

BIM 技术在水利工程设计施工运维中的应用

张青玲

晋城市水利勘测设计院有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4926

[摘要] 文章聚焦BIM技术在水利工程全生命周期的应用。阐述其与全生命周期管理理论融合推动行业转型,在设计阶段实现三维协同、参数化及水文水力模拟;施工阶段助力施工模拟、质量控制、成本控制与安全管理;运维阶段支持设施设备管理、健康监测与应急管理。通过应用提升水利工程规划、建设与运维水平,推动其智慧化发展。

[关键词] BIM技术; 水利工程; 三维设计; 施工模拟

中图分类号: TV222 **文献标识码:** A

Application of BIM Technology in Design, Construction, Operation and Maintenance of Water Conservancy Engineering

Qingling Zhang

Jincheng Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the application of BIM technology in the full lifecycle of water conservancy engineering. It elaborates on its integration with lifecycle management theory to promote industry transformation. In the design phase, it achieves three-dimensional collaboration, parametric design, and hydrological and hydraulic simulation. In the construction phase, it assists construction simulation, quality control, cost control, and safety management. In the operation and maintenance phase, it supports facility and equipment management, health monitoring, and emergency management. Through these applications, the level of water conservancy engineering planning, construction, operation and maintenance is improved, promoting its intelligent development.

[Key words] BIM technology; water conservancy engineering; three-dimensional design; construction simulation

引言

水利工程关乎国计民生,传统管理模式在全生命周期各阶段面临诸多挑战。BIM技术作为数字化手段,凭借其强大的信息集成与模拟分析能力,正逐渐融入水利工程领域。探讨BIM技术在水利工程设计、施工、运维阶段的应用,对提升工程质量、降低成本、保障安全、实现可持续发展具有重要意义。

1 BIM技术与水利工程全生命周期管理理论

BIM技术(建筑信息模型)与水利工程全生命周期管理理论的深度融合,正推动水利行业向数字化、智能化转型。水利工程全生命周期涵盖规划、设计、施工、运营及退役各阶段,其管理需统筹技术、经济、环境等多维度要素。BIM技术通过三维数字模型集成工程几何、属性及过程信息,为全生命周期管理提供动态数据支撑。在规划阶段,BIM结合GIS技术实现地形、水文、生态等环境要素的数字化模拟,辅助选址优化与可行性分析;在设计阶段,多专业协同设计平台打破信息孤岛,通过碰撞检测、参数化建模提升设计精度,如隧洞BIM模型自动分段插件可实时仿

真施工进度;在施工阶段,4D/5DBIM技术将模型与进度、成本关联,实现资源动态调配与风险预警;在运营阶段,BIM模型作为数字孪生载体,集成设备监测数据,支持预测性维护与应急响应,如大藤峡水利枢纽通过数字孪生工程实现安全预警与库区管理。该理论强调数据驱动决策,通过BIM平台实现全生命周期信息共享与追溯,推动水利工程向“智慧化、绿色化、可持续化”方向发展。

2 BIM技术在水利工程设计阶段的应用

2.1 三维协同设计

在水利工程设计阶段,BIM技术的三维协同设计功能彻底改变传统二维设计模式的局限性。传统设计中,水利工程的建筑、结构、水利、机电等专业分别绘制二维图纸,各专业间信息沟通不畅,易出现图纸冲突问题,如输水管道与建筑物基础位置重叠,后期需大量修改设计,增加设计成本与周期^[1]。而基于BIM技术的三维协同设计,各专业设计人员可在同一三维模型平台开展工作,实时共享设计数据。建筑专业完成水工建筑物轮廓设计后,

结构专业可直接在模型中进行配筋设计,水利专业可基于模型开展水力计算并优化过流断面,机电专业可在模型中完成设备布置。当某一专业修改设计参数时,模型会自动更新相关专业的设计内容,同时发出冲突预警,设计人员可及时查看冲突位置并协同解决。另外,三维模型还可直观展示工程整体效果与空间关系,便于设计团队向业主、审批部门清晰呈现设计方案,减少沟通误解,提升设计方案审批效率。

2.2 水工建筑物参数化设计

BIM技术的参数化设计功能为水利工程水工建筑物设计提供高效、灵活的技术手段。水工建筑物如重力坝、水闸、渡槽等,其结构形式虽具有一定标准性,但需根据具体工程的地形、水文条件调整尺寸参数,传统设计中需重复绘制相似结构图纸,设计效率低下。而参数化设计通过建立水工建筑物的参数化模型,将建筑物的关键尺寸(如大坝高度、坝顶宽度、水闸闸孔尺寸等)设置为可调整参数,设计人员只需输入不同工程的具体参数要求,模型即可自动生成相应的三维结构模型,同时关联生成工程量清单与材料表。参数化设计还支持设计方案的快速优化,当需要对不同结构尺寸对工程性能的影响时,只需修改参数即可生成多个设计方案,结合BIM技术的性能分析功能,快速评估各方案的水力特性、结构稳定性,选择最优设计方案。

