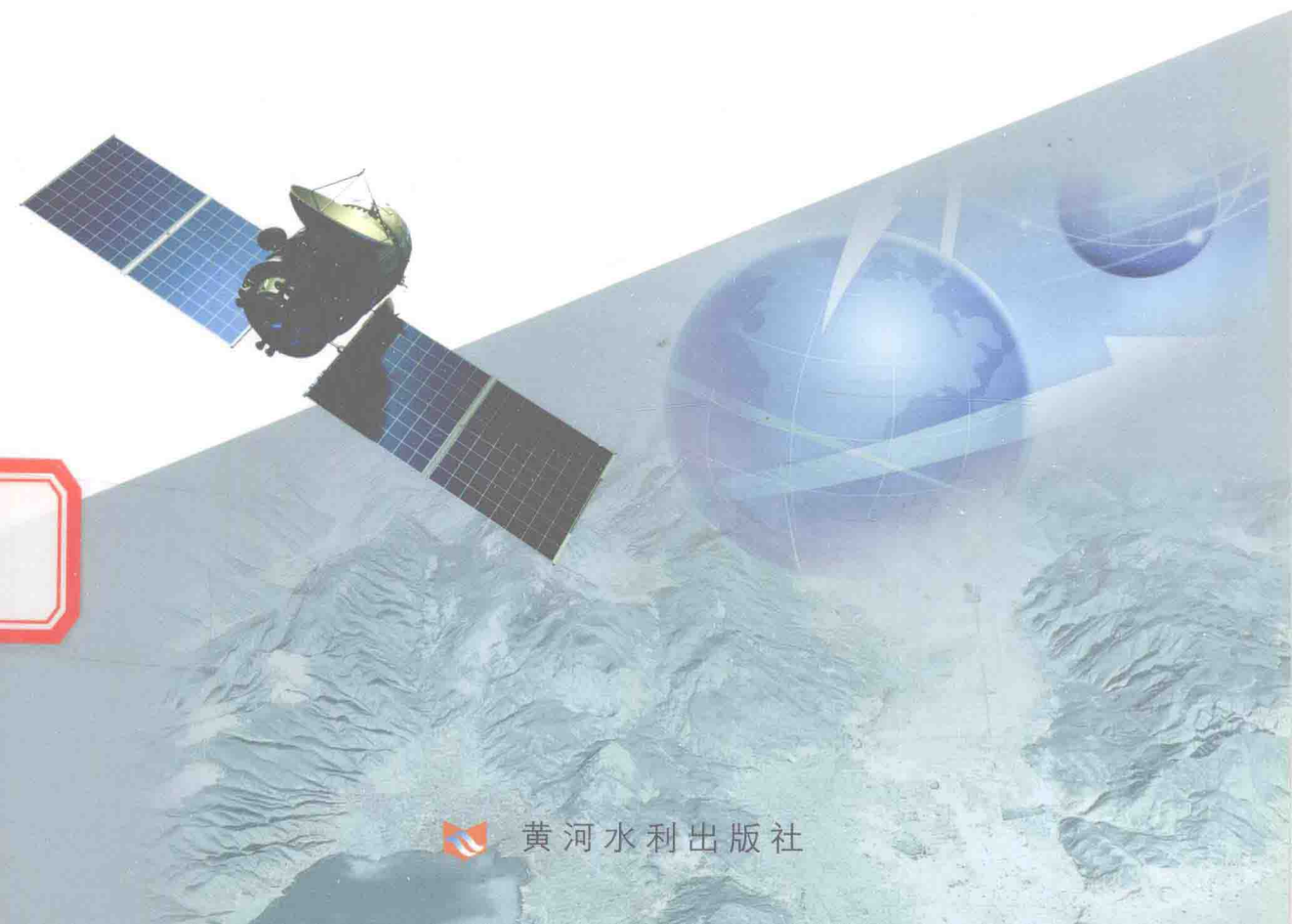


普通高等学校地理科学专业“十三五”规划教材

YAOGAN JICHU DAOLUN

# 遥感基础导论

赫晓慧 郭恒亮 贺添 田智慧 李颖 主编



黄河水利出版社

普通高等学校地理科学专业“十三五”规划教材

# 遥感基础导论

赫晓慧 郭恒亮 贺 添 田智慧 李 颖 主编

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

## 内 容 提 要

本书从传感器研制、数据获取、数据处理、信息提取与应用四个方面对遥感的基本原理与最新应用进行了系统的介绍,主要内容包括绪论、遥感电磁辐射基础、遥感数据采集、摄影与扫描成像系统、微波遥感数据、热红外遥感数据、高光谱遥感、遥感图像处理、遥感影像的分类、遥感应用等。

本书可作为地理信息科学、遥感科学与技术等相关专业本科、专科教材,也可供遥感科研和生产技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

遥感基础导论/赫晓慧等主编. —郑州:黄河水利出版社,2016.5

普通高等学校地理科学专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5509-1428-5

I. ①遥… II. ①赫… III. ①遥感-高等学校-教材 IV. ①TP72

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第109840号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsicbs@126.com

承印单位:郑州龙洋印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:13.75

字数:318千字

印数:1—2 000

版次:2016年5月第1版

印次:2016年5月第1次印刷

定价:35.00元

# 前 言

遥感作为空间信息技术最重要的组成部分之一,于20世纪出现,在21世纪随着经济全球化和航天技术的迅猛发展,可快速、大范围获取地球动态观测信息和定位信息,大大改变了人类观测和认识地球的方式。

