

城市遥感

CHENG SHI YAO GAN

王连元 芦少春 姜 云 编著



哈尔滨地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市遥感/ 王连元, 芦少春, 姜云编著. —哈尔滨:
哈尔滨地图出版社, 2004.3
ISBN 7-80529-743-6

I. 城... II. ①王... ②芦... ③姜... III. 城市环
境 - 环境遥感 - 高等学校 - 教材 IV. X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 017804 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码:150086)

哈尔滨海天印刷设计有限公司印刷

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:11.75 插页:6 字数:286 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~1 000 定价:18.80 元

前 言

20 世纪 80 年代以来, 遥感技术在理论、技术和实际应用等方面发生了重大变化。在遥感图像向更高光谱分辨率和更高空间分辨率发展的同时, 遥感处理技术也更加成熟; 在实际应用方面, 遥感(RS)与地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)相结合, 向更系统化、更量化的方向发展, 使遥感数据的应用更加广泛和深入。遥感目前已经成为许多行业进行研究的重要手段。遥感在城市方面的应用时间较短, 但在其它领域的应用均含有城市的部分特征。

本书是为了满足与城市相关(规划、城乡规划、环境、交通、园林等)学科的发展对遥感技术的要求, 根据城市规划专业、城乡规划专业等应用遥感技术的专业特点而编写的。本书的主要内容包括遥感的物理基础、基本原理、图像处理、城市信息的影像特征、遥感图像解译、遥感在城市中的应用及 3S 的综合应用。同时, 针对目前遥感科学发展的特点, 增加了高分辨率卫星遥感图像在城市中的应用等遥感技术发展的最新内容。

本书是在扩充、改编黑龙江科技学院城市规划专业原校内教材的基础上, 参考了大量的遥感最新研究成果, 总结了作者多年的教学实践经验和科研成果编写而成的。本书语言通俗易懂, 有大量翔实的国内外遥感影像作为直观素材, 便于课堂教学和自学。本书既可作为城市规划及相关专业本科生的教材, 又可作为相关专业人员的技术参考书。

本书编写过程中, 为了适应遥感技术的新发展, 力求采用新思路、新内容。参考并吸收了国内外有关专著的部分内容, 在教材的体系上做了适当的调整。本书适当增加了基础知识的内容, 且增加了遥感技术最新研究发展的介绍, 如图像处理中的不同分辨率图像的复合技术、遥感与非遥感信息的复合技术、图像理解中的特征抽取技术、遥感应用中的高光谱分辨率遥感应用介绍等。另外, 还增加了 GIS、GPS 和专家系统等内容。本书既侧重于遥感技术的基本原理和方法的介绍, 又侧重于遥感的技术系统和城市的特性在遥感影像上的具体反映。在授课过程中, 各章节的内容可作适当调整, 将教师讲授和学生阅读相结合, 以取得更好的教学效果。

本书的第一、二、三章由王连元编写; 第四、五、六章由芦少春编写; 第七、八章由姜云编写。芦少春负责全书的审核, 王连元负责全书的校对。本书插图得到了林海波、解永波、张芳等同志的协助, 在此深表感谢。

由于作者水平有限和编写时间仓促, 全书难免存在缺点和错误, 不完善之处敬请读者批评指正。

编 者
2004 年 3 月

目 录

第一章 绪论	1
一、遥感及遥感系统.....	1
二、遥感的发展历程.....	3
三、遥感科学技术的发展前景.....	6
第二章 基础理论	7
第一节 电磁波基础	7
一、电磁波的特性.....	7
二、电磁波谱.....	8
三、电磁辐射的度量	10
第二节 太阳辐射及大气对辐射的影响	10
一、太阳辐射	11
二、大气吸收	12
三、大气散射	14
四、大气窗口	15
第三节 地球的辐射与地物波谱	17
一、太阳辐射与地表的相互作用.....	17
二、地表自身热辐射.....	18
三、地物反射波谱特征.....	19
四、地物波谱特性的测量.....	22
第四节 色彩原理	23
一、色彩和色觉.....	23
二、颜色的加、减法.....	24
三、彩色的合成与分解.....	25
第三章 遥感成像原理与遥感图像特征	26
第一节 遥感平台（航空、航天）和探测器	26
一、航空平台.....	26
二、航天平台.....	26
第二节 成像原理	29
一、摄影成像.....	29
二、扫描成像.....	35
第三节 微波遥感	39
一、微波遥感的特点.....	39
二、微波遥感方式和传感器.....	40

