

地球遥感概况

150年前 L. J. M. Daguerre 和 J. N. Niepce 发明的银板照相术为现代摄影技术奠定了基础,也提供了一种记录遥感图象的方法。20年后即1859年, G. F. T. Clateu 在气球上拍摄的巴黎可谓世界上第一张航空像片。中国的风筝在早期也是一种重要的空中平台,在1906年 G. R. Lawrence 拍摄的 $1.4\text{m} \times 2.4\text{m}$ 的巨幅像片——大地震后的旧金山,就是用17个风筝把相机带到空中拍摄的。第一张有据可查的从飞机上拍摄的航空像片是1909年由 W. Wright 驾驶的飞机在意大利上空拍摄的。第一次世界大战期间,航空像片广泛用于军事侦察,并取得了良好的效果。第二次世界大战中,航空摄影技术得到了进一步发展,出现了彩色照片和用于识别伪装的彩色红外照片。

第一张用火箭拍摄的地球像片是战后初期用 V-2 火箭将相机带到高空拍摄的。30年前,探险者6号卫星第一次从空间拍摄了地球像片。稍后,1960年美国宇航局发射了第一个系列空基观测平台——泰罗斯1号气象卫星。

平台的飞行轨道与卫星的用途有关。例如,拍摄地球图象的载人空间飞行平台沿近赤道轨道飞行;大多数气象卫星按极地轨道运行;

而位于赤道上方高度为 35400km 的同步气象卫星则与地球自转的角速度相同,从地面看它是静止不动的。

1972年美国宇航局发射的地球资源卫星(后改名为陆地卫星1号)按低高度的极地轨道运行,它每隔18天对整个地球扫描一遍,其上装有高分辨率的成像遥感器,是第一个可用来详细研究地理现象的空间平台。遥感器的分辨率越高,每幅图象的信息量也越大,而平台上磁带机的存贮量却有限。为了避免丢失数据,在80年代中期着手发射跟踪和数据中继卫星。它由三颗同步通讯卫星组成,任何成像卫星在任何时候至少可与其中的一颗保持联络,从而实时地将图象信号通过它传送到地面接收站。

一、遥感探测的物理参数

为简化起见,我们这里仅讨论被动遥感成像系统,它的工作波段从可见光至热红外波段($0.4-20\mu\text{m}$)。

在可见和近红外波段,最重要的物理参数是反射比,反射比不仅与地物有关,也与波长有关(见图1)。多波段遥感器波段划分和选择的依据就是这些光谱曲线。

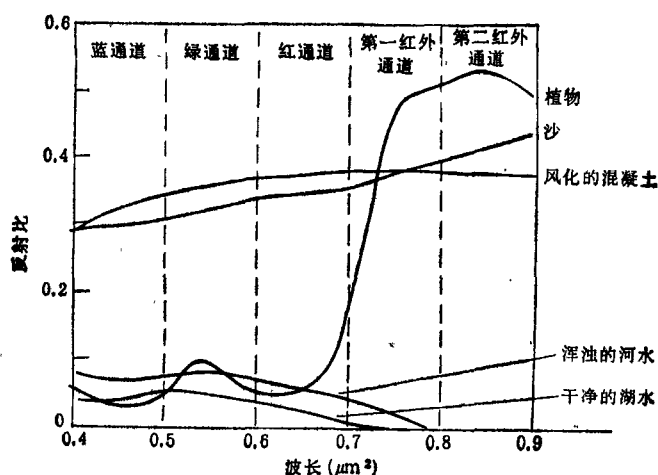


图1 一些典型地物的光谱特性(可用它来区分不同的地物)

在长波红外波段重要的物理参数是温度。如计及物体的发射率及大气效应的影响，可根据遥感器记录的长波红外图象来算出地表的温度。

为了区分不同的地物，必须提高遥感器的辐射度分辨率。例如，水中叶绿素浓度有了明显的变化，而反射比仅改变千分之几，如要探测出叶绿素浓度的改度，则辐射度分辨率必须达到这个数量级。

