

基于SWMM的某工业园区LID方案及模拟评估

吴晓瑜, 黄维, 周密

(广东省建科建筑设计院有限公司, 广东 广州 510010)

摘要: 以中山市某具有大面积厂棚的工业园区为研究对象,探讨了其在低影响开发(LID)方面的潜力,通过SWMM建立了优化的LID改造方案,并进行了径流控制及污染削减方面的模拟评估。结果表明,通过多种LID措施的组合及优化,研究区域内径流总量削减率及峰值流量削减率均可达到70%;在重现期为3年、降雨历时为2h的降雨情景下,对研究区域内 NH_3-N 、COD、SS等径流污染物的去除率分别可达到76.6%、66.7%、57.6%。

关键词: 低影响开发; SWMM; 模拟; 雨洪调控; 工业园区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)11-0139-04

Low Impact Development Planning and Evaluation in an Industrial Park Based on SWMM Simulation

WU Xiao-yu, HUANG Wei, ZHOU Mi

(Jianke Architectural Design Institute of Guangdong Province Co. Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: This paper discussed the potentials of applying low impact development (LID) techniques in an industrial park in Zhongshan which features large-scale manufacturing plants. The optimized LID retrofit scheme was developed in SWMM, and the effects of runoff control and pollution reduction was simulated and assessed. The results showed that the reduction rates of total volume and the peak flow rate both reached 70% through the combination and optimization of various LID techniques. Under a 2 h duration rainfall of 3-year return period, the removal rates of runoff pollutants such as NH_3-N , COD, and SS were 76.6%, 66.7% and 57.6%, respectively.

Key words: low impact development (LID); storm water management model (SWMM); simulation; rain flood control; industrial park

近几年来,随着我国大力推进建设“海绵城市”,低影响开发(LID)雨水系统在国内得到了广泛的关注及较多的应用推广。低影响开发指在场地开发过程中采用源头、分散式措施维持场地开发前的水文特征^[1]。其核心即维持场地开发前后水文特征不变,包括径流总量、峰值流量、峰现时间等,这就使其能够达到雨洪调控的目的。同时,低影响开发措施通过其特有的多孔结构及强化的植物净化功能,还能削减雨水径流中的污染物质,治理日益严重的面源污染。但我国对LID的研究起步较晚,包括规划、设计、建设等各方面的LID技术发展相对落

后,只能对国外先进工程技术进行有限借鉴^[2]。笔者以中山市某工业区为研究对象,探讨了具有大面积厂棚的工业园区在低影响开发方面的潜力,通过美国暴雨管理模型(SWMM)建立了优化的低影响开发改造方案,并进行了径流控制及污染削减方面的模拟评估。

1 研究区域概况

选取广东省中山市南区某电梯厂区为研究区域,该区域地势平坦,属南亚热带季风气候,雨量充沛。厂区规划建设面积为81 619.9 m²,建筑面积为80 932 m²,主要建筑为电梯试验塔及裙楼、科研办

公楼、生产厂房和仓库。厂区开发前主要为荒地、农田和少量散落民居,透水面积占比约为95%。厂区开发后,绿化率仅为15%,基本上被“硬化”;厂区雨污分流,雨水从北面、东北角、南面三个排出口排入市政雨水管网,接出管径分别为DN600、DN1200、DN400,雨水管网设计重现期为3年。

2 模型构建

2.1 模型构建

SWMM虽然是相对简单的一种模型,但其建模过程中仍需要研究区域大量基础资料 and 实际监测数据为支撑,主要包括研究区域的相关地图与管网资料、降雨等气象资料、土壤渗透性、街道清扫及面源污染情况调查、单场降雨中所测实测降雨及排放雨水的水质水量数据等。将所需资料或数据收集完成后,即进行建模。根据地形及现状雨水管网情况,将研究区域概化为7个汇水子流域,土地利用类型定义为工业区,设置节点16个、出口3个、管段16个。汇水子流域及管网概化如图1所示。

