

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.01.18
引用格式: 范玉海,王辉,杨兴科,等. 基于高分辨率遥感数据的稀有金属矿化带勘查[J]. 国土资源遥感,2018,30(1):128-134. (Fan Y H, Wang H, Yang X K, et al. Application of high-resolution remote sensing technology to the prospecting for rare metal mineralization belt[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1): 128-134.)

基于高分辨率遥感数据的稀有金属矿化带勘查

范玉海^{1,2}, 王 辉^{1,2}, 杨兴科¹, 彭齐鸣³, 秦绪文⁴, 杨金中⁵, 张少鹏², 谭富荣²
(1. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054; 2. 中煤航测遥感局地质勘查院, 西安 710054;
3. 国土资源部, 北京 100812; 4. 中国地质调查局, 北京 100037;
5. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要:以西昆仑大红柳滩地区花岗伟晶岩型稀有金属矿化带为研究对象,以 WorldView-2 高空间分辨率数据为主要信息源,在影像图制作的基础上,有针对性地进行图像增强处理,突出控矿要素和矿化信息,开展该矿种的遥感综合解译;利用 ASTER 数据开展与花岗伟晶岩型稀有金属成(控)矿作用相关的异常信息提取;配合适量的野外查证,分析其高分辨率遥感特征及成矿地质条件,建立遥感地质找矿模型。结果表明,利用高分辨率遥感卫星数据为主的数据源能够快速圈定找矿有利地段,满足西昆仑大红柳滩地区稀有金属矿勘查和资源评价需求,可为在相同或类似地区开展此类工作提供借鉴。

关键词: 高分辨率遥感; 花岗伟晶岩型; 稀有金属; 西昆仑; 大红柳滩地区; 地质找矿

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)01-0128-07

0 引言

西昆仑地处青藏高原西北缘,与塔里木盆地西南缘邻接,是秦祁昆构造带的重要组成部分^[1-4]。该区地层、构造、变质作用、岩浆活动等成矿地质条件优越^[5],已发现的矿床种类繁多,具备良好的找矿前景^[6]。该区海拔高度 3 500~5 000 m,具有“山高、坡陡、谷深”的地貌特征^[7-8],恶劣的自然地理及交通条件给常规地质找矿工作带来较大难度,使该区成为我国地质研究和矿产开发程度最低的地区之一。近年来,随着遥感技术的快速发展,卫星遥感数据的空间分辨率不断提高,利用高分辨率遥感技术在我国西部基岩裸露、半裸露地区指导找矿已成为一种快速、经济的手段^[9-11]。因此,在西昆仑成矿带,采用具有更宽光谱范围及更高空间分辨率的卫星遥感数据^[12-15],易于发挥卫星遥感技术宏观高效、不受地形和交通条件限制的优势^[16],加快区域矿产勘查的步伐。

WorldView-2 卫星提供的遥感影像产品光谱信息丰富,能够提供 1.84 m 空间分辨率的多光谱影

像和 0.46 m 空间分辨率的全色波段影像,它不仅具有 4 个业内标准谱段(红、绿、蓝和近红外),还增加了 4 个额外谱段(蓝靛、黄、红边和近红外 2),在 0.4~1.040 μm 的光谱范围内其多样性的谱段包含了丰富的光谱信息,并具有较高的空间分辨率,能够精确地表现出地物的结构、形状、纹理等特征,是精细地质遥感应用的新兴数据源之一^[17]。ASTER 是安装在 Terra 卫星上的多光谱成像仪,其接收到的信息包括:可见光与近红外(visible and near infra-red, VNIR)与短波红外(short wave-length infra-red, SWIR)波段范围内产生的是地物光谱反射率,热红外(thermal infra-red, TIR)波段范围内的地物热辐射值^[18]。综合 ASTER 数据涵盖的波长范围宽、波段多、性价比合理等因素,ASTER 数据在提取遥感(矿化)蚀变异常信息领域应用广泛^[19-20]。

