

doi: 10.3724/SP.J.1201.2014.01073

# 城市规划与城市水环境响应研究

龙剑波<sup>1,2</sup>, 司马卫平<sup>1,2</sup>, 王书敏<sup>3</sup>, 于慧<sup>3</sup>

(1. 四川理工学院, 四川 自贡 643000; 2. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045;  
3. 重庆文理学院 水环境修复重点实验室, 重庆 402160)

**摘要:** 为了解城市规划对城市水环境的影响, 以自贡釜溪河流域城市规划为例, 应用 SWMM (暴雨管理模型) 分析了城市规划模式与城市水环境的响应关系。结果表明, 当规划不透水性下垫面比重由 74% 调整为 30% 时, 暴雨径流峰值流量可平均降低 58%, TSS 峰值浓度可平均降低 55%; 屋顶绿化、广场渗透、屋顶绿化+ 广场渗透组合三种措施对降雨径流峰值的消减率可在规划后用地布局的基础上再分别降低 33%、29%、64%, 对 TSS 峰值浓度的消减率则再分别降低 26%、15%、38%。研究结果为城市环境管理提供参考。

**关键词:** 城市规划; 水环境; 响应; 暴雨管理模型(SWMM)

**中图分类号:** X321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0073-05

## Response of Urban Planning and Urban Water Environment

LONG Jiabo<sup>1,2</sup>, SIMA Weiping<sup>1,2</sup>, WANG Shumin<sup>3</sup>, YU Hui<sup>3</sup>

(1. Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China; 2. Key Laboratory of Eco-Environment of Three Gorges Region of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China;  
3. Key Laboratory of Water Environmental Restoration, Chongqing University of Arts and Science, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** In order to understand the influence of urban planning on urban water environment, SWMM (storm water management model) was used to analyze the relationship between urban planning mode and urban water environment in the Fuxi River watershed of Zigong. The results showed that the peak flow rate and peak concentration of TSS of urban runoff decreased by 58% and 55% respectively when the proportion of the planning impervious underlying surface decreased from 74% to 30%. Green roof, penetration square, and green roof + penetration square were beneficial to urban runoff control on the basis of planning land use layout with further reduction of peak rainfall runoff of 33%, 29%, and 64%, respectively and further reduction of TSS concentration of 26%, 15%, and 38%, respectively. The study results provided reference to the management of urban environment.

**Key words:** urban planning; water environment; response; storm water management model (SWMM)

城市规划是城市管理的重要组成部分, 主要涉及城市建筑物、产业的区域布局, 城市工程的安排以及道路、运输设施的设置等, 是城市建设和管理的重要依据。然而, 现行的城市规划规范中并未兼顾城市发展对城市水环境的可能影响, 使得城市水环境的安全保障压力凸显。近年来, “近自然规划”、“半自然规划”等城市规划理念不断涌现<sup>[1]</sup>, 但对城市水环境的影响仍缺少明确的量化评估, 因此还无法通过合理利用城市规划模式与城市水环境的响应关系来实现城市水环境安全。另一方面, 城市水环境管理和修复基本都是在城市化之后进行的改造建设, 不仅滞后于城市发

展, 而且浪费了大量资源, 因此寻求城市规划与城市水环境保障的协同途径成为当务之急<sup>[2]</sup>。在欧洲, 城市规划必须通过水环境影响的预评估后才能实施, 而国内的城市规划管理体系中还缺少城市水环境影响的环节。大量研究表明, 城市用地规划布局与城市水环境质量存在一定的关联关系<sup>[3-6]</sup>, 这些研究都是在多年实测数据的基础上进行的, 还缺少预防环境污染的理论研究。本文以自贡釜溪河城市规划为例, 在分析城市规划方式与城市水环境关系的基础上, 探讨城市规划与城市水环境安全保障的理论评估模式, 从而为城市环境管理决策提供参考。

收稿日期: 2013-07-16 修回日期: 2013-11-11 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01077.html>

基金项目: 四川省教育厅项目“山地城市供水系统节能及安全保障技术研究”(12ZD079)

