

# 内蒙古朱拉扎嘎地区成矿遥感信息提取 及成矿预测研究

刘颖璠<sup>1,2</sup> 陈建平<sup>1</sup> 郝俊峰<sup>1,2</sup> 梁丽新<sup>2</sup> 崔来旺<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 10083; 2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:**以 ETM+ 数据为信息源, 对典型矿床—朱拉扎嘎金矿的成矿地质特征和遥感解译特征进行详细研究。矿体赋存于渣尔泰山群阿古鲁沟组一段浅变质含钙质碎屑岩中。利用目视综合解译法进行了线性构造信息的提取; 利用主成份分析法有效提取了铁染蚀变异常和羟基蚀变异常信息, 并利用光谱角法对蚀变异常进行了优化处理; 利用 GIS 技术将以上提取的成矿信息进行叠加分析。确定该区寻找铜金矿床的找矿标志为: (1) 渣尔泰山群阿古鲁沟组一段; (2) 线性构造发育; (3) 铁染蚀变异常和羟基蚀变异常存在且二者套合好; (4) 有较强的化探异常, 且异常浓集中心套合好。并利用找矿标志在区内圈定出朱拉扎嘎北侧、西侧等 6 个找矿靶区。

**关键词:**朱拉扎嘎; ETM+; 成矿信息; 叠加分析; 找矿靶区预测

中图分类号: P627

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2012)04-1062-07

随着利用 ETM+ 数据提取矿化蚀变异常技术的日趋成熟, 遥感技术越来越多的应用于找矿预测和靶区筛选, 国内很多地区都取得了很好的成果<sup>[1-9]</sup>。

朱拉扎嘎金矿是 20 世纪 90 年代发现的位于中元古界中的大型层控喷流沉积改造型金矿, 其外围找矿潜力巨大。该矿床位于内蒙古西部的荒漠景观区, 自然条件恶劣, 是利用遥感技术找矿的理想地区<sup>[7]</sup>。

## 1 研究区地质概况

研究区位于内蒙古西部阿拉善盟阿拉善左旗境内, 西距巴音诺日公苏木近 3 km, 东距洪格日鄂楞苏木 1 km 多, 阿拉坦敖包、朱拉扎嘎、沙拉西别一带(图 2), 属巴音诺日公金、铂、铜多金属找矿远景区, 该远景区位于朱拉扎嘎—渣尔泰山多金属成矿带西段<sup>[8]</sup>, 属狼山—渣尔泰山中—新元古代裂谷带。

南北两侧被大断裂围限, 基底岩系为中太古界乌拉山岩群一套片麻岩、斜长角闪岩、大理岩; 盖层

为中新元古界渣尔泰山群书记沟组、增龙昌组、阿古鲁沟组浅变质碎屑岩、碳酸盐岩, 分布较广, 是重要的含矿建造<sup>[9]</sup>。此外有二叠系大红山组火山岩零星出露, 山间盆地形成的侏罗系、白垩系碎屑岩。

该区岩浆侵入活动强烈, 中元古代基性—酸性侵入体均有发育, 侵入于渣尔泰山群之中。石炭纪、二叠纪和三叠纪中性—酸性侵入岩分布广泛。

该区成矿地质条件优越, 以金矿为主, 铜及多金属次之, 并有独特的砂铂矿床存在。

## 2 典型矿床地质特征

矿区位于朱拉扎嘎近北北西向褶皱与近南北向断裂的交汇处, 出露中元古界长城系—蓟县系渣尔泰山群增隆昌组及阿古鲁沟组, 岩浆岩不发育, 仅以岩株或岩脉的形式分布于研究区东侧和南部。

矿体赋存于渣尔泰山群阿古鲁沟组一段的中部层位, 岩石组合为深灰色粉砂质绢云母板岩、变质钙

收稿日期: 2011-11-07; 改回日期: 2012-05-02

基金项目: 内蒙古自治区政府地质勘查基金项目“内蒙古及与蒙古国相邻地区大型矿床遥感特征对比及异常查证”(06-2-KC40)资助。

作者简介: 刘颖璠, 女, 1966 年生, 博士生, 高级工程师, 资源与环境遥感专业, 主要从事遥感、GIS 应用和地质矿产综合研究工作;

