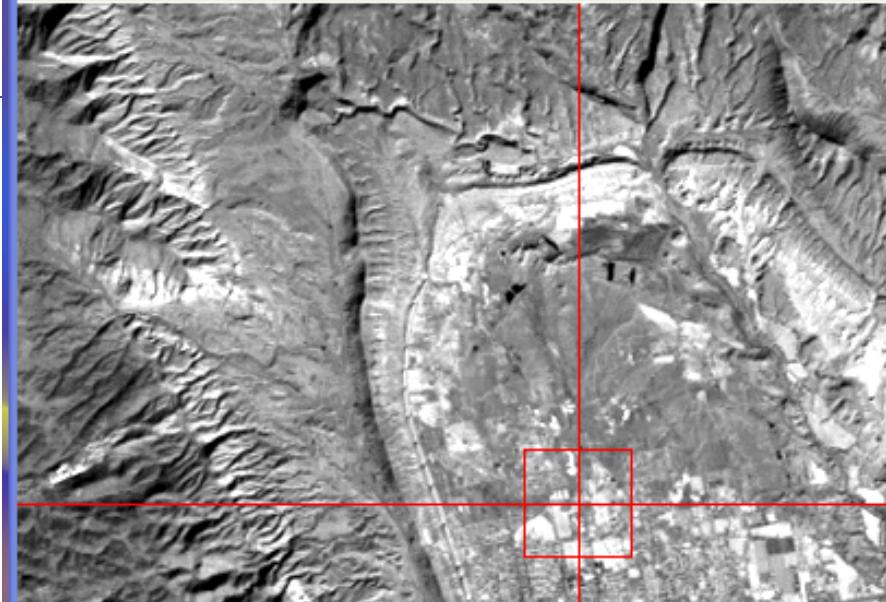


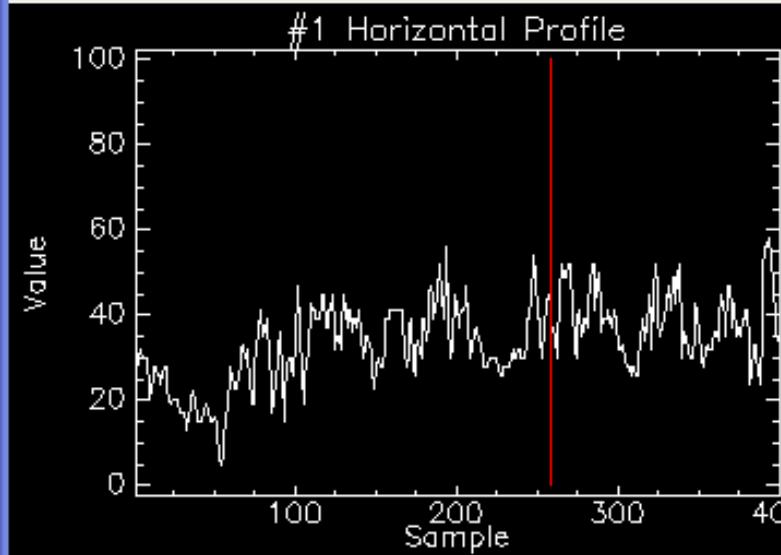
#1 TM Band 4:can_tmr.img

File Overlay Enhance Tools Window



#1 Horizontal Profile

File Edit Options Plot_Function Help



#1 Spectral Profile...

File Edit Options Plot_Function Help

Spectral Profile

Reflectance

100

80

60

40

20

0

0.5

1.0

1.5

2.0

Wavelength

#1 Vertical Profile

File Edit Options Plot_Function Help

#1 Vertical Profile

Value

100

80

60

40

20

0

0

100

200

300

400

Line

第二章 遥感原理概述



2.1 电磁波谱与电磁辐射

2.2 太阳辐射及大气对辐射的影响

2.3 地球辐射与地物波谱



物质的电磁波特性

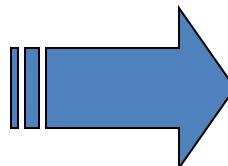


遥感技术是建立在物体**电磁波辐射理论**基础上的。不同物体具有各自的**电磁波辐射特性**，遥感就是通过接收物体的电磁波信号，形成波谱曲线或影像，各专业领域根据自己的专业需求提取相关信息。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

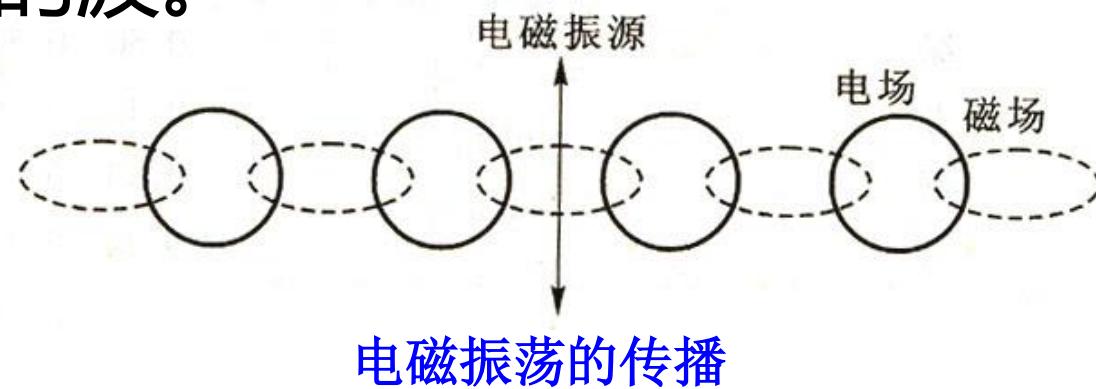
“波”
—振动的传播



纵波
横波

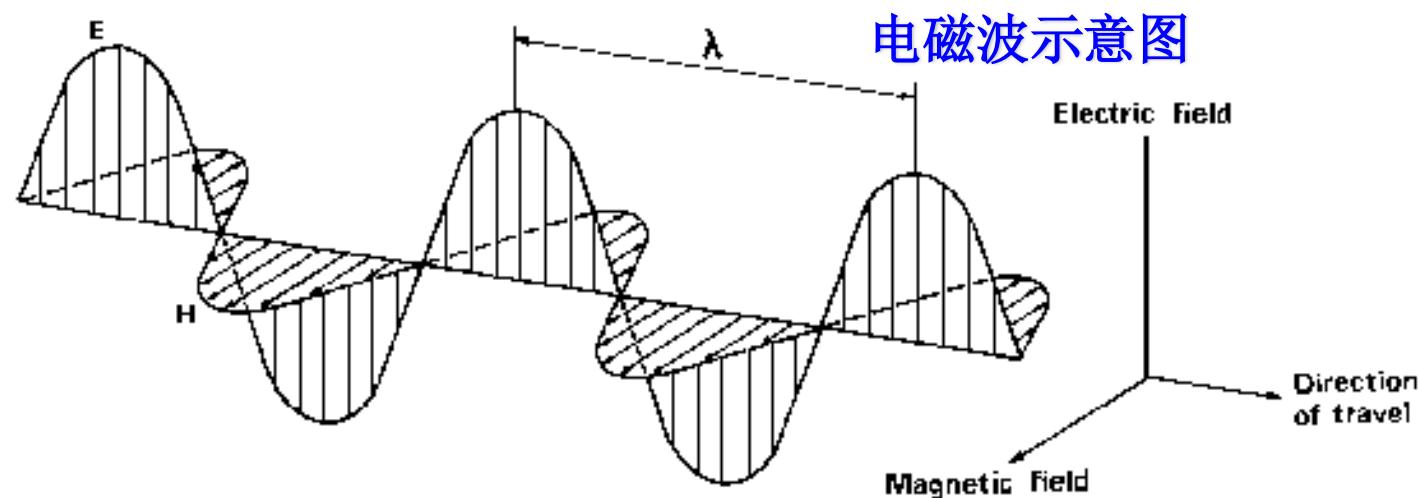
电磁波定义：

在真空或物质中通过传播电磁场的振动而传播
电磁能量的波。

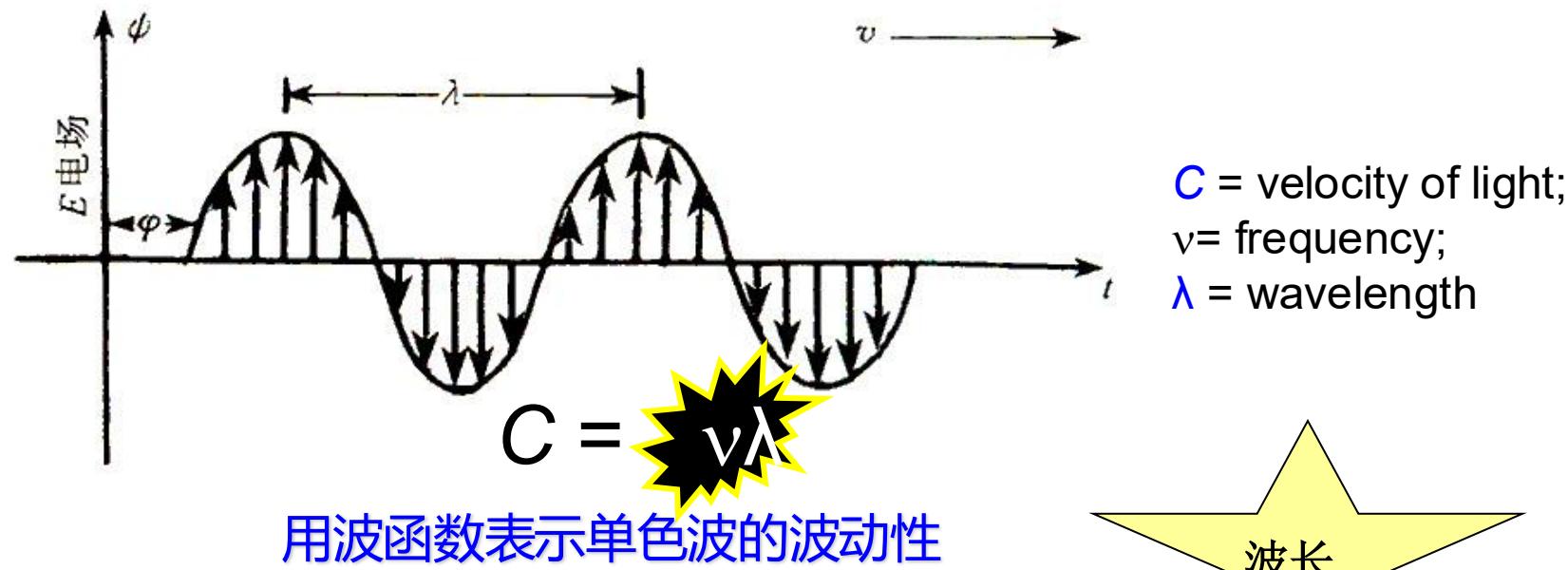


电磁波特性

横波：电磁场的电场矢量和磁场矢量互相垂直，且都垂直于波的传播方向。



波动性：电磁辐射以波动的形式（光滑连续的波）在空间传播，用波长、频率、振幅等来描述。

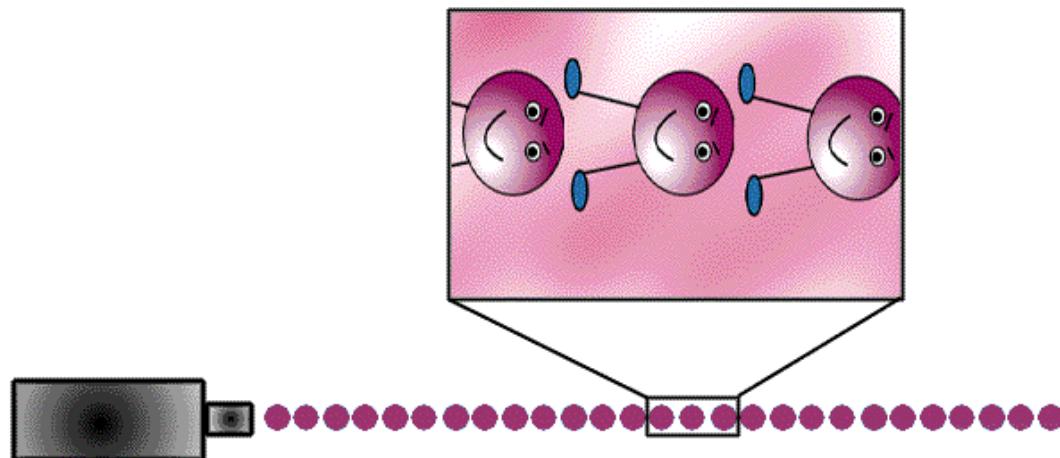


表现出波的干涉（波的叠加合成）、衍射、偏振等现象，这些现象都是电磁波的波动性的体现。





粒子性：电磁波也是一种以光速传播的粒子流。以电磁波形式传播出去的能量为辐射能，**电磁辐射能以密集的光子微粒流（离散形式）有规律的运动**，如表现出光电效应、黑体辐射等现象。



Source: Center for Beam Physics, Lawrence Berkeley National Laboratory.



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



电磁波的波长不同，其波动性和粒子性所表现的程度也不同，一般来说，波长愈短，辐射的粒子特性愈明显，波长愈长，辐射波动特性愈明显。

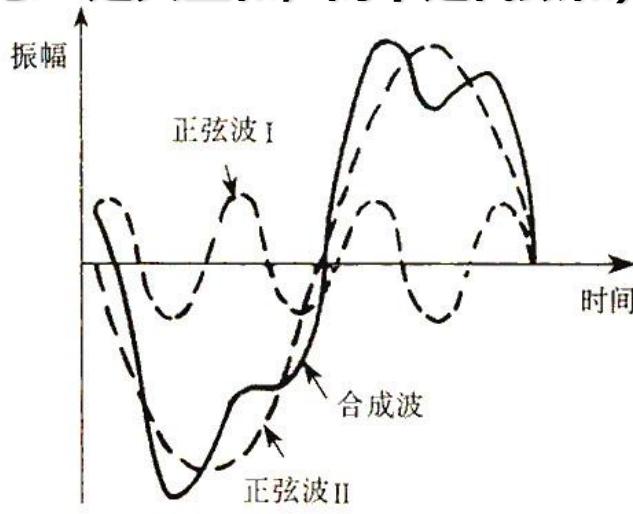
- *紫外线、X射线、 γ 射线主要表现为粒子性
- *可见光/红外线同时具有粒子性和波动性二重性
- *微波和无线电波主要表现为波动性



叠加原理：

当空间同时存在由两个或两个以上的波源产生的波时，每个波并不因其它的波的存在而改变其传播规律，仍保持原有的频率（或波长）和振动方向，按照自己的传播方向继续前进，而**空间相遇点的振动的物理量则等于各个独立波在该点激起的振动的物理量之和**。

(注意：是矢量和，而不是代数和)



电磁波的叠加原理

由于遥感信息记录的是物体的电磁波特性，而各种物体都有各自的电磁波谱，这样便可根据**叠加的原理**把各自的波谱从遥感信息中分离出来。



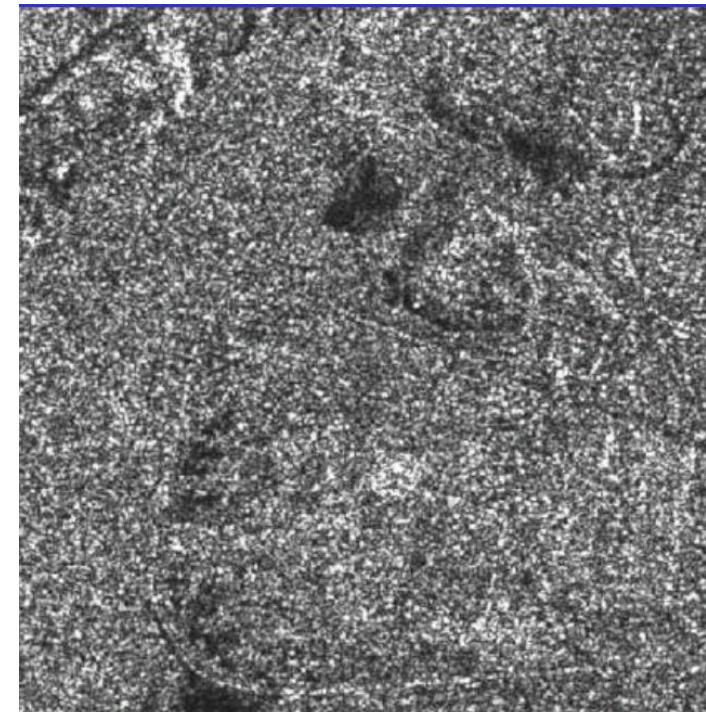


相干性与非相干性：

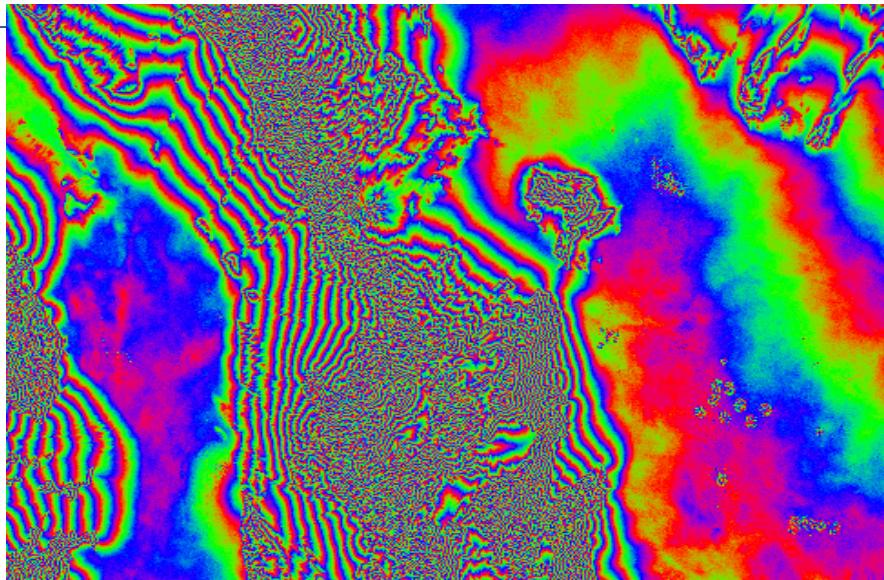
由叠加原理可知，当两列频率、振动方向相同，相位相同或相位差恒定的电磁波叠加时，在空间会出现某些地方的振动始终加强，另一些地方的振动始终减弱或完全抵消，这种现象叫电磁波的**相干性**。没有固定相位关系的两列电磁波叠加时，没有一定的规律可循，这种现象叫电磁波的**非相干性**。

微波雷达通过利用相干信号实现了对目标的高精度成像和速度测量。

正因为波的相干性，粗糙表面时，各基本散射体与传感器之间的距离不同，导致回波在相位上不再相干。如果回波相位一致，则接收到强信号；若回波相位不一致，则接收到弱信号，图像上会出现**颗粒状或斑点状的特征**。

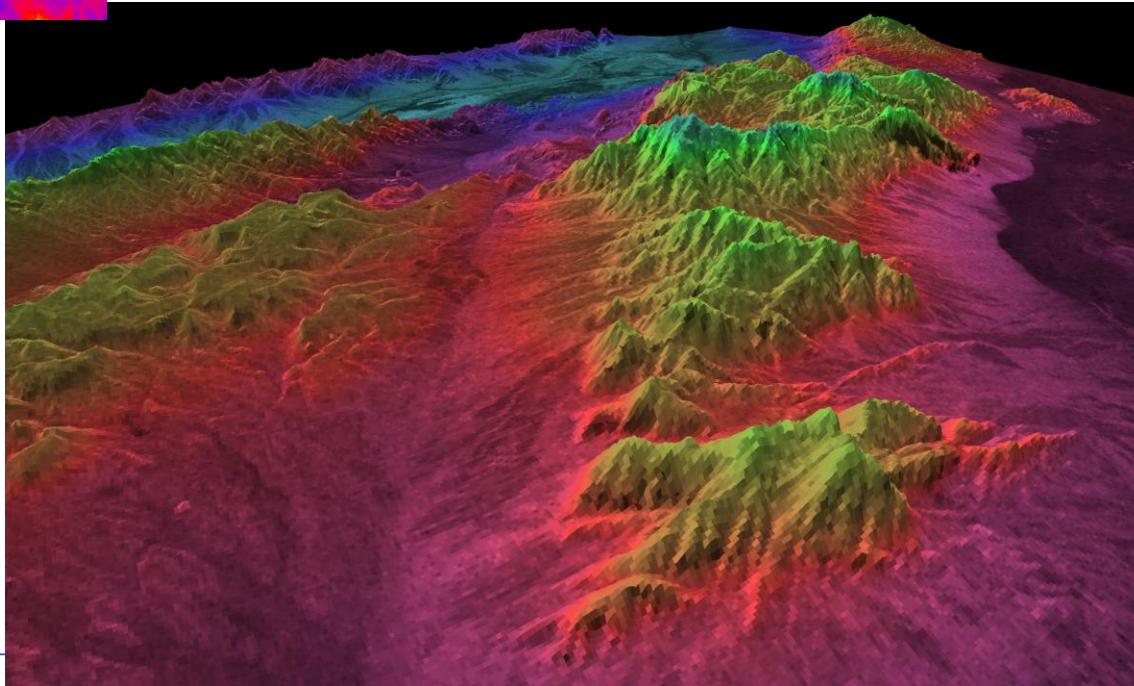


RADARSAT- SAR干涉测量



INSAR相干回波的**相位信息**可被用于提取地表的高程信息。

干涉雷达--通过两个侧视天线同时观测（或一定时间间隔的两次平行观测），利用天线接收信号的路径差得到地面对目标回波的**相位差**信号，形成**干涉纹图**。



描述电磁波的主要参数

波长 λ : 指波在一个振动周期内传播的距离。即沿波的传播方向，两个相邻的同相位点间的距离。单位: cm、mm、 μm 、nm 等。

频率 ν : 指单位时间内，完成振动或振荡的次数或周期。单位: Hz、KHz、MHz、GHz 等。

电磁波的波长 λ 、频率 ν 及速度间的关系: $C = \nu\lambda$

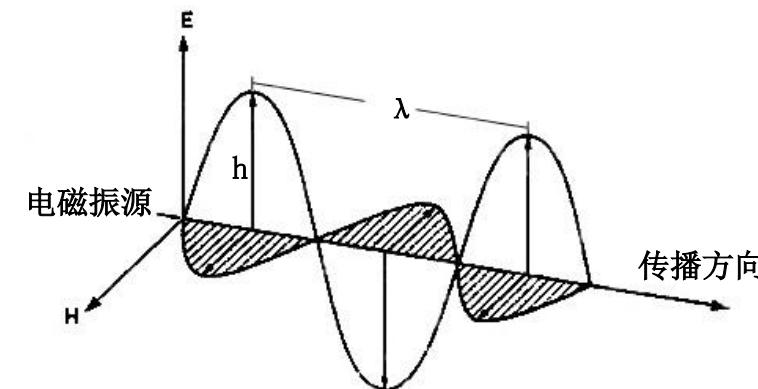
电磁波在真空中以光速 $C = 2.998 \times 10^8$ 米/秒 (m s^{-1}) 传播，在介质中以小于光速传播。

一般用波长或频率来描述或定义电磁波谱的范围。

波数: 即波长的倒数 ($1/\lambda$)，单位常用 cm^{-1} ，是在波的传播方向单位长度内所含波长的数目。当波长的单位为 μm ，波数的单位为 cm^{-1} ，波长*波数=10000

振幅 h : 表示电场振动的强度。

它指振动物理量偏离平衡位置的最大位移，即每个波峰的高度。



电磁辐射的度量



辐射源——任何物体

电磁波传递——电磁能量的传递

遥感探测——**辐射能量**的测定



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



- **太阳辐射 (solar radiation)**

太阳辐射是太阳以电磁波或粒子形式发射能量。

太阳是被动遥感最主要的辐射源，其表面温度约6000K，表面辐射出射度约为 $6.284 \times 10^7 \text{ W m}^{-2}$ 。太阳的辐射波谱从X射线一直延伸到无线电波，是一个综合波谱。**太阳辐射的大部分能量集中于近紫外-短波红外（0.31~3μm）区间，约占全部能量的99.0%。**

