

# 浅谈数字孪生灌区建设

黄润德

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 数字孪生灌区建设是现代水利管理的重要趋势,通过数字化技术模拟灌区实体,实现实时监测、智能分析与决策支持。本文探讨了数字孪生技术的定义、发展历程及其在灌区管理中的应用,分析了传统灌区管理模式的不足与数字化需求,介绍了数字孪生灌区系统的构建框架、关键技术与实现方法。重点讨论了水资源调度优化、工程安全监测预警及决策支持等应用场景,旨在展示数字孪生技术在提升灌区管理效率、保障水资源可持续利用方面的重要作用。

**关键词:** 数字孪生; 灌区建设; 应用场景

**引言:** 随着信息技术的飞速发展和水利行业的数字化转型,数字孪生技术逐渐在灌区管理中展现出巨大潜力。传统的灌区管理模式面临效率低下、资源浪费等问题,难以满足现代农业可持续发展的需求。数字孪生灌区建设通过实时数据采集、虚拟模型构建与智能化分析,实现了对灌区运行状态的精准模拟和高效管理。本文将深入探讨数字孪生技术在灌区建设中的应用,旨在为我国灌区管理的现代化转型提供有益参考和借鉴。

## 1 数字孪生技术概述

### 1.1 数字孪生技术的定义与核心要素

(1) 实时数据采集与传输。数字孪生技术是指通过数字化技术在虚拟环境中创建一个实体或系统的精确模型,以模拟和分析其在现实世界中的运行状态和行为。其首要任务是实时采集与监测物理实体的数据,这依赖于各类传感器的高效工作。数据通过本地网络、云平台、物联网等传输方式,确保数据的实时性和准确性,为后续建模提供真实、全面的基础。(2) 虚拟模型构建与实时同步。利用采集的数据,通过先进的建模技术,构建出数字孪生模型。这些模型需要具有足够的精度,能够准确还原物理实体的结构和行为。而实时仿真技术通过不断更新传感器数据,使数字孪生模型与物理实体保持同步,实时反映物理对象的状态,并及时更新数字模型。(3) 智能化分析与决策支持。数字孪生技术通过整合各种数据,运用机器学习、人工智能等前沿技术,对模型中的数据进行深度分析,提取关键信息,实现对物理实体行为的理解和预测。这种智能化分析不仅提高了决策的精确性,还增强了决策的科学性和可靠性。通过可视化工具,数字孪生还可以直观地展示物理对象,提高用户体验和交互性,为决策者提供直观、全面的支持。

### 1.2 数字孪生技术的发展历程与趋势

(1) 从制造业到水利行业的拓展。数字孪生技术起源于制造业,最初主要用于模拟和仿真,帮助优化生产过程。随着技术的发展,它开始被广泛应用于各个领域,如能源、交通运输、医疗健康以及水利行业等。在水利行业中,数字孪生技术可以用于水文预测、水资源管理、水利工程设计和运行管理等方面,为水利工程的运行、水资源的可持续利用提供科学依据。(2) 未来技术发展方向与潜在应用。未来,数字孪生技术将更加融合虚拟现实技术,使用户能够沉浸式地体验数字孪生模型,进一步提高交互性。此外,它还将促使不同行业间的数据共享与整合,实现跨行业、跨系统的综合应用。随着技术的不断成熟,数字孪生有望在智能家居、远程操控、智慧城市管理方法等未来智能化生活中发挥更大的作用,为人类社会带来更多惊喜与便利。

## 2 灌区工程数字化需求分析

### 2.1 灌区工程管理的现状与挑战

(1) 传统管理模式的不足。传统的灌区工程管理模式主要依赖于人工操作和经验决策,这导致了管理效率低下和资源浪费的问题。具体来说,传统模式缺乏实时数据支持,难以做到精准灌溉和合理调配水资源。此外,人工监测和记录数据的方式易受人为因素影响,数据准确性和可靠性得不到保障。(2) 灌区面临的复杂性与不确定性。灌区工程管理面临着复杂性和不确定性的挑战。灌区地理条件复杂,包括不同的土壤类型、地形地貌和气候条件,这些都对灌溉策略的制定和实施产生了影响。同时,灌区内的水资源状况也存在不确定性,如降水、河流来水等自然因素的波动,使得水资源管理更具挑战性。此外,灌区工程的运行和维护也面临着设备老化、维护成本高等问题。

