

数字孪生技术在都江堰灌区现代化管理中的应用探讨

贾海容^{1,2} 刘君¹ 梁琪² 伍建霖² 周翔² 干亚飞² 何秦川² 文骞²

1.西南石油大学土木工程与测绘学院; 2.四川省都江堰水利发展中心人民渠第一管理处

DOI:10.12238/jpm.v4i10.6324

[摘要] 随着数字孪生技术的不断发展和大规模应用,如何充分利用数字孪生技术,推进都江堰灌区管理的数字化水平,这已经成为都江堰灌区管理现代化研究的重要方向。数字孪生作为虚拟世界和实现世界数据实时交互的有效方式,得到了广泛的重视。运用数字孪生技术,对灌区管理进行理论融合分析,构建灌区运行管理数字孪生系统,增强灌区管理的信息整合能力、分析研判能力、智能决策能力和快速执行能力。开展数字孪生技术在都江堰灌区管理中的应用研究,对提升灌区管理现代化水平,保障灌区水利工程平稳运行并持续发挥效益,助力经济社会发展和服务乡村振兴战略具有重要意义。有助于补齐灌区管理短板,提升灌区管理水平,同时为灌区数字孪生技术研究提供支撑,并为全国其他灌区数字孪生技术建设提供参考借鉴,具有很强的实践意义和研究价值。

[关键词] 数字孪生技术; 灌区管理; 应用探讨

The application of digital twin technology in the modern management of Dujiangyan Irrigation Area

Jia Hairong^{1,2} Liu Jun¹ Liang Qi² Wu Jianlin² Zhou Xiang² Gan Yafei² He Qinchuan² Wen Qian²

1. School of Civil Engineering and Surveying and Mapping, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500;

2. The First Management Office of People's Canal, Dujiangyan Water Conservancy Development Center, Sichuan Province, Chengdu 611930

[Abstract] With the continuous development and large-scale application of digital twin technology, how to make full use of digital twin technology and promote the digital level of management in Dujiangyan irrigation area has become an important direction for the research of management modernization in Dujiangyan irrigation area. Digital twin, as an effective way to realize the real-time interaction of world data, has been widely valued. Using digital twin technology, the theoretical fusion analysis of irrigation area management is conducted, the digital twin system of irrigation area operation management is constructed, and the information integration ability, analysis and judgment ability, intelligent decision-making ability and rapid execution ability of irrigated area management are enhanced. The research on the application of digital twin technology in the management of Dujiangyan irrigation area is of great significance to improving the modernization level of the irrigation area, ensuring the smooth operation and continuous benefit of water conservancy projects in the management of the irrigation area, helping the economic and social development and serving the rural revitalization strategy. It is helpful to make up the shortcomings of irrigation area management, improve the management level of irrigation areas, provide support for the research of digital twin technology in irrigation areas, and provide reference for the construction of digital twin technology in other irrigation areas in China, which has strong practical significance and research value.

[Key words] digital twin technology; management of irrigation area; application discussion

引言

都江堰灌区位于四川盆地西部,主要由成都平原区、岷江、涪江、沱江流域部分丘陵区及龙泉山低山区组成,现有干渠 4

0 条、分干渠 60 条、万亩以上支渠 272 条。灌区设计灌溉面积 1186.4 万亩。经过不断建设,灌区水利工程及配套设施不断完善,是我国灌区建设的典范之一。然而,时代在进步,灌区现

代化建设已经成为必然趋势。数字孪生技术作为一种新兴的数字化技术，能够实现灌区的数字化仿真，提高灌区水资源利用效率和生产效率。本文将探讨数字孪生技术在都江堰灌区中的应用，为实现都江堰灌区的现代化管理提供理论支持。

1 数字孪生技术概述

1.1 数字孪生技术定义

数字孪生技术是利用实物、实时信号、历史数据等基础数据，通过数据传输、数据分析、信号转换、数据整合等手段，集成多种类、多变量、多维度、多业态的全业态实时再现，在虚拟空间中完成映射，并反映现实物质的全生命周期过程。数字孪生是一种全新的概念，可以被视为一个或多个生态物质系统的数字映射。数字孪生技术不仅可以精确重现真实世界的物理现象和过程，还可以根据数字模型进行预测和优化。数字孪生技术现已经广泛应用于多个行业，基于大量的成功应用案例，数字孪生技术已经具备应用在大型灌区水利系统的条件。

简单来说，数字孪生就是在建立在一个设备或应用系统的基础上，创造一个数字版的可视可控制“克隆体”。这个“克隆体”，也被我们称为“数字孪生体”。它被创建在信息化基础平台上，是虚拟的。数字孪生是一个能适应多种不同场景的全新应用技术体系，可以在众多领域得到应用，目前在国内工程建设领域应用比较深入，在大型灌区工程控制中实际应用还不多，在智能制造领域关注度比较高、研究最热。

