

Reflection on the Integration of Digital Twin Technology and Smart Water Conservancy System

Cheng Xiao Yujing Xie

Nanjing Institute of Water Resources, Hydrology and Automation of Ministry of Water Resources, Nanjing, Jiangsu, 210012, China

Abstract

The outline of the 14th Five Year Plan of the country clearly proposes to “build a smart water conservancy system, and enhance the water situation monitoring and intelligent dispatching capabilities based on river basins”. The Ministry of Water Resources also attaches great importance to the construction of smart water conservancy, taking the promotion of smart water conservancy construction as one of the six implementation paths to promote the high-quality development of water conservancy in the new stage, and taking smart water conservancy as a significant symbol of the high-quality development of water conservancy in the new stage. Digital twin technology is the core and key of smart water conservancy, and can provide strong support for the planning, design and construction management of digital water conservancy. This paper focuses on the integration of digital twin technology and intelligent water conservancy system, and discusses its application and future development direction for its reference.

Keywords

digital twin technology; intelligent water conservancy system; fusion

数字孪生技术与智慧水利系统的融合思考

肖城 谢渝静

水利部南京水利水文自动化研究所, 中国·江苏 南京 210012

摘要

国家“十四五”规划纲要明确提出“构建智慧水利体系,以流域为单元提升水情测报和智能调度能力”。水利部也高度重视智慧水利建设,将推进智慧水利建设作为推动新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一,并将智慧水利作为新阶段水利高质量发展的显著标志。数字孪生技术是智慧水利的核心与关键,能为数字水利的规划设计与建设管理提供强有力的支持。论文围绕数字孪生技术与智慧水利系统的融合展开思考,并对其应用与未来发展方向进行探讨,以供参考。

关键词

数字孪生技术; 智慧水利系统; 融合

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术(Digital Twin Technology)是一种前沿的科技创新,通过创建与现实世界中的物理实体相对应的数字模型,实现实时监控、深入分析并持续优化这些物理实体。该技术将物理世界中的各种物体及其复杂行为,综合运用物联网、云计算、大数据分析、人工智能等多种先进技术手段,转化为数字化信息,从而将物理实体的整个生命周期过程完整地再现在虚拟空间中。数字孪生技术并不局限于对物理对象的运行状态进行模拟和预测,它还可以在虚拟环境中进行各种实验和优化操作,然后对其进行科学的指导和决策支持。通过这一技术,无论是在生产制造、城市规划、医疗卫生等领域,我们都可以实现对物理实体的全方位监控和管

理,在水利领域数字孪生技术已经显示出巨大的应用潜力和价值,在提高资源利用效率、降低运行成本的同时,系统可靠性、安全性也得到了加强。随着技术的不断进步,应用领域的不断扩大,未来推动各行各业数字化转型、智能化升级,数字孪生技术势必扮演更加重要的角色。

2 数字孪生技术与智慧水利系统的融合

2.1 水利工程的全生命周期管理

数字孪生技术的引入,在水利工程的整个生命周期管理中,为实施精细化的管理工作提供了一条新的途径。数字孪生技术通过虚拟与现实的深度融合,对水利工程的各个环节进行精确模拟和预测,从而对工程的实际运行状况进行动态监测,并对历史数据进行趋势分析和故障预测,使工程的管理效率与安全水平得到了很大的提高。第一,此技术在水利工程的规划与设计阶段,能够对工程的三维可视化模型进

【作者简介】肖城(1978-),中国江西南城人,高级工程师,从事数字孪生技术、遥测与通信技术研究。

行生成,对不同设计方案的实际运行效果进行模拟和比较。对流体动力学模型和环境参数的模拟,对工程设计起到有效的优化作用,使设计阶段的盲目性得以降低。第二,在施工阶段,数字孪生系统能够对建设过程中的进度控制材料消耗和质量控制进行实时监控,并将实际施工情况与设计方

案进行比较分析发现偏差及时进行调整。第三,数字孪生技术还能对复杂环境下的施工过程进行模拟,对潜在风险进行预测,并指导施工队伍对施工方案进行更为科学的调整和规划。第四,在水利工程的运行和维修阶段,数字孪生系统能够对实时数据进行连续监测,对可能出现的异常情况进行及时发现和预警处理。因此,通过数字孪生技术的运用,为水利工程的运行和维修工作提供了有力的支撑与保障。采用数字孪生技术,可实现设备状态的全时段监控,对设备运行中的潜在故障点进行分析,并动态优化设备维护策略,结合大数据分析技术延长设备使用寿命,降低维护费用。第五,数字孪生技术还可以预测水利工程的长期运行趋势,通过历史资料的积累和分析,为后续的扩容改造提供科学依据。第六,水利工程全生命周期管理中应用数字孪生技术,在灾害预警和应急管理中也有一定的体现。该数字孪生系统通过对水文资料、气象资料和工程运行资料的整合分析,模拟工程在极端气象条件下的应急反应能力,对工程结构的抗灾能力进行评估,并在灾害发生前启动相应的防范措施。该系统可在灾害发生时,为减轻灾害对工程及周边地区的损害,提供最优的应急处理方案。水利工程全生命周期管理将通过不断优化完善的数字孪生技术,更加智能高效,从而促进智慧水务体系的整体发展。

