

普通高等教育“十二五”规划教材

YAOGAN JISHU GAILUN

# 遥感技术概论

主 编 张婷婷  
副主编 殷 有 邸 利 栾志刚  
主 审 李茂堂 杨国范



黄河水利出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 遥感技术概论

主 编 张婷婷

副主编 殷 有 邱 利 栾志刚

主 审 李茂堂 杨国范

黄河水利出版社

· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书重点对遥感基础知识进行全面讲解,按照学生学习的认知规律逐步深入,同时理论与实践应用紧密结合。本书在注重遥感技术的基础理论讲解的同时,也加强介绍了遥感领域的新技术和新近科研成果及动态,并将新近成果与应用相结合。主要内容有:遥感基本概念和基本理论;遥感成像原理和成像特征,包括传感器、航空遥感、航天遥感和微波遥感;遥感图像分析的原理与方法;图像信息的提取与分类处理;遥感的应用实例等。

本书可作为高等学校农业资源与环境、水土保持与荒漠化、环境科学、土地管理、林学、城市规划、地理信息系统等专业本科生的教材,也可作为上述相关专业硕士、博士研究生的教学参考书,同时可供地球科学、资源环境和信息技术等领域与部门的专业技术人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

遥感技术概论/张婷婷主编. —郑州:黄河水利出版社,  
2011.7  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0056 - 1

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(2011)第085530号

---

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail: honghang0013@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: hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1092 mm 1/16

印张:14.25

插页:2

字数:330千字

印数:1—3 100

版次:2011年7月第1版

印次:2011年7月第1次印刷

---

定价:30.00元

# 前 言

从20世纪60年代起,历经50余年,遥感技术及其应用已经逐渐渗透到社会的各个领域。通过遥感技术观测到的全球变化、厄尔尼诺、沙漠化、海洋冰川漂流等动态变化已经引起全球的广泛重视;遥感技术还在海洋、生态、矿产、土地、森林、草原、野生动植物、水资源等方面起着不可替代的作用;同时它也在环境变化、灾害监控、工程建设等方面发挥了巨大作用。遥感技术作为对地观测的一项综合性技术一直在不断进步。与传统观测手段相比,遥感具有突出优势:其可以进行大尺度的连续性和周期性观测,拥有很高的实效性,极大地提高了社会生产效率,节约了时间和经济成本。

自20世纪80年代以来,随着遥感技术的发展,我国各高等院校都相继开设了遥感课程,培养了一大批遥感方面的科研、教学及应用型人才。遥感技术在理论上更加深入,技术上更加成熟,同时实际应用领域也更加广泛。

本书注重反映遥感领域的新技术和新近科研成果,将新近科研成果与应用相结合,注重遥感技术的基础理论和新近应用的发展介绍。主要内容有:遥感基本概念和基本理论;遥感成像原理和成像特征,包括传感器、航空遥感、航天遥感和微波遥感;遥感图像分析的原理与方法;图像信息的提取与分类处理;遥感的应用实例等。

本书既可作为高等学校农业资源与环境、水土保持与荒漠化、环境科学、土地管理、林业、城市规划、地理信息系统等专业本科生的教材,也可作为上述相关专业硕士、博士研究生的教学参考书,同时可供地球科学、资源环境和信息技术等领域与部门的专业技术人员阅读参考。

本书编写分工如下:第一章、第二章、第六章由于坤和王志华编写,第三章由殷有编写,第四章由张婷婷编写,第五章由栾志刚和隋铭明编写;第七章由吴静编写,第八章由邸利编写。全书由张婷婷统稿。中国水利水电科学研究院遥感中心李茂堂教授和沈阳农业大学杨国范教授作为本书的主审提出了很多宝贵意见,在此一并表示感谢。

由于编写时间和作者水平有限,全书难免存在缺点及不足,敬请读者批评指正。

编 者  
2011年3月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 遥感概念 .....	(1)
第二节 遥感系统 .....	(1)
第三节 遥感的发展概况及展望 .....	(9)
<b>第二章 遥感传感器及其成像原理</b> .....	(13)
第一节 传感器的性能 .....	(14)
第二节 扫描类型的传感器 .....	(16)
第三节 雷达成像仪 .....	(23)
<b>第三章 航空遥感</b> .....	(32)
第一节 航空遥感系统 .....	(32)
第二节 航空像片的几何特征与物理特征 .....	(40)
第三节 航空像片的立体观察与量测 .....	(52)
<b>第四章 航天遥感</b> .....	(57)
第一节 遥感卫星的姿态与轨道参数 .....	(58)
第二节 陆地卫星系列 .....	(61)
第三节 小卫星 .....	(74)
第四节 高光谱遥感 .....	(78)
<b>第五章 遥感图像校正与增强</b> .....	(82)
第一节 数字图像基础知识 .....	(82)
第二节 图像辐射校正 .....	(87)
第三节 几何校正的原理与方法 .....	(93)
第四节 遥感图像增强处理 .....	(106)
<b>第六章 遥感图像目视解译与制图</b> .....	(127)
第一节 遥感图像目视解译原理 .....	(127)
第二节 遥感图像目视解译的方法与步骤 .....	(134)
第三节 遥感制图 .....	(138)
<b>第七章 遥感图像计算机分类</b> .....	(143)
第一节 遥感图像计算机分类基本原理 .....	(143)
第二节 非监督分类和监督分类 .....	(147)
第三节 其他分类方法 .....	(157)
第四节 分类精度的评价与提高 .....	(164)

