

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2017.03.014

西藏加布呀地区多源成矿有利信息 分析及找矿应用

揭文辉^{1,2}

(1.核工业航测遥感中心,石家庄 050002;2.东华理工大学地球科学学院,南昌 330013)

摘要: 加布呀地区地处班公错-怒江金、铬、铂、钨、钼成矿亚带,成矿地质条件较为优越,找矿潜力较大。本文在分析区域铜多金属成矿规律基础上,利用 WorldView-2 高分辨率遥感数据对加布呀地区成矿有利信息进行遥感地质解译,利用 Aster 数据提取的蚀变异常信息,综合分析加布呀地区成矿有利信息特征,构建了铜多金属矿找矿模型、圈定了找矿靶区,经野外查证发现了铜多金属矿化。

关键词: 多源;高分辨率遥感数据;蚀变异常信息;铜多金属矿;加布呀;西藏自治区

中图分类号: P627;P618.41 **文献标识码:** A

0 引言

世界各矿业大国都十分重视发展矿产资源的遥感勘查技术,且随着遥感对地观测传感器技术不断改进和提高,遥感数据源日益丰富,多平台、多类型、高光谱分辨率、高空间分辨率的遥感数据得到了广泛应用^[1]。近年来,WorldView-2 数据在地质找矿工作中的大面积运用,极大地推动了地质工作的发展。张磊等以西昆仑地区为例分析了高分辨率在遥感地质调查中的优势及高分遥感数据的找矿新方法^[2];窦雅娟应用高分遥感数据在阿尔金山进行岩性识别和成矿预测研究^[3];全旭东等应用中、高分辨率遥感数据在西藏别若则错地区开展了蚀变信息提取与找矿预测,取得了良好的应用效果^[4];陈玲等应用高分遥感数据开展了新疆塔什库尔干地区的沉积变质型铁矿遥感综合研究工作,查明该区具有较好的变质型铁矿找矿前景^[5];陈玲等应用国产高分遥感数据开展在高海拔地区地质调查应用中的潜力分析,结果表明国产高分遥感数据在区域构造解译和

岩性信息提取方面已达到同等空间分辨率国外卫星数据的水平,在高海拔地区地质调查中有很大的应用潜力^[6]。除此之外,林健^[7]及金谋顺^[8]等在我国西北地区应用高分遥感数据开展了大量的应用和研究工作。

加布呀地区位于青藏高原西部,西藏阿里地区革吉县盐湖乡境内,距革吉约 100 km,距噶尔市约 200 km。加布呀地区属于班公湖-怒江成矿带西段,这里海拔高、环境恶劣、交通不便,地质工作程度低、空白区多,已知的矿床无论是数量还是质量上都不足以真正反映成矿作用的本来面目;区内及其附近目前已发现多不杂铜矿、尕尔穷铜矿、弗野铁矿、材玛铁矿等^[9],是铜多金属成矿条件优越地区,找矿潜力很大,是今后地质找矿的重点区域之一。

加布呀地区虽然海拔高、环境恶劣、交通不便,但基岩出露良好,遥感可解译程度高,可充分发挥遥感技术的优势,快速准确获取地质信息,解译提取与成、控矿作用有关的岩性、构造及遥感异常,为找矿预测提供依据。本文将利用 WorldView-2 高分辨率遥感数据对加布呀地区成矿有利信息进行遥感地质解译,利用 Aster 数据提取的蚀变异常信息,综合

收稿日期: 2016-05-13; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(编号:1212011121299)资助。

作者简介: 揭文辉(1988—),男,在读硕士,工程师,主要从事遥感地质工作。通信地址:河北省石家庄市学府路 11 号,核工业航测遥感中心;邮政编码:050002;E-mail:jiewenhui2006@163.com

