

数字孪生技术赋能水利工程建设管理

陈浩雯

中铁水利信息科技有限公司

摘要：数字孪生技术的赋能为水利工程建设管理提供了新的方向，其物理本体和虚拟数据之间的相互映射能够有效提高管理人员对水利工程建设管理的了解、分析、预测、优化以及辅助决策等工作的科学性、精确性，对提升水利工程管理的质量及效率的提升也具有重要意义。数字孪生技术的赋能，在推动水利工程智慧化的过程中起到了关键性作用。数字化映射提高了水利工程建设智能感知与信息共享的能力，数字孪生管理平台提高了协调调度的高效性，结合水利模型库形成的综合管理模块提升了水利工程的科学化水平。

关键词：数字孪生技术；水利工程；建设管理；应用

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.12.052

引言

数字孪生是水利高质量发展和工程建设高质量管理的重要抓手，对提升水利工程建设精细化管理水平和综合决策能力，提高水利行业监管力度具有显著意义。数字孪生在水利工程建设阶段的成功探索和应用，将对推动水利科技发展和全面创新，形成可供行业推广应用的技术体系和科技产品具有重要意义。

一、数字孪生技术概述

数字孪生技术在水利工程建设管理中指的是将水利工程的实体、过程和相关数据通过数字化手段进行建模、仿真、监测和管理的技术。这种技术利用先进的传感器、数据处理、数学建模、仿真模拟等工具，将实际水利工程在数字化平台上进行还原和模拟，形成一个实时、动态的数字孪生系统。

利用三维数字孪生技术，对水利工程的实际结构进行数字化建模，将实体的几何结构、地理位置、材料属性等信息数字化，并构建相应的三维模型。部署传感器、超声波雷达、智能感知设备、物联网设备，采集实时的水文水资源数据，利用数学模型对水文水资源过程进行建模和仿真，实现对水流、水位、水质等参数的实时模拟。利用数字孪生系统监测水利工程的运行状态，实时采集各种传感器数据，通过数字孪生技术进行仿真模拟，预测水利工程的运行情况。通过数字孪生技术监测水利工程设备的状态，实现设备的远程监控和维护，降低维修成本，确保水利工程设备的稳定运行。通过数字孪生技术，水利工程管理者可以在虚拟环境中模拟和管理实体水利工程，实现对水资源的更加智能、精细、高效的管理。

二、数字孪生技术实施步骤

数字孪生技术在水利工程建设管理中的实施涉及多

个步骤，从数据采集到系统应用，都需要有序而系统的操作。

以下是数字孪生技术在水利工程建设管理中的一般实施步骤：一是需求分析。定义数字孪生系统的目标和需求，明确要模拟和管理的水利工程实体、过程和相关问题，与水利工程管理团队和利益相关方进行沟通，了解需求和期望。二是物联网感知设备。部署各类传感器是数字孪生技术在水利工程建设管理中的关键步骤之一，通过这些传感器可以获取水利工程实时数据，为数字孪生系统提供准确的输入。利用水位传感器实时监测水位的变化；水质监测设备用于测量水体的酸碱度，监测水体中的溶解氧水平，评估水体的氧气含量，测量水体中的浑浊度以及水体的温度。三是实时数据处理与存储。设和部署空间数据库，完善计算存储资源建设，对采集到的数据进行清洗、处理和整合，设计合适的数据存储结构，确保数据的可访问性和安全性。四是仿真与模拟。运行数字孪生系统进行仿真和模拟，模拟水利工程在不同条件下的运行情况，验证模型的准确性，并与实测数据进行比对。

三、智慧水利工程中数字孪生技术的难点

1. 数据管理方面的问题

智慧水利工程相较于传统水利工程的区别之一就在于数据的大量转移，所以实际的发展过程中智慧水利工程就需要进行大量的信息处理。而且数据作为虚拟体模拟仿真和决策的依据，数字孪生技术要想建立起相关模型就需要通过信息技术进行大量的信息收集，以保证后续作业的开展。但是实际的作业环节，水利工程数字孪生技术在应用过程中收集到的原始资料往往会夹杂有大量的无用数据以及噪声，造成信息的误差，进而制约数字孪生技术的精准度。所以实际的发展过程中，数据质

量就成为制约智慧水利工程数字孪生技术落实的关键，需要相关人员结合实际进行研究，建立起质量管理机制，以保证数字孪生技术数据获取符合物理实际，推动水利工程智慧化的发展。

