

甘肃陇南阳山金矿区金矿遥感蚀变信息提取探讨*

The extraction of remote sensing alteration information from the Yangshan gold deposit in Longnan County, Gansu Province

陈勇敢^{1,2}, 刘桂阁¹, 路彦明^{1,2}, 韩先菊¹, 周俊³, 王美娟¹

(1 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; 2 中国地质大学, 北京 100083; 3 中国人民武装警察部队黄金第十二支队, 四川 成都 610036)

CHEN YongGan^{1,2}, LIU GuiGe¹, LU YanMing^{1,2}, HAN XianJu¹, ZHOU Jun³ and WANG MeiJuan¹

(1 Gold Geological Institute, Chinese People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 No. 12 Detachment of General Geological Party, Chinese People's Armed Police Force, Chengdu 610036, Sichuan, China)

摘要 根据研究区的景观特征及金矿化蚀变组合类型, 在应用掩膜技术剔除非致矿地质信息干扰因素的前提下, 应用波段比值、K-L 变换、密度分割等方法组合对研究区金矿化蚀变信息进行提取, 获得了能较客观反映研究区实际蚀变信息的羟基蚀变与铁染蚀变图像, 取得了较好的效果, 所提取的蚀变信息能为本区金矿成矿预测提供一定的依据, 以期对本区的下一步金矿找矿工作有所帮助。

关键词 地质学; 图像处理; 蚀变提取; 金矿; 阳山

遥感图像上丰富的结构、纹理、色调等信息提供了大量直接或间接的地质找矿信息。利用遥感技术进行地质找矿工作是一种行之有效的方法, 它能够快速地缩小找矿靶区, 发现有意义的遥感地质异常, 从而有效地提高找矿命中率。阳山金矿是武警黄金部队近年来发现的亚洲最大的岩金矿床。本区遥感地质工作前人也作了一些研究。四川地勘局矿产所(2000)、武警黄金十二支队(2001)、中国地质大学(2001)、武警黄金地质研究所(刘志杰, 2003; 刘刚, 2006)等先后在本区开展过金矿遥感地质解译工作, 主要解决了矿区的构造展布与次序问题, 但并未对矿区的遥感矿化蚀变信息提取做进一步的工作。因此加强这方面的工作显得很有必要。

1 矿化蚀变信息提取原理简述

用遥感技术探测地物, 是以各种物体对电磁波的反射、透射、吸收和自身发射为依据的。所有地物在可见光和短波红外波段内都具有与它们组分有关的光谱吸收特征, 许多地物的光谱吸收特征具有专一性, 据此可以精确地鉴别地物。近矿围岩蚀变形成的蚀变岩石与其周围的正常岩石在其矿物种类、结构、颜色等方面的差异导致岩石反射光谱特征的差异, 在某些特定的光谱波段形成特定蚀变岩石的光谱异常。光谱异常导致遥感图像或数据的异常, 通过图像处理技术可得到近矿围岩蚀变信息或矿化高丰度值异常区信

*本文得到武警黄金指挥部地质科研项目“松潘-摩天岭成矿带金矿资源潜力评价及找矿方向研究”(HJ05-03(3))的资助

第一作者简介 陈勇敢, 男, 1977年生, 工程师, 主要从事黄金地质找矿工作。

息。由于成矿热液作用,绝大部分内生矿床都有黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、碳酸岩化等蚀变现象,蚀变晕圈或蚀变岩石常常是矿床存在的重要的直接标志,而且蚀变范围比矿床要大得多,这就为蚀变信息提取创造了条件。

含铁矿物在 TM1~TM4 可见光及近红外波段具有明显的光谱吸收特征,对于探测含褐铁矿的岩石、土壤有较好的效果;TM5 (1.55~1.75 μm) 和 TM7 是专为地质勘查设计的波段。在 TM7 (2.08~2.35 μm) 波段内,羟基和碳酸盐矿物形成明显的特征吸收带,是目前探测含 Al-OH, Fe-OH, Mg-OH 基团的矿物与碳酸盐类的最理想的航天遥感波段之一。

