

# 新疆岩石 2.0—2.5 微米地面光谱数据的特点分析

王建宇 郭一平

(中国科学院上海技术物理研究所)

1989年1月18日收稿

## 摘 要

本文介绍使用 2.0—2.5 微米多通道辐射计,对新疆金矿区、油田及多金属矿区的岩矿所进行的地物光谱采集、整理和分析工作。在岩矿的地物光谱中—OH、 $\text{CO}_3^{2-}$  的作用相当明显,因此应用该方法对于寻找蚀变带十分有效。不同地区同类岩矿的地物光谱特征相同,受表面色调的干扰比可见—近红外波段要少,故有利于开展光谱工作和区分岩性。通过实验室工作论证,该方法对于  $\text{Fe}^{+3}$  和微量烃类渗漏也有相当强的探测潜力。文中最后以某矿区岩(矿)为例,介绍岩(矿)分类工作,通过空间变换,减少参量间的相关性和特征参量的维数,分类正确率可达 95.3%。

**关键词** 红外地物光谱 多通道辐射计

## 一、引 言

应用遥感技术找矿是一门新兴的技术,目前在国际上这方面的工作发展很快。应用遥感的方法来区分岩性,寻找蚀变带及进一步找矿,主要利用矿物质内部分子振动所引起的反射光谱的差异,不同的分子结构在反射光谱中有不同的特征值,利用这些特征就可以区别各种不同的矿物。地球表面大多数自然存在的矿物质在 2.0—2.5 微米范围内有着丰富的吸收和反射特征<sup>[1,2]</sup>,这是由于矿物质晶格中的—OH、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  以及各种金属离子,各种氧化物的振动的中心波长及其谐波所造成的,这些特征值的带宽约为 20—40 毫微米。由于这些特征值的存在,使 2.0—2.5 微米波段成为比较理想的找矿波段,目前陆地卫星上 TM7 波段虽然覆盖了这个光谱区,但因带太宽而掩没了这些特征值。为了能够探测到这些特征值,就要求遥感仪器有更高的光谱分辨能力,国外在这方面已做了大量的工作<sup>[3,4]</sup>,应用红外细分光谱的 6 个波段找矿是有效的方案之一。红外细分光谱的 6 个波段是对 2.0—2.5 微米的 64 通道光谱仪所测的岩矿样品数据进行相关分析的基础上,去掉冗余信息,最后得到的 6 个光谱波段<sup>[4]</sup>,其中心波长分别为: 2.035、2.087、2.143、2.200、2.280、2.380 微米,每个波段的带宽为 0.1 微米。经使用证明这 6 个波段对识别 2.0—2.5 微米波段内矿物的特征值和吸收带效果显著。

1985 年中国科学院有关部门着手组织“红外细分光谱在新疆地质找矿中应用研究”的课题,首次在国内开展这方面工作。试验中使用航空红外细分光谱扫描仪<sup>[5]</sup>获得航空

遥感图片,同时开展地面光谱研究工作。1986年至1987年在新疆西准格尔的哈图、萨尔托海、哈密等地区的金矿区,阿尔泰、喀拉通克的多金属矿区,以及克拉玛依的油气矿区实地测试、采集,研究了数十种岩石和数个矿区的十多条剖面,收集了数千组数据,获得了许多有价值的原始资料。

## 二、测量仪器和测试方法

### 1. 仪器

在地面光谱数据测试中所用的仪器是由中国科学院上海技术物理研究所研制的野外多通道辐射计<sup>[6]</sup>,该仪器共有6个通道,工作波段可以根据需要,通过选择不同的滤光片而得到,本课题选用了上述的红外细分光谱的6个波段,仪器的主要技术指标如表1所示。

表1 多通道辐射计的主要技术指标  
Table 1 Specifications of Multi-Channel Radiometer

工作波段的 中心波长(微米)	2.035; 2.200;	2.087; 2.280;	2.143 2.380
波段带宽(微米)	0.1		
视场(度)	15		
动态范围	10 <sup>3</sup>		
NE $\Delta\rho$	$\leq 0.5\%$		
测量时间(秒)	$\leq 1$		
探测器	PbS		

