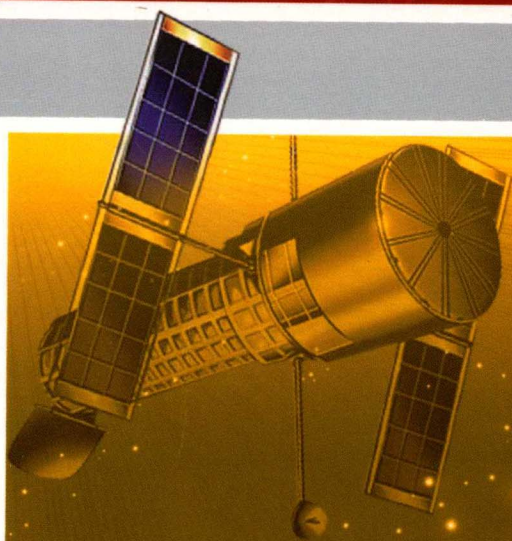


高等学校教材

遥感原理与应用

Remote Sensing Principle and Applications

张继超 主编



测绘出版社

高等学校教材

遥感原理与应用

Remote Sensing Principle and Applications

张继超 主编

测绘出版社

·北京·

©张继超 2018

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容提要

本书是一本系统介绍遥感基本原理、方法与应用的高等学校教材。针对目前遥感科学与技术的特点、发展现状与趋势,系统地讲述了遥感的基本概念、遥感物理基础、遥感成像原理与图像特征、卫星遥感平台与传感器、遥感图像处理基础、遥感图像校正、图像增强与变换、图像解译与计算机分类、遥感应用等内容。

本书可作为测绘工程、遥感科学与技术、地理信息科学、地质工程、资源勘查工程、地理学等专业及其他(环境、水利、地矿类等)相关专业的教材和教学参考用书,也可供测绘、遥感、地理信息系统、城市规划、地质、地图、资源、环境、海洋等领域的工程技术人员和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感原理与应用/张继超主编. — 北京:测绘出版社, 2018. 8

高等学校教材

ISBN 978-7-5030-4160-0

I. ①遥… II. ①张… III. ①遥感技术—高等学校—教材 IV. ①TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 195357 号

责任编辑	巩岩	封面设计	李伟	责任校对	石书贤	责任印制	陈超
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	16.5			字 数	410 千字		
版 次	2018 年 8 月第 1 版			印 次	2018 年 8 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1500			定 价	45.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-4160-0

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

编委会名单

主 编：张继超

副主编：戴激光 高小六 王怀宝 马洋洋

编 委：徐辛超 董 山 尹 楠 刘立志

蔺腊月 李建飞

前 言

20 世纪 60 年代,随着航天技术的迅速发展,美国地理学家普鲁伊特(Pruitt)首先提出了“遥感”(remote sensing)的概念。当前,人类面临着日益尖锐的人口、资源与环境问题的多重压力。作为可实时获取地球、月球和火星等空间信息的重要手段,遥感对地观测技术在资源调查、环境监测与保护、防灾减灾、重大工程建设和国防建设等众多领域得到了广泛的应用,成为国家经济建设和人类社会可持续发展的主要技术支撑。

近年来,随着遥感对地观测技术向多传感器、多平台、多角度和高空间分辨率、高时相分辨率、高光谱分辨率方向发展,遥感技术已将人类带入一个立体、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。越来越多的高校将遥感类课程列为测绘工程、遥感科学与技术、地理信息科学、地质工程、资源勘查工程、地理学、环境工程等专业的专业基础课。因此,为了满足遥感基础知识的教学和相关专业国际工程教育认证的要求,特组织相关高校教师和企事业单位工作人员共同编写了本教材。

本教材主要面向本科生遥感教学需求,目的是使学生掌握遥感科学与技术的基础知识,系统地学习遥感信息获取与数据处理原理与方法,了解遥感的发展应用现状与趋势。在教材编写过程中,力争做到知识的先进性和实用性。

本教材由辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院张继超(第 1 章第 3 节,第 2 章,第 5 章第 3、4、5 节,第 9 章第 7 节)、戴激光(第 6 章,第 7 章第 1、2、3、4 节)、徐辛超(第 8 章第 2 节)、董山(第 3 章第 1、2、3、4、5 节,第 4 章),辽宁省交通高等专科学校测绘工程系高小六(第 1 章第 1、2 节,第 5 章第 2 节),吉林建筑大学测绘与勘查工程学院王怀宝(第 7 章第 5 节,第 9 章第 5、6 节)、尹楠(第 5 章第 6 节),黑龙江工业学院资源工程系马洋洋(第 3 章第 6 节,第 5 章第 1 节)、刘立志(第 8 章第 1 节,第 9 章第 1、2 节),吉林测绘院蔺腊月(第 9 章第 4 节),辽宁省基础测绘院李建飞(第 9 章第 3 节)共同编写。全书由张继超、戴激光拟定编写大纲,编委会成员共同完成教材编写工作,最后由张继超进行统稿、定稿。