成象系统的另一个分辨率是空间分辨率，即遥感器探测到的目标的最小尺寸。它通常取决于探测元投影在地面上的尺寸，也是系统的最小取样面积。

此外还有一个光谱分辨率，即光谱通道的带宽。如图 1 中每个光谱通道的光谱分辨率是 $0.1\mu\text{m}$ 。提高光谱分辨率即减小带宽，探测器接收的总光子数将减少，使系统的信噪比减小，导致辐射度分辨率下降。

二、辐射物理学

进入航空或航天成象系统的辐射能量来自多方面，其中只有四种辐射是最重要的，如图 2 所示。下式是遥感科学家计算光谱辐射率所采用的标准方程：

$$L = \frac{1}{\pi} E \tau_1 r \tau_2 + L_d r \tau_2 + \varepsilon L_b \tau_2 + L_u, \quad (1)$$

式中 L 是探测器在大气层外所观察到的光谱辐射率， E 是阳光在大气顶的光谱辐照度， τ_1 和 τ_2 分别代表辐射沿太阳—地球和地球—传感器方向传输的大气透射系数， L_d 是阳光因大气散射所引起的向下辐射和大气向下的热辐射之和所造成的向下光谱辐射度， L_u 是阳光因大气散射所引起的向上辐射和大气向上的热辐射所造成的向上光谱辐射度； L_b 是与地面物体温度相同的理想黑体的光谱辐射度， ε 是地物的发射率； r 是地物的反射比。 L ， L_d ， L_u 和 L_b 的单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ ； E 为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ； τ_1 ， τ_2 ， ε 和 r 均是与波长有关的无量纲的量。

遥感器记录的信号强度除了与 (1) 式中各量有关外，还与遥感器的光谱灵敏度有关，但人

物理

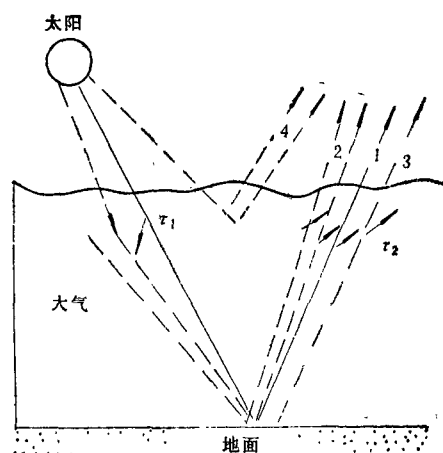


图 2 四种主要的辐射能量源

1. 直射阳光引起的反射；
2. 大气散射和热辐射引起的反射；
3. 地表的热辐射；
4. 大气的向上散射和向上热辐射

们最关心是如何从中提取地球反射比和热特性的信息。在简单的讨论中，太阳在大气层外的辐照度、300K 黑体的辐射率以及大气层的透射率可认为是恒定的，图 3 为它们的光谱曲线。在 $0.4-20\mu\text{m}$ 的光谱区内只有大气透射率高的大气窗口可供地球遥感使用。从图 3 可见，最主要的遥感窗口有两个：一为可见—近红外区，另一为长波远红外区。在可见—近红外区，遥感器接收的是地球反射的太阳光，它包含有地物的结构和化学组成的信息。在长波远红外区，所有的能量几乎均来自地球的黑体发射，它携有地表温度的信息。因而在可见—近红外区，(1)式可简化为

$$L = \frac{1}{\pi} E \tau_1 r \tau_2 + L_d r \tau_2 + L_u, \quad (2)$$

而在长波红外区为

$$L = \varepsilon L_b \tau_2 + L_d r \tau_2 + L_u, \quad (3)$$

(2) 式中 L_d 和 L_u 来自被散射的太阳光子，而 (3) 式中的 L_d 和 L_u 则来自大气层的黑体发射。对中红外波段或特别热的地物，上述的简化就不正确了。对中红外波段，反射光子和热发射光子均起作用，因而解释中红外图象常常是困难的。(2)式和(3)式说明，在可见—近红外区主要的空间变量是反射比；而在远红外区

