



自主产权的航道设计 BIM 软件的 研发与工程应用 *

钱原铭, 陈良志, 朱 峰

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对水运工程航道设计 BIM 软件“卡脖子”问题, 进行了航道设计软件关键性能需求分析和软件研发。结合国内某 30 万吨级航道改扩建工程, 介绍了自研软件在航道工程设计中三维地质模型、航道参数化设计、自动剖图、工程量计算以及与其他 BIM 软件交互等应用。结果表明, 自研的航道设计 BIM 软件符合国内航道工程设计习惯, 满足当前国内水运工程航道的 BIM 设计要求, 可为类似航道项目设计软件的自主可控提供借鉴和参考。

关键词: BIM 软件; 航道设计; 自主可控; 国产化

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)04-0150-07

Development and engineering application of BIM software for channel design with independent property rights

QIAN Yuanming, CHEN Liangzhi, ZHU Feng

(CCCC-Fourth Harbor Design Institute Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: In response to the issue of “bottleneck” in BIM software for channel design in waterway engineering, key performance requirements analysis and software development are conducted for the channel design software. Based on a 300,000-ton channel renovation and expansion project in China, this article introduces the application of self-developed software in channel design, including 3D geological model, channel parameterization design, automatic section drawing, quantity calculation, and interaction with other BIM software. The results show that the self-developed BIM software for channel design conforms to the design habits, and can meet the current BIM design requirements of domestic channel engineering. This achievement will also provide reference for the independent and controllable design software of similar channel projects.

Keywords: BIM software; channel design; autonomous and controllable; localization

2020 年国资委印发《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》^[1], 就推动国有企业数字化转型做出全面部署, 包括建设基础数字技术平台、推动产品创新数字化以及加快关键核心技术攻关等。数字化转型是顺应新一轮科技革命与产业变革趋势的必由之路, 在此进程中, BIM 技术

也将在基础设施行业数字底层发挥重要的支撑作用。但是随着国际环境不确定性的日益增加, BIM 软件“卡脖子”问题也逐渐凸显, 如数据安全和隐私不能保障、隐藏后门无法关闭等, 尤其是部分商用 BIM 软件随时有被切断授权、面临“断供”的风险^[2]。在此背景下, 企业和组织需要确

收稿日期: 2023-07-15

*基金项目: 中交集团重大科技项目 (2021-ZJKJ-02)

作者简介: 钱原铭 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道及近海工程的数字化研究、设计和管理等工作。

保关键数据系统和核心业务软件的自主可控, 加快产业核心技术研发的攻关进程, 降低对外部供应商和技术的依赖, 以应对国际竞争和市场变化。

航道工程是现代交通运输基础设施的重要组成部分, 航道设计通常包括选线、断面尺度设计、疏浚工程等, 具有考虑因素多、计算和工作量大等特点^[3-5]。现有的航道辅助设计系统在航道规划、可行性研究及初步设计阶段的选线、建设规模确定等方面作用明显, 但不适合详细的 BIM 设计。当前航道详细设计通常采用的软件包括 Autodesk Civil 3D、Bentley MicroStation、Revit 二次开发以及 AutoCAD 结合飞时达等, 这些软件面临或存在自主可控风险、或不能考虑地质复杂情况下的变坡比及超深超宽设计、或不能结合工程勘察模型的各类地质实现详细工程量统计等问题。因此, 有必要研发自主可控的航道设计 BIM 软件。本文将阐述航道设计 BIM 软件关键性能需求分析及软件研发, 结合实际工程介绍自研软件在航道工程设计中三维地质模型、航道详细设计、图纸生产、工程量分土层计算以及与其他 BIM 软件交互等应用。

1 航道设计 BIM 软件关键性能需求分析

航道设计软件的研发需要紧密结合航道实际设计过程, 全面考虑航道设计中涉及的各种因素, 分析得到主要关键性能需求包括海床测量和三维地质、参数化航道设计、分航段分土层自动工程量统计、批量图纸输出以及通用模型文件格式输出。

1.1 便捷的三维地质模型及其修正

三维地质模型是航道设计的基础数据, 因此软件研发需要考虑与当前理正勘察数据库的数据接口对接, 实现根据地层层号自动建立三维地质模型。同时还需要具备导入水深地形测量图或数据自动建立水底地表模型的能力, 进而根据生成的地表模型修正以勘察钻孔数据为基础生成的地质模型的表层高程, 使二者完全一致。最后对各

