

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.17.019

# 深圳市某水质净化厂海绵体径流控制效果模拟

赵熠辉<sup>1</sup>, 韩小波<sup>1</sup>, 张金松<sup>1,2</sup>

(1. 深圳市水务<集团>有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 深圳城市污水处理与再生利用工程实验室, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 采用 InfoWorks ICM 水力模型软件构建了深圳市某水质净化厂的海绵体模型, 模拟分析了各低影响开发(LID)设施的径流控制特性。结果表明, 各 LID 设施具有明显的径流调控性能差异, 在进行 LID 设施布设时应尽量考虑 LID 设施的组合, 避免过度依赖单一 LID 设施。另外, 对海绵体各排水分区的径流控制效果进行了模拟, 根据模拟结果, 建议对 2 号排水分区增设植草沟以提高其径流控制能力, 当径流污染较严重时, 可直接收集后排入水质净化厂进行处理。

**关键词:** 低影响开发; 雨水管理; 径流控制; InfoWorks ICM

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)17-0110-05

## Simulation of Rainfall Runoff Control Effect of Sponge Area in a Wastewater Treatment Plant in Shenzhen

ZHAO Yi-hui<sup>1</sup>, HAN Xiao-bo<sup>1</sup>, ZHANG Jin-song<sup>1,2</sup>

(1. Shenzhen Water <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. Shenzhen Municipal Sewage Treatment and Recycling Engineering Laboratory, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** A comprehensive runoff model of sponge area in a wastewater treatment plant in Shenzhen was established by using InfoWorks ICM hydraulic model software, and the runoff control characteristics of each low impact development (LID) facility were simulated and analyzed. The results showed that the LID facilities had obvious differences in runoff control performance. The combination of LID facilities should be considered as much as possible during LID installation to avoid over-reliance on a single LID facility. Meanwhile, the runoff control effect of each sub-catchment area in sponge area was simulated. According to the simulation results, grassed swales were proposed to construct in No. 2 sub-catchment area to improve its runoff control ability. When the runoff pollution was serious, it could be collected directly into the wastewater treatment plant.

**Key words:** low impact development (LID); rainwater management; runoff control; InfoWorks ICM

随着城市化进程不断加快,城市不透水面积比例不断增加,改变了城市汇水表面的水文性能,导致内涝风险加大,也加剧了地表径流污染。针对上述

问题,我国学习发达国家经验,开展城市雨水综合管理工作,在小范围区域主要表现在各类海绵体的建设上,例如在公园绿地<sup>[1]</sup>、住宅区<sup>[2]</sup>、学校<sup>[3]</sup>等区域

基金项目: 深圳市科技计划项目(KJYY20171012140149523)

通信作者: 张金松 E-mail: zhangjinsong@waterchina.com

进行的海绵体建设。

低影响开发(LID)通过源头的、分散的小型控制措施来实现雨水径流和污染物的就地消纳和管理,是一种有效的雨水管理措施。LID设施的合理选用是海绵体建设的重要环节。笔者采用InfoWorks ICM模型软件构建深圳市某水质净化厂内海绵体的模型,模拟分析不同LID设施的径流控制特性,并结合该海绵体的实际情况,提出LID设施的使用建议。

## 1 模型构建

### 1.1 InfoWorks ICM模型

InfoWorks ICM模型是英国Wallingford公司开发的都市雨洪模型,该模型拥有降雨径流模拟、管流模拟、旱流污水模拟、污水处理厂水力控制模拟、河道模拟、水质模拟、实时控制模拟及可持续构筑物模拟等诸多模块。在排水系统的现状评估、城市洪涝灾害的预报预测、城市降雨径流控制以及调蓄设计评估等方面已得到广泛应用<sup>[4-5]</sup>。笔者采用InfoWorks ICM的一维排水管网水力模型,利用该模型中的水文模块(降雨径流模块)和LID模块来模拟雨水径流控制效果。

### 1.2 研究区域概况

研究区域位于深圳市福田区竹子林片区,广深高速公路以西、福田汽车站以南、滨海大道以北。项目周边毗邻大量公共生态空间,南面为红树湾生态湿地。整体生态本底决定了本区域的景观建设将成为重要的生态节点。关注整体生态环境的协调为项目注入了重要的生态价值。景观主要展示区为北侧主、次入口,宅间空间,以及南侧空地空间。该水质净化厂作为海绵城市试点,对其景观空间进行海绵城市建设。

