

基于BIM技术的水利水电工程施工全过程管理与优化

刘茂魁¹ 李 鹏²

1. 河南黄河河务局开封黄河河务局 河南 开封 475000

2. 开封黄河工程开发有限公司 河南 开封 475000

摘要: 水利水电工程作为国家基础设施建设的关键领域,具有规模宏大、结构复杂、施工周期长、参与方众多、安全风险高等显著特点。传统的项目管理模式在信息传递、协同作业、过程管控等方面已难以满足现代大型水利工程精细化、智能化管理的需求。建筑信息模型(BIM)技术以其强大的可视化、参数化、协同化和信息集成能力,为破解水利水电工程管理难题提供了全新的技术路径。本文旨在系统探讨BIM技术在水利水电工程施工全过程中的应用价值与实践方法。首先,剖析了当前水利水电工程施工管理面临的痛点;其次,构建了覆盖“事前策划、事中控制、事后评估”全生命周期的BIM应用框架,并详细阐述了其在设计深化、施工模拟、进度管理、成本控制、质量安全、智慧运维等核心环节的具体应用场景与优化策略。以期为推动我国水利水电工程行业的数字化转型与高质量发展提供理论参考与实践指导。

关键词: Bim技术; 水利水电工程; 施工全过程管理; 4D/5D BIM; 协同管理

引言

水利水电工程作为国之重器,关乎国家能源安全、水资源调配及区域经济社会可持续发展与生态保护,从三峡大坝到白鹤滩电站等超级工程尽显人类智慧。但其建设面临地质复杂、水文气象影响大、工序交叉密集等诸多挑战,高效精准动态管理成为行业核心命题。长期以来,我国水利水电工程多采用二维图纸的传统管理模式,信息孤岛严重,各方沟通依赖纸质或分散电子文档,信息传递问题频发,施工要素相互割裂,缺乏统一数据平台,导致决策滞后、资源浪费等问题,甚至引发安全事故。建筑信息模型(BIM)技术带来革命性解决方案,它不是简单三维建模工具,而是贯穿建筑全生命周期的信息化管理方法论,能创建多维信息数字化虚拟模型,为项目参与方提供唯一数据源。对水利水电工程而言,BIM潜力巨大,可实现从“经验驱动”到“数据驱动”的转变。

1 水利水电工程施工管理的现状与挑战

在深入探讨BIM解决方案之前,有必要清晰地识别当前管理模式下的主要痛点:

1.1 信息割裂与协同低效

项目各参与方(设计院、施工单位、监理单位、业主、供应商等)使用不同的软件和标准,数据格式不兼容,导致信息无法有效共享。设计变更无法及时、准确地传递至施工现场,极易造成施工错误和返工^[1]。跨专业(如土建、机电、金结)之间的碰撞问题往往在施工后期才被发现,处理成本高昂。

1.2 进度管理粗放,可视化程度低

传统进度计划(如甘特图、网络图)仅能反映任务间的逻辑关系,缺乏与空间位置的关联。管理者难以直观判断某一时间点现场的实际施工状态与计划的偏差,也无法预演未来施工场景,对资源冲突、场地拥堵等问题预见性不足。

1.3 成本控制被动,动态核算困难

工程量计算依赖人工识图,效率低下且易出错。成本数据与进度、合同、变更等信息脱节,难以实现“量、价、费”的实时联动分析。当发生设计变更或现场签证时,成本影响评估滞后,无法做到事前控制和动态调整。

1.4 质量安全风险高,追溯难度大

水利水电工程高空、临水、地下作业多,安全隐患遍布。传统的安全巡检方式覆盖面有限,隐患排查依赖个人经验。质量问题一旦发生,由于缺乏全过程、可追溯的数字化记录,责任界定和原因分析变得异常困难。

1.5 竣工交付与运维脱节

竣工资料通常以纸质或非结构化的电子文件形式移交,与实体工程缺乏直接关联。运维单位接手后,面对海量但杂乱无章的信息,难以快速定位设备信息、管线走向、维修历史等关键数据,严重影响后期运维效率。

2 BIM技术在水利水电工程施工全过程管理中的应用框架

2.1 施工准备阶段:深化设计与虚拟建造

2.1.1 模型创建与深化设计

基于设计院提供的初步BIM模型或二维图纸，施工单位需主导开展模型深化工作，将设计意图转化为满足施工精度要求（LOD 300-400）的施工级模型。这一过程不仅仅是几何形态的细化，更重要的是补充大量施工所需的非几何信息，例如详细的钢筋排布、各类预埋件的精确定位、临时支撑结构的布置方案以及施工缝的划分等。对于大坝、发电厂房、引水隧洞等水利水电工程特有的复杂构筑物，BIM模型能够以其强大的三维表达能力，清晰、准确地揭示其内部构造逻辑和空间拓扑关系，为后续施工提供直观可靠的依据。

