

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.012

# 基于OpenBIM赋能全地下污水厂数字孪生建设

袁 健

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要:** 为保障建设工程提质增效和绿色生态,有必要研究OpenBIM技术路线在全封闭式与全地下式污水处理厂的全生命期应用模式。以深圳市埔地吓水质净化厂三期工程为例,提出了OpenBIM技术路线,即基于开放的标准和透明的工作流程,以OpenBIM数据组织为核心,BIM设计软件为辅助,数字化平台为工具,促进工程设计、施工和运营各专业的协同合作,通过集成与综合有效处理工程中的复杂问题,解决工程难点和堵点,为实现全地下污水处理厂全要素数字孪生建设提供技术支撑。

**关键词:** OpenBIM; 地下污水处理厂; 数字孪生; 全生命期

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0070-05

## Digital Twin Construction of Underground Sewage Treatment Plant Assisted by OpenBIM

YUAN Jian

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** It is necessary to investigate the application mode of OpenBIM technology route in the whole life cycle of fully enclosed and underground sewage treatment plant, so as to ensure the improvement of quality and efficiency of construction projects and green ecology. The OpenBIM technology route based on open standards and transparent workflow was proposed and applied in the phase III project of Shenzhen Pudixia sewage treatment plant. The system promoted the cooperation among engineering design, construction and operation majors, effectively solved the complex engineering problems through integration and synthesis, improved the engineering difficulties and blocked points with OpenBIM data organization as the key technology, BIM design software as the assistant and digital platform as the tool, which provided technical support for the realization of all-element digital twin construction of underground sewage treatment plants.

**Key words:** OpenBIM; underground sewage treatment plant; digital twin; whole life cycle

随着污水处理厂建设理念的发展和提质增效要求的提升,越来越多的新建污水处理厂采用全封闭式或全地下式、集约式设计<sup>[1]</sup>。而集约化设计和受限的用地条件,以及复杂的工艺流程,使得项目在设计、施工、运营各个阶段均面临巨大的挑战。

OpenBIM是由国际组织BUILDING SMART提出,基于开放的标准和透明的工作流程,促进建筑

设计、施工和运营各专业协同合作的一种通用技术路线<sup>[2]</sup>。OpenBIM倡议将开放式协作提升到战略层面,以减少协同错误,提高项目质量,构建多元化、易协调的建设项目。在建筑全生命期中,OpenBIM使所有项目参与方都能通过IFC(Industry Foundation Classes,工业基础类)<sup>[3]</sup>开放的数据格式进行信息共享,从而确保各参与方都能不错、高效地合作,改善

建筑业生产效率低下的现状。

深圳市埔地吓水质净化厂采用OpenBIM技术路线,较好地解决了设计、施工、运营三阶段的各项难点。设计阶段,减少了协同错误,提高设计软件间的互操作性,保证多方协作的高效性和准确性;施工阶段,基于ISO 19650系列标准,对进度、质量、安全等进行协同管理,精准把控施工过程;运营阶段,通过打造多维度系统管控平台,为生产运营中数据及业务提供了可视化场景支撑,助力运维智慧化管理。

## 1 项目概况

深圳市埔地吓水质净化厂三期工程位于深圳市龙岗区南湾街道丹平路以西、红棉路以南、西沙河以东,占地面积 $1.95\text{ hm}^2$ ,工程服务范围主要为水官高速以南区域,总服务面积约 $9.6\text{ km}^2$ 。工程设计总规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数 $K_z=1.5$ ,采用全地下形式建设。

本项目采用以Revit为主体格式、多种BIM软件模块集成、数字业务协同导向、平台轻量化管控的数字化实施模式,同时提出“一套模型,一个数字底板”的工程数字孪生模型体系。模型从建设要素出发,包括设计阶段、施工阶段,覆盖全专业、全体量,采用“智慧运维、工艺主导、设备先行”的模型搭建理念,奠定本工程迈向全生命期的智慧水务数字基础。

与传统的市政污水厂项目不同,本项目为全地下箱体设计,施工地块地势高差大且面积小,运维标准要求高。为应对此项挑战,项目借助创新的OpenBIM技术路线进行了高度集约的布局设计、安全高效的性能分析、全面精准的施工管控和安全低碳的数字化运维。项目效果图见图1。



