

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.011

基于内涝风险预评估的道路排水工程方案设计与优化

柳文波¹, 杨涛^{1,2}, 郑立安³

(1. 武汉市城市建设投资开发集团有限公司, 湖北 武汉 430050; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430070; 3. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 为考察拟建工程对暴雨天气的抵抗能力,以武汉市右岸大道(江安路-八坦路)工程为例,采用InfoWorks对其排水设计方案进行了内涝风险预评估。为解决右岸大道内涝问题,建议:按规划同步打通下游雨水通道,并在此基础上增加抽排泵站,以加强末端出路的排水能力;在内涝风险较高的路段加密雨水口布置,并改用边沟收水,以提高路面雨水的收集效能;做好市政雨水管网的维护工作,以减轻管道及路面收水设施的淤积。此外,对雨水口布置间距、边沟尺寸和泵站规模进行了模拟分析。该预评估方法及优化建议可为其他同类工程提供借鉴。

关键词: 道路排水工程; 内涝; 风险预评估

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0069-06

Design and Optimization of the Road Drainage Project Based on Waterlogging Risk Pre-assessment

LIU Wen-bo¹, YANG Tao^{1,2}, ZHENG Li-an³

(1. Wuhan Urban Construction Investment & Development Group Co. Ltd., Wuhan 430050, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430070, China; 3. Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: This paper pre-assessed the waterlogging risk of You'an Avenue (Jiang'an Road to Batan Road, Wuhan) drainage design project via InfoWorks, so as to investigate the resistance of the proposed project to rainstorm weather. The following suggestions were proposed to solve the waterlogging problem in You'an Avenue. Firstly, the stormwater drainage channel located downstream shall be constructed simultaneously according to the plan, and the pumping station shall be built on this basis to enhance the drainage capacity of the end outlet. Secondly, the stormwater inlet in the sections with higher waterlogging risk shall be densified and replaced by side ditch to collect runoff, so as to improve the runoff collection efficiency of road. Thirdly, good maintenance of the municipal stormwater pipe network is runoff conducive to reducing the siltation of pipeline and road runoff collecting facilities. In addition, the arrangement space of stormwater inlet, the size of side ditch and the scale of pumping station were simulated. The pre-assessment method and optimization suggestions aim to provide reference for other similar projects.

Key words: road drainage project; waterlogging; risk pre-assessment

近年来,受极端暴雨天气影响,城市内涝现象频发,造成了巨大的社会影响^[1-2]。以2021年郑州“7·20”特大暴雨事件为例,主城区路面最大积水深度近2.6 m,全市因灾死亡失踪380人,造成直接经济损失409亿元。因此,各级人民政府高度关注公共基础设施的防灾、减灾能力,针对工程建设,在方案设计阶段开展内涝风险预评估也越来越受到各方的重视。通过建设前的内涝风险分析来评估并优化设计方案,从而确保项目可以满足相关防涝要求,避免严重内涝事件的发生。

武汉市属于亚热带大陆性季风气候,雨水充沛且降雨强度大,极易发生暴雨。如在2015年“7·23”特大暴雨事件中,中心城区当日降雨量达197 mm,最大小时降雨量达87.5 mm。该新建右岸大道南段(江安路-八坦路)(简称“右岸大道”)工程位于白沙新城重点功能区,是《长江主轴概念方案》确定的兼具交通、观景、游憩功能的世界级滨水大道,一旦发生内涝,危害大、影响广。因此,根据《关于加强城市内涝治理的实施意见》(国办发〔2021〕11号)和武汉市《市人民政府关于进一步提升城市能级和城市品质的实施意见》(武政〔2021〕13号)的要求,对右岸大道工程的设计方案进行内涝风险预评估,分析风险程度和易涝点位,提出应对措施及优化建议,旨在指导工程的后续建设。

1 工程概况与设计方案

右岸大道选址位于长江武汉段的中段,全长约2.6 km、红线宽40 m,北起江安路、南抵八坦路,西邻八铺街堤、东距新武金堤300~550 m;现状为八铺街堤的巡检通道,路面高程约为26.0 m(1985国家高程,下同),为片区的低洼地段。周边总体开发程度不高,现状地面高程为24.5~30.1 m,开发完成后地面高程将控制在29.0 m左右。

