

# 内蒙古乌拉特中旗 294 地区遥感 蚀变异常信息提取研究

袁晓华<sup>1</sup>, 李 社<sup>2</sup>

(1. 核工业二〇八大队, 内蒙古 包头 014010; 2. 福建天宝矿业集团股份有限公司, 福州 350003)

**摘要:** 294 地区位于内蒙古中部地槽褶皱系宝音图隆起北东端, 是重要的多金属成矿区。研究工作运用遥感技术, 结合野外调查资料, 对该区围岩蚀变异常信息进行了提取和分析。结果显示, 铁染、羟基蚀变异常遥感信息分布于断裂构造的旁侧, 以 NE 向、近 EW 向呈带状分布, 并且与已知矿床(点)具有很好的吻合性。从而证明蚀变异常遥感信息能够指示出成矿的潜在部位, 对进一步找矿勘查具有指导作用。

**关键词:** 遥感蚀变异常; 信息提取; 比值; 掩模; 内蒙古

**中图分类号:** TP79; P614 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)04-0356-06

## 0 引言

在热液作用的影响下, 使岩石的化学成分、结构和构造发生变化, 并产生新的矿物组合。由于这种蚀变的岩石经常见于热液矿床的周围, 故称为蚀变围岩<sup>[1-2]</sup>。蚀变围岩是重要的找矿标志, 它不仅可以显示地表矿体的形态和位置, 而且也能间接指示地下盲矿体的存在。利用蚀变矿物共生组合的生长间断或蚀变矿物的共生关系可划分蚀变阶段、确定蚀变作用类型, 从每一蚀变过程中的矿物分带性可确定蚀变带序或递进蚀变序列, 分析矿物蚀变的共生组合的空间叠加情况可确定各阶段蚀变与成矿的关系, 继而可更深入地研究蚀变形成的化学特点、温度、压力、成矿流体特征、流体与围岩相互的作用及原因, 探讨蚀变-成矿过程。利用蚀变岩石组合的组成矿物、分布范围和强度, 可以预测矿产的种类、赋存的位置以及富集的程度。

在遥感地质应用中都非常重视对蚀变信息提取的研究。遥感蚀变信息是蚀变岩(带)在遥感影像反映出来的一种综合光谱信息。国内外遥感工作者为开发利用这种信息进行了多种试验研究<sup>[3-7]</sup>, 证实了

蚀变岩石信息与金属矿床有较高的相关性, 蚀变遥感异常作为一种找矿标志的参数同样具有独立性。

## 1 294 地区地质概况

294 地区的大地构造位置处于内蒙古中部地槽褶皱系宝音图隆起北东端, 西邻天山地槽褶皱系杭乌拉隆起, 东邻内蒙古中部地槽褶皱系桑根达莱坳陷。区内出露地层主要有古元古宇宝音图群石英岩大理岩组(Pt<sub>1</sub>by)、中-下志留统徐尼乌苏组(S<sub>1-2</sub>xn)板岩、下二叠统包特格组一岩段(P<sub>1</sub>b<sup>1</sup>)、白垩系上统(K<sub>2</sub>)。区内岩浆岩分布较少, 主要有二叠纪中细粒闪长岩体(P<sub>2</sub>)和中细粒二长花岗岩(P<sub>2</sub>γ), 区内脉岩发育, 主要为石英脉, 花岗岩脉, 闪长岩脉, 闪长玢岩脉等。区内构造以断裂为主, 褶皱不发育, 岩层为一向 SE 倾斜的单斜构造; 成矿前断裂为 NE 向压扭性断裂, 共有 2 条, 分布在中元古宇 3 个岩组的接触部位, 呈 60°方向舒缓波状延伸, 长 > 20 km; 成矿期断裂分布在本区中部, 展布于 2 条压扭性断裂之间的白云质结晶灰岩内, 由 NE 向破碎带及其两侧(主要是南侧)NW 向羽状断裂组成, NE 向破碎带宽 50~150 m, 走向为 60°, 断续长约 10 km; 成矿