遥感从获取到应用可以被划分成四大模块:传感器研制、数据获取、数据处理、信息提取与应用。目前,遥感传感器研制和数据获取的发展已远远走在数据处理与应用之前。航空航天遥感正朝多传感器、多平台、多角度、高空间分辨率、高光谱分辨率、高时相分辨率、高辐射分辨率方向发展。对地观测系统逐步小型化,卫星组网和全天时、全天候观测成为主要发展方向。卫星遥感技术在人类社会生产、生活各领域的应用规模不断扩大,全球商业遥感卫星进入了技术全面更新和产业化发展时期。我国卫星遥感应用已初步具备了产业化潜力,形成了气象、资源、海洋、环境减灾等多个谱系,高分辨率对地观测系统重大专项也在稳步推进,随之而来的,是对遥感信息资源处理人员大量、迫切的需求。

本书是在郑州大学多年遥感课程教学的基础上编写而成的,目的是培养遥感信息处理与应用方面的人才。本书主要适用于地理信息科学、遥感科学与技术、环境、生态、规划、国土资源等相关专业的本科生、专科生。本书重点阐述了遥感的基本原理、遥感数据采集、主要遥感数据的特征、遥感数据的处理和计算机分类等基础内容,注重遥感技术发展前沿的介绍,强调遥感数据理论和实践技能的融合。

本书共分10章,由郑州大学的赫晓慧、郭恒亮、贺添、田智慧和河南省气象局的李颖编写,全书由赫晓慧统稿。研究生郑紫瑞、王宇飞、李紫薇、李妍、张保卫等做了大量的资料收集和文字整理工作,特此致谢。

本书在编写过程中,得到郑州大学地理信息工程系和郑州大学智慧城市研究院同仁的大力支持和帮助。同时,黄河水利出版社为本书出版做了大量工作,在此一并表示感谢!

由于遥感技术的快速发展,加之编者水平有限,书中难免出现错漏之处,敬请专家、读者不吝赐教。

编 者  
2016年3月

# 目 录

## 前 言

第1章 绪 论 .....	(1)
1.1 遥感概念 .....	(1)
1.2 遥感的分类 .....	(1)
1.3 遥感技术系统 .....	(3)
1.4 遥感与GIS、GPS的综合应用 .....	(5)
1.5 遥感的发展历史、现状 .....	(6)
1.6 遥感的发展趋势 .....	(11)
1.7 大数据时代下遥感系统的机遇和挑战 .....	(14)
思考题 .....	(14)
第2章 遥感电磁辐射基础 .....	(16)
2.1 电磁波谱 .....	(16)
2.2 辐射基本定律 .....	(18)
2.3 太阳辐射 .....	(20)
2.4 太阳辐射与大气的相互作用 .....	(22)
2.5 太阳辐射与地面的相互作用 .....	(26)
2.6 基于波长的三种遥感模式 .....	(32)
思考题 .....	(32)
第3章 遥感数据采集 .....	(33)
3.1 遥感平台系列 .....	(33)
3.2 传感器 .....	(36)
3.3 数字影像的数据格式 .....	(37)
3.4 遥感数据的特征 .....	(39)
3.5 常用的陆地卫星数据 .....	(42)
3.6 常用的气象卫星数据 .....	(55)
思考题 .....	(61)
第4章 摄影与扫描成像系统 .....	(62)
4.1 摄影系统 .....	(62)
4.2 扫描成像系统 .....	(65)
4.3 摄影与扫描影像的特点 .....	(70)
思考题 .....	(73)
第5章 微波遥感数据 .....	(74)
5.1 微波遥感原理 .....	(74)

5.2	主动微波遥感 .....	(80)
5.3	雷达图像的特点 .....	(85)
	思考题 .....	(91)
<b>第6章</b>	<b>热红外遥感数据 .....</b>	<b>(92)</b>
6.1	热红外遥感原理 .....	(92)
6.2	热红外遥感图像与解译 .....	(96)
6.3	热红外遥感数据应用 .....	(99)
	思考题 .....	(102)
<b>第7章</b>	<b>高光谱遥感 .....</b>	<b>(103)</b>
7.1	高光谱遥感原理 .....	(103)
7.2	高光谱遥感传感器 .....	(106)
7.3	高光谱遥感影像分析 .....	(109)
7.4	高光谱遥感的应用 .....	(114)
	思考题 .....	(115)
<b>第8章</b>	<b>遥感图像处理 .....</b>	<b>(116)</b>
8.1	遥感数据预处理 .....	(116)
8.2	遥感图像的增强处理 .....	(130)
8.3	遥感数据处理的软硬件配置 .....	(143)
	思考题 .....	(146)
<b>第9章</b>	<b>遥感影像的分类 .....</b>	<b>(147)</b>
9.1	遥感影像的目视解译 .....	(147)
9.2	计算机分类基础知识 .....	(149)
9.3	监督分类 .....	(152)
9.4	非监督分类 .....	(156)
9.5	其他分类方法 .....	(159)
9.6	分类中常用的辅助数据 .....	(164)
9.7	分类精度评价 .....	(165)
	思考题 .....	(167)
<b>第10章</b>	<b>遥感应用 .....</b>	<b>(168)</b>
10.1	测绘遥感 .....	(168)
10.2	城市遥感 .....	(173)
10.3	植被遥感 .....	(178)
10.4	水体遥感 .....	(182)
10.5	地质遥感 .....	(188)
	思考题 .....	(194)
<b>附录</b>	<b>主要卫星资源 .....</b>	<b>(195)</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(209)</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 遥感概念

