

doi: 10.12029/gc20180617

王辉, 秦绪文, 范玉海, 杨金中, 金谋顺, 张少鹏, 廖友运, 杨晨, 崔胜, 贺小龙, 匡经水, 郭鹏程. 2018. 高分遥感技术在西昆仑大红柳滩—俘虏沟地区地质找矿中的应用[J]. 中国地质, 45(6): 1289–1301.

Wang Hui, Qin Xuwen, Fan Yuhai, Yang Jinzhong, Jin Moushun, Zhang Shaopeng, Liao Youyun, Yang Chen, Cui Sheng, He Xiaolong, He Xiaolong, Kuang Jingshui, Guo Pengcheng. 2018. The application of high resolution remote sensing technology to ore-prospecting in Dahongliutan–Fulugou area of West Kunlun Mountains[J]. *Geology in China*, 45(6): 1290–1302(in Chinese with English abstract).

## 高分遥感技术在西昆仑大红柳滩—俘虏沟地区地质找矿中的应用

王辉<sup>1</sup> 秦绪文<sup>2</sup> 范玉海<sup>1</sup> 杨金中<sup>3</sup> 金谋顺<sup>1</sup> 张少鹏<sup>1</sup> 廖友运<sup>1</sup>  
杨晨<sup>1</sup> 崔胜<sup>1</sup> 贺小龙<sup>1</sup> 匡经水<sup>1</sup> 郭鹏程<sup>1</sup>

(1. 中煤航测遥感局煤航地质勘查院, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质调查局, 北京 100037;  
3. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

**摘要:** 在西昆仑大红柳滩—俘虏沟地区, 以 WorldView-2 高空间分辨率数据为主要信息源, 在标准影像图制作基础上, 针对性地进行图像增强处理, 突出相关控矿要素和矿化信息, 开展地质矿产遥感解译; 利用 ASTER 数据开展矿化蚀变有关的遥感异常信息提取, 配合适量的野外调查验证, 发现了 4 种极具找矿前景的矿化带类型: ①大红柳滩(含稀有金属)花岗伟晶岩带 1 处; ②大红柳滩层控型铁多金属矿化带 1 处; ③俘虏沟燕山期花岗岩有关热液脉型铁、铅、银、铜矿化区 1 处; ④俘虏沟层控型含铜铅锌银的菱铁—赤铁矿矿化带 4 处; 通过遥感综合分析, 圈定遥感找矿靶区 11 处, 其中 A 级遥感找矿靶区 5 处、B 级遥感找矿靶区 3 处、C 级遥感找矿靶区 3 处, 为后续区域地质矿产调查项目规划部署和矿产资源勘查评价提供依据。因此, 高分遥感技术在西昆仑地区矿产地质综合调查中作用显著, 可实现找矿工作的快速突破, 值得在相同或类似区域进一步推广应用。

**关键词:** 高分遥感技术; 西昆仑; 大红柳滩—俘虏沟地区; 地质找矿

中图分类号: P612, P618.31 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)06-1289-13

## The application of high resolution remote sensing technology to ore-prospecting in Dahongliutan–Fulugou area of West Kunlun Mountains

WANG Hui<sup>1</sup>, QIN Xuwen<sup>2</sup>, FAN Yuhai<sup>1</sup>, YANG Jinzhong<sup>3</sup>, JIN Moushun<sup>1</sup>, ZHANG Shaopeng<sup>1</sup>, LIAO Youyun<sup>1</sup>, YANG Chen<sup>1</sup>, CUI Sheng<sup>1</sup>, HE Xiaolong<sup>1</sup>, KUANG Jingshui<sup>1</sup>, GUO Pengcheng<sup>1</sup>

(1. Geological Exploration Institute of Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, Xi'an 710054, Shaanxi, China;  
2. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

收稿日期: 2016-04-06; 改回日期: 2016-06-12

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”(41302051)、中国地质调查项目(1212011120888, 12120113046100, 12120115011301)联合资助。

作者简介: 王辉, 男, 1971 年生, 教授级高级工程师, 从事遥感地质、矿产地质、区域地质研究工作; E-mail: wanghui.rock@163.com。

通讯作者: 秦绪文, 男, 1977 年生, 博士, 副研究员, 从事遥感地质项目的管理及科研工作; E-mail: qinxuwen@163.com。

**Abstract:** In this paper, with the Dahongliutan-Fulugou area of West Kunlun Mountains as a study case and by using WorldView-2 remote sensing images as major data source, the authors compiled standard image map and adopted method of image enhancement to protrude the information of ore-controlling factors and mineralization. The interpretation of remote sensing for mineral resources was carried out. By using ASTER data the authors conducted alteration anomaly information extraction, with the addition of a proper amount of field investigation verification. The authors finally found four great prospecting potential mineralization belts, which included one granite pegmatite belt (including rare metals) and stratabound iron polymetallic mineralization zone in Dahongliutan, one hydrothermal vein-type iron, lead, silver, copper mineralization zone and four stratabound siderite-hematite mineralization belts containing copper-lead-zinc-silver in Fulugou. Through a comprehensive analysis of remote sensing, 11 remote sensing prospecting targets were delineated, which included 5 A-class, 3 B-class and 3 C-class, and this can be used as the basis for deploying mineral resources survey project and exploration and evaluation of mineral resources. Therefore, the high score remote sensing technology deserves further promotion and application in similar areas of West Kunlun, because it can realize the rapid breakthrough of ore prospecting work in the mineral geological survey.

**Key words:** remote sensing technology; West Kunlun Mountains; Dahongliutan-Fulugou area; ore-prospecting

**About the first author:** WANG Hui, male, born in 1971, professor, mainly engages in the study of tectonic geology, remote sensing geology, mineral geology; E-mail: wanghui.rock@163.com.

**About the corresponding author:** QIN Xuwen, male, born in 1977, doctor, associate researcher, mainly engages in the study of remote sensing geology; E-mail: qinxuwen@163.com.

**Fund support:** Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41302051) and China Geological Survey Program (No. 1212011120888, 12120113046100, 12120115011301).

## 1 引 言

遥感作为一门新型技术学科始于1972年美国陆地卫星(LANDSAT)搭载的多光谱扫描仪(MSS)的成功发射(王润生等,2011)。近年来随着航天遥感和卫星传感器技术不断发展,国内外各种高分遥感数据不断出现,遥感卫星数据分辨率快速提高,worldview-2(尚东,2009)和Quickbird分辨率突破了米级,而2014年发射的worldview-3分辨率更是达到了0.3 m,拥有更广泛的光谱范围。随着中国GF-1、GF-2、资源2号02C、资源3号、天绘1号、天绘2号等高分遥感卫星的飞速发展,将遥感技术和应用都推向一个新的高度(陈玲等,2012;张策等,2015;杨金中等,2015)。由于地质矿床具有与围岩不同的矿物组成和化学成分,而这种差异往往以波谱异常信息的形式体现在遥感图像中,因此通过一系列遥感数字图像处理,获取这些与含矿层、矿化蚀变带、接触变质带和构造带等地质体密切相关的地质异常信息,已成为找矿的一种有效手段(尚东,2009;王润生等,2011;陈玲等,2012;金谋顺等,2014;张策等,2015;杨金中等,2015)。

西昆仑位于欧亚板块与印度板块的结合处(潘

裕生,1989;程裕淇,1994),地处青藏高原西北缘与塔里木盆地西南缘之间(潘裕生,1994;李文渊,2015),大地构造位置处于古亚洲构造域和特提斯构造域的结合部位,是秦祁昆构造带的重要组成部分(姜春发等,1992;姜春发,1992,2002;杨克明,1994;Ph Matte& P Tapponnier,1995;潘裕生等,1996;潘裕生,1999;崔建堂等,2006;巫建华等,2008),从古元古代地层到中生代地层均有出露,是研究特提斯洋演化的重要地区。区内褶皱强烈,断层发育(巫建华等,2008;李涛等,2006),经历了多阶段、多种类型的构造事件(陆松年等,2003;许志琴等,2004;李文渊等,2008),不同时期的地质事件互相叠加,多期岩浆作用和多期变质作用形成了复杂的岩浆岩(高晓峰等,2013)、沉积岩(李博秦等,2007;姚建新等,2006;宗文明等,2010)、变质岩复合体(姜春发,1992;潘裕生,1994;杨克明,1994)。地层、构造、变质作用、岩浆活动等多种成矿地质条件优越,已发现的矿床种类繁多,矿种齐全,找矿前景良好(新疆自治区地质矿产局,1993;贾群子,1999;王书来等,2000;西安地质矿产研究所,2006;陈守建等,2007;侯增谦,2008)。然而,西昆仑地区高寒缺氧,地形切割强烈,地势险峻,人烟稀少,交

