第二章
电磁辐射与地物光谱特征

电磁波谱与电磁辐射
太阳辐射及大气对辐射的影响
地球辐射与地物的波谱特征



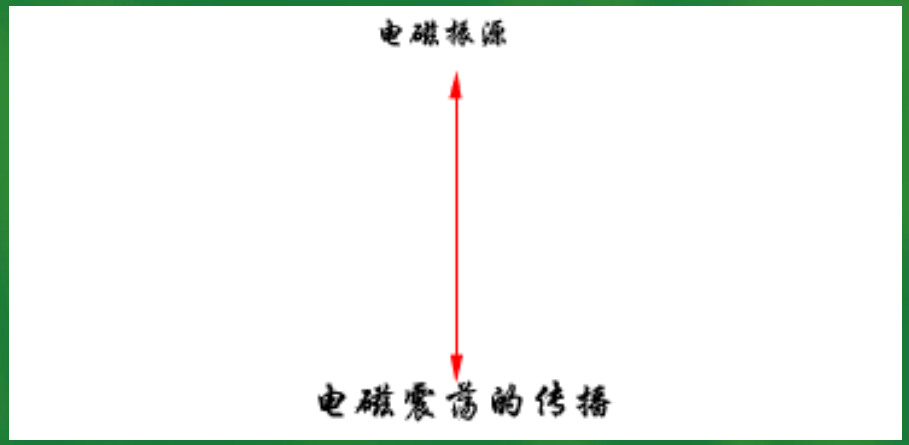
地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjxueshengbang.com 北京学生帮论坛

