

宿迁市黄河故道数字孪生工程建设思路研究

单晓伟,潘宇轩

(南水北调东线江苏水源有限责任公司宿迁分公司,江苏 宿迁 223800)

摘要:结合宿迁市黄河故道区域信息化水平以及区域水利现状,积极探索数字孪生、GIS、模型、物联网及大数据等新技术应用,为统筹解决水资源、水生态、水环境、水灾害问题提供新的思路,通过水利信息化推进水利现代化。

关键词:智慧水利;数字孪生;黄河故道;宿迁市

中图分类号:TV523

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)10-0043-0003

Research on the construction thoughts of digital twin project of the ancient canal of Yellow River in Suqian City

SHAN Xiaowei, PAN Yuxuan

(Suqian Branch of The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,
Suqian 223800, China)

Abstract: In combination with the informatization level of the ancient canal of Yellow River in Suqian City and the current situation of regional water conservancy, the paper actively explores the application of new technologies such as digital twins, GIS, models, internet of things and big data to provide new ideas for coordinating and solving the problems of water resources, water ecology, water environment and water disasters, and promotes water conservancy modernization through water conservancy informatization.

Key words: smart water conservancy; digital twin; the ancient canal of Yellow River; Suqian City

1 概 述

黄河故道是1855年黄河北徙山东从利津入海后不再汇淮而遗留下来的一条“地上悬河”^[1],流经豫、鲁、皖、苏4省,全长738 km^[2]。江苏境内的黄河故道流经徐州、宿迁、淮安、盐城市4市14个县(市、区),全长496 km。

宿迁市黄河故道西起徐洪河,东至新袁闸,经淮安张福河入洪泽湖,流经宿城区、湖滨新区、市经济开发区、洋河新区以及泗阳县,全长114.3 km,流域面积296.9 km²。2015年以来,有关部门在黄河故

道实施了2期黄河故道整治工程,沿线建成了11级梯级控制建筑物,形成蓄水量达1 080万 m³的河槽。沿线河道及工程建设基础较好,河道断面相对规整,护砌较好,穿堤建筑物工程监测、监视、监控数据采集正常,自动化程度较高,初步具备了数字孪生的信息基础条件。

2 重点任务

数字孪生水利是面向新阶段水利高质量发展需求,为水利决策管理提供前瞻性、科学性、精准性、安全性支持,实现水利业务与现代信息技术融

收稿日期:2023-05-09

作者简介:单晓伟(1983—),男,高级工程师,本科,主要从事水利运行管理工作。E-mail:285603412@qq.com

合发展的智慧水利^[3]。研究以宿迁市黄河故道及其流域防洪、水资源管理业务为核心,以已有信息采集体系为基础,应用数字孪生技术、GIS 技术、模型技术、物联网技术以及大数据技术,充分整合现有水利信息化资源,深化水利信息资源开发利用与共享,为宿迁市黄河故道及其流域科学调度、精细化调度决策提供支持。

3 建设方案

3.1 建设范围

拟建设范围包括约 90 km 的河道工程、主要跨河桥梁、水资源工程、水源泵站工程、涵闸工程、分洪控制工程。(1)河道工程:河道断面选用复式梯形断面,底宽为分为 3 段,徐洪河(K0~740)~皂河地涵(K7+300)段为 20 m;皂河地涵(K7+300)~蔡支闸(K20+000)段为 40 m;蔡支闸(K20+000)~陈圩闸(K72+420)段为 50 m;波比徐洪河(K0+000)~七堡枢纽黄河桥(K13+000)段和 K61+500~K64+500 段采用 1:4.0 坡比;其余段采用 1:3.0 坡比。(2)主要跨河桥梁:皂河睢宁交界桥、樊湾桥、张庙桥、七堡枢纽黄河桥、赵圩桥。(3)水资源工程:中泓控制建筑物 3 座,分别为皂河地涵(K7+300)、陈圩闸(K72+420)、蔡支闸(K20+000);水源泵站 2 座,分别为郑楼灌漑站、大碾灌漑站;船行枢纽(K39+500)。(4)涵闸工程:共有涵闸 86 座,主要布置在黄河故道与沿线排涝沟系交汇处;涵闸设计流量 0.3~7.99 m³/s。形式上主要分管涵和箱涵两类,DN800、DN1000、DN1200、DN1500 等 4 种管涵,1.5 m×1.5 m、1.5 m×2 m、2 m×2 m、2 m×1.5 m×2 m、2 m×2 m×2 m 等 5 种箱涵。(5)分洪控制工程:五河分洪闸、仓集闸。

