

基于 SWMM 模型的 LID 措施不同布设方式对径流削减作用

计宝鑫,张建丰,夏 威

(西安理工大学水利水电学院,陕西 西安 710048)

摘要:利用暴雨雨水管理模型(storm water management model,SWMM)中的低影响开发(low impact development,LID)模块模拟了西安理工大学金花校区现状下以及下沉式绿地、透水路面和 2 种 LID 措施组合的布设情况在不同降雨重现期下管道出口径流过程,并评估了该区域排水管网的有效性 和 内 涝 状 况。结 果 显 示 LID 措 施 的 布 设 对 于 推 迟 洪 峰 出 现 时 间、减 小 洪 峰 流 量、减 小 洪 流 总 量 和 削 减 径 流 系 数 方 面 有 着 明 显 的 效 果,同 时,其 雨 洪 控 制 效 果 在 低 重 现 期 降 雨 中 更 加 明 显。

关键词:SWMM 模型;LID 措施;径流削减

中图分类号:P338 文献标志码:A 文章编号:1004 - 6933(2016)S1 - 0006 - 03

城市化是在人类生产活动和方式伴随社会生产力的持续发展由农村不断向城市转移,城市空间区域不断扩大的过程,城市化已经是人类社会发展的必然趋势^[1]。近年来随着我国社会经济的快速发展,城市化进程速度加快,土地利用性质发生了大规模的变化,城市区域不透水面积比例增加,大幅度地改变了城市区域原有的水文循环过程,下渗量减少,降雨产生的径流增加,使得城市区域内涝现象出现的频率增大,遇到强度较大的暴雨时,城市排水管网无法承受,城市低洼区域极易产生积水内涝,会严重影响居民生活与城市交通。美国的低影响开发(low impact development,LID)理念、澳大利亚的水敏城市理念、中国的“海绵城市”建设理念都是在此背景下提出来的。本文利用美国暴雨雨水管理模型(storm water management model,SWMM)模拟西安理工大学现状排水管网与加设 LID 措施后的情景,研究 LID 措施对城市雨洪的作用。

1 研究区域概况

选取西安理工大学金花校区的排水区域为研究区域,南始咸宁西路,北至仁厚庄南路,东起金花南路,西至兴庆路。该区域属于东亚暖温带大陆性季风气候,冬季寒冷少雨,夏季高温多雨,多年平均降雨量 583.7 mm,汇水总面积约 24.16 hm²,区域大体地势是东南高,西北低。流域内雨水排放系统采取重力流,使雨水就近自然向地势较低的方向流动,最终排

入主干管。西安理工大学下垫面俯视图见图 1。



图 1 西安理工大学金花校区下垫面俯视图

学校后勤处提供了区域地形图及雨水管网分布,根据地形图确定汇水水流方向和调研实际区域认为分水线,将研究区域划分为 35 个子汇水区域,55 段排水管网管段,53 个管网节点,2 个排放口。排水管线主要分为南北 2 部分。

设计降雨采用西安市水文手册中查询的暴雨公式:

$$i = \frac{6.041(1 + 1.475\log N)}{(t + 14.72)^{0.704}}N < 20 \tag{1}$$

$$i = \frac{15.2(1 + 1.125\log N)}{(t + 21.5)^{0.87}}N > 20 \tag{2}$$

降雨历时设计为 2 h,雨峰相对位置 $r=0.4$,设计降雨重现期分别为 1、2、5、10 年,降雨量分别为 23.07、33.32、46.86、57.10 mm。设计的雨量过程线见图 2。

