

# 成像光谱仪光谱分辨率的分析

王建宇

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要**——讨论了影响成像光谱仪光谱分辨率的因素; 光谱定标系统引起光谱响应函数的误差; 以及成像光谱仪的实际光谱分辨率; 并提出几种提高光谱分辨率的方法。

**关键词**——成像光谱仪, 光谱分辨率。

## 1. 引 言

成像光谱仪是一种具有高光谱分辨率的新一代三维成像遥感仪器, 这是它与传统的 multispectral 成像遥感系统不同的主要特点。它具有记录地物目标二维空间信息和一维光谱信息的能力。由于绝大多数地球表面自然物质在  $0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$  的反射光谱中存在可分辨的吸收、反射特征, 这些特征的波长宽度约为  $10 \sim 40 \text{ nm}$ , 因此为探测到这些特征, 目前设计的成像光谱仪的光谱取样间隔为  $10 \sim 20 \text{ nm}$  左右<sup>[1~2]</sup>, 这比传统仪器的光谱取样间隔提高了一个数量级。因此, 系统地分析仪器各单元对光谱分辨率的影响, 分析仪器在使用中的实际光谱分辨率, 以及光谱定标系统对仪器光谱响应函数的影响, 对仪器的设计以及使用过程中提高光谱的分辨率都是十分有益的。

## 2. 影响系统光谱分辨率的因素

图 1 是成像光谱仪工作原理图。系统有主光学系统和光谱色散系统两部分, 前者用来完成地物目标的空间成像; 后者用来完成光谱维的扫描。多元探测器阵列安装在光谱仪的色散焦平面上,  $N$  个探测器就组成成像光谱仪的  $N$  个波段。

成像光谱仪第  $i$  个波段的输出信号可表示为

$$x_i = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{E_\lambda}{\pi} \beta^2 \Delta \rho(\lambda) \tau_a(\lambda) \tau_o(\lambda) S_s(\lambda) R_d(\lambda) R_e(\lambda) d\lambda; \quad (1)$$

式(1)中,  $E_\lambda$  是太阳在  $\lambda$  附近单位波长间隔内的辐照度;  $\beta$  是系统的瞬时视场;  $\Delta$  是系统的有效光学面积;  $\rho(\lambda)$  是地物目标的光谱反射率;  $\tau_a(\lambda)$  是大气光谱透过率;  $\tau_o(\lambda)$  是系统的光

学效率;  $S_s(\lambda)$  是光谱仪色散系统的传递函数;  $R_d(\lambda)$  是探测器的光谱响应率;  $R_e(\lambda)$  是电子学系统的光谱响应率。

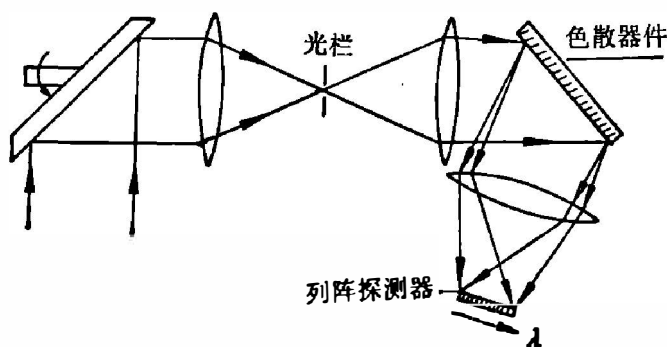


图1 成像光谱仪工作原理图

Fig.1 The concept of imaging spectrometer.

式(1)中  $E_\lambda$ 、 $\rho(\lambda)$ 、 $\tau_0(\lambda)$  是与系统无关的量, 而  $\tau_0(\lambda)$ 、 $S_s(\lambda)$ 、 $R_d(\lambda)$ 、 $R_e(\lambda)$  则是由系统决定的参数, 系统中第  $i$  个波段的相对光谱响应函数  $S_i(\lambda)$  可由它们的乘积来表示,

$$S_i(\lambda) = S_s(\lambda) \tau_0(\lambda) R_d(\lambda) R_e(\lambda). \quad (2)$$

评价系统光谱分辨率的主要参数有光谱波段的中心波长、光谱取样间

隔和波段带宽, 中心波长的定义是光谱响应函数的峰值对应的波长; 光谱取样间隔是相邻波段中心波长之间的距离; 波段带宽是光谱响应函数值相对于峰值 50% 时的波长宽度. 下面讨论系统各部分对光谱分辨率的影响.

