

# 基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究

李金钟

红河锦瑞建筑工程有限公司 云南 红河 661100

**摘要：**本文立足于水利工程施工全过程管理的实际需求，深入剖析BIM技术与水利工程特性的适配逻辑，构建覆盖“设计—施工—移交”全链条的协同管理框架，并从进度、成本、质量、安全及绿色建造等多个维度系统阐述BIM驱动下的协同机制。在此基础上，文章进一步探讨当前BIM在水利领域推广所面临的标准缺失、软件适配不足、数据融合困难及人才断层等核心瓶颈，并提出以标准引领、平台赋能、生态共建和教育支撑为核心的推进路径。研究表明，BIM不仅是技术工具的升级，更是项目管理范式的重构，其深度融入将有力推动水利工程建设向精细化、智能化和可持续化方向演进。

**关键词：**BIM技术；水利工程；施工全过程；协同管理；数字孪生；智能建造

## 引言

当前，我国水利工程建设正处在由规模扩张迈向高质量发展关键转型期，“国家水网”“智慧水利”等重大战略深入推进，新建和改扩建水利工程呈现出结构复杂、建设周期短、安全标准高、环境约束严等新特征。传统施工管理模式难以满足现代水利工程精准控制、高效协同与风险预控需求，多专业交叉、施工环境动态变化场景下问题频发，既浪费资源又埋下安全隐患。与此同时，以BIM为代表的数字建造技术在全球基础设施领域迅速普及，其构建的数字化模型实现了工程对象从“静态图纸”到“动态信息载体”的转变，核心价值在于打破信息孤岛、促进高效协作，但在水利工程中渗透尚浅。开展基于BIM的水利工程施工全过程协同管理研究，理论上可拓展其应用边界、丰富工程管理理论内涵；实践上能为水利行业提供数字化管理范式，提升工程品质、缩短周期、降低成本，契合国家战略导向，对加快水利现代化进程意义重大。

## 1 BIM技术与水利工程协同管理的适配性分析

水利工程因其固有的系统性、专业性和环境敏感性，在施工管理中长期面临若干结构性难题。首先，水工建筑物如大坝、水闸、泵站等往往涉及土建、金属结构、机电设备、自动化控制等多个专业，各专业设计成果独立成图，空间关系复杂，极易在施工阶段出现管线碰撞、安装冲突等问题。其次，水利施工受水文气象条件制约显著，施工窗口期短，进度计划需高度动态调整，而传统甘特图难以直观反映空间资源冲突<sup>[1]</sup>。再者，隐蔽工程比例高、质量验收依赖人工记录，信息追溯困难；安全风险点多面广，如高边坡、深基坑、围堰等，缺乏实时预警机制。BIM技术恰好能够从信息集成、过

程模拟和可视化交互三个维度回应上述挑战。其三维参数化模型天然具备空间协调能力，可在虚拟环境中提前暴露专业冲突；4D/5D扩展则将时间与成本维度嵌入模型，实现进度与资源的动态推演；而模型构件与属性信息的绑定，又为质量验评、安全巡检提供了结构化数据入口。因此，BIM并非简单替代CAD绘图，而是通过构建“数字工程孪生体”，重构施工管理的信息流、业务流与决策流。

## 2 基于BIM的水利工程施工全过程协同管理框架构建

### 2.1 总体架构设计

针对上述挑战，本文提出一个以“模型为核心、平台为载体、流程为纽带”的全过程协同管理框架。该框架以统一的BIM模型贯穿施工准备、施工实施与竣工移交三大阶段，依托云原生协同平台实现多方在线协作，并通过开放接口集成物联网、地理信息系统（GIS）、项目管理软件等外部系统，形成“BIM+”融合生态。在信息维度上，模型不仅包含几何信息，还承载进度计划、成本预算、材料规格、验收标准、安全风险点等业务属性，实现“一模多用”。在组织维度上，明确业主、设计、施工、监理等各方在平台中的角色权限与数据责任，建立基于模型的任务分派、问题反馈与变更管理机制，确保权责清晰、过程可溯。

### 2.2 协同运行机制

该框架的有效运行依赖于一系列协同机制的支撑。首先是模型版本控制机制，通过建立模型演化树，记录每一次设计深化、施工变更或现场修正，确保所有参与方始终基于最新有效模型开展工作，避免因版本混乱导致的误施工<sup>[2]</sup>。其次是任务-模型联动机制，将施工计划分解为具体作业任务，并与BIM模型中的空间区域或构

