

基于 BIM 的水利水电项目全生命周期管理

文 / 王 双 枞阳县水利局

摘要：为了提高水利水电工程全生命周期的精细化管理水平，本文提出了基于 BIM 技术的数字化解决方案。研究构建了多专业协同设计与数据交互的标准体系，建立了三维参数模型和数字孪生重构方法，实现了地形地质环境与结构设计的精准表达。在施工阶段，设计了基于 BIM 的智能识别模型与变更响应机制，可快速识别质量缺陷并优化工程变更管理。针对成本控制难点，建立了工程量清单与造价数据库的联动模型，完善了成本控制与风险预警系统。同时，研发了基于物联网和实时定位技术的安全风险评估模型，显著提高了工程安全保障能力，为工程全过程提供高效的信息化管理支持。

关键词：BIM 技术；水利水电工程；全生命周期管理；参数化建模；工程安全管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.077

引言

根据《全国水利信息化规划》要求，我国从 21 世纪初正式开展信息化综合体系的建设，与此同时，水利工程建设与管理经历了 BIM 技术提高设计效率和质量、BIM 资源整合等应用之后，进入 BIM 价值新发现阶段。智慧水利作为现代水利信息化发展的最新形态，将数字技术、信息技术与传统产业融合已成为大势所趋^[1]。特别是近年来，水利水电工程规模持续扩大，传统管理模式已难以满足日趋复杂的施工要求。工程各阶段信息衔接不畅、数据标准不统一等问题导致施工效率低下、成本管控难度加大、安全隐患频发。BIM 技术作为工程领域数字化转型的重要载体，其三维建模、数据交互和智能分析等优势，为工程建设全过程提供了创新的管理思路。特别在规划设计、施工管理、成本控制和风险预警方面，BIM 技术的应用潜力逐步凸显。探索 BIM 技术在水利水电工程中的理论体系与应用方法，将为提升项目管理精细化水平提供新的技术路径，有效推动工程建设管理向智能化、数字化方向转型。

一、BIM 技术体系架构与数据集成机理

（一）三维参数化建模的拓扑关系构建

三维参数化建模技术的核心在于构建灵活且具有空间关联特征的拓扑关系。拓扑关系使建筑构件之间不再孤立，彼此之间通过明确的空间连接与数据逻辑关联，实现模型内部数据的无缝传递。参数化建模通过定义空间单元与构件之间的拓扑关系，实现了构件尺寸、位置与空间布局等信息的动态更新和实时响应。复杂结构的模型生成可通过拓扑参数自动适配不同设计要求，避免了重复修改和数据冲突的可能性。拓扑关系与参数化算法结合后，可在模型设计阶段快速响应设计变更需求，通过对节点、边界及空间约束条件的智能调整，使模型能够自适应地满足设计规范与施工需求。参数化拓扑模型具备强大的扩展性和集成性，在具体应用中可高效融合多种建筑信息与仿真数据，使模型精度与灵活性达到更高水平。

（二）多专业协同设计的数据交互标准

在 BIM 技术应用过程中，建立多专业协同设计的数

据交互标准是实现模型信息高效共享的基础。传统设计过程中，各专业领域之间的数据孤岛严重制约了整体设计效率的提升，而统一的数据交互标准则有效实现了多专业协作的紧密融合。交互标准以开放性数据格式为基础，实现建筑、结构、机电、水利等多专业间的模型数据流畅传递和同步更新，消除传统设计交互过程中的数据歧义和重复建模问题^[2]。同时，通过标准化数据接口，异构软件平台之间的数据可以实现动态共享，数据更新后的同步性得以提高，从设计阶段至施工运维阶段的数据流传递更加顺畅。利用云端协作平台与 BIM 数据中心，多专业设计人员可以实时交互、协同优化设计方案，推动工程设计由单一专业的独立作业向跨领域深度融合模式转变。

