

新疆塔里木盆地北缘铀矿勘查中 高分辨率遥感分析应用

叶发旺, 刘德长

(核工业北京地质研究院 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

摘要: 高分辨率遥感技术(包括高空间分辨率和高光谱分辨率)是新世纪以来地质勘查领域的重要新技术、新方法。本文以新疆塔里木盆地北缘巴什布拉克铀矿区和柯坪地区为例,研究了 Quickbird 高空间分辨率卫星遥感技术和 CASI(Compact Airborne Spectrographic Imager)/ SASI (Shortwave infrared Airborne Spectrographic Imager)航空高光谱遥感技术在铀矿勘查中的应用。首先,介绍了 Quickbird 和 CASI/SASI 高分辨率遥感数据的特点和处理方法;然后,分析了 Quickbird 高空间分辨率遥感技术在新疆塔里木盆地北缘巴什布拉克铀矿区油气还原褪色蚀变识别与空间分布规律分析中的应用,为铀矿油气还原成因研究和外围找矿方向提供重要依据;并研究了 Quickbird 与 CASI/SASI 两种高分辨率遥感技术在新疆塔里木盆地北缘柯坪地区铀矿勘查中的应用,发现了萨拉姆布拉克铀矿化带及其铀矿化蚀变空间分布特征,确定了铀矿化蚀变类型,预测了铀矿找矿靶区,为该地区铀矿勘查的新突破提供了重要依据。上述应用表明,高分辨率遥感技术在铀矿地质勘查领域可以取得很好的应用效果,值得广大遥感地质工作者今后进一步深入挖掘其应用潜力。

关键词: 高分辨率遥感技术; Quickbird 和 CASI/SASI; 塔里木盆地北缘; 铀矿勘查应用

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00548

1 引言

新世纪以来, Quickbird, WorldView 等高空间分辨率卫星遥感数据和 Hyperion 等卫星高光谱遥感数据已较多应用于我国地质勘查领域,在精细识别地层、岩体(岩脉)、构造、蚀变等成矿要素方面有很好的应用效果^[1-6]。同时, HyMap、CASI/SASI/TASI 等航空高光谱遥感技术也已开始应用于我国地质矿产勘查,并逐渐发挥出良好的应用效果^[7-9]。

铀矿资源其铀矿化产出与构造、油气还原褪色蚀变、岩脉等成矿要素关系密切^[10-11]。本文从铀矿勘查角度,在铀成矿构造、与铀矿有关的基性岩脉、铀矿化褪色蚀变、热液蚀变等成矿要素方面,以 Quickbird 为代表的高分辨率卫星遥感数据和以 CASI/SASI 为代表的航空高光谱遥感数据对新疆塔里木盆地北缘铀矿勘查应用进行了多元分析。

2 Quickbird 和 CASI/SASI 高分辨率遥感数据特点与处理

2.1 Quickbird 数据特点与处理

Quickbird 的全色波段空间分辨率为 0.61m, 彩色多光谱分辨率为 2.44m, 幅宽为 16.5km, 有 B1 (450 ~ 520nm)、B2 (520 ~ 600nm)、B3 (630 ~ 690nm)、B4 (760 ~ 900nm) 等 4 个多光谱波段。为使 Quickbird 数据在应用中具有更好的解译能力, 通常采取全色波段与多光谱波段的融合处理^[12-13]。但在砂岩型铀矿勘查应用中, 由于褪色蚀变对砂岩铀矿的形成具有重要作用^[14], 且这些褪色蚀变岩石具有明显不同于未蚀变红色岩石的地球化学特征^[15]。因此, 本文除进行融合处理外, 还进行了有效增强褪色蚀变信息的反向增强处理。

褪色蚀变信息反向增强处理的基本思想是: 利用逆向思维, 如果将未发生褪色蚀变的砂岩的红色

收稿日期: 2012-04-05; 修回日期: 2012-08-03.

