

城市排水与
雨洪管理

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2026. 01. 020

地块层面雨水调蓄规模研究及其“平急两用”初探

张钊晞¹, 马金明¹, 王美娜¹, 何 婷¹, 张义斌¹, 周彦灵¹,
张晓刚¹, 叶嘉逸¹, 马 骁¹, 赵生宝²

(1. 北京清华同衡规划设计研究院有限公司, 北京 100085; 2. 平凉市海绵城市建设技术服务
中心, 甘肃 平凉 744000)

摘 要: 针对平凉市的洪涝灾害问题,采用MIKE URBAN软件,建立雨水调蓄空间评估模型,研究地块层面雨水调蓄设施的最优规模,并探究其在“平急两用”视角下的运行要点。模拟结果表明,当汇水面积为5.0~15.0 hm²时,应对2年一遇短历时降雨,雨水调蓄空间的最优规模为50 m³,能够削减50.7%~75.7%的峰值流量,并可将系统重现期从2年一遇标准提高至100年一遇标准;当汇水面积为10.0 hm²时,应对20年一遇长历时降雨,雨水调蓄空间的最优规模为50 m³,能够将峰值流量出现时间延缓123 min;“平急两用”雨水调蓄设施运行维护方面,在降雨30 min后,或者当上游来水量大于下游管道承受能力时开启调蓄池,峰值过后,多余的水溢流,降雨结束后调蓄设施在2~5 d内放空。

关键词: 雨水调蓄空间; 平急两用; 模型评估; MIKE URBAN软件

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)01-0125-06

Research on Rainwater Storage Capacity at Plot Level and Preliminary Exploration of Its “Dual Purpose for Routine and Emergency” Application

ZHANG Muxi¹, MA Jinming¹, WANG Meina¹, HE Ting¹, ZHANG Yibin¹,
ZHOU Yanling¹, ZHANG Xiaogang¹, YE Jiayi¹, MA Xiao¹, ZHAO Shengbao²

(1. Beijing Tsinghua Urban Planning and Design Institute, Beijing 100085, China; 2. Sponge
City Construction Technology Service Center of Pingliang, Pingliang 744000, China)

Abstract: Aiming at the flood disaster problem in Pingliang City, the MIKE URBAN software was employed to establish a rainwater storage capacity assessment model. The study investigated the optimal scale of rainwater storage facilities at the plot level and explored key operational considerations from the perspective of “dual purpose for routine and emergency” application. The simulation results indicated that for catchment areas of 5.0–15.0 hm², under short-duration rainfall events with a 2-year return period, the optimal scale of rainwater storage capacity was 50 m³. This could reduce peak flow by 50.7% to 75.7% and enhance the system’s design return period from the 2-year to the 100-year standard. For a catchment area of 10.0 hm², under long-duration rainfall events with a 20-year return period, the optimal scale of rainwater storage capacity was 50 m³, which could delay the peak flow occurrence by 123 minutes. In

基金项目: 平凉市科技计划项目(PL-STK-2023A-030)

通信作者: 张钊晞 E-mail: zhangmuxi1022@163.com

terms of the operation and maintenance of “dual purpose for routine and emergency” rainwater storage facilities, the storage pond should be activated 30 minutes after the rainfall onset or when the inflow exceeded the downstream pipe capacity. After the peak flow, excess rainwater was discharged via overflow, and the facility should be emptied within 2–5 days after the rainfall ends.

Keywords: rainwater storage capacity; dual purpose for routine and emergency; model evaluation; MIKE URBAN software

近年来,我国各地陆续开展了海绵城市、排水防涝建设,但受全球气候变化影响,极端暴雨天气频发,面对严重的洪涝灾害事件,国家对排水防涝系统建设从更高维度提出了新要求^[1]。2023年7月,国务院常务会议提出将“平急两用”理念落实在公共基础设施建设中,为提升城市安全韧性和应急保障能力提供了政策指引^[2]。雨水调蓄空间是排水防涝系统中发挥“平急两用”的重要载体,雨水调蓄空间中的“平急两用”,是该理念在防汛安全保障领域的应用^[3]。