遥感(Remote Sensing, 简称 RS), 即遥远的感知, 从对地观测的角度, 可以说是碧空慧眼。美国摄影测量与遥感协会把遥感定义为: 在不直接接触研究目标或现象的情况下, 利用记录装置观测或获取目标或现象的某些特征信息。国内通用的定义为: 从远处采集信息, 即不直接接触物体, 从远处通过探测仪器接收来自目标地物的电磁波信息, 经过对信息的处理, 识别地物。而广义遥感是泛指一切无接触的远距离探测, 包括对电磁场、力场、机械波(声波、地震波)等的探测。

通俗地理解, 遥感可以视为一个照相并理解相片内容的过程, 当然遥感要比普通照相更加复杂。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其发射的电磁波, 从而提取这些物体的信息, 完成远距离识别物体。遥感的实现还需要遥感平台, 像卫星、飞机、气球等, 它们的作用就是稳定地运载传感器。当在地面进行试验时, 还会用到地面简单的遥感平台(如三脚架)。针对不同的应用和波段范围, 人们已经研究出很多种传感器, 主要探测和接收物体在可见光、红外线和微波范围内的电磁辐射。传感器会把这些电磁辐射按照一定的规律转换为原始图像。原始图像被地面站接收后, 要经过一系列复杂的处理, 才能提供给不同的用户使用。

应用遥感图像研究地球表面很有优势, 从图像上可以研究不同地物的分布模式和不同地物之间的空间关系。这样有利于用遥感图像监视地面的变化, 测量面积大小、深度和高度。概括来说, 遥感图像所获得的地面信息是其他方法无法比拟的, 它真实客观地记录了某一时刻一定地域范围的状况。通过遥感图像可以提取各类地面信息, 但遥感图像与我们日常见到的普通相片不同, 因此我们必须学习 and 掌握遥感图像的特征和解译技巧(如遥感图像成像方式、比例尺和分辨率的概念, 遥感探测的电磁波谱段等), 才能正确应用遥感图像。

## 1.2 遥感的分类

遥感的分类多种多样, 按照不同的分类标准可以进行不同的分类。目前, 遥感主要按照以下 5 个方面进行分类。

### 1.2.1 按遥感平台分

(1) 航天遥感。在航天平台上进行的遥感称为航天遥感。航天平台有探测火箭、卫星、宇宙飞船和航天飞机。

(2) 航空遥感。在航空平台上进行的遥感称为航空遥感。航空平台包括飞机和气球,其中飞机是航空遥感的主要平台。航空平台一般处于海拔高度低于 12 km 的空中。

(3) 地面遥感。平台处在地面或近地面的遥感。地面平台有三脚架、遥感车、遥感塔和船等,高度在 100 m 以下。地面遥感一般只作为航空遥感和航天遥感的辅助手段,为它们提供地面试验的参考数据。如图 1-1 所示,(a)是以卫星为载体的航天遥感,(b)是航空遥感,(c)为地面遥感中所使用的 4 脚架。

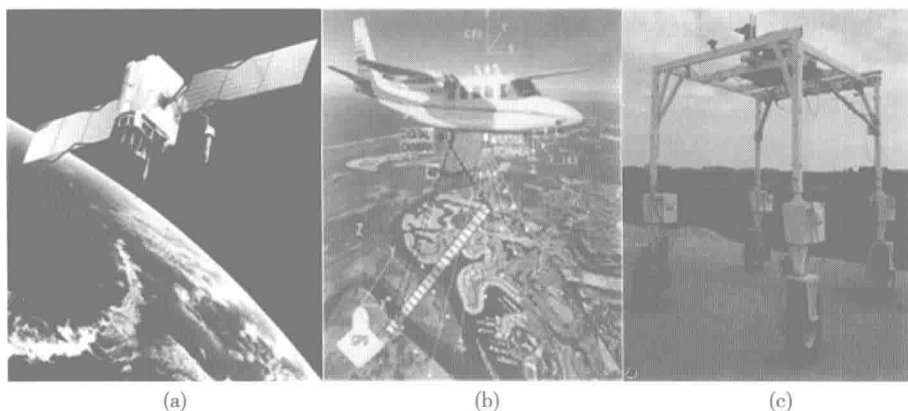


图 1-1 遥感平台

### 1.2.2 按遥感获取的数据形式分

(1) 成像方式遥感。指能获取遥感对象的图像的遥感。分为两类:①摄影方式遥感,以照相机或摄影机进行的遥感。②扫描方式遥感,以扫描方式获取图像的遥感,如 TM、雷达等。

(2) 非成像方式遥感。指不能获取遥感对象的图像的遥感。如光谱辐射计只能得到一些数据而不能成像。

### 1.2.3 按传感器工作方式分

(1) 被动遥感。传感器只能被动地接收地物反射的太阳辐射电磁波信息进行遥感,这样的遥感即被动遥感。目前,主要的遥感方式是被动遥感。

(2) 主动遥感。传感器本身发射人工辐射,再接收目标地物反射回来的辐射,这种探测地物信息的遥感即主动遥感,如雷达即属于主动遥感。

### 1.2.4 按遥感探测的电磁波分

按照遥感探测的电磁波波长,可以分为可见光遥感、红外遥感、微波遥感、紫外遥感



等。现在常用的是前三种遥感,紫外遥感只用于某些特殊场合,如监测海面石油污染情况。按照电磁波波谱分辨率的不同,还可以分为多光谱遥感、高光谱遥感、超光谱遥感等。

### 1.2.5 按遥感应用分

从大的研究领域可以分为宇宙遥感和地球遥感。宇宙遥感是对宇宙中的天体和其他物质进行探测的遥感。地球遥感是对地球和地球上的事物进行探测的遥感。以地球表层环境(包括大气圈、陆海表面和陆海表面下的浅层)为对象的遥感,叫作环境遥感,它属于地球遥感。在环境遥感中,以地球表层资源为对象的遥感,叫作地球资源遥感。