大部分蚀变岩石中含有较多的 Fe^{3+} 、 OH^- 、 CO_3^{2-} 等离子,大量的岩石波谱测试数据证明,在可见光—红外光谱区,这些离子具有特征反射或吸收谱带,而组成造岩矿物的主要化学成分 (Si、Al、Mg、O) 并不具备上述光谱特征,这就为蚀变信息的提取提供了物理基础 (甘甫平,王润生,2004;马建文 2001;张远飞,1999;朱亮璞,1994 等)。

2 研究区基本情况及数据干扰因素剔除

2.1 研究区基本情况

研究区地处甘肃省南部及其与四川省和陕西省交界处。大地构造位置处于扬子、印度、华北板块汇聚形成的倒三角形构造域北缘,松潘—甘孜造山带与秦岭造山带结合部位。地理座标:东经 $104^{\circ}23' \sim 105^{\circ}00'$,北纬 $33^{\circ}18' \sim 32^{\circ}55'$ 。

研究区属植被稀疏的半裸露区,松散覆盖物较厚,基岩裸露程度低,金矿化蚀变主要有绢云母化、粘土化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、硅化、碳酸盐化等,总体表现为浅成低温热液蚀变特征,其中绢云母化、粘土化、碳酸盐化在区内广泛发育。从矿体到围岩有一定的蚀变分带现象,表现为近矿部位硅化、黄铁矿化较强,而远矿部位粘土化、碳酸盐化较发育。

阳山金矿带西起泥山、汤卜沟,东至张家山一带,全长近 30 km,基本沿安昌河—观音坝断裂分布。现已发现 4 个矿段,即葛条湾矿段、安坝矿段、高楼山矿段和阳山矿段,另外,在张家山、泥山、汤卜沟等外围区段也发现部分矿脉 (齐金忠,2003;2006;刘桂阁,2006;李文良,2006)。

2.2 数据干扰因素剔除

通过分析研究区 TM 数据发现,本区的干扰因素主要为植被、河道、积雪等。为减少其对蚀变提取的影响,分别对图像进行掩膜处理,得到了新的剔除了植被、河道、积雪的数据图像,在后续处理过程中,干扰因素的方差降为零,其他部分的方差不变,由此提高了后续算法对掩膜后剩余区信息的分解效率。

由于植被在红光波段 (TM3) 与近红外波段 (TM4) 的反射率差异大的波谱特性 (图 1),应用 (近红外反射率-红光反射率) / (近红外+红光反射率) 指数对植被的覆盖程度标示作用,笔者得到了应用 $(\text{TM4}-\text{TM3}) / (\text{TM4}+\text{TM3})$ 来计算反映植被覆盖的膜 (图 2A)。由于水体和积雪在黄、绿光波段都有明显的强反射特征,而在近红外波段都有相对的明显低值,因此笔者用 TM1 与 TM4 进行比值增强,

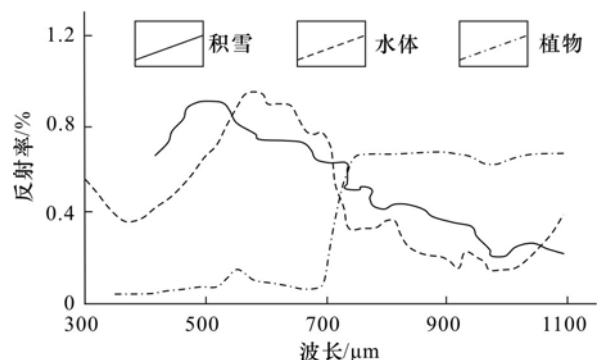


图 1 积雪、水体、植物的波谱曲线 (据中国典型地物标准波谱数据库,2007)

