

基于 SWMM 的哈尔滨远大生态园 LID 改造设计

江 帆,胡海辉*,徐婉婷,王海超,徐丽佳,张延斌

(东北农业大学 园艺园林学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:随着经济的发展,城市化进程的加快,城市洪涝问题日益严峻。以哈尔滨市远大生态园为例,利用 SWMM 模型模拟公园现状和加入不同 LID 措施(以透水铺装、渗渠和下凹式绿地为例)后场地的径流,根据模拟结果,选择合适的 LID 布局方案,并对远大生态园进行 LID 改造设计,为今后远大生态园的改造提出合理的 LID 使用建议。结果表明,加入不同的 LID 措施对雨洪控制的效果不同,铺设透水铺装、采用渗渠和下凹式绿地都可以改变径流系数,削减汇水区峰值流量,增加地表对降雨径流的滞蓄量和渗透量,将透水铺装和下凹式绿地结合使用比采用透水铺装和渗渠结合使用时峰流量削减的更多,径流系数减小的更大。而将透水铺装、渗渠和下凹式绿地三者结合使用在控制径流方面的发挥的作用最为明显。采用这些低影响开发措施对重现期为 1 a 的降雨流量控制最为有效,3 a 和 5 a 次之,重现期为 10 a 的降雨效果最差,说明采用 LID 措施对小型降雨的滞蓄作用更明显。

关键词:SWMM;LID;城市公园;改造设计

中图分类号:S731.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)04-0294-05

Reconstruction Design of Low Impact Development for Harbin Yuanda Eco Park Based on SWMM

JIANG Fan, HU Hai-hui*, XU Wan-ting, WANG Hai-chao, XU Li-jia, ZHANG Yan-bin

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: With the development of national economy, the process of urbanization is speeding up, the problem of urban flood and waterlogging is becoming more and more serious. Taking the design of the reconstruction of Yuanda Ecological Park in Harbin, Heilongjiang Province as an example, the ideal of low impact development (LID) was introduced. According to current situation, the status quo of the garden was simulated by SWMM model, in which some LID measures were considered, such as the runoffs with permeable pavement, infiltration ditch, and sunken lawn. Based on the simulation results, an appropriate LID layout plan was put forward, and a reconstruction design with the consideration of LID measures was conducted to give suggestions for the reconstruction of the park. The results of the simulation indicated that different LID measures had different rain flood control effects; the applications of three LID measures could change the runoff coefficient, and cut catchment peak flow, increase of surface rainfall runoff storage capacity and infiltration. The combination of the permeable pavement and sunken lawn could control the runoff more efficiently than that of the permeable pavement and infiltration ditch. And these LID measures were mostly efficient for the control of rain flow with 1-year-recurrence interval, 3-and 5-year-recurrence interval were next to, and the worst for 10-year-recurrence interval, indicating that LID measures were

收稿日期:2016-11-22 修回日期:2016-12-13

基金项目:黑龙江省博士后科研基金项目(LBH-Q13024);哈尔滨市创新人才项目(2013RFQXJ164)。

作者简介:江 帆,女,在读硕士,研究方向:风景园林规划与设计。E-mail:1416572436@qq.com

* 通信作者:胡海辉,女,博士,教授,硕士生导师,研究方向:风景园林规划与设计。E-mail:hjlhuhaihui@163.com

more effective for small rainfall.

Key words:SWMM; LID; city park; reconstruction design

随着城市化进程的日益加速,城市环境问题也相对凸显,近年来很多城市面临干旱与洪涝间歇出现的矛盾,如何有效地控制和利用雨水,避免极端天气的出现,是我们需要考虑的问题。而建设海绵城市的重要途径之一就是实行低影响开发的雨水管理模式,低影响开发(Low Impact Development, LID)是马里兰州环境保护署在 20 世纪 90 年代中期首次提出的一种雨水管理的模式,其基本的理念是通过采取源头小规模、分散式的控制措施对雨水进行综合管理,以达到场地开发后的水文功能保持其开发前的状态^[1-2]。我国低影响开发措施的研究较晚,开发技术相对落后,目前北京建筑大学车伍教授在低影响开发的雨水控制利用管理上研究较多。但没有形成可参考的理论体系和设计标准,在城市公园中的低影响开发应用研究相对较少。