从具体应用领域可以分为地质遥感、地貌遥感、农业遥感、林业遥感、草原遥感、水文遥感、测绘遥感、环保遥感、灾害遥感、城市遥感、土地利用遥感、海洋遥感、大气遥感和军事遥感等。

## 1.3 遥感技术系统

如图 1-2 所示,遥感技术系统和遥感过程主要包括目标的信息特征、信息的获取、信息的接收、信息的处理以及信息的分析与应用五个部分。

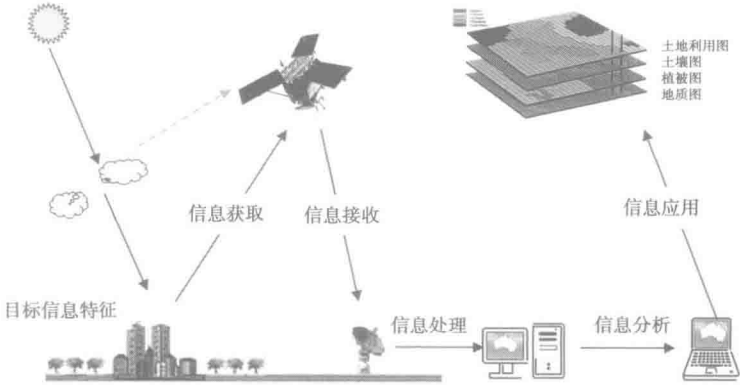


图 1-2 遥感过程和技术系统示意图

### 1.3.1 目标的信息特征

任何目标都有发射和反射电磁波的特性,这是遥感的信息源。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。

### 1.3.2 信息的获取

接收、记录目标物电磁波特征的仪器,称为传感器,信息获取即是利用传感器记录地球表面物体反射和发射的电磁能量的变化。遥感中搭载传感器的运载工具称为遥感平台(Platform)。

### 1.3.3 信息的接收

遥感信息主要是指由航空遥感和卫星遥感所获取的胶片和数字图像。对于航空遥感信息,一般是航摄结束后待航空器返回地面时回收,又叫直接回收方式。对于卫星遥感信息(如 Landsat 卫星等),不可能用直接回收方式,而是采用视频传输方式接收遥感信息。视频传输是指传感器将接收到的地物反射或发射电磁波信息,经过光电转换,将光信号转变为电信号,以无线电传送的方式将遥感信息传送到地面接收站。根据数据是否立即传送回地面接收站,又可分为实时传输和非实时传输。实时传输是指传感器接收到信息后,立即传送回地面接收站。非实时传输是将信息暂时存储在磁盘上,待卫星通过地面接收站接收范围时,再把数据发送到地面接收站,也叫延时传输。

### 1.3.4 信息的处理

地面接收站接收到的遥感信息,受到多种因素的影响,如传感器性能、平台姿态、大气、地球曲率、地形起伏等,使得遥感图像上记录的地物几何特性和光谱特性发生变化,即几何畸变和光谱畸变。因此,必须经过地面接收站的一系列校正(主要是辐射校正和几何校正)后,才能提供给用户使用。辐射校正是消除图像在灰度方面的失真和干扰;几何校正是消除图像的几何畸变,进行图像的投影变换和配准等。

### 1.3.5 信息的分析与应用

遥感图像包括了地面物质的海量客观信息,要了解地面物质,必须将图像数据转化为能解决实际问题的有用信息。从不同的应用角度研究相同的遥感数据,能产生不同的解译结果。因此,根据不同的应用目的,一幅影像经过解译后能提供诸如地形、土壤、土地利用或者水文等信息,因此遥感图像分析是遥感信息应用的基础。

应用于农业,要判读出土壤类别信息和作物类型信息,形成土壤分类图和作物分类图等;应用于林业和生态,要判读出植物或植被类型信息,形成植被分类图;应用于地质,要判读出岩石类型信息和地质构造信息,形成岩石类型图和地质构造图;应用于地貌,要判读出地貌类型信息,形成地貌类型图;应用于土地研究,要判读出土地利用类型信息,形成土地利用类型图等。遥感图像经过判读得到的数据可以与其他数据集成在 GIS 系统中,解决某些实际问题,如遥感数据能提供精确的土地利用信息,这些信息能与土壤、地质或交通信息和行政边界等集成在 GIS 系统中,进行垃圾掩埋场选址、土地利用规划、矿产开采或水体质量制图等。

总之,遥感技术是一个综合性的系统,在数据获取与接收过程中广泛应用到物理学、电子学、空间科学、信息科学等方面的内容,数据处理、分析过程中广泛应用到数学、计算机科学等方面的知识,数据应用则会牵涉到地球科学、生命科学、管理科学等多方面的内容。

## 1.4 遥感与 GIS、GPS 的综合应用

RS、GIS(地理信息系统,Geographic Information System,简称 GIS)和 GPS(全球导航定位系统,Global Positioning System,简称 GPS)合称为“3S”,作为一门综合性的新兴学科,在实际应用中的结合越来越紧密。

