doi:10.6046/gtzyyg.2012.01.26

西藏多不杂斑岩铜矿 ASTER 遥感蚀变异常特征

胡紫豪[1],唐菊兴[2],张廷斌[1],吴 华[3],徐志忠[4],别小娟[5]
(1.成都理工大学地球科学学院,成都 610059; 2.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;
3.西藏自治区地质调查院,拉萨 850000; 4.西藏地勘局第五地质大队,格尔木 816000;
5.成都理工大学旅游与城乡规划学院,成都 610059)

摘要:采用 ASTER 数据,利用"掩模+定向主成分分析"方法提取了多不杂斑岩铜矿的遥感蚀变异常。对蚀变异常的特征、蚀变异常与地面蚀变对应关系、蚀变异常与已知矿体的关系等几个方面进行了初步探讨,认为利用 ASTER数据提取的蚀变异常效果较好,为西藏自治区矿产资源潜力评价多龙铜矿预测工作区的最小预测区圈定提供了遥感依据。

关键词:遥感;蚀变异常;ASTER;多不杂斑岩铜矿
中图法分类号:TP 79　**文献标志码**:A　**文章编号**:1001-070X(2012)01-0150-05

0 引言

近矿围岩蚀变是成矿物质在逐步富集成矿过程中留下的印迹。绝大多数热液矿床都伴随有围岩的交代蚀变现象,而且蚀变带范围常常大于矿体分布范围的数倍至几十倍,因此围岩蚀变是重要的找矿标志之一。在全国矿产资源潜力评价中,利用遥感技术提取围岩蚀变信息(遥感蚀变异常)是一项重要的工作内容,采用的基础数据源多为 TM/ETM+。

ASTER 是由美国和日本联合开发的高性能卫星传感器,从 0.52~11.6 μm 共设置有 14 个波段,与 TM/ETM+相比,光谱范围覆盖更宽,辐射分辨率更高。在西藏自治区矿产资源潜力评价典型矿床的研究中,遥感专题组利用 ASTER 数据开展了矿床围岩蚀变的异常信息提取和研究,取得了较好效果。

1 研究区地质概况

多不杂斑岩型铜金矿是继西藏驱龙、玉龙之后发现的又一大型斑岩型铜金矿床,位于多龙铜矿预测工作区内,大地构造位置处于班公湖—怒江结合带北侧、羌塘地块南缘的铁格隆构造岩浆带中。出露的地层比较简单,主要是中侏罗统雁石坪群、下白垩统美日切组和新近系康托组。中侏罗统雁石坪群粉砂质板岩、长石石英砂岩和安山岩、英安岩、玄武质安山岩是矿床的最重要围岩[1-2]。基性、中-酸性浅成侵入岩侵入到中侏罗统雁石坪群和下白垩统美日切组地层中,主要有辉长岩、辉绿玢岩、闪长岩、石英闪长岩、石英闪长玢岩和花岗闪长斑岩等,以岩株、岩脉和岩墙等形态产出。其中,出现于多不杂矿区的石英闪长玢岩和花岗斑岩主要呈岩株产出,蚀变强烈,是本矿区的主要含矿斑岩体[3-4]。铜矿体总体特征是规模大(含矿斑岩全岩矿化)、Cu 品位较高(0.94%)、富 Au(0.21 g/t)[3]。矿石类型为典型的斑岩型矿石,矿石构造以细脉浸染状构造为主,其次为角砾状、脉状构造,矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、斑铜矿和辉钼矿[1]。

多不杂斑岩铜矿含矿斑岩和围岩有强烈的热液蚀变。蚀变类型有钾化、硅化、绢英岩化(绢云母化+绿泥石化+硅化)、角岩化、青盘岩化、黄铁矿化、磁铁矿化和粘土化等,以绢英岩化、黄铁矿化、钾化和硅化最为普遍且蚀变强度大,其次为青磐岩化和高岭土化[1]。

2 遥感蚀变异常提取

2.1 数据源及提取方法

2.1.1 数据源

本次研究采用 ASTER 的 AST00226PRDAT0124 和 AST00160PRDAT024 两景图像数据分别提取遥

收稿日期:2011-02-24;修订日期:2011-05-23
基金项目:中国地质调查局全国矿产资源潜力评价西藏自治区矿产资源潜力评价项目(编号:1212010813025)资助。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

