内河航道疏浚工程三维云端设计平台研发与应用

苏东升，郭继涛，陈昊男，商剑平，王　帅
（中交水运规划设计院有限公司，北京 100007）

摘要：针对内河航道三维模型云端交付中依赖客户端安装、模型体积膨胀以及交付结果不可编辑等瓶颈问题，研发了一套内河航道三维云端设计平台。该平台采用分层动态轻量化显示技术与三维模型数据轻量化存储技术，将云端模型体积稳定控制在与原始设计模型同量级，有效规避了传统流程中由网格化和切片引发的数据膨胀；同时，将模型修改与转换流程转变为在线实时操作，实现从“只读展示平台”向“可交互设计平台”的功能升级。在 2.8 km 航道工程标段的实际应用中，通过在线横纵断面设计生成三维疏浚体，自动出具工程量精度满足规范要求。该平台突破了传统云端产品对建筑信息模型（BIM）/地理信息系统（GIS）仅支持静态浏览的局限，在网页端实现了“创建—编辑—渲染—应用”一体化的航道三维设计闭环，为内河航道数字化设计提供了高效、轻量且可迭代的云端解决方案。

关键词：云端设计；三维建模；内河航道；模型轻量化
中图分类号：U616　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2026)08-0226-07

Development and application of a 3D cloud-based design platform for inland waterways dredging engineering

SU Dongsheng, GUO Jitao, CHEN Haonan, SHANG Jianping, WANG Shuai
(CCCC Water Transportation Consultant Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In view of bottleneck problems in cloud-based delivery of inland waterway 3D models, such as client-side installation dependency, model bloat, and non-editable outputs, a dedicated 3D cloud design platform is developed. It leverages layered dynamic lightweight rendering and 3D data lightweight storage to keep cloud model size comparable to the original design, effectively avoiding data inflation from meshing and tiling in traditional workflows. Model modification and conversion are shifted to real-time online operations, achieving function upgrade of transforming the system from a “display platform” into an “interactive design platform”. In the application of a 2.8 km waterway project segment, 3D dredging volumes generated via online cross and longitudinal section design automatically produce quantity takeoffs meeting code requirements. The platform overcomes the limitation of traditional cloud-based products that support only static browsing of building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS) models, enabling an integrated “create－edit－render－apply” 3D design loop directly in web browsers, offering an efficient, lightweight, and iterative cloud solution for digital inland waterway design.

Keywords: cloud-based design; 3D modeling; inland waterway; model lightweight

《国家综合立体交通网规划纲要》明确提出，至 2035 年将建成高等级航道约 2.5 万 km[1]。在此背景下，航道三维建模领域的研发与应用日益广泛。魏立峰等[2]、赵丽等[3]基于 Civil 3D 软件建立航道三维模型，并自动计算出工程量；李锐等[4]、潘涛[5]、张春萍[6]等基于建筑信息模型（building information modeling，BIM）软件进行二次开发，提升建模效率；高源等[7]、金瑞等[8]通过增强专

收稿日期：2025-11-28　　**录用日期：**2026-01-07
作者简介：苏东升（1991—），男，硕士，高级工程师，研究方向为 BIM 研发与应用。

业贴合度、采用模块化设计等方法对 OpenRoads Designer、Civil 3D 软件进行二次开发，进一步提升航道设计效率。

然而，上述方案均需要预先安装客户端，在交付阶段面临困难。为解决此问题，王传鹏[9]、陈敏等[10]、骆乐等[11]基于 WebGL 技术对三维模型在网页端进行还原和渲染，实现 BIM 在线实时浏览；尹莫波[12]针对大规模 BIM 的数据加载时间、渲染帧率和渲染效果进行优化，提升在线浏览的性能表现。

上述云端只读模式可有效解决交付问题，但此类平台仅可作为三维模型的“只读展示平台”，无法满足设计平台对模型的创建与修改需求。结合客户端模块设计思想和云端交付的便捷优势，本文研发出一套内河航道疏浚工程三维云端设计平台，以突破只读限制，实现在线高效创建、编辑、展示模型。