图1 项目效果图

Fig.1 Project rendering

## 2 全地下污水处理厂数字孪生建设

### 2.1 项目难点

#### 2.1.1 高度集约设计

与传统的分散布局占地大、具有众多灰色地上处理设施、敞开的水处理池体影响周边环境的地上式污水处理厂不同,该项目是水务工程领域中布局形式创新应用的典范,处理设施从地上全部转移到地下,红线内地块狭小,20多个处理单元、1 600多台设备、150多公里管线集合于平面为 $132\text{ m}\times 94\text{ m}$ 、深为 $17.3\text{ m}$ 的全地下箱体内部(见图2)。因此,必须进行高度集约的布局设计,力求最大限度地节约城市用地,减少对周边环境的影响。

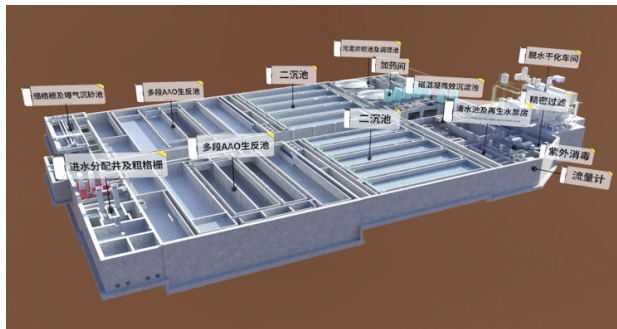


图2 全地下箱体结构

Fig.2 All underground box structure

#### 2.1.2 全地下厂站,施工要求高

本工程所在区域地形条件比较复杂,北侧和东侧为河道,南侧为山地,红线范围内主要由两个高差约 $10\text{ m}$ 的平整地块组成。污水处理构筑物采用集约式一体化箱体布置形式,底板面积大,单次浇筑的混凝土体积大,地下箱体基坑面积大、深度达 $19.2\text{ m}$ ,深基坑施工防坍塌及确保基坑稳定是本工程的重点和难点。

此外,根据深圳市《关于加强建设工程安全文明施工标准化管理的若干规定》(深建规〔2018〕5号)、《深圳市建设工程安全文明施工标准》(SJG—46—2018)等文件,本项目对智慧工地建设提出高标准要求。项目在实施过程中需加强防尘降噪、环境保护,避免二次污染,将施工环境影响降到最低;同时需加强施工过程中的安全保障、人员管理以及水、电监测等管控。

#### 2.1.3 运维标准严格,绿色生态要求高

本项目对城市运维标准要求高。采用“集约化、低碳化、人性化、智慧化”的绿色生态理念,工程



投运后要求实现深圳区域最严格的水质标准,除臭排放达到厂界一级标准,实现少人化、无人化管理,对实现建设粤港澳大湾区水务标杆战略目标、切实保护城市水环境具有非常重要的意义。

## 2.2 OpenBIM 技术路线的应用

### 2.2.1 OpenBIM 标准体系研究

本项目在设计、施工、运维阶段均以 OpenBIM 标准体系为指导。设计阶段,在建立模型和模型可视化的基础上,通过对 OpenBIM 标准体系的研究,将 OpenBIM 标准扩展应用到能耗分析、能源仿真、模型信息查询和评估领域。施工阶段,OpenBIM 有力促进了不同软件之间的协同、交互,使项目参与方均能参与到项目全生命期中,相关标准体系有效用于施工进度管理、施工质量检查、施工成本估算等多个领域。运维阶段,OpenBIM 标准体系为设备管理等操作提供了良好的交互性基础,解决了对多方面信息需求的问题。

### 2.2.2 OpenBIM 数据标准保障多源数据融合

OpenBIM 作为信息交换的统一标准可以满足不同软件之间信息交互的需求,提高协作的效率和准确性。本项目采用 OpenBIM 理念,有效解决了多源数据融合问题。高度集约设计、复杂的施工条件和严格的生产要求对项目建设提出新的挑战,为了提高建设工程标准,需要多软件协同达到专业化及多样化功能要求,在这一过程中以 OpenBIM 数据底层架构开展多源数据融合应用。例如,利用 Autodesk Revit 导出 IFC 格式文件,一方面,以 IFC 开展数据传递与交换,面向数据对象开展多软件协同化应用;另一方面,基于 IFC 和 CityGML<sup>[4]</sup> 标准将 IFC 与 GIS 通过数据对象映射进行融合。

