基于ASTER数据的巴什布拉克铀矿区油气还原蚀变信息提取与分析

叶发旺，刘德长，赵英俊，杨 旭

（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] 从新疆巴什布拉克铀矿床油气还原蚀变岩石的光谱特征分析入手，开展了基于ASTER遥感数据的油气还原蚀变信息提取技术研究，发现了研究区存在3个与已知铀矿区油气还原蚀变遥感异常相类似的遥感蚀变异常带。在此基础上，进一步利用ASTER数据在短波红外的多波段优势，对增强的各个遥感蚀变异常带进行了深入的分析和地质含义讨论，排除了非蚀变作用产生的遥感蚀变假异常，明确了与铀矿找矿密切相关的遥感蚀变异常信息，为铀矿区外围的铀矿找矿提供了重要依据。

[关键词] 砂岩型铀矿；ASTER数据；油气还原蚀变

[中图分类号] TP79 [文献标识码] A [文章编号] 1672-0636(2008)04-0223-08

Extraction and analysis of reducing alteration information of oil-gas in Bashibulake uranium ore district based on ASTER remote sensing data

YE Fa-wang, LIU De-chang, ZHAO Ying-jun, YANG Xu

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

Abstract: Beginning with the analysis of the spectral characteristics of sandstone with reducing alteration of oil-gas in Bashibulake ore district, the extract technology of reducing alteration information based on ASTER data is presented. Several remote sensing anomaly zones of reducing alteration information similar with that in uranium deposit are interpreted in study area. On the basis of above study, these alteration anomaly information are further classified by using the advantage of ASTER data with multi-band in SWIR, the geological significance for alteration anomaly information is respectively discussed. As a result, alteration anomalies good for uranium prospecting are really selected, which provides some important information for uranium exploration in outland of Bashibulake uranium ore area.

Key words: sandstone-type uranium deposit; ASTER data; reduced alteration by oil-gas

铀资源是我国紧缺的战略资源，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坳陷的西北部，是一个与油气作用密切相关的铀矿床，铀矿化产于下白垩统砂岩、砂砾岩中。该铀矿床发现于20世纪

[收稿日期] 2008-04-23；[修回日期] 2008-07-14

[作者简介] 叶发旺(1974—)，男，浙江松阳人，博士，高级工程师，主要从事遥感图像处理及应用，以及铀矿地质等研究。E-mail：yfweric@tom.com

万方数据

50~60年代，前人对该矿床的特征和成因等作了较多研究[1~6]，但大多是从地质角度出发，在点上开展的研究工作，如：铀矿床的成因类型、铀矿物特征、油气还原蚀变的地球化学特征、油气还原蚀变的期次及其对铀成矿的作用等。利用遥感技术对铀矿区及其外围开展油气还原蚀变的强度、分布特征等面上的专项研究工作目前尚未见报道。这些问题的研究对矿区外围找矿具有重要意义。据此，本文采用ASTER多光谱遥感分析技术对巴什布拉克铀矿区及其周围地区的油气还原蚀变信息进行了增强、提取和深入分析，旨在对深入认识该矿床的形成和外围找矿预测提供一定的参考。

1 研究区概况

巴什布拉克铀矿床(图1中的红点)所在



图1 研究区ASTER B3、B2、B1彩色合成影像及地层分布

Fig. 1 RGB composite image of ASTER B3, B2, B1 and strata distribution for study area

的盆地是南天山褶皱带的山前盆地，盆地为一向斜构造。盆地地层由基底和盖层两部分组成。基底为元古界和古生界，主要分布在矿区北侧，盖层由中、新生界组成，主要有侏罗系(J)、白垩系(K)、古近系(E)、新近系(N)和第四系(Q)。作为含矿层的下白垩统为一套红色陆相碎屑沉积岩，由底部砾岩系、下红色岩系、含矿砂砾岩系和上红色岩系组成，在矿区周围总体上呈NWW向展布，不整合在元古界、古生界和侏罗系之上(图1)。了解这些地层的空间分布是理解下文有关蚀变信息的分布特征和地质意义讨论的基础。

