

植被浅沟的涝灾减灾补偿作用研究

郝曼秋¹, 高成¹, 张家立¹, 俞芳琴², 赵勇³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市浦口区水务局, 江苏 南京 211800;
3. 江苏省水利厅工管处, 江苏 南京 210029)

摘要: 低影响开发(LID)可以较有效地修复传统的雨洪排泄及输送系统所破坏的水文机制, 本文以桐庐县瑶琳嘉苑小区为研究区域, 建立 SWMM 模型, 对该小区城市化后以及加入了植被浅沟之后在不同降雨重现期下的雨洪过程进行对比分析, 并且通过改变植被浅沟的布置位置与管道出口断面的位置分析比较植被浅沟的效果, 对植被浅沟的减灾效果进行研究。结果表明: 植被浅沟的减灾效果在低重现期下较为明显, 且植被浅沟的减灾效果随着重现期的增大而降低, 当降雨重现期增加到一定值时, 植被浅沟则失去了作用; 当植被浅沟的布置位置距离管道出口断面较近时, 减灾效果较为明显, 当植被浅沟距离出口断面较远时, 减灾效果下降。

关键词: 植被浅沟; 低影响开发; SWMM 模型; 布置方式; 减灾效果

中图分类号: TV121⁺.2; TU992

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)04-0058-06

Research on the effect of flood mitigation of vegetative swale

HAO Manqiu¹, GAO Cheng¹, ZHANG Jiali¹, YU Fangqin², ZHAO Yong³

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

2. Pukou District Water Authority, Nanjing 211800, China;

3. Project Management Office of Jiangsu Provincial Water Resources Department, Nanjing 210029, China)

Abstract: Low impact development (LID) can effectively repair the traditional rainwater excretion and destruction of the transmission system. In this paper, the SWMM model was established in Yaolingjiayuan district of Tonglu county, and the rainwater process under different rainfall return period was analyzed after the urbanization and the vegetative swale was added. The location of the vegetative swale and the location of the outlet section of the pipeline were compared with the effect of the vegetative swale, and the flood mitigation effect of the vegetative swale was studied. The results showed that the mitigation effect of vegetative swale is different under different rainfall return period. The mitigation effect of vegetative swale is more obvious in low return period and decreases with the increase of the return period. When return period of rainfall increases to a certain value, the mitigation effect will lose. By changing the setting position of vegetative swale, concluded that when vegetative swale is close to the outlet section, the mitigation effect will be more obvious, and with the increase of the distance, the mitigation effect will decrease.

Key words: vegetative swale; low impact development; SWMM Model; layout scheme; effect of flood mitigation

1 研究背景

近年来,随着城市化进程加快,城市雨洪问题已成为制约城市发展的重要因素。传统的雨水排放模式已严重影响了城市的土地利用状况,导致城市不透水面积增加,从而加大雨水径流量,缩短雨水汇集时间,加剧水体污染,引发洪涝灾害^[1]。低影响开

发(LID)是利用小流域分散控制方法来管理雨水的一种土地开发策略,它的设计目标是保持或恢复区域天然状态下的水文机制,进而可以保护生态,控制径流。植被浅沟作为一种有效的低影响开发措施目前已得到了广泛的关注^[2-3]。植被浅沟是一种布置在城市道路两侧的在表面进行种草覆盖的工程性措施^[4],按照浅沟构造形式可分为3类:标准传输型浅

收稿日期:2017-01-10; 修回日期:2017-03-01

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41301016)

作者简介:郝曼秋(1993-),女,江苏宿迁人,在读硕士研究生,主要从事城市防洪减灾方面的研究。

通讯作者:高成(1983-),男,安徽宿州人,博士,副研究员,主要从事城市防洪排涝方面的研究。

沟、干式浅沟和湿式浅沟^[5],可以连接城市雨水管网或集水池,可以同时满足输送排放功能和雨水的收集及净化的要求。研究 LID 的减灾作用,对于缓解我国城市内涝和环境污染,保障水文良性循环有着重要参考意义。