2. 数字模型的构建问题

现阶段的数字孪生技术一般是将现实世界的物质变化转化为信息数据的技术手段，而要想对数据进行合理的应用，还需要数字孪生技术的作业人员在虚拟世界建立起数据模型，更加直观地将水利工程展现在作业人员面前，以保证作业的需要。然而实际的数据模型建立环节技术性很强，就还存在一些难点。首先是模型边界问题，水利工程作为对自然界水利系统的调节工程，和自然界之间的边界一般由人员构成，所以边界的设计就需要设计人员合理地进行设计，以保证相关作业的需要；其次是数字模型的参数率定问题，水利工程主要承担水源调动的任务，承担很大的水源压力，所以为了保证水利工程的质量就需要明确其基础参数。作业人员需要收集河道的形状、宽度以及长度等，容易出现失误；然后是模型的选择问题，现阶段的智慧水利工程建模一般基于历史数据用深度学习模型做局部模型的替代，但是深度学习模型存在新的输入超过它的经验数据范围后，输出的结果无法把控的状况。也就是说深度学习模型的输入输出不能超越它的经验范围，很大程度上制约模型功能的发挥。

3. 接口设计以及集成问题

实际作业环节，数字孪生系统一般由多个子系统构成，而且这些子系统由不同的单位承建，要想保证子系统功能的发挥，实现整个系统的稳健运行，就需要合理地进行边界设计和接口设计。但是实际作业环节，部分企业之间的联系不够深入，就导致相关人员在实际的发展过程中难以和外界进行充分的交流，参数的设计也就容易出现纰漏，很大程度上制约相关作业的开展，影响子系统之间的耦合。而在集成方面，由于多数子系统来自不同的企业，部分时期就出现设计标准以及参数之间的差异，再加上企业之间缺乏沟通，就很大程度上制约子系统的结合，影响集成的落实。

4. 孪生模型的建设成本高，复用性不高问题

数字孪生模型的建设依赖于大量实时、高精度的数据，需要部署复杂的传感器网络。水利工程孪生模型的建设的过程中，需要根据数字孪生水利工程模型计算、

“四预”等高精度计算场景需求，在通用计算基础上，配置加强高性能计算能力的服务器，还需要根据数字孪生平台模型训练、过程推理等场景计算需求，配备必要的AI算力服务器，这些设备的购置和维护成本都相对较高，增加了孪生模型的建设成本。

数字孪生技术在水利工程中的应用尚处于发展阶段，缺乏统一的技术标准，不同的数字孪生项目可能采用不同的技术平台和方法，导致了模型的复用性较低。水利工程中涉及水文水资源、结构工程、环境等多个子系统，将这些子系统整合到一个统一的数字孪生系统面临技术难题，增加了系统集成的复杂性和成本。

四、数字孪生赋能水利工程建设管理的技术路径探索

1. 水利工程数字化映射实现智能感知与信息监测

水利工程建设管理过程涉及项目建设、管理调度等要素，对水利工程管理提出了科学性、系统性、动态性等要求。而数字孪生技术具备对多源异构数据的实时感知和互联能力，能够针对人、机、物、环境四大要素进行全面的感知融合。在水利工程建设整体上，要充分发挥数字孪生技术的数字化映射作用，实现智能感知与信息共享。

在共享已有数据的基础上，利用部署在水利工程全域的智能采集装备，对河湖、水库、水电站、水厂、管网、渠道、闸门、泵站等基础信息及地理信息的数据进行实时采集和标准化处理。再利用虚拟现实技术、仿真工具进行数字化建模，形成虚拟数字化对象，在信息维度上对实体对象精准地进行表达和映射，建设全要素、全对象、全流程的数字孪生模型，并定期调整优化模型，实现智能感知。

此外，可利用水利工程监测设备及视频监控系统，对水利工程实时动态监测。将安全监测数据、建设数据、运行数据等信息通过虚拟仿真等技术手段实现动态数字化映射，在虚拟仿真数字孪生模型上，对水利工程建设状态、安全状态、运行状态进行实时监控，同时根据业务需要实时或定期更新数据，提高数据建设精度和数据更新频率，实现数字化虚拟环境和物理环境的真实对应，为管理者提供直观、高效、精准、便捷、完善的精细化信息监测服务。

