

高等学校测绘类本科教材

遥感技术与应用

刘丹丹 曲建光 王强 编著

周秋生 主审



哈尔滨地图出版社

遥感技术与应用

YAOGAN JISHU YU YINGYONG

刘丹丹 曲建光 王 强 编著

周秋生 主审

哈尔滨地图出版社

• 哈尔滨 •

图书在版编目(CIP)数据

遥感技术与应用/刘丹丹,曲建光,王强编著. —哈尔滨:
哈尔滨地图出版社,2009.5

ISBN 978-7-5465-0058-4

I.遥… II.①刘… ②曲… ①王… III.遥感技术—高等学校—教材 IV.TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 082244 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:14.25 字数:330 千字

2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5465-0058-4

印数:1~1 000 定价:29.80 元

前 言

遥感技术作为空间信息科学的重要组成部分,是采集地球空间信息及动态变化的主要技术手段,也成为从事地球科学、资源环境、测绘勘察、农林水利等学科的进行科学研究的主要方法,在资源与环境监测、测绘制图、区域开发等发面得到了广泛的应用。遥感技术也得到了更加全面、深入地应用和发展。

在黑龙江工程学院重点课程建设的项目和黑龙江省骨干教师基金项目的资助下,基于学科发展和学科建设的需要,我们组织了在教学一线上有大量的教学工作经验和实际生产经验的教师编写了此书。本书立足于教学,简单扼要地阐述遥感的基本原理与基本方法,并在实践环节中有具体的实例操作,并且每章都配有题型多样的思考题,供学生复习思考。

全书共分为 8 章,第一章为绪论部分,介绍遥感的基本概念和组成等。第二章介绍遥感的物理基础,包括地物的发射辐射、反射辐射、大气窗口等基础知识。第三章为遥感数据采集系统,包括遥感平台、轨道特点、传感器成像原理等。第四章为遥感数字图像处理的基础知识,包括遥感数字图像处理的数学基础知识和遥感数字图像表示方法等。第五章介绍图像复原方法,包括图像的几何校正和辐射校正等。第六章介绍图像的增强的方法,包括图像的合成、图像的线性变换、非线性变换、图像的融合等。第七章介绍图像的解译,包括人工目视解译和计算机的自动识别分类。第八章介绍遥感技术各个领域中的应用,包括遥感技术在测绘学中、农业、林业、土地资源管理、城市规划等领域中的应用。

书中图、表丰富,可作为高等院校本科和研究生遥感课程的教材和参考书,也可供高等院校的教师、本科生、科研工作者参考、阅读。

全书的第二章、第三章、第四章、第八章的基本内容由刘丹丹编写,第五章、第六章、内容由王强编写,第一章、第八章以及全书的实验部分由曲建光编写。实例中使用的数据在<http://www1.hljit.edu.cn/ch/>中下载。书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者
2009 年 5 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 遥感的基本概念	1
第二节 遥感基本过程与技术系统	2
第三节 遥感的分类	3
第四节 遥感技术的形成与发展	5
第二章 电磁辐射及物体的波谱特性	8
第一节 电磁波	8
第二节 发射辐射	14
第三节 地物的反射辐射	26
第四节 地物光谱测试实习	32
第三章 遥感数据采集系统	35
第一节 遥感平台	35
第二节 陆地卫星轨道参数及特点	37
第三节 陆地卫星及轨道参数介绍	41
第四节 传感器及成像原理	56
第四章 数字图像处理基础	84
第一节 数学基础	84
第二节 图像的表示方法	86
第三节 图像的存储	91
第四节 遥感数字图像处理系统	92
第五节 应用实例：数据的输入、显示、输出	98
第五章 遥感图像的复原	109
第一节 遥感图像的辐射校正	109
第二节 遥感图像的几何变形	113
第三节 几何校正的方法	114
第四节 几何精校正的过程	118
第六章 图像增强	123
第一节 灰度变换	123
第二节 直方图变换	126
第三节 图像平滑	132
第四节 图像锐化	138
第五节 彩色增强技术	142
第六节 代数运算	144
第七节 图像融合	145
第八节 图像增强的实现方法	146
第七章 遥感图像解译	153
第一节 人工目视解译	153
第二节 遥感图像的计算机分类	160
第三节 应用实例	176
第八章 遥感技术的应用	188
第一节 遥感技术在测绘中的应用	188

