

数字孪生技术在智慧水利建设中的作用

郭 振^{1,2*}, 张海欧^{1,2}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

收稿日期: 2023年11月8日; 录用日期: 2023年12月11日; 发布日期: 2023年12月29日

摘 要

数字孪生技术在解决“智慧水利”科学决策问题方面起到关键作用, 有助于应对“信息水利”向“智慧水利”过渡的科学决策挑战。本文探讨了数字孪生流域的背景及智慧流域的总体框架, 并分析了数字孪生流域建设的重要意义。文章强调了以数字孪生流域为核心来构建智慧水利的必要性, 详细阐述了数字孪生的要素、结构、特征, 以及智慧水利建设的内涵、主线、路径和重点。同时, 结合水利工程的数字孪生技术, 深入探讨了对水利工程数字孪生技术的理解。

关键词

流域, 数字孪生, 智慧水利, 工程应用

The Role of Digital Twin Technology in Smart Water Conservancy Construction

Zhen Guo^{1,2*}, Hai'ou Zhang^{1,2}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd, Xi'an Shaanxi

Received: Nov. 8th, 2023; accepted: Dec. 11th, 2023; published: Dec. 29th, 2023

Abstract

Digital twin technology plays a crucial role in addressing scientific decision-making challenges in “smart water management”, aiding in the scientific decision-making transition from “information-based water management” to “smart water management”. This article explores the background of digital twin basins and the overall framework of smart basins, analyzing the significant

*通讯作者。

文章引用: 郭振, 张海欧. 数字孪生技术在智慧水利建设中的作用[J]. 水土保持, 2023, 11(4): 29-34.

DOI: 10.12677/ojswc.2023.114004

importance of constructing digital twin basins. The paper emphasizes the necessity of using digital twin basins as a core element in building smart water management, providing a detailed exposition of the elements, structure, and features of digital twins, as well as the implications, main themes, paths, and focal points of smart water management construction. Simultaneously, integrating digital twin technology into hydraulic engineering, the article delves into a comprehensive discussion of the understanding of digital twin technology in hydraulic engineering.

Keywords

Watershed, Digital Twins, Intelligent Water Conservancy, Engineering Application

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

当前,我国治水工作已经转变为强化水利工程和严格监管水利行业。水利信息化是这一战略的重要举措之一,多年来,水利信息化取得了显著进展[1]。我国的水利工程信息化系统已经初步建立,能够感知基础信息并进行远程集中监视控制。同时,业务应用系统也在逐步完善,为水利工程的运行管理人员提供了高效、方便、可靠的管理手段[2][3]。然而,目前还存在一个重要问题,即如何充分结合现有的信息化系统和传统的水文、水利、水质等理论,为工程运行管理提供科学决策。数字孪生技术为解决这一问题带来了希望。通过应用数字孪生技术,可以更好地实现信息与理论的结合,从而促进水利工程运行管理向智慧水利转变。

数字孪生是一种整合多种属性的技术,具有实时同步、真实映射和高度保真度的特点,可以将物理世界与虚拟世界相互融合[4]。数字孪生流域是一个新概念,建设过程复杂。首先,它需要大量的投入,包括人力、物力和财力;其次,涉及到多个层级,包括中央和地方政府以及各级水行政部门;第三,任务内容较多,包括数据底板、模型平台、知识平台、感知网、信息网和云平台等;第四,研究成果和成功案例较少,需要积极进行探索;第五,数字孪生流域是一个有机整体系统,不同层级和应用主体的数字孪生流域在数字底板和业务应用方面有紧密的联系[5][6][7][8]。因此,只有通过共建共享数字孪生流域,坚持协调一致,确保资源共享、业务协同,才能够推动数字孪生流域建设的进展、质量和效益。

在水利部“三对标、一规划”专项行动总结大会上,李国英部长提出智慧水利建设是推动水利高质量发展的其中一个实施路径,并且是最显著的标志之一。智慧水利建设的指导原则是“需求牵引、应用之上、数字赋能、提升能力”,主线是数字化、网络化、智能化,路径包括数字化场景、智慧化模拟、精准化决策。为了推进算据、算法、算力的建设,水利部计划构建数字孪生流域,以加速建设具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系。此外,该部门还明确要求以流域为单元构建智慧水利体系,提升水情测报和智能调度能力。为了达到这个目标,需要充分利用物联网、云计算、大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术,通过构建数字孪生流域来实现“四预”功能,进而推动水利治理方式的变革,实现经济和社会的稳定发展目标。

