

高等学校统编教材

遥感原理与方法

Principle and Methods of Remote Sensing

卢小平 王双亭 主编



测绘出版社

高等学校统编教材

遥感原理与方法

Principle and Methods of Remote Sensing

卢小平 王双亭 主编



测绘出版社

·北京·

© 卢小平 王双亭 2012

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

本书系统叙述了当代遥感的理论、方法、过程和应用及最新进展和发展趋势。全书共分10章。第1章介绍了遥感的基本概念、基本过程、技术系统及其发展历程;第2章详细叙述了电磁波及其传播机理,包括电磁波及其特性、物体的发射辐射特性、地物的反射特性、大气对电磁波传输的影响、反射辐射和热辐射传输方程等内容;第3章至第4章系统介绍了各种传感器及其成像原理和成像特性,以及遥感平台及其运行特性;第5章至第8章阐述了遥感图像处理理论与方法,包括遥感图像处理基础知识,遥感图像校正增强与融合,遥感图像目视解译,遥感图像特征提取、自动分类及遥感信息的变化检测;第9章介绍了遥感专题图制作及遥感在测绘、农林、地质调查、矿山环境监测中的应用;第10章评述了当代遥感技术的最新进展,总结了其发展趋势与方向。

本书可作为遥感科学与技术、测绘工程、地理信息系统及其他专业的遥感课程教材,也可供相关学科的研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感原理与方法/卢小平,王双亭主编. —北京:测绘出版社,2012.8

高等学校统编教材

ISBN 978-7-5030-2607-2

I. ①遥… II. ①卢… ②王… 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(2012)第 149554 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83060872(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—68531160(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京建筑工业印刷厂			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	13			字 数	320 千字		
版 次	2012 年 8 月第 1 版			印 次	2012 年 8 月第 1 次印刷		
印 数	0001—3000			定 价	28.60 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-2607-2/P·589

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

本书编写组

主 编：卢小平 王双亭

副主编：齐建国 惠文华

编 委：邓安健 于海洋 杨磊库

马 超 程 钢

前 言

遥感科学与技术是 20 世纪中后期发展起来的一门综合性对地观测技术。它是在航空摄影测量的基础上,以空间技术、电子计算机技术和其他人工智能理论为支撑,以科学技术及经济建设发展需求为牵引,逐步形成的一门新兴综合交叉学科。半个多世纪以来,遥感技术在理论和应用方面都得到了迅速发展,并在全球变化监测、资源调查与勘探、环境监测与保护、气象预报、城乡规划、农林业普查与生产、防灾减灾、突发事件应对以及国防建设等领域显示出了极大的优越性,已成为地球系统科学、资源与环境科学以及生态学等学科的基本支撑技术,并逐渐融入现代空间信息技术的主流,成为信息科学的主要组成部分。鉴于遥感科学与技术在国民经济和国防建设中占据越来越重要的地位,我们编写了《遥感原理与方法》一书,以期将遥感的基本原理、处理方法、应用前景和最新发展成果展现给广大读者。

本书是在总结多年遥感课程的教学经验及科研成果基础上,经反复酝酿和讨论,并在河南理工大学承担的国家重点基础研究计划项目——“煤矿区地质灾害与环境信息协同处理及预警基础研究”(编号 2009CB226107)及国家测绘科技项目资助下完成编写的。本书既系统叙述了当代遥感的理论、方法、过程及最新进展,也介绍了成像光谱仪和其他新型传感器,明确了传感器指标和遥感图像的评价参数,拓展了遥感技术的应用领域,评述了当代遥感技术的最新进展与问题所在。全书共分 10 章,主要内容包括遥感的发展历程、遥感技术系统、遥感平台与传感器、遥感物理基础、遥感图像及其特性、遥感图像的物理与几何校正、遥感图像目视解译、遥感信息自动提取、遥感应用及遥感的的发展趋势。本书插图明晰、语言简练、说理透彻、举证详尽,力求读者能从理论到应用全面理解遥感技术的基本内容。

本书由河南理工大学卢小平、王双亭担任主编,长安大学惠文华、山东农业大学齐建国担任副主编,并由河南理工大学、长安大学和山东农业大学的多名老师共同讨论,分工负责完成的。第 1 章和第 2 章由卢小平编写;第 3 章和第 7 章由王双亭编写;第 4 章由河南理工大学于海洋编写;第 5 章由惠文华和河南理工大学杨磊库编写;第 6 章由河南理工大学王双亭、邓安健编写;第 8 章由邓安健编写;第 9 章由齐建国、河南理工大学马超及惠文华、于海洋编写;第 10 章由卢小平、齐建国、于海洋编写。书中的插图由邓安健、于海洋、程钢绘制。全书的统稿工作由卢小平和王双亭完成。