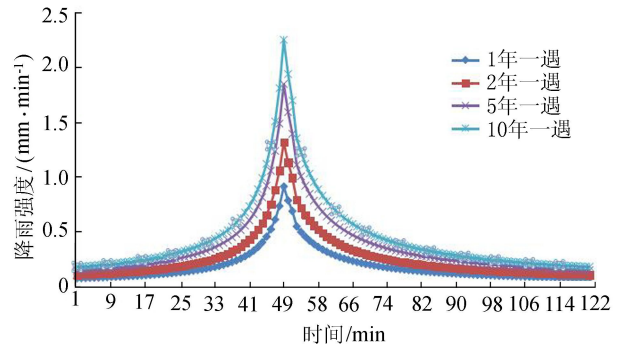


图 2 设计雨量过程线

2 模型介绍

2.1 SWMM 模型及 LID 原理

SWMM 是由美国环境保护署为城市区域暴雨径流开发出来的一套包含水量与水质运算功能丰富的管理模型,最初开发于 1971 年,经过多次重要升级,目前已成为在全世界范围内通用性与实用性最好的城市雨洪模拟模型之一,40 多年来在市政给排水管网的设计与现状研究、预测方面有着重要的地位和作用。SWMM 模型是一个动态的降水-径流模型,可以对城市的单一降水事件或者连续的降雨产生的坡面径流进行动态模拟,帮助解决城市排水系统中的水量和水质问题,也广泛用于城市区域的暴雨径流、合流制管道、污水管道和其他城市水系统的设计、规划和运行。

本文研究 LID 布设下凹式绿地和透水路面两种形式。具体布设情况为在不透水面积超过 50% 的子汇水面上分别布设 20% 的下凹式绿地、20% 的透水路面和 10% 下凹式绿地与 10% 透水路面组合 3 种模式,探究不同条件对径流的削减与径流系数变化情况。

2.2 模型参数设置

结合现有的资料条件,将研究区域土地利用类型分为绿地、交通道路和屋面。入渗计算选用 Horton 入渗模型,最大、最小入渗率分别为 76.2、3.8 mm/h,衰减系数为 2 h^{-1} 。汇流过程采用非线性水库模型,管道传输系统采用运动波方程。其他相关参数根据研究区的下垫面特征,参考 SWMM 模型用户手册和相关文献,初设不渗透面粗糙系数为 0.011,渗透面积粗糙系数为 0.41,不渗透面洼地蓄水位为 2.54 mm,渗透面洼地蓄水位为 5.08 mm,排水管道曼宁系数为 0.011。子汇水区域特征宽度这一参数,需要通过计算才能得出,SWMM 模型手册

给出了 4 种计算特征宽度的方法,本文选取应用最广泛的方法,计算公式为

$$W_e = A/L_f \tag{1}$$

式中: W_e 为特征宽度; A 为面积; L_f 为最长汇流路径(雨水口到子汇水面最远点的距离)。

根据地形图确定每个子汇水面的不渗透(不透水)面占整个子汇水区域的比例,见图 3。

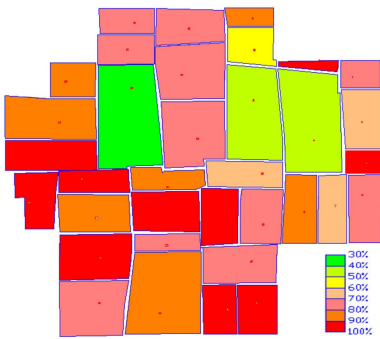


图 3 子汇水区不渗透面比例分布

3 结果与分析

3.1 径流削减情况

运用 SWMM 模型计算现状条件及加设 LID 措施条件在 1 年一遇、2 年一遇、5 年一遇、10 年一遇等不同设计暴雨重现期下的出口断面径流过程,模拟总时长取 6 h,时间步长取 5 min。不同情景在不同设计暴雨重现期下的出口流量过程线见图 4,洪峰流量、出口总流量、洪峰推迟时间,洪峰削减率,径流削减率的模拟结果见表 1。

