

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

航空与航天摄影技术

韩玲 李斌 顾俊凯 杨淑静 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

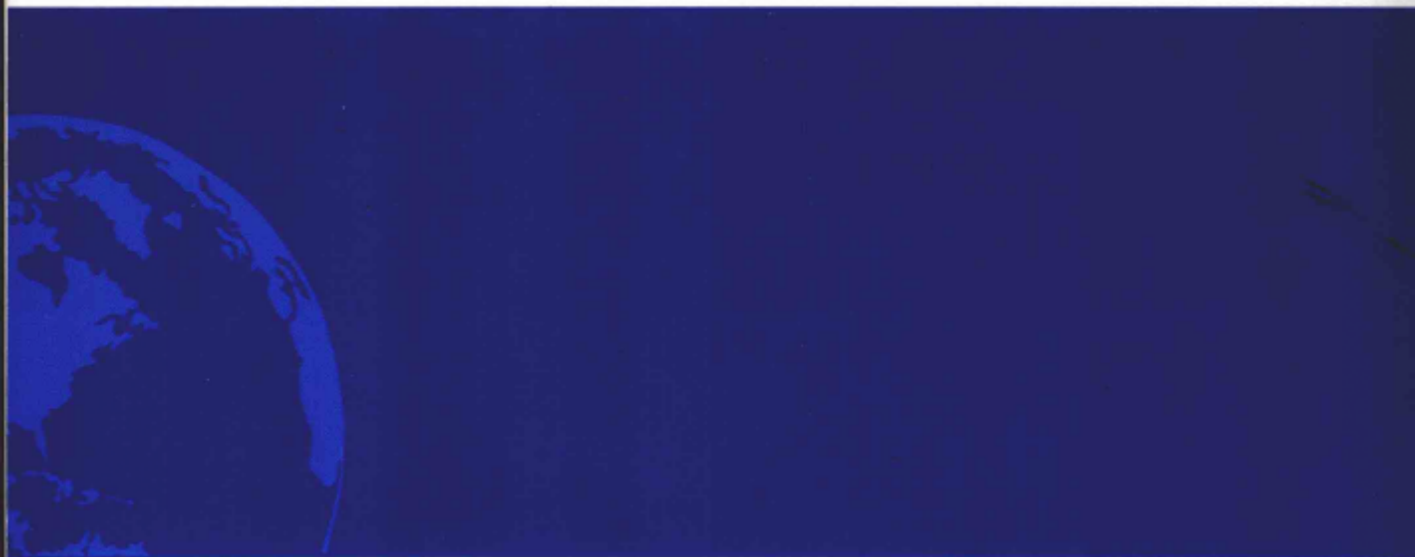
武汉大学出版社

责任编辑/王金龙

责任校对/黄添生

版式设计/支 笛

封面设计/汪 卉



ISBN 978-7-307-06613-7



9 787307 066137 >

定价: 28.00元

高等学校摄影测量与遥感系列教材

航空与航天摄影技术

韩玲 李斌 顾俊凯 杨淑静 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

航空与航天摄影技术/韩玲,李斌,顾俊凯,杨淑静编著. —武汉:武汉大学出版社,2008. 11

高等学校摄影测量与遥感系列教材

ISBN 978-7-307-06613-7

I. 航… II. ①韩… ②李… ③顾… ④杨… III. ①航空摄影—高等学校—教材 ②航天摄影—高等学校—教材 IV. P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 164322 号

责任编辑:王金龙 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:383 千字

版次:2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-06613-7/P·140 定价:28.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本书是根据长安大学遥感科学技术专业的“航空与航天摄影技术”教学大纲编写而成的。经长安大学教材编写委员会审定,作为遥感科学技术等相关专业本科生的教材。

在编写本书的过程中,编者尽可能反映国内外最新的技术资料,对航空摄影技术及航天摄影系统中各参数的确定、各项技术要求等方面都作了较深入的调查和分析,在专业术语上要求与当代遥感技术中的术语相一致。

本书共分四部分。第一部分即第1章,介绍了航空与航天摄影的物理基础,与一般遥感技术不同,除介绍具有共性的内容之外,重点介绍辐射传输方程,分析其对航空与航天摄影的影响。航空与航天摄影是以摄影学为基础的,在第1章中对感光测定的理论及色的基本知识也作了介绍。第二部分由第2章、第3章和第4章组成,介绍航空摄影技术,对航摄仪及其附件的结构和原理,尤其是现代数码相机、航空摄影技术要求及技术过程进行了系统阐述。第三部分由第5章、第6章组成,介绍航天摄影技术。介绍了当代航天摄影型遥感器及航天摄影测量,对像片重叠度、像片比例尺、影像分辨率、航天摄影机的几何精度及胶片性能的技术要求,对航天摄影飞行计划的制订及所得图像增强处理方法进行了系统的阐述。第四部分由第7章组成。重点介绍模拟/数字成像系统调制传递函数的基本概念及其测定方法。