第二节	遥感技术在国土资源调查中的应用	196
第三节	遥感技术资源环境中的应用	208
第四节	GNSS 气象遥感技术	212
参考文献		221

第一章 绪 论

第一节 遥感的基本概念

“遥感”(Remote Sensing)一词作为科学技术术语出现于 20 世纪 60 年代,意思是“遥远的感知”,即不与对象接触而收集有关该对象的信息。现代遥感的定义是:不直接接触有关目标物或现象而能收集信息,并能对其进行分析、解译和分类等的一种技术。

根据遥感这一概念,自然界本身存在许多遥感现象。例如:蝙蝠之所以能在漆黑的环境中自由快速地飞翔,是因为它不仅能够向外发射 25 000~70 000 Hz 的强超声波,而且能够接收这些超声波的反射回波,以此来判断障碍物的距离、方位和性质;狗的鼻子能够嗅出 100 万种物质的气味;人的眼睛能看见和识别一定距离的各种物体;人们利用重力场来探测地形变化或地质构造等。现代遥感技术就是模仿自然界中的遥感现象和过程产生的。

但目前人们所说的“遥感”一般是指电磁波遥感,遥感所收集的信息是由目标物反射或发射的电磁波。收集电磁波信息的装置(如摄影机和扫描仪等)叫传感器。装载传感器的设备,如飞机和人造卫星等称为运载工具或遥感平台。

遥感是从空中利用遥感器来探测地面物体性质的现代技术。它有许多特点:

1. 探测范围大

航摄飞机的飞行高度可达 10 km 左右,陆地卫星的轨道高度达到 910 km 左右。由于飞得高,观测的面积就广阔。例如,每张陆地卫星图像覆盖的地面范围达到 30 000 km²,约相当于我国海南岛的面积。我国只要 600 多张左右的陆地卫星图像就可以全部覆盖。这就为人们展示了一种宏观的景象,对于地球资源及环境要素的分析极其有利。

2. 获取资料的速度快、周期短

以往进行实地测绘地图,要几年、十几年甚至几十年才能重复一次,应用航空摄影测量方法以后,也要数年才能重复测量一次,而卫星绕地球运转,能迅速获得所经地区的各种自然现象的最新资料。以陆地卫星 4、5 为例,每 16 天可以覆盖地球一遍。因此,利用遥感技术以后,地图的更新时间可以大大缩短,一些地区自然现象的动态变化也能很快地反映出来,并及时做出预报。

3. 受地面条件限制少

对于自然条件恶劣、地面工作难以开展的地区,如高山、冰川、沙漠、沼泽等,或因国界限制不易到达的地区,用遥感,特别是航天遥感方法,则比较容易获取资料。

4. 手段多,获取的信息量大

遥感技术可以根据不同的目的和任务,选用不同的波段和不同的遥感仪器,取得所需的信息。现代的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。例如，可见光的蓝绿光波段，对水体有一定的穿透深度；用波长较长的微波雷达探测冰层，可以穿透冰层而到达冰层下面的地面或水体。微波波段还具有全天候工作的能力。遥感技术获取的信息量非常大，以四波段陆地卫星多光谱扫描图像为例，像元点的分辨率为 $79\text{ m}\times 57\text{ m}$ ，每一波段含有 7 600 000 个像元，一幅标准图像包括四个波段，共有 3 200 万个像元点。

5. 用途广

遥感技术已广泛应用于农业、林业、地质、地理、海洋、水文、气象、测绘、环境保护和军事侦察等许多领域，具有明显的社会、经济和生态效益。

第二节 遥感基本过程与技术系统

遥感技术系统是实现遥感目的的方法、设备和技术的总称，它是一个多维、多平台、多层次的立体化观测系统。从总体上看，任何一个遥感任务的实施，均由遥感数据获取、有用信息抽取及遥感应用三个基本环节组成。而每个环节的进行，都要有相应的技术手段与基础研究的支持。

现代遥感技术的基本过程是：在距离目标物几米至几千千米的距离以外，以汽车、飞机和卫星等为观测平台，使用光学、电子学、电子光学等探测仪器，接收目标物反射、散射、发射来的电磁辐射能量，以图像胶片或数字磁带形式进行记录，然后把这些信息传送到地面接收站，接收站把这些遥感数据和胶片进一步加工成遥感资料产品，从中提取有用信息，如图 1-1 所示。

