

高等学校试用教材

遥感图象处理原理和方法

杨凯 卢健 林开愚 编著
蓝云超 孙家柄

OGAN TUXIANG CHULI YUANLI HE FA

测绘出版社

遥感图象处理原理和方法

杨 凯 孙家柄 卢 健

蓝云超 林开愚 编著

测绘出版社

717

内 容 简 介

遥感技术本身主要包括对地球表面及其环境信息的获取,处理和显示应用等三个基本组成部分。为了突出测绘学科的特点,本书主要偏重于处理技术,同时也包括了必要的遥感信息获取和应用方面的内容。具体内容有:电磁波及地物波谱特性;遥感传感器及其成像原理;遥感图象及其特征;离散图象变换;遥感图象辐射度校正方法;遥感图象的几何处理方面:几何变形的来源及影响,图象的光学和数字纠正的原理和方法;遥感图象之光学增强和数字增强的原理和方法;遥感图象专题信息提取的原理和方法;数字图象在计算机中两种基本数据形式——栅格数据和矢量数据之间的转换方法;遥感数字图象处理系统之硬、软件配置和一般功能。最后,在附录中具体介绍了加拿大 DIPIX 公司出产的 ARIES-I 图象处理系统及其使用等。

遥感图象处理原理和方法

杨 凯 孙家柄 卢 健

蓝云超 林开愚

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本 787×1092 1/16·印张33.25·插页 4·字数759千字

1988年11月第一版·1988年11月第一次印刷

印数1—2000册 定价6.70元

ISBN 7-5030-0157-7/P·63

前 言

随着遥感技术及其应用的飞速发展,社会上对遥感技术人才的需要愈显迫切。为了适应培养新技术人材的形势,我们编写了这本教科书。本书是在武汉测绘科技大学摄影测量与遥感系 1980 年以来陆续开设的《遥感技术基础》、《数字影象处理》、《遥感图象的几何处理》以及《遥感数字图象处理技术》等课程、并经过几年的教学实践的基础上,经综合、充实和精炼后编成的。

遥感技术本身主要包括对地球表面及其环境信息的获取、处理、显示应用等三个基本组成部分。为了突出测绘学科的特点,本书的主要内容偏重于处理技术,所以取名为《遥感图象处理原理和方法》,同时也包括了必要的遥感信息获取和应用方面的内容。

本书共分十四章。前四章为基础知识,包括电磁波及地物波谱特性、遥感传感器及其成像原理、遥感图象及其特征、离散图象变换等内容;第五章介绍了遥感图象辐射度校正的方法;第六章到第八章是有关遥感图象的几何处理方面的内容,包括遥感图象几何变形的来源及影响,以及图象的光学和数字纠正原理及方法;第九章和第十章分别为遥感图象之光学增强和数字增强的原理和方法;第十一章和第十二章介绍了遥感图象专题信息提取的原理和方法,包括目视判读技术及计算机分类技术;第十三章介绍了数字图象在计算机中两种基本数据形式——栅格数据和矢量数据之间的转换方法;第十四章简介了遥感数字图象处理系统硬、软件配置和一般功能;最后,在附录中具体介绍了加拿大 DIPIX 公司出产的 ARIES-II 图象处理系统及其使用。

本书的编成是武汉测绘科技大学遥感教研室教师们合作努力的结果。其中杨凯(教授)负责全书大纲的拟定及全书编写的组织工作,并主要编写第六、八、十二和十三章;孙家柄(副教授)主要编写第二、七、九和十四章;卢健(讲师)主要编写第三、四、五和十章;蓝云超(讲师)主要编写第一和十一章;林开愚(副教授)主要编写了附录。

本书主要是供摄影测量与遥感专业本科大学生使用,也可作为其他专业本科生或研究生遥感课程的教材使用。同时,本书还可供从事遥感工作的有关工程技术人员参考。

本书在编写和审定过程中,得到了武汉测绘科技大学名誉校长王之卓教授的指导;得到了南京林业大学方有清教授和华中工学院万发贵教授、柳健副教授的热忱支持。武汉测绘科技大学遥感教研室的舒宁、陈军、管炼、边馥苓和甘信铮等同志也对本书的编写做了有益的工作。在此,一并表示衷心的感谢。

