

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2025148

初京刚,黄景媛,欧阳文字,等.基于多源遥感数据的碧流河水库水体面积动态监测[J].中国防汛抗旱,2026,36(3):68-73.CHU Jinggang,HUANG Jingyuan,OUYANG Wenyu,et al. Dynamic monitoring of water body area in the Biliu River Reservoir based on multi-source remote sensing data[J].China Flood & Drought Management,2026,36(3):68-73.(in Chinese)

基于多源遥感数据的碧流河水库水体面积动态监测

初京刚 黄景媛 欧阳文字 卢瑞娟
(大连理工大学建设工程学院,大连 116024)

摘要:卫星监测可以获取水库水体面积动态变化,改变传统地面观测数据匮乏现状。基于水体像素恢复算法对Landsat8、Landsat9、Sentinel-2等光学卫星受污染图像进行校正并开展自动化水体面积提取,同时引入Sentinel-1合成孔径雷达卫星且对其进行山体阴影校正以进一步提高水体面积监测时空分辨率。以碧流河水库为例,结果表明:①水体分类增强算法可以有效校正云污染,提高光学影像利用率,碧流河水库光学影像可用张数由36%提高至60%,其总体分类精度高达98.58%;②雷达影像在经过山体阴影校正之后总体分类精度为93.20%,光学影像和雷达遥感影像结合基本可以实现2~7 d高频次水体面积观测;③1984—2023年40年间,碧流河水库水体面积呈增长趋势,变化速率为0.23 km²/a。研究成果可提升缺少观测资料地区水体面积动态监测精度及时空分辨率,为流域水资源管理及调度计划制定提供科学依据。

关键词:云污染;水体面积提取;光学影像;雷达影像;碧流河水库

中图分类号:TP75

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2026)03-68-06

0 引言

水库是地表水资源的重要组成部分,在水文循环和生物地球化学循环中发挥重要作用^[1-4]。传统测绘手段获取水库水体信息成本高、效率低,遥感技术的发展为解决这一问题提供了新途径。光学卫星影像易受云层、阴影等天气条件影响,导致水体面积被高估或低估,但未受污染的部分仍包含有价值的信息^[5]。常规做法是仅选择清晰影像进行分析^[6-7],丢弃了受污染图像中的潜在信息。目前,已有学者尝试利用海拔信息、多时相多源遥感数据等对受污染像素进行分类校正以恢复云下受污染水体像素。部分研究^[8-9]通过构建深度学习模型来提高水体分类抗干扰能力。对于雷达卫星而言,多数研究集中于山体阴影校正,同时组合利用光学影像以提高监测时间分辨率,如宋丽娟等^[10]组合利用Sentinel-1和Sentinel-2影像对Sentinel-1影像进行山

体阴影校正,重建2017—2020年洞庭湖水域面积的精细时序信息。然而,由于未能充分利用受污染的光学影像,目前雷达与光学的组合监测时间分辨率仍较低。

本研究基于Landsat8、Landsat9、Sentinel-2等光学遥感影像,利用水体像素恢复算法对受污染像素进行校正,充分利用受污染图像中潜在信息进行水体面积提取,结合Sentinel-1雷达影像数据消除其山体阴影影响,最终获取碧流河水库2016—2023年高时空分辨率的水体面积数据集。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

碧流河水库位于辽宁普兰店市、庄河市和盖州市交界处的碧流河干流上,水库集水面积2 085 km²,占碧流河流域面积的74.1%,总库容9.34亿m³,是一座以城市供水为

收稿日期:2025-03-17

第一作者信息:初京刚,男,博士,副教授,E-mail:jgchu@dlut.edu.cn。

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFF0804900);2023年联合基金项目博士科研启动项目(2023-BSBA-075)。

