

基于三维参数化模型的水利工程设计体系及应用

王艳波, 刘俊, 黄天增, 徐海峰

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:在大中型水闸工程的精细化管理中,要求在设计阶段均要进行重要细小结构的破坏分析,模型构建也随之越来越复杂。为便于模型调试,提出一套基于三维参数化模型的水利工程设计体系。分析了参数化建模的关键技术,结合红山窑水利枢纽工程,探讨了各专业的参数化协同设计方式及应用模型优化土方平衡、交通道路等设计方案。

关键词:三维参数化模型;水利工程;红山窑水利枢纽工程;设计体系;非嵌套族技术;优化方案;精细化设计

中图分类号:TV532.02

文献标识码:A

doi:10.13681/j.cnki.cn41-1282/tv.2022.04.003

0 引言

随着BIM信息模型在建筑行业的成功应用,越来越多的信息化智能概念被引入各行各业,三维可视化、参数化技术也逐渐在水利行业崭露头角^[1]。在传统的水利工程设计中,二维图纸是表达结构及布置的主要手段。但是,对于空间的布局,二维图纸比较考验参与人员的三维想象力^[2-3],尤其是对于复杂的大中型水利工程,由于涉及专业种类较多,且专业间交叉关联性高,存在大量的协调及修改工作,传统的设计对接方式实现起来比较困难。三维信息模型的出现为破解上述难题提供了一个新的发展方向^[4-6]。朱春光等将BIM技术与GIS技术结合起来,构建了具有地理信息的数字化虚拟模型,并将其应用至水利工程前期选址方案比选中^[7];李青常将BIM+物探技术应用于地基处理质量和工程量统计等方面^[8];马常霞结合经验公式,通过编程实现参数化结构设计,已在小型简单结构中得到较好应用^[9];易宁等通过对一些结构计算软件对外接口的二次开发,实现了特定目标最优方案的搜索^[10]。越来越多的“BIM+”技术模式引入到水利工程中,但大多仅为两三种软件的联合使用,在水工建筑物的精细化结构展示及协同设计方面仍有欠缺^[11-13]。笔者基于三维信息化BIM模型,综合使用5种专业软件,形成一套多专业、多阶段、可交互分析的设计体系,并将其应用于红山窑水利枢纽工程勘察及设计方案优化分析中,以为大中型水利工程精细化设计提供参考。

1 设计体系及关键技术

1.1 参数化“BIM+”设计体系

参数化“BIM+”设计体系是一套贯穿水利工程中前期设计过程,具备可视化、参数化、多元化特点的设计体系。该体系通过Vault平台,集成水利工程中工程勘察、水工结构、金属结构、电气、水机、景观等相关专业软件,可实现多专业无障碍协同设计。它突破了传统二维平面设计模式的限制,全程采用三维模型进行实景模拟,并且工程中涉及的所有实体结构的参数都可通过三维模型统一调试。由于该体系为多元化的网状设计,所以有效地提高了各专业之间的沟通及信息传递效率。参数化“BIM+”设计体系的具体框架如图1所示。

1.2 参数化模型批量修改技术

对参数化模型进行批量修改的关键技术为非嵌套族技术。它是一种将复杂的大型分析对象根据其中小结构的相似性离散成多个结构族群的技术。应用该技术可从细碎的结构体中剥离出整个三维BIM模型,并通过分类算法智能学习结构体的特点,将其分类存入族库。例如,在大中型闸站工程中,可独立构建底板、闸墩、主门槽、检修门槽、排架、启闭机工作桥等族群模型,如图2所示。相较于闸室整体嵌套族的建模方式,非嵌套族建模便于后续的方案调整,具有较好的灵活性。

