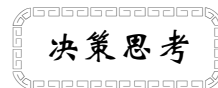


文章编号:1007-7596(2022)07-0180-04

# 论数字孪生技术与智慧水利建设

张以晓



(黑龙江省水利工程建设监理公司, 哈尔滨 150040)

**摘要:**数字孪生技术是本世纪新兴的工业4.0标志性技术创新成果,近十年来发展迅猛。数字孪生技术为智慧水利建设提供解决方案,数字孪生流域和数字孪生水利工程建设是推动新阶段水利高质量发展的实施路径和最重要标志之一。

**关键词:**数字孪生;智慧水利;数字孪生流域;数字孪生水利工程

**中图分类号:**TV211.3

**文献标识码:**B

DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2022.07.066

## Discussion On Digital Twinning Technology and Intelligent Water Conservancy Construction

ZHANGYi-xiao

(Heilongjiang Provincial Water Conservancy Project Construction Supervision Company, Harbin 150040, China)

**Abstract:** Digital twinning technology is the landmark technological innovation of industry 4.0 in this century, which has developed rapidly in recent ten years. Digital twinning technology provides solutions for intelligent water conservancy construction, digital twinning watershed and construction of digital twinning water conservancy project is one of the most important ways to promote high-quality development of water conservancy in the new stage.

**Key words:** digital twinning; intelligent water conservancy; digital twinning hydraulic engineering

## 1 数字孪生的定义与发展历程

### 1.1 数字孪生的定义

数字孪生在业界关注和研究时间不长,其概念和内涵目前没有统一的定义。标准化组织、学术界、企业等机构对数字孪生定义表述不完全一致,相信随着数字孪生研究和实践不断深入,人们赋予数字孪生的定义将更加科学准确。

更多研究者趋向把数字孪生(Digital Twin)定义为“充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,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”<sup>[1]</sup>。

### 1.2 数字孪生的发展历程

有人认为数字孪生是美国密歇根大学教授 Micheal Grieves 博士最早提出的。Micheal Grieves 博士于2014年发表数字孪生白皮书《Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication》,文章中追溯自己曾经在2002年密歇根大学 PLM 中心一次演讲中提及类似数字孪生相关概念、在2003年一次高管培训会议上提出了“物理产品的数字等同体或数字孪生体概念”,但这种说法缺少书面的文献或资料佐证。

2010年美国国家航空航天局(NASA)在《Model-

[收稿日期]2022-07-15

[作者简介]张以晓(1964-),男,山东文登人,工程师。

ing, simulation, information technology & processing roadmap》中详细说明了对于航天器数字孪生的定义和功能,首次书面提出实现“数字孪生”路线图的草案,但正式版直到2012年才发表。与此同时,美国空军研究实验室(AFRL, Air Force Research Laboratory)其结构力学部门的 Pamela A. Kobn/n 和 Eric J. Tuegel 于2011年3月作的题目“Condition - based Maintenance plus structural integrity (CBM + SI) & THE Airframe Digital Twin”(基于状态的维护+结构完整性&战斗机机体数字孪生)的演讲,明确提到了数字孪生。AFRL 希望实现战斗机维护的数字化,而数字孪生是他们想出来的创新方法。2012年, NASA 的 Glaessgen 和 AFRL 的 Stargel 合作发表了一篇文章“The Digital Twin Paradigm for future NASA and U. S. Air Force Vehicles”,共同提出了未来飞行器的数字孪生体理想模型,以应对未来飞行器高负载、轻质量以及极端环境下服役更长时间的需求,文章对数字孪生第一次进行了学术定义。

2011年左右德国西门子也紧跟着研究数字孪生,将其列入德国工业4.0战略。西门子工业软件在2016年开始尝试利用数字孪生体来完善工业4.0应用,到2017年底,西门子工业软件正式发布了完整的数字孪生体应用模型,成为第一个数字孪生实践者

2015年左右国内包括北京航空航天大学数字孪生研究组和工业4.0研究院在内多家国内研究机构和企业纷纷启动了数字孪生相关的研究课题。

2017年北京航空航天大学数字孪生研究组发表国内首篇数字孪生车间的文章,牵头和全国10多所高校共同发起首场数字孪生会议,并于2018年提出了数字孪生五级模型。同年中国信息通信研究院发布《数字孪生城市研究报告(2018年)》。

2019年10月16日,工业4.0研究院发起设立数字孪生体联盟(Digital Twin Consortium, DTC)并启动了“数字孪生体2020+计划”(Digital Twin Next 10 Years Initiative)。

2020年5月25日全国高校首家数字孪生技术应用联合实验室落户于常州大学。

2020年11月工信部电子技术标准化研究院发布《数字孪生白皮书》提出数字孪生将广泛应用于工业、城市管理、交通、健康医疗等垂直行业。

数字孪生技术的实践远早于数字孪生术语的定

义,因为缺少可追溯性记录因此研究者关于发展历程特别是在交叉时段上发生的事件存在着不完全一致的表述。

## 2 数字孪生的要素、构架与特征

### 2.1 数字孪生的要素

UINO 优锆科技总结指出数字孪生包括八大要素<sup>[2]</sup>:

- 1)元模型:用来定义标准。
- 2)唯一映射:确定孪生体与物理体对应关系。
- 3)数据:确保孪生体能够反映物理体的状态。
- 4)接口:能够让应用程序消费。
- 5)反向控制能力:确保数字体能够操控物理体。
- 6)可视 & 交互:人能够通过孪生体认知和管理物理体。
- 7)仿真:能够通过自然规律来推演。
- 8)分析能力:可以基于数据和算法模型进行诊断和预测。

### 2.2 数字孪生的架构

在《数字孪生应用白皮书2020》中指出数字孪生生态系统由基础支撑层、数据互动层、模型构建与仿真分析层、共性应用层(行业应用层)组成。

有的研究者指出数字孪生系统主要有4个实体层级:

- 1)数据采集与控制实体,包括感知、控制、标识等技术,承担孪生体与物理对象间上行感知数据的采集和下行控制指令的执行。
- 2)核心实体,依托通用支撑技术,实现模型构建与融合、数据集成、仿真分析、系统扩展等功能,是生成孪生体并拓展应用的主要载体。
- 3)用户实体,以可视化技术和虚拟现实技术为主,承担人机交互的职能。
- 4)跨域实体,承担各实体层级之间的数据互通和安全保障职能。

### 2.3 数字孪生特征

1)虚实映射。数字孪生技术要求在数字空间构建物理对象的数字化表示,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。在实时传感等技术的基础上进行多元数据的获取,孪生体可全面、精准、动态反映物理对象的状态变化,有外观、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覆盖孪生对象从设计、生产、运营到报废的全生命周期,孪生体应随孪生对象生命周期进程而不断演进更新。

4) 闭环优化。孪生体最终目的是在描述物理实体内在机理的基础上,分析规律、洞察趋势,通过分析仿真对物理世界形成优化指令或策略,实现对物理实体决策优化功能的闭环。

### 3 智慧水利建设

#### 3.1 智慧水利的内涵

智慧水利是新时期水利事业发展科技进步的显著标志,以水利科学和信息化技术为支撑,通过应用云计算、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,用数字化、网络化、智能化形式表现产业融合成果,为全面提升水资源管理、保护、监督能力和水安全保障能力以及推动新阶段水利高质量发展提供重要路径和水利数字孪生技术平台。

智慧水利具备空间全域化、时间序列化、过程自动化、应用智能化、管理一体化、决策科学化特征。

数字孪生技术是智慧水利建设的关键技术。

#### 3.2 引领智慧水利建设政策文件

1) 2021年11月水利部发布《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》提出要加快建设数字孪生流域和数字孪生工程,强化“四预”功能。表达积极参与智慧水利工程建设,利用数字孪生技术助力实现治水为民、兴水惠民愿景。

2) 2022年1月国家发展改革委、水利部印发《“十四五”水安全保障规划》明确指出加强智慧水利建设,提升数字化网格化智能化水平。

3) 2022年2月水利部研究推出《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》、《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》、《水利业务“四预”基本技术要求(试行)》等体系文件,为当前和今后一段时期内开展数字孪生流域、数字孪生水利工程和水利智能业务应用建设提供技术指导。

4) 2022年3月25日水利部李国英部长在《人民日报》发表“推动新阶段水利高质量发展全面提升国家水安全保障能力”署名文章,提出推进智慧水利建设,以数字化、网络化、智能化为主线,全面推进算据、算法、算力建设,加快建设数字孪生流域、数字孪生水利工程。

#### 3.3 智慧水利建设近期目标

1) 目标:按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求,以数字化、网络化、智能化为主线,以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径,以构建数字孪生流域为核心,全面推进算据、算法、算力建设,加快构建具有预报、预警、预演、预案(简称“四预”)功能的智慧水利体系,为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。

2) 数字孪生流域:国家“十四五”规划纲要明确提出“构建智慧水利体系,以流域为单元提升水情测报和智能调度能力”。对目标流域内河流的上下游、左右岸、干支流以及相关水域水利建设的工程体系、影响范围、经济社会要素等现实条件进行数字化,打造具有“四预”级孪生平台,形成二维图像图表和三维仿真模型对物理模型进行数字映射展示,包括水利枢纽、泵站、水闸、堤防、灌区、蓄滞洪区等各类水利工程及其配套和辅助设备数字化场景的还原。

3) 数字孪生水利工程:数字孪生水利工程主要围绕防洪安全、精准调度、运行安全管理、工作管理和综合决策等开展建设,充分利用水工模型数据,传感器更新水文数据和环境数据,卫星、GPS、雷达、无人机、摄像机、语音通讯等收集的影像、地理高程、气象、移动视频、视频监控、指挥等数据,采取数字孪生技术分析和仿真,不仅提升洪水预报、调度方案预演模拟精度,而且实现洪水预报、防洪预警、工程调度等数字化场景下全过程模拟预演及预案决策;显著增强水安全管理感知能力,提升水利工程运行管理的智慧化模拟、精细化管理与科学化决策水平。