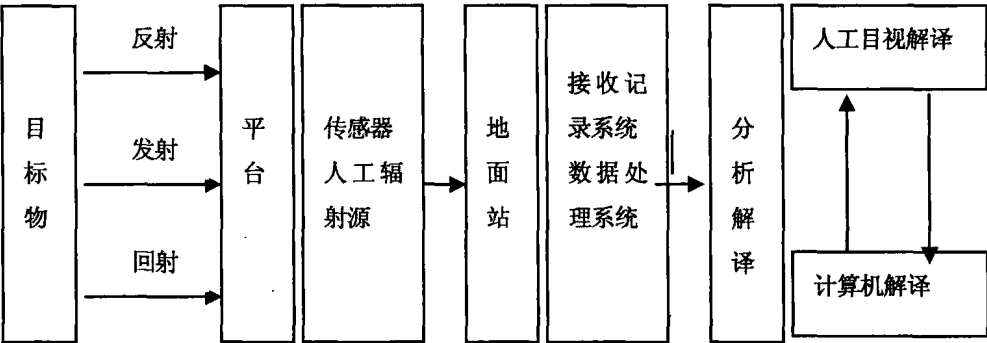


图 1-1 遥感的基本过程

遥感技术系统是实现遥感目的的方法论、设备和技术的总称。现已成为一个从地面到高空的多维、多层次的立体化观测系统。研究内容大致包括遥感数据获取、传输、处理、分析应用以及遥感物理的基础研究等方面。遥感技术系统主要有：

1. 遥感平台系统

即运载工具。包括各种飞机、卫星、火箭、气球、高塔、机动高架车等。

2. 遥感仪器系统

如各种主动式和被动式、成像式和非成像式、机载的和星载的传感器及其技术保障系统。

3. 数据传输和接收系统

如卫星地面接收站、用于数据中继的通讯卫星等；用于地面波谱测试和获取定位观测数据的各种地面台站网。

4. 数据处理系统

用于对原始遥感数据进行转换、记录、校正、数据管理和分发。

5. 分析应用系统

包括对遥感数据按某种应用目的进行处理、分析、判读、制图的一系列设备、技术和方法。遥感技术系统是一个非常庞杂的体系。对某一特定的遥感目的来说，可选定一种最佳的组合，以发挥各分系统的技术优势和总体系统的技术经济效益。

遥感数据获取是在由遥感平台和传感器构成的数据获取技术系统的支持下实现的。由于各种平台和遥感器都有自己的适用范围和局限性，因此往往根据具体任务的性质和要求的不同而采用不同的组合方式，以取得较好的应用效果。片面地强调某种平台或遥感器的重要性，甚至把它们对立起来，是不适宜的。

第三节 遥感的分类

一、根据遥感平台的分类

遥感技术根据所使用的平台不同，可分为三种：

(1) 地面遥感。即平台高度为 100 m 以下，主要是对地面、地下或水下进行的遥感和测试，常用平台为汽车、船舰、三脚架、塔等。地面遥感是遥感的基础。

(2) 航空遥感。即平台高度为 100 m 以上，100 km 以下，平台为飞机或气球，是从空中对地面目标的遥感。它的特点是灵活性大，图像清晰，分辨力高，并且历史悠久，形成了较完整的理论和应用体系，它还可进行各种遥感试验和校正工作。

(3) 航天遥感。即平台高度为 240 km 以上，是以卫星、火箭和航天飞机为平台，从外层空间对地球目标物所进行的遥感。它是 20 世纪 70 年代发展起来的一种现代遥感技术。其特点是：在数百千米的高度上对地观测，系统收集地表及其周围环境的各种信息，形成影像，便于宏观地研究各种自然现象和规律；能对同一地区周期性地重复成像，发现和掌握自然界的动态变化和运动规律；能迅速地获得所覆盖地区的各种自然现象的最新资料。

二、根据电磁波谱的分类

遥感技术根据传感器所接收的电磁波谱分为五种：

(1) 可见光遥感。即只收集与记录目标物反射的可见光辐射能量，所用传感器有摄影机、扫描仪、摄像仪等。

(2) 红外遥感。即收集与记录目标物发射或反射的红外辐射能量，所用传感器有摄影机、扫描仪等。

(3) 微波遥感。即收集与记录目标物发射或反射的微波能量，所用传感器有扫描仪、微波

辐射计、雷达、高度计等。

(4) 多光谱遥感。即把目标物辐射来的电磁辐射分割成若干个窄的光谱带，然后同步探测，同时得到一个目标物不同波段的多幅图像。现在使用的多光谱遥感传感器有多光谱摄影机、多光谱扫描仪和反束光导管摄像仪等。