第四节 遥感图像的特征	44
一、遥感图像的性质与特点	44
二、遥感图像的分辨率	46
第四章 遥感图像处理	49
第一节 图像的光学处理	49
一、光学增强处理	49
二、光学信息处理	50
第二节 数字图像处理	51
一、数字图像纠正	52
二、数字图像增强	64
三、彩色变换	71
四、图像运算	72
五、多光谱变换	73
第三节 图像的分类与判别	76
一、遥感数字图像的计算机分类	76
二、遥感图像的特征提取	80
第四节 多源信息复合	88
一、遥感信息的复合	88
二、遥感与非遥感信息的复合	90
第五章 城市信息的遥感影像特征	92
第一节 建筑物的影像特征	92
一、建筑物	92
二、构筑物	99
三、特殊用地	99
第二节 道路交通的影像特征	100
一、对外交通	100
二、对内交通	101
第三节 水体	102
一、流水	103
二、静水	103
第四节 绿地及农业用地	104
一、城市绿地	104
二、农业用地	105
三、林地	106
第六章 遥感图像目视解译	107
第一节 目视解译原理	107
一、目标地物识别特征	107

二、生理和心理基础·····	111
三、目视解译的认知过程·····	113
第二节 遥感图像目视解译基础·····	114
一、遥感摄影像片的判读·····	114
二、扫描影像的判读·····	117
三、微波影像的判断·····	122
四、目视解译方法与基本步骤·····	126
第三节 遥感图像计算机解译·····	128
一、遥感图像计算机解译原理·····	128
二、专家系统·····	128
三、计算机解译的主要技术发展趋势·····	131
第四节 遥感制图·····	134
一、遥感影像地图·····	134
二、常规影像地图的制作·····	135
三、计算机辅助遥感制图·····	136
四、遥感专题图的制作·····	139
第七章 遥感在城市中的应用·····	144
第一节 遥感在城市生态环境方面的应用·····	144
一、大气环境的遥感调查·····	144
二、水体环境的遥感调查·····	145
三、固体废弃物判读·····	148
四、植被的遥感调查·····	149
第二节 遥感在城市规划中的应用·····	153
一、在城市土地管理方面的应用·····	153
二、在道路交通方面的应用·····	154
三、居住区调查·····	157
四、城市人口调查·····	159
第三节 遥感在城市社会经济中的应用·····	160
一、工业及工矿企业分布调查·····	160
二、城市灾害性地质现象调查·····	161
三、制作城市影像地图与城市三维影像图·····	161
第八章 地理信息系统、全球定位系统、遥感的综合应用·····	163
第一节 地理信息系统·····	163
一、定义·····	163
二、地理信息系统的构成·····	163
三、数据结构·····	165
四、空间数据处理与分析·····	170

第二节 全球定位系统.....173

 一、基本原理.....173

 二、空间定位系统的作用.....173

 三、定位能力.....174

第三节 3 S 的综合应用174

 一、3 S 的综合优势174

 二、应用事例.....174

参考文献.....179

第一章 绪 论

一、遥感及遥感系统

(一) 概念

遥感 (Remote sensing) 是在遥远处感知目标物的物理特性。“遥”表示空间的相对位置,即一定的距离;“感”表示使用探测手段所获得的信息。遥感,不与目标物接触,通过各种探测手段而获得目标物的物理信息和物理特性。

根据探测方式和获取目标物信息的手段不同,可将遥感分为狭义遥感和广义遥感。狭义遥感是通过探测以获取目标物的电磁辐射(包括电磁波的发射、吸收、反射和透射)信息,对目标物及其性质进行识别。这类遥感有通过飞机探测的航空遥感和通过卫星探测的航天遥感两种。广义遥感是对物质波谱及各种场能的地球物理场的探测,如重力、磁力、声波、地震波等。本书使用的遥感概念是指狭义遥感。

根据不同的工作方式,遥感可分为主动遥感和被动遥感。主动遥感 (Active remote sensing) 是人工发射电磁波,根据接收目标物的反射波来探测目标物的方法。被动遥感 (Passive remote sensing) 是被动地接受目标物发射或反射的电磁波来探测目标物的方法。

根据不同的探测方式及电磁辐射范围,遥感可分为紫外线、可见光、红外线、微波及高光谱遥感。

紫外线遥感:探测波长在 $0.05\sim 0.38\ \mu\text{m}$,即目标物的紫外线波段;

可见光遥感:探测波长 $0.38\sim 0.76\ \mu\text{m}$,即太阳辐射的可见光波段;

红外遥感:探测目标物的红外波段,波长为 $0.76\sim 1000\ \mu\text{m}$;

微波遥感:探测波段在 $1\ \text{mm}\sim 10\ \text{m}$,人工发射的微波;

高光谱遥感:将紫外线、可见光、红外线、微波等波段细分为几十到一百多个宽度很窄的波段,因波段细分,地物对不同波长的电磁波的反射特性会突显出来,利用传感器对目标物反射的不同波段电磁波进行同步成像,就可以更加准确地分析地物性质及其细部特征。

(二) 遥感系统

根据遥感的工作过程,遥感工作可分为:探测目标物的信息,将探测到的信息传输、记录,对信息进行处理和信息应用步骤。遥感的应用是将目标物对电磁波的辐射及其地物的反射特征与标准物体对电磁波的辐射及其反射特征进行对比,以进行鉴别。

