

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.018

# 基于 BIM 平台的海绵城市系统优化设计及评估

文 雅<sup>1</sup>, 孟依柯<sup>2</sup>, 汪传跃<sup>2</sup>, 陈蓉芳<sup>1</sup>

(1. 湖南城建职业技术学院 管理工程系, 湖南 湘潭 411101; 2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

**摘 要:** 针对现有海绵城市系统设施设计方法单一、集水排水性能评价方法缺失的问题, 依托上海市虹口区市政道路配套大修工程项目, 基于 BIM 技术平台, 设计优化了海绵城市系统设施三维模型, 构建了三维族库; 运用编程语言对 BIM 平台进行二次开发, 对建立的改良道路三维模型进行降雨模拟, 评估改良道路设施的集水排水能力; 并提出了基于 BIM 平台开发的海绵城市应急调控系统, 对上海虹口区城市易涝程度进行了模拟评价。研究表明: BIM 平台可通过三维族库指导海绵城市系统设施的标准化建设; 二次开发的 BIM 平台可对海绵城市系统设施的排水能力进行可视化模拟呈现, 并统计分析排水效果; 基于 BIM 技术的应急调控系统可评估城市易涝风险, 系统解决海绵城市雨洪控制、内涝风险等问题, 实现海绵城市绿色高效管理。

**关键词:** 海绵城市; BIM; 雨洪设施; 可视化; 应急调控

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0098-06

## Optimal Design and Assessment of Sponge City System Based on BIM

WEN Ya<sup>1</sup>, MENG Yi-ke<sup>2</sup>, WANG Chuan-yue<sup>2</sup>, CHEN Rong-fang<sup>1</sup>

(1. Department of Management Engineering, Hunan Urban Construction College, Xiangtan 411101, China; 2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The existing sponge city system has the problems including single facility design method and lack of evaluation method of water collection and drainage performance. Based on a municipal road overhaul project in Shanghai Hongkou District, a three-dimensional model of sponge city system facilities was designed and optimized, and a three-dimensional library was constructed through BIM technology platform. The BIM platform was secondary developed by using programming language, and rainfall simulation was carried out by the established three-dimensional model to evaluate the water collecting and drainage capacity of the improved road facilities. An emergency control system of sponge city was proposed based on BIM platform, and waterlogging degree of Hongkou District in Shanghai was simulated and evaluated. The BIM platform could guide the standardized construction of sponge city system facilities through the three-dimensional library. The secondary developed BIM platform could visualize and simulate the drainage capacity of the sponge city system facilities, and statistically analyze the drainage performance. The emergency control system based on BIM technology could assess the risk of

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(20C0338)

通信作者: 孟依柯 E-mail: mengyike@outlook.com

waterlogging in cities, systematically solve the problems of flood control and waterlogging risk in sponge cities, and realize green and efficient management of sponge cities.

**Key words:** sponge city; BIM; stormwater facilities; visualization; emergency control

## 1 BIM 技术在海绵城市中的运用与发展

鉴于海绵城市复杂的系统设施和高标准的效果要求, BIM 技术二次深度开发应用将有利于统筹海绵城市建设, 契合未来运维需求, 应用前景广阔<sup>[1]</sup>。钟凯等<sup>[2]</sup>分析了 BIM 在玉溪海绵城市建设中的地形建模、三维场布、三维样板等方面的应用; 高学琰等<sup>[3]</sup>提出了基于 BIM 技术的海绵城市三维可视化模型的创建、分类、集成方法并构建海绵城市 BIM 管控平台; 邓钟尉等<sup>[4]</sup>引用 BIM 技术进行城市地下工程排水内部结构优化设计。但现有研究大多利用 BIM 作为规划宏观效果分析、设计协同管理和施工进度管控的工具, 未能切实对海绵城市的设计、施工和运营进行科学化、参数化的指导, 对海绵城市系统设施的族库标准化构建、系统量化评估和创新研究不足。

笔者依托上海市虹口区市政道路配套大修工程项目, 基于 BIM 技术对海绵城市的市政配套设施进行三维优化设计, 并采用 Grasshopper (GH) 编程语言对平台进行二次开发, 对海绵城市的设施进行可视化、量化、应急调控模拟评估, 研究将有助于实现海绵城市设施建设标准化、规范化、参数化, 提高项目建设的信息化管控水平, 同时为设施的雨洪集水排水效果提供 BIM 技术评价方法与依据。

