

# 数字孪生技术平台在临江河幸福河建设应用与研究

文 / 肖 瑶 中铁二十一局集团第五工程有限公司

**摘要:** 为进一步推动河湖长制,有效开展幸福河湖建设,重庆市永川区先行先试,通过现场踏勘、论证交流、方案优化、竞争立项、专家审查,临江河成为重庆市唯一入选全国首批7个幸福河湖(6条河流、1处湖泊)建设项目。项目计划通过实施系统治理和综合治理,打造人民群众满意的幸福河湖。本文以临江河幸福河为依托,通过分析数字孪生平台在临江河幸福河(永川段)建设项目中的应用,全面分析研究,为后续的幸福河湖建设在信息化技术方面打下坚实的基础,以期给类似工程提供参考。

**关键词:** 幸福河湖; 信息化系统建设; 数字孪生技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.003

## 引言

项目重点围绕永川智慧城市“联接无处不在、智能无所不及、城市孪生融合、数据融合应用”的总目标,按照“强感知、增智慧”的思路,对标“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求,充分运用5G、云计算、大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术,构建覆盖临江河流域水利部门以及相关单位、社会公众的幸福临江河智慧管控平台。完善整合汇集临江河流域涉水数据信息,全面建立逻辑统一、服务于水利管理的数据资源中心。通过透彻感知全面覆盖、数字孪生底板建设、数据资源整合开发利用、业务应用智能化提升,强化河流管理工作与数字化技术深度融合,深化业务流程优化和工作模式创新,全面提升水利管理工作的规范化,促进河(库)管理协同工作的高效化,助力幸福河管理工作“管理有效、监督有力、决策有据”,驱动“四预”功能的数字孪生河流建设,支撑水利治理体系和治理能力的数字化进程。

### 一、信息化建设现状与不足

#### (一) 数据整合程度不够

近年来,虽然永川智慧城市发展效果显著,信息化应用程度较高,开发了多套系统等,但同时存在业务协同不够、数据难以互通和共享等问题,信息化资源得不到充分、合理、有效的利用。例如:虽然河流监测已经基本上实现对于河流水位、流速、流量、水温、含沙量和水质指标等方面的全自动监测并能上传到统一大数据平台。但是对于基层水利工作者,存在信息孤岛问题,水利内部数据并未做到全面共享,往往需要基层工作人员去相应职能部门调取数据。而且,跨专业合作更为困难。

#### (二) 监测体系覆盖不全

监测体系不健全,水库水雨情、河道管理等方面自动监测能力薄弱,与“对象全覆盖、过程全在线”的数字化转型目标仍存在一定的差距,信息采集站点内容不够均衡,布设密度和深度不够,缺乏智慧水利所需的大数据基础。

#### (三) 防汛预警预报系统建设不足

有防洪任务的河流没有实现全面监测,导致水文监测覆盖率不足,中小水库监测预警设备不完备。由于初

期建设成本高,包括硬件购置、软件开发、系统集成等多方面的费用。后期的运营和维护成本也不容忽视,包括技术人员的培训、系统的升级更新、日常的运维管理等,导致实际建设效果与实现“四预”功能还有差距。

#### (四) 信息安全防护不足

系统安全防护总体水平不高,数据安全和隐私保护是建设面临的另一大技术挑战。水利数据涉及广泛,包括水文、气象、水质等多方面信息,这些数据的收集、存储和传输必须确保安全,防止数据泄漏和被恶意利用,但实际效果来看,缺乏对平台硬软件系统的有效保护。

## 二、平台建设概况

### (一) 建设意义与必要性

一是围绕永川智慧城市“联接无处不在、智能无所不及、城市孪生融合、数据融合应用”的总目标,强化智能化管理,更多运用互联网、大数据等信息技术手段,推进城市治理制度创新、模式创新,提高城市科学化、精细化、智能化管理水平。

