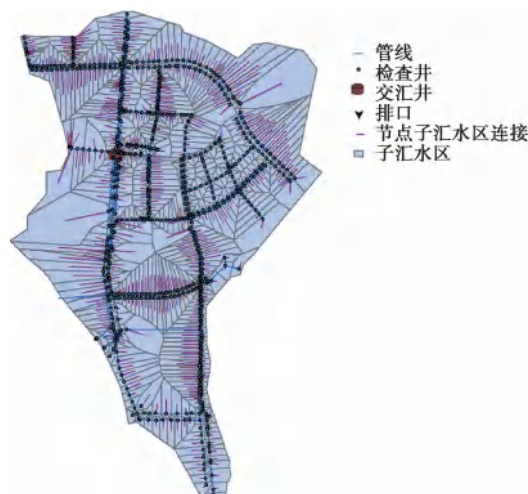


图 3 MIKE URBAN 模型

Fig. 3 Model of MIKE URBAN

0.5 m×0.7 m~3.0×3.3 m,总管长为29.4 km。

在 MIKE URBAN 模型设置中,综合考虑了用地类型对径流系数的影响。经过资料整理将下垫面分为建筑、绿地、道路及其他,其中建筑包含了服务设施用地、住宅用地、消防设施用地以及公共设施用地,绿地包含公园绿地和防护绿地,其他包含行政办公用地、中小学用地、体育场馆用地、社会福利设施用地和零售商业用地等。面积统计如表 1 所示,研究区域内建筑道路等不透水系数高的用地类型占地面积大,地面硬化程度高,这与该区域为中心城区有关。

表 1 下垫面面积统计

Tab. 1 Statistics of Underlying Surface Area

参数	道路	建筑	绿地	其他
面积/hm ²	58.17	193.56	72.28	95.42
不透水系数	0.8	0.9	0.2	0.55

河套老城区现状排水管网类型为合流制管道,考虑管网内旱季生活污水等造成的平时管网高水位运行状态,污水量为 0.7 万 m³/d,根据日变化系数(图 4)分配单位面积污水收集量。

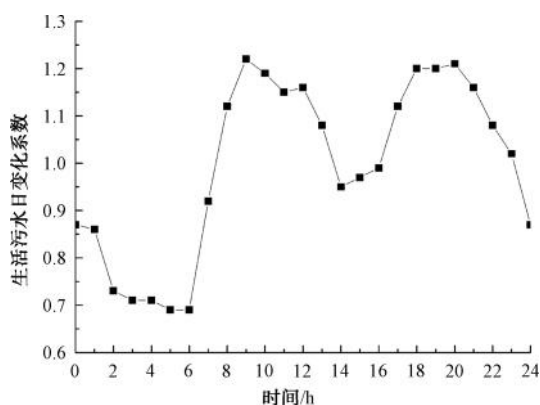


图 4 生活污水日变化系数

Fig. 4 Daily Variation Coefficient of Domestic Wastewater

2.2 MIKE 21 模型

MIKE 21 模型用于模拟地表漫流,可以真实地模拟出径流在道路、小区、绿地等不同地形状况下的漫流过程。常用的计算内核有 2 种,一种是基于矩形网格采用隐式差分求解二维圣维南方程,另一种是非结构化网格采用有限体积法求解二维圣维南方程组。本研究采用第一种计算模式。

