

BIM赋能抽水蓄能电站三维协同设计

柳丽香¹,曹可杰²,赵汉桥²

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,浙江 杭州,311122;

2. 东慧(浙江)科技有限公司,浙江 杭州,310023)

摘 要:抽水蓄能项目设计任务重、周期短、专业多,传统方式难以满足目前的生产形势和要求。采用BIM技术进行三维数字化协同设计,通过精细的应用策划,开展涵盖勘测、土建、机电等专业的协同设计应用,能大幅提升设计方案合理性,提高设计成果精准度及质量,增加成果多样性,解放设计人员生产力,并为数字孪生抽水蓄能电站应用提供坚实的基础底座。笔者简述了如何选择合适的抽水蓄能电站三维数字化协同设计解决方案,如何开展三维数字化设计,以及三维数字化技术在抽水蓄能电站设计阶段的价值优势。

关键词:抽水蓄能电站;三维;数字化;协同设计;BIM

Title: The 3D collaborative design for pumped storage power stations with BIM// by LIU Lixiang, CAO Kejie and ZHAO Hanqiao// PowerChina Huadong Engineering Co., Ltd.

Abstract: The design task of pumped storage project is heavy, the time is limited, and there are many disciplines involved. Therefore, traditional design methods are unable to satisfy the current situation and requirements. Using BIM technology, through meticulous application planning, the collaborative design is carried out, covering surveying, civil engineering, mechanical and electrical engineering, and other related disciplines. It can significantly improve the rationality of design schemes, enhance the accuracy and quality of design results, increase the diversity of results, liberate the productivity of designers, and provide a solid foundation for the application of digital twin pumped storage power stations. This study briefly describes the way to choose a suitable 3D digital collaborative design solution for pumped storage power stations and carry out 3D digital design, as well as the value and advantages of 3D digital technology in the design stage of pumped storage power stations.

Key words: pumped storage power station; 3D; digitization; collaborative design; BIM

中图分类号:TV734

文献标志码:B

文章编号:1671-1092(2025)04-0029-05

0 引 言

国家能源局印发《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035年)》,明确到2025年抽水蓄能投产总规模较“十三五”翻一番,达到6 200万kW以上;到2030年再翻一番,达到1.2亿kW左右。紧随其后,地方政府印发的“十四五”规划,如《浙江省能源发展“十四五”规划》《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划》《广西能源发展“十四五”规划》等,均有关于加快推进抽水蓄能电站建设的内容,我国抽水蓄能电站项目井喷式增长。

抽水蓄能电站项目任务重、设计周期短、人力资源有限、所需专业多、配合高度紧密,传统生产手段仅靠人工,在产能、响应效率、质量等方面难以匹

配目前的生产形势和项目的高要求。采用BIM技术进行三维数字化协同设计,能大幅提升设计方案合理性,提高设计成果精准度和质量,增加成果多样性,解放设计人员生产力,并为数字孪生抽水蓄能电站应用提供坚实的基础。

1 三维协同设计解决方案特点

抽水蓄能电站结构复杂,涉及专业众多,各环节紧密相连、相互影响,选择的三维数字化协同设计解决方案应具备以下能力。

1.1 造型能力

优秀的造型能力是三维数字化协同设计解决

方案的基础。在抽水蓄能电站设计中,面对复杂多样的建筑结构与机械设备,精准且强大的造型能力显得尤为关键。在宏观层面,需要逼真地模拟大坝主体的曲线弧度、坡面坡度等细节;深入厂房内部,需要细致勾勒出各类大型水机设备的外形,以及错综复杂的管道系统走向。这不仅可让各专业设计师能清晰直观地审视设计效果,也可为后续的工程模拟、施工规划提供高精度的模型基础。

1.2 全专业覆盖性

抽水蓄能电站设计过程涵盖测绘、地质、厂房、坝工、引水、水机、电气、暖通和给排水等众多专业,三维数字化协同设计解决方案在提供通用功能模块的同时,还应提供满足专业需求的高效工具,以及尽可能覆盖其余专业的应用场景,如金结、景观和桥梁等。

