

# 青海沱沱河地区遥感蚀变信息提取

陈建平<sup>1,2</sup>, 王倩<sup>1,2</sup>, 董庆吉<sup>1,2</sup>, 丛源<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学国土资源与高新技术研究中心, 北京 100083  
2. 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083

**摘要:** 青海沱沱河位于西南“三江”成矿带的西北端, 具有优越的成矿地质背景和巨大成矿潜力, 已发现一批大中型以上规模的铅、锌、银、铜找矿靶区。沱沱河地区属于高寒区, 野外地质工作难于开展, 因此在该地区开展遥感找矿的研究是一种经济、便捷、有效的勘查手段。在 ENVI 软件的支持下, 根据与蚀变矿物组合相关的波谱特征, 利用掩膜+主成分分析+色度调整 (MPH) 的方法从 TM 多光谱影像中提取与金属矿化有关的铁染与羟基蚀变遥感信息异常, 并结合地质资料, 区划成矿远景区和圈定找矿靶区, 取得了很好的应用效果。

**关键字:** MPH; 主成分分析; 铁染蚀变; 羟基蚀变; 沱沱河。

中图分类号: P627

文章编号: 1000-2383(2009)02-0314-05

收稿日期: 2008-12-22

## Extraction of Remote Sensing Alteration Information in Tuotuohe, Qinghai Province

CHEN Jian-ping<sup>1,2</sup>, WANG Qian<sup>1,2</sup>, DONG Qing-ji<sup>1,2</sup>, CONG Yuan<sup>1,2</sup>

1. Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Beijing Key Laboratory of Research and Exploration Information of Land Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**Abstract:** Tuotuohe is located at the north-west section of “Sanjiang” metallogenic belt, Qinghai Province. This area boasts favorable mineralization background and great ore mineral potential. Prospecting targets for large- and/or middle-sized lead, zinc, silver, and copper deposits have been delineated. Tuotuohe area belongs to cold grassy highland where some of the traditional geological field survey and mapping are difficult to conduct. Remote sensing technology is expected to provide low cost and efficient means to facilitate mineral exploration. Based on the spectrum information of mineral associations involved in mineralization-associated alteration zones and with the support of ENVI software, the authors used an integrated masking-principal component analysis-histogram classification (MPH) method to process the TM multi-spectral image to extract patterns related to iron stained alteration and hydroxyl alteration of mineralization form. Geological data are integrated with the results of remote sensing image processing to divide prospective districts and delineate prospecting targets.

**Key words:** MPH; main component analysis; iron stained alteration; hydroxyl alteration; Tuotuohe.

研究区地处西南“三江”成矿带北部的西北端, 青海省西南部的唐古拉山北坡, 地理坐标: 东经  $91^{\circ}00'00'' \sim 93^{\circ}00'00''$ , 北纬  $33^{\circ}00'00'' \sim 35^{\circ}00'00''$ 。沱沱河地区位于金沙江以南的“三江”北段成矿带, 是我国著名的西南“三江”铜多金属巨型成矿带的北延部分, 构造上属特提斯巨型成矿带的重要组成部分, 具有优越的成矿地质背景和巨大成矿潜力, 是西部找矿最有可能实现突破的地区之一, 已被国土资源部列入全国 24 个重要成矿带的前 4 位(潘彤等,

2006; 宋明辉等, 2006; 易平乾等, 2007)。

研究区平均海拔 5 000 多米, 属于高寒山区, 植被稀少, 人迹罕至, 地面地质工作的开展难度大, 成本高, 因此在该地区开展遥感找矿工作就成为一种经济、便捷、有效的手段。本文利用遥感数据对青海沱沱河地区进行矿化蚀变信息提取与分析, 根据 TM 数据与蚀变矿物组合相关的波谱信息, 利用掩膜+主成分分析+色度调整的方法进行了蚀变异常信息提取, 为该区成矿预测研究与建立找矿靶区提

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目子课题 (No. 2006BAB01A08); 地质过程与矿产资源国家重点实验室科技部专项经费资助。  
作者简介: 陈建平(1959-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事矿产资源预测与评价研究。E-mail: 3s@cugb.edu.cn

