

水利数字孪生体系建设中水利业务数据统筹整合实施路径探析

卜立鹏

新疆维吾尔自治区水利科技发展中心

DOI:10.32629/etd.v7i6.21007

[摘要] 数字孪生水利是新阶段水利高质量发展的核心抓手,而水利业务数据统筹整合是搭建数字孪生数据底板、实现“四预”功能的核心基础。当前我国水利数据资源体量持续扩增,但仍存在数据标准不统一、资源碎片化、共享机制不完善、治理体系滞后等突出问题,严重制约数字孪生流域、数字孪生工程建设成效。本文立足数字孪生水利建设理论框架,系统梳理水利业务数据整合的核心价值与理论逻辑,深入剖析当前数据统筹整合工作中的现实痛点,从制度体系、技术治理、资源共享、场景落地四个维度,提出可落地、可实操的统筹整合实施路径,为水利数字孪生体系全域建设、数据赋能水利智慧化转型提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 水利数字孪生; 水利业务数据; 数据统筹整合; 数据治理; 智慧水利

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Exploration of the Implementation Path for Coordinated Integration of Water Conservancy Business Data in the Construction of Water Conservancy Digital Twin System

Lipeng Bu

Xinjiang Uygur Autonomous Region Water Conservancy Technology Development Center

[Abstract] Digital twin water conservancy is the core lever for high-quality development of water conservancy in the new stage, and the overall integration of water conservancy business data is the core foundation for building a digital twin data base and realizing the "four pre" functions. At present, the volume of water conservancy data resources in China continues to expand, but there are still prominent problems such as inconsistent data standards, fragmented resources, incomplete sharing mechanisms, and lagging governance systems, which seriously restrict the effectiveness of digital twin basin and digital twin project construction. This article is based on the theoretical framework of digital twin water conservancy construction, systematically sorting out the core values and theoretical logic of water conservancy business data integration, and deeply analyzing the current pain points in data integration work. From the four dimensions of institutional system, technical governance, resource sharing, and scenario implementation, a feasible and practical implementation path for overall integration is proposed, providing theoretical support and practical reference for the comprehensive construction of water conservancy digital twin system and the transformation of water conservancy intelligence empowered by data.

[Key words] water conservancy digital twin; Water conservancy business data; Data integration and coordination; Data governance; Smart Water Conservancy

引言

随着数字中国建设以及国家水网战略的不断推进,数字孪生水利成了破解传统水利管理短板、提高水旱灾害防御、水资源集约利用、河湖生态治理能力的重要支撑。水利数字孪生依靠“空天地水工”一体化感知网络,创建起同物理流域、水利工程实时映射、动态互动、协同迭代的数字镜像,其核心生命力就是海量、精准、联动的业务数据资源。目前水利行业已经积累

了监测、工程、水文、水资源、河湖管理等多种类型的业务数据,但是由于长期的条块化管理模式,造成数据孤岛、数据冗余、数据失准等问题,数据资源不能很好地转化为孪生模型的算力和业务赋能能力。因此,本文根据数字孪生水利建设规范和行业实操现状,对水利业务数据统筹整合的理论基础、存在的问题及实现路径进行分析,促进水利数据资源体系标准化、一体化、智能化的建设,推动数字孪生水利体系的规范化、高质量建设。

1 水利数字孪生与业务数据整合核心理论基础

1.1 水利数字孪生体系核心内涵与架构

水利数字孪生是以大数据、物联网、人工智能、三维建模等数字技术为基础,对物理水利空间、水利工程设施、水文水资源过程进行全要素、全时段、全维度数字化映射的智慧水利建设形态,其主要目的是实现水利管理预报、预警、预演、预案的“四预”智能化应用^[1]。完整的水利数字孪生体系是由数据底板、模型平台、知识平台、业务应用平台这四个主要部分组成,数据底板是整个体系的基础载体,直接影响到孪生仿真、动态推演、智能决策的准确性。与传统的水利信息化系统不同的是,水利数字孪生具有实时同步、双向交互、迭代优化、全域联动等特点,需要数据资源打破单点、静态、碎片化的存储方式,实现跨区域、跨部门、跨业务的动态流通和融合使用,这也是水利业务数据统筹整合的主要建设方向。

1.2 水利业务数据统筹整合的理论价值

水利业务数据统筹整合就是按照数据治理、资源统筹、协同治理三大核心理论,对水利行业各类存量、增量数据进行标准化归集、规范化治理、共享化应用、动态化更新的系统性工程。从理论上讲,数据统筹整合可以解决传统水利数据管理碎片化的难题,实现数据资源的集约化利用,符合数字孪生水利“一数一源、一源多用”的建设要求。数据统筹整合是物理水利场景和数字孪生模型之间的桥梁,可以给水文模拟、工程运维、防洪调度、水资源调配等核心业务赋予精确的算据支撑,弥补传统水利信息化数据利用率低、联动性差、时效性差的不足,给水利治理体系和治理能力现代化赋予核心数据赋能^[2]。