1.3 模型承载能力

完整的抽水蓄能电站三维模型包含数万乃至更多的复杂构件,这对三维数字化协同设计解决方案的模型承载能力提出了极高要求。无论是岩石特性、断层裂隙等信息,还是厂房内部密密麻麻的机电设备、纵横交错的各类管道,以及大坝上精细浇筑的配筋构造等,都会生成海量的数据和图元。模型组装时,若承载能力不足,模型加载便会卡顿甚至崩溃,严重影响方案分析和成果优化。

1.4 多层次协同架构

三维数字化协同设计解决方案应包含多层次架构的协同平台,满足全专业同时开展协同设计工作,能够对各专业的设计信息进行高效的统一管理,并实时有效传递各专业内和专业间的设计信息变更。

此外,协同平台还应具备权限管理功能,精准控制每个用户、文件的编辑、阅读等权限;具备流程管理功能,记录项目管理人员、校核与审查人员对设计成果的审核过程。

2 三维数字化设计流程

2.1 BIM应用策划

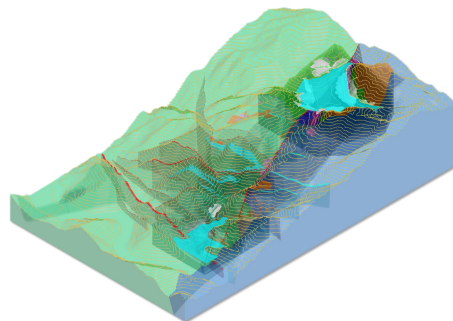
项目正式启动前,需进行项目BIM应用策划和专业BIM应用策划,制定BIM应用计划,明确BIM

应用的标准规范、应用内容和深度,以及任务分工等。

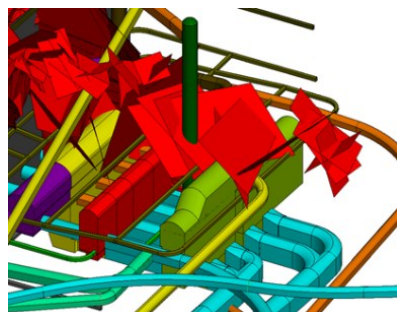
应用策划完成后,由专人在协同平台上创建项目和各专业的三维文件目录,以及项目所需的环境配置、创建文件时采用的种子文件等,保证三维文件按不同的部位和系统来分类,使三维模型组织合理,确保三维模型文件体系的合规性、合理性、完整性和准确性。

2.2 专业设计与应用

测绘、地质专业BIM应用采用勘测三维设计系统,从勘察数据采集与管理到地质模型创建与应用,实现勘察全过程、全阶段勘测一体化,为下游设计专业提供高质量、高精度的勘测数字化成果,支持输出任意位置地质剖面,数据可快速服务于三维建模、图件编绘、计算分析等,出图效率大幅提高。



(a) 三维建模



(b) 专业协同

图1 勘测应用

Fig. 1 Survey application

土建三维设计系统可协同联动设计,提高设计成果精准度。系统专注于混凝土结构三维配筋场景的研究与探索,支持任意异形实体和曲面结构配筋,兼具钢筋自动编号、智能统计钢筋报表和出图等,钢筋配置和出图符合我国现行的多种结构设计规范,能够极大提高设计产品质量。

抽水蓄能电站工厂系统包含各种管道、设备

等,交错纵横,非常复杂。机电三维设计系统贯穿原理接线、设备布置、管线布置等生产流程,将专业规范、经典图库等设计资料融入软件设计流程,实现机电专业三维数字化协同设计,可数字化移交延伸应用于建造运维阶段。