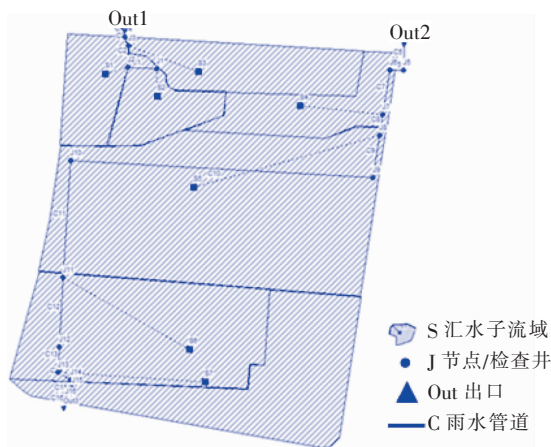


图1 研究区域模型概化示意

Fig. 1 Diagram of research regional model

渗透模型选用Horton模型,其最大入渗率、最小入渗率、入渗衰减系数分别为76.2 mm/h、5.08 mm/h、 4 h^{-1} 。汇流模型采用非线性水库模型。输送系统模拟采用动力波计算模型。选取SS、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 三个污染因子代表地表径流的水质情况,地表污染物累积和径流冲刷模型分别选取饱和和累积函数与指数冲刷函数。清扫频率采用1次/d,地表累积物去除效率为75%,不进行屋面和绿地的清扫。雨前旱天天数设定为7d。除实测数据外,相关参数综合参考SWMM软件操作手册及相关文献报

道初步选取^[3,4]。

为进行对比分析,共构建了3种不同下垫面情境的模型,分别为:①开发前模型,为未开发区,主要为耕地和荒地;②开发后模型,为工厂区,即按照传统模式开发建设,不含任何LID设施;③改造后模型,在原开发后模型基础上按需增加各种LID设施。

2.2 设计降雨

SWMM模型可使用的降雨数据分为两种类型:一是实测历时降雨资料;二是设计降雨,即根据需要模拟出的虚拟事件。本研究中采用根据设计暴雨强度公式所模拟的设计降雨。由于现行《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)中规定城镇雨水管渠的设计重现期一般为2~5年,且低影响开发雨水系统对于长历时强降雨并无明显优势^[5],因此分别选取2、3、5年一遇3种降雨情景(降雨历时为2h,时间步长为5min)进行模拟分析。

3 低影响开发雨水系统设计

低影响开发雨水系统的工艺流程如图2所示。

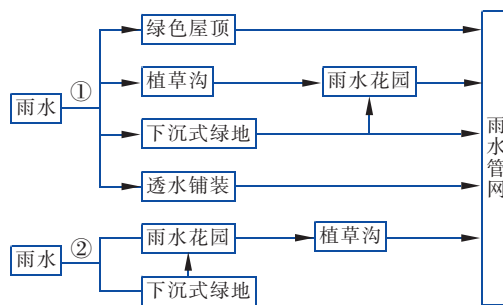


图2 低影响开发雨水系统工艺流程

Fig. 2 Flow chart of LID rainwater system process

遵从“源-迁移-汇”的控制原则^[6],按照开发区的实际用地情况,合理布置LID设施,争取最大程度地做到“渗、滞、蓄、净、用”。系统采用的LID设施主要有:绿色屋顶、下沉式绿地、透水铺装、植草沟、雨水花园。其中,前三者属于源头控制,即在地表径流产生的源头即对其进行“渗、滞、净”,可以延缓径流峰值产生时间、减少径流产生量、削减面源污染。经调查,厂区中的试验塔裙楼、研发中心大楼和部分仓库可改造为绿色屋顶;而道路两侧及建筑周围的块状、点状绿地则可改造为下沉式绿地;露天停车场宜改造为透水性停车场。植草沟为“迁移”控制的一种,厂区南、西、北三侧现有成片或带状的绿地,可利用现有条件改造为植草沟或生态溪涧。雨水花园则属于本研究区域的“汇”控制,将其上游或

周边的径流汇至其中,收集的雨水经处理后还可用于绿化浇灌,可达到“渗、蓄、净、用”的目的。

本研究中 LID 改造的目标是改造后的年径流总量不大于开发前,且污染物排放量较改造前削减至少 45%。在 3 年一遇降雨条件下,对区域内 5 种 LID 设施的规模和布局进行优化,以达到改造目标。优化后的 LID 设施规模及参数如表 1 所示,低影响开发改造方案效果见图 3。

