

李建新 著

遥感与 地理信息系统

YAOGAN YU DILI XINXI XITONG



中国环境科学出版社

遥感与地理信息系统

李建新 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感与地理信息系统 / 李建新著.

—北京: 中国环境科学出版社, 2006.3

ISBN 7-80209-284-1

I. 遥… II. 李… III. ①遥感技术 ②地理信息系统
IV. ①TP7 ②P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 021241 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-6711 2735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程类专业图书。以服务为宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传播者。

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司印刷

经 销 各地新华书店

版 次 2006 年 3 月第一版

印 次 2006 年 3 月第一次印刷

印 数 1—3000

开 本 787×960

印 张 6.75

字 数 100 千字

定 价 18.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

目 录

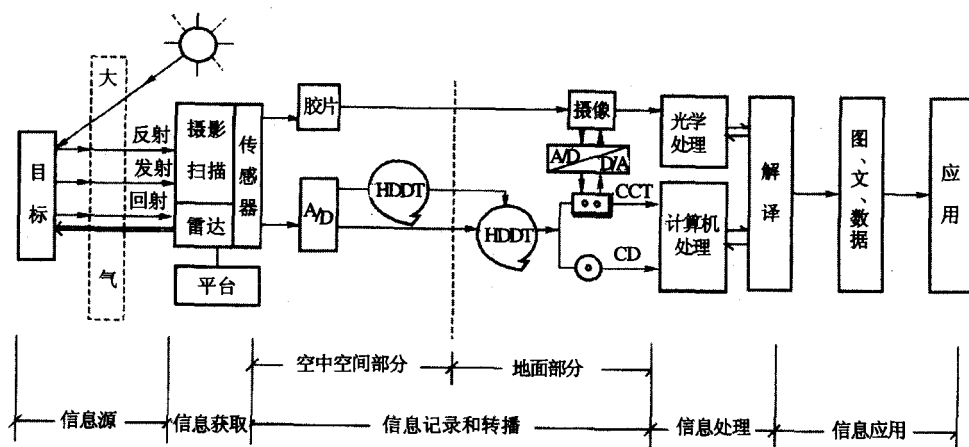
第 1 章 遥感引论	1
第 2 章 遥感信息采集	5
2.1 电磁波谱	5
2.2 大气窗口	9
2.3 遥感平台	12
2.4 遥感传感器	13
2.5 遥感图像分辨率	17
2.6 遥感监测系统	20
第 3 章 遥感图像目视解译	23
3.1 遥感影像目视解译常用的方法	25
3.2 遥感图像目视解译的常规步骤	26
第 4 章 遥感图像计算机分类	31
4.1 遥感图像处理系统	31
4.2 遥感图像计算机分类	33
第 5 章 地理信息系统 (GIS) 设计与开发	45
5.1 GIS 概述	45
5.2 GIS 设计	49
5.3 GIS 开发	51
5.4 GIS 数据库	54
第 6 章 空间数据与空间分析	60
6.1 空间数据	60
6.2 空间分析	66

第7章 空间数据投影处理	71
7.1 地图投影	71
7.2 遥感图像的几何校正	73
7.3 遥感图像光学增强	75
第8章 专题图像产品	77
8.1 GIS 产品的输出设计	77
8.2 遥感影像地图	79
8.3 遥感专题图像	80
8.4 成像时间与专题要素	82
8.5 计算机辅助制图	83
8.6 比例尺与几何纠正等问题	83
第9章 应用实例	86
9.1 绿洲动态变化分析	86
9.2 景观格局与功能分析	89
9.3 城市绿地遥感分析	91
9.4 垃圾焚烧厂 GIS 规划	94
9.5 德国迁都“3S”技术	96
9.6 城市生态共享信息平台	97
参考文献	101

第1章

遥 感 引 论

遥感一词来自英语 Remote Sensing, 即“遥远的感知”, 是 1960 年代发展起来的对地观测综合性技术。人们对遥感有广义和狭义的理解。所谓广义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。在实践中, 重力、磁力、声波、地震波等的探测被划为物探的范畴, 所以只有电磁波探测属于遥感的范畴。不同于遥测(Telemetry)和遥控(Remote Control), 遥感是应用探测仪器, 不与探测目标相接触, 从远处把区域目标的电磁波特性记录下来, 通过分析, 揭示出物体的特征、性质及其变化的综合性探测技术。遥感研究包括被测目标的信息特征、信息的获取、信息的传输与记录、信息的处理和信息的应用五大部分, 如图 1 所示。