2. 推进数字孪生流域建设的意义

1) 流域具有数字孪生应用基础:流域既涵盖气候、土壤、水、生物等自然生态因子的分布区域,又是人类经济社会活动的承载区,是一个庞大而复杂的综合系统。流域内自然、经济、社会、文化等众多

元素, 环环相扣。流域目标需求多样, 其中防洪、供水、灌溉、发电、航运、生态环境等多目标相互交织, 已形成利益攸关方, 为实现总体最优化, 必须保证工程系统多目标联合调度。流域具有可调控的特点, 通过对上下游、左右岸和干支流水量变化的综合考虑[9] [10]。

2) 智慧水利建设要以数字孪生流域建设为核心: 推进智慧水利建设要以流域为单元、强化流域治理管理、适应信息化发展需要的数字孪生流域建设为核心。优质发展催生科技创新数字化变革新发展动力[11]。数字化赋能, 为水治理治理能力现代化提供新是新阶段水利优质发展的必然要求。建设数字孪生流域, 以实现数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为目标, 坚持需求牵引、应用至上、数字赋能、能力提升为核心, 以加强算据、算法、算力“三算”建设为核心任务。

3) 强化时代责任的要求: 将智慧水利建设纳入国家多项规划, 是落实党中央、国务院决策部署的必然要求, 推进数字孪生流域建设。流域性是江河湖泊最鲜明的特征, 治水、管水必须以流域为单元, 实行“四统一”。推进数字孪生流域建设, 是加强流域治理管理“四统一”的迫切需要。与水利业务深度融合的新一代信息技术, 包括大数据、人工智能、数字孪生等, 可以充分发挥信息技术的支撑和驱动作用, 对水利决策和管理进行大力改进[12] [13]。

3. 数字孪生的要素、构架与特征

3.1. 数字孪生的要素组成

UINO 优锆科技总结指出数字孪生涵盖八大要素[14]: 1) 元模型: 用于定义标准。2) 唯一映射: 确定孪生体与物理体之间的对应关系。3) 数据: 确保孪生体能够准确反映物理体的状态。4) 接口: 使应用程序能够使用。5) 反向控制能力: 确保数字体能够操控物理体。6) 可视&交互: 使人能够通过孪生体认知和管理物理体。7) 仿真: 能够通过自然规律进行推演。8) 分析能力: 可以基于数据和算法模型进行诊断和预测。

3.2. 数字孪生流域技术框架

数字孪生流域是智慧水利建设的核心与关键。基于水利感知网、水利信息网、水利云等基础设施, 利用大数据、人工智能、虚拟仿真等技术, 以物理流域为单元、多维时空数据为底板、水利模型为核心、水利知识为驱动, 对物理流域全要素和水利治理管理活动全过程进行数字化映射和智能化模拟。这支持实现流域防洪、水资源管理与调配的“四预”以及多项水利智能业务应用。

3.3. 数字孪生特征

1) 虚实映射。数字孪生技术要求在数字空间中构建物理对象的数字化表示, 确保现实世界中的物理对象和数字空间中的孪生体能够实现双向映射、数据连接和状态交互。2) 实时同步。借助实时传感等技术, 进行多元数据的获取, 使孪生体能够全面、精准、动态地反映物理对象的状态变化, 包括外观、性能、位置、异常等。3) 共生演进。在理想状态下, 数字孪生所实现的映射和同步状态应该覆盖孪生对象从设计、生产、运营到报废的整个生命周期, 孪生体应该随着孪生对象生命周期的进展而不断演进和更新。4) 闭环优化。孪生体的最终目的是在描述物理实体内在机理的基础上, 通过分析规律、洞察趋势, 在数字世界中形成优化指令或策略。这样, 就可以通过分析与仿真实现对物理实体决策优化功能的闭环[15]。

4. 智慧水利建设

4.1. 智慧水利内涵

新时期水利发展和科技进步的显著标志是智慧水利。以水利科学与信息化技术为支撑, 以数字化、

网络化、智能化的形式,通过云计算、大数据、物联网、移动终端、人工智能、水利模型、传感器等新兴技术的应用,展示产业融合成果。这为全面提升水资源管理、保护、监管和水安全保障能力提供了重要途径,促进了新阶段水利优质发展,也为水利数字化双生技术平台建设提供了有力支撑。智慧水利具有空间全域化,时间序列化,过程自动化,应用智能化等特点[16][17]。

