

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.23.017

# 高密度建成区有限空间防洪排涝能力提升研究

崔潇龙<sup>1</sup>, 周艳莉<sup>2</sup>

(1. 成都市市政工程设计研究院有限公司, 四川 成都 610023; 2. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610299)

**摘要:** 成都市某高密度建成区河道防洪能力不达标、河道空间有限,导致上游壅水严重、片区内涝频发。为此,采用InfoWorks ICM软件构建片区模型,通过多方案水文计算和数值模拟分析,提出了“横向适度拓宽+纵向合理挖深+区域强排管理”相结合的系统工程措施,可使该河道的200年一遇洪水位降低0~3.45 m,减少强排泵站4座,消除内涝点位8个;此外,使河道壅水长度减少2.9 km,可缓解该片区的内涝,并将区域河道防洪标准提升至200年一遇。

**关键词:** 高密度建成区; 有限空间; 防洪排涝; InfoWorks ICM模型

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)23-0123-06

## Enhancing Flood Control and Drainage Capacity in Limited Spaces of High-density Built-up Area

CUI Xiao-long<sup>1</sup>, ZHOU Yan-li<sup>2</sup>

(1. Chengdu Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Chengdu 610023, China; 2. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610299, China)

**Abstract:** The flood control capacity of a river in a high-density urban built-up area in Chengdu does not meet established standards, and the limited river space contributes to significant backwater upstream and recurrent waterlogging within the vicinity. In this paper, the InfoWorks ICM software was employed to develop a regional model. Through comprehensive hydrological calculations and numerical simulation analysis across multiple schemes, a system engineering approach was proposed that integrated moderate horizontal widening, reasonable vertical excavation, and regional pumping discharge management. This strategy had the potential to lower the river's 200-year flood level by 0–3.45 meters, and resulted in the reduction of four pumping stations and the elimination of eight waterlogging points. Furthermore, the proposed scheme decreased the backwater length in the river by 2.9 kilometers, mitigated waterlogging issues in the region, and elevated the flood control standard of local waterways to a once-in-200-year.

**Key words:** high-density built-up area; limited space; flood control and drainage; InfoWorks ICM model

近年来,我国多个特大、超大城市频繁发生“城市看海”现象,洪涝灾害已成为我国城市的主要自然灾害之一。城市规模的不断扩大改变了城市地区的局部气候条件,形成雨岛效应,导致降水强度增加<sup>[1]</sup>;同时也侵占了城市河道原有的行洪区域,当出现短历时强降雨时很容易发生内涝,给人们的生命财产安全和城市的可持续发展带来极大威胁<sup>[2]</sup>。为了有效应对城市内涝灾害、提高城市水安全保障能力,充分发挥有限河道空间的行洪作用、加强城市内涝风险管理等成为关键措施<sup>[3]</sup>。

在以往的城市防洪排涝研究案例中,龙艺等人<sup>[2]</sup>提出采用大尺寸涵洞分洪方式来解决被侵占的城市河道行洪问题,通过分洪可以有效降低分洪起止点之间河道的水面线,缓解有限河道空间的行洪压力,但涵洞分洪起止点以外的上下游河道防洪能力不达标,并且对上游壅水影响和城区内涝问题未得到系统解决;孟庆佑等人<sup>[4]</sup>结合城市内河防洪排涝难点分析,提出采用疏浚河道、使用堤防等方式提高防洪排涝能力;黄福云<sup>[5]</sup>从城市排水系统在防洪排涝中发挥的作用入手,指出建设完善的城市排水管网对城市排涝有着举足轻重的作用。借鉴前人的研究成果,笔者针对成都市某高密度建成区防洪排涝问题,深入调研区域河道、管网、泵站、街道空间等条件,在不同降雨和洪水标准下,针对性地提出了多种工程方案,并进行水文计算和数值模拟分析,以期缓解该片区内涝情况,提高区域河道防洪标准,实现高密度建成区有限空间的防洪排涝能力提升。

