

甘肃地区岩石反射光谱特性的研究*

刘子贵 潘中海 李钦雄

(中国科学院兰州地质研究所)

1985年10月23日收到

近年来,我国利用美国陆地卫星图象(或磁带)进行地质构造解译工作的地质工作者越来越多。为了更好地了解卫星图象的成象机制,我们在甘肃的兰州、玉门、白银等地对部份有代表性的岩石的反射光谱进行了测试。下面对这些岩石的反射光谱特性作些讨论。

一、仪器和测试方法

(一) 仪器

测试时使用的是101W型野外光谱辐射计。其波段范围为0.4—1.1微米,其分光器为水平对称式光栅分光器,子午视场固定为 3° ,可分辨汞线0.577和0.579微米, $d\lambda = 0.002$ 微米,探测器为GDB-2sb光电倍增管,输出终端为记录仪和电压表,工作方式采用自动连续扫描和手动取点两种。

(二) 测试方法

测试目标一般均采用新鲜岩石露头,同一目标选取4个样品,每个样品测三次,取其平均值来代表该岩石的光谱数据。测试时间按地方太阳时在10—14时进行,太阳高度角一般大于 50° ,晴天,能见度好,并用照度计监测。仪器测高1.3米左右,垂直测量,测量顺序是目标—标准板—目标—标准板—目标。此外,还对大部分样品作了矿物成份及化学成份的鉴定和分析。

二、主要岩石的反射光谱特性

(一) 火成岩的反射光谱特征

图1示出了甘肃地区有代表性的火成岩的反射光谱。它们有如下特征:①火成岩的平均反射率值,从酸性到基性逐渐减小,即平均反射率值与二氧化硅含量几乎成正比关系(表1),这一特点在反射率曲线图中也是明显的;②反射率的波长分布随波长增加而增加,其中在0.5—0.6微米之间增加明显,进入0.7—1.1微米逐渐变得平直,曲线形态的这种有规律的变化,是岩石成份差异的反映。

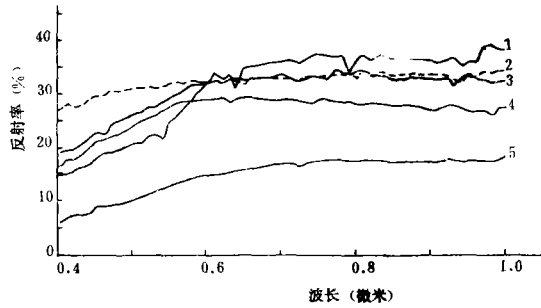


图 1 火成岩的反射光谱

Fig. 1 Spectral reflectance curve of igneous rock

1. 浅红色白云母花岗岩, 2. 黑云母花岗岩, 3. 白云母花岗岩, 4. 花岗闪长岩, 5. 辉长-辉绿玢岩

表 1

Table 1

	浅红色花岗岩	花岗闪长岩	辉长-辉绿玢岩
反射率(%) (0.4—1.1 μm)	30.06	26.25	12.45
SiO ₂ 含量(%)	66.62	59.81	53.27

(二) 沉积岩的反射光谱特征

图 2 为几种主要砂岩的反射光谱。严格地说, 由硅质胶结起来的石英砂岩并没有什么特征光谱, 而其它各种胶结物(如铁质、泥质、钙质等)所引起的各种色调和颗粒大小对反射光谱却有明显贡献, 其规律可归纳为: ①不同色调的砂岩在波长分布上有一定规律,

