

基于BIM技术的水利水电工程智能建造研究

林陆海

广东省源天工程有限公司 广东广州 511340

摘要: 随着“数字中国”与“新基建”战略的深入推进,水利水电工程作为国家关键基础设施,其建设模式正经历着从传统粗放式向精细化、智能化方向的深刻变革。建筑信息模型(BIM)技术作为承载工程项目全生命周期信息的数字化载体,为水利水电工程的智能建造提供了核心驱动力。本文首先阐述了BIM技术的核心特性及水利水电工程智能建造的内涵与需求,剖析了二者融合的内在逻辑。随后,文章重点深入探讨了基于BIM技术的智能建造关键技术体系,包括施工信息智能管理技术、施工过程智能控制技术、施工质量智能监测技术以及全生命周期BIM集成应用技术,详细分析了各项技术的实现路径与应用价值。最后,针对当前BIM技术在水利水电工程应用中面临的标准、技术、成本与管理等挑战,提出了相应的优化策略,以期为推动我国水利水电工程高质量、高效率、高安全水平建设提供理论参考与实践指引。

关键词: BIM技术; 水利水电工程; 智能建造

引言

水是生命之源、生产之要、生态之基,水利水电工程作为国家关键基础设施,在防洪、供水、发电等方面作用不可替代。然而,此类工程常位于地质条件复杂的高山峡谷,涉及高坝筑坝、长隧洞掘进等高难度技术,且参与单位与专业接口繁多,导致传统以二维图纸和经验为主的管理模式面临巨大挑战,普遍存在协同效率低、施工预见性差、安全风险高和资源浪费等问题。为应对这些挑战,以数字化、智能化为核心的“智能建造”已成为行业变革的必然方向。其目标是通过信息技术实现工程全过程的精准感知、智能分析与科学决策。建筑信息模型(BIM)作为承载项目全生命周期信息的数字化载体,是实现智能建造的基石。它不仅是三维模型,更是包含丰富数据、支持共享与协作的知识资源平台。

一、BIM技术与水利水电工程智能建造概述

1. BIM技术的核心特性

BIM技术作为一种应用于工程设计、建造与管理的数据化工具,其核心在于通过参数化模型整合项目的各类相关信息,并在项目全生命周期内实现信息的共享与传递。该技术的核心价值首先体现在其卓越的可视化能力,能够将抽象的二维图纸转化为直观的三维立体模型,使项目参与各方能够无障碍地理解设计意图,从而提前发现潜在问题。在此基础上,其协调性特性显得尤为重要,通过在施工前对BIM模型进行碰撞检查,可以有效

发现不同专业(如结构、水机、电气、暖通)之间的空间冲突,最大限度地避免返工和浪费。此外,BIM技术还具有强大的模拟性,不仅能模拟建筑物的外观,更能基于模型进行施工进度模拟(4D)、成本模拟(5D)、安全模拟以及光照模拟等多种分析,为项目决策提供全方位支持。与之相辅相成的是其优化性,通过结合各种专业分析软件(如结构分析、水力分析、能耗分析),能够对设计方案进行持续优化,寻求工程问题的最优解。最后,BIM模型还具备可出图性,能够直接从中生成所需的平、立、剖面图及各类构件详图,确保了所有图纸之间的一致性,保障了设计信息传递的准确与高效。

2. 水利水电工程引入BIM技术的必要性与优势

水利水电工程的独特复杂性使其成为BIM技术应用的理想场景。引入BIM技术的必要性主要体现在:信息整合需求强烈。工程涉及地质、水文、结构、机电、金属结构等多源异构数据,BIM可作为统一的信息集成平台;协同设计挑战巨大。大坝、厂房、隧洞等各部位设计关联紧密,BIM能实现多专业并行设计与实时协同;施工过程动态复杂。诸如导截流、大坝浇筑、隧洞开挖等工序复杂,BIM的可视化模拟能优化施工方案;长效安全运维要求高。大坝、水库等设施运维周期长达数十年甚至上百年,BIM模型可作为精准运维的“数字资产”。其应用优势具体表现在设计阶段,实现方案优化和设计深化;在施工阶段,提升管理效率和过程可控性;在运维阶段,保障工程安全并延长使用寿命。

3. 从传统模式到智能建造的范式转变

传统水利水电工程建设模式是一种“设计-招标-建造”的线性、割裂模式，信息在传递过程中逐级衰减和失真。而基于BIM的智能建造模式，则构建了一个以BIM模型为核心数据的“数字孪生”环境。在这个环境中，设计、施工和运维活动均在虚拟模型中先行模拟、优化和验证，再将最优指令传递到物理世界的施工现场。这实现了从“事后处理”到“事前预控”、从“经验驱动”到“数据驱动”、从“碎片化管理”到“一体化协同”的根本性范式转变，为工程赋予了“智慧大脑”。