数字孪生大藤峡工程是全国水利行业首个正式开工建设的数字孪生水利工程,是“十四五”期间水利部优先选择的12个重点水利工程开展数字孪生水利工程建设之一。

### 4 存在问题

2021年3月23日王敏、王子玥在中国社会科学网-中国社会科学报发表《积极消解数字孪生技术发展中的现实隐忧》的文章,指出数字孪生应用中存在标准体系缺乏、虚拟模型真实性、孪生数据安全性的隐忧问题并提供了相应的消解路径,须引起足够重视。

### 5 结语

数字孪生技术契合了我国以信息技术为产业转型升级赋能的战略需求,数字孪生技术与各产业的

深化融合有力推动产业数字化、网络化、智能化发展进程,成为产业变革的强大助力,具有广阔的应用空间和发展前景。

### 参考文献:

[1]陶飞,戚庆林,张萌,等. 数字孪生及车间实践[M]. 北

京:清华大学出版社,2021:26-27.

[2]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.

(上接第151页)

影像数据处理后,输出可供地形图和管理范围线测绘的正射影像图(DOM)和数字高程模型(DEM),DOM和DEM的分辨率为0.1m。采用专业软件对DOM和DEM进行分幅,DOM和DEM的分幅标准和文件名应同地形图分幅一致,图幅尺寸为50cm×50cm正方形,绘制图幅接图表,接图表按真坐标绘制,绘制比例尺为1:50000。

#### 2) 水下地形测量:

水库水下地形采用多波束测深系统进行扫测、RTK配合测深仪或无人测量船测量。每次测深前、后在测区对测深仪进行现场比对,测前、测后所测改正数之差 $\leq 0.1\text{m}$ ;扫测主测线宜平行于等深线总方向,检查线垂直于主测线方向均匀布设;扫测间应重叠,其重叠宽度 $\geq$ 定位中误差的1.5倍。

在水深测量过程中,应实时监控测深数据的覆盖情况和测深信号的质量,发现覆盖不足或水深数据漏空,测深信号质量不满足精度要求等情况时应及时进行补测或重测;外业测量结束后,再次核实多波束测深系统的关键参数设置,做好数据转换工作。

在数据转换前,应正确选取测量船只配置文件、滤波参数,在确保数据完整的前提下剔除导航、水深等数据的粗差和数据抽稀,使得数据处理时的显示效果更合理;对经过数据处理后的数据进行检核,读取3-5个水深点的三维坐标值,以检验其正确性;根据测量面积、水深点总数、水下地形特征,合理设置构造DTM模型的参数,采用系统软件生成水下DTM模型,做到准确反映水下地貌总体趋势且不遗漏特征地形点;自动生成水下等深线,通过编辑和修改以获得最佳效果的水下地形图<sup>[4]</sup>。

#### 3) 地形图内业绘制:

地形图采用EPS三维测图软件绘制,数字文件

格式为AUTOCAD格式。地形图采用《国家基本比例尺地图图式第一部分:1:500 1:1000 1:2000地形图图式》(GB/T 20257.1—2017)标准绘制,地形图中各类地理要素的符号应符合图式要求。地形图中各类地理要素的测绘和取舍应符合国家基本比例尺地图图式第一部分:1:500 1:1000 1:2000地形图图式》(GB/T 20257.1—2017)和《水利水电工程测量规范》(SL197—2017)第6.2.6、6.2.7、6.2.8条款的要求。

### 4 结 语

综上所述,为了更合理的开发水资源,保证水利工程安全稳定运行,必须对水库陆上、水下地形有一个全面的了解,由此对水库地形图测绘工作提出了更高的要求。目前,我国测绘技术在处于一个日新月异的快速发展状态,测绘自动化、智能化的实现为水库地形图测绘工作的开展提供了重要支撑,在实际测绘工作中需根据具体情况合理选择测绘技术方法,通过多种方法联合应用,获得全面的、精确的测绘数据,为水库工程建设与运行提供可靠保障。

### 参考文献:

- [1]王合玲,胡云云,廖丽霞,等. 水陆空三位一体测绘技术在山塘水库库容测绘中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(06):211-214.
- [2]袁晨历,杨昆仑. 倾斜摄影测量技术在王家咀水库灌区地形图测绘中的应用研究[J]. 地下水,2020,42(03):109-110,155.
- [3]邵占宇. 大伙房水库及浑河1:2000水下地形测量项目的开展[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(05):185-187.
- [4]贺立捧. 现代测量技术在德江观音滩水库工程中的综合应用[J]. 黑龙江水利科技,2015,43(03):19-21.