

区域生态环境遥感 应用综合示范

——以太湖流域为例

王 桥 张 峰 刘思含 等 著



科学出版社

区域生态环境遥感应用综合示范 ——以太湖流域为例

王 桥 张 峰 刘思含 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书面向我国环境遥感监测业务需求,总结环境遥感应用领域的技术发展趋势,系统梳理区域生态环境遥感监测的体系框架、技术方法与流程,介绍区域环境遥感监测业务运行模式与成果,探讨开展水环境、空气环境及生态环境遥感监测的指标体系和方法流程,并以在太湖示范区进行的水、气、生态环境遥感监测应用示范为例,介绍区域环境遥感专题产品及应用产品制作。通过归纳、整合和凝练已有的监测方法及技术手段,形成可业务化运行的环境遥感监测技术体系。

本书可作为环境遥感科研人员的学习资料,也可作为从事环境遥感监测工作的技术人员和业务人员的实用手册。

图书在版编目(CIP)数据

区域生态环境遥感应用综合示范:以太湖流域为例 / 王桥等著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-030832-0

I. ①区… II. ①王… III. ①遥感技术-应用-太湖-区域生态环境-环境监测 IV. ①X321.25

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第070437号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:韩 杨
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年12月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:271 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书参编作者

(以姓氏笔画为序)

万华伟	马万栋	王 桥	王中挺	王昌佐
牛志春	厉 青	申文明	付 卓	朱 利
刘思含	刘晓曼	刘慧明	孙中平	李 营
李 静	李旭文	杨海军	吴 迪	吴传庆
吴艳婷	张 芳	张 峰	张 慧	张丽娟
金 焰	周春艳	屈 冉	赵少华	侯 鹏
洪运富	殷守敬	游代安	翟 俊	熊文成

前 言

2008年9月6日,我国自行研制的环境与灾害监测预报小卫星星座(环境一号卫星,简称HJ-1)A、B星成功发射,初步形成我国环境监测的天基部分,在国内外产生重大影响,极大地推动了环境监测天地一体化体系的形成,标志着我国环境监测开始步入卫星应用时代。至今,环境一号卫星运行稳定,卫星数据质量稳定,环境遥感监测业务持续运行,为环境监测和管理提供了重要的技术支持和信息服务,环境遥感技术应用成效逐步显现,环境遥感业务工作正逐步进入环境管理业务体系。

为了推动天地一体化环境监测预警体系建设,加强环境遥感技术的应用推广,进一步推动遥感技术向深度和广度发展,需要对环境遥感技术应用领域和产品进行总结,并以实例指导地方环境遥感监测工作。为此,在科技部“十一五”国家科技支撑计划重点项目“基于环境一号等国产卫星的环境遥感监测关键技术及软件研究”第七课题“基于环境一号等国产卫星的环境遥感监测应用技术集成与示范研究”的资助下,以太湖周边生态环境、太湖水体水环境、太湖流域空气环境等方面开展研究与示范工作为基础,本书梳理与凝练了已有的监测方法及技术体系,构建了区域环境遥感监测的业务运行方案和技术流程,并基于在太湖示范区开展的示范应用,列举了区域环境遥感专题产品及应用产品,以规范和指导遥感监测技术在区域环境监测业务中的应用,尽快形成区域环境遥感监测业务运行能力。

