

BIM 技术赋能港口与航道工程数字化管理研究

魏玉帅

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300450

[摘要]港口与航道工程施工环境复杂多变, 涉及多个专业交叉作业、协同配合, 传统依靠人工经验管理、结合二维图纸分段施工的模式, 存在明显弊端。各环节数据互不互通、形成信息孤岛, 各参建方协同作业效率低。文章依托 BIM 参数化建模、信息集成、施工动态模拟等核心技术, 打通工程设计、现场施工、工程交付、后期运维全生命周期流程, 深入分析 BIM 技术助力港口航道工程数字化管理的核心原理和实际落地应用方案, 全面提升工程全流程的管控质量与施工效率, 以供参考。

[关键词]BIM 技术; 港口与航道工程; 数字化管理; 全生命周期; 智慧水运

DOI: 10.33142/hst.v9i8.20436

中图分类号: U612.3

文献标识码: A

Research on Empowering Digital Management of Port and Waterway Engineering with BIM Technology

WEI Yushuai

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract: The construction environment of port and waterway engineering is complex and ever-changing, involving multiple professional cross operations and collaborative cooperation. The traditional mode of relying on manual experience management and combining two-dimensional drawings for segmented construction has obvious drawbacks. The data in each link is not interconnected, forming an information island, and the efficiency of collaborative work among the participating parties is low. The article relies on core technologies such as BIM parametric modeling, information integration, and construction dynamic simulation to connect the entire life cycle process of engineering design, on-site construction, project delivery, and post operation and maintenance. It deeply analyzes the core principles and practical application solutions of BIM technology in assisting digital management of port and waterway engineering, comprehensively improving the quality control and construction efficiency of the entire engineering process, for reference.

Keywords: BIM technology; port and waterway engineering; digital management; full lifecycle; smart water transport

引言

港口航道工程是水运交通体系的核心基础设施, 工程施工极易受水文、地质等自然条件约束^[1]。该类工程水下隐蔽工程量大, 涉及多专业协同施工, 参建单位众多、管理体系复杂, 传统粗放式工程管理模式的短板问题较为显著。在传统工程管理模式中, 项目全程依托二维图纸及纸质资料开展管控工作, 导致工程设计、施工、验收、运维各阶段数据割裂, 形成信息孤岛^[2]。这一问题极易引发设计冲突、施工返工、安全管控疏漏等工程问题。同时, 项目竣工后缺乏标准化数字化档案, 后续运维工作高度依赖人工开展, 不仅大幅提升运维成本, 也导致工程精细化管控能力难以满足行业发展需求^[3]。BIM 技术可构建一比一三维参数化数字模型, 整合集成工程全周期、多维度核心

数据, 实现工程实体与数字模型的动态映射、全程可追溯管理, 能够有效解决传统港航工程管理的痛点, 为港口航道工程全生命周期数字化、精细化管控提供核心技术支撑^[4]。

1 港口与航道工程特征及数字化管理赋能逻辑

1.1 港口与航道工程核心特征

港口与航道工程具备四项典型行业属性, 使其对数字化管控存在刚性需求, 且与 BIM 技术应用体系高度适配: ①水域施工作业受水文、气象、河床地质等动态条件制约, 现场全过程风险管控复杂度较高; ②水下隐蔽工程及异形构筑物数量庞大, 传统二维工程图纸难以对空间构造、内部衔接关系进行全域可视化表达; ③项目涉及多专业、多工序交叉平行施工, 参建主体多元, 对跨单位协同统筹、流程一体化管理提出较高要求; ④工程全生命周期建设及