E-mail: lyf\_66@163.com。

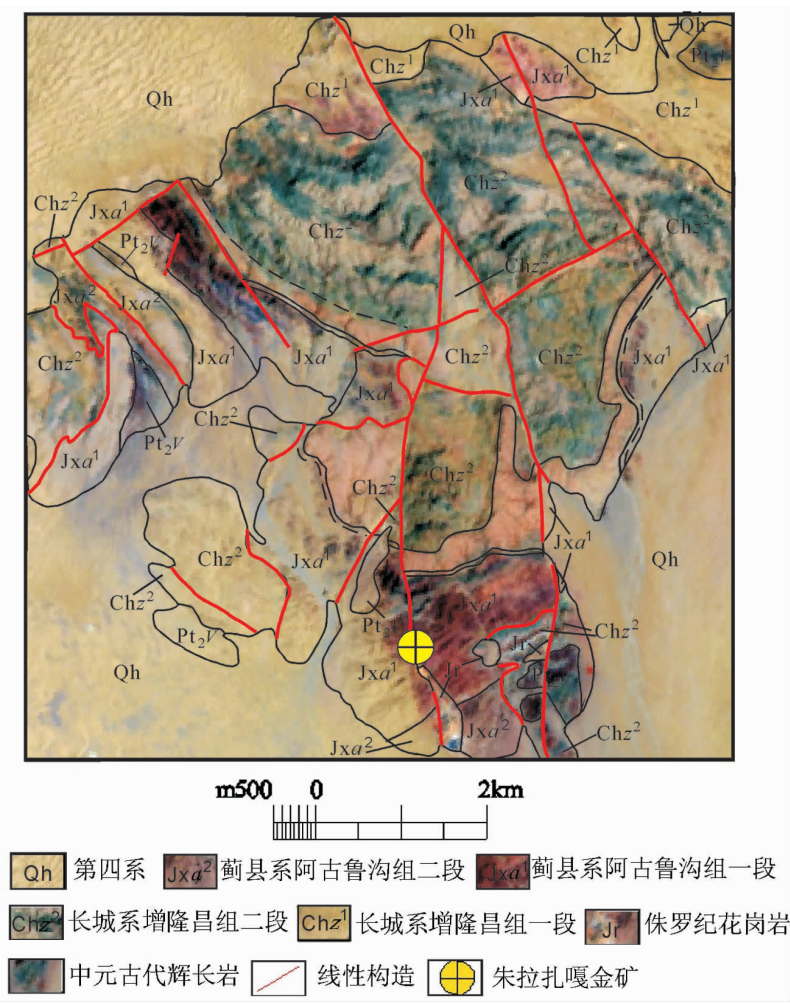


图 1 朱拉扎嘎金矿矿区遥感地质解译影像图

Fig.1 Remote sensing geological interpretation image of the Zhulazaga gold mining area

质粉砂岩、变质石英粉砂岩、阳起微晶大理岩、绿泥阳起石岩、浅灰色纹层状粉砂质阳起石岩<sup>[11-13]</sup>。

矿体呈层状或似层状，其产状与地层产状基本一致。由于受南北向断层的影响，东部矿体走向 30°~40°，倾向南东，倾角 30°~40°；西部矿体走向近东西，倾向南，倾角 30°~45°。

与金矿有关的热液蚀变主要有阳起石化、绿泥石化、硅化和碳酸盐化。矿石类型以蚀变岩型为主，由硅化、阳起石化、绿泥石化及硫化物对原岩改造而成。地表氧化带矿石普遍发生褐铁矿化和高岭土化，呈松散的土状、土块状，其中的硫化物几乎均氧化成了褐铁矿，岩石呈黄褐色和红褐色。

该矿床属层控微细粒浸染型金矿床。矿床的形成受地层、构造及热液活动控制。

3 遥感信息提取

3.1 数据预处理

研究区地处荒漠戈壁，植被覆盖很少，有大量的风成砂覆盖，但基岩区基岩裸露程度高，适于遥感工作。本次工作选用 2000 年 7 月 11 日的 Landsat-7ETM+数据作为数据源，轨道号为 131-32。

经过对图像进行几何精校正、地理配准、波段组合、反差扩展、分辨率融合等处理<sup>[14]</sup>，最终选用 TM5 (R)、TM3(G)、TM1(B)组合，生成了研究区遥感影像图，在此基础上进行含矿地层信息提取。

