

数字孪生技术 在河流生态廊道建设中的应用研究 ——以扬州古运河为例

黄一昀¹, 宋亚威², 朱长青³, 徐 伟¹, 卢 扣¹, 刘 畅¹

(1. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225002;

2. 海安市水利局, 江苏 南通 226602; 3. 海安市水利局北凌新闻管理所, 江苏 南通 226407)

摘要:以扬州古运河为研究对象,以构建河流生态廊道为核心,综合运用数字孪生和智慧水利技术,利用高精度的Lidar数字高程模型与水下多波束扫测数据共同构建陆地水下一体化数字高程模型,构建完整的古运河生态廊道数据底板,建立和完善“数字孪生古运河(扬州段)生态廊道数据底板”系统平台,并实现对物理空间数据进行数字化映射更新,后期可为古运河规划保护、构建古运河生态基底提供数字档案。

关键词:数字孪生; 智慧水利; 数据底板; 扬州古运河

中图分类号:TP399

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)05-0031-0006

Application of digital twin technology in the construction of river ecological corridors: a case study of Yangzhou Ancient Canal

HUANG Yiyun¹, SONG Yawei², ZHU Changqing³, XU Wei¹, LU Kou¹, LIU Chang¹

(1. Jiangsu Province Engineering Investigation and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou 225002, China;

2. Hai'an Water Resources Bureau, Nantong 226602, China;

3. Beilingxin Gate Management Office of Hai'an Water Resources Bureau, Nantong 226407, China)

Abstract: Taking the Yangzhou Ancient Canal as the research object, with the construction of a river ecological corridor as the core, and the comprehensive application of digital twin and smart water conservancy technology, a high-precision Lidar digital elevation model and underwater multi beam scanning data are used to jointly construct a land-underwater integrated digital elevation model. A complete data baseplate for the ecological corridor of the ancient canal is constructed, and a “digital twin ancient canal (Yangzhou section) ecological corridor data baseplate” system platform is established and improved. The physical spatial data is digitally mapped and updated, and digital archives can be provided for the planning and protection of the ancient canal and the construction of the ecological base of the ancient canal in the later stage.

Key words: digital twin; smart water conservancy; data baseboard; Yangzhou Ancient Canal

本研究重点为如何借助数字孪生技术,将古运河扬州段现有运河功能、绿化分布、公共空间、沿线历史建筑、水下地形、岸线护坡以及河道肌理完整

度的空间环境,以数字化实景三维平台呈现,构建古运河生态廊道数据底板并进行空间水文地理分析,提升生态廊道的建设智慧化水平。

收稿日期: 2023-12-29

作者简介: 黄一昀(1991—),女,硕士,工程师,主要从事水利信息化工作。E-mail: 838015994@qq.com

1 关键技术

1.1 构建生态廊道数据底板

构建生态廊道数据底板的主要技术手段是数字化表达、数据融合供给、虚实融合互动等。数字化表达主要是构建多维多时空数据模型,对物理流域产生的不同类型、不同形态、不同来源的数据进行有序组织;数据融合供给是以数据流的方式为模型、业务应用提供海量数据服务^[1];虚实融合通过虚拟现实、增强现实、混合现实等技术实现物理流域与数字孪生流域的互动,如通过多路镜头在数字孪生流域实时重建河道,并通过VR进入数字孪生流域进行巡河^[2]。

