

数字孪生技术在水利工程中的实践与应用

朱 敏^{1,2}, 施闻亮²

(1. 江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200; 2. 江苏省引江水利水电设计研究院, 江苏 扬州 225200)

摘要: 介绍数字孪生技术在水利工程中的实践与应用, 从实际应用的角度阐述了要实现水利数字孪生需要具备的条件、数字孪生技术在水利工程中的作用、根据现存自动化系统进一步搭建数字孪生等, 并就数字孪生技术未来在水利系统中实际应用的发展方向。

关键词: 智慧水利; 数字孪生技术; 自动控制; 软件; 水利工程

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7839(2022)Sup2-0081-05

Practice and application of digital twin technology in water conservancy engineering

ZHU Min^{1,2}, Shi Wenliang²

(1. Jiangdu Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China;

2. Jiangsu Water Conservancy and Hydropower Design Institute, Yangzhou 225200, China)

Abstract: This paper introduces the practice and application of digital twin technology in water conservancy engineering, and expounds the conditions needed to realize digital twin of water conservancy, the role of digital twin technology in water conservancy engineering, and further construction of digital twin based on existing automation systems from the perspective of practical application. And the development direction of the practical application of digital twin technology in water conservancy systems in the future.

Key words: smart water; digital twin technology; automatic control; software; water conservancy engineering

随着计算机、信息大数据和网络 5G 技术的高速发展, 各类无人机设备与软件仿真技术也获得了广泛的应用, 在各类行业出现了大量利用计算机系统进行仿真替代的技术和应用成果, 各种物理对象开始逐步实现镜像至虚拟空间, 在此基础上, 很自然地出现了数字孪生这一概念。

数字孪生技术在水利上应用虽起步较晚, 但目前已经是水利工程信息化研究的热点。借助数字孪生技术, 实时仿真监控全面感知运行状态可充分发挥工程效益, 数字孪生技术的趋势推演功能将提升水利工程深度分析水平, 将大幅提高水利工程现代化管理水平。如何更好地融合物理世界和虚拟

世界的实时交互, 将是未来一段时间水利工程生命周期管理方面一个非常值得探索和研究的方

1 数字孪生技术简介

1.1 定义

数字孪生(Digital Twin), 简称 DT, 也被称为数字映射、数字镜像, 是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^[1]。简单地说, 就是利用安装在物理空间中的大量传感器, 在数字世界中建立一套与物理实体性能完全一

收稿日期: 2022-11-01

作者简介: 朱敏(1978—), 女, 高级工程师, 本科, 主要从事水利工程自动化及其运行管理工作。E-mail: 15559602@qq.com

致的克隆孪生体。这个在信息化平台上运行的孪生体结合各类实时数据及历史运行经验,不仅可以实现与物理实体的同步和动态仿真,同时可以进行趋势推演和分析,反过来作用于物理实体,模拟、验证、预测、控制水利工程的全生命周期。

1.2 数字孪生技术的发展

数字孪生这一理论最早在2011年由美国国防部提出^[2],经过多年发展,设计、工业、医学、工程等各类领域均已认识到其巨大的经济价值和社会价值,开展了如火如荼的研究。全球最具权威的IT研究与顾问咨询公司Gartner连续3年将数字孪生评选为十大策略科技趋势,“数字孪生”正在成为工业4.0、工业互联网的热门议题及重要技术。

近几年中国开始启动“数字孪生”相关课题研究,并将其在智慧城市管理、工业制造、基建工程等领域开展广泛试点应用,并取得令人欣喜的成果。

1.3 数字孪生流域建设

国家十四五规划中明确提出“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”。水利部相继出台了《数字孪生流域建设技术大纲》《数字孪生水利工程技术导则》《水利业务“四预”功能基本技术要求》《数字孪生流域共建共享管理办法》等文件,快速推进数字孪生流域的建设工作。

