



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.04.007

王婷,刁秀媚,刘俊,等.基于SWMM的老城区LID布设比例优化研究[J].南水北调与水利科技,2017,15(4):29-43,128. WANG Ting, DIAO Xir Mei, LIU Jun, et al. Optimization of LID layout proportions in old city area based on SWMM [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 29-43, 128. (in Chinese)

# 基于SWMM的老城区LID布设比例优化研究

王婷<sup>1</sup>,刁秀媚<sup>2</sup>,刘俊<sup>1</sup>,栾慕<sup>1</sup>,丁楠<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院,南京 210098; 2. 江阴市水资源管理办公室,江苏 江阴 214400)

**摘要:**老城区因建筑密度高等特点,是内涝的高发地带。针对这一问题,基于SWMM模型中的LID(低影响开发 Low Impact Development)模块,研究选取渗渠、渗透铺装、雨水桶和生物滞留网格4种措施,在不同重现期设计暴雨情景下,对不同布设比例(0.1%~15%)的LID措施进行模拟分析,寻找最佳布设比例。最后将几种最佳比例组合,对组合优化进行初步探索。模拟结果表明,几种LID措施布设在达到某一比例后,对不同重现期设计暴雨的削减作用会减缓,此时的布设比例即为所求最佳比例;而组合方案由于受到措施间的相互作用等因素影响,不能直接套用单项措施最佳比例,其优化仍有待研究。

**关键词:** SWMM模型; 老城区; 低影响开发; 布设比例; 优化模拟

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0039-05

## Optimization of LID layout proportions in old city area based on SWMM

WANG Ting<sup>1</sup>, DIAO Xir Mei<sup>2</sup>, LIU Jun<sup>1</sup>, LUAN Mu<sup>1</sup>, DING Nan<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Water Resources Management Office of Jiangyin, Jiangyin 214400, China)

**Abstract:** The urban water logging takes place in the old city area frequently because of its high density of buildings and other characteristics of construction. Responding to this problem, this study used the LID module in SWMM model and chose Infiltration Trench, Permeable Pavement, Rain Barrel, and Bio Retention Cell for simulation and analysis. We placed different proportions of LID measures (0.1%-15%) on the study area in design storm conditions with different return periods, so as to find the optimal proportions. At last, we combined these proportions to tentatively explore combination optimization. The results showed that the LID measures' effect on design storms would diminish after their layout reached a certain proportion, which should be the optimal proportion. But the optimal proportions of individual measures cannot be directly applied to the combination scheme because of the interaction between individual measures. The combination optimization still needs further study.

**Key words:** SWMM model; old city area; LID; layout proportion; optimization simulation

随着近年来城市的快速扩张,城市内涝频发、水资源短缺以及水环境恶化等现象不断加剧<sup>[1]</sup>。为此

基于美国、英国、澳大利亚等西方发达国家先进雨洪管理经验<sup>[2,3]</sup>的“海绵城市”理念应运而生,而主张进

收稿日期: 2016-07-11 修回日期: 2016-09-06 网络出版时间:

网络出版地址:

基金项目: 中国工程院重大咨询研究项目(2015-ZD-07); 国家自然科学基金(41471015)

Funds: Major Consulting Research Project of Chinese Academy of Engineering(2015-ZD-07); National Natural Science Foundation of China (41471015)

作者简介: 王婷(1993-),女,河北丰润人,主要从事城市防洪与排水方面。E-mail: 2502671370@qq.com

通讯作者: 刘俊(1968-),男,安徽当涂人,教授,博士生导师,主要从事城市防洪与减灾方面研究。E-mail: ljohoi@163.com

行雨水源头控制从而降低内涝风险的低影响开发理念则是海绵城市建设的重要内容<sup>[4]</sup>。应用低影响开发措施构建城市小海绵体,是当前海绵城市建设的热点,杭州、上海等地<sup>[5,6]</sup>都在进行低影响开发模式的探索,无论是从规划层面到后期的政策制度保障,还是对国外低影响开发技术的学习,这些探索在海绵城市建设的优化实践中并没有明确的指导作用。LID 措施如今虽已广泛用于具体的模拟应用<sup>[7,8]</sup>当中,但已有应用只是根据经验选择 LID 措施的布设比例,简单得出 LID 措施能够削减降雨径流的结论,并未提出布设比例的优化方法。目前仍然缺少 LID 布设比例优化方面的研究。