表 1 各类 LID 设施设计参数

Tab. 1 Design parameters of LID facilities

项 目	规模/ m ²	储存水 深/mm	植被覆 盖度	土壤层 厚/mm	蓄水层 厚/mm	排水层
植草沟	4 085	200	0. 8	—	400	有
雨水花园	6 000	600	0. 5	600	—	无
绿色屋顶	4 389	200	0. 8	—	200	有
透水铺装	2 045	5	0. 15	300	400	有
下沉式绿地	13 013	200	0. 9	300	600	有

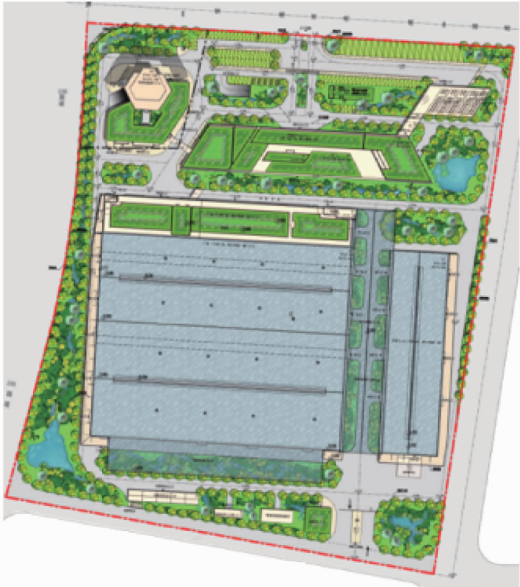


图 3 低影响开发改造方案效果

Fig. 3 Effect of LID retrofit program

4 模拟结果与分析

4.1 相同降雨条件下 3 种模型的模拟比较

在降雨重现期为 3 年一遇、降雨历时为 2 h 的降雨情景下,开发前、开发后及 LID 改造后三种情况的模拟结果见表 2。可以看出,相较于传统开发,LID 改造后的地表径流削减了 68. 34 mm,径流控制率达到70. 5%,且径流量小于开发前;Out2 的峰值流量削减了 70. 4%。LID 改造后,径流的蒸发损失和下渗损失明显增加,而径流的滞蓄则为径流总量

和峰值流量削减的最主要因素。改造后,径流的下渗损失仍远远小于开发前,这主要与可渗透面积大大减小、珠三角地区地下水位较高、下渗能力有限有关。与开发前相比,传统开发后的降雨到达地面后直接进入排水管网,极大地减少了雨水的下渗和滞存,增加了雨水管网的负荷和水资源浪费,不利于雨水的健康循环;与传统开发相比,低影响开发能够使径流总量接近或小于开发前的自然状况,接近水的自然循环。

表 2 开发前、开发后及改造后模拟结果对比

Tab. 2 Comparison of simulation results under different development modes

项 目	开发前	开发后	改造后
总降雨量/mm	103. 35	103. 35	103. 35
蒸发损失量/mm	1. 52	1. 93	2. 27
下渗损失量/mm	66. 83	4. 93	11. 51
地表径流量/mm	35. 22	97. 01	28. 67
最终蓄水量/mm	0	0	53. 82
Out2 峰值流量/(m ³ · s ⁻¹)	0. 13	1. 99	0. 59
Out2 峰现时间	1:55	0:55	1:00
SS/kg	81. 7	260. 3	110. 4
COD/kg	79. 9	191. 6	63. 8
NH ₃ - N/kg	4. 5	53. 3	12. 5

LID 改造后,对 COD、NH₃ - N、SS 的控制率分别达到了 66. 7%、76. 6%、57. 6%,这表明组合 LID 措施对面源径流污染的控制具有显著的积极作用。相反,相较于开发前,传统开发极大地增加了污染物的累积,这些面源污染经降雨冲刷进入初期雨水径流,直接造成受纳水体的污染。