为了保证矿化蚀变异常信息提取、调查和评价的准确度，在数据处理过程中充分考虑了干扰因素的去除。该地区的干扰因素主要为白泥地和少量植





被,选择以下方法去除干扰信息:选用 TM3 高端切割生成去除白泥地的去干扰窗。选用 TM3/TM4 作为判据生成消除植被的去干扰窗。之后将 2 个干扰窗作与运算生成总的干扰掩膜,然后用原始数据减去干扰掩膜获得去干扰图像,同时做辐射校正及无损失拉伸<sup>[15-17]</sup>,目的是尽可能地减少干扰信息对异常提取工作产生的影响。

### 3.2 矿区遥感影像特征

研究区遥感影像表现为以棕色、棕黄色、蓝色、绿色调为主,北西向的拗陷和低山隆起相间排列的影像特征。区内植被不发育,仅在拗陷边部有植被生长,隆起区基岩裸露广泛,但色调较深,地质构造明显,具有较好的解译效果;拗陷区第四系覆盖严重,基岩露头不清。

朱拉扎嘎矿区遥感特征如图 1 所示。矿区位于褶皱转折端,北西向、北东向、近南北向线性构造相互切割成块状格局,矿区内有少量环形构造出现。

### 3.3 线性构造信息提取

区内基岩出露区总体构造线方向为北东向,主要反映断裂构造的形迹和岩层展布方向。本次工作解译出断裂构造数十条(图 2),断裂构造以北西向和北东向最为发育,其次为近东西向和近南北向。对断裂构造的切割关系分析,本区东西向构造发育最早,而南北向构造是发育最晚的一组构造,北西向和北东向构造的形成时间介于二者之间,而多数北西向断裂的形成时间又早于北东向。

### 3.4 赋矿地层信息提取

区内出露的地质体因其岩石组合和结构构造的差异在图像上反映为不同色调组合和影纹结构的块(带)状影像单元。主要赋矿地层蓟县系阿古鲁沟组一段主要岩性为上部纹层状变质石英粉砂岩、绿帘阳起石岩夹绢云母板岩,白云质结晶灰岩,中部纹层状变质钙质粉砂岩,变质石英粉砂岩,粉砂质板岩,含金矿层,下部粉砂质板岩、石英岩夹微晶灰岩,底部为铁质风化壳。经影像判读和理解,其影像特征(图 1),在 531 波段合成的影像上,颜色普遍较阿古鲁沟组二段深,为灰黄色、砖红色、红褐色,条纹状、条带状影纹,正地形,水系不发育。其分布见图 2。

### 3.5 蚀变信息提取

在图像预处理基础上,根据多次实验,认为主成份分析法效果较好。

用 ETM+1、4、5、7 波段做掩模主分量分析进行

羟基遥感异常的提取,其主成分分析本征向量见表 1,羟基异常主分量的判断准则是:TM7 和 TM4 与 TM5 对应的主分量贡献率符号相反,由于 PC4 中 TM5 贡献系数值为负,需对 PC4 求反。因此 PC4 称为羟基主分量<sup>[15-16]</sup>。

利用 TM1、TM3、TM4、TM5 波段进行主成分分析提取铁染异常,其主成分分析本征向量见表 2,铁染异常主分量的判断准则是:TM1 和 TM4 与 TM3 对应的主分量贡献率符号相反,由于 PC4 中 TM3 贡献系数的值为负,需对 PC4 求反。因此 PC4 主分量称为铁染主分量<sup>[15-16]</sup>。

由于碳酸根离子和羟基的光谱特征相似,因此很多羟基异常落入增隆昌组二段条带状碳酸盐岩地层中,以朱拉扎嘎矿区异常为参考,选取具相似谱特征的 OHA 或 FCA,采用光谱角法对所提羟基异常和铁染蚀变异常进行了优化处理,光谱角为 2.0。

然后采用化探异常分级的办法,以数倍  $\sigma$  (标准离差)做为主分量输出的动态范围,限定蚀变遥感异常主分量的取值范围,获得分级异常图。通过阈值法分别提取羟基异常和铁染异常之后,为了消除散点异常的影响,进行 3×3 或 5×5 均值滤波。得到遥感蚀变异常如图 2 所示。

经过优化后的蚀变异常提取结果显示,在朱拉扎嘎矿区及附近有强烈的铁染蚀变异常和羟基蚀变异常存在,且二者套合较好。

### 3.6 遥感信息综述

通过对典型矿床的控矿因素、遥感特征进行研究,朱拉扎嘎矿床的特征如下:

矿区位于褶皱转折端,北西向、北东向、近南北向线性构造相互切割成块状格局,矿区内有少量环形构造出现。矿区范围内出现大面积高强度的羟基蚀变异常和铁染蚀变异常,两种异常套合很好,且都以一级异常为主。区内遥感异常和已知矿床(点)吻合度较高。

