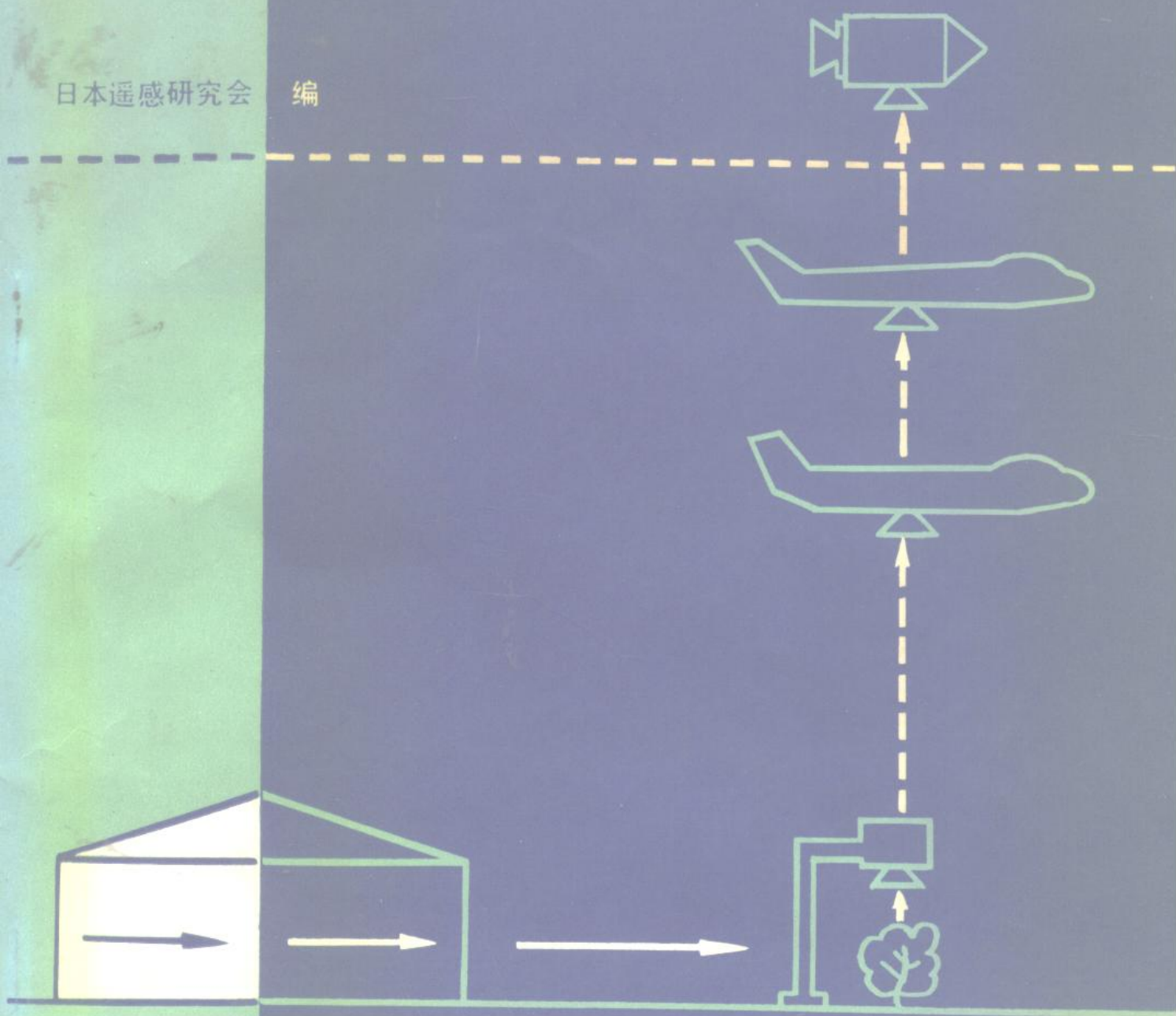


日本遥感研究会 编



# 遥感原理概要

YAOGANYUANLI  
GAIYAO

科学出版社

## 内 容 简 介

本书是介绍遥感原理和应用的基本概念的基础读物。采用图文对照方式逐条概要介绍遥感所涉及的数理概念、工作方法的基本内容和步骤,并列出许多具有参考价值的基本数据和图表。

全书共分七章,内容包括遥感基本原理、遥感探测设备、记录方式及材料、运载工具、数据处理、遥感应用等。

本书可供地质、地理、农林水利等自然学科和有关工程技术专业中从事遥感研究的科技人员,以及有关大学的师生学习参考之用。

日本リモートセンシング研究会編

リモートセンシング・ノート —— 原理と応用

技報堂株式会社, 1975 年

## 遥 感 原 理 概 要

日本遥感研究会 编

龚 君 译

杨郁华 校

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1981 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1981 年 4 月第一次印刷 印张: 6 1/4 插页: 2

印数: 0001—7,750 字数: 135,000

统一书号: 13031·1517

本社书号: 2080·13—13

定价: 1.20 元

## 译 者 的 话

本书译自日文原著“遥感笔记——原理和应用”，这是日本遥感研究会为了在其国内普及遥感基本知识而编辑的一本遥感基础读物。

遥感技术是六十年代兴起的跨学科的一门综合探测技术。它涉及到各应用学科和许多工程技术专业的大量基本知识，主要包括辐射场基本理论，遥感探测设备及其原理和特性，运载工具的使用，数据记录方式及记录材料的性能，遥感数据处理方法和设备，遥感在各自然学科中的典型应用等等。遥感技术一方面引用了各专业的大量的数理概念和技术方法，另一方面又产生了独特的技术手段和崭新的内容。因此凡是从事遥感研究的科技人员和学习遥感专业的学生都应该尽可能地全面掌握这种综合新技术的全部基本知识。

另外，遥感学术界迫切需要对于遥感技术术语的称呼和概念、各项遥感技术方法的含义和内容进行必要的统一，以有利于学术交流和促进该技术的发展。

为此日本遥感研究会编辑了这本介绍遥感基础知识的书。全书共七章分七十个项目，全面地介绍遥感的广泛而基本的内容——从原理、方法、仪器到应用，采用图文对照方法，文字简明，概念清楚，内容繁多但有条有理，并且附上许多具有参考价值的基本数据、公式和图表。本书是遥感工作者的一本简明的手册性的参考书。

本译本对原书个别处作了删节。原书文字与图表分别对照排列，本译本为了考虑版面，改变了原书的编排方式，图表分别插于文内。刘宝银同志对译稿作了较细致的校阅，提出了宝贵的意见，特此致谢。

译 者

1979 年 10 月

# 序

《遥感原理概要》是一本为了使读者了解遥感的原理和应用的基本知识、而尽可能用简明扼要的方式写成的教科书。为此,从系统性出发,严格地选择了遥感基本原理和应用的例子共约 70 项。每项都经研究会多次讨论过,采用图文对照的方式进行编辑。

本书的读者对象是学生、技术工作者、管理人员和其他立志从事遥感的人们。本书无论是作为大学讲义或者用于培训职员、干部以及对讲习会、自学都具有很好的参考意义。

日本遥感研究会是为了正确地普及遥感基本知识而成立的研究会,至今已经开过一些讨论会和座谈会。通过这些活动,深感到系统地编辑出版一本教科书,对于我们的研究活动是非常必要的。本书的出版问世,定将会在广泛的领域里发挥良好的作用。

最后,在本书出版过程中曾蒙各方面有关人士的指教和协助,谨此表示谢意。

日本遥感研究会 (JARS)

1975 年 10 月

## 执笔者及编辑小组

村井俊治

高木幹雄

広沢春任

下田陽久

辻内延行

田中邦一

田村昭南

高木勲

渡辺誠

篠田徹

# 目 录

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第一章 遥感的基本原理     | 1  |
| 1.1 遥感的概念       | 1  |
| 1.2 电磁波波谱和传感器   | 2  |
| 1.3 电磁波传递的信息    | 3  |
| 1.4 物质与电磁波的关系   | 4  |
| 1.5 电磁能的传输过程    | 5  |
| 1.6 黑体辐射        | 7  |
| 1.7 太阳光的分光特性    | 8  |
| 1.8 大气透过特性      | 9  |
| 1.9 散射          | 10 |
| 1.10 辐射量的定义     | 11 |
| 1.11 眼的功能       | 13 |
| 1.12 眼的视感特性     | 14 |
| 1.13 颜色的表示      | 15 |
| 1.14 色度图        | 16 |
| 第二章 传感器         | 19 |
| 2.1 传感器的分类      | 19 |
| 2.2 分光          | 20 |
| 2.3 探测元件的特性     | 21 |
| 2.4 照相机的种类      | 22 |
| 2.5 航测照相机       | 24 |
| 2.6 多光谱照相机      | 25 |
| 2.7 多波段扫描仪      | 27 |
| 2.8 光学-机械扫描仪的结构 | 28 |
| 2.9 热红外扫描仪      | 29 |
| 2.10 电视摄像机      | 30 |
| 2.11 固体扫描仪      | 31 |
| 2.12 其他传感器      | 32 |
| 第三章 雷达和微波辐射计    | 35 |
| 3.1 无线电波谱段的遥感   | 35 |
| 3.2 微波辐射计的结构    | 36 |
| 3.3 侧视雷达的原理     | 37 |
| 3.4 雷达图象传递的信息   | 38 |
| 3.5 极化面的意义      | 39 |
| 第四章 记录方式和记录材料   | 41 |
| 4.1 记录方式的分类     | 41 |
| 4.2 各种胶片        | 41 |

|                   |                             |           |
|-------------------|-----------------------------|-----------|
| 4.3               | 胶片的感色度 .....                | 43        |
| 4.4               | 相片密度和胶片的特性曲线 .....          | 45        |
| 4.5               | 滤光片的分光透过特性 .....            | 46        |
| 4.6               | 胶片和滤光片的组合 .....             | 48        |
| 4.7               | 胶片的模数转换 .....               | 49        |
| 4.8               | 转换成胶片的数模转换 .....            | 50        |
| <b>第五章</b>        | <b>运载工具 .....</b>           | <b>52</b> |
| 5.1               | 各种运载工具 .....                | 52        |
| 5.2               | 飞机的传感器系统 .....              | 53        |
| 5.3               | 摄影计划 .....                  | 54        |
| 5.4               | 摄影所要求的气象条件 .....            | 55        |
| 5.5               | 飞行高度和大气状态 .....             | 56        |
| 5.6               | 地球资源卫星的轨道 .....             | 58        |
| <b>第六章</b>        | <b>数据处理 .....</b>           | <b>60</b> |
| 6.1               | 遥感数据处理系统 .....              | 60        |
| 6.2               | 数据处理方式 .....                | 61        |
| 6.3               | 数据管理 .....                  | 62        |
| 6.4               | 辐射预处理 .....                 | 63        |
| 6.5               | 各种增强 .....                  | 64        |
| 6.6               | 彩色合成 .....                  | 66        |
| 6.7               | 图象的几何订正 .....               | 67        |
| 6.8               | 地球资源技术卫星多光谱扫描仪图象的几何订正 ..... | 69        |
| 6.9               | 数据压缩方法 .....                | 70        |
| 6.10              | 图型识别 .....                  | 72        |
| 6.11              | 分类的方法 .....                 | 72        |
| 6.12              | 分类的数字化处理系统 .....            | 74        |
| <b>第七章</b>        | <b>遥感的应用 .....</b>          | <b>75</b> |
| 7.1               | 植物的分光特性 .....               | 75        |
| 7.2               | 用多光谱相片作彩色合成 .....           | 76        |
| 7.3               | 农业方面的应用 .....               | 77        |
| 7.4               | 森林调查方面的应用 .....             | 78        |
| 7.5               | 水污染调查所要求的条件 .....           | 78        |
| 7.6               | 通过多光谱分析进行水污染调查 .....        | 81        |
| 7.7               | 海洋遥感 .....                  | 82        |
| 7.8               | 用热影像进行水温调查 .....            | 83        |
| 7.9               | 地质判读方面的应用 .....             | 84        |
| 7.10              | 用地球资源技术卫星图象进行土地利用判读 .....   | 85        |
| 7.11              | 城市的环境变化 .....               | 86        |
| 7.12              | 雷达图象的应用 .....               | 88        |
| <b>参考文献</b> ..... |                             | <b>90</b> |

# 第一章 遥感的基本原理

## 1.1 遥感的概念

所谓遥感 (Remote Sensing) 就是不直接接触有关目标物或现象而能收集信息,并能对其进行识别、分类、判读和分析等的一种技术。

遥感所收集的信息是由目标物反射或者发射的电磁波信息。收集电磁波信息的装置 (如照相机和扫描仪等)叫做传感器。装载传感器的设备,如飞机和人造卫星等称为运载工具。

遥感也可这样定义:“所谓遥感就是用装载在飞机或人造卫星等运载工具上的传感器,收集由地面目标物反射或发射来的电磁波,再利用这些数据获得关于目标物和现象的信息的技术”。

遥感之所以能够根据收集到的电磁波信息来判读地面目标物和现象,是由于物体的下述的电磁波特性:

“一切物体,由于其种类和环境条件不同,它就具有完全不同的电磁波的反射或发射辐射的特性。”

所以,所谓“遥感”也就是着眼于各物体对电磁波的反射和发射辐射所固有的特性,收集这些电磁波信息,从而判读识别出目标物及其所处环境条件的一种技术。

图 1.1.1 显示了应用遥感收集数据的原理。图 1.1.2 用图解的方式绘示出了目标物所固有的电磁波特性会受到太

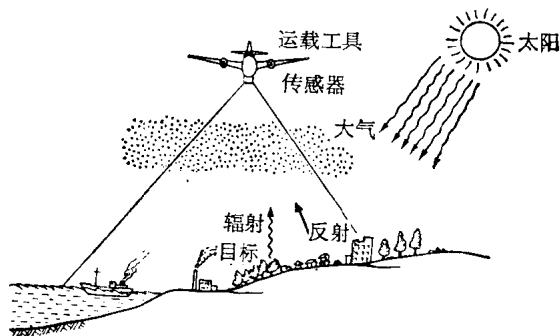


图 1.1.1 应用遥感收集数据

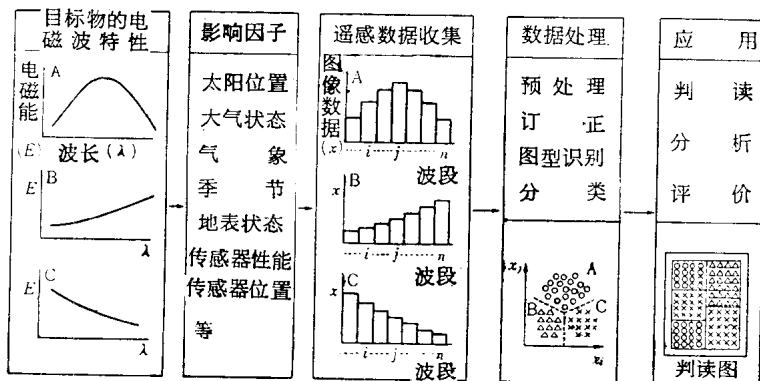


图 1.1.2 遥感数据的流程

阳、大气、气象等环境条件因素的影响,传感器收集到的是发生了畸变的图象数据,经过数据处理最后成为可以应用的数据的流程。

1.2 电磁波波谱和传感器<sup>[1,1]</sup>

遥感采用的电磁波波段可以从紫外一直到微波波段。电磁波按波段命名。表 1.2.1 汇总了电磁波波段的划分及其名称。

表 1.2.1 电磁波的分类和名称

| 名 称    | 波 长 范 围      | 波 数                                       |
|--------|--------------|-------------------------------------------|
| 紫 外 线  | 100 埃—0.4 微米 |                                           |
| 可 见 光  | 0.4—0.75 微米  | 25000—13333 厘米 <sup>-1</sup>              |
| 红外线 {  | 近 红 外        | 0.75—1.5 微米                               |
|        | 中 红 外        | 1.5—15 微米                                 |
|        | 远 红 外        | 15—100 微米                                 |
|        | 亚毫米波         | 100—1000 微米                               |
| 无线电波 { | 毫米波 (EHF)    | 1—10 毫米                                   |
|        | 厘米波 (SHF)    | 1—10 厘米                                   |
|        | 分米波 (UHF)    | 10 厘米—1 米                                 |
|        |              | 3×10 <sup>11</sup> —3×10 <sup>10</sup> 赫兹 |
|        |              | 3×10 <sup>10</sup> —3×10 <sup>9</sup> 赫兹  |
|        |              | 3×10 <sup>9</sup> —3×10 <sup>8</sup> 赫兹   |

人眼可见的电磁波波段称为可见光。我们平时所说的光就是指可见光。在可见光中,蓝光的波长短,红光的波长长。

比可见光的波长长的电磁波是红外线。红外线按其波长可分成为近红外、中红外、远红外(或热红外)等;对于它们的波长范围,由于在物理上没有给出明确的定义,所以区分它们的波长范围的规定就因人而异。

比红外线波长长的电磁波是微波等无线电波。微波是以厘米波为中心的无线电波波段的总称。在遥感中,雷达传感器所使用的是无线电波短波段中的毫米波和分米波。

工作波长不同,使用的传感器也就不同。对于机载传感器,用于探测X射线和伽玛射线的传感器已经不怎么使用了。图 1.2.1 所示的是电磁波波谱和现在正在研制的传感器。

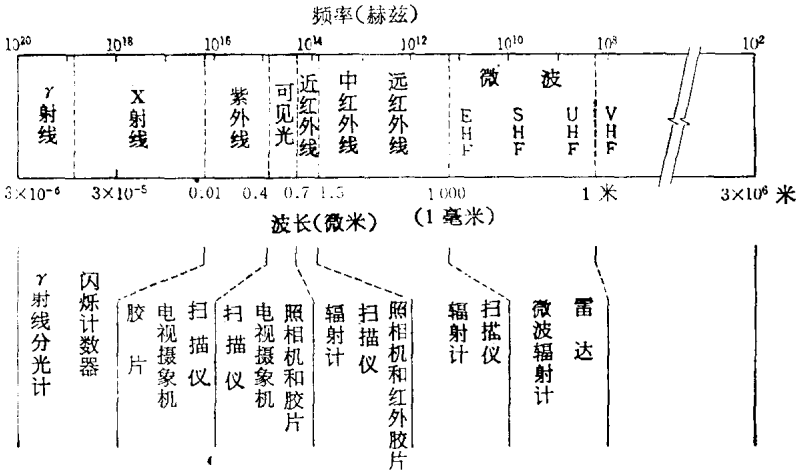


图 1.2.1 电磁波波谱和传感器



电磁波一般按波长进行分类，也可按波数或频率进行分类。“波数”是指在一厘米内所包含的波的数目，“频率”则是在一秒钟内所传播的波的数目，用赫兹(Hz)作为单位。频率和波长的关系可用下式表示：

$$\text{频率} = \text{光速} / \text{波长} = 3 \times 10^{10} \text{ 赫兹/厘米}$$

[单位]

1 微米( $\mu\text{m}$ ) = 1/1000 毫米, ( $\mu\text{m}$  常可写作  $\mu$ )

1 毫微米( $\text{nm}$ ) = 1/1000 微米

1 埃( $\text{\AA}$ ) = 1/10 毫微米

光速 =  $2.998 \times 10^{10}$  厘米/秒

1 赫兹(Hz) = 波数/秒

波数 = 1/波长(厘米)

### 1.3 电磁波传递的信息

电磁波是在空间传播、传递电磁能的波。如图 1.3.1 所示，在自由空间中传播的平面波是一种互相垂直的电场和磁场的横波，电磁波的波长  $\lambda$  和频率  $f$  以及速度  $v$  之间的关系是  $\lambda = v/f$ 。在大气中， $v$  可以认为与真空中的光速相等。

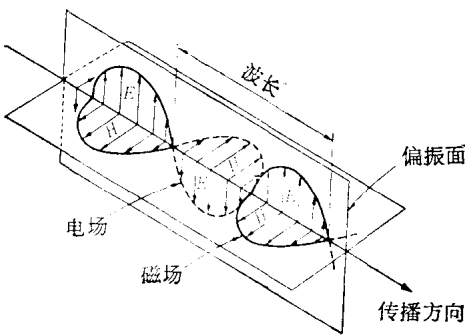


图 1.3.1 电磁波

当给出传播方向、频率(或波长)、振幅和偏振面这四个物理量时，平面波就完全被决定了。振幅是电场振动的大小，它表示电磁波传递的能量的大小。电场方向所在的面称之为偏振面，偏振面方向恒定时称为线性偏振波或线性偏振光。

这四个物理量与电磁波传递的信息的对应关系可用图解方式表示(见图 1.3.2)。频

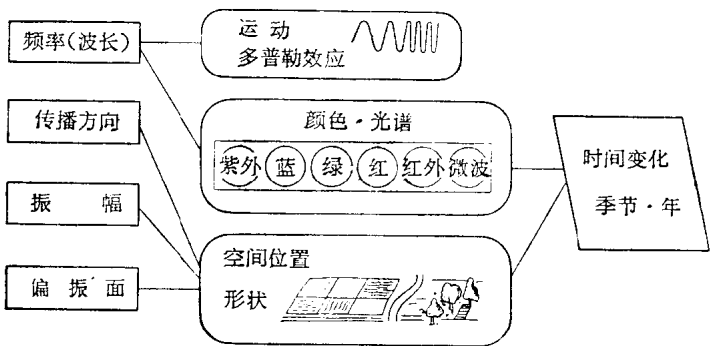


图 1.3.2 电磁波传递的信息

率或者波长是与光所传递的物质的颜色相对应的。波长范围从紫外、红外到微波等,这样广义的颜色所传递的信息,就变得非常丰富。在短时间内发生的运动,以多普勒效应表现在频率这个物理量上。物体的空间位置和形状等可根据电磁波的直线运动特性从传播方向上获得。另外根据电磁波强度也就是振幅,可以确定物体的空间位置和形状。当电磁波发生反射或散射时,偏振状态将会发生变化,这是与反射面和散射体的几何形状相关联的。

1.4 物质与电磁波的关系<sup>[1,2,1.3]</sup>

在第 1.1 节中已说过,各种物质具有其固有的各不相同的电磁波特性,本节来谈一谈电磁波是如何产生的问题。

各种物质都是由各种不同的原子或者由它所组合而成的分子所构成。这些原子或分子当受到光和热等作用时,原子内部的原子核和电子的状态就会发生变化,进而可产生使构成分子的原子发生振动的各种运动方式。物质的这种内部状态的变化就产生了电磁波,而它所具有的电磁能是与不同的运动方式相对应的。即由于物质的内部状态变化所产生的电磁能发出了具有固定波长的电磁波。这种电磁能用 eV(电子伏特)作为单位。1 电子伏特是当一个电子在 1 伏电位作用下作加速运动时所获得的能量。表 1.4.1 列出了对应于各种物质的内部状态所产生的电磁能和所发出的电磁波。

表 1.4.1 物质内部状态和电磁能的关系

| 物 质 内 部 状 态               | 能量(电子伏特)               | 对应的电磁波 |
|---------------------------|------------------------|--------|
| 原子核内部的相互作用                | $10^7 \sim 10^8$       | 伽马射线   |
| 层内电子的离子化                  | $10^4 \sim 10^7$       | X 射 线  |
| 外层电子的离子化                  | $10^2 \sim 4$          | 紫 外 线  |
| 外层电子的激励                   | $4 \sim 1$             | 可 见 光  |
| 分子振动,晶格振动                 | $1 \sim 10^{-3}$       | 红 外 线  |
| { 分子旋转和反转<br>电子自转与磁场的相互作用 | $10^{-4} \sim 10^{-5}$ | 毫米波和微波 |
| 核自转与磁场的相互作用               | $10^{-7}$              | 米 波    |

如图 1.4.1(a) 所示,原子是由原子核和迴绕它旋转的电子所组成。电子的数目随元素而不同。内层的电子称为层内电子,外层的电子称为外层电子。这些电子向外层真空能

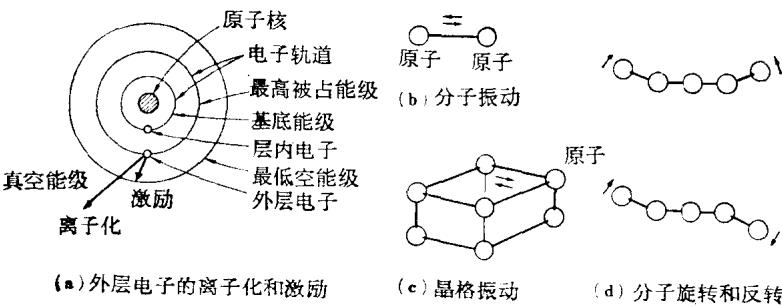


图 1.4.1 物质内部状态的示意图

级逸出时称为离子化, 外层电子再跃迁到更外层的电子轨道上称为激励。紫外线就是外层电子离子化产生的电磁波, 可见光则是外层电子的激励而产生的电磁波。如图 1.4.1(b) 所示, 近红外线是由于构成分子的原子发生振动或分子振动而产生的。远红外线是由于分子构成的晶格发生振动(晶格振动)而辐射出来的电磁波。毫米波和厘米波的微波是由于分子旋转和反转而产生的。图 1.4.2 是用玻尔(Bohr)模式和经典力学振子从原理上来说明关于物质和电磁波的相互关系。

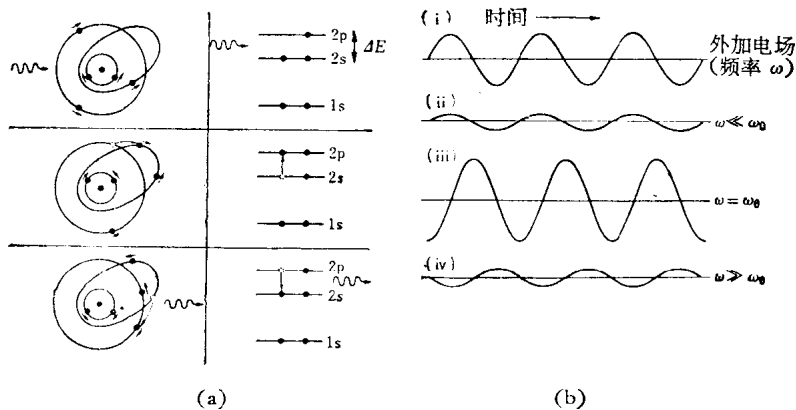


图 1.4.2 物质和电磁波的相互作用<sup>[1,3]</sup>

图(a) 物质和电磁场的相互作用是以光子被原子或分子吸收的过程为基础的。简单考虑光与一个原子相碰撞的情况。原子是处在不断运动的能量状态上。当在最低能量(基态)时,遇上恰好等于与下一个能级之差的光子,它就被吸收而转入激励状态。这个原子不久又返回到基态,于是这两个能级之差就放出光子。图的左侧是用玻尔模式加以说明,右侧是能级图。被吸收的光子和放出去的光子因为能量相等故频率也相等。

图(b) 上图是在遇到光子能量与两个原子状态的能级差相等的光的情况,即所谓共振的情况,而原子对于非共振的光也是有响应的。在这种情况下,用振子的经典解释要比用(a)那种量子理论解释,能更好地说明其基本的运动。原子中的电子在光的高频率电磁场作用下,电子发生振动。因此可把原子作为一个振子来考虑。振子的共振频率为 $\omega_0$ 。当在 $\omega = \omega_0$ 的电磁场作用下就发生共振,产生强振动(图中 iii)。电子就用与入射波相同的频率再辐射出强电磁场。在 $\omega \ll \omega_0$ (图中 ii)时,只诱发起小的振动,其振幅与 $\omega$ 无关,而具有所谓恒定的性质。在 $\omega \gg \omega_0$ (图中 iv)时,也诱发起振动,但振幅小,而且振幅随 $\omega$ 一起迅速减小。若在振子模式中考虑摩擦作用,那么由此而造成的能量损失就可用光的热吸收作用来解释。

**[单位]**

电子伏特(eV) = 一个电子在 1 伏电场下加速时,电子所获得的能量。  
 1 电子伏特的能量 =  $1.60219 \times 10^{-19}$  尔格; 1 尔格 = 1 达因·厘米; 1 达因 = 1 克·厘米/秒<sup>2</sup>。  
 1 电子伏特的光的波长 =  $12398.5 \times 10^{-8}$  厘米。

### 1.5 电磁能的传输过程

装置在运载工具上的传感器所收集到的电磁波信息,会受到下列因素的影响:

- 太阳光源的光谱特性
- 光源的入射角
- 大气的透过、反射、发射、吸收和散射特性

- 目标物的反射和发射特性
- 传感器的位置和高度
- 传感器的性能和记录方式

传感器所要收集的是来自目标物的反射或发射辐射,但由于在传感器和目标物之间存在着大气,所以它要受到大气很大的影响(参见图 1.5.1).

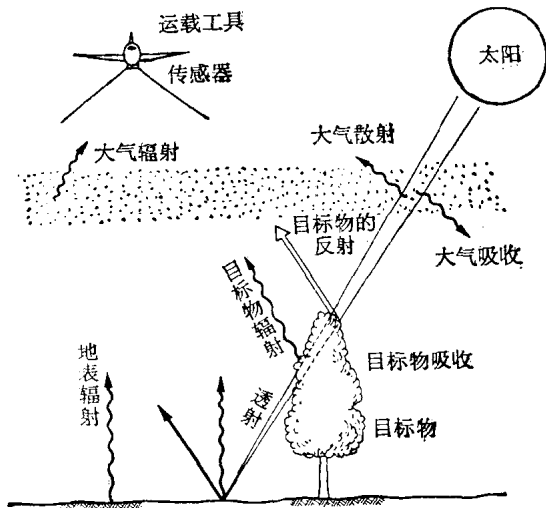


图 1.5.1 射到传感器的电磁波

图 1.5.2 画出了太阳辐射的电磁能(以 100 计)所经过的路程和受到的影响,传感器所接收到的反射和发射辐射的收支情况<sup>[1,4]</sup>.

传感器接收到的电磁能  $L(\lambda)$  由下式给出<sup>[1,5]</sup>.

$$L(\lambda) = K(\lambda) [\tau(\lambda, \theta_1, \theta_2, h) \times \{ \int N(\lambda, \phi_1, \phi_2) \rho(\lambda, \theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2) \sin \phi_1 d\Omega + B(\lambda, T) \epsilon(\lambda, \theta_1, \theta_2) \} + b(\lambda, \theta_1, \theta_2, h) ]$$

式中,  $L(\lambda)$ : 进入传感器的分光辐射亮度

$K(\lambda)$ : 传感器的响应特性

$\tau(\lambda, \theta_1, \theta_2, h)$ : 反射光在大气中的透过率

$N(\lambda, \phi_1, \phi_2)$ : 以太阳光的直射光和向下散射光的天空光为光源的辐射照度

$\rho(\lambda, \theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2)$ : 目标物的分光反射率

$b(\lambda, \theta_1, \theta_2, h)$ : 传感器和目标物之间的大气的辐射和散射, 称程辐射

$\lambda$ : 波长

$\phi_1$ : 太阳高度角

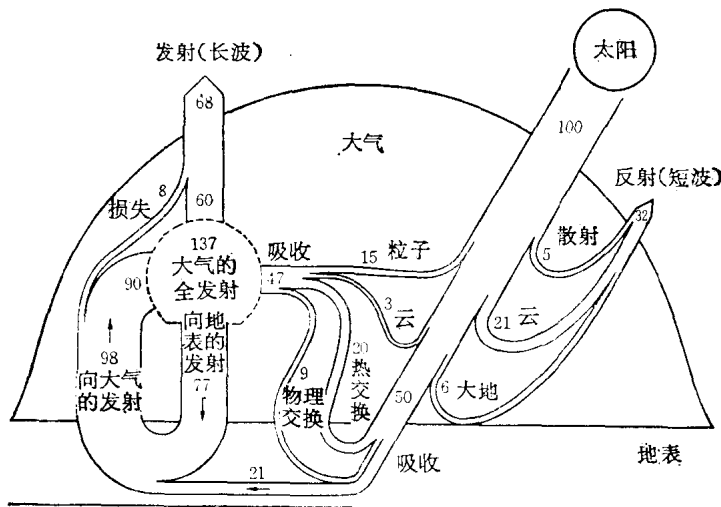


图 1.5.2 电磁能的传输过程和收支情况<sup>[1,4]</sup>

$\phi_2$ : 太阳方位  
 $\theta_1$ : 目标物与传感器之间的仰角  
 $\theta_2$ : 目标物与传感器之间的方向角  
 $h$ : 传感器的高度  
 $B(\lambda, T)$ : 绝对温度  $T$  时的黑体辐射  
 $\epsilon(\lambda, \theta_1, \theta_2)$ : 目标物的分光发射率

### 1.6 黑体辐射<sup>[1,6]</sup>

象太阳那样的高温物体发射出来的光也是电磁波,称其为热辐射。热辐射的强度和波长分布取决于物体温度,300°K 附近的常温物体也发射出由该温度所决定的热辐射。在研究了各种物质的热辐射后,就可知道对电磁波吸收越强的物体其热辐射也就越大。作为极限来考虑的全吸收体,它的热辐射仅由温度决定而与物质性质无关,这种物体称为黑体。黑体的热辐射称为黑体辐射。

黑体辐射可用普朗克(Planck)定律表示。该定律给出了黑体辐射作为温度的函数的电磁波波长分布。图 1.6.1 给出了从 200°K 到 6000°K 范围内的辐射量的波长分布,该图清楚地反映出辐射特性与温度之间存在着的显著的相关性。对于某一温度,辐射量为最大时的波长  $\lambda_m$  与温度成反比,  $\lambda_m$  与温度  $T$  的乘积等于 2900 微米·°K(维恩定律)。另外对波长积分所得到的总辐射量与温度的四次方成正比,这个关系称为斯忒藩-波尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律(参见表 1.6.1)。

实际上各种物体并不是黑体。黑体是一种具有最大辐射的物体,而一般物体的辐射要比黑体辐射小。因此以黑体为基准所表达的量就是发射率。发射率的定义是目标物体的辐射量与该物体同温度下的黑体辐射量之比。对于波长分布与普朗克公式画出的曲线形状不一致的那种物体,使用了分光发射率,它是特定波长下的每单位波长宽度的辐射量之比。

一般物体的热辐射,如图 1.6.2 所示,可分为三种类型:有的大体与黑体相近,有的分光发射率与波长无关但比 1 要小,有的是有波长选择性地进行辐射的。第二种物体称为灰体。例如,土壤在 20°C 时的发射率为 0.92—0.95,水在同样温度下的发射率为 0.96,它

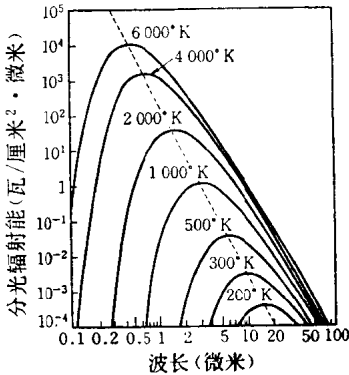


图 1.6.1 黑体辐射

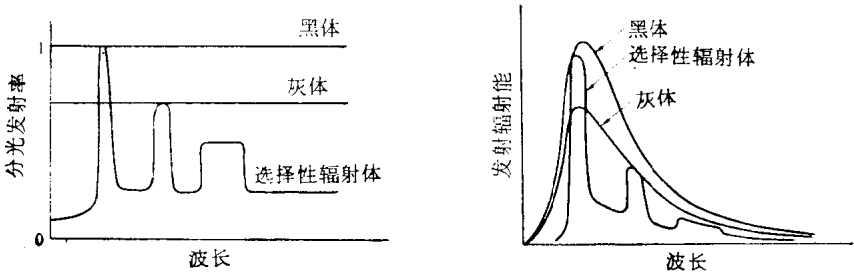


图 1.6.2 各种辐射体<sup>[1,6]</sup>

表 1.6.1 有关黑体辐射的定律

普朗克公式

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$W_{\lambda}$ : 单位表面上在单位时间内黑体辐射出的能量在单位波长宽度内的大小(瓦·厘米<sup>-2</sup>·微米<sup>-1</sup>)

$\lambda$ : 波长(微米)

$T$ : 绝对温度(°K)

$h$ : 普朗克常数( $6.626 \times 10^{-34}$  瓦·秒<sup>2</sup>)

$c$ : 光速( $2.998 \times 10^{10}$  厘米·秒<sup>-1</sup>)

$k$ : 波尔兹曼常数( $1.380 \times 10^{-23}$  瓦·秒·°K<sup>-1</sup>)

维恩(Wien)位移定律

$$\lambda_m T = 2897.8 \text{ 微米} \cdot \text{度} (\text{°K})$$

$\lambda_m$ : 温度一定时  $W_{\lambda}$  为最大时的波长(微米)

斯忒藩-波尔兹曼定律

$$W = \sigma T^4$$

$W$ : 单位表面上单位时间内黑体辐射的能量(瓦·厘米<sup>-2</sup>)

$\sigma$ : 斯忒藩-波尔兹曼常数( $5.67 \times 10^{-12}$  瓦·厘米<sup>-2</sup>·°K<sup>-4</sup>)

们都是与黑体颇为接近的灰体。选择性辐射体是原子和分子的辐射吸收效果比较强的物体,例如有氙灯和水银灯等。

[单位]

0°C = 273.16°K (绝对温度)

## 1.7 太阳光的分光特性

入射到从高空探测地表的传感器上的光,是经地表和大气反射或散射来的太阳光,波段范围从可见区到近红外区。总之,太阳光作为光源,在其反射和散射辐射中包含了有关目标物的信息。因此首先有必要了解作为基本量的光源的性质。

太阳可以近似地看作 5900°K 的黑体。而实际上射到地面的太阳光的光谱分布,由于地球大气的吸收和散射,与 5900°K 的黑体辐射的光谱分布有相当大的不同。图 1.7.1 绘出了这两者的对照。可以看到从可见区到近红外区的大吸收带,它主要是 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 分子引起的。

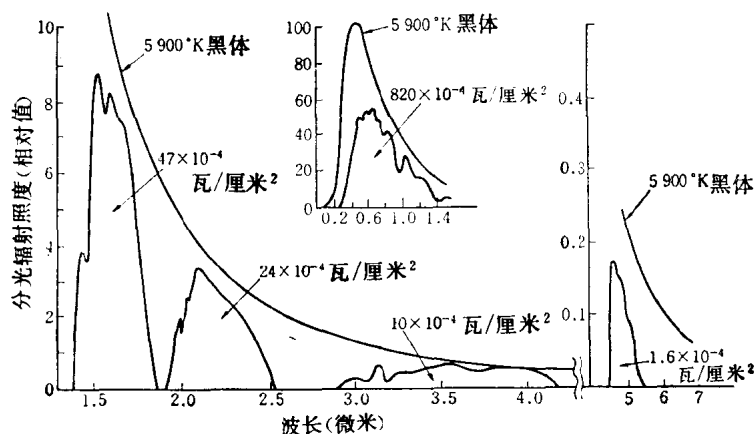


图 1.7.1 太阳光的分光特性<sup>[1,6]</sup>

图 1.7.1 中画出的太阳光的光谱分布只是作为一个典型例子而已,实际上因气象条件和太阳高度角等而有变化<sup>[1,6]</sup>。图 1.7.2 绘出了分光特性随太阳天顶角的变化。在该图中,太阳光的分光辐射照度是以大气质量作为参数表示出来的, $m = 0$  就是大气层外的分光辐射照度。

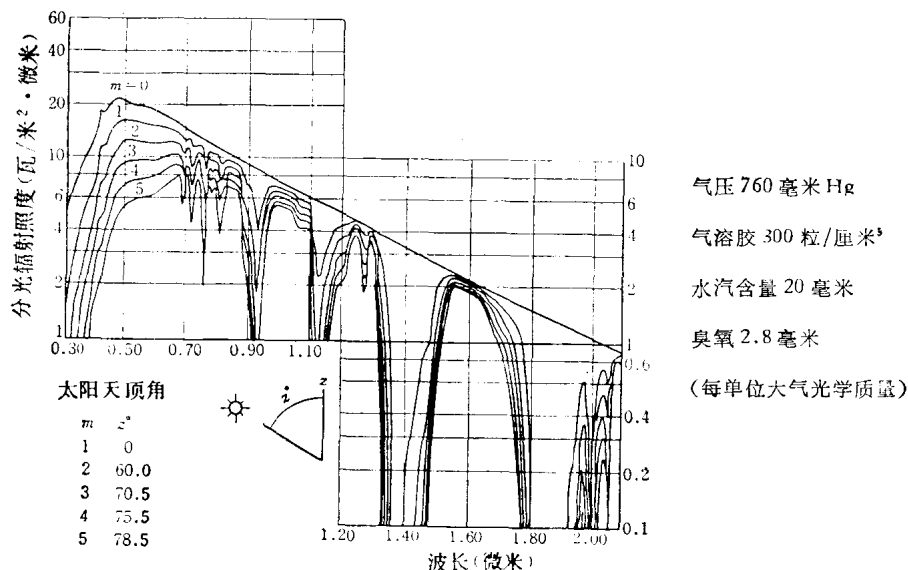


图 1.7.2 太阳光分光特性随大气质量  $m$  的变化<sup>[1,7]</sup>

另外,射到地表的太阳光,除了上面所说的直接光外,还有太阳光经大气散射从全天空射来的散射辐射。这种散射辐射称为天空光。在晴天,太阳高度高于  $50^\circ$  时,散射辐射约为直接光的百分之十,波长分布在 0.45 微米附近出现最大值。

## 1.8 大气透过特性

从飞机和人造卫星上探测地表的传感器,它接收到的是通过大气的电磁波。大气大致含有下列两种状态的物质:

- ①分子: 二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ), 臭氧 ( $\text{O}_3$ ), 氮 ( $\text{N}_2$ ) 等粒径小的分子。
- ②气溶胶: 雾霾等水汽、烟、尘埃等粒径大的气溶胶。

电磁波通过大气时,由于受到分子和气溶胶的散射和吸收,透过的比例随波长而不同。图 1.8.1 是大气的分光透过特性曲线<sup>[1,4]</sup>,它是用对应于电磁波波段的透过率来表示透过的量的。图中写出的分子式是表示由于该分子而影响了透过率。图 1.8.2 绘出了构成大气的主要分子的吸收特性与垂直方向上的大气透过特性的对比。除所示的以外, $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  和

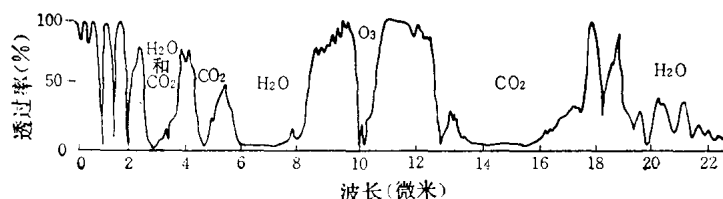


图 1.8.1 大气的分光透过特性<sup>[1,4]</sup>

Ar 等分子对可见光和近红外区波段几乎没有吸收。透过率好的波段称呼为“大气窗”。

可见光的透过率是好的，1.4 微米和 1.9 微米附近的透过率则很差，这是由于水汽吸收的影响。

大气中光的衰减，在可见区大多是由散射引起的。由于散射使得大气透过率下降，这随波长和视角而有不同。图 1.8.3 绘示出大气透过率随着波长和视角而变化的程度<sup>[1,8]</sup>。

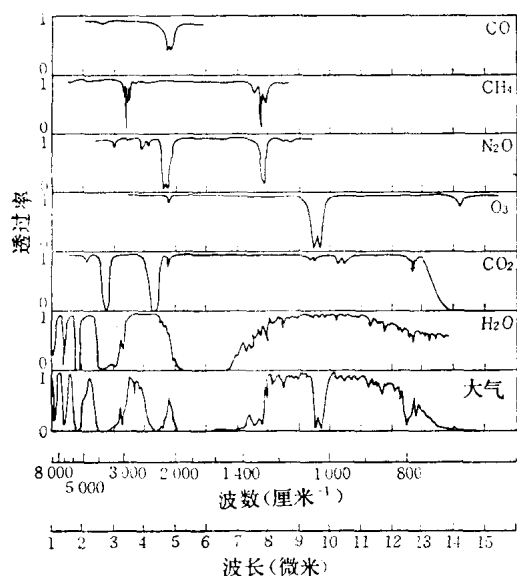


图 1.8.2 红外区的大气(垂直方向)以及大气组成分子的吸收特性<sup>[1,8]</sup>  
(图中用透过率表示)

由该图中可以知道，在视角 0° 时，即铅直方向时，透过率为最好，视角越大透过率越低。

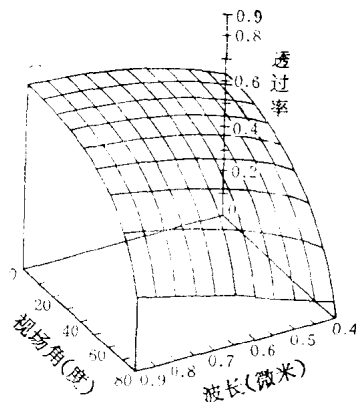


图 1.8.3 大气透过率随波长和视角的变化<sup>[1,8]</sup>

## 1.9 散 射

电磁波在大气中或在水中传播时，电磁波受到分子和微小粒子的散射。散射的方式因电磁波波长与散射体大小之间的相对关系而变。

一般说来，散射粒子大小比起波长要小得多时粒子所引起的散射称为瑞利 (Rayleigh) 散射，比起波长要大得多时粒子所引起的散射称为米氏 (Mie) 散射(参见表 1.9.1)。

表 1.9.1 两种散射

|      |                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 瑞利散射 | 比波长小得多的粒子所引起的散射；<br>散射截面 $\propto(\text{波长})^{-4}$ ；<br>前后方的散射：偏振性显著。                     |
| 米氏散射 | 比波长大的粒子所引起的散射；<br>散射截面 $\propto(\text{波长})^{-n}$ ， $n \approx 0 \sim 2$ ；<br>气溶胶散射(大气中时)。 |

瑞利散射的重要特征是散射横截面积与波长的四次方成反比。例如，光的波长越短，则其散射越强。天空呈现蓝色就是这个缘故。图 1.9.1 绘示出由瑞利散射引起的散射光随着波长变短而如何增大起来的。此图说明了在紫外和蓝紫波段，散射的影响非常大，所



以航空摄影时需要使用雾霾截止滤光片。

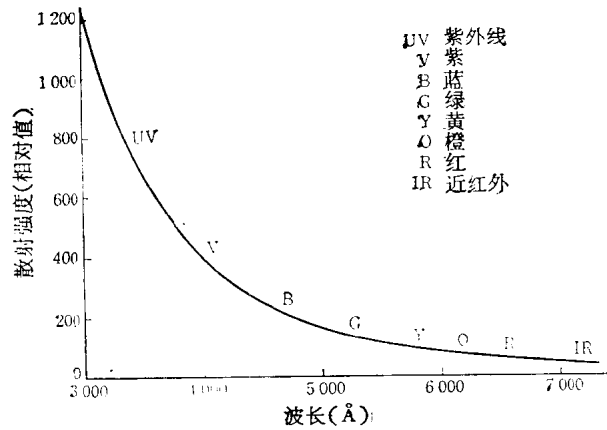


图 1.9.1 瑞利散射引起的散射光强度<sup>[1.16]</sup>

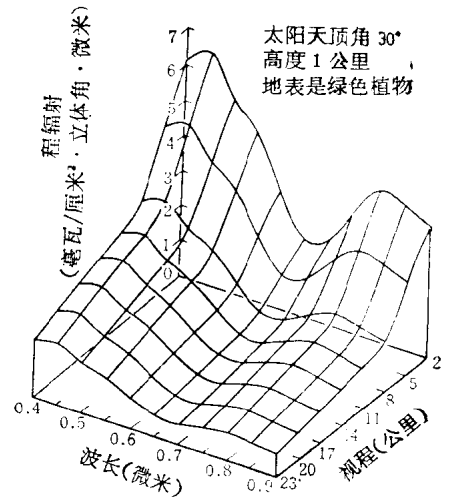


图 1.9.2 程辐射的波长分布<sup>[1.9]</sup>

(从高度 1 公里垂直往下看时, 太阳天顶角 30°, 地面为绿色植物覆盖. 视程用地面水平方向的距离来表示)

米氏散射则由于粒子的大小和折射率,使得散射横截面积变得较为复杂,这样对波长的依赖性就不那么强了. 在大气中,米氏散射主要是气溶胶引起的散射,故也称为气溶胶散射.

决定海洋和湖泊的水色就是这种散射以及具有波长选择性的吸收.

散射光的性质可用程辐射的例子具体地加以阐述. 从高空对地面进行探测的传感器,入射进来的除了有地表反射光和地表热辐射的光以外,还包含有在传感器视场内的大气的散射光. 这种大气散射光称为程辐射,程辐射也就是由气体分子的散射光和大气中悬浮的微小粒子的散射光组成的,它们的光谱特性反映了大气的状态. 图 1.9.2 是把地面能见度作为参数而求得的程辐射的波长分布的一个例子<sup>[1.9]</sup>. 在短波段辐射量大的是瑞利散射的效应. 随着能见度变坏,总的散射光增加了,这是由于大气中气溶胶增加的缘故. 另外在这张图的情况下,在 0.8 微米附近有波峰. 这是因为地表为绿色植被所覆盖,而绿色植物在近红外波段发生强烈反射,其反射光再被大气分子散射,这些均包含在程辐射中.

### 1.10 辐射量的定义<sup>[1.1.1.2]</sup>

遥感探测实际是辐射量测定. 历来关于辐射量测定有辐射测量和光度测量两种,尽管所测定的是同一个量,但两者术语表达的意义却不相同. 光度测量是以对人产生视感度的波段为对象的辐射量测定,辐射测量则是从红外到无线电波波段宽广的范围内进行测定.

在辐射测量和光度测量中,为了明确所使用的物理量,对几个基本术语下了定义.

图 1.10.1 画出了辐射测量使用的基本术语及其意义. 表 1.10.1 则是辐射测量和光度测量的术语的对照表.

在各物理量的前面加上“分光”这个词时,就是指单位波长宽度的物理量. 如有分光