本书第1章由顾俊凯讲师编写,第2章由杨淑静讲师编写,第7章由李斌副教授编写,第3章、第4章、第5章、第6章由韩玲教授编写,全书由韩玲教授统一审阅。

在编写本书过程中,得到了长安大学地质工程与测绘学院测绘工程系同志们的许多帮助和支持,他们对初稿提出了许多宝贵意见。书稿得到长安大学地质工程与测绘学院隋立春教授的初审和复审,同时也得到了西安科技大学张春森副教授的初审和复审,并提出了许多宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

本书在编写中力求方便教学,由于作者水平有限,加之现代航空与航天摄影技术飞速发展,书中出现一些错误和不足之处在所难免,谨希读者不吝指正。

编 者

2008年5月于西安

目 录

第1章 航空与航天摄影物理基础	1
1.1 电磁波与电磁波谱	1
1.2 太阳辐射和大气的影响	3
1.3 地球的辐射与地物波谱	12
1.4 感光材料基本特性的测定	23
1.5 航空(航天)摄影的要求	31
1.6 色的基本知识及加色法与减色法	35
第2章 航空摄影仪	43
2.1 概述	43
2.2 航摄仪的基本结构	44
2.3 航摄仪物镜的光学特性	48
2.4 我国摄影测量常用的几种航摄仪	55
2.5 航空数码相机	62
2.6 无人机航空摄影	74
第3章 航空摄影技术要求	79
3.1 航摄滤光片	79
3.2 航摄仪重叠度调整器的工作原理	81
3.3 航摄仪的影像位移补偿装置	83
3.4 航摄仪的自动测光系统和曝光时间的计算	91
3.5 航摄仪内方位元素和物镜畸变差的测定	97
第4章 航空摄影技术过程	104
4.1 概述	104
4.2 摄影测量对航空摄影技术的要求	110
4.3 航空摄影技术计划	113
4.4 对航摄资料质量的要求	125
4.5 航摄胶片的冲洗	130
4.6 航摄资料质量的检查和评定	132
4.7 彩色航空摄影	137
4.8 大比例尺航空摄影	144

第 5 章 航天摄影型遥感器	148
5.1 航天遥感器概述	148
5.2 框幅式摄影机	151
5.3 缝隙式摄影机	152
5.4 全景式摄影机	155
5.5 多光谱摄影机	157
5.6 线阵列固体扫描仪	159
5.7 侧视雷达	162
第 6 章 航天摄影测量技术要求	165
6.1 航天摄影测量对卫星轨道的要求	165
6.2 航天摄影测量对像片重叠的要求	169
6.3 航天摄影测量对像比例尺的要求	171
6.4 航天摄影测量对影像分辨率的要求	177
6.5 航天摄影测量对摄影机几何精度的要求	181
6.6 航天摄影测量对摄影胶片性能的要求	184
6.7 航天摄影图像的光学处理	186
6.8 航天摄影图像的数字增强处理的几种方法	199
6.9 航天摄影飞行计划的制订	210
第 7 章 遥感图像的质量评定	215
7.1 概述	215
7.2 像质评价的基本原则	216
7.3 摄影系统的调制传递函数	221
7.4 在航摄负片上测定调制传递函数的方法	231
7.5 调制传递函数的应用	233
7.6 航摄资料质量的综合评估	237
7.7 数字扫描图像的有效比特数	239
7.8 数字扫描成像系统调制传递函数的测定	243
7.9 遥感影像质量评价方法	246
主要参考文献	249

第 1 章 航空与航天摄影物理基础

航空(航天)摄影与普通的地面摄影相比,虽无本质上的差别,但却有其自身的特点。因为航空(航天)摄影是从空中对地面进行摄影,其摄影质量必然会受到大气条件和地面景物特征的影响。为了获得满意的摄影效果并从原始资料中提取更多的地物信息,就必须分析摄影的具体条件和要求。本章所述内容着重于辐射传输方程和地物的波谱反射特性,这是保证航摄质量的技术关键。

1.1 电磁波与电磁波谱

辐射传输方程和地物的波谱反射特性建立在物体的电磁波特性上,而电磁波是物体运动的一种形式,任何运动着的物质都包含实物(电子、原子、分子以及由它们组成的集合体)和场(物质之间相互作用的媒介和作用形式,如电磁场、引力场等)两种基本形态,其中电磁场在空间的传播就是电磁波。电磁场的性质是由组成物质的电子、原子、分子的数量和结构决定的,因而不同的物质就具有不同的电磁波特性。直到 19 世纪中期,物理学证明,光实际上是一种电磁波。从本质上讲,光和无线电波并无区别,一个发光体就是一个电磁波的辐射源,其发射的电磁波向周围空间进行传播。描述电磁波可以用波长 λ ,也可以用频率 ν ,电磁波在真空中的传播速度为常数,即 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$,因此

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

电磁波所具有的能量 E 为

$$E = h\nu \quad (1-1-2)$$

式中: h 为普朗克恒量, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。

显然,波长越短、频率越高的电磁波具有的能量也越大。

根据波长和频率的大小,将电磁波依次排列起来,这样的电磁波序列称为电磁波谱,如图 1-1-1 所示。

各种波长单位之间的关系为:

$$1\text{m(米)} = 10^2\text{cm(厘米)} = 10^3\text{mm(毫米)} = 10^6\mu\text{m(微米)} = 10^9\text{nm(纳米)}$$

