

BIM 技术在水利水电工程设计—施工一体化中的应用实践

文 / 胡海鹏 中水电（天津）建筑工程设计院有限公司

摘要：随着水利工程的大型化、多样化，以及水利工程建造难度增大，传统设计与施工分离模式设计管理不高效、信息孤岛等问题突显。BIM 技术凭借三维协同、信息交互和虚拟仿真特性，在水利工程全生命周期集成管理方面展现出巨大潜力。本文以水利水电工程的设计—施工一体化为切入点，对 BIM 技术的水利水电工程设计—施工一体化应用做如下几点探讨，确立了 BIM 技术应用框架模式和多专业协同平台、参数化模型族和动态控制平台，提出了水利水电工程设计—一体化 BIM 协同平台构建等需求，并从工程三维地质模型建立及多专业碰撞审核优化工程设计、并进行工程量自动提取与实现工程可视化管理及决策、基于 4D-BIM 模型应用及工程复杂节点深化设计和施工动态模拟管控以提高工程进度、质量以及安全管理等角度探讨 BIM 技术的应用。并提出了标准化数据接口与协同应用构建策略以期望为水利水电工程领域 BIM 技术应用方面提供参考。

关键词：BIM 技术；水利水电工程；设计—施工一体化；协同管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.075

引言

水利水电工程建设是国家基础建设的重要分支，其特点为投资额巨大、技术复杂、环境影响大。在传统设计施工分阶段模式下，很难有效地满足多专业协调、动态施工条件及全生命周期管理的需要，比如在设计阶段的信息与施工阶段的信息脱节导致了施工阶段大量的施工返工，又由于数据共享平台的缺乏，导致进度与成本的控制难度增大。随着建筑信息模型 (BIM) 的推广应用，在三维可视化、参数化设计与多专业协同方面为破解上述困境带来了希望。

一、BIM 技术与水利水电工程特性分析

(一) BIM 技术核心特征

BIM 技术是以三维数字化模型为基础，通过对建筑工程参数化设计以及信息联系，对建筑工程生命周期过程中的信息进行集成和交流的过程和功能，可以概括为 3 个特点，(1) 利用三维数字化模型，实现建筑形象化的表示，基于该三维建筑模型，可以实时地从三维模型中查询图像、图纸资料，也能够进行模型的三维动态剖切查询；(2) 基于参数化设计，通过将设计元素之间的参数绑定，以某种条件来对设计元素进行约束，一旦模型的变化，依据设置的规则条件，影响所绑定的建筑元素，并且还能对变化后的建筑物元素进行信息统计计算及自动保存；(3) 运用 BIM 可以对建筑工程和专业领域信息实现多个模块之间信息交换，计算和模拟施工过程中，模型技术可以针对冲突情况进行提前预警和模拟，为后期施工准备奠定基础，通过运用 BIM 可以对建筑工程施工、运营维护以及风险决策评估过程的分析和计算功能得以实现。

(二) 水利水电工程特点与需求

水利水电工程特点决定了其管理的行业性强、建设条件复杂、施工管理对象大、参与人员多，工程类型上，

站址多处河谷、山区，多需要处理复杂的地形条件和大的土石方工程量；工程组成上，工程庞大、环节复杂、专业交叉明显，水工结构与水利发电及金属结构等多专业交叉；施工难度上，由于受到汛期、水体流动等因素影响，施工过程中施工方案需实时调整。从工程建设管理模式上看，项目建设前期的设计阶段需要较为准确地分析水流的运动特征、结构的受力等情况，项目建设施工期需要有效处理和协调相关各专业的工作面，项目建设运营期需要关注大坝的安全及设备的长期运营和检修，而传统二维设计和分散式的管理模式往往无法满足上述需求，亟需数字化技术实现对全要素全过程的精细化管理。

