第28卷 第1期
Vol.28 No.1

新 疆 地 质
XINJIANG GEOLOGY

2010年3月
Mar.2010

文章编号：1000-8845(2010)01-104-05　　中图分类号：P627；P612　　文献标识码：A

新疆乌恰地区ETM+数据蚀变矿物填图与重点成矿区域预测

孙卫东[1,3]，王润生[2]，田丰[1]，唐宇[1]

(1.中国地质大学(北京)，北京　100083；2.中国国土资源航空物探遥感中心，北京　100083；
3.新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局信息中心，新疆　乌鲁木齐　830000)

摘　要：含羟基和含铁矿物异常作为两大类近矿围岩蚀变是遥感间接找矿的重要标志.在地质找矿遥感勘查中，含羟基和含铁矿物分布制图和异常信息提取非常重要.近矿围岩蚀变在某些特定光谱波段可形成蚀变岩石光谱异常，这些特有的光谱特性在ETM+图像中被敏锐地识别到，用于含羟基和含铁矿物异常信息提取.新疆乌恰地区ETM+遥感图像，应用遥感图像处理技术和统计学方法，将各种微弱蚀变信息按级次圈定，进行羟基和含铁矿物异常信息分布的研究.综合地质、地球化学和遥感等信息的"二次开发"研究，优化了找矿信息，在此基础上圈定找矿远景靶区.

关键词：ETM+；围岩蚀变；主成分分析；直方图；比值法

近矿围岩蚀变形成蚀变岩石与周围正常岩石在矿物种类、结构、颜色等方面的差异，可导致岩石反射光谱特征差异，于某些特定光谱波段形成蚀变岩石光谱异常.张远飞等"多元数据分析+比值+主成份变换+掩膜+分类(分割)"法[1]；王晓鹏等"ETM+图像数据综合遥感矿化蚀变异常信息提取"，均是对蚀变信息增强处理，采用对比法进行蚀变范围圈定，为定性描述及半定量分析.对不同地区蚀变范围圈定时，阈值的确定人为因数影响较大[2].张玉君等根据不同TM灰度值正态分布特征，利用直方图统计均值和方差，通过对"均值+N X方差"中的N调整，进行蚀变信息定量圈定和分级[3].蔡宏渊等对乌拉根铅锌矿床进行室内外调查研究，提出该矿床为海底喷流沉积型金顶式铅锌矿床，指出其具大型成矿远景，外围应是大型-超大型铅锌、锶矿成矿远景区[4].本文在乌拉根铅锌矿周围采用遥感技术分析研究，选用新疆乌恰地区ETM+遥感图像，经精确的几何纠正与大气校正，在分析岩石矿物光谱特征和生成机理基础上，运用比值、主成分分析法等技术，开展矿区蚀变矿物填图，形成以遥感影像为背景、色调异常为标志的示矿特征信息图.据遥感提取线环形构造、蚀变带、岩石组分等找矿信息，与地质、地层和地球化学等致矿信息进行优化，获取新的找矿信息，对有利成矿区进行圈定.结合靶区已有矿点，对其进行重点剖析，为快速识别区域成矿远景、直接预测找矿靶区提供直观的找矿决策依据.

1　ETM+遥感矿化蚀变信息提取基本原理

ETM+属多光谱数据，本研究建立的定量化方法，加强了图像处理过程对多光谱数据和相关特征统计数据的应用.在增强矿化蚀变信息基础上，据蚀变特征概率统计确定异常下限值，较准确地圈定蚀变岩带分布.基于遥感信息物理机制和矿物与岩石光谱特征，建立(矿化)蚀变遥感信息提取技术模型(图 1)，此蚀变矿物遥感信息提取技术，关键是解决以下几个问题：

