

基于数字孪生的德州市水利大数据动态可视化建设

李绍洋¹, 万金兵², 张宇³

(1.德州市水利事业发展中心, 山东 德州 253300; 2.德州市李家岸灌区运行维护中心, 山东 德州 253300;

3.德州市公共资源交易中心, 山东 德州 253300)

【摘要】随着互联网、大数据、云计算等新一代信息技术的快速发展和水利信息化建设不断深入,为加强水利事业的大数据动态可视化管理提供了良好的机遇。文章从数字孪生的角度出发,以多源水利大数据为核心,结合动态可视化优势,对水利大数据动态可视化管理进行创新研究。

【关键词】德州市;数字孪生;水利大数据;潘庄灌区

【中图分类号】TV21-39

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-04-0058-03

Construction of Water Big Data Dynamic Visualization Based on Digital Twin in Dezhou

LI Shaoyang¹, WAN Jinbing², ZHANG Yu³

(1. Water Resources Affairs Development Center of Dezhou Municipality, Dezhou, Shandong 253300, China;

2. Lijiaan Irrigation District Operation and Maintenance Center of Dezhou Municipality, Dezhou, Shandong 253300, China;

3. Public Resources Trading Service Center of Dezhou Municipality, Dezhou, Shandong 253300, China)

Abstract: With the rapid development of new-generation information technologies such as the Internet, big data and cloud computing, as well as the in-depth advancement of water informatization, favorable conditions have been created for strengthening the dynamic visualized management of water big data. From the perspective of digital twin, this paper takes multi-source water big data as the core and combines the advantages of dynamic visualization technology, and conducts innovative research on the dynamic visualized management of water big data.

Key words: Dezhou Municipality; Digital twin; Water big data; Panzhuang Irrigation District

德州市作为国家市级水网先导区并且先后建成“智水德州”——数字孪生水网平台、潘庄数字孪生灌区、杨庄水库智能建造与数字孪生系统等多个标杆项目,在实践中积累了丰富的水利大数据管理经验,不过由于水利数据涉及范围广、种类繁多,在多系统协同运行过程中暴露出数据整合、实时处理等诸多管理难点。文章结合德州市实际项目案例并针对多源水利大数据动态可视化管理的难点,提出相应创新管理策略。

1 大数据动态可视化管理难点

1.1 数据集成与融合技术

随着水利信息化建设的深入推进与各类传感设备的广泛应用,水资源数据的采集与处理能力得到显著提升。高新技术及设备支撑水利工程

管理系统从多个数据源高效收集信息并完成有效整合,构建起综合水资源管理系统。以德州市数字孪生水网数据平台为例,其整合物联网、市水文中心、省级小型水库平台、各业务系统、数字灌区等多方面数据,为数字河湖、水行政执法平台等多个系统提供数据服务,并实现市、县两级数据共享,显著提高数据处理效率和水资源实时监控能力,为管理决策供给精准数据支撑。

水利业务应用系统经过长期运行后,会产生海量监测数据。这些数据种类繁多、格式各异、结构复杂,如潘庄灌区的水位、墒情、流量数据,杨庄水库施工质量、安全监测数据以及水利、应急、农业等跨部门数据,需要专业人员运用专业手段

收稿日期: 2025-12-25

作者简介: 李绍洋(1991—),男,工程师

实行科学收集、整理和分析。在德州市数字孪生水网建设初期, 由于各子系统数据标准不统一, 曾发生信息孤岛现象, 导致潘庄灌区和丁东水库等项目数据无法高效互通, 数据利用率不足 40%, 严重影响跨区域调度决策的科学性。因此, 如何达成多源异构数据集成、转换与模型融合, 是当前亟待解决的重点难题^[1]。

1.2 数据处理与实时分析

在水利业务领域, 面向“水安全、水资源、水生态”三大主题的决策分析, 需要依托实时数据开展高频采集与处理工作。德州市数字孪生水网平台防汛调度模块则需实时处理气象、水文等海量数据, 精准应对旱涝急转、防汛调度、雨洪拦蓄三大重点问题; 潘庄灌区也需经过实时数据处理, 实现“水情查看+远程闸控+工单派发”一体化操作。但是, 当前水利数据资源建设仍存在滞后性。德州市部分早期建设的监测站点仍以统计类、基础地理信息类等静态数据为主, 动态监测数据占比不足 30%, 难以满足精细化调度需求。同时, 水利行业作业环境复杂, 部分设备易受极端天气影响而发生故障, 导致水文传感器采集的数据质量不稳定, 甚至出现数据缺失情况, 制约水利大数据分析的推广与应用。

