

# 遥感蚀变矿物填图与找矿方法

张 兵<sup>1</sup>, 周 军<sup>2</sup>, 王军年<sup>1</sup>

(1 新疆地质矿产局 第七地质大队, 新疆 乌苏 833000; 2 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 针对遥感蚀变矿物填图方法多样、影响因素复杂、效果参差不齐等问题, 对 TM 或 ETM+ 数据遥感蚀变矿物填图方法进行剖析, 采用比值法、主成分分析法、Crosta 法以及基于已知矿点和光谱角法的监督分类等方法, 结合在新疆西天山等地的应用实例, 认为植被、地形、土壤覆盖等是影响应用效果的主要因素; 矿化目标大小与遥感数据像元大小之间的关系很可能导致混合反射率起主导作用, 加之矿化蚀变中常存在石英、长石等高反射率矿物, 会影响到含羟基与含碳酸根蚀变矿物之特征性诊断谱带的正常体现, 从而大幅降低蚀变矿物填图效果; 一些数据处理层面上的方法, 例如借助“纯净物质”反射率的子像元分类、混合光谱分析、模糊分类等, 能够一定程度上缓解问题, 但对找矿来说也仅限于地表线索的二维定位。因此, 在现有技术水平下, 遥感还主要为战略找矿手段, 只有综合运用地质、物探、化探、遥感等多种方法, 才能避免片面性并增大发现新矿产的可能。

**关键词:** 遥感; 蚀变矿物填图; 混合像元; 多元信息; 找矿

**中图分类号:** TP79; P285.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0254-06

## Analyses of Alteration Mineral Mapping and Mineral Resources Prospecting Using TM or ETM Data

ZHANG Bing<sup>1</sup>, ZHOU Jun<sup>2</sup>, WANG Jun-nian<sup>1</sup>

(1 *Seventh Geological Brigade, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Wusu 833000, Xinjiang, China;* 2 *School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

**Abstract** Several methods exist in the alteration mineral mapping using TM or ETM data. Those mainly comprise the ratio imagery, principal component analyses or Crosta technique and the supervised classification based on known altered mineral localities and spectral angle methods. Detailed analyses and lots of applications related to this study show certain problems in the methodology. Firstly, all of them are notably hampered by certain natural factors like vegetation, topography and soil cover. Secondly, mixture pixels and the related mixture reflectance can be readily caused by smaller altered mineral targets and larger remote sensing data pixels in addition to the common presence of some high reflectance minerals like quartz and feldspar in the altered mineral belt, which may seriously influence normal occurrence of the so-called diagnostic spectral absorption that acts as the basis of all the alteration mineral mapping methods. Lastly, certain data processing-based methods using the reflectance of relevant “pure materials”, such as the sub-pixel classifying, spectral mixture analysis and fuzzy classification, can solve the problem to some extent and even so they are confined to locating the surface altered mineral targets only. Therefore, it is important to employ multi-methods including geology, geophysical and geochemical exploration and remote sensing in mineral resources prospecting and that will largely reduce a lopsided view resulted from a single method.

**Key words:** remote sensing; alteration mineral mapping; mixture pixel; multi-information; mineral resources prospecting

收稿日期: 2007-10-15

作者简介: 张 兵(1964-), 男, 安徽六安人, 高级工程师, 从事区域地质调查、矿产勘查、多元信息综合找矿研究。E-mail: xjdqdzd@tom.com  
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

# 0 引言

1972 年美国发射 ERTS-1 (地球资源技术卫星, 后改名陆地卫星 Landsat), 开创了遥感资源研究新纪元, 1982 年与 1984 年又先后发射携带 TM (Thematic Mapper) 传感器的 Landsat-4 与 Landsat-5, 使有关研究更上一个台阶。1999 年发射的 Landsat-7 配备有 ETM+ 传感器 (Enhanced Thematic Mapper Plus), 增加了空间分辨率 15 m 的全色波段, 并将 ETM+6 (热红外波段) 像元提高到 60 m。美国陆地卫星数据在当前地质应用中有着不可替代的地位, 主要与价格便宜、光谱分辨率较高、可借鉴的应用成果多以及购买渠道畅通等有关。

