

建筑工程 BIM 技术在港口航道工程数字化设计中的应用研究

许晓飞¹, 姜志平², 王春伟³

(1. 青岛华油工程建设监理有限公司, 山东 青岛 266071;

2. 海阳华辰建材有限公司, 山东 烟台 265100;

3. 青岛盛仕建筑工程有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要 针对港口航道工程传统二维设计模式存在的专业协同效率低、空间冲突预判难、工程量计量精度不足、信息传递断层等核心痛点, 本文基于建筑工程 BIM 技术体系, 构建了港口航道工程数字化设计的全流程 BIM 技术应用框架, 明确了适配港航工程特性的 BIM 建模精度标准与参数化构件库体系, 提出了多专业集成建模方法、云原生协同设计机制与数字化交付标准, 以期为港口航道工程数字化设计转型提供技术参考。结果表明, 该技术体系可将港口航道工程设计变更率降低 40% 以上, 工程量计量精度提升至 98%, 设计周期缩短 25%。

关键词 BIM 技术; 港口航道工程; 数字化设计; 参数化建模; 多专业协同

中图分类号: U652.3; TU201.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.009

0 引言

港口航道工程具有结构体系复杂、专业交叉密集、线性跨度大、水文地质约束性强、水下工程占比高的典型特征, 传统二维设计模式已难以适配现代工程精细化、高效化、全生命周期管控的建设需求。建筑工程 BIM 技术以三维数字模型为核心载体, 集成工程全要素几何、物理、功能与管理信息, 具备可视化、参数化、协同化、信息一体化的核心特征, 与港口航道工程数字化设计需求高度契合。本文围绕 BIM 技术在港口航道工程设计阶段的深度应用, 系统构建数字化设计的基础体系、核心建模方法、协同工作机制与交付标准, 形成完整的 BIM 应用技术框架, 为推动港口航道工程设计模式的数字化转型提供参考。

1 港口航道工程 BIM 数字化设计基础体系

1.1 BIM 技术的港航工程适配性

建筑工程 BIM 技术的核心逻辑与港口航道工程设计需求具有高度适配性, 同时需针对港航工程专属特性完成技术适配。其一, 三维可视化适配性, 可将抽象的航道断面、水下基础、码头结构转化为直观三维模型, 解决二维图纸难以表达复杂水下空间形态的核心痛点; 其二, 多专业协同适配性, 港口航道工程涉及十余个交叉专业, BIM 技术可实现各专业模型的实时

集成与冲突预警, 打破专业间的信息壁垒; 其三, 全要素信息集成适配性, 可将水文、地质、荷载、施工工艺等非几何信息与三维模型深度关联, 形成贯穿工程全生命周期的数字化信息载体, 解决传统设计中信息传递断层的问题^[1]。

1.2 数字化设计总体架构

构建“平台—标准—模型—应用—交付”五位一体的港口航道工程 BIM 数字化设计总体架构。底层为软硬件支撑层, 配置适配港航工程的 BIM 软件工具链与硬件设备; 中层为标准与数据层, 制定项目级 BIM 实施、建模精度、数据交互等核心标准, 搭建云原生协同工作环境; 上层为应用与交付层, 覆盖精细化建模、协同设计、方案优化、工程量计算、数字化交付等全流程应用。架构设计遵循“一模到底、数据同源”的核心原则, 确保设计信息的一致性与可追溯性。

1.3 分级建模精度标准

结合港口航道工程各设计阶段需求, 建立 LOD 100 至 LOD 400 的分级建模精度标准。方案设计阶段对应 LOD 100-200, 构建概念化模型, 表达工程整体布局、航道走向、陆域功能分区等宏观信息; 初步设计阶段对应 LOD 300, 构建专业初步模型, 明确构件尺寸、材料类型与基本构造, 满足投资估算需求; 施工图设计阶段对应 LOD 350-400, 构建全要素精细化模型, 完整

作者简介: 许晓飞 (1986-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑工程。

表达构件几何参数、连接方式、细部构造与技术参数,满足施工图出图、工程量计算与施工指导需求。

1.4 标准化参数化构件库建设

建立港口航道工程专属BIM标准化参数化构件库,采用三级体系架构:一级为通用构件库,复用建筑工程成熟的梁、板、柱、管线等基础构件标准;二级为港航专用构件库,包含沉箱、胸墙、靠船构件、桩基、护面块体等典型水工构件,是构件库的核心主体;三级为项目级非标构件库,收纳特定项目定制的非标准化构件。所有构件均采用参数化建模技术,提供完整的几何、材料与技术参数,实现构件的快速调用与修改,大幅提升建模效率与模型标准化水平。