二是借助新技术,充分利用基础设施和水利信息化系统,加强对现有服务资源和信息资源的梳理、整合,从基础设施、数据资源、业务应用、安全体系等方面,全面整合现有资源。通过业务应用系统的建设,促进临江河流域管理协同工作的高效化,实现执法监督工作的实时化,保障考核评价结果的准确化,助力幸福河管理工作“管理长效、监督有力、决策有据”,促进公众积极参与河道管理,为幸福河科学、长效管护提供支撑。

### (二) 建设整体架构

数字孪生临江河平台自下而上包括信息基础设施、数据孪生平台、业务应用,同时标准规范体系、运行维护管理体系与信息安全体系贯穿整体系统。总体框架如图1所示。

根据水利部《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》文件,结合平台总体结构,幸福临江河信息化建设可划分为信息基础设施、数据孪生平台及业务应用。各子系统主要包括如下:

#### 1. 信息基础设施

信息基础设施主要包括感知体系、通信网络、水利

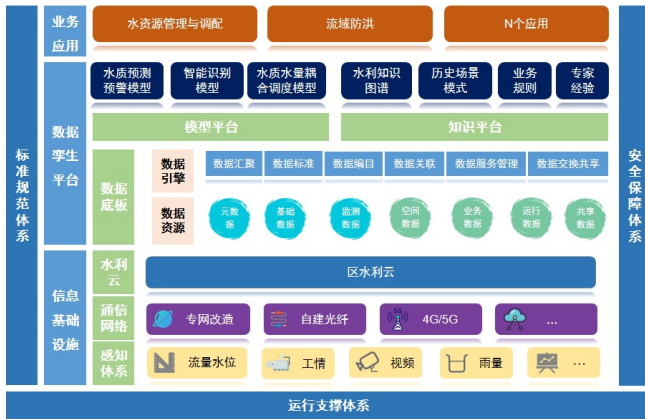


图1 永川区数字孪生临江河建设总体框架图

云三部分。

a. 感知体系

数字孪生技术通过建立实物系统的数字映射，实现了对水文过程、水质情况、水利工程运行状态等方面的实时模拟和监测。通过与传感器技术的结合，从空、天、地等空间维度，点、线、面等尺度范围实现了对水资源和水环境的高频率、高精度的监测，构建出了天空地一体化的综合感知网，是数字孪生流域从物理流域中获取全面、真实、客观、动态水利数据和信息的渠道。

本项目水利感知体系主要包括雨量自动监测站、水位自动监测站、流量在线监测站、水质自动监测站、机组状态自动监测、卫星遥感图像分析、无人机和无人监测船等方面。

b. 通信网络

水利通信网主要是依托国家电子政务网络、租赁公共网络、利用卫星通信等多种方式，覆盖永川区水利局以及工程管理单位等。

本项目通信网络主要包括自动监测站信息传输和AI智能识别监控站信息传输两部分内容，自动监测站一般采用公网4G/5G无线网络进行数据传输；AI智能识别监控站有二种传输方式，一种是采用光纤网络进行视频图像传输，另一种是通过4G/5G无线网络进行图片/视频传输，具体通过方式确定则根据现场情况确定。

c. 水利云

水利云提供“算力”支撑，主要提供云端按需扩展和安全可信的大规模联机计算服务。本项目水利云主要是通过永川区政务云租赁，包括资源占用规模、计算能力的要求以及业务部署方案等。

2. 数据孪生平台

数字孪生平台主要包括数据底板、模型平台、知识平台三部分。

a. 数据底板

1) 建设覆盖临江河流域主要洪涝灾害危险区的L2级数据底板，包括无人机遥感影像数字正射影像图(DOM)数据、测图卫星DEM数据等，主要是进行数字洪涝重点区域(市区、城镇、集镇、重要设施)建模。

