

# 基于 Mike 模型的海绵城市内涝整治方案效果分析

刘龙志<sup>1</sup>, 马宏伟<sup>1</sup>, 杜 垚<sup>2</sup>, 翁邦正<sup>2</sup>, 文 韬<sup>2</sup>, 张 耀<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

**摘 要:** 通过 Mike 水动力模型,建立了玉溪市老城片区固定径流模型。根据2016年7月20日玉溪市实测降雨情况,对模型中节点溢流和地面淹没情况进行定量模拟,并将模型积水点深度与实际积水点深度进行对比,验证了模型适用性。利用模型对30年一遇、24 h降雨情况下的玉溪市老城片区进行了分析,总结了内涝积水点出现的原因,并提出了内涝整治方案。实施整治后的老城片区积水深度降低,内涝点基本清除。

**关键词:** 海绵城市; 老城片区; 积水深度; 内涝整治; Mike 水动力模型

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0013-06

## Analysis of Waterlogging Renovation Effect in Sponge City Based on Mike Model

LIU Long-zhi<sup>1</sup>, MA Hong-wei<sup>1</sup>, DU Yao<sup>2</sup>, WENG Bang-zheng<sup>2</sup>, WEN Tao<sup>2</sup>, ZHANG Yao<sup>2</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

**Abstract:** Based on Mike hydrodynamic model, the fixed runoff model of Yuxi old town was established. According to the actual rainfall measured in Yuxi City on July 20, 2016, the overflow of nodes and ground inundation in the model were quantitatively simulated, and the accumulation water depth of model was compared with the actual depth to verify the applicability of the model. According to the modelling results of Yuxi old town under 24 h rainfall once in 30 years, the reasons of local waterlogging was summarized. A renovation scheme for preventing waterlogging was proposed. It was found that after renovation, the regional accumulation water depth was reduced and waterlogging points were basically cleared.

**Key words:** sponge city; old town; water depth; waterlogging renovation; Mike hydrodynamic model

随着城市化进程的加快,建设用地面积迅猛增长,不透水建筑表面造成了土壤下渗水量减少,洪峰流量增大,洪峰峰值时间提前,径流总量增加,最终导致城市内涝问题逐渐严重。准确地对城市排涝系统的抗风险能力和运行工况进行评估是预防城市内涝发生的有效办法。目前已有许多学者对城市内涝风险模型进行了研究。周倩倩等<sup>[1]</sup>利用城市数字高程模型对城市内涝进行快速地近似分析,该方法

能够较好地评价市区内内涝风险,确定潜在的易涝区域和危险径流通路。李建勇<sup>[2]</sup>基于测绘数据构建了上海市杨浦滨江区的排水管网模型,对研究区域的排水口出水状况和管道负荷情况进行了评价分析。赵刚等<sup>[3]</sup>通过 SWMM 软件建立了一维管网、河网模型耦合的城市雨洪模拟模型。汉京超<sup>[4]</sup>通过对调蓄管管径、溢流堰高度进行比选找到了最优排水管网模型方案。常青等<sup>[5]</sup>对不同的区域尺度及降

雨下,排水系统主要参数对洪峰及径流总量影响的灵敏度进行了研究。毛绪昱等<sup>[6]</sup>分析了都市核心区的排水能力局限性和内涝风险成因。黄国如等<sup>[7]</sup>对五种不同设计重现期的暴雨情景下研究区域排水管网系统的排水能力和积水深度进行了模拟。王慧斌等<sup>[8]</sup>利用水力模型对城市内涝风险进行评估分析,得到了城市各区域的内涝综合风险指数。

以玉溪市老城片区海绵城市改造中内涝整治改造工程设计为例,建立了玉溪市老城片区固定径流模型,以2016年7月20日玉溪市实测降雨情况对模型中节点溢流和地面淹没情况进行定量模拟,统计溢流检查井的分布和地面淹没范围,并将模型积水点与实际积水点进行对比,提出了玉溪市老城片区海绵城市内涝整治方案。