电磁辐射

什么是电磁波

电磁波（electromagnetic wave)：在真空或物质中通过电磁场的振动而传输电磁能量的波。

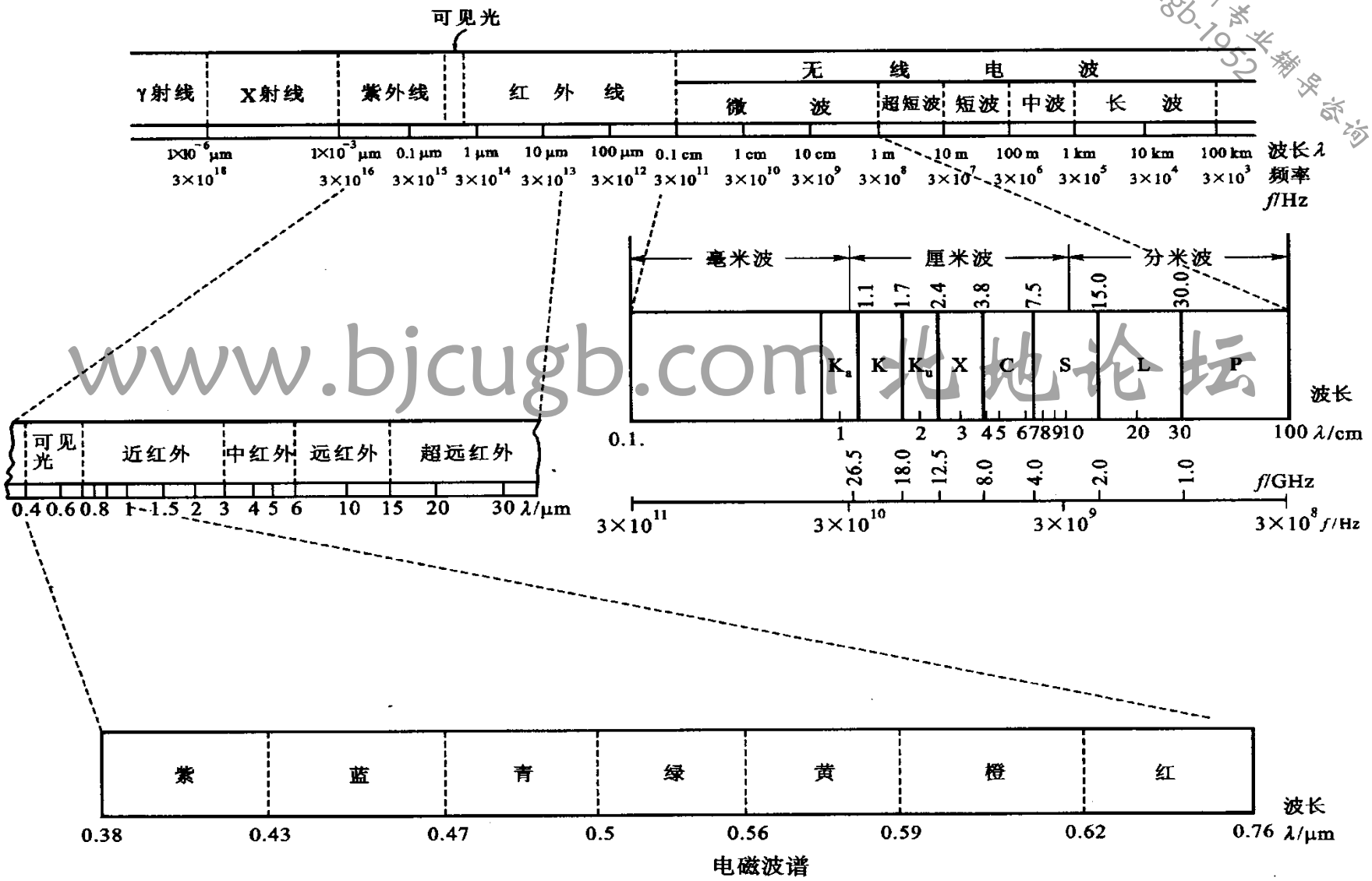
www.bjcugb.com 北地论坛



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

电磁波谱划分

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952



电磁波谱

www.bjcugb.com 北地论坛

电磁波谱划分



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

γ射线 小于10^{-6}μm

X射线 10^{-6}~10^{-3}μm

紫外线10^{-3}~$3.8*10^{-1}$μm

www.bjcugb.com 北地论坛

电磁波谱划分

紫 0.38~0.43

蓝0.43~0.47

青0.47~0.5

绿0.5~0.56

黄0.56~0.59

橙0.59~0.62

红0.62~0.76

（μm）

www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

电磁波谱划分

近红外 0.76 μ m~3μm

中红外 3μm ~6μm

远红外 （热红外） 6 μm ~15 μm

超远红外15 μm ~1000μm

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

电磁波谱划分

微波 1mm~1m

超短波1m~10m

中波和短波10m~3000m

长波大于3000m

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

辐射量的定义



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

辐射能量 Q

电磁辐射是具有能量的，它表现在：

- 使被辐照的物体温度升高
- 改变物体的内部状态
- 使带电物体受力而运动

……

辐射能量（Q）的单位是焦耳（J）

www.bbs.cugb.com 北地论坛

辐射量的定义



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

辐射通量 (radiant flux) Φ

在单位时间内通过的辐射能量称为辐射通量：

$$\Phi = \partial Q / \partial t$$

www.bjcugb.com 北地论坛

辐射通量（Φ）的单位是瓦特=焦耳/秒（W=J/S）

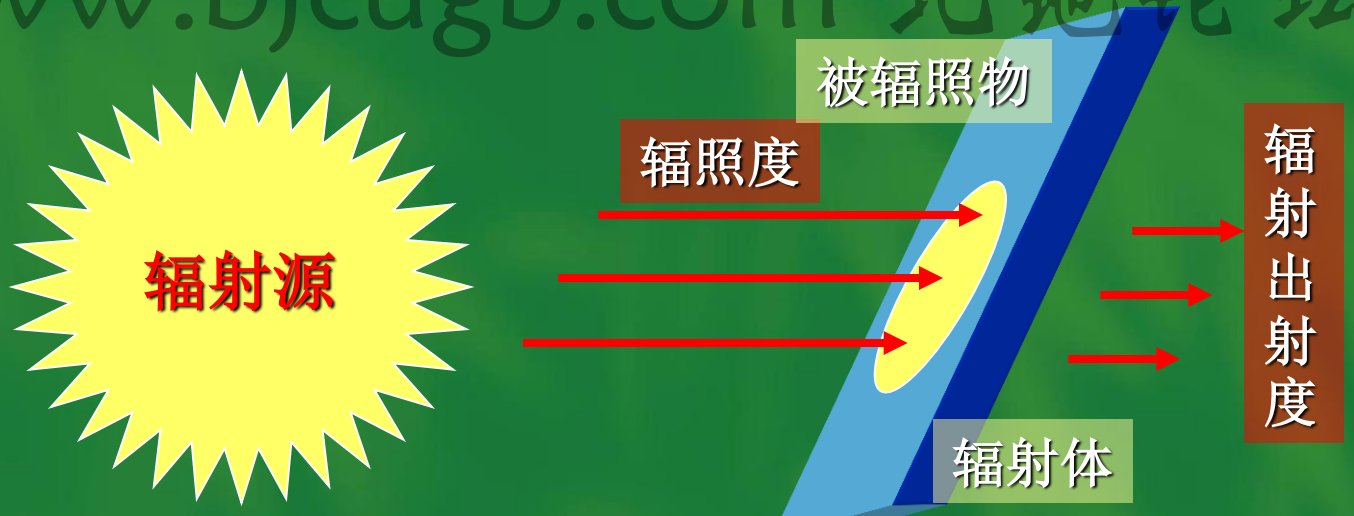
辐射量的定义

辐射通量密度 (irradiance) E、(radiant exitance) M

单位面积上的辐射通量称为辐射通量密度：

$E_{辐照度}=\partial \Phi / \partial A$　　$M_{辐射出射度}=\partial \Phi / \partial A$

www.bjcugb.com 北地论坛



辐射通量密度的单位是瓦/米^2（W/m^2）

辐射量的定义

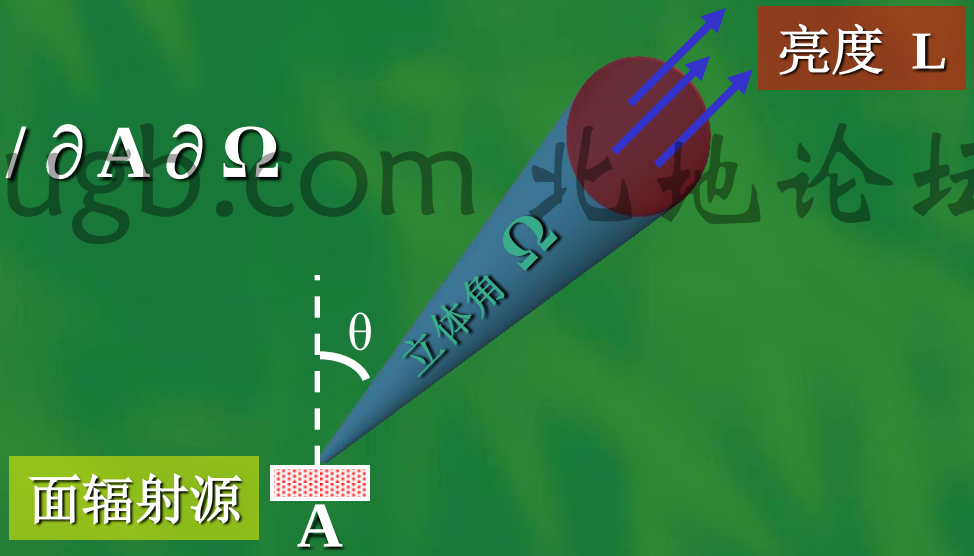
辐射亮度 (radiance) L



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

单位面积、单位立体角内的辐射通量称为辐射亮度：

$$L=\partial^3 \Phi / \partial A \partial \Omega$$



www.bjcugb.com 北地论坛

辐射亮度（L）的单位是瓦 / 米²•微米•球面度（W/m²• Sr）

辐射量的定义



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

分谱？？？

分谱辐射通量

分谱辐照度、分谱辐射出射度

www.bjcugb.com 北地论坛

分谱辐射强度 分谱辐射亮度

“分谱”两字可以忽略

辐射量的定义



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

小 结

辐射度量一览表

辐射量	符号	定义	单位
辐射能量	Q		焦耳(J)
辐射通量	Φ	$\partial^{(2)} Q / \partial t(\partial \lambda)$	瓦(W)
辐照度	E	$\partial^{(2)} \Phi / \partial A (\partial \lambda)$	瓦/米²(W/m²)
辐射出射度	M	$\partial^{(2)} \Phi / \partial A (\partial \lambda)$	瓦/米²(W/m²)
辐射强度	I	$\partial^{(2)} \Phi / \partial \Omega (\partial \lambda)$	瓦/球面度(W/Sr)
辐射亮度	L	$\partial^{2(3)} \Phi / \partial A \partial \Omega (\partial \lambda)$	瓦/米²•球面度 (W/m² • Sr)

www.bjcugbbs.com 北地论坛

电磁波的来源

黑体

吸收100%

www.bicugb.com 北地论坛

恒星和太阳可看做接近黑体

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

黑体辐射定律



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

普朗克公式

计算黑体的辐射通量密度

$$M_B(\lambda,T)=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{hc/\lambda kT}-1}$$ $Wm^{-2}\mu m^{-1}$

www.bjcugb.com 北地论坛

其中：

h, Planck 常数， $6.63*10^{-34}Js$

c, 光速

$k = 1.3806*10^{-23}JK^{-1}$, Boltzmann常数

T, 绝对温度

电磁波的来源

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

普朗克定律的简化形式

$$M_B(\lambda,T)=\frac{C_1}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{C_2/\lambda kT}-1}$$