### 2. 测量方法

对同一坡面的同一岩石选取8—12个测样点,然后再取其平均值和标准差来表示该岩石的光谱数据。仪器测高约1.20米,垂直测量,在每个测点测量之前,先测标准板,标准板与地面平行放置,然后再测目标。测量时间按地方太阳时间10—15时进行,太阳角 $> 50$ 度。并对被测岩石进行详细描述和采样,事后样品作分析鉴定。

## 三、岩石光谱数据的主要特征

### 1. 金矿区蚀变岩石的光谱特征

蚀变带是成矿的一个主要标志,因此寻找蚀变带成了找矿的重要一步。在地面工作中对哈图和萨尔托海的金矿区的几种蚀变的和非蚀变的主要岩石、矿体进行了大量的测量。其中有含金蚀变岩或含金石英脉、玄武岩、凝灰岩、石英岩、石英菱镁岩、蛇纹岩、粘土、砂岩等,图1a和b分别是在哈图和萨尔托海测得的几种岩石的光谱曲线。各种岩石

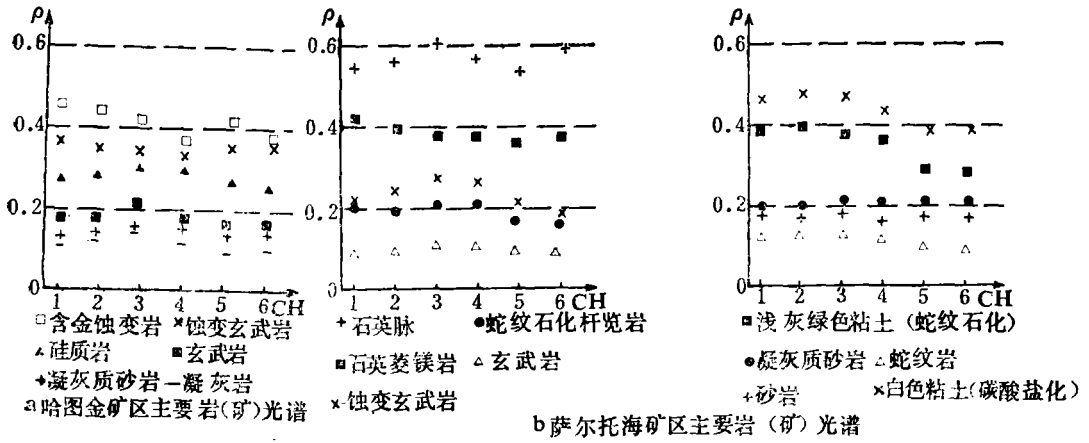


图 1 金矿区主要岩(矿)光谱曲线

Fig. 1 Spectral Curve of Rocks measured in Gold Mining Areas

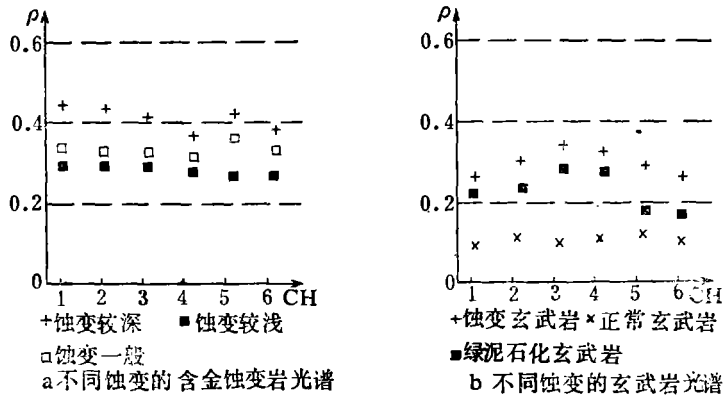


图 2 不同蚀变程度的岩(矿)光谱曲线

Fig. 2 Spectral Curve of Different Alteration Rocks

按光谱反射率高低排列为：石英脉、石英菱镁岩、粘土、含金蚀变岩、凝灰岩、砂岩、玄武岩和蛇纹岩。从光谱特征看主要是蚀变岩石的反射率高于非蚀变岩石的反射率，而且蚀变程度越深，反射率越高，图 2a 是三组不同蚀变程度的含金蚀变岩的光谱曲线，反射率高的对应于蚀变程度深，图 2b 是正常玄武岩和不同蚀变的玄武岩的光谱曲线。蚀变岩石的光谱吸收特征主要有：羟基—OH 在 2.20 微米附近的强吸收使含金蚀变岩中第 4 通道反射率下跌，就是这个吸收谷引起的；碳酸根  $CO_3^{2-}$  在 2.35 微米附近的吸收也对许多岩石的光谱曲线产生影响，使岩石的反射光谱曲线的第 5、6 通道的数值降低，最明显的是粘土(包括碳酸盐化和蛇纹石化)的光谱曲线。另外如含金蚀变岩、蚀变玄武岩、石英菱镁岩的光谱曲线中都有这种现象。有关文献[7]的报道和实验室内对野外收集的岩(矿)样本的测量也证实了这两个吸收谷的存在，这是由于蚀变岩石中羟基和碳酸盐矿物作用的结果。图 3 为含金石英脉和一些蚀变岩在实验室所测得的光谱曲线。在 2.2 微米和 2.35 微米附近