城市绿地系统对雨水的消纳和涵养起着至关重要的作用,而城市公园是城市绿地系统中的主要组成要素^[3],城市公园的生态建设也逐渐被人们所关注,如何构建可持续性的、生态文明的城市公园景观也是目前所面临的一个重大问题^[4]。本研究以哈尔滨远大生态园为例,利用 SWMM 建立暴雨雨水管理模型,对公园现状和加入 LID 后的公园雨水径流过程进行模拟,并对不同的 LID 组合方案的模拟结果进行分析比较,选出最佳方案,并模拟其景观效果。为远大生态园在以后的低影响开发改造中提供参考。

1 研究区概况

哈尔滨市位于黑龙江省南部,属于中温带大陆性季风气候,四季分明,冬季漫长而寒冷,夏季短暂且凉爽。春、秋季为过渡季节,气温降幅变化快,时间短。全年平均降水量 569.1 mm,降水主要集中在 6—9 月,夏季占全年降水量的 60%,集中降雪期为每年 11 月—次年 1 月。远大生态园位于哈尔滨市香坊区,总研究面积为 72 156 m²。公园的主要道路铺装以混凝土为主,景观效果差。在一些游步道上会有少量青石板步道、板岩碎拼和烧结砖等。广场铺装以花岗岩和烧结砖为主,透水性不佳。公园的植物配植类型有乔-草、乔-灌、灌-草 3 种类型,以乔-草为主要配置类型,绿地中缺少地被和草本植物,大部分绿地表面处于裸露状态,晴天时土地板结,中到暴雨时雨水滞留严重,不能及时下渗^[5](图 1)。



图 1 远大生态园现状

Fig. 1 The situation of Yuanda Eco Park

2 材料与方法

2.1 模型建立

SWMM(Storm Water Management Model)是由美国环境保护署 EPA 提出的动态降水-径流模拟模型,主要用于模拟城市单一降水事件或连续的水量和水质的模型,由麦特卡夫·埃迪有限公司、佛罗里达大学和美国水资源有限公司 3 个单位联合研制的一个比较完善的城市暴雨雨水的水量水质预测和管理模型^[6]。

研究区域的总面积为 72 156 m²,其中透水地表面积为 59 599 m²,不透水地表面积为 12 557 m²,根据从香坊区园林管理办公室获得的管网资料,将研究区排水系统概化为 16 条排水管道,16 个节点,1 个出水口,用泰森多边形法结合研究区地形将研究区划分为 16 个子汇水区^[7]。

模型的子汇水区的面积、地表平均坡度、不渗透性百分比由 GIS 统计获取,子汇水面积的特征宽度采用面积除以流长的方法计算得出,汇水区的渗入过程采用 Horton 模型模拟渗入,其中最大入渗速率、最小入渗速率和衰减系数分别取 22.86、0.254 mm·h⁻¹和 4 h⁻¹,根据研究区下垫面情况,参考注蓄量典型值(表 1),和地表曼宁系数典型值(表 2),透水地表和不透水地表的注蓄量分别取 10 mm 和 2 mm。透水地面、不透水地面和管道的曼宁系数分别为 0.4、0.012 和 0.012,地表径流的汇流计算采用非线性水库模型,模拟管段流量演算的水力模型选用动力波模型。其他模型参数参考取值参考模型用户手册中的典型值及相关文献^[8-10]。

表 1 注蓄量典型值

Table 1 Typical value of depression storage mm			
不渗透地表	草坪	牧场	森林凋落物
1.27~2.54	2.54~5.08	5.08	7.62

表 2 地表曼宁系数典型值

Table 2 Typical value of the manning coefficient			
光滑混凝土	水泥砂浆砖砌	草坪	树林
0.012	0.014	0.15~0.41	0.4~0.8

2.2 模拟情景设定

采用哈尔滨市暴雨强度公式(1)^[11]计算不同重现期下的 2 h 降雨量。

$$Q=\frac{2\,989.3(1+0.95\lg P)}{(t+11.77)^{0.88}}\tag{1}$$

式中:Q 为平均暴雨强度(mm·min⁻¹);P 为设计降雨重现期(a);t 为降雨历时(min)。

不同重现期下的 2 h 降雨量见表 3。模型模拟利用芝加哥降雨过程线生成重现期为 1、3、5、10 a 的设计暴雨过程线^[12],其中峰值比例 r 取 0.4,降雨历时为 2 h。可以看出,重现期越大,降雨量越多。

