

# 基于数字孪生的 海安市智慧水网“一张图”关键技术研究

宋亚威<sup>1</sup>, 黄一昀<sup>2</sup>, 徐 伟<sup>2</sup>, 李登富<sup>2</sup>, 卢 扣<sup>2</sup>

(1. 海安市水利局, 江苏 南通 226602; 2. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225002)

**摘要:**以海安市智慧水网建设项目为研究对象,以构建海安市水网工程“一张图”为核心,综合运用物联网、大数据、云计算等先进技术,完成水利数据资源的汇集、整合、存储与管理,从数字地形、水利工程、流域“一张图”等多个方面阐述水利信息数字映射,实现水利信息资源整合共享,为数字孪生智慧水网提供了新的技术思路。

**关键词:**数字孪生; 智慧水网; “一张图”; 数据底板; GIS

中图分类号:TV213.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)06-0040-0004

## Research on the key technologies of “one map” of Hai'an smart water network based on digital twin

SONG Yawei<sup>1</sup>, HUANG Yiyun<sup>2</sup>, XU Wei<sup>2</sup>, LI Dengfu<sup>2</sup>, LU Kou<sup>2</sup>

(1. Hai'an Water Conservancy Bureau, Nantong 226602, China;

2. Jiangsu Province Engineering Investigation and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou 225002, China)

**Abstract:** Taking Hai'an Smart Water Network Construction Project as the research object, focusing on the construction of “one map” of Hai'an water network project, applying synthetically of advanced technologies such as IOT, big data and cloud computing, the collection, integration, storage and management of water conservancy data resources are completed. The digital mapping of water conservancy information is expounded from digital terrain, water conservancy projects, “one map” of river basin, etc, and the integration and sharing of water conservancy information resources are realized, which provides new technical ideas for the digital twin smart water network.

**Key words:** digital twin; smart water network; “one map”; data baseplate; GIS

随着物联网、大数据、云计算技术的飞速发展,智慧城市、智慧水网、水利数字孪生等一系列技术理念应运而生<sup>[1-2]</sup>。海安市智慧水网信息综合服务软件遵循“统一技术标准、统一运行环境、统一安全保障、统一数据中心和统一门户”的原则,按照“水利大数据、基础大平台、应用大系统”的思路进行建设,充分利用现有水利信息化基础设施,进行业务应用整合和信息共享,构建统一的综合信息服务平台。

## 1 概 述

### 1.1 研究区概况

海安市位于江苏省中部,隶属于江苏省南通市,地处江淮之间,位于滨海平原和长江三角洲北缘。海安为平原地带,地形平坦,河道稠密,是江积、河积、海积平原区,分别为古湖相沉积和黄泛冲积、海相沉积、长江冲积而成。地势低平,平原约占78.3%;水网密布,域内河道纵横、沟渠稠密、湖荡众

收稿日期: 2023-03-09

作者简介: 宋亚威(1989—),女,工程师,硕士,主要从事水利信息化工作。E-mail:915822198@qq.com

多。海安地处江淮下游,境内河流分属长江、淮河两大水系,三个水利区域。本文研究内容主要为数据资源平台及智能应用平台,其中数据资源平台主要完成数据资源的汇集、整合、存储与管理,数据平台的建设为上层应用平台提供内容,是智慧水利进行的基础、智慧应用的载体,能提升水利业务应用自动化水平和智能应用能力<sup>[3-4]</sup>。

## 1.2 研究内容

按照智慧水利“大系统设计,分系统建设,模块链接”原则,重点对以下两大目标进行建设,初步建成海安市智慧水网数据底板与总体应用框架,形成海安市数字孪生智慧水网雏形。

(1)海安市智慧水网数据底板。通过海安市水利数据资源整合与治理,搭建智慧水利基座,实现海安市水利大数据的统一服务、管理与展示。用数据说话、用数据决策、用数据服务、用数据创新,推进水利治理体系和治理能力现代化。

