

遥感技术在水污染监测方面的应用

徐金鸿, 邓明镜, 刘国栋

(重庆交通大学土木建筑学院测绘系, 重庆 400074)

摘 要: 遥感技术在水污染监测方面的发展状况分析, 阐述了各种水体的光谱特征、水污染遥感监测常用方法。着重介绍了遥感技术在水体悬浮物浓度、油污染、城市污水、水体富营养化等监测方面的应用。最后指出目前水体污染遥感监测技术存在的问题及其发展趋势, 展望了遥感技术在水污染监测方面的应用前景。

关键词: 遥感技术; 水污染; 监测

中图分类号: TP79; X522

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)05-0324-03

Application of Remote Sensing Techniques to Water Pollution Monitoring

XU Jin-hong, DENG Ming-jing, LIU Guo-dong

(School of Civil Engineering & Architecture Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The development of monitoring water pollution using remote sensing techniques is reviewed. The reflectance characteristic of polluted water and methods of monitoring water pollution applying remote sensing technique are discussed. The applications of remote sensing technology to water pollution monitoring are illustrated, including density of the suspended substance in water, oil pollution, municipal sewage and eutrophication. Finally, it is pointed out that the main problems and future development of water pollution monitoring by remote sensing technique. The applications of water pollution monitoring by remote sensing in the future are proposed.

Key words: remote sensing technique; water pollution; monitoring

随着经济的发展, 环境问题日益突出。水体污染是导致生态环境恶化的因素之一。水体污染监测作为水体管理和污染控制的主要手段, 发挥了不可替代的作用。然而在大面积水域的监测网分散, 仅依靠现有的监测台站和传统监测技术方法很难满足一些日益恶化的水体污染所需的实时、快速、宏观、准确的监测要求, 也无法全面准确地反映水体的污染状况。

遥感技术是一种利用物体反射或辐射电磁波的固有特性, 远距离不直接接触物体而测量并分析目标物性质的技术。利用遥感技术进行水体污染监测的机理是被污染水体具有不同于清洁水体的光谱特征, 这些光谱特征体现在对特定波长的吸收或反射, 而且这些光谱特征能够为遥感器捕获并在遥感图像中体现出来^[1]。近年来, 国内外许多学者探索了利用遥感技术监测水污染的技术和方法^[2~14]。其原因在于水污染遥感监测除了具有监测范围广、速度快、成本低, 且便于进行长期的动态监测等优点, 还能发现用常规方法往往难以揭示的污染源及其扩散的状态, 对大面积范围里发生的水体扩散过程容易通览全貌, 观察出污染物的排放源、扩散方向、影响范围及与清洁水混和稀释的特点。本文概述了遥感技术在水污染监测方面的进展及应用状况。

1 水体的光谱特征

1.1 洁净自然水体的光谱特征

地表天然水体对 0.4~2.5 μm 波段的电磁波吸收明显

高于绝大多数其它地物, 其光谱反射率通常低于其它地物。对近红外波段的吸收更高于对可见光波段的吸收, 几乎吸收了其全部的能量, 在近外波段近似于一个“黑体”。因而在红外波段上水体比较容易识别。较洁净自然水体在 0.4~1.1 μm 波段的光谱反射率约 1%~3%, 其平均反射率约 2%。

1.2 混浊水体的光谱特征

由泥沙、天然有机物和浮游生物造成的浑浊水体通常比清澈水体的光谱反射率要高一些。有研究表明, 浑浊河水(含悬移质 99 mg/L)比清澈湖水(含悬移质 10 mg/L)的光谱反射率高 1.5%~6%。其中在 0.50~0.55 μm 波段, 前者比后者的光谱反射率约高 1.5%; 在 0.55~0.60 μm 波段, 前者比后者约高 3%; 在 0.60~0.75 μm 波段, 前者比后者约高 4%~6%; 在 0.75~0.90 μm 波段浑浊河水的反射率为 2.5%~5%, 而清澈湖水的反射率几乎趋于零。因此, 用 MSS 的 4, 5, 6, 7 波段中的任一波段均能区分浑浊自然水体和清澈的自然水体。而又以第 5 波段(0.6~0.7 μm)的效果最好, 第 6 波段(0.7~0.8 μm)次之。

1.3 被污染水体的光谱特征

由于污染物质很多, 其颜色和其它物理化学性质各不相同, 因而对水体的光谱反射率影响也各不相同。含黑色物质和暗色物质的悬浮物较多的污染水体, 在 0.4~1.1 μm 波段的反射率比洁净的自然水体的反射率略低一些; 含中等色调