地层进行岩土参数统计与分析, 并把相关参数赋予到三维地层模型中, 形成航道设计所需要的具备基本属性参数的地质 BIM 模型。

1.2 参数化航道设计

航道工程设计可直接绘制或导入 .dwg 格式的航道开挖范围平面布置图, 用于获取航道设计的轴线走向、通航宽度等尺度参数, 进而结合《航道工程设计规范》以及《疏浚与吹填工程设计规范》的相关要求, 实现参数化航道设计。实现的过程包括根据三维地质模型的地层数据, 设置内容包括土层序号、填充图例、土层层位编号、土层名称、疏浚土定级、设计坡比、设计超深超宽等土层特性的对照表, 之后参数化建立航道开挖模型、超挖模型, 模型的设计断面通过指定航道轴线、航道开挖范围平面草图、疏浚底高程、土层特性对照表和设计断面位置由系统自动生成, 设计开挖边坡坡比、超深超宽取值根据土层特性对照表随着断面所在地层的变化而变化。

1.3 按需统计工程量

工程量是最终输出成果的重要组成部分, 因此自研软件要根据分航段、土质类型等要求统计各部分工程量, 并根据设计需要显示出开挖前后的模型、超深超挖模型及工程量等, 最终以表格的形式输出。

1.4 批量自动出图

根据设计要求, 快速批量设置出图断面的位置, 实现分航段批量自动生成 .dwg 格式的开挖断面图, 图中需要标示出每个开挖断面的航道名称、断面号、计算开挖断面面积、设计开挖断面面积、超宽部分断面面积, 超宽、超深部分断面面积, 超深、水平比例和垂向比例等重要的设计信息。

1.5 数据接口及通用模型文件格式输出

为了实现与其他 BIM 软件的交互与数据应用, 自研软件需要具备输出 .fbx 等通用模型文件格式的能力, 进而延伸与扩展航道工程 BIM 模型的应用。

2 软件研发

2.1 研发基础

中交第四航务工程勘察设计院有限公司依托“港口工程数字化智能化勘察设计集成系统”(Harbor Investigation and Design Application System, HIDAS)一期和二期研究^[6-8]，积累了大量的图像处理技术，尤其是形成了软件开发体系架构中的基础层和应用开发框架(HIDAS Application Development Framework, HADF)技术。其中 HIDAS 基础层的 2D 和 3D 模型造型引擎、2D 和 3D 图形绘制引擎、2D 约束求解引擎、3D 模型投影引擎、2D 工程出图库(OpenDWG)等功能，为软件开发提供了基础成熟的架构。应用开发框架核心如图 1 所示，提供了图形实现、对象生命周期管理、任务与命令管理、历史管理、持久化管理、参数管理、二维几何约束求解、基本几何图形算法等功能，使得用户能在此基础上方便构建出相应的 3D 图形应用程序。

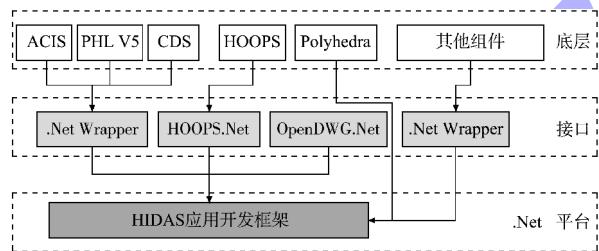


图 1 HIDAS 应用开发框架核心

2.2 系统核心技术

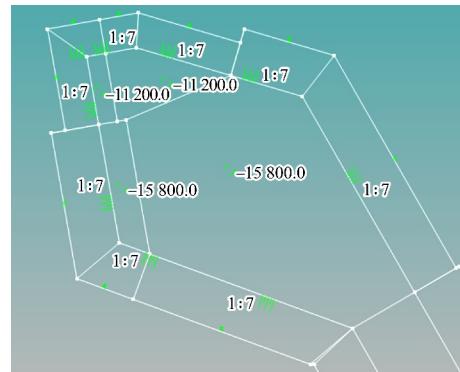
2.2.1 三维实体建模及处理

在 ACIS 和 Polyhedra 的支持下，HADF 具备二维、三维模型特别是三维模型的构造能力，如三维实体建模功能等，这些建模功能可以在应用层面进行模型设计，解决了地质建模必需的基本功能。

