

冯敏, 贾宁霄, 傅兴安. 基于3DE平台的水利工程BIM正向协同设计方法研究与应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(S1): 11-17.

FENG Min, JIA Ningxiao, FU Xing'an. Research and application of BIM forward collaborative design method for water conservancy engineering based on 3DE platform[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(S1): 11-17.

基于3DE平台的水利工程BIM正向协同设计方法研究与应用

冯敏^{1,2}, 贾宁霄^{1,2}, 傅兴安¹

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010;

2. 长江水利委员会互联网+智慧水利重点实验室, 湖北 武汉 430010)

摘要: BIM技术作为助推水利工程建设实现数字化、智能化发展的重要技术手段, 已成为行业高质量发展创新发展的有力支撑。随着水利工程勘察设计BIM技术应用的不断深入, 受限于水利工程勘察设计业务流程的复杂性, BIM正向协同设计及相关应用推进仍存在较大瓶颈, 导致设计阶段BIM价值发挥不充分。为有效推动行业BIM正向协同设计应用, 通过梳理BIM协同设计体系、总结正向设计作业流程、凝练BIM业务应用场景, 提出了一种基于3DExperience平台的水利水电工程正向协同设计方法, 并以深圳市光明—清林径水库连通工程为依托, 开展了正向协同设计应用实践。通过开展项目BIM正向设计策划, 构建了勘察设计专业间业务协同、设计与计算分析协同、设计与施工仿真协同、设计与施工管理协同的多维度协同设计体系, 并实现了数字化勘察、设计管理、选线分析、方案优选、工程计量、快速出图、仿真分析、数字化交付等多层级应用, 有效提升了设计质效, 助力工程实现一年内完成可研、初设、招标设计工作的总体目标, 创造了显著的应用价值。

关键词: 水利工程勘察设计; BIM正向设计; 协同体系

DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.S1.003

中图分类号: TV22

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2025)S1-0011-07

Research and application of BIM forward collaborative design method for water conservancy engineering based on 3DE platform

FENG Min^{1,2}, JIA Ningxiao^{1,2}, FU Xing'an¹

(1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design & Research, Wuhan 430010, Hubei, China; 2. Internet+ Intelligent Water Conservancy Key Laboratory, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, Hubei, China)

Abstract: BIM technology, as an important technical means to promote the digitalization and intelligentization of water conservancy project construction, has become a strong support for the high-quality and innovative development of the industry. With the continuous deepening of BIM technology application in the survey and design of water conservancy projects, limited by the complexity of the survey and design business processes of water conservancy projects, there are still significant bottlenecks in

收稿日期: 2024-08-22

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2024AFB428)

作者简介: 冯敏(1987—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事水利水电工程BIM技术研究、工程信息化研究。E-mail: fengmin@cjwsjy.com.cn

the promotion of BIM forward collaborative design and related applications, [Results]ing in insufficient value of BIM in the design stage. In order to effectively promote the application of BIM forward collaborative design in the industry, this paper proposes a forward collaborative design method for water conservancy and hydropower projects based on the 3DExperience platform by sorting out the BIM collaborative design system, summarizing the forward design operation process, and refining BIM business application scenarios. Relying on the Gongming-Qinglinjing Reservoir Connection Project in Shenzhen, the forward collaborative design application practice was carried out. Through the BIM forward design planning of the project, a multi-dimensional collaborative design system was constructed, including business collaboration between survey and design professionals, collaboration between design and computational analysis, collaboration between design and construction simulation, and collaboration between design and management. Multi-level applications such as digital survey, design management, route selection analysis, scheme optimization, engineering measurement, rapid drawing, simulation analysis, and digital delivery were achieved, effectively improving the quality and efficiency of design. This helped the project achieve the overall goal of completing feasibility studies, preliminary design, and bidding design work within one year, creating significant application value.

