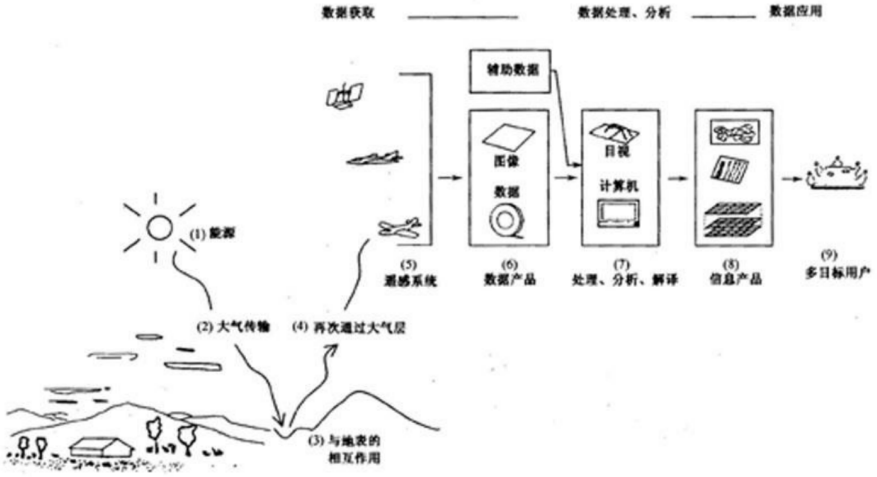
绪论

1. 遥感基本概念

·一切地面目标，由于种类及其所处环境条件的差异，因而具有反射或辐射不同波长电磁波信息的特性，遥感正是利用地面目标反射或辐射电磁波的固有特性，通过观察目标的电磁波信息，获取目标的信息，完成远距离识别物体的技术。
·应用遥感器“遥远”地采集目标对象的数据（电磁波特性），并通过对数据的分析来获取和揭示有关地物目标、或地区、或现象的信息（特征及其变化）的一门科学和技术。
·遥感（Remote Sensing）作为一门综合技术是美国学者在1960年提出来的。为了比较全面地描述这种技术和方法，Pruitt把遥感定义为“以摄影方法或以非摄影方式获得被探测目标的图象或数据的技术”。从现实意义看，一般我们称遥感是一种远距离目标，通过非直接接触而判定、测量并分析目标性质的技术。

2. 遥感系统



3. 遥感系统分类

3.1 按遥感平台划分

·地面遥感：是以近地表的载体作为遥感平台的探测技术。如汽车、三脚架、气球和车船等。地面遥感是获得像或非成像方式的数据，由于它与地面其他观测数据具有绝对同步关系，为构建地表物理模型奠定基础。
·航空遥感：是以飞机为平台从空中对目标地物进行探测的技术。主要的特点是沿航线分幅获取地面目标地物，因此其灵活性大，所获得的图像比例尺大，分辨率高，主要为地方尺度的遥感提供数据。
·航天遥感：是以卫星、火箭以及航天飞机为平台，从外层空间对目标地物进行探测的技术系统。航天遥感是20世纪70年代发展起来的现代遥感技术。其特点是已形成从粗分辨率到高分辨率的对地观测手段，不仅可用于宏观区域的自然规律与现象的研究，同时高分辨率小卫星为地方尺度的大比例尺制图与资源环境调查研究提供新的数据源，另外重复周期短，为动态监测地球表面环境提供了可能。
·航宇遥感：是以宇宙飞船为平台对宇宙星际的目标进行探测遥感技术。随着运载火箭技术的不断发展，人类逐步从地球环境向宇宙星际环境的延伸，从而实现了对月球、火星等星际环境的遥测。这一技术为进一步探索地球的起源提供科学数据。

3.2 按探测的电磁波段划分

·可见光遥感：传感器仅采集与记录目标物在可见光波段的反射能量。
·红外遥感：传感采集并记录目标地物在电磁波红外波段的反射或辐射能量，主要有摄影机、扫描仪等。
·微波遥感：传感器采集并记录目标地物在微波波段反射能量，所用传感器主要包括扫描仪、微波辐射计、雷达、高度计等。
·紫外遥感：传感器采集和记录目标物在紫外波段的辐射能量，由于太阳辐射能量到达地面的紫外波能量非常弱，因此可用波段非常窄。
·高光谱遥感：高光谱遥感是近年发展起来的新的遥感探测技术，它是将某一波长范围内，以小于10nm波长间隔对地观

察，探测地表某目标地物的反射或发射能量的探测技术。高光谱遥感通常来讲，可分为成像高光谱和非成像高光谱。非成像高光谱，是指利用高光谱非成像光谱（辐射）仪在野外或实验室测量特征地物的反射率、透射率及其辐率，从而从不同侧面揭示特征地表波谱特征以及其性质。野外或实验室高光谱的研究，为进一步模拟成像光谱仪的工作性，确定传感器测量光谱范围、波段设置（波段数、波宽及位置）和评价遥感数据的应用潜力奠定基础，常用的非成像光谱仪有ASD、LI-1800等。

3.3 按电磁辐射源划分

·根据传感器所接收的能量来源，遥感技术可划分为主动和被动遥感两种。

·被动遥感(Passive)：指传感器探测和记录目标地物的太阳辐射的反射或是目标地物自身发射的热辐射和微波的能量。其中目标物反射的电磁波能量，其输入能量是太阳自然辐源而非人工辐射源，热红外和微波波段的发射能量是地物吸收太阳辐射能量后的再辐射。

·主动遥感(Active)：是指传感器带有电磁波发射装置，在探测过程中，向目标地物发射电磁波辐射能量，然后接收和记录目标物反射或散射回来的电磁波的遥感。如雷达、闪光摄影等属此类。

4. 遥感特点

大面积同步观测-宏观性、时效性-周期性、数据综合性和可比性、经济性（土地资源普查）、局限性

5. 遥感发展过程

·无记录的地面遥感阶段（1608-1838）

·有记录的地面遥感阶段（1839-1857）

·空中摄影遥感阶段（1858-1956） （一战）

·航天遥感阶段（1957-）（航天对地长期观测从1960年美国发射的TIROS/NOAA太阳同步气象卫星开始。）

遥感平台发展：业务化和系列化，多角度、多周期系列平台

6. 中国遥感事业发展

·系统航空摄影是从上世纪50年代开始

·20世纪70年代遥感有了长足进步

·1970东方红人造卫星，风云气象卫星相继发射；1999年中巴资源卫星，成为第一颗资源卫星。

·1986年建成遥感卫星地面站，系统接收美国，法国，加拿大和中巴卫星等数据。

·广泛探索和应用试验：云南腾冲遥感综合试验，长春净月潭试验，东海渔业….

