

数字孪生技术 在水利枢纽工程管理中的应用

顾思斌, 陆 炜, 钟爱成
(苏州市河道管理处, 江苏 苏州 215000)

摘要:剖析数字孪生技术,讨论水利枢纽工程的现状,结合现有多源异构业务数据,深度融合水利枢纽工程虚拟世界与现实世界,可实现与物理水利的动态实时信息交互,进一步打造多维度、全要素的态势监测、预警、远程控制、安全监测等数字孪生应用场景,对提高水利枢纽工程的精准管控和辅助决策具有重要的指导意义,进一步推动传统的“信息水利”向新型的“孪生水利”转化。

关键词:数字孪生技术;水利枢纽工程;应用场景

中图分类号:TV213.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)Sup2-0028-04

Application of digital twin technology in water conservancy project management

GU Sibin, LU Wei, ZHONG Aicheng
(Suzhou River Management Office, Suzhou 215000, China)

Abstract: Analyze the digital twin technology, discuss the status quo of water conservancy projects, combine the existing multi-source heterogeneous business data, deeply integrate the virtual world and real world of water conservancy projects, realize dynamic real-time information interaction with physical water conservancy, and further create multi-dimensional, full-element situation monitoring, early warning, remote control, safety monitoring and other digital twin application scenarios have important guiding significance for improving the precise control and auxiliary decision-making of water conservancy projects, and further promote the traditional “information water conservancy” to the new “twin Water conservancy” transformation.

Key words: digital twin technology; water conservancy project; application scenario

数字孪生是源自工业界的概念,随着新一代信息技术的发展和广泛应用,数字孪生的应用范围不断扩大。数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、历史运行数据等,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从

而反映相对应的实体装备的全生命周期过程^[1]。

基于数字孪生技术与水利工程业务的融合,水利部发布的《数字孪生水利工程建设技术导则(试行稿)》(以下简称《导则》)中明确定义了水利工程数字孪生体。水利工程数字孪生体是以物理水利

收稿日期:2022-11-01

作者简介:顾思斌(1988—),男,工程师,本科,主要从事水利信息化与自动化工作。E-mail:1539838505@qq.com

工程为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动,在数字空间对物理水利工程全要素和建设、运行全过程的数字化映射、智能化模拟,虚拟再现真实水利工程,支持与物理水利工程同步仿真运行、虚实交互、迭代优化的信息系统,包括信息基础设施和数字孪生平台。

《导则》明确指出数字孪生水利工程建设范围应覆盖工程库区、坝区、下游影响区等区域,可根据上下游、干支流工程情况整体考虑,构建具有预报、预警、预演、预案功能的现代化水利工程运行管理体系。

1 数字孪生技术运用现状

水利枢纽工程兼有防洪排涝、水环境保护、通航等多方面的功能,不同部门、不同地区、上下游、左右岸之间要求各不相同,彼此往往有利害冲突,因此需要从多方面考虑,建立可靠的水利枢纽运行管理机制,提升精准治水能力。进入新发展阶段,云计算、大数据、人工智能技术快速发展,推动水利发展向数字化、网络化、智能化转变的技术条件已经具备。

目前,水利枢纽工程运行管理方面的整体智能化运用程度较低^[2],监测手段自动化程度不高,主要表现在水利基础数据不统一,水利对象代码未统一,数据标准不一致,在不同业务和不同层级之间存在“重采、重存”的现象。现有的感知监测能力不足,不能对枢纽工程全要素信息进行采集,难以实时监测水利枢纽工程的健康状态。水利业务与数字孪生、人工智能、大数据等新一代信息技术融合程度不够,不能充分发挥信息技术支撑驱动作用。

2 数字孪生水利枢纽工程构架设计

以可视化、数字化、智慧化为核心,实现“可视”+“数据”双核驱动,构建数字孪生水利枢纽工程管理平台。

汇聚水利枢纽工程全要素基础数据、监测数据、业务管理数据、地理数据以及外部共享数据,利用“数字孪生技术+BIM”核心应用技术,构建河网水系、水利枢纽工程的L2级、L3级三维模型数据底板,通过数据共享交换的方式进行数据融合,搭建多元化、多维度的数字孪生场景^[3],见图1。