国内关于植被浅沟技术的研究尚处于起步阶段,国外因起步较早,已积累了大量的案例与实地监测数据,目前对植被浅沟的研究主要包括径流削减效果、污染物净化效果和模型开发几大方面。李海燕等^[6]通过实验得出结论,植被浅沟在小降雨情况下能够发挥较好的径流削减效果,其径流削减百分比随进水流量的增加而减小;Hayes 等^[7]利用 IDEAL 模型对场地开发后的 LID 措施效能进行了模拟;Davis 等^[8]在对马里兰地区植被浅沟的径流削减作用进行分析,得到了植被浅沟能够完全控制的降雨事件的阈值公式;Sin 等^[9]利用曲线数方法来量化径流减少影响,并与 SWMM5.0 的模拟结果进行了比较,结果表明,利用曲线数方法可以较好地量化 LID 措施中地表径流的减少量;Gilroy 等^[10]在对集水箱和生物滞留槽的数量和空间分布进行研究时,通过建立时空模型,对两种 LID 措施的减灾效果进行分析,结果表明,LID 设施的空间位置和规模大小对 LID 措施的减灾效果有着很大影响,其中空间位置对流域洪峰流量的减少影响更为突出;Stander 等^[11]利用时域反射技术,通过对土壤含水率的测定来评析雨水花园的效果,并提出时间和空间因素比设施的规模大小对渗透率的影响要大得多;Ahiablame 等^[12]利用 L-THIA-LID 模型,在对集水桶和渗透路面的研究中,通过布置 6 种场景进行对比分析,也同样证实了 LID 措施在解决城市雨洪方面发挥着不可忽略的作用。黄延等^[13]通过研究植物型消能坝对植被浅沟运行效果的影响,得出结论:随着进水流量的增加,植被浅沟的平均流速随之增大,水力停留时间逐渐减少,径流削减百分比也相应减小。

目前已有的研究都是从实验层面对植被浅沟的减灾效果进行直接模拟,且关于植被浅沟的布设方式这一关键性因素缺乏相应的研究。本文利用 SWMM 模型,对不同降雨重现期下植被浅沟的减灾效果进行对比分析,并且通过植被浅沟的布设位置与管道出口断面的位置分析比较植被浅沟的效果,对植被浅沟的减灾效果进行研究。

2 研究模型构建

2.1 SWMM 模型介绍

SWMM 模型是一种用来模拟降水和径流的综

合性数学模型,模型可根据城市地表、雨水口、管网、闸站、沟渠、调蓄池等不同要素,对排水系统进行概化,模拟计算城市暴雨洪水过程^[14]。SWMM 模型最新版(5.1.010)包括水文、水力和水质模块,SWMM 模型的水文模块由径流模块和汇流模块构成,其径流模块综合处理各子流域所发生的降水、径流,其汇流模块部分则是通过管网、储水设施等进行水量输送^[15]。SWMM 模型的水力模块可以随时模拟不同时间步长各子流域的径流量和输移过程,并可模拟每条管道或河道中水的流量、水深等情况^[16]。水力模块模拟方法主要有运动波模拟和动力波模拟。水质模块则主要用来模拟径流中的污染物的冲刷、运移和处理等过程。

2.2 SWMM 基本原理

(1)汇水分区概化。在 SWMM 模型中,通过研究区域的管道布局、道路走向及其下垫面情况等各种要素进行子汇水区划分,在每个子汇水区中分别进行地表产流,流量演算则通过连接模块联合各子汇水区进行。

(2)产汇流模拟。进行产流计算时,在不透水区,无洼蓄的不透水面积产流量等于降雨量,有洼蓄的不透水面积产流量等于降雨量减去填洼损失量;在透水区,除了考虑降雨填洼损失,还须考虑下渗损失量,本次研究采用霍顿下渗公式法来进行下渗损失量计算。

(3)排水系统流量演算。SWMM 模型通过求解圣维南流量方程组,对河网管道进行流量演算。其中动力波演算没有忽略任何惯性项,对一维圣维南流量方程组进行完整求解,可以考虑渠道蓄水、回水、进出口损失等情况,理论上计算结果是最准确的。故本次模拟采用动力波方法。

