



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

遥感原理与应用

李小文 主 编
刘素红 副主编



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

遥感原理与应用

李小文 主 编

刘素红 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书系统地介绍了遥感科学与技术的基本原理与概念,并详细探讨了遥感各应用领域的研究方法与实践案例,共14章。主要内容包括:绪论、遥感的基本概念、电磁波与辐射度学基础、辐射传输基础、遥感平台与传感器系统、遥感图像的数字处理、热红外遥感、微波遥感、植被遥感、海洋水色遥感、陆面蒸散发的遥感估算、城市遥感、地质遥感和遥感考古。

本书可作为高等院校遥感、地理信息系统、测绘等专业的本科生教材,也可供相关专业研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

遥感原理与应用/李小文主编. —北京:科学出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-021428-7

I. 遥… II. 李… III. 遥感技术-高等学校-教材 IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037578 号

责任编辑:杨 红 王日臣 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

随 志 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年8月第一次印刷 印张:17

印数:1—3 500 字数:331 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

遥感科学是随着现代科学技术的进步发展起来的一门新兴学科。当现代技术让人类有能力在不同的平台上（航空或航天）回望地球时，人类得以从一个全新的视角来重新认识和发现自己的家园；重新从一个宏观的尺度上来整合人类对地球的现有认识，获取所居住环境的参数和信息；重新探索全球气候变化、陆地与极地的冰雪变化、森林火灾、矿产资源开发等与人类生活息息相关的环境问题的解决方案。在这样一个全新的尺度下，认识问题和研究问题的方法也是全新的，而原有概念的意义也发生了巨大的变化。新的观测不断验证着以往研究的结论，也展现着我们前所未见的现象和问题，这些问题既困扰着我们，又激励着我们去发现其中的规律。

在本书的编写过程中，我们参考了目前非常受欢迎的几本教科书，如赵英时老师的《遥感应用分析原理与方法》；Robert A. Schowengerdt 编著的 *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing (Third Edition)*；Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer 和 Jonathan W. Chipman 编著的 *Remote Sensing and Image Interpretation* 等。

遥感作为一门迅速发展的多学科交叉的科学，是一门综合性的高新技术，任何一本书要想包括遥感技术和科学的全部内容都是不现实的。本书力争为地学类本科高年级学生和遥感专业的学生把遥感的基本原理、基本概念讲透，使读者学完这本书及相关课程后，能掌握从事遥感行业工作的基本技术，同时培养出更深入研究遥感科学、发展遥感技术的兴趣和潜力。本书主要内容包括（带 * 号的为阅读材料）：第 1 章，绪论；第 2 章，遥感的基本概念；第 3 章，电磁波与辐射度学基础；第 4 章，辐射传输基础；第 5 章，遥感平台与传感器系统；第 6 章，遥感图像的数字处理；第 7 章，热红外遥感；第 8 章，微波遥感；第 9 章，植被遥感；第 10 章，海洋水色遥感；第 11 章，陆面蒸散发的遥感估算；第 12 章，城市遥感；第 13 章，地质遥感；第 14 章，遥感考古*。

本书第 1~8 章，着重阐述遥感基本原理；第 9~14 章，着重阐述遥感应用的具体研究方法和研究案例。具体编写分工如下：第 1、2 章由李小文编写；第 3、4、10 章由唐军武编写；第 5 章由赵红蕊编写；第 6 章由刘素红编写；第 7 章由阎广建编写；第 8 章由张立新、蒋玲梅编写；第 9 章由孙睿编写；第 11 章由刘绍民、詹志明编写；第 12 章由陈云浩编写；第 13 章由赵永超编写；第 14 章由王心源编写。以上编写人员不仅提供了本书的手稿，还提供了大量的教学讲

义。本书讲义从 2003 年开始在各级本科生中试读。彭睿、龚冰蕾、胡蕾秋、瞿瑛、任华忠、王立钊、周公器、梁星涛、阮智星、雷星松、潘金梅、张春燕、常燕、陈伟等学生对书稿也做了大量的校对工作。在此对他们的工作表示衷心的感谢。

