

基于高光谱卫星影像的清镇市红枫湖水体 总磷浓度反演研究

陈章林¹, 杨刚¹, 曾骏¹, 曾静², 赵宗鸿¹

(1. 贵阳欧比特宇航科技有限公司, 贵阳 550000; 2. 贵州省测绘地理信息产业协会, 贵阳 550000)

摘要:清镇市红枫湖位于贵阳市清镇辖区,东西宽约8 km,南北长约13 km,属于保护级饮用水源地,其中保护区湖域面积约291 km²。为了对宽阔的湖域及流域区域水质进行快速监测分析,利用高光谱卫星影像建立清镇红枫湖水总磷浓度的反演模型。通过对红波段(670 nm)处的反射率修正和相关系数校正,利用浮点计算过滤主成分冗余数据,在2020年3、4、5月份分别对6个目标区域进行总磷浓度反演并实地采集水体生化参数验证,该水质总磷浓度反演模型精度平均值为84%。基于模型的反演数据基本可用于红枫湖水体总磷浓度时序性变化分析,为水生态环境监测提供有效数据。

关键词:反演模型;反射率修正;主成分冗余;高光谱;总磷浓度

中图分类号:P237 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)05-0240-05

清镇市红枫湖属于保护级饮用水源地,是贵阳市、清镇市的主要饮用水源,有贵阳市水缸的美誉,其水质监测和控制对饮用水安全和生产生活至关重要^[1],由于红枫湖区面积大、取水口位置分散,依靠传统的实地取样化验获取水质质量的方法不仅耗时长,且取样分布基本是近岸位置,代表性不强。

为此通过建立快速分析、精度合理的内陆湖饮用水环境质量及重点污染源全覆盖的监测手段,利用高光谱卫星影像数据(OHS)实现红枫湖水源一级保护区至准保护区内重点研究区域或点位的水质质量感知^[2]。

蓝天保卫、碧水保卫、净土保卫、固废治理、乡村人居环境整治是清镇市红枫湖重点整治方向,为实时掌握4条入湖河流和重要取水口区域的水质情况,达到追本溯源的精准治理目的。可以为全面完成红枫湖饮用水源一级保护区“退湖进城”搬迁工作,饮用水源地保护区内无工业企业落地制度提供重要的决策支撑数据。

本文主要给出一种基于高光谱卫星影像数据

的总磷浓度反演模型,通过模型反演出整个红枫湖区域的水质情况,并结合实地取样化验方法修正改进反演模型^[3],按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)反演成果整体精度可达84%。

通过本文成果针对饮用水源的水质监测,能初步满足相关部门针对水污染源及工业、农业、生活污染的来源快速识别体系^[4],为执法和应急提供关键信息,提高执法和应急效率,从而实现从源头解决污染的目的。

1 数据介绍

1.1 研究区概况

清镇红枫湖位于贵州省贵阳市清镇市城区以西,距市32 km。红枫湖横跨清镇市、安顺市平坝区,湖区总面积超200 km²,水域面积达57.2 km²,是贵州高原上最大的湖泊之一^[5],平均水深数十米,一级水源保护区中心点坐标(26.5°N, 106.42°E),范围为(106.32°E, 26.40°N)~(106.45°E, 26.57°N)。

本文使用的高光谱卫星数据是由珠海欧比特运营并再轨运行的“珠海一号”微纳卫星星座获取

收稿日期:2022-10-18

基金项目:贵州省林业生态保护计划项目(2019LH025)。

作者简介:陈章林(1992—),男,云南昭通人,贵阳欧比特宇航科技有限公司,工程师,硕士,研究方向为遥感技术与应用;杨刚(1975—),男,贵州贵阳人,贵阳欧比特宇航科技有限公司,硕士,研究方向为影像数据信息提取;曾骏(1976—),男,贵州贵阳人,贵阳欧比特宇航科技有限公司,研究方向为影像数据信息提取;曾静(1982—),男,四川内江人,贵州省测绘地理信息产业协会,测绘工程师,研究方向为多源数据分析处理;赵宗鸿(1993—),女,贵州榕江人,贵阳欧比特宇航科技有限公司,测绘助理工程师,研究方向为基于影像数据的反演模型分析。

