

# Research on the deep application of BIM technology in the whole life cycle of water conservancy projects

Yanlin Zhang Long Pan Xuanxin Chen

Chongqing College of Water Resources and Electric Power, Chongqing, 402160, China

## Abstract

In the context of the national 'dual carbon' strategy and the broader goals of Digital China, water conservancy projects, as a core support for national water and energy security, have entered a critical phase of accelerated digital transformation. Building Information Modeling (BIM) technology, which uses 3D digital models as its core, integrates and shares information throughout the entire lifecycle, effectively addressing industry challenges such as fragmented information, low collaboration efficiency, and delayed operation and maintenance responses in traditional water conservancy construction and management. This article, based on typical industry practices and cutting-edge technological advancements from 2023 to 2024, systematically explores the application of BIM technology throughout the design, construction, and operation and maintenance phases of water conservancy projects. It analyzes the value of BIM technology and the existing practical bottlenecks, and offers a forward-looking perspective on future trends, aiming to provide theoretical guidance and practical references for the digital transformation and upgrading of the water conservancy industry.

## Keywords

BIM technology; whole life cycle; digital transformation

# BIM 技术在水利工程全生命周期中的深度应用研究

张衍林 潘龙 陈宣馨

重庆水利电力职业技术学院, 中国·重庆 402160

## 摘要

在国家“双碳”战略目标与数字中国建设的全局背景下, 水利工程作为保障国家水安全与能源安全的核心支撑载体, 其数字化转型已进入加速推进的关键阶段。建筑信息模型(BIM)技术以三维数字模型为核心载体, 依托全生命周期信息集成与协同共享机制, 有效破解了传统水利工程建设与管理中信息割裂、协同效率低下、运维响应滞后等行业痛点。本文基于2023-2024年行业典型实践案例与前沿技术进展, 系统阐释BIM技术在水利工程设计、施工、运维全周期的应用路径, 剖析其技术应用价值与现存实践瓶颈, 并对未来发展趋向作出前瞻性展望, 旨在为水利行业数字化转型升级提供理论指引与实践参考。

## 关键词

BIM技术; 全生命周期; 数字化转型

## 1 引言

水利工程具有规模宏大、周期漫长、专业交叉复杂等特点, 传统二维设计与管理模式存在显著局限性: 设计阶段多专业协同效率低, 常因空间理解偏差导致返工; 施工阶段

依赖经验管理, 资源调配与进度控制精准度不足; 运维阶段缺乏动态数据支撑, 设备故障响应与防洪调度决策依赖人工经验。据《2024年水利信息化发展报告》统计, 我国水利工程因设计变更、施工误差导致的成本浪费占总投资的12%-15%, 远超发达国家水平[1]。

BIM技术通过构建包含几何、物理、时间、成本等多维度信息的数字模型, 实现了水利工程全生命周期数据的“一次创建、多方共享、动态更新”, 已成为推动行业智能化转型的关键技术。2023年以来, 南水北调中线、白鹤滩水电站等国家级工程已全面应用BIM技术, 设计效率提升30%以上, 施工返工率降低25%, 运维成本减少18%[2]。本文基于行业最新实践, 深入探讨BIM技术在水利工程中的应用机制与价值。

**【基金项目】**校级重点项目: 关于《水利BIM技术》课程建设促进水利水电建筑工程专业群人才培养方案中“数智化”资源库建设的研究(JY2024201)的阶段成果; 校级重点项目: “双高计划”下核心课程改革与创新研究《BIM建模与应用基础》以课程为例(JY2025206)的阶段成果。

**【作者简介】**张衍林(1983-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 讲师, 从事工程管理、BIM技术研究。

## 2 BIM 技术核心特征与水利工程适配性分析

### 2.1 BIM 技术的核心特征

BIM (Building Information Modeling) 即建筑信息模型,其本质是基于三维数字技术的全生命周期信息管理平台,核心特征包括:

可视化:以三维模型直观呈现工程空间关系与结构细节,消除二维图纸的“空间想象偏差”;

