

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2021.0004

李怀民,常晓栋,徐宗学,等.基于SWMM模型的坡地小区海绵城市改造效果评估[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(1):43-49,82. LI H M, CHANG X D, XU Z X, et al. Assessment of sponge city scheme in a hillside area based on SWMM model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(1): 43-49, 82. (in Chinese)

# 基于SWMM模型的坡地小区海绵城市改造效果评估

李怀民<sup>1</sup>,常晓栋<sup>2,3</sup>,徐宗学<sup>2,3</sup>,王京晶<sup>2,3</sup>

(1. 济南市水文局, 济南 250014; 2. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875;

3. 城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室, 北京 100875)

**摘要:**以济南市某坡地小区为例,将小区内“马路行洪”主道路概化为不规则明渠,基于SWMM(storm water management model)模型研究海绵城市改造方案对不同重现期设计降雨水文过程影响。结果表明:SWMM模型可较好地的小区“马路行洪”过程进行模拟,且选用的海绵城市改造方案(低影响开发措施改造及排水系统改造)可有效控制小区内的雨洪径流过程;对小区出口Out 01和Out 02的5年以内不同重现期(1、3、5年)设计降雨径流总量和洪峰流量削减率分别超过了20%和10%,Out 01的峰值水位削减率超过了15%,显著降低了研究区“马路行洪”灾害的影响。研究结果可为坡地小区“马路行洪”模拟及海绵城市建设与管理提供一定的理论支撑和技术参考。

**关键词:**SWMM;坡地小区;海绵城市;“马路行洪”;雨洪控制

中图分类号: P338 ; TV122.1 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



随着城市化进程的加快,我国城市人口密度逐渐增加,建成区下垫面情况日趋复杂,城市地区的暴露性和脆弱性逐渐增强<sup>[1]</sup>。21世纪以来,受气候变化影响,我国城市洪涝灾害事件发生显著增加<sup>[2]</sup>。以2016年为例,我国遭遇新中国成立以来最强的厄尔尼诺现象,多地区降水量远高于历史同期降水量,并造成大量全国性强对流和极端降水气候灾害事件发生<sup>[3]</sup>,20余省1600余县市先后遭遇较为严重的洪涝灾害,200余县市降雨极值突破历史记录,如重庆“6·19”暴雨、武汉“7·6”暴雨、邢台及安阳“7·19”暴雨等洪涝灾害均造成了大量的人员伤亡,全国经济损失累计高达数千亿元。由此可见,城市暴雨洪涝灾害的影响已不容小觑。

为缓解城市内涝问题,习总书记于2013年12月首次提出海绵城市建设的理念。随着《海绵城市建设技术指南》——低影响开发雨水系统构建(试行)和《关于推进海绵城市建设的指导意见》的颁布及济南、北京等30个海绵城市试点城市的诞生,我国

海绵城市建设工作全面推进。海绵城市统筹了雨水管渠系统、低影响开发和超标雨水排放系统,是一种全新的多目标综合管理建设理念。目前,我国海绵城市建设及海绵城市小区改造主要以低影响开发措施(low impact development, LID)的布置应用为主<sup>[4]</sup>。随着海绵城市建设如火如荼发展,基于MIKE Urban、SWMM(storm water management model)、SUSTAIN等城市雨洪模型研究各项海绵措施及海绵城市改造方案对城市雨水径流等水文过程的影响逐渐成为研究热点<sup>[5-7]</sup>。由于SWMM模型具有操作便捷、界面友好及开源等特点,现已被我国学者及规划设计部门<sup>[8]</sup>广泛应用于海绵城市方案设计及效果评估过程中。例如,陈言菲等<sup>[9]</sup>基于SWMM模型研究了苏州市某小区不同改造措施对雨水系统的影响,李春林等<sup>[10]</sup>基于SWMM模型对沈阳市某小区海绵城市改造前后的水文、水质过程进行了模拟分析。一方面,当前研究多集中在高程差较小的平原型小区,而

收稿日期: 2020-04-24 修回日期: 2020-09-24 网络出版时间: 2020-10-20

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20201019.1750.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51579007); 济南市海绵城市水循环演变与水文过程模拟项目

作者简介: 李怀民(1963—),男,山东广饶人,高级工程师,主要从事水文学及水资源研究。E-mail: jnswllm@126.com

通信作者: 常晓栋(1992—),男,河南安阳人,主要从事城市水文学研究。E-mail: Changxiaodong@mail.bnu.edu.cn

对高程差较大的坡地小区的相关研究较少;另一方面,基于 SWMM 模型管道汇流中的动力波法探讨海绵城市改造措施对小区尺度出口流量和水位变化的研究尚不多见。因此,本研究拟基于 SWMM 模型中的动力波法研究海绵城市改造措施对坡地小区水文过程的综合影响。

以济南市某山前坡地小区为研究对象,充分考虑坡地小区径流特征并进行相应概化,基于 SWMM 模型构建小区尺度的雨洪模型,定量分析低影响开发措施改造方案及小区综合改造方案对研究区雨洪径流的影响,以期对坡地小区海绵城市建设及雨水资源化利用提供科学参考和技术支撑。