在本书的编写过程中,作者得到了很多专家、教授、同行、同事的大力支持与帮助,在此,表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免会有不妥和不足之处,恳请读者批评指正,以便再版时修订。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感的概念	1
1.2 遥感过程及其技术系统	3
1.3 对地观测技术发展综述	4
思考题与习题	9
第 2 章 电磁辐射传输机理	10
2.1 电磁波及其特性	10
2.2 物体的发射辐射	14
2.3 地物的反射	18
2.4 大气对电磁辐射传输的影响	25
思考题与习题	32
第 3 章 遥感传感器	33
3.1 传感器概述	33
3.2 摄影型传感器	37
3.3 光机类扫描仪	40
3.4 固体扫描仪	44
3.5 侧视雷达	49
3.6 激光雷达	59
3.7 成像光谱仪	61
思考题与习题	63
第 4 章 遥感平台	64
4.1 遥感平台及其运行特性	64
4.2 航天遥感平台简介	68
思考题与习题	75
第 5 章 遥感图像处理基础	76
5.1 遥感图像的数字表达	76
5.2 数字图像的存储	81
5.3 遥感图像特征	85
5.4 遥感图像的统计分析	86
5.5 彩色原理	89

5.6 遥感图像处理软件系统	92
思考题与习题	99
第6章 遥感图像校正与增强	100
6.1 遥感图像辐射校正	100
6.2 遥感图像几何校正	104
6.3 遥感图像增强	111
6.4 遥感图像融合	121
思考题与习题	126
第7章 遥感图像目视解译	127
7.1 解译标志	127
7.2 目视解译方法	134
思考题与习题	136
第8章 遥感信息自动提取	137
8.1 遥感图像特征提取	137
8.2 遥感图像自动分类	142
8.3 遥感信息变换检测	151
思考题与习题	153
第9章 遥感技术应用	154
9.1 遥感制图	154
9.2 高空间分辨遥感在基础测绘中的应用	156
9.3 遥感在农业中的应用	162
9.4 遥感在林业中的应用	166
9.5 遥感在地质调查中的应用	175
9.6 遥感技术在矿区中的综合应用	178
思考题与习题	183
第10章 遥感科学与技术新发展	184
10.1 对地观测系统新发展	184
10.2 遥感信息处理新发展	193
10.3 遥感应用服务新发展	195
思考题与习题	199
参考文献	200

第1章 绪论

1.1 遥感的概念

1.1.1 遥感的定义

遥感一词源于英语“remote sensing”，直译为“遥远的感知”，其科学含义通常有广义和狭义两种解释。

广义遥感，泛指一切无接触的远距离探测，包括对电磁场、(磁力、重力)、机械波(声波、地震波)等的探测。实际工作中，磁力、重力、声波、地震波等的探测被划为物探(物理探测)的范畴，只有电磁波探测属于遥感的范畴，即运用现代光学、电子学和电子光学的探测仪器，不与被探测物体(如大气、陆地和海洋)直接接触，从高空或远距离处接收物体辐射或反射的电磁波信息，再应用电子计算机或其他信息处理技术，加工处理成为能识别的图像或其他格式的数据，最后通过分析、解译，揭示出被探测物体的性质、形状和变化动态。

狭义遥感是指对地观测，即从不同高度的工作平台上通过传感器，对地球表面目标的电磁波反射或辐射信息进行探测，并经信息的记录、传输、处理和解译分析，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，狭义遥感强调对地物反射或辐射电磁波特性的记录、表达和应用。

当前遥感技术已形成了从地面到太空，即天空地一体化观测，从信息收集、存储、处理到分析和应用，对全球进行探测和监测的多层次、多视角、多领域的观测体系，成为获取地球资源与环境信息的主要手段。

1.1.2 遥感的分类

依据遥感平台、传感器工作方式、探测的电磁波波段等的不同，遥感有不同的分类方法。

1. 按遥感平台分类

根据遥感探测所采用的遥感平台(即搭载工具)可以将遥感分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。地面遥感采用地面固定或移动设施作为遥感平台，如遥感车、三脚架和遥感塔等；航空遥感平台是各种航空飞行器，如飞机、气球、气艇等；航天遥感则是以航天飞行器，如人造卫星、宇宙飞船、空间站、航天飞机等为遥感平台。

