数字孪生技术助力农田水利现代化建设的路径与模式研究

贾维宏

新疆峻特设计工程有限公司 新疆 喀什 844000

摘要: 本文探讨了数字孪生技术助力农田水利现代化建设的路径与模式。首先介绍了数字孪生技术及农田水利现代化建设内涵,分析了二者契合性。接着剖析了农田水利建设现状与需求,提出数字孪生技术在数据采集、虚拟模型构建、实时交互与动态模拟、优化决策与管理等方面的应用路径,以及全生命周期管理、协同共享、智能化运维等模式,为农田水利现代化建设提供新思路。

关键词: 数字孪生技术; 农田水利; 现代化建设; 全生命周期管理; 智能化运维

引言: 农田水利建设对农业发展至关重要,但当前存在设施老化、管理模式落后、新技术应用不足等问题。数字孪生技术作为新兴技术手段,具有数据模拟、实时监控、优化决策等优势,与农田水利现代化建设需求高度契合。研究数字孪生技术助力农田水利现代化建设的路径与模式,对提升水资源利用效率、增强灾害防御能力、实现智能化管理具有重要意义。

1 数字孪生技术与农田水利现代化建设相关理论

1.1 数字孪生技术概述

数字孪生技术以构建虚拟模型为核心,通过对物理实体全方位映射,实现虚拟与现实的双向交互。其核心原理在于将物理世界的实体、过程及行为,以数字化形式在虚拟空间中复现。依托建模技术,能够对农田水利设施,如渠道、泵站、水闸等进行精准三维建模,完整呈现其结构、尺寸及运行特性。数据采集与传输技术则是数字孪生运行的基础,借助各类传感器,对水位、流量、土壤湿度等物理量进行实时感知,再通过物联网、5G等通信技术,将采集到的数据快速、稳定地传输至虚拟模型中,确保虚拟模型与物理实体状态一致。数据处理与分析技术也不可或缺,对海量数据进行清洗、整合与深度挖掘,提取有价值信息;仿真模拟技术基于处理后的数据,对物理实体未来状态、运行趋势进行模拟推演,为决策提供依据,这些共同构成数字孪生技术的关键支撑。

1.2 农田水利现代化建设内涵

农田水利现代化建设以提升农业综合生产能力、保障水资源高效利用为目标。在灌溉系统升级方面,从传统大水漫灌向精准灌溉转变,提高水资源利用效率,满足作物不同生长阶段需水要求^[1]。防洪排涝能力提升也是重要内容,通过完善防洪工程体系,增强应对洪涝灾害的能力,减少灾害对农业生产及周边区域的破坏。农田

水利现代化建设还涵盖管理模式创新,从人工粗放管理向智能化、信息化管理迈进;设施建设标准提高,采用新材料、新技术提升设施耐久性与功能性;生态环境保护加强,在满足农业用水需求的同时,维护水域生态平衡,实现农田水利建设可持续发展。

1.3 数字孪生技术与农田水利现代化建设的契合性

数字孪生技术在农田水利建设中的数据模拟能力,能够构建复杂的水利系统模型,模拟不同工况下水流运动、水量分配,为水利工程规划设计提供直观参考。实时监控方面,通过传感器与虚拟模型联动,管理人员可随时掌握水利设施运行状态、农田墒情变化,及时发现异常情况。在优化决策上,数字孪生技术基于模拟与监控数据,对灌溉调度、防洪预案等进行多方案比选,分析各方案利弊,辅助制定科学决策。其优势还体现在能够实现对水利设施全生命周期管理,从建设初期设计优化,到运行阶段维护检修、故障预警,再到后期更新改造,都能提供精准数据支持与决策依据,有力推动农田水利现代化建设进程。

2 农田水利现代化建设现状与需求分析

2.1 农田水利现代化建设现状

当前农田水利设施建设已取得一定成果,基础网络初步搭建。众多灌区完成主干渠道硬化,减少输水过程中的渗漏损耗,小型农田水利工程在乡村广泛分布,为农业生产提供基础用水保障。然而,设施老化问题突出,部分早期建设的渠道、泵站运行年限长,混凝土剥落、设备锈蚀严重,输水能力下降,设备故障频发,维修成本不断增加。管理模式上,多数地区仍采用传统人工巡查、纸质记录的方式。管理人员需定期实地查看水利设施运行状况,记录数据后再录入系统,流程繁琐且效率低下。信息传递存在滞后性,一旦出现突发状况,难以及时响应处理。管理缺乏系统性与协同性,不同部