编写本书的目的是为全面系统阐述遥感科学的基本原理和具体应用方法。我们希望本书既能够博采众家之长，又能够体现我们的特点；既能够传达丰富的知识信息，又能够明白晓畅、通俗易懂。

由于编者水平和编写时间所限，书中不足之处在所难免，恳切希望广大读者和有关专家不吝指正，以便今后修订完善。

编著者

2008 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 什么是遥感	2
1.2 遥感数据获取的基本过程	2
1.3 遥感的分类	2
1.4 遥感技术与科学的发展历史	3
1.5 遥感技术与科学的发展趋势	5
1.6 EOS 计划简介	6
1.7 遥感数据的处理到应用的基本过程	8
第 2 章 遥感的基本概念	9
2.1 几何光学基础	9
2.2 摄影成像的基本概念.....	11
2.3 地物的空间特征与波谱特征.....	12
2.4 遥感影像的“测量维”分辨力.....	14
2.5 遥感中的尺度效应问题.....	15
第 3 章 电磁波与辐射度学基础	17
3.1 电磁波与电磁波谱.....	17
3.2 辐射度学的基本参数.....	19
3.3 普朗克定理.....	24
第 4 章 辐射传输基础	28
4.1 介质固有的光学特性.....	28
4.2 介质内部光场的漫衰减.....	29
4.3 辐射传输方程.....	30
4.4 太阳光与大气、地表的相互作用.....	32
4.5 遥感观测信号的构成分析.....	37
第 5 章 遥感平台与传感器系统	43
5.1 航空遥感.....	43
5.2 航天遥感.....	61
5.3 卫星和传感器简介.....	74

第 6 章 遥感图像的数字处理	82
6.1 遥感图像的统计特征	82
6.2 图像预处理	84
6.3 图像增强和变换	89
6.4 遥感数据的融合	97
6.5 遥感图像的专题分类	100
6.6 遥感图像数字处理应用上的发展和展望	104
第 7 章 热红外遥感	106
7.1 热红外遥感概述	106
7.2 热红外遥感的基本原理	107
7.3 热红外遥感系统	116
7.4 热红外遥感应用	117
第 8 章 微波遥感	122
8.1 微波遥感概述	122
8.2 微波遥感原理	125
8.3 微波遥感系统	133
8.4 雷达图像特征	139
8.5 微波遥感应用	144
第 9 章 植被遥感	147
9.1 植被光谱特征	147
9.2 植被指数	153
9.3 利用遥感估算植被净初级生产力	157
9.4 遥感估产模型	159
第 10 章 海洋水色遥感	162
10.1 水色遥感概述	162
10.2 水体的光谱特性	163
10.3 水体参数和水体光谱特征参数的关系模型	174
10.4 水色大气校正	177
第 11 章 陆面蒸散发的遥感估算	193
11.1 陆面蒸散发的遥感基本概念	193
11.2 能量平衡方程	193
11.3 能量通量指数	198
11.4 瞬时蒸散模型	200
11.5 区域日蒸散发计算方法	208

第 12 章 城市遥感	210
12.1 城市遥感概述.....	210
12.2 城市三维测量.....	212
12.3 城市结构要素的提取.....	216
12.4 土地利用/土地覆盖遥感测量	221
12.5 城市扩展的遥感检测与模拟.....	225
第 13 章 地质遥感	230
13.1 地质遥感概述.....	230
13.2 地质构造的遥感信息解译.....	232
13.3 岩石和矿物的光谱特性.....	233
13.4 岩矿波谱原理及其模型.....	236
13.5 岩石地球化学和光谱特征参数的关系分析.....	240
13.6 卫星遥感在岩性识别中的应用.....	244
第 14 章 遥感考古	245
14.1 遥感考古概述.....	245
14.2 遥感考古判读方法.....	246
14.3 遥感考古应用举例.....	249
14.4 遥感考古发展趋势.....	255
主要参考文献.....	258