(5) 紫外遥感。即收集与记录目标物的紫外辐射能，目前还在探索阶段。

三、根据电磁辐射能源的分类

根据传感器所接收的能量来源，可把遥感技术分为主动和被动遥感两种：

(1) 主动遥感。即使用人工辐射源从平台上先向目标发射电磁辐射，然后接收和记录目标物反射或散射回来的电磁波的遥感。如雷达、闪光摄影等属此类。

(2) 被动遥感。即不利用人工辐射源，而是直接接收与记录目标物反射的太阳辐射或者目标物本身发射的热辐射和微波的遥感。其中目标物反射的电磁波来源不在目标物本身，而是太阳，所以也有人将这种遥感方式称他动遥感。

四、根据应用目的的分类

根据用户的具体应用情况，可将遥感分为地质遥感、农业遥感、林业遥感、水利遥感、环境遥感等。

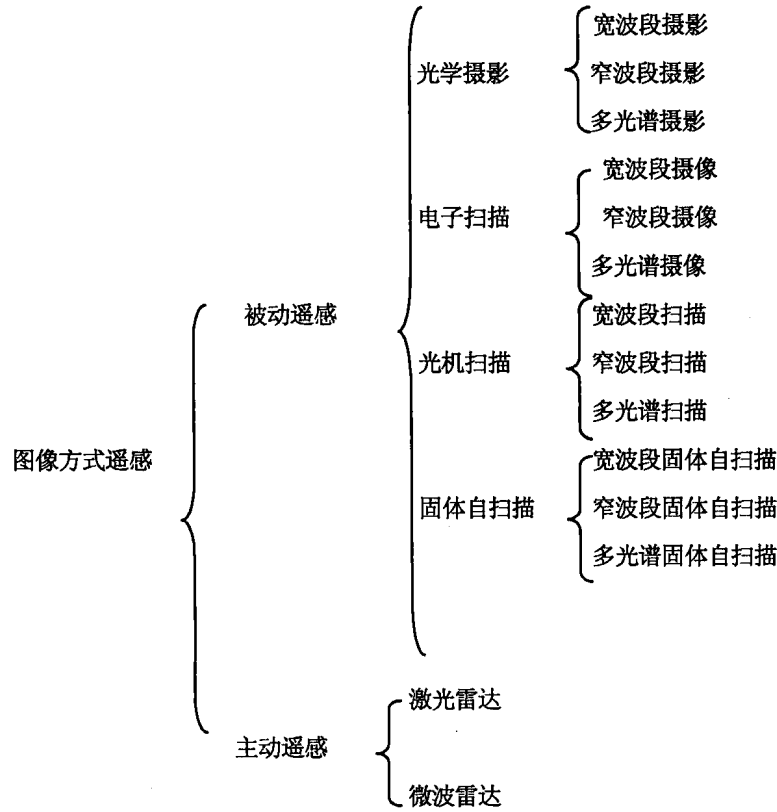


图 1-2 图像方式遥感分类

五、根据遥感资料的显示形式、获得方式和波长范围的分类

根据遥感资料的显示形式,获得方式和波长范围等综合指标,遥感技术可分成:图像方式遥感和非图像方式遥感。

(1) 图像方式遥感。即把目标物发射或反射的电磁波能量分布,以图像色调深浅来表示。

(2) 非图像方式遥感。即记录目标物发射或反射的电磁辐射的各种物理参数,最后资料为数据或曲线图,主要包括:光谱辐射计、散射计、高度计等。

图像方式遥感分类见图 1-2。

第四节 遥感技术的形成与发展

一、遥感技术的发展阶段

20 世纪 50 年代以来,随着科学技术的发展,在普通照相机和飞机的基础上,一些新的信息探测系统相继出现。人类观测电磁辐射的能力从可见光扩展到了紫外、红外、微波等,对目标物信息的收集方式从摄影到非摄影;资料由像片到数据(非图像);平台由汽车、飞机发展到了卫星、火箭;应用研究从军事、测绘领域扩展到了农业、林业、水利、气象、地质、地理、环境和工程等部门。这就需要引进一个新的术语,以便概括这种信息探测系统及其过程。1960 年,美国学者伊林(Evelyn L Pruitt)提出“遥感”这一科学术语,1962 年在美国密执安大学召开的《国际环境科学遥感讨论会》上,这一名词被正式通过,标志着遥感这门新学科的形成。但是,在遥感一词出现以前,就已产生了遥感技术。发展至今,大体经历了三个阶段:常规航空摄影阶段、航空遥感阶段和航天遥感阶段。

1. 常规航空摄影阶段(20 世纪 30 年代前)

