



# 桶式基础防波堤结构设计与施工 BIM 应用

陆晶晶, 徐传超

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对桶式基础结构设计与施工数字一体化的问题, 开展 BIM 技术在桶式结构设计与施工中的应用研究。以连云港徐圩港区 4 区围堤工程为背景, 结合桶式基础结构设计规范, 依托 BIM 技术, 将桶式结构防波堤设计与结构计算相结合, 给出了桶式结构族库构建和桶体结构 BIM 设计及扩展应用方法。基于该方法, 开发了桶式基础结构 BIM 设计计算一体化软件, 提出基于 BIM 设计成果的设计与施工衔接交互方法以及桶式基础结构施工安装监测可视化方法。提高了桶式基础防波堤结构设计与施工的质量和效率, 为新型装配式桶式基础结构的推广奠定了基础。

**关键词:** 桶式基础防波堤; BIM 设计; BIM 施工

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)07-0223-07

## Application of BIM technology in structure design and construction of bucket foundation breakwater

LU Jing-jing, XU Chuan-chao

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of digital integration of bucket foundation structure design and construction, the application of BIM technology in the design and construction of bucket foundation structure is studied. In this paper, based on the breakwater project of District 4 in Xuwei Port District of Lianyungang City, combined with the design specification of bucket foundation structure and relying on BIM technology, the bucket structure breakwater design and structural calculation are combined, and the bucket structure family library construction and bucket structure are given. Based on the method, the integrated software for BIM design and calculation of bucket foundation structure are developed, and the design and construction connection interaction method based on BIM design results and the visualization method of bucket foundation structure construction and installation monitoring are proposed. It improves the quality and efficiency of the design and construction of the bucket foundation breakwater structure, and lays the foundation for the promotion of the new prefabricated bucket base.

**Keywords:** bucket foundation breakwater; BIM design; BIM construction

桶式基础结构是水运工程防波堤的一种新型装配式结构<sup>[1]</sup>, 主要适用于淤泥质海岸, 技术难度大、科技含量高, 目前已成功应用于连云港徐圩港区 4 区围堤工程, 正在舟山绿色石化基地等工程进行前期推广。桶式结构具有预制装配程度

高、施工精度要求高的特点, 具备基于 BIM 的数字化全生命周期应用的优势。

BIM 是融合了信息技术与工程技术的建筑信息模型技术<sup>[2]</sup>, 国家从“十三五”以来开始在工程建设行业大力推广 BIM 数字化技术的应用, 目

收稿日期: 2021-11-22

作者简介: 陆晶晶(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事工程数字化设计咨询、基于 BIM 的工程数字化技术研究及成果转化等工作。

前已在城市、桥隧、公路、水运等多个行业积累了一定的应用成果。“十四五”开局之年，国务院各部委、地方也陆续发起了一系列关于“数字化转型伙伴行动”的倡议。

在工程建设行业全面数字化转型的背景下，按照“科研为工程服务”的宗旨和“工程实践—理论研究—再工程实践”的理念<sup>[3]</sup>，本文以连云港徐圩港区 4 区围堤工程为试点，通过 BIM 数字化技术在桶式基础结构设计、施工中应用的研究，将 BIM 技术与新型桶式基础结构设计施工相结合，实现了 BIM 数字化技术在桶式基础结构设计、施工全生命周期应用的贯穿，为新型装配式桶式基础结构的推广提供了数字化技术支持。

## 1 工程背景

4 区围堤工程位于连云港徐圩港区六港池东侧港区陆域，围堤总长 4 997 m，所围区域近期为纳泥区，远期规划为液体散货泊位陆域，平面布置见图 1。



图 1 连云港 4 区围堤工程平面布置

项目所在区域淤泥覆盖层从 9.5 m 到 18.75 m 不等，周边已有建设完成的徐圩防波堤结构，盛虹炼化一体化码头项目同步实施，1# 正堤与徐圩港区液体散货区公共配套起步工程水域公共管廊桥部分局部正交，须统筹安排两者施工顺序。在石料紧缺、工期限制和施工作业面限制的现实情况下，本工程采用了新型装配式桶式基础结构，典型断面见图 2。在项目建设过程中，将 BIM 技术与设计、施工进行深度结合，开展了一系列的研究与应用工作。