感羟基异常和遥感铁染异常信息,数据获取日期分别为 2009 - 01 - 02 和 2006 - 11 - 25,产品级别为 L1B 级,已经过辐射校正和几何纠正。ASTER 数据在光谱覆盖范围和空间分辨率等方面均优于 TM/ETM$^+$,可以提供 15 m(可见光—近红外)、30 m(短波红外)以及 90 m(热红外)3 种空间分辨率数据(表 1)。

表 1　ASTER 和 TM/ETM$^+$ 波段设置对比

Tab. 1　Comparison of the bands between ASTER and TM/ETM$^+$

ASTER			TM/ETM$^+$		
波段	光谱范围/μm	空间分辨率/m	波段	光谱范围/μm	空间分辨率/m
			1	0.45 ~ 0.52	30/15
VNIR1	0.52 ~ 0.60	15	2	0.52 ~ 0.60	
VNIR2	0.63 ~ 0.69		3	0.63 ~ 0.69	
VNIR3	0.76 ~ 0.86		4	0.76 ~ 0.86	
VNIR 立体后视	0.76 ~ 0.86				
SWIR4	1.600 ~ 1.700	30	5	1.55 ~ 1.75	30
SWIR5	2.145 ~ 2.185				
SWIR6	2.185 ~ 2.225		7	2.08 ~ 2.35	30
SWIR7	2.235 ~ 2.285				
SWIR8	2.295 ~ 2.365				
SWIR9	2.360 ~ 2.430				
TIR10	8.125 ~ 8.475	90			
TIR11	8.475 ~ 8.825				
TIR12	8.925 ~ 9.275				
TIR13	10.25 ~ 10.95				
TIR14	10.95 ~ 11.65		6	10.4 ~ 12.5	120/60

研究区的 ASTER 图像无云,植被稀疏,能满足蚀变信息提取的要求(图 1)。

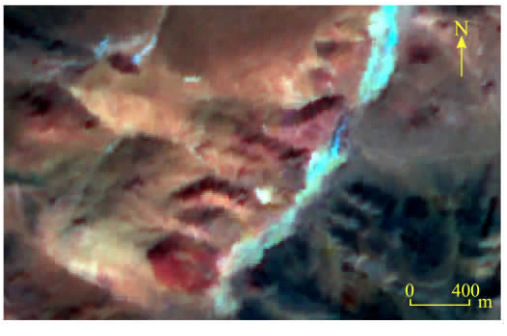


图 1　研究区 ASTER7(R)3(G)1(B)假彩色合成图像

Fig. 1　Pseudo - color composite image of ASTER7(R)3(G)1(B) in study area

2.1.2　遥感蚀变异常提取方法

根据研究区蚀变矿物组合并结合 ASTER 传感器光谱响应特征,在可见光—短波红外光谱区间,主要识别羟基矿物和含 Fe^{3+} 矿物。图 2 为研究区主要蚀变矿物的 USGS(United States Geological Survey,美国地质调查局)实验室光谱曲线。

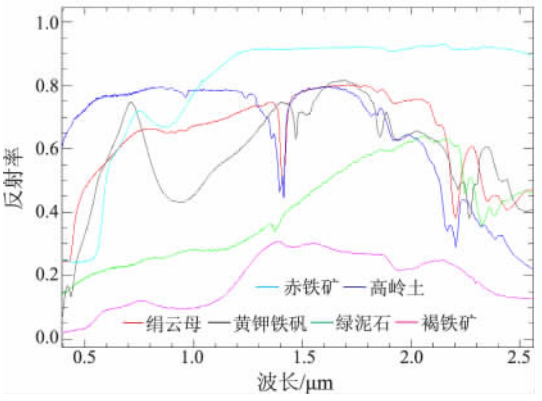


图 2　研究区主要蚀变矿物 USGS 波谱曲线

Fig. 2　USGS spectral plots of the main alteration minerals in study area

由图 2 可以看出,羟基矿物在短波红外(SWIR)光谱区间产生吸收特征谱带,高岭土、伊利石等含 Al 羟基标志吸收谷在 2.2 μm 附近,对应 ASTER5,6 波段;绿泥石等含 Mg 羟基在 2.3 μm 附近产生标志吸收谷,对应 ASTER8 波段;由此可见,羟基矿物特征谱带的精确位置取决于与 OH^- 相连的金属离子[5]。铁在氧化环境下多以含 Fe^{3+} 矿物形式存在,如褐铁矿、赤铁矿、针铁矿及黄钾铁矾等,其分别在 0.5 μm 和 0.9 μm 处出现吸收特征,对应 ASTER1,3 波段。

