

遥感技术在环境监测中的应用和发展前景

石丽娜^{1,2}, 赵旭东³, 韩发^{1*}

(1. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 青海省环境监测中心站, 青海 西宁 810007)

[摘要] 遥感技术比传统的环境监测技术和监测台站具有无可比拟的优越性, 遥感技术正被广泛应用于大气污染监测、水质污染监测、固体废弃物污染监测、土地利用类型的改变以及生态植被变化等各个方面。综述了遥感技术在大气监测、水质监测和生态植被监测中的应用研究进展以及发展前景。

[关键词] 遥感技术; 环境监测; 应用

[中图分类号] X87; TP79

[文献标识码] A

Application and Development Prospect of Remote Sensing Technology in Environment Monitoring

SHI Li-na^{1,2}, ZHAO Xu-dong³, HAN Fa^{1*}

(1. Northwest Institute Biology of Plateau, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Qinghai Environment Monitoring Center, Xining, Qinghai 810007, China)

Abstract: The remote sensing technology with the incomparable superiority compared with traditional environment monitoring technology and monitoring stations has being widely applied in pollution monitoring of atmosphere, water quality and solid waste and change of land utilization type and ecological vegetation. The paper reviews the application research progress and development prospect of remote sensing technology in the monitoring of atmosphere, water quality and ecological vegetation.

Key words: remote sensing technology; environment monitoring; application

遥感技术是 20 世纪 60 年代发展起来的对地观测综合性技术^[1], 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识别、测量并分析目标物性质的技术^[2], 可在全球层面揭示地球表面各要素的空间分布特征与时空变化规律^[3]。遥感技术让大面积的同步观测成为现实; 可以在短时间内对同一地区进行重复监测; 其数据具有很强的综合性、可比性和经济性。根据所利用的波段, 遥感技术主要可分为微波遥感技术, 热红外遥感技术, 可见光-反射红外遥感技术^[4]。20 世纪 90 年代以来, 遥感技术已深入到环境评价与监测、地球资源勘探及动态监测、城乡规划、土地管理、农业生产条件研究及作物估产、水灾和火灾监测、森林和作物病虫害研究以及军事侦察等诸多领域, 从室内的工业测量到大范围的陆地、海洋、大气信息的采集以至全球范围环境变化的监测^[3]。

遥感技术在环境污染监测中的应用发展很快。与传统的环境监测技术相比, 遥感技术具有监测范围广、速度快、成本低、便于进行长期动态监测等优点。并可以对污染源进行快速定位、核定污染范围以及对污染物在大气、水体中的分布和扩散进行监控; 对突发环境污染事故进行跟踪和监测, 以便及时

制定处理措施, 减少污染造成的损失^[4]。由于遥感技术比传统的环境监测技术和监测台站具有无可比拟的优越性, 遥感技术正被广泛应用于大气污染监测、水质污染监测、固体废弃物污染监测、土地利用类型的改变以及生态植被变化等各个方面。本文综述了遥感技术在环境监测中的应用, 并展望了遥感技术的发展前景, 旨在对遥感技术应用于环境监测工作有所启示。

1 遥感技术在大气监测中的应用

大气遥感是利用传感器对大气结构, 状态及变化进行监测。大气传感器可以监测大气中的 O_3 、 CO_2 、 SO_2 、 CH_4 及气溶胶、有害气体的三维分布。这些物理量通常不可能用遥感手段直接识别。但是, 由于水汽、 CO_2 、 O_3 、 CH_4 等微量气体成分具有各自分子所固有的辐射和吸收光谱, 可以通过测量大气的散射、吸收及辐射的光谱而从中识别出来^[4-5]。应用于大气环境监测的电磁波谱主要是近紫外线到红外线范围 ($0.4 \sim 25 \mu m$), 以及微波范围 ($10 \sim 200 GHz$)。按照所利用电磁波辐射源的不同, 可将大气遥感技术分为被动式遥感技术和主动式遥感技术^[6]。根据遥感平台的不同, 大气环境遥感监测又