2. 按工作方式分类

根据传感器的工作方式可以将遥感分为主动式(有源)和被动式(无源)遥感。主动式遥感是指传感器自身带有能发射电磁波的辐射源，工作时向探测区发射电磁波，然后接收目标物反射或散射的电磁波信息。被动式遥感是传感器本身不发射电磁波，而是直接接收地物反射的太阳光线或地物自身的热辐射。

3. 按工作波段分类

根据遥感探测的工作波段可分为:紫外遥感,探测波段为 $0.05\sim 0.38\ \mu\text{m}$;可见光遥感,探测波段为 $0.38\sim 0.76\ \mu\text{m}$;红外遥感,探测波段为 $0.76\sim 14\ \mu\text{m}$;微波遥感,探测波段为 $1\ \text{mm}\sim 1\ \text{m}$;多光谱和高光谱遥感,探测波段在可见光波段到红外波段范围内,并细分为几十个到几百个窄波段。

4. 按记录方式分类

遥感按记录方式可分为成像遥感和非成像遥感两类。成像遥感是将所探测的地物电磁波辐射能量,转换成由色调构成的直观的二维图像,如航空像片、卫星影像等;非成像则是将探测的电磁辐射作为单点进行记录,多用于测量地物或大气的电磁波辐射特性或其他物理、几何特性,如微波辐射计遥感、激光雷达测量等。

5. 按遥感应用领域分类

遥感按照应用领域进行分类,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;从具体应用领域可分为城市遥感、环境遥感、农业和林业遥感、地质遥感、气象遥感、军事遥感等。

1.1.3 遥感对地观测的特点

1. 全局与局部观测并举,宏观与微观信息兼取

现代对地观测技术采用多平台、多传感器的技术构架,不仅能获取全球大范围的宏观骨架信息,也能得到局部小范围的微观细节数据。一幅遥感影像的地面范围可以大到数万平方千米,能够覆盖一个地区、一个国家,甚至半个地球,也可以小到数百平方千米、几十平方千米,甚至几平方千米;地面分辨率可以低至千米级,也可以高至米级甚至厘米级。这样的观测体系,既能全面提供诸如全球气候变化、海洋变迁、地质变动、植被与冰川覆盖等与地球演变规律息息相关的信息,还能获取局部灾害、环境、人居条件、人类活动等微观细节,从而实现对地面的全方位监测。

2. 快速连续的观测能力

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,通过不同时相数据对同一地区进行变化信息提取与动态分析。例如,陆地卫星 Landsat-5、7 的重复周期是 16 天,即每 16 天可以对全球陆地表面观测一遍,气象卫星 NOAA 可每天接收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、洪水及林火等自然或人为信息,并及时采取有效的应对措施。

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,可采用紫外线、可见光探测物体,也可采用微波进行全天候的对地观测。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地物信息成为可能。此外,遥感技术获取的数据量非常庞大,如一幅包括 7 波段的 Landsat 卫星 TM(thematic mapper)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,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

遥感已经广泛应用于城市规划、农作物估产、资源调查、地质勘探、环境保护等诸多领域,随着遥感图像的空间、时间、光谱分辨率的提高,以及与地理信息系统和全球定位系统的结合,它的应用领域会更加广泛,对地观测也会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,同时还在很大程度上减少了时间的耗费,如美国陆地卫星的经济投入与所得效益大致为1:80,因而具有很高的经济效益和社会效益。

1.2 遥感过程及其技术系统

1.2.1 遥感过程

遥感过程是指遥感信息的获取、传输、处理,以及分析判读和应用的全过程。它包括遥感信息源(或地物)的物理性质、分布及其运动状态,环境背景以及电磁波光谱特性,大气对电磁波传输的影响,传感器的分辨能力、性能和信噪比,图像处理及分析解译,遥感应用的地学模型分析等。因此,遥感过程不但涉及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,还涉及人们的认识过程。这一复杂过程当前主要是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。遥感过程实施的技术保证则依赖于遥感技术系统。