老城区普遍具有建筑密度高、地表透水性差、绿化面积小、水面率不高以及管道排水标准低等特点,是发生城市内涝的高危地区。加上在老城区进行大规模的水系拓浚或管网改造较为困难,所以在海绵城市建设中应给以老城区足够的重视。

鉴于低影响开发措施应用中存在的上述问题,研究首先模拟老城区现状情况下的降雨径流,设置不同比例的 LID 措施后再进行模拟比较,通过对 LID 布设比例与降雨径流削减效果的关系进行分析,寻找最佳布设比例,以期能为低影响开发措施的优化布设提供依据与方法思路。

## 1 研究区模型构建

### 1.1 研究区概化

研究区域位于长江三角洲地区某市,该市所处地区属亚热带季风气候区,降雨充沛。境内地势平坦,起伏不大,又河网密布,是典型的平原河网地区。研究区属于该市的老城区,小区建筑较为密集且顶部承受荷载的能力变得相对较低。道路广场等透水性差;城市绿化面积小,产生的大部分地表径流只能通过管网排出,增大了内涝发生的可能性。

为避免水闸、泵站等工程措施的影响以及各汇水区之间产汇流过程的相互影响,选取该市中心城区的一独立汇水区域作为本次的研究区域。研究区域面积 4 84 km<sup>2</sup>,共划分为 146 个子汇水区。利用研究区雨水管网资料和水系河道资料,共概化雨水管道 104 条,河道 24 段和 126 个节点。结合其土地利用情况,采用 ENVI 软件对遥感图像进行监督分类,确定各子汇水区的不透水面积比例,并利用面积加权法确定研究区不透水面积约为 20%。研究区概化图见图 1。

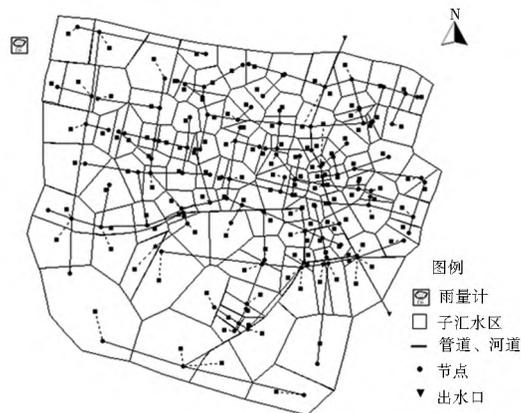


图 1 研究区概化图

Fig. 1 Generalized diagram of the study area

### 1.2 LID 措施及相关参数的选取

#### 1.2.1 LID 措施及主要参数选择

本次模拟采用 SWMM 模型。SWMM 模型中的 LID 模块提供了生物滞留网格、雨水桶、渗渠、渗透铺装、绿色屋顶、植被浅沟、雨水花园等低影响开发措施的模拟。

老城区建筑密度高,屋顶面积比例大,但考虑到老旧建筑的强度和防渗排水问题,以及植被浅沟和雨水花园的占地问题,在此并未模拟其他三种低影响开发措施。经初步比选,选择生物滞留网格、雨水桶、渗渠和渗透铺装 4 种最适用于老城区改造的低影响开发措施进行模拟分析。LID 参数的选取主要根据模型用户手册及其它文献[9-11]设置。

渗渠采用砾石等渗透结构,能够捕获径流并将其渗透到地下,对透水率有一定的补偿作用<sup>[12]</sup>。渗渠表层蓄水深度取 5 mm,糙率 0.15;储水层厚度 150 mm,孔隙比 0.4;排水层排水指数取 0.5。

