

基于 BIM 技术的水利工程设计优化研究

李青峰

中国水利水电建设工程咨询渤海有限公司 天津 300222

摘 要: 水利工程设计具有地形复杂、专业交叉多、空间结构不规则等特点,传统二维设计模式在信息表达、专业协同及设计变更等方面存在明显局限。本文从水利工程设计特点出发,系统分析了 BIM 技术的适配性,提出了基于 BIM 的地形地质融合、参数化建模、碰撞检测及水力学结构优化等方法,构建了协同设计工作流程。针对水利 BIM 应用中的标准落地、软件本土化、协同管理及设计施工一体化等关键技术难点,提出了相应对策。BIM 技术能够有效提升水利工程设计质量与效率,减少设计错误与返工,为水利工程数字化设计提供技术参考。

关键词: BIM 技术;水利工程;工程设计优化

引言: 水利工程是国民经济基础设施的重要组成部分,其设计质量直接关系到工程安全、投资效益与运行维护。水工建筑物类型多样、空间结构复杂,且受地形地质条件制约显著,传统二维 CAD 设计在表达空间关系、协调专业接口及应对设计变更等方面存在固有局限,导致“错、漏、碰、缺”问题频发,影响设计质量与效率。建筑信息模型(BIM)技术以其三维可视化、参数化驱动、多专业协同及信息关联等优势,为水利工程设计优化提供了新的技术路径。本文立足于水利工程设计实践,系统探讨 BIM 技术在水利工程设计优化中的应用方法,以期为水利行业数字化转型提供参考。

1 水利工程设计特点与 BIM 技术适配性

1.1 水利工程设计的核心内容

水利工程设计涵盖枢纽布置、建筑物设计、水力计算、结构分析及施工组织等方面。枢纽布置需统筹协调大坝、溢洪道、水闸等建筑物的空间关系,确保水流顺畅与结构安全。建筑物设计包括结构形式选定、尺寸确定及配筋等,满足强度、抗渗及耐久性要求。水力计算涉及泄流能力、消能防冲及渗流分析,是优化布置的重要依据。结构分析计算建筑物在各工况下的应力与稳定性。施工组织设计需考虑导截流方案及施工分期。这些设计内容相互关联、相互制约,对多专业协同和信息共享提出了较高要求。

1.2 传统二维设计模式的局限性

传统二维 CAD 设计存在明显局限。平、立、剖面图分离表达,对于复杂水工建筑物的空间形态表达困难,易产生理解偏差。设计变更时需同步修改多张图纸,工作量大且易出现不一致。多专业信息传递依赖图纸会签

和人工协调,专业接口处的碰撞问题难以在设计阶段发现,往往在施工时才暴露,导致返工和延误。工程量统计依赖人工计算,误差大、效率低。设计成果可视化程度低,向业主汇报时沟通成本高。这些局限性推动水利设计向三维数字化方向转型^[1]。

1.3 BIM 技术在设计优化中的适用性

BIM 技术为传统设计痛点提供了系统解决方案。三维可视化方面,BIM 模型立体呈现水工建筑物空间形态,便于理解和沟通。参数化驱动方面,关键参数关联驱动,方案调整时模型自动更新,图纸同步修改,设计变更响应时间大幅缩短。碰撞检测方面,利用软件自动识别土建与金结、电气的硬碰撞和软碰撞,提前解决设计冲突。工程量统计方面,从模型中自动提取混凝土、钢筋等工程量,精度较高。BIM 模型还支持水力学分析、结构计算的数据交换,实现“设计-分析-优化”闭环,成为水利工程设计优化的有力工具。

2 基于 BIM 的水利工程设计优化方法

2.1 地形与地质模型的融合优化

BIM 技术实现了地形地质模型与建筑物模型的有机融合。地形建模基于无人机航拍或测绘数据,生成高精度数字地面模型,反映坝址区地形特征。地质建模将钻孔数据转化为三维地质实体模型,清晰展示地层结构和不良地质体分布。融合应用的关键在于将水工建筑物模型与地形地质模型叠加,进行多方案比选和优化设计,如优化坝轴线避开断层破碎带、优化闸基高程减少开挖方量等。在某泵站工程中,通过 BIM 融合发现基础持力层分布不均,调整基础高程后减少开挖量 1.2 万 m³,节省投资约 300 万元。地形地质融合还可用于渗流分析、

边坡稳定计算的前处理,提高数值模拟精度。

2.2 水工建筑物参数化建模与优化

参数化建模是 BIM 实现设计优化的核心手段。水工建筑物可通过族构件实现参数驱动,如建立闸室底板、闸墩等参数化族,设置闸孔数、底板厚度等关键参数。方案调整时只需修改参数值,模型自动更新,图纸和工程量同步变化,大幅提升设计迭代效率。参数化建模支持多方案比选,通过不同参数组合生成多个方案,对比混凝土方量、结构受力等指标确定最优设计。对于复杂结构,可采用 Dynamo 等工具辅助生成复杂曲面。参数化模型还支持结构分析软件的数据交换,形成“设计-分析-优化”的快速迭代闭环。