1.3 三维实景技术

结合Revit和Infraworks软件,可实现更为逼真的三维实景模型展示。在工程建设初期方案决策阶

收稿日期:2022-06-06

作者简介:王艳波(1988—),男,江苏南京人,工程师,主要从事水利工程设计工作。

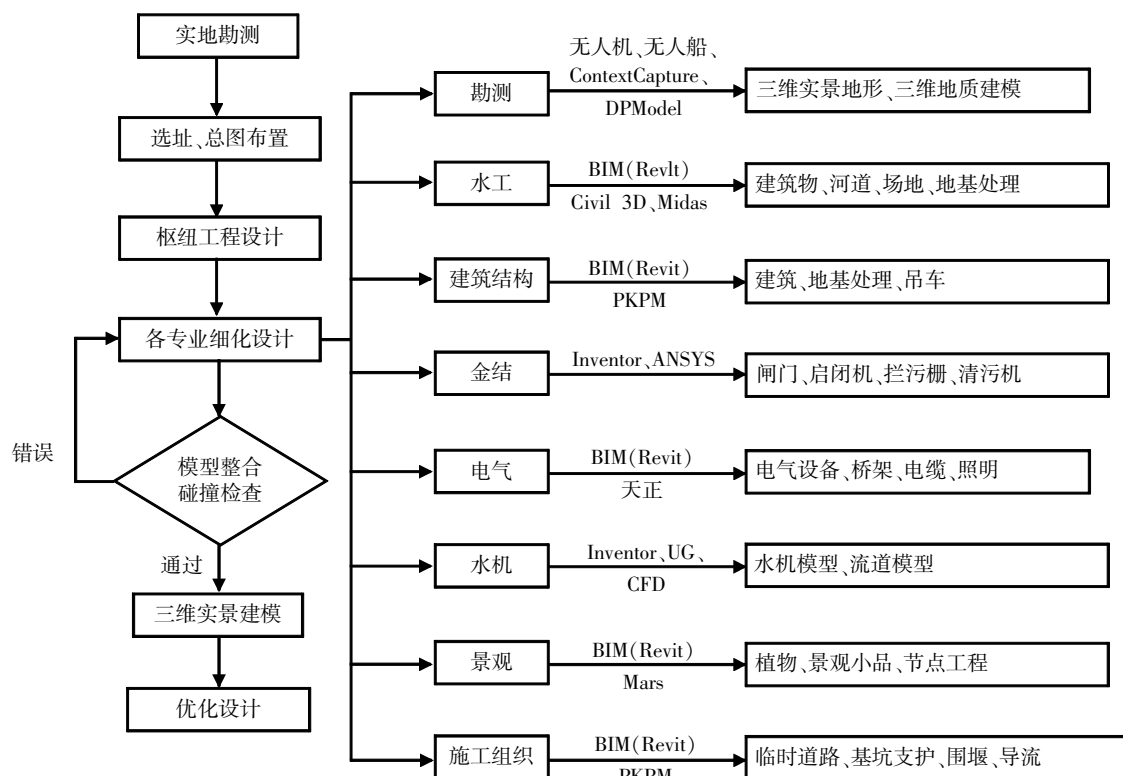


图 1 参数化“BIM+”水利工程设计体系构架

Fig.1 Parametric "BIM+" hydraulic engineering design system framework

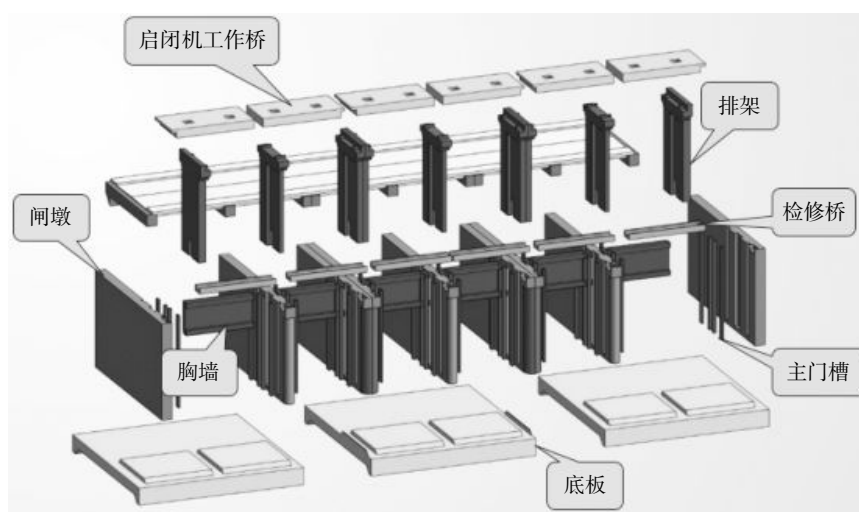


图 2 基于非嵌套族技术的结构模型示意图

Fig.2 Schematic diagram of structural model based on non-nested family technique

段,三维实景模型发挥着重要作用。以某水闸工程孔宽与孔数设计展示为例,在满足规范要求的前提下,初步提出 6 孔 8 m 和 3 孔 16 m 2 种孔口布置方案,并建立相应的三维实景模型,如图 3 所示。由图 3 可以看出,方案二单孔宽度过大,需配套较大闸门。闸门过大时,后期检修及启闭均存在较大难度,且开闸时较大的下泄流量和高流速易对下游河床造成较大冲刷破坏。故根据三维实景模型,可快速判断出设计方案的优劣。