表 1 不同设计暴雨重现期及不同条件下径流削减情况

设计暴雨 重现期	不同 条件	洪峰 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	出口 总流量/ 10^6 m^3	洪峰推 迟时间/ min	洪峰 削减 率/%	径流 削减 率/%
1 年一遇	现状	348.86	1.147	0	0	0
	加设 LID	251.69	0.855	5	27.85	25.46
2 年一遇	现状	495.25	1.473	0	0	0
	加设 LID	377.65	1.124	0	23.75	23.69
5 年一遇	现状	684.12	1.882	0	0	0
	加设 LID	547.75	1.451	0	19.93	22.90
10 年一遇	现状	800.71	2.243	0	0	0
	加设 LID	660.43	1.770	0	17.52	21.09

研究区布设各种模式 LID 措施对整个区域的洪峰和径流总量均有一定程度的削减,幅度大致在 20% 左右,效果较为明显。实施 LID 措施在低雨强时对洪峰时间的推迟较为明显,并随重现期的增大而减小。

3.2 不同 LID 措施布设模式对径流的影响

由于采取了 20% 的下凹式绿地、20% 的透水路面和 10% 下凹式绿地与 10% 透水路面组合 3 种模式,所以截取 1 年一遇的降雨径流来研究不同 LID 布设模式对径流的影响情况,模拟结果见图 5 和

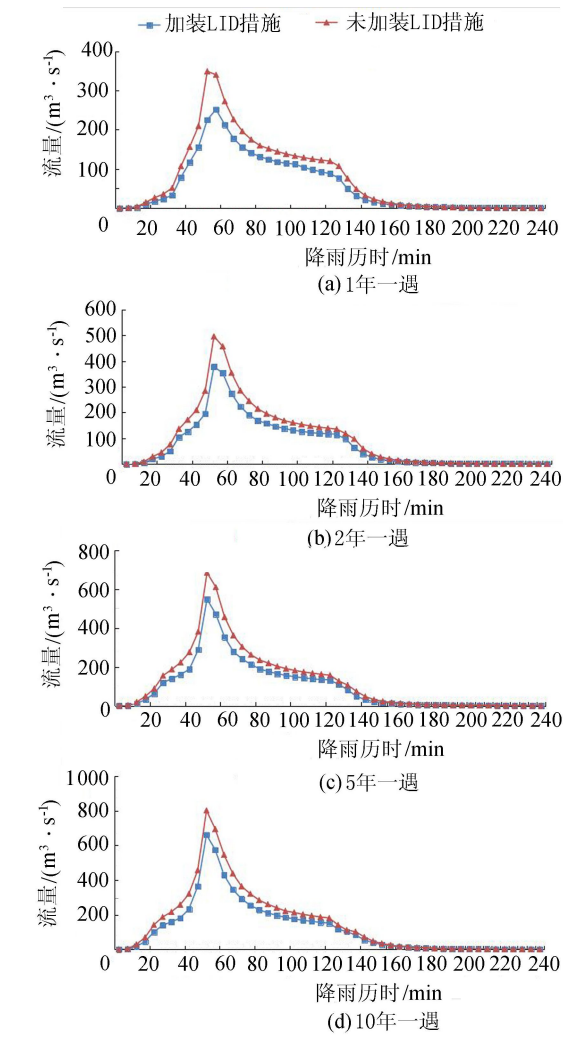


图4 不同设计暴雨重现期出口流量过程线

表2.可见不同 LID 措施布设模式,在 1 年一遇的设计暴雨重现期条件下均可削减径流和延缓洪峰出现的时间,图 5 中 LID 组合措施削减洪峰和径流效果最好,这与何爽等^[2]在淮安酃城小区的研究成果相吻合。

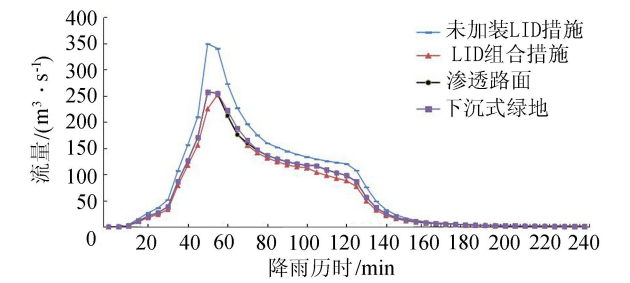


图5 不同 LID 布设模式下出口流量过程线

表 2 不同 LID 布设模式下径流削减情况

不同条件	洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	排放口 总出流/ 10^6 m^3	洪峰 推迟时间/ min	洪峰 削减率/%	径流 削减率/%
原始状态	348.86	1.147	0	0	0
LID 组合措施	251.69	0.855	5	27.85	25.46
20% 透水路面	256.99	0.911	0~5	26.33	20.58
20% 下凹式绿地	256.99	0.919	0~5	26.33	19.88