1.2.2 遥感技术系统

遥感技术系统是包括从地面到空中直至太空,从信息采集、存储、传输、处理到分析判读和应用的完整技术体系,主要包括以下四部分,具体组成如图1.1所示。

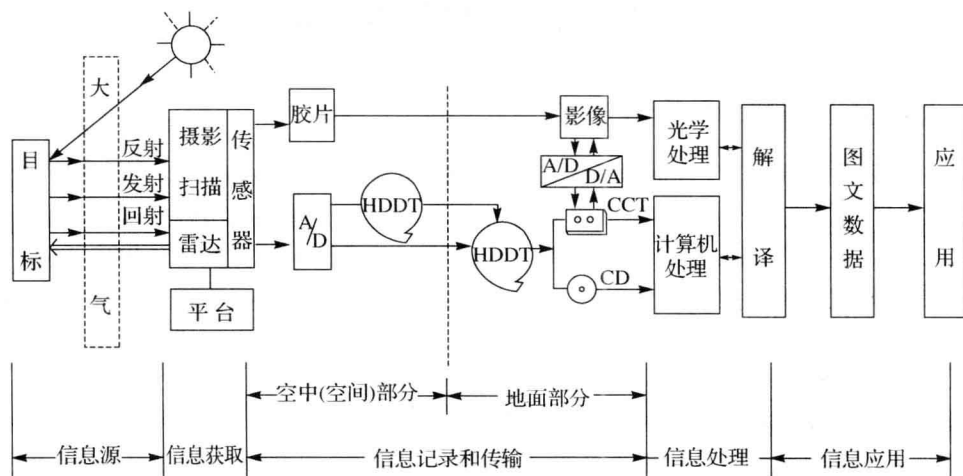


图 1.1 遥感技术系统

1. 信息获取

遥感信息获取是遥感技术系统的中心工作。遥感工作平台与传感器是确保遥感信息获取

的物质保证。

遥感平台是指搭载传感器的运载工具,如飞机、人造地球卫星、宇宙飞船等,按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,也可配合使用,组成多层次立体观测系统。

传感器是指收集和记录地物电磁辐射能量信息的装置,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飞行或运转进行探测,即可获得所需的遥感信息。

2. 信息记录与传输

遥感信息传输与记录工作主要涉及地面控制系统。地面控制系统是指指挥和控制传感器与平台并接收其信息的地面系统。在卫星遥感中,由地面控制站的计算机向卫星发送指令,以控制卫星载体运行的姿态、速度,指令传感器探测的数据和接收地面站的数据向指定地面接收站发射,地面接收站接收到卫星发送来的全部数据信号,提交数据处理系统进行各种预处理,然后提交用户使用。

3. 信息处理

遥感信息处理是指通过各种技术手段对遥感探测所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,以便于识别和判读,提取信息而进行的各种增强处理等。

4. 信息应用

遥感信息应用是遥感的最终目的。根据不同领域的遥感应用需要,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。

遥感技术系统是完整的统一体,它是构建在空间技术、电子技术、计算机技术以及生物学、地学等现代科学技术基础之上的,是完成遥感过程的有力技术保证。

1.3 对地观测技术发展综述

1.3.1 遥感科学与技术的发展历程

遥感技术是在宇航技术、传感器技术、通信技术、电子计算机技术及人工智能技术发展的推动下,为满足军事侦察、环境监测、资源调查等领域的应用需求而逐渐发展起来的一门综合对地探测技术。遥感(remote sensing)一词是由美国海军科学研究部的布鲁伊特(Pruitt)首先提出来的,20世纪60年代初在由美国密执安大学组织发起的环境科学研讨会上正式被采用,从此形成了遥感这门新的学科。但是,在遥感一词出现以前就已产生了遥感技术,其发展过程大体经历了遥感的萌芽阶段、初期发展阶段和现代遥感阶段。

1. 遥感的萌芽及初期发展阶段

人类自古以来就在想方设法地不断提高和扩大自身的感知能力和范围,古代神话中的“千里眼”、“顺风耳”就是这种意识的美好表达和追求。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,可视为遥感的最初尝试和实践,即遥感的萌芽阶段。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,像片展示的魅力开始得到更多人的首肯和赞许。摄影术的诞生和照相

机的使用,构成了遥感技术的雏形。

1903年飞机的发明,以及1909年莱特(Wilbur 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,揭开了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航空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,同时许多摄影测量仪器,如德国蔡司(Zeiss)的精密立体测图仪、多倍仪也相继出现,并逐渐发展形成了独立的航空摄影测量学学科。初期的航空摄影主要用于军事目的,后来逐渐向民用领域发展,进一步扩大到林业、土地利用调查及地质勘探等方面。

随着航空摄影测量学和其他学科技术的发展,特别是第二次世界大战的军事需要,彩色摄影、红外摄影、雷达技术、多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的研制得到迅速发展,遥感探测手段取得了显著的进步。20世纪30年代起,航空像片除用于军事外,被广泛应用于地学领域中,以认识地理环境和编制各种专题地图。1930年美国利用航空摄影开始编制全国的中小比例尺地形图和为农业服务的大比例尺专题地图。其后,西欧、苏联等也开始了全国性的航测成图,与此相应的航空摄影测量理论和技术都得到了迅速发展。1931年出现了感红外的航摄胶片,首次获得了目标物的不可见信息。1937年进行了首次彩色航摄,生产出假彩色红外胶片,并探索进行多光谱和紫外航空摄影。第二次世界大战期间开始应用雷达和红外探测技术,到了20世纪50年代,非摄影成像的扫描技术和侧视雷达技术开始应用,打破了用胶片所能响应的波段范围限制。随着科学技术的飞跃发展,遥感迎来了一个全新的现代发展时期。

