引文格式：黄丙湖,王宇航,等. 基于WebGIS的淤地坝拦沙量计算与管理系统设计[J]. 地理空间信息, 2025, 23(10):98-101. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.10.021

基于WebGIS的淤地坝拦沙量计算与管理系统设计

黄丙湖[1]，王宇航[1]
（1. 中国石油大学（华东）海洋与空间信息学院，山东 青岛 266580）

摘　要：当前淤地坝调研工作面临信息化建设不足，人工实地测量安全风险较大，以及数据处理效率低下等问题。针对上述情况，结合WebGIS和遥感技术设计实现了淤地坝拦沙量计算、三维可视化并开发了淤地坝拦沙量计算与管理系统。该系统可基于遥感影像批量完成淤地坝调研中的数据处理分析工作，降低对人工实地测量的依赖，显著提高淤地坝数据的处理效率，对淤地坝拦沙淤积调查与成效评估工作的科学化和智能化具有积极意义。

关键词：WebGIS；淤地坝；淤积体计算；DSM
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）10-0098-04

Design of Sediment Retention Calculation and Management System for Check Dams Based on WebGIS

HUANG Binghu[1], WANG Yuhang[1]
(1. College of Oceanography and Space Informatics, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: The current research on check dams faces challenges, including the lack of information technology, significant safety risks associated with manual field measurements, and inefficient data processing. In response to the aforementioned situation, we designed and developed a check dam sediment retention calculation and management system, incorporating WebGIS and remote sensing technology for sediment retention calculation and 3D visualization of check dams. The system can complete the data processing and analysis work in the investigation of check dams based on remote sensing images in batches, reducing the dependence on manual field measurement and significantly improving the efficiency of check dam data processing, which has positive significance for the scientific and intelligent investigation and effectiveness evaluation of check dam sedimentation and deposition.

Key words: WebGIS, check dam, calculation of sedimentation and deposition body, DSM

WebGIS技术伴随地理信息产业数字化的兴起已经融入到各行各业[1-3]，水利行业近年来对WebGIS的应用也愈发广泛[4-10]。可见WebGIS技术凭借其跨平台兼容性与易访问的在线地图资源等优势，能促进水利领域的信息化建设。

淤地坝作为黄土高原地区主要的水土保持工程，探究其拦沙量对于分析预测未来黄河输沙量，确立新时期黄河治理开发方略具有重要意义[11]。目前全国约有18 000座大中型淤地坝，调研工作大多依靠人工实地调查，信息化管理水平也较低。为此本文结合遥感技术研究并实现了提取淤地坝拦沙量的算法，并将该算法与WebGIS平台结合构建了淤地坝拦沙量计算与管理系统。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区域概况

本文研究的淤地坝位于甘肃省。甘肃处在黄土高原、青藏高原和内蒙古高原交汇处，是黄河、长江上游的重要水源涵养区，同时也是全国水土流失最严重的省区之一。截至2023年底甘肃省约修建了1 600座淤地坝以蓄沙防洪，减轻汇入黄河的泥沙量。目前淤地坝的拦沙量测算方法可大体分为实地调查法与地形测绘法两类[12]。实地调查法主要通过建坝设计资料获取拦沙量，对于建坝年代早、资料缺失的淤地坝难以应用。本文选用地形测绘法开展研究，该方法通过测绘淤地坝所处沟道，概化其地形后使用相应体积公式来估计淤地坝拦沙量[13]。

1.2　数据来源

飞速发展的遥感技术已经能代替一些传统的测绘手段实现远距离测绘作业。本文研究所需的遥感数据为中科星图亿水（四川）科技有限公司2023年采集生产的实验数据，覆盖800座淤地坝，由高分7号卫星遥感数据和无人机航测影像两部分组成。其中无人机

项目来源：国家自然科学基金资助项目（41976184）。
第一作者简介：黄丙湖（1977—），博士，副教授，研究方向为网络地理信息系统，E-mail：huangbhu@163.com。

DOM数据平面中误差为0.023 m，DSM高程中误差为0.050 m。高分7号影像经过区域网平差后生产的DOM数据平面中误差为1.139 m，DSM高程中误差为1.529 m。