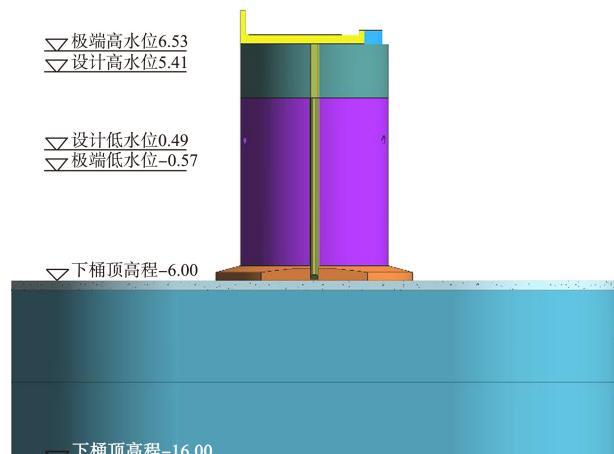


图 2 新型桶式基础结构典型断面 (单位: m)

## 2 桶式结构设计 BIM 应用

与传统二维设计方法相比，BIM 技术具有可视化、一体化、参数化、多方协同等显著优势。既可以通过参数化的方式优化设计效率并提高设计质量，实现设计以及施工方案的直观可视化；又可以将设计成果通过数字化、信息化的手段传递至施工、运维等工程环节，使项目参建方基于云端进行远程实时、协同沟通。BIM 技术的本质是信息化，桶式基础防波堤结构属于典型的预制装配结构，具有模块化、信息高度集成的特点。与传统二维设计相比，采用基于 BIM 技术的桶式基础结构设计方法有着巨大的优势，本文针对 BIM 技术在桶式结构设计中的应用进行研究，主要包括 BIM 设计模型创建、设计模型扩展应用和桶式结构专用 BIM 设计软件研发。

### 2.1 BIM 设计模型创建

#### 2.1.1 三维地质基础 BIM 模型创建

桶式基础结构防波堤主要适用于淤泥质海岸，对基础设计要求较高。采用 BIM 设计时应首先建立准确的基础三维地形地质 BIM 模型，作为结构设计的依据。4 区围堤工程采用 Civil 3D 软件，依据水深测图和钻孔数据，首先构建原始地形曲面，对断层、褶皱等特殊构造进行处理；然后，建立地形曲面和地层曲面单元，自地表而下逐层建立三维地质体，整合生成最终的三维地质模型，见图 3。

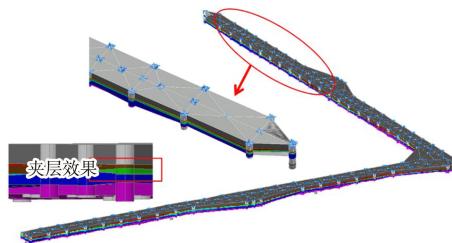


图 3 桶式结构三维地形地质 BIM 设计

在 Civil 3D 内完成地质 BIM 模型创建之后, 基于 IFC 标准将设计成果导入 Revit 平台中, 对三维地质体进行构件属性完善, 补充密度、内摩擦角等强度设计指标, 供桶式基础结构 BIM 设计使用。

