

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 03. 20

引用格式: 金谋顺,王辉,张微,等. 高分辨率遥感数据铁染异常提取方法及其应用[J]. 国土资源遥感,2015,27(3):122 – 127. (Jin M S, Wang H, Zhang W, et al. Method for extraction of ferric contamination anomaly from high – resolution remote sensing data and its applications[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2015,27(3):122 – 127.)

高分辨率遥感数据铁染异常提取方法及其应用

金谋顺¹, 王 辉¹, 张 微², 王 雪³

(1. 中国煤炭地质总局航测遥感局遥感院, 西安 710054; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 利用多光谱遥感数据提取异常信息在我国西部地质工作程度较低的基岩裸露、半裸露地区是一种快速经济的找矿手段。在目前常用的中、低空间分辨率遥感数据中,铁染异常多为混合像元,直接影响着异常信息提取的精度。针对这一问题,在分析铁染异常的地质依据和波谱特征基础上,确定了 WorldView2 和 IKONOS 等高分辨率遥感数据与铁染异常特征波谱范围相对应的波段,采用主成分变换方法进行铁染异常信息提取。在西昆仑黑恰一带基于 IKONOS 数据进行铁染异常信息提取时,新发现规模较大的菱铁赤铁矿化带;在西昆仑老并一带基于 World-View2 数据提取的铁染异常区与磁铁矿化范围基本吻合。研究结果表明,利用高分辨率遥感数据提取铁染异常的精度较高。

关键词: WorldView2; IKONOS; 铁染异常; 主成分变换; 西昆仑

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001 – 070X(2015)03 – 0122 – 06

0 引言

经过十几年的应用与发展,利用多光谱数据提取遥感异常信息已经成为一种快速经济的找矿手段,尤其在我国西部地质工作程度较低的基岩裸露、半裸露地区,提取遥感异常是指导找矿行之有效的方法之一^[1 – 11]。

在现阶段,利用 TM 等多光谱遥感数据可以识别的矿化蚀变主要为铁染异常与羟基异常。铁染异常反映地层中富含赤铁矿、褐铁矿和黄钾铁矾等铁氧化物;羟基异常则反映地层中富含高岭石、绢云母、绿泥石和绿帘石等含羟基的矿物。而采用在红外波谱范围内被进一步细分的 ASTER 数据,则可进一步区分高岭石等铝羟基矿物和绿泥石、方解石等镁羟基矿物^[12]。这些矿物一般都是围岩蚀变的产物,对找矿具有指导意义。

铁染异常一般规模较小,在常用的 TM/ETM⁺ 和 ASTER 等中、低空间分辨率遥感数据中常呈混合像元形式出现,直接影响着铁染异常信息提取的精度^[13 – 14]。目前应用较多的高分辨率遥感数据(简称“高分遥感数据”)主要有 2 类:①以 QuickBird 和 IKONOS 为代表的高分遥感数据,空间分辨率为 0.6 ~

1.0 m,有 4 个波段,分布在可见光 – 近红外波谱范围;②WorldView2 数据,空间分辨率为 0.5 m,在可见光 – 近红外波谱范围内细分为 8 个波段。本文以 IKONOS 和 WorldView2 这 2 类具有代表性的高分遥感数据进行铁染异常提取研究。

1 地质依据及波谱基础

围岩蚀变是与热液有关的金属矿的重要找矿标志,如高岭土化、硅化、绿泥石化和绿帘石化等,且不同的围岩蚀变反映了不同的成矿条件。围岩蚀变矿物一般含羟基离子(团),在近红外波谱区间有明显的特征吸收谱段,在遥感图像中易于识别,对找矿具有一定的指导意义。同时,矿化一般伴随有褐铁矿化等铁氧化物次生蚀变,以铁氧化物组成的铁帽为矿体表生氧化露头的显著性标志,亦是最直接的找矿标志之一。铁氧化物有褐铁矿、赤铁矿和黄钾铁矾等,化学成分普遍含 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 离子(团),在可见光波段有特征吸收谱段和强反射谱段,在遥感图像中易于识别,除了指导寻找铁矿床,对其他金属矿的找矿工作也具有一定的指导意义^[15 – 16]。