(三) BIM 技术适配性分析

水利水电工程符合性是 BIM 技术与水利水电工程的相互适应，主要反映在两者间逻辑上的一致性。BIM 技术能满足复杂地表地形地貌的建模需要，并能综合利用 GIS 等数据生成精细化的三维地质模型，用于辅助开展基础处理、边坡支护等水利水电工程的设计工作；基于 BIM 的设计协同主要表现为借助 BIM 平台进行水工、电气、施工等专业的多专业协同，并利用 BIM 技术中的碰撞检测预先发现是否存在管线相碰或结构相碰的问题；利用 BIM 对项目施工中所需完成的任务、人员等资源进行实时监控，创建出项目施工进度与任务的实际进度对应的施工仿真模拟图，调整并优化项目施工所需的机械设备，如利用 4DBIM 评估导流的方案对工期造成的影响。将 BIM 模型应用于方案的参数化调整，以便对水利水电工程设计方案中常见变化而不断调整所带来的影响进行设计优化，能够满足多参建设单位利用 BIM 进行并行调整参数的工作要求；工程成本可精细化到进度条形图，更能体现出成本单位成本价值，以成本数字代替理论价值。

二、水利水电工程设计—施工一体化 BIM 应用框架

(一) 全生命周期应用体系

水利水电 BIM 模型的全生命周期应用是指 BIM 技术的应用贯穿于水利工程的“规、建、管、营”全过程，以“闭合管理”为导向。规划阶段开展 BIM 技术结合 GIS 数据构建水利工程三维地形，进行水文泥沙、淹没范围等辅助决策，如根据不同位置的水文泥沙情况和受淹情况对比选址与方案设计，查看水位下不同的坝址位置影响效果；水利水电工程施工及后期运维中，目前广发被推广应用的主要是建设阶段的 BIM 技术，其应用主体主要是工程设计单位，应用关键技术主要是建立基于参数模型的全数据集，它利用数字化参数模型进行多专业水工构筑物、机电、金属结构设计及其配合施工放样设计，包括主体及辅助建筑物的布置优化设计、水工结构防渗、交通工程优化设计、地质处理方案与缺陷设计，还对设计院的设计与模型、工程清单、工程量进行关联，并利用设计软件生成工程清单报表以指导后续业主审批，可方便地与项目其他信息形成共享、交互联动；施工过程中实现进度控制与概预算、精细化管理目标，它可以根据施工实际情况实时动态地更改工程的进度与施工方案与部署，如根据实际施工状况进行混凝土浇筑施工次序安排；运维阶段实现水利工程管理的数字化、信息化、自动化与智能化管理目标，根据 BIM 模型进行水利设施的统一管理，并根据管理维修情况实时查询水利设施的变化情况以及预测预测预警相关设备的工作状况。

</text>

(二) 多专业协同平台构建

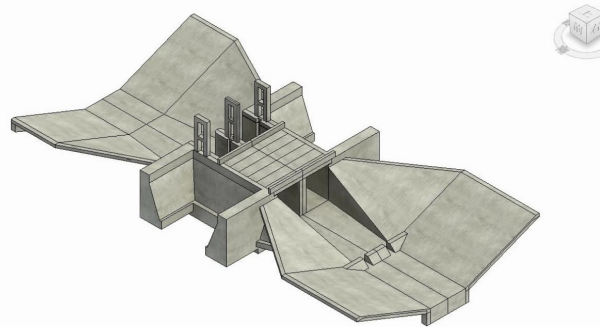
在水利水电工程中包含了水工、岩土、机电、施工等多个专业学科，因此必须建立一个 BIM 协同工作平台以实现信息透明，这个平台是一个“云+终端”式的在线协同工作平台，应该实现协同设计过程中多个用户同时在线和多人远程操作。例如可以实现岩土工程师上传模型后，其他结构工程师可以根据岩土层参数进行坝基稳定性研究等。此外，应该给该平台建立如 BIM 模型轻量化预览、BIM 数据版本控制、数据权限访问限制等功能，以保证对数据的保护以及便于用户操作，如通过数据权限管理将数据权限设置后，可以让施工单位访问模型文件中他承担工作的局部模型等，确保在设计院内部杜绝信息泄密事件。

三、设计阶段 BIM 应用

(一) 三维协同设计流程

在设计阶段 BIM 的合理应用主要是充分利用 BIM 将不同专业紧密结合到一起来。在建立的模型中，与以往的图纸不同，多个专业设计师可以在一个地方在一个设计系统中进行设计，不仅可以在同一个模型中进行查看，而且可以动态反馈进行实时调整（见图一）。因此，即便地质专业工程师将三维的地质设计资料上传至系统后，