表 3 哈尔滨市不同重现期下 2 h 降雨量

Table 3 2 h rainfall in different periods in Harbin City				
降雨重现期/a	1	3	5	10
2 h 降雨量/mm	40.75	59.22	67.81	79.46

3 结果与分析

3.1 现状模型模拟

对公园现有状态进行模型构建,将研究区划分为 16 个子汇水区、16 条排水管道,16 个节点和 1 个出水口(图 2)。

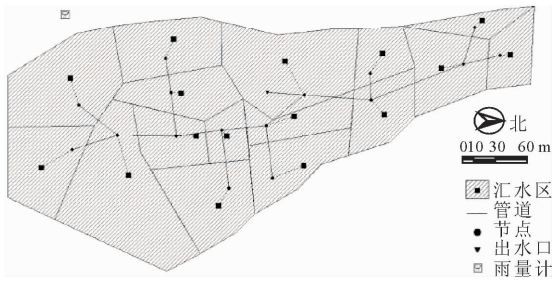


图 2 研究区概化图

Fig. 2 Generalized map of the study area

3.2 加入 LID 模型模拟

为了能削弱暴雨时公园的径流量,需要采取源头控制雨水的方法,LID 措施的应用种类较多,例如:具有滞留渗透作用的有下凹式绿地、雨水花园、渗透性铺装,具有收集储存效果的有调蓄池、雨水塘,具有径流传输作用的有植被浅沟、雨水沟、渗管、渗渠等,具有过滤净化功能的有植被过滤带、雨水湿

地等。要根据公园下垫面情况、当地土壤适应性、LID 的用途及造价等方面来考虑选择合适的 LID 措施。本研究采用透水铺装、下凹式绿地、渗渠等小型、分散式的低影响开发设施来消纳自身的雨水径流。公园场地内雨水流向见图 3。下凹式绿地分为狭义的下凹式绿地和广义的下沉式绿地。狭义的下凹式绿地是指以草皮为主要植物、下凹深度较浅的下沉式绿地,下凹深度 <200 mm,广义的下凹式绿地泛指具有一定调蓄容积的可用于储存、蓄渗径流雨水的绿地,包括生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地等。这里指的是狭义的下凹式绿地。

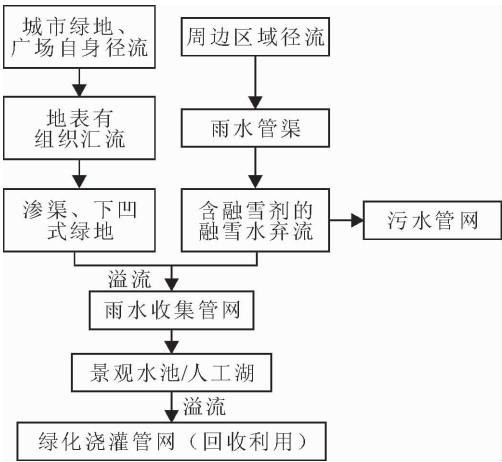


图 3 雨水流向示意

Fig. 3 Schematic diagram of rainwater flow

3.2.1 方案一:使用渗透铺装和下凹式绿地 渗透铺装与普通铺砖相比除了能够满足硬化地面的使用需求外,还能提高铺装的透水性和透气性,能有效地渗透雨水,减轻因暴雨冲刷硬质铺装而带来的雨水污染。而下凹式绿地不仅能够提高雨水下渗率,还能减轻地表径流的面源污染和削减洪峰流量^[13]。本方案将渗透铺装和下凹式绿地结合使用,其中渗透铺装的面积为 6 839 m²,占铺装场地面积的 54%,路面孔隙比取 0.15,路面厚度为 80 mm,下凹式绿地的面积为 9 100 m²,占绿地面积的 15.3%,蓄水深度为 150 mm,最大入渗速率为 60 mm·h⁻¹,最小入渗速率为 5 mm·h⁻¹,衰减常数为 4 h。

3.2.2 方案二:使用渗透铺装和渗渠 渗渠是指将传统的排水系统中的雨水管改为具有渗透穿孔的排水沟,并在周边填充砾石或其他多孔材料,使雨水在输送过程中,通过穿孔管材向四周土壤层渗透,从而对水量 and 水质进行控制的设施。本方案将渗透铺装和渗渠结合使用,渗透铺装的面积为 6 839 m²,渗渠的面积为 730 m²,蓄水深度为 250 mm,曼宁粗糙系数为 0.24,孔隙比为 0.4,导水率为 0.254。