2　理论方法

2.1　技术路线

本文旨在构建满足淤地坝拦沙量计算与信息化管理的WebGIS平台，技术路线如图1所示分为三部分：淤地坝初始数据经过预处理后，在系统中进行拦沙量计算以及汇总淤地坝信息实现可视化管理分析。系统核心功能拦沙量计算需利用WebGIS技术的空间分析能力，和可视化交互特性将拦沙量提取算法开发为WebGIS服务，以此作为技术支撑。数据预处理则是调用算法进行拦沙量计算的前置工作。

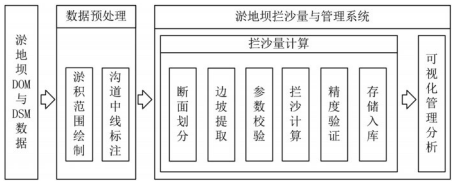


图1　总体技术路线

2.2　淤地坝数据预处理

预处理包括绘制淤积范围与标注沟道中线，在ArcGIS软件中绘制，具体步骤如下：①根据DOM数据明确淤地坝三大主件（坝体、溢洪道、放水建筑物）；②由DSM数据获取坝前高程和淤积体上游尾部高程（上游尾部高程一般不高于坝前淤积高程2 m）；③综合判断后在不低于1∶800的比例尺下绘制出淤积范围；④沟道中线应从淤积体上游尾部沿淤积体走势连接至坝前，延伸至坝体背水面坝脚处。最终将处理成果保存为Shapefile文件。处理后的地理数据文件可导入空间数据库或直接在服务器中存储，通过WebGIS平台实现数据共享，方便进行跨端访问。

2.3　拦沙量计算与优化

2.3.1　淤积体概化算法

淤积体概化计算的原理与断面法计算水库库容[14-15]类似，是对淤地坝原始沟道进行地形概化或差值后将淤积体视为规则的锥体或柱体，求解淤积区间上的三重积分得出体积。实际应用时需要将淤积体垂直于其所在沟道划分为若干断面进行计算[16]，公式如下：

$$V=\sum_{1}^{n}\frac{1}{2}\left(S_n+S_{n+1}\right)l_n \tag{1}$$

式中，V为淤积体的体积；S_n和S_{n+1}为序号为n和$n+1$的断面的面积；l_n为断面间的距离。淤地坝所处沟道通常可视作U型，因此将断面概化为梯形计算面积。沟道原始地貌难以直接获取，可结合边坡比与上表面宽算出断面处沟底宽度：

$$B_n=T_n-\frac{\left(k_r+k_l\right)h_n}{k_rk_l} \tag{2}$$

式中，B_n为第n个断面的沟底宽度；T_n为断面上表面宽度；k_l、k_r为断面处左右边坡比；h_n为断面处淤积体厚度。淤积厚度通过沟道比降进行计算，第n个断面处的淤积厚度计算公式如下：

$$h_n=\frac{\left(l-nl_n\right)\left(h_b-h_a\right)}{L} \tag{3}$$

式中，l为坝前至淤积体最上游尾部距离；L为淤地坝背水面坝脚处至淤积体最上游尾部距离；h_b为淤积体最上游尾部高程；h_a为坝体背水面坝脚处高程。高程数据均可通过DOM、DSM数据获取，式（2）式（3）结合梯形面积公式可得出断面面积，代入式（1）中即可算出淤地坝拦沙量。

进行断面划分需重点考虑淤积体表面宽度突变处，垂直于沟道中线划分断面并计算每个断面处的左右坡比。当淤地坝数据量较大时，人工处理费时费力且效率较低。为提高处理效率，基于GeoTools实现了断面划分和边坡提取的自动化：①读取预处理环节得到的Shapefile文件；②按照划分步长在沟道中线上提取切分点；③在切分点处垂直于沟道中线延伸至淤积体边界得到断面；④在断面的两端各向外延伸5个栅格，根据端点和延伸点的高程差与水平距离计算坡比。WebGIS支持开放式系统结构的特性可以使其灵活地拓展不同的业务功能。本文将上述计算方法封装为WebGIS服务集成到系统中与系统图形化界面进行了无缝结合，使用时发送RESTful请求即可调用而无需额外安装软件，更加灵活与便捷。