## 1 研究区概况

选取济南市中心城区某居民小区为研究对象,研究区地处黄河下游,属于中纬度北半球的典型温带大陆性季风气候,夏季和冬季温差明显,暴雨和高温往往同步出现,多年平均降水量约为 636 mm,年平均气温 14.7℃。该小区位于千佛山山麓地带,平均坡度为 5.81%,整体地势东高西低、南高北低,是典型的山前坡地区域。该小区始建于 1996 年,面积约 3.08 hm<sup>2</sup>,其下垫面基本情况见图 1,其中:屋面面积约占 25%,绿地约占 30%,广场道路约占 43%,水面约占 2%,且研究区内水面周边绿地高于周边道路,降雨径流无法流入水域,故可忽略其调蓄作用;区域内雨水径流出口主要有两个,分别位于西侧和南侧大门,且南侧出水口附近有建筑物阻挡并形成尺寸约 0.25 m×0.50 m 的矩形孔口。经现场调研,小区现状不透水面积较大,其绿地区域高于周边道路,导致周边区域产生的雨水径流无法进入绿地区域;同时绿地内裸土较多,土壤渗透性能不足,整体雨水径流控制效果较差。

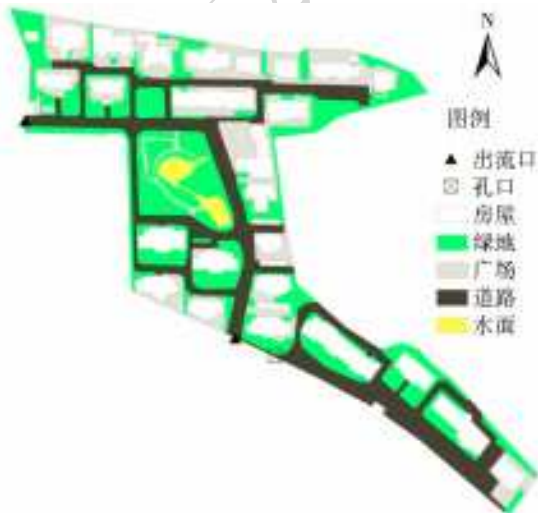


图 1 研究区下垫面情况

Fig. 1 Schematic diagram of underlying surface in study area

## 2 材料与方法

### 2.1 研究方法

选用 SWMM 模型开展相应研究。SWMM 模型由美国环境保护署( Environmental Protection Agency, EPA )设计开发,经过对模型功能、界面等的连续完善和升级,目前最新版为 2017 年 3 月 20 日发布的 5.1.012 版本。作为动态的水文水动力学模型,SWMM 可实现水量及水质的场次及长序列连续模拟,现已被国内外学者<sup>[11-14]</sup>广泛应用于排水管网规划设计、城市水环境治理、低影响开发措施效果评价及洪水风险图分析等领域。

为表征城市地表的产汇流特征,SWMM 模型子排水区产流总量可视为将透水区和不透水区两大部分出流量之和。最新版本的模型中提供了 5 种适用于城市区域的入渗模式,根据黄国如等<sup>[15]</sup>的建议,本文选取 Horton 入渗计算方法进行模拟计算。SWMM 模型在河道及管网汇流时也提供了 3 种计算方法,即恒定流法、运动波法和动力波法。为提高计算效率,当前多数研究<sup>[16]</sup>均采用运动波法进行汇流计算。由于研究区地面坡度较大,为更好地对研究区“马路行洪”进行模拟,本研究选取基于圣维南方程组的动力波法进行汇流计算,其中,计算时间步长设置为 10 s,报告步长设置为 1 min。

### 2.2 模型概化

小区现状无雨水管网,且由于小区内高程差较大,属明显的坡地小区,当发生降雨时,区域内屋顶、道路和绿地等雨水径流往往以地表径流的形式汇集至小区道路,且小区内道路路沿普遍高于路面,导致其主要道路成为泄洪通道,“马路行洪”现象十分突出,故本研究拟以小区内主干道代替雨水管网进行汇流计算,此时 SWMM 模型中对应的管道横截面应选为“Irregular”,即以不规则形状明渠的形式进行汇流,见图 2,其中道路横截面坡降根据相应规范选 2%。根据现场调研结果,路沿高度  $H$  可取 15 cm。根据研究区下垫面实际情况对“马路行洪”主路段进行相应概化,概化后研究区内排水管道为 27 条,孔口 1 个,道路排水节点共计 28 个,出口口 2 个,概化后的管道及孔口尺寸均根据实地调研测量结果进行设置。

基于下垫面及排水关系一致性的原则,根据研究区土地利用图及现场勘测资料对其进行子排水区划分,最终将其划分为 26 个面积不同的子排水区,见图 3。

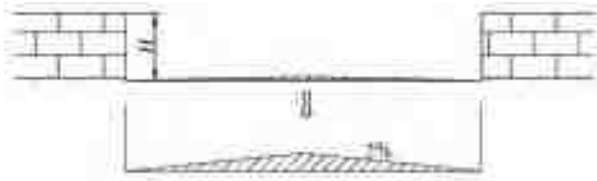


图2 “马路行洪”道路概化

Fig. 2 The sketch map of "flooding on road"