2 港口航道工程BIM精细化建模技术

2.1 水工主体结构参数化建模

水工主体结构是港口工程的核心,包含重力式、高桩式、板桩式三大主流结构形式,以Revit、Bentley平台为核心,结合Dynamo可视化编程实现参数化自动化建模。高桩码头建模遵循“从下到上”的流程,依次建立桩基、横梁、纵梁、面板、靠船构件等核心构件,通过参数化驱动控制桩长、桩距、截面尺寸等关键参数,同时与三维地质模型关联,实现桩长随持力层高程的自适应调整。建模过程中嵌入结构计算接口,实现BIM模型与专业结构分析软件的双向数据交互,形成“设计—分析—优化”的一体化闭环^[2]。

2.2 航道工程线性建模与地形融合

航道工程具有线性跨度大、断面复杂、水下地形多变的特征,采用Civil 3D与BIM融合的线性建模技术。基于多波束测深数据构建高精度三维原始地形模型,通过航道设计水深、底宽、边坡坡度等核心参数,自动生成航道设计曲面与开挖边界。针对航道整治建筑物,参数化建立丁坝、顺坝、护岸等模型,精准表达坝体尺寸与护面材料。疏浚工程建模通过原始地形与设计地形的叠加运算,自动生成疏浚土方量计算模型,实现分段、分区疏浚量的精准统计与三维可视化展示。

2.3 陆域设施与综合管线建模

港口陆域设施包含堆场、道路、生产建筑、辅助建筑等,直接复用建筑工程成熟的BIM技术体系,实现场地、建筑、结构、机电的全专业一体化建模。综合管线系统是设计阶段的碰撞高发区域,采用“先整体布局、后细部建模、再协同优化”的流程,基于Revit建立各专业管线三维模型,赋予管径、材质、压力等完整属性参数。利用BIM软件自动识别结构与管线、管线间的空间碰撞,优化管线综合布局,确保满足净空、

检修、安全距离等规范要求,同时建立管线统一编码体系,为后期运维奠定数据基础。

2.4 地质水文环境多源信息集成

将地质、水文环境信息与主体工程BIM模型深度融合,构建工程全域三维环境模型。基于勘察钻孔数据建立三维地层模型,完整表达土层分布、岩土力学参数、地下水位等关键地质信息,与水工结构模型精准叠加,自动分析桩基持力层、基础埋深等设计参数。集成潮汐、水位、流速等水文数据,构建动态水文环境模型,模拟极端工况下结构受力与航道通航能力变化,实现工程结构与地质、水文环境的协同设计。

3 基于BIM的多专业协同设计机制

搭建基于云原生技术的BIM协同设计平台,采用“中心文件—专业工作集”的管理模式,设置模型管理、权限管理、版本管理、冲突检测四大核心模块。按专业划分独立工作集,各专业设计师在授权范围内开展建模工作,设计成果实时同步至中心文件,实现模型的实时集成与共享^[3]。建立分级权限管理体系,明确不同角色的操作权限,保障模型数据安全可控,同时配置版本回溯功能,完整记录模型修改历史,确保协同过程全程可控。

制定标准化协同设计流程,划分为启动、建模、集成、审核、优化、交付六个核心阶段。启动阶段明确BIM标准、专业分工与时间节点;建模阶段各专业同步开展建模,定期提交模型至协同平台;集成阶段每周开展全专业模型合并与碰撞检测;审核阶段通过平台开展线上三维校审,直接在模型上标注问题并反馈至对应专业;优化阶段完成模型修改与方案验证;交付阶段完成最终模型整合与成果打包。

构建分级分类的设计冲突处理机制,将设计冲突分为硬碰撞、软冲突、信息冲突三类,利用Navisworks软件开展全专业碰撞检测,自动生成冲突报告,精准标注冲突位置与涉及专业。建立标准化冲突处理流程:检测定位—原因分析—责任判定—模型修改—复核验证—闭环归档,将90%以上的设计问题解决在施工前,避免后期施工阶段的设计变更与返工^[4]。

4 BIM驱动的设计优化与量化分析应用

依托BIM三维可视化特性,开展多维度设计方案迭代优化。通过模型漫游、剖面剖切、虚拟仿真,直观呈现工程建成效果,优化码头布局、航道走向、建筑形态与集疏运组织,针对复杂构造节点开展三维细部优化,确保构造合理、施工可行。结合VR技术构建沉浸式虚拟场景,组织多方参与方案评审,提升方案决策的科学性,减少因设计不合理导致的后期变更。

实现 BIM 模型与结构分析软件的双向衔接,构建结构性能化设计闭环。将 BIM 模型直接导入专业结构分析软件,自动生成有限元计算模型,施加港口工程专属荷载组合,开展结构强度、刚度、稳定性分析,根据计算结果反向优化 BIM 模型,调整构件尺寸、配筋率与结构布置,在满足规范要求的前提下实现结构设计的安全与经济平衡。

融合 BIM 技术与水文数值模拟技术,优化港口航道通航条件与防洪防浪设计。将航道与码头 BIM 模型导入水文模拟软件,构建水动力数学模型,模拟不同工况下的通航轨迹、流速影响与防浪效果,优化航道宽度、转弯半径、设计水深与防波堤设计,确保方案满足通航安全与极端工况抵御要求。