数字孪生体主要包括物理建造实体和虚拟仿真模型,两者之间通过数字孪生虚拟仿真技术与水

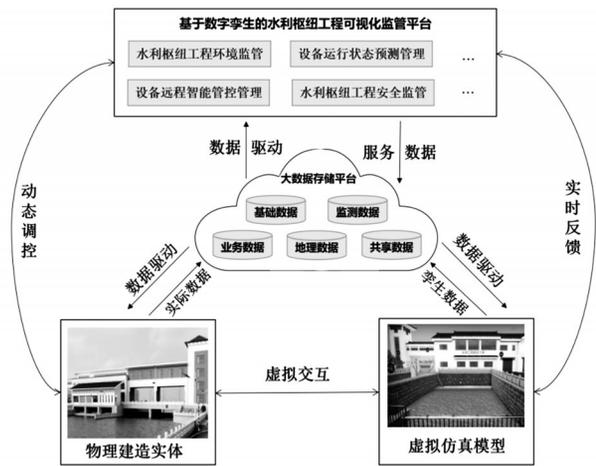


图1 应用场景交互设计

利物理形态相结合,将水利枢纽工程按照1:1虚拟还原,以大数据存储平台的各类数据为驱动,实现虚拟场景与现实世界虚拟交互,动态直观地将水利枢纽工程环境监测、设备运行状态预测管理、设备远程智能管控管理、水利枢纽工程安全监管等应用场景可视化地呈现出来,为水利枢纽工程安全运行和优化调度提供超前、快速、精准的决策支持,保障区域水安全的精细化管理。

水利枢纽工程应用场景核心架构主要包括:算法管理模块、场景可视化模块、资源管理模块与人机交互模块,见图2。

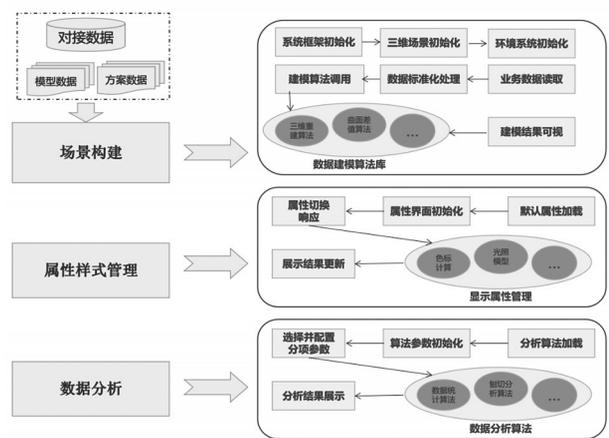


图2 场景核心框架

水利枢纽工程应用场景的技术路径主要是基于空间建模引擎与三维渲染引擎,通过插件方式集成了数据绘制算法、图表控件和组件化的人机交互界面,可结合实体模型、方案模型、业务模型等资源数据和业务数据构建二三维业务可视化展示场景。

3 数字孪生应用关键技术

3.1 三维可视化技术

将三维地形、要素图层、CAD数据、物联网信息、导航信息、融合多源精细化3D模型,包括传统手工建模、矢量批量建模、点云模型、BIM模型、倾斜摄影测量模型等数据整合进三维可视化平台中,搭建全要素可视化三维场景,实现水上水下、室内室外、山田河湖草沙一体化管理,可以快速实现对三维场景内对象和动作的控制,将各种传统纸质预案实现数字化、可视化、科学化管理。

3.2 智能分析预警技术

工程安全智能分析预警需要从水利枢纽工程自身结构健康、工程运行健康、功能健康、运行管理健康等方面,系统分析研究枢纽工程自身及远控运行过程中的安全评价体系。通过梳理水利枢纽防洪调度、日常调度、水环境调度、应急调度等水利业务应用,记录各应用场景下水利枢纽智慧远控过程中水利工程自身结构健康、工程运行健康、功能健康、运行管理健康等评估指标的短期与长期变化情况,在数据整合的基础上通过无监督的聚合或有监督训练和拟合等机器学习过程,形成辅助支撑模型,实现工程安全智能分析预警。

3.3 “四预”调度技术

按照“预报是基础、预警是前哨、预演是手段、预案是目的”的理念,梳理智能调度的业务逻辑。预报是指基于已掌握的水文气象信息,对降雨量级、时空分布,河道关键断面的水位、流量变化过程预先进行判断;预警是指根据预报结果,结合预警阈值标准,提前向水利主管部门和公众告知警情信息;预演是指在特定的降雨、初始水位等边界条件下,利用智能调度模型对不同工程运行方案的调度效果进行模拟仿真和结果动态展示,为调度方案的科学制定提供支撑;预案是结合预演结果对比分析,综合考虑调度关键因素,选定工程调度方式,以此制定调度预案,并能够在过程中实时、快速下发调度指令。

4 典型应用场景

4.1 水利枢纽工程运行环境全要素监管

基于数字孪生技术,深度融合5G、大数据、云计算、AI、融合通信等前沿技术,对水利枢纽工程的单枢纽模型效果、雨雪效果、光照效果、河护岸效果等进行三维精细化建模和场景渲染;对枢纽工程的地形地貌、水情态势、闸门开闭、设备运行态势等要素

信息进行真实复现,超大场景1:1虚拟仿真还原,实时监管水利枢纽的相关监测数据、异常数据,全面赋能水利枢纽运行管理业务应用,对异常水情进行可视化预警告警,辅助用户及时掌握水情动态,提升对水害事故应急相应效率,有效提升跨部门决策和资源协调效率,见图3。

