

高等学校“十二五”规划教材——测绘地理信息类

遥感数字图像处理

刘丹丹 张玉娟 主 编



 哈尔滨工程大学出版社

刘丹丹 张娟

遥感数字图像处理

主编 刘丹丹 张娟

内容简介

本书为测绘地理信息类高等学校“十二五”规划教材,系统地介绍了遥感基本概念、电磁波遥感基本理论、遥感平台与传感器系统、遥感数据获取和遥感图像处理与分析,以遥感图像的获取和存储、图像数字表示和描述、图像校正、图像增强变换、图像分割和遥感信息定量提取为主线,详细探讨了遥感各应用领域的方法与实践案例,主要体现在测绘遥感、林业遥感、农业遥感、大气环境遥感、生态环境遥感、水环境遥感、灾害遥感与地理信息系统的集成及综合应用。

本书可作为环境、地理、土地、海洋、农业、地矿、水利、经济、管理、信息等学科的本科生和研究生教材,可供遥感及相关专业的学生使用,也可供遥感科研和生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像处理/刘丹丹,张玉娟主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2016.7

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1335 - 1

I. ①遥… II. ①刘… ②张… III. ①遥感图象 -
数字图象处理 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 179846 号

选题策划 刘凯元

责任编辑 刘凯元 周一瞳

封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 18.75
字 数 478 千字
版 次 2016 年 7 月第 1 版
印 次 2016 年 7 月第 1 次印刷
定 价 44.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn



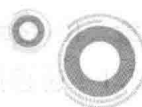
遥感是20世纪60年代发展起来的对地观测综合性技术。它是在航空摄影测量的基础上,随着空间技术、电子计算机技术等当代科技的迅速发展以及地学、生物学等学科发展的需要形成的一门新兴技术学科。遥感是把地球作为一个完整的系统,研究地球各圈层的空间结构及相互作用,并通过遥感数据的定性、定量分析,为解决地球的资源与环境等问题服务。遥感特有的宏观、综合、动态、快速的特点决定了它能被广泛地应用于国民经济与社会发展的各个领域,充分体现出它强大的生命力和广阔的前景。

遥感图像分析是将各种传感器获取反映地表特征的各种数据通过传输、变换和处理,提取有用的信息,实现研究地物空间形状、位置、性质及其与环境的相互关系的一门现代应用技术科学。遥感数字图像处理是计算机数字处理技术与遥感图像分析技术结合而形成的一门新兴技术科学。遥感数字图像处理技术的出现从根本上改变了传统遥感图像的处理方式和识别方式,为遥感技术系统的完善,实现对地高效、快速识别以及多源信息的数字融合处理创造了良好的条件。

本书以图像的获取和存储、图像数字表示和描述、图像显示、图像校正、图像变换、滤波、图像分割、分类和遥感信息提取为主线,以森林资源、农业资源、生态环境和水土流失监测等应用为目的,帮助读者掌握理论和熟悉应用,从而可作为森林资源、环境、水土保持等相关专业大学本科、硕士和博士研究生课程教材及相关科技人员参考书,也可供空间信息管理相关的研究、设计和工程开发人员参考。

本书共分为两个部分,第1章至第6章为理论部分,第7章至第10章为应用部分。理论部分主要介绍了遥感的物理基础、传感器及成像原理、遥感数据、遥感图像的复原、图像增强和遥感图像解译等方面的知识;应用部分主要采用多源、多级分辨率,多时相的遥感数据及理论与实例相结合的方法,结合地面调查数据,对遥感应用的理论与方法进行全面的、系统的论述,主要涉及领域为林业、农业、水资源、生态环境、水土流失、湿地监测等。全书内容丰富,系统性强,具有较强的科学性和实用性。其中,第1章、第2章、第4章的第1节和第2节、第6章、第8章的第1节和第2节、第9章、第10章的第1节至第3节由黑龙江工程学院刘丹丹编写;第3章、第4章的第3节和第4节、第5章、第7章、第8章的第3节和第4节、第10章的第4节至第6节由黑龙江工程学院张玉娟编写。本书得到了黑龙江省自然科学基金面上项目——语义信息在高分辨率影像分类中的研究(E201203)资助。