2.3.2　算法优化

在侵蚀作用的影响下淤地坝局部沟道的边坡坡度可能会减缓，引用式（2）计算时会出现所得沟底宽度值偏小甚至为负数的情况。这会使计算出的断面面积偏小进而导致拦沙量计算结果小于实际值。为解决这一问题，在算法中添加了断面参数校验环节。流程如图2所示，遍历所有断面数据筛出沟底宽度明显异常（小于或等于零）的断面，在异常断面前后各获取一条正常的断面数据，通过线性插值替代错误数据，以此来降低异常数据对计算结果的影响。

2.3.3　精度验证

淤地坝设计资料多为纸质存储且获取困难，资料保存完好的淤地坝可采用库容曲线法验证拦沙量计算的准确性[17]。甘肃境内淤地坝多分布在庆阳与定西市[18]，综合考虑在两地各选取了10座有库容曲线资料

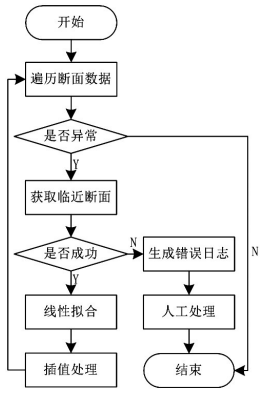


图2 断面参数优化流程

的淤地坝进行验证。利用式（3）求出坝前淤积厚度，与库容曲线的起始高程相加得出淤积高程，最终应用库容曲线法获取拦沙量。结果如表1所示，本文实现的算法平均误差为−10.44%，且误差均在30%以内。多数计算结果小于库容曲线法得到的结果，与2.3.2节中异常情况分析的结论相一致。

表1 精度验证结果

序号	淤地坝所在地	计算结果/万 m^3	库容曲线结果/万 m^3	误差/%
1	定西市安定区	0.41	0.48	−13.84
2	定西市安定区	5.54	5.80	−4.55
3	定西市安定区	9.02	8.50	6.14
4	定西市安定区	2.12	2.50	−15.34
5	定西市安定区	2.10	3.00	−29.91
6	定西市临洮县	1.34	1.20	11.76
7	定西市陇西县	0.78	0.85	−8.09
8	定西市陇西县	2.63	3.50	−24.86
9	定西市渭源县	0.39	0.31	26.36
10	定西市渭源县	3.51	3.70	−5.07
11	庆阳市合水县	1.28	1.10	15.96
12	庆阳市合水县	0.65	0.85	−23.01
13	庆阳市华池县	6.90	9.80	−29.61
14	庆阳市华池县	80.44	102.20	−21.29
15	庆阳市环县	0.54	0.75	−28.27
16	庆阳市环县	31.22	44.50	−29.85
17	庆阳市庆城县	5.07	5.70	−11.08
18	庆阳市庆城县	0.15	0.21	−28.91
19	庆阳市镇原县	8.09	10.40	−22.24
20	庆阳市镇原县	0.52	0.41	26.79

3 系统设计与实现

3.1 系统架构设计

系统的核心业务需求是淤地坝数据的高效处理分析。因此前端使用Vue.js框架搭建系统页面，结合Cesium实现WebGIS三维图形化界面，后端使用Spring Cloud微服务架构，结合对空间数据处理能力更强的PostgreSQL数据库进行搭建。

本系统采用易部署、访问的B/S三层体系架构，自下而上为数据层、服务层和应用层，如图3所示。数据层负责管理淤地坝基础数据、影像数据、系统数据及相应地理空间数据，创建数据多副本备份来保障数据安全性。服务层是实现具体业务的核心层，由多个可独立部署和维护的小型服务组成，通过Gateway网关统一接收请求，这种微服务集群可增强系统的稳定性与可拓展性[19]。该层集成了WebGIS内核服务，通过RESTful协议提供地理空间数据的访问接口，用于执行空间分析算法或支撑系统对GIS数据的检索、查询、更新等功能；OGC服务利用GeoServer空间数据服务器进行地图服务发布、管理和访问，实现地理信息的跨端兼容与网络共享。应用层承接用户与系统的交互，作为整个系统的窗口为用户提供各类功能，通常运行在浏览器中。基于以上技术架构将系统划分为三维可视化模块，拦沙计算模块，管理分析模块和系统设置模块，以实现对淤地坝数据的处理分析和科学管理。