主,兼顾防洪、发电、养殖、旅游等作用的大型水库^[11]。

1.2 数据来源

1.2.1 卫星数据

Google Earth Engine(GEE)是一个云端地理数据处理平台,能够提供全球范围内PB级长时序遥感影像及丰富的专题数据资源。本研究主要利用GEE数据库中2016—2023年Landsat8、Landsat9、Sentinel-2等光学遥感影像及Sentinel-1合成孔径雷达影像作为研究数据。Landsat8、Landsat9重访周期为16 d,空间分辨率为30 m;Sentinel-2包括Sentinel-2A和Sentinel-2B 2颗卫星,单颗卫星重访周期

为10 d,双星全球重访周期为5 d,研究所用到的可见光波段的空间分辨率为10 m,短红外波段空间分辨率为20 m,采用双线性插值方法将其统一至10 m;Sentinel-1由Sentinel-1A和Sentinel-1B双星组成,单颗卫星重访周期为12 d,双星互补重访周期为6 d,空间分辨率为10 m。所选数据集分别为:LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA、LANDSAT/LC09/C02/T1_TOA、COPERNICUS/S2_HARMONIZED和COPERNICUS/S1_GRD,所有影像均已经过大气校正及辐射定标处理。卫星影像信息及2016—2023年覆盖碧流河水库的影像数量如表1所示。

表1 卫星影像信息及2016—2023年覆盖碧流河水库的影像数量

| 卫星 | 分辨率/m | 重访周期/d | 影像数量/张 | | | | | | | |
|------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 2016年 | 2017年 | 2018年 | 2019年 | 2020年 | 2021年 | 2022年 | 2023年 |
| Landsat8 | 30 | 16 | 22 | 23 | 22 | 23 | 20 | 20 | 19 | 22 |
| Landsat9 | 30 | 16 | | | | | | | 21 | 21 |
| Sentinel-2 | 10 | 5/10 | 29 | 32 | 68 | 74 | 73 | 72 | 74 | 72 |
| Sentinel-1 | 10 | 6/12 | 27 | 54 | 58 | 78 | 78 | 84 | 25 | 26 |

1.2.2 其他数据

除光学遥感和雷达遥感影像外,本研究主要使用了以下辅助数据。

(1)欧盟联合研究中心(Joint Research Centre,JRC)全球地表水数据集。该数据集是利用1984—2022年获取的Landsat5、Landsat7和Landsat8卫星影像,生成30 m空间分辨率的全球地表水体覆盖的月度地表水数据集。本研究通过GEE平台调用该数据集,用于制作水发生概率图及分析碧流河水库水体面积的长期动态变化。

(2)MERIT DEM(Multi-Error-Removed Improved Terrain DEM)。MERIT DEM是高精度全球数字高程模型,其衍生的HAND模型用于校准雷达影像中的山体阴影,提高水体提取精度。

(3)实测水位数据。2016—2023年碧流河水库的水位数据由水利部松辽水利委员会提供,用于验证遥感影像提取水体面积的准确性。

1.3 研究方法

1.3.1 水体像素恢复算法

本研究将水体指数法和水体分类增强算法结合,提出了光学影像云下水体像素恢复算法以获取更高时间分辨率的水库水体面积数据集。算法基于以下假设,若所有具

有相同水发生概率 α 的未受污染像素均被归类为水体,则所有水发生概率大于或等于 α 的受污染像素也应被视为水体。算法执行前,利用JRC数据集的“max_extent”波段确定初始边界,并设置100 m缓冲区作为掩膜区域。算法框架如图1所示。

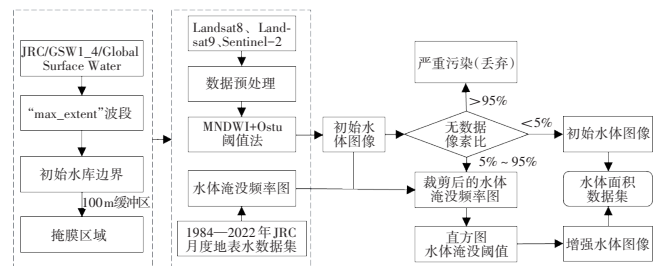


图1 水体像素恢复算法框架图

算法步骤如下。

(1)光学影像预处理及生成初始水体图像。利用QA(Quality Assessment)波段和位掩码技术去除云层干扰。结合改进的归一化差异水体指数(MNDWI)^[12]和Otsu阈值法分割水体与非水体,得到初始水体图像。MNDWI计算公式为:

$$M_{NDWI} = \frac{G_{reen} - M_{ir}}{G_{reen} + M_{ir}}$$

式中: G_{reen} 为绿波段; M_{ir} 为近红外波段。

(2)计算受污染像素比例。判断初始水体图像的受污

染程度。若掩膜区域内无数据像素比例大于95%，则丢弃；小于5%则为高质量图像，无需处理；其他情况进入下一步。

(3) 计算计数阈值。裁剪水体淹没频率图像使其与初始水体图像对齐，绘制像素直方图并计算平均值，乘以加权因子 ω 生成计数阈值。根据参考文献[5]，加权因子 ω 为0.17时对全球大多数水库表现良好。

(4) 计算水体淹没阈值。遍历裁剪后的水体淹没频率图像，将大于或等于计数阈值的第1个像素计数定义为“水体淹没阈值”。水体淹没频率图像通过叠加JRC月度水覆盖图像得到，像素值表示1984—2022年被水覆盖的频率。

(5) 恢复受污染像素。将初始水体图像中未正确分类且水体淹没概率大于等于水体淹没阈值的像素重新归类为水体像素，生成增强水体图像。

1.3.2 雷达影像水体面积提取

首先，对Sentinel-1雷达影像进行散斑滤波和地形辐射校正，然后采用双极化水体指数(SDWI)^[13]结合Otsu阈值法分割水体与非水体并提取水体面积。SDWI计算公式为：

$$S_{\text{DWI}} = \ln(10 \times V_v \times V_h) - 8$$

式中： V_v 和 V_h 分别为Sentinel-1雷达影像 V_v 和 V_h 极化方式的后向散射系数，dB。

在多山区域，Sentinel-1雷达影像在水体面积提取时易将山体阴影部分误判为水体，从而降低提取精度。本研究基于MERIT(Multi-Error-Removed Improved-Terrain)数字高程模型衍生得到的最临近河道相对高度模型，将水体范围限定在HAND(Height Above the Nearest Drainage)小于30 m的区域，可以有效减少山体阴影带来的误差。本研究中雷达影像提取得到的水体面积图像未用于光学影像水体面积恢复，主要用于提供12 d时间分辨率的地表水体影像，提高水库水体面积提取的时间精度。

1.4 精度评定

将通过目视解译提取的水体范围作为地面真实值，与从光学影像和Sentinel-1影像提取到的水体面积进行对比，创建二分类混淆矩阵，选取生产者精度(PA)、用户精度(UA)、总体分类精度(OA)和Kappa系数等评估分类精度。混淆矩阵示例见表2。PA、UA、OA和Kappa系数计算公式如下：

$$P_A = \frac{T_p}{T_p + F_p}$$

表2 混淆矩阵示例

| 类别 | 类别1 | 类别2 |
|-----|-----|-----|
| 类别1 | TP | FN |
| 类别2 | FP | TN |

$$U_A = \frac{T_p}{T_p + F_p}$$

$$O_A = \frac{T_p + T_n}{T_p + T_n + F_p + F_n}$$

$$K_{\text{appa}} = \frac{(T_p + F_n) \times (T_p + F_p) + (F_n + T_n) \times (T_n + F_p)}{N^2}$$

式中： T_p 为正样本的正确数目； T_n 为负样本的正确数目； F_n 为正样本的漏检数目； F_p 为负样本的误检数目； N 为总样本数目。

1.5 水体面积变化趋势分析

Mann-Kendall方法无需正态分布假设，也不受样本值的影响，能够有效地检测出不同类型时序数据的变化趋势^[14-15]，在气象学、统计学和其他许多领域中得到广泛应用。故本研究采用Mann-Kendall突变检验方法识别水体面积历史序列的变化趋势，以置信度95%来判断水体面积趋势变化的显著性，以1.96为临界阈值将趋势检验统计量 Z 划分为显著变化($|Z| > 1.96$)与不显著变化($|Z| < 1.96$)，计算公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i)$$