收稿日期: 2009-08-28

作者简介: 袁晓华(1980-), 男, 重庆人, 工程师, 从事金矿地质勘查工作。通信地址: 内蒙古包头市 128 号信箱; 邮政编码: 014010; E-mail: 8379304@qq.com

后断裂的走向  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ , 发育在铁矿体内部, 导致矿石破碎, 断裂规模小, 对矿体破坏性不大。

## 2 ETM+ 数据的基本特征

ETM+ 是 NASA (美国国家航空和宇宙航行局) 于 1999 年 4 月 15 日发射的美国陆地卫星 Landsat 7 携带的对地观测传感器, 是一台 8 波段的多光谱扫描辐射计, 工作于可见光、近红外、短波红

外和热红外波段。Landsat 7 平台轨道是极地圆形太阳同步轨道, 轨道高度 705 km, 倾角  $98.22^{\circ}$ , 穿越赤道时间上午 10 点, 扫描带宽 185 km, 地面重访周期 16 天。本次研究所用的 ETM+ 数据成像时间是 2000 年 07 月 13 日, 数据地面覆盖面积为  $185 \text{ km} \times 185 \text{ km}$ , 有 7 个多光谱波段 (Band 1—7), 1 个全色波段 (Band 8)。ETM 数据各波段的主要信息特征及用途见表 1。

表 1 陆地卫星 ETM 图像信息特征及用途一览表<sup>[8]</sup>

Table 1 Character and purpose of Landsat ETM image

波段	波段名称	波长范围 ( $\mu\text{m}$ )	分辨率 (m)	光谱信息识别特征及实用范围
B1	红色	0.45~0.52	28.5	能反映岩石中铁离子叠加吸收光谱, 为褐铁矿、铁帽特征识别谱带, 但因大气影响, 图像分辨率较差
B2	绿色	0.52~0.60	28.5	对水体有一定的穿透能力, 可用于水下地形、环境污染、植被识别, 但受大气影响, 图像质量相对较差
B3	蓝色	0.63~0.69	28.5	用于植被分类、生长状况调查, 土壤、地质体边界和地质构造的识别
B4	近红外	0.76~0.90	28.5	为植被叶绿素强反射谱带, 反映植被种类, 第四系含水量差异; 实用于岩性区分、构造和隐伏地质体识别, 地貌细节显示较清楚
B5	短波红外	1.55~1.75	28.5	为水分子强吸收带, 适用于调查地物含水量、植被类型区分, 冰川、雪识别等
B6	热红外	10.45~12.5	60	为地物热辐射波段, 图像特征取决于地物表面温度及热红外发射率, 可用于地热制图, 热异常探测, 水与植被热强度确定
B7	短波红外	2.08~2.35	28.5	为烃类物质、蚀变岩类和含羟基蚀变矿物吸收谱带, 用于区分热蚀变岩类、含油气信息识别、岩性和地质构造解译

## 3 蚀变岩的光谱特征

近 30 年来, 一批学者进行了大量岩石和矿物的波谱特性研究工作, 这些研究涉及到晶体场理论的矿物学、固体物理学、量子力学、遥感岩石学等众多学科 (全国遥感地质协调小组新技术方法课题组, 1991)。最引人注意的是 Hunt 和他领导的实验室在 70 年代系统地发表了关于矿物岩石波谱测试结果的文章, Hunt (1978) 利用近 300 个粒状矿物的测定结果归纳出下述重要结论:

主要造岩矿物的主要成分, 即硅、铝、镁和氧, 其振动基频在中红外和远红外区, 波长位于  $10 \mu\text{m}$  附近或更长区域, 第一倍频也在  $5 \mu\text{m}$  附近或更长区域, 高倍频谱带强度太弱, 所以在可见光—近红外 (VNIR) 区不产生具有诊断性的谱带。岩石中的次