遥感作为一门科学技术是随着摄影技术和空间运载工具的发展而发展起来的。自 1839 年,法国人达意尔(Luis. J. M. Daguerre)发明了摄影术,人类就有了能把自然界的的信息记录在感光材料上的照片。1859 年美国人布雷克(J. W. Black)在 265 m 高的气球上拍摄了第一幅空中照片,地点是波士顿海港。1903 年飞机问世以后,便开始了航空摄影的试验,即从空中对地面进行摄影。1910 年,怀特(Wilbur Wright)第一次成功地从飞机上拍摄了意大利某地区的航空像片,从此便开始了航空遥感,在此前后的航空摄影主要目的是为了军事侦察、地形测量及制图。第一次世界大战(1914~1918)期间,德国人和英国人相继采用航空摄影作为军事侦察手段;到了第二次世界大战时,许多参战国都采用了航空摄影进行军事侦察,一大批科学家和技术人员应征从事航片解译(Photo Interpretation)工作,收集军事情报。航空遥感技术在第二次世界大战期间受到了广泛的重视。美国海军以及大地测量局应用彩色航片进行了海岸及浅海海底地形制图,使航空遥感在测量与制图的应用方面有了较大的发展。

2. 航空遥感阶段(20 世纪 30~60 年代)

20 世纪 30 年代起,航空像片除用于军事外,被广泛应用于地学领域中,以认识地理环境

和编制各种专题地图。1930 年美国开始进行全国航测, 编制中小比例尺地形图和为农业服务的大比例尺专题地图。其后, 欧洲、前苏联等也开始了全国性的航测, 与此相应的航测理论和技术都有了迅速发展, 首次出现了感红外的航摄胶片, 首次获得了目标物的不可见信息, 1937 年进行了首次彩色航摄, 生产出假彩色红外胶片, 并探索进行多光谱和紫外航空摄影。第二次世界大战期间开始应用雷达和红外探测技术, 到了 20 世纪 50 年代, 非摄影成像的扫描技术和侧视雷达技术开始产生并应用, 打破了用胶片所能响应的波段范围限制, 使遥感技术发展到了航空遥感阶段。随着探测技术的进步, 培养专业人员和进行理论研究的工作也得到了相应的发展。1941 年, A. J. 厄德莱的《航空像片应用与判读》、J. W. 巴格莱 (Bagley) 的《航空摄影与航空测量》等著作出版。美国于 1949 年在大学中开始开设航摄和像片判读课程, 1949 年国际地理学会设立了航片应用委员会, 1945 年美国就创刊出版了《摄影测量工程学》杂志, 1975 年改名为《摄影测量工程和遥感》。航空遥感自从问世以来, 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, 成为对自然资源进行考察和研究的一个重要手段和基本工具。但是, 航空遥感在探测距离上不是很远, 传感器覆盖的面积小, 取得资料速度慢且数量少, 这就促使遥感技术向前发展。

3. 航天遥感阶段 (20 世纪 60 年代以来)

1957 年, 前苏联发射了第一颗人造地球卫星, 3 个月后美国也发射了一颗人造地球卫星, 于是开始了航天遥感。随着空间技术、无线电电子技术、光学技术、传感器技术、计算机技术以及现代通讯技术的发展, 遥感技术有了很大发展。传感器从第一代的航空摄影机, 第二代的多光谱摄影机、多光谱扫描仪, 很快发展到第三代的固体扫描仪 (CCD); 遥感的运载工具, 从飞机很快发展到卫星、宇宙飞船和航天飞机; 遥感波谱段从可见光发展到红外和微波; 遥感信息的记录和传输从图像的直接传输发展到非图像的无线电及微波传输; 而图像像元地面分辨率也从 80 m, 很快发展到 30 m, 20 m, 10 m, 2.5 m, 甚至达到米级。

二、遥感技术发展趋势

遥感技术经过几十年的发展, 目前已经形成了比较完整的基础理论体系及其系列的技术支持。遥感技术作为一种信息获取的手段, 集中了航空、航天、电子学、计算机、通讯、现代光学等学科发展的最新成果, 成为现代科学技术的重要组成部分, 它已经渗透到国民经济各个领域中, 如农业、林业、地质、气象、海洋、环境、城市规划及土地管理等专业领域和部门。

