

水利规划中数字孪生技术的应用研究与实践

苏妍妹

黄河勘测规划设计研究院有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17092

[摘要] 在水利规划面临转型升级、追求更高效精准发展的当下,数字孪生技术凭借其独特优势展现出巨大应用潜力。本文先阐述了数字孪生技术的数据采集与传输、建模与仿真等关键技术。接着介绍了该技术在水资源规划、防洪减灾规划、水生态保护与修复规划以及水利工程建设与管理规划中的应用场景。最后从数据基础建设、模型构建与优化、系统开发与集成、人才培养与团队建设等方面,提出数字孪生技术在水利规划中的应用策略与实践要点,推动水利规划智能化、精准化发展。

[关键词] 水利规划; 数字孪生技术; 应用; 实践

中图分类号: TV212 文献标识码: A

Research and Practice on the Application of Digital Twin Technology in Water Resources Planning

Yanmei Su

Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd.

[Abstract] As water resources planning undergoes transformation and upgrading, pursuing more efficient and precise development, digital twin technology demonstrates significant application potential with its unique advantages. This paper first elaborates on the key technologies of digital twin technology, including data collection and transmission, modeling and simulation. It then introduces the application scenarios of this technology in water resources planning, flood control and disaster reduction planning, water ecological protection and restoration planning, as well as water conservancy project construction and management planning. Finally, from the perspectives of data infrastructure construction, model building and optimization, system development and integration, talent cultivation and team building, the application strategies and practical key points of digital twin technology in water resources planning are proposed to promote the intelligent and precise development of water resources planning.

[Key words] Water Resources Planning; Digital Twin Technology; Application; Practice

引言

在水利规划领域,传统方法在应对复杂多变的自然环境与日益增长的水利需求时,逐渐显露出局限性。数字孪生技术作为新兴的数字化手段,融合了数据采集、建模仿真、大数据与人工智能等多项关键技术,能够精准模拟水利系统的运行状态,为水利规划提供科学依据。本文将深入剖析数字孪生技术在水利规划中的关键技术、应用场景,并从数据基础建设、模型构建优化、系统开发集成、人才培养团队建设等方面,探讨其应用策略与实践要点。

1 数字孪生技术的关键技术

(1) 数据采集与传输技术是基础,涵盖传感器技术、物联网技术及通信技术。传感器负责实时感知水利系统各类状态信息,物联网技术将众多传感器连接成有机整体,通信技术则保障数

据能稳定、快速地传输至数据处理中心,为后续分析提供及时准确的数据支撑。(2) 建模与仿真技术,通过建立水利系统的数学模型,可运用数学方法描述系统内在规律;物理模型能直观呈现水利设施结构与运行特征;数据模型则整合各类数据,实现对水利系统的动态模拟与仿真分析,提前预测系统在不同条件下的运行状况,为规划提供科学依据。(3) 大数据与人工智能技术,面对海量水利数据,大数据技术实现高效存储与管理,人工智能技术则深入挖掘数据潜在信息,通过机器学习、深度学习等算法,分析数据间关联与规律,为水利规划提供精准智能的决策建议^[1]。(4) 虚拟现实与增强现实技术,将数字孪生模型以直观可视化形式呈现,用户可沉浸式观察水利系统运行状态,增强现实技术还能将虚拟信息与现实场景融合,使用户在真实环境中获取更多信息,便于更直观地理解规划方案,提高决策的科学性与及时性。

2 水利规划中数字孪生技术的应用场景

2.1 水资源规划

一是水资源供需预测,利用数字孪生模型整合气象、水文数据,掌握降水、径流等自然状况;纳入人口、经济数据,了解用水需求变化趋势。通过综合分析这些数据,能精准预测不同规划期内水资源供需情况,为合理配置水资源提供坚实依据,避免水资源短缺或浪费现象。二是水资源优化配置,借助数字孪生技术模拟功能,可对不同水资源配置方案展开全面分析。一方面,能评估各方案下水资源利用效率,确定如何提高水资源的有效利用率,减少损耗;另一方面,可分析方案对生态环境的影响,如对河流生态流量、湿地生态系统的改变等。基于这些分析结果,对方案进行优化调整,实现水资源在经济、社会、环境等多方面的可持续利用。三是水资源保护规划,模拟各类水资源保护措施的实施效果,针对水源地保护,可模拟不同保护范围和保护措施对水源地水质、水量的影响;对于水污染防治,能模拟不同治理方案对水体污染物的去除效果、对水生态的修复作用等。