模型中共有 3 个排出口 (Out1、Out2、Out3),选择子汇水区域面积最大的 Out2 的峰值流量和峰现时间来进行比较,如图 4 所示。

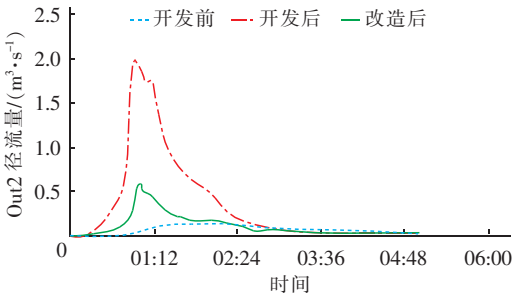


图 4 Out2 径流量对比

Fig. 4 Runoff comparison of Out2

从图 4 可以看出,3 种模型的径流峰值流量比较分别为:开发后(1. 99 m³/s) > 改造后(0. 59 m³/

s) > 开发前 ($0.13 \text{ m}^3/\text{s}$), 径流峰现时间从早到晚排序分别为: 开发后 (0:55)、改造后 (1:00)、开发前 (1:55)。相较于开发前, 传统开发使雨水径流迅速达到峰值, 且峰值流量为开发前的数十倍; 而 LID 改造后, 径流峰值出现时间虽然仅稍有延迟, 但峰值流量得到大大减少 (70.4%); 低影响开发雨水系统提高了排水系统的雨洪调控能力, 可以大大减少城市“看海”情况的发生。

4.2 LID 改造后不同降雨情景下的模拟比较

选取 2、3、5 年一遇 3 种降雨情景 (降雨历时为 2 h) 对 LID 改造后的模型进行模拟分析, 探究该 LID 组合方案在不同降雨强度下的抗冲击能力, 结果见表 3。

表 3 不同降雨重现期下 LID 组合方案的效能

Tab.3 Performance of LID combination schemes under different rainfall return period

项 目	$P=2$ 年	$P=3$ 年	$P=5$ 年
总降雨量/mm	92.45	103.35	105.95
地表径流量/mm	23.97	28.67	29.93
径流总量削减率/%	74.1	72.3	71.7
峰值流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	0.53	0.59	0.64
峰值流量削减率/%	72.1	70.4	70.0
注: 削减率为 LID 改造后模型相对于传统开发模型比较。			

由表 3 可以看出, 随着降雨强度的逐渐增大, 地表径流总量逐渐增加, 径流总量削减率逐渐减小; 峰值流量逐渐增大, 峰值流量削减率逐渐减小。这表明低影响开发雨水系统的雨洪调控能力随降雨强度的增大而减弱。但即使在降雨重现期为 5 年一遇的情况下, 该低影响开发雨水系统的径流总量削减率仍达到了 71.7%、峰值流量削减率仍达到了 70%, 这充分表明该 LID 组合方案具有良好的抗冲击能力, 能够满足目前规范中对于雨水系统“设计重现期一般为 2~5 年”的要求。

5 结论

① SWMM 模型能有效模拟 LID 措施对径流控制及面源污染削减的能力, 可作为 LID 技术在我国规划和运用推广的有效工具和重要指导。

② LID 作为建设海绵城市的重要技术, 是雨洪调控的有效手段之一。经过多种 LID 措施的组合及优化, 研究区域内径流总量削减率及峰值流量削减率均可达到 70%。

③ LID 能够有效控制面源污染, 净化水环境, 减少水资源浪费。经过多种 LID 措施的组合及优化, 在 3 年一遇、降雨历时为 2 h 的降雨情景下, 研究区域内 SS、COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的径流污染控制率分别达到了 57.6%、66.7%、76.6%。

④ 对于具有大面积厂棚的工业厂区, LID 措施在雨水下渗方面的作用有限, 但可通过增加雨水滞蓄, 达到径流控制的效果。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统建设 (试行) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 沈珍瑶, 陈磊, 谢晖, 等. 基于低影响开发的城市非点源污染控制技术及其相关进展 [J]. 地质科技情报, 2012, 3(5): 171–176.
- [3] 侯改娟. 绿色建筑与小区低影响开发雨水系统模型研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [4] 张伟, 车伍, 王建龙, 等. 利用绿色基础设施控制城市雨水径流 [J]. 中国给水排水, 2011, 27(4): 22–27.
- [5] 熊赞, 李子富, 胡爱兵, 等. 某低影响开发公共建筑雨洪效应的 SWMM 模拟与评估 [J]. 给水排水, 2015, 41(s1): 282–285.
- [6] 车伍, 王建龙, 何卫华, 等. 城市雨洪控制利用理念与实践 [J]. 建设科技, 2008, (21): 30–31.



作者简介: 吴晓瑜 (1966–), 女, 四川仁寿人, 本科, 高级工程师, 现任职广东省建科建筑设计院有限公司副总工程师, 主要从事房屋建筑和市政工程的给水排水工程设计工作。

E-mail: sherry1966@163.com

收稿日期: 2017–01–12