$Wm^{-2}\mu m^{-1}$

www.bjcugb.com 北地论坛

其中：

C1=3.7418*10^{-18}W·m^2

C2=1.4388*10^{-2}m·K

电磁波的来源

与普朗克公式相关的定律

Stefan-Boltzmann定律

$$M = \sigma T^4$$

where: $\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$

M = total radiant exitance from surface of material in Watts m^{-2}

T = temperature in Kelvin of emitting material

www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952

如果不是黑体？

$$M = \varepsilon M_b$$

www.bjcugb.com 北地论坛

M 灰体辐射通量

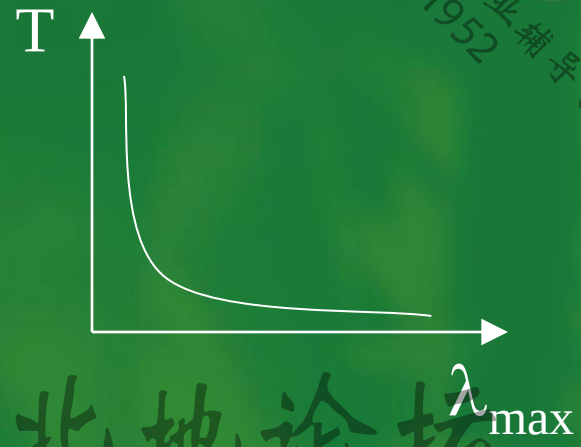
M_b同温度黑体辐射通量

ε发射率

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

电磁波的来源

与普朗克公式相关的定律

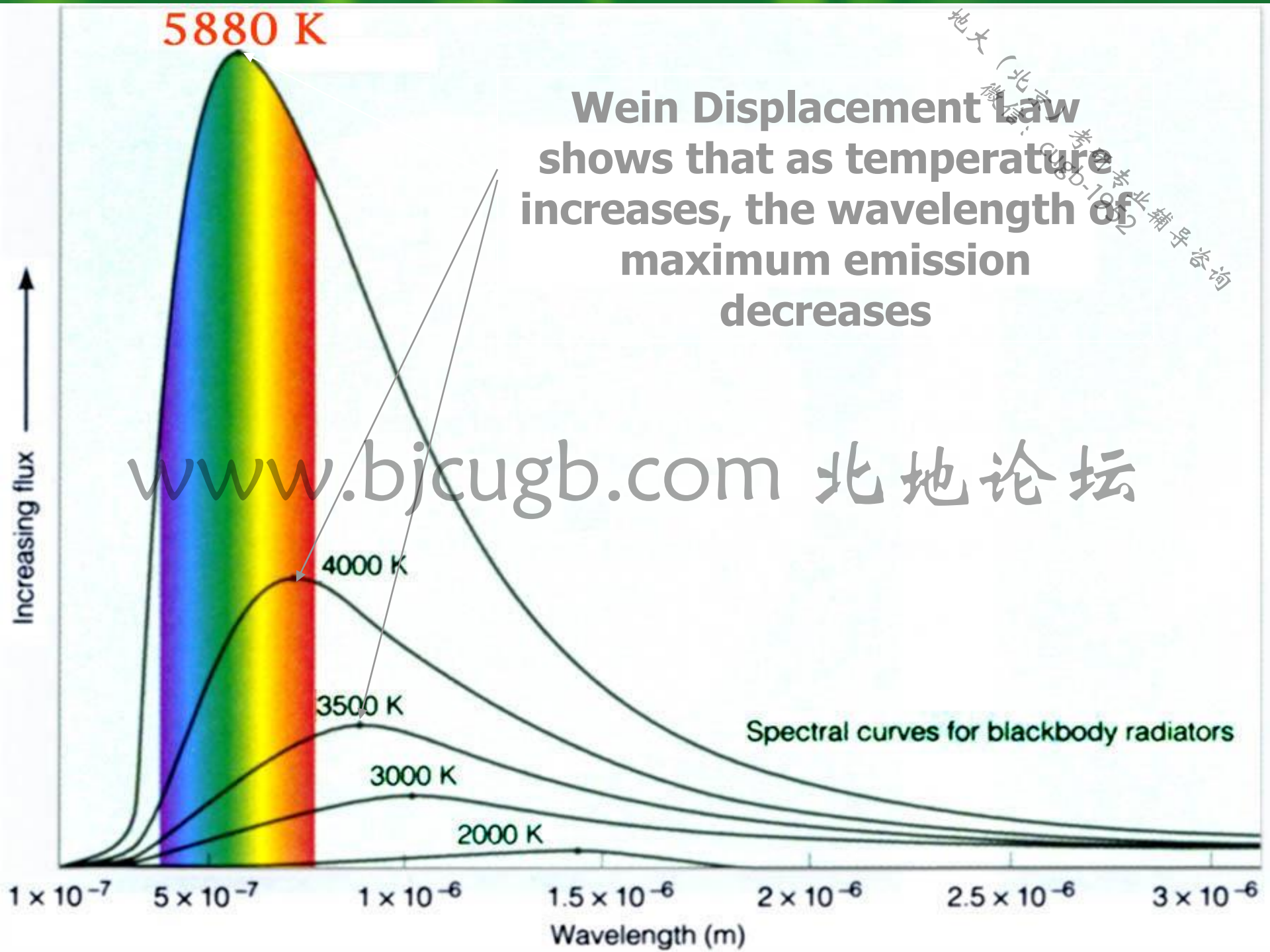


Wien's displacement law

$\lambda_{max} T = b$

$b = 2897.8\ \mu mK$

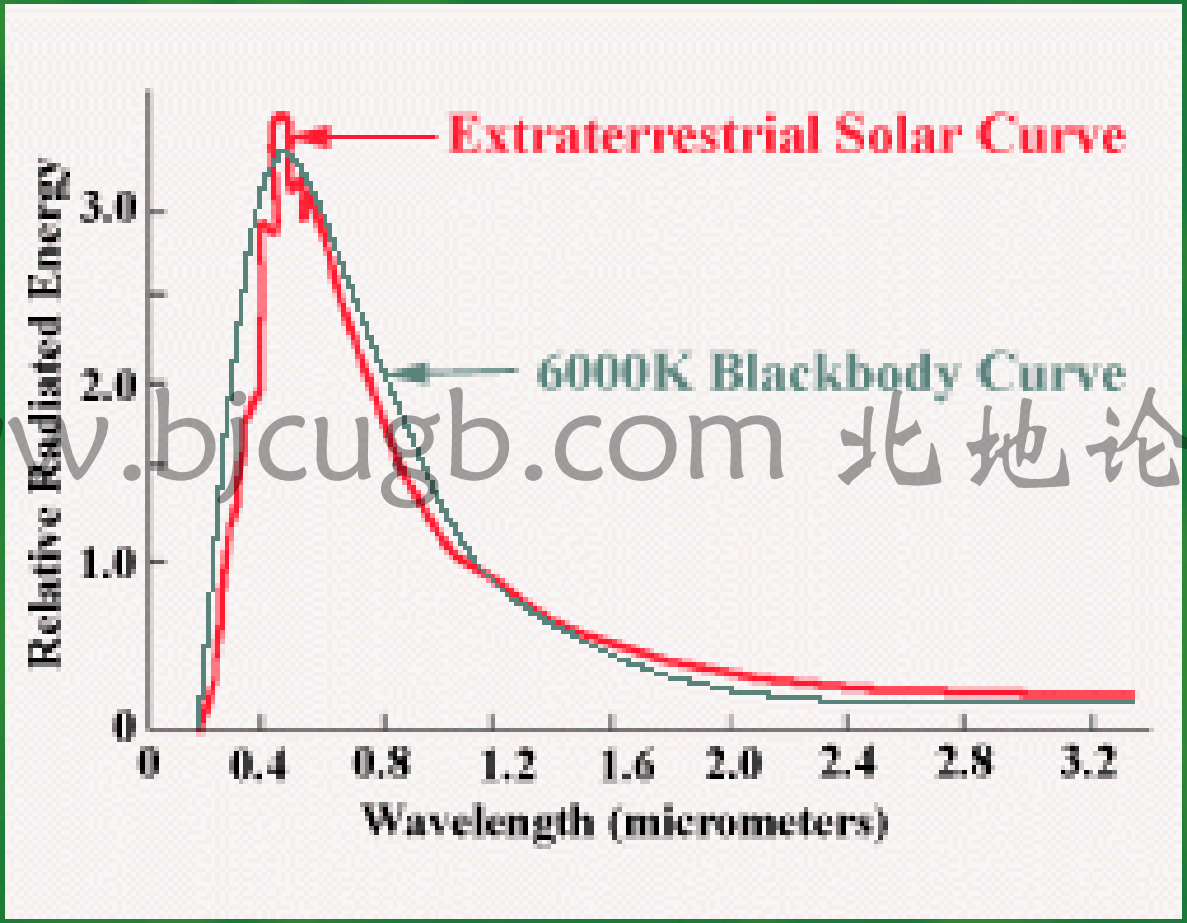
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛



www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1852

太阳辐射及大气对辐射的影响

太阳波谱



从可见光到近红外，太阳辐射能量大约99%的在0.17 ~ 4 μm

www.bjcugb.com 北地论坛

太阳常数

在日地平均距离处通过与太阳光束垂直的单位面积上的太阳辐射通量称为太阳常数。

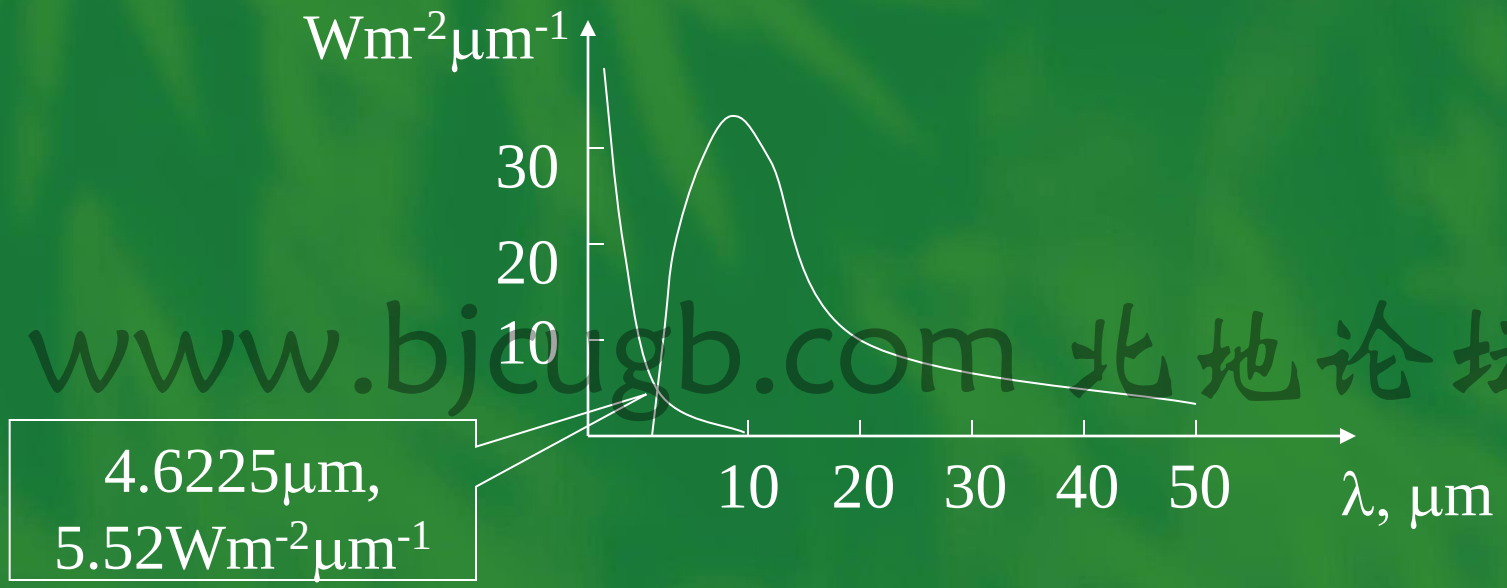
$E_0 = 1353(\pm 21)\ W/m^2$ (1976, NASA)

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

电磁波的来源

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

- 地球能量谱



www.bjcugb.com 北地论坛

3 μm处，太阳：26.57，地球：0.18
6 μm处，太阳：2.08，地球：16.24
8 μm处，太阳：0.69，地球：28.49

电磁波与介质的相互作用

电磁波的散射和吸收



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

当电磁波在介质中传播时，会发生散射(scattering)和吸收(absorption)，其中散射又分为反射(reflection)和透射(transmission)。

www.bjcugb.com 北地论坛



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952



反射率 ρ

以比例形式表征的反射辐射强度，反射率为反射辐射与入射辐射之比：

www.bjcugb.com 北地论坛

$$\rho = M_r / M_i$$

透射率τ？　　吸收率α？

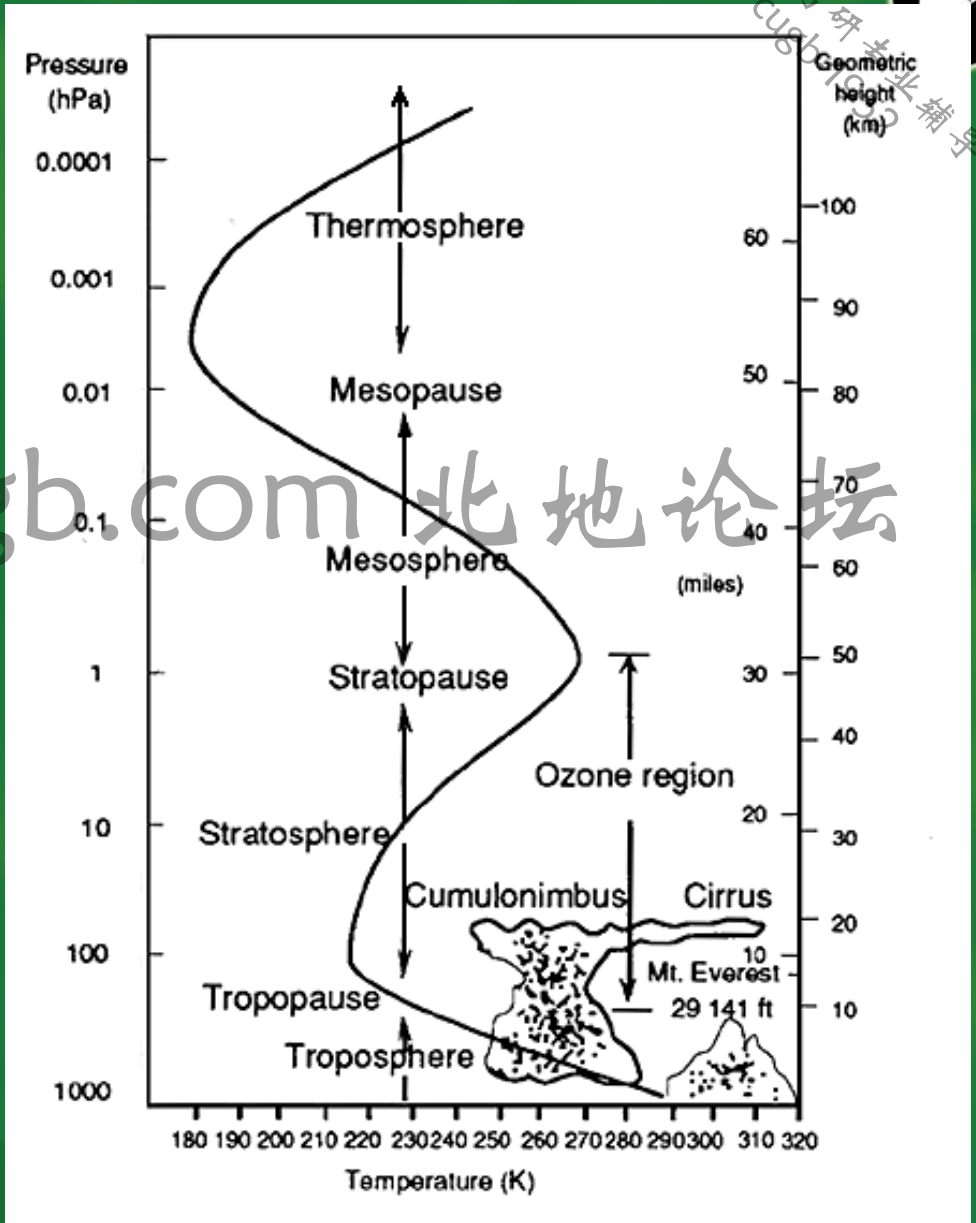
反射率、透射率、吸收率之间的关系：

$$\rho + \tau + \alpha = ?$$

大气组成及大气对辐射的影响

大气垂直结构

Troposphere(对流层)
Stratosphere(平流层)
Mesosphere(中间层)
Thermosphere(热层)



www.bjcugb.com 北地论坛

大气组成



对流层

邻近地表的一层。厚度最薄，大气质量80%，水汽90%。

低纬：16~18km;

中纬：10~12km;

高纬：7~9km.