(1)三维倾斜摄影及模型重建。本次古运河三维倾斜模型重建的修模软件采用 Meshmixer。模型重建成果如图1所示。

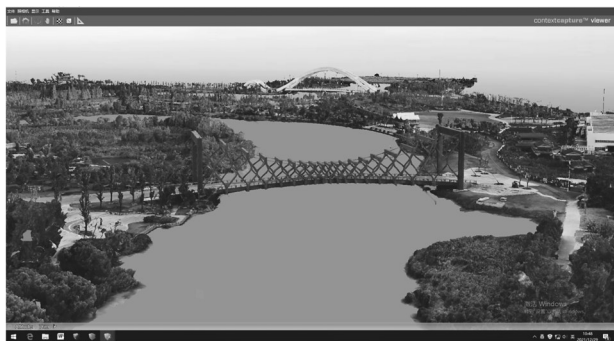


图1 模型重建成果

(2)水下地形模型建模。水域部分拟采用多波束测深系统和单波束测深系统完成。对于水深3m以上的区域使用多波束回声测深仪测量。水深3m以内的区域使用单波束回声测深仪测量。动力船无法驶入的区域,使用渔船配合测深杆、塔尺GPS-RTK采集水下地表高程数据^[3]。多波速测深数据统计测区水深的深浅区间分布情况,后处理软件可以将处理好的数据转换成.dwg格式,利用南方CASS软件进行后续编辑。将岸线测量数据与水下高程数据传入南方CASS绘图软件,生成水下地面模型(DEM)。

(3)模型精细化处理。本文的点云模型中已经包含了三维扫描得到的模型真实颜色数据。将点封装成多边形之后的模型纹理最为精细,为了不影响纹理的特征,先生成原始颜色、凹凸等纹理,烘焙并映射成贴图,可以省去复杂的贴图绘制工作^[4]。本文中的模型物理贴图映射过程如下:首先,把减

面后的模型以obj格式导入Unfold3D划分UV,剪切线沿暗线,不走明线,得到obj格式模型,把obj格式模型导入3DS Max得到fbx模型,再进行曲面细分、平滑等设定,完善模型整体;其次,制作纹理贴图,把完善后的模型用fbx格式导入SBS Painter绘制贴图;最后,导出3张物理贴图png,分别是颜色贴图、反射贴图和凹凸贴图。

(4)模型单体化处理。倾斜摄影三维模型单体化是将倾斜摄影三维模型中的实体对象进行处理,成为一个个独立的、可被选中的、具备附加属性信息的实体。因此,在倾斜摄影三维模型基础上,具备了单体化能力才可以实现地理信息系统的管理、查询、显示和分析等基本功能,能够拓宽数据应用的深度和广度,实现倾斜摄影三维模型美观与实用的需求^[4]。本文通过Cesium算法对古运河倾斜摄影模型优化,将二维矢量数据生成三维模型,套合到倾斜摄影模型上实现单体化,实现模型单体化查询与标注。

1.2 三维实景生态廊道可视化

古运河生态廊道三维可视化展示,开展智慧化模拟。智慧化模拟是基于数字孪生流域,通过集成耦合多维多时空尺度高保真数学模型,支撑水利业务全要素预报、预警、预演、预案的“四预”模拟仿真。通过自然地理、水文模型、水利工程、经济社会等场景的可视化模型,构建古运河生态廊道数据底板可视化平台,进行空间分析、可视化呈现、查询分析等。空间分析结合时空网格、空间定位等服务,提供空间数据相关计算、分析、查看以及路径规划、漫游、可视域分析、场景标注等功能,为预演提供空间计算分析功能;可视化呈现通过实时渲染展现物理实体、业务流程,展现流域全貌大场景直到工程细节,为预演提供形象直观效果,如地形渲染、洪水淹没等场景模拟。

1.3 视频融合监控管理

集成视频监控相关软件及硬件设备,实现古运河生态廊道重要部位实时视频监控及历史资料检索查看。主要监管内容有视频监控系统、无人机巡查系统、无人机倾斜摄影系统等。考虑视频监控与无人机各自的特点,线状河道采用无人机定期巡查,主要建筑物部分采用视频监控方式。

2 主要建设内容

2.1 总体框架

古运河生态廊道数据底板建设以3种尺度治理

分析,以宏观、中观、微观3个层次层层递进。宏观以古运河全域的数据底板作为研究对象,放大地形研究范围,建立大尺度格局,全面梳理古运河地形地貌、水利水文、模型构建等,形成可提供各种服务的流域架构,从宏观上确定古运河地理特征;中观层级为研究的重点,提出水下地形构建、三维实景模型;微观层级则对模型数据进行分析,包括水下地形渲染、视频融合、空间分析、模型单体化等^[5]。

