

# 遥感蚀变信息定量提取方法在成矿预测中的应用 ——以西昆仑塔什库尔干地区为例

王彪<sup>1</sup> 陈利燕<sup>2,3</sup> 王核<sup>2</sup> 任广利<sup>2,3</sup> 吴玉峰<sup>2,3</sup> 黄朝阳<sup>2,3</sup> 付王伟<sup>2,3</sup>

(1. 华东冶金地质勘查研究院, 安徽 合肥 230088; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:**以遥感技术为手段、ETM 影像为基础数据, 解译了西昆仑塔什库尔干地区主要线、环构造, 划分出北西、近南北和近东西向 3 组主要线性断裂。利用比值和主成分分析等方法, 通过异常下限值圈定的数学模型定量提取了铁化、泥化和硅化蚀变信息。综合分析地质、矿产、地球化学及物、化探异常等资料, 结合遥感构造解译和蚀变信息, 优选了 2 个 I 类找矿靶区和 3 个 II 类找矿靶区。

**关键词:**构造解译; 遥感蚀变信息; 找矿; 西昆仑

**中图分类号:**P627 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-4552(2011)03-0372-06

当前国内矿产资源供需形势紧张并日趋严峻, 亟需研究探矿新方法, 降低探矿成本, 缩短探矿周期(朱谷昌等, 2001)。西昆仑矿产资源丰富, 区内已发现矿床种类繁多, 矿种齐全, 是寻找大型、超大型矿床的有利远景区之一(董永观等, 2003)。由于该地区恶劣的自然条件和落后的交通给基础地质资料调研和矿产勘查带来很大困难。

遥感技术具不受环境约束、快速、高效等优势, 尤其在地质工作程度低、自然条件恶劣和基岩裸露程度高的西部高寒山区, 可发挥遥感先行的优势, 浓缩找矿目标地, 加快地质勘查的步伐(施炜等, 2007)。本文选择西昆仑塔什库尔干一带为研究区, 以遥感技术为主要手段, 以 ETM 影像为基础数据, 解译区域主要线、环构造, 分析研究区内蚀变矿物波谱特征, 利用比值和主成分分析法, 通过异常下限值确定的数学模型定量提取遥感蚀变异常信息。综合分析地质、地球化学、物探、化探等与遥感蚀变信息异常空间关联性, 进一步筛选异常, 预测和定位找矿靶区, 提高研究区地质找矿效率。

## 1 地质概况

研究区位于我国的西部边陲, 地理坐标为东经 74°40′~76°, 北纬 36°50′~37°50′。大地构造以塔什库尔干断裂为界, 南西属于喀喇昆仑地块, 北东属于阿克赛钦中间地块。断裂构造发育, 区域性深大断裂有瓦恰-麻扎-康西瓦断裂、喀喇昆仑深大断裂和塔阿西断裂等。出露地层有: 古元古界布伦阔勒群变质岩, 下志留统以碎屑-碳酸盐岩为主夹少量火山岩; 上石炭统主体为碳酸盐岩; 中二叠统为碎屑岩-碳酸盐岩夹火山岩; 三叠系-侏罗系为碳酸盐岩; 下-中侏罗统为碳酸盐岩-硅质岩-火山岩组合; 第四系发育河谷及阶地洪冲积相, 山麓堆积相及高山冰碛相(王建平, 2008; 陈守建等, 2007)。花岗岩类较发育, 主要沿塔什库尔干断陷东西两侧及南侧呈北北西向雁行分布, 岩性主要为二长花岗岩、花岗闪长岩, 形成时代集中在燕山期和喜山期(姜春发, 1992)。火山岩分布在卡拉其古-明铁盖一线, 主要为下二叠统栖霞阶加温达坂组(丁道桂等,

收稿日期: 2010-06-01; 改回日期: 2011-03-08

项目资助: 国家十二五科技支撑项目(编号: 2011BAB06B05)及中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-407-03)资助。