信息的获取:通过传感器(摄像机、扫描仪、雷达、辐射计)接受和记录目标物的电磁波谱。装载传感器的设备称为遥感平台。根据不同的特点平台又可分为:地面平台(车、观测台)、空中平台(飞机、气球、飞艇等)和空间平台(火箭、卫星、宇宙飞船、航天飞机等)。

信息的接收:传感器接收到目标物的电磁波信息,记录在数字磁介质上或胶片上。记录在数字磁介质上的信息可以发送到地面接收站;胶片可以由回收舱带回地面。

信息处理:地面站接受到卫星传回的信息后,记录在高密度磁带上,然后进行一系列处理,如信息恢复、辐射校正、卫星姿态校正、投影变换等,转变成用户可直接使用的通用数

据格式或经数/模转换变成模拟信号记录在胶片上。

信息运用：用户对图像按其需要进行处理后，提取有用的信息，对目标物（区）进行分析和解释。例如：气象、农业、林业、矿产、环境、土地规划、城市规划，等等。

遥感技术是综合性的系统，它涉及到航空、航天、光电、物理、计算机及材料等领域。

（三）遥感的特点及应用

1. 遥感的特点

遥感技术可以实时地、准确地获取地球表面的自然地貌、人工地物及人类活动的痕迹，能够准确、客观、全面地反映地球表面自然和人工的综合景观及资源与环境等信息。在进行资源和环境调查时，传统的地面调查实施起来非常困难，工作量很大。而使用遥感手段，获取信息则较容易，并且不受时间、地形等限制。遥感平台越高，视角越宽广，可探测到的地面范围就越大，越容易发现地球上一些重要目标物空间分布的宏观特征，如重大自然灾害信息等。可以全方位、全天候地监测全球资源与环境的动态变化，为社会经济发展提供定性、定量与定位的信息服务。

遥感技术具有以下几个特点：

（1）时效性：在短时间内，遥感可对同一地区进行重复探测，可对地球上许多事物的动态变化进行实时观测。不同轨道的卫星，高度不同，其对地球重复观测的周期也不同。地球同步轨道卫星可以每十个小时对地球观测一次（如 FY-2 气象卫星）；太阳同步轨道卫星（如 NOAA 气象卫星和 FY-1 气象卫星）每天 2 次对同一地区进行观测。它们探测地表及大气的周期或一天、或几小时。地球资源卫星的周期长一些，分别是 16 天、26 天或 4~5 天（如美国的 Landsat、法国的 SPOT、中国与巴西合作的 CBERS）。传统的地面调查需要大量的人力、物力，用几年甚至几十年时间才能获得地球上大范围地区动态变化的数据。因此，遥感大大提高了观测的时效性。这对于天气预报和地震、水灾等的灾情监测，以及制定军事行动方案等都非常重要。

（2）可比性：遥感获得的地物电磁波数据是地球信息（地质、地貌、土壤）的综合反映。红外遥感、微波遥感可全天候探测，人们可以从中有选择地提取所需的信息。由于遥感的探测波段、成像方式、成像时间、数据记录等均按要求设计，使获得的数据具有同一性或相似性。这些信息可进行不同时间、不同区域对比。

（3）经济性：采用遥感手段与传统的方法相比，费用投入不高，可以大大地节省人力、物力、财力和时间，具有很高的社会效益和经济效益。

2. 遥感在各领域的应用

（1）军事方面：遥感的发展得益于军事方面的需求。从第一次世界大战开始，人们开始重视遥感在军事侦察方面的应用。二战及后来的冷战时期，遥感在军事侦察方面有很大进步，美国的 U₂ 飞机是其中的典型代表。随着空间技术的发展，人类进入太空，人造卫星迅速地替代了飞机的角色。近年来的海湾战争及阿富汗反恐战争中，美国的间谍卫星都发挥了巨大的作用。

（2）气象方面：遥感在气象方面的作用越来越大。现代遥感技术为每天的天气预报及预报的准确率作出了贡献。天气预报从以前仅能预报 2 天，发展到现在的每小时预报及中、长期的十几天、几个月的预报，预报准确率也在不断提高，均得益于遥感技术的发展。

(3) 资源方面：在资源方面，遥感是研究地质体和地质现象在遥感图像上的影像特征。遥感图像是遥感地质研究的基本资料之一。根据遥感图像所提供的光谱信息和影像特征，分析岩石的类别与分布、地质构造特征、地貌特点以及从宏观上探讨和预测成矿远景区，是遥感地质学的一个基本内容。

遥感技术在资源上的应用有：遥感地质制图，勘查水、矿产和地热资源，以及研究环境地质等方面。这些专门应用有助于解决重大的能源、资源和环境等问题；同时，通过这些应用也积累了丰富的遥感地质资料，逐步建立起遥感地质学的系统理论基础。