A/D—模拟与数据信号转换; D/A—数据与模拟信号转换;
HDDT—高度、距离数据传输; CCT—计算机兼容磁带; CD—耦合器件

图 1 遥感技术流程

目标物发射、反射和吸收的电磁波是遥感的信息源。目标物的电磁波特性是遥感探测的依据。接收、记录目标物电磁波特征的仪器被称为传感器或遥感器, 如扫描仪、

雷达、摄影机、摄像机、辐射计等。装载传感器的平台称遥感平台，通常分为地面平台（如地面观测台等）、空中平台（如飞机等）、空间平台（如人造卫星等）。传感器接收到目标物的电磁波信息，记录在数字磁介质或胶片上。卫星地面站接收到遥感卫星发送来的数字信息，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。遥感获取信息的目的是应用，应用也需要大量综合的信息处理和分析，涉及航空、航天、计算机和信息科学以及诸多的应用领域。

遥感的类型多种多样，根据分类方法而定。按遥感平台分类则有地面遥感、航空遥感、航天遥感和航宇遥感；按探测器的探测波段分类则有紫外遥感（波段范围 $0.05 \sim 0.38 \mu\text{m}$ ）、可见光遥感（波段范围 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ ）、红外遥感（波段范围 $0.76 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ ）、微波遥感（波段范围 $1\text{ mm} \sim 10\text{ m}$ ）；多波段遥感则指探测波段在可见光波段和红外波段范围内，再分成若干窄波段来探测目标。探测器主动发射一定电磁波能量并接收目标物的后向散射信号，称之为主动遥感；被动遥感的传感器不向目标发射电磁波，仅被动接收目标物的自身发射和对自然辐射源的反射能量。成像遥感中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；非成像遥感中传感器接收的目标电磁辐射信号不能形成图像。按具体应用领域可分为农业遥感、林业遥感、渔业遥感、地质遥感、气象遥感、城市遥感等。

2

遥感平台可以同步探测到的地面范围很大，容易发现地球上一些重要目标物空间分布的宏观规律，如一幅美国的陆地卫星（Landsat）图像，覆盖面积为 $185\text{ km} \times 185\text{ km}$ （ $34\,225\text{ km}^2$ ），在 $5 \sim 6\text{ min}$ 内即可扫描完成，一幅地球同步气象卫星图像可覆盖 $1/3$ 的地球表面。空间遥感可以在短时间内对同一地区进行重复探测，发现地表许多事物的动态变化。地球资源卫星 Landsat、SPOT 和 CBERS 分别以 16 天、26 天或 $4 \sim 5$ 天对同一地区重复观测一次，以获得一个重访周期内的某些事物的动态变化的数据。这对于研究地物不同周期的动态变化，天气预报，火灾、水灾等的灾情监测，以及军事行动等都非常重要。遥感的费用投入与所获取的效益，同传统的方法相比，可以大大地节省人力、物力、财力和时间，具有很高的经济效益和社会效益。有人估计，美国陆地卫星的经济投入与取得的效益比为 $1:80$ ，甚至更大。

美国海军研究局的艾弗林·普鲁伊特（Evelyn L. Pruitt, 1960）最早使用专业词“遥感”。“环境遥感国际讨论会”于 1961 年在美国密歇根大学（University of Michigan）召开之后，遥感在国际上获得很大的发展。回顾历史，遥感技术的积累和酝酿已经有几百年的发展过程。1608 年制造出世界第一架望远镜；1609 年制造出放大倍数 3 倍的科学望远镜；1839 年第一次成功地把拍摄的事物形象地记录在胶片上；1858 年用系留气球拍摄了法国巴黎的“鸟瞰”像片；1860 年乘气球升空拍摄了美国波士顿市的照片；1903 年莱特兄弟发明了飞机；1909 年莱特在意大利的森托塞尔上空用飞机进行了空中摄影；1913 年利比亚班加西油田测量应用航空摄影。在第一次世界大战期间，航空摄

影成了军事侦察的重要手段。第二次世界大战前期,德、英等国就充分认识到空中侦察和航空摄影的重要军事价值,并在侦察敌方军事态势、部署军事行动等方面收到了实际效果。1957年10月4日,前苏联第一颗人造地球卫星发射成功,标志着人类从空间观测地球和探索宇宙奥秘进入了新的纪元。1959年9月美国发射的“先驱者2号”探测器拍摄了地球云图。到20世纪末,已有5000余颗人造卫星进入天空。

中国的航空摄影开始于1950年代,主要应用于地形图的制图与更新,在铁路、地质、林业等领域的调查、勘测、制图等方面起到重要的作用。1970年代以来,遥感事业有了长足进步。太阳同步卫星“风云1号”和地球同步轨道卫星“风云2号”的发射,返回式遥感卫星的发射与回收,使我国开展宇宙探测、通讯、科学实验、气象观测等研究有了自己的信息源;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,使我国拥有了自己的资源卫星。经过近30多年的发展,遥感技术已广泛渗透到国民经济的各个领域。自1970年代中后期起,我国在遥感应用方面取得了巨大的成就。我国政府极为重视遥感技术的发展和在国家建设中的应用,国家将遥感列入重点科技攻关项目和“863”攻关项目,发展遥感事业已成为政府行为的一部分,通过“六五”到“十五”的攻关,完成了一批具有世界先进水平的应用成果,并具有我国自己的特色。