长期以来, 借助 TM 或 ETM+ 数据 (全文采用 TM) 进行遥感矿化蚀变信息提取或蚀变矿物填图 (Alteration Mineral Mapping), 是遥感技术在矿产勘查中应用的一个焦点, 为众多研究者所关注, 已有许多研究与应用实例<sup>[1-3]</sup>。但是, 限于 TM 数据空间分辨率、光谱分辨率以及影响因素的复杂性, 相关遥感手段“在隶属高科技方面的魅力常令其直接找矿能力被人为夸大了”<sup>[4]</sup>。尽管如此, TM 在战略找矿上的意义不容置疑, 而弄清手段与数据处理方法原理以及具体应用中的主要影响因素, 对更好地发挥遥感技术在矿产勘查中的效力、增强实际应用效果意义重大, 笔者侧重于从地质找矿角度阐

述这一问题。

# 1 遥感蚀变矿物填图方法概述

## 1.1 比值法

TM 比值图像 (比值法), 即  $TM5/TM7$  (或  $ETM+5/ETM+7$ ) 以及  $TM3/TM2$  或  $TM3/TM1$  等, 是一些文献中常谈及的提取含羟基蚀变矿物以及氧化铁信息的基本方法<sup>[3,5]</sup>, 许多图像处理软件 (例如 ERDAS) 也设有相应功能键。然而, 大凡经常处理图像的人都知道, 绿色植被虽在 TM 第 5 和第 7 波段上均表现为强吸收, 但由于在后一区间吸收要更强的多, 致使  $TM5/TM7$  图像主要具有突出绿色植被的效应, 且十分敏感, 常与专门增强植被的  $TM4/TM3$  或  $(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$  图像 (NDVI 指数, Normalized Difference Vegetation Index) 别无二致 (图 1)。此外, 之所以采用  $TM3/TM2$  或  $TM3/TM1$  提取氧化铁信息, 实质上是基于含  $Fe_2O_3$  风化壳或铁帽的一般色彩特征, 即它们多呈不同程度的红色, 故应在位于红光区域的 TM 3 波段上有小反射峰, 而在分别接近蓝光与绿光范围的 TM 1~TM 2 波段上有弱吸收谷。这一方法抗植被影响同样十分有限<sup>[2]</sup>, 在高纬度干旱区又会受到带红色调岩性或常有的“沙漠漆” (氧化铁被膜) 干扰, 同时对色彩效应不显著的铁质风化壳或铁帽也难以奏效。

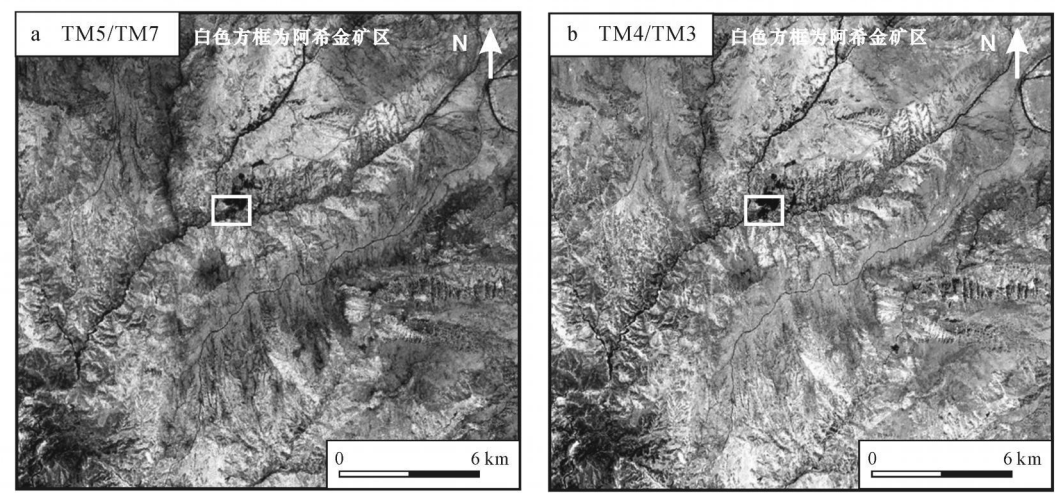


图 1 新疆西天山阿希金矿区 TM 比值图像对比

Fig. 1 Comparison of TM Images Using Different TM Ratio Data of the Axi Gold Deposit, Western Tianshan, Xinjiang