2 水利数字孪生建设中业务数据统筹整合现存问题

2.1 数据标准体系不统一,数据适配性不足

目前水利行业的数据采集、存储、编码、传输、应用标准体系还没有完全统一,各个区域、各个部门、各个业务系统都使用自己建设的技术规范,造成多源数据兼容性极差。水文监测、工程监测、河湖巡查、水资源管控等业务所用的监测设备型号、采集频率、精度标准都不一致,部分老旧设备的采集数据格式滞后,新添置的智能设备的数据接口不能兼容,造成大量的异构数据。在数据存储和编码方面,各个地市水利部门的数据库架构、字段定义、分类标准不一样,同一个水文指标、工程参数有多种命名、多种统计口径^[3]。同时现有的数据标准大多只关注基础静态数据,对于数字孪生所必须的动态时序数据、三维空间数据、仿真推演数据等专项标准的缺失,使得大量的数据不能满足数字孪生模型运算和全域映射的高精度要求,从而影响数据底板的质量。

2.2 数据资源碎片化严重,数据孤岛普遍存在

长期以来,我国的水利管理实行的是分级、分部门、分业务条线的管理模式,各个层级的水利部门、流域机构、专项业务科室各自建设自己的信息系统,造成大量的封闭数据资源体系,数据碎片化、孤岛化现象严重。横向层面,水利、气象、自然资源、生态环境、住建等涉水部门之间存在着数据壁垒,气象降水、土

地利用、生态水质、城市供水等外部涉水数据不能高效互通^[4]。纵向上,国家级、流域级、省级、市县级水利数据层级割裂,上下级数据传输滞后、更新不同步,不能实现全域数据联动。从业务角度而言,防洪减灾、水资源管理、河湖治理、工程运维等各个业务系统各自为政,数据彼此隔离,没有形成一个整体的数据系统,造成大量的数据闲置,新的数据又需要重复采集,从而造成了数据资源的浪费,不能满足数字孪生全域仿真、全要素映射的要求。

2.3 数据治理机制不完善,数据质量参差不齐

完善的制度体系是保证水利业务数据准确、有效、可利用的前提,但是目前行业内还没有形成常态化的、规范化的、全过程的数据治理体系。一方面数据治理权责不明晰,数据采集、审核、更新、运维、归档等各个环节的责任主体不清,存在重采集、轻治理、弱运维的现象,大量存量数据存在缺失、错误、冗余、滞后等问题,部分历史监测数据没有经过标准化清洗,不能直接用于孪生建模^[5]。另一方面缺少动态数据更新和校核机制,静态基础数据长期不更新,动态监测数据有断点、异常值,并没有建立起数据质量核查、溯源、纠错的闭环流程。另外数据分级分类管理体系不健全,涉密数据、敏感业务数据、公开共享数据界限不清,数据安全管控同质量治理相脱离,阻碍了数据高效合规的利用。

2.4 数据共享应用机制滞后,赋能效能不足

水利业务数据统筹整合的最终目的就是为数字孪生场景落地和水利业务智能化应用服务,但是目前的数据共享和应用机制严重滞后于建设需求。一是跨部门、跨层级数据共享渠道不畅,缺少统一的数据共享交换平台和常态化协同机制,数据申请、传输、复用流程繁杂,审批时间长,无法达到高效共享的目的。二是数据开放应用程度低,现有的数据资源大多只是基本的查询、统计展示,缺少对数字孪生仿真推演、智能预警、动态调度等深层次的挖掘和二次加工,数据的价值没有得到充分发挥。三是数据应用同业务场景相脱离,大部分数据整合工作只是停留在归集存储上,并没有针对防洪调度、水资源优化、工程安全运维等主要的孪生业务场景进行定制化的数据适配,致使大量的数据不能有效地支撑数字孪生“四预”的功能实现,数据资源利用率低。

3 水利业务数据统筹整合落地实施路径

3.1 构建统一标准体系,夯实数据整合基础支撑

针对目前数据标准不统一、适配性差的问题,要依靠国家以及水利部数字孪生建设相关的规范来创建起一个涵盖所有业务场景、分层分级、可落地实施的水利业务数据标准体系,从而达到多源数据的规范化、标准化收集。首先统一基础数据规范,根据数字孪生水利建设技术导则的要求,将水文水资源、水利工程、河湖水域、水土保持、防汛抗旱等各类业务数据进行整合,统一数据采集精度、编码规则、字段定义、存储格式、传输协议,确定静态基础数据、动态监测数据、空间地理数据、业务管理数据的分类标准,彻底解决数据异构、口径不一致的问题。另