渗透铺装对应于传统的硬质地面铺装,一般采用多孔材料搭建排水渗透层,尽量恢复天然状态,减小地面径流,削减洪峰<sup>[13]</sup>,还有利于改善城市的生态环境。渗透铺装表层蓄水深度取 2 mm,糙率 0.15;铺装层厚度 120 mm,孔隙率 0.15;储水层厚度 300 mm,孔隙比 0.5。

雨水桶是一种屋面雨水的收集装置,可以有效减小地面径流。雨水收集后处理回用,能在一定程度上减小雨水集中处理的压力,缓解水资源短缺的状况。雨水桶高度设为 800 mm,排水指数 0.5,排水偏移高度 150 mm。

生物滞留网格是利用植物、土壤和微生物滞留雨水、净化雨水的一种低影响开发措施。生物滞留网格规模较小、经济,适宜分散布置<sup>[14]</sup>,适用于较高密度的建筑区。生物滞留网格表层蓄水深度取 150 mm;土壤层厚度 300 mm,孔隙率取 0.4;存储层厚

300 mm, 孔隙比 0.5。

### 1.2.2 模型相关参数的选取

本次研究主要基于 SWMM 模型进行老城区的降雨径流模拟, 根据研究区的下垫面条件, 模型的降雨下渗过程选择霍顿模型, 计算采用动力波演算方法。模型相关参数主要参考 SWMM 模型用户手册和其它文献<sup>[15-19]</sup> 选取率定。

(1) 子汇水区参数中的各子汇水区面积和不透水面积比例、各子汇水区坡度等需根据研究区下垫面土地利用和排水管网情况, 借助于 GIS 确定。

(2) 漫流宽度。漫流宽度是模型产汇流计算中十分重要的参数, 在 SWMM 模型用户手册中定义为面积与最大地表漫流长度的比值, 但在城市排水工程中, 由于各子汇水区地形等的不均性, 难以直观测量漫流长度和漫流宽度, 因此难以精确计算<sup>[20]</sup>。在概化时先按照 SWMM 模型用户手册计算得到漫流宽度  $W$ , 由排水管道在子汇水区不规则性得到形状倾斜因子  $r$  (取值 0~1), 进而利用  $(2-r)W$  调参<sup>[9]</sup>。

(3) 下渗参数。结合研究区土壤类型, Horton 下渗模型参数取土壤最大下渗率 16.93 mm/h, 最小下渗率 1.27 mm/h。

(4) 地表洼蓄及糙率。其它参数如透水地表洼蓄量取 15 mm, 糙率取 0.15, 不透水地表洼蓄量取 1 mm, 糙率取 0.013。

(5) 管渠参数和节点参数。主要由实测的管道与河道资料确定, 管道糙率取 0.013, 河道糙率取 0.02。

### 2.3 设计暴雨

选取研究区 1965 年-2015 年共 51 年的降雨资料, 采用年最大值法对不同时间段的降雨资料整理分析, 进行适线排频计算。选择研究区 1991 年 6 月 30 日 22 时到 7 月 1 日 22 时的 24 h 降雨过程作为典型暴雨过程, 按同频率法缩放得到 2 年、5 年和 10 年一遇设计暴雨过程, 见图 2。

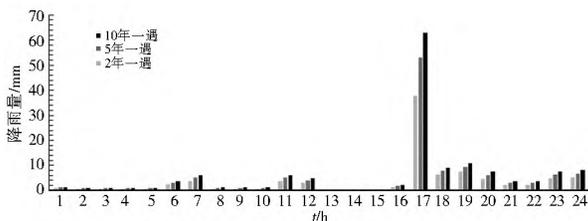


图 2 设计暴雨过程  
Fig. 2 Design storm process

### 3 低影响开发措施优化模拟

#### 3.1 LID 优化场景设置与分析

为分析所选 LID 措施对老城区降雨径流的削

减作用, 将选定的 4 种 LID 措施分别单独设置在各个子汇水区, 并通过模拟计算得到不同的 LID 布设比例 (0.1%~15%) 在不同重现期下的径流系数, 绘制径流系数与布设比例的关系曲线见图 3-图 6。