特点：

a. 温度随高度增加不断下降，平均6.5℃/km，一切的天气变化 (水汽，云,降水)都发生在该层。

b. 垂直方向空气运动激烈。

地大（北京）考研辅导咨询 微信：cug1952

大气组成



平流层

从对流层顶到50~55km。约20%大气质量，水汽少，臭氧(10~40km)丰富，气体密度低。特点：

a. 20~32km, 同温层。

b. 同温层之上，温度随高度增加而增加，到平流层顶温度停止增加。

c. 无垂直运动，稳定，导致气溶胶可以停留很长时间。

地大（北京）考研专业课导师咨询
微信：cugb-1952
www.cugb.com

大气组成



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

中间层

从平流层顶到80~85km。

特点：

a. 温度递减

b. 化学组成非常均匀，压力很低。

c. 中间层顶的温度通常最低：-95℃

www.bjcugb.com 北地论坛

热层

从中间层顶到几百公里。

特点：

a. 密度很低，温度约500~2000K。

b. 又称电离层，反射无线电波。

c. 没有固定的化学组成。

大气组成

大气主要成分为分子和其他微粒

分子主要有：N2和O_2，约占99%，其余1%是O_3，CO_2，H_2O及其他（N_2O，CH_4，NH_3等）

其他微粒主要有烟，尘埃，雾霾，小水滴及气溶胶。

地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

大气对辐射的影响

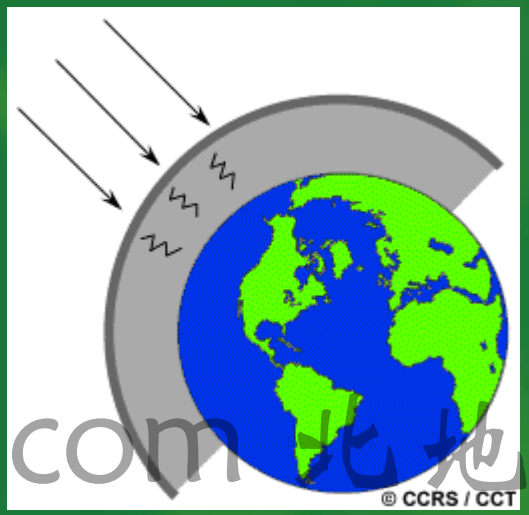
回忆，大气对辐射的影响有

吸收，散射

散射（透射，反射）

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

大气影响–吸收



紫外区
臭氧的吸收

可见光区
基本没有吸收.

红外区域
主要来自水及二氧化碳。 (0.7 to 15 μm)
在远红外区，基本上都被大气吸收。

微波区域
总体不强，但氧气和二氧化碳有微弱 吸收

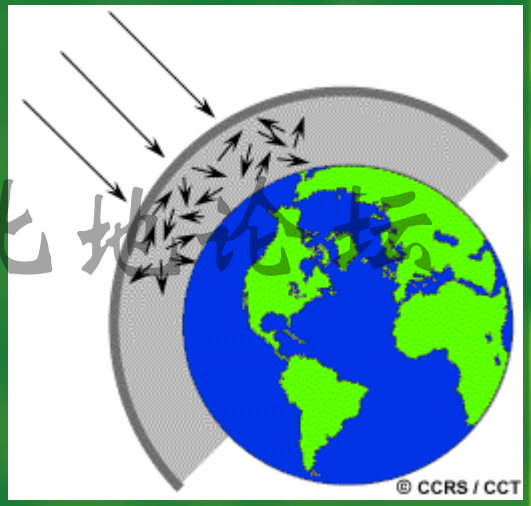
www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952

大气影响-散射

大气中的粒子或大的气体分子存在发生散射

改变原来的辐射方向

取决于粒子或气体分子的多少，辐射的波长，还有传播的距离.



