

# 基于水体时空稳定特性的 辐射一致性校正方法

闻 亮<sup>1</sup>, 李 澜<sup>2</sup>, 高鸣远<sup>1</sup>, 崔玉莹<sup>3</sup>, 王晓莹<sup>4</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;  
3. 上海盛图遥感工程技术有限公司, 上海 201800; 4. 青岛海尔科技有限公司, 山东 青岛 266101)

**摘要:**以太湖32个监测站点的监测数据为依据,通过分析水环境关键因子的稳定性,进行水体稳定特性筛选,并以Landsat 8和Sentinel 2数据为例,综合水体稳定特性,进行多源遥感数据辐射一致性校正研究。研究实现了深蓝、蓝光、绿光、红光、近红外这5个波段的辐射一致性校正,为多源遥感数据的辐射一致性校正方法提供了思路。

**关键词:**多源遥感数据; 水环境关键因子; 稳定特性; 辐射一致性

中图分类号:X171.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)01-0036-0004

## Research on radiation consistency correction method based on spatial and temporal stability properties of water bodies

WEN Liang<sup>1</sup>, LI Lan<sup>2</sup>, GAO Mingyuan<sup>1</sup>, CUI Yuying<sup>3</sup>, WANG Xiaoying<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;  
2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;  
3. Shanghai Shengtuo Remote Sensing Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 201800, China;  
4. Qingdao Haier Technology Co., Ltd., Qingdao 266101, China)

**Abstract:** Based on the monitoring data of 32 monitoring stations in Taihu Lake, the stability characteristics of water body are screened by analyzing the stability of key factors of water environment. Then, taking Landsat8 and Sentinel2 data as examples, the radiation consistency correction of multi-source remote sensing data is carried out by integrating the stability characteristics of water body. In this study, the radiation consistency correction of the five bands of deep blue, blue light, green light, red light and near infrared is finally realized, which provides ideas for the radiation consistency correction method of multi-source remote sensing data.

**Key words:** multi-source remote sensing data; key factors of water environment; stability characteristics; radiation consistency

收稿日期: 2022-09-22

作者简介: 闻亮(1978—),男,高级工程师,硕士,主要从事环境监测与管理及水资源节约与保护研究。E-mail:30442174@qq.com

## 1 概 述

卫星遥感的发展弥补了常规观测方法的不足,为大范围、高频率、长周期的应用监测提供了可能。近年来,随着卫星种类和数量的快速增加,多源遥感数据的综合应用已成为研究热点。在某些遥感领域,对传感器的时间、空间、光谱、辐射分辨率有着较高的要求。尤其在水环境定量遥感监测方面,由于受多重因素的综合影响,表现出高度的时空异质特点,同时水体光学特性复杂,辐射信号传输过程受大气、陆表、水表信号影响严重,因此传统的水色遥感应用受到了极大的限制<sup>[1]</sup>。

多源遥感数据的协同应用和分析已成为化解遥感影像时空分辨率矛盾、解决遥感数据时空不连续问题的重要策略之一,为水环境定量遥感监测提供了应用潜力。然而,由于多个传感器具有不同的辐射传输特性,在观测同一目标地物时,不同传感器接收到的辐射信号可能不一致。对水体来说,水体的低辐射性会增大传感器辐射不一致性带来的误差。因此,对多源遥感数据进行一致性校正正是多源遥感卫星协同应用、优势互补的重要前提。

目前,针对陆地遥感应用的多源遥感数据辐射一致性研究较多,且趋于成熟。钟函笑等<sup>[2]</sup>以Landsat8 OLI和Sentinel 2 MSI为例探究山地多源遥感影像间的辐射一致性,为多源影像在山区的协同应用提供理论支持;梁丽等<sup>[3]</sup>以中巴经济走廊区域为研究区,提出了一种基于线性拟合提取不变目标区域的方法,实现了DMSP/OLS影像间、DMSP/OLS与NPP/VIIRS2种数据间的相互校正;伊丕源等<sup>[4]</sup>提出了顾及时间因子的航空高光谱影像相对辐射归一化校正方法,提高了同名地物的光谱一致性;黄莉婷<sup>[5]</sup>以目标影像GF-1 PMS1、基准影像Sentinel-2B MSI为例,通过控制未变化集的线性关系、采用正则化IR-MAD规则逐步筛选不变特征点,获得辐射归一化方程。

然而,目前针对水环境定量遥感应用中的一致性校正方法研究较少。水体区域作为一种暗目标信号,其有效辐射信号(离水辐亮度)仅占传感器总信号的10%左右<sup>[6]</sup>。这为多源遥感监测水环境的方法和技术提出了更高的要求。

