

基于蚀变信息提取的西藏班公湖-怒江成矿带中段斑岩铜矿找矿预测

代晶晶^{1, 2, 3)}, 王瑞江^{2, 3)}, 王润生^{1, 4)}, 曲晓明^{2, 3)}, 赵元艺^{2, 3)}, 辛洪波^{2, 3)}

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3) 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

4) 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

摘 要: 本文选取西藏班公湖-怒江成矿带中段多不杂斑岩铜矿为已知矿床, 通过对采样样品实测波谱特征的分析, 基于 ASTER 遥感数据, 采用目前主要的蚀变信息提取算法——彩色增强、比值算法及光谱角制图算法, 在班公湖-怒江成矿带中段开展蚀变信息提取及找矿靶区圈定研究, 预测了一处成矿前景区域。通过对预测区域的野外查证, 发现大量的孔雀石露头, 室内电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析得出铜品位在 0.18%~1.95%之间, 平均为 0.51%。对该区域进行了激电测量工作, 测量结果和遥感结果相互印证, 表明此区域为一处斑岩铜矿成矿前景区。

关键词: 班公湖-怒江成矿带; 多不杂; 斑岩铜矿; 遥感; 蚀变信息提取; 找矿靶区

中图分类号: P627; P618.41 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.05.06

Porphyry Copper Deposit Prognosis in the Middle Part of the Bangong Co-Nujiang River Metallogenic Belt in Tibet Based on Alteration Information Extraction

DAI Jing-jing^{1, 2, 3)}, WANG Rui-jiang^{2, 3)}, WANG Run-sheng^{1, 4)}, QU Xiao-ming^{2, 3)}, ZHAO Yuan-yi^{2, 3)}, XIN Hong-bo^{2, 3)}

1) Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Beijing 100037;

4) China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083

Abstract: In this paper, the Duobuza porphyry copper deposit in western Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt of Tibet was selected as the typical deposit, and the spectral character of its field samples was analyzed. ASTER data were used as the remote sensing data source, and three methods of color enhancement, band ratio, and spectral angle mapping were chosen as the main methods for alteration information extraction and potential ore deposit prognosis in eastern Bangonghu-Nujiang metallogenic belt of Tibet. Finally, a promising ore deposit area was delineated. Through field survey of the predicted area, lots of malachite outcrops were found. An analysis of ICP-MS indicates that copper grade is between 0.18% and 1.95%, with the average grade being 0.51%. The result of induced electrical scanning of the predicted area is coincident with the result of remote sensing, suggesting that the predicted area is a prospective area of porphyry copper deposit.

本文由国家科技支撑计划重点项目(编号: 2006BAB01A05)、中国地质调查工作项目(编号: 212010818097)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金资助项目(编号: K1011)联合资助。

收稿日期: 2012-04-11; 改回日期: 2012-05-12。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 代晶晶, 女, 1982 年生。助理研究员, 博士研究生。现主要从事遥感地质找矿及矿山监测研究工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999055。E-mail: daijingjing863@sina.com。

Key words: Bangonghu-Nujiang metallogenic belt; Duobuza; porphyry copper deposit; remote sensing; alteration information extraction; prospective area of ore deposit

多光谱遥感数据(Landsat ETM、ASTER)在金属矿床蚀变信息提取领域已被广泛应用(杨金中等, 2003; 张玉君等, 2007; 刘福江等, 2007)。特别是ASTER数据相对于Landsat ETM数据而言, 在短波红外与热红外波段设置了更多的波段, 可提取更精细的矿物信息, 在遥感地质调查中有广阔的应用前景(Crósta et al., 2003; Rowan et al., 2006; 丛丽娟等, 2007; 吕凤军等, 2009; 杨长保等, 2009; Pour et al., 2012)。西藏班公湖-怒江成矿带是西藏玉龙、冈底斯多金属成矿带发现以来确认的第三条多金属成矿带, 过去十年多来, 西藏自治区地质矿产勘查开发局在西藏班公湖-怒江成矿带西段改则县连续取得斑岩铜矿找矿工作的重大突破, 改则县多龙铜多金属矿集区是近年来班公湖-怒江成矿带西段发现的较大的铜多金属矿集区, 目前已知典型矿床有多不杂、波龙斑岩型铜金矿等(余宏全等, 2006; 李光明等, 2007; 李金祥等, 2008; 代晶晶等, 2010)(矿集区位置如图1所示)。然而, 相对于班公湖-怒江缝合带横贯青藏高原长达2000余km的延伸规模来讲, 以多不杂为中心、半径有几十km的多不杂矿集区仍然还是一个“点”, 还没有构成真正意义上的成矿带(赵元艺等, 2010; 曲晓明等, 2012)。本文利用ASTER数据, 运用多种蚀变信息提取方法, 以多不杂斑岩型铜多金属矿床为已知矿床, 在班公湖-怒江成矿带中段开展蚀变信息提取及靶区圈定研究, 通过野外查证、室内测试、物探验证, 发现了较好的斑岩型铜矿找矿线索。这一研究为西藏等不易到达地区开展矿产资源预测提供了技术方法支撑, 同时这一找矿线索的发现有助于建立真正意义上的

