

# 数字孪生技术赋能水利工程建设管理路径探索

张新

塔里木河流域和田河水利管理中心

DOI:10.12238/etd.v6i1.11729

**[摘要]** 随着信息技术的快速发展,数字孪生技术作为一种新兴的数字化手段,已经开始在水利工程建设和管理领域展现出其独特的价值和潜力。本文旨在探讨数字孪生技术如何赋能水利工程建设管理,以及在这一过程中可能遇到的挑战和应对策略。通过分析数字孪生技术的基本原理和特点,结合水利工程的特殊需求,本文提出了一系列创新的管理路径,旨在提高水利工程建设效率和管理水平,确保工程质量和安全,同时为水利工程的可持续发展提供技术支持。

**[关键词]** 数字孪生技术; 水利工程建设管理; 实践路径

中图分类号: TV 文献标识码: A

## Exploring the Path of Empowering Water Conservancy Engineering Construction Management with Digital Twin Technology

Xin Zhang

Tarim River Basin Hetian River Water Conservancy Management Center

**[Abstract]** With the rapid development of information technology, digital twin technology, as an emerging digital means, has begun to demonstrate its unique value and potential in the field of water conservancy engineering construction and management. This article aims to explore how digital twin technology empowers water conservancy engineering construction management, as well as the challenges and response strategies that may be encountered in this process. By analyzing the basic principles and characteristics of digital twin technology, combined with the special needs of water conservancy projects, this article proposes a series of innovative management paths aimed at improving the construction efficiency and management level of water conservancy projects, ensuring project quality and safety, and providing technical support for the sustainable development of water conservancy projects.

**[Key words]** digital twin technology; Water conservancy engineering construction management; Practical Path

### 引言

在当今快速发展的科技时代,数字孪生技术作为一种前沿的创新技术,已经开始在水利工程建设管理领域发挥其独特的作用。通过构建水利工程的数字孪生体,可以实现对真实世界中水利设施的全面模拟和实时监控,从而为工程管理提供更为精准和高效的决策支持。本文旨在探讨数字孪生技术如何赋能水利工程建设管理,通过分析其在该领域的应用现状、存在的制约因素以及潜在的技术路径,为未来的水利工程建设管理提供新的思路和方法。

#### 1 数字孪生赋能水利工程建设管理的制约因素

##### 1.1 底板数据支撑能力不足

数据是数字孪生系统的基础,其质量和规模直接决定着数字孪生模型的精度和效用。目前,我国水利工程领域的的数据资源开发利用程度不高,基础数据的采集渠道不畅、处理分析能力不

强,难以满足数字孪生平台构建的需求。

一是水利工程涉及众多专业和环节,不同系统、不同阶段产生的工程数据分散于各业务板块,缺乏统一规范和共享机制,数据孤岛问题突出。许多感知设备陈旧落后、布设不均,部分数据仍依赖人工采集,时空覆盖不完备,难以支撑全工程、全周期、全要素的数字孪生映射。二是水利工程数据具有来源多样、体量庞大、多尺度动态变化等特点,对数据治理提出了较高要求。传统的数据分析模型主要基于机理或统计方法,在处理海量异构数据时捉襟见肘。虽然大数据、人工智能等新技术为数据分析注入了新动能,但由于缺乏行业知识的融合,算法模型难以充分挖掘数据价值,解释和预测能力不足。此外,水利工程数据的采集、存储、交换尚无统一标准,不同系统间的语义表达差异较大,数据质量参差不齐,极大增加了数字孪生平台的集成难度。综上,数据基础薄弱已成为制约数字孪生水利工程建设的技术瓶颈。

### 1.2 制度支撑与政策保障还有待提升

制度政策是数字孪生技术落地应用的重要保障。近年来,国家高度重视数字孪生在工程建设领域的创新实践,出台了一系列支持性政策,为其发展营造了良好环境。然而,针对数字孪生在水利工程建设管理中的具体应用,尚缺乏系统性、操作性较强的法规制度。现行的水利工程建设管理体系是在传统模式下形成的,许多政策规定已不能适应数字化转型的新形势新要求。数字孪生涉及感知、建模、仿真、控制等诸多环节,在数据汇聚、平台架构、系统集成等方面缺乏统一规范和标准,容易出现技术选型不当、模型失真等问题,影响应用效果。