教材编写过程中,参阅了国内外大量相关文献资料,在此笔者谨向所有参考资料作者致以诚挚感谢。本教材编写得到了中国测绘学会理事、中国测绘学会教育委员会副主任委员、教育部高等学校测绘学科教学指导委员会委员、教育部工程教育认证专家宋伟东教授的关心与指导。同时,辽宁工程技术大学硕士研究生周沛希、严瑾、马海朋、陈蕊、郭桐宇、王杨、朱婷婷、焦慧慧、刘文宝、于钧等参与了书稿的编写与校对工作,在此一并表示感谢!

由于本书编者较多,各章节之间的协调工作量大,同时限于编者水平,时间仓促,书中难免存在纰漏之处,恳请各位读者不吝赐教。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 遥感的基本概念	1
§ 1.2 遥感技术系统	4
§ 1.3 遥感技术发展历史、现状与趋势	6
思考题	11
第 2 章 遥感物理基础	12
§ 2.1 电磁波辐射基本原理	12
§ 2.2 地物的光谱特征	31
思考题	43
第 3 章 遥感成像原理与图像特征	44
§ 3.1 遥感传感器	44
§ 3.2 摄影成像原理	47
§ 3.3 扫描成像原理	50
§ 3.4 成像光谱仪的成像原理	61
§ 3.5 微波遥感成像原理	63
§ 3.6 遥感图像的特征	72
思考题	74
第 4 章 遥感卫星及其运行特征	75
§ 4.1 国内遥感卫星	75
§ 4.2 国外遥感卫星	87
思考题	100
第 5 章 遥感数字图像处理基础	101
§ 5.1 遥感图像处理概述	101
§ 5.2 遥感图像的表达形式	104
§ 5.3 遥感图像的颜色模型	114
§ 5.4 数字图像存储	116
§ 5.5 遥感图像的统计分析	124
§ 5.6 遥感数字图像处理系统	128
思考题	133

第 6 章 遥感图像的校正	134
§ 6.1 遥感图像几何校正	134
§ 6.2 遥感图像辐射校正	148
思考题.....	153
第 7 章 遥感数字图像增强与变换	154
§ 7.1 灰度变换	154
§ 7.2 直方图变换	157
§ 7.3 空间域增强	161
§ 7.4 频率域增强	169
§ 7.5 图像运算	173
思考题.....	183
第 8 章 遥感图像解译与分类	184
§ 8.1 遥感图像的目视解译	184
§ 8.2 遥感图像的计算机自动识别分类	190
思考题.....	215
第 9 章 遥感应用	217
§ 9.1 测绘应用	217
§ 9.2 资源与环境应用	224
§ 9.3 城市应用	235
§ 9.4 农业与林业应用	239
§ 9.5 地质应用	244
§ 9.6 其他应用	249
§ 9.7 遥感应用的发展趋势	254
思考题.....	255
参考文献	256

Contents

Chapter 1 Introduction	1
§ 1.1 The basic concepts of remote sensing	1
§ 1.2 Remote sensing technology system	4
§ 1.3 The history, present situation and trend of remote sensing technology	6
Questions	11
Chapter 2 The physical basis of remote sensing	12
§ 2.1 The basic principles of electromagnetic radiation	12
§ 2.2 The spectral characteristics of ground objects	31
Questions	43
Chapter 3 The principles and the features of remote sensing imaging	44
§ 3.1 Remote sensing sensors	44
§ 3.2 The principle of photographic imaging	47
§ 3.3 The principle of scanning imaging	50
§ 3.4 The imaging principle of imaging spectrometer	61
§ 3.5 The principle of microwave remote sensing imaging	63
§ 3.6 The features of remote sensing image	72
Questions	74
Chapter 4 Remote sensing satellites and their operating characteristics	75
§ 4.1 Domestic remote sensing satellites	75
§ 4.2 Foreign remote sensing satellites	87
Questions	100
Chapter 5 The processing fundamentals of remote sensing image	101
§ 5.1 The overview of remote sensing image processing	101
§ 5.2 The expression of remote sensing image	104
§ 5.3 The color model of remote sensing image	114
§ 5.4 Digital image storage	116
§ 5.5 The statistical analysis of remote sensing image	124
§ 5.6 The processing system of remote sensing digital image	128
Questions	133