全书由刘丹丹进行统稿、定稿。在编写过程中,参考了国内外大量相关文献资料,有的资料未能在教材中标出,在此向文献作者致以诚挚感谢。由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,希望各位读者不吝赐教,提出宝贵意见。



第一篇 基础篇

第1章 遥感的物理基础	3
1.1 遥感的概念	3
1.2 电磁辐射及物体的波谱特性	3
1.3 发射辐射	6
1.4 地物的反射辐射	16
第2章 传感器及成像原理	22
2.1 传感器的分类	22
2.2 传感器的组成	23
2.3 传感器的性能	24
2.3 传感器成像原理	26
第3章 遥感数据	51
3.1 数据的表示方法	51
3.2 图像的存储	55
第4章 遥感图像的复原	57
4.1 遥感图像的辐射校正	57
4.2 遥感图像的构像方程	62
4.3 遥感图像的几何变形	66
4.4 遥感数字图像的几何处理	68
第5章 图像增强	74
5.1 灰度直方图	74
5.2 灰度变换	77
5.3 直方图变换	80
5.4 空间域增强	85
5.5 频率域增强	94
5.6 图像运算	98

第6章 遥感图像解译	110
6.1 人工目视解译	110
6.2 遥感图像的计算机分类	115

第二篇 应用篇

第7章 RS技术在基础测绘中的应用	139
7.1 遥感技术优势	139
7.2 RS技术在测绘领域的应用	140
第8章 RS技术在林业中的应用	149
8.1 森林生态系统简介	149
8.2 森林资源与森林遥感	155
8.3 RS, GIS和GPS技术在森林资源中的应用	158
8.4 数字林业	225
第9章 RS和GIS技术在农业的应用研究	230
9.1 农业遥感概述	230
9.2 RS和GIS技术在农作物估产上的应用	233
9.3 3S技术在农业监测上的应用	236
9.4 RS和GIS技术的精细农业	237
第10章 环境遥感的应用研究	242
10.1 大气环境遥感监测	242
10.2 生态环境的遥感监测	249
10.3 沙漠化遥感监测	261
10.4 土壤侵蚀遥感监测	272
10.5 水环境污染遥感监测	284
10.6 灾害遥感	287
参考文献	290

A decorative rectangular border with a repeating scroll-like pattern surrounds the text.

第一篇 基础篇

第 1 章 遥感的物理基础

1.1 遥感的概念

“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。

自 20 世纪 50 年代以来,随着科学技术的发展,在普通框幅式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。因此,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。发展至今,遥感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。

1.2 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电磁辐射的理论基础上的。

1.2.1 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。

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。电磁辐射的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,有

$$c = \lambda\nu \quad (1-1)$$

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。

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:

$$\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} = - \frac{\partial E}{\partial x} \quad (1-2)$$

$$\frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = - \frac{\partial H}{\partial x} \quad (1-3)$$

式中 ε ——介质的相对介电常数;

μ ——相对磁导率;

c ——真空中的光速。

1.2.2 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,如图 1-1 所示,则图 1-1 就叫作电磁波谱。