编者

一九八八年三月

目 录

绪言	(1)
第一章 电磁波谱及地物的波谱特性	(2)
§ 1-1 电磁波谱	(2)
§ 1-2 辐射源与大气对辐射的影响	(9)
§ 1-3 物体的波谱特性	(19)
§ 1-4 辐射传输方程	(25)
§ 1-5 物体波谱特性测量与地面遥感试验	(27)
第二章 遥感传感器及其成像原理	(31)
§ 2-1 人造卫星轨道和空间运载工具	(32)
§ 2-2 光学摄影类型的传感器	(46)
§ 2-3 光电成像类型的传感器	(53)
§ 2-4 微波成像类型的传感器	(79)
第三章 遥感图象及其特征	(85)
§ 3-1 连续图象的数学表达	(86)
§ 3-2 图象的抽样、量化和重建	(93)
§ 3-3 遥感图象的空间特征及测度	(109)
§ 3-4 遥感图象的光谱特征及测度	(117)
§ 3-5 遥感图象的其它特征	(123)
§ 3-6 图象的视觉特征	(125)
第四章 离散图象变换	(131)
§ 4-1 离散傅里叶变换	(131)
§ 4-2 其它具有固定核函数的变换	(147)
§ 4-3 最佳变换方法	(158)
第五章 数字遥感图象的辐射度校正	(166)
§ 5-1 遥感图象的退化模型	(167)
§ 5-2 图象数据校准和噪音清除	(173)
§ 5-3 辐射度空间退化的校正	(192)
§ 5-4 数字影象镶嵌时的辐射度均衡	(199)
第六章 遥感图象的几何变形	(204)
§ 6-1 传感器成像几何形态所带来的图象变形	(204)
§ 6-2 传感器外方位元素变化的影响	(207)
§ 6-3 地形起伏的影响	(210)

§ 6-4	地球曲率的影响	(214)
§ 6-5	大气折射的影响	(215)
§ 6-6	地球自转的影响	(217)
第七章	遥感图象几何校正的光学处理	(219)
§ 7-1	引言	(219)
§ 7-2	遥感图象的光学纠正	(220)
§ 7-3	遥感图象制作正射影象图	(226)
第八章	数字遥感图象的几何纠正与配准	(234)
§ 8-1	遥感传感器的构像方程	(234)
§ 8-2	数字影象纠正的基本原理	(246)
§ 8-3	各种纠正变换方法	(253)
§ 8-4	美国陆地卫星(Landsat)影象和法国SPOT卫星影象的几何纠正	(269)
§ 8-5	遥感图象的几何配准	(283)
第九章	遥感图象增强的光学处理	(290)
§ 9-1	空间域光学增强处理	(290)
§ 9-2	频域光学处理	(316)
第十章	数字图象增强	(329)
§ 10-1	概述	(329)
§ 10-2	反差(对比度)增强	(330)
§ 10-3	边缘增强	(341)
§ 10-4	彩色增强	(354)
§ 10-5	多图象增强	(361)
第十一章	遥感图象的目视判读及专题制图	(371)
§ 11-1	目视判读原理	(371)
§ 11-2	几种遥感图象的判读	(381)
§ 11-3	遥感专题制图	(386)
第十二章	数字图象的计算机分类	(392)
§ 12-1	遥感图象计算机分类的一般原理	(393)
§ 12-2	分类判决函数和判决规则	(398)
§ 12-3	特征选择	(407)
§ 12-4	非监督分类方案和监督分类方案	(418)
§ 12-5	光谱特征分类中的辅助处理技术	(431)
§ 12-6	数字图象计算机分类实例	(448)
第十三章	图象和图形数据形式的转换	(455)
§ 13-1	栅格式数据变为向量式数据的转换	(455)
§ 13-2	向量式数据变为栅格式数据的转换	(471)
第十四章	遥感数字图象处理系统	(479)

§ 14-1 遥感数字图象处理的硬件系统.....	(479)
§ 14-2 遥感数字图象处理的软件系统.....	(482)
§ 14-3 遥感数字图象处理系统的发展和实例.....	(483)
附录 ARIES-Ⅱ 图象处理系统	(488)
参考文献	(524)

绪 言

“遥感(Remote Sensing)”这个术语的出现,是在1962年。当时美国决定使两项原先属于军事保密的新技术——侧视雷达成像技术和红外行扫描成像技术公开于民用,为此在美国密执安大学召开了一个取名为“环境遥感(Remote Sensing of Environment)”的专题讨论会。从此,“遥感”这个术语便正式地以特定的含义在学术界以及科技应用界中得到了流传和使用。自1972年美国第一颗地球资源技术卫星(ERTS-1,后改为LANDSAT-1)成功地发射并获取了大量地球表面的卫星图象之后,“遥感技术”便开始在世界范围内得到了迅速的发展和广泛的应用。