## 4 找矿标志及靶区圈定

### 4.1 找矿标志

将朱拉扎嘎矿床的成矿地质条件、遥感示矿信息及化探异常进行叠加分析(图 2),确定本区寻找金矿床的找矿标志为:

(1)渣尔泰山群阿古鲁沟组一段;(2)线性构造发育;(3)铁染蚀变异常和羟基蚀变异常存在且二者

表 1 1457 波段主成分分析本征向量和特征值  
Table 1 Principal component analytical eigenvectors  
for band 1, band 4, band 5 and band 7

	TM1	TM4	TM5	TM7	信息量
PC1	0.47597	0.50675	0.52625	0.48961	85.30%
PC2	0.84885	-0.06381	-0.31773	-0.41765	11.28%
PC3	0.22991	-0.82095	0.10650	0.51170	2.90%
PC4	0.00673	0.25529	-0.78151	0.56923	0.53%

套合好;(4)有较强的化探异常,且异常浓集中心套合好<sup>[18]</sup>。

4.2 找矿靶区圈定

通过进行遥感地质解译、遥感蚀变异常提取,结合区域成矿地质条件及区域化探异常等资料进行综合处理与分析,在区内共圈定出 6 个找矿靶区:朱拉扎嘎矿区北西侧、朱拉扎嘎矿区北侧、巴勒子格拉一带、苏亥图东侧、乌兰陶勒盖及克克呼都格北侧。

(1)朱拉扎嘎矿区北西侧和北侧金铜找矿靶区  
两个找矿靶区分别位于朱拉扎嘎矿区的北西侧和北侧,分别由两个点组成,其中 3 个点产于阿古鲁沟组一段中。该异常区内所有的矿床、矿点和矿化点处或者附近都有高强度的遥感异常出现,吻合率很高。此外,1:20 万化探异常元素组合较齐全,主要成矿元素异常浓集中心明显,Ⅰ-1 位于 Au 等元素异常浓集中心部位,与朱拉扎嘎矿区化探异常特征相似,Ⅰ-2、Ⅱ-3、Ⅱ-4 都与 W 和 As 等元素异常浓集中心吻合。这两个地区为寻找金等矿床的有利地段。

(2)巴勒子格拉找矿靶区  
该靶区异常呈北西向带状分布,由高强度的铁染异常和羟基蚀变异常组成,异常均位于阿古鲁沟组一段,或该地层与二叠纪花岗岩的外接触带中,阿古鲁沟组是该区的主要赋矿地层。该靶区有北东向、北西向、近南北向以及近东西向断裂通过,该处成矿地质条件与朱拉扎嘎矿床成矿地质条件颇为相似。经野外实地调查,北部 1、2 号异常点处为一套浅变质钙质砂岩、粉砂岩,颜色呈灰黄、灰绿色,岩层揉皱发育,普遍具铁染。靶区内 1:20 万化探异常有多种元素组成,Ⅲ-1 位于 Au 等元素异常浓集中心部位,Ⅲ-2、Ⅲ-3 与 W 和 As 等元素异常浓集中心吻合。因此该处是本地区寻找大型金及多金属矿床最具找矿潜力的靶区。

表 2 1345 波段主成分分析本征向量和特征值  
Table 2 Principal component analytical eigenvectors for  
band 1, band 3, band 4 and band 5

	TM1	TM3	TM4	TM5	信息量
PC1	0.48297	0.51100	0.50124	0.50436	88.04%
PC2	-0.85931	0.15794	0.24283	0.42152	9.26%
PC3	-0.11004	0.03216	0.74005	-0.66270	1.78%
PC4	0.12736	-0.84433	0.37697	0.35885	0.93%

(3)乌兰陶勒盖找矿靶区  
该靶区遥感异常由高强度的铁染异常和羟基蚀变异常组成,异常位于两条近东西向断裂之间,中元古代辉长岩与阿古鲁沟组一段的外接触带上,靶区与 1:20 万化探 Au、As 等元素异常浓集中心基本套合。该区是寻找铜金矿的有利地段。