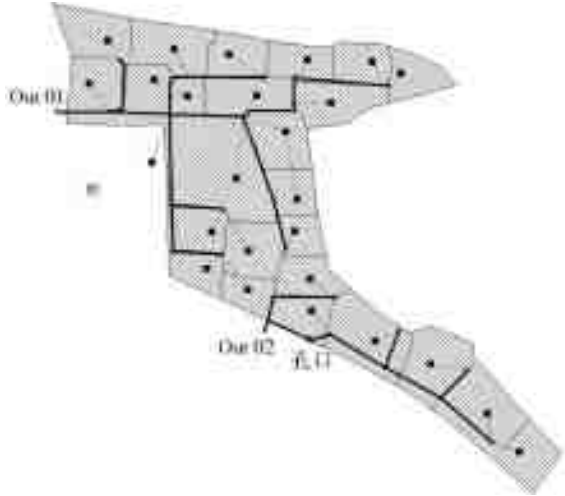


图3 研究区SWMM模型

Fig. 3 Schematic diagram of SWMM model in study area

## 2.3 参数设置

由于缺乏实测的模型率定数据,SWMM模型中的部分参数根据研究区的实际情况及海绵小区改造工程实际施工时的参数而定,数字高程数据主要来源于实地勘察及测量结果,SWMM模型中子排水区平均坡度(%)等参数可据此基于ArcGIS计算并获取。作为山前坡地型小区,研究区东西高差近16 m,坡度主要分布在0.47%~11.30%,不透水率(%)按实际土地利用计算,特征宽度选用公式 $Width = K \times S (0.2 < K < 5.0)$ 计算,其中 $K$ 取 $0.6^{[17-18]}$ , $S$ 为面积。排水沟渠的糙率系数对模型结果影响较大,考虑到研究区内道路材料主要为沥青,参考SWMM用户手册中对明渠糙率系数的规定<sup>[18]</sup>,本研究中“马路行洪”主干道糙率系数选用0.015。其他参数如(不)透水区曼宁系数、(不)透水区注蓄量及Horton产流参数等,考虑到本文研究区与黄国如等的研究区较为接近,则根据其建议及SWMM模型使用手册和其他相关文献<sup>[9-10, 15, 18]</sup>成果综合确定,SWMM模型中其他主要参数设置见表1。

表1 SWMM模型主要参数设置

Tab. 1 Main parameters of the SWMM model

参数	不透水区曼宁系数	透水区曼宁系数	不透水区注蓄量/mm	透水区注蓄量/mm	最大入渗率/( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	最小入渗率/( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	渗透衰减系数	干燥时间/d
参数值	0.017	0.5	3	13	103.81	11.44	2.75	7

## 2.4 模型验证

连续性误差包括了地表径流及流量验算连续性误差。其计算公式为 $Q_c = (1.0 - Q_o/Q_i) \times 100\%$ ,其中: $Q_c$ 为连续性误差; $Q_o$ 为管道总出流量(径流量或流量); $Q_i$ 为管道总入流量。如果 $Q_c > 10\%$ ,其模型结果是可疑的,需要检查修正。

选用距研究区0.8 km的泉城公园水文站2015年7月31日和8月3日的降雨数据对模型进行验证,模型模拟结果见图4。根据模拟结果,两场降雨地表径流演算连续性误差分别为-0.36%和-0.58%,流量演算连续性误差分别为0.01%和0, $Q_c$ 远远小于10%,表明模型误差相对较小,初步判断模拟结果较为合理。径流系数等于径流深与降雨量之比,是一个综合概化了降雨和下垫面特征的水文参数,具有较好的代表性,根据刘兴坡<sup>[19]</sup>和张曼等<sup>[20]</sup>建议,小区域无实测流量地区城市降雨径流模型可通过模拟结果的径流系数来验证模型参数的准确性。经计算,两场降雨综合径流系数分别为

0.69和0.68,均满足建筑物较密集区域(不透水率50%~70%)径流系数0.5~0.7的要求,表明模型模拟结果可较为精确反映研究区内水文流量过程。

## 3 情景设置

### 3.1 设计降雨

根据《给水排水设计手册》,济南市暴雨强度公式<sup>[21]</sup>为

$$q = \frac{1869.916(1 + 7673 \lg T)}{(t + 11.0911)^{0.6645}} \quad (1)$$

式中: $T$ 为给定的设计暴雨重现期; $q$ 为暴雨强度; $t$ 为设计降雨总历时。

为模拟海绵城市改造措施对小区径流过程的影响,本研究设计降雨重现期分别选为1、3、5、10 a。同时,选取芝加哥雨型对设计暴雨进行雨量分配,设计降雨历时选为120 min,雨峰系数选为0.4,则设计降雨强度见图5。