因此，太阳辐射的能量以短波辐射为主。

- **地球辐射 (terrestrial radiation)**

是地球（包括大气）发射的电磁辐射。能量主要集中在长波辐射范围内。



• 辐射能量

是电磁波中电场能量和磁场能量的总和，即电磁场所具有的能量，称之为辐射能量，单位为 焦耳 (J) 、卡 (cal) 。

电磁波是物质存在的一种形式，因此与其它物质存在形式一样，电磁波也具有能量、动量等性质。

如：可以使被辐照的物体升温、改变物体的内部状态、使带电物体受力而运动等。

任何物体都可以是辐射源。它既可能自身发射能量（即发射辐射，又称热辐射），也可能被外部能源激发而辐射能量（即反射辐射）。



• 辐射通量

又称辐射功率，指单位时间内，通过某一表面的辐射能量。单位为瓦 (W)，即焦耳/秒 ($J\ s^{-1}$)，表达为：

$$\Phi = dQ / dt$$

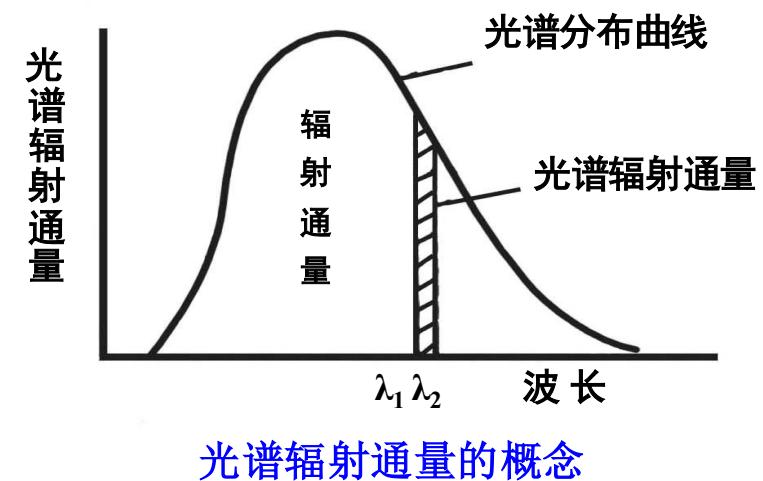
辐射通量是各谱段辐射通量之和。

光谱辐射通量：表示单位波长间隔内的辐射通量，表达为：

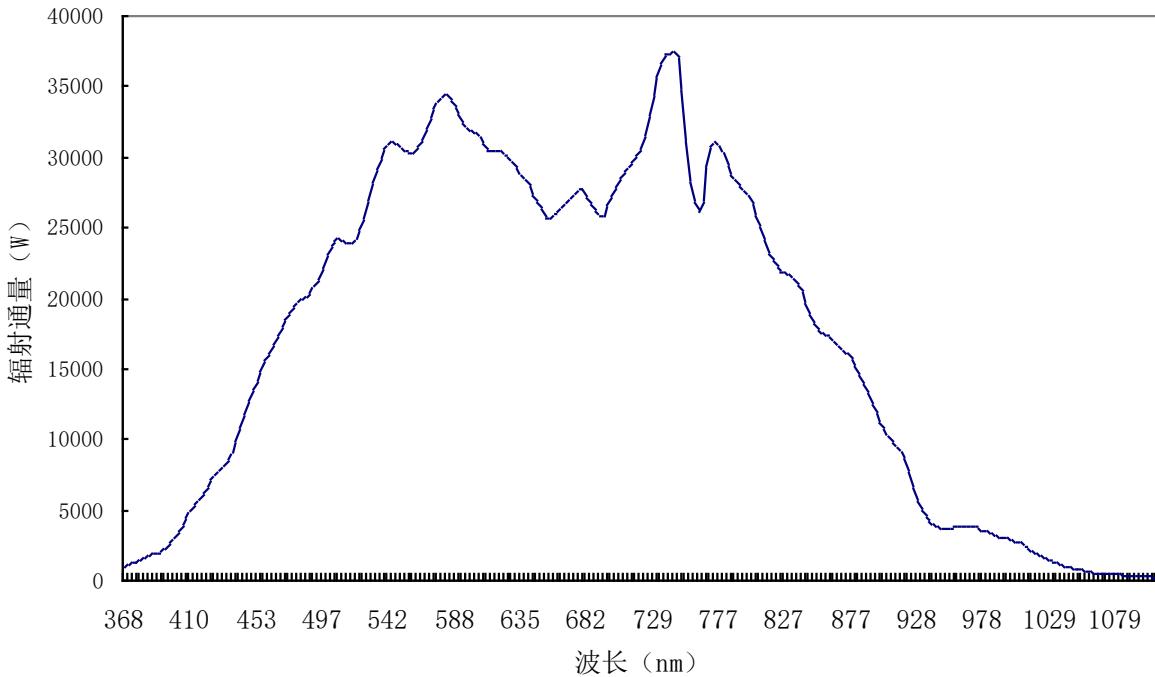
$$\begin{aligned}\Phi(\lambda) &= d\Phi / d\lambda \\ &= dQ / dt \cdot d\lambda\end{aligned}$$

单位为 瓦/微米 ($W\ \mu m^{-1}$)

光源发出的光在不同波长下的分布情况，不同波长辐射通量不同。



波长	辐射通量
381.4	1584
384	1696
386.6	1852
389.2	1940
391.7	2076
394.3	2280
396.9	2636
399.5	3092
402.1	3532
404.7	3992
407.3	4504
.....
1101.1	272
1104.3	260
1107.4	236
1110.6	220
1113.7	212



草地的光谱辐射通量



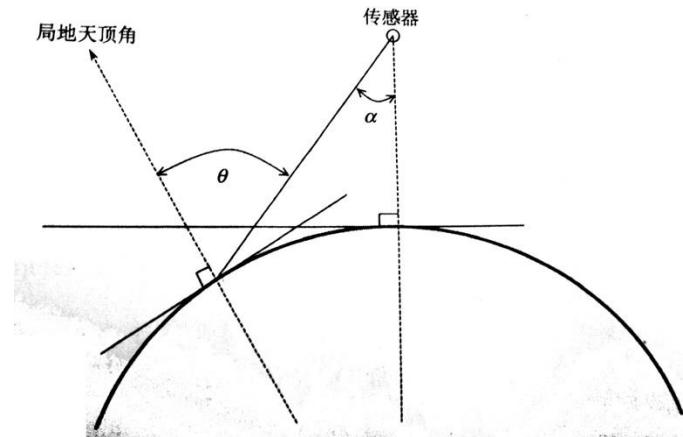
大部分传感器是以一定的方向来观测地球表面，理解角度的相关性是非常重要的。



立体角 (Ω)：一个半径为 r 的球面，从球心向球面做任意形状的锥面，锥面与球面相交的面积与半径平方之比即为立体角。用来描述辐亮度的方向性，sr。
经常用极坐标下的天顶角 (θ) 和方位角 (φ) 来表示。

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$$

传感器的扫描角与观测天顶角不等。天顶角的范围 $0-180^\circ$ ， $0-90^\circ$ 表示上半球， $90-180^\circ$ 表示下半球。



辐射强度 (I)：某一方向上的单位**立体角**所发出的辐射通量，W/sr

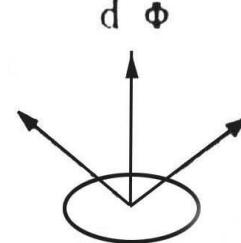
$$I = d\Phi / d\Omega, \Omega \text{ 为立体角}$$





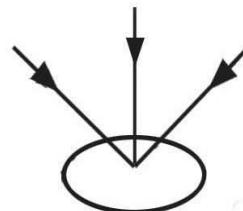
辐射出射度 (M) : 指面辐射源在单位时间内，从单位面积上发射出的辐射能量，即物体单位面积上发出的辐射通量，单位为 瓦/米² (W m⁻²)，表达为：

$$M = d\Phi / dA$$



辐照度 (E) : 简称辐照度，指面辐射体在单位时间内，单位面积上接收的辐射能量，即照射到物体单位面积上的辐射通量，单位为 瓦/米² (W m⁻²)，表达为：

$$E = d\Phi / dA$$



光学遥感中有以下辐照度参数：

大气层外太阳辐照度

地表入射辐照度（向下辐照度）——总辐照度

天空漫射辐照度——总辐照度-太阳直射辐照度

太阳直射辐照度——总辐照度-天空漫射辐照度



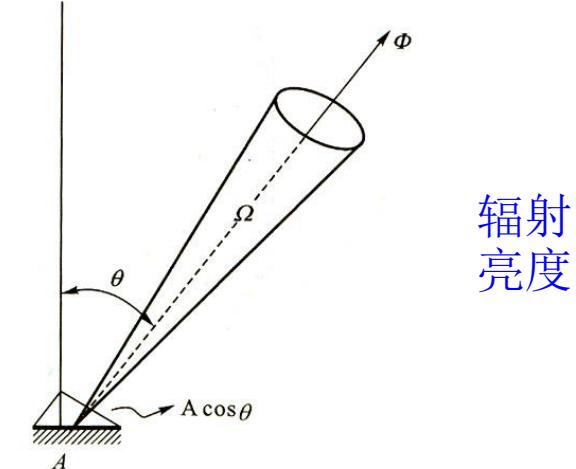


辐射亮度 (L)：假定有一辐射源呈面状，向外辐射的强度随辐射方向而不同，则L定义为辐射源在**某一方向、单位投影表面、单位立体角内**的辐射通量，W/ (sr·m²)，即：

$$L = \frac{\Phi}{\Omega(A \cos \theta)}$$

辐射源面元很小时，可看作一个点：

$$L = I$$



L随波长变化，且具有方向性（接收辐射的观察者以不同的θ角观察辐射源时，L值不同）。

——朗伯体，L与θ角无关

遥感器观测到的是物体的辐射亮度值 L

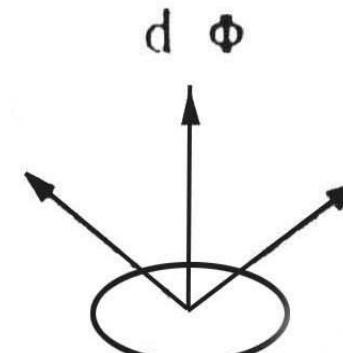


辐射出射度 M_λ 与辐射亮度 L_λ 的关系：

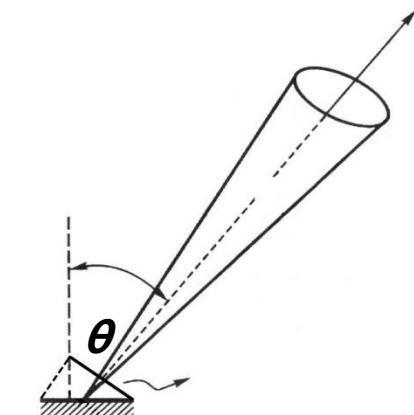
辐射亮度 L_λ 的法向分量对整个半球面立体角 ($\Omega=2\pi$) 的积分是辐射出射度 M_λ 。

对于朗伯体， L_λ 各向同性

$$M_\lambda = \pi L_\lambda$$



辐射出射度



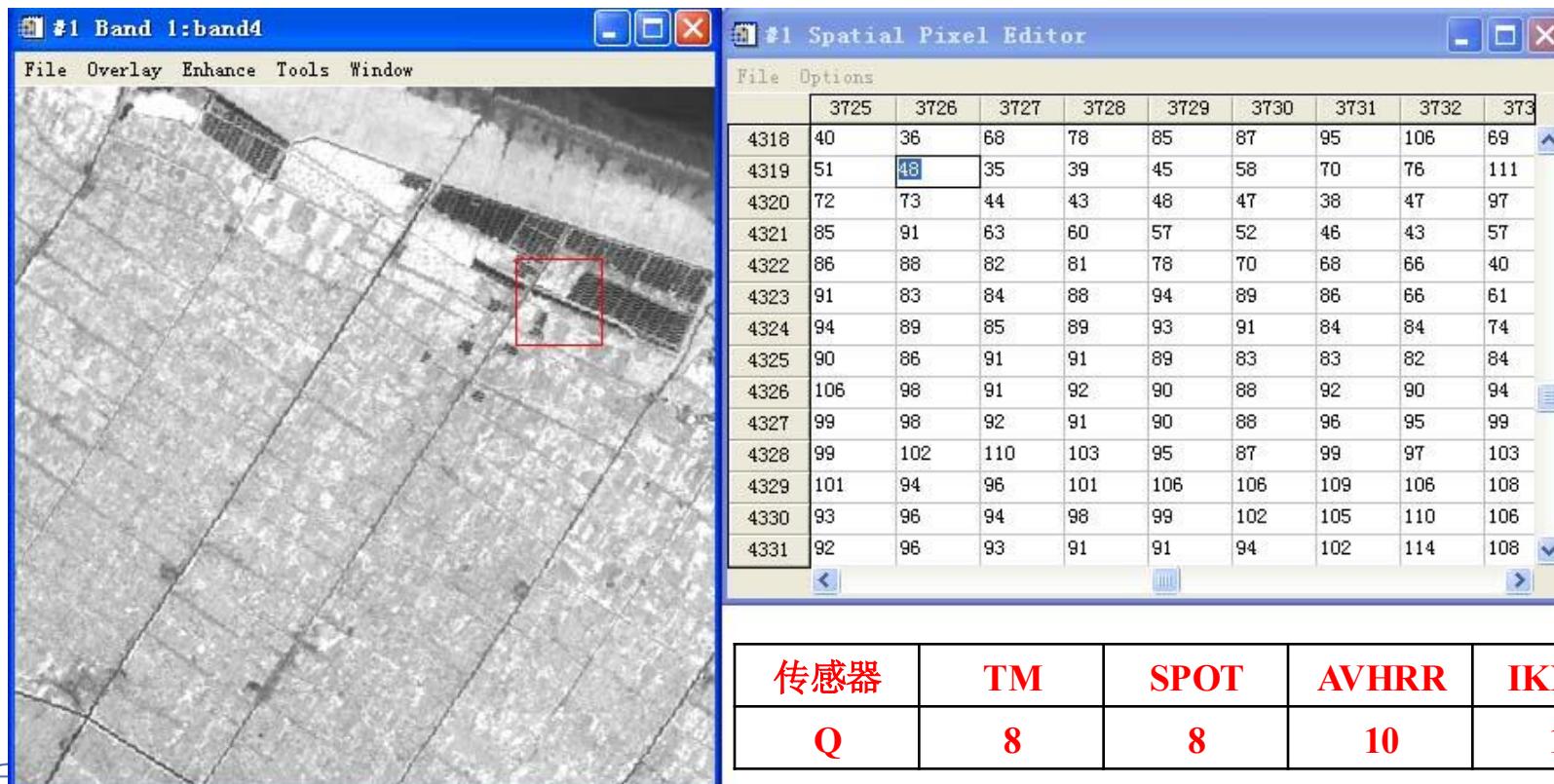
辐射亮度

DN值：不是一个物理量，是经过量化得到的整数。

$$DN \in [1, 2^Q]$$

式中，Q是传感器的量化级数 (bit)， 2^Q 代表图像的灰度级。

Q值越大，辐射测量的精度越高。





数字值与辐亮度的关系：多数线性关系

转换系数一般都包含在图像数据的头文件里，确定转换系数的过程称为“**传感器定标**”。

具体过程在后面讲解



电磁辐射定律



黑体：是一个完全的吸收体和完全的发射体，即 吸收率和发射率均为1的物体（无反射，也无透射）；它是一个自然界并不存在的假设的理想辐射体；可以由人工方法制作，它的行为表现可被实验室设备所模拟。

由于电磁辐射是随着物体的组成物质和环境条件的不同而变化的，因而需要引入“黑体”作为理解电磁辐射过程、进行电磁辐射定量研究的基准。通过对黑体热辐射行为的描述，来研究物体电磁辐射的基本规律、温度与发射能的关系等。

黑体辐射遵循普朗克辐射定律、斯特藩-玻耳兹曼辐射定律、维恩位移定律三条基本的物理定律。



黑体热辐射定律：

黑体表面的辐射特性是唯一由其温度决定且是光谱连续的，是朗伯表面，且在热平衡的条件下，其发射的能量等于其吸收的能量。



普朗克定律 描述黑体辐射的能量密度与频率之间的关系。

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

黑体辐射波长的分布特性，与温度密切相关。

式中， h 为普朗克常数， 6.626×10^{-34} (J·s)； c 为光速， 3×10^8 (m·s⁻¹)； κ 为波尔兹曼常数， 1.38×10^{-23} (J·K⁻¹)； T 为绝对温度 (K)； λ 为波长 (m)。



斯忒藩-波尔兹曼定律

描述黑体辐射的总辐射功率与温度之间的关系

UCAS 5π2)π(

任一物体辐射能量的大小是物体温度的函数。黑体总辐射能量随温度的增加而迅速增加，它与温度的四次方成正比，可表示为：

$$M = \sigma T^4$$

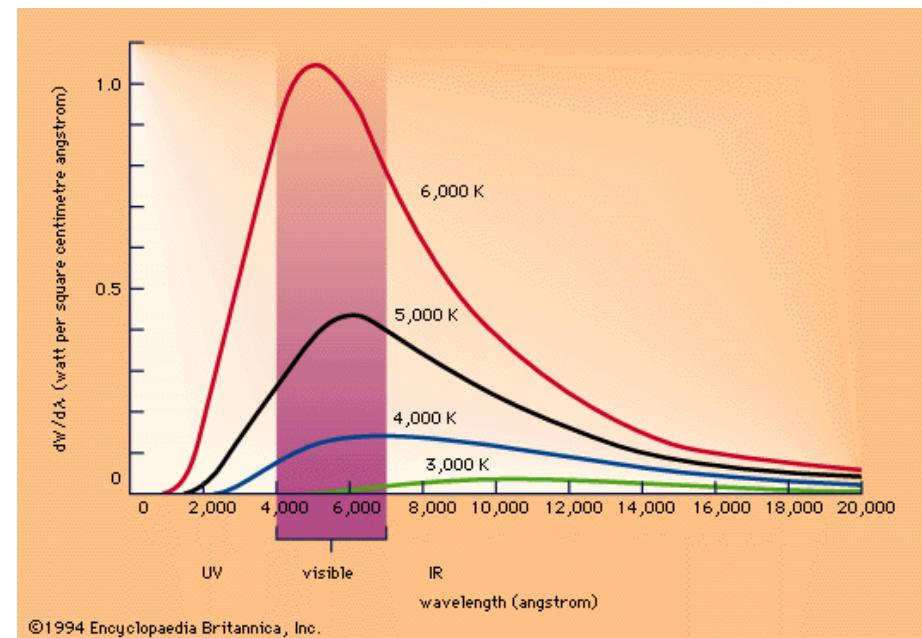
红外测温仪
的依据

普朗克公式对波长积分

M 为黑体表面发射的总能量，
即总辐射出射度， (Wm^{-2}) ；

σ 为斯特藩—玻耳兹曼常数，
 $5.6697 \times 10^{-8} (Wm^{-2}k^4)$ ；

T 为发射体的绝对温度 (K) 。



对于真实物体，应考虑物体的发射率 ε ，则斯-波定律修正为：

$$M = \varepsilon \sigma T^4$$



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

维恩位移定律

描述黑体辐射的主峰频率与温度之间的关系

所有的黑体辐射与辐射波长的对应关系都是双值的，且在某一波长上有最大值，
最大值处的波长与黑体温度成反比，即温度越高，最大值对应的波长越短。

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

维恩位移定律，描述了物体辐射的峰值波长与温度的定量关系

λ_{\max} 为最大辐射强度对应的波长， μm

T 为绝对温度， K

b 为常数， 2898 ($\mu\text{m}\cdot\text{k}$)

不同温度T所对应的 λ_{\max}										
T (K)	300	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
λ_{\max} (μm)	9.66	5.76	2.88	1.44	0.96	0.72	0.58	0.48	0.41	0.36

地球温度

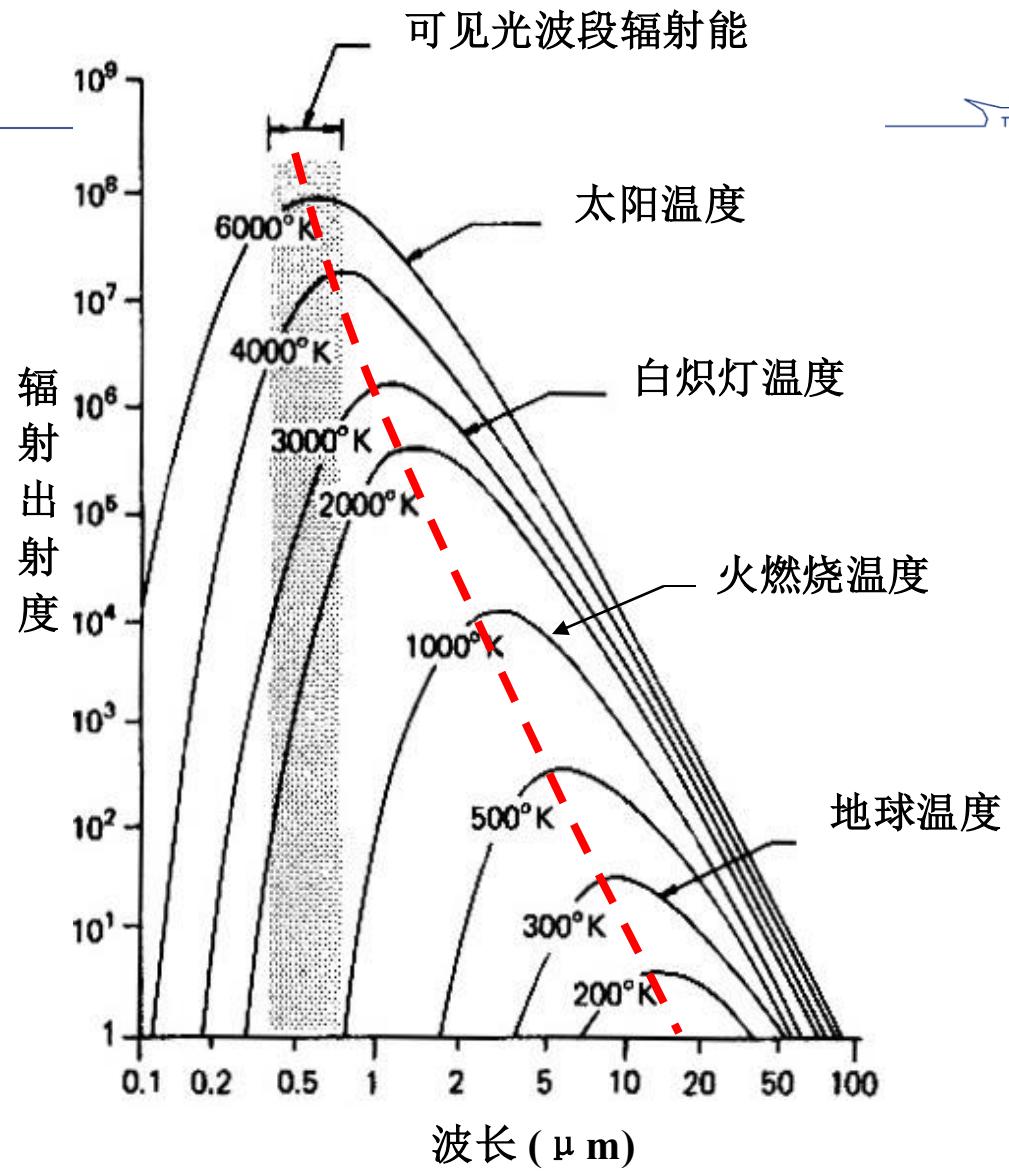


太阳温度



黑体辐射的特性

- 辐射出射度M，是温度和波长的函数，它随波长连续变化，每条曲线**只有一个最大值**；
- 温度愈高，光谱辐射出射度也愈大，并**随温度升高快速增大**；
- 光谱辐射出射度的峰值波长**随温度的增加向短波方向移动**。



不同温度黑体辐射波谱曲线



实际物体的辐射

热平衡状态下，物体的单色辐射出射度和吸收比的比值与物体的性质无关。

仅与温度、波长有关

基尔霍夫定律：

$$\frac{M_1}{\alpha_1} = \frac{M_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{M_i}{\alpha_i} = \frac{M_0}{\alpha_0} = M_0 = I$$

黑体向外发射和吸收的能量相等

M_i 为辐射出射度， α_i 为吸收系数， I_i 为辐照度。

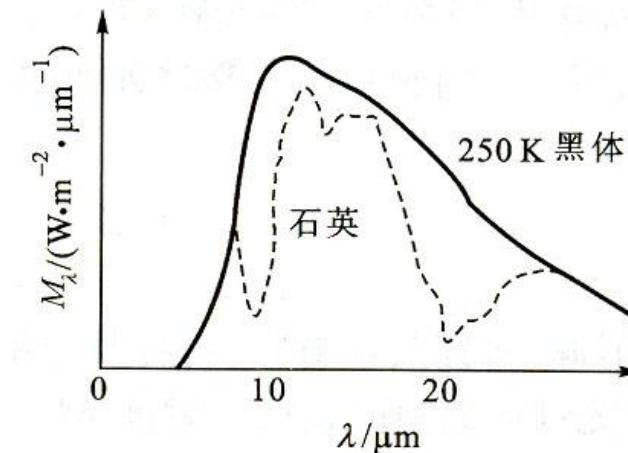


发射率或比辐射率， ϵ

实际物体：

$$M_i = \epsilon M_0$$

M_i 、 M_0 相同温度、波长时实际物体、黑体辐射出射度



石英的辐射曲线



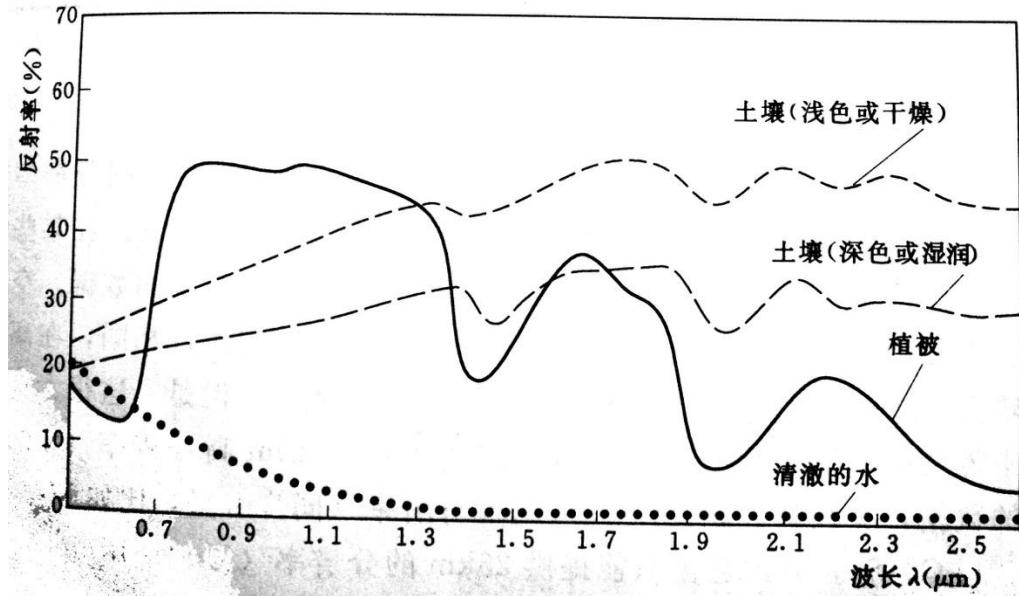
物质的电磁波谱特征

自然界各种物质在光照条件下能**反射**出辐射能，物质由于自身具有一定的温度，因而也能不断**发射**出辐射能，如果把**这种反射和发射辐射能以波长为参数记录下来，就得到该物质的所谓“谱分布”。**



