

# 巴什布拉克铀矿区褪色蚀变 Quickbird 高分图像地学分析

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:** 位于新疆塔里盆地西北缘的巴什布拉克铀矿床是与油气还原褪色蚀变密切相关的铀矿床, 但有关油气还原褪色蚀变的依据大多是地质和地球化学方面的微观依据。本文在分析巴什布拉克铀矿化褪色蚀变岩石地质特征的基础上, 根据 Quickbird 高空间分辨率卫星遥感数据的特点, 开展了数据的增强处理, 进一步提高了 Quickbird 数据对褪色蚀变岩石的分析和解译能力, 并利用经过增强的 Quickbird 数据, 对铀矿区出露的油气还原褪色蚀变岩石的空间形态和分布特征进行了分析: (1) 从铀矿区及周围地区的较大视野, 分析了油气还原褪色蚀变岩石的总体分布特征; (2) 从整个铀矿区的尺度, 分析了未发生褪色蚀变的紫红色砂岩残留体的形态特点、空间展布特征等; (3) 从东矿区段更大尺度, 分析了处于大片未蚀变紫红色砂岩内部的灰黄色褪色蚀变砂岩的形态特点和空间展布特征。上述分析, 从正反两个方面, 为铀矿化褪色砂岩的油气还原成因提供了大尺度的宏观依据, 并为外围找矿提供了重要信息, 充分展示出 Quickbird 高空间分辨率遥感技术在铀矿找矿中的应用潜力。

**关键词:** Quickbird 高分图像; 铀矿化褪色蚀变; 巴什布拉克铀矿床

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2012.00123

## 1 引言

铀资源是我国紧缺的矿产资源, 砂岩型铀矿是我国现阶段非常重要的一种铀矿勘查类型。巴什布拉克铀矿床位于新疆塔里木盆地北缘喀什拗陷的西北部, 是一个与油气作用密切相关的铀矿床<sup>①②③④</sup>。铀矿化产于下白垩统砂岩、砂砾岩中。自 20 世纪 50-60 年代发现该矿床以来, 铀矿地质工作者从相对微观的角度, 对矿床的地质特征、矿化蚀变地球化学特征、矿床成因类型等开展了较多研究<sup>[1-2]</sup>。近年来, 作者利用 ASTER 数据对白垩纪含矿层的油气还原蚀变信息进行了提取<sup>[3-4]</sup>, 为分析含矿层油气还原蚀变的区域性规律和外围找矿预测提供了重要的中等尺度的遥感信息。然而, 矿床尺度的油气还原蚀变的分布规律、形态特征,

及其与微观和野外地质的联系等未见前人分析, 但这些问题对矿床成因研究及外围找矿具有重要意义。高空间分辨率卫星遥感数据, 能够对地层、岩体(岩脉)、构造等成矿要素的几何形态、纹理特征, 以及各要素之间的空间关系等进行分析, 可发现原先在中等空间分辨率遥感数据上不能或不明显显现的地质现象和找矿信息, 为地质规律分析和矿产勘查提供了重要技术手段<sup>[5-9]</sup>。本文利用 Quickbird 高空间分辨率图像, 对巴什布拉克铀矿区及周围未褪色蚀变的紫红色砂岩和已发生褪色蚀变的灰绿色、灰黄色砂岩的形态特点、空间展布特征、相互空间关系等进行了分析, 从正反两个方面, 为铀矿化褪色砂岩的油气还原成因提供大尺度的相对宏观的依据, 并为外围找矿提供了重要信息。

收稿日期: 2011-06-23; 修回日期: 2011-12-29.

作者简介: 叶发旺(1974-), 男, 浙江松阳人, 高级工程师, 博士, 主要从事遥感图像处理与铀矿地质综合应用研究。

E-mail: yfwbeijing2008@sina.com

① 519 大队, 9 分队. 关于巴什布拉克矿床的物质成分和成因问题. 核工业 519 队科研报告, 1959.

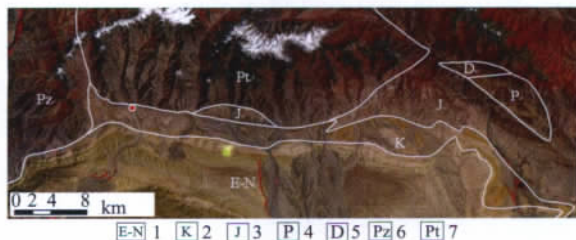
② 王木清, 吴和泽, 等. 新疆中生代含沥青砂砾岩铀矿的区域模式. 核工业北京地质研究院科研成果报告, 1980.