[收稿日期] 2009-08-18; 2010-01-05 修回

[基金项目] 国家科技攻关计划项目“三江源区典型退化草地的植被恢复试验和新技术研究”(2005AB901A20)部分研究内容

[作者简介] 石丽娜(1980—), 女, 在读博士, 研究方向: 生理生态、资源环境。E-mail: linashi@nwipb.ac.cn

*通讯作者: 韩发, 研究员, 博士生导师。E-mail: hanfa@nwipb.ac.cn

可为空基遥感和地基遥感^[5]。

1.1 大气气溶胶监测

气溶胶是指悬浮在大气中的各种液态或固态微粒。气溶胶粒子的来源很复杂,地球表面的岩石和土壤风化,海洋表面由于风浪的作用使海水泡沫飞溅而形成的海盐粒子,植物花粉、孢子,人类燃烧活动和自然火灾(包括火山爆发,森林及农田火灾)以及工厂排放的气体或发生化学反应而产生的液态或固态粒子等,构成了来源广泛而又复杂的大气气溶胶体系。气溶胶本身是污染物,同时又是许多有毒、有害物质的携带者,它的分布在一定程度上反映了大气污染的状况。在对气溶胶的遥感监测方面,高分辨率的卫星遥感不但提供了监测大气气溶胶的可能性,而且可以利用遥感图像分析大气气溶胶的分布和含量,甚至可在遥感图像上直接确定污染物的位置和范围,并根据他们的运动,发展规律进行预测预报。

国际上对气溶胶卫星遥感的研究始于 20 世纪 70 年代中期,在利用气溶胶光学特性并根据其路径散射光谱进行反演方面做了很多工作。目前,国外对气溶胶进行反演的方法主要有 8 种,即单通道反射率反演法、多通道反射率反演法、基于稠密或暗色植被区的黑体反演法、陆地上空对比度削减法、热对比法、陆地—海洋对比法、反射率角度分布法及极化方法^[5]。20 世纪 80 年代中期,中国也开始了这方面的研究。1986 年赵柏林等^[7]利用 NOAA/AVHRR 资料,对渤海上空大气气溶胶进行了尝试性研究,结果表明,对气溶胶浓度计算所达到的精度可以满足气候和环境研究的需要。

1.2 有害气体监测

有害气体通常指人为或自然条件下产生的二氧化硫、氟化物、光化学烟雾等对生物有机体有毒害的气体。利用相关光谱技术可对大气中 NO、NO₂、SO₂ 浓度进行监测。监测这 3 种污染物组分的工作波长范围分别是: NO 为 195 ~ 230 nm, NO₂ 为 420 ~ 450 nm, SO₂ 为 250 ~ 310 nm。NO_x、CO、CO₂、SO₂、O₃ 等污染物及其浓度也可用红外激光-荧光遥感器监测,其监测频率在可见光至紫外光区域,根据荧光波长和强度可分别作定性和定量监测^[6]。通常采用间接解译标志实现对有害气体的监测。植被受污染后对红外线的反射能力下降,其颜色、纹理及动态标志都不同于正常的植被,如在彩红外图象上颜色发暗、树木郁闭度下降、植被个体物候异常等,利用这些特点就可以间接分析污染情况^[4]。冯富成、高会军^[8]及盛业毕、郭达志^[9]用红外航片资料研究了环境污染区与植被的响应关系,指出受污染杨树与正常健康的杨树相比,光谱发射率在近红外波段(0.7 ~ 1.1 μm)有较大幅度的下降,而在红波段(0.6 ~ 0.7 μm)则有所增加,叶绿素指数也迅速减少,因此叶绿素指数可成为反映大气污染的一个重要指标。