### 2.1 光谱仪的色散系统对仪器光谱分辨率的影响

成像光谱仪的色散系统相当于一个强光光谱仪, 目前分光部件多由光栅完成, 色散角由下列光栅方程决定<sup>[3]</sup>,

$$d(\sin\varphi \pm \sin\varphi') = m\lambda \quad (3)$$

理论光谱分辨率为  $\delta\lambda = \lambda/mN_g$ , 这里  $m$  是光谱的级数,  $N_g$  是光栅刻线总数. 实际光谱分辨率则由进光的狭缝、光谱仪的焦距等因素决定. 而成像光谱仪除上述因素外, 谱线焦平面上接收光能量的探测器的线度也是一个不可忽视的因素. 在成像光谱仪的设计中, 首先是根据光谱取样间隔和光谱复盖范围的要求, 决定探测器的元数. 如果光谱复盖范围为  $(\lambda_1 - \lambda_2)$ , 光谱取样间隔为  $\Delta\lambda$ , 则探测器的元数  $N$  为

$$N = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\Delta\lambda}; \quad (4)$$

每个探测器对应一个光谱波段, 复盖  $\lambda_i \pm \frac{1}{2} \Delta\lambda$  的波长范围, 每个波段的理想光谱响应函数应是一个对称于  $\lambda_i$  的矩形门函数. 下面讨论在几种不同视场光栏的情况下理想光谱仪(不考虑系统像差等因素)的光谱响应函数  $S_s(\lambda)$ .

#### 2.2.1 视场光栏为无限窄的狭缝

在视场是无限窄狭缝时, 光栏的像在光谱焦平面上的位置由式(3)决定, 象的宽度为  $f\lambda/Nd \cos\varphi'$ , 这与探测器的光敏面线度(一般在 0.05~1 mm 的范围内)相比可以忽略,  $S_s(\lambda)$  为一矩形门函数, 如图 2(a)所示. 系统的瞬时视场是光栏的线度与主光学系统焦距之比, 当视场光栏为无限窄狭缝时, 系统的瞬时视场为零, 进入系统的光能量也为零, 因此, 这种情况只有理论意义而无实用价值.

#### 2.2.2 视场光栏为具有一定宽度的狭缝

当狭缝的宽度比光的衍射限大得多时, 单色光对系统的贡献正比于狭缝的单色像落在探测器光敏面上的面积, 当狭缝的宽度不同时, 系统接收到的能量和光谱复盖范围都会发生

变化。如探测器的光敏面线度为  $a$ ，对应于不同狭缝宽度的  $S_s(\lambda)$  如图 2(b) 所示。当增大狭缝使其像宽度大于探测器光敏面线度时，进入系统的光能量增加，则系统的信噪比提高，但光谱波段的带宽也随之变大。当狭缝象宽小于光敏面线度时，波段带宽并不变化，而光能量减小。有许多成像光谱仪的视场光栏为一圆孔，这时的光谱响应曲线  $S_s(\lambda)$  如图 2(c) 所示。

图 3 是当光栏为狭缝的情况下，在不同狭缝像宽时波段的光谱分辨本领  $\frac{\lambda_i}{\Delta\lambda}$  和信噪比的变化情况，从图 3 可知，在不牺牲光谱与辨本领的情况下，只有当像的线度和光敏面线度相等时，系统才有最大的信噪比，即达到最佳的匹配，当光栏为圆孔时，与上述同理，只有当圆孔的直径与光敏面线度相等时，系统才是最佳匹配。

考虑到不同光栏形式和系统中  $\tau_o(\lambda)$ 、 $R_a(\lambda)$ 、 $R_s(\lambda)$  等因素，系统的光谱响应曲线  $S_s(\lambda)$  可以用高斯曲线来模拟：

$$S_s(\lambda) = K \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_i}\right)^2\right]; \quad (5)$$

$$\alpha = 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma_i; \quad (6)$$

式(5)、(6)中， $K$  是常数； $\lambda_i$  是波段的中心波长； $\sigma_i$  是高斯曲线的均方差； $\alpha$  为高斯曲线的半宽度。