## 1 研究区概况

### 1.1 基本情况

研究区域位于成都市天府新区,北起天府大道桥、南至牧华路大桥,东起天府大道、西至剑南大道,区域总面积约16.8 km<sup>2</sup>,平均人口密度达到1.15万人/km<sup>2</sup>,是典型的高密度建成区。研究区域内的河道起点位于天府大道桥,终点为牧华路大桥,自北向南穿越华阳城区,总长为9.4 km,既是上游河道洪水重要的行泄通道,又是区间雨洪的唯一出路。随着城市的快速建设,临河两岸均已建成大量的住宅、商业、学校、街区、滨河公园等,河道行洪拓展空间受限。

### 1.2 上位规划要求

依据《四川天府新区成都直管区防洪规划(2019—2035年)》,研究区域的河道防洪标准为200年一遇,城区内涝防治标准为50年一遇,规划河道蓝线宽度江安河汇口上、下游分别为110和160 m,河底纵坡为0.08%。推荐采用淘河、清障、调坡、减糙、局部截弯取直、拓宽瓶颈河段等措施,努力降低设计洪水位,为区域雨水自流出外排创造必要条件的整治方案,以提高城市防洪排涝能力。

### 1.3 存在的问题

#### 1.3.1 河道防洪能力不足

研究区域起点天府大道桥上游和终点牧华路大桥下游段河道已按规划200年一遇防洪标准形成,研究区域内河道的现状防洪能力为20~50年一遇,是河道行洪的瓶颈段。

根据现场调查及收集的资料分析,江安河汇口以上河道宽度为69~95 m,河弯6处,河道弯曲系数介于1.08~3.14之间;通济桥以上河底平均纵坡为0.04%,通济桥以下河底平均纵坡为0.16%,共有反坡17处,反坡高差介于0.44~2.81 m;研究区域内河道沿线有9座车行桥、2座人行桥和1座古桥(省级重点保护文物保护单位)。根据水文分析计算成果:①华龙桥处壅水0.62 m,双华桥处壅水0.60 m,二江寺古桥处壅水2.50 m。②与高新区交界的天府大道桥处现状200年一遇洪水位高于规划同频率洪水位3.88 m,回水影响长度为4.8 km。详见图1。

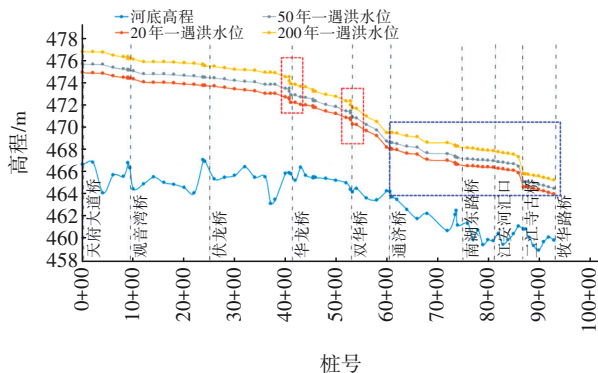


图1 现状水面线情况

Fig.1 Current status of water surface line

#### 1.3.2 片区内涝严重

研究区域为老城区,现状雨污合流管道长度为31.3 km,雨水管道长度为155.7 km。河道沿线共有56处入河雨水排水口低于现状20年一遇河道洪

水位0.37~5.74 m。为了解决区域内涝问题,已建临河强排泵站9座,排水流量为11.58 m<sup>3</sup>/s;规划新建强排泵站6座,排水流量为17 m<sup>3</sup>/s,详见图2。片区内主要易涝点有8个(编号依次为N-1~N-8),根据调查,在2018年“7·11”洪水事件(河道洪水重现期为20年一遇)中,8个易涝点的积水深度依次为0.51、0.25、0.44、0.21、0.36、0.11、0.15、0.12 m,退水时间依次为1.20、0.53、2.70、0.50、1.20、0.80、0.58、0.63 h。



图2 研究区域管网及内涝点位分布

Fig.2 Distribution of pipe network and waterlogging points in study area

## 2 设计方案

针对研究区域存在的问题,应统筹考虑上下游、左右岸的关系,系统谋划防洪和排涝、河道和管网等工程措施;发掘有限河道空间的潜力,降低河道水面线,兼顾区域内涝整治,从而找到解决片区防洪排涝问题的最优方案<sup>[6]</sup>。