目前我国水利行业首个数字孪生水利工程——大藤峡数字孪生水利工程正式开工建设,拉开了中国水利数字孪生流域建设的帷幕。与此同时,水利部大力推进数字孪生流域建设先行先试工作,计划用2年左右时间在大江大河重点河段、主要支流、重要水利工程中,加强数字孪生、物联网、大数据、人工智能、5G等技术与水利业务深度融合,做到边建边用、以点带面,打造一批可推广可复制的成果和经验,以实实在在的成效支撑和驱动新阶段水利高质量发展。目前长三角地区多个数字孪生流域建设先行先试项目已通过审核或启动。在江苏,数字孪生秦淮河、数字孪生江苏太湖地区典型水网工程、数字孪生沂沭泗水系(江苏部分)、数字孪生水网(南通城区)被列入水利部先行先试项目。

2 数字孪生在水利领域的应用

2.1 水利系统数字孪生的条件

数字孪生是对实体对象或过程的数字化复制,能够实现贯通复杂产品设计、制造、维护等全生命周期业务过程的数字空间和物理空间信息的双向

共享交互和全面追溯^[3]。水利数字孪生系统要做到真正的智能化,不仅要以逼真的视觉呈现、全面的业务展示为支撑,还需要具备详实的数据集成,将水利管理活动历史经验数据串联其中,构建水利系统的感知状态及逻辑体系,实现水流域运行的全流程监控、事件影响范围分析及故障分析、定位、预测及优化,支撑智慧水利辅助决策,助力水行政执法、水利工程管理、水文系统管理等水事活动智能化监管。

2.2 水利系统数字孪生的作用

以1座位于长江支流的普通水闸为例,其主要功能为排涝或引潮,主要任务是根据各类工况和上级防汛办公室要求开启闸门。十几年前对于此类闸门运行工作主要是依赖专业运行值班人员的经验,借助设备读取当前上下游水位,结合水文观测了解未来潮水走向,根据上级发出的流量要求预估开启闸门的时间节点、开启高度和开启孔数等。而维修工作则主要靠技术人员的日常观察,例如听取机器运行时发出的声响,定期检查仪表、钢缆等,发现故障开展大修。这些工作看似简单,实则非常考验操作人员的工作经验,经验不足的操作人员稍不注意可能会造成在引水工况下倒流、水文变潮时操作不及时等意外状况,轻则需要多次操作修正闸门开高来满足流量要求,重则会发生安全事故。

现在则可以使用数字孪生技术建立一套虚拟系统,用机器完成技术人员的工作,实现物理实体、空间建模、历史数据、水利流程等要素的数字化模拟。孪生系统可基于三维地理信息系统打造,不仅可实现系统范围内配电柜、PLC柜、闸门、清污机、网络等设备的电气参数量、设备状态量、视频等实时数据的信息调阅,同时生成主接线图、闸门平面示意图、水位报表、操作报表、报警报表、操作审批单、设备台帐等各类管理信息。最重要的是可根据水位、水文、气象物理要素综合考虑,将水利治理管理活动全过程映射至同步仿真,根据实时工况生成水情智能分析,实现调度方案智能推荐。在满足现场条件的情况下,可直接发送命令,实现无人值班、少人值守。在维修养护方面,除了可以不间断监控设备数据,出现故障及时报警外,输入一定周期的运行维护历史数据后还可以提前预测故障,提醒技术人员提前更换设备或进行保养,减少意外状况的发生从而减少损失。

针对水利流域性项目,则以上述基层闸站为单元,水利知识为驱动,通过平台绘制全流域孪生体,

实时接入全要素数据,形成一套覆盖全流域的监测感知体系,实现流域及工程全生命周期可视化及水利系统可控可预测,最终增强洪涝灾害风险应对管理能力,全面发挥水利工程防洪减灾效益。

3 水利数字孪生系统的搭建

3.1 可视化业务平台

完成可视化业务展示平台,只需罗列项目中参与控制及辅助监测的实际设施部件,通过实时视频、模拟运行图等可视化浏览手段,实现控制指令发送和数据交互,从而对整个项目的网络、监控、监视、报警、消防等系统实现集中管理。

