

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.001

基于模型及在线监测的校园海绵改造项目效果评估

国小伟¹, 张海行¹, 赵晨辰¹, 张伟¹, 李萌²

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100044; 2. 北京清环智慧水务科技有限公司, 北京 100084)

摘要: 海绵城市建设项目的效果评估是海绵城市建设的关键环节之一,关系到海绵城市试点建设的整体效果。以宁波某校园海绵改造项目为例,采用模型模拟方法评估海绵城市改造效果,结合在线监测数据验证模型参数,提高模拟结果的准确性。模拟与实际监测结果显示,通过低影响开发措施改造,该项目的年径流总量控制率、径流污染、径流峰值、内涝积水均得到有效控制,满足海绵城市设计目标。模型与在线监测联合法是评估海绵城市建设效果的有效手段和重要方式。

关键词: 海绵城市; 低影响开发; 效果评估; 模型模拟; 在线监测

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0001-06

Effect Assessment of Campus Sponge Construction Project Based on Model and Online Monitoring

GUO Xiao-wei¹, ZHANG Hai-xing¹, ZHAO Chen-chen¹, ZHANG Wei¹, LI Meng²

(1. Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Beijing Tsinghuan Smart Water Tech Co. Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract: Effect assessment of sponge city project is one of key steps in the sponge city construction, which is related to the overall effect of pilot area. Taking a campus sponge construction project in Ningbo as an example, the assessment method based on model and combined with online monitoring data to improve the accuracy of simulation results is introduced. According to the results, the design objectives of sponge city, such as volume capture ratio of annual rainfall, runoff pollution, runoff peak, and waterlogging are effectively controlled by the low impact development (LID) measures. Thus the combined method of model and online monitoring is an effective and important way for sponge city construction assessment.

Key words: sponge city; LID; effect assessment; model simulation; online monitoring

海绵城市建设是城市发展理念的转变,强调在城市建设中因地制宜、顺应自然、重视人与自然和谐相处的生态意识。海绵城市建设将低影响开发(LID)设施、传统市政雨水管渠、大排水系统相互耦合,其能否真正实现海绵城市建设的目标,还需要考核工作的监督与验证^[1]。合理地“海绵”效果进行考核是海绵城市建设成功与否的必要程序,雨水径流体积控制、径流污染控制、内涝控制是海绵城市

建设的核心评价指标之一^[2]。目前海绵城市的效果评估包括踏勘验证法、监测法、模拟法等,其中,监测与模拟联合法相对科学、准确^[3],模型的应用可避免降雨随机性的影响,以监测数据为基础,对模型参数进行率定,可以提高模拟结果的准确性^[2]。

以宁波市某校园海绵改造项目为例,探讨如何通过排水模型定量化评估项目的径流控制、径流污染控制、内涝控制等建设效果,结合在线监测数据对

模型参数进行验证,以保证模拟结果的准确性;建立多降雨情景,分析年径流总量控制率、面源污染削减率、内涝积水等项目建设效果,为海绵城市建设项目的验收提供参考。

1 研究项目概况

1.1 项目基本情况

该校园海绵改造项目位于宁波老城区,总面积为 14.2 hm^2 。原景观效果较差,场地内雨水未经净化直接排入城市河道,对河道水质造成一定影响。但项目内绿化率高,LID 改造条件较好,能与周边的海绵城市道路项目形成连片效应。因此,决定结合校园品质的提升,着手进行生态化排水改造。

1.2 海绵城市设计

该项目的海绵城市设计目标:①年径流总量控制率不低于 75%,对应设计降雨量 20.7 mm;②面源污染 TSS 削减率控制在 60%;③内涝防治标准为有效抵御不低于 50 年一遇暴雨径流。

该排水系统为雨污分流制,共 4 个排水口,分别接入周边的市政管线、河道。采用草沟、下凹绿地、雨水花园等形式局部改造现有绿地,部分原有硬质广场路面改为透水铺装,使屋面雨水和大部分地面径流可以在源头进行滞蓄、入渗和净化处理。雨水管网及 LID 布置见图 1。