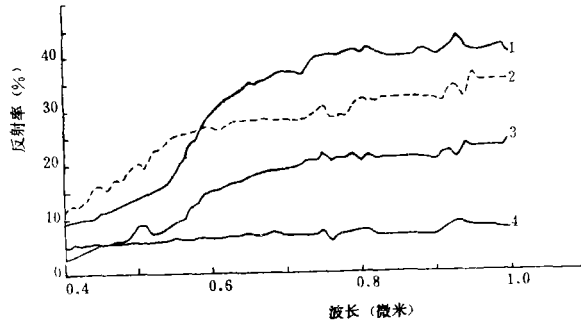


图 2 砂岩的反射光谱

Fig. 2 Spectral reflectance curve of sandstone

1. 砖红色砂岩 2. 灰绿色砂岩 3. 紫红色砂岩 4. 黑色炭质砂岩

即绿色砂岩在绿波段(0.5—0.6 微米)形成峰值; 红色砂岩在红波段(0.6—0.7 微米)形成陡变值, 因而形成比较明显的陡坎型曲线, 黑色炭质砂岩反射率最低, 形成典型的平直型曲线。②砂岩的反射率值与其碎屑粒度关系明显, 即反射率值随粒度的增加而增加(图 3), 其顺序是: 红色砂岩 ($\rho = 29.06\%$) → 紫红色粉砂岩 ($\rho = 22.31\%$) → 紫红色泥岩 ($\rho =$

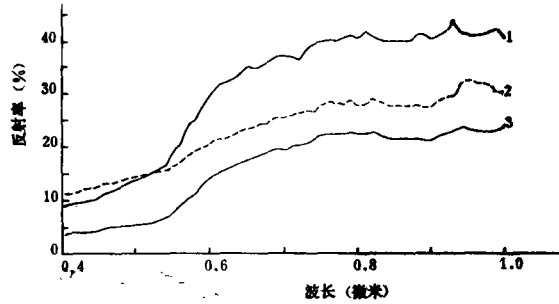


图 3 不同粒度砂岩的反射光谱

Fig. 3 Spectral reflectance curves of different size sandstone

1. 红色砂岩 2. 紫红色粉砂岩 3. 紫红色泥岩

13.22%), 这一点恰与室内粉末样光谱特征不同。由室内光谱测量得知: 粒径由 0.022 毫米增至 2.65 毫米时, 其吸收率至少要增加 14%。而野外反射光谱, 因为粗粒砂岩较之细粒砂岩在干燥条件下水份容易溢散, 细粒砂岩却相反。这样, 细粒砂岩因水份含量增加导致反射率降低就是显而易见的了。

(三) 碳酸盐岩类的反射光谱特征

图 4 为白云岩、大理岩和灰岩的反射光谱。由图可知, ①三种碳酸盐岩的反射光谱, 从其反射率变化特征看, 并无特征光谱带, 而反射率大小的变化, 只反映了有机质及杂质

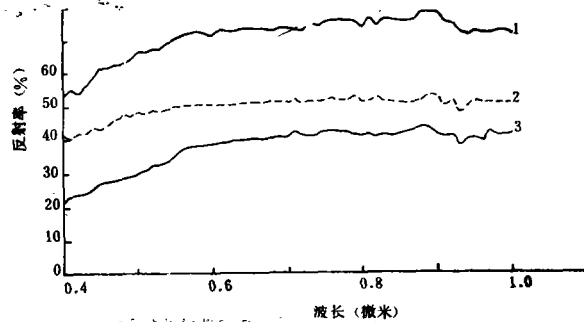


图 4 碳酸盐岩的反射光谱

Fig. 4 Spectral reflectance curve of carbantite

1. 白云岩 2. 灰白色大理岩 3. 灰岩

含量的多少, 含量高者反射率低, 含量低者反射率高; ②三种岩石的光谱波长分布均从短波段至长波段渐次升高, 而到 0.9 微米之后又趋下降, 曲线形态呈波浪型。

(四) 变质岩类的反射光谱特征

变质岩的反射光谱如同变质岩本身一样比较复杂。图 5 为三种片状岩类的反射光谱。从图 5 可以看出, 两种石英片岩的光谱几乎无甚差异, 但含铁量较高的铁质千枚岩 (Fe_2O_3 含量达 7.57%) 在 0.6—0.7 微米开始出现反射率峰值, 而与石英片岩出现较大的分异, 说明色调在变质岩光谱特性中亦起相当重要的作用。如色调灰暗则多呈平直型曲线, 彩色岩则多呈波浪型曲线。

