

数字孪生技术在智慧水利的应用和实践

陈雪妮

新疆塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心, 中国·新疆 库尔勒 841000

摘要: 随着大数据、物联网、云计算和人工智能等新一代信息技术的飞速发展, 智慧水利已经成为现代水利建设的重要方向。这些技术的融合和应用, 使得水利管理变得更加高效和智能。其中, 数字孪生技术作为新一代信息技术的集大成者, 在智慧水利中发挥着越来越重要的作用。数字孪生技术通过构建虚拟的水利模型, 实现了对真实水利系统的全面感知和实时监控。这种技术可以将各种传感器收集到的数据进行整合和分析, 从而为水利管理提供更加精准和全面的信息支持。论文将深入探讨数字孪生技术在智慧水利中的应用实践, 以为智慧水利的发展提供有益的参考和借鉴, 推动水利管理向更加智能化和高效化的方向发展。

关键词: 数字孪生技术; 水利管理; 应用实践; 智能化; 高效化

Application and Practice of Digital Twin Technology in Smart Water Conservancy

Xueni Chen

Xinjiang Tarim River Basin Kaidu Peacock River Water Conservancy Management Center, Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: With the rapid development of new generation information technologies such as big data, Internet of Things, cloud computing, and artificial intelligence, smart water conservancy has become an important direction for modern water conservancy construction. The integration and application of these technologies make water management more efficient and intelligent. Among them, digital twin technology, as the culmination of the new generation of information technology, is playing an increasingly important role in smart water conservancy. Digital twin technology achieves comprehensive perception and real-time monitoring of real water conservancy systems by constructing virtual water conservancy models. This technology can integrate and analyze data collected by various sensors, providing more accurate and comprehensive information support for water management. This paper will delve into the practical application of digital twin technology in smart water conservancy, providing useful references and inspirations for the development of smart water conservancy, and promoting the development of water management towards a more intelligent and efficient direction.

Keywords: digital twin technology; water management; application practice; intelligentization; efficient

0 前言

数字孪生技术是一种基于物联网、大数据、人工智能等先进技术的新型技术手段。它通过构建物理实体的虚拟模型, 实现对实体的实时监控、分析和优化。在智慧水利领域, 数字孪生技术的应用具有重要意义。它不仅可以提高水资源的利用效率, 还能有效应对洪涝灾害, 保障供水安全。因此, 水利部门要积极引入数字孪生技术, 让其在智慧水利工程建设中充分发挥其优势, 以为中国的水利工程建设作出新的贡献。

1 数字孪生技术的概念与核心环节

数字孪生技术, 是一种在虚拟空间中创建一个与现实世界中的实体或系统完全一致的数字化复制品的技术。这个复制品不仅在结构和外观上与实体保持一致, 而且通过实时数据的交换与分析, 能够模拟其运行状态, 预测未来的发展趋势, 并为决策者提供有力的支持和参考。数字孪生技术的核心环节主要包括以下几个方面:

①数据采集: 这一环节涉及通过各种手段, 如传感器、无人机、卫星遥感等, 对物理世界中的实时数据进行收集。这些数据包括但不限于物理参数、环境因素、运行状态等, 为后续的数据处理和分析提供原始素材。

②数据处理: 在这一环节中, 采集到的原始数据将经过一系列的清洗、处理和存储过程。目的是消除数据中的噪声和异常值, 确保数据的准确性和可靠性, 为后续的数据分析和模型构建提供坚实的数据基础。

③模型构建: 基于经过处理的数据, 利用数据科学和数字建模技术, 构建一个与真实世界中的物体、系统或流程相对应的虚拟模型。这个虚拟模型能够在虚拟空间中模拟现实世界中的各种情况, 为后续的仿真和预测提供基础。

④模型更新与优化: 在数字孪生技术中, 模型的更新和优化是一个持续的过程。通过不断地进行数据采集和处理, 对虚拟模型进行实时的更新和优化, 确保模型能够准确地反映物理世界的实时情况, 从而提高模型的准确性和可靠性。

