

李保建, 王林, 余俊. 基于 MIKE URBAN 模型的管道排水能力评估[J]. 净水技术, 2022, 41(2):111-117.

LI B J, WANG L, YU J. Evaluation of pipelines drainage capacity based on MIKE URBAN model[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2):111-117.



扫我试试?

基于 MIKE URBAN 模型的管道排水能力评估

李保建, 王林*, 余俊

(中国电建集团江西省电力设计院有限公司, 江西南昌 330096)

摘要 雨水管道是城市排水系统重要环节,其排水能力关乎城市内涝严重程度,因此,快速而准确地对雨水的管道疏水能力进行评估,精确定位溢水节点、超载管网,掌握内涝风险情况显得尤为重要。文中通过建立 MIKE URBAN 一维管网模型,在不同重现期下模拟,利用模拟结果对研究区进行排水能力评估。结果表明,研究区雨水管网整体排水能力较弱,绝大部分管段不能满足 1 a 暴雨重现期要求,难以抵御强降雨威胁,易形成内涝点,城市雨水管网亟待改造。该评估结果为后期雨水管网改造等工程提供理论基础。

关键词 MIKE URBAN 一维管网模型 管道充满度 排水能力 重现期

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)02-0111-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.02.017

Evaluation of Pipelines Drainage Capacity Based on MIKE URBAN Model

LI Baojian, WANG Lin*, YU Jun

(Power China Jiangxi Electric Power Engineering Co., Ltd., Nanchang 330096, China)

Abstract Rainwater pipeline is an important part of urban drainage system, and its drainage capacity is related to the severity of urban waterlogging. Therefore, it is particularly important to quickly and accurately evaluate the drainage capacity of rainwater pipelines, accurately locate overflow node and overloaded pipeline network, and master the waterlogging risk situation. In this paper, MIKE URBAN one-dimensional pipe network model was established to simulate in different return periods, and the drainage capacity of study area was evaluated by using the simulation results. Results showed that the overall drainage capacity of rainwater pipe network in the study area was weak, and most pipe segments could not meet the requirements of rainstorm return period of 1 year, which was difficult to resist the threat of heavy rainfall and easy to form waterlogging points. Urban rainwater pipe network needs to be improved urgently. Evaluation results provide a theoretical basis for the later rainwater pipe network reconstruction and other projects.

Keywords MIKE URBAN one-dimensional pipelines network model fullness of the pipelines drainage capacity return period

近年来,伴随着城市化节奏不断加快,热岛效应聚集,城市内涝灾害也日趋严重。为了解决这一棘手的问题,应运而生各种水文水利模拟软件,其中,应用比较广泛的有美国环保署推出的 SWMM 软件、美国农业部开发的 SWAT 软件以及丹麦 DHI 公

司的 MIKE 系列软件等^[1-3]。尽管这些软件在算法公式、建模方案及功能实现上不尽相同,但通过大量学界的验证和工程考量,证明其具有较高可信度,而 MIKE 软件凭借人性化的用户界面、便捷的操作方式和强大的前后处理功能,得到了广泛应用^[4-7]。

2016 年 2 月,住建部发布《室外排水设计规范》局部修订版,该规范提高雨水管道的设计重现期,增添积水深度和内涝防治设计重现期标准,并提出“本次修订提倡较大汇水范围运用计算机模拟”^[8]。随后,陈睿星等^[9]运用 SWMM 模型对龙岩市中心城

[收稿日期] 2020-05-29

[作者简介] 李保建(1989—),男,硕士,研究方向为微污染源水源地水质改造技术,E-mail:308010832@qq.com。

[通信作者] 王林(1987—),男,硕士,研究方向为状态监测与故障诊断,E-mail:13672219493@163.com。

区雨水管网系统排水能力进行分析,并提出了管网优化设计方案;薛偲琦等^[10]通过 SWMM 对南京市秦淮河中段雨水管渠系统进行了分析,为城市雨水管渠改进提供了借鉴;顾潇等^[11]通过 GIS 与 InfoWorks 联用的方式对上海市某片区排水系统进行了对照模拟,为该地区地下管网的设计方案提供了技术指导。本文以 MIKE URBAN 模型为技术手段,以鹰潭市月湖新区为研究区域,根据其庞杂的地下雨水管网、丰富的下垫面类型和独特的地形地势,通过完整可靠的数据建立研究区的数值模型,从宏观角度展示内涝灾害形成的机制与发展过程,为月