矿化蚀变类型及各种蚀变信息的光谱特征　一类蚀变岩石含铁基团，常见有角闪石、赤铁矿、褐铁矿、针铁矿、磁铁矿、黄钾铁矾、孔雀石和蓝铜矿等.他们在ETMl—ETM4波段有强吸收带，若岩石中含多量Fe^{3+}，含Fe^{2+}较少，其主要吸收谱带位于ETM4和ETM1波段，反射波长在ETM3图像上相对呈高值.若含大量Fe^{2+}，含Fe^{3+}较少，则主要吸收谱带位于ETM1波段，反射波长在ETM2图像上相对呈高值.另一类蚀变岩石由羟基、水或碳酸根基团产生，羟基吸收谱带有2.2 μm、2.3 μm二处.由于OH^-在2.2~2.3 μm附近存在强吸收谷(称为羟基谱带)，使得ETM7产生低值，ETM5产生高值，羟基矿物大多为次级蚀变矿物，如高岭石、白云母、绢云母、蒙脱石、绿泥石、明矾石等，水在1.4 μm和1.9 μm处具特征吸收带.碳酸根矿物有5个特征吸收谱带(1.9~2.55 μm)，较强的2个分布在2.35 μm和2.55 μm波长处(称为碳酸根谱

收稿日期：2009-11-05；修订日期：2010-01-05；作者 E-mail：xjsunwind@163.com
第一作者简介：孙卫东(1970-)，男，江苏丰县人，教授级高工，中国地质大学(北京)在读博士生，从事遥感地质、地学数据库建设、地质调查等研究

万方数据

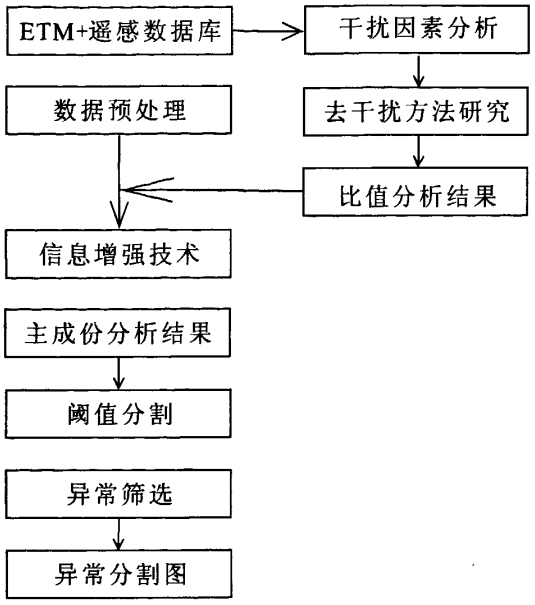


图 1　蚀变矿物遥感异常提取流程图
Fig.1　The deal with flow chart of remote sensing alteration anomalie

带),较弱的分布在 1.9 μm、2.0 μm、2.16 μm 三处.ETM 遥感数据能对铁染蚀变矿物和羟基类矿物进行较好识别.上述特征可看出,与金属矿化相关的蚀变岩 ETM+多光谱图像像元亮度值曲线具双峰特性(ETM3 和 ETM5 为高值),且像元灰度值表现出 ETM3>ETM1、ETM5>ETM7.从光谱形成机理及蚀变矿物波谱特征与蚀变岩石灰度值特征看,蚀变矿物(岩石)明显共性是 ETM5>ETM7、ETM3>ETM1,是进行蚀变信息定量提取与分级的基础.

选择蚀变信息提取的最优波段(变量)组合,建立不同蚀变类型的遥感信息提取模型　为体现研究区不同景区图像中,蚀变信息可对比性和实用性,选择主成分分析法为区域遥感影像信息增强处理主要方法,与特定光谱信息有关波段作为输入波段.去除不大波段,减少干扰因素,突出目标物.利用 ETM1、ETM4、ETM5、ETM7 波段进行主成分分析,获得增强羟基矿物"OH"图像和铁染异常图像.将 PC4 作为羟基矿物和铁染异常提取图像,蚀变信息的确定是据遥感数据统计,经主成分变换后反应到 PC4 上.据概率密度分布曲线数学含意,把统计均值理解为主分量分析结果的区域背景值,蚀变信息属正态分布边缘值,为小概率分布.利用蚀变异常下限值(C)定量计算公式:$C=X+k\sigma$ 来划分异常等级,其中 X 表示均值,σ 表示标准离差.对于羟基异常,k 取 2~3;铁染异常,k 取 1.5~2.5.在直方图中对 PC4 进行阈值分割,得到分级异常信息图像.