将计算机辅助设计(CAD)格式的地面高程点转化为 5 m×5 m 的 MIKE 21 栅格地形文件,插入建筑物和道路反映研究区域真实的地形,如图 5 所示。

建立 MIKE 21 模型,导入地形文件,对于城市内涝仅需选择水动力模块。

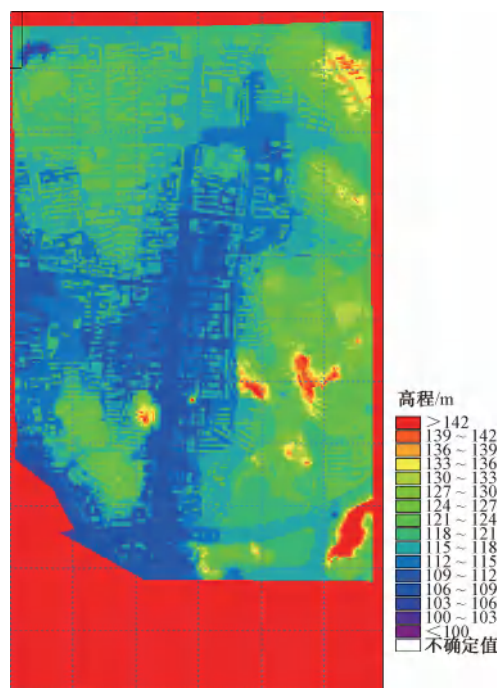


图 5 二维地形图

Fig. 5 2D Topographic Map

2.3 MIKE FLOOD 耦合模型及率定

MIKL FLOOD 用于耦合一维管网模型 MIKE URBAN 和二维地表漫流模型 MIKE21,是一个动态耦合的模型系统,模型可以同时模拟排水管网、明渠、排水河道、各种水工构筑物以及二维坡面流。本研究中将 MIKE URBAN 模型中管网节点(检查井)与 MIKE 21 模型中地表网格进行连接,地面雨水根据地形情况与相应的管网节点进行水量的交互,耦合模型如图 6 所示。

采用赣州市 2021 年 7 月 18 日与 2021 年 7 月 28 日 19:00—20:00 两场降雨进行模拟,降雨量分别为 47.6 mm 与 35 mm,造成该区域八一四大道与五龙路交叉路口处积水深度达 92 cm 与 75 cm,根据实测数据对模型进行率定验证,模拟结果与实测数据基本保持一致。

2.4 城市道路内涝韧性评估模型

从工程建设角度出发,聚焦于城市道路在内涝灾害情况下维持通行功能,并且快速恢复功能 2 个维度来评估城市道路内涝韧性,结合具体项目的致灾因子和孕灾环境,着重考虑了数据的可获得性、可量化性以及准确性来确定韧性评估指标,如表 2 所

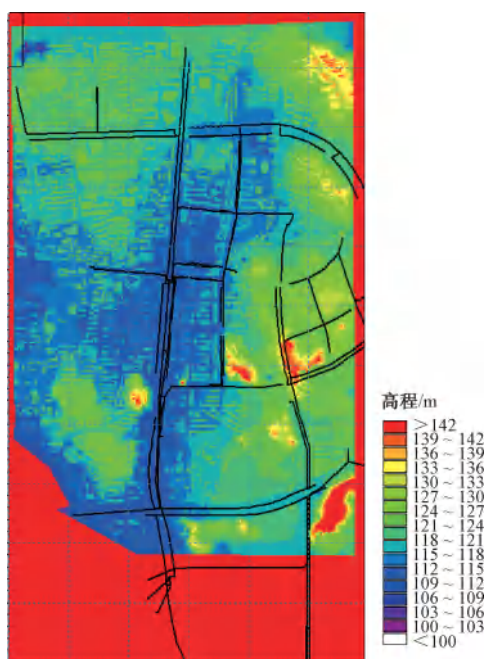


图6 耦合模型

Fig. 6 Coupling Model

示。采用层次分析法确定各指标的权重,基于标准化指标值的综合加权平均计算韧性值,如式(1)。采用利差标准化方法对数据进行标准化处理,对于正向指标如式(2)。对于负向指标,如式(3)。

$$R(t) = Y_1(t)\omega_1 + Y_2(t)\omega_2 + \cdots + Y_n(t)\omega_n \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (2)$$

$$Y_i = \frac{\max x_i - x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (3)$$

其中: $R(t)$ —— t 时刻韧性指数, R 值越大说明降雨影响下韧性越强;

$Y_n(t)$ —— t 时刻韧性评价指标标准化值;

ω_n ——韧性评价指标权重;

x_i ——指标原始数据;

Y_i ——标准化处理后的数据。

表2 城市道路内涝韧性评估指标

Tab. 2 Evaluation Index of Urban Road Waterlogging Resilience

韧性维度	评价指标	单位	权重	数据来源
稳定性	道路积水深度	m	0.112 8	MIKE FLOOD 模型模拟
	道路积水面积	m ²	0.121 1	
	道路水流流速	m/s	0.071 0	
	汇水区雨水口密度	个/m ²	0.042 0	排水管网数据
	城市竖向规划	m	0.108 6	地表地形数据(DEM)
恢复性	道路积水时长	h	0.096 0	MIKE FLOOD 模型模拟
	降雨强度	mm/h	0.192 1	水文数据
	汇水区不透水比例	/	0.087 7	用地类型数据
	汇水区绿化率	/	0.060 1	
	排水管网设计达标率	/	0.108 6	MIKE FLOOD 模型模拟

