

青海芒崖地区岩石 光谱特征分析及应用

吴德文,朱谷昌,吴健生,张云峰
(有色金属地质遥感中心,河北燕郊 065201)

摘要:在对青海芒崖金多金属成矿区地表岩石光谱测试和分析的基础上,研究了该区与金多金属矿化有关的蚀变岩及围岩的光谱特征,以及在对应 TM 波段上的光谱差异性,据此,建立了矿化蚀变遥感信息定量提取模型,并利用 TM 图像定量提取矿化蚀变信息。

关键词:光谱特征;TM 图像;信息提取

中图分类号:O 433.4;P 585.1 文献标识码:A 文章编号:1001-070X(2001)04-0028-07

0 引言

地物光谱特征的差异是遥感识别地物的主要依据。各种岩石、土壤、植物以及作为指示矿床和矿化带存在的蚀变带和蚀变岩石等,均具有自己独特的光谱特征。采用图像处理技术,可以增强其光谱信息在遥感图像上的反映,识别目标地物。笔者对青海芒崖金多金属成矿区的蚀变岩及其围岩进行了系统的野外光谱测试,并通过岩石光谱特征分析,建立了矿化蚀变遥感信息定量提取模型。

研究区位于阿尔金南缘断裂带东段,地层主要为奥陶系中基性火山岩、变质岩和海相碎屑岩,岩浆岩主要为晚元古代中晚期花岗岩、闪长岩和华力西期中酸性岩。在该区已发现的金(多金属)矿床(点)中,近矿围岩蚀变发育,蚀变带宽 20200 m,长 2 000 m。围岩蚀变多为褐铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等,这些蚀变矿物组合都是提取遥感找矿信息异常的重要目标。

1 岩石光谱测试及光谱特征分析

1.1 岩石光谱测试

1.1.1 测试仪器及基本性能

使用的测试仪为美国 Analytical Spectral Devices, Inc 公司的 FieldSpec FR-3 型便携式野外光谱仪。测试的波谱范围为 350~2 500 nm,即从可见光到短波红外。其中可见光/近红外(VNIR)通道的光谱范围为 350~1 000 nm,2 个短波红外通道(SWIR1 和 SWIR2)光谱范围分别为 900~1 850 nm 和 1 700~2 500 nm。3 个通道所测量的光谱范围之间有极小部分的重叠。

VNIR 通道的光谱测量间隔为 1.4 nm,分辨率约为 3 nm;SWIR 通道的光谱测量间隔为 2 nm,分辨率的变化范围在 1011 nm 之间,变化范围取决于仪器测量时的扫描角度(视场角)。测试数据直接记录在便携式微机上。

1.1.2 测试对象

测试的主要对象是与金多金属矿化有关的蚀变岩石,其次是矿化围岩。蚀变岩包括褐铁矿化岩石、泥化岩石、多种蚀变叠加岩石;矿化围岩包括安山质凝灰岩、凝灰质砂岩、其它凝灰岩、花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、石英钠长斑岩等。

1.1.3 测试方法

分剖面(点)测试和测场两种形式。测试在野外实地进行,测定时间为每天 10~16h,天空云量 < 10%,仪器高度 1.2 m,测点视场角为 5°,测场视场角为 25°。每次测定前,对仪器进行标准化调试,每个测点测定 2 次。对测试的每个剖面(点)和测场都进行 GPS 定位,拍摄野外照片和摄像,记录岩石特征和背景地貌地质特征以及环境参数。

测试剖面主要横切含矿带,通常是由含矿带上部围岩,经含矿带再至含矿带下部围岩进行,剖面位置多选在地质勘查的长探槽中,部分剖面沿含矿带走向进行。共测试剖面 8 条,测试点 111 个。

测场是为了获取某类岩石在一定范围内的综合光谱曲线。选择具有代表性的不同岩石-地层单元,且地势相对平缓的地面岩石作为测场进行测试,每个测场测试 30~50 个点位,间距 1 m 左右。光谱测试结果用平均值表示,研究区共有测场 12 个。