要成分, 如铁杂质或蚀变矿物, 在岩石特征谱带形成中占有优势。换言之, 在可见及近红外区中, 天然矿物和岩石最常见的光谱特征是由以这样或那样形式存在的铁产生的, 或者是由  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$  或  $\text{CO}_3^{2-}$  基团产生的。

热液蚀变矿物在短波近红外波段具有诊断性强的吸收特征, 它们是纯矿物本身固有的特征。不同矿物混合在一起组成的岩石并不能改变矿物的波谱特征。因此, 岩石的波谱是组成岩石的纯矿物波谱的线性组合, 但某种矿物吸收特征的强弱不但取决于其含量, 而且还取决于辐射能量的可接近程度。例如, 某一矿物被透明矿物所包围时, 其吸收特征就较强, 反之亦然。吸收特征的尖锐程度取决于矿物的结晶程度, 结晶程度越好, 吸收特征越明显。

绝对反射率和谱带的光谱对比度对矿物颗粒大小非常敏感, 对透明物质来说, 一般粒级越小, 总反

射率越高, 但光谱对比度降低; 对不透明物质, 粒级越小, 反射率越低。

现将对岩石矿物在可见光—近红外区反射光谱特征起主导作用的离子和基团的重要吸收谱带列入

表2, 并引用2个波谱曲线图(图1, 图2)直观地展示含3价铁离子矿物及热液蚀变岩石中常见矿物的反射波谱曲线。

表2 蚀变有关的特征离子吸收带<sup>[9]</sup>

Table 2 Alteration-related ion absorption bands

吸收带类型	矿物类型	常见矿物	吸收谱带中心波长(μm)		相对应的 TM 波段	
			中等吸收	强吸收	中等吸收	强吸收
Fe <sup>2+</sup>	Fe的还原化物	角闪石				TM 7
Fe <sup>3+</sup>	Fe的氧化物	褐铁矿、赤铁矿、针铁矿		1.4~0.55, 0.90		TM 1, TM 4
OH <sup>-</sup>	黏土矿物	高岭土、白云母	1.4, 1.9	2.20	TM 5	TM 7
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	碳酸盐矿物	方解石、白云石、菱镁矿	2.16	2.35		TM 7