沿线雨水现状由宽600 mm左右的方沟收集后,通过倒口湖泵站($Q=1.3 \text{ m}^3/\text{s}$)和木材厂泵站($Q=0.6 \text{ m}^3/\text{s}$)抽排出江。毗邻地块目前形成了沿新武金堤路和夹套河路的主干雨水管涵及少量配套支管,片区雨水主要通过夹套河路雨水箱涵向南排至江南泵站前池,汛期经江南泵站($Q=150 \text{ m}^3/\text{s}$)抽排出江,非汛期经江南闸自排出江。排水现状见图1(a)。



a. 排水现状



b. 排水规划

图1 排水现状和排水规划

Fig.1 Present drainage situation and drainage planning

排水体制采用雨污分流制,设计降雨量 q 根据《武汉市暴雨强度公式及设计暴雨雨型》(DB 4201/T 641—2020)计算,如下式所示:

$$q = \frac{1614(1 + 0.887 \lg P)}{(t + 11.23)^{0.658}} \quad (1)$$

式中: t 为降雨历时,min; P 为设计重现期,取10 a。

根据《右岸大道南段(临江大道)(张之洞路-八坦路)道路和排水修建规划》和水力计算,右岸大道(江安路-江民路)(简称“右岸大道北支”)新建一条 $d1200 \sim 1500 \text{ mm}$ 管道,向北接入在建 $B \times H=2.2 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 箱涵,最终经在建巡司河泵站($Q=40 \text{ m}^3/\text{s}$)抽排或现状解放闸自排出江。右岸大道(江民路-八

坦路)(简称“右岸大道南支”)新建 1 条 $d1\ 500\text{ mm}\sim B\times H=2.4\text{ m}\times 2.2\text{ m}$ 管涵,向东接入江盛南巷上游现状 $d2\ 400\text{ mm}$ 雨水管,然后通过江国路现状 $d1\ 500\sim 1\ 800\text{ mm}$ 雨水管和江盛路现状 $d1\ 500\text{ mm}$ 雨水管接入夹套河路主干箱涵,最终经现状江南泵站抽排或江南闸自排出江。另外,江盛南巷下游新武金堤路-夹套河路段规划新建 $B\times H=3.5\text{ m}\times 2.2\text{ m}$ 箱涵,使右岸大道南支雨水经江盛南巷直接接入夹套河路主干箱涵。排水规划设计方案见图 1(b)。

2 评估标准与方法

2.1 评估标准

右岸大道位于武汉市的重要地区,根据《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)和《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)的要求,排涝设计应能抵御 100 年一遇的降雨。另外,由于雨水管涵设计标准为 10 年一遇降雨,评估标准采用 100 年一遇和 10 年一遇 2 个降雨重现期。在 100 年一遇降雨情景中,确保道路双向至少各有 1 条车道积水不超过 15 cm,且路面积水(超过 15 cm)时长不超过 2 h;在 10 年一遇降雨情景中,确保路面无积水,且管道为重力流。降雨事件采用 DB 4201/T 641—2020 中的 24 h 长历时雨型(见图 2),100 年一遇和 10 年一遇情景的总降雨量分别为 321.5 和 218.7 mm。

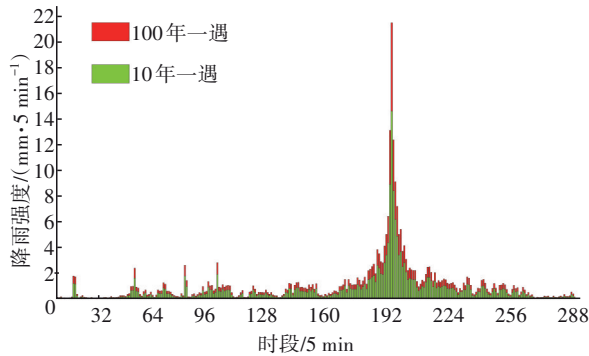


图 2 设计降雨雨型

Fig.2 Pattern of the design storm

2.2 评估方法

右岸大道属于汤逊湖流域的出江直排区,通过青菱河、巡司河等河渠及附属闸口与流域内的其他子排水区连通,外水对右岸大道所在本底系统的排水影响巨大。因此,采用 InfoWorks ICM (10.5) 软件^[3]根据模拟区地面自然高程和设计高程数据、管线勘测和设计数据、流域水系资料,以整个汤逊湖流域为背景范围搭建了本底排水系统的精细模型

