

# 马湖水库堰塞体“天空地水”感知体系构建

杨之智<sup>1</sup> 杨庆<sup>1</sup> 唐飞<sup>1</sup> 叶洪印<sup>1</sup> 李旭<sup>2</sup> 陈昊<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.v8i8.5629

**[摘要]** 推进智慧水利建设是推动新阶段水利高质量发展的6条实施路径之一。基于《“十四五”水安全保障规划》中“强感知、增智慧、促应用”的水利智慧化发展思路,本文开展基于IOT的水库水雨情动态感知技术研究、基于GNSS的水库工程外部变形自动监测技术研究、基于差分GNSS+单波束测深的高山深水湖水下地形勘测技术研究、基于差分GNSS+单波束测深的高山深水湖水下地形勘测技术研究、基于无人机倾斜摄影的水库要素动态识别技术研究,构建马湖水库堰塞体“天空地水”多源信息感知体系,形成了可复制的建设经验,为马湖水资源论证分析、溃坝模拟及风险评估分析提供了重要基础支撑。

**[关键词]** 马湖水库; 堰塞体; “天空地水”; IOT; GNSS; 无人机

**中图分类号:** TV62+2 **文献标识码:** A

## Construction of the perception system of "sky and earth water" of Mahu Reservoir

Zhizhi Yang<sup>1</sup> Qing Yang<sup>1</sup> Fei Tang<sup>1</sup> Hongying Ye<sup>1</sup> Xu Li<sup>2</sup> Hao Chen<sup>3\*</sup>

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

3 Sichuan Water Conservancy Research Institute

**[Abstract]** Promoting the construction of smart water conservancy is one of the six implementation ways to promote the high-quality development of water conservancy in the new stage, Based on the intelligent development idea of water conservancy of "strengthening perception, increasing wisdom and promoting application" in the 14th Five-Year Water Security Plan, This paper, based on the IOT reservoir water rainfall regime dynamic perception technology research, based on GNSS reservoir engineering external deformation automatic monitoring technology research, based on differential GNSS + single beam sounding mountain deep water lake terrain survey technology research, based on differential GNSS + single beam sounding mountain deep water lake terrain survey technology research, based on drone tilt photography reservoir element dynamic identification technology research, Construct a multi-source information perception system of "sky and earth water" in Mahu Reservoir, Developed a replicable construction experience, It provides important basic support for the resource demonstration analysis, dam break simulation and risk assessment analysis.

**[Key words]** Mahu reservoir weir plug body "sky and earth water" IOT GNSS UAV

马湖水库数字孪生是以数字化、网络化、智能化为主线,以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径,以构建数字孪生流域为核心,全面推进算据、算法和算力建设,加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系<sup>[1]</sup>。感知是一切智能支撑的基础,通过感知+大脑的决策才能实现水资源的合理调度、水安全的充分保障、水生态合理保护,“感知、大脑、智慧调度”三者的高效统一协同才能为智慧水利决策、指挥、应急、监测场景提供全面、直观的决策支撑<sup>[2]</sup>。本文选定马湖水库堰塞体开展“天空地水”多源信息感知体系构建研究,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>[3]</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>[4-5]</sup>。

### 1 基于IOT的水库水雨情动态感知技术研究

#### 1.1 水库雨情动态监测技术研究

##### 1.1.1 研究方案

①马湖流域降雨历史资料收集与特征分析。马湖历史降雨监测不连续,通过搜集马湖水库流域2006~2021年历史降雨资料,统计分析区域雨量极值,降雨场次、季度变化规律等,为水库雨情动态监测研究开展提供基础支撑。

根据多年统计数据可以得到,马湖多年降雨年际波动较大,

最小年降雨量为681.4mm,最大年降水量达1584.0mm,多年平均年降雨量为1062.2mm。

从日降雨量来看,马湖多年日降雨量极值波动较大,最大年日降雨量极值为141.8mm,最小年日降雨量极值仅为44.4mm,多年平均日降雨量极值为85.1mm。

从多年降雨月均值来看,马湖降雨季度变化较大,主要集中在每年5~10月份,占全年降雨总量的91%。其中最大降雨主要集中在7~8月,月降雨量平均值分别为273.8mm和227.5mm,降雨量占全年降雨总量的47%。月降雨量均值变化如下图:

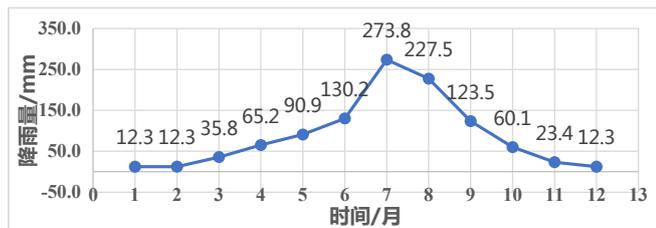


图1 马湖多年降雨月均值变化

②降雨站网布局分析。参照水文站网规划技术导则及现有相关研究成果,在现状雨量站布设的基础上,按照均匀分布的原则,进行降雨量观测站点建设。马湖流域面积约180km<sup>2</sup>,前期已在水库大坝建设有1处雨量自动观测点,在水库上游区域补充布设3处降雨观测点,实现整个流域站网覆盖,为流域水文循环和人文模型构建提供数据支撑,为实现水库降雨预警预报功能、优化水资源调度提供技术支撑。

③降雨监测技术方法选择。水库雨情动态监测研究的主要目的是获取流域降雨数据,为流域水文循环和水库调度模型构建提供数据支撑,因此选用操作简单、性能稳定的翻斗式雨量监测方法获取降雨数据。

#### 1.1.2 研究成果

通过多次现场踏勘、拟定布设点位和监测方案,于2022年6月13日~2022年6月15日完成马湖上游3处降雨观测设施安装。目前,降雨自动监测数据已接入数字孪生马湖平台,可以读取实时数据且设备运行稳定。

### 1.2 水库水情动态监测技术研究

#### 1.2.1 研究方案

①水情监测站点选择。在水库库区布设水位自动观测站点1处,针对水库上游的东部沟、西部沟、额子沟三个主要汇入河流开展流量动态监测,同时对下游放水左右干渠出库流量开展动态监测研究,以全面掌握水库水情情况、为开展水动力模型研究、水库四预提供基础数据支撑。马湖水情动态监测研究站点布局如下图:

②水情监测方案。针对河道汇流采用雷达波流量监测技术、针对出库渠道采用超声波流量监测技术开展流量动态监测研究。

#### 1.2.2 研究成果

基于前期踏勘分析的站点布设位置,完成了设备安装,并将测量数据顺利接入到马湖数字孪生系统平台中,平台能够读取

到实时水位、流量监测值且运行稳定。

## 2 基于GNSS的水库工程外部变形自动监测技术研究

### 2.1 研究方案

采用GNSS测量系统进行变形监测研究,具体研究内容包括:信号数据交互、测距数据解算、精度验证等,通过解算基站与监测站之间的距离变化,即可得到监测目标点的位移变化。通过优化完善站网布局、信号接收、数据处理等,提高位移监测方法的适应性。

### 2.2 研究成果

目前,变形监测方面已完成监测点位踏勘、观测墩建设、设备安装等工作,监测数据已接入马湖数字孪生平台,且数据传输稳定。根据监测数据,各个监测点在水平位移方向、垂直位移方向的形变量均在合理范围内,表明大坝整体运行稳定。

## 3 基于差分GNSS+单波束测深的高山深水湖水下地形勘测技术研究

### 3.1 研究方案

主要测绘技术要求如下:

①平面控制测量。平面控制采用网络动态GPS-RTK测量方法,按照《城市测量规范》(CJJ/T8-2011)中一级GPS测量控制网要求布设,本测区布设GPS点5个。

②测线布设。水下地形测量按施测,主测线方向垂直等深线的总方向布设,主测线横向间距为10m,纵向间距为20m,水下基本等深线为2m。

③单波束水深测量。(1)设置参数要点:定位参数:为了保证定位精度,减小多路径效应的不利影响,采用GNSS-RTK测量时,GNSS定位所用卫星的高度角设置为大于10°,观测卫星数≥4,记录限制设置为“RTK固定解”模式,即当流动站GNSS接收机初始化成功(固定)后才能记录有效位置。

④测线测量。开始测量前,与定位设备校对时间,启动HydroSurvey7.0测深仪数据处理软件,输入预设参数,进入测量状态,为测船导航,引导测船进入需要测量的断面位置,按纵向1m、横向20m点间距进行测点定位和测深,并根据软件的偏航显示数据,随时修正测船的航向,使测船始终沿着主测线方向航行;检测线的测量方法及测量精度与主测线相同;内业整理时,根据测深仪波形记录图进行波形回放,纠正测量中的偏差点和漏测点,在原始数据中提取特征点三维坐标及水深。

⑤航行要求。调查船尽量保持匀速、直线航行,船速控制在2~3m/s;船只在线测量时,严格按照航线图测量;遇到特殊情况停船,转向或变速时,可重复多次测量该区域,保证航线内没有漏测点;实际航线与计划测线的偏离不大于测线间距的25%。

(2)研究成果。完成了马湖6.9km<sup>2</sup>湖面主测线横向间距为10m,纵向间距为20m的水下地形图测绘,根据研究成果,马湖水面积约为6.92km<sup>2</sup>,最大水深149m,平均水深约88.42m。

