

遥感物理基础

第一节 电磁波谱及有关概念

一、电磁波谱及其产生机理

电磁波谱: 将各种电磁波按其波长的(频率)大小, 依次排列成图表, 这个图表即电磁波谱。

电磁波: 是粒子(电子、原子、分子等)发生能级跃迁时产生的, 到当粒子从较高能级跃迁到较低能级时发射电磁波; 反之, 吸收电磁波。

不同的粒子, 发生不同的能级跃迁, 产生不同能量, 也就是不同波长的电磁波。

电磁波谱的产生的物理机制

玻尔理论

原子光谱: 原子核能级间跃迁(γ 射线)、内层电子能级间跃迁(X射线)、外层电子的跃迁(紫外、可见光和近红外)

分子光谱分子的能量E为: $E = E_e + E_v + E_r$

E_e : 电子能级的能量, E_v : 振动能级的能量, E_r : 转动能级的能量

不同的振动方式, 产生不同波长的光子

晶体光谱: 晶体中的吸收与发射光谱远比原子与分子复杂, 产生的是连续光谱, 其光谱范围大约在红外区 $3 \sim 30 \mu\text{m}$ 。

二、电磁波谱的划分与特性

宇宙射线: 波长 $< 10^{-8} \text{ m}$, 是来自宇宙天体, 具有很大能量和贯穿能力的电磁波, 人工还无法能产生。遥感目前未能用得上的波段。

γ —射线: $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{ m}$, 是能量很高的波段。航空物探放射性测量所记录的就是由含放射性元素的矿物所辐射出来的射线。

x—射线: $10^{-6} \sim 10^{-2} \text{ m}$, 来自宇宙空间的射线, 被大气层全部吸收, 不能用于遥感工作。

紫外线: $0.01 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 。

波长小于 $0.28 \mu\text{m}$ 的紫外线, 被臭氧层及其它成份吸收。

只有波长 $0.28 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 的紫外线, 能部分穿地大气层, 但散射严重, 只有部分投射到地面, 并使感光材料所感应, 可作为遥感工作波段, 称为摄影紫外。现已开始用于监测气体污染及水体的油污染。

可见光: $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$

人眼可见, 可以用棱镜分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色光;

在太阳辐射能中所占比例高;

能透过大气层;

而地面物体对七色光多具有其特征的反射和吸收特性, 故信息量最大;

可用摄影、扫描等各种方式成像, 是遥感最常用的波段。

可见光波段的遥感技术最成熟, 但仍然有很大潜力。当前分辨能力最好的遥感资料, 仍然是在可见光波段内。

红外线: $0.76 \sim 1000(\mu\text{m})$ 。

可分为近红外 ($0.76 \sim 3$) 中红外 ($3 \sim 6$) 远红外 ($6 \sim 15$), 超远红外 ($15 \sim 1000$) 波段
近红外波段是地表层反射太阳的红外辐射, 故又称反射红外。

其中靠近可见光红光的 $0.76 \sim 1.3$ 波段可使胶片感光, 故又称摄影红外。

而中远红外是地表物体发射的红外线, 故称热红外。热红外只能用扫描方式, 经过光电信号的转换才能成象。

红外是一个很有发展潜力的遥感波段。

微波: $1\text{mm} \sim 1\text{m}$ 。

是一个很宽的波段。可分为毫米波 ($1 \sim 10\text{mm}$)、厘米波 ($1 \sim 10\text{cm}$) 和分米波 ($1 \sim 10\text{dm}$)。

特点是能穿透云雾和一定厚度的植被、冰层和土壤，获得其它波段无法获得的信息；
具有全天候的工作能力；
可以主动和被动方式成像。
因此在遥感技术上是很有潜力的一个波段。

第二节 表征电磁辐射的物理量

辐射能量 Q (J)：电磁辐射具有的能量

辐射通量 (radiant flux) Φ ($W=J/S$)： $\Phi=dQ/dt$ 单位时间内通过的辐射能量称为辐射通量

辐射通量密度 (W/m^2)：单位面积上的辐射通量 (W/m^2)

辐照度 (irradiance) $E=d\Phi/dA$ 自放射面射出的辐射通量密度

辐射度 (辐出度) (radiant exitance) $M=d\Phi/dA$ 到达接收面上的辐射通量密度

辐射强度 (radiant intensity) I (W/Sr) $I=d\Phi/d\Omega$ ：

点辐射源某一方向上单位立体角内的辐射通量，其中 $\Omega=A/R^2$

辐射亮度 (radiance) L ($W/m^2 \cdot Sr$)： $L=\partial^2\Phi/\partial A\partial\Omega$

面辐射源单位面积、单位波长、单位立体角内的辐射通量

分谱辐射通量 ($W/\mu m$) $\Phi_\lambda=d\Phi/d\lambda$ ：波长 λ 的函数，单位波长间隔内的辐射通量

分谱辐照度、分谱辐射出射度、分谱辐射强度：“分谱”两字可以忽略

第三节 电磁辐射源

热辐射：自然界中一切物体。当温度高于绝对零度($-273^\circ C$)时，都会不断向四周空间辐射电磁波，这种现象称为热辐射。

热辐射能量的大小及波长分布取决于物体本身的温度。

$$\alpha = \frac{\text{吸收能量}}{\text{入射能量}}$$

吸收系数：物体吸收能量与入射总能量之比。

绝对黑体：任何温度、频率和波长条件下吸收系数恒等于 1 的物体称为绝对黑体，简称黑体。

对于黑体，有： $\alpha_{\lambda,T}=1$ ，显然，黑体的反射率(r)和透射率(τ)均为 0：

普朗克公式：绝对黑体在波长为 λ ，绝对温度为 T 时的辐射通量密度为

$$M_b(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

$C=3 \times 10^{10} \text{ cm/秒}$ ，光速；
 $h=6.6256 \times 10^{-34} \text{ 瓦.秒}^2$ ，普适恒量；
 $K=1.38 \times 10^{-23} \text{ 瓦.秒}$ ，玻尔兹曼常数；
 λ —波长；
 T —绝对温度；

史蒂芬—玻尔兹曼公式：对普朗克公积分得：

$$M_b(T) = \int_0^\infty E_0(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4$$

T —绝对温度。
 $E_0(T)$ — T 时，黑体单位时间和单位面积上发出的总辐射能；
 $\sigma=(5.6697 \pm 0.00029) \times 10^{-12} \text{ W/cm}^2\text{K}^{-4}$ ，史蒂芬-玻尔兹曼常数；

上式可见：绝对黑体表面上，单位面积发出的总辐射能与绝对温度的四次方成正比，对于一般物体可用上式概略推算出总辐射能与绝对温度的关系

维恩位移定律：对普朗克公式微分后求极大值，即得出黑体具有最大辐射能的波长 (m) 与其对应绝对温度 (T) 的关系式为： $T \cdot \lambda_m = b$ $b = 0.2897 \text{ cm} \cdot K$

上式说明：黑体的绝对温度增高时，它辐射能最大的波段向短波方向移动。据此可对特定的目标选择红外遥感的最佳波段。

基尔霍夫定律：任何物体在任一给定的温度和波长条件下，它的辐射通量密度和吸收系数之比是一个常数，并且等于同一温度波长下，绝对黑体的辐射通量密度。 $M_b(\lambda, T) = \frac{M(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)}$
由此可见：

任何物体在给定温度条件下，在某一波长处发射系数数值上等于相同条件下黑体的吸收系数
定义物体热辐射的辐射通量密度与同温下黑体辐射通量密度之比为物体的比辐射率或发射率，即： $\epsilon(\lambda, T) = \frac{M(\lambda, T)}{M_b(\lambda, T)}$ $\epsilon(\lambda, T) = a(\lambda, T)$ ，即物体的吸收率就是它的比发射率

一个好的吸收体也是一个好的发射体。

温度相同的两物体，对于某波长的辐射，如果甲比乙吸收得多，则甲比乙发射得也多
物体不吸收某波长的辐射，也就不发射该波长的辐射

一般物体的热辐射出射度小于同温度的绝对黑体的辐射出射度

太阳辐射源：是地球环境中，最强大天然电磁辐射源，是当前航天、航空可见光及近红外遥感的主要辐射源

是一个表面温度约 5900K 的炽热发光球体。太阳是地球上除核能外一切有用能量的源泉。
地球距太阳 1.5 亿 KM，太阳辐射能经 500 秒方到达地球，地球反接收太阳辐射能约二十二亿分之一。太阳辐射是一种十分复杂的**连续电波光谱**，从波长 10^{-4} 或更短的 X 射线延伸到大于 100m 的无线电波，但辐射能主要集中在 0.31-5.6 μm 波段内。

太阳电磁辐射强度用太阳常数表示。

太阳常数：日地距离等于地球平均半径时，大气层顶部平均日—地距离处，垂直于太阳入射光线的单位面积上，单位时间内接收到的太阳辐射的总能量。

太阳常数 = 135.3 毫瓦/厘米² = 1352 W/m²

太阳发射的电磁辐射强度在地球大气顶层随波长的分布称为**太阳光谱**。

太阳辐射：X 射线/中紫外 1.97%，近紫外 5.32%，可见光 43.50%，中红外 12%，远红外 0.41%
在大气中的损耗：大气及其他成分吸收 30%，大气散射 22%，大气吸收 17%，到达地面 31%
太阳辐射能（太阳常数）是在平均日地距离的情况下测得，故任一时刻的太阳辐射能需考虑日地距离的变化。

大气层外太阳辐照度 = 太阳辐亮度 / 日地距离平方 $E = \frac{E_s}{r^2}$

任一时刻太阳辐照度 $E = E_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = E_0 d^2$ ， E_0 太阳常数， r_0 为平均日地距离， r/r_0 儒略历

地面太阳辐照度与天顶角的关系为： $E = E_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 T \cos \theta$

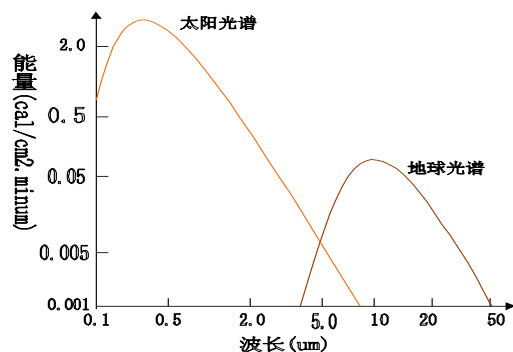
地球辐射源：能量集中在远红外和中红外谱段，峰值在 9.7 处，大部分集中在 8-14 的范围内。这是由于地球表面平均温度约 270C，接近（不超过）3000K，故为 3000K 黑体光谱曲线所包围。地球是目前热红外遥感的主要辐射源。

地球辐射曲线与太阳辐射曲线在 5.5 处相交，
3 处地球辐射减弱至接近于 0，6 处，太阳辐射减至接近于 0。

波长 0.3-3 μm ，主要是反射太阳辐射能，地球热辐射可忽略不计。

波长 3-6 μm 中红外波段太阳与地球辐射均不能忽略。进行该波段的红外遥感时，常选择在清晨时分，经减少太阳辐射影响

波长 > 6 μm ，主要是地球表面的热辐射。



微波辐射源：属无线电波中波长最短的部分，这种高频电磁振荡主要由微波谐振器产生。用于主动遥感之中，辐射直接安装在传感器里，产生所需波长和功率的电磁辐射。如侧视雷达系统中心微波脉冲发生器，激光雷达中使用的脉冲输出激光器等。微波特点：

- 1) 似光性，传播特性与光相似。
- 2) 频率高，可用频带宽，信息容量大。
- 3) 具有一定的穿透性：可穿透云层，可穿透干沙土几十米，可穿透冰层上百米。

激光辐射源：60 年代发起来的。应用日益广泛，如激光雷达，可精确测定卫星的卫星，高度，速度，测量地形、海浪情况，监测污染等

光谱：短波可至 0.24 以下，长波可达 1000，以至微波

输出功率：低者几微瓦，高者可达几兆瓦以上。

1、光的方向性好：光细、发散面非常小、产生极高分辨率图像。

2、高亮度：可比太阳亮度高几十亿倍。

3、单色性和相平性好。

4、可精确测距。

第四节 大气对辐射传输的影响

1.大气成分

不变成分：N₂,O₂,CO₂,稀有气体

可变成分：水 (q)、水 (s/l)、O₃、尘埃污染...