收稿日期: 2006-09-13

基金项目: 重庆交通大学校内科研基金资助

作者简介: 徐金鸿(1976-), 男, 讲师, 主要从事 RS 与 GIS 研究。

悬浮污染物质较多的水体其在上述波长的反射率比洁净水体的反射率要高一些;而含浅色和白色色调悬浮污染物质较多的水体,其在 $0.4\sim 1.1\ \mu\text{m}$ 波段的反射率则显著地高于洁净的自然水体的反射率。

2 水体污染遥感监测的常用方法

2.1 经验方法

该方法利用图像信息进行水污染的监测,是伴随着多光谱遥感数据应用于水体监测而发展起来的一种方法。它是基于遥感波段数据和地面实测数据的相关性统计分析,选择最优波段或波段组合数据与地面实测水质参数通过统计分析得到相关模型,进而反演水质参数。该方法的缺陷是水质参数与遥感数据之间的事实相关性不能保证,模型的精度通常不高且具有时间和空间的特殊性。近年来一些学者利用该方法做了些研究。如 Raey 等^[15]利用 SPOT 多光谱影像对埃及近海的污染物进行监测和判别评价。王学军等^[16]利用遥感信息和野外监测数据建立了太湖水质参数预测模型,较好地反映太湖水质污染的空间分布特征,适合大范围水域的快速监测。汪小钦等^[17]利用内部平均相对反射率法对黄河三角洲小清河口的 TM 图像进行大气校正得到视反射率,发现 1~4 波段的视反射率(R_1, R_2, R_3, R_4)对不同的水质比较敏感,利用 $R_2/R_1 > 1$ 可以区分出较高悬浮泥沙区域, R_4/R_3 可以作为水体有机污染的指标。邓孺孺等^[18]研究了污染水体反射光谱成像物理的过程,建立了遥感数据像元反射率与污染物浓度的函数关系,利用 2002 年 TM 卫星数据对珠江口海域污染物综合浓度进行定量提取。

2.2 半经验方法

该方法根据机载成像光谱仪或野外各种光谱仪测量的水体光谱特征,选择估算水质参数的最佳波段或波段组合,然后选用合适的数学方法建立遥感数据和水质参数间的定量经验性算法。它是自 20 世纪 90 年代以来最常用的水体遥感监测方法。国内外很多学者利用这种方法对湖泊、水库进行监测和评价,并且得到了较高的监测精度。如疏小舟等^[19]利用 OMIS-Ⅱ 航空成像光谱仪对太湖地区进行了地表水质遥感实验,建立了 OMIS-Ⅱ 波段反射比 $R(21)/R(18)$ 与藻类叶绿素浓度间的相关模型。张凤丽等^[20]对西安市护城河及兴庆公园污水的反射波谱特征与水质参数的分析表明,水体中污染物与某些波段处反射波谱比值有较好的相关性,并且污染物含量与波谱数据的相关性与污染水体的污染性质和污染程度有关。

上述两种方法都是通过对航空航天遥感数据、地面水体的波谱数据和实验室水质分析数据进行适当的统计分析反演水质参数,影响算法精度的主要因素有遥感数据的波段设置和统计分析技术。很多研究人员都把两种方法结合在一起。如傅江等^[10]用国产 CHJ-Ⅱ 型彩红外胶片对苏南大运河进行水污染遥感研究的彩红外航摄,并沿运河布点与航摄同步或准同步地进行水质采样和野外水体反射光谱测量,运用数理统计的方法对彩红外胶片的透射密度和水质有机污染参数之间的关系做出了定量描述。季耿善等^[11]采用地面同步监测及光谱测量、卫星遥感、彩红外航空遥感相结合的

立体监测方式对苏南大运河及水污染状况进行了全面调查及评价。马刚等^[21]利用 CBERS-1、TM 和野外光谱测量数据初步探索了监测大辽河口水质污染参数的方法。