土建设计师可直接引用地层参数来进行坝基稳定检查，从而避免因反馈延误设计时间而引发修改。在协同操作中，各个专业模型须统一坐标准化名称，使得各个专业中各个位置均需保持一致的同方向关系，如各个区域中不同的尺寸、小数点和字母等。例如，在同一平台中进行安装管道设计和进行结构设计时，有可能需要将结构设计师对于管道的修改文件进行传送至平台上进行审核，通过平台，结构和地质的不同设计师能够实现设备管道碰撞检查。在实施这一碰撞检查时，便可以迅速了解管道中与混凝土结构交叉的情况和管道和电缆与钢筋之间的冲突状况等。



图一：BIM 建模效果图

(二) 工程量自动计算与成本预估

利用 BIM 模型参数化设定的工程量计算表自动统计清单报表中工程量，如计算工程中的混凝土、钢筋工程量等，增加工程量计算表格。如果同时定义混凝土单价表、钢筋单价表，将增加材料单价及价格变动对工程量的影响，形成“量-价”分析模式。如对某水库大坝不同坝型设计开展造价分析，在利用当前混凝土单价、混凝土运输单价时，BIM 系统模型将自动计算不同分部分项工程的造价，并形成图表曲线。由于工程施工时浇筑顺序对工程材料用量的影响，因此可根据施工顺序不同对模型中的分期导流工程的围堰拆除、围堰重复利用工程费用进行分析计算，决定导流方案最优模式。

(三) 可视化分析与决策支持

设计决策支持能力包括运用三维漫游模拟分析复杂构造部位（如进水塔、岔管）是否满足施工需求与使用功能的合理性等；运用淹没模型结合地形信息及对应地形水位模拟水库建成后淹没范围信息，辅助移民搬迁规划；运用施工导流模拟在 4D-BIM（三维模型+时间模型）的基础上对比分析施工导流方案的可行性，如：在不同施工导流方案下施工进度的差异比较等。将设计单位提供的相关分析结果嵌入到 BIM 模型中，如将结构分析结果（如 ANSYS 软件的结果）嵌入，采用颜色云图的表达形式，基于可视化的手段分析复杂的空间应力分布情况，了解相关应力数据，如基于应力分析在特殊工况下对应的关键部位的大坝应合理进行配筋增强等，为辅助决策提供技术支撑。

四、施工阶段 BIM 应用

(一) 施工进度模拟与动态管理

进度管理是 BIM 在施工期间应用的主体, 4D-BIM (三维模型 + 进度) 是一个可反映实际进度情况的关键点。将进度计划 (甘特图、时序图等) 导入 BIM 模型, 在其中实现导流洞与围堰拆除等工程进度, 模拟施工过程 (混凝土浇筑方案、金属结构安装节点等), 作为水电建设项目的进度可视化与动态管理技术手段, 在某个水电站现场提前识别导流洞施工与围堰拆除碰撞冲突, 在钢筋混凝土浇筑施工计划的前一个节点, 系统即提前提示导流洞施工与围堰拆除存在时序冲突问题, 有利于调整后续的工序逻辑。施工进度计划可视化与动态管理还可以辅助在项目现场移动终端上传当前实际进度照片, 辅助系统在模型上自动对比预估实际进度与计划进度, 若偏差超过设定值则自动发出提醒, 及时告知项目经理并根据其指示, 提供决策支持。与此同时 BIM 模型可以在施工进度信息化集成平台软件中搭载相应的资源管理工具, 即时计算施工各个阶段的人力、机力、材料、周转工具等信息, 以便能够根据混凝土浇筑量计划来自动生成砂石骨料等进场计划需求等, 满足动态管理的资源调配、负荷均衡要求, 从而提升管理水平。

