

BIM技术在水库工程设计中的应用探析

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: 水库工程属于大型综合性水利枢纽,地形条件复杂、专业交叉繁多,传统二维设计存在可视化差、协同性弱、修改繁琐等弊端。为提升水库工程设计质量与优化效率,本文以BIM技术为研究对象,阐述其技术特征与水库工程设计特点,分析BIM技术应用于水库设计的可行性。从规划选址、勘测设计、初步设计、施工图设计四个阶段,研究BIM技术应用流程,探究三维可视化、碰撞检测、工程量统计、施工模拟及BIM+GIS融合等关键技术应用要点。BIM技术能够有效解决传统设计中的错漏碰缺问题,提升设计质量与效率。本文总结应用优势与技术价值,为同类水利工程数字化设计提供参考。

关键词: BIM技术; 水库工程; 工程设计

引言: 我国水利基础设施建设持续推进,水库工程在防洪蓄水、农业灌溉、水力发电、水资源调度方面发挥关键作用。水库工程涵盖大坝、溢洪道、输水洞、泄洪洞等多类型建筑物内容,传统二维图纸设计可视性差,无法直观展示复杂地质结构与空间位置关系,容易出现布置冲突、结构干涉等设计缺陷。随着智慧水利建设不断深入,BIM技术凭借三维建模、协同设计、数据集成优势,逐步替代传统设计模式。为进一步挖掘BIM技术在水库设计中的应用价值,本文结合水利工程设计规范,分阶段分析BIM应用方法,研究核心关键技术,旨在优化设计流程、降低设计误差、节约工程造价,为现代化水库工程高质量建设提供技术支撑。

1 BIM技术与水库工程设计概述

1.1 BIM技术基本概念与核心特征

BIM技术即建筑信息模型技术,是以三维数字化模型为核心,集成工程几何信息、材质参数、施工信息、运维数据的全生命周期数字化技术。该技术依托Revit、Civil 3D等专业建模软件,构建可视化三维模型,实现工程参数化、信息化管理。BIM技术具备五大核心特征,分别为三维可视化、参数化建模、协同共享性、模拟分析性、数据关联性。模型修改具备联动特性,改动一处参数即可同步更新整体模型,大幅减少图纸修改工作量。相较于传统二维设计,BIM信息集成度更高,可承载地质、结构、机电、水文多类数据。现阶段BIM技术广泛应用于建筑、市政、水利等工程领域,是智慧水利建设的核心数字化技术,为复杂水库工程设计提供可靠技术手段。

1.2 水库工程设计的特点

水库工程属于大型公益性水利工程,建设环境复杂、设计专业性强,具备区别于普通建筑工程的独有特

征。首先,工程选址多位于山区、河谷地带,地形起伏大、地质结构复杂,岩土、水文、气候条件对设计制约性强。其次,水库涵盖水工、地质、机电、水文、施工等多个专业,坝体、溢洪道、输水建筑物空间结构交错,专业交叉协调难度大。再次,工程设计标准严格,防洪等级、防渗性能、结构稳定性要求高,设计容错率低。最后,水库工程建设周期长、投资规模大,后期修改成本高,对前期设计精度要求严苛^[1]。传统二维设计难以适配复杂空间布局,容易出现设计漏洞,亟需BIM数字化技术优化设计模式。

1.3 BIM技术应用于水库工程设计的可行性分析

结合水库工程设计难点与BIM技术特征,二者结合具备极强应用可行性。从技术适配角度分析,BIM三维建模可以精准还原山地地形、地质断层、河道走向,适配水库复杂地形勘测设计;从协同角度分析,BIM可搭建统一设计平台,实现多专业人员同步建模、实时互通,解决专业沟通不畅问题。从经济角度分析,BIM能够提前排查设计隐患,显著减少后期设计变更与返工成本,有效控制工程投资。从行业政策分析,国家大力推行智慧水利建设,明确要求大中型水利工程采用BIM数字化设计。同时计算机硬件、建模软件不断优化,降低BIM应用门槛,为BIM技术普及应用提供良好基础。

2 BIM技术在水库工程设计各阶段的应用

2.1 规划选址阶段

水库规划选址阶段主要完成坝址比选、流域分析、淹没范围测算等基础工作,是工程前期决策关键环节。利用BIM结合无人机航拍、地形测绘数据,快速生成流域三维地形模型,直观展示河道走势、山体坡度、地质岩层分布。设计人员依托三维模型开展多坝址方案对比,

分析不同坝址土石方开挖量、移民拆迁范围、水域淹没面积。结合水文数据模拟汛期水位变化,测算洪水淹没范围,规避地质灾害风险。相比于传统人工测绘分析,BIM技术可大幅缩短选址周期,地形分析精度显著提升。同时模型可直观展示建成后库区景观、水域面积,为项目审批、专家评审提供可视化依据,提高规划选址科学性与合理性。