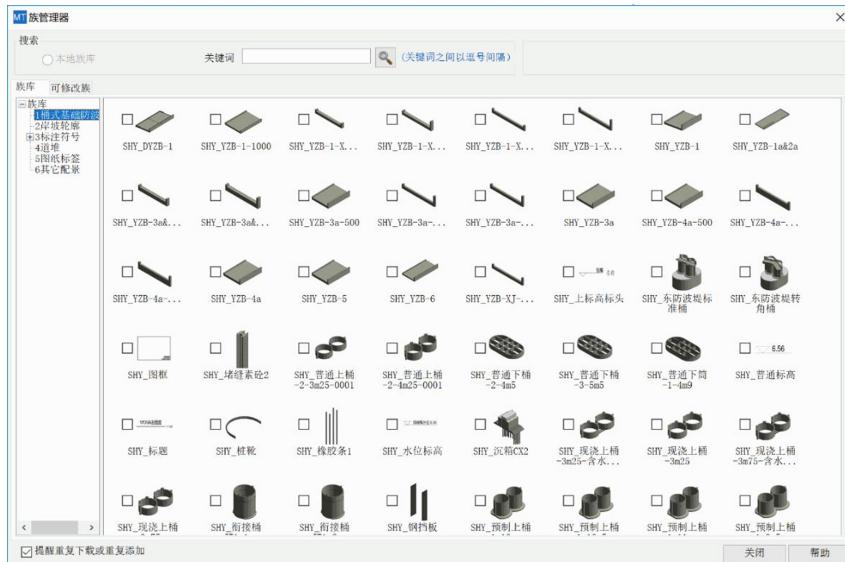


图 4 桶式基础结构 BIM 设计族库

### 2.1.3 桶式结构 BIM 设计模型创建

桶式结构属于装配式结构, 对设计精度的要求较高, 在桶式结构 BIM 设计的过程中应结合三维地质 BIM 成果进行联动设计。桶式基础结构 BIM 设计的过程主要采用搭积木的装配理念, 根据设计需要从族库中调取构件、填写参数, 4 区围堤工程桶式结构防波堤 BIM 设计成果见图 5。

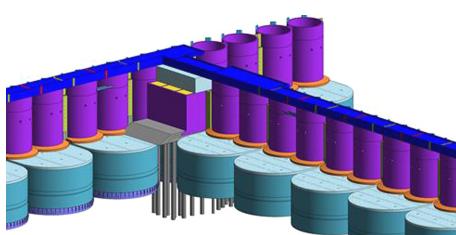


图 5 桶式结构防波堤 BIM 设计成果

### 2.1.2 桶式结构 BIM 设计族库创建

为了提高桶式结构 BIM 设计效率, 在 BIM 设计模型创建之前, 首先根据桶式结构的特点创建相应的族库, 桶式基础结构 BIM 构件族库的创建及应用是发挥 BIM 设计优势的重点。4 区围堤工程桶式结构 BIM 构件基于 Revit 平台创建, 在对桶式结构各构件根据设计以及施工过程进行拆分之后, 首先选择常规模型作为族样板, 设置参照平面, 定义原点与构件插入点, 设置相应的几何和非几何参数, 完成族文件创建后, 根据项目族库管理规定对创建的构件族进行入库管理, 见图 4。

为了确保桶式基础结构全生命周期 BIM 信息的完整传递, 桶式结构 BIM 设计过程中应补充并完善构件的形象编码。依据桶式基础结构的特点, BIM 设计的构件编码主要考虑项目名称、构件特点、构件规格、空间定位等要素, 以某下桶为例, 构件编码见图 6。

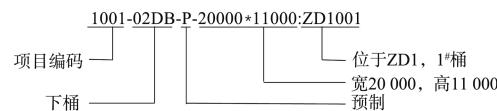


图 6 4 区围堤工程下桶 ZD1001 编码

### 2.1.4 BIM 施工协调信息补充

桶式结构防波堤构件在现场实际安装时受限于设备及自然条件等, 往往会产生一定的施工偏

差,施工偏差信息及引起的工程量变化情况难以反馈在BIM模型中。4区围堤工程在设计阶段基于Revit平台对BIM设计交付成果进行分阶段状态设置,每个构件都包含设计与施工两个状态,施