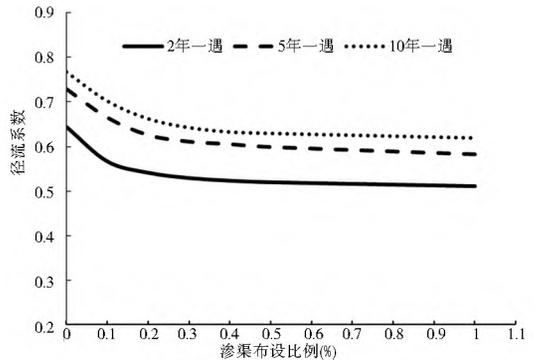


图 3 渗渠设计径流系数曲线  
Fig. 3 The runoff coefficient curve based on Infiltration Trench design

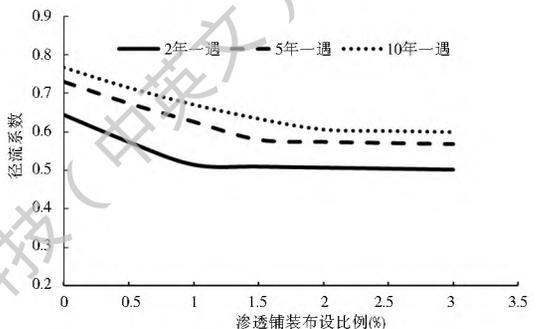


图 4 渗透铺装设计径流系数曲线  
Fig. 4 The runoff coefficient curve based on Permeable Pavement design

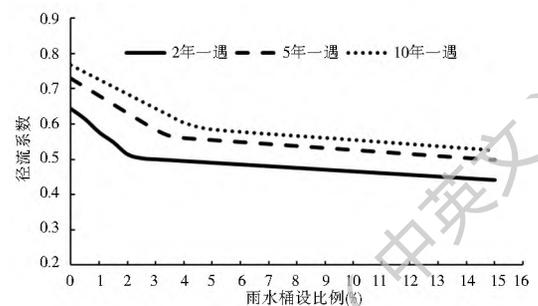


图 5 雨水桶设计径流系数曲线  
Fig. 5 The runoff coefficient curve based on Rain Barrel design

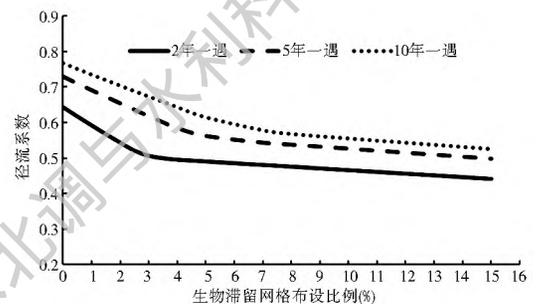


图 6 生物滞留网格设计径流系数曲线  
Fig. 6 The runoff coefficient curve based on Bioretention Cell design

由图 3- 图 6 分析可知, 针对不同重现期的降雨, LID 措施均能在一定程度上起到削减径流的效果。但 LID 措施对径流系数的削减并不是随着布设面积的增加呈线性增长。在研究区布设的渗渠达到一定比例时, 径流系数曲线出现拐点, 再继续增大布设面积, 径流系数减小的速度大大降低。随着降雨重现期由 2 年一遇提高到 10 年一遇, LID 措施对径流系数的削减速度有所减小, 径流系数曲线出现拐点的位置向后移动。分析径流系数曲线, 选择拐点处的 LID 措施布设比例, 可以为优化 LID 措施的布局以及利用最小的占地得到最佳改造效果提供依据。

总结图 3- 图 6 可知, 2 年重现期下 4 种 LID 措施单独布设的最佳比例分别为: 渗渠 0.1%, 渗透铺装 1%, 雨水桶 2%, 生物滞留网格 2.5%; 5 年重现期下 4 种 LID 措施单独布设的最佳比例分别为: 渗渠 0.2%, 渗透铺装 1.5%, 雨水桶 3.5%, 生物滞留网格 5%; 10 年重现期下 4 种 LID 措施单独布设的最佳比例分别为: 渗渠 0.3%, 渗透铺装 2%, 雨水桶 4%, 生物滞留网格 7%。