通极为不便,是目前中国造山带中地质矿产研究程度最低的地区之一(潘裕生,1989,1994,1999;新疆自治区地质矿产局,1993;程裕淇,1994;杨克明,1994;潘裕生等,1996;贾群子,1999;王书来等,2000;西安地质矿产研究所,2006;陈守建等,2007;侯增谦,2008;巫建华等,2008;李文渊,2015)。但该区植被稀少、基岩裸露,适合高分遥感技术的发挥(王润生等,2011;陈玲等,2012;金谋顺等,2014;杨金中等,2015)。

本文以西昆仑大红柳滩—俘虏沟地区为研究区,以WorldView-2高空间分辨率数据为主要信息源,在标准影像图制作的基础上,针对性地进行图像增强处理,突出相关控矿要素和矿化信息,开展地质矿产遥感综合解译;利用ASTER数据开展矿化蚀变有关的遥感异常信息提取;配合适量的野外调查验证,在遥感综合分析的基础上,圈定遥感找矿靶区,为后续区域地质矿产调查项目规划部署和矿产资源勘查评价提供依据。

## 2 研究区地质概况

研究区跨昆仑山和喀喇昆仑山,地理坐标为:78°30'~79°15'E,35°30'~36°10'N,面积约5000 km<sup>2</sup>,行政区划隶属新疆自治区和田地区皮山县管辖。研究区自北向南涉及古亚洲构造域—昆仑造山带—中昆仑微地块(早古生代复合岩浆弧带)、康西瓦—木孜塔格—阿尼玛卿晚古生代结合带、可可西里—巴颜喀拉中生代浊积盆地褶断带、郭扎错—西金乌兰—金沙江晚古生代缝合带、北羌塘—唐古拉地块5个构造单元(杨克明,1994;潘裕生等,1996;巫建华等,2008)。地层区划上由北向南依次为昆中地层分区、大红柳滩地层分区和甜水海地层分区。成矿带上由北向南依次为中昆仑(中央地块)Fe-Cu-Pb-Zn矿带、慕士塔格阿克赛钦(陆缘盆地)Fe-Cu-Au-Pb-Zn-RM矿带和大红柳滩(陆缘活动带)Fe-RM-Fe-Pb-Zn-Cu矿带(潘裕生,1999;李文渊,2015;新疆自治区地质矿产局,1993;贾群子,1999;王书来等,2000)(图1)。

区内出露地层由老至新有古元古界康西瓦群(PtK)、中元古界赛图拉岩群(ChST)、中—新元古界长城系甜水海岩群(ChT)、中—新元古界青白口系肖尔克谷地岩组(QnX)、下古生界奥陶系冬瓜山群

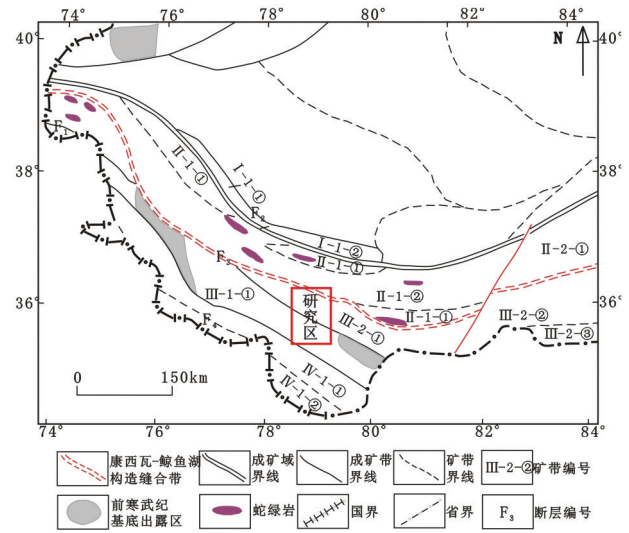


图1 研究区成矿区带划分

成矿带名称: II-1-②—中昆仑(中央地块)Fe-Cu-Pb-Zn矿带; III-1-①—慕士塔格-阿克赛钦(陆缘盆地)Fe-Cu-Au-Pb-Zn-RM矿带; III-2-①—大红柳滩(陆缘活动带)Fe-RM-Fe-Pb-Zn-Cu矿带;断裂带名称: f<sub>1</sub>—布伦口断裂; f<sub>2</sub>—柯岗断裂; f<sub>3</sub>—喀喇昆仑断裂; f<sub>4</sub>—崆喀山口断裂

Fig.1 The division of metallogenic belt in the study area  
Metallogenic belt: II-1-②—Middle Kunlun Mountains (Central massif) Fe-Cu-Pb-Zn ore belt, III-1-①—Moshtata- Aksai Chin (Continental margin basin) Fe-Cu-Au-Pb-Zn-RM ore belt, III-2-①—Da Hongliutan (Epicontinental active zone) Fe-RM-Fe-Pb-Zn-Cu ore belt  
Fracture zone: f<sub>1</sub>—Bulunkou fracture, f<sub>2</sub>—Kegang fracture, f<sub>3</sub>—Karakoram fracture, f<sub>4</sub>—Kongka mountain pass fracture

(OD)、下古生界温泉沟群(S<sub>1</sub>W)、上古生界恰提尔群(C<sub>2</sub>Q)、上古生界黄羊岭群(PH)、中生界巴颜喀拉山群(TB)、中生界龙山组(J<sub>2</sub>L),其中康西瓦群(PtK)、上古生界黄羊岭群(PH)、中生界巴颜喀拉山群(TB)属大红柳滩地层分区,赛图拉岩群(ChST)属昆中南地层小区,其余地层属甜水海地层分区。地层时代跨度大,岩石类型复杂。古元古界—三叠系均遭受了不同程度的区域变质作用,其中康西瓦群(PtK)、赛图拉岩群(ChST)变质程度达高绿片岩相—高角闪岩相,其余地层变质程度为低绿片岩相。岩浆岩活动强烈,分布广泛,以燕山期酸性侵入岩为主,主要岩性为含斑黑云母二长花岗岩。构造复杂,地层变形强烈,各地层单元间均以断裂为界,构造线优势方位为NEE—NE向<sup>①</sup>(新疆自治区地质矿产局,1993)。

研究区内已发现各类矿(化)点15处,就金属矿种而言,主要有铁、铅、银、铜、锂、铍等。就已发现的金属矿产资源来看,铁、铅、锂、铍等矿产资源优势

势明显。铁矿主要分布在康西瓦群(PtK)、中—新元古界长城系甜水海岩群(Ch7)中,是在早期大陆伸展—减薄、裂解构造环境下,形成的沉积变质型矿床<sup>①</sup>(新疆自治区地质矿产局,1993;李文渊,2008,2015),矿体呈(似)层状,沿走向、倾向延伸稳定,层控特征明显,单矿体规模往往较大;铅、银、铜矿主要分布燕山期酸性侵入岩内外接触带中,是在晚期挤压造山环境下,形成的与中酸性花岗岩有关的热液脉型矿床,岩体周边的断层和构造裂隙是关键控矿要素,矿体往往具有成群成带、分段集中的分布特征,单矿体规模往往较小<sup>②</sup>(新疆自治区地质矿产局,1993),锂、铍矿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,花岗伟晶岩脉多顺层贯入岩体边部外围的变质地层中,含矿性往往与岩脉形成产态、规模、形成深度、岩脉类型、分带性、交代作用的复杂程度和强度等密切相关<sup>③</sup>(新疆自治区地质矿产局,1993)。

### 3 关键技术和方法

#### 3.1 图像增强处理关键方法

##### 3.1.1 波段选择

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(OIF)计算,WorldView-2高分数据R(8)、G(4)、B(3)波段组合OIF值最大(表1),所含信息量最丰富,能突出不同岩性间的差异,故采用R(8)、G(4)、B(3)波段组合。