对遥感蚀变异常的提取方法,很多学者都进行过相关研究[6-10]。本次工作借鉴全国矿产资源潜力评价遥感异常提取技术流程,基于 ENVI 4.4 遥感影像处理系统,采用“掩模 + 定向主成分分析”的方法,以“景”为单位开展了研究区遥感羟基与铁染异常信息的提取(其中主要对河流、第四系等干扰因素进行了“掩模”处理,以排除非矿化信息的干扰)。

2.2　羟基异常提取

ASTER 数据在短波红外波段拥有更高的光谱分辨率,这使得识别不同类型的含羟基蚀变矿物成为可能。在利用 ASTER 不同波段组合的数据进行主成分分析、提取不同的含羟基蚀变矿物方面已有过不少的研究,例如毛晓长等[11]和杨佳佳等[12]等利用 ASTER1,4,6,7 波段提取高岭石化、绢云母化等蚀变信息;丛丽娟等[5]和耿新霞等[13]等利用 ASTER1,3,4,8 波段提取黑云母化、绿泥石化等蚀变信息;吕凤军等[14]和黄照强等[15]等利用 ASTER 1,3,4,5(6)波段提取方解石、白云石等碳酸盐化的蚀变信息。本文则分别采用 ASTER1,3,4,5(6)波段,ASTER1,3,4,8 波段和 ASTER1,4,6,7 波段 3 种波段组合的主成分分析方案提取了研究区含羟基蚀变信息。通过与已知地面蚀变信息的对比认为,采用 ASTER1,3,4,8 波段主成分分析提取的蚀变信息

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

效果较好。

采用 ASTER1,3,4,8 波段提取羟基异常信息(主要是绿泥石化、方解石化、黑云母化的蚀变信息)。对进行掩模运算后的图像选取 ASTER1,3,4,8 波段进行定向主成分分析,其特征向量见表 2。

表 2 ASTER1,3,4,8 波段主成分分析特征向量

Tab. 2 PCA eigenvector statistics for ASTER1, 3, 4 and 8

主成分	波段			
	*ASTER*1	*ASTER*3	*ASTER*4	*ASTER*8
*PC*1	0.750 904	0.642 809	0.148 154	0.031 468
*PC*2	0.639 990	−0.764 473	0.076 136	−0.014 031
*PC*3	0.162 804	0.041 455	−0.976 776	−0.132 986
*PC*4	−0.007 068	0.025 684	0.134 769	−0.990 519

在第三主成分(PC3)中,ASTER4 波段对应的特征向量值最大(−0.977),反映了此类羟基蚀变矿物在该波段的高反射特性。但由于该值为负值,应先对 PC3 进行取反处理,取反后得到的图像可作为羟基异常图像;再对羟基异常图像进行低通滤波和分级处理(即首先根据“平均值 + n 倍标准离差”的值确定出异常下限;最后对异常值进行平均分配,确定出异常的一、二、三级)。分级的结果为:164 ~ 194 为羟基三级异常,195 ~ 225 为羟基二级异常,226 ~ 255 为羟基一级异常。

2.3 铁染异常提取

对进行掩模处理后的图像选取 ASTER1,2,3,4 波段进行定向主成分分析,提取铁染异常信息,其特征向量见表 3。

表 3 ASTER1,2,3,4 波段主成分分析特征向量

Tab. 3 PCA eigenvector statistics for ASTER 1, 2, 3 and 4

主成分	波段			
	*ASTER*1	*ASTER*2	*ASTER*3	*ASTER*4
*PC*1	0.614 352	0.607 320	0.488 149	0.124 278
*PC*2	0.760 127	−0.286 340	−0.553 747	−0.183 250
*PC*3	0.181 341	−0.579 277	0.305 716	0.733 547
*PC*4	0.109 063	−0.462 180	0.601 342	−0.642 559