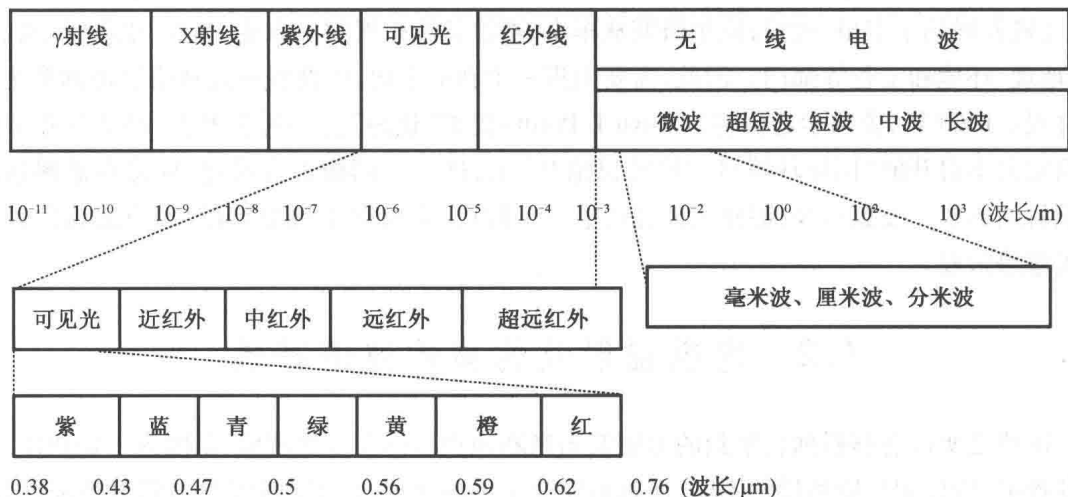


图 1-1 电磁波谱

不同波长的电磁波谱既有共同特点,又有内部差异,各波段的主要特点如下。

(1) γ 射线(Gamma Ray)

γ 射线($\lambda \leq 0.03$ nm)由于波长短、频率高,所以具有很大的能量、很高的穿透性。 γ 射线是原子核跃迁产生的,由放射性元素形成。来自放射性矿物的 γ 射线可以被低空探测器所探测,是一个有前景的遥感波区。

(2) X 射线(X Ray)

X 射线(λ 为 $0.03 \sim 3$ nm),能量也较大,贯穿能力较强,是原子层内电子跃迁产生的,可由固体受高速电子冲击形成。X 射线在大气中会被完全吸收,不能用于遥感。

(3) 紫外线(Ultraviolet Ray, UV)

紫外线(λ 为 3 nm ~ 0.38 μ m)由原子或分子外层电子跃迁产生,按波长不同,可进一步

分成近紫外(300 ~ 380 nm)、远紫外(200 ~ 300 nm)和超远紫外(3 ~ 200 nm)。其粒子性明显。来自太阳的紫外线,小于0.3 μm 者可完全被大气吸收;0.3 ~ 0.38 μm 的紫外线可以通过大气,用感光胶片和光电探测器进行探测,但是该波段散射严重,很少用于遥感。

(4) 可见光(Visible Light)

可见光(波长 λ 为 0.38 ~ 0.76 μm)由分子外层电子跃迁产生,是电磁波中眼睛所观察到的唯一波区。其能通过透镜聚焦,经过棱镜色散分成赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色光波段,具有光化作用和光电效应,在遥感中能用胶片和光电探测器收集记录。

(5) 红外线(Infrared Ray, IR)

红外线波长 λ 为 0.76 ~ 1 000 μm ,由分子振动和转动产生,按照波长的不同可以分成近红外(0.76 ~ 3 μm)、中红外(3 ~ 6 μm)、远红外(6 ~ 15 μm)、超远红外(15 ~ 300 μm)和赫兹波(300 ~ 1 000 μm)。近红外是地球反射来自太阳的红外辐射,其中,0.76 ~ 1.4 μm 的辐射可以用摄影方式探测,所以也称摄影红外。中远红外等是物体发射的热辐射,所以也叫热红外,它只能用光学机械扫描方式获取信息。红外线对人眼睛不起作用,能聚焦、色散、反射,具有光电效应,对一些物质和现象有特殊反映,如叶绿素、水、半导体、热等。

(6) 微波(Microwave)

微波波长 λ 为 0.1 ~ 100 cm,由固体金属分子转动产生,可分为毫米波、厘米波和分米波。微波的特点是能穿云透雾,甚至能穿透冰层和地面松散层,其他辐射或物体对它的干扰小。物体辐射微波的能量很弱,接收和记录均较困难,要求传感器非常灵敏。

