



普通高等教育“十二五”规划教材

遥感技术基础与应用

张安定 吴孟泉 王大鹏 编著
曹建荣 贾维花



科学出版社

014032889

TP7-43
14

普通高等教育“十二五”规划教材

遥感技术基础与应用

张安定 吴孟泉 王大鹏 曹建荣 贾维花 编著



科学出版社

北京

TP7-43
14



北航 C1721115

014032888

内 容 简 介

本书是一本全面、系统介绍遥感技术基本原理、技术方法和主要应用的基础教材。全书主要内容包括绪论、遥感电磁辐射基础、传感器及其成像方式、遥感卫星及其运行特点、微波遥感、遥感图像处理、遥感图像的目视解释、遥感图像的计算机分类、遥感技术的应用。

本书可作为地学、测绘以及农学、林学等相关专业本科生教材，也可供相关专业研究生、教师和科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感技术基础与应用 / 张安定等编著. —北京: 科学出版社, 2014. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-039927-4

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 (2014) 第 038140 号

责任编辑: 杨 红 / 责任校对: 张凤琴
责任印制: 阎 磊 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 3 月第一次印刷 印张: 14

字数: 364 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

现代遥感技术使人类有能力从更高、更广的宇宙空间,以多维、多尺度的综合视角,获取更加丰富的地表信息,从而实现对地球环境的深入理解和认识。遥感技术宏观、综合、动态、快速的特点,使其在国民经济与社会发展的诸多领域得到了广泛应用,并逐步呈现出前所未有的强大生命力和广阔的应用前景,成为人类认识世界的新方法和新手段。

随着遥感技术的发展和遥感应用领域的不断拓展,遥感教育也得到了相应的发展。自20世纪80年代初期我国在高等学校开设遥感概论选修课以来,先后培养出了大批遥感方面的科研和教学人才,对促进我国遥感技术的发展起到了重要作用。目前,遥感已经逐步成为地学、测绘以及农学、林学等相关专业的重点课程。与此同时,遥感教材建设也备受关注,许多优秀教材在人才培养过程中发挥了重要作用。

本书是作者结合自身的教学实践,在深入学习和广泛参阅国内外优秀遥感教材以及相关论著、专业论文的基础上编写而成的,是一本全面、系统介绍遥感技术基本原理、技术方法和主要应用的基础教材。作为基础教材,内容的完整性和系统性是第一位的。全书以遥感技术过程为主线,以遥感电磁辐射理论为基础,把传感器及其成像方式、遥感平台、图像处理、图像解译、遥感应用等几个遥感子过程依次串联起来,并对其中的关键技术从原理和技术方法两个层面做了全面、系统的阐述。

微波遥感是未来遥感发展的重要方向,具有广泛的应用前景,因此教材把微波遥感单列为一章,并从成像原理、图像特征等多个方面对微波成像系统做了比同类教材更为全面、系统的论述,这也是本书的一个突出特点。

遥感的最终目的在于应用。由于遥感技术的应用领域越来越广泛,任何教材都不可能全部涵盖,因此在遥感技术的应用一章中,我们主要从资源、环境、灾害三个视角,介绍了遥感技术的具体应用。其中,既有原理和技术方法的分析,又辅以国内外典型的应用案例,力争使读者进一步加深对所学理论知识的理解,缩短理论与实践之间的距离。

本书在编写过程中,通过大量图表加强对概念和原理的重点解读,而对涉及的数学模型或算法则力求简单明晰。同时,教材紧密结合遥感技术的新进展,对相关内容进行了更新,并重点在遥感应用部分融入了一些最新的研究成果。

全书共分为九章。其中第一、五、六章由鲁东大学张安定编写;第二章由曲阜师范大学贾维花编写;第三、四章由聊城大学曹建荣编写;第七、第八章由枣庄学院王大鹏编写;第九章由鲁东大学吴孟泉编写。全书由张安定统稿。书中全部插图由仲少云老师精心绘制,在此表示感谢。由于作者水平所限,书中难免有许多不足之处,敬请读者批评指正。

张安定

2013年10月23日

目 录

131	合编的遥感课程	章正洋
132	遥感课程	章正洋
136	遥感课程的设置	章正洋
139	遥感课程的教学	章正洋
141	遥感课程的评价	章正洋
142	遥感课程的建设	章正洋
121	前言	
125	第一章 绪论 1	
125	第一节 遥感与遥感技术过程..... 1	
124	第二节 遥感技术的特点与分类..... 3	
100	第三节 遥感技术的发展历史与展望..... 5	
104	思考题..... 8	
125	第二章 遥感电磁辐射基础 9	
125	第一节 电磁波与电磁波谱..... 9	
125	第二节 物体的电磁波发射特性..... 16	
125	第三节 物体的电磁波反射特性..... 20	
121	第四节 大气对电磁波传输过程的影响..... 26	
121	思考题..... 31	
125	第三章 传感器及其成像方式 32	
125	第一节 传感器概述..... 32	
125	第二节 摄影成像系统..... 38	
125	第三节 扫描成像系统..... 46	
125	思考题..... 52	
125	第四章 遥感卫星及其运行特点 53	
125	第一节 遥感卫星的轨道..... 53	
125	第二节 气象卫星..... 57	
125	第三节 陆地卫星..... 61	
125	第四节 海洋卫星..... 71	
125	思考题..... 75	
125	第五章 微波遥感 76	
125	第一节 概述..... 76	
125	第二节 雷达系统的成像原理..... 81	
125	第三节 雷达图像的几何特征..... 87	
125	第四节 雷达图像的信息特点..... 91	
125	思考题..... 98	
125	第六章 遥感图像处理 99	
125	第一节 光学图像与数字图像..... 99	
125	第二节 光学图像处理..... 104	
125	第三节 数字图像的预处理..... 109	
125	第四节 数字图像的增强与变换..... 120	