第一作者简介: 王彪(1965-), 男, 高级工程师, 主要从事构造地质学研究。通讯作者: 王核, Email: wanghe@gig.ac.cn

2003)。目前在赞坎地区已发现老井、赞坎和吉尔铁克等大中型铁矿床及一批铁矿点,赋存在古元古界布伦阔勒群硅铁建造中;阿然保泰地区也发现2个铜矿点,1个铅锌矿点,均具有一定规模,具备斑岩型铜矿的找矿前景;明铁盖地区发现2个铜矿化点,1处含钨金矿点,显示出热液型矿床的围岩蚀变特点。

## 2 遥感构造解译

本次研究选用 Landsat 7 ETM<sup>+</sup> 遥感影像为基础数据,轨道号为 149/33、149/34,成像时间分别为 1999 年 9 月 25 日和 2000 年 9 月 11 日。在影像解译前需对 ETM 数据进行预处理,先通过比值阈值法消除研究区内积雪影响,然后利用 15m 分辨率的全色波段进行图像融合,以提高研究区构造解译精度和准确度。构造解译选用经预处理后 ETM<sup>+</sup> 743 假彩色合成图像(图 1 左)作为地质解译底图,采取人机交互解译方法根据地质体几何形态、色调、纹理及地质体在空间的对比关系,重点提取研究区的线性构造和环形构造信息。结合地质资料,从区域成矿、控矿构造的宏观角度,通过对遥感影像地质构造分析和研究了解研究区的区域构造特征,从而进一步指导找矿和圈定矿床(点)产出的有利区域,同时也可以通过遥感地质构造分析发现地下隐伏构造和隐伏地质体。

遥感线性构造解译表明(图 1 右)线性构造多为断层引起,环形构造多以岩体或隐伏岩体为主,部分为环形地貌。区内构造比较发育,可划分出北西、近南北和近东西等 3 组主要线性断裂。

从断裂形成的先后次序看,北西向断裂形成最早,近南北向断裂次之,其后为近东西向断裂。北西向构造经历了多期构造变动,被近南北向及近东西向等构造所改造和利用,从而在走向上不十分连续,但断续成带。

北西向线性断裂最为发育,它们在空间上呈现出近等间距性、断续成带的特点。4 条较大的北西向主断裂(F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>和 F<sub>4</sub>)决定了研究区的基本构造格局。近南北向线性断裂主要分布在塔什库尔干断裂以东,近东西向线性断裂在研究区南部表现得较为清晰。

环形构造以中小型环为主,主要分布在阿然保泰、赞坎和西若一带,组合形式比较复杂,有蘑菇群式、母子式、宝塔式等。根据线环构造空间分布特征,可归纳为线环、菱环、复杂叠合和网环等 4 种组合模式,其中赞坎、西若一带以网环组合模式为主,阿然保泰地区主要是复杂叠合模式,明铁盖和班迪尔地区组合模式比较简单,以线环或菱环组合为主。区内已发现的矿床点分布在不同方向断裂以及环形构造交汇部位,说明矿床、矿点及矿化异常的分布均受构造的控制。

