

水利工程BIM数字化建模与运维管理研究

栗中柱

中国南水北调集团中线有限公司渠首分公司 河南 南阳 473000

摘要：数字化转型持续推进，传统水利工程建设与运维模式的短板逐步凸显，粗放化管理方式难以适配工程精细化管控需求。本文梳理水利工程BIM数字化建模的完整体系，拆解适配性架构、多维建模逻辑与信息归集等核心内容，剖析异形结构精细化建模、多专业协同建模等关键技术。研究搭建一体化数字化运维管理体系，结合工程运行特征完善管控流程与数据联动模式，从建模流程、运维模式、数据协同等多个维度，探索数字化体系的优化提升路径，为水利工程数字化、智慧化管控落地提供技术参考。

关键词：水利工程；BIM技术；数字化建模；协同构建；运维管理

引言

水利工程是水资源调配、防洪减灾、生态治理的核心基础设施，工程结构复杂、服役周期长、运维场景多变，对建设与管理的精细化程度有着极高标准。传统作业模式多依靠人工经验完成建模与运维工作，数据零散、流程粗放，极易造成建设偏差与运维管控缺位。BIM数字化技术可实现工程结构的数字化复刻与全流程数据留存，能够有效弥补传统水利工程管理的诸多短板。依托数字化技术搭建专属建模与运维体系，有效提升水利工程建设质量与运行管控水平。

1 水利工程 BIM 数字化建模体系构建

1.1 水利工程BIM建模适配性架构设计

水利工程场地环境复杂、结构类型多样，常规通用BIM建模架构难以匹配水利行业专项施工标准与工程场景需求。架构设计工作立足水利工程坝工、河道、泵站、隧洞等不同构筑物的建设特点，划分建模层级、数据端口、功能模块等核心组成部分。结合水利工程勘察、设计、施工、运维全流程作业需求，划分基础数据层、模型构建层、应用服务层多层结构。针对水利工程野外作业、动态施工、水文数据多变的行业特性，优化架构数据接收与存储模块，适配现场多变的作业条件^[1]。细化各层级权责边界与数据流转规则，打通基础勘测数据、设计图纸数据、现场施工数据的传输通道，搭建出适配水利全场景作业的专属BIM建模架构。

1.2 水利工程多维数字化模型搭建逻辑

水利数字化模型搭建摒弃单一三维形体建模的单一思路，依托工程空间结构、时间进度、属性参数搭建多维一体化数字载体。建模前期梳理工程整体布局与单体构件关联关系，按照整体布局先行、单体细化后置的顺序推进建模工作。依托地形勘测数据构建场地基础模

型，还原原始地形地貌、水文边界、地质分层等基础工况。依托设计图纸细化各构筑物空间形态，叠加施工工序、建设周期、质量标准等维度内容。区分主体结构与附属设施的建模优先级，逐一完善各模块多维数据内容，有序完成全维度数字化模型的分层搭建与细节打磨。

1.3 水利工程构件数字化信息归集方式

水利工程各类构件数量繁多、参数类型繁杂，不同构件的设计、材料、施工、检测数据分散度较高。构件信息归集工作对水工结构、机电设备、防护设施等各类构件进行分类梳理，划定差异化信息采集范围。针对实体构件采集尺寸、材质、工艺参数等基础内容，针对功能性构件录入运行参数、检修标准、使用寿命等专项信息。采用分类归档、分项录入的方式整合零散工程数据，剔除重复、错误的无效信息。将筛选校准后的有效信息逐条绑定对应模型构件，完成所有构件数字化信息的精准归集与台账建档。

1.4 BIM模型与水利工程结构的融合适配机制

BIM模型的应用价值依托工程实体结构落地，需要建立专属机制消除数字模型与实体工程的脱节问题。结合水利工程结构受力特点、施工工艺要求、现场建设环境，调整模型构建标准与参数录入规则。对照实体工程结构衔接方式、构件排布逻辑，修正模型内部构件的空间位置与连接关系。依据水利工程质量验收标准，设定模型参数校核阈值，定期比对数字模型与实体结构的偏差数据。针对比对发现的偏差问题逐项整改优化，实现数字模型与实体工程结构的精准对应与深度匹配。

2 水利工程 BIM 数字化建模关键技术体系

2.1 水利工程异形结构BIM精细化建模技术

水利工程现场存在大量形态不规则的水工构筑物，弯曲坝面、渐变隧洞、异型闸体等结构缺乏固定建模模

板,常规标准化建模手段难以还原真实结构形态。构件截面尺寸、曲面弧度会随施工区段持续变化,传统建模方式容易出现轮廓失真、节点错位等问题。作业人员依托实地勘测获取的点云数据,对复杂结构进行单元拆解,拆分出独立曲面与变截面模块开展单独建模。优化网格划分方式,打磨结构交接位置的细节构造,消除模型表面褶皱与形体误差^[2]。严格参照水利工程施工标准校验尺寸、弧度、高程等关键参数,补齐隐蔽部位的建模细节,全面提升异形水工结构模型的整体精准度。

