

新疆哈拉奇地区遥感信息提取与解释

李伟¹, 刘晓煌¹, 严琨¹, 唐超²

(1. 武警黄金部队第七支队, 山东烟台 264004; 2. 中国地质大学国土资源与高新技术研究中心, 北京 100083)

摘要: 以 ETM+ 图像数据为信息源, 运用比值变换和主成分分析技术, 进行数据融合和图像增强处理, 结合数字高程模型, 提取新疆哈拉奇地区构造和近矿围岩蚀变信息。根据线性构造的影像特征分析, 划分出 3 个构造组合: 区域性近东西向、北东向、北西向构造。同时利用分形理论的求和法进行了研究区遥感蚀变异常的提取, 并将蚀变结果与构造化和探异常区进行了对比分析。

关键词: 哈拉奇; 遥感; 构造; 蚀变

中图分类号: P23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2013)04-0241-08

The Extraction and Explanation of Remote Sensing Information in Halaqi Area of Xinjiang

LI Wei, LIU Xiao-huang, YAN Kun, TANG Chao

(1. No. 7 Gold Geological Party of CAPF, Yantai 264004, China; 2. Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The information of tectonic structure and surrounding rock alteration is extracted from ETM remote sensing data through data amalgamation and image enhancement by ratio transformation, main component analysis and digital elevation model (DEM). According to the image characteristics of linear structures, three structural trends are identified: nearly EW, NE and NW direction. The paper uses fractal theory for remote sensing alteration anomaly extraction, and contrast the result with fault and geochemical abnormal area.

Key words: Halaqi; Remote sensing; Structure; Alteration

以找矿预测和成矿作用为目的线性构造解译和研究已成为构造、遥感和成矿作用共同关注的热点。线性构造对金属矿床空间分布的控制及其找矿意义的研究是矿床地质学家关心的课题。特别是一些世界级的超大型矿床。例如, 澳大利亚奥林匹克坝 (Olympic Dam) 铜-金-铀矿床就是在线性构造解译的基础上进行了成功的靶区预测而发现的。近

年来, 国内外学者已发表了不少相关论著, 大大地深化了该领域的研究。

目前, 基于 ETM (TM) 以及 Aster 数据影像蚀变异常提取的技术已经日趋成熟。近矿围岩蚀变形成的蚀变岩石的光谱异常为用遥感图像的异常信息提取提供了理论依据。目前, 矿化蚀变信息的遥感提取方法主要有比值变换法、主成分分析法、光

收稿日期: 2013-09-27; **修回日期:** 2013-10-28

基金项目: 中国地质调查局基础地质矿产调查评价专项项目“新疆哈拉奇地区区域地质矿产调查”(1212011120495)

作者简介: 李伟 (1985-), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 2012 年毕业于中国地质大学 (北京) 矿产普查与勘探专业。

E-mail: lifeiranxinglong@163.com

谱角填图法、对应分析法、Gram-schmidt 投影方法和 MPH 技术。在蚀变信息分级处理时, 张玉君等人基于统计学原理, 形成了“去干扰异常主分量门限”技术流程, 以标准离散差 σ 作为尺度, 以 $n * \sigma +$ 均值的方法来限定异常分级, 在全国矿产资源潜力评价项目中得到推广应用。

1 研究区地质特征

研究区位于新疆天山西南的哈拉奇地区, 经纬度范围为 $N40^{\circ}30' \sim N40^{\circ}50'$, $E77^{\circ}45' \sim E78^{\circ}15'$ 。该区地形起伏较大, 主要由中高山组成, 海拔一般在 $2\ 500 \sim 3\ 800\ \text{m}$, 相对高差一般为 $500 \sim 1\ 300\ \text{m}$, 有多处悬崖陡壁。基岩多裸露, 植被相对稀少, 沿陡坡地表多为碎石块。山背处植被发育。戈壁及沟谷大部分被第四系覆盖。自然环境十分恶劣, 地质研究程度较低, 区域地质调查、矿产资源调查等工作进展缓慢。地面地质工作的开展难度大、成本高, 因此在该区开展遥感找矿工作就成为