图1 雨水管网及 LID 设施布置

Fig. 1 Layout of rainwater pipe network and LID facilities

2 模型构建

2.1 技术路线

采用 InfoWorks 模型软件,该模型能模拟透水路面、雨水花园、绿色屋顶、湿地等,可用于海绵城市建设雨水管理、评估等^[4]。模型研究技术路线(见图

2):收集排水管网、竣工图纸、监测数据等基础资料,进行一维与二维排水模型的构建与耦合,结合监测数据率定和验证模型参数,评估项目的海绵城市建设效果,分析是否满足设计目标。

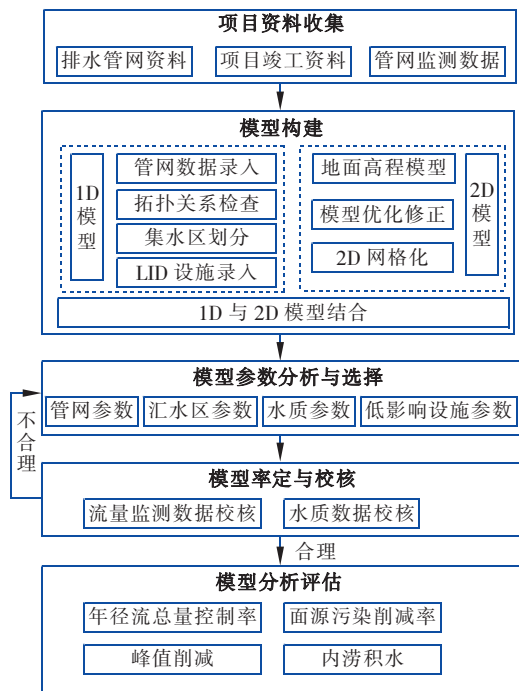


图2 模型模拟评估技术路线

Fig. 2 Technical route for model simulation assessment

2.2 模型构建

模型搭建结果见图 3。将检查井和管网的属性数据导入模拟软件,检查管网拓扑关系,根据检查井划分子汇水区,导入高程点数据及建筑物范围,导入 LID 设施数据。模型构建共导入雨水检查井 332 座,雨水管网 6.02 km,子汇水区 185 个,雨水花园 11 391 m^2 ,下凹绿地 3 318 m^2 ,转输型植草沟 610 m^2 ,透水铺装 6 110 m^2 。

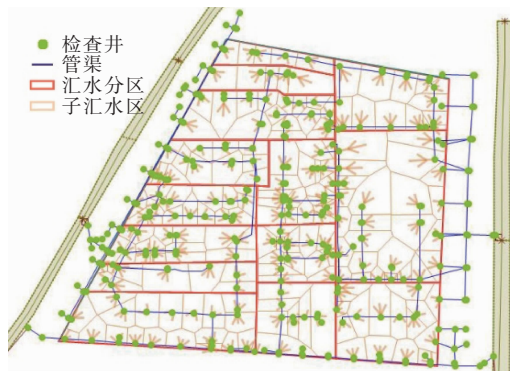


图3 海绵城市项目模型界面

Fig. 3 Interface of sponge city project model

2.3 模型参数设置与验证

模型参数主要包括检查井、管网、汇水区、水质以及低影响设施相关参数等^[5]。管网、检查井、低影响开发设施的主要参数来源于项目竣工资料;汇水区的面积、宽度、坡度通过计算获取。不透水面产流过程采用径流系数法,透水面产流过程采用霍顿产流模型;面源污染物的计算采用指数函数模型模拟污染物的累积过程和冲刷过程,主要参数设置包括污染物最大累积量、污染物累积速率常数、冲刷系数、冲刷指数。

模型参数验证的步骤:①收集降雨和流量同步实测数据;②降雨数据的处理和转换,录入排水模型;③运行模拟实测降雨情景,生成模拟结果;④对比分析实测降雨情景下的模拟流量与同步监测流量值;⑤评估模拟值与实测值的吻合程度。若达到模型率定与校核的要求,则模型可以用于相关的分析和评估,若不能达到要求,则调整汇水区和管道参数,继续进行模拟,直至模拟值与实测值较吻合。

在2号排口处设置在线流量监测设备,选取2019年4月23日的监测数据进行参数率定,采用5月2日的监测数据进行验证。主要参数率定结果如下:初始渗透90 mm/h,稳定渗透2.5 mm/h,渗透衰减2.25 mm/h。率定后模型模拟值与监测实测值对比见图4,模拟峰值为7.93 L/s,实测值为7.363 L/s,模拟值与监测值变化趋势一致性良好。