分析加布呀地区铜多金属矿矿化特征、成矿地质条件和控矿因素,建立找矿模型、圈定找矿靶区,为加布呀地区进一步矿产勘查提供参考。

1 地质概况

加布呀地区地处班公错-怒江结合带西段的阿翁错陆缘火山岩浆弧带,位于冈底斯-念青唐古拉陆块北缘,NWW 向班公错-怒江缝合带区域大断裂南缘,并夹持于盐湖断裂带与吓拉错断裂带之间,是班公错-怒江洋壳南向俯冲形成的中晚侏罗世一早白垩世火山-岩浆弧^[10]。区域上属物玛铜、金成矿亚带,优势矿种为铜、金矿,类型以热液型和斑岩型为主^[11]。

区内出露地层为白垩系去申拉组(图 1)。去申拉组(K_1q)为一套中基性火山岩及火山-沉积岩建造,岩性主要为深灰色中厚层块状玄武岩、玄武安山岩、安山岩等,夹少量安山质凝灰岩。

区内发育 NE 向和 NW 向断裂构造。

区内侵入岩属阿翁错-盐湖岩浆岩带盐湖复式岩体。形成于早白垩世,岩性以中酸性为主,具多期次侵入特征。岩体主要由早白垩世细粒花岗闪长岩、石英二长闪长岩、闪长岩,以及晚白垩世细粒黑云母花岗岩组成。

加布呀地区及周边以往发现多处铜多金属矿化点。矿化点主要分布在岩体外接触带的去申拉组安山岩中,矿化多产于构造破碎带及其次级裂隙,矿化总体受中酸性岩体、安山岩、断裂构造及热液蚀变的复合控制。

2 遥感数据源特征

2.1 遥感数据特征

WorldView-2 卫星于 2009 年 10 月 6 日成功发射,轨道高度 770 km,运行周期 100 min,扫描带宽最低 16.4 km,单景面积 269 km²,星载多光谱传感

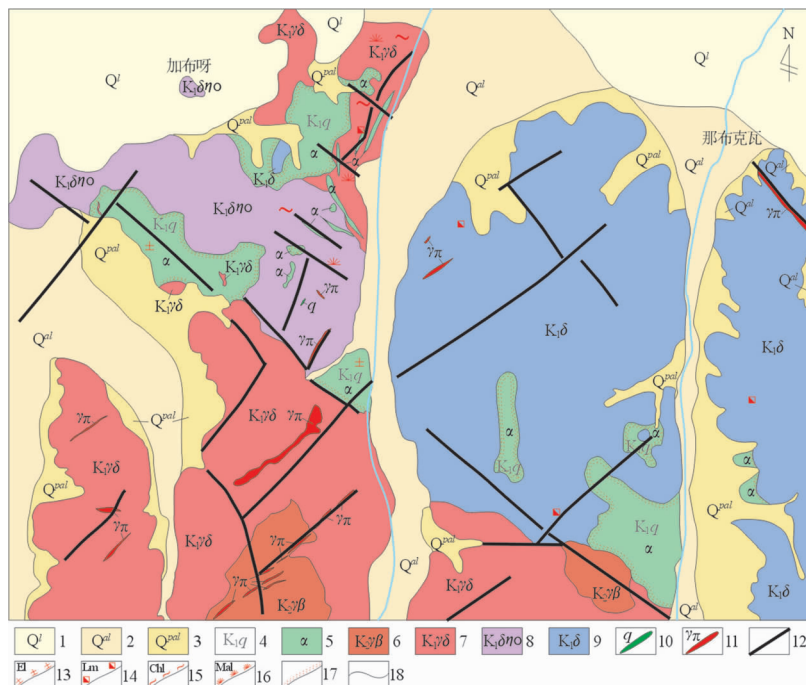


图 1 加布呀地区遥感岩性-构造解译地质图

Fig. 1 The interpretation map of lithology and structure of remote sensing data of Jiabuya area