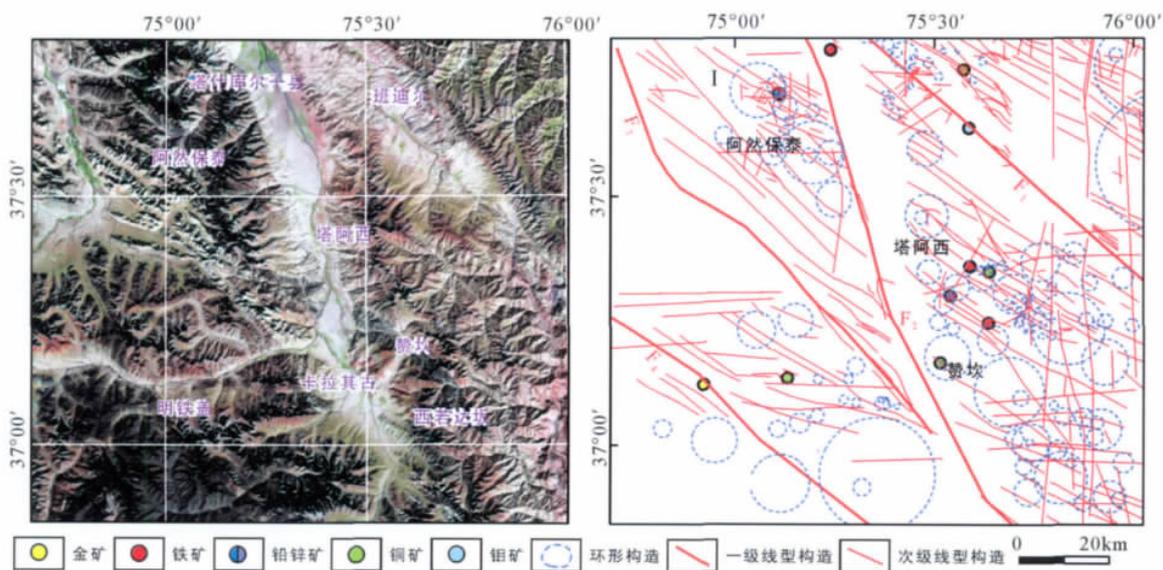


图 1 研究区 ETM 743 假彩色合成图和构造解译图

Fig. 1 The ETM 743 image and structure interpretation of the studying area

### 3 蚀变信息提取

#### 3.1 围岩蚀变分类

研究区内侵入岩体发育,与中酸性岩类有关的斑岩型铜钼矿化在恰尔隆、大同一带已有发现(赵玲等 2008; 王核等 2008),该类型矿化的围岩蚀变主要有褐铁矿化、绿泥石化、高岭土化、明矾石化、碳酸盐化和硅化等。它们分别代表不同热液流体对围岩的蚀变结果,具有各自的找矿指示意义。由于 ETM 图像相对较宽的波段范围,对具体每一种矿物蚀变进行识别比较困难。本文将研究区近矿围岩蚀变分为铁化(铁离子的褐铁矿化,主要代表金属离子富集或矿化中心)、泥化(含碳酸根离子的碳酸盐化及含氢氧根离子的绿泥石化,代表矿化外带,相当于斑岩型矿床的青磐岩化和碳酸盐化带)和硅化(代表侵入体或高  $\text{SiO}_2$  富集段)三类,可通过不同波段组合的比值和主成分分析等方法加以区分。通过提炼这三类蚀变信息,为找矿预测提供分析手段。

#### 3.2 有效波段选择

从研究区 ETM 影像中对不同蚀变岩选择典型训练样区,将训练样区的波谱数据求平均值,作出平均波谱曲线(图 2)。通过分析可知 ETM3/1 可识别褐铁矿化类的蚀变信息,ETM5/4 用于识别黄铁矿、磁铁矿等氧化亚铁类矿物。对 ETM3/1 和 ETM5/4 比值结果进行主成分分析的方法,取其第一主分量,可以较好的综合反映铁化类蚀变异常信息(张云峰等 2007)。