1.2 岩石光谱特征分析

1.2.1 基于谱形的光谱数据分类

利用地物光谱特征增强和提取遥感信息是岩石光谱测试最基本的出发点,对这些光谱数据按代表的岩石类型进行分类后,再研究不同岩类的光谱特征。笔者从测试获得的光谱数据中选择最具代表性的 37 个测点数据和 6 个测场数据进行光谱分析,并对样品进行了岩石鉴定和微量金分析。

本次采用相似系数进行聚类分析。根据样品之间的亲疏程度进行合并,衡量亲疏程度的指标即相似系数。相似系数接近于 1 或 -1 时,认为样品之间的性质比较接近;相似系数接近于 0 时,认为样品之间是无关的。相似系数是将每个样品看成是与 m 个变量对应的 m 维空间的一个向量,于是第 i 个向量与第 j 个向量之间存在一个夹角 θ_{ij} ,称 $\cos\theta_{ij}$ 为相似系数:

$$\cos\theta_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m x_{ik} \cdot x_{jk}}{\sum_{k=1}^m x_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^m x_{jk}^2} \quad (1)$$

式中 k 为变量($k=1, 2, 3, \dots, m$); i, j 为样品数($i, j=1, 2, 3, \dots, N$); x 为样品的值。

可以看出,相似性的度量仅考虑 m 维空间中矢量夹角的余弦值,而不考虑矢量绝对值的大小。具体到光谱曲线问题是仅考虑 m 维波长空间中谱形的相似性而不考虑每条曲线反射率的总体水平,即不考虑非选择性吸收的相对强弱。

按光谱数据聚类分析结果将样品分为 8 类(图 1),结合岩矿鉴定结果,分析如下:

第 1 类 :未蚀变岩。包括 6 个测点样品。岩石类型有花岗岩、花岗闪长岩、细碧质熔岩和中基性凝灰岩,谱形特征是曲线较为平直,特征吸收相对较弱。在整个测量光谱范围内,岩石光谱反射率由高到低依次为花岗岩、花岗闪长岩和火山岩类。花岗岩和花岗闪长岩除存在可见光短波段电荷迁移引起的吸收外,在 $1.9 \mu\text{m}$ 附近存在水吸收带,火山岩类岩石无明显吸收特征。

第 2 类 :弱蚀变岩。包括 7 个测点样品和 2 个测场,为弱蚀变凝灰岩和岩脉、区域蚀变凝灰岩及矿化蚀变凝灰岩。其波形整体特征是可见光波段 $0.5 \mu\text{m}$ 以下普遍存在由电荷迁移引起的强吸收,从 $0.5 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 呈上升趋势,部分样品在 $0.9 \mu\text{m}$ 附近存在较强的 Fe^{3+} 吸收带,在 $1.9 \mu\text{m}$ 附近出现含羟基矿物吸收带,最大值位于 $2.1 \mu\text{m}$ 附近,到 $2.5 \mu\text{m}$ 之间呈下降趋势,在 $2.35 \mu\text{m}$ 附近出现碳酸盐矿物的特征吸收带。

第 3 类 :蚀变岩。包括 5 个测点样品和 1 个测场,原岩有凝灰岩和石英斑岩。曲线整体形态呈波状起伏的拱形,表明在可见光波段 $0.5 \mu\text{m}$ 以下由电荷迁移引起的强吸收普遍存在;在 $0.9 \mu\text{m}$ 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 $1.9 \mu\text{m}$ 附近存在强吸收带,从岩石鉴定结果分析,这主要是由绿泥石化和绿帘石化等含羟基矿物蚀变引起的。此外,在 $2.2 \mu\text{m}$ 附近存在粘土矿物的特征吸收,谱形反映出该类岩石具有强烈的混合蚀变特征。

第 4 类 :区域蚀变岩。包括 8 个测点样品和 3 个测场。光谱曲线从 $0.5 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 之间为缓斜上升,在 $1.9 \mu\text{m}$ 和 $2.35 \mu\text{m}$ 附近出现吸收带。从岩石鉴定结果看,这类岩石普遍具有碳酸岩化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等,未见铁化作用,与谱形特征一致。

