

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220966

# 大型复杂水电工程 BIM 技术数字化研究与实践

段 斌<sup>1</sup>, 丁新潮<sup>2</sup>, 周 相<sup>1</sup>, 李 梦<sup>2</sup>, 雷 迪<sup>1</sup>, 严思源<sup>1</sup>

(1. 国能大渡河金川水电建设有限公司, 四川 阿坝 624100;  
2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 针对 BIM 技术在水利水电工程项目中应用尚未形成全过程、全专业的整体协同设计和系统性数字化应用的现状。以金川水电站为例, 结合金川水电站项目定位高、面板堆石坝覆盖层深厚、引水发电系统地质条件复杂的特点及项目实际需求, 实施了全过程三维 BIM 设计, 明确了标准体系, 开展了全专业全阶段数字化勘测, 实现了 BIM 协同设计、三维设计成果应用、动态更新及网页端和移动端的全过程轻量化数字移交, 建立了数字化成果管理平台, 为智慧工程及数字电站奠定了数据基础。同时开展“BIM+”多源数据管理, 实现了基于 BIM 的地质预报、施工进度管理、动态反馈分析及安全监测智能管理等功能, 为安全风险管控和施工精益化管理提供了保障。研究成果可为水利水电工程开展全过程、全专业的整体协同设计和系统性的数字化应用提供参考和借鉴。

**关键词:** 水电站; 水利水电工程; 建筑信息模型; 数字化

**中图分类号:** TV512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)05-0187-03

## 1 概况

金川水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州金川县境内的大渡河上游河段, 坝址区属“V”型河谷, 地形地质条件复杂, 地层岩性为变质细砂岩夹碳质千枚岩, 断层、层面裂隙及层间挤压带发育, 风化、卸荷较深, 共划分 8 个地质岩组; 河床坝基覆盖层深厚, 最厚达 65 m, 总体上以冲积砂砾石粗颗粒为主, 但夹有多层粉土质砂及细砂层透镜体。工程等级为二等大(2)型工程, 主要任务为发电, 设计装机容量为 860 MW, 安装 4 台 215 MW 混流式水轮发电机组, 与上游双江口水库联合运行时设计多年平均发电量为  $34.86 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。水库正常蓄水位高程为 2 253 m, 死水位高程为 2 248 m, 总库容为  $5.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 具有日调节能力。电站枢纽工程主要由面板堆石坝、左岸地下厂房、右岸溢洪道和右岸泄洪放空洞等建筑物组成, 面板堆石坝最大坝高 112 m, 工程建设安全管控技术难度大<sup>[1]</sup>。金川水电站工程枢纽建筑物三维效果见图 1。针对 BIM 技术在水利工程中应用尚未形成全过程、全专业的整体协同设计和系统性的数字化应用<sup>[2]</sup>的现状。本文以

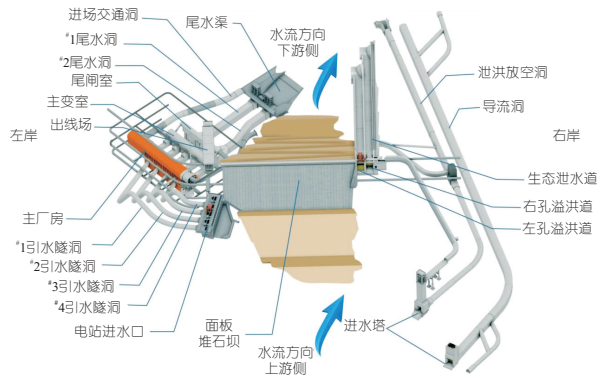


图 1 金川水电站枢纽建筑物三维效果图

Fig. 1 Main construction 3D effect diagram of Jinchuan HPP

在建的大渡河金川水电站工程项目为例, 开展全过程、全专业整体协同的 BIM 数字化应用研究。金川水电站依据智慧大渡河总体规划<sup>[3]</sup>, 并结合项目面板堆石坝覆盖层深厚, 引水发电系统地质条件复杂、安全管理难度大等特点, 探索建设成为智能感知、万物互联, 数据集成、系统联动, 人机交互、决策灵敏的智慧工程<sup>[4]</sup>, 以期 BIM 技术在大型水利水电工程的数字化实践提供新的解决方案。