3 水污染的遥感监测

3.1 水体悬浮物浓度监测

悬浮物微粒会对进入水中的光发生散射和反射,从而增大水体的反射率。浓度不同的水体其光谱衰减特性不一样。随着泥沙浑浊度的增大和悬浮沙粒的增大,水的反射率逐渐增高。悬浮泥沙在 MSS5 像片上呈浅色调,在彩色红外片上呈淡蓝、灰白色调,浑浊水流与清水交界处形成羽状水舌。遥感监测水体悬浮物浓度的研究相对较早,并取得了较好的结果。Kritilos 等^[2]最早利用陆地卫星数据研究水中的悬浮物含量;Carpenter^[3]等研究证明了遥感定量监测悬浮物含量的可行性;李京等^[5]建立了反射率与悬浮物含量间的负指数模型,并用于杭州湾水域悬浮物的调查;黎夏^[6]推导出一个统一式,用于珠江口悬浮物的遥感定量分析;Gitelson^[8]等研究表明,500~600 nm 波段适合用来监测悬浮物,700~900 nm 波段的反射率对悬浮物浓度变化敏感,是遥感估算悬浮物浓度的最佳波段;Mahtaba^[22]等对不同浓度悬浮物光谱反射率进行研究,建立了利用反射率估测悬浮物浓度的二次回归模型,并表明 TM4 波段是估测悬浮物的最佳波段;Kallio 等^[23]利用 AISA 成像光谱数据研究芬兰南部湖泊,结果表明估测悬浮物的最佳算法可利用单波段 705~714 nm 的反射率得到;李炎等^[24]研究了基于海面一遥感器光谱反射率斜率传递现象的悬浮泥沙遥感算法。

3.2 水体油污染监测

海上或港口的油污染是一种常见的水体污染。油污染在紫外、可见光、近红外、微波图像上呈浅色调,在热红外图像上呈深色调,为不规则斑块状。遥感调查油污染不仅能发现已知污染区的范围和估算污染油的含量,而且可追踪出污染源。因此许多学者对油污染遥感监测做了大量研究工作。如郑全安等^[25]研究了利用航空遥感监测海面溢油的方法。李栖筠^[26]利用 TM 和 NOAA-AVHRR 资料监测老铁山水道溢油,结果表明可以确定溢油污染面积、扩散方向及扩散速度。Tseng^[27]利用 NOAA-AVHRR 资料检测溢油。雷震东等^[28]提出了无源微波遥感海上石油污染的优选方案并成功地进行了航空微波遥感试验。张永宁等^[29,30]分析了海上溢油波谱特征,提出遥感监测煤油、轻柴油、润滑油、重柴油和原油的最佳波段,并利用 AVHRR 和 TM 资料对海上溢油事故的油膜图像进行了解译,溢油图像与现场调查相吻合。安居白^[31]通过对航空遥感探测海上溢油的技术比较,得出排在前三位的溢油探测遥感器是红外摄像机、激光遥感器和雷达。

3.3 城区河水污染监测

城市大量排放的工业废水和生活污水中带有大量有机物,它们分解时耗去大量氧气,使污水发黑发臭。污染状况在彩红外像片上有很好的显示,不仅可以直接观察到污染物运移的情况,而且凭借水中泥沙悬浮物和浮游植物作为判读指示物追踪出污染源。王云鹏等^[32]对珠江广州河段 TM 图像

数据进行对数变换、HIS变换和KL变换后再进行密度分割及图像分类,发现可以更好的区分和识别水体污染,并利用遥感数据的处理,结合流域水污染的变化趋势和污染源研究,利用GIS技术建立了流域污染预警系统。姚俊等^[33]解译了苏州河三个不同时相的红外遥感影像和热红外遥感影像的信息,分析了苏州河水体污染的状况和历史原因。马跃良等^[34]利用TM图像数据对珠江广州河段水环境质量中的水质污染进行监测应用研究,并建立了水质污染预测遥感模型。

3.4 水体富营养化监测

富含氮、磷等植物营养物质的废水进入水体后,会引起水体富营养化,使藻类大量繁殖并消耗水中的溶解氧,导致鱼类窒息和死亡,水中大量的 NO_3^- 、 NO_2^- 将通过食物链进入人体,危害健康。由于浮游植物体内含的叶绿素对可见光和近红外波段具有“陡坡效应”,使那些浮游植物含量高的水体兼有水体和植物的反射光谱特征。在红外图像上,富营养化水体呈红褐色或紫红色。我国学者张海林等^[35]利用武汉东湖的地面监测资料和TM数据,建立了东湖的营养状态指数和TM5波段图像上灰度值之间的线性模型。

4 结论与展望

遥感在水污染监测中的应用展示了水污染遥感监测方法巨大的应用潜力和常规监测方法所不具有的优势。利用遥感技术在水污染监测方面的研究成果与实践经验可为大江、大河及大面积的水污染监测与治理提供有益的经验。但由于污染水体的光谱特性比较复杂,遥感信息受大气影响以及遥感数据处理技术不太成熟等因素的影响,目前我国应用遥感技术监测水体污染还存在许多问题。水体污染物的定量遥感监测技术也有待于进一步研究。利用遥感技术进行水污染监测的最佳光谱分辨率、时间频率和空间分辨率还不是很清楚。

但随着传感器技术、高空间分辨率、高光谱分辨率和多极化遥感数据的发展,为利用遥感信息进行定量水污染监测提供了数据保证。水体污染遥感监测将朝着下列方向发展:

(1)利用新型遥感数据进行水污染定量监测研究的关键技术与方法,形成一个标准化的水污染定量遥感监测体系,实现实验遥感到定量遥感的跨越。

(2)利用多种遥感数据融合技术,发展不受时间和地域限制的反演算法,建立遥感定量模型,提高水体污染遥感监测精度。

(3)RS(遥感)与GIS(地理信息系统)、GPS(全球定位系统)技术的集成。除了遥感技术外,综合利用GIS技术对遥感数据和水体污染数据的有效管理以及GPS技术对地面实测数据的精确定位,建立水污染遥感监测和评价系统,实现水污染信息的准确、快速发布,从而更好地治理水污染。

总之,遥感数据与水面调查资料二者相结合是对大面积水域污染监测的有效途径。发展水污染遥感监测技术,对保护我国环境及发展经济都具有重要作用,能产生巨大的社会、经济和环境效益。

参考文献:

- [1] Dekker A G, Malthus T J, Wijnen M M, et al. The effect of spectral band width and positioning on the spectral signature analysis of inland water[J]. Remote sensing of Environment, 1992, 41: 211—225.
- [2] Kritikos H, Yorinks L, Smith H. Suspended solids analysis using ERTSA data [J]. Remote Sensing of Environment, 1974, 3: 69—80.
- [3] Carpenter D J, Carpenter S M. Modeling inland water quality using landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 1983, 13: 345—352.
- [4] Bukata R P, Jerome J H, Bruton J E. Particulate concentration in lake St. clair as recorded by a shipborne multispectral optical monitoring system [J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25(2): 201—229.
- [5] 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.
- [6] Toplis B J, Almos C L. Algorithms for remote sensing of high concentration inorganic suspended sediment [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11(6): 947—966.
- [7] 黎夏. 悬浮泥沙遥感定量的统一模式及其在珠江口中的应用[J]. 环境遥感, 1992, 7(2): 106—113.
- [8] Gitelson A, Garbuzov G. Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland waters quality [J]. Int. J. Remote Sensing, 1993, 14(7): 1269—1295.
- [9] Dekker A G, Peters S W M. The use of the thematic mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the Netherlands [J]. J. Remote Sensing, 1993, 14(5): 799—821.
- [10] 傅江, 季耿善. 彩色红外航片用于水污染遥感监测的定量分析[J]. 中国环境科学, 1994, 14(6): 416—421.
- [11] 季耿善, 李旭文, 傅江, 等. 苏南大运河水污染遥感研究[J]. 中国环境科学, 1994, 14(6): 71—74.
- [12] Tassan S. A numerical model for the detection of sediment concentration in stratified river plumes using Thematic mapper data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(12): 2699—2705.
- [13] 陆家驹. 长江南京江段水质遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2002, (3): 33—36.
- [14] 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, (3): 10—14.
- [15] ElRaey M, Ahmed S, Konrany E. Marine pollution assessment near Alexandria Egypt by Thematic Principal component (TPC) [J]. Int. J. of Remote. Sensing, 1998, 19(7): 1359—1414.
- [16] 王学军, 马廷. 应用遥感技术监测和评价太湖水质状况[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 65—68.

(下转第330页)

法律法规。二是要尽快开展林业立法工作,抓紧制定天然林保护、国有森林资源管理林业工程监管、林业重点工程建设等方面的法律法规。并根据新情况对现有法律法规进行修订,使土地生态保护工作有法可依。加大林业执法力度,加强林业执法监管体系,加强林业法制教育和生态道德教育。另外,要通过制定有利于土地生态、资源保护活动的鼓励政策,协调土地生态保护与区域经济发展,同时采取有效措施,制止随意侵占和破坏土地的行为。各地区、各部门在研究制定经济发展规划时,应统筹考虑生态环境建设,在经济开发和项目建设时,严格执行生态环境有关法律法规,对破坏生态环境的犯罪行为予以严厉的打击。

4.5 改善生态环境,提高土地质量

渝北区的生态环境较差,水土流失比较严重,成为制约经济和社会发展的因素。渝北区要造秀美山川,在搞好经济建设的同时,必须搞好环境保护。从生态学意义上讲,就是要全面保护好现有天然植被,同时要考虑植被的适生性,宜林则林,宜草则草,推行“适生植被先行”的原则。最后还应该把森林引进城市,把城市融进森林,建设生态城市。

