基于光谱特征的遥感信息提取及成矿预测①

张建国[1]，杨自安[2,3]，胡祥昭[1]，邹　林[3]
（1. 中南大学，湖南 长沙　410083；2. 中国地质大学，北京　100083；
3. 有色金属矿产地质调查中心，北京　100814）

摘　要：通过对青海茫崖地区蚀变岩和矿化围岩的光谱测试，以及光谱特征分析，采用基于光谱特征的遥感找矿信息增强处理技术，直接从 TM 图像中提取与金属矿化有关的蚀变信息，结合区域地质背景与成矿条件，进行试验区的成矿预测与靶区圈定，取得了很好的实际应用效果。

关键词：遥感勘探；成矿预测；光谱测试；信息提取
中图分类号：P627　　文献标识码：A　　文章编号：1001－5663(2004)04－0346－04

0　引言

试验区选在青海茫崖地区，该区位于阿尔金山东段、柴达木盆地北缘，地跨新疆维吾尔自治区若羌县和青海省茫崖镇，是一个高中山地与戈壁相间的高寒山区。区内成矿地质环境和成矿条件十分复杂，矿产资源丰富，具有很大的找矿前景。该地区地势险峻，气候恶劣，交通不便，利用遥感技术进行矿产资源调查和潜力评价，充分显示了其优越性。

本次遥感工作主要是在该地区提取与金属矿化有关的找矿异常信息，从而进行综合成矿预测，为进一步开展地质勘探工作提供基础资料和有力依据。

首先，对试验区内的蚀变岩和矿化围岩进行了光谱测试，根据反射光谱曲线特征和聚类分析结果，把岩(矿)石大致分为六类；再采用图像掩膜、比值运算、图像分割等基于光谱特征的遥感找矿信息增强处理技术，并结合控矿地层、岩石及构造信息和区域地质矿产资料，对试验区进行矿化蚀变信息提取，量化圈定了可能与成矿蚀变矿物分布有关的遥感异常；然后，在此基础上进行遥感综合成矿预测，圈定了 5 个遥感找矿靶区。

1　区域地质概况

试验区地层发育不完整，又因断层破坏，各时代地层完整性也较差，出露地层主要有：(1)元古界的片麻岩、大理岩、片岩及砂岩等；(2)古生界奥陶系和泥盆系的滨海－浅海相的碳酸盐岩－硅质岩建造；(3)中生界的三叠系、侏罗系和白垩系，为一套陆相地层；(4)新生界的砾岩、砂岩和泥岩等。其中，中元古界是金矿的主要矿源层和赋矿层位，上古生界常常控制沉积改造型、火山岩型铅、锌、金、铁等矿床的产出，三叠系为锑、金矿的赋矿层；第三系为盐类、砂金、油气的主要含矿层。

区内褶皱和断裂构造十分发育，呈 EW、NEE、NW 向展布。主要褶皱构造有额兰塔格复向斜、索尔库里南背斜、阿卡吐塔格－阿哈提山褶曲带、平顶山向斜、野马滩向斜、阿克提山复向斜、干柴沟－南翼山中生代－新生代褶皱区、南翼山－油泉子复背斜等。断裂构造分为三个构造区：(1)阿斯滕塔格－金雁山断裂带，出现于额兰塔格复向斜部位，总体呈 EW 向展布，以压扭性断裂为主体；(2)阿尔金山南缘断裂带，为阿尔金山南缘大断裂的主体，两侧分列多条次级的断裂构造带，断裂带总体呈近 EW－NEE 向展布。(3)大浪滩－南翼山－油泉子断裂区，该断裂发育在新生界上，呈 NW 向，大多沿新生界背斜轴线展布。

2　地物光谱测试分析

众所周知，地物的反射辐射特征，即光谱特征，是

① 收稿日期：2005－05－20　作者简介：张建国(1978－)，男，硕士，主要从事遥感技术的应用与开发工作。
基金项目：中国地质调查局地质大调查项目(编号 200140113)资助

