

# 遥感技术在湖泊环境变化研究中的应用和展望

蔡伟<sup>1,2</sup>, 余俊清<sup>1</sup>, 李红娟<sup>3</sup>

(1. 中国科学院青海盐湖研究所西安二部, 陕西 西安 710043;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 宁波服装学院, 宁波 315100)

**摘要:** 遥感技术由于能够快速、宏观的获得研究区域的数据, 已成为湖泊环境动态变化监测的重要技术手段。高分辨率的卫星遥感图像不仅可以为准确判读湖区地质地貌、自然与人为作用下的环境变化、盐湖矿产资源的分布等提供直观的影像, 还能为湖泊水质监测、水深检测、水面温度反演以及盐湖卤水动态分析提供有价值的信息。遥感技术在湖泊环境变化研究中的应用正逐步从定性发展为定量研究, 因此, 对于区分湖泊水体中不同组分对遥感图像各光谱值的贡献等遥感机理的认识及理论尚需进一步深化, 同时需要对处理遥感数据所运用的统计分析方法做进一步的改进以建立更加完善的遥感模型。今后, 遥感技术和地理信息系统等多种信息处理工具的结合将是环境信息系统发展的主要方向。

**关键词:** 遥感; 湖泊环境监控; 遥感模型

中图分类号: P343.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2005)04-0014-07

## 0 引言

湖泊是一个多功能的资源库, 它既积极参与自然界的水循环, 又是江河的重要补给源和水源涵养区。近年来, 由于全球气候变化, 加之不合理的人类活动引起了湖泊生态环境的变化乃至恶化, 湖泊的监测和调查对生态环境的建设、湖泊资源的综合利用有着十分重要的意义。以往常规的湖泊调查方法都是通过实地考察取样来对其进行分析, 往往要耗费巨大的人力、物力, 而遥感由于其全面、快速、数据量大以及更新快的优势而越来越被科研工作者所青睐。它正被广泛的应用在水质监测, 湖泊的动态环境变化以及盐湖开发等领域。

## 1 水体遥感的原理、特点

卫星遥感图像记载了地物对电磁波的反射

及自身的热辐射信息。由于不同地物其结构、组成及物理、化学性质的差异导致了其波谱特征各不相同, 在卫星上, 各种地面物体都有一个能使其得到最佳显示的波段。水体在可见光——近红外波段(400~2500 nm)的反射率很低, 约1%~4%, 平均反射率约为2%。从可见光到近红外波段, 随着波长的增大, 反射率逐渐降低, 在波长大于2400 nm以后, 反射率降至最低, 几乎为零。而土壤和植被在近红外和中红外波段的电磁波被强烈的反射, 能较好的反映水体边界及植物的分布和生长状况, 所以水体在近红外波段上与土壤和植被有明显的区别。湖泊等水体的遥感, 主要是通过遥感器探测记录水的光谱特征得以表征。因此, 水体的影像特征与水的光谱特性紧密相关。湖泊水体在可见光范围内, 其影像色调与水体的悬浮物微粒数量、粒径大小、及混浊度有关。随着遥感技术的应用, 资源、气象卫星等探测到的各种遥感

收稿日期: 2005-02-01

作者简介: 蔡伟(1981-), 男, 硕士研究生, 地球化学专业

信息,为揭示湖泊的变化及其影响创造了条件。由于卫星遥感图像具有周期性、宏观性和现实性的特点,因此,运用遥感技术对湖泊、水库等水体进行洪涝灾害、矿物质含量、水体温度的反演及其变化、水面面积、水体污染、水生植物等调查,有着快速、实时性的优势,具有广阔的应用前景。

## 2 遥感在湖泊领域中的应用

### 2.1 水质监测

以往所经常采用的常规的水质监测方法是通过在试验区进行人工取样来对叶绿素 a 和悬浮物这两个反映水质的主要指标进行检测,这种通过人工采样、过滤、萃取及分光光度计分析确定浓度的监测方法比较费时费力,而且只能了解监测断面上的水质状况,对于整个水体而言,这些测点数据只具有局部的代表意义,无法获得整个湖区水质信息的时间、空间分布情况。在这种情况下利用遥感技术获取这些信息除了可以有效地解决由于观测数据而造成的局限性,还具有速度快、成本低、便于长期监测的特点。