5 结 论

(1)在朱拉扎嘎地区进行成矿遥感信息提取取得了较好结果,证明了该方法的可行性,可为类似地区找矿预测与评价提供参考。  
(2)朱拉扎嘎地区层控热液改造型金铜矿床的找矿标志是阿古鲁沟组一段、线性构造发育、铁染蚀变异常和羟基蚀变异常同时出现且二者套合好,且附近有异常浓集中心套合好的化探异常。  
(3)在内蒙西部第四系荒漠覆盖严重、交通不太便利的地区,在找矿靶区筛选和预测中遥感技术与地质、化探等学科进行结合,可以获得多快好省的效果。

参考文献(References):

[1] 廖崇高, 杨武年, 徐凌, 等. 成矿预测中遥感与地质异常的综合分析——以兰坪盆地为例[J]. 中国地质, 2002, 29(4):416-420.  
Liao Chonggao, Yang Wunian, Xu Ling, et al. Integrated analysis of remote sensing and geological anomalies in ore deposit prediction: A case study of the Lanping basin [J]. Geology in China, 2002, 29(4): 416-420 (in Chinese with English abstract).  
[2] 陈江, 王安建, 冯雨林, 等. 基于知识驱动模型的遥感找矿预测方法研究[J]. 中国地质, 2009, 36(1):238-245.  
Chen Jiang, Wang Anjian, Feng Yulin, et al. A study of the remote sensing ore prognostic method based on a data-driven model [J]. Geology in China, 2009, 36(1):238-245 (in Chinese with English abstract).  
[3] 毛晓长, 刘文灿, 杜建国, 等. ETM+和 ASTER 数据在遥感矿化蚀变信息提取应用中的比较[J]. 现代地质, 2005, 19(2):309-314.  
Mao Xiaochang , Liu Wencan, Du Jianguo, et al. Comparison

- between ETM + and ASTER data for extraction of alteration information: A case study of Fenghuangshan Orefield, Tongling, Anhui Province[J]. Geoscience, 2005, 19(2):309–314(in Chinese with English abstract).
- [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.
- Feng Yulin, Shi Jianmin, Yang Lijun. Extraction of the mineralization and alteration information from ETM + remote sensing image: The practice in exploration [J]. Geology and Resources, 2008, 17(1):69–72(in Chinese with English abstract).
- [5] 杨波, 李京, 陈云浩, 等. 甘肃鹰嘴山地区岩体和隐伏岩体遥感信息提取研究[J]. 现代地质, 2005, 219(3):465–470.
- Yang Bo, Li Jing, Chen Yunhao, et al. Rock mass and concealed rock mass information extracted from remotely sensed data in Yingzuishan area, Gansu Province [J]. Geoscience, 2005, 219(3):465–470(in Chinese with English abstract).
- [6] 李得成, 周军, 田勤虎, 等. 基于成矿预测的 ETM+图像矿化蚀变信息提取——以新疆阿热勒托别地区为例 [J]. 内蒙古石油化工, 2007, (5):88–90.
- Li Decheng, Zhou Jun, Tian Qinhu, et al. Based on mineralized forecast of the ETM + image distilled mineralized eroded information ——such sinkiang aretuobie area as an example [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2007(5):88–90(in Chinese with English abstract).
- [7] 丛丽娟, 胡凤翔, 杨俊才, 等. 内蒙古朱拉扎嘎金矿 ETM+数据提取蚀变异常方法研究[J]. 现代地质, 2007, 21(4):725–732.
- Cong Lijuan, Hu Fengxiang, Yang Juncai, et al. Study on abnormal extracting of altered rocks using ETM + data in Zhulazhaga gold deposit, Alashan region, Inner Mongolia [J]. Geoscience, 2007, 21(4):725–732(in Chinese with English abstract).
- [8] 王守光, 常忠耀, 任亦萍, 等. 内蒙古重要成矿区带矿产资源勘查部署综合研究成果报告[R]. 2007.
- Wang Shouguang, Chang zhongyao, Ren yipin, et al. Research Report of Important Metallogenic Belt Mineral Resources Prospecting and Deployment, Inner Mongolia[R]. 2007.
- [9] 沈存利, 王守光, 苏新旭, 等. 内蒙古中元古界渣尔泰山群区域成矿特征研究[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):279–286.
- Shen Cunli, Wang Shouguang, Su Xinxu, et al. Regional metallogenic characteristics in proterozoic Chaertaishan group Inner Mongolia [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1):279–286 (in Chinese with English abstract).
- [10] 江思宏, 杨岳清, 聂凤军, 等. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征[J]. 矿床地质, 2001, 20(3):234–242.
- Jiang Sihong, Yang Yueqing, Nie Fengjun, et al. Geological characteristics of the Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China[J]. Mineral Deposits, 2001, 20(3):234–242(in Chinese with English abstract).
- [11] 孟二根, 张有宽, 陈旺, 等. 内蒙古朱拉扎嘎金矿成矿地质条件及找矿方向初探[J]. 矿产与地质, 2002, 16(3):168–173.
- Meng Ergen, Zhang Youkuan, Chen Wang, et al. An initial discussion on the ore –forming condition of Zhulazaga gold deposit and its prospecting direction [J]. Mineral Resources and Geology, 2002, 16(3):168–173(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵月明, 黄占起, 张志祥, 等. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征及找矿方向[J]. 华南地质与矿产, 2002, (4):47–53.
- Zhao Yunming, Huang Zhanqi, Zhang Zhixiang, et al. Features and prognosis of Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, (4):47–53 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李文国, 姜万德, 王惠, 等. 内蒙古岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1996.
- Li Wenguo, Jiang Wande, Wang Hui, et al. Inner Mongolia Lithostratigraphic Division [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996(in Chinese).
- [14] 党安荣, 王晓东, 陈晓峰, 等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003:74–85.
- Dang Anrong, Wang Xiaodong, Chen Xiaofeng, et al. ERDAS IMAGINE Remote Sensing Imagine Processing Method [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003:74–85(in Chinese).
- [15] 张玉君, 杨建民, 陈薇, 等. ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用的地质依据和波谱前提 [J]. 国土资源遥感, 2002, (4):30–36.
- Zhang Yujun, Yang Jianmin, Chen Wei, et al. A study of the method for extraction of alteration anomalies from the ETM+(TM) data and its application: Geologic basis and spectral precondition [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2002, (4):30–36 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇, 等. ETM+(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 [J]. 国土资源遥感, 2003, (2):44–49.
- Zhang Yujun, Zeng Zhaoming, Chen Wei, et al. The methods for extraction of alteration anomalies from the ETM~+(TM) data and their application: method selection and technological flow chart [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, (2):44–49 (in Chinese with English abstract).
- [17] 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.
- Yang Jinzhong, Fang Hongbin, Zhang Yujun, et al. Remote sensing anomaly extraction in important metallogenic belts of western China [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, (3):50–53(in Chinese with English abstract).
- [18] 赵云, 张振法, 牛颖智, 等. 物化探方法在内蒙古朱拉嘎金矿的发现和扩大过程中的作用[J]. 中国地质, 2001, 28(2):25–35.
- Zhao Yun, Zhang Zhenfa, Niu Yingzhi, et al. The role of geophysical and geochemical methods in Inner Mongolia Zhulazhaga gold deposit discovery and expanding process [J]. Geology in China, 2001, 28(2):25–35(in Chinese with English abstract).

