

三亚市某市政道路海绵化改造方案探讨

吴寿可

(华东建筑设计研究院有限公司, 上海市 200041)

摘要: 针对三亚市某市政道路的海绵化改造方案, 提出设计时应充分考虑道路现状、周边环境和总体投资等因素, 因地制宜地统筹海绵指标; 同时采用 SWMM 模型, 对改造方案进行模拟。模拟结果显示, 仅靠道路的海绵化改造不能达到 50% 年径流总量控制率目标, 需依靠湿地公园对海绵指标进行统筹; 海绵化改造方案可有效削减雨水径流量和径流峰值, 间接地将雨水管道排水标准从 2 a 一遇提升至 3 a 一遇。

关键词: 海绵化改造; SWMM 模拟; 年径流总量控制率; 排水标准

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)07-0150-05

0 引言

2015 年 5 月, 在住房和城乡建设部的支持和指导下, 三亚市全面启动了“城市双修双城”工作, 海绵城市建设是其中的重头戏之一^[1]。2015 年 6 月, 三亚市成为海绵城市建设的试点城市。2016 年, 为指导海绵城市建设工作有序进行, 三亚市政府编制了《三亚市海绵城市建设总体规划》, 作为三亚市建设海绵城市的重要依据, 并确立了三亚市海绵城市建设试点区域, 同步编制了试点区域海绵城市建设的控制性详细规划, 明确了一系列海绵城市建设项目。其中包含多个现状道路的海绵化改造项目和新建海绵型道路项目。本文以其中一项现状市政道路的海绵化改造工程为例, 探讨在充分考虑道路现状、周边环境和总体投资等因素的基础上, 如何因地制宜地进行海绵改造方案设计。

1 项目概况

工程地点位于三亚市月川片区, 道路全长约 1 490.74 m, 红线宽度 16 m, 总面积 27 262.67 m², 双向车道, 是一条城市支路。道路南侧用地以居住用地和教育用地为主, 北侧以公园绿地和水域为主(见图 1)。海绵化改造的内容主要包含下沉式绿地改造、生态树池改造、雨水口改造等。

2 现状条件

2.1 气象条件

三亚市属热带海洋性季风气候, 长夏无冬, 全年



图 1 周边用地规划图

阳光充足, 蒸发量大, 旱季雨季分明。全市年平均气温 25.5 ℃, 年平均降雨量 1 392.2 mm, 年均降雨天数为 109 d。5 月~10 月为雨季, 降雨量占全年雨量的 90%; 11 月~来年 4 月为旱季, 降雨量仅为全年雨量的 10%。6 月~11 月受热带气旋影响较多, 降雨多为台风雨, 过程降雨量多在 50 mm 以上, 呈现雨急风大的特点。年平均蒸发量较大, 为 2 360.7 mm。由于全年阳光充足, 三亚市蒸发量各月分布较为均匀。

2.2 地质条件

本工程位于三亚市海绵城市试点区域月川片区内。根据《三亚市海绵城市控制性详细规划》, 该区域表层为素填土, 下面是粗砂、细砂、中砂及黏土, 渗透性良好。参考 2014 年道路新建工程的详细勘察报告, 在勘察所达深度范围内, 场地地层上覆地层主要为第四纪全新统人工填积层(Q₄^{pl})、湖泊沉积层(Q₄^l)、河流冲洪积层(Q₄^{al-pl})。依据地基土岩性结构和物理力学性质及其差异性, 自上而下可分为 6 个主要工程地质层。各地层分布情况和主要参数见表 1。

2.3 道路现状及下垫面分析

道路现状车行道为沥青路面, 人行道为人行道砖铺设, 道路两侧有 1 m × 1.5 m 行道树池, 行道树池净距约 4.5 m, 道路整体平坦(见图 2)。道路现状横断面图见图 3, 道路现状下垫面统计情况见表 2。

收稿日期: 2021-01-11

作者简介: 吴寿可(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政给排水设计及规划工作。

表 1 各地层分布情况和主要参数			
地层	厚度范围 /m	层顶埋深 /m	层顶高程 /m
① 素填土	0.50~4.50	0	
② 黏土	3.10~11.50	0.50~4.30	-1.91~4.92
③ 粉砂	2.00~5.50	5.10~10.30	-6.24~0.26
④ 粗砂	0.90~5.20	7.10~14.50	-10.79~-1.24
⑤ 粉质黏土	1.50~8.10	8.70~16.80	-13.05~-2.88
⑥ 中砂	1.90~9.60	10.60~18.30	-14.28~-4.78