2.2 勘测设计阶段

勘测设计阶段重点完成地质勘察、岩土检测、水文分析、基础数据收集工作,为后续建模设计提供原始资料。传统勘测资料以纸质图纸、数据表格为主,数据零散、整合难度大。BIM技术可将地质钻孔数据、岩土试验数据、水文监测数据录入平台,构建三维地质模型,清晰呈现岩层分布、断层位置、地下水走向。针对软弱土层、破碎岩层等不良地质区域进行标注,方便设计人员优化坝基施工方案。同时BIM平台可储存勘测全过程数据,实现数据永久留存,避免资料丢失。勘测过程中,利用模型预判地质隐患,提前制定防渗、加固处理方案,减少后期施工地质风险,提升水库基础结构安全稳定性^[2]。

2.3 初步设计阶段

初步设计阶段需要确定坝体结构、坝型方案、枢纽布置、工程总体布局,是设计优化的核心阶段。设计人员依托前期地质模型,开展大坝、溢洪道、输水洞、管理房屋等建筑物参数化建模,确定坝体高度、坝顶宽度、边坡坡度等关键参数。通过BIM模型对比不同坝型受力情况、工程量大小、造价差异,优先选用安全性高、造价低廉、施工便捷的设计方案。同时开展初步碰撞检测,排查坝体与输水管道、机电设备之间的空间冲突,提前优化布局,有效规避结构干涉问题。初步设计完成后生成可视化效果图,直观展示工程整体样貌,为项目概算、方案评审提供数据支撑。

2.4 施工图设计阶段

施工图设计是工程施工的直接技术依据,对图纸精度、标注规范性、设计逻辑一致性均有严格要求,任何疏漏都可能导致施工错误或返工。传统二维施工图设计容易出现尺寸偏差、标注错乱、详图与平面图矛盾等问题,严重影响施工进度和质量。BIM技术采用正向设计模式,依托初步设计阶段建立的三维模型进行深化和细化,全面完善钢筋布置、预埋件定位、管线综合排布、止水构造、伸缩缝节点等细部构造内容,生成高精度施工模型。模型完成后,利用软件的自动出图功能直接导出平、立、剖施工图纸及各部位详图,确保各图纸之间

尺寸统一、逻辑一致,从源头杜绝图纸矛盾问题。在模型中添加工程材质参数、施工工艺要求、设备技术参数等非几何信息,大幅提升施工图的信息完备性。针对坝体防渗结构、泄洪孔洞、廊道交叉等关键复杂部位进行放大建模和详细拆解,细化施工详图表达。施工图审核阶段利用三维模型复核各部位尺寸偏差和空间关系,有效降低图纸错误率,为施工单位的现场作业提供准确、完整的技术保障。

3 BIM 技术在水库工程设计中的关键应用分析

3.1 三维可视化设计

三维可视化是BIM技术最直观的应用价值,它改变了传统二维图纸“平面表达、空间想象”的设计模式。在水库工程设计中,三维可视化体现在多个层面。枢纽整体可视化方面,将大坝、溢洪道、输水隧洞等建筑物模型整合到地形模型中,形成完整的枢纽三维场景,设计人员可从任意角度观察各建筑物的空间关系和外观形态,及时发现布置不合理之处。内部构造可视化方面,通过剖切模型可展示大坝廊道系统、溢洪道泄槽、隧洞衬砌等内部结构,便于设计人员检查和优化细部构造。地质条件可视化方面,将地质模型与建筑物模型叠加,可直观查看坝基、坝肩的地层分布和风化情况,辅助确定开挖深度和处理措施。设计成果可视化方面,利用渲染软件生成枢纽效果图和漫游动画,用于向业主、审批部门汇报方案,显著降低沟通成本^[3]。

3.2 多专业协同设计与碰撞检测

水库工程设计涉及水工、地质、金结、电气、水力机械等多个专业,传统模式下各专业独立绘图,专业间信息传递依赖图纸会签和人工协调,接口处冲突问题频发。BIM技术通过协同设计平台实现了各专业的实时信息共享。水工专业建立大坝、溢洪道等建筑物模型后,金结专业在此基础上布置闸门、启闭机、埋件等设备,电气专业布置电缆桥架、控制柜、照明等设施,施工专业布置临时设施和施工道路。碰撞检测是多专业协同的核心环节,利用Navisworks等软件对整合后的全专业模型进行硬碰撞(构件直接穿插)和软碰撞(检修空间不足)检测,生成包含碰撞位置、类型及修改建议的检测报告。实际工程表明,BIM碰撞检测可发现传统二维设计中遗漏的碰撞问题50~100处,主要包括启闭机基础与梁格冲突、埋件与钢筋位置重叠、电缆桥架与结构构件干涉等。这些冲突在设计阶段修改只需少量人力,若到施工阶段才发现,返工成本将成倍增加。碰撞检测完成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。