遥感地质信息的基础来源，是遥感技术识别各类地物的主要依据，也是应用遥感技术开展资源调查的理论基础。通常由于受其它因素的干扰，引起地物光谱特征产生异样变化，使其光谱曲线表现出异物同谱、同物异谱等多变化现象，因此，这就需要用专业的处理方法来剔除干扰信息，把反映矿化蚀变的遥感信息提取出来。

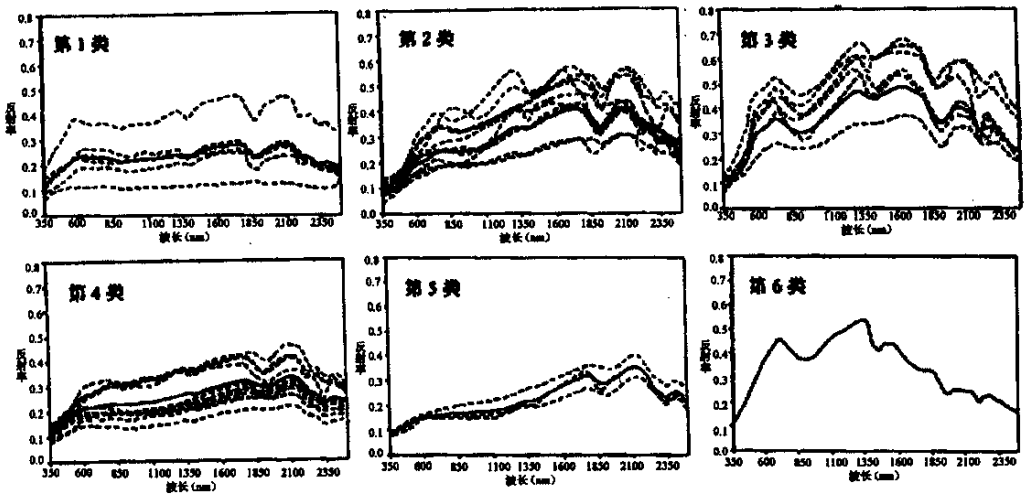


图1　聚类分析结果的光谱曲线图

Fig. 1　Spectrum curve diagram of clustering analysis result

横坐标为波长(0.35μm～2.4μm)，纵坐标为反射率(0～100%)；虚线为单个样品的光谱，实线为各样品的平均值曲线。

为了获取试验区的地物光谱特征，为遥感找矿信息提供准确有效的依据，采用剖面(点)测试和测场两种测试方法，从可见光到短波红外光谱(0.35μm～2.5μm)，对与多金属矿化有关的蚀变岩石及矿化围岩进行了波谱测试。蚀变岩石包括褐铁矿化、菱铁矿化、黄钾铁矾化、绿泥石化、绿帘石化、粘土化、碳酸盐化、蛇纹石化或硅化等类型的岩石；矿化围岩包括凝灰岩、花岗岩、花岗闪长岩、石英斑岩、砂岩、角斑岩等。

通过对光谱测试数据的聚类分析，将样品分为6类(图1)。(1)第1类为未蚀变岩，在1.9μm波长附近存在水吸收带。(2)第2类为弱蚀变岩，光谱曲线在0.5μm～1.8μm波段之间呈上升趋势，在0.9μm波长附近存在较强的Fe^{3+}吸收带，在2.35μm波长附近出现碳酸盐矿物的特征吸收谱带。(3)第3类为蚀变岩，在可见光波段0.5μm以下普遍存在强吸收，在0.9μm波长附近存在铁氧化物的宽缓吸收带，呈现Fe^{3+}含量较高的特征；在1.9μm波长附近存在强吸收带，根据岩石鉴定结果分析，此吸收带主要是由绿泥石化和绿帘石化等含羟基矿物蚀变引起的；在2.2μm波长附近还存在粘土矿物的特征吸收带。(4)第4类为区域蚀变岩，光谱曲线在0.5μm～1.8μm波段之间为缓斜上升，在1.9μm和2.35μm波长附近出现吸收带，这类岩石普遍具有碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等，未见铁化作用。(5)第5类为区域蚀变火山岩，光谱曲线在1.9μm波长附近出现含OH^-的矿物吸收带(主要是绿泥石)，在2.35μm波长附近出现碳酸盐矿物的特征吸收带，最大值位于2.1μm附近。(6)第6类为构造蚀变岩，在0.6μm～1.6μm波段之间反射率较高，在1.6μm～2.5μm波段之间逐渐下降，在0.8μm～1.9μm波段之间存在明显的宽缓吸收带，岩石鉴定结果表明，吸收带为强黄铁矿化和黄钾铁矾化蚀变的反映。