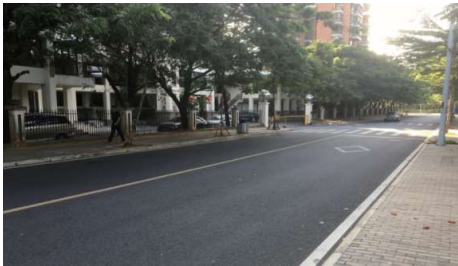


图 2 道路现状图

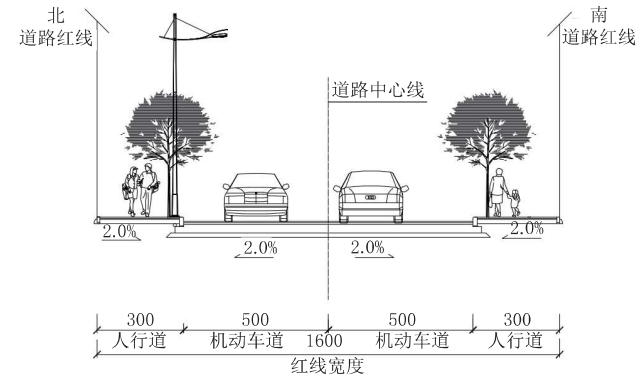


图 3 道路现状横断面图(单位:cm)

表 2 道路现状下垫面统计		
下垫面类型	面积 /m ²	径流系数
沥青路面	17 463.28	0.90
人行道	9 205.39	0.90
行道树池	594.00	0.15
总计	27 262.67	0.88

2.4 排水系统现状

本工程排水体制现状为分流制。

雨水管道敷设于道路北侧机动车道下，距离道路中心线 3.2 m 处，雨水管采用 DN500 钢筋混凝土管，仅收集道路路面雨水，不收集和转输地块雨水，分 3 个排口分别排往北侧湿地公园。机动车道内侧设有平篦雨水口，收集道路径流雨水。现状雨水管网排水标准为 2 a 一遇。

污水管道敷设于道路南侧机动车道下，距离道路中心线 3.2 m 处，污水管采用 DN400 HDPE 管，收集道路南侧居住和教育用地生活污水。

3 海绵改造目标

根据《三亚市海绵城市建设总体规划》和《三亚

市海绵城市建设试点区域控制性详细规划》，本工程海绵化改造目标应达到以下要求：

- (1)年径流总量控制率不低于 50%，对应设计降雨日值 18.5 mm，即 18.5 mm 雨水不外排的建设要求。
- (2)雨水年径流污染控制率：低影响开发 LID (Low Impact Development) 设施的径流污染控制以尽可能降低水环境污染为目标，确定各地块径流污染物(以 SS 计)削减率不低于 36.3%。
- (3)雨水管渠设计达到 3 a 一遇的雨水重现期设计标准。
- (4)不减少道路及其沿线景观绿化面积。

本工程为老路改造项目，受道路现状条件所限，应挖掘海绵化改造潜力，并与北侧湿地公园一起进行海绵指标统筹，达到海绵化改造目的。

4 海绵改造方案

4.1 方案设计总体原则

已建道路的海绵化改造系统设计应从道路存在的问题出发，坚持统筹协调、问题导向、因地制宜、修旧利废及灰绿结合的原则，以绿色低影响开发源头减排的建设为主，综合采用渗、滞、蓄、净、用、排等技术手段，兼顾道路改造，完善道路雨水排放系统。

城市道路海绵化改造技术和措施有多种，应根据不同类型的功能、用地构成、土地利用布局、水文情况等特点进行选择。本工程海绵化设计主要依赖于道路人行道树池、北侧的湿地公园等对路面雨水进行调蓄、净化。

4.2 计算公式

4.2.1 暴雨强度公式

暴雨强度公式是城镇雨水排水系统规划与设计的基本依据之一。三亚市现行暴雨强度公式如下：

$$q=\frac{1325.105\times(1+0.568\lg P)}{(t+7.641)^{0.535}}$$

(1)