作者简介: 龙剑波(1971-), 男, 四川自贡人, 讲师, 硕士, 主要从事城市规划及环境工程研究。E-mail: 494085448@qq.com

通讯作者: 王书敏(1980-), 男, 山东泰安人, 讲师, 博士, 主要从事城市面源污染监控研究。E-mail: wangshumin5103@sina.com

## 1 流域概况

自贡市地处四川省南部,平均气温 17.5℃至 18.0℃,日照 1 150~1 200 h,降水 1 000~1 100 mm。全市境内地形多丘陵,属于亚热带湿润季风气候:开春的时间较早,回温很快;夏天温度高,降水量大且集中;秋天较短,常见绵绵天气;冬天雨水较少。釜溪河又名盐井河,是自贡市境沱江段最大支流。自贡釜溪河城区段控制性景观规划红线范围总用地 250 hm<sup>2</sup>,其中釜溪河水面面积 65 hm<sup>2</sup>。

## 2 SWMM 模型简介与参数选取

### 2.1 SWMM 模型简介

SWMM 是由美国环保署于 20 世纪 70 年代开发的,被广泛用于对排水管网、地面径流以及污水处理单元等系统的水量水质的动态模拟。经过不断的完善和改进,目前已经发展到具备良好通用性的 SWMM5.0,对 SWMM 模型的应用研究逐渐增多。例如,王静曾应用 SWMM 评估了山地城市暴雨径流的生态化改造响应程度<sup>[7]</sup>;赵冬泉等应用 SWMM 分析了澳门某实验区流域的径流特性,在研究中引入了 GIS(Geographic Information System)和 DEM(Digital Elevation Model)技术,实现了汇水子流域的自动生成,并与 SWMM 无缝对接,简化了模型概化的前期准备工作<sup>[8]</sup>;董欣等以深圳河湾地区的排水系统规划为例,应用 SWMM 模型讨论了规划布局方案近期(2010 年)和远期(2020 年)可能产生的环境影响,研究结果为其它地区排水系统的评价提供了参考<sup>[9]</sup>。

### 2.2 模型概化

规划范围内排水体制为分流制,根据规划范围用地布局特点和流域地形地貌特点,将规划范围(陆地部分)划分成了 15 个子流域。河道部分设置为梯形管道,上游来水设置为零,忽略规划范围之外区域的暴雨径流输入。SWMM 模型概化结果见图 1,各子流域用地布局信息见表 1。

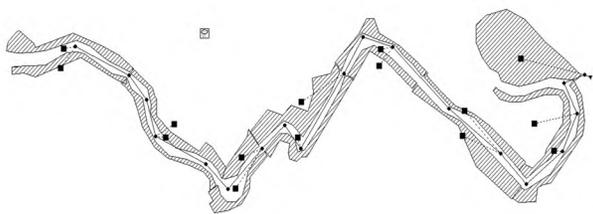


图 1 规划范围 SWMM 模型概化结果

Fig. 1 Conceptualization of SWMM in the study area

### 2.3 SWMM 模型参数选取

国内应用 SWMM 进行城市暴雨径流量水质模拟的研究已有先例,如广东东莞<sup>[10]</sup>、苏州<sup>[11]</sup>、重庆等城市,同时,SWMM 模型中也自带一些关键参数<sup>[12]</sup>。本文依据自贡市气候、地理环境特点,结合相近纬度城市的研究结果以及 SWMM 模型自带参数,最终确定了模型参数取值,见表 2 和表 3。

### 2.4 SWMM 模型降雨雨型的选择

自贡市年均降雨量与重庆市年降雨量(1 100 mm)量相仿,且自贡与重庆基本处于同一纬度,因此在缺乏自贡降雨资

表 1 规划前规划范围内各子流域面积

子流域编号	广场	屋面	道路	绿地	子流域总面积
1	3.49	2.47	1.71	2.97	10.63
2	2.53	1.61	1.22	2.05	7.41
3	1.86	2.15	1.97	1.78	7.76
4	0.89	1.88	1.15	1.39	5.31
5	2.67	2.03	1.33	1.50	7.53
6	2.23	0.87	1.83	0.93	5.86
7	2.69	2.10	1.61	2.24	8.64
8	3.52	2.51	4.60	8.29	18.92
9	0.98	0.95	2.45	1.11	5.50
10	0.57	0.91	1.16	0.74	3.38
11	3.33	5.58	2.67	3.80	15.38
12	2.77	1.62	1.26	1.83	7.49
13	7.55	7.80	3.90	7.67	26.92
14	3.72	2.06	0.93	2.59	9.31
15	15.79	10.70	5.34	13.20	45.03