门之间职责划分不明确,在水资源调配、设施维护等工作上易出现推诿扯皮现象,无法形成管理合力,制约农田水利建设发展。在新技术应用方面,虽然部分地区引入了滴灌、喷灌等节水灌溉技术,但推广范围有限,传统大水漫灌方式仍占较大比例。智能化设备应用不足,缺乏对水利设施运行状态的实时监测手段,难以掌握设施运行的真实情况,影响设施效能发挥。

2.2 农田水利现代化建设需求

提高水资源利用效率成为迫切需求。随着农业生产规模扩大与水资源短缺矛盾加剧,改变粗放用水方式迫在眉睫。需要更精准的灌溉技术,依据土壤墒情、作物需水规律进行供水,避免水资源浪费,提升水资源利用效率,实现水资源可持续利用^[2]。增强灾害防御能力也是关键。极端天气频发背景下,洪涝、干旱灾害对农业生产威胁加大。要求完善防洪排涝体系,加强河道疏浚、堤坝加固,提升水利工程抗洪能力;建设抗旱应急水源工程,保障干旱时期农业用水需求,降低灾害对农业生产的损失。实现智能化管理是发展趋势。借助先进技术实现对水利设施远程监控、自动化控制,实时掌握设施运行数据,及时发现并处理异常情况。通过智能化管理系统优化水资源调配方案,科学制定灌溉计划,提高管理效率与决策科学性。同时建立信息共享平台,打破部门间信息壁垒,实现水利信息互联互通,促进各部门协同合作,推动农田水利现代化建设迈向新台阶。

3 数字孪生技术助力农田水利现代化建设的途径

3.1 数据采集与处理路径

数据采集是数字孪生技术应用的基础。利用传感器构建监测网络,在农田、渠道、水库等关键节点部署水位传感器、土壤湿度传感器、水质传感器等设备。水位传感器实时感知水体高度变化,土壤湿度传感器获取土壤墒情信息,水质传感器监测水体污染物指标,多类型传感器协同工作,实现对农田水利系统多维度数据采集。卫星遥感技术则从宏观层面补充数据,获取大范围地形地貌、植被覆盖等信息,辅助分析流域整体情况。无人机低空遥感可针对特定区域进行精细化数据采集,弥补卫星遥感分辨率不足的问题。采集到的数据需经过清洗、整合与分析。数据清洗环节,剔除错误、重复、缺失的数据记录,修正异常值。整合过程中,将来自不同传感器、不同时间的异构数据,按照统一的数据标准与格式进行转换与关联,形成结构化数据集。运用大数据分析技术对整合后的数据进行深度挖掘,分析数据间的内在关联,提取水位变化规律、土壤湿度与作物需水关系等有价值信息,为后续应用提供可靠数据支撑。

3.2 虚拟模型构建路径

构建农田水利设施数字孪生模型从地形地貌建模开始。基于卫星遥感影像、地形测绘数据,运用地理信息系统(GIS)技术,生成高精度的三维地形模型,还原区域地形起伏、高程变化等特征。水利工程结构建模时,依据工程设计图纸、施工资料,采用专业建模软件对渠道、水闸、泵站等设施进行三维建模,精确刻画其几何结构、尺寸参数以及内部构造。对于复杂的水利系统,还需建立系统运行模型^[3]。模拟水流在渠道中的流动过程,考虑水流速度、流量分配等因素;构建灌溉系统模型,分析不同灌溉方式下水分在土壤中的运移规律。将各部分模型进行集成,建立完整的农田水利设施数字孪生模型,并赋予模型物理属性与行为规则,使其能够真实反映实际系统的运行状态。

3.3 实时交互与动态模拟路径

实现数字孪生模型与实际物理系统实时交互,依靠物联网通信技术。传感器采集的数据通过无线网络实时传输至数字孪生平台,平台将数据映射到虚拟模型对应位置,更新模型状态,使虚拟模型与实际物理系统保持同步。控制指令也可从平台反向传输至实际设备,实现远程控制。例如,根据虚拟模型显示的水位信息,远程调节水闸开度,控制水流。通过模型进行灌溉模拟、洪水演进模拟等动态模拟。灌溉模拟时,输入土壤湿度、作物需水等参数,模型模拟不同灌溉方案下水分在农田中的分布与渗透情况,评估灌溉效果。洪水演进模拟基于实时水位数据与地形模型,模拟洪水在流域内的扩散路径、淹没范围,预测洪水发展趋势,为防洪决策提供直观参考。

3.4 优化决策与管理路径

基于数字孪生模型分析结果,为农田水利工程规划提供优化决策支持。在新工程选址阶段,通过模型模拟不同选址方案下的水流条件、工程建设成本,对比分析后选择最优方案。运行调度方面,依据实时监测数据与模型模拟结果,制定科学的水资源调配计划,合理分配不同灌区用水量,提高水资源利用效率。设施维护管理中,数字孪生模型可对水利设施运行状态进行评估,预测设备故障发生概率,提前制定维护计划,减少突发故障对系统运行的影响。针对不同的运行场景与问题,模型还可生成多种决策方案,并分析各方案的实施效果与潜在风险,为管理人员提供全面、科学的决策依据,实现农田水利系统的精细化、智能化管理。