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.dijiugk.com 北地论坛

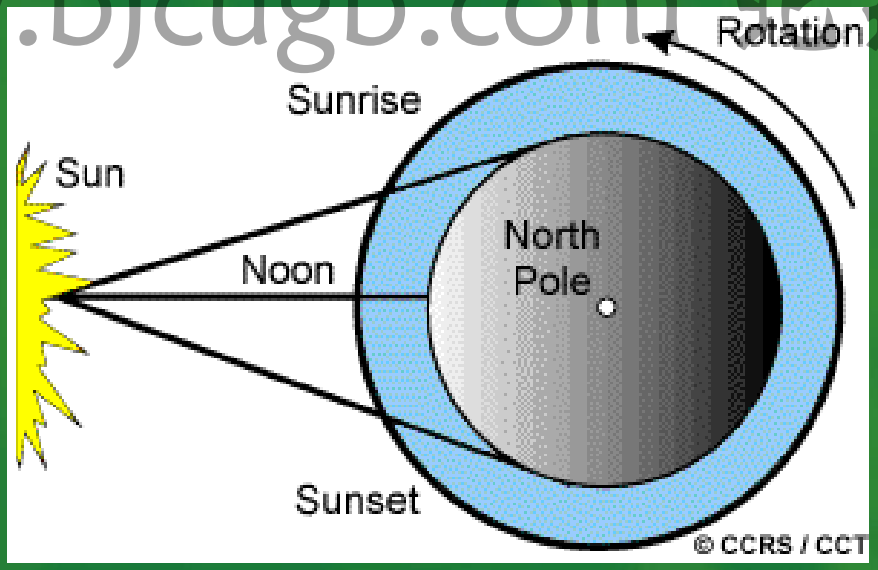
瑞利散射

当粒子相对于波长很小时发生

小粒子，氮气分子和臭氧分子

散射的大小与波长的四次方呈反比

www.bjcugb.com 北地论坛



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

米散射

当粒子和波长相比尺度差不多

尘埃，花粉，烟雾和水汽分子

www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

非选择性散射

粒子比波长大的多

水滴和大的尘埃粒子引起



www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

为什么云和雾是白色的？



www.bjcugb.com 北京论坛

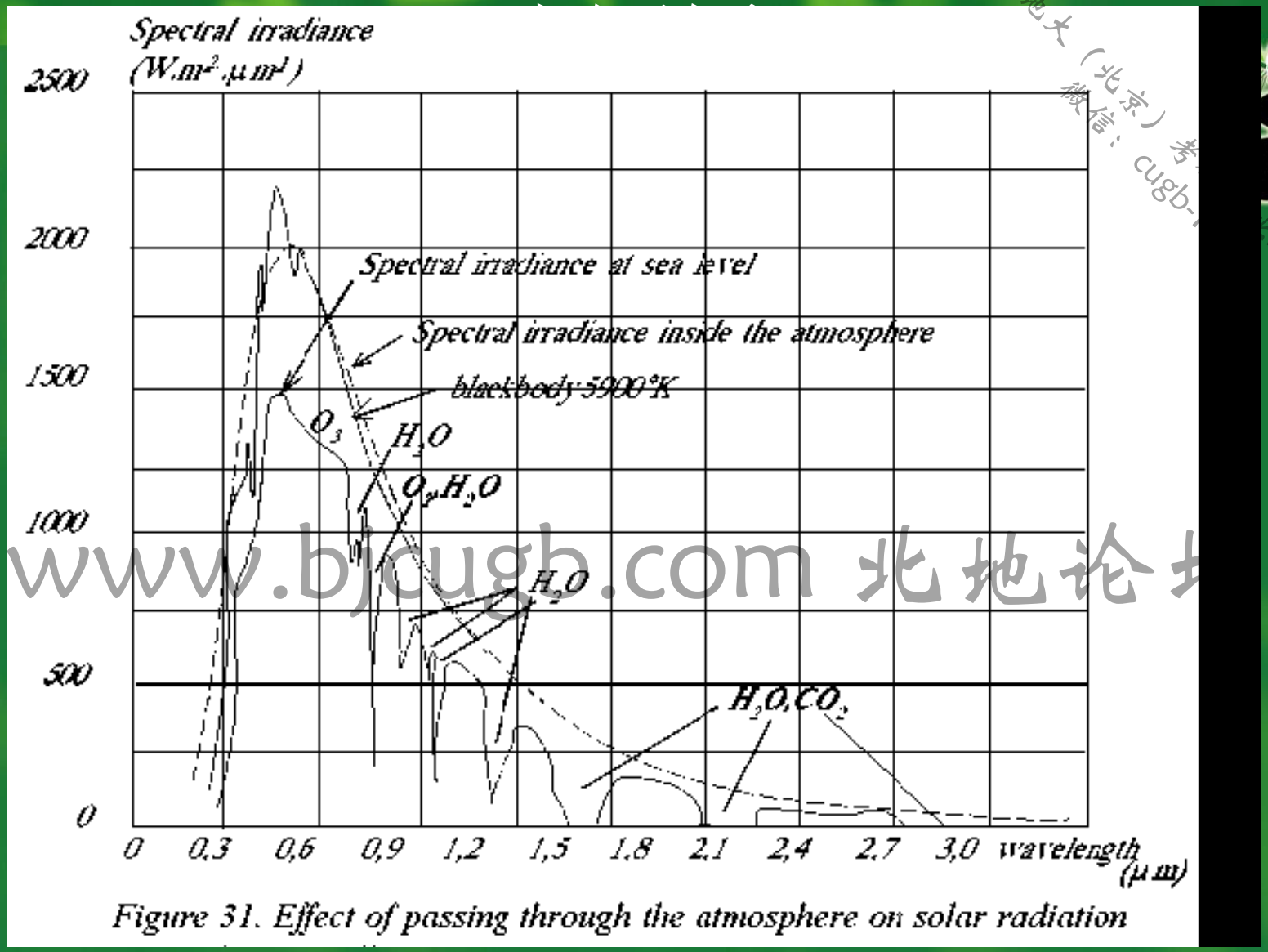


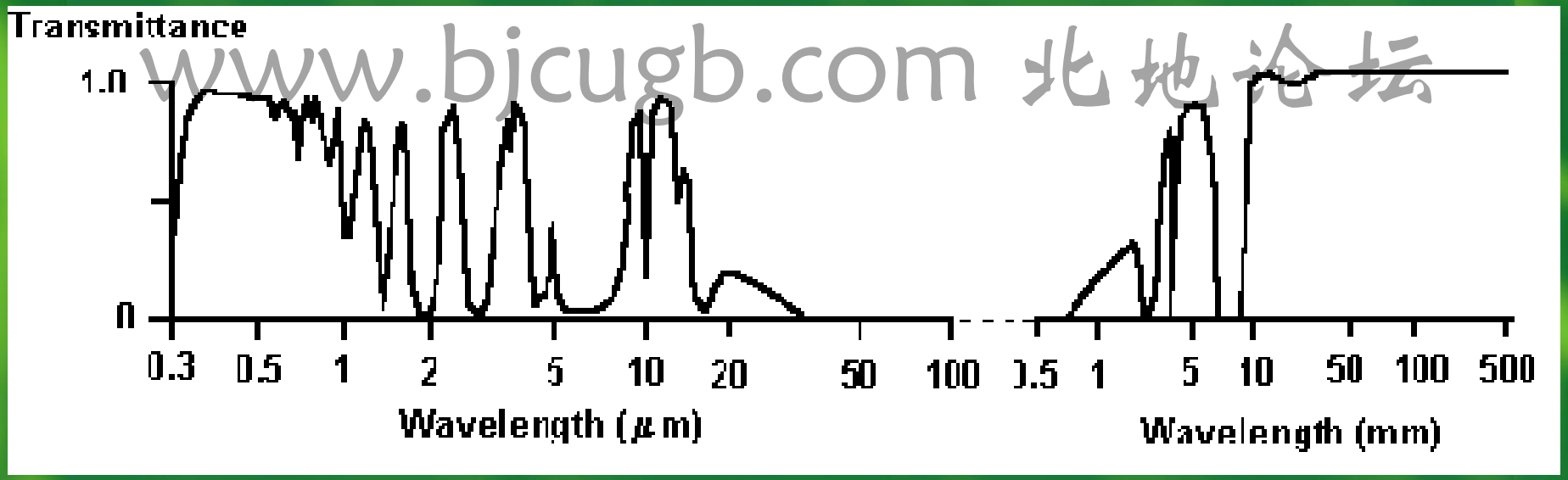
Figure 31. Effect of passing through the atmosphere on solar radiation

www.bjdugb.com 北地论坛

Effect of passing through the atmosphere on solar radiation (according to Valley, 1965).

大气窗口

通常把辐射经过大气时较少被吸收和散射的波段称为大气窗口。



www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb

大气窗口



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

0.3~1.3μm，紫外，可见和近红外

1.5~1.8μm和2.0~3.5μm，近中红外波段

3.5~5.5μm，中红外波段

8~14μm，远红外（热红外）波段

0.8~2.5cm，微波波段

www.bjcugb.com 北地论坛

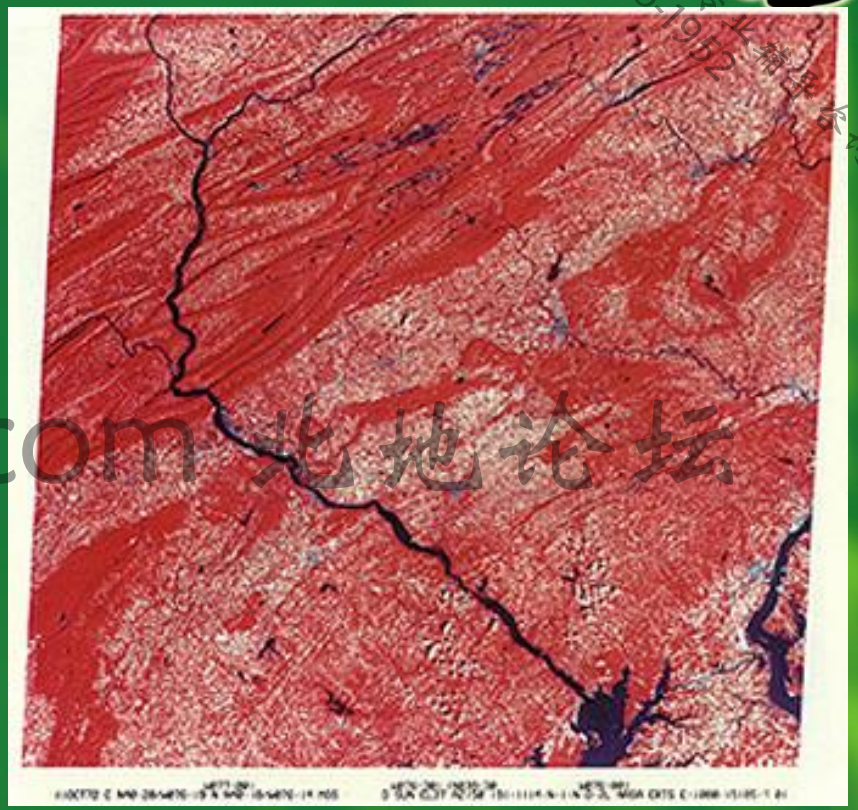
地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

典型地物的反射光谱

www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb1952





www.bjcugb.com 北地论坛



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb1952

地物反射光谱特性与遥感

水体

植被

土壤

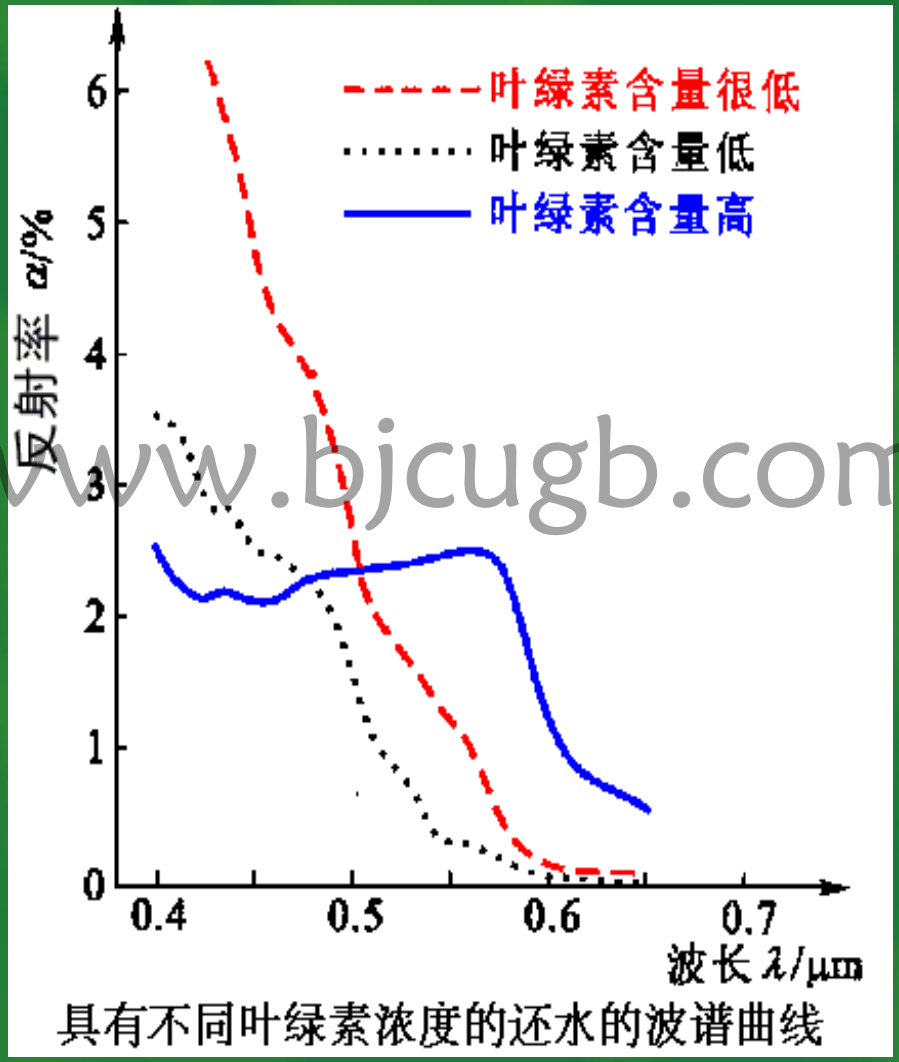
www.bjcugbbbs.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