2.3 研究区概况

本次研究区域位于桐庐县新城市中心居住区瑶琳路上,研究区总面积 71.1hm²。桐庐县位于浙江省西北部,地处钱塘江上游,介于东经 119°10′~119°58′、北纬 29°35′~30°05′之间。桐庐县属亚热带季风气候过渡带,受冷暖空气交替影响,气候温和、湿润、多雨,光、热、水资源丰富,春秋季短,夏冬季长,四季分明。降水量时空分布不均,不仅年际变化较大,而且年内差异显著。

2.4 下垫面概化

2.4.1 排水分区概化 子汇水区的划分是 SWMM 模型建模的主要步骤之一,划分的优劣对结果精度有比较大的影响。排水分区概化的基本原则是:(1)充

分利用地形和水系,以最短的距离依靠重力流排入附近水系;(2)高水高排、低水低排,避免将地势较高、易于排水的地段与低洼地区划分在同一排水分区。

本次研究主要涉及桐庐县的新城市中心的瑶琳嘉苑小区,根据排水分区概化原则并结合地形、管网走向和主要街道,划分子汇水区,将研究区域概化为 25 个汇水区,总概化面积 71.1 hm²。模型概化分区见图 1。

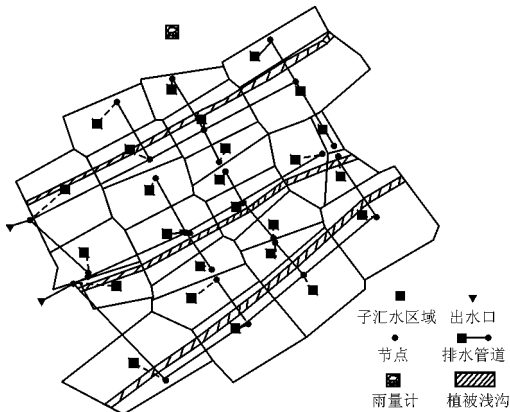


图 1 模型分区概化

2.4.2 排水管网概化 排水管网概化遵循的主要原则有:(1)仅保留管径在 0.2 m 以上的管段;(2)将管径超过 0.4 m 与管长小于 30 m 的过路管设为节点;(3)如果管长超过 1 000 m 或管道的转角超过 60 度,则需在长度为 1 000 m 处或者在转角处增设节点^[9]。

根据现有的管网资料及排水管网概化原则,共概化 26 个节点,28 个管段。排水管网概化见图 2。管道图形要素主要有空间位置、坡度、长度、流向、管径以及雨水口的地面高程等信息。

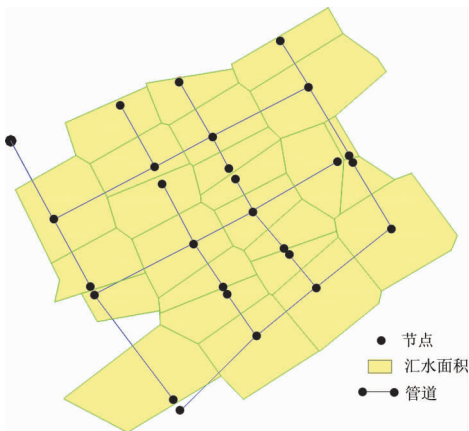


图 2 排水管网概化

2.5 设计暴雨计算

桐庐县现行暴雨公式编制采用直接拟合法,即用最优化方法直接用暴雨强度通用公式对暴雨数据

进行拟合,使编制误差达到最小,其误差均在国家规范允许范围内。

桐庐县暴雨强度总公式为:

i = (36.676 + 25.220 × lg T) / (t + 28.149)^0.940

式中: i 为暴雨强度,mm/min; t 为设计暴雨历时,min; T 为重现期,a。

为了评估不同重现期暴雨对植被浅沟减灾效果的影响,本次研究利用上述暴雨强度公式求出重现期 P=1、2.5、10 a 下的降雨量,采用芝加哥降雨过程线模型合成降雨情景,通过统计肖岭站历年较大雨量的时间分布,分析各次降雨的雨峰位置,得出暴雨综合参数 r=0.5。取计算时段为 5 min,短历时 120 min 雨量,雨峰位置位于第 13 时段。校核管道排水能力时直接根据暴雨公式按照芝加哥雨型分配得到暴雨分配过程。短历时设计暴雨时程分配过程见表 1。

