港口与航道工程 BIM 技术应用

唐　鑫

中铁长江交通设计集团有限公司　重庆　401121

摘　要：本文聚焦港口与航道工程领域 BIM 技术的工程化应用，针对该类工程水域环境复杂、工序交错密集、构件空间关系繁杂的特征，系统梳理 BIM 技术在可视化呈现、参数化管控、多专业协同、资源精细化配置四个维度的核心优势。围绕工程全生命周期，依次阐述 BIM 技术在设计阶段三维参数化建模、多专业碰撞检查、方案优化比选，施工阶段可视化模拟、工程量精准核算、现场协同管控，以及质量安全管控阶段的精细化质量管控、安全风险预判、工程资料数字化管理等场景的落地路径。研究表明，BIM 技术可有效突破传统二维管理模式的技术局限，全面提升港口与航道工程的设计科学性、施工可控性与管控精细化水平，为行业数字化转型提供核心技术支撑。

关键词：港口与航道工程；BIM 技术；应用

引言：港口与航道工程作为水上交通基础设施的核心组成部分，长期受复杂水文地质条件、水上水下交叉作业环境与多专业协同需求的制约，传统二维图纸主导的工程管理模式在空间信息表达、动态参数同步、跨主体协同效率等方面的短板日益凸显，难以适配现代工程高质量建设的管控要求。BIM 技术以三维数字化信息模型为核心载体，实现工程全要素数据的一体化集成与动态流转，为港口与航道工程的技术升级提供了全新路径。当前行业内 BIM 技术的应用场景正逐步从单一建模向全流程管控延伸，但针对港口与航道工程特殊工况的系统化应用体系仍需进一步梳理完善。本文系统构建覆盖设计、施工、质量安全管控全阶段的 BIM 技术应用框架，明确各环节的技术落地逻辑与工程价值，为同类工程的数字化管控实践提供专业参考。

1 港口与航道工程应用 BIM 技术的核心优势

港口与航道工程具有水域施工环境复杂、水上水下工序交错密集、结构构件类型多样且空间关系繁杂等显著特征，传统二维图纸管理模式在空间信息表达、动态参数管控、跨专业协作等方面存在明显局限。BIM 技术以三维数字化信息模型为核心载体，将工程几何数据、物理属性、施工参数与管理信息进行一体化集成，能够针对性解决此类工程建设中的关键技术与管理难题，其核心优势集中体现在以下四个角度。（1）可视化呈现优势。BIM 技术可构建码头岸壁、航道疏浚断面、防波堤、沉箱等典型结构的高精度三维参数化模型，将抽象的平面图纸转化为直观的空间实体表达，使管理人员能够清晰识别各构件空间位置关系与施工工艺细节，消除二维图纸空间信息表达模糊的问题。（2）参数化管控优势。BIM 模型内嵌构件尺寸、材料规格、标高等结构化参数，参数修改可联动更新关联构件信息，实现工程量自动统计与设计变更快速响应，避免人工核算误差与信息同步滞后。（3）多专业协同优势。BIM 搭建统一协同平台，港口、航道、结构、机电等多专业在同一模型环境下开展设计校审与施工模拟，及时发现管线碰撞与工序冲突，提升跨专业协作效率。（4）资源精细化配置优势。依托 BIM 模型精确提取各阶段材料用量与设备需求数据，结合进度计划实现资源动态优化调度，降低材料损耗与设备闲置，提升资源配置集约化水平[1]。

2 BIM 技术在工程设计阶段的应用

2.1 三维参数化建模

设计阶段是港口与航道工程建设的基础环节，传统二维设计通过平面图纸表达立体水工结构，无法直观呈现码头桩基、沉箱、护面块体、航道边坡等复杂构筑物的空间形态，极易出现结构尺寸偏差、空间布局不合理等问题。依托 BIM 技术可开展全专业三维参数化建模，针对港口码头主体结构、水下基础、通航通道、附属设施等所有工程构件，按照实际设计参数构建精细化三维模型。模型具备参数联动特性，单一构件尺寸、材质、位置参数调整时，关联构件可同步更新，有效规避传统设计中参数修改繁琐、图纸更新不同步的问题。同时，参数化模型可完整承载构件的规格、材质、施工工艺、工程量等核心信息，实现设计信息的数字化、一体化存储，为后续施工、管控、验收提供精准的数据支撑[2]。