Fe²⁺ 的基态 D 在四面体场中分裂为较高的五

重线能级 E_g 和较低的五重线能级 T_{2g} , 由于仅存在一个自旋容许跃迁(即电子吸收能量在能级间跃迁), 从而在 $1.0 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 附近产生一个常见的强而宽的谱带。 Fe^{3+} 有一个对称的基态 S , 在任何晶体场中都不分裂, 到 $4G$ 态所形成的更高能级的跃迁均为自旋禁戒(即电子在能级间跃迁的概率极小, 在宏观上认为电子不发生这种跃迁), 因而光谱相对较弱, 但在 $0.6 \sim 0.9 \mu\text{m}$ 之间产生较强的吸收谱段^[17]。黄钾铁矾、赤铁矿和褐铁矿等铁氧化矿物的波谱曲线(图 1)表明, 在 $0.45 \sim 0.55 \mu\text{m}$ 和 $0.8 \sim 0.90 \mu\text{m}$ 谱段呈较强的吸收特征, 在 $0.65 \sim 0.80 \mu\text{m}$ 谱段具有强反射特征。 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的特征谱段主要位于 $0.45 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 区间, 而 $2.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 主要体现 OH^- 、 H_2O 和 CO_3^{2-} 等离子(团)的吸收和反射特征^[18]。

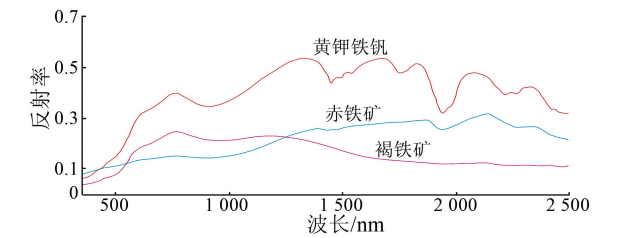


图 1 铁氧化物实测波谱曲线

Fig.1 Spectrum curves of ferric oxides measured in field

铁氧化物的吸收和反射特征与 WorldView2 和 IKONOS 等高分辨率遥感数据的相关波段分别对应。铁氧化物在 IKONOS 数据的 B1 和 B4 波段呈吸收特征, 在 B3 波段呈反射特征(图 2(a)); 在 WorldView2 数据的 B1、B2 和 B8 呈吸收特征, 在 B4、B5 和 B6 呈反射特征, 其中在 B1 和 B8 波段呈强吸收, 在 B6 波段呈强反射(图 2(b))。

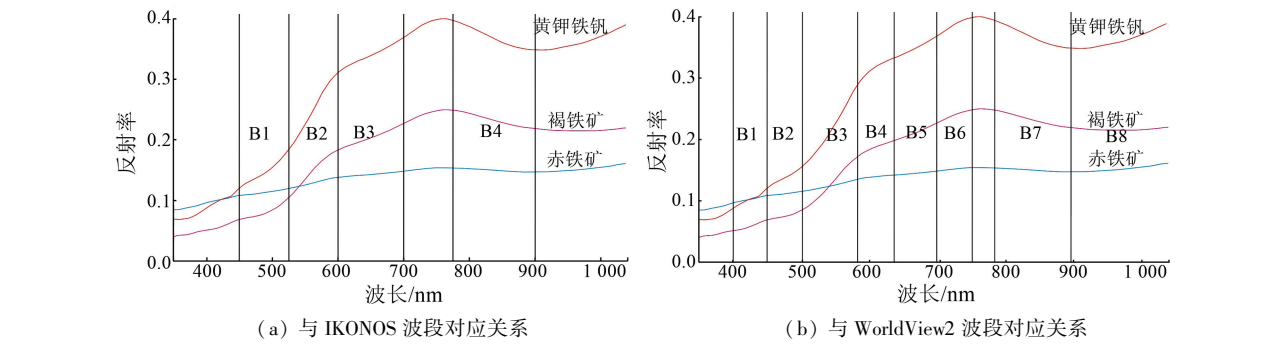


图 2 铁氧化物特征波谱曲线与高分辨率遥感数据波段对应关系

Fig.2 Corresponding relationship between characteristic spectrum curves of ferric oxides and bands of high resolution remote sensing data