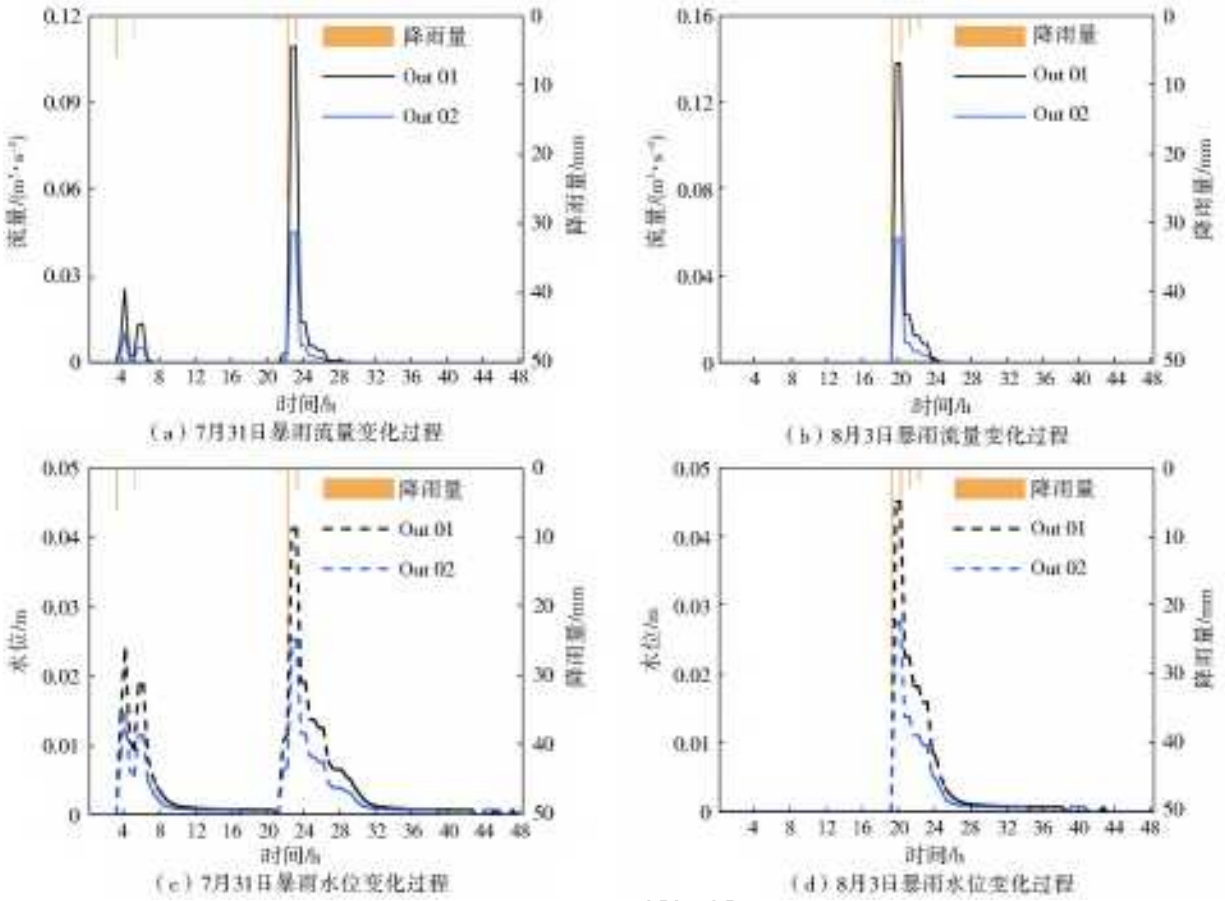


图 4 SWMM 模型暴雨径流模拟结果

Fig. 4 Simulation results of the SWMM model

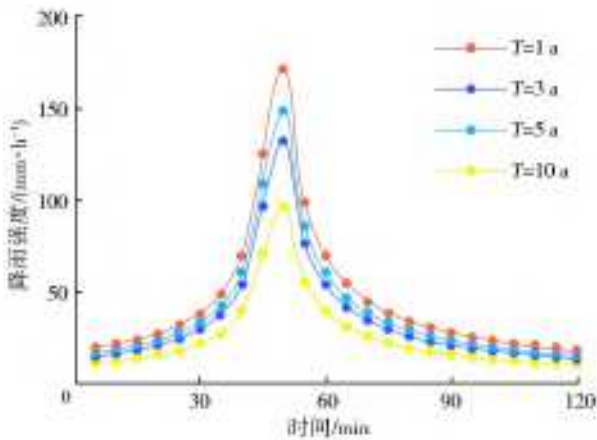


图 5 不同重现期设计降雨强度

Fig. 5 Schematic diagram of design rainfall intensity in different return periods

### 3.2 方案设置

根据场地平面图及现场勘测等资料,基于海绵城市源头控制的基本理念,经方案比较后选择综合效益最优的海绵城市小区改造方案,见图 6。由图 6 可见,选用的海绵城市改造方案可分为两大部分:低影响开发措施改造及排水系统改造。其中,低影响开发措施主要包括雨水花园、下凹式绿地及透水铺装。各低影响开发措施参数及规模见表 2。此外,考虑到小区中心区域现存大片绿

地,为有效开发该区域的雨水蓄滞潜力,拟在图 6 所示位置增加导流沟,以使周边的雨水径流能及时汇入中心绿地;同时将孔口尺寸增大至  $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ ,以提高孔口的排涝能力,降低区域内涝风险。为探究海绵城市改造方案在不同重现期设计降雨下的效果,本研究针对研究区改造前后雨洪径流过程进行分析。

