



高等学校“十一五”规划教材

# 遥感原理与应用

Yaogan Yuanli Yu Yingyong

杜培军 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校“十一五”规划教材

# 遥感原理与应用

主 编 杜培军

副主编 卢小平 江 涛 杨可明

张继超 张春森 林 卉

编 委 王行风 杨化超 乔玉良

赵银娣 胡召玲 杨磊库

中国矿业大学出版社

## 内 容 简 介

本书是一本系统介绍遥感基本原理、基本方法与主要应用的高等学校教材。在介绍遥感基本概念与特点的基础上,从遥感物理基础、遥感传感器两方面讲述了遥感信息获取原理、常规遥感信息源的基本参数与信息特点,然后简要论述了遥感图像目视解译中的常用特征和主要方法。针对数字图像处理的快速发展,重点对遥感图像数字处理的原理与方法进行了全面讲述,在分析遥感图像数字表达与统计分析的基础上,介绍了几何纠正、辐射校正、滤波与增强、图像变换、特征提取等常规预处理方法,探讨了遥感图分类的原理、方法与关键问题,并侧重从典型领域应用、遥感制图、专题分析等方面介绍了遥感应用的技术流程与主要问题。最后面向遥感科学与技术发展前沿简要介绍了一些发展趋势与热点论题。

本教材可作为测绘工程、地理信息系统、地质工程、资源环境与城乡规划管理、土地资源管理、地理科学、遥感科学与技术等专业以及其他水利、地矿、资源类专业的本科生教材和相关专业研究生教学参考用书,也可供资源、环境、地图、测绘、地理、地质、遥感和地理信息系统等领域的研究人员和技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

遥感原理与应用/杜培军主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.7

高等学校“十一五”规划教材

ISBN 7 - 81107 - 391 - 9

I. 遥… II. 杜… III. 遥感技术—高等学校—教材 N. TP7

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第085327号

书 名 遥感原理与应用

主 编 杜培军

责任编辑 潘俊成

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17 字数 424 千字

版次印次 2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

定 价 26.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

自 20 世纪 60 年代埃弗林·布鲁伊特(Evelyn. L. Pruitt)等提出“遥感”的概念以来,遥感作为一种不直接接触物体而对目标进行探测与分析的综合性技术,在理论、方法、平台、系统、应用等各方面都得到了快速发展。特别是随着遥感技术在资源、环境、矿业、测绘、地理、地质、城市、交通等领域应用的不断深化与拓展,针对不同专业特点开展遥感基础知识、基本方法与基本技能培训和教育,已成为相关专业人才培养的重要环节。目前,遥感类课程已成为测绘工程、地理信息系统、地理科学、资源环境与城乡规划管理、地质工程、环境科学、环境工程等专业重要的专业基础课程之一。为了满足遥感基础知识教育的要求,高等学校(矿业)“十一五”规划教材编审委员会将《遥感原理与应用》作为规划教材之一,组织相关高校教师编写本教材。

本教材主要面向本科生遥感教学的需求,本着有助于加强基础理论学习、有利于提高能力培养、有利于知识面的拓展和少而精的原则,努力做到先进性、实用性、通用性和高质量四者的统一。教材在编写过程中,注重突出遥感科学基础知识、遥感信息处理基本方法、遥感应用基本流程三个方面的知识,同时面向当前遥感科学发展对一些学科前沿进行了简要介绍。

本教材为集体编写,由中国矿业大学杜培军任主编,河南理工大学卢小平、山东科技大学江涛、中国矿业大学(北京)杨可明、辽宁工程技术大学张继超、西安科技大学张春森、徐州师范大学林卉任副主编,中国矿业大学王行风、杨化超与赵银娣、太原理工大学乔玉良、徐州师范大学胡召玲、河南理工大学杨磊库等同志作为编委共同参加了教材编写工作。全书由杜培军、卢小平拟定编写大纲,编委会成员共同完成教材编写工作,最后由杜培军进行统稿、定稿。教材编写过程中参考了国内外大量相关文献资料,特别是有的网络资料未能在教材中标出,在此作者向全部参考资料作者致以诚挚感谢。

本教材编写受到了测绘遥感与地理信息系统专家郭达志教授,高等学校(矿业)“十一五”地质与测量学科教材编审委员会副主任高井祥教授,中国矿业大学环境与测绘学院汪云甲教授、邓喀中教授、张书毕教授以及徐州师范大学张连蓬教授等的关心与指导,在此表示衷心感谢。

限于作者水平有限,书中不足之处在所难免,希望各位读者、老师和同学不吝赐教,提出的宝贵意见,请发邮件至 [dupj@vip.163.com](mailto:dupj@vip.163.com) 或 [dupjrs@126.com](mailto:dupjrs@126.com)。