存在明显的吸收特征,这说明羟基-OH 在 2.2 微米附近,碳酸根  $\text{CO}_3^{2-}$  在 2.35 微米附近的吸收特征,为区别蚀变岩石和非蚀变岩石提供了重要的依据。通过光谱反射率的吸收特征及反射率的高低能够基本区别蚀变和非蚀变岩石,并能部分反映蚀变程度。

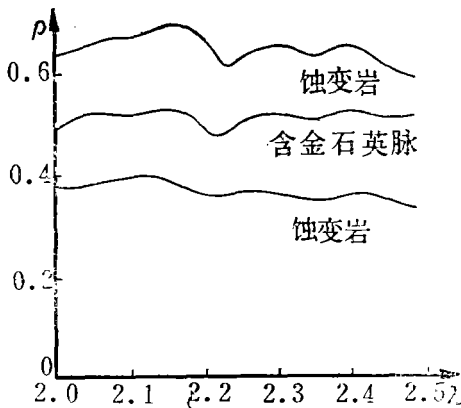


图 3 实验室测得的蚀变岩石的光谱曲线  
Fig. 3 Spectral Curve of Alteration Rocks measured in laboratory

### 2. 三价铁离子 $\text{Fe}^{+3}$ 的光谱特征

由于金矿体和多金属矿体的表生带普遍发育着铁帽,因此寻找铁帽也有十分重要的意义,经测量发现铁帽以及其他含  $\text{Fe}^{+3}$  较高的岩(矿)的反射率在 2.15 微米附近为反射峰,在铁帽的光谱数据中第 2、3 通道的反射率明显高于其它通道,同时由于  $\text{CO}_3^{2-}$  的作用,第 5、6 通道的数据变小,使得  $\rho_3/\rho_6$  的数值很大,因此铁帽很容易区分。实验室内测量也证明了含有  $\text{Fe}^{+3}$  (如  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 的岩矿的反射光谱在 2.15 微米附近有反射峰值出现<sup>1)</sup>,规律是峰的位置大致不变,峰的高低与  $\text{Fe}^{+3}$  的含量有关,含量越高,反射峰的峰值亦越高。图 4a 是实验室内所测的含有  $\text{Fe}^{+3}$  矿物的光谱曲线,反射率高的对应于  $\text{Fe}^{+3}$  含量高的矿石。图 4b 是野外所测的一组包括铁帽、含有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的矿石以及含有三价铁的辉绿岩和具有赤铁矿薄膜的紫苏辉长岩。紫苏辉长岩的光谱中有两个主要因素起作用,其一是 2.15 微米附近赤铁矿薄膜中  $\text{Fe}^{+3}$  的作用使第 2、3 通道的反射率变高,其二是 2.2 微米附近-OH 的吸收使第 4 通道的反射变低,所以综合反映是反射峰的位置移到了第 2 通道,又因为赤铁矿薄膜仅占岩体表面的一部分(约表面的 40—60%),故平均反射率要低于实验室用单矿物测量的结果。