3.3 径流系数变化情况

由于下垫面的径流系数会因为雨强、降雨历时等因素发生变化,武晟等^[3]研究过径流系数的变化情况,本研究模拟不同下垫面不同设计频率的降雨影响下的径流系数变化情况,选定 17 号与 33 号子汇水区域进行研究,2 个区域概况见图 6,模拟结果见图 7,表 3。

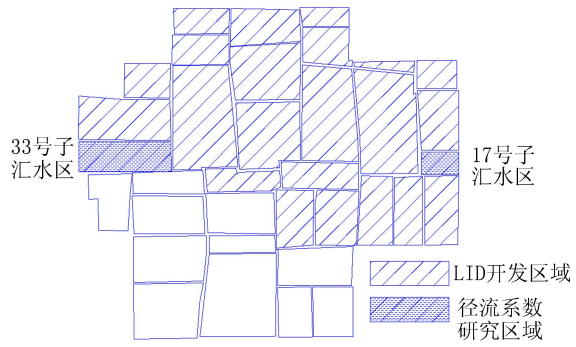
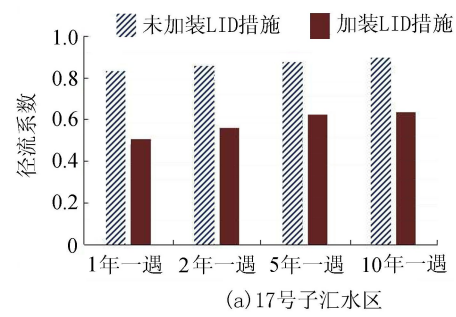
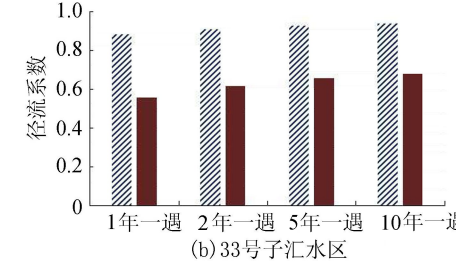


图 6 17 号与 33 号子汇水区域概况



(a) 17 号子汇水区



(b) 33 号子汇水区

图 7 2 个子汇水区域径流系数变化

表 3 2 个子汇水区域径流系数结果

指标	17 号子汇水区				33 号子汇水区			
	1 年 一遇	2 年 一遇	5 年 一遇	10 年 一遇	1 年 一遇	2 年 一遇	5 年 一遇	10 年 一遇
现状径流 系数	0.833	0.856	0.874	0.895	0.885	0.910	0.928	0.940
加设 LID 后 径流系数	0.505	0.560	0.603	0.635	0.558	0.617	0.659	0.682
径流系数 削减率/%	39.4	34.6	31.0	29.1	36.9	32.2	29.0	27.4

可见,径流系数会随着雨强的增加而增大,布设了 LID 措施的子汇水面的径流系数会大幅下降,而且布设 LID 措施后的子汇水面的径流系数也会随雨强的增加而增大,所以布设 LID 措施在中低雨强时对径流削减的效果明显,在大雨及暴雨情况下效果会有所降低。
(下转第 13 页)