2. 现代遥感发展阶段

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3号”拍摄了第一批月球像片。20世纪60年代初,美国从雨云(Nimbus)、泰罗斯(TIROS)等气象卫星和双子座(Gemini)、阿波罗(Apollo)飞船上拍摄了地面像片,这大大开阔了人们的视野,引起了广泛关注。70年代,美国在气象卫星的基础上研制出了第一代试验型地球资源卫星(Landsat-1、2、3)。1972年7月,第一颗地球资源卫星发射,1978年3月Landsat-3发射。这三颗卫星装有反束光导摄像机(return beam vidicon camera, RBV)和多光谱扫描仪(multispectral scanner, MSS),分别有三个和四个探测谱段,地面分辨率为80 m,幅宽为185 km。各国从Landsat-1、2、3号上接收了约45万幅遥感图像,充分验证了地球资源卫星的实用价值。1982年7月和1984年3月美国又分别发射了第二代地球资源卫星Landsat-4和Landsat-5,卫星在技术上有了很大的改进,平台采用了新设计的多任务模块结构,增加了新型的主题测绘仪,模块化的仪器舱中装有Ku波段宽带通信分系统,可通过中继卫星传送数据。

1986年,法国发射了SPOT-1遥感卫星,其全色图像分辨率高达10 m。此后,日本、印度、欧洲空间局(ESA)、加拿大、以色列等国家和国际集团相继发射了各自的遥感卫星。1994年美国发布总统决策令,允许1 m分辨率的遥感卫星进入商业运营,并率先于1999年发射了1 m分辨率的IKONOS卫星,自此高分辨率遥感卫星计划纷纷出台。此外,1999年4月15日美国第三代地球资源卫星Landsat-7发射升空,它与前两代陆地卫星有许多共同点,以便保持图像数据的延续性,但也采用了不少新技术,在许多方面进行了改进。进入21世纪,计划发射卫星的国家和地区以及计划发射卫星的数量继续增加,尤其是高分辨率遥感卫星发展迅速。2001年10月19日,由美国数字全球公司发射的卫星QuickBird-2,全色图像分辨率为

0.61 m, 2008年9月6日发射的 GeoEye-1 卫星拥有迄今分辨率最高的商业成像系统, 全色图像地面分辨率达到 0.41 m。

由于合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)具有全天时和全天候对地观测优势, 各国在发展光学对地观测系统的同时, 也十分重视星载和机载合成孔径雷达系统的研制和应用。美国、欧洲空间局、加拿大、日本等先后发射了 SAR 卫星, 为全球对地观测提供了新的遥感手段。特别是 2000 年 2 月, 美国的“奋进”号航天飞机搭载着 SIR-C 与 X-SAR 干涉雷达系统完成了“航天飞机雷达地形测绘飞行任务”, 在短短的 9 天多时间内, 获取了北纬 60°到南纬 56°之间的地表干涉雷达数据, 这是遥感技术的一大飞跃, 在遥感发展史上具有里程碑式的意义。

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, 如美国国家航空航天局(NASA)于 2005 年宣布了耗资 1 040 亿美元的空间探测计划, 并在 2006 年发布了新的航天政策, 以期保证其在 21 世纪对太空的绝对优势。

欧洲为了提升经济实力和维持其政治利益, 也在全力推进独立的航天计划。2003 年欧洲空间局正式宣布其全球环境与安全监测(GMES)计划, 并在 2008 年建成一个由高中低分辨率的对地观测卫星, 为欧盟 18 个国家的环境和安全进行实时服务。同时, 在高光谱和超光谱方面也取得了巨大的成果, 如 2001 年发射的 Proba 和当今有效载荷最为丰富的综合卫星 Envisat。此外, 欧盟成员国之间也在各自发展自己的对地观测计划, 在商业卫星上有著名的法国 SPOT 系列卫星、意大利的雷达卫星 COSMO-SkyMed 和德国的高分辨率雷达卫星 TerraSAR-X。

俄罗斯也投入大量资金发展自己的对地观测计划, 2005 年批准了总经费为 3 050 亿卢布的《2006—2015 年联邦航天发展规划》, 力保其在国际上的大国地位。目前, 在轨商业卫星有资源 DK 卫星。

