

数字孪生技术在水文监测测验及水资源集约利用中的应用

张小华

湖北省荆州市水文水资源勘测局 湖北 荆州 434000

摘要: 数字孪生技术在水文监测测验及水资源集约利用中的应用,通过实时数据采集、处理与分析,构建了精准的水文监测模型,实现了水文状况的全面感知与动态预警,为水文决策提供了科学依据。同时,数字孪生技术在水资源集约利用中,通过构建水资源系统模型,优化配置与调度水资源,监测与识别水资源浪费,评估水资源承载能力,实现了水资源的高效利用与可持续发展。文章通过详细分析,验证了数字孪生技术在提高水文监测效率、精准度以及促进水资源合理分配和高效利用方面的有效性,为水资源管理提供了新的思路和方法。

关键词: 数字孪生技术;水文监测测验;水资源集约利用

引言: 在全球水资源形势日益严峻的背景下,实现精准水文监测与水资源集约利用迫在眉睫。传统水文监测手段存在数据获取不全面、分析滞后等局限,难以应对复杂多变的水文状况。而数字孪生技术的出现,为解决这些问题带来了新契机。它可在虚拟空间创建与现实水文系统对应的数字化镜像,实现对水文状态的实时监测、精准分析与动态模拟。将其应用于水文监测测验及水资源集约利用,能够极大提升数据采集的效率与质量,优化水资源的配置与调度。

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术作为一种新兴的前沿技术,正深刻地改变着众多领域的发展模式,为各行业的智能化、精细化管理提供了强大的支持。从概念上来说,数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。简单来讲,就是在虚拟世界中创建一个与现实物理实体完全对应的数字化镜像,通过实时数据交互,实现对物理实体的状态监测、性能评估、故障预测等功能。数字孪生技术具有显著的特点和优势,其高度的实时性是一大亮点,能够通过传感器等设备实时获取物理实体的运行数据,并同步更新虚拟模型的状态,让使用者可以随时了解物理实体的最新情况。精准性也是其重要特性,借助先进的建模和仿真技术,数字孪生模型能够精确地模拟物理实体的各种行为和性能,为决策提供可靠的依据^[1]。此外,数字孪生还具备可预测性,通过对历史数据和实时数据的分析,能够预测物理实体未来的运行状态和可能出现的问题,从而提前采取措施进行预防和处理。在应用领域方面,数字孪生技术已经广泛渗透到制造业、航空航天、医疗、城市规划等多个

行业。在制造业中,数字孪生技术可以实现对生产设备的实时监控和优化,提高生产效率和产品质量;在航空航天领域,它能够对飞行器进行全生命周期的管理,确保飞行安全;在医疗行业,可用于手术模拟、疾病诊断和治疗方案的制定;在城市规划中,能够构建城市的数字孪生模型,辅助城市的规划和管理。

2 数字孪生技术在水文监测测验中的应用

2.1 水文监测数据采集与传输

数字孪生技术赋能下的水文监测数据采集与传输,极大提升了水文监测的效能与质量。(1)多源异构数据采集:借助多样化的传感器,如水位传感器、流量传感器、水质传感器等,可全方位收集水位、流量、水质等多类型数据,实现对水文状况的全面感知。(2)物联网技术支撑:利用物联网强大的连接能力,将分布在不同区域的监测设备连接起来,构建起广泛覆盖的监测网络,确保数据能及时准确地汇聚。(3)实时数据同步:通过数字孪生技术,使虚拟模型与实际水文环境的数据实时同步,让工作人员能第一时间掌握最新的水文动态。(4)数据安全传输:采用加密技术对传输的数据进行保护,防止数据在传输过程中被窃取或篡改,保障数据的安全性和可靠性。(5)传输网络优化:不断优化数据传输网络,提高传输速度和稳定性,减少数据传输延迟,确保水文数据能快速、高效地到达监测中心。

2.2 水文监测数据处理与分析

数字孪生技术为水文监测数据处理与分析带来了革新,能有效挖掘数据价值,为水文决策提供有力支撑。(1)数据清洗与预处理:对采集到的原始水文数据进行清洗,去除其中的噪声、异常值和缺失值,保证数据的准确性和完整性,为后续分析奠定基础。(2)多源数据融合:将来自不同监测设备、不同渠道的水文数据进行

