

引用格式:ZHANG Zhijun, WANG Ru, YAO Yue, *et al.* Retrieval study of total suspended matter concentration in Qinghai Lake based on ZY1 02D hyperspectral satellite images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2023, 38(5):1159-1166. [张志军, 王茹, 姚月, 等. 基于资源一号02D高光谱卫星影像的青海湖悬浮物浓度反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(5):1159-1166.]  
DOI:10.11873/j.issn.1004-0323.2023.5.1159

## 基于资源一号02D高光谱卫星影像的青海湖悬浮物浓度反演研究

张志军<sup>1,4,5</sup>, 王茹<sup>2,3,6</sup>, 姚月<sup>2,3</sup>, 都成妍<sup>1,4,5</sup>, 申茜<sup>2,3</sup>

(1. 青海省生态环境监测中心, 青海 西宁 810000;

2. 可持续发展大数据国际研究中心, 北京 100094;

3. 中国科学院空天信息创新研究院 数字地球重点实验室, 北京 100094;

4. 国家环境保护青藏高原生态环境监测与评估重点实验室, 青海 西宁 810000;

5. 青海省生态环境监测与评估重点实验室, 青海 西宁 810000;

6. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019)

**摘要:** 水体悬浮物浓度是描述水体光学特性的一个重要参数。卫星遥感具有大范围、快速、高频次动态监测的优势, 有助于加强对青海湖水环境质量的监测, 降低监测成本。而资源一号02D(ZY1-02D)卫星高光谱影像作为新的数据源, 具有高空间分辨率、高光谱分辨率的优点, 为湖泊的水质高精度监测提供了可能性。为了验证ZY1-02D高光谱相机在水质遥感监测应用中的适用性, 以ZY1-02D高光谱影像为遥感数据源, 同时辅助实测数据, 构建青海湖悬浮物浓度反演模型, 并进行精度验证, 评价模型的准确性, 最后将模型应用于青海湖悬浮物浓度反演。研究表明: 青海湖悬浮物浓度反演模型平均相对误差为21.1%, 均方根误差为0.296 mg/L, 精度较好, 青海湖悬浮物浓度反演结果呈现湖心低岸边高的特征, 与同期Sentinel-2和同期Landsat 8数据反演结果进行对比, 反演结果保持一致, 说明ZY1-02D高光谱影像能够作为悬浮物浓度遥感反演的数据源之一。

**关键词:** ZY1-02D; 高光谱影像; 悬浮物浓度; 水质遥感

**中图分类号:** X832; TP751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2023)05-1159-08

### 1 引言

青海湖作为我国最大的内陆湖、咸水湖, 是维系青藏高原生态安全的重要水体, 是阻止西部荒漠化向东蔓延的天然屏障, 也一直为当地的生态环境和气候起着天然调节的作用<sup>[1]</sup>。近年来, 随着青海湖旅游业的快速发展, 给青海湖的水环境带来了一系列的影响<sup>[2]</sup>。水体中悬浮物浓度作为湖泊遥感水质评价重要指标之一, 能够为青海湖水环境质量监

测提供参考。因此, 通过悬浮物浓度遥感监测对实现青海湖水环境的科学管理具有重要的意义。

总悬浮物是指悬浮在水中的固体物质, 主要包括不溶于水的无机物和有机物等。湖泊河流的总悬浮物浓度研究对水环境评价起着重要的作用<sup>[3-5]</sup>, 总悬浮物通过对光的吸收和散射作用, 影响了水体光场, 是影响水体浑浊程度的主要原因<sup>[6-7]</sup>。对比传统的水质参数监测方法, 遥感监测具有大范围、快速、高频次重复监测等优势, 因此从20世纪70年

收稿日期: 2022-05-18; 修订日期: 2023-07-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB3901101)。

作者简介: 张志军(1987—), 男, 青海湟中人, 高级工程师, 主要从事生态环境监测与评估方面的研究。329981049@qq.com

通讯作者: 申茜(1981—), 女, 甘肃兰州人, 副研究员, 主要从事水环境遥感相关研究。E-mail: shenqian@aircas.ac.cn

代,有些学者利用 ERTS-A(Landsat 1)卫星数据通过研究波段间反射率关系反映悬浮物浓度特征<sup>[8]</sup>。近年来,随着卫星技术的快速发展,很多学者利用多光谱卫星影像(例如 MODIS、HJ-CCD、GF-2等)估算水体悬浮物浓度<sup>[9-14]</sup>,并应用到不同区域。2019年9月,我国发射了资源一号 02D 卫星(ZY1-02D)搭载了新一代可见光和短波红外高光谱相机(Advanced HyperSpectral Imager, AHSI),其丰富的光谱波段和高空间分辨率为内陆水体的水质参数反演提供了可能。周毅等<sup>[15]</sup>基于 ZY1-02D 高光谱数据,在官厅水库开展了透明度反演研究,结果表明该数据可以实现较高精度的水体透明度反演。刘瑶等<sup>[16]</sup>在中国华东和华北平原的典型富营养湖泊(太湖、于桥水库)和中营养湖泊(小浪底水库),开展基于 ZY1-02D 高光谱影像的叶绿素 a 浓度反演研究,研究表明该数据在内陆水体叶绿素 a 浓度高精度反演方面具有重要潜力。由此可见,资源一号 02D 在内陆水体水质参数反演具有较大的应用潜力。通过国内外研究现状分析,发现 ZY1-02D 高光谱影像在水体悬浮物浓度反演方面的研究很少。