1.3 灾害性大气污染监测

灾害性大气污染包括沙尘暴、有毒气体泄露等。

沙尘暴是严重的生态问题,也是严重的大气污染问题,属于大气气溶胶的极端状况。目前对沙尘暴的遥感监测主要使用 NOAA/AVHRR 和 GMS 数据。NOAA/AVHRR 数据是目前沙尘暴研究和监测的主要遥感信息源。NOAA/AVHRR 数据不但可以监测到沙尘暴反射辐射特性,而且可以在较大尺度上监测到沙尘暴的时空分布^[10-13]。GMS 的红外通道数据有利于确定沙尘暴的位置,同时它所具有的高时间分辨率,更有利于大尺度监测沙尘暴的运动轨迹^[14-15]。

1.4 城市热岛监测

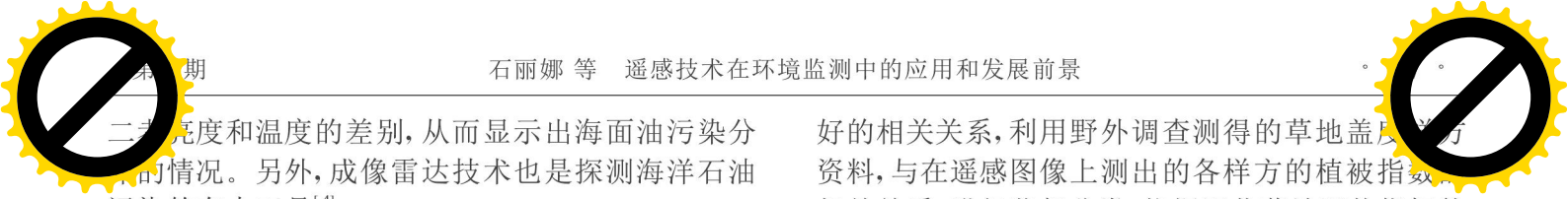
城市热岛是指城市气温高于郊区的现象,是一种大气热污染现象。城市热岛的遥感研究主要是通过对城市下垫面的热红外遥感来进行。城市热岛遥感早期主要是利用美国气象卫星 NOAA/AVHRR 的热红外波段。但是,NOAA/AVHRR 数据的地面空间分辨率较低(1.1 km),利用 NOAA/AVHRR 数据只能用来从宏观水平观测城市热岛现象和进行制图,无法对城市内部微观的热环境进行有效的观测。Landsat TM 数据的热红外波段(10.4 ~ 12.5 μm)具有较高的空间分辨率(120 m),能够更好地用于城市热岛研究。目前对城市热岛的监测主要有基于温度的热岛监测方法和基于植被指数的热岛监测方法。基于温度的热岛监测方法是最常用,也是最直接的方法,根据处理温度手段的不同,又可分为基于亮度温度的检测方法和基于地表温度的检测方法。许军强等^[16]借助不同时相的 TM/ETM+ 遥感影像,通过计算其亮温变化,研究了长春市近 12 年热岛效应的时空演化规律。武佳卫等^[17]以 TM 和 ETM+ 遥感数据来分析上海城市热岛扩展的时空演变格局,通过相关分析和回归分析揭示出地表温度与植被覆盖具有强烈的负相关关系,植被分布面积的增加对城市热岛强度的降低具有非常积极的作用。

2 遥感技术在水质监测中的应用

对水体的遥感监测是以污染水与清洁水的反射光谱特征研究为基础的。清洁水体对光有较强的吸收性能,反射率比较低,较强的分子散射性仅存在于光谱区较短的谱段上。这种现象使得清洁水体一般遥感影像上表现为暗色调,在红外谱段上尤其明显^[4]。当前在水质监测中通常使用的遥感数据包括陆地卫星的 MSS、TM 影像数据,SPOT 卫星的 HRV 数据,其中 TM 影像是目前最常用的、信息量丰富的遥感影像。

2.1 水体石油污染

石油污染是一种常见的水体污染。在遥感监测中,有多种方法可实现对水体的石油污染监测。利用石油与水体在光谱特性上差别,如油膜表面致密、平滑,反射率较水体高,但发射率远低于水体等,可在若干光谱段都将二者分开;也可根据油膜与海水在微波波段的发射率差异,可利用微波辐射法测量