1. 第四系全新统湖积物; 2. 第四系全新统河流冲积物; 3. 第四系全新统冲洪积物;
4. 早白垩世去申拉组; 5. 安山岩; 6. 晚白垩世细粒黑云母花岗岩;
7. 早白垩世细粒花岗闪长岩; 8. 早白垩世石英二长闪长岩; 9. 早白垩世闪长岩;
10. 石英脉; 11. 花岗斑岩脉; 12. 解译断裂; 13. 高岭土化; 14. 褐铁矿化;
15. 绿泥石化; 16. 孔雀石化; 17. 角岩化; 18. 地层界线

器共有 8 个波段:海岸波段、蓝色波段、绿色波段、黄色波段、红色波段、红色边缘波段、近红外线波段、近红外 2 波段(表 1)。WorldView-2 卫星能够提供分辨率为 1.84 m 的多光谱影像和分辨率为 0.46 m 的全色影像。

2.2 遥感影像处理

加布呀地区 WorldView-2 数据质量较高,无云雪等干扰因素。WorldView-2 数据经几何校正→图像融合→波段组合假彩色合成而形成遥感地质解译图像。在假彩色合成选取波段方面,为增强不同岩性的反差效果,得到丰富的色彩,采用最佳指数法(OIF);依据各波段的信息量、相关性、最佳指数这 3 方面的指标,确定最佳波段组合为波段 8、4、2^[12-15]。其合成后的遥感影像(图 2),地质信息丰富,层次分明,可解译性好。以此为基础解译图像,建立各地质体遥感解译标志,开展 1:10000 岩性-构造遥感解译。

2.3 遥感蚀变异常信息提取

遥感蚀变信息是多种矿产资源勘查的重要信息,是与物化探等异常信息一样具有独立性的重要找矿参数,在寻找铜、铅、锌、银、金和铀等矿产中具有良好的找矿效果^[16-19]。

本文采用比值法、主成分分析法对 Aster 数据进行处理,提取遥感蚀变信息。比值法采用 Aster 2/1、

表 1 WorldView-2 卫星传感器波段范围

Table 1 Band range of sensors of satellite WorldView-2

波长区域	波段	光谱范围/nm	空间分辨率/m
可见光-近红外	1	400 - 450	1.84
	2	450 - 510	
	3	510 - 580	
	4	585 - 625	
	5	630 - 690	
	6	705 - 745	
	7	770 - 895	
	8	860 - 1040	
全色			0.46

4/3、5/3、5/4 提取含 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等的蚀变矿物异常。其中,5/4 与 5/3 异常主要为绢云母化、黑云母化、绿泥石化、绿帘石化等蚀变或含有该类矿物的硅酸盐离子、二价铁离子引起的异常,对岩浆岩型铜矿、铁矿等具有指示意义;4/3 异常与 2/1 异常主要为黄铁矿化、褐铁矿化等铁氧化物引起的蚀变异常。采用 Aster 数据的 1、3、4、 n (n 为 5、6、 $(5+6)/2$ 、7、8、 $(7+8)/2$ 或 9) 波段做掩模主成分分析,以均值 $\pm 4\sigma$ (标准离差)做为主分量输出的动态范围,获得蚀变遥感异常主分量。其中,以 Aster 数据的 1、3、4、7 波段做掩模主成分分析提取 $\text{Al}-\text{OH}$ 异常,以 Aster 数据的 1、3、4、5 波段做掩模主成分分析提取 $\text{Mg}-\text{OH}$ 异常。



图 2 研究区 WorldView-2(842)合成影像图

Fig. 2 Composite image of WorldView-2(842)of the study area

3 多源成矿有利信息特征

3.1 区域地质源特征

加布呀地区处于班公湖-怒江结合带南侧的阿翁错陆缘火山岩浆弧带上,构造作用与岩浆热液活动强烈,发育 NW 向断裂构造,出露早白垩世中酸性侵入岩。矿化受 NW 向断裂构造控制,赋存于岩体外接触带的去申拉组安山岩中。