2　研究区地质情况

研究区位于新疆乌恰县,地理坐标:东经 74°50′~75°14′、北纬 39°29′~39°50′,属帕米尔高原北部前沿地带、西昆仑与西南天山交汇区、塔里木盆地西端,海拔 2 000~4 000 m.区内山脉纵横,沟谷发育,地势西高东低,属中—高山区.主河流为克孜勒苏河及支流.温差悬殊,植被稀少,属西部戈壁景观地貌.地层分布为喀什中生代前陆盆地,以第三系为主,其次为白垩系和侏罗系,周边有古生界和前寒武系变质岩逆冲岩片,盆内局部地区有基底变质岩(元古界)出露(图 2).晚白垩世至老第三纪早期,特提斯海喀什海湾发育有一套海陆交相碎屑岩、泥质灰岩、介壳灰岩、膏盐泥建造.乌拉根组富含铅、锌、锶、铜、硫等成矿物质,其上发育紫红色砂页岩、灰色钙质含铜砂岩及紫红色粉砂质页岩.下白垩统为膏岩泥建造,侏罗系为炭质页岩、含煤建造,富含铜、铅、锌、钠、硫、有机质.盆地基底发育厚度不等的古生代火山沉积岩系及前寒武纪变质岩系,局部含矿建造.这种"黑(碳质岩系)、白(膏岩层、碳酸盐岩)、红(紫红色砂页岩)"三色沉积建造和富含成矿元素基底,为形成砂岩型铅锌银矿、砂岩型铜银矿和砂岩型铀矿奠定了良好物质基础[4].本区矿化蚀变类型在各主要成矿区、带上均有出露,如绿泥石化、绢云母化、高岭土化、褐铁矿化、黄铁矿化等.铅锌矿体赋于上白垩统英吉沙群顶部和下第三系古新统底部.下部赋矿层上白垩统英吉沙群顶部吐依洛克组以灰白色砂岩为主,局部为细砾岩,夹多层薄层砂质粘土岩,矿体以锌为主,产于灰白色砂岩中;上赋矿层为下第三系古新统底部阿尔塔什组,为天青石化灰岩、角砾状灰岩(含石膏)和(或)多孔状灰岩,矿体为铅锌.赋矿层上部为泥灰岩,含石膏透镜体或结核粘土岩、石膏层和介壳灰岩.由此可见,赋矿层为碎屑岩和碳酸盐岩过渡层,下部碎屑岩矿化以锌为主,上部碳酸盐岩中铅锌矿化发育[2].乌拉根铅锌矿围岩蚀变为天青石化、黄铁矿化、石膏化及白云石化,蚀变分带从深部至浅部依次为:黄铁矿、闪锌矿-闪锌矿、黄铁矿、方铅矿-闪锌矿、方铅矿-天青石-白云石-硬石膏.上述蚀变类型均含有 Fe^{2+}、Fe^{3+}离子或 OH^-、CO_3^{2-}离子.由这些基团构成岩石的矿物与硅、铝、镁和氧形成的重要造岩矿物相比,在美国 5 号陆地卫星 ETM1、ETM2、ETM3、ETM4、ETM5 和

万方数据

E T M 7 (0 . 4 5 ~ 2.35 μm)各波段上存在明显特征谱带.

3 ETM+图像预处理

此次研究利用 1999 年 9 月 9 日 P149R032ETM+数据、1999 年 9 月 25 日 P149-R033 ETM+数据、2001 年 8 月 20 日 P150R032ETM+数据及 2001 年 10 月 7 日 P150R033 ETM+数据,经辐射校正和系统几何校正,图像质量较好.对选取的原始图像数据,进行几何精确校正、反差增强、波段融合、图像裁切等预处理,获得区内遥感基础图像.为避免对蚀变弱信息的破坏,在 ENVI 平台处理中,均采用分景进行.由于图像干扰因素为植被、水体、盐碱地、雪、阴影、云等,需对影像进行一系列掩膜处理.

