

# 马湖水库堰塞体“数字孪生”智能应用研发

吴润于<sup>1</sup> 王佳梅<sup>1</sup> 俄木石举<sup>1</sup> 李旭<sup>2</sup> 陈欢欢<sup>3\*</sup>

1 雷波县水利局 2 四川省坝导水利科技有限公司 3 四川省水利科学研究院

DOI:10.12238/hwr.v8i8.5628

**[摘要]** 推进智慧水利建设是推动新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一。基于此,本文选定马湖水库开展“数字孪生”智能应用研发,基于水情、雨情、工程动态监测数据,以及水下地形勘测、无人机倾斜摄影、BIM模型、InSAR地面沉降模型、水流演进模型等研究成果,研发了马湖数字孪生平台,实现了马湖关键水利工程数据和模型数据的可视化展示,构建了水库“四预”业务功能,实现了预警快速响应、调度科学决策、提高了水库防汛应急响应与处理能力,为有效保障水库运行安全和效益发挥提供重要支撑。

**[关键词]** 马湖水库; 堰塞体(湖); 水库四预; 数字孪生

**中图分类号:** TV697 **文献标识码:** A

Mahu reservoir weir plug body "digital twin" intelligent application research and development

Runyu Wu<sup>1</sup> Jiamei Wang<sup>1</sup> Russian wood stone lift<sup>1</sup> Xu Li<sup>2</sup> Huanhuan Chen<sup>3\*</sup>

1 Leibo County Water Conservancy Bureau 2 Sichuan Ba Guide Water Conservancy Technology Co., LTD

3 Sichuan Water Conservancy Research Institute

**[Abstract]** Promoting the construction of intelligent water conservancy is one of the six implementation ways to promote the high-quality development of water conservancy in the new stage, This paper selects Mahu Reservoir to carry out the research and development of "digital twin" intelligent application, Based on the dynamic monitoring data of water, rain and engineering, And underwater terrain survey, UAV tilt photography, BIM model, InSAR ground subsidence model, water flow evolution model and other research results, Developed the Mahu digital twin platform, Realize the visual display of the key water conservancy project data and model data, Constructed the reservoir "four advance" business function, Realize the early warning rapid response, dispatching scientific decision-making, improve the reservoir flood control emergency response and handling capacity, To provide important support for the safety and benefit of reservoir operation.

**[Key words]** Mahu reservoir weir plug body (lake) reservoir four pre; digital twin

水利新质生产力是以水利行业高质量发展的需求为牵引,将数字孪生、云计算等最新科技成果应用到水利行业中,加快科技成果转化,提升水利产业发展能力<sup>[1]</sup>。水利部党组把智慧水利建设作为推进流域新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一,强调按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求,以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径,全面加强算据、算法、算力建设,构建具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系<sup>[2-3]</sup>。选定马湖水库开展“数字孪生”智能应用研发,马湖位于四川省凉山州雷波县东北部、金沙江上游,是与邛海、泸沽湖齐名的四川省第三大天然高原湖泊<sup>[4]</sup>。马湖周围分布多期次的巨型滑坡,由于地质构造地震作用,其最近一期形成堰塞坝<sup>[5]</sup>。

## 1 总体架构

水库数字孪生平台由数字孪生水库、业务应用、网络安全

体系等组成,总体架构如图所示。数字孪生水库是物理水库及影响环境在数字空间上的映射,通过数字孪生平台和信息基础设施实现与物理水库的同步仿真运行。其中物理对象包括流域水系、水库大坝、水库管理活动对象等水利对象及其影响区域;业务应用调用数字孪生水库提供的算据、算法、算力等资源,支撑水库综合决策、防洪减灾、水资源管理和智慧运管等方面业务应用;网络安全体系为数字孪生水库建设提供安全管理、安全防护、安全监督等方面的支撑。

数字孪生水库包括信息基础设施和数字孪生平台。基础设施为数字孪生水库提供数据采集服务、网络传输服务和信息存储服务,包括水利感知网、水利信息网和水利云;数字孪生平台为数字孪生水库提供算据、算法、知识,主要包括数据底板、模型平台、知识平台三部分。

