

BIM 技术在水利工程全生命周期质量管理中的应用

潘自新

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：水利工程建设环境往往较为复杂，且工程项目施工周期偏长、质量管控点位多，为保障工程最终建设质量，必须积极运用现代化科学技术。BIM 技术具有可视化、参数化、协同化及全数据留存等诸多优势，可贯穿水利工程全生命周期，闭环管控各阶段质量。本文以水利工程全生命周期质量管理为核心，简述 BIM 技术应用可行性，系统探究其在规划决策、勘察设计、施工建设、竣工验收、运维养护、拆除报废各阶段的具体应用路径，最后结合实际工程案例验证应用成效，分析当前技术落地的实操价值。研究表明，BIM 技术可有效破解传统质量管理痛点，提升水利工程质量管控精度与管理效率，推动水利工程质量管控向数字化、智能化、精细化转型，为同类水利工程质量管控提供参考借鉴。

【关键词】：BIM 技术；水利工程；全生命周期；质量管理；应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.089

引言

现如今，我国水利工程逐步向着规模化、复杂化、生态化方向发展，尤其是智慧水利的建设对工程质量、运维安全及长效管控均提出了更高的标准。水利工程涵盖多专业、多工序、长周期建设内容，传统质量管理以人工巡检、纸质记录、分段管控为主，各建设阶段数据互通性差，极易形成信息孤岛，导致设计冲突、施工偏差、隐患整改滞后、质量责任追溯难等问题，严重影响工程整体建设质量与使用寿命。BIM 技术作为工程领域核心数字化技术，可实现工程全要素、全周期数据集成管理，打破各阶段管理壁垒。基于此，本文立足水利工程全生命周期视角，系统研究 BIM 技术在各阶段质量管理中的应用方式与核心价值，结合工程实例验证应用效果，旨在优化水利工程质量管控体系，为智慧水利数字化质量管理落地提供实操支撑。

1 BIM 技术及其在水利工程质量管理中应用的可行性

BIM 技术即建筑信息模型技术，属于一种新型管理技术，其主要依托三维数字化建模、参数化数据集成、动态模拟分析对工程项目实施管理，具备可视化、协同化、可追溯、动态化、参数化五大核心特性。相较于传统二维图纸，BIM 模型可整合水利工程地形、水文、结构、机电、施工、运维等全维度数据，实现工程实体与数据实时联动，为精细化质量管理提供技术支持。水利工程具有地形复杂、水文工况多变、专业交叉多、运维周期长的显著特点，其质量管理贯穿项目全流程，对数据完整性、管控连续性、精准度要求极高。传统管理模式无法实现多专业协同设计、施工动态预警、运维精准监测，而 BIM 技术可打通规划、设计、施工、运维全流程数据壁垒，实现各阶段质量前置预控、过程动态管控、事后精准追溯^[1]。同时，

当前智慧水利政策扶持、数字化设备普及、行业技术标准逐步完善，为 BIM 技术落地水利质量管理提供了政策、设备、技术多重保障，具备极高的应用可行性与推广价值。

2 BIM 技术在水利工程全生命周期质量管理中的具体应用

2.1 规划决策阶段——前置管控项目质量及优化方案

规划决策是水利工程建设过程的第一步，决策是否科学合理直接决定了工程整体布局、建设标准与长期运行质量，强化前置质量管控可从根源规避后期重大质量隐患。传统规划决策依托二维图纸与人工勘察分析，难以精准预判地形、水文、生态对工程的影响，易出现方案适配性差、布局不合理等问题。

工作人员可依托 BIM+GIS 融合技术构建项目区域高精度三维地形、水文、地质仿真模型，真实还原区域地貌特征、水文流向、地质结构及生态环境现状。基于仿真模型开展工程选址、规模布局、线路规划的模拟分析，对比多套规划方案的可行性与安全性，精准规避地质薄弱区、水文风险区^[2]。同时，结合区域防洪、灌溉、生态保护核心需求优化工程整体规划参数，预判规划方案中存在的质量风险与建设隐患。并通过数字化模拟校验筛选最优规划方案，从源头管控工程质量，为后续设计、施工、运维全流程质量管控奠定坚实基础，有效降低后期方案变更、结构缺陷等质量问题发生率。

2.2 勘察设计阶段——精准设计与预控质量

水利工程勘察设计阶段的主要任务是保障设计方案的合理性与可行性，同样也是工程质量预控的关键环节之一。传统二维设计模式下，水工结构、机电设备、水文水力、岩土工程等多专业独立设计，图纸兼容性差，极易出现管线碰撞、结构冲突、参数不匹配等设计缺陷，后期施工变更频繁，严重影响