2.1.2 碰撞检测与净空分析

在完成各专业（土建、机电、金属结构等）模型的深化后，将其集成于统一的BIM平台中进行综合协调。利用BIM软件内置的碰撞检测引擎，可以系统性地扫描并识别出不同专业构件之间存在的硬碰撞（即物理实体上的直接冲突）和软碰撞（指虽无实体接触，但安装、检修所需的操作空间不足）。这种前置性的冲突检查，能够将大量潜在问题消灭在图纸阶段^[2]。以水电站主厂房为例，通过BIM模型可以精确分析桥机轨道、发电机定子、主变压器本体以及纵横交错的油、气、水工艺管道之间的复杂空间关系，确保所有设备和管线在有限的空间内能够顺利安装并满足日后的运行维护需求，从而避免了代价高昂的现场返工。

2.1.3 施工方案模拟与优化（4D BIM）

将经过审批的施工进度计划（WBS）与深化后的BIM模型进行时间维度的关联，便形成了4D（3D+Time）施工模拟模型。通过这一模型，整个施工过程得以动态、可视化地呈现出来。管理人员可以预演大型施工设备（如缆索起重机、塔式起重机）的运行轨迹，模拟混凝土分层分块的浇筑顺序，以及模板系统的安拆流程等关键工序。这种虚拟建造技术不仅有助于验证施工组织设计的合理性与可行性，更能前瞻性地发现潜在的物流瓶颈、场地资源冲突以及工序搭接不当等问题，从而在施工开始前就对方案进行多轮优化，选择最优的施工路径，为现场的顺利推进奠定坚实基础。

2.2 施工执行阶段：动态管控与智能决策

2.2.1 进度管理（4D BIM）

4D BIM模型在此阶段扮演着动态监控中心的角色。通过无人机定期航拍、现场人员使用移动终端APP报验等方式，可以高效、准确地采集现场实际进度数据。这些数据被实时同步至BIM协同平台后，与4D模型中的计划进度进行自动比对，生成直观的可视化偏差报告。管理者无需再依赖抽象的表格，便可随时查看任意时间切片

下计划与实际完成情况的对比，迅速锁定滞后的关键线路，并通过在模型中模拟不同的赶工或调整方案，评估其整体工期的影响，从而做出科学、高效的决策。

2.2.2 成本管理（5D BIM）

在4D模型的基础上，进一步关联工程量清单、合同单价及各项费用信息，便构建起5D（3D+Time+Cost）成本管理模型。该模型的核心优势在于实现了工程量的自动化、精确化统计。系统能够根据模型中的构件信息，自动计算出任意时间段、任意施工区域或任意工程部位的工程量，彻底改变了传统人工算量耗时长、易出错的局面^[3]。成本数据随着进度的推进而动态更新，形成概算、预算与实际成本的“三算对比”分析，使得成本超支的风险能够被提前预警。当发生设计变更或现场签证时，只需在模型中调整相应部分，系统即可快速、准确地计算出变更所涉及的工程量增减及造价影响，极大地提升了成本控制的时效性和准确性。

2.2.3 质量安全管理

（1）质量管理：将质量验收标准、检验批划分、隐蔽工程验收节点等信息嵌入BIM模型。现场质检员可通过移动端APP扫描构件二维码，调取相关质量要求，录入实测实量数据和影像资料，实现质量过程的数字化留痕与闭环管理。所有质量问题均可在模型上精确定位，便于追溯和整改。（2）安全管理：基于BIM模型进行危险源辨识与可视化交底。例如，可以在模型中标注高边坡、深基坑、临水作业区等高风险区域，并关联相应的安全防护措施和应急预案。通过VR/AR技术，可对工人进行沉浸式安全培训。此外，可将物联网（IoT）传感器（如应力计、位移计、视频监控）的数据接入BIM平台，实现对大坝变形、围堰稳定等关键安全指标的实时监测与预警。

2.2.4 物料与设备管理

BIM模型还可以作为物料与设备管理的可视化载体。通过将主要工程材料（如水泥、钢筋、骨料）和大型施工设备的采购、进场、库存、领用等信息与模型中的具体构件或施工区域进行关联，管理人员可以直观地掌握物料的消耗情况和设备的使用状态。这有助于实现按需采购、精准配送，有效减少现场材料的无序堆放和二次搬运，优化仓储管理，从而在保障施工连续性的同时，有效控制库存成本。