在亚洲, 日本和印度都在极力发展自己的对地观测计划。日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)于 2005 年公布了耗资 570 亿美元的“JAXA2025 年长期规划”, 目前代表卫星有陆地观测 ALOS 卫星。印度也在加大投资力度发展航天技术, 预计 2020 年将拥有侦察卫星、通信卫星、气象卫星等。目前, 印度的代表卫星为 IRS-P5 和 IRS-P6。

纵观遥感 50 多年的发展历程, 当前仍处于从实验阶段向生产型和商业化过渡的阶段, 在其实时监测处理能力、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需求。因此, 今后遥感的发展将进入一个更为艰巨的发展阶段, 为此需要各个学科领域的科技人员协同努力, 深入研究和实践, 共同促进遥感事业的更大发展。

1.3.2 我国遥感发展概况及其特点

我国摄影测量与遥感经过 50 多年的发展, 取得了一系列骄人的成绩。成功发射 50 多颗对地观测卫星, 组成了气象、海洋、资源和环境减灾四大民用系列对地观测卫星体系。积累了总存储容量超过 660 TB 的影像数据, 覆盖全国陆地、海域以及我国周边国家和地区 1 500 万平方千米的范围。组建起一支多学科交叉的研究队伍, 160 多家教育科研院所设置“3S”相关专业, 诞生一批空间信息企业并研制成功大量软件产品。同时, 适应于产业发展需要的地理空间信息管理制度、标准和规范也开始建立。

1. 民用遥感卫星向系列化和业务化方向发展

我国对地观测领域,已经形成气象、海洋、资源、环境减灾四大民用系列卫星遥感系统,测绘和 SAR 等遥感卫星正处于研制阶段。气象卫星是我国最早发展的遥感卫星系统,1988 年开始发射风云(FY)系列卫星,目前在轨运行的是 FY-2 和 FY-3 系列卫星。FY-2C 星于 2004 年 10 月发射,可见光波段地面分辨率 1.25 km,红外 5 km,可每小时获取一次水汽云图数据。1999 年 10 月我国发射了中巴资源卫星 01 星,2007 年 9 月又发射了 02B 星,目前正在规划发射 03 星和 04 星。2002 年 5 月发射了第一颗海洋卫星 HY-1A,运行以来获取了大量的海洋水色数据并已经在海洋研究领域发挥了重要作用。HY-1B 卫星目前正在加紧研制过程中,星上将搭载由十个波段组成的海洋水色扫描仪(COCTS)和四波段的 CCD 成像仪,其星下点地面分辨率分别为 1.1 km 和 250 m,重访周期为 3 天和 7 天。

此外,我国科学实验卫星和环境卫星等遥感系统也取得了较大的进展。目前,正在研制的灾害与环境监测预报卫星星座系统(初期为 2+1 颗小卫星),两颗卫星分别搭载两台 4 谱段宽视场 CCD 相机,地面分辨率为 30 m,幅宽为 720 km,且分别携带 128 谱段高光谱成像仪(像元分辨率为 100 m,幅宽为 50 km,光谱分辨率为 5 nm)和多谱段红外扫描仪(中近红外和远红外分辨率分别为 150 m 和 300 m,幅宽为 720 km),小卫星为 SAR 卫星,单波段,分辨率为 20 m,幅宽为 100 km。在商业化高性能微小卫星方面,2005 年 10 月我国发射的“北京 1 号”,搭载分辨率为 4 m、幅宽为 24 km 的全色相机,以及分辨率为 32 m、幅宽为 600 km 的多光谱 CCD 相机。

2. 传感器技术发展迅速

传感器技术是我国战略高技术,在国家“863”计划的支持下,传感器技术得到了快速发展。在谱段覆盖方面,可见光、红外到微波传感器都实现了星载飞行,包括可见光相机、多光谱扫描仪、多种分辨率成像光谱仪、多波段微波辐射计、微波散射计、微波高度计、合成孔径雷达等。特别是国家“十五”期间“863”计划支持发展的“机载干涉 SAR 系统”,成功地进行了飞行实验,获得了三维 SAR 影像图,标志着我国合成孔径雷达技术从二维走向三维,开拓了合成孔径雷达技术的又一重要应用领域——地形测绘。

另外,机载三维成像仪系统、热红外成像仪系统、航空地磁测量系统、地球重力测量系统等多种遥感设备,以及探查放射性资源的核能资源,在一定程度上缓解了我国遥感设备对国外技术的依赖程度。