班公湖-怒江斑岩铜矿带, 并有可能为西藏的地质找矿工作带来新的突破。

1 遥感数据源简介

ASTER是TERRA AM-1平台预定的重要有效载荷之一, 属于高级多光谱遥感成像。它有14个波段, 波长范围在0.52~0.86 μm 的三个可见光近红外波段(VNIR)和波长范围在1.6~2.43 μm 的六个短波红外波段(SWIR)同时观测太阳反射辐射亮度, 它们的空间分辨率分别是15 m和30 m; 另外, 波长范围在8.125~11.65 μm 内的五个热红外波段(TIR)观测地表的发射辐射值, 空间分辨率是90 m。ASTER数据可以识别层状硅酸盐矿物以及碳酸岩矿物等蚀变矿物信息, 本文运用ASTER数据提取与斑岩铜矿成矿较为相关的绢英岩化信息, 为靶区圈定提供依据。

2 蚀变信息提取及靶区圈定

2.1 多不杂矿区样品波谱测试与分析

TerraSpec便携式地物波谱仪是美国ASD公司(Analytical Spectral Devices)专门针对地质、矿产和土壤测量应用开发的新一代产品。它探测的波长范围为350~2500 nm, 它具有高信噪比, 高可靠性, 高重复性等一系列特点, 目前已被地矿人员运用在矿产资源勘查与基础研究等领域中(Lisowiec et al., 2007)。本文运用此仪器对西藏改则县多不杂矿区地表浅井及探槽处所采样品进行了波谱测量工作。图2左图中, DBZ-29等7件样品为多不杂地表斑岩样品, 将其波谱曲线与美国USGS波谱库中蚀变矿物波谱曲线比对, 表明主要蚀变为绢云母化-伊利石化蚀变; 图2右图中, DBZ-36等3件样品为斑岩外围玄武质安山岩样品, 将其波谱曲线与美国USGS波谱库中蚀变矿物波谱曲线比对, 表明主要蚀变为绿帘石化蚀变。根据多不杂矿区资料和波谱测试结果(曲晓明, 2012), 绢英岩化蚀变范围较为广泛, 且与成矿相关性强, 所以下文主要基于对预测区域绢英岩化信息提取, 进行成矿有利区域的圈定。

2.2 ASTER数据蚀变信息提取

2.2.1 预处理

ASTER数据预处理主要包括波段串扰去除及大气校正等。ASTER短波红外波段存在波段串扰现象, 这造成了在一些图像上, 由于波段4及其他波

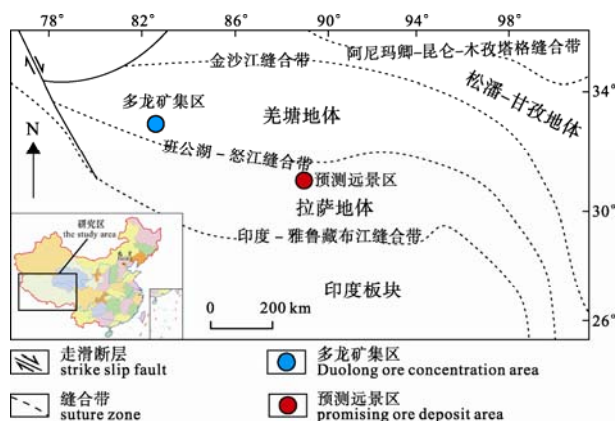


图1 多龙矿集区及预测远景区位置图

Fig. 1 Location of the Duolong ore concentration area and prognostic prospective area