反射光谱在 2.15 微米附近有反射峰值出现<sup>1)</sup>,规律是峰的位置大致不变,峰的高低与  $\text{Fe}^{+3}$  的含量有关,含量越高,反射峰的峰值亦越高。图 4a 是实验室内所测的含有  $\text{Fe}^{+3}$  矿物的光谱曲线,反射率高的对应于  $\text{Fe}^{+3}$  含量高的矿石。图 4b 是野外所测的一组包括铁帽、含有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的矿石以及含有三价铁的辉绿岩和具有赤铁矿薄膜的紫苏辉长岩。紫苏辉长岩的光谱中有两个主要因素起作用,其一是 2.15 微米附近赤铁矿薄膜中  $\text{Fe}^{+3}$  的作用使第 2、3 通道的反射率变高,其二是 2.2 微米附近-OH 的吸收使第 4 通道的反射变低,所以综合反映是反射峰的位置移到了第 2 通道,又因为赤铁矿薄膜仅占岩体表面的一部分(约表面的 40—60%),故平均反射率要低于实验室用单矿物测量的结果。

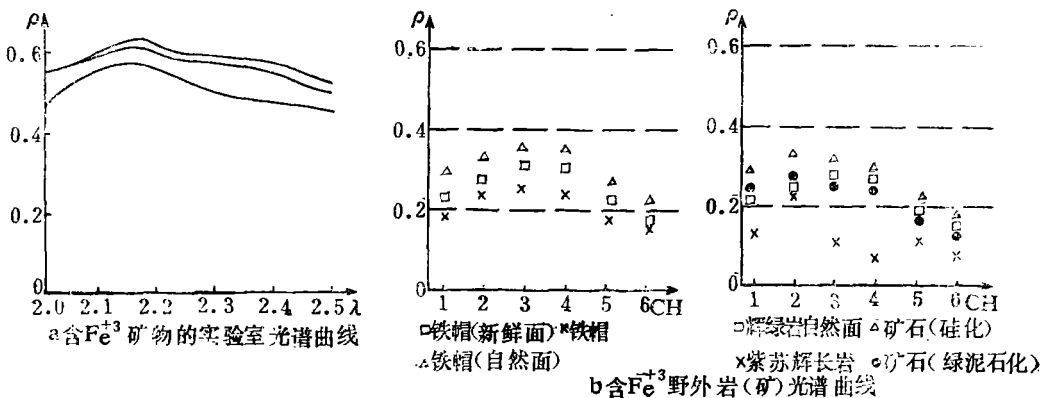


图 4 含  $\text{Fe}^{+3}$  的岩(矿)光谱曲线

Fig. 4 Spectral Curve of Rocks with  $\text{Fe}^{+3}$

1) 关于  $\text{Fe}^{+3}$  离子的分析与实验室验证材料由贵阳地化所杨柏林同志提供。

### 3. 含烃类岩石的光谱特征<sup>1)</sup>

乌尔禾沥青矿位于克拉玛依油田以北 60 公里处,图 5a 和图 5b 分别为在乌尔禾沥青山所测的长石砂岩(该地区以长石砂岩为主);沥青矿围岩(即含沥青砂岩);原生沥青的光谱曲线和在克拉玛依黑油山所测的砂砾岩、含油砂岩和原油的光谱曲线。结果表明仪器对烃类物质非常敏感。

