

水利工程施工中 BIM 技术的应用难点及解决措施

陈超

河南省地矿建设工程（集团）有限公司，河南 郑州 450000

DOI:10.61369/WCEST.2025030008

摘 要： 水利工程施工面临地形复杂、工序繁多、参与方众多等挑战，传统管理方式常导致设计与施工衔接不畅、现场协调难度大、风险预判不足等情况。BIM 技术以三维数字化模型为核心，整合工程全生命周期信息，能有效打破传统管理的局限。借助该技术可提前模拟施工流程、碰撞检查设计方案、统筹调配资源，减少施工中的返工与浪费。研究其在水利工程施工中的具体解决措施，对推动工程建设提质增效、保障施工安全具有实际价值。

关 键 词： 水利工程；BIM 技术；应用难点；解决措施

Application Difficulties and Solutions of BIM Technology in Water Conservancy Construction

Chen Chao

Henan Provincial Geology and Mineral Resources Construction Engineering (Group) Co., Ltd.,
Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： Water conservancy construction faces challenges such as complex terrain, numerous procedures, and many participants. Traditional management methods often lead to poor connection between design and construction, difficulty in on-site coordination, and insufficient risk prediction. BIM technology, with a three-dimensional digital model as its core, integrates information across the entire lifecycle of a project, effectively breaking the limitations of traditional management. With this technology, construction processes can be simulated ahead of time, design schemes can be collision-checked, and resources can be coordinated and allocated to reduce rework and waste during construction. Studying its specific solutions in water conservancy construction has practical value for promoting quality improvement and efficiency enhancement in engineering construction and ensuring construction safety.

Keywords： water conservancy engineering; BIM technology; application difficulties; solutions

水利工程施工具有涉及范围广、技术环节复杂、多专业协同要求高等特点，传统管理模式易出现信息传递滞后、数据整合困难、施工冲突等问题。随着数字化技术的发展，BIM 技术为解决这些问题提供了新途径。其通过构建三维模型实现工程信息的集成管理，可在施工前对方案进行模拟分析，施工中实现数据实时共享，施工后形成完整的信息档案。明确 BIM 技术在水利工程施工中的应用路径与解决措施，对提升工程施工效率、降低成本、保障质量具有重要意义。

一、水利工程施工中应用 BIM 技术的重要意义

（一）有利于提升协同设计效率

水利工程设计涉及多个专业领域，传统设计模式下各专业间信息交流存在阻碍，致使设计冲突频发、效率低下。BIM 技术构建起一个集成化的三维信息模型，将建筑、结构、水机、电气等专业信息整合其中，各专业设计人员能在同一平台协同作业，实时共享与更新设计数据^[1]。例如，结构工程师调整大坝结构设计后，水机专业人员可即时看到相关影响，快速做出响应，优化自身设计，避免因信息滞后导致的设计返工，极大提高了设计阶段的协同效率，确保设计方案的准确性与完整性，为后续施工的顺利开展奠定坚实基础。

（二）有利于优化施工过程模拟

水利工程施工环境复杂，施工工艺多样，传统施工方案制定主要依赖经验，难以全面考量施工过程中的潜在问题。借助 BIM 技术，能够依据工程设计模型，结合施工场地条件、施工设备性能、施工人员配置等因素，对施工过程进行模拟。通过模拟，可提前发现施工顺序不合理、施工空间冲突等问题，如在隧洞施工模拟中，精准判断不同施工工序间的干扰，优化施工流程；模拟大型机械设备在施工现场的运行路径，避免碰撞事故。基于模拟结果调整施工方案，能够有效降低施工风险，提高施工安全性与可靠性，减少施工过程中的不确定性，保障工程按计划高效推进。

（三）有利于精准把控施工进度

施工进度管理是水利工程建设的关键环节，传统方式难以实

时、准确地掌握工程进度全貌。BIM技术可将施工进度计划与三维模型相关联,形成4D施工进度模型。通过该模型,管理者能直观查看不同时间节点工程各部位的施工状态,对比实际进度与计划进度的差异。一旦发现进度滞后,可迅速定位问题所在,分析原因,如某一区域混凝土浇筑延迟,可借助模型分析是材料供应、设备故障还是人员调配问题,进而针对性地采取措施进行调整。同时,利用BIM模型对后续施工进度进行预测,提前做好资源调配与施工安排,确保工程进度可控,按时竣工交付。

二、水利工程施工中BIM技术的应用难点

(一) 技术标准与规范体系不完善

水利工程具有专业性强、地域差异大、工程类型复杂等特点,导致BIM技术应用缺乏统一且适配的标准体系。目前,通用建筑领域的BIM标准难以完全覆盖水利工程的特殊需求,如坝体结构参数化建模、水文地质信息集成、施工导流过程模拟等环节,尚未形成明确的技术规范。这使得不同参与方在模型创建时采用的建模精度、数据格式、信息分类方式存在差异,导致模型交互困难、数据共享效率低下^[2]。此外,水利工程涉及设计、施工、运维等全生命周期阶段,各阶段对BIM模型的信息需求不同,但现有标准对各阶段信息传递的边界、内容和格式缺乏清晰界定,容易出现信息断层或冗余,影响BIM技术在施工阶段的应用效果。