3.3 工程量精确统计与设计优化

工程量统计是水库工程设计的重要工作，其准确性直接影响工程投资估算和招标投标。传统模式下，工程量主要依靠人工从图纸上量取计算，存在效率低、误差大、易遗漏等问题，特别是对于大坝、隧洞等复杂结构，土石方开挖量、混凝土方量的计算尤为繁琐。BIM技术实现了工程量的自动精确统计。在参数化模型中，各构件的几何尺寸和体积信息已内置于模型中，通过软件功能可直接提取混凝土方量、土石方开挖量、回填量、钢筋用量、模板面积、灌浆工程量等数据。研究表明，BIM统计的工程量精度可达95%以上，较人工计算效率提升60%以上。基于精确的工程量数据，设计人员可以进行优化分析，对比不同设计方案的经济性。例如，通过调整大坝断面参数，实时统计混凝土方量变化，在满足稳定的前提下寻求最优断面。通过优化溢洪道泄槽宽度，平衡开挖量与混凝土量的关系。

3.4 施工模拟与方案验证（4D-BIM）

施工模拟是将时间维度（3D+Time）引入BIM模型的重要应用，又称4D-BIM，用于验证施工方案的可行性和优化施工组织设计。在水库工程施工中，导截流方案、大坝分期施工、度汛形象面貌等关键工序的施工组织复杂，传统模式下难以进行有效验证。BIM技术通过将施工进度计划（如Project进度文件）与三维模型构件关联，实现施工过程的动态模拟。具体应用中，将大坝按分缝分块划分为若干施工单元，每个单元关联开始时间、结束时间和施工资源信息，模拟软件按时间顺序动态显示大坝的浇筑上升过程。通过模拟，可直观发现施工资源配置是否合理、各工序衔接是否顺畅、施工道路是否满足运输需求等问题，提前优化施工方案。在施工导截流模拟中，可展示围堰填筑、河床截流、基坑排水等过程的时空关系，验证导流方案的可行性。此外，4D-BIM还可用于施工进度管控，将实际进度与计划进度对比，偏差部位在模型中用颜色标识（绿色正常、黄色预警、红色滞后），便于管理者及时采取纠偏措施。

3.5 BIM+GIS融合应用

BIM与GIS（地理信息系统）的融合是拓展水库工程设计视野的重要方向。BIM擅长表达单体建筑物的精细构造和信息属性，GIS擅长管理大范围的地理空间数据，二者融合实现了从“工程单体”到“库区整体”的信息贯通。在规划选址阶段，将库区BIM模型置于GIS平台中，可综合分析地形地貌、土地利用、生态敏感区、移民分布等空间信息，辅助选址决策。在工程设计阶段，将BIM模型与库区高分辨率影像、数字高程模型叠加，进行淹没分析，确定不同水位下的淹没范围和影响区域^[4]。在设计成果表达方面，将枢纽BIM模型与库区GIS场景融合，生成库区整体三维场景，用于方案展示和公众参与。在运行管理阶段，BIM+GIS融合模型可作为水库数字化管理平台的基础，集成水位监测、大坝安全监测、视频监控等实时数据，实现工程安全运行的动态监控。

结束语

本文围绕水库工程设计流程，系统探究BIM技术在规划选址、勘测设计、初步设计、施工图设计全流程应用方法，分析三维可视化、协同碰撞检测、工程量统计、4D施工模拟、BIM+GIS融合五大关键技术。BIM技术能够弥补传统二维设计缺陷，优化设计流程、降低设计误差、节约工程造价，适配水库工程复杂地形、多专业交叉的设计特点。未来行业应完善水利BIM建模规范，加大技术人才培养力度，结合大数据、物联网打造智慧水库。持续深化BIM全生命周期应用，推动我国水利工程数字化、高质量长效发展。

参考文献

- [1]侯望. BIM技术在抽水蓄能电站上水库设计中的应用[J].工程技术研究, 2023, 8(18):204-206.
- [2]石庆安,王茂洋,刘明. 5D BIM技术在宰章水库工程中的应用研究[J].湖南水利水电,2022(1):80-82.
- [3]冯磊. BIM技术在水库设计中的应用[J].水利科技与经济,2025,31(5):34-37.
- [4]孟宪锋,王小冬. BIM技术在大型水库建设项目施工进度控制中的应用研究[J].水上安全,2025(20):136-138.