2 油气还原蚀变岩石的光谱特征

巴什布拉克铀矿区白垩系含矿层存在3种颜色明显不同的岩石：一种是白垩系原生的紫红色、红色岩石；二是紫红色、红色砂岩受油气还原蚀变后变成的灰色、灰绿色、浅灰色岩石；三是灰色、灰绿色岩石进一步受后期地下水或地表水氧化作用形成的黄色、浅黄色岩石(图2)。因此，从后生蚀变作用角度来说，巴什布拉克铀矿区存在油气还原蚀变和地下水氧化蚀变。但是由于地下水氧化作用时间较短，且强度较小，故而黄色氧化岩石多出现在地表或浅地表处，除去地表面的黄色砂岩，内部或地下深处的岩石呈灰色。因此，白垩系含矿层受油气还原蚀变的地段主要呈现为黄色、浅黄色与灰色、浅灰色、灰绿色的混合色——灰黄色，与白垩系原生红色砂岩具有明显的区别(图2)。

为了解矿区还原蚀变岩石的可诊断光谱特征，对矿区白垩系的紫红色砂岩，灰色、灰绿色砂岩，黄色砂岩进行了室内光谱测量(图3)。图3中实线代表白垩系红色砂岩的光



图2 巴什布拉克矿区地质剖面照片

Fig. 2 The photo of geological section in Bashibulake uranium ore district

万方数据

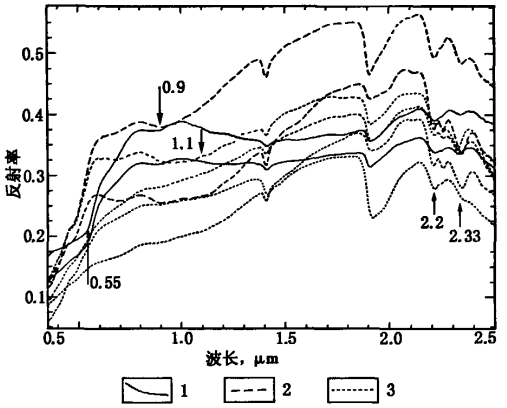


图 3　巴什布拉克矿区 3 种不同颜色砂岩的光谱曲线图

Fig. 3　Spectral curves of three kinds of sandstones of different colors in Bashibulake ore district

1——红色砂岩；2——黄色砂岩；3——灰色砂岩

谱曲线，虚线代表黄色砂岩、浅黄色砂岩的光谱曲线，点线代表灰色、浅灰色、灰绿色砂岩的光谱曲线。分析各类岩石的光谱曲线，可以发现具有如下特点：

(1)光谱吸收特征方面，在可见光-近红外区间(0.4~1.1 μm)，红色砂岩中 Fe^{3+}的光谱吸收特征明显，具体表现为 0.9 μm 附近的吸收谷和 0.55 μm 附近明显的吸收陡坎；黄色砂岩和灰绿色、灰色砂岩也在 0.9 μm 附近存在较明显的吸收谷，但 0.55 μm 处的吸收坎不明显。同时，部分灰色砂岩存在 Fe^{2+}在 1.1 μm 处的较明显吸收谷，而黄色砂岩在 1.1 μm 处的吸收谷不明显。在短波红外区间，虽然红色砂岩和黄色砂岩、灰色砂岩均在 2.2~2.33 μm 附近存在吸收谷，但前者的吸收深度明显不如后两者，这反映了灰色、黄色砂岩可能比红色砂岩含有更多的 Al—OH、Mg—OH/CO_3^{2-}的矿物。

(2)从岩石反射率的总体变化特征来看，红色砂岩的光谱反射率总体上从 0.4 μm 开始先陡升，到 0.78 μm 附近出现次高或最高值，然后平升或平降直至 2.4 μm 左右才明显开始下降，反映出红色砂岩在近红外-短波红外区间的反射率变化不大的特点；而黄色砂岩和灰色砂岩的反射率总体上表现为，从 0.4 μm 开始先陡升到 0.6 μm 出现明显的较高值，然后总体上从 1.1 μm 开始稳定上升直至 2.1 μm 处于最高值。在 2.1 μm 之后出现明显下降的特点。