本文以西昆仑大红柳滩地区花岗伟晶岩型稀有金属矿化带为研究对象,以 WorldView-2 高空间分辨率数据为主要信息源,在制作符合规范及应用要求影像图的基础上,有针对性地进行图像增强处理,突出控矿要素和矿化信息,开展该矿种的遥感综合解译;利用 ASTER 数据提取开展与花岗伟晶岩型

收稿日期: 2016-06-15; 修订日期: 2016-10-31
基金项目: 国家自然科学基金“西昆仑库地铬铁矿床铬尖晶石矿物学及其成矿机理研究”(编号: 41302051)、国家重点基础研究发展计划“973”项目“中国北方巨型砂岩 Y 成矿带陆相盆地沉积环境与大规模成矿作用”(编号: 2015CB453000)和中国地质调查局地质调查项目“西昆仑成矿带矿产资源遥感地质调查”(编号: 1212011120888)共同资助。
第一作者: 范玉海(1983-),男,工程师,主要从事遥感地质、矿产地质及盆地分析研究。Email: fanyuhai2008@163.com。

稀有金属成(控)矿作用相关的遥感异常信息提取;配合野外调查验证,分析该其区高分卫星遥感影像特征及成矿地质条件,建立遥感地质找矿模型,为今后在西昆仑成矿带上寻找类似矿产提供依据。

1 研究区概况

研究区构造位置示意图见图 1。研究区由北向南依次跨越中昆仑微陆块南带(Ⅲ₂)、康西瓦-苏巴什晚古生代蛇绿构造混杂岩带(④)、巴彦喀拉晚古生代-中生代边缘裂陷盆地(Ⅳ)、郭扎错-西金乌兰湖-金沙江结合带(⑥)、甜水海微陆块(Ⅵ)5个构造单元^[16-21];地层以元古界和古生界为主,由老到新依次为康西瓦群(PtK)、赛图拉岩群(ChST)、甜水海岩群(ChT)、肖尔克谷地岩组(QnX)、冬瓜山群(OD)、温泉沟群(S₁W)、恰提尔群(C₂Q)、黄羊岭群(PH)、巴颜喀拉山群(TB)及龙山组(J₂l);区内岩浆活动强烈,分布广泛,以中酸性侵入岩为主;构造活动强烈,变形复杂而有序,以发育近北西向韧-脆性断裂构造系统为特征^[16,22]。

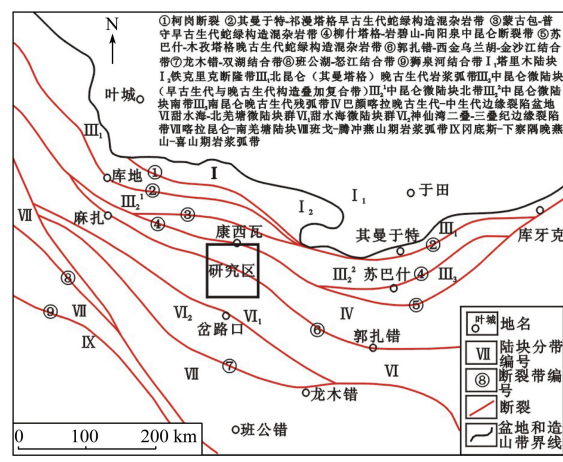


图 1 研究区构造位置示意图

Fig.1 Structure map of the study area

研究区位于康西瓦—大红柳滩铅、锌多金属、稀有金属成矿带,已发现矿(化)点 15 处。矿床类型复杂多样,包括沉积型的石榴石砂矿及石盐矿、热液型的铜铅锌铁矿、伟晶岩型的白云母矿及锂铍矿

床^[23-25],其中伟晶岩型锂、铍稀有金属矿化带主要分布于燕山期酸性侵入岩外接触带的花岗伟晶岩脉中,为本次研究的主要矿化带。花岗伟晶岩脉多顺层贯入岩体边部外围的变质地层中,含矿性与岩脉产态、规模、形成深度、类型、分带性、交代作用的复杂程度及强度等关系密切^[6,24-26]。