通过对比分析可以看出, IKONOS 数据的 B1 和 B4 波段与铁氧化物的吸收特征谱段较对应, 但 B3 波段不能准确对应到 $0.65 \sim 0.80 \mu\text{m}$ 的铁氧化物的强反射特征谱段; 而细分为 8 个波段的 WorldView2 数据的 B1 和 B8 波段与铁氧化物的吸收特征谱段

能准确对应, B6 波段与铁氧化物的反射特征谱段亦可准确对应, 更适于进行铁染异常信息提取。建立铁氧化物吸收、反射特征的波谱范围分别与 IKONOS、WorldView2 数据的对应关系(表 1), 作为高分遥感数据铁染异常信息提取的依据。

表 1 铁氧化物波谱特征与高分遥感数据波段的对应关系
Tab.1 Corresponding relationship between spectral features of ferric oxides and bands of high resolution remote sensing data

铁氧化物波谱特征	波谱范围/ μm	对应 IKONOS 波段	对应 WorldView2 波段	典型矿物
反射特征	0.65 ~ 0.80	B3	B4, B5, B6	褐铁矿、赤铁矿、
吸收特征	0.45 ~ 0.55, 0.80 ~ 0.90	B1, B4	B1, B2, B8	黄钾铁矾, 等

2 铁染异常信息提取

提取遥感异常信息的方法主要有比值运算、光谱角法和主成分变换 3 种。主成分变换是通过对特定的几个波段进行主成分变换, 去除波段之间的相关性, 降低数据维数, 使尽可能多的有用信息集中到少量的图像波段中。对多光谱遥感数据进行主成分

变换得到的各个主分量常常代表一定的地质意义, 各主分量的地质意义有其独特性, 适合用于遥感蚀变异常提取^[19-21]。根据 IKONOS 和 WorldView2 遥感数据与铁氧化物吸收、反射特征相对应的不同波段, 对 IKONOS 数据用 B1、B3、B4 和 B2 这 4 个波段进行主成分变换; 对代表铁染异常主分量的判断准则是: 构成该主分量的特征向量, 其 B3 的系数应与 B1 及 B4 的系数符号相反, B2 一般与 B3 系数符号

相同。对 WorldView2 数据用 B1、B6、B8 和 B4 这 4 个波段进行主成分变换;对代表铁染异常主分量的判断准则是:构成该主分量的特征向量,其 B6 的系数应与 B1 及 B8 的系数符号相反,B4 一般与 B6 系数符号相同。

3 应用实例

3.1 IKONOS 数据铁染异常提取

在西昆仑黑恰一带,通过对 IKONOS 遥感数据进行铁染异常信息提取,结合野外查证,新发现了规模较大的菱铁赤铁矿化带。

采用主成分变换对研究区 IKONOS 数据进行铁染信息提取,特征矩阵见表 2。其中,PC3 的 B3 与 B1 及 B4 的符号相反,B2 与 B3 符号相同,符合铁染异常特征主分量的判断准则。

表 2 IKONOS 数据铁染异常特征矩阵

Tab.2 Feature matrix of ferric contamination anomaly from IKONOS data

主成分分量	B1	B3	B4	B2
PC1	0.383	0.549	0.505	0.544
PC2	-0.704	0.270	0.578	-0.313
PC3	-0.571	0.268	-0.499	0.594
PC4	0.178	0.744	-0.403	-0.503