泥化类蚀变信息提取可选用 ETM5/7(张建东等 2007; 张国荣等 2010)。植被在 ETM5、7 波段也具有类似于泥化类蚀变矿物的光谱特征,因此加入

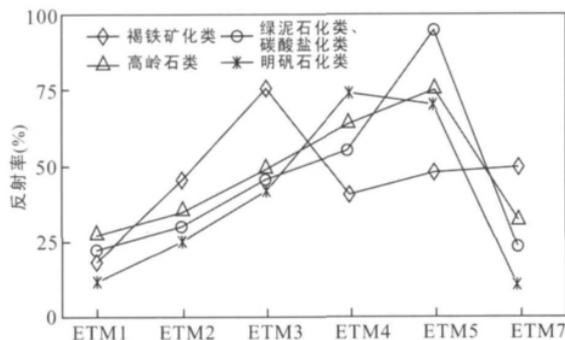


图 2 研究区典型蚀变岩波谱曲线

Fig. 2 The spectral characteristics of the typical altered rocks

ETM4/3(最佳植被指数)来抑制植被干扰,通过 ETM5/7 和 ETM4/3 主成分变换取第二主分量可得到植被信息被抑制的泥化类蚀变图像。

含石英矿物在 ETM6 波段具有强反射特征,试验结果表明,ETM6/5 对增强硅化信息效果更好,不仅可以突出硅化信息,同时也抑制了植被、阴影等影响。

#### 3.3 蚀变信息定量提取模型

研究区 ETM 各波段数据及其比值处理结果的统计性规律具有类似(在不严格的概念下)正态分布的特点。在做异常切割或数据切割时,便可借用  $\sigma$ (标准偏差)表征正态分布曲线的尺度,均值( $\mu$ )理解为代表区域背景,利用( $\mu + k\sigma$ )确定异常下限(张玉君等 2003)。参考化探异常的下限圈定方法,总结利用偏度检验法建立遥感蚀变异常下限圈定的定量公式为:

$$C_{\text{下限}} = \mu + k \times \sigma;$$

$$\text{当 } S_k \geq 0.5 \text{ 时 } k = S_k, \text{ 即 } C_{\text{下限}} = \mu + S_k \times \sigma;$$

$$\text{当 } 0 \leq S_k < 0.5 \text{ 时 } k = (1 - S_k), \text{ 即 } C_{\text{下限}} = \mu + (1 - S_k) \times \sigma;$$

$$\text{当 } S_k < 0 \text{ 时 } k = 1, \text{ 即 } C_{\text{下限}} = \mu + \sigma;$$

其中:  $C_{\text{下限}}$  为蚀变异常下限值,  $\mu$  为均值,  $S_k$  为偏度,  $\sigma$  为标准偏差(张守林 2006)。

利用遥感蚀变异常下限,圈定的定量公式提取蚀变信息可减少主观任意性,提高蚀变信息提取的效率和准确性。

#### 3.4 蚀变信息空间分布特征

根据遥感蚀变异常下限,圈定定量公式提取的蚀变信息,利用最优密度分割彩色赋值后各类蚀变信息分布如图 3 所示。区内铁化类蚀变(图 3a)分布较普遍,在塔什库尔干断裂以西、马尔洋达坂、赞坎和西若一带都比较明显。泥化类蚀变(图 3b)较少,主要分布在阿然保泰、卡拉其古、明铁盖、赞坎和西若一带。硅化类蚀变(图 3c)在明铁盖和研究区东北角的班迪尔一带分布较为普遍,阿然保泰和西若地区也有一定的分布。

阿然保泰地区铁化、泥化和硅化蚀变都比较聚集;班迪尔地区以铁化和硅化蚀变为主,泥化类也有零星的分布;赞坎地区主要是铁化和泥化类蚀变,少量的硅化类蚀变。西若地区铁化、泥化和硅化类蚀变信息集中分布,呈北西向展布。明铁盖地区硅化类蚀变分布明显,铁化和泥化蚀变也有一定的分布。