湖新区城市雨水系统提供规划和建设指导。

1 研究区及边界数据

1.1 研究区概况

本文的研究区为江西省鹰潭市月湖新区部分区域,面积约为 2.4 km²,年均降雨量为 1 817.2 mm,降雨期主要集中在 4 月—10 月,区域内排水管网虽覆盖率达 90% 以上,但设施陈旧,多为 20 世纪所建,且采用污废合流制。研究区域为规划区,故下垫面情况根据道路用地、居民用地、教育用地、商业用地、绿化用地、公共设施用地、湖泊河流及其他用地确定,研究区用地性质情况如图 1 所示。



图 1 月湖新区概化图

Fig. 1 Generalized Map of Yuehu New District

1.2 边界及数据

1.2.1 降雨数据

研究区域暴雨强度计算如式(1)。

$$q = 5\,020(1 + 0.694 \lg P) / (t + 19.7)^{0.915} \quad (1)$$

其中: q ——暴雨强度, L/(s·hm²);
 P ——降雨重现期, a;
 t ——降雨历时, min。

本文研究区域雨型选择芝加哥雨型,采用短历时降雨 2 h,设置时间步长为 1 min,峰值比例值为 0.4,得到 4 个重现期(1、2、3、5 a)下各设计降雨历程,如图 2 所示。

1.2.2 下垫面及参数确定

由于规划部门提供研究区域图纸有限,缺少部分建筑图层数据,为最大程度吻合实际径流流量,本次研究提取了 7 种类型下垫面。子汇水区不透透系数由资料图概化的 7 种不同类型下垫面按不同比例组成。MIKE 软件根据面积比例及综合径流系数自动计算不透透率,并根据金牧青^[12]研究及《室外排水设计规范》(GB 50014—2016),确定不同类型下

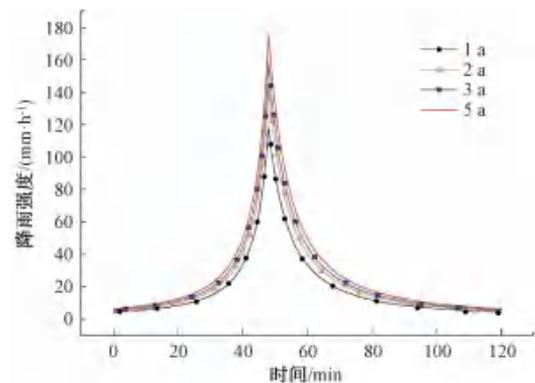


图 2 不同重现期降雨过程

Fig. 2 Process of Rainfall in Different Return Periods

垫面相关参数如表 1 所示。

2 建立模型

2.1 模型理论

MIKE URBAN 会将管网视作一维模型,采用六点 Abbott-Ionesco 隐式有限差分格式和动量守恒方程推算的圣维南方程组联用方式,并结合 MIKE URBAN 中的 MOUSE 计算引擎模块^[13],以实现排水

表 1 不同类型下垫面参数

Tab. 1 Different Types of Underlying Surface Parameters

下垫面类型	综合径流系数
道路用地	0.85
居民用地	0.70
教育用地	0.40
商业用地	0.6
绿化用地	0.1
河流湖泊	0
其他用地	0.30

系统的计算,评估管网的排水能力,得出溢流节点的位置、溢流量和超载管道,客观地描述管网内各种构成要素以及水流的流态,如检查井、水流调节构件、横截面形状以及集水区的各种水头损失等。

2.2 建立降雨模型

对于城市雨水管网,因城区内汇水时间较短,一般情况下不超过 2 h,2 场暴雨之间不会有较大影响。因此,管道排水能力的评估采用重现期为 1~5 a 的短历时降雨模型较为合理。前期已结合鹰潭市暴雨强度公式,并利用芝加哥雨型合成器分别生成了 1、2、3、5 a 重现期下降雨数据。此时,则需要使用 MIKE ZERO 建立时间系列的文件,合理设置降雨历时、步长后将不同重现期下降雨数据导入,生成 dfs0 格式降雨模型。此处展示以 1 a 一遇降雨、降雨历时为 120 min 为例,考虑研究区域不同径流系数下垫面,所建立的不同类型下垫面降雨径流模型,如图 3 所示。