我国是世界上成功发射和回收卫星和飞船的三个国家之一。根据《中国航天白皮书》,2010年前,我国计划发射的应用卫星与科学实验卫星超过15颗,约占发射总数的一半。主要包括五个方面:一是对地观测遥感卫星系列,包括资源卫星、气象卫星、海洋卫星和灾害卫星;二是通讯中继卫星,用于传输图像、电视和转发其他卫星数据;三是双星定位系统及共建全球定位系统“铱星”星座;四是太空环境科学实验卫星;五是载人飞船“神舟号”和其他回收型卫星,提供高分辨率的影像和数据。此外,还有许多特定用途的微小卫星,如“清华1号”、“中华1~3号”、“奥运1号”等。21世纪的卫星遥感应用系统将形成天地一体化的信息流。遥感技术的巨大成就,首先取决于对电磁波谱全波段的不断发掘和利用。遥感仪器的功能不断从可见光波段向两端延伸,特别是向远红外和微波波段的拓展,远远超过了人类视线的极限,看到许多原来看不见的“东西”,发现了许多新的时间和空间变化的规律。

20世纪的遥感应用比较侧重于自然、无机环境、资源和静态观察与识别。而21世纪的卫星遥感应用必将更多地关注人文,关注生态和环境,关注动态监测与评估。在调查方法上,也将从单项的侦察、识别,逐步走向量化的综合集成。由单纯的遥感仪器观测数据逐步走向多种数据源的融合。不管哪种方法、哪门学科的贡献多少,只求能够高速、高效地解决问题。遥感应用系统需要与国际接轨,兼容并充分利用国际卫星信息资源,支持“数字地球”的共享共建,必须树立全球化、网络化的开放观念,立足本国,放眼世界。卫星只是信息社会的一个成员,它不是孤立的,也不是万能的。科学技术的进步本来就是相辅相成的。卫星遥感应用不再拘泥于技术层面上强调分工,

而应该树立多学科交叉的新理念,即由多学科走向学科交叉,由所谓“3G”、“3S”加网络,走向量化的综合与智能化集成。改变以学科和专业划分职能的观念,转变成以针对现实问题寻求解决方案的观念。航空与航天,红外与微波,主动与被动遥感方式的比较分析,不仅是为了优选,更重要的是要优势互补、取长补短。

在遥感研究机构方面,国务院许多部委都设立了遥感单位,科技部设立了国家遥感中心,对遥感学科的发展和重大项目进行规划管理;中国科学院所属的许多研究院所,其主攻方向都与遥感有关;军事部门也有相应的军事遥感研究机构;中国科协所属的全国性的学会有十多个设有遥感分会或专业委员会,这些专业委员会还定期联合召开学术讨论交流会,对于促进我国遥感水平的提高和加强国际学术交流起到积极的作用。许多省、市、自治区设立了区域性的遥感研究中心,各地方遥感研究组织还联合成立了全国地方遥感应用协会,进行学术研讨与经验交流,各行业和地方组建的遥感应用机构达数百个,遍布全国各地,遥感科技人员数以万计,组成了庞大的遥感科技队伍。我国的遥感教育事业成绩斐然。目前已有 140 余所高校开设了遥感课程,遥感人才培养已经形成了本科、硕士、博士的系列,每年约有数十名遥感专业博士、数百名硕士充实到遥感科技队伍中。在遥感专业出版物方面,也产生了大量优秀成果,《遥感学报》、《遥感信息》、《国土资源遥感》、《遥感技术与应用》等已成为国内外知名的遥感专业刊物。中国遥感事业,经历了 1970 年代至 1980 年代中期的起步阶段,1980 年代后期至 1990 年代前期的试验应用阶段,至 1990 年代后期进入实用化和产业化阶段。在遥感理论、遥感平台、传感器研制、系统集成、应用研究、学术交流、人才培养等方面都取得了瞩目的成就,为遥感学科的发展和国家经济建设、国防建设做出了巨大贡献。

第2章

遥感信息采集

2.1 电磁波谱

遥感的信息基础是电磁波。电磁波谱中 $0.38\sim 0.76\mu\text{m}$ 波段能够引起人的视觉,如 $0.7\mu\text{m}$ 为红色, $0.58\mu\text{m}$ 为黄色, $0.51\mu\text{m}$ 为绿色, $0.47\mu\text{m}$ 为蓝色等。这一部分加上紫外和红外部分来自于原子与分子的发光辐射,称为光学辐射。但一般情况下,紫外线使眼睛产生疼痛感,红外线产生灼热感,都不会使人的视觉产生如颜色、形状等的视觉印象。严格地说,只有能够被眼睛感觉到的并产生视觉现象的辐射才是可见辐射或可见光,简称光。