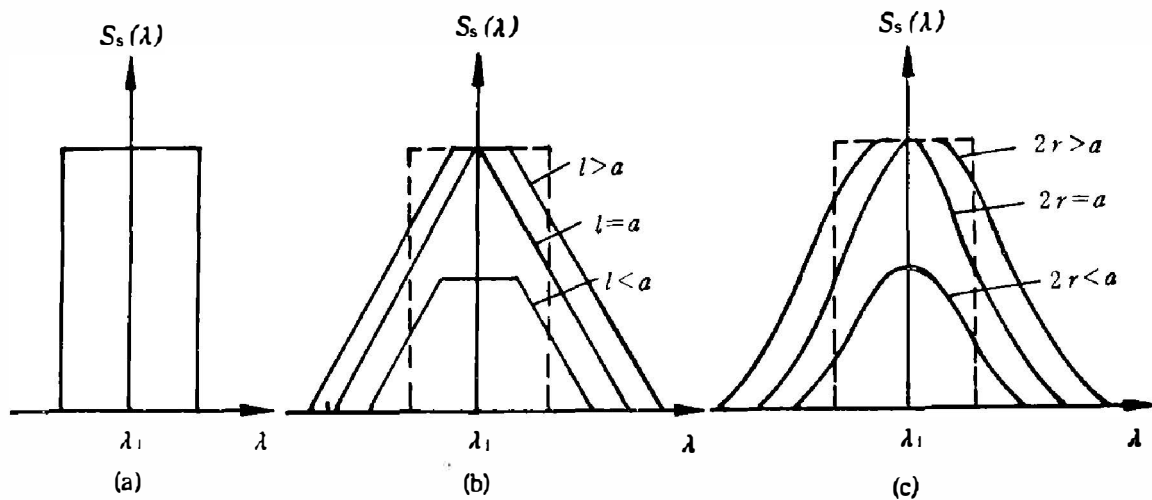


图 2 不同视场光栏下的光谱响应曲线

Fig. 2 Spectral response curve under different field diaphragm.

## 2.2 光学系统对光谱响应曲线的影响

(1) 根据式(3)的光栅方程可知，当入射角  $\varphi$  改变  $\Delta\varphi$  时，衍射角  $\varphi'$  将变化如下：

$$\Delta\varphi' = \pm \cos \varphi / \cos \varphi' \Delta\varphi; \quad (7)$$

因此，狭缝的单色象的大小可由下式决定：

$$V = \frac{f_2 \cos \varphi}{f_1 \cos \varphi'} \cdot l; \quad (8)$$

式(8)中， $f_1$  是准直镜焦距； $f_2$  是会聚镜焦距； $l$  是狭缝宽度。当  $\varphi' < \varphi$  时， $\Delta\varphi' < \Delta\varphi$ ；可见，在设计中，适当地使  $\varphi' < \varphi$ ，能使  $V$  变小，这有利于提高光谱分辨率。

(2) 光学系统的象差将对系统的成像质量产生影响，在成像光谱仪中，主光学系统是完

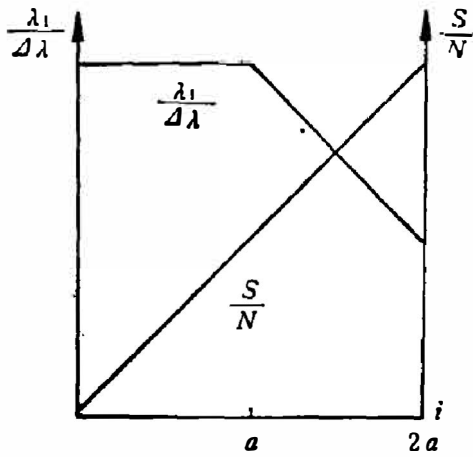


图3 不同*i*时的 $\frac{\lambda_i}{\Delta\lambda}$ 和 $\frac{S}{N}$ 的变化

Fig.3 Variations of  $\frac{\lambda_i}{\Delta\lambda}$  and  $\frac{S}{N}$  with different *i*.