融合,打破数据孤岛,形成全面、综合的数据集,以更准确地反映水文实际情况。(3)特征提取与挖掘:运用机器学习和数据分析算法,从海量数据中提取关键特征和潜在模式,如水位变化趋势、流量异常特征等,为深入分析提供依据。(4)实时分析与预警:借助数字孪生的实时性,对水文数据进行实时分析,及时发现潜在的水文灾害风险,如洪水、干旱等,并发出预警信号,以便及时采取应对措施。(5)历史数据对比:将当前数据与历史数据进行对比分析,找出数据变化规律,预测未来水文发展趋势,为水资源管理和调度提供科学参考。

2.3 水文监测模型构建与验证

数字孪生技术下的水文监测模型构建与验证,是确保水文监测精准可靠的核心所在。构建时,先依据水文动力学方程搭建物理模型,详细描述流域水流、水质及沉积过程,再运用有限差分法、有限元法等先进数值模拟方法求解,让模型精准反映水文系统实际。多源异构数据采集系统发挥着重要作用,它获取的遥感影像、气象观测、水文监测等数据与物理模型深度融合,为模型标定和验证提供有力支撑,进一步提升模型精度。验证阶段,将模型模拟结果与实际监测数据对比,通过误差分析评估准确性^[2]。若误差在可接受范围,模型有效;误差大则需调整参数或改进方法。同时,进行不同场景模拟测试,检验模型在复杂情况下的适应性与稳定性。不断地优化和验证,让水文监测模型更好地服务于水文监测测验工作。它为水资源管理和决策提供科学依据,助力相关部门更精准地掌握水文状况,合理调配水资源,应对各类水文问题,推动水资源的可持续利用。

2.4 水文监测实时预警与决策支持

数字孪生技术为水文监测实时预警与决策支持带来了革新,通过实时获取水位、流量、水质等数据并同步至虚拟模型,系统能快速捕捉水文状态变化,一旦监测到水位急剧上升、水质异常等情况,立即触发预警机制,以短信、系统弹窗等形式通知相关人员,为应对潜在灾害赢得宝贵时间。在决策支持方面,数字孪生模型可模拟不同情景下的水文演变。当面临洪水威胁时,模型能根据实时数据和历史经验,预测洪水的发展趋势、淹没范围和可能造成的损失,辅助决策者制定科学的防洪调度方案,如确定水库泄洪量、疏散人员范围等^[3]。对于干旱情况,模型能评估水资源短缺程度,为水资源调配提供依据,保障居民生活和工农业用水需求。此外,在日常水资源管理中,数字孪生技术也能为水资源的合理分配和可持续利用提供决策参考,提升水资源管理的科学性和效率。

3 数字孪生技术在水资源集约利用中的应用

3.1 水资源系统数字孪生模型构建

构建水资源系统数字孪生模型是数字孪生技术在水资源集约利用中应用的基础,能为水资源的科学管理提供有力支撑。(1)系统要素识别:全面梳理水资源系统中的各类要素,包括地表水、地下水、水利工程施工、用水户等,明确各要素的特征和相互关系,为模型构建奠定基础。(2)数据收集整合:广泛收集水资源相关的数据,如水位、流量、水质、气象等信息,并进行整合处理,确保数据的准确性和一致性,为模型提供可靠的数据输入。(3)模型架构设计:依据水资源系统的特点和需求,设计合理的模型架构,确定模型的层次结构、模块划分和数据流向,保证模型的逻辑性和可扩展性。(4)参数校准优化:通过历史数据和实际监测数据,对模型中的参数进行校准和优化,使模型能够准确模拟水资源系统的运行状态和变化规律。(5)模型验证评估:利用实际数据对构建好的模型进行验证和评估,检验模型的准确性和可靠性,根据评估结果对模型进行进一步的调整和完善。