式中： q 为暴雨强度，L/(s·ha)； t 为降雨历时，min， $t=t_1+t_2$ ，其中 t_1 为地面集水时间，取 10 min， t_2 为雨水在管渠内的流动时间； P 为重现期，本工程取 3 a。

4.2.2 雨量计算公式

一定重现期下的雨水流量计算公式如下：

$$Q=q\varphi F$$

(2)

式中： Q 为雨水设计流量，L/s； φ 为综合径流系数； F 为汇水面积，ha。

综合径流系数 φ 是对各类下垫面面积进行统计后，按照地面种类进行加权平均计算得到的。

4.2.3 设计调蓄容积

根据文献[2],依据划分的排水分区及各个分区的下垫面情况,利用容积法计算排水分区设计调蓄容积,计算公式为:

$$V=10\ H\varphi F\tag{3}$$

式中: V 为设计调蓄容积, m^3 ; H 为设计降雨量, mm 。

4.2.4 年径流总量控制率和年径流污染控制率

根据文献[2]相关定义,年径流总量控制率为100%与全年外排的径流雨量占全年总降雨量的比例之差。本工程采用SS作为特征污染物,年SS总量削减率为年径流总量控制率 $\times$ 低影响开发设施对SS的平均削减率。本工程海绵设施主要采用生态树池和下沉式绿地,平均污染物去除率为70%~80%,以75%计取。

4.3 方案策略

根据下垫面实际情况,因地制宜地采用生态树池、下沉式绿地等海绵设施对路面雨水进行收集、调蓄和净化,以提高年径流总量控制率和年径流污染控制率,保护受纳水体。本工程的设计雨水排放流程见图4。

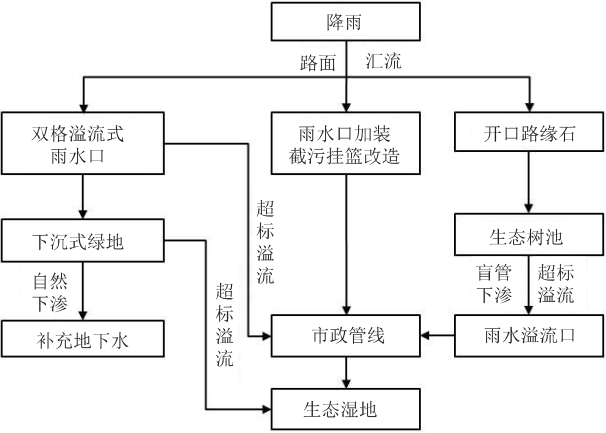


图4 雨水排放流程图

以上排水流程采用了以下3种排水策略:

(1)部分路段北侧紧邻湿地公园,可充分利用红线外的绿地建设下沉式绿地,并将北半幅路面雨水优先引入下沉式绿地。该策略关键在于将现状雨水口改造为双格溢流式雨水口(见图5),其中A格为原雨水口井体(加盖密封),B格为新建部分。雨水进入B格后,优先通过DN200管道排向下沉式绿地。当短时雨水量超过DN200管道排放能力时,或下沉式绿地雨水已蓄满时,B格蓄满,雨水经溢流口进入A格,并由原雨水口连管排入市政雨水管道后直接排放。下沉式绿地内雨水则通过自然下渗补充地下水,过量雨水通过雨水溢流口排入湿地公园内部水系。