3 结果与讨论

3.1 降雨情景设计

赣州市目前采用的暴雨强度公式来源于文献^[20],如式(4)。

$$q = \frac{3\,173 \times (1 + 0.56 \lg P)}{(t + 10)^{0.79}} \quad (4)$$

其中: q ——设计降雨强度, L/(s·hm²);

P ——设计重现期, a;

t ——设计降雨历时, min。

降雨雨型反映雨量在降雨历时中的时程分布规律,是降雨强度在时间尺度上的分配过程,本次研究

短历时降雨雨型采用基于雨峰系数为0.4的芝加哥雨型。根据赣州市暴雨强度公式和模式雨型,采用重现期1年一遇短历时2 h(48 mm)、2年一遇短历时2 h(56 mm)、3年一遇短历时2 h(61 mm)、5年一遇短历时2 h(67 mm)的设计降雨(图7)来评估管网的排水能力。

本次研究采用30年一遇长历时(24 h)设计降雨来评估区域内涝风险。24 h长历时设计降雨雨型根据各历时降雨量计算暴雨衰减指数,并采用文献^[21]中的设计暴雨雨型进行雨量分配,如表3所示,长历时设计降雨过程如图8所示。

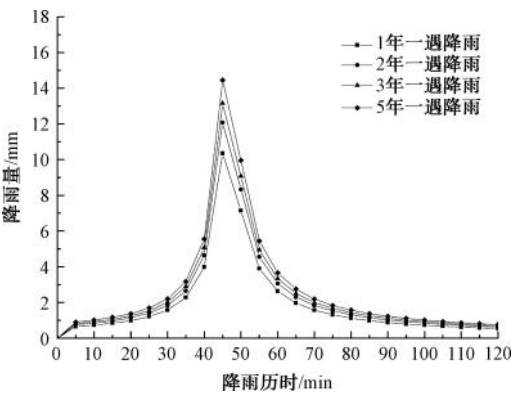


图 7 短历时设计降雨过程线
Fig. 7 Short Duration Design of Rainfall Process Curve

表 3 赣州市 30 年一遇 24 h 逐时雨量分配
Tab. 3 Hourly Rainfall Distribution of Recurrence Period of 30 Years in 24 h in Ganzhou City

时段/h	降雨量/mm
1	2.3
2	2.3
3	2.3
4	2.3
5	2.3
6	2.3
7	0
8	0
9	0
10	4.6
11	4.6
12	4.6
13	2
14	4
15	4
16	8.4
17	82
18	5.6
19	4.14
20	4.14
21	3.68
22	2.3
23	2.3
24	1.84

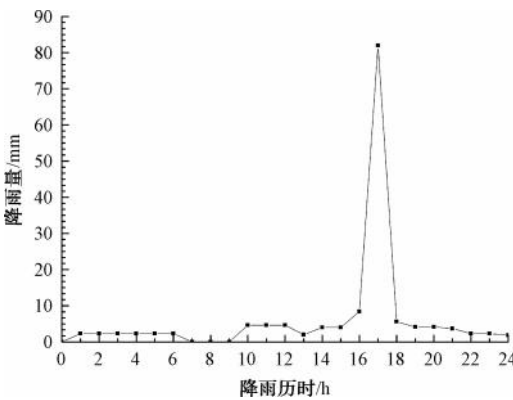


图 8 长历时设计降雨过程线
Fig. 8 Long Duration Design of Rainfall Process Curve

3.2 排水能力及内涝风险分析

以管道承压为排水能力评判标准,统计不同管道在模型计算的整个历时中的最大压力值,判断在该压力值下,管道是否是承压。该压力如果是正值(压力大于 0),说明管道承压,则不达标;该压力如果是负值(压力小于 0),说明管道不承压,则达标。