③ 王木清, 吴和泽, 等. 新疆主要铀矿化特征及其成矿时期. 核工业北京地质研究院科研成果报告, 1980.

④ 朱德龄. 对新疆地沥青型铀矿化特征的一些认识. 核工业北京地质研究院科研成果报告, 1984.

## 2 巴什布拉克铀矿化褪色蚀变地质特征分析

巴什布拉克铀矿床(图1中的红点)位于塔里木盆地西北缘乌恰县西部的中生代盆地边缘,矿区及周围地区出露的地层主要有:盆地基底元古界(Pt)、古生界(Pz)、泥盆系(D)、二叠系(P),以及盆地盖层侏罗系(J)、白垩系(K)、下第三系(E)、上第三系(N)等。其中,白垩系和第三系主体是一套红色碎屑岩。铀矿化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褪色砂岩。这些灰绿色褪色砂岩后期暴露地表后,又被氧化成浅灰黄色<sup>[2]</sup>。与紫红色砂岩相比,灰绿色蚀变砂岩和地表氧化后的灰黄色蚀变砂岩在颜色上明显减淡,具有蚀变褪色的特点,故灰绿色砂岩和灰黄色砂岩在本文中统称为褪色蚀变砂岩。从矿区地面剖面的野外照片(图2)可以看出,未蚀变的紫红色砂岩,从坑道内挖出的灰绿色褪色蚀变砂岩(碎石堆),以及褪色蚀变砂岩在地表氧化作用形成的浅灰黄色砂岩等3种岩石具有明显不同的颜色。化学成分上,上述3种岩石最明显的区别是:未褪色蚀变的紫红色砂岩 $Fe^{3+}$ 离子高,而发生褪色蚀变的砂岩的 $Fe^{3+}$ 离子含量明显减少, $Fe^{2+}$ 离子增多<sup>[3]</sup>。同时,褪色蚀变砂岩含 $CO_3^{2-}$ 、Al-OH等矿物含量增加,各种类型的酸解烃、包裹体等含量也明显增多。从光谱特征上看,由于三价铁离子的光谱特征主要在可见光-近红外区间<sup>[10]</sup>,因此未蚀变的紫红色岩石在550nm处存在明显的吸收陡坎,而褪色砂岩(包括灰绿色砂岩和灰黄色砂岩)不明显<sup>[3-4]</sup>。同时,灰绿色砂岩和灰黄色砂岩具有相似的光谱特



1. 古近系-新近系; 2. 白垩系; 3. 侏罗系; 4. 二叠系;
5. 泥盆系; 6. 古生界; 7. 元古界

图1 研究区地层分布 ASTER321 彩色合成图

Fig. 1 RGB composite image of ASTER B3, B2, B1 and stratigraphic distribution in the study area

征<sup>[3-4]</sup>。上述特征使得 Quickbird 等高空间分辨率卫星遥感数据在识别褪色蚀变砂岩应用方面,可以充分发挥可见光-近红外仅有的几个多光谱波段的优势,从而取得典型的应用效果。



图2 巴什布拉克铀矿区地质剖面野外照片

Fig. 2 A field photo of geological section in Bashibulake uranium ore area

## 3 Quickbird 数据的增强处理

本文从地质应用的角度<sup>[11-14]</sup>,对 Quickbird 数据开展了褪色蚀变信息反向增强处理和多光谱波段与全色波段融合处理等二方面处理。

### (1) 褪色蚀变信息反向增强处理

利用逆向思维,将未发生褪色蚀变的紫红色砂岩的红色信息予以增强,从分析未褪色蚀变紫红色砂岩的分布特征,来逆向分析已发生褪色蚀变的铀矿化砂岩的分布特征。具体处理是根据紫红色砂岩光谱特征,采用 B3/B2 或主成分分析方法<sup>[15]</sup>对 B2、B3、B4 进行处理,提取突出 $Fe^{3+}$ 强度的专题信息。然后,将这个专题信息作为一个波段,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砂岩之间具有更加强烈的对比,而且紫红色调的相对强弱还可反映 $Fe^{3+}$ 的相对含量,从而提高图像的解译能力。

