

高分辨率遥感数据在水质监测中的应用

陈洁 藏小平

(长江流域水环境监测中心 湖北 武汉 430010)

摘要: 本文简述了水质遥感监测原理、可用的高分辨率卫星遥感数据以及分析方法。主要综述了遥感在内陆水体水质监测中的应用现状, 讨论了这一技术在该领域应用中的利与弊以及今后的发展趋势。

关键词: 水质; 遥感; 监测; 应用

The Application of High Resolution Satellite Data in Water Quality Monitoring

Chen Jie, Zang Xiaoping

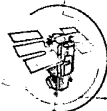
(Monitor Center of Yangtse River Valley Water Resources, Hubei, Wuhan, 430010)

Abstract: The paper reviewed the principles of using remote sensing to monitor the water quality, available high resolution satellite data sources and analytic method .Firstly, It summarized the application of remote sensing in water quality monitoring.Secondly, It discussed the application of this technic which is work for the monitoring or work against it.Finally, the author summarized the key research points and directions.

Key words: water quality; remote sensing; monitoring; application

随着经济的发展, 环境问题也日益突出和全球化, 而水作为人类赖以生存的重要因素, 其污染问题已成为制约我国经济发展的瓶颈, 水资源保护迫在眉睫。水环境监测为保护水资源提供决策和依据, 其力度和手段也应该随着科技的不断进步而加强和发展。

卫星遥感技术在水资源保护领域的研究和应用还处在不断深化的阶段, 尤其对于内陆水体水质的遥感监测, 虽然有了些初步的应用, 但遥感技术作为获取环境信息的强有力手段, 以它所具有的区域性、动态性和同步性等优势将使其成为水质监测研究和应用的重点。



1 水质遥感监测原理

水体由其本身的物质组成不同以及状态不一而具有不同的光谱特性,这些特征在高分辨率卫星遥感数据中会有敏感的反应。通过量测一定波长的水体辐射值得到其光谱特征,在可见光波段 0.6 微米之前反射率较低,其中水面反射率约为 5% 左右;而近红外、短波部分几乎吸收全部的人射能量。因此在近红外波段识别水体是较容易的。应用遥感科技进行水质监测,就是依靠监测光谱信号的改变,再通过经验或分析模型把这些光谱的变化与水质参数联系起来。影响水质的参数有:水中悬浮物、藻类、化学物质、溶解性有机物、热释放物、病原体和油类物质等。随着遥感技术的革新和对物质光谱特征研究的深入,可以监测的水质参数种类也在逐渐增加,除了热污染和溢油污染等突发性水污染事故的监测外,用遥感监测的水质数据大致可以分为以下四大类:浑浊度、浮游植物、溶解性有机物、化学性水质指标^[1]。

2 高分辨率遥感数据源

在目前的水质卫星遥感监测中的应用较为广泛的高分辨率遥感数据包括:SPOT 卫星影像数据、NOAA (AVHRR)、AISA 数据、IKONOS、EOS MODIS 遥感数据、CBERS-1 中巴资源卫星、ERS 和 JERS (SAR)、QuickBird、WorldView、ALOS 等数据。

现有的高光谱传感器分为两种:成像光谱仪和非成像光谱仪。成像光谱仪可为每个像元提供数十至数百个窄波段(通常波段宽度 $<10\text{ nm}$)光谱信息,能产生一条完整而连续的光谱曲线。地面非成像光谱仪在内陆水体水质监测中主要用来在野外或实验室测量水体的光谱反射曲线,同时也用于机载成像光谱仪量测水质参数的表面校准^{[7][8][9][10]}。

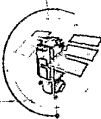
3 水质遥感监测的方法

水质遥感监测主要包括定性和定量两种方法,定性主要在于建立水环境化学现象与遥感图像的色调之间的关系,建立图像解译标志;定量则是在定性基础上,标定定量数学模型,其间为消除随机因素的影响,通常需要获得与遥感成像同步的实测数据。