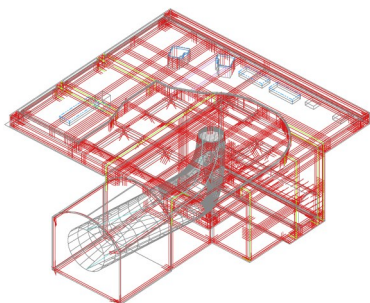


图2 三维钢筋模型
Fig. 2 3D steel bar model

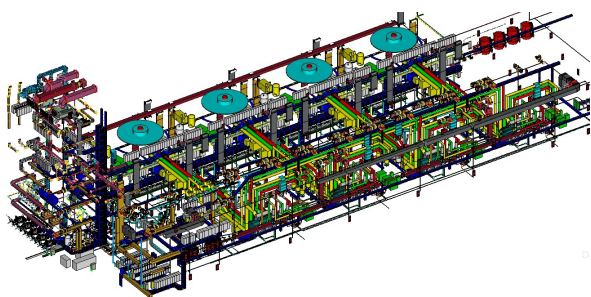


图3 三维机电模型
Fig. 3 3D electromechanical model

2.3 校审流程

三维数字化协同设计同样需要进行校核与审查,包括专业校审和项目校审两个阶段,每个阶段需要分别对模型进行完整性检查、碰撞检查、合理性检查。专业校审完成三步校审后提交项目,进行项目组装和项目会审,同样需要通过三步校审。项目校审通过后实现模型固化,基于固化模型再开展二维图纸抽取、工程量统计、渲染等各种应用。

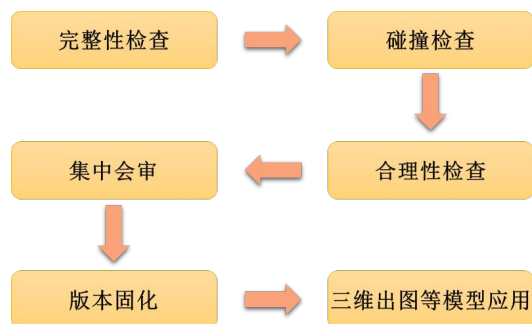


图4 校审流程
Fig. 4 Review process

3 成果质量

3.1 碰撞检查

抽水蓄能项目涉及众多专业交叉,传统设计流程下各专业图纸独立绘制,极易出现设备管线与建筑结构、不同系统管线之间的碰撞问题。基于高精度BIM模型开展碰撞检查,能够及时发现构件间的碰撞问题,提前化解隐患,避免施工时才察觉问题而返工,缩短工期,节约成本。

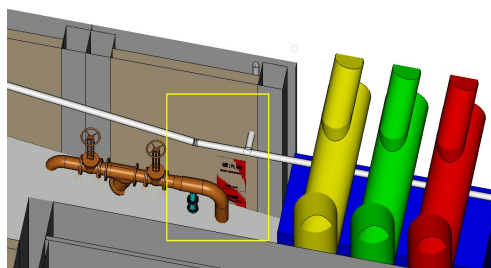


图5 碰撞检查
Fig. 5 Collision inspection

3.2 三维校审

在抽水蓄能电站设计中,以往依靠二维图纸校审,校审人员需凭经验想象空间布局,困难重重。基于BIM三维校审,在三维模型空间内逐层漫游,直观可视设计效果,浏览构筑物布局、水机设备安装空间等,比二维图纸更易发现设计不合理之处,优化方案。

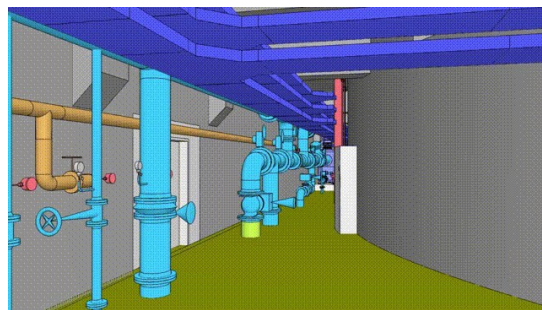


图6 三维可视化校审
Fig. 6 3D visual review

3.3 设计优化

各专业围绕BIM模型协同配合:地质专业提供高精度地层信息,影响厂房布局和洞室走向;水工专业根据地质条件调整坝体结构、引水路线;机电专业同步优化管线排布和设备配置。不同设计方案能在模型中直观呈现,对比分析建设成本、运营