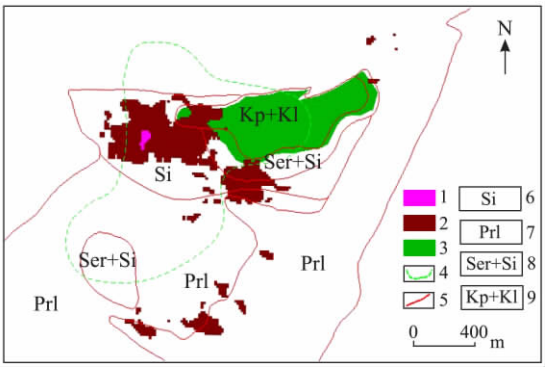
根据含 Fe^{3+} 矿物的波谱特征,对代表铁染蚀变信息的主成分图像的判断准则为:构成该主成分的特征向量,其 ASTER4 的波段系数应该与 ASTER1,3 的波段系数反向,与 ASTER2 的波段系数同向。经过比较,ASTER4 符合这一标准,但由于 ASTER4 在 PC4 上表现为负值,应先对 PC4 进行取反处理,取反后得到的图像就可作为铁染异常图;再对铁染异常图像进行低通滤波和分级处理(首先根据“平均值 + n 倍标准离差”的值确定出异常下限,然后对异常值进行平均分配、确定出异常的一、二、三级)。分级的结果为:191 ~ 212 为铁染三级异常,213 ~ 234 为铁染二级异常,235 ~ 255 为铁染一级异常。

3 遥感蚀变异常特征

从总体上看,遥感羟基异常与铁染异常绝大部分重合,铁染异常的分布范围较羟基异常的大;羟基异常呈断续的团块状分布,铁染异常则呈连续的带状分布。遥感铁染异常与羟基异常都位于野外已知蚀变带范围之内,与已知蚀变带分布范围基本吻合。

3.1 羟基异常特征

羟基异常以三级异常为主,二级异常次之,一级异常缺失。从整体上看,羟基异常分布的平面形态呈向西开口的半圆形,半圆北部的异常最多,两个大型的团块状异常呈北西向展布;半圆南部的异常少而分散,略呈北北东向展布(图 3)。



1. 二级异常; 2. 三级异常; 3. 矿体(平面投影); 4. 铜矿化区; 5. 蚀变带范围; 6. 硅化; 7. 青磐岩化; 8. 绢云母化 + 硅化; 9. 钾长石化 + 高岭土化

图 3 羟基蚀变异常特征

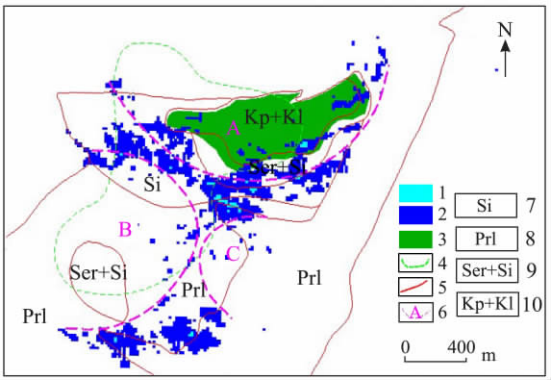
Fig. 3 The characteristics of hydroxyl alteration anomalies

遥感羟基异常全部落在野外调查见到的蚀变带上,其中面积最大的团状异常的主体落在硅化蚀变带内,其他异常则落在了绢云母化 + 硅化(绢英岩化带)蚀变带内和钾长石化 + 高岭土化蚀变带内;位于半圆南部呈带状分布的羟基异常都落在青磐岩化蚀变带内,且异常走向与蚀变带界线的走向基本一致;此外在区内的东北角有一面积很小的羟基异常落在绢云母化 + 硅化(绢英岩化带)蚀变带内。

3.2 铁染异常特征

铁染异常主要分布在矿床的中部和中南部(图 4)。铁染异常以三级为主,二级次之,一级铁染异常缺失。铁染异常分布的平面形态可以分为两部分,北部呈似“碗”状将已知矿体围限;南部具有与羟基异常类似的分布特点,但异常分布范围较羟基异常大。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



1. 二级异常；2. 三级异常；3. 矿体（平面投影）；4. 铜矿化区；5. 蚀变带范围；6. 遥感异常推测勘探靶区及编号；7. 硅化；8. 青磐岩化；9. 绢云母化 + 硅化；10. 钾长石化 + 高岭土化

