



朱述龙 朱宝山 王红卫 编著

遥感图像

处理与应用



科学出版社
www.sciencep.com

遥感图像处理与应用

朱述龙 朱宝山 王红卫 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从应用的角度,详细介绍了遥感图像的基础知识和典型应用实例,重点阐述了遥感图像增强、遥感图像定位、遥感图像几何校正与镶嵌、遥感图像分类、雷达图像处理的基本原理和方法。

本书可作为高等院校有关专业研究生和高年级本科生的教材和教学参考书,也适合于遥感应用领域的广大科技工作者、工程技术人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

遥感图像处理与应用/朱述龙等编著. 北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016736-8

I. 遥… II. 朱… III. ①遥感图象-图象处理②遥感图象-应用
IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159601 号

责任编辑:王淑兰 赵卫江/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:王 浩

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006年2月第一次印刷 印张:13 1/4

印数:1—3 000 字数:300 000

定价:23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62130750 (B06)

序

本书是作者在多年从事《马克思主义基本原理概论》课程的教学和科研工作的基础上编写而成的。本书力求做到观点正确、重点突出、层次分明、语言简洁、逻辑严密、可读性强。本书可作为高等院校思想政治理论课《马克思主义基本原理概论》的教材，也可供从事马克思主义理论研究的学者参考。

前 言

遥感作为一门先进的探测技术,已在军事侦察、目标监视、打击或毁损效果评估、农作物长势监测、粮食估产、土地利用调查、地表资源普查、灾情监测、地质找矿、石油勘探、天气预报、地形测绘、海洋应用等诸多领域广泛应用,产生了巨大的经济效益,展现了广阔的应用前景。

随着科学技术的发展,遥感图像获取手段日益成熟,高分辨率遥感图像获取已成为现实,遥感图像处理已经发展到了全数字阶段,遥感图像应用也已经实现了从单纯的定性向定性与定量相结合、从粗放型向精细型的过渡。

在整个遥感过程中,遥感图像获取是前提和基础,遥感图像处理是手段和途径,遥感图像应用是目的和归宿。本书将重点介绍遥感图像处理与应用的基本理论、方法和实例。希望本书能够帮助遥感应用领域的广大科技工作者,特别是遥感图像处理系统的直接使用者和遥感图像的用户,了解和掌握遥感图像处理的基本理论和方法以及遥感图像应用的一般思路,更好地应用遥感图像和相关处理工具。由于遥感图像处理涉及众多学科的知识,既与遥感平台、传感器的特性密切相关,又与应用目标密不可分,有些内容还处在不断发展中,因此本书只能对遥感图像处理中的主要问题进行探讨,不可能非常完整和全面,但力争做到概念清晰、体系完整、简明扼要、通俗易懂。

本书是在综合国内外许多资料的基础上,结合多年的专业教学工作,经过反复酝酿而写成的,部分内容融入了作者近年来的研究成果,其中第1、3、4、6、7章由朱述龙教授编写,第2、5章由朱宝山副教授编写,第8章由王红卫副教授编写,全书由朱述龙教授进行了统稿。由于作者水平有限,编写时间仓促,书中难免还有许多缺陷和不妥之处,敬请读者批评指正。

在本书的编写和出版过程中,解放军信息工程大学测绘学院王家耀院士、钱曾波教授、潘时祥教授始终给予了热情鼓励和帮助,并提出了许多宝贵的意见和建议,王家耀院士在百忙之中还欣然为本书写序,体现了老一辈科学家对青年学者的关心和厚爱,科学出版社的编辑在选题和出版过程中给予了大力支持,使本书能够及时与广大读者见面。