## 1.2 主成分分析法

基于主成分分析的遥感蚀变矿物填图由 Crosta 等<sup>[6]</sup>于 1989 年提出, 谓之 Crosta 法 (Crosta

technique)。它选取 TM 第 1、4~5、7 波段和第 1、3~5 波段两个多光谱组合分别进行主成分分析 (Principal Component Analysis 或 PCA), 依据特

征向量组合特征选取合适的主成分(一般为 PC3 或 PC4, 有时须取反)作为假彩色合成或阈值分割的图像, 以前者提取含羟基蚀变矿物及含碳酸根矿物信息, 后者则被用来突出可能存在的氧化铁。主成分分析乃多元统计学中因子分析的基础<sup>[7]</sup>, 故 Crosta 法的本质即压缩多光谱信息中遥感变量的数目, 通过一定的数学重组形成在多光谱上内在联系较为合理或地质意义更加明确的新变量或主成分, 从而经过图像处理来突出特定地质内容。一般说来, Crosta 法提取矿化蚀变信息的效果远较比值法为好, 代表着当前遥感矿化蚀变信息提取技术的主流, 大多数实际应用均依此为基础<sup>[3-4]</sup>。

在大量实践的基础上, 杨金中等提出运用比值法、Crosta 法、光谱角识别等多重方法综合提取遥感找矿异常<sup>[8]</sup>, 并且在新疆东准噶尔一带获得较好应用效果。光谱角法是图像监督分类中所采用的一种技术, 利用解析手段计算像元光谱与光谱库或训练区光谱之间的矢量夹角, 依据其大小来判定两光谱间的相似程度从而归类未知地物<sup>[9]</sup>, 其他常用判别途径还有最大似然法(Maximum Likelihood)、最小距离法(Minimum Distance)等。显而易见, 不同方法基于不同的数学原理, 用多种方法反复筛选处理结果, 就有可能剔除伪信息、较合理地缩小找矿靶区。其他遥感矿化蚀变信息提取方法还很多, 例如用 TM3/TM1、TM4/TM1 等比值为变量进行主成分分析从而剔除植被干扰并突出氧化铁信息<sup>[2-3]</sup>, 但均以含羟基矿物、氧化铁等在 TM 可见光至近红外各波段上不同的反射率特征为依据, 以比值、主成分分析、图像监督分类等为基本手段。岩矿信息的热红外遥感提取是一个有潜力的新领域<sup>[10]</sup>, 目前应用成果尚少且主要来自 TM 传感器之外的其他数据。

近年来, 出现了一些将标准光谱数据或实测地物光谱数据与已知矿化蚀变线索、TM 数据结合起来进行未知矿化外推的新尝试。例如, 所谓光谱匹配滤波<sup>[11]</sup>, 就是以标准数据库中某些蚀变矿物或蚀变组合光谱为参考光谱矢量构建滤波检测器(例如  $3 \times 3$  模板), 逐像元与图像进行匹配, 通过合理选取阈值来获得特定蚀变矿物的分布图式。它将相似性检测与滤波融于一体以减低背景与噪声的影响, 矿化蚀变信息提取效果经常会更好些。杨波等<sup>[12]</sup>运用聚类、相关、因子分析等多元统计学方法研究地物实测光谱数据、矿石化学组成、有用成分之间