### 1 研究区域概况

玉溪市地处低纬高原,山脉纵横、河湖众多,山地、峡谷、湖泊、盆地相间,海拔高差悬殊,地形地貌复杂,老城片区整体地形较为平缓,局部地段稍有缓坡,地势呈东高西低,其高程分布如图1所示。该市为亚热带高原季风气候,雨季错峰明显,局地短历时暴雨频发,昼夜温差显著。

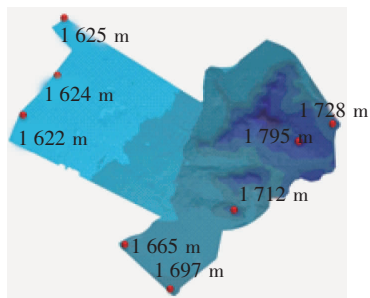


图1 玉溪市老城片区高程分布

Fig. 1 Elevation distribution of Yuxi old town area

玉溪市年平均气温为 $15.6 \sim 23.8^{\circ}\text{C}$ ,无霜期为244~365 d,年内温度变化不大。根据1980年—2010年的30年统计数据,玉溪市年平均日照为2115~2285.5 h,每天平均日照为6 h,冬春两季日照较为充足,夏秋季阴雨天气多,日照相对较少。日照最大值出现在春季的3月,平均日照为8.5 h,最小值出现在7月,平均日照仅2.6 h。图2为1980年—2010年玉溪市1 h最大降水量的平均值。由图2可知,玉溪市1 h最大雨水量的平均值整体较高,短时强降水的概率高,短历时暴雨频发。

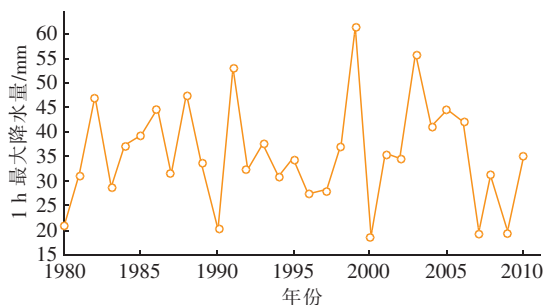


图2 1 h最大降水量的平均值

Fig. 2 Average maximum amount of rain water in 1 h

图3为1980年—2010年玉溪市年平均降水量和蒸发量、月平均降水量和蒸发量变化。

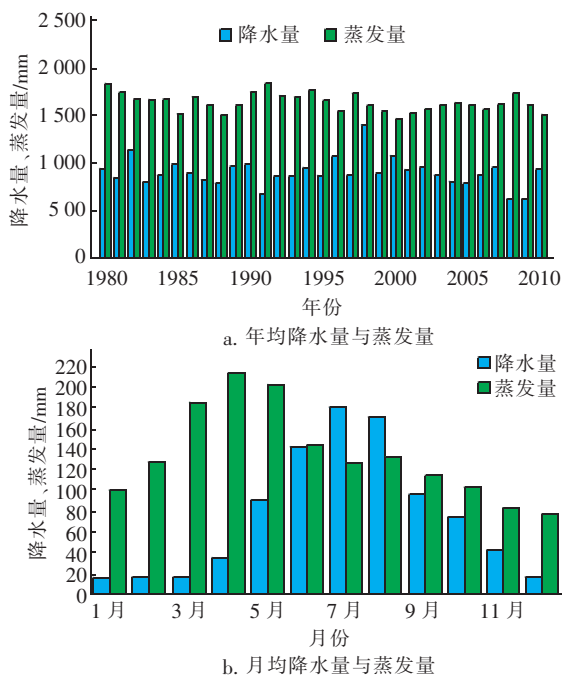


图3 1980年—2010年玉溪市年均和月均降水量与蒸发量

Fig. 3 Precipitation and evaporation in Yuxi during 1980 – 2010

由图3可知,玉溪市年平均降水量为909.0 mm,年蒸发量为1624.9 mm,降水量、蒸发量年内变化差异大。3月份降水量与蒸发量差值最大,6月份降水量与蒸发量基本持平,出现短时强降水概率较高。