运维存续周期较长,行业对全过程工程资料归集、数据链条闭环追溯的规范性与完整性设定了严苛标准。

1.2 BIM 技术数字化赋能核心机理

BIM 技术主要从信息重构、流程再造、决策升级三个维度,给港口航道工程的数字化落地提供核心支撑。利用参数化三维模型把工程各类数据整合,解决传统二维图纸表达不直观、容易产生理解偏差的短板;把 BIM 模型作为贯穿全程的统一信息平台,打通项目从前期建设、中期运营到后期维护的完整链路,打破不同施工阶段、不同参与方之间信息不通的堵点,搭建起全周期闭环管控模式;依托模型数据仿真分析实现风险提前预判、施工过程动态把控、问题发生后可追溯复盘,全面提高港航工程精细化、智能化管理能力^[5]。

2 适配港口与航道工程的 BIM 核心技术体系

2.1 水工专用参数化建模技术

参数化建模为港口航道工程数字化全生命周期管理的核心承载体系,依托 Civil 3D、Bentley、Revit 等水工 BIM 专业软件,完成航道原始地形地貌、疏浚设计断面、水下桩基基础、防波堤等关键结构的参数化模型构建,模型可根据水文、地质等动态输入参数实现自适应迭代与自动校正。通过推行水工构件标准化唯一编码体系,关联挂载施工工艺、材料属性、质量管控等多维业务数据,构建信息集成化数字模型,为工程项目全流程数字化闭环管控夯实高精度底层数字基座。

2.2 多主体云端协同共享技术

港航工程项目参与单位数量多、涉及施工专业门类繁杂,各单位之间层层对接,沟通链条拉得很长,容易出现信息传递不及时、对接效率低下的问题。借助 BIM 云端协同技术搭建一体化数字共享平台,能够有效打破各个参建单位各自封闭的信息壁垒。平台可以按照不同层级给施工、设计、监理、建设等各方分配对应操作权限,工程三维模型、施工图纸、工程变更文件以及各类质量检测资料都能在平台上实时上传、流转和交叉核对,从根源上解决文件版本混乱、信息更新滞后、反复核对返工的常见问题。同时平台以 IFC 国际通用数据标准为基础,打通不同水工专业设计、计算、建模软件之间的数据端口,保证项目从前期规划、施工建设到后期运维整个全生命周期的数据完整连贯、口径统一。

2.3 多维动态模拟分析技术

多维模拟分析是港口航道工程 BIM 实现精细化全过程管控的核心模块,依靠三维立体模型,可以了解各类水工建筑物的空间布局和内部结构;叠加 4D 进度模拟后,

能结合海域潮汐变化、天气情况合理调整施工工序与作业窗口期;5D 造价联动则可以实时动态把控项目成本支出;通过水文数值模拟,提前预判水流冲击、泥沙淤积和堤岸冲刷等安全隐患;再加上模型碰撞自动检测功能,提前找出建筑主体、设备管线之间的交叉干涉问题。整套数字化手段从多个维度优化施工方案,为项目平稳落地筑牢技术保障。

2.4 全要素数字化交付技术

依托数字化交付手段革新港口航道工程传统竣工交付方式,以贯穿项目全生命周期的 BIM 三维模型作为核心载体,把前期设计图纸、现场施工过程记录、各类检测验收报告、后期运维操作规程等一整套工程资料统一归集整合,搭建起全程可查询、可追溯的电子化数字档案^[6]。通过对 BIM 模型进行轻量化技术处理,打通建设、运营、维护各阶段之间的数据孤岛,彻底消除不同环节的数据传递壁垒,最终实现工程项目完整数字资产的固化留存,并且能够在后续改扩建、检修管护、复盘研究等场景中长期循环利用。

2.5 BIM+物联网智能感知技术

依托 BIM 技术、物联网设备以及大数据分析技术搭建港口航道工程全过程动态感知管控体系,在码头、航道、护岸等水工构筑物的重点关键位置安装各类监测传感器,实时采集结构沉降、构件形变、航道泥沙淤积、水位变化等核心运行数据。现场采集到的真实监测数据实时对接、同步映射到三维 BIM 数字模型当中,直观完成 24h 不间断可视化在线巡查与状态监控,依靠海量动态数据开展分析研判,提前排查结构安全隐患、预判运行风险,为港航基础设施日常智能化管护以及安全风险自动预警筑牢扎实的数据基础。