### 2.1 横向适度拓宽

避免按规划河道宽度实施造成的大规模拆建,对河道进行适度拓宽。华龙桥处河道上下游240 m范围内拓宽0~16 m;双华桥处河道上下游900 m范围内拓宽0~10 m;二江寺古桥处河道上下游1100 m范围内拓宽0~50 m。

### 2.2 纵向合理挖深

设计河底起止点高程与天府大道桥和牧华路桥处河底一致,研究区域河底整体挖深0~3 m,整治后河底纵坡为0.08%。华龙桥和双华桥拆除重建,观音湾桥、伏龙桥、通济桥和南湖路桥基础进行加固。

### 2.3 区域强排管理

片区内涝整治措施:①片区雨污分流改造,改善原管道的动力,缓解道路排水不畅。②将华阳大道、牧华路、锦江路等主通道雨水管道设计重现期提高至5年一遇。③推进管网病害整治,彻底解决管喉、病害等问题。④在地势低洼、排水不畅区域新建强排泵站,强化“强排管理”措施,保留现状已建强排泵站9座,取消规划建设强排泵站4座(左岸7#、左岸8#、右岸5#、右岸7#,规模分别为3.8、1.1、3.2、4.4 m<sup>3</sup>/s),新建强排泵站2座(左岸5#、左岸6#,规模分别为1.5、3.0 m<sup>3</sup>/s)。

## 3 模型构建

目前,用于区域降雨径流模拟的数学模型主要有MIKE、HSPF、SWT、SWMM、InfoWorks ICM等,其中,InfoWorks ICM软件能够精确而有效地模拟河道洪水与区间雨水管排水相互影响和叠加以及共同作用的工况,适用于本项目河道防洪和城市内涝的模拟。

### 3.1 模型研究范围

为评估规划方案下片区的防洪排涝能力,将上游高新区段锦江河道1~2 km内的城区范围纳入研究区域,建模面积共计16.8 km<sup>2</sup>。模型包含了地块、道路、河道、雨水管网等下垫面基础条件,以及现有强排泵站、桥梁等设施 and 建(构)筑物。经梳理,删除对模型无影响的汇水面积较小的管网分片,最终研究区域共导入1235条合流管、2186条雨水管,管道总长70482.2 m;导入3484个管井节点,56个排口;导入河道2条,总长11.4 km;导入现状已建强排泵站9座。管径统计信息如下:管径≤500、500~1000、1000~2000、≥2000 mm的管道长度分别为19305.1、41697.3、8486.1、993.7 m,占比分别为27.39%、59.16%、12.04%、1.41%。9座现状已建强排泵站的规模分别为2.2、0.53、2.2、0.78、1.38、1.91、0.53、1.46、0.59 m<sup>3</sup>/s,服务面积分别为26.77、9.67、25.02、4.37、14.92、23.36、5.30、15.98、2.93



hm<sup>2</sup>。研究区域模型概化如图3所示。



图3 模型概化

Fig.3 Model generalization graph

### 3.2 模型边界条件

#### 3.2.1 锦江与江安河入流边界

选取锦江与江安河200年一遇洪水过程作为边界入流条件。锦江200年一遇洪峰流量为1 990 m<sup>3</sup>/s, 江安河200年一遇洪峰流量为610 m<sup>3</sup>/s。入流过程线如图4所示。