1. 传感器的研制趋于高分辨率、高光谱、小型、立体

Landsat 卫星影像空间分辨率最高可达 15 m (ETM+), SPOT 卫星影像空间分辨率全色波段现在最高可达 2.5 m、5 m, 多光谱波段达 10 m, 美国的 IKONOS 影像数据分辨率可达 1 m 和 4 m, Quickbird 影像数据空间分辨率最高可达 0.61 m。目前, 星载遥感器的光谱分辨率大约为可见近红外波段, 略优于 100 nm (10^{-4} m), 在热红外波段约 200 nm 左右, 而机载的成像光谱仪已达到可见光、近红外波段约 10 nm, 热红外波段约 30 nm 左右, 整个波段数已达到 256 个波段。

2. 自动识别分类的方法趋于多样化

遥感图像分类问题是遥感图像信息提取中最基本的问题之一, 许多遥感技术的应用都转化

为遥感图像分类问题来研究，基于神经网络、模糊数学、遗传算法、支持向量机等理论的自动识别分类算法日益成熟，随着高分辨率传感器的发展，面向对象的自动识别分类方法应运而生。自动识别分类的目的也由信息的定性提取向定量提取的方向发展。

3. 遥感技术应用日趋广泛

当前遥感形成了一个从地面到空中，乃至空间，从信息数据收集、处理到判读分析和应用，对全球进行探测和监测的多层次、多视角、多领域的观测体系，成为获取地球资源与环境信息的重要手段。遥感技术必将在林业、农业、资源、测绘等领域得到越来越广泛的应用。

第二章 电磁辐射及物体的波谱特性

遥感之所以能够根据收集到的电磁波来判断地物目标和自然现象，是因为一切物体，由于其种类、特征和环境条件的不同，而具有完全不同的电磁波的反射或发射辐射特征，因此遥感技术主要是建立在物体发射或反射电磁波的原理之上的。

第一节 电磁波

一、电磁波的概念

根据麦克斯韦电磁场理论，变化的电场能够在它的周围引起变化的磁场，这个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，以有限的速度由近及远在空间内传播的过程称为电磁波。如图 2-1。

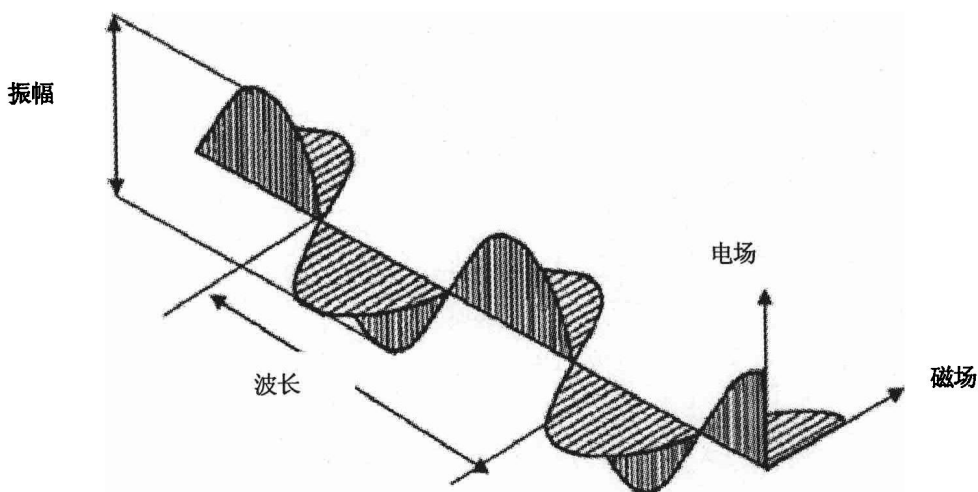


图 2-1 电磁波

电磁波是如何产生的呢？电荷加速的时候就会产生电磁辐射，电磁辐射的波长(λ)取决于带电粒子加速的时间的长短，频率则取决于每秒加速的次数，波长为一个周期中两个最大值或最小值之间的平均距离。

下列公式描述了电磁波的波长(λ)与频率(ν)之间的关系，其中 c 为光速。

$$c = \lambda \nu \quad (2.1)$$

注意，频率与波长成反比：波长越长，频率越低；波长越短，频率越高。当电磁辐射从一个物体传到另一个物体的时候，光速和波长有可能发生变化，但频率保持不变。

二、电磁波传播的性质

1. 电磁波具有波粒二向性的特点

波动性形成了光的干涉，衍射；偏振现象、粒子性可以解释光电效应现象。麦克斯韦把电磁辐射抽象为一种以速度 v 在介质中传播的横波，振动着的是空间里的电场强度矢量 E 和磁场强度矢量 H ，其振动方向垂直于前进方向，且同一点的 E 和 H 相互垂直，变化位相相同，这种关系可用下列方程组表达：

$$\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\partial E}{\partial x} \quad (2.2)$$

$$\frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (2.3)$$

式中： ε 为介质相对介电常数； μ 为相对磁导率； c 为真空中的光速。

电磁辐射的波动学说，在解释电磁辐射的一些现象，如光电效应现象时遇到困难。近代物理学研究证明：电磁辐射是一种很小的物质微粒，电磁辐射过程就是具有质量的粒子的运动过程，电磁辐射的实质是光子微粒有规律的运动，其粒子性，使得电磁辐射具有统计性。