云南腾冲遥感综合试验

·腾冲航空遥感在我国是一次规模最大、学科最多、涉及技术和应用领域极为广泛的综合性的遥感试验，是我国遥感新领域迈出具有历史意义的第一步，开创了技术集成与知识创新的先河，在我国遥感发展史上具有里程碑意义。

·1978年12月至1980年底，经国务院和中央军委批准由中国科学院牵头国内16个部委所属68个单位、50多门学科、700余名科技人员参加的腾冲地区进行了我国第一次大规模多学科综合性航空遥感技术应用试验（简称7802工程）。

遥感概论-电磁辐射与地物光谱特征

1. 电磁波谱与电磁辐射

1.1 波

振动的转播称为波。

1) 机械波 （声波、地震波）

2) 电磁波 （如光波、热辐射、微波、无线电波等）

纵波/P波 如声波； 横波/S波 如电磁波

1.2 电磁波

遥感是利用传感器主动或被动地接受地面目标反射或发射的电磁波，通过电磁波所传递的信息来识别目标，从而达到探测目标物的目的。

1）电磁波是电磁振动的传播。当电磁振荡进入空间时，变化的磁场激发了变化的电场，使电磁振荡在空间传播，形成电磁波，也称电磁辐射。

2）电磁波是横波，质点的震动方向与波的传播方向垂直

3）电磁波在真空中以光速传播

4）满足方程： $f\lambda=c$ (波动性) $E=h.f$ （粒子性） 具有波粒二象性

5）电磁波具有波粒二象性：电磁波在传播过程中，主要表现为波动性；与物质相互作用时，主要表现为粒子性。

·粒子性（光电效应是最好的说明） 把电磁波作为粒子对待时，能量: $E = hf=hc/\lambda$

-辐射能量跟波长成反比。对于遥感有重要意义。

-地表特征的微波辐射要比波长相对较短的热红外辐射更难感应。 （波长越长越难探测）

-热红外辐射比可见光难探测。

1.2 电磁波谱

按电磁波在真空中传播的波长或频率，递增或递减排列构成了电磁波谱。

可见光：蓝：0.4-0.5m；绿：0.5-0.6m；红：0.6-0.7m

·红外(Infrared,IR)

-反射红外（reflective IR）：0.7-3.0m

-热红外(Thermal IR)：3.0-100m

·以往用法：

-近红外：0.7-1.1m

-中红外：1.1-3.0m

-远红外：8.0-100m

·目前遥感界习惯用法：

近红外（NIR,near-infrared）：0.7-1.1m

短波红外(SWIR,shortwave IR）：1.1-3.0m

中红外(MWIR,Mid wave IR)：3.0-6.0（8.0）m

热红外(TIR,Thermal IR)：8.0-15m

·微波波段(1mm-1m,最常用1cm-1m)

遥感常用波段符号：P：30-100cm；L:15-30cm；S:7.5-15cm；C:3.75-7.5cm；X:2.4-3.75cm；Ku:1.57(1.7)-2.4cm；K: 1.1-1.57(1.7)cm；Ka: 0.75-1.1cm

·地球资源应用中常用波段：X、C、L

云雨穿透性很强、全天候工作、对地表面穿透性较强、具有某些独特的探测

较长的波长可以穿透的更深，在冠层、树干及土壤间发生多次散射。

1.3 电磁辐射

电磁辐射是电磁波传递能量的过程，是能量的一种动态形式，只有当它与物质相互作用（包括发射、吸收、反射、透射）时才表现出来。

1.3.1 电磁辐射度量

1）辐射通量Φ（辐射功率）

·在单位时间内通过某一面积的辐射能量称为辐射通量：Φ=dW/ dt

辐射通量（Φ）的单位是瓦特=焦耳/秒（W=J/S）

-注意：辐射通量是波长的函数，总辐射通量应该是各谱段辐射通量之和或其积分值。

2） 辐射通量密度 E

单位面积上的辐射通量称为辐射通量密度：

·辐照度（I）：被辐射的物体表面单位面积上的辐射通量，记为：I=dΦ/dS，单位是W/m^2,S为面积。

·辐射出射度(M)：温度为T的辐射源物体表面单位面积上的辐射通量，记为：M=dΦ/dS，单位也是W/m^2，S为面积。

3）辐射强度：是描述点辐射源的辐射特性的，指在某一方向上单位立体角内的辐射通量。辐射强度=dΦ/dΩ

辐射强度的单位是瓦/球面度（W/Sr）

4）辐射亮度：面辐射源，在某一方向，单位投影表面、单位立体角内的辐射通量称为辐射亮度：

辐射亮度（L）的单位是瓦/米^2•球面度（W/m^2 • Sr）

1.4 黑体辐射

1）黑体

·地物发射电磁波的能力以发射率作为衡量标准；地物的发射率是以黑体辐射作为参照标准。

·黑体：在任何温度下，对各种波长的电磁辐射的吸收系数等于1（100%）的物体。

·能全部吸收各种波长的辐射能而不发生反射，折射和透射的物体称为绝对黑体，简称黑体。

2） 普朗克定律

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

普朗克辐射定律是热辐射理论中最基本的定律。表明黑体辐射只取决于温度与波长，与发射角和内部特征无关。

2）斯忒藩-玻尔兹曼定律

M=σT^4，σ为斯忒藩一玻尔兹曼常数，σ=5.67 × 10-8W/m2K4。

·一个物体发射能量随温度和波长变化。曲线下的面积相当于总辐射初射度M。辐射温度越高，发射的辐射总能量越大

·不同温度黑体辐射曲线形态像是，但能量峰值随温度升高向短波方向移动

·黑体总辐射通量随温度的增加而迅速增加，它与温度的四次方成正比。因此，温度的微小变化，就会引起辐射通量密度很大的变化。是红外装置测定温度的理论基础。

3）维恩位移定律

$$\lambda_{max}T = 2.898 \times 10^{-3} m$$

描述了物体辐射最大能量的峰值波长与温度的关系。黑体最大辐射强度对应的波长与温度成反比。峰值波长随温度的增加向短波方向移动。

1.5 实际物体的辐射

·把实际物体作为辐射源，研究其辐射特性，将其与黑体进行比较。

·实际物体的辐射不同于绝对黑体的辐射，在相同温度下，实际物体的辐射出射度（辐射通量密度）比绝对黑体的要低。

·地物发射某一波长的辐射出射度（辐射通量密度） M_1与同温下黑体在同一波长上的辐射出射度M_2之比，称地物光谱发射率（emissivity）(也称比辐射率)，即：$\varepsilon = M_1/M_2$

·发射率是一个数字，其值介于0和1之间，作为比较辐射源接近黑体的程度。

·不同地物有不同的ε，同一地物在不同波段的波谱发射率也不同。

·基尔霍夫定律：在任一给定的温度下，辐射出射度(辐射通量密度)与吸收率之比对任何材料都是常数，并等于该温度下黑体的辐射通量密度。 $M_1/\alpha = M_2$ α为吸收率

发射率定义：$\varepsilon_\lambda = M_1/M_2$ 所以：$\varepsilon_\lambda = \alpha$ 即，一个物体的波谱发射率等于它的波谱吸收率，好的吸收体也是好的发射体。物体的发射率是温度和波长的函数。