第五节 遥感图像分类的发展和展望 .....	(170)
第八章 遥感应用 .....	(172)
第一节 植被与森林遥感 .....	(172)
第二节 土壤与土地利用遥感 .....	(187)
第三节 农业遥感 .....	(209)
参考文献 .....	(222)

# 第一章 绪 论

## 第一节 遥感概念

遥感是 Remote Sensing 的中文直译,由美国女地理学者 Evelyn L. Pruitt 于 20 世纪 60 年代首先提出,用来替代“航空像片判读”这一术语。其后在密歇根大学召开的系列研讨会上被采用,从此得以广泛传播。

遥感,即“遥远的感知”。广义上的遥感是指在不接触目标或现象的情况下而获取其相关信息,例如读者当前的阅读就是遥感。由此可见,“遥远”是相对的,并不意味着空间上的遥远距离。本书涉及的内容是狭义上的遥感,即不与探测目标或现象相接触,通过探测器件获取关于地球的影像与信息。

我国的摄影测量与遥感之父——王之卓院士指出,遥感与摄影测量是同一学科存在于两个不同的时期。遥感是摄影测量的发展和扩充。美国摄影测量与遥感协会将摄影测量与遥感相结合定义为:对使用非接触传感器系统获得的影像及数字图像进行记录、量测和解译,从而获得自然物体和环境的可靠信息的一门艺术、科学和技术。

## 第二节 遥感系统

### 一、遥感系统的基本构成

遥感过程是一个信息流的过程,从空间到地面,形成从信息采集、存储、传输、处理与应用的整体体系。遥感系统包括信息采集系统、信息接收与处理系统和信息应用系统三方面的内容。

#### (一) 信息采集系统

电磁能、重力、声波等均是遥感的信息源。本书中的遥感过程主要获取电磁能。任何地物都有发射、吸收和反射电磁波的性质,通过传感器(也称遥感器,如紫外摄影机、可见光摄影仪、红外光学扫描仪和合成孔径雷达等)可获取、记录地表物体的电磁能量。传感器通常搭载在遥感平台上。卫星、飞机、地面测量车等都可以作为遥感平台。

#### (二) 信息接收与处理系统

传感器获取的电磁波信息被记录在数字介质或胶片上,胶片由人或回收舱送回地面,数字介质可通过卫星无线电传输设施发回卫星遥感地面站,地面站对原始数据进行恢复、校正、分类等处理。

#### (三) 信息应用系统

遥感信息的最终落脚点是应用领域,如测绘、地理、气象、海洋、军事等。选择合适的

数据和数据处理方法从而满足各行业对遥感信息提出的各种各样的要求。

综上所述,遥感系统是构造在航空航天技术、光电技术、计算机技术和地学等科技基础上的综合性技术体系。它的三个层面是紧密相依的,实现了完整的遥感信息流过程。

## 二、目标地物的电磁辐射

目标地物的电磁辐射是遥感过程的物理基础,电磁辐射的相关原理是遥感入门的必要知识。在空间某处的电磁振源周围激发交变的电场,在交变电场周围又激发交变的磁场,如此相互激发,从而使电磁振荡在空间传播,形成电磁波,也称为电磁辐射(见图 1-1)。电磁波是横波,由互相垂直的电场和磁场构成,常用波长( $\lambda$ )、频率( $\nu$ )、振幅( $A$ )三个参数来描述电磁波。

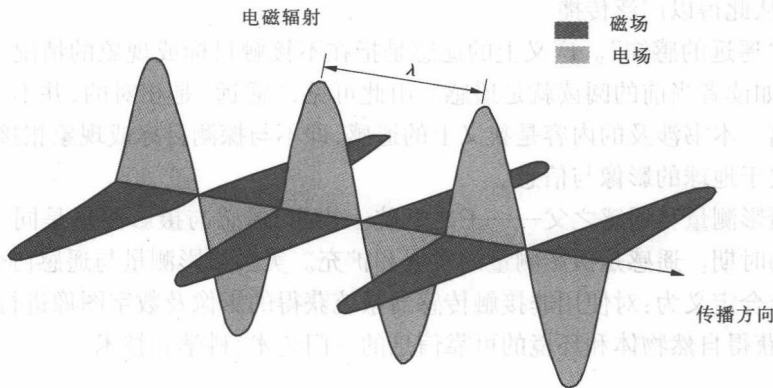


图 1-1 电磁辐射

- (1) 波长:相邻两个波峰之间的距离称为波长,常用单位是微米( $\mu\text{m}$ )。
- (2) 频率:单位时间内通过某固定空间位置点的波数称为频率,单位为赫兹(Hz)。
- (3) 振幅:振动物理量偏离平衡位置的最大位移值,表征振动强度。