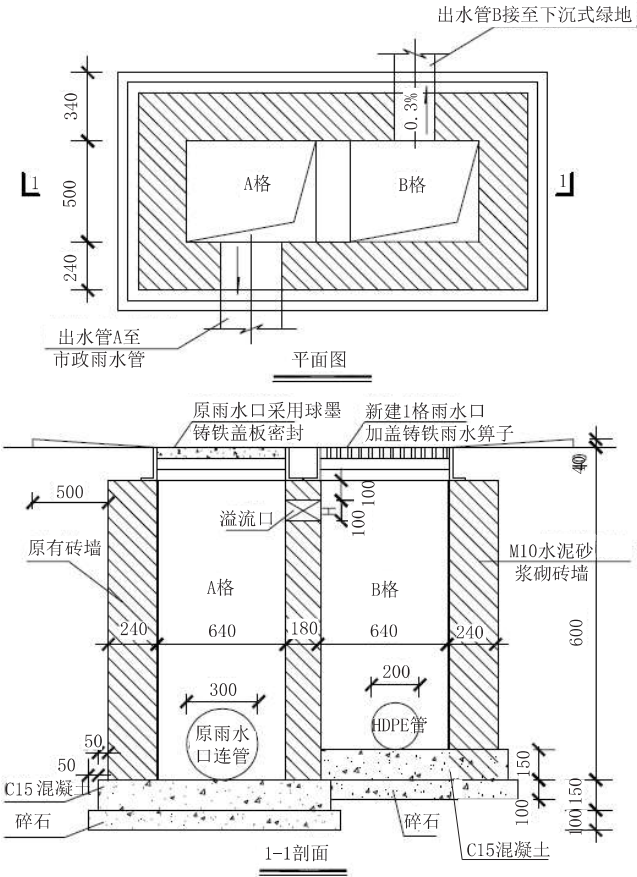


图5 双格溢流式雨水口大样图(单位:mm)

该策略优点在于充分利用场地外现状绿地条件,并避免大面积掘路,最大限度地运用现状市政雨水管道,保证排水安全性。

(2)对于无下沉式绿地可利用的路段,于人行道现状树池间新建生态树池对雨水进行调蓄(新建生态树池需毗邻原路面雨水口,雨水口加盖密封),路面雨水通过开口路缘石进入生态树池进行下渗净化,下渗的雨水通过透水盲管汇入树池中的雨水口。当生态树池蓄满时,超标雨水直接溢流进入雨水口,并新建一段雨水连管,将生态树池内的雨水口与原雨水口井体连接。新建生态树池大样图见图6。

该策略优点在于拉长雨水汇流时间,削减径流峰值和径流污染,避免掘路,最大限度地利用现状雨水排水设施保证排水安全性。由于生态树池净宽较窄,在进行设计时生态树池内的雨水口有一侧墙与树池共壁,体现了设计的灵活性。

(3)对于既无下沉式绿地可利用,且因障碍物原因不具备建设生态树池条件的路段,则保持原排水模式,只对现状路面雨水口加装截污挂篮,对路面雨水进行初步截污后,通过市政雨水管道排入湿地公园内部水系。

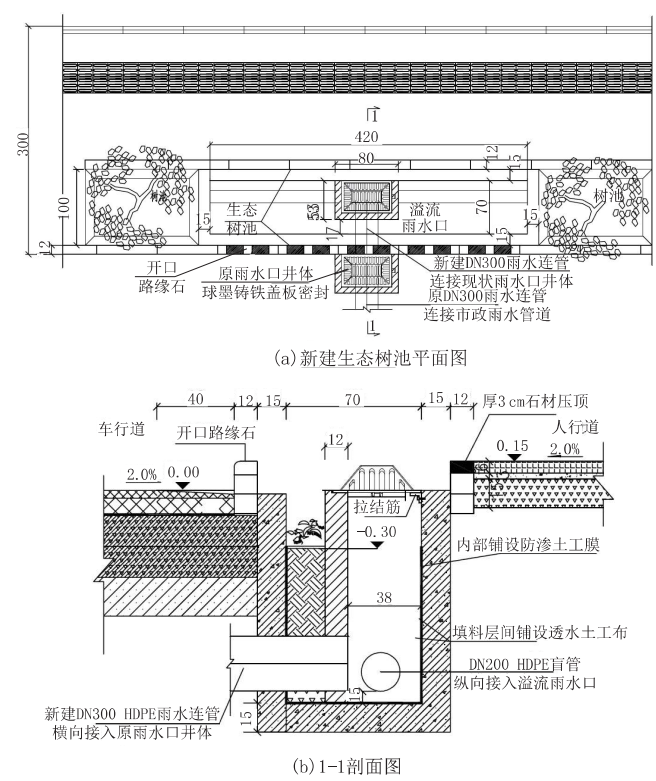


图6 新建生态树池大样图(单位:管径以mm计,其余以cm计)