表 1 桐庐县短历时设计暴雨时程分配					mm
时间 t/min	1 年一遇	2 年一遇	5 年一遇	10 年一遇	
5	0.4	0.5	0.6	1.1	
10	0.5	0.6	0.7	1.2	
15	0.5	0.6	0.8	1.4	
20	0.6	0.7	0.9	1.8	
25	0.7	0.9	1.1	2.3	
30	0.9	1.0	1.3	2.7	
35	1.0	1.3	1.5	2.9	
40	1.3	1.6	1.9	3.4	
45	1.7	2.0	2.5	4.9	
50	2.3	2.7	3.3	5.3	
55	3.2	3.9	4.8	7.4	
60	5.1	6.2	7.6	12.4	
65	6.8	8.2	10.1	18.3	
70	4.0	4.9	6.0	10.9	
75	2.7	3.2	4.0	7.0	
80	1.9	2.3	2.9	5.5	
85	1.5	1.8	2.2	4.1	
90	1.2	1.4	1.7	3.2	
95	0.9	1.1	1.4	3.0	
100	0.8	0.9	1.2	2.6	
105	0.7	0.8	1.0	2.4	
110	0.6	0.7	0.8	1.5	
115	0.5	0.6	0.6	1.4	
120	0.3	0.5	0.5	1.1	
求和	40.1	48.4	59.4	107.8	

2.6 参数设定

2.6.1 模型设置 选用 SWMM 模型的 Rainfall/Runoff、Flow Routing 模块,流量单位为 m³/s。入渗采用霍顿经验公式,管道汇流演算采用动力波方法,

管道汇流时间步长取 10 s,为可变时间步长。短历时设计降雨历时为 2h,降雨的时间步长为 5 min。

采用非线性水库模型进行地表径流汇流计算,采用动力波模型进行排水系统流量演算,管道偏移

按 DEPTH 设置。

2.6.2 子流域参数 本次研究计算采用的参数主要是参考 SWMM 用户手册中的典型值,子流域参数取值见表 2。

表 2 模型参数取值表

洼蓄		曼宁系数		管道	Horton 下渗参数		
透水区/	不透水区/	透水区/	不透水区/		最大入渗率/	稳定入渗率/	衰减系数/
mm	mm	mm	mm		(mm·h ⁻¹)	(mm·h ⁻¹)	h ⁻¹
5	1	0.2	0.015	0.013	50.8	2.54	3

在加入植被浅沟后,依据 SWMM 用户手册并结合国内实践经验,植被浅沟的不透水区洼蓄取 1 mm,透水区洼蓄取 200 mm;植被浅沟的不透水区糙率取 0.011,透水区糙率取 0.24;植被浅沟的滞蓄深度取 240 mm,宽度设为 2.5 m。

3 植被浅沟减灾效果研究

3.1 降雨重现期对植被浅沟减灾效果的影响

3.1.1 研究区域模型概化 研究区总面积 71.1 hm²,结合区域的管网资料,将研究区域的排水系统概化为子汇水面积 25 个,检查井节点 26 个,雨水管线 28 条,出水口 2 个。研究区域出水口 1、2 的集水面积分别为 29.23 hm² 和 41.87 hm²。在布设植被浅沟时,结合自然地形条件进行设计规划,保证浅沟能够在重力流排水时畅通无阻,并且要考虑到受纳水体的高程控制,同时要尽量使各浅沟收集的降雨径流量均匀分配。沿小区道路布设植被浅沟,各汇水区的道路雨水先汇入附近的植被浅沟,当降雨量比较小时,流入浅沟的水可以完全入渗,当降雨量较大时,入渗不了的雨水则会排到与之相连的雨水管网当中。植被浅沟在出水口 1 的集水面积内的布设面积为 1.91 hm²,在出水口 2 的集水面积内的布设面积为 4.58 hm²。各出水口对应的集水面积内植被浅沟的布设面积及其布设面积占比见表 3。