一种经济、便携、有效的手段。

调查区位于塔里木陆块西北缘地带, 是古亚洲洋和古塔里木地台古生代陆缘造山带的重要组成部分。南部受向南逆冲的喀拉俊-柯坪塔格弧形推覆构造系统控制; 北部受大型左旋压扭迈丹-喀拉铁克断裂带控制。大地构造位于塔里木-华北板块(Ⅲ)塔里木微板块(Ⅲ1)阔克塔勒晚古生代陆缘盆地(Ⅲ13)与柯坪前陆盆地(Ⅲ14)的接触部位(图1)。工作区内的断裂主要以北东向和东西向为主。

调查区内出露地层以古生代地层和新生代地层为主。地层区划属塔里木-南疆地层大区, 塔里木地层区的塔北地层分区、中南天山-北山地层区的南天山地层分区, 柯坪地层小区和阔克沙勒岭地层小区。区内岩浆岩主要为基性脉岩, 少量超基性脉岩。产出状态主要为小型脉岩, 少量呈小岩株, 受断层控制, 零星出露。调查区处于迈丹他乌铅、锌、锑、金、铜、稀土成矿带和柯坪铅、锌、铜成矿带, 具有一定的成矿潜力。

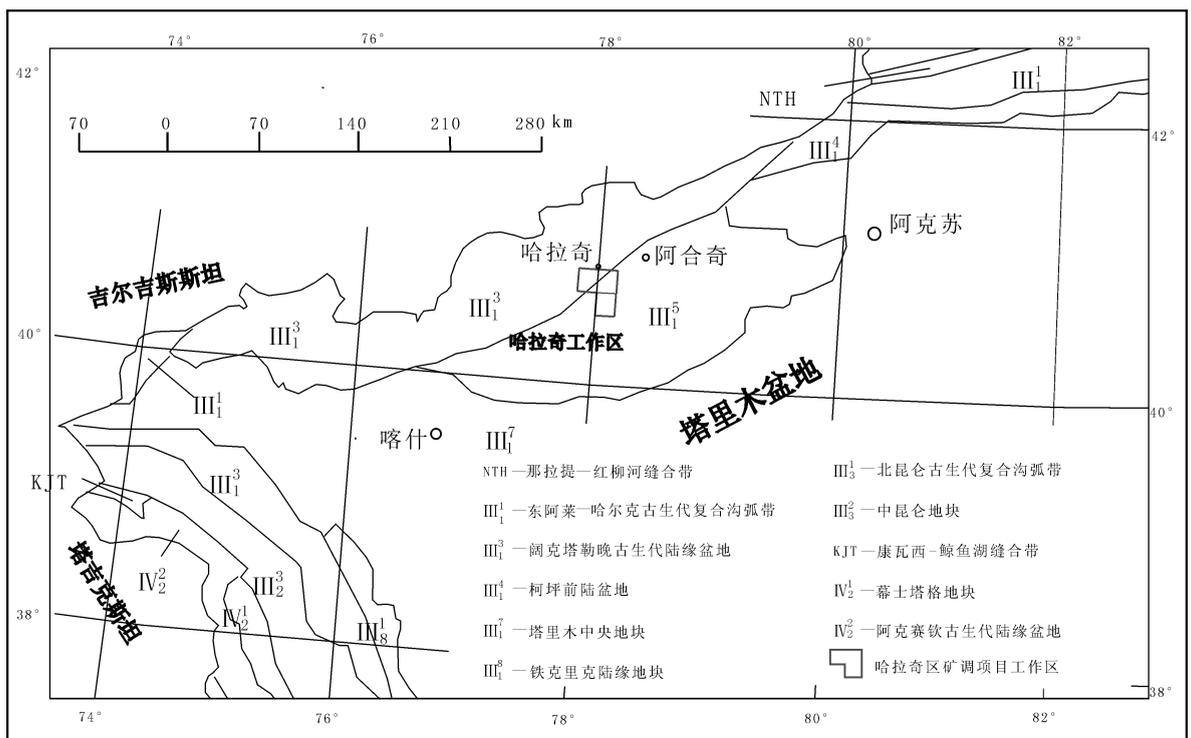


图1 大地构造位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tectonic

2 数据预处理

根据现有资料,综合考虑遥感图像的空间分辨率及波谱特征等,结合研究区自然景观和植被覆盖度,本次遥感解译工作选用具有较高空间分辨率和光谱分辨率、植被干扰较小的陆地卫星 ETM+ 数据,成像时间为 1999 年 9 月,轨道号为 148/032。该图像云量少,总体影像清晰,不同地物的层次感较强,色调对比度好,纹理细节清晰,植被较稀疏,利于蚀变遥感信息的提取。ETM+ (Enhanced The matic Mapperplus) 是美国陆地卫星 7 号 (Landsat7) 搭载的遥感装置,其遥感影像含有 8 个波段: B1 (蓝色波段)、B2 (绿色波段)、B3 (红波段)、B4 (近红外波段)、B5 (短波红外波段) 和 B7 (短波红外波段),是多光谱波段,分辨率为 30 m; B6 (热红外波段) 对地物热量辐射敏感,根据辐射热差异可用于作物与森林区分、水体、岩石等地表特征识别,分辨率为 60 m; B8 (全色波段) 为 Landsat7 新增波段,空间分辨率达 15 m,它覆盖的光谱范围较广。因此,ETM+ 影像具有从可见光到热红外的波谱范围,能够满足一定矿物、岩石的划分和蚀变信息提取的需要。

2.1 最佳波段的选择

不同地物具有不同的电磁波谱特征。ETM+ 不同波段的数据,记录和反映地物的能力不同。最佳波段组合选择的原则是:①波段之间的相关系数最小,方差最大;②波段组合的信息熵较高;③合成后的假彩色适合人眼的识别。可以用于确定多光谱遥感图像最佳波段组合的方法有很多。例如,基于熵、联合熵、协方差矩阵以及最佳指数的方法等。依据上述原则,并结合研究区的矿化蚀变特征,本次研究最终选用 ETM+7、4、1 波段合成遥感地质解译的基础图像。