### (2) 多光谱波段与全色波段融合处理

将 0.61m 的 Quickbird 全色波段与 2.44m 的多光谱波段进行融合处理,即在 ENVI 软件平台上,利用彩色变换处理 H(色调)S(饱和度)V(亮度),对波段 3,2,1 真彩色合成图像和全色波段,进行融合处理,以提高数据对地质现象的解译能力。

### 4 巴什布拉克铀矿区褪色蚀变 Quickbird 图像识别分析

从图 3 可看出,位于白垩系南部的第三系(E-N)主体以紫红色调显现出来,位于北侧的元古界(Pt)以灰色调显现,而白垩纪含矿层(两蓝色曲线之间)总体上以灰白色、灰黄色调为主,在西北部 and 东南部有几处以明显的紫红色调显示。东西两矿区基本上处于灰白、灰黄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还原作用,发生了褪色蚀变。褪色蚀变的强度总体上具有北部强、南部减弱,中东部强,西部减弱的特点。

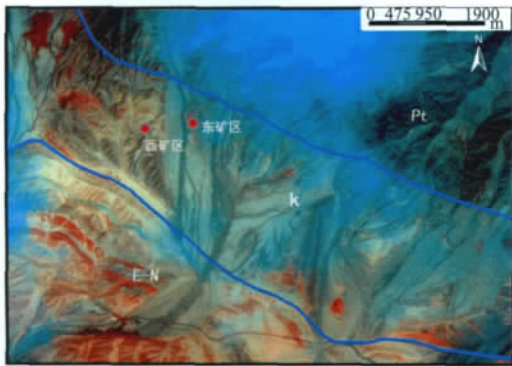


图 3 巴什布拉克铀矿区及周围 Quickbird B3/B2, B2, B1 彩色合成图

Fig. 3 RGB composite image of Quickbird B3/B2, B2, B1 for Bashibulake uranium ore district and its surrounding area

在东西铀矿区放大的 Quickbird 彩色合成图(图 4)中,可以清楚看出两矿区所在的白垩系砂岩的层理特征。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—南东东。矿区色调以浅灰绿、灰色、灰黄色调为主,紫红色调为次,只有两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。在西矿区及周围,紫红色调的局部形态具有不规则、大小不一、排列方式不同等特点:有的呈较大片状、连续分布(图 4 中的①),有的呈一细线状、沿岩层走向连续分布(图 4 中的②),有的呈不规则、小片状沿岩层走向断断续续分布(图 4 中的③),还有的呈线状垂直岩层走向分布(图 4 中的④)。在东矿区及周围,

大片的紫红色调夹在南北两侧大片的灰色调中(图 4)。紫红色调的上述形态在岩性解译图(图 5)上更加明了。

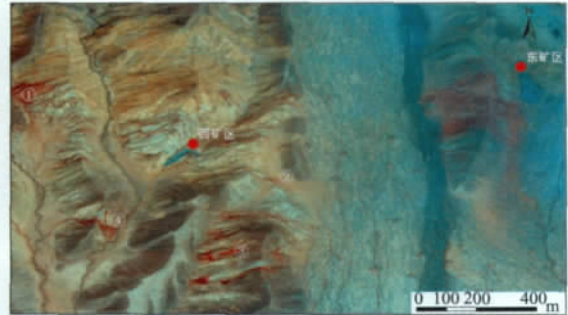


图 4 巴什布拉克东西铀矿区 Quickbird B3/B1, B2, B1 RGB 彩色合成图

Fig. 4 RGB composite image of Quickbird B3/B1, B2, B1 for Bashibulake east and west uranium ore district

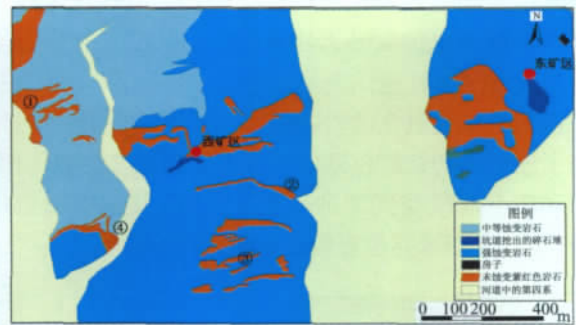


图 5 巴什布拉克东西铀矿区 Quickbird 岩性解译图  
Fig. 5 The lithologic interpretation map of Quickbird for Bashibulake east and west uranium ore district