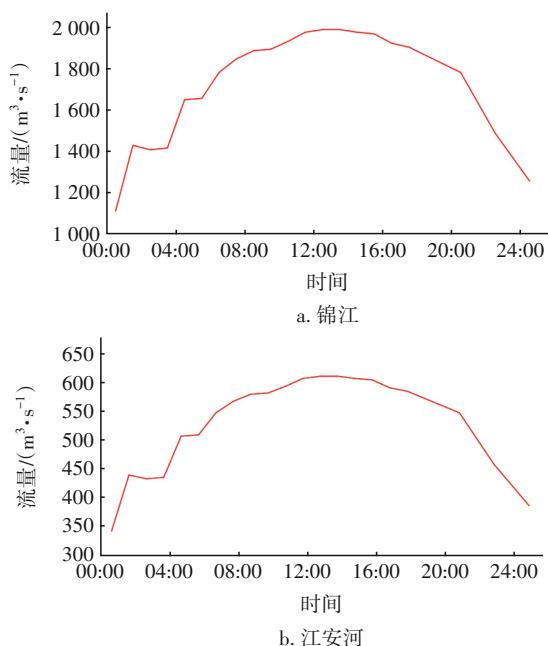


图4 锦江和江安河洪水过程线

Fig.4 Flood process lines of Jinjiang River and Jiang'an River

#### 3.2.2 下游水位与设计降雨

模型下游边界水位按实测资料,采用200年一遇水位值465.40 m进行计算。雨型采用成都市雨型资料,其10年一遇24 h设计降雨过程线见图5。在流域洪水与片区降雨的模拟中,按照峰对峰的较不利情况进行模拟分析。

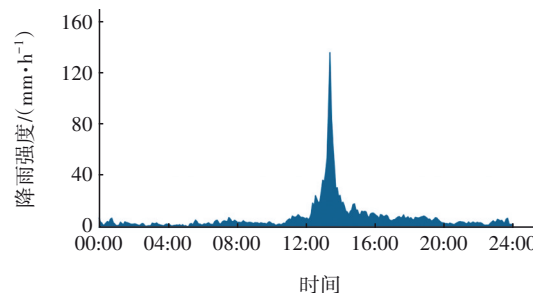


图5 10年一遇24 h设计降雨过程线

Fig.5 24-hour design rainfall process line at 10-year return period

### 3.3 模型参数及验证

#### 3.3.1 模型参数取值

对于本研究选用的汇流模型,绿地和裸地等透水下垫面采用Horton下渗法模拟,初损值分别取0.01、0.008 mm,初渗率、稳渗率、衰减率分别取50 mm/h、5 mm/h、3 h<sup>-1</sup>和60 mm/h、5 mm/h、3 h<sup>-1</sup>;屋面、道路和硬地等不透水或弱透水下垫面采用固定径流系数法模拟,初损值分别取0.002、0.003、0.005 mm,Fixed模型参数分别取0.9、0.85、0.75。管道糙率CW值取1.5,河床糙率取0.028。

#### 3.3.2 模型验证

利用模型模拟现状条件下片区在遭遇10年一遇24 h降雨与20年一遇流域洪水组合时的洪涝风险,结果显示,积水点N-1~N-8的积水深度分别为0.41、0.29、0.54、0.29、0.26、0.21、0.24、0.21 m,退水时间分别为1、0.33、3、0.67、1、1.17、0.38、0.33 h,模拟结果与2018年“7·11”洪水事件的积水情况较吻合,故构建的模型适用于本研究。

## 4 结果与分析

#### 4.1 方案一:横向适度拓宽

经模型模拟,将二江寺古桥段河道拓宽后,江安河汇口以下可达到200年一遇防洪标准,同时使通济桥至二江寺古桥段2.6 km河道的200年一遇洪水水位降低0~1.71 m,河道防洪能力从20年一遇提高至50年一遇;华龙桥和双华桥处河道拓宽后,完全消除了壅水影响,详见图6。

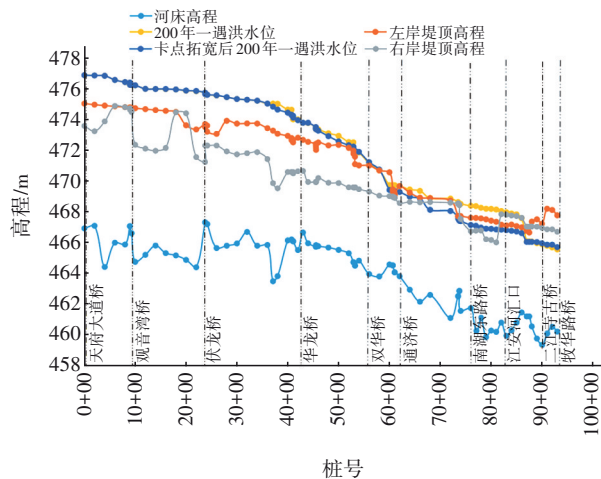


图6 在200年一遇洪水情况下横向适度拓宽河道的效果  
Fig.6 Effect of moderate horizontal widening river under the condition of a 200-year flood