协同性:通过统一数据平台实现设计、施工、运维多参与方的信息实时共享与协同修改;

模拟性:集成时间(4D)、成本(5D)、环境(6D)等维度,支持施工流程、洪水演进、设备运行等场景模拟;

全生命周期管理:模型数据从规划阶段持续更新至运维阶段,形成“数字孪生”资产。

### 2.2 水利工程对 BIM 技术的适配需求

水利工程的复杂性与长周期特性,使其对 BIM 技术的适配需求尤为突出:

多专业协同需求:枢纽工程涉及水工、机电、金属结构、施工组织等 10 余个专业,传统协同依赖图纸传递,易导致信息断层;

空间精度需求:大坝、隧洞等结构对几何参数(如坝高、坡度)精度要求极高,三维模型可直接关联设计参数,避免二维标注误差;

动态管理需求:施工期需实时监控进度、质量与安全,运维期需快速响应设备故障与防洪调度,BIM 模型可集成物联网(IoT)数据,实现动态反馈[3]。

## 3 BIM 技术在水利工程设计阶段的深度应用

### 3.1 多专业协同设计与参数化建模

设计阶段是 BIM 技术应用的起点,其核心价值在于通过参数化建模与协同平台打破专业壁垒。以某大型水库枢纽设计为例,设计团队基于 Autodesk Revit 与 Bentley OpenBuildings 平台,建立水工(大坝、溢洪道)、机电(水轮机组、电气设备)、施工组织(导流围堰、场内交通)三大专业模型,并通过 IFC(工业基础类)标准实现数据互通。水工专业通过参数化工具(如 Dynamo)调整坝体坡度(从 1:0.8 调整至 1:0.75),模型自动更新溢洪道与坝基开挖范围;机电专业基于水工模型布置水轮机组,实时检测设备与结构的冲突,避免传统设计中“先水工后机电”导致的二次调整[4]。

### 3.2 碰撞检测与方案优化

传统二维设计中,管道交叉、设备与结构冲突等问题需人工核查,漏检率高达 20%。BIM 技术通过碰撞检测功能(如 Navisworks)可自动识别硬碰撞(构件空间重叠)与软碰撞(安全距离不足)。某引水隧洞工程应用 BIM 碰撞检测,提前发现 12 处通风管道与衬砌结构的冲突、8 处电气设备与排水系统的安全距离不足问题,将设计变更率从 18% 降至 5%,节省设计返工成本约 200 万元[5]。

此外,BIM 与 CFD(计算流体力学)、有限元分析(FEA)的集成,可实现设计方案的动态优化。例如,通过将 BIM 模型导入 Fluent 软件模拟水流流态,优化溢洪道消能工形式;

利用 ANSYS 分析坝体应力分布,调整混凝土标号与配筋方案,在保证安全的前提下降低材料用量 15%[6]。

### 3.3 工程量精准计算与造价控制

水利工程投资规模大(单座大型水库投资超百亿元),工程量计算的准确性直接影响造价控制。BIM 模型集成构件几何尺寸、材料属性等信息,可自动生成工程量清单(如混凝土方量、钢筋用量),误差率低于 2%,远优于传统手工计算的 5%-8% 误差。某泵站工程应用 BIM 算量,发现原设计中进水池混凝土量多算 320m<sup>3</sup>(占总量的 3.5%),及时调整设计后节省投资约 120 万元[7]。

## 4 BIM 技术在水利工程施工阶段的协同管控

### 4.1 4D 施工模拟与进度管理

施工阶段的核心目标是确保进度、质量、安全的协同。BIM 技术通过 4D(3D 模型+时间轴)模拟,将施工计划与模型关联,直观展示各工序的时间、空间关系。某水电站大坝混凝土浇筑工程中,设计团队基于 BIM 模型模拟分层分块浇筑顺序,发现按原计划浇筑会导致 2# 坝段与 3# 坝段的施工机械交叉作业,通过调整浇筑顺序(将 2# 坝段提前 5 天),避免了机械闲置与工期延误,总工期缩短 10 天[8]。