在真空中,电磁波以光速传播,与频率和波长的关系为:

$$c = \nu\lambda \quad (1-1)$$

式中  $c$ ——光速,是一个常数,取值为  $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

由式(1-1)可见,频率与波长成反比,如果频率增大,则波长减小;反之,如果波长增大,频率减小,那么就可以用两者之一来描述电磁波的特点。在遥感中,根据波长将电磁波进行分类,形成电磁波谱。电磁波谱是一个连续的波段,以  $10$  的  $n$  次幂的变化表示,故常用对数图来描述电磁波谱。电磁波谱涵盖了从最短的  $\gamma$  射线到最长的无线电波(见图 1-2)。需要注意的是,相邻波段之间并没有明确的界线。当前,遥感的常用工作波段可以从紫外到微波。

传感器记录的是电磁波与地物的相互作用。爱因斯坦发现,当光和物质相互作用时,光表现出粒子性。这些粒子又称为光子或量子。一个光子的能量按波动理论描述为:

$$E = h\nu \quad (1-2)$$

式中  $E$ ——光子的能量, J;

$h$ ——普朗克常数,取值  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ;



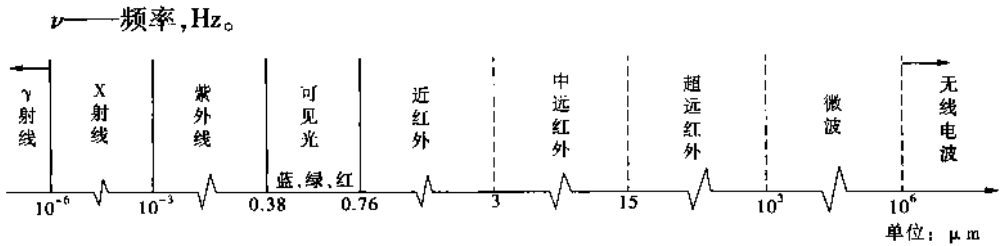


图 1-2 电磁波谱

将式(1-2)中  $\nu$  用  $c/\lambda$  取代, 则变为:

$$E = hc/\lambda \quad (1-3)$$

因为  $h$ 、 $c$  均为常数, 那么与能量  $E$  有关的只有波长  $\lambda$ , 能量  $E$  与波长  $\lambda$  成反比, 即如果波长越短, 则能量越大。能量与波长的这种关系在遥感中具有重要意义。例如探测可见光能量比探测热红外能量要容易得多。

那么, 物体辐射长波或者短波又与什么有关呢? 众所周知, 热力学温度大于 0 K ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 的所有物体都会辐射电磁能。理想的辐射体称为黑体。黑体具有完全吸收和完全辐射的特点。也就是说, 它可以吸收全部的能量而没有反射和透射。作为辐射体时, 其辐射能力仅与温度有关, 这一规律满足斯特藩 - 玻耳兹曼 (Stefan - Boltzmann) 定律:

$$M(T) = \delta T^4 \quad (1-4)$$

式中  $M(T)$ ——辐射出射度,  $\text{W}/\text{m}^2$ , 指单位时间内辐射源在单位面积上辐射出的能量, 又称为辐射通量密度;

$\delta$ ——斯特藩 - 玻耳兹曼常数, 取值为  $5.6697 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;

$T$ ——物体的热力学温度, K。

该定律表明, 辐射的总能量与其温度的四次方成正比。随着温度的增加, 辐射能迅速增加。

物体发射的总能量可以用积分来计算, 图 1-3 中几种物体的辐射曲线, 每条曲线下面所围成的面积就是相应温度下物体的总辐射能量。从图 1-3 中可以看出, 物体温度越高, 物体的总能量越大, 各曲线外形相似, 并且能量峰值的分布随着温度的增高, 向短波方向移动。这一现象服从维恩位移定律:

$$\lambda_{\max} = A/T \quad (1-5)$$

式中  $\lambda_{\max}$ ——辐射强度最大的波长,  $\mu\text{m}$ ;

$A$ ——常数, 取值为  $2898, \mu\text{m} \cdot \text{K}$ ;

$T$ ——热力学温度, K。

加热一个铁块时所发生的颜色变化可以印证这一定律, 当铁块逐渐变热时, 其颜色从深红色到橙色, 然后变为黄色, 最后成白色。这一变化反映出向短波变化的现象。

地球的表层温度大约为 300 K, 由维恩位移定律可知, 地表物体的最大辐射值对应的波长约为  $9.7 \mu\text{m}$ 。这种辐射与地表热相关, 故称为热红外能。热红外能无法被人眼所见, 也无法以摄影方式记录, 但可以用扫描仪、辐射计等设备探测到。