2.3 多专业协同设计与碰撞检测优化

BIM 协同设计以中心文件共享方式开展工作,各专业在同一模型平台上实时共享信息。水工专业建立枢纽模型后,金结专业布置闸门、启闭机等设备,电气专业布置电缆桥架,施工专业布置临时设施。碰撞检测利用软件对全专业模型进行硬碰撞和软碰撞检测,结果以报告形式输出碰撞位置、类型及修改方案^[2]。通过碰撞检测可在设计阶段发现大量专业间冲突问题,实际案例表明可发现遗漏碰撞问题 50~100 处,显著减少施工返工。碰撞检测后需建立问题追踪机制,确保每个问题得到确认和修改,形成闭环管理。

2.4 基于 BIM 的水力学与结构优化

BIM 模型可作为数值模拟的前处理平台。水力学优化方面,将 BIM 模型导出导入 CFD 软件进行水流数值模拟,分析流态、流速及冲刷情况,据此优化流道线型、消力池尺寸等,实现“建模-模拟-优化”快速迭代。结构优化方面,将 BIM 模型导入有限元软件计算应力、变形,对应力集中区域优化配筋方案。参数化分析通过改变模型参数自动更新分析模型,对比不同参数下的结构响应,确定最优设计。某水闸工程通过 BIM-CFD 协同分析优化消力池布置,消能效率提升 15%,减少下游冲刷深度 2.5m,取得显著经济效益。

3 基于 BIM 的协同设计工作流程

3.1 协同设计平台搭建

协同设计平台需综合考虑软件选型、权限管理和标准制定。软件选型方面,水利行业主流平台包括 Autodesk 体系 (Revit+Civil3D+Navisworks) 和 Bentley 体系,中小型设计院可选用 Autodesk 体系建立 Revit Server 作为协同服务器。权限管理方面,按专业和人员设置模型读写权限,项目经理具有全部权限,各专业负责人具

有本专业模型读写权限,其他专业为只读。标准制定是平台搭建的关键环节,需统一项目基点、坐标系统、模型命名规则、配色标准及模型深度要求,建议制定企业级《BIM 设计导则》规范建模和协同行为。平台搭建完成后还需进行试运行和人员培训,确保团队熟练掌握协同工具。

3.2 设计阶段划分与模型深度控制

水利工程设计划分为可行性研究、初步设计和施工图设计三个阶段,各阶段对模型深度要求不同。可行性研究阶段 (LOD100) 以体量和轮廓为主,反映建筑物位置和大致尺寸,用于估算投资。初步设计阶段 (LOD200) 需确定主要尺寸和形式,模型包含详细几何信息和初步非几何信息,用于概算编制。施工图设计阶段 (LOD300-350) 模型需达到可直接施工的精细程度,包含细部构造、钢筋布置及预埋件定位,能自动生成二维图纸。复杂节点可提升至 LOD400,增加模板支撑等模型。模型深度控制原则是“适度、适用”,避免过度建模或深度不足,设计阶段间的模型传递应保证信息连续^[3]。

3.3 专业间协同流程

专业间协同流程规范化是 BIM 设计有序推进的关键。水文专业提供水位、流量等参数,为水工专业确定特征高程提供依据。地质专业建立三维地质模型,为坝基处理提供依据。水工专业主导枢纽布置和建筑物设计,将模型共享给其他专业。金结专业布置闸门、启闭机等设备,进行碰撞检测后反馈修改意见。电气专业布置电缆桥架等设施,确保不与结构冲突。施工专业利用整合模型进行施工组织设计。协同过程中需建立定期协调会议制度,每周召开模型整合会,检查一致性和解决冲突。所有修改记录应在平台中留痕,确保版本可追溯,变更管理流程应形成完整闭环。

3.4 设计成果交付

BIM 设计成果包括二维图纸、三维模型、工程量清单及可视化成果四类。二维图纸由模型直接剖切生成,标注与模型关联,模型修改时图纸自动更新,出图前需设置符合水利行业标准的图框和标注样式。三维模型是核心交付物,应提交 IFC 通用格式或原生格式,包含完整的几何信息和属性信息,便于施工方延续使用。工程量清单从模型中自动提取,包括混凝土方量、钢筋用量等,精度满足概预算要求。可视化成果包括枢纽效果图、漫游动画及 VR 场景,用于方案汇报和评审。还应提交碰撞检测报告、设计优化说明等辅助资料。交付后需配合施工方进行模型交底,解释关键节点设计意图。

