

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.09.019

基于监测及排水模型的海绵城市小区建设效果评估

郑 涛¹, 唐志芳², 张 敏³

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100089; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 3. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘 要: 为全面评价嘉兴市海绵城市建设成果、积累海绵城市技术措施相关数据、形成可推广可复制的建设经验,嘉兴市海绵城市示范区建立了监测评价体系。结合《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)的要求,以嘉兴市典型海绵改造小区烟波苑为研究对象,通过设置合理的监测方案,有效监测其海绵改造后各项出流数据,计算监测期间该项目的径流总量控制率。同时利用监测数据对该项目DigitalWater排水模型进行率定与验证,并利用模型进行模拟分析。通过对监测数据与排水模型模拟数据的双重分析,提高了项目径流总量控制率的计算准确性及科学性,更好地支撑该项目的海绵改造效果量化考核评估,并可为同类型小区海绵改造提供相关建设经验。

关键词: 海绵城市; 排水模型; 在线监测; 小区海绵改造; 考核评估

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)09-0118-05

Assessment of Community Reconstruction Performance during Sponge City Construction Based on Online Monitoring and Drainage Model

ZHENG Tao¹, TANG Zhi-fang², ZHANG Min³

(1. Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute, Beijing 100089, China;
2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China;
3. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: The monitoring and assessment system has been established in a sponge city trial area in order to comprehensively evaluate the achievements of sponge city construction in Jiaxing, collect data related to sponge city technical measures, and formulate propagable and reproducible construction experience. According to the requirements of *Assessment Standard for Sponge City Construction Effect* (GB/T 51345-2018), the runoff data after sponge reconstruction was effectively monitored, and the total runoff control rate of the project during monitoring was calculated in Yanboyuan, a typical sponge reconstruction community in Jiaxing City through setting up reasonable monitoring scheme. In addition, the DigitalWater drainage model of the project was calibrated by using the monitoring data and applied for future analysis. The calculation accuracy and scientificity of the total runoff control rate were improved through dual analysis of the monitoring data and drainage model. The results were expected to better support the quantitative assessment of the sponge reconstruction performance of the project, and provided relevant construction experience for sponge reconstruction in similar communities.

Key words: sponge city; drainage model; online monitoring; sponge reconstruction of community; assessment

嘉兴市作为水文化积淀浓厚的江南水乡,近年来出现了水环境质量变差的问题,海绵城市建设成为迫切需求。通过试点建设,嘉兴市希望探索一套海绵城市建设全生命周期管控手段,形成江南水乡水环境改善系统化技术路线,摸索合流制区域改造的最优方式,以期为嘉兴市域全面推广海绵城市建设奠定基础,也为其他城市提供经验。为科学客观评价嘉兴海绵城市建设效果,并保存和总结建设数据,在建设前后做了大量的监测工作^[1]。笔者通过对嘉兴市典型小区烟波苑的改造及监测评估分析,并利用排水模型进行效果模拟^[2-3],对其径流控制率、低影响开发(LID)效果及面源污染控制效果等进行综合评价,从而客观评价该片区项目改造效果,支撑该片区海绵改造效果定量化考核评估,并为同类型小区海绵改造提供相关建设经验。

1 研究区域概况

研究区域选取嘉兴市新建小区烟波苑,烟波苑位于嘉兴市海绵城市试点区内,占地面积为55 417 m²(含消防通道面积),其中绿化面积为24 379 m²,占总面积的44%。其四周建设有围墙与外部隔断,该项目中的雨水经海绵设施后通过两个排口直接排入河道,即该地块属于相对独立的排水分区,是嘉兴市海绵城市建设重点项目。

烟波苑海绵城市建设工程包括3部分内容:低影响开发系统构建工程、排水管网系统改造工程、低影响开发系统配套工程。项目建设前综合径流系数为0.60。根据《嘉兴市海绵城市示范区建设规划》,该项目规划年径流总量控制率达到81.25%,对应设计降雨量为25.3 mm,同时综合径流系数需达到0.55。海绵改造设施分布如图1所示。



图1 烟波苑海绵改造设施分布

Fig.1 Distribution of sponge reconstruction facilities of Yanboyuan community

2 监测评估分析

2.1 监测点布置

项目采用的监测设备为SmartWater智能监测设备,SmartWater为国内首款移动互联网排水监测设备,具备软硬一体、即装即用、智能在线、云端管理的特点。为满足在线监测设备安装环境要求,所有在线监测设备按照以下要求进行选择:①水下或有可能在水下部分的测量仪表防护等级为IP68,水上部分的测量仪表防护等级为IP65;②所有仪表应采用电池供电,避免现场供电带来的不便;③所有仪表均应配有安装支架及附件,并便于在井下或排水系统中安装;④所有仪表应配备无线中继器,便于在现场进行安装及数据传输。