3　遥感找矿信息提取

3.1　图像光谱特征分析

根据上述岩矿石反射光谱的特性，对比TM谱段的性能，可以看到：含铁的岩矿石在TM1－TM4波段有强的吸收带，当$w(Fe^{3+})>w(Fe^{2+})$时，主要的吸收谱带位于TM4和TM1波段，TM3波段则具有的反射特征；当$w(Fe^{2+})>w(Fe^{3+})$时，则主要吸收带位于TM1波段，对于波长相当于TM2波段的电磁波则有某种程度的反射。当岩矿石是较纯的碳酸盐矿物以及含大量OH^-的矿物参与组成的粘土质等岩(矿)石时，在TM1－TM5波段具较高的反射率，在TM7波段则有强烈的吸收带。新鲜的酸性、中酸性侵入岩及含长英质矿物的少数碎屑沉积岩和变质

岩在 TM 各波段都没有强吸收带，而含大量不透明金属矿物的火成岩及变质岩则无明显的反射特征谱带。

查明了以上特征就可以区分岩石中 Fe、OH^-、CO_3^{2-} 等相对量的多寡，从而识别不同的岩(矿)石，甚至识别各种不同类型的蚀变岩。

3.2 遥感找矿信息提取

试验区中与金属矿化有关的蚀变分为铁化(如褐铁矿化)、泥化(如碳酸盐化、粘土化、绿泥石化)、硅化等不同类型岩石，对它们可通过不同波段的组合变换得以增强识别。铁化蚀变矿物富含 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 离子，在 TM3 表现为相对的强反射，在 TM1、TM2 和 TM4 波段则表现为不同程度的相对于 TM3 的吸收特征；泥化蚀变矿物富含水(H_2O)、羟基(OH^-)或碳酸根(CO_3^{2-})等基团，在 TM7 波段都有强的吸收带，在 TM5 波段则为强反射，即在这两个波段之间存在微弱的光谱反差；硅化富含 SiO_2，在 TM6 波段表现为高吸收，直接对 TM6 波段取阈值即可得到硅化蚀变遥感异常信息。

由于试验区内还存在第四系覆盖物、戈壁荒漠区等环境因素的影响，在提取矿化蚀变遥感异常信息时，首先应对其进行图像掩膜处理，去掉第四系覆盖、戈壁荒漠等干扰信息，然后进行增强提取。主要采用“克罗斯塔法”(又称特征主成分)选择技术，即选择与特定光谱信息有关的波段作为输入波段，去除那些关系不大的波段，减少干扰因素，突出目标物特征。

3.2.1 铁化蚀变遥感异常

采用 TM1、3、4、5 四个波段进行主成分分析，从表 1 可以看出，主分量 PC3 反映了对于 TM3 波段相对高反射，而对于 TM1 波段为强吸收的富 Fe^{3+} 矿物的光谱特性，可对此遥感异常图像采用直方图均衡化、均值滤波、彩色密度分割等方法，量化圈定出铁矿化蚀变遥感异常。