概而言之, 各种岩类在可见光—近红外波段 (0.4—1.1 微米) 的野外反射光谱可归纳如下几个信息特征:

① 岩浆岩类岩石的反射光谱主要受其组份中所含的浅色矿物 (主要为石英、长石) 及

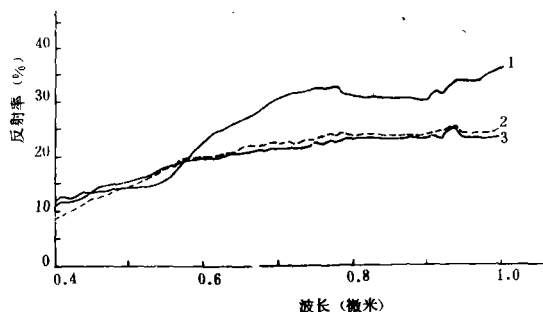


图5 变质岩类的反射光谱

Fig. 5 Spectral reflectance curve of metamorphic rock

1. 铁质千枚岩 2. 黑云母石英片岩 3. 二云母石英片岩

暗色矿物(铁镁质矿物)比例的影响,即从酸性到基性反射率渐次降低,曲线形态从缓斜型逐渐转变为平直型,反射率重心下降,曲线斜率变小。

②各种砂岩类(或彩色地质体)的反射光谱,主要受其色调及粒度的影响,即反射率峰值出现在与其相对应的单色波段中,如绿色岩石的反射率峰值出现在绿波段(中心波长为0.55微米),红色岩石反射率峰值出现在红波段(约在0.6—0.7微米),等等。其次,同一种色调的岩石的反射率值,又受其粒度的影响,一般颗粒越粗,反射率越高,反之亦然。

③至于碳酸盐岩和变质岩的光谱,主要受碳质及杂质含量的影响,否则,一般光谱单调,曲线形态多呈波浪型或平直型。

总之,各类岩石的反射光谱在可见光波段存在某些分异性,然而,自然界五彩缤纷、千差万别的地质岩体在这个波段的分异性是有限的。更多、更丰富的岩石反射光谱应在红外波段或窄波带中才能寻到。

三、遥感最佳判识波段的选择

由于地物反射光谱是波长的函数,因而,同一地物在不同波段,或不同地物在同一波段的反射率都不是完全一样的。那么,哪些地物在哪个波段分异性最大,离散性最小,从而丰富多彩地反映出不同地物的信息,以达到最佳程度的区分地物的研究,就显得非常重要,这正是遥感最佳工作波段选择的任务。

标准差的计算的根据是各种岩石存在着光谱差异,它可以表示各种岩石之间光谱数据的差异性和同一岩石光谱数据的离散性。同种岩石多次测量的反射率标准差(离散度)较小,和不同种岩石之间的反射率标准差(差异性)较大的那些波段,为可分性最佳波段。即岩石可分性与岩石种间光谱数据的差异性成正比,而与岩石种内光谱数据的离散度成反比。用公式表示,则为

$$M = \frac{\sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\rho_{li} - \bar{\rho}_l)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (R_{lj} - \bar{R}_l)^2}}$$

其中: M 为不同岩石反射光谱的可分性,

- $\rho_{\lambda i}$ 为某种岩石在波长 λ 处多次测量的平均反射率值,
- $\bar{\rho}_{\lambda}$ 为参加统计分析的某类岩石在波长 λ 处的平均反射率值,
- m 为岩石种类数,
- $R_{\lambda j}$ 为某种岩石在 λ 处第 j 次测量的反射率值,
- \bar{R}_{λ} 为参加统计分析的某种岩石在波长 λ 处的多次测量的平均反射率值,
- n 代表岩石测量次数。