本书的出版得到了解放军信息工程大学测绘学院出版基金的资助。

感谢本书参考文献的作者们,他们的研究成果给予作者很多灵感和启迪。

值本书稿完成之际,谨向所有关心和帮助过作者的人们表示衷心的感谢。

作 者

2006年1月10日于郑州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 遥感技术及发展现状	1
1.2 遥感图像处理系统及其特点	1
1.3 本书的主要内容和安排	4
第 2 章 遥感图像基础	6
2.1 地物的波谱特性	6
2.1.1 电磁波	6
2.1.2 电磁波谱	7
2.1.3 电磁波与地物之间的相互作用	9
2.1.4 大气层对电磁波传输过程的影响	11
2.1.5 辐射传输方程	15
2.2 遥感平台与传感器	15
2.2.1 遥感平台	15
2.2.2 卫星轨道、位置和姿态	18
2.2.3 传感器	22
2.2.4 几种遥感卫星的传感器及其观测图像	24
2.3 遥感图像的类型	30
2.3.1 按几何特性分类	31
2.3.2 按波谱特性分类	32
2.4 遥感图像的分辨率	33
第 3 章 遥感图像增强	35
3.1 遥感数据的辐射量校正	35
3.1.1 光学镜头的非均匀性引起的边缘减光现象的改正	35
3.1.2 光电转换系统的特性引起的辐射误差校正	36
3.1.3 太阳高度引起的辐射误差校正	36
3.1.4 地形坡度引起的辐射误差校正	37
3.1.5 大气校正	37
3.2 辐射增强法	38
3.2.1 反差拉伸法	39
3.2.2 直方图增强法	40
3.3 空间增强法	42
3.3.1 卷积法	42
3.3.2 中值滤波	44
3.4 光谱增强法	45
3.4.1 颜色空间变换与 HIS 增强	45
3.4.2 彩色合成	46

3.4.3	主成分分析	48
3.4.4	K T 变换	50
3.4.5	植被指数特征的计算	51
3.4.6	高光谱图像处理	52
3.5	傅里叶频率域增强	54
3.5.1	傅里叶变换及其性质	54
3.5.2	傅里叶频率域滤波	55
3.5.3	傅里叶频率域噪声消除	57
3.5.4	同态滤波	57
3.6	影像信息融合	58
3.6.1	基于 HIS 变换的遥感影像融合	59
3.6.2	基于小波变换的遥感影像融合	60
3.6.3	遥感影像和 DTM 数据之间的复合	63
3.7	局部图像羽化处理技术	63
第 4 章	遥感图像定位原理	68
4.1	遥感图像位置和姿态的确定	68
4.1.1	遥感图像的位置和姿态描述	68
4.1.2	遥感图像位置和姿态的确定	71
4.2	基于单幅图像的目标定位	74
4.2.1	基本原理	75
4.2.2	特殊情况的处理方法	76
4.3	基于立体图像的目标定位	78
4.3.1	整体解算法	79
4.3.2	空间前方交会法	80
4.3.3	分步解算法	82
4.4	数字地面模型的生成	89
第 5 章	遥感图像几何校正与镶嵌	95
5.1	几何误差的来源	95
5.1.1	传感器外方位变化引起的图像变形	95
5.1.2	地形起伏引起的图像变形	96
5.1.3	地球曲率引起的像点移位	97
5.1.4	大气折射引起的像点移位	98
5.1.5	地球自转引起的图像变形	99
5.2	几何校正的一般方法	100
5.2.1	遥感图像几何校正的一般过程	100
5.2.2	图像几何校正中的重采样和内插方法	100
5.3	遥感图像近似几何校正	102
5.4	遥感图像严格几何校正	105
5.4.1	画幅式图像的几何校正	105
5.4.2	线阵推扫图像的几何校正	106