Keywords: survey and design of water conservancy projects; BIM forward design; collaborative system

0 引言

新一代信息技术发展所带来的产业革命对水利行业产生了深远的影响,特别是“十四五”以来,以数字孪生为代表的新型水信息学技术在解决流域、水网、水工程等应用场景下的复杂水问题能力方面发挥了关键作用,已成为智慧水利建设新的切入点。BIM技术作为数字孪生重要的基础性技术^[1],其所带来的模型出图、工程量计量、碰撞检测、可视化展示能力已越来越多地应用在勘察设计、施工、运维等工程全生命期中。其中,勘察设计阶段的BIM成果作为工程全生命期智慧化应用的数据基础,其应用的深度和广度会对工程建设质量产生重要影响,以正向设计为目标的全过程BIM设计已成为设计领域的行业共识^[2]。

然而,在目前的水利水电工程勘察设计中,仍存在较多的“BIM逆向设计”或“半逆向设计”。即在设计过程中以二维图纸作为信息传递的方式和最终的交付成果,在完成图纸设计后,再开展BIM模型构建,所创建的模型虽可用于检查设计中的“错误和遗漏”,但如发现问题,仍须在二维图纸和三维模型之间不断调整,项目组织管理模式未发生明显变化,设计方式和效率效果也未能真正优化^[3]。

针对上述不足,本文提出了一种基于3DExperience平台的水利水电工程正向协同设计方法,梳理形成了BIM协同设计体系、正向设计作业流程及应用场景。该方法已成功运用于金沙江旭龙水电站、深圳市罗田—铁岗水库输水隧洞、深圳市公明—清林径水库连通工程等多个大型水利水电工程中,有效提升了项目设计质效。

1 水利水电工程BIM正向协同设计方法研究

1.1 协同设计平台选择

目前水利水电行业采用的BIM三维设计平台主要有欧特克公司的Autodesk系列、Bentley公司的OpenBuildingsDesigner系列、以及达索公司的3DExperience平台等^[4]。其中3DExperience平台(以下简称“3DE平台”)是法国达索(DASSAULT SYSTEMES)公司推出的一个集项目管理、在线协同、三维设计、仿真应用于一体的软件平台,提供了三维建模、分析优化、渲染仿真、项目协同管理等多个模块应用^[5]。基于3DE平台,不同专业用户可以基于同一种数据源,选用不同的模块进行三维设计工作,避免了不同软件之间数据的导入、导出及格式切换带来的数据丢失^[6]。本文提出的协同设计体系、流程及业务应用场景均基于3DE平台开展。

1.2 BIM正向协同设计体系研究

水利水电工程建设系统性强,涉及测量、地质、水工、建筑、水机、电气、金结、安全监测、施工、环境保护等十多个专业,工程设计受地形地质、水文气象等难以确切把握的自然条件影响较大,承受水的推力、浮力、渗透力、冲刷力等多种作用影响,工作边界条件复杂^[7]。在水利水电工程全阶段勘察设计中,各专业需紧密配合,这一协同过程中存在频繁的资料互提和数据交互,当涉及方案变更与方案比选时工作量将成倍增长。采用传统勘察手段,上下游专业间数据传递主要为串行作业模式,上游专业完成设计后,将成果和图纸传递至下游专业,这种作业方式存在专业间相互割裂、协同效率低、变更处理不及时,数据更新繁琐等问题^[8]。

为了解决上述问题,本文提出了适配水利水电工

程的BIM多维协同设计体系,以解决传统勘察设计中在不同阶段、上下游专业串行作业效率低、空间上建筑物、设施设备布置和协同工作难、计算分析与设计优化有效协同少等问题。

水利水电工程BIM多维协同设计体系主要包括专业间业务协同、设计与计算分析协同、设计与施工仿真协同、设计与管理协同四个维度。

1.2.1 专业间业务协同

通过梳理业务流程,理清专业之间的提资关系和数据接口。基于统一的协同设计平台,开展各专业数据结构组织设计,以“骨架+参数化设计”为核心,实时发布并同步共享边界设计元素数据。如在水工与地质协同方面,首先结合勘察数据,快速构建高精度地质模型,根据地形地质条件,进行枢纽建筑物快速布置与比选,并发布枢纽布置定位骨架。基于总体定位骨架中的定位元素,开展水工建筑物布置骨架设计。当地质条件或者枢纽布置发生重大变化,引起建筑物位置变化时,通过修改定位元素的坐标信息,可以驱动建筑物布置骨架的修改,进而修改建筑物布置方案,实现不同专业间的数据协同更新。