平凉市获批“十四五”第二批系统化全域推进海绵城市建设示范城市以来,全域开展了海绵城市建设,系统构建了排水防涝体系,已建成雨水调蓄空间 $5.58 \times 10^4 \text{ m}^3$,在消除内涝积水点和提高排水标准等方面取得了一定成效。但平凉市在“平急两用”多功能防涝设施系统规划建设及应急防涝能力上仍存在不足,一方面,建设初期部分地块的雨水调蓄设施收水范围不清晰,导致系统层面调蓄设施布局及规模有待进一步优化;另一方面,已实施的雨洪调蓄空间缺乏多功能目标下布局和规模系统的论证分析^[4]。

基于平凉市排水防涝系统建设发展现状和面临的挑战,笔者在“平急两用”视角下,通过构建雨水调蓄空间利用评估模型,设计和优化雨水调蓄空间的规模,探究其削峰调蓄潜力,以及在“平急两用”视角下的运行要点,使其既能满足市民休闲、娱乐和生态需求,又能在遭遇超标降雨等紧急情况时迅速转换为雨水调蓄设施,有效减轻城市内涝灾害的影响,为雨水调蓄空间的利用以及“平急两用”排水防涝设施建设提供技术支撑。

1 研究区域概况

平凉市位于甘肃省东部,地处陇东地区黄土高原中心地带,全市总面积为 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,下辖五县一区一市,常住总人口为184.86万人。

平凉市中心城区位于崆峒区境内,是黄河二级支流泾河上游的重要节点城市,泾河自西向东穿城而过,流经建成区长度为25 km;总体地形呈两山夹一川地,海拔为890~2 858 m;中心城区规划面积约为 142 km^2 ,城市建成区面积约为 42 km^2 。平凉市中心城区各季节降水量分布很不均匀,冬春季雨水少、夏秋季雨水多,降水主要集中在6月—9月,1991年—2023年期间6月—9月降水量平均为362.6 mm,占年均降水量的71%。

2 模型构建

本研究利用MIKE URBAN软件构建城市市政雨水管网模型,通过分析管网末端场地外排水的出流时间、峰值流量及其出现时间,探究地块层面雨水调蓄空间的合理规模及削峰调蓄潜力^[5],模型构架如图1所示。

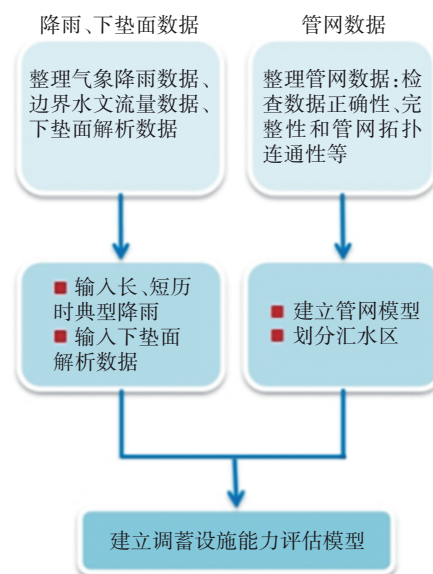


图1 调蓄设施能力评估模型架构

Fig.1 Architecture diagram of capacity evaluation model for storage facilities

2.1 模型概化

本研究充分结合平凉市的区域特点,在地块层

面选取陇东明珠小区作为概化对象(见图2),其汇水面积约为 10.3 hm^2 ,地块内雨水管网管径为DN300~500,在管网末端布置了一个有效容积为 100 m^3 的雨水调蓄设施^[6-7]。



图2 陇东明珠小区排涝格局平面图

Fig.2 Plan of drainage pattern in Longdong Mingzhu community

根据平凉市的用地规划以及现状建设情况,地块面积一般在 $5.0\sim 15.0\text{ hm}^2$,同时根据陇东明珠小区的地形地势和雨水管网等条件,等比例构建汇水面积分别为 5.0 、 7.5 、 10.0 、 12.5 、 15.0 hm^2 的MIKE URBAN模型。

2.2 边界条件

2.2.1 下垫面边界条件

通过解析平凉市中心城区下垫面情况,为了保障模型参数的边界清晰,模型暂不考虑下垫面差异,以非海绵城市建设地块下垫面作为基本汇流参数,海绵城市建设前径流系数概化为 0.54 。