编 者  
2006 年 4 月

## 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 遥感的基本概念 .....	1
1.2 遥感过程 .....	4
1.3 遥感技术系统 .....	5
1.4 遥感技术发展历史与现状 .....	8
<b>2 遥感物理基础</b> .....	12
2.1 电磁波基础 .....	12
2.2 物体的发射辐射 .....	17
2.3 地物的反射辐射 .....	24
2.4 大气对电磁波传输的影响 .....	31
<b>3 遥感传感器与信息获取</b> .....	39
3.1 遥感传感器概述 .....	39
3.2 摄影型遥感传感器 .....	40
3.3 扫描型遥感传感器 .....	43
3.4 微波遥感与雷达影像获取 .....	52
3.5 主要卫星遥感系统 .....	60
3.6 遥感图像的特征 .....	73
<b>4 遥感图像处理基础</b> .....	77
4.1 遥感图像处理概述 .....	77
4.2 遥感图像目视解译与判读 .....	80
4.3 遥感图像的数字表达 .....	86
4.4 遥感图像的存储 .....	88
4.5 遥感图像特征的统计分析 .....	94
4.6 常用遥感图像处理软件简介 .....	99
<b>5 遥感数字图像预处理</b> .....	113
5.1 遥感图像几何校正 .....	113
5.2 遥感图像辐射校正 .....	126
5.3 遥感图像增强与变换 .....	131
5.4 遥感图像中的特征提取 .....	154

<b>6 遥感图像分类</b> .....	163
6.1 基本知识 .....	163
6.2 遥感图像分类的基本原理 .....	166
6.3 监督分类 .....	169
6.4 非监督分类 .....	173
6.5 遥感图像分类新方法 .....	178
6.6 分类后处理和精度分析 .....	185
6.7 遥感图像分类中非光谱辅助信息的应用 .....	187
<b>7 遥感专题分析与遥感制图</b> .....	190
7.1 遥感专题信息提取方法 .....	190
7.2 遥感专题制图 .....	194
7.3 遥感地形制图 .....	206
<b>8 遥感应用</b> .....	212
8.1 遥感应用的基本模式 .....	212
8.2 资源遥感 .....	214
8.3 城市遥感 .....	218
8.4 环境遥感 .....	221
8.5 灾害遥感 .....	226
8.6 农业遥感 .....	229
8.7 地表参数定量遥感反演 .....	233
8.8 煤矿区遥感应用 .....	238
8.9 遥感应用若干新领域 .....	240
8.10 遥感应用的发展趋势 .....	242
<b>9 遥感科学与技术发展前沿与趋势</b> .....	244
9.1 遥感科学与技术发展现状及趋势 .....	244
9.2 遥感与地理信息系统、全球定位系统的集成 .....	249
9.3 遥感信息智能处理 .....	251
9.4 遥感信息融合 .....	254
<b>参考文献</b> .....	258
<b>附录: 实习提纲</b> .....	261

# 1 绪 论

遥感(Remote Sensing)是20世纪60年代兴起并迅速发展起来的一门综合性探测技术,它是在航空摄影测量的基础上,随着空间技术、信息技术、电子计算机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,逐步形成发展的一门新兴交叉科学技术。从以飞机为主要运载工具的航空遥感,到以人造地球卫星、宇宙飞船和航天飞机为运载工具的航天遥感,大大地扩展了人们的观察视野及观测领域,形成了对地球资源和环境进行星—空—地监测的立体观测体系。遥感技术在城市规划、资源勘查、环境保护、全球变化、土地监测、农业、林业以及军事等领域的应用显示了无与伦比的优越性,并且应用的深度和广度仍在不断拓展。遥感已成为地球系统科学、资源科学、环境科学、城市科学和生态学等学科研究的基本支撑技术,并逐渐融入现代信息技术的主流,成为信息科学的主要组成部分。近年来,随着对遥感基础理论研究的重视,遥感技术正在逐渐发展成为一门综合性的新兴交叉学科——遥感科学与技术。

## 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,从广义上说是泛指从远处探测、感知物体或事物的技术。具体来讲,遥感是指不直接接触物体本身,从远处通过仪器(传感器)探测和接收来自目标物体的信息(如电场、磁场、电磁波、地震波等信息),经过信息传输、加工处理及分析解译,识别物体和现象的属性及其空间分布等特征与变化规律的理论和技术。

狭义的遥感是指对地观测,即从空中和地面的不同工作平台上(如高塔、气球、飞机、火箭、人造地球卫星、宇宙飞船、航天飞机等)通过传感器,对地球表面地物的电磁波反射或发射信息进行探测,并经传输、处理和判读分析,对地球的资源与环境进行探测和监测的综合性技术。与广义遥感相比,狭义遥感概念强调对地物反射、发射和散射电磁波特性的记录、表达和应用。当前,遥感形成了一个从地面到空中乃至外层空间,从数据收集、信息处理到判读分析和应用的综合体系,能够对全球进行多层次、多视角、多领域的观测,成为获取地球资源与环境信息的重要手段。

通过大量的实践,人们发现地球上的每一物质由于其化学成分、物质结构、表面特征等固有性质的不同都会选择性反射、发射、吸收、透射及折射电磁波。例如,植物的叶子之所以能看出是绿色的,是因为叶子中的叶绿素对太阳光中的蓝色及红色波长光吸收,而对绿色波长光反射的缘故。物体这种对电磁波的响应所固有的波长特性叫光谱特性(Spectral Characteristics)。一切物体,由于其种类及环境条件不同,因而具有反射和辐射不同波长电磁波的特性。遥感就是根据这个原理来探测目标对象反射和发射的电磁波,获取目标的信息,