(2)海安水利信息综合服务平台。利用数字孪生技术构建海安市大水网的数字孪生仿真,以海安的水网结构及重点水利枢纽为基础,利用多引擎快速构建,高分辨率二三维图像,通过建模技术、立体合成技术、交互技术等模拟现实中的虚拟环境,达到身临其境的效果;多源数据接入,基于高性能空

间分析和可视化等关键技术,集成二三维地理信息及二三维空间统计,形成一体化管理,信息一目了然,形成多源数据集成和数据实时响应的数据平台,集成多数据源汇集、自动化数据管理,分布数据存储,建成海安水利信息综合服务平台,为用户决策判断提供全面的数据支持。

## 2 关键技术研究

### 2.1 总体设计

水利信息总体上具有空间分布的特征,利用GIS空间分析的功能,进行水利信息数据融合、共享、管理、应用。建设智慧水网“一张图”整合零散的水利GIS资源,为水利信息化提供支撑保障。海安市数字孪生智慧水网“一张图”平台由基础设施云、数据资源平台、应用支撑底座、智能应用平台、用户层组成。基础设施云包括高速网络、感知接入、政务云;数据资源平台包括水利信息数字化、数据汇集与交换、数据库建设;应用支撑底座包括运维支撑平台、智慧使能平台;智能应用平台包括已建应用系统统一门户、海安水利信息综合服务平台;用户层包括海安市水利局各业务主管部门、海安市水利局下属管理单位、数据共享需求单位等。海安市数字孪生智慧水网“一张图”总体框架如图1所示。

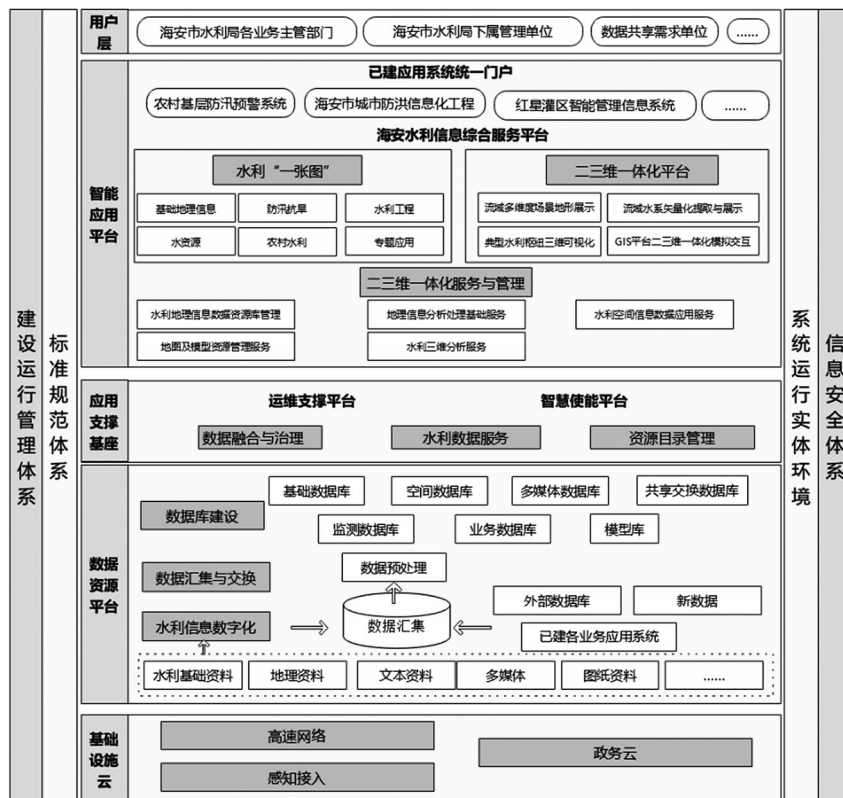


图1 总体框架

海安市数字孪生智慧水网“一张图”建设在标准规范体系、建设运行管理体系、信息安全体系和系统运行实体环境的保障支撑下,利用海安市已有水利信息化的感知网、通信网及云中心成果基础,进行资源整合和业务应用。搭建数字资源平台,实现海安市水利信息数字化、多业务系统数据汇集与交换以及海安市智慧水利综合数据库设计。组建应用支撑基座,通过运维支撑平台和智慧使能平台的建设,实现数据融合治理、数据资源服务和资源目录管理。搭建智能应用平台,通过实际业务需求分析,建立数字孪生智慧水网“一张图”、二三维一体化管理平台、多维度水利信息综合展示平台以及统一门户,实现数字化场景,构建水利信息与业务深度融合以及水利业务智能应用的平台。