##### 3.1.2 波段运算

对于WorldView-2多光谱数据,根据不同岩性特征吸收/反射波谱,通过进行一系列的波段代数运算,从而达到增强岩性信息的目的。如通过WorldView-2数据band8、band4/band1、band5/band3的组合,可以识别闪长岩、大理岩、片岩等,突出岩性之间的界限。

##### 3.1.3 主成分变换信息分解技术识别岩性信息

采用R(5)、G(3)、B(2)主成分变换信息分解和R(6)、G(8)、B(1)主成分变换信息分解,将两者结果进行

融合得到新图像,既包含多个波段信息,又使得不同波段相关性较小,增强了不同岩性之间的反差。

##### 3.1.4 多重主成分分析法

应用主成分分析、波段差值、比值等方法,尽可能提取图像较弱的地质构造信息,然后提取信息量最丰富的组合,进行二次处理或选取对专题信息最有利的结果再次进行主成分分析,进行地质信息的二次增强。

##### 3.1.5 去相关分析

去相关分析是对图像的主成分进行对比度拉伸处理,该方法针对光谱分辨率较低的图像能有效的降低不同波段之间的相关性,增大不同地质体信息之间的反差。

##### 3.1.6 差异化拉伸

WorldView-2高分遥感图像上,千枚岩与变砂岩均呈浅蓝色,区分不明显,采用差异化拉伸后,千枚岩呈浅蓝色,变砂岩呈白色,区分明显。

#### 3.2 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,常用主要包括主成分分析、比值分析、光谱角分析3种,其中以前者为主。根据各种异常的特征吸收波谱与ASTER波段的对应关系(表2),通过主成分变换分别提取铁染、铝羟基及镁羟基异常(杨金中等,2003;耿新霞,2008)。

铁染异常(FCA)提取:采用ASTER数据的1、2、3、4波段进行主成分变换,以均值+4s(标准离差)作为主分量输出的动态范围。铁染信息在ASTER数据波段1、3呈吸收,在波段2、4呈反射,故异常主分量的本征向量特点:波段1、3与波段2、4的贡献系数符号相反。

羟基异常(OHA)提取:采用ASTER数据的1、3、4、n(5、6、7、8)波段做主成分变换,以均值+4s(标准离差)作为主分量输出的动态范围,羟基异常信息在波段5、6、7、8呈吸收,在波段4呈反射,故异常主分量的本征向量特点:波段3、n与波段4的贡献系数符号相反。对于AL-OH采用1、3、4、n(n为7、8)做主成分变换提取异常;于Mg-OH采用1、3、4、n(n为

表1 研究区不同波段组合的最佳指数计算结果

Table 1 Best indexes of different bands combination in the study area

波段组合	843	841	861	842	753	832	851	732	852	752	532
OIF	200.3	183.6	182.7	175.8	172.5	163.3	161.0	158.0	154.7	149.8	142.7

表2 铁染异常、羟基异常、碳酸根异常的重要吸收谱带

Table 2 The important absorption bands of iron staining abnormalities, hydroxy abnormalities, carbonate abnormalities

离子、基团	特征吸收波谱/ $\mu\text{m}$	对应 ASTER 波段	典型矿物
$\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$	$\text{Fe}^{2+}$ : 1.1~2.4; $\text{Fe}^{3+}$ : 0.45、0.55、0.85、0.90、0.94	Band1、Band3	黄铁矿、黄钾铁矾、磁铁矿
AL-OH	AL-OH: 2.20	AL-OH: Band5、Band6	高岭石、白云母
Mg-OH	Mg-OH: 2.30	Mg-OH: Band7、Band8	蛇纹石

5、6)做主成分变换提取异常。

阈值选取: 提取后的异常主分量直方图往往呈正态分布,为了减小人为误差,阈值处理采取异常强度分级的办法,以 $\sigma$ 做为尺度,以均值加 $n$ 倍标准离差作为主分量输出的动态范围。铁染异常(FCA)门限值:一级异常 $2.5\sigma$ 、二级异常 $2\sigma$ 、三级异常 $1.5\sigma$ ;羟基异常(OHA)门限值:一级异常 $3\sigma$ 、二级异常 $2.5\sigma$ 、三级异常 $2\sigma$ 。目的是对异常区域进行强度划分,对异常信息逐层分离,获得矿化蚀变异常强度分级图。

异常筛选: 采取滤波的方法,去掉图中过于孤立分布的异常像元,或将孤立像元归并到包围或与之相邻的较连续分布的异常中。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、光谱角法优选、异常的地质解译识别等多种方法对干扰信息进行二次去除,得到遥感异常图。

## 4 大红柳滩—俘虻沟地区主要矿化带遥感地质特征

在大红柳滩—俘虻沟地区发现4处极具找矿远景意义的矿化带,分别为①大红柳滩含稀有金属花岗伟晶岩带1处,解译岩脉百余条;②大红柳滩层控型铁多金属矿化带1处;③俘虻沟燕山期花岗岩有关热液脉型铁、铅、银、铜矿化区1处,矿化点数10处;④俘虻沟层控型含铜铅锌银的菱铁-赤铁矿矿化带4处。

### 4.1 大红柳滩花岗伟晶岩型稀有金属矿化带

WorldView-2(R(8)、G(4)、B(3)波段合成)图像上花岗伟晶岩为亮白色、灰白色、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群成带出现,与围岩反差明显,易于判识(图2); ASTER数据遥感异常特征主要表现为羟基异常(图3)。在康西瓦—大红柳滩—俘虻沟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,

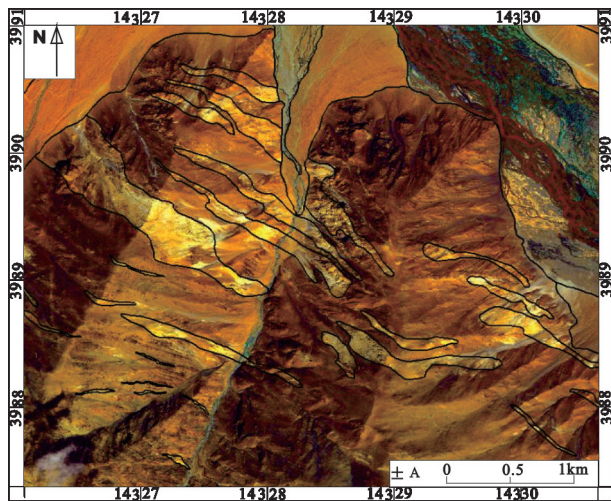


图2 花岗伟晶岩脉高分遥感影像特征  
Fig.2 The high resolution remote sensing characteristics of granite pegmatite veins

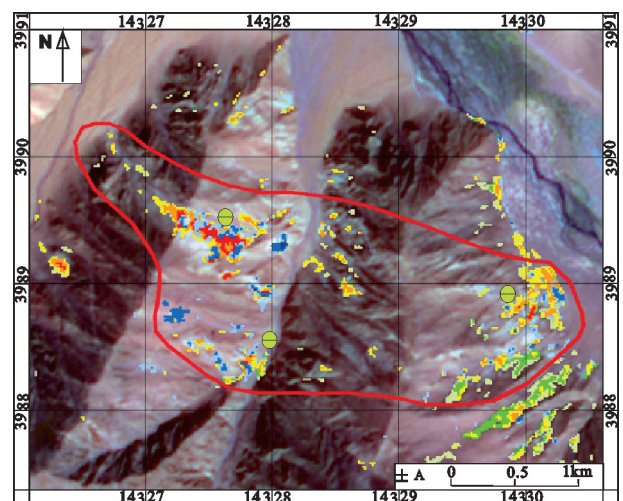


图3 花岗伟晶岩脉发育区ASTER遥感异常图  
Fig.3 ASTER anomaly map of granitic pegmatite veins development zone