Chapter 6	The correction of remote sensing digital image	134
§ 6.1	The geometric correction of remote sensing image	134
§ 6.2	The radiometric correction of remote sensing image	148
Questions		153
Chapter 7	The enhancement and transformation of remote sensing digital image	154
§ 7.1	Gray-scale transformation	154
§ 7.2	Histogram transformation	157
§ 7.3	Spatial domain enhancement	161
§ 7.4	Frequency domain enhancement	169
§ 7.5	Image operations	173
Questions		183
Chapter 8	The interpretation and classification of remote sensing image	184
§ 8.1	The visual interpretation of remote sensing image	184
§ 8.2	The computer automatic identification and classification of remote sensing image	190
Questions		215
Chapter 9	The applications of remote sensing	217
§ 9.1	The applications of surveying and mapping	217
§ 9.2	The applications of natural resources and environment	224
§ 9.3	The applications of city	235
§ 9.4	The applications of agriculture and forestry	239
§ 9.5	The applications of geology	244
§ 9.6	Other applications	249
§ 9.7	The development trend of remote sensing applications	254
Questions		255
References		256

第1章 绪论

遥感(remote sensing, RS)是20世纪60年代新兴并迅速发展起来的一门综合性探测技术。随着电子计算机技术、空间技术、信息技术等当代高新技术迅速发展,以及地学、环境等学科发展的需要,遥感在航空摄影测量的基础上,逐步发展形成一门新兴交叉科学技术,并从以飞机为主要运载工具的航空遥感,发展到以人造地球卫星、宇宙飞船和航天器为运载工具的航天遥感,甚至到今天以太空探测器为运载工具的太空遥感。遥感极大地拓展了人们的观察视野和观测领域,遥感科学与技术的研究和应用也进入到一个崭新的阶段。

§ 1.1 遥感的基本概念

1.1.1 遥感的概念

遥感,即遥远的感知。通常遥感有广义和狭义的理解。

广义遥感泛指各种非直接接触的、远距离探测目标的技术。利用电磁场、力场、机械波(声波、地震波)等的探测都包含在广义遥感之中。实际工作中,重力、磁力、声波、地震波等的探测被划为物探(物理探测)的范畴。因此,只有电磁波探测属于遥感的范畴。

狭义遥感是指应用探测仪器(传感器),不与被测目标直接接触,在高空或远距离处,接收目标辐射或反射的电磁波信息,并对这些信息进行加工处理与分析,从而揭示目标的特征性质及其运动状态的综合性探测技术。

遥感不同于遥测(telemetry)和遥控(remote control)。遥测是指对被测物体某些运动参数和性质进行远距离测量的技术,分为接触测量和非接触测量。遥控是指远距离控制目标物运动状态和过程的技术。遥感,特别是空间遥感,其过程的完成往往需要综合运用遥测和遥控技术,如卫星遥感,必须有对卫星运行参数的遥测和卫星工作状态的控制。

1.1.2 遥感的分类

遥感的分类多种多样,目前还没有一个完全统一的分类标准。基于对遥感定位的不同理解,常见的分类方式有以下几种。

1. 按遥感的对象分类

(1)宇宙遥感,遥感的对象是宇宙中的天体和其他物质的遥感。

(2)地球遥感,遥感的对象是地球和地球事物的遥感,可分为环境遥感和资源遥感。

以地球表层环境(包括大气圈、陆海表面和表面以下的浅层)为对象的遥感叫作环境遥感。环境遥感主要对自然与社会环境的动态变化进行监测和做出评价与预报。由于人口增长与资源的开发利用,自然与社会环境随时都在发生变化,遥感多时相、周期短的特点可以迅速地为环境监测、评价和预报提供可靠依据。以地球资源的探测、开发、利用、规划、管理和保护为主要内容的遥感技术及其应用过程叫作资源遥感。利用遥感信息探测地球资源,成本低、速度

快,有利于克服恶劣的自然环境的限制,减少勘探资源的盲目性。

2. 按遥感平台(即运载工具)分类

(1)地面遥感,是指传感器设置在地面平台上,如车载、船载、三脚架、手提、固定或活动的高架平台等。其作用是基础性和服务性的,如收集地物光谱、为航空航天传感器定标、验证航空航天传感器的性能。

(2)航空遥感,又称机载遥感,是指在飞机(飞艇或热气球)飞行高度上对地球表面进行探测。其特点是灵活性大、图像清晰、分辨率高,并且历史悠久,已经形成了较完整的理论和应用体系。航空遥感还可以进行各种遥感实验与校正工作。

(3)航天遥感,又称星载遥感,是指在卫星轨道高度上(包括运载在卫星、航天飞机、宇宙飞船、航天空间站上)对地球表面进行探测。其特点是成像高度高、宏观性好,可进行重复观测、图像获取速度快、不受沙漠和冰雪等恶劣自然环境的限制。1972年,美国发射了第一颗陆地卫星,标志着航天遥感时代的开始。