电磁波依据波长轴线的分布称为**电磁波谱**

由于产生电磁波的**波源**不同，因而它们的波长或频率也就不同，它们的性质（如传播的方向性、穿透性等）就有很大的差别。

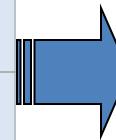


电磁波信号是遥感研究的**对象**，电磁波谱是遥感研究的**基础**。

目前遥感技术所使用的电磁波谱段仅占整个电磁波波谱的一小部分，主要是在**紫外线、可见光、红外线到微波**部分。表中列出了遥感技术使用的电磁波谱段的分类名称及其波长范围。

遥感使用的电磁波范围

名 称		波长范围
紫外线		100埃-0.38微米
可见光		0.38-0.76微米
红外线	近红外	0.76-3.0微米
	中红外	3.0-6.0微米
	远红外	6-15微米
	超远红外	15-1000微米
微 波	毫米波	1-10毫米
	厘米波	10-100毫米
	分米波	100-1000毫米



紫	0.38-0.43微米
蓝	0.43-0.47微米
青	0.47-0.50微米
绿	0.50-0.56微米
黄	0.56-0.59微米
橙	0.59-0.62微米
红	0.62-0.76微米



遥感常用各光谱段的主要特征：



- **紫外线**: 0.01-0.38μm

0.01-0.3 μm的紫外线几乎全部被大气层吸收；

0.3-0.38 μm的紫外线部分能通过大气层到达地面；目前主要用于探测碳酸盐分布及油污染的监测，但对**高空遥感不宜采用**。0.35μm

- **可见光**: 0.38-0.76μm 反射波段

由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫色光组成。人眼对可见光能够直接感觉，不仅对可见光的全色光，而且对不同波段的单色光，也都具有这种能力。所以**可见光**是作为鉴别物质特征的主要波段，是遥感中最常用的波段。

蓝色：水体、泥沙等

TM 1

绿色：健康植被 绿色反射峰

TM 2

红色：红色叶绿素吸收 植被判别

TM 3

全色：土地利用、立体相片、制图等

ETM 8 (pan)



● 红外线：0.76-1000μm

近红外 (0.76-0.90μm) : TM4

生物量、作物判别、土壤-作物、陆地-水域的边界。

短波红外: TM5、TM7

1.5-1.75μm : 干旱、云、雪-冰判别

2.0-2.35μm : 地质学、岩石形成



中红外 (3.0-6.0μm) : 火灾

远红外 (6.0-15.0μm) : 温度、含水量、热惯性等

超远红外 (15.0-1000μm)

发射波段，红外遥感采用热感应方式探测地物本身的辐射，能全天时遥感



● 微波: 1-1000mm

毫米波、厘米波、分米波；具有全天候、全天时、穿透性强。

0.1-5 cm : 积雪、雪深、植被含水量

5-24 cm : 融雪、土壤含水量、水陆边界、穿透植被



第二章 遥感原理概述



2.1 电磁波谱与电磁辐射

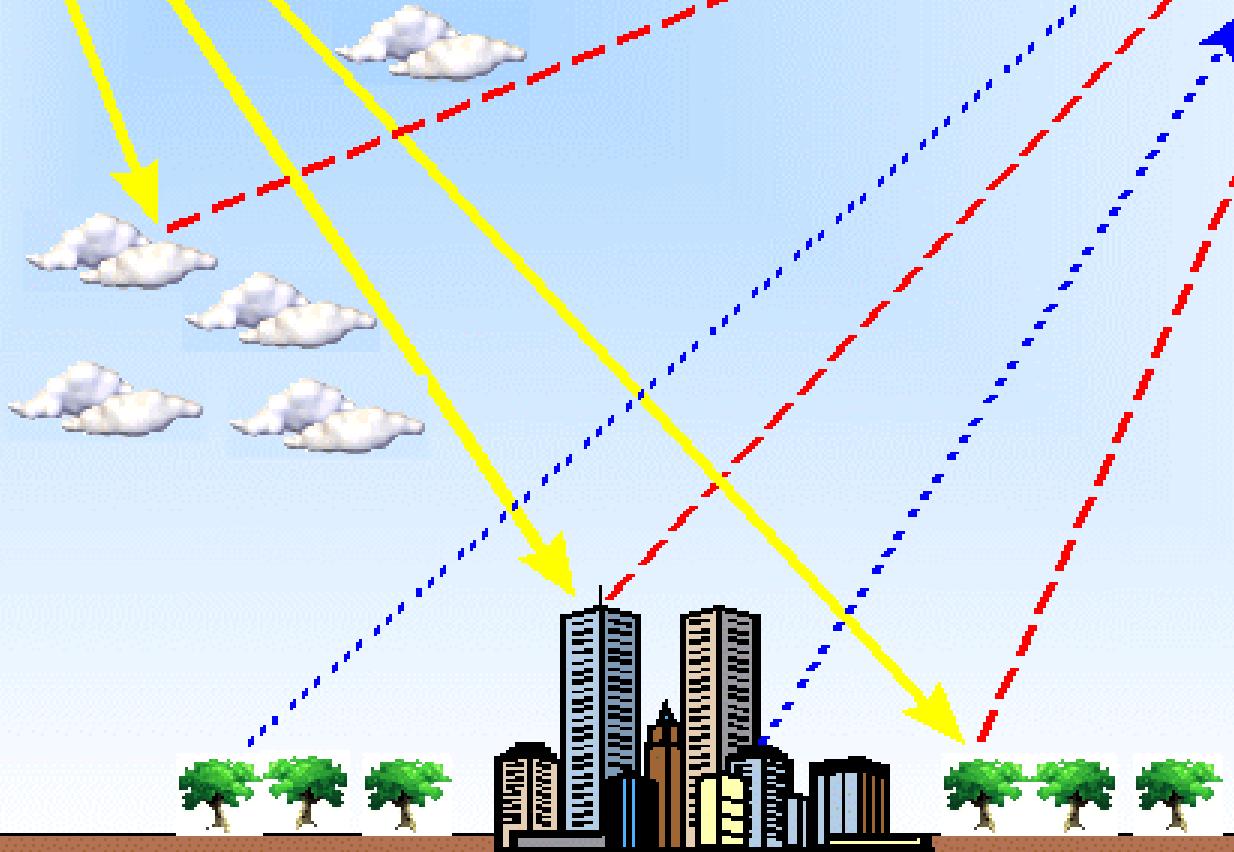
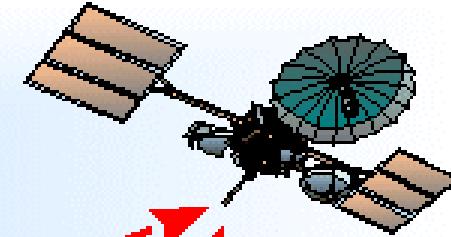
2.2 太阳辐射及大气对辐射的影响

2.3 地球辐射与地物波谱





被动遥感的主要辐射源



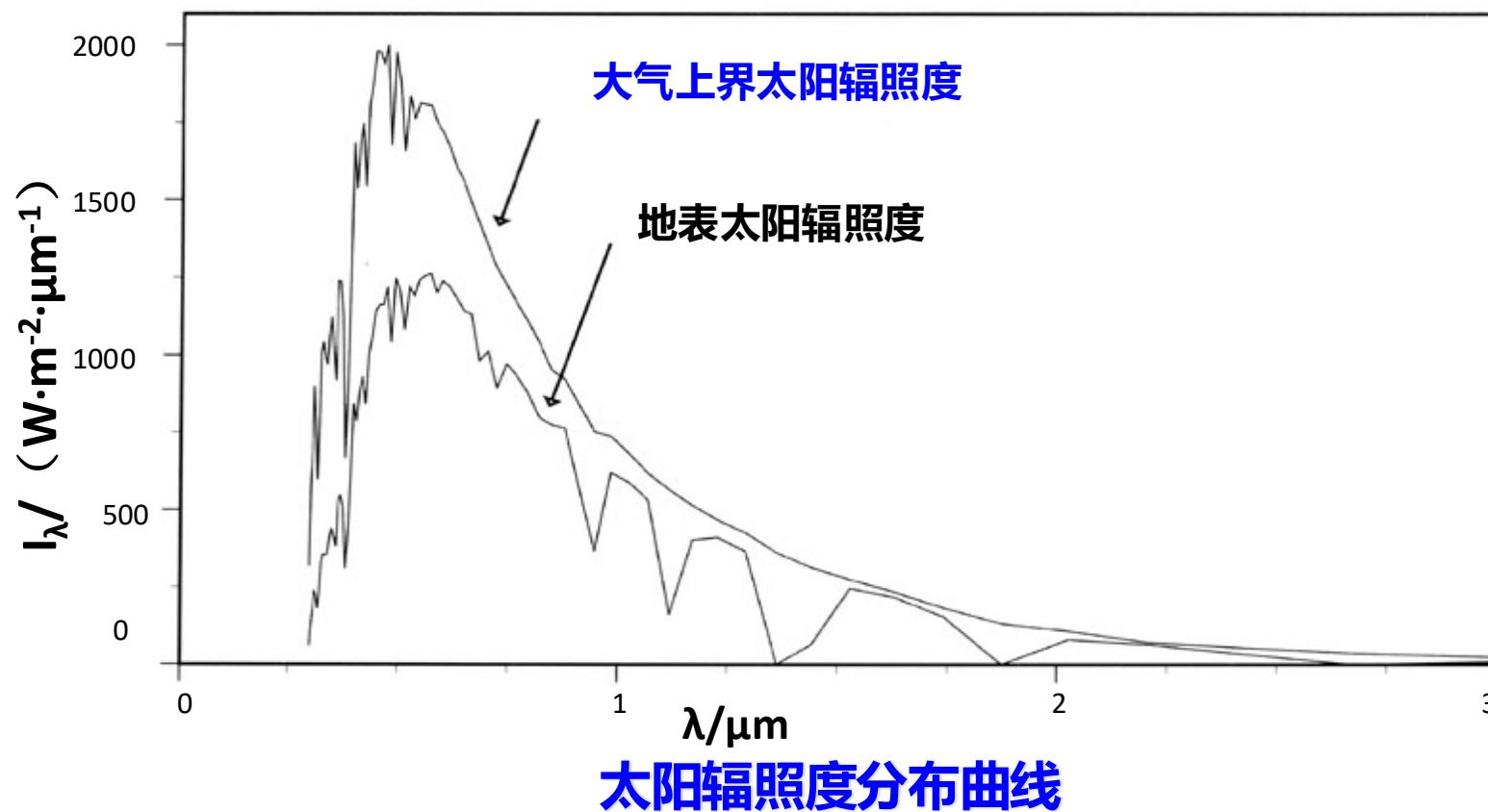
Incoming EMR

Reflected EMR

Emitted EMR

太阳辐射

太阳辐射的大部分能量集中于近紫外-短波红外 ($0.31\sim3\mu\text{m}$)，地球大气层以外的太阳光谱辐照度曲线为平滑的连续光谱曲线，近似于 6000K 的黑体辐射曲线。



地表与大气的最主要能源是太阳辐射以及相伴的地球辐射。经过
大气的太阳辐射能是如何分配的？

太阳发射的短波辐射中

30%：被大气里的云以及其它大气成分反射回太空

17%：被大气吸收

22%：被散射，部分以漫射的形式到达地表

31%：直射到达地表



到达地面的太阳入射辐射分为：

- 太阳直接辐射 (sunlight or beam) --- E_s
- 大气散射辐射 (diffuse radiation)--- E_d

地面接收的太阳总入射辐射 $E_t = E_s + E_d = Q$

太阳总辐射 Q : 可利用气象台站的太阳直射辐射计及天空辐射计来获得；也可通过理论太阳总辐射及日照率的计算获得，如：

$$Q = Q'(0.1144 + 0.5683C / C_0)$$

式中， Q' 为大气层顶部理论太阳总辐射，与气象台站经纬度 φ 、
太阳赤纬 δ 、日地距离 D 、太阳常数 E_0 有关；
 C / C_0 为日照率， C 为日照时数， C_0 为最大可能的日照时数。

太阳总辐射 Q 是纬度、时间及云的函数。



地面接收的太阳辐射照度 E 与 太阳天顶角 θ 有关。



在忽略大气损失的情况下，可近似认为地面接收辐照度 E 与 $\cos \theta$ 成正比。

$$E = \frac{E_0}{D^2} \cos \theta$$

E_0 为太阳常数。它指日地平均距离处（大气顶界）、单位时间内、单位法向面积上所接收到的太阳辐射能（其值为 1.36×10^3 瓦/米²）

D 为以日地平均距离为单位的日地之间的距离（日地平均距离就是一个天文单位）

θ 为太阳天顶角（太阳光线与法线的夹角），与时间、地理位置有关

$$\cos \theta = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

φ 为地理纬度， δ 为太阳赤纬（指太阳光与地球赤道平面的夹角）， t 为太阳的时角（单位时间地球自转的角度）

显然：地面接收的太阳辐照度还与大气的吸收及散射有关。

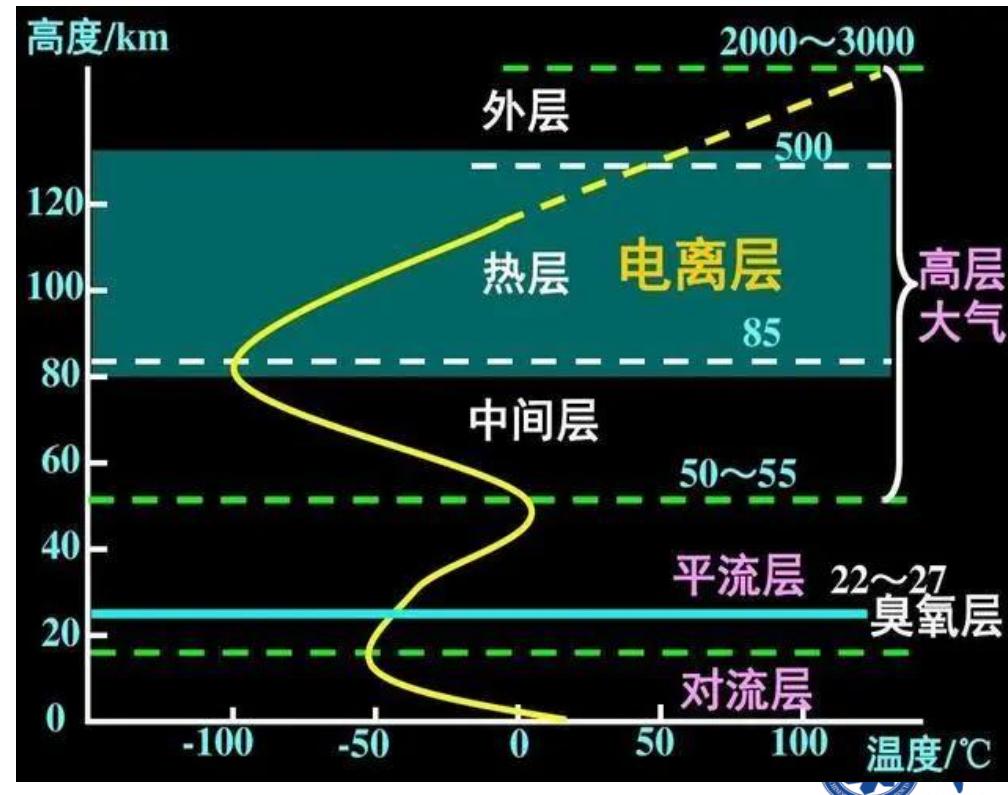


大气结构与大气成分

◆ 大气层次

地球上的大气层随着高度的增加逐渐稀薄。大气层的上界并无明显分界，一般将大气层的厚度定义为1000km，从下往上分别为对流层、平流层、电离层及外大气层。

在32km以上，大气质量仅剩下1%，其大气的影响可忽略不计。因此，**有效大气层是紧贴地球表面的薄薄一层。**



大气物理状况的物理量：气压、大气温度、大气

——垂直方向上的变化远远大于水平方向上的梯度，
气效应校正中大多假定大气具有水平均一、垂直

- **对流层**: 0-12km, 与地表直接接触, 密度最大, 包含整个大气层75%的质量, 温度与高度成反比。天气变化最复杂的层, 几乎所有气候现象都发生在对流层。
- **平流层**: 12-80km, 可分为同温层、暖层和冷层。空气密度与高度成反比, 水蒸气含量可忽略不计, 在25-30km臭氧含量很大, 又称臭氧层, 再往上到55km又趋于0。
- **电离层**: 80-1000km, 空气稀薄, 无线电波会发生全反射现象, 温度很高。
- **外层大气**: 大于1000km, 受太阳风、高能粒子等影响, 包括磁层和热层等, 是地球与宇宙空间的交界, 温度可达1000°C以上。

- **低轨道卫星**: 高度在200 ~ 2000千米之间, 也称为近地轨道卫星。这个范围内的卫星受到大气的影响较大, 寿命相对较短, 但拍摄景物的图像分辨率高, 常用于侦察等任务。
- **中高轨道卫星**: 高度在2000 ~ 20000千米之间, 或更广泛地定义为1000千米到20000千米之间。这个范围内的卫星受到一定的大气影响, 寿命较长, 常用于地球资源探测等任务。
- **高轨道卫星**: 高度大于20000千米, 特别是地球同步卫星, 其高度约为36000千米。地球同步卫星的运行周期与地球自转周期相同, 因此相对于地面是静止的, 常用于通信、气象观测等任务。

电离层对外层空间的影响较大, 对遥感波段是透明的, 是陆地卫星活动空间。

外大气层空气极稀薄, 对卫星基本没有影响。

◆ 大气成分

大气由多种气体以及固态悬浮的微粒组合而成。主要包括**氮 (78.08%)**、**氧 (20.95%)** 和各种**微量气体** —— 如二氧化碳、甲烷、氧化氮、氢、臭氧、水汽等，在 80 km(电离层)以下的下层大气中所占的相对比例如下表：

不变成分		可变成分		
名称	%	名称	%	ppm (10^{-6})
N ₂	78.08	H ₂ O	0~4	
O ₂	20.95	CO ₂	0.036	365
Ar	0.93	CH ₄	0.00017	1.7
Ne	0.0018	N ₂ O	0.00003	0.3
He	0.0005	O ₃	0.000004	0.04
H ₂	0.00006	微粒(尘、灰等)	0.000001	0.01~0.15
Xe	0.000009	CFCs 氟里昂	0.00000002	0.0001





水汽: 约占大气总量的0.3%，主要分布在5 km以下(12km以上几乎无水汽)。水汽以气、云、雾、雨、雪、冰等各种形式出现，是造成天气现象的主角。大气中水汽的含量随气候、地点变化很大(约从0.1~3%)，尤其是在低层大气。

吸收红外线

CO₂: 主要分布于低层大气。在大气中的含量占0.03%左右。

吸收红外线

臭氧: 平流层，吸收紫外线

悬浮微粒: 指比分子大得多的大气粒子(半径0.01~20μm),如：尘埃、烟、花粉、微生物、海上盐粒、火山灰等固态气溶胶，以及液体水和固态水(冰粒)等，主要集中在紧靠地面几公里范围(0~5 km)的大气层中。吸收、散射

大气成分对太阳辐射的影响主要体现在吸收、散射和反射作用上



大气反射对太阳辐射的影响最大，对遥感信息的接收造成严重影响。因此，目前在大多数遥感方式中，都只考虑无云天气情况下的**大气散射**和**大气吸收**。

大气的净效应取决于路径长度、电磁辐射能量的强弱、波长、大气条件等。用于遥感的电磁辐射能量经大气传输后，其强度(能量衰减)和光谱分布均会发生变化。



• 大气散射

辐射中传播过程中遇到小颗粒而使传播方向发生改变，并向各个方向散开，这种现象称为散射。散射使得辐射在原传播方向减弱，其他方向的辐射增强。对于遥感传感器而言，太阳辐射经过与地物相互作用后，在进入传感器前，又会二次受到大气的反射与散射，同时经过两次散射的辐射同样会进入传感器。

大气散射强度与大气中微粒大小、含量、大气厚度和电磁波的波长等因素有关。





- **瑞利散射**: 当微粒的直径 $d \ll \lambda$ 时出现

又称为分子散射，大气中的**气体分子**对可见光的散射属此类；其散射强度与波长的4次方成反比：**波长越短、散射越强，且前向散射与后向散射强度相同。**如晴朗天空呈碧蓝色，就是由于大气中的气体分子把波长较短的蓝光散射到天空中的缘故。

颜色	红	橙	黄	绿	青	蓝	紫
波长	0.7	0.62	0.57	0.53	0.47	0.4	0.3
散射率	1	1.6	2.2	3.3	4.9	5.4	30.0

当散射率较高时，物体表面会呈现出白色或其他由于散射作用而产生的颜色，这是因为光线在遇到不均匀介质时，会被散射到各个方向，导致物体表面看起来较亮，颜色也更为分散。相反，当散射率较低时，物体表面的颜色会更加接近其固有的颜色，因为此时光线更多地是按照原来的方向反射或透射，而不是被散射到其他方向。





- **米氏散射**: 当微粒的直径 $d \approx \lambda$ 时发生的散射

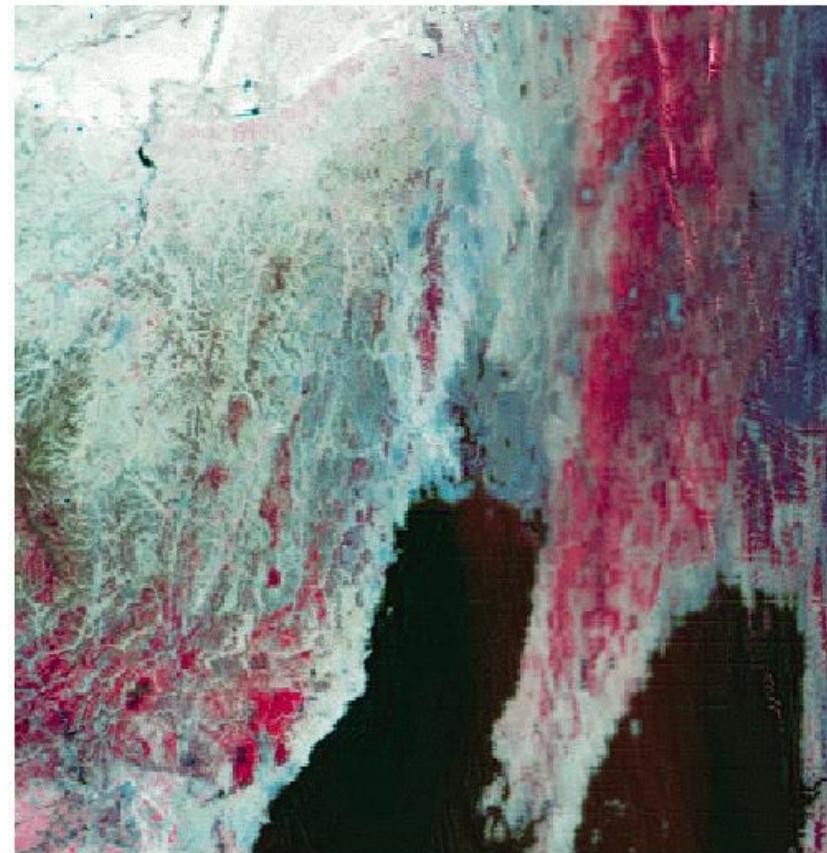
当大气中粒子的直径与辐射的波长相当时发生的散射。主要由大气中微粒，如烟尘、小水滴、气溶胶等引起。散射强度与频率的二次方成正比。米氏散射多在大气低层 0-5 km，其强度受气候影响较大。它叠加于瑞利散射之上，使天空变得阴暗。