2.气溶胶：在气体和重力场中具有一定稳定性，沉降速度小的固态或液态质粒的混合系统。大气中悬浮的大量固态和液态微粒，包括灰尘、烟尘、盐晶、水晶和水滴等，统称为气溶胶
尺度范围：

粒度：10⁻³um (分子团) ~10¹um (尘粒、云滴)，跨 5 个数量级

质量：与粒度相应，质量跨 15 个数量级

数浓度：跨 14 个数量级

2.1.地面常见的大气气溶胶类别及名称

尘：机械粉碎过和产生的固体颗粒群组成，尺度微米至微米

烟：燃烧氧化过程产生的固体颗粒或释放的气体转化成的固态颗粒，常呈絮状，常为有机源

熏烟：物理化学反应，如燃烧、升华产生的颗粒。主要来自冶金排放物，有强烈刺激性气味

雾：同蒸汽凝结或液水分离形成的小液体群

霾：在环境湿度超过潮湿条件下并与湿度变化呈稳定平衡的部分和完全水溶性质粒群体，质粒度小于 1um。

烟雾：烟和雾的联合体，通常由光化学反应产物与水汽共同作用产生的具有刺激性的质粒，半径小于 0.5um

2.2 气溶胶的三种模态

核模态-尺度：r<0.05um，凝结、聚合过程产生

聚模态-尺度：0.05r<0.1um，核模态再聚合过程产生，与核模态存在明显的质量转移关系

粗模态-尺度：r>0.1um，主要通过机械分离过程产生，与前两模态之间不存在转化关系。

2.3.气溶胶的类型

一般：大陆、海洋和背景气溶胶

污染、气候模式分类：大陆、海洋、乡村、城市

按源和地理位置 (Hegg,1991):沙漠、远陆、海洋、极地、对流中上层 (背景)、生物、云过程、生物燃烧、和平流层气溶胶

背景气溶胶——大气环境中稳定分布的自然气溶胶

3.大气层的结构：对流层、平流层、中间层、热层、外大气层

对电磁辐射传输有显著影响的主要是对流层。

4.1.大气散射：电磁波在传播的路径上遇到原子、分子或气溶胶等小微粒时，粒子所带是荷在电磁波的激发下作受迫振动，从而向各方向发射次生电磁波这种现象称为散射。

散射电磁波频率与入射电磁波相同

散射的性质和强度取决于微粒的半径 r 与电磁波长λ两者之间的关系

散射尺度参数 $x=2\pi r/\lambda$, 其值大小决定了散射的性质:

$X < 0.1$ 瑞利散射 $0.1 < X < 3$ 米氏散射 $X > 3$ 无选择散射

①瑞利散射

$q \leq 0.1$, 即**微粒半径 $r \ll \lambda$** , 散射主要由**大气分子**引起, 散射强度与 λ^{-4} 成正比.

前向散射与后向**散射对称**, 大小相等. 其散射光学厚度为: $\tau = \beta \lambda^{-4}$

β 称混浊度系数, 其值取决于粒子浓度

②米氏散射

$0.1 < q \leq 3$, 即**微粒半径 r 相当 λ** , 散射主要由大气中的气溶胶: 烟、尘, 水溶性粒子和小水滴等引起

米氏散射的方向主要是**向前散射**, 散射强度与 $\lambda^0 - \lambda^{-3}$ 成正比. 其散射光学厚度为: $\tau = \beta \lambda^{-a}$ $0 < a < 4$

③无选择散射

$q > 3$, 即微粒半径 $r > \lambda$ 时发生, 散射主要由大气中的云、雾、雨滴及较粗粒沙尘等引起

主要是向前散射, 散射强度与波长无关. 其散射光学厚度为: $\tau = \beta$

这种非选择性的散射使云雾呈白色, 也即漫反射

4.2.大气吸收: 辐射能在气体中传输, 一部分辐射能会被气体吸收成为气体内能, 使传输的辐射能削弱, 这一现象称为大气吸收. **辐射传输路径上吸收气体的数量称为光学质量**
大气主要气体及相应吸收带

在紫外——微波之间, 具明显吸收作用的主要是 O_3 、 O_2 、 CO_2 和 H_2O ; 此外 N_2O 、 CH_4 对电磁辐射也有吸收, 多种成份吸收特定波和的电磁波, 形成相应的吸收带。

1 水汽吸收带: 结太阳辐射的吸收作用最为显著, 范围很广, 但集中在红外波段, 其中 0.7-3.0 波段是强吸收带。

2 氧和臭氧吸收带: 氧的吸收带主要在 0.176-0.202 和 0.242-0.260, 在 0.69-0.76 也有一狭小的吸收带。臭氧对 0.3 以下的短波光能全部吸收。

3 二氧化碳吸收带: 主要发生在大于 2 的红外区内。

4 水滴和尘埃, 吸收的范围较宽, 但主要吸收 0.7-3 的红外线。

4.3.大气反射: 主要是云层反射, 云层厚度大于 50m 时, 反射量达 50%以上, 厚度为 500m 时, 反射量超过 80%。另外, 大气层中直径大于 10-6m 的其它微粒也会产生反射作用。

对地球温度有调节作用。

5.1 大气窗口: 指电磁辐射在大气传输过程中损耗比较小, 透射率较高的波段。

5.2 大气屏障: 有些波段的电磁波在大气传输过程中被严重吸收和散射, 几乎不能到达地面, 这些波段称为大气屏障。

从紫外到微波共有 11 个大气窗口, 目前用于遥感的有下列 5 个:

1) 0.3-1.3 μm : 包括全部可见光、部分紫外和摄影红外波段。应用范围广, 可采用摄影、扫描等方式成像。

2) 1.5-2.5 μm : 属近红外波段, 扫描方式成像。

3) 3.5-5.5 μm : 属中红外波段, 白天或黑夜都可用, 扫描方式成像。

4) 8-14 μm : 属远红外(热红外)波段, 在热辐射波段范围内, 可采用扫描或红外辐射计检测, 白天、黑夜都能成像。

5) $>1.4mm$: 属微波段, 不受大气干扰, 采用雷达成像或微波辐射计检测, 可全天候工作。

地物波谱及其量度

第一节 电磁辐射产生的微观机制简介

波谱特征：物体反射和发射电磁波的本领随波长的改变而改变的特性，称地物的波谱特征。波谱信息是一切其它遥感信息的基础。

1、光的吸收与发射：

电子、原子核、分子的振动和转动都有能级，当入射光子能量与这些能级的某两级的能量差相当时，就会被吸收，且发出相应的能级跃迁；而由高能级向低能级跃迁时，就会发射出电磁辐射。其频率由两级的能量差决定。所以不同的能级跃迁的就会产生不同谱段的电磁辐射。任何物体任何时候都是一系列波长的电磁波。

2、反射：物体内部粒子吸收光子后，由基态跃迁为激发态，通常粒子的激发态极短，约 10^{-8} 秒，之后随发射与吸收光子频率相同的光子后，粒子又复原来的能量状态，温度并无变化，这个过程就是反射，即 吸收光子 + 高能级跃迁 → 快速低能级跃迁 + 放出光子

3、吸收：

1) 有些激发态能级的寿命特别长称亚稳定态，粒子吸收光子进入这些激发态后并非立即放出光子而向下跃迁，而会滞留一段时间，这时间物体内部的能量会增加，温度上升。这过程就是一般所说的吸收。

2) 粒子吸收光子后将其能量转化为化学能

4、热辐射：电子云相互碰撞，造成低能级的轨道跃迁，放出光子，物体温度下降。

5、透射：如入射光子的能量与物体内部所有粒子的能级差都不同，那么入射光将不会被吸收而发生透射。

6、荧光效应：某些物质中的粒子（电子）吸收光子进入激发态后，可以级联方式跃迁回基态，因而可以吸收某一波长的能量，再发出另一不同波的光子。这就是荧光效应。

第二节 地物的反射波谱特征

电磁辐射射到物体上有三个分量：反射、吸收和透射，各分量大小取决于物体性质。

$$\text{反照率: } \rho = \frac{\text{反射能量}}{\text{入射能量}} \quad \text{透射率: } T = \frac{\text{透射能量}}{\text{入射能量}} \quad \text{吸收率: } \alpha = \frac{\text{吸收能量}}{\text{入射能量}} \quad \alpha + R + T = 1$$

所以高反射率的物体是弱发射体，同时也说明对绝大部分地物，只要测定其反射率就可以推算其发射率。 $\alpha = 1 - R$

$$R = \frac{\text{方向反射能量} \times \pi}{\text{入射能量}} = \frac{\text{反射辐射亮度} \times \pi}{\text{入射辐照度}}, \text{ 对于朗伯体 } R = \rho$$

反射波谱：某物体的反射率（或反射辐射）随波长变化的规律，用一曲线来表示，此曲线即称为该物体的反射波谱。

物体的反射波谱限于紫外、可见光和近红外波段。

测量：采用 0.35—2.5 的光谱仪（光辐射计）来测量，测定的方法是将地物与已知反射率的白板（标准板）相比较，求出地物反射率 R

$$R = \frac{L}{L_0} R_0$$

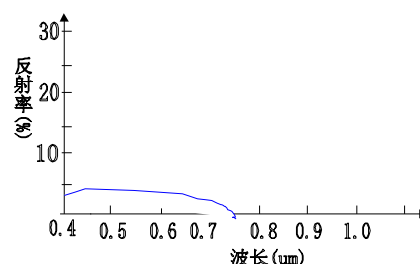
L —测得地物反射辐射通量；
 R_0 —白板反射率（已知）；
 L_0 —测得白板反射辐射能量；

室内测量：将样品拿到实验室测量，结果精度高，但不反映实际状态。

野外测量：将仪器拿到实地测量，结果较反映地物自然状态的波谱特征。

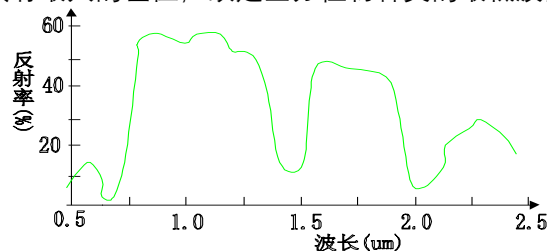
第三节 几种典型地物的波谱特征

水体的波谱特征：反射率在各波段内都低（一般在 3% 左右），在可见光部分为 4-5%，在 0.6 处降至 2-3%，到 0.75 以后的近红外波段，水成了全吸收体。



植被的波谱特征：

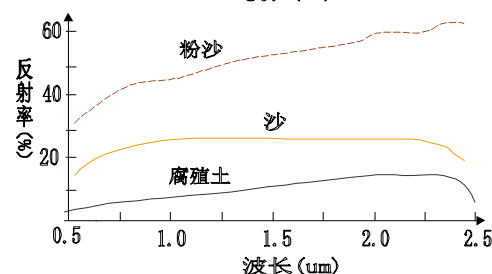
- 1) 不同种类的植物均具有相似的反射波谱曲线
- 2) 可见光区域，由于叶绿素的强烈吸收，植物的反射、透射率均低，仅在 0.55 附近有一 10-20% 的反射峰而呈绿色。
- 3) 近红外区域，在 0.7—1.3 之间形成 50-60% 的强反射峰，由于不同种植物的叶内细胞结构差异大，不同种植物的反射率在该波段具有最大的差值，故是区分植物种类的最低波段。
- 4) 1.45、1.95、2.7 为中心的三个吸收带为水吸收带，高斯曼发现，还三人吸收带之间的两个反射峰（1.65 及 2.2）上，各值与非多汁植物反射率差别非常明显。



土壤的波谱特征：

反射率：与土壤质地、有机质含量、氧化铁（Fe₂O₃）含量和含水量及盐份等因素有关；粉砂>砂土>腐殖土。

反射光谱曲线由可见光到红外呈舒缓向上的缓倾延伸



地物的发射波谱

发射率：地物光谱辐射率与黑体光谱辐射率之比

发射波谱：物体辐射发射率随波长而变化的曲线即发射波谱

亮温：如黑体的辐射发射量与某温度条件下的物体的辐射发射量相同，该黑体的温度即为该物体的亮温 $T_B = \xi T$ T_B - 物体亮温， ξ - 物体发射率， T - 物体温度

地球表面的入射能量

在大气散射和地物反射的影响下，地表入射的太阳能发生再分配。使自然地表任一点的入射光由三部分组成：

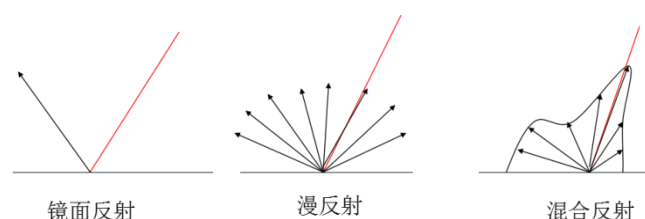
太阳直射光：太阳光穿过大气，直接入射到地面的部分。为平行光，有明确的方向性，其强度取决于大气层外太阳辐射强度、大气透过率和入射天顶角

天空光（漫射光或天空散射光）：又称漫射光或天空散射光，为大气发生散射发出的光，来自上半球空间，其强度取决于大气状况。晴朗天气，天空光弱，能量主要分布在短波段；多云或阴天，天空光强；能量主要分布向长波段偏移。

周围地物反射光：为周围地物反射光，强度与周围地形、周围地物反射率有关。山区，特别是当周围地物有较高的反射率时，周围地物反射光较强；平地，该部分入射光可以忽略

第四节 表面构造对地物波谱影响

电磁波从较稀疏的空气介质进入到较紧密的物体介质的界面上时，将产生反射。依照界面的平滑程度不同，镜面反射，漫反射和混合反射，而界面的平滑程度是相对的，由入射电磁波的波长与界面起伏高度之比来确定。



1. 镜面反射：界面起伏高度相对入射电磁波波长而很小时产生，反射的电磁波具有方向性，即反射角=入射角。其相位相干并有偏振现象。
2. 漫反射：界面起伏高度相对入射波波长而言较大（即界面很粗糙）时发生，电磁波被向各方面均匀反射出去，各方向上反射的亮度值是一样的，相位不相干，也无偏振现象，这样的界面叫朗伯面。
3. 混合反射：界面起伏介于上述两种情况之间，即界面起伏高度相对波长具有中等粗糙度；把入射电磁波的各方向反射出去，但不同方向亮度值不同，一般镜面反射方向辐射亮度较强，其它方向较弱。

地物波谱是时间效应和空间效应

- 1 时间效应：指同一地物的波谱特征随时间的推移而产生一定的变化
- 2 空间效应：由于空间（地理）位置不同而导致同类把物之间波谱特征的变化当然，对于同一类地物，特别是状态稳定的地物，无论时间、空间条件如何，它们的波谱曲线形态总是相似的，因为其控制作用的主导因素并没有改变