自然界中水体的反射波谱曲线与清水的反射波谱曲线之间有很大的差异,由于水中的藻类及泥沙的影响,自然界中的水体反射率一般都比清水高,这正是进行水质检测和分析所依据的原理。遥感传感器记录的辐射值与水中组分的含量密切相关,因此可以通过辐射值估测水体中各组分的含量,实际分析中一般采用的都是半经验的方法,这种方法的关键部分是对遥感数据进行适当的统计分析来得到水质参数同其遥感光谱值之间的关系并建立起水质反演的模型。目前通过遥感图像可以反映的水质指标包括:水体透明度、叶绿素 a 浓度、悬浮颗粒物浓度以及溶解性有机物、水中入射与出射光的垂直衰减系数等<sup>[1]</sup>。目前在水环境参数研究和应用中比较成熟的是水体中叶绿素浓度和悬浮物浓度的提取。

水体的富营养化监测是水质监测的一个重要内容;湖泊的富营养化,极大的降低了水体的

生态环境、水产养殖、旅游观光、水源供应等多种功能,会对城市经济及居民生活造成负面影响。因此如何及时准确的了解湖泊富营养化的状况和监测其变化的趋势,对改善湖泊环境、充分发挥湖泊水体应有的各种功能有着十分重要的意义。水体富营养化的主要标志是某些藻类(如蓝绿藻)高度富集,藻类属于低等浮游植物,由于其细胞中的叶绿素体能进行光合作用,故藻类的光谱特征基本上类似于陆地植被,即在可见光波长范围,由于叶绿素的存在而形成绿色光谱反射峰;在 0.7 ~ 1.1 $\mu\text{m}$  反射红外区,由于藻类细胞结构特点而强烈反射太阳光谱能量而具有极高的反射率。而表征藻类浓度的一个主要指标是水体叶绿素浓度,因此,水体叶绿素浓度便成为评价水体营养状况的重要参数。叶绿素本身呈深绿色或橄榄绿色,它们对绿色光(490 ~ 570 nm)的反射率较大,对蓝紫光及红橙光则具有强烈的吸收效应。正是基于藻类的这些光谱特征,我们可以方便的从多光谱、高分辨率的遥感资料中获取准确、详尽的藻类空间分布和密度信息。

利用遥感技术对陆地水体的研究从单纯的水域识别发展到对水质参数进行遥感监测始于上个世纪 70 年代<sup>[2]</sup>,我国利用遥感技术开展水体污染研究则始于上世纪 80 年代初期,是在天津市环境遥感试验研究中,采用光谱辐射计和地物光谱仪等传感器对不同类型水体进行光谱反射率的测试,建立了不同水体的光谱反射曲线,并据此定性的检测了水体的污染程度和污染类型。对于定量遥感监测叶绿素 a 浓度,目前主要应用的是半经验的方法,如根据各水质参数的光谱特征选择估算出反演水质参数的最佳波段组合,然后利用统计分析和实测数据对水质进行反演<sup>[3]</sup>。通常的叶绿素遥感定量模型都是研究叶绿素的反射峰(TM4)和叶绿素的吸收峰(TM3)的反射比与叶绿素浓度的相关性,通过对二者进行二次多项式拟合并最终得出反演模型<sup>[4]</sup>,这种方法的优点是可以大大减小数据处理的难度;有学者认为上述方法没有充分提取 TM 数据中包含的水体叶绿素信息、因而选择 TM3、TM4 和 TM7 等多个敏感波段值作为自变量,对其进行线性和非线性变换后建

立了叶绿素含量的遥感定量模型,改进了这一算法<sup>[5]</sup>。另外,还有学者采用阈值法对 TM 各波段灰度值与湖泊营养指数之间的线性关系模型对水质进行分析<sup>[6]</sup>。

悬浮物浓度是反映水质的另一个重要参数,其分布、扩散、沉降都会影响湖泊的生态环境。悬浮物的浓度、颗粒大小和其组成是影响悬浮物光谱反射的主要因素。遥感监测湖泊悬浮物质含量的原理同监测  $chl-a$  的原理基本相同,都是通过研究水体的反射光谱特征同悬浮物含量之间的关系、最终建立悬浮物含量的反演模型<sup>[7]</sup>。国内外已有很多学者对此进行了研究,建立了多种理论与经验模型,最早是线性关系模型<sup>[8]</sup>,此模型较为简单,但只适合低浓度的悬浮泥沙水体;之后又出现了 $\ln$ 模型<sup>[9]</sup>,由于其形式简单,计算方便,因而得到了广泛的应用,但也只能适用于悬浮物浓度不高的水域;后来,李京提出了复指数模型<sup>[10]</sup>,在很大程度上克服了线性模型和对数模型的精度随悬浮物浓度增大而降低的缺陷。除上述专门的算法外,许璠等采用 SPOT 数据通过最大似然法对台湾淡水河水体的含沙量做了分析<sup>[11]</sup>;有学者利用光谱分离法对太湖水域叶绿素浓度和悬浮物浓度做了反演<sup>[12]</sup>,相对于 landsat 的 TM 数据,成像光谱仪可以在一定程度上提高模型的精度。