2.2.2 降雨边界条件

地块层面模拟采用平凉市短历时降雨雨型,内涝防治标准下的模拟采用平凉市长历时降雨雨型,降雨数据来源于《平凉市中心城区暴雨强度公式技术报告》中确定的不同重现期下 2 h 短历时和 24 h 长历时雨量分配数据。 1 、 2 、 3 、 5 、 20 、 100 年一遇重现期下 2 h 短历时降雨量分别为 16.87 、 24.36 、 28.69 、 34.15 、 49.03 、 66.31 mm , 2 、 3 、 5 、 20 、 100 年一遇重现期下 24 h 长历时降雨量分别为 53.12 、

63.12 、 76.36 、 110.00 、 149.99 mm 。其中, 2 h 短历时典型降雨雨型如图3所示。该雨型的主要特征表现为降雨主要集中在 $37\sim 49\text{ min}$,雨峰位置系数(r)为 0.33 ,降雨峰值出现时间为 41 min ,该雨型瞬时降雨强度大、雨峰突出,极易造成管网短时满管带压力运行。

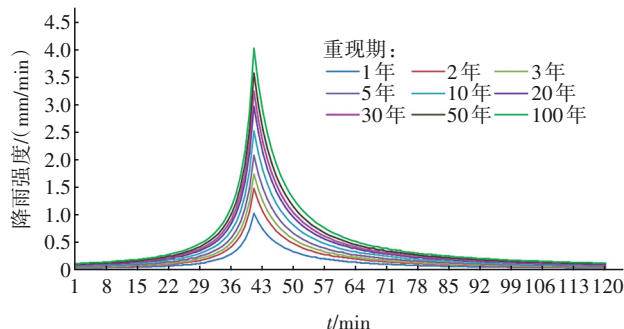


图3 平凉市2 h短历时典型降雨雨型

Fig.3 2-hour short-duration typical rainfall pattern of Pingliang City

2.3 模型率定

结合平凉市2023年—2024年的降雨监测数据,选择2024年4月18日短历时降雨数据(降雨量为 36 mm)对管网模型进行率定,将该场降雨条件下崆峒大道南排口、甘肃医学院排口、定北路排口、彩虹桥排口的模型模拟结果与现场监测数据进行对比,其中,甘肃医学院排口的数据对比情况如图4所示。根据《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》(T/CECS 647—2019)中对模型率定与验证的要求,采用Nash-Sutcliffe效率系数(NSE)作为模型吻合度的评价指标,即当 $\text{NSE}>0.50$ 时模型可满足要求,当 $\text{NSE}>0.75$ 时模拟结果非常好。经过上述模型率定后,模型模拟结果与实际监测数据拟合度非常好,3组数据的 $\text{NSE}\geq 0.75$ 、1组数据的 $\text{NSE}>0.50$ 。经模型率定和验证后,符合本地化的管道曼宁系数率定值为 0.013 、不透水系数为 0.54 。

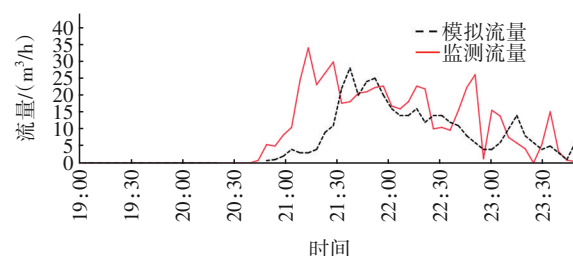


图4 管网模型模拟结果与监测数据对比

Fig.4 Comparison between simulation results of pipe network model and monitoring data

2.4 目标函数

雨水调蓄设施的主要目标是削减峰值流量和降低城市内涝风险,因此本研究的目标函数为单位调蓄设施容积下的削峰率,以评估调蓄设施在削减峰值流量方面的性能。目标函数越大,说明单位容积调蓄设施在削减峰值流量方面的性能越好,目标函数最大值对应的调蓄设施容积即为最优规模。

2.5 模型模拟工况

本模型共设置3种模拟工况:

① 基于平凉市中心城区2年一遇的雨水管渠建设标准、20年一遇的内涝防治标准,以及平凉市已实施的地块层面雨水调蓄设施规模即30~200 m³,在降雨重现期为2年一遇条件下,分别在汇水面积为5.0、7.5、10.0、12.5、15.0 hm²的管网末端设置50、100、150、200 m³的调蓄设施,对比分析场地外排水流量,以探究在不同汇水面积下,调蓄设施规模对削峰效果的影响。