首先,根据水质参数选择遥感数据,并获得同期内的地面监测的水质分析数据。现今广泛使用的遥感图像波段较宽,所反映的往往是综合信息,加之太阳光、大气等因素的影响,遥感信息表现的不甚明显,要对遥感数据进行图像增强处理加强图像的识别效果,并对图像进行一系列的校正和转换,将原始数字图像格式转换为辐射值或反射率值。然后根据经验选择不同波段或波段组合的数据与同步观测的地面数据进行统计分析,再经检验得到最后满意的模型方程^[3]。

4 国内外的应用现状

近些年,高分辨率卫星遥感数据在内陆水体污染监测方面的应用研究在国内外都有了较大的进展。



国外主要研究指标包括：估测叶绿素 a 的浓度、悬浮物浓度、溶解性有机物等水质参数。具体包括 Sabine 等把加拿大的 CASI 数据和 HyMap 数据结合对德国梅克莱堡州湖区水质进行监测，主要针对叶绿素浓度的定量化建立算法；MERIS 发现以 705nm 为中心的波段 9 来估算叶绿素 a 的浓度非常合适；美国俄亥俄州立大学对台湾省大甲溪和德基水库的叶绿素 a 浓度和藻类分布进行了监测^{[14] [15]}。对于悬浮物浓度的测定 Carpenter 研究证明了遥感定量监测悬浮物含量的可行性，Kritikos 等最早利用陆地卫星数据研究水体中的悬浮物；Gitelson 等利用地面非成像光谱仪的测量值研究表明在 700nm 附近波段适合用来监测悬浮物；Mahtaba 等的模拟实验结果表明 TM4 波段是估测悬浮物浓度的最佳波段^[12]。对于湖泊水质的分类研究 Koponen 用 AISA 数据模拟 MERIS 数据对芬兰南部的湖泊水质进行分类；Kallin 等利用 AISA 成像光谱数据研究芬兰南部湖泊。欧洲空间局采用 NOAA 卫星和 SAR 监测的西班牙海岸附近的突发性油船泄漏事故^{[18] [19]}。

国内水质监测方面也展开了研究并取得一定成果，我国先后对海河、渤海湾、蓟运河、大连湾、长春南湖、于桥水库、珠江、苏南大运河、滇池等大型水体进行了遥感监测，研究了有机污染、油污染、富营养化等问题；利用水体叶绿素与富营养化间的关系研究了滇池水体污染与富营养化状况；利用卫星遥感资料估算了渤海湾表层水体叶绿素的含量，建立了叶绿素含量与海水光谱反射率之间的相关模式，定量地划分了有机污染区域；利用水体热污染原理先后对湘江、大连湾、海河、闽江、黄浦江等进行了红外遥感监测。北京大学环境学院利用高光谱地物光谱仪在巢湖进行了反射光谱测量和同步水质采样分析，研究了光谱反射率与悬浮物的浓度的相关性等^{[6] [7]}。

5 遥感在水质监测中的应用分析

利用遥感技术进行水质监测，必须要充分考虑遥感技术的特点和功能以及数据的精度与误差。就目前针对内陆水体的应用现状而言，主要分以下几个方面：

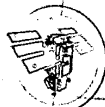
(1) 水体富营养化遥感监测

水中叶绿素浓度是衡量水生植物的生物量和富营养化作用的最基本指标，目前国内外已针对水体光谱特征和水中叶绿素含量的关系开展了研究。

对于水体富营养化的研究中，水体在藻类大量繁殖和大量死亡分解阶段均体现不同的光谱特征。浮游植物中的叶绿素对近红外光具有明显的“陡坡效应”。在藻类大量繁殖时，水体在彩色红外像呈红褐色或紫红色；当藻类大量死亡后，水中含有丰富的消光性有机分解物，在影像上水体会呈现近于蓝黑的暗色调，这两阶段在影像上也可能出现综合反映。