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1, X_j - X_i > 0 \\ 0, X_j - X_i = 0 \\ -1, X_j - X_i < 0 \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, S < 0 \end{cases}$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

式中： S 为Mann-Kendall趋势检验的统计变量； i 为年序号， $i = 1, 2, \dots, n$ ； X_i 为第 i 年水体面积， X_j 为第 j 年水体面积，其中 $1 \leq i \leq j \leq n$ ； Z 为正态分布统计变量， $\text{var}(S)$ 为其方差。

2 研究结果

2.1 水体面积提取结果

基于 Landsat8、Landsat9、Sentinel-2 及 Sentinel-1 影像, 利用水体像素恢复算法和雷达影像水体面积提取方法, 计算得到 2016—2023 年碧流河水库水体面积, 如图 2 所示。融合 4 种卫星提取结果可以显著提高水体观测时间分辨率, 由 10~16 d 一张可用图像提高到 2~7 d 一张可用图像。在以往研究中为保证数据精度, 运用光学影像时通常选用云量小于 5% 的图像作为可用图像, 经过水体恢复算法校正, 光学影像可用张数由 36% 提高至 60%。以 2023 年 8 月为例(表 3), 单一数据源时间分辨率有限, 最长可达 16 d, 通过多种数据源的组合, 能够最短获取接近 2 d 时间间隔的影像。此外, 雷达影像可以在光学影像云污染持续时间较长时, 以 12 d 的时间间隔持续提供影像数据, 保障监测工作的连贯性与稳定性。在 2023 年 8 月 24—31 日, 8 月 26 日和 8 月 31 日的 Sentinel-2 光学影像污染像素大于 95%, 无法通过水体分类恢复算法重建, 而雷达影像可以不受云雾干扰, 在 8 月 26 日时提供观测数据。

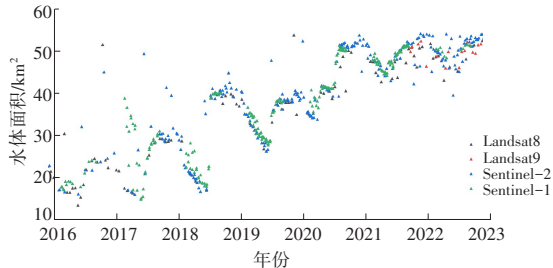


图2 2016—2023年碧流河水库水体面积提取结果

表3 2023年8月碧流河水库不同数据源水体面积提取结果

| 日期(月-日) | 水体面积/km ² | | | |
|---------|----------------------|----------|------------|------------|
| | Landsat8 | Landsat9 | Sentinel-2 | Sentinel-1 |
| 08-01 | | | 43.75 | |
| 08-02 | | | | 44.92 |
| 08-06 | | | 45.62 | |
| 08-08 | | 44.31 | | |
| 08-14 | | | | 48.49 |
| 08-16 | 48.48 | | 49.77 | |
| 08-24 | | 50.19 | | |
| 08-26 | | | * | 50.69 |
| 08-31 | | | * | |

注:*表示受污染像素比例大于95%。

图3为碧流河水库2023年5月28日受云层影响的Landsat8遥感影像水体提取结果, 可以详细展示水体像素

恢复算法应用如何校正碧流河水库范围内受污染的光学遥感图像。图3(a)为碧流河水库2023年5月28日Landsat8原始遥感影像, 受污染像素比约为30%; 图3(b)为初始水体面积图像, 受污染像素被标记为无数据区域, 也就是图中的空白部分; 图3(c)为水体淹没频率图, 利用图3(b)中标记为水体的像素对其进行裁剪生成图3(d); 图3(e)为图3(d)的像素直方图; 图3(f)是校正后的水体面积图, 可以看到受污染像素被正确分类, 得到水体面积与碧流河水库水体面积实际情况一致, 与图3(a)进行对比, 可以看出水体和非水体边界区分良好。