（三）全生命周期数据流的动态更新机制

BIM 技术的应用不仅限于设计与施工阶段，在整个工程生命周期的数据动态更新过程中更体现出强大的优势。全生命周期数据流管理机制需要对工程建设的不同阶段与动态变化过程中的海量数据进行有效集成和智能管理（如图 1 为数据更新与响应流程图）。利用数据流跟踪技术，可对设计、施工、运行维护各阶段的信息变化进行连续追踪，形成具有时间维度的动态数据流。依托数据动态更新机制，设计变更信息可实时推送至施工与运维环节，快速响应并调整项目进展，最大程度降低信息传递滞后带来的管理风险。同时，全生命周期数据流的更新依靠智能传感设备与物联网实时监测技术，使现场采集的数据能够及时纳入 BIM 模型中，确保模型始终处于与现实工程同步状态。

二、规划设计阶段的 BIM 应用理论

（一）地形地质模型的数字孪生重构

数字孪生技术的出现为水利工程地形地质模型的精准构建提供了新的解决途径。通过三维激光扫描与无人机摄影测量技术相结合，可获取施工场地全面的地质空间数据，实现工程现场复杂地质结构的精准重构。地形地质数据经由云端数据处理平台整合后，能够构建出多尺度、多精度的数字地形地质模型，以满足不同设计阶

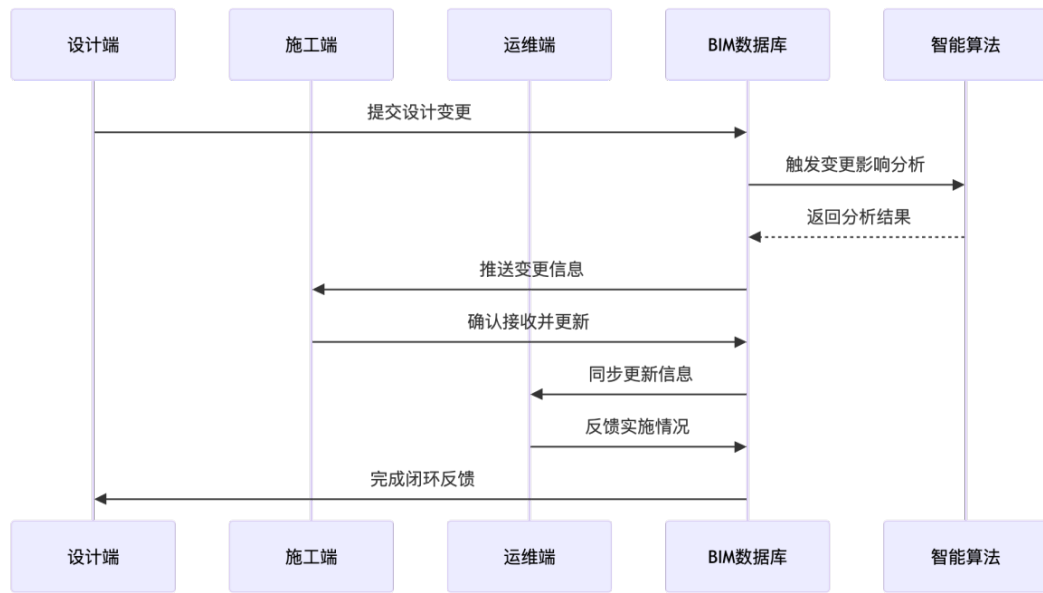


图 1 数据更新与响应流程图

段的实际需求。参数化算法的引入，使地质模型具备自动优化与拓扑关联能力，能够高效处理复杂地貌结构和异质地质单元的空间关系，实时更新地形变化信息^[3]。基于该模型的实时监测分析，有助于提前识别地质隐患，动态评估潜在风险区域，避免传统测量方法难以捕获的微观地质结构差异。

（二）水工结构碰撞检测的算法优化策略

水利工程建设过程中结构碰撞问题是造成施工延期与成本超支的重要原因，传统的二维设计图纸检查难以有效解决不同专业之间的碰撞问题。BIM技术引入三维空间协同设计平台，使得各专业构件之间的空间冲突得以直观展现。碰撞检测的算法优化采用空间拓扑关系与启发式搜索算法的结合，通过空间索引技术快速定位结构冲突点，减少了模型比对过程中的计算冗余。参数化约束技术使设计阶段碰撞能够自动触发警报，并即时提出设计修正建议。机器学习技术在碰撞预测方面的应用，进一步提高了检测算法的自适应能力，在结构发生变化时自动调整检测参数，快速响应不同设计方案的动态调整需求^[4]。