上述公式的分子部份表示不同岩石类间光谱数据的差异性,分母部份表示同种岩石光谱数据的离散性,因此, M 值越大,说明不同岩体之间的可分性越大,反之亦然。

用以上公式的计算结果作成重合光谱及 M 值图表可以直观地看出,在某些岩石组合中哪种岩石在哪个波段可分性最好。该图表是将所测目标的光谱数据,分成与陆地卫星匹配的波带,每个波带内用阿拉伯数字标绘不同岩种的平均反射率,两侧星号线为标准差,显然,星号线越长,则离散性越大。右部的 M 值则是某种岩石在该波带的岩类组合中的可分性,即 M 值越大,则说明此种岩石在该组岩石组合中的可分性越好。

(一) 火成岩的最佳可分性波段

图 6 给出了几个有代表性的火成岩重合光谱及 M 值图表。从图可以看出: ①酸性岩

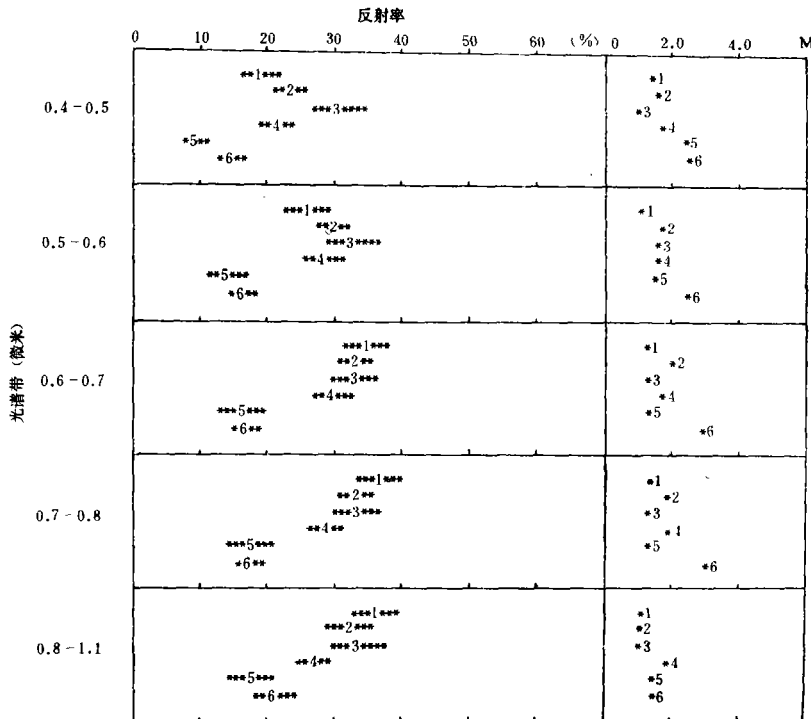


图 6 火成岩重合光谱及 M 值图表

Fig. 6 Coincident spectral and the M value plots for igneous rock

- 1. 浅红色白云母花岗岩 2. 二云母花岗岩 3. 黑云母花岗岩
- 4. 花岗岩闪长岩 5. 辉长-辉绿玢岩 6. 蛇纹岩

(如花岗岩、花岗闪长岩)的光谱反射率在各个波带均较高、特别是后四个波带中尤为突出,反射率值在 25.47%—36.36% 之间。而基性岩类(如辉长-辉绿玢岩、蛇纹岩)光谱反射率在各个波带均较低,反射率值在 8.86%—20.58%。所以,单从反射率值分析,酸性岩和基性岩很容易从这些波带中分离开来,但它们本身的分异却很不明显,故较难区分。②从M值看,基性岩可在 0.4—0.5 微米波段得到较好的分离,在 0.8—1.1 微米波段却难以分离。而在 0.5—0.8 微米的三个波带中,只有蛇纹岩的M值最大,因而分异性最好。其它岩石之间就难以区分了。