2 遥感图像处理及矿化蚀变信息提取

本文以 WorldView-2 高分数据为主要信息源,运用图像预处理、几何纠正、图像融合处理、图像增强、图像镶嵌这些技术,制作满足技术规范及使用要求的遥感影像图;运用波段组合变换、主成分分析、去相关分析、差别化拉伸等方法增强各种地物在遥感图像上的色调和纹理等特征,提高图像解译效果,同时,以 ASTER 数据为基础,开展铁化、硅化、泥化及碳酸盐化等多种蚀变矿物遥感异常信息的提取^[7,24-26]。

2.1 图像增强处理方法

按照波段辐射量的方差越大越好和波段间相关性越小越好的波段选取原则,通过最佳指数(optimum index factor, OIF)计算,WorldView-2 高分数据波段 8(R),4(G),3(B)组合的 OIF 值最大,所含信息量最丰富,能突出不同岩性间的差异;采用波段 5(R),3(G),2(B)和波段 6(R),8(G),1(B)的主成分变换信息分解,将两者结果进行融合得到新图像,不仅包含多个波段信息,而且由于不同波段相关性较小,增强了不同岩性之间的反差;采用去相关分析对图像的主成分进行对比度拉伸处理,增大不同地质体信息之间的反差;采用差别化拉伸,增强不同岩性之间遥感色调的差异性。

2.2 基于 ASTER 数据遥感矿化蚀变异常信息提取

提取遥感(矿化)蚀变异常信息的方法有多种,较常用的有主成分分析、比值分析及光谱角分析等方法^[24]。根据各种异常的特征吸收波谱与 ASTER 波段的对应关系(表 1),通过主成分变换分别提取铁染、铝羟基及镁羟基遥感异常。

表1 铁染异常、羟基异常、碳酸根异常的重要吸收谱带

Tab.1 Important absorption bands of iron staining abnormalities, hydroxy abnormalities and carbonate abnormalities

离子、基团	特征吸收波谱/ μm	对应 ASTER 波段	典型矿物
$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Fe^{2+} : 1.1 ~ 2.4 之间; Fe^{3+} : 0.45, 0.55, 0.85, 0.90, 0.94	B1, B3	黄铁矿、黄钾铁矾、磁铁矿
Al - OH	Al - OH : 2.20	Al - OH : B5, B6	高岭石、白云母
Mg - OH	Mg - OH : 2.30	Mg - OH : B7, B8	蛇纹石

为了减小人为误差,对提取后的矿化异常进行阈值处理,获得矿化蚀变异常强度分级图,其中铁染

异常的阈值为：一级异常 2.5σ 、二级异常 2σ 、三级异常 1.5σ ；羟基异常(OHA)的阈值：一级异常

3 σ 、二级异常 2.5 σ 、三级异常 2 σ 。

根据波谱特征、异常特征、成矿地质条件等,对调查区所有遥感异常区(带)进行筛选与找矿意义分析,采用光谱特征识别、不同类型异常相互验证、光谱角优选、异常地质体解译识别等多种方法对于干扰信息进行二次去除,得到遥感异常图。

3 矿化带遥感地质特征

3.1 花岗伟晶岩型稀有金属矿化带遥感特征

WorldView-2(8(R),4(G),3(B)波段合成)图像上(图2)花岗伟晶岩为亮白色、灰白色和浅亮黄色色调,条带状影纹特征,常沿岩体外接触带及其附近围岩成带出现,与围岩反差明显,易于识判。