提取后的铁染异常显示不同深浅的暗色,呈规则条带状沿 NW 向展布,异常带与地层走向一致,特征明显(图 3)。

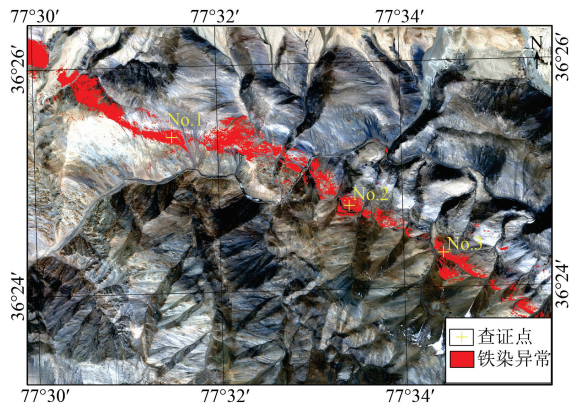


图 3 西昆仑黑恰一带铁染异常信息提取结果

Fig.3 Extraction of ferric contamination anomaly in Heiqia, Western Kunlun

建立研究区内菱铁-赤铁矿化带 IKONOS 遥感影像解译标志,矿化带显示为不同深浅的褐色,规则条带状影纹图案,矿化带呈层状展布,与地层走向一致;而底板围岩以暗灰蓝-暗褐黑色调为主,间红褐色调,顶板围岩为蓝-浅蓝灰-灰黄灰色调,呈带

状延伸,矿化带与围岩界线清楚。菱铁-赤铁矿矿体呈暗红褐色调,沿矿化带呈窄条带状断续延伸。对高分遥感图像解译及铁染矿化蚀变信息提取的带状影像单元进行了野外验证。沿该条带多个点进行的野外查证发现,该带状影像单元为一条规模较大的菱铁-赤铁矿矿化带;通过野外拣块采样并送交化验发现,该矿化带的铁矿石品位较高,具有较大的找矿潜力。

该矿化带主要出露地层为志留系下统温泉沟群(S_1w),是一套浅变质(低绿片岩相)的浅海相碳酸盐岩-碎屑岩沉积建造;容矿岩系主要为温泉沟群(S_1w)顶部硅质大理岩,次为斑点状板岩、千枚岩等浅变质碎屑岩系。矿化带呈 NW—SE 向断续延伸,走向 320° ,向西北被康西瓦断裂所截,宽度 $200 \sim 500\text{ m}$,部分地段被厚层残坡积物覆盖;倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,产状与地层产状一致,层控特征明显,在空间上与大理岩关系密切。矿体多呈层状、似层状或扁豆状,产状与矿化带产状基本一致,厚度 $10 \sim 20\text{ m}$ 。矿化带位于 F29 断裂的南侧,断层两侧岩性差异大,断裂南侧为志留系下统温泉沟群(S_1w),北侧为二叠系黄羊岭群(Ph);断裂破碎带宽约 50 m ,内部充填断层角砾,局部可见断层泥。野外查证结果表明,主断裂带两侧次级断裂发育,为热液脉型铅锌多金属矿提供了良好的容矿空间。沿矿化带附近岩浆岩活动较弱,仅在东北段南部温泉沟群内见辉绿岩和闪长岩体。围岩蚀变较弱,主要为碳酸盐岩化、硅化、绢云母化和褐铁矿化等。

铁矿石成分单一,主要矿石矿物为菱铁矿,含量占矿石总量的 70% 以上,部分氧化成赤铁矿。脉石矿物主要为石英($10\% \sim 20\%$)、白云母($3\% \sim 5\%$)和铁白云石,其次为少量黄铁矿和黄铜矿,偶见石墨、电气石及磷灰石等。菱铁矿呈半自形-自形粒状结构,粒度变化较大。在野外查证中,选取矿化带中代表性强的菱铁矿样品进行化学分析,测定结果显示,单个样品最高全铁品位 55%,最低品位 44.3%,平均品位 50.45%(表 3),远高于菱铁矿的工业品位(20%)。

表 3 tFe 和 mFe 样品分析结果

Tab.3 Analysis results of tFe and mFe samples

查证点号 ^①	送样编号	检测编号	$w(\text{tFe}^{\text{②}})/\%$	$w(\text{mFe}^{\text{③}})/\%$
No. 1	M-P3-5	11QJ10963	53.40	0.050
No. 2	M-P3-8	11QJ10964	49.10	0.060
No. 3	M-P3-9	11QJ10965	44.30	0.050
No. 3	AD-1	11QJ10967	55.00	0.060