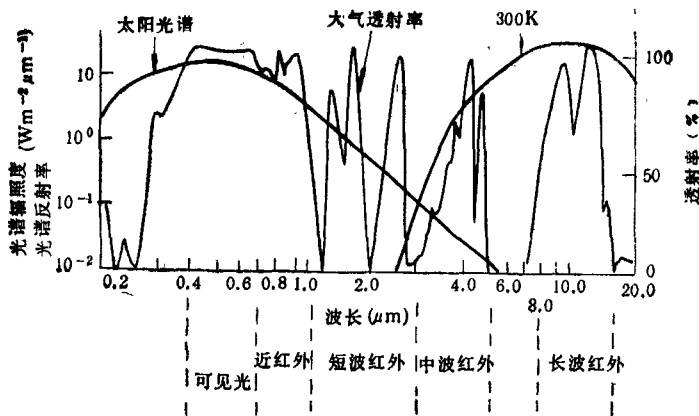


图3 几条对遥感特别有用的光谱曲线(左边为太阳光谱,右边为300K黑体光谱,它们是遥感中主要的两个辐射源,另一条是地球大气透射率曲线)

是发射比,它由地物的温度和发射率决定。因而从图象的亮度变化可直接与所研究问题建立相关关系。

三、胶片相机传感器

胶片相机传感器具有便宜、分辨率高的特点,它是载人空间飞行计划中最有用的成像传感器,双子座、阿波罗和天空实验室计划中就是用各种胶片-相机传感器获得了大量图象。通常,相机采用普通的35mm或70mm型,配以长焦距镜头和大量的暗盒。为载人飞行还专门研制了一些特殊的大视场、高分辨率相机。例如航天飞机上用的大相幅相机,它的相幅是230mm × 460mm,对应的地面分辨率约15m。如航天飞机的高度是300km,成像面积是225 × 450km²。采用不同的胶片-滤光片,可获得可见-近红外光谱区内不同波段的图象。

四、多光谱电子-光学传感器

照相胶片虽然便宜、分辨率高,但胶片必须回收,且飞行平台上装载的胶片也有限,故不适合长期在轨道上工作。专门研究地球资源的实用型卫星上安装的电子-光学传感器可长期在轨道上工作。陆地4号和5号上的传感器采用“帚扫”式扫描器成像,它们用一振动镜垂直于平台飞行方向来回振动,象用帚扫扫地似地不断向前进,成象于探测器上的地面景物也不断

地改变。探测器将图象的光信号转换成电信号,电信号可实时地传输下来或存贮在平台上的磁带上,当平台经过地面站上空时再快速传输下来。探测器是一组配有不同光谱滤光片的探测器阵列,各探测器输出的信号反映地面景物在该特定光谱波段内的光强,因而扫描器能产生多个光谱波段的图象。多光谱扫描器(MSS)在0.5—0.8μm各波段用光电倍增管作探测器,0.8—1.1μm用硅光电二极管,热红外波段用HgCdTe器件。它前四个光谱通道的地面瞬时视场为76m,热红外通道为234m。专题成像扫描仪(TM)则有六个瞬时视场为30m的反射波段和一个瞬时视场为120m的热波段。