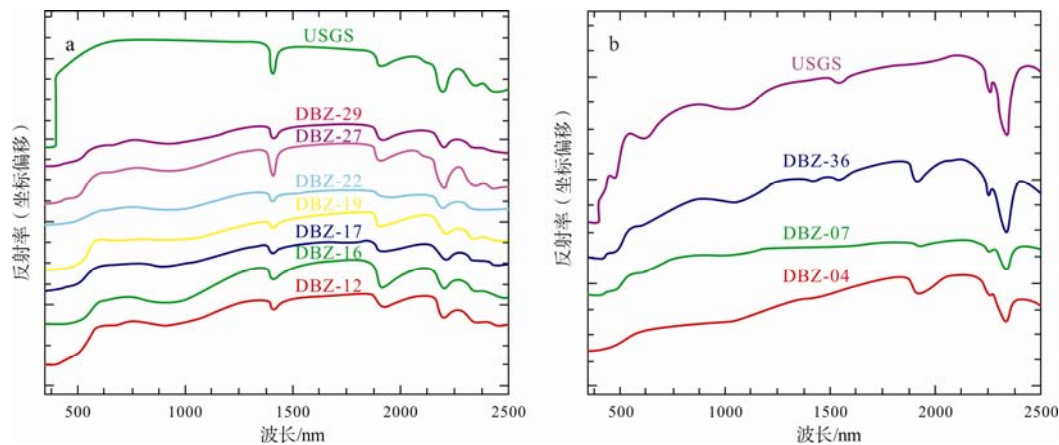


图2 多不杂矿区实测光谱与 USGS 波谱库典型蚀变矿物波谱对比图

Fig. 2 Comparison between spectra of samples in Duobuza and spectra of typical alteration minerals in USGS spectral library

a-斑岩采样样品波谱及 USGS 波谱库中伊利石波谱; b-玄武质安山岩采样样品波谱及 USGS 波谱库中绿帘石波谱
a-spectra of porphyry samples and spectra of illite in USGS spectral library; b-spectra of basaltic andesite samples and spectra of epidote in USGS spectral library

段的串扰, 波段5和波段9波谱特征有高的异常, 本文采用了日本官方网站上 CrossTalk3.0 软件消除波段串扰。星载成像遥感器实际上获取的是太阳辐射通过大气层之后的信息, 因此, 传感器获取的信息包括地物和大气信息, 为了定量分析地表参数, 去除大气影响是实现定量分析地表参数遥感研究的关键一步。Flaash 是由世界一流的光学成像研究所——波谱科学研究所在美国空气动力实验室支持下开发的大气校正模块, 它采用 MODTRAN 4+辐射传输模型的代码, 是目前精度最高的大气辐射校正模型(郝建亭等, 2008)。本文对 ASTER L1B 级 1~9 波段数据采用 ENVI 软件中 Flaash 模块完成大气校正(李小娟等, 2008)。

2.2.2 蚀变信息提取

目前蚀变信息提取方法主要有彩色增强、比值算法、光谱角制图算法等(Sabins, 1999; 荆凤等, 2005; 吕凤军等, 2009)。本文分别运用这三种方法以多不杂已知矿床为基础在班公湖-怒江成矿带中段进行绢英岩化蚀变信息提取工作, 三种方法相互印证, 避免了单一方法的局限性。对于提取结果需要结合地质资料进行成矿相关性的分析, 去除一些与成矿不相关的绢英岩化信息, 如断裂破碎带、变质岩形成的绢英岩化信息等, 最后优选出成矿预测靶区。

彩色增强方法的思路是相同色彩的图像特征可能代表着相同的地物信息, 通过分析已知矿床的图像特征, 寻找和已知矿床相似的图像特征, 进而寻找新的找矿靶区。经过 Flaash 大气校正后的图像, 选

择不同的波段组合进行彩色合成, 对于彩色合成图像再进行图像增强。经过实验, 波段组合 468 比较有利于示矿信息的解译(Tommaso et al., 2007; Azizi et al., 2010)。由于绢云母等粘土类矿物在 ASTER4 波段的反射峰、6 波段和 8 波段的吸收谷, 故在 468 波段组合彩色增强图像上呈现红色, 结果如图 3 所示, 预测区域与多不杂和波龙矿区彩色增强结果对应良好, 468 波段组合彩色增强图像上显示出明显的红色区域。

波段比值法也是一种蚀变信息提取的有效手段。根据代数运算的原理, 当波段间差值相近但斜率不同时, 反射波段与吸收波段的比值处理可增强各种岩性之间的波谱差异, 抑制地形的影响, 并显示出动态的范围。因而, 以岩矿的特征光谱为基础, 选取适当的波段比值进行彩色合成, 可对岩性、蚀变带信息增强(Tommaso et al., 2007; 沈利霞等, 2008; Pour et al., 2011)。经过实验波段 4/5、4/6、4/7 组合能较好地突出矿化信息, 结果如图 4 所示, 预测区域与多不杂和波龙矿区波段比值结果对应良好, 在波段 4/5、4/6、4/7 组合增强图像上呈现白色高亮度区域。