(4)航宇遥感,是指传感器设置于星际飞机上,对地月系统外的目标进行探测。

3. 按传感器的探测波段分类

(1)紫外遥感,探测波段为 $0.01\sim 0.38\ \mu\text{m}$ 。

(2)可见光遥感,探测波段为 $0.38\sim 0.76\ \mu\text{m}$ 。

(3)红外遥感,探测波段为 $0.76\sim 1000\ \mu\text{m}$ 。目前,红外遥感主要有两个研究与应用领域:①反射红外遥感,探测波段为 $0.76\sim 3\ \mu\text{m}$,是反射红外波段,它与可见光遥感共同的特点是辐射源是太阳,在这两个波段上只反映地物对太阳辐射的反射,根据地物反射率的差异,就可以获得有关目标物的信息;②热红外遥感,探测波段为 $6\sim 15\ \mu\text{m}$,指通过红外敏感元件,探测物体的热辐射能量,显示目标的辐射温度或热场分布,在常温(约 $300\ \text{K}$)下地物热辐射的绝大部分能量位于此波段,在此波段的地物的热辐射能量大于太阳的反射能量,且其具有昼夜工作的能力。

(4)微波遥感,探测波段为 $1\ \text{mm}\sim 1\ \text{m}$ 。通过接收遥感仪器本身发出的电磁波束的回波信号,对物体进行探测、识别和分析。其特点是对云层、地表植被、松散沙层和干燥冰雪具有一定的穿透能力,能全天候工作。

4. 按传感器工作方式分类

(1)主动遥感,又称有源遥感,是指从遥感平台上的人工辐射源向目标发射一定波长的电磁波,同时接收目标物反射或散射回来的电磁波,以此所进行的探测。

(2)被动遥感,又称无源遥感,是指用传感器接收目标自身辐射或反射太阳辐射的电磁波信息而进行的探测。

5. 按成像波段的宽度与数量分类

(1)多光谱遥感,把光谱分成几个或十几个较窄的波段来同步接收信息,单一图像的波段宽度一般是在几十纳米至几百纳米之间,可同时得到一个目标物不同波段的多幅图像。

(2)高光谱遥感,把光谱分成几十个甚至数百个很窄的连续的波段来接收信息,每个波段宽度可小于 $10\ \text{nm}$ 。

6. 按遥感资料的记录方式分类

(1)成像遥感,传感器接收的目标电磁辐射信号可转换成(数字或模拟)图像。

(2)非成像遥感,传感器接收的目标电磁辐射信号不能形成图像。

7. 按遥感应用领域分类

从大的研究领域,可分为外层空间遥感、大气层遥感、陆地遥感、海洋遥感等;从具体应用领域或应用目的,可分为资源遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、城市遥感、海洋遥感、地质遥感、气象遥感和军事遥感等。当然,还可以划分为更细的专业遥感领域进行专题研究。

遥感分类尽管很多,但依照其分类标志的不同,即可了解不同的遥感分类系统。

1.1.3 遥感的特点

遥感主要根据物体对电磁波的反射和辐射特征对目标进行采集,并形成了对地球资源和环境进行“空一天一地”一体化的立体观测体系。因此,遥感有如下主要特点:

(1)感测范围大,具有综合、宏观的特点。遥感从飞机或人造地球卫星上获取的航空或卫星图像的观测范围比在地面上观察的视域范围要大得多,景观一览无余,为人们研究地面各种自然、社会现象及其分布规律提供了便利的条件。例如,航空图像可提供不同比例尺的地面连续景观图像,并可进行像对的立体观测。图像清晰逼真,信息丰富。一幅比例尺为1:3.5万的23 cm×23 cm的航空图像,可展示地面60余平方千米范围的地面景观实况,并且可将连续的图像镶嵌成更大区域的影像图,以便纵观全区进行分析和研究。卫星图像的观测范围相对更大,一幅陆地卫星专题测图仪(thematic mapper, TM)图像可反映185 km×185 km的景观实况。我国全境仅需500余张这种图像就可拼接成全国卫星影像图。因此,遥感技术为宏观研究各种现象及其相互关系,如区域地质构造和全球环境等问题,提供了有利条件。

(2)信息量大,具有手段多、技术先进的特点。根据不同的任务,遥感技术可选用不同波段和传感器获取信息。遥感可提供丰富的光谱信息,即不仅能获得地物可见光波段的信息,而且可以获得紫外、红外、微波等波段的信息。遥感所获得的信息量远远超过了可见光波段范围所获得的信息量,这无疑扩大了人们的观测范围和感知领域,加深了人们对事物和现象的认识。例如,微波具有穿透云层、冰层和植被的能力,红外线则能探测地表温度的变化等。因此,遥感使人们对地球的监测和对地物的观测达到多方位和全天候。