二、基于BIM技术的水利水电工程智能建造关键技术

1. 全生命周期信息管理与协同平台技术

为实现智能建造，必须打破“信息孤岛”，实现项目全生命周期数据贯通与业务协同，其核心是构建基于云架构的统一BIM协同管理平台。该平台作为项目管理的数字中枢，需具备强大的数据集成与治理能力，能够兼容管理来自不同专业、多种软件创建的多源异构BIM模型，并将图纸、文档、合同及物联网实时监测数据等非结构化信息一体化整合，形成权威、唯一的“单一数据源”。在技术层面，平台需解决三大关键问题：实现海量模型的轻量化处理与融合，保障Web及移动端的流畅访问；建立精细的版本控制与权限管理机制，确保数据修改可追溯且权限分明；采用IFC等国际数据交换标准，保证信息跨系统流转的完整准确。通过这一平台，项目各方可在统一环境中进行协同设计、模型会审与流程审批，极大提升沟通效率，确保信息传递准确及时，为后续所有智能化应用奠定坚实数据基础，是智能建造体系稳固的基石。

2. BIM与地理信息系统及实景建模的融合技术

水利水电工程与地形地貌、地质水文及流域环境紧密关联，宏观地理空间信息是智能建造的重要基础。BIM与GIS及实景建模融合技术，旨在将精细的BIM模型与宏观的GIS地理信息系统，以及通过无人机倾斜摄影、三维激光扫描获取的高精度实景三维模型进行深度整合，构建全方位的数字工程环境。该技术的核心在于解决三大关键问题：首先是坐标系统的统一转换，确保微观构件与宏观地理空间的无缝对接；其次是海量地形数据与多源模型的高效集成与渲染，保障大规模场景的流畅可视化；最后是实现BIM模型构件与GIS属性数据（如地层岩性、水文参数）的结构化关联。通过这一技术融合，在项目前期可实现科学的工程选址、场地分析、土方平

衡精确计算和移民安置规划；在施工阶段，通过将设计BIM模型与周期性采集的实景模型进行精准对比，可动态核算工程进度与土方工程量，并对高边坡、开挖面等关键部位进行形变监测与质量管控。这种“虚实联动”的精准施工模式，显著提升了工程建设的可控性与科学性，为复杂环境下的水利水电工程建设提供了可靠的技术保障。

3. 施工过程动态模拟与智能管控技术

此技术是智能建造在施工阶段的核心体现，其根本目的是将静态的施工计划、资源调配与动态变化的物理实体进行深度绑定与智能优化，从而实现施工过程的精细化、透明化管理。该技术体系主要包含两大关键组成部分：首先是4D/5D施工模拟与动态优化。它通过将三维BIM模型与时间维度（施工进度计划）和成本维度（5D）深度集成，构建一个可视化的虚拟建造环境。在此环境中，项目管理者能够以天、甚至小时为单位，直观地预演整个施工过程。这不仅能够提前暴露不同专业工序在时空上的冲突（如设备安装与结构施工的干涉），还能精确模拟施工资源（如人力、材料、机械）的消耗曲线，从而实现对施工方案、进度安排和资源供应计划的持续优化，变被动应对为主动预控。其次是数字化施工与智能监控，这是实现“虚实互动”的关键。通过为现场施工机械（如碾压机、摊铺机）加装GPS定位模块和各类传感器，将其实时位置、运行轨迹、碾压遍数、摊铺厚度等关键工艺参数自动采集并实时映射到BIM模型中。系统通过将实际施工数据与设计模型要求进行自动比对，一旦发现偏差（如某区域碾压不足），可立即发出警报，指导司机进行精准作业，形成“监测-反馈-控制”的闭环管理。同时，将边坡监测点、应力计等安全质量传感器数据也集成进来，共同构建一个与物理现场同步的“数字孪生体”，实现对工程结构状态和现场安全环境的全天候、全方位实时感知、异常预警与数据驱动的智能决策。

4. 基于BIM的智能运维与数字孪生技术

该技术是智能建造价值在工程全生命周期中延续的关键，旨在将高精度的竣工BIM模型作为核心数字资产无缝移交至运维阶段，并以此为基础构建与物理工程实时同步、虚实映射、双向交互的数字孪生体。其关键技术体系包含三个层次：首先是深度集成，即将富含设备、材料信息的竣工BIM模型与资产管理系统（EAM）、健康监测系统等数据进行打通，为每个物理实体建立完整的“数字档案”。其次是实时感知与映射，通过布设于大