- **非选择性散射**: 当微粒的直径 $d >> \lambda$ 时发生的散射

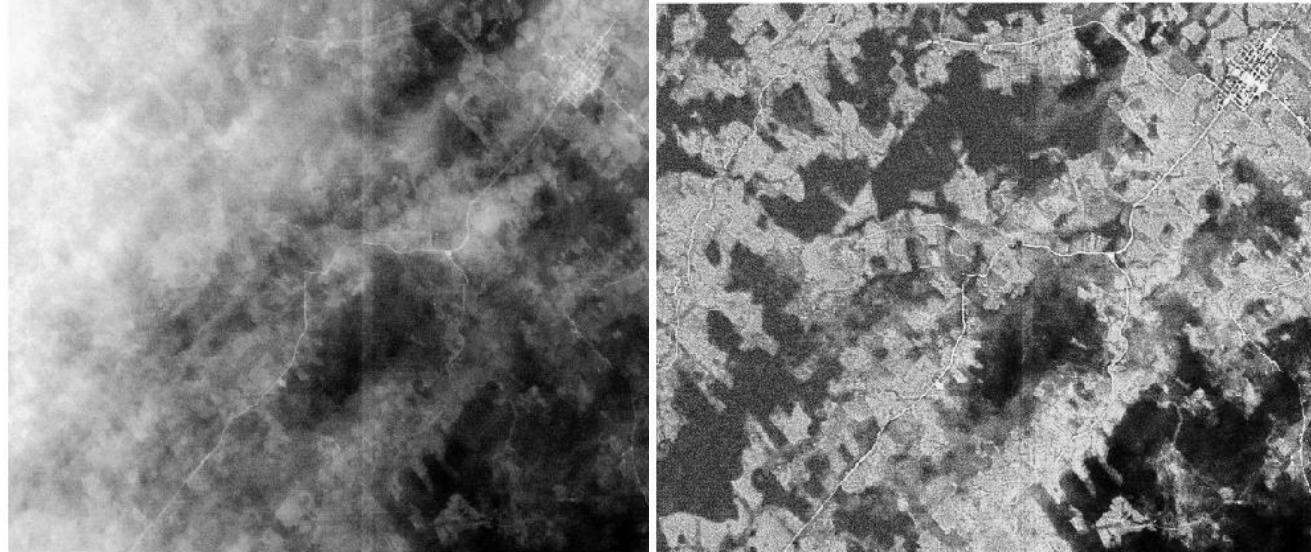
散射颗粒很大或电磁波的波长相对散射颗粒比较短，其散射强度与波长无关。大气中云、雾、尘埃（一般直径 5-100 μm ）的散射属此类。云、雾之所以看起来是白色，是因为它对各种波长的可见光散射均是相同的。



大气散射降低了太阳光直射的**强度**，改变了太阳辐射的**方向**，不同作用过程的散射增加了传感器接收的噪声信号，造成遥感图像的**辐射畸变、图像模糊**。



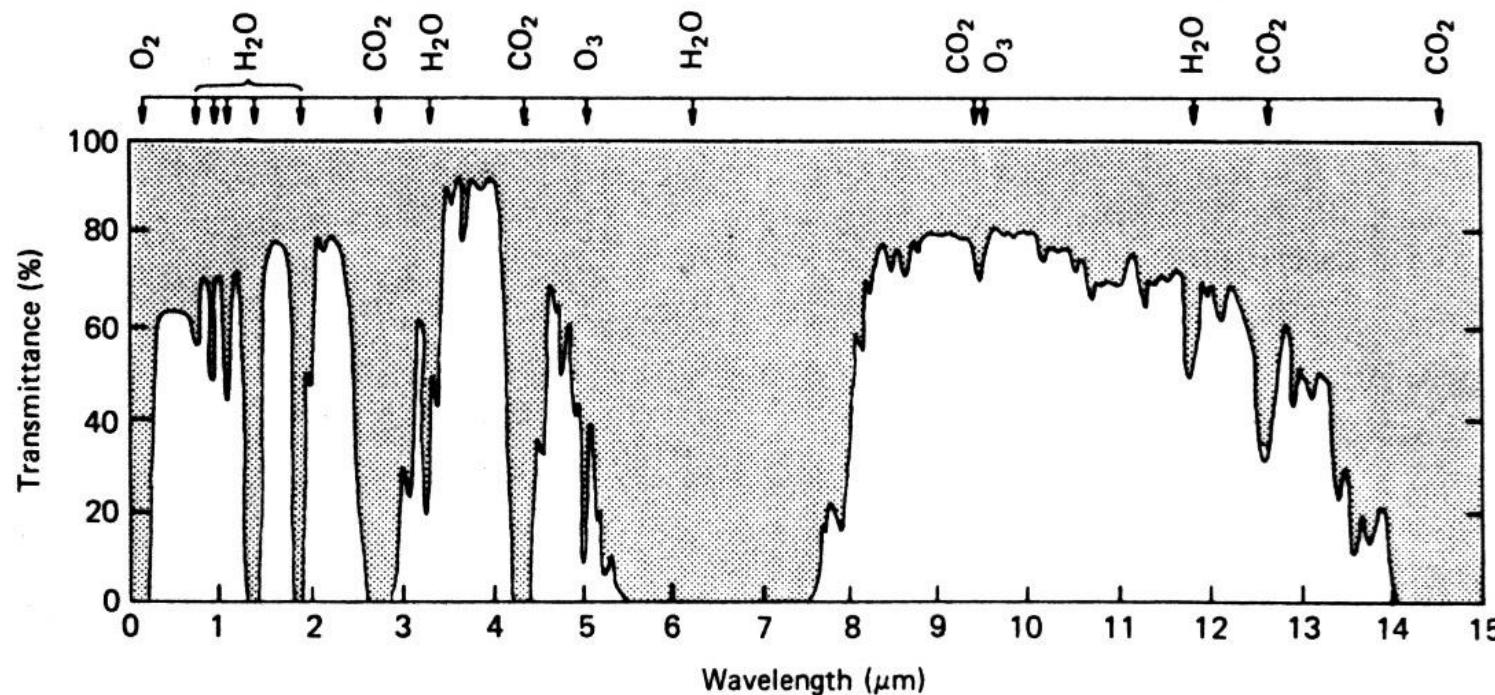
大气散射产生**天空散射光**，增强了地面的辐照和大气层本身的“亮度”；使人们有可能在阴影处得到物体的部分信息，使暗色物体表现得比它自身的要亮；降低了遥感影像的**反差**（对比度），降低了图像的**质量**（清晰度）及图像上空间信息的表达能力（**敏感度**）。



散射对低层大气尤为重要（约低于3 km，湿度大、气溶胶集中）。
大气散射主要集中在太阳辐射能量最强的可见光区。因此，散射是太阳辐射衰减的主要原因。

• 大气吸收

太阳辐射通过大气层时，**大气层中某些成分对太阳辐射产生选择性吸收**，使有些波段通过大气到达地面，而有一些波段则全部被吸收不能到达地面，因此造成了不同波段的大气吸收带。



大气中主要有 O_3 、 CO_2 和 H_2O 三种气体对太阳辐射能的吸收最强。

O_3 : 主要集中于20-30 km高度的平流层。在大气中数量较少(仅占0.01- 0.1 %)，但吸收很强。 (紫外、 $9.6\mu m$ 附近均有 O_3 强吸收带)

不影响航空遥感，影响航天遥感。

CO_2 : 主要分布于低层大气。在大气中的含量仅占0.03 %左右，人类的活动使之含量有所增加。 (2.7 、 4.3 、 $14.5\mu m$ 附近均有强吸收带)

主要影响红外，对太阳辐射的吸收可忽略。

H_2O : 水汽 (不包括固态水中的水滴) 一般出现在低空。它的含量随时间、地点的变化很大 (约从0.1-3 %) , 且水汽的吸收辐射是所有其它大气组分的吸收辐射的几倍. ($2.5-3$ 、 $5.5-7$ 、 $> 27\mu m$ 为强吸收带)

主要集中在红外和微波。



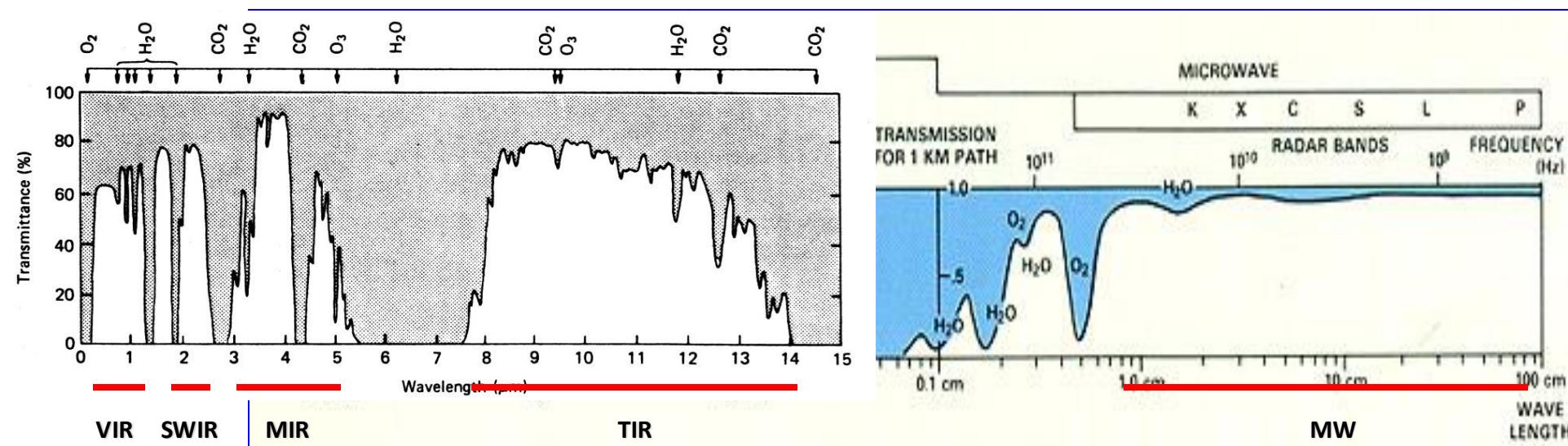
大气窗口

大气吸收作用相对较弱、透射率较高的波段。常用的大气窗口有：

VIR: $0.3\sim1.3 \mu\text{m}$; **SWIR:** $1.5\sim1.8 \mu\text{m}$ 、 $2.0\sim2.6 \mu\text{m}$;

MIR: $3.0\sim5.0 \mu\text{m}$; **TIR:** $8\sim14 \mu\text{m}$;

MW: 8 mm附近开始、频率 $<20 \text{ GHz}$ （即 Ku--X--C--S--L—P 波段）。



大气遥感 则利用大气的吸收波段，研究大气的状态（如温度、水汽、臭氧等的分布状况，垂直、水平变化规律）

• 大气衰减

电磁波在大气中传播时，因大气的吸收和散射使强度减弱，又称消光，可用衰减系数 k 和 透射率 τ 表示为：

$$\tau = \frac{E'}{E} = e^{-kx} \quad (\text{晴天 } \tau \approx 0.7, \text{ 阴天 } \tau \approx 0.4)$$

式中， E 为太阳辐照度； E' 为经大气路径 x 衰减后的辐照度； k 为衰减系数（消光系数），单位为 m^{-1} ，它是吸收系数 α 与散射系数 r 之和； kx 为光学厚度，当辐射强度减弱到 $1/e$ 时，光学厚度定义为 1。

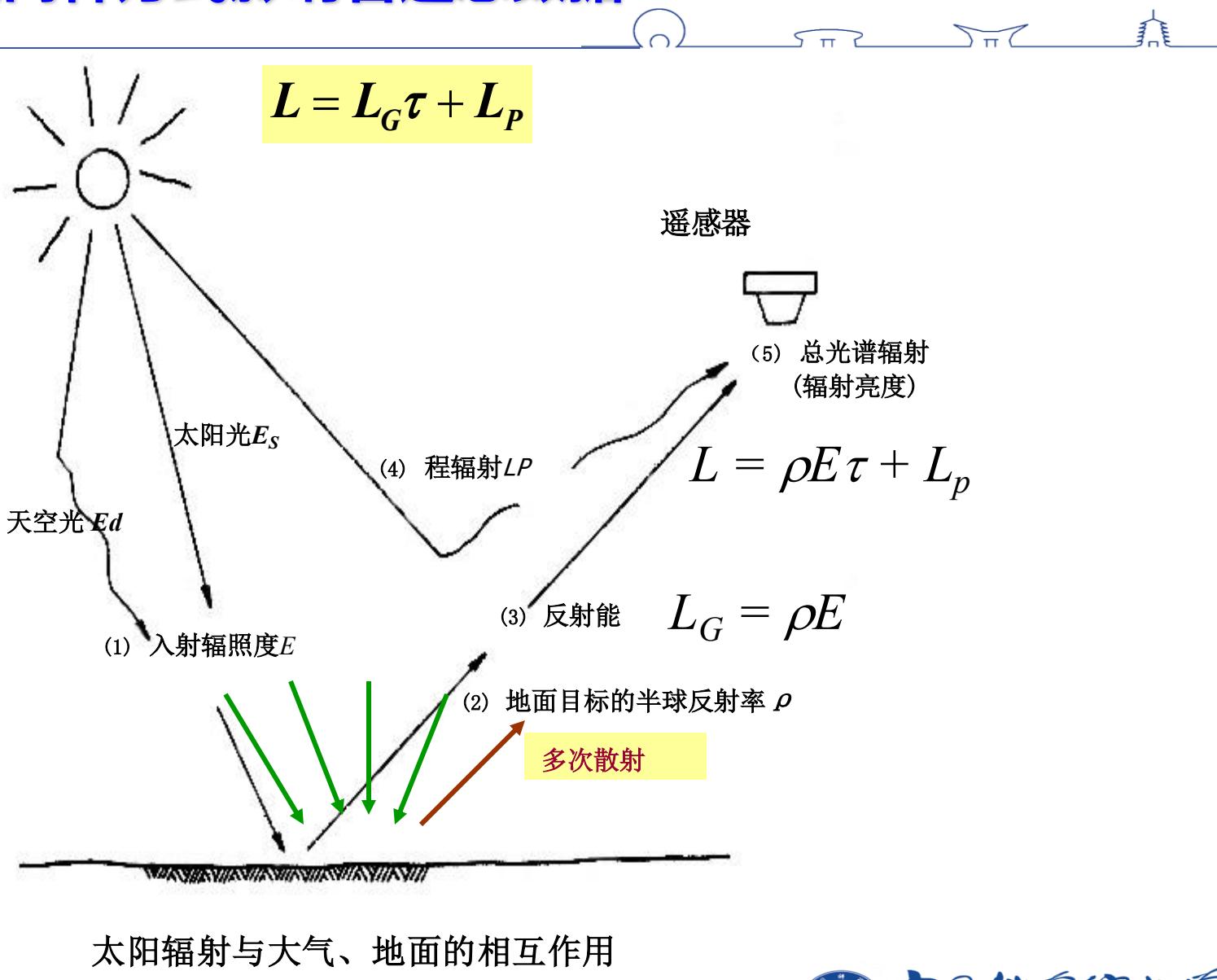
大气衰减的数值取决于大气状况、电磁波的波长和路径长度。

- 在可见光波段，能量衰减主要因 **散射** 引起，吸收少（仅占 3%）；
- 在更长的波段上，主要的大气影响是 **吸收**，而不是散射；
- 对于热红外波段，**大气自身的发射** 是大气效应中重要的部分。



对于VIS-NIR波段，大气以两种方式影响着遥感数据

- **大气的吸收、散射作用**使到达地面目标的太阳辐射能量和从目标反射的能量均衰减（与透过率 τ 相关）；
- **大气本身作为一个散射体的程辐射 L_p** ，使能量增加（与目标无关），它是波长、大气路径、光学厚度、入射和观测角度等的函数。



对于热红外波段，到达传感器的热红外辐射主要包括：

假设地表为朗伯体，热辐射传输方程可简化为：

$$L_\lambda = \underbrace{B_\lambda(T_g)\varepsilon_\lambda\tau_{0\lambda}}_{①} + \underbrace{L_{0\lambda}^{\uparrow}}_{②} + \underbrace{(1-\varepsilon_\lambda)L_{0\lambda}^{\downarrow}\tau_{0\lambda}}_{③}$$

式中， L_λ 为传感器所接收的波长 λ 的热红外辐射亮度；

$B_\lambda(T_g)$ 为地表物理温度为 K 时的黑体辐射亮度；

ε_λ 为波长 λ 的地表比辐射率；

$\tau_{0\lambda}$ 为从地面到传感器的大气透过率；

$L_{0\lambda}^{\uparrow}$ 、 $L_{0\lambda}^{\downarrow}$ 为波长 λ 的大气上行和大气下行辐射。

- ① 地表热红外辐射经大气衰减到达传感器
- ② 大气上行辐射项
- ③ 大气下行辐射经地表反射后再通过大气衰减到达传感器



这些作用不仅影响遥感传感器接收信号的强度和质量，而且还需要通过建立大气的数学模型来解决大气对信号的影响。



为了从遥感图像数据中提取真实地表信息，必须对传感器进行大气校正。这是定量遥感的必要条件之一。

遥感图像中的大气影响主要来源于大气分子散射、吸收、以及气溶胶散射和吸收几个部分。

大气校正就是消除这些大气效应（吸收、散射等）的处理。

由此可见，研究大气效应所用的大多数参数均与波长、时间、地点、大气条件（最主要的是气溶胶、水汽含量、云量的变化）、层厚度、太阳天顶角、观察角度等有关。

大气校正模型



- ◆ 基于图像特征模型
- ◆ 地面线性回归经验模型
- ◆ 基于大气辐射传输模型



基于图像特征模型

即通过简单的假设，不需要进行实际地面光谱及大气环境参数的测量，仅利用图像自身信息，对遥感数据进行部分大气校正。

暗目标法（或“零反射地表假设”）

$$L = L_G \tau + L_P$$

如把图像中‘清水’当作暗目标，假设‘清水’的反射率为0 ($L_G=0$)，则遥感器接收到的‘清水’辐射(L)全部来自大气，将水体的像元值看成是大气程辐射(L_P)，便可将遥感图像中来自地表的辐射和来自大气的辐射分离，即图像各波段都减去‘清水’的亮度值。

基于图像特征方法往往假设地表朗伯体、大气水平均一，因此，仅适于较小范围，且校正后的图像均存在不同程度的误差---如暗目标法未考虑观测角度的变化（宽幅图像的观测角是不同的，大气散射是观测角度的函数），未考虑暗目标地表的方向反射率，因此不能用于大幅宽的图像。

在许多遥感应用中，当不一定需要绝对的高精度的辐射校正，这种基于图像的相对校正可满足多时相图像数据间的可比性，满足部分应用的需求。

不能满足定量遥感（参数反演等）的要求。



地面同步测量法

建立遥感影像上特定地物**灰度值**与成像时（同步）相应地面地物反射光谱测量值之间的**回归方程**，对整幅遥感图像进行校正。

这类模型简单实用，但需进行实地**同步**定标点的光谱测量，且对地面定标点的要求较严格（均匀、平坦，一般面积 \geq 1个像元， 2×2 像元为好）。

- 选取特定地物 --- 高温、高反射率（如 裸露沙地 等）
中温、中反射率（如 均匀草地 等）
低温、低反射率（如 水体 等）
- 天气条件要求：总云量 $< 20\%$ ，风速 $< 3 \text{ m/s}$, 能见度 $> 5 \text{ km}$ 。

此法未考虑多次散射作用和邻近效应，不适用于混浊大气。



地表反射率的标定



以山东禹城中国科学院遥感实验场开展的陆地卫星NOAA卫星影象图的地面定标试验为例，介绍卫星影象图反射率的标定方法。



定标样地的选择



首先在该试验区及其周围地区选择了高、中、低反射率靶场：

高反射率样地：落在黄河放淤灌溉的沉沙池。该沙地南北长约3km，东西宽约1.5km，场的表面沙质，微地形较均匀，在黄淮海地区是较为理想的高反射率靶场。

中反射率样地：选择在离沉沙地不远的小麦地，其面积比沉沙池小一些，小麦长势比较均匀，东西宽约1.5km，南北长约1km。

低反射率样地：应选在大水体。但因该水体与上面两个样地相距较远且有一条黄河之隔，观测不甚方便，所以选择在河床较宽的黄河河面。这对于陆地卫星影像图是可以满足的。



定标转换方程的建立

为达到反射率同步观测最大时间差值不超过 10^2 分钟的要求，利用巡回检测的方法，在沙地观测后迅速转移到小麦地及黄河河面去观测。

获得具有代表性的地表反射率与影像图相应像元亮度值之间的转换方程，最重要的是取得地面样地的具有代表性的反射率值，为此，设计的观测规范规定了必要的观测次数，10秒内（每次启动快门）连续测量8次，在10分钟测量15个重复，这样实际上就是测量120个重复，将这120条光谱曲线进行平均，其平均值代表该靶场的反射率值（ ρ ）。

对应地面靶场的某像元的灰度值（DN）是由卫星数字影像图中获得。





TM2 $\rho=0.026DN-0.735$ $r=0.999$

TM3 $\rho=0.018DN-0.568$ $r=0.999$

TM4 $\rho=0.018DN-0.498$ $r=0.887$

根据这些多波段的卫星资料与地面资料相关方程，可以把影像图的每一级灰度转换为反射率，这就是同步观测和地面标定的基本作用。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

基于大气辐射传输模型

要考虑的物理过程：

(1) **太阳直接辐射** (短波) 经大气的散射、吸收，能量衰减，--

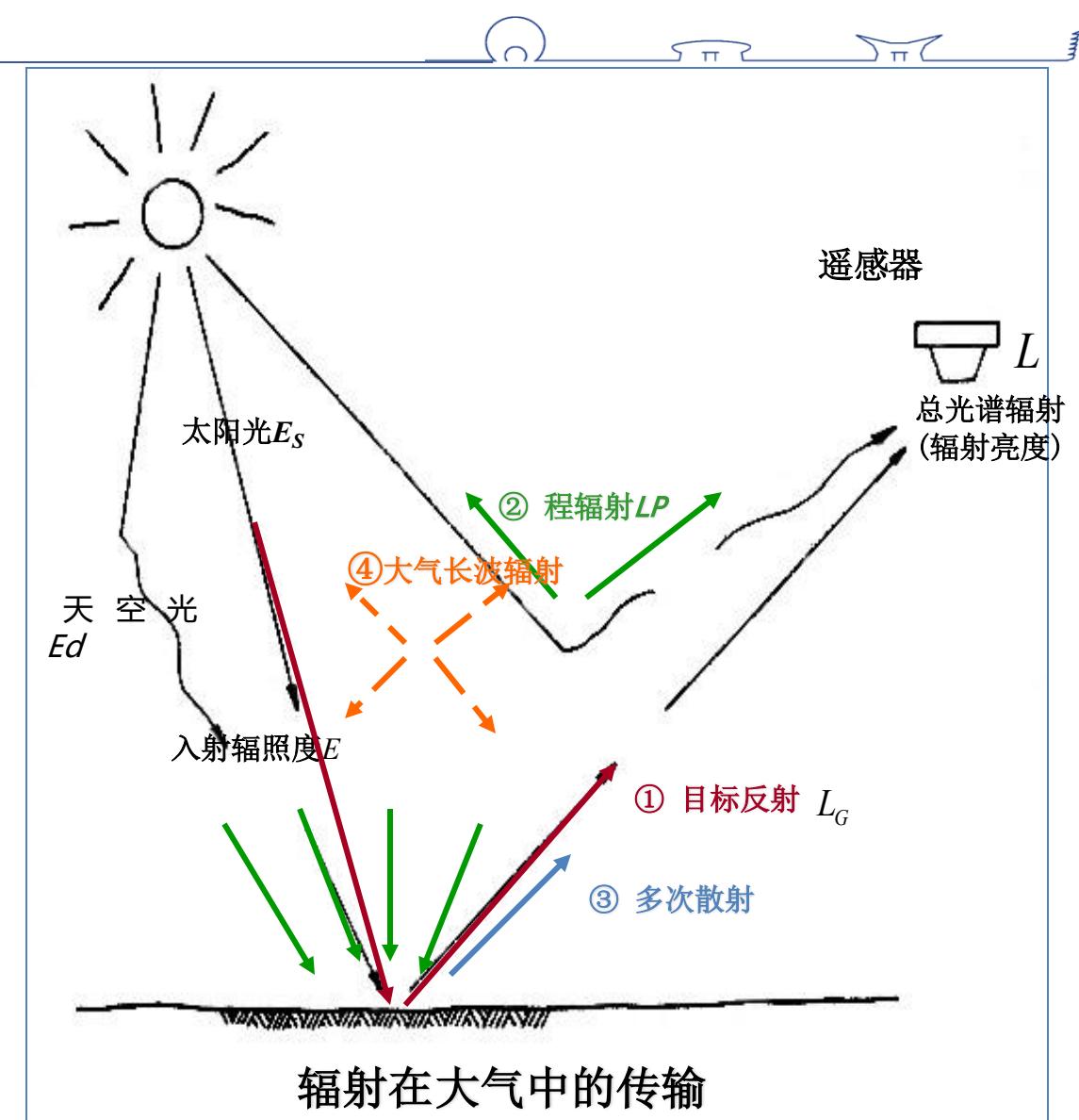
目标反射；

(2) **大气短波散射** - 大气对太阳辐射的多次散射。

其上行(↑)进入传感器的部分 --**大气程辐射**；

(3) **散射**下行部分(↓)为**天空辐射** (天空光--来自整个半球天空)；与地面相互作用及**多次散射**；

(4) **大气长波辐射**
大气自身发射的能量(↑↓)





目前已发展了多种可用的大气辐射传输模型，如：**6S** (VIS-NIR 波长 $< 4 \mu\text{m}$) 、**Modtran** (VIS-TIR) 等。它们都能较合理地描述大气散射、吸收、发射等过程。

- 需要一系列**大气环境参数**的支持。由于大气参数本身的**随机性**（特别是对 VIS-IR 辐射传输影响最大的气溶胶和水汽时空变化很大），使大气参数的精确测定与计算难度大，这直接影响到校正模式的准确性。
- **模型往往被简化**，如：假设地面为朗伯面、大气水平均一、排除云的存在、运用各种条件下的标准大气模式及大气气溶胶模式（由实验数据积累和理论研究归纳而成）等，这也直接影响到校正模式的准确性。