模拟1座于2005年完成施工的小型套闸的运行情况。整个模拟运行系统(图1)是以图形技术动态模拟现场运行实况,实时显示上下游及闸室水位、闸门当前开度、电压电流值等;在系统中可实现闸门的自动开关控制、交通灯控制、手自动切换等功能。同时系统会自动采集水位、闸门开度并计算流量及各特征值,并对相关数据进行历史性存储以供分析。

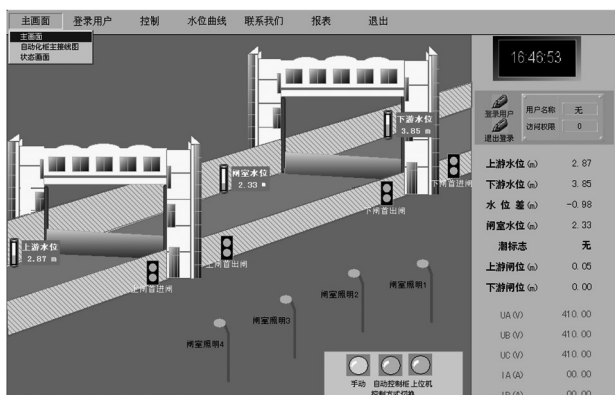


图1 小型套闸模拟运行系统

展示1座于2009年完成施工的变电站主接线情况,针对变配电系统采用主接线图(图2)显示实时动态,可给现场运行值班人员提供直观清晰的人机界面,形象地反映工作流程中的实时数据。运行过程中可根据需求生成各类运行管理的班报、日报、月报和年报表,同时完成报警、历史数据、历史趋势曲线的存储、显示和查询。

对于基层中小型水电工程,需要控制的元素有限,使用频率较高,加上现场控制工作人员的专业性限制,上述可视化平台很好地解决了自动化升级问题。此类系统经过近20年的发展已积累了丰富的经验,发展非常成熟并大量应用于各类水利工程

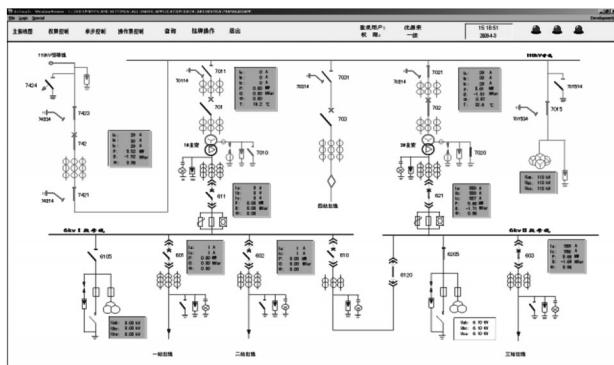


图2 变电站的变配电系统主接线情况

中,可以称之为智慧水利平台的初代雏形,实现了信息标准化,是数字孪生发展的骨骼和地基。

3.2 智慧水利一张图

针对大中型水利枢纽和流域性工程,上述的综合可视化平台就显得捉襟见肘,不能满足要求,此时就需要对第一代可视化业务展示平台进行汇总和升级,打造“智慧水利一张图”,将管理过程全要素信息体现在一张图上,宏观地观测一个流域性工程的当前工况,为水政、水文、运行管理等人员提供决策参考。

模拟汇总1座2012年完成施工的大型水利枢纽的集中监控展示界面(图3),从展示界面可以直观地观测到当前枢纽所属的4座大型电力抽水站、12座大中型水闸以及输变电工程、引排河道的运行状态、开启台/孔数等情况。点击具体的水工项目名称,就可进入对应的监控界面,实现对水泵、闸门、电气设备、辅机设备、各类水工建筑物等的数据采集、存储、分析和控制。