2.3 建立一维排水模型

排水模型建立之前,首先对研究区域排水系统完成概化,其中包含雨水管道、节点和各类下垫面的设置。节点包括检查井及排水口。研究区域的管道和节点数据及不同用地性质的地块均来自规划部门所提供的 CAD 图纸,其包含检查井直径、井底标高、管道底标高、管道断面及尺寸。研究区管道形状均为圆管,最大直径为 2 500 mm,最小为 600 mm。研究区域排水系统经概化后节点共 258 个,其中包含 25 个排水口,共有 231 条管道连接,管网总长度为 74.28 km。将管道和节点拓扑数据导入 MIKE URBAN 后,建立研究区排水系统的拓扑关系,同时将降雨数据等边界条件导入模型,如图 4 所示。

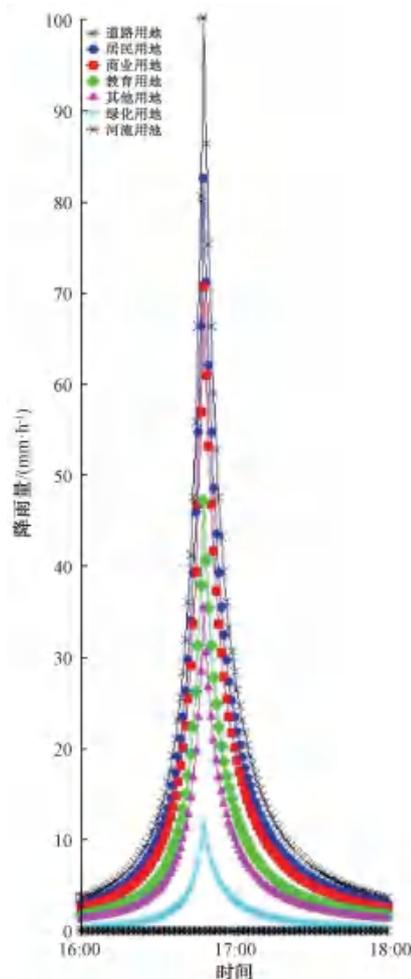


图 3 不同类型下垫面降雨径流模型

Fig. 3 Different Types of Rainfall Runoff Models on Underlying Surface

2.4 子汇水区的划分与连接

子汇水区划分对结果精度有着明显影响,是建立模型重要的步骤之一。基于研究区内排水管网系统分区及各类用地性质布局,对月湖新区进行子汇水区划分。划分均是采用道路用地、居民用地、教育用地、商业用地等 7 种用地类型面积比例,计算出渗透率,然后利用系统自有的泰森多边形法将汇水区划分成 256 个面积为 1.0~18.9 m² 的子汇水区,划分连接结果如图 5 所示。

2.5 模型率定

本次研究选用 2019 年 5 月 23 日实测降雨,采用蒙特卡罗方法进行模型率定,并用纳什效率系数来评价模型模拟结果与实测的吻合程度(图 6)。计算得出径流纳什系数为 0.82,高于 0.7,故本模型在