二者的亮度和温度的差别,从而显示出海面油污染分布的情况。另外,成像雷达技术也是探测海洋石油污染的有力工具^[4]。

2.2 水体富营养化

水质富营养化的一个显著标志是水体里浮游植物大量繁生,使得富营养化的水体兼有水体和植物的反射光谱特征。因此,调查水体中悬浮物质的数量及叶绿素含量,可以对水体富营养化程度进行监测。富营养化水体在可见光波段,反射率较低;而在近红外波段,反射率明显升高,在彩色红外图像上,富营养化水体呈红褐色或紫红色^[4]。张海林、何报寅等^[18]利用 1999 年 TM 各波段的卫星遥感数据和多年可靠的地面监测资料,对武汉东湖各子湖进行了研究,建立了各子湖的营养状态指数与 TMb5 图像上灰度值之间的线性关系模型,并运用该模型对武汉各主要湖泊进行富营养化评价。所得结果与修正富营养化指数法对武汉主要湖泊的富营养化程度进行评价结果相一致。

2.3 泥沙污染及水体浑浊度分析

水体中泥沙含量增加使水反射率提高。随着水中悬浮泥沙浓度的增加及悬粒径增加,水体反射量逐渐增加,反射峰出现“红移现象”。定量判读悬浮泥沙浓度的最佳波段在 $0.65 \sim 0.85 \mu\text{m}$ 。另外,采用蓝光波段和绿光波段反射率的比值,可以判别 2 种水体浑浊度的大小^[4]。万余庆等以黄土高原几类常见土壤(如腐殖土、黑垆土、积钙红粘土、黄土、河床冲积土、垆土等)为试验品,定量研究了不同泥土含量与水体光谱反射率的关系,认为高光谱遥感技术可以探测水体泥沙含量。含有各类土壤的水体在波长 $1550 \sim 1850 \text{ nm}$ 、 $1350 \sim 1380 \text{ nm}$ 的光谱反射率与泥沙含量线性相关性明显。波长在 $368 \sim 831 \text{ nm}$ 的反射率可以反演水体深度,波长在 433 nm 处反射率与水体深度指数相关性关系最密切^[19]。

3 生态植被监测

植被是反映区域生态环境的最好标志之一,同时也是土壤、水文等要素的解译标志。遥感对于估计大型植被和生物物理及生态学参量的关联是一种非常有利的工具。随着传感器技术和处理技术的增强,植被特性例如种类成分,叶面积指数,单位面积或体积的植物数量,光合作用辐射和吸收,甚至化学成分都可以通过放射数据测定。目前,在自然生态遥感监测方面主要利用 NOAA/AVHRR 数据和 LANDSAT/TM 数据,以及 SPOT 数据进行工作。TM 数据具有空间分辨率高,覆盖面积大,其中 B2、B3 和 B4 波段具有对植被非常敏感的优势。而 NOAA 气象卫星数据具有时空分辨率高,成像面积大,成本低,不受地理条件限制等优点,故广泛应用于生态植被监测研究。

钟诚等^[20]利用 TM 数据和 NOAA 数据对西藏那曲地区草地退化进行了评价。在调查中应用草地退化重要因子草地盖度与遥感图像植被指数之间较

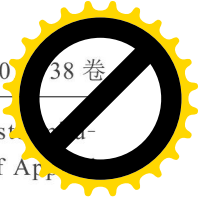
好的相关关系,利用野外调查测得的草地盖度与遥感资料,与在遥感图像上测出的各样方的植被指数建立相关关系,进行监督分类,依据退化草地评价指标体系,对那曲地区草地进行科学评价,结果表明:那曲地区草地退化严重,草地退化面积已达 $1365.09 \text{ 万 } \text{hm}^2$,占草地面积(不包括难利用草地)的 48.8% ,其中轻度退化面积占退化草地面积的 59.3% ,中度退化面积占 29.2% ,重度退化面积占 11.5% ,并且有日趋发展的趋势。刘建军等^[21]应用遥感(Remote Sensing, RS)与地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的手段和方法,对新疆土地利用/土地覆盖进行解译,并应用新疆生态环境质量综合评价指标,完成新疆生态环境质量综合评价工作。结果表明:虽然 2000—2002 年间生态环境质量变化不大,但新疆生态环境质量背景总体较差,而且在空间分布上存在着较大的差异。青海省已建立了卫星遥感信息中心,可以全天候地接收美国 MODIS 卫星的信号,能够及时掌握生态环境的变化情况,为生态环境的遥感监测提供数据信息^[22]。