(7) 无线电波

无线电波由电磁振荡电路产生,不能通过大气层。其中,短波被电离层反射,中波和长波吸收严重,故不能用于遥感。各电磁波波谱段及遥感应应用特征如表 1-1 所示,由于技术的限制和其他干扰,目前遥感所使用的主要是可见光、红外线、微波。

表 1-1 各电磁波波谱段及遥感应应用特征

波谱段	波长	遥感应应用特征
γ 射线	$\leq 0.03 \text{ nm}$	来自太阳的辐射完全被大气吸收,不能被遥感所利用
X 射线	0.03 ~ 3 nm	完全被大气吸收,不能被遥感所用
紫外线	3 nm ~ 0.38 μm	几乎完全被大气层中的臭氧吸收
可见光	0.38 ~ 0.76 μm	照相机、光电扫描仪均可探测
红外线	0.76 ~ 1 000 μm	与物体的相互作用随波长而改变
微波	0.1 ~ 100 cm	能穿透云雾,可用于全天候成像

1.2.3 电磁辐射的度量

电磁波传递就是电磁能量的传递,因此遥感探测实际上是辐射能量的测定。自然界中几乎任何物体都是辐射源,不仅包括发光、发热的物体,能发出其他波段电磁波的物体也是辐射源。微波雷达、激光雷达是人工辐射源,自然辐射源有太阳和地球。太阳是可见光和近

红外线的主要辐射源,用 5 800 K 的黑体辐射可模拟太阳辐射。传感器探测到小于 $2.5 \mu\text{m}$ 波长的辐射能主要是地球反射太阳辐射的能量;大于 $6 \mu\text{m}$ 的波长主要是地物自身的热辐射; $2.5 \sim 6 \mu\text{m}$ 的波长,两者都要考虑。辐射的度量单位主要有以下几种。

(1) 辐射能量 (W)

辐射能量为电磁辐射的能量,单位为 J。

(2) 辐射通量 (φ)

辐射通量为在单位时间内通过某一面积的辐射能量,单位为 J/S。

(3) 辐射通量密度 (E)

辐射通量密度为单位面积上的辐射通量,单位为 W/m^2 。

① 辐照度 (I): 被辐射的物体表面单位面积上的辐射通量,单位为 W/m^2 。

② 辐射出射度 (M): 温度为 T 的辐射源物体表面单位面积上的辐射通量,单位是 W/m^2 。

(4) 辐射强度

辐射强度为描述点辐射源的辐射特性,指在某一方向上单位立体角内的辐射通量,如图 1-2 所示。

(5) 辐射亮度 (L)

辐射亮度为描述面辐射源的辐射特性,指在某一方向上、单位投影表面、单位立体角内的辐射通量,记为 $L = \varphi / [\Omega(A \cos \theta)]$,如图 1-3 所示。辐射源向外辐射电磁波时, L 往往随 θ 角而改变。辐射亮度 L 与观察角 θ 无关的辐射源叫作朗伯源。涂有氧化镁的表面可近似看作朗伯源,常用作遥感光谱测量的标准板。严格地说,只有绝对黑体才是朗伯源。