大气校正流程：

在6S大气校正软件中需要输入的主要参数有：

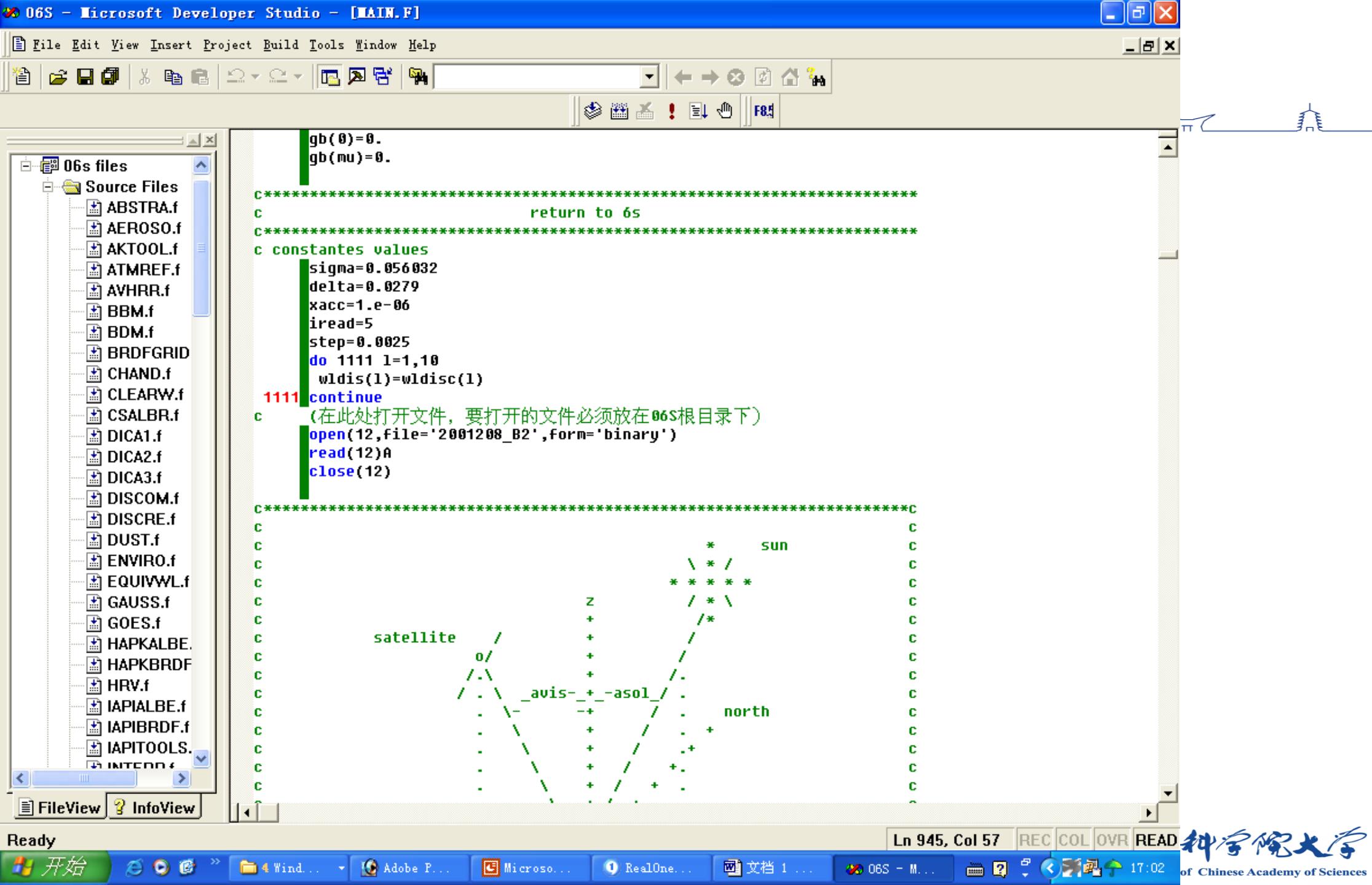
- **太阳天顶角、太阳方位角、卫星天顶角、卫星方位角。** 若没有计算出这些角度，可以输入卫星轨道与时间参数来代替。
- **大气组分参数，包括水汽、灰尘颗粒度等参数。** 若没有当地很精确的数据，可以采用6S提供的标准模型来替代。
- **气溶胶组分参数，** 包括水分含量以及烟尘、灰尘等在空气中的百分比等参数。同样，若没有当地很精确的数据，可以采用6S提供的标准模型来替代。
- **气溶胶的大气路径长度，** 一般可用当地的能见度参数表示，由于能见度指标在同一地区一天内不同时段会有变化，从气象局可以获得每天四个不同时段的能见度数据。





- 观测目标的**海拔高度**。
- **传感器高度**，对于卫星遥感均用-1000km缺省代表最大值。
- **光谱条件**，可以直接输入光谱波段范围，也可以将传感器波段作为输入条件。
- **其它参数**，若是朗伯体大气校正，采用上式可以直接得到经过朗伯体大气校正后的地面反射率，这时需要输入像元的光谱值。





File Edit View Insert Project Build Tools Window Help

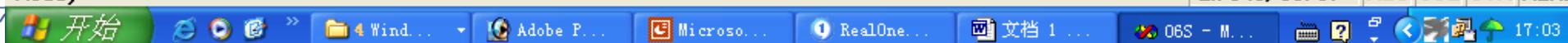


FileView InfoView

- 06s files
 - Source Files
 - ABSTRA.f
 - AEROSO.f
 - AKTOOL.f
 - ATMREF.f
 - AVHRR.f
 - BBM.f
 - BDM.f
 - BRDFGRID
 - CHAND.f
 - CLEARW.f
 - CSALBR.f
 - DICA1.f
 - DICA2.f
 - DICA3.f
 - DISCOM.f
 - DISCRE.f
 - DUST.f
 - ENVIRO.f
 - EQUIVWL.f
 - GAUSS.f
 - GOES.f
 - HAPKALBE.f
 - HAPKBRDF.f
 - HRV.f
 - IAPIALBE.f
 - IAPIBRDF.f
 - IAPITOOLS.f
 - INTRO.f

```
c      note:      for hrv and tm experiments long. and lat. are the      c
c      coordinates of the scene center.                                c
c      lat. must be > 0 for north lat., < 0 for south lat.      c
c      long. must be > 0 for east long., <0 for west long.      c
c
c      solar and viewing positions are computed                  c
c
c*****read(iread,*) igeom
c      igeom=0
c      goto(1001,1002,1003,1004,1005,1006,1007),igeom
c      igeom=0.....
c      read(iread,*) asol,phi0,avis,phiv,month,jday
c      (请在此处输入asol太阳天顶角, phi0太阳方位角, avis卫星天顶角, phiv 卫星方位角, month, jday时间
c      asol= 40
c      phi0= 15
c      avis= 5
c      phiv= 15+37
c      month=7
c      jday=27
c      goto 22
c
c      1001 read(iread,*) month,jday,tu,nc,nl
c      call posmto(month,jday,tu,nc,nl,
c      1           asol,phi0,avis,phiv,xlon,xlat)
c      goto 22
c      1002 read(iread,*) month,jday,tu,nc,nl
c      call posge(month,jday,tu,nc,nl,
c      1           asol,phi0,avis,phiv,xlon,xlat)
c      goto 22
c      1003 read(iread,*) month,jday,tu,nc,nl
c      call posgw(month,jday,tu,nc,nl,
c      1           asol,phi0,avis,phiv,xlon,xlat)
c      goto 22
c      1004 read(iread,*) month,jday,tu,nc,xlonan,hna
c      campm=1.0
c      /*posgw/month, jday, tu, nc, xlonan, hna
c      campm=1.0
c      asol,phi0,avis,phiv,xlon,xlat*/
```

Ready



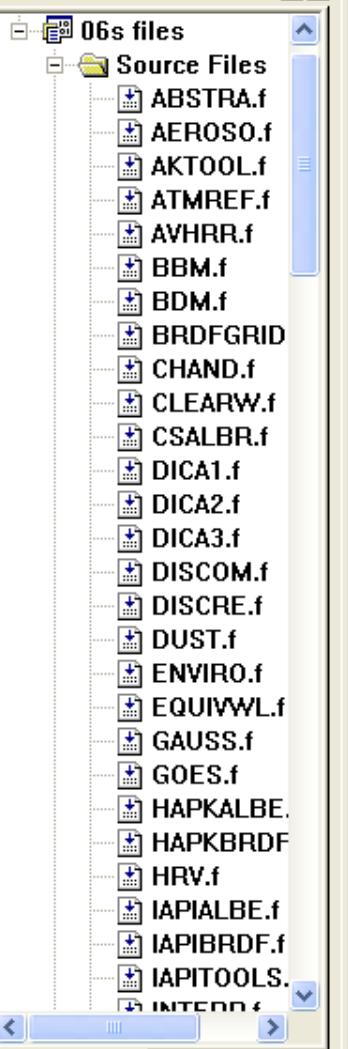
Ln 945, Col 57

REC COL OVR READ

File Edit View Insert Project Build Tools Window Help



F8.5



```
*****
c xps is the parameter to express the altitude of target
c
c
c           xps >=0. means the target is at the sea level
c
c           xps <0. means you know the altitude of the target
c                   expressed in km and you put that value as xps
c
c
*****
c   read(iread,*)
c   (输入观测目标的高程, 内蒙古高原的平均高程约为1200m)
c   xps=-1.2
c   if (xps.ge.0.) then
c     xps=0.
c     uwus=1.424
c     uo3us=0.344
c   else
c     if (idatm.ne.8) then
c       call pressure(uw,uo3,xps)
c     else
c       call pressure(uwus,uo3us,xps)
c     endif
c   endif
c
*****
c   xpp is the parameter to express the sensor altitude
c
c           xpp= -1000 means that the sensor is a board a satellite
c           xpp=      0 means that the sensor is at the ground level
c
c
c   for aircraft simulations
c   -100< xpp <0 means you know the altitude of the sensor expressed
c                   in Kilometers units
```

FileView InfoView

Ready

Ln 945, Col 57

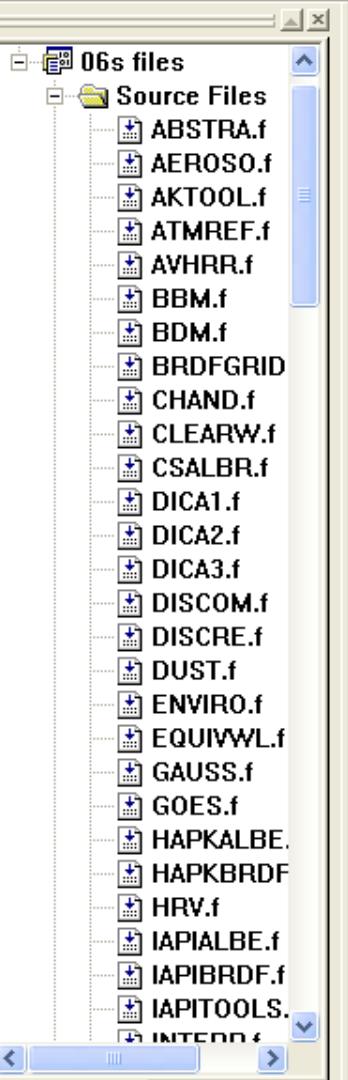
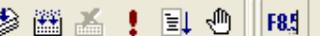
REC COL OVR READ



File Edit View Insert Project Build Tools Window Help



FileView InfoView



```
c      taerp      (the aerosol optical thickness at 550nm between the c
c      aircraft and the surface)                                c
c      if these data are not available, enter negative values for all c
c      of them, puw,po3 will then be interpolated from the us62 standard c
c      profile according to the values at ground level. Taerp will be   c
c      computed according to a 2km exponential profile for aerosol.    c
c*****
c      read(iread,*) xpp
c      (输入卫星的高度, 对于航天卫星它的值总是-1000)
c      xpp=-1000
c      xpp=-xpp
c      if (xpp.le.0.0) then
c          ground measurement option
c          palt=0.
c          pps=p(1)
c          idatmp=0
c          taer55p=0.
c          puw=0.
c          puo3=0.
c          else
c          if (xpp.ge.100.) then
c              satellite case of equivalent
c              palt=1000.
c              pps=0.
c              taer55p=taer55
c              ftray=1.
c              idatmp=4
c              else
c              "real" plane case
c              read(iread,*) puw,puo3
c              if (puw.lt.0.) then
c                  call presplane(puw,puo3,xpp,ftray)
c                  idatmp=2
c                  if (idatm.eq.8) then
c                      puwus=puw
c                      puo3us=puo3
c*****
```

Ready

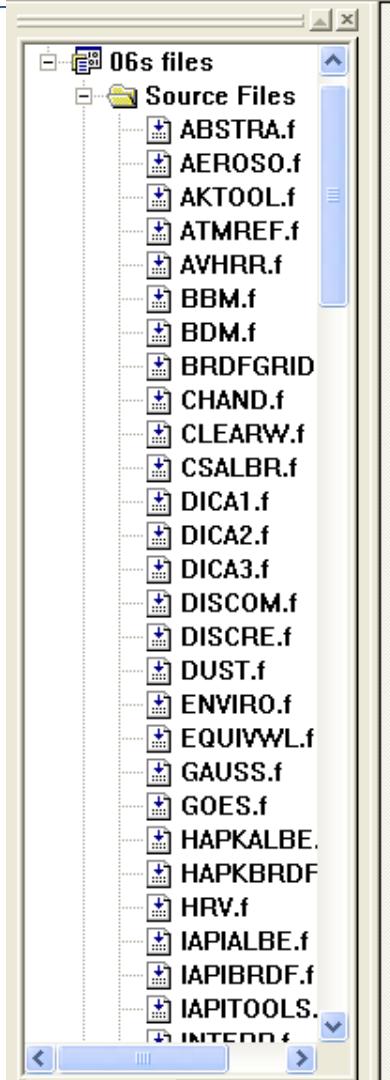
Ln 945, Col 57

REC COL OVR READ

File Edit View Insert Project Build Tools Window Help



F8.5



```
c 16 2nd   "    ( 0.600-1.120 )
c 17 1st band of hrv1(spot1) ( 0.470-0.650 )
c 18 2nd   "    ( 0.600-0.720 )
c 19 3rd   "    ( 0.730-0.930 )
c 20 pan   "    ( 0.470-0.790 )
c 21 1st band of hrv2(spot1) ( 0.470-0.650 )
c 22 2nd   "    ( 0.590-0.730 )
c 23 3rd   "    ( 0.740-0.940 )
c 24 pan   "    ( 0.470-0.790 )
c 25 1st band of tm(landsat5) ( 0.430-0.560 )
c 26 2nd   "    ( 0.500-0.650 )
c 27 3rd   "    ( 0.580-0.740 )
c 28 4th   "    ( 0.730-0.950 )
c 29 5th   "    ( 1.5025-1.890 )
c 30 7th   "    ( 1.950-2.410 )
c 31 1st band of mss(landsat5) ( 0.475-0.640 )
c 32 2nd   "    ( 0.580-0.750 )
c 33 3rd   "    ( 0.655-0.855 )
c 34 4th   "    ( 0.785-1.100 )
c 35 1st band of MAS (ER2)   ( 0.5025-0.5875 )
c 36 2nd   "    ( 0.6075-0.7000 )
c 37 3rd   "    ( 0.8300-0.9125 )
c 38 4th   "    ( 0.9000-0.9975 )
c 39 5th   "    ( 1.8200-1.9575 )
c 40 6th   "    ( 2.0950-2.1925 )
c 41 7th   "    ( 3.5800-3.8700 )
c 42 MODIS band 1   ( 0.6100-0.6850 )
c 43 MODIS band 2   ( 0.8200-0.9025 )
c 44 MODIS band 3   ( 0.4500-0.4825 )
c 45 MODIS band 4   ( 0.5400-0.5700 )
c 46 MODIS band 5   ( 1.2150-1.2700 )
c 47 MODIS band 6   ( 1.6000-1.6650 )
c 48 MODIS band 7   ( 2.0575-2.1825 )
c 49 1st band of avhrr(noaa12) ( 0.500-1.000 )
c 50 2nd   "    ( 0.650-1.120 )
c 51 1st band of avhrr(noaa14) ( 0.500-1.110 )
c 52 2nd   "    ( 0.650-1.120 )
```

FileView InfoView

Ready

Ln 945, Col 57

REC COL OVR READ



```

c           surface reflectance (rog) that will produce a radiance c
c           equal to rapp [w/m2/str/mic] in the atmospheric      c
c           conditions described by user before                 c
c
c           if -1.<rapp<0. : the code retrieve the value of the      c
c           surface reflectance (rog) value that will produce a      c
c           'reflectance' (radiance*pi/(mus*es)) equal to -rapp      c
c           where mus is the cosine of solar zenith angle,        c
c           es is the solar constant integrated upon the          c
c           filter response and taking account for earth-solar    c
c           distance, es is in [w/m2/sr/mic].                      c
c
c ****
c   (在此读入象元的光谱值)
c   read(iread,*) rapp
c   rapp=3.1415*A(pixelnum)/COS(30.57)/1353
c   rapp=A(pixelnum)

c ****
c
c           example of input cards
c
c   4                               (avhrr observation)
c   7 6 10.1 600 0.0 10.0       (month,day,htu,cn,longan,han)
c   8                               (user's model)
c   3.0   0.35                  ( uh2o(g/cm2) ,uo3(cm-atm) )
c   4                               (aerosols model)
c   0.25  0.25  0.25  0.25     ( % of:dust-like,water-sol,oceanic,soot)
c   23.0                           (visibility (km) )
c   -0.5                           (target at 0.5km high)
c   -1000                          (sensor aboard a satellite)
c   6                               (avhrr 2 (noaa 8) band)
c   1                               (ground type,i.e. non homogeneous)
c   2     1     0.50             (target,env.,radius(km) )
c   -0.10                          (atmospheric correction mode for a TOA
c                                reflectance equal to 0.10)

```

File Edit View Insert Project Build Tools Window Help



F8

06s files

- Source Files
 - ABSTRA.f
 - AEROSO.f
 - AKTOOL.f
 - ATMREF.f
 - AVHRR.f
 - BBM.f
 - BDM.f
 - BRDFGRID
 - CHAND.f
 - CLEARW.f
 - CSALBR.f
 - DICA1.f
 - DICA2.f
 - DICA3.f
 - DISCOM.f
 - DISCRE.f
 - DUST.f
 - ENVIRO.f
 - EQUIVWL.f
 - GAUSS.f
 - GOES.f
 - HAPKALBE.f
 - HAPKBRDF
 - HRV.f
 - IAPIALBE.f
 - IAPIBRDF.f
 - IAPITOOLS.f
 - INTERNAL.f

```

rog=rapp/tgasm
rog=(rog-ainr(1,1)/tgasm)/sutott/sdtott
rog=rog/(1.+rog*sast)
xa=pi*sb/xmus/seb/tgasm/sutott/sdtott
xb=srotot/sutott/sdtott/tgasm
xc=sast

c     write(iwr, 940)
c     write(iwr, 941)rapp
c     write(iwr, 942)xrad
c     write(iwr, 943)rog
c     write(iwr, 944)xa,xb,xc
c (记录大气校正后的光谱值结果)
endif
B(pixelnum)=rog
3000 continue
open(13,file='2001208_B2_COR',form='binary')
write(13)B
stop

C*****
c
c          output editing formats
c
c
C*****
98 Format(////,1h*,30(1h*),16h 6s version 4.1 ,30(1h*),t79
           ,1h*,/,1h*,t79,1h*,/
           1h*,22x,34h geometrical conditions identity ,t79,1h*,/
           1h*,22x,34h ----- ,t79,1h*)
181 Format(1h*,15x,7h month:,i3,7h day : ,i3,
           16h universal time:,f6.2,
           10h (hh.dd) ,t79,1h*,/
           1h*, 15x,10hlatitude: ,f7.2,5h deg ,6x,
           12h longitude: ,f7.2,5h deg ,t79,1h*)
102 Format(1h*,2x,22h solar zenith angle: ,f6.2,5h deg ,
           20h solar azimuthal angle: ,f6.2,5h deg ,t79,1h*)

```

FileView InfoView

开始



Ln 2285, Col 27 REC COL OVR READ



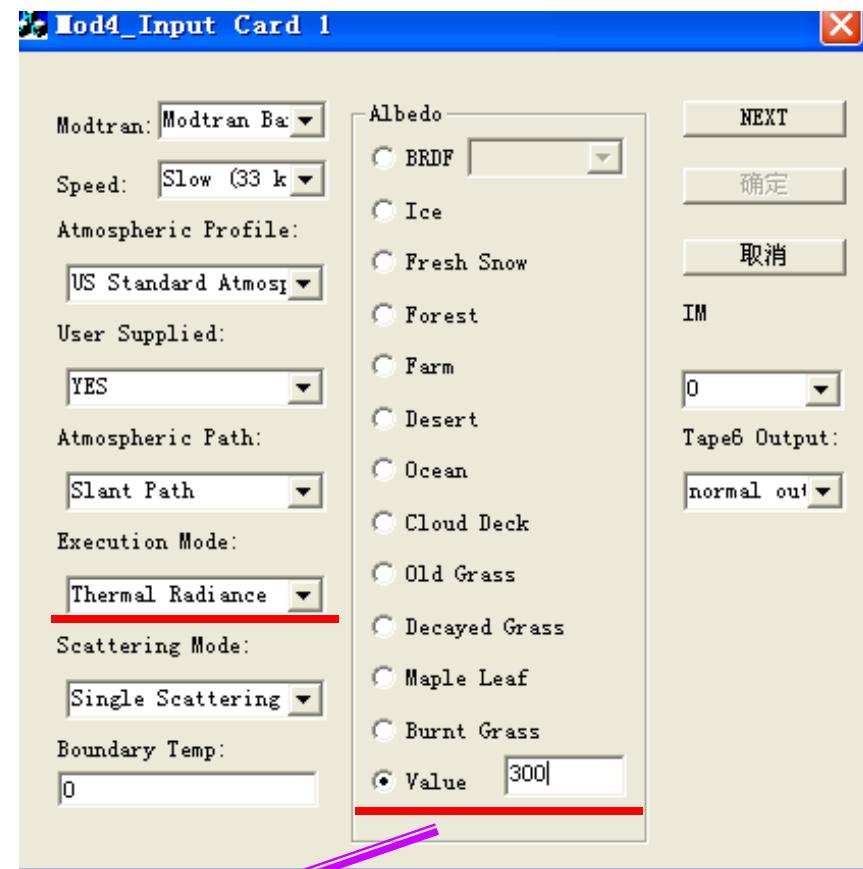
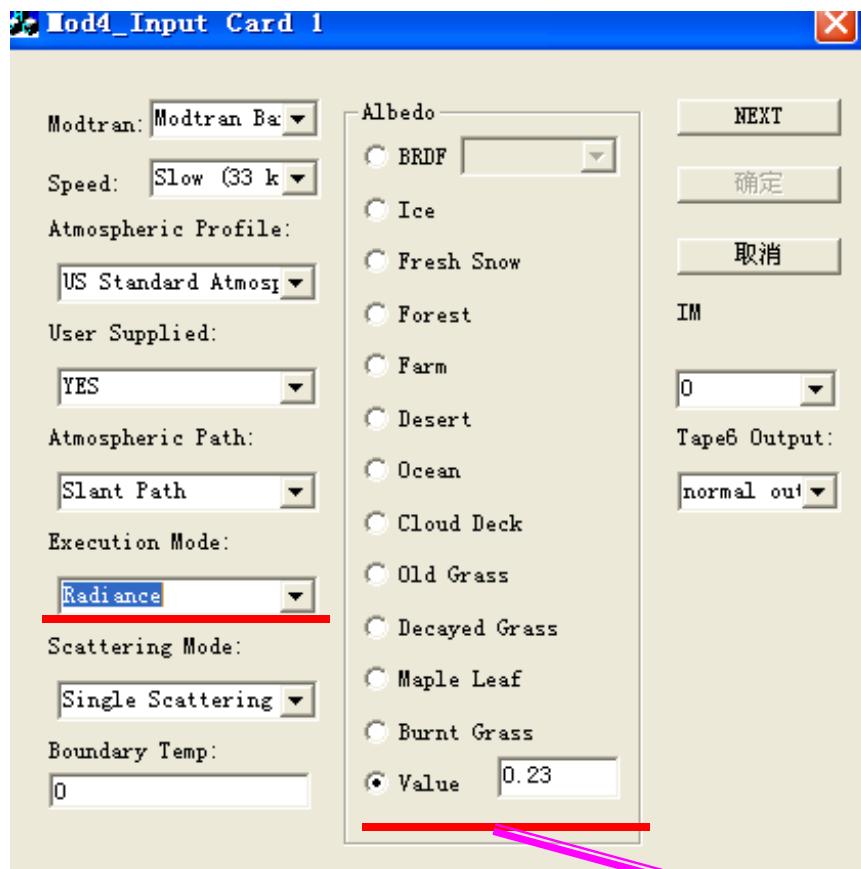
MODTRAN模型介绍

MODTRAN大气校正软件既适用于VNIR（可见光/近红外）波段的大气校正软件，也适用于热红外波段的大气校正。MODTRAN只有正向工作状态，即只能根据输入参数计算传感器接收的辐射亮度。



$$\rho_{TOA}(\mu_s, \mu_v, \phi) = \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi) + \frac{T(\mu_s)T(\mu_v)\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)}{[1 - \rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)S]}$$

$$L_\lambda = B_\lambda(T_g) \varepsilon_\lambda \tau_{0\lambda} + L_{0\lambda}^{\uparrow} + (1 - \varepsilon_\lambda)L_{0\lambda}^{\downarrow} \tau_{0\lambda}$$