### 1.3 数据安全保证体系仍未建立

随着数字孪生系统承载的数据日益增多,覆盖工程建设全生命周期的各类敏感信息,其安全问题日益凸显,成为事关水利工程建设管理的大问题。

一是数字孪生平台高度依赖网络,数据在采集、存储、传输、处理等环节极易受到黑客攻击、病毒入侵等外部威胁,一旦核心数据外泄或被恶意篡改,将对工程建设管理造成难以估量的损失。水利工程事关国计民生,是关键基础设施和重要国家战略资源,数据安全直接关系到工程运行乃至国家安全。二是由于水利工程的专业性和复杂性,数字孪生平台开发、系统部署、模型训练需要众多参与主体共同完成,供应链条长、外包环节多,供应商管理不当也可能引发数据泄露。当前,水利工程领域在数据全生命周期的分类分级管理、重要数据脱敏处理、平台开发运维等方面尚缺乏有效的管控机制和安全评估机制,难以全面识别和防范各种安全风险。新技术新应用不断涌现,数据处理和共享需求日益增长,数字孪生系统面临的攻击面进一步扩大,现有的单点防护手段和事后处置难以为继,迫切需要建立纵深防御、主动免疫的立体化安全保障体系。

### 1.4 资金保证渠道还需要拓展

数字孪生是一项涉及多领域前沿技术的复杂系统工程,需要持续的资金投入作为支撑。从顶层规划、技术研发到平台建设、后期运维,每个环节都需要大量资金保障。目前,大部分地方政府财政是水利工程建设的主要资金来源,专项资金额度有限,难以满足数字孪生的建设需求。以某市旱情监测建设工程为例,2020年,全省投入了2955.63万元,在全省范围开展了400个固定土壤墒情监测站点,其中,新建347个,原址重建48个,迁建5个。目前,站点全部正常运行,也获取了系列监测数据;但没有后续资金,干旱数字模型还未建立,对干旱发展趋势的智能分析及预案的制定还不足,仍需后续的资金投入。

同时,数字孪生技术迭代升级较快,前期投入风险大,配套的金融服务水平不高,缺乏针对性的投融资产品,虽然数字孪生水利工程的综合效益显著,但直接经济效益不明显,商业银行等社会资本参与意愿不高,民营企业参与水利投资的积极性不强,导致投融资渠道单一,难以吸引更多社会资本参与。此外,由于缺乏统一的建设标准和应用规范,一些地方盲目追捧新技术,重复建设、资源浪费现象不在少数,资金使用效率不高。加之软硬

件更新换代频繁,后期运行维护成本较高,进一步加重了地方财政负担。

## 2 数字孪生赋能水利工程建设管理的技术路径探索

### 2.1 开展智能感知与信息监测建设

高质量的数据是数字孪生的根本,完备及时的数据采集是其应用的前提。水利工程涉及规划、勘测、设计、施工、运维等多个阶段,数据量大、维度多、动态性强,对全时空感知提出了较高要求。应依托数字化测绘、物联网、视频监控等技术手段,构建覆盖水利工程全域、贯穿建设全过程的智能感知体系。通过在工程现场广泛布设多类型传感设备,并利用卫星遥感、无人机倾斜摄影等技术获取空间影像数据,可实现对工程现场的全面感知与实时监测。在数据汇聚方面,要突破传统的烟囱式数据采集模式,统筹规划,建立横向到边、纵向到底的一体化感知网络,将分散于不同业务系统的各类工程数据进行标准化整合,消除数据孤岛,打通数据壁垒,为后续的数字孪生应用奠定坚实基础。在数字化映射方面,通过BIM、3D GIS、激光扫描等技术,构建水利工程及其地理环境三维模型。在此基础上,利用虚拟现实、增强现实等新兴显示技术,实现对数字模型的沉浸式展示和人机交互,使工程管理人员能够身临其境地观察工程实体,及时发现隐患。

### 2.2 优化当前水利工程建设管理体系

水利工程建设涉及规划、设计、施工、监理、运行等多个参建主体,管理链条长、协调难度大。传统的多头管理、条块分割的弊端日益显现,管理效率低下,资源配置不合理,已成为制约工程高质量发展的突出问题。数字孪生技术通过构建统一的工程数字模型和管理平台,为实现水利工程建设精细化、协同化、扁平化管理提供了有力抓手。在数字孪生平台上,各参建主体可基于统一的工程数据和业务规则开展工作,打破了传统的“一亩三分地”格局。通过BIM等信息化手段,工程设计、施工、管理等各环节可实现无缝衔接,设计变更、技术交底、进度管控、安全管理等重要信息能够及时传递共享,大幅提高了协同效率。管理人员可利用平台提供的可视化管理工具,对工程全生命周期的各项数据进行集中监控,及时协调解决各类问题,减少返工和资源浪费。平台还可基于大数据分析、知识图谱等技术,智能分析海量工程数据,挖掘其中的关联规律,优化资源配置,指导科学决策。例如,通过对设计模型、施工方案、设备材料、人员组织等要素的系统集成和动态优化,平台可自动生成最优施工组织计划,并实时监控执行偏差,确保工程进度、质量、成本等目标的实现。同时,管理人员可利用平台的仿真推演功能,模拟工程建设全过程,优化工艺流程,预判风险隐患,制定应对预案,从而在工程建设的每个环节实现精准管控。