注:①图 3 中的查证点 No. 1—No. 3;②tFe 为全铁含量;③mFe 为磁性铁含量。

铁矿石主要发育粗晶自形 – 半自形结构,呈块状构造和条带状构造。初步认为矿床成因为热水沉积 – 构造改造型,具层位稳定、沿走向和倾向连续性好、规模大等特征。

通过野外查证发现,除矿化带中部受坡积物影响较大以外,铁染异常与实际矿化带具有高度吻合的特征,呈 NW 向条带状展布,与区域构造和地层展布方向接近一致,严格受顶板和底板围岩所控制,也反映出受层位控制的沉积型矿床的特征。另外,在矿化较强的地段(如 No. 1 号点位),铁染异常亦表现出分布集中、强度较高的特征。

3.2 WorldView2 数据铁染异常提取

以西昆仑塔什库尔干地区老并铁矿为研究区,开展 WorldView2 数据铁染异常信息提取。该矿区出露地层为古元古界布伦阔勒岩群(Pt_1b),但燕长海等^[22]根据锆石测年认为含铁岩系应属于早古生代。赋矿岩系以中低变质岩为主,主要为绿片岩相,局部达到角闪岩相。围岩主要为黑云石英片岩、斜长角闪片岩和大理岩等。岩石组合分为 3 段:下部为黑云石英片岩夹斜长角闪片岩、含磁铁矿层,中部为黑云石英片岩夹磁铁矿层,上部为黑云石英片岩夹磁铁矿石岩。经河南地质调查院开展矿产普查工作,共圈定大小矿体 18 个(其中 M1, M2, M7 和 M9 是主要矿体)。矿石矿物主要为磁铁矿,有少量赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿等。脉石矿物为石英、黑云母和绿泥石等。矿石结构主要为自形、半自形 – 它形粒状结构,矿石构造主要有条带状构造、浸染状构造和块状构造。

采用主成分变换对研究区进行 WorldView2 遥感数据铁染信息提取,特征矩阵见表 4。其中 PC_3 的 B_6 与 B_1 及 B_8 的符号相反, B_4 与 B_6 符号相同,符合铁染异常特征主分量的判断准则。

表 4 WorldView2 数据铁染异常特征矩阵

Tab.4 Feature matrix of ferric contamination anomaly from WorldView2 data

主成分分量	B_1	B_6	B_8	B_4
PC_1	0.276	0.548	0.545	0.572
PC_2	0.813	0.234	-0.520	-0.120
PC_3	0.508	-0.590	0.582	-0.234
PC_4	0.076	-0.545	-0.306	0.777

铁染异常主要分布于布伦阔勒岩群黑云石英片岩岩性段(图 4),该岩性段是研究区内磁铁矿主要含矿层位,异常形态呈多个近平行的条带,在研究区内呈 2 个向斜夹 1 个背斜的特征展布,与矿区构造相同。