表 2 SWMM 模型降雨径流模拟参数取值

Table 2 Simulated parameters of rainfall runoff in the SWMM

参数名称	透水凹蓄量/mm	不透水凹蓄量/mm	透水地面曼宁系数	管道曼宁系数	不透水地面曼宁系数
取值	4	0.5	0.2	0.001	0.01

表 3 SWMM 模型降雨径流水质模拟参数

Table 3 Simulated parameters of water quality of rainfall runoff in the SWMM

用地类型	污染物	最大累积量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	冲刷系数	冲刷指数
道路	TSS	400	0.09	1.8
屋面	TSS	150	0.04	1.8
草地	TSS	50	0.3	0.1
广场	TSS	200	0.09	1.8

料的情况下,本文以重庆降雨雨情作为 SWMM 模型的输入雨情,旨在讨论一定降雨强度条件下不同用地布局和用地方式与城市流域暴雨径流污染响应关系。选取的参考雨情降雨持续时间均为 60 min,2 年一遇降雨的降雨量为 42.0 mm,降雨峰值发生在第 30 min,降雨峰值为 1.4 mm/min;5 年一遇降雨的降雨量为 60 mm,降雨峰值发生在第 15 min,降雨峰值为 1.7 mm/min;10 年一遇降雨的降雨量为 73 mm,降雨峰值发生在第 45 min,降雨峰值为 1.9 mm/min<sup>[7]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 规划后釜溪河流域暴雨径流水质水量响应

自贡市釜溪河城区段控制性景观规划过程中考虑了城市水环境安全保障的迫切需要以及防洪要求,结合城市面源污染防治的先进理念,有意识地增加了城市区域绿地比重。规划后釜溪河流域的用地布局构成见表 4。

为了解城市规划对城市流域暴雨径流水量水质的影响,比较了自贡釜溪河流域规划片区在规划前后的暴雨产流特

表4 规划后流域内各子流域用地面积

Table 4 Area of each subcatchment in the study region after planning  $hm^2$

子流域编号	广场	屋面	道路	绿地	子流域总面积
1	0.81	0.36	0.50	8.97	10.63
2	1.30	0.50	0.50	5.11	7.41
3	1.20	1.98	1.50	3.08	7.76
4	0.40	0.50	0.30	4.11	5.31
5	2.03	2.13	0.41	2.96	7.53
6	1.24	0.74	1.40	2.48	5.86
7	0.20	0.35	0.65	7.44	8.64
8	1.80	2.20	3.60	11.32	18.92
9	0.60	0.60	2.20	2.10	5.50
10	0.10	0.40	0.80	2.08	3.38
11	0.30	0.70	0.10	14.28	15.38
12	0.00	0.49	0.60	6.40	7.49
13	0.00	1.40	0.20	5.32	26.92
14	0.50	1.05	0.70	7.06	9.31
15	3.20	0.70	0.15	40.98	45.03