我们可以用采样参数与特定的遥感数据反映水体绿度指数，建立遥感回归模型，从而得出水体中叶绿素及生物量的空间分布信息，计算出叶绿素和藻类生物的总量，由此达到较高精度的监测水体富营养化。这其中要对数据预处理然后进行相关分析。数据预处理通常包括卫星影像的投影坐标校正、水陆分界、噪声修正、辐射匹配、水面反射校正以及漂浮植物分布区的确定。对于相关分析而言，目前利用遥感辐射率估算叶绿素浓度的生物光学算法主要包括有经验算法、神经网络模型法和光谱混合分析法。

综合目前研究成果来看，对于内陆水体水质叶绿素浓度 a 的遥感监测研究通常将多波段 TM 数据与分辨率较高的其它数据融合，对支流和小范围的水面通常采用高分辨率遥感数据。另外，可以通过



增加一定区域的采样点个数和采样次数,深入分析水体组成部分,采用多季节的光谱数据等方法来完善模型,提高精度。不同的藻类对应具有相关性的波段是不同,所以针对不同的水体。不同的藻类的光谱特性还处于研究阶段。

(2) 悬浮物遥感监测

悬浮物浓度、颗粒大小和其组成是影响悬浮物光谱反射的主要因素。大量研究表明,690~900nm 范围反射率与悬浮物浓度呈正相关,对其变化最敏感,是遥感估算悬浮物浓度的最佳波段,悬浮物含量从 0mg/L 至 1200mg/L,反射率从 1% 上升到 30%。在可见光及近红外波段范围,随悬浮物含量增加,水体的反射率增加且随着悬浮物浓度的增大,反射峰位置向波长方向移动。

比较有效的遥感监测数据包括 NOAA 气象卫星数据和 MODIS 影像,它们的时间分辨率高,不仅可满足动态监测的需要而且也比较经济。

目前的应用中,水体悬浮物含量多用影像灰度定性的解释。定量解释是基于同步收集遥感数据、地面反射数据和实测数据,直接计算光谱和悬浮物含量之间的多项式几何校正曲线。通常首先要对原始影像进行大气校正,再将水体范围从影像中提取出来,进行水体及背景地物的光谱特征分析,对于含有底质光谱特征的影像还必须经过水深校正,最后建立数学模型计算悬浮物固体浓度。具体的方法包括有:回归分析、色度模型和主要成分变化和光谱混合分析法。

但由于悬浮物算法都具有时间和水域特性,所以对于研究所取得的精度结果并不具备普遍性。另外,为了提高悬浮物浓度的估算精度,对待同一水域采样点要尽量满足覆盖广和多季节性。而不同的悬浮物类型、悬浮颗粒的大小及组成与水体反射率的定量关系以及浮游植物和黄色物质内在光学特性都还有待研究。

(3) 水体透明度遥感定量建模

水体透明度主要受叶绿素、悬浮物等参数的影响,目前对它的遥感建模研究国内多采用 TM 数据。如由云南省环境科学研究所开展的水体透明度的遥感定量建模研究成功应用于滇池水体的遥感定量分析中。同样先对数据进行各种校正,再确立多波段影像数据与透明度的相关性,建立遥感模型^[4],并且可以同时利用 GIS 技术绘制各种时期的水体透明度的分布图。

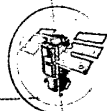
(4) 污染物质遥感监测

常见的水体污染主要包括石油污染、废水污染和热污染。

目前使用遥感技术监测石油污染的方法已经比较成熟,未污染的水体与水面油膜的辐射反射率有较大的不同。而现在使用最广泛的是红外遥感技术。红外辐射计、红外扫描仪、热像仪均可测定水与油膜的不同辐射能量,而获得油膜影像及其灰度等级,及时发现海洋及河流中泄油事故,得到排油源和油污面积。由于遥感技术所具有的动态性和同步性,并能连续监测油污扩散方向和速度,预测其将影响的区域^[11]。