(3)获取信息快,更新周期短,具有动态监测的特点。因卫星围绕地球运转,故能及时获取所经过地区的各种自然现象的最新资料,可更新原有资料,现势性好;可对取得的不同时相资料及图像进行对比、分析和对地物动态变化的情况进行研究,为环境监测及地物发展演化规律的研究分析提供了基础,这是人工实地测量和航空摄影测量无法比拟的。例如,Landsat-5、Landsat-7陆地卫星每16天即可对全球陆地表面成像1遍,诺阿(NOAA)气象卫星每天能收到两次图像。Meteosat气象卫星每30分钟获得同一地区的图像。因此,可及时为灾情的预报和抗灾救灾工作提供可靠的科学依据和资料。

(4)具有获取信息受条件限制少的特点。在地球上有很多地方自然条件极为恶劣,人类难以到达,如沙漠、沼泽、高山峻岭等。采用不受地面条件限制的遥感技术,特别是航天遥感,可方便及时地获取各种宝贵资料。

(5)应用领域广,具有用途大、效益高的特点。遥感技术在各类动态变化监测方面越来越显示出它的优越性。遥感已广泛应用于环境监测、资源勘测、农林水利、地质勘探、环境保护、气象、地理、测绘、海洋研究和军事侦察等领域,深入到很多学科中,且应用领域还在不断扩展。遥感在众多领域的广泛应用产生了十分可观的经济效应和卓有成效的社会效应(杨可明, 2016)。

§ 1.2 遥感技术系统

遥感过程是指遥感信息的获取、传输、处理、分析解译和应用的全过程。它包括:遥感信息源(或地物)的物理性质、分布及其运动状态,环境背景及电磁波光谱特征,大气的干扰和大气窗口,传感器的分辨能力、性能和信噪比,图像处理及识别,人的视觉生理和心理及其专业素质等。因此,遥感过程不仅涉及遥感本身的技术过程,还涉及地物景观和现象的自然发展演变过程及人们的认识过程。这一复杂过程当前主要通过通过对被测目标的信息特征研究、数据获取、数理统计分析、模式识别及地学分析等方法完成。遥感过程实施的技术保证则依赖于遥感技术系统。

遥感技术系统包括被测目标的信息特征、信息的获取、信息的传输和记录、信息的处理及信息的应用五大部分。图 1.1 为遥感过程和技术系统示意,反映了遥感数据获取—数据处理分析—数据应用的全过程(赫晓慧等,2016)。

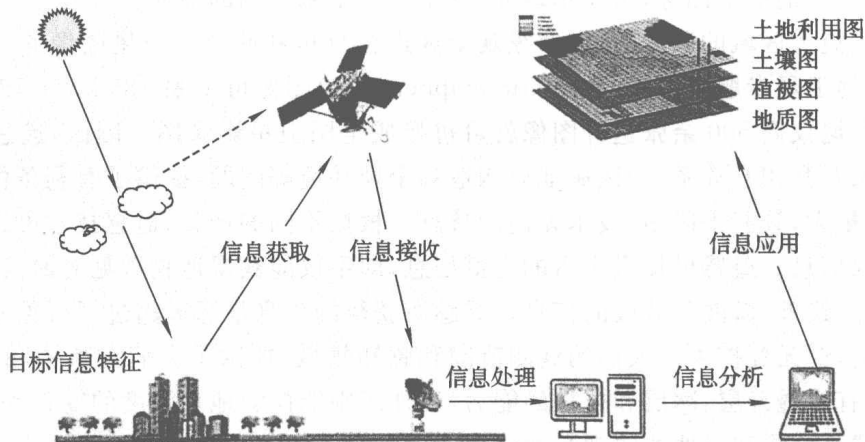


图 1.1 遥感过程和技术系统示意

1.2.1 目标物的电磁波特征

人们通过大量实践发现,地球上的所有物体都以它们本身特有的规律、不同的自然状态,在不等量地吸收、反射、散射、辐射和透射电磁波,这种对电磁波固有的波长特征叫作物体的光谱特征。例如,植物的叶子之所以看起来是绿色的,是因为叶绿素对红色光和蓝色光的强吸收,而对绿色光的强反射所致。

正因为各种物体的光谱特征互不相同,所以在事先采集(即实况调查)了各种物体的光谱特征以后,只要能使传感器收集、记录这些不同性质的光谱特征,把传感器获得的与事先采集的光谱特征进行比较,就可以区别不同的物体,这就是遥感的基本原理。

任何目标物都具有发(辐)射、反射和吸收电磁波的性质,这就是遥感的信息源。目标物与电磁波的相互作用,构成了目标物的电磁波特征,它是遥感探测的依据。

1.2.2 遥感信息的获取、传输与记录

传感器(又名遥感器)是指收集、探测和记录目标反射和发射来的电磁波的装置,信息的获

取主要由传感器来完成。目前使用的传感器主要有数码相机、扫描仪、雷达、成像光谱仪、光谱辐射计等。遥感平台是搭载传感器并使传感器有效工作的设备,如遥感车、航天飞机、人造地球卫星等。