模拟河套老城区 1、2、3、5 年一遇暴雨历经 120 min 短历时设计降雨的排水能力情况,如表 4 所示。

表 4 管网排水能力统计
Tab. 4 Statistics of Drainage Capacity of Pipelines Network

管网排水能力	比例
<1 年一遇	55.32%
1~2 年一遇	9.58%
2~3 年一遇	6.62%
3~5 年一遇	4.59%
>5 年一遇	23.89%

评估结果显示,在 1 年一遇的降雨工况下,55.32%的管线不达标;9.58%的管线满足 1~2 年一遇设计降雨排水能力;6.62%的管线满足 2~3 年一遇设计降雨排水能力;4.59%的管线满足 3~5 年一遇设计降雨排水能力,在 5 年一遇的降雨工况下,23.89%的管线达标。由评估结果可知,河套老城区雨水管渠设计标准本身较低,排水能力小于 1 年一遇的管网占比较高,片区整体排水能力较低。

模拟结果(图 9)显示,主要积水点位于八一四大道与五龙路的交叉路口处,其中,3 年一遇平均淹没水深为 0.67 m,5 年一遇淹没水深为 0.74 m,30 年一遇淹没水深为 1.14 m,淹没水深及淹没范围随降雨重现期增大而增加。

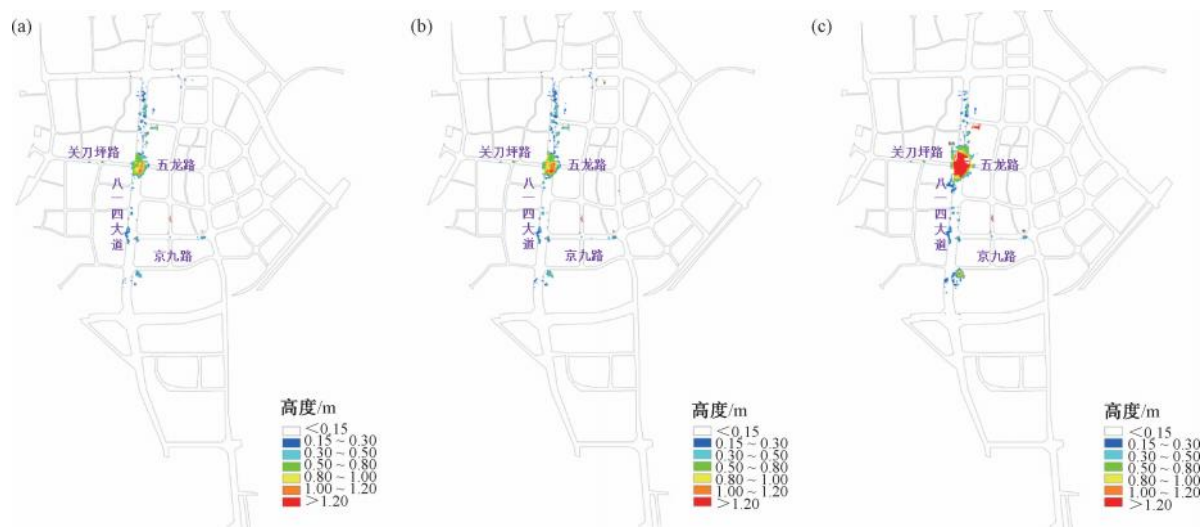


图 9 研究区域内涝淹没分布

Fig. 9 Submerged Range of Waterlogging Distribution in Study Area

参考《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)和《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)的内涝防治规定,根据不同的积水深度和积水时间划分内涝风险等级,如表 5 所示。30 年一遇降雨条件下研究区域内涝风险如图 10 所示,低风险区域面积为 0.065 hm²,中风险区域为 0.046 hm²,高风险区域面积为 0.17 hm²,集中在八一四大道与五龙路交叉口处。

表 5 内涝风险等级划分标准

Tab. 5 Classification Standard of Waterlogging Risk Grade

内涝风险等级	积水深度(h)/m	积水时间(t)/h
低风险区	$0.15 < h \leq 0.3$	> 1
中风险区	$0.3 < h \leq 0.5$	> 1
高风险区	$h > 0.5$	> 1