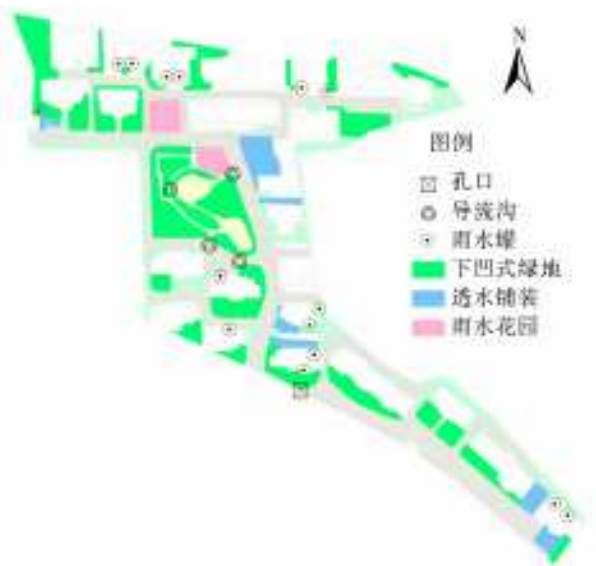


图 6 研究区海绵城市改造设计方案

Fig. 6 Sponge city reconstruction design scheme in study area

表 2 低影响开发措施主要参数及其规模

Tab. 2 Main parameters and the scale of LID measures

LID 类型	表层/mm	土壤层/mm	路面层/mm	蓄水层/mm	规模
雨水罐				1000	15个
下凹式绿地	200	500			0.596 hm <sup>2</sup>
透水铺装	5		400		0.112 hm <sup>2</sup>
雨水花园	150	900			0.058 hm <sup>2</sup>

## 4 结果分析

基于所建立的 SWMM 模型计算该小区海绵城

市改造前后在不同设计降雨重现期下各出水口的流量及水位变化过程,模拟结果见图 7,其控制效果见图 8。

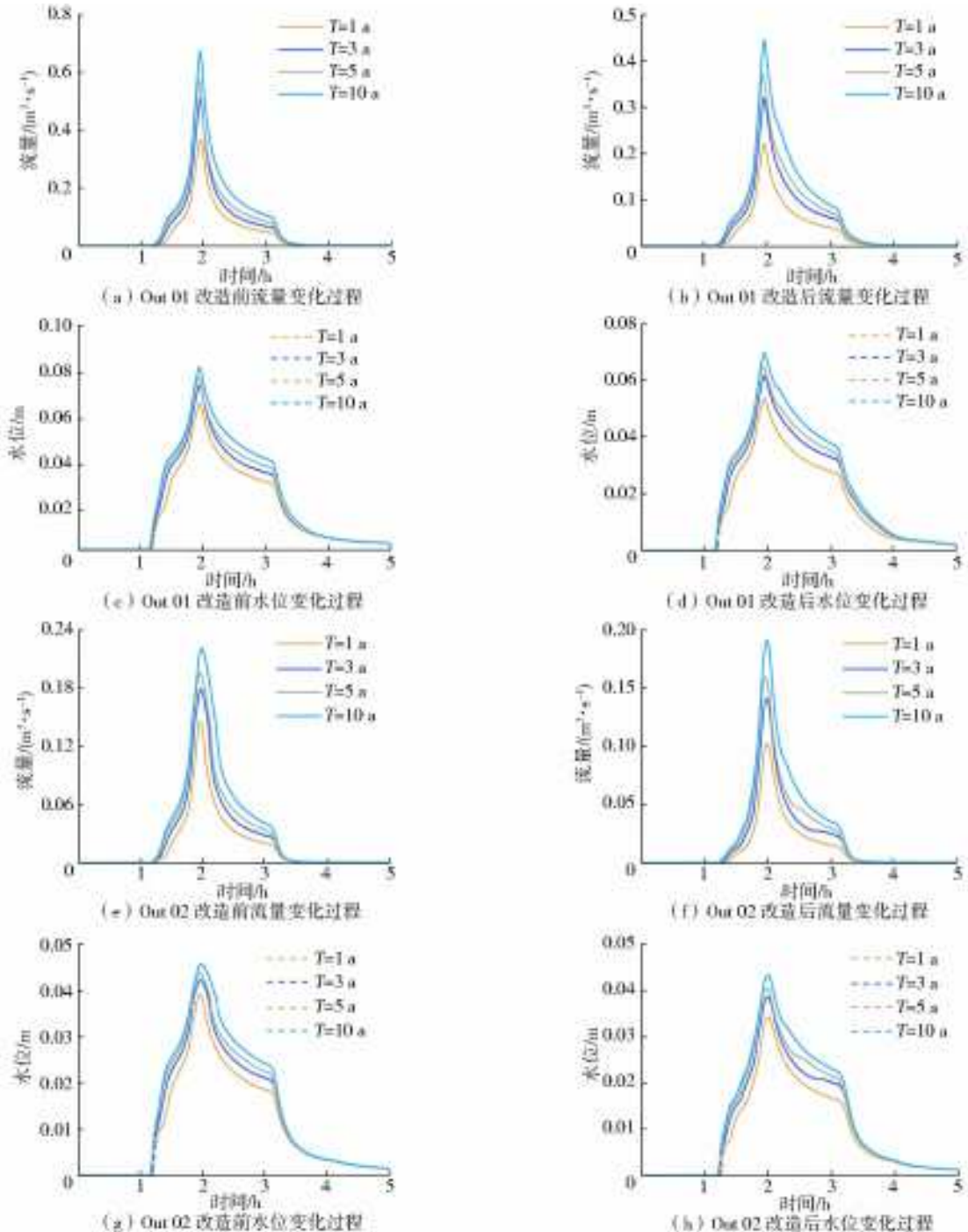


图 7 改造前后不同重现期设计降雨水文过程

Fig. 7 Hydrological processes of different design rainfall before and after the reconstruction

