

# 基于矿物填图和构造解译的夹皮沟金矿找矿方法研究

霍红元<sup>①</sup>,周萍<sup>①</sup>,倪卓娅<sup>①</sup>,李海胜<sup>①</sup>,崔艳梅<sup>①</sup>,杨旭<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> 中国地质大学(北京),北京 100083;<sup>②</sup> 商丘金源土地测绘服务有限公司,河南 476000)

**摘要:**针对夹皮沟找矿,在两个方面研究:①采取掩膜处理、阈值切割、比值、光谱角等多种方法综合分析并去除目标影像的植被、阴影、河流水体及其冲积物等众多干扰信息;②采用单窗算法对 ETM 遥感影像中的热红外波段进行地表温度反演,根据地表温度的反演影像进行遥感解译构造,对蚀变异常区域和构造解译影像做叠合分析,找出成矿远景区和成矿有利区,圈定可能的成矿靶区,得到了很好的结果。

**关键词:**信息提取;阈值切割;矿物填图;构造解译

**doi:**10.3969/j.issn.1000-3177.2012.01.015

**中图分类号:**TP79 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2012)119-0073-05

## Jiapigou Gold Mine Metallogenic Study Based on Mineral Mapping and Geological Structure Interpretation

HUO Hong-yuan<sup>①</sup>, ZHOU Ping<sup>①</sup>, NI Zhuo-ya<sup>①</sup>, LI Hai-sheng<sup>①</sup>, CUI Yan-mei<sup>①</sup>, YANG Xu<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083;

<sup>②</sup> Shangqiu Jinyuan Land Survey and Mapping Service Co. Ltd, Henan 476000)

**Abstract:** For research purposes and the study area, the focus of this paper lies in two aspects: first, take the mask processing, threshold-cutting, ratio of spectral bands, spectral angle mapper and other comprehensive analysis methods to remove the noise information such as vegetation, shadows, rivers and water body disturbance of sediment, and so on. Second, take the single-window algorithm to invert the surface temperature using the ETM+ remote sensing image's thermal infrared spectral band. Conduct the geological structure interpretation by inversion temperature image. Then overlay the abnormal alteration image data with the geological structure interpretation image data, use comprehensive analysis to forecast the favorable metallogenic zone, delineate mineralization potential ore target and the results showed well.

**Key words:** information extraction; threshold-cutting; mineral mapping; geological structure interpretation

### 1 数据预处理流程

夹皮沟矿区位于吉林省,属中高纬度地带,地形地貌复杂,干扰信息众多,给遥感方法研究增加了很大困难,故干扰信息的排除极为重要,通过对各种干扰信息波谱特征的观察,确定其中影响较大的几种干扰信息:植被、阴影、冰雪、河流及其冲积物等,根据这些干扰信息的光谱特征,选择合理方法去除,获得去干扰影像。综合研究区域特点,本文选择 2002 年 10 月 22 日和 12 月 20 日的 ETM+ 数据及 2007

年 2 月 28 日的 ALOS 数据。

#### 1.1 水体和阴影去除

水体在 ETM+ 第 7 波段反射率较低,在第 1 波段反射率较高,故采用  $ETM+7/ETM+1$  进行比值切割,通过观察直方图,并经多次试验得出切割阈值范围在 0.3~0.4 为最好,既可除去部分阴影,也可除去明显的河流等干扰信息,为保留可能有用的半阴影信息,该步骤中阈值的合理选择极为重要。ENVI 软件中比值切割表达式为:  $(b1GE0.3)b1 + (b1LE0.4)b1$ ,其中 GE 表示大于等于,LE 表示小

收稿日期:2010-11-09 修订日期:2011-04-08

作者简介:霍红元(1984~),男,硕士研究生,主要从事高光谱遥感岩矿信息提取工作。

E-mail: huaoking2100@sina.com

于等于, b1 表示影像的波段也可以指一幅影像。

### 1.2 河流冲积物去除

河流冲积物作为干扰信息, 沿河流两岸分布, 在 ETM 影像上与裸露岩区亮度值较为接近, 若使用比值切割方法可能会去除部分有用信息。本文选择用光谱角制图法 (SAM)<sup>[8,10]</sup>, 阈值为 0.055 做掩膜, 利用原始影像减去掩膜即可除去大部分河流冲积物。