输入地表实测值



可见光/近红外波段



在可见光/近红外波段，大气（包括大气分子和气溶胶）对辐射的消光包括**散射和吸收**，改变了传感器接收到的地表反射辐射能量。在可见光波段，主要以大气分子和气溶胶散射为主，而在近红外波段和短波红外，主要是水汽的吸收。

大气对可见光/近红外波段遥感数据的影响主要有两个：

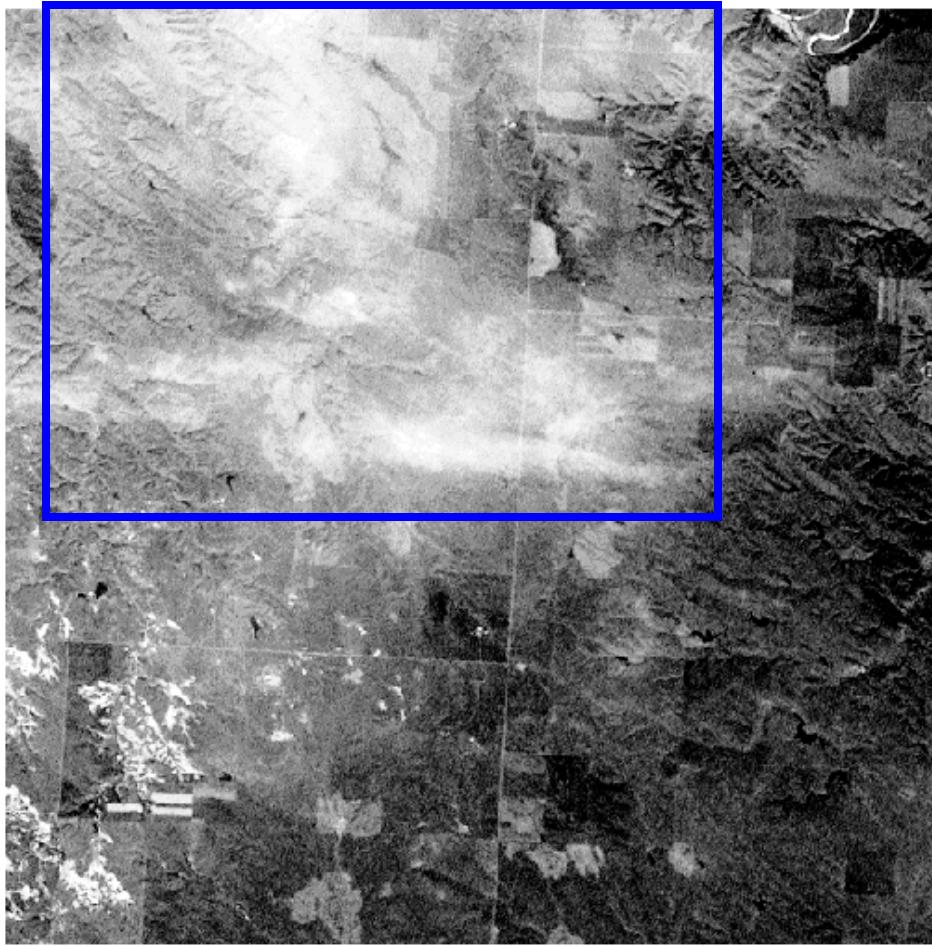
- 由于地表反射信号的散射和吸收使图像的**灰度级降低**；
- 由于大气的程辐射以及对环境辐射的散射，使像元间反差降低，造成**图像模糊**。

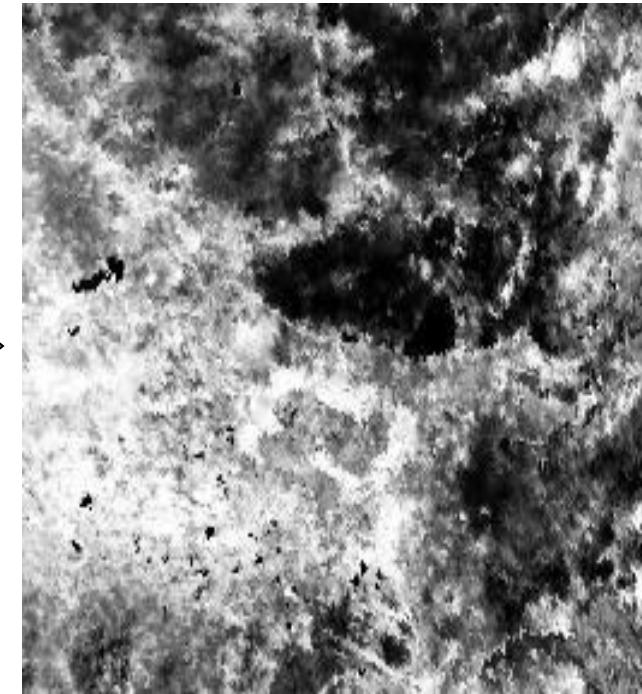
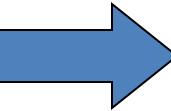
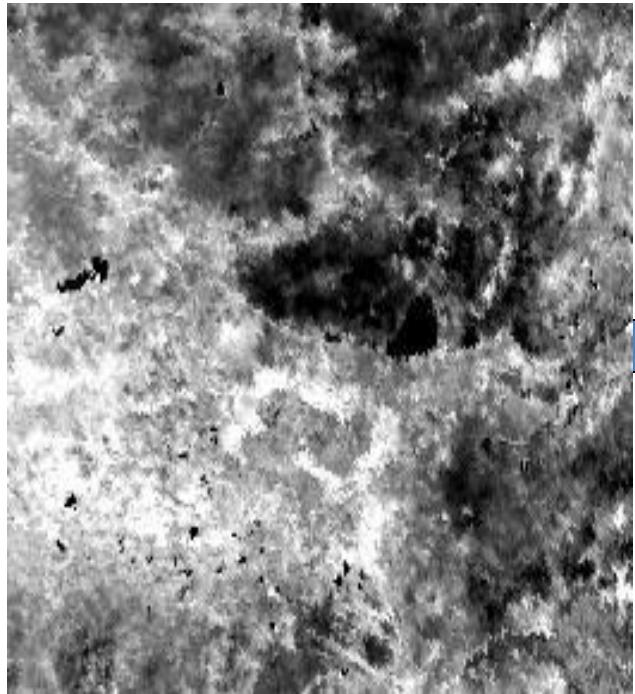


假设反射表面为朗伯体的条件下，可见光/近红外波段采用如下大气传输方程：

$$\rho_{TOA}(\mu_s, \mu_v, \phi) = \rho_0(\mu_s, \mu_v, \phi) + \frac{T(\mu_s)T(\mu_v)\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)}{[1 - \rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)S]}$$

式中， ρ_{TOA} 为大气顶部反射率； ρ_0 为反射单元的路径辐射； $T(\mu_s)$ 是入射太阳光谱从大气顶部到地表沿路径的总透过率； $T(\mu_v)$ 由地表到大气顶部沿传感器观测方向的总透过率； $\rho_s(\mu_s, \mu_v, \phi)$ 是无大气条件下的表面反射率； S 是大气对各向同性入射光的反射率； μ_s 是太阳天顶角的余弦值； μ_v 是观测方向角的余弦值； ϕ 是太阳天顶角和观测方向角的相对方位角。





热红外波段



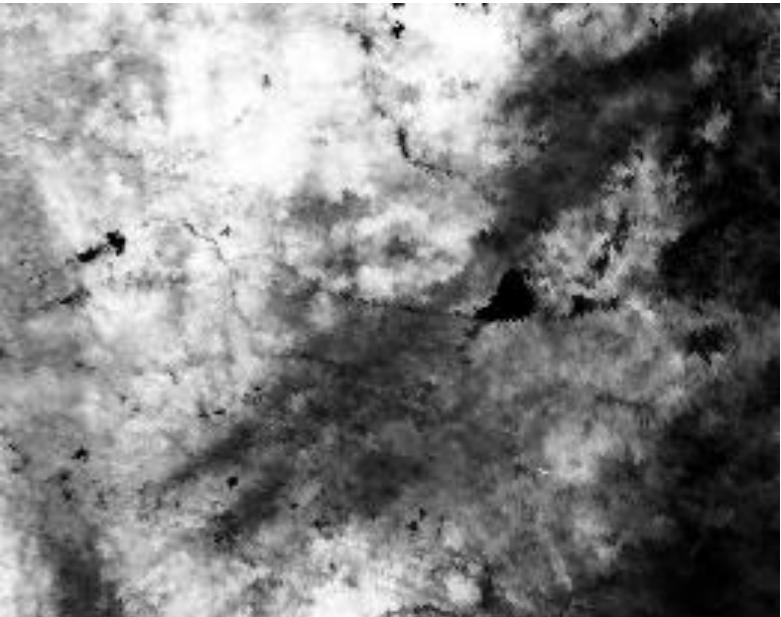
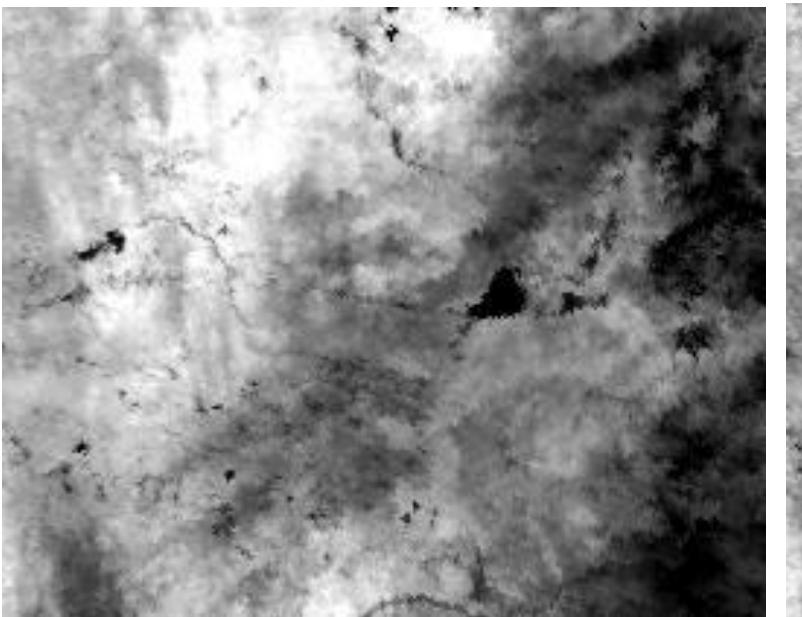
对于热红外波段，到达MODIS传感器的热红外辐射包括三部分，分别为地表热红外辐射经过大气传输衰减到达传感器、半球空间的大气下行辐射经过地表反射后再通过大气传输衰减到达传感器和地表与传感器之间的大气上行辐射项。朗伯体假设下的MODIS热辐射传输方程可简化为：

$$L_\lambda = \underline{B_\lambda(T_g)} \varepsilon_\lambda \tau_{0\lambda} + L_{0\lambda}^{\uparrow} + (1 - \varepsilon_\lambda) L_{0\lambda}^{\downarrow} \tau_{0\lambda}$$

式中， L_λ 为传感器所接收的波长 λ 的热红外辐射亮度； $B_\lambda(T_g)$ 为地表物理温度为 T_g （单位，K）时的普朗克黑体辐射亮度； ε_λ 为波长 λ 的地表比辐射率； $\tau_{0\lambda}$ 为从地面到传感器的大气透过率； $L_{0\lambda}^{\uparrow}$ 、 $L_{0\lambda}^{\downarrow}$ 为波长 λ 的大气上行和大气下行辐射。



采用MODTRAN大气模型，分别模拟得到大气透过率、大气下行辐射和大气上行辐射，最后根据上述简化的热辐射传输方程，建立**传感器接收的辐射亮度值与地表黑体辐射亮度值之间的查找表**，从而实现热红外波段的大气校正。



第二章 遥感原理概述



2.1 电磁波谱与电磁辐射

2.2 太阳辐射及大气对辐射的影响

2.3 地球辐射与地物波谱



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

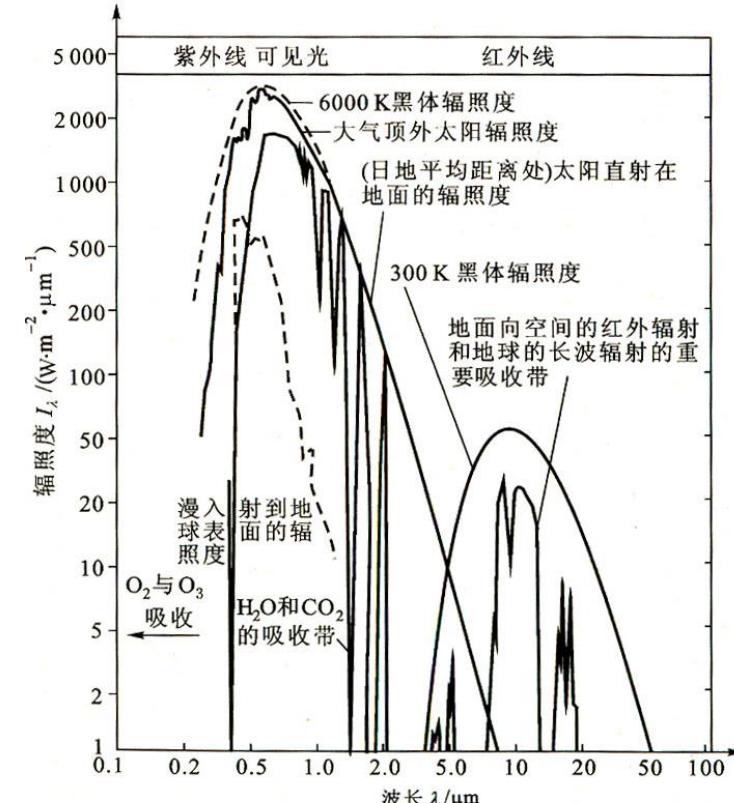
地球辐射

地球短波辐射：反射太阳辐射为主，地球自身的热辐射可以忽略不计，主要集中在 $0.3\text{-}2.5\mu\text{m}$ 的紫外、可见光到近红外区段。
——就短波而言，地表反射的太阳辐射是地表的主要辐射来源。

地球长波辐射：自身辐射，地球近乎于温度为300K的黑体辐射，集中在 $6.0\mu\text{m}$ 以上的热红外区段。

——就长波段而言，太阳辐射的影响几乎可以忽略不计，只考虑地表自身的热辐射。

3-6 μm 的中红外波段，地球对太阳辐射的反射和地表物体自身的热辐射均不能忽略。



地球辐射的分段特性意味着：

- 短波辐射 ($0.3 \sim 2.5\mu\text{m}$)

指地球表面对太阳的反射辐射。此波谱范围长波辐射可忽略不计。

$$M(\lambda) = \rho(\lambda) E(\lambda)$$

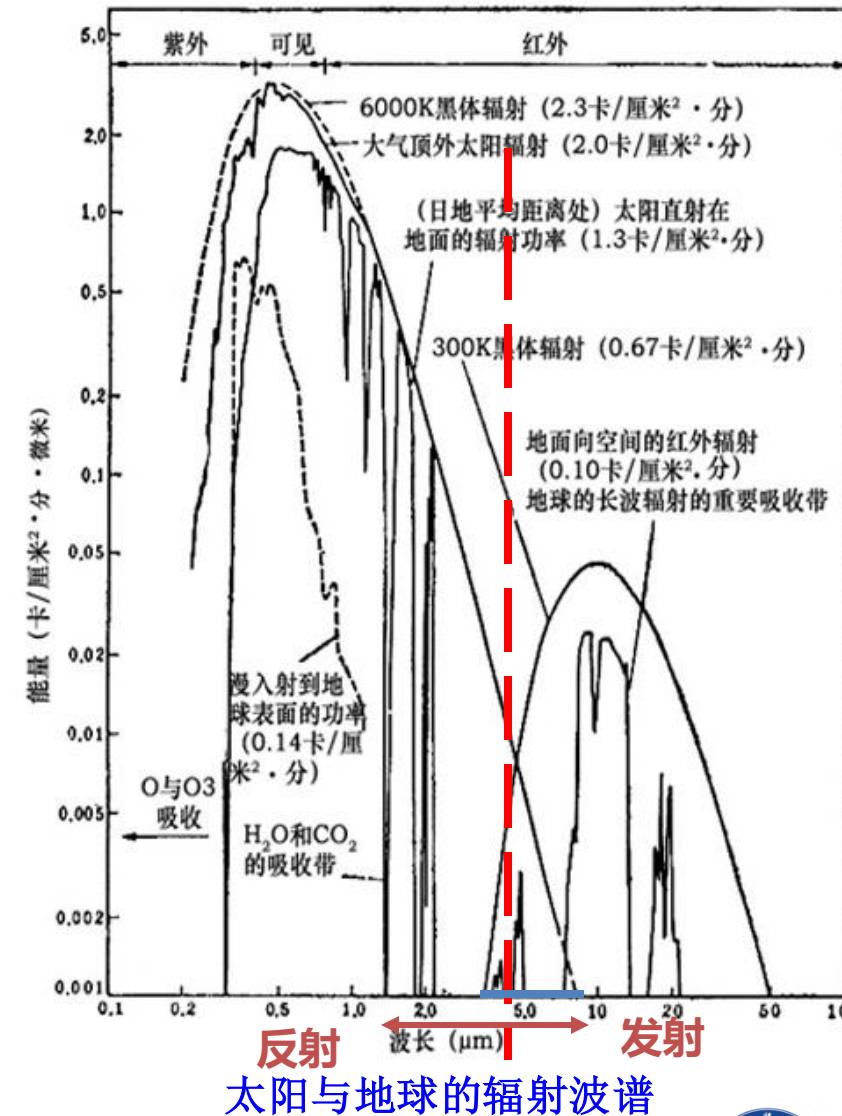
- 中红外辐射 ($3 \sim 6\mu\text{m}$)

太阳辐射和热辐射的影响均有，均不能忽略。

- 长波辐射 ($6\mu\text{m}$ 以上)

指地表物体自身的热辐射。在此波谱范围内反射的短波辐射可忽略不计。

$$M = \varepsilon_s \cdot \sigma T_s^4$$



地表辐射平衡方程可表示为：

$$R_n = R_s \downarrow - R_s \uparrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow$$

R_n 地表净辐射，指地表净得的短波辐射与长波辐射之和；

$R_s \downarrow$ 入射到地面的太阳短波辐射；

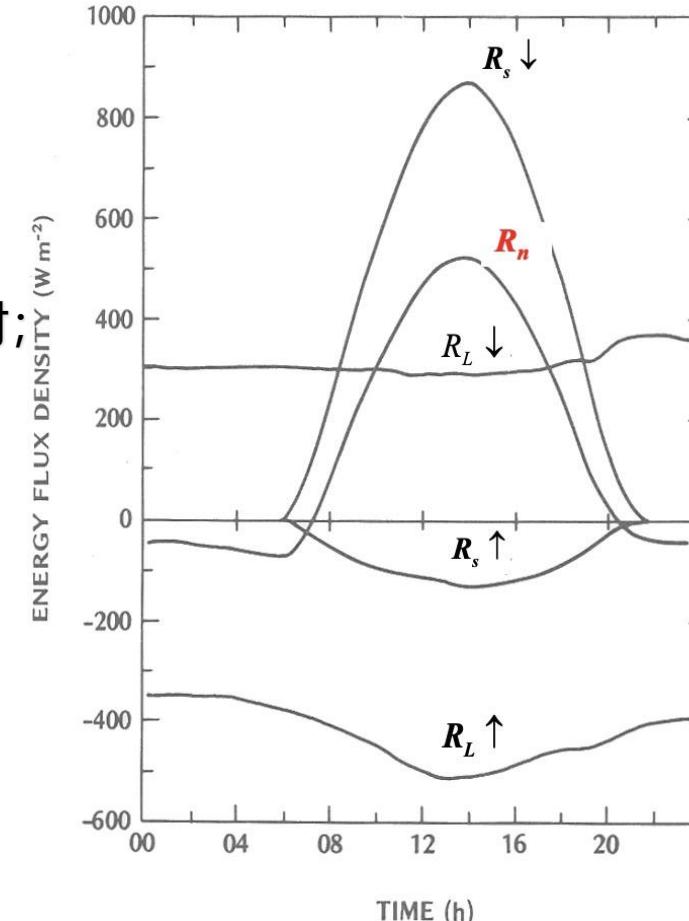
$R_s \uparrow$ 地表反射的太阳短波辐射，即地表反射辐射；

$R_L \downarrow$ 来自大气的长波辐射，即大气逆辐射；

$R_L \uparrow$ 地表发射至大气的长波辐射，即地表发射辐射；

$R_s \downarrow - R_s \uparrow$ 为地表的净短波辐射

$R_L \downarrow - R_L \uparrow$ 为地表的净长波辐射



可由 VIS—
NIR 遥感反
演获得

$$\begin{aligned} R_n &= R_s \downarrow - R_s \uparrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow \\ &= (1 - \alpha) R_s \downarrow + \varepsilon_a \sigma T_a^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4 \end{aligned}$$

可由 TIR、
MW 遥感反
演获得

α 为地表反照率(半球反射率)； T_s 为地表温度；

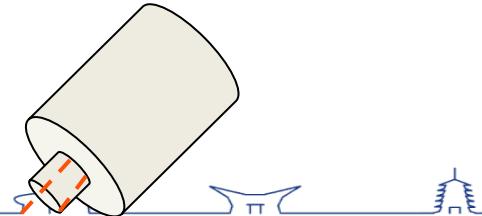
T_a 为大气温度，可用红外测温仪对天空测得

ε_a 为大气发射率，是大气温度 T_a 、大气水汽压 e_a 、天空云量 C 的函数，

ε_s 为地表发射率，是波长的函数，约为 0.9-0.98，可近似“测量”

σ 为斯特藩—玻耳兹曼常数， $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

- 第一项表示入射的短波辐射能量和反射的短波辐射能量差，即收入的短波辐射；
- 第二项为大气的热辐射部分；
- 第三项为地物向上的热辐射部分，三项之和为地面的净收入。



遥感所能测得的数据: $R_s \uparrow$ (反射太阳的短波辐射) 和长波辐射 $R_L \uparrow$

它们具有 非连续(窄波段)、窄、特定方向 的特点;

而自然界地物的反射与发射具有 全波段、半球视场、各向异性 的特点;

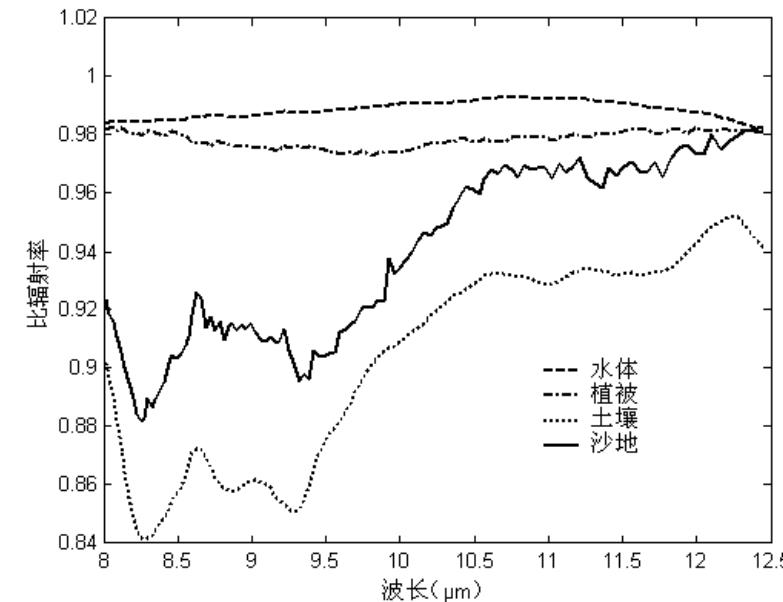
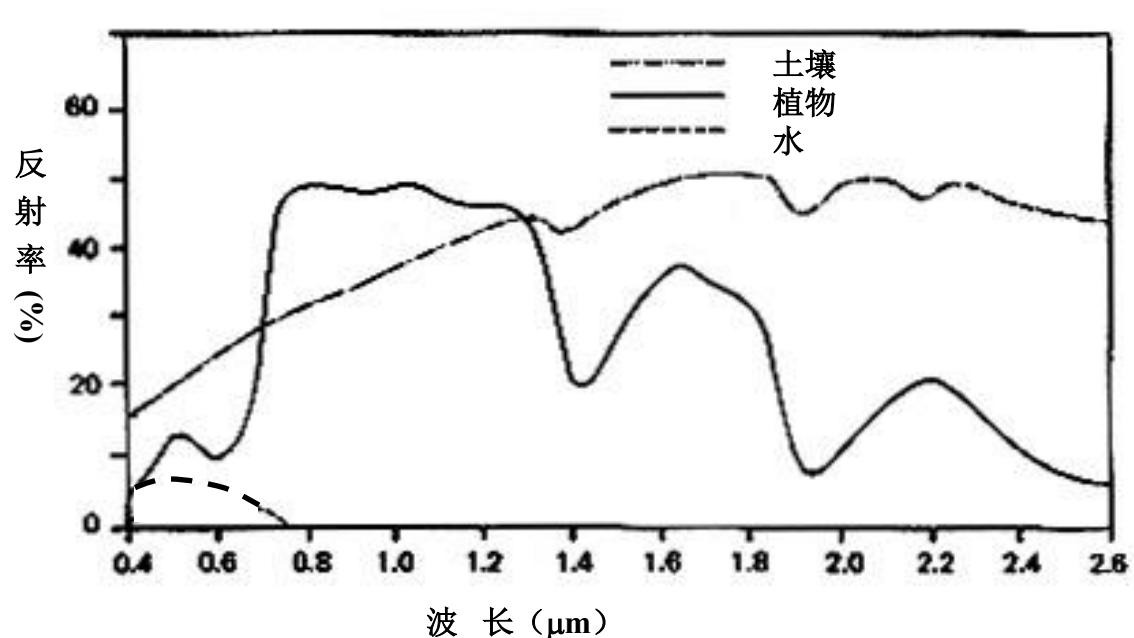
两者间的差异是影响遥感反演地表参数反照率 α 与 温度 T_s 精度的重要原因，是定量遥感迫切需解决的问题之一。