如图 1-3 所示,GPS 主要被用于实时、快速地提供目标,包括各类传感器和运载平台(车、船、飞机、卫星等)的空间位置;RS 技术用于实时地提供目标及其环境的信息,发现地球表面的各种变化,及时对 GIS 数据进行更新;GIS 则是对多种来源的时空数据进行综合处理、集成管理、动态存取,作为新的集成系统的基础平台,并为智能化数据采集提供地学知识。与此同时,RS 优于其他两者的特点在“3S”系统中发挥着举足轻重的作用,即 GPS 和 GIS 技术都是采用直接的途径获取数据信息,RS 则是利用飞行器等作为中介,不需要直接地接触研究对象。因此,三者既是相互独立的技术领域,又存在密切的关系,三者相互作用形成“一个大脑,两只眼睛”的框架,即 RS 和 GPS 向 GIS 提供或更新区域信息以及空间定位,GIS 进行相应的空间分析,从 RS 和 GPS 提供的大量数据中提取有用的信息,进行综合集成,使之成为决策的科学依据。

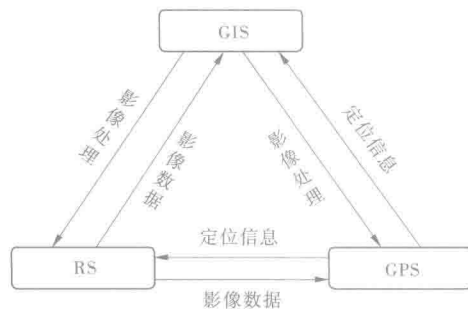


图 1-3 “3S”关系

毫不夸张地说,几乎所有行业信息都与地理空间信息有关,利用“3S”技术建立的公众地理信息平台(如百度地图、谷歌地图、高德地图等)也已经深入到生活中的方方面面。以旅游产业来说,旅游资源调查和评价需要收集大量的空间地理信息、环境信息以及社会人文信息等,传统的信息获取方式(现场调查或收集已有的纸质地图)耗费周期长,时效性也不强。而 RS 技术可以快速地为各种不同分辨率的遥感影像图,尤其是在人迹罕至、难以到达区域或者面积较大的景区具有重要意义。通过 GPS 技术获取地面高程,生成数字高程模型(Digital Elevation Model,简称 DEM),将 DEM 和遥感影像数据叠加可以制作出三维景观数据,更直观、生动地体现旅游资源的特征。利用 GIS 技术可以把地形图、专业图,气象资料,水文资料,地质资料,自然资源,历史与文化、人口资料,社会经济、交通运输、环境资料等各种要素信息进行集成和可视化,形成一张“电子地图”,同时利用 GIS 系统的空间量算、分析等功能进行旅游资源的评价和规划,以定量分析和定性分

析相结合、指标数量化、评价模型化的旅游资源评价方法代替传统的主观评判和定性分析的经验方法。另外,国内外均已利用“3S”技术建立了与旅游相关的信息化管理系统,在网络上实现对旅游信息的发布及可视化管理,向公众和管理人员展示旅游地理、旅游资源、旅游路线、旅游交通等信息。如美国的夏威夷国家火山公园利用“3S”技术建立火山公园地理信息系统,对生物和环境进行监测和管理。我国著名的风景名胜九寨沟也建立了旅游地理信息系统,实现对景区内的资源环境进行可视化管理,同时为游客提供信息查询等服务。

## 1.5 遥感的发展历史、现状

遥感作为一种空间探测技术,至今已经经历了地面遥感、航空遥感和航天遥感三个阶段。广义地讲,遥感技术是从19世纪初期(1839年)出现摄影技术开始的。

### 1.5.1 遥感萌芽阶段

遥感的起源基于摄影技术的发明和发展。在19世纪早期,许多科学家进行了感光化学物质试验,首次获取了影像。1839年路易斯·戴格尔(Louis Daguerre)公开发表了对感光化学物质的试验报告,是摄影技术诞生的一个里程碑。

1858年,人类首次借助气球,从高空拍摄地球表面的照片。在接下来的数年中,随着摄影技术突飞猛进,从气球和风筝上获取地面照片的方法也有了很大的改进。这些地面的空中照片可以认为是最初的遥感。

### 1.5.2 航空摄影阶段

利用飞机作为获取航空像片的平台是遥感发展的又一个重要里程碑。1909年,莱特(Wright)兄弟驾驶飞机拍摄了意大利 Centocelli 附近的地面景观照片,被认为是从飞机上获取的最早的航空像片。飞机能很好地控制速度、高度和方位,保障了区域航空像片的一致性,奠定了航空遥感的发展基础。

第一次世界大战(1914~1918年)期间,航空像片获得了基本的发展。在战争中,人们专门设计了航空摄影的仪器,同时在影像获取、处理和解译等方面培养和训练了许多专业人才。第一次世界大战结束后,许多战争中拍摄的航空像片开始转向民用,成为航空遥感发展的重要阶段。同时,航空遥感在民用过程中又进行了很多改造。首先,人们对照相机进行了改进,专门设计了飞机上使用的航空摄像机;其次,发展了专用的航空像片分析设备(如航空摄影测量仪),并形成了在航空像片上进行精确测量的一门科学,即航空摄影测量学。虽然摄影测量学的基本理论由来已久,但直到20世纪20年代,随着精确摄影测量仪器的使用,才开始形成现代摄影测量学。这些设备的改进和技术的进步是遥感发展的又一个里程碑。