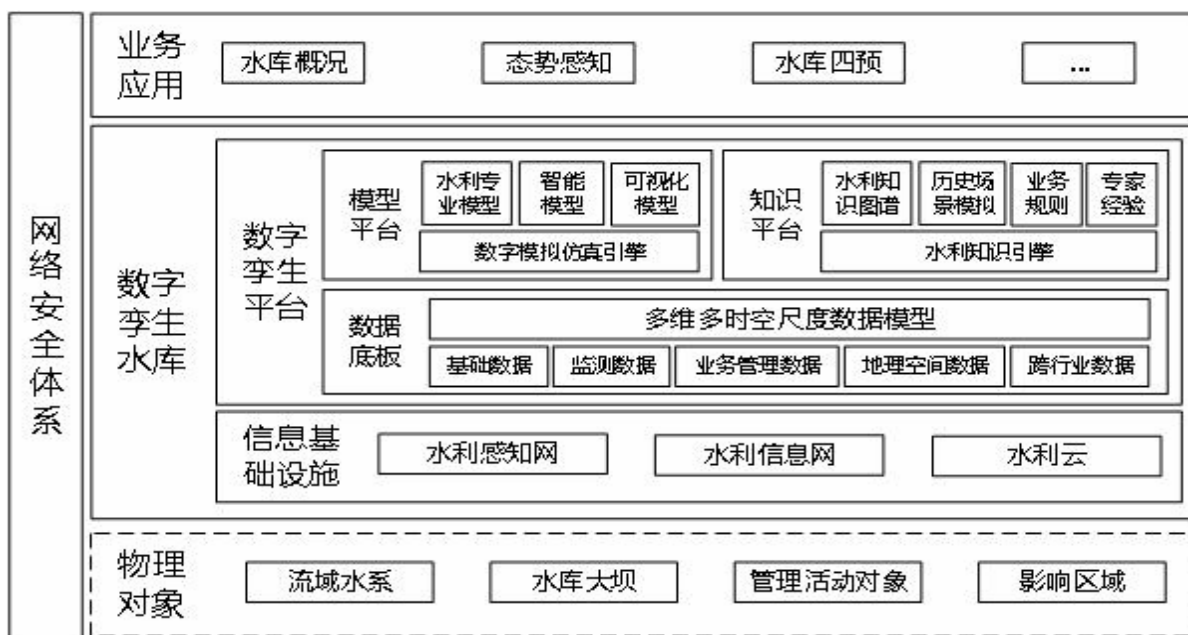


图1 马湖水库数字孪生平台总体架构图

数据底板为数字孪生水库提供“算据”支撑,集成水利基础数据、监测数据、业务管理数据、地理空间数据和跨行业数据,提供三维展示、数据融合、分析计算、动态场景等功能。

模型平台为数字孪生水库提供“算法”支撑,包括洪水演进、溃坝模拟等水利专业模型,遥感识别、图像与视频识别等智能模型,以及自然地理、水系、水利工程等场景的可视化模型。

知识平台为数字孪生水库提供知识,包括历史场景模拟、业务规则、专家经验和基于机器学习的水利知识引擎。

## 2 可视化大屏

马湖可视化大屏主界面包括:马湖水库信息、特征参数、水位信息、流量信息,安全管理信息、巡检信息等水库基本情况。

## 3 功能设计

### 3.1 水库概况

数字孪生水库平台以GIS底图为基础,展示水库及影响区域的地形地貌、流域水系等基本信息,基于水库周边倾斜摄影模型、水下数字高程模型、水利工程BIM模型搭建数字底板,以图片、文字、视频等形式为水库用户提供水库基本信息、重要水利工程情况、监测感知信息以及水库运行管理信息等。

(1) 基本信息。以图片、文字、视频、无人机航拍等形式展示水库位置境域、地形地貌、水文气象等信息。

(2) 工程信息。以图文、BIM模型等形式全面展示包括大坝、溢洪道、管理房、闸控设备等重要工程详细信息。

### 3.2 态势感知

数字孪生水库平台集成降雨监测、水文监测、安全监测、视频监测、全景信息、遥感沉降分析等天空地多要素感知数据,查询、展示、统计分析等功能。

(1) 雨量监测。根据现场安装的1个雨量监测设备,在数字孪

生平台清晰标注不同站网布局点位,左侧显示设备列表,可通过点击列表或者缩放地图的方式快速定位到设备所在位置,点击设备图标,显示历史数据,人工可根据时间自由选取时间段获取该时间段的雨量信息。

(2) 水文监测。该功能由现场的1个水位检测设备和3个流量监测设备组成感知系统,左侧视图显示当前马湖水位和几个入水口流量信息。可通过点击列表或者缩放地图的方式快速定位到设备所在位置,点击设备图标,显示历史数据,支持检索和查看历史信息。

(3) 安全监测。通过安装在坝址附近的4个GNSS自动检测系统,实时监测水库坝址区域的在XYZ方向上各自的形变位移,可通过点击列表或者缩放地图的方式快速定位到设备所在位置,点击设备图标,显示历史数据型变量,通过对比判断当前大坝位移量是否存在安全隐患。