由研究结果, 虽然几种 LID 措施的布设比例与降雨径流的削减效果曲线具有相同的趋势, 但由于 LID 措施参数的设置可存在差异, 也会因所处地区不同而不同, 因此最佳布设比例并不是定值, 且同一重现期下不同措施的最佳布设比例也有所差别。文章所做研究仅为 LID 布设提供思路。

### 3.2 最佳布设比例的 LID 结果分析

由上小节研究结果可知, 几种 LID 措施的布设存在最佳比例, 不同重现期下的 LID 措施的最佳布设比例不同, 因此分别就 3 种重现期, 针对无 LID 的情况和最佳布设比例的几种 LID 方案进行模拟比较, 结果见表 1- 表 3。

由表 1 得出, 2 年一遇重现期下, 研究区的径流系数达 0.644, 加入最佳布设比例的 LID 措施后, 对现状降雨径流的削减作用显著, 径流系数减小到 0.515~ 0.566, 减小率达 12.1%~ 20.1%, 径流量由

表 1 2 年一遇重现期最佳 LID 布设方案模拟结果

Tab. 1 Simulation results of optimal LID layout schemes in a 2 year return period

项目	最佳布设方案 (%)	径流系数	径流系数减小率 (%)	径流量 / 万 m <sup>3</sup>	积水节点数
无 LID	-	0.644	-	28.3	32
渗渠	0.1	0.566	12.1	24.8	31
渗透铺装	1.0	0.515	20.1	22.6	28
雨水桶	2.0	0.515	20.0	22.6	28
生物滞留网格	2.5	0.521	19.0	22.9	28

表 2 5 年一遇重现期最佳 LID 布设模拟结果

Tab. 2 Simulation results of optimal LID layout schemes in a 5 year return period

项目	最佳布设方案 (%)	径流系数	径流系数减小率 (%)	径流量 / 万 m <sup>3</sup>	积水节点数
无 LID	-	0.729	-	43.6	68
渗渠	0.2	0.625	14.2	37.8	67
渗透铺装	1.5	0.580	20.5	34.7	63
雨水桶	3.5	0.567	22.2	33.9	60
生物滞留网格	5	0.563	22.8	33.7	58

表 3 10 年一遇重现期最佳 LID 布设模拟结果

Tab. 3 Simulation results of optimal LID layout schemes in a 10 year return period

项目	最佳布设方案 (%)	径流系数	径流系数减小率 (%)	径流量 / 万 m <sup>3</sup>	积水节点数
无 LID	-	0.768	-	54.3	77
渗渠	0.3	0.643	16.2	45.5	72
渗透铺装	2	0.605	21.1	42.8	68
雨水桶	4	0.604	21.3	42.7	68
生物滞留网格	7	0.578	24.7	40.9	68

28.3 万 m<sup>3</sup> 减小到 22.6~ 24.8 万 m<sup>3</sup>。最佳布设比例的各项 LID 措施对 5 年一遇重现期降雨和 10 年一遇重现期降雨有类似的削减效果, 在此不作赘述。

由结果可以看出, 无论采取哪种最佳比例的 LID 措施, 积水节点数基本稳定, 变化不大。在较低重现期下, 尤其是 2 年一遇的积水点数目, 反映研究区排水管网存在隐患, 容易成为内涝高发地。以最佳布设比例的 LID 降雨径流模拟结果为指导, 针对低重现期积水点进行改造, 有利于减轻内涝风险。

### 3.3 组合方案初探

完成单项 LID 措施的布设比例优化研究后, 将几种措施的单独最佳布设比例进行组合 (参数与单独设置时保持相同), 对基于最佳比例的 LID 组合进行初步探索。模拟结果见表 4。