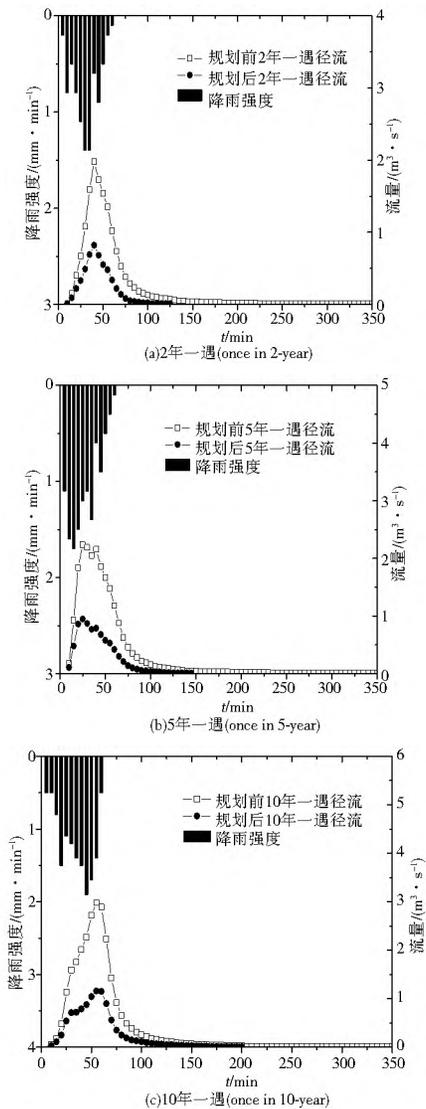


图2 规划前后不同降雨条件下釜溪河规划片区径流响应  
Fig.2 Runoff response in the planning region of the Fuxi River watershed under different rainfall conditions before and after planning

性变化(图2)。同时,以TSS为例<sup>[13]</sup>,讨论了城市规划对规划片区陆地部分暴雨产流的水质影响(图3)。

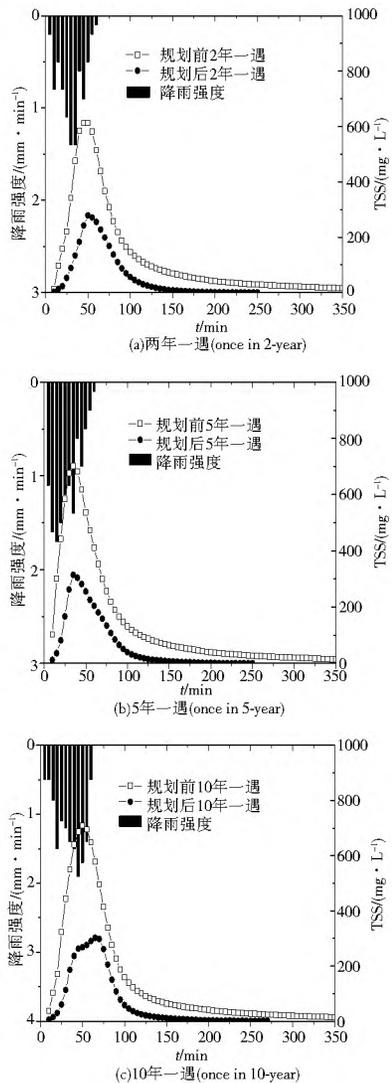


图3 规划前后不同降雨条件下釜溪河规划片区暴雨径流TSS浓度变化

Fig.3 Response of TSS concentrations in the planning region of the Fuxi River watershed under different rainfall conditions before and after planning

由图2可知,规划前后的釜溪河流域规划片区的暴雨产流均随降雨历时先急剧升高,后迅速降低,波峰明显,且规划后的降雨径流峰值明显低于规划前,可能是由于规划前用地中绿地比例(26%)显著低于规划后用地(70%)的缘故。另外,2年一遇、5年一遇、10年一遇条件下规划前降雨径流峰值分别是规划后峰值流量的2.41倍、2.35倍、2.57倍,径流峰值的出现时间均滞后于降雨峰值时间10min,三种降雨表现出较好的一致性,这与其他实地研究结果不同,原因可能是本研究模型运算是基于理想状态下进行的,距离实际的复杂情况有一定差异。不过,模型运算表现出的峰值径流量与峰值雨强显著相关的性质则与其他研究结果一致。由图3可知,在2年一遇、5年一遇、10年一遇三种降雨情境下,规划前研究区域暴雨径流中TSS最高浓度分别出现在降雨发生后的45min、30min、50min,而规划后用地布局特征下径流TSS最高浓度则分别出现在降雨发生后的50

