

高等学校教材

航空与航天 摄影技术

宣家斌 编

测绘出版社

高等学校教材

航空与航天摄影技术

宣家斌 编

测绘出版社

(京) 新登字 065 号

内 容 提 要

本书讲述遥感技术中利用光学摄影法获取原始数据的技术过程。系统地介绍了航空与航天摄影物理基础、航摄仪及其内方位元素的测定、航空摄影技术过程、返回型航天摄影系统、多光谱图像的摄影处理和遥感图像的质量评定。本书可供摄影测量与遥感专业、信息工程专业和城市规划专业等本科生作为教材,也可供从事航空与航天摄影的有关工程技术人员参考。

航空与航天摄影技术

宣家斌 编

*

测绘出版社出版

大兴五中印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

*

开本 787×1092 1/16·印张 13.5·字数 300 千字

1992 年 6 月第一版·1992 年 6 月第一次印刷

印数 0 001—1 500 册·定价 3.60 元

ISBN 7-5030-0501-7/P·187

前 言

本书是根据武汉测绘科技大学, 航空摄影测量与遥感专业的“航空与航天摄影技术”教学大纲编写而成的, 经测绘教材委员会审定, 作为航空摄影测量与遥感等专业本科生的教材。

1987年, 武汉测绘科技大学在修订航空摄影测量与遥感专业的教学大纲时, 决定将原课程“摄影与空中摄影”分成两门课程, 即“摄影技术”和“航空与航天摄影技术”。前者讲述摄影学基本原理, 后者着重于为专业服务。在编写本书时, 尽可能反映国外最新的技术资料; 对航摄技术中各参数的确定原则以及航天摄影系统的轨道参数等都作了较深入的分析; 在专业用语上, 力求与当代其它遥感技术中常用的术语进行比较和联系; 尤其在遥感图像的质量评定一章中结合了作者及航空摄影教研组近年来的科研成果, 以便使教材内容更好地满足国民经济各部门的需要。

本书共分四个部分。第一部分即第一章介绍航空与航天摄影物理基础, 与一般遥感技术不同, 除了介绍具有共性的内容外, 重点由辐射传输方程出发, 分析对航空(航天)摄影的要求。第二部分介绍航空摄影技术(第二、三章), 对航摄仪及其附件的结构与原理、航摄仪内方位元素的测定和平差计算方法以及航空摄影技术过程等都作了系统的叙述。第三部分介绍航天摄影技术(第四、五、六章), 介绍航天摄影、多光谱摄影和多光谱图像的摄影处理等三个方面的内容, 基本上包括从获取各种航天摄影资料到用摄影法提取信息的全部过程。第四部分即第七章介绍遥感图像的质量评定, 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。为了更好地掌握当代两种主要遥感图像(摄影/扫描)之间的内在联系, 在第四、五、七章中, 还在影像数字化的基础上分别叙述有关航摄仪信道容量、航摄负片信息量和数字扫描图像有效比特数等基本概念。

航空与航天摄影是以摄影学原理为基础的, 因此掌握“摄影技术”的基本理论, 尤其是摄影物镜的光学特性、感光测定理论和彩色摄影乃是学习本课程必须具备的基本知识。

在编写本书时, 武汉测绘科技大学航空摄影教研组的同志们曾给予许多帮助, 对初稿提出了许多宝贵的意见; 在撰写第三章第六节关于“航摄负片压平质量的检查”时, 摄影测量与遥感系的冯文灏教授曾给予很多指导。书稿承武汉测绘科技大学俞浩清教授、郑州解放军测绘学院张庆岑、代勇书副教授进行了初审和复审, 提出了许多宝贵意见, 使本书避免了不少缺点和错误; 又承武汉测绘科技大学航空摄影教研组乔瑞亭同志帮助抄写, 在此谨表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 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

1991年10月

目 录

绪 言	(1)
第一章 航空与航天摄影物理基础	(4)
第一节 电磁波与电磁波谱	(4)
第二节 太阳辐射和大气的影晌	(6)
第三节 辐射传输方程及航空(航天)摄影的要求	(11)
第四节 地物的波谱反射特性	(17)
第二章 航摄仪及航摄仪内方位元素的测定	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 航摄仪的基本结构	(24)
第三节 航摄仪物镜的光学特性	(28)
第四节 我国常用的几种航摄仪	(35)
第五节 航摄滤光片	(42)
第六节 航摄仪重叠度调整器的工作原理	(44)
第七节 航摄仪的影像位移补偿装置	(47)
第八节 航摄仪的自动测光系统和曝光时间的计算	(49)
第九节 航摄仪内方位元素和物镜畸变差的测定	(53)
第三章 航空摄影技术过程	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 重叠度、基高比、垂直夸大和坡度夸大	(71)
第三节 航空摄影技术计划	(74)
第四节 对航摄资料质量的要求	(85)
第五节 航摄胶片的冲洗	(89)
第六节 航摄资料质量的检查和评定	(94)
第七节 彩色航空摄影	(99)
第八节 在轻型飞机上进行小像幅航空摄影	(104)
第四章 返回型航天摄影系统	(110)
第一节 概述	(110)
第二节 航天摄影系统和航天摄影的主要技术参数	(113)
第三节 遥感平台的轨道参数和姿态参数	(116)
第四节 航天摄影飞行计划的制订	(122)
第五节 国土卫星及全景扫描相机	(126)
第六节 应用测图航摄仪进行的航天摄影	(133)

第五章 多光谱摄影	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 多光谱摄影	(141)
第三节 多光谱图像的信息量	(145)
第六章 多光谱图像的摄影处理	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 多光谱图像的彩色合成	(156)
第三节 相关掩模图像增强技术	(162)
第七章 遥感图像的质量评定	(169)
第一节 概述	(169)
第二节 像质评价的基本原则	(170)
第三节 摄影系统的调制传递函数	(175)
第四节 在航摄负片上测定调制传递函数的方法	(184)
第五节 调制传递函数的应用	(187)
第六节 航摄资料质量的综合评估	(191)
第七节 数字扫描图像的有效比特数	(193)
第八节 数字扫描成像系统调制传递函数的测定	(196)
附录 I 感光材料的感光特性	(200)
附录 II 影像数字化的基本概念	(203)
附录 III 傅里叶级数和傅里叶积分	(204)
主要参考文献	(209)

绪 言

航空与航天摄影就是从空中对地球表面进行摄影。与地面摄影不同，它有其自身的特点和特殊的要求，这些特点和要求都是与航摄资料的用途和摄影的特殊条件有关的。

一般来说，在离地面 10 km 高度以下进行的摄影称为航空摄影；在高度超越稠密大气层(40km)，但仍处于地球引力范围以内的摄影称为航天摄影。本课程在有些章节中，当讨论具有共性的问题时，常统称为航空摄影，所摄取的资料则统称为航摄资料。

航空与航天摄影是以摄影学为原理的一种主要遥感技术。“遥感”一词首先是由美国海军研究部的布鲁伊特 (Evelyn L. Pruitt) 在1960年提出的，并在1962年由美国密执安大学等单位所发起的第一届环境科学遥感讨论会上正式采用。所谓遥感，就是运用现代科学技术，从遥远的地方感知地球或其它星球的某些状况与变化，即不直接接触物体本身，而是通过电磁波来探测地球和其它星体的物体性质与特点的一门综合性的探测技术。

遥感技术包括从获取原始数据到提取信息的整个过程，涉及到的学科领域很广，但是无论采用哪一种遥感技术，基本上都是由图 0-1 所示的三个方面组成的。

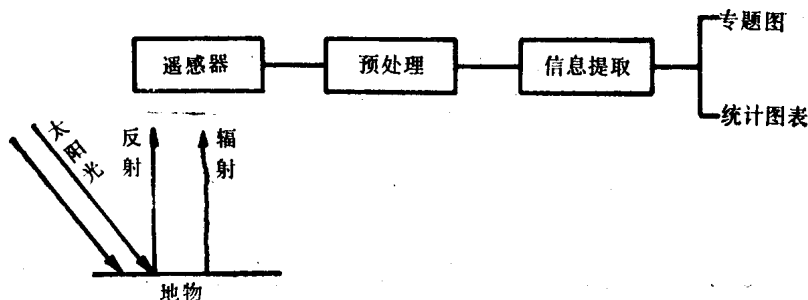


图 0-1

一、获取原始数据

利用遥感器获取由地物反射或辐射的能量，并记录在一定的介质上，构成一定形式的图像，这种图像称为原始图像或原始数据。

二、对原始数据进行预处理

由于遥感器的几何特性和辐射特性，必须对原始数据进行分析 and 加工，消除各种因素造成的几何误差和辐射误差，便于后续提取信息。

三、信息提取

根据具体的要求，从经过预处理的数据中，通过一定的模式，利用图像处理设备，提取

所需要的信息。为方便使用，常以图、表等形式表示，使提取的信息较为直观和精炼。

遥感技术多种多样，其分类方法也很多，通常按图像获取的方式进行分类，如图 0-2 所示。

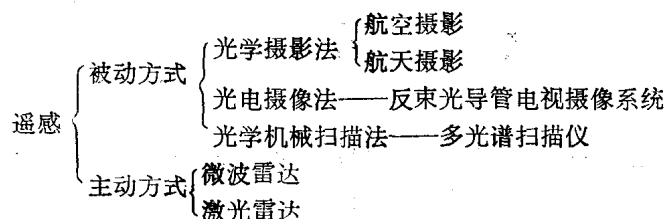


图 0-2

所谓图像，就是对地物所反射或辐射的能量进行二维的空间记录。用图像的色调浓淡（密度）表示能量强度并记录在胶片上的就是摄影图像或称为模拟图像（简称影像）。用数字的大小表示能量强度，并以二进制为单位记录在磁带上的图像称为数字扫描图像或离散图像。凡是遥感器自身不发射信号，只接收来自地物所反射或辐射能量而获取数据的方式称为被动方式，反之，遥感器通过自身发射信号，然后再接收地物反射回来的信号的方式称为主动方式。

显然，摄影技术在遥感技术的原始数据获取中占有重要的地位。早在 1839 年成功地摄取第一张像片以来，就建立了“摄影术”，这是遥感的雏型，是遥感技术发展的最初阶段。由于航空技术的兴起，在 20 世纪初期形成了航空摄影测量学，并利用航空像片进行地形测绘、资源调查和军事侦察。到 60 年代初期（1961 年），在美国的水星 MA-4 飞船上第一次从人造卫星上摄取了地面的像片。随着航天技术的不断发展，在 1983 年 11 月 30 日，又第一次从航天飞机上利用测图航摄影（RMK30/23）成功地拍摄到 1:82 万的航空像片，成为编制 1:10 万地形图或修测 1:5 万地形图的宝贵资料。

随着其它非摄影遥感技术的兴起，在专业术语上也开始采用了一些新的名词，其中有些名词虽然与航空与航天摄影中采用的名词不同，但含义是相同的，如遥感平台（飞机），遥感器（航摄影 + 航摄影胶片）等等。

在遥感技术中，用得较广，与光学摄影法可以互相媲美的是光学机械扫描法。摄影遥感图像的优点是图像几何精度高，清晰度好，在遥感图像处理中只需要简单的图像加工和处理设备，如印像机、纠正仪和立体测图仪等，况且航空摄影测量学又是一门比较成熟的科学技术，因此便于在生产实践中推广。数字遥感图像是随着数学和计算机技术的不断创新而兴起的一门比较年轻的科学，其主要优点是可以借助于电子技术，将视频信号直接输送到地面接收站，从而不需要像摄影法那样每次都回收胶片，不存在资料丢失的风险。其次，由于航天遥感平台（人造卫星）长期围绕地球运转，可以多时相地输送多种窄波段的资料，如法国 SPOT 卫星（4 个波段）重复周期为 26 天，美国专题制图仪 TM 的重复周期（7 个波段）为 16 天，因此是自然资源普查和动态监测中一种非常有效的工具。到目前为止，这两类方法是互为补充的。一般来说，从卫星上进行多光谱扫描所获得的数据，主要用于宏观控制，当发现某一地区需要重点研究时，就必须采用常规的航空摄影方法进行

行精确的调查。

随着航空、航天和宇航技术的不断完善，光学工业、感光材料制造工业和电子工业的不断发展，航空与航天摄影技术在诸如地形测绘、国土整治、航空地质、农业、林业、水利、环境保护、能源交通和城市规划等方面取得了不少可喜的成果，显示了巨大的生命力。从当前发展的趋势来看，摄影遥感不但正在向多光谱和航天摄影方向发展，而且也在向低航高（航高低于 500m）和小像幅（6cm×6cm）方向发展，以便快速、经济地获取现势性强的资料，从而使摄影遥感技术得到更广泛的应用。

第一章 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，因为这是保证航摄质量的技术关键。

第一节 电磁波与电磁波谱

遥感的基本理论是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

$$C = \lambda \cdot \nu \quad (1-1-1)$$

电磁波所具有的能量 E 为

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

式中， h ——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所示。

各种波长单位之间的关系为

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

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 ($0.001-0.3\text{\AA}$)

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。

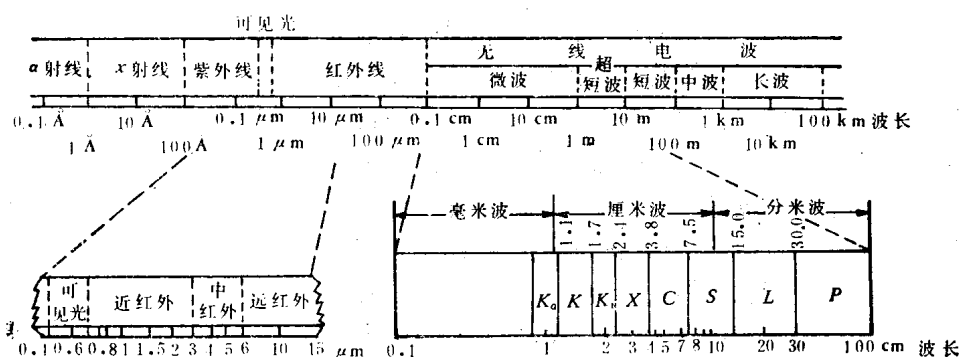


图 1-1

2. 紫外线 (0.01—0.39μm)

在低空中能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 0.23μm 以下的紫外线。

3. 可见光 (0.39—0.7μm)

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—1000μm)

遥感中常用的红外波谱段可分为三种, 即近红外(0.7—3μm), 中红外(3—6μm)和远红外(6—15μm)。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份吸收红外辐射的原因。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性质。

一般近红外称为反射红外波谱段, 其中在0.7—0.9μm 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 1.2μm, 但由于这种胶片必须保存在 -18℃ 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 15μm 的热红外因其绝大部分被大气中的水蒸汽所吸收而无法使用。

5. 微波 (0.1—100cm)

分八个波段 (K₀: 0.8—1.1cm; K: 1.1—1.7cm; K₁: 1.7—2.4cm; X: 2.4—3.8cm; C: 3.8—7.5cm; S: 7.5—15cm; L: 15—30cm; P: 30—100cm)。常用的有三个, 即 K₀、X 和 L 波段, 其中 0.86cm(K₀)、3 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份的变化，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，这种运动一般分为三种形式：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，为发展多种类型的遥感技术打下了基础。

最后，对“辐射”和“波谱段”这两个名词作进一步说明：

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，只有可见光波谱段才可简称为“光谱段”。

第二节 太阳辐射和大气的影晌

航摄影（航空照相机）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影片上感光，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，必须了解大气的成份和结构，太阳辐射和大气的影晌以及大气窗口等基本概念。

一、大气的成份和结构

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 。

大气中的主要成份是氮（ 78% ）、氧（ 21% ）、氩（ 1% ）和二氧化碳（ 0.03% ），都分布在 20km 高度以下，这些成份在地球各处都是不变的。大气中还有可变成份，主要是臭氧和水蒸汽。臭氧一般在 $25-30\text{km}$ 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。水蒸汽主要位于 5km 以下，超过 12km 就不再存在，水蒸汽能强烈地吸收红外线，它的含量因温度和地理条件的影响变化很大。

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、雨、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 $0.1\text{--}20\mu\text{m}$ 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（ $0\text{--}12\text{km}$ ），平流层（ $12\text{--}80\text{km}$ ）和电离层（ $80\text{--}1000\text{km}$ ）。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 $1.2\text{--}3\text{km}$ 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 1-1 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

表 1-1

高 度 (km)	大 气 压 力 (p.)	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

地球表面之间的大气质量与整个大气层质量的比值。

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，每公里下降 6°C 左右。平流层内，分同温层(12—25km，温度逐渐降低至 -55°C)、暖层(25—55km，温度逐渐升至 100°C ，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°C)。在电离层中，在 80—90km 处，温度逐渐降低，每公里下降 3°C 左右，最低温度可达 -95°C ，而后由于太阳辐射的强电离作用，又随着高度而增加，在 500km 处可上升至 230°C ，1000km 处可达到 $600-800^{\circ}\text{C}$ 。在电离层以上才可以认为是等温的。

在遥感中，掌握大气成份的变化规律，大气层内温度、湿度(水汽含量)和压力的变化情况，不但对气象预报和环境动态监测有重要的作用，而且对遥感器的研制，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。

二、太阳辐射

太阳辐射是地球上一切能量的主要源泉，也是遥感技术中的主要电磁辐射源。太阳表面是一个绝对温度高达 6000K 的炽热的光球体，向四周辐射出大量可见和不可见的电磁波。太阳辐射到达大气层上限的波谱范围在 $0.15-15\mu\text{m}$ 之间，其主要能量集中在 $0.15-4\mu\text{m}$ 之间，最大辐射强度约在 $0.48\mu\text{m}$ 处(图 1-2)。在可见光谱区($0.4-0.7\mu\text{m}$)能量占总辐射能的 46%，红外部分占 46%，紫外部分占 7%。

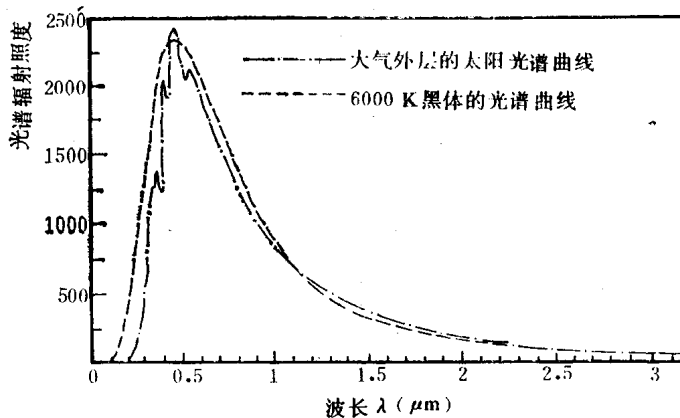


图 1-2

太阳辐射通过大气层后，由于大气吸收作用，总的辐射能量和各种波长的分能量都有损耗，通过大气层的路程愈长(天顶角愈大)，损耗愈大。此外，在太阳辐射穿过大气层时，由于大气中气体分子和混杂于大气中的悬浮微粒(气溶胶)等对光的散射，也将损失许多短波光，最大辐射强度所相应的波长由 $0.48\mu\text{m}$ 移动到 $0.59\mu\text{m}$ 。

三、大气的传输特性

太阳辐射穿过大气层到达地面时,首先在大气层外被反射 30% 的辐射能,在大气中一部分被吸收(17%),一部分被散射(22%),直接到达地面的只有太阳辐射总强度的 31% (图 1-3)。

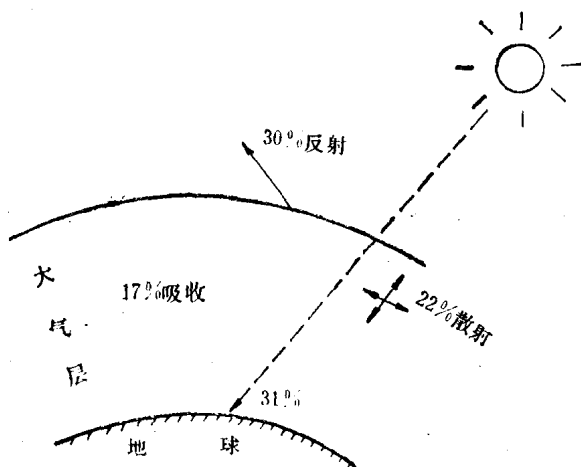


图 1-3

(一) 大气对太阳辐射的吸收

大气中的气体分子,水滴和尘埃等微粒,除尘埃外,对太阳辐射都有选择性的吸收作用,即把部分太阳能转换成自身的内能,使太阳辐射中的有些波谱段能透过大气层到达地面,另一些波谱段被全部或部分吸收而不能到达地面,造成许多断续的吸收带,如图 1-4 所示。同样,从地物反射或辐射的波谱中,也存在相同的大气吸收作用,由于这些辐射不能通过大气层,所以无法被遥感器探测。

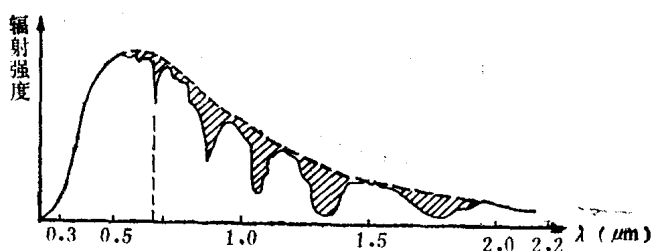


图 1-4

现将大气中各种成份对太阳辐射的主要吸收带简述如下:

水汽,是大气中吸收作用最强的介质。吸收带主要集中在红外部分,如在 0.7—0.93 μm 之间就有四个吸收带 (0.7—0.74 μm 间的弱吸收带; 0.76—0.82 μm 间的强吸收带; 0.84—0.89 μm 和 0.9—0.93 μm 的弱吸收带), 在 0.94—2.90 μm 之间有五个很强的吸收带 (0.94—0.98 μm ; 1.09—1.2 μm ; 1.28—1.46 μm ; 1.8—1.98 μm 和 2.4—2.9 μm) 等。

氧, 在小于 $0.2\mu\text{m}$ 处, 有一个较宽的强吸收带, 在 0.69 和 $0.76\mu\text{m}$ 附近各有一个狭吸收带, 吸收能力较弱。

臭氧, 臭氧在大气中的含量很少, 只在平流层的臭氧层里 ($25-30\text{km}$) 密度较大。臭氧主要吸收紫外线 ($0.1-0.36\mu\text{m}$), 此外在 $0.55-0.65\mu\text{m}$ 处还存在一个弱吸收带, 吸收能力虽然不强, 但因该波段正位于太阳辐射最强烈的辐射带里, 被吸收的太阳辐射能还是很多的。

二氧化碳, 吸收作用主要在红外波段区, 对可见光的吸收可以忽略不计, 在 $2.6-3.8\mu\text{m}$ 和 $4.4-4.45\mu\text{m}$ 处各有一个强吸收带, 在 $9.1-10.9\mu\text{m}$ 和 $12.9-17.1\mu\text{m}$ 处各有一个弱吸收带。

尘埃和水滴。尘埃对太阳辐射的吸收作用较弱, 但不是选择性吸收, 而是对各种波段都有少量的吸收。水滴的吸收带主要在 $0.59\mu\text{m}$ 和 $3\mu\text{m}$ 附近。

综上所述, 大气中各种成份的吸收主要发生在紫外和红外波段区, 吸收的结果使太阳辐射能量损失了 17% , 最大强度的辐射波长由 $0.48\mu\text{m}$ 移动到 $0.59\mu\text{m}$ 。

(二) 太阳辐射在大气中的散射

太阳辐射穿过大气层时, 将受到大气中气体分子和微粒的散射。散射与吸收不同, 不会改变大气本身的内能, 只使气体分子和微粒内部的电子在太阳辐射下发生振动, 它所放射的能量是入射的太阳辐射能的一部分, 所以散射只是改变太阳辐射的方向, 向大气质点四周散射。散射一方面使天空发光, 形成空中蒙雾亮度(见本章第三节), 另一方面, 散射光将均匀地照射地面, 增加了地面照度, 并使阴影部分的地物也受到一定的光照。

按照大气质点的大小, 散射分为以下两种:

1. 瑞利 (Rayleigh) 散射

当大气中质点的直径远远小于辐射波长时(小于十分之一波长), 散射的能力与辐射波长的四次方成反比, 这种散射称为瑞利散射。显然, 瑞利散射是选择性散射。

瑞利散射主要是大气中气体分子对太阳辐射波谱散射后产生的现象, 由于蓝光比红光的散射能力大八倍, 因此在晴朗纯洁的大气中, 由于瑞利散射而产生的空中蒙雾呈蓝色, 这就是晴朗天空呈现蓝色的原因。而在黎明或黄昏时, 由于太阳辐射穿过的大气路程较长, 短波光被强烈散射, 难以到达地面, 只有红光才能透射到地面, 因而太阳呈桔红色。

2. 弥 (Mie) 散射

当大气中质点的直径等于或大于辐射波长时(如尘埃、水滴、云、雾和烟雾等), 散射能力与波长无关, 这种散射称为弥散射。显然, 弥散射是非选择性散射。

实际大气中的散射, 是瑞利散射和弥散射综合影响的结果, 在不同的大气条件下, 有时以瑞利散射为主, 有时以弥散射为主。散射的程度除了与大气条件有关外, 还与太阳高度角有关, 而太阳高度角又是地理位置、季节和时间的函数。散射的影响使总的太阳辐射能损失了 22% ; 散射光虽然能均匀地照射地面, 使阴影部分的地物也受到一定的光照, 但由于散射光而产生的空中蒙雾亮度却限制了航空(航天)摄影的条件。我们将在第三节中详细分析空中蒙雾亮度对航摄影象质量的影响及其相应的补偿措施。

综上所述, 由于大气对太阳辐射的吸收和散射, 必将减少通过大气的辐射能, 其减少

的程度可以大气透射率 (T) 表示, 其表达式为

$$T = e^{-\sigma x} \quad (1-2-1)$$

而 $\sigma = A + B$

式中, x ——太阳辐射穿过大气的路程长度;

σ ——衰减系数;

A ——吸收系数;

B ——散射系数。

四、大气窗口

电磁波穿过大气层时, 能够穿过大气层的电磁波谱段, 即大气透射率较高, 被大气吸收、散射较少的电磁波谱段称为大气窗口。反之, 大气影响较为严重, 无法穿过大气层的波谱段称为大气屏障(图 1-5)。显然, 任何遥感器所能接收的电磁波谱段, 就只能在大气窗口中进行选择。目前, 限于技术条件和人们对地物波谱反射或辐射特性的了解, 遥感中常用的电磁波谱段只为大气窗口的一部分(见本章第一节)。

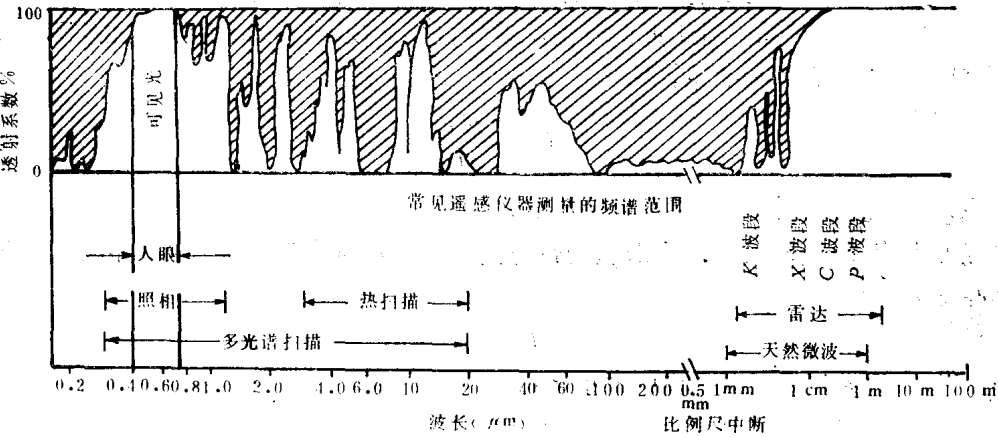


图 1-5

第三节 辐射传输方程及航空(航天)摄影的要求

一、辐射传输方程

由图 1-6 可知, 航摄影从空中对地面摄影时, 从地物反射或辐射的电磁波, 将经过大气层后才能进入航摄影, 而地物反射或辐射的能量首先取决于地物所受到的太阳光照的强度, 即地面强度(E)。

地面照度包括直射照度和散射照度, 此外, 地物还将受到周围邻近物体反射光之间的交互反射, 因此地物所受到的总照度 E 为

$$E = E_{\text{直}} + E_{\text{散}} + E_{\text{互}} \quad (1-3-1)$$

$$E_{\text{直}} = E_0 \cdot \cos \alpha \cdot T_1 \quad (1-3-2)$$