供了依据。

## 1 矿化蚀变的遥感信息提取发展现状

利用遥感图像处理技术提取矿化信息,是在细分波谱、增强弱信息的基础上为地质找矿工作提供遥感所特有的信息,这也是遥感信息中除线性构造和环形构造解译外的一个重要的研究内容。矿化蚀变信息的有效提取是近几年来遥感地质研究的极大进展,特别是随着航宇探测的不断深入使得相关研究倍受人们关注。这方面的研究由来已久,戈茨早在 1976 年就提出了在短红外波段  $1.6 \sim 2.2 \mu\text{m}$  之间两波谱带反射率的比值( $1.6 \mu\text{m}/2.2 \mu\text{m}$ )可以提供蚀变岩石和未蚀变岩石最大的分辨率(地质部情报研究所,1980);Abrams *et al.*(1977)也注意到陆地卫星多波段扫描( $0.5 \sim 1.1 \mu\text{m}$ )光谱范围内含褐铁矿的蚀变岩石由于三价铁强吸收波谱而产生的独特反射波谱,并在内华达州金场根据陆地卫星波段比值图像对褐铁矿蚀变岩石进行了填图。Rowan *et al.*(1977)采用 MSS4/5、MSS5/6、MSS5/7 比值图像的彩色合成图对含次生粘土、氧化硅和褐铁矿的蚀变矿区进行了识别填图。Hunt *et al.*(1971)利用羟基在可见光到近红外的波谱响应特征来确定特定的矿物来圈定蚀变岩石。20 世纪 80 年代,智利利用航空摄影照片解译矿化蚀变带,发现了玛尔泰和洛博金矿;美国地调局利用陆地卫星数据处理,填绘了与矿化有关的褐铁矿化异常分布。Crosta and Moore(1989)利用 Landsat TM 图像数据成功地圈定了巴西 Minas Gerais 半干旱地区铁染和泥化现象。Loughlin(1991)利用主成分分析法进行了蚀变岩的研究。Rutz-Armenta and Pro-Ledesma(1998)研究了提高 TM 图像的热液蚀变矿物的光谱响应的方法。Cheng(1997, 1999)和 Cheng *et al.*(2006)从多尺度性和多重分形理论出发提出了 C-A 分形方法、最优相关主成分、空间加权主成分等烟杆图像处理新方法,并成功用于加拿大 BC 省西北部斑岩铜金矿热液蚀变带识别。Tangestani and Moore(2001)利用 3 种主成分分析法对伊朗 Meiduk 地区斑岩铜矿蚀变区进行了对比分析。Crowley *et al.*(2003)利用 AVIRIS 和 ASTER 数据对成层火山的热液蚀变进行了研究。

国内这方面的工作主要开始于 20 世纪 90 年代。赵元洪等(1991)、何国金等(1994)和马建文

(1997)相继提出波段比值的主成分复合法、微量信息处理方法和矿化弱信息的增强提取方法。张远飞和吴健生(1999)利用“多源数据分析+比值+主成分变换+掩膜+分类(分割)”的方法在新疆、内蒙古及江西、云南成功地提取了金矿化蚀变信息。刘庆生等(1999)利用对应分析法从 MAIS 数据中提取了内蒙古哈达门沟含金矿化带蚀变信息。刘素红等(2000)利用 Gram-Schmidt 投影方法在高山区提取了 TM 数据中的含矿蚀变带信息。刘成等(2003)利用混合像元线性分解模型提取了卧龙泉地区粘土蚀变信息。目前,国内常用的方法主要有:(1)比值变换法;(2)主成分分析法,又称 K-L 变换;(3)光谱角填图法;(4)对应分析法,常见采用 R-Q 型因子分析法;(5)Gram-Schmidt 投影方法;(6)混合像元分解法;(7)MPH 技术(Mask PCA and HSI)(荆凤和陈建平,2005)。

## 2 沱沱河成矿地质背景

沱沱河地区主要位于冈底斯—三江造山系(VI)的二级内陆三江湖盆系(VII2)。区内以沉积岩为主,除呈岩块分布于西金乌兰湖—金沙江缝合带内的石炭—二叠纪能天河蛇绿岩构造混杂岩为构造—岩石地层单位以外,总体为成层有序的地层(图 1)。根据已有的矿产资料,矿化主要集中于通天河构造混杂岩带内白垩纪风火岩盆及羌塘陆块的开心岭乌丽岛弧带、邦可钦—砸赤扎加重力前陆盆地内,既有较多