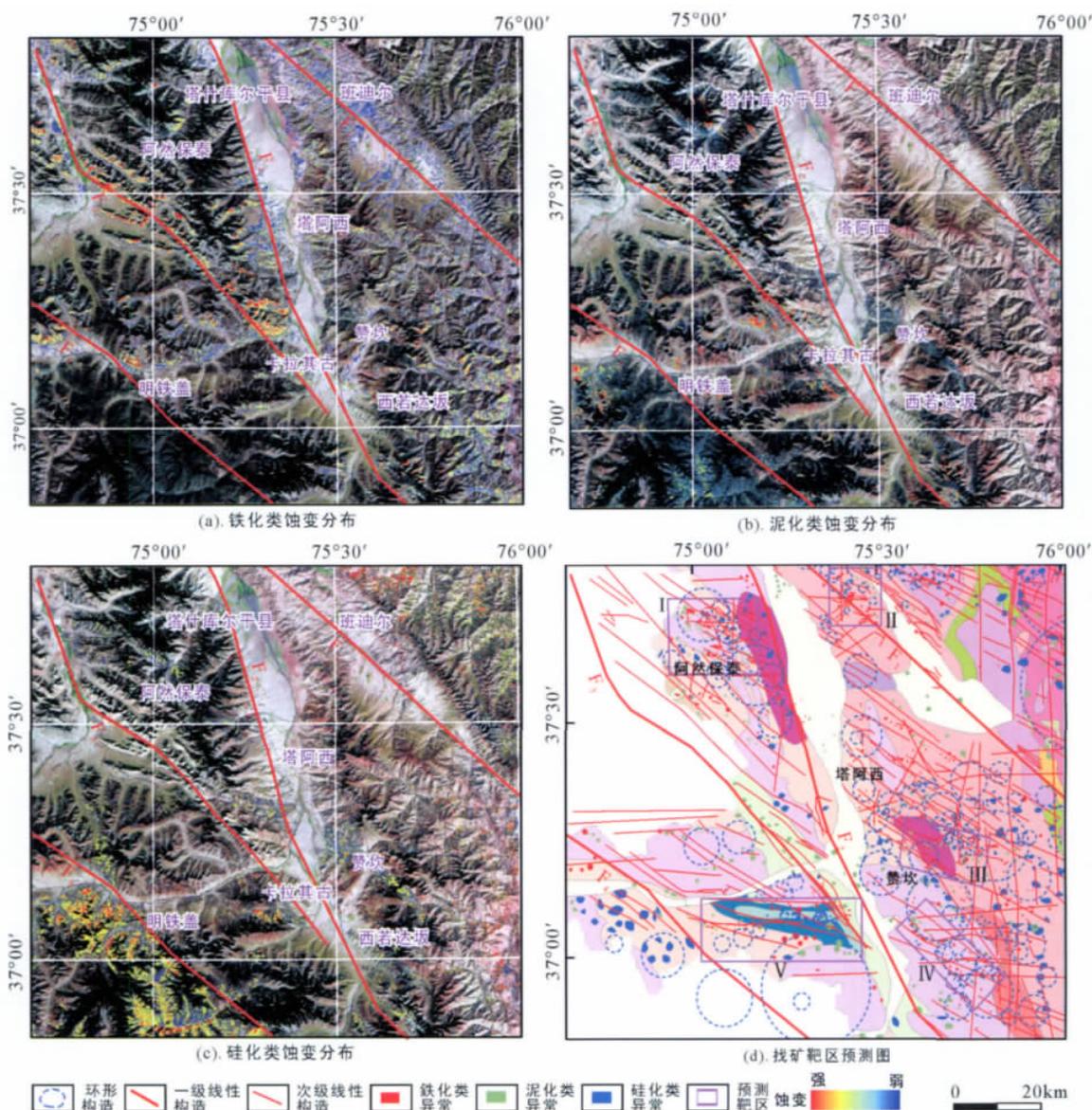


图 3 研究区蚀变分布和找矿靶区预测图

Fig. 3 The distribution of RS alteration and prospecting targets in the studying area

### 4 找矿靶区预测

综合分析成矿、控矿地质条件、矿床的分布、物化探、地球化学、遥感构造解译和矿化蚀变异常信息等资料,预测出了两个 I 类找矿靶区:阿然保泰 Cu-Pb-Zn 找矿靶区(图 3d 位置 I)和赞坎 Fe 找矿靶区(图 3d 位置 III);3 个 II 类找矿靶区:班迪尔 Cu-Pb-Zn 找矿靶区(图 3d 位置 II)、明铁盖 W-Cu 找矿靶区(图 3d 位置 V)和西若达坂 Mo 找矿靶区(图 3d 位置 IV)。

(1) 阿然保泰 Cu、Pb、Zn 找矿靶区位于研究区西北部,铁化、泥化和硅化蚀变相对集中,主要分布

在环形构造边缘和线性构造交汇处。线环构造以菱环组合模式为主。新疆第二地质大队 1:50 万化探分散流工作划分了阿然保泰多金属元素异常,元素组合为 Pb-Zn-Cu-Cr-Hg,同时叠加有铁族元素异常。区内燕山期花岗岩发育,在花岗斑岩中已发现 2 个铜矿点、1 个铜铅锌矿点,均具有一定规模,具备斑岩型铜矿的找矿前景。

(2) 赞坎 Fe 找矿靶区位于研究区中东部,遥感矿化蚀变类型主要是铁化和泥化,极少量硅化类蚀变。构造以网环组合模式为主。区域地球化学显示大面积 Fe 异常,航磁异常明显。区内出露的古元古界布伦纳勒群含硅铁建造,目前已发现 3 个沉积变