工状态主要用于在施工阶段对构件的施工安装信息进行补充,记录施工阶段与设计阶段桶身水平和垂向差异情况,见图7。

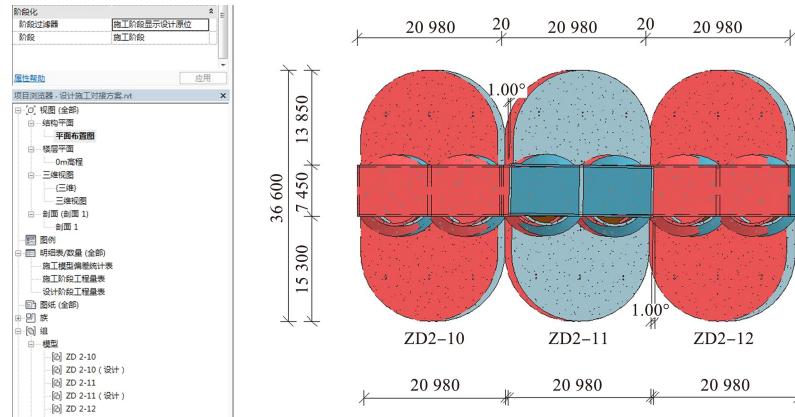
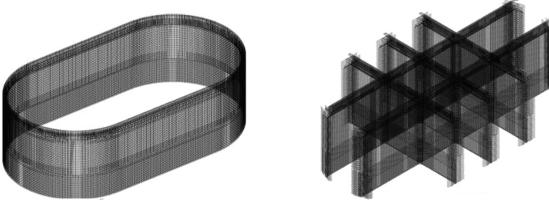


图 7 桶式结构 BIM 施工与设计阶段差异分析 (单位: mm)

## 2.2 BIM 设计模型扩展应用

### 2.2.1 标准桶 BIM 配筋设计

桶式结构是一种特殊的异形水工结构，传统的二维设计难以清楚地表达配筋设计方案，为充分发挥 BIM 可视化的优势，4 区围堤工程对典型标准桶进行了 BIM 配筋设计。首先选取桶式基础结构的典型标准桶，基于 Revit 软件的结构钢筋设计模块进行 BIM 配筋设计，见图 8。针对异形复杂节点，采用多个剖面联动的方式进行 BIM 钢筋绘制。在曲面及渐变面处，利用 Revit 自动识别钢筋保护层，自动对钢筋形状进行调整，达到最贴合桶式结构的形状。在完成标准桶钢筋 BIM 设计的基础上，利用明细表自动统计功能，定制桶式结构钢筋统计专用明细表(图 9)，对标准桶钢筋工程量进行实时、自动、精确统计，有效提高了桶式结构配筋设计质量与效率。



a) 下桶桶壁

b) 肋梁



图 9-4 区围提工程 BIM 构件明细

## 2.2.2 BIM 工程量统计

对于桶式基础结构设计，不仅需要建立结构的 BIM 设计模型，还需要对桶式基础结构各部分工程量进行详细统计。4 区围堤工程采用 BIM 技

术通过提取关键字对桶式结构各种需要的工程量进行了自动统计。

### 2.2.3 BIM 出图

在完成桶式结构 BIM 设计的基础上, 4 区围堤工程采用 BIM 技术进行了自动出图的研究, 利用 Revit 图框族的功能, 根据制图标准, 制定专用图框, 建立相应的视图, 设置合适的比例, 修改图框属性(编辑图名、编号、比例、制图人员等信息), 将视图拖放至图框内导出 CAD 二维图纸, 实现了基于 BIM 技术的 4 区围堤工程整体施工图绘制。

### 2.3 桶式结构 BIM 设计软件研发

桶式基础防波堤是一种新型的防波堤结构, 笔者以 BIM 技术为依托, 结合《水运工程桶式基础结构应用技术规程》及相关行业配套规范, 研发了桶式基础防波堤专用 BIM 设计软件。

软件基于 Revit 平台定制开发<sup>[4]</sup>, 利用 Revit API 函数, 实现了桶式基础结构防波堤结构 BIM 快速设计。软件分为设计建模与计算两个模块, 主要功能包含钻孔地质三维土层识别、标准桶设计与防波堤平面规划、结构整体稳定和内力分析、统计表与报告书输出、数据交互验证等。功能框架见图 10。

