

doi: 10.6046/zrzyyg.2020337

引用格式: 杜程,李得林,李根军,等. 基于高原盐湖光谱特性下的溶解氧反演应用与探讨[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):246-252. (Du C, Li D L, Li G J, et al. Application and exploration of dissolved oxygen inversion of plateau salt lakes based on spectral characteristics[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(3):246-252.)

# 基于高原盐湖光谱特性下的溶解氧反演应用与探讨

杜程<sup>1,2,3</sup>, 李得林<sup>1,2,3</sup>, 李根军<sup>1,2,3</sup>, 杨雪松<sup>1,2,3</sup>

(1. 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁 810012; 2. 青海省遥感大数据工程技术研究中心, 西宁 810012; 3. 青海省地质调查院, 西宁 810012)

**摘要:** 因地理条件限制, 盐湖高光谱反演研究目前尚少, 文章以盐湖溶解氧的反演为例, 探讨盐湖水质参数的反演思路与方法。通过对青海察尔汗盐湖水体高光谱数据的信息分析, 在高光谱水质参数反演技术基础上利用盐湖水体的独特光谱信息, 采用波段组合的方式确定了盐湖高光谱溶解氧反演模型。研究表明: ①原始光谱曲线各个波段与溶解氧含量相关性不足 0.3, 基于盐湖水体的独特光谱信息下的波段组合数据与溶解氧含量的相关系数达到 0.75 以上; ②建立的波段比值模型与实测值进行模型精度验证, 发现溶解氧含量反演与实测结果基本一致; ③盐湖水体较为稳定的特性使其在经历时间变化时水质参数含量不会发生较大变化, 利用 2019 年 11 月份实测数据进行的精度验证也可说明以盐湖光谱特性建立的波段比值模型具有较高精度, 并且能够有一定的模型长效性。因此, 利用盐湖光谱特性建立高光谱反演模型可满足对该湖区进行溶解氧监测的精度需求, 实现对其的大面积监测, 也同时提出一种新的针对高原盐湖反演模型建立的思路, 为后续高原湖泊的监测体系建立奠定基础。

**关键词:** 高光谱; 盐湖光谱特性; 溶解氧反演

**中图法分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2021)03-0246-07

## 0 引言

湖泊不仅为人类提供丰富的淡水资源, 还可以提供丰富的矿产资源。青藏高原有着数量众多的盐湖, 这些盐湖广泛分布于柴达木盆地和可可西里地区并与当地生物及人类活动息息相关, 盐湖蕴藏的丰富矿产资源, 具有极大的工业价值<sup>[1-2]</sup>, 而工业价值往往带来环境问题, 因此必须加强水质的监测和治理<sup>[3]</sup>, 进行绿色矿产开发。

与常规的水质监测方法比, 遥感技术能够及时、快速地提供大面积的湖区水质情况<sup>[4]</sup>, 高光谱技术的迅猛发展可让我们获取更为丰富的光谱信息进行水质参数的反演和预测, 尤其对于位于人烟稀少、人力较难到达的湖泊, 如何利用最少的人力投入来进行大范围监测更是重中之重。叶绿素 a、悬浮泥沙、黄色物质、溶解氧等水质参数的高光谱研究已有多年的经验, 无论是利用单波段、多波段还是机器学习来反演, 多是针对低海拔淡水湖

泊或是水库<sup>[5-6]</sup>, 而对于盐湖水体, 尤其是典型高原内陆盐湖的高光谱研究较为少见。溶解氧作为衡量水质的重要指标, 能在一定程度上代表水体自净的能力, 正常情况下, 水温是影响溶解氧含量的重要因素, 水温越高, 溶解氧含量越低, 水温越低, 溶解氧含量越高<sup>[7]</sup>。以往调查资料以及当地盐湖集团资料显示, 本次研究区内未发现过鱼虾或者水生植物等生物活动迹象, 实地考察也未发现水生生物存活迹象, 水体监测无叶绿素 a 等水质参数, 因此本研究以溶解氧为研究对象, 建立高原湖泊水质监测的溶解氧反演模型, 验证模型精度, 查看盐湖溶解氧含量分布情况。