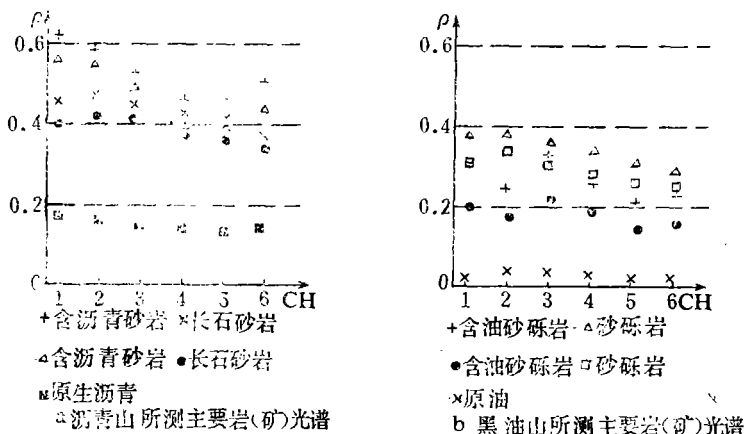


图 5 含烃类岩(矿)的光谱曲线

Fig. 5 Spectral Curve of Rocks with hydrocarbon

图 5a 中的长石砂岩的光谱特点为第 2 通道最高,向长波方向缓慢降低,而沥青矿围岩由于烃类物质的渗入,使得光谱曲线十分异常,并在第 4、5 通道表现为强吸收特征。图 5b 中含油砂砾岩也在第 2 和第 4 通道出现了明显的吸收特征,而其他通道的反射则与砂砾岩基本相同。

由于石油是多种碳氢化合物的混合物,成份十分复杂,烃类物质在红外光谱中具有许多吸收带,这是由于碳氢化合物中碳原子和氢原子不同的结合方式而引起不同的振动所产生的,不同的烃类吸收特点有所不同,而它们的混合物情况就更加复杂,所以目前还没有简单的模式来解释这一现象,但作为通过遥感手段来发现光谱异常区域从而进一步找油还是很有意义的。

### 4. 岩矿表面色调对光谱特征的影响及不同测点同类岩(矿)光谱的比较

同类岩石的表面色调存在差异,所以在可见—近红外波段内岩石表面色调的变化将直接影响光谱反射特性,引起岩石同类异谱的现象,这给应用可见—近红外反射光谱来区分岩性带来困难。而在 2.0—2.5 微米波段情况就不一样,图 6a 为两条柘榴子石绿片岩的反射光谱曲线,反射率较高的为正常岩石,而反射率较低的曲线则是岩石表面存在黑色岩漆,并带有少量的绿色苔鲜,比较两条光谱曲线,带有黑色岩漆的反射光谱除反射率略低

<sup>1)</sup> 这部分工作与兰州地质所刘子贵等人合作。

以外,变化规律则与正常岩石相同,图 6b 为二条石英钠长斑岩的反射光谱曲线,反射率低的表面也存在黑色的岩漆。可见 2.0—2.5 微米反射光谱特性受岩石表面色调的影响比可见—近红外波段少,选择这个波段进行遥感找矿比可见—近红外波段更佳。

同类岩石在不同测点所得到的数据存在一定差异,一般同类岩石在同一矿区内不同测样点之间反射率变化范围为 15—25%,对同类岩石在不同矿区所测的反射率变化则更大些,有些可达 35%。这是由于岩石的露头、破碎、色调、混杂以及蚀变程度的不同而引起的,但也有些地区同类岩石在不同的测点的复合情况很好,差异在 5% 左右。图 7 是不同测点得到的两类岩石(玄武岩、砂岩)的反射光谱曲线,从图中的曲线分析可知,尽管不同测点岩石的反射率高低存在差异,而反射光谱的变化规律和吸收,反射特征对于同类岩石却基本不变,这就为利用各通道之间的变化规律来区分岩性提供了基础。

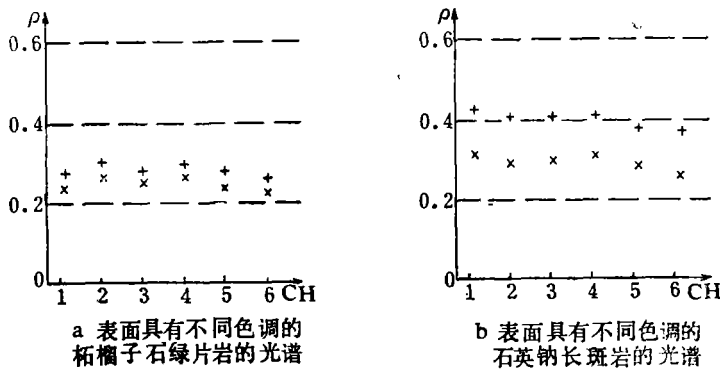


图 6 同类岩石表面具有不同色调光谱的比较

Fig. 6 Comparison of Spectral Curves of Same Rocks with different colour in surface