2 枢纽设计

2.1 流域概况

滁河位于江淮之间,为长江下游左岸一级支流,全长约 270 km,流经苏皖两省 11 个县市,流域覆盖面积约为 8 000 km²。红山窑水利枢纽是滁河流域重要的枢纽控制性建筑物,位于南京市六合区南部,距入江口约 13 km,可控流域面积约为 1 400 km²。原枢纽建于 20 世纪 70 年代初,到 2002 年,因工程老化及存在先天不足,存在大量隐患,严重危及枢纽的正

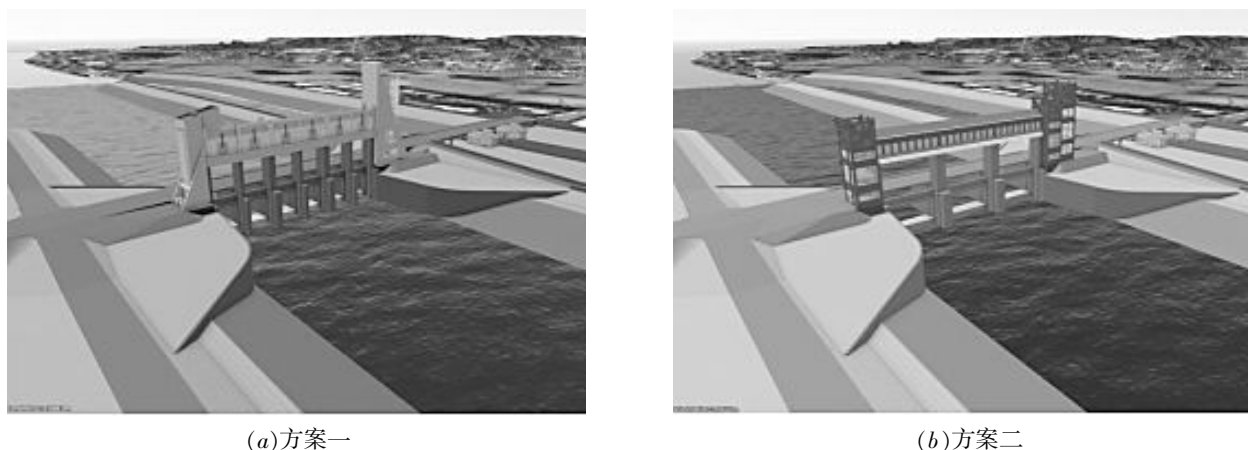


图3 闸站三维实景模型比选方案示意图

Fig.3 Schematic diagram of the comparison scheme of 3D real scene model of gate station

常运行及安全。鉴于红山窑枢纽工程的重要性,经专家评审,决定在原址上拆除重建。拆建工程包含地基处理、上部闸站结构重新浇筑、管理区范围内景观设计等内容。重建后的枢纽工程由泵站、节制闸、船闸3部分组成,泵站设计流量为 $50 \text{ m}^3/\text{s}$,节制闸设计流量为 $550 \text{ m}^3/\text{s}$,船闸设计标准为V级通航建筑物。