## 1 研究区概况及数据源

### 1.1 研究区概况

本次研究区为达布逊湖, 研究区及采样点具体情况可见图 1, 地理坐标为 E94°24' ~ 95°18', N36°08' ~ 37°06'。

收稿日期: 2020-10-23; 修订日期: 2021-03-25

基金项目: 青海省科技厅创新平台建设专项项目“青海省自然资源要素与生态状况一体化遥感监测应用平台”(编号: 2019-ZJ-T04)资助。

第一作者: 杜程(1997-), 男, 学士, 助理工程师, 主要从事遥感技术应用工作。Email: 1456308204@qq.com。

通信作者: 李得林(1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事遥感地质应用工作。Email: 104014137@qq.com。

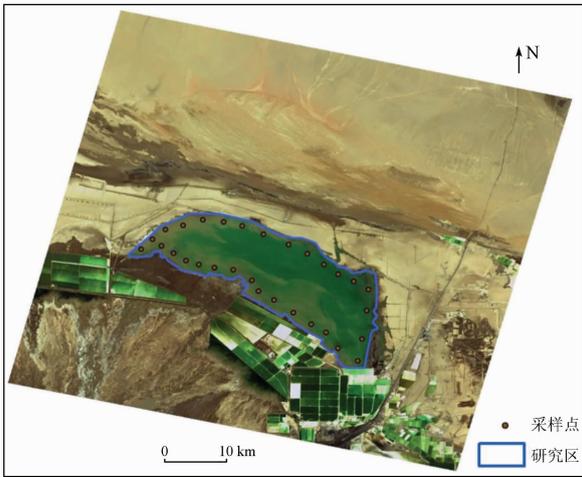


图1 研究区及采样点位置图

Fig.1 Location map of the study area and sampling points

达布逊湖是察尔汗盐湖区最大的湖泊,位于察尔汗盐湖区中南部,湖泊略呈NW-SE向延伸,东西长30 km,南北宽4~7.5 km。湖水面积184~334 km<sup>2</sup>,平均水深0.5~1.02 m,最大水深1.72 m,湖面海拔2 675.6 m。察尔汗盐湖是柴达木盆地最大的盐湖,湖面辽阔而平坦,海拔在2 678~2 683 m之间,相对高差仅为5 m,区内气候常年干旱。降雨稀少,蒸发强烈,属于典型的高原内陆盆地气候。根据格尔木气象站1958—2017年近60 a的气象资料,平均蒸发量2 587 mm,平均温度为5.15℃,平均降水量为38.27 mm,降水主要集中在7—9月,占全年降水量的70%以上,相对湿度32%。得天独厚的自然条件使得该盐湖成为我国重要的钾盐生产基地,承担着工业使命,所以其水体情况更加需要去关注。

## 1.2 数据源

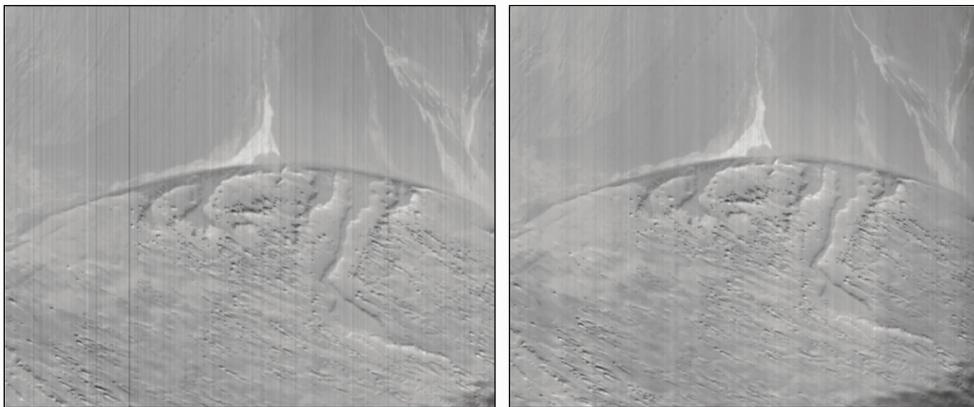
本次研究采用资源一号02D卫星搭载的高光谱遥感影像,获取时间为2020年4月8日,空间分辨率达到30 m,幅宽60 km;可见光近红外光谱分辨率为10 nm、短波红外光谱分辨率为20 nm,光谱范围为0.40~2.50 μm,共166个波段。资源一号02D卫星是我国自主建造并成功运行的首颗民用高光谱业务卫星,该卫星将进一步拓展我国自然资源调查监测技术手段,大幅度提高山水林田湖草等自然资源定量化调查监测能力,支撑及时掌控自然资源数量、质量、生态状况及变化趋势。野外实测数据采集使用便携式ASD光谱仪,数据采集区间为350~2 500 nm,完全符合本次水质监测需要的400~1 000 nm区间范围,可实时测量并观察反射、透射以及辐射度,提供更为精确的实时有效数据,同时野外实测光谱数据也是本次卫星影像预处理结果的标准与校正模板,提升建立的反演模型精度。