通过玉溪市城区市政管网普查数据得到研究区域内雨水管网长度、检查井高程、出水口位置及高程、闸门、泵站及调节池等排水设施参数。研究区域内排水体制为截流式合流制和局部雨污分流并存的混合体制,环山路以东为金水河南段汇水分区,区域内为完全分流制,管道总长为13.8 km;以西为沙沟

河汇水分区,区域内道路雨污分流,分流制管道长 11.3 km,合流制管道长 40.6 km,最终汇入合流系统。管道平面布置如图 4 所示。

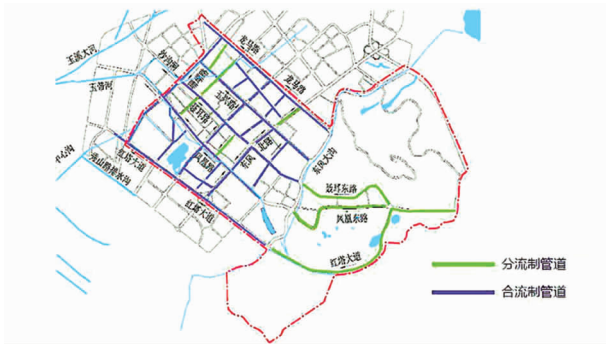


图 4 改造前合流与分流制管道示意

Fig.4 Schematic diagram of combined and separate sewer before transformation

## 2 选用模型介绍

丹麦水力研究所(DHI)研发了用于水模拟的系列数值模型,即 Mike 模型,属于商业软件,模型应用广泛。本文采用 Mike 11、Mike 21、Mike Urban 及 Mike Flood 模型进行研究区域内涝现状评估并构建规划模型,其中 Mike 11 用于模拟一维河道水体的流态;Mike 21 属于平面二维自由表面流模型,能够模拟不同水文要素的时空分布及内涝积水信息;Mike Urban 可用于模拟城区排水管网水力运行规律;Mike Flood 是一个耦合的水力模型,将 Mike Urban、Mike 11 与 Mike 21 进行动态耦合。

## 3 模型构建

模型建立如图 5 所示。

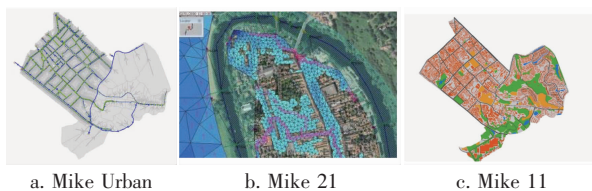


图 5 模型建立

Fig.5 Model establishment

### 3.1 一维雨水管网模型

利用 Mike Urban 构建研究区域雨水管网模型,通过相关单位提供的资料以及 GIS 工具获取通过研究区域内雨水管网长度、检查井高程、出水口位置及高程、闸门、泵站及调节池等排水设施参数,将研究区域的管网系统概化为 7 363 个节点、6 674 个管段、6 812 个汇水区。

### 3.2 二维地表模型

利用 Mike 21 构建二维地表模型,采用非结构三角形网格进行网格划分,并根据玉溪市老城区地形图获取每个网格的高程数据,共生成 7 363 个网格节点,222 172 个网格,最大、最小网格面积分别为 200、20 m<sup>2</sup>,地表高程为 1 636.0 ~ 1 641.1 m。

### 3.3 一维河道模型

利用 Mike 11 构建一维河道模型,采用模型默认数字 1 为水陆边界,采用数字 2 定义水位边界和流量边界,采用实测数据和地形图资料提取河道断面数据、水工建筑物参数、下游水系水位过程线等数据构建 Mike 11 模型,模型划分为 150 个断面,4 个河段、5 个边界断面。