第1章 绪 论

遥感作为一门综合技术,是美国学者 E. L. Pruitt 在 1960 年提出来的。为了比较全面地描述这种技术和方法,E. L. Pruitt 把遥感定义为“以摄影方式或非摄影方式获得被探测目标的图像或数据的技术”。从现实意义看,一般称遥感是通过某种传感器装置,在不与研究对象直接接触的情况下,获取其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门技术。

遥感,顾名思义,就是遥远地感知。人类通过大量的实践,发现地球上每一个物体都在不停地吸收、发射和反射信息和能量,其中有一种人类已经认识到的形式——电磁波;并且发现不同物体的电磁波特性是不同的。遥感就是根据这个原理来探测地表物体对电磁波的反射和自身发射的电磁波,从而提取这些物体的信息,完成远距离识别物体。

人类一直憧憬具有遥感的能力,像唐代诗人李贺的《梦天》就幻想从月球上获取大地的图像;宋代诗人苏轼则论证了跳出地表来观察地表宏观结构的必要:“不识庐山真面目,只缘身在此山中。”从古代幻想的千里眼,到近代用信鸽来做平台进行照相侦察,直到 20 世纪后期,人类才真正走进了从航空航天平台上频繁获取地表海量空间信息的时代。

遥感是现代科技推动下发展起来的对地观测信息获取和处理技术的一场革命。遥感技术对地理学的推动作用可以与望远镜的发明对天文学的推动作用相比。天文学的发展推动了数学、物理学的发展,进而推动了欧洲的工业革命。

遥感技术对地学的推动作用在现代中国则得到了高度重视,这应该归功于老一辈科学家,如王之卓、黄秉维和陈述彭等老先生们对新技术的敏锐洞察和对地理学发展的高瞻远瞩。他们很早就抓住了从航片解译到航天遥感的机遇,既推动遥感应用,又强调对遥感影像的地学理解和智能分析,为中国现代地理学的发展开拓了一条充满希望的大道。

反观美国,直至 1978 年,当时的美国地理学会会长还著文批评一批较年轻的地理学家以计算机和遥感为技术手段,打着科学的旗号,篡改地理学作为一种描述性艺术的实质。二十年来的事实证明,美国大学中凡是没有抓住计算机和遥感机遇的地理系,纷纷走向衰亡。但是,二十年来的事实也证明,卫星和计算机只能辅助,并不能取代人们对地学规律的认识、分析和表述。如果数据获取和地学规律提炼“一手硬,一手软”,就会造成人类有了海量卫星数据,却无法从中提取有用信息以形成知识的窘况。

总之,遥感不单是现代科学技术在地理学上的应用,遥感也是一门科学。遥感科学是在地球科学与传统物理学、现代高科技基础上发展起来的一门新兴交叉学科,有自己独特的科学问题。

1.1 什么是遥感

遥感的定义:遥感是通过不接触被探测的目标,利用传感器获取目标数据,通过对数据进行分析,获取被探测目标、区域和现象的有用信息。

遥感的英文缩写是 RS(remote sensing),广义遥感是在不直接接触的情况下,对目标物或自然现象远距离感知的一种探测技术;狭义遥感是指在高空和外层空间的各種平台上,应用各种传感器(摄影仪、扫描仪和雷达等)获取地表的信息,通过数据的传输和处理,从而实现研究地面物体形状、大小、位置、性质及其环境的相互关系的一门现代化应用技术科学。

1.2 遥感数据获取的基本过程

遥感是通过对地面目标进行探测,获取目标的信息,再对所获取的信息进行处理,从而实现对目标的了解和描述。获取信息是通过传感器来实现的。传感器之所以能收集地表的信息,是因为地表任何物体表面都辐射电磁波,同时也反射入照的电磁波。这种入照的电磁波可以是太阳直射光、天空和环境的漫射光,也可以是有源遥感器的“闪光灯”。总之,地表任何物体表面,随其材料、结构、物理/化学特性,呈现自己的波谱辐射亮度。