作者简介: 叶发旺(1974-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事铀矿勘查遥感新技术及应用研究。

E-mail: Yfwbeijing2008@sina.com

信息增强出来,那么与之相反的信息便是可能发生褪色蚀变的浅色信息。具体方法是根据研究区紫红色砂岩光谱在 550nm 附近有明显吸收陡坎的特征^[16],采用 B3/B2 或主成分分析方法对 B2、B3、B4 进行处理,提取一个突出 Fe^{3+} 强度信息的专题信息。然后,将其作为一个附加波段,与 B2、B1 进行 RGB 彩色合成,并作适当的线性拉伸处理。这样处理后的彩色合成图像既突出了紫红色砂岩信息,又具有接近真彩色(B3、B2、B1 合成)的特点,使未蚀变紫红色砂岩与发生褪色蚀变的浅色砂岩之间具有更加强烈的对比,而且紫色调的相对强弱还可反映 Fe^{3+} 的相对含量,从而提高图像的可分析和解译能力。

2.2 CASI/SASI 数据特点与处理

本文使用的 CASI/SASI 航空高光谱遥感数据,是核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室于 2008 年 9 月用 CASI/SASI 航空高光谱测量系统在新疆柯坪地区开展试验飞行测量时获取的。其中,CASI 数据为可见光-近红外谱段,光谱覆盖范围 404~1047nm,共 48 个波段,光谱分辨率 14nm,空间分辨率 1m;SASI 数据为近红外谱段,光谱覆盖范围 950~2450nm,共 101 个波段,光谱分辨率 15nm,空间分辨率 2.4m。根据 CASI/SASI 航空高光谱遥感数据的特点,本文参考前人研究的高光谱遥感矿物填图方法^[17-19],利用准同步实测的黑、白布和明暗地物的光谱数据,采用以“白布+均匀地物”的经验线性法,开展大气校正处理。在此基础上,以 ENVI 遥感图像处理软件为平台,按照“沙漏”技术流程和最小密度分割法,实现 CASI/SASI 航空高光谱遥感矿物填图。

3 巴什布拉克铀矿区 Quickbird 高分辨率影像应用

巴什布拉克铀矿床位于塔里木盆地西北缘乌恰县西部的中生代盆地内,矿床是一个含油沥青型铀矿床^[20],其有利含矿层是下白垩统红色陆相碎屑岩经油气还原蚀变后的灰绿色地层,这些灰绿色地层在地表又被后期的地下水氧化成浅灰黄色、灰白色。因此,这些油气还原褪色蚀变地层的空间展布特征和分布规律对研究该铀矿床成因和外围找矿预测具有重要意义。

从经褪色蚀变信息反向增强处理的巴什布拉克铀矿区及其周围的 Quickbird 图像(图 1)上,可以看出第三系(E—N)主体以紫红色调显现出来,元古界(Pt)以灰色调显现,白垩系(两蓝色曲线之间)总体上以灰色、灰白色调为主,在西北部 and 东南部有几处呈明显的紫红色调显示。东、西两矿区基本上处于灰白色调夹少量浅红色调的影像中。上述影像特征反映了巴什布拉克铀矿区及周围的白垩纪地层均不同程度地受到了后期油气的还原作用,发生了褪色蚀变。矿区及周围褪色蚀变强度总体规律是:北部强、南部减弱,中东部强、西部减弱。

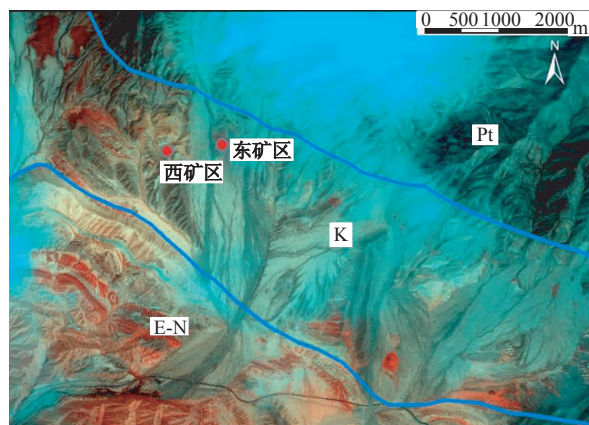


图 1 巴什布拉克铀矿区及周围 QuickBird B3/B2(R), B2(G), B1(B)彩色合成图像

Fig. 1 The color composite image of QuickBird B3/B2(R), B2(G) and B1(B) for Bashibulake uranium ore region and its surrounding area