5.5 图像的镶嵌处理	108
5.5.1 图像的几何镶嵌	108
5.5.2 图像的辐射镶嵌	109
第6章 遥感图像分类	111
6.1 遥感图像分类的基本原理	111
6.2 遥感图像监督分类	113
6.2.1 基于最小错误概率的 Bayes 分类器	113
6.2.2 子空间分类器	115
6.2.3 概率松弛算法	117
6.3 遥感图像非监督分类	119
6.3.1 聚类中的相似性度量	119
6.3.2 K-均值算法	120
6.3.3 ISODATA 算法	121
6.3.4 模糊聚类算法	122
6.4 基于混合像元的遥感图像分类	123
6.4.1 基于最小二乘法的混合像元分解	125
6.4.2 利用正交子空间投影技术求分光反射特性矩阵	126
6.5 非光谱信息在遥感图像分类中的应用	127
6.5.1 高程信息在遥感图像分类中的应用	127
6.5.2 纹理信息在遥感图像分类中的应用	128
6.6 基于知识的遥感图像分类	131
第7章 雷达图像处理	135
7.1 雷达的基本概念	135
7.2 合成孔径雷达的成像处理	137
7.3 雷达图像的分辨率	139
7.4 雷达图像的几何特性	140
7.5 雷达图像的色调特性	143
7.6 雷达图像几何校正	147
7.6.1 雷达图像的几何变形规律	147
7.6.2 斜距图像到地距图像的改正	147
7.6.3 雷达图像的构像方程校正法	148
7.7 雷达图像立体测量原理	152
7.8 干涉合成孔径雷达测量	154
7.8.1 基本原理	154
7.8.2 INSAR 数据处理	156
第8章 遥感图像应用	163
8.1 在军事上的应用	163
8.1.1 军事侦察	163
8.1.2 打击效果评估	171
8.1.3 重要目标动态监测	171

8.2 在农作物监测和估产中的应用	176
8.2.1 农作物监测	176
8.2.2 农作物估产	178
8.3 在林业监测中的应用	180
8.3.1 采伐范围测图	181
8.3.2 森林覆盖范围与树种识别	183
8.3.3 火灾和迹地测图	184
8.4 在地质中的应用	185
8.4.1 岩性识别	186
8.4.2 矿藏和石油勘查	187
8.5 在水文中的应用	189
8.5.1 干旱评估	189
8.5.2 河流流量和流失量预测	192
8.5.3 洪灾监测/损失评估	193
8.6 在海洋和海岸监测中的应用	195
8.6.1 海面温度/海流监测	195
8.6.2 海风活动/海浪监测	196
8.6.3 海洋颜色监测	198
8.6.4 冰的监测	199
主要参考文献	202

第1章 绪 论

1.1 遥感技术与发展现状

遥感 (remote sensing) 是一种非接触的获取地球表面信息的技术。通过探测和记录地面目标的电磁波辐射信息, 对其进行处理、分析和应用, 从而确定地面目标的位置、性质、属性和变化规律。遥感过程是获取地面目标的图像并对其进行处理和应用的過程, 本质上是地面目标电磁波信息的收集、处理和应用的過程。在这个过程中, 遥感图像获取是前提和基础, 遥感图像处理是手段和途径, 遥感图像应用是目的和归宿。遥感系统的巨大经济和社会效益只有通过具体的应用实例才能得到充分体现, 而在应用过程中又离不开遥感图像获取手段的保障, 以及遥感图像处理技术和产品的支持。

随着科学技术的发展, 遥感图像获取手段日益成熟, 遥感图像已逐渐成为空间地理信息的重要数据源之一。特别是传输型遥感卫星的广泛使用, 为快速、周期性地获取对地观测数据提供了可靠保障。遥感已突破了数据获取的瓶颈, 已经或正在走向全面应用的新阶段。同时, 随着遥感图像分辨率 (包括空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率和时间分辨率) 的提高, 遥感应用也已经从单纯的定性应用阶段发展到了定性应用和定量应用相结合的新阶段。与之相适应的是, 遥感图像处理手段也从光学处理、目视判读和手工制图阶段过渡到了数字处理、数字判读和计算机制图阶段。在这个过程中, 国际上相继推出了一批高水平的遥感影像处理系统, 并逐渐得到广大用户的认可。这些系统的推广和使用, 在很大程度上加快了遥感图像应用的步伐, 促进了遥感图像从粗放应用向精细应用的过渡。