这些不同亮度的辐射,向上穿过大气层,经大气层的吸收衰减和散射,穿透大气层,到达航天遥感器。遥感器可以是帧成像的,好像相机,一次成一幅二维遥感图像;可以是推帚式的,即一次成一条线状的图像,随着卫星的前进,再成下一条线状图像,最后拼成—“轨”卫星图像;也可以是扫描式的,即一次只记录下一个像元的亮度波谱,逐点扫描推进,最后组装为一幅遥感图像(或者不组装)。这三种方式,加上多谱段的处理,原则上都是成像时间和传感器阵列空间之间各种要求的折中,对一个像元来说则都是一样的。我们这里可以忽略各种纠正(留待以后的章节),简单理解卫星上的遥感器为一个个“相机”,给地表照相。但注意“相机”有很多种。

1.3 遥感的分类

1. 按平台高度

按平台高度大致可以分为航空、航天与地面测量。这里地面的测量是基础性和服务性的(如收集地物波谱,为航空航天遥感器定标,验证航空航天遥感性能及结果等)。平台高度包括手持(约 1m)、观测架(1.5~2m)、遥感车(10~20m)、观

测塔(30~350m)等。航空遥感平台的高度从数百米、数千米、20km(高空侦察机)到35km(高空气球)。航天平台高度从低轨(<500km)、极轨(保持太阳同步,随重复周期轨道高度可变,一般在700~900km)到静止卫星轨道(与地面自转同步,高度约3.6万km),再到L-1轨道(此处太阳与地球对卫星引力平衡,离地约150万km)。

2. 按遥感波段

以遥感使用的波段大体上可分为光学与微波。这里光学包括波长小于热红外($10\mu\text{m}$ 左右)的电磁波。由于波长小于数十微米,可以认为地面物体的特征远大于波长,因而可以忽略衍射,用几何光学处理光与地表的相互作用。

微波波长可以从亚毫米到米,此时衍射、干涉和极化已很难忽略,故与光学遥感在成像机理和仪器制造上差别较大。

3. 按成像信号能量来源

以成像信号能量来源来分,遥感可分为被动式与主动式两种。被动式又可分为反射式(反射太阳光)与发射式(被感目标本身的辐射)两种;而主动式又可分为反射式(反射“闪光灯”的照射)与受激发射两种。

4. 按应用

以应用来分,这本身又是一个多维的分类问题。从空间尺度分类,有全球遥感、区域遥感、局地遥感(如城市遥感);从地表类型分类,有海洋遥感、陆地遥感、大气遥感;从行业分类,有环境遥感、农业遥感、林业遥感、水文遥感、地质遥感等。

1.4 遥感技术与科学的发展历史

人类憧憬从高空观察地球的历史是非常悠久的。人类的这种憧憬,大概来自登山。我国的春秋时代就有“登东山而小鲁,登泰山而小天下”的说法,对观察对象与观测距离的尺度效应有了初步的认识。战国时期,就有了登高临远时大气中的气溶胶影响能见度的记载。烽火台、箭楼、敌楼等建筑,无不沉淀着人类对观察高度的追求。

现代意义上的航空遥感,一般追溯到1856年,法国用载人气球从空中拍摄了巴黎的街区图,离摄影技术的发明(1839年)不到20年。20世纪,航空遥感以飞机为主,但气球(或飞艇)仍有其优点,迄今仍有运用。从传感器和记录器方面来说,1934年开始有彩色摄影,9年后有了彩红外胶片,在诺曼底登陆战中初露锋芒,迄今仍为航测航判的主要媒介之一。

1.4.1 可见光、近红外和热红外遥感的发展历史

20 世纪 60 年代以来,航天遥感加速发展。最初是气象卫星,1960 年美国“泰诺斯”卫星和“云雨”卫星发回了第一张全球云图。卫星云图的出现不动声色地结束了我国关于应该靠气象台站和模型还是应该靠发动群众看蚂蚁搬家来预报天气的大辩论。

气象卫星后来迅速向两个方向发展:一是极轨太阳同步卫星(1978,NOAA 系列,高度 800km 左右,轨面倾斜角 98° 左右),分辨率容易做得较高;二是自转同步静止卫星(1975,GOES,轨道高度 36 000m),与覆盖地域(约半个地球)自转同步,但边缘分辨率太低,只标中间部分。