通过对东、西铀矿区 Quickbird 图像的多元综合分析,可以识别出油气还原褪色地层相对微观的特征。在西矿区图像(图 2)上,可以清楚地识别出白垩系地层层理,根据“V”字形法测,可以判断岩层倾向为南南西,走向为北西西。同时,可以识别出西矿区色调以浅灰绿、灰色、灰黄色调为主,紫红色调次之,只有矿区坑道口的碎石和矿渣为深灰绿色调。紫红色调与浅灰绿色、灰白色调交错显现。从局部形态来看,紫红色调具有形态不规则、大小不一、排列不同的特点;有的呈较大片状连续分布(图 2 中的①),有的呈细线状沿岩层走向连续分布(图 2 中的②),有的呈不规则小片状沿岩层走向断续分布(图 2 中的③),还有的呈线状垂直岩层走向分布(图 2 中的④)。

在东矿区及周围的 Quickbird 融合图像(图 3)上,可进一步识别局部发生油气还原蚀变地层更精

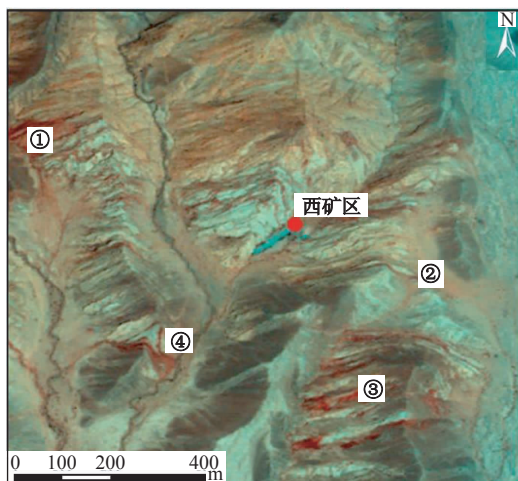


图2 巴什布拉克西矿区 QuickBird B3/B2(R), B2(G), B1(B)彩色合成图像

Fig. 2 The color composite image of QuickBird B3/B2(R), B2(G) and B1(B) for Bashibulake west uranium ore region

细的形态特征。从坑道内挖掘出来的强油气还原蚀变碎石堆总体呈灰绿色调(图3中的①),但受后期地表氧化作用,出现了顺堆走向的灰黄色调;碎石堆西侧,存在一较大片的灰黄色调地层(图3中的③),使大片未发生油气还原褪色蚀变的紫红色调地层残留东缘出现了明显的间断;在大片紫红色调地层内部,存在一些近平行于岩层走向的小片状浅灰黄色调地层(图3中的④),同时,还存在许多形态不规则、展布方向各异、面积大小不一的微片状浅灰黄色调地层(图3中的⑤)。这些灰黄色调地层都是早期发生油气还原褪色蚀变后,暴露地表受后期氧化作用形成的。因此,其形态特征直接反映了油气对地层发生蚀变作用的特征和规律。前人挖掘的垂直岩层走向的大量铀矿化探槽处于灰黄色调地层(图3中②),反映了油气还原褪色蚀变岩层是铀矿化的有利层位。

上述紫红色色调和灰黄色调反映的分别是未发生褪色蚀变的紫红色砂岩残留的影像特征和发生了褪色蚀变的蚀变砂岩的影像特征。因此,上述影像特征从正、反两方面同时反映出发生褪色蚀变作用的边界不规则,走向既有顺层、又有穿层等特点。这些特点从相对宏观的角度反映出褪色蚀变作用是紫红色砂岩受自下而上运移的油气还原作用的产物,从而为油气在铀成矿过程中的重要作用提供了新的依据。同时,根据矿区及周围褪色蚀变

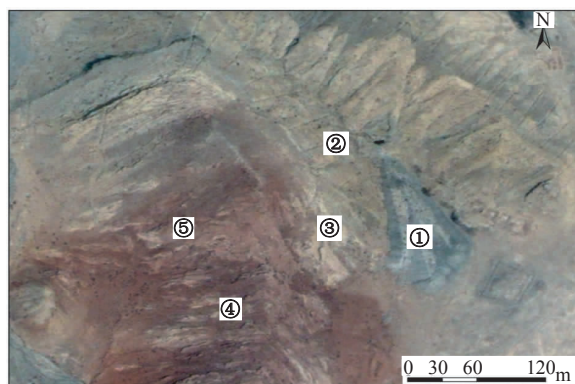


图3 巴什布拉克东矿区 QuickBird B3(R), B2(G), B1(B)多光谱波段与全色波段融合图像

Fig. 3 The fusion image of Quickbird multispectral B3, B2 and B1 with pan band for east Bashibulake uranium ore region

