

水利水电工程三维协同设计平台构建与设计效率提升研究

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: 本文聚焦于水利水电工程三维协同设计平台的构建路径与设计效率提升机制,系统分析了当前行业在设计协同、信息集成、模型复用等方面存在的痛点,提出了以BIM(建筑信息模型)技术为核心、融合GIS(地理信息系统)、IoT(物联网)及云计算等先进技术的三维协同设计平台架构。文章详细阐述了平台的总体设计、关键技术、实施路径及应用成效,并通过典型工程案例验证了平台在提升设计效率、减少设计错误、优化资源配置等方面的显著优势。研究表明,构建统一、开放、智能的三维协同设计平台,是推动水利水电工程高质量发展的关键支撑,对实现全生命周期管理、提升工程综合效益具有重要战略意义。

关键词: 水利水电工程; 三维协同设计; BIM; 平台构建; 设计效率

引言

水利水电工程规模大、结构复杂、建设周期长,传统二维CAD设计模式难满足高精度、高效率、高协同性要求。设计阶段,各专业间信息割裂、沟通不畅、版本混乱等问题多,致设计返工、工期延误、成本超支,影响工程效益。近年来,BIM技术发展迅速,在建筑、交通等领域应用成功,其在水利水电工程中的潜力也获认可。BIM不只是三维建模工具,更是集成多种信息的数字化表达方式,可实现工程全生命周期信息共享与协同管理。但水利水电工程有地形地质复杂等特殊性,直接套用建筑行业BIM方案“水土不服”。为此,构建面向水利水电工程特点、支持多专业协同、信息集成与管理能力强的三维协同设计平台,是行业关键课题。本文将研究平台构建方法,探讨其对设计效率的提升机制,为行业数字化转型提供参考。

1 水利水电工程设计现状与挑战

1.1 传统设计模式的局限性

传统水利水电工程设计主要依赖AutoCAD等二维绘图软件,各专业独立作业,通过纸质或电子版图纸进行信息传递。这种模式存在以下突出问题:一是信息孤岛严重:各专业模型与数据相互独立,缺乏统一的数据标准和共享机制,导致信息无法有效流转。二是协同效率低下:设计变更需通过繁琐的沟通与协调流程,容易出现信息滞后或遗漏,引发“错、漏、碰、缺”等设计错误^[1]。三是可视化程度不足:二维图纸难以直观表达复杂的空间关系和施工逻辑,对设计意图的理解易产生偏差。四是知识复用困难:优秀的设计方案和构件库难以沉淀和复用,造成大量重复性劳动。

1.2 数字化转型的迫切需求

面对国家“双碳”目标、智慧水利建设等战略要求,水利水电工程亟需通过数字化手段提升设计、施工、运维全链条的智能化水平。具体需求包括:(1)提升设计质量与效率:通过三维可视化与自动校验,减少人为错误,缩短设计周期。(2)强化多专业协同:建立统一的协同工作环境,实现设计、校审、优化的实时联动。(3)支撑全生命周期管理:为施工模拟、运维管理、数字孪生等后续环节提供高质量的数据基础。(4)促进知识资产沉淀:构建企业级构件库、标准库,形成可复用的数字资产。