1　核心问题及实现方案分析

1.1　基于云端的三维模型在线编辑

在通用 BIM/地理信息系统(geographic information system，GIS)平台中，将设计模型在其平台中展示一般需要经过 3 个步骤：1)利用桌面端的三维设计软件(如 OpenRoads Designer、Revit 等)进行方案设计并输出为 dgn 或 rvt 等设计文件格式[13]；2)利用插件将成果设计文件转换成平台所需格式。例如，SuperMap 平台[14]需要将 dgn 或 rvt 文件转化为 udbx 和 json 文件，其中 udbx 为承载三维模型的轻量化数据，json 存储着与模型相对应的属性；3)将转换后的文件发布为网络服务后，再通过后台将模型与属性进行一一绑定，最终呈现给用户。

通用 BIM/GIS 平台主要聚焦于解决云端在线展示问题，其承载的三维模型均以只读方式渲染呈现，无法动态修改模型与属性数据，这导致每次设计修改都需要人工重复上述 3 个步骤，无法满足设计过程的实时性要求。为解决上述问题，提出了云端三维模型在线编辑技术。此技术通过保留模型的生成逻辑而非静态结果，在实现模型数据极致轻量化的同时，原生地支持高效参数化编辑工作。其实现包括两个方面：1)平台利用规范的数据结构记录实体参数和布尔操作，生成构造实体几何(constructive solid geometry，CSG)树，从而完整保留设计意图和编辑能力。2)平台采用基于 WebGL 技术的几何计算引擎，其具备高效的参数解析、几何生成、布尔操作处理和模型渲染能力。平台通过读取 CSG 树，动态解构执行指令，并利用引擎动态渲染当前视图，使得相关参数修改可触发重新计算和渲染更新，实现平台的实时编辑。

1.2　基于实体参数存储的模型数据轻量化

将 BIM 设计成果发布至通用 BIM/GIS 平台的过程中，传统的轻量化手段会导致其云端设计过程中存在瓶颈，具体表现在 3 个方面：1)模型经过网格化与切片缓存处理后，体积会从 100 MB 量级急剧膨胀至 10 GB 量级，对服务器存储和网络传输带宽造成巨大压力；2)在轻量化处理中，模型的三角网格化可能导致设计参数永久丢失和几何精度不可逆损失[15-16]；3)模型三角网格多，处理流程计算耗时[17]，模型单次修改转换需要约 30 min，无法满足实时反馈需求。

基于 1.1 节的三维模型在线编辑技术，过程中实时存储并进行动态轻量化操作，其具体包括以下两个关键技术。

1)　分层动态云端轻量化显示技术。为优化平台中的三维模型显示与传输大小，实现流畅的显示与交互，平台会动态生成多层用于可视化的图块，并根据当前屏幕的显示尺寸，选择合适的图块细节层次。这样在小比例下可忽略细节以提高渲染效率，大比例下则显示细节以贴合实际情况。

为进一步提高渲染效率，对当前视口中的局部模型进行重复显示时，系统会利用之前建立的数据索引和图像缓存，无需重复动态生成，从而

在一定程度上抵消实时渲染带来的时间开销。

2）三维模型数据轻量化存储技术。在模型数据写入过程中，利用定制化文件型数据库在后端统一存储几何图形和属性信息，保留完整的设计原型，并实现数模统一。地形、设计、成果文件的数据存储方式见图 1，其中成果文件由系统根据地形及设计数据计算生成。

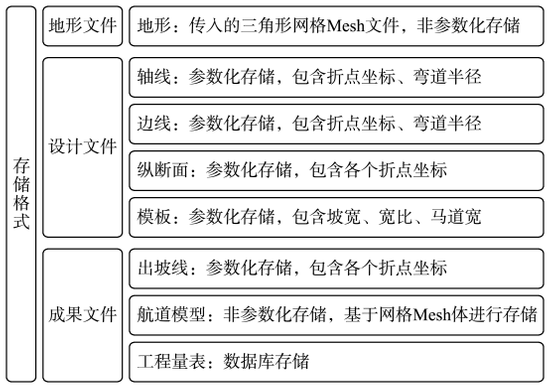


图 1　云端平台设计数据存储方式

Fig. 1　Data storage mode for cloud platform design

为进一步轻量化，对于几何图形和属性信息完全相同的实体，仅存储一份数据，其他实体通过数据空间引用实现三维显示，从而进一步压缩存储体积。

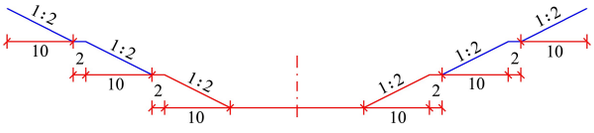
以上策略不仅能解决模型导入平台的数据膨胀问题，同时解决了平台展示模型不可编辑的问题，最终提供了在统一平台上“创建—编辑—渲染—应用”三维模型的全流程集成设计环境。

