

典型斑岩型矿床蚀变分带模式下的 ASTER 数据蚀变信息提取

高慧

中国地质调查局成都地质调查中心，四川成都 610081

以典型的斑岩型铜矿蚀变分带中出现的常见蚀变类型作为指导，通过对蚀变带内主要蚀变矿物在可见光至短波红外的波谱特性的分析，选择合适的波段，使用成熟的主成分分析法，建立一种针对斑岩型铜矿蚀变提取较为通用的方法。通过这种方法，在地质资料不足的情况下，或是开展详细矿产勘察工作的前期，对存在斑岩型铜矿的区域进行初步的预测。

进行蚀变提取，首先要确定蚀变带的主要的蚀变矿物类型，从表 1 中蚀变带主要蚀变矿物可以发现，不同的蚀变带内的矿物类型存在一类或是两类的重叠，因此，选择蚀变带中具有代表性的矿物，进行光谱特性研究就显得格外重要，本文使用的波谱库，一部分为美国国家航空航天局网站上 ASTER 波谱库的 2.0 版，此波谱库是由喷气推进实验室 (JPL)、约翰·霍普金斯大学 (JHU) 以及美国地质调查局 (USGS) 联合提供的；另一部分来自 ENVI 软件自带的美国地质调查局的矿物波谱库。下面对不同蚀变带的提取方法进行逐个阐述。

表 1 斑岩铜矿床的蚀变类型

蚀变类型	钾化带	似千枚岩化带	泥化带	青磐岩化
主要蚀变矿物	黑云母、钾长石、石英、绢云母	石英、绢云母、黄铁矿	高岭石、蒙脱石、石英	绿泥石、绿帘石、石英、方解石
空间位置	中心蚀变带	内部蚀变带	中间蚀变带	外部蚀变带

1 钾化提取方法

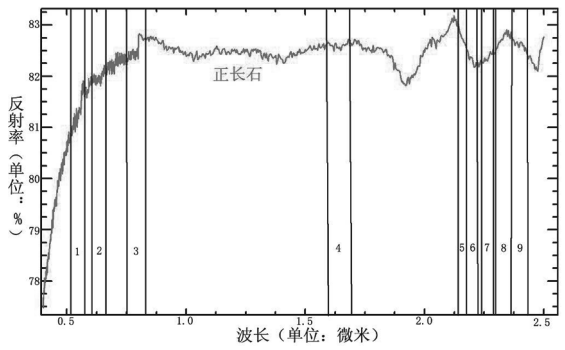


图 1 正长石波谱曲线

在钾化带中石英、绢云母为 4 种蚀变带中最为常见的矿物，石英在四种蚀变带中均有出现，而绢云母在除青磐岩化外的三种蚀变带中也均有出现，而且钾化带中的绢云母含量较少。钾化带的其它两种矿物黑云母和钾长石，黑云母的光谱特征在 ASTER 的可见光至短波红外的光谱特征不明显，在相应波段没有明显的特征峰或特征谷出现，而钾长石类的光谱特征就较为明显，钾长石 ($KAlSi_3O_8$) 通常也称正长石，除正长石外，还有两个同质多象变种：透长石和钾微斜长石。通过对正长石、透长石以及微斜长石的光谱进行分析后，发现微斜长石、透长石的光谱特征与绢云母 (白云母) 类的光谱曲线的特征，如图 2 所示，在 ASTER 波段内极为相似，因此选择正长石作为提取钾化的特征矿物与微斜长石、透长石与绢云母的波谱在第六波段有强吸收，第七波段有强反射不同的是，正长石的吸收谷横跨了第六波段与第七波段，在第八波段出现波峰，随后再在第九波段处下降。基于上述情况，选择 4、(6+7)/2、8、9 波段合成的四个波段进行主成分分析。主成分分析的特征向量载荷因子大小和

符号如表 2 所示：其中band2 所代表的第六波段与第七波段的平均值相关性最高，且第四主分量贡献率最高，因此选择第四分量作为提取蚀变的分量，但又由于符号与波谱表现形态相反，即波峰处对应的特征值应为正，而波谷处对应的特征值为负，因此需要通过波段运算将第四分量取反。最后通过图像密度分割得到蚀变结果，由于分割的原理对不同的蚀变类型一致，因此放到后处理中统一进行，此处不再赘述。