⑤仿真与预测：利用构建好的虚拟模型进行仿真和预测，可以提前发现潜在的问题和风险，优化设计方案，提高生产效率和产品质量。通过这种方式，决策者可以在实际操作之前，对各种方案进行模拟和评估，从而做出更加明智的决策。

2 数字孪生在智慧水利中应用架构

数字孪生技术在智慧水利领域的应用实现，依赖于一系列前沿技术的支撑，包括 5G 通信技术、物联网（IoT）、云计算以及地理信息系统（GIS）。应用架构可细分为五个主要层次：感知层、基础设施层、平台服务层、应用层以及标准规范体系与安全保障体系。这些层次共同构成了智慧水利中数字孪生技术的完整框架，如图 1 所示。

①感知层：在智慧水利的数字孪生应用架构中，感知层是基础，它主要负责收集水利设施和环境中的各种数据。这一层通常包括各类传感器、监测设备和数据采集工具，它们能够实时监测水位、流量、水质、气象条件等关键参数。通过这些设备，感知层能够为数字孪生模型提供准确、实时的数据输入，确保模型能够真实反映水利系统的当前状态。

②基础设施层：基础设施层位于架构的第二层，它主要由物理水利设施和相关的硬件设备组成。这些基础设施包括水库、堤坝、闸门、泵站等，它们是智慧水利系统的核心。基础设施层不仅需要具备强大的物理承载能力，还要能够与感知层的设备进行无缝连接，确保数据的顺畅传输。此外，基础设施层还需要具备一定的智能化水平，能够根据平台服务层的指令进行自动化的操作和调整。

③平台服务层：平台服务层是数字孪生技术在智慧水利中应用的核心，它负责处理和分析从感知层和基础设施层收集到的数据。这一层通常包括云计算平台、大数据处理系统和各类分析工具，它们能够对海量数据进行存储、处理和分析，从而为决策提供科学依据。平台服务层还负责将分析结果转化为具体的指令，传递给基础设施层，实现对水利设施的智能化管理。

④应用层：应用层位于架构的最顶层，它直接面向用户，提供各种具体的应用服务。这些服务可能包括水资源管理、洪水预警、水质监测、灌溉调度等。应用层通过可视化界面和用户友好的操作方式，使得水利管理人员能够直观地了解水利系统的运行状态，及时作出决策。此外，应用层还能够根据用户需求，提供定制化的服务和解决方案，提高智慧水利系统的灵活性和实用性。

⑤标准规范体系与安全保障体系：标准规范体系与安全保障体系是整个架构的基石，它们确保智慧水利系统的正常运行和数据的安全。标准规范体系包括一系列技术标准、操作规程和管理规范，它们为智慧水利系统的建设和运行提供了统一的指导和依据。安全保障体系则涵盖了数据安全、网络安全、设备安全和人员安全等多个方面，通过各种安全措施和技术手段，确保智慧水利系统在面对各种威胁时能够保持稳定运行，防止数据泄露和系统瘫痪。

通过以上五个层次的协同工作，数字孪生技术在智慧水利中的应用架构能够实现水利设施的智能化管理，提高水资源的利用效率，增强防灾减灾能力，最终实现水利系统的可持续发展。