4 BIM 设计优化的关键技术难点与对策

4.1 水利 BIM 标准落地问题

水利 BIM 标准的制定与落地是推广应用的制度基础。目前国家层面已发布相关标准,但标准颗粒度较粗,存在数据交换格式不统一、模型深度界定模糊等问题。解决对策包括:设计院内部应制定《企业 BIM 设计导则》,细化 LOD 等级要求、命名规则和交付要求,使其具备可操作性。建立模型审核机制,设置专职 BIM 协调员对各专业模型进行标准符合性检查。积极参与行业协会的标准编制工作,将实践中的标准落地问题反馈至标准修订中。针对 IFC 标准在水工建筑物数据交换中的局限性,可开发基于 IFC 的自定义属性扩展工具,实现水利特有信息(如水位、渗透系数等)的标准化表达。标准落地需要制度、人员和工具三方面协同推进。

4.2 软件本土化与二次开发

国外 BIM 软件对中国水利设计规范和出图样式的支持不足是制约推广应用的技术瓶颈,集中体现在钢筋布置与平法表示法不匹配、工程量统计规则与水利定额不对应、出图样式不符合行业标准等方面。解决对策是开展二次开发,利用 Revit API 或 Bentley SDK 开发水利专用插件,包括参数化水工构件库、钢筋自动布置工具、工程量自动统计插件及自动出图工具等^[4]。中小型设计院可采取购买商业插件、委托开发或联合开发方式。软件开发完成后需充分测试,确保计算准确、运行稳定。另一路径是推动国产 BIM 软件在水利领域的应用,逐步形成自主可控的技术体系。

4.3 跨专业协同的组织管理

跨专业协同不仅是技术问题,更是组织管理问题。各专业长期形成的“各自为政”工作习惯与 BIM 要求的“紧密协同”存在冲突,表现为抵触新软件、设计进度不同步、职责划分不清等。解决对策是采取“水工主导、逐步推进”的策略,先让水工专业全面应用 BIM,其他专业采用“传统设计+BIM 翻模”过渡,逐步过渡到全专业 BIM 设计。组织架构上设立 BIM 中心负责技术支持和标准监督,各专业设 BIM 联络员负责内部推广。考核机制上将 BIM 应用成效纳入项目考核和个人绩效,通过正向激励推动落地。高层管理者的重视和支持是关键,应定期召开 BIM 应用推进会协调解决跨专业问题。

4.4 设计施工一体化衔接

设计 BIM 模型向施工阶段有效传递是充分发挥 BIM 价值的关键环节,但目前设计与施工之间存在信息断层。设计模型主要服务于方案表达和图纸生成,而施工模型需增加施工临时设施、模板支撑、施工分段等大量信息,二者无法直接继承,导致重复建模。解决对策是采用“一模到底”策略,在 LOD300 设计模型基础上,由施工方深化至 LOD400 施工模型,设计方提供技术支持和信息交底。数据传递方面,采用 IFC 通用数据格式,确保模型信息不丢失。合同管理方面,在设计招标时明确 BIM 交付要求,在施工招标时要求施工方基于设计模型进行深化,并建立模型移交验收机制。对于大型复杂工程,可采用同一 BIM 平台贯穿设计和施工阶段,双方在同一模型上分权限工作,减少数据转换损失。设计施工一体化的更高阶应用是 EPC 项目中的 BIM 全生命周期管理,设计模型直接用于施工模拟、进度管理和成本控制,充分发挥 BIM 的信息集成优势。设计院应主动向施工方进行模型交底,解释建模假设和适用范围,避免模型误用。

结束语

BIM 技术为水利工程设计优化提供了系统性解决方案,在地形地质融合、参数化建模、碰撞检测及水力学结构优化等方面展现出显著优势。本文从水利工程设计特点出发,系统阐述了 BIM 技术在水利工程设计中的应用方法,构建了涵盖平台搭建、模型深度控制、协同流程及成果交付的协同设计工作流程,针对标准落地、软件本土化、协同管理及设计施工一体化等关键技术难点提出了相应对策。未来随着水利 BIM 标准的完善与国产软件的成熟,BIM 技术将在水利工程全生命周期中发挥更大作用。

参考文献

- [1] 常婕. 基于 BIM 技术的水利工程设计与施工协同优化研究[J]. 河南水利与南水北调,2025,54(8):39-40.
- [2] 侯元昊. 基于 BIM 技术的水库除险加固项目设计与优化研究[J]. 珠江水运, 2025(23):137-139.
- [3] 朱佳辉, 张鑫伟, 高云. 基于 BIM 技术的水利工程混凝土施工质量控制方法研究[J]. 科学技术创新,2026(4):163-166.
- [4] 高栋, 吕桂鹏. 基于 BIM 技术的水利工程设计与施工一体化研究[J]. 水上安全,2024(18):59-61.