

BIM 技术在水利水电工程全生命周期设计与协同管理中的应用

孙万年

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着我国水利水电事业的蓬勃发展和“新基建”战略的深入推进,传统工程管理模式在应对复杂、大型、高风险的水利水电项目时日益显现出信息孤岛、协同效率低、管理粗放等弊端。建筑信息模型(BuildingInformationModeling, BIM) 技术作为一种集三维可视化、信息集成与过程协同于一体的数字化工具,为水利水电工程的全生命周期管理提供了全新的解决方案。本文系统阐述了BIM技术的理论基础,深入剖析了水利水电工程在规划、设计、施工、运维等各阶段面临的典型挑战。在此基础上,重点探讨了BIM技术如何贯穿于工程全生命周期,在方案比选、精细化设计、施工模拟、进度与成本管控、智能运维等关键环节发挥核心价值。同时,本文构建了基于BIM的协同管理框架,明确了组织、流程与技术三者的融合路径,并通过案例分析验证了其应用成效。最后,文章指出了当前BIM在水利水电领域应用中存在的标准缺失、软件适配性不足、人才匮乏等瓶颈,并对未来的发展趋势进行了展望,旨在为推动水利水电工程的数字化、智能化转型提供理论参考与实践指导。

关键词: BIM技术; 水利水电工程; 全生命周期; 协同管理; 数字化转型

引言

水利水电工程作为国家重要的基础设施,承担着防洪、供水、发电、灌溉、生态保护等多重功能,其规模宏大、结构复杂、建设周期长、投资巨大,且对生态环境和社会经济影响深远。传统的“二维图纸+文档”管理模式在信息传递、专业协同、过程管控等方面存在天然缺陷,难以满足新时代高质量发展的要求。近年来,以BIM技术为代表的数字技术正深刻地重塑着工程建设行业的面貌。BIM不仅是一个包含几何与非几何信息的三维数字模型,更是一种贯穿项目全生命周期的集成化管理方法论。将BIM技术引入水利水电工程,不仅是技术层面的革新,更是管理理念和模式的升级。它能够有效打破各参与方之间的信息壁垒,实现从规划、设计、施工到运维的无缝衔接,提升工程的整体质量、安全、效率与效益。然而,相较于房建和交通领域,BIM在水利水电行业的应用尚处于探索和深化阶段,面临着专业性强、地形地质复杂、水工结构特殊等诸多挑战^[1]。因此,系统研究BIM技术在水利水电工程全生命周期中的应用路径与协同管理机制,具有重要的理论价值和现实意义。

1 理论基石: BIM作为信息物理系统的语义中枢

1.1 信息物理系统(CPS)视角下的水利工程

信息物理系统(Cyber-PhysicalSystems,CPS)理论认为,现代复杂系统是计算、通信与控制(3C)技术与物理过程深度融合的产物。水利水电工程正是一个天然的

CPS: 物理层(Physical)包括大坝、水流、岩体等;信息层(Cyber)则涵盖监测数据、控制指令、管理信息等。两者通过传感器、执行器和网络进行实时交互。BIM模型,在此框架下,扮演着“语义中枢”(SemanticHub)的角色。它不仅存储了几何形状,更定义了物理实体的类型、属性、行为、关系等本体(Ontology)信息。例如,一个“混凝土重力坝”构件,在BIM中不仅有其三维坐标,还关联着材料强度、温控要求、监测点位、历史维修记录等丰富的语义。这使得信息层能够“理解”物理层的状态,并基于此做出智能决策。

1.2 全生命周期知识流的重构

传统模式下,工程知识在各阶段以文档、图纸、报告等形式离散存在,形成“知识孤岛”。BIM通过建立一个贯穿始终的、唯一的、权威的“数字孪生体”(DigitalTwin),实现了知识流的连续性与一致性。设计阶段的参数化逻辑、施工阶段的工艺工法、运维阶段的设备性能曲线,都可以作为元数据(Metadata)嵌入到模型中。这使得后期的任何决策,都能追溯到其源头的设计意图和建造过程,实现了“可追溯、可解释、可复用”的知识管理

2 BIM技术在水利水电工程全生命周期的应用

2.1 规划与设计阶段

在项目前期,BIM技术的价值主要体现在宏观决策支持和精细化设计两个层面。

2.1.1 宏观决策支持

通过整合GIS（地理信息系统）数据，构建大范围的数字地形模型（DTM），将多个坝址、线路方案在统一的三维空间中进行可视化比选。决策者可以直观地评估不同方案对库区淹没、移民安置、生态环境、工程投资等方面的影响，从而做出更科学、更全面的决策。