2.2 干扰信息的去除

在进行遥感蚀变信息提取之前,先对研究区积雪、阴影、水体及植被等干扰信息进行去除,以避免所提取的遥感蚀变信息失真。干扰的去除应根据地物在不同波段的不同波谱特征而选择不同的处理方法,将可能形成干扰的非目标地物经数学处理归入干扰窗,经掩模运算去除非目标物,尽可能地减少干扰物(阴影、水体及植被等)对异常提取产生的影响。

在某些波段,水体与阴影有相似的波谱特征。因此,可以将二者一并去除,ETM7/ETM1 可以作为消除水体和阴影的方法。用水体及阴影的掩模图层分别与原图像作掩模运算,实现水体和阴影的去除。

根据植被的波谱曲线特征,可得去除植被方法有绿切割 (ETM4)、ETM5/ETM4、ETM3/ETM4 等,经比较认为 ETM3/ETM4 方法最优。用植被掩模图层与原图像作掩模运算,实现植被的去除。

3 遥感构造信息解译

利用 HIS 空间变换图像融合方法对 TM7、TM4、TM1 波段进行融合和增强处理,提取研究区内的地质构造信息。从地质角度看,遥感图像的影像特征,即为地质特征的显示,遥感图像中的线性体即代表地质构造中最基本的地质要素,而线性体的组合则标志着地质体、地质构造的最基本形式。遥感技术进行地物的识别依赖于地物的光谱特征及空间特征的差异,在多光谱遥感中,由于其光谱分辨率较低,使得地物的光谱特征差异不是很明显,因此地物的识别主要依赖地物的反射率差异在空间特征上的表现。例如,灰度、颜色、纹理、形态、空间关系等。利用图像增强技术,增强图像的色调、颜色、纹理、形态的差异,最大程度地解译地物,达到识别及区分的目的。

本次解译根据线性构造影像特征的规模大小和连续性,线性构造对区内岩浆活动、沉积作用的控制程度,并参考前人对本区构造研究的成果,同时将 ETM 遥感影像图与数字高程模型 (DEM) 进行叠合,从三维立体角度模拟真实工作区地貌、地层、构造等特征,从宏观上准确把握区域构造解译 (图 2)。通过以上手段将区内线性构造分为区域性线性构造和次要断裂,其中区域性断裂 15 条,以及大量的次要断裂 (图 3)。

(1) 北东向、近东西向构造是区内的主干构造。北东向构造在区域上大量组合出现,这与区域上的北西—南东向挤压应力十分吻合。北东向和近东西向 2 组方向的构造在区域上相互穿插,形成了大大小小的多个明显的菱形体。结合前人地质资料及本次解译结果,可以分析出这些菱形体是由于北西南东向挤压应力形成的北东向线形构造,后期被北东—南西向挤压应力形成的东西向构造错断而形