2.2 地层地质分析

通过无人机采集的DEM数据(地层、构造、地下水等信息)自动生成三维地形,直观地反映了工程与周边环境的关系,大幅减少了现场踏勘的工作量,还能灵活生成地质剖面图和钻孔柱状图。同时,该三维地形可以快速模拟基坑基槽开挖场景,提供不同土层开挖量,为土方平衡分析提供依据。

通过软件可视化界面可知,红山窑枢纽现址约1.0 m标高为基岩(红沙岩),中等风化岩的承载力较大(约为 1100 kPa),不足之处是有一定的膨胀性,且软化性较大(为0.217)。因此,为防止地下水的渗透,尽量减少软化的危害,消除膨胀性对建筑物的危害,地基防渗设计可初步确定为截渗、封堵和地基处理3个方面。

进一步通过三维模型锁定白垩系沙岩不利地层位置。该岩层是原建筑物的地基持力层,也是改建后枢纽主要建筑物(节制闸、船闸、抽水站)的地基持力层,其地基土最大特点是具有膨胀性和易于风化,遇水崩解,水稳性差,软化系数小。因此,建筑物地基施工应主要考虑强风化~中等风化沙岩的水理性质问题。另外,沙岩体没有大的断裂构造,节理裂缝不甚发育,产状平缓,同时具有膨胀性,尽管岩石的孔隙率较大,胶结物成分复杂,容易形成渗透通道,但总体上透水性属于弱~中等透水。由于该沙岩的特殊性,局部节理裂缝发育,胶结能力较弱,甚至无胶结,而结构松散的可能性是存在的,施工时需认真清基,

出现问题及时处理。至于第四纪松散透水地层(包括粉沙层、砾沙层、粉土层,甚至人工填土层),场地分布较普遍,层位也较稳定,埋深小,一般层底高程大于0.0 m,与滁河地表水有密切的水力联系,透水性达到弱~中等透水。在进行附属建筑物基础施工、基坑开挖和围堰施工时,应充分考虑。在围堰施工时,围堰基础要切断滁河地表水与这些含水层的联系,确保枢纽工程的正常施工。

2.3 枢纽工程布置

2.3.1 总体布置

重建后的红山窑枢纽由节制闸、泵站、船闸及配套建筑物组成。节制闸布置在中间,正对上、下游河道,有利于泄洪及两岸的岸坡稳定。泵站布置在右岸,兼顾右岸龙袍圩部分圩区的排涝,并可利用圩区内现有的排涝渠系。船闸布置在左岸,充分利用现有的引航道。枢纽总体布置如图4所示。基于BIM三维模型,工程布置中尽可能地利用了现有的地形、地貌特点和渠系堤坝,减少了工程土方量,减少了新增占地面积,节省了投资,有利于枢纽工程的分期实施。

2.3.2 泵站总体布置

红山窑泵站为红山窑水利枢纽的重要组成部分,以灌溉为主,兼顾排涝、航运等功能,配套建筑物有抽引进水闸和抽排进水闸。由于上游引水河河底较高,为了不影响进水池流态,并减少挖填量,泵站布置不宜向下游移位(上、下游以滁河水流方向而定)。泵站底板下游边线、两配套闸轴线保持原位置不变,即泵站底板横轴线距抽引进水闸堤顶横轴线69.9 m,距抽排进水闸纵轴线31.5 m。泵站、抽引进水闸纵轴线与上、下游引河中心线重合。

