

# 数字孪生技术与智慧水利系统的融合及应用

燕永建

(山东省调水工程运行维护中心牟平管理站, 山东 烟台 264100)

**摘要:** 深入探讨了数字孪生技术与智慧水利系统的融合及应用。首先, 论文介绍了数字孪生技术和智慧水利系统的发展历程和现状, 并详细分析了两者的基本概念、核心算法和主要应用领域。其次, 从理论和实践的角度分析了数字孪生技术与智慧水利系统融合的必要性、可能性、技术路线和关键环节, 并提出了基于数字孪生技术的智慧水利系统的构建方法和实施步骤。最后, 设计了一个基于数字孪生技术的智慧水利系统的应用案例, 并通过试验验证了该系统的性能和效果。

**关键词:** 数字孪生; 智慧水利; 融合技术; 应用案例

中图分类号: TV736

文献标识码: B

文章编号: 1672-5387(2023)11-0120-04

DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2023.11.036

## 0 引言

随着全球范围内气候变化和环境挑战的日益严重, 水资源的可持续管理与优化利用成为国家和地区关注的核心议题。近年来, 智慧水利系统因其对于水资源管理的智能化和高效化潜力, 正在全球范围内得到广泛的推广和应用。同时, 数字孪生技术作为一种新兴的数字化和智能化技术, 通过创建物理系统的数字镜像, 实现对实体系统的高精度模拟和预测, 对优化水资源管理具有巨大潜力。因此, 探讨数字孪生技术与智慧水利系统的融合及应用, 具有重要的理论和实践意义。本文旨在探讨数字孪生技术与智慧水利系统的融合方法及应用实践, 总结和评估这种融合在水资源管理中的效果和价值。

## 1 文献综述

### 1.1 数字孪生技术的发展历程和现状的综述

数字孪生技术(Digital Twin)起源于2000年NASA的一个研究项目, 目的是通过虚拟模拟技术, 提高对航天器的管理和控制能力<sup>[1]</sup>。该技术近年来随着物联网、大数据和人工智能等技术的快速发展, 得到了广泛的应用和研究。当前, 数字孪生技术已经被广泛应用于智能制造、建筑管理、能源系统、医疗保健和环境保护等领域<sup>[2]</sup>, 对于实现设备的优化

管理和控制、提高系统的运行效率和可靠性、实现资源的可持续利用等方面发挥了重要作用。

### 1.2 智慧水利系统的发展历程和现状的综述

智慧水利系统的概念源自于20世纪90年代的智慧城市理念, 并随着信息技术和物联网技术的发展而逐渐演进。基于物联网、云计算、大数据和人工智能等技术, 智慧水利系统通过实时收集和分析水资源数据, 实现了对水资源的精细化管理和智能化决策。当前, 智慧水利系统已经在流域管理、城市雨洪管理<sup>[3]</sup>、农业灌溉、水质监测等领域得到广泛的应用, 有效地提高了水资源的利用效率和管理水平, 减少了水资源的浪费和污染。

### 1.3 两者融合的研究现状和趋势的综述

数字孪生技术与智慧水利系统的融合是近年来的研究热点。通过将数字孪生技术引入到智慧水利系统中, 可以实现对水资源系统的高精度模拟和预测, 从而提高水资源的管理和控制能力<sup>[4]</sup>。目前, 这种融合主要在水库管理、城市雨洪管理和农业灌溉等领域得到了应用<sup>[5-7]</sup>。未来的研究趋势将更加关注如何优化融合方法, 提高模拟和预测的精度, 扩大应用领域, 以及如何解决在实际应用中面临的挑战和问题。

收稿日期: 2023-09-13

作者简介: 燕永建(1992-), 男, 助理工程师, 从事调水工程管理、水利信息化及自动化运维工作。

## 2 数字孪生技术的深入剖析

### 2.1 数字孪生技术的基本概念和构成

数字孪生技术是一种新兴的信息技术,它通过创建物理系统的数字副本,实现对物理系统的实时模拟和预测,从而提高系统的管理和控制能力。数字孪生技术主要由三个部分构成:物理实体、虚拟模型和数据连接。物理实体是数字孪生技术的应用对象,可以是一个设备、一个系统或一个过程;虚拟模型是物理实体的数字副本,通过算法和计算机技术创建;数据连接是物理实体和虚拟模型之间的桥梁,通过物联网、传感器网络等技术实现。