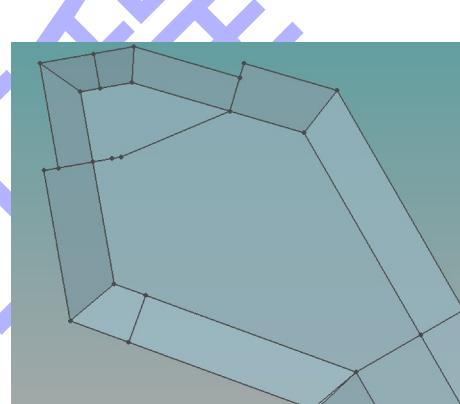
2.2.2 岩土开挖模型构建

在三维岩土设计操作中，如何快速方便地构建三维开挖模型和剖面模型是非常重要的。对于岩土开挖模型，一般会先设计平面封闭草图，然

后在这些草图的边线设置放坡约束，在封闭区域设置高程约束，在一些关联区域设置连接约束，便可以形成开挖壳体，见图 2。



a) 开挖二维草图



b) 开挖壳体模型

图 2 二维与三维图形映射

2.2.3 岩土模型布尔运算

岩土开挖、剖切模型的构建和对应的工程量计算都需要把设计好的实体模型和地表、地质模型进行布尔运算。由于地表、地质模型是不规则形且体量非常大，要快速而高精度地实现它和规则实体之间的布尔运算是一个非常大的技术难点，而且该布尔运算还需要支持非流型体的运算(地层实体存在大量复杂的非流型体)。该问题通过 HADF 框架中的 Polyhedra 多面体建模器实现，该建模器支持复杂地层形体的表达和常用的布尔运算，适用于港池和航道的开挖。

2.2.4 含超深超宽的工程量计算

在港池、航道等开挖操作中需要计算超深超宽的工程量，为此，需要在开挖壳体的基础上通

过面平移形成新的超挖壳体, 然后将该壳体和开挖后的地表、地层模型再进行布尔减, 从而形成超挖体, 进而形成超挖量。超挖壳体的构建有一定难度, 主要是由于壳体一般由多个复杂平面组成, 这些平面间会有一些连接面, 需要根据情况进行平移, 平移出错会造成工程量计算出现很大的偏差。该问题通过壳体封闭区域识别进行解决, 通过区域或高程约束的方法, 将壳体封闭区域和三维壳体的特征命名建立约束关系, 进而实现区域的壳体面识别, 从而确认需要平移的面。

2.2.5 批量出图

基于前期工作成果 HADF 框架, 自研软件需要实现以航道模型为核心, 通过路线选择, 输入开始和结束的里程、间距等信息, 自动进行实体

模型的剖切、投影得到二维图形, 在此基础上通过进一步的加工, 如标注、调整等操作, 得到满足使用要求的设计图纸。由于二维图纸与三维模型之间是一一对应关系, 因此保证了航道设计过程的图模一致。

2.3 研发组织模式比选

BIM 系统可选择的开发组织方式主要有全部委托开发、筹建部门独力开发、多个单位共同开发和以一个单位为主导组织开发, 各方式特点见表 1。对比可知, 以一个单位为主导组织开发在组织和管理上更明确更方便, 是最值得推荐的开发组织方式, 也是本系统研发采用的模式。

表 1 研发组织方式及其特点

组织方式	需求明确	开发时间	资金投入	沟通和调试难易	可控性	开发风险	组织和管理	稳定性	可扩展性
全部委托开发	较差	一般	一般	一般	较差	较高	明确	一般	较差
筹建部门独力开发	好	一般	较大	容易	好	一般	复杂	好	好
多个单位共同开发	较好	较短	较大	较难	较差	较高	复杂	一般	一般
以一个单位为主导组织开发	好	一般	一般	容易	好	一般	明确	好	好

3 案例应用

3.1 工程概况

某 30 万吨级航道改扩建工程位于广东省南部,

如图 3 所示, 主航道通航宽度 340 m, 全长 64.1 km, 其中口门内外航道分别长 16.9 和 47.2 km, 设计底高程分别为 -23.0 和 -23.6 m。



图 3 某航道项目平面

3.2 自研软件工作流程

自研的航道工程设计软件的工程应用主要包括以下 4 个步骤。

- 1) 地质建模。通过导入 .dwg 测图数据及理

正勘察数据库等数据, 综合地层地表模型, 完成三维地质模型快速建模, 实现土层参数与地质模型绑定的功能, 同时允许勘察工程师根据经验手动处理复杂地质模型的边界和内部地质构造的连