2.3 水文与水力模拟分析

在水利工程设计阶段,水文与水力模拟分析是确保工程满足使用功能的关键环节,BIM技术可与专业水文水力分析软件深度融合,提升模拟分析的准确性与效率。传统水文水力分析需设计人员手动提取二维图纸中的工程参数(如河道断面尺寸、建筑物过流面积等),输入至分析软件,过程繁琐且易因数据提取误差影响分析结果^[2]。而BIM技术可将三维模型中的工程几何参数自动导入水文水力分析软件,如将大坝溢洪道的三维模型数据直接对接MIKE、HEC-RAS等软件,无需手动输入数据,减少人为误差。在水文模拟方面,可结合区域历史水文数据、气象数据,在BIM模型中构建流域水文模型,模拟不同降雨条件下的径流过程,确定工程设计洪水标准;在水力模拟方面,可模拟水流在输水隧洞、渠道、溢洪道等水工建筑物中的流动状态,分析流速、水位、水头损失等水力参数,优化建筑物过流断面形式与尺寸,避免出现水流漩涡、冲刷等问题,确保工程水力性能满足设计要求。

3 BIM技术在水利工程施工阶段的应用

3.1 施工模拟与方案优化

BIM技术的施工模拟功能可在水利工程施工前对施工全过程进行可视化模拟,帮助施工团队提前发现施工问题并优化施工方案。水利工程施工环境复杂,如大坝浇筑需协调混凝土运输、浇筑顺序、温控措施等多个环节,传统施工方案制定依赖经验,易出现施工工序冲突、资源配置不合理等问题。基于BIM技术的施工模拟,可将施工进度计划与三维模型关联,构建4D施工模拟模型(三维空间+时间维度),直观展示各施工工序的时间安排与空间衔接。例如在大坝混凝土浇筑模拟中,可清晰呈现不同

浇筑块的浇筑时间、混凝土用量、施工机械配置情况,模拟过程中若发现某一时间段混凝土运输车辆不足,或浇筑顺序导致冷缝产生,可及时调整施工进度计划与资源配置方案。此外,还可针对复杂施工环节如大型设备安装、深基坑开挖等构建专项施工模拟模型,分析施工过程中的受力状态与安全风险,优化施工工艺与操作流程,如通过模拟输水隧洞盾构施工过程,确定盾构机推进速度、管片拼装顺序等关键参数,确保施工安全顺利进行。

3.2 施工质量控制

在水利工程施工阶段,BIM技术可实现施工质量的精细化管理,减少质量隐患。传统施工质量控制主要依赖人工巡检与抽样检测,难以全面覆盖工程各部位,尤其是隐蔽工程如地基处理、钢筋绑扎等,质量问题发现不及时易留下安全隐患。BIM技术通过将施工质量标准、检测要求与三维模型关联,构建质量控制模型,施工人员可通过移动终端(如平板电脑)现场调取模型中的质量要求,对照模型检查施工质量^[3]。例如在钢筋绑扎施工中,模型会明确标注钢筋的型号、间距、搭接长度等参数,施工人员现场扫描构件二维码即可查看相关要求,同时将检查结果(如钢筋间距实测数据、外观质量照片)上传至模型,形成质量追溯记录。对于混凝土浇筑等关键工序,可通过BIM技术结合物联网设备(如温度传感器、压力传感器)实时采集混凝土浇筑温度、养护湿度等数据,将数据与模型关联,若发现混凝土温度超过温控标准,系统会自动发出预警,提醒施工人员及时采取温控措施。还可利用BIM模型对施工完成的构件进行三维扫描比对,将扫描获取的实际尺寸与设计模型尺寸进行偏差分析,若偏差超过允许范围,及时通知施工团队整改,确保施工质量符合设计要求。

3.3 工程量统计与成本控制

BIM技术可实现水利工程施工阶段工程量的精准统计与成本的动态控制,避免传统管理模式中的成本超支问题。传统工程量统计依赖人工计算二维图纸,耗时耗力且易出现计算误差,导致工程量统计结果与实际用量偏差较大,进而影响成本控制。BIM模型包含工程各构件的几何参数与材料信息,可自动提取工程量数据,生成详细的工程量清单,且随着设计方案或施工进度的调整,模型会实时更新工程量,确保工程量数据的准确性与时效性。例如在渠道施工中,当渠道断面尺寸因地形调整时,BIM模型可自动重新计算渠道开挖土方量、混凝土衬砌量等数据,无需人工重复计算。在成本控制方面,可将工程量数据与市场价格信息、施工进度计划关联,构建5D成本控制模型(三维空间+时间+成本维度),实时计算各施工阶段的成本支出情况,对比计划成本与实际成本的偏差。若发现某一工序实际成本超过计划成本,可通过模型追溯成本超支原因,如材料价格上涨、工程量增加等,及时采取调整措施,如优化材料采购方案、控制施工变更等,确保工程总成本控制在预算范围内。