### 2.2 数字孪生技术的核心算法和关键技术

数字孪生技术的核心算法主要包括物理建模算法、数据处理算法和预测控制算法。物理建模算法用于创建物理实体的虚拟模型,包括有限元分析、流体动力学模拟等;数据处理算法用于处理从物理实体收集的数据,包括数据清洗、数据融合、特征提取等;预测控制算法用于对物理实体的未来状态进行预测,并进行优化控制,包括神经网络、支持向量机、遗传算法等。关键技术主要包括物联网、传感器技术、云计算、边缘计算、大数据和人工智能等。

### 2.3 数字孪生技术的主要应用领域和案例分析

数字孪生技术,作为一种将物理实体与其虚拟副本连接起来的技术,已经被广泛应用于各个领域,包括但不限于智能制造、建筑管理、能源系统、医疗保健和环境保护等。

#### (1) 智能制造

在智能制造领域,数字孪生技术通过创建设备的虚拟模型,实现对设备的实时监控和预测性维护,从而提高设备的运行效率和可靠性。例如,GE 公司通过数字孪生技术,实现了对其风力发电机组的实时监控和预测性维护,大大降低了设备的故障率和维护成本。

#### (2) 建筑管理

在建筑管理领域,数字孪生技术可以实现对建筑设施的全生命周期管理。例如,英国某大型购物中心通过创建建筑数字孪生,实现了对空调、电梯等设施的实时监控和预测性维护,显著提高了设施的运行效率和可靠性,同时也提高了客户的满意度。

#### (3) 能源系统

在能源系统领域,数字孪生技术可以帮助优化

能源生产和消费。例如,荷兰一家能源公司通过建立风电场的数字孪生,实现了对风电场的优化运行,大大提高了风电场的能源产出。

#### (4) 医疗保健

在医疗保健领域,数字孪生技术可以帮助医生更好地理解和治疗疾病。例如,美国某医院通过创建病人心脏的数字孪生,帮助医生精确地理解和预测心脏疾病的发展情况,从而制定出更合适的治疗方案。

#### (5) 环境保护

在环境保护领域,数字孪生技术通过创建环境系统的虚拟模型,实现对环境质量的实时监控和预测,从而实现环境的可持续管理。例如,澳大利亚政府通过创建大堡礁的数字孪生,实现了对大堡礁的实时监控和预测,为大堡礁的保护和管理提供了科学依据。

这些案例表明,数字孪生技术在各个领域都有广泛的应用潜力,可以提供更精确和实时的决策支持,从而提高系统的运行效率和可靠性。

## 3 智慧水利系统的深入剖析

### 3.1 智慧水利系统的基本概念和构成

智慧水利系统是一个基于信息化手段和科学管理理念,将水资源的管理和使用智能化的综合系统<sup>[8]</sup>。该系统通常由四个主要组成部分构成:数据采集系统、数据处理系统、决策支持系统和执行系统。数据采集系统负责收集各种水资源数据;数据处理系统负责对收集的数据进行清洗、融合和分析;决策支持系统基于处理后的数据,进行预测、决策和优化;执行系统根据决策结果,执行相关的操作和控制命令。

### 3.2 智慧水利系统的核心算法和关键技术

智慧水利系统的核心算法主要包括数据处理算法、预测模型和优化决策算法。数据处理算法包括数据清洗、数据融合、特征提取等;预测模型包括水资源需求预测、水质预测、洪水预测等,常用的预测方法包括时间序列分析、回归分析、神经网络等;优化决策算法主要用于决策支持系统,包括多目标优化、遗传算法、粒子群优化等。智慧水利系统的关键技术主要包括物联网、大数据、云计算和人工智能等。

### 3.3 智慧水利系统的主要应用领域和案例分析

智慧水利系统在水资源管理的许多领域都有广泛应用,其中主要包括流域管理、城市雨洪管理、农业灌溉和水质监测等。

### (1) 流域管理

在流域管理中,智慧水利系统可以实现对流域内的水资源供需、水环境质量、洪水灾害等进行实时监测和预测,从而实现流域的可持续管理。例如,黄河流域在实施智慧水利系统后,通过对流域水量、水质和气候条件等多源数据的融合分析,实现了对水资源供需的精准预测和洪水的及时预警,显著提高了流域管理的效率和效果。

### (2) 城市雨洪管理

在城市雨洪管理中,智慧水利系统可以帮助城市更好地应对雨洪灾害。例如,在广州市,智慧水利系统通过实时监测和预测雨量、流量和水位等参数,提供了雨洪灾害的实时预警,并指导雨水排放和洪水调度,显著减少了雨洪灾害对城市的影响。