3 BIM 技术在港口与航道工程数字化管理中应用场景

3.1 工程设计阶段:数字化协同设计与方案智能优化

港口与航道工程的设计工作是整个工程建设的核心源头,设计方案是否科学、精准,直接决定了现场施工的整体质量,也深刻影响项目后期的运营、维护效果。应用 BIM 技术,能够搭建起一套“协同设计-碰撞校核-工况模拟-方案优化”的全流程数字化设计体系,从根本上解决传统设计的痛点。依托云端协同设计平台,水工、疏浚、机电、通航安全等所有参与设计的专业人员,可基于同一个三维模型同步开展设计工作,所有设计变更都会实时更新、全程留痕,彻底杜绝传统设计中图纸版本混乱、信息传递偏差、各专业对接脱节等常见问题。同时,利用 BIM

的自动碰撞检测功能,可全面排查桩基与管线、防波堤通航空间、设备与主体结构等部位的干涉、冲突问题,在设计阶段就提前规避隐患,从源头减少工程返工、节约施工成本。在此基础上,结合 GIS 技术整合现场地形、水文、泥沙、气象等真实环境数据,搭建高精度数字仿真场景,能够精准模拟水流淤积、船舶靠泊作业、水工结构抗冲刷等实际运行工况。通过多轮仿真迭代,针对性优化航道走向、码头平面布置、防波堤结构规格等核心设计参数,全方位提升港口航道工程设计的可靠性与经济性,同时让工程设计更适配长期运维、通航作业的实际需求。

3.2 工程施工阶段:全维度数字化动态精益管控

施工阶段是港口航道工程从图纸落地、建成实体工程的核心环节。

在进度管控方面,依托 BIM 搭建 4D 可视化进度管理体系,将三维立体工程模型和施工工期计划精准绑定。结合施工现场潮汐变化、气象条件等水域施工关键影响因素,全程模拟整体施工流程,提前预判各道施工工序是否存在交叉冲突、工期衔接不合理等问题。同时实时对比现场实际施工进度与原定计划进度,及时发现滞后偏差,动态调整施工方案、优化工序安排,有效压缩无效工期,保障项目按期推进。

在质量管控方面,将水运工程行业规范、施工标准、验收要求全部录入嵌入 BIM 构件模型中。针对水下桩基、航道疏浚等难以直观核查、容易出现质量隐患的隐蔽工程,开展可视化、具象化技术交底,让施工人员清晰掌握施工标准。现场管理人员可通过手机移动端实时上传工序检测数据、施工影像资料,一旦发现质量问题,可精准定位问题点位,全程跟踪整改、复查闭环,彻底补齐隐蔽工程质量管控短板,筑牢工程质量防线。

在安全管理方面,利用 BIM 技术对水上、水下高危作业场景进行仿真模拟,提前排查施工坍塌、船舶通航碰撞、水下作业风险等各类安全隐患。所有排查出的安全问题全部实现线上登记、线上整改、线上销号,形成闭环管理,从源头降低施工安全事故发生概率。

在成本与资源管控方面,借助 BIM 模型实现工程量自动精准计算,搭建 5D 动态成本监控体系,实时把控项目造价情况,有效杜绝超预算、造价失控等问题。同时系统可根据实时施工进度,智能调配建材物料、施工船舶、机械设备等各类资源,避免资源闲置、浪费和调配不合理等情况,降低施工损耗,切实提升项目整体施工效益与经济效益。

