

# 数字孪生灌区水资源调度管理平台研究

郭升军

自治区塔里木河流域乌鲁瓦提水利枢纽管理中心

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6056

**[摘要]** 在当前全球水资源日益紧缺的背景下,有效管理与利用灌区水资源显得至关重要。而我国作为农业大国,灌区灌溉占据了全国大部分的农业用水,但水资源利用效率相对较低,存在严重的供需矛盾。因此,研究数字孪生技术在灌区水资源调度管理平台中的应用,旨在通过引入先进的信息技术,提升水资源调度管理的精细化、智能化水平,实现水资源的可持续利用,具有深远的理论价值和实践意义。

**[关键词]** 数字孪生; 灌区; 水资源; 调度管理平台

**中图分类号:** TV213 **文献标识码:** A

## Research on the Digital Twin Irrigation Area Water Resources Dispatch and Management Platform

Shengjun Guo

Wuluwati Water Conservancy Hub Management Center in the Tarim River Basin of the Autonomous Region

**[Abstract]** Against the backdrop of increasingly scarce global water resources, effective management and utilization of irrigation water resources are crucial. As a major agricultural country, irrigation in irrigation areas accounts for the majority of agricultural water use in China, but the efficiency of water resource utilization is relatively low, and there is a serious supply-demand contradiction. Therefore, studying the application of digital twin technology in water resource management in irrigation areas aims to improve the refinement and intelligence level of water resource management by introducing advanced information technology, and achieve sustainable utilization of water resources, which has profound theoretical value and practical significance.

**[Key words]** digital twin; Irrigation district; Water resource scheduling; Management Platform

### 引言

数字孪生技术是一种先进的集成技术,它结合了物联网、大数据、云计算、人工智能等多学科知识,通过构建物理系统的虚拟镜像,实现对实体系统的实时监控、预测分析和优化控制。在灌区水资源调度管理平台中,这一技术的应用能够克服传统管理方式的局限,提高水资源利用效率,保障农田灌溉的科学性和可持续性。例如,通过高精度的三维建模,可以精确模拟灌区的地形、水系和农田分布,而实时数据的采集和融合则能动态反映水源变化和灌溉需求,为水资源调度管理的决策者提供实时、准确的信息支持。

### 1 灌区水资源调度管理现状与挑战

当前,灌区水资源调度管理面临着诸多挑战。随着人口增长和工业化进程的加快,灌区水资源的需求量急剧增加,但水资源的供应量却因气候变化等因素呈现出不稳定性。此外,传统的管理方式往往依赖人工经验,缺乏科学的定量分析,导致水资源利用效率低下,浪费现象严重。因此,如何实现水资源的精细化、智能化管理,提高利用效率,是当前灌区管理亟待解决的问题。

### 2 数字孪生灌区水资源调度管理平台构建

#### 2.1 平台架构设计

平台架构设计是构建数字孪生灌区水资源调度管理平台的核心结构。首先,平台需要一个基于云计算和物联网技术的基础设施,以实现海量水资源数据的实时采集和存储。这一阶段可能涉及如LoRaWAN等低功耗广域网技术,以覆盖广阔的灌区范围,收集包括流量、水质、气象等多维度数据。接下来,数据融合处理是关键,通过数据清洗、整合,形成统一的数据视图,为模型提供准确输入。同时,利用大数据分析和机器学习技术,可以挖掘数据间的潜在关联,提升预测精度。模型构建与仿真部分,将利用GIS和CFD等工具进行高精度的灌区三维建模,模拟水流动态。结合水文学、水力学原理,建立水资源调度模型,预测不同调度策略下的灌区状况。例如,通过历史数据分析,模拟在干旱季节如何优化配水以最大化灌溉效率。系统集成与可视化展示则将上述所有组件无缝连接,提供用户友好的交互界面。用户可以实时监控灌区状态,通过可视化图表理解复杂的水资源信息,快速做出决策。

## 2.2 数据采集与融合

在构建数字孪生灌区水资源调度管理平台的过程中,数据采集与融合是至关重要的基础环节。数据是平台的“血液”,它涵盖了从水源地、灌溉渠道到农田终端的全方位信息,如水位、流量、降雨量、土壤湿度等。这些数据需要通过各种传感器、遥感技术以及物联网设备实时、准确地采集,确保数据的时效性和真实性。同时,平台需要具备对异构数据的融合能力,将历史统计数据、气象预报数据、地理信息系统数据等多源数据进行有效整合,构建起灌区的数字孪生体。

此外,为了应对数据量大、数据类型复杂等挑战,平台可能需要采用大数据处理技术和云计算技术,进行实时或近实时的数据处理和存储。通过机器学习和人工智能算法,可以进一步挖掘数据的潜在价值,如预测水资源的供需变化,识别潜在的水资源浪费或污染问题,为精细化管理提供数据支持。