min、35 min、60 min; 相对于规划之前, 规划后暴雨径流 TSS 峰值浓度的出现时间分别延后了 5 min、5 min 和 10 min(三场模拟降雨过程中平均滞后 5 min), 这可能是由于规划后用地布局中绿地比重显著提高, 延缓了降雨径流的产生的缘故。暴雨径流峰值流量在三种降雨雨情条件下分别出现在降雨发生后的 40 min、25 min、55 min。在研究区域规划前不透水下垫面比例较高的情况下(74%), 规划后三场模拟降雨中 TSS 峰值浓度出现时间分别为: 超前 5 min、超前 5 min、滞后 5 min; 而在研究区域不透水下垫面比例较低的情况下(30%), 三场模拟降雨中暴雨径流 TSS 峰值浓度出现时间分别滞后于径流峰值时间 10 min、10 min、5 min。总体上看, TSS 峰值浓度出现时间滞后于径流峰值时间的现象随不透水下垫面比例的降低而增加。Huang 等在澳门雅廉访流域的研究发现, 对于流域面积为 0.14 km<sup>2</sup> 的汇水区, 在所有的降雨事件中, TSS 表现出的浓度峰值时间和径流量峰值时间的前后关系在各场次降雨过程中不统一<sup>[14]</sup>, 与本研究结果一致。

在三场模拟降雨中也发现, 2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇降雨过程中, 规划后研究区域暴雨径流 TSS 峰值浓度分别是规划前的 45%、45%、43%, 这可能也是规划后研究区域内绿地面积大量增加的缘故。

### 3.2 规划用地属性优化与规划片区暴雨径流水量水质响应

为进一步提高研究区域的暴雨径流调控效率, 本文还分析了规划片区内屋顶绿化、广场渗透措施对规划片区暴雨产流排污的影响。屋顶绿化措施的调控效果评估通过更改 SWMM 模型中各个子流域内不透水下垫面比例, 以及将土地利用类型中屋面更改为绿地的方式实现; 广场渗透措施通过更改子流域中不透水下垫面比例实现。屋顶绿化、广场渗透和屋顶绿化协同广场渗透三种措施对规划片区暴雨产流的影响分析结果见图 4, 对暴雨径流 TSS 浓度的影响分析结果见图 5。

由图 4 可知, 规划后用地属性的进一步优化可以显著降低暴雨径流峰值流量, 且组合措施的控制效果优于屋顶绿化和广场渗透两种措施单独应用的调控效果。2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇三种降雨条件下, 屋顶绿化、广场渗透、屋顶绿化+广场渗透组合三种措施对降雨径流峰值的消减率相对于规划后的暴雨径流可分别降低 34%、30%、68%; 34%、29%、66%; 31%、28%、59%, 相对于规划前暴雨径流可分别降低 73%、71%、87%; 72%、70%、86%; 73%、72%、84%。总体上看, 随降雨强度的增加, 优化措施对暴雨径流峰值流量的消减率略有降低。

近年来, 城市内涝的发生几率日益增加, 即使小强度降雨也可能造成路面积水, 根本原因在于城市化引起的不透水下垫面比例的提高。因此, 人们提出很多现代暴雨径流管理措施, 如低影响开发、最佳管理措施等, 但对于如何通过城市规划途径实现城市暴雨径流的管理一直缺少理论探究与实践尝试, 本案例的分析结果无疑为城市规划与城市暴雨径流的量化耦合提供了借鉴。