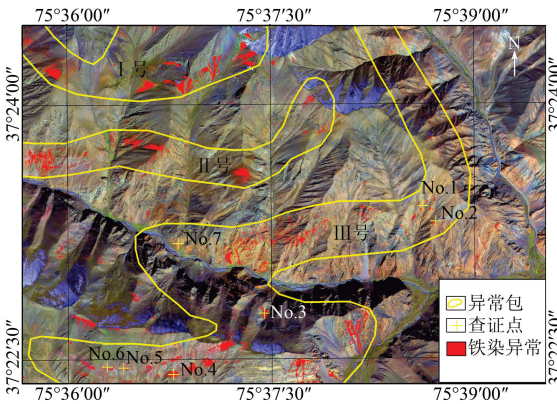


图 4 西昆仑老并一带铁染异常信息提取结果

Fig.4 Extraction of ferric contamination anomaly in Laobing, Western Kunlun

按照地质矿产特征将遥感铁染异常圈定为 3 个异常包: I 号异常包位于研究区西北角,呈串珠状弧形分布,向 N 和向 W 延伸出研究区外,异常分布集中,图斑规模较大,岩性主要为黑云石英片岩; II 号异常包位于 I 号异常包以南,呈串珠状沿向斜分布,岩性主要为黑云石英片岩, I 和 II 号异常包由于海拔较高,未能进行实地查证; III 号异常包位于研究区中部,呈 2 个向斜夹 1 个背斜的特征展布,异常形态与矿区构造特征高度吻合,异常多呈散点状和斑点状分布,单个异常面积不大(多小于 50 m²),但强度很高,岩性主要为黑云石英片岩夹磁铁矿层。在野外对 III 号异常包进行了查证,共查证 7 处(图 4 中的 No. 1—No. 7,主要查证了向斜和背斜核部异常分布集中的地区),其中 6 处见矿化蚀变。矿体主要为磁铁矿,矿石矿物以磁铁矿为主,有少量赤铁矿和黄铁矿;脉石矿物为石英、黑云母和绿泥石等;矿石结构主要为自形 – 半自形粒状结构,矿石构造主要有条带状构造和块状构造;围岩蚀变主要为绿泥石化、绢云母化和高岭土化,另外见褐铁矿化和黄钾铁矾等次生铁氧化蚀变。对矿化取捡块样进行了化学分析, tFe 品位为 26.8% ~ 49.74%(表 5)。

表 5 铁染异常查证记录

Tab.5 Investigation and verification records of ferric contamination anomalies

查证点号	矿化蚀变特征
No. 1	铁矿体: 长 2 400 m, 厚 12 m, tFe 品位 41.15%
No. 2	铁矿体: 长 1 000 m, 厚 8 m, 品位不详
No. 3	铁矿体: 长 3 000 m, 厚 18 m, tFe 品位 32.21%
No. 4	铁矿体: 长 3 100 m, 厚 7 m, tFe 品位 29.54%
No. 5	铁矿体: 长 1 900 m, 厚 2 m, tFe 品位 49.74%
No. 6	铁矿体: 长 1 800 m, 厚 3 m, tFe 品位 26.8%
No. 7	地表未见明显矿化蚀变

矿区地表除河谷有少量植被覆盖外,其余都是基岩裸露区,土壤层不发育,残坡积物以原生岩屑为主,因而在高分遥感图像中不同岩性和蚀变的反映

效果较好。矿区经过一定的勘探工作,地表槽探工程揭露出矿体的新鲜面,故铁染异常更加强烈。

4 结论

1) IKONOS 和 WorldView2 高分遥感数据的空间分辨率远高于以前常用于遥感异常提取的 TM/ETM⁺ 和 ASTER 数据,波谱范围位于可见光-近红外;尤其是 WorldView2 数据的波段进一步细分,分别对应铁氧化物的吸收与反射特征谱段,能够有效地用于识别铁染异常。

2) 采用主成分变换方法对 IKONOS 遥感数据进行铁染异常提取,在西昆仑黑恰一带新发现规模较大的菱铁赤铁矿化带;采用主成分变换方法对 WorldView2 遥感数据进行铁染异常提取,在西昆仑老井一带遥感铁染异常区与磁铁矿化范围基本吻合,提取精度较高。

参考文献 (References):

- [1] 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.2003.03.12.
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.2003.03.12.
- [2] 姚佛军,杨建民,张玉君,等.三种不同类型矿床分类蚀变遥感异常提取及其应用[J]. 岩石学报,2009,25(4):971-976.
Yao F J, Yang J M, Zhang Y J, et al. Extraction of remote sensing alteration anomalies of three types of ore deposits and its application[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4): 971-976.
- [3] 杨建民,张玉君,陈薇,等. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常技术方法在东天山戈壁地区的应用[J]. 矿床地质,2003,22(3):278-286.
Yang J M, Zhang Y J, Chen W, et al. Application of ETM⁺ (TM) remote sensing alteration anomaly extraction technique to Gobi area, East Tianshan mountains[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(3): 278-286.
- [4] 陈建平,王倩,董庆吉,等.青海沱沱河地区遥感蚀变信息提取[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2009,34(2):314-318.
Chen J P, Wang Q, Dong Q J, et al. Extraction of remote sensing alteration information in Tuotuohe, Qinghai Province[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(2): 314-318.
- [5] 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,2009,27(4):368-372.
Chen J M, Sun W D, Yan B K, et al. The application and research of the anomaly extraction process base on the ASTER multi-spectral remote sensing in Tianhu iron ore mine[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(4): 368-372.
- [6] 耿新霞,杨建民,张玉君,等.新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿蚀变岩石的光谱特征及其意义[J]. 现代地质,2008,22(1):116-122.