## 2 数据与方法

以太湖32个监测站点的监测数据为依据,分析水环境关键因子的稳定性并进行水体稳定特性筛

选。以Landsat 8和Sentinel 2数据为例,进行多源遥感数据辐射一致性校正研究,该方法的技术流程如图1所示。

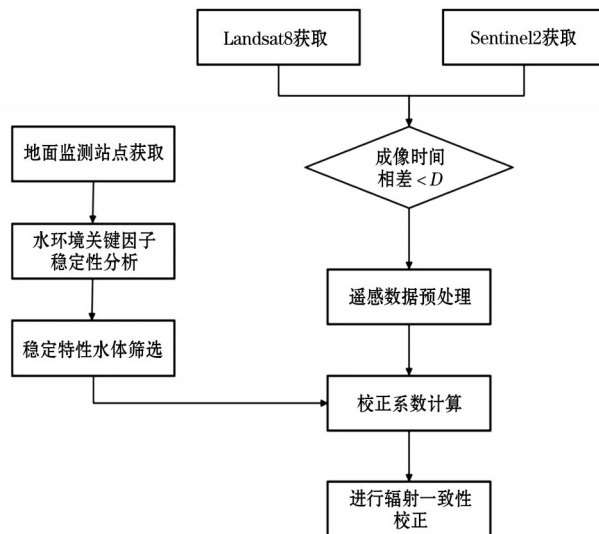


图1 基于水体时空稳定特性的一致性校正方法技术路线

### 2.1 实测数据

太湖位于江苏省南部,是我国五大淡水湖之一。获取时间跨度为2019年1月至2021年2月,监测站点数量为32个的采样数据,其中包括透明度、DO、pH值、NH<sub>3</sub>-N、TN、COD<sub>Mn</sub>、TP、Chl-a等8项水环境关键因子,采样点分布情况如图2所示。

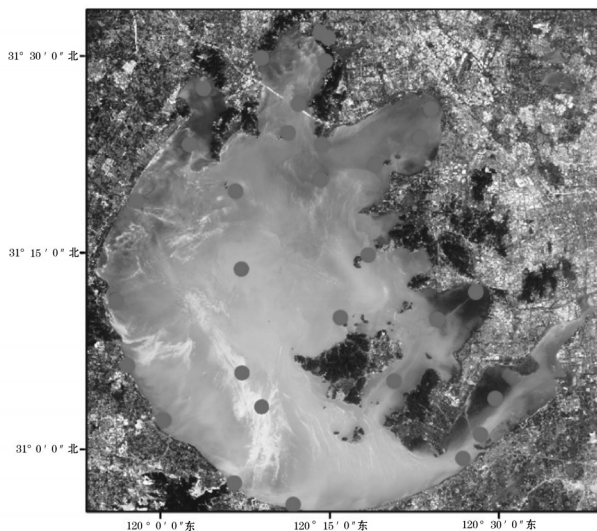


图2 采样点分布情况

### 2.2 遥感数据

Landsat-8卫星是美国陆地卫星计划的第八颗卫星,携带陆地成像仪(Operational Land Imager,

OLI)和热红外传感器(Thermal Infrared Sensor, TIRS)。数据的应用范围很广,包括诸如:研究全球变化、农业、林业、地质、资源管理、地理学、制图、水质、海岸研究等领域。

Sentinel-2卫星是高分辨率多光谱成像卫星,携带一枚多光谱成像仪(MSI),用于陆地监测,可提供植被、土壤和水覆盖、内陆水路及海岸区域等图像,还可用于紧急救援服务,分为2A和2B两颗卫星。Sentinel-2卫星技术参数表,见表1。

表1 原混凝土芯样抗压强度检测结果

波段数	Sentinel-2A		Sentinel-2B		信噪比
	中心波长/ nm	带宽/nm	中心波长/ nm	带宽/nm	
1	443.9	27	442.3	45	98
2	492.4	66	492.1	66	154
3	559.8	36	559.0	36	168
4	664.6	31	664.9	31	142
5	704.1	15	703.8	16	117
6	740.5	15	739.1	15	89
7	782.8	20	779.7	20	105
8	832.8	106	832.9	106	174
8A	864.7	21	864.0	22	72

### 2.3 研究方法

基于成像时间差阈值 $D$ 可以自由选择,本研究选择 $D$ 为5,并选择以日期为20200908的OLI影像和20200905的MSI影像为例,介绍基于水体时空稳定特性的一致性校正方法。

