

基于 BIM 技术的水利工程施工全过程协同管理研究

张凯杰

河北省水利工程局集团有限公司第三分公司 河北 石家庄 050000

摘要：随着水利工程规模扩大与复杂度攀升，传统管理模式在协同与信息整合上弊端凸显。本文开展基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究，构建包含数据层、平台层、应用层的协同管理模型，利用BIM参数化建模、信息集成特性，结合云计算、物联网等技术，实现施工准备、实施、验收各阶段高效协同，有效解决进度冲突、质量隐患等问题，提升工程综合效益。

关键词：BIM技术；水利工程；施工全过程；协同管理

引言：在水利工程建设规模持续扩大、施工复杂度日益提升的当下，传统管理模式因部门壁垒、信息分散等局限，难以满足高效协同与精准决策需求。BIM技术凭借参数化建模、信息集成及全生命周期管理等优势，为打破这一困境提供了新路径。本文聚焦基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理，旨在探索如何借助该技术整合多主体资源、优化施工流程，提升工程质量与效益，推动水利行业智能化发展。

1 理论基础与关键技术

1.1 BIM技术核心理论

(1) BIM即建筑信息模型，核心特征体现在三方面：参数化建模通过构建参数化构件，实现模型与数据联动，修改参数即可同步更新模型；信息集成整合工程全流程数据，涵盖设计、施工、运维等阶段信息，形成完整信息数据库；全生命周期管理依托集成信息，支撑工程从规划到报废的全阶段决策与管理，提升工程整体效率。(2) BIM在水利工程中适用性显著：地形模拟可精准还原复杂地形地貌，为水利工程选址与设计提供直观依据；水流分析结合水文数据，模拟不同工况下水流状态，助力优化泄洪、输水等设计；施工工艺可视化将复杂施工流程转化为三维动画，便于施工人员理解，减少施工失误。

1.2 协同管理理论

(1) 协同管理内涵是打破部门与主体壁垒，构建多主体（建设、设计、施工等方）、多目标（质量、进度、成本控制）、多阶段（设计、施工、运维）的动态协作机制，实现各方高效配合与资源优化配置。(2) 水利工程协同管理包含四大要素：组织协同明确各方职责与沟通机制；信息协同确保工程数据实时共享与传递；资源协同合理调配人力、物资、设备等资源；流程协同优化工程各环节流程，提升整体协同效率。

1.3 关键技术支撑

(1) BIM建模技术采用地形、结构、设备BIM集成方法，先分别构建地形模型、工程结构模型、设备模型，再通过数据接口实现三者融合，形成完整水利工程BIM模型。(2) 云计算与大数据技术搭建云端数据平台，存储工程海量数据，借助大数据分析技术对数据进行处理，实现多参与方数据实时共享与动态分析。(3) 物联网（IoT）技术在施工设备与施工现场部署传感器，实时采集设备运行数据与环境数据（如温度、湿度），并将数据反馈至BIM模型，实现工程动态监控。(4) 人工智能（AI）技术基于BIM模型中的工程数据，构建施工进度预测模型与风险预警模型，通过AI算法预测施工进度，识别工程潜在风险并发出预警^[1]。

2 水利工程施工全过程协同管理需求分析

2.1 施工阶段划分与协同痛点

(1) 施工准备阶段是工程落地的基础环节，此阶段协同痛点突出：设计方与施工方沟通不畅，导致设计交底不充分，施工人员难以精准理解设计意图，易出现施工偏差；同时，施工方案依赖经验制定，缺乏对工程实际工况的动态适配，结合多专业数据进行施工方案优化困难，无法提前规避潜在施工问题。(2) 施工实施阶段涉及多工序交叉作业，协同矛盾集中显现：各专业施工进度缺乏统一协调，常出现工序衔接断层，引发进度冲突；质量管控多依赖事后检查，难以及时发现施工中的隐蔽问题，形成质量隐患；此外，资源调配缺乏动态规划，易出现材料积压或设备闲置，造成资源浪费，增加工程成本。(3) 竣工验收阶段是工程交付的关键节点，协同短板明显：各参与方数据记录标准不统一，导致数据交付不规范，验收流程受阻；且验收过程中侧重工程实体质量核查，忽视运维所需的设备参数、维护周期等信息，造成运维信息缺失，影响后续工程运维工作开展。