第一章 绪 论

遥感是20世纪60年代在航空摄影测量的基础上兴起并迅速发展起来的一门综合性探测技术。本章主要介绍遥感的定义、遥感的过程、遥感技术的特点以及遥感的分类等基础知识，在此基础上，简要总结和分析了遥感技术的发展历史与发展趋势。学习本章要深刻理解遥感技术宏观观测能力强、动态监测优势明显、探测手段多样等特点。

第一节 遥感与遥感技术过程

一、遥感的定义

遥感一词来源于英文“remote sensing”，从字面上可理解为“遥远的感知”。准确地说，遥感是指从高空或外层空间，通过飞机或卫星等运载工具所携带的传感器，“遥远”地采集目标对象的数据，并通过数据的处理、分析，获取目标对象的属性、空间分布特征或时空变化规律的一门科学和技术。在日常生活中，人们通过视觉功能获得周围环境信息的过程非常类似遥感的过程，从这个意义上说，人的视觉系统就是一个“遥感”系统（图1.1）。

遥感是一种远距离的、非接触的目标探测技术和方法。广义的遥感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。由于力场、声波、地震波等探测手段通常被划到物理探测，即物探的范畴，因此，只有电磁波探测属于遥感的范畴，这是一种狭义的理解。

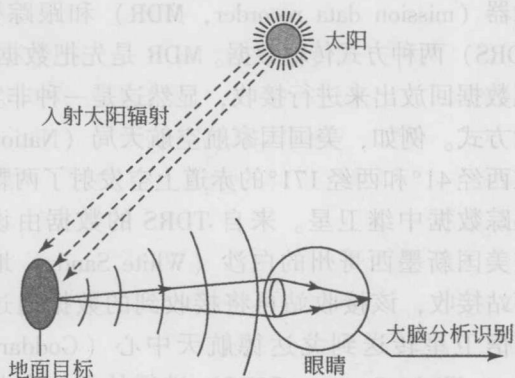


图 1.1 人的视觉系统示意图

二、遥感技术过程

遥感技术过程由数据获取，数据传输、接收和处理，数据解译、分析与应用三部分组成，这三部分是遥感技术过程的相辅相成、不可分割的三个阶段。

(一) 数据获取

遥感技术的任务首先是数据获取，即通过不同的遥感系统来获取目标对象的数据。这里所说的遥感系统是指由遥感平台（remote sensing platform）和传感器（sensor）共同组成的数据获取系统。其中，传感器是接收并记录目标对象反射或自身发射电磁辐射能量的仪器，是数据获取的核心部件，如摄影机、扫描仪等；遥感平台则是搭载传感器的空中移动载体，如飞机、卫星等。遥感平台和传感器的多种组合，为现代遥感技术提供了多样化的数据获取手段。

遥感技术是通过电磁波传递并获取地球表面信息的。太阳是遥感最主要的电磁辐射源，其波谱范围很宽，由紫外线、可见光、红外线等不同辐射波段综合组成。透过大气层到达地

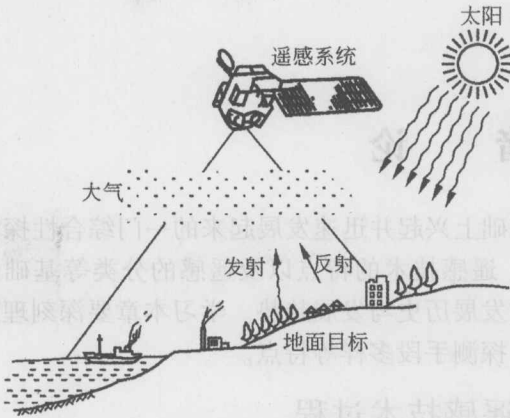


图 1.2 遥感数据获取过程示意图

表的太阳辐射与地表发生相互作用，作用的结果是不同波长的电磁波被选择性地反射、吸收、透射。地表反射或发射的电磁辐射再次通过大气层被传感器以成像方式或非成像方式储存在不同的介质上，得到最初的遥感数据产品，从而完成遥感数据的获取过程。除太阳外，地球本身以及其他人工辐射源也都是遥感重要的辐射源。图 1.2 是遥感数据获取过程示意图。

(二) 数据传输、接收和处理

遥感卫星地面站是接收、处理、存档和分发各类遥感卫星数据的技术系统，由地面数据接收、记录系统和图像数据处理系统两部分组成。

地面站接收观测数据时，如果卫星处在地面站的覆盖范围之内，通常采用卫星实时传送、地面站实时接收的数据传输方式；如果卫星超出地面接收站所能覆盖到的范围，则采用数据记录器 (mission data recorder, MDR) 和跟踪数据中继卫星 (tracking and data relay satellite, TDRS) 两种方式传输数据。MDR 是先把数据记录下来，当卫星进入地面站覆盖范围后，再把数据回放出来进行接收，显然这是一种非实时传输方式。而 TDRS 则是一种间接的实时传输方式。例如，美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 在西经 41° 和西经 171° 的赤道上空发射了两颗跟踪数据中继卫星。来自 TDRS 的数据由设在美国新墨西哥州的白沙 (White Sands) 地面站接收，该接收站再将接收到的数据通过通信卫星转送到戈达德航天中心 (Goddard Space Flight Center, GSFC) 进行处理，由此实现对全球数据的实时传送。