2.2 水利工程多专业模型协同构建技术

水利工程项目涵盖多个技术板块,水工结构、地质勘探、机电安装、金属结构等作业内容建模标准各不相同。单独开展单专业建模作业,会引发构件穿插、空间冲突、数据割裂等各类现场问题。统一建模坐标系、精度阈值和数据存储格式,建立适用于全专业的建模作业标准。各专业依照既定规范独立完成本专业模型搭建,录入设计参数、设备型号、施工工艺等专属信息。开展多模型交叉核查,排查结构碰撞、管线冲突、设备占位不合理等隐患。针对性调整构件空间位置与参数内容,搭建完整统一的整体工程数字模型。

2.3 水利工程BIM模型信息迭代更新技术

水利工程施工周期长,现场设计变更、工艺优化、施工条件调整等改动较为频繁。静态成型模型无法匹配工程不同建设阶段的实际状态,会降低模型参考价值。搭建分层分类的数据收纳体系,有序整理施工变更、质量检测、现场作业等各类有效资料。依据工程施工推进进度,及时替换模型内陈旧参数,补充新增构件的属性信息与施工记录。逐条校验更新后的模型数据,剔除错误、失效的冗余内容,保证模型数据与施工现场保持一致,为工程全过程动态管控提供可靠数据支撑。

2.4 水利工程数字化模型轻量化处理技术

完整水利BIM模型包含海量网格结构与多层属性数据,整体文件体量偏大,会造成设备加载缓慢、现场调取困难、线上传输受阻等问题。采用分层分级的精简处理思路,筛选并清理模型内部无效网格、重复构件与闲置属性字段。保留主体受力结构、核心水工构件的精细数据,简化防护、配饰等次要附属结构的网格细节。优化数据压缩与终端加载逻辑,降低模型运行占用的设备资源。完成大型水利BIM模型的轻量化处理,满足施工现场各类终端的快速调用与实操应用需求。

3 基于BIM的水利工程运维管理体系搭建

3.1 水利工程运维数字化管理框架搭建

水利工程传统运维工作依赖人工巡检与纸质台账记

录,数据统计零散、管理口径混乱,整体作业模式粗放,无法适配现代化水利工程长效管控需求。结合大坝、隧洞、机电设备、河道边坡等不同运维对象的作业属性,拆分数字化运维体系的核心功能模块,明确数据采集、智能分析、现场管控、风险预警等核心职能。梳理运维岗位的工作权责、作业规范与执行标准,界定各模块的运行边界与操作权限。对接工程全生命周期BIM数字模型,打通前期建设数据与后期运维数据的流转通道,填补传统运维的数据空缺^[3]。结合水利工程野外作业、季节防汛、动态巡检的行业特点优化框架适配能力,搭建适配水利工程长效运行的数字化运维管理框架。

3.2 BIM模型驱动的水利工程运维管控流程

传统水利运维依靠人员经验开展作业,管控标准模糊、作业流程随意,容易出现漏检、误检、处置滞后等问题。依托精细化BIM数字模型重构整套运维作业链路,把构件检修标准、设备运行阈值、病害判定标准等硬性指标录入模型数据库,形成可参照、可执行的数字化运维依据。现场作业人员依托模型空间定位功能锁定巡检点位,分区、分项开展日常排查、设备检修、结构监测等常规工作。针对排查发现的结构裂缝、设备故障、管线破损等问题,在模型内精准标注病害位置,录入病害类型、损伤程度与整改计划。同步更新运维台账与处置进度,完成各类运维问题的闭环处理与全程留痕,固化标准化的智慧运维作业流程。

3.3 水利工程运维数据数字化联动管理模式

水利运维涉及结构安全监测、机电设备运行、水文环境监测、隐患整改台账等多类数据,各类信息分散储存、独立统计,数据价值难以充分挖掘。以BIM模型为统一数据载体,归集现场采集的各类运维信息,对监测数据、检修记录、隐患信息、整改资料进行分类梳理与统一归档。打通各运维业务板块的数据交互通道,实现不同类型数据的互通调用与交叉分析。依托多源数据关联关系,挖掘设备损耗规律、结构病害发展趋势、水文工况变化特征。通过数据分析结果指导现场检修计划制定与资源调配,落地水利工程运维数据的集约化联动管控模式。

