

# A Full-Time Domain Monitoring and Flood Routing Simulation System Based on IoT and Digital Sand table

Xin Wang Tao Zeng Pu Liu Huaxin Li Li Zhang

Yuanyicheng (Chongqing) Big Data Technology Co., Ltd., Chongqing, 408300, China

## Abstract

In recent years, a district and county in Chongqing has actively responded to national policies and vigorously promoted the digital empowerment and transformation of the operation and management of existing water conservancy projects. With the continuous expansion of business needs and the gradual construction and improvement of the county's reservoir perception layer, the existing information infrastructure of the water conservancy system in the district and county can no longer meet the growing business needs. In addition, the flood disaster caused by extreme rainstorm has sounded the alarm bell for the safe operation of water conservancy business in a district or county of Chongqing. Based on this background, this system fully integrates high-tech such as cloud computing, big data, the Internet of Things, sensors, and simulation. Based on the Internet of Things+digital sand table technology combined with two-dimensional hydrodynamic model algorithms, it achieves full time domain monitoring of reservoirs and flood routing simulation, accelerates the intelligent construction of water conservancy engineering, and helps promote high-quality development of water conservancy.

## Keywords

digital twin; smart water conservancy; Internet of Things monitoring; flood evolution simulation

## 基于物联网 + 数字沙盘的全时域监测与洪水演进模拟系统

王欣 曾涛 柳瀑 李华歆 张丽

源亦成(重庆)大数据科技有限公司, 中国·重庆 408300

## 摘要

近年来,重庆市某区县积极响应国家政策,大力推动已建水利工程运行管理数字赋能和转型升级,随着业务需求的不断扩展,以及全县水库感知层的逐步建设和完善,某区县水利系统现有的信息化基础设施已无法满足日益增长的业务需求。此外,极端暴雨天气引发的洪涝灾害为重庆市某区县水利业务安全运行敲响警钟。基于此背景,本系统充分融合云计算、大数据、物联网、传感器、模拟仿真等高新技术,基于物联网+数字沙盘技术结合二维水动力模型算法,实现水库全时域监测与洪水演进模拟,加快水利工程的智慧化建设,助力水利高质量发展。

## 关键词

数字孪生; 智慧水利; 物联网监测; 洪水演进模拟

## 1 引言

数字孪生水利建设于2022年明确提出,并随着相关政策文件的发布逐步推进。2022年3月,水利部印发了《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》,2024年4月,发布《关于推进水利工程建设数字孪生的指导意见》,为数字孪生水利工程建设提供了重要的技术规范与指导<sup>[1]</sup>。经过多年的发展,水利行业数字孪生能力有了明显提升,但仍存在短板弱项和薄弱环节。本系统充分融合云计算、大数据、物联网、传感器、模拟仿真等高新技术,切实应用于水利真实情景,加快水利工程的智慧化建设,助力水利高质量发展<sup>[2]</sup>。

## 2 项目概况

### 2.1 建设背景

近年来,重庆市某区县积极响应国家政策,大力推动

已建水利工程运行管理数字赋能和转型升级,随着业务需求的不断扩展,以及全县水库感知层的逐步建设和完善,某区县水利系统现有的信息化基础设施已无法满足日益增长的业务需求。

此外,极端暴雨天气引发的洪涝灾害为重庆市某区县水利业务安全运行敲响警钟,水利管理部门需要加快推进落实“四预”建设。2024年7月10日22时至11日7时,某区县普降暴雨到大暴雨,局地特大暴雨,某区域日降雨量254.6毫米达到历史极值,18个乡镇大暴雨,7个乡镇暴雨,大沙河等4条河流超保。此次特大暴雨造成6人死亡,14乡镇6985人受灾,经济损失8235万元,某镇内涝积水2米<sup>[3]</sup>。

在此背景下,重庆市某区县水利系统亟需对现有的信息化基础设施进行升级和优化,建设一套全要素、高精度、高效率、高仿生的智能化水利系统,提升水利系统的运行效

率和管理水平,保障水利工程高水平安全运行、效益充分发挥,为水资源的合理利用和灾害防控提供强有力的技术支持。

综上所述,本系统依托《某区县增发国债小型水库安全监测设施建设项目》,基于物联网+数字沙盘技术结合二维水动力模型算法,实现水库全时域监测与洪水演进模拟。

## 2.2 建设内容

基于物联网+数字沙盘的全时域监测与洪水演进模拟系统,面向重庆市某区县122个水库进行水利工程智慧化建设,针对其中的24个重点水库开展数字孪生模拟建设。系

统历时3个月开发完成,截至2025年6月底已稳定运行7个月,其建设内容如下:

## 3 关键技术

### 3.1 水动态时空数据底板

系统从时间维度、数字孪生维度、物联感知维度、水利业务维度四大维度构建水动态时空数据模型,采用前沿数据引擎技术构建数据底板,根据具体水利业务应用需求提供定制化数据服务,确保系统数据符合水利数字孪生标准数据规范,保障水利信息数据安全。

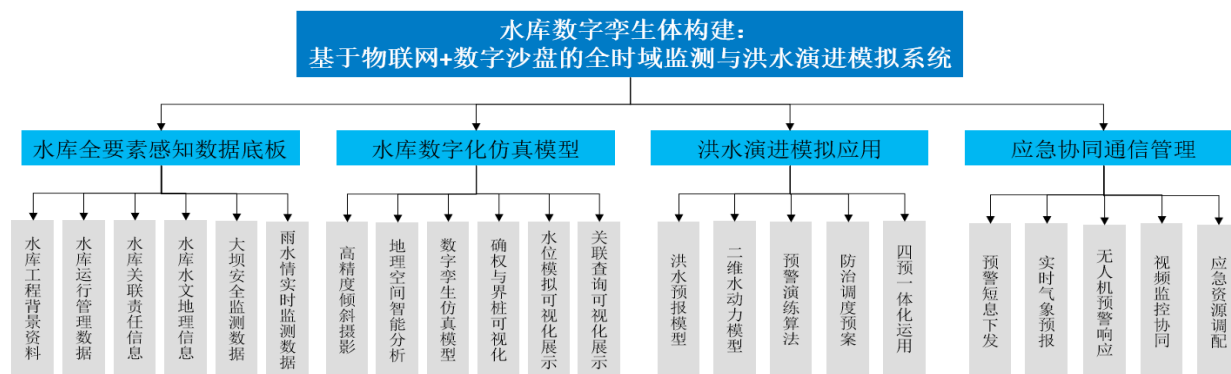


图 系统建设内容图

### 3.2 洪水演进智能模拟

系统洪水演进智能模拟技术,主要依托智能洪水预报模型与二维水动力模型的深度耦合,结合预警演练智能算法,实现对库区洪水演进过程的高精度动态模拟。

在该技术体系中,智能洪水预报模型综合运用水文学、水文学原理,结合机器学习、深度学习等人工智能算法,实时分析气象雷达、卫星遥感、物联网监测设备采集的多源异构数据,提前预测洪水的发生时间、规模及发展趋势。二维水动力模型则基于计算流体力学理论,构建库区及周边区域精细化的地形地貌、河道边界条件、水工建筑物参数等数字模型,对洪水演进过程中水流的流速、水位、流量等水力要素在平面空间上的变化进行数值模拟,精确刻画洪水在复杂地形下的扩散路径、淹没范围及演进速度。预警演练智能算法通过引入强化学习、遗传算法等智能优化算法,以历史洪水数据、实时监测数据和模拟数据为训练样本,在预设的多种洪水情景下进行动态推演与优化。

基于上述技术模拟出的洪水演进过程与预警演练结果,系统将自动生成智能防治调度预案。系统实现水利“四预”一体化应用,通过数据共享与交互机制,实现洪水风险从早期预测、及时预警,到多情景预演,再到科学预案制定与执行的全链条闭环管理,有效提升水利工程对洪水灾害的综合防御能力与应急决策效率,为流域防洪减灾、水资源科学调配提供坚实的技术支撑。

### 3.3 AI 大模型融合应用

系统将AI大模型算法与水模型库、水知识库有效融合。

其中,AI大模型结合水模型库提供算法支撑,构建水利专业模型、可视化模型和数字模拟仿真引擎,通过人机交互实现相关模型的构建、调用、管理及升级完善,以便系统动态管理、扩展相关模型与应用。AI大模型与水模型库的高效融合为水利业务应用模拟和“四预”功能的实现提供模型运算能力,支撑业务决策。

AI大模型结合水知识库在数据底板、互联网数据及模型计算等基础上,根据具体水利业务需求,以水利知识图谱为技术框架,构建预报调度方案库、业务规则库、历史场景模式规则库、专家经验库等,通过自然语言解析、水利知识推理、预案智能匹配、AI智能分析等智能算法模型构建水利知识引擎,实现水利知识的可视化,以及搜索、统计、分析、智能服务的数字化和知识化应用,为防洪“四预”业务提供支撑。

