

数字孪生技术在大型灌区的应用前景研究

张雨, 边晓南*, 张洪亮, 李楠, 高清, 张炳庆
(德州市水利局, 山东 德州 253000)

摘要:【目的】通过对德州大型灌区进行数字孪生体系的框架设计和技术论证, 为灌区信息化建设提供新的思路和案例支持。【方法】设计灌区数字孪生五维模型框架, 就如何构建数字孪生体、数据服务平台运行、互联互通开展研究, 对数字孪生的技术实现开展可行性研究, 并就系统适用性、鲁棒性和建设重点进行阐述。【结果】通过对灌区体系的智能决策、节水灌溉的应用前景讨论, 证明了灌区数字孪生技术对实现灌区水资源高效利用有明显的推动作用, 能够解决目前灌区管理和水资源调配的短板和不足。【结论】通过建设灌区数字孪生系统, 可以有效促进两大引黄灌区的信息融合, 破解“数据孤岛”, 形成完整的水资源高效利用信息化体系, 促进灌区水资源的集约节约利用。

关键词: 数字孪生; 高效节水; 水资源; 水量调配

中图分类号: TV91; TV213.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022581

张雨, 边晓南, 张洪亮, 等. 数字孪生技术在大型灌区的应用前景研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 71-76.

ZHANG Yu, BIAN Xiaonan, ZHANG Hongliang, et al. Research on the Application Prospect of Digital Twin in Large Irrigation Area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 71-76.

0 引言

【研究意义】德州市位于黄河流域下游, 是典型水资源极度匮乏的地区, 水资源承载能力差, 全市人均水资源占有量 211 m^3 , 仅为全国平均水平的 10%、全省的 61%^[1]。全市绝大部分河流长期河段干枯断流, 且深层地下水全部为禁采区, 加之近年来极端天气增加, 水资源不均性和供需矛盾日益突出^[2]。德州市又是农业大市, 农业用水约占年总用水量的 78%以上, 远高于其他用水行业, 黄河作为德州市主要的客水水源, 成为支撑全市经济社会平稳有序发展的重要保障。如何优化用水结构, 缓解农业灌溉用水, 保障城乡生活、工业和环境用水, 实现水资源高效利用, 引黄灌区体系发挥着重要作用。【研究进展】在现代信息技术日新月异、高速发展的趋势下, 信息化建设已经成为提升灌区水资源配置能力的重要手段, 利用先进的数据采集、数据分析和决策管理, 能有效提升灌区管理质量和运行效率^[3]。中国灌溉排水发展中心出版的《大型灌区信息化建设技术指南》, 详细阐述了灌区信息化建设需求和技术实施具体细节, 为灌区信息化

建设提供了技术指导服务^[4]。程帅等^[5]研究了以 GIS、数据库、网络技术为基础的灌区信息综合管理基础, 全方位监控灌区实时运行状态, 为灌区综合管理提供科学决策。郑习武^[6]提出利用大数据技术建立灌区全覆盖的信息化管理系统, 对所有管理流程的安全与连贯进行保障。但姜明梁等^[7]指出, 目前灌区信息化建设仅实现了基础性建设, 对于深度利用和共享能力还很薄弱, 如何将信息资源应用于灌区运行决策的研究和应用较少。对于德州市来说, 大型灌区不仅维持农业用水需求, 还要保证城镇居民生活一体化、重要工业企业和生态环境用水, 因此利用新一代信息技术实现灌区用水综合调度和水资源高效利用, 已成为重要的研究方向。【切入点】随着 5G 技术、物联网、大数据、云计算的全面推广和应用, 水利信息化得到更多信息技术支持, 对灌区也提供了更先进的信息化建设方案。2021 年水利部提出了“十四五”智慧水利建设总体目标, 将数字孪生作为下一步的重点目标和任务。水利部印发了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》、《“十四五”智慧水利建设规划》、《智慧水利建设顶层设计》和《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》等一系列文件, 明确提出依托灌区现代化改造项目, 改造完善灌区监测计量、重点泵站远程控制等设施, 建立数字化场景, 扩展完善用水管理、水量调度等功能^[8]。目前流域数字孪生的建设已经陆续开展, 但对于灌区的数字孪生应用研究还鲜