## 2.3 模型构建与仿真

在构建数字孪生灌区水资源调度管理平台的过程中,模型构建与仿真扮演着核心角色。模型是现实灌区的抽象化表示,通过收集历史灌溉数据、气象数据以及地理信息数据,构建包括水量平衡模型、水文模型和作物需水量模型在内的综合模型体系。例如,水量平衡模型可以精确计算出每个灌溉区域的供水量和耗水量,确保水资源的合理分配。

在仿真环节,这些模型被用于模拟不同灌溉策略下的水资源动态变化,以预测未来可能出现的水资源短缺情况。例如,当遭遇干旱年份时,平台可以通过模型仿真预测未来几个月的水量供应,为决策者提供科学的调度依据。此外,通过对比分析不同调度方案的仿真结果,可以优化灌溉计划,最大限度地提高水资源利用效率。因此,模型构建与仿真不仅为灌区水资源调度管理提供了强大的决策支持工具,也为应对水资源调度管理中的不确定性与复杂性挑战提供了新的解决思路,具有广阔的应用前景和研究价值。

## 2.4 系统集成与可视化展示

在构建数字孪生灌区水资源调度管理平台的过程中,系统集成与可视化展示是至关重要的环节。系统集成涉及将数据采集、模型构建、实时监测等多个子系统无缝融合,以实现整体功能的高效协同。这需要来自不同源头的数据进行标准化处理,确保数据的准确性和一致性。

可视化展示是平台与用户交互的关键,通过直观的图形界面,将复杂的水资源信息以易于理解的方式呈现。例如,可以利用GIS技术展示灌区的三维地形模型,并以颜色编码的方式显示不同区域的土壤湿度或作物需水量,帮助管理者快速识别潜在的水资源分配问题。

# 3 关键技术研究

## 3.1 高精度灌区三维建模

在构建数字孪生灌区水资源调度管理平台的过程中,高精度灌区三维建模是至关重要的一个环节。这一技术通过整合遥感、GIS、无人机等多种数据源,构建出与现实灌区高度吻合的

虚拟模型,为精细化管理提供强有力的数据支持。例如,可以利用高分辨率遥感影像,精确识别和建模灌区内的河流、渠道、水库、农田等水系和土地利用特征,确保模型的精度达到厘米级别,从而更准确地模拟水流动态和灌溉过程。

然而,高精度建模也面临一些挑战,如大数据处理能力、实时更新模型的需求以及对计算资源的高消耗等。因此,未来的研究需要进一步探索云计算、边缘计算等先进技术的融合应用,以提升模型构建和更新的效率,确保模型的实时性和适应性,更好地服务于灌区水资源的精细化管理。

## 3.2 实时水资源动态监测技术

实时水资源动态监测技术是数字孪生灌区水资源调度管理平台中的关键组成部分,它涉及对水资源的实时采集、处理和分析,以实现高效、精准的管理。通过部署各种传感器和监测设备,可以收集包括水量、水质、水位等多维度数据,确保对灌区水资源状态的全面感知。例如,可以设置在关键位置的水文站,实时监测河流、水库的水情变化,同时利用遥感技术获取大面积的水资源分布信息。这些数据将实时传输至云端平台,进行大数据分析,以揭示水资源的动态变化规律,为决策支持提供实时、准确的信息基础。

然而,实时水资源动态监测技术也面临着数据准确性、系统稳定性以及信息安全等方面的挑战。因此,未来需要进一步提高检测设备的精度,优化数据处理算法,同时强化系统的安全防护机制,确保数据的可靠性和安全性,以支撑数字孪生技术在灌区水资源调度管理中的广泛应用和持续发展。

## 3.3 智能调度算法研究

在数字孪生技术应用于灌区水资源调度管理平台的研究中,智能调度算法研究是核心组成部分。智能调度算法旨在通过优化算法,实现对灌溉水量的精确控制和高效利用。例如,可以结合遗传算法、深度学习或者强化学习等先进技术,构建能够动态适应环境变化和灌溉需求的模型。这样的模型能够处理大量实时监测数据,预测未来水资源的供需状况,并据此生成最优的灌溉调度方案,以最小化水资源浪费,同时保证农作物的灌溉需求。此外,对于算法的优化改进应持续进行,以应对不断变化的环境条件和管理需求,确保灌区水资源调度管理的科学性和可持续性。

## 3.4 安全性与可靠性保障机制

在构建数字孪生灌区水资源调度管理平台时,确保安全性与可靠性是至关重要的。这涉及对海量数据的保护,防止数据泄露或被篡改,以及保障系统在复杂环境下的稳定运行。安全性与可靠性保障机制,可以采用加密技术对敏感信息进行加密存储和传输,以抵御潜在的网络安全威胁。同时,需要建立数据备份与恢复机制,以应对可能的系统故障或灾难性事件,确保服务的连续性。

在模型构建与仿真过程中,应引入不确定性分析,考虑到灌区环境的动态性和不确定性,如降雨量的波动、作物需水量的变化等,以提高预测和决策的稳健性。此外,通过引入容错设计,