② 为了进一步探究雨水调蓄设施在高重现期下的最优规模,在降雨重现期为20年一遇条件下,于汇水面积为10.0 hm²的管网末端分别设置50、100、150、200 m³的调蓄设施。

③ 确定调蓄设施的最优规模后,设置降雨重现期分别为1、2、3、5、20和100年一遇,评估调蓄设施对系统排水防涝能力的提升效果。

不同模拟工况条件下的雨水调蓄设施均在降雨后开启。

3 模拟结果与分析

3.1 调蓄设施最优规模

在重现期为2年一遇条件下,于不同汇水面积的管网末端设置不同规模的调蓄设施进行模拟实验,并将模拟结果与无调蓄设施的对照组进行对比,探究调蓄设施规模对削峰效果的影响,结果如表1所示。可知,在相同汇水面积条件下,随着调蓄设施规模的增大,场地外排水的出流延缓时间、峰值延缓时间和削峰量均逐渐增大。当汇水面积为5.0~15.0 hm²时,目标函数最大值对应的调蓄设施规模为50 m³,单位容积调蓄设施的削峰率最高,与对照组相比,能够削减50.7%~75.7%的峰值流量,并将出流时间延缓6~8 min、峰值流量出现时间延缓16~20 min。综合考虑削峰效果和经济因素,当汇水面积为5.0~15.0 hm²时,应对2年一遇降雨,在管网

末端设置50 m³的调蓄设施是较为合理的。

表1 不同汇水面积和调蓄设施规模下场地外排水出流情况(2年一遇)

Tab.1 Drainage outflow under different catchment areas and storage facility scales (2-year return period)

汇水面积/ hm ²	调蓄设施 规模/ m ³	出流 延缓 时间/ min	峰值 延缓 时间/ min	外排峰 值流 量/(m ³ / s)	削峰 量/ (m ³ / s)	削峰 率/%	目标 函数/ m ⁻³
5.0	0			0.37			
	50	8	17	0.09	0.28	75.7	0.015
	100	11	29	0.05	0.32	86.5	0.009
	150	15	40	0.03	0.34	91.9	0.006
	200	19	50	0.02	0.35	94.6	0.005
7.5	0			0.54			
	50	7	17	0.15	0.39	72.2	0.014
	100	14	28	0.08	0.46	85.2	0.009
	150	14	40	0.05	0.49	90.7	0.006
	200	15	53	0.04	0.50	92.6	0.005
10.0	0			0.63			
	50	7	16	0.22	0.41	65.1	0.013
	100	11	25	0.12	0.51	81.0	0.008
	150	13	34	0.08	0.55	87.3	0.006
	200	13	43	0.06	0.57	90.5	0.005
12.5	0			0.66			
	50	6	20	0.28	0.38	57.6	0.012
	100	12	27	0.17	0.49	74.2	0.007
	150	12	36	0.11	0.55	83.3	0.006
	200	12	47	0.08	0.58	87.9	0.004
15.0	0			0.67			
	50	6	20	0.33	0.34	50.7	0.010
	100	9	32	0.21	0.46	68.7	0.007
	150	11	36	0.15	0.52	77.6	0.005
	200	11	44	0.11	0.56	83.6	0.004

3.2 内涝防治标准下调蓄设施最优规模

基于平凉市中心城区20年一遇的内涝防治标准,同时考虑到平凉市建设地块平均面积约为10.0 hm²,在20年一遇重现期条件下,于汇水面积为10.0 hm²的管网末端分别设置不同规模的调蓄设施进行模拟实验,并将模拟结果与无调蓄设施的对照组进行对比,探究高重现期下调蓄设施规模对其削峰效果的影响,结果如表2所示。可知,与无调蓄设施的对照组相比,在管网末端布置50~200 m³的调蓄设施,能够将场地外排水的出流时间延缓5~11 min,峰值流量出现时间延缓123~155 min,峰值流量

削减 22.8%~31.6%,在长历时降雨条件下,小规模
的调蓄设施对场地外排管段流量虽然仍有一定的
调节作用,但削峰效果减弱。目标函数最大值对应
的调蓄设施规模为 50 m³,与对照组相比,能够削减
22.8% 的峰值流量,出流时间延缓 5 min,峰值流量
出现时间延缓 123 min。因此,综合考虑经济因素,
应对 20 年一遇降雨,当汇水面积为 10.0 hm² 时,在
管网末端设置 50 m³ 的调蓄设施是合理的,调蓄设施
削峰效果显著。

