

中国矿业大学（北京）“越崎”系列规划教材建设项目资助
北京高等学校教育教学改革立项项目（2014-ms120）资助
国家自然科学基金项目（41271436）资助

遥感原理与应用

Remote Sensing Principle and Applications

杨可明 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学（北京）“越崎”系列规划教材建设项目资助
北京高等学校教育教学改革立项项目（2014-ms120）资助
国家自然科学基金项目（41271436）资助

遥感原理与应用

Remote Sensing Principle and Applications

杨可明 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

前 言

遥感的概念首先由美国学者 E. L. Pruitt 于 20 世纪 60 年代提出来的。遥感作为采集地球或月亮、火星等外空数据及其变化信息的重要手段,随着电子计算机、信息处理、遥感设施、空间与通讯等当代高新技术的发展和遥感科学研究的深入,其原理、方法和应用程度等都得到了很大的提高和扩展,使用遥感技术的领域和人员也在不断地扩大。同时,遥感技术手段与数据处理方法也在不断更新,遥感科学研究方向与应用范围也在不断拓展。特别是多平台、多传感器、多时相的高光谱和高地面分辨率遥感、热红外与微波遥感等进一步开拓了遥感数据应用的行业领域。利用遥感技术可每天向人类提供全方位的对地观测数据,应用遥感数据解决国民经济诸多领域的实际问题已成为必然选择。

遥感技术在资源勘测、环境监测及各类动态变化监测方面越来越显示出它的优越性,同时,其在测绘、城市规划、地质勘探、环境保护、农业及军事领域的广泛应用也产生了十分可观的经济效应和卓有成效的社会效应。遥感技术应用与发展已由研究阶段转入实用与研究并行阶段,所以,各高等院校的地理、地理信息系统、遥感、测绘、环境、生态、城市规划、国土资源等专业都从不同角度开设了各种类型的遥感课程。如何全面打好遥感理论基础,掌握遥感科学技术的原理与方法,快速提取和挖掘遥感数据所提供的信息,使海量遥感数据在国民经济建设和实时管理决策中发挥更大作用,是当前高等院校遥感技术与研究人才的培养关键。因此,本教材的主要目的是通过学习使学生掌握遥感的基础知识,在内容上着重介绍遥感的基本原理与方法。为了适应遥感技术的新发展,本教材力求采用新思路、新体系和新内容。在编写过程中,参考并吸收了国内外遥感教材的相关内容,但在结构上作了适当调整,以尽可能地适应遥感技术的迅速发展变化、课程知识体系优化和学生有效培养等需要。如,本教材内容的介绍重点围绕基于 CCD 数码影像的获取、计算机处理和分析等原理和方法,侧重介绍最新卫星遥感平台及常用数据,特别是国内新研制的卫星遥感传感器系统,不再对胶片感光 and 阴极射线等成像原理与光学处理、已退役的遥感平台及所载传感器获取的数据、遥感影像目视解译原理与方法等内容进行过多描述;同时统筹了国内外遥感教材的知识体系,使教材的遥感理论知识内容更

新更全面。

本教材由中国矿业大学(北京)杨可明编著和统稿。教材得到了中国矿业大学(北京)“十二五”期间“越崎”系列规划教材建设项目、北京高等学校教育教学改革立项项目(2014—ms120)和国家自然科学基金项目(41271436)的资助。还得到了遥感与地理信息系专家郭达志教授、吴立新教授、陈宜金教授、赵学胜教授、蒋金豹副教授、孙文彬副教授以及易俐娜、陈伟、孙灏和赵恒谦等老师的关心与指导,此外,中国矿业大学(北京)多名研究生参与书稿编排录入与校对等工作,在此一并表示感谢。