本研究基于 ZY1-02D 高光谱影像和湖面采集的青海湖实测水面光谱以及对应的水体悬浮物浓度数据,构建反演悬浮物浓度的半经验模型,并开展反演精度分析、对比其他多源遥感卫星影像监测结果。

## 2 研究区概况

青海湖地处青藏高原这一特殊生态区域,受海拔高、气候恶劣等因素影响,其生态系统结构简单且脆弱,极易遭受破坏。并且青海湖是一个没有出湖河流的尾间湖,其入湖河流主要包括布哈河、沙柳河、黑马河、倒淌河等(图1)。该湖的污染物只能靠天然蒸发和湖水自然分解,而且随着青海湖气候变化和旅游业的发展,给青海湖的水环境带来了一定的影响,因此加强青海湖保护,密切监测青海湖水环境质量变化趋势,监测青海湖悬浮物浓度变化,具有重要的意义。

## 3 数据获取与预处理

### 3.1 样本采集

2021年7月15日~7月17日在青海湖开展了水面实验,共采集了16组采样点,空间分布如图1所示。其中,所采集的数据按照2:1的比例用于悬浮物浓度反演模型构建和精度验证。现场测量了水

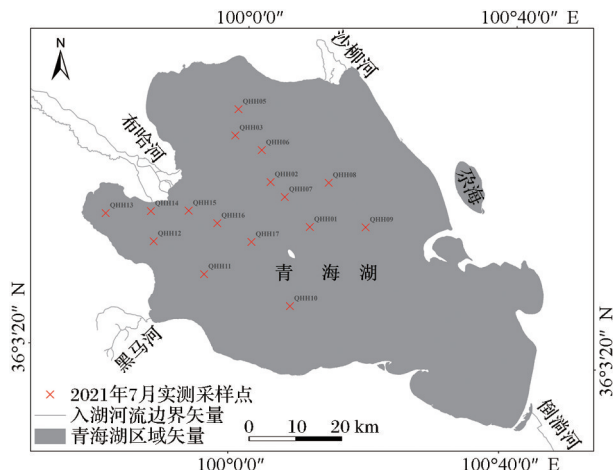


图1 2021年7月份青海湖实测点位分布图

Fig.1 Distribution map of In-situ points in Qinghai Lake in July 2021

面光谱、水温、透明度、浊度等,并采集表层水样,低温保存送到实验室,利用称重法测量总悬浮物浓度(Total Suspended Matter, TSM, 单位 mg/L)。

### 3.2 实测水面光谱数据处理

基于“表面法”进行水面遥感反射率(Remote Sensing Reflectance,  $R_{rs}$ , 单位  $sr^{-1}$ )的连续测量<sup>[17]</sup>。使用了德国 Trios 光谱仪,包含2个辐亮度探头和1个辐照度探头,波长范围是308~950 nm,光谱分辨率约3 nm。对于每个采样点,利用2个辐亮度探头分别测量了水体上行辐亮度  $L_u(\lambda)$ ,天空光下行辐亮度  $L_{sky}(\lambda)$ ,并利用1个辐照度探头测量水体表面入射总辐照度  $E_s(\lambda)$ 。由此,可以求出  $R_{rs}$ :

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{E_s(\lambda)} = \frac{L_u(\lambda) - r_{sky} \times L_{sky}(\lambda)}{E_s(\lambda)} \quad (1)$$

其中: $L_w(\lambda)$ 为离水辐亮度; $E_s(\lambda)$ 为水面下行辐照度; $r_{sky}$ 为水气界面的天空光反射率,可以简化代入0.0245<sup>[18]</sup>。

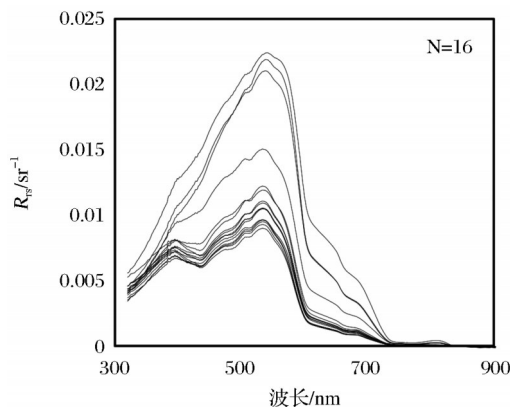


图2 2021年7月青海湖水面光谱数据

Fig.2 In-situ spectral data of Qinghai Lake in July 2021

3.3 ZY1-02D 卫星影像简介及预处理

ZY1-02D 卫星又称 5 m 光学星,于 2019 年 9 月 12 日成功发射,由自然资源部主持建造,属于空基规划的中等分辨率遥感业务卫星。卫星搭载了一台可见光/近红外相机 (Visible and Near-Infrared camera, VNIR) 和一台可见短波红外高光谱相机 AHSI。其中, VNIR 幅宽是 115 km,共 9 个波段,包括一个全色波段,空间分辨率 2.5 m,以及 8 个多光谱波段,空间分辨率 10 m。AHSI 幅宽为 60 km,共 166 个谱段:包括 76 个可见光近红外谱段,光谱分辨率是 10 nm,90 个短波红外谱段,光谱分辨率是 20 nm,空间分辨率均为 30 m。