质型铁矿床。

(3) 班迪尔 Cu、Pb、Zn 找矿靶区位于研究区东北部, 遥感蚀变信息类型主要以铁化和硅化类为主, 泥化类蚀变也有零星分布。区内构造受一级线性构造班迪尔断裂( $F_1$ ) 控制, 北西向线性构造发育, 岩浆岩主要为燕山期石英闪长岩和喜山期二长花岗岩。地球化学测量圈出瓦恰等多个 Cu、Pb、Zn 异常。目前已发现 2 个铜矿点、1 个铜铁矿点。

(4) 明铁盖地区 W、Cu 找矿靶区硅化类遥感蚀变异常信息分布明显, 铁化和泥化类蚀变也有一定的分布。北西向和近东西向剪切带控制地层的沉积与花岗岩的分布。已有 2 个热液铜矿化点, 1 处热液型含钨金矿点(燕守勋等 2001)。靶区及其外围已发现 Au、Cu、Zn 组合化探异常(王晓鹏等 2002)。

(5) 西若 Mo 找矿靶区位于研究区的东南部, 区内铁矿化、泥化和硅化类遥感矿化蚀变信息集中分布, 呈北西向展布。构造以网环组合模式为主。地球化学异常强度高、面积大, 元素组合以 Cu、Mo、W 为主, 其中以 Mo 强度最高, 规模最大。前人在区域地质调查中发现有斑岩铜钼矿的转石, 但由于该区海拔较高, 通行条件差, 找矿一直没有突破。

## 5 结 论

(1) 文本以 ETM 为基础数据, 通过波段组合和图像增强, 解译了研究区线、环构造。其中北西向线性断裂最为发育, 它们在空间上呈现出近等间距性、断续成带的特征。

(2) 利用遥感蚀变异常下限圈定的定量公式提取蚀变信息, 经最优密度分割后进一步筛选提取出研究区铁化、泥化和硅化蚀变信息。综合遥感构造、蚀变信息和地物化等多元地学信息, 在研究区划分出 2 个 I 类找矿靶区: 阿然保泰 Cu、Pb、Zn 找矿靶区和赞坎 Fe 找矿靶区; 3 个 II 类找矿靶区: 班迪尔 Cu、Pb、Zn 找矿靶区、明铁盖 W、Cu 找矿靶区和西若达坂 Mo 找矿靶区。

(3) 提取的遥感蚀变信息与区内已发现矿床(点) 吻合较好, 表明遥感蚀变信息定量提取方法在新疆西昆仑地区矿产资源勘查与评价中具有良好的应用前景。

致谢: 论文在修改作过程中, 得到了两位审稿人朱谷昌教授和王晓鹏高工的大力支持和热情帮助, 并

提出了宝贵意见和建议, 笔者在此表示衷心的感谢!