## 4 系统特点

### 4.1 贴合水利工程实际防灾场景的精细化调度算法

系统以精准计算为目标,引入二维水动力模型模拟水库洪水演进,通过历史数据率定模型参数,提升模拟与实际场景的契合度。同时,将优化后的调度算法嵌入数字沙盘三维可视化模型,实现算法与模型动态联动。借此可预演洪水路径,生成涵盖洪峰流量调控、蓄泄节奏优化的精细化调度方案,提升水库防洪决策的科学性与精准性。

### 4.2 基于水利工程数字孪生提供GIS空间分析能力

系统基于水库数字孪生底座,集成GIS空间分析功能,

构建“看算”一体化智能模型。算法适配可视化格式后，将计算逻辑迁移至前端，直接在数字沙盘三维可视化模型中实现空间数据处理与分析，支撑动态交互的实时计算，提升水库调度场景的响应效率与决策精度。

#### 4.3 打通水利相关横向数据通道实现应急协同响应

系统打通水利相关横向数据通道，如气象、应急、城建等跨行业数据，在洪水演进模拟过程中，在计算得到洪水淹没范围的同时可以考虑相关人类活动信息如人口、企业以

及一些房屋普查信息，进行灾损评估；在应急响应过程中可以实时获取气象预报、视频监控信息、协同开展应急资源调度工作。

## 5 技术体系

系统构建聚焦全要素感知、高精度建模、智能化应用、协同化管理四大维度，融合技术创新与业务需求，实现物理水库与虚拟空间的动态映射，其技术体系如下所示：

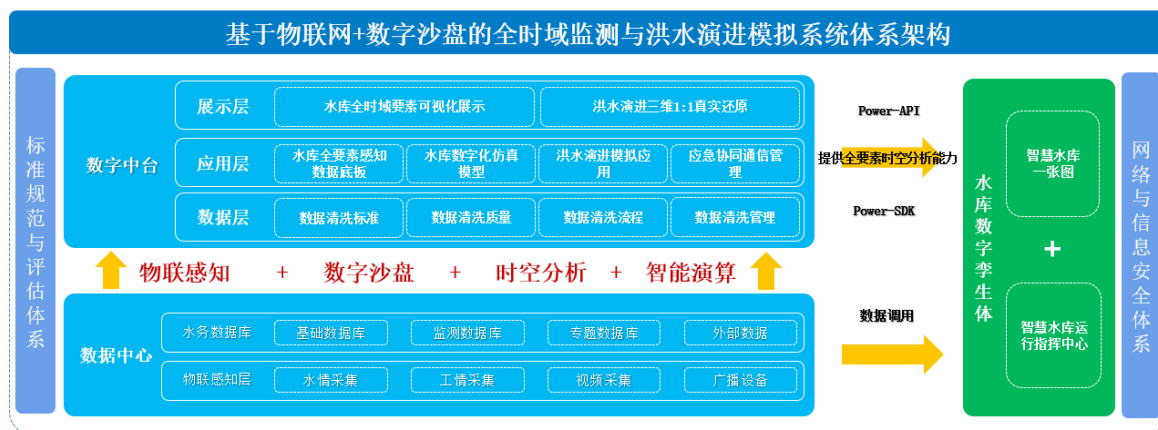


图 系统技术体系架构图

## 6 技术路线

系统采用.NET+VUE前后端分离的技术构架。由于系统组织架构以及相应的业务较为复杂，在技术架构上不能采用单一的技术来解决。后端采用.Net 6及以上版本、EF、JWT、Autofac、达梦数据库、Redis技术路线，前端采用Vue2.0、Vuex、axios、promise、Element-UI、three.js技术路线。系统运用此类松耦合体系结构，实现业务、服务与技术相互分离，具有业务驱动服务、服务驱动技术的效果，可有效降低架构体系内各层变动的的影响、减少运维困难、提升服务水准。

## 7 系统应用

### 7.1 水库全要素感知数据可视化

系统集成121台雨水情设备、150台渗压设备、1台水质监测设备，以及应力计、测缝计、坝温度计等157台感知终端，全量接入历史水文数据、工程设计图纸等资料。依托物联网技术构建数字沙盘三维底板，将多源监测数据与物理实体动态映射，形成覆盖重庆市某区县122个水库的全要素数据可视化网络，实时直观呈现水位、渗流、应力、位移等多维工况，为水库精细化管理提供全周期、立体化的数据支撑。