收稿日期: 2022-10-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402809)

作者简介: 张雨(1986-), 女, 高级工程师, 主要从事水文水资源研究。
E-mail: 155358904@qq.com

通信作者: 边晓南(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事水利信息化与水资源管理。
E-mail: 68448724@qq.com

有案例,本文作者曾就区块链、大数据等技术在德州市水资源综合配置方面开展过论述^[9],以此为基础,通过对德州大型灌区进行数字孪生体系的框架设计和技术论证,为灌区信息化建设提供新的思路和案例支持。【拟解决的关键问题】以灌区数字孪生的技术研究,拟解决灌区体系的智能决策、节水灌溉两大问题,从而提高灌区水资源集约节约利用水平,推动德州市水资源管理能力提升。

1 灌区数字孪生需求分析

德州市现有潘庄、李家岸 2 个大型引黄灌区,由渠首枢纽、输配水渠、节制闸、分水闸等构成了庞大调水系统,设计灌溉面积 45.2 万 hm^2 ,覆盖全市全部 12 个县级行政区。除农业灌溉用水外,还利用灌区河道为丁东水库、大屯水库等 14 个平原水库供水,以保障城镇居民生活和工业生产,是德州市最主要的供水来源。2020、2021 年德州市累计供水量分别为 19.71 亿、17.36 亿 m^3 ,其中两大灌区供水量就占 57.9%、54.6%,在德州市国民经济发展的水资源供给保障中发挥着重要作用。因此,要实现水资源集约节约利用和农业高效节水灌溉,就必须对两大灌区进行现代信息化改造,实现传统人工调水向有序调水、科学调水转变。

2020 年潘庄、李家岸陆续完成灌区续建配套节水改造,建成包括水情自动监测、闸门远程控制、水质在线监测和视频识别功能的综合信息管理系统^[10],但由于灌区的信息系统独立建设,且调水、供水、用水等信息数据互不共享,存在“数据孤岛”问题,无法基于大量水量监测数据和需水动态分析对灌区调水资源进行综合分配和精准调度。灌区供水决策具有多目标、多任务和实时性特点,涉及经济社会发展、农业生产经营和水资源节约保护,多因素影响因子导致决策的复杂性,常规的结构化分析不能满足现在的需水决策,因此需要利用更新的信息化手段开展智能决策支持。“十四五”智慧水利提出的数字孪生应用,在数字化场景、智能化模拟和精准化决策方面具有明显优势^[11],尤其是数字孪生技术通过对实体对象建立虚拟实体,并在虚拟实体中开展动态监测、分析和控制,实现虚实映射一致性、闭合性和同步性,可以为灌区水资源的生命周期管理提供更优化的决策依据。因此数字孪生用更容易实现灌区水资源智能管理,符合水资源集约节约的发展需求。

2 数字孪生模型构建

2.1 灌区数字孪生总体框架

数字孪生是基于以物联网、5G 通讯、人工智能、

大数据、云计算等为基础的新型信息技术应用,又称“镜像空间模型”,最早由 Grieves M.W.教授在美国密歇根大学的产品全生命周期管理(product lifecycle management, PLM)上提出^[12]。通过虚拟实体对物理实体进行控制,并在虚拟实体内开展深层次、多尺度的动态状态评估和任务预测,最终以 VR 方式实现对物理实体的超现实镜像呈现^[13]。本文以陶飞等^[14]提出的数字孪生五维模型为基础,建立灌区数字孪生框架,就技术实现进行研究。数字孪生五维模型如式(1)所示。

$$M_{DT} = (PE, VE, Ss, DD, CN), \quad (1)$$

式中: PE 表示物理实体(Physical Entity); VE 表示虚拟实体(Virtual Entity); Ss 表示服务(Services); DD 表示孪生数据(Digital Data); CN 表示各组成部分间的连接(Connectons)。

利用灌区渠首、灌区闸门、提水泵站的引水设备以及灌渠内的水位、水质监控设备终端,组成灌区数字孪生的物理实体,并在虚拟空间中建立模拟物理实体的虚拟镜像,利用物理网、5G 传输和高速光纤通信,实现物理实体和虚拟实体的数据传输和实时通信。利用大数据技术将德州市水资源综合管理系统、各灌区信息管理系统、水库信息系统、其他涉水信息系统的相关数据进行采集和导入,并建立数字孪生的模型库、算法库和知识库,通过服务为灌区管理人员提供可视化展示、开展模拟分析、进行远程控制,从而实现灌区体系的水资源调度信息数字化、决策智能化的目标。具体数字孪生框架见图 1。