1.2 数字孪生系统的特点

1.2.1 大规模的多源数据整合

数字孪生一个很重要的特点是多源数据的融合。在实际运行过程中，各个行业、各种领域都会产生大量的基础数据，包括图形要素数据、实时检测数据、监测视频数据、BIM数据、传感器数据、商业分析数据、各类数据库等。数字孪生将这些看似没有任何关联的数据，经过数据处理生成系统需要的、可被系统识别的专用数据。

1.2.2 内核数据的驱动

数字化孪生系统就是通过内核数据驱动实现数字世界模型对象与物理实体对象之间的全面映射。其中作为数字孪生可视化决策系统的核心功能，内核级支持数据驱动在这个过程中发挥着不可取代的作用。通过该功能数字孪生将一个个简单的、孤立的数据转化为一个个图形符号，最后经过整合生成完整地数字模型系统。

1.2.3 可视化分析与决策支持

作为最有实际应用意义的被大量积极推广的帮助用户建立与真实大千世界相联系的数字孪生模型系统。在既有大量数据信息的基础上，经过系统内部数据处理转化，建立一系列决策模型，通过可视化界面，实现远程操控及实时数据反馈的可能。

1.3 数字孪生的作用

数字孪生技术通过帮助公司在产品研发、整体调试、系统测试、运行维护整个生命过程进行模拟，进而获得确定性结果。

当今时代信息飞速传播、强调“快速应对”、工业互联网广泛应用、智能制造凸显、服务至上，这样的场景会越来越多，仿真及真实信息的反馈已经越来越重要。在特定的场景下，数字孪生已经变得必不可少。

2 都江堰灌区现代化管理现状

都江堰灌区现代化建设涉及多个业务领域，工作内容复杂，建设周期漫长，人力、物力、财力耗费巨大，包括工程运行监视、水量调度管理、工程安全监测、工程巡检、设施设备运维等，各项工作都有很强的专业性和系统性，即分工细化又紧密联系，可以说牵一发而动全身。“十四五”期间，重大灌区水利工程的建设速度全面提升，都江堰灌区信息化范围不断扩张，相关业务的现实应用不断完善，显著提升了都江堰灌区管理信息化水平。但是和国家水利改革发展的总体要求及现代化发展需求相比，当前灌区现代化建设管理水平仍存在一些不足，主要表现在以下方面：

一是由于环境、网络、设备设施、交通、人员配备、资金等问题，都江堰灌区现代化管理存在数据采集自动化水平还比较低，数据采集还不够全面，数据的传输还不够智能，基础数据自动化采集系统还不够完善，人工作业采集的基础数据还占有相当的比例。

二是灌区基础数据共享不畅。灌区现代化建设管理各相关业务部门存在数据资源不对等、数据占有量与实际工作量大小不一致现象，各业务领域数据不通，大量信息孤岛存在不利于数据提取，无法充分利用现有先进技术进行数据整合、分析，就更谈不上数据的加工和再应用了。

尽管整个都江堰灌区的数字孪生建设尚处于起步阶段，但都发中心已经在渠首枢纽先行先试，目前已经初步建成了渠首数字孪生平台。在上述平台上，已基本能够实现对物理渠首全要素和运行全过程进行数字映射、系统模拟、精准预判。数字孪生平台可利用水动力模型对水资源调度方案的执行影响进行模拟，并在二三维数字场景下动态展示水资源调度的各个环节与水位流量演进全过程，为决策者提供直观、准确的辅助信息，有效提升水资源调度决策速度、精度。

作为一种新兴事物，数字孪生灌区建设在摸索推进过程中也有阻力，对于很多早已习惯于现行灌区运行模式的人来说，数字孪生灌区建设的意义还需进一步阐明。随着当前都江堰灌区服务功能不断拓展，粮食安全、城乡供水、生态环境等用水需求日益迫切，亟须转变管理思路，用现代手段和科技提升管理水平，而数字孪生灌区建设作为深化智慧水利建设的重要一环，有建设的必要性和紧迫性。

3 数字孪生技术构建设想

都江堰灌区水处理平台数字孪生技术的应用，以数据为核心，主要通过对调水、渠站、系统的数字化表达，利用互联网、人工智能等手段，实现水渠水量、实时流量、总体控制、排洪的数字化表达与控制及反馈的信息同步。操作人员通过画面实时监控，并通过判断不断变化的数据，通过阀门、闸门的控制，

进行调水、控水工作。具有统一、可信与易操控的显著特征。在灌区工程建设中,通过数字孪生对象,实现水渠信息、水体流量数据、闸门、阀门的一致和同步,方便对水流控制。通过数据分析,提升运行的可靠性。

3.1 数字环境构建

数字孪生技术的基础就是数字模型的生成,更多数据集的不断加入,克服了传统二维管理平台可视化程度较低的弊端,采用平台数字化底座建设和无人机倾斜摄影技术,开展灌区范围内的影像采集工作,搭建都江堰灌区数字环境,包括建设都江堰灌区地形、显著地貌、房屋、水利设施、各项管理设备等实景的数字化模型,实现数字化三维环境的搭建,作为工程相关数据的“底图”,打造基于“一张图”的都江堰灌区数字孪生蓝图。