### 1.3 排水分区划分

根据地形和排水走向,将海绵区域划分为4个排水分区,如图1所示,从左至右依次编号为1号、2号、3号和4号排水分区。该海绵区域采用的LID设施主要有透水铺装、雨水花园、下沉式绿地等。4个排水分区采用的LID设施和面积比例有所不同,具体情况如下:1号排水分区,面积为3 788.93 m<sup>2</sup>,主要LID设施为透水铺装、雨水花园,LID设施、普通绿地、不透水区域的面积占比分别为40.3%、30.1%、29.6%;2号排水分区,面积为3 056.54 m<sup>2</sup>,主要LID设施为透水铺装、渗渠,LID设施、普通绿

地、不透水区域的面积占比分别为6.2%、12.2%、81.6%;3号排水分区,面积为10 218.52 m<sup>2</sup>,主要LID设施为下沉式绿地、透水铺装、雨水花园、植草沟、渗渠,LID设施、普通绿地、不透水区域的面积占比分别为17.4%、38.3%、42.3%;4号排水分区,面积为6 364.06 m<sup>2</sup>,主要LID设施为下沉式绿地、透水铺装、雨水花园、蓄水池、植草沟,LID设施、普通绿地、不透水区域的面积占比分别为16%、61.8%、22.2%。

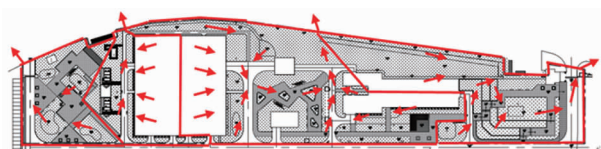


图1 排水分区划分示意

Fig.1 Division of sub-catchment area

### 1.4 模型概化

为了便于分析说明该区域LID设施的雨水径流控制效果,建立了2种不同情景下的模型:①LID模型,即在建设项目的各类下垫面综合应用多种LID设施后的模型;②传统开发模型,即按传统模式进行开发建设,不采用LID设施的模型。对LID设施的模拟采用与SWMM模型相同的直接水文法。LID设施的水文过程模拟通过竖向层的组合来表示,一般将LID设施分为表面层、土壤层和储蓄层,其属性在单位面积基础上定义,这样方便在不同的集水区中灵活设定选取设施的规模面积。在模拟中,采用ICM进行水量平衡计算、记录各层的存储水量及各层机制间水量的交互。

一般可以采用两种方式处理集水区内的LID设施:①在集水区设置1种或多种LID设施;②将LID设施作为一个单独的子集水区来模拟。在该区域的模拟中采用第2种方法。该区域LID模型概化结果如图2所示。

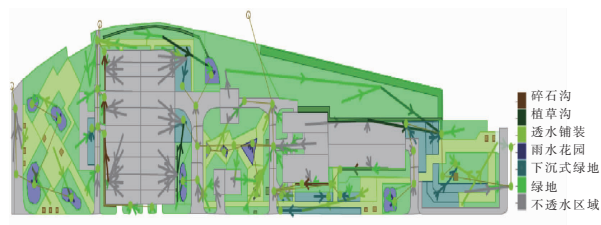


图2 LID模型

Fig.2 LID model

将LID设施参数输入模型。①渗渠:蓄水层深

度为600 mm,孔隙率为0.75,表面粗糙系数为0.1;  
②植草沟:植被覆盖系数为0.1,坡度为0.05,导水率为12.7 mm/h,表面粗糙系数为0.1;③透水铺装:铺装层厚度为50 mm,蓄水层厚度为200 mm,孔隙率为0.75,表面坡度为0.01,表面粗糙系数为0.1;④雨水花园:表层厚度为100 mm,坡度为0.05,土壤层厚度为400 mm,导水率为29.9 mm/h,蓄水层厚度为500 mm;⑤下沉式绿地:植被覆盖系数为0.1,坡度为0.05,土壤层厚度为200 mm,导水率为29.9 mm/h,蓄水层厚度为400 mm。