强度总体具有“北部强、南部减弱,中东部强、西部减弱”的规律,巴什布拉克铀矿区外围的找矿工作应重视矿区东部发生强烈褪色蚀变的地段。

4 柯坪地区 Quickbird 与 CASI/SA-SI 综合应用

4.1 萨拉姆布拉克铀成矿带 Quickbird 高分辨率遥感分析与野外验证

新疆塔里木盆地北缘柯坪断隆东段地区是值得重视的热流体铀成矿区^[21]。在这个地区的萨拉姆布拉克地段,作者利用 Aster 多光谱遥感分析其铀成矿地质条件时,发现由前人早在 1993 年发现的航放异常点(HF-10)和航放高场点(HG-6)分布于同一条 NW 向隐约显现的线性构造上(图4)。这一遥感发现把原本孤立分析的两个航放找矿信息有机结合起来,并建立了它们与断裂构造之间的空间联系,为重新评价萨拉姆布拉克地段的铀矿找矿潜力和找矿预测提供了重要新线索。

为了进一步识别上述 NW 向线性构造和其附近可能存在的蚀变特征,作者利用 Quickbird 卫星高分辨率遥感图像对其进行了深入分析。在萨拉姆布拉克 NW 向线性构造西段的 Quickbird 彩色合成图像上(图5),一条略有弧度的灰黑色条带状线性影像带清晰可见。该灰黑色条带状线性影像带在主体为红色调的背景上从西北向东南延伸,并在东南角处,可明显看到一大块灰白色调图像。在 NW 向线性影像西北角 HF-10 地段的 Quickbird

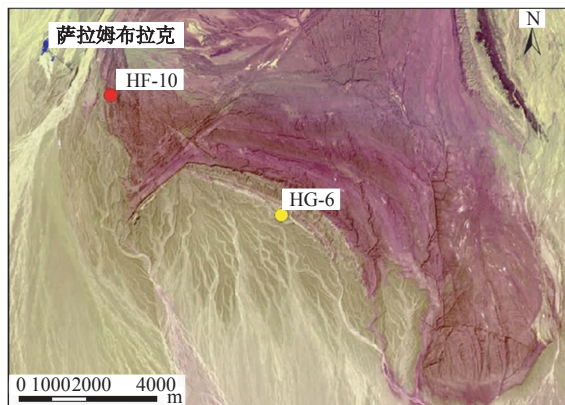


图 4 萨拉姆布拉克地区 ASTER B3、B2、B1 彩色合成图像

Fig. 4 The color composite image of ASTER

B3(R), B2(G) and B1(B) for Shalamubulake area

B3/B1(R)、B2(G)、B1(B)假彩色合成增强图像(图 6)上,可以看到主体为红色调(图 6 中的①)的影像上,明显存在一条沿 NW 向呈“折线”展布的灰色—灰黄色条带状影像带(图 6 中的②),条带状影像带的北侧存在 3 片呈不规则状分布的灰白色小图斑(图 6 中的③)。灰色、灰黄色调条带影像带,灰白色图斑和红色调影像三者空间上紧密联系呈有序分布。

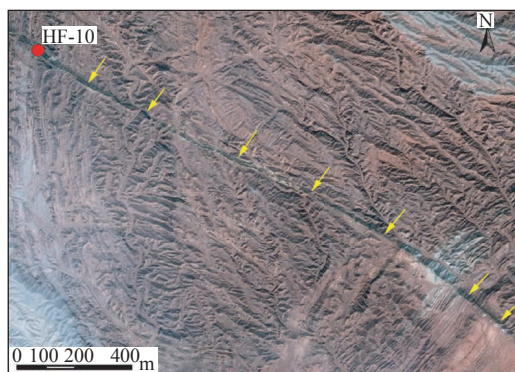
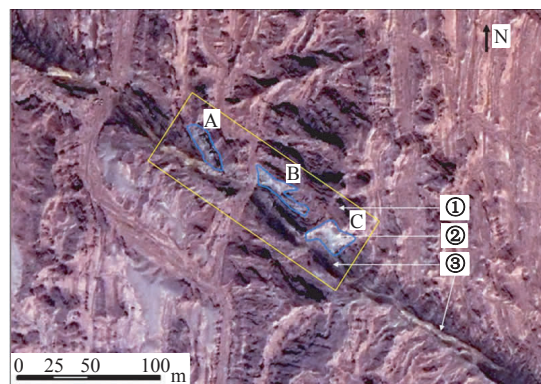