效率、施工难度等因素,开展设计优化、方案比选等应用,经济效益显著。

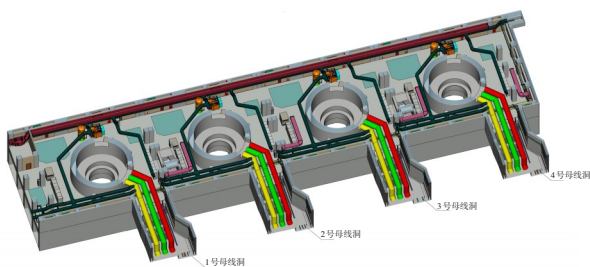
4 成果多样性

4.1 三维图纸

通过三维协同设计创新出图方式,相较于二维图纸,三维图例极大地增加了图纸的可读性,相关人员可快速理解设计意图,无需费力解读平面线条背后的空间关系,减少沟通成本。



(a)中间层平面布置图



(b)中间层轴视图

图7 二、三维图纸

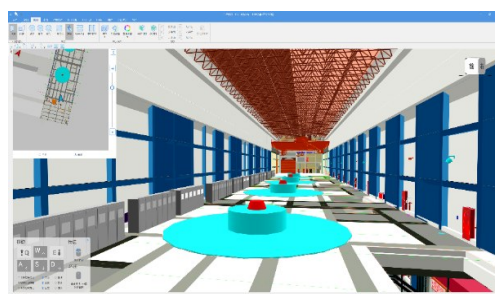
Fig. 7 2D and 3D drawings

4.2 三维技术交底

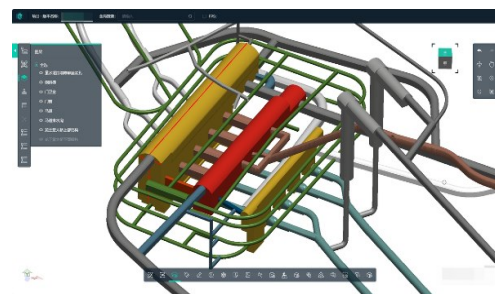
将抽象的二维线条转化为高精度的三维模型,开展可视化设计交底,既可直观展现抽水蓄能电站全貌,也可立体呈现抽水蓄能电站各个细节,各参建方人员仿若置身工程内部和施工现场,能够清晰理解设计意图。

5 项目应用

以某抽水蓄能电站项目为例,在准备阶段,联合业主、项目团队进行BIM应用顶层策划,分析重难点,讨论BIM实施方案和技术路线,编制BIM工作大纲,细化为BIM技术应用实施总则、BIM技术应用和交付标准、BIM模型编码标准、BIM交付标准等。



(a)免安装文件交底



(b)移动端技术交底

图8 三维技术交底

Fig. 8 3D technical disclosure

在项目开展之初,以鹰图协同管理平台搭建符合ISO 19650国际BIM标准的通用数据环境(CDE),实现BIM模型标准托管、模型和数据交付及校验等功能,各参建方都可以直接参与BIM建设,保证各阶段数据和BIM成果有效传递。

在设计阶段开展协同设计,创建地质三维、枢纽三维和工厂三维,从LOD200逐步深化至LOD400及以上精度。基于高精度模型开展库容计算、方案比选、计算分析、模型碰撞检查、三维会审等应用,对模型成果进行校核,优化设计方案。基于固化模型,输出二三维图纸,开展线上线下多种形式的设计交底,增加成果多样性,提高沟通效率和质量。

在项目建设过程中,将BIM模型轻量化发布至建设管理平台,开展更深一步的场景应用。如提供厂房洞群主要施工阶段的变形预警值,自动判别洞群围岩整体稳定状态;进行地下洞室施工进度预测分析,采用施工仿真手段对后续施工方案进行优化,以实现施工进度科学管控;对关键大型设备的吊装施工方案进行仿真和验证,提高现场施工效率和施工安全性。

在设计阶段,通过三维数字化协同设计,提高沟通效率50%以上,减少图纸会签工作90%以上,减少错漏碰撞等返工工作90%以上,有效缩短设计周期20%以上。在施工阶段,通过BIM深化应用,

节约现场施工工期 10%,节约材料 5%以上,降本增效明显。在人才培养方面,为各参建方培养数字化应用和工程管理的复合型人才 20 余人,有效促进各单位数字化能力建设。

6 结 语

抽水蓄能电站三维数字化协同设计解决方案应贯穿抽水蓄能工程勘测设计阶段全专业、全过程、全要素,解决三维设计协同难度大、跨专业模型耦合性差、一模多用效率低等难题,值得推广和创新应用。

参考文献:

- [1] 国家能源局.抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035 年)[Z].2021.
- [2] 张春生,时雷鸣,王金锋,等.水电工程三维协同设计技术[M].北京:中国水利水电出版社,2022.
- [3] 曾志辉.长龙山抽水蓄能电站 BIM 技术应用分析[J].水

电站机电技术,2022,45(9):96—99.