2. 太阳辐射及大气对辐射的影响

2.1 太阳辐射

1）太阳常数

·指在距太阳一个天文单位距离处不受大气影响情况下，在垂直于太阳辐射方向上，单位面积单位时间黑体所接受的太阳辐射能量：$I=1.360*10^3\ Wm^{-2}$可认为太阳常数是在大气顶端接受的太阳能量。

·由太阳常数和已知的日地距离可以计算出太阳的总辐射通量：$3.826*10^{26}$ W

1）太阳光谱及辐射能量分布

·太阳辐射的大部分能量集中在近紫外-中红外，占97.5%。主要是可见光波段，约43.5%，其次是近红外波段。

·太阳辐射主要是短波辐射，在此光谱区间强度变化很小，当做稳定的辐射源。微波能量分布很少，受到太阳黑子及耀斑的影响，强度变化很大，影响无线电通讯。

2）地球表面的太阳辐射能量

·达到地球大气外边界的太阳辐射，约30%被云层或其他大气成分反射返回太空；约有17%的太阳入射辐射被地球大气吸收；还有22%被散射并成为漫射辐射到地球表面；只有31%作为直射太阳辐射达到地球表面。

·太阳辐射的光谱是连续光谱，相当于6000 K的黑体辐射；

·太阳辐射的能量主要集中在可见光，最大辐射强度位于波长0.47μm左右；

·经过大气层的太阳辐射有很大的衰减；

·各波段的衰减是不均衡的。

2.2 电磁波与大气的相互作用

1）大气层次

一般认为大气厚度约为1000km,从地面到大气上界，可垂直分为：对流层、平流层、电离层和大气外层

对流层：空气作垂直运动而形成对流，热量的传递产生各种天气现象。其高度随纬度降低而升高，温度随高度增加而降低。

平流层：几乎没有天气现象，包括底部的同温层和随高度上升温度缓慢上升的“暖层”。

电离层：又称“增温层”，是大气的最外层。空气稀薄，温度激增，可达1500k。大气O2、N2分子受太阳辐射作用处于电离状态。高度增加，电子浓度增大。无线电波在该层发生全放射。

2）大气成分

·大气主要成分是分子和悬浮微粒。

·分子主要是N2和O2，约占99%；其余1%主要是O3，CO2，H2O，N2O，CH4，NH3等。

·其它微粒主要有:烟,尘埃,雾霾,小水滴,气溶胶。

·其中O3主要分布在10-50km的平流层大气中，总含量有明显的地域分布特征及季节变化。

·气溶胶为悬浮在大气中的多种固体微粒和液体微小粒子，有的来源于自然界，有的来源于人类活动。主要集中在0-4km范围的大气层中。

3）大气对辐射的吸收作用

·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的吸收（某些波段），即把部分太阳辐射能转换为本身内能，使温度升高。从而引起这些波段太阳辐射强度的衰减，甚至无法通过大气。吸收最有效的三种气体：臭氧，二氧化碳和水汽

·水汽：含量随时间、地点的变化很大。吸收辐射是其他大气组分的好几倍。（2.5-3.0;5.5-7.0以及27以上）。

3）大气散射

·辐射在传播过程中遇到小微粒而是传播方向改变，并向各个方向散开。

·散射使原传播方向的辐射强度减弱，产生天空散射光，增加其他各方向的辐射。一部分上行被空中传感器接收，一部分下行到达地表。散射强度依赖于微粒的大小、含量、辐射波长和能量传播穿过的大气厚度。

·散射类型与以下因素有关：

-入射电磁波的波长；
-气体分子、颗粒和水滴的大小

（1）瑞利散射（Rayleigh scattering）

·由大气中原子、分子，如氮、二氧化碳、臭氧和氧分子等引起，
·条件：粒子直径比波长小很多。
·特点：散射强度与波长的四次方成反比，即$I\propto\lambda^{-4}$
·瑞利散射的强度随着波长变短而迅速增大。
·紫外线是红光散射的30倍，0.4微米的蓝光是4微米红外线散射的1万倍。
·瑞利散射对可见光影响很大。蓝天和日出日落现象。
·是造成遥感图像辐射畸变、图像模糊的主要原因。

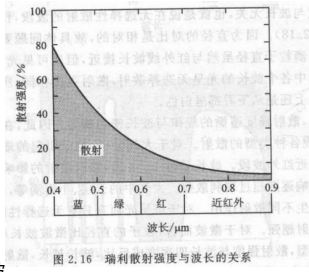


图 2.16 瑞利散射强度与波长的关系

（2）米氏散射（Mie）

·大气中的微粒如烟、尘埃、小水滴及气溶胶等引起的散射，粒子直径与辐射的波长相当。这种散射的强度受气候影响大。米氏散射的散射强度与波长的二次方成反比，即$I\propto\lambda^{-2}$
·且散射光的向前方向比向后方向的散射强度更强，方向性较明显。云雾对红外线（0.76-15μm）的散射主要氏米氏散射。
·云、雾的粒子大小与红外线的波长接近，所以云雾对红外线的米氏散射不可忽视。

（3）无选择散射

·散射强度与波长无关，任何波长的散射强度相同。
·发生在大气粒子的直径比波长大得多时。大气中云、雾、水滴和尘埃等属于此类。他们一般直径5-100μm。
·此类散射同等地散射所有可见光、近红外波段。云、雾呈现白色、灰色。

大气散射-总结

·散射强度遵循的规律与波长密切相关。在大气状况相同时，同时会出现各种类型的散射。
·对于大气分子、原子引起的瑞利散射主要发生在可见光和近红外波段。波长超过1μm后，瑞利散射的影响大大减弱，而米氏散射的影响逐渐超过瑞利散射。
·大气中的云层、小雨滴等，由于直径较大，对不同波长产生不同散射作用。对于可见光而言只有无选择性散射发生,云层越厚无选择散射越强。云雾对红外线（0.76-15μm）的散射主要氏米氏散射；对于微波而言，粒子的直径比微波波长小很多，则属于瑞利散射的类型，散射强度与波长四次方成反比，波长越长，散射强度越小。在这一条件下，微波探测便可以发挥优越性，将有最小散射、最大透射，而具有“穿云透雾”的能力。