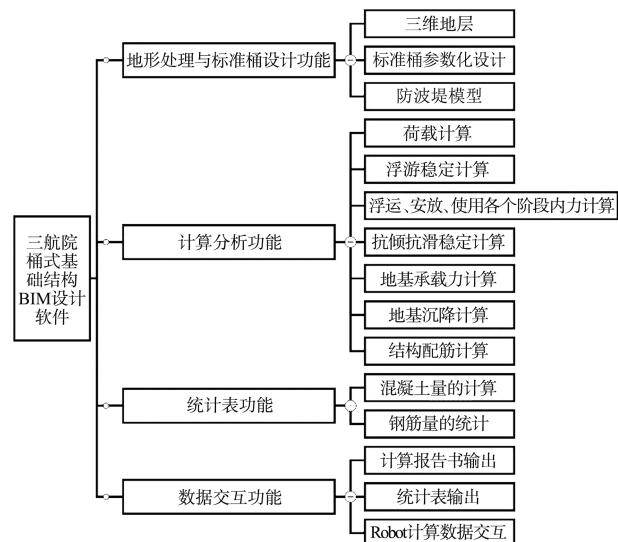


图 10 桶式结构防波堤 BIM 设计软件功能框架

桶式结构防波堤 BIM 设计软件基于三维地层、标准桶、走道板、转角桶等参数生成防波堤桶体 BIM 模型, 通过平面关键角点坐标计算以及标准桶、衔接桶选型自动生成桶式基础防波堤总体设计 BIM 模型, 设计模型中可对单个桶的设计参数进行查阅及局部修改。完成 BIM 设计模型后, 软件将模型一键导入基于 Revit 格式的桶式结构专用空间计算模块, 设置荷载等计算条件, 依据《桶式基础结构设计规范》进行整体稳定及有限元内力分析, 根据计算结果对结构进行设计调整, 直至符合规范等设计要求, 完成设计并导出桶式结构计算书, 界面见图 11。

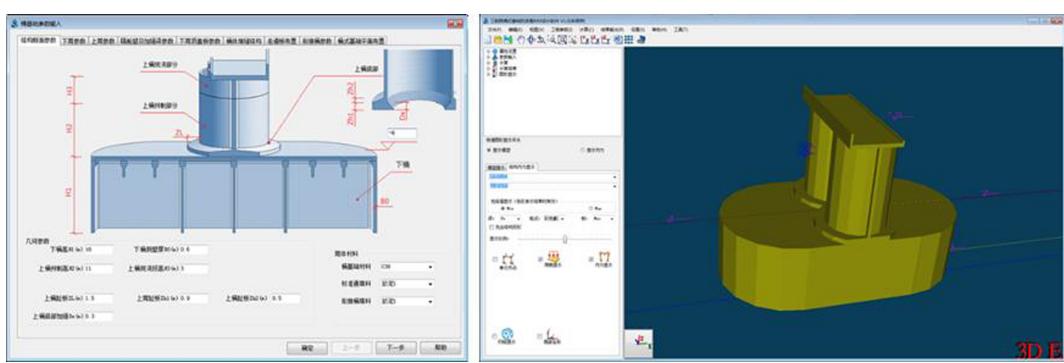


图 11 桶式结构防波堤 BIM 设计软件界面

## 3 桶式结构施工 BIM 应用

在设计 BIM 成果的基础上, 4 区围堤工程结合 BIM 技术特有的可视化、信息化的优势<sup>[5]</sup>以及桶式结构施工特点和需求, 在施工阶段开展了 BIM 专项应用研究, 主要包括桶式结构防波防

堤工程 BIM 施工场布应用、施工可视化技术交底、施工进度信息管理、监测数据可视化动态关联等, 有效提高了桶式结构的施工安装质量及效率。

### 3.1 BIM 施工场布应用

4 区围堤工程共需完成 226 组桶式基础结构的

施工, 工程规模大, 工期紧, 不同于常规的梁、板等预制构件, 桶体结构外形特殊, 个体体量较大, 需要现场预制。4 区围堤工程预制厂分为预制构件生产区和辅助生产设施, 包含综合办公楼、宿舍楼、砂石料堆场等辅助建筑物。4 区围堤工程

施工阶段首先根据桶式结构预制厂区的特点, 在 Revit 软件中进行可视化统筹布置、安排, 使施工总平面布置能够符合总体规划, 满足现场生产的需要, 保证桶式结构防波堤工程施工有序、安全开展。见图 12。