2.2 协同管理需求建模

(1) 功能需求聚焦工程管理效率提升:通过三维可视化交底,将设计图纸转化为三维模型,直观呈现工程细节,解决设计交底难题;建立进度-成本-质量联动管理机制,实现三者数据实时关联,一处变动同步反馈;借助BIM技术开展冲突检测与解决,提前识别施工中的空间、工序冲突,降低施工风险。(2) 数据需求强调数据标准化与集成化:需将模型数据(地形、结构等BIM模型数据)、进度数据(工序计划、实际进度)、质量检测数据(材料检测、工序验收记录)、设备运行数据(设备工况、维护记录)进行标准化处理,通过统一数据接口实现集成存储,为协同管理提供数据支撑^[2]。(3) 组织需求注重责任与机制建设:明确建设、设计、施工、监理等参与方职责,避免责任推诿;建立线上线下结合的协同沟通机制,确保信息实时传递;搭建权限管理体系,根据参与方角色分配数据访问与操作权限,保障数据安全与管理有序。

3 基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理模型构建

3.1 模型架构设计

(1) 总体框架采用“数据层-平台层-应用层”的分层架构,各层职责明确且协同联动。数据层作为基础支撑,负责汇聚与存储工程全流程数据;平台层承担数据处理与协同交互功能,为上层应用提供技术支持;应用层则聚焦具体管理需求,开发针对性功能模块,形成“数据驱动-平台支撑-应用落地”的完整管理链路,确保协同管理高效运转。(2) 数据层以统一数据标准为核心,优先采用国际通用的IFC(工业基础类)格式作为数据交换标准,同时结合水利工程特性,补充制定地形数据、水文数据、设备参数等专项数据规范,消除数据格式壁垒。在此基础上,构建水利BIM数据库,分类存储BIM模型数据(如地形模型、结构模型)、施工管理数据(如进度计划、质量检测记录)、运维基础数据(如设备台账、维护周期),实现数据的集中化、标准化管理,为协同管理提供可靠数据来源。(3) 平台层重点开发轻量化BIM协同平台,采用WebGL、BIM轻量化引擎等技术,对大型BIM模型进行压缩处理,降低硬件运行门槛。平台支持电脑端、移动端、平板端等多终端访问,施工人员可通过移动端实时查看模型与上传数据,管理人员则通过电脑端进行统筹调度。同时,平台搭建数据交互接口,实现与设计软件、施工管理系统、物联网监控平台的数据对接,保障数据在各系统间实时流转,打破信息孤岛^[3]。(4) 应用层围绕水利工程施工管理核心需求,集成五大功能

模块。进度管理模块通过4D BIM(3D模型+时间维度)模拟施工进度,对比计划与实际进度偏差;质量管理模块关联BIM模型与质量检测数据,实现质量问题定位与追溯;安全管理模块在BIM模型中标注危险区域,推送安全预警信息;资源管理模块动态统计材料、设备使用情况,优化资源调配;成本管理模块结合BIM模型工程量与造价数据,实时核算工程成本,形成覆盖施工全过程的管理闭环。

3.2 协同管理流程设计

(1) 设计阶段协同以BIM模型为核心载体,设计方完成初步设计模型后,上传至协同平台,施工方、监理方通过平台在线查看模型,标注设计疑问并反馈至设计方。当发生设计变更时,设计方在BIM模型中修改相关构件,平台自动关联变更部位的工程量数据,生成更新后的工程量清单,同步推送至各参与方,确保变更信息实时传递,避免因信息滞后导致的施工偏差。(2) 施工阶段协同引入4D/5D BIM技术(4D:3D+时间;5D:4D+成本),将施工进度计划、成本预算与BIM模型绑定。通过4D BIM模拟施工过程,直观展示各工序衔接情况,提前发现进度冲突,优化工序安排;借助5D BIM实时核算各施工阶段成本,对比预算与实际成本差异,及时调整资源投入方案。同时,施工人员通过移动端上传现场施工照片、质量检测数据,与BIM模型对应部位关联,实现施工过程的可视化管控与多方协同监督。(3) 运维阶段协同聚焦BIM模型与物联网数据的深度融合,在水利工程设施(如闸门、泵站)部署传感器,实时采集设备运行参数(如电压、转速)、环境数据(如水位、水流速度),并将数据接入协同平台,与BIM模型动态关联。当设备出现异常数据时,平台自动在BIM模型中标注故障部位,推送预警信息至运维人员,并调取设备维护手册、历史维修记录,辅助运维人员制定维修方案,实现从“被动维修”到“主动预警”的智慧运维转变^[4]。