建设以数据资源平台、智能应用平台中的海安水利信息综合服务平台、保障体系中的技术导则以及配套技术咨询服务为主,奠定海安市智慧水网数据底板,整合已有信息化资源及业务应用,实现二三维一体化数字场景构建和综合信息展示。

## 2.2 数据组织

### 2.2.1 数学基础

系统统一采用 CGCS2000 国家大地坐标系和 1985 国家高程基准。

### 2.2.2 数据分类

数字化交付的数据格式应包括结构化数据、源文件、电子图片等。数据格式的选定应基于以下因素:数据用途、数据级别、模型精细度、数据寿命、相应数据格式标准。

### 2.2.3 数据格式

数据底板包括工程主体信息数据、地理空间信息数据、工程全阶段的监测信息数据以及工程建设过程中的数字档案。(1)工程主体信息数据。包含重点水利工程的空间位置和属性信息的矢量数据,采用 GIS 的 Shape File 格式。空间位置数据包含重点水利工程的管理范围、河口范围等,属性信息包含工程清单上的工程相关属性。(2)地理空间数据。包括空间位置、属性特征以及时态特征 3 个部分。测绘基准:空间参考采用 2000 国家大地坐标系(CGCS2000);高程基准:采用 1985 国家高程基准;时间系统:采用公历纪元和北京时间。

数字线划图(DLG):DLG 比例尺应采用国家基本比例尺 1:500、1:1 000、1:2 000。为满足水利数字化建设和平台数据共享与交换的需要,同时

与江苏省水利地理信息服务平台 1:10 000 基础地理信息数据的关联衔接,提交重点水利工程的 1:500、1:1 000、1:2 000 的 DLG 数据,采用地理信息空间数据库 MDB/GDB 格式,数据库设计需满足《1:500、1:1 000、1:2 000 水利专题地理信息分类规范》中基础地理信息要素分层表和结构的详细设计要求。

数字高程模型(DEM):数据成果格式依据《地理空间数据交换格式》GB/T 17798 规定的格式或指定通用数据格式.TIF 和.BMP。

精度要求依据《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》中对数字高程模型的数据定制要求,工程管理和保护范围应采用格网大小优于 5 m 的数字高程模型;工程水工建(构)筑物应采用格网大小优于 2 m 的数字高程模型。

正射影像图(DOM):影像数据数据成果格式采用非压缩的 TIFF 格式存储。彩色影像以 RGB 色彩模式存储。精度要求依据《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》中对 DOM 的数据定制要求,应采用卫星遥感影像等技术生产工程管理和保护范围分辨率优于 1m 的正射影像图;应采用无人机摄影等方式生产水工建(构)筑物等分辨率优于 0.1 m 的正射影像图。

水下地形:水域地形测量应满足《水利水电工程测量规范》(SL 197—2013)、《工程测量通用规范》(GB 55018—2021)、《工程测量标准》(GB 50026—2020)等有关文件要求,水深测量宜采用有模拟记录的单波束回声测深仪或多波束测深仪、激光雷达等方式生产,采样间隔宜优于 1 m,增加重点地区的测量。

数据成果格式统一起点距或统一测量基准的三维数据。精度要求根据《工程测量通用规范》(GB 55018—2021)和《无人船水下地形测量技术规程》(CH/T 7002—2018),水下地形测量应符合下面规定:测深点的间距不应大于所测比例尺图上 10 mm;当测图比例尺大于 1:5 000 且小于 1:500 时,测深点的平面位置中误差不应大于图上 1.5 mm;当测图比例尺大于或者等于 1:500 时,测深点的平面位置中误差不应大于图上 2.0 mm<sup>[3]</sup>。