光谱角填图算法将光谱数据视为多维空间的矢量, 利用解析方法计算像元光谱与光谱数据库光谱或像元训练光谱之间矢量的夹角, 根据夹角的大小来确定光谱间的相似程度, 以达到识别地物的目的(Tommaso et al., 2007; 黄照强等, 2010; Pour et al., 2011)。所以光谱角分类提取的是和已知矿床较为一致的地表光谱信息, 光谱角低值区域可能为与已知

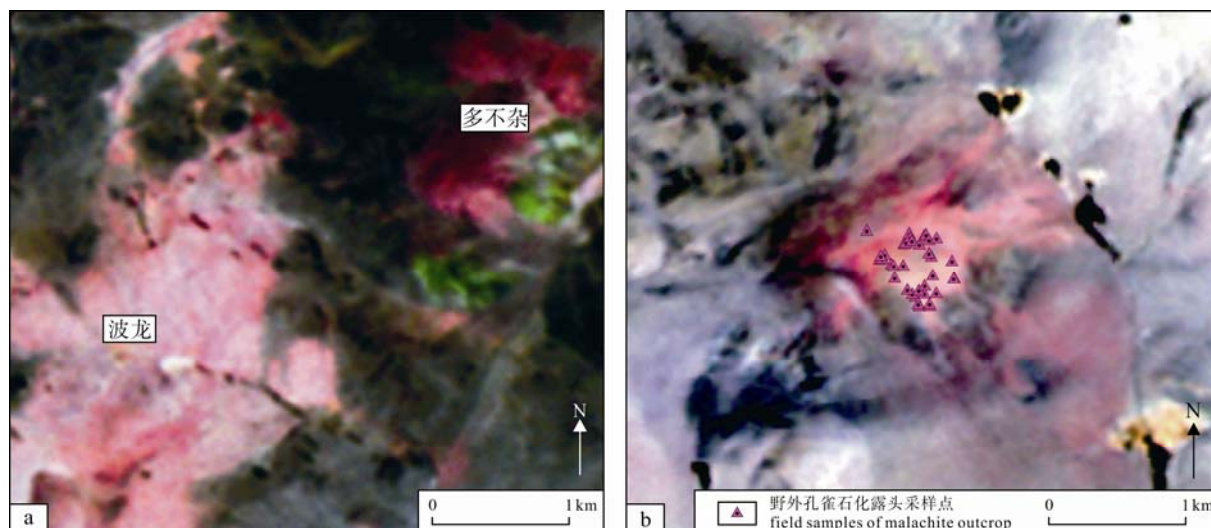


图 3 多不杂与预测区域 ASTER468 彩色合成图

Fig. 3 Color composition images of ASTER 468 in Duobuza and the predicted area

a-多不杂波龙铜矿区; b-预测铜矿区域

a-Duobuza; b-predicted area

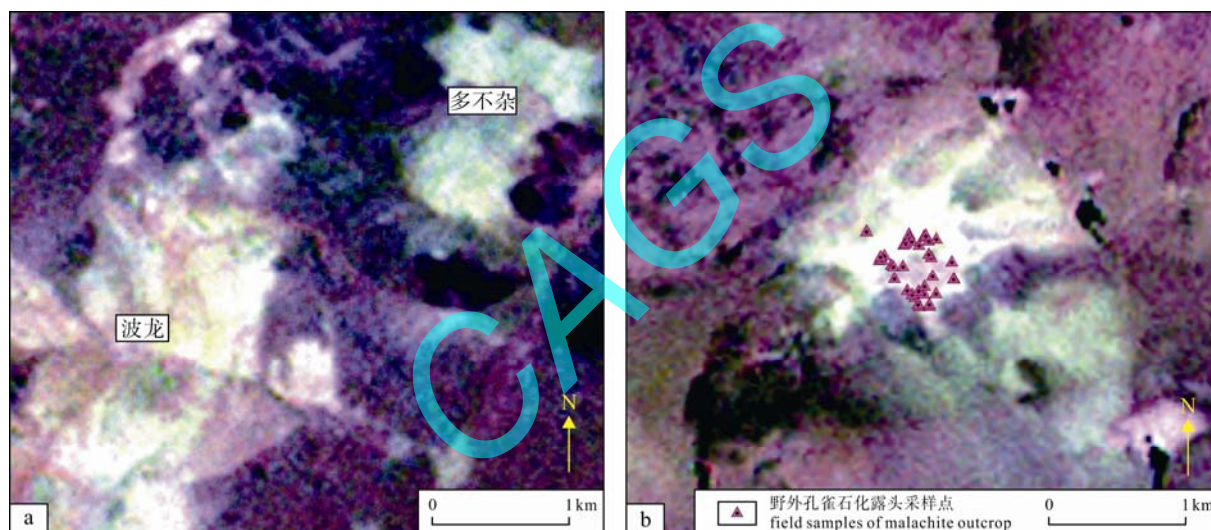


图 4 多不杂与预测区域 ASTER4/5、4/6、4/7 彩色合成图

Fig. 4 Color composition images of ASTER4/5, 4/6, 4/7 in Duobuza and the predicted area

a-多不杂波龙铜矿区; b-预测铜矿区域

a-Duobuza; b-predicted area

矿床类型相似的未知矿床信息。本文选取 ASTER 图像上多不杂矿区地物波谱为参考波谱, 对多不杂所在区域遥感图像和预测区域遥感图像进行光谱角填图得到一幅光谱角分类图像, 然后对结果图像进行彩色分割, 结果如图 5 所示, 预测区域与多不杂和波龙矿区均为深色区域, 表明与多不杂矿区有着相似的地物光谱特征, 即存在成矿的可能性。