本书共5章,第1章阐述环境遥感监测现状与发展趋势,主要由王桥、张峰、熊文成、刘慧明、杨海军等撰写;第2章介绍遥感影像处理与专题图制作,主要由李营、申文明、孙中平、游代安、付卓撰写;第3章介绍区域水环境遥感监测,包括基于卫星数据的水华、叶绿素a、悬浮物浓度、透明度、综合营养状态指数的遥感监测技术体系,主要由赵少华、吴传庆、李旭文、侯鹏、翟俊、朱利、牛志春、马万栋、殷守敬、吴迪、金焰等撰写;第4章介绍区域空气环境遥感监测,包括地面遥感监测、基于卫星数据的气溶胶、秸秆焚烧、总悬浮物浓度、灰霾的遥感监测及空气环境质量遥感综合评价技术体系,主要由刘思含、厉青、王中挺、吴艳婷、周春艳、张丽娟、张芳等撰写;第5章介绍区域生态环境遥感监测,包括区域生态环境地面监测、植被覆盖状况遥感监测、土地利用/土地覆盖动态遥感监测、自然保护区生态环境遥感监测,主要由张峰、张慧、王昌佐、万华伟、刘晓曼、屈冉、李静、洪运富等撰写;附录主要由吴艳婷等撰写。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 环境遥感监测现状与发展趋势	1
1.1 环境遥感监测发展现状	1
1.1.1 水环境遥感监测技术与应用进展	1
1.1.2 大气环境遥感监测技术与应用进展	2
1.1.3 生态环境遥感监测技术与应用进展	2
1.1.4 环境遥感监测标准规范	3
1.2 环境遥感监测技术存在问题与发展趋势	4
1.2.1 存在问题	4
1.2.2 解决途径与发展趋势	4
第 2 章 遥感影像处理与专题图制作	6
2.1 遥感影像处理	6
2.1.1 辐射定标	6
2.1.2 大气校正	7
2.1.3 几何校正	8
2.1.4 图像掩膜	10
2.1.5 数据融合	10
2.1.6 影像镶嵌	11
2.1.7 区域分幅产品生产	11
2.2 专题图制作	12
2.2.1 专题图分类与制图准备	12
2.2.2 制图规定	12
2.2.3 质量要求与检查	13
第 3 章 区域水环境遥感监测	14
3.1 区域水环境遥感监测业务化运行研究	14
3.1.1 水环境质量遥感监测原理	14
3.1.2 区域水环境遥感监测指标体系	16
3.1.3 示范区水环境遥感监测业务运行	19
3.2 水环境地面监测	24
3.2.1 监测方法	24
3.2.2 技术流程	25
3.2.3 示范区地面监测产品	28



3.3	水华遥感监测	30
3.3.1	监测方法	30
3.3.2	技术与流程	31
3.3.3	示范区遥感监测产品	34
3.3.4	结果分析与应用	37
3.4	叶绿素 a 浓度遥感监测	42
3.4.1	监测方法	42
3.4.2	技术与流程	43
3.4.3	示范区遥感监测产品	45
3.4.4	结果分析与应用	45
3.5	悬浮物浓度遥感监测	47
3.5.1	监测方法	47
3.5.2	技术与流程	48
3.5.3	示范区遥感监测产品	49
3.5.4	结果分析与应用	49
3.6	透明度遥感监测	52
3.6.1	监测方法	52
3.6.2	技术与流程	52
3.6.3	示范区遥感监测产品	52
3.6.4	结果分析与应用	54
3.7	综合营养状态指数监测	55
3.7.1	监测方法	55
3.7.2	技术与流程	55
3.7.3	示范区遥感监测产品	56
3.7.4	结果分析与应用	56
第4章	区域空气环境遥感监测	64
4.1	空气环境遥感监测业务运行研究	64
4.1.1	区域空气环境遥感监测基本原理	64
4.1.2	区域空气环境遥感监测指标体系	66
4.1.3	示范区空气环境遥感监测业务运行	67
4.2	区域空气环境遥感地面监测	68
4.2.1	颗粒物地面监测	68
4.2.2	污染气体地面监测	71
4.2.3	地面光谱特性测量	71
4.3	气溶胶遥感监测	71
4.3.1	监测方法	71
4.3.2	技术与流程	72
4.3.3	示范区遥感监测产品	78