### 3.4 Mike Flood 耦合模型

三个模型分别运行成功后,在 Mike Flood 平台上对三个模型进行耦合连接。将管网模型中的雨水口与地表连接,从而实现一维管网与二维地面的耦合连接。将河流水系的水位作为雨水管出水口的下边界,从而实现河道与排水管网的耦合连接。

### 3.5 模型参数

模型中初始下渗率为 76.2 mm/h,稳定下渗率为 3.81 mm/h,不透水区曼宁系数为 0.03,透水区曼宁系数为 0.015,不透水区洼蓄量为 2.5 mm,透水区洼蓄量为 6.5 mm,管道曼宁系数为 0.013。

### 3.6 模型运算结果与现状内涝情况对比

采用 2016 年 7 月 20 日玉溪市 17:00—21:00 实测降雨情况进行现状模拟,其中全市最大降水 90.2 mm 为通海县里山,红塔区最大降水为 62.1 mm,对应 20 年一遇降雨,历时 90 min,得到模拟区域积水深度如图 6 所示。

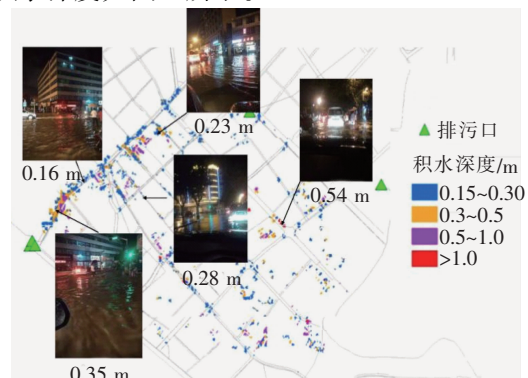


图 6 实际与模拟积水深度对比

Fig.6 Comparison of actual and simulated water depth



与当时记录的积水点及积水深度信息进行比较发现,模拟结果与实际情况较为符合,说明模型具有较高的可信度,可进一步进行内涝风险评估。

### 3.7 内涝风险评估

采用30年一遇24 h降水进行玉溪市老城区内涝风险评估,内涝积水点分布如图7所示。

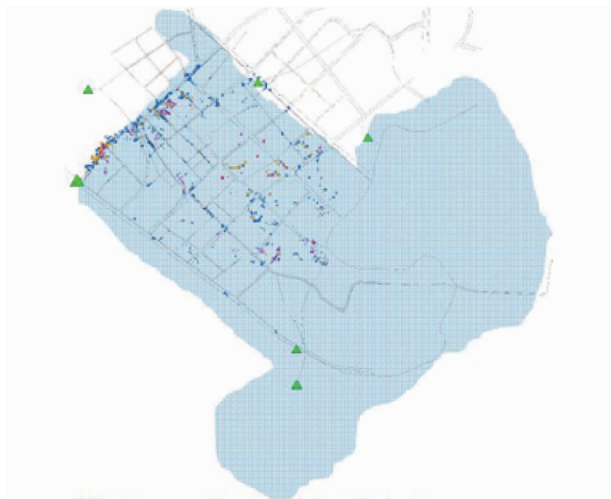


图7 24 h降水积水深度

Fig. 7 Precipitation depth for 24 h rainfall

模拟结果显示,玉溪市老城区内涝积水点共计82个,其中9个点内涝积水深度超过了1.0 m,13个点内涝积水深度为0.5~1.0 m,6个点内涝积水深度为0.3~0.5 m,54个点内涝积水深度为0.15~0.3 m。其中内涝点在地势较低的西北边缘较为集中,而地势较高的东北区域基本未出现内涝点,表明内涝受地势影响较大。

