

水利数字孪生建设意义的思考

戴一平

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300202

摘要：水利数字孪生建设融合多项核心技术，包括数据采集与处理、仿真建模与优化、实时监控与预测以及云计算与大数据分析，这些技术共同支撑起数字孪生系统的构建与运行。水利数字孪生建设的意义在于提高水利工程规划与设计水平，优化运行与管理，提升安全与效益，以及促进智能化发展。通过数字孪生技术，水利工程能够实现更高效、安全、智能的管理，为水利事业的可持续发展提供有力保障。

关键词：水利；数字孪生；建设意义

引言：水利数字孪生建设作为水利工程现代化的核心驱动力，正逐步革新传统水利管理的面貌。在信息技术的浪潮中，数字技术与水利工程的深度融合已成为大势所趋。通过构建与现实水利工程精准对应的虚拟模型，水利数字孪生技术不仅极大地提升了水利工程的管理效能，更为水利安全提供了坚实的科技支撑。这一创新性的举措，正引领着水利工程向着更加智能化、精细化的方向发展。

1 水利数字孪生的概念

水利数字孪生，作为智慧水利的重要组成部分，是数字化技术在水利领域的一次创新性应用。这一技术通过构建一个与现实水利设施相对应的虚拟模型，实现了物理世界与数字世界的实时交互与映射。具体而言，水利数字孪生是指利用先进的数字化手段，将水利工程的实体结构、运行状态及其周边环境等信息进行高精度采集、处理与建模，形成一个与现实水利工程高度相似的虚拟孪生体。在水利数字孪生的构建过程中，首先需要水利工程的各项参数进行全面而精准的测量与收集，这包括但不限于工程结构尺寸、材料特性、运行状态数据以及周边环境参数等。随后，利用三维建模、大数据分析、人工智能等先进技术，对这些数据进行深度处理与分析，以构建出一个与实体水利工程高度一致的虚拟模型。这个虚拟模型不仅能够实时反映实体水利工程的运行状态，还能够通过模拟仿真等手段，对水利工程的运行过程进行预测与优化。例如，在洪水预警方面，水利数字孪生可以通过模拟洪水演进过程，提前预测洪水对水利工程的影响，从而为防洪调度提供科学依据。在工程设计阶段，数字孪生技术也可以构建虚拟模型，模拟水利工程的运行状态和效果，这不仅可以提高设计的精准性和可靠性，还可以减少物理模型的制作成本和时间^[1]。此外，水利数字孪生还具有实时性、精准性、可视

化和可预测性等特点。它能够为水利工程建设与管理提供全面、实时、准确的信息支持，帮助管理者及时发现并解决问题，提高水利工程的安全性和运行效率。

2 水利数字孪生建设的核心技术

2.1 数据采集与处理

2.1.1 数据采集技术

数据采集技术是水利数字孪生建设的第一步，它涉及多种传感器和监测设备的部署与应用。这些传感器和监测设备能够实时监测水利工程运行状态的各项参数，如水位、流量、水质、降雨量等。通过部署水位计、流量计、浊度仪、水质监测仪等设备，可以实现对河流湖泊的生态流量与生态环境的全面监测。同时，接入水泵PLC、水闸PLC等设备，能够实时采集设备运行状态与工作参数，为后续的数据处理与分析提供可靠的数据源。

2.1.2 数据传输与集成

在水利数字孪生建设中，数据采集后的传输与集成环节至关重要。为确保数据能够实时、准确地送达数字孪生系统，我们依赖于先进的数据传输技术，特别是物联网（IoT）技术的运用，它实现了数据的无线、高效传输，大大提升了数据传输的灵活性和便捷性。同时，数据在传输过程中的完整性和安全性也得到了严格保障，通过加密技术和校验机制，有效防止了数据的丢失或被非法篡改。在数据集成方面，我们面对的是多源异构数据的挑战。为此，我们构建了统一的数据集成平台，该平台具备强大的数据处理能力，能够将来自不同渠道、不同格式的数据进行统一管理和整合，为数字孪生系统的后续建模与分析奠定了坚实的基础。