在可见光谱段中,颜色从紫色到红色是过渡变化的。一般来说,只要波长改变了 $0.001\sim 0.002\mu\text{m}$,人眼就能观察出差别。对不同波长,人眼的区别能力也不同。就整个光谱而言,正常人眼能分辨出 100 多种不同颜色。可见,人眼对颜色的分辨率比对黑白灰度的分辨率强得多,正因为如此,彩色图像能表现出更为丰富的信息量。

观察物体时,人眼对光源的感觉不同,白光光源亮度很高时,看到的是白色,亮度很低看到的是发暗发灰,无亮度则看到黑色。对不发光的物体而言,人眼所看到的物体颜色是物体反射的光线所致。当物体对可见光无选择地反射,反射率在 $80\%\sim 90\%$ 以上时,物体为白色显得明亮;当反射率在 4% 以下时,物体为黑色显得很暗;中间反射率则为灰色。如果物体对可见光有选择地反射,反射大于 $0.6\mu\text{m}$ 的波长看起来是红色,反射 $0.55\sim 0.6\mu\text{m}$ 波长且反射率偏低便成了棕红色。所有颜色都是对某段波长有选择地反射而对其他波长吸收的结果。颜色的性质由明度、色调、饱和度来描述。黑白色只用明度描述,不用色调、饱和度描述。

明度是人眼对光源或物体明亮程度的感觉。与电磁波辐射亮度的概念不同,明度受视觉感受性和经验影响。一般来说,物体反射率越高,明度就越高。所以白色一定比灰色明度高;黄色比红色明度高,因为黄色反射率高。对光源而言,亮度越大,明度越高。

色调是色彩彼此相互区分的特性。可见光谱段的不同波长刺激人眼产生了红橙黄

绿青蓝紫等彩色的感觉。多数情况，刺激人眼的光波不是单一波长，而常常是一些波长的组合，对于光源，则是不同波长的亮度组合，对于反射物体是不同反射率的不同波长组合，共同刺激人眼产生组合后的颜色感觉。

饱和度是彩色纯洁的程度，也就是光谱中波长段是否窄，频率是否单一的表示。对于光源，发出的若是单色光就是最饱和的彩色，如激光，各种光谱色都是饱和色。对于物体颜色，如果物体对光谱反射有很高的选择性，只反射很窄的波段则饱和度高。如果光源或物体反射光在某种波长中混有许多其他波长的光或混有白光则饱和度变低。白光成分过大时，彩色消失成为白光。

互补色的定义是，若两种颜色混合产生白色或灰色，这两种颜色就称为互补色。如黄和蓝，红和青，绿和品红均为互补色。假如做一个圆盘，左边是黄色，右边是蓝色，让圆盘快速旋转，使两种颜色混合，人眼就只能看出白色或灰色。若三种颜色，其中的任一种都不能由其余两种颜色混合相加产生，这三种颜色按一定比例混合，可以形成各种色调的颜色，则称之为三原色。实验证明，红、绿、蓝三种颜色是最优的三原色，可以最方便地产生其他颜色。当然，混合后的颜色只是一种视觉效果上的颜色，已完全失去了颜色的光谱意义。

在电磁波遥感技术中，传感器从空中或空间接收地物反射的电磁波，主要是来自太阳辐射的一种转换形式，因此，地物的电磁波辐射特性与太阳的照射有密切关系。太阳能量约 99% 集中在 $0.2\sim 4\ \mu\text{m}$ ，可见光部分约集中了 38% 的太阳能量。

根据麦克斯韦尔电磁场理论，假定在空间某区域内有变化电场，那么在邻近区域内将引起变化磁场；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。这种变化的电场和磁场交替产生，由近及远，以有限的速度在空间内传播的过程称为电磁波。电磁波既表现出波动性，又表现出粒子性，称波粒二象性。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，并在一定的条件下可以相互转化。可以说，波是粒子流的统计平均，粒子是波的量子化。光的波动性形成了光的干涉、衍射、偏振等现象。

粒子性的基本特点是能量分布的量子化。一个原子不能连续地吸收或放射辐射能，只能不连续地一份一份地吸收或发射能量，即光能有一最小单位，叫做光量子或光子，这种情况叫做能量的量子化。光子也是一种基本粒子。电磁波的波动性与粒子性是对立统一的。电磁波包括电子光谱、分子光谱和晶体光谱。无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线等都是电磁波，只是波源不同，因而产生的波长或频率不同而已。可以把各种电磁波按波长（或频率）的大小，依次排列成电磁波谱。

太阳是被动遥感最主要的辐射源。太阳光（太阳辐射）通过地球大气照射到地面，经过地面物体反射又返回，再经过大气到达传感器。这时传感器探测到的辐射强度与太阳辐射到达地球大气上空时的辐射强度相比，已有了很大的变化，包括入射与反射

