

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.008

# 基于 BIM 的海绵城市运维三维可视化研究

许乃星

(福州市规划设计研究院集团有限公司, 福建 福州 350108)

**摘 要:** 针对现状基于二维图表的海绵城市管理平台存在难以直观展示、信息断层、工作效率低的问题,从海绵城市特点出发,详细剖析二维海绵城市管理平台的不足,结合 BIM 技术应用可行性分析,重点研究了 BIM 在海绵城市运维管理三维可视化实现过程中应用的关键技术要点,包括海绵 BIM 三维模型精准创建、设施维护改造与监控预警、水文涝情三维动态模拟展示等三方面。案例实践表明,BIM 技术有助于实现海绵城市运维管理的三维可视化,显著提升海绵城市运维精细化管控水平。

**关键词:** BIM 技术; 海绵城市; 运维管理; 三维可视化

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0048-05

## Research on 3D Visualization of Sponge City Operation and Maintenance Based on BIM

XU Nai-xing

(Fuzhou Planning & Design Research Institute Group Co. Ltd., Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** In view of the existing problems of sponge city management platform based on two-dimensional charts, such as difficulty in visual display, information gap and inefficiency, we analyzed the deficiency of two-dimensional sponge city management platform from the characteristics of sponge city. Combining with the feasibility analysis of BIM technology application, we mainly investigated three-dimensional visualization technology of sponge city operation and maintenance based on BIM. The technical points included three-dimensional model precise creation of sponge city, facility maintenance and reconstruction, monitor early-warning of facility, three-dimensional dynamic simulation of urban water logging. The case practice showed that BIM technology could achieve the three-dimensional visualization of sponge city operation and maintenance management, and promoted the fine management and control level of sponge city operation and maintenance.

**Key words:** BIM technology; sponge city; operation and maintenance management; 3D visualization

目前全国正在大力建设海绵城市,其综合性和复杂性均要求建设和运维过程中协调解决大量不同专业之间的冲突<sup>[1-3]</sup>。基于二维图表的管理平台存在难以直观展示、信息断层、工作效率低等问题,目前海绵城市运维三维可视化研究尚处于探索阶段,仅有少数智慧海绵城市建设运维系统或平台相关研究<sup>[4-6]</sup>,大多仍以 GIS、二维设计图纸、文字和电子

表格为依托,本质上依然属于传统二维海绵城市管理平台,缺乏对海绵城市三维可视化实现技术的相关研究,无法使海绵城市真正达到三维可视化运维。

为此,从二维化海绵城市运维管理存在的不足出发,详细分析 BIM 技术在海绵城市运维应用中的可行性,进一步研究如何应用 BIM 技术而实现三维可视化海绵城市运维管理。

## 1 二维海绵城市管理平台的不足

传统以二维地图为基础的管理平台,通常将管理对象简化为平面上的质点,在关联对象及其附加数据信息的基础上开发各类业务功能,信息在不同设计阶段及不同专业之间的传递会有损失。

### 1.1 平台信息平面抽象

二维海绵城市平台的可视化窗口是以考核指标为核心,提供海绵城市所有项目布局信息,并关联各项的平、立、剖面等图纸来表达设计信息。但是,海绵相关项目的布局表达是平面的描述,只能提供平面质点信息,无法进一步放大质点,呈现质点内部的构造情况,且二维图纸需要使用者自行思考三维结构。这种二维表达在信息记录及展示上缺乏直观性,难以将抽象的信息与具体项目进行关联分析。

### 1.2 平台信息更新困难

传统二维图纸关联性较差,冲突不易检查,变更设计后会造成许多相关图纸需要联动修改,需要大量人力投入以保障全部图纸修改到位;且施工现场临时修改海绵设施构件,或设施投入使用后出现损坏和维修,信息不一定会反馈并更新设计图纸,导致设施运维状态与设计图纸的偏差越来越大。信息未更新或更新不及时,都将导致海绵设施运维困难。

### 1.3 水文涝情二维显示

极端气候条件下的城市内涝情况是海绵城市运维决策的重要基础数据,二维平台只能通过地图平面描述水力模型模拟的城市内涝积水情况,无法立体直观展示城市内涝与地形起伏、管网等立体空间关系,以及积涝灾害动态演进过程和地物受灾情况,降低了风险管理及决策调度工作的效率。如二维平台对地形起伏采用等高线表达,无法立体直观地展示地形起伏;二维管线图纸无法表现管线之间上下起伏的空间关系,如与地面垂直的一段管线在平面图上只能以一个点及相应注记来表示。