第 5 类 :蚀变岩。包括 3 个测点样品。谱形与第 3 类相似,只是各种蚀变矿物的特征吸收强弱存在差异,反映这两类岩石中各类蚀变作用的强弱不同。

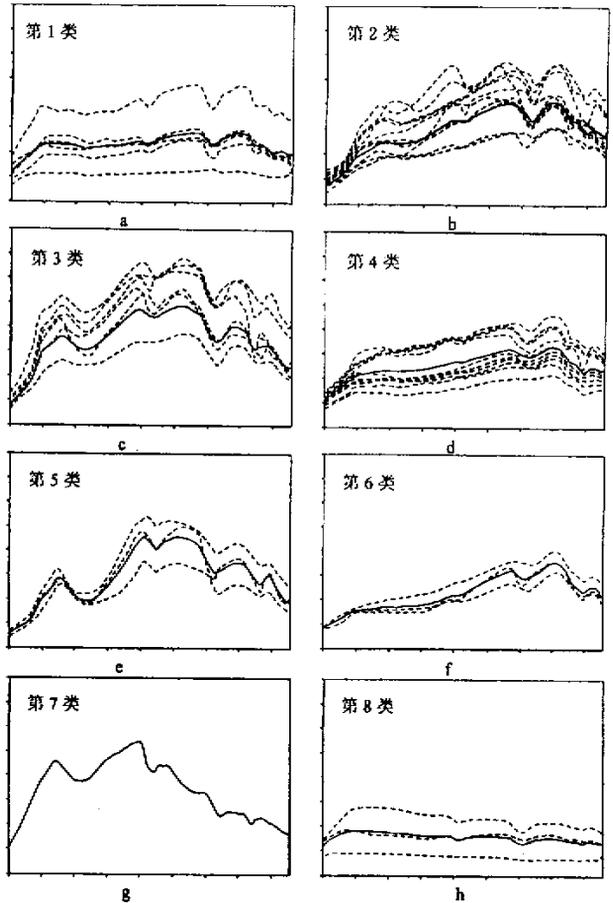


图 1 聚类分析结果的光谱曲线图
图 a-h 的横坐标为波长(3502 400 nm)纵坐标为反射率(0% 100%);虚线为单个样品的
光谱,实线为各样品的平均值曲线

第6类：区域蚀变火山岩。为碳酸盐化、绿泥石化的钠长斑岩和细碧岩，包括3个样品。谱形与第4类相似，曲线在 $0.35 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 之间缓斜上升，在 $1.9 \mu\text{m}$ 附近出现含 OH^- 矿物吸收带（主要是绿泥石），在 $2.35 \mu\text{m}$ 附近出现碳酸盐矿物的特征吸收带，最大值位于 $2.1 \mu\text{m}$ 附近。谱形特征与该类岩石的区域性蚀变特征相吻合。

第7类：构造蚀变岩。只有一个样品，光谱曲线在 $0.6 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 之间反射率较高，在 $1.6 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 之间逐渐下降，在 $0.8 \sim 1.9 \mu\text{m}$ 之间存在明显的宽缓吸收带。岩石鉴定结果表明，吸收带为该样品具有的强黄铁矿化和黄钾铁矾化蚀变的反映。

第8类：未蚀变围岩。包括1个安山质凝灰岩样品和2个长石石英砂岩样品。该类岩石的光谱曲线整体特征是光谱反射率低（小于30%），呈较平直的单调降曲线，受大气水的影响，在 $1.4 \mu\text{m}$ 和 $1.9 \mu\text{m}$ 附近出现弱的水吸收带。安山质凝灰岩偏基性，基本无蚀变，暗色矿物含量高，光谱反射率极低（小于10%），无明显选择性吸收谱带；长石石英砂岩的矿物成分主要为石英，自身也无明显的特征谱带。

1.2.2 围岩与蚀变岩的光谱特征差异

围岩包括中基性凝灰岩、长石石英砂岩、花岗岩和花岗闪长岩等，是未蚀变或微弱蚀变岩石。中基性凝灰岩暗色矿物含量高，野外观察呈暗色调，随着暗色矿物的含量增加，颜色从灰绿色→深灰色→灰黑色→黑色发生变化。该类岩石在整个谱带均有强的吸收特征，选择性吸收不明显，因而在光谱形态上表现为低而平坦的谱线，反射率一般低于20%，并有随暗色矿物增多而降低的趋势；长石石英砂岩、花岗岩和花岗闪长岩在整个谱带除可见光短波段外无强的特征吸收带，谱形较为平直，光谱反射率中等（20%~50%），由于岩石构造和浅色矿物（主要是石英、长石）含量不同，反射率差别较大，其中花岗岩光谱反射率最高，其次为花岗闪长岩。部分花岗岩的光谱曲线上表现出比较明显的羟基和水特征谱带以及弱的铁氧化物特征谱带。分析其原因，一方面是由于石英中含有液态水的包裹体，长石中含有铁，以及岩石本身含有的铁镁矿物能够产生 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的光谱特征；另一方面是由于风化作用在岩石表面形成水化物覆盖（图1中第1类和第8类）。