烟波苑改造项目通过在小区内构建下沉式绿地、生物滞留带、透水铺装等设施控制雨水,在两个排口各布设1台流量计,在雨水花园进口加装三角堰流量计1台、出口加装流量计1台,以监测小区海绵改造效果。具体监测位置及现场照片见图2。

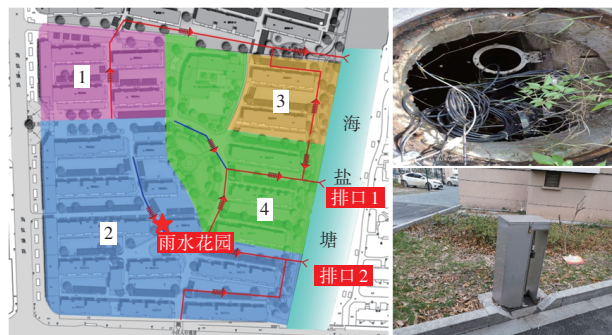


图2 监测位置及监测设备安装现场照片

Fig.2 Monitoring location and installation diagram of monitoring equipment

2.2 监测评估方法

典型设施对降雨量的控制主要体现在降雨初期,随着降雨量的增大及降雨历时的增加,设施蓄水及土壤饱和度逐渐提高,后期的控制率会逐渐下降。考虑降雨的随机性及时空差异等特征,有些年份的降雨量会远高于平均年降雨量,此时利用径流控制率这一指标无法客观体现海绵改造效果。为确保评估的科学合理,本研究依据嘉兴市气象部门近30年的降雨监测数据,从近10年的数据中选取一年各月接近30年的平均值作为典型气象年,从而认定典型年降雨数据(2014年,1 269.5 mm),结合嘉兴市海绵城市建设试点区规划目标要求,即年径

流总量控制率对应的设计降雨作为评估依据,计算公式如下:

$$R=\omega\times h$$
 (1)

式中: R 为实际控制降雨量,mm; ω 为地块在监测年份的年径流总量控制率,%; h 为监测时段内同步采集到的降雨总量,mm。

$$R_A=1\,269.5\times\omega_A$$
 (2)

式中: R_A 为设计年控制降雨量,mm; ω_A 为设计年径流总量控制率,%。

当监测评估年份降雨数据与典型年降雨数据相差较大时,可以对监测评估年份的控制降雨量 R 与设计年控制降雨量 R_A 进行比较。当 $R>R_A$,即当监测年的实际控制降雨量超过按典型年降雨折算的设计控制降雨量时,即使控制率可能未达到设计标准,依然可以认为该典型项目或者连片试点区的实际控制降雨量效果满足设计要求。

2.3 项目年径流总量控制率评估

根据住建部颁发的《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)要求,选取2017年9月30日—2018年9月30日一整年的降雨监测数据对烟波苑的海绵改造效果进行评估。为更好地观察监测期间不同降雨量的实际控制效果,对这一整年的各场次降雨进行了分析。在监测期间,各场次降雨的控制量及出流量如图3所示。

根据上述监测结果,除两场较大降雨导致明显出流外,其余场次降雨出流均得到了有效控制,绝大多数雨水被海绵设施有效收纳。

烟波苑汇水面积为5.54 hm²,年径流总量控制率目标值为81.25%,对应的设计降雨量为25.3 mm,根据典型年降雨折算年设计控制降雨量为

1 031.31 mm。利用在烟波苑雨水排口的两台流量计监测的流量数据和市政府的雨量计数据,根据上文提到的年径流总量控制率计算方法,作为该项目年径流总量控制率的评估验证,评估结果显示,在一整年的监测时段内,烟波苑的实际控制降雨量为1 421.91 mm(排口1和排口2的出流量分别为11 693.7和11 108.1 m³),超过了1 031.31 mm,满足年降雨总量控制目标,即达到了设计年径流总量控制率指标要求。

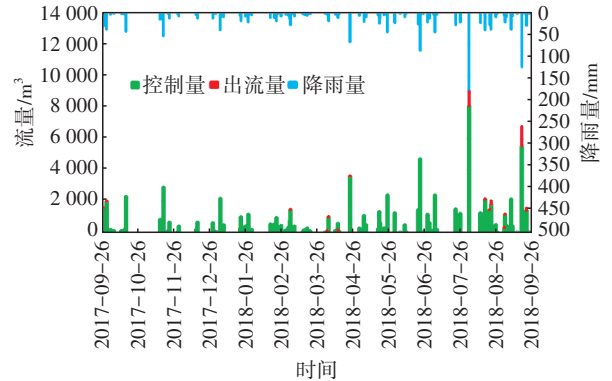


图3 烟波苑场次降雨监测结果
Fig.3 Field rainfall monitoring results of Yanboyuan community

2.4 LID设施设计参数及监测效果

按照住建部颁发的《关于做好第一批国家海绵城市建设试点评估终期考核验收自评工作的通知》中的附件3《海绵城市建设典型设施设计参数与监测效果要求》的要求,对每个LID设施,选取大、中、小型降雨各一次进行评估,并分析场次降雨的径流总量控制率、峰值延迟时间和峰值削减率,同时根据出流和人工采样数据分析污染物去除率。设施参数及计算结果如表1所示。