3.4 水利工程全周期运维数字化管控逻辑

水利工程服役周期漫长,运维管理需要覆盖工程交付使用、日常运行、专项检修、升级改造、设备更替的全部阶段,单一阶段的局部管控难以把控整体运行状态。以BIM全维度数字模型为核心载体,串联工程后期所有运维作业环节,建立贯穿全生命周期的管控逻辑。持续录入各构件、各设备的运行时长、检修记录、病害历

史与改造内容,搭建完整的工程运维电子档案。结合工程服役年限与实时运行状态,预判结构老化、设备失效等潜在安全风险,提前编制针对性检修与更换方案。逐项落实各阶段运维管控任务,保障水利工程长期稳定、安全规范化运行。

4 水利工程 BIM 建模与运维管理优化提升路径

4.1 BIM数字化建模流程优化路径

传统水利BIM建模作业流程繁琐,工序划分杂乱,前期建模、后期修改、数据录入等环节存在大量重复操作,整体作业效率偏低。针对水利工程结构复杂、异形构件多、变更频次高的特点,对原有建模工序进行拆分重组,删减冗余的建模审批与重复录入环节。统一各阶段建模作业标准,规范前期勘测数据对接、中期构件搭建、后期参数校核的全流程操作规范^[4]。引入模块化建模思路,对闸室、桩基、管线等常规构件建立标准化模型库,缩短重复构件的建模周期。针对异形结构单独制定专项建模工序,细化精度校核步骤,从流程源头降低模型偏差与返工概率,提升水利工程BIM建模的整体作业效率与成型质量。

4.2 水利工程运维数字化管理模式优化策略

传统数字化运维模式存在管理环节割裂、作业方式单一、资源调配粗放等问题,难以适配精细化运维的发展需求。立足水利工程运行管控实际需求,重构运维作业分工模式,细化日常巡检、病害处置、设备养护、风险防控等岗位作业内容。依托BIM数字载体丰富运维手段,将人工巡检与智能监测设备采集的作业模式深度融合,拓宽运维数据获取渠道。完善运维考核与管控标准,明确不同病害等级、设备故障的处置标准与处置时限。整合现场人力、设备、物资等运维资源,依据工程运行状态动态调配作业资源,构建精细化、高效化的水利工程数字化运维管理模式。

4.3 建模与运维数据联动协同优化机制

建模数据与运维数据长期处于独立运行状态,数据资源无法互通共享,大幅降低了BIM数字模型的实际应用价值。搭建统一的数据交互端口,打通建模阶段的结构参数、施工数据与运维阶段的监测数据、检修数据。划分数据联动的权责范围,明确建模端数据更新、运维端

数据录入的标准与时限要求,保障两类数据有序流转。建立数据互检互核规则,依托建模基础数据校验运维监测异常,利用运维实测数据修正模型静态偏差。挖掘数据内在关联规律,为工程结构病害分析、设备寿命预判、施工工艺优化提供精准的数据支撑。

4.4 水利工程BIM数字化运维长效运行提升路径

多数水利工程BIM数字化运维应用停留在基础监测与简单记录层面,缺乏长期迭代、持续优化的运行体系,难以发挥数字化管控的长效价值。结合水利工程全生命周期运行特点,制定阶段性运维升级方案,持续更新模型数据库与运维管控标准。定期开展运维人员数字化技能培训,提升岗位人员BIM模型操作、数据研判、智能运维的专业能力。迭代升级数字化运维功能模块,适配工程老化改造、设备更新、工况变动等各类动态场景。持续完善数字化运维管理制度与作业体系,稳固水利工程BIM数字化运维的长期落地运行效果。

结束语

水利工程BIM数字化建模与运维体系的搭建,能够有效改善传统水利工程建设与运维的粗放化现状。规范化的数字化建模流程,可提升水工结构模型的精准度与实用性,标准化运维管控体系能够实现工程全周期的动态监管。建模与运维数据的深度联动,进一步挖掘数字化技术的应用潜力。持续优化建模技术与运维模式,完善数字化管控长效机制,可有效推动水利工程管理向数字化、精细化、智能化方向稳步转型。

参考文献

- [1]许彩芸,王晶晶,施淞皓.水利工程施工过程中的建筑信息模型(BIM)应用探索[J].科学技术创新,2026(1):118-121.
- [2]刘洪英.浅谈BIM建模技术在水利工程中的应用[J].建筑与装饰,2024(11):127-129.
- [3]王耀,谭敏枚,纪德金.基于BIM技术的水利工程施工质量控制系统设计及应用[J].技术与市场,2026,33(2):100-103.
- [4]吴海龙.数字化技术在水利工程施工组织设计可视化与优化中的应用[J].科学技术创新,2026(3):169-172.