3.3 冲突检测与解决机制

(1) 基于BIM的碰撞检测贯穿设计与施工全过程,在设计阶段,利用BIM软件(如Navisworks)对管线、结构、设备等模型进行整合,开展空间碰撞检测,重点排查输水管道与钢筋结构、泵站设备与墙体的空间冲突,生成碰撞检测报告,明确冲突位置、类型及涉及专业,设计方根据报告优化模型;在施工前,结合施工进度计划,对各工序施工区域进行时间-空间碰撞检测,避免不同专业交叉作业时的工序冲突,减少施工返工与成本浪费^[5]。(2) 建立动态调整机制实现问题闭环管理,施工过程中,监理方、施工方发现质量隐患、进度偏差或新的碰撞问

题时,通过协同平台上传问题描述、现场照片,并关联至BIM模型对应位置,发起问题整改流程。责任方接收任务后,制定整改方案并在平台反馈,整改完成后上传验收资料,经监理方审核通过,问题状态更新为“已解决”,未通过则退回重新整改。同时,平台自动记录问题整改全流程数据,更新至BIM模型与数据库,实现问题可追溯、管理可闭环,保障施工全过程协同高效。

4 案例分析与应用验证

4.1 案例选择与背景介绍

选取某大型水库除险加固工程作为案例,该工程总库容1.2亿立方米,涉及大坝防冲加固、溢洪道改造、输水隧洞修复及配套泵站建设,涵盖土建、机电安装、金属结构等多专业施工。项目地处山区,地形复杂且汛期施工窗口期短,需协调建设、设计、施工、监理等8家参与单位,传统管理模式易出现信息断层与协同低效问题,具备BIM协同管理应用的典型性与必要性。

4.2 BIM协同管理实施路径

(1)实施步骤遵循“五阶段推进法”:模型创建阶段,采用Civil 3D构建地形模型、Revit建立结构与设备模型,形成全专业BIM模型;数据集成阶段,按IFC标准整合进度、质量、成本数据至水利BIM数据库;平台部署阶段,上线轻量化协同平台,开通多终端访问权限;培训与推广阶段,开展3轮专项培训,覆盖200余名项目人员;持续优化阶段,根据施工反馈迭代平台功能,完善数据交互机制。(2)关键技术实现聚焦实操落地:通过BIM轻量化引擎将Revit/Civil 3D模型压缩60%,保障移动端流畅加载;开发移动端BIM应用,支持现场拍照上传、质量问题标注与进度填报,实现数据“实时采集-即时同步”;搭建与物联网平台的数据接口,接入大坝渗压、泵站设备运行数据,联动更新BIM模型。

4.3 应用效果评价

(1)定量指标显著改善:项目进度偏差率从传统管理的8.5%降至3.2%,提前15天完成主体施工;成本节约比例达6.3%,减少材料浪费与返工费用约820万元;质量合格率从92%提升至98.7%,隐蔽工程质量问题同比减少75%。(2)定性评价反馈良好:8家参与单位满意度评分均超90分,认可协同效率提升;通过平台实现施工数据实时共享,管理透明度大幅提高;基于BIM模型的进度模拟与风险预警,为汛期施工决策提供科学依据,决策响应速度提升50%。

结束语

水利工程作为国家基础设施建设的关键部分,其施工管理的精细化与协同化水平至关重要。本研究围绕基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理展开,经实践验证,该模式成功打破信息壁垒,实现多参与方高效协作与资源优化配置,显著提升工程效益。展望未来,随着技术迭代,BIM将与更多前沿科技融合,持续完善水利施工协同管理体系,为推动水利工程高质量发展、保障国家水安全注入强劲动力。

参考文献

- [1]康进军.BIM技术在水利工程建设与管理中的应用探讨[J].农业开发与装备,2023,(11):146-148.
- [2]李华,陈华,黄勇.BIM技术在水利工程施工管理中的应用[J].水利水电技术,2020,51(08):164-166.
- [3]赵鹏.水利工程施工中BIM技术的应用探析[J].建材发展导向,2022,20(10):154-156.
- [4]费益新,叶雪芬.基于BIM的水利工程施工质量全过程控制研究[J].水利技术监督,2023,(03):17-20.
- [5]刘圣鹏.水利工程中BIM技术的应用策略分析[J].现代物业(中旬刊),2021,(05):71-72.