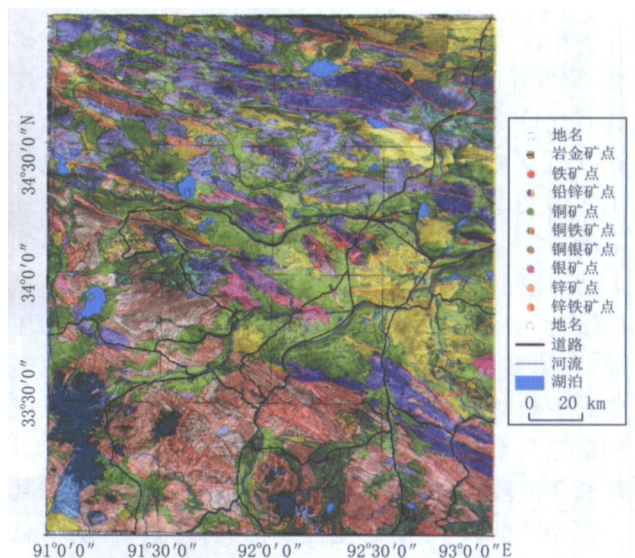


图 1 沱沱河地区遥感影像地质图

Fig. 1 Geological map of remote sensing image in Tuotuohe area

的外生矿产,也有较为丰富的内生矿产,矿区内地层与岩浆热液活动有着密切的关系.铜矿化主要分布于白垩纪风火岩陆相沉积盆地中,并产于白垩纪风火岩群洛力卡组中,另外水鄂柔一带古近纪沱沱河组泥灰岩中亦发现铜矿,均属于沉积型矿产.洛力卡组中的灰绿色砂岩、含炭质砂岩和灰岩为主要的铜矿化层位.另据已有地质资料反映,沉积型铜矿成矿物质主要来源于盆地周边分布的基岩中.周边基岩经长时期的风化剥蚀,为盆地中沉积物提供了丰富的碎屑物,也提供了较为丰富的铜矿物质.

铅、锌、银多金属矿产主要分布于风火岩以北扎西尕日、藏麻西孔和沱沱河以西的宗陇巴及多才玛等地,与古近纪沱沱河组、新近纪五道梁组灰岩、喜山期正长斑岩体和近东西向断裂破碎带密切相关.目前发现的铅银矿体呈脉状赋存于藏麻西孔正长斑岩体中的北西向次级断裂破碎蚀变带中;铅锌矿化赋存于宗陇巴及多才玛等地晚三叠世结扎群波里拉组、中二叠世九十道斑组及古近纪沱沱河组间的近东西向破碎断裂带中,表明区内具有多期的热液活动迹象.

铁矿与晚石炭世、三叠纪灰岩和中基性火山岩及辉绿岩密切相关,区域上较好地与航磁异常套合,属中低温热液接触交代型和矽卡岩型矿产,其成矿物质主要来源于含铁较高的中基性火山岩和辉绿岩.

### 3 遥感蚀变信息提取

沱沱河地区主要蚀变类型以矽卡岩化、黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化、绢云母化为主.这些蚀变均含有三价铁离子( $Fe^{3+}$ )和羟基( $OH^-$ )离子基团,并在 TM 遥感数据上具有诊断波谱特征,从而提供了工区蚀变遥感信息提取的理论依据.在蚀变信息提取的方法上,采用掩膜+主成分分析+色度调整的方法.掩膜可以去除不相干信息,尤其是高亮度信息的干扰.主成分分析方法是将对图像数据的集中和压缩,它将多光谱图像中各个波段高度相关的信息集中到少数的几个波段,并且尽可能地保证这些波段的信息互不相干.图像经过主成分变换之后,除 PC1 反映各波段的总体特征外,其他各个分量总是以某一原始特征为主.而矿化蚀变信息作为一种弱信息往往包含在信息量少的第 3、第 4 至第 5 分量中.据此对沱沱河地区遥感图像开展了蚀变信息的提取.