3.3 竣工交付阶段:一体化数字化交付与数字资产沉淀

以往港口与航道工程的竣工交付,全程依赖纸质图纸和书面资料归档交付,工作人员整理归档耗时费力、效率极低,纸质文件长期存放还容易破损、受潮、丢失,安全性和完整性无法保障。而 BIM 数字化竣工交付模式实现了工程竣工交付从纸质载体向数字载体的升级转型,以工程全生命周期 BIM 模型为核心载体,统一归集整合设计图纸、施工全过程档案、质量检测报告、工程变更文件、设备参数及运维资料等所有工程相关资料。经过轻量化处理的 BIM 交付成果,兼容性和实用性更强,建设、施工、运维等各方参建单位可随时随地快速调取、查阅资料。同时, BIM 数字成果可直接对接智慧运维管理平台,打通工程建设阶段与运维阶段的数据壁垒,实现建设数据无缝衔接运维工作。

3.4 运维管理阶段:智能化数字化长效管控

运维阶段是港口与航道工程生命周期最长、管理难度最大的环节,依托 BIM+物联网+大数据技术,在码头桩基、航道边坡、闸坝等工程关键位置安装各类智能传感器,全天候采集结构变形、航道淤积、水流冲刷、设备运行等核心工况数据。同时将采集到的真实数据同步映射到 BIM 三维模型,全方位掌握工程实时运行状态。借助大数据算法对实时工况数据、历史运维数据进行对比分析,系统可以自动识别工程结构、设备设施存在的潜在安全隐患,提前发出预警提示,并且智能生成对应的维修养护处置方案。利用 BIM 三维模拟功能,提前对航道清淤、设备检修、船舶通航调度等各类现场作业工序进行仿真模拟。通过模拟推演优化人员、设备、物料等资源配置,提前规避交叉作业、工序冲突、施工风险等问题。

4 BIM 全周期数字化应用优化方向

结合上述全生命周期应用场景可知, BIM 技术可全方位赋能港口与航道工程数字化管理,但当前行业应用仍存在场景深度不足、技术融合单一、标准化程度偏低等短板。立足智慧水运建设的整体发展趋势,后续可通过三大维度提质增效、优化升级。其一,深耕精细化应用场景,推动 BIM 技术从传统基础建模的浅层应用,向工程风险预判、施工动态管控、智能分析决策等核心业务场景延伸。其二,构建多技术融合应用体系,以 BIM 技术为核心底座,融合数字孪生、人工智能、5G 通信、大数据等前沿技术,搭建工程实时动态数字孪生系统。其三,完善水运工程 BIM 标准化体系,统一行业应用规范、数据交互与传输标准。

5 结论

BIM 技术依靠参数化三维建模、多维度仿真模拟、多方在线协同以及工程项目全生命周期的数据汇总,贯穿项目从前期设计、现场施工、竣工验收交付到后期运营维护的整个过程,在设计环节可以反复推演、优化工程整体方案;施工过程中对人、机、料、法、环五大核心要素进行动态跟踪与实时管控;项目竣工交付时留存完整可追溯的数字化档案;投入使用后能依靠数据进行设备故障智能预判、计划性检修保养,提高了工程建造质量和后期运维效率,助力整个水运行业朝着数字化、智能化方向稳步高质量发展。

[参考文献]

[1]周宇翔.BIM 技术驱动下的水利工程施工资源精细化管理研究[J].水利科技与经济,2026,32(6):167-172.

[2]刘志聪.智慧港口背景下港口工程建设质量管理体系优化研究[J].张江科技评论,2026(4):96-98.

[3]黎宏,王博伟,何淑萍.基于 BIM 技术的港口码头面层铺装平整度控制技术研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(4):491-493.

[4]段历历,王伟,张亚男.基于 GIS+BIM 的港口三维数字孪生系统设计与实现[J].电脑知识与技术,2026,22(11):94-96.

[5]栾绍伦,林浩,于明琛.BIM 技术在港口工程设计中的应用[J].中国水运,2025(23):72-75.

[6]钟梓鑫.BIM 技术在港口航道施工中的综合管控分析[J].运输经理世界,2025(30):148-150.

作者简介:魏玉帅(1989—),男,汉族,山东省莒南县人,职称中级工程师,本科,山东交通学院港口航道与海岸工程专业毕业,负责项目工程技术质量管理工作,水运工程技术资料、质量质检验收、现场施工管理等。