图 4　铁染蚀变异常特征

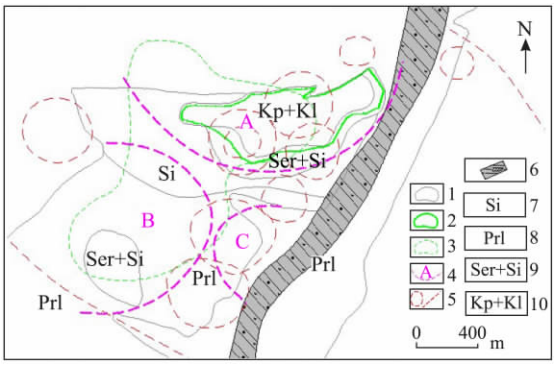
Fig. 4　The characteristics of iron alteration anomalies

遥感铁染异常亦全部落在野外调查见到的蚀变带范围内，其中“碗”状铁染异常的西侧落在硅化蚀变带内　“碗”状铁染异常的东侧大部分落在了绢云母化 + 硅化（绢英岩化带）蚀变带内，少部分落在了硅化蚀变内；其他铁染异常则位于青磐岩化蚀变带、钾长石化 + 高岭土化（钾化带）蚀变带和硅化带内。

3.3　遥感异常的应用

通过对多不杂铜矿床遥感蚀变异常与野外调查见到的蚀变带、已探明矿体的对比研究发现，已探明矿体基本上被遥感蚀变异常所围限，类似的情况也出现在玉龙斑岩型铜矿床[16]。

通过对遥感蚀变异常的展布特征、遥感影像特征、蚀变带实地分布及已探明矿体特征的综合分析，本次工作推测出 3 处新的找矿靶区（见图 5 中的 A，B，C 区）。



1. 蚀变带范围；2. 已知矿体平面投影范围；3. 铜矿化区；4. 遥感异常推测找矿靶区及编号；5. 遥感解译断层、环形构造；6. 遥感解译构造破碎带；7. 硅化；8. 青磐岩化；9. 绢云母化 + 硅化；10. 钾长石化 + 高岭土化

图 5　研究区遥感地质特征解译及推测找矿靶区分布图

Fig. 5　The map of remote sensing interpretation and prospecting targets in study area

上述 3 处找矿靶区的推测依据见表 4。

表 4　找矿靶区推测依据

Tab. 4　The basis for prospecting targets in study area

找矿靶区	野外蚀变	遥感异常	遥感影像特征	已知矿化信息
A 区	蚀变发育，由内而外为：钾长石化 + 高岭土化、绢云母化 + 硅化、硅化	羟基异常、铁染异常以三级为主，呈弧形密集分布，北部开口、南部将已知矿体围限	西部黄褐色、影纹细腻，东部间红褐色、呈斑状影纹；有同心环、相交环等多个环形影像；东部为北东向构造破碎带	中部为已知矿体平面投影，东部大部分位于已知铜矿化区
B 区	蚀变发育，主要为绢云母化 + 硅化、硅化，外围为青磐岩化	羟基异常、铁染异常以三级为主，呈弧形密集分布，略呈向西开口的半圆形	影纹较细腻，呈青灰色正地形；东侧有环形影像，南部为一北西向线性影像	主体位于已知铜矿化区
C 区	主要为青磐岩化	羟基异常、铁染异常以三级为主，呈散点状分布，大致围成向东开口的半圆形区域	团块状红褐色、黄褐色影纹；有多个相互交切的环形影像；东部为呈北北东向展布的构造破碎带影像	无已知矿化显示

其中，已知矿体平面投影范围落在 A 区，根据遥感异常特征推测的 A 区范围比已知矿体范围大，因地面钻探尚未完全控制矿体，A 区可为地面勘探工程的布设提供重要的指导方向；B 区和 C 区则为多不杂铜金矿床外围（多龙铜矿预测工作区）找矿工作缩小了找矿范围。

4　结论

1）班公湖—怒江缝合带是西藏的第三个重要成矿带，由于受到自然条件的限制，目前的矿产勘查工作都是在点上进行的。通过研究发现，利用 ASTER 数据、采取“掩模 + 定向主成分分析”的方法提取的遥感蚀变异常与野外调查见到的矿化蚀变范围基本吻合。

2）在西藏矿产资源潜力评价的工作中，本次研究提取的遥感蚀变异常为多龙铜矿预测工作区最小预测区❶的圈定提供了重要的遥感依据。为进一步缩小（锁定）找矿靶区、加快矿产资源勘查进度，建议在班—怒成矿带全面开展基于 ASTER 数据的遥感蚀变异常提取扫面工作。

❶ 最小预测区指根据遥感提取的构造和矿化蚀变异常信息圈定的找矿远景区。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献:

[1] 佘宏全,李进文,丰成友,等. 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,2006,80(9):1434-1447.