得到了比较满意的效果（图 2B）。

3 研究区蚀变信息增强提取

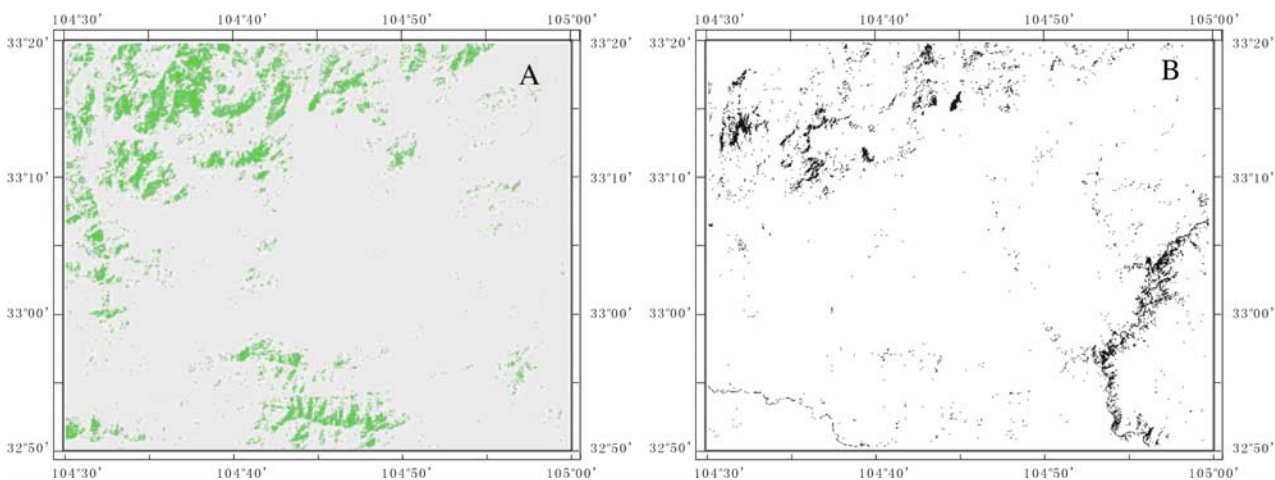


图 2 研究区干扰因素剔除

A. 植被；B. 河道、积雪

3.1 波段比值

波段比值方法是根据地面不同岩性或矿物特征在遥感多波段光谱反映的差异，利用相关波段的比值运算增加特定矿物信息最常用的手段之一。如前所述，含羟基的粘土矿物和碳酸盐矿物，在 TM7 波段具有强吸收，在 TM5 波段为强反射，而褐铁矿等含铁蚀变矿物在 TM3 表现为高反射，在 TM1、TM2 和 TM4 则具不同程度的吸收特征。因此笔者可以用 TM3/1 识别铁化、用 TM5/7 识别含羟基矿物、水合硫酸盐和碳酸盐，这类矿物的比值都较高。通过比值运算，获得了 TM3/1 和 TM5/7 的两组图像（图 3）。

3.2 主成分分析

主成分分析的主要特性之一就是原来多波段图像中的有用信息集中到数目尽可能少的新的组分图像中，而且新组分图像互不相关。新生成的第 1 主分量包含了原来多波段图像的绝大部分信息，其他组分图像的方差依次减少，包含的信息量也剧减。第 1 主分量主要反映了地貌和纹理信息，而矿化蚀变信息往往包含在信息量少的第 3、第 4 分量中。

笔者通过利用经过掩膜预处理的 TM1、TM3、TM4、TM5 波段和 TM1、TM4、TM5、TM7 波段分别进行 4 波段的主成分分析，提取铁染和羟基蚀变图像，达到了比较满意的效果（图 4）。