(见图 3)。汤逊湖流域汇水面积约 458 km²,本底系统汇水面积约 22.6 km²。此外,为了更好地分析路面积水情况,对右岸大道红线范围内的 2D 区间进行了精细划分。

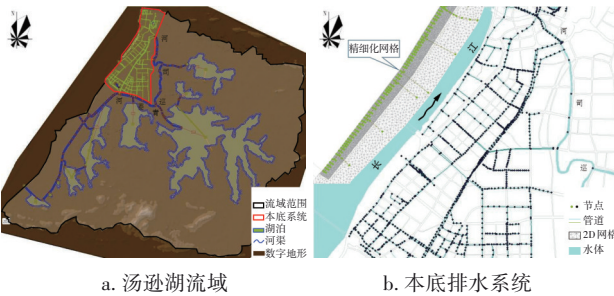


图 3 排水系统网络模型

Fig.3 Network model of drainage system

产流模型水文参数见表 1;汇流计算采用 SWMM 模型;管道水力计算采用曼宁公式,管道粗糙系数取 0.014,河渠粗糙系数取 0.02~0.025^[4]。

表 1 产流模型水文参数

Tab.1 Hydrological parameters of the runoff model

下垫面类型	产流计算	曼宁 n 值
绿地	Horton 法,初损=8 mm	0.15
裸地	Horton 法,初损=6 mm	0.05
水面	Fixed 法,径流系数 $\Psi=1.0$	0.001
硬化表面	Fixed 法,径流系数 $\Psi=0.9$	0.02

2.3 初始化分析

根据《右岸大道南段(临江大道)(张之洞路-八坦路)道路和排水修建规划》和建设安排,右岸大道(张之洞路-江安路)已先于该工程实施,因此右岸大道北支下游雨水箱涵和巡司河泵站可确保承担右岸大道北支排水任务,研究将其按现状排水设施处理。鉴于右岸大道南支下游现状已有排水出路,且江盛南巷(新武金堤路-夹套河路)箱涵暂未按规划实施,初始阶段先对右岸大道南支不同的排水出路进行模拟分析。根据以往同类工程的建模经验,初始阶段右岸大道仅在道口设置检查井收水,路面暂不布置雨水口,且周边地形采用现状地形。在 100 年一遇降雨情景中,现状排水出路(工况 1)和规划排水出路(工况 2)条件下,最不利时右岸大道的管道纵断面见图 4。

在工况 1 中,右岸大道南支管涵水位线高出地面线,有两处(①、②)检查井溢水,路面出现 5 处阻断交通的积水,最大积水深度超过 1 m。在工况 2

中,右岸大道南支管涵处于非满流状态,但路面同样出现了5处阻断交通的积水,且最大积水深度也超过了1 m。在这两种工况中,右岸大道北支路面均无明显积水。显然,现状排水出路无法使右岸大道达到双向至少各有1条车道积水不超过15 cm的要求,而打通江盛南巷下游箱涵则能够显著改善右岸大道南支管涵的排水条件,但对解决路面积水问题帮助有限。这可能是由于模型的精细化程度不足且路面未布置雨水口,导致管道系统收水效能较低,难以对降雨进行有效收集。因此,后续正式评估阶段的模拟全部以路面布置雨水口且江盛南巷(新武金堤路-夹套河路)箱涵打通为前提。

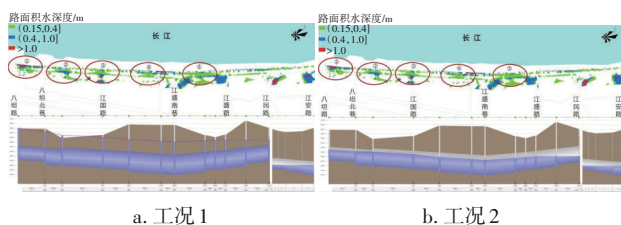


图4 工况1、2管道纵断面

Fig.4 Pipeline vertical sections of the first and second situation

3 分析与讨论

3.1 第一阶段

根据设计方案,路面按40 m左右的间距布置集水井并双侧布置雨水口,雨水口排出管管径为400 mm、坡度为0.01;沿线地块的竖向高程和下垫面特征采用现状地形、地貌。100年一遇(工况3)和10年一遇降雨情景(工况4)中,最不利时右岸大道的管道纵断面见图5。