1.2.2 设计与计算分析协同

水利水电工程勘察设计中包含大量的计算分析内容,如抗滑稳定计算分析、水头损失计算分析、水力过渡过程计算分析等,这些计算分析方法通常依赖于公式计算与有限元计算两种方式。因此,设计与计算分析协同,首先需明确计算分析的主要内容,以BIM模型为基础,通过将标准、规范中的结构计算公式与BIM模型中的几何参数、工程信息创建关联,实时进行水头损失、抗滑稳定、工程量统计等计算方法集成。同时通过隐藏BIM模型中对工程结构影响较小的细部结构,利用通用格式进行轻量化转换,构建精细网格,形成与BIM模型“同源、同定位、同属性”的有限元模型。利用专用的有限元网格文件格式及配套、解密算法,以BIM模型关联属性方式存储节点信息以及四面体、六面体网格单元构成、网格单元材质等信息,实现工程有限元网格信息解析、计算、展示与优化,最后通过调整参数驱动BIM模型动态更新,实现设计与计算分析一体化协同。

1.2.3 设计与施工仿真协同

施工仿真是优化施工方案、提高施工组织设计水平的重要手段。将BIM设计与施工仿真相结合,可在数字空间中模拟工程施工过程,降低试错成本。如通过对混凝土坝BIM模型进行参数化快速分割,批量提取施工模型浇筑块几何属性数据,将几何属性关

联到对应的浇筑块,使之成为含有属性信息的施工BIM模型,形成以单元工程为划分原则的BIM模型,建立考虑多要素多维耦合作用(如大坝结构布置、温度控制要求、浇筑机械的布置与选型、混凝土生产系统设计与布置、施工组织管理水平、水文气象条件、基础条件等)的混凝土施工仿真模型,开展施工进度仿真计算,基于计算结果,对已有的施工布置方案、施工资源配置进行优化分析,实现以施工资源配置与优化调度为目标的设计、施工协同应用。

1.2.4 设计与管理协同

梳理水利水电工程项目管理体系与BIM设计管理的业务流程交叉点,提出水利水电项目管理各阶段设计与管理协同应用点。在项目立项和策划阶段,进行项目WBS任务分解,将信息同步到BIM设计管理平台中,创建相应的三维设计管理节点;在项目执行过程中,开展三维设计任务的分解、分派和进度监控,并将设计任务与BIM模型数据创建关联,方便管理人员在项目管理系统中实时查看;以BIM模型为基础,对校审流程进行分级定制,完成三维校审和信息数据流程,形成校审工单,并将流程和校审信息通知单同步于项目管理系统;在归档执行环节,明确数据的交付格式,保证数据的完整性,基于BIM模型数据版本管理和存储路径管理模式,进行数字化交付,便于成果文件的追溯和管理。

1.3 基于3DE平台的正向协同设计流程

基于3DE平台的水利水电工程正向协同设计流程如下。

(1)在项目立项阶段,开展项目BIM技术应用策划,明确BIM技术应用范围,构建BIM应用业务场景,主要包括技术策划、协同策划和管理策划三部分。其中技术策划主要明确BIM实施目标、工程区场地范围、策划方案(初步拟定开展设计所需的推荐方案与比选方案,如枢纽布置方案、坝址比选方案、坝线比选方案等)、结构树搭建原则、BIM应用层级、模型精细度要求、软硬件资源配置要求等;协同策划包括协同设计总体流程及接口、专业间协同流程及数据接口、各专业间的提资关系等;管理策划主要包括设计管理过程、组织管理模式、WBS工作分解、人员组织、进度计划等。

(2)基于3DE平台,创建项目级协作空间。

(3)根据水利水电工程各专业上、下序设计逻辑关系,理清相应输入、输出关系。例如在取水口布置时,根据设计要求,水工专业需要的输入条件包括地形地质条件、水文资料、引用流量等,在完成取水口

设计后, 需要将闸孔尺寸和个数提供给金结专业, 金结专业根据闸孔尺寸开展门体结构设计, 并将门槽开孔型式、尺寸要求等反馈给水工专业, 水工专业结合金结布置要求开展二期混凝土结构设计和通气孔设计等。这些逻辑关系可作为后续结构树搭建和工作包划分依据, 并有助于明确各专业需发布参考的参数。