- [4] 李小奇,戴永琪.基于 Bentley 平台的抽水蓄能电站 BIM 设计应用[J].东北水利水电,2024,42(11):68—70.
- [5] 罗微.基于 Bentley 平台的水工结构三维设计出图技术应用[J].水利规划与设计,2019(12):111—115.
- [6] 岳志伟,张新,和扁,等.Bentley 软件在水利水电工程设计中的应用分析[J].人民长江,2020,51(S2):112—114.
- [7] 张慧媛,曾凡诚,王兵.关于 Bentley 三维设计软件在水利水电工程中应用与研究[J].内蒙古水利,2021(7):46—47.
- [8] 郑海涛.变电站数字化设计研究[J].电子技术与软件工程,2016(5):34—35.
- [9] 雷波.研究三维工厂设计中结构设计的流程[J].城市建设,2016(5):76—76.
- [10] 易宁,吴波,孙金凤,等.三维设计模式在水利工程设计中的应用[J].治淮,2020(8):38—40.

收稿日期:2025-04-08

作者简介:柳丽香(1981—),女,浙江丽水人,高级工程师,主要从事数字图像处理与模式识别相关工作。

作者邮箱:liu_lx@hdec.com

(上接第 14 页)

力场最小主应力准则要求,且邻近隧洞之间渗透稳定也能满足相关要求,可以判断在内水压力作用下,隧洞不会发生水力劈裂,但应考虑存在局部不良地质构造下内水外渗量较大的风险。施工过程中,对过沟浅埋段围岩采取了水泥固结灌浆及化学灌浆加固处理措施,改善了岩石的力学性能,降低了渗透系数,提高了隧洞承载力,充水试验结果也充分验证了上述措施的效果。

目前该引水隧洞能够安全运行,建议在隧洞通过水獭排冲沟的地表位置,在冲沟上、下游各布置 1 个量水堰,便于长期观测上平洞水獭排冲沟水量的变化。

3 结 语

对引水隧洞运行安全进行评价,不仅需要考虑到隧洞岩体覆盖厚度,还需综合考虑工程地质、衬砌结构、施工措施等因素。以惠州抽蓄电站引水隧洞过沟浅埋段为例,分析了浅埋段围岩的工程地质问题,并指出惠州抽蓄工程引水隧洞浅埋段虽覆盖岩体厚度略有不足,但能满足最小主应力与渗透稳定要求,施工过程中采用了水泥固结灌浆和化学灌浆

等加固措施,也有效阻止了内水大量外渗的可能,目前浅埋段隧洞能够安全运行。为保证隧洞长期安全性,建议定期进行巡查,并在水獭排冲沟布置渗水量观测设施,在运行过程中密切关注沟内水位的变化情况。

参考文献:

- [1] 王继敏,周济芳.深埋长大水工隧洞群建设与运行关键技术研究与实践[J].水电与抽水蓄能,2021,7(5):4—12.
- [2] 张有天.论有压水工隧洞最小覆盖厚度[J].水利学报,2002(9):1—5,13.
- [3] 侯靖,胡敏云.水工高压隧洞结构设计中若干问题的讨论[J].水利学报,2001(7):36—40.
- [4] 黄银伟,刘志青,张利沙.抽水蓄能电站输水发电系统衬砌型式研究[J].浙江水利水电学院学报,2023,35(4):31—6.
- [5] NB/T 10391—2020,水工隧洞设计规范[S].
- [6] 刘阳.浅埋压力输水隧洞围岩最小覆盖厚度的判据及研究方法综述[C].吉林省第八届科学技术学术年会论文集,2014.

收稿日期:2024-07-03;修回日期:2024-07-11

作者简介:金苗(1984—),女,江苏连云港人,高级工程师,主要从事大坝安全管理工作。

作者邮箱:jinmiao196@163.com