## 2 BIM 在海绵城市管理中的应用可行性

### 2.1 BIM 技术的特性

BIM 技术通过面向对象方式,集成项目全生命周期中的数据,建立一个信息模型,表达了三维几何和各种属性等具有可计算及可复用特征的信息,可完整地描述工程项目。BIM 技术在海绵城市运维管理中具备以下显著特点:

① 三维可视性。BIM 技术改变了传统点线面等图元构成的工程图纸的信息表达缺陷,突破了以

CAD 等技术为代表的二维描述方式,提供了三维可视化思路,将工程项目以立体的实物图形进行展示。

② 信息关联性。BIM 包含了对项目全生命周期各个阶段信息的完整描述,且 BIM 技术中的对象可相互识别并关联。三维模型与各类信息存在映射关系,且会联动修改模型构件对象信息,更新效率高,可有效避免修改中遗漏、出错的现象,使工程项目记录形成一个有机的整体。

### 2.2 BIM 技术在海绵城市管理中的应用点

BIM 技术为“打开二维平面的质点”提供了解决思路,可将海绵城市运维管理的总体情况以三维立体的形式进行展现,有利于操作人员对现场情况进行充分把控,同时便于业主方、设计方、施工方等在交流协商过程中形象直观地进行讨论。

基于 BIM 构建的海绵城市模型可充分利用 BIM 技术横向、纵向信息整合的特点,将海绵城市规划建设中的规划、设计、施工和运维信息等规范汇编入 BIM 模型中,实现建设项目全生命周期信息的有效留存、各类信息的统计分析以及信息的快速查询。

将以上两点作为 BIM 技术管理平台的基础,通过纳入水文涝情模拟展示、对接海绵数据监测结果等,即可突破传统管理手段的多种局限,形成基于 BIM 的海绵城市三维可视化运维平台,由此延伸出 BIM 技术在海绵城市规划建设管理中的深度应用。

## 3 基于 BIM 的海绵城市运维三维可视化

实现海绵城市运维从二维至三维的突破,不仅仅是简单地将海绵设施从二维平面图转为三维模型,还应解决上述二维海绵城市运维平台的不足。真正实现海绵城市管控平台的三维突破及其应用,应首先创建海绵城市三维模型,在此基础上持续拓展海绵城市运维管理相关的海绵设施规划管控、建设管理、维护改造、监控预警、水文涝情三维动态模拟等功能。限于篇幅,着重对海绵城市三维模型的精准创建、海绵设施维护改造与监控预警、水文涝情三维动态模拟展示等三项关键性内容进行分析。

### 3.1 海绵城市三维模型精准创建

海绵 BIM 是实现海绵城市三维可视化的基础载体,创建需求明确、要素准确、信息达标、体量适合的海绵 BIM 至关重要。

① 海绵 BIM 创建需求。需要对片区内地形地势、坡向、坡度、粗糙度等进行三维立体表达,对海绵设施、雨污管线在空间中的纵横交错、上下起伏分

布进行三维描述,方可三维展示海绵相关的降雨汇流过程与汇水情况。

② 海绵 BIM 成果要求。基于构建的完整模型的三维立体剖切和空间漫游,从源头(雨水花园等 LID 设施)、过程(排水管网、调蓄池等设施)、末端(湖体、河道等),实现三维立体(地下+地上)直观可视化管理海绵设施的建设与运维,非常直观地查看海绵设施内部的构造及海绵跟踪指标(径流总量、SS 总量等)的演变过程,从而真正促使海绵设施三维可视化管控和海绵指标的三维跟踪。

③ 海绵 BIM 创建方法。首先应针对应用场景和区域对象,制定统一的 BIM 建模标准;其次,由于地形图、市政设施等所处坐标系可能存在差异,也应进行统一;第三,考虑到不同设施的建模需求与表现方式,为充分发挥不同 BIM 软件建模优势,建议采用针对性建模软件分别构建地形模型、管线模型、场景模型、海绵设施三维模型等相应要素 BIM 模型;最后,对各种要素模型进行标准化与集成,形成完整的海绵 BIM 三维立体模型。

④ 海绵设施 BIM 信息要求。应包括准确的几何图形及非几何属性信息,为海绵设施后期运维管理提供准确的信息。其中,几何图形信息包括 BIM 设施实体尺寸、形状、位置、颜色、二维表达等;非几何属性信息包括技术信息(材料与材质信息、技术参数等)、产品信息(供应商、生产日期、产品合格证等)、建造信息(施工单位、施工日期等)、运维养护信息(出现损坏的程度、日期、保养计划等)。