件绑定，系统可自动向责任人推送任务详情、技术交底资料及历史问题记录，实现“任务找人”而非“人找任务”。再次是移动端协同机制，开发轻量化BIM应用，支持现场人员通过移动设备查看模型、标注问题、上传影像并发起协同会签，打通“办公室—工地”信息通道。最后是数据融合机制，通过定义统一时空基准与语义映射规则，将无人机航测点云、传感器实时数据、视频监控流等动态信息叠加至BIM模型，实现物理世界与数字模型的持续同步，为智能决策提供依据。

### 3 BIM 驱动下的施工全过程协同管理

#### 3.1 施工准备阶段的协同深化

在施工准备阶段，BIM的核心作用在于实现设计意图的精准传递与施工可行性的前置验证。通过对施工图进行深化建模，可全面检查各专业之间的空间协调性，识别潜在的硬碰撞（如管道穿梁）或软碰撞（如操作空间不足），并通过虚拟调整优化设计方案，减少后期变更。同时，基于BIM模型可开展施工组织设计的数字化推演，包括大型机械设备的站位规划、物料运输路径模拟、临时设施布局优化等，确保施工方案在空间与时间上的可行性。此外，BIM模型还可作为技术交底的可视化载体，通过三维剖切、动画演示等方式，帮助一线工人更直观理解复杂节点构造，降低理解偏差。

#### 3.2 施工实施阶段的多维协同管控

##### 3.2.1 进度管理的可视化推演与动态调控

在进度管理方面，BIM通过引入时间维度构建4D施工模拟模型，实现了从抽象计划到具象场景的转化。将项目进度计划（如P6或Project生成的WBS任务）与BIM模型中的空间构件或区域进行逻辑关联后，系统可按日、周或月自动渲染出对应时间段内的施工内容、作业面分布及大型设备位置。这种可视化推演不仅有助于管理者直观把握整体施工节奏，更能提前识别潜在的空间冲突——例如两个相邻标段在同一区域同时进行吊装作业，或土方开挖与混凝土浇筑在垂直方向上存在干扰。一旦发现此类问题，可在虚拟环境中调整工序逻辑或资源分配，避免现场停工待料或交叉干扰<sup>[3]</sup>。更为重要的是，在施工过程中，通过定期采集实际进度数据（如无人机航拍比对、移动端任务确认），系统可将实际进展与4D模型进行偏差分析，自动生成进度滞后预警，并结合资源负荷曲线推荐合理的赶工策略，如增加班组、延长工时或优化施工顺序，从而实现进度管理从事后纠偏向事中调控乃至事前预控的转变。

##### 3.2.2 成本控制的精细化核算与动态预警

基于参数化建模特性，BIM模型中的每一构件均携带

完整的几何与材料属性，系统可据此自动提取各分部分项工程的工程量，精度远高于传统手工算量。当这些工程量与企业定额库或市场实时价格数据库对接后，即可生成动态的5D成本模型，实现按部位、按时间、按资源类型的多维度成本预测与分析。例如，项目经理可随时查看某个月份内大坝混凝土浇筑的预计材料费、人工费与机械费构成，并与预算值进行对比。若某类材料价格因市场波动大幅上涨，系统可提前预警超支风险，并支持快速模拟不同采购方案对总成本的影响。此外，BIM还可与合同支付节点绑定，实现“完成即计量、计量即支付”的闭环管理，减少人为干预与争议，提升资金使用效率与透明度。这种以模型为依据、以数据为驱动的成本管控模式，显著增强了项目成本的可预见性与可控性。

##### 3.2.3 质量管理的结构化追溯与闭环整改

在模型深化阶段，可将国家规范、行业标准或企业内控要求（如混凝土强度等级、钢筋保护层厚度、焊缝检测频率等）作为属性字段嵌入相应构件之中。施工过程中，现场质检人员通过移动终端扫描构件二维码或点击模型位置，即可调取该部位的全部质量控制要点与验收标准，并在线填写实测数据、上传影像资料。所有记录自动关联至模型构件，形成不可篡改的质量履历档案。一旦检测结果不符合要求，系统将自动触发整改流程，向责任班组推送整改通知，并设定时限跟踪处理进展。整改完成后需再次报验，直至合格方可进入下一道工序。这种“标准—执行—验证—反馈”的闭环机制，不仅提升了质量验收的规范性与可追溯性，也大幅降低了因信息遗漏或沟通不畅导致的质量隐患。更重要的是，积累的质量数据可为后续类似工程提供经验参考，推动企业质量管理水平的持续改进。