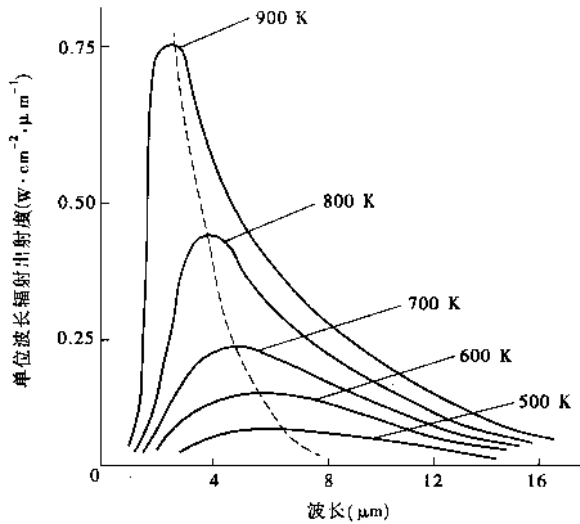


图 1-3 不同温度条件下的黑体辐射

### 三、大气散射与吸收

地球被大气圈层所包围,所以遥感中的辐射均需通过在大气中传播才能到达传感器。大气的折射、散射和吸收等现象影响辐射传输的速度、方向、波长和强度。通常折射现象的影响可以忽略不计,故在此仅讨论散射和吸收。

#### (一) 大气散射

电磁波在非均匀介质或者各相异性介质中传播时,原来的传播方向发生改变的现象称为散射。散射分为瑞利散射、米氏散射和非选择性散射三种。

##### 1. 瑞利散射

当大气中的微粒直径比入射电磁波波长小很多(通常小于 0.1 倍)时,就会发生瑞利散射。散射总量与波长的四次方成反比。当波长大于  $1 \mu\text{m}$  时,瑞利散射可以被忽略,所以可见光对瑞利散射影响较大,而红外线、微波均可不计瑞利散射的影响。瑞利散射主要是大气中的氧分子和氮分子对可见光的散射,所以瑞利散射也称为分子散射。

瑞利散射大都发生在高度 2 ~ 8 km 的大气中,可见光中的蓝光由于波长较短,相比波长较长的红光散射量大很多,因此晴朗的天空呈蓝色。

瑞利散射是遥感影像产生“霾”的重要因素之一,因为其降低了影像的对比度和清晰度。

##### 2. 米氏散射

当大气中的微粒直径与辐射波长同数量级时,发生米氏散射(也称非分子散射)。相对于瑞利散射而言,米氏散射的波长要更长一些。大气中的粉尘、水蒸气是米氏散射发生的主要原因。在高度 0 ~ 4.5 km 的大气中,米氏散射最强。

##### 3. 非选择性散射

当大气中的微粒直径比辐射波长大很多(通常大于 10 倍)时,会发生非选择性散射。

散射强度与波长无关。大气中的云、雾、水滴的散射属于非选择性散射,顾名思义,不仅可见光被散射,其余的光也被散射,所以云、雾、水滴等呈白色。非选择性散射发生的概率相对最低。

## (二) 大气吸收

电磁波在大气中传播时会发生能量的衰减,这是由于受到如水( $H_2O$ )、二氧化碳( $CO_2$ )、氧( $O_2$ )、臭氧( $O_3$ )等大气分子的吸收作用。吸收作用通常针对特定的波段范围,这使某些波段的电磁波无法穿透大气,那么对此类波段的遥感也就失效了。为了获取辐射能量,必须选择那些透过率高的波段,将这样的光谱区间形象地称为大气窗口。只有大气窗口的波段才能用于生成遥感影像。常用的大气窗口有:0.3~1.3  $\mu m$  的紫外、可见光和近红外波段;1.5~1.8  $\mu m$  和 2.0~3.5  $\mu m$  的近中红外波段,3.5~5.5  $\mu m$  的中远红外波段,8~14  $\mu m$  的远红外波段,0.8~2.5 cm 的微波波段。

## 四、地物对辐射的作用

当电磁波到达地表时,会产生三种基本的物理作用,即反射、吸收和透射。由能量守恒原理可得三种作用的相互关系:

$$E_i(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (1-6)$$

式中  $E_i(\lambda)$ ——入射能;

$E_R(\lambda)$ ——反射能;

$E_A(\lambda)$ ——吸收能;

$E_T(\lambda)$ ——透射能。

四种能量均是波长的函数,三种基本作用产生的能量比例会随着地物类型和特征而变化,以此可以从影像上甄别不同特征的地物。能量也会随波长的变化而变化,不同地物在某一波段内无法分辨,而在另外的波段中却很容易识别。

### (一) 反射

当电磁波到达两种不同介质的分界面时,入射能量的部分或全部返回原介质的现象称为反射。反射能量是许多传感器的主要能量来源,因此地物的反射特性是极其重要的。反射常分为三种:镜面反射、漫反射和方向反射。