### (3) 农业灌溉

在农业灌溉领域,智慧水利系统可以实现对农田水分需求的精确预测和灌溉决策,从而提高水资源利用效率,减少水资源浪费。例如,在宁夏回族自治区的一个项目中,智慧水利系统结合土壤湿度传感器和气象数据,实现了对农田水分需求的精确预测,指导农民进行合理灌溉,既保证了农作物的产量,又显著减少了灌溉水的使用量。

### (4) 水质监测

在水质监测领域,智慧水利系统可以实现对水环境质量的实时监测和预测,从而为水环境保护提供科学依据。例如,在淮河流域,智慧水利系统通过部署多个水质监测站,实现了对水质的实时监测,通过数据分析,预测了可能的水质变化趋势,为淮河水环境的改善和保护提供了重要支持。

这些案例表明,智慧水利系统在水资源管理的各个领域都有着广泛的应用潜力,可以有效提高水资源管理的效率和效果,对实现水资源的可持续利用具有重要意义。

## 4 数字孪生技术与智慧水利系统的融合

### 4.1 融合的必要性及可能性分析

数字孪生技术与智慧水利系统的融合既有其必要性,也有其可能性。从必要性上讲,智慧水利系统需要实时、精确地掌握和预测水资源的动态变化,而数字孪生技术正好可以提供这样的能力。从可能性上讲,随着信息技术和水利科技的发展,实现两者的融合已经有了技术基础和条件。

### 4.2 融合的技术路线和关键环节

数字孪生技术与智慧水利系统的融合主要包括以下几个关键环节:首先,建立水资源的数字孪生模型,包括水资源的地理信息、气候信息、用水信息等。其次,通过物联网技术,实现对水资源的实时监测和数据收集。再次,通过大数据和机器学习技术,对收集到的数据进行处理和分析,实现对水资源动态变化的预测。最后,根据预测结果,制定出科学的水资源管理决策。

### 4.3 基于数字孪生技术的智慧水利系统的构建方法和实施步骤

建立基于数字孪生技术的智慧水利系统,需要一个全面且详尽的实施步骤和方法。以下是一种本文研究后提出可能的实施方案:

#### (1) 明确系统目标和功能

首先,需要明确该系统的主要目标和功能。智慧水利系统的主要目标可能包括提高水资源管理的效率、预测并降低水资源风险、改善水资源分配和利用,以及提高水资源保护的效果。而具体的功能可能包括对水资源的实时监测、对水资源动态变化的预测,以及科学的水资源管理决策等。

#### (2) 建立水资源的数字孪生模型

在明确系统目标和功能后,需要建立水资源的数字孪生模型。这需要收集和整理相关的地理信息、气候信息、用水信息等数据。这些数据可以来源于:地方政府、气象部门、水利部门、农业部门、环保部门等。建立数字孪生模型需要专门的技术和工具,包括地理信息系统(GIS)、数值模型、机器学习算法等<sup>[9]</sup>。

#### (3) 部署和调试物联网设备

在建立数字孪生模型后,需要部署和调试物联网设备,以实现实时监测和数据收集。这可能包括水位传感器、气象传感器、土壤湿度传感器、水质传感器等。这些设备需要部署在各个关键的水资源地点,例如河流、湖泊、水库、井点等。这些设备还需要连接到一个中心的数据处理系统,以便将收集到的数据实时传输到该系统。

#### (4) 开发和优化数据处理和分析的算法

在部署和调试物联网设备后,需要开发和优化数据处理和分析的算法,以实现水资源动态变化的预测<sup>[10]</sup>。这需要使用大数据技术和机器学习算法,例如线性回归、时间序列分析、神经网络等。这

些算法需要根据实际的数据和需求进行调整和优化,以确保预测的准确性和实时性。

#### (5) 制定科学的水资源管理决策

在开发和优化数据处理和分析的算法后,可以根据预测结果制定科学的水资源管理决策。这可能包括调整水库的蓄水量、调整灌溉的时间和量、调整供水的优先级等。这些决策需要考虑到各种因素,包括气候变化、社会需求、环境影响等。

#### (6) 反馈和优化

在制定决策后,需要将决策结果反馈给相关的人员和部门,例如政府官员、水利工程师、农民等。同时,我们也需要收集他们的反馈和建议,以优化我们的系统和决策。此外,还需要定期检查和更新数字孪生模型和算法,以确保其准确性和有效性。