## 4 基于无人机倾斜摄影的水库要素动态识别技术研究

#### 4.1 研究方案

采用大疆M300RTK无人机。倾斜摄影三维建模技术获取马湖流域及下游河道及各村庄、道路等涉水设备设施的实景三维模型,为库区淹没和下游河道及村庄淹没的可视化展示提供L2、L3级数据底板。具体技术流程如下:

##### 4.1.1 航线规划

通过预飞行制作DSM数据,并以此作为仿地飞行的航线规划地形参照数据,重叠度设置为航向80%,旁向70%。

##### 4.1.2 像控点布设

为保障航向重叠度合理性、灰度一致性,降低影像匹配难度,提高匹配精度,采取区域网布点的像控点布设方法,在测区外围布设角点像控点,在测区内部合理均匀增加像控点,像控点间隔小于600m,整个测区布设36个像控点,其中12个为像控点检测点,用于精度检验。

##### 4.1.3 倾斜摄影采集

数据采集时要确保网络信号通信良好,使用网络RTK服务配合大疆M300 RTK航测系统仿地飞行模块进行本次倾斜数据的获取。

##### 4.1.4 实景三维模型构建

实景三维模型构建是自动化处理过程,需提前设置构建模型范围、瓦片大小、输出格式、坐标系统等,设置完成后提交生产任务,自动进行实景三维模型构建。具体流程如下图所示:

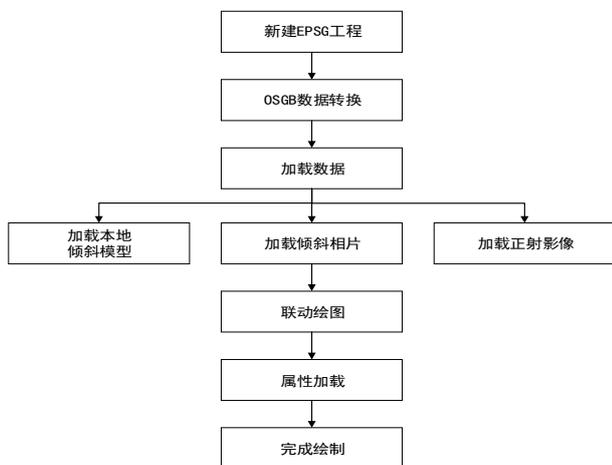


图2 实景三维模型构建技术流程图

#### 4.2 研究成果

本研究实现了马湖环湖一周近岸200m的实景三维建模,以及水库坝址下游洪水淹没区约3.5km<sup>2</sup>的三维建模,模型纹理清晰,实现了地理空间信息的可视化表达,同时为洪水演进模拟,溃坝灾害模拟评估等提供了重要基础数据支撑。建立了马湖溃坝溃决洪峰流量预测模型,实现了洪水演进动态仿真。建立了马湖数字孪生平台,为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。

#### 5 结论

(1)根据马湖水库水情、雨情、工情等水利要素监测需求,建立了具有针对性的水情要素自动化监测方案,开展了水情、雨情、工情自动化监测技术的适用性研究。

(2)探索了GNSS等新技术在堰塞体安全防护上应用;基于高山深水湖泊地理空间数据建设需求,开展了无人机倾斜摄影建模、差分GNSS+单波束测深等技术研究,为马湖水资源论证分析、溃坝模拟及风险评估分析提供了重要基础支撑。

(3)构建了“天空地水”多源信息感知体系,形成了可复制的建设经验。

##### [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]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.
- [2]桑蕊.智慧水利框架下立体化感知体系构建[J].东北水利水电,2024,42(05):68-70.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]本报评论员.大力推进智慧水利建设[N].中国水利报,2021-07-09(001).
- [6]曹俊,陈斌,郭建强.马湖成因探讨[C]//全国第19届旅游地学年会暨韶关市旅游发展战略研讨会论文集,2005.

##### 作者简介:

杨之智(1977--),男,彝族,四川雷波人,本科,雷波县水利局水保服务中心主任,从事水土保持预防监督、水土流失治理、水土保持监测、水土保持信息化等方面工作。

杨庆(1978--),女,汉族,四川雷波人,四川省会计高端人才,财务股长,从事水利工程财务管理、绩效管理和信息化等方面工作。

唐飞(1993--),男,汉族,云南巧家人,农学学士,雷波县水土保持服务中心副主任,从事水土保持预防监督、水土流失治理、水土保持监测、水土保持信息化等方面工作。

叶洪印(1989--),男,汉族,四川宜宾人,大学本科,雷波县水土保持中心工作人员,从事水土保持方面工作。

李旭(1992--),女,汉族,四川邛崃人,工学学士,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。

##### 通讯简介:

陈昊(1977--),男,汉族,研究生,正高级工程师,从事水利水电工程建设与管理,水旱灾害防御减灾,水资源规划等水科学方面的研究。