3. 航空遥感系统日趋完善

为适应我国对高分辨率空间数据日益扩大的需求,特别是航空摄影测量的需求,目前已初步形成了包括国家和民营企业在内的航空遥感群体。在航空遥感平台方面,我国在 20 世纪 90 年代初期开始无人机的研制,在短短的 10 年间取得了跨越式的发展,目前,有代表性的无人机有 WZ-2000,有效载荷为 180 kg,留空时间可达 12 h。机载的航空传感器包括三线阵扫描式 ADS40 系统、宽幅 CCD 的 DMC 相机、ADL 激光雷达,以及刘先林院士研制的具有自主知识产权的 SWDC 系列航空数码相机等先进的航空遥感设备。此外,国产化的高光谱成像仪、合成孔径雷达等也进入了应用阶段。

4. 国产化地球空间信息系统软件发展迅速

我国自主研究的 VirtuoZo 全数字摄影测量系统,能完成从自动空中三角测量到 4D (DOM、DLG、DRG、DEM)产品的生产,作为可以直接从数字影像中获取测绘地理信息的软件平台,以全软件化的设计、灵活的数据交换格式、友好的用户界面、稳定快速的匹配算法、高度

自动化的测图方式和生动的三维立体景观显示,被国际摄影测量界公认为三大实用数字摄影测量系统之一。

目前,我国已成功开发了各种遥感图像处理软件系统并成功应用于不同领域,为遥感数据快速处理技术的研究奠定了基础。这些研究成果包含了大型遥感并行处理软件、空间信息网格中的计算服务等,初步形成了具备上百种快速处理算法的遥感数据并行处理系统和二次开发平台,已投入实用的以北京 1 号小卫星地面预处理系统为代表的并行遥感数据预处理和标准产品生产系统、包含多种算法的商品化遥感图像处理软件、基于局部网格平台的并行处理试验软件、遥感地学参数反演软件等一系列高性能、网格化计算成果。

5. 应用领域不断扩展

我国从 20 世纪 70 年代初期开始利用国内外遥感卫星,开展遥感应用技术的研究、开发和推广工作,在气象、地矿、测绘、农林、水利、海洋、地震和城市建设等方面得到了广泛应用,并利用国内外遥感卫星开展了气象预报、国土资源普查、作物估产、森林调查、灾害监测、环境保护、海洋预报、城市规划和地图测绘等多领域的应用研究工作。特别是卫星气象地面应用系统的业务化运行,极大地提高了对灾害性天气预报的准确性,大大降低了国家和人民的经济损失。

1.3.3 最新遥感对地观测技术前景展望

随着对地观测技术的发展,获取地球环境信息的手段将越来越多,信息也越来越丰富。为了充分利用这些信息,建立全面收集、整理、检索以及科学管理这些信息的空间数据库和管理系统,深入研究遥感信息机理,研制定量分析模型及实用的地学模型,以及进行多种信息源的信息复合及环境信息的综合分析等,构成了当前遥感发展的前沿研究课题。当前遥感发展的特点主要表现在以下几个方面。

1. 研制新一代传感器,以获得分辨率更高、质量更好的遥感数据

当前,多波段扫描仪已从机械扫描发展到 CCD 推帚式扫描,空间分辨率从 80 m 提高到 0.41 m。成像光谱仪的问世,不但提高了光谱分辨率,能探测到地物在某些狭窄波区光谱辐射特性的差别,而且为研究信息形成机制,进行定量分析提供了基础。目前,正在运行的 MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 成像光谱仪有 36 个波段,未来成像光谱仪的波段个数将达到 384 个,每个波段的波长区间窄到 5 nm。星载主动式微波传感器的发展如成像雷达、激光雷达等,使探测手段更趋多样化。目前,在轨运行的高分辨率雷达卫星主要有德国的 TerraSAR-X 卫星和意大利的 COSMO-SkyMed 卫星系统,其空间分辨率均达到或优于 1 m。

获取多种信息,适应遥感不同应用需要,是传感器研制方面的又一动向和进展。总之,不断提高传感器的功能和性能指标,开拓新的工作波段,研制新型传感器,提高获取信息的精度和质量,将是今后遥感技术发展的长期任务。

2. 遥感图像信息处理技术发展迅速

遥感图像处理硬件系统,已从光学处理设备全面转向数字处理系统,内外存容量的迅速扩大,处理速度的急速增加,使处理海量遥感数据成为现实,而网络的出现将使数据实时传输和实时处理成为现实。遥感图像处理软件系统更是不断翻新,从开始的人机对话操作方式 (ARIES I2S101 等),发展到视窗方式 (ERDAS、PCI、ENVI 等),未来将向智能化方向发展。另一个特点是 RS 与 GIS 集成,有代表性的是 ERDAS 与 ArcInfo 的集成。遥感软件的组件化