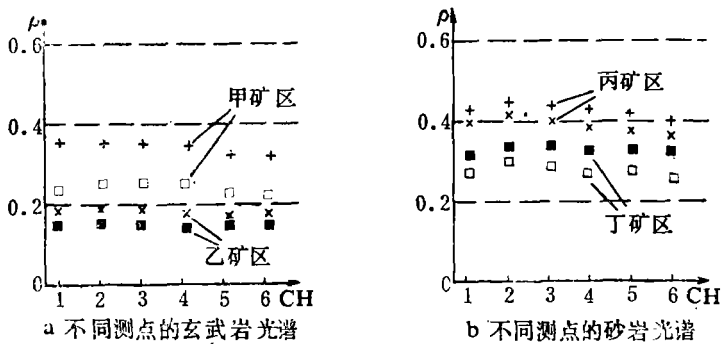


图 7 同类岩石不同测点的光谱比较

Fig. 7 Comparison of Spectral Curves of Same Rocks measured in different place

#### 四、数据分析和结果讨论

野外测试结束后,对在哈图、萨尔托海、乌尔禾、克拉玛依、阿尔泰、喀拉通克等地区所

获得的全部数据共计 150 多种岩石、近 2000 组数据进行了处理。

首先是计算了每种岩石 8—12 个测样点 (个别的只取 3—5 个测样点) 的平均反射率和标准差。计算结果表明, 对于同类岩石在不同测点的光谱数据的标准差约为反射率本身的 15—25% 左右。通过平均反射率和标准差的分析, 已经能够区分许多不同类别的岩石, 如含烃类矿物与不含烃类矿物经这样简单处理已能准确区分。对于标准差较大的岩石, 这样简单的处理将会产生误分现象, 然而利用同类岩石反射光谱的变化规律和吸收、反射特征基本不变这一特点, 就能得出正确率更高的分类结果。

表 2 不同波段之间的相关系数

Table 2 Correlations Coefficient between Different Bands

相关系数 波段	波段				
	二	三	四	五	六
一	0.9934	0.9666	0.9656	0.9687	0.9606
二		0.9850	0.9809	0.9770	0.9681
三			0.9945	0.9761	0.9748
四				0.9824	0.9744
五					0.9881

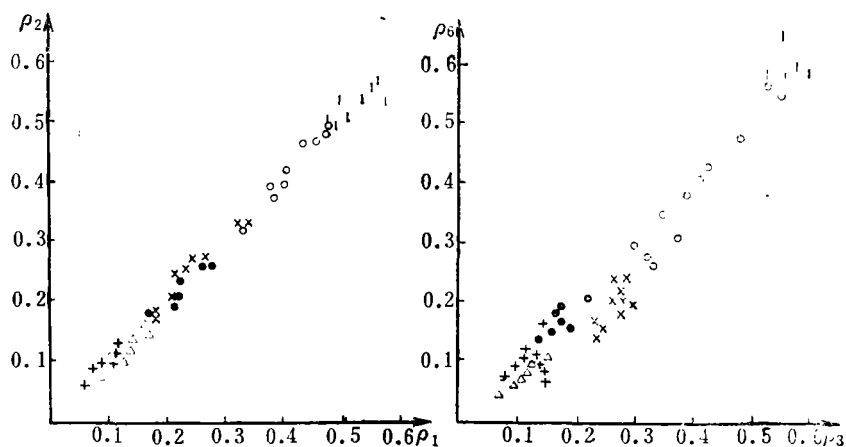


图 8  $\rho_1 \sim \rho_2, \rho_3 \sim \rho_6$  样本分布

Fig. 8 Distribution of Samples in  $\rho_1 \sim \rho_2$  and  $\rho_3 \sim \rho_6$  Spaces