图 5 萨拉姆布拉克 NW 向线性影像带西段 QuickBird B3(R)、B2(G)、B1(B)彩色合成图像

Fig. 5 Color composite image of Quickbird B3, B2 and B1 for the west part of Shalamubulake area
NW-trend linear image belt

在 NW 向线性影像东南角出现的大片灰白色调影像局部放大图(图 7)上,灰色—灰黄色条带状影像边界(图 7 中的①)清晰可见,条带状影像的东北和西南两侧可见明显不同于红色调背景的大片灰白色调影像。其中,东北侧规模比西南侧大,成片性强(图 7 中的②),且明显有多条色带向北东方



①红色调影像;②灰色—灰黄色条带状影像;③灰白色图斑;
蓝色曲线代表灰白色图斑范围

图 6 图 5 中 HF-10 地段 Quickbird B3/B1(R), B2(G), B1(B)假彩色合成图像

Fig. 6 False color composite image of QuickBird B3/B1(R), B2(G) and B1(B) for HF-10 area in Fig. 5

向的远处发育;西南侧规模相对小些,成片性弱,有的顺层独自向西南方向的远处发育(图 7 中的③),有的断断续续地顺层出现(图 7 中的④)。

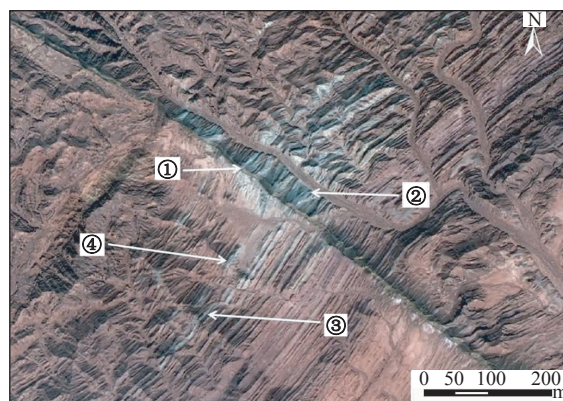


图 7 图 5 中东南段灰白色调影像放大图

Fig. 7 The enlarged image for the grey-white hue image in the eastsouth part of Fig. 5

上述分析表明,萨拉姆布拉克 NW 向线性构造确实是一条特征明显的遥感线性影像带,而且在其旁侧明显存在多处规模不等的灰白色调影像,表明其可能存在明显的褪色蚀变。

野外验证和地面放射性测量表明,萨拉姆布拉克地区呈 NW 向展布的灰黑色线性影像是一宽约 4~8 m 的基性岩脉及其风化物的反映,主体呈红色调的地层是泥盆纪紫红色细砂岩、粉砂岩,局部夹泥岩的反映,呈灰白色调的影像是发生了褪色蚀变的灰白色、灰绿色砂岩、细砂岩的反映。通过地面放射性测量,发现以灰白色调呈现的褪色蚀变岩石

与放射性含量具有密切关系,褪色蚀变岩石的 U 含量总体上比未发生褪色蚀变的紫红色岩石要高,尤其是在基性岩脉边缘明显发育构造带、褪色蚀变组合的地段,放射性含量明显偏高或异常。这些放射性偏高点和异常点均沿 NW 向线性影像带分布(图 8),表明萨拉姆布拉克地区不只是存在早期航放资料中反映的 HF-10 异常点和 HG-6 高场点,更是存在一系列与 NW 向构造、蚀变有关的一系列异常,反映了萨拉姆布拉克 NW 向线性影像带的确是一条值得重视的铀矿化带。

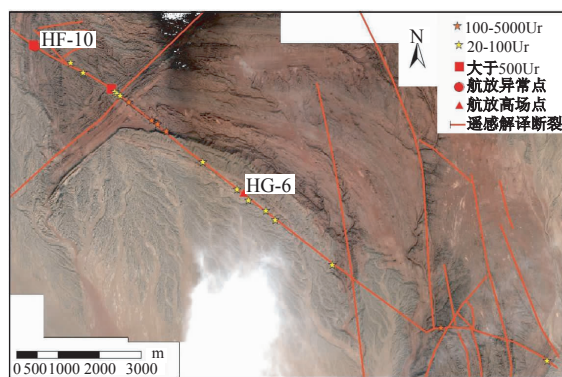


图 8 萨拉姆布拉克铀成矿带构造、放射性异常分布与 IKONOS 影像复合图

Fig. 8 The composite map among structure and radioactive anomaly distribution and IKONOS image for Shalamubulake uranium metallogenetic belt