3.2 遥感解译地质源特征

(1)安山岩:WorldView-2(842)影像中色调较深,为紫褐色、褐棕色,发育放射状水系、链状水系、树枝状水系以及羽状水系,影纹呈细条纹,似指纹理,粗斑点图案,呈带状延伸或呈表面粗糙的条块状图案。

(2)花岗闪长岩:WorldView-2(842)影像中主要为灰色或黄色,色调均匀,椭圆形或条块形,影纹平滑细腻、山脊浑圆。

(3)遥感线性构造:NW 向断裂构造,在 WorldView-2(842)影像中显示为线性的色调影纹特征,地貌上显示为直线形的山脊或沟谷。

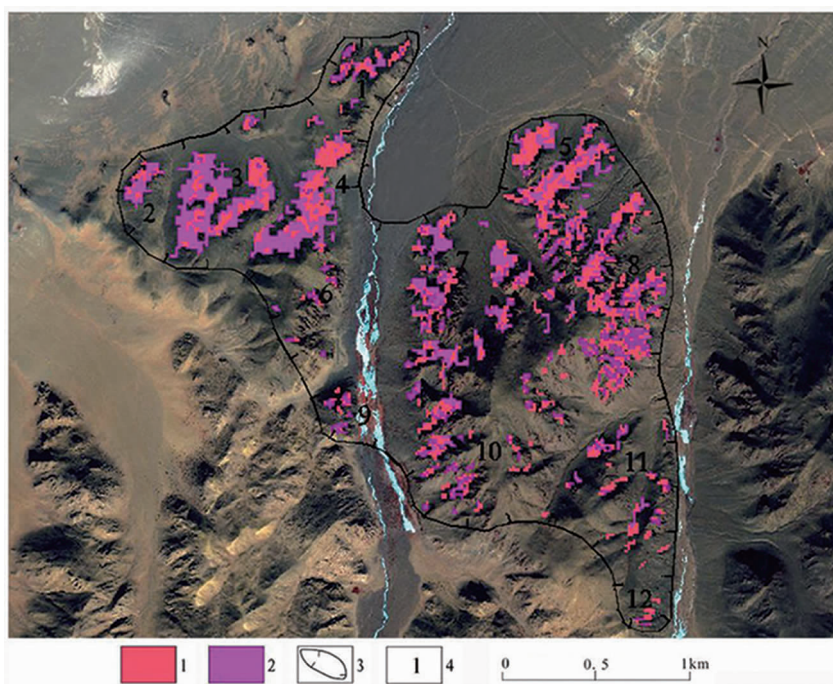


图3 加布呀地区异常包遥感蚀变异常分布图

Fig. 3 Remote sensing alteration anomaly distribution in Jiabuya anomaly package

1. Fe5/3 异常;2. Fe5/4 异常;3. 一级异常包;4. 异常编号

表2 加布呀地区铜多金属矿遥感找矿模型

Table 2 Remote sensing prospecting model of Cu-metallic ore in Jiabuya area

控矿因子	热液型铜多金属矿遥感找矿模型
大地构造位置	班公湖-怒江结合带南侧的阿翁错陆缘火山岩浆弧带上,WorldView-2(842)中显示为线性色调影纹特征,地貌显示为直线形的山脊或沟谷
赋矿地层	去申拉组安山岩,WorldView-2(842)影像中色调较深,为紫褐色、褐棕色,发育放射状水系、链状水系、树枝状水系以及羽状水系,影纹呈细条纹,似指纹理,粗斑点图案,呈带状延伸或呈表面粗糙的条块状图案
导矿、容矿构造	NW 向断裂构造为导矿、容矿构造。WorldView-2(842)中显示为线性的色调影纹特征,地貌上显示为直线形的山脊或沟谷
岩浆活动	早白垩世中酸性侵入岩,WorldView-2(842)中主要为深灰色-棕褐色、色调不均匀,呈条形、团块状出露,斑杂状粗糙影纹、山脊呈棱角-次棱角状
围岩蚀变	绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化
遥感蚀变异常	铁染异常
野外找矿线索	黄铜矿化、黄铁矿化、孔雀石化是矿化露头的直接标志