1.3　参数化创建模板与方案量化分析

聚焦于内河航道疏浚设计领域，在其通用的三维可编辑技术基础上，仍需要实现参数化断面模板创建、线性三维实体创建以及工程量统计技术，支撑整个设计工作流程。

1.3.1　参数化断面模板创建与三维实体生成技术

断面模板包括左右边坡宽、边坡比及马道宽，示例见图 2。在模型调用断面模板时，根据用户设计的航道边线，计算出所在处的航道宽度，再结合模板提供的参数，可自动生成所在处的航道横断面。将断面模板沿航道轴线等间距放样，实现航道三维疏浚体生成。



模版参数　增加　删除

级数	左边坡宽	左边坡比	左马道宽	右边坡宽	右边坡比	右马道宽
1	10	1:2	2	10	1:2	2
2	10	1:2	2	10	1:2	2
3	10	1:2	0	10	1:2	0

图 2　横断面模板示例（单位：m）

Fig. 2　Example of cross-sectional template (unit: m)

1.3.2　基于三维形体的疏浚工程量统计技术

通过与生成疏浚体相等的间隔横向剖切地形与疏浚体模型，获得地形断面线和航道横断面线，再根据每个断面面积与断面间距，进行批量计算并求和，最终得到疏浚总量。

2　平台架构及功能

2.1　平台总体架构

平台架构包含管理端与模型端两部分。管理端主要用于用户、组织、权限以及模型文件的统一管理，采用前后端分离架构，前端基于 Vue3 框架实现模型 Web 界面展示，后端利用 ASP. NET Core 技术提供服务。模型端用于三维模型的展示、操作与存储，通过远程过程调用（remote procedure call，RPC）服务实现与模型文件通信。

2.2　平台功能模块

构建的平台主要用于内河航道疏浚工程三维在线设计，由资料输入、航道设计、成果输出三大模块组成，共 13 类工具，平台功能架构见图 3。

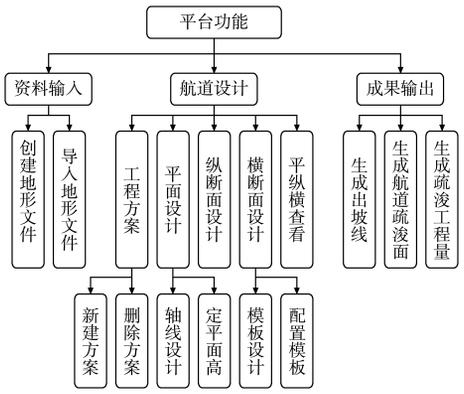


图 3　平台主要功能

Fig. 3　Main functions of platform

水运工程

2.2.1　资料输入

此模块通过利用导入水深点，生成包含高程信息的三维地形模型。地形模型的构建是后续航道疏浚设计和工程量统计的基础。

2.2.2　航道设计

此模块是平台的核心，主要用于进行航道疏浚的全流程设计。模块采用参数化设计理念，通过调整和修改轴线或断面等关键参数，可在线快速构建内河航道疏浚体三维模型。其具体功能包括以下方面。

1）工程方案功能通过项目概念进行轴线、纵断面、横断面以及输出成果的集中管理。

2）平面设计功能支持用户交互式生成航道轴线及边线。在轴线设计时，可动态显示航道里程，并按照指定半径自动衔接转弯段。在设计完成后，可沿该轴线竖向剖切三维地形模型，从而自动生成原始地形纵剖面，进行直观查看。