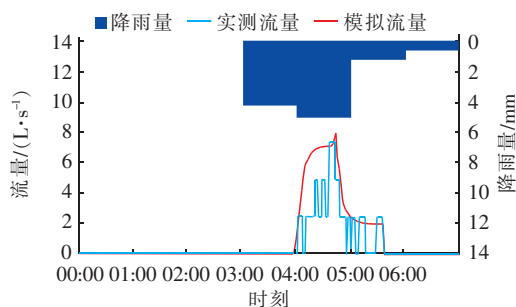


图4 模型参数率定后模拟值与实测值对比

Fig. 4 Comparison between simulated and measured values after model parameter calibration

在降雨量为20.7 mm的设计降雨事件下,模型模拟TSS产生值为552.2 kg。根据下垫面分析(见图5),绿地、屋顶、道路、水面占比分别为35.08%、21.86%、43.03%、0.03%;根据相关研究^[6],宁波市城区屋面、道路广场、绿地TSS的次降雨径流平均浓度(EMC)值分别为249、391、321 mg/L,经计算,TSS

产生量为581.7 kg。模拟结果与计算结果的相对误差为5%左右,在正常误差范围内。



图5 下垫面解析

Fig. 5 Analysis of underlying surface

率定后模型模拟值与实测值的纳什效率系数(NSE)为0.76,说明模型的准确性较高,可利用模型对海绵城市建设效果作进一步的分析研究。

2.4 设计降雨事件

短历时降雨根据宁波市最新修编的暴雨强度公式,采用芝加哥雨型,重现期分别为1、2、3、5年,降雨历时2 h,降雨量分别为48、58、63、71 mm。长历时雨型参考浙江《城镇防涝规划标准》(DB 33/1109—2015)生成相应雨型曲线,重现期为50年,降雨历时24 h,降雨量282 mm。对于典型年降雨的选择,首先对该市1981年—2018年逐年降雨量进行分析(见图6),选取与平均值差异不超过10%的年份,然后对月降雨数据、不同强度降雨数据进行分析,与各项数据平均值最接近的年份为2009年。

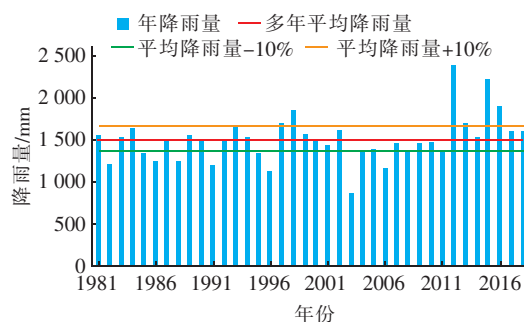


图6 1981年—2018年宁波市降雨量数据

Fig. 6 Rainfall data of Ningbo from 1981 to 2018

选取12组不同降雨量数据对2009年的降雨频次与多年统计的降雨频次曲线进行拟合分析,结果见图7。2009年与多年平均降雨频次曲线拟合程度高,因此2009年作为典型平水年具有一定代表性。

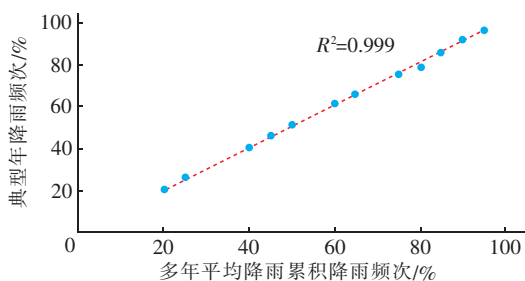


图7 多年平均降雨与2009年降雨统计拟合度分析

Fig. 7 Analysis of statistical fit between years of average rainfall and 2009 rainfall