2.2.4、大气窗口及透射分析

1、大气折射
·电磁波穿过大气层时，会产生传播方向改变，即折射现象。
·大气密度越大，折射率越大；离地面高度越大，空气越稀薄，折射率越小。
·地面接收的电磁波方向与实际太阳辐射方向偏离了一个角度，称为折射值。
2、大气的反射：主要发生在云层顶部取决于云量和云雾，且波段不同大气影响不同，削弱了电磁波强度
3、大气窗口：电磁波通过大气层时较少被反射、吸收或散射的透过率较高的波段，称为大气窗口。
·主要的大气窗口光谱段：
①0.3-1.3μm：即紫外、可见光、近红外波段。这一波段是摄影成像的最佳波段，也是许多卫星传感器扫描成像的常用波段。比如，Landsat卫星的TM的1-4波段，SPOT卫星的HRV波段等。
②1.5-1.8μm,2.0-3.5μm，即近、短波、中红外波段，在白天日照条件好的时候扫描成像常用这些波段，比如TM的5、7波段等用以探测植物含水量以及云、雪或用于地质制图等。
③3.5-5.5μm，即中红外波段，物体的热辐射较强。这一区间除了地面物体反射光谱反射太阳辐射外，地面物体也有自身的发射能量。如NOAA卫星的AVHRR传感器用3.55-3.93μm探测海面温度，获得昼夜云图。
④8-14μm，即远红外波段。主要来自物体热辐射的能量，适于夜间成像，测量探测目标的地物温度。
⑤0.8-2.5cm至更长,即微波波段，由于微波穿云透雾的能力，这一区间可以全天候工作。而且工作方式为主动遥感。其常用的波段为0.8cm，3cm，5cm,10cm等等,有时也可将该窗口扩展为0.05cm至300cm波段。

2.3 地球自身热辐射

·地表辐射出射度M与同一温度,同一波长黑体辐射出射度M0的关系：$M(\lambda,T)=\alpha(\lambda,T)M_0(\lambda,T)$ 或$M=\varepsilon M_0$
·比辐射率（发射率）波谱曲线的形态特征可以反映地面物体的特征，包括物质组成、温度、表面粗糙度等物理特性。

2.4 地物反射波谱特征

·在可见光和近红外波段，地表自身的热辐射几乎为零。地表反射的太阳辐射成为遥感记录的主要辐射能量。
·太阳辐射到达地表后，部分反射，部分吸收，部分透射，即：到达地面的太阳辐射能量＝反射能量＋吸收能量＋透射能量。一般而言，绝大多数物体对可见光都不具备透射能力，而有些物体如水，对一定波长的电磁波则透射能力较强，特别是0.45~0.56μm的蓝绿光波段。一般水体的透射深度可达10～20 m，清澈水体可达100 m的深度。

（1）反射率

·地物的反射的辐射能量Pρ与总入射能量P 0的比，称为反射率（ρ）。即$\rho=(P_\rho/P_0)\times100\%$。
·表征物体对电磁波谱的反射能力。

·反射率是可以测定的。
·地物在不同波段的反射率是不同的，利用地物反射率的差别，可以判断地物的属性。
·反射率也与地物的表面颜色、粗糙度和湿度等有关。

（2）地物的反射

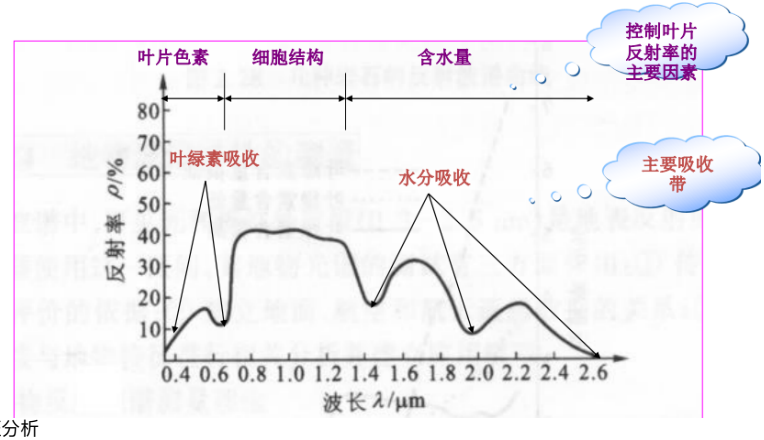
·根据地表目标物体表面性质的不同，物体反射大体上可以分为3种类型，即镜面反射、漫反射、实际物体的反射。
·镜面反射：光射到平滑的表面，如镜面、刨光的金属表面、平静的水面等，能使平行的入射光线反射后仍是平行光线。这种反射叫做镜面反射。
·漫反射：整个表面都均匀地反射入射光称为漫反射。反射波方向与入射波方向无关，从任何角度观察反射面，反射辐射亮度为一常数。
·方向反射：入射辐照度相同时，反射辐射亮度的大小即与入射方位角和天顶角有关，也与反射方向的方位角与天顶角有关的反射。多数实际物体的反射处于镜面反射与漫反射中间，即属于方向反射。
·从空间对地面观察时，对于平坦地区，并且物体均匀分布，可以看成漫反射；对于地形起伏和地面结构复杂的地区，为方向反射。

（3）反射波谱

·地物反射波谱指地物反射率随波长的变化规律。通常用平面坐标曲线表示，横坐标表示波长，纵坐标表示反射率。
·地物反射波谱曲线除随不同地物(反射率)不同外，同种地物在不同内部结构和外部条件下形态表现(反射率)也不同。一般来说，地物反射率随波长变化有规律可循，从而为遥感影像的判读提供依据。

（1）植物

·植被波谱受植物类型、植物生长季节、病虫害影响等因素影响。
·植被波谱特征大同小异，根据这些差异可以区分植被类型、生长状态等。



·植被波谱特征分析
-在可见光波段：
①在0.45μm附近（蓝色波段）有一个吸收谷；
②在0.55μm附近（绿色波段）有一个反射峰；
③在0.67μm附近（红色波段）有一个吸收谷。
-在近红外波段：
④从0.76μm处反射率迅速增大，形成一个爬升的“陡坡”,至1.1μm附近有一个峰值，反射率最大可达50%，形成植被的独有特征。
⑤1.5～1.9μm光谱区反射率增大；
⑥以1.45μm，1.95μm，2.70μm为中心是水的吸收带，其附近区间受到绿色植物含水量的影响，反射率下降，形成低谷。

（2）土壤

·自然状态下土壤表面的反射曲线呈比较平滑的特征，没有明显的反射峰和吸收谷。
·在干燥条件下，土壤的波谱特征主要与成土矿物（原生矿物和此生矿物）和土壤有机质有关。
·土壤含水量增加，反射率就会下降，在水的各个吸收带（1.4μm、1.9μm、2.7μm），反射率的下降尤为明显。

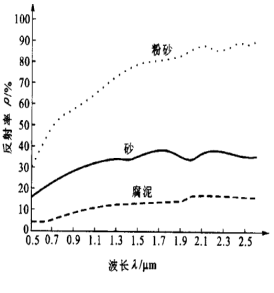
（3）水体

·纯净水体的反射主要在可见光中的蓝绿光波段，在可见光其它波段的反射率很低。
·近红外和中红外纯净的自然水体的反射率很低，几乎趋近于0。
·水中含泥沙，在可见光波段的反射率会增加，峰值出现在黄红区。
·水中含有水生植物叶绿素时，近红外波段反射率明显抬高。