### 2.2.3 OpenBIM 数据集成与协同

本项目应用软件包括 Autodesk 系列软件(Revit、Navisworks、3ds Max、Infraworks、AutoCad、CIVIL 3D、Formit)、BioWin、Unity、Fuzor、Lumion 等,以及上海市政总院自主研发的施工协同管理平台 SMED-CBIM2.0。项目采用 Autodesk Revit 进行多专业三维模型设计,以 BioWin 进行工艺模拟,以 3ds Max 实现施工专项方案模拟,以 Infraworks 进行地形模型设计,以 Navisworks 实现多专业碰撞检查,以 Fuzor、Unity、Lumion 实现模型的渲染、漫游和可视化浏览功能。

OpenBIM 数据集成与协同、优化高度集约设计

借助 CIVIL 3D 将地理空间 GIS 数据集集成到 BIM 设计模型,实现场地环境设计分析,如图 3 所示。利用 Formit 实现多专业设计方案快速比选,导入 Revit 中进行全专业深化设计。设计成果以 FBX 文件格式在 Navisworks 中集成整合,进行管线综合分析,经过校验的高质量 BIM 模型可完成施工图出图,实现多专业协同设计(见图 4)。最终,形成协调合理的高度集约化布局设计成果。

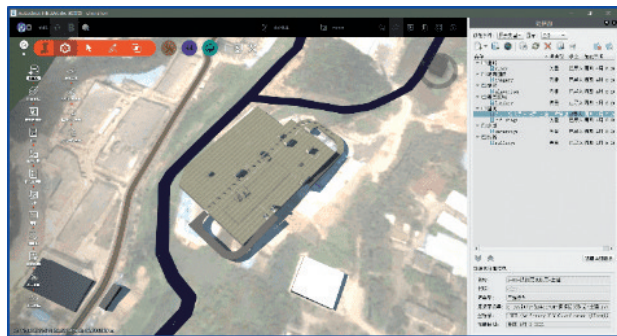


图3 BIM+GIS 应用

Fig.3 BIM+GIS application

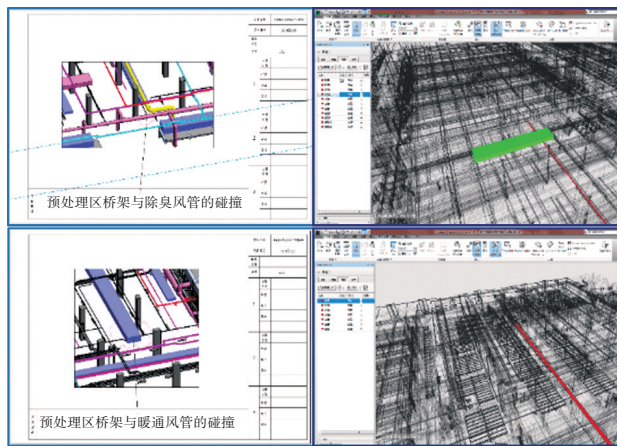


图4 多专业协同设计

Fig.4 Multi-discipline collaborative design

### 2.2.4 模型数据交付与交换

面对高度集约布置带来的工艺流态复杂、照明能耗费用高、臭气扩散影响大等一系列挑战,工程利用 BIM 模型进行性能仿真分析,保障工程设计安全、高效。

本项目采用标准化信息模板,进行高效率性能参数数据交换。通过照明采光分析,确定采用自然采光和人工照明相结合的照明方案,以达到节能的目的。利用 Pathfinder 模拟人员疏散情况(见图 5),合理安排地下空间的安全出口。利用 Autodesk CFD 进行臭气仿真分析(见图 6),计算臭气收集量的均

匀性和流场平衡。通过BioWin进行水处理工艺模拟,验证出水水质是否满足深圳最严标准。此外,利用PKPM软件精确分析验证结构方案,确保其安全可靠。通过BIM+智慧化切实提升设计质量,助力工程全生命期精细化管理。