(1)数据预处理:遥感图像预处理主要包括辐射定标、大气校正。这里的大气校正均选择FLAASH模型,参数设置一致。

(2)水环境关键因子稳定性分析:分析32个监测站点的水质变化的稳定性,各站点的水环境关键因子指标稳定性分析如图3所示。

(3)稳定特性水体筛选:选择所有关键因子指标,计算综合稳定性指标,综合稳定性指标 $I_{cs}$ 计算公式如公式(1)所示,即

$$I_{cs} = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i} \quad (1)$$

式中: $C_i$ 为第 $i$ 个环境因子的稳定性指标; $n$ 为总体需要考虑的环境因子数量,本研究仅考虑透明度、pH、DO、COD<sub>mn</sub>、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、Chl-a 8种环境因子,

因此 $n=8$ ; $\sigma_i$ 为该环境因子的月度数据标准差; $\bar{X}_i$ 为该环境因子的月度数据平均值。最终计算得到的各监测站点的综合稳定性指标如图4。

(4)一致性校正系数计算:将各监测站点的综合稳定性指标值按从小到大进行排序,选择前 $k$ 个最小的地面监测站点为稳定性水体进行一致性校正。最后选择的稳定性水体的名称和经纬度如表2所示。

在选择的OLI和MSI图像上,根据经纬度选择同名区域,采用线性模型进行辐射一致性校正,线性模型如公式(2)所示,即

$$R = ar + b \quad (2)$$

式中: $r$ 和 $R$ 分别为一致性校正前后的反射率,Sentinel-2的1,2,3,9波段与Landsat-8的1,2,3,4,5波段中心波长和带宽均接近,以此为例实现Landsat-8和Sentinel-2的辐射一致性校正。

## 3 结果与分析

基于水体时空稳定特性,以OLI和MSI为例,实现辐射一致性校正,对各监测点校正前后反射率值进行密度散点图统计和线性拟合定量分析,最终得到的各波段校正结果如图5。

图5分别展示了深蓝、蓝光、绿光、红光、近红外波段的统计结果。从图5可以看出,5个波段的校正模型的斜率值均大于1,截距值均大于0,表示校正后各波段反射率值均高于校正前各波段反射率值。近红外波段的模型拟合度低于其他四波段,误差较大。各波段校正前后反射率拟合模型见公式(3)~(7)。

$$R = 1.137r + 0.067 \quad (3)$$

$$R = 1.172r + 0.042 \quad (4)$$

$$R = 1.118r + 0.032 \quad (5)$$

$$R = 1.147r + 0.029 \quad (6)$$

$$R = 3.580r + 0.008 \quad (7)$$

## 4 结 论

本文提出一种基于水体时空稳定特性的一致性校正方法,即通过分析太湖32个采样点的监测数据的水环境关键因子的稳定性,从而进行水体稳定特性筛选,再以Landsat-8和Sentinel-2数据为例,综合水体稳定特性,进行多源遥感数据辐射一致性校正研究。