主导地物反射特性的因素是其表面的粗糙程度。镜面反射服从反射定律,反射角等于入射角。当地物表面相对于入射波长光滑时,就产生镜面反射。当入射能量在所有方向上被均匀反射时称为漫反射。理想的漫反射表面被称为朗伯面。现实地物反射既非完全镜面反射,也非完全漫反射,而是介于两者之间,这种反射称为方向反射。

### (二) 透射

当电磁波入射到两种不同介质的分界面时,部分能量透过分界面的现象称为透射。透射发生时,部分能量被介质吸收转换成热能再辐射出去。地物的透射能力用透射率来描述:

$$\tau(\lambda) = \frac{E_T(\lambda)}{E_i(\lambda)} \quad (1-7)$$

式中  $\tau(\lambda)$ ——透射率,取值介于0~1,用百分数表示。

通常可见光不能透射绝大多数地物,红外光对有半导体特征的地物有一定的透射能力,透射能力最强的要数微波。利用微波遥感技术可以探测矿产资源、冰冻情况和海底地形等。

### 五、地物波谱特征

地表物体都有发射、反射、吸收电磁波的能力,少数地物还可透射电磁波,不同地物的这种能力在电磁波谱的图各个区间有各自不同的表现。也就是说,地物发射、反射、吸收、透射电磁波的特征是随着波长的变化而变化的,通常以波谱曲线的形式表示,简称地物波谱。人们通过传感器获取的地物发射、反射能量的波谱特征差异来研究和判识不同地物。一般而言,不同的地物具有不同的波谱特征(见图 1-4),然而,由于受时间、环境等因素影响,相同的地物也可能有不同的波谱特征。地物波谱特征的研究和测量是遥感中的重要内容。

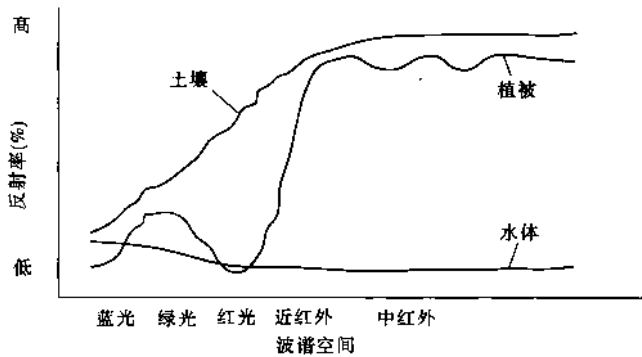


图 1-4 地物波谱特征

#### (一) 地物的反射波谱特征

地物对电磁波的反射能力常用反射率  $\rho(\lambda)$  来定量描述,反射率是波长的函数,表达式为:

$$\rho(\lambda) = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \tag{1-8}$$

式中  $\rho(\lambda)$ ——反射率,取值介于 0~1,以百分数表示。

地物反射波谱特征通常是识别各种地物的主要出发点,也是设计和选择传感器波段范围的参照。

下面介绍几种常见地物的波谱反射特征。

##### 1. 水体

太阳光照射到水面时,小部分被反射(约 5%),大部分入射到水下,在清澈的水体中约 2 m 内被吸收。从图 1-5 可以看出,无论是清澈还是浑浊的水体,反射率都没有超出 10%。对于清澈水体,蓝绿波段是水体的主要反射区间,到了红光波段,吸收增强,而到了近红外波段吸收则更强。因为水体中近红外波段的强吸收,所以在近红外的遥感影像上看到的水体往往呈黑色。当水中含有泥沙等悬浮物时,水体在可见光波段的反射率增大,且峰值出现在黄光区。

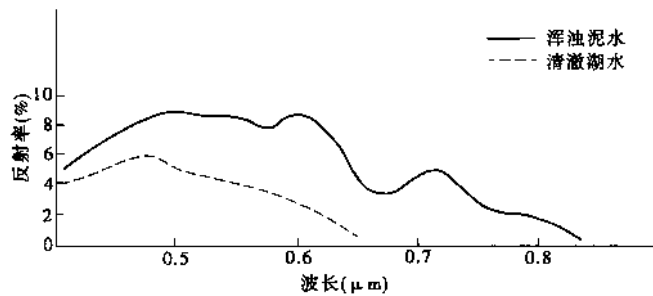


图 1-5 水体反射波谱特征

水体的反射光谱特征通常与日照角度、水表粗糙度、悬浮物性质、水深和水体状况有关。

## 2. 植被

健康植被由于叶绿素对太阳光的强烈吸收,在  $0.55 \mu\text{m}$  处的小“反射峰”两侧,有两个位于  $0.45 \mu\text{m}$  和  $0.67 \mu\text{m}$  处的“吸收谷”(见图 1-6)。正是因为叶绿素对可见光中蓝光和红光的强烈吸收,而对绿光的强烈反射,人们肉眼观察到的健康植物呈绿色。病态和枯萎的植被中叶绿素含量减少,导致对蓝光和红光的吸收变弱,对红光反射增强,植被呈黄色(绿色和红色的合成)。