水体的反射光谱及影响因素

www.bjcugb.com 北地论坛

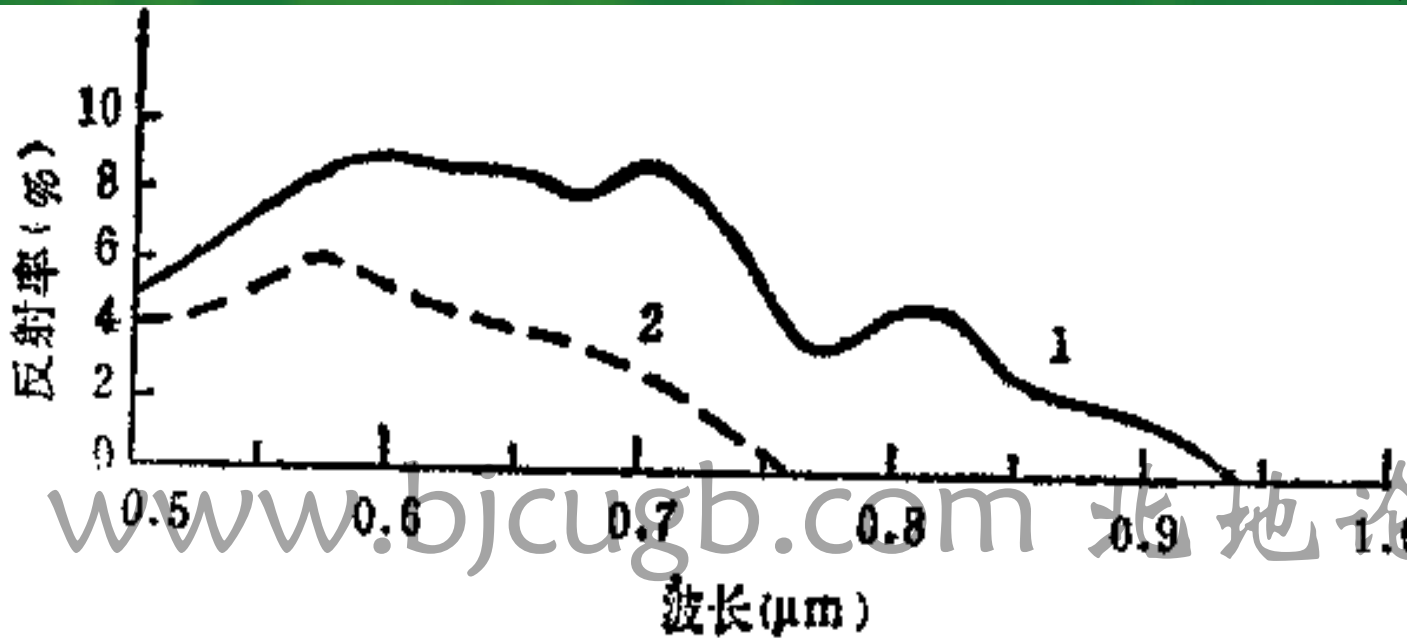
典型地物的光谱反射特征—水体



具有不同叶绿素浓度的还水的波谱曲线

www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952



www.bjcugb.com 北地论坛

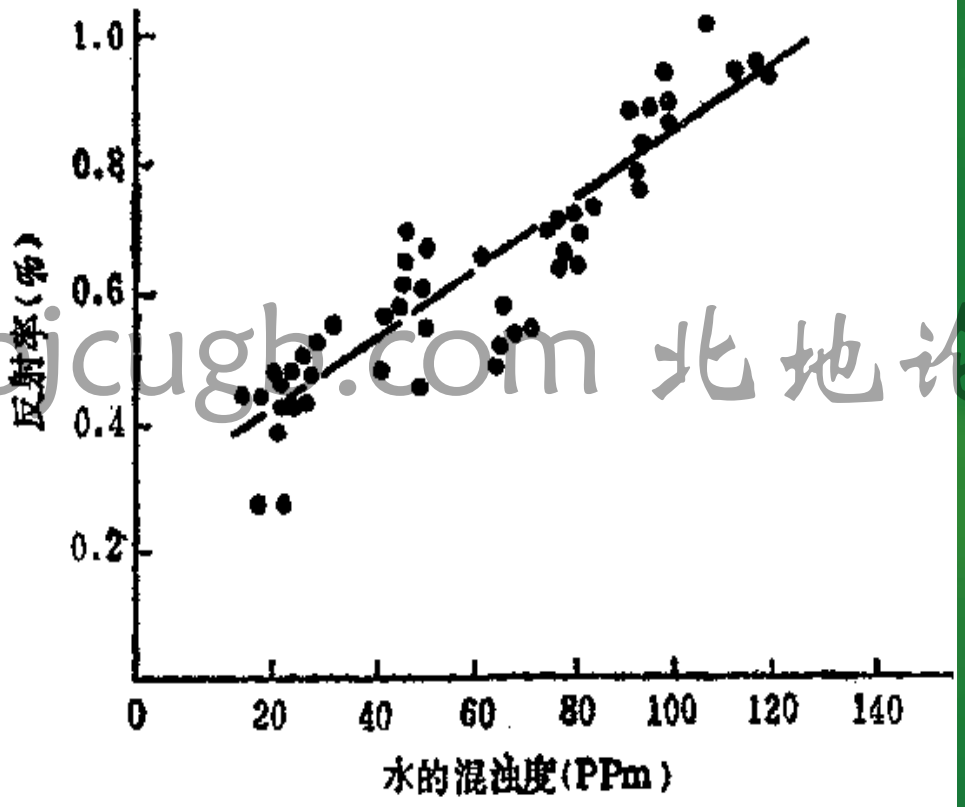
混浊水与清水的反射光谱特性曲线(据Bartolucci, L.A.等, 1977)

1.混浊河水(悬浮泥沙含量99mg·l⁻¹)

2.清洁湖水(悬浮泥沙含量10mg·l⁻¹)

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

遥感探测水体泥沙等的理论依据



0.6—0.7μm波段内水体的反射率与混浊度的关系
（据Weisblatt, E.A.等, 1973）

www.bjcugb.com 北地论坛

一种特殊水体--雪的反射光谱特征

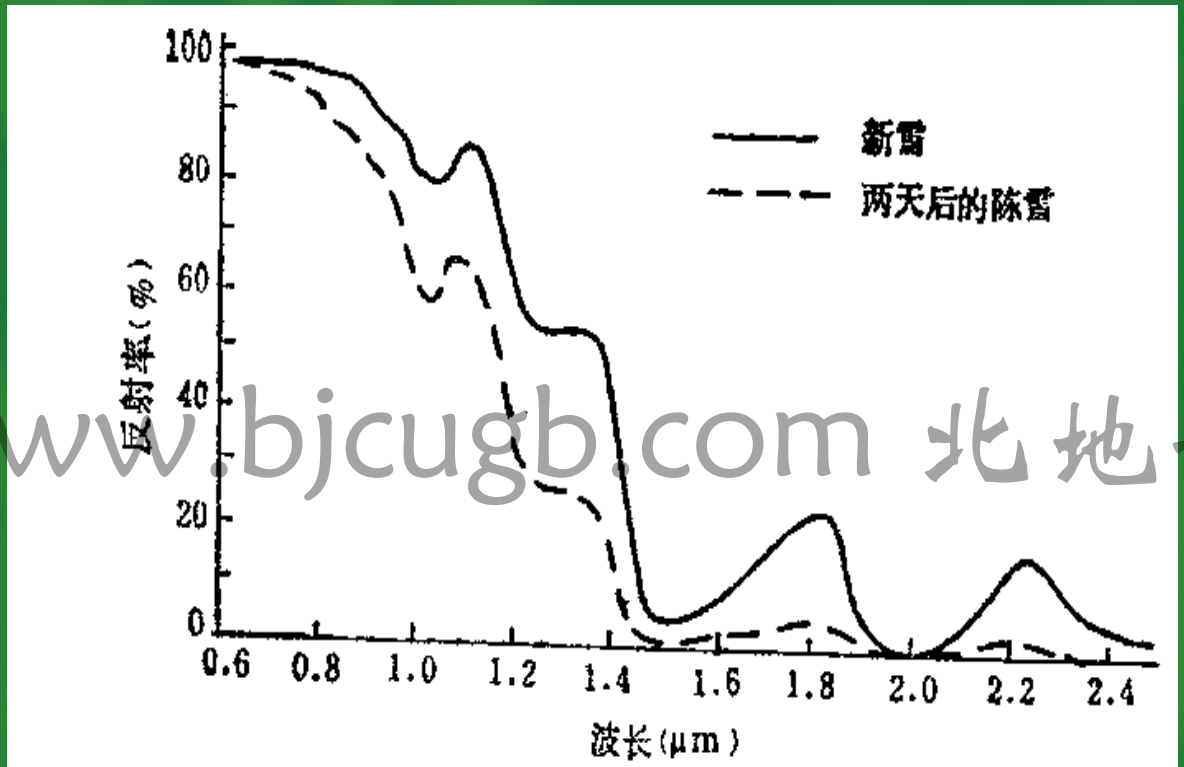
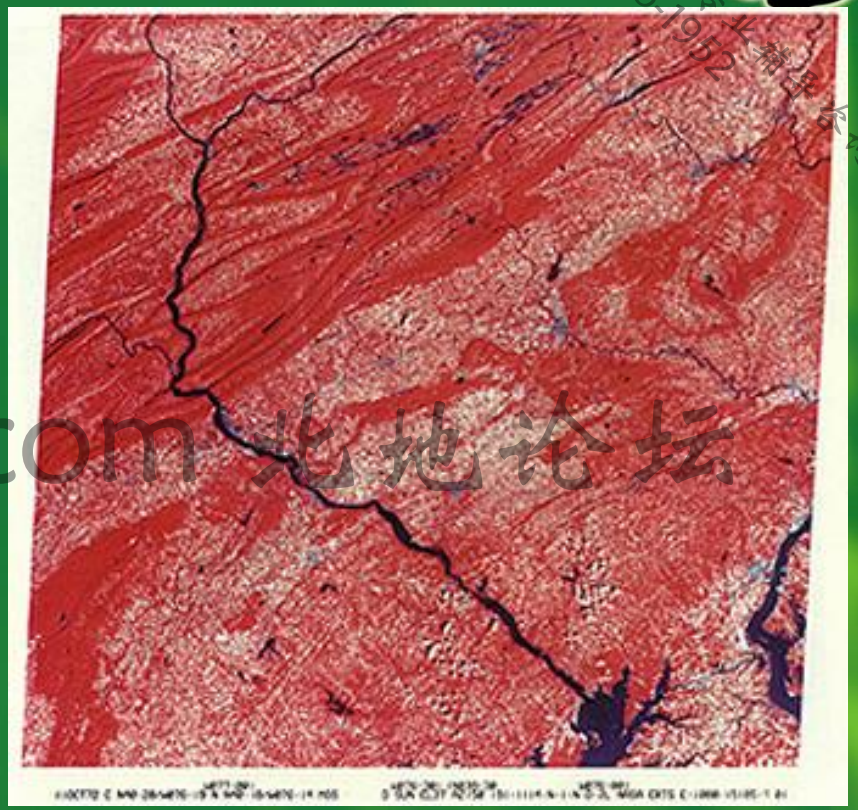


图3.10　雪的反射光谱特性曲线(据O'Brien, H.W.等, 1975)