表 4 组合试验模拟结果

Tab. 4 Simulation results of combination tests

重现期	径流系数	径流系数减小率 (%)	径流量 / 万 m <sup>3</sup>	积水节点数
2 年一遇	0.491	23.8	21.5	28
5 年一遇	0.528	27.6	31.6	54
10 年一遇	0.537	30.1	37.9	68

将各种措施的最佳比例组合, 将得到更小的径流系数, 径流系数削减的效果并不理想, 究其原因主要为: 在各种 LID 措施以最佳比例单独布设时, 径流系数已接近其能得到的最小值, 并且受到研究区

不透水面积的限制,组合后,部分 LID 措施实际上并没有发挥作用。

在制定组合方案时,并没有考虑到组合后各个 LID 措施间的相互影响,仅仅利用单项 LID 措施的最佳布设比例并不能取得组合方案的最佳效果。因此,在组合方案的优化方面尚需进行深入的研究,考虑多种因素以实现最佳布设。

## 4 结论

(1) 文章基于 SWMM 模型中的 LID 模块对一老城区进行了 LID 布设比例的优化模拟。经过对老城区建筑特点的分析,选择了 4 种 LID 措施。经模拟发现,各种 LID 措施的布设达到一定比例(记为最佳布设比例)后对降雨径流的削减效果减缓,这种关系可用于指导 LID 措施的布设优化。

(2) 在较低重现期下,以最佳比例布设不同 LID 措施后,模拟降雨径流得到稳定积水点,可用于指导城市排水管网的改造,缓解城市内涝。

(3) 由于受到不透水面积的限制和各个 LID 措施间的相互影响等因素,并不能简单的将各个单项措施进行组合以取得最佳效果,组合优化方法尚有待深入研究。

### 参考文献(References):

[1] 赵晶. 城市化背景下的可持续雨洪管理[J]. 国际城市规划, 2012(2): 114-119. (ZHAO Jing, Sustainable stormwater management in the background of urbanization[J]. Urban Planning International, 2012(2): 114-119. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-9493.2012.02.017

[2] 车伍, 闫攀, 赵杨, 等. 国际现代雨洪管理体系的发展及剖析[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 45-51. (CHE Wu, YAN Pan, ZHAO Yang, et al. Development and analysis of international updated stormwater management systems[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18): 45-51. (in Chinese))

[3] 宋晓猛, 张建云, 王国庆, 等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战—II. 城市雨洪模拟与管理[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 752-764. (SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, et al. Development and challenges of urban hydrology in a changing environment II: Urban stormwater modeling and management[J]. Advances in Water Science, 2014, 25(5): 752-764. (in Chinese))

[4] 杨阳, 林广思. 海绵城市概念与思想[J]. 南方建筑, 2015(3): 59-64. (YANG Yang, LIN Guangsi. A review on sponge city[J]. South Architecture, 2015(3): 59-64. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0232.2015.03.059

[5] 余建民, 周静增, 柯鹤新, 等. 杭州“海绵体”城市建设开发模式探寻[J]. 浙江建筑, 2015, 32(10): 51-53. (YU Jianmin, ZHOU Jingzeng, KE Heshen, et al. Exploration on model of the “spongy body” city construction and exploitation for Hang-

zhou[J]. Zhejiang Construction, 2015, 32(10): 51-53. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1008-3707.2015.10.014

[6] 马燕婷, 杨凯. 国际低影响开发实践对上海城市雨水管理的启示[J]. 世界地理研究, 2013(4): 143-151. (MA Yanting, YANG Kai. International low impact development practices on stormwater management and its enlightenment to Shanghai[J]. World Regional Studies, 2013(4): 143-151. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2013.04.016

[7] 李霞, 石宇亭, 李国金. 基于 SWMM 和低影响开发模式的老城区雨水控制模拟研究[J]. 给水排水, 2015(5): 152-156. (LI Xia, SHI Yuting, LI Guojin. Simulation study on stormwater controlling system of the old town based on SWMM and LID[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015(5): 152-156. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-8471.2015.05.040