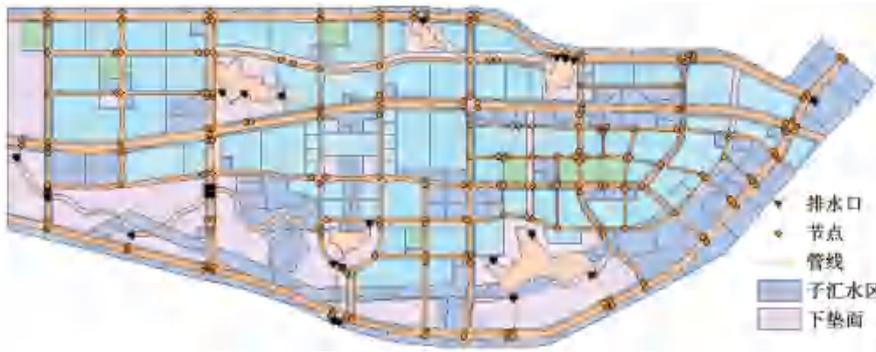


图 4 月湖新区一维排水模型

Fig. 4 One-Dimensional Drainage Model of Yuehu New District

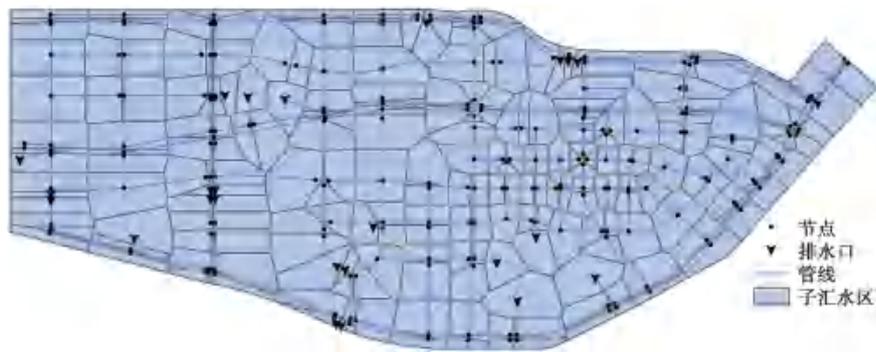


图 5 月湖新区子汇水区划分

Fig. 5 Sub Catchment Area Division of Yuehu New District

水文模型上是可信的。

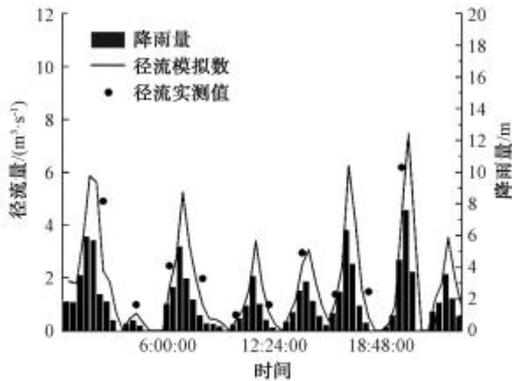


图 6 月湖新区径流模拟-实测图

Fig. 6 Runoff Simulation-Measured Map of Yuehu New District

3 评估方法与结果分析

3.1 评估方法

内涝潜在风险性可由管道超负荷运行情况间接反映。本研究以管道最大充满度作为其中一种指标进行评估,评估指标为管道充满度的模拟值,计算如式(2)。

$$F = \frac{W_{\text{level}} - H_{\text{inertlevel}}}{H_{\text{height}}} \quad (2)$$

其中: F ——管道充满度;

W_{level} ——水位高度, m;

$H_{\text{inertlevel}}$ ——管道底标高, m;

H_{height} ——管道高度, m。

评价标准: $F > 1.0$ 表示水位超过管道顶部,即超过管道排水设计能力; $F \leq 1.0$ 表示水位未超过管道顶部,即满足管道排水设计能力。

3.2 结果分析

3.2.1 动态模拟结果分析

模型建立完毕后,载入不同边界条件,利用 MIKE URBAN 中 RUN MOUSE 功能得到模型动态模拟结果,选取其中水位变化较为典型的管段提取其管道水位变化,结果如图 7 所示。

选取管段从 20 min 后水位开始逐渐上升,管道内为重力非满流状态排水。降雨 48 min 处于设计降雨峰值期间;由于上游管段疏水能力的作用,该管段满流时间点稍有延迟,使得在 50 min 时管道刚达