(4) 城市规划方面：目前我国在城市规划方面使用遥感越来越多。在城市总体规划、乡镇体系规划、历史文物保护、生态规划、环境规划等方面均已使用遥感手段。遥感以其覆盖面广、内容丰富、速度快的特点使城市规划工作效率大大提高。

(5) 农、林、牧、渔业及其它方面：遥感在农业、林业、渔业等方面的应用主要有：监视作物的生长情况，病虫害及灾情的监测，产量估算等。目前，在国土资源方面遥感应应用非常多，可以进行国土资源的规划、洪涝灾害的监测。

二、遥感的发展历程

1961 年，在美国国家科学院和国家研究理事会的资助下，密歇根大学的威罗·兰实验室召开了“环境遥感国际讨论会”。会后，在世界范围内，遥感作为一门新兴的独立学科获得飞速的发展。然而遥感学科的技术积累和酝酿却经历了上百年的时间，可将其划分为三个发展阶段。

(一) 萌芽阶段

1839 年摄影像机问世，人们最初把照相机系在气球上，为地球照相。法国人达格雷发表了第一张航空像片。1840 年法国工程兵试用像片绘制地形图。1858 年 G.F.陶纳乔用气球拍摄了法国巴黎的“鸟瞰”像片。

1860 年 J.W.布莱克与 S.金乘气球升空至 630 米，成功地拍摄了美国波士顿（Boston）市的照片。1895 年美国气象学家 W.A.埃迪拍摄了风筝像片。

1903 年 J.纽布朗纳设计了一种捆绑在飞鸽身上的微型相机。这些试验性的空间摄影，为后来的实用化航空摄影遥感奠定了基础。同年，莱特兄弟发明了飞机，才真正地促进了航空遥感向实用化的迈进。

1909 年意大利人威尔伯·赖特第一次在飞机上拍摄了连续像片（电影片）。同年，W.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就采用航空摄影，C.迪沃在维也纳国际摄影测量学会会议上发表论文描述了用飞机摄影测绘地图的问题。这一阶段摄影技术主要是用于军事、气象和地形测绘试验。这一阶段称为常规航空摄影阶段。在此阶段，地面解译的仪器比较简单，有立体镜和航空测图仪等。

(二) 航空遥感阶段

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，并形成了一定的规模。与此同时，像片的判读水平也得到提高。一战以后航空摄影人员从军事方面转向商业应用和科学研究。美国和加拿大成立了航测公司；美国和德国分别出版了《摄影测量教程》及类似性质

的刊物，专门介绍有关技术方法。1930年起美国的农业、林业、牧业等政府部门都采用航空摄影并应用于制定规划。

1924年彩色胶片的出现，使得航空摄影记录的地面目标信息更为丰富。1935年彩色胶片投入市场（初期由于各方面的原因未能推广），为后来的航空遥感打下了基础。

从1937年到1960年，由于军事需要，遥感科学技术有了较大的发展，主要表现在航空摄影机、电视摄像机、图像扫描仪及航空大孔径的成像雷达等技术手段有了显著进步，使图像可记录的波长范围从近紫外线到远红外线，并扩大到微波。从1937年开始拍摄彩色航空像片起，陆续出现了红外、紫外等航空摄影以及激光成像。因此1937~1960年也可称为彩色摄影和非可见光航空摄影阶段。在此阶段，地面解译工作已广泛应用立体绘图仪、多倍投影仪、纠正仪等。

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。二战中，微波雷达的出现及红外线技术应用于军事侦察，使遥感探测的电磁波得到了扩展。

二战后期美国的航空摄影范围覆盖了欧亚大陆和太平洋沿岸岛屿，将包括日本在内的广大地区制成地图，并标绘了军事目标，成为美国在太平洋战争中的重要情报来源。在前苏联的斯大林格勒保卫战等重大战役中，航空摄影对军事行动的决策起到了重要作用。

二战以来，一些专家出版了一些遥感专著，对航空遥感的方法和理论进行了总结，如1941年A.J.厄德莱的《航空像片：应用与判读》、J.W.巴格莱的《航空摄影与航空测量》、1960年R.G.雷的《航空像片：地质判读与绘图》等。《航空像片：地质判读与绘图》讨论了航空像片的地质学应用及某些地物，包括植被的特征；《航空摄影与航空测量》则侧重于航空测量的方法探讨。

与此同时，人才培养与专业学术刊物的出版也是这一时期的特点。美国的大学中开设了航空摄影与像片判读的课程；国际地理学会于1949年设立了航空像片应用专业委员会。1945年，美国创刊了《摄影测量工程》杂志（1975年改为《摄影测量工程与遥感》，现已成为国际著名的遥感专业刊物之一）。这些均为遥感发展成为独立的学科在理论和技术上作了充分的准备，为今后的发展奠定了基础。

（三）航天遥感阶段

1957年10月4日，前苏联第一颗人造地球卫星的发射成功，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，同年10月前苏联的“月球3号”航天器拍摄了月球背面的照片。而真正从航天器上对地球进行长期观测是从1960年美国发射TIRQS-1和NOAA-1太阳同步气象卫星开始的。从此，航天遥感取得了重大进展。从20世纪60年代到现在，可称为航天遥感阶段。