### 1.5 设计降雨模拟

选取该地区排水管网设计重现期为模拟降雨强度。根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)的规定:“雨水管渠设计重现期,应根据汇水地区性质、城镇类型、地形特点和气候特征等因素,经技术经济比较后按规定取值”,排水管网重现期取值范围一般为2~5年,在此选取2年重现期降雨进行模拟。由于深圳市的降雨具有强降水时间集中的特点<sup>[6]</sup>,为此选取2年重现期120 min降雨作为设计降雨。采用深圳市城市规划设计研究院有限公司、深圳市气象局和华北水利水电大学联合编制的深圳市城市设计暴雨雨型,雨型为芝加哥雨型,雨峰系数为0.35。

## 2 各LID设施水文特性分析

为了比较各LID设施的径流量控制特性,单独设置一块集水区,通过调整其LID设施参数先后模拟渗渠、植草沟、透水铺装、雨水花园和下沉式绿地5种LID设施。设置不同面积的汇水区并使该汇水区中雨水直接全部流入LID设施,汇流过程中不经过其他LID设施,计算不同面积率下(LID设施面积与总汇水面积的比值)各LID设施的径流总量控制率、峰值流量削减率以及峰值滞后时间,分析其径流控制特性,结果如图3和表1所示。

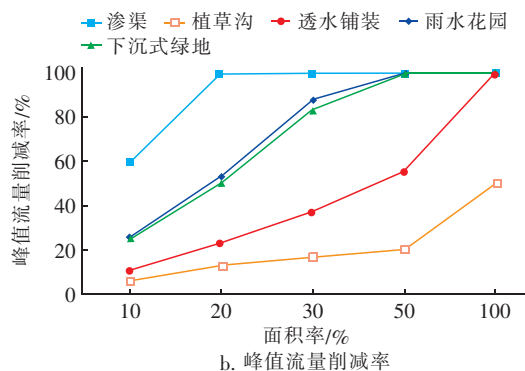
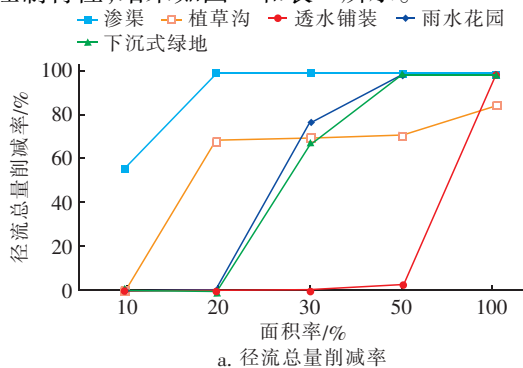


图3 LID设施的径流总量削减率和峰值流量削减率

Fig. 3 Runoff amount reduction rate and peak flow reduction rate of LID facilities

表1 LID设施的峰值滞后时间

Tab. 1 Peak flow lag time of LID facilities min

项 目	面积率 = 10%	面积率 = 20%	面积率 = 30%	面积率 = 50%	面积率 = 100%
渗渠	23.17	—	—	—	—
植草沟	0	31.83	33.17	35.83	53.33
透水铺装	0	0	0	0	—
雨水花园	0	0	17.83	—	—
下沉式绿地	0	0	10.67	—	—

注: “—”表示没有径流产生。

由图3(a)可知,5种LID设施的径流总量控制能力由大到小依次为渗渠、雨水花园、下沉式绿地、透水铺装和植草沟。其中,当面积率为10%时,渗渠的径流总量削减率便可以达到60%左右,而当面积率为20%时就可以完全控制径流;同时,得益于强大的径流控制能力,当面积率为10%时,只有渗渠能够实现削峰、滞峰的效果。雨水花园和下沉式绿地的径流控制特性十分相似,在径流总量和峰值流量控制上,雨水花园都略优于下沉式绿地,此外,两者在面积率 $\leq 20\%$ 时均不能起到削峰、滞峰的效果,而在面积率 $\geq 50\%$ 时,可完全消纳径流。透水铺装具有一定的径流控制能力,可以完全控制其自身面积上产生的径流;但是,当径流量超出其控制能力时,透水铺装没有削峰、滞峰的能力。植草沟的径流控制能力是5种LID设施中最弱的,对自身面积上产生的峰值流量削减率只能达到50.1%;但植草沟具有良好的滞峰能力,在面积率为20%~100%时,峰值滞后时间达到30 min以上。值得注意的是,当面积率为30%时,植草沟、下沉式绿地和雨水花园的径流总量削减率十分接近,但植草沟的峰值滞后