3 效果评估

3.1 径流控制率评估

年径流总量控制率评估采用典型年实测降雨、5 min 间隔降雨时间序列进行模拟计算(见图8)。

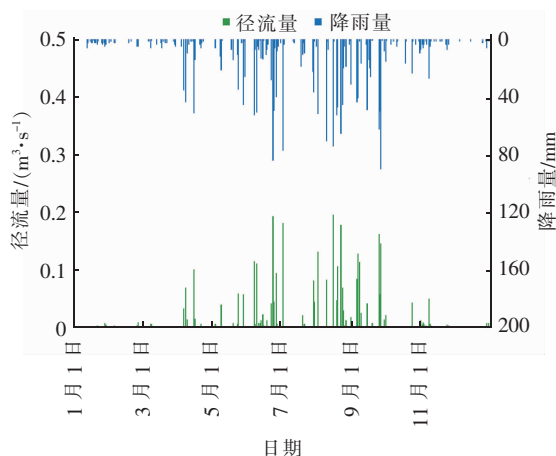


图8 径流控制率模型模拟结果

Fig. 8 Volume capture ratio of rainfall by model simulation

经模拟分析,海绵城市改造后的年径流总量控制率约为79.2%,满足海绵城市设计目标(75%)的

表2 排水口TSS削减率

Tab. 2 Analysis of TSS reduction of discharge outlet

项 目	排口1	排口2	排口3	排口4	合计
改造前 TSS/kg	1 546.31	6 185.37	4 746.57	4 561.85	17 039.83
改造后 TSS/kg	538.15	2 152.29	1 870.14	1 764.28	6 324.62
TSS 削减率/%	65.20	65.20	60.62	61.32	62.88

3.3 峰值削减效果评估

峰值削减效果评估采用短历时降雨事件进行模拟分析(见图9),重现期分别采用1、2、3、5年。通过模拟计算,1年一遇、2年一遇、3年一遇、5年一遇的峰值削减率分别为57%、50%、46%、41%,随降雨增大,峰值削减能力逐渐减弱。通过海绵城市建设,径流峰值、峰现时间均得到有效控制,体现了海绵城市建设的优势。

控制要求。监测评估应连续自动监测至少1年,获得“时间-流量”序列监测数据,筛选至少2场与项目设计降雨量下浮不超过10%的降雨进行评估^[2]。通过监测数据分析项目实际径流控制体积是否满足目标径流控制体积,计算方法如下:

$$V = V_1 - V_2 \quad (1)$$

$$V_1 = RA\Psi \quad (2)$$

式中 V ——实际径流控制体积, m^3

V_1 ——理论出流量, m^3

V_2 ——监测出流量, m^3

R ——降雨量, mm

A ——汇水面积, km^2

Ψ ——综合径流系数

选取3场降雨量大于设计降雨量(20.7 mm)的降雨事件进行径流控制评估,径流控制体积监测结果如表1所示。

表1 径流控制体积监测分析结果

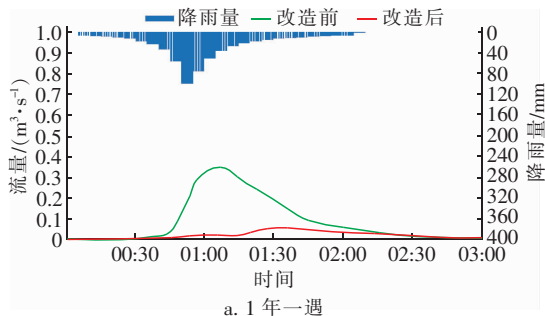
Tab. 1 Analysis of runoff control volume by monitoring

降雨事件	监测降雨量/mm	理论出流量/ m^3	监测出流量/ m^3	控制体积/ m^3	场次径流控制率/%
1	38.0	1 679.9	364.620	1 315.3	78.3
2	27.6	1 220.1	111.103	1 109.0	90.9
3	50.2	2 219.2	497.341	1 721.9	77.6