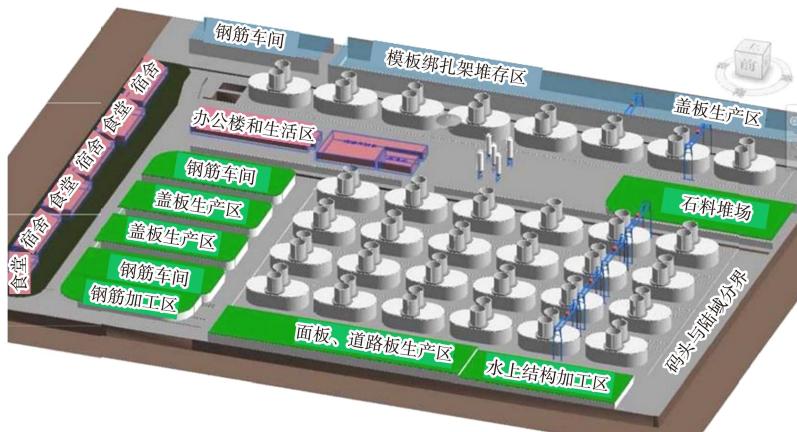


图 12 4 区围堤工程 BIM 施工场布应用

### 3.2 BIM 施工进度模拟及管理

桶式基础结构防波堤的施工进度分为预制厂生产进度和圆桶海上安装进度, 传统的施工进度管理方法以二维甘特图为主, 难以满足直观可视化、数字化及信息化的管理要求, 4 区围堤工程综合考虑了桶式基础结构施工现场预制、安装各项实际情况, 依托 BIM 技术对预制与安装环节进行了可视化、信息化的进度管理。

#### 3.2.1 预制厂生产进度 BIM 管理

4 区围堤工程的桶体预制主要分为 5 次浇筑过程, 在设计交付 BIM 成果的基础上, 对设计 BIM 模型进行施工阶段的深化, 通过编码以及颜色, 依据 5 次浇筑过程对模型进行细化和区分, 从而依托模型对预制生产进度进行管理。首先根据预制流程对每个预制位、每种预制状态编制对应的编码, 在 Excel 进度数据输入端口给每个预制位上输入该位置当天预制状态所对应的编码, 基于 Navisworks 平台导入 BIM 模型文件一一配对, 即可显示所有预制位上桶体的不同预制的状态, 见图 13。

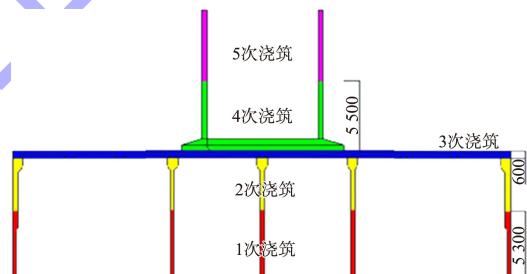


图 13 预制进度 BIM 模型细化 (单位: mm)

#### 3.2.2 海上安装进度 BIM 管理

完成桶体结构预制后, 在预制 BIM 深化模型的基础上, 采用扩充编码的方式, 对圆桶不同施工安装阶段的编码进行进一步扩充, 分为未施工、安装、现浇、完工 4 个阶段。通过记录安装位上不同的安装状态编码和颜色, 在 Excel 进度管理文件中对施工安装状态进行实时更新, 数据导入 Navisworks 平台, 即可可视化展示并管理当前的实际施工安装进度。

### 3.3 BIM 可视化工艺模拟

桶式基础结构的施工关键工艺节点主要有桶体预制工艺、圆桶出运工艺、圆桶海上安装工艺, BIM 可视化有助于更直观地辅助桶式基础结构施

工。桶体预制的 BIM 工艺模拟重点展示桶式结构专业化预制技术和无底桶底模施工技术, 模拟 5 次浇筑的分布; 圆桶出运的 BIM 工艺模拟重点展示无底桶快速转移技术和无底桶上船技术, 表达桶体、台座、半潜驳之间的相对迁移关系, 清晰展示在运输过程中台车及气囊的运送场景; 圆桶海上安装的 BIM 工艺模拟重点展示桶体气浮拖运、桶体负压下沉技术, 展示桶体由半潜驳出运至基槽、桶体沿基槽运至安装位置、桶体在安装位置下沉这 3 个关键过程中, 半潜驳、起重船、定位驳、充气船、工作平台等船只设备间的相互配合状态, 见图 14。