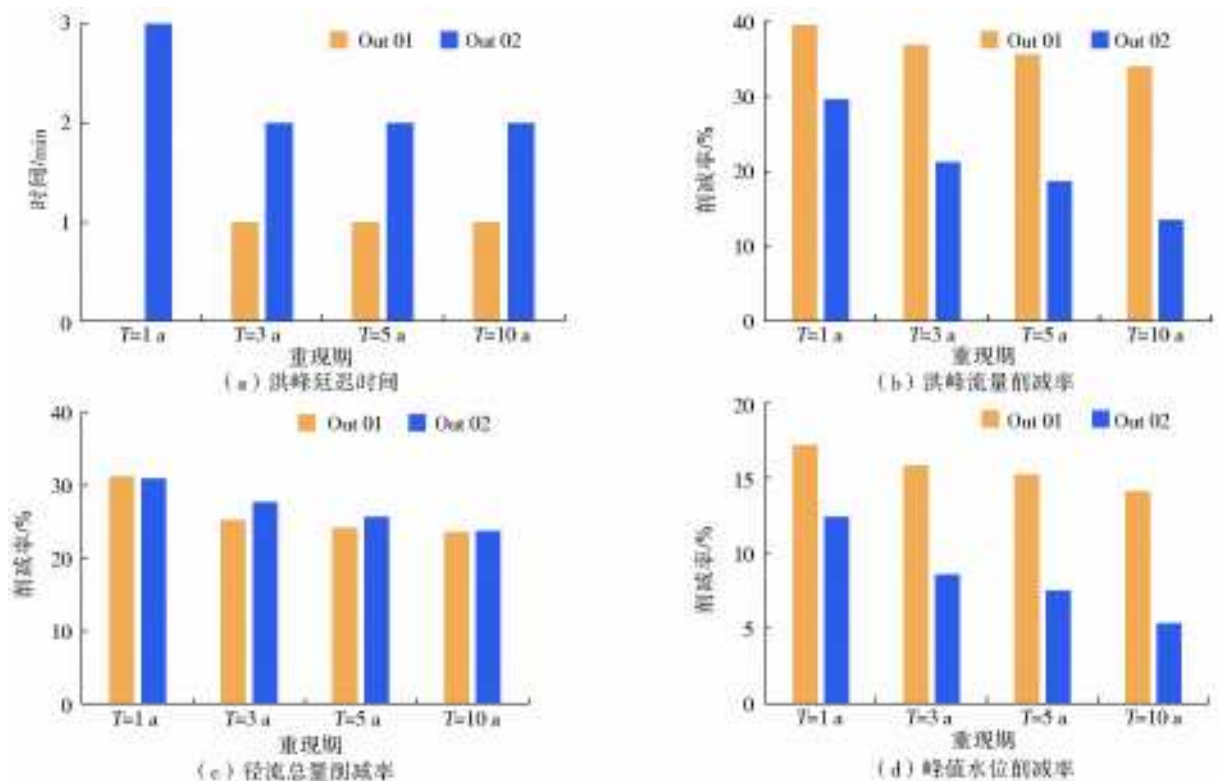


图 8 海绵城市改造对研究区径流影响

Fig. 8 Effect of sponge city reconstruction on runoff in the study area

由图 7 和 8 可见,海绵城市改造措施对区域内水文过程具有较为明显的控制作用。针对不同重现期的设计降雨,小区出流口 Out 01 和 Out 02 洪峰延迟时间分别在 2 min 和 1 min 左右,表明其可适当延迟区域内峰现时间。小区出流口 Out 01 的控制面积约为研究区总面积的 73%,而选用的海绵城市改造方案对该出流口洪峰流量及径流总量的削减率均分别超过了 30% 和 20%,且对其峰值水位削减率均超过了 14%,同时对出流口 Out 02 洪峰流量及径流总量的削减率也分别超过了 10% 和 20%。因此,该方案可有效控制区域雨洪过程,可为海绵城市“源头控制”和雨水资源化提供技术参考,同时也可显著降低出流口的路面水位,从而减少“马路行洪”的危害。

## 5 结论

(1) 基于 SWMM 模型中的动力波法,将小区道路概化为相应的排水渠道可有效对其水文过程进行模拟,并可较好地体现高程差较大的坡地小区“马路行洪”过程,表明 SWMM 模型适用于以主干道路为排水通道的坡地小区。

(2) SWMM 模型可较好地对比小区海绵城市改造方案雨洪控制效果进行量化评价。根据研究结果,海绵城市改造方案对小区出流口 Out 01 和 Out 02 的 5 年以内重现期设计降雨径流总量和洪峰流量削