的高光谱数据,主要包含 32 个波段。高光谱数据信息见表 1,研究区域位置及数据时相见表 2。

1.2 研究方法

水体反演流程如图 1 所示。

表 1 高光谱卫星影像数据信息

波段	中心波长/nm	波段	中心波长/nm	波段	中心波长/nm	波段	中心波长/nm
Band 1	466	Band 9	596	Band 17	716	Band 25	836
Band 2	480	Band 10	610	Band 18	730	Band 26	850
Band 3	500	Band 11	626	Band 19	746	Band 27	866
Band 4	520	Band 12	640	Band 20	760	Band 28	880
Band 5	536	Band 13	656	Band 21	776	Band 29	896
Band 6	550	Band 14	670	Band 22	790	Band 30	910
Band 7	566	Band 15	686	Band 23	806	Band 31	926
Band 8	580	Band 16	700	Band 24	820	Band 32	940
空间分辨率/m		10					
波段宽度/nm		2.5					

表 2 清镇红枫湖位置及数据时相

数据类型	“珠海一号”卫星高光谱数据(OHS)
位置	(106.32°E,26.40°N)~(106.45°E,26.57°N)
数据时相	2020 年 3 月、4 月、5 月

体较为敏感的近红波段和绿波段波长反射率与水体总磷浓度之间关联性^[7],并结合实地采集数据拟合且修正计算模型相关参数。

进而引入如下水质参数反演模型:

$$Y_{TP} = 0.0312 \times \exp \left\{ 0.69 \times \left[\text{float} \left(\frac{B_{14} - B_7}{B_7 + B_{14}} \right) \right] - 0.53276 \right\} \quad (1)$$

式中: B 为该波段的反射率,由于波段反射率为非整数值,所以采用浮点计算以及反射率修正来规避误差影响^[8],可满足地表水标准值域两位有效数字评定需求。

$$NDWI = [P(\text{Green}) - P(\text{NIR})] / [P(\text{Green}) + P(\text{NIR})] \quad (2)$$

式中: P 为波段处的反射率; Green 为绿波段; NIR 为近红波段,对应到珠海一号高光谱数据信息中,即中心波长 $\text{Green}(566 \text{ nm})$ 、 $\text{NIR}(880 \text{ nm})$ 。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2}} \quad (3)$$

式中: R 为相关系数; n 为样品总数,取值 20; x_i 为第 i 个样品的光谱值; x 为样品光谱的平均值; y_i 为第 i 个样品的水质参数; y 为 y_i 的平均值。选择相关性最高波段组合构建 NDWI ^[9],建立研究总磷浓度的反演模型。

1.3 数据预处理

贵州地区属于喀斯特地貌地形,植被茂盛,大气成分较复杂,浓度较高,所以水体反演前需对高光谱影像数据进行辐射校正和大气校正处理(图 2),以保证减少反演过程中因大气、地形、高程、水汽等对总磷反演浓度结果的影响^[9]。

图 3 为利用 NDWI 对红枫湖水体水域进行提取裁剪的结果,目的是通过主成分分析,消除主成

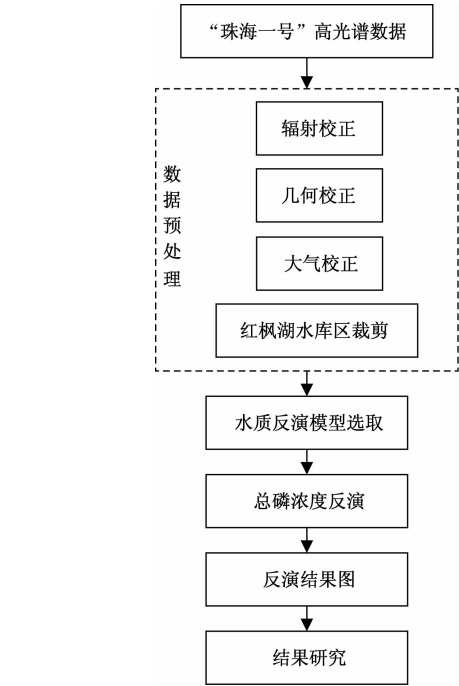


图 1 水体反演流程

水体总磷浓度反演专题研究按以下步骤进行:

- 1)收集满足研究时相性要求的“珠海一号”高光谱数据。
- 2)对收集的高光谱数据进行预处理。
- 3)选取水体反演经验模型。

水质参数与水面光谱数据存在相关性,通过高光谱影像数据的波段光谱信息,计算不同波长反射率与目标参数间的相关性,由于水体总磷在绿波段处反射率较高,而在近红波段处吸收率较高^[6],利用两个波段处较大的差异化,能更准确地反映出对水

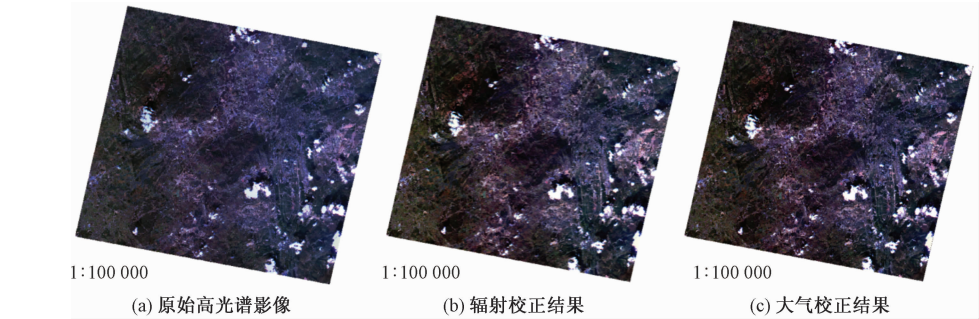


图 2 原始高光谱影像和辐射校正、大气校正结果

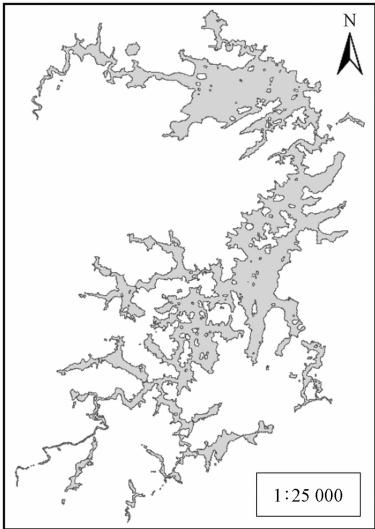


图 3 红枫湖水库裁剪

分冗余信息^[10],并剔除陆地和其他非水体区域以排除在总磷浓度反演过程中,因陆地植被、裸地和人工建筑镜面反射对反演模型的影响^[11]。

2 研究内容

根据高光谱影像数据覆盖情况,对 2020 年 3 月、4 月、5 月红枫湖猫跳河入湖口、麻线河入湖口、马场河入湖口、乐平河入湖口、猫跳河出湖口、红枫湖一级保护区鱼种场进行了水体总磷浓度反演和反演结果环比分析,表 3 为总磷浓度反演的坐标位置。

表 4 为总磷浓度反演位置,试验同期实地取样化验的总磷浓度结果数据。

表 3 水质总磷浓度反演位置

反演位置	经度 E/(°)	纬度 N/(°)
乐平河入湖口	106.350	26.561
猫跳河出湖口	106.420	26.554
红枫湖水库鱼种场	106.412	26.493
猫跳河入湖口	106.362	26.436
麻线河入湖口	106.382	26.416
马场河入湖口	106.436	26.418