传感器接收到目标地物的电磁波信息,记录在数字磁介质或胶片上。胶片是由人或回收舱送到地面回收,而数字磁介质上记录的信息则可通过卫星上的微波天线传输给地面的卫星接收站。地面站接收到遥感卫星发送来的数字信息,记录在高密度的磁介质上(如高密度数字磁带或光盘等),并进行一系列的处理,如信息恢复、辐射校正、卫星姿态校正、投影变换等,再转换为用户可使用的通用数据格式或转换成模拟信号(记录在胶片上),才能被用户使用。

从理论上讲,对整个电磁波波段都可以进行遥感,但是受到大气窗口和技术水平的限制,目前只能在有限的几个波段上进行,其中最重要的波段为可见光和近红外波段、中红外和热红外波段、微波波段等。在这些遥感波段上,物体所固有的电磁波特征还要受到太阳及大气等环境条件的影响,因而传感器接收到目标反射或辐射的电磁波后,还需进行校正处理及解译分析,才能得到各个领域的有效信息。

1.2.3 遥感信息的处理、解译与分析

遥感信息的获取是由传感器接收并记录目标反射或自身发射的电磁波来完成的。事实上,传感器获取的电磁波是多元的(图 1.1)。对于被动遥感,太阳辐射通过大气层时部分被大气散射、吸收和透射,透过大气层的太阳辐射到达地表,还有一部分被地物散射、吸收和反射,地物反射的电磁波及自身发射的电磁波经过大气时,再次被大气衰减后剩余的部分才被传感器接收。对于主动遥感,有同样的作用机理。当然传感器接收的电磁波还包括大气散射的部分,如天空光等。大气对电磁波的作用是复杂的,这部分内容将在后续章节具体讲述。传感器接收的电磁波的多元性使得遥感数据处理与分析复杂化。

遥感信息处理是指通过各种技术手段对遥感探测获得的信息进行的各种处理。例如,为了消除探测中各种干扰和影响,使其信息更准确可靠,而进行的各种校正(辐射校正、几何校正等)处理;为了使所获遥感图像更清晰,以便于识别和解译,而进行的各种增强处理等。为了确保遥感信息应用时的质量和精度,充分发挥遥感信息的应用潜力,遥感信息处理是必不可少的。

在遥感信息处理、分析与解译中,非遥感的辅助数据具有重要价值。辅助数据包括野外站点采集和调查的数据、实验室数据及各类专题图,如土地利用、水文、地貌、行政区划图等。它们不仅用于遥感数据的补充和校正,还用于对遥感最终结果的分析与评价。

数据处理、解译与分析主要有以下两种方式:

(1) 目视解译或模拟数字图像处理(digital image processing, DIP),是借助于不同的观测、解译设备,如立体镜、彩色合成仪、密度分割仪等,通过解译基本要素,如大小、形状、色调、纹理、组合方式等,依据解译者的知识和经验识别和提取目标的大小、形状、位置、范围及其变化信息。基于个人经验的目视解译往往精度优于数字图像处理的精度。但是目视解译由于人的生理局限性,不能区分图像上的细微差异。对于黑白航空像片,人眼仅能区分 8~16 个灰度级,对于 256 个灰度级甚至更高辐射量化级记录的原始图像,目视解译则无法完成信息的提取。

(2) 计算机图像处理,即数字图像处理,是指利用数理统计等多种数据处理方法及计算机领域的知识自动识别和提取目标的信息。目前已有很多成熟的方法和软件,主要是基于像元色调/颜色的统计识别技术,同时也将纹理、组合等信息,以及人工智能、神经网络、模糊逻辑的

方法应用到遥感数据分析中。

1.2.4 遥感信息应用

遥感信息应用是遥感的最终目的。遥感信息应用应根据专业目标的需要,选择适宜的遥感信息及其工作方法进行,以取得较好的社会效益和经济效益。

这项工作由各专业人员根据不同的应用需要而进行。在应用过程中,也需要大量的信息处理和分析,如不同遥感信息的融合及遥感与非遥感信息的复合等。

遥感数据产品主要有各种图形、图像、专题图、表格、各种地学参数(温度、湿度、生物覆盖度、地表粗糙度等)、数据文件等。这些数据可以借助于地理信息系统(geographic information system, GIS)进行各种不同层次的综合分析,能显著提高信息产品的精度。

总之,遥感是一个综合性的系统,涉及航空、航天、光电、物理、计算机和信息科学及诸多的应用领域,其发展与这些学科紧密相关(杨可明, 2016)。

§ 1.3 遥感技术发展历史、现状与趋势

1.3.1 遥感技术发展历史

遥感一词首先是由美国海军研究部的普鲁伊特(Pruitt)提出来的。20世纪60年代初在由美国密歇根大学等组织发起的环境科学讨论会上正式被采用,此后“遥感”这一术语得到科学技术界的普遍认同和接受,并被广泛运用。而遥感的渊源则可追溯到很久以前,其发展可大致分为两大时期。