(4) 开展各专业数据结构组织设计, 搭建项目 BIM 结构树。

(5) 开展工作包分解、人员权限绑定及相关数据资源设置。

(6) 开展地形地质数据资源准备, 基于地形地质资料, 创建地形地质三维模型。

(7) 基于地形地质三维模型, 开展枢纽布置及空间占位设计, 拟定建筑物定位信息, 形成枢纽布置总骨架, 并发布相关轴系等定位元素供各专业开展设计工作。

(8) 结合定位信息, 以“骨架+参数化设计”为核心, 开展多专业功能性设计, 完成建筑物基本体型、主体结构设计以及设备选型和布置设计等工作。

(9) 完成各专业内功能设计后, 依托协同平台, 开展碰撞检测, 识别和定位几何占位冲突发生位置, 进行方案调整, 并同步更新数据。在确保没有碰撞问题的基础上, 开展结构细部设计工作。

(10) 开展计算分析协同工作, 验证设计方案准确性, 根据计算分析结果, 对不满足要求的结构部位, 通过调整参数驱动 BIM 模型动态更新, 实现设计与计算分析一体化协同。

(11) 基于协同设计平台, 开展三维校审工作, 根据校审结果, 对各专业设计方案进行修改完善, 并同步更新数据资源。

(12) 对已完成设计成果, 进行数据的归档与交付, 便于成果文件的追溯与管理。

2 BIM 正向协同设计应用案例

基于上述正向协同设计体系和业务流程, 以深圳市公明—清林径水库连通工程为依托, 开展 BIM 正向协同设计应用实践。

公明水库—清林径水库连通工程是珠江三角洲水资源配置工程在深圳境内配套项目之一, 为 I 等大(1)型工程, 最大输水规模为 $347 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 主要建筑物包括: 公明水库取水口、清林径水库取水口, 输水干线(约 41 km), 分水支线、1 座地下泵站、3 座地面竖井式泵站, 1 座地下阀室, 1 座分水井、1 座阀井、3 座 TBM 工作井、2 座通风排水井、3 条交通洞及 1 座支线工作井, 如图 1 所示。

2.1 BIM 技术应用策划

2.1.1 技术策划

针对城市深埋输水隧洞工程特点, 编制项目级 BIM 应用标准, 对模型应用要求、模型分类编码、交付管理要求进行统筹规定; 结合标准, 编制 BIM 总体实施方案和专项实施方案, 将标准落实细化到项目实施层面, 明确项目 BIM 建设范围、BIM 实施准备要求、模型构建通用要求、模型结构划分层级、模型分类与编码表、BIM 应用层级、校审要点及数字化交