蚀变岩光谱曲线最显著特征是整体反射率较高，蚀变矿物的特征吸收谱带主要是 $0.9 \mu\text{m}$ 附近铁氧化物吸收带、 $1.9 \mu\text{m}$ 附近羟基和水吸收带、 $2.2 \mu\text{m}$ 附近粘土矿物吸收带和 $2.35 \mu\text{m}$ 附近碳酸盐矿物吸收带。随各类蚀变作用强弱不同，特征吸收存在显著差异，在谱形上表现为起伏变化大，且岩石蚀变作用越强，蚀变类型越复杂，曲线形态变化越大（图1中第2类、第3类、第5类）。

1.2.3 不同蚀变类型岩石的光谱特征差异

从光谱数据谱形分类和岩矿鉴定结果分析，本区蚀变岩可分为矿化蚀变岩和非矿化蚀变或区域蚀变岩。矿化蚀变岩为与金多金属矿化有关的蚀变岩，是多种蚀变作用同时发育的混合蚀变岩石，显著特征是铁化作用强，金矿化程度高，光谱特征是，整体反射率较高，并存在多种蚀变矿物的特征吸收谱带（如上述第3类和第5类）；区域蚀变岩为不具金矿化的蚀变岩，多发育碳酸盐化和含羟基矿物蚀变，包括绿泥石化、绿帘石化、绢云母化等，但铁化作用较弱，其光谱特征是光谱反射率整体较矿化蚀变岩低，在 $0.5 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 之间缓斜上升，无特征吸收，在 $1.9 \mu\text{m}$ 附近存在羟基和水特征吸收带，在 $2.35 \mu\text{m}$ 附近存在碳酸盐矿物特征吸收带（图1中第4类、第6类）。

1.2.4 蚀变岩及围岩在对应 TM 波段上的光谱特征

取岩石光谱数据在对应 TM 波段范围的均值作为相应波段的光谱反射值(表 1),图 2 为根据光谱均值绘制的光谱曲线。

表 1 不同岩石光谱数据在对应 TM 波段上的光谱均值

波 段	岩 性					
	花岗岩	花岗闪长岩	未蚀变凝灰岩	石英砂岩	区域蚀变凝灰岩	矿化蚀变岩
TM1	0.202 6	0.179 3	0.089 2	0.224 1	0.169 9	0.180 1
TM2	0.243 7	0.228 4	0.089 9	0.261 0	0.192 9	0.298 0
TM3	0.265 3	0.264 6	0.089 9	0.275 8	0.206 0	0.401 1
TM4	0.312 9	0.264 6	0.086 9	0.271 9	0.216 0	0.334 0
TM5	0.404 7	0.285 9	0.075 7	0.263 0	0.222 0	0.526 7
TM7	0.376 5	0.276 0	0.068 8	0.254 0	0.177 0	0.326 8