[2] 佘宏全,李进文,马东方,等. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质,2009,28(6):737-746.

[3] 李光明,李金祥,秦克章,等. 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,2007,23(5):935-952.

[4] 李金祥,秦克章,李光明,等. 西藏班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床中金红石的特征及其意义[J]. 矿床地质,2008,27(2):209-219.

[5] 丛丽娟,岑 况,朱 所,等. 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,2007,12(6):652-658.

[6] 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.

[7] 杨金中. 多光谱遥感异常提取技术方法体系研究[J]. 国土资源遥感,2007(4):43-46.

[8] 张廷斌,唐菊兴,黄丁发. 矿化蚀变信息提取的 TM/ETM+遥感影像模式[J]. 遥感信息,2009(2):47-51.

[9] 陈建明,孙卫东,闫柏琨,等. ASTER 多光谱遥感异常提取在新疆天湖铁矿中的应用[J]. 新疆地质,2009,12(4):368-372.

[10] 张廷斌,钟康惠,易桂花,等. 东昆仑五龙沟金矿集中区遥感地质信息提取与找矿预测[J]. 地质与勘探,2009,7(4):444-449.

[11] 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——以安徽铜陵凤凰山矿田为例[J]. 现代地质,2005,6(2):309-314.

[12] 杨佳佳,姜琦刚,赵 静,等. 基于 ASTER 和 ETM+数据的遥感蚀变信息提取——以内蒙古塔日根敖包地区为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2008,38(增刊):153-154.

[13] 耿新霞,杨建民,张玉君,等. ASTER 数据在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中的应用——以新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿岩体为例[J]. 地质论评,2008,54(2):184-190.

[14] 吕凤军,郝跃生,石 静,等. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究[J]. 地球学报,2009,30(2):271-276.

[15] 黄照强,李祥强. 基于 ASTER 和 ETM+数据的蚀变信息提取比较研究——以西藏泽当矿田为例[J]. 地质与勘探,2009,25(5):606-611.

[16] 西藏自治区地质调查院. 西藏自治区矿产资源潜力评价玉龙铜矿典型矿床遥感铁染异常说明书[R]. 拉萨:西藏自治区地质调查院,2010.

Characteristics of Remote Sensing Alternation Anomalies from ASTER in the Duobuza Porphyry Copper Deposit

HU Zi-hao[1], TANG Ju-xing[2], ZHANG Ting-bin[1], WU Hua[3], XU Zhi-zhong[4], BIE Xiao-juan[5]

(1. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 2. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*; 3. *Institute of Geological Survey of Tibet, Lhasa* 850000, *China*; 4. *No.* 5 *Geological Party of Tibet Bureau of Geology and Mineral Resources, Geermu* 816000, *China*; 5. *College of Tourism and Urban and Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*)

Abstract: Using the "mask and directed principal component analysis" approach, the authors extracted the remote sensing alternation anomalies of the Duobuza porphyry copper deposit on the basis of ASTER data. The characteristics of alteration anomalies, the correlation between alteration anomalies and surface alteration and the relationship between alteration anomalies and known ore bodies were preliminarily discussed in this paper. The results show that the alteration anomalies extracted by ASTER data are relatively satisfactory and can provide the remote sensing basis for delineation of the smallest prognostic target within the forecasting work area of the Duolong copper deposit in the mineral resource potential assessment of Tibet.

Key words: remote sensing; alternation anomaly; ASTER; Duobuza porphyry copper deposit

第一作者简介: 胡紫豪(1987-),男,成都理工大学在读硕士生,主要从事遥感地质方面的研究。E-mail: mr.zihao@gmail.com。

通信作者: 张廷斌(1978-),男,硕士,副教授,主要从事遥感教学与研究工作。E-mail: zhangtb@cdut.edu.cn。

(责任编辑:刘心季)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net