从上述特点可以看出，黄色砂岩与灰色砂岩的光谱曲线特征相近。结合两种岩石在野外的混合出露情况，可以认为，研究区发生油气还原蚀变作用的地区是灰色与黄色砂岩混合共存的区域。然而，灰色砂岩、黄色砂岩与红色砂岩的光谱特征虽存在相同之处，但区别较大，可概括为两个方面：(1)在可见光区间，红色砂岩存在 0.55 μm 处吸收坎，而黄色砂岩和灰色砂岩不明显；红色砂岩的反射率高值在 0.78 μm 处，而灰色、黄色砂岩的反射率高值在 0.6 μm 处；(2)灰色砂岩和黄色砂岩在 1.1~2.1 μm 的反射率要比红色砂岩更高一些，且灰色砂岩、黄色砂岩短波红外的反射率与近红外反射率比值比红色砂岩要大。所以，在研究区，以灰色和黄色显现的油气还原蚀变作用与未蚀变的红色区域是有较大区别的，而两者上述的光谱特征差异正是研究区还原蚀变信息遥感提取的基础。

值得指出的是，研究区灰色砂岩和黄色砂岩的光谱曲线特征相似，且在反映二价铁离子吸收特征的 1.1 μm 处的吸收谷不明显。这些可能反映了灰色砂岩和黄色砂岩中二价铁与三价铁含量并没有存在很大的差别。上述样品的化学分析结果(表 1)证明了这一点。表 1 是巴什布拉克铀矿区灰色砂岩、黄色砂岩、红色砂岩铁含量的分析数据，从表中可以看出，红色砂岩中三价铁与二价铁含量比值明显比灰色和黄色砂岩高，而黄色砂岩与灰色砂岩的 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$比值很相近，且多数样品的 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$值处于 1 附近(或稍大于 1 或稍小于 1)，只有少数样品的 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$明显小于 1。上述化学分析结果一方面反映了红色砂岩与灰色、黄色砂岩的在二价铁含量上的差异，另一方面也初步解释了为什么大多数灰色岩石的光谱曲线中，并没有反映出明显的二价铁离子吸收谷的光谱曲线特征的原因。

3　油气还原蚀变信息增强

针对研究区白垩系油气还原蚀变岩石具有的光谱特征，从增强处理技术上可以考虑

万方数据

表1 巴什布拉克矿区灰色砂岩、黄色砂岩的铁含量表

Table 1 Fe content of grey sandstone and yellow sandstone in Bashibulake uraniam ore district

序号	样品编号	岩 性	w_B, %		$w(FeO)/w(Fe_2O_3)$
			Fe_2O_3	FeO	
1	B-1	黄色砂岩	1.47	1.01	0.68
2	B-5	灰色砂岩	2.32	1.34	0.58
3	B-6	浅黄灰色砂岩	2.13	1.65	0.78
4	B-8-1	灰黑色砂岩	2.40	2.47	1.03
5	B-8-2	灰黑色砂岩	1.72	1.46	0.85
6	B-9	灰色砂岩	2.34	2.03	0.86
7	B-11	灰黑色砂岩	1.23	2.1	1.7
8	B-3	红色砂岩	2.45	0.76	0.31

如下两方面的思路：(1)间接增强还原蚀变信息，即将那些没有受还原蚀变的白垩系红色地层增强和突出出来，从逆向思维的角度，反映出油气还原蚀变作用的规律。在做间接增强还原蚀变信息时，主要采用ASTER数据在可见光-近红外区间的3个波段进行处理，以增强白垩系未蚀变的红色地层信息。(2)直接增强还原蚀变信息，即主要利用灰色砂岩(也包括黄色砂岩)与红色砂岩在反射率变化和光谱吸收特征上的综合差异进行增强。下面着重介绍直接增强油气还原蚀变信息的技术方法与效果。