在利用遥感技术进行水质监测时,反演精度往往会受水深和底质的影响。目前利用遥感技术对湖泊水质参数的反演尚无法达到精确的定量程度的评价,主要是由于水体的反射特性比较复杂,它包含水的镜面反射(无云或少云天空时)、水的表面反射、水体反射、以及水底地形反射,而如何有效地区分和识别这些不同的反射特性,是目前的技术难点。

## 2.2 水深变化的检测

水深量测是水资源利用、洪涝、风暴潮灾防治等方面必不可少的一项工作。面积大到海洋,小到河沟,时间长到岸滩、河口演变,短到水位瞬间暴涨,都需要了解有关区域水深的变化状况。近年来,随着量测技术,定位技术和制图技术的不断发展,水深量测技术也得到了相应的发展。传统的水深量测方法是利用船上安

装的测深杆、回声测深仪等测深设备和雷达定位仪等定位设备将测出水域中所布各点的水深,用 GPS 接收机采集定位数据,再按出图要求计算并制图,从而得到所测水域水下地形图。这种方法获取水深资料十分不易,连续的全景水深图更难以得到。遥感测深技术的出现大大弥补了传统方法的缺陷。

遥感测深是一种间接性的测量方法,主要是通过建立水深和水体辐射之间的可靠关系对水深进行反演。国外在 20 世纪 60 年代末就从机载的真实孔径雷达图像上观测了浅海的水下地形<sup>[3]</sup>,目前的遥感测深方法可从传感器的探测方式分为被动式遥感测深技术和主动式遥感测深技术。

被动式多光谱遥感测深技术所用的遥感数据多为多光谱数据,其测量水深的原理是:由传感器对量测水域发射和反射的电磁波谱进行记录和收集并将其传回地面,再通过处理这些记录了水底地形性质的电磁波来得到水深数据和水下地形图。在 TM 图像中,水体的辐射总量主要由大气反射、水面反射、水中悬浮物质反射和水底反射组成。当大气、水面和悬移质反射不随空间变化时,水体总辐射强度则随水深加大而减弱。水深遥感正是利用了这一水深—辐射的变化关系。

传感器所接收的光辐射主要来源于水底的反射辐射,水—气界面的反射辐射以及水体的后向散射。影响这一传递过程的因子包括:大气层的辐射、气—水界面反射与折射、水体吸收与散射、水底反射。其中大气层的辐射可以通过大气校正得到较好的解决,因此目前遥感测深的关键技术在于进一步研究水体及水体中的悬浮物质对可见光能后向散射产生的影响以及区分不同底质类型对影像灰度值的影响,已有学者对此做出了尝试性的研究<sup>[14]</sup>。

研究者试图通过研究光和水体及水底之间的相互作用得出水深反演的遥感模型。如党福星等利用反映水深的辐射度与光在水中衰减程度的线性关系:

$$I = A_1 + A_2 \exp(-A_3 z \text{水深})$$

并通过研究不同底质的遥感图像光谱值之间的关系得出了两种底质的水深遥感模型<sup>[15]</sup>。王

国兴等根据水深信息传递过程和卫星传感器所接收的光辐射之间的关系:

$$P_Z(\Delta\lambda) = \int_{\Delta\lambda} [\rho(\lambda) e^{-(\sec\theta + \sec\varphi)\alpha(\lambda)Z} + P_{a/w}(\lambda)] L_\lambda d\lambda + P_{SC}(\Delta\lambda)$$