应按照“优先利用客水、合理利用地表水、控制开采地下水、积极利用雨洪水、推广使用再生水、大力开展节约用水”的用水方略,统一规划,优化配置,建立和完善地表水、地下水、引黄水、引江水、回用水等联合调度的现代供水体系。充分发挥太河、田庄、萌山水库等骨干工程的拦蓄能力,扩大供水规模;统筹兼顾,合理调配,完善引黄 50 万 m³/d 配套建设,同时适时做好引江水的利用。积极建设城市水网,实现水源联网、互为备用、提高城市供水保证率。进行给水管网调整改造,逐步实现生活、工业分质供水,优水优用、劣质低用,提高水资源的整体效能。

4.2 合理控制地下水开采,涵养当地水资源,实现可持续利用

地下水是淄博市的主要供水水源,在城市和工业供水中发挥着重要作用,北部山前平原地区已超采或达到极限,造成地下水位下降。对此,应根据地下水资源的分布规律,统一规划,调整开采布局,控制区域性超采,压减城区内开采,以涵养保护地下水环境。在超采区充分利用客水及其他水源,替代或压减开采量,并适时回灌补源。在尚有潜力的水源地适当增采,充分发挥地下水所具有的丰枯调节作用。在地下水污染区域,加强点面污染源控制,防止水质进一步恶化,开展水处理技术研究,保证供水质量。

4.3 加强水资源保护,保障用水安全,努力改善生态环境

淄博市部分河流水质较差,地下水也出现一定程度的污染,部分水源地的用水安全已受到威胁。对此,除按照《淄博市水资源管理办法》、《淄博市水资源保护区管理办法》等加强管理保护外,在集中

饮用水水源地,设置专门保护区,实施物理与生物隔离工程,确保城市饮用水安全洁净。同时,加强入河排污口监督管理,实行入河污染物总量控制,尽快达到功能区的水质目标。在城区搞好清污分流和排水管网改造,提高污废水的收集和处理率。同时做好深度处理回用工程和配套管网建设,实现污水资源化,作为工业和河湖补水,修复城市水生态环境。

4.4 大力开展节水型社会建设,实现水资源高效利用

淄博市是全国节水型社会建设试点城市,节水型社会建设的本质是建立以水权、水市场理论为基础的水资源管理体制,形成以经济手段为主的节水机制,不断提高水资源的利用效率和效益。要在现有基础上,成立机构,明确责任,健全机制,各行业、各部门切实做好深度节水,积极鼓励公众参与,营造良好的社会氛围,尽快建成节水型社会。

4.5 统一规划、整合资源,优化水文水资源站网

目前水文站网在数量、布局 and 资料精度方面还存在不尽合理现象。如深层地下水、水质、开采量的观测点少,平原区无水文站,污染源和入河排污口监测频次少,重要支流和区县界缺少控制站。同时,多部门重复设站,监测不规范,数据不统一,既造成浪费也严重影响数据的公信力。因此,按照《水文条例》《水文站网技术导则》等规定,在统筹国家和地方需求的前提下,合理布局并兼顾当前和长远,整合和优化水文站网,使之科学规范、数据统一可靠,更好地服务于经济社会发展。

(收稿日期:2016-11-30 编辑:徐 娟)

(上接第 8 页)

4 结 语

利用 SWMM 模型对西安理工大学金花校区不同的 LID 措施布设模式进行 1 年、2 年、5 年、10 年一遇的设计暴雨重现期模拟,发现 20% 的下凹式绿地、20% 的透水路面和 10% 下凹式绿地与 10% 透水路面组合 3 种 LID 措施布设模式均对径流有一定削减作用,而组合 LID 措施削减效果最佳。布设 LID 措施比现状径流系数低,但径流系数也会随着雨强增大而增大,所以 LID 措施在中低雨强下对径流的削减作用最为明显。

参考文献:

[1] 陆大道. 地理学关于城镇化领域的研究内容框架[J]. 地理科学, 2013, 33(8): 897-901.

[2] 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, 33(12): 42-45.

[3] 武晟,汪志荣,张建丰. 不同下垫面径流系数与雨强及时关系的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(5): 55-59.

(收稿日期:2016-12-02 编辑:王 芳)