减率分别超过 20% 和 10%,且对小区出流口 Out 01 峰值水位削减率超过了 15%,表明该方案对区域内雨洪控制效果较好,并可显著降低研究区“马路行洪”灾害的影响。

(3) 研究区下游城市易涝点较多且其内涝防治措施并不完善,通过在小区进行海绵城市措施改造可显著减少小区径流总量并延缓峰现时间,实现源头控制,从而在一定程度上缓解下游内涝风险。

## 参考文献(References):

- [1] YIN J, YE M, YIN Z, et al. A review of advances in urban flood risk analysis over China[J]. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 2015, 29(3): 1063-1070. DOI: 10.1007/s00477-014-0939-7.
- [2] KUNDZEWICZ Z W, KANAE S, SENEVIRATNE S I, et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives [J]. *International Association of Scientific Hydrology Bulletin*, 2014, 59(1): 1-28. DOI: 10.1080/02626667.2013.857411.
- [3] 毕宝贵, 张小玲, 代刊. 2016 年超强厄尔尼诺背景下的强对流和极端降水天气特点[J]. *科学通报*, 2017, 62(9): 928-937. (BI B G, ZHANG X L, DAI K. Characteristics of 2016 severe convective weather and extreme rainfalls under the background of super El Niño[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2017, 62(9): 928-937. (in Chinese)) DOI: 10.1360/N972016-01136.

- [4] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给水排水, 2015, 41(3): 1-7. (CHOU B X, The connotation, approach and prospect of sponge city (LID) [J]. Geomatics World, 2015, 41(3): 1-7. (in Chinese)) DOI: 10.13789/j.cnki.wwe1964.2015.0069.
- [5] 常晓栋, 徐宗学, 赵刚, 等. 基于SWMM模型的城市雨洪模拟与LID效果评价——以北京市清河流域为例[J]. 水力发电学报, 2016, 35(11): 84-93. (CHANG X D, XU Z X, ZHAO G, et al. Simulation of urban rainfall runoff and impact assessment of low impact development facilities based on SWMM model: A case study in the Qinghe catchment in Beijing [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016, 35(11): 84-93. (in Chinese)) DOI: 10.11660/slfdx.20161110.
- [6] 贾海峰, 姚海蓉, 唐颖, 等. 城市降雨径流控制LID BMPs规划方法及案例[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 260-267. (JIA H F, YAO H R, TANG Y, et al. LID BMPs planning for urban runoff control and case study [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(2): 260-267. (in Chinese)) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2014.02.019.
- [7] 谢家强, 廖振良, 顾献勇. 基于MIKE URBAN的中心城区内涝预测与评估——以上海市霍山惠民系统为例[J]. 能源环境保护, 2016, 30(5): 44-49. (XIE J Q, LIAO Z L, GU X Y, Prediction and evaluation of waterlogging in highly urbanized areas based on MIKE URBAN: demonstrated on the example of Huoshan Huimin drainage system in Shanghai [J]. Energy Environmental Protection, 2016, 30(5): 44-49. (in Chinese))
- [8] LI Y L, BABCOCK R W Jr. Green roof hydrologic performance and modeling: A review [J]. Water Science & Technology, 2014, 69(4): 727. DOI: 10.2166/wst.2013.770.
- [9] 陈言菲, 李翠梅, 龙浩, 等. 基于SWMM的海绵城市与传统措施下雨水系统优化改造模拟[J]. 水电能源科学, 2016, 34(11): 86-89. (CHEN Y F, LI C M, LONG H, et al. Stormwater system simulation optimization of sponge city and traditional measures based on SWMM model [J]. Water Resources and Power, 2016, 34(11): 86-89. (in Chinese))
- [10] 李春林, 刘淼, 胡远满, 等. 基于暴雨径流管理模型(SWMM)的海绵城市低影响开发措施控制效果模拟[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2405-2412. (LI C L, LIU M, HU Y M, et al. Simulation on the control effect storm water management model (SWMM) of low impact development [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2405-2412. (in Chinese)) DOI: 10.13287/j.1001-9332.201708.002.
- [11] WATERS D, WATT W E, MARSALEK J, et al. Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2003, 46(5): 755-770. DOI: 10.1080/0964056032000138472.
- [12] RUSSO B, SUNER D, VELASCO M, et al. Flood hazard assessment in the Raval District of Barcelona using a 1D/2D coupled model [C]. 2012.
- [13] TSIHRINTZIS V A, HAMID R. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM [J]. Hydrological Processes, 1998, 12(2): 311-329. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1085(199802)12:2<311::AID-HYP579>3.0.CO;2R.
- [14] PAIK D, LIM Y, CHOI J, et al. Study on the runoff characteristics of non point source pollution in municipal area using SWMM model: A case study in Jeonju city [J]. Journal of Environmental Science International, 2005, 14(12): 1185-1194. DOI: 10.5322/JES.2005.14.12.1185.
- [15] 黄国如, 冯杰, 刘宁宁, 等. 城市雨洪模型及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013. (HUANG G R, FENG J, LIU N N, et al. Urban stormwater model and its application [M]. Beijing: China Water and Power Press, 2013. (in Chinese))
- [16] BARCO J, WONG K M, STENSTROM M K. Automatic calibration of the U. S. EPA SWMM Model for a large urban catchment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 134(4): 466-474. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466)
- [17] HUBER W C. New options for overland flow routing in SWMM [M] // 2001: 22-29.
- [18] GIRONAS J, ROESNER L A, DAVIS J, et al. Stormwater management model applications manual [M]. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency Cincinnati, OH, 2009.
- [19] 刘兴坡. 基于径流系数的城市降雨径流模型参数校准方法[J]. 给水排水, 2009, 35(11): 213-217. (LIU X P. Parameter calibration method for urban rainfall runoff model based on runoff coefficient [J]. Geomatics World, 2009, 35(11): 213-217. (in Chinese)) DOI: 10.13789/j.cnki.wwe1964.2009.11.057.
- [20] 张曼, 周可可, 张婷, 等. 城市典型LID措施水文效应及雨洪控制效果分析[J]. 水力发电学报, 2019, 38(5): 59-73. (ZHANG M, ZHOU K K, ZHANG T, et al. Hydrological responses and stormwater control effects of typical urban LID measures [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 38(5): 59-73. (in Chinese))
- [21] 上海市市政工程设计研究院. 给水排水设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. (SMEDI. Water supply and drainage design manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004. (in Chinese))