从地质角度来看,矿区紫红色调岩石的上述分布特点是受油气的性质和含矿层岩石组合特征所致。研究区白垩纪含矿层为一套砾岩、砂砾岩、中细粒砂岩夹泥岩、泥岩互层的岩石组合<sup>[2]</sup>,有利于油气的运移和扩散。当含油气从深部沿断裂上升到含矿层时,便在含矿层内部向四周扩展,并与岩石发生相互作用。如果含矿层的某些地段以砾岩、砂岩为主,泥岩少,则孔隙度大,渗透性好,油气对紫红色岩石的还原作用便会发生得比较彻底,部分 Fe<sup>3+</sup> 被还原为 Fe<sup>2+</sup>, 倒致岩石发生由红色变为灰绿色、浅蓝色的褪色作用,紫红色岩石消失殆尽。如果含矿层的某些地段以泥岩为主,则孔隙度小,渗透性差,油气对岩石的还原作用弱,岩石的紫红色大多被保留下来。如果含矿层的某些地段以砂岩



夹泥石透镜体主,则孔隙度不一样,渗透性也不均一,倒致有的地方还原强,有的地方还原弱,结果是紫红色岩石断断续续地残留下来。由于油气的扩散性质和含矿层在横向和纵向上的岩石组合差异,使得油气与紫红色岩石之间相互作用的差异性不仅发生在横向上,而且也发生在纵向上。因此,就出现了图4中显现的紫红色岩石空间形态变化多端,排列不一的现象。

利用东矿区及周围的 Quickbird 高空间分辨率融合图像,可进一步对紫红色调内部更精细的局部灰色调形态进行分析。在融合图像(图6)上,从坑道内挖掘出来的褪色蚀变砂岩碎石堆呈灰绿色调,清晰可见(图5中的①);与灰黄色氧化岩层走向垂直、密集平行排列的大量铀矿化探槽清晰可见(图5中②);在大片呈紫红色调的未蚀变砂岩的北东侧,存在一较大片的灰黄色调的地表氧化岩石,反映了紫红色砂岩沿走向向东已有部分已被受油气还原蚀变作用和地表氧化作用(图5中的③);在大片呈紫红色调的未蚀变砂岩中部,明显存在多处形态呈短条状、片状,且走向与岩层斜交、大小不一、呈浅灰黄色调的地表氧化砂岩(图5中的④⑤)夹于其中,反映了该地段的紫红色砂岩主体未受到油气还原作用,而局部小地段受到了油气还原作用,并发生褪色蚀变,并在后期暴露地表后发生氧化作用。

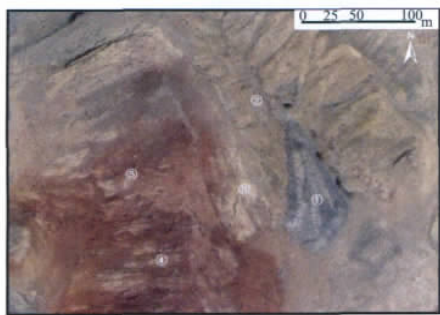


图6 巴什布拉克东矿区 Quickbird 3,2,1 多光谱波段与全色波段融合图

Fig.6 Fused image between Quickbird multispectral 3, 2, 1 bands and its pan band for Bashibulake east uranium ore district

经野外验证,上述紫红色调和灰黄色调形态特征分别反映的是未发生褪色蚀变的紫红色砂岩和发生了褪色蚀变,并经地表氧化的蚀变砂岩的形态特征。因此,上述形态特征从正反两方面反映出褪色蚀变作用后的砂岩边界具有不规则、走向不一

(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,而不是原始沉积形成的产物(以顺层展布、形态规则为特征),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,根据前述褪色蚀变强度的分布规律,巴什布拉克铀矿区外围的找矿应重视矿区东部发生强烈褪色蚀变的地段。

## 5 结论

(1)经过对含三价铁离子矿物信息的增强,真彩色合成,多光谱与全色波段融合,以及直方图拉伸等处理,高空间分辨率 Quickbird 卫星遥感数据在砂岩铀矿化褪色蚀变识别和分析中可以发挥重要作用,为铀矿找矿应用提供重要信息。

(2)利用各种处理的 Quickbird 影像,发现巴什布拉克铀矿区白垩纪含矿层的褪色蚀变强度总体上具有北部强、南部弱,中东部强,西部弱的特点。因此,矿区外围的找矿应重视向东部扩展。