后两次经过大气的影响和地物反射的影响。电磁辐射与地物光谱特征是遥感物理的电磁学基础部分。掌握电磁波谱和黑体的概念、太阳辐射和地球辐射特征、大气对电磁辐射的影响、地物反射波谱特征与测量，由此可以理解地物反射对遥感数据产生的影响和用遥感数据反演地物特征的原理，理解大气吸收、散射、透射特征，大气窗口形成原因及遥感数据校正的必要性。电磁波谱以频率从高到低排列，可以划分为 γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波（表 1）。

表 1 电磁波谱

波 段		波 长	
长波		大于 3 000 m	
中波和短波		10~3 000 m	
超短波		1~10 m	
微波		1 mm~1 m	
红 外 波 段	超远红外	0.76~1 000 μm	15~1 000 μm
	远红外 ^①		6~15 μm
	中红外		3~6 μm
	近红外		0.76~3 μm
可 见 光	红	0.38~0.76 μm	0.62~0.7 μm
	橙		0.59~0.62 μm
	黄		0.56~0.59 μm
	绿		0.50~0.56 μm
	青		0.47~0.50 μm
	蓝		0.43~0.47 μm
	紫		0.38~0.43 μm
紫外线		$10^{-3}\sim 3.8\times 10^{-1}$ μm	
X 射线		$10^{-6}\sim 10^{-3}$ μm	
γ 射线		小于 10^{-6} μm	

①也有人将 0.76~15 μm 看做近红外，将 15~1 000 μm 看做远红外。

太阳的光谱通常指太阳光球产生的光谱，太阳光球发射的能量大部分集中于可见光波段（表 2）。太阳辐射的光谱是连续光谱，且辐射特性与绝对黑体辐射特性基本一致。太阳辐射从近紫外到中红外这一波段区间能量最集中而且相对来说最稳定，太阳强度变化最小。基尔霍夫定律表示，好的吸收体也是好的辐射体。它说明了凡是吸收热辐射能力强的物体，它们的热发射能力也强，凡是吸收热辐射能力弱的物体，它们的热发射能力也就弱。我们把能够吸收全部入射辐射能量的物体叫做绝对黑体。按照基尔霍夫定律，绝对黑体必然也是一个最有效的辐射体。

表 2 太阳辐射各波段的百分比

波长/ μm	波段名称	能量比例/%
小于 10^{-3}	X, γ 射线	0.02
$10^{-3} \sim 0.2$	远紫外	
0.20~0.31	中紫外	1.95
0.31~0.38	近紫外	5.32
0.38~0.76	可见光	43.50
0.76~1.5	近红外	36.80
1.5~5.6	中红外	12.00
5.6~1 000	远红外	0.41
大于 1 000	微波	

物体对电磁波有三种反射形式：镜面反射、漫反射和方向反射。我们常说的反射率是在理想的漫反射体的情况下整个电磁波波长的反射率。实际上由于固有的结构特性，物体对于不同波长的电磁波有选择性地反射。例如，绿色植物的叶子由上表皮、叶绿素颗粒组成的栅栏组织和多孔薄壁细胞组织构成。入射到叶子上的太阳辐射透过上表皮，蓝、红光辐射能被叶绿素吸收进行光合作用；绿光也吸收了一大部分，但仍反射一部分，所以叶子呈现绿色；而近红外线可以穿透叶绿素，被多孔薄壁细胞组织所反射。因此，在近红外波段上形成强反射。这种物体反射率随波长变化而改变的特性称为地物反射光谱特性。将地物的光谱反射率与波长的关系在直角坐标系中描绘出的曲线称为地物反射光谱特性曲线。各种物体，由于其结构和成分不同，反射光谱特性是不同的。也就是说，各种物体的反射光谱特性曲线的形状是不一样的。同类地物的反射光谱特性曲线形状相似，在某些波长处光谱反射率很接近，甚至一样，但在另一些波长处差别仍很大。