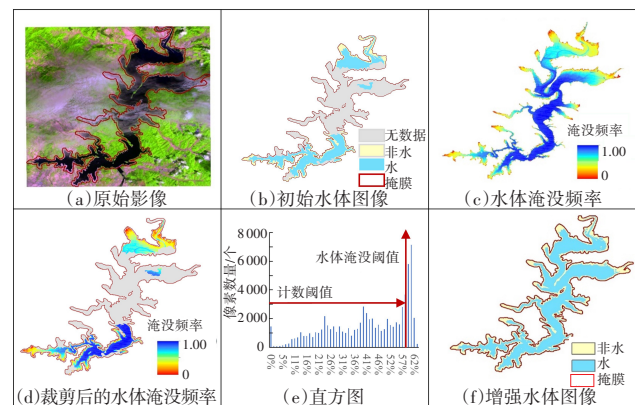


图3 水体像素恢复算法结果示意图

2.2 水体提取精度评价

基于碧流河水库面积—水位关系曲线, 将实测水位序列转换为水体面积序列, 并作为基准与卫星反演的水体面积进行对比, 如图4所示。由图2和表3可知, 卫星反演得到的水体面积1 d可能有多个观测数据, 且存在少量离群点, 本研究对于同一天观测结果取平均值并采用滑动平均法对离群点进行校正。遥感提取水体面积时间序列与观测水体面积时间序列的变化趋势高度一致, 相关性系数 R^2 为0.98。

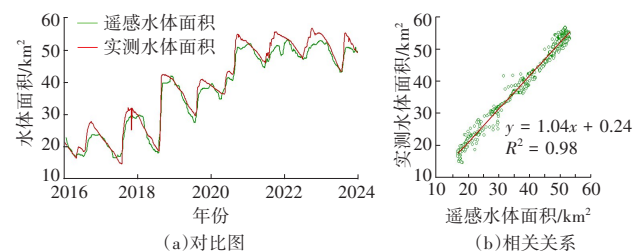


图4 遥感和实测水体面积对比

本研究设置了2组方案分别进行光学影像和雷达影像的目视解译精度评价。方案1: 针对光学影像, 利用分层随机抽样方法为每幅影像提取得到的水体面积图像生成

1 000 个随机样本点,利用相同或相近观测日期的 Sentinel-1 雷达影像目视解译结果对基于 Landsat8、Landsat9 和 Sentinel-2 影像的水体面积提取结果进行精度验证,共选取 6 幅影像,用于精度评估的影像时间差不超过 2 d。方案 2:针对雷达影像,利用相同或相近观测日期的清晰无云的 Sentinel-2 光学影像目视解译结果进行精度验证,用于精度评估的影像时间差不超过 2 d。2 种方案精度评价结果如表 4 所示。对于光学影像水体面积提取,PA 平均值和 UA 平均值较接近,分别为 97.64% 和 98.26%,OA 平均值为 98.58%,Kappa 系数平均值为 0.97,说明光学影像水体面积提取效果是理想的,水体提取的偏差主要分布在水陆交界处和细小水体附近,相较于 Landsat 影像,Sentinel-2 能清晰呈现水体边界和内部细节。Sentinel-1 的评价结果显示,PA 值与和光学影像水体面积提取结果相近,而 UA 平均值仅为 88.50%,误差主要分布在山体阴影附近,说明算法精度仍待进一步提升。此外,因雷达影像主要依靠后向散射系数来区分水体和周围地物,对于水体边界细节的区分同样不如 Sentinel-2 卫星敏感。

表 4 碧流河水库水体面积提取精度评价结果

| 卫星 | 日期 (年-月-日) | PA (%) | UA (%) | OA (%) | Kappa 系数 | 时间差/d |
|------------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|
| Landsat8 | 2016-06-09 | 98.37 | 99.18 | 99.40 | 0.98 | 1 |
| | 2018-08-02 | 98.32 | 98.73 | 99.30 | 0.98 | 1 |
| Landsat9 | 2022-09-22 | 99.14 | 99.43 | 99.00 | 0.98 | 2 |
| | 2023-08-24 | 99.43 | 99.15 | 99.00 | 0.98 | 2 |
| Sentinel-2 | 2016-10-01 | 94.77 | 98.72 | 97.90 | 0.95 | 1 |
| | 2017-08-07 | 95.83 | 94.32 | 96.90 | 0.93 | 1 |
| Sentinel-1 | 2019-05-13 | 98.50 | 88.29 | 93.20 | 0.86 | 1 |
| | 2020-04-13 | 99.21 | 88.71 | 93.20 | 0.86 | 0 |