时间远远超过雨水花园和下沉式绿地,而峰值流量削减率则大幅落后于另外两者。因此,各 LID 设施具有明显的水文调控性能差异,在进行 LID 设施的布设时,应该全面考虑 LID 设施的径流控制特性,同时尽量避免过度依赖某一种 LID 设施。

### 3 各排水分区径流控制效果模拟分析

分别模拟计算重现期为 2 年的降雨条件下 4 个排水分区的总排出口流量,并与传统开发模型进行对比,结果如图 4 所示。与传统开发模型相比,LID 模型下的各排水分区均表现出了一定的径流总量和峰值流量削减能力。

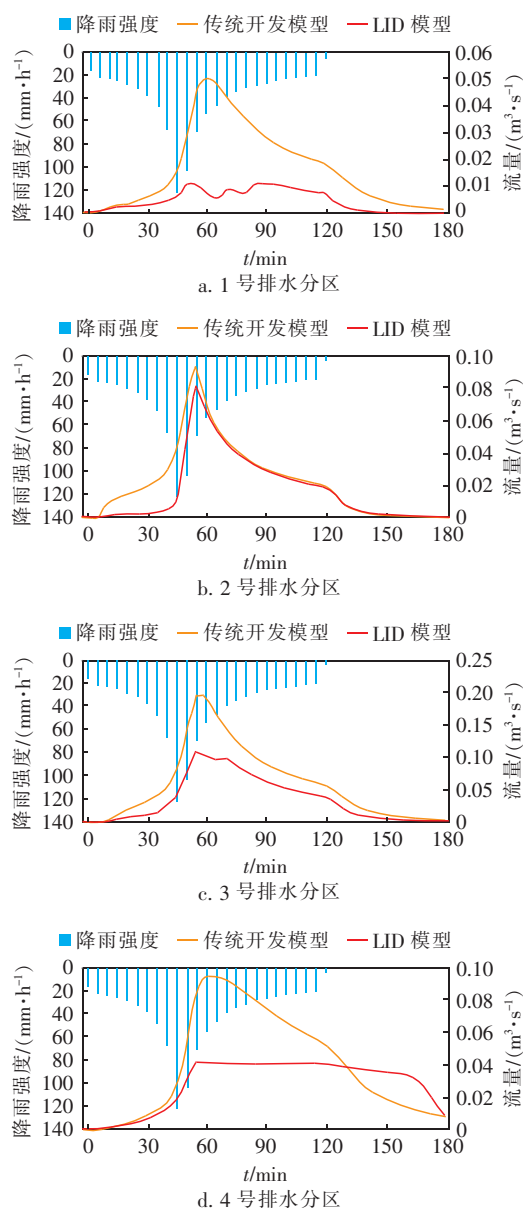


图4 各排水分区的径流控制效果

Fig. 4 Runoff control effect of each sub-catchment area

1号排水分区的径流控制效果最为明显,径流总量削减率和峰值流量削减率分别达到了72.85%和76.39%,这是由于1号排水分区采用的LID设施主要为透水铺装和雨水花园,均具有较好的径流流量削减能力且面积比例较高;该区域正好位于水质净化厂厂界位置,外侧靠近公路,雨水花园的使用可以提升整体的景观效果,满足生态要求。2号排水分区的空余面积小,道路周边为狭长的绿地,受限较大的不透水面积比例,径流总量削减率仅为24.05%,峰值流量削减率仅为9.12%;虽然该区域采用了径流控制效果最好的渗渠,仍无法有效地削减径流流量;此外,水质净化厂预处理车间位于2号排水分区,且出入口位于该区域中央,平时有栅渣外运,容易出现污染物的遗撒,会对该区域的雨水径流水质造成较大影响;结合该区域绿地面积小的现状,建议在该区域增设植草沟,可以同时起到控制径流流量和削减径流污染的作用;由于该海绵体建设在水质净化厂内,若该区域雨水径流的污染程度比较严重,也可以考虑直接收集后排入水质净化厂进行处理。