图1 灌区数字孪生总体框架

Fig.1 Overall framework of digital twinning in irrigation area

2.2 数字孪生功能模块

2.2.1 数字孪生体

物理实体(PE)和虚拟实体(VE)共同组成数字孪生体,在虚拟实体中对物理实体进行多层次物理特征的多维度描述和刻画,并通过相互映射和同

步运行，实现虚拟实体对物理实体的真实反映和仿真控制^[15]。

物理实体是数字孪生框架的构建基础，是灌区水量控制终端。根据实现功能分为单元级 PE、系统级 PE 和复杂系统级 PE。单元级 PE 由渠首、闸门、泵站、水库入库口组成，单元级 PE 控制引水水量，是水资源调度的基本设施。系统级 PE 由多个单元级 PE 组成，可以是一个或多个县域的水量分配，也可以是大型灌区内的水量分配，复杂系统级 PE 作为最高级别的物理实体，既负责对全市范围内灌区水量进行水量调度，也可以对农业和非农业用水需求进行水量调度。物理实体提供不同层级的模型参数，为虚拟实体提供样本参照。

虚拟实体根据物理实体的功能实现，建立 4 个方面的多维度建模。模型包括：几何模型、物理模型、

行为模型和规则模型。几何模型描述单元级 PE 的位置、尺寸、形状、结构，在虚拟实体中建立 3D 仿真模型；物理模型在几何模型的基础上进步刻画单元级 PE 的物理属性、物理特征和约束条件，例如闸门数目和引水能力、提水水泵的功率和扬程大小、管道的管径和数量等；行为模型是根据行为关系来描述单元级 PE 的行为响应结果，并结合灌区渠道的水量、水位、水质监测设备进行模拟演化分析；规则模型涉及德州市灌区水资源调度规则，包括国民经济规划对水资源调配规则、区域和行业分配的水资源用水总量、农业生产和非居民用水的年度计划、农业灌溉供水计划和农业生产经营情况、水旱灾害调度等。不同物理实体层级对应不同虚拟实体模型维度，共同组成完整的数字孪生体。具体对应结构见图 2。