基于 BIM 模型实现工程量的自动精准计算,按构件、专业、材料自动统计混凝土方量、钢筋重量、土方量、管线长度等全部工程量,建立 BIM 模型与水运工程计价规范的映射关系,自动生成标准化工程量清单。通过不同方案的工程量对比,开展限额设计与造价优化,实现工程投资的精准控制,基于 BIM 的工程量计量精度可达 98% 以上,从源头避免工程量错算、漏算问题。

5 BIM-GIS 融合与数字化交付体系

实现 BIM 微观精细模型与 GIS 宏观地理信息的深度融合,将 BIM 模型轻量化处理后导入 GIS 平台,叠加高精度地形、卫星影像、生态保护红线等地理信息数据,构建工程全域三维地理信息模型,支撑港口选址、航道规划、集疏运系统优化等宏观决策,同时采用 WebGL 技术实现融合模型的网页端轻量化浏览,支持多终端跨平台访问^[5]。

建立港口航道工程 BIM 数字化交付完整体系,明确交付内容、格式、深度与验收标准。交付核心内容包括全专业整合的 BIM 模型、全要素工程信息、设计优化报告、工程量统计成果、施工图纸与计算书等,交付格式以行业通用 IFC 格式为主,配合原生格式与轻量化格式,确保交付成果的兼容性与可复用性。交付模型需达到施工图设计深度 (LOD 350-400),确保信息完整、参数准确,满足工程施工、运维的核心需求。

规范数字化交付全流程管控,具体流程为全专业模型整合、全要素信息完善、合规性与完整性检查、模型轻量化处理、交付数据包封装、联合验收、正式移交。模型整合阶段需合并各专业模型,消除所有设计冲突,形成完整的工程信息模型;信息完善阶段补充构件统一编码、施工要求、运维信息等属性数据;合规性检查阶段依据交付标准开展全面核查,最终形成标准化交付数据包,经多方联合验收合格后移交,实现设计信息向施工、运维阶段的无缝传递。

6 建筑工程 BIM 技术在港口航道工程数字化设计中应用的实施保障

构建“港航专业技术+BIM技能”的复合型人才团队,开展系统化培训,培养既精通港航工程设计、又熟练掌握 BIM 技术的核心人才。建立企业级 BIM 技术中心,负责标准制定、技术研发与项目质量管控,针对港航工程专属需求开展 BIM 二次开发,定制化解决复杂水工构件建模、多软件数据交互等技术问题,形成自主可控的 BIM 技术工具集。

建立完善的 BIM 项目管理制度,明确项目各参与方、各岗位的 BIM 工作职责与考核标准,将 BIM 应用要求纳入设计合同与专业负责人考核体系。制定 BIM 成果质量检查制度,设置三级模型校审节点,在方案设计、初步设计、施工图设计三个阶段分别开展模型质量专项检查,对模型精度、信息完整性、标准合规性进行全面核验,不合格成果严禁进入下一设计阶段,从制度层面保障 BIM 技术应用的规范性与落地效果。

7 结束语

本文系统构建了建筑工程 BIM 技术在港口航道工程数字化设计中的完整应用体系,从基础标准体系、精细化建模技术、多专业协同机制到数字化交付,形成了全流程、标准化的技术方法与实施路径。BIM 技术的深度应用,变革了港口航道工程传统二维设计模式,实现了设计过程的数字化集成、多专业的高效协同与工程信息的全生命周期传递,有效解决了传统设计模式的诸多核心痛点,显著提升了港口航道工程的设计质量、效率与经济性。未来研究应进一步聚焦 BIM 与数字孪生、人工智能、物联网技术的深度融合,拓展 BIM 技术在港口航道工程全生命周期的应用,完善港航工程 BIM 国家标准体系,研发更适配港航工程特性的专业化 BIM 工具,推动港口航道工程行业全面实现数字化、智能化高质量发展。

参考文献:

- [1] 乔树军.基于 BIM 技术的港口与航道工程全生命周期施工质量管控体系的构建[J].中国品牌与防伪,2025(12):107-109.
- [2] 曾昱,廖一鸣,牛作鹏,等.基于数据集成技术的航道工程 BIM 预警平台研究与应用[J].水运工程,2022(04):151-156.
- [3] 王祺.基于 BIM 技术的港口航道工程全生命周期协同设计优化研究[J].中国图片(中英文),2024(21):244-245.
- [4] 殷艺霖,冷吉涛,刘勇.基于 BIM 的数字化施工技术在航道工程中的研究与应用[J].水上安全,2023(03):28-30.
- [5] 葛彦,董潇潇,张亚东.基于 BIM 技术的建筑工艺分析与施工进度管理[J].绿色建造与智能建筑,2025(08):84-87.