

# Research on Digital Twin and IoT Sensing Data Integration Technology in Water Conservancy Informatization

Shubao Wang

China Water Resources Northeast Survey & Design Research Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130061, China

## Abstract

With the continuous advancement of information technology, the integration of digital twin and IoT sensing data has become a crucial research direction in modern water conservancy management. Digital twin technology enables virtual modeling of physical entities to achieve real-time monitoring, prediction, and optimization of water conservancy systems. Meanwhile, IoT technology comprehensively senses water conservancy systems through sensors to collect data. The integration of these two technologies can significantly enhance management efficiency and operational quality in water conservancy projects. This paper first elucidates the fundamental concepts and application background of this integrated technology in water conservancy informatization. It then analyzes key technologies and methodologies while exploring its practical applications. Finally, drawing on existing research and practice, it identifies challenges and development trends in implementing this technology for water conservancy projects. The study provides theoretical support for water conservancy informatization construction and offers references for deeper integration of digital twin and IoT technologies in the water sector.

## Keywords

Digital twin; Internet of Things; Sensing data integration; Water conservancy informatization; Technical research

# 水利信息化中数字孪生与物联网感知数据融合技术研究

王树宝

中水东北勘测设计研究有限责任公司, 中国·吉林 长春 130061

## 摘要

在信息化技术持续发展的当下, 数字孪生与物联网感知数据融合技术成为现代水利工程管理的重要研究方向。数字孪生技术可对物理实体虚拟建模, 实现水利系统实时监控、预测与优化; 物联网技术则借助传感器全面感知水利工程系统并采集数据。二者融合能有效提升水利工程的管理效率与运维质量。本文先阐述了该融合技术的基本概念及在水利信息化中的应用背景, 接着分析其关键技术和方法, 并探讨在水利信息化中的应用场景。最后, 结合现有研究与实践, 指出在水利工程中实施该技术面临的挑战与发展趋势, 为水利信息化建设提供理论支撑, 也为数字孪生与物联网技术在水利领域的深度应用提供参考。

## 关键词

数字孪生; 物联网; 感知数据融合; 水利信息化; 技术研究

## 1 引言

随着社会经济的发展和水资源管理需求的日益增大, 水利工程管理面临着更加复杂和动态的挑战。传统的水利管理方式在应对大规模水利设施、复杂环境因素和突发水灾等方面表现出诸多不足。信息化技术的快速发展, 尤其是数字孪生与物联网技术, 为水利工程提供了新的解决方案。数字孪生作为一种新兴的虚拟仿真技术, 可以通过构建物理实体的数字模型, 对其进行实时监控和预测; 物联网则利用传感器与通信技术, 通过对水利设施的实时数据采集, 实现全面

感知。在水利信息化中, 将这两者结合, 可以实现对水利系统全生命周期的精细化管理, 从而提升水利工程的智能化水平。

尽管数字孪生与物联网感知数据的融合已在多个领域取得了一定进展, 但在水利领域中的研究和应用仍处于起步阶段。如何将物联网采集的数据与数字孪生模型高效融合, 如何处理海量数据的存储、传输和处理问题, 如何实现数据与模型的实时更新和协同工作, 仍然是目前亟待解决的技术难题。本文将从数字孪生与物联网感知数据融合的技术角度, 分析其在水利信息化中的应用, 探讨相关的技术路径与实施挑战, 并展望未来的发展趋势。

【作者简介】王树宝(1984-), 男, 中国吉林长春人, 本科, 高级工程师, 从事大坝安全监测自动化研究。

## 2 数字孪生与物联网感知数据融合的基础概念与背景

### 2.1 数字孪生的基本概念与特点

数字孪生技术最初应用于航空航天、制造业等高精度行业，其核心思想是通过创建物理实体的虚拟副本，对其状态进行实时监测和模拟。数字孪生技术可以将现实世界中的物理对象与虚拟世界中的数字模型紧密结合，通过对虚拟模型的不断更新和调整，反映物理实体的实时状态变化。在水利领域，数字孪生技术可用于对水利设施、河流湖泊及水资源系统的动态仿真与监控，从而实现精准的水利工程管理。

数字孪生具有多重特点。首先，它能提供高度逼真的物理系统模型，并能够进行实时的仿真与分析。其次，数字孪生系统能够通过数据分析和智能算法，实现对水利工程设备的故障预警与性能优化。此外，数字孪生技术还能够与其他信息化技术结合，形成一个可持续的反馈闭环，促进水利工程的优化决策。

### 2.2 物联网感知数据的基本概念与特点

物联网（IoT）是一种通过传感器和通信技术实现物理世界与数字世界之间信息交换和通信的技术。物联网感知数据通常是通过各种传感器采集的，如水位、流量、温度、压力等水利工程运行中的关键参数。物联网通过传感器的部署，能够实时获取各类感知数据，并将其通过无线通信技术传输到中央控制系统或云平台，供后续的数据分析与决策支持。