(3)增强 Quickbird 影像,可以精细地分析未蚀变紫红色残留砂岩和已发生褪色蚀变,以及褪色蚀变之后又发生地表氧化的砂岩的几何形态和空间分布特征等信息,从相对宏观的角度,为油气在铀成矿过程中的重要作用提供了新的依据。

### 参考文献:

- [1] 黄以. 塔里木盆地中生代红层的次生还原作用与铀矿化[J],新疆地质,1997,15(1):84-89.
- [2] 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.
- [3] 叶发旺,刘德长. 巴什布拉克铀矿区遥感油气还原蚀变信息提取[J]. 国土资源遥感,2008,78(4):39-42.
- [4] 叶发旺. ASTER 数据与 ETM 数据蚀变信息提取的对比研究——以巴什布拉克铀矿区油气还原蚀变分析为例[J]. 地球信息科学学报,2009,11(3):274-281.
- [5] 彭中勤,吴虹. QuickBird-2 高分辨率遥感技术找矿预测研究[A]. 第五届中国矿山地质学术会议暨振兴东北生产矿山资源高层论坛论文集[C]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [6] 余勇,钱建平,袁爱平. 高龙金矿区高分辨率遥感线性构造形特征及综合成矿预测[J]. 矿产与地质,2005,19(2):208-212.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李莹, 张锦, 郭姣姣, 等. 基于高分辨率遥感影像的露天矿区地表变化研究[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(12):167-168.
- [10] 张玉君, 杨建民, 陈薇. 2002. ETM<sup>+</sup> (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]. 国土资源与遥感, 2002, 54(4):30-36.
- [11] 孙建国, 杨树文, 段焕娥, 等. 基于光谱和纹理特征的山区高分辨率遥感影像分类[J]. 测绘科学, 2009, 34(6):92-93.
- [12] 张华国, 黄韦良, 周长宝, 等. 关于 IKONOS 卫星遥感图像的分形特征研究[J]. 测绘通报, 2005(5):15-18.
- [13] 苗云鹏, 张瑞红, 赵保国. 高分辨率遥感影像信息提取方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(4):150-152.
- [14] 韩闪闪, 李海涛, 顾海燕. 高分辨率遥感影像融合研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(5):60-62.
- [15] 张玉君, 杨建民, 陈薇. ETM<sup>+</sup> (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择与技术流程[J]. 国土资源与遥感, 2003, 56(2):44-49.

## Analysis on the Fading Alteration in Bashibulake Uranium Mineralization Area Using Quickbird High Resolution Satellite Remote Sensing Data

YE Fawang and LIU Dechang

*(CNNC Beijing Research Institute of Uranium Geology, National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Imagery Analysis, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** Bashibulake uranium deposit, which located in the northwest fringe of Tarim basin in Xinjiang Uygur Autonomous Region, was considered to be closely related with oil-reduced fading alteration. However, the evidences about the oil-reduced fading alteration genesis mainly came from the geological and geochemical microscopic researches. In this paper, the enhancement processing of Quickbird high spatial resolution satellite remote sensing data was firstly made on the basis of analyzing the geological characteristics of uranium mineralizing fading alteration sandstone and the band feature of Quickbird data. Through above processing, the ability of Quickbird images to interpret the fading alteration sandstone was further promoted. Secondly, the features about shape, spatial distribution for oil-reduced fading alteration sandstone which exposed on the Bashibulake uranium ore area were analyzed using the enhanced Quickbird images. Analysis included the following three aspects. One was the general distribution for the fading alteration sandstone from the wide scale of the uranium ore area and its around area. The second was the shape feature and spatial distribution characteristics for the purple red sandstone, which was not under subjected of fading alteration, from the scale of the whole uranium mineralization district. The third was the shape and spatial expand feature for the grey yellow fading alteration sandstone that is located in the internal of a large unfading purple red sandstone from the more large scale of the east uranium ore area. Above results provided the macroscopic evidence from both positive and negative aspects to verify the uranium mineralizing fading sandstone was generated by the oil-reduced alteration, rather than the original sediment genesis. In the same time, the idea about whole spatial distribution of the fading alteration sandstone can provide important information for uranium prospect in the outer edge of Bashibulake uranium mineralization area. All above researches fully show the great application potential for Quickbird high spatial resolution satellite remote sensing data on uranium mineralization exploration.

**Key words:** Quickbird high spatial resolution satellite remote sensing image; uranium mineralizing fading alteration; Bashibulake uranium deposit