表2 不同调蓄设施规模下场地外排水出流情况(20年一遇)

Tab.2 Drainage outflow under different storage
facility scales (20-year return period)

调蓄设 施规 模/m ³	出流延 缓时 间/min	峰值延 缓时 间/min	外排峰 值流量/ (m ³ /s)	削峰量/ (m ³ /s)	削峰 率/%	目标 函数/ m ⁻³
0			0.79			
50	5	123	0.61	0.18	22.8	0.005
100	6	126	0.59	0.20	25.3	0.003
150	9	140	0.56	0.23	29.1	0.002
200	11	155	0.54	0.25	31.6	0.002

3.3 系统能力提升评估

基于上述结果,在汇水面积为 10.0 hm² 的地块
层面,调蓄设施规模为 50 m³ 的条件下,针对不同重
现期的短历时降雨情景进行模拟实验,并将模拟结
果与无调蓄设施的对照组进行对比,评估雨水调蓄
空间对系统能力的提升效果,结果如图 5 所示。

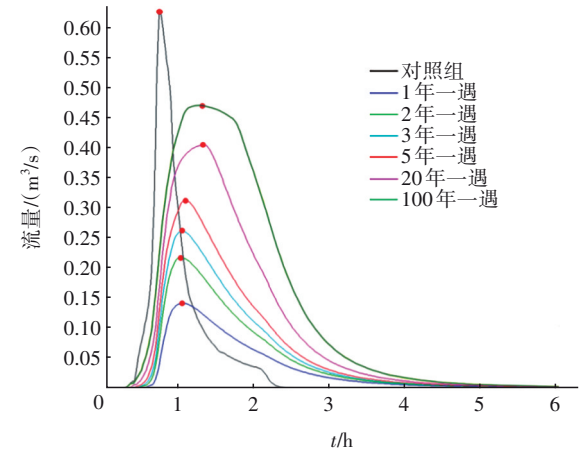


图5 不同重现期条件下场地外排水出流情况

Fig.5 Drainage outflow under different return periods

由图 5 可知,当重现期由 1 年一遇提升至 100 年
一遇时,场地外排水的出流时间不断提前,峰值流
量逐渐增大。然而,与重现期为 2 年一遇的对照组

相比,当重现期为 100 年一遇时,50 m³ 的调蓄空间
仍能削减 25.4% 的峰值流量,这说明,在管网末端
设置 50 m³ 的调蓄空间能够应对 100 年一遇的降雨。
因此,在常规的汇水面积和下垫面情况下,设置 50
m³ 的调蓄空间可以有效提高系统排水能力,可将系
统重现期标准从 2 年一遇提高至 100 年一遇。

4 “平急两用”调蓄设施运行要点

根据平凉市典型短历时降雨过程,降雨主要集
中在第 37~49 分钟,该时段降雨量占比达到 45%,结
合模型模拟结果,在 2 年一遇重现期条件下,上游管
段的流量在降雨后第 42 分钟达到峰值(见图 6),因
此,建议在降雨 30 min 后,或当上游来水量大于下
游管道承受能力时开启调蓄池,收集、处理、储存雨
水,削峰调蓄,达到满蓄水平后溢流,并在极端天气
过后及时放空,以水泵放空为主。

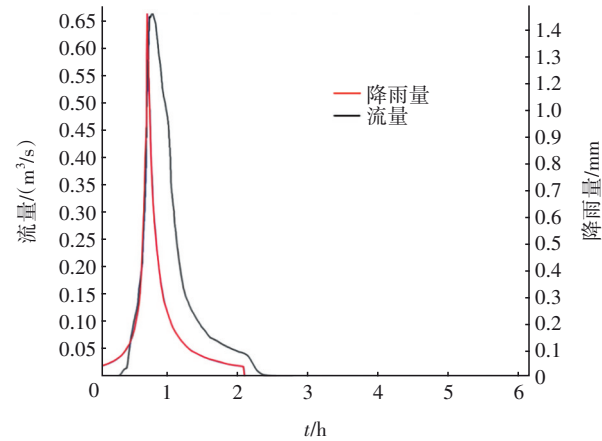


图6 调蓄设施上游管段流量(2年一遇,50 m³调蓄容积)