下面以某金矿点 6 类主要岩石的 150 多测试点的光谱数据为例进行分析。首先是用 6 个通道的反射率作为 6 个参量以最小距离法直接进行分类。分类正确率达到 83.5%, 其中错分部分主要是平均反射率比较接近的岩石类别之间出现的, 这是由于 6 个通道的数据之间的相关性很大, 各通道之间的相关系数计算结果如表 2 所示, 最大的达 0.9945, 最小的也有 0.9606, 且波段之间的波长距离越近, 相关越大。图 8 是  $\rho_1 \sim \rho_2, \rho_3 \sim \rho_6$  的样本分布, 由图 8 可见所有样本基本上都集中在斜率为 45 度的对角线上, 许多不同类别的样本都混迭在一起, 且在  $\rho_1 \sim \rho_2$  组成的空间里样本分布比在  $\rho_3 \sim \rho_6$  空间里分布更集中, 可

见  $\rho_1$  与  $\rho_2$  的相关比  $\rho_3$  与  $\rho_6$  的更大。

要从这些数据中对不同岩石作出正确性更好的分类, 关键是从 6 个波段的数据中去掉或尽量减少它们之间的相关性和冗余信息, 这样既有可能减少参量的维数, 又能提高分类的正确率。选取 6 个波段的平均反射率  $\bar{\rho}$  作为第一参量, 因为根据主成份分析表明, 占全部信息量 90% 以上的第一主成份基本上就是平均反射率  $\bar{\rho}_0$  另外再选取 6 个波段的反射率对平均反射率的均方差  $\sigma$  作为第二参量, 用来反映光谱曲线的起伏程度和吸收特性。

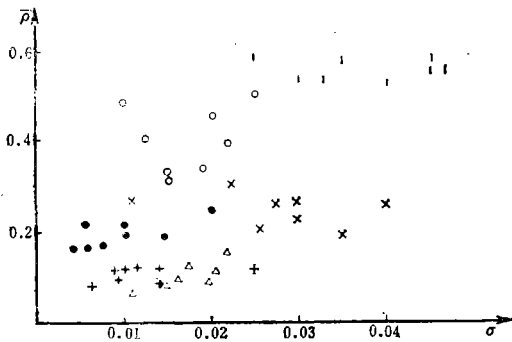


图 9  $\bar{\rho}$ - $\sigma$  样本分布

Fig. 9 Distribution of Samples in  $\bar{\rho}$ - $\sigma$  Space

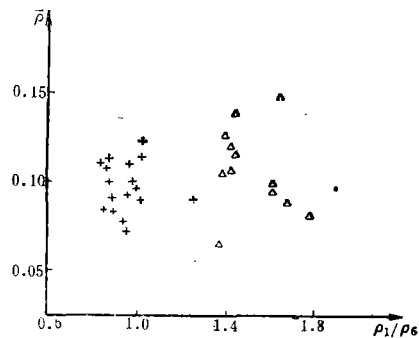


图 10  $\bar{\rho}$ - $\rho_1/\rho_6$  样本分布

Fig. 10 Distribution of Samples in  $\bar{\rho}$ - $\rho_1/\rho_6$  Space

经计算表明  $\bar{\rho}$  与  $\sigma$  的相关系数  $r_{\rho\sigma}$  为 0.55。图 9 是样本在  $\bar{\rho}$  和  $\sigma$  组成的  $\bar{\rho}$ - $\sigma$  空间里的分布图。计算和作图都说明经变换后样本在  $\bar{\rho}$ - $\sigma$  空间中分布密度减小, 类别之间的混迭现象变少。用这两个参量来进行分类, 分类结果正确率达到 89.0%, 可见通过合理的参量选择, 不但参量数从 6 个减少到 2 个, 而且还提高了分类的正确率。

进一步分析图 9 可知样本“+”和“ $\Delta$ ”这两类岩石仍有混迭现象, 这是由于它们的  $\bar{\rho}$  与  $\sigma$  都很接近。再选  $\rho_1/\rho_6$  的比值作为第三参量, 用它来反映曲线的变化方向, 图 10 是样本在  $\bar{\rho}$ - $\rho_1/\rho_6$  的空间中的分布图, 原来在图 9 中有混迭的两类岩石在  $\bar{\rho}$ - $\rho_1/\rho_6$  空间中就被分开了。加入这个参量后, 分类正确率提高到 95.3%。

对光谱数据经以上讨论和分析, 可得如下结论:

1. 红外细分光谱 6 个波段的光谱数据能够较好地反映出各类岩石的不同特征值, 特别是能检测到  $-\text{OH}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Fe}^{+3}$  以及烃类矿物质引起的吸收或反射特性。
2. 根据光谱反射率的高低和光谱吸收特征能够区分大部分岩石的岩性, 特别是在区分蚀变岩石和非蚀变岩石上效果明显, 这对于用遥感方法寻找蚀变带, 从而进一步找矿是很有价值的。
3. 反射光谱数据受岩石表面色调的干扰小, 不同地区同类岩石(矿)光谱规律基本相同。
4. 6 个波段数据之间的相关性较大, 用 6 维的数据直接进行分类处理也不方便, 通过数据的空间变换, 去掉冗余信息, 不但能够减少参量的维数, 并能提高分类的正确率, 说明数据处理方法尚有潜力。

地面光谱数据的分析为航空遥感试验提供了很有价值的第一手资料, 通过航空遥感器对重点地区的航空遥感试验, 结合地面光谱数据对遥感图像经一定的处理也取得了预期的效果, 各种结果都表明红外细分光谱的 6 个波段是良好的遥感找矿波段。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] G. R. Hunt, Near-infrared (1.3—2.4  $\mu\text{m}$ ) Spectra of Alternation Minerals-Potential for Use in Remote Sensing, *Geophysics*, Vol.44. p. 1974—1986 No.12, 1979.
- [ 2 ] F. E. Volz, Infrared Specular Reflectance of Pressed Crystal Powders and Mixtures, *Appl. Opt.* 22(12), p. 1842—1855, 1983.
- [ 3 ] A. F. H. Goetz, J. B. Wellman and W. L. Barnes, Optical Remote Sensing of the Earth, *Proceeding of the IEEE*, 73(6), p. 950—969, 1985.
- [ 4 ] W. Collins, S. H. Chang, T. A. Yu, Y. Q. Xue, C. Y. Wu and D. J. Qiu, First Results From a New Multichannel Narrow-Band IR Scanner *Proceeding of 4th International Conference on Remote Sensing of Environment*, p. 151—152, 1985.
- [ 5 ] Xue Yongqi, Wang Changyong, A 2—2.5 Microns Multichannel Narrow-Band Scanner with Flying Test Result, *Proceeding of the Beijing International Symposium on Remote Sensing*. Nov. 18—22, 1986.
- [ 6 ] 郭一平, 便携式多通道辐射计及其应用, 《环境遥感》第 3 卷, 第 3 期 p. 227—234, 1988 年 9 月。
- [ 7 ] G. R. Hunt and R. P. Ashley, Spectra of altered rocks in the visible and near infrared, *Econ. Geol.* Vol. 74, p. 1613—1629, 1979.

## The Analysis for 2.0—2.5 $\mu\text{m}$ Field Spectral Data Features of Mineral Rock in Xinjiang

Wang Jianyu Guo Yiping

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

### Abstract

Recently, the technology, through using remote sensing to classify rock, seek altered belt and to find mine eventually, has developed rapidly. Because vibration of  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , metal ion and oxide inside rock and mineral yield the great number of sharp and unique spectral absorption features mainly in the region 2.0—2.5  $\mu\text{m}$ , so that research in this aspect is very active. In this paper, the process to obtain and analysis the field spectral data is described using a multiband radiometer which has the same bands with airborne multichannel IR scanner used at gold mining areas, oil mining areas, etc in Xinjiang, because the effects of  $\text{OH}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  in spectra of rocks is obvious, so that the method is very useful in seek altered belt. The spectra of same rocks in different place are similar. The interfere caused by colour of rock surface in 2.0—2.5  $\mu\text{m}$  is less than that in visible-near infrared band. The method also have greater potentiality in seek rocks with  $\text{Fe}^{+3}$  and rocks with hydrocarbon. It also deal with the classification results for rocks in a gold mining areas according to the material mentioned. By variates space transformation the correlation between variates and the numbers of variate have been decreased and the correct rate of classification has reached 95.3%.

**Key words** infrared field spectra multichannel radiometer