通过信息解译处理完成远距离物体识别的技术。应当指出的是,人类生活的自然界是非常复杂的,加之人类活动与自然环境的影响,会出现“同质异谱”和“异质同谱”的现象,这就给我们处理与分析遥感信息带来困难,也是目前研究的重大课题。

### 1.1.2 遥感的分类

遥感分类的方法很多,主要有以下几种。

① 按遥感平台(即运载工具)分,包括:

地面遥感:又叫近地遥感,传感器设置在地面平台上,如车载、手提、高架平台等;

航空遥感:传感器设置于航空器上,主要是飞机、气球等;

航天遥感:传感器设置于环地球的航天器上,如人造地球卫星、航天飞机、空间站等。

② 按探测器的工作波段分,包括:

紫外遥感:探测波段在  $0.05 \sim 0.38 \mu\text{m}$  之间;

可见光遥感:探测波段在  $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$  之间;

红外遥感:探测波段在  $0.76 \sim 1\,000 \mu\text{m}$  之间;

微波遥感:探测波段在  $1\text{ mm} \sim 10\text{ m}$  之间;

多光谱(高光谱)遥感:指探测波段在可见光波段到红外波段范围内,再细分若干窄波段来探测目标。

③ 按遥感应用领域,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;从具体应用领域可分为城市遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、地质遥感、渔业遥感、气象遥感、水文遥感、工程遥感、灾害遥感及军事遥感等。

④ 按遥感资料的记录方式可分为成像遥感和非成像遥感,按传感器工作方式又可分为主动遥感和被动遥感。其分类见表 1-1。

表 1-1

遥感(资料)的分类

遥感资料分类	成像方式	被动方式	光学摄影	宽频单波段摄影	黑、白摄影
					彩色摄影
			扫描成像	多波段摄影	多镜头相机摄影
					单镜头相机摄影
	对物扫描	对像扫描(电视摄像)			
			机械扫描		
					推帚扫描
	非成像方式	主动方式	雷达、合成孔径雷达(成像)		
		主动方式			
		被动方式			

成像方式(或图像方式)是将所探测到的强弱不同的地物电磁波辐射(反射或发射),转换成深浅不同的(黑~白)色调构成直观图像的遥感资料形式,如航空像片、卫星图像等。非成像方式(或非图像方式)则是将探测到的电磁波辐射(反射或发射),转换成相应的模拟信号(如电压或电流信号)或数字化输出,或记录在磁带、磁盘等记录介质上而构成非成像方式



的遥感资料,如陆地卫星(Landsat)CCT 数字磁带等。

主动遥感或被动遥感是按传感器工作方式进行的分类。所谓主动式遥感是指传感器带有能发射电磁波的辐射源,工作时向目标物发射电磁波,同时接收来自目标物反射或散射回来的电磁波进行的探测。被动式遥感则是利用传感器直接接收来自地物反射自然辐射源(如太阳)的电磁辐射或自身发出的电磁辐射而进行的探测。

光学摄影亦指通常的摄影,即将探测接收到的地物电磁波依据深浅不同的色调直接记录在感光材料上。扫描方式是将所探测的视场(或地物)划分为面积相等顺序排列的像元,传感器则按顺序以每个像元为探测单元记录其电磁辐射强度,并经转换、传输、处理,或转换成图像显示在屏幕或胶片上,或制成扫描数字产品。

### 1.1.3 遥感探测的特点

#### (1) 宏观观测,大范围获取数据资料

采用航空或航天遥感平台获取的航空像片或卫星影像比在地面上获取的观测视域范围大得多。例如,一张比例尺为 1:35 000 的 23 cm×23 cm 的航空像片,可反映出 60 余平方千米的地面景观实况;一幅 Landsat TM 图像,其覆盖面积可达 34 225 km<sup>2</sup>。可见遥感技术可以实现大范围的的对地宏观监测,为地球资源与环境的研究提供重要的数据源。

#### (2) 动态监测,快速更新监控范围数据

对地观测卫星可以快速且周期性地实现对同一地区的连续观测,即通过不同时相对同一地区的遥感观测进行变化信息提取与动态分析。例如,陆地卫星 Landsat4、5 的运行周期是 16 天,即每 16 天可以对全球陆地表面成像一遍,NOAA 气象卫星每天接收到两次覆盖全球的图像,而传统的人工实地调查往往需要几年甚至几十年时间才能完成地球大范围动态监测的任务。遥感的这种获取信息快、更新周期短的特点,有利于及时发现土地利用变化、生态环境演变、病虫害、洪水及林火等自然和人为灾害。

#### (3) 技术手段多样,可获取海量信息

遥感技术可提供丰富的光谱信息,根据应用目的不同而选择不同功能和性能指标的传感器及工作波段。例如,可采用可见光及红外线探测物体,亦可采用微波全天候的对地观测。高光谱遥感可以获取许多波段狭窄且光谱连续的图像数据,它使本来在宽波段遥感中不可探测的物质得以被探测,如地质矿物分类和成图。此外,遥感技术获取的数据量非常庞大,如一景包括 7 个波段的 Landsat TM 影像的数据量达 270 MB,覆盖全国范围的 TM 数据量将达到 135 GB 的海量数据,远远超过了用传统方法获得的信息量。