实验证明，光子的能量与其频率成正比，即：

$$E = h\nu \quad (2.4)$$

光子动量与其波长成反比，即

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (2.5)$$

E ， p 分别为光子的能量和动量， $p = 6.626 \times 10^{-34}$ 焦·秒 (J·s)，称为普朗克常数。

光子的波动性与粒子性是光子本性在不同的条件下的表现。可以说波是粒子流的统计平均，粒子是波的量子化，波动性突出表现在其传播过程中，粒子性则突出表现在物体的电磁辐射与吸收、光子与物质的相互作用中。一般地说，频率越高、波长越短、能量越大的光子其粒子性越显著；而波长越长、能量越低的光子则波动性越显著。光子的波动性和粒子性通过下式联系起来：

$$\begin{aligned} E &= h\nu = \frac{hc}{\lambda} \\ m &= \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \\ p &= mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \end{aligned} \quad (2.6)$$

值得提出的是，在同一条件下，光子或者表现其粒子性，或者表现其波动性，而不能两者同时都表现出来。

电磁辐射的能量激发物体，释放出带电粒子，形成光电流，这种现象称作电磁辐射的光电效应。光电效应是粒子性的明显表现，用光子假设可得到圆满的解释：电磁辐射照射到物质表面（金属物体），金属中的自由电子吸收了光子能量，而从金属中逸出。电子吸收一个光子，便

获得 $h\nu$ 的能量，该能量一部分消耗于电子从金属逸出时克服表面对它的吸引力所需的逸出功 A ，另一部分转化为电子的初动能。

光电效应在遥感中很重要，扫描成像、电视摄像等就是利用的光电效应，把光像变成电子像，把人们对眼睛无所用的电磁辐射用一定的探测元件接收下来，使其通过光电效应变成电子像，最后变成人们可以看见的影像。

2. 电磁波的干涉

若有几列波同时在介质中传播，则它们各自将以原有的振幅、频率和波长独立传播；在几列波相遇处，质点的位移等于各列波单独传播时在该处引起的位移的矢量和。这种波动传播过程中出现的各分振动独立地参与叠加的事实称为波的叠加原理。频率相同、振动方向相同、波源初相位差恒定或初相位差为零的两个（或两个以上）波的叠加，在叠加区域内某些地方的振动始终加强，某些部位的振动始终减弱，这种现象叫波的干涉。一定要注意，只有满足上述条件的两列波才是相干波。两个振幅相同的相干波，在同一直线上沿相反方向传播就形成驻波。

电磁波的相干对遥感来说是很重要的，干涉有利的方面是利用能量增大趋势，使图像清晰。一般地，凡是单色波都是相干波。取得时间和空间相干波对于利用干涉进行距离测量是相当重要的，激光就是相干波，它是光波测距仪的理想光源。微波遥感中的雷达也是应用了干涉原理成像的，其影像上会出现颗粒状或斑点状的特征，这是一般非相干的可见光影像所没有的，对微波遥感的判读意义重大。

3. 光的衍射

光通过有限大小的障碍物时偏离直线路径的现象称为光的衍射。从夫琅和费衍射装置的单缝衍射实验中可以看到：在入射光垂直于单缝平面时的单缝衍射实验图样中，中间有特别明亮的亮纹，两侧对称地排列着一些强度逐渐减弱的亮纹。如果单缝变成小孔，由于小孔衍射，在屏幕上就有一个亮斑，它周围还有逐渐减弱的明暗相间的条纹，其强度分布如图 2-2 所示。

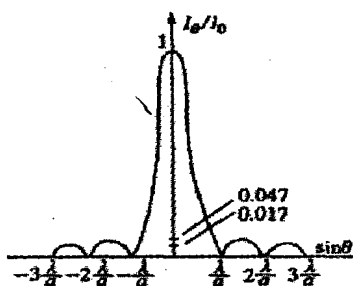


图 2-2 衍射光强度分布

电磁波的衍射对遥感技术影响很大，电磁波通过传感器的孔径而被切割时，就要发生衍射，使电磁辐射能量的数量、质量、方向都发生变化，测量结果不准确，给目标物的解译也带来困难，影响遥感所使用仪器的分辨能力。