在政府资助的国民经济开发项目中,航空摄影技术开始逐渐得到应用,最初用于编制地形图,后来又逐渐用于土地调查、地质制图、森林调查以及农业统计等。随着航空像片

在资源环境调查中的不断应用,逐渐积累了航空像片的使用方法和流程等实践经验。李( Lee, 1922)在他的著作《俯看地面》(The Face of the Earth as Seen from the Air)中,列举了这一时期航空像片的应用领域。

第二次世界大战(1939 ~ 1945 年)在遥感发展历史上具有重要意义。在战争期间,电磁波的使用范围从可见光波段扩展到了其他波段,其中最值得注意的是扩展到了远超过人类视觉范围的红外和微波区域。这些光谱知识在战前 150 年就已在基础科学和应用科学中发展起来,然而,由于这场战争的迫切需要,这些波段的应用和发展才突飞猛进。不仅仅是理论知识,实践经验也得到了丰富和积累。这些对可见光及其他波段遥感的发展是非常重要的。此外,战争时期训练了大批经验丰富的航空摄影飞行员、相机操作人员和像片解译人员,成为战后重要的遥感工作人才。他们将摄影和解译的技巧与经验转到战后的民用中,从而使航空遥感的应用领域更加广泛。

因此,战争结束后一段时期(1946 ~ 1960 年),航空遥感的发展主要有两个方面:一方面是军用技术转向民用;另一方面,西方国家和苏联的冷战为进一步发展侦察技术创造了环境。当军方有了更新、更精密的照相设备时,就会将一些已淘汰的旧技术应用于国家民用领域。这期间为遥感技术在民用领域中发展作出最重要贡献的是罗伯特·科威尔(Robert Colwell),他(1956 年)运用红外胶片来识别农作物类型、长势及其他植物学特征。尽管他的研究中所用的许多基本原理早已经有了,但其系统的应用研究仍是遥感领域发展的里程碑。同时,罗伯特·科威尔还论述了现代遥感的发展趋势以及发展的机遇与挑战。

### 1.5.3 航天遥感阶段

20 世纪 60 年代遥感有了一系列重大发展:①第一颗气象卫星在 1960 年 4 月发射升空。设计这颗卫星的目的是进行气候和气象观测,但它为日后地面观测卫星的发展打下了基础。这一时期,一些曾经用于军事侦察的遥感仪器被引入了民用。这些仪器将航空观测的光谱范围从可见光波段扩展到了红外和微波区域。②在这样的背景下,“遥感”术语第一次出现了。一位在美国海军研究办公室工作的科学家恩威利·普鲁伊特(Evelyn Pruitt)提出了这个术语,他发现当时的“航空摄影术”这个术语已无法精确地描述可见光波段以外的电磁波所形成的各类影像。这一术语在 1962 年美国密执安大学召开的第一次国际环境遥感讨论会后被普遍采用。③遥感研究项目启动。20 世纪 60 年代早期,美国国家航空航天局(NASA)开启了有关遥感的研究项目,旨在未来的几十年能支持美国各个研究机构对遥感的研究。与此同时,美国国家科学院将遥感研究运用于农业和林业。1970 年,美国国家科学院公布了他们的研究成果,其中概要地描述了遥感信息调查的发展前景。

1972 年,Landsat - 1 发射成功,它是第一颗用来观测地面的地球轨道卫星,成为遥感历史上一个新的里程碑。Landsat - 1 实现了第一次系统地、重复地观测地面区域。每幅 Landsat - 1 影像就是不同波段的电磁波所获得的大面积地面信息,可供多方面的实际应用。Landsat - 1 有三点非常突出的贡献:第一,为研究提供了多光谱数据;第二,推动了遥

感影像数字分析快速发展,如 Landsat - 1 发射之前,影像分析通常由目视解译来完成;第三,Landsat - 1 成为后续其他陆地观测卫星发展的基础和标准。

20 世纪 80 年代,传感器技术不断发展,各种陆地卫星相继发射。美国喷气动力实验室(JPL)的科研人员在 NASA 的资助下,开发了前所未有的高光谱分辨率的遥感仪器。在此之前,多光谱传感器所采集的数据来自于较宽的光谱区域,但这种新的仪器能采集 200 个或更多的非常精确的光谱区域。这些仪器开创了高光谱遥感的研究,将遥感的分析能力提高到了一个新的高度,并且为更好地开发未来遥感系统的功能提供了良好的基础。

1986 年以来,法国相继发射了 SPOT 系列卫星。SPOT - 1、SPOT - 2、SPOT - 3 上均装有两台高分辨率可见光(HRV)相机,可获取 10 m 分辨率的全色波段遥感图像以及 20 m 分辨率的三波段遥感图像。SPOT - 4 增加了新的中红外波段,还装载了一个植被仪,增强了对植物的识别能力。Landsat 和 SPOT 卫星项目为全球中等分辨率地球观测数据收集做出了贡献。

到了 20 世纪 90 年代,卫星系统已经成为采集整个地球表面信息的主要手段。尽管 Landsat 已经具备这种能力,但 1990 年以来,气象卫星的大范围成像成为全球遥感的基础。到 1999 年 12 月,NASA 发射了 Terra - 1 卫星,它成为第一颗专门设计用来获取覆盖全球信息的卫星系统,用来监测自然界发生的变化以及地球生态系统的变化。这些数据开启了大尺度遥感地球的时代,从而成为又一座里程碑。