部分岩脉含矿。虽在高分遥感影像上难以识别无矿简单花岗伟晶岩和稀有金属矿化复杂伟晶岩,但为今后在该区开展花岗伟晶岩型稀有金属矿调查与勘查评价工作提供了找矿目标体。

空间上(含稀有金属)花岗伟晶岩与燕山期含斑黑云母二长花岗岩关系密切。岩体内、外接触带和附近围岩中伟晶岩脉特别富集。多呈NW向展布,与区域构造线方向一致,倾角一般为 $35^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ,多沿片(劈)理或构造裂隙,呈不规则脉状、条带状、透镜状、扁豆状、豆荚状、串珠状成群产出,空间上形成一花岗伟晶岩带。岩脉单体大小差异悬殊,小者数米长,数厘米宽,大者数百米长,数十米宽。

伟晶岩类型以白云母伟晶岩为主,稀有金属(锂辉石、绿柱石)伟晶岩次之。伟晶岩脉主要矿物成分、化学成分与旁侧花岗岩成分基本相似,主要由石英、长石及白云母组成,部分岩脉中含锂辉石、锂云母、绿柱石、含铷钠长石、电气石、锡石、黄玉及铌钽铁矿等富含稀有金属和挥发组分的矿物。伟晶岩组构以粗粒伟晶结构为主,文象结构次之,以带状构造为主,偶见晶洞构造。

推测其成因可能为旁侧花岗岩浆演化晚期,在岩体内、外接触带及其附近相对封闭的围岩中由富挥发组分的残余岩浆熔融体结晶而成,形成时代为燕山期(侏罗纪)(新疆地质矿产局,1993;贾群子,1999;王书来等,2000)。

根据新疆地矿局第二地质大队对大红柳滩南1号矿脉检查结果,锂辉石含量大于 $17\text{ kg/m}^3$ 的样品, $\text{Li}_2\text{O}$ 品位大于 $0.6\times 10^{-2}$ , $\text{BeO}$ 平均大于 $0.061\times 10^{-2}$ , $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 品位 $0.007\times 10^{-2}$ 。

#### 4.2 大红柳滩层控型铁多金属矿化带

WorldView-2(R(5)、G(3)、B(2)波段合成)图像上矿化带呈不同深浅的黄褐色色调,呈窄条带状、透镜状、斑点状影纹特征,空间上断续延伸,宏观上构成明显的带状影纹特征,遥感解译标志清晰,遥感特征明显,与围岩色调差异显著,易于判识(图4)。

含矿地质建造为古元古界康西瓦岩群。主要岩类有含石榴石的黑云斜长片岩、含石榴石的黑云斜长石英片麻岩、含十字石白云母石英片岩、含石榴石的二云石英片岩及大理岩等,为一套高角闪岩相的副变质岩,原岩为海相富铝质陆源细碎屑岩夹碳酸盐岩建造(李文渊,2015)。矿体位于片岩向大

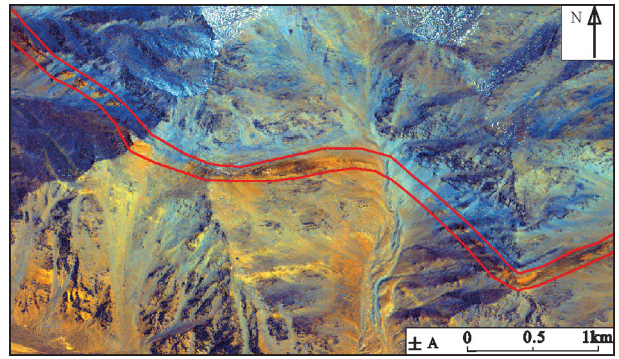


图4 大红柳滩铁多金属矿化带(局部)高分遥感特征  
Fig.4 The characteristics of high resolution remote sensing of iron polymetallic mineralization belt (local) in the Dahongliutan area

理岩过渡层位,即矿(化)体位于浅海陆棚相碎屑岩向碳酸盐岩过渡的部位,层位稳定。空间上与白色、灰白色块状、条带状大理岩密切相关,常常构成矿体的容矿岩系,是重要的找矿标志。

矿化带连续性好,向NW方向被康西瓦断裂所截,向SE延伸出区外,区内走向延伸长度约18 km,宽度50~100 m,倾斜延伸长度不详。矿化带与片理产状基本一致,总体产状为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\angle 65^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。近矿围岩蚀变微弱。矿体受后期脆-韧性构造剪切作用强烈,带内发育“ $\delta$ ”旋转碎斑系,剪切指向为右行走滑性质。带内含10余条矿(化)体。矿(化)体呈层状、似层状、透镜状,与围岩呈突变关系,产状与片理产状基本一致,层控特征明显。单矿(化)体长度数百米至9500余米,地表出露厚度0~50 m,一般厚约20 m。按矿石类型由东而西分为3段:东段为含锰、银、铅的赤铁矿;中段矿体两侧受燕山期黑云母花岗岩和花岗正长斑岩体热动力改造,铁矿体矿相发生转变,大部分赤铁矿转变为磁铁矿,形成假象磁铁矿,改造成含锰、铅的赤铁-磁铁矿;西段为含铜、铅赤铁矿(图5)。矿体顶板多为片岩,次为大理岩,底板为大理岩。矿石呈他形-自形细粒状结构,中段见镶边结构、假象结构,以块状构造、条带状构造、皱纹状构造为主,地表多见蜂窝状、角砾状、粉末状构造等。方铅矿呈微细粒浸染状赋存于赤铁矿中。矿石矿物有赤铁矿、褐铁矿、镜铁矿、磁铁矿、方铅矿、软锰矿、硬锰矿、孔雀石、蓝铜矿、辉银矿等。脉石矿物有石英、云母、铁白云石、方解石等。矿石品位不详(图5)。



图5 大红柳滩铁多金属矿野外露头及含铜赤铁矿石照

Fig.5 The field outcrop of iron polymetallic mineralization and photo of hematite with copper in the Dahonglitan area

根据矿床地质特征,初步推断矿床成因类型为海底沉积喷流—区域变形变质改造—酸性岩体烘烤改造(矿体中段)—韧—脆性构造+热液再造加富型。

#### 4.3 俘虜沟燕山期花岗岩有关热液脉型铁、铅、银、铜多金属矿化区(带)

矿(化)体规模一般较小,且围岩蚀变不明显,故WorldView-2影像宏观特征不明显。在高分影像上富Pb矿体一般呈浅灰白色、亮白色色调,斑点状、短线状、透镜状影纹结构,遥感异常特征主要表现为羟基异常,铁染异常次之(图6);含Pb(Ag)Cu赤铁菱铁矿(化)体规模较前者大,一般呈红褐色色调,细条带状、透镜状影纹结构,遥感异常特征主要表现为

铁染异常,羟基异常次之(图6)。

成矿期构造环境以侏罗纪陆—陆碰撞造山期构造—岩浆岩带。容矿岩系有古元古界康西瓦岩群、中新元古界长城系甜水海岩群、二叠系黄羊岭群、三叠系巴颜喀拉山群等多套地层,说明区内多金属矿化与地层关系不大。以发育燕山期中酸性岩体为特征,多呈岩基产出,出露面积较大,说明剥蚀程度较深。受区域构造控制,岩体长轴方向为NW向。主要岩性有二长花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩。根据构造环境,矿物成分判断,成因类型多属碰撞期S型花岗岩(新疆地质矿产局,1993)。岩体内、外接触带控制矿床的空间分布;酸性岩浆在侵入—就位—冷凝固过程在岩体内、外接触带自身形成的NE和NW向两组构造裂隙系统,岩浆期后在NE向构造挤压作用下,在两组先存构造裂隙的基础上,得到继承性、脉动式发展,形成了NW向(韧)脆性断裂和NE张(扭)性构造裂隙。断裂(构造裂隙)直接控制了矿体的空间展布、形态、规模及产状。成矿作用以充填作用为主,围岩化学活泼性差,近矿蚀变较弱,反映成矿物质来源与地层关系不大。含矿热液随断层(构造裂隙)的脉动式扩展,形成多个成矿阶段。矿体具有单边式或对称式发育特征。

矿(化)点密集分布,多达数十处,形成俘虜沟矿点集中区。单矿体规模一般较小,但品位较富,多形成富矿体。矿(化)体走向延伸长度相差悬殊,为数十米至数百米,个别矿体长达千余米,宽度一般为0~5 m。NW向展布的矿体走向延伸长度一般大