的关系, 由此寻找提取硅化的最佳组合变量, 借助回归分析进一步建立蚀变与 TM 比值之间的定量模型, 从而依据 TM 数据预测可能与矿化有关的蚀变部位。但是, 这类方法已逾越单纯遥感蚀变矿物填图的范畴, 同时由于 TM 数据就光谱分辨率及空间分辨率而言尚缺乏分辨不同矿物较细微光谱差异的物理前提, 单一使用的找矿效果仍有局限。

## 2 主要影响因素剖析

实际应用中影响蚀变矿物填图效果的因素十分复杂, 就探测手段与目标地物的关系而言, 一般所用遥感数据的光谱分辨率与空间分辨率是制约其应用效果的关键。一个成矿区内, 容矿构造多与 2~3 级次级构造有关<sup>[13]</sup>, 许多工业矿体地表线索有限或完全为盲矿, 长度几十米至百余米的容矿构造露头在规模上已甚为可观, 足以作为坑探乃至钻探的施工依据, 目前地表比较罕见, 而且热液矿脉的强蚀变带通常不过几米宽。对于 Landsat 卫星  $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$  空间分辨率的传感器而言, 这种尺度的矿化蚀变也只有矿脉在大范围内成群出现时才有可能引起足够反映, 况且纵使在强蚀变带内(包括斑岩型矿床可能存在的面型蚀变)也经常以石英(例如硅化)、长石等造岩矿物为主, 由于混合像元十分普遍, 高反射率的石英、长石(反射率多为 70%~85%)在像元混合反射率中很可能起主导作用(图 2), 从而导致含羟基蚀变矿物、碳酸盐矿物等所具有的特征性诊断谱带(谷值一般为 30%~60%)难以得到体现。因此, 大多数情况下遥感矿化蚀变信息并非容矿构造的直接反映, 而是更高序次控矿构造的大体指示, 加之“异物同谱”、“异谱同物”以及植被、土壤、地形(陡峻山脊与狭窄沟谷)等的干扰, 相当部分甚至为伪信息。

大量应用表明<sup>[4, 14-15]</sup>, 矿化蚀变信息在整个统计量中所占比例一般很小, 图像处理中所开子区大小常涉及是否包括大面积水体、森林、沙化荒漠等, 总信息在组成上的变数也会影响主成分分析结果, 进一步影响到矿化蚀变信息的提取效果。此外, 矿化蚀变对象之间的差异以及矿化蚀变对象与地质背景(例如围岩)之间的差异, 都使得某一区域内成功的遥感蚀变矿物填图方法换一个区域难以同样有效。2000 年美国成功发射 EO-1, 携带有  $30 \text{ m}$  空间分辨率的高光谱传感器 Hyperion, 在 400~2500 nm 光谱区间有连续变化的 242 个波段; 其他两个