遥感通常指的是通过某种传感器装置,在不与被研究对象直接接触的情况下,获取其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门科学和技术。遥感技术的主要应用范畴是国土资源调查、环境监测和规划管理决策。由于遥感技术是在当代新技术革命特别是信息技术和航天技术的推动下出现的,它不仅在技术上充分运用了数字化、自动化和智能化等现代处理方式,而且在应用上充分显示了宏观性、动态性和综合性等优越性,因此它是一门非常活跃的新技术。

常规的航空摄影测量技术与遥感技术有着直接的亲缘关系,它们的基本组成环节都是对地球表面自然和人工现象的信息获取、信息处理和信息表达与应用。毫无疑问,航空摄影测量技术就是航空时代和光学机械时代的遥感技术(虽然当时还没有出现遥感这个术语),而当代的遥感技术则是常规航空摄影测量技术的现代化发展。与此同时,当代遥感技术本身的发展有一个明显的趋势,就是与地理信息系统(GIS)技术紧密地结合起来。

本书的编写目的,主要是为摄影测量工作者进入现代遥感技术领地提供基础知识。为此,如果读者的专业背景是摄影测量学,则在进行遥感技术学习时需要把握住两个方面的习惯转移:一是要从对遥感影像的几何特征处理转到对影像物理特征(辐射特征)的处理上来;二是要从单一的地形图测图应用目标转到广泛的资源与环境综合分析应用目标上来。我们相信摄影测量工作者必将会在遥感技术的发展和应用中,发挥自己应有的作用和做出应有的贡献。

作者

一九八八年

第一章 电磁波谱及地物波谱特性

本章仅对电磁波遥感的辐射能源——电磁波在发射、传输和接收过程中所涉及的基本物理过程作简要介绍，其目的是了解电磁辐射的基本特性及其与大气、地面物体相互作用的关系。

§ 1-1 电磁波谱

一、电磁波

1. 电磁波的传播方程

电场磁场的交替变化称为电磁振荡，电磁振荡在空间的传播即是电磁波，如图 1-1-1 所示。

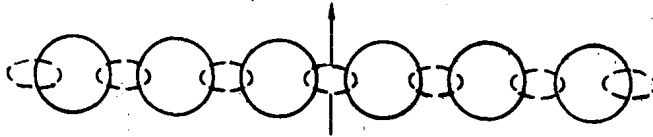


图 1-1-1 电磁波

电磁波的波动方程（即传播方程）可由简谐振动的波动方程导出。简谐振动的传播情形如图 1-1-2 所示。其波动方程为：

$$\Psi = f(vt - x) \quad (1-1-1)$$

式中 Ψ 为任意时刻 t 、任意空间位置 x 处，质点离开平衡位置的距离； v 为波的传播速度； x 为波在传播方向的距离。

为导出传播方程的表达式，对 (1-1-1) 式分别求 x 和 t 的二阶偏微分：

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = f''(vt - x) \quad (1-1-2)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = v^2 f''(vt - x) \quad (1-1-3)$$

联立 (1-1-2) 和 (1-1-3) 式，且假设任意时刻 t 和任意位置 x 处， v 都恒定不变，则

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \quad (1-1-4)$$

此式仍然是 $(vt - x)$ 的函数，其形式为：

$$\Psi(x, t) = A_0 \exp[i(kvt - kx + \varphi_0)] \quad (1-1-5)$$

令 $kv = \omega$ ，用欧拉公式展开上式取其实数部分得：

$$\Psi(x, t) = A_0 \cos[\omega t - kx + \varphi_0] \quad (1-1-6)$$

式中 ω ——振动的圆频率； k ——波数（ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， λ 波长）； A_0 ——振幅； φ_0 ——初相位。

波在三维空间传播时，距离 x 以空间向量 r 代替。

$$r = lx + my + nz \quad (1-1-7)$$

式中 l, m, n 是向量 r 在 x, y, z 三坐标轴方向的单位矢量，满足：

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (1-1-8)$$

于是三维空间中，波的传播方程为：

$$\Psi(x, r, t) = A_0 \cos[\omega t - k(lx + my + nz) + \varphi_0] \quad (1-1-9)$$