接关系。

2) 航道开挖。根据航道设计值进行参数化建模, 同时根据土质及坡比自动放坡。

3) 工程算量。根据规范及自定义要求可进行多条件统计工程量, 满足分航道算量、分图层算量、分层级算量、超深超宽算量等多种工程量统计要求。

4) 断面出图。通过自定义出图位置、出图模块对多个断面进行批量出图。后续出图修改模型, 则相关要素及图纸实现批量修改, 变更工作量小。

3.3 成果内容

3.3.1 地质模型及其修正

根据设计需要选择全自动方式或人机交互方式, 通过软件地质模块功能构建项目的三维地质模型。其中全自动方式主要是以导入的理正勘察数据为基础, 按照地层标号、地层高程、名称、指标等信息, 结合项目设定的地质主层、亚层、

次亚层规则等, 采用软件内置的经验识别标准构建三维地质模型, 如图 4 所示。当地层信息复杂或项目勘察数据不充分时, 尤其是遇到沉船、空洞、断层、孤石、冲突等情况, 也可以选择人机交互方式, 通过钻孔信息结合工程师经验构建三维地质模型。本项目采用先自动构建再人机交互方式调整地质模型, 如图 5 所示。

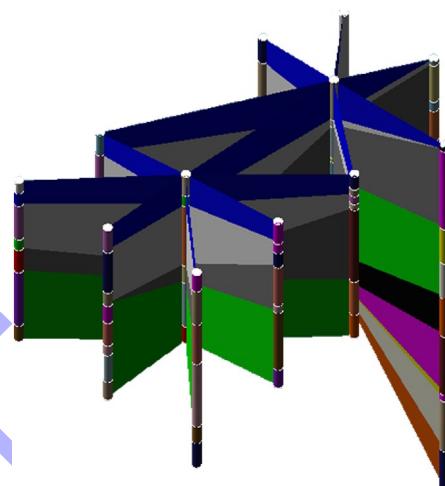


图 4 局部地质钻孔与地层模型

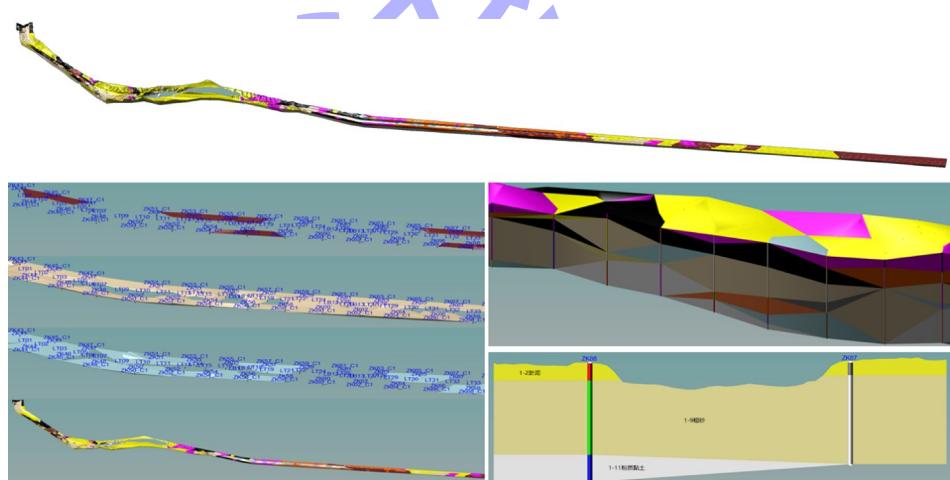


图 5 地质模型及其修正

3.3.2 参数化航道开挖模型

选择开挖横断面所在轴线及边界草图, 填入构造断面的一系列参数包括断面底高程、断面间距、各断面里程, 同时基于各土层地质及预设坡比自动放坡, 或手动输入统一斜率进行放坡, 设

置完成则生成一个开挖组集。若开挖组断面有重叠交错的情况, 需手动进行删减, 确保断面连续且不重叠。地层超挖时, 放坡比可随地层变化而变化; 航道(或疏浚区域)折点处, 边坡能自动拟合并在平面图上绘制, 如图 6 所示。