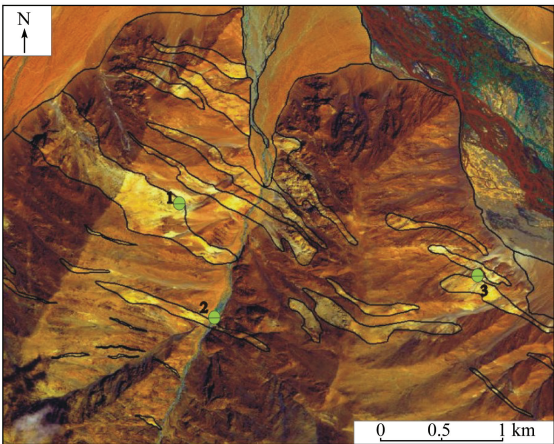


图2 花岗伟晶岩脉高分遥感影像特征
Fig.2 High resolution remote sensing characteristics of granite pegmatite veins

花岗伟晶岩型锂、铍、铌、钽、铷、铯稀有金属矿带,主要由长石、石英、白云母、黑电气石及石榴石组成,含大量的锂辉石、含铷钠长石、绿柱石等矿物,其蚀变多为钠长石化,ASTER 数据遥感异常特征为羟基异常。通过对已知 1,2,3 矿(化)点进行野外验证,可知花岗伟晶岩型稀有金属矿化带主要发育在一级羟基异常区(图3),二级和三级羟基异常区见少许蚀变矿物,但未见稀有金属矿化点(图3,表2)。

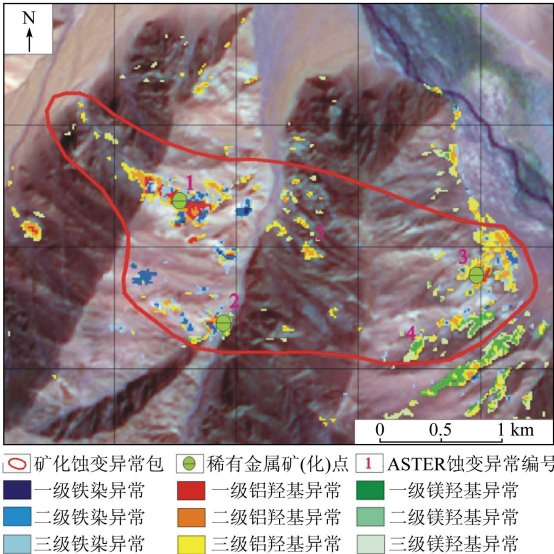


图3 花岗伟晶岩脉发育区 ASTER 遥感异常图
Fig.3 ASTER anomaly map of granitic pegmatite veins development zone

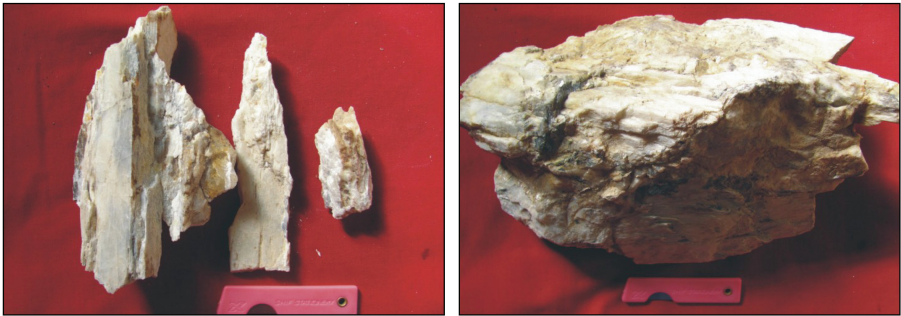
表 2 花岗伟晶岩脉发育区 ASTER 遥感异常野外验证表
Tab.2 Field verification table of ASTER anomaly in granitic pegmatite veins development zone