由于遥感技术的快速发展与编者水平所限,时间仓促,书中难免存在不足与错误,敬请读者批评指正。

作 者

2015年12月

目 录

1 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	6
1.4 遥感技术发展现状与趋势	8
习题与思考题	11
2 电磁辐射与地物光谱特征	12
2.1 电磁波与电磁辐射	12
2.2 辐射基本定律	19
2.3 太阳辐射与大气对辐射的影响	22
2.4 大气窗口	27
2.5 地物的反射波谱特征	29
2.6 地物的反射波谱测量	37
习题与思考题	39
3 遥感成像原理与图像特征	40
3.1 遥感传感器	40
3.2 摄影成像原理	43
3.3 扫描成像原理	46
3.4 成像光谱仪的成像原理	50
3.5 微波遥感成像原理	52
3.6 遥感图像的特征	62
习题与思考题	65
4 卫星遥感平台	66
4.1 卫星轨道及其参数	66
4.2 气象卫星	69
4.3 地球资源卫星	76
4.4 雷达卫星	101
4.5 高光谱遥感卫星	111
4.6 小卫星	113

习题与思考题	115
5 遥感数字图像处理基础	116
5.1 图像的表达形式	116
5.2 遥感图像的颜色模型	123
5.3 多光谱遥感图像概述	125
5.4 多波段数字图像的存储格式	129
5.5 遥感图像的基本统计方法	132
5.6 遥感图像的目视解译	137
5.7 遥感数字图像处理系统	141
习题与思考题	145
6 遥感数字图像处理	146
6.1 遥感图像几何校正	146
6.2 遥感图像辐射校正	161
6.3 遥感图像增强与变换	166
习题与思考题	190
7 多源遥感信息融合	192
7.1 遥感图像融合的基本原理	192
7.2 遥感图像融合的基本方法	195
7.3 遥感与非遥感信息的融合	203
习题与思考题	205
8 遥感图像分类	206
8.1 基本知识	206
8.2 遥感图像分类原理	209
8.3 监督分类	212
8.4 非监督分类	216
8.5 遥感图像分类新方法	223
8.6 分类后处理和精度分析	231
8.7 遥感图像分类中非光谱辅助信息的应用	234
习题与思考题	236
9 遥感技术应用	238
9.1 测绘遥感	238
9.2 资源遥感	245
9.3 植被遥感	249
9.4 环境遥感	255

9.5 灾害遥感	260
9.6 城市遥感	263
9.7 水体遥感	266
9.8 陆表参量定量遥感	268
9.9 军事遥感	274
9.10 气象遥感.....	277
9.11 其他遥感应用.....	279
9.12 遥感应用发展趋势.....	283
习题与思考题.....	284
参考文献.....	285

1 绪 论

遥感(Remote Sensing,RS)是 20 世纪 60 年代兴起并迅速发展起来的一门综合性探测新技术。它是在航空摄影测量的基础上,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,逐步发展形成的一门新兴交叉科学技术。从以飞机为主要运载工作的航空遥感,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探测,极大地拓展了人们的观察视野和观测领域,使遥感科学与技术的研究及应用进入到一个新阶段。

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。

广义的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的遥感之中。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。因而,只有电磁波探测属于遥感的范畴。

狭义的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,揭示出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离测量的技术,分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等。

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。按上面遥感的定义常见的分类方式有以下几种:

1.1.2.1 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:是对地球和地球事物的遥感。

以地球表层环境(包括大气圈、陆海表面和表面以下的浅层)为对象的遥感叫做环境遥感,它属于地球遥感。环境遥感用于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,利用遥感多时

相、周期短的特点可以迅速为环境监测、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,有利于克服自然恶劣环境的限制,减少勘探资源的盲目性。

1.1.2.2 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上等。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。它的特点是灵活性大、影像清晰、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。它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(包括利用卫星、航天飞机、宇宙飞船、航天空间站)对地球表面上进行的遥感。它的特点是成像高度高、宏观性好,可重复观测、影像获取速度快、不受沙漠、冰雪等恶劣自然环境的限制。自1972年美国发射了第一颗陆地卫星后,标志着航天遥感时代的开始。

(4) 航宇遥感:传感器设置于星际飞机上,指对地月系统外的目标的探测。

1.1.2.3 按传感器的探测波段分类

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

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

(3) 红外遥感:探测波段在 $0.76\sim 1\ 000\ \mu\text{m}$ 之间。当今,红外遥感主要有两个研究与应用领域:

① 反射红外遥感:探测波段在 $0.76\sim 3\ \mu\text{m}$ 之间,是反射红外波段,它与可见光遥感共同的特点是,其辐射源是太阳,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:探测波段在 $6\sim 15\ \mu\text{m}$ 之间,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。地物在常温(约 $300\ \text{K}$)下热辐射的绝大部分能量位于此波段,在此波段地物的热辐射能量,大于太阳的反射能量。热红外遥感具有昼夜工作的能力。