4.3.4	结果分析与应用	79
4.4	秸秆焚烧火点遥感监测	85
4.4.1	监测方法	85
4.4.2	技术与流程	85
4.4.3	示范区遥感监测产品	87
4.4.4	结果分析与应用	87
4.5	可吸入颗粒物浓度遥感监测	94
4.5.1	监测方法	94
4.5.2	技术与流程	95
4.5.3	示范区遥感监测产品	99
4.5.4	结果分析与应用	99
4.6	灰霾遥感监测	101
4.6.1	监测方法	101
4.6.2	技术与流程	103
4.6.3	示范区遥感监测产品	103
4.6.4	结果分析与应用	104
4.7	区域空气环境质量遥感综合评价	108
4.7.1	监测方法	108
4.7.2	技术与流程	109
4.7.3	示范区遥感监测产品	111
第5章	区域生态环境遥感监测	112
5.1	区域生态环境遥感监测技术体系	112
5.1.1	区域生态环境遥感监测基本原理	112
5.1.2	生态系统/土地覆盖类型分类	114
5.1.3	植被监测遥感指标及参数计算方法	119
5.1.4	生态环境遥感监测业务运行	123
5.2	区域生态环境地面监测	126
5.2.1	土地覆盖野外核查	126
5.2.2	生态系统参数野外观测	130
5.2.3	典型区域野外调查	135
5.3	植被覆盖状况遥感监测	136
5.3.1	监测方法	136
5.3.2	技术与流程	136
5.3.3	示范区遥感监测产品	137
5.3.4	结果分析与应用	138
5.4	土地利用/土地覆盖动态遥感监测	141
5.4.1	监测方法	141
5.4.2	技术与流程	142



5.4.3 示范区遥感监测产品	148
5.4.4 结果分析与应用	148
5.5 自然保护区生态环境遥感监测	153
5.5.1 监测方法	153
5.5.2 技术与流程	158
5.5.3 示范区遥感监测产品	160
5.5.4 结果分析与应用	160
参考文献	177
附录 环境遥感专业术语	180

第1章 环境遥感监测现状与发展趋势

生态环境是社会经济可持续发展水平的重要衡量依据,生态环境质量标志着社会生产和人居环境稳定和协调的程度。目前,生态环境恶化和生态平衡破坏已经影响到人类的生存和经济发展,环境问题已经成为全球性的焦点。我国作为发展中国家,经济正处于高速发展时期,环境问题更为严重。目前突出的环境问题主要有空气污染,水污染,工业污染,土壤侵蚀,土地退化、沙化及湿地、草场、天然森林不断减少等。这些问题在全国广泛存在,常规的站点监测手段,无论在时效上还是空间分布上都不能满足需求,需要发展大面积同步连续监测的卫星遥感监测手段,从而反映生态环境的现状和变化。

遥感是从远离地面的卫星平台上通过传感器对地球表面电磁波辐射信息进行探测,经信息的传输、处理和判读分析,对地球资源与环境进行探测与监测的综合性技术。遥感通过多谱段、多时段、多空间分辨率的影像数据,能提供大范围、宏观、连续性监测信息,在环境监测领域应用具有无可替代的优越性。随着卫星平台与遥感技术的不断发展,特别是环境一号卫星的发射及其遥感定量化关键技术的突破与解决,环境遥感监测技术在我国环境保护工作中的应用也渐成体系并且日趋成熟(王桥等,2006;吴传庆等,2006;王桥等,2010)。环保部门开展了卫星在水体、空气、生态环境监测中应用的大量研究与示范,在全国生态环境状况调查、内陆水体水华监测、区域环境空气污染监测、秸秆焚烧、沙尘暴监测及应对突发环境事件等方面取得了突出成绩,促进了环保系统的环境遥感应用业务的快速发展,为国家环境管理提供了重要决策支持(王桥等,2010;杨一鹏等,2011)。

1.1 环境遥感监测发展现状

1.1.1 水环境遥感监测技术与应用进展

水环境遥感监测技术分为海洋水色遥感和内陆水体遥感。海洋水色遥感监测已逐步实现业务化运行,监测指标主要为叶绿素 a、悬浮物(suspended solid,SS)、水温等,具有代表性的卫星平台和传感器有美国的 Seastar/SeaWiFS、EOS-TERRA&AQUA/MODIS 及欧洲太空局的 ENVISAT/MERIS、日本的 ADEOS/GLI、印度的 IRS/OCM 等,我国的卫星有海洋卫星系列的 HY-1A、HY-1B 和风云卫星系列的 FY-1C 和 FY-1D。内陆水体水域面积相对较小且污染类型多样,要求更高的空间分辨率和光谱分辨率,监测指标主要为叶绿素 a、悬浮物、可溶性有机物、水温、透明度等(张兵等,2008),通常采用空间分辨率较高的陆地卫星系列,如美国的 Landsat/TM、法国的 SPOT/HRV、印度的 IRS-1/LISS-III 及高光谱卫星(美国的 EO-1/