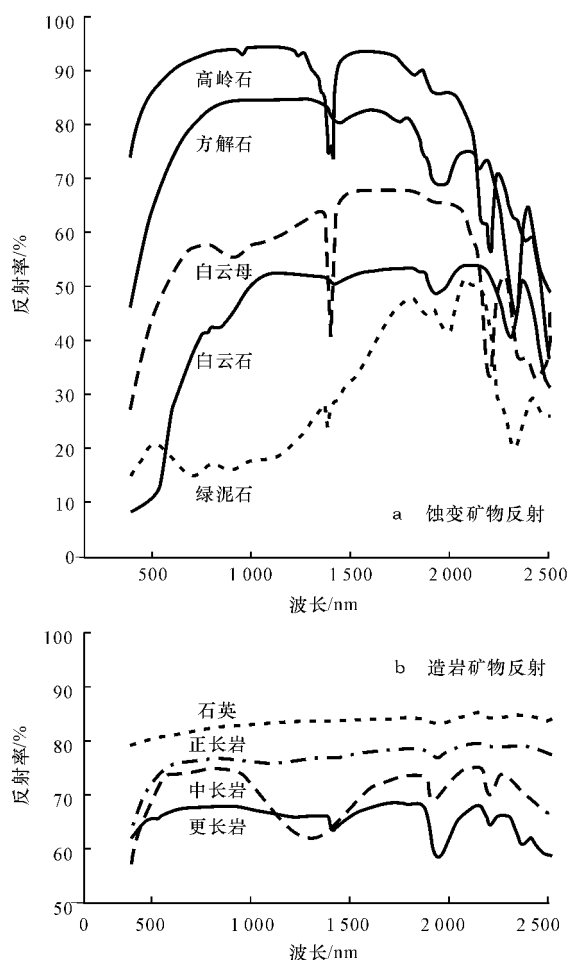


图 2 主要蚀变矿物与造岩矿物反射特征对比<sup>[24]</sup>

Fig. 2 Reflectance of Major Alteration and Rock-forming Minerals

传感器 ALI (Advanced Land Imager)、ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 继承并发展了 ETM+ 传感器, 然而用于蚀变矿物填图的波段仍为 30 m 空间分辨率。可以肯定, Hyperion 数据将会大大提高遥感技术的直接找矿能力<sup>[16-17]</sup>, 但仍然限于对缺乏地质资料区域的先行摸底, 且不能从根本上排除混合像元以及上面所列举的一些因素的影响。

长期以来, 通过数学解析方法一定程度地分解混合光谱是遥感技术应用领域的一个重点。新版 ERDAS 软件 (例如 ERDAS IMAGINE 8.7) 设有子像元分类模块 (Sub-Pixel Classifier), 运用人工神经网络算法力求将地物类别的识别提高到子像元级; 其他还有光谱混合分析 (Spectral Mixture Analysis)、模糊分类 (Fuzzy Classification) 等方法<sup>[18]</sup>, 均在于用混合像元中各地物的“已知反射率”

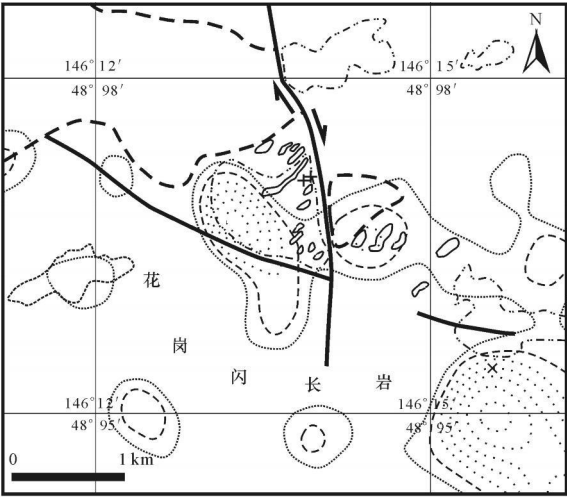
(采用“纯净物质”或由图像上已知地物求出), 通过一定的光谱解析 (线性或非线性)<sup>[19-20]</sup>, 从数据处理层面上缓解或削弱混合反射率的影响。也有一些研究, 直接分析蚀变矿物组合的混合光谱特征, 利用所发现的特定谱带识别与划分矿化蚀变<sup>[11]</sup>。可是, 问题的根本解决尚有赖于高光谱分辨率与高空间分辨率一体的遥感器问世, 纵使如此, 遥感技术也仅限于矿化蚀变线索的地表二维定位, 并不能解决日益突出的深部找矿问题。

### 3 多元信息综合找矿的重要性

从上面分析可知, TM 矿化蚀变信息提取具有快速扫面意义, 结合构造、岩性等方面遥感研究<sup>[13]</sup>, 可在研究程度较低地区大范围摸底或为区域靶区优选提供一定依据<sup>[14]</sup>; 尽管也有一些直接找矿的特例<sup>[21]</sup>, 但直击找矿部位一般需要其他信息佐证, 即借助化探、物探、地质资料对遥感矿化蚀变信息进行综合分析, 配合大量地表检查来甄别、筛选信息并从中摸索规律, 只有这样才能实现地质找矿中“迅速掌握全局、逐步缩小靶区”的战略目的<sup>[22]</sup>。现阶段遥感技术只是一种战略性找矿手段。