## 1.3 数据预处理

高光谱遥感影像预处理主要包括条带噪声去除、传感器定标、波段融合、辐射定标、大气校正等。

### 1.3.1 条带噪声去除

原始高光谱数据中因仪器等原因造成了影像“条带噪声”,其主要分布在短波红外影像中。为了在后续反演过程中保证产品质量,有必要对其进行去除,提升影像数据质量。本次采用的是针对AHSI传感器的条带去除法,通过该方法能有效去除大部分噪声,提升影像质量,噪声去除效果可见图2。



(a) 去除条带前

(b) 去除条带后

图2 条带噪声去除前后对比

Fig.2 Comparison before and after strip noise removal

### 1.3.2 传感器定标及波段融合

由于外界因素影响及传感器自身原因,传感器定标是必不可少的一步,本次针对02D星的传感器定标主要是添加各影像波长、波段宽度、波段增移量和偏移量。02D影像水汽影响波段主要为1 357~

1 408 nm和1 828~1 912 nm附近,重叠部分在1 005~1 040 nm附近,通过波段融合可以去除这些谱段。

### 1.3.3 辐射定标和大气校正

传感器本身的因素、太阳高度、地形及大气条件等都会使传感器接收的信号与地物实际信号间存在

差异,随着遥感技术的发展,辐射定标可将图像的数字量化值(DN 值)转化为辐射亮度值,再转化为地表真实反射率,满足之后的信息提取和影像分析的需要。太阳辐射通过大气入射到地物表面然后再反射回传感器,但由于大气气溶胶等影响因素,原始影

像包含物体表面、大气以及太阳的信息,为了提取分析我们所需的地物,必须将其从综合信息中提取出来,就需要进行大气校正,图 3 为大气校正前后盐湖水体光谱反射率变化,大气校正为扩大 10 000 倍结果。

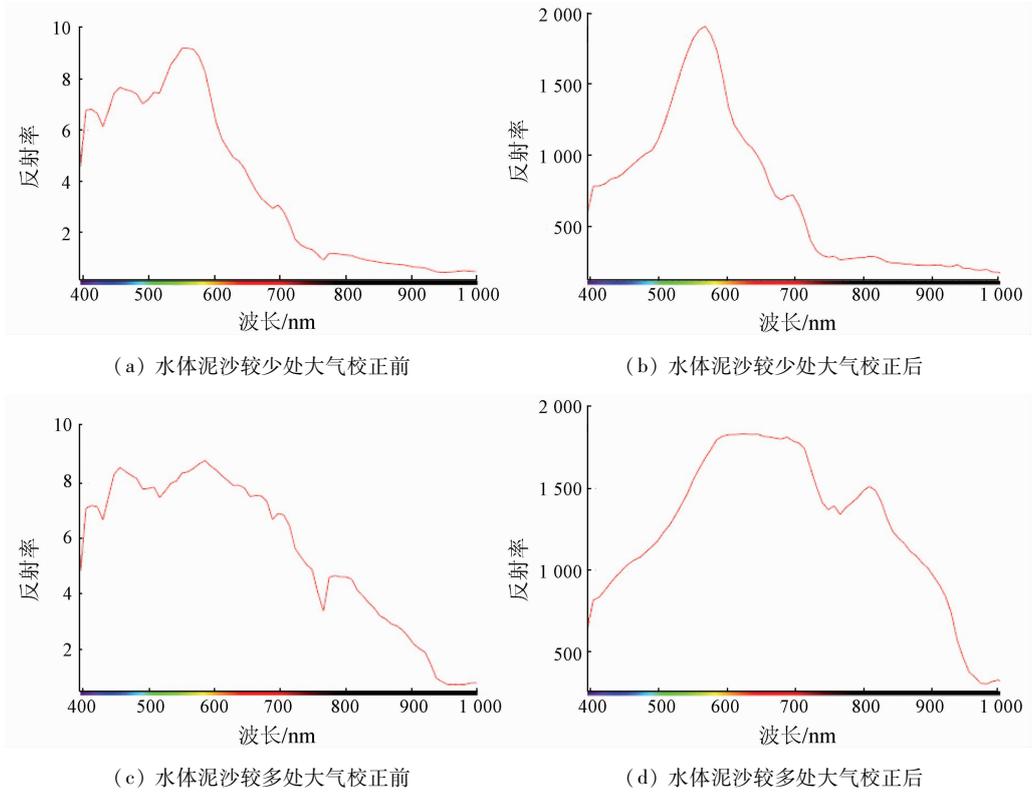


图 3 盐湖水体大气校正前后光谱曲线对比

Fig. 3 Comparison of spectral curves before and after atmospheric correction in the salt lake water