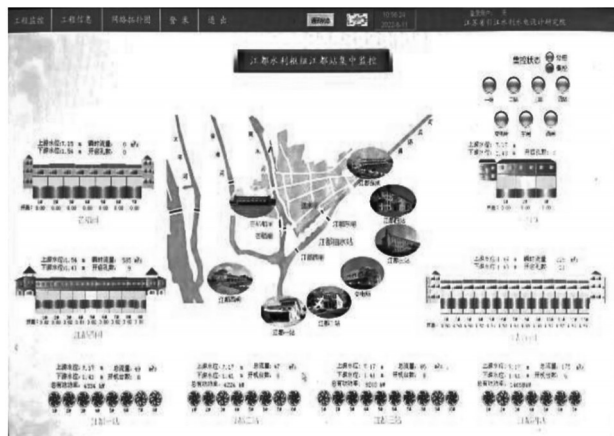


图3 大型水利枢纽的集中监控展示界面

模拟1座2018年完成施工投入运行大型水利枢纽的模拟驾驶舱(图4),此类界面主要针对大型

枢纽或流域性项目,在集中监控展示界面的基础上加入三维GIS地理信息系统软件进行实时场景化展示,采用所见即所得的方式复刻实际场景,可实现地理信息底图、水工建筑、水系、高程、道路等的三维可视,再通过从整体到个体、从水流域到具体工程、从项目到详细设备的逐级下钻,实现与物理工况的无缝对接。



图4 大型水利枢纽的模拟驾驶舱

上述类似系统针对小流域枢纽项目的运行管理特点,研发了集三维仿真、水情测报、水质监测、水情预报、自动监控、视频监控、综合信息平台为一体的智能调度业务展示平台,节省了大量数据采集处理的时间,实现了流域数据的自动更新和计算,为经验丰富的运行管理人员提供了坚实有力的数据支撑。管理人员只需充分发挥专业优势和管理能力,针对数据开展分析并发布操作指令,大大提高了工作效率。该项目经过几年的运行实践,系统稳定可靠,效果良好,具有良好的实用价值和应用推广前景,研究成果达到了国内领先水平。“一张图”近几年在联合调度、河湖管理等工作中发挥了巨大作用,可以称之为智慧水利平台的升级,实现了系统整体化,是数字孪生发展的血肉和框架。

3.3 智能化趋势推演

在实现完整的视觉呈现、全面的业务展示后,数字孪生具备了骨骼和血肉,剩下最重要也是下一步重点研究的环节,即如何给这数字孪生系统装上“大脑”,实现决策智能化,把水利数字孪生系统打造成为具有“人类思维”的智能系统。

首先需要采集足够多的数据,即建设数据底板。以前的“智慧水利一张图”大部分都是二维平面系统,或者只有地形起伏的简单三维数据展示系统,流域的管理、规划等工作与现场真实环境往往

是脱节的。要想真正实现决策智能化,需要采集参与运算的数据的量级和难度相较于传统建模将呈指数级增长,只有充分考虑每一个可能会产生蝴蝶效应的元素,才能在实际运行中最大可能地避免敏感性偏差,达到预计效果。在水利数字孪生中,基础设施(电气、机械、辅机、气、地质等)、变量元素(水文、气象、消防、水质、建筑、植被、人员等)都会或多或少影响水利系统的运行及维修决策,需要通过传感器、摄像头以及各类子系统采集调取,然后通过包括5G在内的物联网技术传递到云端,实现全域数据归集。

其次是针对实体对象根据不同用途、场景和应用效果,构建不同的数字孪生体,在可以采集到的海量数据中,寻找和提取有价值的信息参与后台处理以便做出相对精准的预测。把历史经验数据、天文潮数据和气象潮数据与水利系统运行相融合,将详实的数据集成、水利管理活动串联其中,构建水利系统的感知状态及逻辑体系。