⑤ 海绵 BIM 轻量化方法。大量海绵设施 BIM 三维模型可能带来集成后的海绵城市整体模型体量较大和模型操作笨重缓慢的情况,因此建议采用以下轻量化方法:a. 从区域和设施两个层面进行分级建模,建议参照概念设计等级(LOD100)、近似几何等级(LOD200)、精确几何等级(LOD300)和加工制造等级(LOD400)等4个等级建模。其中,一般区域的建筑可参照 LOD200,重点区域的海绵设施则参照 LOD400。b. 采用分别单独显示的方法进行模型浏览,在建模初期对不同类型设施进行分类管理,加载模型时通过点选不同控件分开显示。c. 将海绵城市所在区域进行片区划分形成若干单元,每个片区单元链接精细化模型进行加载操作。

### 3.2 海绵设施维护改造与监控预警

通过上述创建,海绵 BIM 三维模型具备三维可

视化、联动性、参数化、信息化的特点。在后期的运维过程中,海绵设施一旦发生损坏,就可充分利用 BIM 模型包含的海绵设施的几何属性、物理和使用功能属性等全生命周期信息,直接对竣工验收的海绵 BIM 三维模型进行维护改造设计。设计人员可方便地对海绵设施相应的三维模型进行设计,而且通过剖切不同角度画面,可以生成相应的二维平面图纸以供特殊需求,还可根据设计需要进行场景及效果图的渲染。

最关键的是通过不同视角观察海绵设施,并进行完善修改,同一构件只需在模型中修改一次,不仅确保了改造设施图纸数据的正确性,而且可对周边设施进行一致性冲突检查,为海绵设施维护改造设计提供了极大便利。可视化模型会随着 BIM 改造设计而动态更新,并记录海绵设施全过程信息,为后期运维管理的信息化和智能化提供更完整的信息。

相对于海绵设施的设计、施工与改造等静态信息,其各自不同运行数据的采集、分析、监测、预警更是海绵城市管控平台的重要方面。通过不同海绵设施安装的监控设备与物联网系统,海绵城市管控平台可实现对区域内海绵设施的运行状态进行针对性的三维监测与安全预警。具体包括:①海绵设施运行过程中的相关监测数据、影像实时反馈至平台中对应监测点位的三维模型上(可对数据进行选择性存储),有助于实现“傻瓜式”运维监控;②平台可根据运维数据实现不同功能的需求模拟与分析,如计算降雨发生时海绵设施所削减的污染负荷、控制的水量,从而反映出该海绵设施的运行成效;③当个别设施监控数据超过警戒阈值时,平台将自动向相关维护人员的电脑或智能手机终端发出报警信息提醒,关联展示对应海绵设施三维模型的相关信息(包括报警区域发生的具体位置、设施结构及参数信息等),便于快速精确运维。

### 3.3 水文涝情三维动态模拟展示

区域的地形、坡向、坡度、粗糙度和海绵设施(下凹式绿地、调蓄池、雨污管线等)分布,是影响降雨汇流过程的主要因素。海绵城市 BIM 三维模型包括:地形模型对地面起伏的空间立体描述,管线模型对地下管线的纵横空间分布描述,海绵设施模型对径流量与污染控制的空间描述等,其有助于进行降雨涝情的三维模拟展示。

水文涝情三维动态模拟采用 ArcGIS、AutoCAD



和 MicroStation 等软件,根据精度需求,将水动力学模拟软件导出的不同时刻的水文模拟数据,通过同一套数据处理流程转换为统一的三维网格模型,并将之叠加在海绵城市地理空间 BIM 三维模型中,按降雨过程分别先后显示和隐藏不同时刻的水文三维网格模型,即可获得区域汇水演进过程和积水形成过程的三维动态展示。

由于该水文三维网格模型处于区域内地理海绵设施等三维空间中,可以三维展示内涝模拟过程和相应的海绵设施的联动作用。以环保式溢流雨水口结合下凹式绿地为例,该设施可用于削减部分雨水峰值,当使用三维模拟时有助于实现以下功能:①进行降雨条件下的雨水径流与内涝三维动态展示,高度逼真显示暴雨条件下的城市内涝淹没演进过程,帮助准确、多角度、动态地理解现场积水演进数据;②通过调整环保式溢流雨水口、下凹式绿地等海绵设施的尺寸设计,可便捷地精确改变相应的设施三维模型,三维立体化准确捕捉设施设计改变带来的周围积水变化,有助于从空间角度分析优化设施设计,提高设施设计建设质量;③进一步从大区域范围为水文调度与风险管理提供更加直接、有效的参考,促进海绵城市运维工作。

