

滦平抽水蓄能电站 数字化融合设计实践

■ 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南省数字水工程技术创新中心 赵志勇
中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 刘涵 王超 陈为雄 杨青松

核心看点:抽水蓄能电站建设是“十四五”期间水电行业的建设重点,但抽水蓄能电站项目的增多与传统设计方式在设计效率和效果方面产生了很大矛盾。本文依托滦平抽水蓄能项目,通过自主知识产权数字化开发,建立数字化融合设计平台。平台经过多个项目验证,对抽水蓄能电站设计效率有显著提升,同时为水电工程智能建造和数字孪生奠定数据基础。

引言

气候变化是全球共同面临的挑战,中国积极履行大国责任,习近平主席向国际社会作出了“中国2030年前碳达峰,2060年前碳中和”的庄严承诺。当前,中国正在进行一场深刻的能源革命,着力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。中国现有电力结构煤电比重约60%,电力行业碳排放总量占全国的40%,是中国碳减排的“主战场”。电源结构清洁化转型是关键。中国水、风、光等可再生能源资源丰富,发展清洁低碳能源,加快构建以新能源为主体的新型电力系统,是实现“双碳”目标、应对气候变化的重要途径。抽水蓄能作为新型电力系统的“稳定器”,需承担起其新的使命。

滦平抽水蓄能电站位于滦平县小营镇,距承德市直线距离30千米,距首都北京直线距离170千米,是河北省“十四五”规划重点工程。电站建设条件优越,经济指标好,并且结合矿山采矿、抽水蓄能电站建设及旅游资源开发等内容,将传统矿坑变废为宝,是国内首个与矿坑综合治



图1 滦平抽水蓄能电站枢纽布置

理相结合的能源电力工程。工程的实施将促进矿区生态环境修复和保护,打造成国内与矿坑综合治理结合的示范工程(图1)。项目计划按两期开发,一期工程装机容量1200兆瓦,总装机容量2400兆瓦。与标准抽蓄电站装机120万千瓦相比,项目装机是常规抽蓄电站的2.5倍;与传统水电站相比,抽蓄电站设计周期从5-10年缩短为1-2年。方案比选数目从3-4个增加为30-40个。平均单位千

平台	抽蓄数字设计平台				
	勘测设计一体化协同平台				
基线产品	空天地一体化智能化勘测	多要素多目标智能化规划	枢纽布置数字化设计	专业方案数字化设计	标准化计算分析平台
基础业务模块	数据源预处理	站址普选	枢纽布置	建筑物布置	水力学计算
	智慧水文	站址精选	库容建模计算	大坝快速建模	结构计算
	数字化采集	库址识别	枢纽快速布置	输水系统快速建模	岩土计算
	地质三维	站址研判	土石方平衡计算	厂房快速建模	机电金结计算
	智能识别算法	上下库联选	智能选线	BIM/CAE计算分析	其他
		优选决策	施工交通	工程量计算	
			场地布置	开挖支护	
			知识库系统	元件构件库	
	数据中心				

图2 抽蓄数字化智能设计平台功能模块

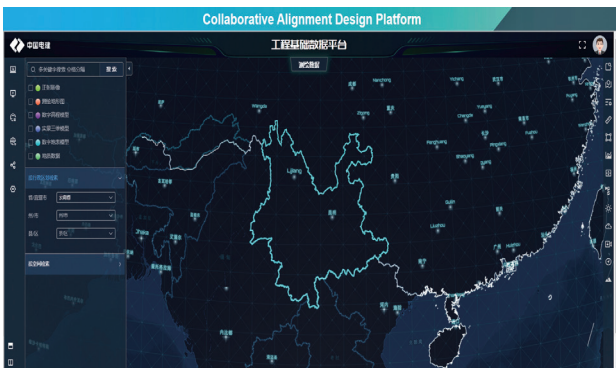


图3 基础地理数据底板登陆界面

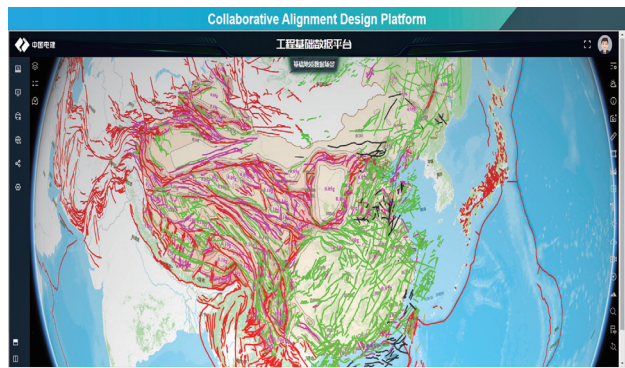


图4 基础地理数据底板地质信息模块

瓦投资减少50%，采用传统设计手段很难应对现阶段的挑战。

抽水蓄能电站数字化融合设计

依托滦平项目，通过自主可控开发，形成了抽蓄数字化智能设计平台(图2)。平台采用一库、三端、N应用的模式，在协同数据库的基础上构建了基础地理数据底板模块、多目标智能规划模块、枢纽布置数字化设计模块、专业方案数字化设计模块和标准化计算分析模块。