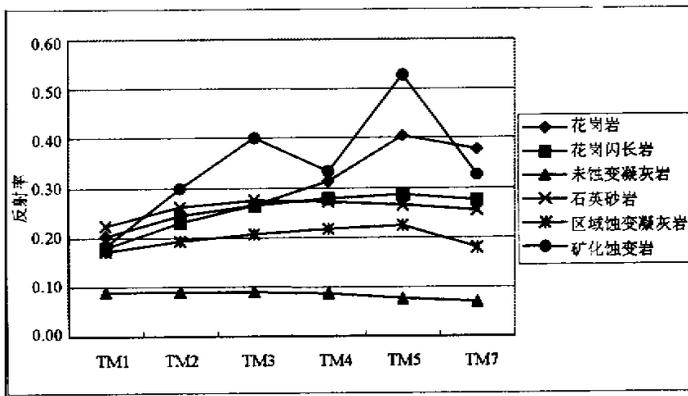


图 2 不同岩石 TM 波段光谱曲线

从图 2 可以看出,未蚀变凝灰岩在 TM1 TM2 TM3 TM4 TM5 和 TM7 波段的反射率接近,为一致吸收,在 6 类岩石中,其光谱反射率最低;区域蚀变凝灰岩的光谱反射率较未蚀变凝灰岩增高,在 TM1 TM2 TM3 TM4 和 TM5 波段,反射率缓步增高,在 TM7 波段出现吸收带;石英砂岩和花岗闪长岩在 TM 波段的光谱特征相似,均无明显的特征吸收带,反射率中等;花岗岩在 TM1 TM2 TM3 TM4 和 TM5 波段光谱曲线斜率较大,在 TM5 波段反射率达到最高,在 TM7 波段出现吸收带;矿化蚀变岩在 TM 波段的光谱反射率变化最大,在 TM1 TM2 TM3 TM4 和 TM7 波段出现明显强烈的吸收带,分别对应于可见光短波段电荷迁移引起的吸收带,含 Fe³⁺/Fe²⁺ 矿物特征吸收带以及含 OH⁻ 或含 H₂O 矿物、粘土矿物、碳酸盐矿物的特征吸收带,在 TM3 和 TM5 波段因无特征吸收而出现高反射。

2 应用实例

2.1 基于光谱矢量的矿化蚀变遥感信息分类提取模型的建立

地物的光谱特征是相当复杂的,并受到诸多因素的干扰,在利用多变量(通道)图像区分不

同的目标地物时,不能孤立地根据个别变量的数据进行分类,而要从整个向量数据的特征出发,即像元在多维特征空间中的位置关系及聚集情况进行分类。从上面的岩石光谱特征分析可以看到,矿化蚀变岩与非矿化蚀变岩在 TM 波段的光谱矢量存在明显差异,基于光谱矢量分类可以提取有矿化蚀变特征的岩石信息。

2.1.1 岩石反射光谱与 TM 图像灰度值的关系

野外测试获得的岩石光谱数据是岩石的光谱反射率,而 TM 图像可见光-中红外波段数据是传感器接收像元总反射能量的量化(称灰度值),明确两者之间的关系是利用测量光谱对 TM 图像进行分类的必要前提。研究表明, TM 波段(经过大气校正)像元的灰度值仅取决于覆盖像元的地物光谱反射率,两者有如下的函数关系^[2]:

$$DN_{bp} = \frac{1}{\pi} E_{bp} \gamma_{bp} \frac{255}{L_{b\max} - L_{b\min}} - L_{b\min} \frac{255}{L_{b\max} - L_{b\min}} \quad (2)$$

式中 DN_{bp} 为 b 波段 p 像元的灰度值; E_{bp} 为 b 波段 p 像元的光谱照度; γ_{bp} 为 b 波段 p 像元的反射率; $L_{b\max}$ 、 $L_{b\min}$ 为 b 波段最大和最小辐亮度值。对于同一时相同一景同一波段的各种地物或所有像元, E_{bp} 都是相等的,且只有一个 $L_{b\max}$ 和 $L_{b\min}$, 只有 γ_{bp} 随地物种类的不同而变化。

2.1.2 分类方法选择及适应性分析

采用光谱角度填图(SAM)方法^[5]。光谱角度填图是对岩石进行波形识别的主要方法之一,它将光谱数据视为多维空间的矢量,利用解析方法计算像元光谱与光谱数据库光谱或像元训练光谱之间矢量的夹角,根据夹角的大小来确定光谱间的相似程度,以达到识别地物的目的。而且,光谱角对增益不敏感,能够减弱因地形和照度引起的增益变化。

研究区内矿化蚀变岩与非矿化蚀变岩(围岩和区域性蚀变岩)间的光谱形态差别明显,采用光谱角度填图方法进行分类是适应的。这种分类方法与谱形相关而与光谱绝对值无关,因此,测量光谱数据与经大气校正后的像元灰度值数据可直接进行比较。