表 3 各出水口集水面积内植被浅沟布设面积及布设面积占比

出水口	汇水面积/hm ²	布设面积/hm ²	所占百分比/%
1	29.23	1.91	6.53
2	41.87	4.58	10.94

加入植被浅沟后的模型概化图见图 3。

3.1.2 模拟结果与分析 运用 SWMM 模型计算城市化后用地场景和布设植被浅沟后的场景在 1 年一遇、2

年一遇、5 年一遇、10 年一遇不同设计降雨重现期下的研究区域各出口断面的雨洪过程。两种场景下的径流系数、洪峰流量、峰现时间的模拟结果见表 4 和表 5。

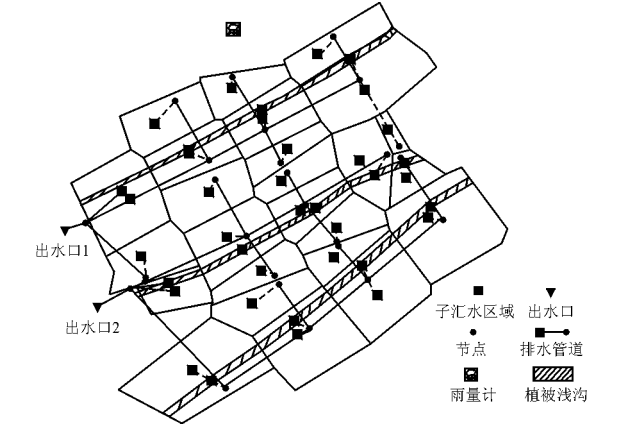


图 3 加入植被浅沟后的模型概化图

表 4 不同重现期下的径流系数

方案	1 年一遇	2 年一遇	5 年一遇	10 年一遇
城市化后	0.67	0.74	0.80	0.87
植被浅沟	0.35	0.48	0.61	0.81

由表 4 可知,随着降雨重现期的增大,区域的径流系数增大。加入植被浅沟后,在 1 年一遇、2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇降雨条件下,径流系数分别减少了 0.32、0.26、0.19 和 0.06,减少百分比分别为 47.76%、35.14%、23.75% 和 6.90%。

由表 5 可知,加入植被浅沟后,在重现期为 1 年时,出水口 1 处的洪峰流量减少了 36.45%,峰现时间推迟了 12min;出水口 2 处的洪峰流量减少了 55.13%,峰现时间推迟了 23min;在重现期为 2 年时,出水口 1 处的洪峰流量减少了 11.07%,峰现时间推迟了 8 险 min;出水口 2 处的洪峰流量减少了 31.65%,峰现时间推迟了 18 min;在重现期为 5 年时,出水口 1 处的洪峰流量减少了 4.18%,峰现时间推迟了 5 min;出水口 2 处的洪峰流量减少了

7.01% ,峰现时间推迟了 7 min;在重现期为 10 年时,出水口 1 处与 2 处的洪峰流量均没有减少,峰现时间分别推迟了 4 min 和 6 min,见表 6。

综合以上模拟结果可知,研究区域径流系数的减小幅度随着设计降雨重现期的增大而减小;当设计降雨重现期由 1 年一遇增加到 5 年一遇时,洪峰流量的削减百分比减小,当设计降雨重现期为 10 年一遇时,植被浅沟并没有削减洪峰流量的作用;随着设计降雨重现期的增大,峰现推迟时间变短。

因此,植被浅沟在设计降雨重现期较小时,削减洪峰的效果较理想,当降雨重现期增加到 10 年以上时,则不再体现出削减洪峰的作用,这是因为衡量洪

峰削减效果时用的指标是洪峰流量减少百分比,而植被浅沟的滞蓄深度是一定值,蓄存的水量有上限,当降雨重现期达到一定值时,随着降雨重现期的增大,可储蓄的最大洪量不再增加,所以此时用流量百分比衡量接近于 0。

- 3.2 植被浅沟布设位置对减灾效果的影响
- 3.2.1 模型概化 选取出水口 2 的集水面积为研究区域,在区域内布设距离管道出口断面不同距离的两片植被浅沟,植被浅沟参数均按上一节设置,两片植被浅沟的面积均为 2.12 hm²。模型概化结果见图 4。
- 3.2.2 模型模拟结果及分析 两种布设方式所得的洪峰流量和峰现时间结果见表 7。