三、施工过程管理的 BIM 赋能路径

（一）施工进度 4D 模拟与资源动态调度

传统水利工程施工进度控制方法通常以经验为基础，依赖人工统计造成信息传递效率低，BIM技术的4D模拟提供了一种更加精细化的管理手段。4D模拟通过将三维工程模型与进度计划进行深度融合，实现施工过程的可视化呈现。动态资源调度算法的嵌入，可以自动匹配施工进度与资源需求，优化人力、机械、材料的合理配置，避免资源闲置或过度浪费。4D施工模拟还能够实时检测施工进度偏差，通过智能调控策略及时提出纠偏措施，确保项目进度的平稳运行。智能数据分析技术能够识别施工过程中潜在的冲突与延迟风险，预测未来施工节点

的执行状态，使管理者能够提前预控风险，主动调整施工方案。BIM平台的云端协作环境有助于项目团队多方实时互动，打破传统工程现场的信息孤岛，提升各参与方对施工进度的掌控程度，增强施工组织的协调性与敏捷性。

（二）工程量自动校核与变更响应机制

水利工程的工程量校核长期以来依赖手工计算，精度与效率存在明显的瓶颈，自动化校核机制的引入有效解决了这一问题。通过将BIM模型参数信息与施工规范库进行关联，可以实现工程量的自动化精确计算。参数变化后的实时反馈机制使模型能够自动更新工程量数据，快速反映设计变更对工程量的影响，从而提高了设计变更管理的灵活性与响应速度。自动校核机制通过智能化算法，能对各类构件与材料的消耗情况进行实时监测，减少了人工计算可能产生的误差，避免了成本超支问题^[5]。智能变更响应平台则借助大数据分析模型，实现工程变更影响的智能评估，快速分析变更所引起的施工进度与预算调整需求，并向管理团队提供实时决策支持，确保变更实施的高效性与合规性。

四、成本控制与风险预警的 BIM 模型构建

（一）工程量清单与造价数据库的联动规则

工程量清单与造价数据库之间的联动机制在BIM体系下的有效构建，强化了工程成本管控的精细化水平。传统工程量计算方法因缺乏实时数据的支撑，常面临计算误差大和调整周期长等问题。借助于BIM平台构建的标准化造价数据库和自动化清单管理工具，能够实现两者之间的实时数据联动。联动规则通过参数化映射技术，将工程量清单中的构件分类、数量及规格自动与造价数据库关联，确保工程量变动时成本数据同步更新^[6]。数据结构的模块化设计支持不同专业间的信息自动整合，极大减少人工核算带来的误差。规则引擎的智能算法可

动态适配材料价格变化与市场波动,实现预算成本与实际造价的精准匹配。

(二) 工程变更对成本影响的预测算法

工程变更是施工阶段成本失控的重要诱因, BIM模型提供了一种更为精确且实时响应的变更成本预测方法。传统的成本预测手段依赖经验判断,无法准确捕捉设计变更的长期成本影响。为提升变更成本预测精度,本文构建了基于机器学习和神经网络的智能算法,建立了工程变更与成本影响的非线性关联模型。该算法通过对历史项目的变更数据进行深度学习训练,准确识别并预测不同类型变更对项目成本造成的潜在波动,极大降低了人工预测的误差。同时,实时监测系统的引入使得变更信息能够快速进入算法模型,进行成本影响动态预测和持续优化调整。智能算法可以根据变更规模、部位及施工阶段动态更新成本预测结果,辅助决策人员在变更实施前准确评估其经济影响,从源头上规避因变更引发的成本失控风险。

五、工程现场安全管理的 BIM 技术融合

(一) 安全隐患的虚拟现实 (VR) 仿真预演

工程现场安全隐患的实时识别一直面临较大挑战,传统的纸质安全预案无法准确模拟真实工况。BIM技术与虚拟现实技术的深度融合,为现场安全管理提供了高沉浸感的模拟体验。VR系统通过实时渲染三维BIM模型,精细呈现复杂结构及施工环境,安全管理人员可在虚拟场景中提前发现空间布局的不合理性及潜在安全隐患。通过VR交互功能,可对危险场景进行反复虚拟演练,模拟高空作业、起重吊装、深基坑施工等高风险作业环境,预判各类突发情况,并提前规划处置策略。智能算法能够动态生成不同事故场景的应对措施,为安全培训和应急演练提供逼真的情境模拟,增强施工人员的安全意识与事故应对能力。