2.3.3 节制闸总体布置

节制闸布置在船闸与泵站之间,工作桥、检修桥布置在下游侧,交通桥布置在上游侧。采用闸门与胸

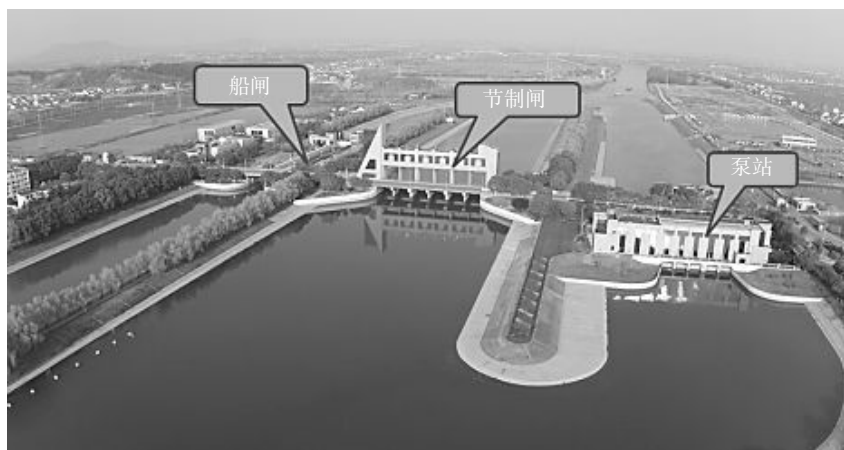


图4 红山窑水利枢纽工程总体布置示意图

Fig.4 Overall layout diagram of Hongshanyao hydro-junction project

墙相结合的挡水形式。闸室两侧设置桥头堡,布置液压启闭设备及楼梯间。闸底板顶高程为 0.00 m,闸顶高程为 11.20 m,闸门顶标高为 9.10 m,胸墙底标高为 8.70 m。闸底板平面尺寸(宽×高)为 23 m×59.44 m,底板分三块,两孔一联,永久缝设在闸墩部位。边墩不直接挡土,设置空箱扶壁式岸墙,墙后回填土采用加筋土,以减小土压力。闸室上、下游翼墙采用圆弧加直线组合的布置形式,上、下游翼墙顶高程分别为 9.7 m、10.00 m,近闸墩侧采用圆弧翼墙,远侧采用直线翼墙,插入堤岸。

节制闸上、下游两侧均设导流堤,其中上游靠船闸侧导流堤长为 400 m,靠泵站侧导流堤长为 160 m;下游靠船闸侧导流堤长为 436 m,靠泵站侧导流堤长为 550 m。节制闸与船闸下闸首间的导流堤为防洪封闭圈的一部分,按二级堤防设计,堤顶标高为 11.0 m,宽为 2.0 m;堤顶节制闸侧设挡浪墙,墙顶标高为 11.68 m。其余堤顶高程均为 10.50 m,坡比为 1:2.5。

2.3.4 船闸总体布置

船闸原为Ⅵ级航道,可通航 100 t 级驳船。参照通航建筑物的标准,通航吨位可适当提高。拟在原址上进行拆建,以提高下闸首的防洪能力,使航道通航能力达 300 t 级驳船。原枢纽闸上、下游引航道长度分别为 400 m、289 m。闸上游引航道长度满足规范计算要求,但闸下游引航道长度不满足规范计算要求,需进行加长。根据三维 BIM 模型与相关计算结果,经综合调试,上、下引航道直线段设计长度均为 305 m,并需对闸左岸淤堤进行切坡处理,以使闸上、下游引航道平顺。

2.4 专业细化设计

泵站工程结构复杂,涉及专业较多。机电专业涉及管线众多,可通过三维 BIM 模型进行直观的碰撞

校核。金结专业涉及闸门数量多达 37 扇,尺寸各异,但门型单一,多为平面钢闸门,使用 Inventor 软件和自主开发的插件,通过非嵌套族技术对底板、闸墩、主门槽、检修门槽、排架、启闭机工作桥等进行参数化设计,可快速建立金属结构设备模型,清晰展示装配关系,并进行自检。建筑专业涉及的工作桥族设置有桥板长、桥板宽、桥板厚、中心横梁宽、内侧纵梁高与宽、外侧纵梁高与宽、外侧横梁高与宽、启闭机横梁高与宽、孔口宽及至桥边距离等 23 类参数;排架族设置有牛腿长与宽、中墩挡块高与间距、检修孔高与宽等 15 类参数;检修桥族设置有栏杆基础高与宽、检修桥板长宽与厚度、检修桥板两侧伸缩缝等 6 类参数。通过改变族类相关参数,可快速批量修改相应结构尺寸,并进行协调性自查,从而提高设计效率。最终可将各专业结构模型进行可视化拼装,实现专业间设计成果互检,所检查出的设计冲突,经专业负责人协商后可一次修改到位,从而极大提高专业间的配合效率。