在“云雨”气象卫星基础上,美国 1972 年发射了第一颗“地球资源技术卫星”(ERTS),1975 年发射第二颗时正名为“陆地卫星”(Landsat-2),迄 Landsat-3 止主要传感器均为 MSS(多光谱扫描仪),地面分辨率 79m,包括绿、红及两个近红外共四波段。

1982 年 7 月,Landsat-4 成功发射,较之前三颗卫星,Landsat-4 新增了 TM(专题成像仪),与 MSS 相比空间分辨率提高到 30m(热红外除外),波段数增到 7 个(扩展到热红外),全球覆盖周期从 18 天缩至 16 天,从此 TM 取代 MSS 成为陆地遥感卫星的主流。

在 TM 成功的基础上,各国竞相改进。法国的 SPOT 卫星于 1986 年成功发射,搭载两台 CCD 相机,空间分辨率提高到 10m(全色)和 20m(三波段),能偏离星下点成像以构成立体像对。这些带原创性的改进也成为后来各国仿效和改进的基础,如印度的 IRS 系列(IRS-1,发射于 1995)、日本的 AVNIR(1996)和 ALOS(2002)等。

我国的资源卫星系列也分别可视为 TM 或 SPOT 的改进型。美国自己发射的 Landsat-7 搭载的 ETM(增强型 TM)则主要在 TM 的基础上,吸取了 SPOT 的一些优点,如增加全色波段(分辨率 15m)。

1.4.2 微波遥感的发展历史

最早的航天 SAR 是海洋卫星(美,Seasat),1978 年 6 月入轨,共获取了 70 天的数据。但美国花了 4 年才处理完这些数据,广泛应用于极冰测绘、海洋监测、地质测绘、水文学等领域。随即美国又用航天飞机实施了 SIR-A/B/C 等 SAR 遥感项目。

随着 SIR-A/B/C(1981/1984/1991)的巨大成功,各发达国家迅速跟进,苏联在 1987/1990 分别发射成功钻石-I/II;欧洲空间局发射了 ERS-1,2(1991/

1995), Envisat-1(2000);日本在1992年发射了JERS-1;加拿大1995年成功发射了Radarsat-1,这颗卫星获得的巨大成功主要在其产业化程度,其SAR影像全球销售额稳居第一。

除SAR以外,其他类型的微波遥感由于其对云层和小雨的穿透能力强,在对地(和大气)遥感有重要的应用价值,其中常用的有微波辐射计、微波散射计和雷达高度计。前者为被动式,后二者为主动式,但用途各异,不能相互取代。目前总的趋势是探测频带进一步拓宽,一方面拓展到米波频段,一方面拓展到亚毫米波段(主要用于大气遥感)。

1.5 遥感技术与科学的发展趋势

陆地卫星进一步朝高空间分辨率和高光谱分辨力发展。新一代对地遥感器的标志性的指标大致为:全色波段分辨力达到 $0.15\sim 3\text{m}$,在保持中等空间分辨力(数十米到数百米)的情况下,光谱分辨力达 2nm ,从可见光到红外范围获取数百到上千波段,且波段覆盖向长波红外延伸。

航天遥感目前的另一个发展趋势是小卫星。小卫星主要指体积小、重量轻、功能单一的卫星,使用小火箭或搭载发射,研制周期短,卫星成本大为降低。在对地观测领域,小卫星使对地球的观测功能增强,向大众化和商业化迈进一大步。小卫星技术促使整个空间技术发生变革,可能将成为未来航天高技术竞争的主要热点之一。

为了用小卫星来实现像EOS那样大计划的目的,很快又发展了小卫星群的概念。但是微、小卫星群平台技术、有效载荷、定位技术、编队飞行及管理模式等方面都有很多关键技术有待突破。