目前, 遥感技术已经渗透到国防和国民经济建设的各个领域, 在军事侦察、目标监视、打击或毁损效果评估、农作物长势监测、粮食估产、土地利用调查、地表资源普查、灾情监测、地质找矿、石油勘探、天气预报、地形测绘、海洋应用甚至外星探测等诸多领域都已经有了许多成功的应用, 产生了巨大的经济和社会效益, 展现出了广阔的应用前景。由于遥感应用是以实际观测图像为基础的, 特别是遥感卫星能够在很高的轨道上对地球进行周期性的重复观测, 因此, 遥感应用成果的客观性较好, 大范围应用或宏观应用的效率较高, 利用遥感手段不仅能够获得观测对象的静态信息, 而且能够获得观测对象的变化规律, 不仅能够完成境内应用任务, 而且能够实现境外甚至全球应用目标, 这正是遥感的优势所在。

1.2 遥感图像处理系统及其特点

遥感图像处理的主要目的是: 改善图像的质量, 增加图像的信息量, 从图像中提取感兴趣目标的位置、性质、属性和变化信息, 或者生成遥感专题图产品, 为专业领域应用提供精确、可靠的地理空间信息支持。

伴随着遥感数据获取手段的进步,遥感图像的类型越来越多,质量越来越好,同时用户需求也越来越多样化,应用要求也越来越高,这些都极大地促进了遥感图像处理技术的发展和遥感图像处理产品的研发,其成果集中体现于当前主流的遥感图像处理系统。

遥感图像处理系统主要分为两大类:一类是侧重于地形测绘,目标三维量测和定位的数字摄影测量系统,如美国 Intergraph 与德国 Carl Zeiss 的合资公司 Z/I Imaging 推出的 ImageStation、中国武汉大学的 Virtuoso 等;另一类是通用的遥感图像处理系统。

数字摄影测量系统一般是软、硬件高度集成的系统,除摄影测量软件包外,还包括计算机、立体观察和量测等硬件设备。图 1.1 是采用偏振光技术实现立体观察的数字摄影系统,图 1.2 是采用场/幅分割视频技术实现立体观察的数字摄影系统的全貌。数字摄影测量系统的主要功能包括数字空中三角测量(即利用少量高等级控制点加密出一定数量且满足测图需要的控制点的作业)、数字地面模型(DTM)的自动生成和编辑、正射影像图制作、地物要素采集(在立体观察条件下通过三维量测设备完成)、三维景观图生成、栅格数据与矢量数据的综合成图等。数字摄影测量系统的处理对象是立体图像,其理论基础是立体图像测量技术。目前,除控制点识别、地物要素采集、DTM 检查编辑等部分工作需要人工干预外,大部分工作都可以自动完成。数字摄影测量系统是当前摄影测量领域最主要的作业装备。



图 1.1 一种典型的数字摄影测量

通用遥感图像处理系统主要是软件产品,主要有 ER Mapper、ENVI、ERDAS Imagine、PCI Geomatica 等。通用遥感图像处理系统不是针对某个特定的应用领域而专门设计的,其功能具有普遍性,因此应用面较广。

ER Mapper 是由澳大利亚的地球资源制图公司(Earth Resource Mapping)开发研制的遥感图像处理系统,最新产品是 2004 年推出的 ER Mapper 6.4 版本。ER Mapper 设计思想独特,它不是简单地把各个处理功能堆积起来,而是将一系列的处理过程(如数据输入、波段选择、滤波、直方图变换等),有效地组织起来形成一个图像处理流程。用户可以按一定的处理方案,将有关处理功能组织成一个图像处理流程,而且可以将这个流程以算法形式存储起来使用。