4.4 方案设计计算

根据道路雨水系统的布局,本工程可划分为11个排水分区。汇水分区划分一览表见表3。

表3 汇水分区划分一览表

分区编号	机动车道 /m ²	人行道铺装 /m ²	现状树池 /m ²	综合径流系数φ
1	3 645.42	1 702.76	88.5	0.89
2	1 473.58	775.33	46.5	0.89
3	1 552.97	838.38	75.0	0.88
4	448.42	234.12	12.0	0.89
5	624.57	309.36	21.0	0.88
6	911.86	509.80	37.5	0.88
7	895.97	492.35	37.5	0.88
8	1 434.63	784.25	64.5	0.88
9	1 657.17	883.22	64.5	0.88
10	1 973.30	1 014.23	66.0	0.88
11	2 845.39	1 661.59	81.0	0.89
总计	17 463.28	9 205.39	594.0	0.88

根据4.3节方案策略,各汇水分区通过新建生态树池和利用下沉式绿地,充分挖掘海绵设施调蓄潜力。雨水设施径流控制量见表4。本工程生态树池和下沉式绿地蓄水高度分别按0.30m和0.15m计取。

本工程除4号分区和6号分区采用道路红线外的下沉式绿地调蓄外,其余分区均以道路红线内的生态树池为调蓄设施。经计算,仅有4号和6号分区

表4 雨水设施径流控制量

分区编号	雨水设施规模 /m ²		设施径流控制量 /m ³	可达控制雨量 /mm
	生态树池	下沉式绿地		
1	63.0	0	18.90	4.70
2	40.5	0	12.15	7.25
3	63.0	0	18.90	10.64
4	0	274	28.77	55.98
5	9.0	0	2.70	3.87
6	0	608	63.84	59.93
7	27.0	0	8.10	7.89
8	36.0	0	10.80	6.57
9	45.0	0	13.50	7.10
10	36.0	0	10.80	4.85
11	54.0	0	16.20	4.84
总计	373.5	882	204.66	10.25

达到或超过了50%年径流总量控制率,对应降雨日值18.5mm的要求;其余分区由于不具备建设足够的调蓄设施而未能达标。本工程设置海绵设施控制雨量总体积约205m³,控制雨水量10.3mm,仅达到对应年径流总量控制率35%的要求。年径流污染控制率为35%×75%=26.3%。剩余的8.2mm降雨将随雨水管道排湿地公园。湿地公园是一个大海绵体,具有调蓄与净化的作用,作为雨水排放的最终纳体,需承担该道路部分年径流量和污染物的控制指标。

5 SWMM模型模拟

5.1 模型概化

SWMM模型由美国国家环保署开发,可对降水径流过程进行动态模拟^[3-4],主要用于模拟城市某个单一降水事件或长期的水量和水质模拟。SWMM模型中可设置生物滞留网格、透水路面、绿色屋顶、渗渠、植草沟和雨水桶等LID技术^[5]。

根据现状排水管道布局,搭建SWMM水力模型,共概化为57个排水节点、54个排水管段(总计1 505m)和11个子汇水分区(总面积2.73ha)。SWMM模型概化图见图7。同时在各子汇水分区中根据表4设置LID措施参数。

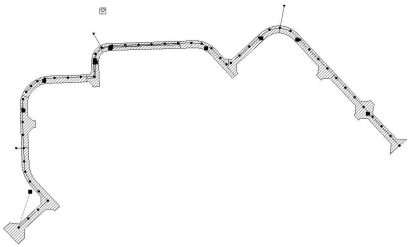


图7 SWMM模型概化图

5.2 参数设置

SWMM模型在模拟过程中会受到模型结构、模

型参数和输入数据等不确定性因素的影响^[6],参数的设置对于模拟结果至关重要。SWMM 模型参数主要包括子汇水分区参数、管渠参数、下渗参数、模拟参数等。模拟选项设置:下渗模型采用霍顿下渗模型,演算模型采用动力波,时间步长采用 0.5 s。本工程 SWMM 模型参数设置主要采用 GIS 提取、查阅模型手册和文献确定。SWMM 模型参数见表 5。