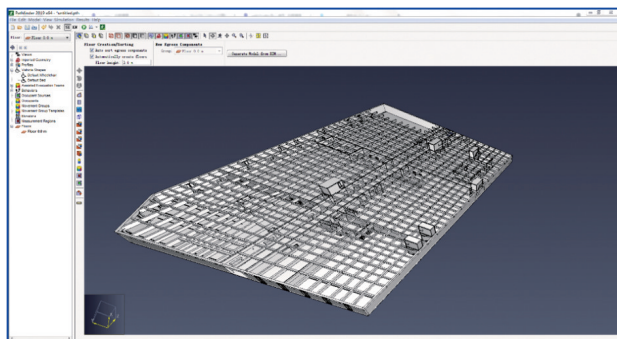


图5 人员疏散模拟

Fig.5 Personnel evacuation simulation

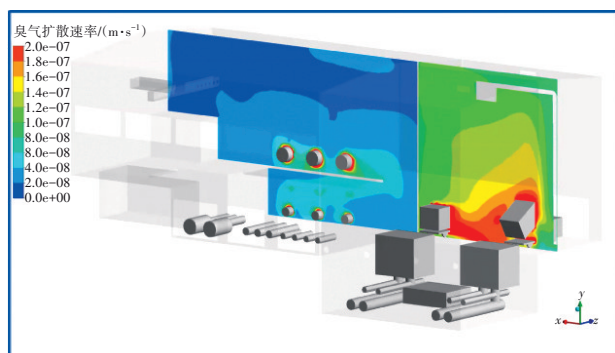


图6 臭气分析模拟

Fig.6 Odor analysis simulation

### 2.2.5 OpenBIM标准体系保障精准施工管控

为提高建设阶段管理协同效率,项目基于ISO 19650系列标准<sup>[5]</sup>中的信息管理要求和流程,利用SMEDI-CBIM平台对施工现场进行协同管理,助力全面精准的施工管控。

通过自主研发的Revit插件,将轻量化处理后的模型导入平台,进行模型展示,实现模型、信息关联。BIM平台驾驶舱(见图7)从各个维度统计了项目信息,可形象化展示项目进度、质量、安全、投资、智慧工地等数据。进度方面,结合计划,模拟构筑物的建造全过程;现场安全方面,安全看板与现场监测设备数据实时同步,将安全监控与模型对接,实现全天监管,保障项目安全生产;质量方面,利用网页端和移动端进行质量管理,将施工文件分类归档,便于追本溯源;设备管理方面,通过打造项目产

品库,将设备模型与设备信息绑定,进行设备全生命期精准管控。

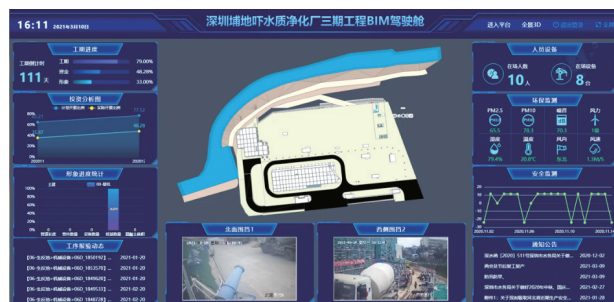


图7 基于OpenBIM的平台化数字驾驶舱

Fig.7 Platform digital cockpit based on OpenBIM

### 2.2.6 OpenBIM数据融合构建绿色智慧工地

结合深圳市进一步推进建设工程智能监管平台工作的要求,工程开展了基于SMEDI-CBIM平台的智慧工地建设。基于智慧工地硬件数据集成和数据交换协议,利用IoT、5G、大数据对工程建设中的人员、机械设备、物料、法则、环境动态信息进行自动采集,通过智能预判,实现施工全过程的一网统管。

以Omniclass为基础,通过构建智慧工地全对象统一的OpenBIM分类和编码,对工程进行精确设计和模拟,围绕施工过程建立信息化生态圈,挖掘分析工程信息数据,提供过程趋势预测及预案,实现工程可视化智能管理,以提高工程管理信息化水平,从而实现绿色建造和生态建造,达到智慧工地的要求。

### 2.2.7 基于OpenBIM标准化流程的数字化交付

本项目实现了全生命期OpenBIM技术应用,设计阶段对模型及应用成果进行集成,施工阶段对模型资源管理、标准库维护、平台一体化管理等成果进行整合,并将施工阶段模型信息及成果应用于运维阶段,实现工程建设全阶段数字存档与交付。