一般情况下都只考虑波在某一方向的传播，其他方向视为零，则 (1-1-9) 式与 (1-1-6) 式等价。

对电磁波而言，可分别写出电场和磁场在某一传播方向的传播方程，其形式与 (1-1-6) 式相同。

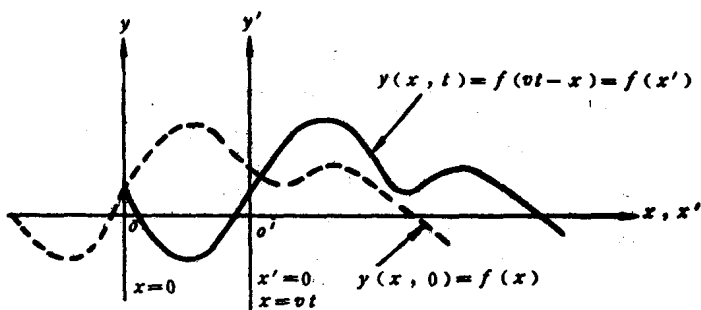


图 1-1-2 简谐振动

2. 电磁波的特性

(一) 电磁波的能量

电磁波的电场分量和磁场分量的振动方向相互垂直，二者又都与传播方向垂直，这种波称为横波。图 (1-1-3) 示出电磁波的传播情形。

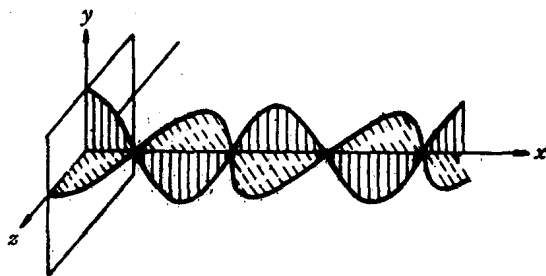


图 1-1-3 电磁波示意图

频率为 ν 的电磁波所具有的能量 W 可以简单地表示为:

$$W = h\nu = hc/\lambda \quad (1-1-10)$$

式中 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ (焦耳·秒)——普朗克常数;

$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ——电磁波在真空中的传播速度。

电磁波的传播过程也是电磁能量的传播过程。将单位时间内通过与传播方向垂直的单位面积的能量定义为能流密度,且用坡印廷向量 $\mathbf{S}$ 表示它的大小和方向:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (1-1-11)$$

平面电磁波电场分量 E 和磁场分量 H 相互垂直,而且都垂直于传播方向,所以坡印廷向量 $\mathbf{S}$ 总是指向传播方向。由于在任意时刻, E 和 H 都相等, $E \times H = E^2$ (或 H^2), 虽然 E 和 H 都有正负方向的变化,但 $\mathbf{S}$ 却始终不改变方向。

各种传感器接收物体发射或反射的电磁能量,转换成其它形式的能量记录下来,就成为遥感的基本依据。电磁能量的大小决定着记录能量的强弱,进而影响遥感分析利用的效果。研究电磁能量在整个电磁波谱中的分布状况及其物体对它的相互影响是遥感的重要研究课题之一。

(二) 电磁波的偏振

如前所述,电磁波是由电场和磁场组成的。它们不仅相互垂直,而且都垂直于传播方向,在一定的介质中,只要知道一个场的方向和大小,另一个场也就被确定了。若电磁波的电场(或磁场)总是固定在某一个方向振动,则称电磁辐射在该方向被极化(偏振)。为便于讨论,我们规定电磁波的传播方向为 x 轴,则振动方向可以是 y 、 z 平面内的任何方向。振动在 y 、 z 轴方向的分量可由 (1-1-6) 式写出类似的表达式:

$$E_y = E_{y_0} \cos[wt - kx + \varphi_y] \quad (1-1-11)$$

$$E_z = E_{z_0} \cos[wt - kx + \varphi_z] \quad (1-1-12)$$

式中 E_{y_0} 、 E_{z_0} 分别为 y 、 z 方向的振幅分量。如果 $E_{z_0} = 0$, 电场的振动为沿 y 方向振动的线偏振;若 $E_{y_0} = 0$, 则为沿 z 方向振动的线偏振。这种沿某一固定方向振动的电磁波也称为平面偏振波,或平面波。如图 1-1-4a,b 所示。

如果两分量之间的相位差满足:

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_z = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi \dots \quad (1-1-13)$$

其合振动就是在一、三象限振动的线偏振,振动的轨迹是一条直线,它的斜率为:

$$\theta = \text{tg}^{-1}(E_{z_0}/E_{y_0}) \quad (1-1-14)$$

如果

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_z = \pm\pi, \pm 3\pi \dots \quad (1-1-15)$$

合振动就是在二、四象限振动的线偏振,如图 2-1-4 所表示的情形,其轨迹的斜率为:

$$\theta = \pi - \text{tg}^{-1}(E_{z_0}/E_{y_0}) \quad (1-1-16)$$

如果

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} \pm n\pi, \quad n = 0, 1, 2 \dots \quad (1-1-17)$$

则 (1-1-11) 和 (1-1-12) 两式可以化简为:

$$\left(\frac{E_y}{E_{y_0}}\right)^2 + \left(\frac{E_z}{E_{z_0}}\right)^2 = 1 \quad (1-1-18)$$