3.2 总体架构

宿迁市黄河故道数字孪生工程在已有存储、计算、网络资源的基础上,通过遥感影像、视频图像、无人机航拍、CAD 等多源信息资源汇集,实现数据底板和模型平台的构建,并在此基础上搭建“预报、预警、预演、预案”(简称“四预”)业务功能和孪生场景,总体架构如图 1 所示。

3.3 数据底板建设

3.3.1 建设内容

以宿迁市境内黄河故道流域地形地貌、交通路网、河流水系以及沿线工程等各类基础数据为基础,利用多源数据处理、精细三维建模、二三维一体化等技术,实现宿迁市境内黄河故道流域数据底板建设,以数字化形式模拟展示河道实景三维场景。



图1 宿迁市黄河故道数字孪生工程

3.3.2 数据采集

结合本项目建设需求,汇集数据主要包括 3 类:第 1 类是高分遥感数据、视频照片数据和倾斜摄影等数据;第 2 类是与现有业务系统对接的业务数据;第 3 类是 CAD 图纸等纸质或电子文本资料。

3.3.3 数字孪生数据库建设

构建宿迁市黄河故道数字孪生数据库,具体包括构建基础信息库、空间数据库、业务数据库、多媒体库、航拍遥感资料库、业务场景展示信息库和元数据库,实现涉水基础数据、水系拓扑等矢量数据、实时雨水工情数据、视频监控数据、高分遥感数据、DOM 数据、DEM 数据、无人机航拍数据等多源数据的存储入库。

3.3.4 区域数据底板建设

数据底板建设包括典型区域高分遥感服务、地形三维可视化 2 个部分。在高分遥感服务方面,结合高空卫星遥感影像数据与低空遥感飞行器拍摄的地物动态视频和静态影像数据,实现典型区域目标物的几何、物理性质和相互关系的生成;在地形三维可视化方面,利用无人机飞行拍摄或遥感手段获取各流域影像数据并生成 DEM 模型。实现典型区沿线地区 DEM、正射影像制作、影像融合、三维场景重建,三维仿真地形、地貌与地物特征,实现地形三维可视化。

3.3.5 宿迁市黄河故道沿线精细建模

对宿迁市黄河故道沿线三维无人机航拍,形成三维激光点云摄影成果;对两岸 300 m 范围内的水工建筑物、河道水体进行精细化建模,建模内容包含约 90 km 的河道工程、主要跨河桥梁、水资源工程、水源泵站工程、涵闸工程、分洪控制工程。

在水利枢纽工程信息集成方面,对接补充枢纽工程的基础信息,主要包括枢纽位置坐标、水闸类

型、闸孔数量、闸孔总净宽等;涵洞名称、涵洞底高、涵洞高、涵洞长、涵洞宽等;泵站名称、类型、装机容量、装机功率、设计扬程、水泵数量等信息。

3.4 水利模型构建

3.4.1 模型建设思路

宿迁市黄河故道数字孪生流域水利模型建设需考虑以下问题^[4]:(1)模型平台软件要具备对后续防洪等其他业务的支撑能力;(2)采用成熟的模型平台解决方案,有成功应用案例;(3)模型平台软件支持云调度,接口标准化;(4)模型平台软件为国产自主知识产权,满足信创要求。针对现状问题,结合数字孪生流域建设框架设计,宿迁市黄河故道数字孪生流域水利模型应主要构建降雨径流模型、水资源管理与配置模型、水动力模型、工程调度模型。

3.4.2 工程调度模型

采用统一的联系要素对水利工程进行模拟,主要对皂河电灌站、七堡枢纽工程、古黄河一二站、船行枢纽、运南北渠首等引水工程,朱海站、皂河地涵、龙岗站、蔡支闸、中心港站、大碾站、张码闸、仓集闸、陈圩漫水闸、大兴漫水闸、扬集闸、农场漫水闸、李口闸、新袁闸等引排工程进行模拟。

工程调度分为规则调度模式和交互调度模式。规则调度模式根据年月旬来水过程和区间工业、农业、生活、生态需水量,结合监测关键断面流量水位和预警指标阈值,结合区域水量分配预案集生成规则调度方案;交互调度模式是在实时调度过程中,根据实时雨水情、水利工程实时工况,结合专家意见进行人机交互输入的调控模式。

3.5 业务应用建设

3.5.1 实况展示

雨水情信息接入与动态展示包括实时感知信息对接和感知信息动态展示2个部分内容。

实时感知信息对接主要是实时雨水工情库与气象预报库的信息对接,获取宿迁市黄河故道沿线预报雨情、实时雨情,水文站点实时水情、枢纽工程上下游水位以及沿线水利枢纽运行信息。感知信息动态展示是在实施感知信息对接的基础上,以等值面形式展示预报降雨与实时雨情信息,以图表的形式展示水利枢纽的上下游水位过程以及水文站点水位(流量)过程。