### 2.3 构建综合高效的水利工程运维管理平台

水利工程建成后,如何实现精细化、智能化的运行维护管理,是事关长治久安的重大课题。数字孪生技术以其虚实交互、仿真优化等独特优势,为破解传统运维管理模式的种种难题提供了新的解决方案。构建集工程监测、健康诊断、风险预警、辅

助决策等功能于一体的数字孪生运维平台,通过采集各类传感监测数据,并与工程三维模型、运行机理模型等深度融合,实时评估工程的健康安全状态。当监测数据发生异常时,系统可自动预警,并结合仿真分析快速定位故障原因,制定检修方案,指导运维人员及时处置,有效规避重大风险事故。在水资源调度管理方面,数字孪生平台集成大数据分析、知识推理等人工智能技术,可充分挖掘水文、工况等多源异构数据的关联规律,形成优化调度知识库和策略库。基于实时监测数据和机理模型,平台可模拟工程在不同情景下的运行状态,并对比分析各调度方案的经济效益、生态效益、社会效益等,辅助管理人员制定最优调度决策,在确保工程安全的前提下,最大限度地发挥效益。在防洪抗旱等应急事件处置中,平台可及时接收和分析雨情、水情等监测预警信息,并通过智能算法快速生成风险分布图和预案库,为科学调度和应急救援提供决策支持,最大程度减轻灾害损失。

数字孪生运维平台的应用,充分整合了工程监测、健康诊断、调度优化、应急管理等业务功能,实现了全要素感知、全过程分析、全场景仿真、全域化治理的智慧化运维管理,为提升水利工程综合管理和防灾减灾能力提供了强大助力。

#### 2.4 数字技术赋能水利工程基础设施建设

数字基础设施是数字经济时代的关键支撑,是传统基础设施数字化、网络化、智能化改造提升的必由之路。作为传统基础设施的重要组成部分,水利工程应顺应新一轮科技革命和产业变革趋势,适应数字孪生发展需要的新型基础设施要求,为行业数字化转型升级提供坚实支撑。一是要统筹规划智能感知设施建设,推动传感器、边缘计算、北斗导航等技术在水利工程领域的融合应用,打造空地一体化的立体感知网络,实现工程运行状态的全时空动态监测。二是要建设水利工程大数据中心、智能算法平台、工程知识图谱等数字底座,促进水利行业数据资源的汇聚共享和深度利用。三是要强化智能基础设施的集成创新应用,深入推进水利工程与新一代信息技术的跨界融合,开发基于5G、人工智能等技术的智能感知、智能分析、智能预警、智能调度等系统,提升工程建设管理的数字化、网络化、智能化水平。四是要加强跨行业跨领域的数据共享和业务协同,充分发挥

水利基础设施的社会经济效益。通过数字孪生平台接入国家电网、气象、应急等部门的数据接口,强化部门间信息共享和联动指挥,提高防灾减灾和应急处置的时效性和精准性。同时,打通水利工程与智慧城市、数字政府等信息系统,实现数据互联互通,创新公共服务模式,更好满足人民群众在防洪、供水、生态等方面的需求。加快推进水利工程的新型基础设施建设,是提升水利现代化管理水平的重要基石,对于破解资源环境约束,推动经济社会高质量发展具有重要意义。

### 3 结束语

综上所述,在数字孪生技术赋能水利工程建设管理的路径探索中,我们不仅要面对技术上的挑战,还需克服管理和政策上的难题。通过智能感知与信息监测建设,我们可以实时掌握水利工程的状态,为决策提供有力支持。同时,优化现有管理体系,构建综合高效的运维管理平台,将进一步提升水利工程的运行效率和安全性。数字技术赋能水利工程基础设施建设,更是为水利事业的可持续发展注入了新的活力。未来,需要持续加强技术研发,完善相关政策制度,强化数据安全保障,并拓宽资金来源,以推动数字孪生技术在水利工程建设管理中的广泛应用。

### [参考文献]

- [1]张玉华.基于数字孪生技术的水利工程安全管理系统构建[J].水上安全,2023,(14):49-51.
- [2]蔡运忠,程扬,梁爱萍,等.数字孪生水利工程建设管理平台研发及应用[J].水利发展研究,2023,23(08):19-23.
- [3]孙伟.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J].山西水利,2023,(05):51-53+61.
- [4]彭金波.浅谈数字孪生技术在水利工程运行管理中的现状分析与前景展望[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(33):166-168.
- [5]于慧瑛.基于数字孪生技术的水利工程运行管理体系构建措施[J].大众标准化,2022,(15):27-29.

### 作者简介:

张新(1988—),男,汉族,河南新野人,大学本科,工程师,研究方向:水利工程运行管理。