3）纵断面设计功能支持用户交互生成航道轴线底高程。在生成的地形纵剖面上，可直观地设计轴线各特征里程处的航道底高程，并通过线性拟合得到航道纵剖面。

4）横断面设计功能支持参数化构建航道横断面，同时提供配置模板功能，可配置起始里程、终止里程、断面模板名称，为后续拖动模板生成开挖面模型提供数据支撑。

5）平纵横查看功能提供平面、纵断面、横断面 3 个视角观察设计成果，以辅助用户在生成航道疏浚体前进行检查。

2.2.3　成果输出

平台支持用户交互生成航道疏浚体。通过选择左右底边线和轴线，匹配对应的横断面模板数据，通过空间几何计算生成三维疏浚体。基于三维模型，系统提供生成出坡线及自动计算开挖工程量功能，以辅助用户进行方案分析。

3　工程应用实例

3.1　实例背景与数据

某航道工程特定标段的长度为 14 km，设计标准为Ⅰ级航道。截取起始段 2.8 km，进行航道疏浚模型的构建。其中，航道轴线和底边线见图 4，其中航道底宽 80 m，设计底高程 52.7 m。按照边坡坡比类型建立断面模板，共 14 种，其中 3 种典型航道断面模板见图 5。

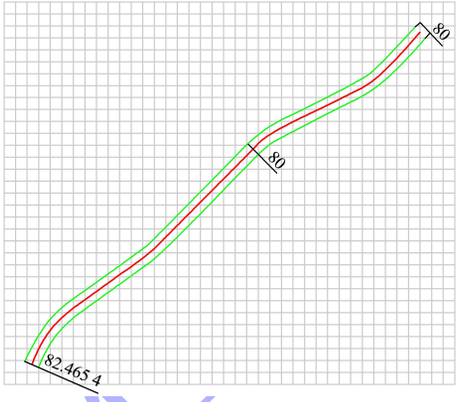


图 4　航道轴线与底边线（单位：m）

Fig. 4　Waterway axis and bottom edge line (unit: m)

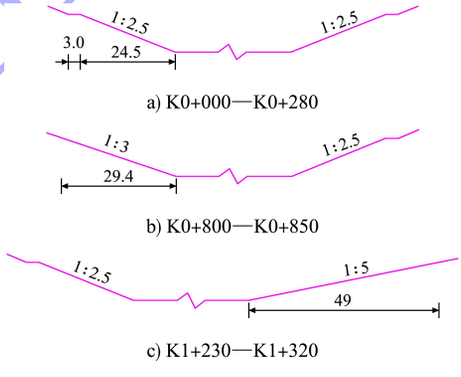


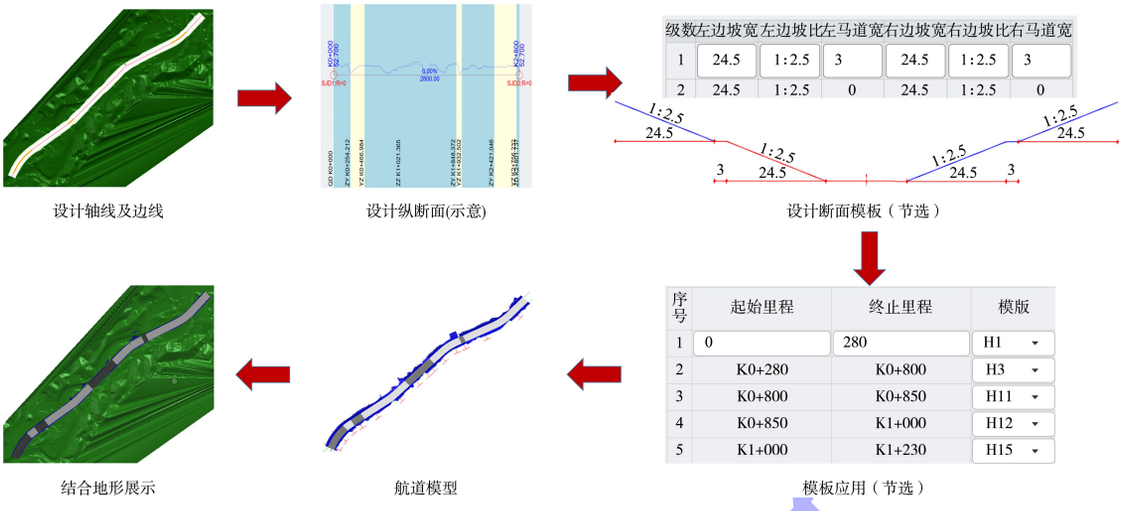
图 5　典型航道断面模板（单位：m）

Fig. 5　Typical cross-section template of waterway (unit: m)