虽然在可见光波段中,桦树和松树都有反射峰(见图 1-6),但要在遥感影像上区分它们还是不容易的,原因在于两者的反射率较为接近。到了近红外波段,它们的反射率较可见光波段都有较大提升,并且桦树的反射率增幅较松树高出很多,那么,在可见光波段不易区分的两个树种,在近红外波段变得容易分辨了。在近红外波段,  $0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$  的反射峰也是植被特有的波谱特征。

植被的波谱特征常与植物种类、覆盖度、季节、灾害等因素有关。

## 3. 土壤

自然条件下,土壤的波谱反射率曲线较为平滑,一般都是随着波长的增大而增大(见图 1-7)。土壤具有复杂的物理、化学和生物性质,这些性质都对土壤波谱特征有不同程度的影响,具体而言一般与以下因素有关,如土壤类别、有机质含量、水分含量、土壤颜色、土壤质地等。

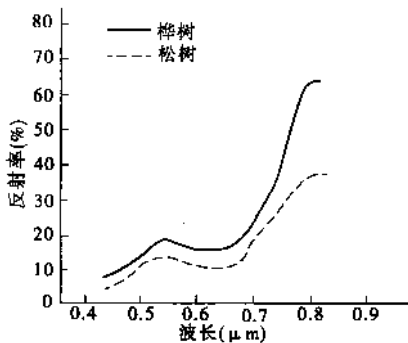


图 1-6 植被反射波谱特征

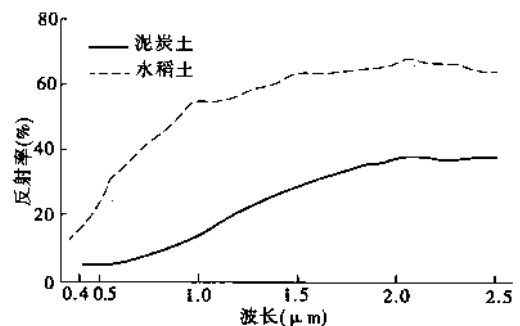


图 1-7 土壤反射波谱特征

## (二) 地物发射波谱特征

常用发射率来描述地物发射电磁波的能力。发射率定义为：

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{M'}{M} \quad (1-9)$$

式中  $\varepsilon_{\lambda}$ ——发射率,取值介于 0 ~ 1;

$M'$ ——观测地物的辐射通量密度;

$M$ ——与观测地物等温的黑体辐射通量密度。

地物发射率通常难以直接测量,往往采用间接方法获得。一种常用方法是基于基尔霍夫定律,该定律认为任何物体的发射率  $\varepsilon_{\lambda}$  与相同温度下的吸收率  $\alpha$  相等。因为不透明的物体满足:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1-10)$$

式中  $\alpha$ ——吸收率;

$\rho$ ——反射率。

故

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho \quad (1-11)$$

可见,通过测量地物的反射率,根据式(1-11)可以推求得到地物发射率。

地物的发射率与地表粗糙度、颜色、温度等因素有关。一般而言,表面粗糙和颜色较深的地物拥有较高的发射率,而表面光滑和颜色较浅的地物拥有较低的发射率。相同的地物在不同温度下有不同的发射率,如花岗岩在 0 °C 和 40 °C 时发射率分别为 0.783 和 0.977。

## 六、被动遥感和主动遥感

传感器通过获取辐射源的能量来完成遥感过程。辐射源可分为自然辐射源和人工辐射源两类。自然辐射源包括太阳辐射源和地球辐射源。而人工辐射源包括微波辐射源和激光辐射源。只接收探测目标对自然辐射源的反射和发射能量的遥感系统,称为被动遥感。被动遥感易受天气、探测时间等因素影响。主动遥感利用人工辐射源照射探测目标,并接收目标的后向散射信号(见图 1-8)。雷达是典型的主动遥感。主动遥感受天气影响小,可以全天时工作。

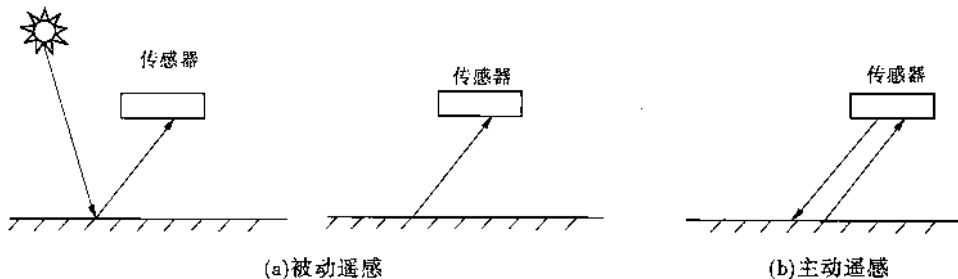


图 1-8 被动遥感和主动遥感示意图

### 第三节 遥感的发展概况及展望

#### 一、遥感的发展概况

##### (一) 遥感在全球范围的发展概况

全球范围下的遥感发展最早可以追溯到 16 世纪早期使用望远镜对天体的观测,这开辟了远距离观测目标的先河。然而,这样的观测并不能将观测到的事物以影像的方式记录下来,直到 1838 年摄影技术的发明才得以将观测的事物记录在胶片上。因而,1849 年由法国人艾米·劳赛达特(Aime Laussedat)发起并制订的摄影测量计划被认为是有记录的地面遥感的阶段性标志。