废水污染遥感监测,可从遥感影像中获取污染源类型、排污口、污染程度及范围等主要信息,但由于废水水色和性状存在多样性,所以在特征曲线上其反射峰的位置和强度也不同,除了需要用多光谱图像进行监测外,最好能结合常规监测手段进行化学分析。

热污染遥感监测,从遥感影像上看,热排水口排出的水流,通常呈白色和灰白色羽毛状,影像中形象较明显,由羽根到羽尖,有羽流的中轴向向外,色调都是由浅逐渐变深,但对于一些混合污水,呈



均匀浅色调,但形状也比较明显。热红外图像基本反映了热污染区温度场的特征,可以以此为依据进行定量解译。

除以上所述,水质监测所包含的问题很多,常规的水质监测项目就有 40 余种且在逐渐增长中,而遥感技术对水体水质的监测是属于对地表水的微结构探测,水体水质状况自身所产生的波谱信号是比较微弱的。另外加上大气等各种因素所引起的信号干扰,水体反射率也比较低,存在数据信息精度缺乏,算法局限性等问题,从而导致有的水质项目在实验室研究阶段的验证效果还不显著,因此不能完全替代常规水质监测。尤其对于具有高精度的量化水污染常规监测任务还暂时不适合用遥感手段进行,但针对定性和具有高时效性的水污染监测,遥感则体现了它的绝对优势。

总之,遥感是一种研究宏观尺度的技术,也包含并逐渐渗入微观领域。对于一些常规方法难以揭示的污染物排放源、迁移扩散方向、影响范围以及与清洁水混合稀释的特征、污染源调查、地面监测点布设以及一定区域的叶绿素浓度、悬浮物浓度的测定等问题,我们可以运用高分辨率遥感数据进行范围确定和定量分析,一定程度上弥补水面采样观测时空间相隔大,且费时、费力的缺陷和困难。我们将遥感技术与常规的监测手段有效的结合起来,就能对流域水体污染历史、现状及污染趋势做出研究和预测,并为水资源保护和规划以及可持续发展提供动态基础数据和科学决策依据。

6 遥感技术在水质监测应用的展望

(1) 水体的光谱特征的研究是一个很重要的发展方向。

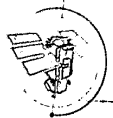
遥感是通过地物在光谱反映上的差异性,获取与之相对应的信息判别不同环境不同地物在影像上的表现形态。朱振海等在对我国遥感技术的回顾与展望中,强调了光谱对地物化学成分和结构的细微变化比较敏感,随着遥感硬件和光谱数据库的建设与完善,探究地物化学成分和结构及自然环境细微变化将是一个重要研究方向^[8]。由此可见,对于水质遥感监测的一个重要应用前提是建立一个有针对性、全面、可利用的光谱数据库。通过实验室测量的水体光谱特征与光谱数据的光谱特性进行比较,建立光谱数据空间变化模型,并建立流域水体光谱特性数据库。将遥感运用的空间尺度逐渐从宏观向微观拓展。

(2) 拓宽遥感水质监测项目。

现阶段水质遥感局限于某些特定的水质参数,叶绿素、悬浮物及与之相关的水体透明度、浑浊度等参数,而对可溶性有机物、COD 等参数光谱特征和定量遥感监测研究较少,拓宽遥感监测项是今后的发展趋势之一。应加强其他水质参数的光谱特征研究,以扩大水质参数的定量监测种类,进一步建立不同水质参数的光谱特征数据库。

(3) 提高水质遥感监测精度。

研究表明利用遥感进行水质参数反演,其反演精度、稳定度、空间可扩展性受遥感波段设置影响较大,利用星载高光谱数据进行水质参数反演,对其上百的波段宽度为 10nm 左右的连续波段与主要水质参数的波谱响应特性进行研究,确定水质参数诊断性波谱及波段组合,形成构造水质参数遥感模型和反演的核心技术,提高水质监测精度。