3.3 遥感蚀变提取异常源特征

利用 Aster 数据进行遥感蚀变异常信息提取,重点提取与岩石矿物蚀变相关的铁离子(Fe^{2+} 、 Fe^{3+})和铝羟基(Al—OH)异常信息^[20-21]。研究区遥感蚀变异常包由 12 个相对集中分布的蚀变异常

区组成,呈不规则团块状,主要分布于去申拉组与早白垩世中酸性侵入岩体内外接触带部位(图 3)。各个异常的强度普遍较高,且异常组合较为单一,主要为铁染异常,根据野外调查,遥感异常信息与去申拉组安山岩密切相关,具有很好的找矿指示作用。

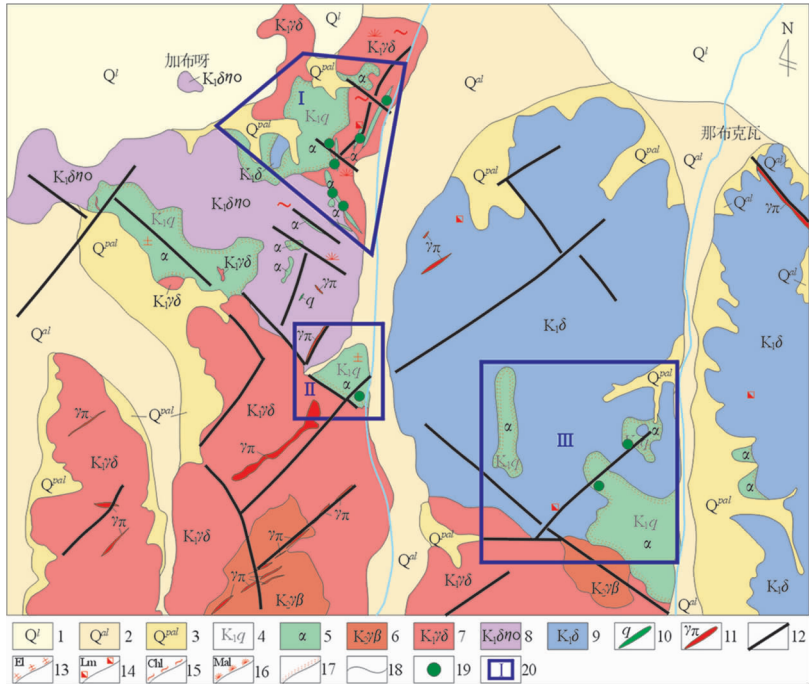


图 4 加布呀地区找矿预测图

Fig. 4 Map showing ore prediction in Jiabuya area

1. 第四系全新统湖积物; 2. 第四系全新统河流冲积物; 3. 第四系全新统冲洪积物;
4. 早白垩世去申拉组; 5. 安山岩; 6. 晚白垩世细粒黑云母花岗岩;
7. 早白垩世细粒花岗岩闪长岩; 8. 早白垩世石英二长闪长岩; 9. 早白垩世闪长岩;
10. 石英脉; 11. 花岗斑岩脉; 12. 一般断裂; 13. 高岭土化; 14. 褐铁矿化; 15. 绿泥石化;
16. 孔雀石化; 17. 角岩化; 18. 地层界线; 19. 铜多金属矿化点; 20. 圈定靶区及编号

表 3 加布呀铜多金属矿化点样品分析结果

Table 3 Analysis of samples collected from Cu-polymetallic occurrences from Jiabuya area