工程质量。

BIM 协同设计技术的引入可搭建多专业一体化协同设计平台,各专业设计人员同步开展三维参数化建模,实时同步设计数据、共享建模成果。系统可自动检测模型碰撞、结构偏差、参数冲突等问题,精准定位设计漏洞,提前完成方案优化与整改^[3]。同时,可依托 BIM 模型开展设计方案可视化校验,模拟不同水文工况、荷载条件下工程结构的稳定性,优化结构尺寸、材料参数、施工工艺标准。通过数字化预演与校验,大幅提升设计精度,减少设计缺陷与施工变更,从设计环节消除质量隐患,实现工程质量全过程预控,为现场标准化施工提供精准、完善的技术依据。

2.3 施工建设阶段——动态过程质量管控

施工建设阶段涵盖内容非常多,且工序繁杂、施工变量多、质量隐患隐蔽性强,传统人工管控难以实现全过程动态精准管控。依托 BIM4D 施工模拟技术可将三维模型与施工进度、工艺流程绑定,模拟全工序施工过程,优化施工顺序、资源配置与施工方案,提前规避工艺不合理、工序冲突、施工安全质量风险。

与此同时,结合三维激光扫描、现场智能巡检设备实时采集施工现场实体数据,与 BIM 设计模型进行精准比对,快速识别构件尺寸偏差、工艺不达标、施工疏漏等质量问题,实现质量偏差动态预警。此外,搭建 BIM 施工质量台账,全程记录原材料检测数据、工序验收结果、质量隐患问题、整改流程及复核结果,实现施工质量问题可定位、可追溯、可闭环^[4]。通过数字化动态管控彻底改变传统事后整改的粗放管理模式,实现施工全过程质量可控、可管、可追溯,如下表 1。

表 1 传统模式与 BIM 数字化施工质量管控对比分析表

管控维度	传统施工质量管控	BIM 数字化施工质量管控
管控模式	事后检查、被动整改	动态监测、事前预控、事中管控
精度把控	人工测量,误差较大、漏检率高	模型比对,毫米级精度、全覆盖检测
问题追溯	纸质记录,数据零散、追溯困难	云端留存,全程溯源、责任明确
协同效率	各岗位信息割裂、沟通低效	平台协同、数据实时共享、快速联动

2.4 竣工验收阶段——数字化质量验收

竣工验收阶段,相关人员需依照设计要求与规范判断工程是否达标交付、投入使用。传统竣工验收依赖纸质图纸、人工核对、资料汇总,存在验收效率低、资料易缺失、实体与图纸不符、质量核查不全面等问题,极易出现验收漏洞。

基于 BIM 竣工模型可整合工程规划、设计、施工、检测、整改全流程数字化数据,形成完整的数字化验收档案,替代传统繁杂的纸质资料。验收人员可依托 BIM 可视化模型,直观比对工程实体与设计标准、施工规范的契合度,精准核查结构尺寸、施工工艺、设备安装、隐患整改等关键验收点位。同时,可通过模型数据快速调取各工序检测报告、原材料合格证、质量整改记录,实现验收数据一键核查、全程可查^[5]。针对验收中发现的遗留质量问题,可在模型中精准标注位置、明确整改标准与时限,督促闭环整改。数字化验收模式有效提升验收精度与效率,杜绝形式化验收,保障工程交付质量符合规范标准,实现工程高质量竣工交付。

2.5 运维管理阶段——长效质量监测与养护

为最大限度延长水利工程适用寿命,工程建成投入使用后还需做好各项运维工作,因为其长期受水流冲刷、环境侵蚀、荷载变化影响,易出现结构渗漏、设备老化、构件破损等质量病害,传统运维模式存在监测滞后、病害排查不全面、养护针对性弱等问题。

运维管理人员可依托 BIM 运维模型,搭载物联网监测设备,实时动态化监测大坝、渠道、闸站、机电设备等构筑物运行状态,全天候采集结构沉降、渗漏、位移、设备运行参数等质量数据。系统可依托模型预设阈值,智能识别异常数据,自动预警结构病害、运行质量风险,精准定位病害位置与影响范围。同时,结合 BIM 全周期数据分析工程质量病害成因、发展规律,制定精准的维修、养护、加固方案,替代传统盲目养护模式。通过数字化长效管控,实现运维阶段质量风险提前预警、病害精准处置、养护科学高效,保障工程长期稳定、安全运行,实现全生命周期质量长效管控。