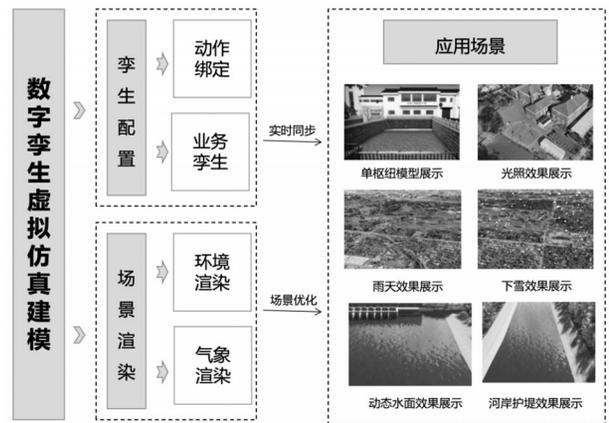


图3 环境运行场景设计

4.2 构件级设备运行状态精细化管理

基于数字孪生模型,将水利枢纽工程现有的设备运行数据监控与管理业务系统数据融合,集中进行孪生可视化监视和管理,可动态直观地展示实时运营参数,实现水利枢纽工程对设备监控、设备的工作状态、设备的安全隐患、设备故障预警等信息进行远程可视化与风险预测;可根据目标累计流量、瞬时流量等要求,结合泵组性能、闸门情况以及上下游水位测量数据等信息,分析计算启泵数量、叶片角度、电机频率,或闸门开度、孔数等参数;配合水利模型算法等技术,实现开停机组、启闭闸门等流程的智能管控,提升水旱灾害防御、水资源节约利用和优化调度等业务能力。见图4。



图4 设备运行场景设计

4.3 数字孪生水利枢纽工程安全运行监测

基于数字孪生技术的概念,利用现有三维GIS可视化技术手段,结合时空数据模式,构建了一套三维可视化水利枢纽工程安全监管平台。在目前已有的系统或功能的基础上,构建工程安全专题应用场景,融合展示工程结构、监测设施、监测数据、工程隐患、分析图形、安全预警、巡视检查、水文预报调度、实时雨水情等信息,集成安全性态预测、安全隐患预警、安全风险预演、预案智能响应等功能,对水利枢纽的关键部位进行可视化的安全监测及预警;实现工程安全智能分析预警,守住安全底线,支撑综合效益发挥^[4-5]。见图5。

5 结语

数字孪生技术为实体工程与数字孪生体的交互融合搭建了桥梁,借助数字孪生技术构建水利工程数字孪生系统,在目前已探索的应用场景中,数字孪生技术为水利枢纽工程管理业务赋能,增强水利工程的信息全面感知能力、安全保障能力、精细化管理能力和智慧决策能力。

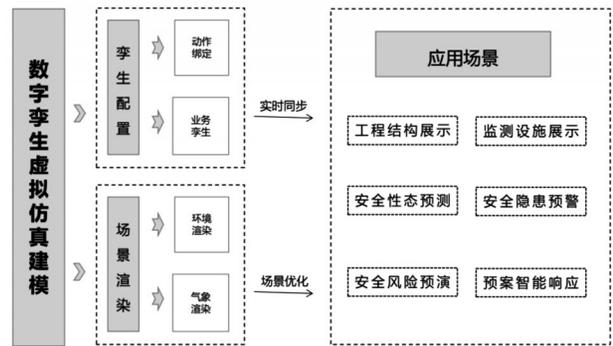


图5 枢纽安全监测场景设计

参考文献:

- [1] 李欣,刘秀,万欣欣. 数字孪生应用及安全发展综述[J]. 系统仿真学报,2019,31(3):385-392.
- [2] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5-9.
- [3] 张绿原,胡露露,沈启航,等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电,2021(11):58-62.
- [4] 钮新强. 大坝安全与安全管理若干重大问题及其对策[J]. 人民长江,2011,42(12):1-5.
- [5] 李林,梁学文,刘昌军. 基于三维可视化技术的大坝安全监测预警技术[J]. 中国科技成果,2018,19(24):35-41.
- [6] 刘永强,姚秀兰,杨恒. 基于BIM的水闸工程信息化运维管理系统设计与应用研究[J]. 工程管理学报,2021,35(2):6.
- [7] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5.
- [8] 卢建华,刘晓琳,张玉炳,等. 基于数字孪生的水库大坝安全管理云服务平台研发与应用[J]. 水利水电快报,2022,43(1):81-86.
- [9] 夏润亮,李涛,余伟,等. 流域数字孪生理论及其在黄河防汛中的实践[J]. 中国水利,2021(20):11-13.
- [10] 陈翠,安觅,董家贤,等. 基于BIM的水闸数字孪生平台设计与应用研究[J]. 水利技术监督,2022(3):4.
- [11] 杜壮壮,高勇,万建忠,等. 基于数字孪生技术的河道工程智能管理方法[J]. 中国水利,2020(12):3.
- [12] 饶小康,马瑞,张力,等. 基于GIS+BIM+IoT数字孪生的堤防工程安全管理平台研究[J]. 中国农村水利水电,2022(1):1-7.

(上接第21页)