### 7.2 水库“看算”一体智能化模型

系统基于高精度实景三维模型以及水利工程设施、物联网监测数据、雨水情数据的融合，实现水利工程全要素高拟真还原，同时，系统融合GIS空间分析技术，为水库数

字孪生体提供三维动态规划的能力，实现水库“看算”一体。

### 7.3 模拟强降雨下水库“四预”管理

系统通过模拟极端天气下的强降雨场景，全面应用“四预”功能，实现智能化水库管理与应急响应：

(1) 监测预警：平台基于实时雨水情数据和预报降雨数据进行动态分析，精准预测水库未来的短期、中期和长期水位变化，提前掌握潜在风险。

(2) 模拟预演：依托数字孪生技术，平台直观模拟水库水位未来变化过程，为管理者提供数据驱动的可视化决策支持。

(3) 智能预警：系统实时监测水位模拟值，当预测值超过预警阈值时，自动触发预警提示，确保风险早发现、早应对。

(4) 应急预案：平台结合模拟结果自动生成智能化应急预案，展示下游受影响区域的范围，预估经济损失，并为防控措施和资源调配提供科学指导。

### 7.4 水库洪水预警应急协同响应

系统采用多源实时视频融合会商技术通过压缩算法将多线路、多码流的视频流进行融合，实现无人机高清实时视频、各水库监控摄像头等全覆盖视频的传输，保障前端现场的高覆盖度无缝视频融合，以达到对水库洪水预警情况了解更加全面、对突发事件的反应更加迅速、对相关人员的协调更加充分。

## 8 应用成效

系统运行期间，2025年5月4日，某区县气象台针对

强降雨过程先后发布暴雨蓝色预警和黄色预警,4日00时-19时,某区县境内22个雨量站达暴雨,某镇水文站最大雨量95.6毫米,达到大暴雨级别。其中,降雨集中在3:00-12:00,某镇小时雨量峰值达55.6毫米。

在此次强降雨事件中,系统中某水库数字孪生体通过“四预”功能实现精准防控:

(1) 预报:系统实时接入气象部门的预报数据,结合某镇水文站等雨量站的实测数据,运用二维水动力模型动态更新洪水演进路径。系统预测某水库水位将在8小时内突破汛限水位,并可能引发下游某镇低洼区域积水。

(2) 预演:系统通过二维水动力模型结合洪水演进算

法模拟洪水淹没极端情景。

(3) 预警:当水位监测值达到某水库汛限水位的80%时,系统自动触发三级预警响应,同步向水库应急人员发送短信提醒;在数字孪生三维场景中高亮显示超警区域。预警信息从触发到送达仅用5分钟,较传统人工预警效率提升90%。

(4) 预案:根据预演结果,系统自动生成处置预案:立即开启双孔泄洪,将出库流量提升至80立方米/秒,并同步向县防办报备;调度无人机对坝体进行三维巡检,重点监测坝体位移;在数字孪生地图上规划3条应急疏散路线,通过系统配套通信向受影响居民推送撤离指引。



图 系统应用成效

预案执行后,水库水位在6小时内回落至汛限以下,下游某镇仅出现局部短时积水,未造成人员伤亡。

此次事件中,系统通过“四预”闭环管理,将传统依赖经验的调度模式升级为数据驱动的智能决策,响应速度提升40%,决策准确率达92%,为同类水库防汛提供了可复制的数字化范本。

## 9 系统自评价

### 1、技术先进

项目采用了物联网、数字沙盘、大数据、人工智能等先进技术,构建了完整的水库数字孪生,在洪水演进模拟、水资源调度、大坝安全评估等方面具有明显的技术优势。

### 2、区域性调度高效

系统实现了区域性高效调度,通过在地区的示范应用,取得了显著的防汛减灾、水资源利用、管理决策等方面的成效,得到了用户的高度认可。

### 3、具有推广价值

项目成果在水利行业内具有广泛的推广价值,为其他水库的数字化建设提供了可借鉴的经验和模式。

### 4、数据安全保障

系统保障接入数据满足水利数字孪生标准数据规范,同时严守国家信息安全底线,严格遵照国家信息安全保障体系要求,保护用户基本权益。

## 参考文献

- [1] 王坤,钱会娟.数字孪生技术在水利工程中的应用研究[C]//第十三届防汛抗旱信息化论坛论文集.南昌:中国水利学会,2023.
- [2] 刘家宏,蒋云钟,梅超,等.数字孪生流域研究及建设进展[J].中国水利,2022(20):23-24.
- [3] 鲁中晨报.(2024,7月11日).突发!重庆遭特大暴雨,致1死3失联[EB/OL].<https://baijiahao.baidu.com>.