3.2　系统应用过程

依次设计轴线、纵剖面、横断面模板，以 20 m 间距轴向拉伸设定横断面模板，形成航道疏浚断面，在线构建三维航道疏浚体。然后利用航道疏浚体与地面进行布尔运算，形成融合模型，并输出坡线。设计过程见图 6。平台设计及航道模型展示界面见图 7。

最后，可依据不同横断面类型，输出各段模型疏浚工程量，并汇总形成工程量表。工程量表展示界面见图 8。



级数	左边坡宽	左边坡比	左马道宽	右边坡宽	右边坡比	右马道宽
1	24.5	1:2.5	3	24.5	1:2.5	3
2	24.5	1:2.5	0	24.5	1:2.5	0

序号	起始里程	终止里程	模版
1	0	280	H1
2	K0+280	K0+800	H3
3	K0+800	K0+850	H11
4	K0+850	K1+000	H12
5	K1+000	K1+230	H15

图 6　航道模型生成过程(单位：m)

Fig. 6　Generation process of channel model(unit:m)

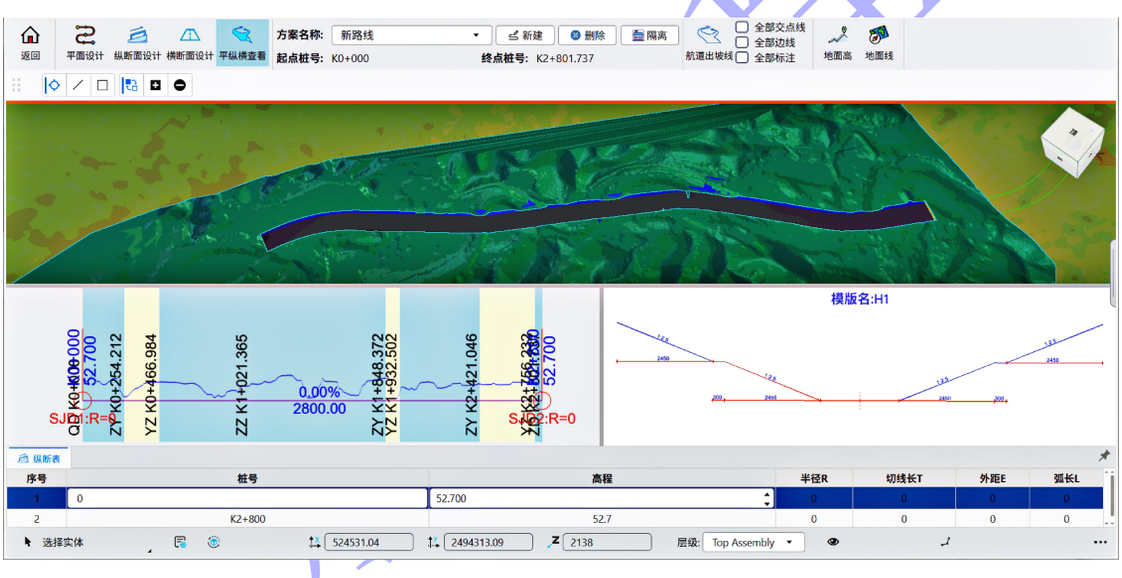


图 7　平台设计及航道模型展示界面

Fig. 7　Interface of platform design and navigation channel model display

路线名称: 新路线　　航道土方估算表　　刷新

序号	起讫桩号	长度/m	挖方总数量/m³
1	K0+000—K0+350	350	317 112.819
2	K0+350—K0+825	475	381 042.355
3	K0+825—K0+875	50	15 136.608
4	K0+875—K1+035	160	93 310.28
5	K1+035—K1+275	240	247 567.931
6	K1+275—K1+360	85	78 410.666
7	K1+360—K1+450	90	38 134.348
8	K1+450—K1+650	200	130 095.242
9	K1+650—K1+985	335	259 531.393
10	K1+985—K2+275	290	238 355.866
11	K2+275—K2+410	135	130 008.248
12	K2+410—K2+510	100	87 525.661
13	K2+510—K2+720	210	194 943.168
14	K2+720—K2+800	80	64 904.935
合计	K0+000—K2+800	2 800	227 6079.52