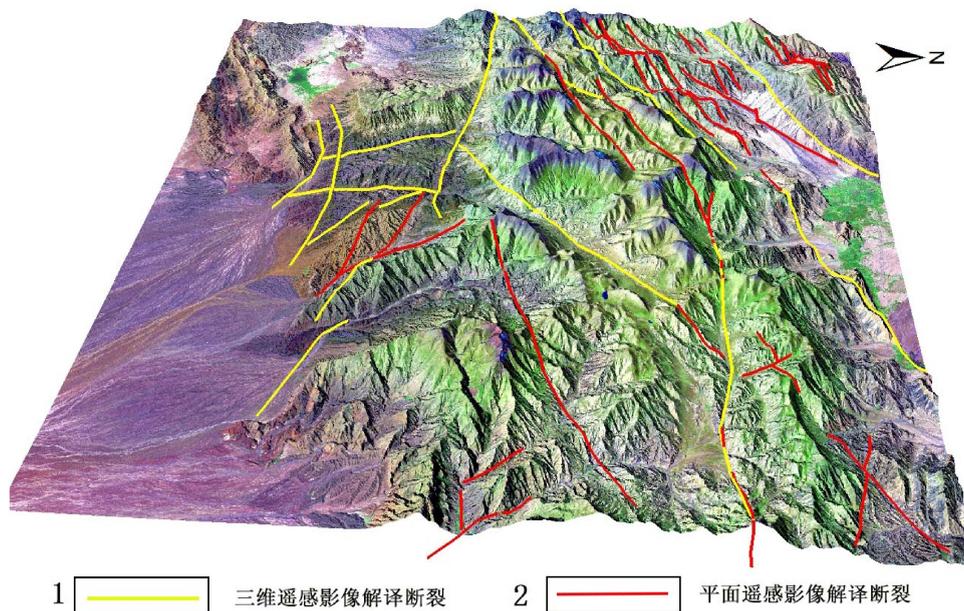


图2 DEM 三维遥感影像构造解译图

Fig. 2 The map of structure interpretation with DEM

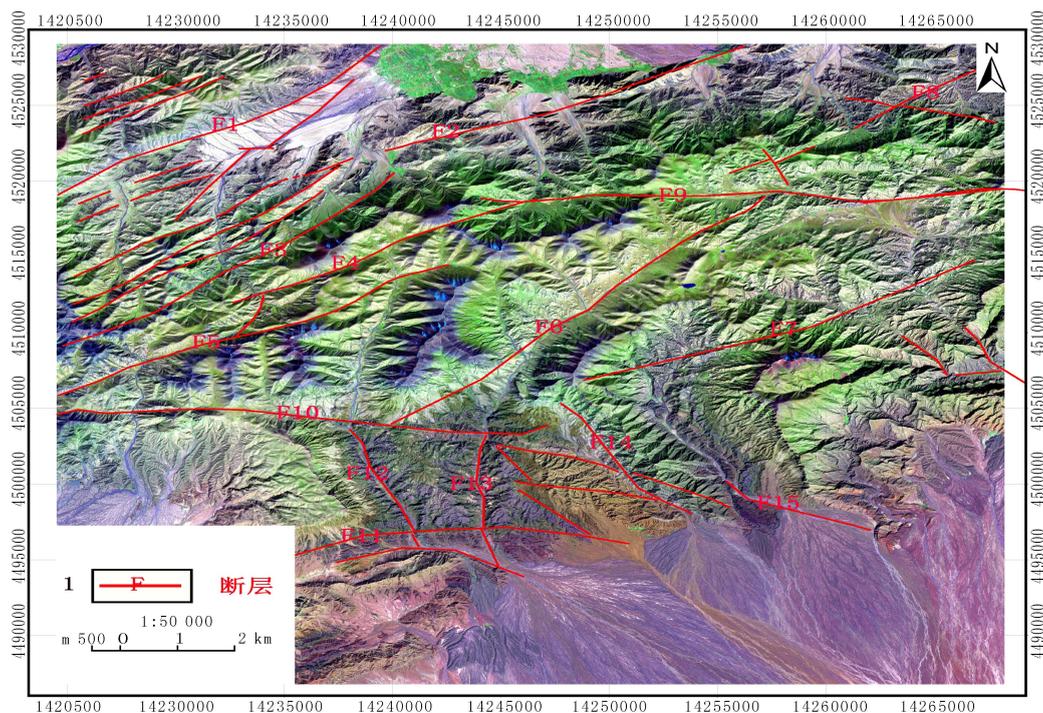


图3 ETM 遥感影像构造解译图

Fig. 3 The map of structure interpretation with ETM

成。北东向、近东西向构造组合对区内含矿岩体、脉体可能起着重要的控岩、导矿构造作用，形成较明显的构造活动带。因此从构造角度讲，本区找矿

工作，应注意北东向、近东西向构造带及近旁的断裂交汇处。

(2) 北西向和近南北向断裂在本区也有发育，

属于次一级构造。近南北向断裂主要见于研究区南部，而北西向构造主要分布在研究区南部和东北角。这2个方向的构造在不同部位可见它们被北东向和东西向构造所切断。推测它们分属2期构造应力场的产物。

4 基于 ETM 数据的矿化蚀变信息提取

内生矿床绝大部分都伴随着相应的围岩蚀变。蚀变特征找矿的一个重要标志，而这些矿化蚀变特征常常受其他地物信息的干扰，同时受遥感图像的波谱分辨率和空间分辨率的制约，往往表现微弱。由于绝大部分内生矿床都有黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化等蚀变现象，且蚀变范围比矿床大得多，这就为蚀变信息提取创造了条件。通过对含铁矿物波谱曲线的分析可知，含铁离子的赤铁矿和褐铁矿化在 $0.5 \mu\text{m}$ 处为低反射区，在 $0.65 \mu\text{m}$ 处为高反射区。首先

对遥感图像中形成干扰的植被、阴影、河流等信息进行掩膜。根据铁染矿物的波谱曲线特征，选取 TM1、TM3、TM4、TM5 4 个波段作为组合波段作主成分分析增强遥感图像的铁染信息。从含铁矿物的波谱曲线可以看出铁染信息在 ETM1 波段 ($0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$) 具有强吸收，在 ETM3 ($0.63 \sim 0.69 \mu\text{m}$) 具有强反射；然后对它们进行主成分分析，并提取与 ETM1 波段呈正相关、与 ETM3 波段呈负相关的主分量，用于提取铁的氧化物类蚀变矿物。由此分析出异常集中在 PC4 中，对 PC4 分量图进行 3×3 中值滤波，然后选取合适的阈值进行铁染异常提取。