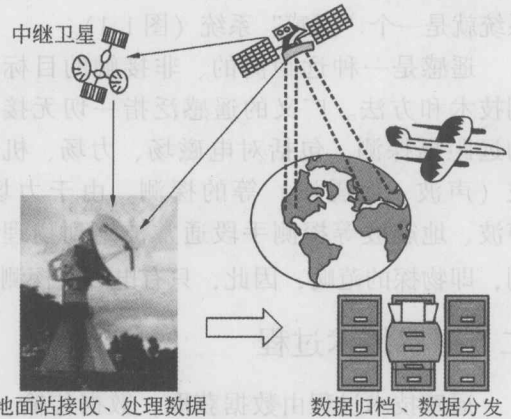


图 1.3 数据传输、接收和处理示意图

地面站接收到的数据存在各种误差和变形，图像数据处理系统负责对接收和记录的原始遥感数据做一系列辐射校正和几何校正处理，消除畸变，并根据用户的要求，制成一定规格的图像胶片和数字产品，作为商品提供给用户。图 1.3 为遥感数据传输、接收和处理示意图。

(三) 数据解译、分析与应用

用户从地面站得到数据后，根据需要对数据进行进一步的处理，然后对数据进行解译，从中提取专题信息。地面目标的种类及其所处环境条件的差异，往往导致其具有不同的反射或辐射电磁波信息的特性，遥感技术正是利用地物的这种特性，达到获取地物信息并识别其属性的目的。数据的解译主要有两种形式：一种是目视解译；另一种是利用计算机自动识别和提取专题信息。

遥感的最终目的在于应用。不同用户根据解译获得的专题信息，对研究对象进行深入分析，获得对事物或现象更深层次的理解，揭示规律，解决特定问题。遥感应用非常广泛，涉

及资源环境、环境监测、国土整治、区域规划和全球变化等诸多领域,在第九章中有详细介绍。

纵观遥感技术的全过程,不难看出:①从系统的角度分析,我们可以把遥感技术过程看成一个系统,而这个大系统是由数据获取(传感器与遥感平台的组合)、数据传输、数据接收与处理等若干个子系统组成的。②数据获取是遥感技术的核心,其中广泛涉及物理学、电子学、空间科学、信息科学等领域的技术方法;数据传输、接收和处理过程中广泛运用数学、计算机科学等方面的内容;而遥感应用则是遥感的基本出发点和最终目的,它主要以地学规律为基本分析方法,广泛运用地球科学、生物科学等学科知识。因此,可以认为遥感是一门以物理手段、数学方法和地学分析为基础的综合性应用学科。

第二节 遥感技术的特点与分类

一、遥感技术的特点

(一) 宏观观测能力强

遥感技术获取的图像数据的空间范围比地面观测的视角范围要大得多,且不受地形地貌的影响。一张比例尺为1:35000的23cm×23cm的航空像片,可反映出60多平方千米的地表综合景观实况;一幅陆地卫星TM图像的面积可达34225km²,极轨气象卫星在一条轨道的扫描宽度可达2800km,每天都可以得到覆盖全球的资料;一颗地球静止卫星的观测面积可达1.7亿km²,约为地球表面积的1/3。由此可见,遥感技术可以从不同的空间尺度上实现大范围、多尺度的对地观测,这不仅拓宽了人们的视觉空间,为宏观地掌握地面事物的现状情况创造了极为有利的条件,同时也为宏观研究自然现象和规律提供了宝贵的第一手资料。

(二) 动态监测优势明显

遥感卫星按照一定的周期,通过获取同一地区不同时间的遥感数据,实现动态监测地表事物或现象的目的。极轨NOAA卫星每天可以接收到两次覆盖全球的图像,如采用双星系统,同一地点每天可以获取四次过境资料;静止气象卫星对同一地点每隔20~30min可获得一次观测资料,重复观测的周期更短。由此可见,遥感技术通过对地表周期性的重复观测,使人们能快速掌握地表事物的变化,并在此基础上分析和研究事物变化的规律、发展趋势,进而为区域经济和社会发展决策提供科学支持,这就是遥感动态监测。遥感动态监测具有数据获取速度快、数据一致性和对比性强的突出优势,这是传统方法无法比拟的。

遥感动态监测的能力取决于卫星的重复观测周期,周期越短,动态监测能力越强。地表环境要素变化的时间尺度不同,对遥感卫星重复观测周期的要求也不同。台风、森林火灾、江河洪水等短期现象的动态监测,选择覆盖范围大、周期短的气象卫星最为理想;土地利用变化、城市扩张、农作物长势等动态监测,选择Landsat、SPOT等卫星即可。

(三) 探测手段多样,数据量大

遥感技术通过不同遥感平台和传感器的组合,产生了多种探测手段和技术方法。现代遥感技术不仅能利用可见光波段探测物体,而且能利用人眼看不见的紫外线、红外线和微波波段进行探测;不仅能探测地表的性质,而且可以探测到目标物的一定深度。某些波段具有对云、雾、冰、植被、干沙土等的穿透性,可深化对被测目标的认识。微波波段还具有全天候工作的能力。

多种探测手段使遥感技术获取的数据类型多样化。在遥感应应用研究中,用户可以发挥各

种遥感数据多样化的特点和优势,通过数据类型的优势互补,为遥感数据的综合分析与信息提取、深入研究地表事物和现象提供重要保障。

遥感技术所获取的数据量极大,如一幅 Landsat 卫星的 ETM 图像,仅空间分辨率为 30m 的 6 个波段的多光谱数据量,就可达到 $6000 \times 6600 \times 6 \times 1 \text{ byte} = 237600000 \text{ bytes}$,即 237.6MB,大大超过了传统方法所获取的数据量。对同一地区而言,通过多尺度、周期性获取的各种类型的遥感数据已足以构成海量数据,这些数据中蕴含着丰富的地表环境要素信息,成为地学研究的重要信息源。