异常编号	异常级别	异常点坐标		验证结果
		X	Y	
1	一级铁染异常 一级羟基异常	327 610	3 989 339	位于研究区西北侧伟晶岩密集带内,ASTER 矿化遥感异常表现为铁染及羟基异常,异常值高,呈斑点状分布。岩石内部普遍具钠长石化,含矿性好。矿点与 ASTER 遥感异常吻合性较好
2	一级羟基异常	327 812	3 988 390	位于研究区中部条带状伟晶岩内,ASTER 矿化遥感异常表现为羟基异常,异常值高,呈斑点状分布。岩石内部普遍具钠长石化,可见锂辉石、含铷钠长石等有益矿物,含矿性较好。矿点与 ASTER 遥感异常吻合性较好
3	一级羟基异常	330 039	3 988 767	位于研究区东部伟晶岩内,为一级羟基遥感异常,异常值高,呈斑点状-条带状分布。岩石内部可见钠长石化,局部富集锂辉石矿。矿点与 ASTER 遥感异常吻合性较好
4	二级羟基异常	328 498	3 989 238	位于研究区东南部,羟基遥感异常值中等,呈条带状分布。岩石内部仅局部见少量钠长石化,未见花岗伟晶岩稀有金属矿化。遥感异常点位于条带状花岗伟晶岩旁侧,矿点与 ASTER 遥感异常吻合性较差
5	二级羟基异常	329 501	3 988 201	位于研究区中部,羟基遥感异常值中等,呈条带状分布。岩石内部未见花岗伟晶岩稀有金属矿化。遥感异常点位于条带状花岗伟晶岩旁侧,二者吻合性较差

3.2 含稀有金属花岗伟晶岩地质特征

含稀有金属花岗伟晶岩主要出露于研究区东北部巴颜喀拉晚古生代-中生代边缘裂陷带内的康西瓦群(PtK)中,控制该地层为二叠系黄羊岭群(PH)和

三叠系巴颜喀拉山群(TB),呈断层接触。地层中见燕山期黑云二长花岗岩体沿 W 向呈带状展布,围岩蚀变较强;岩浆期后酸性伟晶岩脉多顺层侵入于康西瓦岩群与巴颜喀拉山群中。花岗伟晶岩一般分带



(c) 花岗伟晶岩脉内锂辉石矿样照片 1

(d) 花岗伟晶岩脉内锂辉石矿样照片 2

图 5-2 花岗伟晶岩脉及锂辉石照片

Fig. 5-2 Photos of granitic pegmatite veins and triphane

区内解译出的花岗伟晶岩脉众多,从遥感图像直接识别伟晶岩脉是否有稀有金属矿化是困难的。但根据花岗伟晶岩成矿规律,今后工作应重点关注规模较大、分带完整、倾角较大的岩脉,然后按主要组成矿物对区内伟晶岩脉进行分类,集中检查稀有金属伟晶岩(主要组分为微斜长石、石英、白云母),其次检查白云母伟晶岩(主要组分为白云母、微斜长石、石英)。

4 花岗伟晶岩型稀有金属矿遥感找矿模型

根据花岗伟晶岩型稀有金属矿成矿机制、赋矿地层、含矿岩系、成矿/控矿构造、岩浆活动、蚀变类型和高分图像矿体特征、遥感异常特征等标志,建立花岗伟晶岩型稀有金属矿遥感找矿模型(表 3)。

表 3 花岗伟晶岩型稀有金属矿遥感地质找矿模型

Tab. 3 Remote sensing geology prospecting model of rare metals of granite pegmatite type

序号	控矿因素	控矿因素特征
1	大地构造位置	巴颜喀拉晚古生代 - 中生代边缘裂陷带
2	含矿岩系	花岗伟晶岩脉
3	控矿构造	NW - SE 向区域构造对稀有金属矿起着关键的控制作用
4	岩浆活动与成矿	伟晶岩型稀有金属矿的形成与燕山期含斑黑云母二长花岗岩体有密切的关系
5	矿化体特征	形态多为不规则扁豆状和凸镜状,脉体呈 NW 向延伸,多为细 - 中粒状结构,少数为粗粒状结构,主要由长石、石英、白云母、黑电气石及石榴石组成。普遍具钠长石化,伴生铷、镓、锗、铯等有益组分
6	蚀变类型	钠长石化
7	矿床成因类型	伟晶岩型
8	Aster 数据处理	根据各种遥感异常的特征吸收波谱与 ASTER 波段的对应关系,通过主成分变换分别提取铁染、铝羟基及镁羟基异常。再进行阈值选取与异常筛选,最终形成遥感异常图
9	遥感蚀变异常	一级羟基异常
10	矿体矿化带影像特征	在 WorldView - 2 的波段 8(R), 4(G), 3(B) 合成图像上伟晶岩呈白色、灰白色色调和条带状影纹特征,经常成群成带出现;但含矿伟晶岩和不含矿伟晶岩的遥感影像特征无明显区别