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb1952





www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952



www.bjcugb.com 北地论坛



www.bjcugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952



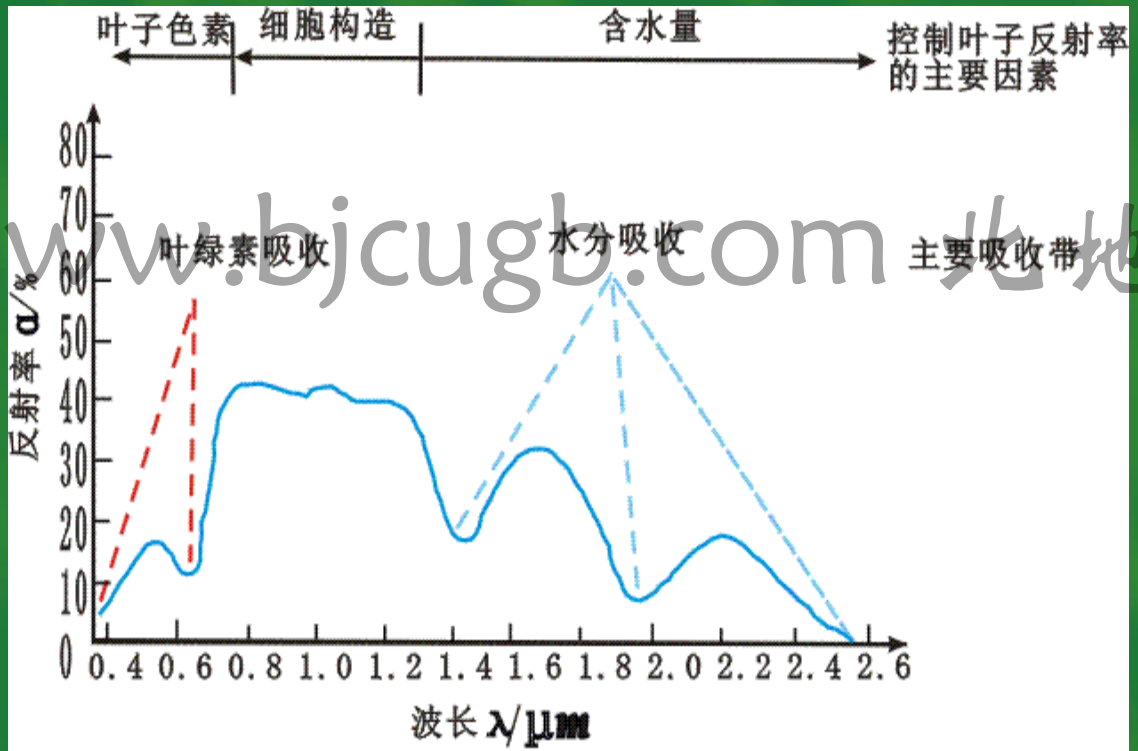
www.bjcugb.com 地大论坛



地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

植被的光谱特性

决定植物光谱特性的因素，是叶子的色素成分、叶子的细胞结构及叶子的含水量。



绿色植物有效光谱响应特征

www.bjcugb.com 北地论坛



归总起来，各种植物叶子在可见光、近红外波段的光谱特性具有明显的差别。在可见光段，叶子中的色素对光谱特性起着支配作用，这个波段的大部分入射辐射被吸收，小部分被反射。叶子在近红外波段的0.76 —1.3um范围内，反射率的大小，取决于叶子的细胞构造。在该波长范围内，叶子的反射和透射辐射各占入射辐射的一半，而被叶子吸收的辐射则极少。植物中的含水量直接影响它在1.3—2.5um波长范围内的反射率值，大部分入射辐射被叶子中的水分所吸收，其余的被叶子反射。

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：18810121952
www.bjcugp.com 北地论坛

土壤反射光谱特性

土壤与电磁辐射相互作用中，只存在反射与吸收过程。土壤的可见光、近红外光谱特性，与土壤的质地、有机质含量、氧化铁含量和含水量等因素有关。

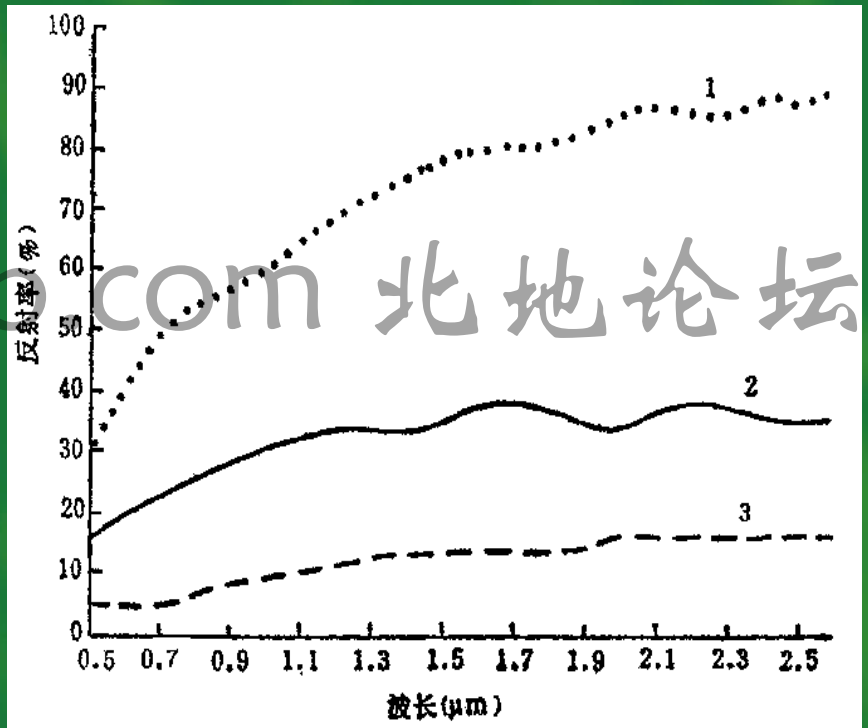


图3.15 三种土壤的反射光谱特性曲线（据Hoffer, R.M., 1976） 1.粉砂土；2.砂土；3.腐泥

地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952
www.bigugb.com 北地论坛

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

土壤中有机质含量增加导致反射率非线性地下降。

www.bjcugb.com北地论坛

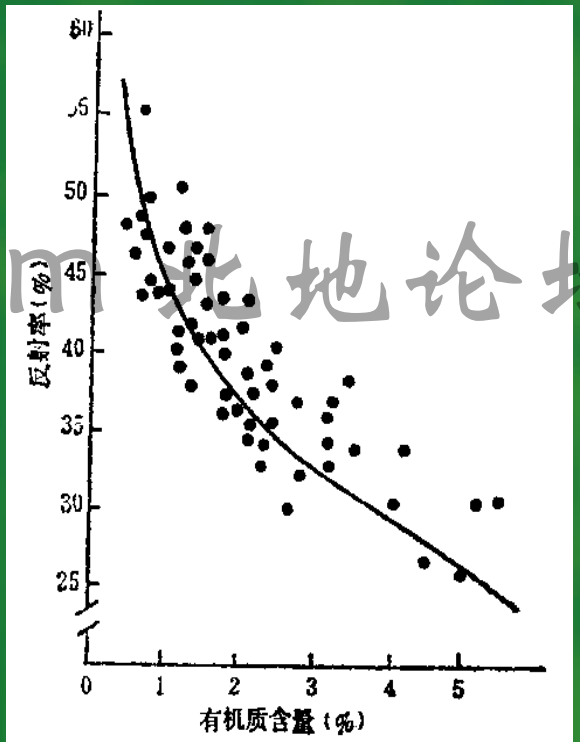


图3.16 土壤中有机质含量与土壤反射率的关系(据Hoffer, R.M., 1976)

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

土壤中氧化铁含量的增加导致它在可见光段的光谱反射率明显下降。

www.bjcugb.com 北地论坛

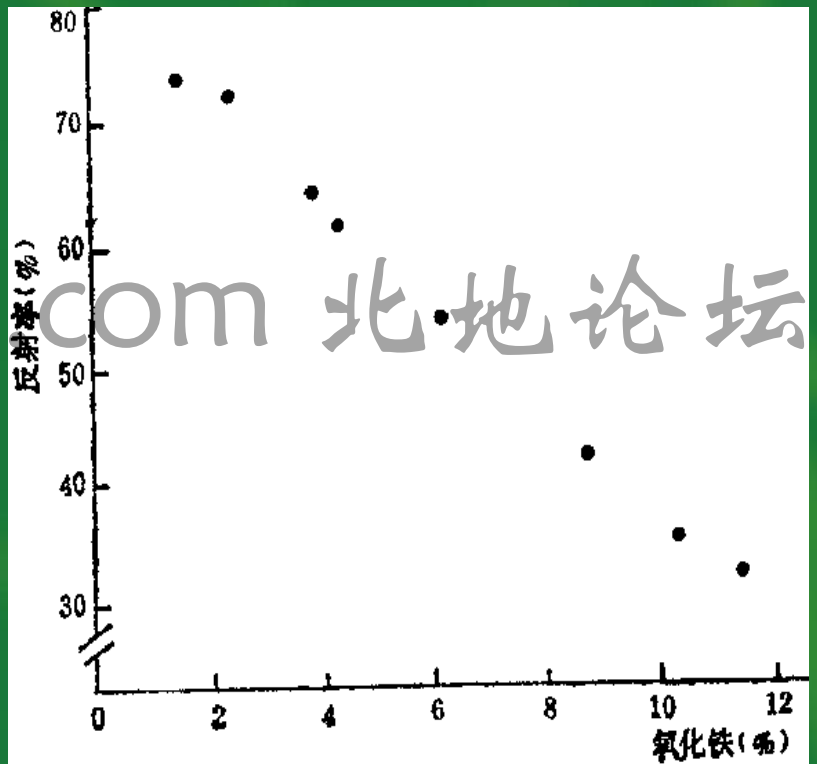


图3.17 0.5—0.64μm波段土壤中氧化铁含量与反射率的关系(据Obukhov, A.E., 1964)