3.2.2 泥化蚀变遥感异常

采用 TM1、4、5、7 四个波段进行主成分分析，从表 2 可以看出，主分量 PC4 反映出对于 TM7 波段相对强吸收，而对于 TM5 波段为强反射的羟基矿物的光谱特性，也可对此遥感异常图像采用直方图均衡化、均值滤波、彩色密度分割等方法，量化圈定出泥化蚀变遥感异常。

表 1 TM1、3、4、5 主成分分析特征向量矩阵

Table 1 Vector matrix features of TM1、3、4、5 main component analysis

PCS	TM1	TM3	TM4	TM5	特征值	方差(%)
PC1	0.55793	0.41267	0.35923	0.62399	4740.2822	99.50
PC2	−0.75907	−0.03704	0.10827	0.64087	19.4918	0.41
PC3	−0.31365	0.54820	0.63358	−0.44685	4.0081	0.08
PC4	0.11895	−0.72650	0.67662	−0.01541	0.4346	0.01

表 2 TM、1、4、5、7 主成分分析特征向量矩阵

Table 2 Vector matrix features of TM1、4、5、7 main component analysis

PCS	TM1	TM4	TM5	TM7	特征值	方差(%)
PC1	0.56364	0.36319	0.63155	0.38928	4635.0137	99.43
PC2	0.80290	−0.03551	−0.47627	−0.35672	22.6659	0.49
PC3	−0.18273	0.92430	−0.32888	−0.06419	2.7195	0.06
PC4	−0.06526	0.11185	0.51588	−0.84681	1.3135	0.03

4 遥感综合成矿预测

以遥感异常为基础、成矿预测理论为指导，结合地质矿产资料及遥感地质解译信息，按照不同的地质背景、成矿环境及成矿条件，对试验区进行遥感综合成矿预测，圈定出 5 个遥感找矿靶区(见图 2)。

(1)斯默拉金矿找矿靶区(A)

该区位于阿斯腾塔格中东侧的尧勒萨依—斯然拉一带，长 21km，宽 5km，面积约为 105 km^2。NE 向、EW 向断裂构造发育，有斯默拉金矿点出露，金矿化产于近 EW 向断裂带中，铁化蚀变遥感异常与实地已知金矿化点相吻合，是寻找上元古界断裂裂隙中金、铜矿的找矿靶区。

(2)平顶山金、铜多金属找矿靶区(B)

该区位于平顶山及其东部地区，长 25km，宽 2.5km～7.5km，面积约为 125 km^2。断裂构造主体呈 EW 向。发现的平顶山西铜矿点赋存于石英脉中，为裂隙充填型，在上奥陶统中还可见沉积变质型铁矿化、石膏矿床等，区域性 Cu、Co 化探异常、辰砂重砂异常区均可见铁化蚀变遥感异常显示，是寻找铜、金