4. 电磁波的偏振

在一般情况下，天然波的振动在垂直于传播方向的平面上可以取所有可能的方向，并且波的振幅完全相等。如果波在各个方向上振幅大小不相等，而且各个方向振动之间没有固定位相关系，极大值与极小值之间的夹角为 90° ，则称该波发生了偏振现象。在遥感中，电磁波的偏振非常重要，如进入传感器的电磁波都有一定的偏振性，偏振摄影、侧视雷达成像接收的完全是偏振波，利用偏振原理制作立体镜进行遥感影像立体观察等。电磁辐射因辐射源或者相对于传播介质的运动，而使观察者接收到的频率发生变化的现象，称为多普勒效应。在不考虑相对论效应的情况下，可以将电磁波传播与声波在空气中的情形进行类比，当光源相对于观察者运动时，比如光源向观察者的方向运动，光源发出第一个波峰后，再经过 T （周期）后，光源发出第二个波峰，但此时光源的位置已发生改变，要更靠近观察者，所以两个波峰之间的距离要小于 $C \times T$ ，即观察者接收到的两个波峰之间的时间差要比 T 小，也就是频率要更大一些，这就是多普勒效应。

在遥感中，主动式遥感都是从运动着的平台上发射电磁辐射，所以地面所接收到的辐射频率要发生改变；被改变了的辐射又被地面再反射到平台上的传感器，传感器接收的辐射频率又要经过一次多普勒效应的改变。从发射到接收回波，其总的频率改变为单次多普勒效应的两倍。多普勒雷达就是根据发送和接受的电磁波(微波)的频率的变化(多普勒频移)、雷达发射波和回波信号的时间的间隔、电磁波的极化方向确定飞行物的速度和位置。

三、电磁波谱

为了便于描述和比较电磁辐射的内部差异，按照它们的波长（频率）大小，依次排列画成图表，这个图表就叫做电磁波谱。

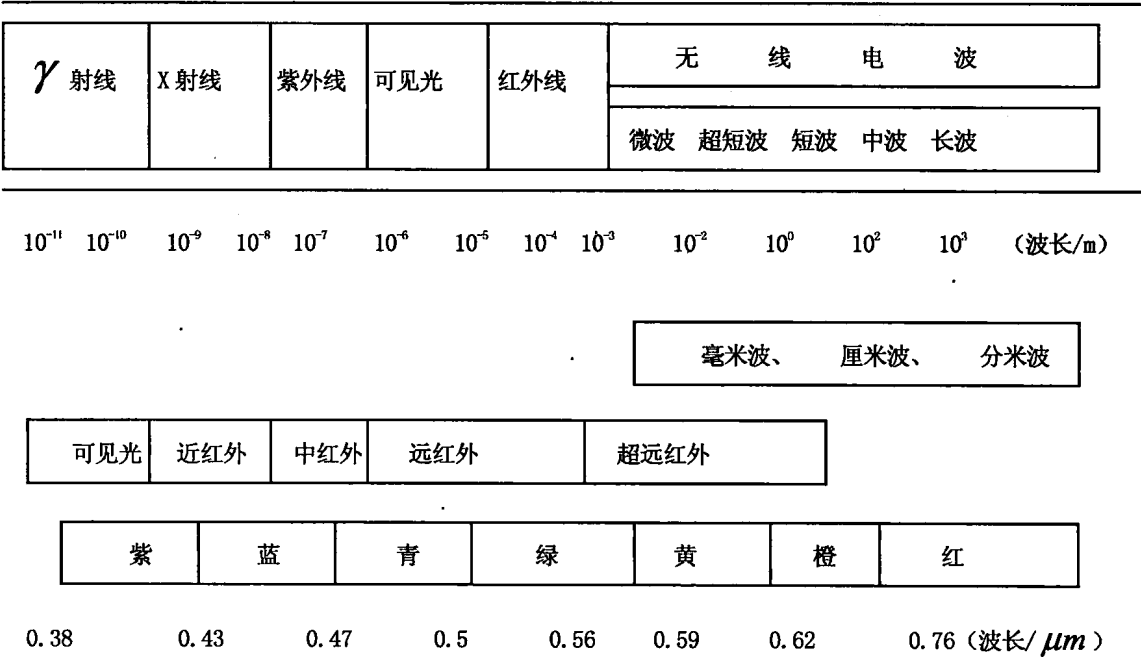


图 2-3 电磁波谱