#### 4.2 方案二:横向适度拓宽+纵向合理挖深

经模型模拟,对研究区域河道采取“横向适度拓宽+纵向合理挖深”措施后,河道200年一遇洪水位下降0~3.45 m,起点天府大道桥处洪水位下降2.32 m,上游壅水影响减少2.9 km,详见图7。天府大道桥至双华桥之间共计5.8 km堤防加高0~1.8 m,平均加高高度为1.0 m。研究区域河道可实现200年一遇防洪标准。

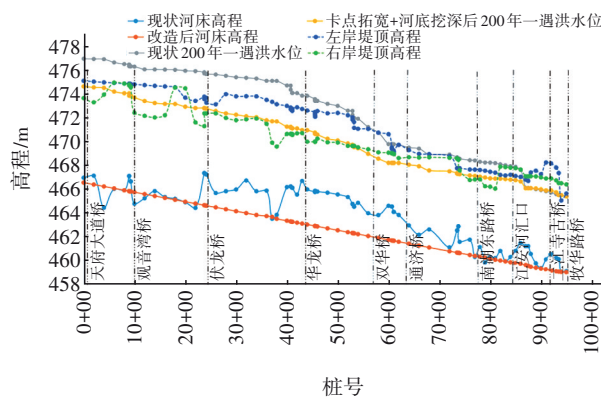
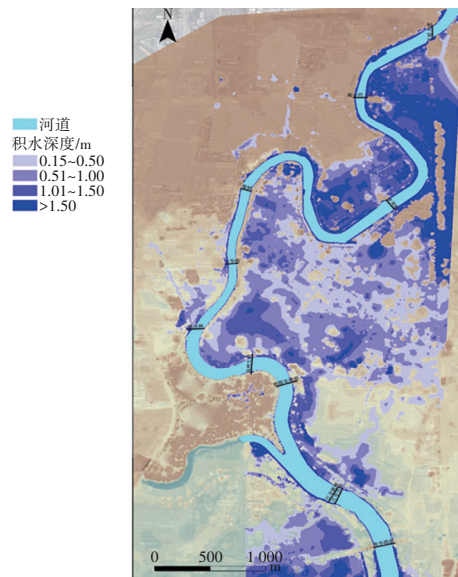


图7 在200年一遇洪水情况下横向适度拓宽+纵向合理挖深河道的效果  
Fig.7 Effect of moderate horizontal widening and reasonable vertical digging river under the condition of a 200-year flood

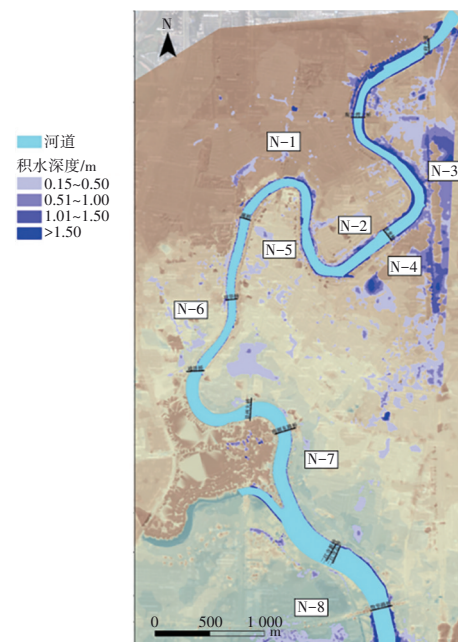
#### 4.3 方案三:方案二+区域强排管理

在方案二的基础上,新建2处强排泵站,排涝流量合计4.5 m<sup>3</sup>/s,结合现状已建强排泵站,可解决8个易涝点的内涝问题。根据模拟结果,片区在同时遭遇10年一遇24 h降雨与200年一遇流域洪水情

况下,现状与规划方案的内涝风险对比详见图8。规划方案的内涝情况相比现状有明显改善。涝水量从200.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>降低至33.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,降低了83%;内涝面积从2.0 km<sup>2</sup>减少到0.59 km<sup>2</sup>,减少了70% (见表1)。但部分区域管网自身能力不足,导致排水不畅,仍然有积水,主要分布在N-3和N-4区域。



a. 现状



b. 规划方案

图8 现状与规划方案的内涝风险对比

Fig.8 Comparison of waterlogging risk between current situation and planning scheme