2.3 与地质图的叠合分析

蚀变信息提取工作是找矿靶区圈定工作的前提, 但是并非所有的蚀变异常都与成矿作用相关, 所以针对提取的异常区域需要结合地质资料进行判别,

在班公湖-怒江中段由于开展的地质工作较为粗略, 只有 1: 25 万的地质图, 在地质图上此异常区域显示为地层, 岩性主要为细砂岩与粉砂岩, 而在此区域出现了强烈的绢英岩化蚀变, 判断可能为填图错过的一个岩体信息。

3 野外查证

基于以上蚀变信息提取结果, 笔者于 2011 年对上述蚀变信息异常区域进行了野外查证, 发现地表有多处孔雀石化现象(如图 6), 孔雀石化采样点位置如图 3、4、5、7 所示。将所采样品进行 DZ/T0223-2001

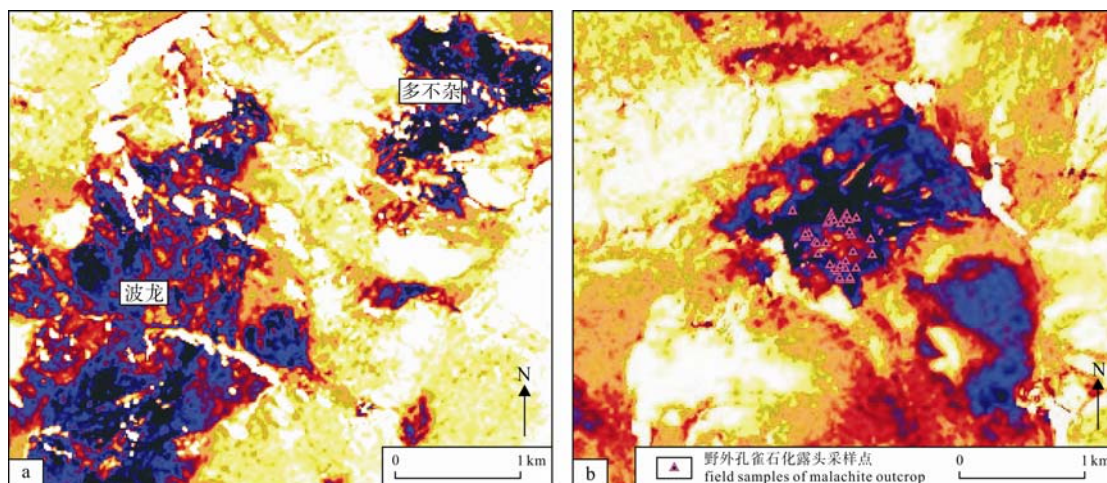


图 5 多不杂与预测区域 ASTER 数据光谱角制图算法结果图

Fig. 5 Resultant images of spectral angle mapping method based on ASTER data in Duobuza and the predicted area

a-多不杂波龙铜矿区; b-预测铜矿区域

a-Duobuza; b-predicted area



图 6 野外孔雀石化照片

Fig. 6 Photographs of field malachite outcrops

电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析, 得到铜品位在 0.18%~1.95%之间, 平均为 0.51%。镜下初步研究表明, 赋矿岩石为花岗闪长斑岩, 岩体具斑状结构, 块状构造, 绢英岩化蚀变强烈(曲晓明等, 2012)。