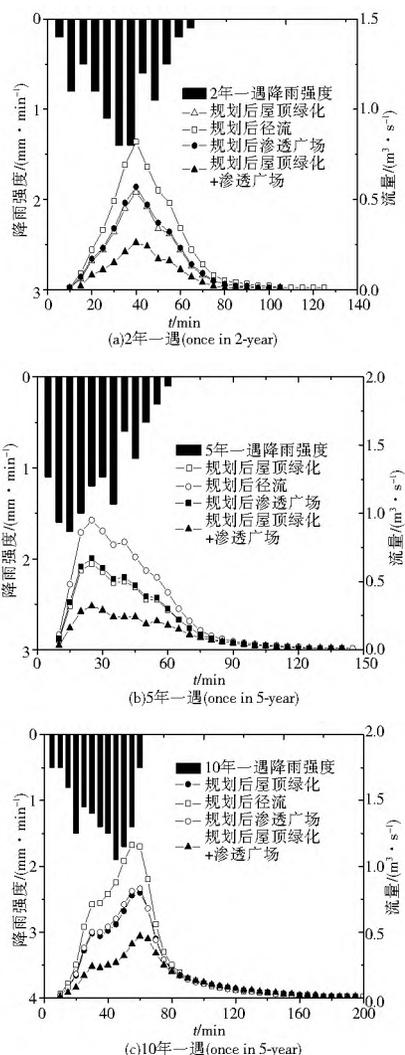


图 4 规划后用地属性优化与釜溪河规划片区暴雨径流的响应

Fig. 4 Runoff response in the planning region of the Fuxi River watershed through optimization of land use characteristics after planning

由图 5 可知, 规划片区的土地利用属性优化对径流 TSS 峰值浓度也有明显进一步降低效果, 相对于规划后土地利用属性优化之前, 屋顶绿化、广场渗透和屋顶绿化+广场渗透三种措施对 TSS 峰值浓度的降低可分别达到 28%、17%、39%(2 年一遇降雨强度); 28%、18%、40%(5 年一遇降雨强度); 22%、10%、36%(10 年一遇降雨强度)。三种措施对 TSS 峰值浓度的降低可分别达到 68%、63%、72%(2 年一遇降雨强度); 68%、63%、73%(5 年一遇降雨强度); 67%、61%、73%(10 年一遇降雨强度)。尽管在屋顶绿化+广场渗透组合模式下暴雨径流 TSS 的峰值浓度最低, 但在后期径流 TSS 却处于相对较高的水平, 可能是由于该种方式径流产率最低, 稀释度较小的缘故。

## 4 结论

(1) 对自贡釜溪河流域规划片区的研究表明, 通过城市规划途径可以实现城市水环境安全有效保障的目的, 当不透水下垫面比重由 74% 规划调整为 30% 时, 暴雨径流峰值流量可平均降低 58%, TSS 峰值浓度可平均降低 55%。

(2) 采用屋顶绿化、广场渗透等管理措施有助于城市暴雨径流的优化管理, 研究表明, 屋顶绿化、广场渗透、屋顶绿

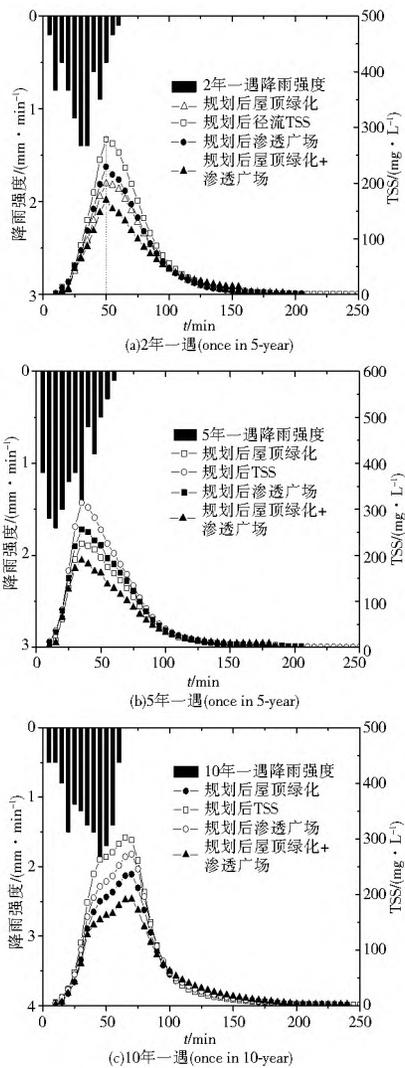


图5 规划后用地属性优化与釜溪河规划片区暴雨径流 TSS 浓度响应

Fig. 5 Response of TSS concentrations in the planning region of the Fuxi River watershed through optimization of land use characteristics after planning