目前,在遥感技术中常用的电磁波谱段有以下几种。

1. γ 射线 ($10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2} \text{ nm}$)

这是由放射性元素所辐射的电磁波,可在低空用 γ 射线探测仪在飞机上进行探测,是地质勘探中早已应用的一种遥感技术。

2. 紫外线 ($0.01 \sim 0.39 \mu\text{m}$)

在低空中获取有关土壤含水量、农作物种类和石油普查等方面的信息,一般用紫外分光光度计或紫外线摄影进行探测。由于普通光学玻璃会吸收紫外线,因此,紫外线摄影时必须

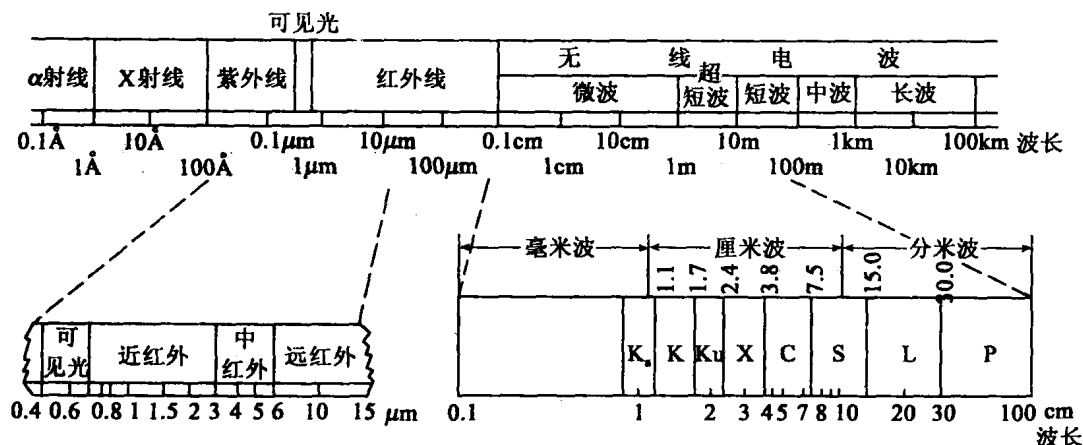


图 1-1-1 电磁波谱

采用石英或萤石玻璃(氟化锂、氟化钙)制成的物镜。此外,制造感光材料时也不能采用动物胶作为卤化银的支持剂,因为动物胶将吸收波长在 $0.23\mu\text{m}$ 以下的紫外线。

3. 可见光($0.39 \sim 0.7\mu\text{m}$)

它是遥感技术中识别物体的主要波谱段,因为人眼在该波谱段具有敏锐的分辨和感知能力,因此习惯上也称该波谱段为光谱段,航空与航天摄影主要就是利用这一波谱段。

4. 红外线($0.7 \sim 1000\mu\text{m}$)

遥感中常用的红外波谱段可分为 3 种,即近红外($0.7 \sim 3\mu\text{m}$),中红外($3 \sim 6\mu\text{m}$)和远红外($6 \sim 15\mu\text{m}$)。其中近红外波谱段主要用于探测地表湿度分布、植物种类和生长活动以及在军事上用于揭露伪装。这是由于叶绿素对近红外反射特别强烈以及水分吸收红外辐射的缘故。中、远红外也称热红外,在中、远红外波谱区,主要用于探测地表湿度、水流流向、海水污染、岩石和土壤的类型以及对火山、林火、地热等进行监测,即热红外主要用于探测与物体温度有关的场合。

一般近红外称为反射红外波谱段,其中在 $0.7 \sim 0.9\mu\text{m}$ 波谱段可用摄影方法获取有关信息,虽然感光材料的感色范围可达到 $1.2\mu\text{m}$,但由于这种胶片必须保存在 -18°C 的条件下,在生产实践中难以推广。中、远红外是物体的热辐射,一般用热红外敏感探测器探测。大于 $15\mu\text{m}$ 的热红外因其绝大部分被大气中的水蒸气所吸收而无法使用。

5. 微波($0.1 \sim 100\text{cm}$)

分 8 个波段(Ka: $0.8 \sim 1.1\text{cm}$; K: $1.1 \sim 1.7\text{cm}$; Ku: $1.7 \sim 2.4\text{cm}$; X: $2.4 \sim 3.8\text{cm}$; C: $3.8 \sim 7.5\text{cm}$; S: $7.5 \sim 15\text{cm}$; L: $15 \sim 30\text{cm}$; P: $30 \sim 100\text{cm}$)。常用的有 3 个波段,即 Ka、X 和 L 波段,其中 0.86cm (Ka)、 3cm 和 3.2cm (X) 及 25cm (L) 是雷达成像最常用的波段。

微波的波长比一般的无线电波的波长要短得多,当遇到障碍物尤其是金属时,就会被反射回来,利用这一特性,可以确定物体的方位、距离、大小和形状。此外,微波还可以穿透云、雾、植被,对岩石和土壤也有一定的穿透能力,因此微波遥感不但用于揭露伪装、地质探矿和探测海水盐分的变化,而且也是一种全天候、全天时的遥感技术。