2.1.3 矿化蚀变信息定量提取模型

以矿化蚀变岩测量光谱作为分类依据,取其在对应 TM1 TM2 TM3 TM4 TM5 和 TM7 波段的光谱均值建立 m ($m=6$) 维空间的矢量样本,计算各像元在 TM1 TM2 TM3 TM4 TM5 和 TM7 波段的灰度值数据矢量与样本之间的夹角,根据夹角的大小确定光谱间的相似程度,夹角越小,相似程度越高,反之则相反。矢量夹角(θ)通过矢量间相似系数,即矢量夹角的余弦($\cos\theta$)的计算来获得。相似系数的定义与前述类同。

光谱角度填图的结果,是对像元赋以 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的角度值,给出像元与样本之间光谱相似性定量估计。设光谱角度阈值为 ω , 则有:

$$\text{像元}(i, j) \begin{cases} \text{当 } \theta_{ij} \leq \omega \text{ 时, 为矿化蚀变岩} \\ \text{当 } \theta_{ij} > \omega \text{ 时, 为非矿化蚀变岩} \end{cases}$$

2.2 基于模型的矿化蚀变信息提取

以表 1 中矿化蚀变岩在 TM1 TM2 TM3 TM4 TM5 TM7 波段的光谱值作为矢量样本,采用光谱角度填图(SAM)方法,计算出目标区各像元在 TM1 TM2 TM3 TM4 TM5 TM7 波段的光谱矢量与样本之间的矢量夹角。计算结果最小值为 1, 最大值为 39, 均值为 7.4, 其标准偏差为 3.38。考虑到矿化蚀变岩中蚀变矿物成份变化较大,光谱特征存在一定的差异,因此取适当的阈值(这里取 8)进行分割,获得矿化蚀变异常的趋势分布,为进一步提取矿化蚀变信息提供参考。

3 结 语

利用遥感图像处理技术 ,引入定量化分析手段 ,定量提取遥感图像中反映矿化蚀变的光谱信息 ,为地质找矿提供最直接的依据。

遥感图像反映的是地物光谱信息 ,因此 ,特征信息的提取要从地物光谱特征分析入手 ,光谱测试和光谱分析为此提供了一种有效的途径。需要提出的是 ,本文应用实例中采用的光谱角度填图方法 ,仅依据谱形的相似性识别岩石信息 ,而未考虑非选择性吸收的相对强弱 ,因而难以区分谱形相似 ,高度差异较大的岩类 ,因此 ,还应与其它图像变量作综合处理或判别。

参考文献

[1] 童庆禧 ,等 . 中国典型地物波谱及其特征分析 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1990 .
 [2] 阎积惠 ,等 . TM 图像地质应用原理与方法 [M] . 北京 : 冶金工业出版社 , 1993 .
 [3] 田庆久 ,等 . 新疆柯坪地区沉积岩光谱特征分析 [R] . 北京 : 中科院遥感信息科学开放研究实验室年报 , 1995 .
 [4] 陈述彭 ,等 . 遥感信息机理研究 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1998 .
 [5] 周成虎 ,等 . 遥感影像地学理解与分析 [M] . 北京 : 科学出版社 , 2001 .

THE ANALYSIS AND APPLICATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF ROCK SAMPLES FROM MANGYA AREA , QINGHAI PROVINCE

WU De - wen , ZHU Gu - chang , WU Jian - sheng , ZHANG Yun - feng
 (Center for Remote Sensing in Non - ferrous Geology , YanJiao , Hebei 065201 , China)

Abstract: Based on the spectral test and analysis of rock samples from the gold - polymetallic mineralized districts of Mangya area , Qinghai Province , this paper has studied the spectral characteristics of the altered rocks and wall rocks related to gold - polymetallic mineralization as well as their spectral differences within the corresponding TM bands . On such a basis , a model is established for quantitative extraction of the remote sensing information on mineralized alterations and , in addition , the information concerning mineralized alteration is extracted by means of TM images .

Key words: Spectral characteristics ; TM image ; Information extraction

第一作者简介 : 吴德文 (1967 -) , 男 , 高级工程师 , 1990 年毕业于中南工业大学地质系矿产普查和勘探专业 , 2001 年获中国地质大学 (北京) 地矿系地图学与地理信息系统专业硕士学位 , 一直从事遥感地质应用、地理信息系统应用和开发工作 , 发表论文 10 余篇。

(责任编辑 : 周树英)