## 2 基于 BIM 对海绵城市系统设施的优化

海绵城市系统设施将向全面化雨水收集、生态化排泄储存和智能化调配利用发展, 未来的海绵城市系统设施将不局限于绿色屋顶、雨水花园等单一的集水利用, 还将包括地下给排水管网、下沉式绿地、生态滞留区等多种以 LID 为理念的城市元素集水群体。如何将复杂的海绵城市系统设施进行优化设计与合理施工是当前亟待解决的科学问题。

### 2.1 海绵城市传统设计方法的局限性

现有海绵城市系统市政给排水设施设计大多保留二维施工图的传统形式, 二维表达方式具有一定的局限性: ①可视性效果差。尤其当新型的海绵城市系统设施较为复杂时, 二维图纸表现较为抽象, 一般施工人员理解难度大。②协同性差。可能出现与现有管道或设施冲突、错位、碰撞或遗漏的情况而不

易被发现。③效率低下。由于设计缺陷或施工错误导致设计变更、重复施工等。④设计偏差。设计成果在信息传输接收过程中极易出现偏差甚至丢失现象, 设计成果无延续性、继承性。

### 2.2 海绵城市系统设施三维优化设计

针对传统二维设施设计的局限性, 基于 BIM 平台对海绵城市设施进行三维优化和改良, 可以通过构建族库的方法对区域合理分区, 实现高效规划, 通过虚拟视角对全域布置的合理性进行直观认识, 提高规划设计质量及施工效率。

以上海市虹口区市政道路配套大修工程项目的海绵城市道路排水集水设施为例, 传统的二维施工图中的设施包括下凹式绿化带、市政雨水管网、市政污水管网等, 不易直观体现设施的构造, 通常需多图层、多截面的形式展示实际结构布置和尺寸大小, 并且易与建筑、道路等出现施工碰撞等问题。

基于 BIM 平台对海绵城市系统设施进行三维优化设计可大大改善传统设计面临的困境。在概念设计阶段, 通过 BIM 平台可以绘制上海市虹口区市政改良道路集水设施的概念设计图, 如图 1 所示, 对道路、管线、城市下垫面等已知构筑物进行统一信息化数据库处理, 有效提高信息转化效率和准确率, 可联合多部门参与设计, 降低实际施工中的出错概率。在设施细化设计阶段, 通过 BIM 技术将道路排水集水设施的中央隔离带优化设计为下沉式绿地调蓄系统, 增设植物槽设计、人行道下倾斜面综合管廊设计和非机动车道隔离带两侧储水设计, 实现海绵城市净水储水、自循环用水、洪涝滞留等功能, 如图 2 所示。

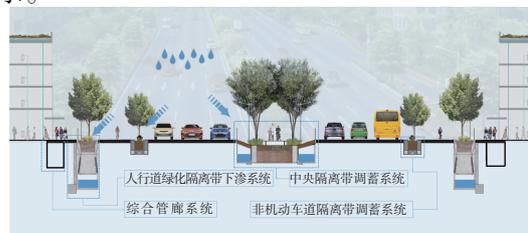


图 1 改良道路集水设施断面概念图

Fig. 1 Conceptual cross section of improved road catchment facilities



图 2 改良道路集水设施三维效果图

Fig. 2 3D rendering of improved road catchment facilities

在实现三维建模设计的基础上,可进行技术优化设计和施工图设计,并在模型中进行自动冲突检测及管线综合排布,实现三维优化设计,整体设计根据道路地形、设计要求、设施结构可进行适应性分析和修改,局部细节也可做增添、删减、转换、变形设计,高效解决设计变更的问题。BIM 的设计成果可以实现向传统二维施工图的直接转化(见图 3)。

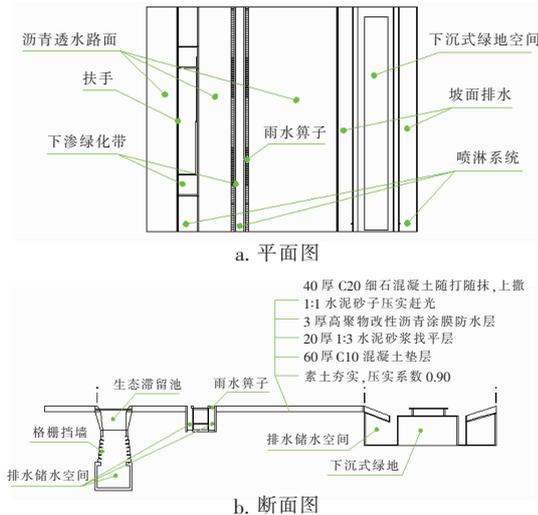


图 3 改良道路集水设施施工图

Fig. 3 Construction drawing of road catchment facilities

不同于传统绘制三视图的设计方法,基于 BIM 平台的优化设计方法可以实现三维模型向二维图纸的直接输出,极大地提高了出图效率,特别是针对部分细节的详图、剖面图,提高了绘图的准确度,降低了剖断绘制出错的概率。