由表1可以得到 PC4 中 Band3 和 Band4 特征向量绝对值最大且符号相反，这是因为铁氧化物的特征光谱信息集中在了 TM1-4 波段，在 TM3 波段呈高反射，在 TM4 和 TM1 波段相对吸收。所以，将 PC4 波段作为铁染蚀变信息提取的变量。首先将 PC4 波段的亮度值拉伸到 $0 \sim 255$ ，根据门限法的异常下限对应该波段的 DN 值利用分形方法进行统计分析（表2）。

表1 铁染蚀变各主成分特征向量表

Tab.1 Eigenvectors statistics of ETM

Eigenvector	Band1	Band3	Band4	Band5
PC1	0.503 970	0.413 356	0.374 916	0.659 233
PC2	0.655 109	0.264 773	0.066 249	-0.704 513
PC3	-0.503 267	0.361 459	0.739 679	-0.262 574
PC4	0.252 129	-0.792 704	0.554 909	-0.011 287

表2 PC4 波段灰度分布略表

Tab.2 Digital Number (DN) data in PC4

r	N (r)	lg (r)	lg (N (r))
172	56 928 089	2.235 528	7.755 327
173	56 988 347	2.238 046	7.755 786
174	57 043 995	2.240 549	7.75 621
...
200	57 902 454	2.30 103	7.762 697
201	57 924 462	2.303 196	7.762 862
202	57 945 074	2.305 351	7.763 017
...
205	580 05 845	2.311 754	7.763 472
206	58 025 382	2.313 867	7.763 618
207	58 045 049	2.31 597	7.763 765
...
253	58 646 570	2.403 121	7.768 243
254	58 654 915	2.404 834	7.768 304
255	58 664 758	2.40 654	7.768 377