表1 烟波苑LID设施效果监测数据
Tab.1 Monitoring data of LID facilities in Yanboyuan community

降雨事件			水量参数			水质参数				
降雨日期	降雨量/mm	降雨历时/h	径流总量控制率/%	峰值延迟时间/min	峰值削减率/%	SS去除率/%	TN去除率/%	TP去除率/%	COD去除率/%	NH ₃ -N去除率/%
2018-03-07	8.2	3	100	0	100	100	100	100	100	100
2018-04-05	20.6	8	84.19	7	85	89.14	86.06	93.24	84.12	80.52
2018-04-23	76.0	10.5	40.29	7	85	19.07	60.05	81.03	55.68	95.79

嘉兴市作为典型的江南水乡,河网密布,河道纵横交错、四通八达,其“水问题”主要表现在三个方面:一是水环境差,二是水生态恶化,三是水安全依然堪忧。为了解决下游管段及河道的诸多问题,必须尽可能地从源头减缓及控制水量和污染物的传递。通过分析监测数据发现,LID设施在雨量控制、峰值延迟及污染物削减方面都起到了很好的效果。

通过监测发现,嘉兴河道水体中的N、P超标严重,针对这个问题,对LID设施内部的土壤进行了换填处理,采用自来水厂污泥颗粒等原料作为土壤渗透性改良材料,增加了土壤的入渗速度和径流污染去除能力,同时也保障了植物生长的营养成分供给,可以达到一种颗粒代替砂和有机质两种材料的效果。

3 模型模拟分析

3.1 模型搭建

本项目采用DigitalWater模型作为评估模型,通过梳理项目设计图及竣工图来梳理排水管网和设施,并通过管网搭建概化一下垫面分类—汇水区划分—LID设施布置—模型参数确认完成模型的搭建,模型概化如图4所示。然后利用实测数据对模型进行率定与验证,评估项目的年径流总量控制率达标情况。



图4 烟波苑 DigitalWater排水模型概化示意

Fig.4 Sketch of DigitalWater drainage model of Yanbo Yuan community

3.2 模型率定

模型参数可以划分为确定性参数和不确定性参数两类。对于管长、管径、地形等确定性参数,通过施工图、竣工图及现场实测等手段获取。针对难以实测、资料缺失的参数,可通过研究区域的排口和设施进出口的水量和水质监测数据,通过对比模型模拟结果与实测结果对参数进行识别与率定,提高模型的可靠性。

数学模型可以模拟的常见海绵设施主要包括生物滞留带、下沉式绿地、绿色屋顶、渗渠、透水铺装、雨水桶、立管断接、植被浅沟等。海绵设施模块主要由表面层、路面层、土壤层、蓄水层和暗渠系统组成,海绵设施的类型不同,组合也不同。一般情况下,海绵设施参数根据设计方案对应到相应的模块中,不确定性参数则根据设施监测数据进行率定调整。

按照住建部颁发的《关于做好第一批国家海绵城市建设试点评估终期考核验收自评工作的通知》中的附件4《试点城市模型应用要求》,以大、中、小三场降雨数据作为输入条件,结合排口实时监测数据对 DigitalWater 模型关键参数进行率定,如图5所示。同时,选取 Nash-Sutcliffe 效率系数(NSE)作为模型率定与验证的评价指标,计算结果如表2所示,NSE值均超过了0.5,参数率定满足要求。