表 1 资源一号 02D 卫星影像参数

Table1 ZY1-02D image parameters

相机	波段	波长范围/nm	空间分辨率/m
可见光/近红外相机	B01	452~902	2.5
	B02	452~521	10
	B03	522~607	
	B04	635~694	
	B05	776~895	
	B06	416~452	
	B07	591~633	
	B08	708~752	
	B09	871~1 047	
高光谱相机	/	400~2 500	30

筛选了 2021 年覆盖青海湖的少云、少云阴影、少太阳耀斑的影像,共获取了 6 景 ZY1-02D 高光谱影像,空间分布情况如图 3 所示,成像日期分别为 2021 年 5 月 2 日、8 月 26 日和 9 月 21 日。发现 ZY1-02D 高光谱图像存在某些分块的现象,数据预处理仍需进一步优化和提升。

利用 ENVI 软件进行 ZY1-02D 高光谱影像的预处理,主要包括:辐射定标、大气校正和正射校正。辐射定标,是采用 ENVI 的辐射定标模块 Radiometric Calibration,直接从影像的元数据文件中读取辐射定标系数,完成了辐射定标。大气校正采用 ENVI 自带的 FLAASH 模块完成的。正射校正采用 ENVI 自带的 RPC orthorectification workflow 模块完成的,校正后几何误差在 1 个像元以内。

水体遥感反射率的准确获取是水质参数定量反演精度得以保证的关键因素之一。这里对大气校正后的水体遥感反射率进行精度评价。由于只有 2021 年 7 月份青海湖采集的 16 组实测遥感反射率和 2021 年 5 月 2 日、8 月 26 日、9 月 21 日 ZY1-02D

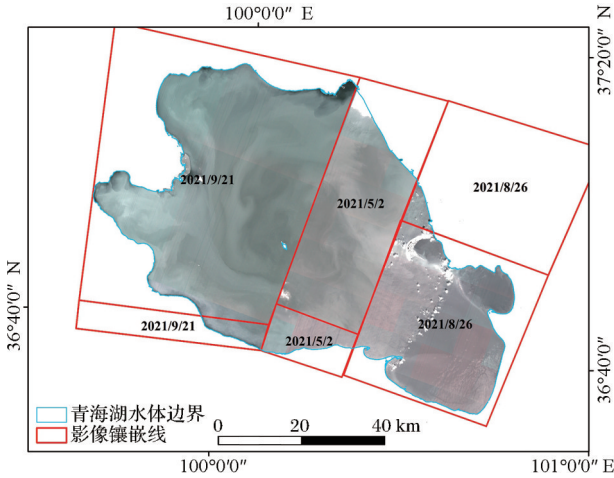


图 3 6 幅影像的镶嵌图

Fig.3 Six-images mosaic graph

影像,没有对应的 7 月份 ZY1-02D 影像。这里为了评价大气校正效果,拟采用 Sentinel-3 影像作为中介,空间分辨率 300 m,但是 3 d 可以过境 2 次,过境频次较高。

首先,对比 2021 年 7 月 15 日~7 月 17 日实测的水面光谱与 2021 年 7 月 17 日 Sentinel-3 影像,发现单波段的大气校正效果较好,实测结果和影像反演结果在 1:1 线附近,如图 4(a)和图 4(b)。同时发现遥感反射率波段比值  $R_{rs}(560\text{ nm})/R_{rs}(442.5\text{ nm})$  的结果也较好,如图 4(c)所示,散点集中在 1:1 线附近。

其次,对比和已有 ZY1-02D 影像 3 个日期 (2021 年 5 月 2 日、8 月 26 日、9 月 21 日)邻近的 Sentinel-3 影像,分别查找了 2021 年 5 月 7 日、8 月 24 日、9 月 21 日的 Sentinel-3 影像,提取影像同名点的遥感反射率波段比值进行对比。发现 ZY1-02D 影像反演的  $R_{rs}(585\text{ nm})/R_{rs}(430\text{ nm})$  与 Sentinel-3 影像反演的  $R_{rs}(560\text{ nm})/R_{rs}(442.5\text{ nm})$  十分接近,如图 4(d)所示。

最后,一般认为同一日期同一轨上下排列的影像大气校正一致性较好。这里分别在 3 期影像的交界处(镶嵌线如图 3 所示),分别均匀地选取了 16 个点,对比同一日期同一轨上下排列的影像大气校正的一致性,如图 4(e),发现一致性较好。

4 方 法

利用 2021 年 7 月 15 日~17 日实测的悬浮物浓度与对应的实测水体遥感反射率构建模型。再将该模型应用到多景 ZY1-02D 卫星影像,得到青海湖悬浮物浓度反演结果。