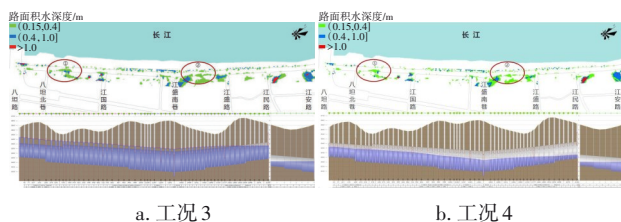


图5 工况3、4管道纵断面

Fig.5 Pipeline vertical sections of the third and fourth situation

在工况3中,右岸大道南支管涵水位线虽已完全降至地面以下,但明显高于工况2;路面积水情况明显改善,未阻断交通,说明降雨被有效收集至管道系统中。路面仅有2处较严重的积水,分别是:①处,积水深度为0.15~0.30 m,积水时长为0~0.5 h,

积水面积约2 765 m²;②处,积水深度为0.15~0.25 m,积水时长为0~0.5 h,积水面积约4 226 m²。在工况4中,南支管涵处于非满流状态,曾在工况3中出现积水路段的积水范围明显缩小。在这两种工况中,右岸大道北支路面同样无明显积水。

由此可知,在当前边界条件下,右岸大道设计管道的排水能力充裕;如何使降雨迅速进入管道系统是改善路面积水情况的关键,而集水井和雨水口则是影响管道系统收水效能的关键;路面有2处严重的积水,无法满足100年一遇和10年一遇降雨条件下的防涝要求。

3.2 第二阶段

根据第一阶段的评估成果,在局部低洼路段两侧按20 m左右的间距加密雨水口布置,100年一遇(工况5)和10年一遇降雨情景(工况6)中,最不利时右岸大道的管道纵断面见图6。

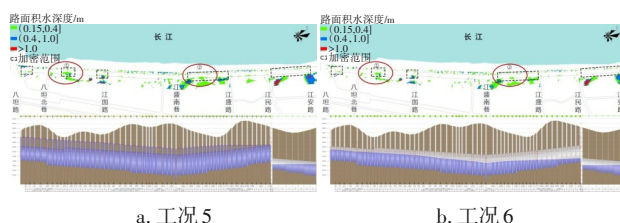


图6 工况5、6管道纵断面

Fig.6 Pipeline vertical sections of the fifth and sixth situation

在工况5中,右岸大道南支管涵水位线高于工况3,但未超过地面;路面仍有2处积水,但范围明显缩小,分别是:①处,积水深度为0.15~0.30 m,积水时长为0~0.5 h,积水面积约1 785 m²;②处,积水深度为0.15~0.25 m,积水时长为0~0.5 h,积水面积约2 426 m²。在工况6中,右岸大道南支管涵水位线相较于工况4有所上升,路面积水情况也有所改善。右岸大道北支路面无明显积水。

由此可知,针对积水路段加密雨水口布置,虽然提升了管道系统的收水效能,改善了路面积水问题,但仍然无法满足100年一遇和10年一遇降雨条件下的防涝要求。

3.3 第三阶段

根据建设单位和水利部门的意见,对设计方案和评估方法进行如下优化:①优化道路竖向;②考虑未来沿线地块的开发;③考虑实际运行中的管道淤积;④增加其他措施进一步提升路面排水效能。

因此,在该阶段及后续阶段中,沿线地块的竖向高程和下垫面特征均采用开发后的,并根据《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)的要求,对所有市政雨水管道考虑20%的断面淤积。集水井和雨水口的布置同工况5,100年一遇(工况7)和10年一遇降雨情景(工况8)中,最不利时右岸大道的管道纵断面见图7。