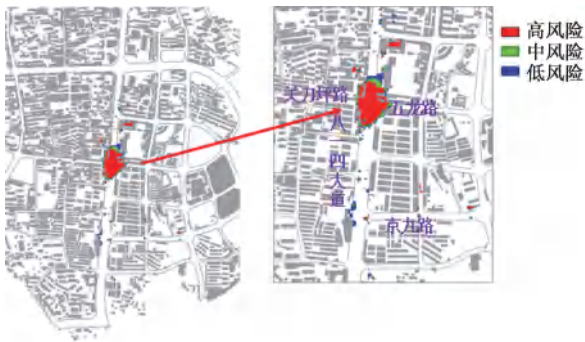


图 10 研究区域 30 年一遇降雨内涝风险图

Fig. 10 Waterlogging Risk Map of Recurring Period of 30-Year Rainfall in Study Area

3.3 内涝整治方案效果模拟评估

结合积水点实际情况,综合分析得出造成八一四大道与五龙路交叉口积水的原因管道排水能力不足以及地势低洼。

研究区域处于中心城区,城市建设成熟,建筑密度高,存在用地紧张改造难度大等限制,源头减排和末端调蓄等措施难以实施。因此,本次整治思路是提高管道排水能力,对排水能力不足的管网进行升级改造,提出在积水点下游沿八一四大道从五龙路至五龙一路新建长度为 1.3 km 的雨水管道,管道路线如图 11 所示。方案 1~3 的管道直径分别为 1.2、2.4 m 和 3 m,运用 MIKE 模型模

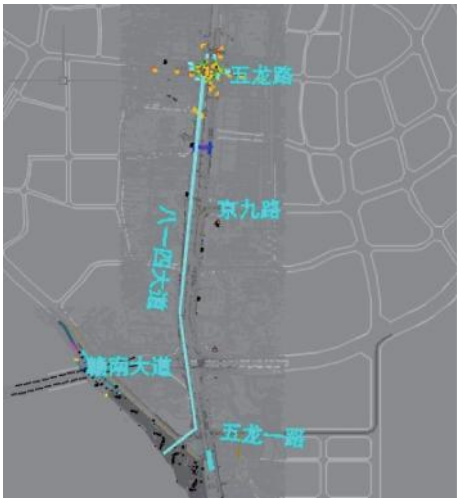


图 11 管道改造示意图

Fig. 11 Diagram of Drainage Pipelines Reconstruction

拟不同管径改造方案在 30 年重现期降雨情况下的积水情况,分析各方案整治效果,为内涝治理提供理论依据,并复核改造后的管网排水能力是否满足设计暴雨重现期。

模拟结果显示:方案 1 新建 1.2 m 管径雨水管后,八一四大道与五龙路口积水点淹水情况有较大改善,积水深度在 0.18~0.46 m,积水范围为 0.22 hm²,如图 12(a)所示,最长退水时间为 45 min,满足 5

年一遇降雨标准管线占比 25.45%;方案 2 新建 2.4 m 管径雨水管后积水点基本消除,积水分布在道路边缘,积水深度在 0.16~0.24 m,积水范围为 0.12 hm²,如图 12(b)所示,最长退水时间为 40 min,满足 5 年一遇降雨标准管线占比 32.39%;方案 3 新建 3 m 管径雨水管后淹没范围进一步减小,积水范围为 0.11 hm²,如图 12(c)所示,最长退水时间为 30 min,满足 5 年一遇降雨标准管线占比 34.87%。