#### 3.1 数据来源

此次研究利用 1992-08-15 的 P138R36TM 数据、1992-08-31 的 P138R37TM 数据、1995-08-17 的 P137R36TM 数据以及 2001-07-08 的 P137R37ETM 数据,在 ENVI 平台上进行铁染蚀变、羟基蚀变信息的提取.原始影像已进行了几何校正和辐射校正.为了避免对蚀变弱信息的破坏,在以后的处理中均分景进行.在提取遥感蚀变的图像中,由于第四系覆盖、阴影、积雪等影响,形成部分“伪信息”,可以分别应用掩膜处理技术,剔除这些“伪信息”.

#### 3.2 铁染蚀变异常信息提取

某些铁的氧化物,其 ETM 波谱特征在 TM3 ( $0.63 \sim 0.69 \mu m$ ) 表现为强反射,在 TM1 ( $0.45 \sim 0.52 \mu m$ )、TM2 ( $0.52 \sim 0.60 \mu m$ ) 和 TM4 ( $0.76 \sim 0.90 \mu m$ ) 表现为不同程度的相对吸收特征.针对各个波段波谱所反映的特征,选取 TM1、TM3、TM4、TM5 这 4 个波段作为组合波段做主成分分析,同时为了避免了泥化信息的干扰,在选取波段组合时舍弃了 TM7 波段.

根据各分量所反映的波段信息选择合适分量(一般为 PC4),根据其低端亮度分布直方图选择合适阈值进行蚀变的分级.提取结果如图 2 所示.

#### 3.3 羟基蚀变异常信息提取

热液作用于围岩,形成了粘土矿物的蚀变富集带.粘土类矿物如绿泥石、绢云母、高岭石等,大多含有羟基( $OH^-$ ).含羟基类矿物在 TM7 波段( $2.08 \sim 2.35 \mu m$ )具有强吸收带,在 TM5 波段( $1.55 \sim$