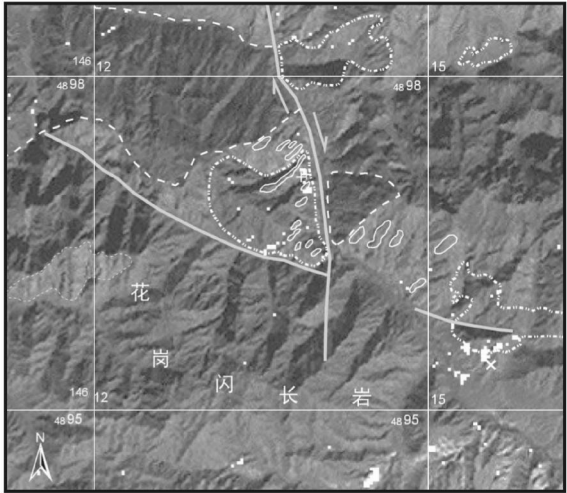
图 3 给出一新近研究实例, 限于黑白图像表示, 效果较原图欠佳。首先, 利用多光谱各种假彩色合成图像, 在泥盆纪花岗岩闪长岩岩基中识别出黑云钾长花岗岩及其他不同侵入相, 通过主成分分析、HSI 编码等岩性突出技术发现矽卡岩化灰岩透镜体, 进而提取 Crosta 法遥感异常, 检查与 1 : 200 000、1 : 50 000 化探异常的空间关系。然后, 赴实地进行检查, 发现一些灰岩残留体灰绿色, 矽卡岩化、硅化强烈, 褐铁矿与黄钾铁矾发育, 局部细小黑云母富集, 北东走向、南东倾, 倾角 50° ~ 60°, 穿插有碳酸盐小脉, 零星见孔雀石化。对强硅化、矽卡岩化部分取样, 其质量分数铜为 0.051%, 铅锌均为 0.2%, 地表剥露及下步研究正在进行中。

勘查地球化学或化探是二次世界大战之后发展起来并且不断走向成熟的最重要找矿方法之一<sup>[23]</sup>。影响化探异常的因素也很多, 除野外工作方法外 (例如取样对象、样网布局以及样品的过筛、缩分、重量等), 化探效果也随比例尺而变<sup>[23]</sup>, 数据处理方法 (例如勾画等含量线的插值、样品特高值点的处理、异常下限的确定等) 则更可能关系到异常的具体形态<sup>[24-25]</sup>, 从而影响到异常的元素组合、分带以及梯度特征等, 产生不同的找矿导向。然而, 对水



× 1: 200 000,45号铜矿化点; + 野外取样点; 地质体界线: 断层  
阿克沙克组火山碎屑岩; 黑云钾长花岗岩或其他侵入相;  
文象花岗岩; 1: 50 000 铅:  $(44.772\sim60.689) \times 10^{-6}$ ;  
 $(60.69\sim94.514) \times 10^{-6}$ ;  $(94.514\sim599) \times 10^{-6}$

a 地质、化探、遥感综合异常及新发现矿化点



b 底衬图像为全色波段; 白色斑点为Crosta法遥感异常

图 3 新疆西天山尼勒克河附近地质、化探、遥感综合异常及新发现矿化点(黑云钾长花岗岩边部砂卡岩化灰岩透镜体呈左行边幕式排列)

Fig. 3 Synthetic Anomalies in Geology, Geochemistry and Remote Sensing Near Nileke River, Xinjiang (Skarnized Limestone Lenses Aligned in Echelon Along the Edge of Biotite Potash Feldspar Granites)

系沉积物或残积土壤系统取样仍是勾勒矿田乃至矿体异常的最有效方法之一<sup>[26-27]</sup>, 矿床与相应地球化学晕之间的联系可以体现在蚀变岩、碎屑、地下水、生物、气体等周边介质中<sup>[27]</sup>, 是成矿过程中压力差与温度差、元素浓度差以及外生风化所导致扩散的必然结果。根据应用比例尺及取样介质的不同, 化探可具有战略及战术找矿功能, 甚至反映深部成