图 8　工程量表展示界面

Fig. 8　Interface of engineering quantity table display

4　结论

1）为充分发挥云端即开即用优势，实现同一平台交付、修改，本文基于云端设计平台基础架构，开发出一套突破只读限制的内河航道疏浚工程三维云端设计平台。

2）该平台应用于某航道工程项目，实现了网页端参数化建模及自动出工程量表，对内河航道领域云端设计具有参考意义。

3）部分功能尚有迭代空间，未来将扩展疏浚断面图生成、工程量分高程统计、超宽超深工程

量统计、多方案工程量对比等功能，进一步增强系统的应用范围。

参考文献：

[1] 中共中央　国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》[J]. 中国水运, 2021(5): 6-13.
The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council issued the *National Comprehensive Three-Dimensional Transportation Network Plan Outline* [J]. China water transport, 2021(5): 6-13.

[2] 魏立峰, 劳丹燕, 戚文杰. Civil 3D 在河道工程应用中的优势分析: 以宁波市东钱湖北排工程为例[C]//中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 中国岩石力学与工程学会, 中国水利水电勘测设计协会, 等. 第二届全国岩土工程 BIM 技术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2018: 241-248.
WEI L F, LAO D Y, QI W J. Analysis of the advantages of Civil 3D in river engineering application: a case study of Ningbo Dongqian Lake north drainage project [C]// China Power Construction Group Kunming Survey Design & Research Institute Co., Ltd., Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering, China Association of Hydraulic and Hydroelectric Survey and Design, et al. Proceedings of the 2nd National Symposium on BIM Technology in Geotechnical Engineering. Beijing: China Water & Power Press, 2018: 241-248.

[3] 赵丽, 陈懿强. 基于 CIVIL 3D 航道疏浚量断面法计算的研究[J]. 港工技术, 2018, 55(3): 17-20.
ZHAO L, CHEN Y Q. Study on cross-section method for calculation of channel dredging amount based on CIVIL 3D[J]. Port engineering technology, 2018, 55(3): 17-20.

[4] 李锐, 李正, 王飞. BIM 正向设计在内河航道疏浚工程中的应用[J]. 水运工程, 2019(12): 123-126.
LI R, LI Z, WANG F. Application of BIM forward design in inland waterway dredging engineering [J]. Port & waterway engineering, 2019(12): 123-126.

[5] 潘涛. OpenRoads Designer 在河道三维正向设计的应用[J]. 东北水利水电, 2022, 40(7): 65-67.
PAN T. Application of OpenRoads Designer in 3D forward design of river [J]. Water resources & hydropower of Northeast China, 2022, 40(7): 65-67.

[6] 张春萍. OpenRoads Designer 软件在云华水库下游灌区总干渠设计中的应用[J]. 水科学与工程技术, 2024(4): 50-52.
ZHANG C P. OpenRoads Designer at Yunhua Reservoir application of main canal in downstream irrigation area[J]. Water sciences and engineering technology, 2024(4): 50-52.

[7] 高源, 高鑫, 苏东升, 等. 基于 BIM 技术的内河航道设计模块研发与应用[J]. 水运工程, 2025(8): 202-208.
GAO Y, GAO X, SU D S, et al. Research and application of inland waterway design module based on BIM technology[J]. Port & waterway engineering, 2025(8): 202-208.

[8] 金瑞, 肖春红, 朱明, 等. 基于 Civil 3D 的航道整治 BIM 设计平台开发[J]. 水运工程, 2021(4): 169-174.
JIN R, XIAO C H, ZHU M, et al. Development of BIM design platform for waterway regulation based on Civil 3D[J]. Port & waterway engineering, 2021(4): 169-174.

[9] 王传鹏. 基于 WebGL 的建筑大模型实时显示系统设计与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
WANG C P. Large architectural models real-time display system based on WebGL [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.

[10] 陈敏, 杨阳. 基于 WebGL 的建筑大模型实时显示系统设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2019(13): 71-72.
CHEN M, YANG Y. Design and implementation of real-time display system for large building models Based on WebGL[J]. Electronic technology & software engineering, 2019 (13): 71-72.