在航天遥感技术上，美国及前苏联一直处于领先地位。美国的卫星用途很广，有较完整的卫星系列，如通讯卫星、气象卫星、陆地卫星/海洋卫星、导航卫星、热容量制图卫星等，并装配了各种精密的传感器。1982年4月美国发射了第一架航天飞机“哥伦比亚”号。航天飞机不仅可以从高空直接观察地球，还可以将卫星送入太空，并返回地面。1975年以来先后出版的《遥感手册》及F.F.萨宾的《遥感原理与判译》，两书均论述了遥感原理和遥感在地质中的应用。1982年7月发射了“Landsat-4”地球卫星。美国在遥感地质研究中偏重

电子计算机的应用,大量的遥感信息已进入自动识别和自动处理、成图的试验阶段。

前苏联所发射的“联盟号”、“礼炮号”、“气象”、“宇宙”等卫星,有 68%用于军事,其余部分用于导航、气象、环境及资源调查。前苏联十分重视遥感的应用,对遥感影像的分析比较深入,1978 年出版的《地球的航天地质研究》概括了其研究现状。1980 年 B.B.W 著《航空摄影在自然资源研究中的作用》,详细论述航空遥感的地质应用。

西欧各国与日本都在积极发展遥感技术,并于 1977 年发射气象卫星。1979 年底日本在东京西北建立了地面接收站,工作半径可达我国东北、西安、广州等地区和城市。近几年,法、日还计划发射地球卫星,对陆地、海洋及土地利用等进行周期性观测。印度和泰国等发展中国家,也围绕森林调查、土地利用、矿产资源调查、洪水及飓风观测、石油污染以及干旱、半干旱地区的开发利用等实际问题引进遥感技术及设备,开始重视发展遥感科学技术。

我国系统地进行航空摄影是从 20 世纪 50 年代开始的,主要应用于地形图的制图、更新,在铁路、地质、林业等领域的调查、勘测、制图等方面起到了重要的作用。1977 年地质部门利用由国外引进的航空摄影机和由中国科学院研制的多波段摄像机、微波辐射计、激光测高仪及航空气象仪等进行了多种方法的大规模航空遥感试验。1979~1980 年又在环境污染监测、铀矿找矿、泥炭调查、土地利用和海岸滩涂调查中取得初步成效。我国遥感科学技术的发展起步晚,但速度快,目前航天及航空遥感技术人员都在积极地、有计划地为达到世界先进水平而努力。

我国于 1970 年 4 月发射第一颗人造卫星,至今我国已成功发射卫星几十颗。太阳同步轨道卫星“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,使我国航天技术进入世界先进水平的行列。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。数十个分布于全国各地的气象卫星接收站可以接收地球同步(静止轨道)和太阳同步(极地轨道)气象卫星数据。

20 世纪 70 年代以来,我国的航空摄影测绘已进入业务化阶段,全国范围的地形图更新已采用航空摄影测量,并开展了不同目标的航空专题遥感试验及应用研究。我国已经成功地研制了机载地物光谱仪、多光谱扫描仪、红外扫描相机、成像光谱仪、真实孔径和合成孔径侧视雷达、微波辐射计、激光高度计等传感器。在研制新型传感器的同时,还注意到把其中几种传感器组合为集成探测系统,如把航空摄影扫描、成像光谱仪、合成孔径侧视雷达分别与激光高度计、GPS 集成,可以同时获得可见光波段、近红外波段或雷达影像,及空间定位、高程数据等三维信息;又如把合成孔径侧视雷达与 GPS 集成,用于水灾灾情实时动态监测,在抗洪救灾中发挥了作用。

在遥感图像信息处理方面,已开始从普遍采用国际先进的商品化软件向软件国产化迈进。对图像处理的新方法也进行了广泛的探索,探索分两个方面:①新算法的完善和发展,如分形几何学。遥感图像的分类不仅注重光谱特征,而且也从多分辨率的空间特征上进行分类和信息提取。②结合不同的应用发展各种专题信息提取方法。许多方法已在实际应用中取得了很好的效果。

在遥感应用方面,我国自 20 世纪 70 年代中后期开始就取得了巨大的成就。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，通过从“六五”到“九五”的攻关，取得了一批具有世界先进水平的应用成果。遥感应用研究涉及的领域广、类型多，既有专题性的也有综合性的，包括农业生产条件研究、作物估产、国土资源调查、土地利用与土地覆盖、水土保持、森林资源、矿产资源、草场资源、渔业资源、环境评价和监测、城市动态变化监测、水灾和火灾监测、森林和作物病虫害监测、气象监测，以及港口、铁路、水库、电站等工程勘测与建设的遥感研究，涉及到许多部门，从而极大地扩展了遥感的应用领域。从地广人稀之地到人口密集、开发程度高的城市，如北京、上海、天津、广州、沈阳等城市都开展了遥感综合调查研究，其中上海每隔 5 年进行一轮航空遥感（已经进行了三轮），并将其作为城市建设管理的经常性监测手段。不同领域对遥感应用提出不同要求，从而推动了我国遥感应用的全面发展。