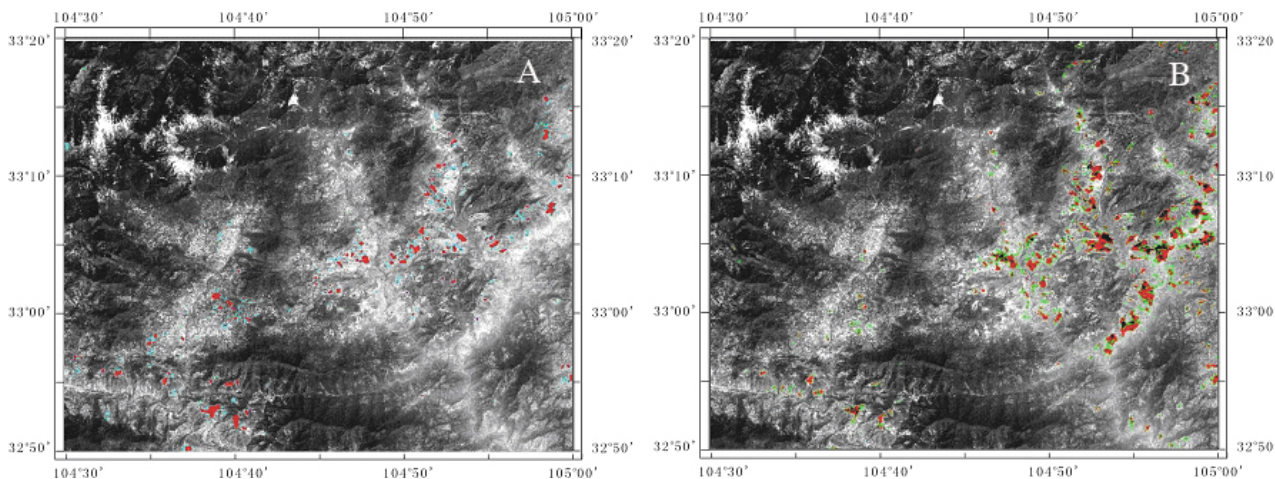


图 3 阳山一带金矿化蚀变信息图（3×3 中值滤波）

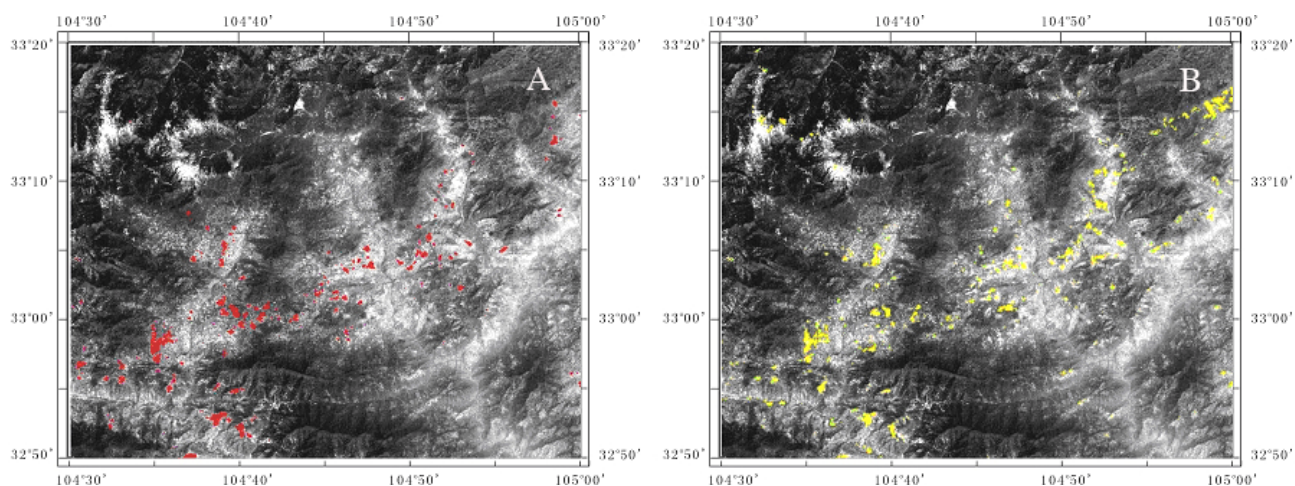


图4 阳山一带金矿化蚀变信息图(3*3中值滤波)

A. PCA1345; B. PCA1457

A. 铁染蚀变信息特征 TM3/1; B. 羟基蚀变信息特征 TM5/7

首先对TM1、3、4、5进行主成分分析,获取铁(铁化)蚀变信息。表1是其分析结果。其中PC4特征向量载荷因子在TM1、TM3上呈高值,且在TM3上为正值、TM1上为负值,基本上与含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的矿物在TM3上存在反射峰和在TM1波段上存在吸收谷相符,所以PC4突出了铁化蚀变晕信息。