为什么在航空与航天摄影物理基础中,首先要了解电磁波谱的有关概念呢? 因为自然

界的一切物质都是由电子、原子和分子按一定的物质结构规律所组成的,而电子、原子和分子是永远在运动的,这种运动一般分为3种形式:电子绕原子核作轨道运动及轨道跃迁、原子核在其平衡位置上的原子振动和分子绕其质量中心的转动。在正常情况下,这些运动都处于平衡状态,但是当任何一种运动状态发生变化时,便将打破原来的能量平衡,这种运动状态的改变(包括能量的增加或减少)将以发射、反射、吸收和透射电磁波的形式表现出来,如温度的变化(大于 -273.16°C)或外力的作用(太阳光的照射)等都会产生电磁波。因此,可以根据物体所辐射的电磁波的波长来识别物体,研究物体的属性和异常(火山、地震)。一般来说,电子轨道的跃迁产生从紫外到近红外的辐射,原子振动产生红外辐射,分子转动产生红外及微波辐射。由于上述三种运动形式的存在,以及由此产生的各具一定属性的电磁波谱,为发展多种类型的航空与航天摄影打下了基础。

辐射有两种意思,既可表示发射,如“热辐射”,也可表示发射、反射、吸收和透射的统称,即电磁波的传播也可称为辐射,如“物体是电磁波的辐射源”等。

波谱段简称“波段”,严格地说,只有可见光波段才可简称为“光谱段”。

1.2 太阳辐射和大气的影晌

航摄影(航空航天照相机)从空中对地面进行摄影时,所接收的是一种由地物反射或辐射的合成能量,即接收的能量中包括许多辐射分量,而这些辐射分量都要通过大气层后才能在航摄胶片上感光,显然,摄影的条件和其影像质量必然会受到大气层对这些辐射分量散射和吸收的影响,因此,必须了解大气的成分和结构、太阳辐射和大气的影晌以及大气窗口等基本概念。

1.2.1 大气的成分和结构

大气是包围整个地球的气状介质,地球周围的大气圈并无确切界限,一般取大气层的厚度(高度)为1000km。由于大气的密度从地球表面向上逐渐减小,至40km高度时,大气质量已占整个大气层的99.9%,到达80km时,大气已经相当稀薄,所以也可以把大气层的厚度取为80km。

大气中的主要成分是氮(78%)、氧(21%)、氩(约占1%)和二氧化碳(0.03%),都分布在20km高度以下,这些成分在地球各处都是不变的。大气中还有可变成分,主要是臭氧和水蒸气。臭氧一般在25~30km的大气中才能发现,由于臭氧对紫外线(波长小于 $0.36\mu\text{m}$)的吸收能力很强,因此入射阳光中能够到达地面的紫外线是少量的。水蒸气主要位于5km以下,超过12km就不再存在,水蒸气能强烈地吸收红外线,它的含量因温度和地理条件的影晌变化很大。

大气内除了上述气状介质外,还有许多悬浮在大气中的微粒,如液态、固态水(雾、霾、云、雪和水晶)和尘埃,工业污染物(如一氧化碳、硫化氢、氧化硫等)。通常这些微粒比气体分子大得多,而且在大气中的含量也是变化的,其中以半径 $0.1\sim 20\mu\text{m}$ 的微粒最为重要。因为这些微粒悬浮在大气中,并包以液体的外层,所以常称它们为“气溶胶”。大气中的气溶胶易形成霾(微粒半径小于 $0.5\mu\text{m}$)、雾和云(微粒半径大于 $1\mu\text{m}$)等天气现象。

大气层随高度可分为对流层(0~12km)、平流层(12~80km)和电离层(80~1000km)。

在对流层中,气体密度大,对流运动强烈,天气过程主要发生在这一层中,其中在 1.2 ~ 3km 高度上是最容易形成云的区域,而这也是航空摄影常用的高度。在平流层中,气体密度大为减小,气体分子数量很少,也没有天气现象。在电离层中,气体密度更小,因太阳辐射而使稀薄大气电离。

大气对地面有一种压力。高度增加时,大气压力会因大气上层质量的减小而降低。

表 1-2-1 表示大气压力随高度变化的一般情况,第三栏内所列的数值表示从一定高度到地球表面之间的大气质量与整个大气层质量的比值。

表 1-2-1 大气压力随高度的变化

高 度 (km)	大气压力 (Pa)	大气质量的百分比 (%)
地球表面	101324.72	-
1	90125.67	11
2	79593.23	22
3	70260.69	31
4	61861.41	39
5	54262.05	46.5
6	47462.63	53
7	41329.82	60
8	35996.94	65
9	30930.70	70
10	26664.4	74
15	12265.62	88
20	5599.52	94.5
25	2799.76	97.5
30	1199.90	98.5
35	533.29	99.2
40	266.64	99.9