与此同时,欧洲空间局、日本相继发射了 ERS 和 JERS 系列卫星,印度、俄罗斯也相继发射了 IRS 和 RESURS 系列卫星。1995 年加拿大发射了 RADARSAT - 1 雷达卫星,标志着卫星微波遥感技术的重大进展,为国际遥感数据市场做出了重要贡献,它的地面分辨率、成像行宽和波束入射角都有较宽的选择范围,除用于监测陆地及海洋外,RADARSAT - 1 为南极大陆提供了第一个完全的高分辨率卫星覆盖,在监测全球气候变化中起到了重要作用。我国在 1998 年的长江抗洪抢险中,采用该卫星提供的图像进行了水情分析。1999 年美国航空航天局与地质调查局合作发射了 Landsat - 7 号,其携带的传感器为增强型专题制图仪(ETM +),增加了一个 15 m 分辨率的全色波段,并且热红外通道的空间分辨率也提高了 1 倍,达到 60 m。其目标是对全球变化保持长期连续的监测,建立和定期更新绝大部分无云的、太阳照射的陆地图像的全球档案,能清晰地观测人类活动的迹象。

21 世纪是遥感快速发展的阶段。一方面,高空间分辨率的卫星数据相继出现。2000 年,美国光谱成像公司(Spectral Imaging Inc)成功发射了高分辨率商用小卫星 IKONOS,星上装有柯达公司制造的数字相机,可采集 1 m 分辨率的黑白影像和 4 m 分辨率的多光谱(红、绿、蓝、近红外)影像。2001 年 10 月由美国 DigitalGlobe 公司发射的 QuickBird 卫星,提供数据的分辨率达 0.61 m。这些高分辨率的遥感数据对于军事和民用方面均有重要用途。另一方面,发展中国家也开始研制和发射系列卫星。1999 年 10 月,中国和巴西联合研制的中巴地球资源卫星即资源一号(ZY - 1,国际上称为 CBERS - 1)卫星发射成功,这是我国第一颗高速传输式对地资源遥感卫星,经过在轨测试阶段后已转入应用运行阶

段。其地面空间分辨率分别有 19.5 m、78 m、156 m 和 256 m,在北京、广州和乌鲁木齐 3 个地面接收站都可以接收该卫星的数据,推动了我国遥感事业的进一步发展。到 2005 年,世界各国已发射和将要发射的资源类卫星共计约 35 颗。

#### 1.5.4 中国的遥感发展简况

20 世纪 30 年代,我国曾在个别城市进行过航空摄影,这可以说是我国最早的遥感活动。到了 50 年代,随着我国经济建设的恢复和发展,系统地开展了以地形制图为主要目的的可见光黑白航空摄影工作,同时对航空像片进行了一些地质判读应用的试验工作。在这一时期,原地质部、铁道部及水利部等部门都建立了专门机构来从事这方面的工作,国家测绘局也是在这阶段内基本完成了全国范围的第一代航空摄影工作。

20 世纪 60 年代初期,我国航空摄影工作已经初具规模,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。60 年代中期,铁道部设计院对 23 条铁道设计线路进行了航空目测,对 24 条设计线路运用小比例尺航空像片进行了地质信息判读。中国科学院地质研究所、地理研究所等单位运用航空像片对邢台地震地质进行了判读分析。有关院校也都开设了航空摄影学课程,培养了一批专业人才,为我国遥感事业的发展打下了基础。

从 20 世纪 70 年代开始,我国的遥感事业迅速发展,逐步由航空遥感发展到航天遥感。1973 年,陈述彭等几位科学家参加了在墨西哥召开的国际学术会议,通过了解国外遥感技术的飞速发展,促进了我国遥感技术水平的提高。1975 年 11 月,我国发射的科学试验卫星在正常运行之后按计划返回地面,获得图像质量良好。1978 年发射的“尖兵一号”卫星,携带了精密的摄影机,专用于科学考察,在空间运行 4 d 后,带着丰富的遥感资料返回地面。1979 年,中国科学院应用遥感研究所组建,并进行了腾冲资源遥感、天津城市环境遥感和四川二滩能源遥感,后来这被称为中国遥感事业起步的“三大战役”。

20 世纪 80 年代,我国在农业、林业、海洋、地质、石油、环境监测等方面积极开展遥感试验,取得了丰硕的成果。1985 年 10 月,我国成功发射并回收的国土资源卫星,以国土资源调查为主要目的,提供了黑白和彩色红外像片。1986 年,我国建成了遥感卫星地面站,逐步具有了接收美国 Landsat、法国 SPOT、加拿大 RADARSAT 和中国-巴西 CBERS 等 7 颗遥感卫星数据的能力。

20 世纪 90 年代,我国的遥感事业得到了长足的发展,大大缩短了与世界先进水平的差距。在这一时期,我国又先后发射了十多颗不同类型的人造地球卫星,其中包括与太阳同步的“风云 1 号”和与地球同步的“风云 2 号”。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,代表我国拥有了自己的资源卫星。我国的第一颗海洋卫星——“海洋一号”(HY-1)卫星于 1997 年 6 月由国防科工委批准立项研制,并于 2001 年 4 月搭载风云一号 02 批第二颗卫星发射。

进入 21 世纪,我国已经全面形成了遥感技术与应用的发展能力,在某些方面已处于世界领先水平。2012 年 1 月 9 日,我国首颗国产民用光学立体测绘卫星资源三号 01 星成功发射,代表我国具备了 1:5 万~1:2.5 万比例尺基础地理信息数据自主获取及更新的