(4) 微波遥感:探测波段 $1\ \text{mm}\sim 1\ \text{m}$ 之间。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。微波遥感的特点是对云层、地表植被、松散沙层和干燥冰雪具有一定的穿透能力,又能夜以继日地全天候工作。

1.1.2.4 按传感器工作方式分类

(1) 主动遥感:也称有源遥感,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,是指用遥感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。

1.1.2.5 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多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 nm。

1.1.2.6 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。

1.1.2.7 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

遥感主要是根据物体对电磁波的反射和辐射特性来对目标进行采集,并形成了对地球资源和环境进行“空—天—地”一体化的立体观测体系。所以遥感有如下主要特点:

(1) 感测范围大,具有综合、宏观的特点

遥感从飞机上或人造地球卫星上获取的航空或卫星影像,比在地面上观察视域范围大得多,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,航空影像可提供不同比例尺的地面连续景观图像,并可供像对的立体观测。图像清晰逼真,信息丰富。一张比例尺为 1:35 000 的 23 cm×23 cm 的航空影像,可展示出地面 60 余平方公里范围的地面景观实况,并且可将连续的影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。卫星影像的感测范围更大,一幅陆地卫星 TM 影像可反映出 185 km×185 km 的景观实况。我国全境仅需 500 余张这种影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,诸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来获取信息。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。因而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,从而能及时获取所经地区的各种自然现象的最新资料,以便更新原有资料,现实性好;而且可通过不同时相取得的资料及影像进行对比、分析和研究地物动态变化的情况,为环境监测以及研究分析地物发展演化规律提供了基础,这是人工实地测量和航空摄影测量无法比拟的。例如,Landsat-5/7 陆地卫星每 16 天即可对全球陆地表面成像一遍,NOAA 气象卫星每天能收到两次图像。Meteosat 每 30 min 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。

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;人们的视觉生理和心理及其专业素质等等。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以及人们的认识过程。这一复杂过程当前主要是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。

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 为遥感技术系统示意图。它反映了遥感数据获取—数据处理分析—数据应用的全过程。

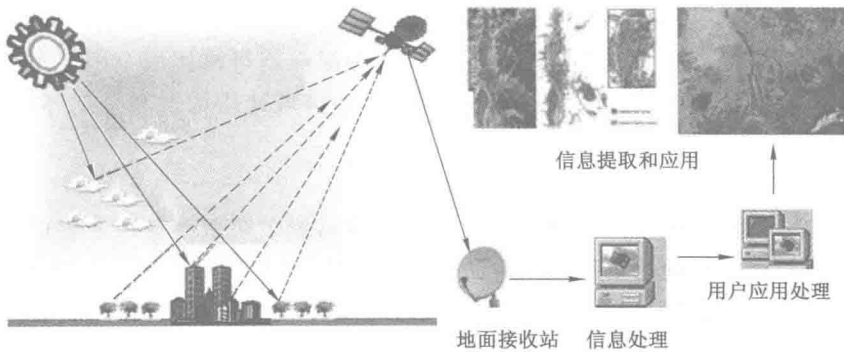


图 1-1 遥感技术系统示意图

1.2.1 目标物的电磁波特性

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,不等量地吸收、反射、散射、辐射及透射电磁波,这种对电磁波固有的波长特性叫做物体的光谱特征。例如植物的叶子之所以看起来是绿色是因为叶绿素对红光和蓝光强吸收,而对绿光强反射的缘故。

正因为各种物体的光谱特性互不相同,所以在事先采集(即实况调查)了各种物体的光谱特性以后,只要能使传感器收集、记录这些不同性质的光谱特征,而把传感器获得的与事

先采集的光谱特征进行比较,就可以区别出不同的物体,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性,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(如高密度磁带 HDDT 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,但是由于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性还要受到太阳及大气等环境条件的影响,因而遥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,部分又被地物散射、吸收和反射,地物反射的电磁波以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。正因为传感器接收到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,以便于识别和判读,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,以及为了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、实验室数据以及各类专题图,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纠正,还用于对遥感的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,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来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判读往往精度优于数字图像处理的精度。但是目视判读由于人的生理局限性,不能区分出图像上的细微差异。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影像目视判读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,以及计算机领域的知识来自动识别和提取目标的信息。它已经有很多成功的方法和软件,主要是基于像元色调/颜色的统计识别技术。当然也用到纹理、组合等信息,并将人工智能、神经网络、模糊逻辑的方法引用到遥感数据分析中。