取西北区域进行重点分析(见图8),共13个内涝点,积水量和积水面积信息如表1所示。

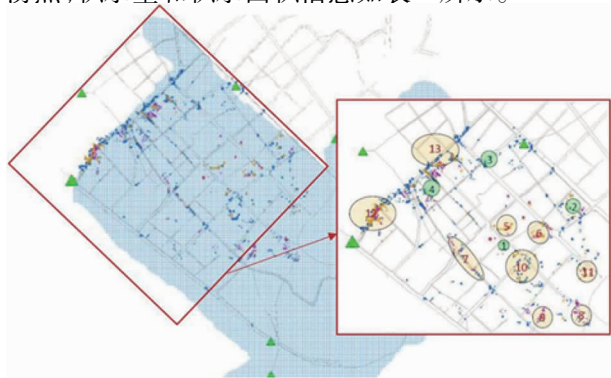


图8 内涝区域积水点

Fig. 8 Waterlogging points in waterlogging areas

表1 13个内涝点的积水量和积水面积

Tab. 1 Volume and area of 13 waterlogging points

编号	积水量/ m <sup>3</sup>	积水面积/ m <sup>2</sup>	编号	积水量/ m <sup>3</sup>	积水面积/ m <sup>2</sup>
1	80.33	827.96	8	2 809.22	15 657.30
2	1 847.22	11 549.80	9	2 232.45	8 037.90
3	1 300.29	9 633.23	10	2 626.23	17 420.98
4	1 765.25	8 100.04	11	1 427.55	8 005.76
5	3 382.46	7 118.78	12	9 765.72	33 816.32
6	2 197.81	5 448.80	13	5 789.07	24 457.39
7	4 904.22	19 587.57			

分析积水原因如下:

① 末端排水能力受限。受纳河道玉带河、玉溪大河排涝能力不足,河道高水位顶托造成管网系统排水不畅,13号积水点所在的珊瑚路区域地处排水系统末端,积水最为严重。

② 排水分区不合理。龙马路以东区域未设置就近排入河道的排水口,东风大沟以东区域受制于东风大沟排水能力,部分路段雨水接入珊瑚路排水系统。

③ 局部地块地势低洼。1号、4号、5号和6号积水点所在地块标高低于周边道路标高,雨水径流难以排出,导致积水。

④ 地面坡度不均。2号、3号和12号积水点位于道路交叉口,上游道路坡度大,路面径流排除不及时,在下游坡度平缓处形成积水。

⑤ 雨水算子收水能力不足,部分设计不合理。以11号积水点为例,道路最低点未设置雨水算子,地表径流无法排除。区域内部分雨水算子存在设计规格偏小、布置形式不合理、存积物清理不及时等问题。

### 4 内涝综合治理方案

通过对玉溪市老城区内涝原因的系统分析,按照“源头减排、管网优化、排涝除险”系统治理技术路线,综合采取以下工程措施:

① 提升河道排涝能力。对玉带河、中心沟、玉溪大河进行拓宽清淤挖深改造,改造后满足城市30年一遇排涝能力要求。

② 优化排水分区。龙马路以东排水分区增加排口,直接排放至玉溪大河;东风大沟以东区域排水全部至东风大沟,实现高水高排。

③ 源头海绵改造。通过对源头小区海绵改造可行性分析,按照连片改造原则,梳理改造项目,共

改造建筑小区 42 个,道路 23 条,总面积为  $2.906 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。

④ 管网系统改造。结合源头建筑小区和道路海绵改造,新建雨水管,部分区域实现雨污分流;在大坡度道路末端设置雨水横截沟,拦截道路径流并接入雨水井。增加各段道路及交叉口的雨水口,使其合理布置并接入雨水管道。对部分收水能力不足的雨水算子进行改造,提升收水能力。区域内共新建雨水管网 13.4 km,新建横截沟 11 处,改造雨水算子 1 304 个。