(1)系统架构。总体框架如图2所示。

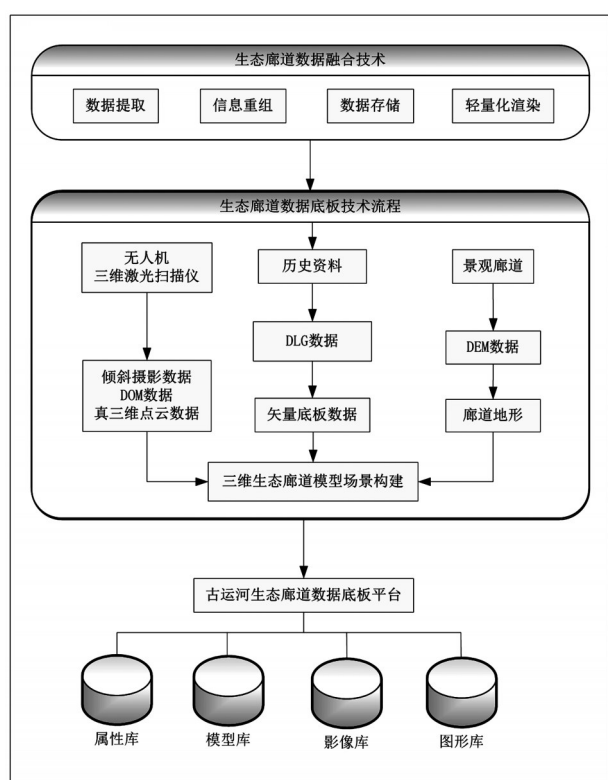


图2 总体框架

(2)技术路线。系统平台是基于Cesium框架研发的多源数据融合的古运河数据底板平台。研究了当前主流的三维渲染引擎Cesium,分析了基于此解决方案的数据组织、发布、浏览与交互方式,并可为大规模三维GIS系统开发以及相关专业系统开发提供借鉴,可对古运河生态廊道的数据底板建设治理提供数据分析底板。技术路线如图3所示。

2.2 数据组织

(1)数学基础。系统使用的所有数据与地图服务的坐标系均采用CGCS2000坐标系。

(2)数据库设计。系统使用的所有数据与地图服务的坐标系均采用CGCS2000坐标系。系统使用的空间数据包括天地图电子地图、专题矢量数据、三维倾斜摄影模型数据等。系统采用古运河影像

底图,包括影像与矢量电子地图在线服务,通过接入天地图地图服务地址,访问矢量电子地图。专题数据通过ArcGIS Server发布为标准的map服务,叠加在天地图电子地图上展示。

系统的非空间数据库内容包括专题数据结构等,用户上传的矢量数据必须符合数据类型,字段名称、字段类型、长度必须符合相关规定。系统将根据自审规则对上传数据进行语法检查和有效性验证,并对出现错误的部分进行提示,在用户修改后重新上传,以保证数据的准确性。

空间数据库设计。系统使用的空间数据包括天地图电子地图、专题矢量数据、三维倾斜摄影模型数据等。

天地图。作为底图,包括影像与矢量电子地图在线服务,通过接入天地图地图服务地址,访问矢量电子地图。

专题数据。专题数据通过ArcGIS Server发布为标准的map服务,叠加在天地图电子地图上展示。

非空间数据库设计。系统的非空间数据库内容包括专题数据结构等,用户上传的矢量数据必须符合数据类型,字段名称、字段类型、长度必须符合相关规定。系统将根据自审规则对上传数据进行语法检查和有效性验证,并对出现错误的部分进行提示,在用户修改后重新上传,以保证数据的准确性。

2.3 主要功能

无人机三维倾斜摄影和多波束水下扫测技术是近年来测绘领域迅速发展起来的新技术,通过搭载不同的传感器设备可采集陆地影像和水下高程,经过计算机软件技术处理生成符合人眼视觉的陆上及水下直观三维模型,能够更加直观真实地反映古运河周边地物的实际情况,极大地弥补了二维场景在河流生态廊道工程应用上的不足。采集的数据主要包括地形地貌、土地覆盖、遥感影像以及相关水利专题数据等。本平台数据基础包括水利工程三维实景模型数据、河道管理范围内外部重要节点的720全景信息数据、视频监控数据、影像数据以及矢量数据等。

本项目研发古运河生态廊道数据底板平台,平台研究8个功能模块,主要包括:用户登录、数据中心、工具栏、水下数字高程模型渲染、视频融合、空间分析、模型单体化、720全景等。