由表2中的数据生成双对数图像（图4）。利用散点拟合的线性关系得到其拟合度为 $0.965 2$ ，说明该区的亮度值信息具有分形的特征。进一步对表2数据进行分析可以得到如图5所示，证明该亮度值区间具有多重分形的特征，由图5中直线与散点的交点可以得到临界点的 DN 值，从而根据此临界值对图像进行密度分割。将亮度值进行均值滤波，除去散点，制作遥感图像的蚀变异常图。

研究区提取的铁染一级蚀变的面积约 35.375 km^2 （图6），整个研究区的面积为 $1 200 \text{ km}^2$ ，铁染一级蚀变占整个研究区的 3% 。哈拉奇地区主要为沉积型的金铁铜多金属矿床，由于自然环境恶劣，该区开展的地质找矿工作较少，因此在该区进行提取铁染异常信息，对于本区的遥感地质找矿具

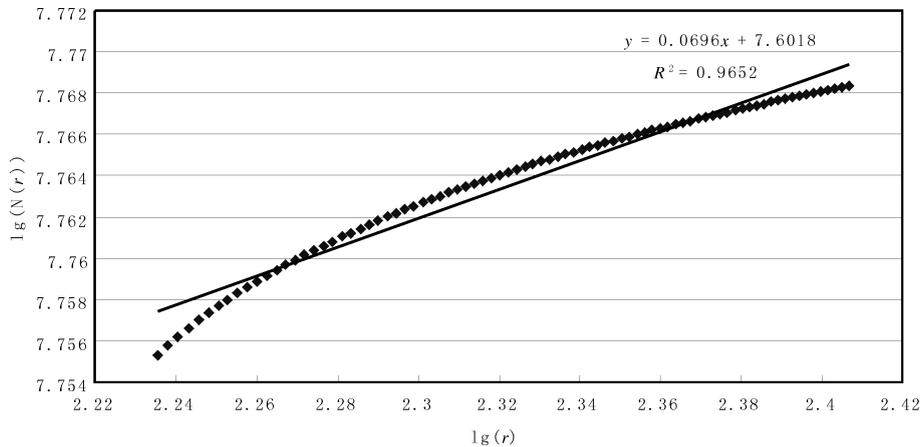


图4 PC4波段高亮DN值双对数图

Fig. 4 Fitting line rely on DN data

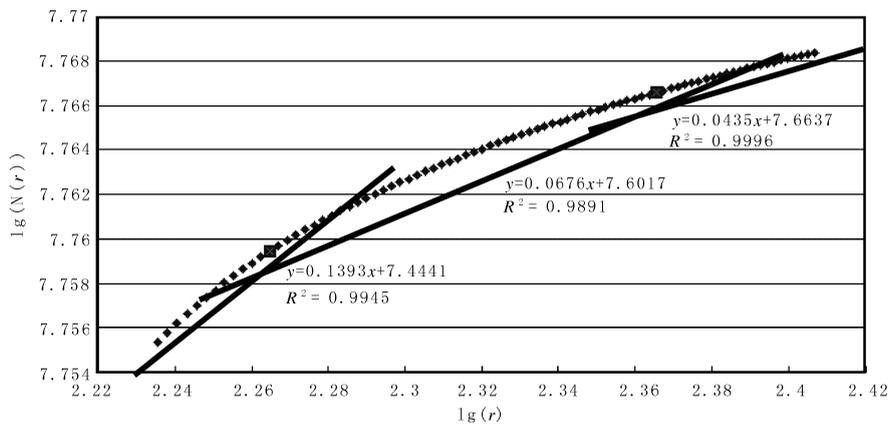


图5 PC4波段高亮DN值双对数多重分形图

Fig. 5 Multi-fractal on DN data

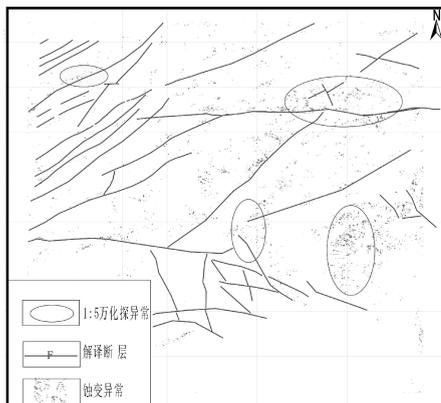


图6 新疆哈拉奇地区铁染异常与构造、化探异常区叠加图

Fig. 6 The map of alteration anomaly with structure and abnormal area of geochemical