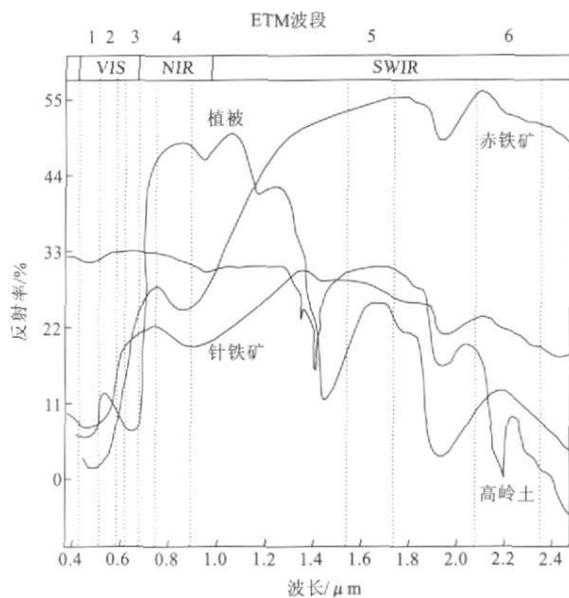


图1 特征矿物及植被波谱曲线特征<sup>[9]</sup>

Fig. 1 Spectral curve of characteristic mineral and vegetation

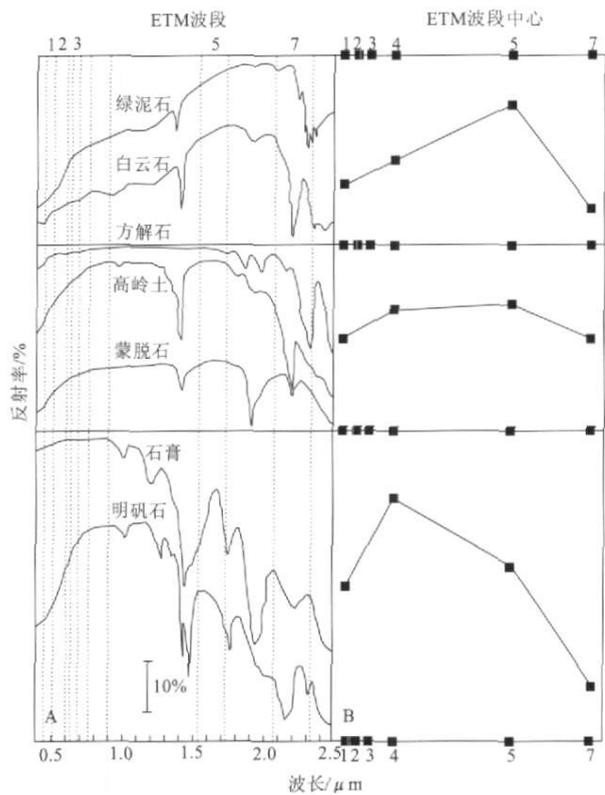


图2 含OH<sup>-</sup>和CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>离子的反射波谱曲线

(据 Knepper, 1989)

Fig. 2 Curve of reflectance spectrum of minerals with OH<sup>-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ion

A. 反射曲线: 热液蚀变岩石中常见矿物的反射波谱曲线, 纵坐标经0点偏移 B. 基本谱线: 由左侧矿物反射波谱曲线组合而成

## 4 蚀变异常信息提取

### 4.1 数据异常信息的提取

目前主要利用比值、主成分分析、光谱角分析及上述三者的综合互补分析的方法来完成<sup>[10-12]</sup>。为了保证提取工作的顺利进行和提取结果的准确性, 针对该工作区的特点, 本次采取比值+掩模+逐层分离的提取方法。对ETM数据进行了提取前数据处理和提取后数据处理。前处理包括大气纠正、太阳高度角纠正, 后处理包括低通滤波和掩模。

#### 4.1.1 提取前处理

(1) 大气纠正: 采用波段回归分析法, 其理论依据在于大气散射的选择性, 即大气散射对短波影响大, 对长波影响小。因此对陆地卫星来说 Band 1—4 波段受散射影响严重, 其次为 5 波段、6 波段, 而 7 波段

受散射影响最小。为处理问题方便,可以把近红外图像当作无散射影响的标准图像,通过对不同波段的对比分析计算出大气干扰的值。在不受大气影响的波段和待校正的某一波段图像中,选择最黑区域(高山阴影区、水体、暗色岩体)中的一系列目标,将每一目标的两个待比较的波段亮度值提取出来进行回归分析,求出它的截距值,即为该波段修正值。

太阳高度角的纠正是通过调整一幅图像内的平均灰度来实现的,将太阳高度角求出来,太阳以高度角 $\theta$ 斜射时得到的图像 $g(x, y)$ 与直射时得到的图像 $f(x, y)$ 有如下关系<sup>[13]</sup>:

$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{\sin \theta}$$

(2) 掩模(Mask): 本区无植被覆盖,免去植被干

扰。笔者研究证实,沙漠区地物波谱特征与蚀变岩波谱特征极为相似,对蚀变岩异常提取有较大干扰,因此利用掩模技术将沙漠覆盖区去除,以有利于蚀变异常提取工作的顺利进行。

通过大气校正、太阳高度角校正和掩模(Mask)处理,基本去除大气、太阳高度角和沙漠区的干扰,其数据作为蚀变岩异常提取的基础数据,以备下一步的提取。

#### 4.1.2 铁染蚀变异常信息提取

要获得蚀变矿物的异常信息,首先要分析蚀变矿物的波段曲线,找出斜率变化最大的区间和曲线中的反射峰、吸收谷,确定波谱范围,作比值增强处理,形成突出蚀变信息的图像。铁的氧化物、氢氧化物和硫酸盐(包括褐铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾等矿物<sup>[14]</sup>)的波谱曲线在 ETM 1, ETM 4 波段有一个强吸收谷(图 1),而在 ETM 3, ETM 5 有一个强反射(图 1)。