### 2.3 海绵城市系统设施族库构建

为提高海绵城市建设的规范性、适应性,对 BIM 平台优化的设施设计模型进行拆解、分类、归纳、整合,建立了上海市虹口区市政道路集水设施族库(见图 4)。改良道路集水设施族库包括管道、孔洞、风机、阀门等,在实际项目的过程中,可以在族库中调用所需的构件,实现模型的高效建立。族库的建立可以为海绵城市系统建设提供一个规范化的设施云平台,实现优化设计资源的共享;因地制宜地使用族库内的构件,可以在 BIM 平台内建立满足实际项目需求多样性的设施模型。



图 4 改良道路集水设施族库

Fig. 4 Library of improved road catchment facilities

### 3 BIM 二次开发平台对设施优化性能评估

在 BIM 三维模型的基础上,通过 Grasshopper (GH) 编程语言对 BIM 平台进行二次开发,其算法逻辑图如图 5 所示。

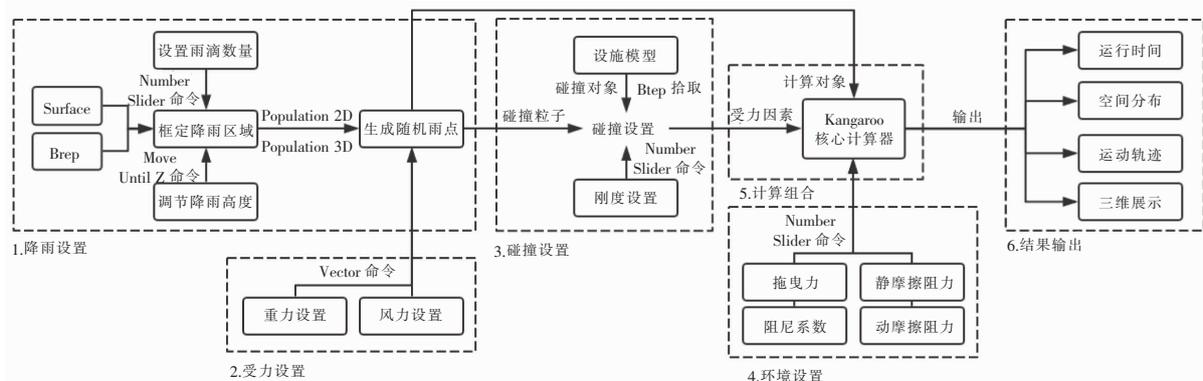


图 5 设施性能评价编程算法逻辑结构

Fig. 5 Programming algorithm logic structure diagram of facility performance evaluation

未来随着 BIM 平台的推广运用,面对繁多的海绵城市设施,如何高效地对设施进行集水排水性能评价,是研究面临的重要问题。将降雨过程中雨水的下落模拟为粒子降落,通过设置不同参数模拟评价不同暴雨强度下海绵城市设施的集水排水情况,并通过雨水降落汇集过程的统计数据,实现对设施性能的量化评估,以提供设计优化的依据和建议。

以上海市虹口区市政道路为研究模拟对象,模型尺寸与降雨布置如图 6 所示。模拟采用均匀雨型雨水分布、简化为一次性降雨。在 BIM 平台建立三维设施模型,在设施上方建立降雨粒子场,对设施进行降雨分析模拟,对雨点的分布进行统计。