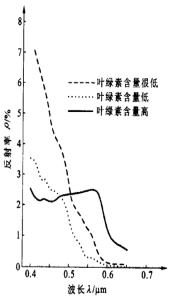
（4）岩石

·岩石的反射波谱主要由矿物成分、矿物含量、物质结构等决定。

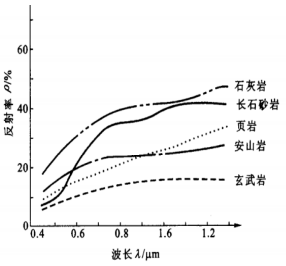
·影响岩石矿物波谱曲线的因素包括岩石风化程度、岩石含水状况、矿物颗粒大小、岩石表面光滑程度、岩石色泽等。



三种土壤的反射波谱曲线



具有不同叶绿素浓度的海水的波谱曲线



几种岩石的反射波谱曲线

3 遥感图特征

1）空间分辨率/地面分辨率-几何特征-目标地物的大小、形状及空间分布（spatial resolution）

·图像的空间分辨率：指图像最小单元（像素、像元）所代表的地面范围的大小，即扫描仪的瞬时视场，或地面物体能分辨的最小单元。

·可以识别的最小地面距离或最小目标物的大小。或者针对遥感传感器或影像而言，影像上能独立区分的最小单元的尺寸或大小，或区分两个目标的最小角度或线性距离。

-有三种表示方法：**像素（Pixel）、线对数、瞬间视场（IFOV）**

表征传感器反映地面目标细节的能力，通常用像元来表示。

·像元(pixel)是指将地面信息离散化而形成的格网单元，单位为米。正方形的每一个单元网格代表一个像元。像元大小与遥感影像空间分辨率高低密切相关，像元越小空间分辨率越大。

*热红外的空间分辨率较低，因为能量太小

2）波谱分辨率-物理特征-目标地物的属性特点

指传感器所能记录的电磁波谱中，某一特定波长范围值，波长范围值越宽，光谱分辨率越低。（光谱波段的多少）

（又一说）光谱分辨率：传感器在接收目标辐射的波谱时能分辨的最小波长间隔。间隔越小，波谱分辨率越高。

·遥感信息的多波段特征用光谱分辨率来描述。指传感器所设置的波段数量的多少、各波段的波长位置及波长间隔等，即选择的通道数、每个通道的中心波长、带宽，这三个因素共同决定光谱分辨率。

-**空间分辨率与光谱分辨率是相互矛盾和相互制约的。（能量不够难以成像；只能扩展视场角，导致空间分辨率降低）**

一般来说，传感器的波段数越多，波段宽度越窄，地面物体的信息越容易区分和识别，针对性越强。例如MSS多光谱扫描仪的波段宽度：100-2000 nm；成像光谱仪的波段宽度：5-10 nm

信息冗余增大——传感器的波段选择必须考虑目标的光谱特征值，如感测人体应选择8-12μm的波长范围，而探测森林火灾等则应选择3-5μm的波长。

3）辐射分辨率-物理特征-目标地物的属性特点

辐射分辨率表征遥感器的辐射灵敏程度，是指遥感器的探测器件在接受电磁波辐射信号时能够分辨的最小辐射度差。一般用灰度的分级数表示。

某个波段遥感图像的总信息量I_m由空间分辨率（以像元数n表示）与辐射分辨率（以灰度量化级D表示）有关，以bit为单位，可表达为：

$$I_m = n \cdot \log_2 D$$

在多波段遥感中，遥感图像总信息量还取决于波段数k。k个波段的遥感图像的总信息量为：

$$I_s = k \cdot I_m = k \cdot n \cdot \log_2 D = k \cdot A / P^2 \cdot \log_2 D$$

A：图像对应的地面面积；P：图像的空间分辨率

·任何影像目标的识别，最终依赖于探测目标和特征的亮度差异。有两个前提条件：地物本身有充足的对比度；传感器有能力记录下这个对比度。辐射分辨率指传感器对光谱信号强弱的敏感程度和区分能力，即探测器的灵敏度-传感器感测元件在接收光谱信号时能分辨的最小辐射度差，或指对两个不同辐射源的辐射量的分辨能力。一般用灰度表示。

4）时间分辨率-时间特征-目标地物的变化动态特点

也叫覆盖周期、重访周期。指重复获得同一地区遥感影像的最短时间间隔，即采样的时间频率。

·是同一地区遥感影像最小间隔时间的一项指标，又称回归周期。它由遥感平台、即飞行器的轨道高度、轨道倾角、运行周期、轨道间隔、偏移系数等参数决定。还与遥感传感器工作模式的设计等因素有直接关系。

遥感的时间分辨率范围较大。以卫星遥感来说，静止气象卫星的时间分辨率为2次/小时，太阳同步气象卫星的时间分辨率为2次/天，Landsat为1次/16天，中巴合作的CBERS 1次/天等。

根据回归周期的长短，时间分辨率可分为三种类型：
(1)超短(短)周期时间分辨率， 可以观测到一天之内的变化，以小时为单位。
(2)中周期时间分辨率，可以观测到一年内的变化 ，以天为单位。
(3)长周期时间分辨率，一般以年为单位的变化。

中等分辨率卫星数据

——Landsat系列卫星数据

美国NASA的陆地卫星（Landsat）计划，从1972年至今 已发射8颗。"从全球角度来看，我们拥有关于地球状况的最客观的、最全面的数据，这些数据对我们的工作起到了无可替代的帮助作用。"——覆盖范围广
主分辨率为什么一直是30m？——（一张照片）覆盖范围大，全球整个系统长时间观测。关键在于可比性、重复性、连续性

高分辨率卫星数据

——IKONOS卫星数据

异质性强，处理方式也不一样
成像波段：全色、红、绿、蓝、近红外（全色波段是灰色的）
分辨率：全色1m，多光谱4m

IKONOS基本参数	
发射日期	1999年09月
轨道高度	681km
任务寿命	7年
成像波段	全色、红、绿、蓝、近红外
分辨率	全色：1m 多光谱：4m
动态范围	每像元11 bit
成像带宽	星下点处11km
重访周期	3天
定位精度（圆误差）	无地面控制点时：12m

1999.9发射，轨道高度681km，每像元11bit，重访周期3天，定位精度12m（无地面控制点时）

——QuickBird卫星数据

分辨率极高，——google earth。全色0.61m，多光谱2.62m
农田作物种植类型、城市测绘调查、国土监测
成像波段：全色、红、绿、蓝、近红外（全色波段是灰色的）
2001年10月发射，轨道高速482km，重访周期2.5~5.6天，定位精度17-23m（无地面控制点时）

——WorldWiew-1卫星数据

只有黑白，可以分辨出阴影（不容易和水体混淆），可以从阴影长度反推出建筑高度
空间分辨率0.5m，扫描条带宽度17.6km，重访周期1.7天，全色波段

——WorldWiew-2卫星数据

轨道高度770km，8个成像波段（全色、红、绿、蓝、近红外、红边、海岸、黄、近红外2），分辨率全色0.46m，多光谱1.85m
可发现更多地物波谱反射特征（植物长势）