基础地理数据底板

地理信息数据和地质数据是工程建设的数据基础设施。项目通过自建地理信息数据底板的方式，构建了集数据获取、数据汇集、数据融合为一体的基础数据发布与应用平台(图3)；通过将区域地质构造、地震峰动参数、生态红线、踏勘数据、高精度航拍数据、倾斜数据进行处理，构建统一的基础数据库；通过客户端轻量化地图引擎发布企业地图服务(图4)；通过数据接口可将数据底板与制图软件和BIM软件动态关联；通过自建平台与设计工具端

「创新杯」BIM大赛成果巡礼

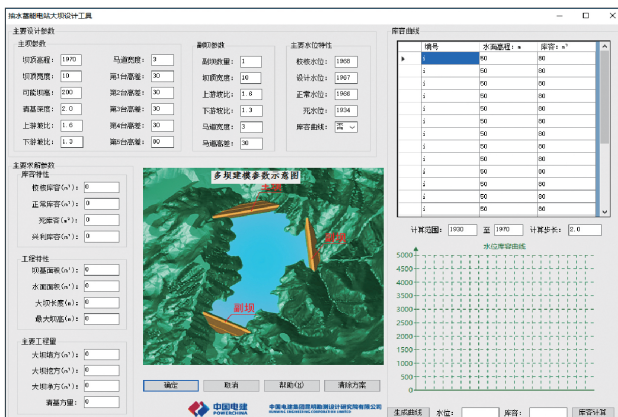


图5 多坝建模用户界面

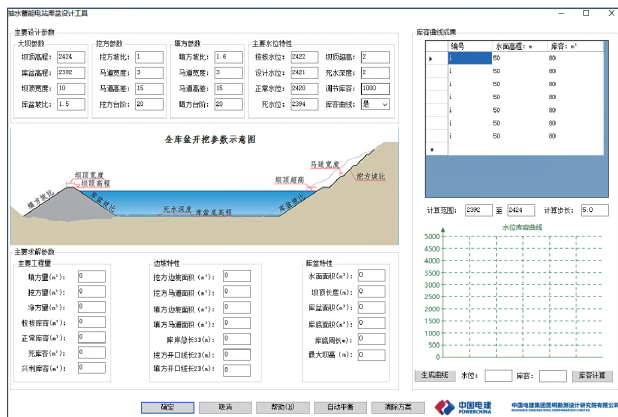


图6 全库盆建模用户界面

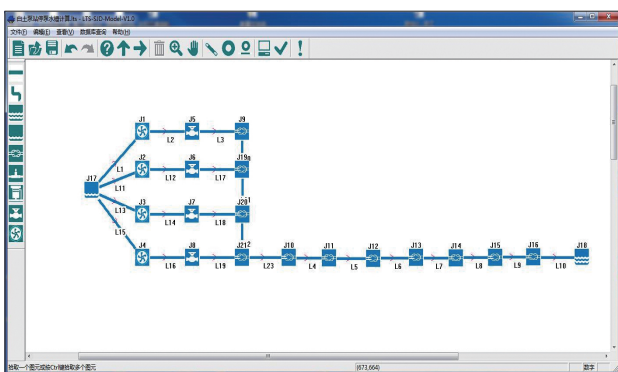


图7 停泵水锤计算

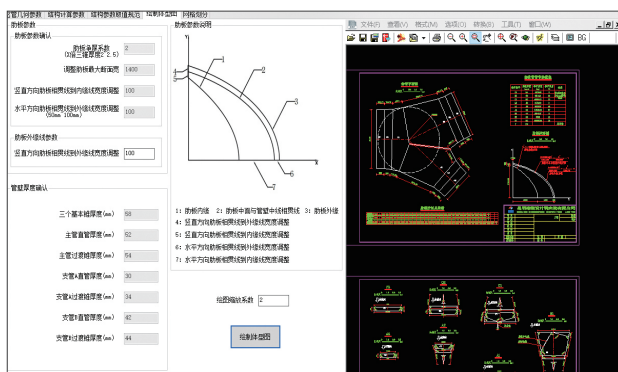


图8 岔管体型计算

接口,方便基础地理数据的汇集分析和客户端调用。对于高精度涉密数据,根据标准图幅查找数据资源,并通过安全可控的环境和方式获取数据。

库坝一体化智能设计模块

在宏观选站址的基础上,针对性地研发了基于Civil 3D的枢纽方案,微观参数化设计工具。将复杂的库容约束、抽法比约束、挖填平衡约束转换为批量衍生的设计方案,通过设计方案数据自动生成Civil 3D模型,使得方案比选时间从一天一个缩短至30分钟一个。基于Civil 3D的土方设计功能,研发了库坝一体化数字设计系统:三维地质曲面拟合功能通过钻孔或地质横剖面图,采用IDW反距离加权算法和Krigin插值算法快速完成地层模型的快速创建,为精确算量和设计打下基础。在进行枢纽方案布置分析时,应用全库盆建模、面板坝建模、边坡开挖、多坝建模等功能模块,在快速完成方案模型创建的同时,可同时得到库容曲线、主要工程量等设计指标(图5、图6)。通过自研特征水位求解算法,可在库容曲线、开挖累积曲线、填

筑累积曲线等大量基础数据中,快速搜寻出可能的最优特征水位。方案管理器功能,可方便实现对多组方案的创建、组合和分析比较。整个库坝一体化数字设计系统,解决了抽蓄在前期规划设计时方案布置开口多、试算工作量大、上下库方案动态关联、方案组合多、方案筛选寻优困难等一系列通难点。

协同分析计算模块