4.2 萨拉姆布拉克铀成矿潜力 CASI/SASI 评价和靶区的预测

利用 CASI/SASI 航空高光谱遥感数据和矿物填图方法,着重对图 7 所在地段进行了重点研究。从图 7 所在地段的航空高光谱遥感矿物填图结果(图 9)来看,该地段的蚀变矿物主要有高铝绢云母(此处的绢云母是多个粘土类矿物的统称,主要包括白云母,伊利石,绢云母,蒙脱石等矿物)和低铝绢云母,其次是碳酸盐。其中,高铝绢云母和低铝绢云母在空间上基本重叠,只有少数地段不同,在空间分布上与前述 Quickbird 反映出来的褪色蚀变基本一致;碳酸盐主要分布在高铝绢云母化和低铝绢云母化的西部外围和沿基性岩脉分布,少量与高铝绢云母,低铝绢云母一致。因此,从航空高光谱遥感的尺度上看,前述萨拉姆布拉克铀成矿带的褪色蚀变主要是高铝绢云母化,低铝绢云母化,以及少量碳酸盐化。

成因矿物学研究表明,Al 含量(指 Al^{VI} 配位)与温压关系具有重要的标型意义,而且绢云母光谱 Al-OH 吸收特征的波长位置与 $Al(Al^{VI})$ 含量相关,绢云母光谱 Al-OH 吸收特征的波长位置向长波方向漂移,说明 Al^{VI} 含量减少,反映了相对低压高温的形成环境,而向短波方向漂移则说明 Al^{VI} 含量增多,代表了相对高压低温的成因条件^[22]。萨拉姆布拉克地区 CASI/SASI 航空高光谱遥感填出的高铝绢云母的 Al-OH 吸收特征,在 2195nm,中铝绢云母在 2210nm,可能反映了不同温压条件下的流体蚀变产物,再加上碳酸盐化的存在,说明发生蚀变的地段具有多期流体作用叠加的特征。

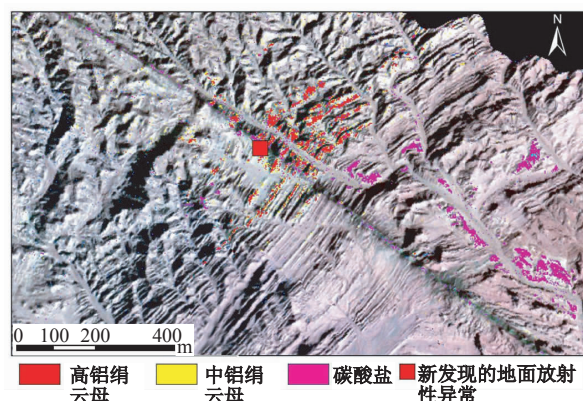


图 9 图 7 所在地段 CASI/SASI 航空高光谱矿物填图结果
Fig. 9 The CASI/SASI mineral mapping for area in Fig. 7

室内显微观察表明,萨拉姆布拉克铀矿化带发生的灰白色褪色蚀变主要为伊利水云母化和碳酸盐化,少量绿泥石化,其他叠加蚀变还有赤铁矿化等。因此,航空高光谱遥感研究结果与室内显微结果是相符的,具有多期热液作用的特点。正是因为这种特征,在蚀变发生地段,新发现了多个地面放射性异常点和高场点。所以,从遥感地质潜力评价角度看,萨拉姆布拉克铀成矿带是值得今后重视的铀矿找矿地区,原先发现的 HF-10 异常点地段和新发现的大规模蚀变和放射性地段(图 9)是今后要重点开展地质勘查和地表揭露的找矿靶区。

5 结论与讨论

(1)与高空间分辨率遥感数据通常都是从几何特征着手,采用融合处理方法来提高对地物的解译能力相比,本文研究的褪色蚀变信息反向增强处理,是采用比值+线性拉伸+彩色合成的组合方