2.1.3 数据预处理与清洗

数据预处理与清洗是确保数据质量的关键步骤。在数据采集与传输过程中，由于各种原因，数据可能会存在缺失、异常或噪声等问题。因此，需要对数据进行预

处理和清洗,包括数据去重、缺失值填充、异常值检测与处理等。通过数据预处理与清洗,可以提高数据的准确性和可靠性,为后续的数据分析与建模提供高质量的数据支持。

2.2 仿真建模与优化

水利数字孪生建设的核心技术之二在于仿真建模与优化,这一环节是实现数字孪生系统预测、分析与优化功能的关键。(1)高精度模型构建:利用先进的建模技术,如BIM(建筑信息模型)、GIS(地理信息系统)等,构建与现实水利工程高度一致的虚拟模型。这些模型能够准确反映水利工程的结构特性、运行规律及与周边环境的相互作用。(2)动态仿真技术:基于高精度模型,运用动态仿真技术模拟水利工程的运行状态。通过模拟不同工况下的水流、水质、水位等变化,可以预测水利工程的响应和效果,为优化调度和决策提供依据。(3)多尺度模拟与分析:水利数字孪生系统支持从微观到宏观的多尺度模拟与分析。这包括水流在管道、渠道中的微观流动特性,以及流域范围内的宏观水文循环过程。多尺度模拟有助于全面理解水利工程的运行机制和影响因素。(4)智能优化算法:结合人工智能、大数据等先进技术,开发智能优化算法对水利工程的运行策略进行优化。这些算法能够自动搜索最优解,提高水利工程的运行效率和资源利用效率。(5)实时反馈与迭代优化:水利数字孪生系统通过实时监测和反馈机制,不断收集实际运行数据并与虚拟模型进行对比分析。根据分析结果,对模型进行迭代优化,提高模型的准确性和可靠性。同时,根据实际需求调整优化策略,实现水利工程的持续改进和提升。

2.3 实时监控与预测

实时监控与预测是水利数字孪生建设的核心技术之一,它确保了水利设施运行的安全性和高效性。在实时监控方面,水利数字孪生系统通过集成各类传感器和监测设备,能够实时获取水利工程的运行状态数据。这些数据包括水位、流量、水质、降雨量等关键指标,以及设备的工作状态和能耗等。系统将这些数据以可视化的方式展示给用户,使用户能够直观地了解水利工程的实时状况。同时,系统还能够根据预设的阈值和规则,对异常数据进行报警和提示,帮助用户及时发现并处理潜在的安全隐患。在预测方面,水利数字孪生系统利用大数据分析和机器学习算法,对历史数据和实时监测数据进行深度挖掘和分析。通过建立预测模型,系统能够预测水利工程的未来运行状态和趋势^[2]。例如,系统可以预测未来一段时间内的水位变化、流量变化以及可能发生

的洪涝灾害等。这些预测结果可以为水利工程的调度和管理提供科学依据,帮助用户提前制定应对措施,确保水利工程的安全运行。

2.4 云计算与大数据分析

在水利数字孪生建设中,云计算与大数据分析扮演着至关重要的角色。云计算技术为水利数字孪生提供了强大的计算和存储支持。借助云计算的弹性扩展能力,系统可以灵活应对大规模数据处理需求,确保数字孪生模型的实时更新和高效运行。同时,云计算的分布式架构提高了数据的可靠性和可用性,为水利工程的智能化管理提供了坚实的基础。大数据分析技术则是对海量数据进行深度挖掘和智能分析的关键。通过对水利数字孪生系统中的实时监测数据、历史数据等进行综合分析,大数据分析可以揭示水利工程的运行规律和潜在风险。利用机器学习等先进技术,大数据分析可以建立预测模型,对水利工程的未来状态进行精准预测,为决策支持提供科学依据。

3 水利数字孪生建设的意义

3.1 提高水利工程规划与设计水平

3.1.1 精准模拟与预测

水利数字孪生技术通过构建与现实水利工程高度一致的虚拟模型,实现了对水利工程运行状态的精准模拟与预测。在规划与设计阶段,设计师可以利用数字孪生模型对水利工程在不同工况下的表现进行模拟,从而评估设计的可行性和效果。这种精准的模拟与预测能力有助于设计师在规划与设计过程中及时发现潜在问题,优化设计方案,提高水利工程的性能和安全性。

3.1.2 数据驱动决策

水利数字孪生建设还促进了数据驱动决策在水利工程规划与设计中的应用。通过集成各类传感器和监测设备,数字孪生系统能够实时收集和處理水利工程运行数据。这些数据为设计师提供了丰富的信息支持,使他们能够基于数据做出更加科学、合理的决策。数据驱动决策的应用有助于提高水利工程规划与设计的准确性和效率,降低决策风险。

3.1.3 协同设计与优化

水利数字孪生技术还支持协同设计与优化,促进了多学科、多领域的交叉融合。在规划与设计过程中,设计师可以利用数字孪生模型进行多学科仿真分析,综合考虑水利工程的结构、水文、环境等多个方面。同时,数字孪生系统还支持多用户在线协作,使不同领域的专家能够共同参与设计过程,实现设计方案的协同优化。这种协同设计与优化的方式有助于提高水利工程的整体