## 2 BIM 数字化应用成果

金川水电站数字化工程应用涵盖设计和施工

收稿日期: 2022-05-06, 修回日期: 2022-07-28

作者简介: 段斌(1980-), 男, 博士、正高级工程师, 研究方向为水电工程建设管理, E-mail: iamduanbin@163.com

通讯作者: 雷迪(1987-), 男, 工程师, 研究方向为水电工程建设管理, E-mail: 491312205@qq.com

阶段,通过 BIM、物联网、移动通讯、大数据等数字化技术,基于项目实际需求开展 BIM 设计及应用,辅助现场安全施工,降低潜在风险,实现复杂水电工程 BIM 技术数字化创新实践。

### 2.1 设计阶段 BIM 应用成果

在设计阶段,主要进行标准体系制定、数字化勘测、各专业 BIM 协同设计、三维设计成果质量管控、BIM 设计成果应用、BIM 模型轻量化、数字化移交平台等内容的建设与应用。

(1)标准体系制定。以国标、行标、企标等数字化标准为基础,结合金川水电站实际情况,建立较为完备的工程数字化技术标准体系,包含 BIM 设计数字化交付编码标准、BIM 设计数字化交付模型属性信息标准、数字化成果交付标准、BIM 应用标准等标准规范,实现应用过程标准、成果数据统一。

(2)数字化勘测。依托中国电建集团西北勘测设计院数字勘测平台,结合无人机、移动互联等先进技术手段,开展现场移动端数据实时采集编录、基于 DSI 算法的地质 BIM 模型动态更新及专家远程审核等工作,为设计、施工的数字化应用提供了高质量的地质数字模型。

(3)各专业 BIM 协同设计。应用范围覆盖测绘、地质、坝工、厂房、泄水、监测、金属结构、电气一次、二次、水机、给排水等全专业,各专业基于三维协同设计平台,依托丰富的专业资源库,顶层规划数据结构,应用先进的骨架参数化设计理念,高效开展施工详图阶段多专业 BIM 协同设计工作。

(4)三维设计成果质量管控。构建了基于工程数据中心的三维多专业多系统的混合三维数字化设计平台,主要包括三维测绘系统、三维地质系统、三维枢纽系统、三维工厂系统、电气设计系统、三维设计成果会审系统、成果展示系统等,平台架构见图 2。实现所有设计任务下达、过程管理及三维产品校审、会审等全过程质量管控,有效保证了 BIM 设计成果质量,为数字化应用提供保障。

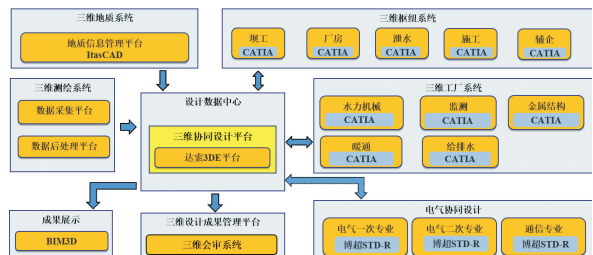


图 2 三维协同设计平台架构图

Fig. 2 Framework of the 3D design platform

(5)BIM 设计成果应用。利用 BIM 设计成果,开展碰撞分析、CAD/CAE(计算机辅助设计/

计算机辅助工程)一体化、三维出图、工程量统计、VR(虚拟现实)汇报、方案比选等设计应用,提升了设计产品质量,提高了设计工作效率。根据碰撞分析结果避免机电安装时设备管路互相干涉和冲突,减少返工;利用 CAD/CAE 一体化的分析计算避免了重复建模(图 3),提高了效率。