### 2.2 灌区工程数字化的需求

(1) 智能化管理需求。为了提高管理效率,灌区工程需要实现智能化管理。通过数字化技术,可以实时监测灌区的各项数据,如土壤湿度、气象条件、灌溉用水量等,并通过算法模型对这些数据进行分析和预测,从而制定科学合理的灌溉策略。智能化管理还可以实现自动化控制,减少人工干预,提高灌溉精度和效率。(2) 数据共享与集成需求。灌区工程数字化还需要实现数据共享与集成。由于灌区管理涉及多个部门和单位,数据孤岛现象较为普遍。为了实现资源的高效配置和协同管理,需要打破数据壁垒,实现数据的共享和集成。通过构建统一的数据平台,将各部门的数据进行整合和统一管理,为灌区工程提供全面、准确的数据支持。(3) 实时监控与预警需求。实时监控与预警是灌区工程数字化的重要需求之一。通过安装传感器和监控设备,可以实时监测灌区的各项参数,如水位、流量、土壤墒情等。一旦发现异常情况或潜在风险,系统可以立即发出预警信号,提醒管理人员及时采取措施进行处理。这有助于预防灌溉事故的发生,保障灌区的安全运行<sup>[1]</sup>。

### 3 数字孪生灌区系统构建

#### 3.1 系统构建框架与流程

(1) 数据采集与集成。数字孪生灌区系统的构建始于数据采集与集成。这一过程旨在全面、准确地获取灌区内的各类信息,包括但不限于土壤湿度、气象条件、水资源分布、灌溉设备状态以及农作物生长状况等。为了实现这一目标,需要部署一系列传感器和监测设备,如土壤水分传感器、气象站、水质监测仪、视频监控摄像头等,它们构成了数字孪生灌区系统的“神经末梢”。采集到的数据需通过物联网(IoT)技术进行高效传输,确保数据的实时性和准确性。物联网技术不仅支持无线传输,还能实现设备间的互联互通,为数据的后续处理和分析提供了便利。数据集成则是指将来自不同来源、格式和协议的数据进行统一处理,形成标准化的数据集,为后续建模和分析奠定基础。(2) 虚拟模型构建与验证。在数据采集与集成的基础上,数字孪生灌区系统的下一步是构建虚拟模型。这一模型应能够准确反映灌区的物理特性、运行规律和动态变化,包括地形地貌、水文条件、灌溉网络、作物生长模型等。构建虚拟模型的过程通常涉及多学科知识的融合,如地理信息系统(GIS)、水文学、农业科学等。模型构建完成后,需进行验证以确保其准确性和可靠性。验证过程包括与实际数据的对比、模型参数的校准以及敏感性分析等。通过不断调整和优化模型参数,使虚拟模型与实际情况更加吻合,为后续的决策支持提供坚实的基础<sup>[2]</sup>。(3)

系统集成与功能实现。数字孪生灌区系统的最后一步是集成与功能实现。系统集成是指将数据采集、虚拟模型、数据处理与分析、用户界面等各个模块进行有机整合,形成一个完整的系统。在这一过程中,需要解决数据格式转换、接口设计、通信协议等技术难题,确保各模块之间的无缝衔接。功能实现则是指根据灌区管理的实际需求,开发相应的功能模块,如灌溉调度、水资源管理、作物生长监测、灾害预警等。这些功能模块应能够基于虚拟模型的数据分析结果,为用户提供智能化的决策支持。同时,用户界面设计也应注重易用性和友好性,使管理人员能够轻松上手并有效利用系统资源。

#### 3.2 关键技术与实现方法

(1) 物联网技术在数据采集中的应用。物联网技术在数字孪生灌区系统的数据采集环节发挥着至关重要的作用。通过部署各类传感器和监测设备,物联网技术能够实时采集灌区内的各类环境参数和作物生长信息。这些数据通过物联网网络进行传输,实现了数据的远程访问和实时共享。物联网技术还支持设备的远程监控和控制,使得管理人员可以随时随地了解设备的运行状态并进行必要的调整。此外,物联网技术还具有低功耗、高可靠性等特点,能够适应灌区复杂多变的自然环境,确保数据采集的连续性和稳定性。(2) 大数据与云计算在数据处理与分析中的角色。大数据与云计算技术在数字孪生灌区系统的数据处理与分析环节扮演着重要角色。大数据技术能够处理和分析来自灌区的大量数据,提取出有价值的信息和规律,为虚拟模型的构建和验证提供数据支持。云计算技术则提供了强大的计算能力和存储资源,使得数据处理和分析过程更加高效和灵活。通过大数据和云计算技术,可以对灌区内的灌溉需求、水资源分配、作物生长状况等进行实时监测和预测。这些分析结果能够为灌溉调度、水资源管理等提供科学依据,提高灌区管理的智能化水平<sup>[3]</sup>。(3) 人工智能算法在模型优化与决策支持中的作用。人工智能算法在数字孪生灌区系统的模型优化与决策支持中发挥着核心作用。通过机器学习、深度学习等人工智能技术,可以对虚拟模型进行持续优化和改进,提高其预测准确性和泛化能力。同时,人工智能算法还可以基于虚拟模型的分析结果和实时数据,为管理人员提供智能化的决策建议。在实现人工智能算法在模型优化与决策支持中的应用时,需要关注以下几个关键技术点:一是算法的选择和优化,需要根据灌区的实际情况和需求选择合适的算法,并进行参数调优和模型验证;二是实时数据处理和更新技术,需要实现数据的实时采集、处理和更新,以确保