MSS和TM多光谱图象中的每一个象元分为 n 个波段从而它成了 n 维空间中的一个

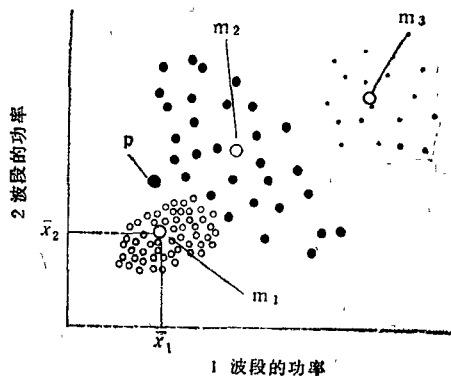


图4 统计分类示意图

表1 空间成像系统

遥感器型号	光谱波段 (μm)	分辨率	轨道类型
陆地卫星 TM (带扫)	0.45—0.52 0.52—0.60 0.63—0.69 0.76—0.90 1.55—1.75 2.08—2.35 10.4—12.5	1—6波段的 地面瞬时视场是 30m;7波段是 120m	极地
陆地卫星 MSS (带扫)	0.50—0.60 0.60—0.70 0.70—0.80 0.80—1.10 10.4—12.6	1—4波段的 地面瞬时视场为 76m;5波段为 234m	极地
SPOT (推扫)	0.50—0.59 0.61—0.69 0.79—0.90 0.50—0.90	1—3 波段(多波 段)的地面瞬时视 场为 20m, 4 波段 (全色)为 10m	极地
VISSR (线性扫描仪)	0.55—0.75 (可见光) 10.5—12.6 (红外)	可见光为 1.1km; 红外为 8km	地球 静止
HCMM (线性扫描仪)	0.55—1.1 (可见光) 10.5—12.5 (红外)	可见光为 0.5km, 红外为 0.6km	极地
AVHRR (线性扫描仪)	0.58—0.68 0.725—1.10 3.55—3.93 10.5—11.5 11.5—12.5	局部范围为 1km, 全球范围为 4km	极地
大相幅相机	由滤光片和胶 片确定	与胶片有关(在 300km 高度, ≥ 15 m/线对)	通常为 近赤道

点。由相同地物构成的各象元在 n 维空间中聚集在一起，因为它们有相同的光谱特征。用各种统计方法可从 n 维空间中区分出各类地物。图 4 为一简单的二维空间，图象中有三类地物称为 m_1, m_2 和 m_3 ， \bar{x}_1 和 \bar{x}_2 是 m_1 在各光谱段的平均值。若 p 为一待确定的象元，根据其离 m_1 和 m_2 的距离和 m_1, m_2 的方差，根据统计理论可确定其属于那一类。

气象卫星上也采用了大量的电子-光学遥感器，典型的有泰罗斯 N 号卫星上装的改进型

物理

甚高分辨率辐射仪 (AVHRR)，其地面分辨率较低，在星下点约为 1.1km，但它的视场宽，每天可把全球扫一遍，它的其他性能参见表 1。

最新的卫星扫描仪是采用电荷耦合器件 (CCD) 的“推扫”型扫描仪，法国的 SPOT 遥感器就属于这一类。由几千个探测元构成的电荷耦合器件线性列阵安放在成像系统的焦平面上，此线性列阵对应地面上一条线，当空间平台向前飞行时对地面逐线取样形成遥感图象，每一列阵前配有不同的光谱滤光片，实现多光谱扫描。当 SPOT 以多光谱方式工作时地面分辨率为 20m，当以全色方式工作时地面分辨率为 10m。

五、超多光谱遥感器

成像遥感器最新、最激动人心的进展是出现了超多光谱遥感器。SPOT, TM, MSS 和 AVHRR 等多光谱遥感器的光谱分辨率约 100 nm，超多光谱遥感器的光谱分辨率约 10nm，提高了 10 倍。

美国宇航局试图从两个途径来实现上述目标，具体体现在两台实验型遥感器上：航空图象光谱仪——AIS-2 和高级可见-近红外成像光谱仪——AVIRIS。计划中的航天成像光谱仪是 HIRIS 和 MODIS，它们将于 90 年代中期发射上天，其详细的性能参见表 2。