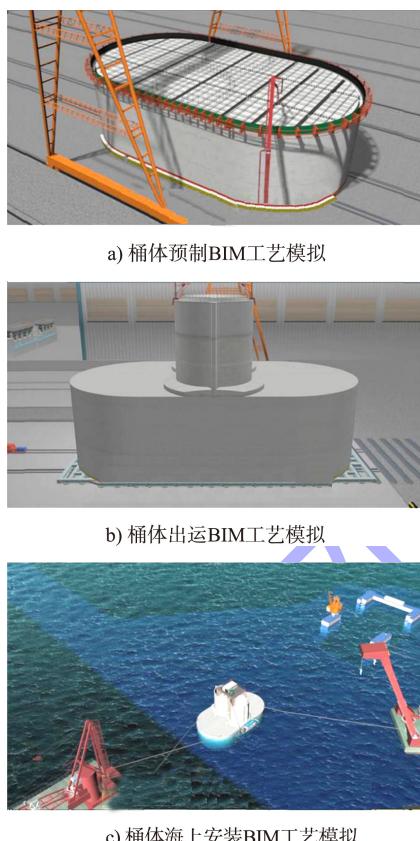


图 14 4 区围堤工程 BIM 工艺模拟

### 3.4 监测数据可视化动态关联

桶式基础结构施工对桶体结构的安装精度要求较高, 4 区围堤工程在桶体结构的安装过程中, 将 BIM 技术与物联网技术相结合, 圆桶出运前在圆桶底部设立 4 个监测点, 实时返回 GPS 坐标数据, 将监测点的坐标数据与 BIM 构件关联, 收集安装状态数据, 将监测数据反馈至模型, 通过 Navisworks 平台实现桶式基础结构设计与实际安装状态的对比查看、偏差分析, 见图 15。

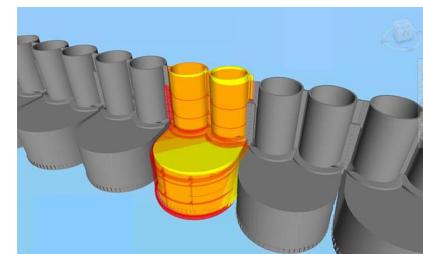


图 15 BIM 平台对比查看安装结果

## 4 结语

1) 桶式基础防波堤结构设计阶段 BIM 应用主要包括模型创建以及基于 BIM 模型的扩展应用, 其中 BIM 结构模型的创建应以三维地形地质 BIM 模型作为基础, 创建时应采用装配式结构的设计理念, 先建立或者完善桶式结构的设计族库, 再从库中选取构件进行组装。完成设计模型的创建之后, 应补充并完善构件的形象编码, 并进行分阶段状态设置, 便于施工阶段补充施工协调信息。完成模型创建之后, 可以基于 BIM 技术开展标准桶配筋设计、预制与现浇桶体构件的工程量统计、自动出图等扩展应用。

2) 桶式基础防波堤结构 BIM 设计软件的研发结合行业相关规范, 包括建模与计算两个模块, 实现桶体结构计算与设计一体化。

3) 桶式基础防波堤结构施工阶段 BIM 应用结合桶式结构的施工特点与需求, 基于 BIM 技术重点开展施工场布、施工进度信息管理、施工可视化工艺模拟、桶体安装监测数据可视化动态关联等方面的应用, 有效提高桶式结构的施工安装质量及效率。

## 参考文献:

- [1] 程泽坤, 夏俊桥. 连云港港徐圩港区桶式基础结构应用技术[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(3): 6-11.
- [2] 倪寅. BIM 技术在水运工程中的应用[J]. 水运工程, 2018(4): 128-133, 166.
- [3] 望毅, 陈青红, 刘松. 水运工程勘察设计企业 BIM 技术体系探索[J]. 水运工程, 2018(8): 109-112.
- [4] 丁大志, 陆晶晶. 基于 Revit 二次开发的桶式结构防波堤快速建模 BIM 应用研究[J]. 中国港湾建设, 2019, 39(S1): 37-42.
- [5] 翟世鸿, 陈富强, 黄睿奕, 等. 港口码头施工模拟 BIM 技术应用研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2015, 24(2): 68-71.

(本文编辑 武亚庆)