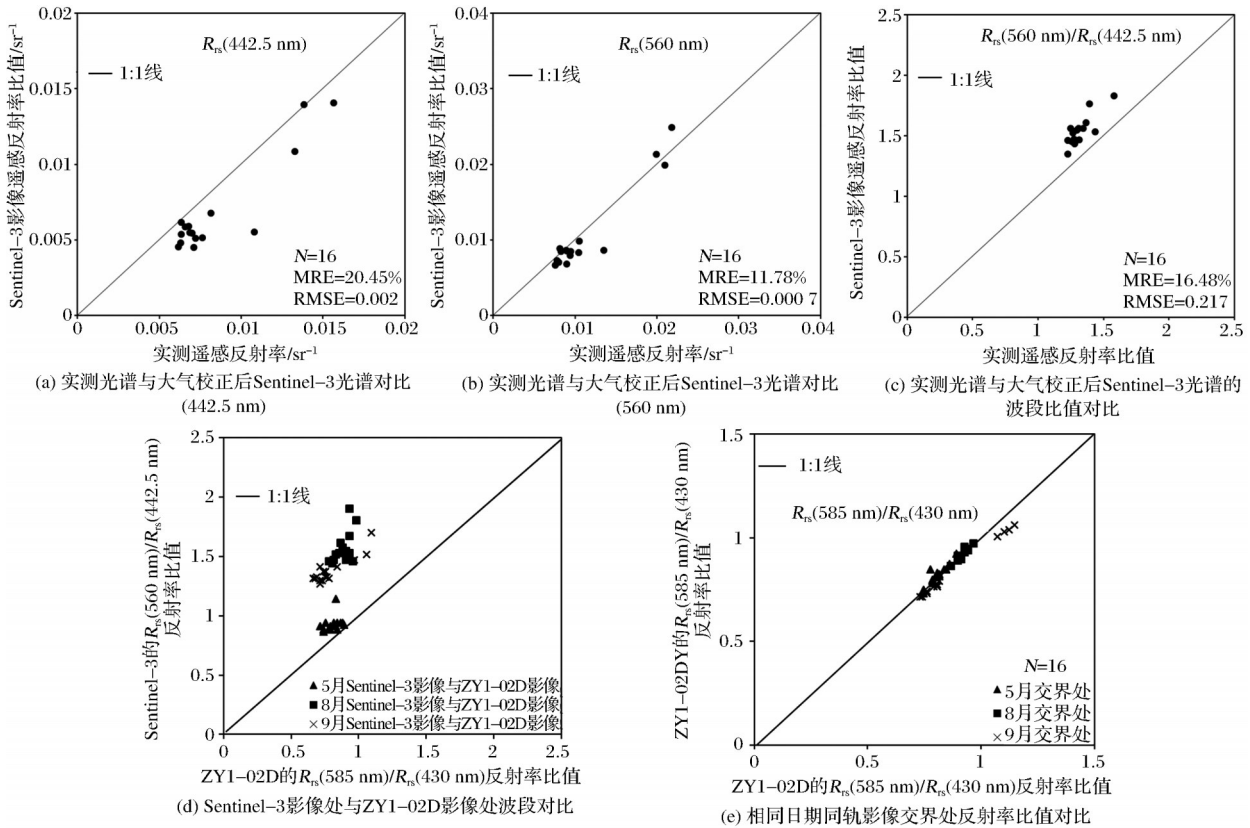


图4 实测遥感反射率与 ZY1-02D 影像上遥感反射率对比

Fig.4 Comparison between In-situ remote sensing reflectance and the remote sensing reflectance on the ZY1-02D image

#### 4.1 悬浮物浓度模型构建

首先,随机筛选出三分之二数量的实测数据,也就是11组数据进行模型构建;然后,剩余的三分之一数量,也就是5组实测数据用于检验模型精度。

这里选取了  $R_{rs}(585\text{ nm})/R_{rs}(430\text{ nm})$  作为自变量,构建青海湖悬浮物浓度反演模型,建立的模型如图5所示。

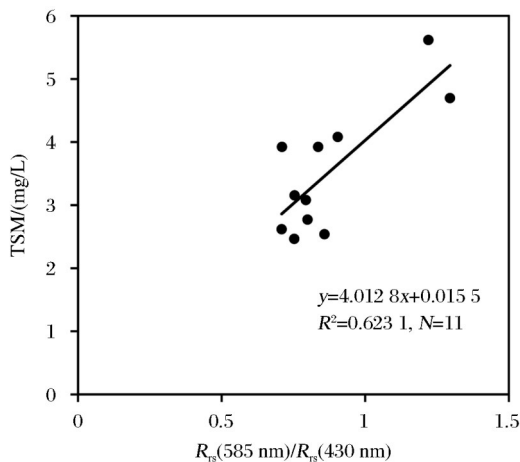


图5 基于实测数据的悬浮物浓度反演模型构建

Fig.5 Construction of suspended matter concentration retrieval model based on in-situ data

#### 4.2 精度验证

采用的精度评价指标为平均相对误差 (Mean Relative Error, 简称 MRE) 和均方根误差 (Root Mean Square Error, 简称 RMSE)。公式如下:

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|R_i - R_j|}{R_j} \times 100\% \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_j)^2}{n}} \quad (3)$$

其中:  $n$  代表点位数;  $R_i$  代表反演得到的水质参数值;  $R_j$  代表实测的水质参数值。

### 5 结果与讨论

#### 5.1 悬浮物浓度模型精度验证

利用随机筛选出的5组实测数据进行模型精度评价,如图6所示。发现悬浮物浓度的实测值与模型的预测值均匀分布在1:1线附近,平均相对误差为21.1%,均方根误差为0.296 mg/L,精度较好。

#### 5.2 青海湖悬浮物浓度反演结果

将构建的悬浮物模型,应用到多幅 ZY1-02D 影像,得到青海湖悬浮物浓度反演分布图,如图7所示。该图大致反映了青海湖悬浮物浓度的空间分布情况,表明了 ZY1-02D 高光谱影像能够用作较

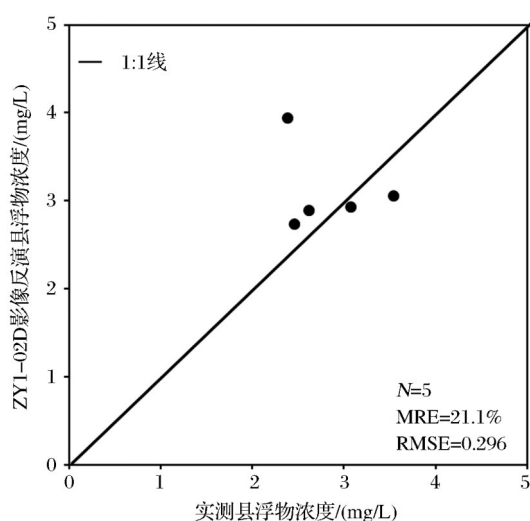


图6 基于ZY1-02D青海湖悬浮物反演模型精度评价

Fig.6 Accuracy evaluation of Qinghai Lake suspended matter retrieval model based on ZY1-02D

清洁内陆水体的悬浮物浓度反演。

观察利用3个不同时间的ZY1-02D高光谱影像拼接而成的结果图,发现影像与影像的接边处没有明显的痕迹,空间一致性较好。同时从图中可以看到,青海湖悬浮物浓度空间分布呈现湖心低岸边高的趋势,特别是沙柳河、布哈河、黑马河等入湖河口处悬浮物浓度较高。可能是因为入湖河口处受到径流、河浪等水动力因素影响,会引起浅水底质

再悬浮,导致悬浮物浓度升高。

### 5.3 多源遥感卫星影像悬浮物反演结果对比

选取了2021年8月28日Sentinel-2数据和Landsat 8数据悬浮物反演结果,与2021年ZY1-02D高光谱影像反演结果进行对比,如图8和图9所示。这里选择了半经验模型,Sentinel-2影像的悬浮物反演模型自变量是绿波段与蓝波段比值 $R_{rs}$ (B3)/ $R_{rs}$ (B2),模型是 $y=0.0352 \cdot e^{4.3788 \cdot X}$ ;Landsat 8影像的悬浮物反演模型自变量是绿波段与蓝波段比值 $R_{rs}$ (B3)/ $R_{rs}$ (B2),模型是 $y=0.0874 \cdot e^{3.5419 \cdot X}$ 。

通过对比发现3种数据源反演结果趋势一致:湖心悬浮物浓度低,岸边悬浮物浓度高,入湖河口处悬浮物浓度较高,并且悬浮物浓度反演结果在一个数量级。由此说明资源02D高光谱卫星为水质参数反演提供了一种有效数据源。

为了定量评价不同数据源悬浮物浓度反演结果,随机在ZY1-02D,Sentinel-2和Landsat 8影像上提取均匀分布点位的悬浮物浓度,两两进行对比,如图8所示。可以看到ZY1-02D与Sentinel-2影像反演结果的 $R^2=0.77$ 。ZY1-02D与Landsat 8影像反演结果的 $R^2=0.83$ 。Landsat 8与Sentinel-2影像反演结果的 $R^2=0.945$ 。发现ZY1-02D反演结果会略微偏高,如图8(a)和图8(b)。但是总体来说,