本研究最终构建了深蓝、蓝光、绿光、红光、近红外这5个波段的一致性校正算法模型,实现了辐

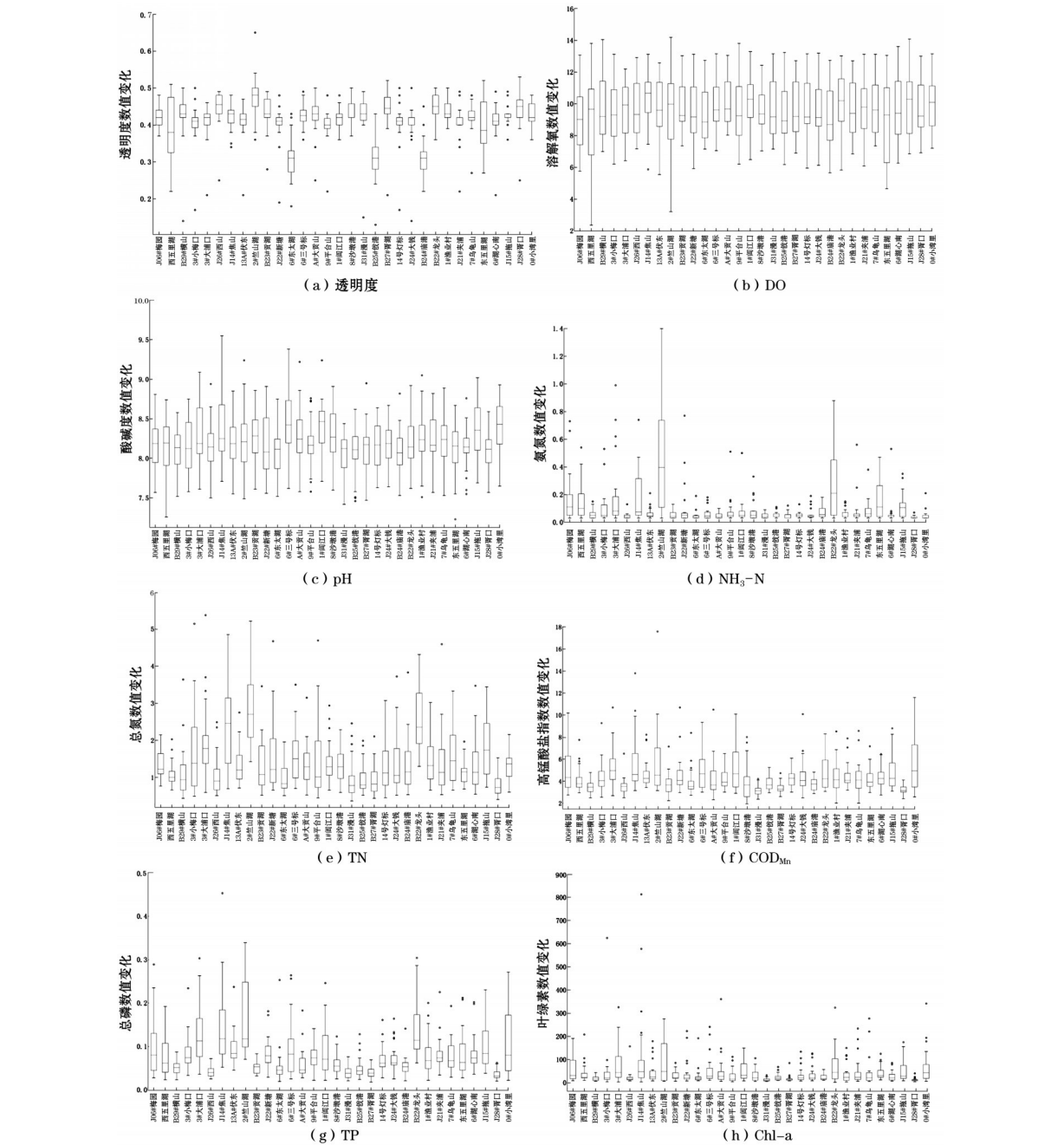


图3 各站点的水环境关键因子指标稳定分析

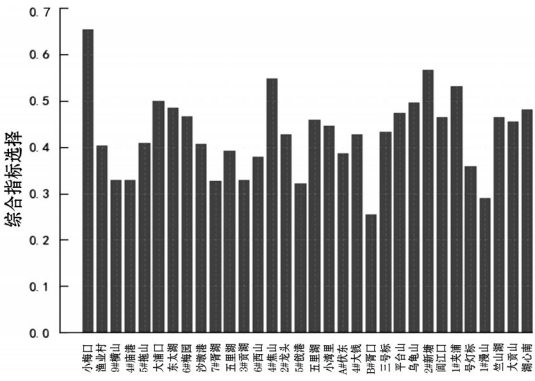


图4 各站点的综合稳定性指标

表2 稳定性水体名称及经纬度			
序号	名称	经度	纬度
1	横山	120.258900	31.176100
2	胥湖	120.402528	31.176611
3	漫山	120.297667	31.256583
4	胥口	120.458333	31.212822
5	钱港	120.490800	31.077800
6	沙墩港	120.385556	31.444444
7	贡湖	120.370417	31.406250

(下转第44页)



## 参考文献:

- [1] 吴芳,李灿灿,郑宏伟,等. 苏州市吴江区农村水系综合整治技术难点及设计创新[J]. 中国水利, 2021(12): 40-43.
- [2] 谢先坤,施震余. 基于自然解决方案的元荡湖湖滨带生态修复[J]. 湿地科学与管理, 2022, 18(4): 56-59.
- [3] 秦鸿根,金相灿,李进军,等. 湖泊河流环保疏浚工程技术指南[M]. 北京:科学出版社, 2013.
- [4] 张祚,谭术魁. 城市滨湖空间开放性与公共性分析:以武汉市为例[J]. 城市问题, 2014(11): 7-12.
- [5] 季永兴,施皓,毛永清,等. 长三角示范区跨界湖泊滨水

空间生态修复实践[J]. 长江技术经济, 2022, 6(5): 8-15.