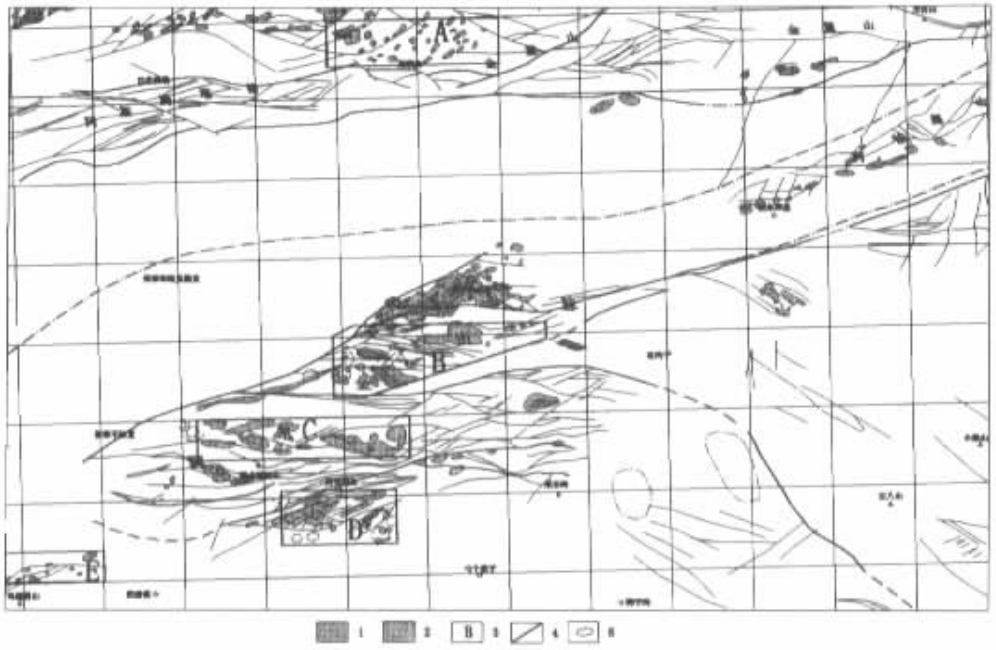


图 2　遥感综合成矿预测图

Fig. 2　Map of comprehensive metallogenic prediction with remote sensing

1—铁化蚀变异常　2—泥化蚀变异常　3—成矿预测区及编号　4—断裂—线性构造　5—环形影像构造

等多金属矿的最佳找矿靶区。

(3)阿卡腾能山铁多金属找矿靶区(C)

该区位于阿卡腾能山地，长 16km，宽 5km，面积约为 80 km^2。EW 向断裂构造发育，出露野马沟磁铁矿点，产于 Pt_1 与 $\gamma\delta_3^2$ 接触带上，为矽卡岩型铁矿化，铁化、泥化蚀变遥感异常主要分布在构造破碎蚀变带和岩体接触带，是在 Pt_1 与 $\gamma\delta_3^2$ 岩体接触带上寻找矽卡岩型铁多金属矿的找矿靶区。

(4)柴水沟—采石沟金多金属找矿靶区(D)

位于阿克提山南柴水沟—采石沟地段，长 15km，宽 5km，面积约为 80 km^2。断裂构造以 NEE 向为主，次为 EW、NE 向。产出采石沟金多金属矿和柴水沟金、银、铅、锌矿，为火山—次火山岩型矿化。该区泥化、铁化蚀变遥感异常与 Au、Sb—Au、Sb、As—Au、Co、As 综合元素化探异常区及矿化蚀变区十分吻合。是寻找与火山岩有关的金、银、铅、锌、铜矿的最佳找矿靶区。

(5)茫崖镇西铜、金、铬、镍找矿靶区(E)

位于茫崖镇西，长 13.5km，宽 3km，面积约为 40 km^2。断裂呈 EW 向展布，大型石棉矿床产于超基性岩体中，伴有玉石、蛇纹岩、滑石和镍矿等。所提取的铁化、泥化蚀变遥感异常与区域性 Pb、Cr、Ni、Mn 元素化探异常叠合很好，是寻找与超基性岩有关的铜、镍、铬、金等矿产的最佳找矿靶区。

致谢：在编写本文过程中，有色金属矿产地质调查中心总工程师朱谷昌教授、植起汉教授给予了热情指导，并提出了许多宝贵意见，在此一致表示感谢。

REMOTE SENSING INFORMATION EXTRACTING BASED ON SPECTRUM FEATURE AND METALLOGENIC PREDICTION

ZHANG Jian-guo[1], YANG Zi-an[2,3], HU Xiang-zhao[1] ZOU Lin[3]

(1. *Central South University*, *Changsha*, *Hunan* 410083, *China*; 2. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
3. *Nonferrous Metals Resource Geological Survey of China*, *Beijing* 100814, *China*)

Abstract: Based on the test and analysis on spectrum feature of alterative rock and wall rock, alteration information related to mineralization was directly extracted and enhanced from TM remote sensing image. Combining with regional geological background and mineralizing condition, ore prediction and target area outlining in the test region was carried out. A good application effect is obtained.

Key Words: remote sensing, spectrum test, information extraction, metallogenic prediction