遥感科学的发展远远滞后于遥感技术。直到20世纪80年代初,美国航空航天局(NASA)终于认识到遥感是一门新兴的科学,所以组织了“遥感科学计划”项目,执行了15年。随后又酝酿组织了EOS计划中的科学层面的研究项目(见后EOS计划简介)。

遥感技术是一种以物理手段、数学方法和地学分析为基础的综合性应用技术,是现代科学技术的一个重要组成部分。

物理手段——指传感器、平台以及信息获取及传输的各种手段。

数学方法——包括计算机图像处理、数理统计分析以及地学计量分析等。

地学分析——指以地学规律为基础的进行遥感分析的地学处理过程(geo-processing)遥感的特性。

希望今后在地学或信息科学领域,遥感科学也能有自己应有的地位。

1.6 EOS 计划简介

尽管 EOS 计划遭遇到了很多困难,但其系统设计思想仍是很有代表性的,甚至是指导性的,这里做一简要介绍。

地球自诞生以来,经历了许多重大变化,生物圈也经历了多次沧桑。人类曾觉得似乎可以主宰世界,但随着经济和科学技术的蓬勃发展,人类活动对自然界无意的影响也越来越大。植被破坏、土地沙化、臭氧层出现空洞、工业废气等一系列全球性环境问题开始困扰着人类。我们只有连续不断地对地进行观测,捕捉各种变化信息,才能从整体上揭示这些变化的规律性,进而预测地球的未来。

1983 年美国地球科学界和航空航天局(NASA)明确提出以地球系统科学作为今后 20 年内的重大科学目标,发展极地轨道平台作为用于这一科学研究的最主要的地球观测系统(EOS)。

美国提出 EOS 计划之后,得到了欧洲空间局(ESA)、日本空间发展局(NASDA)、加拿大政府和苏联/俄罗斯的支持,它们把参加 EOS 计划作为自身空间科学和应用计划的一部分而协调发展。EOS 计划的目标,主要是科学认识全球尺度范围内整个地球系统及其各圈层之间的相互作用及其作用机理等,进而预测未来 10 年到 1 个世纪地球系统的变化及其对人类的影响。

地球系统科学需要的全球变量是描述地球系统的状态和演化的时空函数。为了获得全球系统的这些时空多变要素,至少需要 15 年系统而连续的观测资料。为了实现这一目标,EOS 计划由以下 3 部分组成:

(1) EOS 科学计划。科学研究是 EOS 计划的基础,它以 NASA 和其他研究机构及其国际合作伙伴的地球科学研究工作为基础,其主要研究任务是:①现有卫星资料的应用及评估;②EOS 资料应用的预研;③发展对观测资料进行分析和判释的数值模式。

(2) EOS 资料和信息系统(EOSDIS)。EOSDIS 的基本思想是:有利于各研究机构对 EOS 资料的充分利用;在历时 15 年的 EOS 任务期间,通过网络向用户长期提供可信度高的观测资料。

(3) EOS 观测平台。从地球系统科学目标出发,要求 EOS 对地球同一地区做 1 天 4 次以上的观测,对热带地区加密观测。EOS 平台按 5 年寿命设计,为了完成 15 年的 EOS 计划,需要 3 组 6 个平台组成,其中包括 5 颗卫星(NASA 两个、ESA 两个、日本一个)和一个载人太空站。

1991 年 2 月,EOS 的第一个平台(AM-1)拟装载的观测仪器初选选定,有 14 种之多。当时计划提供如下环境变量:

①云特性;②地球和空间之间的能量变换;③表面温度;④大气的结构、成分和大气动力,风、雷电和降水;⑤雪的增厚和消融;⑥陆地和表层水中的生物活动;

⑦海洋环流;⑧地球表面和大气之间的能量、动量和气体交换;⑨海水的结构和运动的能量、动量和气体交换;⑩裸土和岩石的无机物成分;⑪地质断层周围受力和表面高度的变化;⑫太阳辐射和能量粒子对地球的输入。

EOS 计划以 EOS-AM-1, EOS-PM-1, EOS-PM-2……的方式按 2~3 年间隔发射上天。这里 AM 和 PM 分别表示卫星通过赤道面的时间为上午 10:30 和下午 1:30,以求在地球云量最少时更全面地获得不同时刻的对地观测数据。