当降雨量接近或大于设计降雨量时,实际径流控制体积均高于目标值。

3.2 径流污染削减率评估

径流污染削减率评估采用典型年实测降雨、5 min 间隔降雨时间序列进行模拟分析,结果见表2。经模拟计算,TSS 削减率为62.88%。



a. 1年一遇

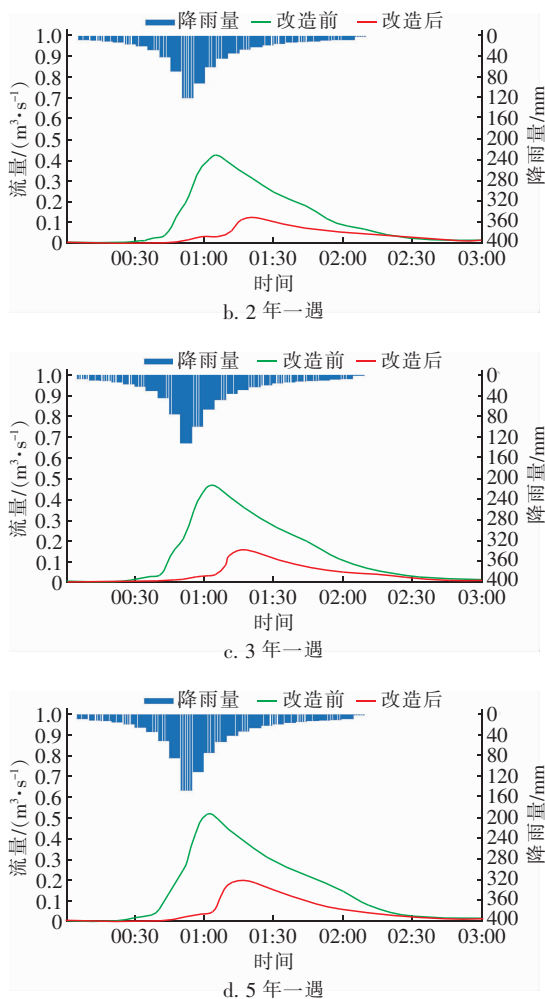


图9 海绵城市建设前后排口流量过程线

Fig.9 Outfall discharge hydrograph before and after sponge city construction

3.4 内涝积水评估

内涝积水评估采用长历时降雨事件进行模拟,重现期采用50年(见表3)。通过模拟分析,海绵城市改造后积水深度与积水面积都大幅降低,最大积水深度由0.31 m降至0.19 m,积水总面积由80 296 m²降至69 181 m²,积水时间<30 min。

表3 50年一遇的积水面积

Tab.3 Waterlogging area of $P=50$ a m²

项目	积水面积			
	$H \leq 5$ cm	$5 \text{ cm} < H \leq 10$ cm	$10 \text{ cm} < H \leq 15$ cm	$H > 15$ cm
改造前	55 797	20 256	3 981	262
改造后	50 159	16 292	2 652	78

4 结论

海绵城市项目建设效果的科学评估,关系到海

绵城市试点区的整体目标的达成。通过模型模拟对项目海绵城市建设效果进行评估,避免降雨随机性带来的影响,同时以在线监测数据对模型进行率定和验证,提高模拟结果的客观、准确性。通过模型与在线监测结合的方式评估项目建设效果,一方面保障项目建设的经济性和合理性,复核设计目标的达成;另一方面可以更有效地指导其他海绵城市项目的实施。

对宁波市某校园海绵城市建设试点项目进行分析评估,利用率定后的模型,在典型年降雨设计工况下,年径流总量控制率为79.2%,径流污染控制率为62.9%,均高于设计目标值75%、60%;对不同降雨强度进行短历时模拟分析,当重现期分别为1、2、3和5年时,径流峰值、峰现时间均得到有效控制;在重现期50年长降雨设计工况下,海绵城市改造后积水深度与积水面积都大幅降低。

通过全面构建海绵城市监测体系,针对单一低影响开发设施、地块低影响开发设施组合及汇水分区进行液位、流量、水质的多指标监测,结合模型模拟开展海绵城市建设效果的量化考核,有利于对海绵城市的建设项目进行全生命周期的管理和效果管控。

参考文献:

- [1] 宫永伟,刘超,李俊奇,等. 海绵城市建设主要目标的验收考核办法探讨[J]. 中国给水排水,2015,31(21):114-117.
Gong Yongwei, Liu Chao, Li Junqi, et al. Discussion on acceptance evaluation method of main objectives for sponge city construction[J]. China Water & Wastewater, 2015,31(21):114-117(in Chinese).
- [2] GB/T 51345—2018, 海绵城市建设评价标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
GB/T 51345—2018, Assessment Standard for Sponge City Construction Effect[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2018(in Chinese).
- [3] 郭效琛,杜鹏飞,辛克刚,等. 基于监测与模拟的海绵城市典型项目效果评估[J]. 中国给水排水,2019,35(11):130-134.
Guo Xiaochen, Du Pengfei, Xin Kegang, et al. Performance evaluation of typical projects in sponge city based on monitoring and simulation[J]. China Water & Wastewater,2019,35(11):130-134(in Chinese).

(下转第11页)