2.2 防洪减灾规划

第一,洪水预报与预警方面,通过构建洪水数字孪生模型,可实现对降雨、水位、流量等关键数据的实时监测。这些数据被持续输入模型后,能精准预测洪水的发展趋势,包括洪峰流量、到达时间等,同时确定其可能的影响范围,如淹没区域、受灾人口等。第二,防洪工程规划环节,数字孪生技术可模拟不同防洪工程方案的多项指标。对于防洪能力,能评估各方案在不同洪水标准下的防洪效果,如堤防的挡水能力、水库的调蓄能力等;在工程投资方面,可精确计算不同方案的建设成本、维护成本等;还能分析方案对生态环境的影响,如对河流生态、湿地生态的改变^[2]。第三,洪涝灾害应急管理时,当灾害发生,数字孪生模型可快速模拟灾害发展过程,清晰呈现洪水蔓延速度、淹没范围变化等情况。依据模拟结果,能制定科学合理的应急疏散方案,确定疏散路线、疏散地点等;同时制定有效的抢险救援方案,合理调配救援力量和物资,提高应急管理的针对性和实效性,最大程度减少洪涝灾害造成的损失。

2.3 水生态保护与修复规划

(1)在水生态保护与修复规划中,首先是水生态系统模拟,通过构建水生态系统数字孪生模型,能够全面模拟水生态系统的结构,涵盖水体、底泥、生物群落等组成部分;精准模拟其功能,如物质循环、能量流动、信息传递等;还能动态呈现其变化过程,包括季节性变化、长期演变等。同时,借助该模型可评估人类活动对水生态系统的影响,如工业废水排放对水质的影响、过度捕捞对水生生物种群的影响等,为后续规划提供基础数据。(2)基于水生态系统模拟结果开展水生态保护规划,可制定明确的水生态保护目标,保障水生生物的生存环境;确定具体保护措施,包括实施生态流量调度,确保河流在不同时段有足够的水量维持生态平衡;加强水生生物保护,设立禁渔区、保护珍稀物种;开展湿地保护,维护湿地的生态功能等,以此保护和修复受损的水生态系统。(3)在水生态修复过程中,数字孪生技术可用于水

生态修复效果评估,通过模拟水生态修复措施的实施效果,评估修复措施对水生态系统结构和功能的改善程度。依据评估结果,及时调整和优化水生态修复规划,确保修复工作朝着更有效、更科学的方向发展。

2.4 水利工程建设与管理规划

一是在水利工程选址与布局方面,借助数字孪生模型,能充分整合地形、地质、水文等多方面条件信息。对不同水利工程选址和布局方案展开模拟分析,精准评估各方案下的工程效益,如灌溉工程的灌溉面积、供水工程的供水量等;同时考量环境影响,包括对周边生态、土地利用等方面的影响。二是水利工程设计优化环节,数字孪生技术发挥关键作用。在工程设计过程中,运用该模型进行结构分析,可精确计算工程结构在不同工况下的应力、变形等情况,确保结构安全;开展水流模拟,能清晰呈现水流在工程设施内的流动状态,基于这些分析模拟结果,对工程设计参数进行优化调整,提高工程的安全性和可靠性,避免工程在建设和运行过程中出现安全问题^[3]。三是水利工程管理规划方面,建立水利工程数字孪生管理平台意义重大。该平台可实时监测水利工程的运行状态,同时掌握设备状况,通过这些实时数据,实现水利工程的智能化管理和维护,及时发现工程运行中的异常并采取措施,保障工程长期稳定运行。

3 水利规划中数字孪生技术的应用策略与实践要点

3.1 数据基础设施建设

在数据采集与整合方面,需构建完备的水利数据采集体系,全面涵盖气象、水文、地质、工程等各类相关数据。其中,气象数据包含降水、气温、风速等信息,水文数据涉及水位、流量、水质等,地质数据涵盖地形地貌、土壤性质等,工程数据则包括水利设施的运行参数、结构状况等。通过多渠道、多方式的采集手段,确保数据来源广泛且可靠,保证所采集数据的完整性,不遗漏关键信息;保证数据准确性,使其真实反映实际情况;保证数据及时性,能够快速获取最新数据,为后续分析提供有力支撑。在数据存储与管理上,运用先进的大数据存储技术搭建水利数据中心,将采集到的各类数据依据不同类型、用途进行细致分类,并采用分布式存储、云存储等科学的存储方式,实现数据的高效存储。同时,建立完善的数据管理系统,便于对数据进行查询、调用、更新等操作,提高数据利用效率,让数据在水利规划的各个环节充分发挥作用。在数据质量保障方面,建立严格的数据质量评估和监控机制,定期对采集到的数据进行全面检查,查看数据是否存在缺失、错误、异常等情况,并进行及时校准和修正。