[8] 胡爱兵, 任心欣, 丁年, 等. 基于 SWMM 的深圳市某区域 LID 设施布局与优化[J]. 中国给水排水, 2015(21): 96-100. (HU Aibing, REN Xinxin, DING Nian, et al. LID Facilities layout and optimization in an area in Shenzhen Based on SWMM[J]. China Water & Wastewater, 2015(21): 96-100. (in Chinese))

[9] 周雁潭, 刘俊. 低影响开发在城市治涝中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2015(8): 42-46. (ZHOU Yantian, LIU Jun. The application of low impact development in the urban waterlogging prevention[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(8): 42-46. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2015.08.012

[10] GB 50014-2006 室外排水设计规范: 2014 版[S]. (GB50014-2006 Outdoors Drainage Criterion (Version. 2014) [S]. (in Chinese))

[11] 汪涛. 基于 LID 的居住场地雨水系统径流量控制方案研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015. (WANG Tao. Research on residential runoff scheme controlled by drainage system based on low impact development[D]. Nanchang: Nanchang University, 2015. (in Chinese))

[12] 王昆, 高成, 朱嘉祺, 等. 基于 SWMM 模型的渗渠 LID 措施补偿机理研究[J]. 水电能源科学, 2014(6): 19-21. (WANG Kun, GAO Cheng, ZHU Jiachi, et al. Compensation mechanism of permeable channel LID measures based on SWMM[J]. Water Resources and Power, 2014(6): 19-21. (in Chinese))

[13] 孙艳伟, 魏晓妹, Pomeroy C A. 低影响发展的雨洪资源调控措施研究现状与展望[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 287-293. (SUN Yanwei, WEI Xiaomei, Pomeroy C A. Review of current research and future directions of low impact development practices for storm water[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(2): 287-293. (in Chinese)) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2011.02.008

[14] 王华. 基于 SWMM 的城市 LID 措施效果模拟[D]. 西安: 西安理工大学, 2013. (WANG Hua. Effect Simulation of urban LID based on SWMM[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2013. (in Chinese))

[15] Apostol K. Storm Water Management Model[M]. SaluPress, 2012.

[16] 朱嘉祺, 徐向阳, 何爽. 基于 LH-OAT 的 SWMM 模型参数敏

- 感性分析[J]. 中国农村水利水电, 2014(3): 84-87. (ZHU Jir qi, XU Xiangyang, HE Shuang. An analysis of parameter sensitivity of SWMM model based on LH-OAT method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(3): 84-87. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2014.03.024
- [17] 芮孝芳, 蒋成煜, 陈清锦, 等. SWMM 模型模拟雨洪原理剖析及应用建议[J]. 水利水电科技进展, 2015(4): 1-5. (RUI Xiaofang, JIANG Chengyu, CHEN Qingjin, et al. Principle analysis and application of storm water management model on stimulating rainfall runoff[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015(4): 1-5. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2015.04.001
- [18] 栾慕, 袁文秀, 刘俊, 等. 基于 SWMM- MIKE11 耦合模型的桐庐县内涝风险评估[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 57-61. (LUAN Mu, YUAN Wenxiu, LIU Jun, et al. Risk assessment of waterlogging in Tonglu County based on SWMM- MIKE11 coupled model [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2): 57-61. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.02.012
- [19] 李朋, 顾乐雨, 胡怀明, 等. 基于 SWMM 模型的城市化地区雨水桶应用研究[J]. 水电能源科学, 2015(9): 5-7. (LI Peng, GU Leyu, HU Huai, et al. Application research of rain barrels in urbanized area based on SWMM model[J]. Water Resources and Power, 2015(9): 5-7. (in Chinese))
- [20] 周毅, 余明辉, 陈永祥. SWMM 子汇水区域宽度参数的估算方法介绍[J]. 中国给水排水, 2014(22): 61-64. (ZHOU Yi, YU Minghui, CHEN Yongxiang. Estimation of subcatchment width in SWMM[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014(22): 61-64. (in Chinese))