1. 遥感的萌芽及初期发展时期

如果说人类最早的遥感意识是懂得了凭借人的眼、耳、鼻等感觉器官来感知周围环境的形、声、味等信息,从而辨认周围物体的属性和位置分布的话,那么人类自古以来就在想方设法不断地扩大自身的感知能力和范围。1610年意大利科学家伽利略(Galileo)研制的望远镜及其对月球的首次观测,以及1794年气球首次升空侦察,可视为遥感的最初尝试和实践。而1839年达盖尔(Daguerre)和涅普斯(Niepce)的第一张摄影影片的发表则是遥感成果的首次展示。

随着摄影技术的诞生和照相机的使用,以及信鸽、风筝及气球等简陋平台的应用,构成了初期遥感技术系统的雏形。空中像片的魅力,得到更多人的首肯和赞许。1903年飞机的发明,以及1909年赖特(Wright)第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利(Centocelli)地区空中像片,从此揭开了航空摄影测量——遥感初期发展的序幕。

在第一次进行航空摄影以后,1913年塔尔迪沃(Tardivo)发表了论文,首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战期间,航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展,并逐渐形成了独立的航空摄影测量学的学科体系,其应用进一步扩大到森林、土地利用调查及地质勘探等方面。

随着航空摄影测量学的发展及其应用领域的扩展,特别是第二次世界大战中军事上的需要,以及科学技术的不断发展,彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的种类不断增多,遥感探测手段取得了显著的进步,从而使遥感超越了航空摄影测

量只记录可见光波段的局限,向紫外和红外扩展,并扩大到微波。同时,运载工具及解译成图设备等也都得到相应的完善,遥感迎来了一个全新的发展时期。

2. 现代遥感发展时期

1957年10月4日,苏联发射了第一颗人造地球卫星,标志着遥感新时期的开始。1959年,苏联宇宙飞船“月球三号”拍摄了第一批月球像片。20世纪60年代初,人类第一次实现了从太空观察地球的壮举,并取得了第一批从宇宙空间拍摄的地球卫星图像。这些图像大大地开阔了人们的视野,引起了广泛关注。随着新型传感器的研制成功和应用、信息传输与处理技术的发展,美国在一系列试验的基础上,于1972年7月23日发射了用于探测地球资源和环境的地球资源技术卫星,后更名为陆地卫星-1(ERTS-1),为航天遥感的发展及广泛应用开创了一个新局面。

到目前为止,世界各国发射的各种人造地球卫星已超过3000颗,其中大部分为军事侦察卫星(约占60%),用于科学研究及地球资源探测和环境监测的有气象卫星系列、陆地卫星系列、海洋卫星系列、测地卫星系列、天文观测卫星系列和通信卫星系列等。通过不同高度的卫星及其载有的不同类型的传感器,人们可以不间断地获得地球上的各种信息。现代遥感充分发挥航空遥感和航天遥感的优势,并将其融合为一个整体,构成了现代遥感技术系统,为进一步认识和研究地球、合理开发地球资源,提供了强有力的现代化手段。

现代遥感技术的发展引起了世界各国的普遍重视,遥感应用的领域及应用的深度在不断扩大和延伸,取得了丰硕的成果和显著的经济效益。就遥感的总体发展而言,美国在运载工具、传感器研制、图像处理、基础理论及应用等各个领域(包括数量、质量及规模上)均处于领先地位,体现了现今遥感技术发展的水平。俄罗斯也曾是遥感的超级大国,尤其在其运载工具的发射能力上及遥感资料的数量和应用上都具有一定的优势。此外,西欧、加拿大、日本等发达国家和地区也都在积极地发展各自的空间技术,研制和发射自己的卫星,如法国的SPOT卫星系列、日本的JERS卫星系统和MOS卫星系统等。许多第三世界国家对遥感技术的发展也极为重视,纷纷将其列入国家发展规划中,大力发展本国的遥感基础研究和应用。中国、巴西、泰国、印度、埃及和墨西哥等都已建立起专业化的研究应用中心和管理机构,形成了一定规模的专业化遥感技术队伍,取得了一批较高水平的成果,显示出第三世界国家在遥感发展方面的实力及其在应用上的巨大潜力。

当前遥感已处于向生产型和商业化过渡的阶段,但其在实时监测处理能力、观测精度及量化水平,以及遥感信息机理、应用模型建立等方面仍不能或不能完全满足实际应用要求。因此,今后遥感将进入一个更艰巨的发展历程,需要各个学科领域的科技人员协同努力,进行深入的研究和实践,共同促进遥感的更大发展。