4.2. 智慧水利建设主线

数字化是指在计算机系统中虚拟仿真物理世界,借助数字技术促进模式创新的流程再造。网络化则是将分布在不同地点的计算机和各种电子终端设备,通过通信技术相互连接,并按照一定的网络协议实现相互通信,使软件、硬件和数据资源在所有用户之间实现共享。智能化是通过使物体具有灵敏、准确的感知功能,具有正确的思维判断功能,具有适应性的学习功能,并具有有效的执行功能而实现的。这个过程是从人工、自动到自主逐渐演变的,数字化为此打下基础。数字化为此奠定基础,实现了数据资源的获取和积累;网络化则构建了平台,促进了数据资源的流通和聚合;智能化则展现了多源数据融合分析呈现信息应用的人工智能,有助于人类更好地认知事物和解决问题[18][19][20]。

4.3. 智慧水利实施路径

通过建立数字化场景,可以实现物理流域与数字孪生流域之间的信息交互和融合。这种数字化映射和智慧水利的建设可以提供大量的数据支持和计算分析功能,从而帮助实现智慧水利的目标。例如,通过构建数字流场和知识平台,可以支持模拟仿真和精准化决策。这样一来,预测调度、资源管理、生态调控和决策建议等方面的工作就得以实现。智慧水利的目标是提高效益并减少损失,而数字化映射和智慧水利的建设可以在实现这一目标的过程中发挥重要作用[21][22][23]。

4.4. 智慧水利建设重点

算据是对物理流域及其影响区域进行数字化表达的数据,是构建数字孪生流域的基础。这包括自然地理、干支流水系、水利工程基础数据、监测数据、业务管理数据、地理空间数据、经济社会信息等各类数据[24]。算法是对物理流域自然规律的数学表达,是构建数字孪生流域的关键要素。这包括水利专业模型、智能识别模型、可视化模型,以及水利对象关联关系、预报调度方案、业务规则、历史场景、专家经验等内容。算力是数字孪生流域高效稳定运行的重要支撑,包括计算资源、存储资源、网络通信资源、会商环境等。

5. 数字孪生技术的应用

5.1. 数字孪生黄河

2019年洪水以及2021年河南郑州“7·20”暴雨洪水后,黄河利委会决定在2022年进行黄河防洪调度演练。这次演练主要集中在水文监测预报预警、洪水调度方案、洪水演进模拟预演、滩区迁安、险情抢护与指挥决策等环节。防汛演练指挥部根据黄河中下游防汛会商预演系统提供的水文监测数据预报,采取了适当的措施,如调度骨干水库群、利用东平湖蓄洪区等,以减轻洪涝灾害带来的损失,确保黄河洪水平稳过境。

黄河下游洪水调度模拟预演结果提供了有关洪水情况的相关信息,包括淹没范围、水深、受灾人口和经济损失等。这些信息为我们提供了指导,使我们能够针对一些关键的河段提出重点防洪工程的建议,以减轻洪水带来的危害。黄河中下游防汛会商预演系统作为数字孪生技术在黄河治理中的阶段性成果,有效提升了防汛工作的科学化、数字化和智能化水平,为防汛指挥提供了科学、精准、高效的决策路径。

该系统通过持续进行仿真预演, 包括水情实况、洪水预报、水库调度、洪水演进和淹没分析、洪水风险等方面, 逐步改进了“四预”功能和预报调度的在线交互能力, 为黄河治理工作提供了强有力的技术支持。

5.2. 长江中游行蓄洪空间数字孪生平台

2022年6月8日, 长江水利委员会利用长江中游行蓄洪空间数字孪生平台进行了一场防洪调度演练活动。在演练中, 长江委将1870年洪水的关键数据导入数字孪生平台, 并利用平台的功能展开与该洪水的博弈。演练的功能包括利用孪生平台提供的智能灾损评估功能, 评估过境洪水对沿江城镇的影响; 通过计算和评估模型了解在不同的洪水防洪调度方案下三峡库区的灾害损失; 通过分析堤防与关键控制站之间的关系, 合理安排巡查防守, 掌握灾害情况; 通过实时分析模型为防洪风险评估和后续防洪态势研判提供支持; 利用知识图谱、机理模型和数据驱动算法进行蓄滞洪区防洪调度, 支持方案决策和预案生成。经过三年的打磨, 长江中游行蓄洪空间数字孪生平台基本实现了行蓄洪工程的智慧化调度模拟与预演、方案风险动态化评估的决策支持功能。它为长江安澜提供了强有力的保障。