Hyperion 等)。我国以环境一号卫星数据为主,已建立了水华、叶绿素 a、悬浮物、水温等水环境指标的遥感反演与信息提取的技术流程,并且实现了水华监测业务化。

在水环境遥感监测应用示范方面,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、太湖、巢湖、滇池、三峡库区等大型水体进行了遥感监测,工作主要集中在水中悬浮物、水体温度、色度、水中可溶性有机物等监测,具体包括水域分布变化、水体沼泽化、赤潮和富营养化、泥沙污染、废水污染、固体漂浮物污染监测等。其中,环境保护部对太湖、巢湖、滇池、三峡水库等内陆水体的蓝藻水华、水体富营养化等遥感动态监测已经实现业务化运行,对近海海域绿藻浒苔、溢油等遥感监测也取得了显著的应用成效。

1.1.2 大气环境遥感监测技术与应用进展

由于大气中各成分的浓度较小,且波谱特征较复杂,卫星遥感对大气污染参数监测能力较弱,但是由于大气成分监测对象在紫外、可见光、红外波段的吸收特性和对不同波段太阳辐射的消光差异,综合利用可见光、紫外、红外等高光谱遥感,可以较好地实现对大气环境的遥感监测和分析。发达国家对大气气溶胶、臭氧、沙尘暴的监测基本实现业务化应用,国内对大气气溶胶、颗粒物浓度、沙尘及秸秆焚烧火点监测等也已经开始业务化运行,对 SO_2 、 NO_2 、 CO_2 、 CO 等污染气体与温室气体的监测正在进行应用示范。

卫星传感器主要有美国的 NOAA/AVHRR、EOS-TERRA/AQUA/MODIS、TERRA/MOPITT 和欧洲太空局的 ENVISAT/SCIAMACHY、ERS-2/GOME、METOP-1/GOME-2 及日本的 ADEOS-II/TOMS&TOVS 等。中国的卫星主要为风云系列气象卫星和环境一号卫星,目前已经建立了气溶胶、颗粒物浓度、污染与温室气体(O_3 、 SO_2 、 NO_2 、 CO_2 、 CO 、 CH_4)、热污染等大气监测指标的遥感反演与信息提取算法及技术流程。

在空气环境遥感技术研究与应用示范等方面,开展空气质量评价、秸秆焚烧火点监测、沙尘监测预警等应用。其中,对全国和各地的秸秆焚烧动态监测、城市大气气溶胶监测、沙尘及沙尘暴动态监测与评估已经实现业务化运行,正在尝试开展对污染气体、温室气体及颗粒物浓度的业务化动态监测。2008 年北京奥运会、2010 年上海世博会和广州亚运会期间,对北京周边、长江三角洲和珠江三角洲地区秸秆焚烧情况进行遥感监测,为环境监察部门的执法工作提供了重要依据,为保障北京奥运会、上海世博会和广州亚运会期间的空气质量提供了信息服务。

1.1.3 生态环境遥感监测技术与应用进展

利用遥感进行生态环境的监测发展较为成熟,研究主要集中在土地利用/土地覆盖与城市扩展动态监测、生物物理参数信息提取、大尺度生态系统状况评估、生态环境质量动态监测和评价等方面;在区域尺度上开展对重要生态功能区、自然保护区、生物多样性优先保护区的生态环境监测;针对重大工程环境影响评价、土壤侵蚀与地面水污染负荷产生量估算;生物栖息地评价和保护、工程选址、防护林保护规划和建设、灾害预警与灾后评估等众多方面。常用的中高空间分辨率的陆地卫星数据有美国的 Landsat/TM 系列、法国