1.2.4 遥感信息的应用

遥感信息应用是遥感的最终目的。遥感应用则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、影像图、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 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,遥感技术是一个综合性的系统,它涉及航空、航天、光电、物理、计算机和信息科学以及诸多的应用领域,它的发展与这些学科紧密相关。

1.3 遥感技术发展历史

1.3.1 遥感技术的发展概况

遥感一词首先是由美国海军科学研究部的布鲁依特(E. L. Pruitt)提出来的。20 世纪 60 年代初在由美国密执安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,而被广泛运用。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。

1.3.1.1 遥感的萌芽及其初期发展时期

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办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,可视是为遥感的最初尝试和实践。而 1839 年达格雷(Daguerre)和尼普斯(Niepcce)的第一张摄影像片的发表则是遥感成果的首次展示。

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。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年怀特(Wilbour 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年开普顿·塔迪沃(Captain 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,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进展,使彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的研制得到迅速的发展,遥感探测手段取得了显著的进步。从而超越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。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。随着科学技术的飞跃发展,遥感迎来了一个全新的现代遥感的发展时期。

1.3.1.2 现代遥感发展时期

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“ERTS-1”(即陆地卫星-1)。为航天遥感的发展及广泛应用开创了一个新局面。

至今世界各国共发射了各种人造地球卫星已超过3 000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讯卫星系列等。通过不同高度的卫星及其载有的不同类型的传感器,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,合理开发地球资源和环境,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。国际学术交流日益频繁,遥感的发展方兴未艾,前景远大。

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,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,以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。

总的看来,当前遥感已处于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要求。因此,今后遥感的发展将进入一个更为艰巨的发展历程,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,共同促进遥感的更大发展。

1.3.2 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。继而,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以及数字图像处理系统等遥感资料 and 设备的引进,特别是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起来,经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。我国遥感事业的发展前途似锦。

1.4 遥感技术发展现状与趋势

总体上说,遥感技术的应用已经相当广泛,应用深度也不断加强。目前,在地学科学、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,遥感技术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、数据库技术等的高速发展也无疑为遥感技术的更广、更深的应用提供了技术支持。总之,卫星遥感技术的迅速发展,把人类带入了立体化、多层次、多角度、全方位和全天候地对地观测的新时代。

1.4.1 遥感技术的发展状况

1.4.1.1 遥感信息获取技术的发展

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同步轨道卫星(3 500 km)和太阳同步卫星(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、光电扫描仪、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。它们几乎覆盖了可透过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 Terra 卫星上的 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有 4 个波段(MSS),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 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 (ETM),其全色波段空间分辨率可达 15 m。法国 SPOT4 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;SPOT5 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)是我国第一颗资源卫星,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 发射稍后,又出现了空间分辨率更高的 QuickBird(快鸟)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 10.6 nm;1987 年,第二代高光谱成像仪问世,即美国宇航局(NASA)研制的航空可见光/红外成像光谱仪(AVIRIS),其光谱分辨率为 10 nm;EOSAM-1(Terra)卫星上的 MODIS 具有 36 个波段。如今的卫星高光谱分辨率可达到 10 nm,波段几百个,如在轨的美国 EO-1 高光谱遥感卫星上的 Hyperion 传感器,具有 242 个波段,光谱分辨率为 10 nm。我国“九五”研制的航空成像光谱仪(PHI)为 128 个波段,进入 21 世纪研制的环境减灾(HJ)小卫星与天宫一号上的高光谱成像仪也达到了 128 个波段。