2.2 水资源调度与优化管理

数字孪生技术为智慧水利系统的建设提供强有力的技术支撑,使虚拟与现实得到高度精确的映射。在水资源的调度和优化管理中,数字孪生技术能够进行实时数据的采集和动态的建模与仿真推演,从而对水资源的科学管理提供科学可靠的依据。数字孪生系统在感知层传输层和应用层的协同配合下,对各种水文数据和水利工程数据进行多源融合,形成水资源的全息数字模型,使决策者对水资源的时空分布特征有准确的把握,对水资源的利用效率进行动态的考核,对潜在的浪费与不足进行识别,从而对水资源的合理调配起到可靠的决策支撑作用。而且数字孪生技术还能使水资源调度方案具有更高的科学性和合理性,通过数字孪生模型对实时水文数据和预测模型进行集成,对不同的水资源调度方案进行仿真推演和效果评估,并对各种影响因素进行综合考量,以建立多维的调度优化模型,在先进的算法和优化方式的帮助下,对调度方案进行实时调整,使水资源的利用效率达到最高,浪费最小,对保障用水安全起到很大的作用。另外,数字孪生技术还能通过虚拟与现实的实时交互,对水资源的动态变化进行精确掌握,在优化管理中发挥重要作用。因此,在水资源的调度中,数字孪生技术的应用,使方案更科学更

合理。智慧水务系统可实现多层次联动,全流程管控,依托数字孪生技术。管理者通过数字建模不同水利单元,如水库、河流、灌区等,可以对各水利单元的运行状态进行实时监控,对潜在风险点进行识别,并预先做好应对预案。同时,数字孪生技术还能深入挖掘和分析历史数据,识别管理过程中的瓶颈和薄弱环节,提供数据支持,使管理策略更加优化。最后,在水资源管理中,数字孪生技术也能高效调度和调配资源。数字孪生系统通过多源异构数据的整合处理,可以对水资源的流动路径进行实时跟踪,对水资源的供求平衡进行动态分析,并制定出合理的资源调配方案。水利管理部门在实际应用中,可依托数字化双生系统,对水库群进行优化联合调度,提高供水可靠性和稳定性。并且数字孪生技术还可以提供洪水、干旱等突发事件的预警和应急管理支持,保证水资源管理的灵活性和应变能力。

2.3 水环境与水质监测

在水环境与水质监测领域的融合发展尤为显著,数字孪生技术在智慧水利系统中的应用不断深化。通过引入数字孪生技术,实现多维度、全时段的水环境监控,从而精准数据支撑智慧水务系统建设。一是通过构建虚拟模型,在水环境监测过程中,实时反映水体动态变化。该技术以采集流域各类水文、水质参数为基础,以物理传感网络为基础,向数字化空间进行映射,形成具有动态演进能力的数字化双子。水环境的空间异质性通过融合遥感影像、地理信息系统(GIS)等数据源的方式得以全面展现,对污染扩散路径和水体演化过程进行了精确刻画。二是在水质监测方面,数字化双胞胎可以模拟水体理化特性的变化及其对环境扰动的响应,结合历史资料和实时监测资料。数字化孪生技术可以根据机理模型和数据驱动模型的融合应用,预测水质参数的变化趋势(如溶解氧、氨氮、总磷等),从而提供科学的水质预警依据。同时,数字孪生可针对不同尺度水体的污染物迁移行为进行精细化表征,以多尺度建模和多源数据融合为基础,协助制定更为精确的水环境治理策略。智慧水利系统的建设中,水环境与水质监测的精确性与实时性至关重要。通过引入数字孪生技术,能够在数字空间中实现水环境要素的全方位感知与动态模拟。各类传感器采集的水文、水质数据通过物联网技术实时传输至数字孪生系统,构建虚实结合的水环境监测网络。数字孪生体在获取数据后,通过内嵌的水文模型和水质模型,进行数据处理与分析,提供对水环境状态的动态评估。并且在水质监测的应用场景中,数字孪生技术可以通过高精度数值模拟,实现对污染事件的实时追踪与溯源。结合流域水动力学模型和水质模型,能够模拟出污染物的传播路径和扩散范围,进而制定出针对性的应急处理措施。此外,数字孪生体可通过实时数据分析,识别出潜在的水质异常情况,并通过智能算法进行预警等级的自动化评估,确保对突发水质事件的快速响应。通过虚拟模型的不断优化和升级,数字孪生技术在水环境与水质监测中的应用将