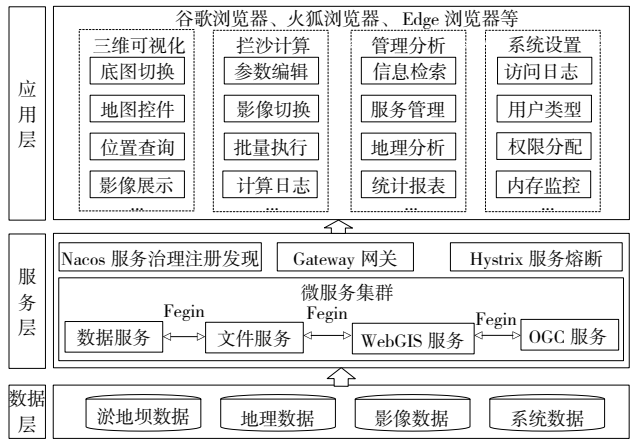


图3 系统架构

3.2 系统功能实现

系统包括三维可视化、拦沙量计算与数据管理分析三大业务功能模块和系统设置模块。三维可视化模块提供基础的地图操作功能，可进行淤地坝信息的三维展示；拦沙计算模块负责计算淤地坝拦沙量，支持批量操作；管理分析模块则对淤地坝数据进行综合分析和管理。系统设置模块的作用是根据不同用户类型进行权限分配，以及监控系统运行情况。

3.2.1 三维可视化模块

该模块是系统可视化功能的基础，支持底图切换、地图标绘以及淤地坝总览等功能。淤地坝总览功能根据淤地坝的地理坐标将其加载到三维地图上，实现点位的空间分布展示。为优化点位数据过多导致的系统性能问题，采用Cesium的点位聚合功能，根据地图缩放层级动态聚合临近点位，提升渲染效率。检索栏支持通过名称或编码的模糊查询快速定位淤地坝，点击目标后系统自动调整相机视角飞向目标位置，同时在侧边栏内展示详细信息，支持切换不同时期的淤地坝影像以对比分析其变化情况。地图标绘工具为获取相应地理空间信息提供便捷手段。该模块实现了淤

地坝分布及关联信息的可视化展示，相较于二维地图提供了更灵活的观察视角。

3.2.2　拦沙计算模块

拦沙计算模块实现了淤地坝拦沙量的计算功能，支持单一淤地坝计算和批量计算任务。单坝计算时侧边栏动态显示该淤地坝的参数信息，同时将淤积范围和断面划分情况展示在地图上，方便用户核查数据。提交计算任务后，前端将淤地坝编码发送至服务端，服务端依据编码创建数据库记录并调用算法，计算结果会在任务列表中实时回显。在批量计算模式下，前端传递多个淤地坝的编码及标识字段至服务端，服务端通过事件监听机制侦听数据变更，为每个淤地坝分别创建记录后调用算法并行计算。该模块通过地图交互和算法服务的结合，在WebGIS平台中实现了淤地坝拦沙量计算功能，既满足单坝精细计算需求，又支持批量计算提升效率。

3.2.3　管理分析模块

管理分析模块是淤地坝数据流转的终点，对淤地坝数据综合选取分析和其他多源数据的深入挖掘，结合GIS技术充分分析淤地坝的拦沙能力以及存在的问题，支持使用者对淤地坝的管理决策，为实现精准化管理提供了有效手段。在该模块中可按区域查看淤地坝信息、汇总分析相关数据，并将拦沙量以热力图形式可视化展示。淤地坝信息使用唯一编码关联存储在数据库中，支持数据的批量导入导出，实现精准化管理。通过绘制区域边界结合地理围栏算法可以筛选出目标区域内的淤地坝，实现局部区域的数据获取与分析。热力图基于Heatmap.js绘制，通过定义半径、透明度和渐变色等参数生成，展现各地区拦沙量的空间分布。为实现更灵活的交互，根据地图缩放层级动态调整热力图的半径值，确保视角相机缩放时热力图能呈现聚合或离散效果。