地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952

水分含量对土壤的反射光谱特性的影响最为显著，不仅会导致反射率下降，还会明显地改变近红外波段反射光谱特性曲线的形态。

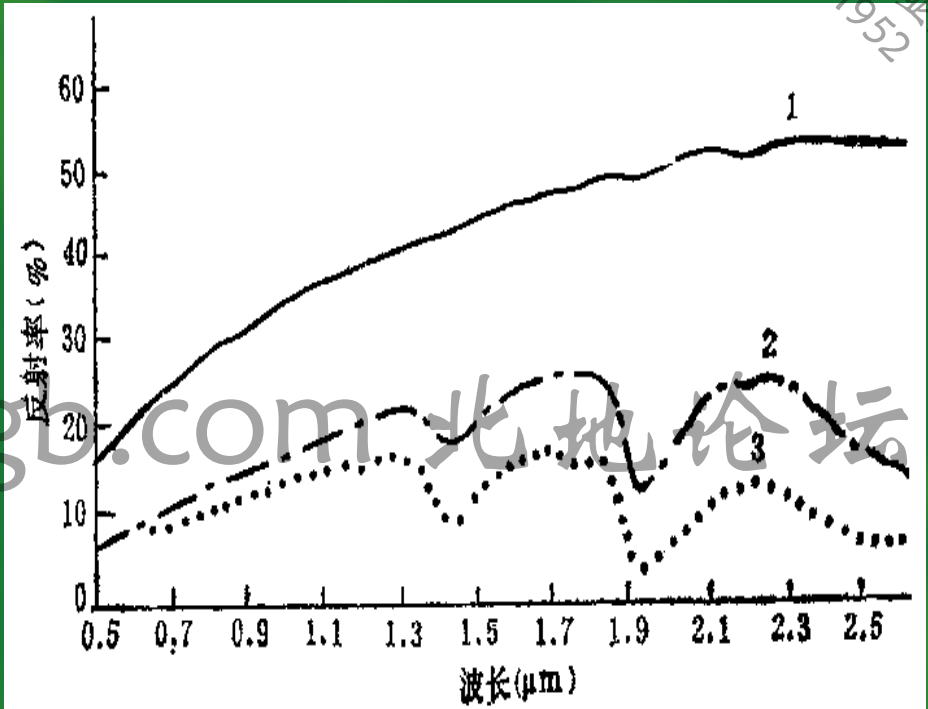


图3.19 三种不同含水量的砂质土壤的反射光谱特性曲线

1.含水量0—4%；2.含水量5—12%；3.含水量22—32%

www.bjtugb.com 北地论坛

岩石的反射波谱

岩石的反射波谱曲线无统一的特征

影响因素

矿物成分

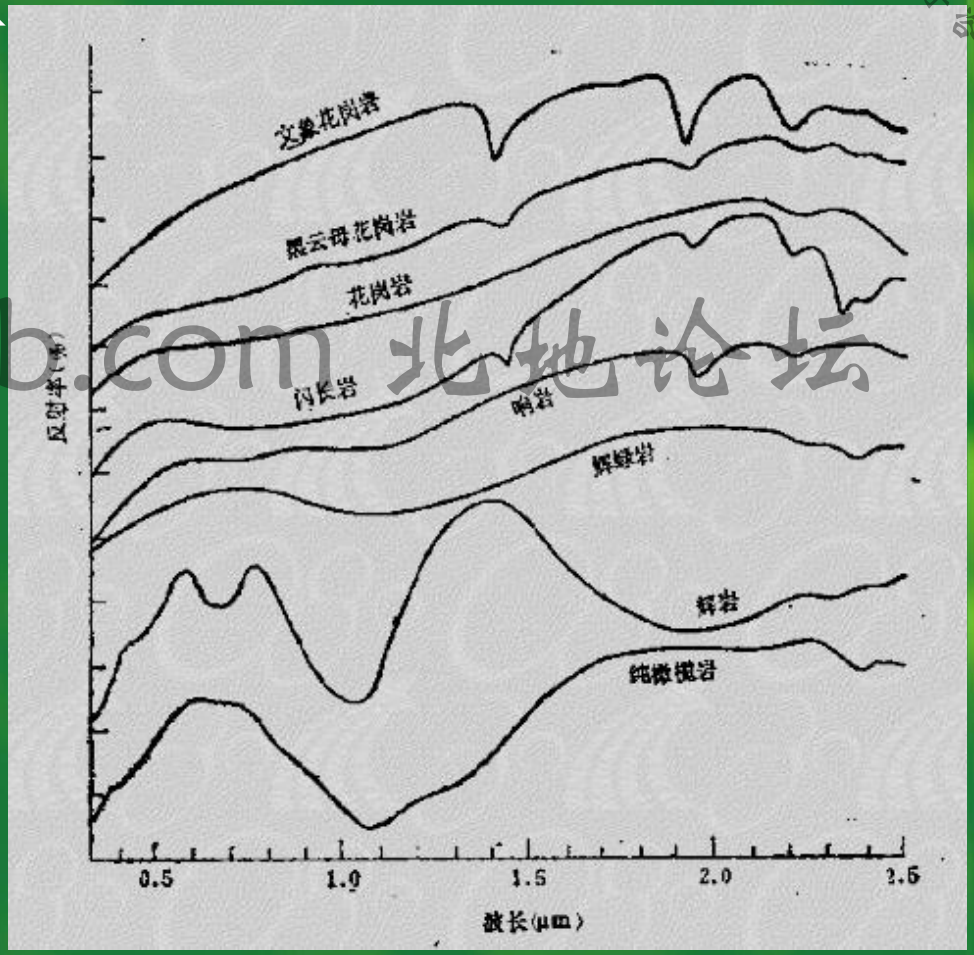
矿物含量

风化程度

含水状况

颗粒大小

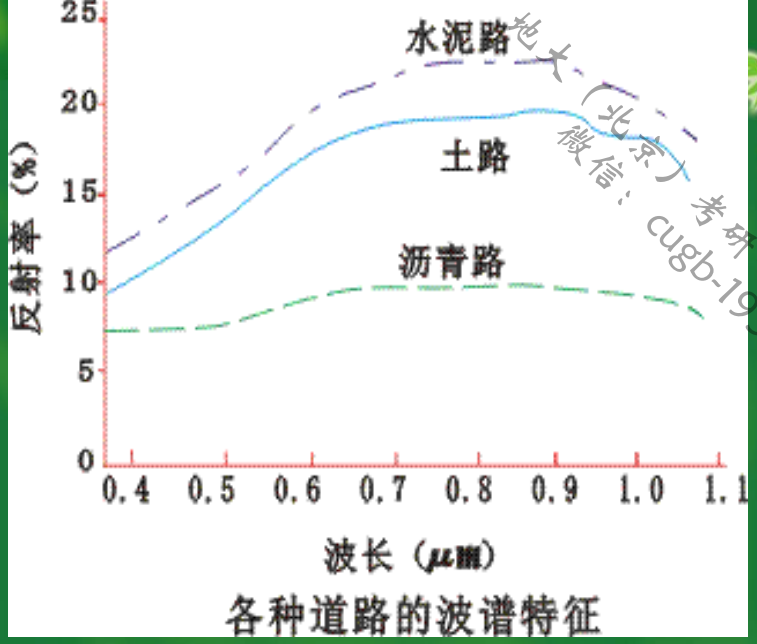
表面光滑程度，色泽等



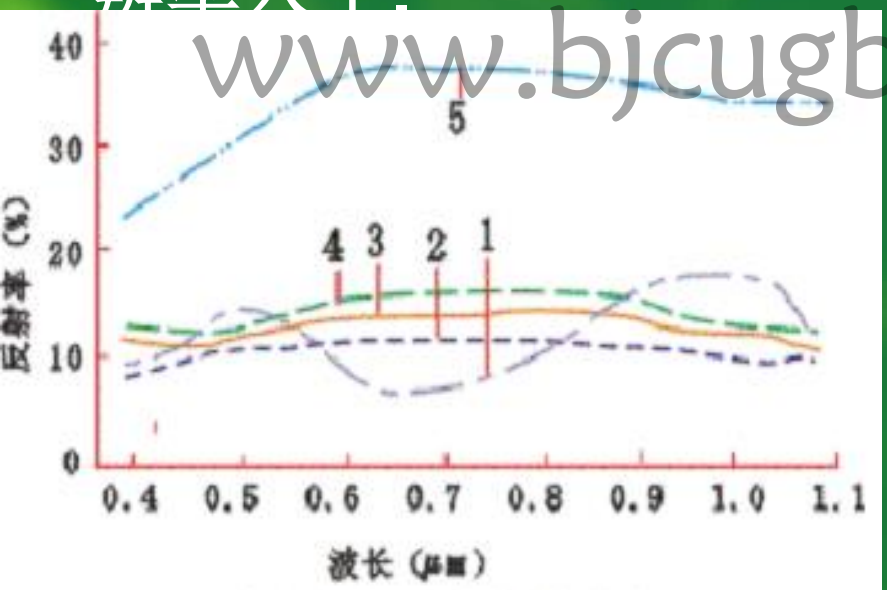
地大（北京）考研专业辅导咨询
微信：cugb-1952
www.bjcugb.com 北地论坛

城市地物光谱特征

也称人工（造）地物,灰色基调，无特别特征，不易通过光谱进行区分，应当着重从提高空间分辨率入手.

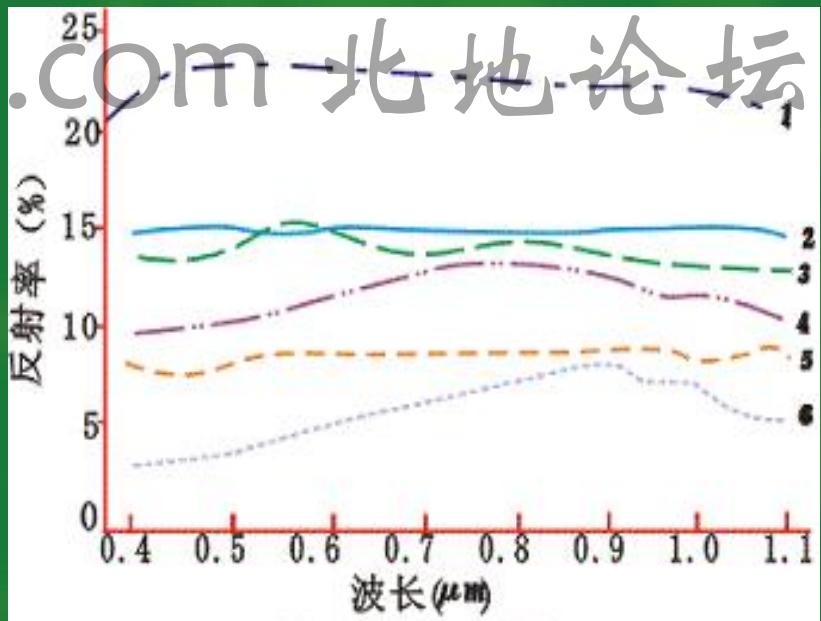


各种道路的波谱特征



建筑屋顶的波谱特征

1.塑料顶棚；2.铁质屋顶；3.水泥平顶；
4.沥青沙石屋顶；5.石棉瓦顶



城市垃圾的波谱特征

1 粉煤灰 2 矾土渣 3 煤矸石
4 钢渣 5 炉渣 6 生活垃圾

www.bjcugb.com 北地论坛
地大（北京）考研专业辅导咨询 微信：cugb-1952