这些航空超多光谱遥感器的空间分辨率较低在 1mrad 左右，而 SPOT 为 12 μ rad。在遥感器设计中高空间分辨率和高光谱分辨率不能兼得。因为物体进入遥感器的总光子数是有限的，这些光子或分到许多光谱波段中或分到许多象元中，若两者都满足将降低整机的信噪比。提高信噪比和光谱、空间分辨率的办法是加大聚光系统或增加取样积分时间(即慢扫描)，但大聚光系统非常昂贵，而扫描速率主要取决于轨道的动态特性。因而在相当长的时间内提高空间分辨率还是提高光谱分辨率之争将延续下去。

空间成像系统在 30 年内有了长足的进步，从开始仅能提供几张实验性的照片到现在能连

表 2 超多光谱成像系统

系 统	遥感器类型	光谱范围 (μm)	光谱带宽 (nm)	分 辨 率	每线列的象元数目	光谱波段的数目
AIS-2	2 维阵列	0.8—1.6 或 1.2—2.4	10	2.05mrad/象元	64	128
AVIRIS	线性阵列	0.4—2.45	10	1mrad/象元	550	224
HIRIS	推扫型面阵	0.4—2.5	10	30m	1000	192
MODISN	带扫型扫描器阵列	0.4—12	1.2—500 可变	500m或 1000m 与波长有关	1500 或 3000与 波长有关	36

续不断地提供各种用途的地球图象。这些图象
面工作。
可用于研究地球的资源状况、以及气象、海洋、
水资源、地质、地理、制图、土壤、农业、林业和土地
地管理等领域，但它决不能完全代替传统的地

(吕斯骅根据 Physics Today 1989 年
第 9 期第 72—79 页编译)

(上接第 746 页)

器。它采用电寻址方式。摄象机产生的电信号
驱动液晶矩阵，改变其各个像素的透光率，从而
调制了光源入射的光，在经过两块傅里叶透镜
以及位于它们之间的预先设定的频谱面后，将
在输出屏上显示经过处理后的图象。

与磁光空间调制器相比，液晶空间调制器
的吸收小、散射少，驱动电压低，但是响应速度
较慢。

四、液晶与光学器件

液晶的光学性质多种多样，可以用作多种
光学元件如：旋光片、延迟片、光偏向器、液晶
透镜、滤色片等等。

旋光片和滤色片可以用胆甾相液晶来实
现，采用扭曲型向列相液晶也可以实现旋光性，
后者易于控制，无色散，具有一定优越性。延迟
片显然可以用向列相薄膜组成。光偏向器利用
了液晶的强烈双折射性，以及几何尺寸易于控

制等特点，这类光偏向器可望在集成光学系统
中得到应用，其原理在于由电场(几伏!)控制液
晶折射率的大小，从而改变光线的折射角或全
反射角。液晶透镜的研究尚在初步阶段，其原
理在于将透镜几何尺寸不同引起的聚光(或发
散)效应改由折射率的几何分布来实现了。

以上应用尚待进一步实用化，新的应用领
域尚待进一步开拓，但是这方面的前景非常乐
观。

- [1] J. L. Fergason, *Sci. Am.*, 211(1964), 77.
- [2] G. H. Heilmeyer et al., *Appl. Phys. Lett.*, 13(1968), 46.
- [3] R. B. Meyer et al., *J. Phys. (Paris) Lett.*, 36(1975), 69.
- [4] M. Schadt, *Chimia*, 41(1987), 347.
- [5] E. Kanekó, in *Advances in Image Pickup and Display*, Ed. B. Kazan, Academic Press, Vol. 4, (1981), Ch. 1.
- [6] J. Fergason, *Proc. SID Conf*, Orlando, (1985).
- [7] Br. Pat., 2,143,323A, (1985).
- [8] G. Labrunie et al., *Appl. Opt.*, 13(1974), 1355.
- [9] W. Haas and J. Adams, *Appl. Opt.*, 7(1968), 1203.