2.3 竣工交付与智慧运维阶段：数字资产移交

2.3.1 竣工模型交付

在项目收尾阶段，需要对施工过程中产生的所有信息——包括设计变更、深化设计成果、质量检验记录、

安全监测数据等——进行全面整合与校核，最终形成一份与实体工程完全一致的“竣工BIM模型”（As-Built Model）。这份模型的价值远非传统竣工图纸可比，它不仅是一个精确的几何信息库，更是一个集成了设备技术参数、管线系统属性、材料质保信息、设备操作手册等丰富非几何信息的综合性数字资产。它是对整个建造过程最真实、最完整的数字化记录。

2.3.2 智慧运维基础

这份高质量的竣工BIM模型为工程未来的智慧化运维奠定了不可替代的基础。当工程移交至运维单位后，运维人员可以通过该模型快速查询任意设备的型号、规格、供应商及维修历史，高效制定预防性检修计划，甚至可以在模型中模拟应急处置场景（如某段压力管道发生爆裂后的抢修路径规划），大幅缩短故障响应时间。长远来看，该竣工BIM模型正是构建水利工程数字孪生系统的核心骨架和初始数据源，为实现工程设施全生命周期的智能化、精细化管理铺平了道路。

3 BIM应用的优化策略与效益分析

3.1 优化策略

为了最大化BIM技术的价值，需要采取一系列优化策略：（1）顶层设计与标准先行。业主方应在项目初期就明确BIM应用目标、范围、深度（LOD）和交付标准，并将其纳入招标文件和合同条款，确保各方权责清晰。建立统一的BIM建模、分类、编码和数据交换标准（如IFC标准），是保障信息互通互认的前提^[4]。（2）建立高效的协同管理平台。部署基于云技术的BIM协同管理平台（如Autodesk BIM 360, Bentley ProjectWise），作为项目所有参与方共享信息、协同工作的“单一事实来源”。平台应支持模型轻量化浏览、在线批注、问题追踪、文档管理等功能，打破信息壁垒。（3）强化人才队伍建设。BIM的成功应用离不开既懂工程技术又精通BIM软件的复合型人才。企业应加大培训投入，培养专职的BIM工程师，并鼓励一线技术人员掌握基本的BIM应用技能。（4）分阶段、有重点地推进。对于初次应用BIM的项目，不必追求大而全，可以从碰撞检测、4D进度模拟等见效快、价值高的点切入，逐步积累经验，再向5D

成本、智慧工地等更深层次应用拓展。

3.2 效益分析

一是经济效益：通过减少设计错误和施工返工（可降低5%-10%的返工成本），优化资源配置，精确控制工程量，BIM技术能显著降低项目总成本。据行业统计，成熟应用BIM的项目可节约总成本3%-5%。二是工期效益：4D模拟优化施工方案，提前发现并解决冲突，可有效缩短工期。研究表明，BIM应用可帮助项目平均缩短5%-7%的工期。三是质量与安全效益：可视化交底、全过程质量追溯、实时安全监控等手段，极大地提升了工程质量和安全管理水平，降低了质量事故和安全风险的发生概率。四是管理效益：实现了项目管理的标准化、流程化和数据化，提升了决策的科学性和管理的整体效率。

4 结语

BIM技术正深刻变革水利水电工程建设与管理模式，其构建的贯穿施工全过程的数字化、可视化、智能化信息集成平台，有效解决了传统模式信息割裂、协同低效、管控粗放等痛点，从深化设计到数字资产交付，应用链条清晰、效益显著。不过，BIM技术全面普及仍面临标准体系不完善、初期投入成本高、复合型人才短缺等挑战。展望未来，BIM技术发展前景广阔，将与物联网（IoT）深度融合，成为连接物理与数字世界的中枢，实现工程状态全面感知；与人工智能（AI）协同赋能，通过深度学习海量历史数据，实现智能决策；同时迈向数字孪生（Digital Twin），作为构建水利工程数字孪生体的核心骨架，实现从“建造工程”到“运营数字生命体”的跨越。

参考文献

- [1]李文博.基于BIM技术的水利水电工程施工现场安全管控模式创新探索[J].科技与创新,2025,(24):192-194.
- [2]徐练,刘娇.基于BIM技术的水利水电工程施工管理研究[J].张江科技评论,2025,(09):80-82.
- [3]郭卫坤,申芳.BIM技术在水利水电工程施工管理体系中的研究[J].新疆钢铁,2025,(03):91-93.
- [4]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.