2) 建设覆盖危险区上游及危险区内关键水利工程、公路、桥涵的L3级数据底板，包括工程区域的无人机倾斜摄影、重要工程的BIM数据，主要是进行数字洪涝关键局部实体场景建模。

3) 实现临江河流域重要位置及工程设施的AR漫游。

b. 模型平台

模型平台为整个系统提供“算法”支撑。主要是建设标准统一、接口规范、分布部署、快速组装、敏捷复用的模型平台，包括水利专业模型、智能模型、可视化模型等。本项目建设内容主要包括水质预测预警模型、水质水量综合调度模型等专业模型。

c. 知识平台

知识平台为整个系统提供知识，主要是建设结构化、自优化、自学习的知识平台，本项目主要包括预报调度方案库、业务规则库、工程安全知识库、历史案例库、决策知识数据库、知识图谱服务，内容主要包括各类知识的抽取、表示、融合，以及具有机器推理和机器学习等。

3. 业务应用

a. 数字孪生河流

项目以三河汇碧核心区以及原水调水系统为核心，构建典型区域及工程数字孪生体，实现2个关键应用：流域防洪应用、水资源管理与调配应用。

1) 主城区流域防洪应用数字孪生场景建设

本项目选取三河汇碧核心区，实现核心区的流域防洪应用数字孪生场景建设，本项工作的具体内容有：三维场景下的实时监测、预报预警，气象数据分析及各类等值面图制作生成，数字孪生洪水演进及淹没，数字孪生水利工程调度，数字孪生洪水灾情评估，数字孪生避险转移，防汛预案及知识库。

2) 水资源管理与调配应用数字孪生场景构建

本项目重点实现永川区长江原水调度的BIM模型制作和数字孪生场景建设，具体工作内容有：提水工程的全路径数据孪生场景实现，泵站、水库、水厂的数字孪生场景实现，工程调度方案的数字孪生场景实现，提水工程预警预报的数字孪生场景实现。

b. 业务应用体系

在临江河数字孪生平台数据底板基础上，充分运用模型库、知识库建设成果，在临江河数字孪生河流引擎的驱动下，开发具有“四预”功能的数字孪生临江河平台整体框架，发挥数字孪生水利工程的数字映射、智能模拟、前瞻预演作用，以工程安全为核心目标，建设工程安全智能分析预警、防洪兴利智能调度、生产运营管理、巡查管护、综合决策支持等业务应用。

三、平台建设关键技术

(一) 立体化感知技术

1. 全自动感知

感知设备以自动化在线监测设备为主，建成以后除

定期设施维护和校准，无须额外派遣专业人员进行实地外业测试，大大减轻了监管人员的压力。

### 2. 智能化感知

除安装传统的水利在线监测设备以外，充分利用人工智能技术，发挥视频摄像头简单、直观的作用，通过视觉识别结合水利业务场景，解决行政监管难题，提升监管效率，提高监管覆盖面。

### 3. 一体化感知

所有感知设备不再是各自独立产生数据的孤岛，通过同一区域布置一体化边缘感知模块，统一接收数据、处理数据并统一按需发送数据到统一的物联网平台。真正做到数据统一收发、集中存储，避免数据冗余，最大限度发挥数据的效用。

### 4. 整体化感知

对于站点进行统一部署、整体感知，其感知覆盖分水断面、水库等。增强监测数据之间的关联性，为以后系统针对水利业务应用场景做数据分析提供重要的技术支持。

### 5. 立体化感知

加强遥感卫星监测，实现临江河流域河道大尺度水环境定性监测，及时获取河道水环境、水域岸线变化、水生物漂浮物及河道周边山体森林植被覆盖等信息，提升河道监管能力。

## (二) 数据孪生技术

### 1. 重点区域三维实景模型构建

重点区域三维实景模型的构建主要由勘测准备、数据获取、数据处理、数据检查、数据交付五部分组成。经过空中三角测量、相对定位、绝对定位、定向建模等传统航空摄影数据处理流程进行三维建模，并且将模型贴上纹理形成三维实景模型。同时采用Smart 3D软件进行三维实景模型制作，采用DP Modeler软件对模型进行编辑处理。三维实景建模数据处理采用Smart 3D软件自动化生成三维实景模型，人工干预少，计算精度高。