2. 水利工程建设管理体系实现统一协调、高效管理
在水利工程建设过程中，可以通过数字孪生技术协

调管理水利工程的各项数据,实现经济高效的综合信息实时管理。利用数字孪生技术,通过模拟仿真引擎,输入水利工程的真实情况、建设现状等要素,将水利工程建设过程中的各项物理指标在数字孪生模型中体现,借助算法,对水利工程的规划设计的各项数据模拟计算,生成可参考统计信息,进而对水利工程建设进行模拟分析,辅助水利工程各个决策部门统筹决策,从而降低试错成本。

运用数字孪生技术,建立数字孪生水利工程建设管理平台,通过集约化平台的建设,提供多场景一体化的数字孪生展示,从统筹、协调、监管、评价4个方面对水利工程的设计、质量、安全等进行统一协调、高效管理。具体来说,平台对工程各种方案统筹、对比,有效推演分析出最佳建设方案,及时质量跟踪测评,提高质量管理的高效性和透明度,对检测数据进行云计算,辅助预测安全隐患。通过平台将政府部门、参建各方的信息进行实时互联,能有效对各方信息实行深度挖掘和分析,发现信息数据之间的联系和规律,最大限度地实现协调调度和信息共享的高效性,极大提高资源利用率及管理效率。

3. 水利工程运维管理体系实现综合管理

数字孪生技术的核心是模型和数据,重点是预测预警和智慧决策。结合数字孪生技术,构建工程知识库、工程业务规则库、预案调度方案库、工程安全知识库,形成综合管理模块,及时分析水利工程数据、突发情况,并及时做出预警及决策建议,能有效提升水利工程的科学化和智慧化水平。

a. 构建工程数据库保障水利工程管理可预测可控。数字孪生赋能应在大数据、人工智能技术、云计算的支撑下,通过数据收集、数据分析、模拟评估、优化分析,运用工程知识库,形成水利工程运维管理体系,为水利管理中各业务决策提供科学化和智慧化的应用指导。

b. 构建工程业务规则库保障水利工程正常运行。根据水利工程数字孪生全景,对水利工程运行工作情况,构建包括工程调度运用规程、工程安全检测资料整编规程、工程安全应急预案等的工程业务规则库,改变现今重点部位监测的情况,利用机器人、无人机等科技工具,实现全面实时在线监测管理,为综合管理奠定基础。

c. 构建预案调度方案库与工程安全知识库保障水利

工程高效防控。构建包括工程防汛预案、防汛抗旱应急预案等的预案调度方案库,建立包括工程风险隐患、隐患事故案例、工程安全鉴定、专项安全检查等的工程安全知识库。设置预警信息快速发布网,保证各部门快速、整体地把握水利工程全部概况,定期对预案方案库进行更新修正,依照工程安全知识库对工程安全定期维护,为水利工程各部门快速高效完成日常工作、处置突发事件等决策提供辅助。

4. 实现安全风险感知能力

整合工程历史数据、监测数据、环境数据等,形成全面的数据底板,制定安全风险评估模型,通过数据分析和模拟,定期进行安全风险评估,为工程管理提供科学依据。利用大数据分析算法,构建决策支持系统,为工程管理提供智能化决策支持。利用可视化算法,构建直观的工程管理界面,生成定期报告,帮助管理层迅速了解工程状态。依托三维建惯、物联网、云计算、大数据峰授术整合水利多源异构数据,并构建水利专业模型,实现工程安全预测预警,充分发挥数据应用价值,极大提升水利工程精细化管理水平与安全风险感知能力,适用于各类水利工程,为工程运行管理提供数据算法支撑。

结束语

数字孪生技术,将传统技术与人工智能、区块链、物联网、云计算、大数据、虚拟现实等新兴技术融合,基于物理实体和虚拟映射构建的网络系统,对物理世界场景进行全要素、多尺度、多视图的模拟仿真,可以实现物理世界与信息世界的实时交互和融合。将数字孪生技术与水利工程建设相结合,构建具有实时监测、动态管理等多种功能的数字孪生模型,有助于搭建水利建设的物理世界和虚拟世界之间的桥梁,对突破水利工程建设与信息化技术交互融合的瓶颈具有积极作用。

参考文献

- [1] 张绿原, 胡露露, 沈启航等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电, 2021(11): 58-62.
- [2] 刘海瑞, 奚歌, 金珊. 应用数字孪生技术提升流域管理智慧化水平[J]. 水利规划与设计, 2021(10): 4-6+10+88.
- [3] 蒋亚东, 石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报, 2019, 35(11): 5-9.