实景三维模型数据采用无人机倾斜摄影、激光点云等方式获取,按照《工程测量标准》(GB 50026—2020)、《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》制定基础地理实体三维模型数据格式要求,如表 1 所示。



表1 三维模型的数据类型

数据类型		文件类型
几何数据	不带 Alpha 通道	.OSGB/.OBJ/.3Dtiles/.FBX/.STL/.3DS 等倾斜摄影数据格式
	带 Alpha 通道	.PCD/.PLY/.TXT/.LAS/.STL 等激光点云数据格式
纹理数据	不带 Alpha 通道	.JPG/.TIFF/.PNG 等
	带 Alpha 通道	.TGA/.TIFF/.PNG 等
	动画纹理	.AVI/.MPG 等

### 3 应用研究

#### 3.1 典型水利工程三维可视化

根据倾斜摄影成果、水下地形测绘成果、激光雷达成果进行贾家集水利枢纽、焦港北闸、北凌新闸的工程三维可视化模型。

对北凌新闸、贾家集水利枢纽、焦港北闸3个水利工程进行三维可视化建模,见图2。



(a)水闸工程全貌



(b)水闸外观

图2 水闸三维建模

(1)工程管理范围全景展示。利用卫星遥感影像、无人机倾斜摄影等手段获取重要工程管理范围全景信息,实现可视化交互,结合流域矢量化图层进行空间定位展示。

(2)典型水工建筑物三维模型构建。建设水工建筑物、河道断面等精细化三维实景模型,支持OBJ、FBX、RVT格式。

(3)典型河段水下地形。对水下地形测绘成果

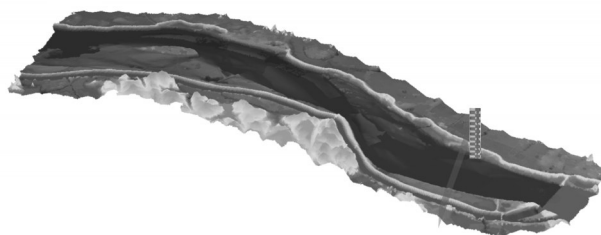


图3 水下地形模型

进行处理,生成水下地形模型,添加虚拟水尺效果,支持纵、横断面地形查看,见图3。

(4)室内场景构建。利用水工建筑物设计资料和实地勘测资料,支持水工建筑物室内场景VR模型加载,并实现室内室外视角的一键切换。

(5)典型工程三维场景融合。融合全景模型、水工建筑物实景模型、水下地形模型、室内VR模型形成统一的典型水利工程模型,并建设水闸、泵站启闭场景展示、日照降雨环境场景展示、水流流动场景展示。

展示效果:支持定制路线漫游、虚实摄像头场景对比、重要场所点定位等功能。

#### 3.2 二三维一体化模拟交互

依托三维场景及模型,可以在二三维一体化场景中进行实时的漫游、飞行、浏览控制、量测、查询等操作,可以随意改变模拟演示的路径、高度、角度、速度等。在三维虚拟仿真环境中,基于三维实体目标,实现整个海安市的交互式操作、地物要素拾取以及空间分析模拟,具体包括:

(1)信息集成展示。基础信息展示:集成河道、水利工程各类基础信息,在二三维一体化模型及场景基础上,展示其基础数据。监测信息展示:集成水雨情、流量、工情等监测信息,在二三维一体化模型及场景基础上,显示监测站点的实时及历史监测数据,模拟实时的水势状态,实现全方位、全时段的可视化监控管理。同时可以在地图上展示各个点位的地理位置、预警信息,及各个点位间数据的

(下转第48页)

实测中人工丈量船舶吃水深度是通过反复多次目测船舶水尺数值并取平均值的方法得到的船舶最终吃水深度数值,此方法可以最大限度降低航道风浪、船舶晃动及水尺读数误差等因素对目测带来的影响。采用这种方法吃水深度误差一般可控制在0.04 m以内。检测系统的测量误差主要由超声波传感器测量误差、船舶航行对检测系统带来的误差以及异常数据未完全剔除带来的误差等几个方面构成。过闸船舶吃水深度测量误差对比如表2所示。