1858 年至 1956 年,多项空中摄影试验相继展开,这也成功地推动了遥感技术进入空中摄影遥感阶段。18 世纪晚期至 19 世纪早期,G. F. 陶纳乔(Gaspard Felix Tournachon)、J. W. 布莱克(James Wallace Black)、J. 纽布朗纳(Julius Nenbronner)等先后尝试采用热气球、鸽子、风筝等携带摄像机进行了试验性的空间摄影;直至飞机的发明真正地促进了航空摄影遥感的实用化。

在两次世界大战中,航空摄影均成为重要的军事侦察手段,而彩色胶片的出现则极大地丰富了航空摄影的信息量,并为以后的航空遥感发展奠定了一定的基础;第二次世界大战后期,微波雷达及红外技术开始应用于军事侦察,这使得遥感探测的谱段得到了扩展。

这一时期关于航空摄影遥感理论和方法的书籍也开始逐渐出现,相关人才培养和专业学术刊物也相继出版。这些早期的著作包括 A. J. 厄德莱(Eardey)的《航空像片:应用与判读》、J. W. 巴格莱的《航空摄影与航空测量》等。

值得关注的是,1949 年国际地理学会设立了航空像片应用委员会;同一时期国际著名的遥感专业刊物《摄影测量工程与遥感》(早期名为《摄影测量工程》,1975 年改为现在的名称)在美国创刊。这些对于遥感理论、方法的总结和探讨使遥感学科的理论逐渐丰富起来并走上了快速发展的道路从而最终发展为独立的学科,这也成为遥感科学的重要基础。

以 1957 年苏联发射第一颗人造地球卫星为标志,遥感科学进入了航天遥感阶段,这一阶段延续至今,仍在继续发展,并取得了众多极为重要的成果。

##### 1. 遥感探测平台逐渐丰富

近年来航天遥感平台不断发展完善,这其中不仅包括了主要的空间轨道卫星,更包括了新兴的载人空间站、空间实验室及航天飞机。而主要的空间轨道卫星不仅包括地球、太阳同步卫星,更包括了低、高轨道卫星及新型大型卫星和专题目标明确的小卫星群。

##### 2. 传感器探测范围不断延伸,精度不断提高

传统传感器的探测波段范围不断延伸,波段划分更加精细,使得传感器数据趋向“三高”(高空间分辨率、高光谱分辨率和高时间分辨率)。2001 年卫星遥感的空间分辨率从 IKONOS 的 1 m,进一步提高到 Quickbird(快鸟)的 0.62 m,高光谱分辨率已达到 5~6 nm,500~600 个波段;时间分辨率的提高主要依赖于小卫星技术的发展,通过合理分布的

小卫星星座和传感器的大角度倾斜可以以 1~3 d 的周期获得目标地区的遥感影像,这其中 SAR 雷达卫星成为主要的搭载平台,美国宇航局及国防部计划发射的一系列太阳同步和地球同步的长波、短波 SAR,可实现干涉重访间隔为 8 d、3 d 和 1 d。

### 3. 遥感信息处理日趋完善

随着数字成像技术和计算机图像处理技术的发展,遥感信息处理不断完善发展,集海量数据处理、高速度与专业功能完备的专业软硬件平台已经成为主流,PCI、ERDAS、ENVI、ERMapper、IDRISI 等软件为众多用户所熟悉。软件功能模块也不断完善,兼容性得到了极大的提高。同时遥感信息的处理也不断向着全球化、可视化、智能化和网络化的方向发展。

### 4. 遥感应用领域不断扩大

经过多年的发展,遥感技术及其应用已经逐渐渗透到社会的各个领域。通过遥感观测到的全球变化、厄尔尼诺、沙漠化、海洋冰川漂流等动态变化已经引起全球的广泛重视;遥感还在海洋、生态、矿产、土地、森林、草原、野生动植物、水资源等方面起着不可替代的作用;同时也在环境变化、灾害监控、工程建设等方面发挥了巨大作用。

遥感应用正趋于向深度和广度两个方向发展,其具体应用则更具有实用化、商业化和国际化的特点。

## (二) 遥感在我国的发展概况

我国遥感科学起步于 20 世纪 30 年代,当时曾开展过个别城市的航空摄影;而系统地开展航空摄影起步于 20 世纪 50 年代;至 70 年代,航空摄影测绘进入了业务化阶段,并进行了全国范围的地形图更新,及其他不同目标的专题遥感试验和应用研究。期间,我国先后研制成功多种遥感测绘仪器,包括机载地物光谱仪、多光谱扫描仪、红外扫描相机、成像光谱仪、合成孔径侧视雷达、微波辐射计等。