SPOT/HRV 系列、印度 IRS-1 系列及高光谱卫星(如美国的 EO-1/ALI 等),以及我国的环境一号、资源一号、北京一号等卫星。针对环境一号卫星数据,我国已构建了生态环境遥感监测指标体系,建立了土地生态自动分类及生物物理参数、景观状态参数等遥感反演与信息提取的技术流程。

生态环境遥感监测应用方面,美国等发达国家已经基于 TM 数据建立了国家级土地覆盖数据库,并实现 5 年左右周期的动态更新。2001 年启动的千年生态系统评估,在全球尺度上系统、全面地揭示了各类生态系统的现状和变化趋势、未来变化的情景和应采取的对策,对国际社会和许多国家产生重要影响。我国于 1999~2002 年启动了中国西部地区和中东部地区生态环境现状调查,开展了土地利用分类和现状评估、典型生态问题和典型区域分析等工作,取得了较好的成效(王桥等,2003;厉青等,2004)。2011 年,再次启动全国生态环境十年变化(2000~2010 年)遥感调查与评估,主要对生态系统格局、质量、服务功能,人为胁迫,生态问题进行分析,全面反映我国生态环境现状和变化,总结生态环境保护成效和经验。区域尺度主要开展保护区监管、城市热岛、流域污染监测、自然灾害评估等,对国家级自然保护区内人为活动进行遥感监测,对青海木里、陕西省神府矿区等矿产资源开发区生态进行评价,对呼伦贝尔防风固沙生态功能区、西藏拉鲁湿地、三江源、辽河流域等典型区进行生态遥感监测评价,都取得了显著的成效,为生态保护和监管提供了重要的技术支持。近年来,遥感技术在自然灾害与环境事故应急工作中也开始发挥作用,针对 2008 年汶川特大地震、2010 年舟曲特大滑坡泥石流、2010 年西南极端气象干旱、2011 年云南盈江地震和长江中下游重大干旱等突发环境事件,环保部门采用卫星遥感进行灾区环境影响及损毁监测与评估、生态环境风险遥感评价,为抗震救灾和恢复重建工作提供了重要的技术支持。

1.1.4 环境遥感监测标准规范

我国遥感相关的应用技术标准主要集中在测绘行业,涉及摄影测量、普通地图与专题地图制作标准与规范,已发布的如《遥感影像平面图制作规范》(GB/T 15968—2008)、《地形图航空摄影规范》(GB/T 6962—2005)、《国家基本比例尺地图图式》(GB/T 20257—2006)、《地球空间数据交换格式》(GB/T 17798—1999)等。在资源环境应用领域,遥感技术相关的标准与规范相对较少,已发布的有国土资源部公布的《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)标准,环境保护部试行的《生态环境状况评价技术规范》等。但在环境遥感领域,针对环境遥感监测指标、环境遥感监测技术流程、天地同步监测规范、多源数据环境综合评价等方面并没有形成相应的技术规范与标准体系,这种现状对于环境遥感监测工作的业务化、例行化推广十分不利,亟须加强该领域标准与规范的研究与发布工作,以推动遥感技术在环境领域中的广泛应用,实现天基、地基相结合的立体环境监测体系。

综上所述,遥感技术是获取环境信息的重要手段,已经成为环境保护研究和应用的重点领域,环境遥感监测已初步实现业务运行,为生态监管、环境督查、环境应急等工作提供了持续的信息服务和技術支撑。



1.2 环境遥感监测技术存在问题与发展趋势

1.2.1 存在问题

目前,环境遥感应用在数据源、图像处理与信息提取技术、监测与评价方法等方面亟待提高,具体表现在以下五个方面:

(1) 遥感数据源。环境遥感目前使用的遥感数据以中分辨率的光学卫星遥感影像为主,业务运行的数据 80% 来自国外卫星,数据费用高、实时性差,并且数据质量无法考证,导致环境遥感监测如大气环境、水环境的监测定量反演结果精度没有保证,不利于业务化运行工作。在这方面还缺少国产环境监测专用卫星稳定数据支持。