第五节 二向反射分布函数

地物反射的方向性：很多地物的反射率具有明显的方向性，实际地物多为混合反射，反射的光能量具有明显的方向性，这是自然界中物体表面反射的普遍现象，地物反射的方向性是具有较大潜力的信息特征

地物反射率的方向性主要与其表面的结构与构造有关

反射的光能量的方向性主要指入射光方向和反射方向

二向反射分布函数 (BRDF)

二向反射特性：物体反射性质具有方向性。即不同的入射角和观测角度下物体的反射率不同，是自然界中物体表面反射的普遍现象

为描述该现象，发展了二向反射比、二向反射比因子等概念，最完善的是二向反射分布函数，由 Nicodemus(1977)给出

双向反射率分布函数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF) 是来自入射方向地表辐照度的微增量与它所引起的观测（反射）方向上反射辐射亮度增量之间的比值

$$f(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{dL(\theta_r, \phi_r)}{dE(\theta_i, \phi_i)}$$

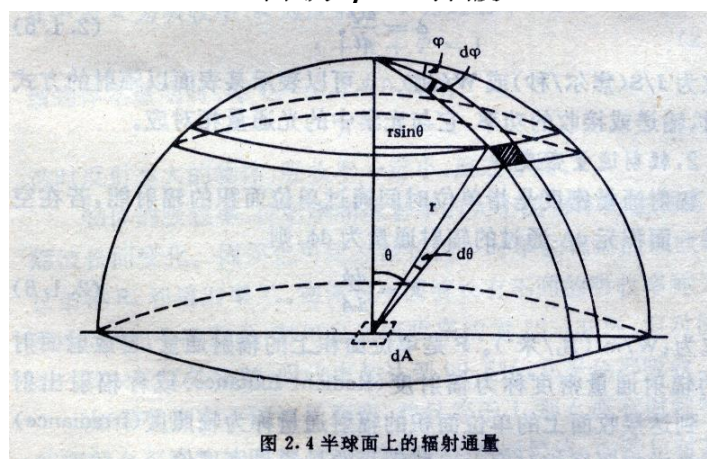
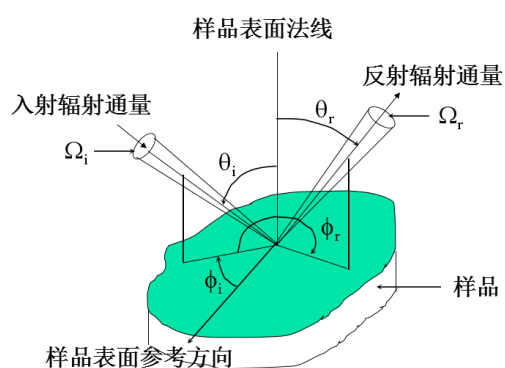
$E(\theta_i, \phi_i)$ 为入射光辐照度；

$L(\theta_r, \phi_r)$ 为反射光辐射亮度；

θ_i, ϕ_i 分别为入射光的天顶角和方位角；

θ_r, ϕ_r 分别为反射光的天顶角和方位角。

BRDF单位为 $1/\text{sr}$ (球面度⁻¹)



对于理想漫反射体

$$\begin{aligned}
 dE(\theta_i, \phi_i) &= \int_{2\pi} dL(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\Omega \\
 &= dL(\theta_i, \phi_i) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \\
 &= dL(\theta_i, \phi_i) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{1}{4} \sin(2\theta) d(2\theta) d\phi \\
 &= \pi dL(\theta_i, \phi_i) \\
 f &= \frac{dL}{dE} = \frac{dE / \pi}{dE} = \frac{1}{\pi}
 \end{aligned}$$

BRDF 的易倒性

赫姆霍兹易倒性： $f(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = f(\theta_r, \phi_r; \theta_i, \phi_i)$

从物理意义上讲，这一原意味着辐射源和测量仪器的位置可以互换而不影响测量结果。

物理意义明确、理论严密

但由于入射辐照度或辐亮度难以精确测量而只有理论意义：dL 可以通过测量得到，dE 的测量非常困难，故 BRDF 难于实际应用

双向反射率因子(Bi-directional Reflectance Factor, BRF)：在相同的辐照度条件下，地物向 (θ, ϕ) 方向的反射辐射亮度与一个处于同一辐射和观测条件下的理想的漫反射体的反射辐射亮度之比值，称为双向反射率因子 R： $R = \frac{dL_r(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, \lambda)}{dL_p(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, \lambda)}$

LT、LP 均很容易用仪器测量，故较 BRDF 更具有实用意义

但在给出 BRF 的定义时，并没有对辐射环境作任何限定，严格讲 R 值不仅取决于目标物的非朗伯体特性，而且还与辐射环境有关。

R 与 f 有原则上的不同，两者的量纲亦不相同，这充分地表明了它们的区别。

朗伯散射余弦定律

对于表面积有限（在视域范围内）的朗伯体，观测方向的反射辐亮度为： $L = \frac{E}{\pi} R_0 \cos \theta_i \cos \theta_v$

向反射分布函数 (BRDF) 与双向反射率因子 (BRF) 的联系 $dL_p = dE / \pi$

如果入射光源对目标物所张的立体角 $\Delta\Omega_0$ ，以及传感器对目标物所张的立体角 $\Delta\Omega$ 都趋于无穷小，则：

$$R = \frac{dL_r}{dL_p} = \frac{dL_r}{dE / \pi} = \pi f$$

当 $\Delta\Omega_0$ 与 $\Delta\Omega$ 趋近无穷小时，在数值上 R 为 f 的 π 倍，这为测定目标物的 f 值提供了一条切实可行的通道。

半球反射率：目标物的辐出度与辐照度之比值称为半球反射率，通常用符号 ρ 表示。

$$M(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{T\lambda}(\theta_r, \phi_r) \sin \theta_r d\theta_r d\phi_r \quad \rho(\lambda) = \frac{M(\lambda)}{E(\lambda)} = \frac{1}{\pi} \int_{\text{半球}} R_\lambda(\Omega) d\Omega$$

BRDF

- 1) 测量各观测角度下的地物反射辐亮度
- 2) 测量相同观测条件下水平放置标准板的反射辐亮度
- 3) 测量同观测条件下，阴影中水平放置标准板的反射辐亮度。目的是测量天空光入射能量
- 4) 计算各观测角度的 BRDF

- 1.何谓电磁波谱？试述其划分依据及谱段的特性。
- 2.试述太阳辐射源与地球辐射源的能量特点。
- 3.大气散射有那几种类型？每种类型产生的条件及各自有什么特点？
- 4.影响地物波谱的主要因素是什么？是如何影响的？
- 5.试述水体、植被和土壤的波谱特征。

遥感平台：近地面平台（小于 300m）、航空平台（0.1-30Km）、航天平台（几百几万 km）

卫星轨道参数

轨道周期——卫星在轨道上绕地球一周所需的时间

轨道倾角——卫星轨道面与地球赤道平面的夹角（ $i=0$ ，称赤道轨道， $i=90$ ，称极地轨道。其它称倾斜轨道）

顺行轨道：卫星运行方向与地球自转方向一致， $0<i<90$ 称顺行轨道

逆行轨道：卫星运行方向与地球自转方向相反， $90<i<180$ 称逆行轨道

星下点：卫星质心与地心连线同地面交点称星下点

星下点轨迹或地面轨迹：星下点在卫星飞行过程中在地面移动的轨迹

升交点和降交点：当 $i \neq 0$ 时，轨道与赤道面有两个交点，即卫星由南向北飞时的升交点，由北向南飞时的降交点。

由于地球自转，若 $i>90$ ，上升时星下点西退，下降时东进，若 $i<90$ ，上升时，星下点东进，下降时下点西退。

轨道形状：绕地球运行的卫星，一般具有圆形和椭圆形两种轨道。以何种轨道运行、或者其轨道形状如何，这主要取决于卫星运动的速度和方向

卫星高度：椭圆形轨道，其高度是变化的，通常用近地点高度（HN）、远地点高度（HA）、以及瞬时高度（H）来表示

轨道寿命：它主要取决于卫星近地点高度。因为近地点越远，空间的真空度愈高，卫星与空气分子的摩擦愈小，所以卫星寿命愈长。

轨道覆盖地域：卫星轨道覆盖地域的大小由轨道倾角决定。对于正方向卫星而言，轨道覆盖的最高纬度与轨道倾角完全一致；对于反方向卫星，轨道所能覆盖的最高纬度等于 180 度减去轨道倾角

轨道进动：卫星轨道面每天围绕地轴发生的转动。

重复覆盖周期：卫星星下点在地表面上的航迹重复一次所需要的时间。

轨道类型：太阳同步轨道、地球静止轨道：

近极地轨道：卫星轨道与太阳光的夹角始终保持一致，一年进动 360 ，亦每天自西向东偏转 0.986 。等于地球公转角速度。

特点：除两极很小的区域外，卫星可定期覆盖全球；卫星过每一点的地方时相同；目前大多数遥感卫星均为太阳同步轨道

地球同步（静止）轨道：（赤道轨道）卫星运行方向与地球自转方向一致，且运行周期与地球自转周期相等。

特点：卫星与地球表面的相对运动为 0 ；轨道高，可具有极大的覆盖范围；可对地表面进行凝聚监测；是一个重要的遥感卫星发展方向

按轨道高度可分

- 1) 低高度卫星：高 $150—200\text{KM}$ 。寿命短，几到几十天，用军事侦察。
- 2) 中高度卫星：高 $350—1500\text{KM}$ 。寿命 $1—5$ 年，寿命较长，对地面又有一定分辨力，如陆地卫星高 918KM
- 3) 高轨道卫星：高 $>1500\text{KM}$ ，卫星寿命长，分辨力不高，如 GMS， 35000KM 。

陆地卫星系列 Landsat 卫星轨道

中高度(705KM), 近圆形、近极地($i=98.22^\circ$);太阳同步。太阳入射光线与降交点之间角距始终为 37.30° , 过降交点时刻为地方时的上午 9 时 42 分, 太阳高度角适中, 利于获得高质量的图像。

地球观测试验卫星 (SPOT)

采用与 Landsat 相似的近圆形, 近极地太阳同步轨道。只是具体参数有所不同。

1) 陆地卫星系列 **Landsat 卫星轨道**: 中高度(705KM), 近圆形、近极地($i=98.22^\circ$);太阳同步。太阳入射光线与降交点之间角距始终为 37.30° , 过降交点时刻为地方时的上午 9 时 42 分, 太阳高度角适中, 利于获得高质量的图像。

地球观测试验卫星 (SPOT): 采用与 Landsat 相似的近圆形, 近极地太阳同步轨道。只是具体参数有所不同。

4)气象卫星 (NOAA) 系列

近极地圆形轨道, 近与太阳同步、双星系统, 轨道高度分别为 833KM 和 870KM。倾角分别为 98.7° 和 98.9° , 周期分别为 101.6 分和 102 分。

4) GMS: 与地球同步, 轨道高度 36000KM。

传感器: 就是用以获取目标电磁辐射信息的探测仪器。它是收集、检测和记录电磁波信息的工具。是遥感工作系统的主要部分

A 收集系统: 功能是接收电磁波并将其聚焦成像, 然后送往分光系统。最基本的收集原件扫描反射镜 (或天线) 和透镜。

扫描系统: 向地面进行扫描, 在垂直飞行方向上逐点、逐行收集地面光谱

聚焦系统 (透镜): 将收集到的地面光谱进行聚焦

B 分光系统: 多波段传感器的收集系统收集地面光谱信号后经分光系统进行分光, 将入射光分解成所需探测波段光谱。分光原件包括各种色散原件或分光原件: 滤色镜、三棱镜、光栅、分光镜等。

C 检 (探) 测系统: 将光信号转化为电信号: 光子探测器、热探测器、电荷耦合器件 (CCD) 响应率与响应函数: 单位入射辐射能量 (每瓦) 所产生的电响应量即为响应率, 响应率随波长变化的函数称响应函数

信噪比: 信号功率与噪声功率之比

1 光子探测器 (光电效应): 但响应速度快, 弛豫 (响应) 时间不超过 10^{-9} 秒, 且与光强无关, 但响应率变化大。响应率与波长及所用半导体材料有关

光生伏特现象、光电磁效应、光电导效应

2 热探测器: 响应率与波长无关, 但响应速度慢, 这是热红外数据空间分辨率低的原因

D 记录系统: 将探测系统或信号转换系统输出的电磁波信息 (光信号) 记录、存储到遥感信息载体上, 再以影像或数字形式输出

1)感光材料 2)磁带

(1)色盲片、仅能感 $\lambda < 0.5$ 的紫、蓝光;

(2)正色片 (分色片), 感光范围扩大至 0.6, 能感绿、黄光, 对绿光的敏感程度大于金色片。

(3)全色片: 感光范围扩大至 0.72, 可感全部可见光;

(4)红外片: 感光范围扩大至 1.3, 可感摄影红外波, 但不感绿、黄光。

(5)彩色片: 天然彩色片: 由对蓝、绿、红感光的三层乳胶组成, 影像 (正片) 记录的影物和肉眼看到的颜色基本相同。

(6)彩色红外片: 由对绿、红和近红外感光的三层乳胶组成

- (1)数字磁带：探测系统输出的电压信号，经过模拟数转换器（A/D），对电压曲线分段读数（取样与量化），记录这种数据的磁带称为数字磁带
- (2)模拟信号记录：反传感器探测器上输出的连续变化的视频信号模拟记录在磁带上，每条成像扫描线对应一条电压曲线。回放时，模拟磁带复原为电压曲线。经电光转换成光信号。以扫描方式记录在感光胶片上。