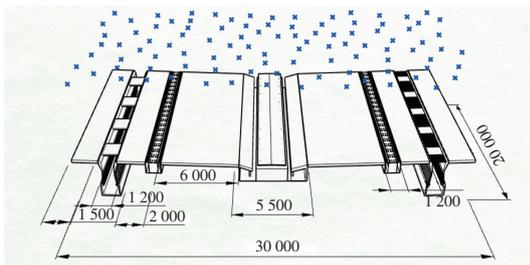


图 6 设施优化评价模拟布置

Fig. 6 Simulation layout of facility optimization evaluation

如图 7 所示,在模拟初期,部分雨滴粒子进入集水空间,大部分粒子在路面进行径流。当模拟时长达到 5 min 后,粒子运动状态如图 8 所示,大部分雨滴粒子汇入路间集水空间,实现海绵城市道路设施的净水储水、自循环用水、洪涝滞留等功能。经过 10 min 的降雨径流过程后,雨滴的空间分布位置统计结果显示:13%的粒子进入左侧人行道下倾斜面综合管廊,18%的粒子进入非机动车道隔离带两侧储水带,27%的粒子汇入下沉式绿地调蓄系统。由此可判断道路人行道绿化隔离带下渗系统的设计有效缓解了人行道路面积水。当粒子运动不再变化时,

观察粒子的滞留情况,对比分析粒子分布情况,可评价设施的排水集水性能、易集水区域等指标。

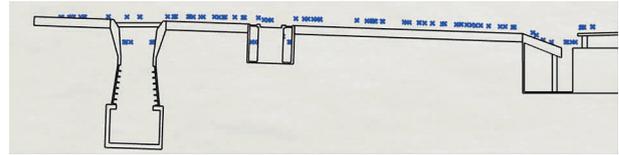


图 7 模拟初期设施结构断面图

Fig. 7 Section drawing of the initial facility structure simulation

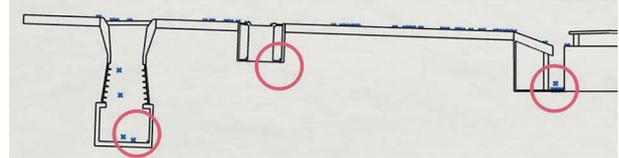


图 8 模拟终期设施结构断面图

Fig. 8 Section drawing of the final facility structure simulation

在现有的研究成果中,能够对海绵城市新型设施进行评价的方法罕见,海绵城市建设与发展面临着缺少标准化参数化设计评价方法的困境。通过上述模拟分析案例可以发现,本研究利用 GH 编程语言二次开发的 BIM 平台可模拟展示海绵城市系统设施在降雨条件下的工作过程,可视化地展示其集水排水的性能,量化评价其工作效果,具有较大的推广运用价值。

#### 4 基于 BIM 平台的海绵城市系统应急调控

在对设施进行优化设计的基础上,基于 BIM 平台开发的海绵城市系统应急调控功能逐步实现。BIM 平台构建城市地势、房屋、海绵城市设施、绿化、河道等多元素融合的仿真模型,通过 GH 编程语言对 BIM 平台进行二次开发,其算法逻辑图见图 9。首先模拟区域降雨条件,生成区域径流,再对径流进行统计分析,评估城市易涝风险等级,进行应急演练并提前灾害处置,实现海绵城市高效管理。