三、遥感科学技术的发展前景

遥感科学技术由于具有效率高、速度快、精度好、成本低等优点，近年来已迅速地广泛应用于很多部门。遥感科学技术将在以下五个方面取得较明显的进展。

(1) 遥感平台，特别是卫星类型将向质量高、寿命长、能往返及专业化发展。航天平台也已成系列，有宇航平台、航天平台、航天飞机。在空间轨道卫星中，有地球同步卫星、太阳同步卫星，还有一些低轨和高轨卫星。

(2) 发展高分辨率的传感器，不断提高遥感影像的分辨率。载有 1 米分辨率的民用卫星已于 1999 年 9 月 IKONOS 投入使用；2001 年 10 月美国 QuickBird 卫星投入使用，其上所载传感器的分辨率为 0.61 米。未来还会发展更高分辨率的探测器投入使用，航空遥感将被航天遥感所代替，并且时效性更强、效率更高。

(3) 完善高光谱传感器等技术。目前高光谱技术已显示了强大的优势，但数据量太大，有待进一步完善。

(4) 提高数字图像处理技术，建立和完善计算机识别系统。这些资料将得到比较充分、合理的应用，从试验应用阶段发展到成熟应用阶段；将从一般的图像目视解译逐步提高到图像数字处理，并建立起解决问题的遥感数学模式及程序，以加速实现自动识别地质分类和自动成图。

(5) 遥感 (RS) 与地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 相结合，实现网络连接，数据共享。目前 3S 技术在某些领域的应用取得了非常好的效果，未来应用的领域将会越来越广，功能会越来越强。

第二章 基础理论

遥感是通过电磁波来检测和测量目标物体的特征。电磁波包括光、热、无线电波及其它射线等。遥感不仅利用电磁波中的可见光波段，还利用红外线、微波等波段获取有价值的信息。随着科学技术的不断发展，可以用来成像的波段将会越来越多。

在遥感中应用的知识有电磁波理论、色彩理论、成像原理、数字图像等方面的基础理论。其中电磁波理论包含了太阳辐射、大气的反射与吸收、地物的反射波谱等；色彩理论有三原色和颜色的加、减法等；成像原理与数字图像因内容多，将在后面章节详细阐述。

第一节 电磁波基础

电磁波是交变电磁场在空间中传播产生的，电磁波能量的传播过程称电磁辐射。电磁波的传播有辐射、吸收、反射、透射等现象。电磁波包括可见光和其它不可见的电磁波。

一、电磁波的特性

波是振动的传播方式，电磁振动的传播称为电磁波。波的运动传播方式有两种，一种是纵波；另一种是横波。如果质点的振动方向与波的传播方向相同称纵波；若质点的振动方向与波的传播方向垂直，称横波。在横波中，传播方向可以是垂直振动方向的任何方向，振动方向一般会随时间发生变化。如果振动方向不随时间变化，则称为线偏振的横波。电磁波具有偏振现象。

电磁波是交变电磁场在空间的传播，是一种物质运动，是能量传递的一种特殊方式。任何变化的电场都会在其周围产生变化的磁场，而变化的磁场又会在其周围感应变化的电场。电场、磁场相互激发并向外传播形成了电磁波。电磁波的传播方向是由电磁振荡而传播到各个不同的方向，见图 2.1。

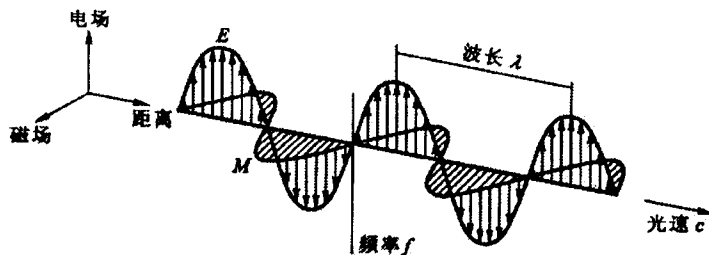


图 2.1 电磁波

1889 年赫兹通过电磁振荡的实验发现了电磁波，自此人们对电磁波的认识逐步深入。电磁波的性质与光波的性质相同，可见光具有波、粒二向性，也是电磁波。随着科技的发展，发现 X 射线、γ 射线等射线也具有电磁波的性质。电磁波的特征具体如下。

(1) 电磁波是横波，它可以用速度、波长和频率来进行描述；电磁波在真空中以光速传播；频率与波长的积等于光速；电磁波具有波、粒二向性。

(2) 电磁波的波长是从一个周期的任意一个位置到下一周期同一位置之间的距离。通常用微米作为电磁波的单位。电磁波按波长划分为几个区间或波段，如可见光波段、红外波段、紫外波段、微波波段等。