表1 现状与规划方案的积水情况对比

Tab.1 Comparison of waterlogging between current situation and planning scheme

积水点	工况三:现状				工况三:规划方案			
	积水深度/m	退水时间/h	积水面积/m <sup>2</sup>	涝水量/m <sup>3</sup>	积水深度/m	退水时间/h	积水面积/m <sup>2</sup>	涝水量/m <sup>3</sup>
N-1	0.42	1	2 189	1 042	0.33	1	2 080	886
N-2	1.17	0.33	247 104	291 135	0.30	0.35	25 045	7 187
N-3	1.48	>24	717 170	1 053 748	0.65	>24	457 672	285 975
N-4	1.09	20	31 063	34 939	1.06	0.42	18 632	20 227
N-5	0.60	21.5	588 595	347 664	0.28	1	63 965	16 437
N-6	0.47	13	45 683	21 637	0.22	1	16 700	3 677
N-7	0.69	15	163 853	111 505	0.25	0.3	7 191	1 772
N-8	0.68	6	208 354	142 259	0.21	0.3	2 672	523

5 结论

① 通过“横向适度拓宽+纵向合理挖深+区域内涝整治”的组合措施,能有效解决高密度建成区有限空间下河道防洪排涝能力不达标的问题,可将研究区域的河道防洪能力提高至200年一遇,将内涝防治能力提高至50年一遇。

② 通过“横向适度拓宽+纵向合理挖深”的组合措施,可大幅度降低河道洪水水面线,有效提高河道行洪能力,充分利用高密度建成区有限的河道空间,可解决河道与城市建设用地的冲突问题,为城市的发展和建设创造有利条件。

③ 降低河道水面线是解决高密度建成区防洪排涝问题的重要途径。城市的排水设施、河网体系建设要和城市化进程匹配。做好城区河流、管网疏浚和清淤工作,对旧城区管网进行病害整治,可有效提高河道行洪能力和管网的排涝能力。

参考文献:

[ 1 ] 罗鑫玥,陈明星. 城镇化对气候变化影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2019, 34(9): 984-997.

LUO Xinyue, CHEN Mingxing. Research progress on the impact of urbanization on climate change [J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(9): 984-997 (in Chinese).

[ 2 ] 龙艺,谭嗣城,潘龙阳,等. 运用大尺寸涵洞解决被侵占的城市河道行洪问题数值研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(8): 36-42.

LONG Yi, TAN Sicheng, PAN Longyang, *et al.* Numerical research on the flood discharge problem of encroached urban river using large culvert [J]. China Rural Water and Hydropower, 2021 (8): 36-42 (in Chinese).

[ 3 ] 徐卫红,李娜,王艳艳,等. 基于城市洪涝仿真模型的天津中心城区内涝特征分析[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(6): 20-33.

XU Weihong, LI Na, WANG Yanyan, *et al.* Urban flood-waterlogging simulation model-based analysis on waterlogging characteristics of central urban area of Tianjin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53(6): 20-33 (in Chinese).

[ 4 ] 孟庆佑,陈神云. 城市内河防洪除涝的难点与解决途径初探[J]. 科学技术创新, 2018(27): 97-98.

MENG Qingyou, CHEN Shenyun. Difficulties and solutions of urban inland river flood control [J]. Scientific and Technological Innovation, 2018(27): 97-98 (in Chinese)

[ 5 ] 黄福云. 探讨城市下水系统中防洪排涝体系的建设[J]. 价值工程, 2019, 38(24): 66-67.

HUANG Fuyun. Exploring the construction of flood control and drainage system in urban sewage system [J]. Value Engineering, 2019, 38 (24): 66-67 (in Chinese).

[ 6 ] 王江波,王子初,温佳林,等. 香港城市防洪排涝对策及启示[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 48-54.

WANG Jiangbo, WANG Zichu, WEN Jialin, *et al.* Countermeasures and enlightenment of the flood control and drainage in Hong Kong [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 48-54 (in Chinese).

作者简介:崔潇龙(1992- ),男,陕西汉中,本科,工程师,主要研究方向为城市防洪排涝规划和设计。

E-mail:1179281819@qq.com

收稿日期:2023-11-06

修回日期:2024-03-22

(编辑:刘贵春)