传感器的特性参数

1、空间分辨率:能把两个相邻目标作为两个清晰实体记录下来的两目标间的最小距离。

(1) 象元大小 (pixel size)：每个象元对应地面的范围。

(2) 象解率 (photographic resolution)：胶片上 1 毫米间隔内包含的线对数，用线对/毫米来表示。一条白线加一条黑线构成一个线对。象解率可以转换成为相应的象元大小

$$\text{象元大小} = \text{每线对宽度 (毫米)} / 2.8$$

(3) 瞬时视场角 (IFOV—Instantaneous Field Of View)：电子传感器的瞬时视域，用毫弧度表示。瞬时视场角小，空间分辨率高；反之，空间分辨率低。

(4) 视场角 (FOV — field of view)：整个传感器能够受光的角度。相当于视场角的地面距离叫观测宽度或叫扫描宽度。y

2、波谱分辨率:指传感器在接收目标辐射的波谱时，能分辨的最小波长间隔。取决于：

(1) 传感器的工作波段数目 (2) 工作波段波长 (3) 波长间隔 (谱带宽度)。

3、辐射分辨率:指传感器探测原件在接收波谱辐射信号时，能分辨的最小辐射差。

(1) 取决于传感器**辐射灵敏度** (2) 数据的**位数**。**信噪比：有效信号功率与噪声功率之比**

(一) 摄影方式传感器:帧幅式摄影机、全景摄影机、条幅式摄影机、多光谱摄影机

(二) 扫描方式传感器

(1)提高了波谱分辨率(2)输出为电信号，可用磁带记录，并能实时传输。

(3)所获是的数据是辐射量的定量数据，便于校正，数字增强

1、多波段扫描仪——MSS

2、主题扫描仪——TM

(1)它采用了**双向扫描**，即**正扫与反扫**均为有效扫描，使感测时间倍增。

(2)同时探测器的灵敏度提高。

(3)探测器装在焦平面上,减少了图像的变形。

使地面分辨率提高了一倍多 (30m)。

3、红外扫描仪

4、固体扫描仪：电荷耦合器件 (CCD) 作探测原件，随卫星运行，扫描线前推移，就得到连续带状图像，故又称推扫式扫描仪。

固体扫描仪特点：革除了光机扫描仪的一维行扫描，它没有最易发生故障的机械扫动结构，体积小，分辨率高、工作效率及数据的质量都得到很大提高，是新一代的传感器

(三) 侧视雷达

极轨气象卫星数据: 扫描宽，重重覆盖周期短，温度分辨率高

NOAA:AVHRR(甚高分辨率光谱辐射仪)

modis 的全称为中分辨率成像光谱仪

静止气象卫星:

与地球同步轨道，定位于赤道上空 35800KM。

特点：

定量遥感（deng）

视域广：同时覆盖地球总面积的 1 / 3 以上。

时间分辨率高：半小时重复覆盖一次。

空间分辨率低：地面分辨率为 10KM。

用途：气象，天气系统的监测、实时预报。

海洋卫星：HY-1A&HY-1B

1 大面积、连续、同步或准同步探测。 2 波段多而窄，灵敏度和信噪比高（高出陆地卫星一个数量级）。 3 为与海洋环境要素变化周期相匹配，海洋卫星的地面覆盖周期要求 2~3 天，空间分辨率为 250~1000m。 4 由于水体的辐射强度微弱，而要使辐射强度均匀，具有可对比性，则要求水色卫星的降交点地方时（发射窗口）选择在正午前后。

环境卫星：HJ-1A&HJ-1B

测绘卫星：天绘一号

高分辨率卫星 USA：KONOS、QuickBird、WorldView

陆地卫星（Landsat）,原称地球资源技术卫星（ERTS），是美国发射的一系列以探测陆地资源为目的的人造卫星。1972 年 7 月 23 日发射第一颗。1975.1.22，1973.3.5 分别发 2、3。1983.7.16 和 1984.3.1 分别发射 4、5，4、5 颗是改进的新型陆地卫星，至今已发射了 7 颗。为近极地、近圆形与太阳同步轨道

■ Landst 1, 2, 3：多功能光谱扫描仪（MSS）和反束光导管（RBV）。反束光导管易出故障，回收的图像很少，故被淘汰。

■ Landst 4、5、7：多光谱扫描仪和专题制图仪(TM)。

1)多光谱扫描仪 MSS 2)专题制图仪(TM)

MSS						TM				
波段号		波长 (μm)	辐射 灵敏度	地面 分辨率 cm	量 化 级	波段号	波长 (μm)	辐射 灵敏度	地面 分辨率(m)	量 化 级
L1,2,3	L4,5					L4,5				
4	1	0.5—0.6	0.57	80	128	1	0.45—0.52	0.8%	30	256
5	2	0.6—0.7	0.57	80	128	2	0.52—0.60	0.5%	30	256
6	3	0.7—0.8	0.65	80	128	3	0.63—0.69	0.5%	30	256
7	4	0.8—1.1	0.70	80	64	4	0.76—0.90	0.5%	30	256
						5	1.55—1.75	1.0%	30	256
8		10.4—12.6	1.4K	240		6	10.40—12.50	0.5%	120	256
						7	2.08—2.35	2.4%	30	256

辐射定标指将接收的遥感数据，通常是灰度（DN）值，转换成实际的物理量（如辐射亮度、反射率等）。

辐射的偏差问题

定标参数的确定与获取

辐射定标的种类

DN 值向辐亮度的转换

多波段图像分波段记录地物的波谱特性。同一地物在不同波段的亮度(灰度)值不同及不同地物在同一波段的亮度质差异,构成图像的波谱特征信息(波谱信息)。

波谱效应:各种地物在某波段图像的色调特征称该波段图像上的**波谱效应**。

多波段效应:不同波段图像上,地物的色调不同,多波段图像识别和区分地物的能力也就不同,称**多波段效应**。

TM1 (0.45—0.52) 属蓝绿光波段,对水体穿透力强,对叶绿素和叶色素浓度敏感。植被、水体、土壤等到在此波段反射率差别明显。有助于判别水质、水深、水中叶绿素分布,沿岸水流、沙情况;对水体污染尤其对金属和化学污染具有较好的反映。影像上植被色调最暗、水体次之,新鲜雪最浅。

但受散射兰光的影响最主严重,水陆界线不清。

TM2 (0.52—0.60) 与 MSS4 (0.5—0.6) 属绿黄光波段,对水有较强的透射能力,水体色调较浅,可反映一定深度(>10m)水下地形,有利于识别水体浑浊度、沿岸流、沙洲等。叶绿素在此波段有一个反射峰称绿峰,健康植物对绿光有一定的反射,影像色调较浅。可用于探测健康植物绿色反射率,按绿峰反射评价植物生活力,区分林种。

蓝、绿、黄色地物影像一般呈浅色调,随着红色成份的增加而变暗,浮在水面的油污和金属化合物因妨碍绿光透过也有所显示。

但受散射光影响,此波段反差较小,地物边界轮廓有些模糊。

TM3 (0.63—0.69) 与 MSS5 (0.6—0.7) 属橙红光波段,对水体有一定的透射能力(约2m),可反映水中泥沙含量、水下地貌和沙流。

为叶绿素的主要吸收波段,健康植物影响色调深,病害植物,枯树等则呈浅色调。可反映不同植物的叶绿素吸收和健康善。

橙红色地物影像一般色调浅,绿色地物色调深。

裸露的地表、植被、土壤、水系、岩石、地层、地貌特征等影像清晰,色调层次多,信息量最为丰富。用于地貌特征研究效果较好。

TM4 (0.76—0.90) 与 MSS6 (0.7—0.8) 和 MSS4 (0.8—1.1) 属近红外波段。这三种图像波谱效应相似,是水的强吸收和植被强反射波段。

图像清晰、反差大、立体感强,能显示多种地物细节,图像上水体呈黑色调,富水地物呈深色调。水陆分界最为清楚。

健康植物对近红外波具有最强的反射,为明亮的浅色调,而病害植物则呈较深色调。阔叶树色浅,针叶树色调相对较深。易于圈定植被的分布范围,区分植物种类,测定植物长势。

TM5 (1.55—1.75) 属近红外波段,位于水的强吸收带(1.4—1.9)内和土壤、植物的强反射波段内。对地物含水量反映最为敏感。可用于土壤湿度、植物含水量调查,水份状态研究,作物长势分析等,区分裸土与植物覆盖,不同含水量植被类型的能力最强。

TM6 (10.4—12.5) 属热红外波段。对热敏感,反映地表温度。可用于区农、林覆盖类型,辨别地表温度差异;监测与人类活动有关的热特征;进行水体温度变化制图。

TM7 (2.08—2.35) 属近红外波段。这是为地质研究追加的波段。位于水的强吸收带,土壤反射特性与 TM5 差不多,水体是黑色调。

此波段是绝大多数造岩矿物反射波谱的高峰段,而含氧基矿物(如粘土)和碳酸盐矿物(如方解石)具有判别性的特征波谱吸收带,其影像是暗色调,所以该波段对直接出露地表的粘土与碳酸盐岩较敏感,可以探测与热液蚀变有关的含铁粘土矿物。

1. 数字图像

是一种以二维数组所表示的图像。

该数组由于对连续变化的空间图像作等间距的抽样所产生的抽样点—像元组成, 抽样点的间距取决于图像的分辨率;

抽样点的量值通常为抽样区间内连续变化之地物的均值化量值, 一般称亮度值或灰度值, 它们的最大、最小区间代表数字图像的动态范围。数字图像物理意义取决于抽样对象的性质。数字图像处理最基本特点, 像元的空间坐标和亮度值都被离散化了, 只能取有限的确定的值。

2. 遥感数字图像

遥感数字图像: 是相应成像区域内地物电磁辐射强度的二维分布

像元(pixel)—图像的基本的构成单元, 其位置由行、列 (X, Y) 坐标确定, 亮度值 (Z) 通常以 0 (黑) 到 255 (白) 为取值范围。

因此, 一个通道 (波段, channel) 的数字图像都可以通过 X、Y、Z 的三维坐标系表示出来如 TM 图像可看作 X = 5728 行, Y = 6920 列, Z = 0-255 的二维坐标系

任何一幅数字图像又由若干个通道 (波段, channels) 组成

3. 数字图像的显示

颜色分别为红、绿、兰三原色的电子枪高速扫描每个像元

各电子枪光强由显示通道中的数字控制

像元的颜色在人眼中会有一短时滞留, 从获得连续图像的感觉

4. 图像文件格式

显示一幅图像需要一些图像信息, 如

图像数据的位数: 存贮一个像元值的内存位数 (bits)

列数 (pixels): 一行数据的像元数

行数 (lines): 一幅图像的行数

这些信息统称头信息

头信息存放的方式与位置不同形成不同的图像格式:

pcx、Tif、BMP、裸数据……

5. 数字图像的显示

6. 数字图像处理

数字图像处理: 根据数字图像离散和有限的数字特征, 构造各种数字模型和相应算法, 由计算机进行运算处理, 进而获得更加有利于实际应用的输出图像及有关数据资料。

第二节 图像增强处理

图像增强处理: 通过对图像数据进行某种数学变换, 扩大影像间的灰度差异, 以突出目标信息或改善图像的视觉效果, 提高可解性。

一、反差增强

反差增强也叫反差扩展或拉伸增强, 是一种通过拉伸或扩展图像的数据分布, 使之充满整个动态范围 (0-255), 以达到扩大地物间亮度差异, 分别出尽可能多的亮度等级的一种处理技术。

数字图像的亮度值中 0-255, 但原始图像大部分的亮度值集中在较窄的动态区间, 致使图像的反差较小, 色调单一, 可分辨程度低。反差增强可以显著改善这种情况。

反差扩展通过函数变换实现: 输出的象元值 Y, 是输出象元值的 X (原图像) 的函数:

$$Y = f(X)$$

按照函数各种的不同可有不同类型的扩展。

1.线性扩展

将原图像中像元的亮度按线性关系扩大，亮度扩展的范围可以任意给定：

$$y=a+bx$$

-分段线性扩展：对某一灰度范围进行增强。按给定的分段界限的不同，可扩展直方图中的任何一部分，但会歪曲地物的波谱特征。

2.非线性扩展：对原图像亮度区间的各个部分按非线性关系作不均等扩展，通常是对亮区和暗区分别给以不同的扩展比例：

1) 对数扩展：扩展暗区，压抑亮区 $y=\log x$

2) 指数扩展：扩展亮区，压抑暗区 $y=ax$

3) 高斯、正弦扩展：扩展中值区，压抑暗区和亮区

4) 正切扩展：扩展暗区和亮区 $y=\tan x$

3.直方图调整

通过改善图像总体亮度结构（直方图形态）来达到图像增强的目的，一般说，这种方法着重于扩展高频亮度值之间的间隔，使直方图中部所包含的地物反差增强，而有利于区分大多数地物，常用的有：