正常水体反射率较低,纯水在可见蓝波段反射率最高,之后随波长增加反射率降低,在近红外波段反射率逐渐降为 0;对盐湖水体光谱曲线的分析可以看出:盐湖光谱曲线在可见黄红波段附近有最高的反射率,符合自然水体特性,曲线在 670 nm 和 760 nm 处有明显吸收谷,690 nm 和 800 nm 附近有明显反射峰,尤其是浑浊区更为明显,其高反射率和红移现象具有鲜明的盐湖水体特性。

### 1.3.4 实测数据处理

本次野外采样点共设置 30 个,每个采样点测 10 次光谱,最终光谱曲线为平均曲线,同时在采样点位置进行溶解氧含量测定,测量多次取平均值。以 20 组实测溶解氧数据为建模依据,10 组为模型精度验证依据,盐湖集团实测数据为后续沟通获取,共 5 组。

## 2 研究方法

本文数据处理与研究过程如图 4 所示。

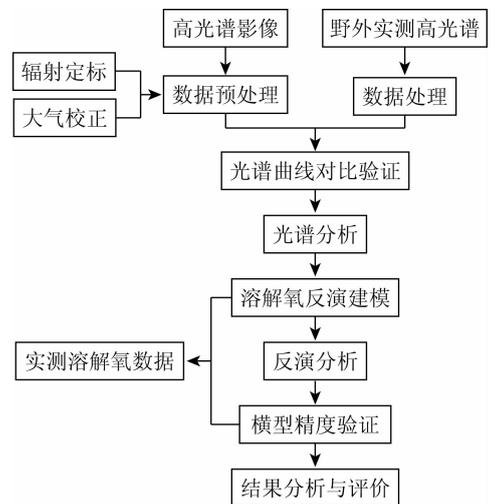


图 4 数据处理与研究过程

Fig. 4 Data processing and research process

本次研究在分析总结国内外湖泊、水库等水体的高光谱遥感监测方法与技术的基础上,通过盐湖实测采样,寻找盐湖水体波谱与溶解氧含量之间的相关关系,建立能够反演盐湖溶解氧含量的高光谱模型,并利用实测数据进行模型的精度验证,最后利

用当地盐湖集团 2019 年 11 月份对达布逊湖区水质进行的溶解氧监测资料来对比验证本次建立的模型是否具有在盐湖这一特殊水体未有大变化的情况下的长效性。通过对盐湖溶解氧含量的分析,发现常规的高光谱水质分析反演方式在盐湖水体不能适用,盐湖水体矿化程度极高,一阶微分等处理无法凸显盐湖水体水质参数信息,反而增强盐湖矿化信息,对于水质检测起抑制作用。因此本次盐湖水质溶解氧反演从原始光谱信息入手,最终通过波段比值模型来增强盐湖溶解氧信息,实现盐湖溶解氧含量的高光谱反演。

本次高光谱遥感影像为 2019 年 11 月份和 2020 年 4 月份 2 期,盐湖集团实测数据采集时间为 2019 年 11 月 22 日,高光谱遥感影像为 11 月 18 日,虽未能同步,但时间较为接近。野外实测时间为 2020 年 4 月份,以 2020 年 4 月份影像为底版,利用野外实测光谱曲线和溶解氧数据,建立盐湖高光谱溶解氧反演模型并利用实测数据进行模型精度验证,之后使用 2019 年 11 月份盐湖集团实测数据来验证模型能够在盐湖未有大变化的情况下进行一个长期的有效监测能力。

从研究区影像可以看出周边为戈壁滩、盐碱地,大量盐田分布在盐湖南部,属典型内陆盐湖。影像无明显云雪覆盖,地物清晰可见,数据质量良好,而且一景影像即可覆盖整个研究区域,可减少影像镶嵌的误差影响,提高模型反演精度。本次实测点位的选择以实地条件为基础,均匀分布在整个湖区确保模型建立的精度,但因为条件有限以及自然因素的影响,无法深入湖泊中心位置。