管网改造及源头海绵改造项目分布情况如图 9 所示。

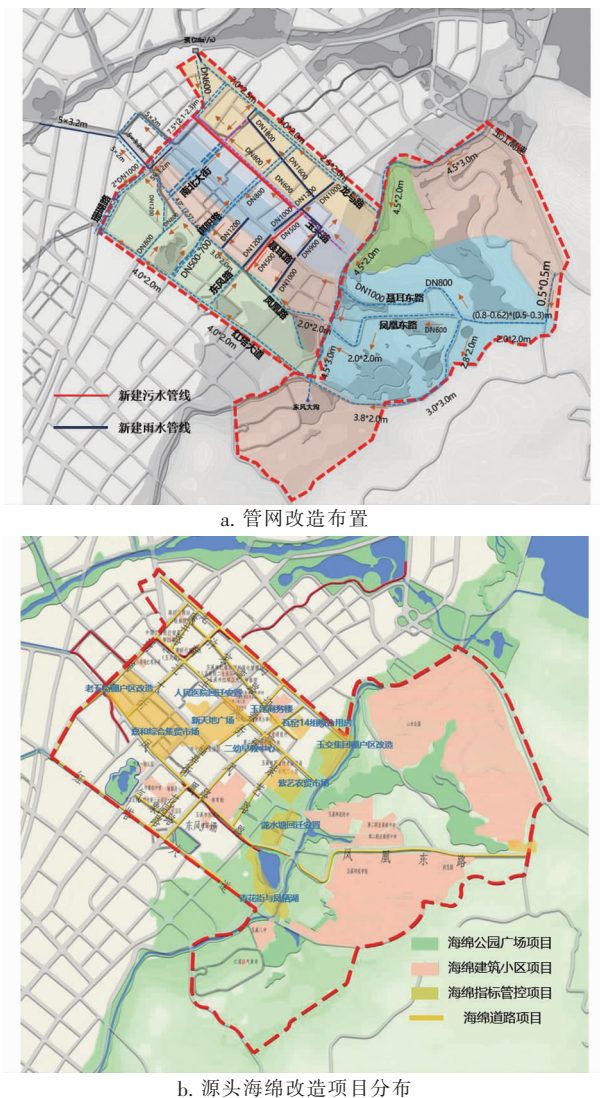


图 9 管网改造及源头海绵改造项目布置

Fig. 9 Pipeline reconstruction and source sponge reconstruction layout

根据图 9 及相关参数重新设置模型中调蓄池、管网和地表径流情况,利用改造后的模型对 30 年一遇的 24 h 降水进行分析,得到的内涝积水情况如图 10 所示。

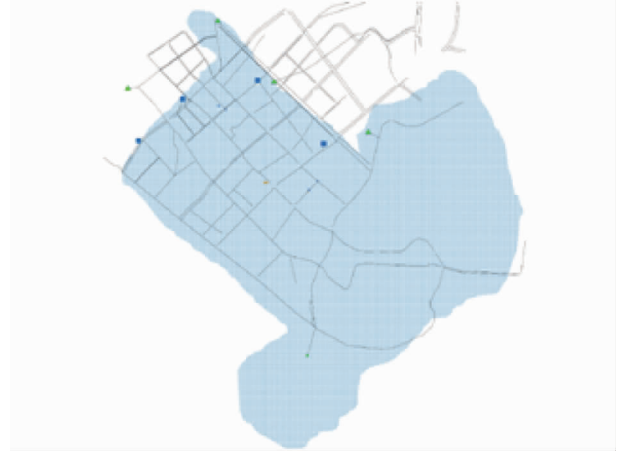


图 10 改造后 24 h 降水积水深度

Fig. 10 Precipitation depth for 24 h rainfall after transformation

由图 10 可知,经过综合治理后 0.3 m 以上积水深度的内涝点完全消除,仅零星分布了积水深度分别为 0.15、0.15、0.16、0.19 m 的 4 个内涝点,相比整治前的内涝情况有了极大的改善,可见内涝综合治理取得了较为显著的效果。