2.2 多专业碰撞检查

港口与航道工程涵盖水工结构、岩土工程、给排

水、机电设备、管线综合布设等多个专业领域，各专业独立开展设计工作时，因信息传递局限与空间协调不足，极易产生构件空间碰撞、管线与结构冲突、水下构筑物与水文地形条件不适配、施工工序时序冲突等问题。上述问题若未在设计阶段有效识别并消除，延续至施工环节将导致现场返工、材料浪费及工期延误等连锁影响。BIM 技术的碰撞检查功能可将各专业三维设计模型整合至统一协同工作平台，依托内置的冲突检测算法，自动筛查构件间空间穿插、管线穿越结构构件、水下基础与地形地质条件不匹配等各类冲突问题。检测结果以可视化方式精准呈现冲突位置、类型与影响范围，设计人员据此提前调整构件空间布局、优化尺寸参数与管线走向，从设计源头消除潜在缺陷，有效降低施工阶段设计变更频率与返工风险，保障设计方案的科学性、合理性与工程可行性。

2.3 设计方案优化比选

港口与航道工程受潮汐水文、岸线地形、地层地质等自然条件制约显著，同一工程点位往往存在多种可选设计方案。传统方案比选主要依赖人工计算与经验定性判断，对比维度局限于单一指标，定量分析精度不足，难以全面评估各方案的综合性能。基于 BIM 三维参数化建模技术，可针对不同结构形式、施工总体布局、边坡坡度参数、航道走向线形等设计方案分别构建对应的数字化信息模型，从结构受力稳定性、施工工艺可行性、材料资源消耗量、空间布局适配性、运营维护便利性等多个维度开展定量化模拟对比分析。通过模型的可视化直观展示与工程量、成本、工期等数据化量化比对，精准呈现各方案的技术性能差异与经济性优劣，筛选出与现场工况条件高度适配、结构安全可靠、资源投入经济合理的最优设计方案，有效提升工程设计的系统性、科学性与决策精准度[3]。

3 BIM 技术在施工阶段的应用

3.1 施工可视化模拟

港口与航道工程以水下基础施工、高空结构吊装、露天大面积作业为主，施工工序类型繁杂且各环节衔接紧密，传统文字说明与二维图纸交底方式难以完整、清晰地表达复杂施工工艺与工序流转逻辑。借助 BIM 技术可构建施工全过程可视化模拟体系，将三维参数化模型与施工进度计划深度关联，搭建 4D 动态施工模拟平台。针对桩基灌注、沉箱预制安装、航道疏浚开挖、防波堤堤身填筑等核心施工工序，逐环节模拟工艺流程、作业顺序与工序衔接时序。通过动态仿真可直观呈现各施工阶段的作业内容与空间占用状态，明确各工序的先后逻辑关系与交叉作业边界条件，帮助施工人员精准识别施工重难点与关键控制点，有效规避工序颠倒、交叉作业空间冲突等问题。同时可针对沉箱出运、大体积混凝土浇筑等特殊复杂工艺开展专项模拟，提前预判技术难点并优化施工组织方案，保障现场施工有序高效推进。

3.2 工程量精准核算

工程量核算是港口与航道工程施工成本控制、资源合理配置及进度科学规划的核心基础依据。传统人工算量模式以二维施工图纸为载体，需逐项查阅图纸手动提取数据，过程繁琐且易受人为因素干扰产生累积误差，难以适配沉箱、灌注桩、大面积护面块体等复杂水工结构的精细化算量需求。基于 BIM 参数化信息模型，各类构件均内嵌精确的几何尺寸、体积参数、数量规格与材质属性等结构化数据，可通过模型自动提取并统计码头面层混凝土用量、桩基钢筋与钢护筒用量、航道疏浚土方开挖量、预制块体安装量等各类工程量。算量过程实现自动化与标准化，有效消除人工核算的主观偏差与重复遗漏，显著提升工程量统计的精度与作业效率。同时，模型支持与设计变更实时联动，构件参数调整后关联工程量数据同步自动更新，实现工程量全过程动态管控，为材料采购计划、施工资源调配与工程成本管控提供可靠的数据支撑[4]。

3.3 施工现场协同管控

港口与航道工程施工涉及参建人员众多、作业区域分布广泛、水上与陆地交叉作业频繁，传统现场管理依赖纸质文件传递与层级汇报，信息传递周期长、协同响应效率低下。BIM 协同管理平台可整合设计单位、施工队伍、技术部门与管理机构等多方参建主体，实现工程三维模型、施工进度数据、技术方案文件、现场动态信息的实时共享与同步更新。各岗位人员可依托平台查阅三维施工模型、专项施工方案与技术交底资料，针对现场施工偏差与质量问题实时反馈，形成线上沟通、线上整改、线上闭环的全流程问题处置机制。同时，管理人员可通过模型将现场实际施工进度与计划进度进行实时比对分析，精准把控各施工区域的作业状态与工序完成情况，统筹协调水工、机电、疏浚等各专业施工衔接，有效消除信息不对称、沟通层级冗余、现场管控滞后等问题，全面提升施工现场多主体协同管理效率。