## 参考文献:

- 陈守建, 李荣社, 计文化, 赵振明, 孟勇, 史秉德. 2007. 昆仑造山带晚泥盆世沉积特征及构造古地理环境. 大地构造与成矿学, 31(1): 44-51.
- 丁道桂, 刘伟新, 王道轩, 孙世群. 2003. 东帕米尔及邻区古生界基性火山岩地球化学特征与构造属性. 新疆地质, 21(1): 96-102.
- 董永观, 郭坤一, 肖惠, 张传林, 王爱国, 赵宇. 2003. 西昆仑地区成矿远景. 中国地质, 30(2): 173-178.
- 姜春发. 1992. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社.
- 施炜, 刘建民, 王润生. 2007. 内蒙古东部喀喇沁旗地区金矿围岩蚀变遥感信息提取及成矿预测. 地球学报, 28(3): 291-298.
- 王核, 刘建平, 李社宏, 陈根文, 任广利, 赵玲. 2008. 西昆仑喀依孜斑岩钼矿的发现及其意义. 大地构造与成矿学, 32(2): 178-184.
- 王建平. 2008. 西昆仑塔什库尔干混杂岩地质特征及其大地构造意义. 中国地质大学(北京) 博士学位论文.
- 王晓鹏, 谢志清, 伍跃中. 2002. ETM 图像数据中矿化蚀变信息的提取——以西昆仑塔什库尔干地区为例. 地质与资源, 11(2): 191-122.
- 燕守勋, 马建文, 蔺启忠. 2001. 中国西部喀喇昆仑明铁盖多金属矿化区的卫星遥感勘查. 遥感学报, 5(4): 306-311.
- 张国荣, 芦青山, 费一清. 2010. ETM<sup>+</sup> 数据在甘肃省肃北县黑刺沟一带蚀变遥感异常信息提取中的应用. 大地构造与成矿学, 34(3): 386-390.
- 张建东, 彭省临, 杨斌, 刘明, 王力. 2007. 云南个旧锡矿遥感信息提取及找矿预测. 大地构造与成矿学, 31(4): 424-429.
- 张守林. 2006. 基于 ETM 数据矿化蚀变信息定量提取方法研究. 中国地质大学(北京) 博士学位论文.
- 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. 2003. ETM<sup>+</sup>(TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程. 国土资源遥感, (2): 44-49.
- 张云峰, 李领军, 张蓉. 2007. 基于遥感地质异常的综合信息矿产预测方法研究. 西北地质, 40(增刊): 104-111.
- 赵玲, 王核, 刘建平, 任广利. 2008. 西昆仑地区恰尔隆、大同一带 ETM 遥感影像构造解译. 大地构造与成矿学, 32(4): 470-474.
- 朱谷昌, 杨自安, 吴德文. 2001. 遥感地质技术在矿山新一轮找矿勘查中的应用研究 // 第十三届全国遥感技术学术交流会议论文集: 162-167.

## Ore Prospecting for the Taxkorgan Area of West Kunlun Using Quantitative Extraction of Mineralized Alteration Information

WANG Biao<sup>1</sup>, CHEN Liyan<sup>2,3</sup>, WANG He<sup>2</sup>, REN Guangli<sup>2,3</sup>, WU Yufeng<sup>2,3</sup>,  
HUANG Zhaoyang<sup>2,3</sup> and FU Wangwei<sup>2,3</sup>

(1. East China Institute of Metallurgy Geology and Exploration, Hefei 230088, Anhui, China; 2. CAS Key Laboratory of Mineral and Mineralization, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Linear and circular structures of the Taxkorgan region in West Kunlun were interpreted via ETM images. The results show that tectonism in the studying area was intensive. The major linear structures include NW, NS and EW trending faults. The NW trending linear structures are widespread and cut by near EW and NS trending faults, thus, the near EW and NS trending faults are later than the NW trending faults. Mineralized alteration factors were defined by spectral characteristics of the rocks in different bands. Mineralized alteration information was quantitatively extracted by multispectral remote sensing information extraction techniques. Useful alteration anomalies and metallogenic targets were located by multi-geology information integration. According to geological data, structure interpretation results and RS anomaly areas, Aranbaotai Cu-Pb-Zn, Zankan Fe, Baldir Cu-Pb-Zn, Mingtiegai W-Cu and Xiruo Mo prospecting targets were proposed. The spatial distribution of remote sensing anomalies is consistent with the known ore deposits, which showed promising application of the method in mineral resource exploration and assessment in West Kunlun.

**Keywords:** structure interpretation; remote sensing alteration information; ore prospecting; West Kunlun

---

### 《大地构造与成矿学》网站正式开通

《大地构造与成矿学》网站(<http://www.ddgzyckx.com/>)已于2011年元月正式开通,网站开设了“期刊简介”、“投稿指南”、“文章检索”、“网上订阅”、“本刊动态”、“广角镜”等栏目。

目前,网站已将本刊从1977年创刊起的全部过刊与现刊的全文PDF格式文件上传到服务器中,作者、读者可以免费下载。

网站的建成使得本刊投审稿系统与编辑办公网络化进入一个新的阶段。将来作者可以直接通过网站进行网上投稿、稿件处理情况查询;审稿专家可以使用该系统进行网上审稿。

欢迎广大读者踊跃投稿,并给网站的建设提出宝贵意见与建议。