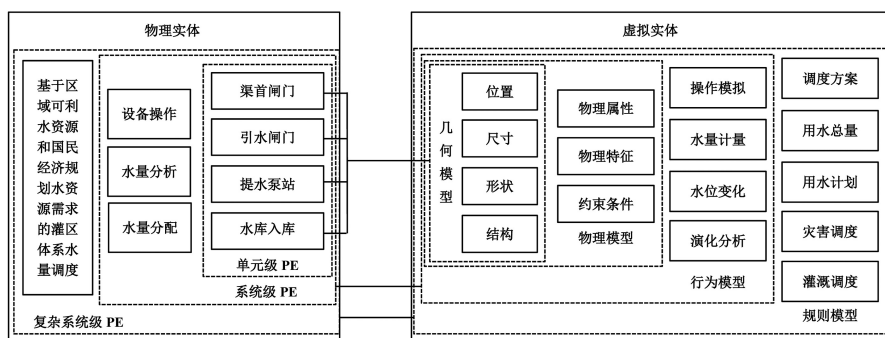


图2 数字孪生体对应关系

Fig.2 Digital twin mapping relationship

2.2.2 数据服务平台

数据服务平台是连接物理实体和虚拟实体的核心模块，通过数据交互功能实现数据孪生体的双向映射，主要功能模块包括数据汇集、数据处理、数据映射、数据存储。数据汇集功能主要是将监测数据（水位、水量、水质）、空间坐标（GPS）和地理信息（GIS）信号、水利设施（如闸门、水泵）运行状态等数据汇集到数据服务平台，并利用大数据技术对德州市水资源综合管理系统、各灌区信息管理系统、水库信息系统、其他涉水信息系统的相关数据等信息进行多源数据采集。数据处理主要是对汇集的原始数据进行抽取、清洗、装载等预处理，过滤冗余数据、补充缺失数据、纠正异常数据、降低数据维度，形成统一标准格式的数据流，成为数字孪生体的数据支撑^[16]。数据存储用于存储数据处理后的数据，主要是孪生数据（DD），包括物理实体的终端物理属性和反映物理实体实时运行状态、设备性能和环境参数、突发扰动等动态过程数据，支持虚拟实体运行的四大模型数据，支撑数字孪生体运行的知识库、模型库、算法库、规则库等服务（Ss）数据以及分析、挖掘、衍生、预测等方式得到的衍生数据^[17]。数据映射是通过数据结构

信息建立数据间的映射机制，包括数据时序分析、数据关联和数据同步，从而实现物理实体数据和虚拟实体操作的同步映射^[18]。

2.2.3 模型间互联

连接（CN）实现物理实体、虚拟实体、服务和孪生数据的互联互通，以支持数字孪生体同步运行和真实映射。物理实体将实时动态数据传输至孪生数据，更新校正孪生数据中的虚拟实体各类模型数据；虚拟实体的动态仿真和分析预测数据为孪生数据提供决策依据，也可以转化为控制指令实现对物理实体的直接实时操控；灌区调度人员通过服务功能以应用软件和移动端 APP 等形式，经数据服务平台获取孪生数据进行信息管理和业务操作、开展虚拟实体的仿真分析和物理实体的运行控制。通过数字孪生技术，可以对突发水情进行及时处理、更合理的测算和分配灌区各区域和行业用水总量、更合理调配取用水需求，从而实现德州市灌区水资源的高效利用。

3 灌区数字孪生可行性分析

3.1 技术可行性分析

灌区数字孪生技术的实现需要利用先进信息技

术手段,构建数据保障层、建模计算层、功能应用层和沉浸体验层 4 层技术体系^[19],从数据保障层开始,每层的设计都为上一层的实现提供基础技术,上一层又对下一层的功能进行扩展和丰富,最终实现流域水资源数字孪生技术框架设计的功能。

3.1.1 数据保障层

数据保障层构分为数据汇聚和数据存储。灌区数字孪生的数据汇聚体系包括终端信息采集和系统信息采集,是整个数字孪生系统的基础,复杂的运行数据用于提取和构建数字孪生体系统特征。因灌区范围分布广泛,信息化建设标准不一,除直接建设的终端可以采用物联网、5G 移动技术进行数据传输,其他信息系统的数据应采用大数据技术,通过高速光纤传输海量数据,大量的终端数据为整个数字孪生系统起到了前言感官作用。分布式存储解决了全生命周期数据的存储能力,比传统存储相比,分布式存储的高效存储结构和快速数据检索结构为数字孪生系统提供了可靠的数据存储平台保障,为建模计算层提供了充分可靠的数据依据。

3.1.2 建模计算层

建模计算层分为数字建模和一体化计算。对于结构复杂的灌区数字孪生系统,无法用传统物理模型解析方式开展状态评估,需要利用数据采集的历史和实时运行数据,对模型进行更新、修正和补充,建立动态实时系统状态的评估系统,因此必须利用机器学习和人工智能领域的技术方法,对建模的模型不断学习、补充、优化。模型库包括灌区运行可视化模型、仿真引擎算法模型、灌区调水管理规则模型以及可扩充灌区调度知识库。

一体化计算解决的是数据孪生的数据处理能力,计算能力高低直接影响系统整体性能。要提高系统任务执行速度,优化数据机构和算法结构,采用基于云计算高性能数据分析算法的云化及异构加速计算体系(CPU+GPU 协同结算)可以有效满足需求。其中使用 CPU 进行负责的核心计算、使用 GPU 进行图形渲染和并行计算,从而提高功能模块的响应速度和计算效率^[20]。

3.1.3 功能应用层

数字孪生的优势主要体现在功能应用层,在这一层实现水量优化配置设计,因此要求在建模计算层提供强大信息处理的基础上,满足高实时性、高准确性的智能决策,提升灌区水资源高效利用的配置能力。在功能应用层,可以建立全市区域一体化的灌区水量监测体系,准确把握灌区水资源利用态势;实现灌区水资源信息统一管理,掌握和分析水资源管理效能;利用数字孪生进行论证,更合理的开展灌区水量分配;