5 结论

1) 在 WorldView - 2 的波段 8(R), 4(G), 3(B) 合成图像上,花岗伟晶岩呈亮白色、灰白色、浅亮黄色色调和条带状影纹特征,常沿岩体外接触带及其附近围岩成群成带出现,遥感影像特征十分明显,与围岩反差明显,易于判识,解译效果较好。

2) 花岗伟晶岩型锂、铍、铌、钽、铷、铯等稀有金属矿带,主要由长石、石英、白云母、黑电气石及石榴石组成,含大量的锂辉石、含铷钠长石、绿柱石等矿

物,其蚀变多为钠长石化,因此 ASTER 数据遥感异常特征主要表现为一级羟基异常。

3) 利用遥感影像在康西瓦 - 大红柳滩一带共解译出数百条规模大小不等的花岗伟晶岩脉,经实地调查,部分为岩脉含矿,为今后在该区开展花岗伟晶岩型稀有金属矿调查评价提供了找矿目标。

4) 建立了花岗伟晶岩稀有金属矿化带高分遥感解译标志及遥感地质找矿模型,为今后在西昆仑成矿带上寻找类似矿产提供了依据。

5) 西昆仑地区海拔高、地形切割深、交通差、自然条件恶劣、工作环境艰险,采用以高分辨率卫星数

据为主的遥感方法,能够快速圈定找矿有利地段,满足对花岗伟晶岩稀有金属等矿产勘查和资源评价的需求。本研究采用的方法可为在相同或类似地区开展同类工作提供借鉴。

志谢: 本文综合了“西昆仑成矿带矿产资源遥感地质调查”项目 2012 年度的研究成果。感谢项目组全体成员的帮助和支持,在此一并表示感谢!

参考文献 (References):

[1] Pan Y S, Wang Y, Tapponnier P, et al. Geology along the line from Yecheng to Shiquanhe and tectonic evolution of the region involved [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 1995, 8(2): 119 – 133.

[2] 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 161 – 168.

Jiang C F, Yang J S, Feng B G, et al. Opening and Closing Structure of Kunlun [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 161 – 168.

[3] 潘裕生. 昆仑山区构造区划初探 [J]. *自然资源学报*, 1989, 4(3): 196 – 203.

Pan Y S. A preliminary study on the regionalization of the structures in the Kunlun mountains region [J]. *Journal of Natural Resources*, 1989, 4(3): 196 – 203.

[4] 潘裕生. 青藏高原的形成与隆升 [J]. *地学前缘*, 1999, 6(3): 153 – 163.

Pan Y S. Formation and uplifting of the Qinghai – Tibet Plateau [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(3): 153 – 163.

[5] 王书来, 汪东波, 祝新友. 新疆西昆仑金(铜)矿找矿前景分析 [J]. *地质找矿论丛*, 2000, 15(3): 224 – 229.

Wang S L, Wang D B, Zhu X Y. Ore – searching prospecting analysis of gold(copper) deposits in the West Kunlun area, Xinjiang autonomous region [J]. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 2000, 15(3): 224 – 229.

[6] 董永观, 郭坤一, 肖惠良, 等. 西昆仑地区成矿远景 [J]. *中国地质*, 2003, 30(2): 173 – 178.

Dong Y G, Guo K Y, Xiao H L, et al. Ore prospects of the West Kunlun area in western China [J]. *Geology in China*, 2003, 30(2): 173 – 178.