表2 过闸船舶吃水深度测量误差对比

序号	测量方式	平均误差	标准误差
1	人工丈量	0.034	0.037
2	检测系统测量	0.014	0.017

由表2可知,检测系统测量的平均误差与标准误差均满足通航要求,与人工丈量误差偏差小,且有一定的精度优势,检测系统的可信度较高。

## 6 结 语

现场实测表明,对超声波传感器测量数据进行

补偿,可以有效克服航道中检测架摆动、不水平及弯曲等问题;同时通过建立最小二乘支持向量机预测模型,能较好地对测量过程中的异常数据进行有效处理,以提高检测系统的测量精度。

此过闸船舶吃水深度检测系统满足高港船闸实际运管需求,对保证船舶过闸安全、提高通航效率,具有较高的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 毕方全,梁山. 船舶“超吃水”航行动态检测方法研究[J]. 中国水运(下半月),2011,11(7):1-2.
- [2] 吕永祥,李吉祥,初秀民. 船舶吃水检测技术现状及分析[J]. 交通科技,2017,284(5):134-135.
- [3] 李海龙. 超声波传感器技术改进要点[J]. 电子技术与软件工程,2018,134(12):85.
- [4] 易光宇. 浅析一种三峡通航双浮吃水检测设施防撞策略[J]. 珠江水运,2022,548(4):108-109.
- [5] 刘竹青,马琳,陈奕宏,等. 模拟舰船模型气泡尾流的声学特性试验研究[J]. 船舶与海洋工程,2016,32(5):21-22.
- [6] 刘志飞. 基于最小二乘支持向量机的河段洪水预报研究[J]. 水利技术监督,2020,155(3):227-228.

(上接第43页)

时间空间关联。

(2)分析模拟。主要对各水利工程的水闸、泵站的日常运行状况进行分析模拟。启闭过程模拟:以动画的形式直观展示闸坝、泵站等的开启和关闭全过程,同时展现闸坝、泵站的监控传感器数据等信息,与动画场景进行联动。河道水位模拟:对工程上下游典型河段的水位进行模拟,辅助以表格、图表等形式展现出河道水位信息。

(3)基础功能。量测功能:支持包括距离、面积、区域通视、两点坡度等量测功能;鹰眼图:可在地图上显示出当前比例尺下在世界地图及中国地图中的鹰眼图。测点查询:支持输入测点名字,然后查询显示测点信息,显示测点位置并定位展示。

## 4 结 语

针对海安市的大范围多源多尺度实景三维模型数据,将倾斜摄影、矢量、遥感影像等多项技术融合应用、集成建库、一体化融合,纳入到统一的实景三维平台中,以满足未来规划、建设、管理等的需要。但后期也存在一定的问题,除胥家集闸管所和农村基层防汛系统有数据库,其他闸管所、水利站所用

系统数据均存储在组态软件里。国土局和南通市水利局的数据申请是否能及时获取数据、能否提供所需数据,存在一定不确定性。对于这样的问题后期将建设统一时空数据的空间参考基准,能够解决信息孤岛问题,打通各单位各部门信息互通壁垒,避免重复建设。利用RS、GIS、GPS、倾斜摄影、三维激光扫描仪、水下多波束等多种先进技术对空间信息进行采集、分析、传输和应用,并且加入三维分析和可视化技术,可获取历史及现实性底板数据,可更加直观准确地将海安市各种水利工程空间和环境信息映射到真实的三维世界中,为防汛抗旱、水资源调度、水质监测与评价等提供决策支持。

### 参考文献:

- [1] 曾家俊,麦叶鹏,李志威,等. 广州天河智慧城SWMM参数敏感性分析[J]. 水资源保护,2020,36(3):15-21.
- [2] 郭亚丽,魏本胜,郑思远,等. 长江大保护生态云平台顶层设计架构研究[J]. 水资源保护,2023,39(2):9-16.
- [3] 王东. 面向辽宁智慧水利的水利云平台构建[J]. 吉林水利,2021(8):55-58,62.
- [4] 肖杰. 智能无人船单波束测深系统在水下地形测量中的应用[J]. 测绘工程,2023,32(1):63-70.