2.3 水体面积年际变化特征

碧流河水库 1984—2023 年期间的年度水体面积变化如图 5(a) 所示。1984—2015 年的水体面积来自 JRC 年尺度地表水数据集,2016—2023 年水体面积由本研究数据计算得到,年度水体面积取值为年内水体面积的平均值。从整体趋势来看,碧流河水库水体面积呈现出上升趋势,变化速率为 $0.23 \text{ km}^2/\text{a}$,线性相关系数 r 为 0.31。水体面积的变化并非线性,而是分阶段展现出复杂的动态波动,Mann-Kendall 趋势检验进一步揭示了这些阶段的突变特征及其趋势变化,如图 5(b) 所示。1984—1986 年,水库水体面积快速增长,可能与水库建成初期的蓄水管理有关;

1990—1998 年,水体面积表现出较为明显的波动性,呈现上升和下降的交替变化,但 UF 值和 UB 值在显著性水平线内,趋势不明显;1999—2004 年,水体面积呈现下降趋势,这与 1999—2003 年期间大连市遭遇连续 5 年特大干旱,碧流河水库供水压力增大有关。2005—2012 年,UF 值持续显著上升,表明水体面积的上升趋势在这一阶段内得到了明显强化;2015—2023 年,水体面积呈现显著增长趋势,尤其是 2020 年后,水库水体面积达到历史最高值。

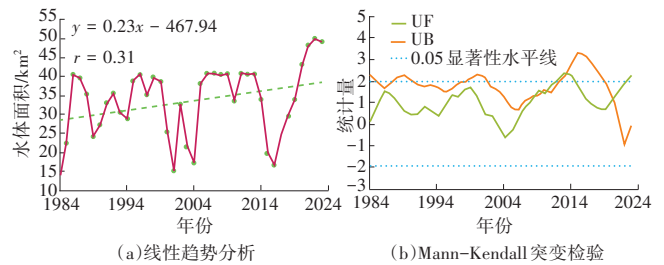


图 5 1984—2023 年碧流河水库水体面积年际变化趋势

3 结 论

(1)在水体分类增强算法框架下,碧流河水库光学影像可用张数比例由 36% 提高至 60%,总体分类精度高达 98.58%,说明光学影像受污染像素恢复算法可以有效校正云污染,提高光学影像利用率;碧流河水库雷达影像在经过山体阴影校正之后总体分类精度为 93.20%,也展现出较高的准确性。

(2)遥感提取得到的水体面积与实测数据变化趋势基本一致,碧流河水库遥感水体面积与实际监测水体面积相关系数高达 0.98,联合 Landsat8、Landsat9、Sentinel-2 和 Sentinel-1 影像提取结果可以显著提高水体观测时间分辨率,基本可以实现由原来的 10~16 d 一张可用图像提高到 2~7 d 一张可用图像。

(3)从年际变化看,1984—2023 年 40 年间,碧流河水库水体面积呈现增长趋势,变化速率为 $0.23 \text{ km}^2/\text{a}$,其中 2015—2023 年水体面积呈现显著增长。

水体分类恢复算法可在缺乏完整光学影像数据的情况下,为生成高分辨率的水库水体面积数据集提供有效途径,但也存在一定局限性。采用 QA 波段去云时,有时会将部分能够展示水体信息的薄云覆盖区域标记为无数据区域,导致局部水体信息丢失;其次,算法选用的加权阈值为固定参数,对结果有轻微影响。未来可尝试与深度学习算法结合,借助其强大的特征提取能力,更好地实现光学影