研究表明，利用ETM数据直接增强研究区油气还原蚀变岩石信息的效果不太理想，主要是由于研究区侏罗系灰色地层远比白垩系油气还原蚀变岩石的还原强度大，且地表出露范围广，从而掩盖和压制了白垩系油气还原蚀变信息。与ETM数据相比，ASTER数据最大的优势是短波红外有6个波段，而ETM只有2个(B5、B7)，即相当于ASTER数据将ETM数据的B7波段细化为5个波段。这样，对ASTER数据来说，加上可见光—近红外的3个波段，在可见光—短波红外区间就有9个波段。这对充分利用研究区油气还原蚀变信息在可见光—短波红外的综合光谱特征开展增强处理是很有优势的。本文利用ASTER数据的上述优势，借助高光谱遥感数据处理中的混合像元分解(unmixing)技术，对研究区白垩系含矿层中油气还原蚀变信息进行了增强。具体是利用ENVI遥感图像处理平台中的“沙漏”方法，进行数据的混合像元分解处理。图4是经混合像元分解处理获得的研究区遥感蚀变信息增强效果图，从图中可以看出，增强效果很好，经野外调查证实的巴什布拉克铀矿区白垩系含矿层受油气还原蚀变强烈地段以高亮青色调的遥感蚀变异常显现出来。从图4还可以看出，除了研究区北部的元古界、古生界外，在中新生代地层(具体范围如图1)中，总体上出现了3个类似已知矿区油气还原蚀变的遥感蚀变异常带：(1)黄色曲线围限的NWW向白垩系含矿层中的异常带；(2)白垩系北侧侏罗系中的异常带；(3)白垩系南侧古近系与新近系中的异常带。

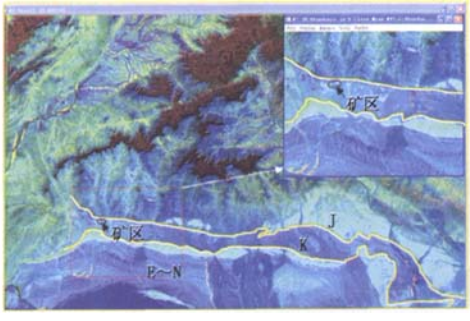


图4 基于混合像元分解的巴什布拉克铀矿区油气还原蚀变遥感信息增强效果图

Fig. 4 Enhanced image of remote sensing oil-gas reduced alteration information based on pixel unmixing in Bashibulake uranium ore district

在NWW向展布的白垩系中，亮青色遥感蚀变异常主要分布在西段，呈不规则状、分散成若干块；而东段则明显减弱，基本上未明显出现类似西段的亮青色调异常。巴什布拉克矿区东侧不远距离的外围地区存在明显的亮青色色调，反映了这些地区可能存在很明显的类似矿区的油气还原蚀变。上述特征

万方数据

表明，在铀矿区及外围的白垩系出露范围内，矿床所在位置及其东侧近距离外围地区是油气还原蚀变强烈的地区，而其他地区的蚀变均比较弱，或规模较小，以致使 ASTER 数据无法将其明显增强出来。

4　遥感蚀变异常的地质含义

上述通过混合像元分解增强的白垩系中的油气还原蚀变遥感异常的具体地质含义是什么？也就是说，从增强的遥感蚀变异常信息的角度看，包括矿区在内的白垩系两段的亮青色油气还原蚀变具体可能是什么蚀变？同时，侏罗系、古近系—新近系中的亮青色遥感蚀变异常是不是真正意义上的油气还原蚀变遥感异常？具体又可能是什么蚀变？是不是具有真正的找矿意义？这些问题的深入分析有助于为矿区外围找矿服务。从地质资料来看，巴什布拉克铀矿区的油气还原蚀变总体上表现为褪色蚀变，具体有高岭土化、碳酸盐化、赤铁矿化、褐铁矿化，以及一些次生石膏薄层等[6]。图 5 为 USGS 光谱库中几种典型矿物在 2.0~2.5 μm 区间的光谱曲线特征与 ASTER 波段的对应图。这几种典型矿物由于含有与上述蚀变矿物相同的产生光谱特征的离子或离子团，因此，光谱曲线特征与上述蚀变矿物的光谱特征具有可比性。从该图中可以明显看出碳酸盐、高岭土、石膏等矿物的光谱特征在 2.0~2.5 μm 区间有明显的差异，且这些差异在 ASTER 多光谱遥感数据中得到了良好的反映。通过对不同波段的处理，可以分别增强上述 3 类矿物引起的遥感蚀变异常信息。将这 3 种矿物引起的遥感蚀变异常信息与前述增强的 3 个遥感蚀变异常带信息相比，就可以进一步区分各个遥感蚀变异常带的地质意义，并为找矿服务。