(2) 环境监测指标体系和标准规范。针对不同的环境问题,在监测指标、监测技术流程、天地同步监测规范、多源数据环境综合评价等方面,缺少统一的监测指标体系及衡量标准,缺少遥感应用技术标准和规范,不利于环境遥感监测工作的业务化、例行化推广,亟须加强该领域标准与规范的研究工作。

(3) 遥感信息提取方法和模型。环境遥感信息提取方法大都是经验或半经验模型,主要是通过建立遥感参数与常规监测数据之间的统计关系构建反演模型,无法保证环境参数与遥感监测辐射值之间的相关性,结果的可信度和普适性不高,与环境遥感监测实际需要存在很大差距,对定量遥感反演的机理和模型还有待研究。

(4) 多源数据协同与天地同步监测技术。由于环境问题的复杂性,单个卫星难以解决所有的应用问题,需要攻克多源遥感数据协同反演和同化的关键技术,以提高我国环境遥感应用水平。另外,地面监测数据与卫星遥感影像间的协同反演、尺度转化、数据转换等方面需要进一步深入研究。

(5) 遥感应用系统建设与业务运行。现有环境遥感监测业务应用成熟度不够,没有形成稳定的业务化运行模式,未形成稳定的环境遥感应用业务化运行平台,不能完全支撑环境遥感监测业务化运行工作。

1.2.2 解决途径与发展趋势

目前,遥感技术在环境领域的应用虽然存在诸多技术局限,但随着遥感技术不断进入环境保护主体工作,环境遥感业务运行也将趋于成熟,可从以下几个方面着手解决存在的问题。

(1) 研制环境专用载荷,发展环境监测业务系列卫星。根据环境遥感业务应用需求,优先发展近红外、中红外谱段 CO_2 、 CH_4 等温室气体探测载荷,紫外谱段 SO_2 、 NO_2 等空气污染物探测载荷,以及高光谱水体污染监测、大气气溶胶偏振探测等环境专用载荷;持续研制和发展环境卫星对地观测系统,保证环境遥感业务应用所需数据的持续性和稳定性。

(2) 开展星地同步观测实验,解决环境遥感应用关键技术。加强星地同步观测及地基能

力建设,解决天地同步观测的尺度转换、数据同化等技术,开展遥感应用机理和反演模型研究,建立空气污染物、水污染、陆地生态参数等指标星地协同反演和预测模型,发展城市群污染气体模式预测、湖泊水质水动力模拟、区域陆表生态过程模拟与评估预测技术,推进天地一体化的环境遥感监测技术体系建设。

(3)推进环境遥感业务化运行,提高环境遥感应用成效。建立环境遥感监测业务化运行体系,明确水环境、空气环境、生态环境等监测指标体系、技术方法、业务流程、成果形势、报告模板等,开展区域示范和应用并形成实用化、可操作和标准化的环境遥感运行模式,推进区域天地一体化环境监测能力建设,使遥感技术能够稳定、持续地为环境管理提供技术支撑,逐步进入环境管理主体业务。

(4)加强技术标准与规范制定,促进遥感技术应用和推广。基于环境遥感监测技术体系和业务化应用成果,梳理和凝练环境遥感监测指标体系、技术流程、算法模型等,构建遥感环境应用标准体系,规定遥感技术在环境监测、环境监管、环境应急、环境督察等业务中应用的技术和方法,形成水环境、空气环境、生态环境遥感应用的技术指南和规定等,并开展培训与交流,促进环境遥感技术应用。

第2章 遥感影像处理与专题图制作

2.1 遥感影像处理

遥感影像处理以解压缩、帧同步、分景后的影像为起始处理对象,经辐射定标、大气校正、几何校正等预处理生成各级产品,在此基础上可进行融合、镶嵌、变化检测、土地覆盖、分类等处理,生成满足应用目标的专题产品及应用产品。