2.6 拆除报废阶段——合规化质量收尾管控

过去人们都没有对拆除报废阶段的质量与安全管控工作引起足够的重视,且缺乏完整的数据支撑,易出现拆除施工不规范、资源浪费、安全隐患突出等问题。

而基于 BIM 全生命周期数据库可完整调取工程建设、运行、养护、病害老化的全部数据,精准分析工程结构老化程度、构件破损状态、设备报废情况,为工程拆除、改造、重建提供核心数据支撑。也可依托 BIM 模型模拟拆除施工流程,优化

拆除施工方案, 预判拆除过程中的结构坍塌、构件坠落、水流干扰等安全质量风险, 制定针对性防控措施, 规范拆除施工工序与操作标准^[9]。同时, 通过模型统计可回收构件、设备、材料资源, 合理回收利用资源, 减少资源浪费与施工污染。此外, 依托数字化台账完成质量验收、资料归档、项目闭环, 实现水利工程从建设到报废的全流程质量合规管控, 完善全生命周期质量管理闭环体系。

3 工程案例分

3.1 项目概况

某小型河道闸站综合治理项目总治理长度 3.2km, 包含拦水闸、排涝泵站、河道疏浚、堤防加固、生态护坡等多项施工内容, 工程兼具防洪排涝、灌溉供水、生态修复功能。项目施工区域地形复杂、临水作业多、工序交叉频繁, 质量管控点位分散, 传统人工管控难度大, 易出现结构施工偏差、设备安装不达标、工序衔接混乱等质量问题。为提升工程质量管理水平, 项目全程引入 BIM 技术, 搭建全生命周期数字化管控体系, 覆盖规划、设计、施工、验收及运维全流程。

3.2 项目 BIM 质量管理实施方案

本项目基于全生命周期管控理念, 制定系统化 BIM 应用方案。首先, 结合项目地形、水文数据搭建高精度三维 BIM 基础模型, 完成规划方案优化与设计碰撞检测, 提前排查设计质量隐患。施工阶段搭建 BIM4D 动态管控模型, 绑定施工进度与工艺标准, 优化施工工序, 依托智能巡检设备实时采集施工数据, 与模型比对实现质量动态预警与闭环整改。竣工验收阶段整合全流程施工、检测、整改数据, 形成数字化验收档案, 开展可视化精准验收。项目竣工后, 保留完整 BIM 运维模型, 搭载实时监测设备, 实现闸站、堤防、河道工程运行质量动态监测与智能养护, 全程依托数字化平台实现各阶段质量协同管控。

参考文献:

- [1] 朱佳辉,张鑫伟,高云.基于 BIM 技术的水利工程混凝土施工质量控制方法研究[J].科学技术创新,2026,(4):163-166.
- [2] 阮志毅.BIM 技术在水利工程施工管理中的应用研究[J].水上安全,2025,(23):43-45.
- [3] 龙潜.BIM 技术在水利施工安全管理中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(22):248-250+254.
- [4] 刘德平.数字化时代水利水电工程施工技术的优化研究[J].水上安全,2025,(20):64-66.
- [5] 宇文韦.BIM 技术集成在水利工程施工质量管理中的应用实践与优化路径[J].河北水利,2025,(7):34-35.
- [6] 王彩宁.基于 BIM 技术的水利工程施工动态监管方法研究[J].工程技术研究,2025,10(12):150-152.

3.3 应用成效分析

本项目基于 BIM 技术开展全生命周期质量管控, 彻底解决了传统管理信息割裂、管控粗放、隐患整改滞后等问题, 质量管理成效显著提升。设计阶段有效规避 20 余处结构、管线冲突问题, 减少设计变更 18%; 施工阶段施工质量合格率显著提升, 质量隐患整改效率大幅提高; 运维阶段实现病害提前预警, 养护精准度全面提升, 有效降低工程运维成本。整体来看, BIM 技术实现了项目全流程质量可控、可追溯、可优化, 显著提升工程建设质量与管理效率。

表 2 工程管控成效分析表

评价指标	传统管理模式	BIM 数字化管理模式
施工质量合格率	92.3%	99.6%
设计变更率	25.2%	7.2%
隐患整改闭环率	85.6%	100%
资料验收准确率	90.1%	100%

4 结语

综上所述, BIM 技术在水利工程质量管理中的可行运用取得了显著成效。本文系统探究了 BIM 技术在水利工程全生命周期质量管理中的应用路径, 明确了该技术在工程源头预控、过程管控、长效运维、闭环收尾中的核心价值。并结合案例验证, BIM 技术适配水利工程复杂工况, 具备极强的实操性与推广价值。未来, 可进一步融合数字孪生、物联网、大数据技术, 优化 BIM 数据融合能力, 完善行业应用标准, 推动智慧水利质量管理体系持续升级。