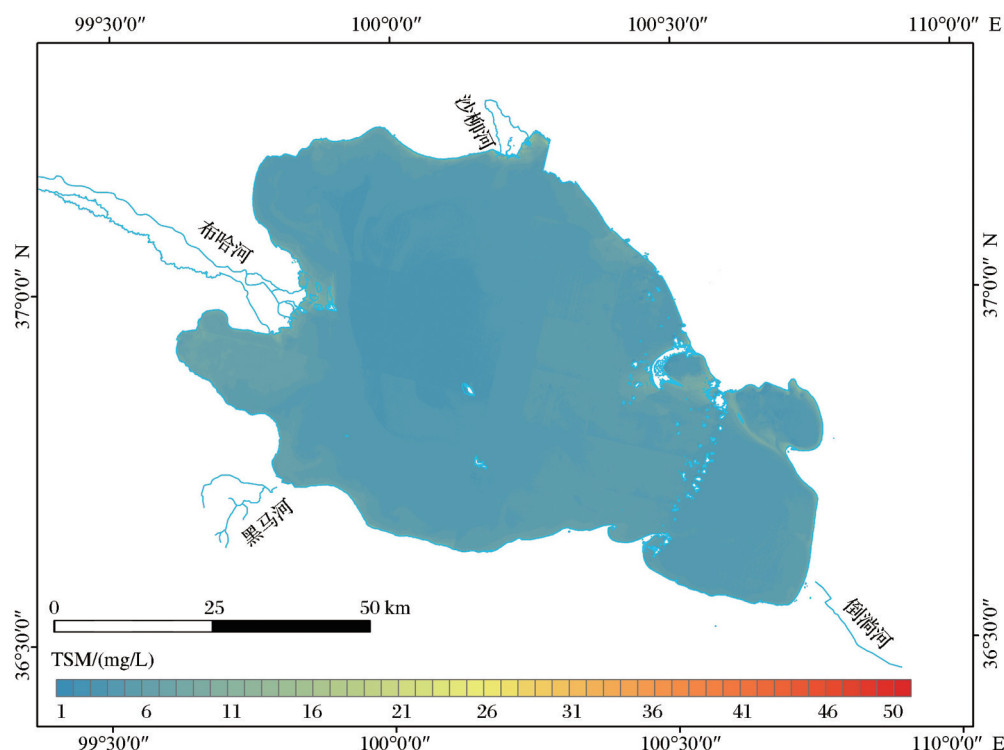


图7 2021年ZY1-02D青海湖悬浮物浓度反演分布图

Fig.7 Retrieval distribution map of suspended matter concentration in Qinghai Lake based on ZY1-02D

ZY1-02D与Sentinel-2影像,Landsat 8影像反演结果相似,不同数据源的反演结果具有较好的一致

性。ZY1-02D 高光谱卫星影像可以用作水体悬浮物遥感反演的数据源。

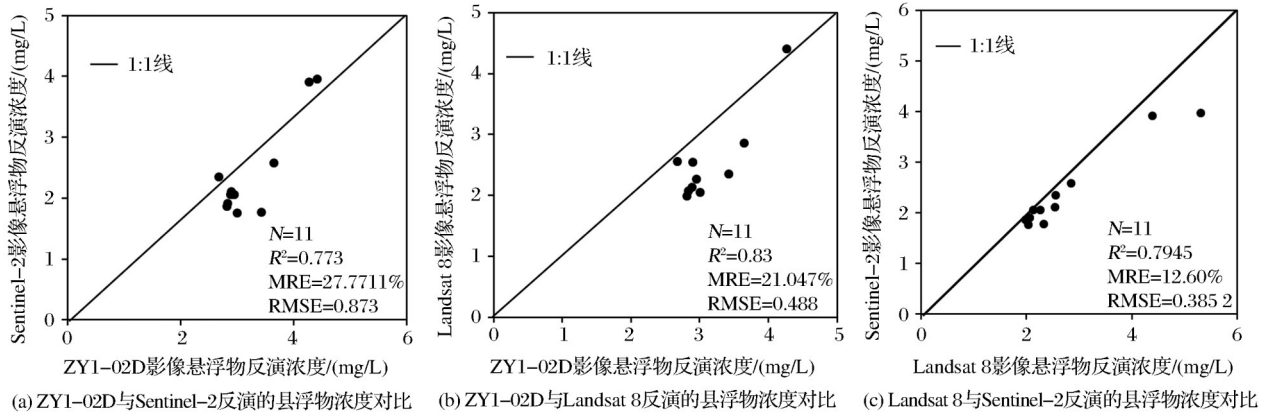


图8 不同数据源悬浮物浓度反演结果对比

Fig.8 Comparison of retrieval results of suspended solids concentration from different data sources