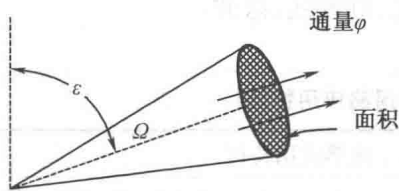


图 1-2 辐射强度图

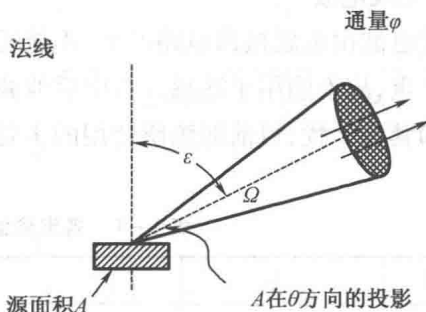


图 1-3 辐射亮度图

1.3 发射辐射

1.3.1 黑体辐射

1. 黑体的概念

自然界温度高于绝对零度的物体都具有发射电磁辐射的能力,其能力的大小主要取决于物体的温度和本身的性质。由于自然界物体千差万别,所以物体的辐射(发射和反射)情况相当复杂。因此,在研究真实物体的辐射时,为了方便起见,引入一个理想物体即黑体。黑体是指一个完全的辐射吸收和辐射发射体,即在任何温度下,对于任何波长的电磁辐射都

全部吸收,同时能够在热力学定律所允许的范围内最大限度地把热能变成辐射能的理想辐射体。黑色的烟煤,其吸收系数达到了99%,被认为是最接近绝对黑体的自然物质,恒星和太阳的辐射也被看作是接近黑体辐射的辐射源。

2. 普朗克公式(黑体辐射定律)

$$w_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1-4)$$

式中 w_{λ} ——分谱辐射通量密度;

c ——光速(3×10^{10} cm/s);

k ——玻尔兹曼恒量(1.38×10^{-23} J/K);

e ——自然对数的底;

T ——绝对温度;

h ——普朗克常数(6.6256×10^{-34} J·s)。

上式描述了在给定温度下,单位时间、面积、波长范围内黑体发出的能量,称为普朗克公式。图1-4为几种温度下的黑体波谱辐射曲线。

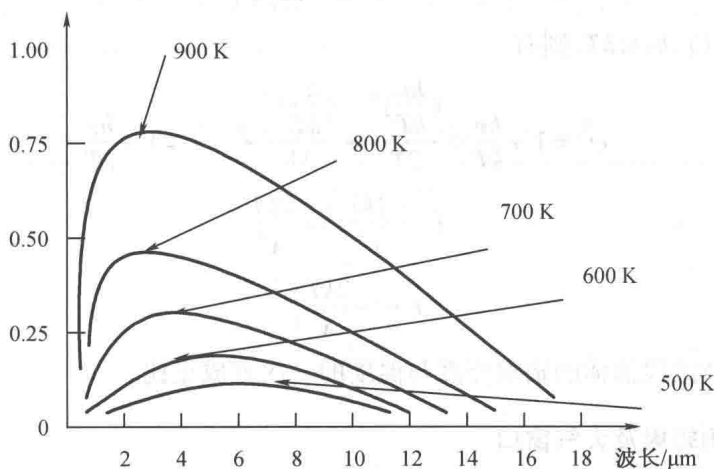


图1-4 几种温度下的黑体波谱辐射曲线

3. 三个重要推导

(1) 斯忒藩(Stefan) - 玻尔兹曼定律

绝对黑体在一定温度下的辐射出射度 M 为

$$M = \int_0^{\infty} w_{\lambda} d\lambda \quad (1-5)$$

由实验及理论都可以得到斯忒藩 - 玻尔兹曼定律为

$$M = \sigma T^4 \quad (1-6)$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

即绝对黑体的表面上,单位面积发出的总辐射能与绝对温度的四次方成正比。对于一般物体而言,传感器在检测到它的辐射能后就可以用此公式概略推算出物体的总的辐射能量或绝对温度。热红外像片上色调的变化与相应地物的辐射强度变化呈函数关系,即地物发射

的电磁波的功率和地物的发射率成正比,与地物绝对温度的四次方成正比,热红外遥感就是利用这一原理探测地物的温度差别,从而识别地物的。

(2) 维恩(Wien)位移定律

$$T\lambda_m = b \quad (1-7)$$

$$b = 2.897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

即当绝对黑体的温度升高时,单色辐出度最大值向短波方向移动。如燃烧充分的无烟煤总是发出蓝绿色光,而燃烧不充分的时候发出的光为红色。若知道了某物体的温度,就可以推算出它的辐射峰值波长。