利用 SPOT 卫星 1、3 波段的水底反射率比值消去了水体底质的影响,使其有了更广泛的适用性,并得出了武昌湖区的水深模型:

$$Z = 11.43 \ln(\text{spot1}/\text{spot3}) - 5.39^{[16]}$$

鉴于上述靠求解水体光谱传导系数反演水深在实际操作中会受环境因素的制约以及同步测量的一致性问题,有学者提出了水深—辐射关系同相率定方法的思路<sup>[17]</sup>。希望能够在有可比性的水域中,通过已知的水体遥感辐射量,借助于已经确定的局部稳定的水域的“水深—辐射”关系,推求出未知区域的水深。此方法虽然解决了遥感资料和水深实测资料一致性的矛盾,但确定“同相”水体时有足够的水文学知识和经验。

目前主动式遥感测深主要是利用合成孔径雷达 SAR 来完成的。星载的合成孔径雷达具有全天时、全天候、大范围 and 空间分辨率高的特点,而且其还具有很强的水下地形和水深信息的获取能力。由于微波对水体的穿透能力非常小,因此 SAR 不能直接用来观测水下地形和水深,但由于水面的后向散射与水下地形和水深密切相关, SAR 可以通过测量水面的后向散射来反演水下地形和水深<sup>[18]</sup>。目前用 SAR 量测水深主要关注的问题是如何选取最佳的波段,极化方式和雷达波束的入射角度。

就目前而言,建立的水深反演模型往往只能适用于特定的水域,模型的移植性较差,而且只是在较为清澈的浅水区取得一定的进展,主要是水体清澈时其后向散射影响不明显,如何提高模型的适用范围尚需做进一步的研究。

## 2.3 湖泊环境动态变化的遥感分析

### 2.3.1 湖泊面积及湖岸线的变化

在地质调查过程中,以往所采用的常规的观测方法往往耗时费力,而且多受环境条件限制,很难获取整体湖面变化信息。利用遥感技术进行湖泊资源的调查,能够迅速获取湖泊信息在时间、空间上的变化。对湖水面积及湖岸

线的变化有多种变化检测方法。最为常用的是利用多时相的遥感图像进行叠合对比的方法<sup>[19]</sup>;其它如分类后对比检测<sup>[20]</sup>,还有图像代数变化检测算法,多时相图像主成分变化检测等。对湖泊面积的动态监测还可以被用来研究湖泊的演化,如戴锦芳等采用动态对比法,通过对古丹阳湖地区的不同年份、不同季节的遥感图像之间进行对比分析,遥感图像与地图等其他非遥感资料的对比,分析了古丹阳湖的演变与消亡过程<sup>[21]</sup>。

### 2.3.2 湖水温度的反演以及湖冰的变化

湖水温度状况是影响湖水各种理化过程和动力现象的重要因素,也是湖泊生态系统的环境条件,它不仅影响生物的新陈代谢和物质的分解,而且也是决定湖泊生产力的重要指标,同时,湖水温度还可以作为衡量区域环境变化的重要指标。

对湖泊温度的研究是从对海水温度的研究逐渐发展而来的。国外在这一领域开展较早,技术水平也高于我国,建立水温反演模型比较常用的是统计回归的分析方法,即利用 NOAA 卫星远红外通道(AVHRR4,5通道)的亮温值对水温进行反演<sup>[22]</sup>。其优点是需要的参数少,但建立的模型是对特定的区域有较高的精度,区域适应性差;而且反演得到的海温只是表层几微米内的水温,与传统意义上的水温有差别。Sabine Thiemann 等提出了新的计算方法,通过 NOAA/AVHRR 数据得到了湖水表层的总体温度(4 m)误差仅为 1℃<sup>[23]</sup>。国内还有学者通过 MODIS 数据,采用非线性算法对青海湖水面温度反演进行了研究,反演精度可达到 0.5℃;同时还利用 KEY 等人提出的冰面温度反演模型对青海湖冰面温度进行了计算,取得了良好的效果<sup>[24]</sup>。

## 2.4 遥感在盐湖环境研究中的应用

盐湖蕴藏着非常丰富的盐类资源,如石盐、芒硝、镁盐、钾盐、锂盐等。盐湖资源的开发利用在发展我国国民经济中处于非常重要的地位。遥感作为一种新的勘察及监测手段,其在盐湖研究领域的应用也受到越来越多的关注。目前遥感在盐湖研究领域的应用主要有以下几