3.2 模型构建与优化

其一,模型选择与建立环节,需紧密结合水利规划的具体需求。明确规划目标是侧重于水资源调配、防洪减灾,还是水生态保护等,以此为依据挑选合适的建模方法和工具。若涉及复杂水流模拟,可能选用计算流体动力学方法;若关注系统整体动态,系统动力学方法更为适用。其二,模型验证与校准至关重要。利用实际采集的水利数据,对所建模型进行全面验证^[4]。将模型模

拟结果与实际数据进行对比分析,找出存在的偏差。根据偏差情况,科学调整模型参数,经过多次迭代优化,不断提高模型的模拟精度,使其能更精准地模拟水利系统的实际运行状况,增强预测能力。其三,模型更新与维护不可或缺。水利系统处于动态变化中,新的水利工程建成、气候条件改变、人类活动影响等因素,都会使水利系统特性发生变化。同时,随着数据不断积累,能为模型优化提供更多信息。

3.3 系统开发与集成

一是系统架构设计,精心规划合理的水利数字孪生系统架构。该架构通常涵盖数据层、模型层和应用层。数据层作为基础,负责各类水利数据的存储与管理,要保证数据的安全、有序存放,且便于快速调用;模型层是核心,承载着水利数字孪生模型,需具备强大的模拟分析能力,以精准反映水利系统运行状况;应用层则面向用户,提供直观、便捷的操作界面和多样化的功能服务。二是系统开发与实现,运用高效的编程语言和开发框架,开发水利数字孪生系统,确保系统具备强大的功能。实现数据的采集功能,能够从多种数据源实时获取水利数据;具备稳定的数据传输能力,保证数据准确无误地传输至指定位置;拥有高效的数据处理和分析能力,可对海量数据进行快速处理,挖掘数据背后的价值,为水利规划提供有力支持。三是系统集成与测试,将开发完成的各个模块进行有机集成,形成一个完整的系统。随后进行全面的系统测试和联调,检查系统在不同场景下的运行情况,排查可能存在的故障和问题,确保系统具有良好的稳定性和兼容性,能在各种环境下稳定运行。

3.4 人才培养与团队建设

(1) 专业人才引进,需聚焦具有数字孪生技术与水利工程专业背景的复合型人才。这类人才既掌握数字孪生技术在数据采集、模型构建、系统开发等方面的专业知识,又熟悉水利工程的规划、设计、管理等业务流程。将他们引入水利规划团队,能够为团队注入新的活力与专业力量,填补在数字孪生技术应用方面的知识空白,提升团队整体的技术水平和创新能力,使团队在面对复杂的水利规划问题时,具备更强的解决能力。(2) 人员培训与提升,定期组织团队成员参加数字孪生技术、水利规划等相

关培训课程,培训内容涵盖数字孪生技术的最新发展动态、前沿应用案例,以及水利规划的新理念、新方法。通过系统培训,帮助人员更新知识结构,提高业务水平和技术能力,使其能够熟练掌握并运用数字孪生技术解决水利规划中的实际问题,提升工作质量和效率^[5]。(3) 团队协作与沟通,建立良好的团队协作机制,明确各成员的职责分工,确保团队工作有序开展。加强团队成员之间的沟通与交流,建立畅通的沟通渠道,通过充分沟通,促进成员之间的思想碰撞和经验分享,提高团队的工作效率和创新能力,形成强大的工作合力,共同推动数字孪生技术在水利规划中的深入应用和持续发展。

4 结语

综上所述,数字孪生技术为水利规划带来全新契机,在水资源、防洪减灾、水生态保护、水利工程建设与管理等多方面展现出显著优势与应用价值。通过加强数据基础建设、优化模型、开发集成系统以及重视人才培养与团队建设等策略与实践要点,能充分发挥其效能。未来,应持续探索创新,推动数字孪生技术与水利规划深度融合,助力水利事业朝着智能化、精准化方向迈进,实现水资源的高效利用与可持续发展,为社会经济发展提供坚实的水利保障。

[参考文献]

- [1] 杨振宇,张彦波.数字孪生技术在水利工程规划与设计中的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):41-44.
- [2] 王志东,魏至胜,匡桂喜.数字孪生技术在水利工程中的应用研究[J].智能城市,2025,11(2):134-136.
- [3] 王佳丽,徐世雄,咸忠熙.数字孪生技术在智慧水利中的应用探讨[J].安家,2025(6):0196-0198.
- [4] 丁晓云.水利工程中数字孪生技术的构建与实施路径研究[J].现代工程科技,2025,4(15):133-136.
- [5] 胡红辉.水利工程设计优化中数字孪生技术的实践方法与效果分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(3):070-073.