图 1-2 Z/I Imaging 公司 ImageStation 的全貌

ER Mapper 是全模块设计,除了具有影像增强、波段间运算、几何纠正、影像配准、影像镶嵌、影像分类等传统图像处理功能外,还具有航摄图像的正射校正、等高线自动生成、数据融合、雷达图像处理、三维可视化及穿越飞行、遥感制图等专业功能。ER Mapper 不仅能够处理通用格式的图像数据,还能够处理 Landsat、SPOT、ERS、JERS、NOAA AVHRR、航空多光谱等图像数据,而且提供了编程、批处理、公式合成等用户开发环境,允许用户在这三个层次上对其进行二次开发。

ENVI (environment for visualizing images) 是由美国研究系统公司 (Research Systems, Inc.) 开发研制的遥感图像处理系统,2005 年 9 月推出了最新的 ENVI 4.2 版。ENVI 曾于 2000 年获美国国家影像制图局 (NIMA) 组织的遥感软件测评第一。ENVI 的主要功能包括常规图像处理、几何校正、定标、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、矢量分析、区域分析、正射影像图生成、三维景观图生成、遥感制图、数据融合等,提供了完备的地图投影软件包,具有强大的二次开发工具 IDL (interactive data language),能够在各种操作系统 (包括 Windows 98/NT/2000、UNIX、Linux、Macintosh 等) 环境下使用,不仅能够处理通用格式的图像数据,而且能够处理 Landsat、SPOT、RADARSAT、NOAA、EROS、TERRA 等多种卫星图像数据。

ERDAS Imagine 软件是由美国莱卡公司 (Leica Geosystems) 开发研制的遥感图像处理系统,最新版本为 ERDAS Imagine 8.7,可运行于 UNIX 或 Windows NT4.0/Windows 2000 操作系统上。目前,ERDAS Imagine 已成为世界上市场份额最大的专业遥感图像处理软件,用户遍布 100 多个国家,软件套数从 1996 年的 12 000 套迅速增加到目前的近 50 000 套。该软件提供基础级 (essentials)、高级 (advantage) 和专业级 (professional) 三种打包方式。基础级遥感图像处理软件包提供最低成本的影像制图和可视化工具,如几何纠正、影像分析、可视化和自动专题地图输出等功能。高级遥感图像处理软件包除了具有基础级软件包的全部功能外,还增加更高级且精确的遥感制图、

影像处理和地理信息分析等功能。专业级遥感图像处理软件包是在高级软件包的基础上,增加用于遥感与地理分析专业的综合工具,如混合分类技术、雷达分析、可视化空间建模工具等。

PCI Geomatica 软件是加拿大 PCI Geomatics 公司开发研制的遥感图像处理系统。主要功能包括投影变换、影像增强、影像裁剪、影像拼接、大气校正、高光谱图像处理、数据融合、航摄图像正射校正与镶嵌、卫星图像正射校正与镶嵌(包括高分辨率的 SPOT-5、QuickBird、Ikonos 等卫星图像)、DEM 自动提取、雷达图像处理等,提供了二次开发工具 SDK (software development kit)。

通用遥感图像处理系统有两个显著特点:一是与地理信息系统 GIS 和数据库管理系统 DBMS 结合紧密;二是逐渐包含数字摄影测量系统的核心功能。例如,ER Mapper 通过动态链接技术,已经实现了与 GIS、数据库的全面集成;它可以直接读取、编辑、增加、存储 GIS 数据,并且可以利用遥感图像对 GIS 数据进行更新,支持 ARC/INFO、ArcView、MapInfo、AutoCAD MAP 等 GIS 系统;还可以与大型数据库 Oracle 进行动态链接,直接读取 Oracle 的图像数据并加以利用。再比如,在 ENVI 4.2 版本中,已经包含了利用 Ikonos、QuickBird、SPOT 等卫星的立体图像快速提取 DTM 的功能,ERDAS Imagine 更包含了 OrthoBase、OrthoBase Pro、Stereo Analyst 和 Virtual GIS 等多个立体测图和 GIS 模块。