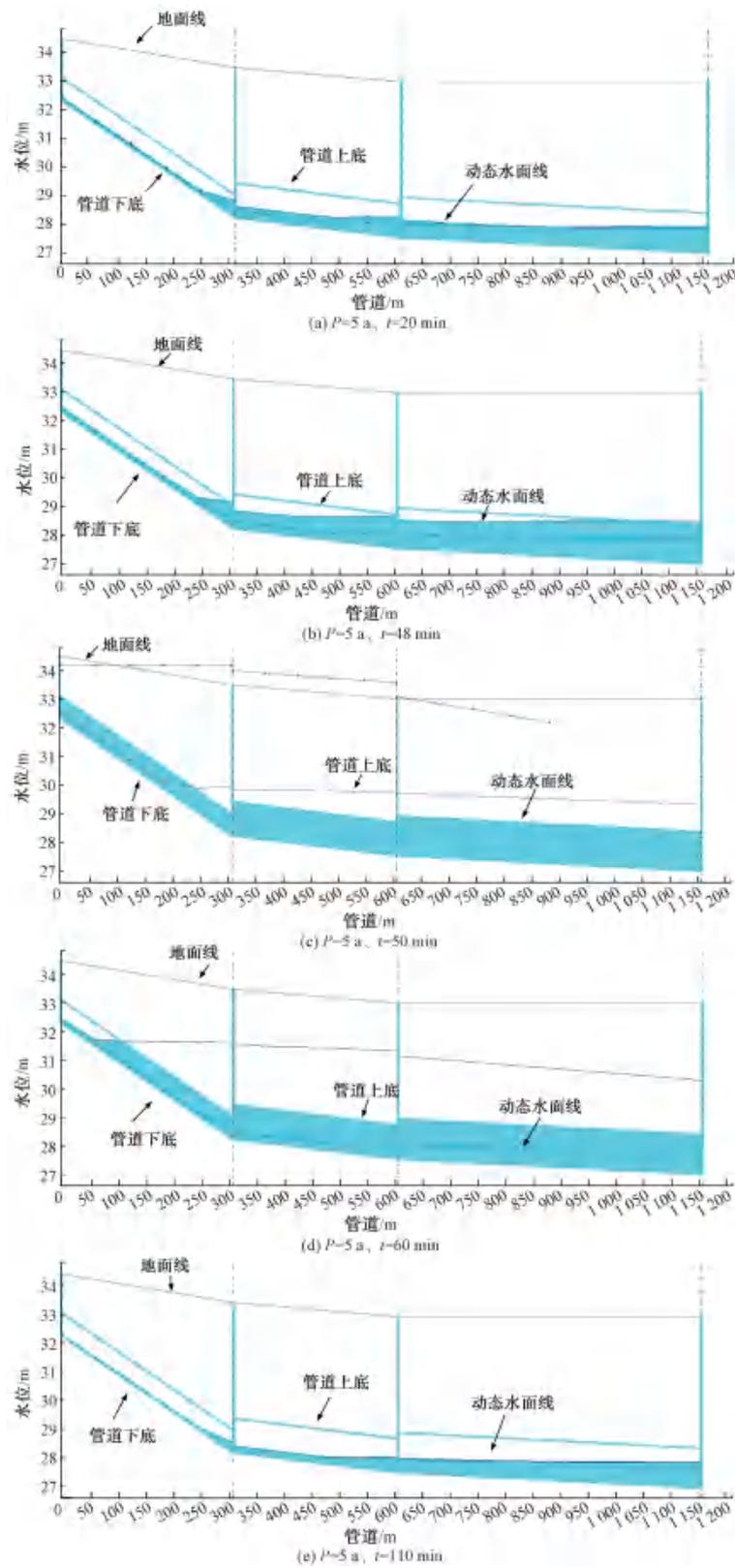


图7 月湖新区某管段水位变化

Fig. 7 Water Level Changes of Pipe Section in Yuehu New District

到满流状态,此时动态水面线急剧上升,压力水头不断增大;在 60 min 时,压力水头达最大值,随后降雨峰值时期结束,动态水面线缓慢下降,水位随之下降;直到 110 min 时,水位基本稳定,水流状态由有压恢复为无压,不再产生溢流。

3.2.2 静态模拟结果分析

采用 4 种不同重现期下芝加哥雨型设计的降雨模型,对研究区域进行模拟,模拟结果如图 8 所示(以 5 a 一遇为例),统计结果如表 2~表 3 所示。



图 8 月湖新区井溢流情况及管道充满度分布(以 5 a 一遇为例)

Fig. 8 Well Overflow Situation and Pipeline Fullness Distribution in Yuehu New District (Case of 5 a)

表 2 不同重现期下管道充满度统计

Tab. 2 Pipeline Fullness Statistics under Different Recurrence Periods

设计重现期/a	$F < 1$	$1 < F \leq 2$	$F > 2$
1	47%	81%	103%
2	36%	62%	133%
3	28%	56%	147%
5	26%	48%	157%

表 3 月湖新区管道排水能力划分与统计

Tab. 3 Division and Statistics of Pipeline Drainage Capacity in Yuehu New District

设计重现期/a	管道长度/km	占比
$P \leq 1$	59.58	80.20%
$1 < P \leq 2$	4.11	5.53%
$2 < P \leq 3$	3.29	4.43%
$3 < P \leq 5$	1.18	1.60%
$P > 5$	6.12	8.24%

本文用管道充满度来表示管网的状态,当 $F \leq 1$ 时,管网处于正常状态;当 $1 < F \leq 2$ 时,管道因下游管道过流能力的不足而造成过载;当 $F > 2$ 时,管道由于自身排水能力的不足造成过载。由表 2~表 3 可知,在月湖新区总长度为 74.28 km 的排水管道中,排水能力不满足 1 a 重现期的管段有 59.58 km,占总管长的 80.20%;满足 1~5 a 重现期的管段仅有