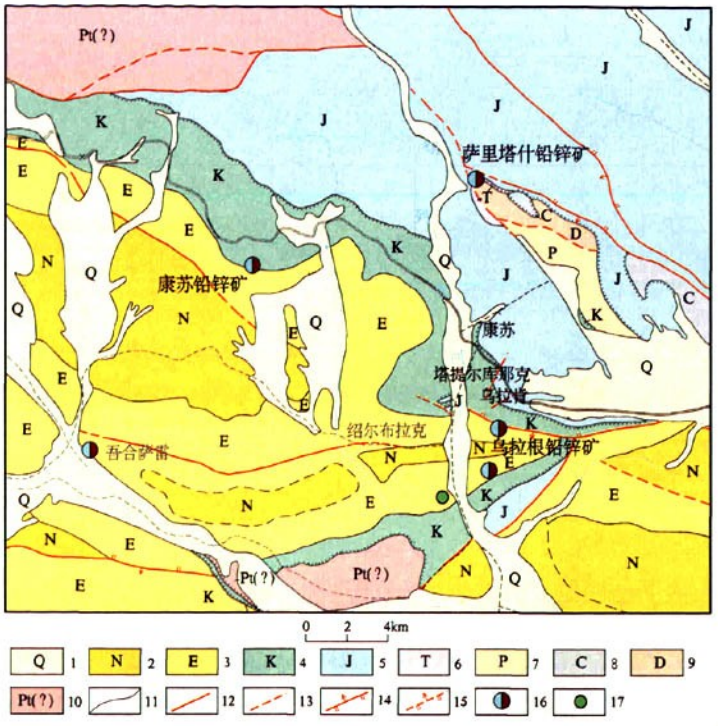


图 2 乌拉根铅锌矿区域地质简图

Fig.2 Areal geology map of the Wulagen lead-zinc deposit

1.第四纪;2.新第三纪;3.老第三纪;4.白垩纪;5.侏罗纪;6.三叠纪;7.二叠纪;8.石炭纪;9.泥盆纪;10.中元古代;11.地质界线;12.实测断层;13.推测断层;14.实测逆掩断层;15.推测逆掩断层;16.铅锌矿;17 铜矿

4 各种干扰信息的去除

去干扰工作是通过对光谱特征观察,选用不同数学方法,将可能形成干扰的非目标地物,经数学处理归入干扰窗.去干扰后获得基础图像,形成掩膜,再进行掩膜主分量分析,尽可能减少干扰物(水体、云、雪、冰、盐碱地、地形阴影、云影、植被等)对异常提取工作产生的影响.据干扰信息波谱特点,选用 ETM7/ETM1<N 作为判据,N 取 0.8,即将 ETM7/ETM1<0.8 的像素作为干扰因素划入干扰窗,以消除阴影影响.

5 蚀变信息提取

5.1 泥化蚀变信息提取

提取泥化蚀变遥感信息时,选取 ETM1、4、5、7 四个波段进行主成分分析.由于可见光谱段对铁氧化物敏感,为避免在变换过程中铁氧化物信息干扰,只选择一个可见光谱段.从主成分分析特征向量矩阵可知(表 1),原始的 4 个波段相关性很强.变换后 PC1 方差最大,是 4 个波段信息的聚集;PC2 反映 ETM4 波段信息;PC3 反映 ETM1 波段信息;PC4 中去除了 ETM7 波段与其它各波段相关信息,保留 ETM7 波段独具的特征信息.ETM5 波段特征向量较大,与 ETM7 特征向量符号相反,反映出含羟基、碳酸根和粘土类矿物在 ETM5 具波段高反射,在 ETM7 波段具强吸收光谱特征.因此,PC4 是提取泥化蚀变及蚀变晕遥感信息最佳变量.

下面是其中一景区 p150r032~7x20010820.ETM

表 1 主成分分析特征向量矩阵

Table 1 The eigenvector matrix of principal component analysis

主分量	ETM7	ETM5	ETM4	ETM1
PC1	0.489 320	0.582 178	0.487 772	0.428 619
PC2	-0.563 299	0.016 478	0.781 271	-0.268 401
PC3	-0.253 434	-0.489 374	0.111 681	0.826 929
PC4	-0.615 656	0.649 085	-0.373 125	0.245 835

万方数据

表 2 主成分分析特征向量矩阵

Table 2　The eigenvector matrix of principal component analysis

主分量	ETM5	ETM4	ETM3	ETM1
PC1	0.569 383	0.478 247	0.518 813	0.421 800
PC2	0.257 161	0.656 468	-0.641 391	-0.302 548
PC3	0.776 766	-0.547 233	-0.111 310	-0.291 172
PC4	0.079 405	-0.202 154	-0.554 130	0.803 597

的提取数据:

PC4=0.245835ETM1~0.373125ETM4+0.649085ETM5~0.615656ETM7

为突出遥感找矿异常的中心位置,对遥感找矿异常信息进行量化分级.利用直方图统计均值和方差,通过对"均值+N×方差"中 N 的调整,进行阈值分割,提取蚀变异常,将结果叠加到 7 波段灰度图上,从中看到已知矿周围大都提取了较强的蚀变异常分布(图 3),并具一定规律性.泥化蚀变异常带与本区铅锌矿含矿赋矿层位、蚀变破碎带和断裂构造等控矿地质因素

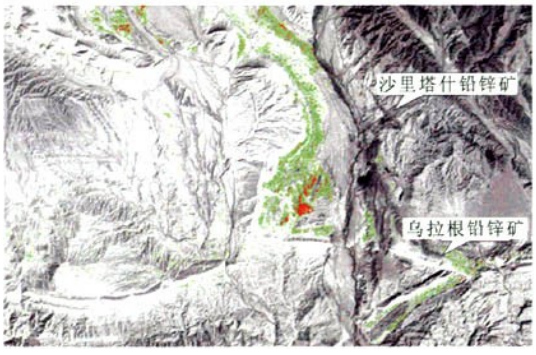


图 3　研究区泥化蚀变遥感信息异常分布图

Fig.3　Remote sensing alteration anomalies map of the hydroxyl

的走向表现出一致性.

5.2　铁化蚀变遥感异常

提取铁化蚀变遥感信息时,采用特征主成分选择技术,用有铁吸收带的 ETM1、3、4、5 四个波段进行主成分分析,舍弃 ETM7 波段是为避免含羟基和碳酸根矿物干扰.从主成分分析特征向量矩阵可知(表 2),PC1 是 4 个波段的综合反映;PC2 以 ETM4 特征向量因子最大,符号为负;PC3 以 ETM5 特征向量因子最大;PC4 集中反映了 ETM1 波段信息.ETM3 波段特征向量因子较大,与 ETM1 波段特征向量因子符号相反,反映出含铁离子类矿物在 ETM3 波段高反射,ETM1 波段强吸收的光谱特征.因此,PC4 是提取铁化蚀变遥感信息的最佳变量.

下面是其中一景 p150r032~7x20010820.ETM 的提取数据:

PC4=0.803597ETM1~0.554130ETM3~0.202154ETM4+0.079405ETM5

与泥化蚀变异常信息提取一样,对 PC4 直方图统计处理后,进行密度分割,异常阈值定为均值+2.5×方差,提取铁化蚀变信息,将结果叠加到 7 波段灰度图上.结果表明,各矿床周围均提取到较强的铁染蚀变异常,与本地锌元素化探异常范围图比较(图 4),铁化蚀变遥感信息异常与锌化探异常具相关性地区已完全"突现"出来,锌元素化探异常区域都提取到较强的铁化



图 4　研究区铁染蚀变遥感信息异常分布图

Fig.4　Remote sensing alteration anomalies map of the iron abnormity

蚀变异常.

6　遥感找矿预测

找矿靶区优选中,运用陈毓川、朱裕生等提出的成矿预测基本理论和准则[6].要点为:①最小风险、最大含矿率准则,即找矿靶区面积最小,含矿率最高.②优化评价准则,即对地、物、化、遥各类信息进行优选,突出有效和关键信息.③综合评价准则,即共伴生矿综合评价和综合方法使用.

本区几个多金属矿化区均出现不同程度的"矿化型异常",这类异常一般值级较高,分布较连续,具一定规模,是反映多金属矿化区铁化蚀变、泥化蚀变晕富集地段,为找矿的重要标志.乌恰县一带,同时出现强泥化与铁染蚀变现象(图 3,4),应引起足够重视,区域上多组线性构造交汇处是成矿最有利部位.断裂构造强发育段,是成矿热液运移良好通道,乌恰断裂在地

万方数据

貌上是分隔西南天山山脉与塔里木盆地的区域性深大断裂.断裂始于乌恰县东北,总体呈 NE 延伸至巴索贡.倾向 NW-NNW,倾角 70°~80°,断裂南北两侧,地层出露情况、岩性、厚度及各期构造运动截然不同.该断裂具长期活动特点,两侧形成次一级断裂,表明乌恰县区域具大规模成矿地质条件.据乌恰县周围遥感铁化蚀变和羟基蚀变提取,蚀变信息反映强烈,与已知矿体具一定吻合度,该区是线性构造与环形构造交汇区,地质上多组构造,断裂极发育,预测认为其东西两侧最具找矿前景,是本区重点找矿靶区.据此推荐 B1、B2、B3、B4(图 5),这 4 个靶区,均位于铅锌矿赋矿地层,同时泥化和铁染异常信息显示较好,为铅锌矿成矿有利地带,值得进一步开展地质找矿工作.