水体相关研究表明光谱反射率在近红外波段后逐渐趋近于 0,即只要 400 ~ 1 000 nm 波段范围即可,利用 20 组实测数据建立的相关性分析如下图所示(图 5),从实测数据的相关性分析可以看出盐湖原始水体光谱特性与溶解氧含量相关性不是很高,最

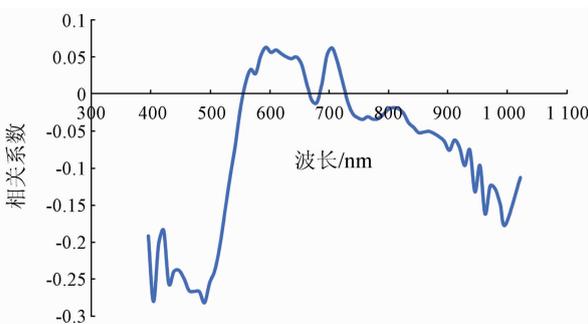


图 5 盐湖原始光谱反射率与溶解氧含量的相关性

Fig. 5 Correlation between original spectral reflectance of salt lake and dissolved oxygen content

高处为 490 nm 处,负相关最大,为 -0.28,相关性极差。

一阶导数光谱反射率、二阶导数光谱反射率建立的溶解氧数据相关性也不高,一阶导数变换会凸显盐湖矿化信息,对于具有复杂光学特性的盐湖水体水质监测无益。对数、倒数等几类模型经过对比,决定系数都不高,不具有参考意义。

从实测数据以及影像光谱曲线来看,水体光谱在 670 nm 和 760 nm 附近有明显吸收谷,690 nm 和 800 nm 附近有反射峰,以此为入手点建立具有盐湖特性的溶解氧模型具有实际意义。利用这两处吸收谷与反射峰,进行多波段测试,寻找最高相关系数的波段组合。将 679 nm,696 nm,765 nm 和 808 nm 为组合元,进行反射峰与吸收谷的波段相除、反射峰相加除以吸收谷等组合方式,最终获得以下 3 个相关系数图(图 6),可以看出 679 nm 和 696 nm 两波段组合下的溶解氧相关性最高,达到了 0.75,比四波段组合相关性还要高。

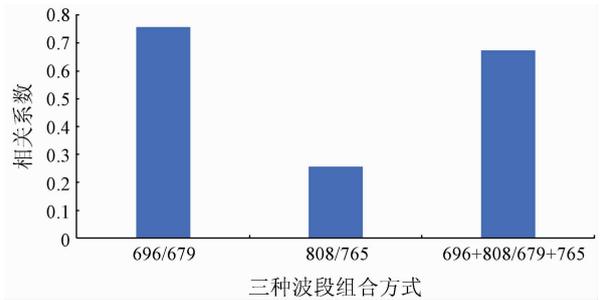


图 6 盐湖光谱多波段组合反射率与溶解氧含量的相关性  
Fig. 6 Correlation between multi-band combined reflectivity of salt lake spectrum and dissolved oxygen content

基于以上两波段组合的最高相关性,建立针对盐湖光谱特性的溶解氧反演模型: $y = 346.07x^2 - 684.24x + 345.39$ ,通过计算也可得出模型决定系数  $R^2$  为 0.948 6,建立的溶解氧多项式模型吻合度非常高(图 7)。

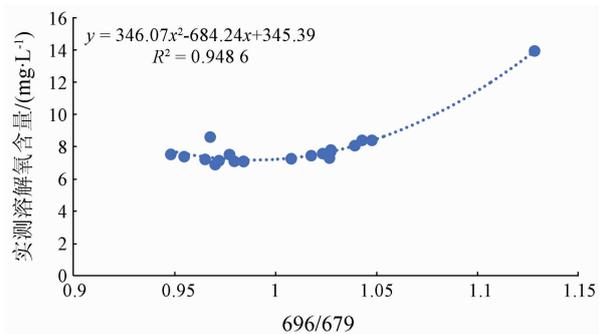


图 7 盐湖溶解氧多项式模型

Fig. 7 Salt lake dissolved oxygen polynomial model

利用建立的模型将剩余的 10 组数据拿来来进行模型精度验证。表 1 是本次野外实测的 10 组数据以及利用模型进行的预测数据。

表1 10组溶解氧含量实测与预测数据对比验证表

Tab.1 Comparison and verification of 10 sets of measured data and predicted data of dissolved oxygen (mg/L)