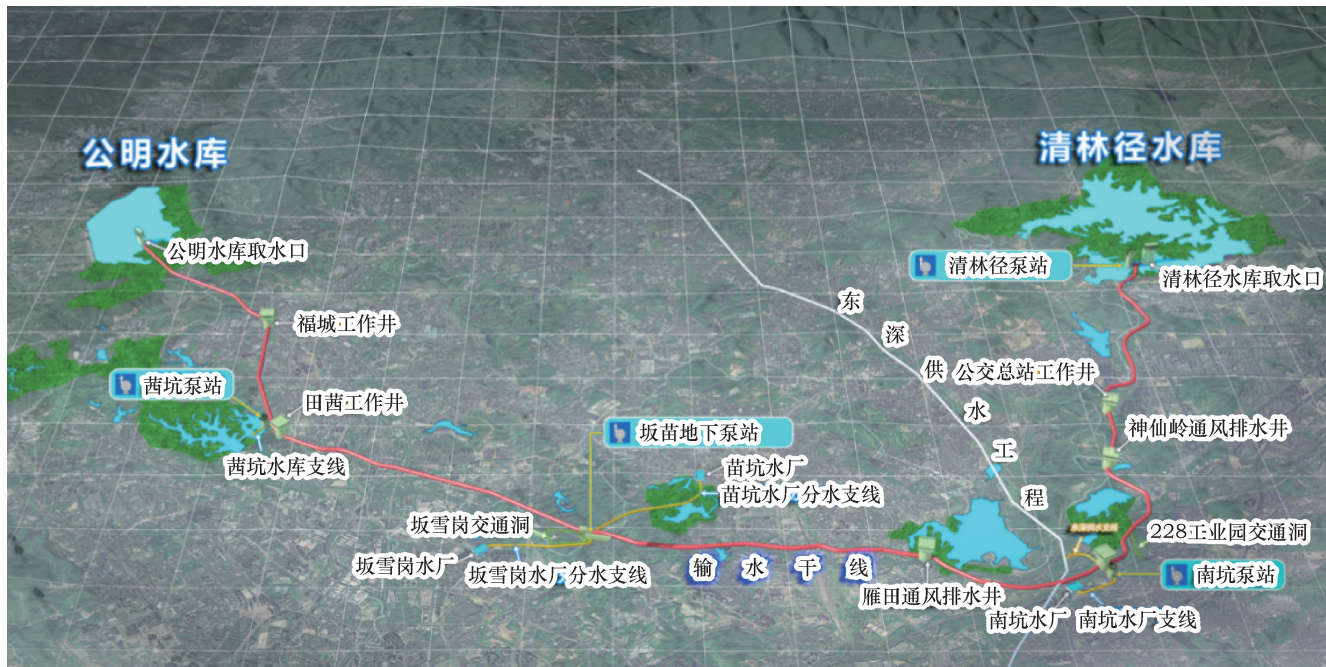


图 1 公明水库—清林径水库连通工程输水线路总布置

付成果清单要求,在有效指导正向设计的同时,为后续数字化交付和数据资产管理奠定工作基础。

2.1.2 协同策划

本项目涉及勘测、地质、水工、机电、金结、施工、建筑等多个专业,通过梳理工程多专业勘察设计协作业务流程,构建项目级多专业协同设计体系,厘清各专业输入、输出数据业务接口,如图2所示。

2.1.3 管理策划

结合项目工作内容和进度成果要求,为有效推进项目BIM正向设计,基于3DE平台中的ENOVIA模块,进行项目BIM设计管理策划,管理流程如图3所示。

基于ENOVIA模块,对项目勘察设计阶段工作任务进行WBS分解,并将分解后的设计任务进行在线派发,对任务工作量进行量化分配;同时将设计任务与三维模型数据进行挂接,便于管理人员实时了解各任务工作进度和状态。

2.2 全专业BIM正向协同设计实施

基于上述BIM正向协同设计方法及项目级BIM策划,本项目从可行性研究阶段开始,基于3DE平台开展全专业BIM正向协同设计。

2.2.1 专业间业务协同实施

基于3DE平台,创建项目协作空间,并搭建项目级结构树。采用数字化勘察手段,完成了工程场区地形地质模型创建。基于地形地质模型,结合城市用地、已有建筑物影响等因素,进行输水线路初选和优化分析,根据分析结果,共建立1条输水线路总布置轴线、9个关键点定位轴系、8条定位轴线,为多专业协同设计提供地理与空间定位信息,工程布置参数化骨架如图4所示。