[7] 负杰, 高晓峰, 校培喜, 等. 西昆仑下石炭统乌鲁阿特组火山岩地球化学特征及地质意义 [J]. *中国地质*, 2015, 42(3): 587 – 600.

Yun J, Gao X F, Xiao P X, et al. Geochemical characteristics of the lower carboniferous volcanic rocks of the Wuluat formation in the Western Kunlun Mountains and their geological significance [J]. *Geology in China*, 2015, 42(3): 587 – 600.

[8] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑西段晚古生代 – 中生代花岗质岩浆作用及构造演化过程 [J]. *中国地质*, 2015, 42(3): 533 – 552.

Kang L, Xiao P X, Gao X F, et al. Neopaleozoic and Mesozoic granitoid magmatism and tectonic evolution of the western West Kunlun Mountains [J]. *Geology in China*, 2015, 42(3): 533 – 552.

[9] 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, 15(3): 50 – 53. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 03. 12.

Yang J Z, Fang H B, Zhang Y J, et al. Remote sensing anomaly extraction in important metallogenic belts of western China [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2003, 15(3): 50 – 53. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 03. 12.

[10] 杨清华. 遥感地质调查技术标准体系研究与进展 [J]. *国土资源遥感*, 2013, 25(3): 1 – 6. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 03. 01.

Yang Q H. Research and progress of the technical standard system for remote sensing geological survey [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2013, 25(3): 1 – 6. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 03. 01.

[11] 张策, 彭莉红, 汪冰, 等. WorldView – 2 影像在新疆迪木那里克地区火山沉积变质型铁矿勘查中的应用 [J]. *矿产勘查*, 2015, 6(5): 523 – 528.

Zhang C, Peng L H, Wang B, et al. Application of WorldView – 2 remote sensing image in the exploration of the volcano – sedimentary metamorphic type iron deposits in the Dimunlike area, Xinjiang [J]. *Mineral Exploration*, 2015, 6(5): 523 – 528.

[12] 熊盛青. 国土资源遥感技术应用现状与发展趋势 [J]. *国土资源遥感*, 2002, 14(1): 1 – 5. doi:10.6046/gtzyyg. 2002. 01. 01.

Xiong S Q. The application status and development trend of remote sensing technology in national land resources [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2002, 14(1): 1 – 5. doi:10.6046/gtzyyg. 2002. 01. 01.

[13] 尚东. WorldView – 2 高分辨卫星发射成功 [J]. *国土资源遥感*, 2009, 21(4): 109.

Shang D. WorldView – 2 high resolution satellite launch successfully [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2009, 21(4): 109.

[14] 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矿化带及其地质意义 [J]. *西北地质*, 2014, 47(4): 221 – 226.

Jin M S, Wang H, Qiao G B, et al. The discovery of Heiqia iron mineralization belt in West Kunlun by high resolution remote sensing technology and its geological significance [J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(4): 221 – 226.

[15] 张微, 金谋顺, 张少鹏, 等. 高分遥感卫星数据在东昆仑成矿带找矿预测中的应用 [J]. *国土资源遥感*, 2016, 28(2): 112 – 119. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 18.

Zhang W, Jin M S, Zhang S P, et al. Application of high resolution remote sensing data to ore – prospecting prediction in East Kunlun metallogenic belt [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2016, 28(2): 112 – 119. doi:10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 18.

[16] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1 – 841.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Autonomous Region. *Regional Geology of Xinjiang Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1 – 841.

[17] 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: 以新疆乌鲁克萨依地区为例 [J]. *现代地质*, 2013, 27(2): 489 – 496.

Jin J, Tian S F, Jiao R C, et al. Lithology identification with WorldView – 2 data based on spectral analysis of surface features: A case study of Wulukesayi district in Xinjiang [J]. *Geoscience*, 2013, 27(2): 489 – 496.

[18] 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 – 191.

Geng X X, Yang J M, Zhang Y J, et al. The application of ASTER

remote sensing data for extraction of alteration anomalies information in shallow overburden area: A case study of the Baoguto porphyry copper deposit intrusion in Western Junggar, Xinjiang[J]. Geological Review, 2008, 54(2): 184 – 191.