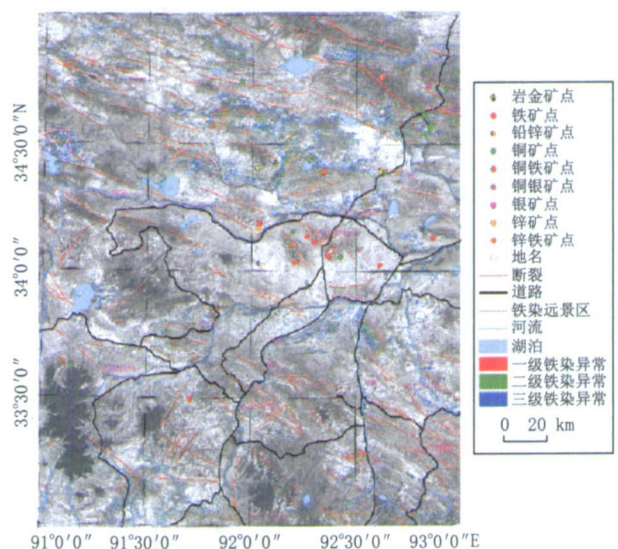


图 2 沱沱河地区铁染蚀变异常分布

Fig. 2 Distribution of iron stained alteration anomaly in Tuotuohe area



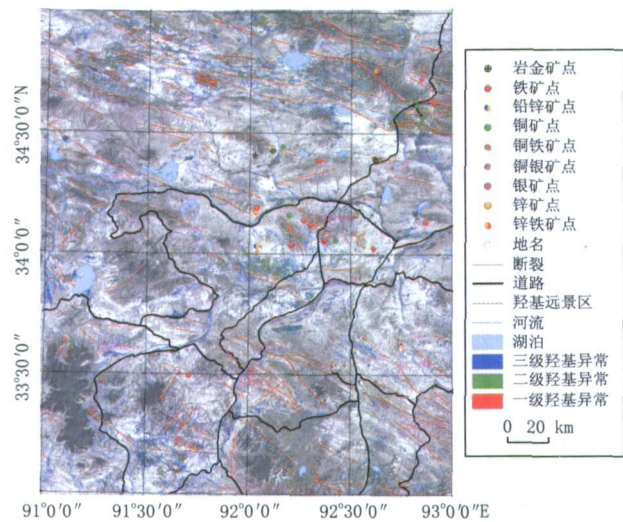


图3 沱沱河地区羟基蚀变异常分布

Fig. 3 Distribution of hydroxyl alteration anomaly in Tuotuohe area

1.75  $\mu\text{m}$ ) 具有强反射带。针对各个波段波谱所反映的特征, 选取 TM1、TM4、TM5、TM7 这 4 个波段作为组合波段做主成分分析。舍弃 TM2 与 TM3 波段, 是为了避免可见光波段同时参加运算, 主要是为了排除铁氧化物的干扰。

根据各分量所反映的波段信息选择合适分量 (一般为 PC4), 根据其高端亮度分布直方图选择合适阈值进行蚀变的分级。提取结果如图 3 所示。

从蚀变提取图像上可以发现, 整个沱沱河地区的蚀变信息, 尤其是羟基蚀变, 绝大部分呈北西向或北西向条带状展布, 明显受断裂构造控制。一级异常出现在区域性大断裂与次级断裂交汇部位, 这类地段是热液矿床产出的有利部位, 而本区的蚀变信息亦与热液型铅锌矿床有很好的吻合, 说明本区遥感蚀变信息提取的结果是可信的。

## 4 结论

在利用常规方法找矿难度较大的沱沱河地区, 以 MPH 方法为主要手段, 合理选择阈值, 可以在本区快速有效地进行遥感蚀变异常信息提取。提取的蚀变信息呈北西向或北西向展布, 与区域性断裂展布的方向一致, 说明提取的遥感蚀变信息对本地区的找矿工作有一定的参考价值。由于异物同谱和同物异谱现象的存在, 在提取出一些矿化蚀变信息的同时, 肯定错提、漏提了一些信息。因此在蚀变信息的提取和筛选时, 首先应查明其地质背景, 分析其

成矿地质条件, 正确判别信息的真伪后, 方可进入下一步评价及成矿有利地区优选工作。

## References

- Abrams, M. J., Ashley, R. P., Brown, L. C., et al., 1977. Mapping of hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nevada, using aircraft scanner images for the spectral region 0.46 to 2.36  $\mu\text{m}$ . *Geology*, (5): 713—718.
- Cheng, Q. M., 1997. Fractal/multifractal modeling and spatial analysis. In: Pawlowsky-Glahn, V., ed., Keynote Lecture in Proceedings of the International Mathematical Geology Association Conference, Barcelona, Spain, 22—27, 57—72.
- Cheng, Q. M., 1999. Multifractality and spatial statistics. *Computers & Geosciences*, 25(9): 949—961.
- Cheng, Q. M., Jing, L. H., Panahi, A., 2006. Principal component analysis with optimum order sample correlation coefficient for image enhancement. *International Journal of Remote Sensing*, 27(15—16): 3387—3401.
- Crosta, A., Moore, J. M., 1989. Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference. *Remote Sensing for Exploration Geology*, 1173—1187.
- Crowley, J. K., Hubbard, B. E., Mars, J. C., et al., 2003. Hydrothermal alteration on the cascade stratovolcanoes: A remote sensing survey. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 35(6): 552.
- He, G. J., Hu, D. Y., Chen, Z. J., et al., 1995. Extracting gold mineralized information directly from TM image. *Remote Sensing Technology and Application*, 10(3): 51—54 (in Chinese with English abstract).
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W., Lenhoff, C. J., 1971. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III, oxides and hydroxides. *Modern Geology*, 2(3): 195—205.
- Institute of Information of the Former Department of Geology, ed., 1980. Remote sensing special—Mineral and rock's visible & mid-infrared spectra and their application. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Jing, F., Chen, J. P., 2005. The review of the alteration information extraction with remote sensing. *Remote Sensing Information*, (2): 62—65, 57 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C., Wang, D. L., Li, X. M., 2003. Extracting clay alteration information of medium vegetation covered areas