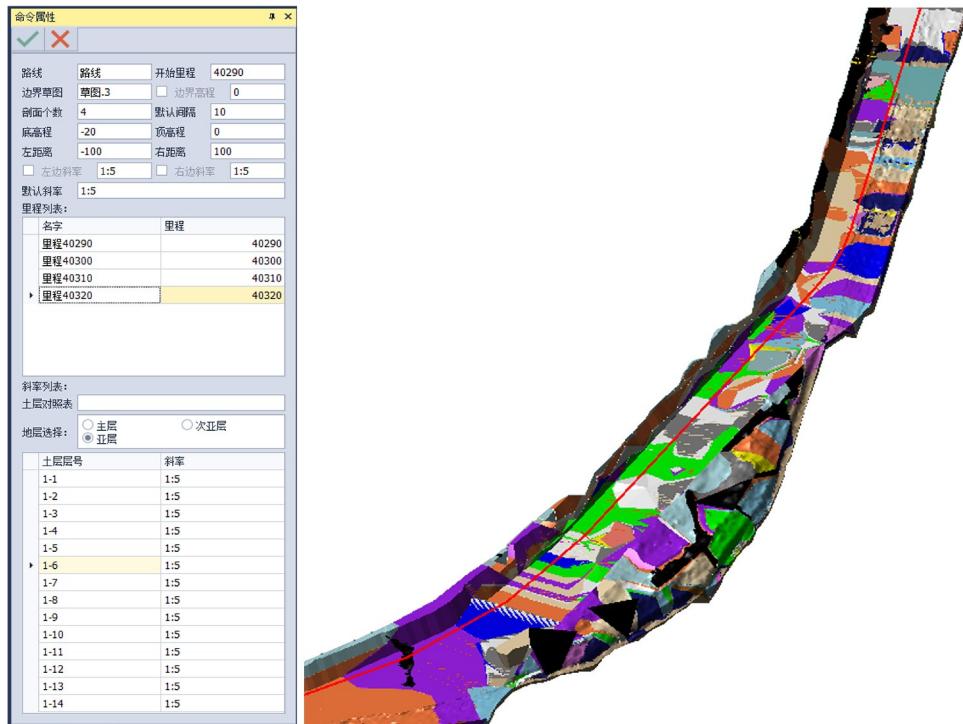


图 6 参数化生成航道开挖模型

3.3.3 精细化工程量统计及批量出图

航道疏浚可根据水深情况自动判断, 对于天然地形高程已经达到设计底高程的情形, 能自动处理, 只算挖方、不算填方; 按设计断面实际情况考虑超深、超宽工程量并分别给出数值(设计底

高程以下部分计人超深工程量); 同时根据不同土质自动确定不同的超深、超宽取值。根据自定义的 CAD 成果模板, 系统自动生成 CAD 航道断面、超挖土层断面等, 如图 7 所示。

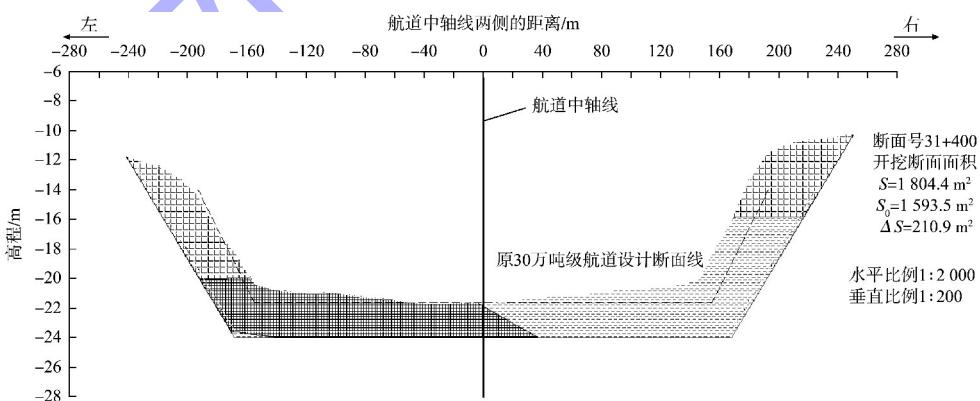


图 7 本项目典型航道设计断面

3.3.4 与其他 BIM 软件交互

基于自研软件的 BIM 设计成果生成 .fbx 文件, 可与其他 BIM 软件进行交互, 如利用 Lumion 制作项目海报、漫游视频等, 展示项目完工后的效果。