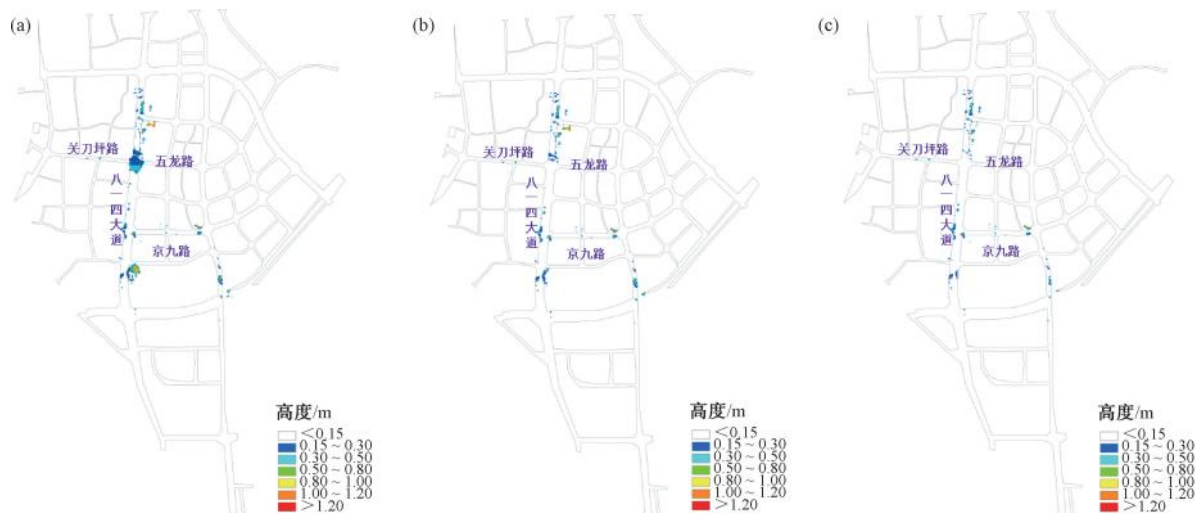


图 12 各方案淹没分布

Fig. 12 Submerged Range Distribution of Each Scheme

由模拟结果可知,在相同的重现期降雨情况下,方案 1 积水点积水深度降低,方案 2 和方案 3 基本消除积水点,大大缓解了八一四大道的内涝问题,积水面积相较于现状分别减少 57.14% 和 60.71%。

3.4 城市道路洪涝韧性分析

模拟 30 年重现期 24 h 场次暴雨下,改造前和不同改造方案工况下的城市道路韧性指数的变化情况,如图 13 所示,总体上韧性指数随着降雨强度的增加而降低,随着降雨强度的减小而回升。在 0~16 h 降雨强度较小,韧性指数变化不显著,随着降雨强度在 17 h 到达峰值,韧性指数急剧下降,改造前韧性指数为 0.28,方案 1~3 韧性指数分别为 0.58、0.64、0.69,说明改造后韧性稳定性提升,18 h 各工况韧性指数有所回升改造前为 0.48,方案 1~3 为 0.83、0.91、0.93,说明改造方案对城市道路内涝韧性恢复性有较大提升,且随着改造方案新建管道管径的增加道路内涝韧性不断提升。

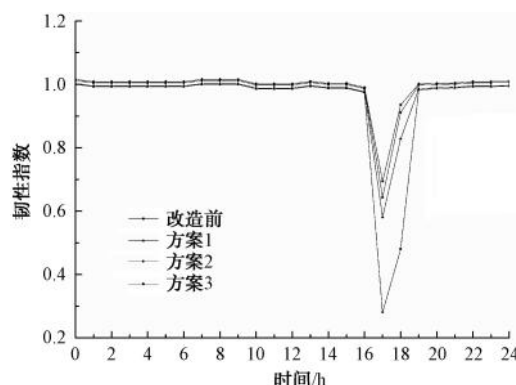


图 13 韧性指数变化

Fig. 13 Change of Resilience Index

4 结论

本研究以道路功能稳定性与恢复性构建了一种城市道路内涝韧性评估方法,以赣州市河套老城区八一四排水系统为研究对象,运用 MIKE FLOOD 耦合 MIKE URBAN 以及 MIKE 21 模型建立了洪涝模型,模拟研究区域在 1、2、3、5 年 4 种降雨重现期下 120 min 短历时设计降雨,来评估中心城区合流制管道高水位运行下的排水能力,模拟研究区域在 30 年

降雨重现期下 24 h 长历时设计降雨的积水情况,提出了管道改造的内涝治理方案,对比 30 年重现期下改造方案的效果及道路内涝韧性指数变化,得出以下结论。

(1)河套老城区雨水管渠设计标准较低,八一四排水系统排水管网小于 1 年一遇标准的占比为 55.32%,满足 1~2 年一遇标准的占比为 9.58%,满足 3~5 年一遇标准的占比为 4.59%,满足 5 年一遇标准以上的占比为 23.89%,总体而言管网系统整体排水能力较低。

(2)主要积涝点位于八一四大道与五龙路交叉路口处,随着降雨重现期的增加,最大积水深度增加,30 年一遇重现期降雨情况下,最大积水深度达到 1.14 m,积水面积达 0.28 hm²,其中高风险区域面积有 0.17 hm²。