2.3.1 用户登录

用户登录页面,输入用户名、密码进入主页,见

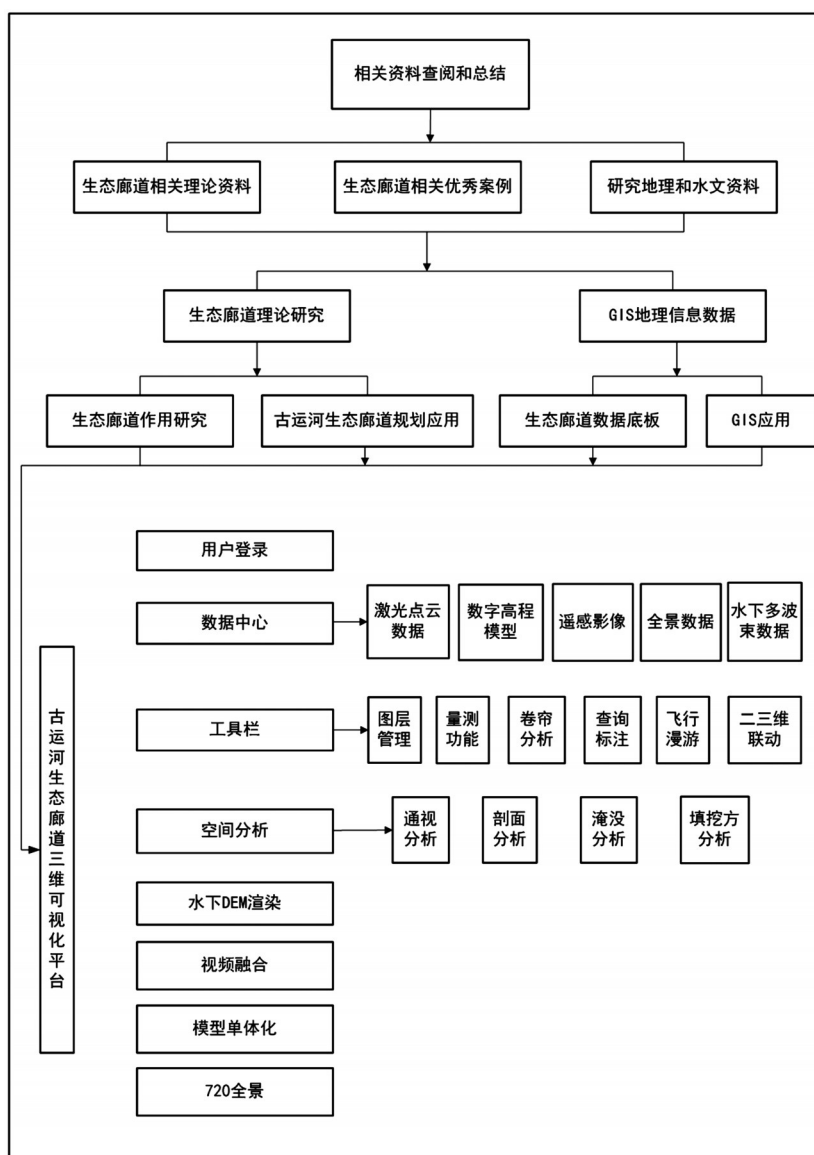


图3 技术路线

图4。系统客户端界面布局整体可划分为4个部分。中间区域的虚拟地球,同时也是三维场景显示以及功能模块实现的区域;界面顶部区域的功能模块,包括底图栏、图层管理栏、全景链接模块、空间

距离量测模块以及属性查询模块;界面右侧为基于Cesium框架提供的相关插件功能实现,包括视角更换、二三维切换、视角恢复初始化状态等;界面底部为鼠标实时经纬度显示模块。

2.3.2 数据中心

数据中心对各种类型的时空数据进行管理,主要包括三维实景数据、激光雷达点云数据、水下多波束数据、二维矢量数据、数字正射影像(DOM)、数字高程模型(DEM)等。该功能在于管理底图加载及可视化场景中的矢量实体加载。用户可以通过勾选操作实现指定模型数据的显示与删除以及对指定图层进行配置,从而更好的对需求数据进行管理和控制,也可借助于系统平台实现工程的规划设计与放样。