像云下水体像素恢复重建。

参考文献

- [1] 韩颖,王松妍,崔磊,等.基于遥感数据水体指数的水体面积变化监测[J].测绘与空间地理信息,2024,47(4):5-8.
- [2] 马振刚,李黎黎,张俊贵.官厅和密云水库水域面积变化及影响因素比较研究[J].干旱区研究,2023,40(8):1229-1239.
- [3] 张运林,秦伯强,朱广伟,等.论湖泊重要性及我国湖泊面临的主要生态环境问题[J].科学通报,2022,67(30):3503-3519.
- [4] 王磊,阚向楠,张大鹏,等.水库遥感监测与应用[J].中国防汛抗旱,2021,31(S1):143-147.
- [5] ZHAO G, GAO H. Automatic Correction of Contaminated Images for Assessment of Reservoir Surface Area Dynamics[J]. Geophysical Research Letters, 2018, 45(12):6092-6099.
- [6] 赵爽,杨磊库,刘凯,等.基于Sentinel-2影像的多种水体指数法提取地表水对比研究[J].遥感技术与应用,2024,39(2):502-511.
- [7] OGILVIE A, BELAUD G, MASSUEL S, et al. Combining Landsat observations with hydrological modelling for improved surface water monitoring of small lakes[J]. Journal of Hydrology, 2018, 566:109-121.
- [8] LUO X, TONG X H, HU Z W. An applicable and automatic method for earth surface water mapping based on multispectral images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2021.
- [9] FANG W Z, WANG C G, CHEN X, et al. Recognizing Global Reservoirs From Landsat 8 Images: A Deep Learning Approach[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019, 12(9):3168-3177.
- [10] 宋利娟,景海涛,徐嘉慧,等.联合哨兵卫星系列雷达与光学影像的洞庭湖水域面积变化高时空分辨率监测[J].遥感学报,2023,27(11):2516-2529.
- [11] 孙晓蕾.碧流河水库调整汛限水位的防洪风险评价[J].水科学与工程技术,2024(3):23-25.
- [12] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005(5):589-595.
- [13] 贾诗超,薛东剑,李成绕,等.基于Sentinel-1数据的水体信息提取方法研究[J].人民长江,2019,50(2):213-217.
- [14] 王云惠.基于卫星遥感影像的近30年来中国主要湖泊面积变化研究[D].昆明:云南师范大学,2022.
- [15] 杨明晖,李俊江.基于遥感技术的黄河下游河道形态解译[J].中国防汛抗旱,2024,34(S1):14-18.

Dynamic monitoring of water body area in the Biliu River Reservoir based on multi-source remote sensing data

CHU Jinggang, HUANG Jingyuan, OUYANG Wenyu, LU Ruijuan

(School of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

Abstract: Satellite monitoring can obtain the dynamic changes in the water body area of reservoirs, thereby addressing the shortage of traditional ground observation data. This study employs a water body pixel recovery algorithm to correct contaminated images from optical satellites such as Landsat 8, Landsat 9, and Sentinel-2, and to conduct automated water body area extraction. Additionally, Sentinel-1 synthetic aperture radar satellite data is introduced, with mountain shadow correction applied to further enhance the temporal and spatial resolution of water body area monitoring. Taking the Biliu River Reservoir as an example, the results show that: ① The water body classification enhancement algorithm can effectively correct cloud contamination and increase the utilization rate of optical images. The availability of optical images for the Biliu River Reservoir increased from 36% to 60%, with an overall classification accuracy as high as 98.58%; ② After mountain shadow correction, the overall classification accuracy of radar images is 93.20%, and the combination of optical and radar remote sensing images can basically achieve 2~7 d high-frequency observation of water body area; ③ Over the nearly 40 years from 1984 to 2023, the water body area of the Biliu River Reservoir has shown an increasing trend, with a rate of change of 0.23 km²/a. The results of the study can improve the accuracy and spatial and temporal resolution of the dynamic monitoring of the water body area in the area lacking observational data, and provide a scientific basis for the management of water resources in the basin and the formulation of scheduling plans.

Keywords: cloud pollution; water body area extraction; optical imagery; radar imagery; Biliu River Reservoir

编辑 赵乐媛