开展水资源调查评价和评估,使水量分配决策更加科学有效。

3.1.4 沉浸式体验层

在沉浸式体验层灌区数字孪生系统可以利用集成的多种先进技术,为灌区调度管理人员提供人机交互使用体验,从而迅速掌握复杂系统的性能。具体包括多物理多尺度的高保真全 3D 建模仿真、有深度感知和我自感知能力的虚拟实时 VR 呈现以及针对不同任务和场景的决策分析验证。高保真建模仿真利用三维仿真技术,对灌区实时水量变化、灌区设施运行状态、灌区区域和行业用水变化等进行数字映射;虚拟实时 VR 呈现从物理流域中获取全面、真实、客观、动态数据和信息,全面实现仿真智能化和调度控制自动化;决策分析验证利用模型平台和知识平台实现智慧模拟、仿真推演,开展灌区水资源节约集约利用评价,完善水资源管理调配。

3.2 系统结构化分析

3.2.1 系统适用性

灌区数字孪生是对灌区水资源管理的数字化、仿真化、模型化的信息体系构建,实现对全市灌区体系的闭合性动态监控、控制和分析,实现调水数据的全生命周期管理,为水资源高效利用提供更加科学合理的决策依据。相比目前涉及的两大灌区信息化系统,数字孪生更能够在全市范围内对灌区水资源开展全面的分配和调度。利用多协议信息传输、大数据数据处理、仿真建模技术,真正打破“数据孤岛”的桎梏。可扩展和可自我学习更新的虚拟实体,能够满足中长期灌区水资源调度规划。全 3D 流域仿真和 VR 可视化呈现提供了迅捷、便利、直接的决策依据和凭依。因此数字孪生技术对实现灌区体系水资源高效利用有着极其重要的作用,适用于未来发展趋势。调水全生命周期管理流程见图 3。

3.2.2 系统鲁棒性

数字孪生的重要意义在于虚拟实体对物理实体的准确一致性反映,可以在虚拟实体对物理现实进行即时化操作。在数字孪生系统下,虚拟实体可以通过孪生数据的模型库、算法库、规则库对物理现实进行真实描述,并按照管理需求进行不断修正和自我学习。同时利用拉格朗日插值法、线性二阶段法等分析方法,对物理终端的数据异常、丢失等异常数据进行补充、修正,最大限度地抵消了不确定因素对线性分析的影响,使相关参数不超过预设边界,排除了实时处理过程中的突发扰动,实现了对系统的稳定控制。这也是在交互操作方面数字孪生技术比传统信息处理技术更科学的处理优势,也是现阶段灌区水资源信息系统所不具备的多层次、多类型模型处理能力。

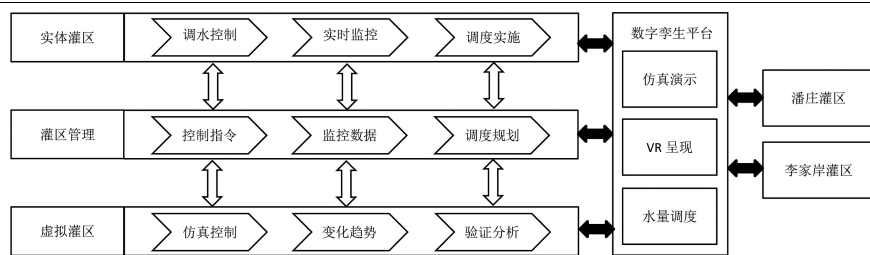


图3 调水全生命周期管理示意图

Fig.3 Full life cycle management diagram of water diversion

3.2.3 未来建设重点

2021 年水利部提出了“十四五”智慧水利建设总体目标，将数字孪生作为下一步的重点目标和任务。对照建设要求，灌区数字孪生应全面推进算据、算法、算力建设，应推行灌区引水设施的信息化改造，完善灌区水量、水质监测终端建设，提升算据的准确度。开展灌区基础数据复核和联动更新、扩展完善涉及灌区相关的信息系统整合，完善灌区业务知识库和算法库，丰富数字孪生的算法能力。加快大数据、云计算、高速通信的推广力度，扩展调配业务应用，满足算力需要。