坝、厂房、闸门等关键结构的物联网传感器网络，自动采集应力、变形、渗流、振动等安全监测数据，并实时驱动数字孪生体中的对应构件状态更新，实现工程运行健康状况的直观可视化与动态趋势分析。最终是实现智能诊断与预测，基于汇聚的历史与实时数据池，利用大数据挖掘和人工智能算法，对结构行为进行深度学习和模拟推演，从而实现对潜在风险的早期诊断、性能衰退预测与维护方案的优化决策。这一技术路径彻底改变了传统依赖定期巡检和事后维修的被动模式，转向了基于数据的“主动预警”和“预测性维护”的智慧运维新模式，显著提升了重大水利水电基础设施长期运行的安全可靠、延长了其服务寿命，并优化了全生命周期的运营成本。

三、BIM技术在水利水电工程智能建造中的应用挑战与优化策略

1. 主要应用挑战

一是技术集成与标准缺失的挑战。水利水电工程涉及地质、水文、结构、机电等多专业领域，模型复杂度和数据量极大。目前，缺乏针对该行业特性的统一BIM标准体系，包括构件库、编码规则、交付标准和数据接口规范。这导致不同软件、不同专业创建的模型难以有效整合，信息在全生命周期传递过程中易出现衰减和孤岛，阻碍了协同效率。同时，BIM与物联网、大数据等新技术的深度融合仍处于探索阶段，集成的技术门槛和成本较高。二是经济成本与投资回报的挑战。实施智能建造需要高昂的初始投入，包括软硬件采购、平台开发与部署、以及持续的系统维护费用。对于许多企业而言，这笔投资数额巨大，而其回报周期长、效益难以在短期内量化，这使得决策者面临巨大的投资决策压力，尤其是在当前行业利润率普遍不高的背景下，严重制约了BIM技术的规模化普及。三是人才匮乏与组织变革的挑战。智能建造迫切需要既精通水利水电专业技术，又熟练掌握BIM建模、数据管理和信息技术应用的复合型人才。

2. 优化策略

一是标准体系化与软件国产化。国家和行业层面将加速建立覆盖全生命周期的BIM标准体系，为数据的无障碍流通奠定基础。同时，出于数据安全和产业链自主可控的考虑，功能强大、生态完善的国产BIM软件将逐步成熟并占据市场主导地位，为行业的健康发展提供坚

实保障。二是平台云端化与生态化。基于云的BIM协同平台将成为行业标配，实现数据、算力和应用的按需分配。这将催生一个繁荣的行业应用开发生态，各类专业化的SaaS（软件即服务）应用将涌现，满足不同场景的特定需求，使得中小企业也能以较低成本享受先进的智能建造服务。三是从“BIM+”到“BIM融合”的深度智能化：未来，BIM将不再仅仅是与其他技术简单叠加的“BIM+”，而是进化为与人工智能、大数据、云计算等前沿技术深度融合的“智慧大脑”。AI算法将能够基于海量历史数据和实时传感信息，对施工进度、成本风险、结构安全进行自主预测、智能优化和辅助决策，实现真正意义上的数据驱动管理。

结束语

BIM技术作为工程数字化的核心载体，是推动水利水电工程迈向智能建造的关键使能技术。通过构建以BIM协同平台为核心，融合GIS、IoT、大数据等新兴技术的智能建造体系，能够实现从规划设计、施工建造到运维管控的全过程、全要素、全参与方的数字化、网络化和智能化管理。本文系统论述了该体系的应用框架与实践路径，证明了其在提升工程品质、保障施工安全、控制项目成本、延长工程寿命方面的巨大潜力。尽管前路仍有挑战，但随着技术的不断进步、标准的日益完善和行业共识的加深，基于BIM的智能建造必将引领水利水电工程建设进入一个全新的高质量发展时代。

参考文献

- [1] 杨雷锋.BIM技术在水利工程设计中的应用[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(三).河南省水务规划设计研究有限公司漯河分公司,2025:1012-1014.
- [2] 王杨.BIM技术在水利工程施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025,(09):93-95.
- [3] 梁晓鹏.BIM技术在水利工程中的应用[J].散装水泥,2025,(05):70-72+75.
- [4] 王杰.基于BIM技术的水利水电工程智能建造研究[J].科技与创新,2025,(20):97-99+103.
- [5] 吴亮,叶浩然.数字孪生支持下的水利工程BIM信息化平台建设研究[J].水上安全,2025,(17):78-80.