#### (4) 应用领域广泛,经济效益高

遥感已广泛应用于城市规划、农业估产、资源清查、地质探测、环境保护和灾害评估等诸多领域,随着遥感影像的空间、时间、光谱和辐射分辨率的提高,以及与地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)的结合,它的应用领域会更加广泛,对地观测也将随之步入一个更高的发展阶段。此外,与传统方法相比,遥感技术的开发和利用大大节省了人力、物力和财力,在很大程度上缩短了时间的耗费。据估计,美国陆地卫星的经济投入与所得效益大致为 1:80,获得了很高的经济效益和社会效益。

## 1.2 遥感过程

遥感过程包括遥感信息源(或地物)的物理性质、分布及其运动状态;环境背景以及电磁波光谱特性;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;以及人们的视觉生理和心理及其专业素质等等。因此,遥感过程不但涉及到遥感本身的技术过程,以及地物景观和现象的自然发展演变过程,还涉及到人们的认识过程。这一复杂过程当前主要通过地物波谱测试与研究、数理统计分析、模式识别、模拟试验方法,以及地学分析等方法来完成。通常它由五部分组成,即被测地物的信息源、信息的获取、信息的传输与记录、信息的处理和信息的应用,如图 1-1 所示。

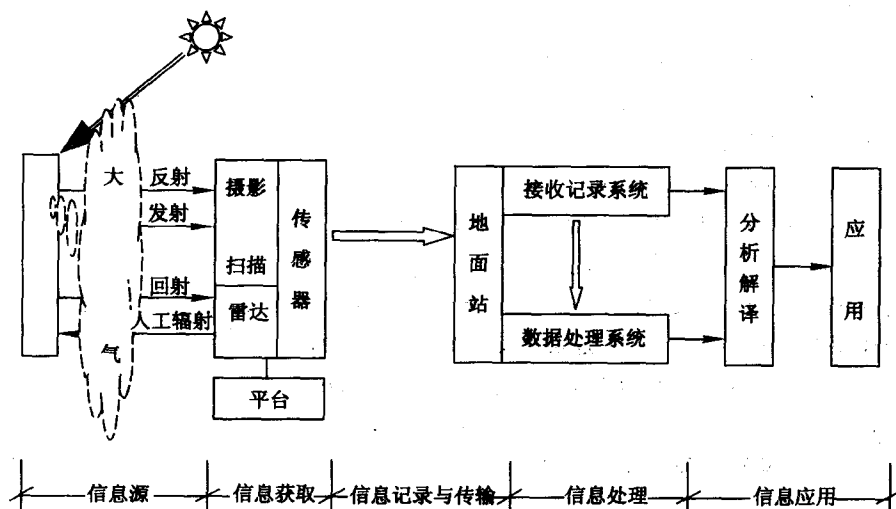


图 1-1 遥感过程与技术系统

### 1.2.1 信息源

① 能源。被动遥感所利用的能源主要是太阳辐射能,地表特征反射太阳辐射能或自身发射的能量是被动遥感的主要探测信息。主动遥感则以发射电磁波的仪器为能源(如雷达)。

② 在大气中传播。太阳辐射能通过大气层,部分被大气中的微粒散射和吸收,使能量衰减,其中透过率较高的波段称为大气窗口,这种大气衰减效应随波长、时间、地点的变化而变化。这使太阳辐射的连续光谱中部分波段不能到达地表,并使光谱分布发生变化。

③ 到达地表的能量与地表物质相互作用。地表特征是十分复杂的,它是由生物、地质、水文、地貌、人文等多种因素组成的综合体,即自然景观和人文景观。这些因素均随时间、地点、环境不同而变化。不同波长的能量到达地表后,被选择性地反射、吸收、透射、折射等。

④ 再次的大气传播。地表反射或发射的能量,再次通过大气,能量再次衰减。此时的能量已包含着不同地表特征波谱响应的能量。这一过程的大气效应对遥感影响较大,它不仅使传感器接收的地面辐射强度减弱,而且由于散射产生天空散射光使遥感影像反差降低并引起遥感数据的辐射、几何畸变、图像模糊,直接影响到图像清晰度、质量和解译精度。

### 1.2.2 信息获取

遥感通过不同的遥感系统(平台、传感器)采集数据。根据不同应用目的采用的不同遥感系统均有它自身的优势和局限性,并在数据获取过程中伴随有不同的几何、辐射畸变。因而在运用各种遥感数据时,需要了解它们的特点及误差并设法对误差加以纠正。

### 1.2.3 信息记录与传输

遥感仪器所记录的地表反射、发射电磁波谱特征主要有两种形式:一是模拟图像,如摄影图像;二是数字图像数据,如用扫描仪得到的亮度值矩阵。两者可以相互转换,即模数变换(A/D)或数模变换(D/A)。