4 灌区数字孪生应用讨论

4.1 智能决策

作为德州市主要客水保障，两大引黄灌区对推动供水“以供定需”发挥着重要作用。其设计的灌溉面积广、供水范围大、输水距离长，如果不能平衡上下游用水需求，约束无节制引水，就会影响灌区的可持续发展。数字孪生系统通过大数据数据处理技术和可自我学习扩展的孪生数据库，能够实现多模型维数的高计算能力，支持引黄、灌区、农水、水资源等多部门集体决策。如将供水时间、供水水量纳入数据库，虚拟实体可根据引水的动态变化自动侦测实际供水情况，发布水量预警，并在供水指标耗尽后自动关闭引水闸门或提水泵站。大量的数据采集终端和多形式的通信手段可以保障分布式的多目标灌溉用水调度过程实时反馈，综合数据分析和应急模拟预测能够使灌区管理者全面掌握灌区运行情况，从而快速进行区域水资源分配。例如可以在保障上游用水需求的情况下调度部分地区以高水位、大流量和集中连片的方式为庆云县等下游缺水地区进行短期集中供水，也可以在系统内分析预测农业灌溉用水低谷期，制定为水库供水的合理时段，实现供水的智能分配。

4.2 节水灌溉

高效节水灌溉的实施要考虑灌区内的农作物用水需求和农业供水能力，根据水资源承载能力和节水灌溉建设要求，选择合适的灌溉类型和规模，并根据区域农业生产经营情况，合理开展高效节水灌溉。其数据具有多元性和复杂性，并不断变化和动态调整，具有不确定性。通过数字孪生系统，可以建立农作物需水量模型，并利用孪生数据库里的涉农和涉水信息，开展农业需水量预测分析，进而制定合理的灌溉计划量。可以在虚拟实体内利用设定的节水指数和模型，开展农业灌溉节水评价和水平分析，并根据评价结果尽可能地减少灌溉水量投入，为节水灌溉执行合理有效的科学引水方案，该流程见图 4。

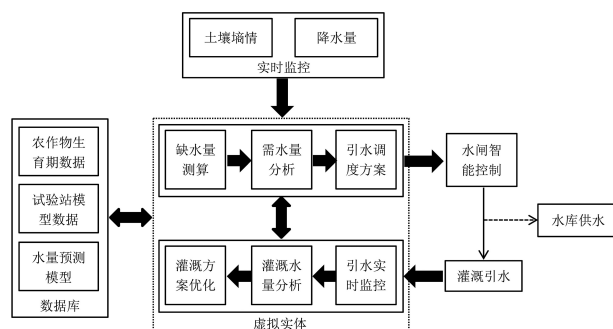


图4 虚拟实体内的节水灌溉方案流程图

Fig.4 Flow chart of water saving irrigation scheme in virtual entity

以临邑县小麦种植为例，根据德州市农田试验站小麦生育期模型，结合气象因素和土壤墒情实时监控数据，内置 BP 神经网络预测模型，通过生育期内临邑县李家岸灌区引水闸门和临邑县利民水库水量在线监控数据，得出 2020 年小麦灌溉水量富余 203.92 万 m^3 （见表 1）。要实现高效节水灌溉，可以在数字孪生数据库中继续完善模型，对引水闸门进行自动化改造，在虚拟实体内可以对灌溉水量进行分析、验证，优化灌溉引水方案，从而实现精准灌溉目标，提高灌溉水资源利用效率。

表1 小麦预测灌溉水量验证

Table 1 Verification of wheat predicted irrigation water

年份	耕地灌溉面积/ hm^2	小麦生育期缺水/mm	生育期需补水量/万 m^3	生育期水闸引水/万 m^3	实际灌溉引水/万 m^3	灌溉引水富余/万 m^3
2020 年	52.19	26.30	1 372.60	2 935.77	1 576.51	203.92

5 结 论

“互联网+”作为新时代应用主流,要求灌区水资源管理模式不断革新,智慧水利 1.0 也对灌区管理信息化水平提出了新要求。数字孪生技术对推进灌区信息化高质量发展起到了极大的推动,能够提升灌区水资源调度、管理和服务水平,为灌区的科学决策提供数据依据。通过建设灌区数字孪生系统,可以有效促进两大引黄灌区的信息融合,实现灌区管理资源的有效整合,破解“数据孤岛”难题,形成完整的水资源高效利用灌区信息化体系,提供了新的灌区信息化建设思路,推动水资源集约节约利用取得新的成效。