中国在遥感图像处理系统研发方面也取得了长足进展。武汉大学的 VirtuoZo 数字摄影测量系统已经进入国际市场,中国测绘科学研究院的 JX-4C 数字摄影测量工作站已经在国内广泛使用。涌现出了 TIM-Imager、GeoImager、TITAN Image 等多个通用遥感图像处理系统,并在国内市场占据了一定份额。总体上,中国的遥感图像处理技术已经接近国际领先水平,但在遥感图像处理工具研发方面仍有一定的差距。

1.3 本书的主要内容和安排

目前,遥感技术应用已十分普遍,遥感图像处理系统在国内已经有了一定的使用量,并且用户数量正在以较快的速度增长。对于遥感应用领域的广大科技工作者,甚至包括作业一线的遥感图像处理系统的直接使用者,都迫切需要一本完整地介绍遥感图像处理的基本理论、方法及典型应用实例的著作。本书正是为这一目的而编写的,希望通过这本著作把遥感图像处理和应用的 basic 理论、方法和经验介绍给读者。本书共分 8 章,各章节内容安排如下。

第 1 章,绪论,简要概括了遥感技术的发展现状,详细介绍了当前主流遥感图像处理系统及其特点,使读者对遥感图像处理技术和产品有一个整体了解。

第 2 章,遥感图像基础,从应用的角度详细介绍了地物波谱特性、遥感平台、传感器、遥感图像种类及其特点等内容,使读者对遥感图像获取手段有一定的了解,对遥感图像的特点有深刻的认识,为后续章节做准备。

第 3 章,遥感图像增强,详细介绍了遥感数据辐射量校正,以及遥感图像辐射增强、空间增强、光谱增强、高光谱图像处理、傅里叶频率域增强、影像信息融合、局部图像羽毛化处理的理论和算法。

第4章，遥感图像定位原理，详细介绍了遥感图像定位理论和方法，包括遥感图像位置和姿态的确定、基于单幅图像的目标定位、基于立体图像的目标定位、数字地面模型生成等。

第5章，遥感图像几何校正与镶嵌，详细介绍了遥感图像几何误差产生的原因，以及遥感图像近似几何校正和严格几何校正的方法和过程，还介绍了图像镶嵌处理技术。

第6章，遥感图像分类，详细讨论了多光谱遥感图像分类（识别）的原理，以及几种监督分类和非监督分类算法，介绍了概率松弛法在遥感图像分类中的应用、混合像元分类的概念、非光谱信息的应用和基于知识的遥感图像分类方法。

第7章，雷达图像处理，详细介绍了雷达的基本概念、合成孔径雷达的成像处理、雷达图像的分辨率及几何特性，重点介绍了雷达图像几何校正、INSAR 原理和 INSAR 数据处理方法。

第8章，遥感图像应用，详细介绍了遥感图像在军事、农业、林业、地质、水文、海洋等领域的应用实例，展示了遥感图像的重要应用价值。

应当指出：本书只对遥感图像处理中的主要问题进行了探讨，对典型应用实例做了介绍，不可能非常完整和全面。在写作方法上主要注重概念清晰、体系完整、简明扼要、通俗易懂，但并不追求面面俱到。在介绍具体内容时，重点放在各种算法的原理上，面对详细的实现过程和实现细节介绍得较少。因此读者在使用本书的同时，仍需要参考有关书籍。希望本书能够帮助读者掌握遥感图像处理与应用的基本理论和方法，为更好地应用遥感图像奠定基础。

第 2 章 遥感图像基础

遥感成像过程实际上是地物电磁波信息收集、探测、处理并转换成图像的过程，了解和掌握遥感图像形成的有关知识有助于更好地理解遥感图像及处理方法。本章主要从应用的角度介绍地物波谱特性、遥感平台、传感器、遥感图像种类及其特点等内容，为后续章节做准备。