### 1.3 植被去除

根据植被的波谱特征, 在 ETM+ 第 4 近红外波段处有一较强反射峰值, 在第 5 波段处产生强吸收, 而岩石露头类在第 4 波段的反射率值比在第 5 波段的反射率值低, 根据这一特点, 对植被首先采用比值方法处理即  $ETM+5/ETM+4$ , 然后对比值影像进行值阈切割做掩膜处理, 植被信息是  $ETM+5/ETM+4$  的值小于 0.95。ENVI 软件中比值切割方法的公式为:  $(b1 \leq 0.95) * b1$ , 波谱角制图方法中经过多次试验所选用的阈值为 0.055 较为合理。

### 1.4 冰雪覆盖物去除

由于所选数据 10 月 22 日的无冰雪、云, 而 12 月 20 日的有较大面积的冰雪覆盖, 故只对 12 月 20 日 ETM 数据进行处理。利用高值切割的方法对 ETM+1 波段进行阈值切割来实现冰雪、城市建筑物和部分河流冲积物等干扰信息的去除。

## 2 矿物蚀变信息提取

选用比值、主组分分析和阈值切割法, 来进行矿物蚀变信息提取并对比这 3 种方法针对本区的适用性。因研究区干扰信息种类复杂而不能尽除, 且与有用信息时有叠合, 故光谱角制图方法与基于视反射率和基于多元数据统计分析的方法等在这里并不适用。

### 2.1 主成分分析法

用 ETM+ 数据的 1345 波段组合进行主组分变换来提取铁染异常, 用 1457 波段组合进行主组分变换以提取羟基、硅酸盐等泥化蚀变信息<sup>[1,4~5,9]</sup>, 如表 1, 表 2 所示。

表 1 1457 波段 PCA 的特征向量和特征值

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 7	Eigenvalue
PC1	0.199362	0.484315	0.716948	0.460086	4608.800813
PC2	0.856856	0.335155	-0.316686	-0.230605	37.230406
PC3	0.465824	-0.782492	0.152680	0.383932	12.573806
PC4	-0.095185	0.202031	-0.601984	0.766641	2.735405

表 2 1345 波段 PCA 的特征向量和特征值

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 5	Eigenvalue
PC1	0.222251	0.264715	0.529610	0.774624	4180.282209
PC2	0.847124	0.216026	0.189966	-0.446761	36.784339
PC3	-0.357301	-0.163620	0.825186	-0.405750	9.184425
PC4	0.324485	-0.925466	0.049939	0.189020	5.181852

### 2.2 基于主组份的阈值切割

对去除噪声信息后的 ETM+ 数据进行主组分分析 (如表 3), 实践证明该方法在植被覆盖度高, 干扰信息类型多的地区比较适用, 用该方法判断羟基蚀变异常的依据是看第 5 波段与第 7 波段所在特征向量值最大且二者的符号相反, 则该主成分分量即为蚀变异常的主成分; 判断铁染异常的依据是在第 3 波段的特征值最大。

### 2.3 基于比值的阈值切割

由于含 Fe 离子矿物在 ETM+3 波段上有小反

射峰值, 而在分别接近蓝光和绿光范围的 ETM+1、ETM+2 波段上有弱吸收, 可用比值  $ETM+3/ETM+1$  或  $ETM+3/ETM+2$  来提取氧化铁信息即铁染异常; 而含羟基矿物在 ETM+5 上有一反射峰值, 在 ETM+7 有一吸收谷, 所以可用  $ETM+5/ETM+7$  来提取含 OH 矿物蚀变信息。但经过多次试验并和主成分分析方法进行比较发现, 针对本研究区域的特点, 比值方法对抗植被影响十分有限, 切割的阈值较难确定, 且结果不是很理想。

表3 123457 波段 PCA 的特征向量和特征值

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7	Eigenvalue
PC1	0.195116	0.187190	0.233239	0.463206	0.682479	0.438351	5646.916182
PC2	-0.744417	-0.414833	-0.199449	-0.194156	0.371542	0.241324	45.505997
PC3	0.294238	0.160240	0.125880	-0.836021	0.146264	0.389328	12.602413
PC4	0.441100	-0.222013	-0.728401	-0.052518	0.390085	-0.265800	5.657791
PC5	0.094282	-0.044829	-0.456552	0.210457	-0.464787	0.721348	2.257288
PC6	0.343131	-0.846107	0.388544	0.041969	-0.081201	0.083921	0.871241