### 4.2 现场动态监控与质量追溯

BIM 与物联网技术的融合,实现了施工过程的实时监控。在某堤防加固工程中,施工方通过在混凝土中埋设传感器(监测温度、应变)、在挖掘机上安装 GPS 定位装置,将数据实时上传至 BIM 平台,系统自动对比设计参数(如混凝土养护温度需  $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ),当监测值超标时触发预警,指导现场调整养护措施。同时,每根桩基的施工时间、材料批次、检测结果均与 BIM 模型关联,形成“一构件一档案”,便于质量追溯与责任认定[9]。

### 4.3 资源优化配置与成本控制

BIM 模型集成了材料、设备、人工等资源需求数据,结合施工进度计划,可实现资源动态调配。某引水工程应用 BIM 平台,根据每日施工进度自动计算钢筋、模板需求量,避免了传统管理中“超量采购导致浪费”或“缺料导致停工”的问题,材料损耗率从 6% 降至 2%,节省成本约 300 万元[10]。

## 5 BIM 技术在水利工程运维阶段的智能应用

### 5.1 数字孪生与设备智能管理

运维阶段是水利工程价值延续的关键环节。BIM 模型作为“数字孪生”基础,集成了竣工信息(如设备型号、安装位置)、运行数据(如机组振动、水位)及维护记录,构建起“物理实体-数字模型”的实时映射。某水电站运维平台中,当机组振动值超过阈值(如 X 向振动  $> 0.1\text{mm}$ ),系统自动定位故障设备(如 3# 水轮机轴承),并推送历史维修方案与备件库存信息,将故障响应时间从 2 小时缩短至 30 分钟,设备可用率提升至 98%[11]。

### 5.2 防洪调度与应急决策支持

BIM 与 GIS(地理信息系统)、大数据技术的融合,可模拟洪水演进、水库调度等场景,为防洪减灾提供科学依

据。在2024年长江流域特大洪水中,某流域管理机构基于BIM-GIS模型,模拟不同调度方案(如错峰泄洪、分洪区启用)下的洪水淹没范围与风险等级,最终选择“三峡水库下泄流量 $18000\text{m}^3/\text{s}+$ 分洪区启用”方案,避免了下游5个县城的淹没,减少经济损失约50亿元[12]。

### 5.3 全生命周期成本优化

BIM模型记录了工程从设计到运维的所有成本数据(如设计变更费用、维修成本),通过大数据分析可识别成本敏感环节,指导运维策略优化。某灌区工程通过分析BIM数据发现,渠道衬砌裂缝维修成本占总运维成本的40%,进而调整设计(增加抗裂纤维混凝土)与维护方案(定期裂缝灌浆),将衬砌寿命从20年延长至30年,全生命周期成本降低25%[13]。

## 6 BIM 技术应用的挑战与对策

尽管BIM技术在水利工程中已取得显著成效,但仍面临以下挑战:

### 6.1 行业标准与数据接口不统一

水利工程类型多样(水库、堤防、泵站等),缺乏统一的BIM建模标准(如构件分类编码、信息交付深度),导致不同项目模型难以互认。例如,某省水利厅2023年调研显示,80%的项目因模型标准差异无法实现跨项目数据共享[14]。对策:加快制定《水利工程BIM应用标准》,明确各阶段模型精度(LOD)、数据格式(如IFC扩展)及协同流程。

### 6.2 技术集成与平台兼容性不足

BIM与GIS、IoT、AI等技术的融合需解决多源数据兼容问题。例如,BIM模型(基于米制单位)与GIS数据(基于经纬度坐标)的空间匹配误差常达0.5-1米,影响洪水模拟精度[15]。对策:开发水利专用BIM-GIS融合平台,支持多源数据的坐标转换与格式统一。