表1 阳山金矿区 TM1、3、4、5 波段特征向量及特征值

特征向量	特征值			
	TM1	TM3	TM4	TM5
PC1	0.42745	0.45114	0.53920	0.56835
PC2	0.13941	0.60910	-0.76803	0.14031
PC3	0.53487	0.27303	0.17091	-0.78113
PC4	-0.71538	0.59239	0.30029	-0.21709

其次对TM1、4、5、7进行主成分分析获取羟基图像蚀变信息。表2是其分析结果。利用TM1、4、5、7主成分分析获取羟基蚀变其主成分图象必须同时满足两个条件,一是TM5和TM7具有相反的贡献值;二是TM5和TM7同TM1和TM4相比有强的负载值(刘志杰,1998)。由此可知PC4满足上述条件。

表2 阳山金矿区 TM1、4、5、7 波段特征向量及特征值

特征向量	特征值			
	TM1	TM4	TM5	TM7
PC1	0.41792	0.52974	0.56928	0.46972
PC2	0.08078	0.74217	-0.23696	-0.62170
PC3	-0.89896	0.27824	0.32580	0.09118
PC4	0.10340	-0.30189	0.71668	-0.62011

3.3 混合蚀变信息提取

对矿化蚀变岩与围岩光谱曲线进行对比可知,矿化蚀变岩光谱曲线波动大,波段间差值大;而围岩光谱曲线相对平缓,波段间差值较小。根据这一特征,采用波段加减组合运算,可以扩大矿化蚀变岩与围岩的亮度差,达到增强矿化蚀变岩信息的目的。矿化蚀变岩在ETM5、3波段为反射峰,多数蚀变岩与围岩

差值大且多高于围岩值，在 ETM1、4、7 波段为吸收峰，与围岩值接近。因此，采用 $(B5+B3)/(B7+B4+B1)$ 可以增强大部分的矿化蚀变信息。

另外，用波段比值、主成分分析的方法也较好地获取了铁化、强粘土化、碳酸盐化蚀变信息。

因此可以对上述蚀变信息分量进行二次主成分分析，即 FPCA $[(B5+B3)/(B7+B4+B1)$ 、 $B3/1$ 、 $B5/7$ 、PCA1345 和 PCA1457 的第四分量)，由于上面各分量均主要反映蚀变信息，因此，二次主成分分析中比重最大的分量就可以认为是混合蚀变信息，也就是 FPC1 分量。

4 蚀变异常提取效果分析评价

通过对照上述各方法提取蚀变的效果后发现，蚀变信息分布具有规律性，所提取的蚀变信息与研究区控矿构造、已知矿(化)点在空间上有着良好的对应关系。应用 TM3/1 比值、PCA1345、PCA1457 获取的蚀变信息效果较好，三者的分布在空间上基本一致。笔者将 PCA1345、PCA1457 获取的铁化、强粘土化、碳酸盐化蚀变信息和二次主成分分析获取的混合蚀变信息同时叠合在 TM543 立体遥感图上(图 5)。羟基蚀变与铁染蚀变二者分布趋势基本一至，在大部分区域相互叠合，图像在全区均有分布，异常面积总体较小，具有成带成区分布的特征。主要异常区集中在本区近东西向、北东东向联合村-观音坝构造-金成矿带及其向北东方向的延伸部分分布，本区主要的联合村金矿床、阳山金矿的葛条湾矿段、安坝矿段、高楼山矿段和阳山矿段均有不同程度的蚀变信息显示。其次在张家山、泥山、汤卜沟等外围区段也有较小异常区分布，除此之外的大部分地区基本没有异常显示。该方法达到了预期的效果，提取出的异常区带或色调符合理论推导，与阳山金矿区成矿地质特征基本相符。