(二) 沉积岩(四种彩色砂岩)的最佳可分性波段

我们选取了四种彩色砂岩作为沉积岩类的代表性岩石,其重合光谱及M值图表如图 7 所示。由图可以看出:①单从重合光谱图表看,绿色砂岩在 0.4—0.6 微米波段有较高的反射率,特别是绿波段(0.5—0.6 微米)更为明显。而红色砂岩(砖红色砂岩)则是在 0.6—1.1 微米的三个波段内反射率最高,显示了红光波段反射率特征。炭质砂岩在 0.4—1.1 微米的五个波带中反射率均较低。所以,彩色岩体的最佳可分性波段,单从反射率值分析,只是在其对应的单色波带中,而黑色炭质砂岩却可以低的反射率值在任何波带中区分出来。②从M值来看,情况较为复杂,由于采集数据的离散性不同,而掩盖了某些岩石

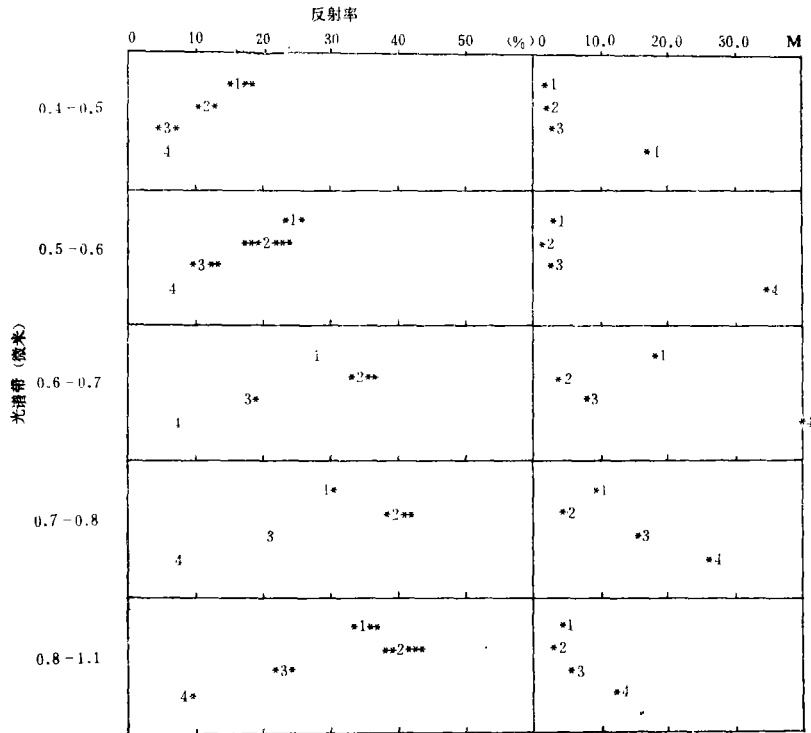


图 7 砂岩的重合光谱及M值图表
Fig. 7 Coincident spectral and the M value plots of sandstone

1.灰绿色砂岩 2.砖红色砂岩 3.紫红色砂岩 4.黑色炭质砂岩

的特征光谱,但黑色炭质砂岩在各个波带高的分离性还是清楚的,可见这种最佳波段的选择是要慎重的。

(三) 碳酸盐岩最佳可分性波段

对碳酸盐岩的代表性岩石白云岩、大理岩和灰岩所作的 M 值计算表明,这三种岩石的平均反射率在五个波带中都有较明显的差异(图8),但白云岩和灰岩的多次测量的反射率值波动较大(离散性大),因而大大降低了它们的可分性。因此,区分大理岩的最佳波段是0.5微米以后的四个波段,而要在这个波段把灰岩区分出来却是很困难的,白云岩在五个波段中居中等,而且在五个波段中几乎都一样。