更加成熟，为智慧水利系统的全面建设提供技术支持。

3 未来发展方向

为了更好地推动数字孪生技术与智慧水利系统的融合，未来可以从以下几个方面进行探索。

3.1 提高数字孪生模型的精度和适应性

为使数字孪生模型的精确度和应用范围得到进一步的改善和提高，我们会在建模技术方面引入更为先进的理论和算法，对现有技术手段进行不断优化和升级，以期使数字孪生模型的模拟和预测精确度有较大幅度的增强。另外，针对不同类型的水利系统，我们会对数字孪生模型进行定制化开发，使之在应对复杂多变的水文条件和满足不同应用场景下的具体需求的同时，能够有更高的针对性和适应性。通过这种方式，我们希望能够为水利系统的规划管理和维护提供更为可靠高效的解决方案，从而对水利事业的发展起到更大的促进作用。

3.2 完善数据采集与处理技术

为使水利系统达到更高的现代化水平，我们将致力于在数据采集和处理技术方面加以改进。首先，我们将在水利系统中推广物联网技术的应用，使各种传感器和监控设备能够对水位流量水质等关键指标进行实时监测，从而在数据获取的实时性和精确性上得到很大的提升。其次，我们将在大数据技术的基础上对海量的水利资料进行智能化分析和处理，运用先进的算法和计算模型，从中提取出有价值的信息来为水利管理提供更为精确的数据支撑，并对潜在的风险和趋势做到心中有数。对水资源的合理配置和利用有重要保障作用，既能提高水利管理工作的效率；又能为决策提供科学依据。最后，还将对数字孪生模型进行进一步的改进，使之对水利系统的运行状况有更准确的模拟和预测。把实时采集的数据与数字孪生模型相结合，对水利系统的实际运行状况有更精确的模拟和预测，从而能够提前发现潜在问题并采取相应的应对措施，在为水利系统的安全运行和可持续发展提供强有力的技术保障的同时，也有效地提高了水利管理的效率。因此，这是一项一举多得的举措。

3.3 增强系统之间的协同与集成

为打破各子系统间的信息孤岛，实现各子系统内各模块的无缝协同与集成，需要采取一系列的措施，通过建立一

个一体化的智慧水利管理平台，从而提升整个系统的效率和响应速度，并且应用这一平台，能够更好地利用数字孪生技术，充分发挥其在模拟预测优化等方面的潜力，从而为水利管理提供更加精确的决策支撑，使能够对各类复杂的水利问题进行更好的应对和解决，通过整合各子系统，在数据的共享利用上也会有很大的提升，同时实现资源的优化配置，进而使整个水利系统的运行效率得到提高，管理上水平也能得到很大的提升。

3.4 推动技术标准化与推广应用

为保障数字孪生技术在智慧水利领域得到高效应用，应制定一系列的标准和规范来促进技术的标准化工作，以促进系统的互操作性和兼容性，并因此促进技术的推广应用。另外，还将加大与各地水利机构的合作力度，积极促成科研单位企业间的协同创新，以共同促进数字孪生技术在水利工程上得到广泛的应用，促进水利工程智能化程度的提高和水资源的有效管理与利用，在提高水利工程运行效率的基础上，为应对气候变化与水资源短缺的挑战提供有力的技术支撑。通过多方合作，实现数字孪生技术在水利工程上的应用，促进智慧水利的发展。

4 结论

数字孪生技术与智慧水利系统的融合，为水利工程建设和管理提供了一种全新的思路 and 手段。今后数字孪生技术将随着技术的不断进步和完善，在智慧水利系统中发挥越来越重要的作用，实现与水利物理对象同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，为实现水资源的可持续发展提供强有力的技术支撑，通过该技术的应用，可实现对水资源的精细化管理、动态监测和智能调度，支撑“四预”（预报、预警、预演、预案）功能实现，有效提升水利系统的管理水平和应对能力。

参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部.数字孪生流域建设技术大纲(试行)[Z].2022.
- [2] 宋敏,周伊文.数字孪生技术赋能水利工程建设管理路径[J].水利经济,2023,41(6):73-78.
- [3] 郭磊,张红旗,程五四,等.基于数据驱动的数字孪生技术研究现状与展望[J].机械,2023,50(7):1-10.
- [4] 张雨,边晓南,张洪亮,等.数字孪生技术在大型灌区的应用前景研究[J].灌溉排水学报,2022,41(S2):71-76.