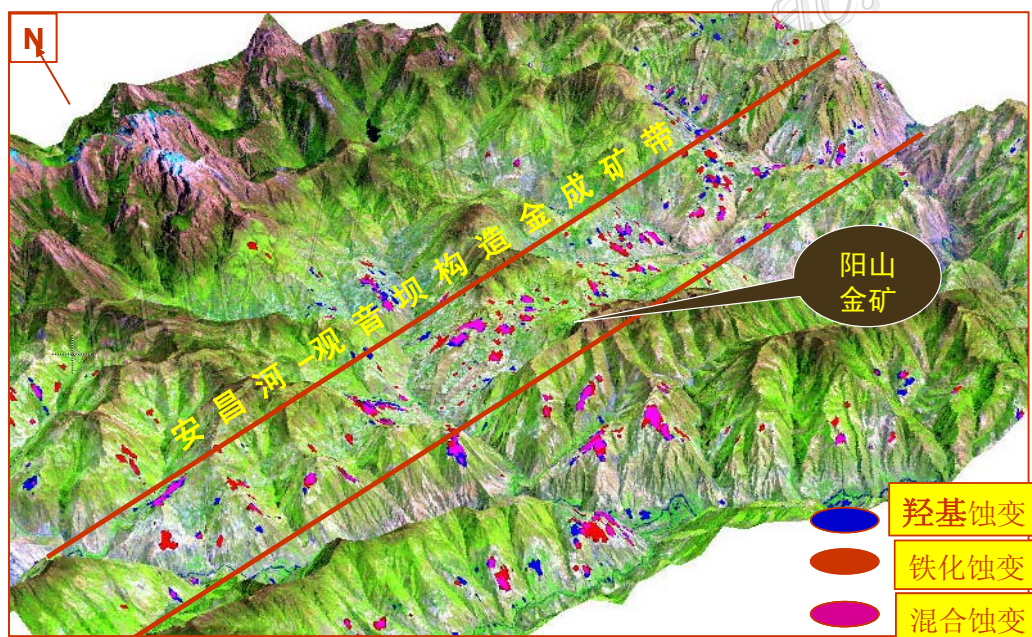


图 5 提取出的金矿化蚀变信息与 3D 遥感图叠加效果图

5 结 语

根据以上研究认为，本次工作提取出的金矿化蚀变信息，能较好地反映研究区的矿化蚀变分布情况。蚀变主要沿安昌河-观音坝断裂构造带展布，显示其与金成矿关系密切。阳山金矿区正处在这一蚀变带的主体部位。从蚀变信息分布上看，阳山金矿带在其东西向延伸及两侧还有巨大的成矿远景。其中在矿区外

围还存在着几处较好的异常分布,分别是矿区东侧桥头东一带,西边的汤卜沟西一带,南侧的肖家山一带和北部的八字河一带,这些地方在以后的找矿工作中,值得开展进一步的找矿工作。

参 考 文 献

- 甘甫平,王润生. 2004. 光谱遥感岩矿识别基础与技术研究进展[M]. 北京: 地质出版社.
- 李文良,刘 纲,张 栋. 2006. 阳山金矿带预测评价方法研究及成矿预测[R]. 廊坊: 中国人民武装警察部队黄金地质研究所.
- 刘桂阁,陈勇敢,张玉杰. 2006. 松潘—摩天岭成矿带金矿资源潜力评价及找矿方向研究[R]. 廊坊: 中国人民武装警察部队黄金地质研究所.
- 刘志杰,韩先菊,刘荫椿. 1998. 比值-特征主成分混合分析提取金矿蚀变信息——以赣南遂川为例[J]. 黄金地质, 4(1): 74-77.
- 马建文,赵忠明,布和敖斯尔. 2001. 遥感数据模型与处理方法[M]. 北京: 中国科技出版社. 85-110.
- 齐金忠,刘志杰,袁士松,等. 2003. 甘肃省文县阳山金矿带控矿构造研究与成矿预测[R]. 廊坊: 中国人民武装警察部队黄金地质研究所. 1-126.
- 齐金忠,杨贵才,李志宏,等. 2006. 阳山金矿带构造-岩浆演化序列及构造控矿规律研究[R]. 廊坊: 中国人民武装警察部队黄金地质研究所. 1-63.
- 张远飞,吴健生. 1999. 基于遥感图像提取矿化蚀变信息[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 604-606.
- 朱亮璞. 1994. 遥感地质学[M]. 北京: 地质出版社. 155-158.

<http://www.kcdz.ac.cn/>