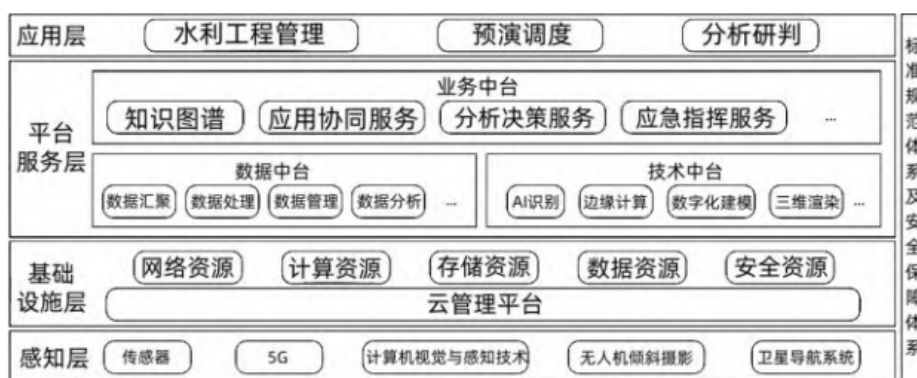


图 1 智慧水利中数字孪生技术的完整框架

3 数字孪生技术在智慧水利中的应用

3.1 实时监测与数据分析

实时监测与数据分析是数字孪生技术的核心应用之一。通过构建精确的虚拟模型，这项技术能够对水利工程进行持续的实时监测和深入的数据分析。例如，Frontop 数字孪生智慧水利解决方案通过多角度、全方位的视角，生动地还原了地形、大坝主体、船闸、电站机组等关键对象的运行状态。这不仅使得水利工程的运行态势一目了然，还通过智能化分

析手段，为水利工程的监控和报警提供了强有力的支持。通过这种方式，数字孪生技术为水利工程建设管理、运行管理等各个环节提供了坚实的保障，确保了水利工程的安全、高效和可持续发展。

3.2 水雨一张图

水雨一张图，其核心在于将水文气象信息、地理信息、工程信息以及社会经济信息整合在一个统一的可视化平台上。通过这种方式，可以实现对各种相关信息的集中展示

和管理,从而为决策者提供更为全面和直观的数据支持。**Frontop** 数字孪生智慧水利解决方案正是基于这一理念,致力于打造一个全面、高效、智能的水利管理平台。

Frontop 解决方案能够对坝区、站点流域的天气状况、降水情况、蒸发量以及渗流情况等关键参数指标进行实时监测和综合分析。通过先进的传感器技术和大数据分析技术,该系统能够实时收集和处理各类环境数据,从而为管理者提供准确的气象信息和水文数据。

Frontop 解决方案还具备灾害气象预警告警功能。它能够实时追踪台风等灾害性天气系统的路径,并提供实时位置信息和路径溯源分析。通过这种方式,管理者可以提前了解潜在的气象风险,从而采取相应的预防措施,减少可能的损失。

在展示方面,**Frontop** 解决方案能够动态展示水位、降水量、影响范围等关键预测数据。通过直观的图表和地图,管理者可以清晰地看到各种气象和水文参数的变化趋势,从而做出更为科学和合理的决策。

Frontop 数字孪生智慧水利解决方案通过整合各类信息资源,实现了气象精准预测和及时响应。它不仅提高了水利管理的效率和准确性,还为防灾减灾提供了强有力的技术支持,确保了社会经济的稳定发展和人民生活的安全。

3.3 水利工程一张图

水利工程一张图的构建是智慧水利的重要组成部分,它不仅仅是水利设施的地理信息展示,更是各种数据的综合展现与分析工具。通过这张图,我们可以直观地看到水利工程的全貌,包括各种水利设施的分布、状态以及相关数据。**Frontop** 数字孪生智慧水利解决方案在这一方面发挥了重要作用,它通过整合闸门开度、机电设备运行的电流电压、电量等状态信息,以及水利工程现场等大量工程管理信息,实现了对水利工程的全面监控和管理。

Frontop 数字孪生智慧水利解决方案的核心在于其强大的数据整合能力。它不仅能够实时获取各种设备的状态信息,还能够将这些信息与水利工程现场的实际情况相结合,形成一个实时态势数字孪生。这样,我们就可以在办公室里通过电脑屏幕,实时了解水利工程的运行状况,及时发现并处理各种问题。

Frontop 数字孪生智慧水利解决方案还具备远程监测功能。这意味着我们无需亲临现场,就可以对水利工程进行实时监控和管理。无论是在办公室,还是在家中,只要通过网络连接,我们就可以随时查看水利工程的运行状况,确保水利工程的安全和稳定运行。

3.4 防汛能力建设

近年来,随着全球气候变化的加剧以及城市化进程的不断加快,防汛工作面临着前所未有的挑战。为了应对这些挑战,提升防汛能力显得尤为重要。在这一背景下,数字孪生技术的应用在防汛能力建设中发挥了至关重要的作用,成