2 三维协同设计平台总体架构

针对上述挑战与需求,本文提出一种“1+3+N”的三维协同设计平台总体架构。

“1”个核心:以BIM模型为核心,作为承载几何、属性、关系等全量信息的唯一数据源。

2.1 “3”层支撑

2.1.1 数据层

集成基础地理信息(GIS)、地质勘探数据、水文气象数据、设备参数库等多源异构数据,构建统一的数据湖。

2.1.2 平台层

提供模型创建、协同管理、版本控制、冲突检测、流程审批等核心功能服务。

2.1.3 应用层

面向不同专业和业务场景,开发水工结构设计、机电布置、施工组织模拟、工程量自动统计等专用应用模块。

2.2 “N”个接口

通过标准化API,与项目管理(PM)、企业资源计划(ERP)、智慧工地、数字孪生平台等外部系统无缝对

接,实现数据贯通。

该架构强调“模型驱动、数据贯通、专业协同、智能应用”,确保平台具备良好的扩展性、兼容性和实用性。

3 平台关键技术

3.1 多源数据融合与统一建模

水利水电工程的设计高度依赖于对自然环境与工程本体的精准刻画,这要求平台必须具备强大的多源数据融合能力。首先,平台需实现GIS与BIM的深度融合,将大范围、宏观尺度的地形地貌数据(如DEM、DOM)与微观、精细尺度的工程结构模型无缝集成,使工程师既能从流域尺度审视工程选址的合理性,又能深入到厂房内部检查设备布置的细节,实现宏观与微观设计的一体化^[2]。其次,地质信息的三维可视化建模至关重要。平台应能基于钻孔、物探、地质剖面等原始数据,自动或半自动地构建三维地质实体模型,真实反映岩层分布、断层走向、地下水位等地质特征,为坝基处理方案、地下洞室开挖支护设计等提供科学依据。最后,针对水利水电工程中大量存在的非标或半标构件(如水轮机、球阀、闸门、压力钢管等),平台需建立一套完善的参数化构件库体系。这些构件不仅包含几何外形,还应集成材料、性能、制造、安装等全生命周期属性,支持工程师通过调整关键参数快速生成满足特定工况需求的模型,极大提升建模效率与标准化水平。

3.2 多专业协同设计机制

高效的协同是平台价值的核心体现。平台采用“中心模型+工作集”的协同模式,允许多个专业团队在同一中心模型上并行作业。通过精细的权限与版本管理机制,系统可以精确控制不同角色用户对模型元素的查看、编辑权限,并自动记录每一次修改的历史版本,支持随时回溯与对比,有效解决了传统模式下版本混乱的难题。在此基础上,平台内置的实时冲突检测引擎能够在设计过程中自动扫描模型,识别出不同专业模型之间的空间碰撞(例如,机电管线与水工结构梁柱的冲突、大型设备与建筑墙体的干涉等),并将预警信息即时推送给相关设计师,使其能在设计早期就发现并解决问题,将错误消灭在萌芽状态,避免问题流入施工阶段造成巨大损失。此外,平台还提供在线协同评审功能,支持项目各方通过网页端或移动端对模型进行实时标注、批注和讨论,所有评审意见均能直接关联到具体的模型构件上,形成清晰的问题跟踪与闭环处理流程,显著提升了沟通效率与决策质量。

3.3 智能化设计与分析

为了进一步释放设计生产力,平台积极引入人工智

能与专业算法引擎,推动设计过程从“手动建模”向“智能生成”演进。例如,在厂房内部复杂的管线综合设计中,平台可基于预设的布线规则(如避让结构、保持坡度、减少弯头等),利用智能算法自动规划出电缆桥架、通风管道等管线的最优路径,大幅减少人工试错时间。在工程量统计方面,传统方式依赖人工读图计算,耗时长且易出错^[3]。而平台可直接从BIM模型中自动提取混凝土方量、钢筋吨位、金属结构重量等关键工程量数据,不仅速度快,而且精度高,为投资控制和进度计划提供了可靠依据。更进一步,平台通过开放接口与CFD(计算流体力学)、FEM(有限元分析)等专业仿真软件深度集成,使设计师能够在BIM环境中一键启动水力学流态模拟或结构应力分析,快速验证设计方案的合理性,并根据仿真结果进行迭代优化,真正实现“设计-分析-优化”的一体化闭环。

3.4 云原生与微服务架构

为保障平台的高性能、高可用与可持续演进,其底层技术架构采用云原生与微服务设计理念。平台部署在私有云或混合云环境中,利用容器化技术(如Docker)和容器编排系统(如Kubernetes),实现了计算与存储资源的弹性伸缩。这意味着在项目高峰期或进行大规模仿真计算时,系统能自动调配更多资源以保障性能;而在低负载时段,则可释放资源以节约成本。微服务架构将平台的各个功能模块(如用户管理、模型服务、协同引擎、分析接口等)拆分为独立的服务单元,每个单元可独立开发、测试、部署和升级。这种松耦合的设计不仅提高了系统的整体稳定性(单个服务的故障不会导致整个平台瘫痪),也极大地加速了新功能的迭代速度,使平台能够快速响应业务需求的变化和技术的发展。

4 平台实施路径与保障措施

4.1 分阶段实施策略

三维协同设计平台的建设与推广是一项系统工程,不宜一蹴而就,而应采取稳健的分阶段实施策略。初期可选择技术复杂度相对较低、规模适中的项目(如小型水电站、泵站或水闸)作为试点,重点验证平台的技术路线、工作流程与协同机制的可行性,积累宝贵的实践经验并培养核心骨干团队。在试点成功的基础上,进入推广阶段,将平台全面应用于大型、复杂的标志性项目(如大型抽水蓄能电站、高坝大库等),在实战中进一步完善平台功能、优化标准体系,并形成可复制的实施方法论。最终,在深化阶段,平台的应用不应局限于设计阶段,而应向前延伸至勘测、向后贯通至施工与运维,与智慧工地、数字孪生等系统深度融合,构建一条