——WorldWiew-3卫星数据

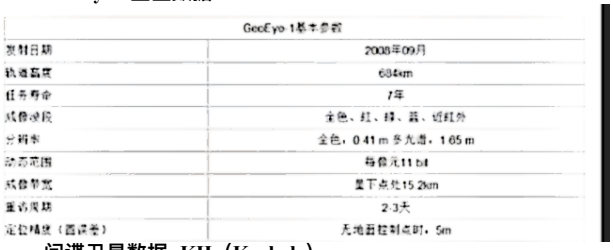
2014年发射，目前全球商用卫星中空间分辨率最高：0.3m
全色波段：0.31m，多光谱1.24m，短红外3.7m
全色：450-800nm；8个多光谱；8个SWIR（短波红外）波段和12个CAVIS波段
幅宽13.1km，轨道高度617km，重访周期1天
农作物长势、农作物鉴定、水体富营养化监测等

——WorldView-4卫星数据

无可比拟的优势：能对较大面积的区域进行单次过境采集，减少短暂变化的影响;拍摄能力为68万平方公里/天。
WorldView-4可以比WorldView-3更快地从一个目标移动到另一个目标，并且能够存储更多数据。再一次大幅提高了

DigitalGlobe星座群的整体数据采集能力，可以对地球上任意位置的平均拍摄频率达到每天4.5次。
2016年发射。全色波段：0.31m，多光谱：1.24m，短红外：3.7m
全色：450-800 nm，4个多光谱，幅宽13.1km，轨道高度617km，重访周期1天

——GeoEye-1卫星数据



GeoEye-1基本参数

发射日期	2008年09月
轨道高度	684km
任务寿命	7年
成像波段	全色、红、绿、蓝、近红外
分辨率	全色：0.41 m 多光谱：1.65 m
动态范围	每像元11 bit
成像幅宽	星下点处15.2km
重访周期	2-3天
定位精度（figure）	无地面控制点时：5m

——间谍卫星数据- KH（Keyhole）

·KH"锁眼"是美国60年代开始使用的系列照相侦察卫星，主要有KH- 1/4/5/6/7/8/9/11/12等九种型号。
-第一代普查型照相侦察卫星：KH-1（1960，寿命3-28天，地面分辨率3-6米）;KH-4（1962，寿命3-5天，分辨率2-3米）
-第二代照相侦察卫星：KH-5（1963，寿命20-28天，分辨率小于3.6米）;KH-6（1963.寿命4-10天，分辨率0.6米）
-第三代照相侦察卫星：KH-7（1966，寿命14-36天，分辨率0.6-2.4米）;KI-8（1966，寿命9-90天，分辨率小于0.6米）

高分卫星：历史文物监测还原、历史解密数据

高分辨率小卫星星座

目前和未来重要发展方向，成本造价低，成为主流

——SkySat遥感卫星

SkySat卫星系列是美国Planet公司（前身为美国谷歌旗下Terra Bella公司）发展的高频成像对地观测小卫星星座，主要用于获取时序图像，制作视频产品，并服务于高分辨率遥感大数据应用。是全球首颗100kg量级亚米级分辨率微卫星。
目前已经发射13颗。SkySat-1/2 为试验星（2013/2014年发射）。SkySat-C1卫星是首颗业务型商业对地观测卫星（2016年印度发射）。Skysat-4/5/6/7由美国劳拉空间系统公司制造，2016年发射外形尺寸为0.6×0.6×0.95米，质量约为110kg，2017年6颗SkySat成功入太空。
SkySat系列卫星均具有视频拍摄和静态图像拍摄两种工作模式。SkySat-1和SkySat-2卫星可提供0.9米的全色和2米的多光谱图像。还可以向地面转送90秒长的30帧每秒、分辨率为1.1米的视频。SkySat-3-SkySat-14可以提供0.7米的全色图像和2米的多光谱图像。

国产高分辨率卫星数据-发展进程

与在轨的高分一号卫星组网运行，大幅提高对农业、林业、草原等资源监测能力

资源一号02C — 2011

高分一号 — 2013

高分四号 — 2015

资源三号02星 — 2016

高分六号 — 2018

2012

2014

2016

2018

资源三号

高分二号

高分三号

中国首颗分辨率达到1米的C频段多极化合成孔径雷达（SAR）成像卫星

高分五号

世界首颗实现对大气和陆地综合观测的全谱段高光谱卫星

首颗精准农业观测的高分卫星，国内首次增加了能够有效反映作物特有光谱特性的“红边”波段。

国产高分辨率卫星数据-发展进程-续

能进行快速的双向数据传输，可为“一带一路”等国家重大战略实施和国防现代化建设提供信息保障。

光学遥感卫星 太原发射

亚米级光学遥感卫星，酒泉发射

高分八号 — 2015.6

高分九号 — 2015.9

高分十一号 — 2018.7

后续遥感卫星 — 计划2018年发射 — .....