(四) 数据具有综合性与可比性

遥感数据是地表瞬间各种自然要素和人文要素的真实再现,和其他数据尤其是地图数据相比,没有经过任何的取舍,因此具有很强的综合性,可以满足不同用户的多种需求。遥感探测所获取的是同一时段、覆盖大范围地区的遥感数据,这些数据综合展现了地球上的自然与人文现象,宏观反映了地球上各种事物的形态与分布,真实再现了地质、地貌、土壤、植被、水文、人工构筑物等地物的特征,全面揭示了地理事物之间的关联性,并且这些数据在时间上具有相同的现势性和可比性。

以上是遥感技术的主要特点,正是因为这些突出特点,使得遥感技术的应用可以节约大量的人力、物力和财力,也必然产生极高的经济效益和社会效益。仅以美国 Landsat 卫星为例,据专家估计,其经济投入与所取得的综合效益相比,至少可以达到 1:80。

基于以上遥感技术的突出特点,近年来遥感技术的应用领域越来越广泛,人们对遥感技术的应用前景也有了更高的期待,“遥感”一词也因此在各种媒体上频频出现,普通人对其也不陌生了。

二、遥感的分类

(一) 按遥感平台分类

(1) 宇航遥感:宇航遥感主要指在地球大气层以外的宇宙空间,利用太空平台(以人造卫星为主体,包括载人飞船、航天飞机、太空站和各种行星探测器)上的探测器对行星进行探测的遥感技术系统。

(2) 航天遥感:航天遥感泛指以各种太空飞行器为平台的遥感技术系统,以地球人造卫星为主体,包括载人飞船、航天飞机和太空站。卫星遥感(satellite remote sensing)为航天遥感的组成部分,以人造地球卫星作为遥感平台,主要利用卫星对地球和低层大气进行光学和电子观测。

(3) 航空遥感:航空遥感泛指从飞机、飞艇、气球等空中平台对地观测的遥感技术系统。其特点是灵活性大,图像分辨率高,且历史悠久,形成了完整的理论和应用体系。

(4) 地面遥感:地面遥感主要指以高塔、车、船为平台的遥感技术系统,其主要任务是测定地物的光谱特性及其变化规律,试验各种传感器的性能,为遥感的进行提供经验和基础。

(二) 按遥感所利用的电磁波谱段分类

(1) 紫外遥感:探测波段在 $0.05 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 的遥感称为紫外遥感。由于大多数地物在该波段的反差较小,仅部分地物,如萤石和石油在此波段可以表现出来,因此紫外遥感除在石油普查探测中可以发挥一定作用外,在其他领域很少使用。此外,由于大气层中臭氧对紫外线的强烈吸收和散射作用,紫外遥感通常在 2000m 高度以下范围进行。

(2) 可见光/反射红外遥感:可见光/反射红外遥感主要指利用可见光($0.4 \sim 0.76 \mu\text{m}$)

和近红外 ($0.7 \sim 2.5 \mu\text{m}$) 波段的遥感技术。前者是人眼可见的波段, 后者是反射红外波段, 人眼虽不能直接观察到, 但其信息能被特殊的传感器所接受。它们共同的特点是: 辐射源都是太阳, 也都是根据地物对太阳辐射的反射率的差异获取地面目标的信息。此外, 它们都可以通过摄影和扫描两种方式成像。

(3) 热红外遥感: 热红外遥感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图像的遥感技术。热红外遥感的探测范围通常在 $8 \sim 14 \mu\text{m}$, 常温下 (约 300K) 地物热辐射能量的绝大部分集中在这里, 且在此波段地物自身的热辐射能量远大于其对太阳辐射的反射能量。热红外遥感还具有昼夜工作的能力。

(4) 微波遥感: 微波遥感指利用波长为 $1 \sim 1000\text{mm}$ 的电磁波遥感的统称。微波遥感通过接收地面物体发射的微波辐射能量, 或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。其突出特点是具有穿透云雾以及全天候、全天时工作的能力。

(三) 按传感器的工作原理分类

(1) 主动遥感 (active sensing): 主动遥感指传感器带有能发射信号 (电磁波) 的辐射源, 工作时向目标物发射信号, 接收目标物反射这种辐射波的强度, 如侧视雷达。

(2) 被动遥感 (passive sensing): 被动遥感指传感器记录地表反射的太阳辐射或自身发射的热辐射。

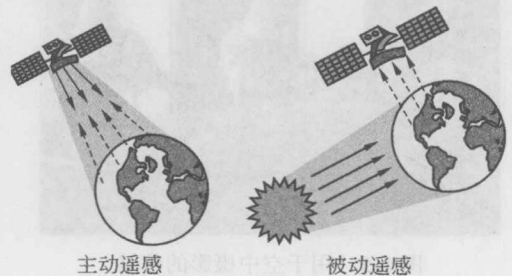


图 1.4 主动遥感和被动遥感示意图

主动遥感和被动遥感示意图如图 1.4 所示。

(四) 按遥感资料的获取方式分类

(1) 成像方式遥感: 成像方式就是把所探测的地物辐射的电磁波强度, 用深浅不同的色调构成图像, 如航空像片、卫星图像等。

(2) 非成像方式遥感: 非成像方式是以数据、曲线等形式记录目标物反射或发射的电磁辐射的各种物理参数。

(五) 按遥感应用领域分类

根据用户具体应用情况, 可将遥感分为环境遥感、城市遥感、农业遥感、林业遥感、海洋遥感、地质遥感、气象遥感和军事遥感等。

第三节 遥感技术的发展历史与展望

一、遥感技术的发展历史

“遥感”这一科学术语最早是 1960 年由美国学者艾弗林·普鲁伊特提出的, 之后于 1961 年在美国密歇根大学召开的一次国际学术研讨会上得到了学者们的认同, 从此遥感这门新的学科就诞生了。事实上, 在“遥感”一词出现以前, 就已经有了遥感技术, 遥感的渊源可以追溯到很久以前。