(3) 其他重要推导

温度越高,所有波长上的辐射通量密度越大,不同温度的辐射通量密度曲线不相交,有

$$\gamma \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad (1-8)$$

$$L_v = \frac{2\pi hv^3}{c^2} \times \frac{1}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} \quad (1-9)$$

但在微波波段, $hv \ll kT$, 则有

$$e^{\frac{hv}{kT}} = 1 + \frac{hv}{kT} + \frac{(\frac{hv}{kT})^2}{2!} + \frac{(\frac{hv}{kT})^3}{3!} + \dots = 1 + \frac{hv}{kT} \quad (1-10)$$

$$L_v = \frac{2kT}{c^2} v^2 = \frac{2kT}{\lambda^2} \quad (1-11)$$

$$L = - \left. \frac{2kT}{\lambda} \right|_{\lambda_1}^{\lambda_2} \quad (1-12)$$

因此,在微波波段黑体的辐射亮度与温度的一次方成正比。

1.3.2 太阳辐射及大气窗口

1. 太阳的电磁辐射

地球上的能源主要来源于太阳,太阳是被动遥感的主要辐射源。到达地球上的太阳辐射占太阳总辐射能的 20 亿分之一,由于地球是个球体,所以仅半个球面承受太阳辐射,且球面上的各个部分因太阳高度角不同,能量的分布也不均衡,直射时接收的多,斜射时则接收的少。通常用太阳常数描述地球接受太阳辐射的大小,太阳常数指在日地平均距离处 ($1.496 \times 10^{11} \text{ m}$),垂直于太阳光线的平面上,在单位时间内单位面积上所接收到的太阳辐射能 (1353 W/m^2)。太阳常数可以认为是大气顶端接收的太阳能量。太阳辐射包括整个电磁波波谱范围。

太阳辐射的光谱是连续的,它的辐射特性与绝对黑体的辐射特性基本一致。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较稳定。在 X 射线、 γ 射线、远紫外及微波波段,能量小但是变化大。就遥感而言,被动遥感主要利用可见光、红外等稳定的太阳辐射,因而太阳的活动对遥感影响不大,可以忽略。另外,海平面处的太阳辐射照度曲线与大气层外的曲线有很大的不同。这主要是由地球大气对太阳辐射的吸收和散射引起的。

太阳光谱辐照度指投射到单位面积上的太阳辐射通量密度,该值随波长不同而异。部分太阳波谱辐射照度的平均值(在大气上界) P_λ 和小于该波长所有太阳光谱辐射照度占全部太阳辐射照度的百分率 D_λ ,见表1-2。

太阳表面发出的连续光谱,近似于5800 K的黑体辐射。而太阳光谱中的吸收线称为“夫琅和费谱线”。太阳主要能量集中在0.2~4 μm ,其中,可见光范围集中了38%的太阳辐射能量,太阳的辐射峰值在0.5 μm 附近,相当于可见光中的绿色光。

2. 大气对辐射的影响

(1) 大气的组成成分

大气是指包围地球外围的空气层,总质量大约为 5.3×10^{15} t,仅是地球总质量的百万分之一。由于受重力的作用,大气从地面到高空逐渐稀薄。大气质量主要集中在下部,50%集中在5 km以下,75%集中在10 km以下,98%集中在30 km以下。自然状态下,大气是由混合气体、水汽和杂质组成的。除去水汽和杂质的空气称为干洁空气,干洁空气的主要成分为78.09%的氮、20.94%的氧和0.93%的氩,这三种气体占总质量的99.96%,其他各项气体含量不到0.1%,这些微量气体包括氦、氖、氦、氙等。在近地层大气中上述气体的含量几乎可以认为是不变化的,称为恒定组分。在干洁空气中,易变的成分是二氧化碳(CO_2)、臭氧(O_3)等,二氧化碳含量在20 km以上明显减少。