矿信息, 但相对 TM 遥感其花费大、运作周期长。因此, 有效地将已有中大比例尺化探地球化学图与 TM 遥感图像结合在一起, 选择地质意义明确的多元信息重合部位实施检查<sup>[14]</sup>, 会弥补单一手段的不足、降低找矿成本、缩小目标并增大命中率。

地质与物探手段同样不能摆脱从个别侧面反映某些可能存在的矿化规律之片面性。二者很大程度上受研究经费、具体探测手段、工作环境与条件等客观因素和人的知识面、地质找矿阅历以及由此产生的思路等主观因素影响<sup>[4]</sup>, 后者更是受地质体物性差异及其稳定性、规模与埋深情况、地形地貌条件等众多复杂因素制约<sup>[28]</sup>, 成果解释具有很大的任意性。所以单一手段为主的众多找矿文献常给人以停留在学术层面的印象, 缺乏实际应用性与可操作性, 难以指导具有普遍意义的找矿实践。应该发挥各种找矿方法的长处, 以遥感研究为先导, 遥感蚀变信息提取方法的选择要以最大程度套合已知矿化蚀变为原则, 将化探、物探等数据与遥感数据融合(Fusion)或叠合(Overlaying)<sup>[4, 14, 29]</sup>, 归纳总结找矿规律, 甄别、筛选成矿有利地段, 从地质、物探、化探、遥感多元信息角度演绎找矿靶位; 各环节中均有野外工作密切配合, 不断深化认识并调整具体方法, 由浅入深渐次取得找矿突破。

参考文献:

[ 1 ] 阎积惠, 康 慧, 陈怀亮. TM 图像地质应用原理与方法 [ M ]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.

[ 2 ] Fraser S J. Discrimination and Identification of Ferric Oxides Using Satellite Thematic Mapper Data: A Newman Case Study[ J ]. Int J Remote Sens. 1991, 12(3): 635-641.

[ 3 ] Torres-Vera M A, Prol-Ledesma R M. Spectral Enhancement of Selected Pixels in Thematic Mapper Images of the Guanajuato District ( Mexico ) to Identify Hydrothermally Altered rocks[ J ]. Int J Remote Sens. 2003, 24(22): 4357-4373.

[ 4 ] 周 军, 王继辉, 祁世军, 等. 海南不磨金矿区地质、化探、遥感多元信息综合找矿研究[ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2005.

[ 5 ] 朱亮璞. 遥感地质学[ M ]. 北京: 地质出版社, 1994.

[ 6 ] Crosta A P, Moore J M. Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain[ C ] // Arbor A. Proceedings 7th International Conference Applied Geologic Remote Sensing. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Ins. 1989: 1173-1187.