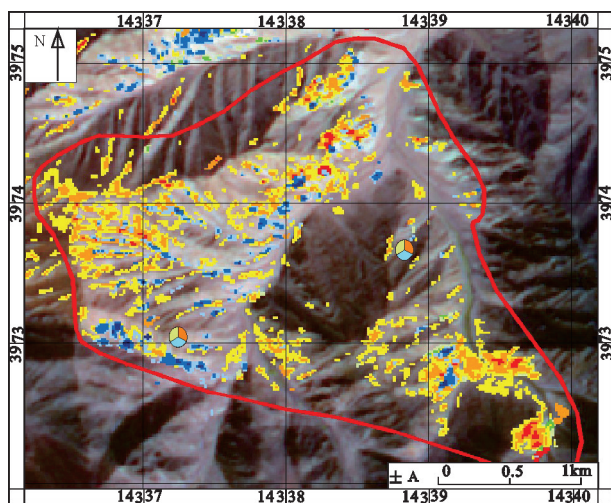


图6 俘虜沟东段银铅矿区ASTER遥感异常图

Fig.6 ASTER anomaly map of silver-galena zone in the east of Fulugou

于NE向展布矿体。矿体产状陡立,一般大于75°。不同接触带(矿化地段)矿(化)体成矿元素有所不同,成矿元素以Pb为主,有富Pb矿体、含Pb(Ag)赤铁矿(化)体、含Pb(Ag)Cu赤铁矿(化)体、含Pb(Ag)菱铁矿(化)体等。

矿石矿物有赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿、方铅矿、黝铜矿、黄铜矿、辉银矿等。脉石矿物有云母、铁白云石、石英、方解石、重晶石等。多数矿体矿石品位不详。不同矿(化)体矿石组构有所不同,一般地,赤铁矿呈他形—自形细粒状结构,菱铁矿呈半自形—自形中—粗粒结构,方铅矿多呈自形中—粗粒结构,黝铜矿、黄铜矿呈他形—半自形细粒结构,辉银矿呈他形微细粒结构;赤铁矿、菱铁矿呈块状构造、(对称)带状构造,富Pb矿(品位一般40%左右)呈块状构造,含Pb铁矿中方铅矿呈微细(网)脉—浸染状赋存于赤铁矿或菱铁矿中。铁多金属矿化体地表多见蜂窝状构造、晶洞状、角砾状、粉末状构造等。

根据成矿地质条件与矿床地质特征,初步推断矿床成因类型为燕山期酸性岩浆期后中—低温热液脉型铁铅银铜多金属矿床。

#### 4.4 俘虏沟层控型含铜铅锌银的菱铁—赤铁矿矿化带

在WorldView-2(R(5)、G(3)、B(2)波段合成)高分影像上矿化带呈红褐色色调,条带状、斑状影纹图案,遥感特征明显(图7)。

含矿地质建造为甜水海岩群(ChT)绿片岩相的绢云绿泥片岩、绢云石英片岩、白云母石英片岩、二云石英片岩及大理岩,区域变质作用期析出的石英脉发育,其原岩为浅海陆棚相碎屑岩夹碳酸盐岩建

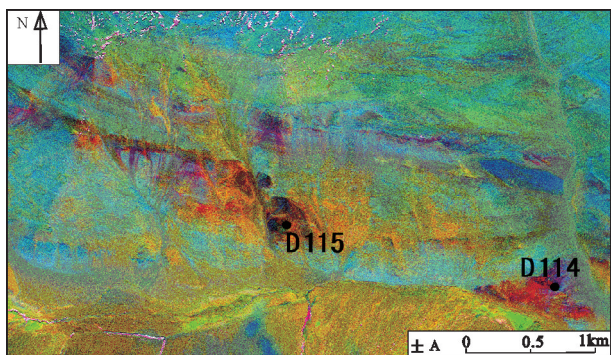


图7 铁矿化带WorldView-2高分影像特征(局部)  
Fig.7 The characteristics of WorldView-2 high resolution remote sensing of iron ore belt (local)

造(姜春发,2002)。

区内见多条矿化带,位于碎屑岩向碳酸盐岩过渡的部位,产状与片理产状协调一致,层控特征明显,走向延伸稳定,长1.5~7.5 km,宽50~200 m。矿体围岩多为块状大理岩或含铁条带状大理岩。矿体呈似层状、透镜状、豆荚状或断续分布,普遍层间多期脆—韧性构造剪切作用影响,矿体变形强烈,呈复杂肠状褶皱体。矿体厚度一般为1~10 m,地表出露长度为20~3000 m。矿体内含石英—方解石脉。地表矿石自然类型为菱铁—赤铁矿。矿石矿物以赤铁矿、褐铁矿为主,次为镜铁矿、菱铁矿,脉石矿物为铁白云石、方解石、石英及白云母等。矿石结构以他形—半自形细粒状结构为主,自形中粒—粗粒结构次之。矿石构造有块状、条带状、皱纹状构造等,地表常见皮壳状、被膜状、蜂窝状、土状、角砾状构造等。在构造剪切强烈地段,含黝铜矿、方铅矿、闪锌矿及辉银矿等。沿碎裂化铁矿石裂隙和溶隙溶孔中呈细脉—网脉状、浸染状或团块(粒)状充填胶结铁矿石。

根据矿床地质特征,初步推断矿床成因类型为海底沉积喷流—区域变形变质作用改造—韧—脆性构造+热液再造加富型。

## 5 遥感找矿特征与找矿靶区圈定

### 5.1 遥感找矿特征

研究区植被稀少,基岩出露条件好,适合遥感技术的发挥。WorldView-2等高分遥感数据与ETM+、ASTER等中分遥感数据相比,虽波谱分辨率不占优势,但更突出(含矿)地质体和构造特征的细节表征。通过图像增强处理,可增强岩性、构造及矿(化)体等矿化有关信息。配合ASTER或ETM+中分遥感数据提取遥感矿化蚀变异常信息,以发现新的找矿线索。

(含稀有金属)花岗伟晶岩脉在WorldView-2(R(8)、G(4)、B(3)波段合成)图像上为亮白色、灰白色、浅亮黄色色调,不规则条带状影纹特征,遥感特征十分明显,与围岩反差明显,易于判识,基于ASTER数据遥感异常特征主要表现为羟基异常;层控型铁多金属矿化带(体)在WorldView-2(R(5)、G(3)、B(2)波段合成)图像上矿化带呈不同深浅的黄褐色色调,带状影纹特征,遥感特征明显,与围岩色调差异显



著,易于判识,基于ASTER数据遥感异常特征主要表现为铁染异常;热液脉型富Pb矿体主要受花岗岩体边部构造裂隙控矿,一般呈浅灰白色、亮白色色调,斑点状、短线状、透镜状影纹结构,遥感异常特征主要表现为羟基异常,铁染异常次之;热液脉型含Pb(Ag)Cu矿(化)体主要受岩体边部接触带及附近围岩中规模不等的断层控制,单矿体规模一般较前者大,呈深浅不同的红褐色色调,细条带状、透镜状影纹结构,遥感异常特征主要表现为铁染异常,羟基异常次之。

## 5.2 遥感找矿靶区圈定

大红柳滩—俘虏沟地区成矿条件优越,成矿事实众多。在图像处理、解译标志建立、高分遥感精

细解译、遥感矿化蚀变信息提取的基础上,配合适量的野外调查验证,通过遥感综合分析,共圈定遥感找矿靶区11处。其中A级遥感找矿靶区5处、B级遥感找矿靶区3处、C级遥感找矿靶区3处(图8,表3)。推荐的A级找矿靶区以见到规模较大或数量较多的矿(化)带,带内含多处矿(化)点为圈定依据,B级找矿靶区以见到矿(化)点为圈定依据,C级找矿靶区以前人矿化点资料或见到矿化蚀变带为圈定依据。所圈定的靶区为下一步工作提供了依据。