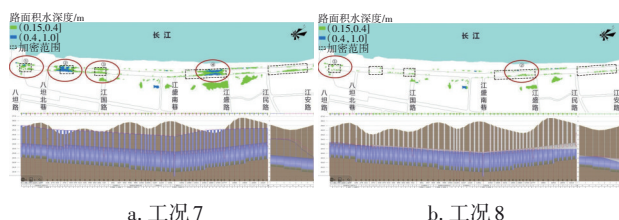


图7 工况7、8管道纵断面

Fig.7 Pipeline vertical sections of the seventh and eighth situation

在工况7中,右岸大道南支管涵水位线明显高于工况5,局部甚至超过地面。有3处(①、②、④)检查井溢水,路面出现4处较为严重的积水,分别是:①处,积水深度为0.15~0.45 m,积水时长为0~1 h;②处,积水深度为0.15~0.60 m,积水时长为0~1 h;③处,积水深度为0.15~0.25 m,积水时长为0~1 h;④处,积水深度为0.15~0.52 m,积水时长为0~1 h。右岸大道北支管涵水位线明显高于工况5,但尚未超过地面;路面积水情况则明显缓解,基本不会影响交通。在工况8中,右岸大道南支管涵过流情况与工况6总体相似,但水位线明显上升,局部管段甚至出现承压流;路面积水情况相较于工况6也有明显缓解。

由此可知,管道淤积导致其排水能力大幅下降^[5];综合考虑道路竖向和地块开发等因素后,路面积水情况有明显缓解,但现有集水井和雨水口布置方案对解决路面积水问题的效果有限,仍然无法使右岸大道达到100年一遇和10年一遇降雨条件下的防涝要求。

3.4 第四阶段

以第三阶段的评估成果为基础,在路面积水问题突出的路段将雨水口改为 $B \times H = 0.40 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ 的边沟,排出管管径改为600 mm,间距与检查井保持一致。100年一遇(工况9)和10年一遇降雨情景(工况10)中,最不利时右岸大道的管道纵断面见图8。

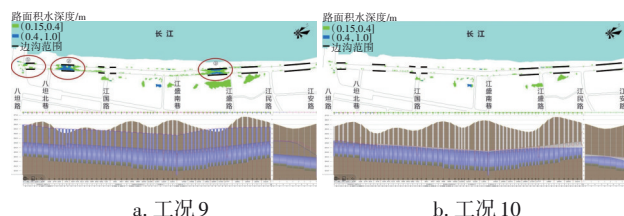


图8 工况9、10管道纵断面

Fig.8 Pipeline vertical sections of the ninth and tenth situation

在工况9中,右岸大道管涵过流情况与工况7相似。右岸大道南支管涵有3处(①、②、③)检查井溢水,路面出现3处明显积水,分别是:①处,积水深度为0.15~0.45 m,积水时长为0~1 h;②处,积水深度为0.15~0.60 m,积水时长为0~1 h;③处,积水深度为0.15~0.50 m,积水时长为0~1 h。右岸大道北支路面几乎没有积水。工况10与工况8总体相似,右岸大道南支局部管段出现承压流,右岸大道北支管道全部处于非满流状态;总体而言,管道已接近满流,富余能力偏低。

由此可知,改用边沟收水能够进一步解决右岸大道路面积水问题,使右岸大道达到10年一遇降雨条件下的防涝要求,且对右岸大道北支管涵的改善效果明显优于右岸大道南支管涵。分析表明,在这两种工况中,制约防涝效果的主要因素已不再是路面排水设施较低的收水效能,而是下游通道不畅导致的排水能力不足。

通过上述4个阶段的研究,形成的方案包括:①下游出路采用规划排水通道;②检查井按40 m一处布置;③一般路段雨水口按40 m间距双侧布置,排出管采用 $d400 \text{ mm}$ 管道;④局部路段雨水口改为 $B \times H = 0.40 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ 的边沟,排出管改为 $d600 \text{ mm}$ 管道;⑤周边采用开发后的地形;⑥管道考虑20%的断面淤积。工况11在此基础上,在右岸大道与江盛南巷交汇处增设江盛南巷泵站($Q = 12 \text{ m}^3/\text{s}$),以进一步提升右岸大道南支管涵的下游出路排水能力,最不利时右岸大道的管道纵断面见图9。