- Geng X X, Yang J M, Zhang Y J, et al. Spectral characteristics and its significance of altered rocks of Baogutu porphyry copper deposit in western Junggar, Xinjiang[J]. Geoscience, 2008, 22(1): 116-122.
- [7] 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): 63-69.
Zhang Y J, Yang J M, Yao F J. 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, 2007, 14(5): 63-69.
- [8] 钱建平,张渊,赵小星,等.内蒙古东乌旗遥感构造和蚀变信息提取与找矿预测[J]. 国土资源遥感,2013,25(3):109-117. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.19.
Qian J P, Zhang Y, Zhao X X, et al. Extraction of linear structure and alteration information based on remote sensing image and ore-prospecting prognosis for Dongwu Banner, Inner Mongolia[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(3): 109-117. doi: 10.6046/gtzyyg.2013.03.19.
- [9] 别小娟,张廷斌,孙传敏,等.藏东罗布莎蛇绿岩遥感岩矿信息提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2013,25(3):72-78. doi:10.6046/gtzyyg.2013.03.13.
Bie X J, Zhang T B, Sun C M, et al. Study of methods for extraction of remote sensing information of rocks and altered minerals from Luobusha ophiolite in east Tibet[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(3): 72-78. doi: 10.6046/gtzyyg.2013.03.13.
- [10] 代晶晶,王瑞江,曲晓明,等. TerraSpec 波谱仪在西藏多不杂斑岩铜矿区蚀变信息研究中的应用[J]. 国土资源遥感,2013,25(1):105-110. doi:10.6046/gtzyyg.2013.01.19.
Dai J J, Wang R J, Qu X M, et al. Application of TerraSpec spectrometer to the study of alteration information in the Duobuza porphyry copper deposit of Tibet[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 105-110. doi: 10.6046/gtzyyg.2013.01.19.
- [11] 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.
- [12] Kendall M. Multivariate Analysis[M]. England: Charles Griffin and Company Limited, 1975.
- [13] 傅文杰,洪金益,朱谷昌. 基于 SVM 遥感矿化蚀变信息提取研究[J]. 国土资源遥感,2006,18(2):16-19. doi:10.6046/gtzyyg.2006.02.05.
Fu W J, Hong J Y, Zhu G C. The extraction of mineralized and altered rock information from remote sensing mage based on SVM[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2006, 18(2): 16-19. doi: 10.6046/gtzyyg.2006.02.05.
- [14] 张玉君,姚佛军.应用多光谱 ASTER 数据对 ETM 遥感异常的定性判别研究——以东昆仑五龙沟为例[J]. 岩石学报,2009,25(4):963-970.
Zhang Y J, Yao F J. Application study of multi-spectral ASTER data for determination of ETM remote sensing anomaly property: Taking Wulonggou region of eastern Kunlun mountain range as example[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4): 963-970.
- [15] Hunt G R, Ashley R P. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared[J]. Economic Geology, 1979, 74(7): 1613-1629.

[16] 张玉君,杨建民,陈 薇. 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]. 国土资源遥感,2002,14(4):30-36. doi:10.6046/gtzyyg.2004.04.07.
Zhang Y J, Yang J M, Chen W. A study of the method for extraction of alteration anomalies from the ETM⁺ (TM) data and its application: Geologic basis and spectral precondition[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2002, 14(4):30-36. doi:10.6046/gtzyyg.2004.04.07.

[17] 甘甫平,王润生,马蔼乃. 基于特征谱带的高光谱遥感矿物谱系识别[J]. 地学前缘,2003,10(2):445-454.
Gan F P, Wang R S, Ma A N. Spectral identification tree (sit) for mineral extraction based on spectral characteristics of minerals [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(2):445-454.