3.2.3 方案三:3 种 LID 措施结合使用 将渗透铺装、下凹式绿地和渗渠三者结合使用,每种 LID 方

案的参数设置和上面 2 种 LID 方案相同,渗透铺装
的面积为 6 839 m²,下凹式绿地的面积为 9 100 m²,
渗渠的面积为 730 m²,总的 LID 布设面积为16 669
m²,占研究区总面积的 23.1%。

3.3 模拟结果及分析

4 种情景模型模拟的地表径流和流量演算的连
续性误差都<0.33%,均在误差允许范围之内。设
计 1、3、5、10 a 重现期研究区的现状和 3 种 LID 方
案模拟的汇水区平均径流系数、出水口洪峰流量和
峰现时刻见表 4。

1 a 重现期下相对于现状,方案一峰流量削减了
22.5%,径流系数降低了 0.006,峰现时间推迟了 4
min,方案二的峰流量削减了 17.5%,径流系数减少
了 0.001,峰现时间同方案一推迟了 4 min,方案三
的峰流量削减了 32.5%,径流系数减少了0.007,峰
现时间推迟了 7 min,对比可发现,方案一相比方案
二峰流量削减得更多,径流系数减小得更大,峰现时

间基本相同,而方案三在控制径流方面的发挥的作
用最为明显。

方案三较现状 1、3、5、10 a 重现期下的汇水区
平均径流系数分别降低了 0.007、0.015、0.019 和
0.02,峰流量分别削减了 32.5%、8.93%、4.54%、
2.7%,峰值时间分别推迟了 7、1、0、0 min。对比可
发现方案三在设计降雨强度越小时,峰流量削减得
越多,而径流系数降低的越小。峰值时间基本没有
太大影响。

结果显示,采用透水铺装和下凹式绿地比使用
透水铺装和渗渠峰流量削减的更多,径流系数减小
的更大。而将透水铺装、渗渠和下凹式绿地三者结
合使用在控制径流方面的发挥的作用最为明显。结
果还表明采用这些低影响开发措施对重现期为 1 a
的降雨流量控制最为有效,3 a 和 5 a 次之,重现期
为 10 a 的降雨效果最差,说明采用 LID 措施对小型
降雨的滞蓄作用更明显^[14]。

表 4 4 个方案不同重现期下的水文效应

Table 4 Hydrological effects of the four schemes under different recurrence periods

方案	模型特性	1 a 重现期	3 a 重现期	5 a 重现期	10 a 重现期
现状	汇水区平均径流系数	0.053	0.090	0.107	0.130
	出水口洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.400	0.560	0.660	0.740
	出水口峰现时刻	0:56	0:55	0:55	0:55
方案一	汇水区平均径流系数	0.047	0.075	0.089	0.112
	出水口洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.310	0.630	0.690	0.770
	出水口峰现时刻	1:00	0:56	0:55	0:55
方案二	汇水区平均径流系数	0.054	0.088	0.106	0.134
	出水口洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.330	0.640	0.720	0.790
	出水口峰现时刻	1:00	0:56	0:55	0:55
方案三	汇水区平均径流系数	0.046	0.075	0.088	0.110
	出水口洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.270	0.610	0.690	0.760
	出水口峰现时刻	1:03	0:56	0:55	0:55

3.4 LID 设施布局

根据模拟结果,选择方案三作为公园的最终布
局方案,在公园中非机动车道、林荫道人行道、广场
上采用透水铺装地面。绿地在设计中低于周围的硬
化地面,在主要道路周围分散布置下凹式绿地和渗
渠,对周围硬质场地中的雨水进行过滤净化和传输。
公园平面图和 LID 布局图见图 4,对于各种 LID 措
施的规模,在能达到同一径流控制效果的情况下,以
经济适用节约成本为目标,尽量控制设施规模,并保
证其景观效果^[15](图 5)。

4 结论

利用 SWMM 暴雨雨水管理模型,可有效地模
拟哈尔滨市远大生态园在 1、3、5 a 和 10 a 重期下的
现状水文和采取 LID 措施后的水文变化过程。结
果表明,将透水铺装、下凹式绿地和渗渠结合使用在
控制径流和洪峰流量的效果最好,并且重现期越小,



图 4 公园平面图和 LID 布局图

Fig. 4 Park plan and layout



图 5 改造效果图

Fig. 5 Reformed effective diagram

效果越好^[16]。另外,加入 LID 措施后的公园在植被上提高了绿地景观的丰富度,优化了公园的整体景观效果。

参考文献:

[1] USEPA. Low impact development (LID): a literature review u-nited states environmental protection agency[R]. Washington DC: United States Environmental Brotection Agency, 2000.