(4) 对于长江流域典型支流的水环境监测, 在三维水体建模上有了初步的应用。

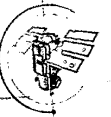
开发了三峡库区水体富营养化仿真系统, 完成数据库接口与虚拟仿真模型有机地结合。这个阶段性成果表明了遥感技术向三维建模发展是一个必然的趋势。郑玉权通过分析多种成像光谱仪的分光技术, 认为二维图像转向三维成像光谱仪也将成为 21 世纪遥感技术发展的重点。

(5) 综合利用 “3S” 技术。

利用遥感技术视域广, 信息更新快等特点, 实时、快速地提取大面积流域及其周边地区的水质变化参数。GPS 为所获取的空间目标及属性信息提供实时、快速的空间定位, 实现空间与地面实测数据的对应关系; GIS 完成庞大的信息存储、管理和分析。将 “3S” 技术综合应用在水质遥感监测中, 建立水质遥感监测和评价系统, 实现水环境质量信息的准确、动态快速发布, 推动国家水安全预警系统建设。

参 考 文 献

- [1] 王桥, 杨一鹏. 环境遥感. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 谢欢, 童小华. 水质监测与评价中的遥感应用 [J]. 遥感信息, 2006.
- [3] 齐峰, 王学军. 内陆水体水质监测与评价中的遥感应用 [J]. 环境科学进展, 1999.
- [4] 解亚龙, 李勃, 王星捷, 等. 滇池悬浮物污染丰度的遥感检测分析 [J]. 昆明理工大学学报, 2006.
- [5] 张海林, 何报寅. 遥感应用于湖泊富营养化评价的研究 [J]. 上海环境科学, 2003.
- [6] 刘灿德, 何报寅. 水质遥感监测研究进展 [J]. 世界科技研究与发展, 2005.
- [7] 万余庆, 张凤丽, 闫永忠. 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用研究 [J]. 国土资源遥感, 2003.
- [8] 周艺, 周伟奇, 王世新, 等. 遥感技术在内陆水体水质监测中的应用 [J]. 水科学进展, 2004.
- [9] 李嵘. 遥感技术在水环境监测中的应用研究 [J]. 江西化工, 2005.
- [10] 顾先冰, 司群英. 国内外遥感卫星发展现状 [J]. 航天返回与遥感, 2000.
- [11] 秦中, 张捷, 都金康. 水体污染遥感监测的可行性分析, 2004.
- [12] Menahem Rebhun, Lilly HelleroGrossman, Josepha Manka. Formation of Disinfection Byproducts during Chlorination of Secondary Effluent and Renovated Water. Water Environment Research. 1997, 69 (6): 1154~1162.
- [13] Jih-Fen Kuo, Lori Yamashita. Disinfection and Antimicrobial Processes. Water Environment Research. 1999, 71 (5): 685~692.
- [14] Robert C. Ahlert, Francis C. Brown. Chlorine and Chlorine Chemistry. Environmental Progress. 1998, 17 (2): 161~167.
- [15] Douglas D. Drury, Christopher A. Baker. et al. Chlorination Dechlorination and Toxicity Testing. Water Environment & Technology. 1997, 9 (7): 49~52.
- [16] Douglas Reed. Selecting Alternatives Chlorine. Pollution Engineering. 1998, 30 (9): 48~51.
- [17] U.S. EPA. Chlorine Disinfection. EPA 832-F-99-034. 1999.



[18] William A. Maccrehan, James S. Jensen, George E. Helz. Detection of Sewage Organic Chlorination Products That Are Resistant to Dechlorination with Sulfite. Environmental Science Technology. 1998, 32 (22): 3640~3645.

[19] Geo. Clifford White. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants (4th Edition) . Van Nostreand Reinhold Company, USA, 2000.