3号排水分区的面积最大,采用的LID设施种类也最多,使得径流总量控制能力和峰值流量削减能力相对比较均衡,其径流总量削减率和峰值流量削减率分别为41.26%和40.92%;整个排水分区中,来自两侧不透水区域的径流主要靠附近的渗渠、雨水花园和下沉式绿地进行削减,中部产生的径流主要依靠透水铺装和雨水花园进行控制;多种LID设施的使用产生了较好的综合效能,还形成了良好的景观生态效果。4号排水分区的LID设施面积比例相对较小,径流总量削减率为27.35%,但峰值流量削减率达到了55.85%,且出水量十分均衡。这是因为4号排水分区建设有两条植草沟用于传输大片绿地上的径流,可以起到削减峰值流量的效果;此外还建有一个地下封闭式蓄水池,相较于下凹式绿地等设施,蓄水池削减峰值流量的效果更为显著<sup>[7]</sup>,可以有效降低后续管网的排水压力,而且蓄水池内存蓄的雨水还可用于浇灌附近绿地,满足雨水回用的需求。

### 4 结论

① 各LID设施在水文控制效果上存在性能差异,在进行LID设施的规划布局时,需要综合考虑LID设施各方面的特点进行科学分配,避免过度依

赖单一的LID设施。

② 海绵体各排水分区均表现出了一定的径流总量控制能力以及峰值流量削减能力,但考虑到2号排水分区的不透水面积比例较大、空余绿地面积小且径流污染可能较严重,建议在该区域增设植草沟,提高其径流控制能力,也可以直接收集污染较严重的径流排入到水质净化厂进行处理。

#### 参考文献:

- [1] 张兴玉. 公园“海绵城市”的构建——以贵安新区星月湖公园为例[J]. 现代园艺, 2017(3): 142-143.  
Zhang Xingyu. Construction of the “sponge city” in the park—Taking the Xingyue Lake Park in Guian New Area as an example[J]. Modern Horticulture, 2017(3): 142-143 (in Chinese).
- [2] 曹珂, 张磊, 胡振飞. 基于海绵城市理念下已建住区改造规划研究——以厦门某小区为例[J]. 建筑与文化, 2017(5): 101-103.  
Cao Ke, Zhang Lei, Hu Zhenfei. The research on the reconstruction planning of the built in residential area based on the concept of sponge city—Take Xiamen residential area as example[J]. Architecture & Culture, 2017(5): 101-103 (in Chinese).
- [3] 黄静, 王中玥, 杨祁. 基于海绵城市理念的校园绿地景观改造数字化研究——以金陵科技学院幕府校区为例[J]. 现代园艺, 2017(12): 99-101.  
Huang Jing, Wang Zhongyue, Yang Qi. Study on digital landscape reconstruction of campus greenland based on the concept of sponge city—Taking the Mufu Campus of Jinling Institute of Technology as an example[J]. Modern Horticulture, 2017(12): 99-101 (in Chinese).
- [4] 汉京超. 应用InfoWorks ICM软件优化排水系统提标方案[J]. 中国给水排水, 2014, 30(11): 34-38.  
Han Jingchao. Optimization of upgrading schemes of drainage systems by InfoWorks ICM software[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(11): 34-38 (in Chinese).
- [5] 赵琬玉. InfoWorks ICM排水管网模型在实际中的应用[J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 2015, 42(2): 118-122.  
Zhao Wanyu. Application of InfoWorks ICM drainage pipe network model in practice[J]. Journal of Liaoning University: Natural Science Edition, 2015, 42(2): 118-122 (in Chinese).
- [6] 陈元昭, 林良勋, 陈训来, 等. 最近5年深圳大暴雨降水特征及主要影响系统[J]. 广东气象, 2014, 36(1): 20-25.  
Chen Yuanzhao, Lin Liangxun, Chen Xunlai, et al. Characteristics of torrential rains over the past five years in Shenzhen and main systems of influence [J]. Guangdong Meteorology, 2014, 36(1): 20-25 (in Chinese).
- [7] 侯爱中, 唐莉华, 张思聪. 下凹式绿地和蓄水池对城市型洪水的影响[J]. 北京水务, 2007(2): 42-45.  
Hou Aizhong, Tang Lihua, Zhang Sicong. Impacts of sunken lawn and storage pond on urban flood[J]. Beijing Water, 2007(2): 42-45 (in Chinese).



作者简介: 赵熠辉(1994- ), 男, 河南濮阳人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为城市雨洪管理。

E-mail: 15211476480@163.com

收稿日期: 2019-10-12