目前各类智慧水利项目根据工程现状和工控需求,在小范围里做出了一些有益的尝试和实践,让水利设施变得聪明起来。一座中型水闸常年承担配合里下河涝水、自流引江水入里下河、排泄淮河洪水等重要职责,启闭动作非常频繁。过往需要投入大量的人力物力进行上下游水位及潮汐进潮水量的监测,所以是否能够做到自动、高效、稳定运行的意义重大。开发的自动感潮系统(图5)建立了智能化调度模型,结合引排水工况、引排水流量、闸门安全启闭的孔数和开度、上游水位、下游潮水涨落等信息进行综合预报。系统在开放权限的前提下可自主完成全自动启闭闸门,真正实现了无人值班、少人值守。目前本系统已成功实施并稳定运行,为小流域数字孪生的实现奠定了坚强的技术保障。

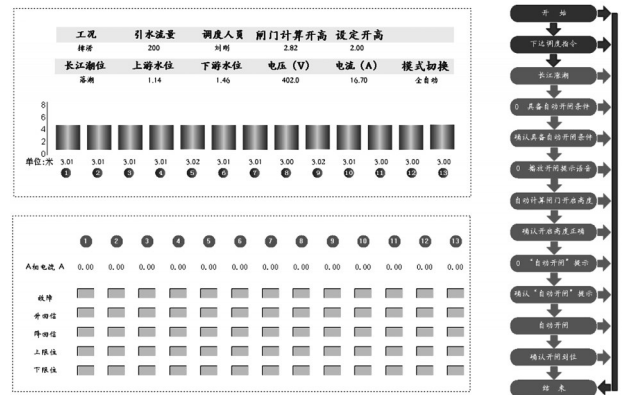


图5 中型水闸的自动感潮系统

在实现了小范围单体水利设施的“小聪明”后,以点带面,片区联动,整体推进,就像整合拼图一样,由浅入深最后实现水流域运行的全流程监控。这是最考验系统部署人员的工作,需要丰富的水利管理经验作为支撑,充分考虑各个单体项目之间的相互干扰,进行影响分析并开展预测及优化,构建水利系统的感知状态及逻辑体系,实现外部形态、内部机理和运行关系等方面的整体抽象描述,最终实现支撑智慧水利辅助决策,实现水利系统的“大智慧”。

4 体会和建议

水利系统数字孪生的智能首先要感知、建模,然后才是分析推理。相比于工业制造短暂的“产品生命周期”,水利项目的“生命周期”更长,数字孪生部署的任务就相对更复杂,但由此带来的防洪减灾社会效益回报也更大。

智能化趋势推演功能是数据孪生区别于过往自动控制系统的核心,需要围绕防洪抗旱、水资源管理与调配等主要业务,对水流域进行充分的研究和全要素的数字化仿真。如果考虑不全面,则很容易出现敏感性偏离,导致推演不准确,反而不利于水流域安全运行。

当一个新兴技术进入某个行业,是否具有真实世界的行业知识、懂不懂行业痛点往往是技术导入成功与否的关键。水利系统数字孪生同样如此,它不仅仅是单纯的大数据,需要针对和水利相关的全元素不断地进行学习、适应及改变,所以部署系统需要具有丰富水利运行管理经验的人员深度参与。

5 结 语

建设数字孪生流域,原则是坚持需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力,目标是实现数字化场景、智慧化模拟、精准化决策,核心任务是加强算据、算法、算力建设^[6]。只有实现物理实体、空间建模、历史数据、水利流程、管理活动等要素全过程的数字化模拟,才能真正实现智慧水利体系迭代优化,实现高效管理。

参考文献:

- [1] 于勇,范胜廷,彭关伟,等. 数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨[J]. 航空制造技术,2017(7):41-45.
- [2] 张新生. 基于数字孪生的车间管控系统的设计与实现[D]. 河南:郑州大学,2018.
- [3] 耿建光,姚磊,闫红军. 数字孪生概念、模型及其应用浅析[J]. 网信军民融合,2019(2):60-63.