2015.10

2016

2016

吉林一号

一箭四星：包括1颗光学A星、2颗灵巧视频星以及1颗灵巧验证星。

高分十号

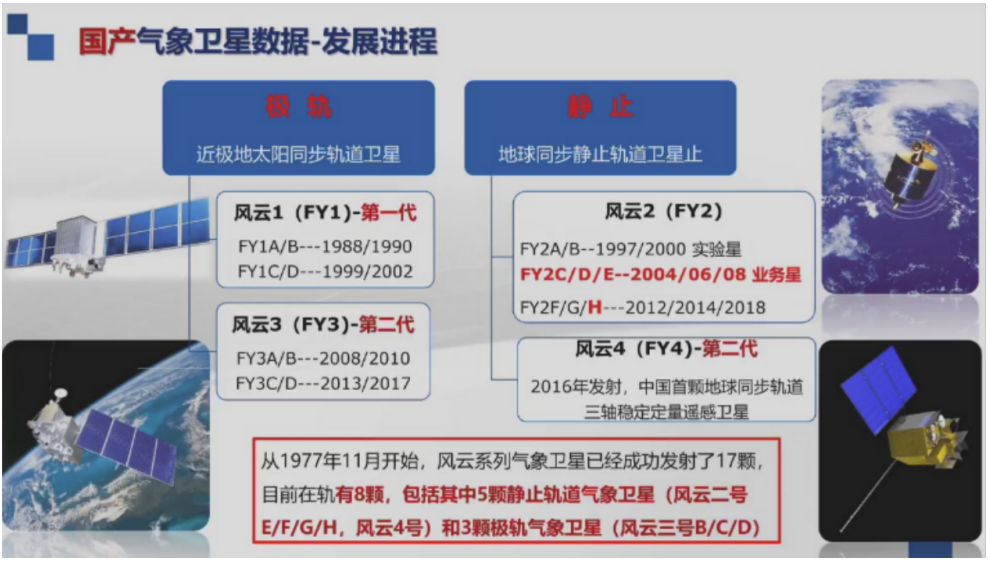
太原发射失败

高景一号

01/02 卫星全色分辨率 0.5 米，多光谱分辨率 2 米，轨道高度 530 km，幅宽 12km；03/04星于2018年1月9日发射。

高分七号

高分辨率空间立体测绘卫星



·热红外进行环境督察：监测水体温度，推测富营养化，推测污染排放超标
-偷排：可以引起地表温度变化，晚上偷排更好被热红外监测

海洋遥感卫星-发展进程

海洋卫星能够对全球海洋进行大范围、长时间地观测，为人类深入了解和认识海洋提供了其他观测方式都无法取代的数据源。海洋遥感卫星通过搭载各类遥感器来探测海洋环境信息，按照功能可分为海洋水色卫星、海洋动力环境卫星和海洋监视监测卫星。（低空间分辨率，高时间分辨率）
目前，全球共有海洋卫星或具备海洋探测功能的对地观测卫星近百颗。美国、欧洲、日本和印度等国家和地区均已建立了比较成熟和完善的海洋卫星系统。
·用途：海洋藻类灾害遥感监测（赤潮、绿潮）
-根据赤潮藻体、海水绿清藻体实测的光谱特性和影像上的光谱特性判别赤潮灾害、绿潮灾害。海洋初级生产力反映的是海洋中浮游植物光合作用制造有机物的能力，对于研究海洋生态系统及特征环境具有重要意义，也是海洋环境质量评价的重要指标因子之一。
·工业园建在海边：用地方便、排污方便
·监测风能资源分布情况：我国拥有约1.8万千米的海岸线，海上风能资源蕴藏十分可观，发展潜力巨大。做好近海风能资源评估则是风能资源开发利用的前提，因此，持续稳定地获取高精度、高分辨率海面风场数据则显得尤为重要。（通过雷达监测波浪，反演风速）

碳卫星-温室气体遥感监测

传统方法：通量塔、土壤呼吸测定环、红外气体分析仪、TCCON站点
·从近2000年开始，许多国家针对温室气体的红外遥感监测技术展开了大量的研究，如ENVISAT-SCIAMACHE、ENVISAT-AIRS、TERRA-MOPPITT、AQUA-IASI 等。虽然这些在轨的大气遥感卫星的传感器普遍具有CO探测能力，但其波段设计未侧重近地面层的温室气体观测，因此其森林生态系统碳通量的数据反演精度的不确定性较大。
至 2016 年底，为了应对全球气候变化、全面监测CO；浓度分布情况，多国已经发射具有CO：近地监测能力的卫星，如GOSAT、OCO系列、TANSAT等。
-客观性、真实性、时空上动态性
-利用Biosphereflux可以获得特定时间段内全球生态系统碳通量的时间变化特征和空间分布规律。

遥感图像处理基础-关键环节与技术

过程：辐射校正、几何校正、影像镶嵌、影像增强、影像融合、影像分类、变化监测、高性能计算

辐射校正

1、 遥感器校正（系统内部调整）

2、 大气校正（消除/减缓大气对太阳辐射的影响）

·大气校正就是指消除由大气散射、吸收等引起的辐射误差的处理过程。

-大气散射造成图像的对比度降低

-主要是消除散射的影响

·原因：大气透明度差而且不均一、大气中的水汽含量高、低海拔地区应该进行校正，3000米以上的地区可以不考虑、不同时段图像的联合处理

·方法：基于图像特征模型、地面线性回归经验模型、大气辐射传输理论模型

（1）基于图像特征模型（相对辐射校正）——暗目标（像元）法

-暗目标：在特定波段反射率可看作0（纯净水体可看做理想暗目标）

-前提：假设整幅图像的大气散射影响均一（下垫面比较均一的时候不受影响）

-方法：每个波段的DN值减去该波段暗目标像元的值。

·直方图调整

（2）地面线性回归经验模型（相对辐射校正）

·将地表实测的地物反射率值与遥感影像上对应的像元反射率进行分析，建立经验回归方程。

·然后将回归方程应用于整个图像，得到校正后的反射率图像。

·测量的地物类型要覆盖该区域主要的地物，并且要有典型性。

*伪不变特征法(PIF)归一化处理

（3）大气辐射传输模型法

·通过大气状况等输入参数，利用合适的大气辐射传输模型计算出大气校正参数的数值解（如大气透过率、程辐射等），在计算每个像元的反射率值，完成整幅图像的校正。

·常用的大气校正模型：6S、FLAASH、MODTRAN等。

*为简化大气辐射传输方程，开发了太阳光谱波段卫星信号模拟程序5S（SIMULATION OF THE SATELLITE SIGNALIN THE SOLAR SPECTRUM），用来模拟地气系统中太阳辐射的传输过程并计算卫星入瞳处辐射亮度。1997年，Eric Vemote 对 5S 进行了改进，发展到 6S （SECOND SIMULATION OF THE SATELLITE SIGNAL IN THE SOLAR SPECTRUM）。6S吸收了最新的散射计算方法，使太阳光谱波段的散射计算精度比5S有所提高。

（3）大气辐射传输模型法-6S模型

·这种模式是在假定无云大气的情况下，考虑了水汽、CO2、O3和O2的吸收、分子和气溶胶的散射以及非均一地面和双向反射率的问题。6S是对5S的改进，光谱积分的步长从5nm改进到2.5nm，同5S相比，它可，

以模拟机载观测、设置目标高程、解释BRDF作用和临近效应，增加了两种吸收气体的计算（CO、N2O）。采用SOS（successive order of scattering）方法计算散射作用以提高精度。

·（1）太阳、地物与传感器之间的几何关系：用太阳天顶角、太阳方位角、观测天顶角、观测方位角四个变量来描述;（2）大气模式:定义了大气的基本成分以及温湿度廓线，包括7种模式;（3）气溶胶模式:定义了全球主要的气溶胶参数，6S中定义了7种缺省的标准气溶胶模式和一些自定义模式;（4）传感器的光谱特性:定义了传感器的通道的光谱响应函数，6S中自带了大部分主要传感器的可见光近红外波段的通道相应光谱响应函数，如TM，MSS，POLDER和MODIS等;（5）地表反射率。这5个部分便构成了辐射传输模型，考虑了大气顶的太阳辐射能量通过大气传递到地表，以及地表的反射辐射通过大气到达传感器的整个辐射传输过程。