### 1.2.4 数据处理

这一阶段对采集的遥感数据进行各种处理以获得目标信息,可通过人工解译和计算机处理实现。

由于在遥感数据获取过程中,要产生误差并丢失部分信息,因而遥感数据仅是应用分析中数据源的一部分。在对遥感数据处理过程中非遥感的辅助数据是很有价值的,辅助数据不仅用于对遥感数据的补充与纠正,而且用于对遥感最终结果的分析与精度评价。

### 1.2.5 信息应用

遥感的最终目的在于应用,而遥感数据成功应用的关键在于“人”。只有当人们了解遥感数据的产生过程与特点及解译分析的方法,才可能将遥感系统获取的数据转换成有用的信息,应用于辅助决策过程,如资源调查、环境监测、国土整治、区域规划、全球研究等。

纵观整个遥感过程的主要环节,数据获取过程中广泛运用到物理学、电子学、空间科学、信息科学等方面的内容;数据处理、分析过程中广泛运用到数学、计算机科学等方面的知识;数据应用则是以地学规律为基础的分析方法,广泛应用到地球科学、生命科学等方面的内容。所以,从这个角度讲,遥感又是一门以物理手段、数学方法和地学分析为基础的综合应用科学技术。

## 1.3 遥感技术系统

遥感技术系统是一个从地面到空中直至外层空间,从信息收集、存储、传输处理到分析判读、应用,由传感器、数据处理系统、数据、用户等构成的完整的技术体系。遥感技术系统能够实现对全球范围的多层次、多视角、多领域的立体探测,是获取地球信息的重要的现代高技术手段。

遥感技术系统一般由四部分组成:传感器与遥感平台、遥感数据接收与传输系统、遥感数据处理系统、遥感资料分析解译系统。图 1-2 为卫星遥感系统示意图。

### 1.3.1 传感器及遥感平台

遥感工作平台以及传感器是确保遥感信息获取的物质保证。

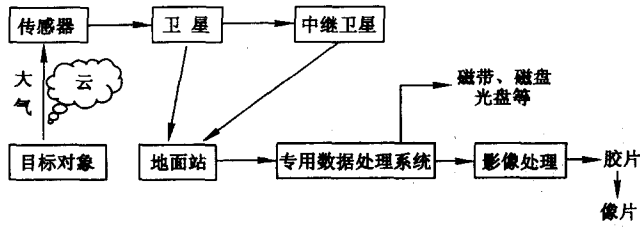


图 1-2 卫星遥感系统示意图

### 1.3.1.1 传感器(Remote Sensor)

传感器是指收集和记录地物电磁辐射(反射或发射)能量信息的装置,如航空摄影机、多光谱扫描仪等。它是信息获取的核心部件,在遥感平台上装载传感器,按照确定的飞行路线进行探测,即可获得所需的遥感信息。传感器分为摄影类型的传感器、光电类型的传感器、成像光谱仪、微波传感器。

### 1.3.1.2 遥感平台(Platform)

遥感(工作)平台是指装载传感器进行遥感探测的运载工具,如飞机、人造地球卫星、宇宙飞船等。按其飞行高度的不同可分为近地(面)工作平台、航空平台和航天平台。这三种平台各有不同的特点和用途,根据需要可单独使用,也可配合启用,组成多层次立体观测系统。

## 1.3.2 遥感数据的接收与传输及遥感卫星地面站

遥感卫星地面站是一个复杂的高技术系统,它的任务是接收、处理、存档和分发各类遥感卫星数据,并进行卫星接收方式、数据处理方法及相关技术的研究,其生产运行系统主要包括接收站、数据处理中心和光学处理中心。

### 1.3.2.1 数据传送和接收

接收站主要负责完成捕获跟踪卫星、传送接收卫星数据的任务。从遥感卫星向地面传输的数据中除了图像数据外,还传送遥感平台上搭载仪器的温度、电压、电流等信息。这些数据通常用数字信号传送,具有抗噪声性强、功率低等优点。在地面站接收观测数据时,对于卫星经过接收站时能覆盖到的区域,通常采用在卫星观测的同时直接进行实时传送数据;对于覆盖不到的区域采用数据记录仪 MDR (Mission Data Recorder) 和跟踪数据中继卫星 TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) 两种方式。MDR 是将观测数据先记录在数据记录仪上,当卫星飞到能接收的区域时,再把数据回放出来进行传送;TDRS 是通过数据中继卫星进行间接实时传送。例如,美国宇航局(NASA)在西经 41°及西经 171°的赤道上空发射了两颗跟踪数据中继卫星,陆地卫星在美国本土以外的地域可以通过其中的一颗中继卫星将图像数据传送给设在新墨西哥州的白沙(White Sands)接收站,这个接收站又将数据通过国内通讯卫星 DOMSAT 转送到戈达德中心(GSFC)进行处理,由此实现对全球数据的传送。

遥感卫星地面接收站除了接收本国卫星发回的观测数据以外,还可以经过他国的允许,每年交纳一定的金额来接收其他国家授权卫星发送的信息。

### 1.3.2.2 中国遥感卫星地面站

我国于 1986 年由中国科学院根据中美空间科技合作备忘录,从美国 Scientific-Atalanta 公司引进陆地卫星地面接收系统,建立了中国遥感卫星地面站(China Remote