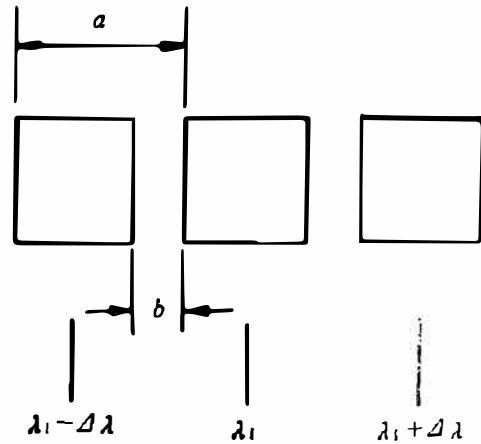


图4 多元器件的排列

Fig.4 Arrangement of multi-detector.

成地物目标的空间成像,它的像差仅影响系统的空间分辨率,而不影响光谱分辨率.而光谱仪色散系统的像差影响系统的光谱分辨率,不影响空间分辨率.假如光谱仪中由于像差引起的弥散斑在波长坐标中的半径为 $\sigma_a$ ,这样光学系统的点扩散函数可用高斯曲线近似地表示为

$$h(\lambda) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\sigma_a}\right)^2\right]; \tag{9}$$

实际系统的光谱响应函数是无像差时的响应函数与 $h(\lambda)$ 的卷积:

$$S(\lambda) = K \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_i}\right)^2\right] * \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\sigma_a}\right)^2\right]; \tag{10}$$

卷积的结果为

$$S(\lambda) = K \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma}\right)^2\right] \tag{11}$$

$$\sigma^2 = \sigma_i^2 + \sigma_a^2; \tag{12}$$

象差的存在使波段带宽变大,当 $\sigma_a = 1/3\sigma_i$ 时, $\sigma$ 增加5.4%,一般设计中应使象差的影响小于5%,所以弥散斑的几何半径应小于探测器光敏面线度的三分之一.

(3) 各光学部件的光学传递效率可综合为系统光学效率 $\tau_0(\lambda)$ 来考虑,由于 $\tau_0(\lambda)$ 对波长的变化一般都是很缓慢的,因此,仅对各个波段的光谱响应函数的幅度产生影响,而对波段带宽影响较小.

### 2.3 系统其它因素对光谱响应函数的影响

#### (1) 多元器件之间的串音对光谱响应函数的影响

多元器件之间存在着光学上的串音和电子学上的串音,这也将影响光谱响应函数,假定相邻波段光学、电子学的综合串音系数为*B*,则中心波长为 $\lambda_0$ 的波段的实际光谱响应函数可表示为

$$S(\lambda) = BK \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - (\lambda_i - \Delta\lambda)}{\sigma}\right)^2\right] + K \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma}\right)^2\right] + BK \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - (\lambda_i + \Delta\lambda)}{\sigma}\right)^2\right]; \tag{13}$$

计算结果表明,当  $B=0.064$  时,光谱响应函数的带宽将变宽 5%; 因此,多元器件之间的串音一般应限制在 5% 以下. 光学串音和电子学串音可用下面的方法区别,当信号的频率很低时的串音一般是光学串音,而当频率提高时引起的串音增加则是电子学串音.

### (2) 多元器件光敏面的间隔对光谱响应函数的影响

多元器件相邻光敏面之间都存在一定的间隔,如图 4 所示. 由于间隔  $b$  的存在能使系统的带宽变窄,当狭缝的像为  $a-b$  时,光谱波段带宽将从  $\Delta\lambda$  减小到  $\frac{a-b}{a}\Delta\lambda$ ,这对系统的光谱分辨率是有利的,其代价是进入探测器的能量要减少  $\frac{a-b}{a}$  倍.

(3) 探测器的光谱响应率  $R_d(\lambda)$ , 电子学系统的光谱响应率  $R_e(\lambda)$  等,一般对波长变化很缓慢,对光谱响应函数的带宽基本上不影响.