- ter and Irrigation, 2003(23): 38-41.
- [39] MICKLIN P. The past, present, and future Aral Sea [J]. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 2010, 15(3): 193-213. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2010.00437.x.
- [40] 廖成梅. 中亚水资源问题难解之原因探析[J]. *新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)*, 2011, 39(1): 102-105. (LIAO C M. Causes of water resources disputes in Central Asia countries[J]. *Journal of Xinjiang University (Philosophy, Humanities & Social Science)*, 2011, 39(1): 102-105. (in Chinese) DOI: 10.13568/j.cnki.issn1006-2820.2011.01.014
- [41] 张小瑜. 乌兹别克斯坦农业经济发展与水资源利用[J]. *边疆经济与文化*, 2012(9): 22-23. (ZHANG X Y. Agricultural economic development and water resource utilization in Uzbekistan[J]. *The Border Economy and Culture*, 2012(9): 22-23. (in Chinese)

### Changes in Uzbekistan's water resources and its impact on supply pressure

YU Jingjie<sup>1,2</sup>, RU AN Hongwei<sup>1,2</sup>, SHI Shangyu<sup>1,2</sup>, WANG Ping<sup>1</sup>, KHIKMAT OV Fazliddin<sup>3</sup>, KULMATOV Rashid<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. National University of Uzbekistan, Tashkent 700174, Uzbekistan)

**Abstract:** The change in water resources and the consequent water resources supply pressure in Uzbekistan is analyzed by literature reviewing, based on agricultural, remote sensing, and hydro-meteorological reanalysis data. The analysis shows that: since 1980, the average annual water withdrawals have increased from 5.9 billion m<sup>3</sup> to 10.2 billion m<sup>3</sup> in Uzbekistan and more than 90% of water resources are consumed for irrigation agriculture: despite declines in both areas of cropland (200 km<sup>2</sup>/a) and the proportion of high water consuming crops (-3.24%), the water demand per unit area is still increasing (3.27 mm/a) under the influence of a warming climate (0.31 °C/10 a), the overall water demand is still increasing (275 million m<sup>3</sup>/a); simultaneously, the decrease of upstream inflow and the further increase in water use in upstream countries will further aggravate the regional water shortage and supply pressure. To deal with the problem of water resources, Uzbekistan needs to strengthen water management, improve irrigation technology, and improve water use efficiency. Therefore, it is necessary to strengthen cooperation with neighboring countries and to seek ways to improve the allocation and management of water resources of transboundary rivers. The study will help to enhance understanding of the water resource problems in Uzbekistan and provide a scientific basis for addressing them, as well as support the development of cooperation in the "Belt and Road" region.

**Key words:** climate change; human activity; water resource; Uzbekistan; trans-boundary river; Central Asia

(上接第 49 页)

### Assessment of sponge city scheme in a hillside area based on SWMM model

LI Huaimin<sup>1</sup>, CHANG Xiaodong<sup>2,3</sup>, XU Zongxue<sup>2,3</sup>, WANG Jingjing<sup>2,3</sup>

(1. Jinan Hydrology Bureau, Jinan 250014, China; 2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology, Beijing 100875, China)

**Abstract:** A hillside residential area in Jinan city is selected to study the main road of "road flood discharge" which is generalized as an irregular open channel, and the influence of sponge city reconstruction scheme on design rainfall hydrological process in different return periods based on the SWMM (storm water management model) model. The results show that: the SWMM model can be used to simulate the process of "flooding on road" in the hillside area, and the rainfall runoff process can be effectively controlled by the selected modification scheme (low impact development and drainage system reconstruction); for different return periods (1 year, 3 years, and 5 years) within 5 years, the reduction rates of total runoff and peak flood discharge from Out 01 and Out 02 are over 20% and 10%, respectively, the peak water level reduction rate at Out 01 is greater than 15%, which significantly reduces the impact of the "road flood" disaster in the study area. This study can provide a theoretical basis and significant reference for the simulation of "flooding on road" and the construction and management of sponge cities in the hillside area.

**Key words:** SWMM; hillside area; sponge city; flooding on road; flood control