表1-2 部分太阳波谱辐射照度 P_λ 和 D_λ

波长/ μm	$p_\lambda / (\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	D_λ
0.25	0.007 04	0.194 4%
0.30	0.051 4	1.211%
0.35	0.109 3	4.517%
0.40	0.142 9	8.725%
0.42	0.174 7	11.222%
0.44	0.181 0	13.726%
0.46	0.206 6	16.653%
0.48	0.207 4	19.682%
0.50	0.194 2	22.599%
0.52	0.183 3	25.379%
0.54	0.178 3	28.084%
0.56	0.169 5	30.648%
0.58	0.171 5	33.176%
0.60	0.166 6	35.683%
0.65	0.151 1	41.550%
0.70	0.136 9	46.880%
0.75	0.123 5	51.691%
0.80	0.110 7	56.019%
0.90	0.088 9	63.358%
1.00	0.074 6	69.465%
...

(2) 大气的结构

地球大气从垂直方向可划分成四层:对流层、平流层、电离层和外大气层。大气分层区间及各种航空、空间飞行器在大气层中的垂直分布见表 1-3。

表 1-3 地球大气垂直分布表

35 000 km	外大气层	质子层、氦层	静止通信卫星、气象卫星(36 000 km)
1 000 km	电离层		600 ~ 800 °C (资源卫星、气象卫星)
300 km			F 电离层 230 °C (航天飞机、侦察卫星)
80 km	平流层	冷层	-55 ~ 75 °C
35 km		暖层	70 ~ 100 °C 气球
25 km		同温层	-55 °C (气球、喷气式飞机)
12 km	对流层	上层	-55 °C
6 km		中层	飞机
2 km		下层	5 ~ 10 °C (一般飞机、气球)

① 对流层。其范围是从地表到平均高度 12 km 处。其主要特点是:

a. 温度随高度上升而下降,每上升 1 km 下降 6 °C;

b. 空气密度和气压也随高度上升而下降,地面空气密度为 $1.3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$,气压 10^5 Pa ,对流层顶部空气密度仅为 $0.4 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$,气压下降到 $0.26 \times 10^5 \text{ Pa}$ 左右;

c. 空气中不变成分的相对含量中,氮气占 78.09%、氧气占 20.95%、氩等其余气体共占不到 1%,可变成成分中臭氧较少,水蒸气含量不固定,在海平面潮湿的大气中,水蒸气含量可高达 2%,液态和固态水也随气象而变化,在 1.2 ~ 3.0 km 处的对流层是最容易形成云的区域,近海或盐湖上空含有盐粒,城市工业区和干旱无植被覆盖的地区上空有尘烟微粒。

② 平流层。其范围是在 12 ~ 80 km 的垂直区间中。平流层又可分为同温层、暖层和冷层。空气密度继续随高度上升而下降。这一层中不变成分的气体含量与对流层的相对比例关系一样,只是绝对密度变小,平流层中水蒸气含量很少,可以忽略不计。臭氧含量比对流层大,在这一层的 25 ~ 30 km 处,臭氧含量较大,这个区间称为臭氧层,再向上又减少,至 55 km 处,趋近于 0。

③ 电离层。其范围在 80 ~ 1 000 km。电离层空气稀薄,因太阳辐射作用而发生电离现象,分子被电离成离子和自由电子状态。电离层中气体成分为氧、氮、氢及氧离子,无线电波在电离层中发生全反射现象。电离层温度很高,上层达 600 ~ 800 °C

④ 外大气层。距地表 1 000 km 以上。1 000 ~ 2 500 km 间主要是氦离子,称为氦层;2 500 ~ 25 000 km 处主要成分是氢离子,又称为质子层,温度可达 1 000 °C。