3 优化设计

3.1 土方平衡优化设计

模型整合确定后,通过参数设置控制基坑开挖、围堰布设、场内临时道路布置等方案效果,可同步输出临时工程的工程量,进一步优化施工组织设计。红山窑枢纽工程模型经参数调试后,在保证围堰及基坑稳定和施工便利的基础上,最终选定 1:4 坡比围堰及 1:3 泵室基坑设计。上围堰顶高程为 8.40 m,下围堰顶高程为 8.15 m,围堰顶宽考虑施工需要及防汛抢险要求,均取 8.0 m,背坡 4.50 m 高程处设 6.0 m 宽平台。通过 Civil3D 建模可快速获取相关土方数据,上游围堰填方为 1.36 万 m^3 ,下游围堰填方为 2.36 万 m^3 ,基坑挖方为 13.59 万 m^3 ,总体需外运土方约 10 万 m^3 。

3.2 施工交通优化设计

基于红山窑枢纽工程周边环境拟合模型,关于临时交通桥和临时交通道路均可分别提出2种比选方案。临时交通桥的施工方案分为根据上游围堰结合施工和一次性架设到位2种。临时交通道路的施工方案分为以下2种:一是利用原有公路及闸上左右岸淤堤、临时交通桥,组成临时对外交通系统;二是在闸上左岸对应临时交通桥位置建设临时便道,利用临时交通便道、临时交通桥及淤堤右岸组成临时对外交通系统。通过现场三维模型参数化构建分析,临时交通桥选用一次架设到位的方案,位置布置在闸上500 m处。交通桥总长为152 m,共布置8跨,每跨18 m,桥面标高为11.50 m,净宽为8.5 m。桥头部分各4.0 m,采用U型桥台;跨中上部结构采

用贝雷架结构,下部结构中墩位置各设置2根 $\phi 1\ 000$ (mm)钻孔混凝土灌注桩,桩长为30 m(包括接桩),共18根。中孔考虑通航,其他孔考虑汛期泄洪需要。临时交通道路采用新建临时便道方案。新建临时便道总长为310 m,路面宽为7.0 m,比地面高50 cm,路面采用泥结石结构。临时便道与淤堤的连接采用8%的坡度,约回填土方2 300 m^3 ,临时占地3 000 m^2 。场内交通主要利用淤堤、隔堤及围堰组成,考虑基坑及河道护砌的施工需要,设置10条坡道,宽为5.0 m,坡度10%,每道坡道长约100 m,采用土方填筑,面层铺设泥结石路面。优化后每条坡道约挖方、填方各500 m^2 ,铺设路面500 m^2 ,河道及基坑施工完成后应按标准断面恢复。各方案具体比选情况如表1所示。

表1 临时交通桥及道路设计方案比选表

Tab.1 Comparison of design scheme of temporary traffic bridge and road

设计项目	方案一		方案二	
	优点	缺点	优点	缺点
临时交通桥	每个施工年度架设的施工桥梁较短;可与上游围堰结合使用。	各施工年度均需需要拆建;交通桥架设较高,相应增加了围堰投资。	各施工年度不需重复建设,且一次架设的长度较短;对外交通与场内交通分开,便于施工管理。	桥梁架设应考虑两个施工年度的通航及度汛。
临时交通道路	可充分利用原有交通道路。	干扰较大;运行道路存在急弯;淤堤左岸近500 m的路面需新做。	弯道较少;社会车辆对施工场区干扰较小。	需临时征用农田0.3 hm^2 ;进行必要的路基填筑及路面铺设。

4 结语

本文从模型划分整合、专业应用协同、工程应用3个方面总结出一套针对水利工程的三维模型分析体系。将该体系应用于红山窑水利枢纽工程中时,先根据无人机采集的数据构建三维模型,进行地形地质分析,再引用非嵌套族技术构建节制闸、泵站等重要水工建筑物模型,并采用多专业交互协同设计体系对模型进行快速校核,模型合格后,对土方平衡、交通道路等设计方案进行优化。