### 2.2.8 OpenBIM理念赋能安全低碳的数字化运维

依托设计和施工阶段的BIM+智慧化技术应用路线,将通用数据存储IFC格式、标准模型分类编码、数据和信息的标识与编码、数据交付模板等符合COBie标准的属性数据<sup>[6]</sup>,统一为数字化交付,形成运维平台数字底座,在运营阶段设计采用智慧化、精细化手段,从而满足安全低碳的运维要求。本工程定制了一套智慧化的水质净化厂整体运维解决方案,通过打造多维度系统管控平台(见图8),



为生产运营中的数据及业务提供可视化场景支撑,助力运维智慧化管理。



图8 智慧运维平台的OpenBIM数字底座

Fig.8 OpenBIM digital base of intelligent operation and maintenance platform

### 3 结论与展望

#### 3.1 结论

本项目基于开放的标准和透明的工作流程的工作模式,促进了设计环节各专业各部门间的协同合作,衔接设计与施工模型,助力设计施工一体化,实现了建(构)筑物全生命期中各个阶段内以及各阶段之间的信息交换和共享。构建基于OpenBIM的数字化平台,以平台化承载工程基础数据、业务流程,网联与物联工程实体、仿真预判结果、智能数字信息,反馈实测数据等,通过多源异构数据融合与业务数字化集成应用形成数字孪生体,达到工程实体与数字对象的“信息交互”,进而实现全地下污水处理厂全要素数字孪生建设的成果。

#### 3.2 展望

随着各领域工程数字化、平台化、智慧化的发展,以OpenBIM技术路线促进工程业务大数据应用反馈数字孪生建设,仍需完善与深化以下方面:

① 增强通用存储格式对基础设施领域的支持。统一通用数据存储标准,强化多厂站、多系统的全要素数字化数据融合。

② 以业务应用专业功能为导向,增强OpenBIM技术路线在各软件中的工具性适配,以更好地支持OpenBIM技术路线落地应用和实现集成数字交付目标。

③ 以OpenBIM技术路线为底座,打造工程数字化数据核心,研发OpenBIM与GIS、IoT、激光扫

描、云计算、AI等其他信息技术融合,实现厂站数字孪生与智慧化建设。

#### 参考文献:

- [1] 邱维. 地下污水处理厂的适应性探讨[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8): 26-31.  
QIU Wei. Adaptability of underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 26-31(in Chinese).
- [2] BUILDING SMART. Technical vision [EB/OL]. (2018-04-10) [2018-04-10]. <https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>.
- [3] 陈立春, 赖华辉, 邓雪原, 等. IFC标准领域层实体扩展方法研究[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 282-288.  
CHEN Lichun, LAI Huahui, DENG Xueyuan, et al. Study on the method of expanding entities of domain layer of IFC standard [J]. Journal of Graphics, 2015, 36(2): 282-288(in Chinese).
- [4] 卢勇东, 庄典, 金星, 等. 基于IFC与CityGML标准的BIM-GIS集成技术研究[J]. 工程建设, 2021, 53(7): 6-11.  
LU Yongdong, ZHUANG Dian, JIN Xing, et al. Research on BIM-GIS integration technology based on IFC and CityGML standards [J]. Engineering Construction, 2021, 53(7): 6-11(in Chinese).
- [5] SHILLCOCK P, 曹春莉. 最新BIM国际标准——ISO 19650标准简介[J]. 土木建筑工程信息技术, 2019, 11(3): 134-138.  
SHILLCOCK P, CAO Chunli. Brief introduction of ISO 19650 series—the latest international standard for BIM [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2019, 11(3): 134-138 (in Chinese).
- [6] WILLIAM B. BuildingSMART with COBIE: the construction operations building information exchange [EB/OL]. (2006-10-31) [2023-02-20]. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=77f2256dfd0fc80357206176f6add161c342877e>.

作者简介: 袁健(1992-), 男, 湖北潜江人, 硕士, 工程师, 主要从事市政工程数字化工作。

E-mail: wy4005200@126.com

收稿日期: 2023-02-03

修回日期: 2023-03-10

(编辑: 沈靖怡)