目前的研究途径:

- 通过方向模型，把地表方向反射率 ρ 转换为地表光谱反照率 α ；
- 通过野外（同步）试验，用遥感、地面、大气数据，建立宽波段辐射值（反射或发射）与窄波段遥感数据间的关系（多为统计模型）。

地物波谱

地物的反射、吸收、发射电磁波的特征随波长而变化。以波谱曲线的形式表示地物波谱特性，即**地物波谱**。



地物波谱可以通过各种光谱测量仪器测得





不同波谱段的地物波谱特性：

- 可见光/近红外：反射
- 中红外：反射+地物自身热辐射
- 远红外：地物自身热辐射
- 微波：
主动遥感—地物后向散射
被动遥感—地物微波辐射



◆ 地物波谱-反射特性

反射：指当电磁辐射能到达两种不同介质的分界面时，入射能量部分或全部返回原介质的现象。

反射特征用**反射率** (Reflectivity) ρ 表示。它是波长的函数，又称**光谱反射率**， $\rho(\lambda)$ 被定义为：

$$\rho = \frac{P_{\rho}}{P_0} \times 100\%$$

物体反射的辐射能量
总入射能量

以百分数表示，其值在0—1之间，为无量纲的量。

反射率的大小依赖于物质类别、组成、结构、表面粗糙度、含水量、入射角、观测角、波长等。因此，任何物体的反射性质，最能揭示目标的本质，是遥感采集与研究的最基本信息之一。



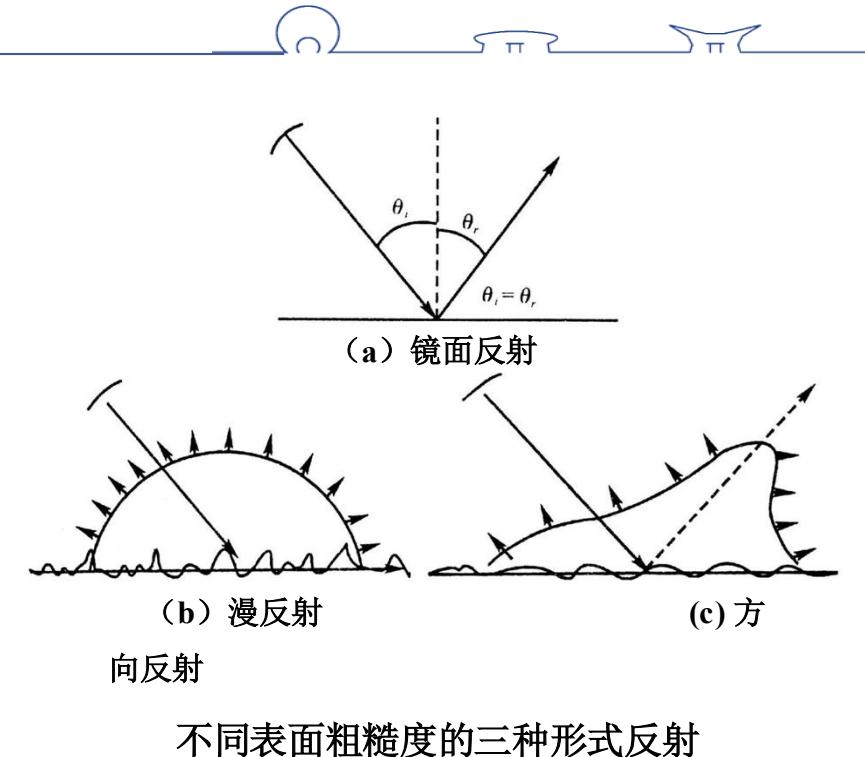
任一表面的反射特性是与其表面几何形态 —— 粗糙度有密切的关系，而表面粗糙度是入射波长的函数，它依据表面几何形态与入射波长的相互关系而定，并与入射角关系密切。

表面粗糙度的瑞利判别准则是：

若 $h \leq \lambda / (8 \cos \theta)$ 则为光滑表面；反之，为粗糙表面。

式中， h 为高度； λ 为波长； θ 为入射角（波束与法线的夹角）。

对于波长较长的波段，地面高差（起伏）更大的时候才能达到粗糙的标准，而对于波长较短的波段，起伏不大的地面就可能是非光滑的了。



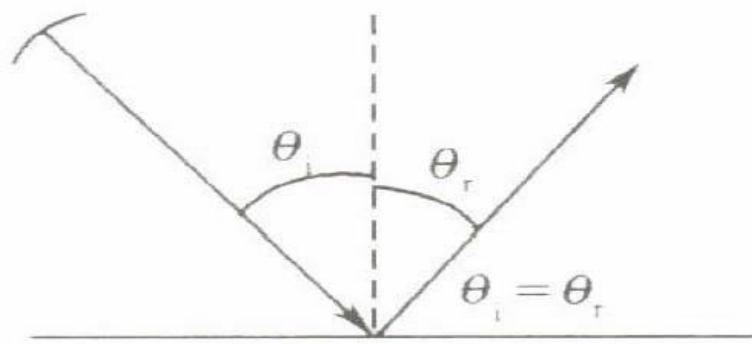
反射的三种形式：镜面反射、漫反射、方向反射

•镜面反射：光滑物体表面

当反射面为光滑表面时，物体的反射满足反射定律，入射波和反射波在同一平面内，入射角与反射角相等。入射能量全部或几乎全部按反射方向反射，反射能量集中在一个方向，则为镜面反射。

光滑表面：入射波长 $\lambda >>$ 界面粗糙度

对可见光而言，在镜面、光滑金属表面、平静水体表面均可发生镜面反射；而对微波而言，由于波长较长，故路面也是“光滑表面”，符合镜面反射规律。**(但在图像上的效果不一样)**



镜面反射示意图

——只有在反射波射出的方向上才能探测到电磁波



•漫反射：非常粗糙的表面

投射在粗糙表面上的光向各个方向均匀反射的现象。当入射波长比地表高度小或比地表组成物质粒度（直径）小（粗糙表面）时，入射能量均匀地向各方向反射，称为漫反射，即 **反射在 2π 空间上各向同性**。

当入射辐照度一定时，从任何角度观察反射面，其反射辐射亮度是一个常数，这种反射面又称为**朗伯面**。

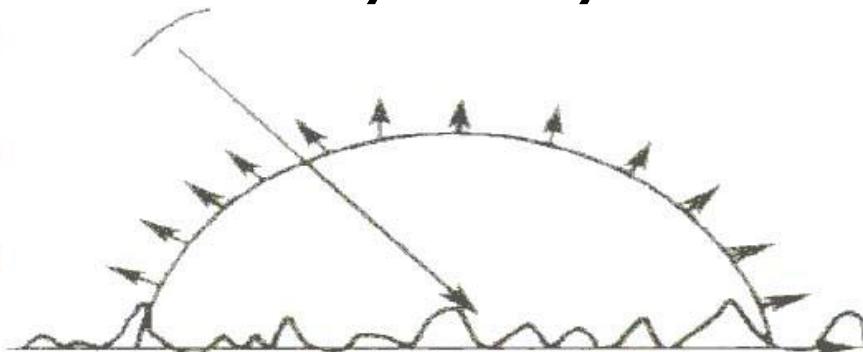
氧化镁、硫酸钡、碳酸镁表面，在反射天顶角 $\leq 45^\circ$ 时可近似看成**朗伯面**。

严格讲自然界只存在近似意义下的朗伯体。对可见光而言，土石路面、均一草地表面可属漫射体。

平面的总反射率

某一个方向上的反射因子

$$\rho = \pi\rho'$$

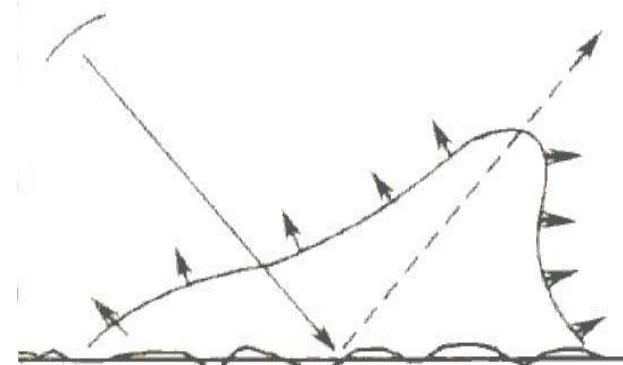


漫反射示意图

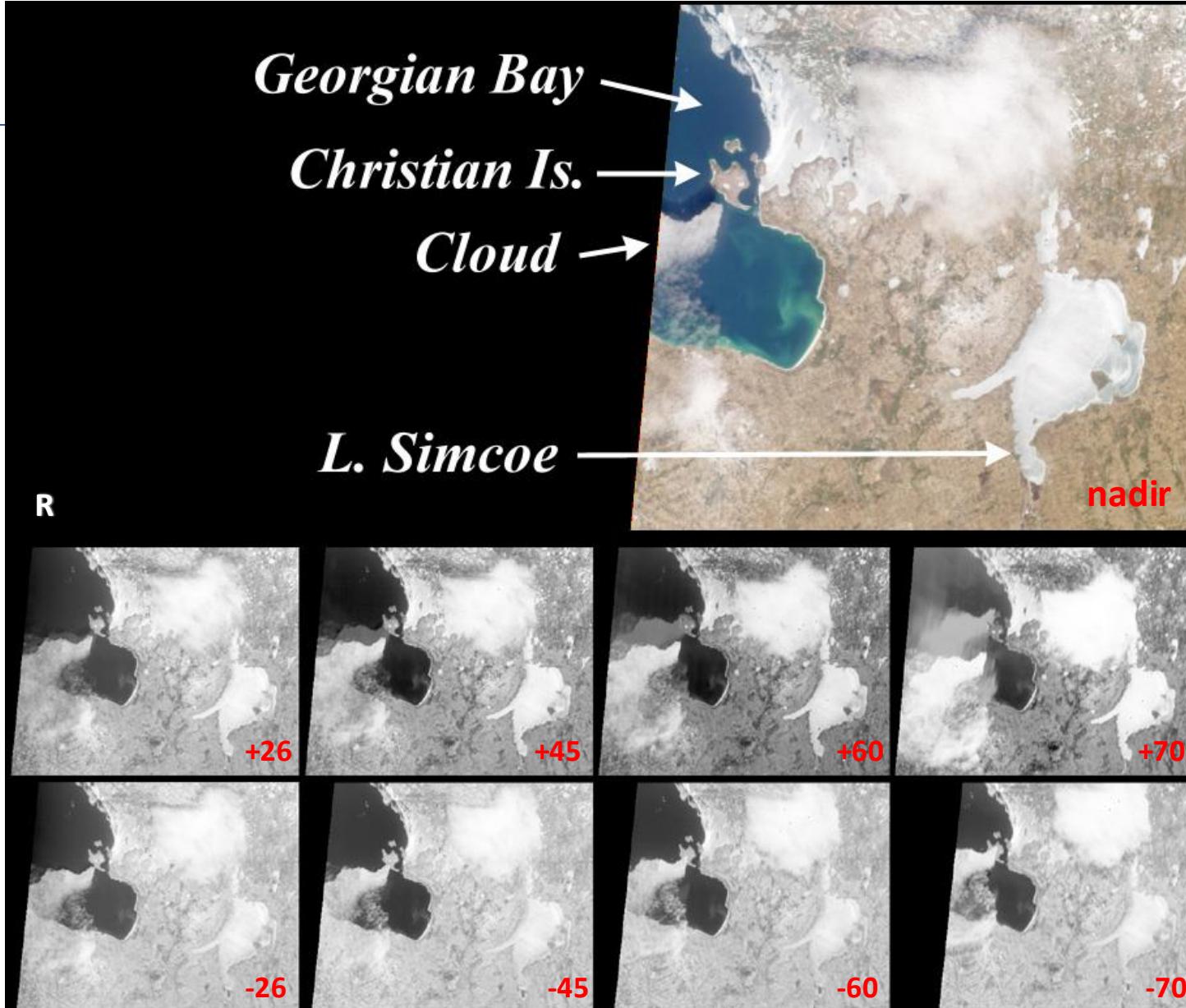


•**实际物体反射**：自然界大多数地表是介于粗糙的‘朗伯表面’（均匀、各向同性）与光滑的“镜面”之间的**非朗伯表面**（非均一、各向异性），对入射和反射方向有严格定义的反射率，即特定方向反射能量和特定入射能量之比。

对太阳短波辐射的反射具有**各向异性**，即实际物体面在有入射波时各个方向都有反射能量，但大小不同。



方向反射示意图



MISR多角度数据



了解反射类型的意义：

- 遥感器获取的辐射亮度与物体反射类型密切关联，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。



描述反射特征的参数：



反射率 (reflectance)：物体表面反射的能量和接受的能量之比，是指某一波谱段朝一定方向的反射。

反照率 (albedo)：又称半球反射率，定义为目标地物的反射出射度与入射度之比，即单位时间、单位面积上各方向出射的总辐射能量与入射的总辐射能量之比；是反射率在所有方向上的积分。

反射率是波长的函数，不同波长反射率不一样，反照率是对全波长而言的。



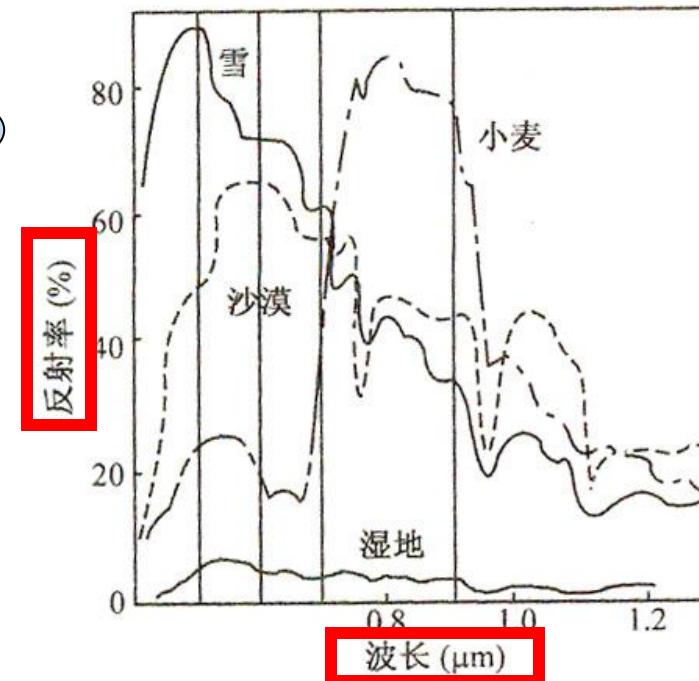
地物反射率的大小，与入射电磁波的波长、入射角的大小以及地物表面颜色和粗糙度等有关。

地物反射波谱：地物的反射率随入射波长变化的规律；

地物反射波谱曲线：按地物反射率与波长之间的关系绘成的曲线。

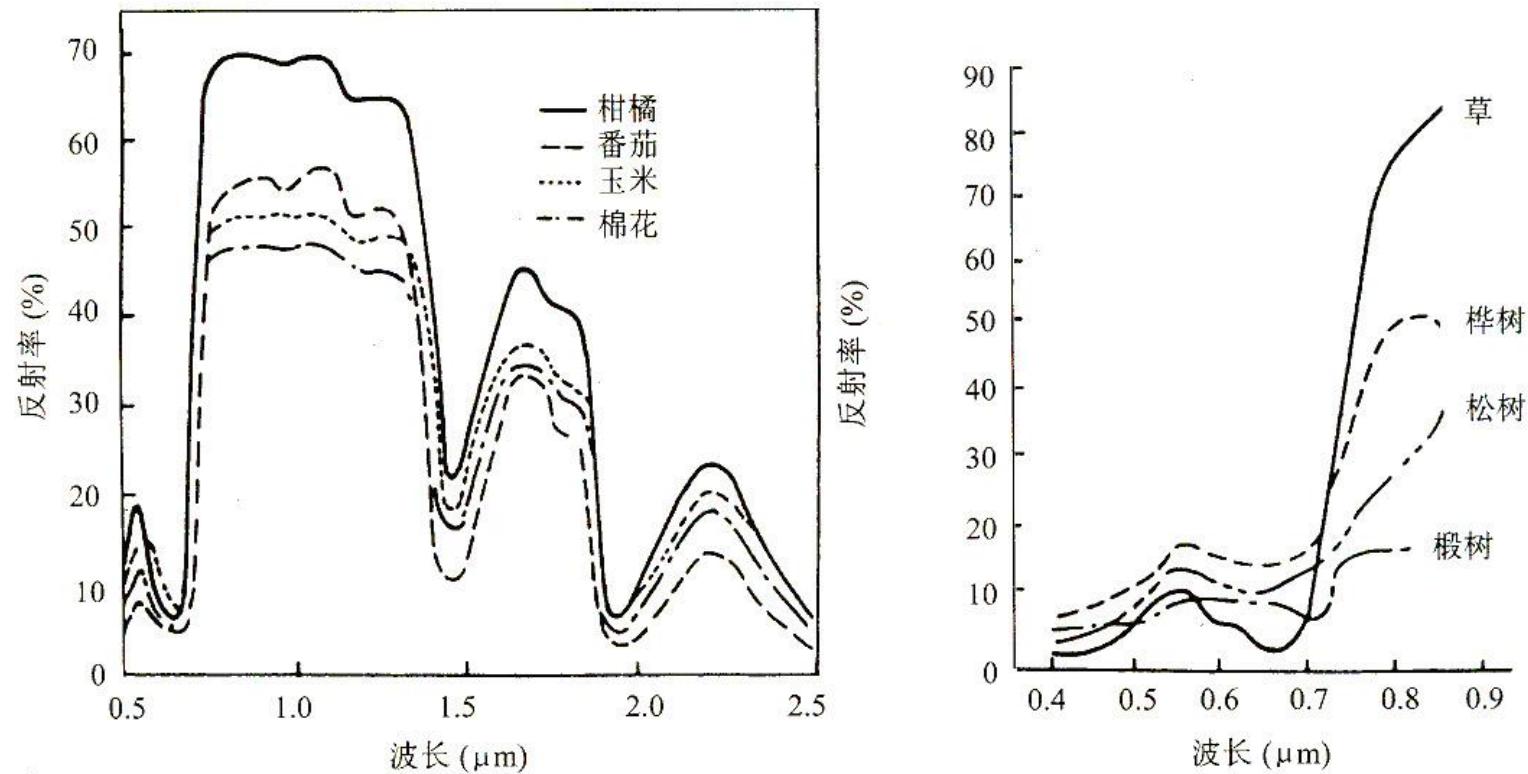
——遥感的基本出发点

不同地物由于物质组成和结构
不同具有不同的反射光谱特性，
因而可以根据遥感传感器所接
收到的电磁波谱特征的差异来
识别不同的地物。



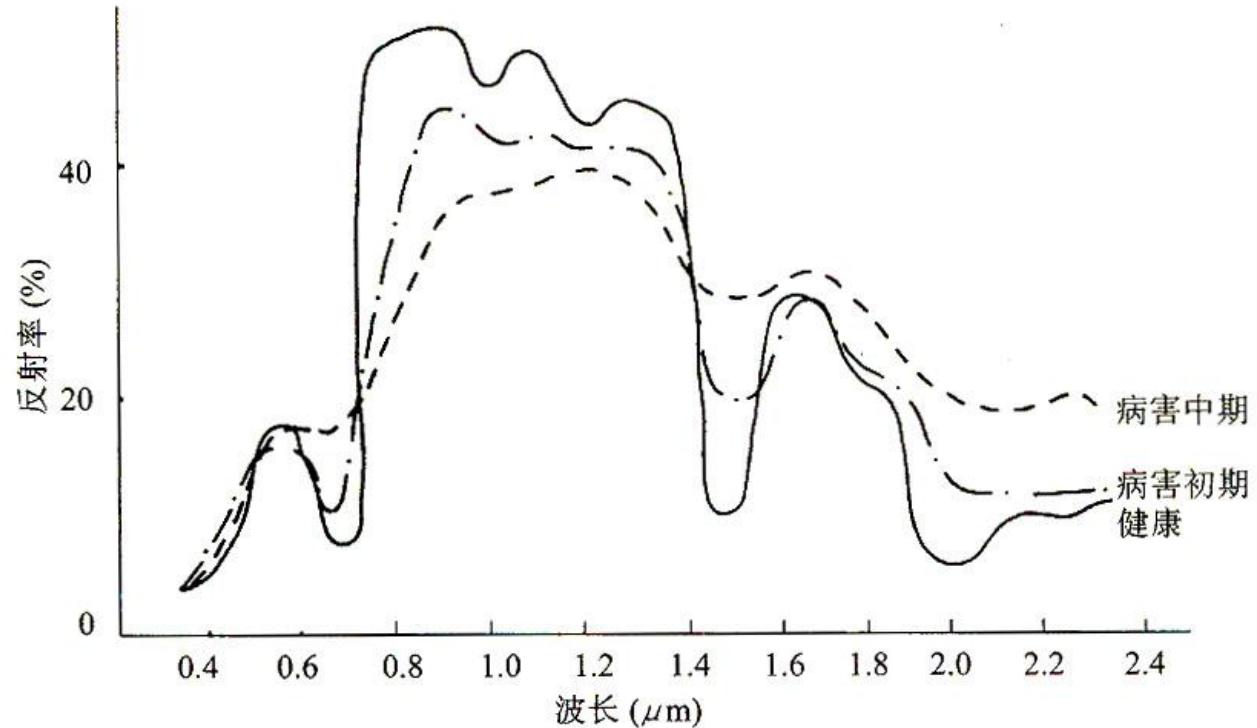
雪、沙漠、湿地、小麦反射波谱曲线

同类地物的光谱相似，但随着该地物的内在差异而有所变化。这种变化是由于多种因素造成的。如物质成分、内部结构、表面光滑程度、颗粒大小、几何形状、风化程度、表面含水量及色泽等差别。



不同植物光谱曲线比较图

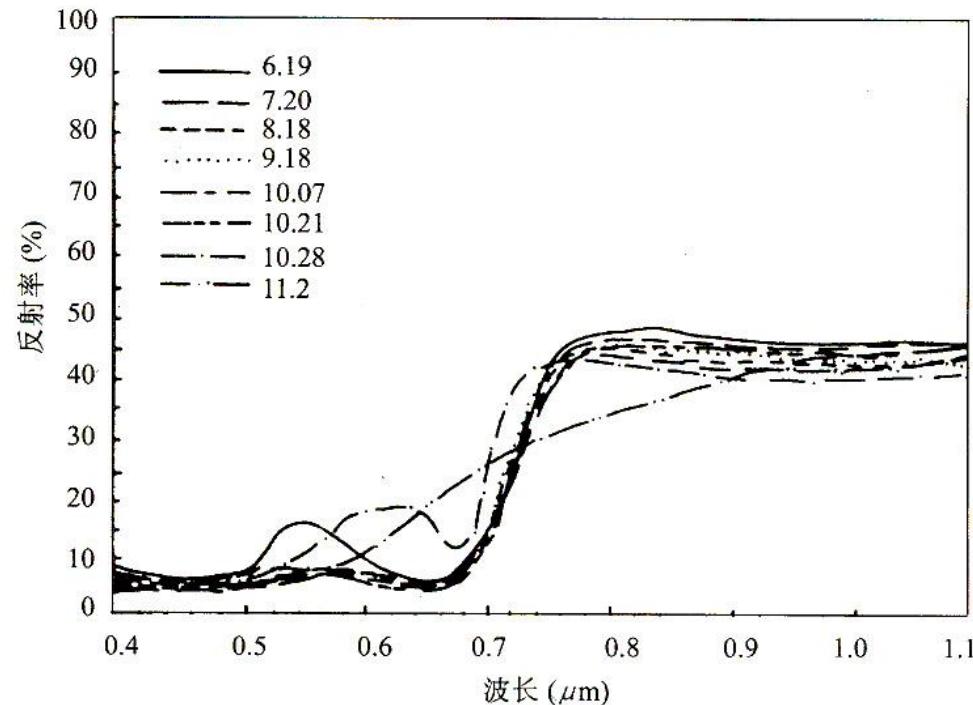




不同长势松树的反射光谱曲线



研究地物的光谱特性，还应考虑其时间特性和空间特性的变化。时间特性是指同一位置上的同一地物，由于时间的推移，该地物在一段时间内光谱特性的变化。空间特性是指同一类地物，由于其所处的地理位置不同，光谱特性可能存在的一些差异和变化。



白橡树叶子不同时间的反射光谱变化





遥感图像上集中反映出各种地物或现象的光谱特性，并体现出其光谱特性的空间特性和时间特性的变化。因此，在遥感图像中识别地物和现象的属性以及研究它们之间的关系和演化变化规律时，必须首先了解和掌握地物的光谱特性，以及它们空间和时间特性的变化。**地物光谱特性是进行判读、识别的基础和出发点。**