物联网技术在水利工程中的应用主要体现在数据的实时监控和远程控制。通过物联网设备，能够实时掌握水位、水流、气象等信息，为水资源的调度、洪水防治、灌溉管理等提供数据支持。物联网的另一大优势是其高效的感知能力与广泛的适用性，能够在各种环境中部署，覆盖传统监测方式无法涉及的区域。

### 2.3 数字孪生与物联网感知数据的融合

数字孪生与物联网感知数据融合，指的是将通过物联网采集的感知数据与数字孪生模型进行集成，形成一个能够实时更新、智能化决策和优化管理的系统。物联网的数据能够为数字孪生模型提供实时的动态输入，使得模型能够精准地反映物理系统的状态。同时，数字孪生可以通过模拟与预测，指导物联网系统的数据采集与决策，形成一种数据与模型相互补充的智能化管理模式。

数字孪生与物联网感知数据融合的核心价值在于其能够实现水利工程管理的精细化、智能化和可持续化。通过融合技术，水利工程的运维人员可以实时掌握水利设施的运行状态，预警潜在的风险，并根据模型预测的结果进行科学的调度和决策，从而提升整体管理水平和水资源利用效率。

## 3 数字孪生与物联网感知数据融合技术的关键问题与解决方案

### 3.1 数据的高效融合与实时更新

数字孪生与物联网感知数据的高效融合是技术实现的关键之一。物联网生成的数据量巨大且类型多样，如何对这些数据进行高效的采集、存储、传输与处理，成为实施融合技术的挑战。特别是在水利系统中，由于监测点众多，数据来源复杂，如何实时将这些数据与数字孪生模型同步更新，是实现精细化管理的核心问题。

目前，云计算和边缘计算技术已经为大规模数据处理提供了可能。通过云平台的高效计算能力，能够对物联网设备的数据进行实时分析和处理。而边缘计算则通过在数据产生源头附近进行数据处理，减少了网络延迟，提升了数据处理效率。结合这两种计算方式，能够确保物联网数据与数字孪生模型之间的实时更新和精准融合。

### 3.2 数据质量与融合算法

在水利工程中，物联网感知数据的质量直接影响到数字孪生模型的精确度。物联网设备可能受到环境、设备老化等因素的影响，导致数据的准确性和完整性不足。因此，如何提高感知数据的质量，是数字孪生与物联网数据融合中的一个重要问题。

数据清洗和预处理技术是解决这一问题的有效手段。通过对采集的数据进行滤波、去噪和插值等预处理，可以有效提高数据的质量。此外，融合算法的优化也是关键所在。通过多传感器数据融合技术，可以提高数据的可靠性和精度，从而确保数字孪生模型能够准确反映水利工程的状态。

### 3.3 系统的智能化与决策支持

数字孪生与物联网感知数据的融合，不仅仅是数据的收集与展示，更重要的是通过智能算法实现对水利系统的实时监控、分析与决策支持。人工智能（AI）技术，尤其是机器学习和深度学习技术，为数据分析与决策提供了新的手段。通过对历史数据和实时数据的分析，AI模型可以预测水位变化、流量波动、设施故障等情况，为水利管理人员提供科学决策依据。

智能化决策系统不仅能够提升水利工程的运营效率，还能在突发情况下自动响应，降低人为干预的风险，提高水利管理的自动化水平。

## 4 数字孪生与物联网感知数据融合技术在水利信息化中的应用场景

### 4.1 水资源调度与管理

在水资源调度与管理中，数字孪生与物联网感知数据融合技术可以为水利部门提供实时的水位、流量、降水量等数据。结合这些数据，数字孪生模型可以实时模拟水库、

河流等水资源的运行状态,从而为水资源的调度提供精准依据。通过这种智能化管理方式,能够提高水资源的利用效率,避免水资源浪费,确保水利设施的稳定运行。

#### 4.2 洪水预测与防控

洪水管理作为水利领域的关键核心任务,其成效直接关系到人民群众生命财产安全与社会经济的稳定发展。在当前科技日新月异的时代背景下,物联网感知数据与数字孪生技术的深度融合,为洪水防控工作提供了更为科学、高效的技术支撑。物联网凭借其广泛分布的感知设备,能够实时、精准地采集河流的水位变化、气象信息等关键数据,实现对水利环境要素的全方位、动态化监测,为洪水防控提供及时、可靠的数据基础。而数字孪生技术则通过构建高度逼真的虚拟模型,模拟不同条件下水流的变化规律,对洪水的发展趋势进行精准预测和科学推演。二者协同作用,可提前洞察洪水潜在风险,及时发布预警信息,并为洪水防控决策提供精准、量化的支持,从而有效降低灾害损失,提升洪水管理的科学化、精细化水平。