表 4 红枫湖水库水体总磷浓度实地取样数据

位置	取值点数量/个	最小值/(mg·L ⁻¹)	最大值/(mg·L ⁻¹)	取值时间	总磷浓度平均值/(mg·L ⁻¹)
乐平河入湖口	7	0.112 7	0.122 4	2020 年 3 月	0.117 1
				2020 年 4 月	0.122 4
				2020 年 5 月	0.112 7
猫跳河入湖口	5	0.107 2	0.120 3	2020 年 3 月	0.107 2
				2020 年 4 月	0.110 6
				2020 年 5 月	0.120 3
红枫湖水库鱼种场	6	0.076 3	0.108 6	2020 年 3 月	0.076 3
				2020 年 4 月	0.108 6
				2020 年 5 月	0.092 7
猫跳河出湖口	7	0.098 7	0.112 1	2020 年 3 月	0.101 1
				2020 年 4 月	0.098 7
				2020 年 5 月	0.112 1
麻线河入湖口	8	0.079 4	0.086 7	2020 年 3 月	0.079 4
				2020 年 4 月	0.082 5
				2020 年 5 月	0.086 7
马场河入湖口	6	0.106 8	0.113 5	2020 年 3 月	0.106 8
				2020 年 4 月	0.122 4
				2020 年 5 月	0.113 5

3 结果分析

将研究区高光谱影像数据结合构建的水质参数反演模型进行反演,绘制出红枫湖水库水体总磷浓度分布。

如图 4 所示,2020-03-08 红枫湖水库反演的总磷浓度在 0.016 ~ 0.126 mg/L,多数处在 0.105 mg/L;2020-04-14 红枫湖水库反演的总磷浓度在 0.006~0.114 mg/L,多数处在0.112 mg/L;2020-05-08 日红枫湖水库反演的总磷浓度在 0.014~0.087 mg/L,多数处在0.084 mg/L;红枫湖水体较为清澈,无明显污染现象,4 条主要河流入湖口水质较中间水域差,水库边界处的总磷浓度较高,与实际实地调研结果基本一致。