#### 4 案例实践

以福州国家海绵城市试点片区为例,进行基于 BIM 的海绵城市运维三维可视化实践。所选片区占地面积  $34.95 \text{ km}^2$ ,涵盖城市内涝、黑臭水体、城中村等海绵化重点改造区域,具备典型示范作用。

##### 4.1 海绵城市三维模型创建与可视化

基于海绵城市规划数据、GIS 数据、地形 DEM 数据、卫星地图、海绵设施设计图纸等,以 BIM 技术创建完整的海绵城市三维模型。以地形模型为例,采用 Civil 3D 软件对 dwg 地形数据文件使用多种不同的样式(如等高线或坡度分析)来显示地形曲面(见图 1),以密集的地形模型点坐标表达地面形态,数据以三角网模式来存储和操作。对于区域内的普通建(构)筑、桥梁等,几何图形信息采用 LOD200 级建模,即体现建(构)筑物近似的数量、大小、形状、位置和方向;对于下凹式绿地、河道驳岸、雨水管等海绵相关设施,视情况采用 LOD300、LOD400 级建模,包含精确尺寸、位置、方向等数据,可进行较为详细的分析及模拟(如碰撞检查、流程模拟等)。区域场景模型构建见图 2。

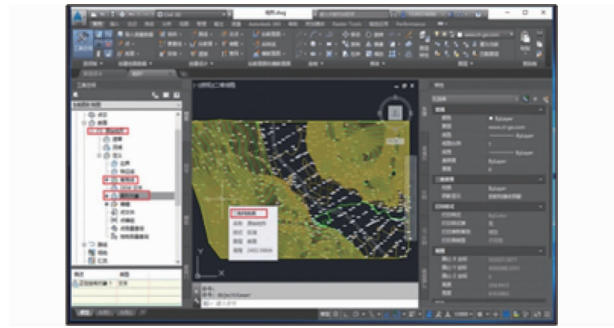


图 1 区域地形曲面生成操作

Fig. 1 Surface generation operation for area topography

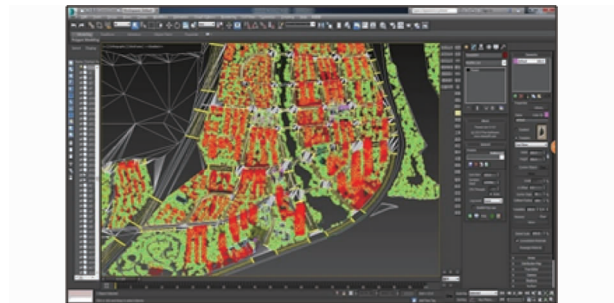


图 2 区域场景模型构建示意

Fig. 2 Schematic diagram of the regional scenario model

所建三维模型涵盖二维地图所能提供的空间点位信息,可提供直观、高效的三维图件,帮助用户直观、迅速、准确、多角度、动态地理解海绵规划、建设、运维情况。BIM 三维模型可根据需求,提供海绵设施、周边建筑、河道、道路的信息及虚化地形显示地下管网等信息,并可进行三维立体剖切和空间漫游。基于 BIM 技术的海绵城市三维模型创建成果见图 3。

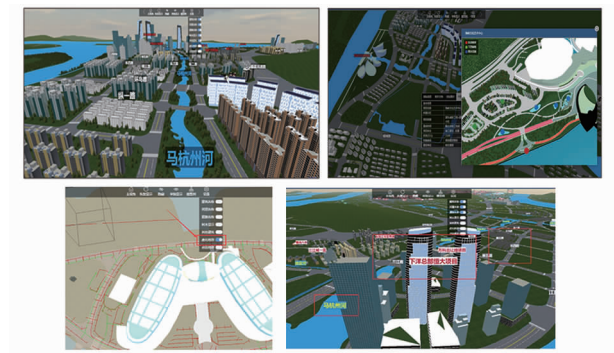


图 3 基于 BIM 技术的海绵城市三维模型创建成果

Fig. 3 3D model creation of sponge city based on BIM technology

##### 4.2 水文涝情三维动态模拟展示

在上述完整的海绵城市三维模型基础上,导入水动力学模拟数据(含降雨历时过程信息和对应的积水数据等),即融合了 GIS 信息、地形 DEM 数据、

海绵设施 BIM 模型、水动力学模拟数据,形成高精度城市内涝三维动态展示模型。

根据具体需求进行不同区域的内涝积水三维动态展示,通过三维剖切和空间漫游等功能,可直观感受体验内涝积水情况;通过放大单个重要节点区域,可三维动态观察该节点在降雨发生后的具体积水变化情况。通过调整不同海绵设施的设计尺寸,可三维化准确捕捉设施尺寸改变带来的周围积水与径流变化,实现内涝模拟过程和相应海绵设施的联动作用三维展示。基于 BIM 技术的宏观层面和重要地点内涝积水三维动态展示分别见图 4、5。