4 环境遥感技术的发展趋势

遥感影像获取技术方面,随着高性能新型传感器的研制开发水平的提高以及环境资源遥感对高精度遥感数据要求的提高,高空间和高光谱分辨率已是卫星遥感影像获取技术的总发展趋势。热红外遥感技术会得到更广泛的应用。雷达遥感技术具有全天候全天时影像的获取能力以及对一些地物的穿透能力,将得到更广泛的应用。以地球为研究对象的综合对地观测数据获取系统必将是当前及今后遥感技术发展的重要方向之一。遥感信息模型的发展方面,遥感信息机理模型的发展和拓宽,特别是不确定性遥感信息模型与人工智能决策支持系统的开发与综合应用也将是一个重要研究和应用方向。将环境污染遥感监测技术(RS)与地理信息系统(GIS)、全球定位系统(Geographic Information System, GPS)、专家系统(Expert System, ES)技术集成,利用环境污染遥感监测集成系统,可以大大提高环境监测的科学性、合理性及智能化程度,从而大大扩展环境监测的应用范围,开发集 GPS、RS、GIS、ES 于一体、适合环境保护领域应用的综合多功能型的遥感信息技术,也将是今后环境遥感技术的发展趋势。

[参 考 文 献]

- [1] 梅安新,彭望禄,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 遥感研究会(日).遥感精解[M].刘勇卫,贺雪鸿,译.北京:测绘出版社,1993.
- [3] 戴前伟,杨振中.遥感技术在环境监测中的应用[J].西部探矿工程,2007(4):209-210.
- [4] 韩燕,崔玉民.浅谈遥感技术在环境监测中的应用[J].阜阳师范学院学报:自然科学版,2007,24(1):42-59.



- [5] 程立刚,王艳姣,王耀庭.遥感技术在大气环境中的应用综述[J].中国环境监测,2005,21(5):18-23.
- [6] 王丽娟,景耀全.浅谈遥感技术在大气监测中的应用[J].环境技术,2005(1):15-17.
- [7] 赵柏林,俞小鼎.海上大气气溶胶的卫星遥感研究[J].科学通报,1986(31):1645-1649.
- [8] 冯富成,高会军.大同矿区环境污染与植被生态的遥感调研[J].中国煤田地质,1998(10):73-75.
- [9] 盛业华,郭达志.遥感信息在晋城矿区大气环境质量评价中的应用[J].遥感信息,1994(2):37-39.
- [10] Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Jiyuan, et al. Causes of sand -stormweather in Northern China and contral measures[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 513-521.
- [11] Fang Zhongyi, Zhang Yungang, Zheng Xinjing, et al. Themethod formonitoring dust devil using satellite and preliminary results [J]. Quaternary Research, 2001, 21(1): 48-54.
- [12] Wei Li, Shen Zhibao. The Radiative characteristics of atmospheric dust observed from Satellite [J]. Plateau Meteorology, 1998, 17(4): 347-35.
- [13] Zhou MY, Chen Y, Huang R. et al. Effects of two dust storms onsolar radiation in the Beijing - Tianjin area[J]. Geophys Res Lett, 1994(21):2697-2700.
- [14] Jiang Jixi. A study of formation for“black st...sing gms-4 imagery[J]. Quarterly Journal of Apr... Meteorology, 1995, 6(2): 177-184.
- [15] Shao Yaping. Physics and Modelling of Wind Erosion [M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000: 135-136.
- [16] 许军强,刘嘉宜,邢立新,等.长春市热岛效应的时空演变研究[J].环境保护科学,2007,3(33):8-10.
- [17] 武佳卫,徐建华,谈文琦.上海城市热场与植被覆盖的关系研究[J].遥感技术与应用,2007,1(22):26-30.
- [18] 张海林,何报寅,丁国平.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,2002,11(1):36-39.
- [19] 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(57):10-14.
- [20] 钟 诚,何晓蓉,李辉霞.遥感技术在西藏那曲地区草地退化评价中的应用[J].遥感技术与应用,2003,18(2):99-102.
- [21] 刘建军,李新琪,高利军.遥感技术在新疆生态环境监测与综合评价中的应用[J].干旱区地理,2004,27(4):508-511.
- [22] 宁黎平.遥感技术在青海省生态环境建设中的应用[J].青海环境,2004,14(3):123-125.