羟基蚀变异常的阈值切割根据主组分变换之后的波段 5 的符号而定,波段 5 的符号为负,低值为异常区域,则需切割低亮度区;波段 5 的符号为正则高值为异常区域,需要切割高亮度区。切割的具体阈值需经多次试验予以确定,取视反射率的百分之一作为步长,同理可以确定用于提取铁染异常波段组合 PCA 切割阈值。蚀变填图结果如图 1:



图1 羟基与铁染蚀变信息提取图

■ 羟基异常 ■ 铁染异常

### 3 遥感构造解译

#### 3.1 矿床地质特征

夹皮沟大型金矿床位于矿带东部 NEE 向韧性剪切带内,主要容矿岩石为黑云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩及斜长角闪岩等,因矿化蚀变作用及韧性剪切作用变为片麻岩和糜棱岩等。研究区内有大量岩脉发育且多呈北东向分布,北东东向的韧性剪切带内赋存 3 条强蚀变带,其中中部一条规模最大,称为主蚀变带,长约 3km,宽约 50m~100m,东段呈 NW 走向,中段为 NEE,西段为 NE 走向,倾向 SE,倾角为 20°~45°,倾斜深度超过 450m。矿区内成矿期后断裂构造主要有新 6 号脉、大断层、宝戏台大断层和八人班大断层等,主蚀变带内赋存了较多的含金石英脉矿体。

#### 3.2 热红外温度反演和构造信息提取

热红外遥感影像用灰度值(0-255)反映地表温度的变化情况,而地球表面经历了漫长的地质年代和多次构造运动,形成了若干构造层,越老的构造层埋藏越深,受地心增温影响具有较高的温度;较年轻的构造层埋藏较浅,温度较低。不同的地物表现出的热特性并不相同,因此从某种意义上讲,不同温度地质构造层特点可以通过地物不同的热特性表现出来<sup>[3]</sup>。在对热红外遥感影像进行构造活动解译时,主要的判别标志是从影像的冷暖色调表现出的地形地貌的水系格局、岩石土壤、线性特征等进行的。

针对 ETM 数据,其热红外波段为第 6 波段,分为低增益和高增益波段,反演地表温度时采用单窗算法<sup>[2,7]</sup>。计算公式如下:

$$T_s = [a(1-C-D) + (b(1-C-D) + C + D)T_6 - DT_a] / C \quad (1)$$

其中,  $T_s$  为地表温度,  $a = -67.355351$ ,  $b = 0.458606$ ,  $C = \epsilon\tau$ ,  $D = (1-\tau)[1 + (1-\epsilon)\tau]$ ,  $\epsilon$  为地表辐射率,  $\tau$  为大气透射率,  $T_6$  是传感器所探测到的像元亮度温度,  $T_a$  是大气平均作用温度。要求得地表温度,须确定  $\epsilon$ 、 $T_6$ 、 $T_a$  3 个参数。针对 ETM 数据,  $T_6$  计算公式如下:

$$T_6 = 1260.56 / \ln[1 + 607.76 / (1.2378 + 0.55158 \times DN_{TM6})] \quad (2)$$

其中  $DN_{TM6}$  为 6 波段的像元 DN 值,范围是 [0, 255]。在标准大气状态下,大气平均作用温度与地面附近(2m 左右)气温( $T_0$ )关系式如下:

中纬度夏季大气平均作用温度:

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0 \quad (3)$$

中纬度冬季大气平均作用温度:

$$T_a = 19.2704 + 0.91118T_0 \quad (4)$$

ETM 影像的地表比辐射率公式为:

$$\epsilon = \begin{cases} 0.009204 * P_v + 0.976796 (P_v > 0.5) \\ 0.016796 * P_v + 0.973 (\text{其他}) \end{cases} \quad (5)$$

其中  $P_v$  为植被覆盖率, 可以通过植被指数  $NDVI$  来计算, 其计算公式:

$$P_v = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)^2 \quad (6)$$

其中  $NDVI_s$  为  $NDVI$  的最小值,  $NDVI_v$  为  $NDVI$  的最大值。

将以上参数带入单窗算法公式(1)即可得到地表温度, 热红外反演的地表温度影像如图 2 所示, 结合地质图(图 4)和矿产图(图 3)等各种资料, 提取研究矿区之构造信息:

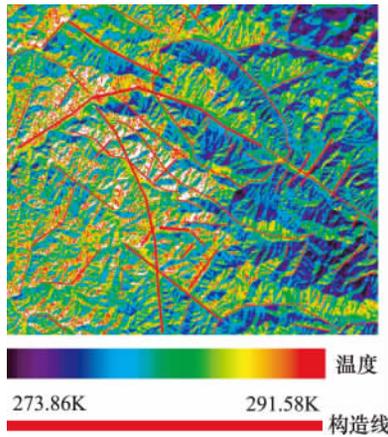


图 2 夹皮沟矿区遥感解译构造



图 3 夹皮沟矿区 ALOS 遥感影像图

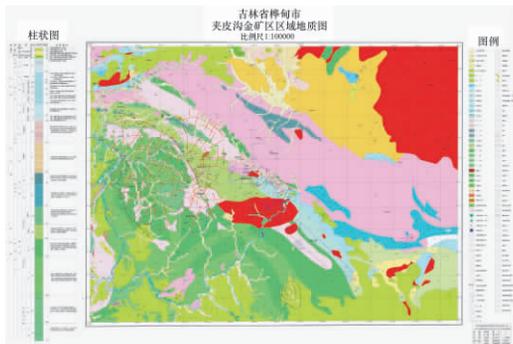


图 4 夹皮沟矿区地质图

### 3.3 蚀变异常与构造叠合分析

将所提羟基蚀变异常、铁染异常和构造信息做叠合分析, 圈出成矿远景区, 如图 5 所示:

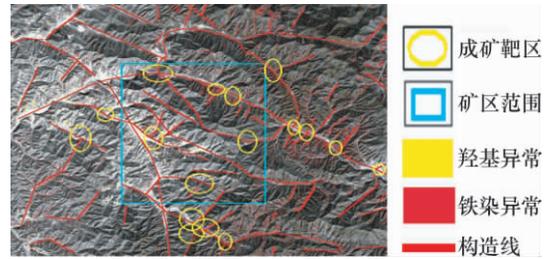


图 5 夹皮沟蚀变异常与构造信息叠合图

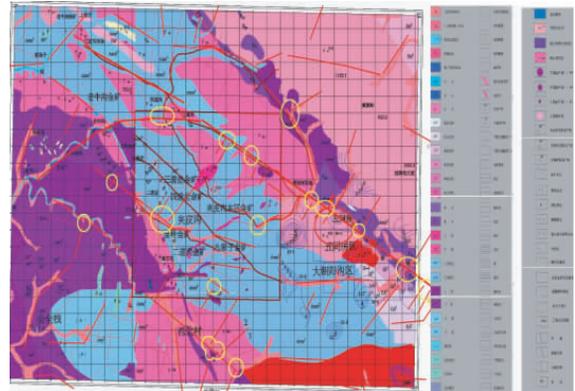


图 6 夹皮沟地质图、构造图和重点预测区叠合图

该研究区有齐全的出露地层并且赋存金矿化, 出露最好的层位是古生届呼兰组和元古界洛河组及太古界鞍山群三道沟组; 各种岩浆活动较为频繁且强烈, 期次较多, 各类岩体为金矿成矿提供热源, 金矿体和酸性或中酸性脉岩的时空关系较为密切且金矿成的空间分布于岩浆岩有关, 区内主体构造位 NW 向大型线型构造, 金矿床分布于其两侧 4km 范围内。

针对上述叠合图如图 6 并结合地质资料作出如下分析:

(1) 所提异常蚀变信息与已知成矿点和成矿区范围基本吻合。无论从矿区研究范围, 还是从矿区外围来看, 蚀变信息带与构造带基本吻合, 尤其是与几条线性主干构造带的走向吻合; 外围蚀变信息异常和矿区内的蚀变异常相比较, 外围异常比矿区内异常较多, 且和构造带较吻合, 这也说明外围可能是成矿远景区, 尤其是所提蚀变信息异常密度较大的地区(铁染异常和羟基异常的地方也基本重合);

另外, 矿区外围有些分布较为分散的蚀变异常区, 这些属于在蚀变异常提取中进行密度切割时所取阈值稍低而造成的误差(蚀变异常分布较为分散的区是应该去除掉的); 由于一些第四纪的东西较为明显, 且在遥感影像中亮度值较高, 去除时难度较大, 也会导致成矿区外围会有一些的偏差;

(2) 所提蚀变信息铁染异常与羟基异常基本重

合,说明研究矿区尤其是主干构造带内既有强烈的泥化现象,同时也具有很强的铁染现象,这些带可能会在中温热液系统较深剥蚀面上遇到,且致密的硅质和黄铁矿化帽岩经常与浅成热液矿化有关;