(二) 复杂节点深化设计与交底

对于一些难以理解的水利水电工程结构及工点 (如进水塔、蜗壳层), 结合三维软件进行三维深化设计, 将钢筋布置、预埋件位置等详细信息通过参数化的方法体现在三维模型中, 在某泵站施工中将肘管段钢筋布置及与冷却水管的位置信息通过 BIM 技术直观反映, 避免现场出现碰撞返工现象; 通过 BIM 将深化设计成果提取出二维加工图及三维可视化交底, 例如利用 BIM 模型对钢筋绑扎出动画, 确定钢筋绑扎顺序及关键控制点, 工人可以通过手机扫二维码的形式了解该部位对应的绑扎要求; 还可以针对有些难以表达的方案通过应用 BIM 技术进行比选, 如对溢洪道弧门安装通过模拟吊装路径找出最佳吊装路径, 避免高空作业; 利用模型对质量验收要点、安全注意事项等进行标注, 比如对高边坡支护施工在不同的颜色注明锚杆间距、喷护厚度等要求, 实现高效现场执行等。

五、设计 - 施工一体化 BIM 协同机制

(一) 数据传递与共享标准

工程设计施工一体化的 BIM 协作融合的关键是实现设计和施工阶段的设计信息及施工信息的传递和共享, 将相关文件中的传递和共享信息基于 IFC (Industry Foundation Classes) 国际标准下水利水电工程方面的特殊实体信息扩展, 例如工程的大坝、溢洪道等其他特殊模型在实体类方面进行定义, 完成 BIM 模型数据拆分及编码标识标准的制定, 每一项模型根据其所属的专业或功能等对拆分模型进行编码并赋予其唯一性 ID, 保证数据追溯的可

通性, 例如设计单位提交的混凝土大坝的模型将有模型的材料强度、配筋率等信息数据, 施工方可直接使用这些信息制作施工组织等。

(二) 协同平台功能实现

BIM 协同平台集成各专业工具及数据接口以支持设计 - 施工全协同, 主要包含, 模型轻量化浏览, 在浏览器、移动终端上浏览三维模型, 如施工人员使用手机 / 平板验证钢筋绑扎与 BIM 模型的一致性; 多角色权限管理, 针对角色分配模型浏览、编辑权限, 如施工单位只能编辑与本单位工作相关模型属性; 碰撞检查及协同优化, 软件自动检测各专业模型之间的碰撞检查, 如机电管道、结构钢筋碰撞问题, 并下发报错报告, 发送至责任人; 任务流程管控, 如设计交底、图纸会审等传统线下流程, 通过软件平台将线下业务转为线上模式, 如设置任务节点及任务完成时间, 逾期自动发送任务逾期的提醒; 支持二次开发功能, 针对特定工程的特点, 自主开发功能, 如水利水电工程模型“地质 - 结构 - 施工”联合分析。

结语

综上所述, 水利水电工程设计 - 施工一体化的应用中 BIM 技术构建全生命周期管理模式与协同平台, 呈现出精细化管理提升的良好效果, 究其原因, 主要表现在 BIM 技术拥有三维协同设计、4D 进度模拟、复杂节点深化等主要功能, 在提高工程施工质量、缩短工期、减少成本、避免不必要的返工等核心功能上都有明显作用。随着后期对数据标准的进一步完善以及 BIM 平台应用功能的丰富, 势必进一步推进水利水电工程实现数字化和智能化, 推动行业实现高质量可持续发展, 并需要加强人才相关专业人才培养与交叉型、跨界合作等工作的实施。

参考文献

- [1] 洪德法. 水利工程规建管一体化平台的设计 [C] // 中国水利学会, 西安理工大学. 2024 中国水利学术大会论文集 (第一分册). 中水东北勘测设计研究有限责任公司; , 2024: 420-424.
 - [2] 朱留源. 基于 BIM 技术的水利工程施工资源计划管理研究 [D]. 华北水利水电大学, 2024.
 - [3] 卢德友. 水利工程 BIM 建模与应用 [M]. 中国水利水电出版社: 202302. 317.
 - [4] 吴文霞, 高恺, 刘加龙, 等. BIM+GIS 技术在水库工程可研阶段勘察设计应用研究 [J]. 中国农村水利水电, 2023, (01): 139-145+151.
 - [5] 周昊. 基于 BIM 技术的岩土工程建模 - 仿真一体化方法研究 [D]. 武汉轻工大学, 2022.
- 作者简介: 胡海鹏 1987 年 2 月, 汉族, 湖北武穴人, 本科, 工程师。研究方向: 水利水电工程设计, 市政水务工程设计。