从而,利用研究区 ETM 3, ETM 1, ETM 5 和 ETM 4 波段处理后的结果数据进行比值运算,分别来识别 3 价铁染(ETM 3/1, 图 3)和 2 价铁染(ETM 5/4, 图 4)的蚀变异常信息;依据计算比值图像反映矿化蚀变异常信息的亮度平均值与标准方差,对已有矿床(点)资料进行对比分析,从而确定异常值的最佳阈值为平均值 $\pm 2.5$  倍的标准方差,据此提取 3 价铁染蚀变异常。

#### 4.1.3 羟基蚀变异常信息提取

典型的热液蚀变矿物——含羟基和含水类矿物,如高岭土、绿泥石、绿帘石、蒙脱石、明矾石及云母类等,在 ETM 7 波段附近有较强的吸收谱带<sup>[14]</sup>,即在 ETM 7 波段产生低值,而在 ETM 5 波段有较强的反射谱带,即有相对高值。因此,利用 ETM 5 和 ETM 7 波段的处理结果数据做比值运算(ETM 5/7),以进行羟基蚀变异常信息的提取。依据计算比值图像反映矿化蚀变异常的亮度平均值与标准方差,对已有矿床(点)资料进行对比分析,从而

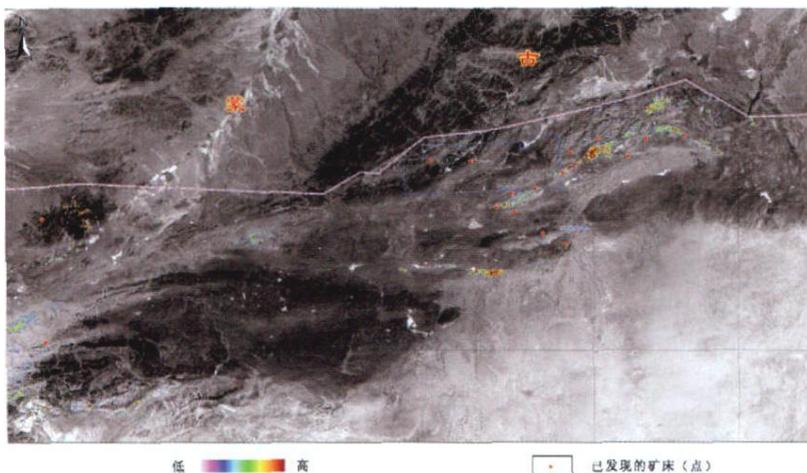


图 3 3 价铁染蚀变信息提取异常图

Fig. 3 Anomaly map of Fe<sup>3+</sup> stain information

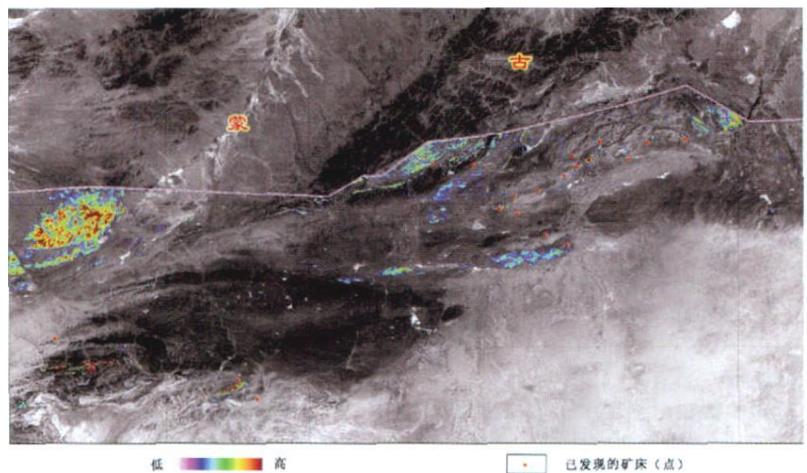


图 4 2 价铁染蚀变信息提取异常图