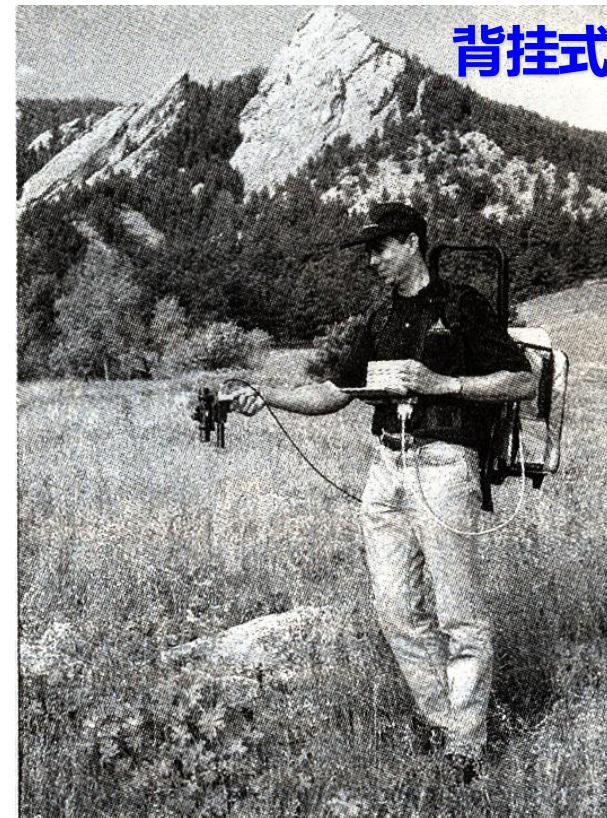
地物波谱（反射辐射）的测定原理：用光谱测定仪分别探测被测地物和标准板，测量、记录和计算地物对每个波谱段电磁波的反射率，其反射率的变化规律（可绘成波谱曲线）即为该地物的波谱特征（反射辐射）。

用来测量太阳反射辐射的仪器称为辐射光谱仪（简称光谱仪）。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

野外光谱仪：



ASD野外光谱辐射仪——美国分析仪器公司 (ASD公司)



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



为了测定目标的波谱，需要测定三类光谱辐射值：

第一类：为暗光谱，即没有光线进入光谱仪时由仪器记录的光谱，通常
是系统本身的噪声值，取决于环境和仪器本身温度；

第二类：为参考光谱或称标准板白光，实际上是从较完美漫辐射体——
标准板测得的光谱；

第三类：为样本光谱或目标光谱，是从感兴趣的目标物上测得的光谱，
这是研究最终需要的光谱。

最后，感兴趣目标的反射光谱是在相同的光照条件下通过参考光谱辐射
值除目标光谱辐射值得到，因此，目标反射光谱是个相对于参考光谱辐
射的比值——**光谱反射率**。





ASD



SE590

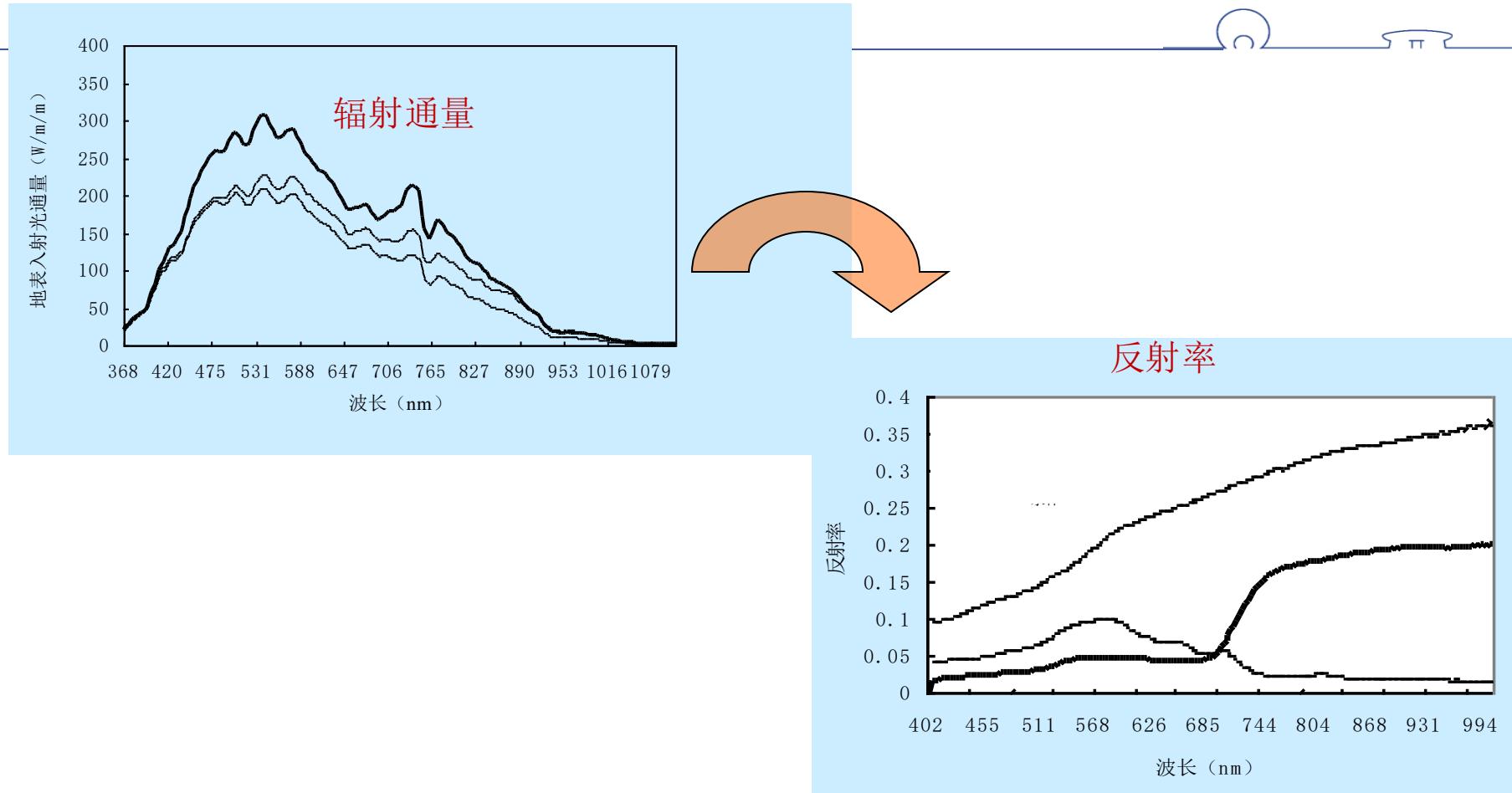


中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

野外实测地面波谱数据

波长 (nm)	目标辐射亮度	灰板2	目标反射率
368.4	864	7400	0.02476
371	978	8544	0.02403
373.6	1102	9596	0.02378
376.2	1236	10696	0.02366
378.8	1364	11492	0.02387
381.4	1460	11984	0.02415
384	1544	12428	0.02428
386.6	1654	12956	0.02451
389.2	1782	13448	0.02503
391.7	1878	13700	0.02546
394.3	2042	14324	0.02595
.....





典型地物的辐射亮度与反射率曲线

国家973项目成果



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

UCAS

反射波谱的应用

地物光谱仪在自然环境下测得的高光谱数据可用于不同的遥感领域。

首先，地物光谱仪数据可供用来建立和测试描述表面方向性光谱反射和生物物理属性的关系。地表的辐射能抵达传感器是一个复杂的过程，受多种因素影响，包括地面的生物物理性质、地表的宏观微观糙度、观测和光线照射的几何角度、大气状态等因素的影响。因而这种模拟是必要的。

其次，光谱测量学用来描述表面反射特性，以便为航空和航天传感器定标。

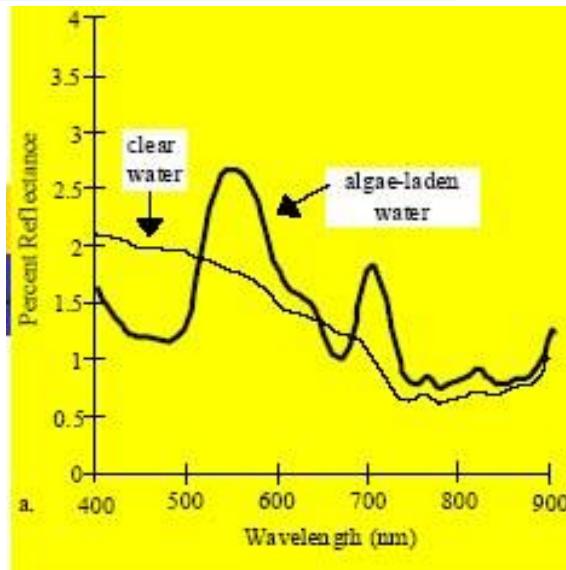
第三，物体的波谱曲线形态，反映出该地物类型在不同波段的反射率，通过测量该地物在不同波段的反射率，并以此与遥感传感器获得的数据相对照，可以识别遥感图像中同类地物。

第四，当有些应用不需要图像数据时，光谱测量或低空测量不失为成本低廉、灵活的数据获取方法。

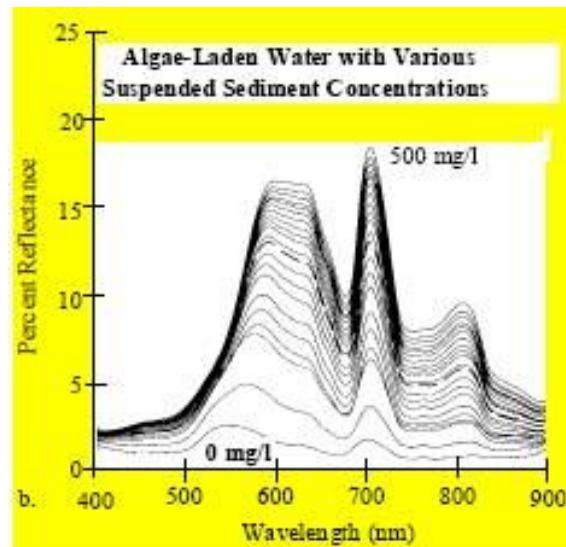
！注意：

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。

同物异谱、异物同谱



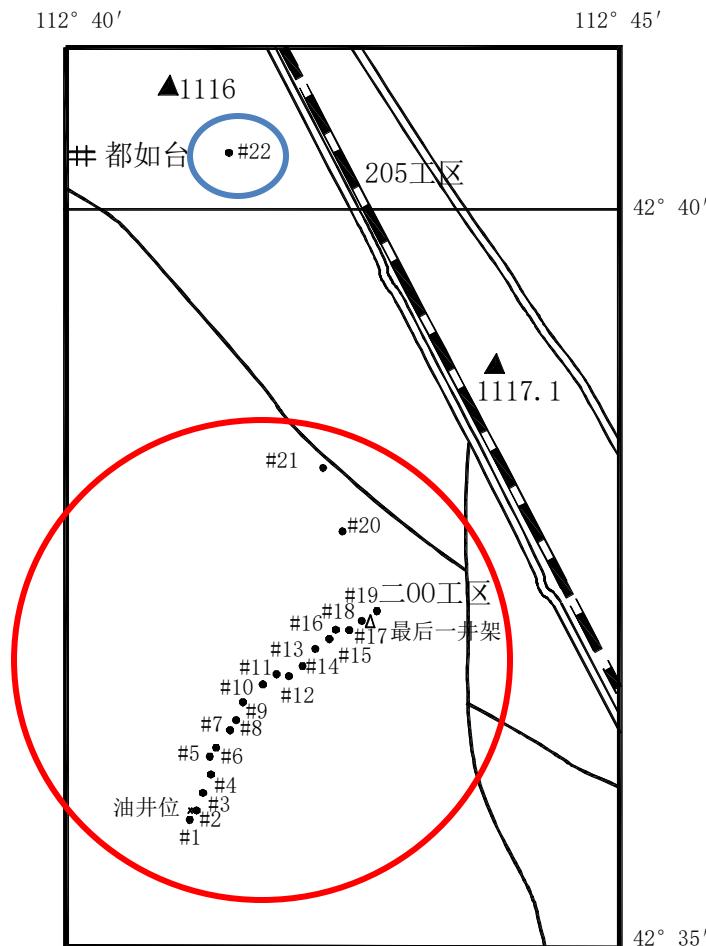
清水与长满藻类的水体对照波谱曲线



长满藻类但含不同浓度悬浮物的水体对照光谱曲线



实例：隐伏油气信息的确定



取样点分布图

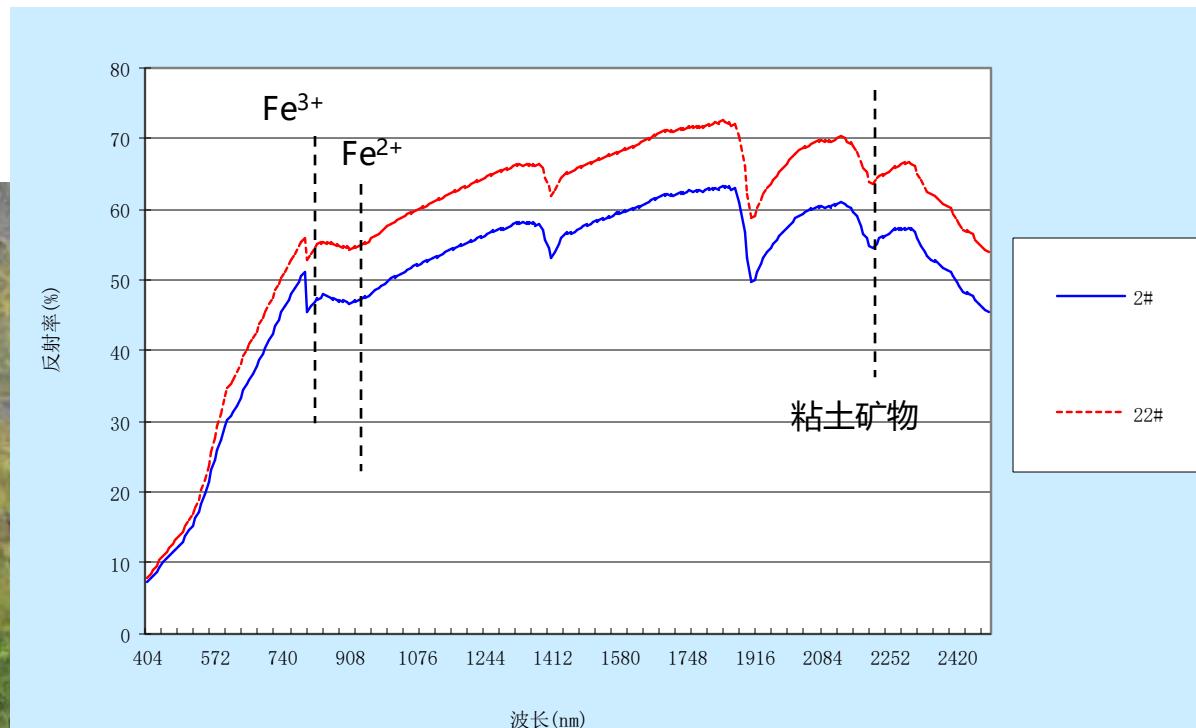
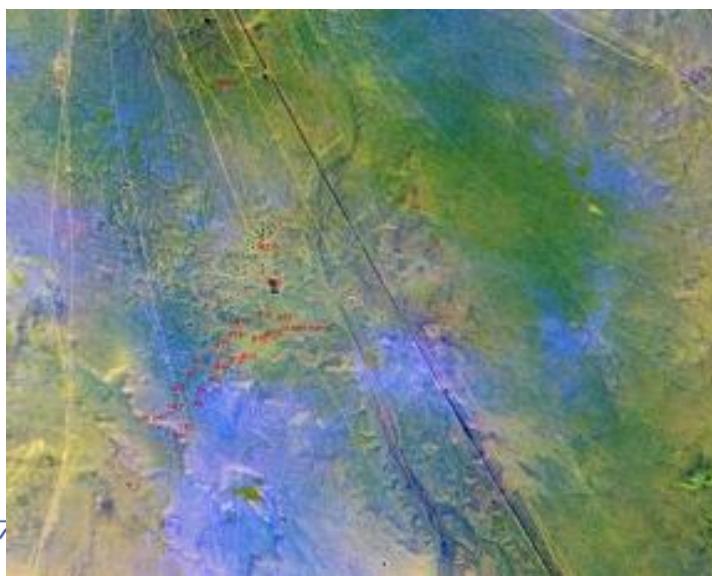
根据研究区的油气地质背景，沿北北东向选取了一剖面，共取样22个，其中1#-21#测点在油田内，22#测点在油田区外，以22#测点作为背景值进行对比研究。

2#测点位于一油井附近，18#测点位于最后一油井架附近。选择2#和22#测点的室内外波谱测试结果分别进行分析。



通过对实测波谱特征分析可知：

远离油田区的22#测点土壤的波谱反射率明显高于油田区内的各测点。2.27-2.46 μm 烃类吸收带、2.20 μm 粘土矿物吸收带及1.0-1.5 μm 的 Fe^{2+} 吸收带在赛汉塔拉油田区确切存在，与地下含油性有较好的对应性，油气遥感探测在本区是可行的，取得的异常是可信的。





◆ 地物波谱-发射特性

任何地物当温度高于绝对温度0K时，组成物质的原子、分子等微粒，在不停地做热运动，都有向周围空间辐射红外线和微波的能力。通常地物的发射电磁辐射的能力是以**发射率**作为衡量标准。地物的发射率是以黑体辐射作为基准。





地物发射率：

自然界中，黑体辐射是不存在的，一般地物辐射能量总要比黑体辐射能量小。如果利用黑体辐射公式，则需要增加一个因子，这个因子就是发射率——“比辐射率”。

发射率是指地物的辐射出射度与同温度的黑体辐射出射度的比值。

常温下地物发射率 (8-14 μm)

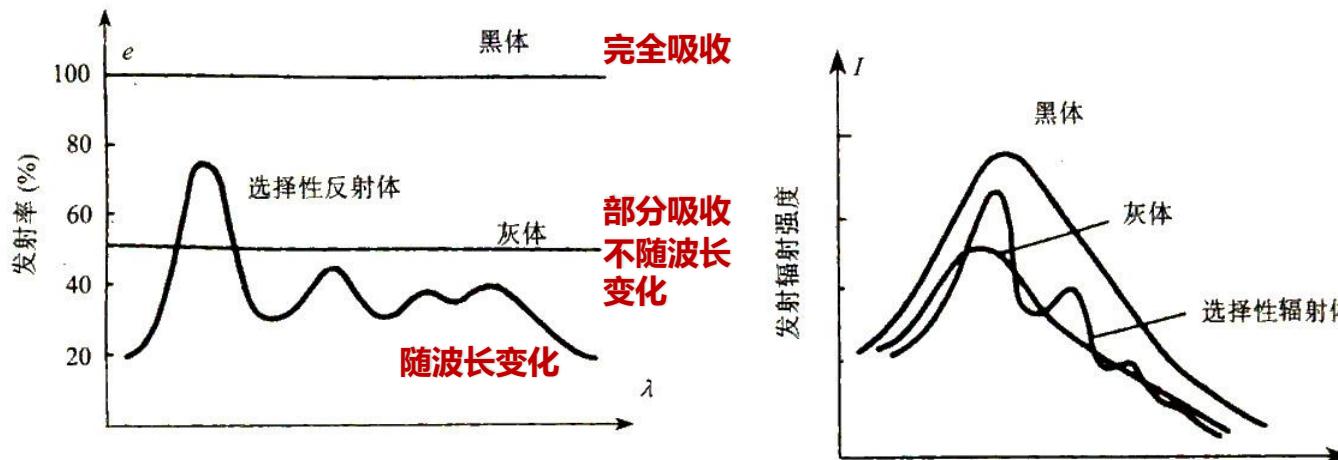
目标物	温度 (°C)	ϵ	目标物	温度 (°C)	ϵ
木材 (橡木平板)	20	0.90	岩石矿物		
水 (蒸馏水)	20	0.96	石英	20	0.627
冰 (表面光滑)	-10	0.96	长石	20	0.819
雪	-10	0.85	花岗岩	20	0.780
沙	20	0.90	玄武岩	20	0.906
			大理石	20	0.942





地物的发射率与地物的性质、表面状况（如粗糙度、颜色等）有关，且是温度和波长的函数。

- 同一地物，表面粗糙或颜色较深的，发射率往往较高，表面光滑或颜色较浅的，发射率则较小；不同温度的同一物体，温度越高，其发射率越高。**地物发射率的差异也是遥感的基础和出发点。**
- 依发射率与波长的关系，可将地物分为三种类型：黑体、灰体和选择性辐射体。



不同辐射体



在任一给定温度下，地物单位面积上的辐射通量密度和吸收率之比，对于任何地物都是一个常数，并等于该温度下同面积黑体辐射通量密度。

斯忒藩-波尔兹曼定律

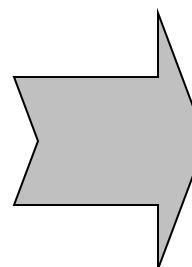
$$W = \sigma T^4$$

发射率定义

$$\varepsilon = \frac{W}{W_{\text{黑}}}$$

热辐射定律

$$\frac{W}{\alpha} = W_{\text{黑}}$$



红外遥感的
理论依据

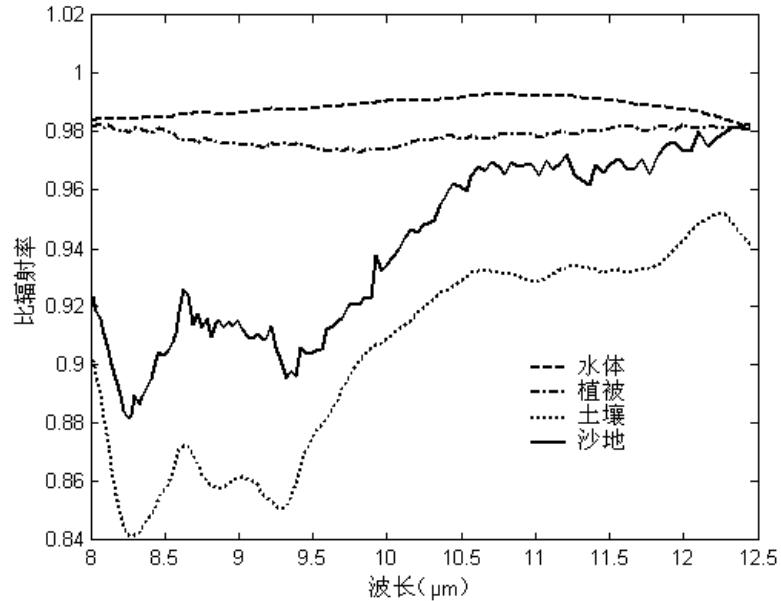
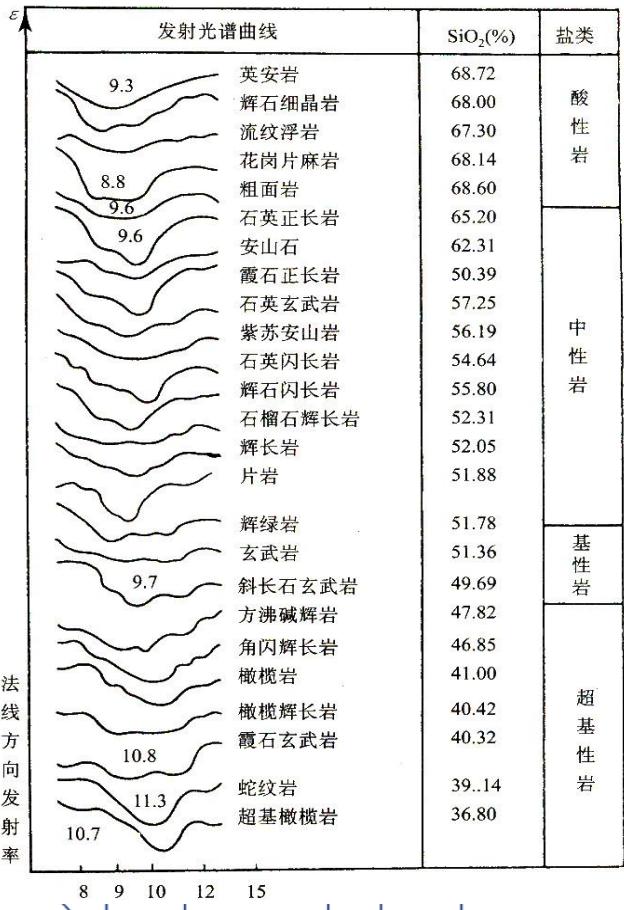
$$W = \varepsilon \sigma T^4$$

地物的热辐射强度与温度的四次方成正比，所以，地物微小的温度差异就会引起红外辐射能量较明显变化。

地物发射波谱

地物的发射率随波长变化的规律，称为地物的发射光谱。按地物发射率与波长间的关系绘成的曲线，称为地物发射光谱曲线。

若干种岩浆岩的发射光谱



小 结



- ❖ 电磁波的特性
- ❖ 电磁辐射的度量
- ❖ 黑体辐射定律
- ❖ 大气与太阳辐射的作用
 - 吸收、散射、大气窗口、电磁波谱范围
- ❖ 地物的波谱特性 (熟练掌握常见地物的反射波谱特征)



思考题



- ◆ 利用遥感开展什么研究?
- ◆ 遥感数据源选择?
- ◆ 特征波段选择?
- ◆ 遥感数据预处理——大气校正