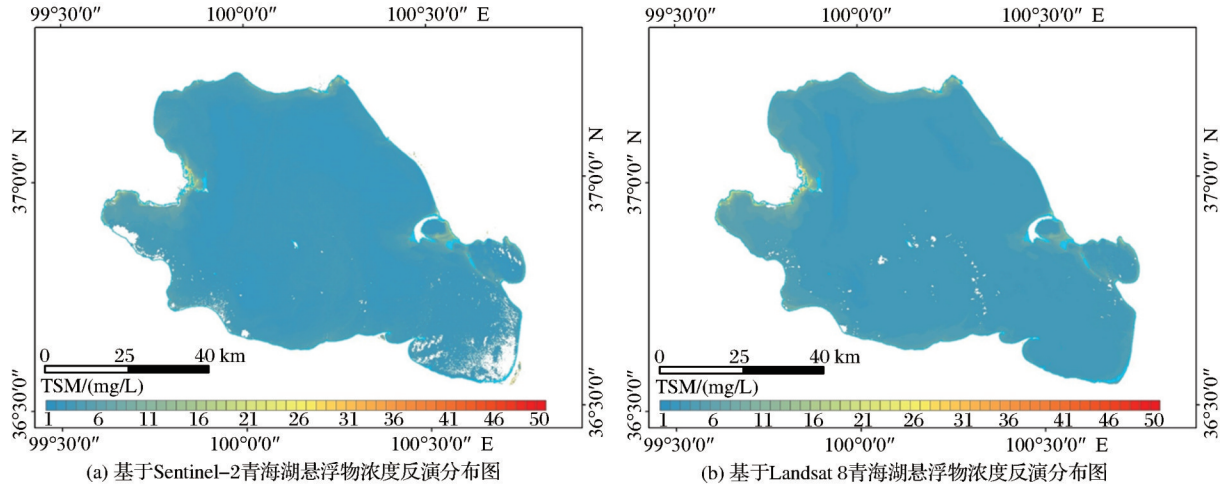


图9 青海湖悬浮物浓度反演分布图

Fig.9 Retrieval distribution map of suspended matter concentration in Qinghai Lake

## 6 结 论

高光谱卫星具有丰富的光谱波段,可以选取合适的波段构建水体水质参数反演模型。本文基于多景ZY1-02D高光谱卫星,以青海湖为研究区,基于实测数据构建了青海湖悬浮物浓度反演模型,并绘制了青海湖悬浮物浓度空间分布图。通过研究得到如下结论:

(1)ZY1-02D高光谱相机具有监测内陆湖泊悬浮物浓度的能力。利用实测数据构建了青海湖悬浮物浓度反演模型,应用于ZY1-02D高光谱影像,精度较好。同时通过与Sentinel-2和Landsat8反演结果进行对比,发现ZY1-02D悬浮物浓度反演结果与其他卫星监测结果具有较好的一致性。

(2)采用ZY1-02D高光谱数据监测较为清洁水

体的悬浮物浓度,选择 $R_{rs}(585\text{ nm})/R_{rs}(430\text{ nm})$ 作为自变量,对比得出ZY1-02D影像大气校正后 $R_{rs}(585\text{ nm})/R_{rs}(430\text{ nm})$ 的结果比较稳定,建议采用 $R_{rs}(585\text{ nm})/R_{rs}(430\text{ nm})$ 用于悬浮物浓度反演。

(3)青海湖悬浮物浓度空间分布具有湖心浓度低,岸边浓度高,入湖河口浓度较高的特征。

## 参考文献 (References):

- [1] LI Xiaoyan, LI Fengxia, MA Yu jun, *et al.* Wetland restoration and biodiversity conservation in the Qinghai Lake Basin [M]. Beijing: Science Press, 2016. [李小雁, 李凤霞, 马育军, 等. 青海湖流域湿地修复与生物多样性保护[M]. 北京: 科学出版社, 2016.]
- [2] CAI Jinglong, LI Xuejun. Influence of tourism resources development around Qinghai Lake on wild animals and ecologi-