[18] 张宗贵,王润生,郭小方,等. 基于地物光谱特征的成像光谱遥感矿物识别方法[J]. 地学前缘,2003,10(2):437-443.
Zhang Z G, Wang R S, Guo X F, et al. Mineral recognition method by spectrometry remote sensing based on material spectral characteristics[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(2):437-443.

[19] 张玉君,曾朝铭,陈 薇. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程[J]. 国土资源遥感,2003,15(2):44-49. doi:10.6046/gtzyyg.2003.02.11.
Zhang Y J, Zeng Z M, Chen W. The methods for extraction of alteration anomalies from the ETM⁺ (TM) data and their application: Method selection and technological flow chart[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2003, 15(2):44-49. doi:10.6046/gtzyyg.2003.02.11.

[20] 张 微,张 伟,刘世英,等. 基于核 PCA 方法的高分辨率遥感图像自动解译[J]. 国土资源遥感,2011,23(3):82-87. doi:10.6046/gtzyyg.2011.03.15.
Zhang W, Zhang W, Liu S Y, et al. Automatic interpretation of high resolution remotely sensed images by using kernel method[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23(3):82-87. doi:10.6046/gtzyyg.2011.03.15.

[21] Loughlin W P. Principal component analysis for alteration mapping [C]//Proceedings of the 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. Denver, USA, 1991:293-306.

[22] 燕长海,陈曹军,曹新志,等. 新疆塔什库尔干地区“帕米尔式”铁矿床的发现及其地质意义[J]. 地质通报,2012,31(4):549-557.
Yan C H, Chen C J, Cao X Z, et al. The discovery of the “Pamir-type” iron deposits in Taxkorgan area of Xinjiang and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(4):549-557.

[23] 李宝强,杨万志,赵树铭,等. 西昆仑成矿带成矿特征及勘查远景[J]. 西北地质,2006,39(2):128-142.
Li B Q, Yang W Z, Zhao S M, et al. Metallogenic characteristics and prospecting areas in the Western Kunlun Metallogenic Belt [J]. Northwestern Geology, 2006, 39(2):128-142.

[24] 张 微,杨金中,方洪宾,等. 东昆仑—阿尔金地区遥感地质解译与成矿预测[J]. 西北地质,2006,43(4):288-294.
Zhang W, Yang J Z, Fang H B, et al. Remote sensing interpretation and metallogenic prediction in the metallogenic belts of East Kunlun and Altun Mts[J]. Northwestern Geology, 2006, 43(4):288-294.

Method for extraction of ferric contamination anomaly from high – resolution remote sensing data and its applications

JIN Moushun¹, WANG Hui¹, ZHANG Wei², WANG Xue³

(1. Remote Sensing Application Institute of ARSC, Xi'an 710054, China; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 3. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The utilization of multi – spectral remote sensing data to extract anomalies in western China is a fast and economical method, but the spatial resolution of the data available is low and the ferric contamination anomaly appears as mixed pixels so that the accuracy of extraction for ferric contamination anomaly is poor. In view of the deficiency of extraction for ferric contamination anomaly with low resolution remote sensing data, the authors, through analyzing the geological basis and spectral features of ferric contamination anomaly, determined the wave bands of high resolution remote sensing data, such as WorldView2 and IKONOS, and used principal component analysis to extract ferric contamination anomaly. A large – sized iron ore belt in Heiqia of Western Kunlun Mountains was found, and the ferric contamination anomalies coincident with the magnetite mineralization in Laobing of Western Kunlun Mountains were extracted. The results show that the accuracy of extracting ferric contamination anomaly with high resolution remote sensing data is satisfactory.

Keywords: WorldView2; IKONOS; ferric contamination anomaly; principal component analysis; Western Kunlun Mountains

第一作者简介: 金谋顺 (1984 –),男,工程师,主要从事遥感地质研究工作。Email: jinmoushun123@163.com。
通信作者: 张 微 (1980 –),男,博士,高级工程师,主要从事遥感技术在矿产资源调查及新构造运动方面的研究。Email: zhangwei@agrs.cn。

(责任编辑: 刘心季)