## 3. 光谱响应函数的定标及其精度

上述分析表明,影响成像光谱仪光谱响应函数的因素较多,所以系统最终的光谱响应函数一般要经光谱定标实验得到. 图 5 是为标定成像光谱仪的光谱响应函数而建立的光谱定标系统. 所谓定标,实际是被定标系统相对于定标辐射源的某种测量,最终只能在一定程度上反映被定标系统的特征. 假定到达被定标系统的单色光谱辐射量为  $H(\lambda)$ , 被定标系统的输出信号正比于:

$$V_s(\lambda) = C \cdot H(\lambda) \cdot S_i(\lambda); \quad (14)$$

式(14)中,  $c$  是常数; 然后把被定标系统换成标准探测器,标准探测器的输出信号为

$$V'_s(\lambda) = CH(\lambda)S_{\#}(\lambda); \quad (15)$$

式(15)中,  $S_{\#}(\lambda)$  为标准探测器的光谱响应函数. 从式(13)和式(14)可以得到被定标系统的光谱响应函数  $\delta_i(\lambda)$

$$S_i(\lambda) = \frac{V_s(\lambda)}{V'_s(\lambda)} S_{\#}(\lambda) \quad (16)$$

由于单色仪有一定的入射狭缝和出射狭缝,出射光不可能是完全的单色光,而是有一定的波长分布:

$$V_s(\lambda) = C \int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) \cdot S_i(\lambda') d\lambda'; \quad (17)$$

$$V'_s(\lambda) = C \int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) \cdot S_{\#}(\lambda) d\lambda; \quad (18)$$

因此,用式(16)求得的只是:

$$S'_i(\lambda) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) S_i(\lambda') d\lambda'}{\int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) S_{\#}(\lambda) d\lambda'} \cdot S_{\#}(\lambda) \quad (19)$$

$S'_i(\lambda)$  和实际的  $S_i(\lambda)$  有一定的误差; 一般选用的标准探测器在定标波段范围内接近于常数,令其为  $S_0$ , 则式(19)可近似为:

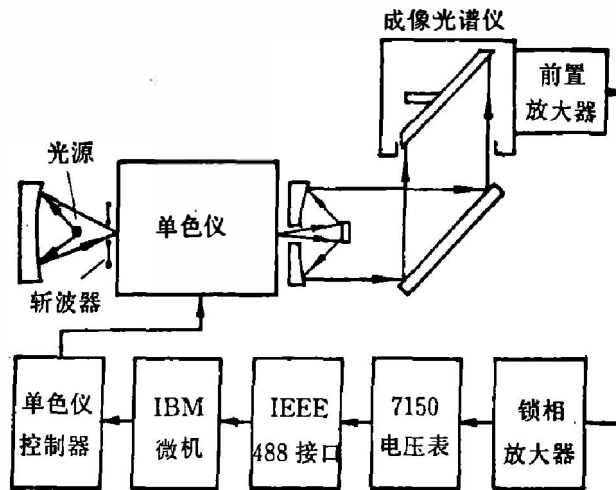


图 5 光谱定标系统框图

Fig. 5 Block diagram of spectral radiation calibration system.

$$S'_i(\lambda) = \frac{S_0 \int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) S_i(\lambda') d\lambda'}{\int_{-\infty}^{+\infty} H(\lambda' - \lambda) d\lambda'}; \quad (20)$$

若认为  
则,

$$H(\lambda) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\sigma_H}\right)^2\right]; \quad S_i(\lambda) = K \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_i}\right)^2\right]$$

$$S'_i(\lambda) = K' \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_H^2}}\right)^2\right]; \quad (21)$$

式(21)中,  $K'$  是和  $\lambda$  无关的常数; 比较  $S_i(\lambda)$  和  $S'_i(\lambda)$  可知波段的中心波长不变, 而  $S'_i(\lambda)$  的带宽变大, 由此引起的相对误差为

$$\frac{\Delta\lambda' - \Delta\lambda}{\Delta\lambda} = \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_H}{\sigma_i}\right)^2} - 1; \quad (22)$$

当  $\sigma_H = \frac{1}{5} \sigma_i$  时, 引起的相对误差为 2%.