## 6 结论

(1)本文以WorldView-2高空间分辨率数据为主要信息源,在标准影像图制作的基础上,开展地

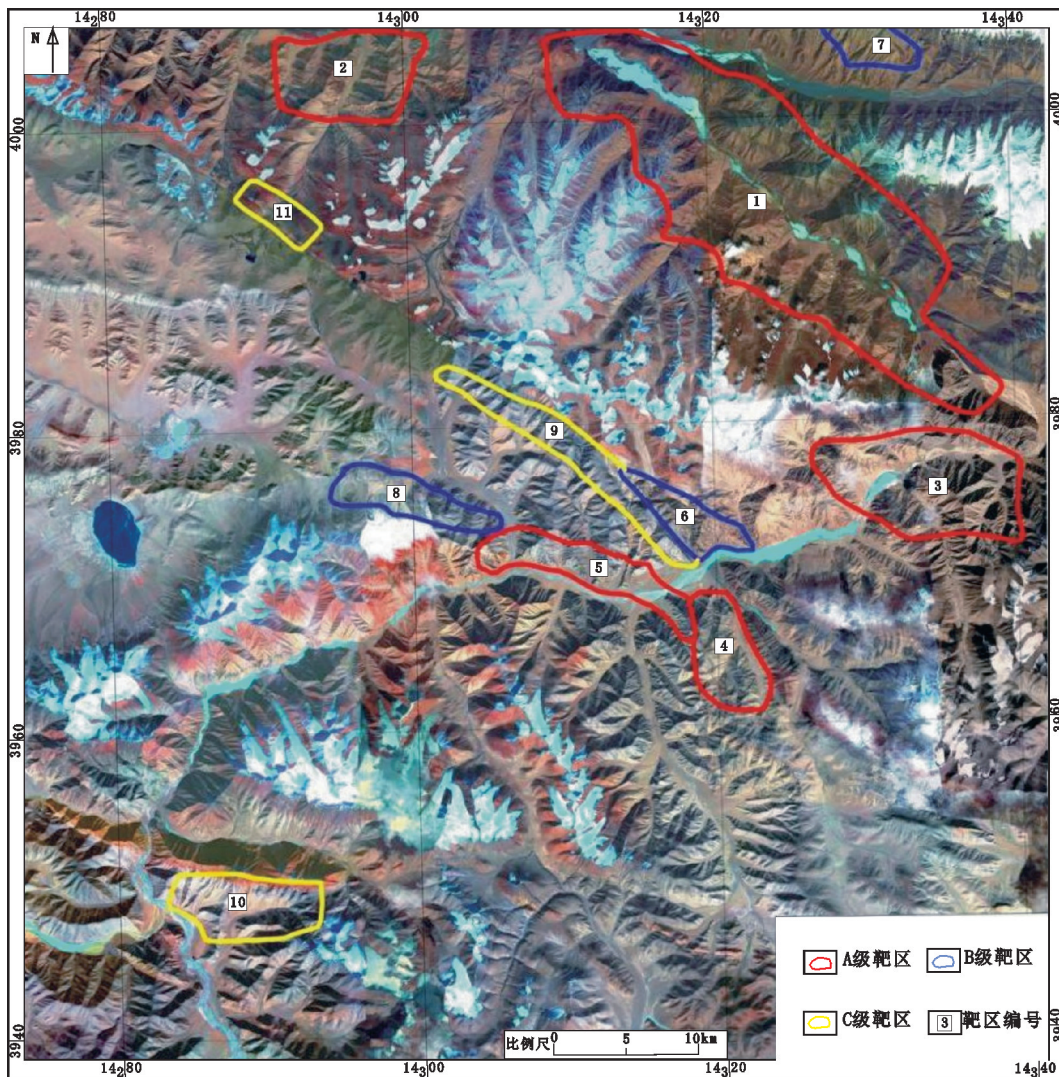


图8 研究区遥感找矿靶区分布图

Fig.8 The map of remote sensing prospecting target areas in the study area

表3 研究区推荐的遥感靶区统计

Table 3 The statistical table of recommended remote sensing prospecting target areas

靶区编号	靶区名称	WorldView-2 影像特征	Aster 异常特征	野外查证的矿产地质情况	找矿意义
1	大红柳滩铁多金属、稀有金属矿A级找矿靶区	铁多金属矿化带在增强后的图像上表现为不同深浅的红褐色色调,窄条带状影纹,断续分布,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	异常不明显	地表现矿化带长约18 km 锰、铅、银、铜的赤铁-磁铁矿化带一条,空间上与康西瓦岩群大理岩密切相关,层位稳定,层控特征明显,带内含十余条矿(化)体 属海底喷流沉积-受变形变质改造-岩浆热动力叠加改造型矿床	A级找矿靶区:成矿条件优越,成矿潜力大,找矿前景良好,有必要开展下一步工作
		花岗伟晶岩带呈亮白色、灰白色、浅黄色色调,条带状影纹特征	矿化带内羟基异常与铁染异常伴生出现,异常值较高	花岗伟晶岩脉成群密集产出,数白条之多,产于燕山期含斑黑云母二长花岗岩接触带及其附近围岩中。以白云母伟晶岩为主,经查证其中20余条岩脉锂、铍矿脉	
2	康西瓦南银铅矿A级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色,团块状分布,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	区内铁染异常较强,羟基异常很弱,具有一定的找矿指示意义	地表现3处银铅矿(化)点,产于燕山期酸性岩体外接触带,矿体规模、产态受控于围岩裂隙发育程度,单矿体规模一般较小,断层裂隙发育,构成关键成矿要素。属花岗岩有关中-低温热液脉型矿床	A级找矿靶区:成矿条件优越,成矿潜力大,找矿前景良好,有必要开展下一步工作
3	俘虏沟东段银铅矿A级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色色调,呈窄条带状、团块状、斑点状影纹,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著。如矿(化)体地表规模过小,则难以判识	区内为羟基异常与铁染异常,异常与矿化带较吻合,具有一定的找矿指示意义	地表现数10处铁、铅、银、铜多金属矿(化)点,产于燕山期酸性岩体内、外接触带及其附近围岩中,形成俘虏沟矿点集中区。单矿体规模一般较小,但品位较富,多形成小而富的矿体。断层和构造裂隙构成关键成矿要素,严格控制矿体规模、产态。属花岗岩有关中-低温热液脉型矿床	
4	俘虏沟毛拉且可铁铜矿A级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色色调,条带状,眼球状影纹,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	区内为羟基异常与铁染异常,异常与韧性剪切带较吻合,反映一定的矿化蚀变信息	地表现3处铁铜多金属矿点,赋矿岩系为长城系甜水海群,矿(化)体受控于初-脆性剪切带。初步认为早期海底沉积喷流成矿作用形成含铜、银、锑的菱(赤)铁矿,晚期在初-脆性构造剪切作用下,活化铜、银、锑等成矿元素,并在有利的构造扩容空间沉淀富集成矿	B级找矿靶区:成矿条件较好,具有一定成矿潜,找矿前景较好,值得进一步工作
5	俘虏沟中段银铅矿A级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色色调,不规则细条带状影纹,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	异常不明显	地表现五处银铅矿化点,两处沿花岗岩闪长岩体与长城系甜水海岩群绢云石英片岩接触带产出,3处沿附近围岩构造裂隙产出。共发现12个矿(化)体,单矿体规模小,走向延伸一般300~1200 m,宽度一般1~5 m,品位不详。属酸性岩期后中-低温热液脉型银铅矿	
6	俘虏沟中段含铅银赤铁矿B级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色,带状分布,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	区内为羟基异常,指示的大理岩带是该矿化的赋矿层位,具有指示意义	地表现一处铁铅银多金属矿化带,带内发现5条矿(化)体,出露长度200~300 m,宽度一般3~5 m,矿石品位不详。赋矿地层为古元古界康西瓦岩群,空间上主要为与大理岩密切相关,层控特征明显。属海底沉积喷流-区域变形变质作用改造-初-脆性构造+热液再造富型矿床类型	B级找矿靶区:成矿条件较好,具有一定成矿潜,找矿前景较好,值得进一步工作
7	阿克萨依北玉石矿B级找矿靶区	大理岩带表现为黄褐色,带状分布,围岩呈红红色调,大理岩带、岩体等影像特征明显	遥感异常微弱,均为岩性异常所致	地表现一处蛇纹石化、透闪石化大理岩玉石矿点。因地表覆盖严重,矿脉规模、产态不详。产于石英闪长岩与长城系赛图拉岩群镁质大理岩段接触带内	
8	俘虏沟中段南屏雪山北赤铁矿B级找矿靶区	矿化带表现为红褐色、黄褐色色调,条带状影纹,围岩呈蓝灰色、灰白色等色调,矿体与围岩影像特征差异显著	区内遥感异常为羟基异常与铁染异常,羟基异常与矿化带的围岩碳酸盐岩较吻合,铁染异常与铁矿体关系密切,具有一定找矿指示意义	地表现发现两条矿化带,共4条赤铁矿(化)体,矿体出露长度一般为500~1500 m,宽度一般为3~12 m,品位不详。容矿岩系为长城系甜水海岩群,空间上主要为与大理岩密切相关,层控特征明显。属海底沉积喷流-区域变形变质作用改造型矿床类型	C级找矿靶区:成矿条件一般,成矿潜力一般或不明朗,具有一定找矿意义
9	俘虏沟中段铁多金属矿C级找矿靶区	黄白色色调,条带状影纹,影像特征明显	羟基异常与铁染异常伴生出现,异常值高,呈带状分布,与含铁大理岩带十分吻合	地表现一条赤铁矿化的大理岩带 地表延伸长度约19 km,带款50~200 m,沿带追索,未发现矿体。赋存于长城系甜水海岩群的大理岩条带内,层控特征明显	
10	俘虏沟西段支沟金矿C级找矿靶区	矿化点影像特征不明显	异常与矿化蚀变关系不明	未实地验证。据相关资料,区内有一处石英脉型金矿化点。石英脉多呈透镜状顺层成群产出,单脉宽度5~10 m,延伸数十米至百米以上。石英脉中黄铁矿化、孔雀石化明显,细粒结构,浸染状、蜂窝状构造,金品位不详。围岩为志留系温泉沟群下部灰色粉砂质板岩	C级找矿靶区:成矿条件一般,成矿潜力一般或不明朗,具有一定找矿意义
11	康西瓦南大沟铅矿C级找矿靶区	矿化点影像特征不明显	有羟基异常,但与矿化蚀变关系不明	未实地验证。据相关资料,区内有两处铅矿化点,一处矿化点产于燕山期花岗岩体与围岩接触带内,规模、产态、品位不详;另一个矿化点产于花岗伟晶岩脉与地层接触带,矿化带长约600 m,宽1 m,产态、品位不详	