4　结　语

本文实现了基于遥感数据计算淤地坝拦沙量的方法，与使用传统测绘技术的淤地坝调研方式相比能更好的保障人员安全，降低事故风险。这种计算方法可满足较大量级的淤地坝拦沙调研工作，但算法精度易受淤地坝所在地形、沟道形状等因素影响，未来可针对不同地区的实际情况将算法进一步细化以提高计算精度。本文构建的系统实现了淤地坝拦沙量计算、三维可视化和数据管理分析等功能，通过批量处理数据提高了工作效率，做到了淤地坝的信息化管理。为淤地坝拦沙淤积调查、成效评估提供了支持，也为淤地坝管理工作增添了新的思路。

参考文献

[1] 钟静,陈亨嘉,焦红霞,等. 基于WebGIS的全国自然保护区信息系统设计与实现[J]. 地理空间信息,2023,21(4):107-110

[2] 万晓明,凌丹丹,袁亚平,等. 基于WebGIS的农产品在线追溯系统设计与实现[J]. 地理空间信息,2023,21(11):86-89

[3] 张雅婷,郭明强,黄颖,等. 基于WebGIS的非遗传承系统设计与实现[J]. 地理空间信息,2021,19(8):103-107

[4] Chen W,He B,Ma J, et al. A WebGIS-based Flood Control Management System for Small Reservoirs: A Case Study in the Lower Reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Hydroinformatics,2017,19(2):299-314

[5] F J H T,D C,A M B. A Collaborative Platform for Water Quality Monitoring: Simile WebGIS[J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,2021, XLIII-B4:201-207

[6] Miguel R,Anabela O,Paula F, et al. Multi-hazard WebGIS Platform for Coastal Regions[J]. Applied Sciences, 2021, 11(11):5 253

[7] 张丽丽,张磊,陈政,等. 基于3D WebGIS的水利信息管理平台设计:以小清河淄博段为例[J]. 水利信息化,2024,41(2):74-79

[8] 史金昊,张晓涵,宋沛林. 基于WebGIS的三维水库信息可视化系统设计与实现[J]. 水利规划与设计,2021,33(11):89-94

[9] 朱乔利,何成威,谈政. WebGIS在水系综合治理工程规划可视化中的应用研究[J]. 水利技术监督,2023,30(10):59-63

[10] 欧思程,刘帅,洪福鑫. WebGIS“一张图”技术在水库调度自动化系统中的应用[J]. 水利水电快报,2022,43(10):83-86

[11] 高雅玉,黄枭,宋玉,等. 黄土高原半干旱区淤地坝安全监测方法[J]. 水土保持研究,2024,31(4):59-66

[12] 蒋凯鑫,莫淑红,于坤霞,等. 黄土高原地区淤地坝拦沙分析方法研究进展[J]. 水土保持学报, 2023,37(6):1-10

[13] 魏艳红,焦菊英. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式下小流域侵蚀产沙特征[J]. 水土保持学报,2021,35(3):96-103

[14] 陈居乾. 水库库容计算方法探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2023,59(9):59-64

[15] 王元超. 基于GIS的断面法高效水库库容计算方法[J]. 西北水电,2021,31(5):51-55

[16] 马经纬,蒋好忱,吴满意,等. 一种淤地坝已淤库容的计算方法及计算系统[P]. 陕西省:CN202410108359. 4,2024-05-07

[17] 张麟,高云飞,刘晓燕. 基于坝前淤积厚度的淤地坝拦沙量计算方法[J]. 人民黄河, 2023,45(12):113-116

[18] 吴晓,靳峰,张富,等. 甘肃省淤地坝水资源的利用潜力[J]. 水土保持通报,2022,42(3):29-35

[19] 李亮,舒畅. 微服务架构与容器化技术的软件开发实践[J]. 物联网技术,2024,14(5):64-67