水利枢纽运行状态展示是在三维仿真建模的基础上,以自由三维视角展示枢纽外观,提供水闸工程的闸门形式、闸门启闭状态、水泵设备信息、水

泵运行状态等信息的查看与管理功能。

3.5.2 动态预警

将实时监测预警信息和预报加载到数字孪生场景中,当发生异常数据并告警时,在三维数字化场景的对应位置,以闪烁、弹窗等可视可听的形式,提醒业务人员及时处置。

3.5.3 场景预演

针对防洪和水资源调度目标,结合实时监测、预报预警数据,开展水资源调度过程预演。在数字孪生底板的基础上增加时间轴,融合监测、预报数据和水利模型来预测未来场景,对当前或未来状态下,不同水资源调度方案下的河道水位、流量变化过程进行模拟,将未来预测预报、不同方案情景仿真的结果可视化呈现,直观清晰地“看未来”和检验各方案的实施效果,为管理决策提供信息化支持。

3.5.4 流场展示

数字流场依托水文水力学模型搭建,基于模型模拟结果,进行水网流场的绘制,展示不同降雨条件下和不同调度工况下水位、流量变化过程,并实现宿迁市黄河故道的河道水面线、水面流向、流速和水量分配信息的动态展示。

4 预期成果及效益

4.1 预期成果

数字孪生建设实施后,能够实现涉水要素监测和洪涝预报预警信息在数字孪生场景中的一体化展示,动态预演不同水资源调度场景,提升水资源调度效能和区域防洪管理能力,为区域经济社会高质量发展提供保障。

4.2 预期效益

通过宿迁市黄河故道数字孪生工程的建设,将主要产生以下效益:(1)实现涉水要素监测和预报预警信息一体化展示,辅助管理。基于水利模型和可视化模型,结合实时雨水工情信息和气象预报信息,并借助于数字孪生和仿真技术,在数字孪生场景下全局展示河道沿程实时雨水工情等多要素信息,为洪涝灾害应急管理提供辅助决策的手段。(2)开展调度场景预演,为区域经济社会高质量发展提供保障。通过项目建设,融合了实时雨水工情监测数据和水利模型,在三维数字孪生场景中实现了对未来时况下不同调度过程的预演展示,模拟不同调度方案可能产生的防洪或水资源分配效益,有

(下转第72页)

(4)涵洞工程洞身段日常检查应着重检查洞壁、底板、伸缩缝等部位混凝土是否有损坏,水平止水垂直止水有无损坏,涵洞淤积情况等。入海水道立交地涵工程通过采用水下无人潜航器搭载水下光学摄像头,结合水下图像声呐、全向成像声呐等多参数传感器等无损检测技术对涵洞进行检测,对涵洞工作状况有了全面的了解,为工程安全运行提供可靠依据和技术支撑。

参考文献:

[1] 宋乃聪.入海水道立交地涵的断面设计[J].江苏水利,

2001(3):27-28.

[2] 胡明罡,左丰收,邢立丽.水下机器人技术在密云水库白河泄空隧洞水下探测中的应用[J].北京水务,2016(6):59-62.

[3] 张凯,孟颖,程正飞.搭载4K高清摄像系统ROV在长距离地涵水下检查中的应用[J].水电能源科学,2020(12):126-128.

[4] 徐刚.水下机器人在福建水电工程水下建筑物质量检测中的应用[J].水利水电快报,2019(11):60-63.

[5] 严励.淮安二堡船闸安全检测技术应用[J].江苏水利,2021(6):66-68.

(上接第45页)

助于提升突发性水事件进行快速处置能力,实现水资源的优化配置和科学调度,助力经济社会的高质量发展。

5 结 语

推进数字孪生流域建设作为智慧水利体系的核心组成,是适应现代信息技术发展形势的必然要求,也是实现精细化、数字化管理的迫切需要。按照“先行先试”的原则,初步建立优化水资源调度管理的数字孪生平台,开展技术探索和经验积累,在探索和尝试中对数字孪生技术优化完善,以提高流

域内“四预”的科学性、实用性、可操作性,从而创新水资源管理方式。

参考文献:

[1] 徐福龄.对黄河二十六次大改道的看法[J].人民黄河,1987,9(6):61-63.

[2] 余庆.浅议黄河故道国土综合整治与生态修复[J].中国土地,2021(10):48-49.

[3] 李亮亮,黄志.数字孪生黄河建设挑战与推进举措[J].中国水利,2022(20):42-44.

[4] 万吉祥.宿迁黄河故道及以南地区水资源开发利用[J].建筑技术开发,2020(11):99-100.