①直方图均衡化：变换后单位亮度区间的象元数相等

②直方图正态化：变换后的象元频度—亮度分布呈正态分布数相等

二、彩色增强

1.单波段图像的伪色彩增强

即彩色密度分割：首先按亮度值对象元进行主成分分析，然后将不同等级亮度的象元赋予不同的颜色而达到增强的目的。

结果使不同亮度的地物有鲜明的区别。

2.多波段图像的彩色合成

分别对同一地区三个不同波段的数据图像进行单基色变换，形成红、绿、蓝三基色图像，然后在彩色屏幕上进行叠置，从而构成彩色合成图像。

TM3 (R)、2 (G)、1 (B) 合成可得到近似真彩色图像，其它波段合成均为假彩色图像。

三、比值增强

通过不同波段的同各像元亮度值之间的除法运算，生成新的比值图像来实现的。

对于多波段图像可以有多种比值，最常用的是标准比例：

基本功用

①能扩大不同地物之间的微小亮度差异。

②消除或减弱地形等环境因素的影响，如消除阴坡和阳坡的差异（阴坡和阳坡的二波段比值非常接近）。

③提取专题信息。如 基粘土矿物在 $2.2\mu\text{m}$ 附近强吸收，故在 TM7 上为低亮度，而在 TM5 上为高亮度，因此 $\text{TM5} / \text{TM7}$ 值大，常被用来提取粘土化信息。

生成比值图像后，原来的波谱意义就不存在了，即丢失了反射强度信息。

四、空间滤波增强

地物的边界及各种线性痕迹，通常却表现为一定的空间分布频率，根据空间频率域对图像信息进行筛选，一方面把某些频率的信息滤掉或削弱，同时增强所需频率的信息，这就是空间滤波增强。

常用的滤波方法有两种，即卷积滤波和付氏滤波，前者简单，效果也好

光学图像处系统的滤波增强

方法：将一不透光薄板置于焦平面上，挡住某个频域的能量，从而使其它频域的信息得到增强

滤波方式：付氏滤波、卷积滤波

卷积滤波:是以一个给定大小模块（矩阵），逐次放在每一象元上，计算两者之间对应各点的乘积并求和，以求和的值作为象元的输出值。因而滤波块是增强效果的决定因素。

滤波种类:高通滤波、低通滤波、带通滤波、方向滤波

1.低通滤波

滤波块的各数值相等（且大模块），等于求用窗口内的均值来赋予与中心象元。

结果是增强低频信息，压制高频信息。

2. 高通滤波

滤波中心的数值明显大于周围的值。突出高频信息，压抑低频信息。

3. 方向滤波

突出某方向的信息，压抑其它方向的信息。

一个滤波模块可以增强线性特征的方向和强度可以根据断面特征判断：求每个方向上呈直线排列各项的代数和，若中间的数值与两侧数值的代数差大，则表明滤波块增强该方向的线性特征，差值越大，方向增强作用也越大。

遥感图像几何纠正

一、产生几何变形的类型

1、系统误差——有规律，可用数学公式来描述

地球自转；扫描畸变

2、随机误差——具随机性

卫星轨道、姿态、速度等的不稳定；地球曲率变化；空气折射等

3、地形变化

非垂直观测，地形起伏会导致投影误差

二、几何粗校正

根据轨道参数用误差公式进行计算，包括：

调整象元大小

去偏斜

TM、NOAA 和 MODIS 等卫星轨道参数可以从网上下载

TM、SPOT 等的几何粗校正通常由数据接收单位完成

三、几何精校正

1 方法

采用地面控制点来进行校正。即待校正遥感图上选取若干可以精确定位的点作为控制点，通过某种途径获得其真实坐标。然后根据控制点在图上的坐标和其真实坐标建立图幅坐标与真实坐标的转换关系，将原校正到真实坐标系中。

实际上是对各像元进行从原图坐标到真实坐标系的转换

1.仿射变换

简单，运算速度快

解快问题：平移、旋转、偏斜和长宽比例差异

需三个以上控制点

基本不引入新的误差

2.双线性变换

运算速度较快，可拟合较复杂的变形

解快问题：可拟合较复杂的变形

需 4 个以上控制点（一般二阶需 6 个）

可引入新的误差

3.三价多项式（三阶样条）

运算速度较慢，可拟合较复杂的变形

解快问题：可拟合较复杂的变形

需 8 个以上控制点（一般三阶需用 10 个）

可引入新的误差

1. 选取控制点

- 控制点应选取可以精确定位的点，如道路、桥梁的垂直交叉点
- 控制点的真实坐标的获取有四种方式：
 - 从具有标准地理参照的图像上读取
 - 从电子地图上读取
 - 直接从地图上读取
 - 到实地用 GPS 量测
- 对于基于整幅转换函数的校正，控制点应在图幅四角落附近选取，点数不宜过多。
- 对于基于局部转换函数的校正，控制点数越多越好，且宜均匀分布于图幅中

2. 确定转换函数的形式

- 中转换函数的阶数 N 值越大越能反映复杂的歪曲，但过高的阶数会引入新的形变。
- 一般以二次为宜，还宜超过三次。
- 对于一般的变形，一次函数，即仿射变换即可获得很好效果，且计算速度快。

3. 计算转换系数

- 通常用最小二乘法计算得到

4. 循环求真实坐标系图幅各点在原始图像中的对应坐标

5. 重采样

- 新象元的亮度值通过重采样获得，常用的方法是
- 最邻近法
 - 取计算位置最近象元亮度值作为校正象元亮度
 - 速度快，光谱信息不变
 - 但几何精度差
- 双线性内插法
 - 用计算位置周围最近的 4 个像元进行二次线性内插
 - 几何精度高
 - 但光谱信息发生了变化，在一定程度上造成了高频信息的损失。
 - 运算量较大
- 三次样条卷积法等。

消除地形影响：根据 DEM 进行纠正

需要的参数：

航高

观测角（观测天顶角分布）

样点高程

精确配准还需考虑地球表面曲率

遥感图像的解译

(一)、解译的涵义

解译(判读、判译)是指从图像获取信息的基本过程。

即根据地学工作的要求,根据解译标志和实践经验,应用各种解译技术和方法,识别出地学目标,地学现象的物性和特点,测算出某种数量指标的过程。

(二)、地学解译的目的与要求

地学解译目的:获取各种地学遥感信息。

- 1.判明各种地学目标和地学现象是否存在;
- 2.判明各种地学目标和地学现象的形态、属性和空间分布特征;
- 3.测量各种地学参数;
- 4.推测和分析各种地学物体、地学现象在时间、空间上成因上的相互关系。
- 5.编制各种解译图件。

二、地学解译标志

地学解译标志:遥感图像上,能识别地学物体、地学现象,或能说明共性质和相互关系的影像特征,称为地学解译标志。

直接解译标志:遥感图像上能直接见到的解译目标的影像特征(包括形状、大小、色调、阴影、花纹等),称直接解译标志。

一、色调与色彩 二、地物的几何形态 三、地物的大小 四、阴影
五、影纹 六、影纹结构 七、影纹图案(组合图案) 八、其它解译标志

间接解译标志:需通过分析、判别才能识别地学目标,现象的存在,才能推断其性质的影像特征称为间接标志。

如通过水系分析来判断岩性。水系即间接标志。对其认识取决于专业知识。

图像分类

一、概述

图像分类:将图像中每个像元根据其光谱信息、空间结构信息和(或)其它专题信息,按照一定的规则或算法划分为不同的类别

可在由计算机自动完成

最常用于分类的信息是光谱信息,即各波段的亮度值。另外还可以将空间结构信息,如图像纹理密度、方向等,及其它专题信息用于分类。这些信息的加入常可使分类的精度得到显著提高:除考虑目标象元的特征外,还可以考虑周围象元的特征

二、监督分类

- 原理:建立各类型已知样本区(训练区),根据训练区确定各类的统计特征,已此为基础,建立分类的判别函数,对每个象元进行类别划分。
- 方法下步骤
- 监督分类的优缺点

常用三种方法:平行算法、最小距离法、最大似然法

- 又称盒式决策规则
- 根据各类训练样本的亮度值范围(由亮度最大值和最小值确定)形成的多维数据空间区域来进行判别,将落入该区域内的像元划为该类。也可用均值和标准差来确定

三、非监督分类

四、上下文分类

五、空间信息的加入

遥感定量化问题

■ 目视解译的缺陷

- 1、效率低下
 - 2、受解译者知识结构、经验的限制
 - 3、受主观因素的影响，如图像处理过程中为满足用户需要或某种其它需要而加入了人为的非科学干扰，使遥感陷入非科学的漩涡之中。
- 对任何科学、技术，定量化都是追求的目标。

■ 遥感定量化问题

定位、定性、定量是遥感技术的三大支柱。

遥感定量化包括：

- 1、位置定量化
- 2、性质定量化
- 3、一些尚只有概念、规律性机理的定量化

■ 定量化的途径

找出遥感信息与物理量之间的函数关系，在此基础之上根据遥感信息，计算每一点的物理量——遥感信息模型方法。

遥感信息模型的概念与特征

■ 模型与原型：模型是相对于原型而言，是对原型某种特征的模拟，或对某种实物、过程的本质联系的抽象

实物模型——对原型的模拟：

- 1 地形模型：具有几何相似
- 2 物理模型：具有几何相似外还具有时间、运动方式等物理特征相似

信息模型——对原型本质关系的抽象，没有实体

- 1 数学模型——具有数值定量特征
- 2 物理模型——具有数值定量特征 外还反映对象物理学方面的内在联系，是根据物理学机制建立的信息模型

■ 遥感信息模型概念：遥感信息模型是每一象元遥感信息与相应地物或现象本质关系的抽象。其为数学模型，但每一点皆有数据组成图像，故又具有实物、物理模型的特点

■ 遥感信息模型的特征

- 1、除具有几何相似率、物理模拟率和定量化特征外，还具有可视化的特点，是新一代的地学模型。
- 2、以点（象元）遥感信息为基础，深入到点的微观机理、过程的研究，即“见树木”。
- 3、对区域的每一点（象元）进行计算，定量反映宏观特征、规律，故既见“树木”，又见森林。
- 4、由于在点（象元）信息的基础上对全区进行计算，使多种随机因素（反映在象元遥感信息内）在宏观范围内得以充分考虑，得出的结果更接近实际，是最接近实际的一种地学方法。
- 5、易于实现，通常是以 RS 数据为基础，GIS 支持，通过计算机程序完成。且象元众多，便于用统计方法实现一些未知参数的求取。
- 6、输出结果是区域性的情况，既有点面积的状态，又有区域性、综合、宏观、规律性的情况，非常适合于地学研究、决策应用。

定量遥感信息

光谱信息

(一) 直接象元灰度值 : 是一切信息的基础, 是传感器到象元对应地物的光谱辐射强度, 随地物种类, 波段而异

DN 值、辐亮度、反射率

象元灰度波谱 : 遥感平台上, 传感器测得的象元地物综合电磁辐射强度随波长面变化的曲线。

(二) 间接光谱信息 : 经变换或经过信息提取后的图像元值。

经过变换或经过信息提取后的图像元值。

比值图像、差值、KL 变换, 典型分析, 樱子帽变换

几何信息

(一) 纹理——通过象元在灰度变化而显示出

提取方法 :

1、付氏变换 原图→频谱

2、求导计算

1) 纹理强度 $T1 = \Delta G / \Delta S = (\Delta G / \Delta X) + (\Delta G / \Delta Y)$ $T1$ ——纹理强度; $\Delta G / \Delta S$ ——灰度随平面空间的灰度; $\Delta G / \Delta X$ 、 $\Delta G / \Delta Y$ ——分别为灰度在行、列上梯度。

2) 纹理密度 : $TD = (\text{grad}G) / \Delta S = \Delta^2 G / \Delta X^2 + \Delta^2 G / \Delta Y^2$ $T1$ ——纹理密度、 $\Delta^2 G / \Delta X^2$ 、 $\Delta^2 G / \Delta Y^2$ ——分别为行和列上灰度梯度的梯度, 上式实际上为拉普拉斯算式。

3) 纹理方位 4) 纹理长度 5) 纹理宽度

(二) 形态

1) 二维 : 形状、图案信息提取

a 局域象元数理统计 : 在窗口内求象元均值、方差、偏斜度等, 以之作为几何信息标定值。

b 局域付氏变换, 根据频谱图与光轴距离、方位能量分布根定几何特征值。

2) 三维 : 空间形态。多角遥感方法获取。

3) 常规方法所获得的信息 : 经插值、图像化后用于计算。

遥感信息模型方法与步骤

地学过程非常复杂, 即有必然规律又有偶然因素的影响, 各种因素之间的关系即有线性的, 又有线性的, 故需采取成因分析与统计相结合的方法, 具体有以下四种方式 :

1 概念分析与数理统计结合的方法

2 量纲分析与数理统计结合的方程

3 数理方程与数理统计结合的方程

4 物理量的数理方程 (物理方程)

概念分析与数理统计结合的方法

即根据经验提出定量概念, 然后对量化的概念进行统计分析——经验模型、统计模型

几乎可以解决所有的地理问题, 但须以大量的实验之上, 将定性问题量化,

物理学概念、机理不清, 模型适应性差

研究程度也最低。

量纲分析与数理统计结合的方程

即把主要地理因子之间的关系通过量纲分析的方法求得无量纲因子团, 再对因子团进行统计分析。在数学上一般已无困难, 许多地理问题用这种方法都可得到解决。

有一定的物理学概念, 但机理不清, 模型适应性不高

物理量的数理方程

即将物理量的必然规律用数理方程表达出来, 并能够求解
有清晰的物理学概念和物理学机理,
模型适应性高
其建立通常难度较大
研究程度最高、最难, 是遥感研究的重要前沿问题之一