3.4 施工安全管理

BIM技术为水利工程施工安全管理提供智能化手段,有效降低施工安全风险。水利工程施工多涉及高空作业、深基坑开挖、

大型设备吊装等高危作业,传统安全管理以安全交底、现场警示为主,难以提前识别潜在安全隐患。基于BIM技术的施工安全管理,可构建安全管理模型,将施工安全规范、风险源信息融入模型中。在施工前,通过模型模拟高危作业过程,识别安全风险点,如深基坑开挖中的边坡坍塌风险、高空作业中的坠落风险等,针对风险点制定专项安全防护措施,并在模型中标注安全警示标识与防护设施位置。施工过程中,施工人员可通过移动终端查看模型中的安全要求,如高空作业时的安全带佩戴规范、大型设备吊装的安全距离要求等。同时,可将BIM技术与视频监控、定位系统结合,实时监控施工人员位置与设备运行状态,若发现施工人员进入危险区域或设备运行异常,系统会自动发出预警,提醒管理人员及时处理,有效预防安全事故的发生。

4 BIM技术在水利工程运维阶段的应用

4.1 设施设备管理

水利工程运维中,BIM技术可实现设施设备全生命周期精细化管理。工程含闸门、启闭机等大量设备,传统运维靠人工记录信息,且信息分散在纸质档案或多系统中,查询更新不便,易致维护不及时或过度维护。基于BIM的管理,能整合设备几何模型、参数、合同、维护记录等信息到模型,构建设备数据库。运维人员点击模型构件可快速获取设备详情,还能按设备使用年限、状态设维护提醒,设备达周期或参数异常时系统自动预警。如发电机组到维护周期,系统推送任务明确内容与规范,维护后上传记录形成全生命周期档案,为设备更新提供数据支持。

4.2 健康监测与预警

水利工程作为保障社会经济发展与民生安全的重要基础设施,长期暴露于复杂的自然环境之中,极易受到水流冲刷、地质变动等因素影响,进而出现结构损伤等状况。传统的人工定期监测方式,不仅监测频率较低,而且监测范围有限,难以实时、全面地掌握工程结构的实际状态。而当BIM技术结合物联网、传感器技术后,便构建起了高效的实时健康监测与智能预警体系。在大坝、隧洞等水利工程的关键部位,合理布置应变、渗压等各类传感器。这些传感器如同敏锐的“触角”,能够实时采集工程结构

的各项数据,并迅速传输至BIM模型。模型对接收到的数据展开深入分析,与预设的安全阈值进行精准对比^[4]。一旦数据出现异常,系统会立即自动生成预警信息,并及时推送给管理人员,同时在模型中以醒目的方式高亮显示异常部位。结合结构力学软件,还能预测结构长期变形趋势,为工程的大修、加固提供科学依据,有效延长工程使用寿命。

4.3 应急管理与决策支持

水利工程运维中,BIM技术能提升应急事件处置效率,助力应急决策。工程可能面临洪水、设备故障等突发情况,传统应急管理依赖文本预案,应急时人工调资料,决策效率低易延误时机。基于BIM的应急系统,构建含工程结构、周边环境、应急资源等信息的模型。应急事件发生时,如大坝遇超标洪水,系统可模拟淹没范围、水位速度,分析结构受力,评估对周边影响,还能展示应急资源分布,辅助制定处置方案。处置中可通过模型更新事件进展,调整方案,事件结束后用模型记录过程,总结经验优化预案,提升应对能力。

5 结束语

BIM技术在水利工程全生命周期的应用成效显著,从设计到运维,全方位提升了工程管理的精细化、智能化水平。随着技术不断发展,其应用深度与广度将进一步拓展。未来,应持续探索创新,充分发挥BIM技术优势,推动水利工程向更高质量、更高效益、更可持续的方向迈进。

[参考文献]

- [1]杜观果.BIM技术在水利工程设计施工运维中的应用研究[J].水上安全,2024(21):64-66.
- [2]潘乐.BIM技术在水利工程设计施工运维中的应用研究[J].山西水利,2022,38(4):52-54.
- [3]卢君,夏方超.BIM技术在水利工程设计施工运维中的应用[J].电脑采购,2024(23):133-135.
- [4]刘素琴,刘辉,高来忠.BIM技术在水利工程设计施工运维中的应用研究[J].百科论坛电子杂志,2021(20):158.