- [6] KIM K, LEE H, LEE D. Wetland restoration to enhance biodiversity in urban areas: a comparative analysis [J]. Landscape and Ecological Engineering, 2010, 7(1): 27-32.
- [7] BYEON C. Ecological restoration of rivers and wetlands with a sustainable structured wetland biotope (SSB) system [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2012, 16(2): 255-263.
- [8] 中华人民共和国水利部. 河湖生态系统保护与修复工程技术导则: SL/T 800—2020[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2020.

(上接第39页)

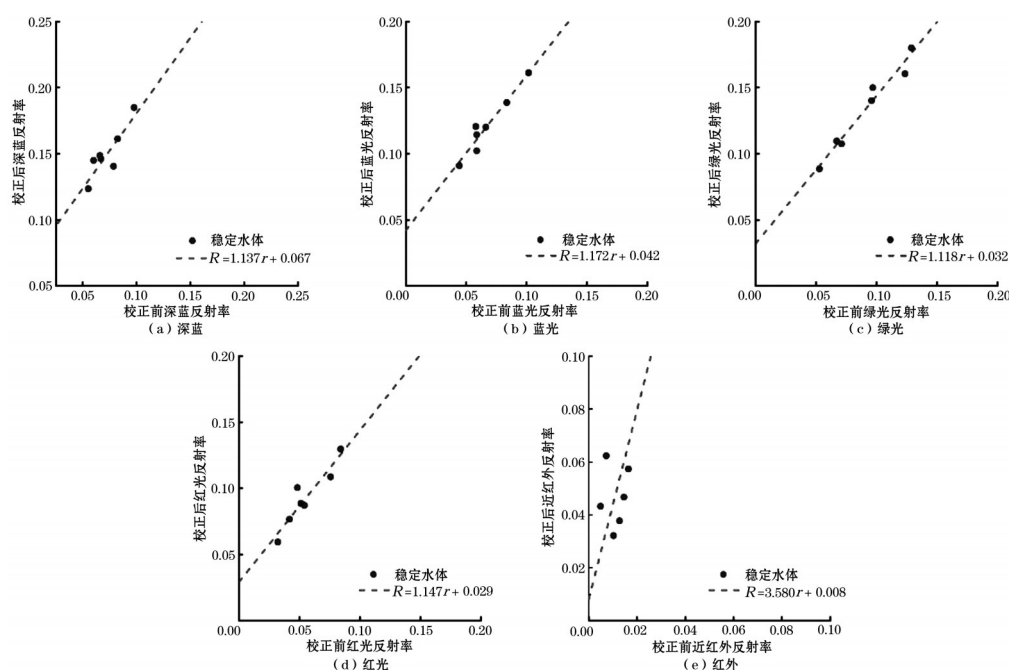


图5 各波段辐射一致性校正模型

射一致性校正,为多源遥感数据的协同应用和分析提供了新的方法。(1)提出了水环境关键因子稳定性分析与稳定水体筛选方法,通过分析各站点水环境关键因子的稳定性,计算综合稳定性指标,选择 $k$ 个综合稳定性指标最小的站点作为稳定特性水体;(2)基于线性回归方程法构建校正模型,对各监测点校正前后反射率值进行密度散点图统计和线性拟合定量分析,建立拟合度最高的各波段一致性校正模型。

## 参考文献:

- [1] 李建. 面向近岸/内陆水环境动态监测需求的定量遥感时空一谱问题研究[D]. 武汉:武汉大学, 2015.

- [2] 钟函笑,边金虎,李爱农. Landsat-8 OLI 与 Sentinel-2 MSI 山区遥感影像辐射一致性研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(3): 428-438.
- [3] 梁丽,边金虎,李爱农,等. 中巴经济走廊 DMSP/OLS 与 NPP/VIIRS 夜光数据辐射一致性校正[J]. 遥感学报, 2020, 24(2): 149-160.
- [4] 伊丕源,刘原麟,武鼎,等. 顾及时间因子的航空高光谱影像辐射归一化校正[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(20): 8342-8349.
- [5] 黄莉婷. 耦合中等分辨率地表反射率信息的 GF-1 影像辐射归一化方法研究[D]. 桂林:桂林理工大学, 2020.
- [6] 唐军武,顾行发,牛生丽,等. 基于水体目标的 CBERS-02 卫星 CCD 相机与 MODIS 的交叉辐射定标[J]. 中国科学 E 辑:信息科学, 2005(增刊1): 59-69.