3.2 水资源优化配置与调度

数字孪生技术为水资源优化配置与调度带来了新的变革与机遇,借助数字孪生构建的水资源系统虚拟模型,它如同一个精准的“水资源大脑”,能实时反映水资源的动态变化,为优化配置与调度提供精准依据。在水资源优化配置方面,该模型发挥着关键作用。它综合分析用水户的用水需求、水资源的时空分布等多方面数据。以不同地区为例,依据产业结构、人口规模等因素,精确分配农业、工业和生活用水。比如在农业发达地区,合理分配灌溉用水,提高水资源的利用效率,避免资源浪费,确保每一滴水都能发挥最大价值。在调度环节,数字孪生模型展现出强大的模拟能力^[4]。当遭遇干旱等特殊状况时,它能快速模拟不同调度方案下的水资源状态。通过对各方案的优劣评估,决策者可以选择最优调度策略,保障重点区域和关键行业的用水需求。同时,在水资源调配过程中,模型实时监测,根据实际情况动态调整调度方案。这种动态调整机制确保了水资源始终处于合理配置和高效利用的状态,有力地推动了水资源的集约利用和可持续发展。数字孪生技术在水资源领域的应用,无疑为解决水资源问题提供了一种创新且有效的途径。

3.3 水资源浪费监测与识别

数字孪生技术为水资源浪费监测与识别提供了高效且精准的手段,能有效助力水资源集约利用。(1)多源

数据监测：利用分布在不同区域的传感器网络，实时收集水位、流量、水质等多方面数据，全面掌握水资源的使用情况，为后续分析提供丰富的数据基础。（2）异常数据筛查：通过数字孪生模型对收集到的数据进行实时分析，设定合理的阈值范围，一旦数据超出正常范围，即可快速识别可能存在的水资源浪费情况。（3）用水模式分析：结合历史用水数据和实时监测数据，分析不同用户、不同区域的用水模式，找出用水异常的时段和区域，精准定位浪费源头。（4）设备故障诊断：借助数字孪生技术模拟设备运行状态，判断是否因设备故障导致水资源浪费，如管道漏水、阀门损坏等问题，并及时发出预警。（5）智能算法识别：运用机器学习和人工智能算法，对海量数据进行深度挖掘和分析，提高水资源浪费识别的准确性和效率，实现对水资源浪费的及时发现和处理。

3.4 水资源承载能力评估

数字孪生技术为水资源承载能力评估带来了全新变革，提供了精准且动态的评估视角与方法，借助构建的水资源系统虚拟模型，它能整合多源数据，全方位反映水资源现状及变化。在评估时，模型综合考量水资源总量、用水需求、生态环境需水等诸多因素。通过模拟不同情景下的水资源供需平衡，可深入分析水资源对人口、经济和生态的支撑能力。以经济发展迅速的区域为例，模型能精准预测未来用水需求的增长趋势，判断现有水资源能否满足发展需要。数字孪生模型还具备实时更新数据的能力，可动态监测水资源承载能力的变化^[5]。一旦遭遇干旱、洪水等极端事件，能迅速评估其对水资源承载能力的影响，为水资源管理决策提供科学依据。此外，通过模拟不同的水资源管理策略，能够评估这些策略对提升水资源承载能力的效果，进而制定出更合

理、可持续的水资源利用方案。这种技术不仅能助力水资源的集约利用，还能推动水资源的可持续发展，使水资源管理更加科学、高效，为应对日益复杂的水资源问题提供了有力的技术支撑。

结语

未来，数字孪生技术与物联网、大数据、人工智能等技术深度融合，将极大拓展其在水文监测测验及水资源集约利用领域的应用边界。在水文监测中，借助物联网广泛分布的传感器，可实现更广泛、精细的数据采集，大数据与人工智能则助力对海量数据深度分析，从而提供更精准的预警信息，让人们能提前应对洪水、干旱等灾害。在水资源集约利用方面，融合后的技术能依据实时数据和智能算法，更智能地优化水资源配置与调度，灵活应对复杂多变的水资源形势。随着技术迭代，数字孪生技术将在更多地区和场景落地，为全球水资源可持续发展注入强大动力。

参考文献

- [1]陈欣,姚琼,李松昂.数字孪生技术在水文水资源领域的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2026(3):059-061.
- [2]陈程.数字孪生技术在水文水资源监测中的应用与发展研究[J].水上安全,2025(23):25-27.
- [3]吴普伟.数字孪生技术在智慧水利中的应用[J].中国科技纵横,2026(1):59-61.
- [4]董伟.数字化技术在水资源保护中的应用[J].数字技术与应用,2025,43(5):118-120.
- [5]陈煦旸.数字孪生技术在水文水资源领域的实践探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(11):109-111.