植物的反射波谱曲线（光谱特征）规律性明显而独特（图 2），主要分三段：

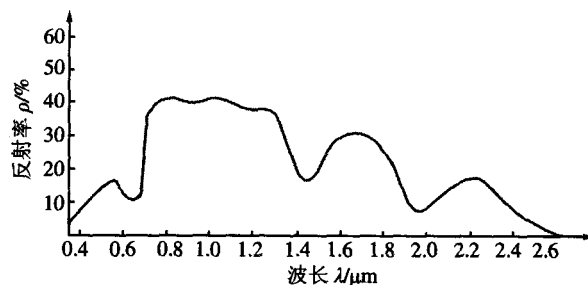


图 2 绿色植物反射波谱曲线

可见光波段 ($0.4\sim 0.76\ \mu\text{m}$) 有一个小的反射峰, 位置在 $0.55\ \mu\text{m}$ (绿) 处, 两侧 $0.45\ \mu\text{m}$ (蓝) 和 $0.67\ \mu\text{m}$ (红) 则有两个吸收带。这一特征是由于叶绿素的影响, 叶绿素对蓝光和红光吸收作用强, 而对绿光反射作用强。在近红外波段 ($0.7\sim 0.8\ \mu\text{m}$) 有一反射的“陡坡”, 至 $1.1\ \mu\text{m}$ 附近有一峰值, 形成植被的独有特征。这是由于植物叶细胞结构的影响, 除了吸收和透射的部分, 形成的高反射率。在中红外波段 ($1.3\sim 2.5\ \mu\text{m}$) 受到绿色植物含水量的影响, 吸收率大增, 反射率大大下降, 特别是以 $1.45\ \mu\text{m}$ 、 $1.95\ \mu\text{m}$ 和 $2.7\ \mu\text{m}$ 为中心是水的吸收带, 形成低谷。植物波谱在上述基本特征下仍有细部差别, 这种差别与植物种类、季节、病虫害影响、含水量多少等有关。地物本身的变异, 如植物的病害将使反射率发生较大变化。例如, 健康松树和不同病害程度松树间的反射特性曲线就有明显差异。

2.2 大气窗口

大气成分主要有氮、氧、氢、二氧化碳、甲烷、氧化氮 (这些气体在 $80\ \text{km}$ 高度以下相对比例保持不变, 称不变成分), 以及臭氧、水蒸气、液态和固态水 (雨、雾、雪、冰等)、盐粒、尘烟 (这些气体的含量随高度、温度、位置而变, 称为可变成分) 等。地球大气从垂直方向可划分成四层: 对流层 (从地表到平均高度 $12\ \text{km}$ 处)、平流层 (在 $12\sim 80\ \text{km}$ 的垂直区间中, 平流层又可分为同温层、暖层和冷层)、电离层 ($80\sim 1\ 000\ \text{km}$) 和外大气层 ($1\ 000\ \text{km}$ 以上)。电磁波穿过大气时, 会被大气衰减, 大气分子对电磁波的某些波段有吸收作用。吸收作用使辐射能量转变为分子的内能, 从而引起这些波段太阳辐射强度的衰减, 甚至某些波段的电磁波完全不能通过大气。因此在太阳辐射到达地面时形成了电磁波的某些缺失带 (图 3)。

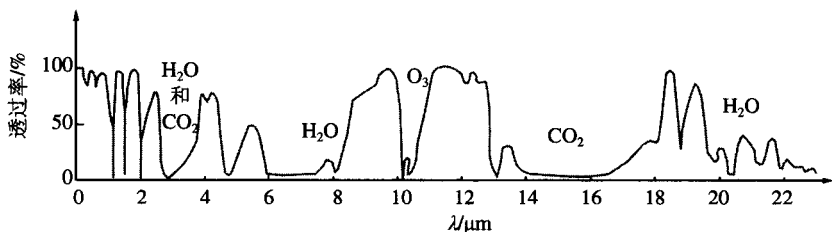


图 3 大气窗口

光线折射改变了太阳辐射的方向, 并不改变太阳辐射的强度。因此, 就辐射强度而言, 太阳辐射经过大气传输后, 主要是反射、吸收和散射的共同影响衰减了辐射强度, 剩余部分即为透过的部分。对遥感传感器而言, 只能选择透过率高的波段, 才对观测有意义。通常把电磁波通过大气层时较少被反射、吸收或散射的, 透过率较高的

波段称为大气窗口。目前在遥感中使用的一些大气窗口为:

(1) $0.30\sim 1.15\ \mu\text{m}$: 包括部分紫外光, 全部可见光和部分近红外光。其中 $0.30\sim 0.40\ \mu\text{m}$, 透过率约为 70%; $0.40\sim 0.70\ \mu\text{m}$, 透过率大于 95%; $0.70\sim 1.1\ \mu\text{m}$, 透过率约为 80%。这一波段是摄影成像的最佳波段, 也是许多卫星传感器扫描成像的常用波段, 如 Landsat 卫星的 TM1~4 波段, SPOT 卫星的 HRV 波段。

(2) $1.5\sim 1.8\ \mu\text{m}$ 和 $2.0\sim 3.5\ \mu\text{m}$: 近红外、中红外波段。其中 $1.40\sim 1.90\ \mu\text{m}$, 透过率在 60%~95%, 其中 $1.55\sim 1.75\ \mu\text{m}$ 透过率较高; $2.00\sim 2.50\ \mu\text{m}$, 透过率为 80%。这一波段是白天日照条件好时扫描成像的常用波段, 如 TM5 与 TM7 波段等, 用以探测植物含水量以及云、雪, 或用于地质制图等。

(3) $3.5\sim 5.0\ \mu\text{m}$: 中红外波段。透过率约为 60%~70%。即该波段除了反射外, 地面物体也可以自身发射热辐射能量。如 NOAA 卫星的 AVHRR 传感器用 $3.55\sim 3.93\ \mu\text{m}$ 探测海面温度, 获得昼夜云图。