(责任编辑:聂克艳)

(上接第 174 页)

业可持续发展。

3.2.2 大力推广沼气池建设和利用 沼气池对具有就近收集生活污水、桔梗等污染物的特点,而且能够在一定程度上实现农村新能源的开发和利用。实施“一池三改”基本单元后,厕所、圈舍、沼气池三位一体,人畜粪便和种、养殖业的残余物全部进入沼气发酵池,消除了苍蝇、蛆蛹孳生的环境,改善了农村的卫生状况,是一个很好的发展方向。

乌当区羊昌镇现代农业综合示范点中型沼气池建设项目是贵州省农业厅批复建设的示范工程项目,该项目于 2008 年 4 月开工建设,现已全面竣工,工程系地下式正常温中型沼气池,总容积 300m³,蓄粪池 200m³,贮气柜 40m³,年可处理蓄粪 3285t,产沼气 2.19 万 m³,可实现集中供气 45 户,年产沼肥 2738t,可满足现代农业示范点实施无公害生产用肥所需。该项目的建成通过生态养殖和废弃物的综合利用,发展“猪—沼—作物”循环农业模式,达到畜禽粪便的减量化,资源化和无害化,具有低开采、高产出、高利用、低污染、低浪费的特征,可实现区域生态与经济的良性循环和经济、生态、社会三大效益的统一。

3.3 建设人工湿地和生物稳定塘

人工湿地是人为创造的一个适宜水生植物或湿生植物生长的人工生态系统,其中种植芦苇、席草、风车草、香蒲等具有较强的抗污、抗寒能力,是根系

发达、茎叶茂盛的沼生植物^[4]。人工湿地主要通过土壤、微生物、植物所组成的系统对废水进行一系列的净化过程,既能达到处理废水的目的,又可利用废水中的营养物质用于农业生产中。人工湿地技术性要求不高,资金投入量不大,后期管理成本较低,而且具有良好的生态效益和经济效益等优点,适合在乌当区农村中使用。生物稳定塘是利用水域自身净化能力去除污染物的处理系统,按其作用机理可分为兼性塘、好氧塘、厌氧塘和综合生物塘等。相对来讲,生物稳定塘的成本比人工湿地要高一些,但是由于农村土地资源相对丰富,可利用空间大,而且寄居于其中的水生动植物可以有效去除水中的有机毒物及微量重金属,在减轻饮用水源农村面源污染方面能发挥重大作用。

[参 考 文 献]

- [1] 洪大用,马芳馨.二元社会结构的再生产—中国农村面源污染的社会学分析[J].社会学研究,2004(4):1-6.
- [2] 张克强.农村面源污染及其防治措施[J].农业工程技术(新能源产业),2008(5):19-23.
- [3] 潘美媛.杭州市余杭区农村面源污染状况与治理对策[J].能源工程,2003(1):43-45.
- [4] 段忠清.我国农村面源污染的成因及其治理[J].无锡职业技术学院学报,2004(3):49-51

(责任编辑:姜 萍)