法,通过增强未发生褪色蚀变作用的紫红色信息来反衬发生褪色蚀变作用的灰色、灰白色等褪色信息的一种特定的处理方法。其从光谱特征着手,采用比值或主成分的处理方法,提高了对褪色蚀变这一特定现象的识别能力,为 Quickbird 等高空间分辨率遥感数据在铀矿勘查中的应用提供了技术支持。

(2)利用 Quickbird 高空间分辨率卫星遥感数据,对新疆巴什布拉克铀矿区相对细小的不同形态的铀矿化褪色蚀变体的识别和其空间分布规律的分析,对分析铀矿化褪色蚀变的油气还原成因和矿区外围找矿预测具有重要意义,是高空间分辨率卫星遥感技术在识别相对小尺度的不规则的地质体方面的典型应用,体现了在铀矿勘查方面应用的良好效果。

(3)利用 Quickbird 高空间分辨率卫星遥感技术与 CASI/SASI 航空高光谱遥感技术,综合分析识别新疆塔里木盆地北缘柯坪地区萨拉姆布拉克 NW 向线性影像带,分析了影像带旁边褪色蚀变的空间分布特征,探测了与铀矿化密切相关的褪色蚀变的物质成分,并进行了成矿潜力评价和找矿预测,体现了多种高分辨率遥感技术在铀矿勘查中的综合应用效果,对发现铀矿找矿新线索,评价铀矿找矿新靶区具有重要意义。

(4)Quickbird 等高空间分辨率遥感数据在矿化蚀变信息识别和找矿应用方面的潜力很大,是值得广大遥感地质工作者不断深入挖掘的。在高空间分辨率遥感挖掘地质找矿信息时,要善于挖掘出微小地质体、小规模蚀变体、小构造等成矿要素,以及各个要素的空间组合规律等在中分辨率遥感数据中发现不了或不明显的找矿信息和地质规律,只有这样,才能充分体现高空间分辨率遥感技术的地质找矿优势,也才能不断促进高空间分辨率遥感技术地质找矿信息挖掘思路和方法的开拓。同时,航空高光谱遥感技术在国内地质勘查中的应用虽已开始,并显现出一些应用优势,但真正要发挥航空高光谱遥感在找矿中的显著效果,除需要提高数据处理和矿物填图技术外,更需要开拓高光谱遥感找矿应用新思路,蚀变矿物解译新技术,以及综合分析评价等。最近,我国学者在高光谱遥感地质找矿方面创新性地提出了“光谱地壳”计划^[23],为探索新一代矿产勘查技术提出了一套完善的思路和方案。相信,随着高分辨率遥感技术的发展,其在地质矿产勘查领域的应用将会取得更多新的进步。

参考文献:

- [1] 余勇,钱建平,袁爱平. 高龙金矿区高分辨率遥感线性构造分形特征及综合成矿预测[J]. 矿产与地质, 2005, 19(2): 208 - 212.
- [2] 张自力,秦其明,曹宝,等. 高分辨率遥感影像在岩墙地质体信息提取中的应用[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 15 - 18.
- [3] 何凯涛,甘甫平,王永江. 高空间分辨率卫星遥感地质微构造及蚀变信息识别[J]. 国土资源遥感, 2009, 79(1): 97 - 99.
- [4] 甘甫平,王润生,杨苏明. 西藏 Hyperion 数据蚀变矿物识别初步研究[J]. 国土资源遥感, 2002(4): 44 - 50.
- [5] 王向成,田庆久,管仲. 基于 Hyperion 影像的涩北气田油气信息提取[J]. 国土资源遥感, 2007(1): 36 - 40.
- [6] 刘德长,杨旭,张杰林. 新型遥感技术数据的铀资源勘查应用[J]. 地球信息科学, 2009, 11(3): 268 - 273.
- [7] 周强,甘甫平,陈建平,等. 哈密土墩矿区高光谱影像蚀变矿物识别初步研究[J]. 矿床地质, 2006, 25(3): 329 - 336.
- [8] 阚明哲,田庆,张宗贵,等. 新疆哈密三种典型蚀变矿物的 HyMap 高光谱遥感信息提取[J]. 国土资源遥感, 2005(1): 37 - 40.
- [9] 叶发旺,刘德长,赵英俊. CASI/SASI 航空高光谱遥感测量系统及其在铀矿勘查中的初步应用[J]. 世界核地质科学, 2011, 28(4): 231 - 236.
- [10] 丁万烈,申科峰. 水成铀矿沉积岩的后生蚀变[J]. 铀矿地质, 2001, 17(2): 598 - 614.
- [11] 黄以. 塔里木盆地中新世代红层的次生还原作用与铀矿化[J]. 新疆地质, 1997, 15(1): 84 - 89.
- [12] 韩闪闪,李海,顾海燕. 高分辨率遥感影像融合研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(45): 60 - 62.
- [13] 李春华,徐涵秋. 高分辨率遥感图像融合的光谱保真问题[J]. 地球信息科学学报, 2008, 10(4): 520 - 526.
- [14] 王驹,杜乐天. 论铀成矿过程中的气还原作用[J]. 铀矿地质, 1995, 11(1): 19 - 24.
- [15] 叶发旺,刘德长. 沉积盆地砂岩铀矿蚀变信息提取技术研究[M]. 见:李子颖主编,核地质科技论文集,北京:地质出版社, 2009, 181 - 191.
- [16] 叶发旺. ASTER 数据与 ETM 数据蚀变信息提取的对比研究[J]. 地球信息科学, 2009, 11(3): 274 - 281.
- [17] 甘甫平,王润生 著. 遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [18] 甘甫平,张宗贵,王润,等. 光谱重建与光谱真实性检验中地物光谱的作用[J]. 国土资源遥感, 2005, (1): 12 - 15.
- [19] 燕守勋,张兵,赵永超,等. 高光谱遥感岩矿识别填图的技术流程与主要技术方法综述[J]. 遥感技术与应用,