什么情况下需要进行大气校正？——大气透明度差而且不均一；大气中的水汽含量高；低海拔地区应该进行校正，3000米以上的地区可以不考虑；不同时段图像的联合处理

3、 地形校正

几何校正

·几何校正的概念：校正成像过程中造成的各种几何畸变。

·原因：遥感平台；传感器；地球自转、地球曲率；地形、空气折射

·DEM（数字高程模型）、DSM、DLG、BMW

1、 几何粗校正——由图像生产单位进行

·传感器：扫描速率不均匀

·地球：曲率不同、自转速度

·卫星的运行：卫星的高度不恒定、卫星速度不均一

2、 几何精校正

·利用地面控制点（GCP）进行的几何校正。（Geo-coding、Registration）

·选取控制点（GCP）：地形图、遥感影像、实测点。（在原始图像空间和标准空间寻找同名地物点，进行匹配）

·GCP选取原则：不易变化（水位变化不行），道路交叉点，大楼拐点
-选择在图像上有明显、清晰定位识别标志的点，如道路河流交叉点、建筑边界（机场等）、海岸线/水库弯曲处等；
-如果控制点获取时间与遥感成像时间有较大出入，尽量不要选取易随时间变化的地物作为控制点；
-控制点应该均匀分布在整幅图像内，且要有一定的数量保证。
·原理：图象的几何变形可以看作是挤压、扭曲、缩放、偏移以及更高次基本变形的综合作用的结果
灰度值重采样——重采样方法
·最邻近法（Nearest Neighbor）：距离实际位置最近的像元的灰度值作为输出图像像元的灰度值
·双线性插值（Bilinear）：以实际位置临近的4个像元值，确定输出像元的灰度值。
·立方卷积（Cubic Convolution）：以实际位置临近的16个像元值，确定输出像元的灰度值。

方法	优点	缺点
最近邻法	计算量小	像元值不连续
双线性内插	精度提高	平滑效果模糊了分界线
三次褶积法	较好的细节表现	计算量大 需要高精度的控制点

3、 正射校正（DOM影像）
·利用DEM消除地形高低起伏引起的变形误差。一般用于（10m以内）高空间分辨率影像，IKONOS、Quickbird、SPOT。

遥感图像镶嵌与掩膜

·图像镶嵌(Mosaicking)：镶嵌就是要将一个研究区域内的多幅影像拼接在一起,得到一幅完整的大范围遥感影像。
·遥感图像镶嵌通过投影坐标直接拼接或者通过两幅或多幅影像上重叠区域的同名地物点来关联影像，然后再将影像拼接到一起。
-基于地理坐标的镶嵌——待镶嵌的遥感影像具有地理坐标
-基于像元的镶嵌——待镶嵌的遥感影像没有地理坐标
·基于地理坐标的镶嵌步骤：
-确定镶嵌区域
-采集接边线
-颜色匹配
-按照投影坐标自动镶嵌
·掩膜运算：遥感研究中，经常只对感兴趣的区域进行研究。如，长三角地区、江苏省等等。需要将研究区之外的遥感数据剥离，称为掩膜运算（Mask）

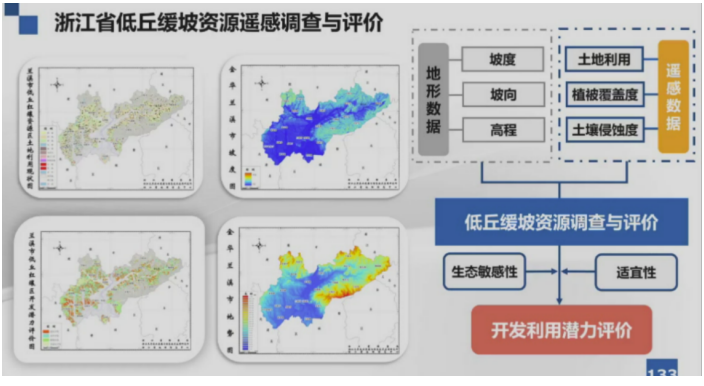
遥感图像增强

·辐射增强：
辐射增强是一种通过直接改变图像中像元的亮度值来改变图像的对比度，从而改善图像质量的图像处理方法。辐射增强以图像的直方图为分析处理的基础。（主要是通过单个像元的运算在整体上改善图像的质量）
·直方图变换：将数字影像的某一种灰度值分布变换为另一种灰度值分布，可用来增强感兴趣的全局或局部影像目标。（改变对比度）
·线性变换：线性变换变换函数是线性的或分段线性的称之为线性变换，是图像增强处理最常用的方法。
-线性拉伸
-分段线性拉伸
·非线性变换：变换函数是非线性的，如指数变换、对数变换等等
·空间增强：
空间增强以重点突出图像上的某些特征为目的的，主要是通过像元与相邻像元的关系来进行运算处理，又称空间滤波。（使得纹理更加突出……）
·空间滤波
·空间滤波实际上就是空间域的卷积，根据滤波器对原始图像上的某像素处的邻近像素值加权求和，得到对应的输出值。

·平滑滤波对图像的低频分量进行增强，同时削弱图像的高频分量，一般用于消除图像中的随机噪声，从而起到图像平滑的作用。
·均值滤波：将一个像元及其邻域中的所有像元的平均值赋给图像中的相应像元，从而达到平滑的目的。均值滤波算法简单、运算速度快，但是图像细节丢失严重。
·中值滤波：将邻域内所有像元排序，取中间值作为中心像元的输出值。中值滤波在抑制噪声的同时能够有效保留边缘轮廓信息和图像细节，减少模糊，其平滑效果一般优于均值滤波。
·锐化滤波：一般用于突出边缘和轮廓、线状目标信息，使图像上边缘和线性目标的反差提高，也称为边缘增强。

·影像融合

·融合(Fusion)的概念：将多源遥感数据在统一的地理坐标系中，采用一定的算法生成一组新的信息或合成图像的过程。
·目的：提高图像分辨率、替代或修补图像数据缺陷、变化检测
·遥感融合的前提：配准!
·遥感融合的类型
①遥感数据的融合：
-不同空间分辨率：TM与SPOT
-不同时相：
-不同传感器类型：如TM与Radarsat
②遥感与非遥感数据的融合：
地形、气象、水文、经济等信息
·遥感融合的方法：基于HSV变换的融合、基于K-L变换的融合、Brovery融合、基于小波变换融合、Gram-Schmidt正交变换融合



·遥感技术在考古研究中的应用：通过传感器探测和获取遗迹的电磁波信息，然后运用光学或计算机图像图形学处理技术，对获得的信息进行彩色合成、滤波增强、分类识别、边缘检测、对比度变换、特征选择与提取等处理，再根据影像本身具有的颜色、形状、纹理及分布规律等诸多特征识别遗迹的属性及确定其位置、形状、构成和分布等诸方面的特征进而进行文化遗产资源的追踪、考古测量、古城址变迁古地貌与主城址复原等研究工作。（有时间历史的、地上/地下的文物。探测一些异常的变化）
-光谱分辨率高——分辨地物各种特征
·夜光遥感——经济活力/繁荣程度

·归一化植被指数：归一化植被指数为近红外波段与红色波段亮度值之差和这两个波段亮度值之和的比值。
$NDVI = \frac{DN_{NIR} - DN_R}{DN_{NIR} + DN_R}$。在植被遥感中，NDVI应用广泛的原因：
·NDVI是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子。
·NDVI经比值处理，可以部分消除与太阳高度角、卫星观测角、地形、云和大气条件有关的辐照度条件变化等的影响。
·-1≤NDVI≤1