个方面。

#### 2.4.1 对盐湖周围地理环境及其演化的解译

通过对盐湖及其周围地理环境的遥感图像解译,我们可以充分了解研究地区的地质构造,地形地貌,水系分布等地理环境资料<sup>[25]</sup>;通常盐湖地区的气候都较为干燥,植被稀少,因而生态环境脆弱,通过对湖区环境的监测,提供实时、动态的遥感信息,可以有效的辅助地方政府进行环境保护<sup>[26]</sup>;有学者专门对某些盐湖资源在遥感图像上的特征做了研究,提出钾盐在 TM (7, 4, 1 或 4, 7, 3)合成图像上的反射率明显低于周围地物<sup>[27]</sup>;在热红外遥感图像中盐壳的辐射亮度值取决于盐壳表面对太阳辐射的吸收率,盐壳的物质成分,晶间卤水的水位深度等<sup>[28]</sup>,并将这些技术成功的运用于罗布泊钾盐基地的勘查项目中<sup>[27]</sup>。另外,刘国庆,熊先孝等利用 ETM 遥感数据建立了新疆东部石英滩—裤子山地区盐湖的硝酸盐矿的解译标志,并对其进行了资源评价<sup>[29]</sup>。国外也有学者做了相应的研究:如 Ming Chih Hung 利用卫星图片对美国大盐湖的湖水动力学进行了研究。犹他州立大学的研究人员还试图通过对大盐湖湖水水温的长期观测来了解该区的气候和环境变化,如预测暴风雪等灾害,目前还处在实验阶段。

由于遥感图片能够宏观而且直接的显示研究区域的信息,具有以往普通实地调查方法所不具有的优势,因此遥感技术还被作为研究盐湖演化的有效手段,如王飞跃等利用雷达卫星数据穿透能力强的特点,对吉兰泰地区的古湖堤做了研究,分析了吉兰泰盐湖演变的过程<sup>[30]</sup>;还有学者利用遥感方法对罗布泊盐湖新近沉积物的分布规律做了成因解释并建立了新近沉积物的顺序年表<sup>[31]</sup>,这些成果都为盐湖成因及其演化的研究提供了新的思路。

#### 2.4.2 对盐湖卤水的动态变化监测

盐湖研究的一个重要目的就是为了更好的开发和利用盐湖资源,但目前国内外对盐湖开发过程中的遥感应应用研究的报道比较少。有学者针对遥感在盐湖生产过程中的应用做了研究,如胡东生通过逐日提取 NOAA 卫星遥感数据对察尔汗盐湖卤水分异作用及盐湖采卤中心

的迁移进行了动态分析,划分了晶间卤水与湖水的共界面过渡带,并通过数据分析明确地显示出了采卤中心的变化<sup>[32]</sup>。应用这一技术可以及时的掌握采卤生产质量情况和调配采卤工程,为盐湖矿产资源的生产提供直接指导。其快速全面的优势是其他任何技术手段都不能比拟的。

### 3 存在的问题及发展趋势

目前,遥感在内陆湖泊研究中的应用有了长足的发展,但仍存在一些问题。例如:有些遥感数据的精度不高的问题。遥感是依赖于传感器在高空对地表物体进行监测,遥感数据本身的精度在分类研究中对结果有着直接的影响。目前常用的一些遥感数据分辨率普遍偏低,例如:MSS 的分辨率为 79~82 m, TM 的分辨率为 30 m(1~5, 7 波段)和 120 m(6 波段), SPOT 卫星的分辨率为 10 m(全色单波段 PA)、20 m(多波段 XS);不过这一问题会随着光学技术的提高而解决,如现在的民用卫星的分辨率最高已可达 0.65 m(quickbird 数据)。在遥感图像中,一个像元内的光谱值是这一范围的平均值,但在实际采样得到的却是采样点的光谱值,两者无法达到严格对应的程度,有了高分辨率遥感图像的支持,遥感监测的精度将会大大提高。在实际操作中,除提高遥感图像的分辨率对其进行改进外还可尽量增加布点的范围和数量,以最大限度的提高模型的准确度。

再如,大气和水体的反射、散射等自然状况复杂,地物辐射信号很容易受到自然情况波动的影响。在地物辐射传输的过程中,大气条件的自然波动会引起图像数据中依附在辐射亮度里的各种失真,所以我们必须要对遥感图像进行大气校正。虽然很多学者也提出了不同的大气校正模型,但对于任何一幅图像,其对应的大气数据几乎永远是变化且难以得到的,所以不可能应用完整的模型纠正每个像元,因此大气校正后的辐射值的准确度需要不断改进。