有一定的指导意义。蚀变异常主要发生在区域性主干断裂与次一级断裂交汇部位，这部位是热液矿床产出的有利地段，说明本区遥感蚀变信息提取的结果是有效、可信的。同时将本次的蚀变信息提取结果与1:5万化探异常区进行对比，发现吻合程度较高，所以本次提取的蚀变异常区可以作为接下来野外工作的重点区域。

5 结论

(1) 笔者采用多种遥感信息增强方法，并结合区域地质资料和数字高程模型 (DEM)，从二维和三维角度对遥感影像进行区域构造解译，可识别和提供断裂的空间形态及展布等信息，显现断裂的切割关系，直观解译出了北东向、近东西向和近南北

向多组构造, 与区域构造格架基本吻合, 大大丰富了图面信息, 取得了较好的效果。

(2) 利用分形理论的基本方法对研究区ETM+图像进行处理, 提取与矿化相关的遥感异常, 通过这个过程得到了遥感异常作为蚀变信息在遥感图像上的反映。遥感蚀变蕴含着丰富的地质找矿信息, 随着遥感技术、图像解译与数据挖掘技术的发展, 遥感在地质找矿方面的应用将越来越有价值。尤其是遥感、地质、物探、化探等多源数据进行叠加分析和综合图像处理, 对定性、定量、定位的指导找矿具有重要意义, 值得进一步研究。

参考文献 (References):

- 于海峰, 王福君, 潘明臣, 等. 西天山造山带区域构造演化及其大陆动力学解析[J]. 西北地质, 2011, 44 (2): 25-40.
- Yu Haifeng, Wang Fujun, Pan Mingchen, et al. Regional Tectonic Evolution and Continental Dynamic Characteristics of Western Tianshan Orogenic Belt [J]. Northwestern Geology, 2011, 44 (2): 25-40.
- 荆凤, 陈建平. 矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J]. 遥感信息, 2005, (2): 62-66.
- Jing Feng, Chen Jianping. The Review of The Alteration Information Extraction with Remote Sensing [J]. Remote Sensing Information, 2005, (2): 62-66.
- 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[J]. 国土资源遥感, 2003, (02): 508-511.
- Zhang Yujun, Zeng Chaoming, Chen Wei. The Methods for Extraction of Alteration Anomalies from the ETM (TM) Data and Their Application [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, (02): 508-511.
- 龙晓君, 何政伟, 刘严松, 等. 西藏羌多地区遥感蚀变与构造信息提取及成矿预测[J]. 国土资源遥感, 2010, (02): 63-67.
- Long Xiaojun, He Zhengwei, Liu Yansong, et al. Extraction of the Remote Sensing Altration and Structure Information and Metallogenic Prognosis in Qiangduo Area, Tibet [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, (02): 63-67.
- 李建兵, 杨桂荣, 陈奎, 等. 新疆西南天山川鲁铜金锑多金属矿地质特征及成矿规律[J]. 新疆地质, 2007, 25 (4): 379-383.
- Li Jianbing, Yang Guirong, Chen Kui, et al. The Polymetallic Ore Deposit Geological Feature and Metallogenic Regularity of Copper, Gold and Antimony in Southwest Tianshan of Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25 (4): 379-383.
- 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.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993 (in Chinese).
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考[J]. 西北地质, 2002, 35 (4): 9-20.
- Xia Linqi, XIA Zuchun, XU Xueyi, et al. Some Thoughts On the Characteristics of Palezoic Ocean-continent Transition from Tianshan Mountains [J]. Northwestern Geology, 2002, 35 (4) (in Chinese): 9-20.
- 王倩, 陈建平. 基于分形理论的遥感蚀变异常提取和分级[J]. 地质通报, 2009, 28 (2-3): 285-288.
- Wang Qian, Chen Jianping. Extraction and Grading of Remote Sensing Alteration Anomaly Based on the Fractal Theory [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28 (2-3): 285-288.
- 梁玉琦, 王功文, 朱颜颜, 等. 分形方法在遥感蚀变信息提取中的应用研究[J]. 国土资源遥感, 2011, 26 (4): 508-511.
- Liang Yuqi, Wang Gongwen, Zhu Yanyan, et al. Alteration From ETM Data Rating Based on Fractal Technologies [J]. Remote Sensing Technology And Application, 2011, 26 (4): 508-511.
- Shepard F. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1954: 151-158.