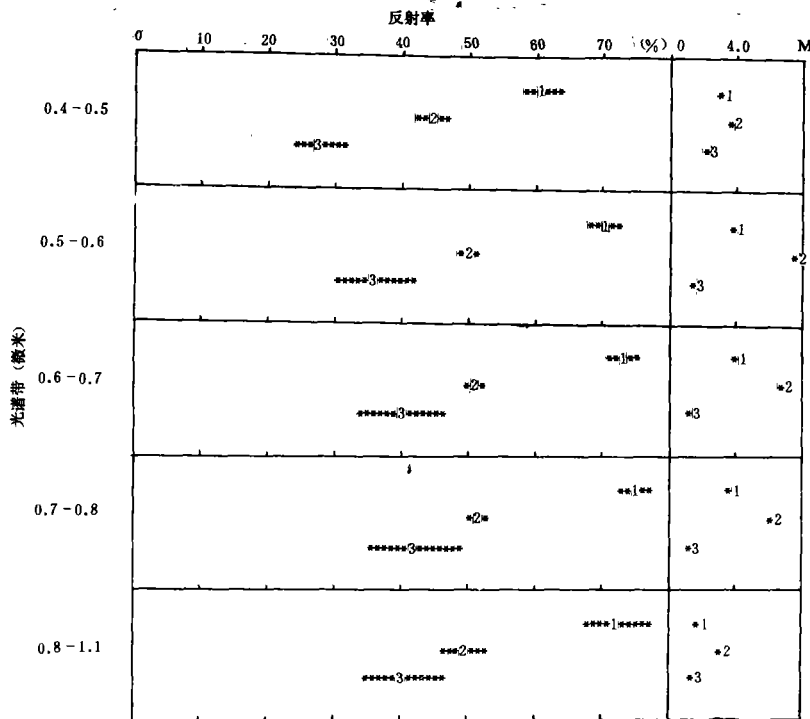


图8 碳酸盐岩的重合光谱及 M 值图表

Fig. 8 Coincident spectral and the M value plots of carbonate

1.白云岩 2.大理岩 3.灰岩

(四) 变质岩最佳可分性波段

研究中,我们对铁质千枚岩、黑云母石英片岩和二云母石英片岩作了重合光谱及 M 值图表的分析(图9),结果表明: ①这三种岩石的反射率值在0.4—0.6微米的两个波带中相差无几,其分异性很小,而在0.6微米以后略有增加。相对来讲,区分这三种岩石的最佳波段为0.6—0.7及0.7—0.8微米波带。②从 M 值得知,只有在0.6—0.7微米及0.7—0.8微米波带有较好的分异,其它波带相对而言就困难了。

上述各类岩石最佳可分性波段的选择,由于选择组合不同,加之岩石本身存在着同类异谱和异类同谱等问题,因此,所谓最佳可分性选择不是绝对不变的。这里介绍的选择方法只是其中的一种,仅供同行研究时参考。