基于选线布置骨架,各专业结合模型空间中的同一定位信息同步开展设计工作,以多专业正向协同设计并行作业模式驱动赋能提效。水工专业基于定位骨

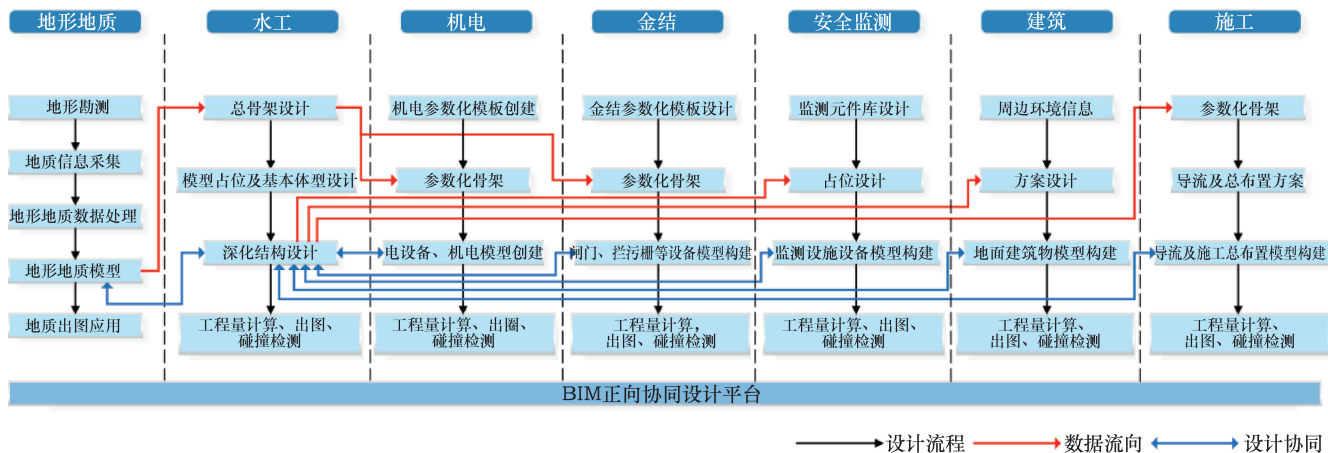


图2 多专业协同设计体系

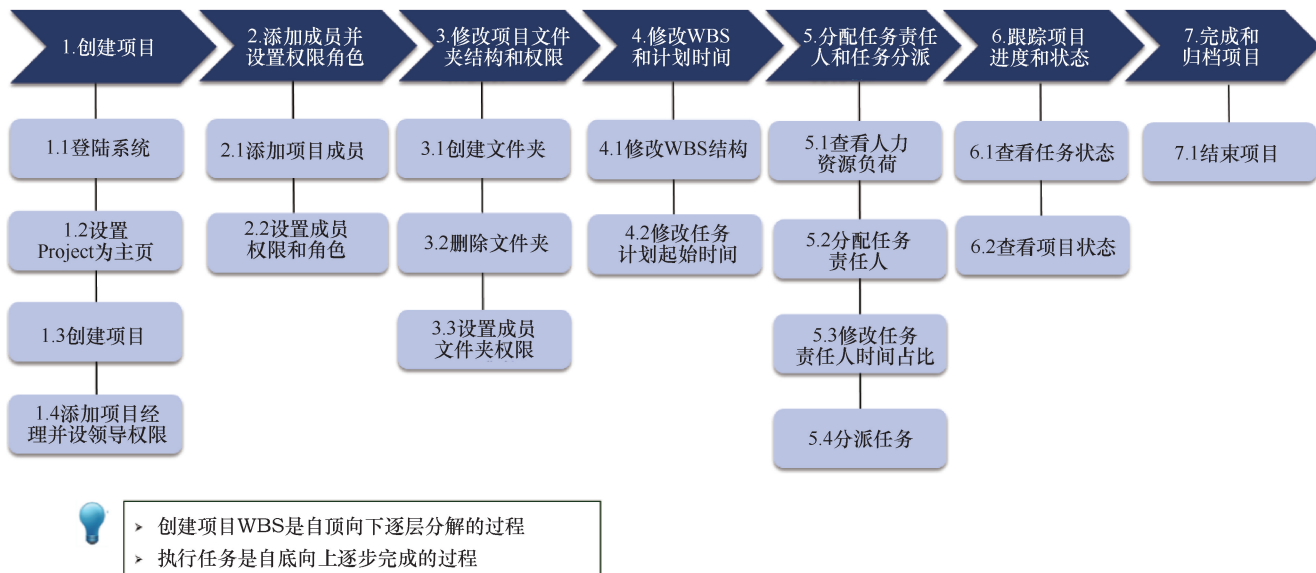


图3 BIM设计管理策划基本流程

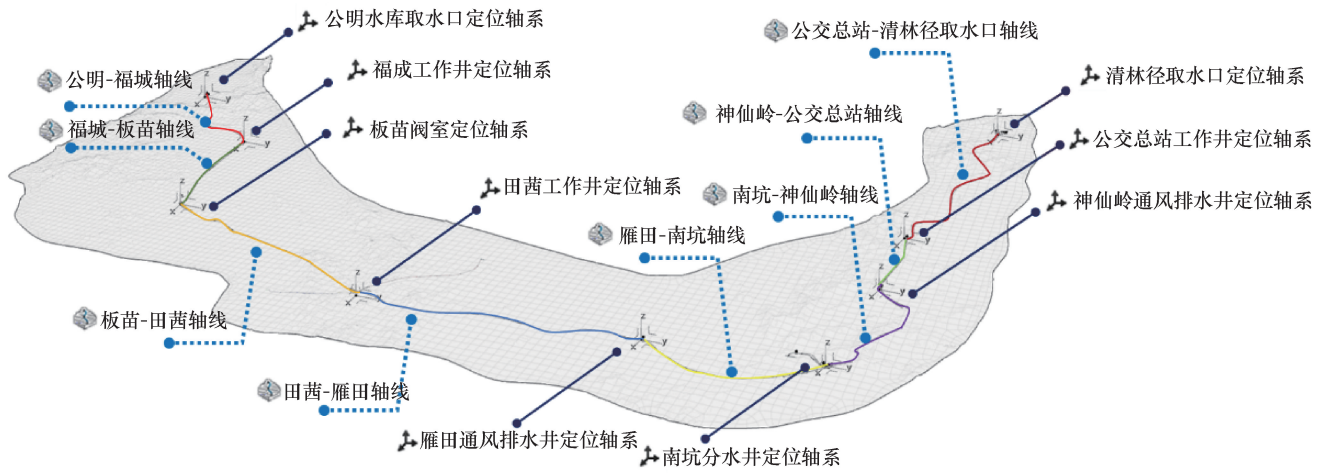


图 4 工程布置参数化骨架

架开展公明取水口、输水隧洞、工作井、提水泵站、清林径取水口等建筑物布置与结构设计, 并将模型主要特征实时发布供金结、机电、建筑等专业参考; 机电、金结专业根据结构布置与主要结构体型, 开展闸门、启闭机、泵阀等设备布置, 并同步将埋件埋设、开孔开洞等要求反馈至水工专业进行建筑物结构细化设计; 施工专业基于地形地质模型、总体布置骨架, 开展施工道路、场地、支洞布置设计; 建筑专业基于地面以下水工结构开展地面建筑物功能和装饰设计。各专业完成专业设计后, 基于平台开展总体碰撞检测分析, 并进行专业间调整与设计优化迭代, 完成工程可研、初设及施工详图 BIM 模型构建, 如图 5 所示。

2.2.2 设计与计算分析协同实施

本项目线路长、散点建筑物众多, 其中包括 18 个大型地下竖井设计。在 BIM 正向设计实施过程中, 通过协同策划业务流程梳理, 归纳主要设计参数, 并将规范中的计算公式与模型设计参数结合, 自主研发竖井设计工具集, 可一键生成竖井内衬、连续墙、底板、冠梁、隧洞开孔、旋喷桩、双排帷幕灌浆孔、底板锚筋桩、底板固结灌浆孔等参数化耦合模型, 同时将生成的模型数据导入至有限元分析软件中进行洞室稳定性计算分析, 根据计算分析的结果, 对竖井参数进行调整, 快速优化结构方案, 实现 BIM 设计及计算分析的双向协同。