1999 年 12 月, EOS-AM-1 发射成功,发射前按西方传统,需要给卫星取一个名字。最后一位中学生建议的名字中选,叫“Terra”。源自希腊文“大地母亲”的意思,普遍认为这个名字反映了对地遥感的本质。2000 年 2 月底 Terra 投入科学运行。尽管传感器校正和数据验证工作仍在进行,但是一些影像和数据已可提供订货(网址为 <http://terra.nasa.gov>)。

Terra 上装有 5 种仪器:先进星载热发射及光反射辐射计 ASTER(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer)、云和地表辐射能系统 CERES(clouds and the earth's radiant energy system)、多角度成像光谱辐射计 MISR(multangle imaging spectro-radiometer)、中分辨率成像光谱辐射计 MODIS(moderate-resolution imaging spectroradiometer)和对流层污染量测仪 MOPITT(measurements of pollution in the troposphere)。ASTER 的特点是有 3 个 15m 分辨率并构成立体像对的可见光与近红外波段,6 个 30m 分辨率的短波红外和 5 个 90m 分辨率的热红外波段;CERES 尽管空间分辨率仅为 20km,但其光谱波长从 0.3~200 μm ;MISR 有 9 个 CCD 成像传感器布置成 0°、±26°、±40°、±60°和 ±71°全时获得 4 个波段(蓝、绿、红、近红外)250m、500m 和 1km 空间分辨率图像,可为多角度卫星遥感提供丰富的数据;MODIS 为 36 波段中分辨率成像光谱仪,其空间分辨率分别为 250m(波段 1~2)、500m(波段 3~7)和 1000m(波段 8~36);MOPITT 有 8 个波段,空间分辨率为 22km(天底),用来测定一氧化碳(CO)和甲烷(CH₄)的廓线(4km 分辨率)。

总的说来, EOS 计划具有以下主要特点:

(1) 一个史无前例的规模巨大的国际综合性空间计划。其核心是把地球看作一个复杂的系统,从地圈、水圈、大气圈、冰雪圈和生物圈等多学科领域收集资料,研究和解决地球系统科学问题,有别于执行单一任务的卫星遥感系统。

(2) 计划的提出和实施过程都以科技研究为先导。例如,为了确保 EOS 计划的顺利进行,成立了由世界各国著名科学家组成的 EOS 调研工作组(EOSIWG)和 10 余个专家组(含大气、海洋、地球生物化学循环、定标和检验、气候和水文学等)。专家组的主要任务是确定研究课题、研究仪器性能、选择卫星仪器及研究 EOS 资料的数值模式等。

(3) EOS 是空间、遥感、电子和计算机等世界领先技术的最高水平的集中体

现。EOS 平台安装十多种高精尖的多波段高光谱分辨率、高灵敏度的仪器。仪器频率覆盖宽,同时具有多视角多极化遥感能力。这一新空间计划的实施将会给天气预报、气候预测以及全球生态变化监测等地学和环境科学领域等一系列重大科学问题可能带来突破性进展。

如前所述,EOS 计划虽然后来缩水较多,但其把大地作为一个系统,从全球尺度上综合理解的宏图,为对地遥感开创了一个新时代。

1.7 遥感数据的处理到应用的基本过程

第 1.2 节简要介绍了遥感数据的获取过程。在地表辐射亮度传播到星上“相机”的过程中,穿透了大气,因而不可避免地受到衰减,同时也加上了大气自身的辐射,对每一像元信号来讲,还要加上邻近像元的影响,等等。因此,卫星获取的遥感图像必须经过一系列的处理,才能作为产品分发给用户。一般说来,这部分图像处理是由卫星地面站进行的,与应用目的是相对独立的。我国卫星遥感图像应用的元勋之一,中国科学院卫星地面站的戴昌达先生建议将这一步图像处理称为“系统处理”,以区别于针对不同应用目的、需要处理者对卫星图像有较深刻地学理解的“应用处理”。本书着重应用处理。