2.1.2 精细化协同设计

（1）参数化设计：对于水工结构中大量重复或规则的构件（如廊道、闸墩、模板等），可通过参数化建模实现快速生成与修改，大幅提升设计效率。（2）多专业协同：建立统一的BIM协同平台，各专业设计人员在同一模型上工作。例如，水工结构专业完成大坝主体模型后，机电专业可在此基础上布置发电机、变压器等设备，金属结构专业可设计闸门及启闭机。平台能自动进行碰撞检查，及时发现如压力管道与厂房结构冲突、电缆桥架与通风管道打架等问题，将设计错误消灭在萌芽状态^[2]。（3）工程量自动统计：BIM模型中的每个构件都带有精确的几何和属性信息，可一键生成准确的混凝土方量、钢筋吨位、金属结构重量等工程量清单，为投资估算和招投标提供可靠依据，有效避免传统手工计算的误差。

2.2 施工阶段

施工阶段是BIM技术价值释放的关键环节，其应用从“虚拟建造”走向“指导现实”。（1）4D/5D施工模拟：将BIM三维模型与施工进度计划（4D）和成本预算（5D）关联，动态模拟整个施工过程。管理者可以直观地看到每一天、每一周的施工场景，提前预判施工难点（如大体积混凝土浇筑温控、大型构件吊装路径等），优化工序安排，合理配置人、机、料资源，有效规避进度风险。（2）施工深化与预制加工：基于BIM模型进行施工深化设计，生成可用于指导现场施工的精确图纸和模型。对于钢筋、钢结构等构件，可直接输出数控加工数据，实现工厂化预制，提高加工精度和现场安装效率，减少浪费。（3）质量安全管控：将质量安全检查点与BIM模型关联。现场管理人员通过移动终端扫描构件二维码，即可调取该部位的设计参数、施工工艺要求、验收标准等信息，并实时上传检查结果和影像资料，实现质量安全的闭环管理和可追溯。（4）智慧工地集成：BIM模型作为智慧工地的“数字底座”，可与物联网（IoT）设备（如人员定位、环境监测、视频监控、塔吊监测等）数据集成，实现对施工现场人、机、料、法、环的全面感知和智能预警。

2.3 运维管理阶段

水利水电工程的运维期长达数十年，BIM的价值在此

阶段体现为从“静态资产管理”向“动态智能运维”的转变。（1）数字化资产移交：项目竣工后，将包含所有设计、施工、设备信息的“竣工BIM模型”作为核心资产移交给业主。这个模型是未来所有运维活动的唯一、权威的数据源，彻底解决了传统纸质竣工图信息不全、更新困难的问题。（2）设施设备管理（FM）：将BIM模型与设施设备管理系统（CAFM/EAM）集成。运维人员点击模型中的任意一台水泵或变压器，即可查看其品牌、型号、技术参数、保修信息、历史维修记录、备品备件清单等，极大提升了设备管理的效率。（3）智能监测与预警：将大坝安全监测系统（如渗压计、位移计、应力应变计等）的实时数据接入BIM平台。当某个监测点数据异常时，系统不仅会报警，还能在三维模型上高亮显示该位置，并关联相关的历史数据和应急预案，辅助运维人员快速定位问题、分析原因、启动响应^[3]。（4）应急管理：基于BIM模型，可以预演各种突发事件（如洪水漫坝、设备故障、火灾等）的应急处置流程，优化疏散路线和救援方案，提升工程的防灾减灾能力。

3 基于BIM的水利水电工程协同管理框架

要充分发挥BIM在全生命周期中的价值，必须构建一个有效的协同管理框架，实现组织、流程与技术的深度融合。

3.1 组织保障

（1）明确BIM实施主体与责任：业主单位应作为BIM应用的总牵头人，明确各参建方（设计、施工、监理、供应商等）在BIM实施中的角色、职责和交付标准。（2）建立BIM中心或专职团队：大型项目可设立专门的BIM中心，负责标准制定、平台维护、模型审核、技术支持和人员培训，确保BIM应用的规范性和一致性。