也是一个发展方向,遥感软件的网络化,可实现遥感软件和数据资源的共享和实时传输。

大量的多种分辨率遥感影像形成了影像金字塔,再加上高光谱、多时相和立体观测影像,出现海量数据,使影像的检索和处理发生困难,因此建立遥感影像数据库系统已迫在眉睫。目前,遥感影像数据的研究是以影像金字塔为主体的无缝数据库,这涉及影像纠正、数据压缩和数据变换等理论和方法,还产生了“数据挖掘”(或知识发现)等新理论和新方法。为了能将海量多源遥感数据中的不同信息富集在少数几个特征上,又形成了多源遥感影像融合的理论和方法。

在遥感图像识别和分类方面,开始大量使用统计模式识别,后来出现了结构模式识别、模糊分类、神经网络分类,半自动人机交互分类和遥感图像识别的专家系统。但在遥感图像识别和分类中尚有许多不确定性因素,有待人们进行深入的研究。

3. 遥感应用不断深化

在遥感应用的深度、广度不断扩展的情况下,微波遥感应用领域的开拓,遥感应用综合系统技术的发展,以及地球系统的全球综合研究等成为当前遥感发展的又一动向。具体表现为:从单一信息源(或单一传感器)的信息(或数据)分析向多种信息源的信息(包括非遥感信息)复合及综合分析应用发展;从静态分析研究向多时相的动态研究,以及预测预报方向发展;从定性判读、制图向定量分析发展;从对地球局部地区及其各组成部分的专题研究向地球系统的全球综合研究方向发展。

思考题与习题

1. 遥感的概念和定义是什么? 遥感对地观测有什么特点?
2. 什么是遥感过程? 遥感技术系统包括哪几个方面?
3. 遥感科学与技术发展经历了哪几个阶段?
4. 简述国内外遥感对地观测技术当前发展的水平。

第 2 章 电磁辐射传输机理

2.1 电磁波及其特性

2.1.1 电磁波与电磁波谱

1. 电磁波的概念

波是振动在空间的传播,而电磁波则是电磁振动在空间的传播。假设在空间某处有一个电磁振源(电磁辐射源),则在其周围便产生变化的电场,变化的电场能够在它周围引起变化的磁场,这一变化的磁场又在较远的区域内引起新的变化电场,并在更远的区域内引起新的变化磁场。这种交变的电场和磁场交替产生,以有限的速度由近及远在空间内传播的过程称为电磁波。电磁波是一种横波,其传播方向与交变电场、磁场三者相互垂直,电磁振荡传播方向垂直于振幅变化方向,见图 2.1。

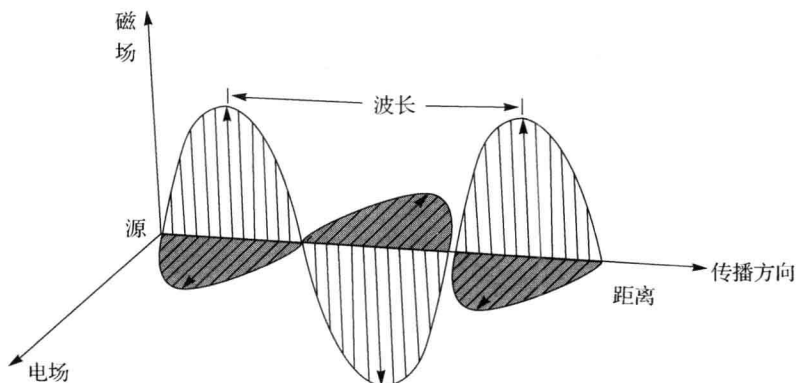


图 2.1 电磁波

2. 电磁波的性质

电磁辐射与物质相互作用中,既反映波动性,又反映粒子性,即所谓的波粒二象性。可见光是电磁波的一个特例,其波动性充分表现在干涉、衍射、偏振等现象中;而光在光电效应、黑体辐射中,则显示其粒子性。

1) 波动性

电磁波(单色)的波动性可用波函数来描述,波函数是一个时空的周期性函数,其解析表达式为

$$\psi = A \cdot \sin [(\omega t - kx) + \varphi_0] \quad (2.1)$$

式中, ψ 为波函数, A 为振幅, ω 为角频率, t 为时间变量, k 为圆波数($k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ 为波长), x 为空间