化+ 广场渗透组合三种措施对降雨径流峰值的消减率可在规划后用地布局的基础上再分别降低 33%、29%、64%，对 TSS 峰值浓度的消减率则分别降低 26%、15%、38%。

参考文献 (References):

[1] 李渊, 张建林. 自然中的规整规整中的自然论自贡市迎宾大道绿化景观规划设计[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(3): 199-205. (LI Yuan, ZHANG Jianlin. On Regularity of Nature and Nature in Regularity planning and Design of the Landscape along Yingbin Road in Zigong[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2011, 36(3): 199-205. (in Chinese))

[2] 尹澄清. 城市面源污染的控制原理和技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (YIN Chengqing. Urban Diffuse Pollution Control Principles and Techniques [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2009. (in Chinese))

[3] 郭青海, 马克明, 赵景柱, 等. 城市非点源污染控制的景观生态学途径[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 977-980. (GUO Qinghai, MA Keming, ZHAO Jingzhu, et al. A Landscape Ecological Approach for Urban Nonpoint Source Pollution Control [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(5): 977-980. (in Chinese))

[4] YEO, Ir young, GULDMANN Jearr michel. Land-use Optimization for Controlling Peak Flow Discharge and Nonpoint Source Water Pollution [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2006, 33(6): 903-921.

[5] 匡文慧, 刘纪远, 陆灯盛. 京津唐城市群不透水地表增长格局及水环境效应[J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1486-1496. (KUANG Wenhui, LIU Jiyuan, LU Dengsheng. Pattern of Impervious Surface Change and Its Effect on Water Environment in the Beijing Tianjin Tangshan Metropolitan Area [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11): 1486-1496. (in Chinese))

[6] TONG Susanna T-Y, CHEN Weir li. Modeling the Relationship between Land Use and Surface Water Quality [J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66: 377-393.

[7] 王静. 基于 SWMM 模型的山地城市暴雨径流效应及生态化改造措施研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012. (WANG Jing. Research on the Rainstorm Runoff Effect of Mountainous City and Measures of Ecological Reconstruction Based on SWMM [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012. (in Chinese))

[8] ZHAO Dongquan, CHEN Jining, WANG Haosheng, et al. GIS-based Urban Rainfall Runoff Modeling Using an Automatic Catchment Discretization Approach: A Case Study in Macau [J]. Environ. Earth Sci., 2009, 59(2): 465-472.

[9] 董欣, 陈吉宁, 赵冬泉. SWMM 模型在城市排水系统规划中的应用[J]. 给水排水, 2006, 32(5): 106-109. (DONG Xin, CHEN Jining, ZHAO Dongquan. Application of SWMM Model in Urban Drainage System Planning [J]. Water & Wastewater Engineering, 2006, 32(5): 106-109. (in Chinese))

[10] 韩娇. 城市降雨径流面源污染水质水量动态模型研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011. (HAN Jiao. Research of Dynamic Model of Urban Rainfall Runoff Nonpoint Source Pollution Based on SWMM [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011. (in Chinese))

[11] 祁继英. 城市非点源污染负荷量化研究[D]. 南京: 河海大学, 2005. (QI Jiyong. Quantity Study on Nonpoint Source Pollution of City [D]. Nanjing: HoHai University, 2005 (in Chinese))

[12] 王志标. 基于 SWMM 的棕榈泉小区非点源污染负荷研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007. (WANG Zhibiao. Research of the Nonpoint Source Pollution Load in Palm Spring Residential District Based on SWMM [D]. Chongqing: Chongqing University, 2007. (in Chinese))

[13] 王书敏, 何强, 艾海男, 等. 山地城市暴雨径流污染特性及控制对策[J]. 环境工程学报, 2012, 6(5): 1445-1450. (WANG Shumin, HE Qiang, AI Hainan, et al. Characteristics and Control of Urban Rainfall Runoff in Mountainous City [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(5): 1445-1450. (in Chinese))

[14] HUANG Jirong, DU Pengfei, AO Chritian, et al. Characterization of Surface Runoff from a Subtropics Urban Catchment[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19: 148-152.