贯穿工程全生命周期的“数字主线”，实现数据资产的最大化利用。

4.2 标准与规范建设

标准与规范是平台成功应用的基石。缺乏统一的标准，协同将无从谈起。因此，企业应率先制定内部的《水利水电工程BIM实施指南》《三维协同设计工作流程》《模型交付与验收标准》等指导性文件，对建模深度（LOD）、信息粒度、构件命名规则、坐标系定义等关键要素做出明确规定，确保所有参与者在同一套“语言”下工作^[4]。同时，行业层面也应积极推动水利水电BIM标准体系的建设，鼓励龙头企业、设计院所与软件厂商共同参与国家或行业标准的编制工作，解决跨企业、跨项目间的数据交换壁垒，为整个行业的数字化生态健康发展奠定基础。

4.3 组织与人才保障

技术的成功最终依赖于人的推动。企业应成立专门的BIM中心或数字化推进办公室，作为平台建设与应用统筹协调机构，负责战略规划、资源调配、标准制定与效果评估。更重要的是，要着力培养一支既精通水利水电专业知识，又熟练掌握BIM技术与数字化工具的复合型人才队伍。这需要通过多层次、系统化的培训体系来实现，包括基础软件操作、高级建模技巧、协同流程实践以及前沿技术研讨等。同时，建立有效的激励机制，将BIM应用的深度、广度与成效纳入员工的绩效考核与职业发展通道，激发全员参与数字化转型的积极性与创造力。

5 应用案例与效益分析

5.1 案例背景

以某大型抽水蓄能电站项目为例，该电站总装机容量达1200兆瓦，工程内容极为复杂，涵盖上水库、下水库、长达数公里的高压输水隧洞系统、深埋于山体内部的大型地下厂房以及地面开关站等。在采用传统二维设计模式下，预计整个设计周期需要18个月，且各专业间协调难度极大。

5.2 平台应用实践

该项目全面应用了本文所述的三维协同设计平台。项目伊始，即在云端部署了统一的协同环境，水工、机电、金属结构、地质、施工等八个核心专业团队全部纳入平台进行协同作业。各专业基于同一个中心模型开展设计工作，系统每周自动执行全专业碰撞检查，并将结果以可视化报告的形式分发给责任人。项目团队每月

组织一次在线协同评审会议，各方可直接在三维模型上进行讨论和决策。在具体应用中，工程师利用平台内置的参数化水轮发电机组族库，仅用数小时便完成了地下厂房内六台机组的初步布置；通过集成的CFD模块，对尾水洞的体型进行了多轮流态优化，有效降低了水力损失；工程量统计则实现了“所见即所得”，模型一旦更新，混凝土、钢筋等主要工程量数据即刻刷新，为投资控制提供了实时依据。

5.3 效益分析

表1 平台应用效益

指标	传统模式	三维协同平台	提升效果
设计周期	18个月	14个月	缩短22%
设计变更次数	120次	65次	减少46%
碰撞问题发现阶段	施工阶段	设计阶段	提前发现率100%
工程量统计时间	2周	实时	效率提升90%+
图纸返工率	15%	5%	降低67%

此外，平台生成的高精度BIM模型为后续的施工4D/5D模拟、智慧工地建设、数字孪生运维奠定了坚实基础，显著提升了项目全生命周期的综合效益。

6 结论

本文聚焦水利水电工程三维协同设计平台，研究其构建方法与提升设计效率的路径。研究发现，以BIM为核心，融合GIS等先进技术构建的平台，可有效解决传统设计模式中信息孤岛与协同低效问题。平台通过统一数据标准、优化协同机制、强化智能应用，提升了设计质量与效率，减少设计错误与返工，为工程全生命周期管理提供高质量数据支撑。未来，随着技术成熟、标准完善和行业认知深化，该平台将成为工程数字化转型的核心引擎，重塑行业模式。为此，建议行业主管部门加强顶层设计与标准引导，设计单位加大投入与人才培养，软件企业深耕需求与创新，多方协同推动行业高质量发展。

参考文献

- [1]孙伟.水利水电工程三维协同设计的质量管控[J].工程技术研究,2020,5(05):237-238.
- [2]李学安,水利水电工程勘测设计三维协同技术.湖北省,长江勘测规划设计研究有限责任公司,2021-03-09.
- [3]张滢月.基于BIM技术的水利水电工程三维协同设计策略[J].工程技术研究,2024,9(02):205-207.
- [4]丁建博.基于BIM技术的水利水电工程三维协同设计路径[J].建筑技术开发,2021,48(24):13-14.