(3)结合管网排水能力分析,老城区雨水管渠设计标准较低,管网系统整体排水能力较低是产生内涝的主要原因。制定适宜的内涝整治方案,对排水能力不足的管段进行改造,方案 2 和方案 3 实施后,内涝风险大大缓解,30 年一遇降雨条件下积水面积分别减少 57.14%和 60.71%,方案 3 有优势,但并无较大的差异。再结合经济性对比,方案 2 兼具经济性与实用性,综合效益优于方案 1 和方案 3,推荐方案 2 作为内涝整治方案。

(4)30 年一遇重现期降雨情况下道路内涝韧性指数呈随降雨强度的增加而降低,随降雨强度减小而回升的趋势,在 17 h 降雨到达峰值且韧性指数减小至最小值,方案 1~方案 3 的韧性指数分别较改造前提升 107.14%、128.57%和 146.43%,后续可进一步通过海绵城市建设、排水系统优化调度等措施提升内涝韧性。

参考文献

- [1] 宋天旭,刘家宏,梅超,等. 极端降雨下地下空间淹水对城市内涝过程的影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2024, 32(2): 349-364.
SONG T X, LIU J H, MEI C, et al. Research on the influence of underground space on urban waterlogging in extreme rainfall [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2024, 32(2): 349-364.
- [2] 张金萍,张朝阳,左其享. 郑州“7·20”极端降雨的城市内涝模拟及风险评估[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2023, 44(2): 1-7, 63.

- ZHANG J P, ZHANG Z Y, ZUO Q T. Urban waterlogging simulation and risk assessment of “7·20” extreme rainfall in Zhengzhou [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2023, 44(2): 1-7, 63.
- [3] 梁珊,刘毅,董欣. 中国排水系统现状及综合评价与未来政策建议[J]. 给水排水, 2018, 54(5): 132-140.
LIANG S, LIU Y, DONG X. Evaluation of the current drainage system in China and some policy advice [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(5): 132-140.
- [4] 时萌,嵇文晖,杨成昊,等. 城市排水体制现状及问题对策探究[J]. 资源节约与环保, 2023(10): 72-75, 117.
SHI M, JI W H, YANG C H, et al. Research on the current situation and countermeasures of urban drainage system [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2023 (10): 72-75, 117.
- [5] 赵超辉,万金红,张云霞,等. 城市内涝特征、成因及应对研究综述[J]. 灾害学, 2023(1): 220-228.
ZHAO C H, WAN J H, ZHANG Y X, et al. Review of the characteristics, causes and governance of urban flood in China [J]. Journal of Catastrophology, 2023(1): 220-228.
- [6] 马超,赵凯,齐文超,等. 基于示踪方法的沿海城市内涝防灾方案研究[J]. 水资源保护, 2022(1): 91-99.
MA C, ZHAO K, QI W C, et al. Formulation of flood mitigation scheme in coastal cities based on source tracking method [J]. Water Resources Protection, 2022(1): 91-99.
- [7] 王化齐,张戈,李林,等. 城市内涝风险识别、预警与韧性评估研究进展[J]. 灾害学, 2023, 38(1): 136-140.
WANG H Q, ZHANG G, LI L, et al. Risk identification, alarming, and resilience assessment of the urban waterlogging [J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(1): 136-140.
- [8] 李正兆,傅大放,王君娴,等. 应对内涝灾害的城市韧性评估模型及应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(2): 266-276.
LI Z Z, FU D F, WANG J X, et al. Urban resilience assessment model for waterlogging disasters and its application [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2022, 62(2): 266-276.
- [9] 朱诗尧. 城市抗涝韧性的度量与提升策略研究——以长三角区域城市为例[D]. 南京:东南大学, 2021.
ZHU S Y. Evaluation and improvement strategy of urban flood resilience——An example of cities in Yangtze River Delta [D]. Nanjing: Southeast University, 2021.
- [10] 徐宗学,叶陈雷. 城市暴雨洪涝模拟:原理、模型与展望[J]. 水利学报, 2021, 52(4): 381-392.
XU Z X, YE C L. Simulation of urban flooding/waterlogging processes: Principle, models and prospects [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2021, 52(4): 381-392.