在水质以及水深的反演过程中如何进一步区分出各组分对水体辐射的贡献是目前遥感技术的难点。遥感图像中的光谱值包含了水体中

各个组分的贡献,但我们感兴趣的研究对象及具体分析水质参数时仅针对其中一项,其它组分很容易对模型精度产生影响,目前尚不能精确的分析水体各组分对辐射值的贡献,导致反演过程中各组分间容易互相干扰,降低反演精度。对此尚需进一步提高对遥感机理的认识,系统深入的研究水体各组分的内在光学特性,进行各组分的定量提取和组分间混合信息的剥离,消除组分间的相互干扰。同时,统计分析也是遥感数据处理的重要一环,通过对统计分析算法的改进,可以充分挖掘遥感数据中的信息,有效提高模型反演的精度。

遥感在湖泊领域的研究方法和内容虽然多种多样,但归根结底还是一个反演问题,都是依靠半经验的方法建立起各种模型对目标进行反演,这需要地面实测资料的辅助进行对比分析,在反演过程中,理论上要求遥感图像的获取时间和地面资料的实测时间一致,这在执行上有一定的难度。对湖泊各项水文参数的反演是一个复杂的过程,如果仅仅采用遥感这一种信息处理手段是远远不够的。近年来遥感技术和地理信息系统技术的结合已应用到越来越多的领域并体现出很大的优势。遥感技术(RS)获取信息可以不受区域环境条件的限制方便任何时间采集地理信息,获得的遥感卫星资料具有实时、连续、准确地反映大范围地表信息的特点。在对遥感图像中的各类别进行分类时,由于“同物异谱”、“同谱异物”的情况时常发生,影响了图像中各类别的分类精度,这时,在地理信息系统(GIS)的支持下,可以补充一些非遥感信息参与遥感分类,以提高分类精度。此外,还可以利用地理信息系统提供的非遥感信息参与遥感信息的各种定性、定量分析,加大信息挖掘的深度,提高遥感信息的适用效率。地理信息系统能够存储空间信息和属性信息,其分析模块具有强有力的地学分析功能并能够大量地从已有数据中获取感兴趣的地理信息。因此,RS是GIS的重要信息源和数据更新手段,GIS是遥感信息提取与分析的重要手段,可以说二者的结合是现代资源和环境信息系统的发展方向。

#### 参考文献:

[1] Wezemak, C. T., Tanis, F. J., and Bajza, C. A., Trophic state

analysis of inland lakes[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1976, (5):147-165.

- [2] Ritchie, J. C. and Cooper, C. M. . An algorithm for estimation of surface suspended sediment concentrations with Landsat MSS digital data[J]. *Wat. Res. Bull.*, 1991, (27): 373-379.
- [3] Gitelson A, Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring inland waters quality[J]. *Int J Remote Sensing* 1993, (14): 1269-1295.
- [4] 疏小舟,尹球. 内陆水体藻类叶绿素浓度与反射光谱特征的关系[J]. *遥感学报*, 2000 (1): 41-45
- [5] 余丰宁,李旭文. 水体叶绿素含量的遥感定量模型[J]. *湖泊科学*, 1996, (3): 201-207.
- [6] 张海林,何报寅. 武汉湖泊富营养化遥感调查与评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, (1): 72-75.
- [7] Choubey V K. Laboratory experiment, field and remotely sensed data analysis for the assessment of suspended solids concentration and secchi depth of the reservoir surface water[J]. *Int J Remote Sensing*, 1998, (17): 3349-3360.
- [8] Williams A N, Grabus. Sediment Concentration Mapping in Tidal Estuaries[A]. *Third Earth Resource Technology Satellite-1 Sym R NASA SP-351[C]*. 1973, 1347-1386.
- [9] Klemas B V. Coastal and Estuarine Studies with ERIS-1 and Skylab[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1974, (3): 153-174.
- [10] 李京. 水域悬浮固体含量的遥感定量研究[J]. *环境科学学报*, 1986, 6(2), 166-173.
- [11] 许瑜,方红亮,等. 运用 SPOT 数据进行河流水体悬浮固体浓度的研究—以台湾淡水河为例[J]. *遥感技术与应用*, 1999, 14(1): 17-22
- [12] 刘堂友,匡定波. 湖泊藻类叶绿素 a 和悬浮物浓度的高光谱定量遥感模型研究[J]. *红外毫米波学报*, 2004, (1): 29-33.
- [13] De LOOR G P. The observation of tidal patterns, currents and bathymetry with SIAR imagery of the sea[J]. *IEEE Trans Geosci Electron*, 1981, OE-6: 124-129.
- [14] 庞蕾. 星载多光谱浅海水深测量方法[J]. *山东理工大学学报(自然科学版)*, 2003, (6): 59-61.
- [15] 党福星. 多光谱浅海水深提取方法研究[J]. *国土资源遥感*, 2001, (4): 53-58.
- [16] 王国兴.SPOT 卫星资料在水深信息中的应用[J]. *河海大学学报*, 1998, (6): 77-81.
- [17] 丁贤荣. 同相水深—辐射关系率定[J]. *河海大学学报*, 1998 (6), 73-76.
- [18] 黄韦良. 星载 SAR 水下地形和水深遥感的最近雷达系统参数模型[J]. *遥感学报*, 2000, (3), 172-177.
- [19] 沈芳,匡定波. 青海湖最近 25 年变化的遥感调查与研究[J]. *湖泊科学*, 2003, (4): 289-296.
- [20] 施晶晶. 中巴资源一号卫星湖泊信息提取—以南京景为例[J]. *湖泊科学*, 2001, (3): 280-284.
- [21] 戴锦芳. 遥感技术在古丹阳湖演变研究中的应用[J]. 湖