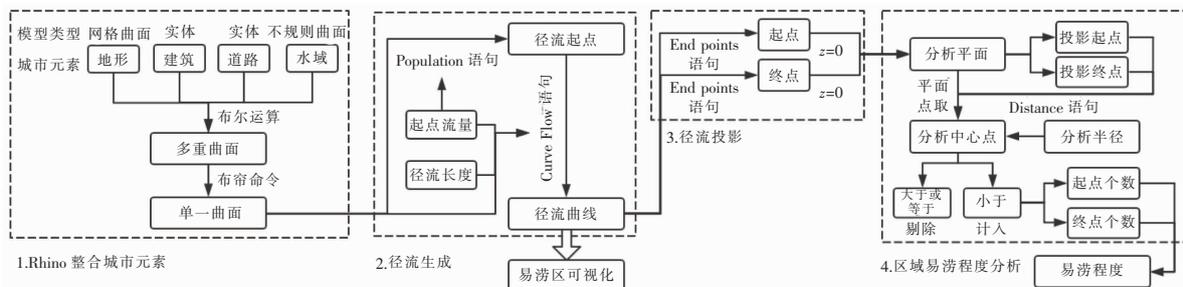


图 9 城市易涝风险编程算法逻辑结构

Fig. 9 Programming algorithm logic structure diagram of urban waterlogging risk

首先应用 BIM + GIS 技术,结合无人机倾斜测量技术,高效获取点云数据,高效建立三维模型,展示城市整体地形地貌、构建筑物。并对海绵城市的地下集水排水管网、城市绿地建设、地下调蓄设施等设施进行汇总、分类、统计。在实际降雨情况下,在 BIM 平台中实时监测并记录各区域积水和内涝情况,及时发现问题,实时实现内涝预警、水质预警、水位预警、仪表设备故障预警等功能,反馈直接结果供决策使用。同时,应用 BIM 平台模拟分析在不同降雨强度和条件下海绵城市的储蓄能力,得出局部区域易涝点并预警预报,与实际情况对比分析,优化平台参数,使其更接近真实情况,其模拟结果就可为不同雨洪情况提供不同应急方案,并在平台中开展应急模拟演练,以最小的代价查缺补漏。如在监测中出现局部内涝情况,则应用 BIM 平台统筹协调各系统联通和调度,实现排水管网调度、排涝泵站调度、调蓄池调度、防汛物资与人员调度,针对洪涝严重地区采取关键有效措施,在平台上模拟分析解决方案,系统解决区域洪涝灾害,减小排洪压力,实现城市雨水真正调蓄。

以上海市虹口区市政道路配套大修工程项目区域为概念模拟算例,对海绵城市的易涝区风险评价进行模拟。模拟区域总面积为  $0.856 \text{ km}^2$ ,区域内建筑数量为 220 个,绿地面积约为  $0.213 \text{ km}^2$ ,区域内有主干道 3 条,依托 BIM + GIS 技术建立城市区域三维模型,再通过编程语言对 BIM 平台二次开发,进行海绵城市雨水径流模拟,模型与模拟结果如图 10 所示。模拟通过在地形曲面随机生成粒子点,考虑重力作用,使其自由滚动以实现降雨径流模拟。通过设置随机点的布置、数量,可模拟不同雨型、雨量的降雨情况,应对海绵城市地域性差异大、考虑因素众多的特点,能够较为全面地对城市进行易涝区分析和风险分级。

在模型中定义分析区域内径流曲线的密度作为风险评价的衡量标准,曲线越密集则发生城市内涝的概率越大。模拟粗略地将量化标准定义为区域曲线数量与总径流曲线数量的比值,并根据比值大小划分城市的易涝风险,算例设置 0.08 为风险预警值,结果如图 11 所示。点 A 直径 300 m 内,径流曲线数量为 85 条,模拟的总径流曲线数量为 1 000 条,比值为 0.085,具有一定的内涝风险;点 B 比值为 0.121,内涝风险高于点 A。平台也可以评估任一

中心点的易涝指标,如点 C 比值为 0.002,风险较低。

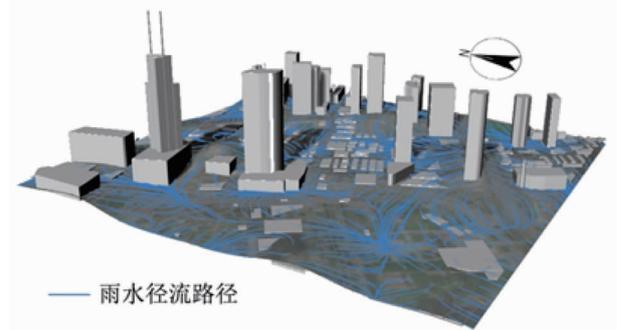


图 10 模拟区域径流图

Fig. 10 Runoff chart of simulated area

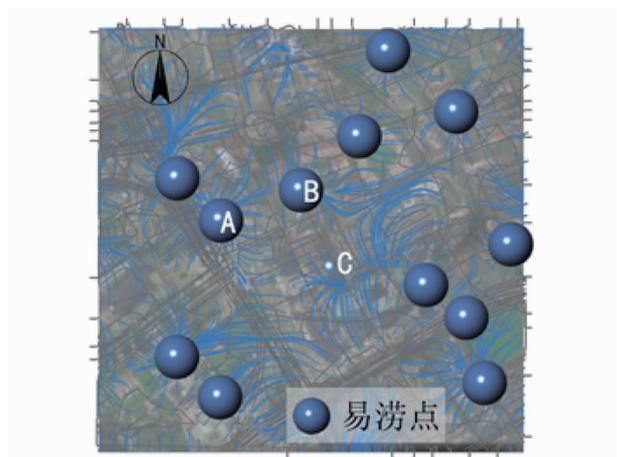


图 11 模拟区域中易涝点分布

Fig. 11 Waterlogging points in simulated area

现阶段针对海绵城市的应急调控研究还停留在监测层面<sup>[2-3]</sup>,通过监测数据对城市洪涝情况进行评估,评估后再进行设施补建等措施,调控措施不及时易造成较大的经济损失。也有学者对城市洪涝区域进行潜力评估与规划<sup>[4]</sup>,但也仅是通过经验设定参数等较为理想化的方法进行评估,无法将城市的地形、建筑等影响洪涝情况的因素考虑在内。