#### 4.3 水利设施运维与智能化管理

数字孪生与物联网感知数据融合技术在水利设施的运维管理中具有重要意义。通过实时监测水泵、闸门、管道等设施的运行状态,数字孪生模型能够实时显示设施的健康状况,预测设施可能出现的故障或损坏。结合物联网感知数据,可以提前进行维修和更换,避免因设备故障引发的重大事故,从而提升水利设施的运营效率和安全性。

### 5 数字孪生与物联网感知数据融合技术的挑战与发展方向

#### 5.1 数据安全和隐私保护

随着水利信息化建设的深入,数字孪生与物联网感知数据的广泛应用将涉及大量敏感信息,如水资源调度数据、设施运行数据等。这些数据的安全性直接关系到国家水利安全、社会稳定以及个人隐私保护。由于数据的开放性和传输的多样性,物联网系统容易成为网络攻击的目标,尤其是通过远程攻击手段可能破坏系统的完整性和可靠性。此外,数字孪生技术生成的虚拟模型同样包含大量敏感数据,如水库的水位、流量预测和各类设施运行状况,这些信息一旦被恶意利用,可能造成严重后果。为此,如何保护这些数据的安全性和隐私性,成为一个不可忽视的问题。未来,必须加强对数据的加密技术的应用,采用先进的加密算法来确保数据传输过程中的安全性。与此同时,严格的权限管理与访问控制机制应当得到进一步强化,以确保数据的仅限授权访问。安全审计机制也应进一步完善,通过实时监控数据访问和操作记录来确保数据的完整性,及时发现并防范潜在的安全威胁。

#### 5.2 标准化与互操作性

当前,物联网感知设备的标准化程度较低,不同设备之间的互操作性较差,成为数字孪生与物联网数据融合应用

中的一大瓶颈。在水利领域,物联网系统通常由各种厂商生产的不同传感器组成,这些设备可能存在不同的通信协议、数据格式和接口标准,导致信息孤岛的形成,进而影响数据的流通性与共享能力。如果没有统一的标准,不同设备和系统之间的互联互通将受到严重制约,造成数据孤立,降低了系统整体效能。因此,推动物联网设备的标准化,特别是数据传输协议和接口标准的统一,是实现数字孪生与物联网数据融合的关键。通过建立统一的数据格式和通信标准,能够有效促进不同设备间的协同工作,从而实现数据的高效采集、传输和处理。同时,标准化的实施不仅能够提升数据共享能力,还能够为系统的可扩展性和互操作性提供支持,便于未来在不同地区、不同设备间的扩展与升级。

#### 5.3 智能化水平的提升

尽管数字孪生与物联网感知数据融合技术在水利信息化中的应用取得了一定进展,但整体而言,智能化水平仍有待提高。特别是在数据分析、模型预测和决策支持方面,数字孪生系统和物联网设备尚未完全实现高度智能化。水利管理中的大量数据仍然依赖人工分析,自动化程度较低。随着人工智能技术的发展,尤其是机器学习和深度学习技术的应用,数字孪生与物联网感知数据的智能化水平将得到显著提升。通过对大量历史数据的学习与挖掘,AI模型可以发现数据中的潜在规律,从而提高预测和决策的精度。

### 6 结语

数字孪生与物联网感知数据融合技术在水利信息化中的应用,为水利工程的智能化管理提供了全新的解决方案。通过将数字孪生技术与物联网技术相结合,不仅可以实现对水利设施的实时监控和智能预测,还能水资源的合理调度与保护提供科学的依据。尽管目前数字孪生与物联网技术的应用面临数据质量、融合算法、设备标准化等多方面的挑战,但随着技术的持续发展和完善,这些问题将在不久的将来得到解决。未来,数字孪生与物联网数据融合技术将在提升水利工程的运行效率、降低维护成本、提高水资源利用率等方面发挥更加重要的作用。

#### 参考文献

- [1] 解凌飞,姚晓敏,李德,等.数字孪生姚家平总体设计方案研究[J].水利规划与设计,2025,(09):128-134.
- [2] 刘海彪,赵帅,陈伟昌,等.水利感知网中数据传输规约研究[J].人民长江,2025,56(S1):364-367.
- [3] 肖涛,吴雨,陈曦.北斗时空服务与水利信息化融合应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(12):11-14.
- [4] 孟祥明,宋梦迪.数字孪生技术在水利信息化中的应用进展与趋势[C]//河海大学,浙江省水利学会,上海市水利学会,江苏省水利学会,安徽省水利学会.2025(第十三届)中国水利信息化技术交流会议论文集.黄河水利委员会黄河口水文水资源勘测局,2025:269-275.