红枫湖水库 4 条主要河流入湖口水体总磷浓度反演结果如图 5 所示。

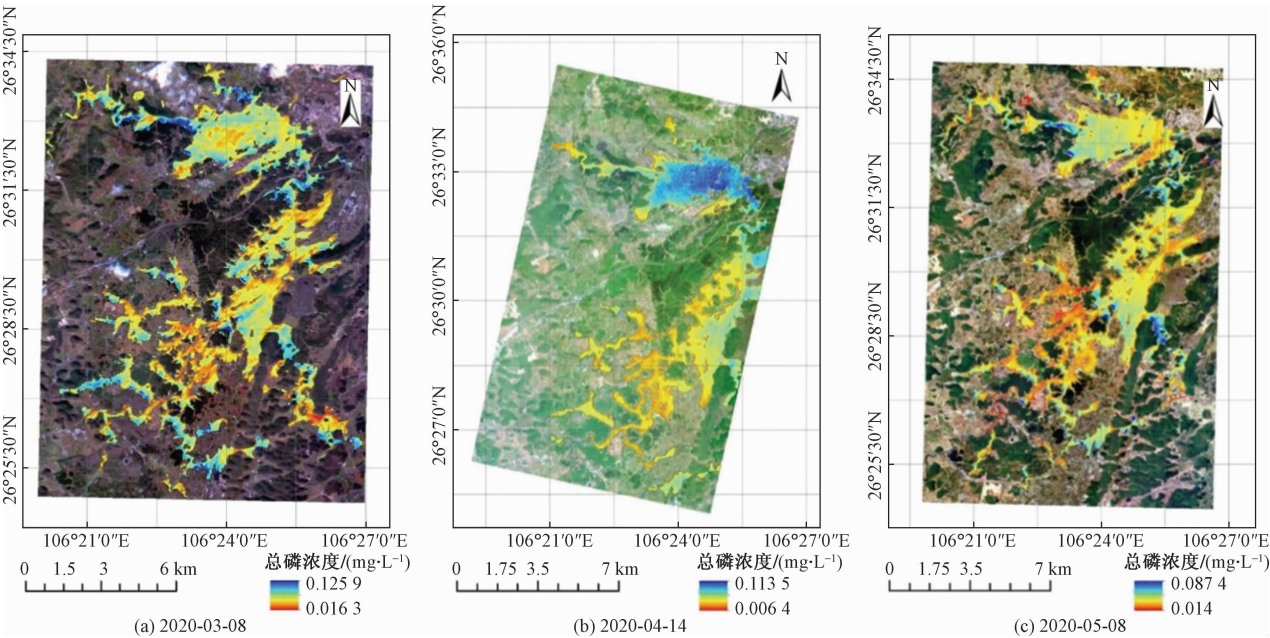


图 4 2020 年 3—5 月红枫湖水库水体总磷浓度反演结果

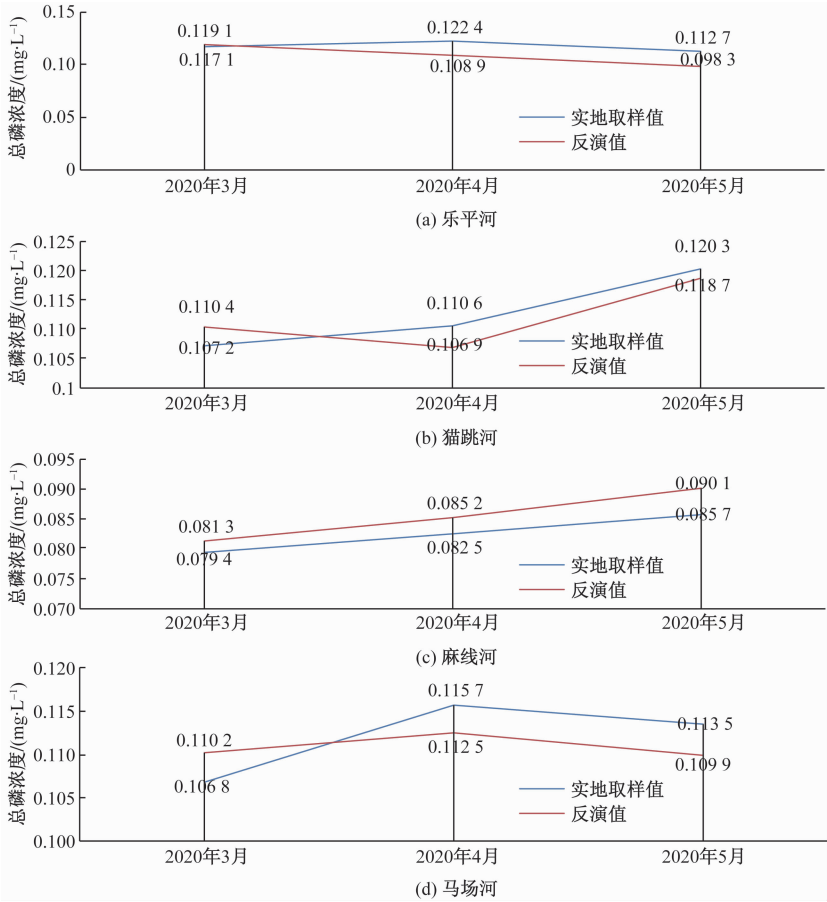


图 5 4 条主要河流入湖口水体总磷浓度反演结果对比

红枫湖水库水体总磷浓度反演成果对比分析：总体来看红枫湖水库整体总磷浓度达内地地表水Ⅲ类标准，水库中部总磷浓度较近湖岸低，其中马

场河入湖口、乐平河入湖口、猫跳河入湖口 3 月、4 月、5 月总磷浓度均偏高，与实地取样监测结果较为吻合。

4 结语

本文中水生态环境变化频繁期高光谱数据缺失,分析成果量难以满足统计学需求。为了能获得更精确的反演值以及科学的数据参考价值,后期需加大高光谱影像覆盖的时相性要求,亦可按区域实现高时序性变化监测的数据采集、按水生态环境变化频繁期获取大量高光谱影像数据进行水体反演分析。最后,开展实地水体取样化验和数据积累分析,结合星地同步实验提高高光谱水体反演模型相关性,为清镇市红枫湖水库水生态环境监测建立特定的高光谱遥感水体反演模型。