频率是在单位时间内通过一定点的波峰数目，单位为赫兹。当电磁波穿过不同密度的介质传播时，其速度和波长将发生改变，但频率保持不变。因此频率是电磁波一个非常基本的特性。

(3) 电磁波具有辐射、吸收、反射、透射等特点。电磁波传播到气体、液体、固体介质的界面时，会发生反射、折射、吸收、透射等现象。在介质中电磁波的传播速度变慢。电磁波在不同介质中传播，因介质性质不同，其传播速度也不同。

(4) 电磁波在空气中传播，若碰到大小不等的粒子会发生散射现象，导致电磁波的强度、方向等发生变化，这种变化随波长变化而变化。

(5) 电磁波具有波、粒二向性，电磁波的波动性主要表现为产生干涉、衍射、偏振、色散等现象。

①干涉现象：就是电磁波的叠加。当两个独立的电磁波在一个区域相遇时形成重叠的波动，波的部分振幅增强，而部分振幅减弱。

②衍射现象：电磁波投射到一个不能透过的、有限大小的障碍物上，部分电磁波绕过障碍物的边缘，改变方向而进入障碍物后面的区域，继续传播的现象。

③偏振现象：磁场、电场、电磁波传播方向互相垂直。电场强度在垂直于传播方向的平面上，各方向的振幅均相等。在遇到有狭缝的障碍物时，只有与障碍物上狭缝平行的电场能够通过，通过的电磁波就是偏振波。

④色散现象：电磁波在真空中传播时，波速与波长、频率无关。当进入介质时，不同波长的光波在同一介质中的波速存在差异。不同波长的光波就会发生偏移，产生出不同颜色的光。

电磁波的粒子性是指电磁波是由密集的光子微粒流组成，电磁辐射实质是光子微粒流有规律地运动。电磁辐射的粒子性主要表现为电磁辐射的光化学作用和光电效应等现象。

二、电磁波谱

电磁波谱是将电磁波按波长或频率排列在一起所形成的图谱表。

任何物质都辐射一定波长范围的电磁能量，随着温度的升高，电磁波的强度峰值逐渐向较短波长方向移动。不同的辐射产生的电磁波的波长各不相同，变化范围很大。电磁波谱是波长从几千米到几微米的电磁波连续波谱(见图 2.2)。电磁波谱按照频率从高到低排列，可以划分为 γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波。电磁波谱区段的界线是渐变的。

在电磁波谱中，电磁波是连续的，各波段的划分是相对的，没有明显的界线。各个波段的电磁波波长不同，性质不同，探测记录的方法不同，不同波段的电磁辐射与物质的相互作用

用也不同。

遥感中使用较多的是可见光、红外线和微波波段。可见光波段虽然波谱区间很窄，但却非常重要，是遥感技术的重要部分。

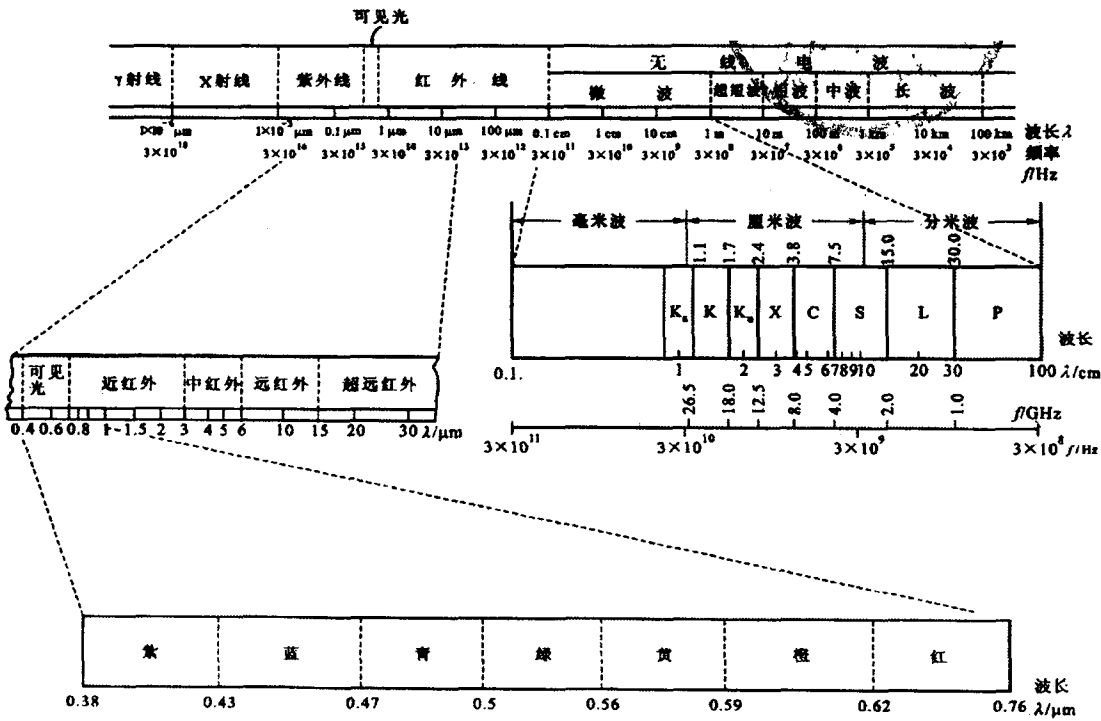


图 2.2 电磁波谱(据梅安新《遥感导论》)