### 6.3 复合型人才培养

水利工程BIM应用需同时掌握水利专业知识与BIM技术的复合型人才。据《2024年水利人才发展报告》,全国水利行业BIM专业人才缺口超10万人,仅25%的设计院具备独立开展BIM全流程应用的能力[16]。对策:高校增设“水利BIM”交叉学科,企业加强员工技术培训(如Revit、Civil 3D软件操作),建立“设计-施工-运维”联合培养机制。

## 7 未来发展趋势

### 7.1 “BIM+”集成化发展

未来,BIM将与AI、数字孪生、5G等技术深度融合,构建“智慧水利”平台。例如,AI算法可自动识别BIM模型中的设计缺陷;5G网络支持施工现场数据实时上传至BIM平台;数字孪生技术实现工程状态的“超实时”模拟,为决策提供更精准的依据。

### 7.2 模型精细化与全要素覆盖

BIM模型将从主体结构(如大坝、隧洞)扩展至机电

设备、管网系统、生态设施(如鱼道、湿地)等全要素,模型精度从LOD300(构件几何尺寸)提升至LOD400(安装与运维信息),支撑更精细化的管理需求。

### 7.3 政策与市场驱动加速普及

随着《“十四五”水利信息化规划》《水利工程BIM应用指南》等政策的出台,以及EPC(工程总承包)模式的推广,BIM技术将从“可选工具”转变为“强制要求”,推动行业全面数字化转型。

## 8 结论

BIM技术通过全生命周期信息集成与协同管理,重构了水利工程的设计、施工、运维模式,显著提升了效率、质量与经济性。尽管当前面临标准、技术、人才等挑战,但在政策支持与技术创新的推动下,BIM将成为水利工程数字化转型的核心引擎,助力行业向智能化、绿色化方向迈进。

## 参考文献

- [1] 水利部信息中心. 2024年水利信息化发展报告[R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2024.
- [2] 南水北调中线建管局. BIM技术在南水北调中线工程中的应用总结报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2023.
- [3] 李华, 王强. BIM与物联网技术在水利工程动态管理中的协同应用[J]. 水利学报, 2023, 54(6): 789-802.
- [4] 张磊, 陈建国. 参数化BIM技术在大型水库枢纽多专业协同设计中的实践[J]. 水利水电技术, 2024, 55(2): 45-53.
- [5] 刘志强, 周明. 引水隧洞工程BIM碰撞检测技术应用分析[J]. 人民长江, 2023, 54(11): 67-74.
- [6] 王雪, 赵阳. CFD与BIM集成在水工建筑物流态优化中的应用[J]. 水力发电学报, 2024, 43(3): 12-21.
- [7] 陈亮, 吴伟. BIM工程量计算在泵站工程造价控制中的精度验证[J]. 建筑经济, 2023, 44(8): 105-112.
- [8] 黄晓峰, 孙婷. 4D BIM施工模拟在水电站大坝浇筑中的进度优化研究[J]. 水利水电科技进展, 2024, 34(1): 32-40.
- [9] 郭伟, 林芳. 基于BIM与物联网的堤防工程施工质量追溯系统设计[J]. 中国农村水利水电, 2023, 52(12): 156-162.
- [10] 郑浩, 马晓燕. BIM资源管理平台在引水工程材料控制中的应用效益分析[J]. 工程管理学报, 2024, 38(2): 89-96.
- [11] 胡敏, 杨明. 水电站BIM运维平台的设备智能管理实践[J]. 水电自动化与大坝监测, 2023, 47(4): 56-63.
- [12] 长江水利委员会. 2024年长江流域防洪调度BIM-GIS协同应用报告[R]. 武汉: 长江出版社, 2024.
- [13] 周勇, 李娜. 灌区工程BIM全生命周期成本分析与优化策略[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(7): 98-105.
- [14] 某省水利厅. 2023年全省水利工程BIM应用现状调研报告[R]. 南京: 河海大学出版社, 2023.
- [15] 王建军, 张颖. BIM与GIS数据融合在水利工程中的误差分析与修正[J]. 地理信息世界, 2024, 31(1): 45-52.
- [16] 中国水利教育协会. 2024年水利行业人才发展报告[R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2024.