此式为椭圆方程, 振动为椭圆偏振。椭圆的长轴方向为偏振的极大值方向, 见图 1-1-4d。

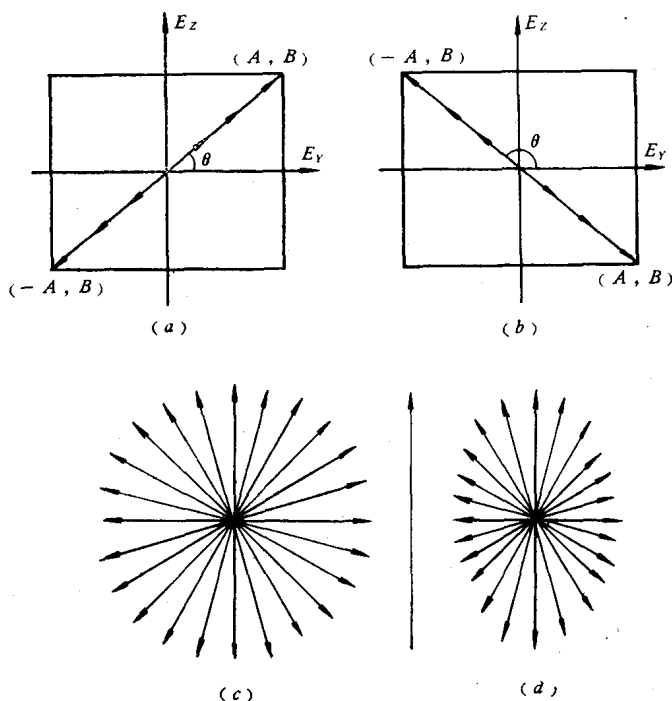


图 1-1-4 电磁波的偏振

天然光由一系列线偏振波列组成, 振动方向包括振动平面内的所有方向, 且各振幅相等, 见图 1-1-4c。

上述偏振波中, 线偏振 (平面偏振) 波的方向具有完整的系统性, 这种波在遥感中十分重要。当平面偏振波投射到物体表面时, 反射波的量将随着偏振方向与反射平面的相对位置而异。如果平面偏振波的偏振方向平行于波所投射的平面, 微波遥感中称为水平极化, 与水平极化相垂直的平面偏振波则称为垂直极化。我们感兴趣的平面是地表面或水平面。

利用平面偏振以及它在各种物质表面的反射、透射特性, 我们就能预计相应的回波强度; 反之, 根据回波强度, 我们也可以判断物体的特性, 这就是偏振波在遥感中的意义所在。

一般情况下, 水平极化波反射多, 透射少; 而垂直极化波透射多, 反射少。例如, 当可见光谱段的光波以入射角为 53° 的方向投射到平滑的水面时, 水平偏振波将有部分反射, 而垂直偏振波则无反射而全部透射。光学文献中, 常用布儒斯特角来恒量反射波的偏振程度, 当入射角 θ 满足

$$\theta_p = \operatorname{tg}^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (1-1-19)$$

(式中 n_1 、 n_2 分别为两种相邻介质的折射系数, θ_p 称为布儒斯特角) 时反射波为完全的水平偏振波, 其垂直偏振波为零。即是说当入射角等于布儒斯特角时, 反射波只有水平偏振而无垂直偏振。

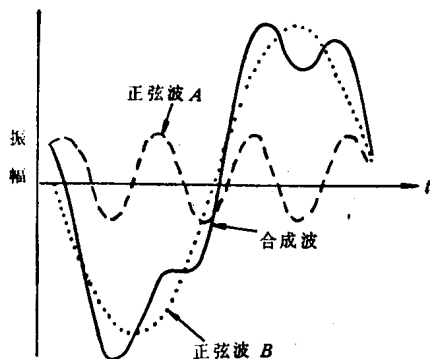


图 1-1-5 电磁波的叠加原理

(三) 电磁波的迭加原理

一列波在空间传播时, 会引起空间点振动; 两列(或多列)波在同一空间传播时, 每列波对空间同一个点都产生作用, 于是空间各点的振动是各列波单独在某点引起振动的合成振动。这就是波的迭加原理。见图 1-1-5。

最简单的情况是两列振动方向和振动频率都相同的电磁波, 传播到空间某 r_0 点时, 引起 r_0 点的合成振动可表示为两分振动的矢量和:

$$\Psi = A_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t - \varphi_2) \quad (1-1-20)$$

当振动方向和振动频率均不同的多列波在空间相遇时, 相遇点的合振动也等于各列波在该点的矢量和。几列波相遇之后, 每一列波仍保持原有的特性(振动方向、频率等保持不变), 因此, 波的传播是独立的。这即是叠加的特性。电磁波的叠加原理适合于大多数常见介质中传播的电磁波。