2.1 地物的波谱特性

在遥感过程中，一般需要能量照射目标（除非目标本身能够辐射能量）。在被动遥感中，能量主要来自太阳的辐射；在主动遥感中，能量主要来自传感器本身。照射到目标的能量与目标之间发生相互作用，其中部分能量被反射到传感器的接收系统，经转换、处理后变成遥感图像。能量是以电磁波的形式传播的。不同类型的地物能够辐射不同波长的电磁波，遥感正是利用地物辐射电磁波的固有特性来探测地面目标的。本节仅从“遥感”的角度阐述地物波谱的有关概念。

2.1.1 电磁波

电磁波是指在真空或介质中通过传播电磁场的振动而传输电磁能量的波，如光波、热辐射、微波、无线电波等。电磁波是通过电场和磁场之间相互联系和转化传播的，是物质运动能量传递的一种特殊形式，即空间任何位置只要存在电磁场，也就存在能量，任何变化的电场都将在它的周围产生变化的磁场，而变化的磁场又会在它周围感应出变化的电场。在电磁波里，电场强度矢量 $\vec{E}$ 和磁场强度矢量 $\vec{H}$ 相互垂直，并且都垂直于电磁波的传播方向 x ，如图 2.1 所示。

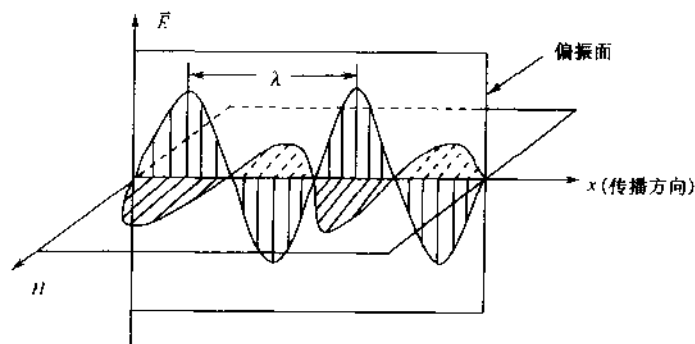


图 2.1 电磁波

电磁波在介质中沿 x 方向的传播速度 v 为

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2.1)$$

式中, ϵ 为介质的相对介电常数; μ 为相对磁导率; c 为光速。

波长和频率是电磁波的两个重要概念。波长 (λ) 是电磁波在传播过程中一个周期的长度, 即相邻的两个波峰 (或波谷) 之间的距离, 单位为米 (m)、毫米 (10^{-3}m)、微米 (10^{-6}m)、纳米 (10^{-9}m) 等。频率 (ν) 是单位时间内电磁波的波动周期数, 单位为赫兹 (Hz)。电磁波的波长、频率 ν 和速度 v 之间有以下关系

$$v = \lambda \nu \quad (2.2)$$

在真空中, $\epsilon = \mu = 1$, 所以电磁波在真空中传播的速度与光速一致。

电磁波既表现出波动性, 又表现出粒子性。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发射能量, 只能不连续地一份一份地吸收或发射能量。光能有一最小单位, 叫做光量子或光子, 电磁波的这种特性叫做能量的量子化。光子也是一种基本粒子, 光子的能量 E 与其频率 ν 成正比, 即

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

式中, h 称为普朗克常数。

电磁波有四个要素, 即波长 (或频率)、传播方向、振幅、偏振面。振幅为电场振动的强度, 振幅的平方与电磁波具有的能量大小成正比。包含电场方向的平面称为偏振面, 偏振面的方向不变的情况称为直线偏振。