为增强抗洪能力的有效手段之一。

Frontop 数字孪生智慧水利解决方案通过整合和接入各类实时数据,如雨量、气象、水位以及监控数据,实现了对防汛关键信息的全面掌握。该方案能够精准定位各个测站的具体位置,全面掌握降雨量的时空分布情况以及水位的走势变化。通过这些数据的综合分析,**Frontop** 成功打造了一个数智化的防汛大脑,为防汛工作提供了强大的数据支持和决策支持。

Frontop 数字孪生智慧水利解决方案还具备智能辅助分析和预警功能。通过先进的算法和模型,该方案能够实时监测和分析各种防汛数据,及时发现潜在的风险点,并发出预警信息。这不仅提高了防汛工作的效率,还极大增强了防汛工作的准确性,确保了防汛措施的及时性和有效性。

3.5 水网调度

水网的高效调度对于水资源的合理配置与有效利用具有至关重要的作用。**Frontop** 数字孪生智慧水利解决方案通过整合供水系统中的海量数据和物联网设备,实现“一站式”管理,使得整个管网的分布情况一目了然。通过实时监测供水设备的运行状态,结合动态数据分析,**Frontop** 解决方案能够及时发现水质问题,并在管网压力出现异常时自动发出预警。这种全面的管理方式不仅提高了供水系统的透明度,还增强了应对突发事件的能力,从而构建了一个“智慧化、集约化、安全化、可持续化”的供水管理体系。通过这种方式,水资源的利用效率得到了显著提升,同时也为城市的可持续发展提供了有力保障。

4 数字孪生技术在智慧水利中的实践案例分析

在智慧水利领域,数字孪生技术的应用已经取得了显著的成效。以某大型水库为例,该水库在引入数字孪生技术后,实现了从数据洞察到智慧决策的全面升级。通过构建水库的数字孪生模型,结合历史降雨和洪水数据以及实时气象信息,系统能够准确预测未来一段时间内的洪水发展趋势。这不仅提高了水库管理的效率,还为防洪减灾提供了强有力的技术支持。

在洪水到来之前,系统能够提前生成调度预案和应急响应方案,并通过可视化界面展示给决策者。这不仅提高了决策的科学性和准确性,还大幅缩短了应对时间,为防洪工作赢得了宝贵的准备时间。此外,数字孪生技术还能实时监测大坝的运行状态和健康状况。一旦发现异常情况或潜在的安全隐患,系统能够立即发出预警信号,并给出相应的处理建议。这为大坝的安全运行提供了有力保障。

系统还能对大坝的安全状况进行定期评估,为大坝的维护和管理提供科学依据。通过对大坝结构的全面分析和评估,系统能够及时发现潜在的问题,并提出相应的维修和加固建议。这样不仅提高了大坝的使用寿命,还确保了大坝的安全稳定运行。通过数字孪生技术的应用,该大型水库在智

慧水利建设方面取得了显著的成果，为其他水利工程的智慧化改造提供了宝贵的经验和借鉴。

5 结论与展望

数字孪生技术的应用使得智慧水利的建设向前迈出了重要一步，它为水资源的管理与决策提供了强有力的支持。通过构建数字孪生模型，实现水利工程运行状态的实时监测精准预测与智能调度，不仅提高了水资源管理的效率和精度，还增强了应对自然灾害的能力，保障了区域经济社会的发展安全。未来，随着技术的不断进步和应用的不断深化，数字孪生技术将在水利行业中发挥更加重要的作用，以推动水利事业实现更高质量的发展。

参考文献：

- [1] 王松岳.数字孪生技术在智慧水利建设中的应用[J].山东水利,2023(9):13-14.
- [2] 刘斌.数字孪生技术与智慧水利系统的融合及应用[J].江苏水利,2023(增刊2):41-44.
- [3] 张以晓.论数字孪生技术与智慧水利建设[J].黑龙江水利科技,2023,50(7):180-183.
- [4] 张亚丽.数字孪生技术在智慧供水建设中的实践探索[J].中国信息化,2023(5):101-102.

作者简介：陈雪妮（1989-），女，中国四川广安人，中级工程师。