数理方程与数理统计结合的方程

对数理方程中某些无法解决的参数或步骤用统计方法来解决, 即把数理方程转化为统计方程来处理
有清晰的物理学概念和物理学机理,
模型适应性高
具有较高的可行性
研究程度及难度为其次。是目前定量遥感常采用的方法

结果检验：

结果检验不管是研究工作或生产任务均是不可缺少的一步
结果检验包括精度分析(或误差分析)和显著性检验, 前者较具体直观, 后者较具综合特征, 进行总体评判。

误差分析

计算绝对误差, 平均绝对误差, 最大绝对误差;
计算相对误差, 平均相对误差, 最大相对误差;
作散点图, 求相关系数, 回归方程

统计检验(显著性检验)

介质消光理论

消光效率 $Q_e = Q_s + Q_a$

散射效率 (Qs):质粒散射的辐射功率与质粒几何截面上的入射辐射功率之比。

吸收效率 (Qa):质粒吸收的辐射功率与质粒几何截面上的入射辐射功率之比。

消光效率 (Qe):质粒散射和吸收的辐射功率与质粒几何截面上的入射辐射功率之比。

消光截面

散射截面——单位辐照度入射时, 一个粒子散射的总能量: $\sigma_s = \pi^2 Q_s$

吸收截面——单位辐照度入射时, 一个粒子吸收的总能量: $\sigma_a = \pi^2 Q_a$

消光截面——单位辐照度入射时, 一个粒子消光的总能量: $\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a = \pi^2 Q_e$

消光系数与体积消光系数

散射系数——光透过单位体积介质后, 被粒子散射的总能量与入射总能量之比, 为单位容积内所有粒子散射截面之和: $\beta_s = N\sigma_s$

吸收系数——光透过单位体积介质后, 被粒子吸收的总能量与入射总能量之比, 为单位容积内所有粒子吸收截面之和: $\beta_a = N\sigma_a$

消光系数——光透过单位体积介质后, 被粒子吸收的总能量与入射总能量之比, 为单位容积内所有粒子吸收截面之和: $\beta_e = \beta_s + \beta_a = N\sigma_e$

消光系数的量纲为[L-1]或 cm².cm-3, 前者用于透射研究, 称线消光系数, 后者用于遥感, 称体积消光系数。也有用 k 表示

比尔(Beer)定律

辐射在介质中传播时, 因与介质相互作用 (散射、吸收) 削弱。设强度为 $E(\lambda)$ 的光辐射通过厚度为 $E(\lambda)$ 的介质后, 其强度变化为 $E(\lambda)+d E(\lambda)$ 则: $dE(\lambda)=-E(\lambda)\beta_e(\lambda, z)dz$

两边积分得

$$E(\lambda)=E_0(\lambda)\exp\left[-\int_{z_1}^{z_2}\beta_e(\lambda, z)dz\right]$$

若为均匀介质, 其厚度为 L , 则有: $E(\lambda)=E_0(\lambda)\exp[-\beta_e(\lambda)L]$

此即为比尔 (Beer)定律, 辐射传输和遥感应用的一个基本定律,也称布格-朗伯定律 (Bouguer-Lambert)。

有关辐射传输的重要物理量**光学厚度**

指数中的积分为称介质的光学厚度: $\tau(\lambda)=\int_{z_1}^{z_2}\beta_e(\lambda, z)dz$

均匀介质的光学厚度可简化为: $\tau(\lambda)=\beta_e(\lambda)L$

透过率

透过率——透过介质后的光强与入射光强之比:

$$T(\lambda)=\frac{E(\lambda)}{E_0}=\exp\left[-\int_{z_1}^{z_2}\beta_e(\lambda, z)dz\right] \quad T(\lambda)=\exp[-\tau(\lambda)]$$

为无量纲参数

散射相函数

不同方向上质粒散射的辐亮度是不同的, 与散射角有关, 即入射光前进方向与散射方向的夹角有关

为表示散射光亮度随散射角 θ 的相对变化, 定义 θ 方向的角散射截面 (即该方向的散射辐亮度) $a(\theta)$ 与所有方向角散射截面平均值 $\sigma_s/4\pi$ 之比为相函数 $P(\theta)$: $P(\theta)=\frac{4\pi a(\theta)}{\sigma_s}$

相函数 $P(\theta)$ 是个无量纲量, 满足归一化条件:

$$\int_{4\pi}\frac{P(\theta)d\Omega}{4\pi}=\int_{4\pi}\frac{a(\theta)d\Omega}{\sigma_s}=\frac{\int_{4\pi}a(\theta)d\Omega}{\sigma_s}=1$$

某方向的散射强度为: $L_s(\theta)=\frac{\sigma_s P(\theta)}{4\pi}$

散射比

散射比——空气容积散射系数与容积消光系数之比称为散射比 $\varpi=\frac{\beta_s}{\beta_e}$

散射不对称因子

为定量表示前后向散射不对称的程度, 定义不对称因子 g 为散射角余弦 $u=\cos\theta$ 以角散射函数 $\beta_s(\theta)$ 或相函数为权重 $P(\theta)$ 的平均值:

$$g=\frac{\int_{-1}^1 u \beta_s(u) du}{\int_{-1}^1 \beta_s(u) du}=\frac{\int_{-1}^1 u P(u) du}{\int_{-1}^1 P(u) du}=\frac{\int_{-1}^1 u P(u) du}{2} \quad 1 \geq g \geq 0$$

不对称因子 g 与散射粒子的尺度有关, 粒子越大, 不对称因子 g 就越大

瑞利散射: $g=0$; 沙尘暴散布射: $g>0.8$

前向散射: $k_+=\frac{\beta_s}{4\pi}(1+g)$

后向散射: $k_-=\frac{\beta_s}{4\pi}(1-g)$

相函数的近似计算公式：Henyey 与 Greenstein 相函数近似公式：H-G 相函数近似公式

$$g(\theta, g) = \frac{(1-g)^2}{(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}}$$

g 为常数 (不对称因子)

辐射校正与大气校正

一、 **辐射定标 (calibration)**：辐射定标指将接收的遥感数据，通常是灰度 (DN) 值，转换成实际的物理量 (如辐射亮度、反射率等)。

辐射的偏差问题

- 传感器性能——波段响应函数
 - 分光比例
 - 探测元件的响应率及灵敏度
 - 光学元件的损耗
- (半导体材料性能) 的不稳定性
- 工作过程中电压的起伏
- 数据的储存

辐射定标的种类

根据定标参数获取的途径和时间，可以分为：

- 发射前定标 (prelaunch)：卫星发射前在地面上对仪器进行反复定标
- 机 (星) 上定标 (on-board)：在仪器扫描过程中根据参考的标准灯光和阳光光源进行定标
- 地面目标物定标：获取卫星数据过程中，在典型地区 (地物单一，具有朗伯体性质，如沙漠、清洁湖面等) 进行同步光谱测量，然后用地面光谱数据对卫星遥感数据进行定标

遥感数据的星上辐射定标

- DN 值的影响因素
- 参考光源
- 地面定标测量
- 遥感数据的辐射定标——地表辐亮度的计算

DN 值的影响因素

- DN：一般光敏原件——电流值的离散化
- CCD——电压值的离散化
- 参考光源、高/低温参考版

地面定标测量

$$DN = f_r L_\lambda A_p \beta^2 \Delta\lambda$$

f_r 仪器波段响应函数, L_λ 入射光辐照度, A_p 仪器镜头孔径, β 瞬时视场, $\Delta\lambda$ 波段宽度

$$L_\lambda = \frac{DN}{f_r A_p \beta^2 \Delta\lambda}$$

遥感数据的辐射定标

- 确定响应函数，求出遥感数据 DN 值与入射光强的函数关系，将 DN 值转化为入射光辐亮度。
- 内部参考光源与外部参考光源相结合进行定标
- 地面测量相结合进行定标

定标参数的确定

- 定标公式针对何种真实物理量： 反射率？

- a 是负数时，定标前后图象视觉相反？
- 定标参数的确定都是对波段的波长积分

DN 值向辐亮度的转换

通常，遥感器接收到来自目标物的辐射信息后，将其转为灰度值进行存储，是为了节省空间。但是，当我们开展定量分析的时候，就必须重新将其转换回实际物理量。定标过程一般采取线形公式进行转换：

$$L = a * DN + b \quad (\text{或: } DN = a * L + b)$$

a(gain)、b(offset)通常可以从遥感数据头文件读出

辐射纠正—反射率的计算

- 电磁辐射与辐射源——地物——传感器的几何关系
- 水平地面的假设
- 山地辐射纠正
- 辐亮度向反射率的转换

电磁辐射与辐射源——地物-传感器的几何关系

- 入射辐照度下入射方向是余弦关系
- 对于水平地面，入射辐照度为： $F = F_0 \cos \theta_s$
- 对足够大的地面面积，反射辐亮度仅与二向反射率有关；如地面为朗伯体且水平，则任何观测方向上其反射辐亮度均相等。对于传感器来说，一般地物均充满整个瞬时视场，故反射亮度与观测方向不是余弦关系，其反射辐亮度为：

$$L = F_0 \cos \theta_s R(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v)$$

辐亮度向反射率的转换

- 反射率：地物反射亮度与相同光照条件下的标准板反射辐亮度之比。
- 标准板反射辐亮度为： $L_0 = \frac{F_0}{\pi} \cos \theta_s$
- 故地物反射率为：

$$R(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v) = \frac{\pi L(\theta_s, \varphi_s; \theta_v, \varphi_v)}{F_0 \cos \theta_s}$$

辐射与大气的相互作用

大气对传感器接收辐射能量的影响

- 对入射光的消光 (extinction)
- 产生路径辐射 (散射) (path radiance)
- 产生天空漫射光(diffuse skylight)
- 发生地面——天空的多次反射
- 邻区经多次散射面混入象元反射光中，造成影像模糊(diffuse adjacency signal)

传感器接收的辐亮度 $L_{sat} = L_g + L_{path}$

路径辐射 (散射) $L_{path} = L_r + L_a$ L_r 和 L_a 分别为大气分子和气溶胶的路径散射

$$L_x = \frac{F_0 \omega_x P_x(\Theta)}{4\pi}$$

x 为 r 或 a , 分别表示大气分子和气溶胶的路径散射
 ω_x 大气分子或气溶胶的平均一次散射反照率
 $P_x(\Theta)$ 为散射相函数

散射角 : 入射方向与观测方向的夹角 $\cos \Theta = \cos \theta_s \cos \theta_v + \sin \theta_s \sin \theta_v \cos(\varphi_s - \varphi_v)$

θ_s 和 θ_v 分别为入射方向与观测方向天顶角

φ_s 和 φ_v 分别为入射方向与观测方向天顶角

地面反射辐射 $L_g = (E_g + E_{sky})R'T_v$

对入射光的消光 (extinction)

到达地面的太阳直射光辐照率为 :

$$E_g = E_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 T_s = E_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \exp \left(- \int_0^h \frac{\beta_s + \beta_a}{\cos \theta_s} dl \right) = \frac{E_0}{d^2} \exp \left(- \frac{\tau}{\cos \theta_s} \right)$$

E_0 大气层外平均日地距离太阳辐照度, θ_s 入射天顶角

r_0, r 平均和成像时的日地距离 τ 整层大气光学厚度

β_s, β_a 分别为容积散射和吸收系数

$$\text{天空漫射光 } E_{sky} = \frac{E'}{4\pi} \int_0^{2\pi} [\omega_r P_r(\Theta) + \omega_a P_a(\Theta)] d\Theta$$

$$\text{多次反弹反射率 } R' = \frac{R}{1 - R\rho_{ra}}$$

$$R = \frac{1 - R\rho_{ra}(0,0)}{T_v(\pi T_s + \omega_{sky})} T_v[R_{sat} - \rho_{ra}(\theta_s, \theta_v)] \quad R \approx aR_{sat} + b$$

■ 多次反弹的影响较弱, 一般可以忽略

大气纠正方法

1 已知大气状况的校正方法

如果已知大气的垂直廓线(温、湿、压), 大气水汽含量, 大气光学厚度(气溶胶), 以及气溶胶模式, 我们可以通过大气辐射传输模式模拟, 计算三个不同地表反射率条件下的大气层顶辐射亮度, 进而求解得到 a 和 b 值, 而达到大气效应纠正的目的。对于可见光/近红外波段而言, 大气状况最主要的影响因素是大气气溶胶的变化, 即大气光学厚度的变化, 因此关键是如何估算遥感图像的气溶胶分布。

2 参考地物法(Invariant—Object Methods)

对于 TM 等高分辨率的图像, 通常可以假设整幅图像的大气状况相同, 图像的观测天顶角也可以近似看作相同(垂直观测), 如果可以在一幅图像中找到若干个(3个以上)地表反射率固定不变的地物, 则可以通过求解方程组得到大气参数, 进而达到整幅图像大气校正的目的。

理论上, $n \geq 3$ 即可求解, 但为避免方程的相关性, 一般要寻找地表反射率分别为高、中、差的地物作为参考物。

该方法对于时间序列的多幅影像的归一化校正适用。

3 暗目标方法 (Dark-Object Methods)

如果图像中包含有浓密的植被, 因为浓密植被在可见光反射率很低, 被称为暗目标, 因此传感器所接收的辐射主要来自于大气的程辐射, 可以用于大气光学厚度的估算, 其算法的基本思路如下:

- a. 确定暗目标的存在: 阴影或无风浪的清洁水体 (最好是山间水库), ;
- b. 用植被指数高和红外波段反射率低的特性; 或利用中红外通道 (2.1 μm 和 3.8 μm) 的反射率低的特性, 估测暗像元在可见光通道的反射率;
- c. 给定气溶胶模式 (气溶胶谱分布, 折射指数, 单次散射反照率等);
- d. 利用对动态气溶胶模型计算的辐射传输查找表, 将遥感观测的辐射亮度反演为气溶胶光学厚度;
- e. 利用得到的气溶胶光学厚度对整幅遥感影像进行内插, 得到整幅图像的光学厚度;
- f. 对整幅影像进行大气校正。

4 其它大气校正方法

像元信息分解

混合像元及其影响

- 遥感图像上多数像所对应的地面不是单一的物体, 而常常在若干种地物的混合, 所以其光谱实际上是这此地物光谱的混合。
- 造成的所谓的**异物同谱**和**同物异谱**的现象。
- 多数同物异谱是混合像元的结果
- 混合像元使得常规方法的遥感精度降低

象元解研究概况

- 在一般情况下, 传感器接收并记录的地面光谱能量的 DN 值是基本地物光谱的**线性组合**。基于以上分析, John B. Adam 等(1986,1995) 提出了**混合光谱分析法** (Spectral Mixing Analysis), Ito and Fujimori (1987)提出了**象元分解分类法**。
- 该类方法从图像中提取若干“**端元组分像元**”, 一般像元可看作这些端元像元以不同比例的线性组合。
- 该类方法计算模型和各参数具有清楚的物理意义, 且对组分认识提高到定量的程度。故在土地利用分类监测等方面获得很大成功。但目前该方法仍存在两方面明显不足。

像元信息分解的方法

- 混合像元分解法
- 混合像元组分信息分解法: 线性模型、物理模型

混合象元的信息特征

- **混合像元造就了像元光谱的多样性**
 - 在遥感数据中, 各个象元对应地面上一定面积的地物。这些地物通常是由若干基本成分组成, 如土壤、植被、水分等。象元光谱也正是这些基本地物成份所发射或反射的光谱的混合并为传感器接受的部分
 - 地物的混合造成了同种地物光谱的“变异”, 以及不同地物间光谱的过渡类型, 使得像元光谱千差万别
 - 如随覆盖率的减小, 像元光谱由植被光谱向土壤光谱过渡。
- **混合像元是有限元素光谱的组合**
 - 但在一定的层次 (尺度) 上, 组成混合像元的基本组分的种类是有限的:
 - 不考虑大气影响时, 乡村地区: 土壤、植被、水体; 城镇地区: 土壤、植被、水体、水泥建筑, 这就给更精确的信息提取提供了必要的基础。

■ 像元信息构成的层次

- 象元之间的关系，即遥感影像上的纹理特征；地貌单元级
- 象元光谱，如根据象元光谱特征，进行分类；像元级
- 端元象元光谱，单一覆盖类型地表的光谱；亚像元级
- 材料（组分）波谱，单一的基本地物光谱，是目前遥感研究最基体的单元，如叶子、清洁水、干土壤等。厘米级。
- 成分光谱，构成材料的基本成分，如叶片内部各组分如叶绿素、叶红素、纤维素；土壤的各种矿物成分的光谱等。细胞、矿物、分子化合物级

■ 象元组分光谱组合的方法分析

- 亚象元、端元组分层次：

线性组合

- 亚象元、端元组分层次
- 象元可近似看作平面，为二维结构
- 各端元组分光谱在传输过程中并无相互影响，进入传感器的辐射是各端元组分的叠加，如不考虑大气影响，传感器接收并记录的地面光谱能量的 DN 值是基本地物光谱的线性组合

非线性组合

- 小尺度、材料、材料成分层次：非线性关系
- 1 组分之间的光谱可能相互影响，如土壤与其中的水分。
- 2 象元已不能看作平面，而是三维曲面，组分之间会发生散射、透射、吸收等作用而使光谱之间的关系复杂化

混合象元分解

混合象元 (mixed pixel) : 象元中存在多于 1 种地物时，称其为“混合象元”。与此相对应，只包括 1 种地物的象元为“纯象元” (pure pixel)。

事实上，遥感图象中，尤其是低空间分辨率的图象中，各个象元通常都包括多种地物。尽管不同的自然地物有其不同的波谱、时间、角度等特征，但是遥感记录的象元只有单一的波谱、时间、角度等特征，即混杂后的特征。它给遥感解译造成困扰。

端元：

如果用混合象元进行判读，会造成很大误差。通常需要对混合象元进行分解，分析混合象元中存在的地物种类及其所占比例。

分解混合象元时，被分解出来的成分称为端元。每个端元通常对应一种地物。

端元常被认为组成混合象元的最基本的成分；在混合象元模型中，端元是不能再分的。

我们可以认为一个混合象元由植被、裸地、水体组成，此时端元就是植被、裸地和水体。

如果我们需要在植被中区分小麦和林地，在裸地中区分村庄和撂荒地，则此时我们认为一个混合象元由小麦、林地、村庄、撂荒地和水体等端元组成。

端元的个数完全根据实际需要、遥感数据（多维）信息量、以及端元之间的差异而确定。

子象元 (sub-pixel)

当我们描述混合象元内部某种地物时，也常称其为子象元。子象元，顾名思义，就是指尺度小于一个象元，而我们又希望予以关注的地物。

象元是我们可以判读遥感图象的最基本单元，也就是说，当地物小于 1 个象元时，通常是不能被判读出来的，这时，需要进行象元分解。

总之：

当我们关注象元时，我们用混合象元或纯象元等名词。

当我们关注象元内部时, 我们用端元或子象元等名词。通常, 端元含义与子象元含义相同。**混合象元分解也称为子象元分解**, 主要目的就是为了求算各子象元(端元)所占的面积(比例)。当然, 子象元(端元)的精确位置是无法通过分解确定的。

混合象元模型

混合象元模型的公式可以表示为, 象元反射率是所组成端元的反射率、各端元所占面积比例、以及其它参数的函数, 即: $\rho = F(\rho_1, a_1, \rho_2, a_2, \dots, \rho_n, a_n, X)$

其中 $j=1, \dots, n$ 为端元序号, ρ 为反射率, a 为面积比例, X 为其它各种参数(可能不止 1 个)。混合象元模型有很多类型。其中最早使用、最简单、目前还常被使用的是**线型模型**。

只考虑 2 个端元的线型模型

考虑 1 个混合象元中只存在植被和裸土, 此时混合象元的反射率为 $R = \rho_v a_v + \rho_s a_s$

其中, ρ 为反射率, a 为面积比例, 下标 v 代表植被, 下标 s 代表裸土。

注意到 $a_v + a_s = 1$ 则此时上式可以写为: $R = \rho_v a_v + \rho_s (1 - a_v)$

如果我们已经知道了植被反射率 ρ_v , 以及裸土反射率 ρ_s , 则通过探测到的象元反射率 ρ , 即可反演出植被所占面积比例 a_v , 进而根据象元面积, 得出植被面积。裸土的面积比例也可通过 $1 - a_v$ 获得。

考虑 3 个端元的线型模型

考虑 1 个混合象元中存在植被、裸土和水体, 此时混合象元的反射率为 $R = \rho_v a_v + \rho_s a_s + \rho_w a_w$
 $R = \rho_v a_v + \rho_s a_s + \rho_w (1 - a_v - a_s)$

如果我们已经知道了各端元的反射率 ρ_v 、 ρ_s 、 ρ_w , 也知道探测到的象元反射率 ρ , 但由于该式有 2 个未知数, a_v 与 a_s , 仍无法求解。此时, 必须引入更多的遥感信息, 以构成至少由 2 个非同构方程组成的方程组, 才可以求解。

我们可以获取 2 个波段(如红波段和近红外波段)的遥感数据, 以构成方程组:

2 个方程, 2 个未知数, 可以求解出我们所需要的 a_v 、 a_s 、 a_w 。

同样地, 我们也可以选取 2 个时相的遥感数据, 构成上述方程组, 进行求解。只要端元的反射率有不同的变化(以避免方程同构)即可。

考虑 n 个端元的线型模型 $R_i = \sum_{j=1}^n (\rho_{ij} a_j)$

如果考虑误差项, 则混合象元反射率可以写为: $R_i = \sum_{j=1}^n (\rho_{ij} a_j) + e_i$

其中 e_i 为遥感数据的误差项。由此我们可以列出由 m 个波段或时相数据构成的方程组, 并用矩阵表示: $|R| = |P||a| + |e|$

其中 $|R|$ 、 $|e|$ 均为 m 行的单列矩阵, $|P|$ 为 m 行 n 列矩阵, $|a|$ 为 n 行单列矩阵。

要保证上式能反演, 未知数的个数要小于等于独立方程的个数, 注意到面积比例和为 1, 增加了 1 个方程, 则首要的反演条件为: $n \leq m+1$

其次, **端元所占面积比例在所采用的数据集中不能有变化。**

反演的精度取决于: **象元发射率与端元反射率的精度。**

其次, 遥感数据集的选取也很重要。端元的反射率在不同数据中差别越大, 反演越精确。模型中的误差项主要是由于遥感数据误差、混合象元中其它端元的贡献、以及其它随机误差引起的。

非线性模型讨论

严格地说组分之间及与综合光谱之间的关系都不是线性的，主要原因有两方面：

- 1 组分之间在空间上是上下或混合关系，二者的光谱存在辐射传输的关系
 - 2 小尺度上，像是三维结构，组分光谱有几何光学、多次散射等方面的问题
- 故各组分其及结构与像元光谱之间的关系十分复杂。
 - 对地表要素进行精确的反演需建立各种定量物理模型。接下来的几章中将对主要的定量遥感模型进行介绍。

微波遥感

当今遥感面临的问题

- 近年来光学遥感得快速发展
- 高空间分辨率：地面分辨率小于 1 米
- 高空光谱分辨率：波段数达 300 多个
- 时间分辨率一天数次，1 次/30 分
- 但无法解决云的问题：
难以满足需要的时间分辨率
常需要遥感数据时，云的覆盖特别严重

微波遥感的优势

- 微波特点
 - 微波 波长 1mm—1m。是一个很宽的波段。为毫米波（1—10 毫米）、厘米波（1—10cm）和分米波（1—10 分米）。
 - 微波具有极强的穿透能力
 - 能穿透云雾而只受到很小的影
 - 能穿透一定厚度的植被、冰层和土壤，可获得其它波段无法获得的信息；
 - 易于用人工获得
 - 可以主动和被动方式成像；
 - 具有全天候的工作能力；
 - 波动性明显，可提供相位信息
 - 可用于精确测距、定位
- 微波遥感数据特点
 - 提供与光学遥感数据不同的信息
 - 回波与地物介电常数密切相关，对含水量、粗糙度反映灵敏
 - 立体感强
 - 回波强度与地物的粗糙度，几何形状、空间位置密切相关
 - 具有相位、极化信息
 - 丰富了信息量；可用于精确定位

因此在遥感技术上是很有潜力的一个波段。
- 应用领域
 - 全球变化监测方面
 - 1.各尺度的海况测量 2. 海风监测 3. 冰盖制图及动态监测 4. 海冰分布制图及动态监测
 - 5. 大尺度的植被变化监测 6. 监测自然和人为成因的海洋污染
 - 地区性的研究、应用
 - 1. 海冰运动 2. 冰雪制图 3. 岸线测量和污染监测 4. 航运监测 5. 农业和森林监测
 - 6. 土壤含水量监测 7. 地质勘探 8. 地形测量 9. 自然灾害跟踪、预测 10. 地表变形

- **发展方向:**高空间分辨率\多极化、多角度\多光谱分辨率

限制：卫星雷达获得的太阳能有限

微波传感器的分类

- **主动型：**
 - 非成像型：微波高度计、微波散射计
 - 成像型： 真实孔径雷达、合成孔径雷达、多普勒雷达
- **被动型：**
 - 成像型： 微波辐射计

主动非成像型

- 雷达高度计：测量星下点高度，精度达厘米级；用于地形、海浪及海冰等方面测量
- 微波散射计： 用于定量测量各类地物散射系数

主动成像型

- 真实孔径雷达：为成像雷达的初期类型，分辨率低，变形大；只能搭载在飞机上
- 合成孔径雷达：具有极高的空间分辨率，且空间分辨率与测量距离无关。可搭载在飞机或卫星上，最新的合成孔径雷达具有多种观测模式，可进行多角度、多极化观测，是最新一代的雷达遥感传感器，具有广阔的发展前景
- 多普勒雷达：为地基雷达，用于云、雨、风等的气象观测。

被动型

- 微波辐射计：工作原理与热红外传感器相似，探测地面热辐射的微波部分。空间分辨率低，地面分辨率为 50KM，用于大尺度的海风、海面粗糙度监测

雷达工作原理：

波段划分：波长越强，穿透越强

微波的发射

可由电磁振荡产生：简单地说，振荡电路由一个线圈和一个电容组成。充电后电容的电压与线圈的电感相互转换，此消彼长，产生周期性的电磁振荡，同时向外发射电磁波。振荡电路中的线圈即为天线

发射微波的方向性：**天线越大，发射的微波方向性越好，集中**；反之，天线越小，其覆盖范围就越小，发射的微波方向性越差，其覆盖范围就越大

Radar Bands

L-Band: 15-30 cm
S-Band: 8-15 cm
C-Band: 4-8 cm
X-Band: 2.5-4 cm
K-Band: 1.7-2.5,
.75-1.2 cm