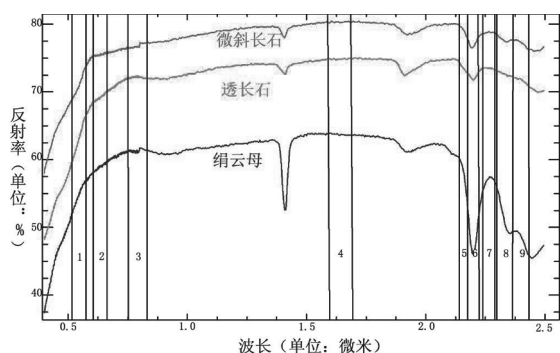


图 2 微斜长石、透长石、绢云母波谱曲线

表 2 钾化提取的特征向量表

Eigenvector	Band 4	Band (6+7) / 2	Band 8	Band 9
分量 1	-0.508956	-0.016397	-0.490949	-0.503656
分量 2	-0.812617	-0.016397	0.401578	0.422293
分量 3	-0.016397	-0.016397	-0.739042	0.670025
分量 4	-0.016397	0.865484	-0.226984	-0.345061

2 似千枚岩化提取方法

似千枚岩化带又称作石英-绢云母化带，这个蚀变带中黄铁矿在 ASTER 数据波谱可识别范围内的波谱曲线平直，无明显的特征出现，因此不做讨论。石英和绢云母作为似千枚岩化带的主要蚀变矿物，两种矿物含量一般要大于 50%，但石英的分布在自然界中广泛存在，通常研究其百分比含量才具有指示意义，并且根据 ASTER 波谱库中的石英样本曲线研究发现，不同样本由于颗粒大小不同或其它原因，在可见光到短波红外这个区间的波谱曲线的差异较大，不利于总结波谱曲线的总体特征，因此在典型的蚀变带提取中，不对石英在 ASTER 可见光到短波红外的光谱特征做讨论。绢云母在 ASTER 数据波谱的可识别范围内有明显的波谱特征，但由于这

两种矿物在其它蚀变带也有不同程度的存在，因此，预计似千枚岩化提取的结果可能会与其它蚀变带有一定程度的重叠。根据绢云母多个样本波谱曲线的特征，如图 3 所示：在第六波段有非常强的吸收，第七波段有强反射，并且在第一波段到第四波段有一个反射率上升的趋势，因此，选择了 1、4、6、7 波段进行主成分分析。

根据绢云母多个样本波谱曲线的特征，如图 3-13 所示：在第六波段有非常强的吸收，第七波段有强反射，并且在第一波段到第四波段有一个反射率上升的趋势，因此，选择了第一波段、第四波段、第六波段以及第七波段进行主成分分析，主成分分析的特征向量载荷因子大小和符号如表 3 所示：其中第四分量的符号关系符合绢云母波谱曲线所呈现的特征，但是在第六波段有强吸收，特征向量应为负，对第四分量结果仍需要取反。

表 3 似千枚岩化提取的特征向量表

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
分量 1	0.433933	0.529226	0.528288	0.502527
分量 2	0.886498	-0.350487	-0.286863	-0.094816
分量 3	0.136934	0.736163	-0.277286	-0.602018
分量 4	0.084099	-0.234824	0.749489	-0.613230