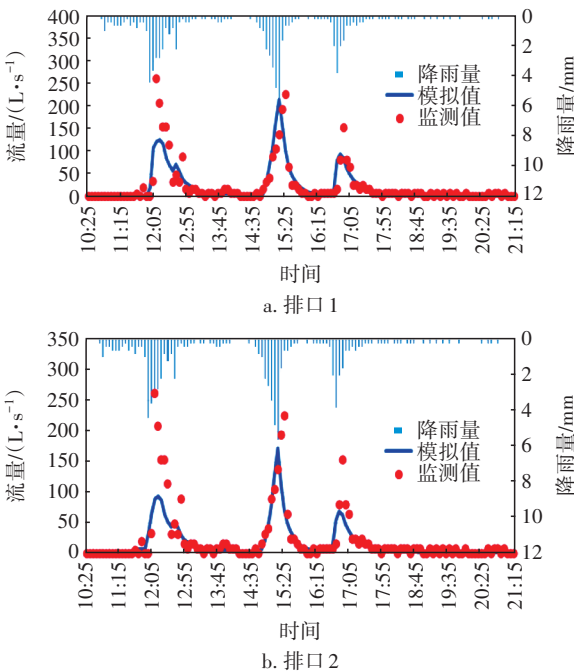


图5 模型率定情况

Fig.5 Calibration of model

表 2 NSE 计算结果

Tab.2 NSE calculation results

项目	时间	排口	NSE	是否符合要求
模型率定	2018-04-25	排口 1	0.715 7	符合
		排口 2	0.628 1	符合
	2017-09-30	排口 1	0.839 7	符合
		排口 2	0.778 8	符合
	2018-08-02	排口 1	0.604 6	符合
		排口 2	0.513 1	符合
模型验证	2018-03-04	排口 1	0.811 6	符合
		排口 2	0.656 8	符合
	2018-04-05	排口 1	0.798 8	符合
		排口 2	0.902 8	符合
	2018-09-16	排口 1	0.670 1	符合
		排口 2	0.644 2	符合

3.3 模拟结果分析

以典型年降雨数据(2014 年,1 269.5 mm)作为模型输入条件,模拟分析烟波苑的年径流总量控制率达标情况。结果表明,排口 1 和排口 2 的降雨径流外排量分别为 6 358、6 492 m³,合计 12 850 m³,烟波苑的年径流总量控制率为 81.72%,满足《嘉兴市海绵城市试点区建设规划》中设计年径流总量控制率达到 81.25%的要求。

4 结论

- ① 对烟波苑小区排口 2017 年 9 月 30 日—2018 年 9 月 30 日一整年的长历时监测数据进行分析发现,该小区海绵改造项目的实际控制雨量达到了 1 421.91 mm,超过了按照典型年降雨折算的目标控制雨量 1 031.31 mm。全年共产生有效降雨 102 场,场次降雨出流均得到有效控制,绝大多数雨水被海绵设施有效收纳。
- ② 通过对烟波苑小区的雨水花园设施进出水口流量的长历时监测,并对排口出流进行人工采样分析,发现其径流控制率均满足设计要求,对降雨的雨量削减及峰值延迟效果明显。针对本地化问题和监测反馈的水质特征,对 LID 设施的土壤层进行换填处理,这对削减径流污染物起到了良好的效果。
- ③ 搭建烟波苑小区 DigitalWater 模型,并利用 6 场大、中、小降雨对模型进行率定与验证,结果显

示,Nash-Sutcliffe 效率系数均超过 0.5,模型参数率定满足要求。通过 DigitalWater 模型利用典型年降雨数据进行模拟,得到烟波苑小区的年径流总量控制率达到 81.72%,满足《嘉兴市海绵城市试点区建设规划》中设计年径流总量控制率达到 81.25%的要求。

④ 利用监测与排水模型相结合的方法,根据对海绵改造项目长历时的监测数据,并利用监测数据对项目的排水模型进行率定分析,可更加准确地计算出项目的年径流总量控制率,为海绵城市定量化考核提供科学依据。

参考文献:

[1] 李俊奇,王文亮,车伍,等. 海绵城市建设指南解读之降雨径流总量控制目标区域划分[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 6-12.

LI Junqi, WANG Wenliang, CHE Wu, et al. Explanation of *Sponge City Development Technical Guide*: regional division for total rainfall runoff volume capture target[J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(8): 6-12 (in Chinese).

[2] 陈小龙,赵思东,赵冬泉,等. 城市排水管网模拟系统介绍[J]. 中国给水排水, 2015, 31(1): 104-108.

CHEN Xiaolong, ZHAO Sidong, ZHAO Dongquan, et al. Introduction of DigitalWater simulation system [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(1): 104-108 (in Chinese).

[3] 陈小龙,赵冬泉,盛政,等. DigitalWater在城市排水防涝规划中的应用[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 105-108.

CHEN Xiaolong, ZHAO Dongquan, SHENG Zheng, et al. Application of DigitalWater simulation system in urban flood control planning [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(21): 105-108 (in Chinese).

作者简介:郑涛(1994—),男,山西太原人,本科,助理工程师,主要从事给排水管网模型搭建及相关监测咨询性研究工作。

E-mail:1804401531@qq.com

收稿日期:2020-05-06

修回日期:2020-06-01

(编辑:刘贵春)