如图 8 所示, 与航道仿真软件交互可解决航道设计中的仿真分析问题, 进一步深化航道 BIM 模型的拓展和应用。

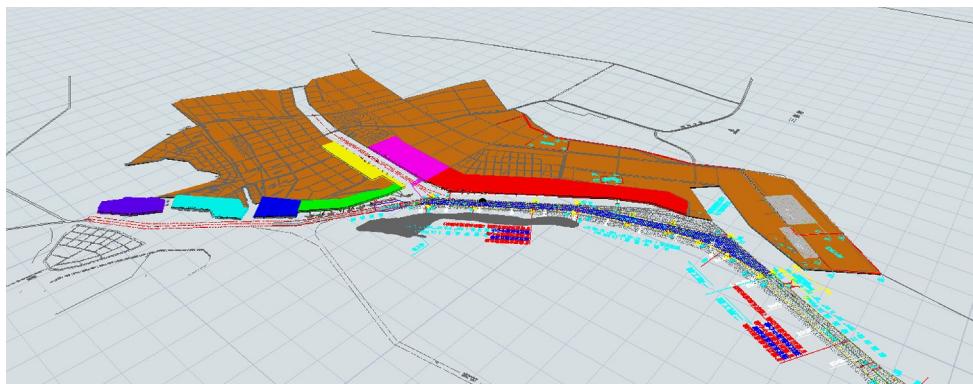


图 8 航道模型与仿真软件交互

4 结论

1) 本项目采用自研软件进行设计, 从地质模型到航道模型的数据有序传递, 完成了设计阶段 BIM 成果, 实现了图模量的一致性及航道模型与仿真的联动, 减少了数据交互可能发生的错误, 缩短了设计周期。

2) 自研的航道设计 BIM 软件虽然功能上还有待进一步迭代研发, 但现阶段已经实现航道设计中基于不同土质的变坡比、超深超宽疏浚方案的参数化设计, 整体或分航段、分土质的开挖工程量统计等具有水运行业特色功能, 节省复杂地质条件下航道设计的人力成本, 保证设计质量准确可靠。

3) 国产化替代与自主可控是当前水运设计企业数字化转型的重要工作, 自研的航道设计 BIM 软件符合国内航道工程设计习惯, 可为类似航道项目设计软件的自主可控提供借鉴和参考。

(上接第 100 页)

- [10] 孙爱萍, 余春辉, 颜志庆, 等. 山溪性弯道河段船闸通航水流条件试验研究 [J]. 水运工程, 2023 (1): 97-102, 142.
- [11] 郑红杰. 上游引航道透空隔流堤布置与通航水流条件优化 [J]. 水运工程, 2022 (12): 146-151.
- [12] 张羽, 杨朝辉, 赵集云, 等. 弯曲河段船闸引航道通航水流条件模拟 [J]. 水运工程, 2022 (6): 132-138.

参考文献:

- [1] 中国企业改革与发展研究会. 关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知 [M] // 中国企业改革发展 2020 蓝皮书. 北京: 中国商务出版社, 2020: 432-435.
- [2] 马智亮. 聚力破解“卡脖子”难题 推动 BIM 核心技术发展 [J]. 建筑, 2023 (6): 88.
- [3] 刘荣生. 关于 BIM 技术在航道整治工程中的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46 (7): 153-155.
- [4] 张红星, 黄涛. 关于航道工程 BIM 实施方案的研究 [J]. 珠江水运, 2023 (1): 101-103.
- [5] 袁占全, 曾威, 郑松, 等. 航道整治工程 BIM+GIS 三维交互汇报系统设计与应用 [J]. 水运工程, 2022 (11): 184-190.
- [6] 赵宏坚, 何家俊, 杨锡鎏. 港口工程三维 CAD 设计平台研究 [J]. 中国港湾建设, 2014 (3): 20-25.
- [7] 赵宏坚, 卢永昌, 何家俊, 等. HIDAS 三维智能化设计系统 [J]. 水运工程, 2014 (2): 204-209.
- [8] 赵宏坚, 陈振民, 何文钦. 港口工程勘察设计一体化智能化系统 [J]. 水运工程, 2013 (12): 155-161.

(本文编辑 王传瑜)

- [13] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 运河通航标准: JTS 180-2—2011 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011
- [14] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程: JTS/T 231-4—2021 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.

(本文编辑 王传瑜)