根据碳酸盐、高岭土、石膏 3 类矿物的光谱特征差异与 ASTER 波段的对应关系，本文先利用 ASTER 数据 B7/B5 或 B7/B6 来增强具有高岭土化性质的蚀变信息，看一看研究区是否存在类以的蚀变异常，并能通过 ASTER 遥感数据增强出来。从图 5 中可以看出，就增强高岭土化蚀变异常而言，理论上 B7/B6 效果更好，但 B7/B6 可能也会使石膏化

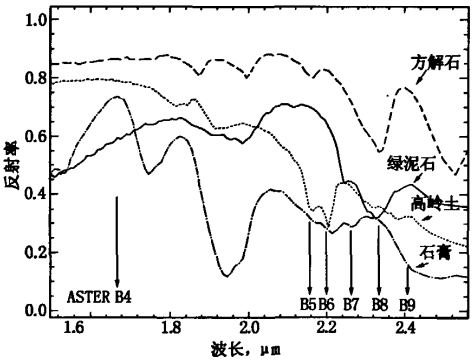


图 5　方解石、绿泥石、高岭土、石膏等矿物光谱曲线（据 USGS 光谱库）

Fig. 5　Spectral plots of calcite, chlorite, kaolinite and gypsum(After USGS spectral base)

蚀变信息得以增强。经两种处理结果比较，发现其差异很小。从 B7/B6 处理的高岭土化蚀变信息增强图像(图 6)来看，研究区中新生代地层中，除侏罗系的局部地段显现亮色调外(图中箭头所指处)，总体上色调较暗，且比较均匀，没有出现明显的亮色调异常。这反映了侏罗系中可能存在一些高岭土化蚀变，而白垩系、古近系—新近系中的高岭土化蚀变不明显。



图 6　ASTER 数据 B7/B6 比值图像

Fig. 6　Ratio image of ASTER B7 to B6

从图 5 中可以看出，理论上，利用 B6/B8 或 B9/B8 处理可以增强碳酸盐化蚀变信息，且利用这两种比值处理方法并不会增强其他蚀变信息，如高岭土化、石膏化等，但由于绿泥石等矿物中含有的 Mg—OH 也在 2.3 μm 附近有明显的吸收谷，故 ASTER 数据的光谱分辨率并不能很好地区别碳酸盐化蚀变还是绿泥石化蚀变。图 7 为 ASTER 数据的 B6/B8 比值图像，从图中可以明显发现在古近系—

万方数据

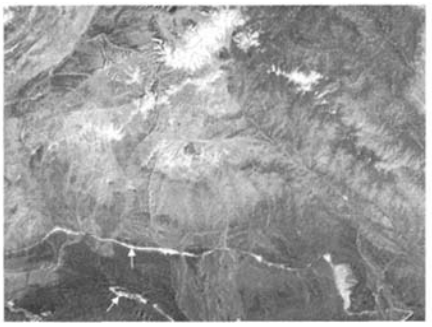


图7 ASTER数据B6/B8比值图像

Fig. 7 Ratio image of ASTER B6 to B8

新近系中存在一条NWW向弧形的细长亮色异常带（箭头所指处），同时在细长亮色调的以南还出现了一小段NWW向展布的亮色异常（箭头所指处）。所以，初步分析，这两条亮色异常带是古近系—新近系中含CO_3^{2-}离子的矿物或岩石形成的异常，也可能有绿泥石等矿物中Mg—OH引起的异常。除此之外，在侏罗系和白垩系中没有存在较明显的碳酸盐/Mg—OH异常。