2.1.1 辐射定标

辐射定标是遥感数据定量化的基础,是指把图像上记录的强度值(DN值)转为辐亮度或反射率,确定传感器入口处的标准辐射值。光学遥感器校正包括绝对定标和相对定标。

1. 绝对定标

绝对定标是指建立传感器测量的数字信号与对应的辐射能量之间的数量关系,即确定定标系数。卫星发射前的绝对定标是指在地面实验室或实验场用传感器观测辐射亮度值已知的标准辐射源以获得定标数据。卫星发射后,定标数据主要采用定标实验场测量数据,定标系数一般在图像头文件信息中可以读取,包括增益系数和偏离系数。对于光学遥感数据,辐射定标的原理基本相同,分为两步:第一步将图像的DN值转化为辐亮度;第二步将图像的辐亮度转化为表面反射率。

(1) DN值转换成辐亮度,一般遥感数据的表观辐亮度的表达式为

$$L_{\text{rad}} = \text{GAIN} \times \text{DN} + \text{BIAS} \quad (2.1)$$

式中, L_{rad} 为光谱表观辐亮度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$]; GAIN 为增益系数; BIAS 为偏离系数。

(2) 辐亮度转换成反射率。

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi d^2 L_{\text{rad}}}{\text{ESUN}_{\lambda} \cos \theta_z} \quad (2.2)$$

式中, ρ_{λ} 为光谱反射率; ESUN_{λ} 为第 λ 波段的太阳平均辐射强度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$]; θ_z 为太阳天顶角($^{\circ}$); d 为日地距离(天文单位)。

2. 相对定标

由于传感器各个探测元件之间存在差异,使传感器探测数据图像出现一些条带,相对定标的目的就是降低或消除这些影响。相对定标得出的目标中某一点的辐射亮度与其外部点的相对值,又称为传感器探测元件归一化,是为了校正传感器中各个探测元件响应度差异而

对原始亮度值进行的归一化。

2.1.2 大气校正

大气校正是指为消除传感器在获取地表信息过程中,大气分子、气溶胶等的吸收和散射影响而进行的辐射校正,分为相对校正和绝对校正。

相对校正通常通过建立经验统计模型实现,需要配套地面实验场实测数据。相对辐射校正主要包括不变目标法、暗像元法与直方图匹配法等。不变目标法假定图像上存在具有较稳定反射辐射特性的像元,并且可确定这些像元的地理位置,那么就称这些像元为不变目标,这些不变目标在不同时相的遥感图像上的反射率存在一种线性关系。当确定了不变目标及它们在不同时相遥感图像中反射率的这种线性关系时,就可以对遥感图像进行大气校正。暗像元法的基本原理就是假定待校正的遥感图像上存在黑暗像元区域且假定地表朗伯面反射、大气性质均一,并忽略大气多次散射辐照作用和邻近像元漫反射作用,反射率很小的黑暗像元由于大气的影响,而使得这些像元的反射率相对增加,可以认为这部分增加的反射率是由于大气程辐射的影响产生。利用暗像元值计算出程辐射,并代入适当的大气校正模型,获得相应的参数后,通过计算可以得到地物真实的反射率。直方图匹配法是指如果确定某个没有受到大气影响的区域和受到大气影响的区域的反射率相同,并且可以确定不受影响的区域,就可以利用它的直方图对受影响地区的直方图进行匹配处理。此外,还有很多基于统计模型的方法,如有人提出利用小波变换的遥感图像相对辐射校正方法。该方法对源图像小波变换域的低频成分实施辐射变换,并保持高频成分不变,重构的图像具有保持高频信息的特性,因而能够较好地保留原图像中由于地物变化引起的辐射差异;也有人利用主成分分析法把遥感图像中有用的信息和大气影响噪声区分开。