(一) 遥感思想的萌芽阶段 (1610 ~ 1858 年)

如果说人类最早的遥感意识是懂得凭借人的眼、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, 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，可视为是遥感的最初尝试和实践。1824年摄影技术的发明标志着早期遥感技术的诞生，1826年法国科学家尼普斯拍摄的第一张永久照片“窗外的景色”则是遥感成果的首次展示。

(二) 空中摄影阶段 (1858 ~ 1903年)

早期人类的各种摄影活动都是在地面上进行的，直到1858年法国人陶纳乔用系留气球在1200ft (1ft=0.3048m) 的高空摄取了巴黎的“鸟瞰”照片，人类才开始了空中摄影。1860年，布莱克乘气球在空中拍摄了波士顿的照片。1903年，信鸽被用于获取军事目标信息 (图1.5和图1.6)。1906年，乔治·劳伦斯用风筝从2000ft高度上拍摄了旧金山地震后的空中照片。

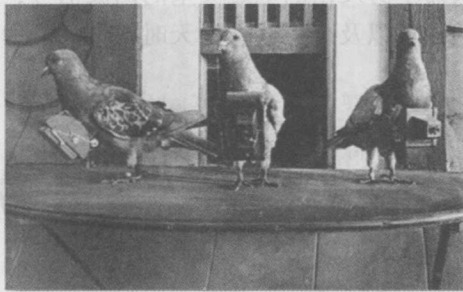


图 1.5 用于空中摄影的信鸽

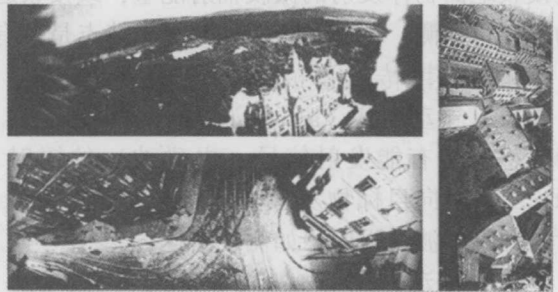


图 1.6 信鸽拍摄的照片

空中摄影是遥感技术发展的初级阶段，虽然使用的是信鸽、风筝及气球等简陋平台，获取的图像质量较差，但它却是人类梦想离开地面从另外一个视角观测和了解地球的重要开始。

(三) 航空遥感阶段 (1903 ~ 1957年)

航空遥感是从航空摄影测量开始的。1903年，莱特发明了飞机，为航空摄影创造了条件。1903年，意大利人威尔伯·赖特驾驶飞机拍摄了第一张航空像片，之后出现了专门的航空摄影飞机，从此揭开了摄影测量的序幕，标志着航空遥感时代的到来。1915年以后，航空摄影侦察技术在第一次世界大战中得到广泛应用。

航空摄影比地面摄影有明显的优越性，成为20世纪以来大面积测制地形图的最有效的方法。1913年，一些国家根据摄影像片制作了地形图并研制出立体自动测图仪。20世纪30年代以后，各国针对航空地形摄影测量研制出了各种类型的测图设备，像片判读技术开始出现并得到迅速发展，关于摄影测量和判读技术方面的书刊也陆续出版。例如，厄德莱的《航空像片：应用与判读》、巴格莱的《航空摄影与航空测量》、美国创刊出版的《摄影测量工程学》杂志等。到20世纪50年代末航空摄影测量发展到了黄金时期。

随着航空摄影测量技术的不断发展及其应用领域的扩展，特别是第二次世界大战爆发后，为了满足军事需要，并不断适应科学技术的发展，彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影、扫描技术相继问世，传感器的研制得到了迅速的发展，使各种航空遥感探测技术得到迅猛发展，从而超越了航空摄影测量只能记录可见光谱段的局限，向紫外和红外扩展，并扩大到微波。航空遥感在国民经济的各个领域，尤其是环境科学、地质学、地理学、农学、林学以及军事侦察方面的应用，取得了很大的成绩，成为对自然资源考察和研究的一个重要手段和基本工具。

(四) 航天遥感阶段 (1957 年至今)

1957 年, 苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星, 从此, 以各种卫星为主要平台的航天遥感拉开了序幕, 遥感技术的发展也从航空遥感进入了航天遥感阶段。

20 世纪 60 年代初, 美国开始了气象系列卫星的发射。到目前为止, 以美国气象卫星为主体的各种在轨气象卫星, 共同组成了覆盖全球的气象卫星观测网, 实现了对地球上大尺度宏观现象的动态监测; 20 世纪 70 年代, NASA 开始实施陆地卫星 (Landsat) 计划, 以获取全球资源环境数据。从 1972 年 7 月 Landsat-1 成功发射至今, 美国先后发射了 8 颗 Landsat 卫星, 记录了大量的地球观测数据, 成为各国遥感发展过程中重要的信息源; 20 世纪 80 年代, 法国联合一些欧共体国家设计、研制和发展了 SPOT 对地观测卫星系统。目前在轨的 3 颗卫星组成的 SPOT 多星对地观测系统, 以多种模式实现数据获取。数据产品种类多样, 广泛应用于制图、陆地表面的资源与环境监测、构建 DTM 和城市规划等研究领域, 成为中尺度地表现象研究的重要信息源; 20 世纪 90 年代, 加拿大发射了 RADARSAT-1 雷达卫星, 标志着航天微波遥感技术取得了重大进展。