总的来说,建立一个基于数字孪生技术的智慧水利系统,需要一个全面且详细的计划和步骤。同时,也需要一个跨学科的团队,包括水利工程师、信息技术专家、数据科学家等。只有这样,才能实现对水资源的智能管理,提高水资源管理效率和效果。

## 5 基于数字孪生技术的智慧水利系统的应用

### 5.1 应用需求分析

基于数字孪生技术的智慧水利系统具有广泛的应用需求,主要集中在流域管理、农业灌溉、城市雨水管理和水质监测等领域。例如,对于流域管理,需要实时监测和预测流域内的水资源供需、水环境质量和洪水灾害等信息,以实现流域的可持续管理<sup>[1]</sup>。对于农业灌溉,需要精确预测和控制农田的水分需求,以提高水资源利用效率,减少水资源浪费。

### 5.2 应用场景设计

应用场景设计是基于实际应用需求,设计具体的应用场景,以便于进行试验设计和实施。例如,在农业灌溉的应用场景中,可以设计一个农田灌溉系统,该系统可以实时监测农田的土壤湿度,预测未来几天的灌溉需求,然后制定灌溉决策。

### 5.3 试验设计与实施

试验设计和实施是为了验证系统的性能和效果。在农田灌溉的试验设计中,可以将一个季度或一个农业生产周期作为试验的时间范围,选择一定数量的农田作为试验对象,比较使用智慧灌溉系统和传统灌溉方法的效果。试验的主要指标可能包括灌溉的精度、灌溉的效率、农作物的产量和水资源的

节约量等。

## 5.4 数据分析和结果评估

数据分析和结果评估是对试验结果进行分析和评估,以验证系统的性能和效果。在农田灌溉的试验中,可以收集和分析各种数据,包括灌溉的时间和量、土壤的湿度、农作物的生长情况和产量等。通过对这些数据的分析,我们可以评估智慧灌溉系统的性能和效果。

## 6 结语

数字孪生技术与智慧水利系统的融合为我们提供了一种新的思路和方法来解决当前水资源管理中的许多问题。通过建立一个基于数字孪生技术的智慧水利系统,可以实现对水资源的实时监测、精确预测和智能决策,从而实现水资源的高效利用和可持续管理。然而,这还需要在实践中不断摸索和改进,以适应不断变化的环境条件和社会需求。此外,这也需要加强跨学科的合作和研究,以促进数字孪生技术和智慧水利技术的进一步发展和应用。

## 参考文献:

- [1] 刘璐. 福建省闽江流域数字孪生平台建设设想 [J]. 水利科技, 2023 (2): 1-5.
- [2] 黄喜峰, 刘启, 刘荣华, 等. 山洪小流域数字孪生数据底板构建关键技术及应用 [J/OL]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2023, 44 (4): 17-26.
- [3] 鲍远军, 黄敬, 许晓雅. 基于三维 GIS 的城市防汛系统的设计与实现 [J]. 水利信息化, 2023 (2): 71-75.
- [4] 徐子涵, 杨秀英. 基于 BIM+GIS 的工地安全智慧监测系统 [J]. 低温建筑技术, 2023, 45 (3): 143-146.
- [5] 欧阳志勇, 罗莹, 夏妍. 做好江西省水利督查信息化工作的探索 [J]. 海河水利, 2023 (3): 119-122.
- [6] 尚海龙, 田苾菲, 王志扬, 等. 数字孪生流域主要建设需求分析 [J]. 中国水利, 2023 (3): 54-59.
- [7] 朱思宇, 杨红卫, 尹桂平, 等. 基于数字孪生的智慧水利框架体系研究 [J]. 水利水运工程学报, 2023 (6): 68-74.
- [8] 张力, 张航, 刘成堃, 等. 水利数字孪生平台三维模拟仿真技术研究与应用 [J]. 人民长江, 2023 (8): 9-18.
- [9] 王静, 李新春, 尹良伟, 等. 基于数字孪生的高校图书馆智慧服务数据治理自适应模式研究 [J]. 图书馆, 2023 (03): 1-7.
- [10] 牟昀丽, 梁永荣, 吴凯. 面向智慧水利的县域水资源监管集成平台设计——以无锡市滨湖区为例 [J]. 江苏水利, 2022 (S2): 52-57.
- [11] 叶茂盛, 冶运涛, 蒋云钟, 等. 国家智慧水网建设思路与对策——基于数字化转型与国产化自主双轮驱动的视角 [J]. 中国水利, 2023 (01): 32-36.