我国真正意义上的航天遥感始于 1970 年的第一颗人造卫星发射,其后相继发射了数十颗不同类型的人造地球卫星,包括太阳同步“风云一号”(FY-1A,1B)、地球同步“风云二号”(FY-2A,2B)等,使得我国拥有了自己的“信息源”。我国在发射极轨气象卫星“风云一号 A”、“风云一号 B”、“风云一号 C”和地球同步气象卫星“风云二号 A”、“风云二号 B”的基础上,于 2002 年 5 月发射了第四颗极轨气象卫星“风云一号 D”,2008 年 5 月 27 日,中国新一代极轨气象卫星“风云三号 A”成功发射。风云卫星均为我国研制发射。

1999 年我国发射的中巴地球资源卫星(CBERS-1),不仅是我国的第一颗高速传输型对地遥感资源卫星,也是我国卫星研制史上星载元器件最多、系统最为复杂的一颗卫星。

中巴地球资源卫星的研制、发射和运行成功,结束了我国遥感应用单纯依靠外国卫星遥感资料的历史,使我国能实时接收覆盖我国全境及部分周边国家领土的卫星遥感数据。2000 年“中国资源二号”卫星发射成功,这是我国继中巴地球资源卫星后又一颗传输型遥感卫星,也为我国研制更高水平的对地遥感卫星奠定了基础。

其后发射的“北斗”系列、“清华 1 号”等进一步丰富了我国卫星的类型。2000 年先后发射了第一颗和第二颗“北斗导航试验卫星”,构成了我国第一代卫星导航定位系统即“北斗导航系统”。北斗导航试验卫星的发射说明我国已开始打造独立自主的导航定位



卫星系统。2002年5月我国发射第一颗海洋卫星“海洋一号”,这是我国第一颗用于海洋资源开发利用的试验型应用卫星,装载的遥感设备包括一台分辨率为1 100 m的十波段水色扫描仪和一台分辨率为250 m的四波段RRU相机,星体分隔成平台和载荷舱两部分,设计寿命两年。2002年发射的“神舟三号”宇宙飞船上装载了中分辨率成像光谱仪,这是继美国之后第二个中分辨率成像光谱仪上天。带有星载合成孔径雷达的遥感卫星1~5号在2006~2008年两年间相继进入太空。

自1986年以来,我国先后建成了多个地面卫星接收站,逐步形成了接收、处理绝大多数遥感资源卫星数据的能力。遥感信息处理上也逐渐形成了由国际化商品软件向软件国产化的跨越,在科研方面对遥感图像处理新方法、遥感理论、遥感应用等取得了一系列的科研成果。这其中较为重要的成果如下。

### 1. 新算法的完善和发展

在分形、人工神经网络、小波等领域已有较多的探索,同时发展了不仅注重光谱信息,而且结合多分辨率空间特征的信息提取。

### 2. 成像机理与定量化反演

当前遥感成像机理研究涉及:地物的反射特性和辐射特性;遥感信息形成的几何机理、特性、模型和方法,以及新型对地定位理论和方法;遥感信息波谱特性和空间特性随时间变化的规律等。

全定量反演技术研究涉及:遥感数据的几何纠正、大气校正、数据预处理、遥感应用模型和方法、观测目标物理量的反演和推算等。

### 3. 高空间分辨率和高光谱卫星影像处理技术

高分辨率、高光谱影像的普及和我国的高分辨率遥感影像卫星发射成功,使得我们不仅能够利用高分辨率的遥感影像以较低的成本、较短的周期获取所需的遥感信息,还可以获取丰富的光谱信息。在这方面主要研究集中于成像几何模型和参数解求,自动变化检测与更新,目标的自动提取与识别,高光谱信息处理的基本理论与方法,光谱的定量反演、光谱匹配与识别,混合光谱和混合像元的模型与理论等。

在遥感应用层面,我国自20世纪70年代后期开始,逐渐取得一系列成就,这其中包含了遥感应用的广泛探索和应用研究,亦包含了社会各领域开展的大型应用项目。

#### 1) 遥感应用研究

较为重要的应用研究包括云南腾冲遥感综合试验、长春净月潭试验研究、山西太原盆地农业遥感研究、东海渔业遥感试验研究、长江下游地物光谱试验研究等,这些研究的开展不仅获得了宝贵的试验数据,更为今后其他研究奠定了基础。

#### 2) 大型应用项目

有关统计表明,我国遥感技术已经应用于数十个领域,并在不断拓展。这其中主要包括国土规划、地区经济规划、土地调查、农业、农作物估产、林业、水利决策、湖泊、海洋、地质、矿产、石油天然气工业、城市发展、气象、全球环境、环境监测、工程选址、地震与地质灾害、旅游景观调查、测绘制图、军事、考古等。

在这些领域完成了一批有代表性的大型应用项目,较为熟悉的有国土资源调查、“三北”防护林遥感综合调查研究、黄土高原水土流失与土壤侵蚀调查、长江三峡工程、太湖