(3)研究区域中,NW向构造带作用十分明显,弧形构造、NW向主干构造和NW向次级构造挤压断裂带控制了金矿床和矿点群的分布,低序次的构造控制了矿化和矿体的展布与形态,局部次级线型构造发育地段对金成矿有利,特别是次级的NW,NWW,SN向构造对金矿就位和形态变化特征具有明显控制作用。微型火山机构制造了金矿床具体产出位置,影像中解译的环形构造控制了金矿化集中区的范围,和NW向大型的主干构造及若干微型构造相交合,属典型的“一环加一刀”型构造,故极有可能是成矿的有利地区,尤其是在交合处应具有很大的成矿远景。

#### 4 结束语

由于本次研究是用遥感的方法来对高植被覆盖区域进行蚀变信息提取以达到找矿目的的一种尝试,本文所得结果并未到实地进行验证,但根据前人研究的成果和已有的各种地质矿产资料来看,本次所得结果与实地基本吻合,效果较为理想。通过本文,针对高植被覆盖区,总结了本次研究能够获得较为理想的结果的几个关键步骤:

(1)影像数据选择要合理。根据本研究区域的

特点,即高植被覆盖度,多河流水体,冰雪现象,多阴影,城市建筑物;也要根据该区的天气、气候和环境状况,选择数据应在11月份左右或4月份到5月份之间最为合理,无冰雪,云量较少或没有,植被覆盖度较其余月份低,阴影也较其他月份少。

(2)干扰信息去除方法选择要合理。根据该研究区域干扰信息多而复杂的特点,首先确定影像中影响较大的几种主要的噪声信息,根据它们在影像中的波谱特征,选择合理而有效的方法进行去除,如比值切割,光谱角制图法等。

(3)阈值选择要合理。本次研究中无论是数据预处理时候的比值方法的高值切割,低值切割和光谱角填图的阈值选择,还是信息提取时候的主组分分析法中对结果影像的密度切割和直方图中根据标准偏差值的分级,都需要进行合理的阈值选择。而要选择精确的阈值要通过多次试验才能获得,否则会损失对蚀变提取有用的信息,故在选择阈值时要谨慎。

(4)对所得结果进行对比分析,发现铁染异常和羟基异常大部分是重合的,即如同上面分析所说强烈的泥化和硅化岩石同时具有很强的铁染现象,可能是与该区域地质成矿环境及地质作用有关。

(5)对ETM数据进行热红外反演时,参数的确定比较复杂,应综合考虑各种因素,谨慎取舍;在进行构造信息提取时明确构造解译标志并结合地质图、卫星影像图和其他地质资料。

#### 参考文献

- [1] 车永飞,李满根,刘林清,张更信,赵世龙. ETM+遥感影像铁化蚀变信息的提取方法[J]. 科技广场,2009(3):109-111.
- [2] 丁凤,徐涵秋. TM热波段图像的地表温度反演算法与实验设计[J]. 地球信息科学,2006,8(3):125-130.
- [3] 葛碧如,滕吉文. 热红外遥感鄂尔多斯高原隐伏地质构造[J]. 地球物理学进展,1996,11(2):16-34.
- [4] 冯雨林,时建民,杨利军. ETM+遥感影像矿化蚀变信息的提取与找矿实践[J]. 地质与资源,2008,17(1):69-72.
- [5] 武文波,陈静. 基于ETM+的遥感影像信息提取研究[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(5):142-146.
- [6] 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]. 遥感应用,2007(4):20-24.
- [7] 覃志豪,LI Wenjuan,ZHANG Minghua,Arnon Karnieli,Pedro Berliner. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感,2003,6(2):37-43.
- [8] Carvalho Jr, O. A., P. R. Menese. Spectral Correlation Mapper(SCM): An Improvement on the Spectral Angle Mapper(SAM)[Z]. Ninth JPL Airbone Earth Science Workshop,2000:65-74.
- [9] Loughlin W P. Principal component analysis for alteration mapping[C]//In Proceeding of 8th Thematic Conference on Geo2logic Remote Sensing. Denver, USA, 1991:293-306.
- [10] Yuhas R. H., Geotz F. H. A., et al. Discrimination among semiarid landscape endmembers using the spectral angle mapper(SAM)algorithm[Z]. Summaries of the Third Annual JPL Airbone Geoscience Workshop,1992:92-14,147-149.