能力,打破了民用航天测绘业务长期依赖国外商业遥感卫星数据的局面。为保持测绘卫星数据源的连续、稳定,在2011年出台的《测绘部门航天发展“十二五”规划》中,提出在未来3个5年中,研制发射包括光学、雷达、激光、重力4种类型在内的多颗测绘卫星,形成种类齐全、功能完整的测绘卫星体系。该规划在2012年与国土资源卫星和海洋卫星发展规划一起,整合为陆地卫星业务发展规划,得到了国务院批复同意,整体纳入《国家空间基础设施发展规划(2011—2025)》,有望发射包含光学、雷达、重力3种类型并具有激光测绘功能的7颗测绘卫星,在未来10年内形成我国的民用测绘卫星系列。通过建设由高分辨率光学立体测图卫星、干涉雷达卫星、激光测高卫星、重力卫星等不同卫星有机组成的测绘卫星系列,我国将逐步满足全球1:5万~1:5000等比例尺制图的数据获取和立体成像能力。特别是资源三号、天绘一号、高分一号、高分二号等国产中高分辨率遥感卫星相继投入使用(见表1-1),使得卫星影像获取能力大大增强,可基本实现优于2.5 m影像国土面积年度全覆盖。

表 1-1 国内部分高分辨率光学遥感卫星主要技术指标

卫星名称	发射时间	类型	通道	分辨率(m)	重访(d)	幅宽(km)	
资源一号-02B	2007年	全色	1	20	26	113	
		多光谱	4				
		全色	1	2.36		104	27
		多光谱	2	258		5	890
天绘一号01星、 02星	2010年	全色	1	2	5	60	
	2012年	全色	3	5			
		多光谱	4	10			
资源一号-02C	2011年	全色	1	2.36	3~5	54	
		全色	1	5		60	
		多光谱	3	10			
资源三号	2012年	全色	1	2.1	5	51	
		全色	2	3.5		52	
		多光谱	4	5.8		51	
		多光谱		10		30	
高分一号	2013年	全色	1	2	4	60	
		多波段	4	8		60	
		多光谱	4	16		800	
高分二号	2014年	全色	1	1	5	30	
		多光谱	4	4		30	



整体来说,我国已经建立和完善了卫星对地观测体系,随着国家政策导向的引导,航天科学技术得到长足发展。国产民用陆地观测卫星数据由最初单一的中国-巴西地球资源卫星影像获取方式发展到现在的中国-巴西地球资源系列卫星、环境减灾卫星、测绘立体卫星等综合获取方式;传感器的研制从最初仅有的光学的多光谱、低空间分辨率发展到目前的高空间分辨率、高时间分辨率、高辐射分辨率、宽视场多角度、雷达等多种传感器共存的格局。

## 1.6 遥感的发展趋势

遥感技术正在进入一个能够快速准确地提供多种对地观测海量数据及应用研究的新阶段,它在近二三十年内得到了飞速发展,目前又将达到一个新的高潮。这种发展主要表现在以下6个方面。

### 1.6.1 空间发展计划蓬勃进行

以美国为首,投入也最大。如 NASA 于 2005 年宣布了耗资 1 040 亿美元空间探测计划,并在 2006 年发布了新的航天政策,以期保证其在整个 21 世纪的空间绝对优势。美国除了发展对地观测,还大力发展火星探测计划,2015 年 9 月 28 日,来自美国国家航空航天局的活性侦察轨道器(MRO)所拍摄的怪异黑色条纹被证实是由火星上的液态水形成的。除了美国,欧盟 ESA 在 2003 年正式宣布其全球环境与安全监测(GMES)计划,并在 2008 年建成一个有高、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,在高光谱和超光谱方面也取得了巨大的成果,如于 2001 年发射了 PROBA 和当时有效荷载最为丰富的综合卫星 ENVISAT(2012 年已与地球失去联系)。同时,欧盟各成员国之间也在发展各自的对地观测计划,走在前列的是法国、德国和意大利。法国在商业卫星上有著名的 SPOT 系列卫星,意大利有雷达卫星 Cosmo-Skymed,德国也有高分辨率雷达卫星 TerraSAR-X。

在亚洲,日本和印度都在极力发展自己的对地观测计划。日本拥有先进的航天技术,并力图发展军事航天和民用航天。日本宇宙航天研究开发机构 JAXA 于 2005 年公布了耗资 570 亿美元的“JAXA2005 年长期规划”,代表卫星有日本先进陆地观测 ALOS 卫星(2011 年已损坏)。印度 2003 年在航天技术的投资占 GDP 的 0.094%,2005 年投资 7.22 亿美元,预计 2020 年印度将拥有侦察卫星、通信卫星、气象卫星等,目前印度的代表卫星为 CartoSat1、CartoSat2 和 ResourceSat1。我国也非常重视对地观测计划,仅在“十一五”期间涉及对地观测数据的 18 个重大工程的总投资就达约 2 000 亿元,主要组成为资源卫星系列、环境减灾系列、海洋卫星系列、气象卫星系列、神州飞船等。

此外,我国台湾地区的福卫系列卫星五号卫星(FORMOSAT-5)是台湾自主拥有的第 4 颗人造卫星,运行方式与“福卫二号”类似,依旧采取低轨(720 km),让卫星造访台湾地区的频率提高,拍摄影像的间隔缩短,着重于卫星本体及光学遥测与科学酬载自主能力的建立。该卫星于 2015 年 10 月完成所有测试工作,2015 年年底在美国加利福尼亚州范登堡发射场发射。