Sensing Ground Station)。地面接收系统安装于北京密云县境内,站址四周山丘环抱,是一个理想的“电磁寂静区”。它可以接收我国陆地面积 80%~95% 的遥感卫星数据,是我国主要的民用资源卫星遥感信息源。经过近 20 年的努力,地面站实现了一站多星,并逐步建成全天候、全天时、准实时、多分辨率的卫星对地观测中心。目前,地面站能够接收处理美国 Landsat—5 和 Landsat—7, 欧空局 ERS—1、ERS—2, 日本的 JERS, 法国的 SPOT—1、SPOT—2、SPOT—4 和 SPOT—5, 加拿大的 RADARSAT 及中巴资源卫星 CBERS 等卫星数据。

### 1.3.3 遥感数据处理系统

从航空或航天飞行器的传感器上收集到的遥感信息因受传感器性能、飞行条件、环境因素等影响,在使用前要进行多方面的预处理,以期获得能反映目标实际的真实信息。遥感信息预处理主要包括数据转换、数据压缩和数据校正。这一阶段主要是图像的系统处理。

#### 1.3.3.1 数据转换

由于所接收到的遥感数据记录形式与数据处理系统的输入形式不一定相同,而处理系统的输出形式与用户要求的形式也可能不同,所以必须进行数据转换。同时,在数据处理过程中也存在数据转换的问题。数据转换的形式与方法有:模数转换(A/D)、数模转换(D/A)、格式转换等。

#### 1.3.3.2 数据压缩

传送到遥感图像数据处理机构的数据量十分庞大。目前虽然用计算机进行数据预处理,但数据处理量和处理速度仍然跟不上数据收集量。所以在图像预处理过程中,还要进行数据压缩,目的是去除无用和冗余的数据,并以特征值和参数的形式保存有用的数据。

#### 1.3.3.3 数据校正

在理想情况下,遥感数据的质量依赖于进入传感器的辐射强度。但在实际中,由于传感器从空间对地面目标进行遥感观测,所接收到的是一个综合的辐射能量。它除了地物本身反射和发射太阳能量外,还有周围环境如大气发射与散射的能量、背景照射的能量,以及传感器本身性能差异的影响,使得反映在图像上的信息量发生变化,引起图像失真、对比度下降等。此外,由于飞行器姿态不稳定及轨道变化所造成的误差、地球拱曲产生的影像歪斜、传感器内部成像性能引起的影像线性和非线性畸变所造成的误差等,使图像中地物目标的几何位置会发生畸变。因此,原始遥感数据被地面站接收以后,要经过数据处理中心进行一系列复杂的辐射校正和几何校正处理,亦称数据粗加工,以消除畸变,复原图像,再提供给用户使用。

### 1.3.4 遥感资料分析解译系统

这一阶段主要是进行遥感图像的应用处理。用户得到的遥感资料,是经过预处理的图像胶片或数字数据,然后再根据各自的应用目的,对这些资料进行分析、研究、判读与解译,从中提取有用信息,并将其转化为我们所用的文字资料或图件,即遥感派生出的“数据”可以通过模拟和数字图像处理技术,变为可以解译的形式并转换为有用的“信息”。当然,这需要经过数据处理、专题提取、综合分析等一系列复杂的过程。目前,解译已经形成一定规范的技术路线和方法。数据解译、分析主要有以下两种形式:

目视解译或模拟图像处理,指借助于不同的观测、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、阴影、色调、纹理、图型位置、组合等),依据解译者的知识和经验来识别和提取目标物的性质及变化规律。

计算机数字图像处理,指运用数理统计和模式识别等多种数学方法,以及计算机领域的知识来自动识别和提取各类信息。遥感数字图像处理是当前主要的处理方法。

## 1.4 遥感技术发展历史与现状

### 1.4.1 遥感技术的发展概况

“Remote Sensing”(遥感)一词首先是由美国海军科学研究部的埃弗林·布鲁伊特(Evelyn L. Pruitt, 1960)提出来的,1961年,在美国国家农科院和国家研究理事会的资助下,密歇根大学发起的环境科学国际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而被广泛应用。但遥感的渊源则可追溯到很久远以前,其发展可大致分为以下两大阶段。

#### 1.4.1.1 遥感的萌芽及其初期发展阶段

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,从而辨认出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。古代神话中的“千里眼”、“顺风耳”即是人类这种意识的表达和流露,体现了人们梦寐以求的美好幻想。1610年意大利科学家伽利略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,可视为是遥感的最初尝试和实践。而1839年达盖尔(Daguerre)和尼普斯(Niepce)的第一张摄影像片的发表则是遥感成果的首次展示。1849年,法国人艾米·劳塞达特(Aime Laussedat)制定了摄影测量计划,成为有目的有记录的地面遥感发展阶段的标志。