叠加原理是分析复杂波形的基础, 最常用的方法是将复杂波分解为正弦波或简谐波。通过傅立叶变换可以实现分解过程, 其反变换可以实现合成过程。

遥感实践中, 我们关心的是, 当一个入射波从物体表面反射或透射时, 如何预计这个入射波的反射和透射形式。解决的办法是分析入射波的正弦组元——构成复杂波的各正弦波, 及各组元单独反射和透射的规律。物体对每一频率正弦波组元的响应是用物体的波谱特性来说明的。因此, 实践中很少用数值计算方法对波形进行分析, 而是直接用光谱仪进行测量。

(四) 电磁波的相干

两列频率、振动方向、相位都相同或相位差恒定的电磁波叠加时, 某些位置处振动始终加强, 某些位置处振动始终减弱或完全抵消的现象, 称为电磁波的相干。设 S_1 和 S_2 是具有相干条件的、空间中的两个点振源, 由(1-1-6)式可写出两点源的传播方程为:

$$\Psi_1 = \frac{A_0}{r_1} \cos(\omega t - kr_1) \quad (1-1-21)$$

$$\Psi_2 = \frac{A_0}{r_2} \cos(\omega t - kr_2) \quad (1-1-22)$$

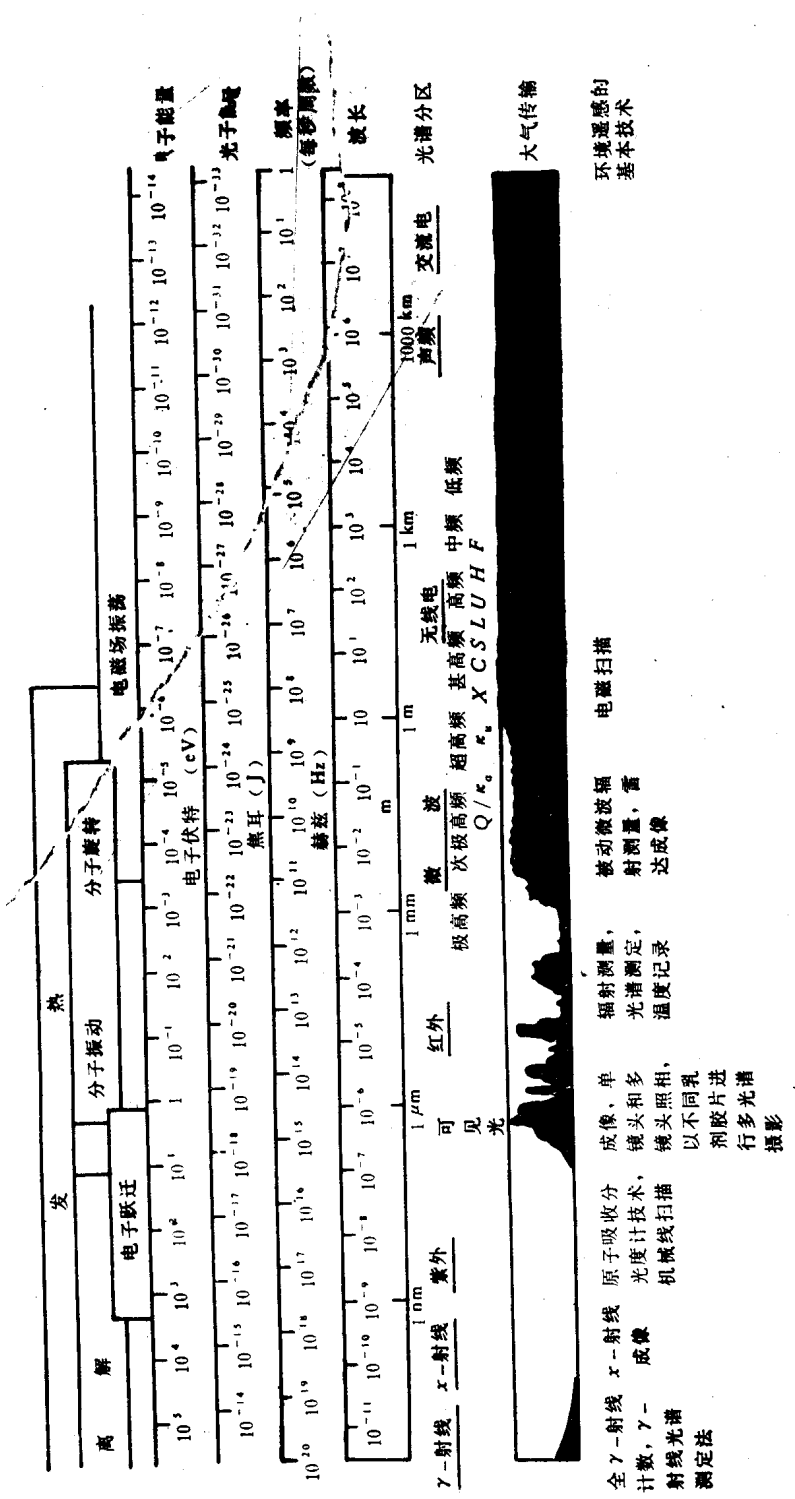


图 1-1-6 电磁波谱

式中 r_1 和 r_2 分别为 S_1 和 S_2 到观察点 P 的空间距离。对观察点 P 两列波的相位差为

$$k \cdot (r_1 - r_2) = k\Delta \quad (1-1-23)$$

$\Delta = r_1 - r_2$ 称为光程差, 当 r_1 和 r_2 都大于 S_1 、 S_2 之间的距离时, 可认为两列波在 P 的振动方向相同。 P 点的合振幅为: 当光程差为波长的整数倍时, 取极大值;

$$A = A_0/r_1 + A_0/r_2 \quad (1-1-24)$$

当光程差为半波长的奇数倍时, 取极小值:

$$A = |A_0/r_1 - A_0/r_2| \quad (1-1-25)$$

两频率不同或频率虽相同但无固定相位差的波是不产生相干现象的。

电磁波的相干现象影响传感器接收能量的大小。对于相干辐射, 探测器在某一位置可能接收到较多的能量, 而在另一位置可能接收到较少的能量; 对于非相干辐射, 探测器接收的平均能量等于每列波单独投射时的平均能量之和, 且不受探测器位置变化的影响。相干作用的结果使影象产生颗粒状或斑点, 影响人们对图象的判读。

电磁波在传播中的反射、吸收、透射、散射等特性将在以后介绍。

二、电磁波谱

按电磁波在真空中的波长或频率, 依顺序划分为波段, 排列成谱即为电磁波谱。图 1-1-6 是电磁波谱的一种形式。图中示出了电磁波谱的范围、各谱段的名称、各谱段的波长范围、地球大气对这些电磁辐射的影响以及各波段常用的成像传感器和成像方法等。