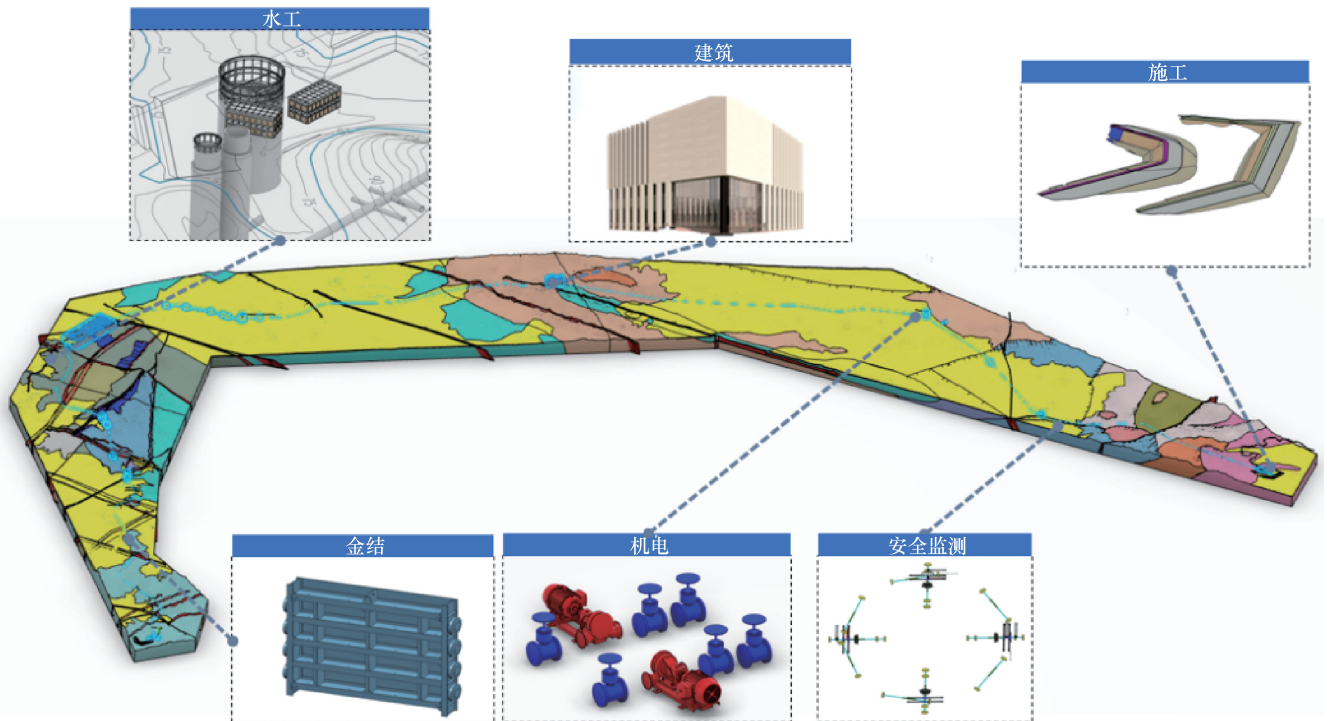


图 5 公清项目 BIM 模型示意

2.2.3 设计与施工仿真协同实施

本项目输水干线全长41.15 km,全程采用深埋隧洞形式,分6段施工,其中5段采用TBM掘进。传统TBM管片排版过程中,对空间转弯轴线段楔形管片拟合的问题是排版难点,二维设计难以精确计算偏执量,为满足工程TBM管片设计的需要,本项目研发TBM管片设计工具,实现隧洞空间曲线中的排版拟合,并对TBM掘进过程进行动态仿真模拟,根据模拟结果,对洞线及管片排布方案进行实时优化,初步实现了设计与施工仿真协同。

2.2.4 设计与施工协同实施

本项目设计周期短,涉及专业多,在项目施工过程中基于3DE平台ENOVIA模块,实现管理流程与BIM模型的双向集成,可对项目BIM设计进行实时在线管理,实现项目总览、进度计划分解查看、文件管理、任务的在线派发和查看、模型实时浏览等,及时了解项目占用资源和人力成本消耗。

2.3 总体应用成效

通过开展项目全专业BIM正向协同设计,持续深化构建了工程全阶段、全专业勘察设计BIM模型,分阶段开展了数字化勘察、选线选址分析、碰撞检测分析、三维出图、工程量统计、仿真计算、轻量化交付等BIM多层级应用,提升了本项目勘察设计的效率和质量,为项目的高效开展提供了技术保障,并产生了可观的效益,如在本项目取水塔设计过程中,利用BIM设计与计算分析协同,完善了施工图设计方案,优化7341 m³混凝土及1128 t钢筋,减少投资近3200万元;竖井设计过程中,开展BIM仿真模拟计算,优化竖井开挖及内衬墙分节高度由2 m优化至3 m,极大优化工期,使单竖井工期减少近135 d。

BIM正向设计的实施,有效提升了设计质效,助

力工程实现了一年内完成可研、初设、招标设计工作的总体目标,创造了显著的应用成效。

3 结 语

水利水电工程勘察设计周期长、地质条件往往较为复杂,且参与专业多,专业间业务接口复杂、数据交互及协同量大。针对水利水电工程协同设计工作开展的难点,构建了BIM正向协同设计业务体系,基于3DE平台梳理了协同设计业务流程,并在相关工程中进行了应用与实践,相关成果可为同类工程BIM技术应用提供支撑。

参考文献:

- [1] 詹全忠,陈真玄,张潮,等.《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》解析[J].水利信息化,2022(4):1-5.
- [2] 王欣垚. BIM技术在水利工程设计中的运用分析[J].科技资讯,2023,21(6):79-82.
- [3] 周小日. BIM技术在水利工程设计中的深化应用[J].工程技术研究,2023,24(8):207-209.
- [4] 王刚,李静,赵翊彤,等.基于3DE平台的抽水蓄能电站枢纽三维快速协同设计方法研究[J].水电能源科学,2024,42(4):85-88.
- [5] 王豪,郭学洋,彭志远,等.基于3DE平台的乌东德水电站水力机械BIM设计[J].中国农村水利水电,2022(2):134-139.
- [6] 陈平平,毛拥政,补舒棋,等.基于3DE参数化建模的重力坝边坡开挖优化设计[J].水利与建筑工程学报,2023,21(5):138-142.
- [7] 郭优. BIM技术在水电工程标准化设计中的应用[J].广西水利水电,2023(6):50-53.
- [8] 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(2):205-207.

(责任编辑 王 璐)