4 BIM 技术在工程质量与安全管控中的应用

4.1 施工质量精细化管控

港口与航道工程水工结构对施工精度与质量标准要求极为严格，水下基础、沉箱安装、护岸护底等隐蔽工

程占比高且质量检验难度大，传统质量管控模式主要依赖人工定期巡检与事后阶段验收，极易产生质量隐患漏检、缺陷识别滞后、整改闭环不及时等问题。依托 BIM 技术可构建施工质量精细化管控体系，将各类构件的质量验收标准、施工工艺规范与技术参数嵌入三维信息模型，明确各施工工序的质量控制指标与验收阈值。现场各工序施工完成后，可将实测实量数据与模型标准参数进行自动化比对分析，快速识别构件尺寸偏差、施工工艺不达标、结构节点衔接缺陷等质量问题。同时，可对水下隐蔽工程施工全过程进行数字化模型记录与数据留存，形成完整的可追溯质量档案，实现施工质量管理由被动事后验收向主动事前预防、事中实时管控转变，有效保障工程施工质量。

4.2 施工安全风险预判管控

港口与航道工程涵盖水上潜水作业、高空构件吊装、深基坑开挖、大型沉箱出运等大量高危施工场景，作业环境复杂多变，动态安全隐患分布广泛，传统安全管控依赖现场人工排查，易出现风险识别遗漏、防控措施滞后等问题。利用 BIM 三维信息模型可对施工现场全域空间进行安全仿真模拟，提前识别作业区域内的各类安全风险点，包括高空临边作业盲区、水上通航与作业冲突区域、大型设备行走路径交叉区域、临时结构受力薄弱点等关键隐患位置。基于模型对所有风险点位进行精准坐标标注，针对性制定分级安全防护方案与专项作业管控措施，提前布设安全防护设施、划定危险作业警戒范围并设置明确的准入管控规则。同时，依托三维模型开展可视化安全技术交底，清晰传递各作业环节的风险等级与防护操作要求，强化一线施工人员的安全作业认知，从源头降低安全事故发生概率，全面提升施工现场安全管控的精细化水平[5]。

4.3 工程资料数字化管理

港口与航道工程整体建设周期长、施工工序覆盖水上水下多个环节，全流程产生的设计图纸、专项技术交底文件、分部分项验收资料、质量安全整改闭环记录、水下地形测量数据等工程资料体量庞大，传统纸质资料存储模式存在查阅调取效率低、分类归档难度大、长期存放易出现遗失与信息错乱等问题。通过 BIM 技术可将各类结构化与非结构化工程资料与三维模型的对应构件进行精准关联绑定，构建以模型为核心的数字化资料集成管理体系。所有施工过程资料、阶段验收文件、问题整改记录、测量检测数据均可精准映射至具体构件与对应施工工序节点，管理人员可通过点选模型中的指定构件，快速调取该构件全生命周期对应的全部关联资料，实现工程资料的快速检索、精准溯源与标准化归档。该数字化管理模式有效规避传统资料管理的各类弊端，保障工程资料的完整性、规范性与时序连续性，为工程竣工验收、资料移交及后期运维阶段的状态查询与改造升级提供完整可靠的数据支撑。

结束语

BIM 技术与港口与航道工程建设全过程的深度融合，是破解复杂水域工程管控痛点、推动行业数字化转型的核心抓手。本文系统梳理的全流程应用体系，实现了从设计阶段的精准协同优化，到施工阶段的动态高效管控，再到质量安全阶段的精细化可追溯管理的全链条覆盖，有效弥补了传统管理模式的固有局限。未来随着 BIM 与物联网、水下三维扫描等技术的进一步融合，港口与航道工程的管控将向实时数据驱动、全生命周期数字孪生方向持续演进，不断提升工程建设的安全性、经济性与长效运维水平，为水上交通基础设施的高质量发展注入持续的技术动力。

参考文献

[1] 余奇也. 智能化技术在港口与航道工程混凝土配合比优化中的应用研究 [J]. 张江科技评论,2026,(1):109-111.

[2] 夏杰. 港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用 [J]. 价值工程,2026,45(3):115-117.

[3] 刘志聪. 港口与航道工程大体积混凝土裂缝防控的数字化技术应用 [J]. 张江科技评论,2026,(1):106-108.

[4] 乐刚, 邓世杰. 港口航道工程中钻孔灌注桩施工技术应用探讨 [J]. 中国水运,2026,(5):104-106.

[5] 邓志雄. 港口航道工程中钻孔灌注桩技术应用及绿色创新 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术,2026,(3):021-024