序号	矿化点号	$w(\text{Cu})/10^{-2}$	$w(\text{Ag})/10^{-6}$	$w(\text{Au})/10^{-6}$	$w(\text{Mo})/10^{-6}$	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{Zn})/10^{-6}$
1	D1268	6.20	82.37	0.32			
2	D1270	1.00	10.60	0.22			
3	D1274	0.44	10.23	0.20	/	/	/
4	D1276	1.48	25.81	0.54	/	/	/
5	D3085	12.36	177.01	1.86	/	/	11
6	D3102	1.49	112.40	/	/	0.22	/
7	D1074	2.451	14.1	0.01	2.76	112	36
8	D1092	0.594	4.76	<0.01	43.9	66.2	89.9
9		0.019	0.39	<0.01	2.68	47.9	147
10	D1097	0.753	4.15	0.02	3.82	124	171
11		1.070	14.9	0.04	7.40	126	16
12		0.828	13.4	0.1	5.80	87.3	182
13	D1100	1.808	50.9	0.12	242	22.3	89.7
14	D2066	0.851	9.26	0.07	1.70	45.5	131
15	D2073	1.172	13.1	0.30	4.62	40.8	82.9

4 遥感找矿模型

基于加布呀地区成矿地质特征、控矿因素高分辨率影像特征及遥感铁染蚀变信息,建立的热液型铜多金属矿遥感找矿模型如表2所述。

5 找矿应用

根据建立的遥感找矿模型,在对加布呀地区内与成矿相关的含矿岩性、控矿构造、控矿岩体、矿化蚀变带解译及遥感铁染信息等多源成矿有利信息综合分析基础上,圈定3处找矿靶区,即Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区(图4)。

通过对靶区的野外查证,发现了较好的铜多金属矿找矿线索。铜多金属矿化主要分布于去申拉组安山岩中,明显受构造破碎带及其裂隙控制,在安山岩节理中也有所发育。矿化主要为热液型铜矿化,其次为金、银矿化。

铜矿化点中矿石矿物以黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、孔雀石、蓝铜矿为主,脉石矿物主要为石英。蚀变以黄铁矿化、黄铜矿化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化等热液蚀变为主,次生蚀变主要有褐铁矿化、孔雀石化及蓝铜矿化等。黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿多呈细脉状分布于安山岩构造破碎带及其裂隙、节理中;孔雀石、蓝铜矿多为次生蚀变矿物,主要呈薄膜状分布于安山岩节理、裂隙表面。矿化点取样样品分析结果中,铜含量最高达 $w(\text{Cu})=12.36\%$,银含量最高达 $w(\text{Ag})=177\times 10^{-6}$ (表3)。

6 结论

(1)WorldView-2卫星数据是精细地质遥感数据源,能够精确的反映出岩石特征及成矿信息,区域上能揭示微观构造、地层、岩浆岩等信息,可从全新的角度去认识地质构造与成矿作用。

(2)利用高分辨率遥感数据对加布呀地区成矿有利地质信息进行遥感地质解译,结合提取的蚀变异常信息,综合分析加布呀地区成矿有利信息特征,构建了热液型铜多金属矿遥感找矿模型。

(3)通过已构建的遥感找矿模型,圈定了3处找

矿靶区,对靶区开展野外查证工作后,发现了较好的铜多金属矿找矿线索。

(4)多源成矿有利信息的综合处理与分析研究是目前非常有发展前景的方法手段,能够较为有效的应用于地质找矿预测中。

参考文献:

- [1] 杨金中,孙延贵,秦绪文,等. 高分辨率遥感地质调查[M]. 北京:测绘出版社,2013.
- [2] 张磊,包平. 高分辨率影像数据在遥感地质调查中的应用[J]. 科技视界,2012(29):5-6.
- [3] 窦雅娟. 高分辨率遥感数据在岩性识别和成矿预测中的应用研究[D]. 长沙:中南大学,2014.
- [4] 全旭东,李怀渊,王志宏,等. 基于中、高分辨率遥感数据的铜多金属矿化信息提取与找矿预测—以西藏别若则错地区为例[J]. 矿产勘查,2015(9):502-508.
- [5] 陈玲,张微,周艳,等. 高分辨率遥感影像在新疆塔什库尔干地区沉积变质型铁矿勘查中的应用[J]. 地质与勘探,2012,48(5):1039-1048.
- [6] 陈玲,梁树能,周艳,等. 国产高分卫星数据在高海拔地区地质调查中的应用潜力分析[J]. 国土资源遥感,2015,27(1):140-145.
- [7] 林健,张建国,汪程,等. WorldView-2在西藏改则县北部地区矿产资源遥感调查中的应用研究[J]. 矿产勘查,2015,6(1):53-61.
- [8] 金谋顺,王辉,乔耿彪,等. 利用高分遥感技术发现西昆仑黑恰铁矿带及其地质意义[J]. 西北地质,2014,47(4):221-226.
- [9] 田毅. 西藏班公湖-怒江成矿带西段铜(金)、铁矿床岩石地球化学特征研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [10] 姚晓峰. 西藏革吉县尕尔旁砂卡岩型铜金矿成矿岩浆岩特征及其含矿性研究[D]. 成都:成都理工大学,2010.
- [11] 王永军,张策,付丽华,等. 班公湖-怒江成矿带遥感地质调查成果报告[R]. 石家庄:核工业航测遥感中心,2013.
- [12] 汪冰,李存金,魏本赞,等. 高分辨率遥感影像在青海东昆仑砂卡岩型矿床找矿中的应用[J]. 地质学刊,2015,39(3):439-444.
- [13] 金剑,田淑芳,焦润成,等. 基于地物光谱分析的WorldView-2数据岩性识别:以新疆乌鲁木齐地区为例[J]. 现代地质,2013,27(2):489-496.
- [14] 张兴,李晓民,李得林,等. 高分辨率遥感数据在区域地质矿产调查应用中的若干问题探讨[J]. 科技视界,2014(26):294-297.
- [15] 付丽华,李名松,王永军,等. 西藏玛那那地区遥感找矿预测[J]. 矿产勘查,2015,6(2):171-177.
- [16] 张玉君,杨建民,陈微. ETM+(TM)蚀变遥感异常提取方法研究与应用:地质依据和波谱前提[J]. 国土资源与遥感,2002(4):30-36.
- [17] 张远飞,朱谷昌,吴德文. 地质矿产调查的遥感蚀变信息多层次分离提取技术及应用[C]//遥感科技论坛,北京:地质出版社,2007.

- [18] 张玉君, 杨建民, 姚佛军. 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, 2007, 14(5): 65-72.
- [19] 李守麟, 杨锋杰, 姜楠, 等. 基于 Aster 数据的矿化蚀变信息提取[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2015, 34(1): 16-21.
- [20] 宋元宝, 韩磊, 欧阳渊, 等. 高分遥感数据在斑岩型铜矿找矿预测中的应用[J]. 四川地质学报, 2013, 33(1): 99-102.
- [21] 梁静, 杨自安, 张建国, 等. 西藏日土地区矿产资源遥感地质调查与找矿预测研究[J]. 矿产勘查, 2014, 5(2): 322-329.

The favorable multi-sources metallogenic information analysis and its application to ore prospecting in JiaBuya area, Tibet.

JIE Wenhui^{1,2}

(1. Airborne Survey and RemoteSensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China;

2. Faculty of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: JiaBuya area located in Bangongcuo-Nujiang gold, chromium, platinum, palladium, nickel mineralization sub-belt is superior in geological metallogenic condition and is potential for further prospecting. Based on analysis of regional Cu-polymetallic metallogenic law we used high precision resolution data of WorldView-2 to interpret favorable metallogenic information and ASTER data to extract alteration anomalies in Jiabuya area. The favorable metallogenic information is analyzed and prospecting model of Cu-polymetallic ore built, targets delineated. Cu-polymetallic mineralization is encountered during field check.

Key Words: multi-source; high precision resolution remote sensing data; alteration anomaly information; Cu-polymetallic ore; Jiabuya; Tibet