- 泊科学, 1992, (2): 68—72.
- [22] 张春桂. 福建省近海区域海面表层温度的卫星遥感应用研究[J]. 国土资源遥感, 1999, (1): 25—28.
- [23] Sabine Thiemann and Helmut Schiller. Determination of the bulk temperature from NOAA/ AVHRR satellite data in a midlatitude lake[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2003, (4): 339—349.
- [24] 杨英莲, 殷青军. 青海省湖泊遥感监测研究[J]. 青海气象, 2003, (4): 37—41.
- [25] 刘兴起, 葛文胜. 吉兰泰盐湖区域地质特征及其形成演化的遥感解译[J]. 海洋与湖沼, 2002, (2): 145—150.
- [26] 张辉, 韩凤清. 吉兰泰盐湖地区沙漠环境变化的遥感研究[J]. 盐湖研究, 2001, (4): 48—51.
- [27] 王学佑. 罗布泊特大型钾盐矿产基地的发现[J]. 遥感信息, 1996, (4): 19—22.
- [28] 谢连文. 热红外图像钾盐异常信息解释[J]. 国土资源遥感, 2000, (2): 9—12.
- [29] 刘国庆, 熊先孝, 等. 遥感技术在新疆东部石英滩—裤子山地区盐湖硝酸盐资源评价中的应用[J]. 化工矿产地质, 2004, (1): 29—34.
- [30] 王飞跃. 吉兰泰盐湖演变卫星雷达遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2001, (4): 62—67.
- [31] 谢连文, 黄思静. 甚年轻沉积物的高分辨率遥感定年方法探讨[J]. 地质科技情报, 2003, (3): 83—86.
- [32] 胡东生. 气象卫星 NOAA 遥感数据在盐湖动态变化中的应用研究[J]. 科学通报, 1996, (7): 1311—1314.

## Application and Prospect of Remote Sensing Techniques to Lake Environmental Monitoring

CAI Wei<sup>1, 2</sup>, YU Jun-qing<sup>1</sup>, LI Hong-juan<sup>3</sup>

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710043, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Ningbo Fashion Institute, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** Remote sensing technique has recently become one of the important means for observing and monitoring dynamic changes of large lakes, since it holds the advantage of collecting large-scale geographic information in a convenient and fast way. Satellite images with high-resolution can be used to obtain information on water quality, surface temperature and water depth of a large lake and on dynamic distribution of brine in salt lakes, in addition to providing straightforward pictures helpful of identifying geomorphologic features in lake areas and environmental change with time, which was resulted from either natural processes or human activities. Better methods distinguishing the contribution of various components to the sensing spectrum and a better understanding on related sensing mechanism are urged in aiming at quantitative applications to lake research. A further improvement of statistic methods applied in dealing with sensing data is required in order to upgrade models with better precision. Future direction of developing this discipline is to innovate new means combining a variety of tools from RS and GIS for information analysis.

**Key words:** Remote sensing; Lake environment monitoring; Remote sensing model