利用ASTER B8/B9可以增强石膏信息。从图5和图3的光谱曲线可以看出，理论上该比值也可能使高岭土化信息得到增强，但不会增强碳酸盐/Mg—OH信息。从ASTER B8/B9图像（图8）可明显看出，在研究区中新

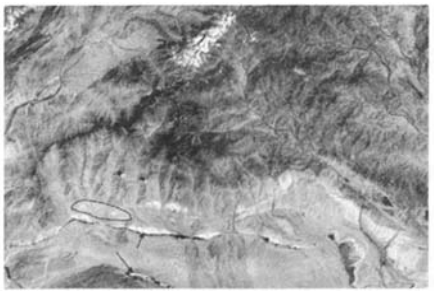


图8 ASTER数据B8/B9比值图像

Fig. 8 Ratio image of ASTER B8 to B9

生代地层中，由北往南存在多处亮色调异常。最北侧是侏罗系中的异常，该异常与图6显现的侏罗系中的高岭土化异常分布相近；往南是白垩系中的亮色调异常，该亮色调主要以小片状分布在西段（图中黑色线条圈定区内），东段很少，且该亮色调异常在图6、图7中均没有出现；再往南是总体上为NWW向展布的宽窄不一的亮色调异常和其南侧的一小段NWW向的亮色调异常（图中箭头所示处），这两条亮色异常与图7中出现的两条异常带不重合。上述情况初步显示了研究区白垩系西段出现了较明显的石膏遥感异常，而古近系—新近系中存在规模较大呈带状展布的石膏遥感异常。

Hewson R D等(2005)研究认为，Mg—OH硅酸盐中二价铁离子的存在可能导致1.0~2.0 μm光谱范围内反射率的稳定升高，而ASTER数据可以识别这一变化趋势，并利用ASTER B5(2.167 μm)/B4(1.656 μm)实现对二价铁离子含量的评估[9]。结合研究区蚀变岩石的光谱曲线特征（图3），本文尝试利用ASTER B4/B5来增强含二价铁离子矿物异常信息，但也注意到B4/B5图像可能会使石膏、高岭土、碳酸盐等信息得到增强。B4/B5图像（图9）显

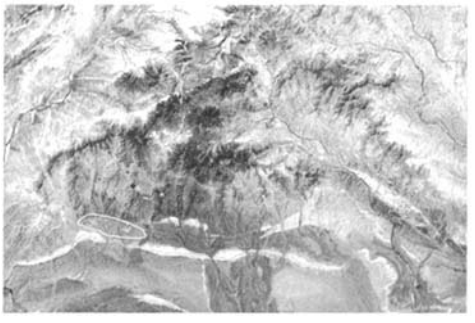


图9 ASTER数据B4/B5比值图像

Fig. 9 Ratio image of ASTER B4 to B5

示，在白垩系含矿层西段也出现了小片状分布的亮色调异常（图9白色线条圈定区内），且该亮色异常分布与图8的亮色异常分布（黑色线条圈定区内）特征相近。同时，该比值图像也出现了类似图7中出现的碳酸盐异常。这说明在ASTER数据具有的光谱分辨率下，利用比值法不能很好地区分二价铁异常和石膏异常，也就是说图8中增强的石膏异常很可能是二价铁异常与石膏异常的混合异常。据此只能初步判断铀矿床所在白垩系含矿层西段地区存在明显的二价铁和石膏遥感混合异常。