4 物探测量及结果

2011 年对于此蚀变异常区域开展了小面积的地球物理激电测量工作, 测网按 50 m×20 m 布测, 测线方向为南东 150°。选用 WDJ-1 型多功能数字直流激电仪, 测量方法为时间域激发激化法, 测量装置为长导线中间梯度测量, 得到的结果如图 7 所示。因为测量区域周边无背景影响, 测量结果可代表地下一定深度金属物质的反映, 通过测量圈定视极化率异常两个, 即北东带和南西带(图 7 中 I 区与 II 区)。

北东异常带视极化率幅值不高, 一般为 2%~

4%异常、极值为 4.4%, 异常呈北东—南西向展布、异常最大宽度约 120 m、控制长度近 500 m, 视极化率等值线北西密而南西稀疏, 显示极化体倾向北西, 异常内见斑岩铜矿露头, 该异常为矿致异常。南西异常带呈北东—南西向展布, 异常控制长度约 500 m、宽 100~200 m, 视极化率幅值最大达 13.4%, 从等线分布情况分析极化体向南东倾斜。该异常位于角岩化含铜英安岩内, 异常的形成与角岩化含铜英安岩关系密切。

5 结论

运用 ASTER 遥感数据, 以已知矿床研究为基础, 在条件恶劣的地区可以进行矿产资源预测及靶区圈定工作, 为地质找矿工作前期定位提供了可靠的技术手段。本文以班公湖-怒江成矿带西段多不杂典型矿床为已知矿床, 在班公湖-怒江中段找到了较

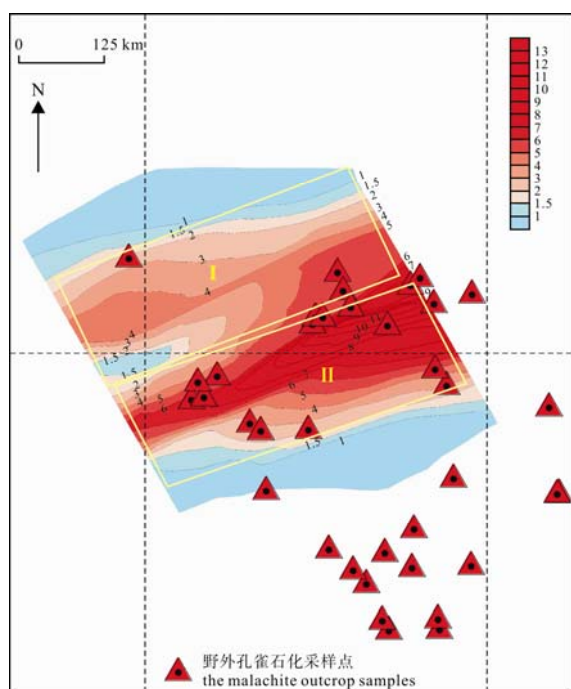


图7 激电测量视极化率等值线图及野外孔雀石采样点的分布

Fig. 7 Polarization isoclines image of induced electrical scanning and distribution of malachite outcrop samples

好的斑岩铜矿找矿线索。但是遥感数据处理仅仅是一种技术手段,研究过程中伪异常信息的判别是一项重要而又复杂的工作,需要结合地质图等相关资料,进行去伪存真,才能得到真正的矿化异常信息。另外在研究中地球物理、地球化学等其他技术手段的联合应用,也可以帮助提高预测的精度。

致谢:本文得到了中国地质科学院矿产资源所王登红研究员的悉心指导,得到了审稿人的批评指正,谨致谢意。

参考文献:

- 丛丽娟,岑况,朱所,丛立民. 2007. 利用 ASTER 数据提取蚀变异常方法研究——以内蒙古朱拉扎嘎金矿为例[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 26(6): 652-663.
- 代晶晶,曲晓明,辛洪波. 2010. 基于 ASTER 遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取[J]. 地质通报, 29(5): 752-759.
- 郝建亭,杨武年,李玉霞,郝建园. 2008. 基于 FLAASH 的多光谱影像大气校正应用研究[J]. 遥感信息, (1): 78-81.
- 黄照强,张显峰. 2010. 基于 ASTER 的雅鲁藏布江缝合带泽当-罗布莎蛇绿岩套分析和组分识别[J]. 岩石学报, 26(12): 3589-3596.