通过自主知识产权开发,基于“一库一平台”架构,融合客户端应用与平台端数据汇集与管理,将设计数据、设计产品、设计协同过程和专业知识进行融合,开发了抽水蓄能电站计算分析平台。抽水蓄能电站涉及水力、结构、岩土等计算分析多,但缺少标准化的计算工具。自主开发了涵盖水力过渡过程仿真(图7)、岔管结构分析(图8)、埋地钢管结构计算、面板坝级配反滤验算、水泵水轮机选型、施工进度设计等抽蓄电站设计过程中必须的系列计算分析工具。针对抽水蓄能电站的特点,开发了自主可控的计算分析模块,并将中国电建集团昆明勘测设计研究院有限



图9 地下厂房智能设计工具

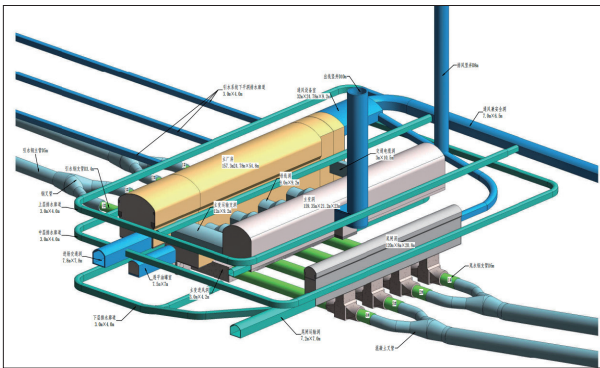


图10 地下厂房BIM模型

公司60多年的计算书资源,通过模块化开发,分板块、分专业编写各类计算分析程序,实现计算分析资源的集中共享、统一维护管理。在复杂结构快速标准化建模的基础上,研发了体型参数或BIM模型至CAE模型高效转换接口,将连续、复杂、非规则的几何模型转换为离散、规则的数值模型,实现岔管等复杂结构参数化体型、参数化边界向有限元计算模型的便捷转换。

地下厂房智能设计模块

自研知识驱动的地下厂房智能布置算法,基于Revit开发百余个功能模块(图9)。地下厂房模型支持4个输

入参数驱动,一键式生成。采用并行计算加速,支持全厂2000余构件23秒自动生成(图10)。由于全厂水工、机电模型全部由系统直接生成,设计人员只对模型进行参数修改,支持模型信息和模型编码自动生成,消除了由人员操作带来的数据不一致性。

成效

项目通过自主知识产权数字化开发,建立了包含基础地理数据底板模块、多目标智能规划模块、枢纽布置数字化设计模块、专业方案数字化设计模块和标准化计算分析模块的抽水蓄能电站数字化融合设计平台。平台经过多个项目验证,显著提升了抽水蓄能电站设计效率,为水电工程智能建造和数字孪生奠定数据基础。项目累计出图318张,均采用三维参数化设计。项目成果推广应用至12个抽水蓄能电站设计,2023年完成12个项目的可研设计。客户端软件日均使用次数超千次,平台日均访问人数超300人,累计协同文件数目超过2万个,累计授权安装400余套。项目申请发明专利11项,取得发明专利5项、软件著作权32项。面向绿色低碳清洁能源发展的水电工程数字孪生解决方案获评数字中国“十佳解决方案”。