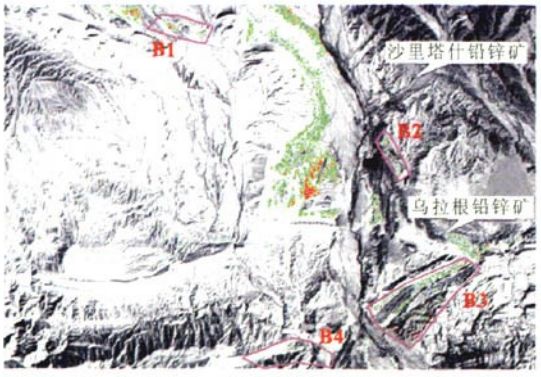


图 5 研究区遥感异常找矿靶区图
Fig.5 Target map of the detecting mineral from remote sening

7 结论

通过对提取蚀变图像和其它数据的比较处理,笔者认为,遥感蚀变异常中,铁化蚀变提取受图像干扰因素较少,提取蚀变异常与化探等数据图像切合度高,遥感异常示矿意义应高于泥化蚀变遥感异常.通过对 EIM+多光谱数据处理,研究岩矿光谱机理及特征,图像数据统计分析中,选取特征主成分分析方法,进行蚀变遥感信息的增强提取,改进遥感异常的分级方法,对蚀变遥感信息进行了分类分级提取.在对本区地层、构造和化探数据综合分析处理基础上,结合遥感异常提出本区最具找矿潜力的靶区定位预测.

参 考 文 献

[1] 张远飞,吴健生.基于遥感图像提取矿化蚀变信息[J].有色金属矿产与勘查,1999,8(6):604-606.
[2] 王晓鹏,谢志清,伍跃中,等.ETM+图像数据的综合遥感矿化蚀变异常信息提取[J].地质与资源,2002,11(2):119-122.
[3] 张玉君,曾朝铭,陈薇.ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用[J].国土资源遥感,2003,56(2):44-50.
[4] 蔡宏渊,邓贵安,郑跃鹏,等.新疆乌拉根铅锌矿床成因探讨[J].新疆地质,2002,1:3-5.
[5] 高珍权,刘继顺,舒广龙,等.新疆乌恰铅锌矿床成矿的地质条件及成因[J].新疆地质,2002,2:116-119.
[6] 陈毓川,朱裕生.中国矿床成矿模式[M].北京:地质出版社,1993.

A STUDY OF THE METHOD FOR EXTRACTIOH OF ALTERATION ANOMALIES FROM THE ETM+ DATA OF THE WUQIA AREA OF THE SINKING PROVINCR

SUN Wei-dong[1,3],WANG Run-sheng[2],TIAN feng[1],TANG yu[1]
(1.China University of Geosciences,Beijing,100083,China;2.China Areo Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources,Beijing,100083,China;3.Information Center of Bureau of Geology and Mineral Resources of Urumqi,Xinjiang,830000,China)

Abstract: The alteration rocks anomaly is the important indicate now if people want to seek the mine depending on the remote sensing image. Therefore, in the geological prospecting remote sensing investigation, the alteration rocks anomaly's distributed charting and the unusual information's extraction are very important.The alteration rocks anomaly have many differences with normal rocks ,for example, mineral type, structure, color, which causes the difference in the rock reflection spectrum characteristic. So each the alteration rock has special spectrum in some specific band spectrums. The ETM+ image we may recognize These unique spectral characteristic. In This article the author selects the Wuqia area of Xinjiang province , a ETM+ remote sensing image, Apply remote sensing imagery technology and statistical method, Selects each kind of weak alteration information according to the level, has carried on the hydroxyl and the ferri mineral unusual inform
Key word:ETM+;Alteration rocks anomaly;Principle component analysis;Histogram;Ratio composition

万方数据