- 荆凤,陈建平. 2005. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J]. 遥感信息, (2): 63-66.
- 李光明,李金祥,秦克章,肖波. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 23(5): 935-952.
- 李金祥,李光明,秦克章,肖波. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代对成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 24(3): 531-542.
- 李小娟,宫兆宁,刘晓萌,李静. 2008. ENVI 遥感影像处理教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 283-288.
- 刘福江,吴信才,郭艳,孙华山,梅林露. 2007. 招远金矿区植被异常及遥感找矿意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 37(3): 444-449.
- 吕凤军,郝跃生,石静,王娟. 2009. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究[J]. 地球学报, 30(2): 271-276.
- 曲晓明,王瑞江,代晶晶,李佑国,戚讯,辛洪波,宋阳,杜德道. 2012. 西藏班公湖-怒江缝合带中段雄梅斑岩铜矿的发现及意义[J]. 矿床地质, 31(1): 1-12.
- 余宏全,李进文,丰成友,马东方,潘桂棠,李光明. 2006. 西藏多不杂斑岩铜矿床高温高盐度流体包裹体及其成因意义[J]. 地质学报, 80(9): 1434-1446.
- 沈利霞,刘丽萍,苏新旭,祝艳,赵芳. 2008. 不同植被覆盖率地区遥感矿化蚀变提取研究[J]. 现代地质, 22(2): 293-298.
- 杨长保,姜琦刚,刘万崧,邱殿明. 2009. 基于 ASTER 数据的内蒙古东乌珠穆沁北部地区遥感蚀变信息提取[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 39(6): 1163-1167.
- 杨金中,方洪宾,张玉君,陈薇. 2003. 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, (3): 50-53.
- 张玉君,杨建民,姚佛军. 2007. 多光谱遥感技术预测矿产资源的潜能-以蒙古国欧玉陶勒盖铜金矿床为例[J]. 地学前缘, 14(5): 63-69.
- 赵元艺,刘妍,王瑞江,崔玉斌,宋亮,吕立娜,曲晓明. 2010. 西藏班公湖-怒江成矿带及邻区铋矿化带的发现与意义[J]. 地球学报, 31(2): 183-193.

References:

- AZIZI H, TARVERDI M A, AKBARPOUR A. 2010. Extraction of hydrothermal alterations from ASTER SWIR data from east Zanjan, northern Iran[J]. Advances in Space Research, 46(1): 99-109.

- CONG Li-juan, CEN Kuang, ZHU Suo, CONG Li-min. 2007. Study on the method of alteration information extraction by using ASTER data-Taking Zhulazhaga gold deposit of Inner Mongolia as an example[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 26(6): 652-658(in Chinese with English abstract).
- CRÓSTA A P, DE SOUZA FILHO C R, AZEVEDO F, BRODIE C. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 24(21): 4233-4240.
- DAI Jing-jing, QU Xiao-ming, XIN Hong-bo. 2010. Extraction of alteration mineral information using ASTER remote sensing data in Duolong area, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 9(5): 752-759(in Chinese with English abstract).
- TOMMASO I D, RUBINSTEIN N. 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina[J]. Ore Geology Reviews, 32(1-2): 275-290.
- HAO Jian-ting, YANG Wu-nian, LI Yu-xia, HAO Jian-yuan. 2008. Atmospheric correction of multi-spectral imagery ASTER[J]. Remote Sensing Information, (1): 78-81(in Chinese with English abstract).
- HUANG Zhao-qiang, ZHANG Xian-feng. 2010. Lithological mapping of ophiolite composition in Zedang-Luobusha, Yarlung Zangbo suture zone using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(12): 3589-3596(in Chinese with English abstract).
- JING Feng, CHEN Jian-ping. 2005. The Review of the Alteration Information Extraction with Remote Sensing[J]. Remote Sensing Information, (2): 63-66(in Chinese with English abstract).
- LI Guang-ming, LI Jin-xiang, QIN Ke-zhang, ZHANG Tian-ping, XIAO Bo. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 935-952(in Chinese with English abstract).
- LI Jin-xiang, LI Guang-ming, QIN Ke-zhang, XIAO Bo. 2008. Geochemistry of porphyries and volcanic rocks and ore-forming geochronology of Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 531-542(in Chinese with English abstract).
- LI Xiao-juan, GONG Zhao-ning, LIU Xiao-meng, LI Jing. 2008. ENVI remote sensing image processing course[M]. Beijing: Chinese Environmental Science Publishing House: 283-288(in Chinese).
- LISOWIEC N, HALLEY S H, RYAN L. 2007. Using deposit-scale alteration and geochemical signatures to explore for Analogue Deposits: a Case study from the Mt Wright Gold Project, Queensland[C]// Milkereit B. Proceedings of Exploration 2007: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 969-972.
- LIU Fu-jiang, WU Xin-cai, GUO Yan, SUN Hua-shan, MEI Lin-lu. 2007. Vegetation anomalies of the Zhaoyuan gold deposits, Shandong province and its significance in remote sensing exploration[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 37(3): 444-449(in Chinese with English abstract).
- LÜ Feng-jun, HAO Yue-sheng, SHI Jing WANG Juan. 2009. Alteration remote sensing anomaly extraction based on Aster remote sensing data[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(2): 271-276(in Chinese with English abstract).
- POUR A B, HASHIM M. 2011. Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 42(6): 1309-1323.
- POUR A B, HASHIM M. 2012. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits[J]. Ore Geology Reviews, 44: 1-9.
- QU Xiao-ming, WANG Rui-jiang, DAI Jing-jing, LI You-guo, QI Xun, XIN Hong-bo, SONG Yang, DU De-dao. 2012. Discovery of Xiongmei porphyry copper deposit in middle segment of Bangonghu-Nujiang suture zone and its significance[J]. Mineral Deposits, 31(1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- ROWAN L C, SCHMIDT R G, MARS J C. 2006. Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data[J]. Remote Sensing of Environment, 104(1): 74-87.