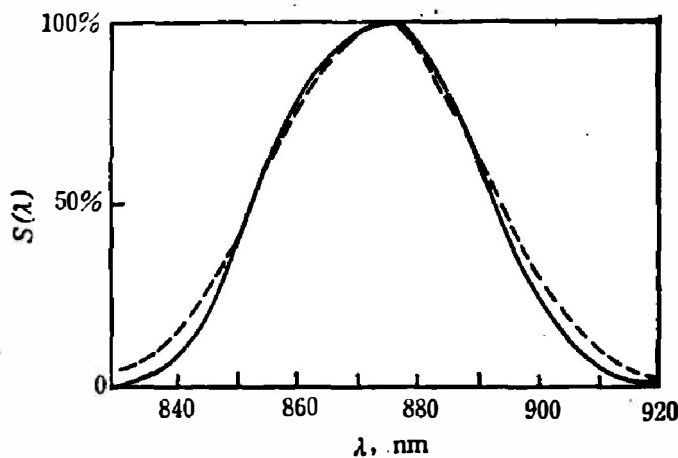


图 6 AMSS 第 11 波段光谱响应函数

Fig. 6 Spectral response function of AMSS for band 11.

在实际定标测量中,辐射源和单色仪的不稳定性,以及系统状态的变化都将影响定标精度;特别是当  $V_s(\lambda)$  和  $V'_s(\lambda)$  不是同时获得时,误差就更大些,但这些因素引起的误差一般可控制在 1% 以下。

图 6 是用上述定标系统得到的某光谱取样间隔为 40 nm 的机载多光谱扫描仪 AMSS 第 11 波段的光谱响应函数;图中实线为定标结果;虚线为模拟波段的高斯曲线。波段的中心波长为 876 nm;波段带宽为 41 nm;测量中单色仪混色小于 1.2 nm,光谱响应函数的定标精度优于 1%。

#### 4. 成像光谱仪的实际光谱分辨率

成像光谱仪的第  $i$  个波段,除接收到  $\lambda_i$  的信号外,同时还接收到  $\lambda_i \pm \frac{1}{2} \Delta\lambda$  内的光谱信号,这样就无法用一般的瑞利判据来决定成像光谱仪的光谱分辨率。图 7 是几种典型的矿物在 2.0~2.5 mm 的反射光谱曲线<sup>[4]</sup>,它们都存在可与辨的光谱吸收峰,成像光谱仪通过探测这些光谱特征从而区分矿物的类型为了讨论问题方便起见,用函数  $E(\lambda) = 1 - K' \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda'}{\sigma'} \right)^2 \right]$  来模拟一个具有吸收特征的地物信号,其中  $K'$  为吸收峰的幅度,其值为  $0 < K' < 1$ ;带宽为  $2 \sqrt{2 \ln 2} \sigma'$ 、对于一个光谱响应函数为  $K \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_i} \right)^2 \right]$  的波段来说,其输出信号的值为

$$V_i(\lambda) = \int_{-\infty}^{+\infty} K \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] \left[ 1 - K' \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda'}{\sigma'} \right)^2 \right] \right] d\lambda; \quad (23)$$

计算得到的结果为

$$V_i(\lambda) = \sqrt{2\pi} K \left[ \sigma_i - \frac{K \sigma_i \sigma'}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma'^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda_i - \lambda'}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma'^2}} \right)^2 \right] \right]; \quad (24)$$

在没有吸收峰时,  $K' = 0$ , 则输出信号为

$$V_0(\lambda) = \sqrt{2\pi} K \sigma_i; \quad (25)$$

根据式(23),对应于不同波长的波段对函数  $E(\lambda)$  的采样结果见图 8。

受吸收峰影响的波段,其输出信号将变小;如果认为在没有吸收峰的波段的输出信号与存在吸收峰的波段的输出信号之差大于 5 倍噪声的均方根值  $V_n$ , 就是检测到了吸收峰,那么判别成像光谱仪光谱分辨率的标准可以表示为:

$$V_0(\lambda) - V_i(\lambda) > 5V_n. \quad (26)$$

如果认为噪声是服从正态分布的白噪声,则当两个白噪声相减之后总噪声增加到原来的  $\sqrt{2}$  倍,瞬时噪声的绝对值大于  $\frac{5}{\sqrt{2}} V_n$  时,就会出现误判,即

$$P_{\text{误}} = \int_{-\infty}^{-\frac{5}{\sqrt{2}} V_n} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{V}{V_n} \right)^2 \right] dV + \int_{\frac{5}{\sqrt{2}} V_n}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{V}{V_n} \right)^2 \right] dV; \quad (27)$$

计算结果表明:  $P_{\text{误}} = 0.034\%$ , 根据式(24)和式(25),式(26)可以改写如下:

$$\frac{S}{N} \cdot \frac{K \sigma'}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma'^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda_i - \lambda'}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma'^2}} \right)^2 \right] > 5; \quad (28)$$