- cal environment[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2003(1):36-37.[蔡景龙,李学军.环青海湖旅游资源开发对野生动物和生态环境的影响[J].青海农林科技,2003(1):36-37.]
- [3] LU Xuemei, SU Hua. Retrieving total suspended matter concentration in Fujian coastal waters using OLCI data[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020,40(8):2819-2827.[卢雪梅,苏华.基于OLCI数据的福建近海悬浮物浓度遥感反演[J].环境科学学报,2020,40(8):2819-2827.]
- [4] XIN Xiaoda, SHEN Qian, LI Junsheng, *et al.* Inversion of suspended matter concentration of river of Manwan Dam Regions based on HJ-CCD data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016,31(4):682-690.[邢晓达,申茜,李俊生,等.基于HJ-CCD的漫湾坝区河流悬浮物浓度遥感反演[J].遥感技术与应用,2016,31(4):682-690.]
- [5] LI Yuan, LI Yunmei, SHI Kun, *et al.* Evaluation of total suspended matter based on spectral classification[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013,33(10):2721-2726.[李渊,李云梅,施坤,等.基于光谱分类的总悬浮物浓度估算[J].光谱学与光谱分析,2013,33(10):2721-2726.]
- [6] PANG Shuna, ZHU Weining, CHEN Jiang, *et al.* Using Landsat 8 to remotely estimate and observe spatio-temporal variations of total suspended matter in Zhoushan coastal regions[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019,39(12):3826-3832.[逢淑娜,朱渭宁,陈江,等.Landsat 8的舟山近岸海域总悬浮物遥感反演与时空变异研究[J].光谱学与光谱分析,2019,39(12):3826-3832.]
- [7] CAI Qiming, YANG Ping. Effects of suspended particles in TaiHu Lake on albedo and absorption[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991(5):458-466.[蔡启铭,杨平.太湖悬浮质对湖面反照率及水体光吸收的影响[J].海洋与湖沼,1991(5):458-466.]
- [8] KRITIKOS H, YORINKS L, SMITH H. Suspended solids analysis using ERTS-A data[J]. Remote Sensing of Environment, 1974, 3(1):69-78. DOI: 10.1016/0034-4257(74)90039-X
- [9] HU C, CHEN Z, CLAYTON T D, *et al.* Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,93(3):423-441.DOI:10.1016/j.rse.2004.08.007
- [10] JIN Haixia, PAN Jian. Urban black-odor water body remote sensing monitoring based on GF-2 satellite data fusion [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2017,34(4):107-117.[靳海霞,潘健.基于高分二号卫星融合数据的城镇黑臭水体遥感监测研究[J].国土资源科技管理,2017,34(4):107-117.]
- [11] LI J S, SHEN Q, ZHANG B, *et al.* Retrieving total suspended matter in Lake Taihu from HJ-CCD near-infrared band data [J]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 2014, 17(3):280-289. DOI:10.1080/14634988.2014.941776
- [12] LIU Wangbing, YU Zhifeng, ZHOU Bin, *et al.* Assessment of suspended sediment concentration at the Hangzhou Bay using HJ CCD imagery[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2013,17(4):905-918.[刘王兵,于之峰,周斌,等.杭州湾CCD影像悬浮泥沙遥感定量反演[J].遥感学报,2013,17(4):905-918.]
- [13] XIAO Yanfang, ZHAO Wenji, ZHU Lin. Quantitative retrieval model of suspended sediment concentration in estuary based on HJ-1 CCD image[J]. Marine Sciences, 2012,36(8):59-63.[肖艳芳,赵文吉,朱琳.近海水体悬浮物 HJ-1 号小卫星 CCD 定量反演研究[J].海洋科学,2012,36(8):59-63.]
- [14] CHEN J, CUI T W, QIU Z F, *et al.* A three-band semi-analytical model for deriving total suspended sediment concentration from HJ-1A/CCD data in turbid coastal waters [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014(93):1-13. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.011
- [15] ZHOU Yi, LIU Yao, TIAN Shufang. Water transparency retrieval based on hyperspectral data of ZY-1-02D satellite [J]. Spacecraft Engineering, 2020,29(6):155-161.[周毅,刘瑶,田淑芳.资源一号02D卫星高光谱数据水体透明度反演研究[J].航天器工程,2020,29(6):155-161.]
- [16] LIU Yao, LI Junsheng, XIAO Chenchao, *et al.* Inland water chlorophyll-a retrieval based on ZY-1 02D satellite hyperspectral observations[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2022, 26(1):168-178.[刘瑶,李俊生,肖晨超,等.资源一号02D高光谱影像内陆水体叶绿素a浓度反演[J].遥感学报,2022, 26(1):168-178.]
- [17] TANG Junwu, TIAN Guoliang, WANG Xiaoyong. The methods of water spectra measurement and analysis I: Above-water method[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2004,8(1):37-44.[唐军武,田国良,汪小勇等.水体光谱测量与分析 I:水面以上测量法[J].遥感学报,2004,8(1):37-44.]
- [18] Mobley C D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements[J]. Applied Optics, 1999, 38(36):7442-7455. DOI:10.1364/AO.38.007442



## Retrieval Study of Total Suspended Matter Concentration in Qinghai Lake based on ZY1 02D Hyperspectral Satellite Images

ZHANG Zhijun<sup>1,4,5</sup>, WANG Ru<sup>2,3</sup>, YAO Yue<sup>2,3</sup>, DU Chengyan<sup>1,4,5</sup>, SHEN Qian<sup>2,3</sup>

(1.Qinghai Eco-Environmental Monitoring Center, Xi'ning 810000, China;

2.International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, Beijing, 100094, China;

3.Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Digital Earth Science, Beijing, 100094, China;

4.State Environmental Protection Key Laboratory of Tibetan Plateau Eco-Environmental Monitoring and Assessment, Xi'ning 810000, China;

5.Qinghai Key Laboratory of Eco-Environmental Monitoring and Assessment, Xi'ning 810000, China;

6.Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, 210019, China)

**Abstract:** The concentration of suspended matter in water body is an important parameter to describe the optical characteristics of water body. Satellite remote sensing has the advantages of a large range, fast and high-frequency word dynamic monitoring, which helps to strengthen the monitoring of water environment quality of Qinghai Lake and reduce the monitoring cost. And ZY1-02D satellite hyperspectral camera with high spatial resolution and high spectral resolution provides the possibility of high-precision monitoring of water quality in Qinghai Lake. In order to verify the applicability of the ZY1-02D hyperspectral camera in the application of remote sensing monitoring of water quality, this paper uses the ZY1-02D hyperspectral camera as the remote sensing data source, and also assists the actual measurement data to construct an inversion model of the suspended matter concentration in Qinghai Lake, and conducts accuracy verification to evaluate the accuracy of the inversion results. The results show that the average relative error of the Qinghai Lake suspended concentration inversion model is 21.1%, and the root mean square error is 0.296 mg/L. The accuracy is good, and the inversion results of Qinghai Lake suspended concentration show the characteristics of low in the center of the lake and high on the shore, compared with the retrieval results of Sentinel-2 and Landsat-8 in the same period, the retrieval results of Sentinel-2 and Landsat-8 in the same period, the inversion results remain consistent, results remain consistent, which indicates that the ZY1-02D hyperspectral image can retrieve the water quality parameters.

**Key words:** ZY1-02D; Hyperspectral imagery; Suspended matter concentration; Water quality remote sensing