[11] 骆乐, 王飞, 沈雪松, 等. 深水航道 BIM 设计成果交付平台研发与应用[J]. 水运工程, 2020(4): 139-143.
LUO L, WANG F, SHEN X S, et al. Development and application of BIM-based platform for deepwater channel engineering [J]. Port & waterway engineering, 2020(4): 139-143.

[12] 尹莫波. 大规模 BIM 模型实时渲染的云端服务系统的设计与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
YIN M B. Design and implementation of cloud service

水运工程

system for real-time rendering of large-scale BIM model [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.

[13] 董思远, 范海文, 张金刚. BIM 技术在内河航道工程中的应用[J]. 水运工程, 2019(11): 127-132.
DONG S Y, FAN H W, ZHANG J G. Application of BIM technology in inland waterway engineering [J]. Port & waterway engineering, 2019(11): 127-132.

[14] 宣洁, 马亮, 张京坡, 等. 基于 SuperMap 平台的 BIM 轻量化处理及快速渲染技术研究[J]. 时空信息学报, 2023, 30(2): 304-312.
XUAN J, MA L, ZHANG J P, et al. Research on BIM lightweight processing and fast rendering technology based on the SuperMap platform [J]. Journal of spatio-temporal information, 2023, 30(2): 304-312.

[15] 谢亚坤, 张杨, 胡语依, 等. 顾及几何细节特征的铁路基础设施 BIM 模型轻量化方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2026, 51(4): 826-839.
XIE Y K, ZHANG Y, HU Y N, et al. A simplified algorithm to railway infrastructure BIM considering geometric detail features [J]. Geomatics and information science of Wuhan University, 2026, 51(4): 826-839.

[16] 陈科, 张力, 管林杰, 等. 考虑几何特征的 BIM 模型轻量化方法研究[J]. 人民长江, 2022, 53(2): 209-213.
CHEN K, ZHANG L, GUAN L J, et al. BIM simplification method considering geometric characteristics [J]. Yangtze River, 2022, 53(2): 209-213.

[17] ZHOU X P, WANG M, LIU Y S, et al. Heterogeneous network modeling and segmentation of building information modeling data for parallel triangulation and visualization [J]. Automation in construction, 2021, 131: 103897.

(本文编辑 王璁)

(上接第 225 页)

[15] 刘玉娇, 余明辉, 田浩永. 带滩槽地形的连续弯道中纵向流速横向分布解析[J]. 力学学报, 2021, 53(2): 580-588.
LIU Y J, YU M H, TIAN H Y. The lateral distribution of depth-averaged velocity in consecutive bends with pool-point bar [J]. Chinese journal of theoretical and applied mechanics, 2021, 53(2): 580-588.

[16] 周升龙, 沈欣菲, 滕晓敏. 基于最大熵定理的弯道轴线水位模拟[J]. 人民长江, 2020, 51(6): 179-183.
ZHOU S L, SHEN X F, TENG X M. Simulation of water level at spillway bend axis based on maximum entropy theory [J]. Yangtze River, 2020, 51(6): 179-183.

[17] 杨安邦, 朱海, 陈盛, 等. 雷诺数对弯道水流点源污染物输运影响的大涡模拟研究[J]. 水利水电科技进展, 2025, 45(3): 23-31, 39.
YANG A B, ZHU H, CHEN S, et al. Large eddy simulation study on influence of Reynolds number on transport of point source pollutants in bend flow [J]. Advances in science and technology of water resources, 2025, 45(3): 23-31, 39.

[18] BAI Y C, SONG X L, GAO S X. Efficient investigation on fully developed flow in a mildly curved 180° open-channel [J]. Journal of hydroinformatics, 2014, 16(6): 1250-1264.

[19] HAN Z, REITZ R D. Turbulence modeling of internal combustion engines using RNG k-ε models [J]. Combustion science and technology, 1995, 106(4-6): 267-295.

[20] LI B D, ZHANG X H. Evolution of outer bank cell in open-channel bends [J]. Environmental fluid mechanics, 2022, 22(4): 715-742.

[21] SHUKRY A. Flow around bends in an open flume [J]. Transactions of the American society of civil engineers, 1950, 115(1): 751-778.

(本文编辑 王传瑜)

水运工程