3. 我国遥感的发展概况

我国国土辽阔,地形复杂,自然资源丰富。为了清查和掌握我国土地、森林、矿产、水利等自然资源,更好地配合国家建设,我国对遥感的发展一直给予重视和支持。20世纪50年代,我国就组织了专业飞行队伍,开展了航空摄影和应用工作。60年代,我国航空摄影工作已初具规模,完成了我国大部分地区的航空摄影测量工作,应用范围不断扩展。有关院校设立了航空摄影专业或课程,培养了一批专业人才,专业队伍得到巩固和发展,为我国遥感事业的发展打下了基础。70年代,随着国际上空间技术和遥感技术的发展,我国的遥感事业迎来了一个新的发展时期:1970年4月24日我国成功发射了第一颗人造地球卫星;1975年11月26日我国发射的卫星在正常运行之后,按计划返回地面,并获得了质量良好、清晰的卫星像片。随着

美国陆地卫星图像及数字图像处理系统等遥感资料 and 设备的引进,特别是为满足我国经济建设的恢复和发展需要,20世纪80年代,遥感事业在我国空前地活跃了起来。经过80年代及90年代初的发展,我国相继完成了从单一黑白摄影向彩色、彩红外、多波段摄影等多手段探测的航空遥感的转变。特别是进入21世纪,风云系列、资源系列、高分系列、天宫系列、嫦娥工程、尖兵计划、火星计划、小卫星星座和北斗卫星导航系统等数项大型综合遥感试验和遥感工程的完成,使我国遥感事业得到长足的发展,大大缩短了与世界先进水平的差距,有些项目已进入世界先进水平行列(杨可明,2016)。

1.3.2 遥感技术发展现状与趋势

总体来说,遥感技术的应用已经相当广泛,应用深度也不断加强。目前,遥感技术在地理科学、农业、林业、城市规划、土地利用、资源探测、考古、环境监测、生态保护与评价、地质灾害、警情预报等各个领域均有不同程度的应用,已成为实现数字地球战略思想的关键技术之一。地球科学中的矿产勘查、地质填图等是较早应用遥感技术的领域,随着遥感技术的发展,其应用潜力还可以不断地挖掘;在精细农业、环境评价、数字城市等新领域,遥感技术的应用潜力巨大。此外,GIS技术、虚拟现实技术、卫星导航定位技术、数据库技术等快速发展也无疑为遥感技术更广、更深的应用提供了技术支持。总之,卫星遥感技术的进步,把人类带入了立体化、多层次、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。

1. 遥感技术的发展状况

遥感信息获取技术的发展十分迅速,主要表现在以下几个方面:

(1)各种类型遥感平台和传感器的出现。现已发展起来的遥感平台有地球静止轨道卫星(35 000 km)和太阳静止轨道卫星(600~1 000 km)。传感器有框幅式光学仪器、缝隙式摄影机、全景相机、光机扫描仪、电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)线阵、面阵扫描仪、微波散射计、雷达测高仪、激光扫描仪和合成孔径雷达等。它们几乎覆盖了大气窗口的所有电磁波段,而且有些遥感平台还可以多角度成像,如CCD三线阵列可以同时得到3个角度的扫描成像;EOS-AM 1(Terra)卫星上的多角度成像光谱仪(multi-angle imaging spectroradiometer, MISR)可同时从9个角度对地成像。

(2)空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率不断提高。仅从陆地卫星系列来看,20世纪70年代初美国发射的陆地卫星——多光谱扫描仪(multi spectral scanner, MSS)有4个波段,其平均光谱分辨率为150 nm,空间分辨率为80 m,重复覆盖周期为16~18天;80年代的TM卫星增加到7个波段,在可见光到近红外范围的平均光谱分辨率为137 nm,空间分辨率增加到30 m;2000年后,出现增强型TM卫星,其全色波段空间分辨率可达15 m。法国SPOT-4卫星多光谱波段的平均光谱分辨率为87 nm,空间分辨率为20 m,重复周期为26天;SPOT-5卫星的空间分辨率最高可达2.5 m,重复覆盖周期提高到1~5天。1999年发射的中巴资源卫星(CBERS)是我国第二颗资源卫星,其最高空间分辨率达19.5 m,重复覆盖周期为26天。1999年发射的美国IKONOS-2卫星可获得4个波段4 m空间分辨率的多光谱数据和1个波段1 m空间分辨率的全色数据。IKONOS-2卫星发射后,又出现了空间分辨率更高的快鸟(QuickBird)和WorldView-3等,其最高空间分辨率分别达0.61 m和0.31 m。

(3)高光谱遥感技术的兴起。20世纪80年代遥感技术的最大成就之一是高光谱遥感技术的兴起。第一代航空成像光谱仪以AIS-1和AIS-2为代表,光谱分辨率分别为9.3 nm和