传感器所搜集到的电磁辐射与以下因素有关: 辐射源的波谱、地物的反射波谱特性和地球大气对各波谱段的影响等。了解电磁辐射的特性随波长及其他因素变化的关系, 对于遥感数据分析是至为重要的。

随着各项科学的发展需要, 对电磁波谱各谱段进行了进一步划分, 且给予专门的名称。对无线电波段划分、命名的情况如表 1-1-1。

无 线 电 波 波 段

表 1-1-1

名 称	频 率 范 围	波 长 范 围
VHF	30~300 MHz	10~1 m
UHF	300~1000 MHz	100~30 cm
L 波段	1000~2000 MHz	30~15 cm
S 波段	2000~4000 MHz	15~7.5 cm
C 波段	4000~8000 MHz	7.5~3.75 cm
X 波段	8000~12500 MHz	3.75~2.4 cm
Ku 波段	12.5~18 KMHz	2.4~1.67 cm
K 波段	18~26.5 KMHz	1.67~1.13 cm
Ka 波段	26.5~40 KMHz	1.13~0.75 cm
EHF	>40 KMHz	<7.5 mm

§ 1-2 辐射源与大气对辐射的影响

广义的辐射源包括所有绝对温度大于 0°K 的物体, 这些物体在发射电磁辐射的同时也被其它物体所发射的电磁辐射所辐照。地球上一切物体向空间辐射的电磁波中, 一部分是反射太阳辐射, 一部分物体自身的发射辐射(热辐射)。短波范围 ($0.3\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$) 主要是反射辐射, 热辐射在大多数情况下可忽略不计; 长波范围 ($6\mu\text{m}$ 以上) 则以热辐射为主, 反射辐射可忽略不计; 波长在 $2.5\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 之间时, 二者兼有。

目前遥感的主要能源是太阳电磁辐射和地球的热辐射, 本节主要讨论太阳电磁辐射及其基础——黑体辐射。

1-2-1 辐射源

一、绝对黑体辐射

绝对黑体(有时简称黑体)是在一定温度下各波长的电磁波都达最大出射度的物体。或者定义为能全部吸收投射到其表的电磁辐射能的物体。

绝对黑体的辐射出射度 M_b 是波长 λ 和绝对温度 T 的函数。用普朗克公式描述为:

$$M_{b(\lambda T)} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1-2-1)$$

式中 M_b ——单位表面上单位时间内, 黑体辐射出的能量在单位波长内的大小 ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$);