图4 系统登录页面

2.3.3 工具栏

(1) 图层管理栏

图层管理栏的功能在于管理底图加载及可视化场景中的矢量实体加载。用户可以通过勾选操作实现指定模型数据的显示与删除以及对指定图层进行配置,从而更好的对需求数据进行管理和控制。同时,图层显示界面支持拖拽操作,其初始默认显示位置为页面右侧,用户可以根据视角需求将显示框放到适合位置。

(2) 量测功能

空间距离量测模块通过对倾斜模型上任意两点进行相关计算实现空间距离的查询。用户能通过量测功能进行对地图上绘图线段与多边形面积的量测,即一种空间面积量测的功能。通过 Cesium Math 类中封装好的方法即可实现。

(3) 卷帘分析

基本工具中卷帘分析工具可满足历史影像的对比分析,并能将变化区域通过点位标注进行注释。720 全景将三维空间细节部分全方位进行展示,见图5。



图5 卷帘分析

(4) 查询与标注

用户可对模型的表面进行鼠标查询交互。对模型的属性查询结果在弹出框中以表的形式构建,表内的描述内容为 MySQL 数据库中二维表的单元内容,表的属性标题包括名称(对应二维表中的列属性)、ID(对应二维表中的列属性)、坐标(对应二维表中的列属性)、高程(对应二维表中的列属性)等方向,从而提供查询条件,能方便地查询到兴趣点的信息,并能在地图上进行定位,也能通过坐标进行定位查询。通过类 Cesium.Cartesian3 中 from Degrees 方法对经纬度坐标进行转换,并用 flyTo 方法进行定位。

标注与划线功能是 GIS 系统中的最基础功能,通过 Cesium 中的 entities 类来实现。用户可以在地

图上对点进行标注,并通过贴合地形的画线功能做到三维数据的展示。

(5) 飞行漫游

飞行漫游根据倾斜摄影飞机航拍路径,模拟整个航拍古运河过程,可以直观浏览古运河生态廊道全貌。

(6) 二三维联动

二三维联动实现二维空间与三维空间同步定位同步浏览。利用二维地图在位置描述上简洁化表达方式,方便在三维模型浏览时从宏观角度查看当前所处古运河实际位置,见图6。

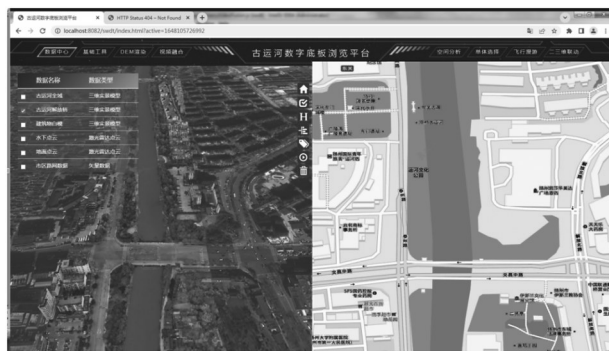


图6 二三维联动

2.3.4 水下数字高程模型渲染

水下数字高程模型渲染是通过对数字高程模型按照高程进行分级渲染,用户可以根据待渲染区域最小与最大高差设置分级颜色,从而实现对水下数字高程模型的可视化表达。

2.3.5 视频融合

视频融合主要将视频监控数据融入三维模型中,实现视频与三维模型在空间和时间上的可视化表达。根据监控画面的角度、位置在实景三维模型中展示,实现模型数据与三维场景数据的融合处理,可应用于工程监管、交通预警、灾害预报等方面。