- 2004, 19(1): 52 - 63.
- [20] 秦明宽, 赵瑞全. 对塔里木盆地巴什布拉克铀矿床成因的新认识[J]. 铀矿地质, 2000, 16(1): 26 - 30.
- [21] 刘德长, 崔焕敏, 叶发旺, 等. 中国克拉通盆地断隆成矿后遥感研究新证[M]. 见: 李子颖主编, 核地质科技论文集, 北京: 地质出版社, 2009, 181 - 191.
- [22] 刘圣伟, 闫柏琨, 甘甫平, 等. 绢云母的光谱特征变异分析及成像光谱地质成因信息提取[J]. 国土资源遥感, 2006, (2): 46 - 50.
- [23] 王晋年, 李志忠, 张立福, 等. “光谱地壳”计划——探索新一代矿产勘查技术[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(3): 344 - 351.

Application of High Resolution Remote Sensing Technology to Uranium Ore Exploration in North Fringe of Tarim Basin, Xingjiang, China

YE Fawang and LIU Dechang

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: High resolution remote sensing technology (including high spatial resolution and hyper-spectral resolution) is an important new technology in field of geological exploration since the new century. In order to present the application of high resolution remote sensing technology in geological field, the Quickbird high spatial resolution satellite remote sensing technology and CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager)/SASI (Shortwave infrared Airborne Spectrographic Imager) airborne hyper-spectral remote sensing technology were used to mine the uranium exploration information in north fringe of Tarim Basin, Xingjiang, in this paper. In first part, the feature and processing method of Quickbird and CASI/SASI data were introduced. Especially, a new method called the reverse enhancement method of uranium mineralization bleached alteration was discussed. In second part, the application of Quickbird data in identifying and analyzing the sandstone-type uranium mineralization bleached alteration was illustrated. In this part, some bleached alteration information related with uranium mineralization in Baxhibulake uranium region in Tarim Basin were identified using Quickbird high resolution remote sensing datum, and their spatial distribution raw was also analyzed. In third part, the application to discover new uranium mineralization belt and evaluate the favorable target zone using Quickbird and CASI/SASI data comprehensively were presented. In this part, an uranium mineralization belt named Salamubulake in east of Keping uplift in the north fringe of Tarim Basin was discovered using Quickbird remote sensing technology, and some alteration adjacent in the belt were identified and analyzed. Furthermore, the mineral composition for those alterations were mapped using CASI/SASI high resolution remote sensing datum. Its uranium metallogenetic potential was evaluated, and the favorable areas for uranium exploration were predicted. At last, the field investigation was also introduced and some conclusion were made that high resolution remote sensing technology has been utilized in uranium exploration field fully, and good application effects was made. Therefore, the application potential of high resolution remote sensing technology to geological exploration is valuable in being mined in the future.

Key words: high resolution remote sensing; Quickbird and CASI/SASI; north fringe of Tarim Basin; application of uranium mineralization exploration