21 世纪遥感技术进入了一个崭新的发展阶段。新一代传感器的成功研制, 使遥感能获得分辨率更高、质量更好的图像和数据。成像光谱仪的应用, 使遥感探测的波段越来越精细, 同时也为研究信息形成机理和遥感定量分析奠定了基础; ENVI、ERDAS Imagine、PCI GEOMATICA、ER Mapper、eCognition 等功能强大的遥感图像处理软件, 在大容量、高速度计算机的支持下, 使遥感图像处理和专题信息提取技术不断进步, 所有这些都为遥感技术的广泛应用奠定了坚实基础。

二、现代遥感技术发展展望

遥感技术是一门多学科交叉的综合性应用学科。随着空间科学、信息科学等相关学科的发展, 21 世纪遥感技术的发展将呈现出许多新的特点, 主要表现在以下五个方面。

(一) 遥感数据获取手段趋向多样化

未来遥感数据获取技术将呈现出多平台、多传感器、多角度和高光谱、高空间、高时间分辨率以及空-天-地一体化的明显特征。随着航天技术、通信技术和信息技术的飞速发展, 人们将从各种航天、近空间、航空和地面平台上用紫外、可见光、红外、微波、合成孔径雷达、激光雷达、太赫兹等多种传感器, 多角度获取多种比例尺的目标图像, 大大提高其空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率, 形成空-天-地一体化的遥感数据获取方法, 为人们提供越来越多的图像和非图像数据。

(二) 微波遥感、高光谱遥感是未来空间遥感发展的核心内容

微波遥感技术是当前国际遥感技术发展的重点之一, 其全天候性、穿透性和纹理特征对海况监测, 恶劣气象条件下的灾害监测, 冰雪覆盖区、云雾覆盖区、松散层掩盖区及国土资源勘查等将有重大作用, 是其他遥感方法不具备的。微波遥感的发展进一步体现为多极化技术、多波段技术和多工作模式。

高光谱分辨率传感器是既能对目标成像又可以测量目标物波谱特性的光学传感器, 其特点是光谱分辨率高、波段连续性强。其传感器在 $0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 范围内可细分成几十个, 甚至几百个波段, 光谱分辨率将达到 $5 \sim 10 \text{nm}$ 。高光谱和超高光谱传感器的研制和应用将是未来遥感技术发展的重要方向。

(三) 遥感数据的计算机处理更趋自动化和智能化

从图像数据中自动提取地物目标, 解决它的属性和语义是遥感的另一大任务。在已取得图像匹配成果的基础上, 图像目标的自动识别技术主要集中在图像融合技术, 基于统计和基于结构的目标识别与分类, 处理的对象既包括高分辨率图像, 也更加注重高光谱图像。随着遥感数据量的增大, 数据融合和信息融合技术逐渐成熟。压缩倍率高、速度快的图像数据压缩方法也已商业化。

(四) 全量化遥感方法将走向实用

从遥感科学的本质讲, 通过对地球表层岩石圈、水圈、大气圈和生物圈四大圈层的遥感, 其目的是为了获得有关地物目标的几何与物理特性, 所以需要通过全量化遥感方法进行反演。几何方程是有显式表示的数学方程, 而物理方程一直是隐式。目前的遥感解译与目标识别并没有通过物理方程反演, 而是采用了基于灰度或加上一定知识的统计、结构和纹理的图像分析方法。但随着对成像机理、地物波谱反射特征、大气模型、气溶胶的研究深入和数据积累, 多角度、多传感器、高光谱及雷达卫星遥感技术的成熟, 顾及几何与物理方程式的全量化遥感方法将逐步由理论研究走向实用化, 遥感基础理论研究将迈上新的台阶。只有实现了遥感量化, 才可能真正实现自动化和实时化。

(五) 遥感综合应用将不断深化

随着遥感探测手段和遥感数据类型的日趋多样化, 以及遥感图像处理技术的不断进步和水平遥感图像处理软件的相继推出, 遥感综合应用的深度和广度将不断扩展。表现为: 从单一信息源分析向包含非遥感数据的多元信息的复合分析方向发展; 从定性判读向信息系统应用模型及专家系统支持下的定量分析发展; 从静态研究向多时相的动态研究发展。与此同时, “3S”技术的综合运用, 尤其是地理信息系统技术的发展, 为遥感技术提供了各种辅助信息和分析手段, 有效提高了遥感信息的识别精度, 从而更进一步促进了遥感综合应用的不断深化。

思 考 题

1. 什么是遥感? 试述广义遥感和狭义遥感的区别。
2. 遥感技术过程由哪几个部分组成? 试简要分析各个组成部分的主要技术环节以及它们之间的关系。
3. 主动遥感和被动遥感的区别是什么?
4. 作为重要的对地观测技术, 遥感与其他常规手段相比, 其突出的特点和优势是什么?
5. 简要分析遥感技术的发展现状及发展趋势。

第二章 遥感电磁辐射基础

地表物体往往具有不同的发射或反射电磁波的特性，遥感技术正是利用地物电磁辐射的差异，实现远距离探测的目的。本章在介绍电磁辐射基本理论的基础上，重点分析了地物的电磁波发射特性和反射特性，并就大气层对遥感电磁辐射传输过程的影响做了简要分析。掌握地物的光谱特性及其影响因素，是学习本章的重点。