参考文献:

- [1] 德州市水利局. 2018 年德州市水资源公报[Z]. 德州: 德州市水利局, 2019.
- [2] 赵志尚, 马红梅, 边晓南. 水资源税改革试点成效与问题分析: 以山东德州为例[J]. 地方财政研究, 2021(7): 47-55.
- [3] 代颖, 陈伟华. 大数据背景下的灌区信息化建设[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(7): 159.
- [4] 中国灌溉排水发展中心. 大型灌区信息化建设技术指南[M]. 北京: 水利水电出版社, 2012.
- [5] 程帅, 豆明珠, 刘照, 等. 三维GIS在灌区管理中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(6): 230-235.
- [6] 郑习武. 大数据时代灌区信息化管理系统开发与应用[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(9): 160.
- [7] 姜明梁, 邓忠. 我国灌区信息化建设现状与发展对策[J]. 中国农村水利水电, 2019(10): 132-133, 138.
- [8] 水利部. “十四五”期间推进智慧水利建设实施方案[R]. 北京: 水利部, 2021.
- [9] 边晓南, 夏文君, 张洪亮. 区块链在德州水资源监控能力建设中的应用[J]. 山东水利, 2020(10): 50-51.
- [10] 德州市水利局. 德州市水利志[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018.
- [11] 曾焱, 程益联, 江志琴, 等. “十四五”智慧水利建设规划关键问题思考[J]. 水利信息化, 2022(1): 1-5.
- [12] GRIEVES M W. Product lifecycle management:The new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005, 2(1-2): 71-84.
- [13] 刘大同, 郭凯, 王本宽, 等. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(11): 1-10.
- [14] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019(1): 1-19.
- [15] SAMAD M E Sepasgozar, MOHSEN Ghobadi, SARA Shirowzhan, et al. Metrics development and modelling the mixed reality and digital twin adoption in the context of Industry 4.0[J]. Engineering Construction and Architectural Management, 2021, 5: 1 355-1 376.
- [16] 王军. 黄河流域空地一体化大数据平台架构及关键技术研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(4): 6-12.
- [17] 陈根. 数字孪生[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020: 155-158.
- [18] 李玉, 茆道方, 高银萍, 等. 基于数字孪生的自动化集装箱码头多AGV动态调度[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-21[2022-07-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20211220.1932.008.html>.
- [19] 饶小康, 马瑞, 张力, 等. 数字孪生驱动的智慧流域平台研究与设计[J]. 水利水电快报, 2022, 43(2): 117-123.
- [20] 刘鹏, 张燕. 大数据导论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018: 64-76.

Research on the Application Prospect of Digital Twin in Large Irrigation Area

ZHANG Yu, BIAN Xiaonan*, ZHANG Hongliang, LI Nan, GAO Qing, ZHANG Bingqing

(Dezhou Municipal Water Conservancy Bureau, Dezhou 253000, China)

Abstract: 【Objective】Through the framework design and technical demonstration of the digital twin system in the large-scale irrigation area of Dezhou, it provides new ideas and case support for the informatization construction of the irrigation area. 【Method】The five-dimensional model framework of digital twin in irrigation area was designed, and how to construct digital twin, data service platform operation and interconnection were studied. The feasibility of digital twin technology was studied, and the applicability, robustness and construction focus of the system were expounded. 【Result】Through the discussion on the intelligent decision-making of irrigation system and the application prospect of water-saving irrigation, it was proved that the digital twin technology in irrigation area had a significant role in promoting the efficient utilization of water resources in irrigation area, and could solve the shortcomings of current irrigation area management and water resources allocation. 【Conclusion】The construction of digital twin system in irrigation district can effectively promote the information fusion of the two irrigation districts, break the 'data island', form a complete information system of efficient utilization of water resources, and promote the intensive and economical utilization of water resources in irrigation district.

Key words: digital twin; efficient water saving; water resources; water allocation

责任编辑: 赵宇龙