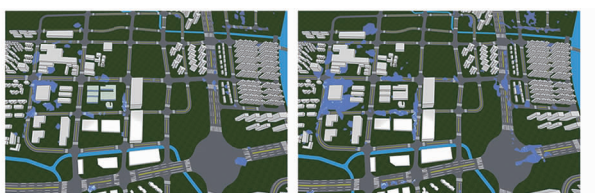


图4 基于 BIM 技术的宏观层面内涝积水三维动态展示  
Fig.4 Three-dimensional dynamic display of waterlogging in the macro-level based on BIM technology

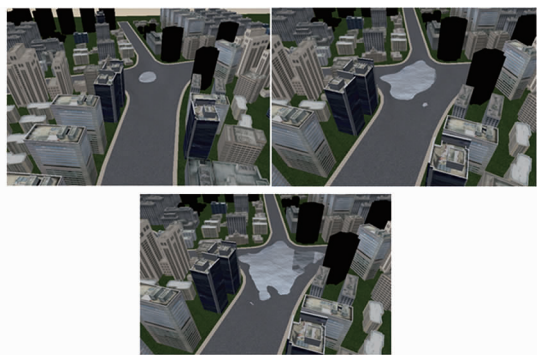


图5 基于 BIM 技术的重要地点内涝积水三维动态展示  
Fig.5 Three-dimensional dynamic display of waterlogging in important location based on BIM technology

## 5 结语

针对传统二维措施无法直观、有效地统筹海绵城市系统化运维管理工作,探讨了 BIM 技术在实现海绵城市运维三维可视化的关键应用要点,并以实际工程应用进行了实践。结果表明,BIM 技术有助于真正实现海绵城市运维的三维可视化,有利于提高海绵运维精细化管理水平。

## 参考文献:

[1] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等. “海绵城市”理论与实践[J].

城市规划,2015,39(6):26-36.

YU Kongjian, LI Dihua, YUAN Hong, *et al.* “Sponge city”: theory and practice [J]. City Planning Review, 2015, 39(6): 26-36 (in Chinese).

[2] 谭木魁,张南. 中国海绵城市建设现状评估——以中国 16 个海绵城市为例[J]. 城市问题,2016(6):98-103.

TAN Shukui, ZHANG Nan. Assessment of sponge city construction in China: a case study of 16 sponge cities [J]. Urban Problems, 2016(6): 98-103 (in Chinese).

[3] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等. 中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J]. 中国软科学,2016(1):79-97.

WU Danjie, ZHAN Shengze, LI Youhua, *et al.* New trends and practical research on the sponge cities with Chinese characteristics [J]. China Soft Science, 2016(1): 79-97 (in Chinese).

[4] 杨莉,王红武,胡坚,等. 镇江市基于信息化技术的海绵城市智慧监管系统研究[J]. 中国给水排水,2018,34(10):7-10.

YANG Li, WANG Hongwu, HU Jian, *et al.* Design of intelligent monitoring and management system of sponge city based on information technology in Zhenjiang City [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10): 7-10 (in Chinese).

[5] 吴连丰. 厦门市海绵城市管控平台的探索与实践[J]. 给水排水,2018,44(11):117-122.

WU Lianfeng. Exploration and practice of sponge city management and control platform in Xiamen [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(11): 117-122 (in Chinese).

[6] 苏锋. BIM 技术在小寨海绵城市全生命周期工程建设应用[J]. 水利规划与设计,2018(2):19-22,44.

SU Feng. Application of BIM technology in construction of whole life cycle project in Xiaozhai sponge city [J]. Water Resources Planning and Design, 2018(2): 19-22, 44 (in Chinese).

作者简介:许乃星(1986-),男,福建宁德人,硕士,高级工程师,主要从事城市规划与设计、BIM 技术应用与研发工作。

E-mail: 551909096@qq.com

收稿日期:2019-06-27

修回日期:2019-08-21

(编辑:丁彩娟)