(4) $8\sim 14\ \mu\text{m}$: 热红外窗口。透过率为 80%。主要通透来自地物热辐射的能量, 适用于夜间成像。

(5) $0.8\sim 1.8\ \text{mm}$ 和 $2\sim 5\ \text{mm}$: 微波窗口。 $0.8\sim 1.8\ \text{mm}$ 透过率约为 35%~40%; $2\sim 5\ \text{mm}$, 透过率在 50%~70%。由于微波穿云透雾能力强, 这一区间可以全天候观测, 而且是主动遥感方式, 如侧视雷达。Radarsat 的卫星雷达影像也在这一区间。

(6) $8\sim 1\ 000\ \text{mm}$: 微波窗口。透过率为 100%。这一区间可以全天候观测, 而且是主动遥感方式, 如侧视雷达。Radarsat 的卫星雷达影像也在这一区间, 常用的波段为 0.8 cm, 3 cm, 5 cm, 10 cm, 甚至可将该窗口扩展至 $0.05\sim 300\ \text{cm}$ 。

另外还有一些窗口透过率较小, 尚未使用, 如 $0.15\sim 0.20\ \mu\text{m}$ 的远紫外窗口, 透过率为 25%以下; $15\sim 23\ \mu\text{m}$ 的远红外窗口, 透过率小于 10%; $25\sim 90\ \mu\text{m}$ 的远红外窗口, 透过率为 40%左右。

太阳辐射通过大气时, 就可见光和近红外而言, 被云层或其他粒子反射回去的比例最大, 约占 30%, 散射约占 22%, 吸收约占 17%, 透过大气到达地面的能量, 仅占入射总能量的 31%。实际上, 除气象卫星探测云层外, 大多数被动遥感传感器都选择无云天气观测, 这时大气对太阳辐射的衰减就只考虑散射和吸收了。

遥感探测中被动遥感的辐射源主要来自与人类最密切相关的两个星球, 即太阳和地球, 地球是地学遥感探测的对象。太阳辐射近似于温度为 6 000 K 的黑体辐射, 地球辐射则接近于温度为 300 K 的黑体辐射。最大辐射的对应波长分别为 $A_{\max \text{ 日}}=0.48\ \mu\text{m}$ 和 $A_{\max \text{ 地}}=9.66\ \mu\text{m}$, 两者相差较远。太阳辐射主要集中在 $0.3\sim 2.5\ \mu\text{m}$, 在紫外、可见光到近红外区段。当太阳辐射达到地表后, 就短波而言, 地表反射的太阳辐射成为地表的主要辐射来源, 而来自地球自身的辐射, 几乎可以忽略不计。地球自身的辐射主要集中在长波, 即 $6\ \mu\text{m}$ 以上的热红外区段。该区段太阳辐射的影响几乎可以忽略不计, 因此只考虑地表物体自身的热辐射。在 $2.5\sim 6\ \mu\text{m}$, 即中红外波段, 地球对太阳辐射的反

射和地表物体自身的热辐射均不能忽略。

温度一定时, 物体的比辐射率随波长变化。比辐射率(发射率)波谱特性曲线的形态特征可以反映地面物体本身的特性, 包括物体本身的组成、温度、表面粗糙度等物理特性。特别是曲线形态特殊时可以用发射率曲线来识别地面物体, 尤其在夜间, 太阳辐射消失后, 地面发出的能量以发射光谱为主, 探测其红外辐射及微波辐射并与同样温度条件下的比辐射率(发射率)曲线比较, 是识别地物的重要方法之一。

在可见光与近红外波段($0.3\sim 2.5\ \mu\text{m}$), 地表物体自身的热辐射几乎等于零。地物发出的波谱主要以反射太阳辐射为主。当然, 太阳辐射到达地面后, 物体除了反射作用外, 还有对电磁辐射的吸收作用, 如黑色物体的吸收能力较强。

一般说, 绝大多数物体对可见光都不具备透射能力, 而有些物体(例如水), 对一定波长的电磁波则透射能力较强。在反射、吸收、透射物理性质中, 最常用的仍是反射这一性质。地物的反射波谱指地物反射率随波长的变化规律。通常用平面坐标曲线表示, 横坐标表示波长 λ , 纵坐标表示反射率 ρ 。同一物体的波谱曲线反映出不同波段的不同反射率, 将此与遥感传感器的对应波段接收的辐射数据相对照, 可以得到遥感数据与对应地物的识别规律。地物反射波谱曲线除随不同地物(反射率)不同外, 同种地物在不同内部结构和外部条件下的形态表现(反射率)也不同。一般说, 地物反射率随波长变化有规律可循, 从而为遥感影像的判读提供依据。