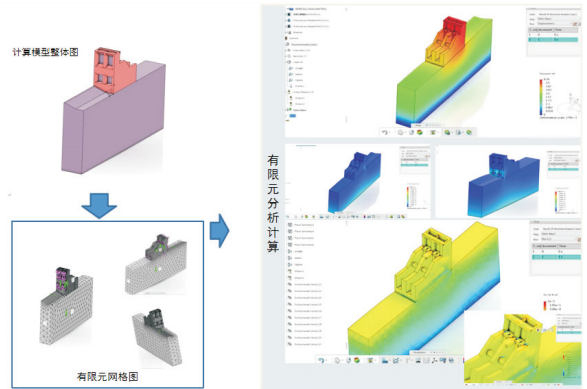


图 3 CAD/CAE 一体化模型图  
Fig. 3 CAD/CAE integrated model

(6)BIM 模型轻量化。通过对不同三维设计软件数据格式进行模型轻量化处理,将数据格式转换为统一的 \*.b3d 格式,通过移交平台对轻量化后数据进行集成融合应用。开发了 1 种通用模型转换工具和 11 种专用模型转换工具,支持 20 余种数据格式模型轻量化转换,满足水电工程行业主流三维设计软件数据格式转换应用需要。

(7)数字化移交平台。金川水电站工程数字化移交平台可集成三维结构模型、设计成果信息和施工管理信息,并将三维结构模型与工程图纸、设计报告、特性参数及工程量等 10 余种设计成果信息,施工方案、施工时间、建筑材料、质量验评结果、现场照片等施工管理信息建立关联关系,形成基于一个模型、一套数据、一个数据库的可视化数模展示查询系统(图 4)。实现可视化环境下对设计成果进行操作、浏览、管理、查询和交流,为施工方案模拟、培训和施工深化应用提供基础。

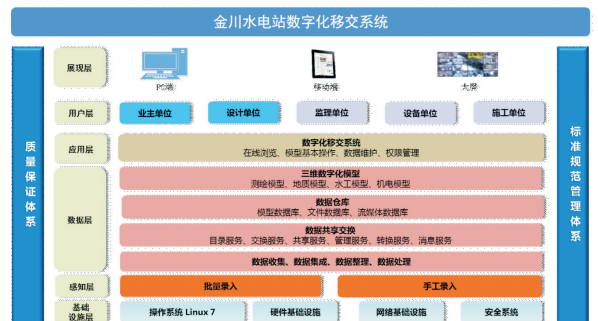


图 4 金川水电站数字化移交平台

Fig. 4 Digitization platform of Jinchuan HPP

### 2.2 施工阶段 BIM 应用成果

金川水电站工程施工阶段 BIM 应用主要体

现在地下洞室的施工数字化应用,包括地下洞室地质预报、地下洞室开挖进度仿真分析、地下洞室群动态反馈分析及管理、安全监测管理。

(1)地下洞室地质预报。提出了一种基于 BIM 技术的地下洞室超前地质预报方法,通过系统研发实现地质预报三维可视化,结合 BIM+进度管理,实现动态监控并实时显示地下洞室施工过程中的地质预报信息(图 5),包括可能遇到的工程地质问题、可能发生的位置、围岩类别、围岩岩性、结构面产状、填充情况、预计剩余发生距离、预计剩余发生时间、地质评价预判、安全施工建议等。