λ ——波长(μm);

T ——绝对温度(K);

h ——普朗克常数($6.626 \times 10^{-34} \text{W}\cdot\text{s}^2$);

c ——电磁波传播速度($2.998 \times 10^{10} \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$);

k ——波尔兹曼常数($1.38 \times 10^{-23} \text{W}\cdot\text{s}\cdot\text{K}^{-1}$)。

设 $c_1 = 2\pi hc^2 = 3.7415 \times 10^{-16} (\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\mu\text{m}^{-1})$;

$c_2 = hc/K = 1.43879 \times 10^4 (\mu\text{m}\cdot\text{K})$ 。

式 (1-2-1) 可简化为:

$$M_{b(\lambda T)} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (1-2-2)$$

在某一特定温度 T , 黑体在整个电磁波波长范围内的出射度 $M_{b(T)}$, 由 (1-2-2) 式对波长 λ 积分可得:

$$M_{b(T)} = \frac{2\pi^5 K^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (1-2-3)$$

此式称为斯蒂芬-玻耳兹曼定律。式中 $\sigma = 5.67 \times 10^{-12} (\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{K}^{-4})$ 是斯蒂芬-玻耳兹曼常数。该定律说明黑体在一定温度下的总出射度 $M_{b(T)}$ 与绝对温度 T^4 成正比。在波长较长的波谱区, 如果满足 $h\nu \ll kT$ 条件, 则:

$$e^{h\nu/\lambda T K} = e^{h\nu/KT} \approx 1 + h\nu/KT = 1 + hc/\lambda KT \quad (1-2-4)$$

同时 (1-2-1) 式简化为

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} KT \quad (1-2-5)$$

此式称为瑞利-金斯定律。在 $\lambda \gg \lambda_{m,x}$ 时, 该定律与普朗克定律的结果很一致。

当温度 T 不同时, 黑体辐射出射度达极大值处的波长 $\lambda_{m,x}$ 也随着变化。由图 1-2-1 可知当 T 增加时 $\lambda_{m,x}$ 向短波方向移动。用维恩公式表示为:

$$\lambda_{m,x} \cdot T = c_2/4.96511 = 2897.8 \quad (1-2-6)$$

此式称为维恩位移定律。由式 (1-2-6) 计算出给定温度 T 所对应的 $\lambda_{m,x}$ 列于表(1-2-1)。由表可知, 常温为 27°C ($K=300$) 时, 黑体辐射的极大值波长在 $10\mu\text{m}$ 附近, T 达到 1000K 时, $\lambda_{m,x}$ 在 $2.9\mu\text{m}$ 附近, 只有当 T 升高到 4000K 以上时, $\lambda_{m,x}$ 才在可见光波段范围内。

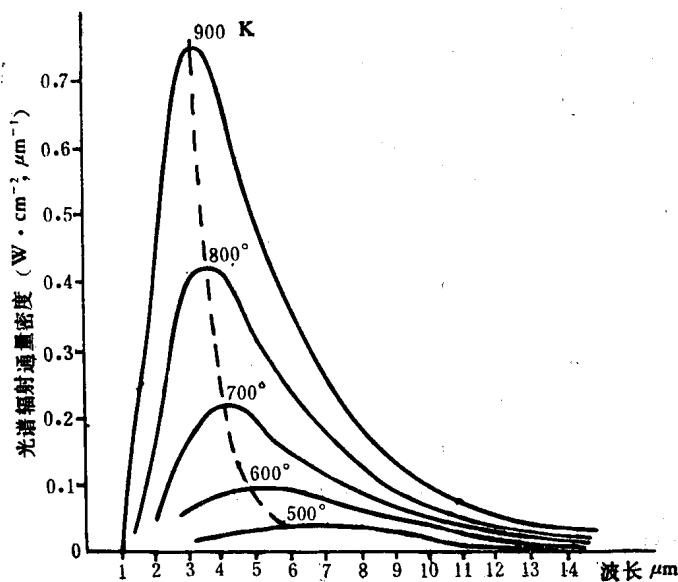


图 1-2-1 维恩定律

表 1-2-1

$T(K)$	300	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000
$\lambda(\mu\text{m})$	9.66	5.80	2.90	1.45	0.97	0.72	0.58	0.48

二、实际物体辐射

1. 发射率

绝对黑体是一种理想的辐射体, 自然界中很难发现这样的物体。自然界的实际物体, 在一定温度下只能吸收投射到其表面的部分电磁辐射, 即吸收率 α 小于 1。为说明实际物