第一节 电磁波与电磁波谱

一、电磁波的性质

空间的电磁振源（电磁辐射源）在其周围产生交变的电场，交变的电场周围又会激发出交变的磁场。这种变化的电场和磁场的相互激发和交替产生，形成了电磁场。电磁场是物质存在的一种形式，具有质量、能量和动量，其在空间中以波的形式传递着电磁能量，这种波就是电磁波（electromagnetic wave）。

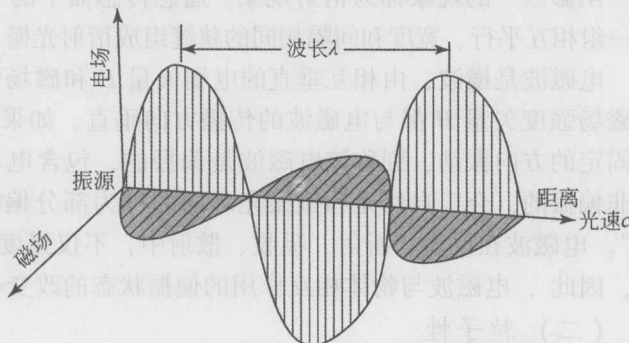


图 2.1 电磁波的传播

电磁波是一种伴随电场和磁场的横波，在平面波内，电场和磁场的振动方向都是在与波的行进方向成直角的平面内，是相互垂直的（图 2.1）。电磁波的波长 λ 、频率 ν 及速度 c 之间有如下关系：

$$\lambda = c/\nu \tag{2.1}$$

电磁波在真空中以光速（ $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）传播，在大气中的传播速度接近于真空中的光速。频率 ν 是指 1s 内传播的波的次数，单位用 Hz 表示。电磁波的波长和频率成反比，波长越长，频率越低；波长越短，频率越高。图 2.2 表示了电磁波的波长与频率的关系。

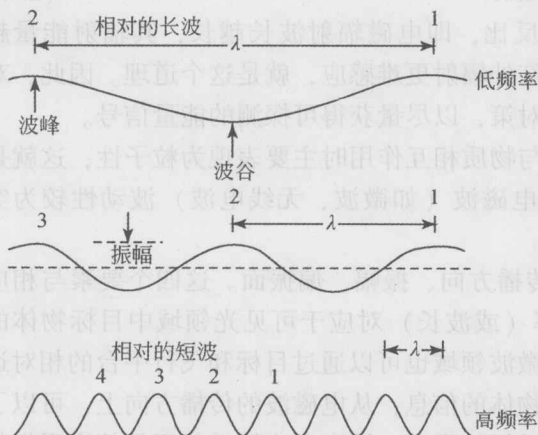


图 2.2 电磁波的波长与频率的关系 (Jensen, 2007)

电磁波具有波动性和粒子性两种性质。连续的波动性和不连续的粒子性是相互排斥、相互对立的，但两者又是相互联系的，在一定条件下可以相互转化。

（一）波动性

电磁波的波动性可用波函数来描述，波函数是一个时、空周期性函数。单一波长电磁波的一般函数表达式为

$$\Psi = A \cdot \sin[(\omega t - kx) + \varphi_0] \tag{2.2}$$

式中, Ψ 为波函数; A 为振幅 (amplitude); ω 为角频率 (angular frequency); $k=2\pi/\lambda$, 为圆波数; t 为时间变量; x 为空间变量; φ_0 为初相位。

由式 (2.2) 可知: 波函数是由振幅和相位两部分组成。对电磁波来讲, 振幅表示电场振动的强度, 振幅的平方与电磁波具有的能量大小成正比。一般成像只记录振幅, 只有全息成像才同时记录振幅和相位的全部信息, “全息” 成像也因此得名。

电磁波的波动性在光的干涉 (interference)、衍射 (diffraction)、偏振 (polarization) 等现象中得到了充分的体现。

同振幅、频率和初位相的两列 (或多列) 波的叠加合成而引起振动强度重新分布的现象称为干涉现象。干涉现象中, 在波的叠加区有的地方振幅增加, 有的地方振幅减小, 振动强度在空间出现强弱相间的固定分布, 形成干涉条纹。许多光学器件和仪器就是根据光的干涉原理设计的, 如为了减少反射、增加透射, 可以制作干涉滤光片、增透膜、透镜组等; 也可以利用电磁波的干涉制作定向发射天线。

波在传播过程中遇到障碍物时, 在障碍物的边缘, 一些波偏离直线传播而进入障碍物后面的“阴影区”的现象称为衍射现象。遥感传感器中的一些分光部件正是运用多孔衍射原理, 用一组相互平行、宽度和间隔相同的狭缝组成衍射光栅, 使光发生色散以达到分光的目的。

电磁波是横波, 由相互垂直的电场矢量 E 和磁场强度矢量 H 来表征, 并且电场矢量 E 和磁场强度矢量 H 都与电磁波的传播方向垂直。如果电场矢量 E 在一个固定的平面内沿一个固定的方向振动, 则称该电磁波是偏振的, 包含电场矢量 E 的平面称为偏振面。自然光是非偏振的, 介于自然光和偏振光之间的称为部分偏振光。偏振在微波遥感中又称为“极化”。电磁波在反射、折射、吸收、散射中, 不仅强度发生变化, 其偏振状态也往往发生变化, 因此, 电磁波与物体相互作用的偏振状态的改变也是一种可以利用的遥感信息。