2.3.6 空间分析

空间分析包括通视分析、剖面分析、淹没分析、填挖方分析4个模块。

(1) 通视分析

通视分析是判断任意空间两点通视情况,并将视线按照通视情况划分为是否可视,分析结果在三维空间进行展示,为规划设计、主管部门提供决策支持。

(2) 剖面分析

剖面分析是在三维空间中任意选取断面线,根

据数据高程模型实时生成断面模型,见图7。

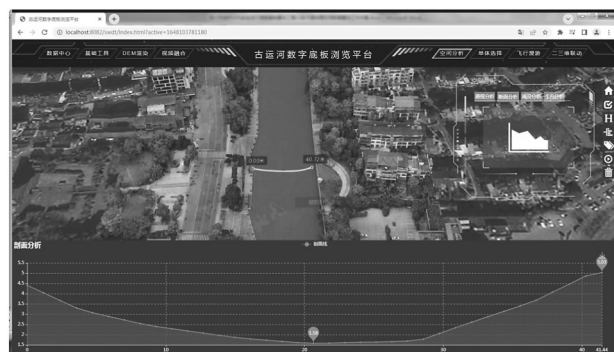


图7 剖面分析

(3)淹没分析

淹没分析是模拟水位上升过程,可设置连接水位监测传感器,在三维场景下实时监测并反映古运河水位变化情况。

(4)填挖方分析

填挖方分析可任意选取古运河开发区域、设置深度并模拟概算填挖土方量。

2.3.7 模型单体化

单体选择又叫模型单体化查询,可在三维空间查询单体模型的属性信息,如建筑属性、功能属性等。

2.3.8 720全景

为了弥补生态廊道建设治理过程中因环境、时间限制而产生的效率低下、问题发现不全、溯源能力较弱等问题,本文探索了720全景巡河新方式,将无人机“天眼”作为生态廊道巡查治理的有益补充,借助无人机、VR设备实现智慧巡河、智慧管河。

(上接第30页)

方案实施;加快控制城市河道水环境污染源,保障河道生态健康运行,加快推进城区雨、污分流管道改造进度,确保城区污水收集、集中处理,达标排放,加强城市周边固体污染源收集、处理力度;加强河道的运行管理及维护工作,加快“畅流活水”方案相关水利工程建设,确保全城区“畅流活水”方案早日实现,形成水清、岸绿、城美的新面貌。

参考文献:

- [1] 王波,黄津辉,郭宏伟,等.基于遥感的内陆水体水质监测研究进展[J].水资源保护,2022,38(3):117-124.
- [2] 陈作山.城市河流生态治理措施研究[J].地下水,2021,43(1):75-76.

3 结论与展望

本文立足于扬州古运河的多源异构数据,采用多种硬软件采集获取古运河水利工程三维场景构建所需底板数据,采用了生态廊道与基础地理信息融合模式,构建了支撑智慧水利运行的“古运河生态廊道数字底板的浏览平台”,为智慧古运河、智慧水利、智慧城市打下了基础。

本文是基于河流生态廊道数据底板构建的可视化表达,是实现智慧水利的基础,提高古运河生态廊道未来的管理和服务水平,为生态廊道建设治理和智能巡检提供快捷服务。未来平台为努力打造绿色水利工程示范区建设和大运河文化带建设,应进一步拓展平台架构,丰富平台定制化功能,为河道管理工作提供基础数据支撑,并将其成果融入运河航道信息化工程、智慧运河建设等工作中,促使古运河生态廊道规划管理及开发利用更具科学性。

参考文献:

- [1] 蔡阳,成建国,曾焱,等.加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J].中国水利,2021(20):2-5.
- [2] 蔡阳,成建国,曾焱,等.大力推进智慧水利建设[J].水利发展研究,2021,21(9):32-36.
- [3] 崔立军.多波束测深系统在陡河水库库容曲线和淤积测量中的应用[J].农业与技术,2021,41(1):64-67.
- [4] 余芳强,宋天任,陈菁.面向网络化应用的古建筑BIM模型轻量化处理技术[J].建筑施工,2018,40(3):321-323.
- [5] 陈希.生态廊道的构建与滨河生态景观的营造——以金东区生态廊道为例[J].房地产世界,2021(10):115-117.
- [3] 仇保兴.城市黑臭河道治理协同海绵城市建设[J].建筑科技,2016(1):14-17.
- [4] 程庆霖,何岩,黄民生,等.城市黑臭河道治理方法的研究进展[J].上海化工,2011,36(2):25-31.
- [5] 涂华伟,王莉,张潇,等.河湖连通条件下城市湖泊水环境治理研究[J].中国农村水利水电,2020(12):101-105,111.
- [6] 陈俪丹,高成,陈妍清,等.考虑水质及水动力条件的滨江圩区最优活水方案[J].水电能源科学,2021,39(3):16-19,57.
- [7] 朱诚,王昭敏,隆锋,等.基于ABC-BP神经网络的地铁盾构地表沉降预测[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(4):72-80.