即使在部分组件失效的情况下,系统也能保持基本功能,降低因设备故障导致的管理中断风险。

#### 4 平台功能模块设计

##### 4.1 灌区信息管理模块

灌区信息管理模块是数字孪生灌区水资源调度管理平台的重要组成部分,主要负责对海量的灌区基础数据、实时监测数据以及历史统计数据进行高效、有序的管理。这一模块需要集成GIS技术,以图形化方式展示灌区的地理分布、水利工程设施、作物种植结构等静态信息,同时,结合物联网设备收集的水源量、土壤湿度、气象参数等动态数据,构建起一个动态更新、实时响应的数字灌区模型。通过数据挖掘与分析,可以识别出影响水资源利用的关键因素,为决策支持提供科学依据。

##### 4.2 水资源模拟预测模块

水资源模拟预测模块是数字孪生灌区水资源调度管理平台的核心组成部分,它基于历史数据和实时监测信息,运用先进的数学模型和机器学习算法,对未来的水资源供给、需求和变化趋势进行科学预测。这一模块需要整合气候学、水文学、农田水利学等多个领域的知识,构建多因素、多尺度的动态预测模型。例如,可以利用年均降雨量、地下水位、作物需水量等数据,预测未来灌溉周期内的水量供需状况,为决策者提供科学依据。同时,通过对比分析不同情景下的模拟结果,可进一步优化水资源调度策略,提高灌溉效率,确保灌区的稳定供水和生态安全。

##### 4.3 调度决策支持模块

调度决策支持模块是数字孪生灌区水资源调度管理平台的关键组成部分,旨在为管理者提供科学、精准的决策依据。该模块结合了模型预测、实时数据分析以及优化算法,能够对灌溉周期、水量分配、节水策略等关键问题进行智能优化。例如,模块可以集成历史灌溉数据,通过机器学习算法预测未来灌溉需求,确保在保障农作物生长的同时,最大限度地减少水资源浪费。此外,结合实时监测的水位、流量等数据,模块能够动态调整调度方案,应对突发的气象变化或设备故障。在实际应用中,这一功能已在某大型灌区得到验证,通过智能调度,有效提高了水资源利用效率,并降低了管理决策失误,充分体现了技术的创新价值和实际效益。

##### 4.4 应急管理 with 风险防控模块

在应急管理 with 风险防控模块中,将重点研究如何利用数字孪生技术对灌区可能发生的突发事件进行快速响应和有效管

理。这一模块将集成监测数据、历史事件记录以及风险评估模型,以预测潜在的水资源危机,如干旱、洪水、水质污染等。例如,通过大数据分析历史的灌溉数据,可以预测在特定气候条件下可能出现的水资源短缺情况。同时,利用机器学习算法,模块能够持续学习和更新风险评估模型,提高预测的准确性和及时性。

为了确保应急响应的科学性和有效性,还将结合专家知识建立风险防控策略库,包括标准化的应急预案和定制化的管理建议。这将帮助灌区管理者在面对复杂、多变的环境挑战时,能够迅速做出最佳决策,最大程度地减少灾害对水资源和农田的影响,实现可持续的水资源调度管理。

#### 5 结束语

综上所述,数字孪生技术在灌区水资源调度管理平台中的应用,通过引入先进的信息技术,提升了水资源调度管理的精细化、智能化水平,对实现水资源的可持续利用具有深远的理论价值和实践意义。同时,构建的数字孪生灌区水资源调度管理平台,通过高精度的三维建模、实时数据采集与融合、智能调度算法和安全性保障机制,为灌区水资源调度管理提供了强大的决策支持工具,具有广阔的应用前景和研究价值。

#### [参考文献]

- [1]胡静宁,梅粮飞,苏楠,等.青铜峡灌区河西总干渠水资源调度与三维仿真关键技术[J].水利信息化,2024,(06):6-13.
- [2]肖宏宇,陈石磊,王帅,等.数字孪生灌区水资源调度管理平台研究[J/OL].长江科学院院报,1-9[2025-02-20].
- [3]王凯胜,邱颖,陈希红,等.永定河数字孪生流域业务应用场景分析与设计[J].水利信息化,2024,(04):43-48.
- [4]余启成,林霄涵,黄勤铨,等.数字孪生九龙江北溪流域水资源调配“四预”研究与应用[J].水利信息化,2024,(04):18-26.
- [5]石峰.安吉县赋石水库数字孪生灌区建设的探索[J].水电站机电技术,2023,46(06):51-54.
- [6]蒋志彦.中小型水库数字孪生关键技术应用探讨[J].湖南水利水电,2023,(03):69-71.
- [7]程晓冰.强化水资源统一调度助力水利高质量发展[J].中国水利,2022,(21):23-24+36.

#### 作者简介:

郭升军(1978--),男,汉族,江西万安人,本科,高级工程师,研究方向:水利工程运行管理。