随着摄影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。1903年莱特兄弟发明了飞机,才真正促使航空遥感向实用化迈进。1909年W.莱特第一次从飞机上拍摄意大利森托塞尔地区,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,开普顿·塔迪沃(Captain Tardivo)发表论文首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战的爆发,使航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展,并逐渐发展形成了独立的航空摄影测量学的学科体系。同时,遥感应用从军事、地图制作等进一步扩大到森林、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爆发后军事上的需要以及科学技术的不断进展,彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术等相继问世,传感器技术得到迅速发展,遥感探测手段取得显著进步,从而突破了航空摄影测量只记录可见光谱段的局限,向紫外和红外扩展,并扩大到微波波段。同时,运载工具以及判读成图设备等也都得到相应的完善和发展,遥感迎来了一个全新的发展时期。

#### 1.4.1.2 现代遥感发展阶段

1957年10月4日,苏联发射了人类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3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图像。这些图像大大地开扩了人们的视野,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日成功发射了用于探测地球资源和环境的地球资源技术卫星“ERTS—1”(即Landsat的前身),为航天遥感的发展及广泛应用开创了一个新局面。

迄今为止,世界各国已发射各种人造地球卫星超过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卫星包括气象卫星系列、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讯卫星系列等。通过不同高度的卫星及其搭载不同类型传感器,能够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各自优势,并融合为一体,构成综合的遥感技术系统,为进一步认识和研究地球、合理开发地球资源和环境提供了强有力的现代化手段。

当前,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、基础理论研究及应用等遥感各个领域(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。尤其是20世纪90年代中期,世界各国出现了高分辨率遥感图像商业化发展的热潮,构成了世界对地观测技术发展的重要内容之一。1994年,美国克林顿政府颁布政策和法令,允许高分辨率遥感图像数据及其相关设备部分地进入商业化的发展,立即有一批公司领到了发射高分辨率遥感卫星的许可证,使民用高分辨率卫星得到迅速发展。1999年9月24日,空间成像公司(Space Imaging)的商业卫星IKONOS由洛克希德·马丁公司Athena II火箭发射进入674 km太阳同步轨道,其全色波段分辨率达到1 m,多光谱波段分辨率为4 m。从此,商业遥感卫星进入“1 m分辨率的时代”。2001年10月18日,Earth Watch公司的“快鸟”(Quick Bird)发射成功,全色波段分辨率达到0.61 m,多光谱波段分辨率为2.44 m。今天,在全世界的遥感市场里,已经形成了在高分辨率图像数据商业化方面的竞争局面。苏联也曾是遥感的超级大国,尤其在运载工具的发射能力以及遥感资料的数量及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系统,例如法国的SPOT卫星系列,日本的JERS和MOS系列卫星,加拿大的RADARSAT系列卫星等。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,如中国、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应用上的巨大潜力。

总体看来,当前遥感正处在从实验阶段向生产型和商业化过渡和转变的阶段,在实时监测处理能力、观测精度及定量化水平,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,今后遥感的发展需要各个学科领域的科技人员协同努力,深入研究和实践,共同促进遥感的更大发展。

## 1.4.2 我国遥感发展概况

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高度重视和支持。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,完成了大部分地区的航空摄影测量工作,其应用范围不断扩展。在此期间,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坚实基础。

20世纪70年代以来,遥感事业有了长足进步。全国范围内的地形图更新已普遍采用航空摄影测量,并在此基础上开展了不同目标的航空专题遥感试验及应用研究,特别在利用航空平台进行各种新型传感器试验和系统集成试验研究方面,取得了很大成效。我国已成功研制了机载地物光谱仪、多光谱扫描仪、红外扫描相机、成像光谱仪、真实孔径和合成孔径侧视雷达、微波辐射计、激光高度计等传感器,为跟踪世界先进水平、推动传感器的国产化作出了重要的贡献。

我国自1970年4月24日发射第一颗人造卫星以后,相继发射了数十颗不同类型的人造地球卫星。与太阳同步的“风云1号”和与地球同步轨道的“风云2号”的发射、返回式遥感卫星的发射与回收,使我国开展宇宙探测、通讯、科学实验、气象观测等研究有了自己的信息源。1999年10月14日,中国—巴西地球资源遥感卫星CBERS—1的成功发射,使我国拥有了自己的资源卫星,“北斗”定位导航卫星及“清华1号”小卫星的成功发射,标志着我国的地球观测卫星及不同用途的多种卫星进入了世界先进水平的行列。

在遥感图像信息处理方面,正在从普遍采用国际先进的商品化软件向软件国产化迈进。ERDAS、ER—MAPPER、ENVI、PCI、IDRISI等软件已被我国有关研究部门、大学、公司及生产单位所采用。20世纪90年代后期,在科技部、信息产业部的倡导下,国产遥感图像处理软件已从研制走向商品化,如IRSA、IMAGEINFO、TITAN IMAGE、GeoImager、ImageStation等。与此同时,对图像处理的新方法、新算法也进行了广泛的探索和发展。

在遥感应用方面,自20世纪70年代中后期开始,我国政府极为重视遥感技术的发展和在国家建设中的应用,将遥感列入重点科技攻关项目和“863”攻关项目,发展遥感事业已成为政府行为的一部分,通过“六五”到“十五”的攻关,完成了一批具有我国特色、达到世界先进水平的应用成果。其主要成果表现在以下几方面:

遥感领域应用试验研究:如云南腾冲遥感综合试验、长春净月潭试验、山西太原农业遥感试验、东海渔业遥感试验、长江下游地物光谱试验等,这些试验研究都紧密结合遥感技术的发展和应 用,为大规模、多领域的应用打下基础并起到了示范作用。

广泛开展遥感应用研究:遥感专题性和综合性应用研究涉及的领域广、类型多,包括农业生产条件研究、作物估产、国土资源调查、土地利用与土地覆盖、水土保持、森林资源、矿产资源、草场资源、渔业资源、环境评价和监测、城市动态变化监测、水灾和火灾监测、森林和作物病虫害监测、气象监测,以及港口、铁路、水库、电站等工程勘测与建设的遥感研究,涉及到许多业务部门,从而极大地扩展了遥感的应用领域。在范围上覆盖全国各地,从地广人稀之地到人口密集、经济发达的城市,很多地方都开展了遥感综合调查研究。不同领域对遥感应用提出了不同要求,因而推动了我国遥感应用的全面发展。

完成了一批大型应用项目:全国国土面积量算和土地资源调查、“三北”防护林遥感综合调查研究、山西省农业遥感、内蒙古自治区草场资源遥感、黄土高原水土流失与土壤侵蚀遥感、长江三峡工程遥感、洞庭湖和鄱阳湖综合遥感研究等大型应用项目,为国家、有关部门和地方政府的决策提供了科学依据。在此基础上,国家将逐步形成全国性的资源环境动态服务



系统、自然灾害监测评估系统、海洋环境立体监测系统等大型应用系统,遥感作为重要的信息采集手段,直接为国家的决策服务。

取得良好的经济效益和社会效益:区域土地利用遥感调查资料表明,航空遥感与常规地面调查相比,时间仅为后者的1/8,资金投入为1/3,人力仅为1/16。我国在长江流域水灾监测中,使用了航空侧视雷达全天时、全天候成像,通过微波站或通讯卫星实时传输至国家防洪指挥中心,及时提供洪水的淹没情况,获得准确的灾情数据,为抗洪救灾决策和灾情评估作出了重要的贡献。同样,在大兴安岭森林火灾的火情发现、监测和灾情评估中,遥感也发挥了重要的作用。遥感在天气预报,尤其是灾害性天气预报,如热带风暴、台风、霜冻、干旱等的预报中得到广泛应用,对国民经济、人民生活产生巨大的作用。

在遥感研究机构方面,国务院许多部委都成立了遥感机构。科技部设立了国家遥感中心,对遥感学科的发展和重大项目进行规划管理。1979年,经国务院批准成立中国科学院遥感应用研究所,在遥感基础研究、遥感应用研究、遥感应用工程技术研究等方面均取得骄人的成绩。根据知识创新工程的实践和遥感信息科学事业发展的需要,形成了以遥感科学国家重点实验室、国家航天局航天遥感论证中心、遥感信息技术部、资源环境遥感应用研究中心、国家遥感应用工程技术研究中心组成的科研机构以及由航空遥感中心、航天数据接收站及网络中心、遥感试验场组成的科技支撑系统。另外,中国科学院所属的其他许多研究所,其主攻方向都与遥感有关。军事部门也有相应的军事遥感研究机构。中国科协所属的全国性的学会有十多个设有遥感分会或专业委员会,定期联合召开学术讨论交流会,对促进我国遥感水平的提高和加强国际学术交流起到积极的作用。许多省、市、自治区还设立了区域性的遥感研究中心,各地方遥感研究组织也联合成立了全国地方遥感应用协会(现中国遥感应用协会),进行学术研讨与经验交流,各行业和地方组建的遥感应用机构达数百个,遍布全国各地,遥感科技人员数以万计,组成了庞大的遥感科技队伍。

在遥感专业出版物方面,也产生了大量优秀成果,如《遥感大辞典》、《遥感词汇》、《遥感地学分析》、《腾冲试验区航空遥感图集》、《陆地卫星影像中国地学分析图集》等,对我国遥感应用的发展起到了示范作用。同时,《陆地卫星太原幅农业自然条件解译图集》、《内蒙古草场资源遥感系列图》、《资源遥感纲要》等在国内也产生了较大影响。此外,《遥感学报》、《遥感信息》、《国土资源遥感》、《遥感技术与应用》、《中国图像图形学报》等已成为国内外知名的遥感专业刊物。

我国的遥感教育事业成绩斐然。20世纪70年代开办的许多短期培训班和研讨班,对于迅速推广遥感应用起到很大的促进作用。目前已有上百所高校开设了遥感课程,并有部分高校设置了“遥感科学与技术”本科专业,遥感人才培养已经形成本科、硕士、博士层次系列,每年都有大量遥感专业博士、硕士等高层次人才充实到遥感科技队伍中。

总之,我国遥感事业经历了20世纪70年代至80年代中期的起步阶段,80年代后期至90年代前期的试验应用阶段,90年代中期进入实用化和产业化阶段,在遥感理论、遥感平台、传感器研制、系统集成、应用研究、学术交流、人才培养等方面都取得了举世瞩目的成就,为遥感科学与技术的发展和国家经济建设、国防建设作出了巨大贡献。