## Researches on metallogenic remote sensing information extraction and metallogenic prediction in Zhulazhaga area of Inner Mongolia

LIU yin-fan<sup>1,2</sup>, CHEN Jian-ping<sup>1</sup>, HAO Jun-feng<sup>1,2</sup>, LIANG Li-xin<sup>2</sup>, CUI Lai-wang<sup>2</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China*)

**Abstract:** With ETM+ data as the information source, the authors made a detailed study of the ore-forming geological characteristics and the remote sensing features of the Zhulazhaga gold deposit, which is a typical ore deposit. Ore bodies occur in the first member of Agulugou Formation of Zhaertaishan Group, which is composed of calcium-bearing shallow metamorphic clastic rocks. The linear structure information was extracted by visual comprehensive interpretation method, the information of abnormal alteration of iron stain and hydroxyl related to mineralization was extracted by principal component analysis, and the abnormal alteration was optimized by using spectral angle method. An overlay analysis of information by GIS technology has determined the ore-prospecting criteria for copper-gold deposits: (1) the first member of Agulugou Formation of Zhaertaishan Group; (2) the well-developed linear structure; (3) the existence and overlay of abnormal alteration of iron stain and hydroxyl; (4) Strong geochemical anomalies and well-consistent concentrated centers. Six prospecting target areas in this area, such as northern lateral and western lateral of Zhulazhaga, were delineated by using the ore-prospecting criteria.

**Key words:** Zhulazhaga; ETM+; ore information; overlay analysis; exploration target prediction

---

**About the first author:** LIU Yin-fan, female, born in 1966, senior engineer, doctor candidate, majors in resource and environmental remote sensing, mainly engages in comprehensive research on Rs, GIS, geology and mineral resources; E-mail: lyf\_66@163.com.