(二) 模型构建的复杂性与精度控制难题

水利工程施工环境复杂,涉及地形地貌、地质构造、水文条件等多因素,BIM模型构建需整合大量多源异构数据,增加了模型创建的难度。一方面,水利工程结构体型复杂,如拱坝、溢洪道等构件的非线性特征明显,参数化建模过程中需精确反映结构几何形态与力学性能的关联,对建模技术和软件功能提出极高要求。另一方面,施工过程中存在动态变化因素,如地基处理中的地质条件差异、施工进度调整导致的工序变更等,需要BIM模型具备实时更新能力,但模型精度与更新效率之间存在矛盾。若追求过高精度,会导致模型数据量激增,增加存储和计算压力,影响施工模拟的流畅性;若精度不足,则无法准确反映工程实际情况,可能导致施工方案优化失效或决策偏差,难以满足施工管理的精度需求。

(三) 多参与方协同管理机制不健全

水利工程施工参与方众多,包括业主、设计单位、施工企业、监理单位、设备供应商等,各方在BIM技术应用中的角色、职责和利益诉求存在差异,缺乏高效的协同管理机制。首先,协同平台的缺失或功能不足导致信息传递不畅,各参与方往往基于自身需求创建独立模型,模型之间的兼容性差,难以实现实时数据交互和协同作业。其次,BIM技术应用需要各方人员具备相应的技能和意识,但不同参与方的BIM应用水平参差不齐,部分单位对BIM技术的认知仍停留在可视化层面,缺乏对模型数据的深度应用能力,导致协同过程中出现信息不对称、责任划分模糊等问题。此外,施工过程中的变更管理复杂,传统变更流程与BIM

模型的关联度低,变更信息难以快速同步到各参与方的模型中,容易引发施工冲突或返工,影响施工进度和成本控制。

三、水利工程施工中BIM技术应用难点的解决策略

(一) 构建适配水利工程的BIM标准体系与规范

在水利工程数字化转型过程中,技术标准与规范体系的不完善已成为制约BIM技术深度应用的核心瓶颈。水利工程具有跨区域、多专业协同、全生命周期长等显著特性,这就要求BIM标准框架必须打破传统条块分割的模式,构建分层分类、覆盖规划设计、施工建造、运行维护全生命周期的一体化标准体系。

解决这一问题,首先需强化顶层设计。应由水利行业主管部门牵头,联合大型水利企业、科研院所及软件服务商组建专项工作组,开展水利工程BIM标准的系统性研究。专项研究需重点聚焦水利工程特有的地质勘察数据建模、水工结构参数化表达、施工过程动态模拟等关键技术节点,制定涵盖模型精度等级、信息编码规则、交付物格式等核心要素的基础标准,同时针对枢纽工程、引水工程等不同类型项目制定差异化的应用指南,确保标准既具备普适性又兼顾专业性。

其次,需建立动态更新机制以保持标准的时效性。水利工程技术迭代与工程实践需求处于持续变化中,标准体系必须与技术发展同频共振。可依托行业大数据平台,实时采集工程实践中的模型交互问题、数据共享障碍等反馈信息,每1-2年组织专家委员会进行标准修订,将装配式建造、数字孪生等新技术纳入标准体系,避免标准滞后于技术应用的尴尬局面。此外,标准的生命力在于执行,需构建全流程监督与评估体系。选取重大水利工程作为试点,通过BIM技术全流程应用验证标准的可行性与适配性,总结形成可复制的实施经验。同时,建立强制性约束机制,明确建设单位、设计单位、施工单位等参与方的标准执行责任,将BIM标准遵循情况纳入工程验收指标,从源头消除模型数据“信息孤岛”,为跨阶段数据共享、多专业协同工作及工程全生命周期数字化管理奠定坚实基础。

(二) 优化模型构建技术与动态精度管控方法

在精度管控方面,建立“分级精度+动态调整”机制,是平衡建模效率与工程可靠性的核心策略。分级精度需基于工程全生命周期的功能需求制定差异化标准:对于坝体基础、防渗墙等核心结构,采用毫米级精度建模,整合三维激光扫描与无人机倾斜摄影数据,确保结构几何参数与设计蓝图的偏差控制在0.5%以内;对于边坡支护、导流洞等次要结构,采用厘米级精度,通过BIM模型与现场监测数据的实时比对,允许 $\pm 2\text{cm}$ 的施工误差;而对于库区地形、附属设施等辅助要素,采用分米级精度即可满足宏观规划需求,有效降低数据采集与模型运算的成本。

动态调整机制则需构建“监测-评估-迭代”的闭环管理体系。在设计阶段,依据地质勘察的详略程度动态优化精度等级,如遇断层破碎带等复杂地质条件,自动触发核心区精度升级程序,增补地质雷达探测数据以提升模型的地质适应性;施工阶段通过布设物联网传感网络,实时采集混凝土强度、结构变形等关