质矿产遥感综合解译;利用ASTER数据开展矿化蚀变有关的遥感异常信息提取,配合适量的野外调查验证,

在大红柳滩—俘虏沟地区发现4处极具找矿远景意义的矿化带,分别为①大红柳滩(含稀有金属)花岗伟晶岩带1处,解译岩脉数百条;②大红柳滩层控型铁多金属矿化带1处;③俘虏沟燕山期花岗岩有关热液脉型铁、铅、银、铜矿化区1处,矿(化)点数10处;④俘虏沟层控型含铜铅锌银的菱铁—赤铁矿矿化带4处。

(2)通过遥感综合分析,在研究区圈定遥感找矿靶区11处,其中A级遥感找矿靶区5处、B级遥感找矿靶区3处、C级遥感找矿靶区3处,为后续区域地质矿产调查项目规划部署和矿产资源勘查评价提供依据。

(3)西昆仑地区海拔高、切割深、交通差、自然条件恶劣,工作环境艰险,给常规地面调查工作带来挑战。然而该地区植被稀少、基岩出露条件好,遥感技术在区域性地质矿产调查工作具有不可或缺的作用,可快速、有效为后续工作提供大量丰富可靠的找矿信息,往往能起到事半功倍的效果,值得在相同或类似地区进一步推广应用。

**致谢:** 本文是综合“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,感谢项目组全齐成员的帮助和支持;成文后审稿专家又对本文提了宝贵意见,在此一并表示感谢!

## 注释

① 陕西省地质调查院. 2006. 1:25万康西瓦幅区域地质调查报告[R]. 1-138.

## References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-841(in Chinese).

Chen Ling, Zhang Wei, Zhou Yan, Liu Wei, Chen Wei. 2012. Application of high-resolution remote sensing images to searching for sedimentary-metamorphic type iron deposits in the Taxkorgan Area, Xinjiang[J]. Geology and Exploration, 48(5): 1039-1048(in Chinese with English abstract).

Chen Shoujian, Li Rongshe, Ji Wenhua, Zhao Zhenming, Meng Yong, Shi Bingde. 2007. The deposition characteristics and tectono-plaeogeographic environment of Kunlun orogenic belt in late

devonian [J]. Geotectonicaet Metallogenia, 31(1): 44- 51(in Chinese with English abstract).

Cheng Yuqi. 1994. Outline to the Regional Geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-200(in Chinese).

Cui Jiantang, Bian Xiaowei, Wang Juchuan, Yang Kejian, Zhu Haiping, Zhang Junliang. 2006. Discovery of an unconformity between the Lower Silurian and Middle Devonian in the Tianshuihu area, southern Kangxiwar, West Kunlun, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(12): 1437-1440(in Chinese with English abstract).

Gao Xiaofeng, Xiao Peixi, Kang Lei, Zhu Haiping, Guo Lei, Xi Rengang, Dong Zengchan. 2013. Origin of the volcanic rocks from the Ta'axi region, Taxkorgan, Xinjiang and its geological significance[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 38(6): 1169-1182 (in Chinese with English abstract).

Geng Xinxia, Yang Jianmin, Zhang Yujun, Yao Fojun. 2008. 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, 54(2): 184-191 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zheng, Wang Zhaolin, Yang Zhiming, Yang Zhusen, Liu Yingchao, Tian Shihong, He Longqing, Chen Kaixu, Wang Fuchun, Zhao Chengxiang, Xue Wanwen, Lu Haifeng. 2008. 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, 27(2): 123-144(in Chinese with English abstract).

Jia Qunzi. 1999. Massive Sulfide Copper Deposits of West Kunlun, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-100(in Chinese).

Jiang Chunfa, Yang Jingsui, Feng Binggui. 1992. Opening and Closing Structure of Kunlun[M]. Beijing: Geological Publishing House, 161-168 (in Chinese).

Jiang Chunfa, Zhu Songnian. 1992. Introduction to tectonic migration theory[J]. Acta Geoscientica Sinica. 25: 1-14(in Chinese with English abstract).

Jiang Chunfa. 2002. Important geological problems and the research progress of the Central Orogenic Belt[J]. Regional Geology of China, 21(Z2): 453-455(in Chinese with English abstract).

Jin Moushun, Wang Hui, Qiao Gengbiao, Zhang Shaopeng. 2014. The discovery of Heiqia Iron Mineralization Belt in West Kunlun by high resolution remote sensing technology and its geological significance[J]. Northwestern Geology, 47(4): 221-226(in Chinese with English abstract).

Li Boqin, Yao Jianxin, Gao Lianda, Bian Xiaowei, Yin Zongyi, Cui Jiantang, Chen Wenxi. 2007. Age and source regions of the Wenquangou Group in the Mazhar-Kangxiwar area, West Kunlun Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 26(4): 457-465(in Chinese with English abstract).

- Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao. 2008. The important mineralization events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts [C]//Chen Yuchuan, Xue Chunji, Zhang Changqing. Endeavoring Deep Marching West Scanning World-Symposium of the Ninth Mineral Deposit Conference in China. Beijing: Geological Publishing House, 15-16 (in Chinese).
- Li Wenyuan. 2015. Metallogenic geological characteristics and newly discovered orebodies in Northwest China[J]. *Geology in China*, 42 (3): 365-380(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2003. Characteristics, sequence and ages of Neoproterozoic thermo-tectonic events between Tarim and Yangzi blocks-A hypothesis of Yangzi-Tarim connection[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10 (4): 321-326(in Chinese with English abstract).
- Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, Wang Andong, Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Chen Tinggen, Luo Hui. 1996. Early Paleozoic geological features and evolution of the Kunlun Mountains[J]. *Science in China(Series D)*, 26(4): 302-307(in Chinese)
- Pan Yusheng. 1999. The formation and uplifting of the Qinghai Tibet Plateau[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(3): 153-163(in Chinese with English abstract).
- Pan Yusheng. 1989. Tectonic division of Kunlun mountain[J]. *Journal of Natural Resources*, 4(3): 196-203(in Chinese with English abstract).
- Pan Yusheng. 1994. The discovery and demonstration of the fifth suture zone in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 37 (2): 184-192(in Chinese with English abstract).
- Ph Matte, P Tapponnier. 1995. Geology along the line from Yecheng to Shiquanhe and tectonic evolution of the region involved[J]. *Acta Geologica Sinica*, 8(2): 119-133.
- Shang Dong. 2009. WorldView-2 high resolution satellite launch successfully[J]. *Remote Sensing For Land & Resources*, 20(4): 109 (in Chinese).
- Wang Runsheng, Xiong Shengqing, Nie Hongfeng, Liang Shuneng, Qi Zerong, Yang Jinzhong, Yan Baikun, Zhao Fuyue, Fan Jinghui, Tong Liqiang, Lin Jian, Gan Fuping, Chen Wei, Yang Suming, Zhang Ruijiang, Ge Daqing, Zhang Xiaokun, Zhang Zhenhua, Wang Pinqing, Guo Xiaofang, Li Li. 2011. Remote sensing technology and its application in geological exploration[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85 (11): 1699-1742(in Chinese with English abstract).
- Wang Shulai, Wang Dongbo, Zhu Xinyou. 2000. Ore-searching prospecting analysis of gold(copper) deposits in the West Kunlun[J]. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 15(3): 224-229 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jianhua, Liu shuai. 2008. Introduction to Geotectonics and Outline of Chinese Earth Tectonics[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xi'an institute of Geology and Mineral Resources. 2006. The Prospecting Potential of Mineral Resources in Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-150 (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Qi Xuexiang, Liu Fulai, Yang Jingsui, Wu Cailai, Zeng Linsen, Liang Fenghua. 2004. The Kangxiwar Caledonian Khondalite Series in West Kunlun, China, and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 733-743(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinzhong, Fang Hongbin, Zhang Yujun, Chen Wei. 2003. Remote sensing anomaly extraction in important metallogenic belts of western China[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 15(3): 50-53 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinzhong, Zhao Yuling. 2015. Technical features of remote sensing and its application in the geological survey and mineral resources survey[J]. *Mineral Exploration*, 6(5): 529-534 (in Chinese with English abstract).
- Yang Kerning. 1994. Tectonic evolution of continental margin on the West Kunlun and type of southwestern Tarim Basin[J]. *Geological Review*, 1: 9-18 (in Chinese with English abstract).
- Yao Jianxin, Xiao Xuchang, Gao Lianda, Han FangLin, Cui JianTang, Peng HaiLian, Ji ZhanSheng, Wu GuiChun. 2006. Silurian acritarchs and chitinozoans in Wenquangou Group from The West Kunlun region[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 45 (4): 528-532(in Chinese with English abstract).
- Zhang Ce, Peng Lihong, Wang Bing, Zhang En, Fu Lihua, Wei Benzan, Jie Wenhui. 2015. Application of WorldView-2 remote sensing image in the exploration of the volcano-sedimentary metamorphic type iron deposits in the Dimunalike area, Xinjiang[J]. *Mineral Exploration*, 6(5): 523-528(in Chinese with English abstract).
- Zong Wenming, Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Pang Weihua. 2010. Characteristics of nanhuan diamicite (tillite) and stratigraphic correlation in the Southwestern Margin of Tarim Basin [J]. *Geology in China*, 37(4): 1183-1190(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈玲, 张微, 周艳, 刘伟, 陈微. 2012. 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*, 48 (5): 1039-1048.
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 赵振明, 孟勇, 史秉德. 2007. 昆仑造山带晚泥盆世沉积特征及构造古地理环境[J]. *大地构造与成矿学*, 31 (1): 44-51.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1-200.
- 崔建堂, 边小卫, 王炬川, 杨克俭, 朱海平, 张俊良. 2006. 西昆仑康西瓦南部甜水湖一带下志留统与中泥盆统不整合界面的发现[J]. *地质通报*, 2006, 25(12): 1437-1440.
- 高晓峰, 校培喜, 康磊, 朱海平, 过磊, 奚仁刚, 董增产. 2013. 新疆塔什库尔干塔阿西一带火山岩成因及地质意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 38 (6): 1169-1182.

- 耿新霞, 杨建民, 张玉君, 姚佛军. 2008. 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, 54(2): 184-191.
- 侯增谦, 宋玉财, 李政, 王召林, 杨志明, 杨竹森, 刘英超, 田世洪, 何龙清, 陈开旭, 王富春, 赵呈祥, 薛万文, 鲁海峰. 2008. 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, 27(2): 123-144.
- 贾群子. 1999. 新疆西昆仑块状硫化物铜矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1-100.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵. 1992. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 161-168.
- 姜春发, 朱松年. 1992. 构造迁移论概述[J]. 中国地质科学院院报, 25: 1-14.
- 姜春发. 2002. 中央造山带几个重要地质问题及其研究进展(代序)[J]. 地质通报, 21(Z2): 453-455.
- 金谋顺, 王辉, 乔耿彪, 张少鹏. 2014. 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, 47(4): 221-226.
- 李博秦, 姚建新, 高联达, 边小卫, 尹宗义, 崔建堂, 陈文西. 2007. 西昆仑麻扎—康西瓦一带温泉沟群的形成时代及物源区分析[J]. 地质通报, 26(4): 457-465.
- 李文渊, 张照伟, 高永宝. 2008. 秦祁昆造山带重要成矿事件及其构造演化响应[C]//陈毓川, 薛春纪, 张长青. 主攻深部挺进西部放眼世界——第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 15-16.
- 李文渊. 2015. 中国西北部成矿地质特征及找矿新发现[J]. 中国地质, 42(3): 365-380.
- 陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003. 塔里木与扬子新元古代热—构造事件特征、序列和时代——扬子与塔里木连接(YZ-TAR)假设[J]. 地学前缘, 10(4): 321-326.
- 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 王东安, 张玉泉, 谢应雯, 陈挺恩, 罗辉. 1996. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学(D辑), 26(4): 302-307.
- 潘裕生. 1999. 青藏高原的形成与隆升[J]. 地学前缘, 6(3): 153-163.
- 潘裕生. 1989. 昆仑山区构造区划初探[J]. 自然资源学报, 4(3): 196-203.
- 潘裕生. 1994. 青藏高原第五缝合带的发现与论证[J]. 地球物理学报, 37(2): 184-192.
- 尚东. 2009. WorldView-2 高分辨卫星发射成功[J]. 国土资源遥感, 20(4): 109.
- 王润生, 熊盛青, 聂洪峰, 梁树能, 齐泽荣, 杨金中, 闫柏琨, 赵福岳, 范景辉, 童立强, 林键, 甘甫平, 陈微, 杨苏明, 张瑞江, 葛大庆, 张晓坤, 张振华, 王品清, 郭小方, 李丽. 2011. 遥感地质勘查技术与应用研究[J]. 地质学报, 85(11): 1699-1742.
- 王书来, 汪东波, 祝新友. 2000. 新疆西昆仑金(铜)矿找矿前景分析[J]. 地质找矿论丛, 15(3): 224-229.
- 巫建华, 刘帅. 2008. 大地构造学概论与中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- 西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社, 1-150.
- 新疆自治区地质矿产局. 1993. 新疆自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1-841.
- 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 杨经绥, 吴才来, 曾令森, 梁凤华. 2004. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义[J]. 地质学报, 78(6): 733-743.
- 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, 15(3): 50-53.
- 杨金中, 赵玉灵. 2015. 遥感技术的特点及其在地质矿产调查中的作用[J]. 矿产勘查, 6(5): 529-534.
- 杨克明. 1994. 论西昆仑大陆边缘构造演化及塔里木西南盆地类型[J]. 地质论评, 1: 9-18.
- 姚建新, 肖序常, 高联达, 韩芳林, 崔建堂, 彭海练, 纪占胜, 武桂春. 2006. 西昆仑地区志留系温泉沟群的疑源类和几丁虫[J]. 古生物学报, 45(4): 528-532.
- 宗文明, 高林志, 丁孝忠, 庞维华. 2010. 塔里木盆地西南缘南华纪冰碛岩特征与地层对比[J]. 中国地质, 37(4): 1183-1190.