[19] 朱黎江, 秦其明, 陈思锦. ASTER 遥感数据解读与应用[J]. 国土资源遥感, 2003, 15(2): 59 – 63. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2003. 02. 14.

Zhu L J, Qin Q M, Chen S J. The reading of ASTER data from file and the application of ASTER data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2003, 15(2): 59 – 63. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2003. 02. 14.

[20] 张玉君, 杨建民, 姚佛军. 用 ASTER 数据进行不同类型矿床蚀变异常提取研究[J]. 矿床地质, 2006, 25(S1): 507 – 510.

Zhang Y J, Yang J M, Yao F J. The extraction of OHA from different types of deposits by using ASTER data[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(S1): 507 – 510.

[21] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1 – 150.

Cheng Y Q. Outline to the Regional Geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1 – 150.

[22] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1135 – 1149.

Li W Y, Zhang Z W, Gao Y B, et al. Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts [J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1135 – 1149.

[23] 侯增谦, 宋玉财, 李 政, 等. 青藏高原碰撞造山带 Pb – Zn – Ag – Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型[J]. 矿床地质, 2008, 27(2): 123 – 144.

Hou Z Q, Song Y C, Li Z, et al. Thrust – controlled sediments – hosted Pb – Zn – Ag – Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic model [J]. Mineral Deposits, 2008, 27(2): 123 – 144.

[24] 陕西省地质调查院. 1: 25 万康西瓦幅区域地质调查成果报告[R]. 西安: 陕西省地质调查院, 2006: 1 – 150.

Institute of Geological Survey of Shanxi Provincial. 1: 250000 Regional Geological Survey Report of Kang Xiwaa[R]. Xi'an: Institute of Geological Survey of Shanxi Provincial, 2006: 1 – 150.

[25] 陕西省地质调查院. 1: 25 万岔路口幅区域地质调查报告[R]. 西安: 陕西省地质调查院, 2006: 1 – 150.

Institute of Geological Survey of Shanxi Provincial. 1: 250000 Regional Geological Survey Report of Kang Cha Lukou[R]. Xi'an: Institute of Geological Survey of Shanxi Provincial, 2006: 1 – 150.

[26] 西安地质矿产研究所. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1 – 200.

Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources. The Prospecting Potential of Mineral Resources in Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1 – 200.

Application of high – resolution remote sensing technology to the prospecting for rare metal mineralization belt

FAN Yuhai^{1,2}, WANG Hui^{1,2}, YANG Xingke¹, PENG Qiming³, QIN Xuwen⁴,
YANG Jinzhong⁵, ZHANG Shaopeng², TAN Furong²

(1. School of Earth Science and Land and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Geological Exploration Institute of Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, Xi'an 710054, China; 3. Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China; 4. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 5. Chian Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: With rare metals of granite pegmatite type in the Dahongliutan area of West Kunlun Mountains as the study object and WorldView – 2 remote sensing images as the major data source, the authors drew standard image map, adopted methods of image enhancement for protruding the information of ore – controlling factors and mineralization, and finally carried out an interpretation of remote sensing for mineral resources. On the basis of alteration anomaly information extraction for rare metals of granite pegmatite type by using ASTER data and a right amount of field verification, its high – resolution remote sensing characteristics and metallogenic geological conditions were analyzed, and a remote sensing geological prospecting model was established. It can provide the basis for finding similar minerals in the West Kunlun metallogenic belt in future. The results show that the remote sensing technology using high resolution satellite images can be used as an effective method for detection of potential mineral resources enrichment region, which can meet the requirements of rare metal mineralization belt resources exploration and assessment in the Dahongliutan area of West Kunlun Mountains and hence deserves further promotion and application in the same area or similar areas.

Keywords: high – resolution remote sensing technology; granite pegmatite type; rare metals; West Kunlun Mountains; Dahongliutan area; geological prospecting

(责任编辑: 李 瑜)