(二) 粒子性

电磁波的粒子性是指电磁辐射除它的连续波动状态外, 还能以离散形式存在, 电磁辐射的实质是光子微粒流的有规律的运动。光子的能量可表示为

$$E = h\nu \quad (2.3)$$

式中, E 为光子能量; $h=6.626\times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$, 为普朗克常数; ν 为频率。由于 $\lambda=c/\nu$, 因此可得

$$E = hc/\lambda \quad (2.4)$$

式 (2.4) 表明: 辐射能量与它的波长成反比, 即电磁辐射波长越长, 其辐射能量越低。地表物体的微波辐射要比波长相对短的热红外辐射更难感应, 就是这个道理。因此, 对于长波的低能辐射, 遥感系统必须采取相应的对策, 以尽量获得可探测的能量信号。

电磁波在传播中主要表现为波动性, 而当与物质相互作用时主要表现为粒子性, 这就是电磁波的波粒二象性。一般来说, 波长较长的电磁波 (如微波、无线电波) 波动性较为突出, 而波长较短的电磁波更多地表现出粒子性。

电磁波有四个要素, 即频率 (或波长)、传播方向、振幅、偏振面。这四个要素与相应的电磁波所具有的信息相对应 (图 2.3)。频率 (或波长) 对应于可见光领域中目标物体的颜色, 包含了与目标物体有关的丰富信息。在微波领域也可以通过目标和飞行平台的相对运动, 利用频率上表现出的多普勒效应得到地表物体的信息; 从电磁波的传播方向上, 可以了解物体的空间配置和形状的信息; 振幅表示电磁场的强度, 被定义为振动物理量偏离平衡位置的最大位移, 即每个波峰的高度。从振幅中也可以得到物体的空间配置和形状信息; 偏振

面 (plane of polarization) 是包含电场方向的平面。当电磁波反射或散射时, 偏振的状态往往发生变化, 此时电磁波与反射面及散射体的几何形状发生关系。偏振面对于微波雷达非常重要, 这是因为从水平偏振和垂直偏振中得到的图像是不同的。

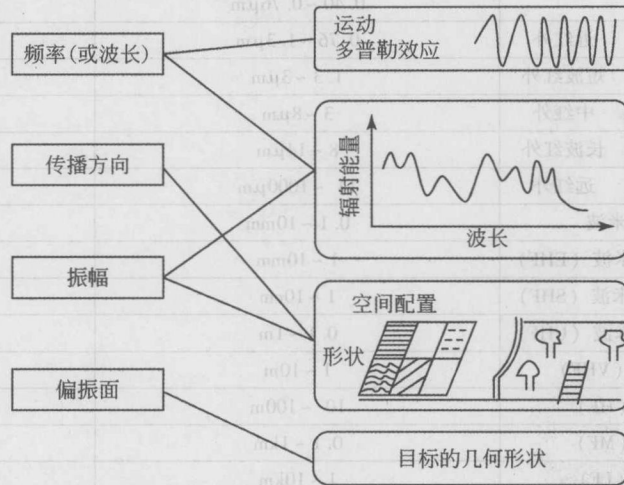


图 2.3 电磁波四要素与遥感信息的对应关系 (日本遥感研究会, 2011)

二、电磁波谱

为了更好地认识和描述电磁波, 将各种电磁波按波长的大小 (或频率的高低) 依次排列并制成图表, 这个图表就是电磁波谱 (electromagnetic spectrum)。电磁波谱的形式多种多样, 图 2.4 就是其中一种。

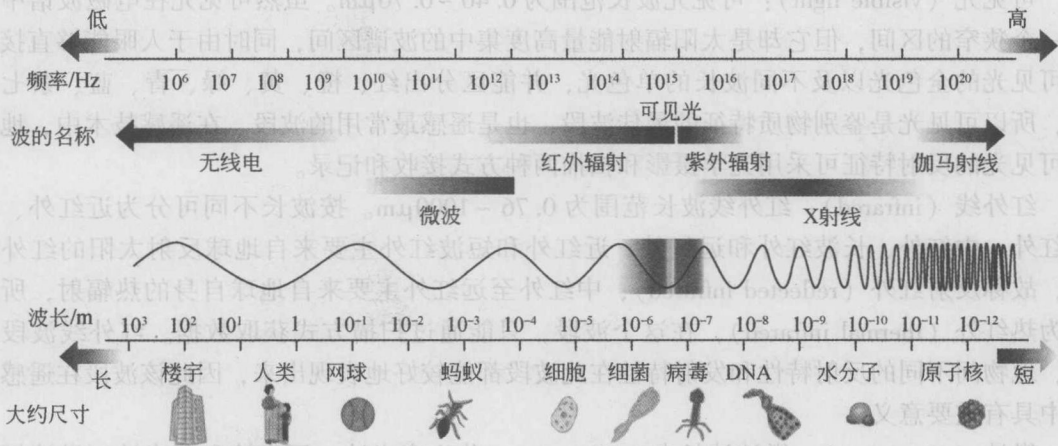


图 2.4 电磁波谱示意图

在电磁波谱中, 各种电磁波的频率 (或波长) 之所以不同, 是由于产生电磁波的波源不同。例如, 无线电波是由电磁振荡发射的; 紫外线、X 射线是由内层电子的跃迁和原子核内状态的变化产生的; 可见光是由原子、分子中的外层电子跃迁时产生的。在电磁波谱中, 各种类型的电磁波由于频率 (或波长) 不同, 其性质必然也有很大的差别 (传播的方向性、穿透性、可见性、颜色等), 从而使其在遥感应用中也有很大的不同。表 2.1 表示了遥感中通常使用的电磁波的各个波段的名称、波长和频率。