传感器从高空探测地面物体时, 所接收到的电磁波能量包括:

- ❖ 太阳经大气衰减后照射地面, 经地物反射后, 又经大气第二次衰减进入传感器的能量;
- ❖ 地面物体本身辐射的能量经大气后进入传感器;
- ❖ 大气散射和辐射的能量等。

地物反射波谱特性测量分为实验室测量和野外测量两类。野外测量又分为地面测量和航空测量。实验室测量是在限定的条件下进行, 精度较高, 但不是在自然状态下进行, 所以与实际状况有差别, 所测数据一般作参考。野外测量则是在实际的自然条件下进行, 因此能反映测量瞬间地物实际的反射特性。在多光谱遥感中, 这些测量数据是设计传感器时选择波段, 飞行时选择合适的飞行时间和飞行方向, 以及自动分类中地物属性的识别和区分的基础资料。测定地物反射波谱特性的仪器分为分光光度计、光谱仪、摄谱仪等。仪器由收集器、分光器、探测器和显示器或记录器组成。其中收集器的作用是收集来自物体或标准板的反射辐射能量。摄影类型须经摄影处理得到图像。有许多因素造成反射率变化, 如太阳位置、传感器位置、地理位置、地形、季节、气候变化、地面湿度变化、地物本身的变异、大气状况等。

2.3 遥感平台

遥感平台(Platform)是搭载传感器的工具,可分为航天平台、航空平台和地面平台。航天遥感平台应用最广,主要有气象卫星系列、陆地卫星系列和海洋卫星系列。像行星围绕太阳运行一样,卫星围绕地球运行也是按一定的轨道进行的。开普勒三大定律概括了它们的运行规律。卫星轨道也为椭圆,地球位于椭圆两焦点之一。卫星在离地球近的地方经过时的速度要快些,在离地球远的地方运行的速度要慢些。

在资源卫星系列中,Landsat 应用最广,自 1972 年以来已经发射了 6 颗,Landsat-7 是 Landsat 计划中的最后一颗卫星。Landsat 每 16~18 天覆盖地球一次(重复覆盖周期),图像的覆盖范围为 $185\text{ km}\times 185\text{ km}$ (Landsat-7 为 $185\text{ km}\times 170\text{ km}$),传感器所具有的空间分辨率在不断提高,由 80 m 提高到 30 m,ETM 又提高到 15 m。1972 年 7 月 23 日美国发射第一颗地球资源卫星 ERTS-1。它是在“雨云”号气象卫星(Nimbus)的基础上改装而成的。1975 年发射 ERTS-2 时改名为 Landsat-2,1978 年又发射了 Landsat-3。三颗卫星的星体形状和结构基本相同。Landsat-3 仪器舱内安装了反束光导管摄像机(RBV)、多光谱扫描仪(MSS)、宽带视频记录机(WBVTR)和数据收集系统(DCS)四种有效负载。卫星轨道平均高度设计在 915 km,实际轨道高度变化在 905~918 km,运行周期为 103.267 min,每天绕地 13.944 圈,倾角为 99.125° ,每天修正卫星轨道进动角为 0.986° 。这颗卫星最北和最南分别能到达北纬 81° 和南纬 81° ,利用地球自转并结合轨道运行周期和图像刈幅宽度的设计,可以观测到南北纬 81° 之间的广大地区。1982 年美国在 Landsat-1~3 的基础上,改进设计并成功发射了 Landsat-4 卫星。1984 年发射的 Landsat-5 卫星与 Landsat-4 完全一样。Landsat-4/5 卫星仪器舱装有 TM 传感器、MSS 多光谱扫描仪等。这种卫星设计成可由航天飞机进行修复。Landsat-4/5 卫星也是近圆形、近极地、与太阳同步和可重复的轨道。它的轨道高度下降为 705 km。1993 年发射 Landsat-6 卫星,以替代 Landsat-4/5 的工作,其轨道参数和特征与 Landsat-4/5 相近,只是传感器改型成 ETM(增强型专题制图仪)。Landsat-6 由于卫星上天后发生故障而陨落。

SPOT 是由法国主持设计制造的,主要用于地球资源遥感的卫星。1986 年 2 月发射 SPOT-1,1989 年发射了 SPOT-2,1993 年发射了 SPOT-3,1998 年发射了 SPOT-4,2002 年发射了 SPOT-5。较之陆地卫星,其最大优势是最高空间分辨率达 10 m,并且 SPOT 卫星的传感器带有可定向的发射镜,使仪器具有偏离天底点(倾斜)观察的能力,获得垂直和倾斜的图像。因而其重复观察能力由 26 天提高到 1~5 天,并在不同轨道扫描重叠产生立体像对,可以提供立体测地、描绘等高线、进行立体测图和立体显示的可能性。

1999 年 9 月美国 IKONOS-2 (IKONOS-1 于 1999 年 4 月发射失败)的成功发射使