Fig. 4 Anomaly map of Fe<sup>2+</sup> stain information

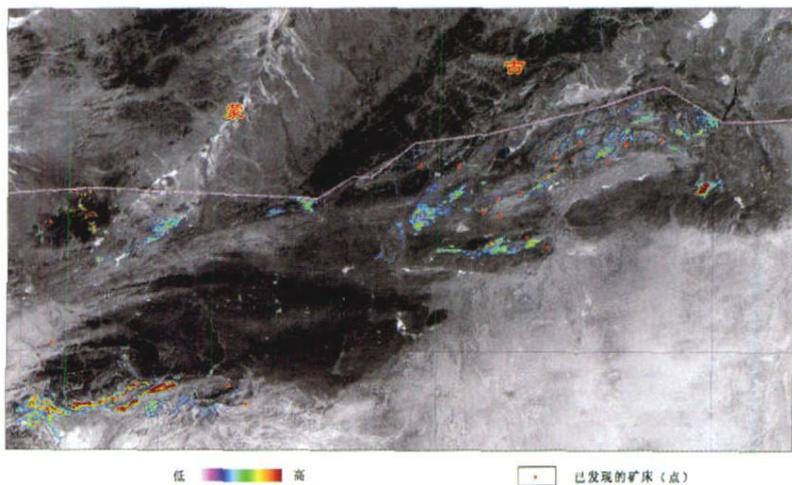


图5 羟基蚀变信息提取异常图

Fig. 5 Anomaly map of OH<sup>+</sup> alteration information

从而确定异常值的最佳阈值为平均值 $\pm 3.0$ 倍标准方差,据此提取羟基蚀变异常(图5)。

由图3、图4可以看出,铁染蚀变异常信息主要呈NE向和近EW向展布。结合该区的构造解译图,发现整个铁染蚀变异常基本都沿断裂构造呈带状分布,且有些蚀变集群沿控矿构造展布;由图5可知,羟基蚀变异常信息同样以NE向和近EW向展布,且基本都与断裂构造带、已知矿床(点)具有很好的吻合性,从而表明蚀变异常是一种直接的找矿标志。也有部分新发现的铁染蚀变异常带,从而对今后的找矿提供了依据与方向。

## 5 结语

(1)对于294地区有针对性地选取ETM数据。在蚀变信息提取之前,对原始数据进行了大气纠正、太阳高度角纠正。然后,进行比值、掩模、滤波等一系列数据处理,完成了294地区铁染、羟基蚀变异常信息的提取。

(2)蚀变遥感异常集中分布于断裂带旁侧,呈带状分布。主要呈NE向、近EW向展布。蚀变异常所显示的成矿有利部位基本与已知矿床(点)相吻合,也有部分新发现的异常,从而表明蚀变异常能直观地指示出成矿的潜在部位,为今后开展找矿工作指明方向。