##### 3.2.4 安全管理的风险前置识别与智能预警

首先，在模型中可预先标识所有高风险作业区域（如围堰周边、闸墩顶部、压力钢管安装区等），并关联相应的安全防护措施与应急预案。其次，结合物联网技术，在关键部位部署位移、渗压、应力等传感器，其实时监测数据可通过API接口动态映射至BIM模型，实现对结构稳定性的可视化监控。例如，当边坡位移速率超过阈值时，模型对应区域自动变色告警，并推送至安全管理人员移动端。此外，利用BIM+无人机定期巡检，可获取施工现场的高精度点云数据，通过与原始模型比对，自动识别未设防护的临边洞口、违规堆放的材料或偏离计划的施工区域。在人员管理方面，结合UWB或蓝牙定位技术，可实现作业人员在BIM模型中的实时定位，一旦进入未授权高危区域，系统立即发出声光报警。通

过上述多源感知与模型融合，BIM构建了一个覆盖“人、机、料、法、环”的立体化安全预警网络，为水利工程施工安全提供了坚实的技术保障。

### 3.3 竣工移交阶段的数字资产传承

竣工移交阶段是BIM价值延伸至运维期的关键环节。此阶段需对施工过程中产生的所有变更、隐蔽工程记录、设备调试数据等进行系统整合，更新形成“竣工BIM模型”。该模型不仅包含完整的几何信息，还集成了设备技术参数、保修信息、操作手册、检测报告等运维所需数据，构成工程的“数字身份证”<sup>[4]</sup>。通过标准化的数据交付格式（如COBie），该模型可无缝对接智慧水利运维平台，为设备资产管理、故障诊断、应急调度等提供精准数据底座，真正实现“建管一体、数字孪生”。

## 4 推进 BIM 在水利工程中深度应用的路径思考

### 4.1 当前主要制约因素

尽管BIM潜力巨大，但其在水利工程中的规模化应用仍受多重因素制约。最突出的是标准体系滞后，缺乏强制性或广泛认可的行业BIM标准，导致模型质量参差不齐、互操作性差。其次是技术生态不健全，专用软件工具匮乏，通用平台对水工结构支持有限，二次开发成本高。第三是数据壁垒依然存在，BIM系统与现有工程管理信息系统（如ERP、PMIS）之间缺乏有效集成，形成新的信息孤岛。最后，组织惯性与人才短板也不容忽视——许多水利单位仍将BIM视为“额外负担”，缺乏将其嵌入核心业务流程的动力；同时，复合型人才的短缺使得技术应用难以深入。

### 4.2 系统性推进策略

为突破上述瓶颈，需采取系统性推进策略。首先，应加快标准体系建设，由主管部门牵头制定涵盖建模深度、分类编码、协同流程、交付要求等内容的水利BIM系列标准，为行业提供统一技术语言。其次，鼓励国产

BIM平台开发面向水利工程的专用模块，如水工结构智能建模、流体仿真接口、地质模型融合等，提升建模效率与专业适配性。第三，推动构建行业级BIM云服务平台，以SaaS模式向中小型项目提供低成本、易部署的协同工具，降低技术门槛。第四，强化人才培育，推动高校在水利工程、工程管理等专业中增设BIM课程，并联合行业协会开展在职人员培训与认证，加速复合型人才供给。最后，探索“BIM+AI+IoT”的融合创新，将静态模型升级为具备感知、分析与预测能力的智能体，实现从“事后纠偏”向“事前预控”的管理跃迁。

## 5 结语

BIM技术凭借其强大的信息集成与过程模拟能力，能够有效应对水利工程在多专业协同、动态进度控制、质量可溯性及安全风险预警等方面的管理挑战。通过构建以统一BIM模型为核心、覆盖全施工周期的协同管理框架，并辅以任务联动、移动协同、数据融合等机制，可实现从设计到移交的无缝衔接与高效协同。然而，要实现BIM在水利行业的深度落地，仍需在标准引领、工具适配、生态构建与人才培养等方面协同发力。未来，随着数字孪生、人工智能等技术的深度融合，BIM将不再仅是施工管理的辅助工具，而将成为驱动水利工程建设迈向智能化、绿色化和高质量发展的核心引擎。

## 参考文献

- [1]梁晓鹏.BIM技术在水利工程中的应用[J].散装水泥,2025,(05):70-72+75.
- [2]刘威.基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究[J].水上安全,2024,(10):61-63.
- [3]曾志强.基于BIM技术的水利工程施工全过程协同管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(24):31-33.
- [4]王杨.BIM技术在水利工程施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(09):93-95.