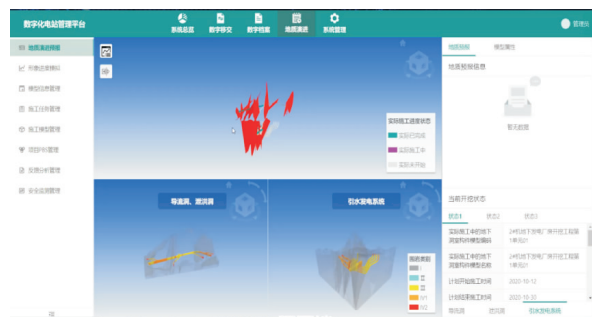


图 5 金川水电站地下洞室地质演进预报

Fig. 5 Cavern geological evolution forecast of Jinchuan HPP

(2)地下洞室开挖进度仿真分析。利用 BIM 技术,在设计模型的基础上根据施工计划进行模型深化分解,通过多端的采集系统,将工程计划进度、实际进度与模型关联,对比分析仿真模拟进度及实际进度,实现基于 4D 的施工管控(图 6)。与传统方式相比,成果更清晰,更有助于工程施工进度管控。



图 6 金川水电站地下洞室形象进度模拟

Fig. 6 Cavern construction progress simulation of Jinchuan HPP

(3)地下洞室群动态反馈分析及管理。利用 BIM 技术,将 BIM 模型高效转化成为数值计算模型,随洞室开挖过程依据安全监测数值反演计算围岩力学参数,动态分析洞室稳定性并优化支护措施。同时,通过将动态反馈分析计算结果与轻量化 BIM 模型相关联,对当前施工条件下围岩稳定和计算分析结果进行可视化对比查看,以帮助开展洞室群围岩稳定评估和预警,对下一步开挖和支护方案的调整具有重要指导意义。

(4)安全监测管理。利用 BIM 技术、物联网技术,将安全监测成果数据实时自动上传至系统中并与监测设备 BIM 模型挂接关联,系统对监测数据自动进行处理分析,并能够生成监测信息曲线,监测信息可根据日期和设备信息进行查询展示(图 7)。

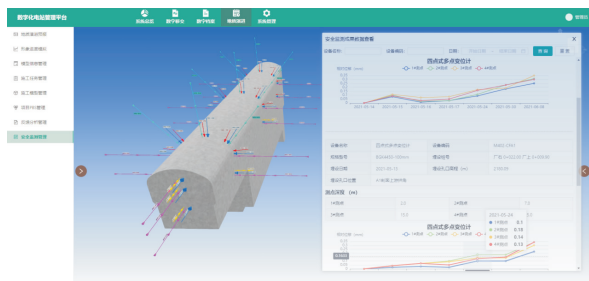


图 7 金川水电站地下厂房安全监测智能管理

Fig. 7 Underground powerhouse safety monitoring management of Jinchuan HPP

### 3 结论

a. 实现了全专业的 BIM 协同设计。解决了不同 BIM 基础软件数据格式融合互通的问题,实现顶层规划、专业协同、仿真分析、三维校审、工程出图等一体化应用,形成了金川水电站三维设计编码规则、模型精度、模型属性、交付标准等工程数字化技术体系,实现全专业 BIM 协同设计。

b. 创新了轻量化 BIM 模型技术。研发了具有自主知识产权的轻量化引擎关键技术,形成的金川水电站工程三维设计轻量化模型,可实现结构形体、特性参数、工程量等 10 余种设计成果信息和施工时间、建筑材料、质量验评结果、现场照片等施工管理信息的准确表达和展示。

c. 实现了多要素的智能安全管控。将 BIM、4D 管理、数值模拟、安全监测、地质雷达等先进技术进行多专业、多学科的交叉融合,探索了基于 BIM 技术水电工程的智能安全管控技术手段。

d. 探索了全周期的数字孪生工程。以 BIM 模型为信息载体,以信息编码为贯穿纽带,以网络通信为联系手段,以多源数据为管理对象,实现基于 BIM 的多源数据融合,建立了映射实体工程的数字孪生工程。

#### 参考文献:

[1] 段斌,吴晓铭,陈刚,等.建在深厚覆盖层和强卸荷岩体上的混凝土面板堆石坝筑坝关键技术研究[C]//堆石坝建设和水电开发的技术进展——中国大坝协会 2013 学术年会暨第三届堆石坝国际研讨会论文集.郑州:黄河水利出版社,2013:679-687.