4 数字孪生技术助力农田水利现代化建设的模式

4.1 全生命周期管理模式

在农田水利工程规划设计阶段,数字孪生技术构建虚拟模型对项目进行预演。通过整合地形、气候、水文等多源数据,模拟不同规划方案下水利设施的运行状态。例如,针对灌溉系统规划,可模拟不同渠系布局、泵站选址在不同水文年份的灌溉覆盖范围与水资源消耗情况,辅助设计人员从多个方案中筛选出最具经济性和实用性的规划设计,避免因前期规划不合理导致后续建设成本增加或功能无法满足需求。施工建设阶段,数字孪生模型成为施工过程的实时映射。将施工进度、材料使用、设备运行等信息实时同步至模型,管理人员通过模型直观掌握施工动态。一旦出现施工偏差,如实际进度滞后或材料用量异常,可迅速在模型中分析原因,调整施工方案。通过对比设计模型与施工过程中的实际模型,能及时发现施工错误,减少返工,保障施工质量与进度,降低建设成本。运营维护阶段,数字孪生技术持续发挥作用。模型实时接收水利设施运行数据,模拟设施性能变化与老化趋势。基于模拟结果,制定科学的维护计划,预测设备故障,提前储备维修材料、安排维修人员,避免因设备故障导致的灌溉中断或洪涝灾害应对能力下降,延长设施使用寿命,提升运营效率。

4.2 协同共享模式

农田水利建设与管理涉及政府部门、水利企业、农户等多个主体,数字孪生技术打破信息壁垒。建立统一的数据平台,各主体将自身掌握的农田水利数据,如政府部门的区域规划数据、水利企业的设施运行数据、农户的用水需求数据等上传至平台,形成完整的农田水利数据资源池。在数据共享基础上,实现协同管理与合作决策^[4]。当面临洪涝灾害预警时,政府部门依据数字孪生模型模拟的洪水演进路径,协调水利企业启动防洪排涝设施,同时通知农户做好防范准备;水利企业根据模型反馈的设施运行状态,及时调配资源进行设施维护与应急操作;农户通过获取的洪水预警信息,提前采取农田保护措施。不同主体借助数字孪生模型共享信息、协同行动,提升农田水利管理的整体效能,避免因信息不畅导致的决策失误与行动混乱。

4.3 智能化运维模式

数字孪生技术为农田水利设施状态监测提供新途径。在设施关键部位部署传感器,将水位、流量、设备振动等数据实时传输至数字孪生模型,构建设施的实时运行“数字镜像”。管理人员通过模型直观查看设施运行参数,一旦参数超出正常范围,模型立即发出预警,实现对设施运行状态的全方位、实时化监测。故障预警方面,基于历史数据与实时监测数据,数字孪生模型利用算法分析设施运行规律,预测潜在故障。例如,根据水泵运行时的电流、温度等数据变化趋势,提前判断水泵是否存在故障隐患,在故障发生前及时预警,提醒运维人员采取措施,降低故障发生概率与危害程度。智能维修环节,数字孪生模型为维修工作提供支持。当故障发生时,模型根据故障类型与位置,提供维修方案建议,包括所需维修材料、工具以及维修步骤。通过模型模拟维修过程,评估不同维修方案的效果与所需时间,辅助运维人员选择最优维修方案,缩短维修时间,提高设施修复效率,保障农田水利设施持续稳定运行。

结束语

数字孪生技术为农田水利现代化建设带来了新的机遇。通过数据采集、虚拟模型构建、实时交互与动态模拟等路径,以及全生命周期管理、协同共享、智能化运维等模式,可有效提升农田水利系统的水资源利用效率、灾害防御能力和智能化管理水平。未来,应进一步推广数字孪生技术在农田水利领域的应用,加强技术研发与创新,推动农田水利现代化建设迈向新高度。

参考文献

- [1]叶柱.农田水利灌区现代化改造工程施工组织设计[J].建筑·建材·装饰,2024(12):151-153.
- [2]张美玲.基于生态理念开展农田水利工程设计的研
究[J].建材与装饰,2023,19(23):151-153.
- [3]赵建林.农田水利工程管理与维护问题及有效措施[J].农业灾害研究,2023,13(07):281-283.
- [4]吴洪擎.农田水利工程智能管理与养护模式研究[J].农村经济与科技,2023,34(13):92-94.