(4) 视频监控。在马湖库尾和坝址区域分别安装了一组视频监控装置,实时显示当前现场情况。

(5) 全景信息。通过无人机航拍制作的马湖关键建筑、关键位置、标志性地物和场景的全景影像,可以上帝视角俯视区域实景。

(6) 遥感沉降分析。通过对研究区域多幅SAR数据进行处理分析,获取目标区域长时间段内稳定的离散点目标,构建不同时间的马湖水库及周边的沉降模型,分析地表沉降影响因素与规律。

### 3.3 水库四预

水库四预模块是以“四预”为指导,结合区间降雨预报数据,站网实时监测数据、专业模型分析数据等,通过工程BIM数据、倾斜摄影三维建模数据、三维地图和可视化模型等对水库流域

降雨、上游来水、实时水位、洪水演进等情况进行预报预警预演,科学制定水工程运行和优化调度等方案。

(1) 预报降雨。结合区间降雨预报数据,对水库库区及周边区域,实现实时预报和情景预报功能,更为直观地查看降雨的实时动态及通过查看情景数据显示历史数据,以便对降雨量进行宏观把控。

(2) 来水预报。根据降雨、来水量监测数据,结合产流-汇流-演进等模型对来水过程进行进一步分析计算,结合相关管理办法和标准,确定以水位、流量、工程安全的警示指标,同时确定蓝色、黄色、橙色、红色等不同预警等级所对应的指标阈值范围。对超过汛限水位、造成洪水风险、安全风险等情况进行告警与展示。

(3) 预报预警。根据水位实时情况,结合历史水位,结合相关安全指标及历史最高水位、设置安全水位阈值,对超过阈值范围的水位进行警告与提示。

(4) 淹没分析。根据水雨情预报情况,对水库、河道、渠道及洪水演进情况进行模拟预演,以水文模型为基础预报控制断面洪水过程,耦合水文预报和水力学模型结果,仿真模拟展现数字流场、河道洪水演进及蓄滞洪区洪水淹没等洪水过程,评估淹没范围、影响人口、经济损失,实现对预报洪水、历史典型洪水进行模拟计算和动态仿真。

#### 4 结论

(1) 基于水情、雨情、工程动态监测数据,以及水下地形勘测、无人机倾斜摄影、BIM模型、InSAR地面沉降模型、水流演进模型等研究成果,研发了马湖数字孪生平台。

(2) 马湖数字孪生平台,实现了马湖关键水利工程数据和模型数据的可视化展示,构建了水库“四预”业务功能,实现了预警快速响应、调度科学决策、提高了水库防汛应急响应与处理能力,为有效保障水库运行安全和效益发挥,工程安全智能分析预警、防洪兴利智能调度,以及堰塞湖开发利用提供有效支撑。

#### [项目支持]

雷波县马湖水库堰塞体治理与堰塞湖综合利用关键技术研究科研项目(项目编号:川水科2021005)。

#### [参考文献]

[1]左其亭,秦西,马军霞.水利新质生产力:内涵解读、理论框架与实施路径[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2024,45(03):1-8.

[2]李国英.加快建设数字孪生流域提升国家水安全保障能力[J].中国水利,2022,(20):1.

[3]蔡阳,成建国,曾焱,等.大力推进智慧水利建设[J].水利发展研究,2021,21(09):32-36.

[4]李玉泽.雷波马湖湖泊形态变化特征及旅游可持续开发研究[D].成都理工大学,2024.

[5]李欣泽.马湖滑坡群发育特征与形成,演化过程研究[D].成都理工大学,2015.

#### 作者简介:

吴润于(1985--),女,彝族,四川雷波人,行政管理本科,雷波县水库服务站站长,长期从事水库管理、分管水利工程建设、质量监督和大中型水库移民等方面工作。

王佳梅(1994--),女,汉族,云南鲁甸人,本科(国民教育),工程管理专业,专科(全日制)园林工程技术专业,雷波县水库服务站工作人员,从事水库管理运行工作。

俄木石举(1997--),男,彝族,四川美姑人,工学学士,雷波县水库服务站工作人员,从事汛期防洪、水库观测和安全检查、水利设施保护和综合应用等方面工作。

李旭(1992--),女,汉族,四川邛崃人,工学学士,长期从事水利工程建设管理、技术咨询、水利建设项目招投标等工作。

#### 通讯作者:

陈欢欢(1995--),女,汉族,广西南宁人,工学硕士,从事水利水电建筑工程及坝工与岩土工程研究。