- based on linear model of spectral mixture analysis. *Remote Sensing Technology and Application*, 18(2): 95–98 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Q. S., Yan, S. X., Ma, C. F., et al., 1999. Remote sensing extraction of piedmont potassic alteration zone in Hadamengou gold deposit district, Inner Mongolia Autonomous region. *Remote Sensing Technology and Application*, 14(3): 7–11 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. H., Ma, J. W., Lin, Q. Z., 2000. Depicting the hydrothermal alterations of high mountains in multi-spectral data via Gram-Schmidt projection method. *Geology and Prospecting*, 36(5): 62–65 (in Chinese with English abstract).
- Loughlin, W. P., 1991. Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, (57): 1163–1169.
- Ma, J. W., 1997. Methodology study of quickly identifying mineral bearing alterations from TM data. *Journal of Remote Sensing*, 1(3): 208–213 (in Chinese with English abstract).
- Pan, T., Luo, C. R., Yi, Y. C., et al., 2006. The prospecting potential and metallogenic rules of metallic ore resources in Qinghai Province. Geological Publishing House, Beijing, 35–37 (in Chinese).
- Rowan, L. C., Goetz, A. F. H., Ashley, R. P., 1977. Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images. *Geophysics*, 42(3): 522–535.
- Rutz Armenta, J. R., Prol-Ledesma, R. M., 1998. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in thematic mapper images of Central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 19(10): 1981–2000.
- Song, M. H., Pan, J., Xing, L. X., 2006. The remote sensing study of metallogenic prognosis in the Qimantage region, eastern Kunlun. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36( Suppl.): 210–213 (in Chinese with English abstract).
- Tangestani, M. H., Moore, F., 2001. Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping: A case study, Meiduk area, Kerman, Iran. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(2): 176–182.
- Yi, P. Q., Wang, Y. K., Gu, Y., 2007. Preliminary research on metallogenic rules of polymetallic in Tuotuohe region, Qinghai Province. *Qinghai Guotu Jinghui*, (1): 35–38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. F., Wu, J. S., 1999. Extraction of mineralization and alteration information from remote sensing images. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 8(6): 604–606 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. H., Zhang, F. X., Chen, N. F., 1991. The application of principal component integration of band ratios to extracting hydrothermal alteration information. *Remote Sensing for Land & Resources*, (3): 12–17 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 地质部情报研究所, 1980. 遥感专辑—矿物岩石可见光—中红外光谱及其应用. 北京: 地质出版社.
- 何国金, 胡德永, 陈志军, 等, 1995. 从 TM 图像中直接提取金矿化信息. *遥感技术与应用*, 10(3): 51–54.
- 荆凤, 陈建平, 2005. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述. *遥感信息*, (2): 62–65, 57.
- 刘成, 王丹丽, 李笑梅, 2003. 用混合像元线性模型提取中等植被覆盖区的粘土蚀变信息. *遥感技术与应用*, 18(2): 95–98.
- 刘庆生, 燕守勋, 马超飞, 等, 1999. 内蒙哈达门沟金矿区山前钾化带遥感信息提取. *遥感技术与应用*, 14(3): 7–11.
- 刘素红, 马建文, 蔺启忠, 2000. 通过 Gram-Schmidt 投影方法在高山区提取 TM 数据中含矿蚀变带信息. *地质与勘探*, 36(5): 62–65.
- 马建文, 1997. 利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究. *遥感学报*, 1(3): 208–213.
- 潘彤, 罗才让, 伊有昌, 等, 2006. 青海省金属矿产成矿规律及成矿预测. 北京: 地质出版社, 35–37.
- 宋明辉, 潘军, 邢立新, 2006. 东昆仑祁漫塔格地区找矿预测遥感研究. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(增刊): 210–213.
- 易平乾, 汪元奎, 顾瑛, 2007. 沱沱河地区多金属成矿规律初步探讨. *青海国土经略*, (1): 35–38.
- 张远飞, 吴健生, 1999. 基于遥感图像提取矿化蚀变信息. *有色金属矿产与勘查*, 8(6): 604–606.
- 赵元洪, 张福祥, 陈南峰, 1991. 波段比值的主成分复合在热液蚀变信息提取中的应用. *国土资源遥感*, (3): 12–17.