参考文献

[1] 唐中林,朱忠福,李小辉,等. 九寨沟世界自然遗产地湖泊水质参数的高光谱定量反演模型[J]. 应用与环境生物学报,2021,27(5):8-14.

[2] 刘征,贺军亮,彭林,等. 黄壁庄水库总氮、总磷含量与反射光谱特征的关系[J]. 石家庄学院学报,2009,11(3):6-11.

[3] 潘邦龙,易维宁,王先华,等. 湖泊水体高光谱遥感反演总磷的地统计算法设计[J]. 红外与激光工程,2012,41(5):16-24.

[4] 陈俊英,邢正,张智韬,等. 基于高光谱定量反演模型的污水综合水质评价[J]. 农业机械学报,2019,50(11):110-119.

[5] 江成鑫,江川,霍晓芹. 红枫湖水质变化趋势及环境保护政策综合分析[J]. 中国环境监测,2021,37(3):72-83.

[6] 王志辉,易善桢. 不同指数模型法在水体遥感提取中的比较研究[J]. 科学技术与工程,2007,7(4):534-537.

[7] 白雯睿,杨毅强,朱雪芹. 基于 VMDLSTNet 的水质预测模型[J]. 科学技术与工程,2022,22(22):9981-9989.

[8] 汪雨豪,李家国,汪洁,等. 基于 GF-2 影像的苏州市区水质遥感监测[J]. 科学技术与工程,2020,20(14):5875-5885.

[9] 何海清,杜敬,陈婷,等. 结合水体指数与卷积神经网络的遥感水体提取[J]. 遥感信息,2017,32(5):5-11.

[10] 姚为英,冯高城,任宜伟,等. 基于主成分分析和代理模型辅助的多目标生产优化方法[J]. 科学技术与工程,2022,22(23):10042-10049.

[11] 陈建军,黄莹,赵许宁,等. 黄河源区高寒草地植被覆盖度反演模型精度评价[J]. 科学技术与工程,2019,19(15):37-45.

Inversion of Total Phosphorus Concentration in Hongfeng Lake of Qingzhen City Based on Hyperspectral Satellite Images

CHEN Zhanglin¹, YANG Gang¹, ZENG Jun¹, ZENG Jing², ZHAO Zonghong¹

(1. Guiyang Orbit Aerospace Technology Co., Ltd., Guiyang 550000, China;

2. Guizhou Provincial Association of Surveying and Mapping Geographic Information Industry, Guiyang 550000, China)

Abstract: Qingzhen Hongfeng Lake is located in Qingzhen District, Guiyang City, with a width of about 8 kilometers from east to west and a length of about 13 kilometers from north to south. It is a protected drinking water source, of which the lake area of the reserve is about 291 square kilometers. In order to monitor and analyze the water quality of the wide lake area and the basin area, an inversion model for the total phosphorus concentration of Qingzhen Hongfeng Lake Using Hyperspectral satellite images is introduced. Through the correction of reflectance and correlation coefficient at the red band (670 nm), the principal component redundancy data are filtered by floating-point calculation. After the inversion of total phosphorus concentration in six target areas in March, April and May 2020 and the verification of water biochemical parameters collected on the spot, the average precision of the inversion model of total phosphorus concentration in this water quality is 87%, The inversion data based on the model can basically be used to analyze the temporal change of total phosphorus concentration in Hongfeng Lake, and provide effective data for water ecological environment monitoring.

Keywords: inversion model; reflectance correction; principal component redundancy; hyperspectral; total phosphorus concentration