运用 GH 编程语言对 BIM 平台进行二次开发,构建海绵城市应急调控系统,可模拟城市在不同降雨条件下的径流情况,可视化地展示城市的洪涝情况,量化评价区域的易涝水平,提前做到洪涝预警,为海绵城市建设的设计、决策、评估、监测提供一个全周期、全方位的方法。在城市集水排水性能定量评价的基础上,系统强调总体布局 and 综合部署,有效分配资源利用资源,实现预警预报、应急预案演练、模拟分析解决方案、洪涝灾害应急处置等功能,具有深远的 application 前景。

## 5 结论与展望

针对现有的海绵城市系统设施设计方法的局限性,集水排水量化性能评估及应急调控方法缺失的问题,依托上海市虹口区市政道路配套大修工程项目,基于BIM平台,对海绵城市系统设施设计进行三维优化,构建了设施标准化族库,运用编程语言对BIM进行二次开发,对海绵城市系统设施集水排水能力进行量化评估,并研究了基于BIM平台的应急调控系统。研究表明:

① BIM平台可以有效提高海绵城市系统设施的设计效率与质量,三维直观展示成果,灵活调整设计细节与方案,构建完备的设施族库,指导海绵城市的规范化建设。

② 二次开发的BIM技术在海绵城市的应用可对设施的集水排水状态做到可视化地动态展呈,实现模拟评价系统设施的排水效能,有效提高规划设计质量、定量评估设施效果,提升设施设计的科学性。

③ 应急调控系统可实现实时监测、预警、模拟和分析,能够基于城市元素进行综合分析,实现城市易涝程度的量化对比分析,能有效处置内涝灾害,高效分配利用资源,真正实现海绵城市“吸水、储水、渗水、净水”效果。

未来海绵城市系统设施将更加全面化、系统化、协同化,在海绵城市建设中推广应用BIM技术实现全生命期的信息化已逐渐成为发展趋势。BIM技术在解决城市水资源统筹调配、城市内涝灾害及应急模拟处置等方面应用前景广阔,并将在海绵城市各项设施系统的优化改良,各地城市的设施规范化、标准化、智能化等方面大有作为。

### 参考文献:

[1] 周莹,杨彬. BIM技术解决海绵城市建设中存在问题

的可行性初探[J]. 粉煤灰综合利用,2017(3):61-63.

ZHOU Ying, YANG Bin. Feasibility study on solving problem of sponge city construction with BIM technology [J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2017(3):61-63 (in Chinese).

[2] 钟凯,肖林,王晓强,等. BIM技术在玉溪海绵城市建设中的应用[J]. 中国给水排水,2019,35(12):108-111.

ZHONG Kai, XIAO Lin, WANG Xiaoqiang, et al. Application of BIM technology in the construction of Yuxi sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(12):108-111 (in Chinese).

[3] 高学珑,陈奕,许乃星,等. 基于BIM的海绵城市规划建设运维管控关键技术研究[J]. 给水排水,2019,45(10):51-56.

GAO Xuelong, CHEN Yi, XU Naixing, et al. Research on key technology of sponge city life cycle management and control base on BIM [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(10):51-56 (in Chinese).

[4] 邓钟尉,古晓雯,周平,等. 城市洪涝潜力评估及地下工程排水系统研发[J]. 武汉大学学报,2017,50(6):887-894.

DENG Zhongwei, GU Xiaowen, ZHOU Ping, et al. Potential assessment of city flood-waterlogging and design of underground engineering drainage system [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2017, 50(6):887-894 (in Chinese).

作者简介:文雅(1987-),女,湖南长沙人,硕士,讲师,工程师,主要从事工程管理、BIM技术以及BIM管理等工作。

E-mail:wanya1001@yeah.net

收稿日期:2020-05-01

修回日期:2020-06-04

(编辑:孔红春)

绿水青山就是金山银山