(二) 施工人员定位与行为分析的物联网集成

传统施工现场管理存在人员分散、行为难以监管的问题,物联网技术的引入大大增强了施工人员管理的实时性与精细化程度。施工人员佩戴内置无线射频识别芯片的智能安全帽或智能手环,实现人员实时精准定位,构建施工现场的人员轨迹监控体系。借助定位系统的空间数据,BIM平台可自动生成人员活动的热力图,直观反映施工人员的作业密度及分布情况,及时发现高风险区域内的异常聚集现象。人员行为分析算法可自动识别出施工现场违规操作行为或不规范动作,及时进行提醒并推送警报信息。结合视频智能分析技术,可以实现施工人员疲劳检测及作业环境异常状况预警,降低了人为风险因素的发生概率^[7]。

(三) 安全风险实时评估与应急决策模型

工程现场安全风险的及时准确评估与处置直接影响施工安全和效率。BIM技术的实时数据采集与动态建模能力,为风险评估提供了丰富的数据支撑。通过集成现场各类传感器,如应力传感器、位移计、环境监测设备等,

实时获取施工现场的结构安全、环境变化等关键数据,构建动态风险评估模型。借助机器学习和大数据分析技术,风险模型可以对历史数据与实时监测数据进行联合分析,准确预测现场潜在的安全风险等级与事故概率。智能化的应急决策系统基于实时风险评估结果,动态生成最优的处置预案,包括人员疏散路径、设备抢险调度以及事故处理措施等,并及时推送给管理人员和一线操作人员^[8]。该系统能够自动触发应急响应机制,实现事故状态下多部门的协同联动,降低事故扩散的可能性,为施工现场安全提供了强大的技术保障,全面提高了安全管理的响应速度与处置效率。

结语

本文围绕BIM技术在水利水电工程领域的深入应用,从理论和实践层面提出了一系列优化管理措施。在规划设计阶段,提出了数字孪生模型构建方法,精确还原地质地貌和水工结构,显著降低了设计阶段的碰撞风险。在施工管理领域,开发了4D施工进度与质量控制模型,实现了施工工序的精准协调和质量缺陷的实时识别。在成本控制方面,建立了基于造价数据库和工程量联动的智能分析模型,实时响应工程变更对成本的影响,实现了对项目成本的精确管控和动态预警。在工程安全方面,通过实时定位技术与VR技术构建动态风险评估体系,有效提升了安全管理水平。BIM技术的引入有效解决了传统水利水电工程管理过程中信息孤岛、决策滞后等问题,实现了全过程的数据共享与高效协作,为未来水利工程的数字化管理提供了理论依据与实践路径,具有广泛的推广和应用前景。

参考文献

- [1] 殷亚明. 浅谈BIM技术在水利工程中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018, (15): 164.
- [2] 赵楠, 李万渠, 陈燕萍. 基于BIM技术的水利工程全生命周期管理研究[J]. 四川水利, 2022, 43(04): 116-121.
- [3] 刘志明, 刘辉. BIM技术在提高水利水电工程建设现代化水平中的探讨[J]. 水利规划与设计, 2018, (02): 1-8+61.
- [4] 严沾谋, 李希龙, 王正清, 等. BIM+GIS技术在水利枢纽工程全生命周期的应用[J]. 水利规划与设计, 2018, (11): 127-129.
- [5] 陈杰. 基于BIM技术的水利水电工程全生命周期管理分析[J]. 低碳世界, 2024, 14(10): 124-126.
- [6] 田林钢, 王素云, 王福强, 等. 我国水利行业BIM技术应用现状[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2018, 34(03): 20-23.
- [7] 孙少楠, 宋宜昌. 基于BIM+GIS的水利工程全生命周期建设管理研究[J]. 中国农村水利水电, 2022, (10): 131-137+142.
- [8] 戴巍. BIM可视化技术在水利工程中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(08): 57-61.