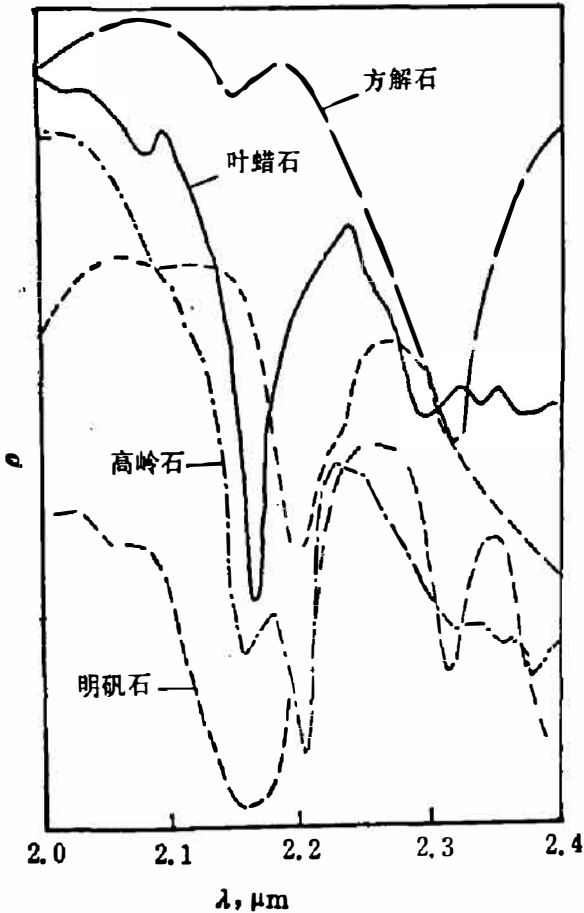


图7 常见矿石在2.0~2.4 μm的反射光谱  
Fig. 7 Reflection spectra in the region 2.0~2.4 μm of common minerals.

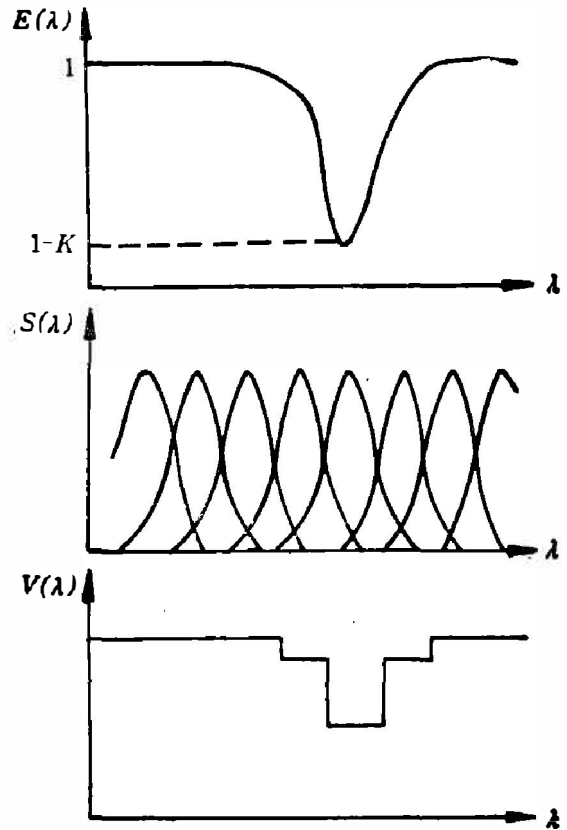


图8 函数 E(λ)的光谱取样结果  
Fig. 8 Spectral sampling results of function E(λ).