4.6 搞好重点项目的建设和管理

生态环境建设要通过项目来实施,选准并搞好项目建设至关重要。开展创建省级卫生县城活动以来,渝北区以改善市容区貌和环境卫生为切入点,始终坚持“以人为本”的理念创建文明城区,倾力打造全区最佳的人文环境,使城市面貌发生了翻天覆地的变化。特别是重庆直辖以来,渝北区先后

投资近 50 亿元,完善城区道路交通、水电气供给、垃圾污水处理等基础设施;建成了碧津花园、双龙湖公园、渝北广场、巴渝民俗文化村、3 条景观大道以及 50 个花台绿地等一大批城市文化、旅游、休闲设施。2003 年,渝北区投资 2000 多万元对双龙湖、碧津湖进行彻底整治,让碧水蓝天回到市民的生活中。

4.7 建立环境监测系统

要建立包括地理信息系统、卫星数据传输系统、人工智能监测系统在内的环境监测网络,对环境变化诸多因子实施全面监控,全面掌握并及时向社会发布环境动态信息,强化人们的环境意识,以保障生态建设健康有序地发展。

参考文献:

- [1] 许坚. 论土地利用中兼顾生态的经济意义[J]. 中国土地科学, 1998, (5): 3—4.
- [2] 毕宝德, 等. 土地经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1998. 55—59.
- [3] 胡世雄. 土地利用研究的背景、任务及发展趋势[J]. 地域研究与开发, 1997, (3): 14—15.
- [4] 姜万勤, 张新华. 川中丘陵区荒坡利用方式对水土流失影响的研究[J]. 自然资源学报, 1997, (1): 18—19.
- [5] 李文华. 长江洪水与生态建设[J]. 自然资源学报, 1999, (1): 2—3.
- [6] 刘培桐. 环境学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985. 160—166.
- [7] 汪小钦, 王钦敏, 刘高焕, 等. 水污染遥感监测[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(2): 74—78.
- [8] 邓孺孺, 何执兼, 陈晓翔, 等. 珠江口水域水污染遥感定量分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(3): 99—103.
- [9] 疏小舟, 汪骏发, 沈鸣明, 等. 航空成像光谱水质遥感研究[J]. 红外与毫米波学报, 2000, 19(4): 273—276.
- [10] 张凤丽, 杨峰杰, 万余庆. 水体污染物与反射波谱的相关性分析[J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 81—83.
- [11] 马刚, 李国颖. 大辽河口水体污染卫星遥感监测示范研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 2002, 22(6): 26—30.
- [12] Mahtaba A L, Runquist D C, Han L H, et al. Estimation of suspended sediment concentration in water using integrated surface reflectance[J]. Geocarto International, 1998, 13(2): 11—15.
- [13] Kallio K, Kuster T, Koponen S, et al. Retrieval of water quality from airborne imaging spectrometry of various lake types in different seasons[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 268: 56—77.
- [14] 李炎, 李京. 基于海面——遥感器光谱反射率斜率传递现象的悬浮泥沙遥感算法[J]. 科学通报, 1999, 44(17): 1892—1898.
- [15] 郑全安, 孙元福, 帅元勋, 等. 海面溢油航空遥感监测方法研究——波谱特性及试验结果分析[J]. 海洋学报, 1984, 6(4): 532—541.
- [16] 李栖筠. 卫星遥感技术在老铁山水道溢油监测中的应用[J]. 中国航海, 1994, (34): 28—32.
- [17] Tseng W Y. Oil spill detection from NOAA—AVHRR imagery[J]. Journal Remote Sensing, 1995, 16(18): 3481—3482.
- [18] 雷震东, 王雷, 钟仕荣. 无源微波遥感海上石油污染的研究[J]. 电子科学学刊, 1996, 18(5): 496—500.
- [19] 张永宁, 丁倩, 李栖筠. 海上溢油污染遥感监测的研究[J]. 大连海事大学学报, 1999, 25(3): 1—5.
- [20] 张永宁, 丁倩, 高超, 等. 油膜波谱特征分析与遥感监测溢油[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(3): 5—10.
- [21] 安居白. 航空遥感探测海上溢油的技术[J]. 交通环保, 2002, 23(1): 24—26.
- [22] 王云鹏, 闵育顺, 傅家谟, 等. 水体污染的遥感方法及在珠江广州河段水污染监测中的应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 460—466.
- [23] 姚俊, 曾祥福, 益建芳. 遥感技术在上海苏州河水污染监测中的应用[J]. 影像技术, 2003, (2): 3—8.
- [24] 马跃良, 王云鹏, 贾桂梅. 珠江广州河段水体污染地遥感监测应用研究[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(3): 13—16.
- [25] 张海林, 何报寅. 武汉湖泊富营养化调查和评价[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 36—39.

(上接第 326 页)