Fig.6 Upstream pipeline flow of storage facility (2-year
return period, 50 m³ storage volume)

根据平凉市 2023 年全年降雨数据,上半年累计
降雨量较小,两次降雨时间间隔 5~20 d;7 月进入雨
季后,降雨量明显增多,两次降雨时间间隔缩短至
2~8 d,降雨频次增加;10 月上旬雨季结束后,两次降
雨时间间隔延长至 7~30 d。因此,建议降雨结束后
调蓄设施在 2~5 d 内放空,优先以天气预报预警为
主,提前放空。

5 结论

① 针对平凉市陇东明珠小区,在“平急两用”
视角下构建雨水管网模型,对场地外排水流量的模
拟结果表明,当汇水面积为 5.0~15.0 hm² 时,应对 2
年一遇降雨,雨水调蓄空间规模控制在 50 m³ 较为经
济合理,能够削减 50.7%~75.7% 的峰值流量,并将

峰值流量出现时间延缓16~20 min。

② 当汇水面积为10.0 hm²时,应对20年一遇降雨,雨水调蓄空间的最优规模为50 m³,能够削减22.8%的峰值流量,并将峰值流量出现时间延缓123 min。

③ 当设置50 m³的雨水调蓄设施时,能够将系统重现期从2年一遇标准提高至100年一遇标准,有效提升系统的排水防涝能力,充分发挥“平急两用”效果。

④ 在“平急两用”雨水调蓄设施运行机制方面,建议降雨30 min后,或当上游来水量大于下游管道承受能力时开启调蓄池,峰值过后,多余的水溢流,降雨结束后调蓄设施在2~5 d内放空。

参考文献:

- [1] 张庆霞. 城市洪涝灾害治理的社会韧性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
ZHANG Q X. Research on Social Resilience of Urban Flood Disaster Governance [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2021 (in Chinese).
- [2] 王威,朱峻佚,郭小东,等. “平急两用”公共基础设施体系及其机制建设[J]. 城市发展研究, 2024, 31(6): 54-61.
WANG W, ZHU J Y, GUO X D, et al. Research on the construction of public infrastructure system and its mechanisms for “dual use” [J]. Urban Development Studies, 2024, 31(6): 54-61 (in Chinese).
- [3] 龚晓露. 城镇平急两用雨水调蓄设施规划设计要点研究[J]. 城市道桥与防洪, 2024(2): 96-100.
GONG X L. Research on essentials of planning and design for urban rainwater storage facilities with dual use of usual and emergency situations [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2024 (2): 96-100 (in Chinese).
- [4] 马金明,张义斌,何婷,等. 新形势下城市排水防涝规划编制与实施探讨[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 32-37.

MA J M, ZHANG Y B, HE T, et al. Discussion on the compilation and implementation of urban drainage and waterlogging prevention plan in the new era [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39 (14): 32-37 (in Chinese).

- [5] 王川涛,黄丽娇,王俊佳. 基于MIKE FLOOD模型的老城区内涝防治研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(15): 128-132.
WANG C T, HUANG L J, WANG J J. Prevention and control of waterlogging in old urban district based on MIKE FLOOD model [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(15): 128-132 (in Chinese).
- [6] 王江海,于卫红,于星涛. 济南新旧动能转换起步区防洪排涝体系的构建探索[J]. 中国给水排水, 2024, 40(20): 33-39.
WANG J H, YU W H, YU X T. Exploration on construction of flood control and drainage system in the new and old dynamic energy conversion starting district in Jinan [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(20): 33-39(in Chinese).
- [7] 陈前虎,周明,邹澄昊,等. 海绵化改造小区调蓄池优化布局及其雨水径流控制效果:以浙江省嘉兴市烟波苑小区为例[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 235-242.
CHEN Q H, ZHOU M, ZOU C H, et al. Optimizing layout of storage pool in sponging-transformation estate and its effects on runoff control of rain water: taking Yanboyuan Estate of Jiaxing City, Zhejiang Province as an example [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 235-242 (in Chinese).

作者简介:张钊晞(1999—),女,北京人,硕士,助理工程师,主要从事市政基础设施规划、海绵城市建设、排水防涝规划、水系统综合规划及水环境综合治理等方面的工作。

E-mail:zhangmuxi1022@163.com

收稿日期:2025-01-17

修回日期:2025-03-14

(编辑:刘贵春)