大气层内的温度并不是呈线性变化的,气温的垂直分布一般以中纬度地区的年平均温度表示。一般来说,在对流层内,从地表面往上至对流层顶,温度递减,每千米下降 6℃ 左右。平流层内,分同温层(12 ~ 25km,温度逐渐降低至 -55℃)、暖层(25 ~ 55km,温度逐渐升至 100℃,温度上升主要是由于暖层中 25 ~ 30km 处有臭氧层,因吸收紫外线能量的缘故)

和冷层(55~80km,温度逐渐降至-70℃)。在电离层中,在80~90km处,温度逐渐降低,每千米下降3℃左右,最低温度可达-95℃,而后由于太阳辐射的强电离作用,随着高度而增加,在500km处可上升至230℃,1000km处可达到600~800℃。在电离层以上才可以认为是等温的。

在航空与航天摄影中,掌握大气成分的变化规律,大气层内温度、湿度(水汽含量)和压力的变化情况,对航摄仪的研制、获取原始数据时的要求和资料的正确使用等均有重要的意义。

1.2.2 太阳辐射

太阳是被动遥感最主要的辐射源。太阳辐射有时习惯称做太阳光,太阳光通过地球大气照射到地面,经过地面物体反射又返回,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,已有了很大的变化,包括入射与反射后两次经过大气的影响和地物反射的影响。

1. 太阳常数

太阳是太阳系的中心天体。受太阳影响的范围是直径大约120亿千米的广阔空间。在太阳系空间,除了包括地球及其卫星在内的行星系统、彗星、流星等天体外,还布满了从太阳发射的电磁波的全波辐射及粒子流。地球上的能源主要来自太阳。

太阳常数是指不受大气影响,在距太阳一个天文单位内,垂直于太阳光辐射方向上,单位面积单位时间黑体所接收的太阳辐射能量:

$$I_{\odot} = 1.360 \times 10 \text{ W/m}^2 \quad (1-2-1)$$

可以认为太阳常数是在大气顶端接受的太阳能量。长期观测表明,太阳常数的变化不会超过1%,由太阳常数的测量和已知的日地距离很容易计算太阳的总辐射通量 $\phi_{\odot} = 3.826 \times 10^{26} \text{ W}$ 。反过来,由太阳的总辐射通量和太阳线半径,也可以计算出太阳的辐射射出度 $M_{\odot}$ 。

2. 太阳光谱

太阳的光谱通常指光球产生的光谱,光球发射的能量大部分集中于可见光波段,如图1-2-1所示,图中清楚地描绘了黑体在6000K时的辐射曲线,在大气层外接收到的太阳辐照度曲线及太阳辐射穿过大气层后在海平面接收到的太阳辐照度曲线。

从大气层外太阳辐照度曲线可以看出,太阳辐射的光谱是连续光谱,且辐射特性与绝对黑体辐射特性基本一致。但是用高分辨率光谱仪观察太阳光谱时,会发现连续光谱的明亮背景上有许多离散的暗谱线,叫做夫琅和费吸收线,大约有26000条,由这些吸收线已认证出太阳光球中存在的69种元素及它们在太阳大气中所占的比例,如H占78.4%,He占19.8%,O占0.8%等。太阳辐射能量各个波段所占比例如表1-2-2所示,这个比例仅表示通常情况。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来说最稳定,太阳强度变化最小。在其他波段如X射线、γ射线、远紫外及微波波段,尽管它们的能量加起来不到1%,可是却变化很大,一旦太阳活动剧烈,如黑子和耀斑爆发,其强度也会有剧烈增长,最大时可差上千倍甚至更多。因此会影响地球磁场,中断或干扰无线电通讯,也会影响宇航员或飞行员的飞行。但就遥感而言,被动遥感主要利用可见光、红外等稳定辐射,使太阳活动对遥感的影响减至最小。

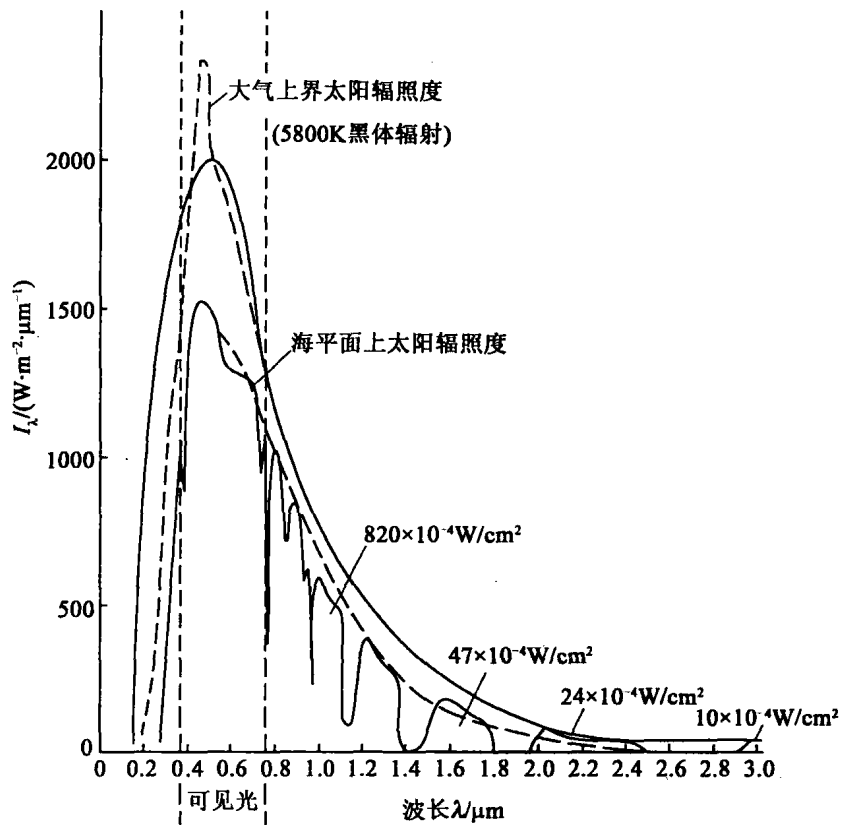


图 1-2-1 太阳辐照度分布曲线

表 1-2-2

太阳辐射能量各个波段所占比例

波长/ μm	波段名称	能量比例/%
小于 10^{-3}	X、 γ 射线	0.02
0.001 ~ 0.2	远紫外	
0.20 ~ 0.31	中紫外	1.95
0.31 ~ 0.38	近紫外	5.32
0.38 ~ 0.76	可见光	43.50
0.76 ~ 1.5	近红外	36.80
1.5 ~ 5.6	中红外	12.00
5.6 ~ 1000	远红外	0.41
大于 1000	微波	

图 1-2-1 中海平面处的太阳辐照度曲线与大气层外的曲线有很大不同,其差异主要是地球大气引起的。由于大气中的水、氧、臭氧、二氧化碳等分子对太阳辐射的吸收作用,加之大气散射使太阳辐射产生很大衰减,图中那些衰减最大的区间便是大气分子吸收的最强波段。

图 1-2-2 中所示的辐照度是太阳垂直投射到被测平面上的测量值。如果太阳倾斜入射,则辐照度必然产生变化并与太阳入射光线及地平面产生夹角,即与太阳高度角有关。图 1-2-2 表示太阳光线射入地平面的一个剖面, h 为高度角, I 为垂直于太阳入射方向的辐照度, I' 为斜入射到地面上时的辐照度,辐射通量 Φ 不变,则 AB 间面积为 S , BC 间面积为 $S \cdot \sin h$ 。

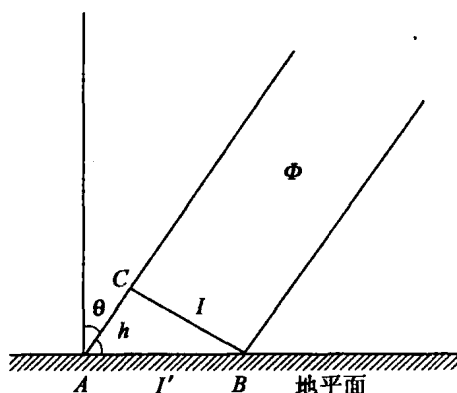


图 1-2-2 辐照度随高度角的变化

$$\Phi = I' \cdot S = I \cdot S \cdot \sin h$$

$$I' = I \cdot \sin h$$

如果用太阳常数 I_0 计算,设 D 为日地之间距离,则

$$I' = \frac{I_0 \sin h}{D^2}$$

由于太阳高度角的年内变化,因此同一观测点太阳辐照度经常变化。如果取太阳入射光线与地平面垂线的夹角为 θ (即天顶距或天顶角),因为 $h + \theta = 90^\circ$,则上式变为:

$$I' = \frac{I_0 \cos \theta}{D^2} \quad (1-2-2)$$

1.2.3 大气吸收的传输特性

1. 大气对辐射的吸收作用

太阳辐射穿过大气层时,大气分子对电磁波的某些波段有吸收作用。吸收作用使辐射能量转变为分子的内能,从而引起这些波段太阳辐射强度的衰减,某些波段的电磁波甚至完全不能通过大气。因此在太阳辐射到达地面时,形成了电磁波的某些缺失带。图 1-2-3 为大气中几种主要分子对太阳辐射的吸收率,从图中可以看出每种分子形成吸收带的位置。

其中水的吸收带主要有 $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$, $5 \sim 7 \mu\text{m}$, $0.94 \mu\text{m}$, $1.13 \mu\text{m}$, $1.38 \mu\text{m}$, $1.86 \mu\text{m}$, $3.24 \mu\text{m}$ 以及 $24 \mu\text{m}$ 以上对微波的强吸收带; 二氧化碳的吸收峰主要是 $2.8 \mu\text{m}$ 和 $4.3 \mu\text{m}$; 臭氧在 $10 \sim 40\text{km}$ 高度对 $0.2 \sim 0.32 \mu\text{m}$ 有很强的吸收带, 此外 $0.6 \mu\text{m}$ 和 $9.6 \mu\text{m}$ 的吸收也很强; 氧气主要吸收小于 $0.2 \mu\text{m}$ 的辐射, $0.6 \mu\text{m}$ 和 $0.76 \mu\text{m}$ 也有窄带吸收。大气中的其他微粒虽然也有吸收作用, 但不起主导作用。

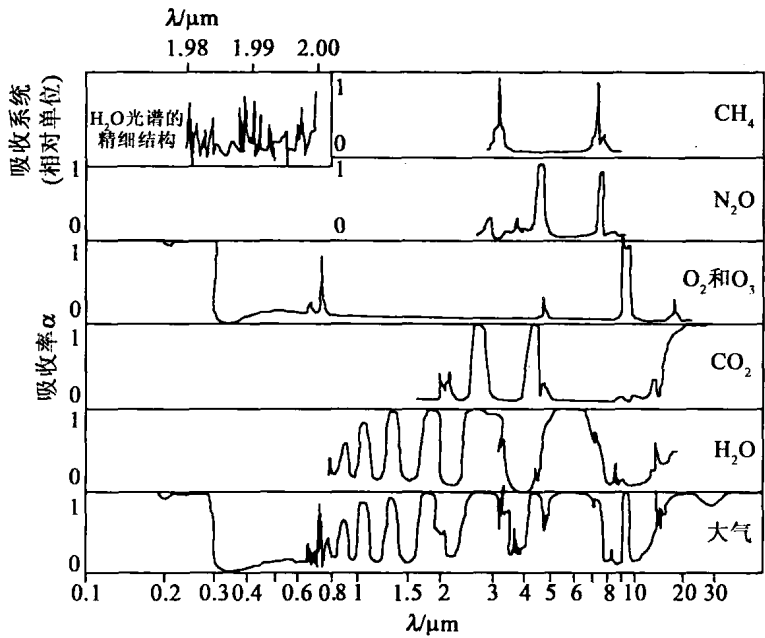


图 1-2-3 大气吸收谱

图 1-2-3 最下面一条曲线综合了大气中几种主要分子的吸收作用, 反映出大气吸收带的分布规律。对比图 1-2-1 中最下面一条曲线, 即海平面上太阳辐照度曲线, 则发现该曲线与图 1-2-3 的曲线形态相反, 再与大气层外太阳辐照度曲线对比, 发现海平面上辐照度减小的部分正是吸收率高的光谱段。

2. 大气对太阳辐射的散射作用

辐射在传播过程中遇到小微粒而使传播方向改变, 并向各个方向散开, 称为散射。散射使原传播方向的辐射强度减弱, 而增加向其他各方向的辐射。尽管强度不大, 但从航空、航天获取数据角度分析, 太阳辐射在照到地面又反射到传感器的过程中, 两次通过大气, 在照射地面时, 由于散射增加了漫入射的成分, 使反射的辐射成分有所改变。返回传感器时, 除反射光外还增加了散射光进入传感器。通过二次影响增加了信号中的噪声成分, 造成所得图像的质量下降。

散射现象的实质是电磁波在传输中遇到大气微粒而产生的一种衍射现象。因此, 这种现象只有当大气中的分子或其他微粒的直径小于或相当于辐射波长时才发生。大气散射有 3 种情况:

(1) 瑞利散射

大气中粒子的直径比波长小得多时发生的散射称为瑞利散射。这种散射主要由大气中的原子和分子(如氮、二氧化碳、臭氧和氧分子等)引起。特别是对可见光而言,瑞利散射现象非常明显,因为这种散射的特点是散射强度与波长的四次方(λ^4)成反比,即 $I \propto \lambda^{-4}$,即波长越长,散射越弱。当向四面八方的散射光线较弱时,原传播方向上的透过率便增强。当太阳辐射垂直穿过大气层时,可见光波段损失的能量可达 10%。

瑞利散射对可见光的影响很大,如图 1-2-4 所示。无云的晴空呈现蓝色,就是因为蓝光波长短,散射强度较大,因此蓝光向四面八方散射,使整个天空蔚蓝,使太阳辐射传播方向的蓝光被大大削弱。这种现象在日出和日落时更为明显,因为这时太阳高度角小,阳光斜射向地面,通过的大气层比阳光直射时要厚得多。在过长的传播中,蓝光波长最短,几乎被散射殆尽,波长次短的绿光散射强度也居其次,大部分被散射掉了。只剩下波长最长的红光,散射最弱,因此透过大气最多。加上剩余的极少量绿光,最后合成呈现橘红色。所以朝霞和夕阳都偏橘红色。红外和微波由于波长更长,散射强度更弱,可以认为几乎不产生瑞利散射。

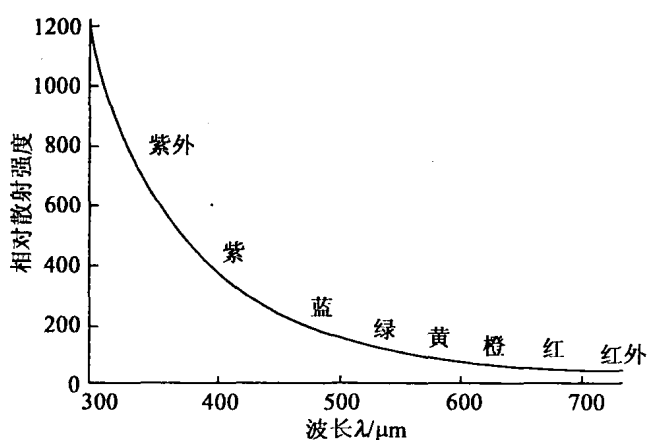


图 1-2-4 瑞利散射与波长的关系

(2) 米氏散射

大气中粒子的直径与辐射的波长相当时发生的散射称为米氏散射。这种散射主要由大气中的微粒,如烟、尘埃、小水滴及气溶胶等引起。米氏散射的散射强度与波长的二次方(λ^2)成反比,即 $I \propto \lambda^{-2}$,并且散射在光线向前方向比向后方向更强,如图 1-2-5 所示,方向性比较明显。比如云雾的粒子大小与红外线(0.76 ~ 15 μm)的波长接近,所以云雾对红外线的散射主要是米氏散射。因此,潮湿天气米氏散射影响较大。

(3) 无选择性散射

当大气中粒子的直径比波长大得多时发生的散射称为无选择性散射。这种散射的特点是散射强度与波长无关,也就是说,在符合无选择性散射条件的波段中,任何波长的散射强度相同。如云、雾粒子直径虽然与红外线波长接近,但相比可见光波段,云雾中水滴的粒子直径就比波长大很多,因而对可见光中各个波长的光散射强度相同,所以人们看到云雾呈白色,并且无论从云下还是乘飞机从云层上面看,都是白色。

由以上分析可知,散射造成太阳辐射的衰减,但是散射强度遵循的规律与波长密切相

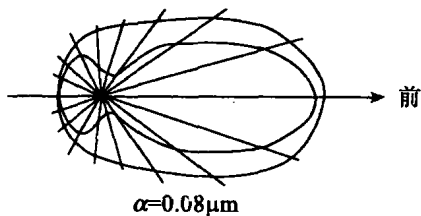


图 1-2-5 米氏散射

关。而太阳的电磁波辐射几乎包括电磁辐射的各个波段,因此,在大气状况相同时,同时会出现各种类型的散射。对于大气分子、原子引起的瑞利散射主要发生在可见光和近红外波段。对于大气微粒引起的米氏散射从近紫外到红外波段都有影响,当波长进入红外波段后,米氏散射的影响超过瑞利散射。大气云层中,小雨滴的直径相对其他微粒最大,对可见光只有无选择性散射发生,云层越厚,散射越强。而对微波来说,微波波长比粒子的直径大得多,则又属于瑞利散射的类型,散射强度与波长四次方成反比,波长越长散射强度越小,所以微波才可能有最小散射、最大透射,而被称为具有穿云透雾的能力。

3. 大气窗口及透射分析

(1) 折射现象

电磁波穿过大气层时,除发生吸收和散射外,还会出现传播方向的改变,即发生折射。大气的折射率与大气密度相关,密度越大折射率越大。离地面越高,空气越稀薄,折射也越小。正因为电磁波传播过程中折射率的变化,使电磁波在大气中传播的轨迹是一条曲线,到达地面后,地面接收的电磁波方向与实际上太阳辐射的方向相比偏离了一个角度,即折射值 $R = \theta - \theta'$ 如图 1-2-6 所示。当太阳垂直入射时,天顶距为 0,折射值 $R = 0$,随太阳天顶距加大,折射值增加,天顶距为 45° 时,折射值 $R = 1'$;天顶距为 90° 时,折射值 $R = 35'$ 。这时折射值达到最大。这也是为什么早晨看到的太阳圆面比中午时看到的太阳圆面大。因为当太阳在地平线上时,折射角度最大,甚至它还没有出地平线,由于折射,地面上已可以见到它了。

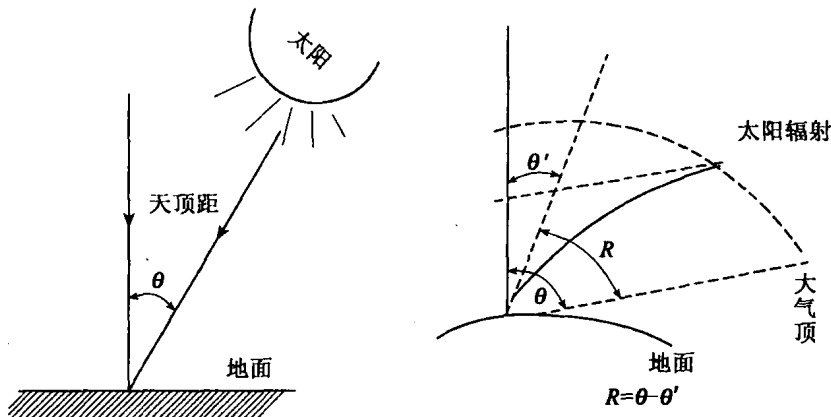


图 1-2-6 天顶距(θ)与折射值(R)

(2) 大气的反射

电磁波传播过程中,若通过两种介质的交界面,还会出现反射现象。气体、尘埃的反射作用很小,反射现象主要发生在云层顶部,取决于云量,而且各波段均受到不同程度的影响,削弱了电磁波到达地面的强度,因此应尽量选择无云的天气接收电磁波信号。