将上述3种信息进行彩色合成，即将二价铁/石膏增强信息/(R)、碳酸盐信息(G)、高岭土化信息(B)合成，并进行适当的线性拉伸

万方数据

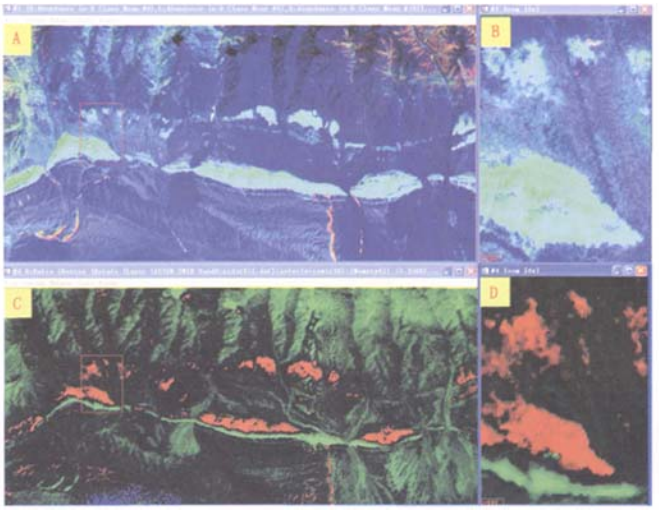


图 10　石膏/二价铁、碳酸盐、高岭土信息与油气还原蚀变异常对比

Fig. 10　A comparison for gypsum/ferrous iron, carbonate and kaolinite information with anomaly of oil-gas reduced alteration

A——增强的油气还原蚀变带图；B——A 中红框部分的放大；C——石膏化、碳酸盐化、高岭土信息彩色合成图；D——C 中红框部分的放大

处理。同时，选择研究区的重点部分，将此彩色合成图与前述的 3 个遥感蚀变异常进行对比(图 10)。在图 10 的 C 部分中，红色代表二价铁/石膏异常强烈的地区，绿色代表碳酸盐异常强烈的地区，而蓝色代表高岭土异常强烈的地区。通过对比发现，上述 3 种增强信息的组合分布特征与混合像元分解增强的蚀变异常带信息分布特征极其相似。因此，可以初步认为，混合像元分解技术增强出来的遥感蚀变异常带信息是碳酸盐、高岭土、石膏，以及二价铁矿物等多种矿物异常信息的综合体。进一步分析认为，产于白垩系的巴什布拉克矿床及其东侧的亮色调遥感蚀变异常分布特征与二价铁/石膏异常信息分布特征大体相似，反映了巴什布拉克矿区及其外围白垩系中的油气还原蚀变信息可能主要反映为二价铁异常，同时还有一部分石膏异常。也就是说，二价铁矿物的增加以及次生石膏的出现是白垩系油气还原蚀变的重要蚀变产物。位于古近系—新近系中的宽窄不一、狭长的遥感蚀变带中，北侧部分主要为石膏异常，南侧部分主要为碳酸盐异常，而中间是没有得到增强的其他异常。侏罗系中的遥感蚀变异常信息可能主要是由高岭土和二价铁矿物异常引起的。

5　遥感蚀变异常的野外验证

通过对上述增强的遥感蚀变异常的野外地质调查，进一步表明：上述图中古近系—新近系的石膏和碳酸盐遥感异常带，其实并非是由于该地层沉积后受油气还原或地下水氧化等后期蚀变作用产生的石膏化和碳酸盐化蚀变，而是由于古近纪—新近纪海相沉积环境下形成的石膏沉积和灰岩沉积。因此，产于古近系—新近系中的 NWW 向狭长的遥感蚀变异常带并非真正意义上的蚀变信息，而是假遥感蚀变异常，不具有良好的铀矿找矿意义。产于白垩系西段中的呈不规则小片状分布的亮色遥感蚀变异常，确实是由于白垩系原生红色砂岩受后期油气还原作用产生的灰色油气还原蚀变褪色带。该带中的灰色砂岩后期又被氧化成黄色(图 2)。同时，调查还发现在铀矿区的黄色砂岩和灰色砂岩中，夹有不少细小石膏层，且不少铀矿化异常处均不同程度地可见这些石膏层。因此，这些石膏层可能是后期蚀变作用的重要产物之一。这也进一步反映了该铀矿床的成因可能与含 H_2S 的油气还原蚀变作用，以及 H_2S 氧化成