- SABINS F F. 1999. Remote sensing for mineral exploration[J]. *Ore Geology Reviews*, 14(3-4): 157-183.
- SHE Hong-quan, LI Jin-wen, FENG Cheng-you, MA Dong-fang, PAN Gui-tang, LI Guang-ming. 2006. The High-Temperature and Hypersaline Fluid Inclusions and Its Implications to the Metallogenesis in Duobuza Porphyry Copper Deposit, Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1434-1446(in Chinese with English abstract).
- SHEN Li-xia, LIU Li-ping, SU Xin-xu, ZHU Yan, ZHAO Fang. 2008. Study on identification of altered wall-rock in areas of different vegetation coverages based on remote sensing[J]. *Geoscience*, 22(2): 293-298(in Chinese with English abstract).
- YANG Chang-bao, JIANG Qi-gang, LIU Wan-song, QIU Dian-ming. 2009. Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in Northern Dong Ujimqin, Inner Mongolia[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(6): 1163-1167(in Chinese with English abstract).
- YANG Jin-zhong, FANG Hong-bin, ZHANG Yu-jun, CHEN Wei. 2003. Remote sensing anomaly extraction in important metallogenic belts of western China[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, (3): 50-53(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yu-jun, YANG Jian-min, YAO Fo-jun. 2007. The potential of multi-spectral remote sensing techniques for mineral exploration-taking the Mongolian Oyu Tolgoi Cu-Au deposit as an example[J]. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 63-70(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yuan-yi, LIU Yan, WANG Rui-jiang, CUI Yu-bin, SONG Liang, LÜ Li-na, QU Xiao-ming. 2010. The discovery of the bismuth mineralization belt in the Bangong Co-Nujiang metallogenic belt of Tibet and its adjacent areas and its geological significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(2): 183-193(in Chinese with English abstract).

新一届国际地质科学联合会执行委员会产生， 董树文当选司库

在 2012 年 8 月 9 日举行的国际地质科学联合会(IUGS)、国际地质大会(IGC)理事会上，经过竞选产生了新一届国际地质科学联合会执行委员会。中国地质科学院副院长、《地球学报》主编董树文研究员当选国际地质科学联合会执委、司库。

新一届国际地质科学联合会执行委员会共有 10 位委员。主席是德国波茨坦大学的罗朗德·欧宝汉斯里教授，秘书长是澳大利亚地球科学委员会的伊恩·兰伯特教授，司库是中国地质科学院的董树文研究员，副主席是斯洛文尼亚地调局的马克·克马斯和美国麦哈密大学的伊尔德瑞姆·底勒克。理事分别来自南非、日本、摩洛哥和加拿大。

国际地质科学联合会是全球级别最高的地质科学家国际学术组织，1961 年成立于法国巴黎联合国教科文组织总部，是国际科学理事会(ICSU)的成员，目前有 140 个会员国，100 万会员。国际地质科学联合会执行委员会负责联合会的行政管理工作；执行委员会的主席、秘书长和司库组成执行局，是国际地质科学联合会的核心领导层。