键指标,当监测值超出预警阈值时,系统自动推送精度调整方案,例如对坝体应力集中区启动模型精细化重构;运维阶段则根据结构老化速率动态下调非关键区域的精度等级,将算力资源集中于渗漏监测、结构安全评估等核心模块。此外,需配套建立精度追溯与责任划分机制。通过BIM模型的版本管理功能,记录各阶段精度调整的触发条件、审批流程及实施效果,形成可追溯的精度控制档案。同时引入机器学习算法,基于历史工程数据构建精度需求预测模型,自动识别易发生精度偏差的关键节点,提前制定预防性调整策略,实现从被动修正到主动管控的转变。这种动态适配的精度管控模式,既能避免过度建模造成的资源浪费,又能确保关键部位的精度可靠性,为水利工程的安全建设与高效运维提供刚性技术支撑。

（三）建立多参与方协同管理平台与流程机制

破解协同管理难题的核心是构建“平台+流程+责任”三位一体的协同体系。这一体系以技术赋能为基础、流程重构为纽带、责任闭环为保障,形成相互支撑的管理生态。搭建基于云技术的水利工程BIM协同管理平台,需突破传统单机版建模的局限,整合三维模型引擎、物联网数据接口与权限管理模块,实现设计单位、施工企业、监理机构等多方主体的实时数据共享。平台应具备模型轻量化浏览、版本动态追踪、冲突在线批注等功能,例如设计方上传的结构模型可自动关联地质勘察数据,施工方通过移动端实时标记现场变更,系统自动推送变更影响范围至相关方,避免信息滞后导致的协同断层^[3]。

重构协同工作流程需以BIM应用阶段为脉络,明确各参与方的权责衔接节点。设计阶段由设计院主导模型创建,需在72小时内响应施工方提出的模型深化需求;施工阶段由总包单位统筹模型应用,每周组织各分包方进行模型碰撞检测,对管线冲突等问题实行“发现-分配-整改-核验”的四步闭环处理;运维阶段则由业主单位牵头,联合运维团队定期更新模型的设备参数与维护记录,确保模型与实体工程的一致性。建立协同绩效评价机制需量化考核指标,将模型更新延迟率、数据错误整改时效、跨方沟通响应速度等纳入月度考核,与参建单位的信用评级、工程款支付比例挂钩。同时引入区块链技术存证协同过程数据,确保考核结果的客观性,通过“平台留痕、流程控权、考核问责”的联动机制,推动各方从被动配合转向主动协同,从根本上提升水利

工程全生命周期的管理效能。

（四）实施复合型人才培养与技术融合创新计划

解决专业人才短缺与技术融合不足的问题,需从人才供给侧改革与技术应用深化双维度突破,构建“培养-融合-激励”的递进式解决方案。在人才培养方面,需搭建“院校筑基+企业赋能+项目实战”的多层次体系。高校应增设水利工程BIM应用课程模块,将三维建模、地质数据处理等技术纳入专业教学大纲,联合企业开发“理论授课+软件实操”的双师型课程;施工企业需建立内部实训基地,通过“老带新”师徒制让技术骨干在实际项目中传授BIM与施工工艺的结合经验,如针对导流洞施工方案模拟开展专项培训;行业协会定期组织跨单位技术比武,以“模型精度优化”“工期模拟推演”等实战课题检验人才综合能力,形成从理论到实践的完整培养链条。

推动技术跨界融合,需打破水利工程与信息技术的行业壁垒。一方面将BIM与物联网、数字孪生技术深度耦合,例如通过BIM模型关联施工现场的传感设备数据,实现混凝土浇筑温度与结构应力的实时可视化监测;另一方面借鉴建筑、市政等领域的成熟经验,开发适配水利工程的BIM二次应用模块,如针对坝体防渗设计的参数化建模工具,解决复杂地质条件下的技术适配难题。建立技术创新激励机制是持续突破的关键。设置阶梯式奖励体系:对实现基础流程优化的团队给予项目奖金,对通过BIM技术节约10%以上成本的创新成果,纳入企业技术专利池并给予研发团队利润分成;同时建立创新成果转化平台,将优秀案例编制成行业标准手册,通过技术扩散效应带动全行业应用升级,推动BIM技术从单纯的可视化展示,向施工方案比选、风险预警预判等价值创造环节深度渗透。

四、结语

综上所述,通过上述解决措施,能有效应对水利工程施工中BIM技术应用的各类问题。模型构建更规范,协同机制更顺畅,数据安全有保障,BIM技术的价值得以充分释放。这不仅提升了当前工程施工水平,也为水利工程行业数字化转型积累了经验,助力行业实现可持续发展,适应新时代工程建设的更高要求。

参考文献

- [1] 卢德友. 水利工程BIM建模与应用[M]. 中国水利水电出版社, 2023.
[2] 张敬宏. 水利工程中BIM技术的应用及推广[J]. 冶金管理, 2022, (23): 68-70.
[3] 关莉莉, 张亚坤, 赵海滨. BIM+水利工程项目管理实训[M]. 中国水利水电出版社, 2022.