在工况11中,右岸大道南支管涵的水位线明显下降,路面仅出现1处较为明显的积水,深度和时长分别为0.15~0.45 m、0~0.5 h,基本不会阻断交通,整体防涝效果良好。可见,增设江盛南巷泵站能够有效改善右岸大道的排水条件,使之达到100年一遇降雨条件下的防涝要求。

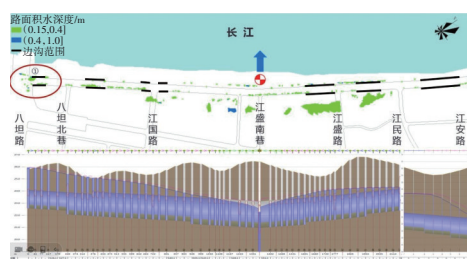


图9 工况11管道纵断面

Fig.9 Pipeline vertical sections of the eleventh situation

4 结论与建议

主要结论:①确保下游出路排水通畅、能力充足,是道路排水防涝的关键;②加密雨水口布置或者改用边沟收水可以大幅提升道路排水系统的收水效能,有助于解决路面积水问题;③管道淤积会导致其排水能力大幅下降。

主要建议:①尽快按规划同步打通下游江盛南巷(新武金堤路-夹套河路)箱涵;②在内涝风险较高的路段改用边沟收水,边沟尺寸宜为 $B \times H = 0.40 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$,排出管管径宜为600 mm;③在右岸大道与江盛南巷交汇处增设江盛南巷泵站,规模应不小于 $12 \text{ m}^3/\text{s}$;④做好市政雨水管网的维护工作,尽可能减轻管道及路面收水设施的淤积,保障其正常的排水能力;⑤路面设计高程按地块开发后的竖向控制,提升至29.0 m左右。

在江盛南巷(新武金堤路-夹套河路)箱涵和江盛南巷泵站实施前,建议如下:①右岸大道南支管涵排水优先沿江国路、江盛路排水通道接入夹套河箱涵;②在江民路路口将南、北支排水管道连通,利用下游巡司河泵站协助南支排水;③保留和改造现状木材厂泵站、倒口湖泵站,提升抽排能力。

参考文献:

- [1] 刘家宏,裴羽佳,梅超,等. 郑州“7·20”特大暴雨内涝成因及灾害防控[J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(2): 38-45.

LIU Jiahong, PEI Yujia, MEI Chao, *et al.* Waterlogging cause and disaster prevention and control

of “7·20” torrential rain in Zhengzhou [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, 44 (2): 38-45 (in Chinese).

- [2] 杨舒楠,张芳华,胡艺,等. “23·7”华北特大暴雨过程的基本特征与成因初探[J]. 暴雨灾害, 2023, 42 (5): 508-520.

YANG Shunan, ZHANG Fanghua, HU Yi, *et al.* Analysis on the characteristics and causes of the “23·7” torrential rainfall event in North China [J]. Torrential Rain and Disasters, 2023, 42 (5): 508-520 (in Chinese).

- [3] 刘克臻,周艳莉,崔潇龙. 基于InfoWorks ICM模型的城市片区排水防涝方案优化研究[J]. 给水排水, 2023, 49(3): 60-64.

LIU Kezhen, ZHOU Yanli, CUI Xiaolong. Research on scheme optimization of drainage and waterlogging prevention system in urban area based on InfoWorks ICM model [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(3): 60-64 (in Chinese).

- [4] 杨涛,陈宝玉,王正雄,等. 城市雨水管道排水能力评估中不同方法的对比分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23): 134-138.

YANG Tao, CHEN Baoyu, WANG Zhengxiong, *et al.* Comparison of different methods applied in drainage capacity assessment of municipal storm sewers [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (23): 134-138 (in Chinese).

- [5] 宋瑞宁,戴正晖,王宇,等. 管网缺陷对城市排水系统模拟结果的影响[J]. 中国给水排水, 2021, 37 (11): 125-130.

SONG Ruining, DAI Zhenghui, WANG Yu, *et al.* Influence of pipe network defects on simulation results of urban drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37 (11): 125-130 (in Chinese).

作者简介:柳文波(1989-),男,湖北宜昌人,硕士,工程师,从事市政给排水工程建设管理工作。

E-mail: lwbresearch2023@163.com

收稿日期:2023-10-04

修回日期:2023-11-06

(编辑:沈靖怡)