[ 7 ] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[ M ]. 北京: 地质出版

- 社, 1983.
- [ 8 ] 杨金中, 方洪宾, 张玉君, 等. 中国西部重要成矿带遥感找矿异常提取的方法研究[ J ]. 国土资源遥感, 2003(3): 50-53.
- [ 9 ] 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [ 10 ] 闫柏琨, 王润生, 甘甫平, 等. 热红外遥感岩矿信息提取研究进展[ J ]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1116-1126.
- [ 11 ] 甘甫平, 王润生. 遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究[ M ]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [ 12 ] 杨 波, 吴德文, 赖健清, 等. 矿化信息提取定量遥感模型的建立[ J ]. 遥感学报, 2005, 9(6): 717-724.
- [ 13 ] Groves D I. The Crustal Continuum Model for Late-Archaean Lode-Gold Deposits of the Yilgarn Block, Western Australia[ J ]. Mineral Deposita, 1993, 28: 366-374.
- [ 14 ] 周 军, 陈明勇, 高 鹏, 等. 新疆东准噶尔蚀变矿物填图及多元信息找矿[ J ]. 国土资源遥感, 2005(4): 51-55.
- [ 15 ] 周 军, 高 鹏, 田勤虎, 等. 新疆巴里坤 ETM 数据遥感地质填图的探索[ J ]. 国土资源遥感, 2005(3): 57-65.
- [ 16 ] Kruse F A, Boardman J W, Huntington J F. Comparison of Airborne Hyperspectral Data and EO-1 Hyperion for Mineral Mapping[ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1388-1400.
- [ 17 ] Hubbard B E, Crowley J K, Zimelman D R. Comparative Alteration Mineral Mapping Using Visible to Shortwave Infrared (0.4~2.4  $\mu\text{m}$ ) Hyperion, ALL, and ASTER Imagery [ J ]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1401-1410.
- [ 18 ] Lillesand T M, Kiefer R W. Remote Sensing and Image Interpretation[ M ]. Fourth Edition. New York: John Wiley and Sons Inc 2000.
- [ 19 ] Borel C C, Gerstl S A W. Nonlinear Spectral Mixing Models for Vegetative and Soil Surfaces[ J ]. Remote Sensing of Environment, 1994, 47: 403-416.
- [ 20 ] Moody A S, Gopal S, Strahler A H. Artificial Neural Network Response to Mixed Pixels in Coarse-Resolution Satellite Data[ J ]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58: 329-343.
- [ 21 ] 杨建民, 张玉君, 陈 薇, 等. ETM+(TM)蚀变遥感异常方法在东天山戈壁地区的应用[ J ]. 矿床地质, 2003, 22(3): 278-286.
- [ 22 ] 谢学锦, 邵 跃, 王学求. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[ M ]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [ 23 ] 朱有光, 蒋敬业, 李泽九. 试论中国重要景观区区域地球化学异常系统评价的量化模型[ J ]. 物探与化探, 2002, 26(1): 17-22.
- [ 24 ] 吴锡生. 化探数据处理方法[ M ]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [ 25 ] 李长江, 麻士华, 朱兴盛, 等. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[ M ]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [ 26 ] Xie X J, Wang X Q. Geochemical Exploration for Gold: A New Approach to an Old Problem[ J ]. Journal of Geochemical Exploration, 1991, 40: 25-48.
- [ 27 ] 谢学锦. 勘查地球化学: 发展史、现状、展望[ J ]. 地质与勘探, 2002, 38(6): 1-8.
- [ 28 ] 侯德义, 刘鹏鄂, 李守义, 等. 矿产勘查学[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [ 29 ] Zhou Jun. Analyses of the Alteration Mineral Mapping Using Landsat Data and Relevant Applications[ C ]. //Wang Chao, Roger K, Yan Dongmei et al. Proceedings of the Third International Symposium on Future Intelligent Earth Observation Satellites. Beijing: Science Press, 2007: 480-482.

## 《吉林大学学报(地球科学版)》2009 年征订启事

《吉林大学学报(地球科学版)》系由教育部主管, 吉林大学主办的地球科学类综合性学术刊物。其前身是《长春科技大学学报》(1998 年前是《长春地质学院学报》), 主要刊登地球科学各领域的最新科研成果。

《吉林大学学报(地球科学版)》是全国中文核心期刊, 中国科技核心期刊, 现为美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、剑桥科学文摘(CSA)等检索文献源和《中国科学引文数据库》、《中国科技期刊文摘数据库》等源刊。

《吉林大学学报(地球科学版)》国内外公开发行人, 双月刊, 单月 26 日出版, A4 开本, 168 页, 定价 26.00 元, 全年 156.00 元。国内统一刊号 CN 22-1343/P, 国际标准刊号 ISSN 1671-5888, 国内由吉林省报刊发行局发行, 邮发代号 12-22; 国外由中国国际图书贸易总公司发行, 发行代号 BM5074。

欢迎广大读者到当地邮局(所)订阅。

本刊地址: 吉林省长春市西民主大街 938 号 邮编: 130026

联系电话: 0431-88502374 E-mail: jdxbdxb@jlu.edu.cn