实测值	预测值	实测值	预测值
7.09	7.19	9.33	9.29
7.37	7.39	9.53	9.49
7.9	7.89	9.95	9.91
7.96	7.95	10.3	10.27
8.4	8.37	10.44	10.40

对两组数据进行线性回归分析可以看实测值与预测值线性拟合程度极高,  $R^2$  指数达到 0.999 4, 说明本次研究建立的模型精度达到可以进行盐湖反演的要求, 能够在一定程度上代表盐湖水体现阶段溶解氧含量的多少。

### 3 结果与分析

#### 3.1 反演结果

利用建立的溶解氧反演模型, 对四月份影像进行的高光谱反演结果如图 8 所示。

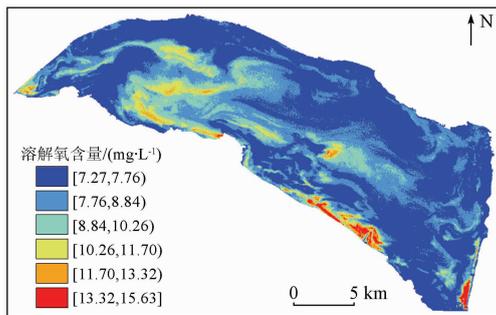


图8 盐湖水体溶解氧反演结果

Fig.8 Retrieval results of dissolved oxygen in salt lake water

利用当地盐湖集团 2019 年 11 月份的实测数据进行本次建立的模型具有一定的长效性的验证。表 2 为盐湖集团实测盐湖实测点坐标、溶解氧含量以及根据模型计算得到的预测值; 图 9 为盐湖集团实测数据与预测数据线性回归分析。

表2 盐湖集团实测数据与模型预测数据对比

Tab.2 Comparison of the measured data and model forecast data of Salt Lake Group

实测点	经度	纬度	实测值/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	预测值/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
1	E95°5'44.99"	N37°1'5.27"	8.9	8.7
2	E95°6'2.17"	N37°1'19.17"	9.8	9.2
3	E95°5'59.83"	N37°1'26.60"	8.2	8.8
4	E95°5'32.88"	N37°1'25.63"	7.7	7.8
5	E95°5'44.99"	N37°1'49.23"	7.3	7.6

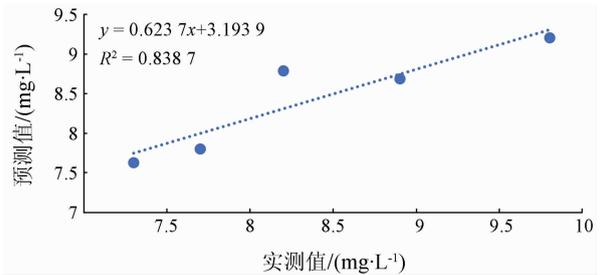


图9 盐湖水体溶解氧含量实测值与预测值分析

Fig.9 Analysis of measured and predicted values of dissolved oxygen in salt lake water

上述研究表明, 盐湖具有鲜明的光谱特性, 与淡水湖甚至淡咸水湖都有所不同, 而其鲜明的特性也是针对盐湖高光谱反演的重点。普通淡水湖可以通过单波段来寻找水质参数的相关性, 甚至在相关性不明显的情况下对光谱曲线进行一阶、二阶导数来寻找部分水质参数的相关性, 但盐湖因其水体富含各种矿物离子, 水体关系复杂, 常规性的关系无法寻找到一个良好的相关性支撑点, 而本次研究针对盐湖水体光谱特征, 反而可以建立一个相对准确, 甚至是具有长效性的反演模型, 为后续针对盐湖的高光谱反演开创了思路。

随着现在机器学习的蓬勃发展, BP 神经网络模型、支持向量机、随机树等预测方法在高光谱反演中越来越适用, 针对盐湖水体的复杂情况, 也许深度学习预测可以提供一种新的反演方法, 能够在这种高原密闭性水体中发挥不可忽略的作用<sup>[8]</sup>。

#### 3.2 结果分析

从盐湖溶解氧含量浓度以及空间分布特征来看, 四月份盐湖水体溶解氧含量大部分在 7.17 ~ 7.76 mg/L 之间, 少部分含量在 7 ~ 13 mg/L 之间, 整体含量较 11 月份数据偏低; 分布情况与入湖水体流向等因素关系密切。结合实际以及反演结果, 分析主要受以下原因影响:

1) 水位面积变化对水质参数的影响。有学者根据常年监测资料研究表明, 水位变化对水体理化因子有较大的影响; 还有学者发现在洪水期水体理化因子含量显著增大, 枯水期则相反。因此可以知道水位与水质有着密切的关系, 水位变化是影响湖泊水质参数变化的重要因素。以往调查资料显示, 察尔汗盐湖动态变化比较稳定。一般水位变化幅度 0.1 ~ 0.4 m, 每年 1 月底至 4 月初出现最低水位, 8—9 月中旬出现最高水位。地表卤水及地下水位变幅较大, 主要受补给的地表水径流控制。本次对 2020 年察尔汗盐湖地区进行的遥感动态变化解译工作表明, 达布逊湖 3 月份面积为 317.525 km<sup>2</sup>, 7 月份面积为 340.617 km<sup>2</sup>, 10 月份面积为 323.863 km<sup>2</sup>,

与历史调查资料吻合,具有明显的动态变化特征。从4月份开始地表水径流量逐渐增大,盐湖水位面积逐渐增加。因此与11月份相比,4月份溶解氧含量相对较低,与国内外水位变化对水质参数的影响研究结果一致。

2)入湖水体流量变化对水质参数的影响。根据学者对鄱阳湖水体流量的变化监测显示,到了湖水丰水期,水体入湖流量增大,提高了湖水对水质参数的迁移转化作用,减少了水质参数的堆积。丰水期流量大,到湖区扩散,流速减慢,总磷、总氮等含量相应减少,而枯水期水体流量减少,流速加快,总磷、总氮含量相应地增加。历史调查资料显示,察尔汗盐湖共有流域面积  $13.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约为柴达木盆地总内陆流域面积  $25.5 \times 10^4 \text{ km}^2$  的一半。北部的埃姆尼克山和锡铁山,由于海拔较低,没有超过区域雪线高度,因而没有冰雪融水补给的常年性河流,雨水贫乏,水分不足。区内达布逊湖注入湖区的常年性河流格尔木河的补给水量占75%以上。盐湖周边的主要河流,除北部的全集河外,其余全部发源于南部的昆仑山区,由天然降水和冰雪融水补给。根据历史调查资料显示,三四月份高山冰雪逐渐开始融化,格尔木河的补给量增大,注入盐湖的水流量增大,这也是导致盐湖水位面积上涨的主要原因。本次反演的溶解氧浓度分布从结果上看具有明显的水体流动特征,入湖水从盐湖西侧以及南侧几处注入,在湖区碰撞形成水体迂回区,该部分为盐湖溶解氧含量较高处,随后部分流向转变为自西向东,该部分溶解氧含量也相对较高,而受水流影响较小处溶解氧含量稳定,无太大变化,与实际情况符合。

3)含沙量对水质参数的影响。河流径流向湖泊带来大量的泥沙,泥沙含量的变化将对湖泊水质产生影响。根据前人学者对各个湖泊的变化监测结果显示,悬浮泥沙在含量增大时,总固体悬浮物增大,与之相反的湖泊透明度减小,其他吸附在悬浮物的水质参数也会相应地增大,当含沙量减小时,总固体悬浮物也减少,湖泊透明度增加,其他吸附在悬浮物的水质参数也会相应地减少。从反演结果来看,河流入湖处溶解氧含量较高,与前人学者研究结果一致,说明溶解氧在河流携带的泥沙上存在部分吸附,随水流进入湖区中,导致湖区河流入湖处含量偏高,与实际情况相符。

## 4 结论

1)本次针对高原盐湖的高光谱溶解氧反演模型建立研究,既是对国产 ZY1-02D 卫星在水体高

光谱应用方面的一次应用验证,也为高原盐湖水体高光谱反演奠定了一定的基础,就反演结果来看,符合实际情况,具有一定的适用性。

2)针对具有鲜明特性光谱曲线的盐湖水体,从其特性建立反演模型更为便捷准确,在面对复杂光学特性的水体时从其光谱特点出发可以更为有效地建立模型,而且这种特性正是高光谱遥感所追求的将不同物质分开的根本所在,利用这种物质特性,采用不同的数学方法,甚至于深度学习,可能会是一种更为有效的高光谱反演手段。

3)青藏高原作为中华水塔,有着不可忽略的重要地位,如今淡水领域的高光谱研究日益丰满,但针对高原盐湖的高光谱研究极为稀少,本次研究作为建立高原盐湖监测体系的开端,将大力推进该体系的建设,做到利用现代卫星遥感技术进行全方面的生态环境保护。