(3) 大气传输特性

电磁辐射穿过大气时,会被大气衰减,若入射辐射强度为 I_0 ,经过大气路程为 x ,则穿过该大气路程后的辐射强度为 I_r ,则有

$$I_r = I_0 e^{-\sigma x} \quad (1-13)$$

式中 σ ——衰减系数(或消光系数)。

根据透射率定义,有

$$\tau = \frac{I_r}{I_0} = e^{-\sigma x} \quad (1-14)$$

τ 和 σ 用在不同的场合,一般研究大气本身性质的时候用 σ (衰减系数),而将大气作为介质,研究地面物体时用 τ (透射率)。

大气对电磁波传输的影响主要是散射和吸收。

(4) 大气对太阳辐射的吸收、散射、反射作用

大气对电磁辐射的影响主要是散射和吸收。在可见光波段,引起电磁波衰减的主要原因是分子散射。在紫外、红外与微波区,引起电磁波衰减的主要原因是大气吸收。

① 大气吸收

引起大气吸收的主要成分是氧气、臭氧、水、二氧化碳等。大气吸收主要造成影像暗淡,臭氧主要吸收 $0.3 \mu\text{m}$ 以下的紫外区的电磁波,另外 $9.6 \mu\text{m}$ 处有弱吸收, $4.75 \mu\text{m}$ 和 $14 \mu\text{m}$ 处的吸收更弱,已不明显;二氧化碳主要吸收带为 $2.60 \sim 2.80 \mu\text{m}$,其中吸收峰为 $2.70 \mu\text{m}$, $4.10 \sim 4.45 \mu\text{m}$ 处吸收峰在 $4.3 \mu\text{m}$, $9.10 \sim 10.9 \mu\text{m}$ 处吸收峰为 $10.0 \mu\text{m}$, $12.9 \sim 17.1 \mu\text{m}$ 处吸收峰为 $14.4 \mu\text{m}$;水蒸气主要有几个吸收带,分别为 $0.70 \sim 1.95 \mu\text{m}$ 处最强处为 $1.38 \mu\text{m}$ 和 $1.87 \mu\text{m}$, $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 处 $2.7 \mu\text{m}$ 处最强, $4.9 \sim 8.7 \mu\text{m}$ 处 $6.3 \mu\text{m}$ 处吸收最强, $15 \mu\text{m} \sim 1 \text{mm}$ 处的超远红外区以及微波中 0.164cm 和 1.348cm 处。此外,氧气对微波中 0.253cm 及 0.5cm 处也有吸收现象。另外像甲烷、氧化氮,工业集中区附近的高浓度一氧化碳、氨气、硫化氢、氧化硫等都具有吸收电磁波的作用,但吸收率很低,可略而不计。在 $15 \mu\text{m}$ 以下的红外、可见光和紫外区的吸收程度可见图 1-5。

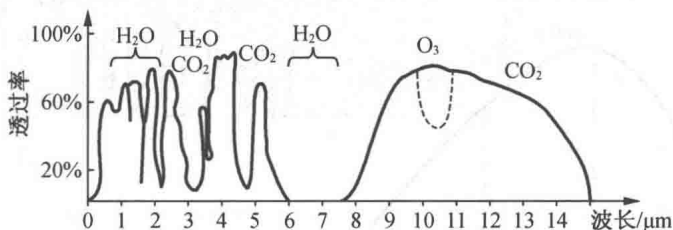


图 1-5 波长小于 $15 \mu\text{m}$ 的大气透过率图

至于大气中其他成分的气体,由于都是对称分子,无极性,因此对电磁波不存在吸收。

② 大气散射

电磁波在传播过程中遇到小微粒而使传播方向发生改变,并向各个方向散开,称为散射。其性质和强度取决于大气中分子或微粒的半径与被散射光的波长二者之间的相互对比关系。

在太阳辐射到地面又反射到传感器的过程中,通过大气两次,传感器所接收到的能量除了反射光外还增加了散射光,增加了信号中的噪声部分,造成遥感影像对比度下降。

散射的方式和强度随电磁波波长与大气分子直径、气溶胶微粒大小之间的相对关系而