1.3 优化用户体验

德州市数字孪生水网移动应用平台可支撑工作人员随时随地查看水情、填报数据、接收调度指令, 真正实现“掌上治水”。但高级可视化技术同用户日常操作的融合仍存在难点。德州市在潘庄灌区数字孪生平台初期运行阶段发现, 部分基层管理人员对三维模型操作不熟悉, 导致远程闸控功能的使用率不足 60%; 杨庄水库智能建造平台的 BIM 可视化功能因操作界面复杂, 导致施工人员学习成本过高。因此, 系统设计需要深入贴合用户实际运用习惯并对设计人员专业能力提出更高要求。与此同时, 数据的实时更新与个性化展示需要强大的后端技术支撑以及数据处理能力和系统稳定性。

1.4 安全性与隐私保护在数据共享中的难点

水利行业的大数据多由水务、气象、国土等多个部门自行采集与存储, 各部门应用需求存在明显差异, 德州市数字孪生水网平台整合水利、应急、农业等多部门数据资源, 在提供“一网通

办”高效服务的同时, 也面临着数据安全与隐私保护的严峻挑战, 该平台涉及沿岸 1.3 余万公顷农田、30 万群众相关民生数据以及水利工程布局、调度方案等敏感信息, 此类信息一旦泄露, 极有可能引发严重的安全风险。另外, 大数据系统自身易遭受黑客攻击与病毒感染, 德州市水利局在 2024 年的系统安全排查工作中, 发现了 3 处潜在网络安全漏洞, 虽已及时完成修复, 但也凸显了安全防护工作的重要性与紧迫性。由此可见, 在数据共享过程中有效保护敏感信息、优化网络安全防护, 已变成水利大数据发展进程中亟待解决的核心难题。

2 创新策略

2.1 开发高效的数据抽取加载工具

为实现对多源数据的精准、高效抽取及向数字孪生系统高速加载, 德州市在数字孪生水网建设过程中研发了一套数据抽取与加载工具。核心技术包括: 一是基于消息队列 (Kafka) 的数据缓冲机制, 能够应对瞬时海量数据的冲击, 避免数据丢失; 二是采用增量抽取与全量同步相结合的策略, 针对水位、流量等高频率变化数据实现秒级更新, 针对基础地理信息等静态数据实行按需同步; 三是内置数据校验模块, 在抽取环节自动识别并标记异常数据 (如超出量程的水位值、逻辑矛盾的数据对), 确保进入系统的数据质量。

同时, 该工具配套建设了灵活适配的数据接口, 支持水利行业主流通信协议 (如 Modbus、MQTT、CoAP) 及各类水利设备、传感器的兼容接入, 现已达成与潘庄灌区 120 余公里光缆线路传输数据、杨庄水库物联网 (IOT) 平台数据无缝对接。在此基础上搭建的动态数据可视化平台, 通过三维图形、动画及交互式图表等呈现方式, 将复杂数据集直观地展示给用户。潘庄灌区借助该平台将测流数据获取时长从人工操作的 40 min 缩短至全自动测流的 10 min, 数据传输延迟控制在 1 min 以内; 杨庄水库土工膜焊缝检测数据可实时上传至平台, 达成“一缝一档案”的可视化管理, 检测效能比原来提高 40%。

2.2 统一数据格式, 破解信息孤岛

为解决数据标准不统一、存在“信息孤岛”问题, 德州市采取以下措施: 一是制定并推行《德州

市水利交换数据标准》, 统一潘庄灌区、丁东水库、杨庄水库等各子系统的数据格式、编码规则和接口协议; 二是搭建水利数据资源目录体系, 对多源数据进行分类、编码和元数据标注, 形成全市统一的水利数据资产清单; 三是建立数据治理长效机制, 定期开展数据质量核查, 对历史遗留的“脏数据”进行清洗、补录和标准化转换。通过上述措施, 潘庄灌区与丁东水库等关键节点之间的数据互通率已从不足 40% 提升至 92% 以上, “信息孤岛”问题得到有效破解。