3.2 流程再造

（1）制定BIM执行计划（BEP）：在项目启动阶段，编制详细的BIM执行计划，明确项目目标、应用点、模型深度（LOD）、交付物、协同流程、数据交换标准等。（2）重构工作流程：打破传统的线性工作模式，建立基于BIM模型的并行、迭代式工作流程。例如，设计审查不再依赖于静态图纸，而是基于动态模型进行；施工交底也转变为基于模型的沉浸式体验。

3.3 技术平台

（1）构建统一的BIM协同平台：选择或开发一个能够支持多专业、多参与方、多终端接入的云协同平台。该平台应具备模型轻量化浏览、版本管理、任务分发、问题追踪、数据集成等核心功能，成为项目信息流转的“中枢神经”^[4]。（2）推动数据标准与互操作性：

积极采用或制定水利水电行业的BIM数据交付标准（如IFCforInfrastructure），确保不同软件、不同阶段、不同参与方之间的模型和数据能够顺畅交换与共享，避免形成新的“数据孤岛”。

4 应用案例分析

以某大型抽水蓄能电站为例，该项目全面应用了BIM技术。在设计阶段，通过BIM协同平台，成功解决了地下厂房内数百根复杂管线的碰撞问题，避免了约2000万元的潜在返工损失。在施工阶段，利用4D模拟优化工序，将关键线路工期缩短了15%。在运维准备阶段，构建了包含近10万个设备构件信息的竣工模型，并与监测系统集成，为电站未来的智能化、精细化运维奠定了坚实的数据基础。该项目的成功实践，充分验证了BIM技术在提升水利水电工程综合效益方面的巨大潜力。

5 面临的挑战与未来展望

5.1 主要挑战

尽管前景广阔，但BIM在水利水电领域的深度应用仍面临诸多挑战：一是标准体系不健全：缺乏统一、权威的水利水电BIM建模、交付和应用标准，导致各项目“各自为政”，数据难以复用。二是专业软件适配性不足：主流BIM软件多源于房建领域，对水工结构（如曲面坝体、复杂流道）的建模和分析能力有限，亟需开发或深度定制专业插件。三是复合型人才严重匮乏：既懂水利水电工程又精通BIM技术的复合型人才稀缺，制约了BIM应用的深度和广度。四是初期投入成本较高：软硬件采购、人员培训、流程再造等需要较大的前期投入，部分业主和参建方存在畏难情绪。

5.2 未来展望

展望未来，BIM技术在水利水电工程中的应用将呈现以下趋势：（1）与新兴技术深度融合：BIM将与GIS、IoT、大数据、人工智能（AI）、数字孪生（DigitalTwin）等技术深度融合，构建更为强大的“智慧水利水电”生

态系统。例如，利用AI算法对BIM模型和监测大数据进行分析，可实现大坝健康状态的智能诊断与寿命预测。（2）向全生命周期纵深发展：BIM的应用将从设计施工阶段向规划论证、投资决策、退役拆除等两端延伸，真正实现“从摇篮到坟墓”的全生命周期管理。（3）行业标准体系日趋完善：随着国家和行业层面的重视，水利水电BIM标准体系将逐步建立并推广，为规模化应用扫清障碍。（4）云原生与平台化：基于云原生的BIM协同平台将成为主流，实现更低的使用门槛、更强的协同能力和更灵活的扩展性。

6 结语

BIM技术作为推动水利水电工程数字化转型的核心引擎，其价值已超越了单纯的技术工具范畴，成为一种全新的工程管理范式。通过在规划、设计、施工、运维等全生命周期各阶段的深度应用，BIM能够有效解决信息割裂、协同困难、管理粗放等行业痛点，显著提升工程的质量、安全、效率与可持续性。构建以组织保障为基础、流程再造为核心、技术平台为支撑的协同管理框架，是释放BIM价值的关键。尽管当前仍面临标准、软件、人才等方面的挑战，但随着技术的不断进步和行业认知的深化，BIM必将在建设“安全、绿色、智慧、高效”的现代化水利水电工程中扮演越来越重要的角色，为国家水网建设和能源安全战略提供强有力的数字化支撑。

参考文献

- [1]陈龙.基于BIM技术的水利水电工程建筑三维可视化研究[J].科技资讯,2023,21(23):59-61.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]王省,黄维亮.浅谈BIM技术在水利水电工程的应用[J].人民黄河,2020,42(S2):255-256+259.