(下转第 205 页)

- Education Press, 2018.
- [14] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 第3部分:水质分析质量控制:GB/T 5750.3—2023[S]. 北京:中国标准出版社, 2023.
- State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard examination methods for drinking water-part 3: Water analysis quality control: GB/T 5750.3—2023[S]. Beijing: China Standards Press, 2023.
- [15] 中华人民共和国生态环境部. 环境监测分析方法标准制定技术导则: HJ 168—2020[S]. 北京:中国标准出版社, 2020.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical guideline for the development of environmental monitoring analytical method standards: HJ 168—2020 [S]. Beijing: China Standards Press, 2020.
-
- (上接第 156 页)
- [11] 王双零, 许娜, 胡宇婷, 等. 城市雨洪灾害模拟与预警技术研究综述[J]. 项目管理技术, 2023, 21(11): 55–61.
- WANG S L, XU N, HU Y T, et al. Review of urban stormwater hazard simulation and early warning technology [J]. Project Management Technology, 2023, 21(11): 55–61.
- [12] 洪德松, 容义平, 冯先锋, 等. 全域系统化理念下的内涝防治实施方案编制思考——以深圳市某中心城区为例[J]. 净水技术, 2024, 43(s1): 247–253.
- HONG D S, RONG Y P, FENG X F, et al. Thoughts on the implementation plan for urban flood prevention and control under the concept of systematization: Case of a central city in Shenzhen City[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(s1): 247–253.
- [13] 徐宗学, 叶陈雷, 廖如婷. 城市洪涝灾害协同治理:研究进展与应用案例[J]. 地球科学进展, 2023, 38(11): 1107–1120.
- XU Z X, YE C L, LIAO R T. Integrated management technology for urban flooding/waterlogging disaster: Research progress and case study[J]. Advances in Earth Science, 2023, 38(11): 1107–1120.
- [14] 朱呈浩, 夏军强, 陈倩, 等. 基于 SWMM 模型的城市洪涝过程模拟及风险评估[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 224–230.
- ZHU C H, XIA J Q, CHEN Q, et al. SWMM-based urban flood modelling and risk evaluation[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 224–230.
- [15] 刘嵩, 杨志, 赵强, 等. 基于 MIKE FLOOD 耦合模型的深圳黄沙河片区内涝风险评估和改造分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2024, 32(3): 65–72.
- LIU S, YANG Z, ZHAO Q, et al. Urban flooding risk assessment and countermeasure in Huangsha River Area in Shenzhen based on MIKE FLOOD coupling model[J]. Journal of Anhui Jianzhu University, 2024, 32(3): 65–72.
- [16] 卓小燕, 孙翔. 基于 MIKE 模型的城市内涝风险评估与整治方案效果研究[J]. 水利规划与设计, 2023(10): 34–40.
- ZHUO X Y, SUN X. Risk assessment of urban waterlogging based on MIKE model and study on the effect of remediation scheme[J]. Water Resources Planning and Design, 2023(10): 34–40.
- [17] 李保建, 王林, 余俊. 基于 MIKE URBAN 模型的管道排水能力评估[J]. 净水技术, 2022, 41(2): 111–117.
- LI B J, WANG L, YU J. Evaluation of pipelines drainage capacity based on MIKE URBAN model [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 111–117.
- [18] 刘兴坡, 夏澄非, 柴耀智, 等. 基于 MIKE FLOOD 的巢湖市主城区现状排水能力与内涝风险评估[J]. 净水技术, 2020, 39(4): 59–66.
- LIU X P, XIA C F, CHAI Y Z, et al. Evaluation of current drainage capacity and waterlogging risk for Chaohu City based on MIKE FLOOD [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(4): 59–66.
- [19] 夏军强, 董柏良, 周美蓉, 等. 城市洪涝中人体失稳机理与判别标准研究进展[J]. 水科学进展, 2022, 33(1): 153–163.
- XIA J Q, DONG B L, ZHIOU M R, et al. Review on instability mechanisms and criteria of human body in floodwaters [J]. Advance in Water Science, 2022, 33(1): 153–163.
- [20] 张中和. 给水排水设计手册 第5册:城镇排水[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社, 2004.
- ZHANG Z H. Water supply and drainage design manual, volume 5: Urban drainage [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.
- [21] 江西省水文局. 江西省暴雨洪水查算手册[R]. 南昌:江西省水文局, 2010.
- Hydrological Bureau of Jiangxi Province. Jiangxi Province's manual for checking rainstorm and flood information [R]. Nanchang: Hydrological Bureau of Jiangxi Province, 2010.