### 2. 水利业务场景数字孪生

对方案计算模型定制开发而导致预报调度业务变动适应能力不足的问题，通过预报调度方案的“配置式”动态管理，解决变化决策场景的实时映射的难题，进一步实现系统业务应用的动态建设、摆脱定制化开发、系统维护困难的限制。

将流域预报调度业务中所涉及的要素解耦管理并按需组合。其中基础要素配置管理，通过参数化手段建立水利对象、计算模型、调度规则的单独实例，为搭建复杂计算方案提供“积木块”。演算逻辑配置管理，面向预报调度方案内部运算过程，对其水力拓扑、计算关系等进行设置，构建一个业务分析过程，类似于建立计算运行的“图纸”。最后，通过智能适配服务解析“图纸”信息并按照组装“积木”，自动化发布形成完整的预报调度方案。该技术体系下，用户可以按需任意构建

计算方案，不依赖代码层面的修改即可实现对流域调度管理业务场景变化情况的适配，全面提升整个流域数字孪生业务场景的维护能力。

### (三) 组件式开发技术

采用面向服务的组件式的软件工程开发技术，以有利于系统升级、功能的扩展与延伸。基于组件的软件开发方法主要有以下几点优势：灵活性强，软件系统升级与维护更加的灵活便捷；组件的装配工作类似搭积木，开发工作较为简单；所拥有的核心功能可以实现分析与设计的双重用，也便于系统维护与升级。

### (四) 国产自主可控技术

结合中央要求和自身需要，需要进一步加大国产化的力度。本次系统租用云资源需要考虑信创云资源，为了保障本次系统中上云的应用系统及数据能在信创云环境下正常部署和运行，需要搭建相应的信创平台环境，进行应用系统的国产化适配测试工作。

信创适配测试验证工作面对的是各种各样的国产化硬件、平台、软件系统，由于信创产业生态还不是非常成熟，产品性能、兼容性等还在逐步提升，因此可移植性、兼容性、功能性、性能效率成了信创软件最重要的四个质量特性，也是适配测试的重点。在这个质量基础上，可适当根据软件产品特点及测试需求对易用性、可靠性、信息安全、维护性、产品说明、用户文档集进行选测。

## 结束语

本文对临江河幸福河项目中的数字孪生平台建设进行了全面的探讨，对信息化建设现状、平台建设概况以及关键技术进行了全面的分析，后续我们将继续深化改善流域河湖库长效管理与水工程、水安全、水资源、水环境、水生态、水事件等，优化业务流程、完善业务架构。通过实时数据智能分析、计算机视觉、模型风险预测在涉水业务全过程监管中的应用，为城市智慧管理提供决策依据。

## 参考文献

- [1] 李国英主持召开水利部部务会议[J]. 中国水利, 2022(23): 5.
- [2] 蔡阳, 成建国, 曾焱等. 加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J]. 中国水利, 2021(20).
- [3] 中华人民共和国水利部. 数字孪生水利工程建设技术导则(试行)[Z]. 2022.
- [4] 吴义阳. 以防洪为核心的三明市沙溪数字孪生流域建设[J/OL]. 水利水电快报.
- [5] 金毓莲. 徐汇区防汛防台指挥系统应用分析[J]. 城市道桥与防洪, 2022(007): 000.
- [6] 李政. 济南市数字河湖建设探索与实践[J]. 山东水利, 2023(7): 11-12.

作者简介: 肖瑶(1990-12), 男, 汉族, 重庆永川人, 本科学历, 中级工程师, 研究方向: 水利、市政、建筑工程施工技术管理。