2.1.2 电磁波谱

电磁波产生的方式是多种多样的, 其波长变化范围很大, 主要应用部分约跨 18 个数量级, 从 $10^{-11} \sim 10^6\text{cm}$ 。尽管电磁波的波长不同, 但它们在真空中的传播速度都是相等的。依据 $c = \lambda\nu$ 和 $E = h\nu$ 可知: 波长越短, 频率越高, 能量越大。按电磁波在真空中的波长 (或频率) 依顺序划分成波段, 排列成谱即为电磁波谱, 如图 2.2 及表 2.1 所示。

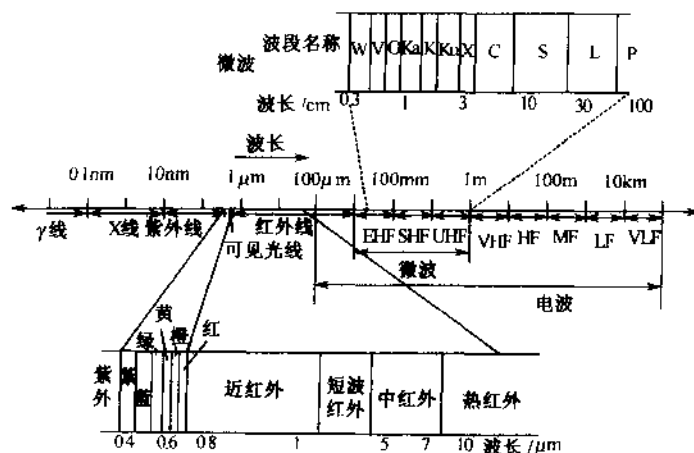


图 2.2 电磁波谱

表 2.1 电磁波的分类及其名称

名 称			波长范围	频率范围
紫外线			10nm~0.4 μ m	750~3000THz
可见光			0.4~0.7 μ m	430~750THz
红外线	近红外		0.7~1.3 μ m	230~430THz
	短波红外		1.3~3 μ m	100~230THz
	中红外		3~8 μ m	38~100THz
	热红外		8~14 μ m	22~38THz
	远红外		14 μ m~0.1mm	0.3~22THz
电波	亚毫米波		0.1~10mm	0.3~3THz
	微波	毫米波 (EHF)	1~10mm	30~300GHz
		厘米波 (SHF)	1~10cm	3~30GHz
		分米波 (UHF)	0.1~1m	0.3~3GHz
	超短波 (VHF)		1~10m	30~300MHz
	短波 (HF)		10~100m	3~30MHz
	中波 (MF)		0.1~1km	0.3~3MHz
	长波 (LF)		1~10km	30~300kHz
	超长波 (VLF)		10~100km	3~30kHz

与遥感应用有关的主要波段及特性如下。

1. 紫外线

紫外线的波长在 0.01~0.4 μ m 之间,主要源于太阳辐射。由于太阳辐射通过大气层时的被吸收现象,只有 0.3~0.4 μ m 的紫外线能部分地穿过大气层,但散射严重,在遥感中很少使用。

2. 可见光

可见光波长在 0.4~0.7 μ m 之间,主要源于太阳辐射,是遥感中最常用的波段之一。大部分地物在可见光波段都具有良好的亮度反差特性,在可见光图像上不同的地物易于区分。在多光谱成像时,可见光又可细分为红 (0.6~0.7 μ m)、绿 (0.5~0.6 μ m)、蓝 (0.4~0.5 μ m) 等波段。航空和航天遥感均可使用可见光波段。

3. 红外线

红外线波长在 0.7 μ m~0.1mm 之间,近红外和短波红外主要源于太阳辐射,中红外和热红外主要源于太阳辐射及地物热辐射,而远红外主要源于地物热辐射。红外波段较宽,不同地物的反射特性和发射特性都可以较好地区分开来,因此该波段在遥感成像中有重要的应用。使用红外波段的遥感称为红外遥感,根据所使用波段的波长范围,又可细分为近红外遥感、热红外遥感等。红外波段可用于航空和航天遥感。