3.2 数字模型构建

为满足都江堰灌区数字孪生模型数据要求,都江堰灌区数字孪生平台设计,在数字环境构建的基础上,基于灌区范围内已建、在建与新建水利工程,控制站点完成数字模型构建。其中,分别设计搭建都江堰灌区水渠、桥梁、站所模型等构建筑物。制定标准元件库和标准模块样式,搭配底层设计平台,实现底层全模块标准化设计,并生产实时动态画面。在工程数字化基础上,采用数字孪生技术,发布链接并上传到底层平台,实现Web端和移动端数据访问、共享及页面数据录入,从而导入数字孪生数据平台,生成实现监视预警控制为一体的灌区控制应用系统。

4 数字孪生技术在都江堰灌区现代化建设中的应用讨论

从业务应用需求出发,结合智能化数据采集技术手段,都江堰灌区可以设计一系列智慧应用系统,旨在实现都江堰灌区水利工程管理、水调运系统、运行监控系统和预警系统,精细化管理、实现灌区管理方式新突破。

4.1 完善都江堰灌区水利工程监控体系

在工程数字化的基础上,对设施资产进行智慧化应用。利用GIS + BIM 等信息技术,结合可视化技术手段,结合时空数据模式,构建一套三维可视化水利枢纽工程安全监管平台。提供灌区水系统、水调度、水渠管网、防洪设施、监测设备等设施管理以及海量底层数据资料的管理、浏览、查询和分析功能。为灌区工程设备设施的运行管理、模拟操控和供水调度提供基础数据支持。

4.2 设备运行状态精细化管理

基于数字孪生模型,将灌区现有的设备运行数据监控与管理业务系统数据融合,集中进行孪生可视化监视和管理,可动态直观地展示实时运营参数,实现水利枢纽工程对设备监控、设备的工作状态、设备的安全隐患、设备故障预警等信息进行远程可视化与风险预测;可根据目标累计流量、瞬时流量等要求,结合泵组性能、闸门情况以及上下游水位测量数据等信息,分析计算启泵数量、叶片角度、电机频率,或闸门开度、孔数

等参数;配合水利模型算法等技术,实现开停机组、启闭闸门等流程的智能管控,提升水旱灾害防御、水资源节约利用和优化调度等业务能力。

4.3 构建天空地一体化水利感知网

在工程数字化的基础上,利用信息采集技术,结合可视化技术手段,结合时空数据模式,构建一套三维可视化水利枢纽工程安全监管系统。通过系统实时数据反馈,根据目标累计流量、瞬时流量等要求,结合泵组性能、闸门情况以及灌区水渠水位测量数据等信息,分析计算启泵数量、电机频率,或闸门开度、孔数等参数;配合水利模型算法等技术,实现开停机组、启闭闸门等流程的智能管控,实现通过控制页面信息,实时了解掌握现场设备状态,远程操控设备达到理想控制状态。

结 论

数字孪生技术目前正处于高速发展中,数字孪生技术正在给越来越多的行业领域发展提质增效。充分利用数字赋能确保应用至上,实现目标实物的数字化场景、多样化模拟、智能化决策。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,才能真正实现灌区现代化管理体系迭代优化,实现高效管理。数字孪生灌区建设的最终目的是与物理灌区同步仿真运行、虚实交互、迭代优化,进而实现对物理灌区的实时监控、发现问题、优化调度。

本文针对当前灌区管理存在的问题,结合数字孪生技术,进行了两者在运行监视、水量统一调度管理等业务领域融合的理论研究。研究旨在提高灌区引调水工程运行管理中数据实时采集传输,增强灌区引调水工程运行管理的科学性和前瞻性,提高灌区引调水工程运行管理的信息化、可视化与智能化水平。本文通过对数字孪生技术在都江堰灌区现代化建设中的应用探讨,得出了数字孪生技术在都江堰灌区现代化建设中具有广泛的应用前景。

[参考文献]

- [1]曹倩.大型调水工程智能运行中心系统设计与应用[J].水利信息化,2022,1: 13.
- [2]卢建华,刘晓琳,张玉炳,等.基于数字孪生的水库大坝安全管理云服务平台研发与应用[J].水利水电快报,2022,43(1): 15.
- [3]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.
- [4]WANG Y B, WANG S, WANG J G. Digital twin model of equipment maintenance management in modern enterprises [C] / /Journal of Physics: Conference Series, 2021, Da li. DOI: 10. 1088 /1742 - 6596 / 1986 /1 /012088.
- [5]韩宇,杨波,彭程,等.数字孪生技术在FPSO智能化上的应用[J].船舶物资与市场,2021,29(8): 55 - 56.
- [6]CANADAY H. 数字孪生技术的关键在于数据[J].李韵,译.航空维修与工程,2019(10): 15 - 16.