1.4.1.2 遥感信息处理技术的发展

遥感信息处理技术最早为光学图像处理,后来发展成为遥感数字图像处理。1963 年,加拿大测量学家 R. F. Tomlinson 博士提出把常规地图变成数学形式的设想,可以看成是数字图像的启蒙;到 1972 年随着美国陆地卫星的发射,遥感数字图像处理技术才真正地发展起来。随着遥感信息获取技术、计算机技术、数学基础科学等的发展,遥感图像处理技术也获得了长足的进展。主要表现在图像的校正与恢复、图像增强、图像分类、数据复合与 GIS 综合、高光谱图像分析、生物物理建模、图像传输与压缩等方面。其中图像的校正与恢复的方法已经比较成熟。图像增强方面目前已发展了一些软件化的实用处理方法,包括辐射增强、空间域增强、频率域增强、彩色增强、多光谱增强等。图像分类,是遥感图像处理定量化和智能化发展的主要方面,目前比较成熟的是基于光谱统计分析的分类方法,如监督分类和非监督分类。为了提高基于光谱统计分析的分类精度和准确性,出现了一些光谱特征分类的辅助处理技术,如上下文分析方法,基于地形信息的计算机分类处理,辅以纹理特征的光谱特征分类法等。近几年出现了一些遥感图像计算机分类的新方法,如神经网络分类器、基于小波分析的遥感图像分类法、基于分形技术的面向对象遥感图像分类、模糊聚类法、树分

类器、专家系统方法等。在高光谱遥感信息处理方面,也发展了许多处理方法,如光谱微分技术、光谱匹配技术、混合光谱分解技术、光谱分类技术、光谱维特征提取方法等,这些方法均已在高光谱图像处理中得到应用。

1.4.2 遥感技术的发展趋势

当今,遥感技术已经发生了根本的变化,主要表现在遥感平台、传感器、遥感的基础研究和应用领域等方面。我国从20世纪70年代起开始从事空间遥感与应用研究,与发达国家相比落后20年以上。随着遥感技术、航天技术、数字通讯技术的不断发展,现代遥感技术已经进入一个能动态、快速、多平台、多时相、高分辨率地提供对地观测的新时代。目前国内外遥感的发展主要向以下方面深化:

(1) 遥感应不断深化。在遥感应深度和广度不断扩展的情况下,遥感应应用领域的开拓,遥感应应用成套技术的发展,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;从定性分析向定量分析发展;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。

(2) 高光谱遥感。高光谱遥感是高光谱分辨率遥感(Hyperspectral Remote Sensing)的简称。它是在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内,获取许多非常窄的光谱连续的影像数据的技术。其成像光谱仪可以收集到上百个非常窄的光谱波段信息。高光谱遥感是当前遥感技术的前沿领域,它利用很多很窄的电磁波波段从感兴趣的物体获得有关数据,它包含了丰富的空间、辐射和光谱三重信息。高光谱遥感的出现是遥感界的一场革命,它使本来在宽波段遥感中不可探测的物质,在高光谱遥感中能被探测。

(3) 微波遥感技术。微波遥感(如合成孔径雷达等)是当前遥感科学技术发展的重点方向之一,其全天候、穿透性和纹理特征是其其他遥感所不具备的。利用这些特性对解决我国海况监测、恶劣气象条件下的灾害监测、冰雪覆盖区、云雾覆盖区、松散掩盖区等国土资源勘察将有重大作用。微波遥感发展将进一步体现为多极化技术、多波段技术和多工作模式。

(4) 小卫星星座计划。所谓小卫星,是指质量小于500 kg的小型近地轨道卫星,其地面分辨率可高于1 m。由于其研制和发射成本低廉,近年来发展非常迅速。为协调时间分辨率和空间分辨率这对矛盾,小卫星群将成为现代遥感的另一发展趋势。例如,可用6颗小卫星在2~3天完成一次对地重复观测,可获得高于1 m的高分辨率成像仪数据。

除此之外,车载和机载遥感平台以及超低无人机载平台等多种遥感技术与卫星遥感技术相结合,将使遥感应技术应用呈现出一幅五彩缤纷的景象。

总之,近年来遥感应技术越来越受到各国的普遍重视,各国的空间发展计划表明:从现在起,世界遥感应技术面临着突飞猛进的发展,新的传感器将使遥感应技术应用的领域进一步拓宽,监测精度不断提高,新的遥感应处理软件将使科技人员的工作效率大大提高,综合使用各种遥感应资料变成可能,人们对遥感应技术的重视会进一步提高,遥感应技术将得到更加广泛的应用。