外补充专项孪生数据标准,主要针对数字孪生建模、仿真推演、动态映射等核心需求,制定出三维空间数据、时序动态数据、模型驱动数据的专项技术标准,规定数据更新频率、精度阈值、适配要求等,保证数据同孪生模型、仿真平台高效对接。最后要建立起标准的动态更新机制,组建行业技术专班,按照数字孪生创建迭代的需求,新型监测设备的应用场景等定期修订完善数据标准,同时开展基层人员标准培训,保证各级水利部门严格执行统一的标准,从源头上保证数据的规范性和适配性,筑牢数字孪生数据底板的基础。

3.2 推进全域数据归集治理,破除数据孤岛壁垒

以全域覆盖、集约整合、互联互通为原则,创建一体化水利数据归集体系,彻底打破层级、部门、业务数据壁垒,达成数据资源集中管控和统筹利用的目的。一是对存量数据进行全面清查归集,组织各级水利部门对历史业务数据、监测数据、工程档案数据进行摸排梳理,分类完成老旧系统数据迁移、纸质档案数字化录入、残缺数据补全校核,依托全国水利一张图平台,建立国家级、流域级、省级三级联动的水利数据资源池,实现存量数据集中存储、统一管理。二是打通跨部门数据融通渠道,创建水利、气象、自然资源、生态环境、应急管理涉水部门常态化数据协同机制,搭建跨部门数据共享交换接口,常态归集气象预报、土地利用、生态水质、区域涉水工程等外部数据,充实数字孪生全域数据资源。三是对增量数据的采集和管理工作进行规范,采用空天地水一体化的感知网络,统一新增监测设备接口标准以及采集规范,保证雨情、水情、工情、墒情等动态数据的实时采集、自动归集、同步入库,防止出现重复采集、无效采集的情况。同时建立起数据分级分类管理机制,确定公开数据、内部数据以及涉密数据的管理界限,从而达成数据安全可控的前提下全域融合的目的,彻底解决数据碎片化、孤岛化的难题。

3.3 健全全流程数据治理机制,严控数据资源质量

创建起一个包含采集、审核、清洗、更新、溯源以及归档等环节的完整数据治理体系,明晰权责划分,规范治理流程,全面提高水利业务数据的质量,满足数字孪生高精度应用的要求。首先要确定分层分级治理权责,实行“谁采集、谁负责、谁运维、谁更新”的原则,建立省级统筹、市级主导、县级落实的三级数据治理责任体系,明确各部门、各岗位数据治理职责,把数据质量作为水利工作考核指标,倒逼治理工作落实。第二部分就是建立智能化的数据治理工具,用大数据技术创建出自动化数据清洗、校核、纠错系统,对归集数据进行批量去重、补缺、纠错、

标准化转换,自动发现异常数据、滞后数据、无效数据并发出警报并加以纠正,提高数据治理的速度。另外建立动态更新体系,对静态水利基本数据每年进行全面复查并及时更新,动态监测数据实行实时同步更新,对工程维护、河湖治理等业务数据实行业务办结即刻更新,保证数据同物理水利场景时刻保持同步。最后,创建数据质量溯源及评价体系,创建数据质量评分准则,定时展开数据质量抽检评定,就不合格数据实施追溯追责,限期整改,塑造起治理闭环,不断改良数字孪生数据底板的精确度和完备程度。

4 结束语

水利业务数据统筹整合是数字孪生水利体系的根基,它的好坏直接影响智慧水利建设的效果。目前水利数据整合工作还存在着标准不统一、资源碎片化、治理不规范、应用不充分等诸多问题,限制了数字孪生全域映射、智能赋能功能的发挥。本文以行业理论和实操现状为基础,从标准建设、归集融通、质量治理、场景应用四个方面出发,提出一套符合水利行业实际、可以落地、可以迭代的实施路径。未来要继续完善数据管理制度体系、加强技术赋能、健全协同机制,持续推进水利业务数据标准化、一体化、智能化统筹整合,不断夯实数字孪生数据底板,推动数据资源深度赋能水利治理现代化,为国家水网高质量建设、水安全保障能力提升提供坚实的数字支撑。

[参考文献]

- [1]数字孪生黄河建设——新技术新产品数字孪生小浪底[J].人民黄河,2026,48(04):2.
- [2]刘光凤,朱红燕,张帆.基于新质生产力理论的水利数字孪生技术推广影响因素研究[J].水利经济,2026,44(02):106-116.
- [3]廖志伟,王威,徐照明.数字孪生长江建设顶层设计与实施保障[J].人民长江,2026,57(02):1-6.
- [4]徐健,赵保成,李国忠,等.基于数字孪生的水利工程标准化管理平台研究与应用[J/OL].水电能源科学,2026,(05):237-241.
- [5]陶飞,张贺,张辰源,等.从数字孪生到数智孪生:回顾与展望[J].计算机集成制造系统,2026,32(01):1-17.

作者简介:

卜立鹏(1995--),男,满族,黑龙江宁安市人,硕士研究生,研究方向:图像处理、低功耗无线传感器网络、水利数字孪生。