8.58 km,占比为 11.56%,而其中多数由于下游排水能力不足的原因造成该段出现过载现象。达到 5 a 重现期以上的管段有 6.12 km,占 8.24%,虽所占比例不低,但数量较少,且大多为一些尺寸较大的主干管。总体上,月湖新区现状排水管网排水能力整体处于较差水平,绝大部分管道会由于下游管道过流能力抑或是自身排水能力的不足造成过载,能满足排水要求的管段少之又少,造成这一现象的主要原因是设计时排水管网要求标准较低,各管段在末端管径和高度衔接时还存在不尽合理之处,鉴于此种情况,有必要尽快提高排水管网设计标准,同时改造排水能力较差的管段。

综合上述不同重现期下的管道充满度情况,对研究区域管道排水能力进行划分并统计汇总,如图 9 和表 4 所示。

由表 4 可知,月湖新区 258 个检查井中,在降雨强度不大的条件下,溢流井数量相对较少。随着降雨重现期连续增加,发生溢流的检查井也随之增多,但增长幅度相对降低。因此,在小重现期降雨下,可以通过进一步精细化渗滤路面,改变透水地面的材料种类和孔隙率等系列参数,改变径流系数,提高城市管网排水能力,减少检查井溢流情况;但在较大重现期降雨下,径流系数在一定范围内逐渐稳定,优化下垫面意义已不大,此时通过对雨水管网进行改造,以加强城市排水能力才是最根本的措施。



图9 月湖新区管道排水能力划分

Fig. 9 Pipeline Drainage Capacity Division of Yuehu New District

表4 不同重现期下井溢流情况统计

Tab. 4 Statistics of Downhole Overflow in Different Recurrence Periods

设计重现期/a	溢流井数量/个	占比
1	53	20.54%
2	86	33.33%
3	101	39.15%
5	114	44.19%

4 结论

(1) 研究区雨水管网整体排水能力较弱, 绝大部分管段不能满足 1 a 暴雨重现期要求, 小部分管段虽能满足 5 a 重现期, 但也仅为部分雨水主干管, 难以抵御强降雨威胁, 易形成内涝点, 城市雨水管网亟待改造。

(2) 为了重建管道网络, 不需要通过模拟结果重构月湖新地区 80% 以上的管道, 该地区的建筑密集, 大规模管道网络重建的可能性不大。应在相应的设计重现期内首先运行管道模型, 并根据重构的管道和是否有地面积水来综合确定, 这样的方法经济且可行。

(3) 本文模拟结果较符合研究区主要积水点调查分布, 为后期的管网改造提供技术支持, 用于后期管网校核、水力计算等工作。

参考文献

[1] 姚新丽, 周凌, 郝新宇, 等. Python 在防涝模型后处理中的应用[J]. 给水排水, 2019, 55(7): 137-141.

[2] SHIN M J, GUILLAUME J H A, CROKE B F W, et al. Addressing ten questions about conceptual rainfall-runoff models with global sensitivity analyses in R[J]. Journal of Hydrology, 2013, 503: 135-152. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.08.047.

[3] 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.

[4] 郭风清, 屈寒飞, 曾辉, 等. 基于 MIKE21 FM 模型的蓄洪区洪水演进数值模拟[J]. 水电能源科学, 2013, 31(5): 34-37.

[5] 杨洵, 梁国华, 周惠成. 基于 MIKE11 的太子河观—筏河段水文水动力模型研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(11): 84-87, 171.

[6] 李毓湘, 逢勇. 珠江三角洲地区河网水动力学模型研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2001(2): 143-155.

[7] 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.

[8] 王丹. 基于 MIKE 模型的西安市曲江新区城市内涝模拟研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.

[9] 陈睿星, 李卫东, 栾慕, 等. SWMM 模型在城市雨水管网改造中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2017(1): 58-62.

[10] 薛德琦, 张瑛, 李一平, 等. 基于 SWMM 的南京市内秦淮河中段管网排水能力分析[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(5): 169-173.

[11] 顾潇, 谭显英, 陶贤成. 基于 ArcGIS 与 InfoWorks 的城市排水系统模拟计算及分析[J]. 净水技术, 2019, 38(s1): 356-359.

[12] 金牧青. 典型下垫面空间布局对城市降雨径流的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.

[13] 马盼盼, 于磊, 潘兴瑶, 等. 排水模型不同概化方式对模拟结果的影响研究——以 MIKE URBAN 软件为例[J]. 给水排水, 2019, 55(3): 132-138.

因本刊为黑白印刷, 文中图 1、图 8、图 9 的彩图可扫描右侧二维码查看电子版。