真实孔径雷达工作原理

- > 由机载脉冲发生器产生的波脉冲经天线向地面目标发射，一次向侧面垂直于飞机航向方向发射一扇形窄带的微波脉冲
- > 之后，由天线接收地面目标反射的回波，接回波的时间先后定位，经接收机检波后由指示器显示出地面目标图像
- > 再由以相应速度卷动的胶片记录下来。
- > 发射和接收一次脉冲获得相当于一条扫描线的数据
- > 其后飞行平台前行一段距离再次发射、接收微波脉冲获得下一条扫描线，如此重复获得一个航带的数据

空间分辨率

- 飞行方向与侧向（发射微波的方向）的分辨率是相互独立的，需分别描述。
- 方位分辨率——飞行方向的分辨率。
- 距离分辨率——垂直于航线方向的分辨率 $P\lambda$

■ 方位分辨率

- 取决发射的微波脉冲在地面上的覆盖宽度，及于飞行器的飞行速度和发射两个脉冲之间的时间间隔。

- 其核心是微波脉冲在地面上的覆盖宽度。其取决于天线宽度和探测距离。 $P_a = \frac{\lambda}{D} \cdot R$

- 式中： P_a —方位分辨率， λ —波长， D —雷达天线直径， R —雷达至目标距离。

- P_a 越小，分辨率越高。

■ 距离分辨率

- 取决于微波脉冲的宽度（时间）及微波的入射角。 $P_r = \frac{c \cdot \tau}{2 \cos \beta}$

- P_r —方位分辨率， C —光速， t —脉冲宽度， β —波束照射俯角

- P_r 越小分辨率越高，要提高距离分辨力就须减少脉冲宽度，但脉冲宽度过小能量就太弱，不利于探测目标。现该方面的问题较好解决。

合成孔径雷达工作原理

- 采用小天线进行微波脉冲的发射和接收，以获得较大面积的脉冲覆盖
- 根据回波时间和频率偏移进行回波反射位置的定位。工作时随遥感平台的飞行，以小天线密集地向侧向发射微波脉冲并接收回波，并记录下其强度和相位，造成同一地点被多次覆盖。其结果相当于用一巨大天线的效果。
- 对各位置获得的数据进行相位补偿后进行合成，即可获得高分辨率的结果。

关键技术

1. 对小天线发射微波的回波根据其返回时间和频率偏移进行回波反射位置的定位。

- 根据时间区分微波与传感器距离向的位置。
- 根据多普勒定律，当波源与接收器有相对运动时，接收到的波的频率将发生改变，改变量与运动速度成正比。相向运动时，频率增量为正；相背运动时，频率增量为负。以过传感器，航向的垂线为分界线（0 值线），将微波脉冲覆盖区域分成两部分，前半部返回波的频率增量为正；后半部返回波的频率增量为负。故根据频率的变化可对回波反射位置进行近航向方向的定位。

2. 高分辨率数据的合成

- 由于地面上的点被多次覆盖。如最早覆盖某点的测站与最后覆盖该点测站的距离为 L ，那么所得数据的效果等同于直径为 L 天线雷达取得的效果。由于采用小天线， L 很大，接天线信号合成原理将一系列小天线得到的数据进行合成可得到高分辨率（主要是方位向的分辨率）的数据。

投影性质

- **旋转斜距投影**：一次向垂直航各的方向的一个窄条带区域发射微波，然后旋转斜距投影按先后将射程远近的回波记录在图像上而产生的投影方式。

方位分辨率

- 用合成孔径技术，合成后的天线孔径为 L_s ，则其方位分辨率为： $P_a = \frac{\lambda}{L_s} R$
- 天线最大合成孔径为： $L_s = R_w = \frac{\lambda}{d} R$
- 则为： $R_s = d$
- 此外由天双程相移，方位分辨率还可提高一倍，即 $P_a \approx D / 2$

距离分辨率

- 与真实孔径雷达相同。取决于微波脉冲的宽度（时间）及微波的入射角。 $P_r = \frac{c \cdot \tau}{2 \cos \beta}$
- P_r —方位分辨率， C —光速， t —脉冲宽度， β —波束照射俯角
- 可见全成孔径雷达空间分辨率与探测距离无关，可搭载在卫星上。

雷达的极化

电磁波的极化

电磁波是横波，其振动方向垂直于传播方向。在垂直于传播方向的平面上，其振动方向可以在 360 度方向上变化。当微波在该平面上振动方向只限于一个方向时，称该微波为**极化波**。进行雷达遥感时，可通过一定的装置发射和接收特定振动方向的微波，这便是雷达的极化。极化方向的定义是根据入射平面或地面来定义的。

入射平面——包含介质分界面的法向分量和平面波传播矢量的平面。

水平极化：当场 E 振动矢量方向垂直于入射面时，称为垂直偏振（相对于入射面）、水平极化（平行于地面， horizontally polarised）或 TE 波；

铅直极化：当场 E 振动矢量方向平行于入射面时，称为平行偏振（相对于入射面）、铅直极化（与地面大角度相交， vertically polarised）或 TM 波。

一般方向振动的波可以看成是这两个振动方向波的矢量合成。

由于水平极化和铅直极化波在发生反射、散射和吸收时具有不同的性质，雷达极化可获得一些特殊的信息。

- **水平极化——反射能量大而透射能量小**
- **铅直极化——反射能量小于透射能量大**

极化雷达可以发射一种极化波，接收相同极化或另一种极化波。故有以下组合方式：

- HH——发射水平极化波，接收水平极化波（反射信息）
- VV——发射铅直极化波，接收铅直极化波（反射信息与穿透后反射）
- HV——发射水平极化波，接收铅直极化波（去极化信息）
- VH——发射铅直极化波，接收水平极化波（去极化信息）

去极化信息：极化性质变化的信息，去极化：多次反射/折射

雷达数据的信息特征

强度信息

电磁学特性

- 地表的电磁学特性与几何特性共同决定了雷达回波的强度，最重要的电磁学特性参数是复介电常数，其决定了物体、介质的反射率和传导率，大多数自然地物的介电常数值是在 3 到 10 之间，而水的介电常数为 80 左右。这意味着不论水土壤或植被，水分的增加将导致反射率的显著增加。
- 其它高反射体是金属桥梁、钢架、铁路等。

后向散射体

- 雷达图像的象元实际上是对应地面向后散射体的表现，暗区表示低值后向散射体，亮区表示高值散射体。散射体对特定波段的后向散射能力随条件的改变而变化，如体积、含量的大小，电磁学性质和含水量的变化。含水量高色调浅，含水量低色调深；表面性质，平滑，发生镜面反射，色调暗；此外还有极化性质等。

几何特征

- 几何特征是雷达图像上可靠的信息之一，其具有侧视的特点，和雷达天线与地形的相对位置密切相关，故也与入射角密切相关。
- 除地表面外，物体的形状与位置也须得到考虑。如角反射器导致的二次反射将产生极强的后向散射。

- 粗糙度上本对于微波波长而言的。玉米地对可见光和微波均属粗糙面；而道路对光学波段属粗糙表面，但对微波则属光滑表面。总之，对于微波，很多物体都表现为光滑表面，发生镜面反射，比光学波段多得多。

相位信息

- 雷达接收的信息号保留了微波的振幅和相位信息。雷达辐射可用下三个参数描述、
波长：两波峰间距离 **振幅**：波峰位移 **相位**：某波与另一波的角距，常用角度表示
- 相位与天线至目标的距离和目标散射性质，及大气情况有关。

角度信息

- 入射角是雷达波与铅垂线的夹角，雷达波与地面的作用是复杂的，不同的入射角可能发生不同的散射机制：
- 对于较平坦表面，入射角较小时回波强，入射角较大时回波弱
- 对于粗糙表面和体散射，这种差异则较小，且变化较缓慢

基本地物的微波反射特征

土壤

- 因为水的介电常数是土壤的十倍以上，所以土壤介电常数主要取决于含水量。因而裸土区对含水量非常敏感，对较长的波段尤为明显。

植被

- 对于微波，植被冠层是个体散射体，冠层包含了大量的离散射的组分，如叶、枝、干等，此外，冠层之下还有土壤，会对穿过冠层的能量进行反射。
- 一般情况下，较短的微波，波长 2—6CM 适合于用来探测作物冠层和树叶，此波长以体散射为主，其下土壤的反射很小，可以忽略。然而，较长的波段，如 10—30CM 的波段是最适合用来探测树干。
- 极化是影响植被后向散射的一个重要因素。同极化波穿透植被的比例比交叉极化波要大。此外，平行于方位向的行的回波远较垂直于方位向的行回波的能量要强，对同极化波尤其如此。
- 但植被的交叉极化反射能量较一般的地表面要大。

山地

- 面向传感器的山坡被压缩，一个象元对应的地表面积大，能量强；；背向传感器的山坡则相反，入射和反射的能量弱，呈深色调。

水和冰

- 平静水面几乎没有回波返回天线。但粗糙水面的回波则非常强。
- 向距离向运动的波浪易于被探测到。
- 海冰的后向散射强度取决于其介电常数和其空间分布。其它因素，如海冰的年龄、表面粗糙度、内部几何特征、温度和表层雪盖的情况等均对其后向散射有影响。

1. 大面积平静水面呈黑色，因入射雷达波被反射掉
2. 尺度与雷达波波长相近的地表起伏会引起强烈的后向散射。
3. 当湿度较大时，粗糙表面后向散射强烈。
4. 当风引起的粗糙水面的粗糙尺度与波长相近时，将引起强烈的后向散射。
5. 山坡或其它大面积的表面在面向传感器的坡面趋于明亮，与传感器相背的坡面趋于黑暗。山区这种情况非常严重，主要是由于“前向压缩” (foreshortening.)
6. 由于反射率和角状结构，建筑物、桥梁、及其它人工建筑由于发生角反射而在图像上表现为亮点。
7. 极强的反射体，即角反射体，在雷达图像有表现为一明亮的十字架。

多角度雷达遥感

多角度信息：

- ASAR 的入射角可以在 15 度至 45 度之间变化，可提供多角度信息。
 - 入射角是雷达波与铅垂线的夹角，雷达波与地面的作用是复杂的，**不同的入射角可能发生不同的散射机制**：
 - 对于较平坦表面，入射角较小时回波强，入射角较大时回波弱
 - 对于粗糙表面，这种差异则较小，且变化较缓慢
 - 对于介电常数较小的异质介质的体散射，如植被，这种回波强度在不同的入射角下均较均一，随入射角的变化很小。
 - 所以，雷达散射体的回波强度与入射角是密切相关的，可不同的应用应选择不同的入射角数据。
 - 高入射角：地形引起的变形降低，
 - 入射角减小：地形引起的变形降低
- 砍伐区的识别、裸地的识别、海船识别**
- 对于特定的应用，有一最佳的入射角选择。可以通过多角度分析获得特殊的信息。
 - 对于土壤含水量和粗糙度，多角度雷达数据受到越来越多的关注。
 - 农业遥感，高入射角数据观察植物情况；低入射角数据观察下垫面情况
 - 森林遥感，高入射角数据对生物量敏感；低入射角数据对植株结构敏感，有利于区分林种。

极化雷达遥感原理

- 很多地物对不同极化的微波具有不同的反射特征
- **水平极化——反射能量大而透射能量小**
- **铅直极化——反射能量小于透射能量大**
- 粗糙表面、体散射交叉极化能量相对较大
- 一般表面反射同极化能量相对大
- 不同极化方式数据及其比值具有特殊的信息
- 水面对交错极化的散射极低，**交错极化对有去极化目标的遥感非常有效**，如船只和结构复杂的冰盖。
- 阔叶林与草本植物可用交错极化得到区分：阔叶林易于产生多次散射，导致去极化作用发生，而草本植物则不然
- 交错极化对识别线性构造有利
- 交错极化可提高土壤含水量和粗糙度遥感的精度，因为粗糙度和行方向对入射角度不敏感
- 对植被遥感，用不同极化，特别是交错极化数据可提高区分覆盖区与裸露区的区分能程度；效交错极化数据可以提高对林种、长势和种植方式的区分能力

植被识别：裸土与植被反射率变化大 HH 或 VV 裸露区区别不大，但二者的相交（干）图则区别极大，裸土高相关，植被低相关。故可很好地对二者进行区分。

土地利用调查中的应用：交错极化图象上，城镇区色调暗，原因是城镇区反射波主要来自角散射，面交错极化波主要来自多次散射

海冰的识别、海浪研究、气象

雷达干涉测量

- 干涉测量是根据相干的原理，通过测量回波相位的改变，来反演地表高程，或地表微小形变的技术
 - 雷达发射和接收的微波是相干的，接收的信息号保留了微波的振幅和相位信息。雷达辐射可用下三个参数描述：波长、振幅、相位
 - 两幅重复覆盖雷达图可以得到相位差图
 - 相位差可以形成一种新型的图像，叫干涉图，其由一系列周期性重复的色带组成的图案，它包含了相关物体的几何信息。
 - 交叉轨道干涉（Across-track） - 使用同一地区不同轨道或不同入射角的图像，其功能是提取地形信息
 - 同轨道干涉 Along-track - 使用同一地区、同一轨道，不同时间的图像，其功能是提取地形的形变信息。用于地形变形或海流等的测量。
 - 差分干涉（Differential） - 使用一时间序列的图像，消除地形的影响，其功能是提取地形、地物的形变信息。监测地面沉降、地震、火山和地壳运动等。
-
- 海浪
 - 溢油
 - 船只识别
 - 土地利用
 - 森林
 - 地形
 - 地震
 - 沉降
 - 洪水
 - 土壤含水量
 - 道路
 - 海冰
 - 冰川运动