表 5 不同降雨重现期下的洪峰流量与峰现时刻

方案	出水口	1 年一遇		2 年一遇		5 年一遇		10 年一遇	
		洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰现 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰现 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰现 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰现 时刻
城市化后	出水口 1	2.03	01:07	2.35	01:06	2.69	01:05	3.07	01:04
	出水口 2	2.40	01:16	2.78	01:07	2.86	01:05	3.08	01:05
植被浅沟	出水口 1	1.29	01:19	2.09	01:14	2.58	01:10	3.07	01:08
	出水口 2	1.077	01:39	1.9	01:25	2.66	01:12	3.08	01:11

表 6 不同降雨重现期下的峰值减少百分比及峰值滞后时间

LID 措施		1 年一遇		2 年一遇		5 年一遇		10 年一遇	
		洪峰流量减	峰值推迟	洪峰流量减	峰值推迟	洪峰流量减	峰值推迟	洪峰流量减	峰值推迟
		少百分比/%	时间/min	少百分比/%	时间/min	少百分比/%	时间/min	少百分比/%	时间/min
植被	出水口 1	36.45	12	11.07	8	4.18	5	0	4
浅沟	出水口 2	55.13	23	31.65	18	7.01	7	0	6

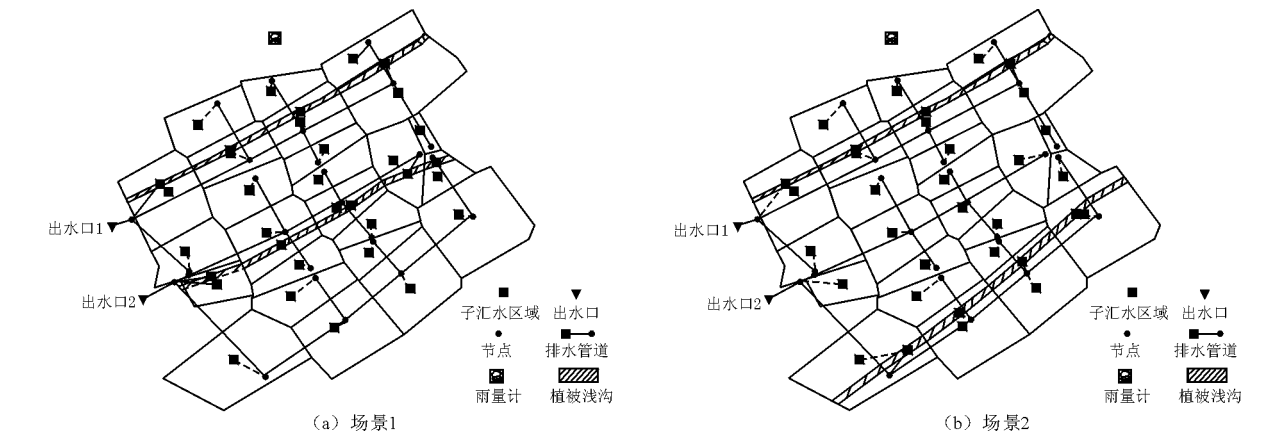


图 4 两种不同的植被浅沟布设场景

表 7 两种布设场景的洪峰流量和峰现时间

布设场景	1 年一遇		2 年一遇		5 年一遇		10 年一遇	
	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰值 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰值 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰值 时刻	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	峰值 时刻
场景 1	1.63	01:27	2.11	01:23	2.65	01:15	3.08	01:08
场景 2	1.99	01:16	2.49	01:15	2.78	01:10	3.08	01:08

由表7可知,当植被浅沟布设位置距离管道出口断面较近时,植被浅沟对于洪峰流量的削减效果更为明显,且峰现时间推迟效果也更为显著。但是当重现期增大到10a时,峰现时刻反而提前较多,此时植被浅沟已不起作用。在重现期为1a时,场景1的洪峰流量比场景2少18.09%;在重现期为2a时,场景1的洪峰流量比场景2少15.26%;在重现期为5a时,场景1的洪峰流量比场景2少4.68%;在重现期为10a时,场景1的洪峰流量与场景2的洪峰流量相同,此时布设位置对洪峰流量无影响。这是因为植被浅沟的滞蓄深度一定,能蓄存的水量是一定值,当降雨重现期增大到一定值时,植被浅沟可蓄存的最大水量不再增加,所以此时植被浅沟便无法发挥作用,所以此时布设位置对区域的洪峰流量无影响。由此可见,随着设计降雨重现期的增加,植被浅沟布设位置距离管道出口断面的距离的影响逐渐减小,当降雨重现期大于一定值时,布设位置对研究区域的洪峰流量不产生影响。