电磁波各波段的特点：

- (1) 宇宙射线：射线来自地球以外的天体，有很强的能量和穿透能力。
- (2) γ 射线： γ 射线是能量很高的波段。航空放射性测量通过记录 γ 射线寻找放射性元素矿物。
- (3) X射线：宇宙中来的X射线被大气层全部吸收。
- (4) 紫外线：波长在 $0.01 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 。波长小于 $0.28 \mu\text{m}$ 的紫外线，在通过大气层时被臭氧层及其它成分吸收。剩下的紫外线可穿透大气层，但散射严重，只有部分投射到地面。
- (5) 可见光：波长为 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ ，是人能够看见的电磁波段，分为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光，是遥感中最常用的波段。该波段成像技术成熟，分辨率高。
- (6) 红外线：可分为近红外 ($0.76 \sim 3 \mu\text{m}$)、中红外 ($3 \sim 6 \mu\text{m}$)、远红外 ($6 \sim 15 \mu\text{m}$)、超远红外 ($15 \sim 1000 \mu\text{m}$)。近红外是地球表层反射太阳的红外辐射，其中 $0.76 \sim 1.3 \mu\text{m}$ 波段可使胶卷感光。而中、远红外是地表物体发射的红外线，称热红外。热红外只有通过扫描方式才能记录下来。
- (7) 微波：波长 $1 \sim 100 \text{ mm}$ 。又可细分为毫米波、厘米波、分米波。微波波长较长，能穿透云雾，不受天气、昼夜的影响。

三、电磁辐射的度量

电磁波是一种能量的传播，每种电磁波都来自一定的辐射源。对地球来说主要的辐射源是太阳。要进行遥感测量和研究，需要对辐射源及辐射量进行测量。

1. 辐射源

任何物体都能向外界发射电磁波，物体性质不同，所发射的电磁波不同。辐射源有发光、发热的太阳，以及发出紫外辐射、X射线、微波辐射等的其它物体。这些都是辐射源，只是辐射强度和波长不同而已。物体不仅能够吸收其它物体对它的辐射，也能够向外辐射。电磁波传递即是电磁能量的传递，遥感探测实际上是对辐射能量的测定。

2. 辐射的测量

关于辐射能量的测量可用以下几个概念来进行描述。

辐射能量 (Q): 电磁辐射的能量，单位: J。

辐射通量 (Φ): 单位时间内通过某一面积的辐射能量，辐射通量与波长有关，总辐射通量应该是各谱段辐射通量之和或辐射通量的积分值。

辐射通量密度 (D): 单位时间内通过单位面积的辐射能量。

辐照度 (E): 被辐射的物体表面单位面积上的辐射通量。

辐射出射度 (M): 辐射源物体表面单位面积上的辐射通量。

辐射亮度 (L): 辐射亮度是辐射源在某一方向、单位投影表面、单位立体角内的辐射通量，即辐射源向外辐射电磁波时，辐射亮度往往随着观察角的角度变化而改变。也就是说，接收辐射的观察者以不同角度观察辐射源时，辐射亮度值不同。

辐射亮度与观察角无关的辐射源，称为朗伯源。一些粗糙的表面可近似看做朗伯源。涂有氧化镁的物体表面也可近似地看做朗伯源，常被用做遥感光谱测量时的标准板。

3. 黑体辐射

如果一个物体对于任何波长的电磁辐射都全部吸收，则这个物体是绝对黑体。

由基尔霍夫定律可知：绝对黑体不仅具有最大的吸收率，而且具有最大的发射率，却丝毫不存在反射。对于实际物体，都可以看做是辐射源，如果物体的吸收本领大，它的发射本领也大，即越接近黑体辐射。

自然界物体的辐射比黑体辐射弱，而且随波长不同而不同，就是说比辐射率（或吸收系数、吸收率，指实际物体辐射与黑体辐射之比）与波长有关，只不过不同物体的比辐射率不同而已。

第二节 太阳辐射及大气对辐射的影响

电磁波来自辐射源，太阳是被动遥感最主要的辐射源。它是当前航空、航天可见光、近红外遥感仪器的主要辐射源。地球也是自然辐射源，是热红外线波段电磁波的主要辐射源。

太阳光通过地球大气照射到地面，经地面物体反射光线又折回，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，有了很大的