一般讲图像(系统)处理的书,选用的例子常常是简单的图像(女士的玉照、水滴溅起等),而卫星地面站的产品遥感图像,则需要一定知识才能看懂。例如,红外图像上的植被为什么是红的?总之,地面站的产品遥感图像称为“数据”。人们通常用如下框图来表示从数据到应用的过程,如图 1.1 所示。

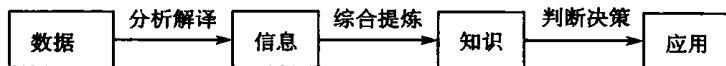


图 1.1 遥感图像从数据到应用的流程

要使定量遥感数据变为可应用的数据,作者建议的流程如图 1.2 所示。

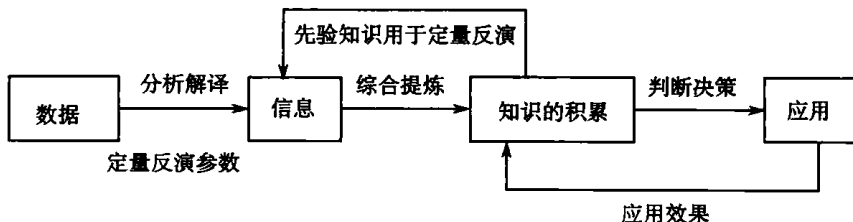


图 1.2 定量遥感从数据到应用的流程

图 1.2 主要是强调知识的积累和应用这一积累来辅助从遥感图像中提取信息,所以增加了两个反馈环。

第2章 遥感的基本概念

人类“顾影自怜”的历史大约和人类历史本身一样悠久。青铜时代的出土文物中,铜镜就占了相当一部分。人们给镜子里看见的自己取了一个名字,叫做“像”。当时写字很麻烦,能省则省,“同音假借”,也写作“象”。什么时候用“象”,什么时候用“像”,一定也让古人很伤脑筋。所以《易经》的作者不得不申明:“象也者像也”。遥感传感器获取到的是地表反射和发射电磁波空间分布的图像,与人照镜子的原理相似。

2.1 几何光学基础

人们在实践中认识到光在均匀媒质中是沿直线方向传播的,可以用几何学上的直线代表光的传播方向,我们把这种描述光的传播方向的几何线叫做光线。以光线来研究光的传播及在界面反射和折射的光学理论称为几何光学。一般说来,若研究对象的几何尺寸远远大于光波长,则几何光学简单明了且与实际相符;反之,若研究对象的几何尺寸和单色光波长相近时,衍射和干涉不可忽略,必须考虑光的波动性,才符合实际。在对地遥感中,由于可见光和微波波长的不同,我们必须用不同的理论来对待“光学遥感”和“微波遥感”。对于可见光遥感,我们有必要了解几何光学的基本内容。

几何光学的基本定律:

光的直线传播定律:光在均匀媒质中是沿直线方向传播的,可以用几何学上的直线代表光的传播方向,并把这种描述光的传播方向的几何线叫做光线。

光的独立传播定律:沿不同方向传播的或由不同物体发出的光,即使相交也互不干涉。

光的反射定律:当光从一种媒质传播到另一种媒质时,在两种媒质的分界面上,光的传播方向发生了变化,一部分光又返回原来的媒质。如果分界面是均匀光滑的,则产生镜面反射。如图 2.1 所示,入射角和反射角在同一个平面上,并且相等,即 $i_1 = i_2$ 。

光的折射定律:光在两种均匀透明介质的表面,除反射外,透过分界面的光线方向发生了偏折的现象,具体几何关系如图 2.1 所示。

朗伯定律(漫反射):当两种介质交界面不光滑的时候,可能发生漫反射,或称朗伯反射。一般说来,当表面粗糙度和波长相近时,可以近似为朗伯表面,但没有严格的定义。通常测量用的“参考板”——灰板或白板,是相对严格的朗伯表面。一般的墙面、公路表面等,可以视作近似朗伯表面。