

基于 BIM 技术的水利工程设计与管理优化

杨靖¹ 董元华² 徐狄¹ 王聪¹ 程健涛¹

1. 扬州市勘测设计研究院有限公司 江苏扬州 225007

2. 常熟市水利工程质量监督站 江苏常熟 215500

摘要: 随着信息技术的快速发展, BIM 技术作为水利工程数字化转型的重要支撑, 推动着工程设计与管理模式的创新。本文系统探讨了 BIM 技术在水利工程设计与管理中的优化路径, 重点分析其在三维可视化、信息集成与模拟分析等方面的核心优势。通过构建标准化的 BIM 应用流程, 实现了从数据准备、模型创建到协同设计与仿真分析的全过程协同。研究表明, BIM 技术不仅提升了设计效率与精度, 还在工程量统计、造价估算与运维管理等方面发挥了重要作用, 为水利工程的全生命周期管理提供了技术保障。

关键词: 水利工程; BIM 技术; 优化设计; 方法路径

引言:

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分, 其设计与管理过程具有结构复杂、专业交叉、周期长等特点。BIM 技术以其三维可视化、信息集成与动态模拟等特征, 为水利工程的设计与管理提供了全新思路。本文旨在探讨 BIM 技术在水利工程中的系统性应用路径, 分析其在提升设计质量、优化管理流程方面的潜力, 以期为行业实践提供参考。

1 BIM 技术在工程设计中的核心特征

1.1 三维可视化

水利工程设计涉及复杂地质条件、庞大结构体系与多专业协同, BIM 可直观呈现设计成果, 尤其是可与地理信息系统数据进行无缝集成, 将大坝、溢洪道、导流洞等水工建筑物精准地匹配于真实的三维地形中。得益于此, 技术人员能够直观地分析坝肩与山体的结合情况、库区淹没范围、料场运输路径等, 从而在设计初期规避诸多宏观布局问题^[1]。同时, BIM 三维模型为业主、设计人员和施工人员提供了统一的视觉交流平台, 项目参与各方可围绕模型保持密切沟通, 有助于减少因信息误解而导致的错误。

1.2 信息关联性

水利工程 BIM 模型集成了几何信息、物理信息和功能信息, 模型中的所有构件均被赋予了特定属性, 且彼此之间存在着逻辑关联, 某一项参数的修改变化同时会带动其他设计内容的同步更新, 并自动检测不同专业构件之间的空间冲突, 有助于保证设计成果的一致性和整体设计质量。不仅如

此, 水工、机电、金属结构、施工管理等不同专业可以在统一的平台上进行设计, 这使 BIM 模型结构化的信息还为后续工程量统计、采购、施工和运维提供了可靠的数据源, 从而打破了各专业间的“信息孤岛”。

1.3 模拟分析能力

在 BIM 技术支持下, 设计人员可以在虚拟环境中对工程结构进行各种物理仿真分析。比如, 可将模型导入有限元分析软件, 模拟洪水通过泄水建筑物的流态, 进行结构应力、应变模拟, 优化大坝的体型设计。通过将 BIM 模型与施工进度计划和成本信息相关联, 还可动态模拟整个项目的建造过程, 将模型变化与工程量及成本实时挂钩, 辅助监控与管理投资成本等。此外, BIM 模型还可模拟设备故障的影响范围, 或进行应急预案演练, 为水利工程的长期安全、高效运营提供支持。

2 水利工程设计中 BIM 技术的标准化流程

2.1 数据准备

数据准备涵盖多方面数据的收集、整理与转换, 是水利工程设计中应用 BIM 技术的首要环节, 可为后续模型创建、协同设计等提供基础。在该阶段, 应整合地形地貌图、地质勘察数据、水文气象资料、既有基础设施信息等, 将离散的、不同坐标系、不同精度与格式的数据统一到准确的地理信息基准平台上, 生成高精度的三维数字场地模型^[2]。在模型创建前, 建立 BIM 执行计划, 明确规定模型深度等级、原点坐标系、文件命名规则、构件编码体系等, 确保所有参

与方在统一规则下开展工作,保障模型数据在整个生命周期中的一致性可复用性。

2.2 模型创建

模型创建旨在将设计意图和数据信息转化为结构化三维实体,水利工程中的闸墩、消力坎、廊道等各类构件均采用参数化方法创建。严格按照数据准备阶段收集的信息进行操作,从地形模型开始构建,将处理好的地形数据导入 BIM 软件,生成真实的三维地形表面。根据设计方案逐步添加水利工程建筑物模型,准确设置几何尺寸、材料、编号等属性参数。在创建复杂模型时,不同专业的构件在空间上可能存在冲突,这需要利用 BIM 软件所具备碰撞检测功能,在模型创建过程中进行实时碰撞检查,以自动发现模型中的碰撞点,并及时通知设计人员进行修改。

2.3 协同设计

在传统设计模式下,水工、机电、金属结构等各专业独立进行设计,通过纸质图纸和文档进行交流,容易出现信息传递不及时、不准确等问题。而 BIM 技术的协同设计平台为各专业提供了共享的工作环境,设计人员可在同一个 BIM 模型上进行操作,实时查看其他专业的设计内容。为实现有效的协同设计,需建立完善的协同设计流程,明确各专业的职责和工作界面,规定设计文件的提交时间和审核规则等。此外,除了在 BIM 模型上进行直观交流外,还可通过在线会议、即时通讯工具等方式进行实时沟通,及时讨论设计中遇到的问题,共同寻求解决方案。

2.4 仿真分析

仿真分析侧重于对工程进行各种模拟和分析,为设计优化提供科学依据。在流体仿真方面,水利工程中的水流特性对工程的运行效果有着重要影响,而利用 BIM 模型与计算流体动力学(CFD)软件集成,可在该阶段对水流进行精确模拟。根据模拟结果,优化水利工程断面形状、坡度和衬砌方式,提高灌溉效率,减少水资源浪费。同时,水利工程建筑物往往承受水压力、自重、地震力等各种荷载作用,可将 BIM 模型与有限元分析(FEA)软件结合,对建筑物的结构强度和稳定性进行仿真分析,进而调整结构形式、材料参数和基础设计,保障工程安全运行。

2.5 成果交付

交付的成果形式主要包括 BIM 模型文件、设计图纸、分析报告等,是 BIM 技术应用的最后环节,决定了设计成果能否准确、有效地传递给后续的施工和运维等。其中,

BIM 模型文件是核心成果,包含了工程的完整三维信息和属性数据。为确保不同软件 and 平台之间的兼容性,交付的 BIM 模型文件通常采用通用的格式,同时要对模型的创建标准、精度等级、版本信息等文件进行详细说明,方便接收方正确使用模型。设计图纸应符合国家和行业的制图规范,清晰、准确地表达工程的设计意图,并标注必要的尺寸、标高、材料等信息。分析报告则应包括分析的目的、方法、过程和结论,并针对分析结果提出设计优化建议^[3]。

3 BIM 在水利工程设计与管理优化中的应用路径

3.1 基于 BIM 的三维协同设计模式

3.1.1 多专业协同工作流程构建

根据水利工程特点,将整体 BIM 模型按专业和空间区域进行合理拆分。比如,将整个项目划分为地基与基础、挡水建筑物、泄水建筑物、发电厂房等大型工作集,各专业再在其负责的工作集内进行细部构件设计,以保证各专业设计的独立性。在平台中创建并维护一个唯一的“中心模型”,允许所有设计人员通过创建该中心模型的“本地副本”进行工作,日常设计在本地文件上进行,定期将修改内容同步至中心文件。为不同专业团队设置清晰的编辑和查看权限,明确各专业的工作界面和责任范围,从源头上减少设计冲突。当某一专业在设计过程中发现需要另一专业配合修改时,不应直接修改他人模型,而是通过平台内置的“问题”或“标记”功能,将问题附在模型具体位置,并指派给相关专业负责人,由系统自动通知责任人,并跟踪问题处理。

3.1.2 碰撞检测与设计冲突自动检查

在硬碰撞与间隙检查中,可利用 BIM 软件的碰撞检测模块,自动检查不同专业模型构件之间是否存在物理交集,或间距是否满足安装、检修要求。比如,自动检测出埋设在廊道顶板的预应力锚索与通风管道在三维空间上相交,或检修车辆与墙体的最小安全距离不足等问题。在规则驱动的冲突检查方面,则可定义业务规则进行逻辑检查,系统自动筛选出违反此规则的所有设备。为提高检测效率和针对性,不应简单地进行全专业一次性检测,而应采用分阶段、分专业组合的检测策略。在内部协调阶段,先进行水工结构与建筑专业的碰撞检测,解决主体结构与建筑空间的冲突,再待主体结构稳定后,将机电、金属结构模型与水工、建筑模型进行碰撞检测,并由检测软件自动生成包含碰撞点位置截图、构件 ID、责任专业等信息的详细报告^[4]。

3.2 参数化设计与方案优化

3.2.1 利用参数化驱动进行快速优化

首先, 将设计规范和经验转化为算法逻辑。比如, 创建一个大坝体型生成器, 坝坡坡度由坝高、填料抗剪强度等参数根据规范公式自动计算; 坝顶宽度与交通需求、抗震等级等参数挂钩; 防浪墙高度则与坝前风速、吹程及安全超高参数联动。设计人员只需输入坝高、坝型、材料等核心参数, 模型即可自动生成符合规范的初步体型。在复杂结构中, 建立关键设计变量之间的关联关系。针对某个渠道线路优化问题, 设计师可以设定一系列约束条件, 并设定目标函数。然后, 通过软件的脚本或内置优化器, 驱动参数化模型在约束范围内自动生成数十甚至上百个线路方案, 并自动计算每个方案的工程量、成本等关键指标, 最终以可视化图表形式输出 Pareto 最优解集。

3.2.2 结合 GIS 的宏观场地分析与选址优化

BIM 侧重微观尺度的工程构件设计, 而 GIS 则注重宏观尺度的地理环境分析, 将二者深度融合, 可为水利工程的前期规划和选址提供决策支持。对此, 可将遥感影像、数字高程模型 (DEM)、地质图、水文图、土地利用现状图、生态保护区划图等多源 GIS 数据整合到统一的地理数据库中, 再利用 GIS 的空间分析功能, 生成一系列用于选址评价的专题图层。根据项目基本要求, 在 GIS 中设定一系列“排除性”约束条件, 将所有满足约束条件的区域赋值为“1”, 不满足的赋值为“0”, 从而快速客观地在广阔区域内识别出可供进一步比选的候选区, 避免主观性和遗漏。在 GIS 中, 为每个因子分配权重, 并对各因子的空间数据进行标准化处理, 最后通过加权叠加分析模型, 计算每个候选区域的综合得分, 并生成最优推荐场址。

3.3 工程量自动统计与造价估算

在项目初期, 建立统一的 BIM 构件编码体系, 并与工程量清单项目编码进行映射, 为后续自动统计工程量提供基础条件。以一个“C30 钢筋混凝土闸墩”构件为例, 其 BIM 属性中不仅包含几何尺寸, 还须包含混凝土强度等级、体积、模板面积等物理属性, 并挂接对应的清单项目编码。根据 BIM 算量软件内置的计算规则, 自动即时地更新所有相关工程量, 实现规则驱动的复杂计算。例如, 在计算“大坝基础开挖”工程量时, 可利用软件自动识别并排除“截水槽”等已单独列项的子部分, 确保算量准确, 避免重复或遗漏。将 BIM 软件中自动统计的、带有清单编码的工程量数据导入计价软件中。计价软件接收到数据后, 自动套用相应的定额子

目, 并结合当前市场的材料价格信息库, 快速生成详细的预算书、投标报价或材料采购计划。

3.4 性能分析与模拟

传统结构分析需要重新在专用软件中建模, 效率低下且易出错。对此, 可在 BIM 技术支持下, 将包含材料、截面属性、荷载工况等信息的 BIM 结构模型, 通过专用插件导出到结构分析软件中。在分析软件中完成计算后, 不仅可以内力、变形、应力云图等结果可视化地反馈回 BIM 模型, 还能将优化后的构件尺寸、配筋等信息写入 BIM 模型。对于水利工程, 水流特性至关重要, 同样可利用 BIM 模型的模型轻量化处理与数据转换功能, 将溢洪道、消力池、输水管道等关键部位的 BIM 几何模型导入计算流体力学软件, 进而模拟出详细的流场、压力分布、空化风险及能量耗散情况^[5]。模拟结果可以带回 BIM 环境进行三维可视化展示, 从而直观地指导设计优化。

4 结语

综上所述, BIM 技术在水利工程设计与管理中的应用, 不仅标志着行业技术的创新, 更是推动水利工程向数字化、智能化转型的重要动力。通过发挥 BIM 技术在三维可视化、信息集成与模拟分析等方面的优势, 结合标准化的应用流程, 可实现设计效率与质量的协同提升, 促进工程量统计、造价估算及运维管理的全面优化。未来, 随着 BIM 技术的不断完善与普及, 其在水利工程领域的应用前景将更加广阔, 可为构建更加安全、高效、可持续的水利基础设施体系奠定坚实基础, 推动水利工程行业迈向新的发展阶段。

参考文献

- [1] 郭卫坤, 申芳. BIM 技术在水利水电工程施工管理体系中的研究 [J]. 新疆钢铁, 2025,(03):91-93.
- [2] 姜佩奇, 伍杰, 刘辉, 等. 基于 BIM 的数字孪生水利工程轻量化技术研究 [J]. 人民黄河, 2024,46(05):133-137+144.
- [3] 白一帆, 聂常山, 田浪, 等. BIM 在水利工程造价中的应用现状与发展对策 [J]. 人民黄河, 2023,45(05):129-132.
- [4] 宋静远. 融合 BIM 与人工智能的水利工程招投标造价辅助决策模型 [J]. 计算机应用文摘, 2025,41(17):164-166.
- [5] 袁峰, 常宏伟. BIM 技术在水利水电工程施工安全管理中的应用分析 [J]. 冶金管理, 2025,(08):84-86.

作者简介: 杨靖 (1991-05) 男, 汉族, 籍贯: 江苏? 硕士, 扬州市勘测设计研究院有限公司, 工程师, 从事的研究方向: 水利工程设计。