## 参考文献:

- [1] 吕凤军,邢立新,范继璋,等.基于蚀变信息场的遥感蚀变信息提取[J].地质与勘探,2006,42(2):65-68.
- [2] 荆凤,陈建平.矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J].遥感信息,2005(2):62-65,57.
- [3] 杨长保,姜琦刚.辽东地区矿化蚀变遥感信息提取的研究和应用[J].遥感信息,2007(4):20-24.
- [4] 王海平,张彤.基于遥感视反射率图像的矿化信息识别及其应用[J].地球学报,2005,26(3):283-289.
- [5] 韩玲,谢秋昌.利用遥感技术对新疆西天山地区矿化蚀变信息的提取[J].遥感信息,2007(6):49-51.
- [6] 相爱芹,朱谷昌,杨自安,等.多光谱遥感蚀变信息提取的新方法应用研究[J].矿产与地质,2006,20(6):656-658.
- [7] 杨波,吴德文,赖健清,等.矿化信息提取定量遥感模型的建立——以鹰嘴山硅化蚀变为例[J].遥感学报,2005(6):717-724.
- [8] 李社.基于RS和GIS的下庄矿田多源控矿地质信息研究(硕士学位论文)[D].抚州:东华理工大学,2006:18-20.
- [9] 张晋开,崔承禹,支毅乔.基于主成分分析的植被掩模与模式滤波方法在中等植被区蚀变信息提取中的应用[J].中国图像图形学报,1996,1(2):108-114.
- [10] 邹林,杨自安,朱谷昌,等.多光谱遥感蚀变信息提取新方法研究[J].地质与勘探,2006,42(6):71-76.
- [11] 韩玲,卜晓翠.基于ERDAS的蚀变遥感异常提取方法[J].遥感技术与应用,2007,22(6):696-699.
- [12] 傅文杰,洪金益,朱谷昌.基于光谱相似尺度的支持向量机蚀变信息提取[J].地质与勘探,2006,42(2):69-73.
- [13] 汤国安,张友顺,刘咏梅,等.遥感数字图像处理[M].北京:科学出版社,2004:104-110.
- [14] 朱亮璞.遥感地质学[M].北京:地质出版社,1999:155-157.

# ALTERATION ANOMALY INFORMATION EXTRACTION FROM REMOTE SENSING DATA AT 294 REGION OF URAT ZHONGQI IN INNER MONGOLIA

YUAN Xiao-Hua<sup>1</sup>, LI She<sup>2</sup>

(1. Geological Exploration Party No. 208 BOG. CNNC Inner Mongolia, Baotou 014010, Inner Mongolia, China;

2. *Fujian Tianbao Mining Group CO. LTD., Fuzhou 350003, China*

**Abstract:** 294 area is located at northeast end of Bayitu uplift of the middle Inner Mongolian geosyncline fold system and is an important multi-metal metallogenic area. Combined with field work, the authors use remote sensing technique to extract and analyze the wall rock alteration and mineralization information of the area. The results show that iron stain and hydroxy-bearing minerals are distributed in NE and nearly EW zones along fractures and well coincided with the known mineral deposits. It is indicated that the remote sensing alteration information can be used to locate potential position of mineral deposit thus important to ore exploration.

**Key Words:** remote sensing; alteration information extraction; ratio; mask; Inner Mongolia

(上接第 350 页)

- [3] 吴珍汉. 华北陆块北缘及临区显生宙构造应力场[J]. 长春地质学院学报, 1996(4): 398-405.
- [4] 方曙, 朱洪森, 朱慧忠, 等. 华北地台北缘喀喇沁断隆升机制[J]. 中国地质, 2001, 28(3): 5-11.
- [5] 王义文, 谢希才. 安家营子金矿田矿床类型及地质地球化学特征[J]. 黄金, 1997, 18(11): 3-9.
- [6] 张魁武, 郑学正, 李秀云, 等. 内蒙古安家营子金矿床地球化学异常特征[J]. 华北地质矿产杂志. 1998, 13(2): 144-154.
- [7] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105-129.
- [8] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报. 2000, 74(4): 289-302.
- [9] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(10): 913-920.
- [10] 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗绿岩地体中中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(1): 35-40.
- [11] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

## CHARACTERISTICS OF ORE CONTROL FRACTURES IN GOLDENTOAD MOUNTAIN GOLD DEPOSIT, HARQIN BANNER, INNER MONGOLIA

SUN Zhi-ming, YANG Xiu-feng, HAN Jian-bai, JIANG Xiao, ZHU Bin

(*Sinosteel Tianjin Geological Academy, Tianjin 300181, China*)

**Abstract:** Goldentoad mountain gold deposit is located in fractures within Anjiayingzi granitic mass. Two fracture swarms occur in east and west of the mine area respectively and are dominated by fractures trending NNE and SN. The ore control fractures were formed in 135-126 Ma period. Conjugate joints are pre-mineralization structure and fractures trending SN and NNE and rederivel fractures symineralization.

**Key Words:** Goldentoad mountain gold deposit; brittle fracture; Inner Mongolia