## 参考文献 (References):

- [1] 刘国新,李长俊.对青海省盐湖资源开发利用管理工作的探讨[J].青海国土经略,2019(2):22-26.  
Liu G X, Li C J. Discussion on the development and utilization of salt lake resources in Qinghai Province [J]. Journal of Qinghai Homeland Economic Strategy, 2019(2): 22-26.
- [2] 锁贺祥,何刚,毛亚曼.青海盐湖资源综合利用的现状、问题及对策[J].攀登,2006(5):72-74.  
Suo H X, He G, Mao Y M. The status quo, problems and countermeasures of comprehensive development and utilization of salt lake resources in Qinghai [J]. Climbing Magazine, 2006(5): 72-74.
- [3] 祝令亚.湖泊水质遥感监测与评价方法研究[D].北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2006.  
Zhu Y L. Research on remote sensing monitoring and evaluation methods of lake water quality [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2006.
- [4] 江辉.基于多源遥感的鄱阳湖水质参数反演与分析[D].南昌:南昌大学,2011.  
Jiang H. Inversion and analysis of water quality parameters of Poyang Lake based on multi-source remote sensing [D]. Nanchang: Nanchang University, 2011.
- [5] 宋挺,周文麟,刘志军,等.利用高光谱反演模型评估太湖水体叶绿素a浓度分布[J].环境科学学报,2017,37(3):888-899.  
Song T, Zhou W L, Liu J Z, et al. Evaluation of Chlorophyll a concentration distribution in Taihu Lake using hyperspectral inversion model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(3): 888-899.
- [6] 陈瑶,黄长平,张立福,等.水体COD光谱特性分析及遥感反演模型构建[J].光谱学与光谱分析,2020,40(3):824-830.  
Chen Y, Huang C P, Zhang L F, et al. Analysis of water COD spectral characteristics and construction of remote sensing inversion model [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2020, 40(3): 824-830.

- [7] 王冰, 安慧君, 吕昌伟. 基于多源遥感数据的呼伦湖溶解氧反演模型[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 993-998.  
Wang B, An H J, Lyu C W. Retrieval model of dissolved oxygen in Hulun Lake based on multi-source remote sensing data[J]. Functional Ecology, 2013, 32(4): 993-998.
- [8] 周亚敏, 张荣群, 马鸿元, 等. 基于BP神经网络的盐湖矿物离

- 子含量高光谱反演[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 34-40. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.06.
- Zhou Y M, Zhang R Q, Ma H Y, et al. Retrieving of salt lake mineral ions salinity from hyperspectral data based on BP neural network[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(2): 34-40. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.06.

## Application and exploration of dissolved oxygen inversion of plateau salt lakes based on spectral characteristics

DU Cheng<sup>1,2,3</sup>, LI Delin<sup>1,2,3</sup>, LI Genjun<sup>1,2,3</sup>, YANG Xuesong<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources of the Northern Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810012, China; 2. Qinghai Remote Sensing Big Data Engineering Technology Research Center, Xining 810012, China; 3. Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China)

**Abstract:** The studies on the hyperspectral inversion of salt lakes are still scarce due to the limitations of geographical conditions at present. This study explores the inversion ideas and methods of the water quality parameters of salt lakes by taking the dissolved oxygen inversion of a salt lake as an example. Based on the analyses of the hyperspectral data of the Chaerhan Salt Lake in Qinghai Province and the hyperspectral inversion technology of water quality parameters, this study determined the hyperspectral inversion model of the dissolved oxygen in the salt lake by means of waveband combination using the unique spectral information of the water body of the lake. The results show that the correlation coefficient between various wavebands of the original spectrum curve and the dissolved oxygen content was less than 0.3, while that between the band combination data in the unique spectral information of the water body and the dissolved oxygen content was greater than 0.75. According to the precision verification of the finally established band ratio model using the measured value, the inversion result of the dissolved oxygen content was roughly consistent with the measured value. It is impossible for the water quality parameters to significantly change with time owing to the relatively stable nature of the water body of the salt lake. Therefore, the verification using the measured data of November 2019 can also indicate that the waveband ratio model established based on the spectral characteristics of the salt lake enjoys high precision for a long term. Therefore, the hyperspectral inversion model can meet the precision requirements for the large-area monitoring of the dissolved oxygen in the lake area. Meanwhile, this study also proposed a new idea for the establishment of the inversion model of plateau salt lakes, which lays a foundation for the establishment of the monitoring system of plateau lakes in the future.

**Keywords:** hyperspectrum; spectral characteristics of a salt lake; dissolved oxygen inversion

(责任编辑: 张仙)