绝对校正采用大气辐射传输模型,利用一系列参数(如卫星过境时的地物反射率、大气能见度、太阳天顶角和卫星传感器的标定参数等)对遥感图像进行校正。大气辐射传输模型基于辐射传输方程,能较合理地描述大气散射、吸收、发射等过程,且能产生连续光谱,避免光谱反演的较大定量误差,在 ACORN、ATREM、FLAASH 和 ATCOR 等商业软件中均有基于辐射传输模型的校正模块。常用的辐射传输校正模型包括 LOWTRAN-7、MODTRAN、FASCODE,它们可以在 $0.2\mu\text{m}$ 到 ∞ 范围内计算复杂大气条件下的辐射传输量。这些模型中定义了多种标准大气模式,每类大气模式以高度函数的方式定义了温度、压力、密度及水汽、 O_3 、 CH_4 、 CO 等 30 种气体混合比。此外,也可根据实测资料自行定义,而且这些传输模型实用程序中包括具有代表性的大气、气溶胶、云雨的模型,同时还考虑了水平、垂直、倾斜向上和向下传输等复杂几何关系。三种模型精度各不相同,LOWTRAN 适用于 30km 以下高度且精度最低,MODTRAN 适用于 60km 以下高度,采用 Curtis-Godson 近似计算气溶胶光学厚度,通过等效均匀路径代替多层路径计算,精度低于 FASCODE,后者采用逐线 Beer-Lambert 算法精确计算每一层大气的光学厚度。6S(the second simulation of the satellite signal in the solar spectrum) 辐射传输模型相对更为简单,可以模拟无云条件下卫星传感器在太阳反射波段($0.4\sim 2.5\mu\text{m}$)的信息,对大气影响(水汽、 CO_2 、 O_3 和 O_2 的吸收、分子和气溶胶的散射)/非均一地表/二向性反射及边界条件有细致的考虑。一般来说,辐射传输模型的影像输入是经过遥感器定标后的辐亮度值,需要的参数主要(以 6S 模型为例)有以下几种。



(1) 太阳和传感器的几何参数信息,包括太阳天顶角、卫星天顶角、太阳方位角、卫星方位角,可根据影像成像时间、卫星轨道参数计算得到。

(2) 大气组分参数,即大气模式,包括大气水汽、成分参数;6S 模型提供标准模式供选择,如“中纬度夏季”、“中纬度冬季”、“热带”等。

(3) 气溶胶组分参数,包括灰尘、烟尘等气溶胶组成成分的百分比参数,6S 模型提供标准模型来替代,如“大陆模型”等。

(4) 气溶胶大气路径长度,一般用当地能见度参数表示(如 10km,如果可能,可从附近的机场获取)。

(5) 目标的海拔高度,主要是影像景的平均高度(如海平面以上 200m)。

(6) 传感器波段条件,即各个波段的信息,包括均值和半峰全宽。

(7) 地面反射模型,包括基于朗伯体模式或基于双向反射分布函数(bidirectional reflectance distribution function, BRDF)的不同类型。

2.1.3 几何校正

原始影像像元在图像坐标系中的坐标与其在地图坐标系等参考系统中的坐标之间存在差异,几何校正即为消除这种差异的过程,主要包括系统几何校正、几何精校正和正射校正。

1. 系统几何校正

系统几何校正是根据卫星获取影像时的轨道和姿态参数,利用精轨或 GPS 轨道和相应成像时刻的卫星姿态参数,建立粗略的像点和地面点的几何关系,完成系统成像过程中几何变形的粗校正,获得具有地理编码的影像数据。系统几何校正利用各种可以预测的参数,如传感器的校准数据、位置参数、平台姿态等测量值代入理论校正公式,把原始影像校正到所要求的地图投影坐标系。

2. 几何精校正

几何精校正是利用地面控制点(ground control point, GCP)数据对原始卫星图像的几何畸变过程进行数学模拟,建立原始畸变图像空间与地理制图标准空间(亦称校正空间)之间的对应关系,把畸变图像空间中的全部元素变换到校正图像空间中。几何精校正主要分为两种方法:一种是人工判读的方法选择控制点进行校正;另一种是基于控制点库的控制影像匹配的方法进行快速校正。前一种方法易于实现,但处理速度慢,效果不稳定,后一种方法自动化程度高,可靠性强。应用中要根据影像类型和校正区域地理状况确定几何校正的地面控制点的数量和布局,选择合适的几何校正模型、重采样方法和相关参数设置,具体包括以下几个方面。

1) 校正模型选取

(1) 直接线性变换模型。

直接线性变换模型是直接建立像平面坐标与空间坐标的关系式,形式简单、解算方便,不需要轨道星历参数和传感器参数,直接线性变换模型的表达式如下: