

# 第一章 电磁波及遥感物理基础

---

电磁波与电磁波谱  
物体的电磁波特性  
地物波谱特性的测定

# 一、电磁波与电磁波谱

---

麦克斯韦理论：变化的电场能够在它周围引起变化的磁场，这一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。

# 电磁波的来源

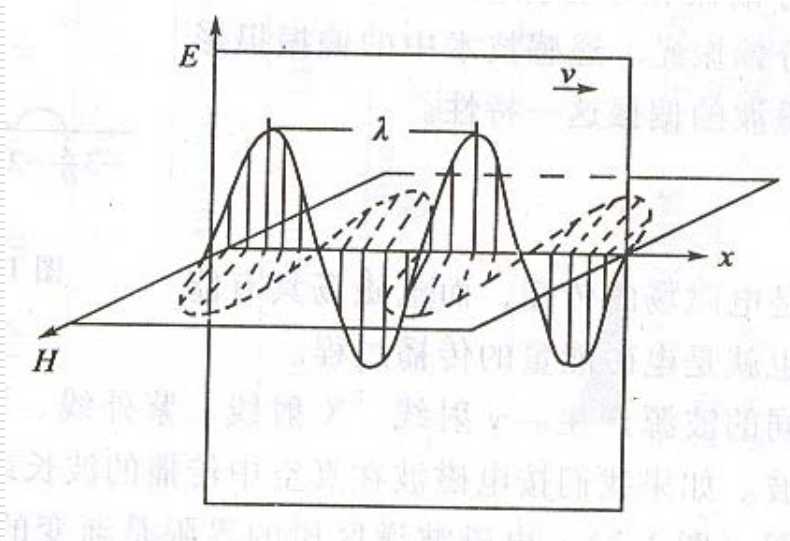
- 电磁辐射产生于各种形式的能量  
(机械能、化学能、热能、电能、磁能、核能)
- 凡是温度高于绝对零度 ( $-273.16$ 摄氏度) 的物体都发射电磁波, 波长由物质内部状态的变化决定

内部状态	能量 (eV)	相应电磁波
原子核内部的相互作用	$10^7 \sim 10^5$	伽玛线 (放射性衰变)
内层电子的电离作用	$10^4 \sim 10^2$	X 射线
外层电子的电离	$10^2 \sim 4$	紫外
外层电子激发	$4 \sim 1$	可见光
分子振动, 晶格振动	$1 \sim 10^{-5}$	红外
分子旋转及反转, 电子自旋和磁场相互作用	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	微波

# 电磁波的特性

---

□ 电磁波是横波



□ 电磁波具有波粒二象性

# 电磁波的特性——波动性

---

## □ 波函数

$$\phi = A \sin[(\omega t - kx) + \varphi]$$

从波动性来看:  $I = |\phi|^2$

从粒子性来看:  $I = \rho$

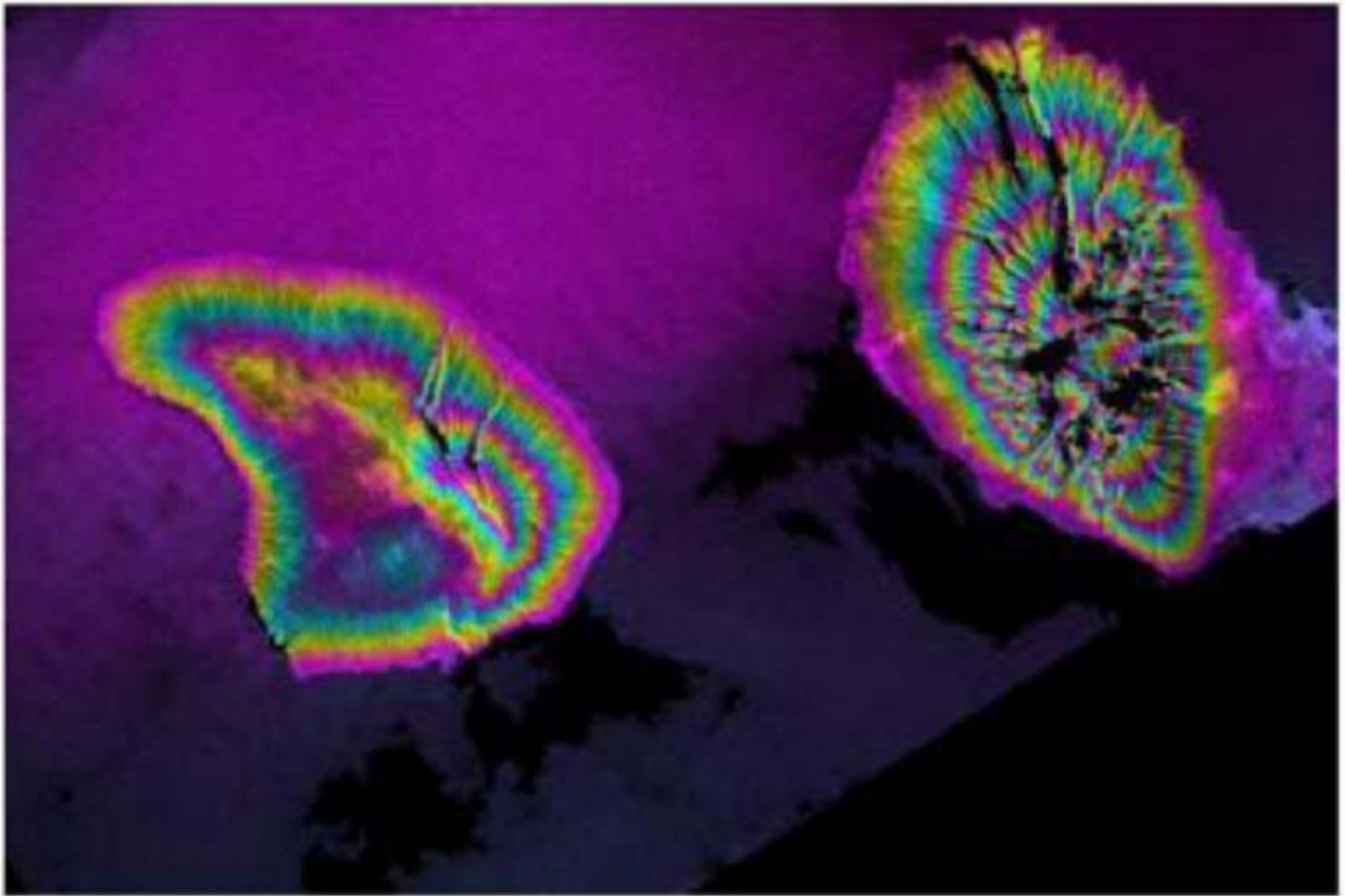
所以有:  $\rho = |\phi|^2$

## □ 指标: 波长、频率、振幅、相位

---

## □ 干涉

- 两个（或两个以上）频率、振动方向相同，相位相同或相位差恒定的电磁波在空间叠加时，会出现交叠区某些地方振动加强、某些地方振动减弱或完全抵消的现象。
- 在主动微波遥感中，InSAR技术就是利用干涉原理来获取地表的三维信息的。



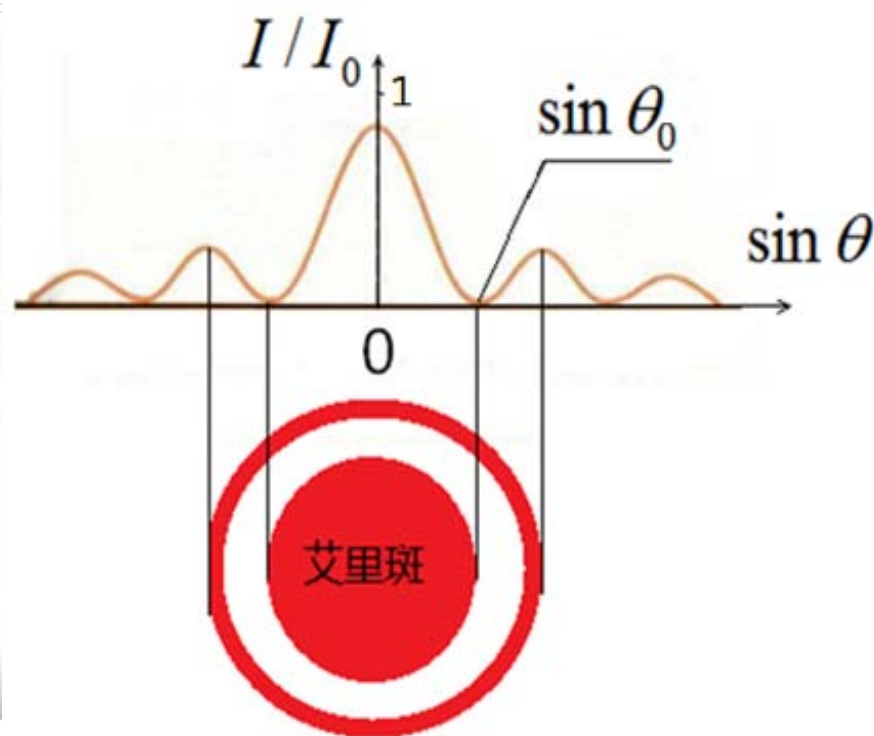
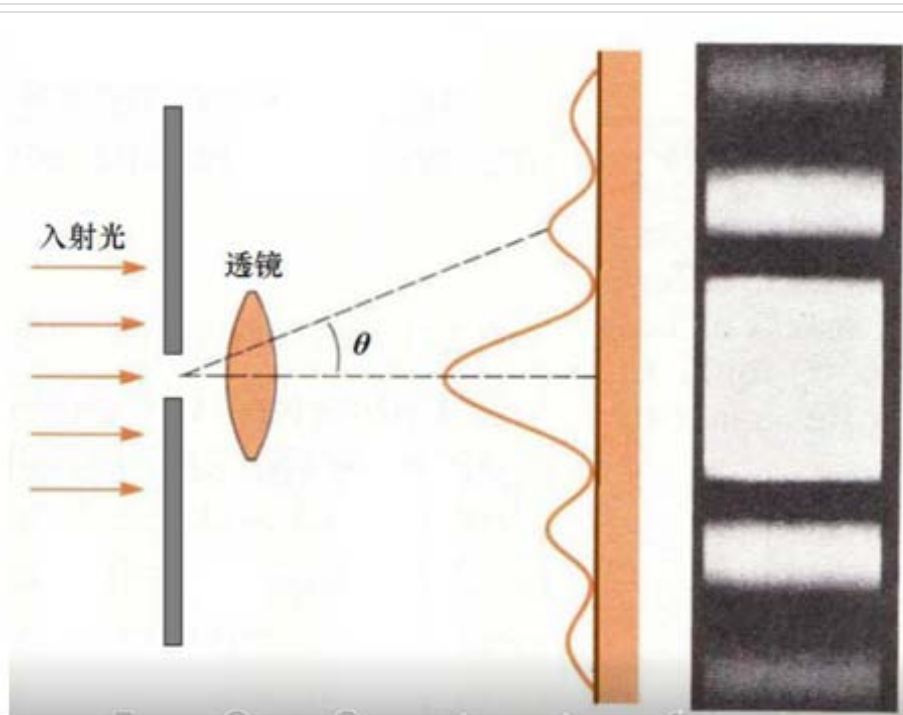
---

## □ 衍射

- 光通过有限大小的障碍物时偏离直线路径的现象。
- 研究电磁波的衍射现象对设计遥感仪器和提高遥感图像的几何分辨率具有重要意义。



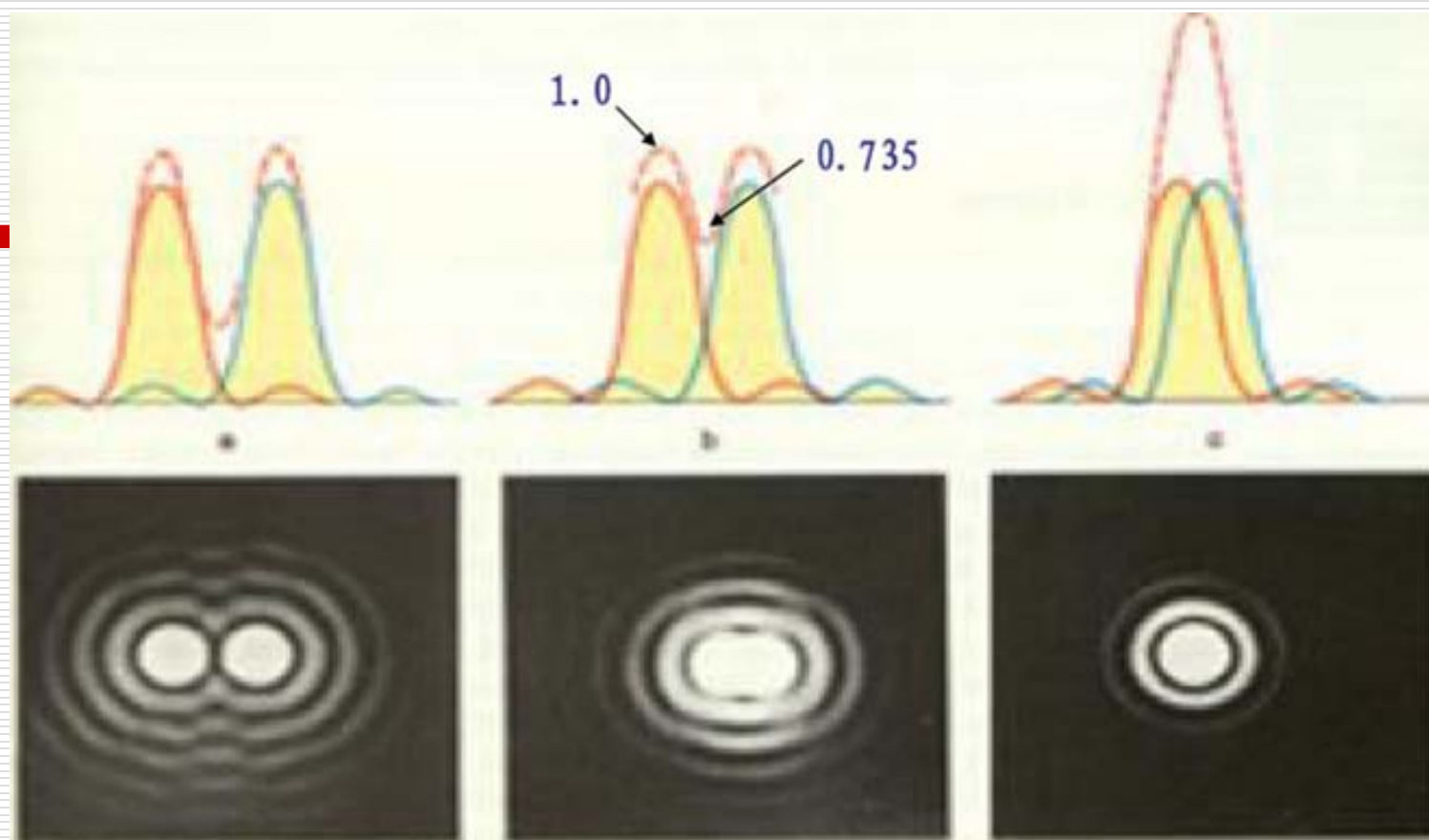
# 夫琅禾费衍射示意图



■ 艾里斑的大小与孔径和波长有关系：

半角宽度  $\theta_0 \approx \sin \theta_0 = 0.61 \frac{\lambda}{a} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

半径  $\rho_0 = f \tan \theta_0 \approx f \sin \theta_0 \approx f \theta_0 = 1.22 \frac{\lambda}{D} f$



- (a) 两像点能分辨; (b) 两像点刚好能分辨; (c) 两像点完全不能分辨。

- 
- 分辨能力： $\theta_0$ 越小，分辨率越好。
  - 人眼的分辨能力：

$$\theta_0 = 0.610\lambda / R = 0.610 \frac{555 \times 10^{-6} \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = 3.4 \times 10^{-4} \text{ rad} \approx 1'$$

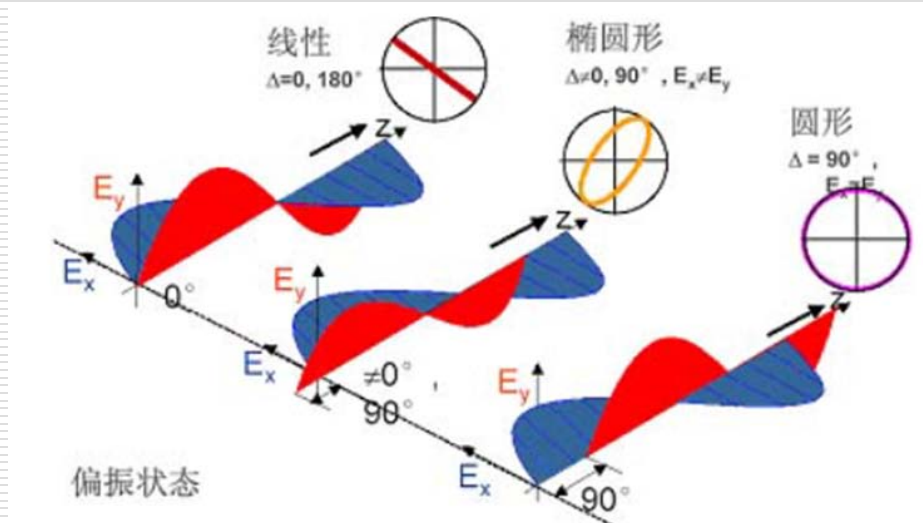
$$\Delta l_{\min} = 25\theta_0 = 25 \times 3.4 \times 10^{-4} \approx 0.1 \text{ mm}$$

- 望远镜的分辨能力：

$$\theta_0 = 1.22\lambda / D$$

$$\Delta y_{\min} = f\theta_0 = f \cdot 1.22\lambda / D = 1.22 \frac{\lambda f}{D}$$

## □ 偏振



## □ 叠加

## □ 多普勒效应

# 电磁波的特性——粒子性

---

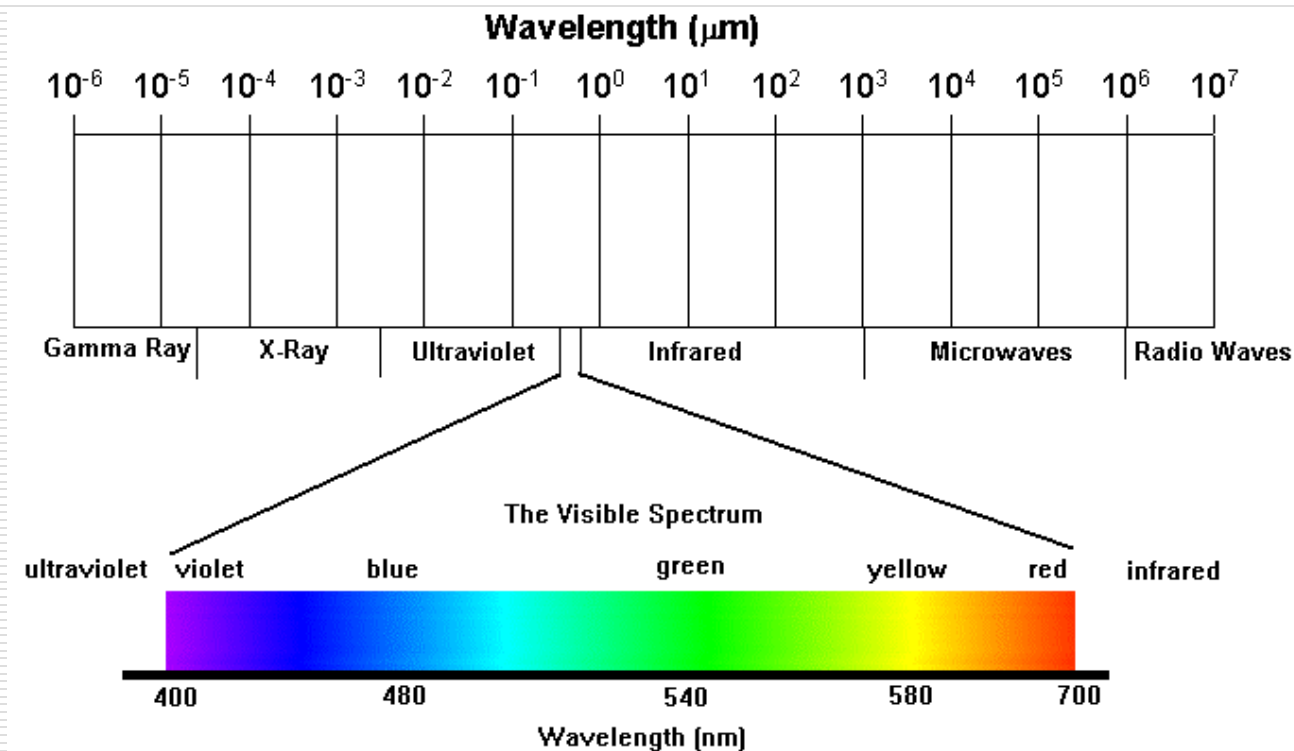
- 即能量分布的量子化。辐射能的发射和吸收不是连续的，而是有一个最小的单位，叫光量子或光子。

$$\text{能量: } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{动量: } P = \frac{h}{\lambda}$$

- 量子的能量与波长成反比。单位面积地物热红外辐射比可见光辐射要弱得多；红外遥感中为获得足够的探测能量信号，在给定的时间内必须探测足够大的地表区域。

# 电磁波谱

把各种电磁波（包括无线电波、微波、红外波、可见光、紫外线、x射线、伽玛射线等）按照波长或频率的大小依次排列，就形成了电磁波谱。



# 遥感中常用的电磁波段

---

□ 紫外线

(1nm-380nm)

□ 可见光

(380nm-760nm)

□ 红外

(760nm-1mm)

□ 微波

(1mm-1m)

---

(参看教材Page5表1-1)

## 二、物体的电磁波特性

---

### □ 物体的发射辐射

- 地物的辐射波谱  
——热红外遥感的理论基础

### □ 物体的反射辐射

- 地物的反射波谱  
——可见光和近红外遥感的理论基础

### □ 物体的微波后向散射辐射

- 地物的后向散射波谱  
——微波遥感的理论基础



# 电磁辐射度量基本概念

---

- **单色辐射度  $W_\lambda$** ：从物体表面单位面积发射出的，波长在 $\lambda$ 到 $\lambda + d\lambda$ （波段）范围内的辐射功率 $dW$ 与波长间隔 $d\lambda$ 的比值。
- **辐射度  $W$** ：从物体表面单位面积发射出的各种波长的总辐射功率，称为辐射度，是各波段辐射通量之和或积分值。它只与温度有关，记为 $W(T)$ 。

$$W(T) = \int_0^{\infty} W_\lambda d\lambda$$

- **吸收率、反射率、透射率**：物体吸收、反射、透射的能量各自与入射总能量的比值分别称为吸收率、反射率和透射率。

对不透明物体有：

$$\alpha + \rho = 1$$

对透明物体：

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

# (一) 物体的发射辐射

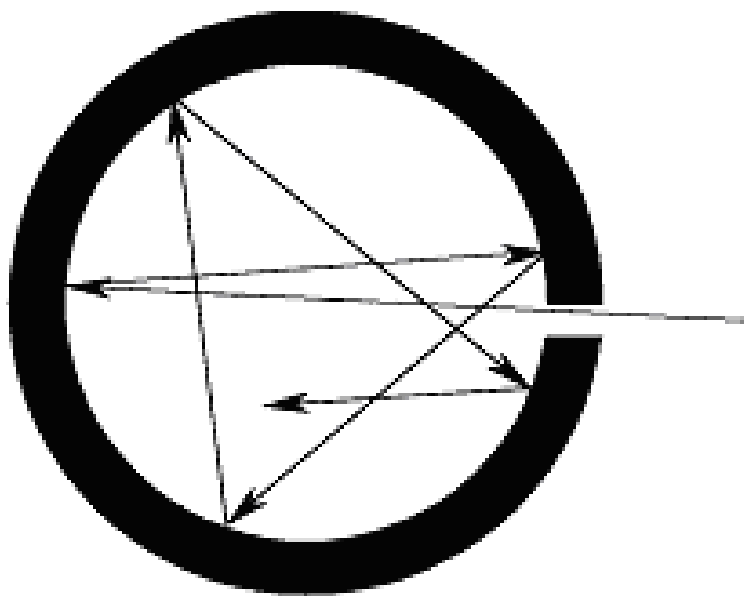
---

**1、黑体辐射**

**2、实际物体的发射辐射**

# 1、黑体辐射

---



黑体是一种理想的辐射体。能够完全吸收任何波长入射能量的物体。

$$\alpha \equiv 1 \quad \rho \equiv 0$$

黑体是一种理想的模型，在自然界里则很难找到。

自然界里有些物质的性质接近黑体，如黑色的烟煤、恒星和太阳等。

# 黑体辐射定律

---

(1) 普朗克定律:

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1}$$

其中:  $h$ 为普朗克恒量  $6.63 \times 10^{-34} J.s$

$K$ 为波耳兹曼常数  $1.38 \times 10^{-23} J / K$

普朗克定律表明: 黑体的单色辐射度是温度和波长的函数。

## 黑体辐射规律:

- $W_\lambda$  随波长连续变化（曲线）。不同温度黑体对应的曲线不同。温度越高， $W_\lambda$  曲线下面积越大，即  $W(T)$  越大。
- 每条辐射曲线上只有一个最大值；且随着  $T$  的升高，辐射最大值所对应的波长向短波方向移动。

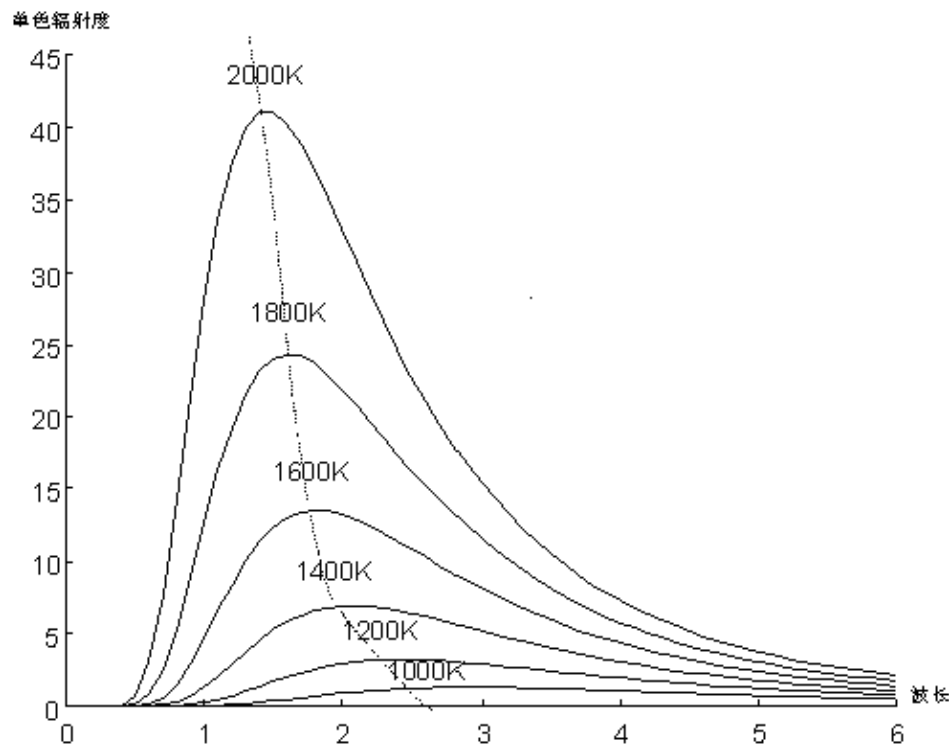


图 黑体的单色辐射度曲线

## (2) 斯忒藩-波耳兹曼定律:

对普朗克公式积分得

$$W(T) = \int_0^{\infty} W_{\lambda} d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{ch/k\lambda T} - 1} d\lambda = \sigma T^4$$

$\sigma$ 为斯忒藩-波耳兹曼常数:  $5.67 \times 10^{-12} (W / cm^2.k^4)$

## (3) 维恩位移定律:

$$\lambda_{\max} T = b$$

$\lambda_{\max}$ 为 $W_{\lambda}$ 曲线的峰值所对应波长;  $b$ 为常数  
 $2898 \mu m.k$ 。

---

(4) 瑞利-琴斯定律：当波长大于1mm时，普朗克定律可以近似为：

$$L = -\frac{2kT}{\lambda} \bigg|_{\lambda_1}^{\lambda_2}$$

即黑体的微波辐射亮度与温度的一次方成正比。

## 2、实际物体的发射辐射

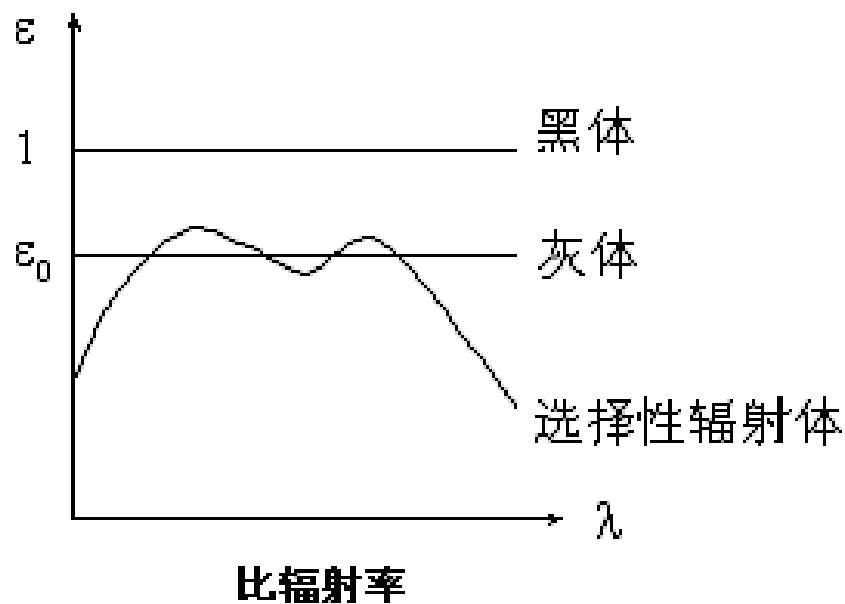
---

- 发射率
- 太阳辐射与大气窗口
- 地球辐射
- 地物的辐射波谱特性



# (1) 发射率

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{W(\lambda, T)}{W_b(\lambda, T)}$$



四类地物:

- |            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| (1) 绝对黑体   | $\varepsilon \equiv 1$            |
| (2) 灰体     | $\varepsilon = \varepsilon_0 < 1$ |
| (3) 选择性辐射体 | $\varepsilon = f(\lambda)$        |
| (4) 绝对白体   | $\varepsilon \equiv 0$            |

## 基尔霍夫定律

$$\frac{W(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = W_b(\lambda, T)$$

$$a(\lambda, T) = \frac{W(\lambda, T)}{W_b(\lambda, T)}$$

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{W(\lambda, T)}{W_b(\lambda, T)}$$

$$\alpha(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T)$$

可见，好的吸收体一定是好的辐射体。

---

## □ 重要概念

- 发射光谱特性、发射光谱曲线
- 亮度温度：当物体的辐射功率等于某（绝对）温度下黑体的辐射功率时，该绝对问题即为物体的亮度温度。

$$T_B = \varepsilon T$$

- 等效温度（色温）：为便于分析，常用最接近灰体辐射曲线的黑体辐射曲线来表达，这时黑体辐射温度就称为该物体的等效温度。

$$T_{\text{等效}} = \sqrt[4]{\varepsilon T}$$

## (2) 太阳辐射与大气窗口

---

- 太阳辐射
- 大气层对太阳辐射的作用
- 大气窗口

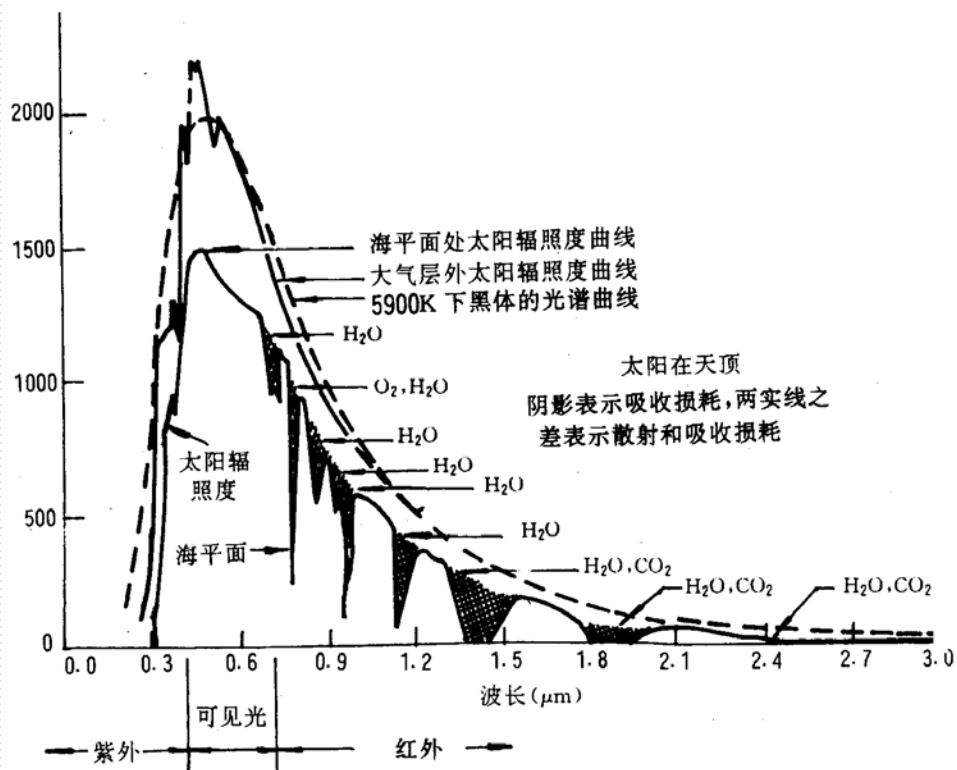
# 太阳辐射

□ 被动遥感最主要的辐射源

□ 太阳辐射接近6000K的黑体辐射，能量集中在0.3~

2.5微米的波段之间。

□ 太阳光谱



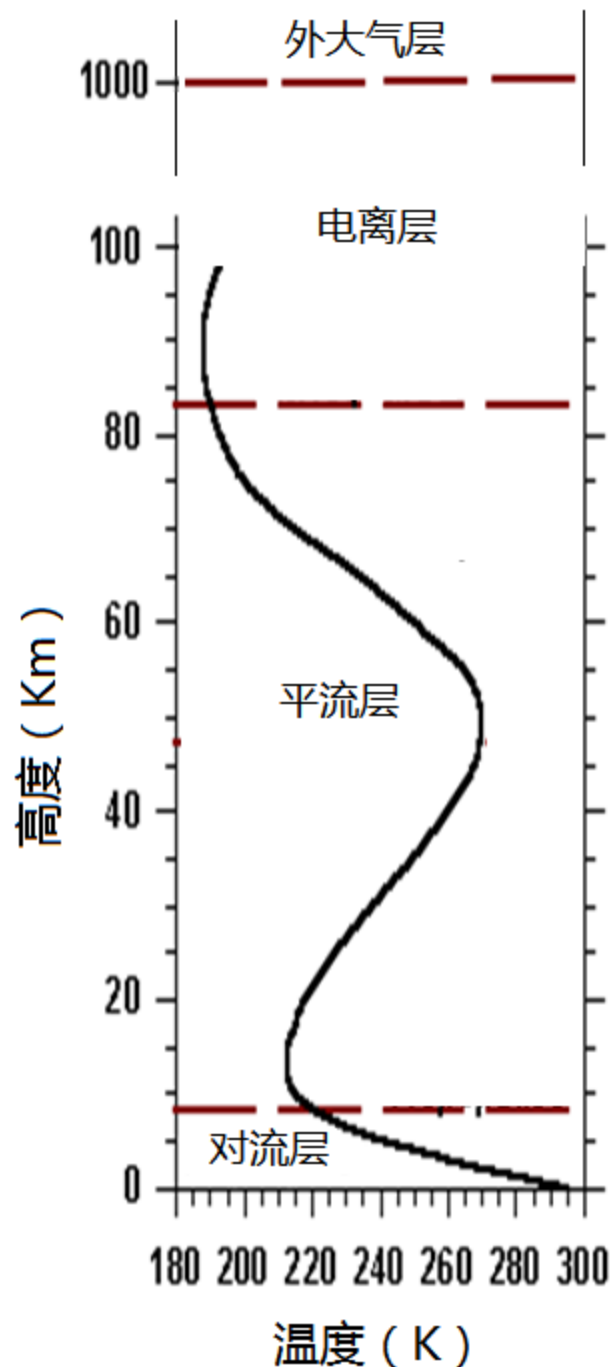
# 大气层对太阳辐射的作用

---

- 大气层次结构与成分
- 大气层对太阳辐射的作用
  - 吸收作用
  - 散射作用
  - 反射作用

## □ 大气层次结构

- 对流层：（0~12KM）
- 平流层：（12~80KM）
- 电离层：（80~1000KM）
- 外大气层：（1000KM以外的大气层）



# 大气成分（气体+气溶胶）

---

## ●气体

不变成分：氮、氧、二氧化碳、氩、甲烷、氧化氮、氢

可变成分：臭氧、水蒸气、等

●气溶胶：悬浮于地球大气之中具有一定稳定性的，沉降速度小的，尺度在  $10^{-3} \mu m$  到  $10 \mu m$  的液态及固体粒子。

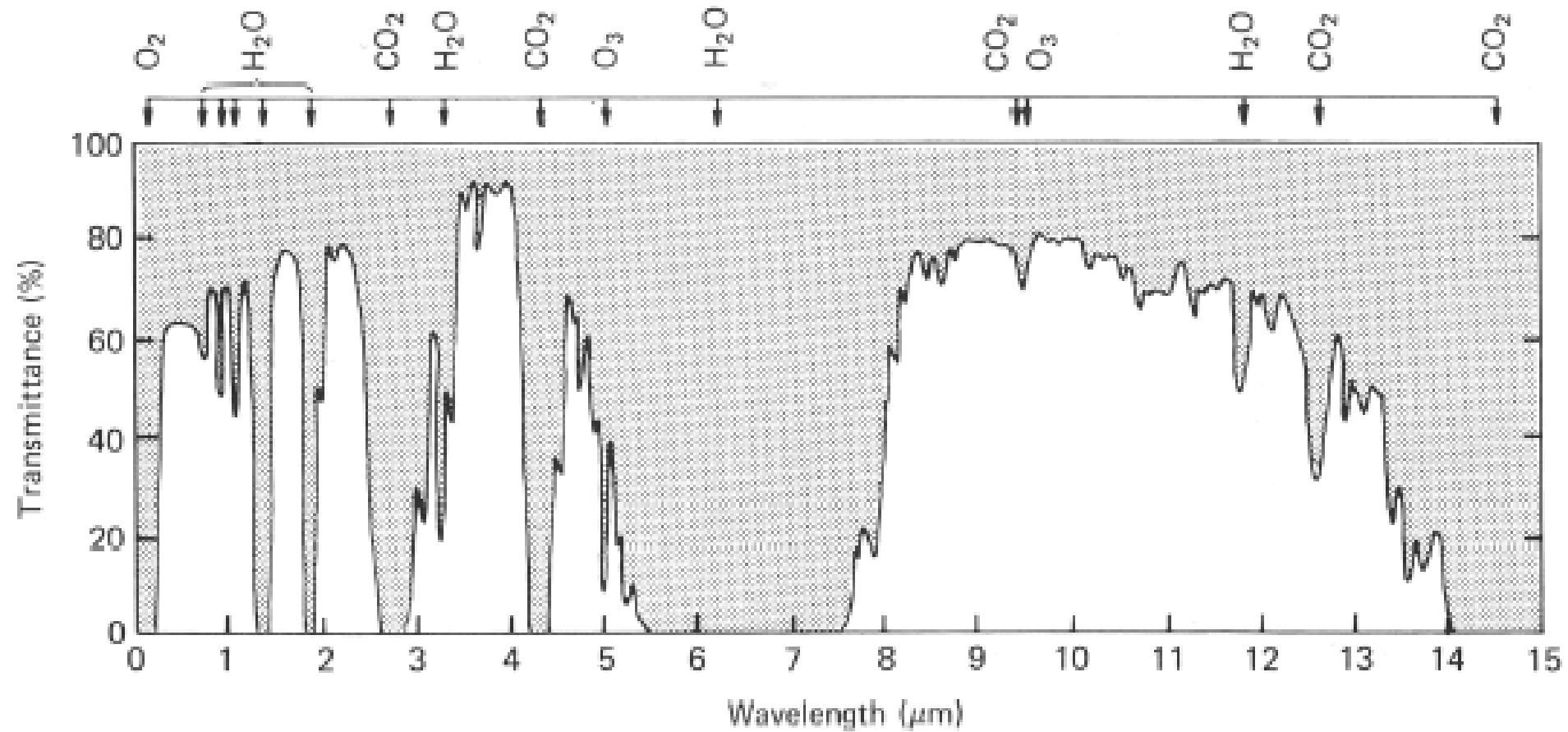


# 大气层的吸收作用

主要是气体分子的吸收，使电磁辐射能量衰减。

气体	吸收波段 ( $\lambda$ , $\mu m$ )
氮气	< 0.3
臭氧	< 0.3 的紫外, 9.6 处弱吸收
二氧化碳	2.6 ~ 2.8, 4.1 ~ 4.45, 9.1 ~ 10.9, 12.9 ~ 17.1
水蒸气	0.7 ~ 1.95, 2.5 ~ 3.0, 4.9 ~ 8.7, 15 ~ 1mm, 0.164cm, 1.348cm
氧气	0.253cm, 0.5cm
甲烷、氧化氮、工业气体	吸收率很低

Atmospheric molecules responsible for absorption



# 大气层的散射作用

散射会造成太阳辐射的衰减，且散射强度遵循的规律与波长有关。

散射形式	发生条件	散射颗粒	影响
Rayleigh 散射	$d$ 远小于 $\lambda$	气态分子	散射光为遥感接收信号中的噪声，从而使影像质量下降。
Mie 散射	$d$ 与 $\lambda$ 同数量级	云滴、气溶胶	
Nonselective 散射	$d$ 远大于 $\lambda$	云、雾	

---

## □ 散射作用特点

同一种颗粒，对不同波长的电磁波可发生不同形式的散射；

同一波长的电磁波遇到不同大小的颗粒时，散射形式也不同。

当大气状况相同时，同时会出现各种类型的散射。

---

作业：试用散射原理解释以下现象：

晴朗的天气下，天空为什么是蓝色？

清晨为什么太阳呈现红色？

雾为什么是白色？

微波为什么可以穿云透雾？

# 大气层的反射作用

---

- 反射作用主要由大气层中的云层引起；反射现象主要发生在云顶。
- 当云层较厚时，反射对太阳辐射的衰减相当厉害；不过各波段受到的影响程度不同。
- 遥感中应尽量选择无云天气接收信号。

# 太阳辐射不同波段受大气层的衰减

---

## □ 可见光波段

气体分子散射、云层反射

## □ 紫外、红外、微波

大气吸收、云层反射

## □ 微波

较少衰减

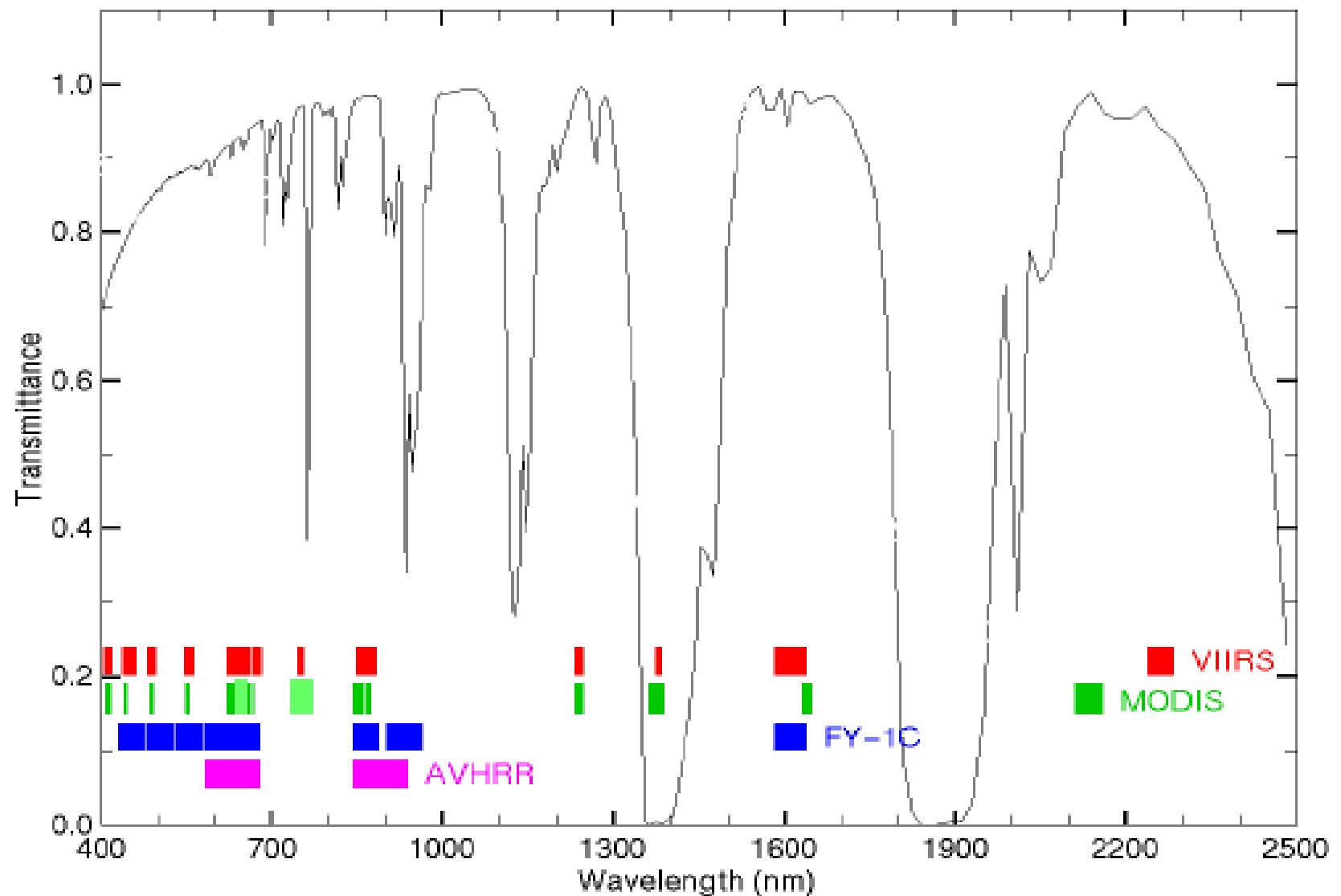
- 
- 电磁波通过大气层时较少被反射、吸收和散射的，透过率较高的波段称为**大气窗口**。
  - 电磁波通过大气层时透过率很小，甚至完全无法透过的波段称为**大气屏障**。



# 遥感大气窗口

大气窗口	包含波段	包含地物光谱	主要用途
0.3-1.15 $\mu m$	部分紫外波段、 可见光波段 部分近红外	反射光谱	常采用摄影或扫描方式在白天探测成像。
1.3-2.5 $\mu m$ (1.4-1.9) (2.0-2.5)	部分近红外波段	1.55-1.75 $\mu m$ 透过率较高，白天、夜间都可用；	常采用扫描方式成像，用于地质遥感
3.5-5.0 $\mu m$	属中红外波段	反射和发射光谱；	可用来探测高温目标
8-14 $\mu m$	热红外	发射光谱	常温下地物热辐射最集中波段，用来探测地物的发射率及温度信息
1.0 mm - 1 m	微波波段	发射光谱 微波后向散射光谱	被动：热辐射探测 主动：雷达探测

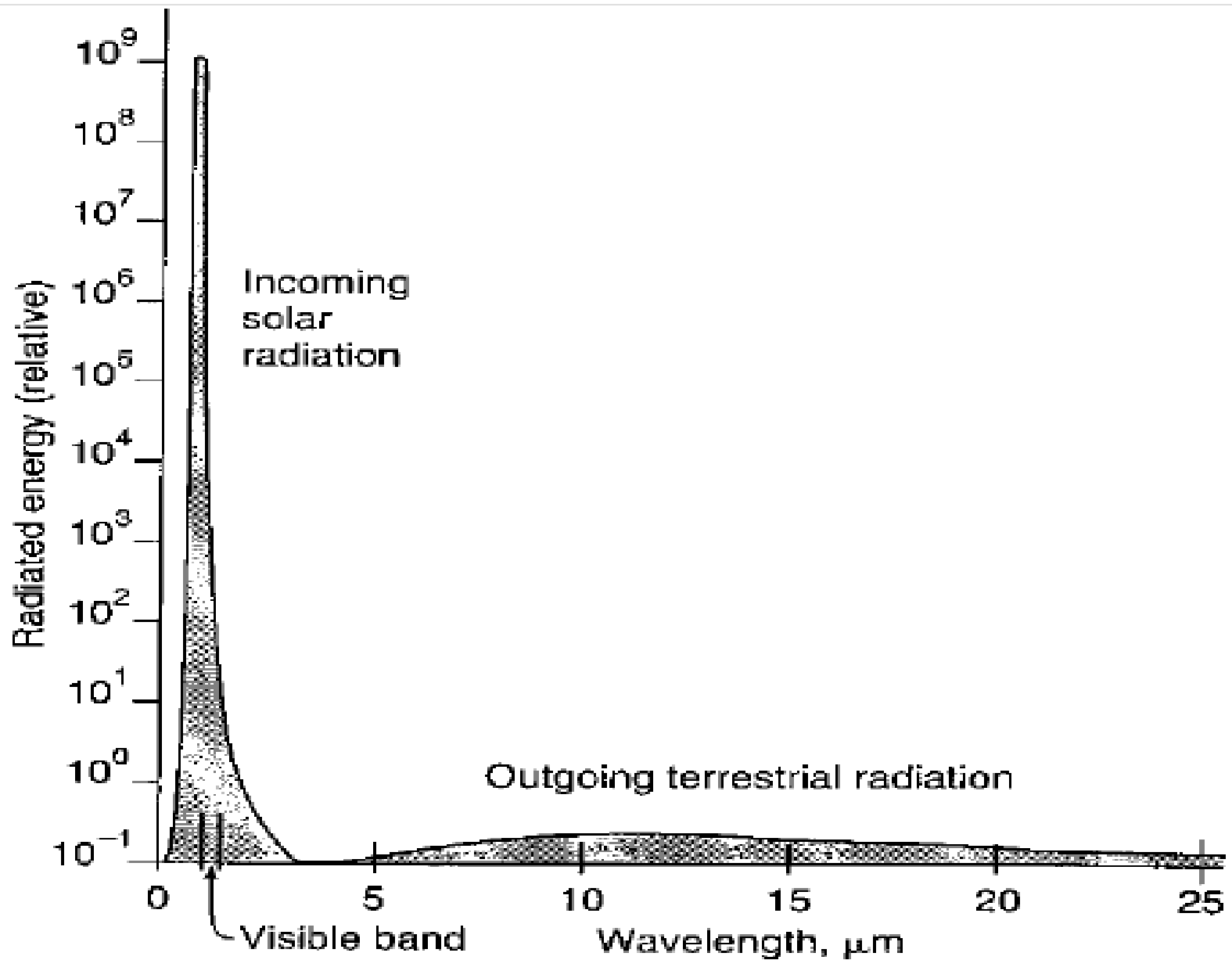
# VIIRS, MODIS, FY-1C, & AVHRR 可见光和近红外光谱波段



### (3) 地球辐射

---

- ❑ 地球辐射是地球表面和大气电磁辐射的总称。
- ❑ 是被动遥感主要的辐射源，被动遥感中传递地物信息的载体。
- ❑ 地球辐射呈现出明显的分段特性。



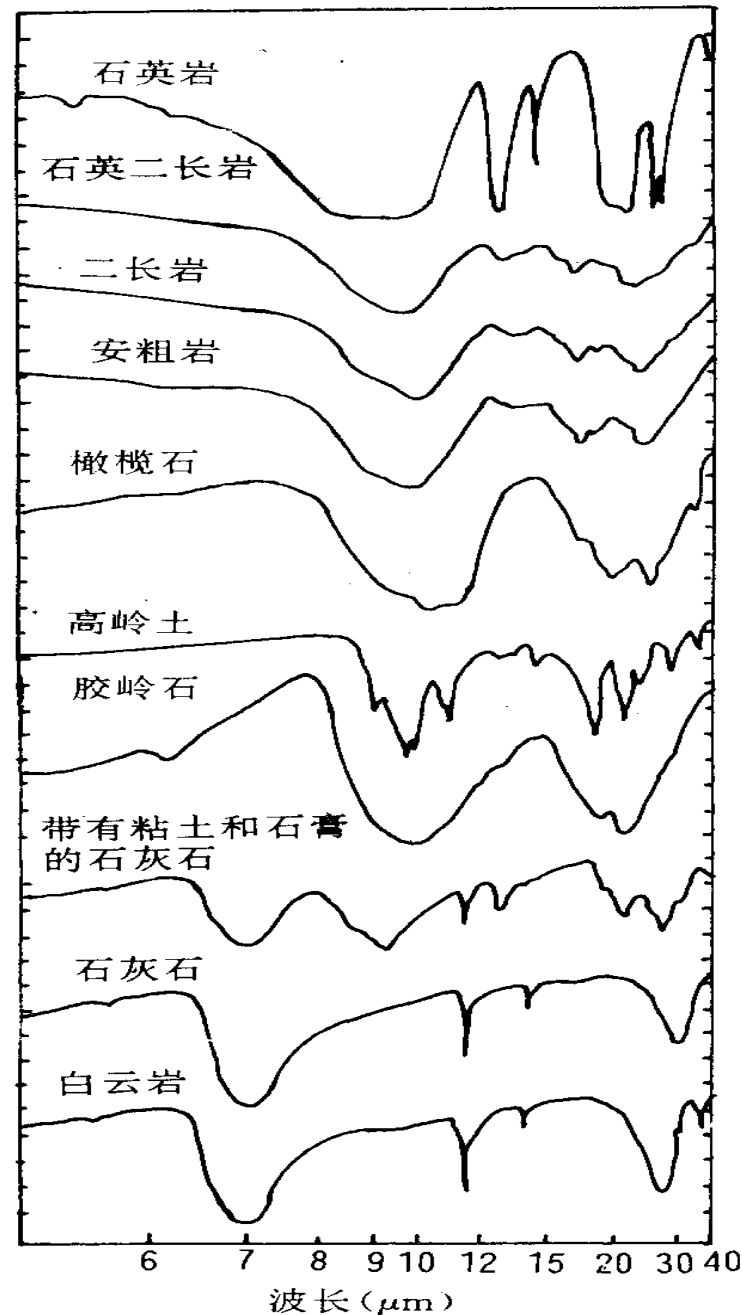
# 地球辐射的分段特性

---

- ❑ 0.3~2.5微米波段(主要在可见光和近红外波段)，地表以反射太阳辐射为主，地球自身的辐射可以忽略不计；
- ❑ 2.5~6.0微米波段(主要在中红外波段),地表反射太阳辐射和地球自身的热辐射均为被动遥感的辐射源；
- ❑ 6.0微米以上的热红外波段,地球自身的热辐射为主,地表反射太阳辐射可以忽略不计。

## (4) 地物的发射波谱特性

- 反映地物自身辐射电磁能量的特性，主要针对红外波段；
- 地物的辐射波谱是红外遥感的基础



几种硅酸盐的红外发射波谱

## （二）物体的反射辐射

---

- 地物的反射
- 地物的反射类别
- 地物的反射光谱特性

# 1. 地物的反射

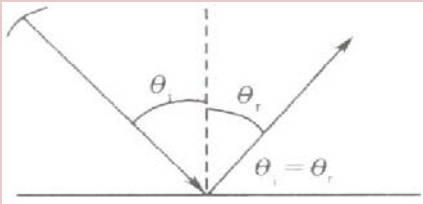
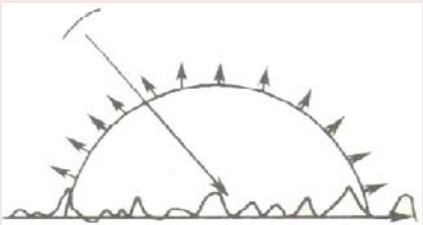
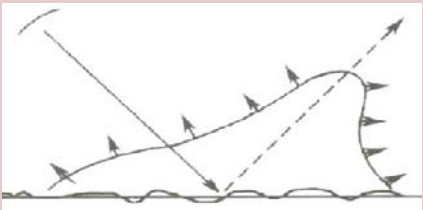
---

- 太阳光通过大气层照射到地球表面，地物会与之发生吸收、透射和反射作用，反射后的短波辐射（主要指可见光和近红外波段）一部分被遥感传感器所接收。
- 除水体、植被等物体，多数地物透过率几乎为零，可以忽略不计。
- 光谱反射率

$$\rho_{\lambda} = \frac{P_{\rho\lambda}}{P_{\lambda}} \times 100\%$$



## 2. 地物的反射类别

反射类别	示意图	发生条件	特点
镜面反射		光滑表面 (镜面)	满足反射定律
漫反射		非常粗糙表面 (朗伯面)	当入射辐照度 $I$ 一定时, 从任何角度观察反射面, 其反射辐射亮度是一个常数;
方向反射		介于镜面和朗伯面之间的表面 (非朗伯面)	在有入射波时, 各个方向上都有反射能量, 但大小不同, 在某个方向上反射最强烈。

# 了解物体反射类型的意义：

---

- ❑ 遥感器获取的辐射亮度与物体反射类型密切相关。辐射亮度既与辐射入射方位角和天顶角有关，也与反射方向的方位角与天顶角有关。
- ❑ 在遥感器成像时间选择上，应避免中午成像，防止在遥感图像上形成镜面反射。

# 3、地物的反射光谱特性

---

- 地物的反射波谱
- 不同地物的反射波谱
- 同一地物的反射波谱
- 影响地物光谱反射率变化的因素
- 应用地物波谱曲线时应注意的问题

# (1) 地物的反射波谱

---

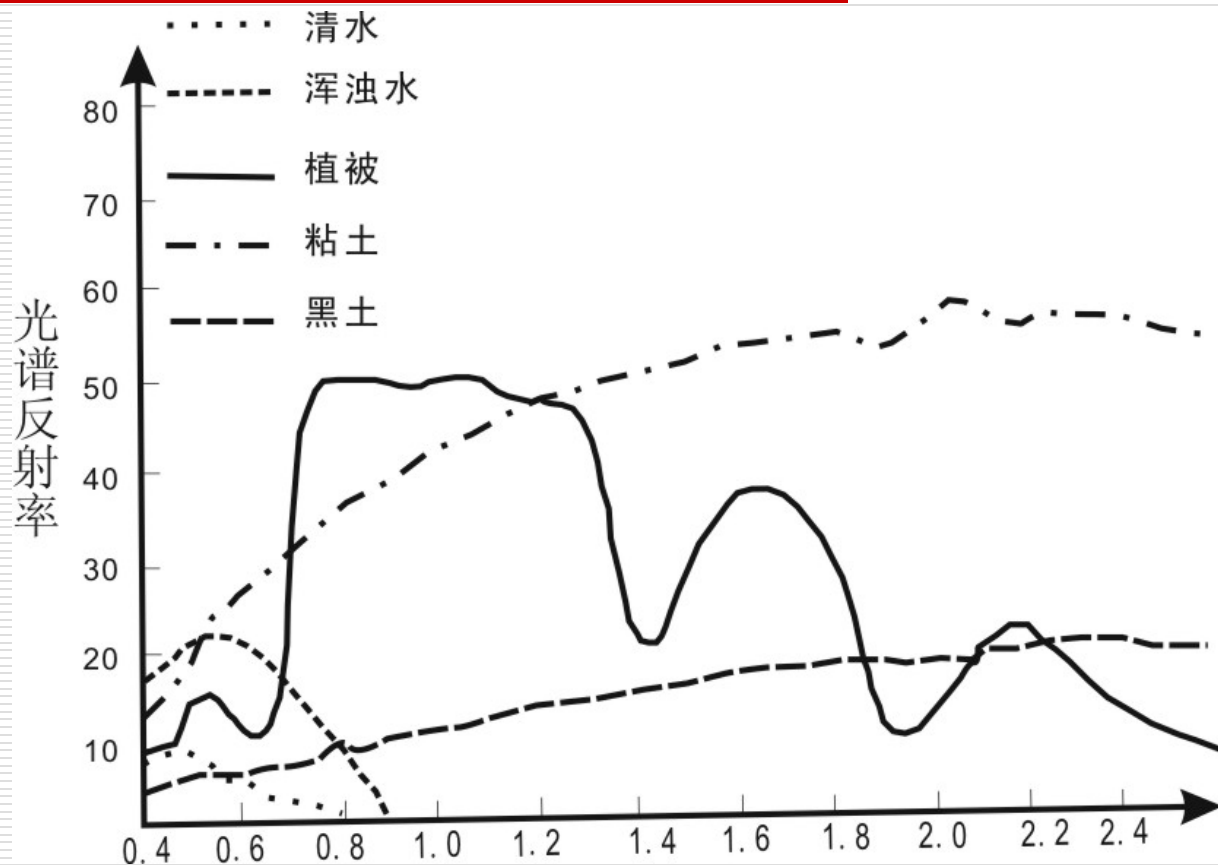
## □ 定义：

可见光至近红外波段上地物反射率随波长的变化规律。

## □ 表示方法：

一般采用二维几何空间内的曲线表示，横坐标表示波长，纵坐标表示反射率。

## (2) 不同地物的反射波谱



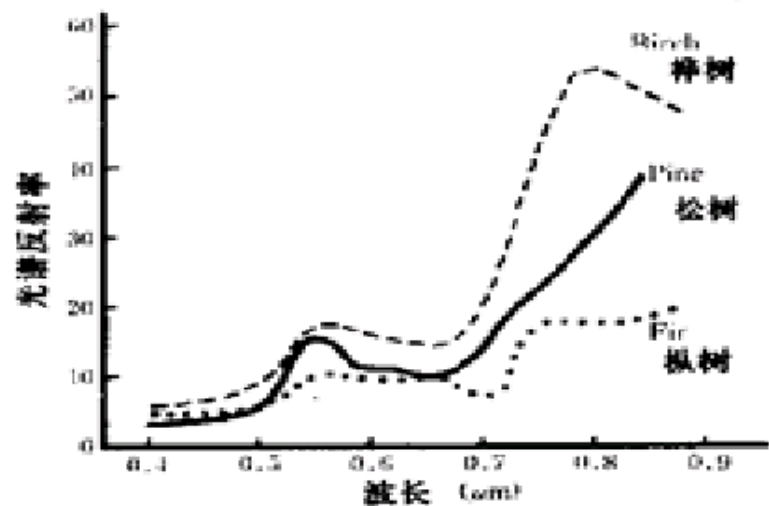
植物、土壤和水的反射光谱

## □ 植被的反射波谱

---

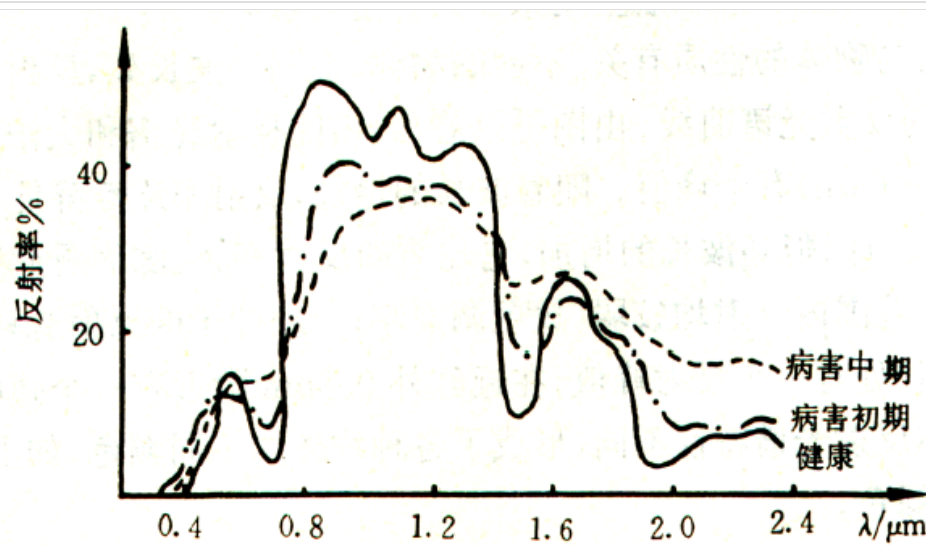
- 植被的波谱特征大同小异,
- 可见光波段: 在0.45微米 (兰色波段)有一个吸收谷,在0.55微米附近区间(绿色波段)有一个反射峰,在0.67微米附近区间(红色波段)有一个吸收谷。
- 近红外波段: 从0.67微米处反射率迅速增大,形成一个爬升的陡坡,至1.1微米附近有一个峰值,反射率最大可大50%,形成植被的独有特征。
- 中红外波段: 1.5~1.9微米光谱区反射率增大,1.45微米、1.95微米和2.7微米为中心的附近区间受到绿色植物含水量的影响,是水的吸收带,反射率下降,形成低谷。

- 影响植被反射波谱的因素有：植被类型、生长季节、病虫害影响等。



不同植物的光谱反射率

来源：《遥感概论》【日】遥感研究会



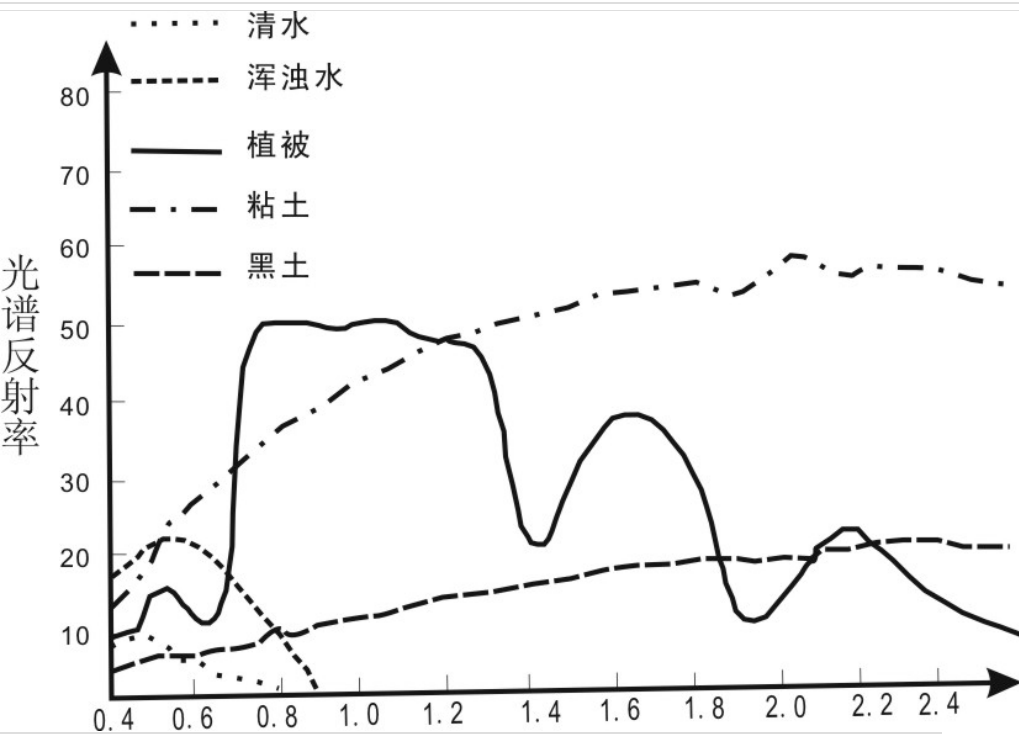
对植物健康状况的检测

## □ 水体的反射波谱

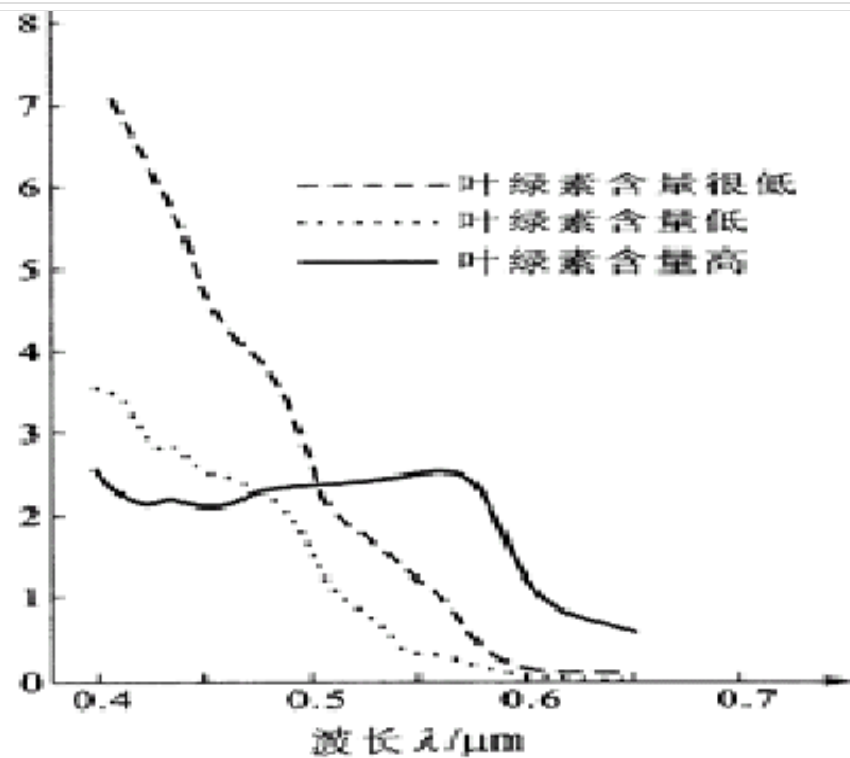
---

- 纯净水体的反射主要在可见光中的蓝绿光波段；近红外和中红外波段纯净的自然水体的反射率很低，几乎趋近于零；
- 水中含有泥沙，可见光波段反射率会增加，峰值出现在黄红区；
- 水中含有水生植物叶绿素时，近红外波段反射明显抬高。





清水和混水的反射率对照

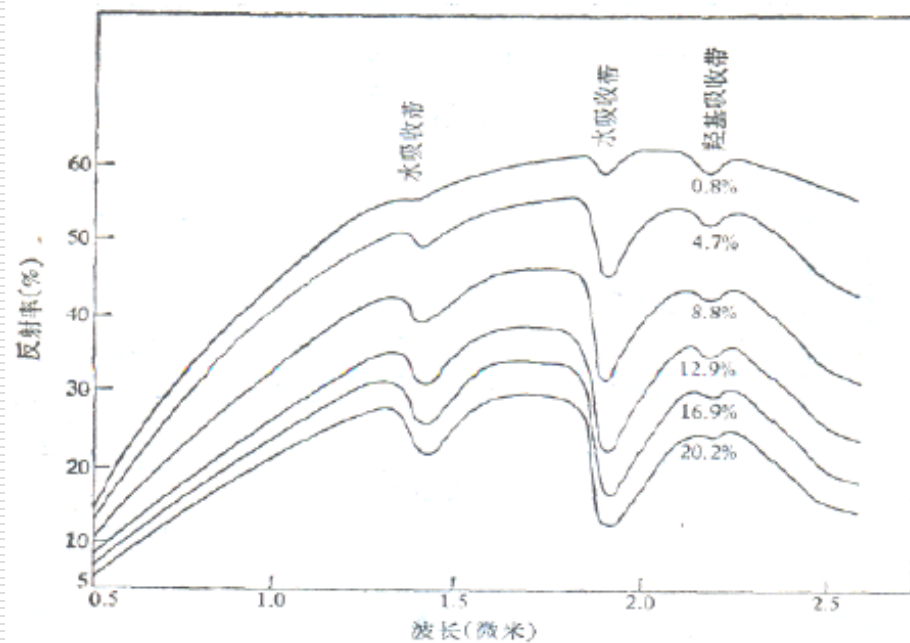
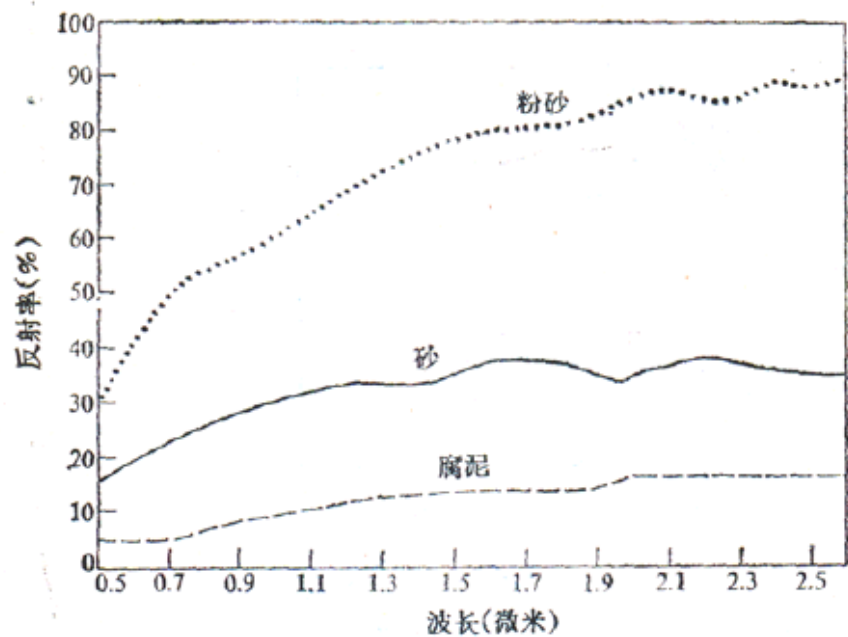


具有不同叶绿素的海水的波谱曲线

## □ 土壤的反射波谱

---

- 自然状态下，土壤表面反射曲线呈比较平滑的特征，没有明显的峰值和谷值。
- 干燥条件下，土壤的波谱特征主要与成土矿物（原生矿物和次生矿物）和土壤有机质有关。
- 土壤含水量增加，土壤的反射率就会下降，在水的各个吸收带（1.4、1.9和2.7微米附近区间），反射率的下降尤为明显。



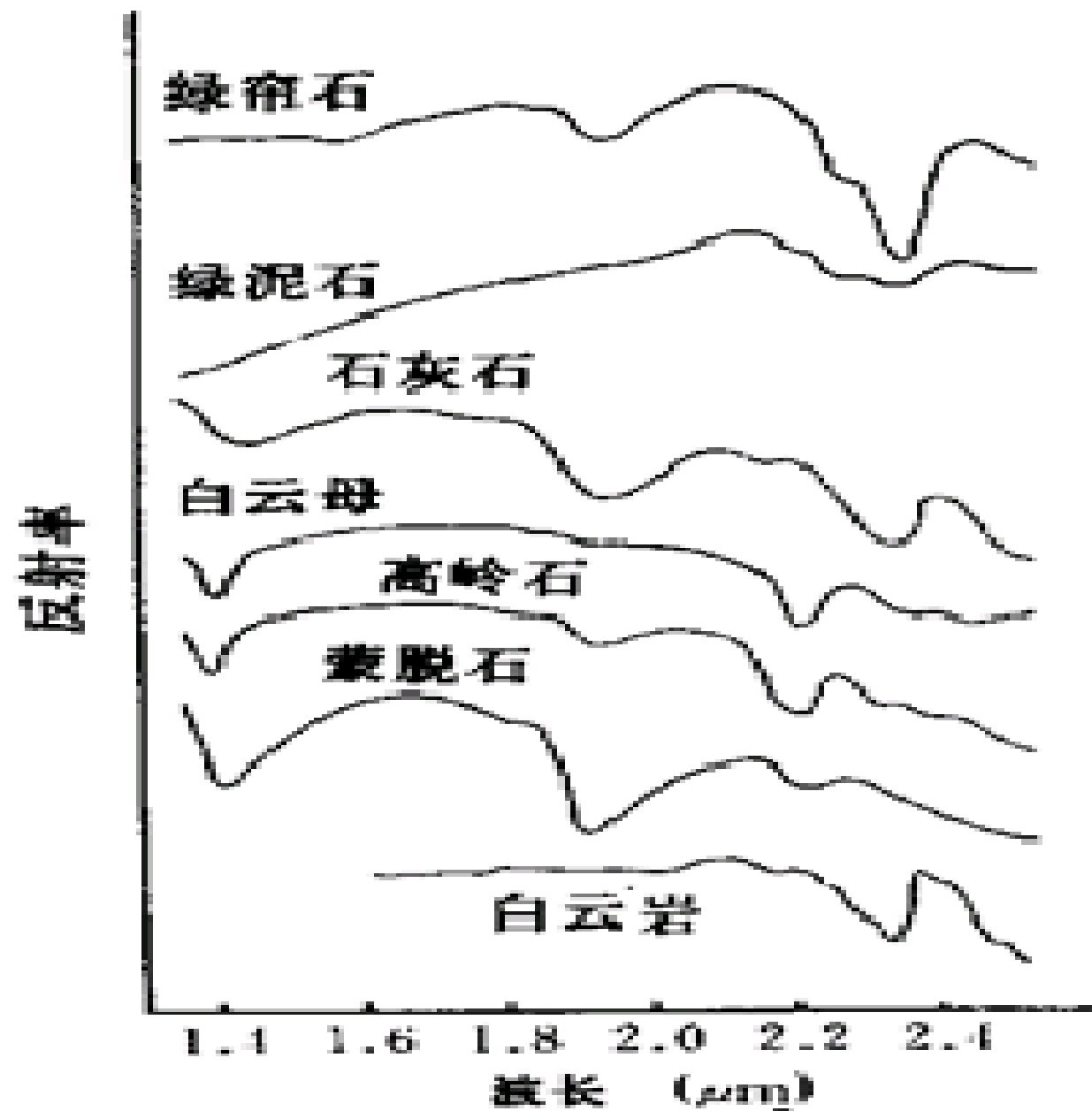
三种不同类型的土壤在干燥环境下的  
反射光谱曲线

粉砂土壤不同含水量情况下的  
光谱反射率曲线

## □ 岩石的反射波谱

---

- 岩石的波谱特性主要由矿物成份、矿物含量、物质结构等决定。
- 影响岩石矿物波谱曲线的因素有岩石风化程度、岩石含水状况、矿物颗粒大小、岩石表面光滑程度、岩石色泽等。



岩石、矿物的光谱反射率<sup>2)</sup>

### (3) 同一地物的反射波谱

同一地物的反射波谱特性随时间（时间效应）和空间（空间效应）的改变而变化。

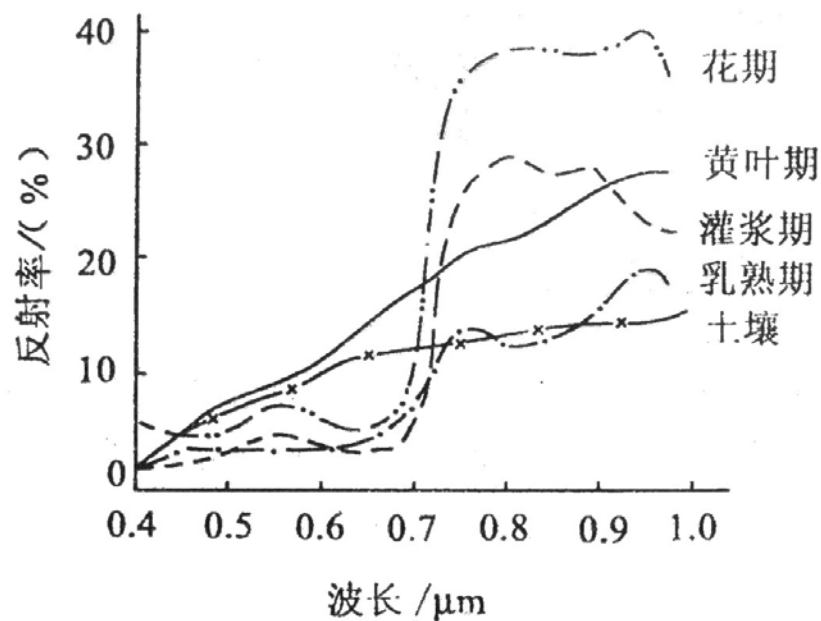


图 1-15 同一作物（春小麦）在不同生长阶段的波谱特性曲线

## (4) 影响地物光谱反射率变化的因素

---

- 太阳位置
- 传感器位置
- 地理位置
- 地形
- 季节气候变化
- 地面湿度变化
- 地物本身的变异
- 大气状况 等。

## （5）应用地物波谱特性时需注意：

---

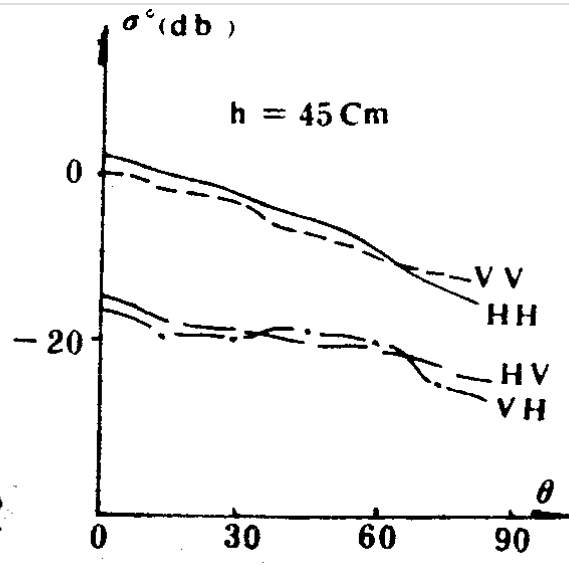
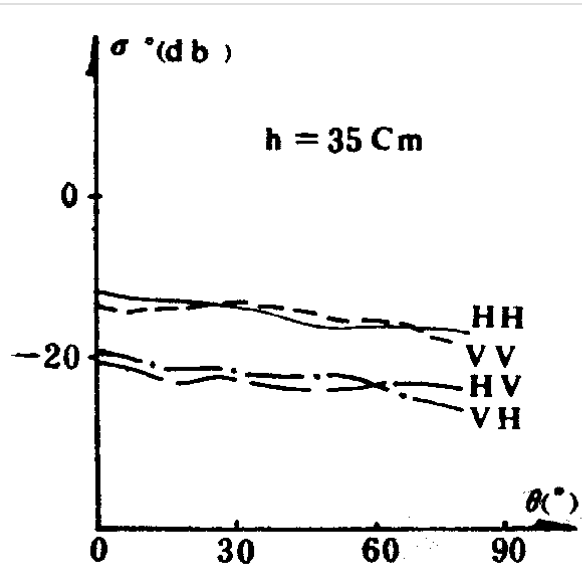
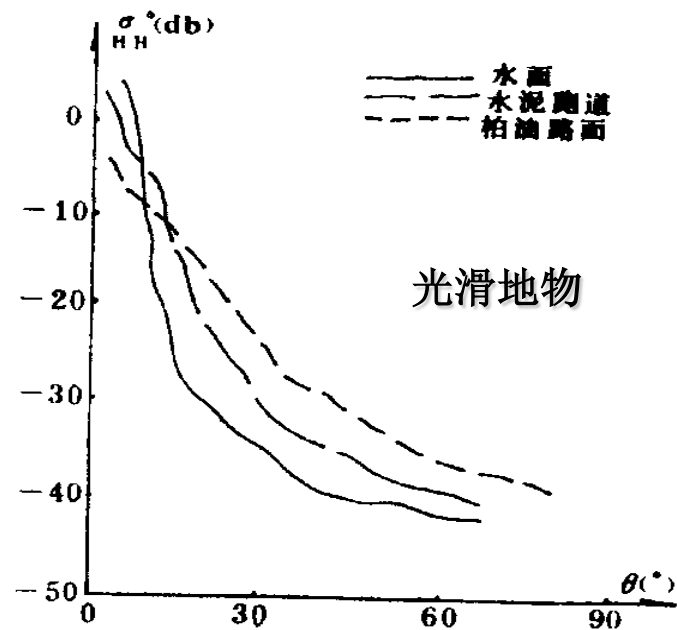
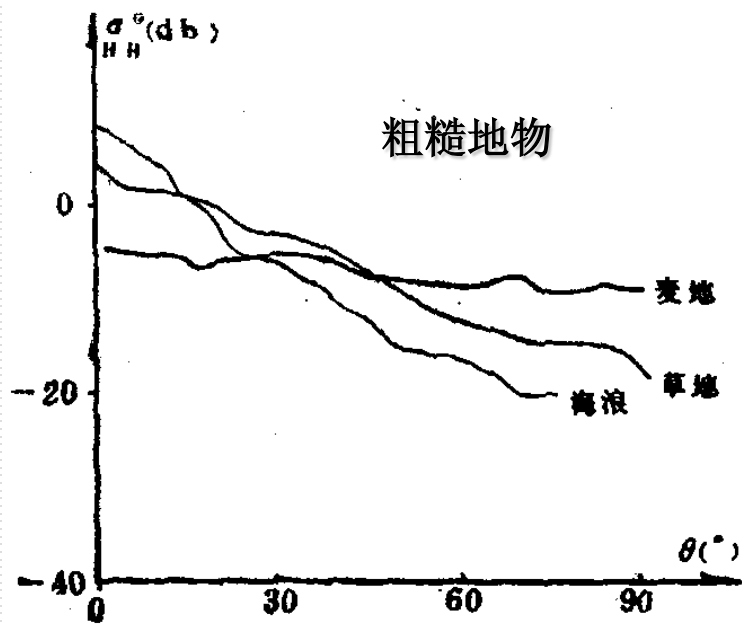
- 绝大部分地物的波谱值具有一定的变幅，它们的波谱特征不是一条曲线，而是具有一定宽度的曲带。
- 岩石存在不同程度的风化，岩石表面附着物（土壤、湿度、低等植物等）的不同，它们的波谱值也相应地产生了变化。
- 地物存在着“同物异谱”和“异物同谱”的现象。



### （三）物体的微波后向散射

---

- 地物的微波后向散射特性是主动微波遥感的理论基础。
- 后向散射是沿入射方向返回的散射。雷达遥感中获取的信息就是从入射电波与地物目标相互作用后的后向散射回波中提取的。
- 地物的微波后向散射特性一般用在给定波长条件下后向散射系数随入射角的变化曲线来表示。



### 三、地物波谱特性的测定

---

- 地物波谱特性是各种地物各自所具有的电  
磁波特性（发射辐射或反射辐射特性）。
- 地物波谱特性是遥感技术的基础研究内容。
- 地物波谱特性测量（地面）的作用
  - 选择遥感波段、设计遥感器的依据；
  - 选择外业飞行时间的基础资料；
  - 有效进行遥感图像数字处理的前提，是判读、  
识别、分析遥感影像的基础。

# 测量原理

---

- 地物的发射辐射特性和反射辐射特性间存在一定的关系，因此，只需测定反射辐射特性即可。

对不透明的物体有：

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

根据基尔霍夫定律进一步可得：

$$\varepsilon_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

因此：

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

地物的波谱特性通常都是用地物的反射辐射波谱曲线来描述。

- 用光谱测定仪器（置于不同波长或波谱段），分别探测地物和标准板，测量、记录和计算地物对每个波谱段的反射率，其反射率随波长变化的规律就是地物的波谱特性。

# 测量仪器

—分光光度计、光谱仪、摄谱仪等。

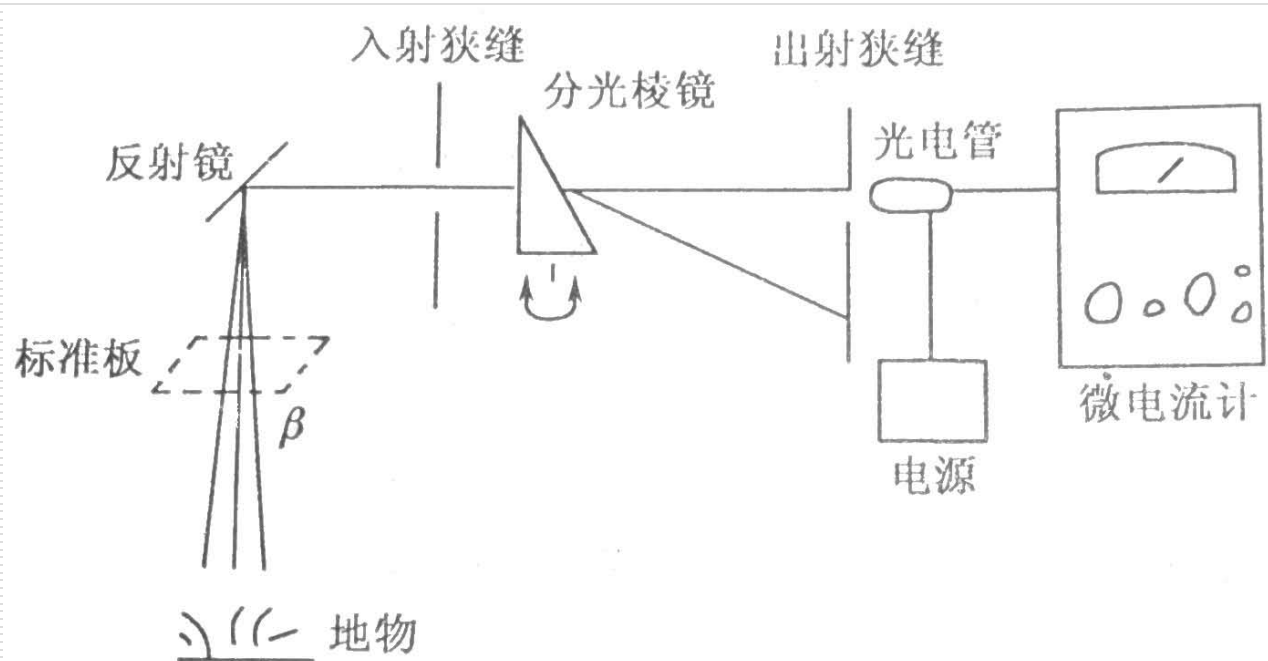


图 1-23 302 型野外分光光度计结构原理图

# 测量方法

---

1. 测量地物  $\Phi_{\lambda} = \frac{1}{\pi} \rho_{\lambda} E_{\lambda} \tau_{\lambda} \beta G \Delta \lambda$   $I_{\lambda} = k_{\lambda} \Phi_{\lambda}$

2. 测量标准板  $\Phi_{\lambda}^0 = \frac{1}{\pi} \rho_{\lambda}^0 E_{\lambda} \tau_{\lambda} \beta G \Delta \lambda$   $I_{\lambda}^0 = k_{\lambda} \Phi_{\lambda}^0$

3. 光谱反射率计算  $\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda}^0} = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{\lambda}^0} = \frac{\rho_{\lambda}}{\rho_{\lambda}^0}$

$$\rho_{\lambda} = \frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda}^0} \rho_{\lambda}^0$$

注意：标准板的反射率  $\rho_{\lambda}^0$  预先经过严格测定并经国家计量局鉴定。

# 测量步骤

---

- ❑ 架好光谱仪，通电预热；
- ❑ 安置波长位置，调好光线进入仪器的狭缝宽度；
- ❑ 将照准器分别照准地物和标准板，并测量和记录地物、标准板在各波长处的观测值；
- ❑ 计算各波长处的反射率；
- ❑ 绘制地物反射波谱曲线。

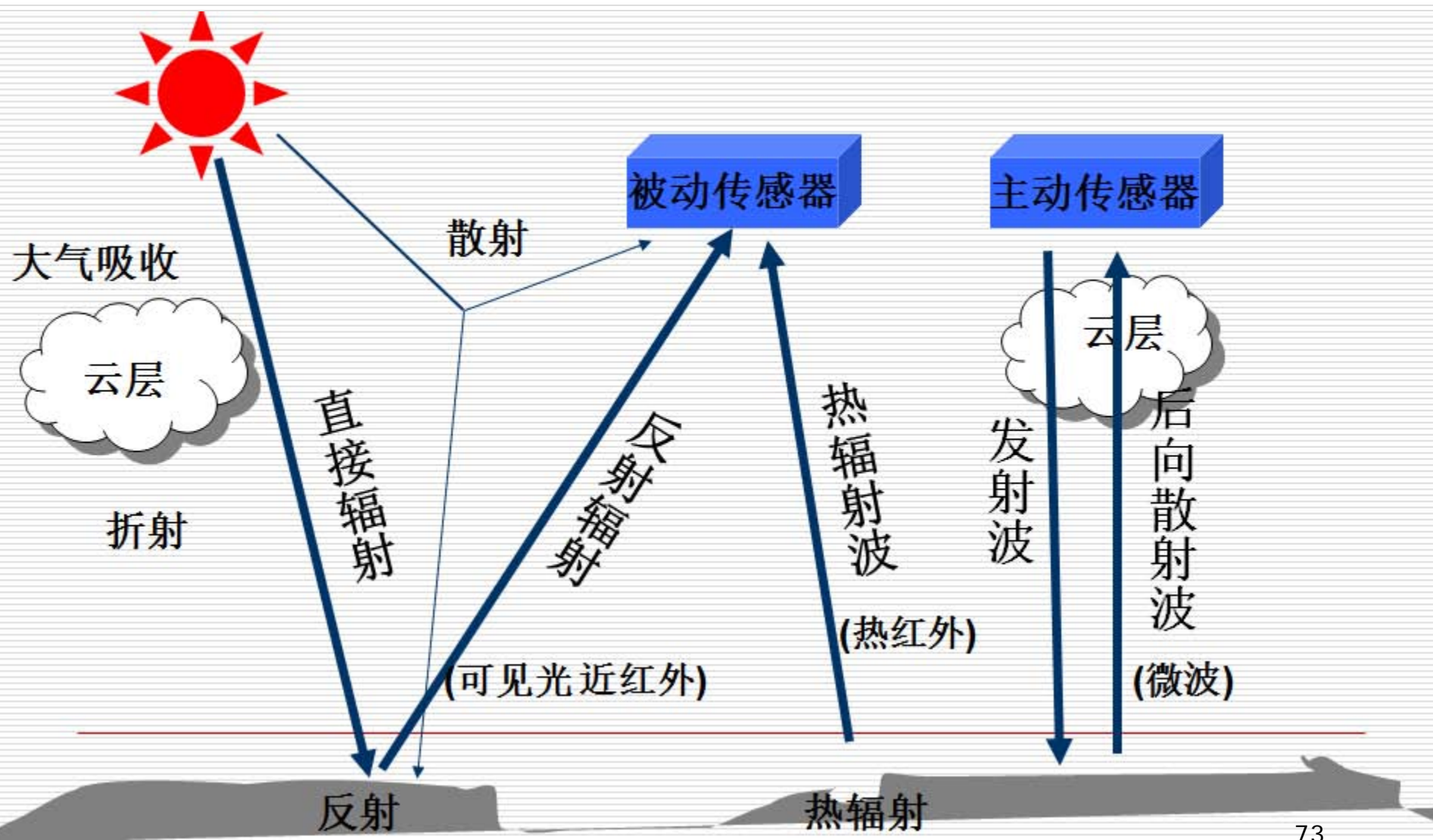
# 遥感原理（本章小结）

---

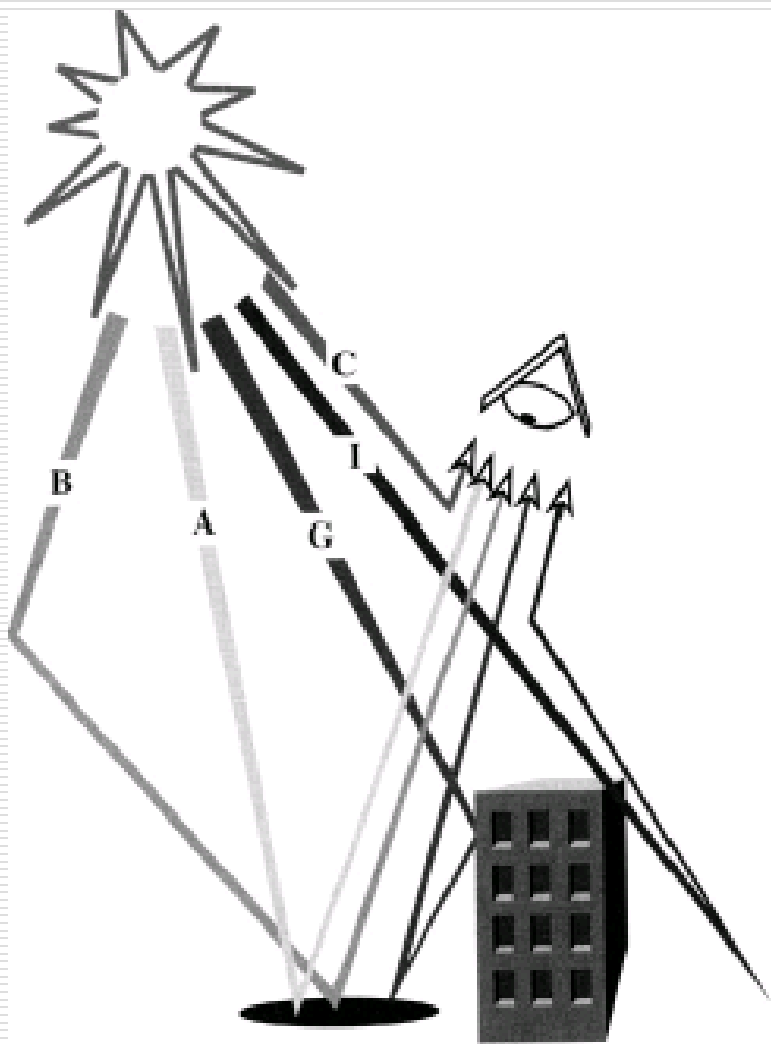
- 不同的地物具有不同的电磁波波谱特性（客观存在，是遥感技术的理论依据）；
- 根据不同的地物的电磁波波谱特性差异，用遥感仪器来区分地物的种类和特性。

讨论：到底怎么用遥感仪器来实现区分地物的种类和特性呢？





# 多光谱遥感时...



**A**—太阳辐射透过大气并被地表反射进入传感器；

**B**—太阳辐射被大气散射后被地表反射进入传感器；

**C**—太阳辐射被大气散射后直接进入传感器；

**G**—太阳辐射透过大气，被地物反射后又被地表反射进入传感器；

**I**—被视场以外地物反射后进入视场的交叉辐射项。

$$L_{S\lambda} = \tau_{\lambda} L_{g\lambda} + L_{d\lambda} \uparrow$$

$$= L_{g\lambda} \exp(-\delta_{\lambda} \theta_V) + L_{d\lambda} \uparrow$$

$$= \{(\rho_{g\lambda} / \pi)[E_0(\lambda) \cos \theta_2 \exp(-\delta_{\lambda} \sec \theta_2)$$

$$+ E_{d\lambda} \downarrow]\} \exp(-\delta_{\lambda} \sec \theta_V) + L_{d\lambda} \uparrow$$

$L_{g\lambda}$  地面辐射亮度

$L_{d\lambda}$  路径辐射

$E_0(\lambda)$  太阳辐射

$E_d(\lambda)$  大气散射

# 热红外遥感时...

---

$$L_{s\lambda} = (\varepsilon_{\lambda} L_{g\lambda} + \rho_{g\lambda} L_{d\lambda} \downarrow) \cdot \tau_{\lambda} + L_{d\lambda} \uparrow$$

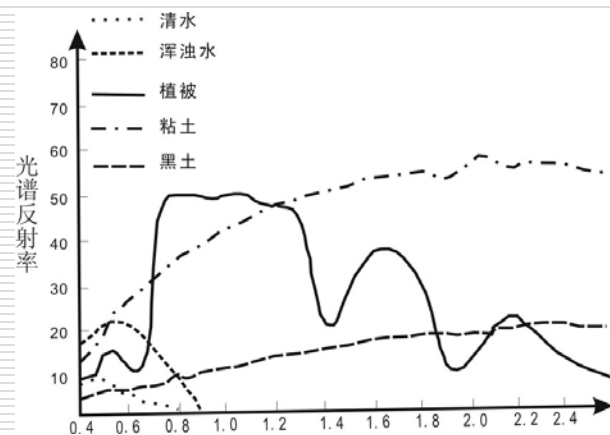
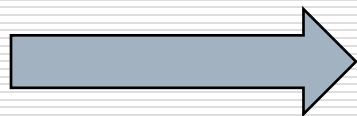
包括三部分：

- ❑ 目标自身辐射；
- ❑ 目标反射其表面的辐射照度；
- ❑ 在遥感器观测方向上的大气热辐射。

# 讨论 1：传感器接收到的辐射能量与地物的波谱曲线之间是什么样的关系呢？

$L_{s\lambda}$

?



---

讨论2：若希望在遥感中利用传感器获取地物的波谱特性曲线，有哪些不利因素存在？怎么做权衡处理？

讨论3：遥感传感器能否探测到严格意义上的连续光滑的地物波谱特性曲线？