## 5 结论

建立了玉溪市老城片区固定径流模型,根据 2016 年 7 月 20 日玉溪市实测降雨情况对模型中节点溢流和地面淹没情况进行定量模拟,并将模型积水点深度与实际积水点深度进行对比,验证了模型的适用性。对 30 年一遇、24 h 降雨情况下的玉溪市老城片区进行了模拟,结果显示老城区内涝积水点共计 82 个,其中 9 个内涝积水深度超过了 1.0 m, 13 个内涝积水深度为 0.5 ~ 1.0 m, 6 个内涝积水深度为 0.3 ~ 0.5 m, 54 个内涝积水深度为 0.15 ~ 0.30 m。内涝点在地势较低的西北边缘较为集中,因地势导致的内涝灾害较严重。通过采用提升河道排涝标准,优化排水分区、源头海绵改造、管网系统改造等多种措施对其进行系统治理,对整治后的区域再次进行了模型评估分析,发现经改造后的区域内涝点基本清除,内涝整治方案效果较好。

## 参考文献:

[1] 周倩倩,王和平,许苗苗,等. 基于 GIS 的栅格水文建模快速评估内涝风险[J]. 中国给水排水,2015,31

- (21):109-113.
- Zhou Qianqian, Wang Heping, Xu Miaomiao, *et al.* A simplified GIS-based hydrological modeling approach for rapid flood risk assessment [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(21):109-113 (in Chinese).
- [2] 李建勇. Infoworks ICM 在城市排水系统分析中的应用[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(8):21-24.
- Li Jianyong. Application of Infoworks ICM in analysis of urban drainage system[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(8):21-24 (in Chinese).
- [3] 赵刚, 庞博, 徐宗学, 等. 基于 SWMM 模型的北京大红门排水片区雨洪模拟研究[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2014, 50(5):452-455.
- Zhao Gang, Pang Bo, Xu Zongxue, *et al.* Simulation of urban storm at Dahongmen drainage area by SWMM[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2014, 50(5):452-455 (in Chinese).
- [4] 汉京超. 应用 InfoWorks ICM 软件优化排水系统提标方案[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(11):34-38.
- Han Jingchao. Optimization of upgrading schemes of drainage systems by InfoWorks ICM software[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(11):34-38 (in Chinese).
- [5] 常青, 李江云, 周毅. InfoWorks 水文模型参数灵敏度分析及其随区域尺度的变化[J]. *中国农村水利水电*, 2016(7):75-78.
- Chang Qing, Li Jiangyun, Zhou Yi. Sensitivity analysis of parameters on InfoWorks model of urban stormwater and its variations with model scale[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2016(7):75-78 (in Chinese).
- [6] 毛绪昱, 黄丽萍, 杨森, 等. 基于详细水力模型的重庆市排水防涝规划[J]. *中国给水排水*, 2016, 32(3):113-117.
- Mao Xuyu, Huang Liping, Yang Sen, *et al.* Drainage and waterlogging prevention planning based on detailed hydraulic model in Chongqing [J]. *China Water & Wastewater*, 2016, 32(3):113-117 (in Chinese).
- [7] 黄国如, 王欣, 黄维. 基于 InfoWorks ICM 模型的城市暴雨内涝模拟[J]. *水电能源科学*, 2017, 35(2):66-70.
- Huang Guoru, Wang Xin, Huang Wei. Simulation of rainstorm water logging in urban area based on InfoWorks ICM model[J]. *Water Resources and Power*, 2017, 35(2):66-70 (in Chinese).
- [8] 王慧斌, 荣宏伟, 王竞茵. 水力模型在城市内涝灾害风险评估中的应用[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(19):133-136.
- Wang Huibin, Rong Hongwei, Wang Jingyin. Application of hydraulic model to risk assessment of urban water logging disasters[J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(19):133-136 (in Chinese).



作者简介:刘龙志(1981-),男,湖南衡阳人,硕士,高级工程师,从事污水处理、海绵城市、水环境治理工作。

E-mail:hbyllz@126.com

收稿日期:2018-10-22

开展河湖“清四乱”,打好河湖管理攻坚战