万方数据

H_2SO_4作用有一定的成因联系。这是砂岩型铀矿深源成矿论的重要阶段之一[10]。因此，上述增强的白垩系中的遥感蚀变异常具有良好的地质意义和找矿意义。显然，对矿区外围的铀矿找矿建议是：应先选择距矿区东侧不远的油气还原蚀变强烈的那些地段。

6 结果与讨论

(1)就巴什布拉克铀矿区及其外围的白垩系油气还原蚀变信息增强与提取来说，利用混合像元分解技术对ASTER数据进行处理，取得了很好的效果，但也存在不少干扰信息，需要加以深入分析。尽管如此，该技术对塔里木盆地其他类似地区的油气还原蚀变遥感异常提取具有一定的参考意义。

(2)从增强的白垩系油气还原蚀变遥感异常的分布特征来看，巴什布拉克铀矿床所在的NWW向白垩系狭长出露区内，西段的油气还原蚀变作用强烈，而东段的油气还原蚀变作用弱，更准确地说，是在ASTER遥感数据的识别能力下，东段蚀变不太明显。因此，从铀矿找矿的角度看，矿床东侧不远距离的外围地区应该是矿区外围铀矿找矿的良好远景区。

(3)从引起巴什布拉克矿区白垩系中的油气还原蚀变遥感异常的主要成分为二价铁矿物和部分石膏这一初步认识以及野外调查中发现的夹于灰色砂岩中的细小石膏等情况来看，巴什布拉克矿床在形成过程中与含H_2S型油气还原蚀变，以及H_2S被氧化成H_2SO_4的作用等有一定的成因联系。

[参考文献]

[1] 原核工业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[R]. 新疆：核工业519地质大队，1959.

[2] 王木清，吴和泽，朱德龄，等. 新疆中新生代含沥青砂砾岩铀矿的区域模式[R]. 北京：核工业北京地质研究院，1980.

[3] 王木清，吴和泽，朱德龄，等. 新疆主要铀矿化特征及其成矿时期[R]. 北京：核工业北京地质研究院，1980.

[4] 朱德龄. 对新疆地沥青型铀矿化特征的一些认识[R]. 北京：核工业北京地质研究院，1984.

[5] 黄 以. 塔里木盆地中新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.

[6] 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.

[7] 黄贤芳，刘德长，董秀珍，等. 巴什布拉克铀矿区蚀变信息的增强与提取[J]. 世界核地质科学，2007，24(3)：161—165.

[8] 黄贤芳，刘德长，叶发旺，等. 控铀构造-蚀变带研究及找矿意义[J]. 世界核地质科学，2008，25(1)：35—39.

[9] Hewson R D，Cudahy T J，Mizuhiko S，*et al*. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona Province of Australia [J]. Remote Sensing of Environment，2005，99(1—2)：159—172.

[10] 赵忠华. 可地浸砂岩型铀矿预测评价的一种新思路：深源成矿论[J]. 国外铀金地质(现名：世界核地质科学)，2000，17(1)：8—10.

未来4 a乌兹别克斯坦天然铀产量将增长50%

“纳沃依矿山冶金联合体”是乌兹别克斯坦惟一的天然铀开采和出口企业之一，最近，该联合体制定了铀矿业发展纲要。根据该纲要，2008~2012年联合体将投资1.65亿美元用于更新工艺设备，扩大现有厂矿开采和加工能力，并建设几个新的铀矿厂。纲要的实施将使联合体天然铀生产能力由2007年的2 270 t增加到2012年的3 400 t，增长约50%。

据乌兹别克斯坦地质和矿产资源委员会资料，该国探明的铀储量为18.58万吨，其中砂岩型铀矿床13.88万吨，黑色页岩型铀矿4.7万吨。目前，砂岩型铀矿尚未对外国投资者开放，韩国、日本取得了部分黑色页岩型铀矿的勘探开发权，但尚未进行工业开采。

谈成龙 供稿

万方数据