[2] 胡楠,李雄,戈晓宇. 因水而变——从城市绿地系统视角谈对海绵城市体系的理性认知[J]. 中国园林, 2015, 31(6): 21-25.

HU N, LI X, GE X Y. Change with water—the rational cognition of sponge city system from the perspective of urban green space system[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(6): 21-25. (in Chinese)

[3] 孙青丽. 城市公园绿地景观节约营建解析—以郑州老城区公园为例[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2): 227-232.

SUN Q L. City park green space landscape conesrvation construction analysis—a case study of Zhengzhou old city park green space[J]. Journal of Northwest For-estry University, 2013, 28(2): 227-232. (in Chinese)

[4] 沃夫冈·F·盖格. 海绵城市和低影响开发技术—愿景与传统[J]. 景观设计学, 2015(2): 10-21.

GEIGER W F. Sponge city and LID technology—vision and tradition[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2015(2): 10-21. (in Chinese)

[5] 李方,弓弼. 西安世博园绿地景观现状调查及优化分析[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 272-278.

LI F, GONG B. A survey of the status quo of greenbelt landscape and optimizing analysis of Xi'an expo park[J]. Journal of

Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 272-278. (in Chinese)

[6] 周毅,余明辉,陈永祥. SWMM 子汇水区域宽度参数的估算方法介绍[J]. 中国给水排水, 2014, 30(22): 61-64.

ZHOU Y, YU M H, CHEN Y X. Estimation of sub-catchment width in SWMM[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22): 61-64. (in Chinese)

[7] 赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,等. 子汇水区的划分对 SWMM 模拟结果的影响研究[J]. 环境保护, 2008(8): 56-59.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计规范(2014 版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

[9] 李卓熹,秦华鹏,谢坤. 不同降雨条件下低冲击开发的水文效应分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(21): 37-41.

LI Z X, QIN H P, XIE K. Hydrological effect analysis of low impact development under different rainfall conditions[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(21): 37-41. (in Chinese)

[10] 李霞,石宇亭,李国金. 基于 SWMM 和低影响开发模式的老城区雨水控制模拟研究[J]. 给水排水, 2015, 41(5): 152-156.

[11] 张大伟,赵冬泉,陈吉宁,等. 芝加哥降雨过程线模型在排水系统模拟中的应用[J]. 给水排水, 2008, 34(3): 355-357.

[12] 车生泉,谢长坤,陈丹,等. 海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径[J]. 中国园林, 2015, 31(6): 11-15.

CHE S Q, XIE C K, CHEN D, *et al.* Development and constructive approaches for theories and technologies of sponge city system[J]. Chinese Landscape Architecture, 2015, 31(6): 11-15. (in Chinese)

[13] 晋存田,赵树旗,闫肖丽,等. 透水砖和下凹式绿地对城市雨洪的影响[J]. 中国给水排水, 2010, 26(1): 40-46.

[14] 王文亮,李俊奇,宫永伟,等. 基于 SWMM 模型的低影响开发雨洪控制效果模拟[J]. 中国给水排水, 2012, 28(21): 42-44.

WANG W L, LI J Q, GONG Y W, *et al.* LID stormwater control effect simulation based on SWMM[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(21): 42-44. (in Chinese)

[15] 冯扬,弓弼,赵翠,等. 西安市节水型园林的技术与方法初探[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(1): 235-239.

FENG Y, GONG B, ZHAO C, *et al.* Techniques and methods of water-saving landscape in Xi'an[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 235-239. (in Chinese)

[16] 刘文,陈卫平,彭驰. 城市雨洪管理低影响开发技术研究与利用进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1901-1912.

LIU W, CHEN W P, PEN C. Advances in low impact development technology for urban stormwater manag-ement[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6): 1901-1912. (in Chinese)