模型的准确性和实时性；三是人机交互界面设计，需要设计直观易用的人机交互界面，使得管理人员能够方便地查看模型分析结果和决策建议，并进行必要的调整和控制。

#### 4 数字孪生灌区应用场景

##### 4.1 水资源调度与优化

在水资源日益紧张的今天，如何高效、合理地利用水资源成为灌区管理的重要挑战。数字孪生灌区系统在水资源调度与优化方面展现出巨大潜力。（1）实时水资源分配与调度。数字孪生灌区系统通过实时监测土壤湿度、降雨量、水位等关键数据，结合作物生长需水和灌溉制度，能够实现对水资源的精准分配与调度。系统能够根据实时天气预报和作物生长状况，智能调整灌溉计划，确保作物在关键生长期获得充足的水分，同时避免水资源浪费。这种基于实时数据的智能调度方式，大大提高了水资源的利用效率，降低了灌溉成本。（2）灌溉用水效率提升与水资源浪费减少。通过数字孪生灌区系统，管理者可以直观地了解灌区的灌溉用水情况，包括灌溉量、灌溉时间、灌溉频率等。系统能够分析灌溉用水效率，识别出浪费水资源的行为和环节，提出改进措施。例如，通过调整灌溉时间和灌溉量，减少深层渗漏和地表径流，从而降低灌溉水的损失。同时，系统还能智能识别作物的水分需求，实现精准灌溉，进一步提高灌溉用水效率。

##### 4.2 工程安全监测与预警

灌区工程设施的安全运行是保障农业灌溉的基础。数字孪生灌区系统通过实时监测关键设施的状态，为工程安全提供了有力保障。（1）关键设施实时监测与风险评估。数字孪生灌区系统能够实时监测水闸、泵站、渠道等关键设施的运行状态，包括水位、流量、压力等关键参数。通过数据分析，系统能够评估设施的安全风险，及时发现潜在的安全隐患。例如，当水位超过警戒线或泵站出现故障时，系统会立即发出预警信号，提醒管理者采取相应的应对措施。（2）工程事故预防与应急响应。通过数字孪生灌区系统，管理者可以实现对工程事故的提前预防和快速响应。系统能够模拟不同工况下

的工程运行状态，预测可能发生的事故类型和程度。一旦事故发生，系统能够迅速启动应急预案，提供救援指导和资源调配建议，最大程度地减少事故损失。

##### 4.3 决策支持与科学规划

数字孪生灌区系统为灌区管理者提供了基于数据的决策支持和科学规划工具。（1）基于数据的灌溉决策制定。系统能够根据实时数据和历史记录，分析作物的生长需求、灌溉效率和水资源状况，为灌溉决策制定提供科学依据。管理者可以根据系统的建议，调整灌溉计划、优化灌溉策略，确保作物的健康生长和产量的稳定提升。（2）工程设计与施工阶段的模拟与优化。在工程设计阶段，数字孪生灌区系统能够模拟不同设计方案对灌区运行状态的影响，帮助设计者优化工程布局、提高设施性能。在施工阶段，系统能够实时监测施工进度和质量，确保工程按计划顺利进行。通过模拟和优化，数字孪生灌区系统为工程设计和施工提供了科学指导和技术支持。

##### 结束语

综上所述，数字孪生灌区建设是水利行业顺应时代潮流、实现高质量发展的关键举措。通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术，数字孪生灌区不仅提高了水资源管理的效率和精准度，还为灌区工程的安全运行提供了有力保障。未来，随着技术的不断进步和应用场景的持续拓展，数字孪生灌区将在促进农业现代化、保障国家粮食安全等方面发挥更加重要的作用。我们应积极拥抱数字化转型，推动数字孪生灌区建设不断迈上新台阶。

##### 参考文献

- [1] 郁婷, 邹巍, 耿彬彬. 刍议数字孪生技术在智慧水利工程中的应用[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2023, (06): 59-60.
- [2] 张霞, 郭伟华, 袁轲, 等. 数字孪生欧阳海灌区关键技术研究与应用[J]. 水利信息化, 2023, (03): 24-25.
- [3] 史亚平, 王佳丽, 徐世雄. 数字孪生技术在智慧水利工程中的应用与发展阐述[J]. 城市建设理论研究, 2023, (24): 211-213.