式(28)中,  $\frac{S}{N} = \frac{V_0(\lambda)}{V_n}$  是系统的信噪比。下面分几种情况讨论:

(1)  $\lambda_i = \lambda'$ ,  $\sigma_i = \sigma'$ , 即吸收峰的中心波长与波段的中心波长重合, 而吸收峰的带宽与波段带宽相等, 这时有:

$$K > \frac{5\sqrt{2}}{\frac{S}{N}}; \tag{29}$$

当  $S/N = 50$  时, 系统能分辨幅值大于 14.1% 的吸收峰。

(2)  $\lambda_i = \lambda' \pm \sqrt{2 \ln 2} \sigma'$ ,  $\sigma_i = \sigma'$ , 即吸收峰的中心波长与波段中心波长差半个带宽, 这时有:

$$K > 10 / \frac{S}{N}; \tag{30}$$

当  $S/N = 50$  时, 系统能分辨幅值大于 20% 的吸收峰。

(3)  $\lambda_0 = \lambda'$ ,  $\sigma_i \neq \sigma'$ , 即当两者中心波长重合, 而带宽不一致时, 有:

$$\frac{S}{N} \frac{K \sigma'}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma'^2}} > 5; \tag{31}$$

当  $K = 50\%$ ,  $\frac{S}{N} = 50$  时, 系统能分辨带宽比波段带宽小一半的吸收峰。



根据以上分析可得到下面结论:

(1) 实际光谱分辨率与波段的带宽直接有关,  $\Delta\lambda$  越小, 分辨率越好, 并且, 带宽为  $\Delta\lambda$  的系统也有可能分辨带宽小于  $\Delta\lambda$  的吸收峰.

(2) 系统的信噪比越高, 光谱分辨率越好.

(3) 当系统的中心波长与吸收峰的中心波长重合时, 系统的光谱分辨率最好.

## 5. 提高仪器光谱分辨率的途径

综合上述分析, 提出以下几种提高成像光谱仪光谱分辨的方案.

### 5.1 增加光谱维探测器的元数

在一定的波长范围内, 成像光谱仪的光谱取样间隔是由  $\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{N}$  所决定的, 因此, 增加光敏面的元数  $N$ , 就能使光谱取样间隔变窄, 光谱分辨率提高, 但由于受到探测器制造工艺的限制, 并鉴于光谱光学系统设计的困难  $N$  不能非常大.

### 5.2 采用多光谱仪的结构

在探测器光敏面数目  $N$  一定时, 采用多光谱仪的结构把波长范围分成几段, 同样能够提高光谱分辨率, 如美国 JPL 实验室研制的 AVIRIS<sup>[1]</sup> 成像光谱仪就有 4 个光谱仪, 但会使仪器的结构变得复杂. 在一个光谱仪中通过转动光栅的办法也可以提高光谱分辨率, 如 JPL 的 AIS<sup>[2]</sup> 成像光谱仪就是通过转动光栅的 4 个位置, 每个位置得到 32 个波段, 4 个位置得到 128 个连续的光谱波段.

### 5.3 提高系统的信噪比

成像光谱仪的实际光谱分辨率与系统的信噪比成正比, 所以在系统设计中应尽量提高信噪比. 但在实际中系统的光谱取样间隔越小, 进入单个探测器的能量就越小, 信噪比也就越低. 用面阵探测器的一维进行光谱扫描, 另一维实行空间推扫, 能较好地解决这个问题, 用  $N$  元探测器推扫, 将比单元时提高信噪比  $\sqrt{N}$  倍.

### 5.4 微调波段的中心波长

由于成像光谱仪各波段的中心波长与目标吸收峰的中心波长的相对位置的变化将引起仪器光谱分辨率的变化, 当两者重合时, 系统的光谱分辨率最强. 因此, 把系统中各波段的中心波长设计成可以微调, 以适应不同遥感的需要, 并能提高系统的光谱分辨率.

## 参 考 文 献

- [1] Wellman J.B. et al., *Proceedings 1983 IEEE National Telesystems Conference*, 83CH2975-2, 1983, p286—292.
- [2] Vane G. et al., *Proceeding of the 1984 Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1984, p. 27—30.
- [3] 吴国安, 光谱仪器设计, 北京: 科学出版社, 1978, p101~108.
- [4] Vane G. et al., *Remote Sensing of Environment*, 24 (1988), p1~24.

## ANALYSIS ABOUT SPECTRAL RESOLVING POWER OF IMAGING SPECTROMETER

WANG JIANYU

*(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, 200083, Shanghai, China)*

### ABSTRACT

This paper discusses some factors which affect the spectral resolving power of imaging spectrometers and the errors in spectral response function caused by the spectral calibration system, analyzes the real spectral resolving power of imaging spectrometers in use. Several methods to increase spectral resolving power are given.