4 结 论

论文基于对桐庐瑶琳嘉苑小区加入植被浅沟前后的降雨径流的模拟,以及通过改变植被浅沟的布设位置,分别对降雨重现期与布设位置对植被浅沟的减灾效果的影响进行分析,主要研究成果如下:

(1)对论文所运用的SWMM模型的主要模块及原理进行了概述,通过分析确定了计算范围,并进行了模型的概化,根据实测资料对模型进行参数率定,最终确定了模型的各个参数。

(2)通过模型模拟,得出植被浅沟在不同的降雨重现期下的减灾作用是不同的,植被浅沟的减灾效果在低重现期下较为明显,且植被浅沟的减灾效果随着重现期的增大而降低,当降雨重现期增加到一定值时,植被浅沟则失去了作用。

(3)通过改变植被浅沟的布设位置,得出结论当植被浅沟的布设位置距离管道出口断面较近时,减灾效果较为明显,当植被浅沟距离出口断面较远时,减灾效果下降。

参考文献:

[1] 王红武,毛云峰,高原,等. 低影响开发(LID)的工程措施及其效果[J]. 环境科学与技术,2012,35(10):105-109.
[2] 车伍,吕放放,李俊奇,等. 发达国家典型雨洪管理体系及启示[J]. 中国给水排水,2009,25(20):12-17.

[3] Kim M H, Sung C Y, Li M H. Bioretention for stormwater quality improvement in Texas: Removal effectiveness of Escherichia coli[J]. Separation and Purification Technology, 2012,84(2):120-124.
[4] 杨鹏. 植被渗透浅沟对城市暴雨径流的调蓄效应[J]. 重庆建筑,2016,14(6):29-30.
[5] 刘燕,尹澄清,车伍. 植草沟在城市面源污染控制系统的应用[J]. 环境工程学报,2008,2(3):334-339.
[6] 李海燕,魏鹏,贾朝阳,等. 渗排植被浅沟应用于处置路面径流案例分析[J]. 环境工程学报,2014,8(3):821-826.
[7] Hayes J C, Barfield B J, Harp S L. Modeling impacts of post development water quality BMPs[C]//. Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 29 March - 3 April 2008, Concepcion, Chile,2008:38-45.
[8] Davis A P, Stagge J H, Jamil E, et al. Hydraulic performance of grass swales for managing highway runoff[J]. Water Research, 2012,46(20):6775-6786.
[9] Sin J, Zhu J H, Yoo C. Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (Low Impact Development) based on the decrease in CN: Case studies from Gimcheon Pyeonghwa District, Korea[J]. Procedia Engineering, 2014,70(4):1531-1538.
[10] Gilroy K L, Mccuen R H. Spatio-temporal effects of low impact development practices. [J]. Journal of Hydrology, 2009,367(3-4):228-236.
[11] Stander E K, Rowe A A, Borst M, et al. A novel use of time domain reflectometry in infiltration-based low impact development practices[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2013,139(8):625-634.
[12] Ahiablame L M, Engel B A, Chaubey I. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. [J]. Journal of Environmental Management, 2013, 119(119C):151-161.
[13] 黄延,魏鹏,李海燕,等. 植物型消能坝及溢流堰对渗排植被浅沟运行的影响[J]. 中国给水排水,2015,31(13):99-104.
[14] 何爽,刘俊,朱嘉祺. 基于SWMM模型的低影响开发模式雨洪控制利用效果模拟与评估[J]. 水电能源科学,2013,31(12):42-45.
[15] 何福力,胡彩虹,王民,等. SWMM模型在城市排水系统规划建设中的应用[J]. 水电能源科学,2015,33(6):48-53.
[16] 陈言菲,李翠梅,龙浩,等. 基于SWMM的海绵城市与传统措施下雨水系统优化改造模拟[J]. 水电能源科学,2016,34(11):86-89.