在工程前期设计过程中,通过参数化模型可直接查看工程范围内关键部位的地质剖面概况,为土方平衡及交通道路等方案的优化提供参考。金结、电气、水机等不同专业的设计成果展示在同一个三维水闸结构模型中,可为各专业设计交互提供直观的查错平台,从而提高工程精细化设计效率。

在体系中也可加入运维管理等信息技术,使水利工程设计、施工、管理真正实现信息整合与关联,为类似工程提供相对完整的参考依据。在非嵌套族技术应用方面,针对精度要求较高的精细结构还有待进一步研究完善。

参考文献:

- [1] 李锡均,张钧,李少飞.三维地质模型的精准度与水利工程适宜性研究[J].水利规划与设计,2022(5):64-67.
- [2] 渠川锋.基于BIM的混凝土箱梁桥参数化设计研究[D].南京:东南大学,2021.
- [3] 汪小军.水利水电工程三维数字化设计平台建设及实践分析[J].中国水运(下半月),2016,16(12):230-231.
- [4] 吴轩.水利水电工程中三维勘测设计技术的实践探讨[J].黑龙江水利科技,2017,45(4):112-113.
- [5] 许小华,李文晶.鄱阳湖水利信息三维展示可视化系统设计[实现][J].人民长江,2020,51(4):226-231.
- [6] 徐瑞,叶芳毅.基于数字孪生技术的三维可视化水利安全监测系统[J].水利水电快报,2022,43(1):87-91.
- [7] 朱春光,王义坤,祁仰旭,等.BIM与三维GIS集成在水利工程中的应用[J].江苏水利,2021(10):46-48.
- [8] 李青常.水利水电工程三维可视化技术与应用研究[J].科学技术创新,2021(8):112-113.
- [9] 马常霞,王文明.基于图像的三维预测及其在水利枢纽中的应用[J].中国科技论文,2021,16(3):307-311.
- [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.
- [11] 韩春雨,张庆彬,周志帅.浅谈三维地质在水利水电工程中的应用[J].河北水利,2020(2):46.
- [12] 解凌飞,李德.基于BIM技术的水利水电工程三维协同设计[J].中国农村水利水电,2020(3):105-111.
- [13] 胡昊,李磊,王文川.白河上游流域洪水模拟及参数敏感性分析[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2021,42(6):28-34.
- [责任编辑 杨明庆]

On Design System and Application of Hydraulic Engineering Based on 3D Parametric Model

WANG Yanbo, LIU Jun, HUANG Tianzeng, XV Haifeng

(Nanjing Water Planning and Design Institute Co.,Ltd., Nanjing 21000, Jiangsu, China)

Abstract: In the fine management of large and medium-sized sluice projects, the failure analysis of important small structures should be carried out in the design stage. Model building gets more and more complex. In order to facilitate model debugging, a hydraulic engineering design system based on 3D parametric model is proposed. The key technologies of parametric modeling are analyzed. Combing with Hongshanyao hydro-junction project, the parametric collaborative design method and the design scheme of using model to optimize earth balance and traffic road are discussed.

Key Words: 3D parametric model; hydraulic engineering; Hongshanyao hydro-junction project; design system; non-nested family technology; optimization scheme; fine design

黄河水院入选首批国家级创新创业学院建设单位

2022年9月,教育部印发《关于公布国家级创新创业学院、国家级创新创业教育实践基地建设单位名单的通知》(教高厅函〔2022〕22号),黄河水利职业技术学院创新创业学院入选首批国家级创新创业学院建设单位,是全国首批入选的9所高职院校之一。此次入选,是学校持续深化创新创业教育改革取得的又一重大成果。

近年来,学校认真落实《关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见》精神,基于职业教育类型定位,以培养高素质创新型技术技能人才为己任,以市场需求为导向,将深化创新创业教育改革作为提升人才培养质量的重要举措,持续开展研究和实践探索。学校坚持双创文化引领,构建立体多元文化体系,强化学生双创意识,促学生“思创”;构建“三阶递进”双创课程体系和“双平台”融合的双创实践教学载体,提升学生双创能力,促学生“会创”;政行校企协同,构建双创资源聚合生态圈,激发学生双创活力,促学生“敢创”。学校创新创业教育改革成效显著。

(姚芬)