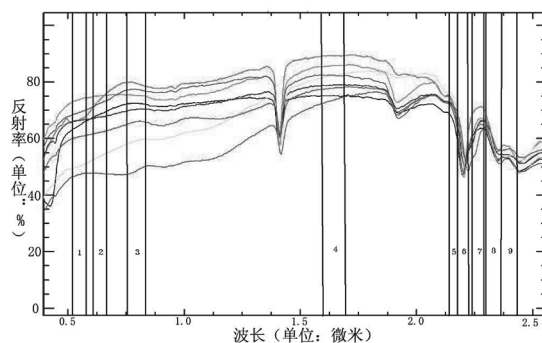


图 3 多个绢云母样本波谱曲线

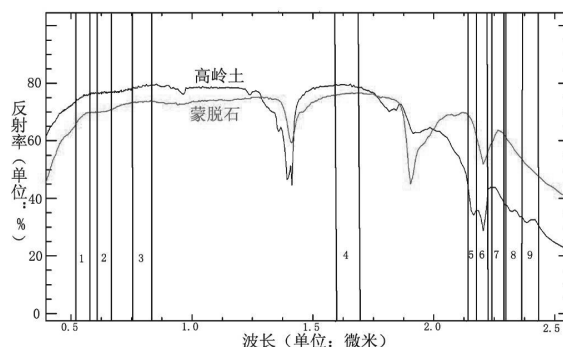


图 4 高岭土、蒙脱石波谱曲线

3 泥化提取方法

虽然我国已知斑岩铜矿床中, 此类蚀变岩石一般不发育, 但为了保证蚀变提取的全面性, 仍将泥化的提取作为重要的一项, 泥化主要特征蚀变矿物为高岭土、蒙脱石, 在泥岩化的提取中选择高岭土的光谱特征作为提取的主要依据, 原因有以下两点, 第一, 高岭土作为主要的蚀变矿物, 最为常见, 其次是蒙脱石高岭土蚀变岩; 第二, 对比高岭土与蒙脱石在 ASTER 可识别波段的波谱特征, 如图 4 所示, 除在第六和第七波段同有吸收谷和反射峰外, 高岭土在第五波段还存在一个次级的吸收峰, 因此便于同其他蚀变带做区别。泥化的提取选择 4、(5+6)/2、7、9 波段进行主成分分析。主成分分析的特征向量载荷因子大小和符号如表 4 所示: 从表中 3、4 分量的符号特征判断, 分量 3 符合高岭土的波谱特征, 即第五波段与第六波段的平均值的特征值与第四和第七波段的符号相反, 但由于第五波段与第六波段是吸收谷, 应为负值, 因此还需要对第三分量的值进行取反。

表 4 泥化提取的特征向量表

Eigenvector	Band 4	Band (5+6)/2	Band7	Band 9
分量 1	0.510826	0.502272	0.483306	0.503186
分量 2	0.760542	0.091659	-0.316806	-0.559292
分量 3	-0.094582	0.460999	-0.789439	0.394107
分量 4	0.389470	-0.725811	-0.206966	0.527898

4 青磐岩化提取方法

“青磐岩化”一词的原意是指安山岩、英安岩等经热液作用形成的一套绿色蚀变岩, 后来扩大到只要是遭受上述一套绿色蚀变的岩石。青磐岩化主要特征蚀变矿物有: 绿泥石、绿帘石、方解石, 这三类蚀变矿物波谱特征在有一致性, 如图 5 所示, 在第八波段上有强吸收, 第五波段、第八波段有强反射, 因此选择 1、5、8、9 波段进行主成分分析。主成分分析的特征向量载荷因子大小和第四分量的符号符合蚀变矿物的波谱特征, 在第八波段的贡

献率很高, 符号为负与第八波段的强吸收的特征一致。主成分分析的特征向量载荷因子大小和符号如表 5 所示: 第四分量的符号符合蚀变矿物的波谱特征, 在第八波段的贡献率很高, 符号为负与第八波段的强吸收的特征一致。

表 5 青磐岩化提取的特征向量表

Eigenvector	Band 1	Band 5	Band 8	Band 9
分量 1	-0.443246	-0.513750	-0.513148	-0.525617
分量 2	-0.895996	0.256821	0.230874	0.279163
分量 3	-0.003079	-0.818585	0.398701	0.413457
分量 4	0.026736	-0.004761	-0.724164	-0.724164

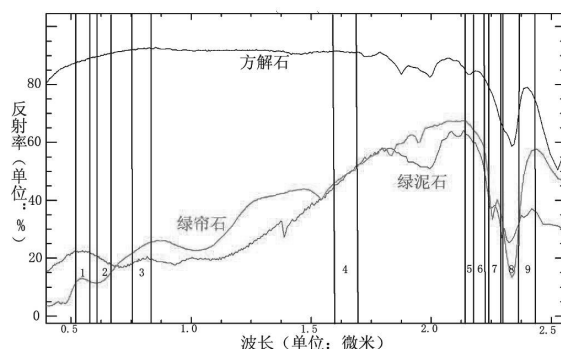


图 5 方解石、绿帘石、绿泥石波谱曲线

参考文献 / References

- [1] A.M.Baldrige,S.J.Hook,The ASTER spectral library version 2.0[J].Remote Sensing of Environment 113(2009):711-715.
- [2] Abrams M J.Landsat thematic mapper and thematic mapper simulator data for a Porphyry copper deposit [J].Photogrammetric Engineering and RemoteSensing,1984,14:128~136.
- [3] 代晶晶,曲晓明,等. 基于 ASTER 遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取[J].地质通报,2010,29(5):752-759.
- [4] 耿新霞,杨建民,等. ASTER 数据在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中的应用[J].地质论评,2008,54(2):184-190.
- [5] 甘甫平.遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究[D].中国地质大学(北京),2001,1-4.
- [6] 郭亚东,史舟. 先进星载热发射和反射辐射仪(ASTER)的特点及应用[J].遥感技术与应用,2003,18(5):346-351.