性能和可持续性。

3.2 优化水利工程运行与管理

水利数字孪生建设对于优化水利工程运行与管理具有深远意义。第一，它实现了对水利工程运行状态的实时监测和精准模拟，使得管理者能够全面掌握水利工程的运行状况，包括水位、流量、水质等关键指标的变化情况。这种实时监测能力有助于及时发现并处理潜在的安全隐患，确保水利工程的安全运行。第二，水利数字孪生建设为水利工程运行管理提供了智能化的决策支持。通过集成数据分析、机器学习等先进技术，数字孪生系统能够预测水利工程的未来运行趋势，为管理者提供科学、准确的决策依据。这有助于优化水利工程的调度策略，提高水资源的利用效率，降低运行成本。第三，数字孪生技术还支持水利工程运行管理的协同作业。通过构建统一的数字平台，不同部门、不同专业的人员可以实时共享数据和信息，实现跨部门的协同工作。这有助于提高管理效率，减少沟通成本，推动水利工程运行管理的现代化进程。

3.3 提升水利工程安全与效益

水利数字孪生建设在提升水利工程安全与效益方面展现出显著意义，具体体现在以下几个方面：（1）实时监测与预警：数字孪生技术通过实时监测水利工程的关键参数，如水位、流量、水质等，能够及时发现异常情况并发出预警。这种实时监测与预警机制有助于管理者迅速响应，采取有效措施，防止安全事故的发生，从而显著提升水利工程的安全性。（2）精准决策支持：数字孪生系统集成了大数据分析、机器学习等先进技术，能够对历史数据和实时监测数据进行深度挖掘和分析，为管理者提供精准的决策支持。这有助于优化水利工程的运行策略，提高水资源的利用效率，进而提升水利工程的整体效益。（3）协同管理与应急响应：水利数字孪生建设促进了跨部门、跨领域的协同管理。在应急响应方面，数字孪生系统能够迅速整合各方资源，实现信息共享和协同作业，提高应急响应的效率和准确性，有效应对突发事件，保障水利工程的安全运行。（4）降低维护成本：通过数字孪生技术，管理者可以实现对水利工程的远程监控和管理，减少现场巡查和人工干预的频率，从而降低维护成本。同时，数字孪生系统还能够预测设备的维护需求，提前制定维护计划，延长设备的使用寿命。

命。（5）促进可持续发展：水利数字孪生建设有助于推动水利工程的智能化、精细化管理，提高水资源的利用效率，减少水资源浪费和环境污染。这对于促进水利事业的可持续发展具有重要意义。

3.4 促进水利工程智能化发展

水利数字孪生建设是推进水利工程智能化发展的关键举措，该技术通过构建与实体水利工程相对应的虚拟模型，实现了对水利工程运行状态的全面感知与智能分析。在智能化感知层面，数字孪生技术借助物联网、传感器等先进设备，实时捕捉水利工程运行过程中的各类数据，为智能化管理提供了丰富的信息基础^[3]。这些数据不仅涵盖了水位、流量等基本参数，还包括了水质、设备状态等多维度信息，为水利工程的精细化管理提供了可能。在智能化分析层面，数字孪生系统运用大数据、人工智能等先进技术，对收集到的数据进行深度挖掘与分析。通过构建预测模型，系统能够提前预判水利工程的运行状态，为管理者提供科学的决策依据。这种智能化分析能力有助于优化水利工程的调度策略，提高水资源利用效率，降低运行风险。

结语

未来，随着人工智能、大数据、云计算等技术的持续进步，水利数字孪生的应用将更加广泛和深入。其不仅能够实现对水利工程运行状态的实时监测与预警，更能在保障水利安全、提升管理效能方面展现出强大的能力。同时，水利数字孪生建设还将促进水资源的合理利用与保护，为水利工程的可持续发展提供有力支持。我们有充分的理由相信，随着水利数字孪生技术的不断成熟和完善，它将引领水利工程管理进入一个全新的发展阶段，开启水利工程管理的新篇章，为水利事业的繁荣发展贡献更大的力量。

参考文献

- [1] 顿晓晗,王源楠,肖文,谢非.基于数字孪生技术的智慧水利应用研究[C]//中国水利学会2021学术年会论文集第四分册.,2021:273-276.
- [2] 李国英.建设数字孪生流域推动新阶段水利高质量发展[J].水资源开发与管理,2022,8(08):3-5.
- [3] 梁浩.智慧水利内涵及其核心技术分析[J].工程技术与应用,2020(24):97-98.