表 5 SWMM 模型参数设置

数据类型	参数	描述	数据范围	参数取值方法
下垫面	面积	面积大小 /hm ²	0.07~0.54	GIS 提取
	宽度	地表漫流宽度 /m	22~170	GIS 提取
	不透水率	不透水所占面积比例 /%	62~67	GIS 分析
	坡度	子汇水区坡度 /%	0.08~0.20	GIS 分析
	不透水区糙率	地表漫流不透水区曼宁糙率	0.2	模型手册和文献
	透水区糙率	地表漫流透水区曼宁糙率	0.5	模型手册和文献
	不透水区注蓄量	不透水区注蓄深度 /mm	2	模型手册和文献
	透水区注蓄量	透水区注蓄深度 /mm	10	模型手册和文献
	最大入渗率	霍顿下渗公式参数 / (mm·h ⁻¹)	25.4	模型手册和文献
	最小下渗率	霍顿下渗公式参数 / (mm·h ⁻¹)	1.5~3.0	模型手册和文献
土壤入渗	衰减指数	霍顿下渗公式参数	3~4	模型手册
排水管渠	断面形状	横截面几何属性	圆形	管渠数据
	最大深度	横截面最大深度 /m	0.5	管渠数据
	长度	长度 /m	16.5~50.6	管渠数据

5.3 降雨雨型

海绵化改造后,需对本工程雨水管道的排水能力、排口的流量峰值进行水力模型评估。根据《三亚市海绵城市方案设计专篇编制指南》,本工程采用现行暴雨强度公式为依据,以芝加哥雨型推求 3 a 一遇的 1 h 降雨历程,雨峰相对位置取 0.40。所设计的雨型见图 8,降雨总量为 63.49 mm。

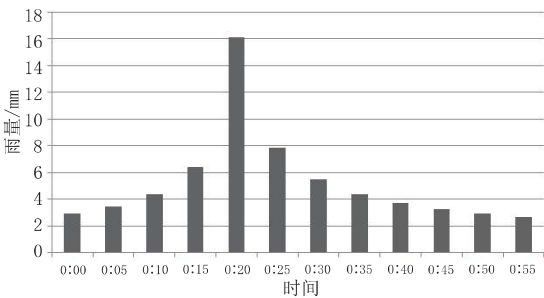


图 8 3 a 一遇的 1 h 芝加哥雨型降雨量

5.4 模拟结论

根据模型模拟,在 3 a 一遇的 1 h 降雨情景下,海绵化改造前总出流量为 56.56 mm,排口径流峰值为 0.50 m³/s;海绵化改造后总出流量为 49.86 mm,排口径流峰值为 0.45 m³/s。经过对比,海绵化改造后,径流削减率为 11.85%,径流峰值削减率为 10%,均优于现状。根据模拟结果,雨水管道在 3 a 一遇的 1 h 降雨下未发生节点溢流,达到了 3 a 一遇排水标准。

此外,由于本工程受改造场地和投资的限制,未采用大面积透水铺装等径流源头削减措施,且生态树池的调蓄空间有限,其渗后水依然通过雨水管网排放,因此在年径流总量控制方面作用并不显著,导致本工程海绵化改造并不能完全达到海绵规划指标,依然需要湿地公园进行托底,承担本工程部分年径流量和污染物控制指标。

6 结 语

(1)本工程受改造场地和投资的限制,采用在道路用地范围内新建生态树池和利用道路红线外下沉式绿地进行雨水调蓄的方式未能使本道路达到年径流总量控制率和年径流污染控制率的规划目标,需要湿地公园对海绵规划指标托底。

(2)在进行海绵化改造方案设计时,需灵活运用场地内外条件。本工程中生态树池的建设和下沉式绿地的运用,均具有一定的灵活性,能够最大限度地运用现状雨水管道系统,减少掘路面积,降低工程成本。

(3)本工程海绵化改造对雨水径流量和径流峰值均有削减作用,可间接地将雨水管道排水标准从 2 a 一遇提升至 3 a 一遇。

参考文献:

[1] 鲁莉萍. 城市道路海绵化改造的实践研究[J].市政技术,2020(5): 17-20.

[2] 北京建筑大学. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.

[3] HSU M H, CHEN S H, CHANG T J. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system[J]. Journal of Hydrology, 2000, 234(1-2): 21-37.

[4] PETERSON E W, WICKS C M. Assessing the importance of conduit geometry and physical parameters in karst systems using the storm water management model (SWMM) [J]. Journal of Hydrology, 2006, 329(1-2): 294-305.

[5] 刘家宏, 陈根发, 王海潮, 等. 暴雨径流管理模型理论及其应用——以 SWMM 为例[M]. 北京:科学出版社, 2018.

[6] 李美水, 杨晓华. 基于 Sobol 方法的 SWMM 模型参数全局敏感性分析[J]. 中国给水排水, 2020(17): 95-102.