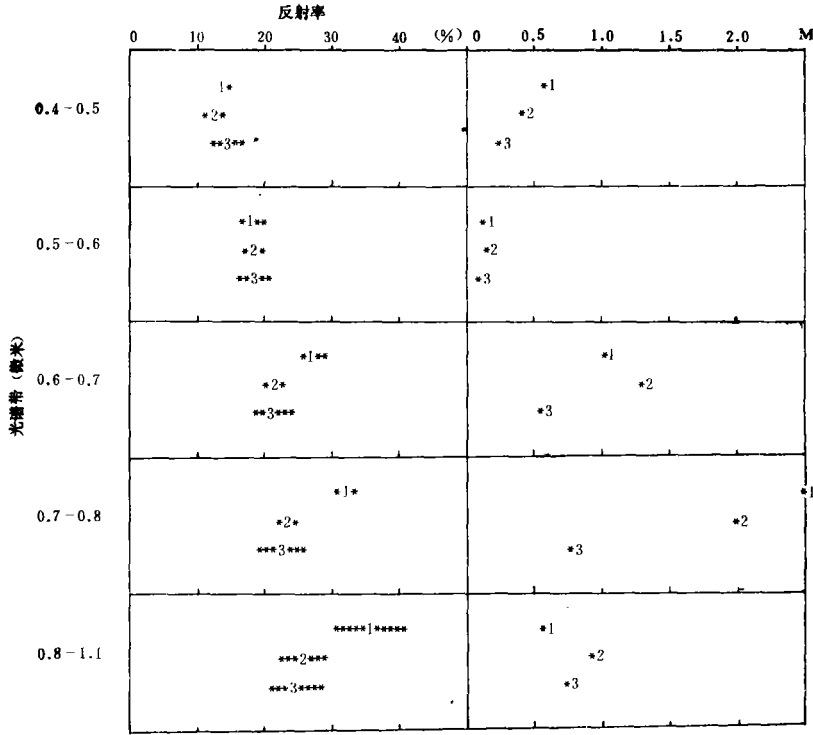


图 9 变质岩重合光谱及 M 值图表
 Fig. 9 Coincident spectral and the M value plots of metamorphic cure rock
 1. 铁质千枚岩 2. 黑云母石英片岩 3. 二云母石英片岩

四、结 论

从上述岩石反射光谱特征的研究和最佳可分性波段的选择分析,可以初步得出如下结论:

(1) 在可见光和近红外波段(0.4—1.1 微米),岩石的反射光谱信息存在某些差异,诸如岩石的成份及其引起的色调差异,结构引起的色调差异等,都与反射光谱信息有较好的相关,对于区分某些岩类是可行的。但是,由于岩石本身同类异谱和异类同谱的存在,加之,在这个波段范围没有多少特征光谱带,以及野外测试环境的复杂性,因而,要区分千姿百态的各种岩石,在这个波段还是有一定困难的。

(2) 岩石最佳可分性波段的选择工作,对于遥感传感器最佳工作波段选择以及遥感图象成象机制的分析都是有意义的,然而,由于在这个波段存在上述各种问题,我们认为,就整个可见光波段来说,仅用反射光谱区分不同岩石,其可分性还是有限的,因此,这里的所谓遥感最佳波段的选择只是一种方法性的论证。

(3) 鉴于上述两点体会,再加上国内外的各种资料,我们建议,对于岩石遥感最佳可分性波段的选择应放在中红外波段(1.3—2.5 微米)及热红外波段(8—14 微米),因为对于

岩石来说,在这些波段中有较丰富的反射光谱和发射光谱信息,不仅如此,还要选择那些可识别岩石特征谱带的窄带光谱,如果能发展成象光谱,那么,岩石信息的提取就会大大深入一步。

参 考 文 献

- [1] 地质部情报研究所编,遥感专辑(第一辑),地质出版社,1980年。
- [2] 刘子贵,潘中海,李钦雄,长春试验区航空遥感图象在地质构造研究中的应用,吉林人民出版社,1981年。
- [3] Barry S. Siegal, Alan R. Gillespie Remote Sensing in Geology, Printed in United States of America, 1980.

The Research of the Reflective Spectral Characteristics of Rock in Gansu

Liu Zigui Pan Zhonghai Li Qinxiong
(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

We have surveyed the field spectral reflectivity of partial typical rock in Gansu by the 101W model field spectroradiometer made in China, and we have discussed the spectral reflectance characteristics and the relative differences about igneous rock, sedimentary rock, carbonatite and metamorphic rock in the same bands with Landsat MSS.

According to the methods of the coincide spectral plot and the standard deviation, we have discussed the selection of the optimum band for discrimination of aforesaid rocks. We have suggested the separability of distinguishing the rocks among five bands in 0.5—1.1 μ m wavelengths.