6. 结论

智慧水利是新阶段水利高质量发展的显著标志和重要实施路径之一。水利部将数字孪生流域视为推进智慧水利建设的核心和关键。这是一个创新性极强且复杂的系统工程, 其建设内容丰富, 要求高度精准, 任务繁重, 涉及众多科学问题需要深入研究和探索, 同时也需要开发许多技术和产品模型。

推动数字孪生技术在智慧水利中的应用, 加速建设具备“预报、预警、预演、预案”四预功能的流域和水利工程。这有助于相关部门更科学、精准地进行防洪、减灾、洪水调度等水安全处理。通过在灾害来临之前主动预防, 可以减少灾害对城市经济、人民生命和财产的影响, 促进新阶段水利的高质量发展。因此, 加速推进数字孪生技术在数字孪生流域和智慧水利工程中的应用势在必行。

基金项目

陕西地建集团内部科研项目(DJNY-YB-2023-22, DJNY-YB-2023-27, DJNY-YB-2023-23, DJNY-YB-2023-32)。

参考文献

- [1] 钱峰, 周逸琛. 数字孪生流域共建共享相关政策解读[J]. 中国水利, 2022(20): 14-17+13.
- [2] 蔡阳. 以数字孪生流域建设为核心构建具有“四预”功能智慧水利体系[J]. 中国水利, 2022(20): 2-6+60.
- [3] 郭正扬, 徐希涛, 孙腾, 等. 融合数字孪生技术的湖泊环境保护研究[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(10): 57-61.
- [4] 黄立锴. 浅谈数字孪生技术在智慧水利工程中的应用[J]. 珠江水运, 2022(16): 46-48.
- [5] 李国英. 加快建设数字孪生流域提升国家水安全保障能力[J]. 水利建设与管理, 2022, 42(9): 1-2.
- [6] 江如春, 沈芳芳, 张歆. 南水北调数字孪生泵站工程建设思路探讨[J]. 水利建设与管理, 2022, 42(9): 8-11.
- [7] 梁静波, 杨振奇, 杜儒林, 等. 基于数字孪生的水利工程运维研究进展与探索[C]//2022(第十届)中国水利信息化技术论坛论文集. 莆田: 河海大学出版社, 2022: 358-363.
- [8] 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.
- [9] 郭华, 储梦溪, 何莉. 智慧水利感知体系建设思路初探[J]. 水利建设与管理, 2022, 42(9): 3-7.
- [10] 张以晓. 论数字孪生技术与智慧水利建设[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(7): 180-183.
- [11] 边晓南, 张雨, 张洪亮, 等. 基于数字孪生技术的德州市水资源应用前景研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(6): 79-90.
- [12] 方桂林. 真抓实干 智能赋能 奋力谱写江苏智慧水利建设新篇章[J]. 江苏水利, 2022(S1): 24-27.
- [13] 李春俊. 崂山水库数字孪生流域系统建设研究[J]. 治淮, 2022(5): 38-39.

- [14] UINO 优锆科技数字孪生研究院. 数字孪生八要素[R]. 北京: UINO 优锆科技数字孪生研究院, 2022.
- [15] 钱名开. 以数字孪生淮河建设引领淮河保护治理事业高质量发展[J]. 中国水利, 2022(8): 36-38.
- [16] 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.
- [17] 廖晓玉, 高远, 金思凡, 等. 松辽流域智慧水利建设方案初探[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(2): 40-43+53.
- [18] Wang, Z.K., Jia, W.N., Wang, K.N., *et al.* (2022) Digital Twins Supported Equipment Maintenance Model in Intelligent Water Conservancy. *Computers and Electrical Engineering*, **101**, Article ID: 108033.
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108033>
- [19] 华陆韬, 朱灿, 薛苍松, 等. 基于 BIM+GIS 技术的水利工程数字孪生系统应用研究[J]. 浙江水利科技, 2022, 50(6): 14-17.
- [20] 宋利祥, 张炜, 田兆伟, 等. 西枝江流域数字孪生与防洪“四预”体系建设与探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(7): 12-18.
- [21] 徐瑞, 叶芳毅. 基于数字孪生技术的三维可视化水利安全监测系统[J]. 水利水电快报, 2022, 43(1): 87-91.
- [22] 刘志明. 以 BIM 技术促数字赋能 推进智慧水利工程建设[J]. 中国水利, 2021(20): 6-7.
- [23] 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.
- [24] 李英华, 原立格. 信息化背景下 5G 通信技术对智慧水利建设的作用分析[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(6): 132-133.