2.3 优化数据处理流程

为提升数据处理效能、高效采集多源水利大数据, 德州市通过构建水利数字孪生体、获取各应用场景下孪生体的运行数据、归集各类设备监测数据等多种方式推进相关工作。在潘庄灌区经过部署水位站、墒情站、测流车等设备, 结合无人机巡检数据, 实行水情数据自动采集率 100%, 数据时效性从“日级”提升至“分钟级”; 杨庄水库则经过智能碾压设备、土工膜焊接检测设备实时采集施工全过程数据, 同时建立数据质量评估机制, 对异常数据实行修正。另外, 德州市经过数据融合技术整合潘庄灌区视频监控数据、设备传感器数据以及杨庄水库施工质量安全数据, 优化数据结构, 提升数据间的互补性与一致性; 依托知识图谱技术对多源数据开展深度分析, 实行数据自动分类、归纳与总结; 德州市数字孪生水网平台运用水文水动力耦合仿真技术自动生成防汛调度方案, 使应急响应效能较传统模式增加 50% 以上; 潘庄灌区依托数据融合分析, 实现闸门启闭效能提升 90%, 年节省经费 50 万元。

2.4 引入用户反馈机制

为提升动态可视化管理系统性能及用户体验, 德州市在各数字孪生项目中均引入用户反馈机制。通过搭建用户反馈平台, 实时收集基层管理人员、施工人员的意见建议, 系统借助智能分析功能对反馈数据实行归类并明确优先级。如针对三维模型操作复杂问题, 潘庄灌区简化了远程闸控模块的操作流程, 增设了语音交互功能, 使该功能使用率从不足 60% 提升至 95% 以上。同时结合机器学习算法, 通过历史反馈数据预测可能发生的问题并提前优化, 定期开展用户满意度调

查, 精准把握需求变动及系统改进方向; 德州市数字孪生水网平台根据用户反馈新增水资源承载力评估模块, 进一步增加系统实用性。

2.5 实施数据加密技术

德州市在数字孪生水网、潘庄灌区等项目建设中, 全面实施数据加密技术, 以保障数据安全与隐私; 针对传输过程中的数据, 采用 SSL/TLS 协议加密, 防止数据被非法截获或篡改。潘庄灌区闸门控制指令、杨庄水库施工质量数据在传输过程中均经过加密处理, 数据传输安全性达 99.9%。针对存储在数据库中的敏感数据, 采用 AES 对称加密和 RSA 非对称加密相结合的方法, 并定期更新加密密钥, 降低密钥被破解的风险。同时, 项目实施基于角色访问控制 (RBAC) 策略。如杨庄水库工程电子档案根据参建各方职责划分不同访问权限, 仅授权相关人员可查看敏感施工数据; 德州市数字孪生水网平台对民生数据、工程敏感信息设置分级访问权限, 并结合数字证书、双因素认证技术, 提升用户身份验证的安全性; 自建设开展以来, 相关系统未发生一起数据安全事件^[2]。

3 结 语

德州市在数字孪生水网、潘庄数字孪生灌区、杨庄水库等项目建设过程中, 经过研发高效能数据抽取与加载工具、改进数据处理流程、引入用户反馈机制及实施数据加密技术等一系列措施, 显著提升了水利大数据管理系统的性能及用户满意度, 实现了数据集成效能提升 40%、数据实时性达分钟级、系统使用率提升至 95% 以上、数据安全事件零发生的良好成效。将来伴随科技的进步与应用的持续深化, 水利大数据分析的应用将更加智能化、精准化, 为水资源合理配置与防灾减灾工作提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 周超, 唐海华, 罗斌, 等. 水利行业大数据汇集管理体系建设的思考[J]. 水利信息化, 2021(4): 6-10.
- [2] 刘高宇, 周宏伟. 基于大数据的水利现代化体系分析[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(29): 31-32, 39.

(责任编辑 崔春梅)