

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 02. 15

引用格式: 杨达昌,陈洁,高子弘,等. 天宫一号高光谱数据烃类微渗漏信息提取[J]. 国土资源遥感,2018,30(2): 107 – 113.
(Yang D C,Chen J,Gao Z H,et al. Extraction of hydrocarbon micro – seepage information based on TG – 1 hyperspectral data[J]. Re-
mote Sensing for Land and Resources,2018,30(2): 107 – 113.)

天宫一号高光谱数据烃类微渗漏信息提取

杨达昌¹, 陈 洁^{1,2}, 高子弘¹, 韩亚超¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所,北京 100101)

摘要: 烃类微渗漏遥感探测技术是一种油气直接调查方法,主要依据油气藏上方地表的低价铁富集、粘土矿物丰度高和碳酸盐岩含量高等异常现象。通过分析高光谱遥感油气蚀变信息提取理论,研究了各种烃类蚀变矿物在天宫一号(TG-1)高光谱数据上的光谱响应特征;依照突出所需矿物并压制其他地物特征的思想,选取不同解译标志的强吸收和高反射波段,采用比值法进行特征信息增强与提取;开展甘肃省庆阳地区 TG-1 高光谱数据的油气微渗漏信息提取研究。研究表明,研究区地表蚀变遥感异常信息的分布与已有地质分析结果有较好的一致性,与实际的油气区吻合较好,验证了本文方法的可行性,显示了 TG-1 高光谱数据的油气探测潜力。

关键词: 高光谱; 烃类微渗漏; 波段比值; 蚀变异常; 天宫一号

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001 – 070X(2018)02 – 0107 – 07

0 引言

地质是高光谱遥感最早应用的一个领域,也是高光谱遥感应用中最成功的领域之一。特别是由于高光谱数据具有的连续窄波段特性,能够精细地反映出矿物和岩石的诊断性光谱特征(特征波段宽度和位置等),光谱分辨率越高,矿物的吸收、反射诊断性光谱特征就越明显,这从根本上提升了从遥感图像上提取地质信息的质量和数量。

作为一种直接的油气调查手段,烃类微渗漏遥感探测技术已在国内外受到广泛关注,许多学者对此进行了研究。起初,受限於光谱分辨率,提取方法主要是基于油气微渗漏会引起上覆盖层的色调异常理论,通过图像增强的方法对多光谱遥感数据进行处理,进而实现油气远景区预测。Segal 等^[1]通过 Landsat TM 数据的波段比值和彩色空间变换方法,证实了由于烃类微渗漏造成的地表岩石蚀变褪色现象。但是,因为多光谱遥感数据的光谱分辨率不高,并且引起地表岩石和矿物的色调变化因素较多、机理复杂,仅依据该现象解释油气微渗漏会造成一定的误判,使得多光谱遥感油气微渗漏信息探测结果在未知油气区存在多解性。随着近年来高光谱遥感

技术的发展,油气微渗漏遥感探测手段进一步丰富。Ellis 等^[2]建立了油气渗漏区土壤光谱库,为其他地质研究提供了依据;周密^[3]利用星载高光谱 Hyperion 数据提取了东胜地区油气微渗漏的空间分布信息;李娜等^[4]基于 ASTER 数据,开展了基于波段运算和主成分分析的烃类微渗漏蚀变信息提取;陈圣波等^[5]通过对甘肃庆阳油气区地面黄土样品实测波谱曲线的分析,明确了油气微渗漏引起的蚀变矿物含量与光谱吸收特征之间的关系。

本文利用天宫一号(TG-1)高光谱数据进行油气微渗漏信息提取,研究油气微渗漏地表蚀变的光谱响应机理,实现油气微渗漏共生异常的分类识别,完成油气微渗漏地表共生异常区的初步圈定,生成油气勘探综合异常空间分布图,为油气勘探靶区的圈定和新区油气勘探工作部署提供依据。

1 微渗漏理论及指示标志

1.1 微渗漏理论

埋藏在地下深部、具有动态平衡的油气藏,其内部具有相较于上覆盖层更高的压力,这使得油气藏中的烃类物质通过渗透、水动力和扩散的运移方式,穿过上覆盖层的孔隙、断裂和其他不整合面到达地

收稿日期: 2016 – 10 – 31; 修订日期: 2017 – 02 – 08

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“高光谱地质调查方法技术研究”(编号: 1212031513012)和“天山—北山重要成矿区带遥感调查”(编号: 121201003000150008)共同资助。

第一作者: 杨达昌(1983 –),男,工程师,主要从事航空遥感技术方法及其在地质调查中的应用研究。Email: 187369859@qq.com。

通信作者: 陈 洁(1980 –),男,高级工程师,主要从事航空遥感技术方法、数据处理及地质应用研究。Email: 6592296@qq.com。

表,甚至扩散至近地表的空气中。这种微渗漏的烃类物质与土壤和岩石发生蚀变作用,使油气藏上方地表在遥感影像中具有某种特殊的光谱异常表现,通过对烃类微渗漏信息的提取即可实现油气资源的遥感探测。遥感探测微渗漏的指示标志有:热异常晕、红层褪色晕、低价铁富集晕、粘土矿化晕和烃类异常晕。其中热异常晕是由于油气藏上方的地表温度升高引起的异常现象,可利用热红外波段进行温度异常提取;而红层褪色晕是一种非蚀变岩层的褪色现象,可利用可见光波段色彩增强进行信息提取。鉴于本文主要讨论烃类微渗漏引起的矿物和烃类物质的光谱异常信息,故针对后 3 种异常指示标志进行详细阐述。

1.2 低价铁富集晕

当三价铁离子转化为二价铁离子时,在形成红层褪色晕的同时,也形成了二价铁离子的富集。由于二价铁离子与三价铁离子有着不同的波谱特性,因而出现波谱异常。这种由三价铁离子转化为二价铁离子所形成的遥感影像波谱异常称为低价铁富集晕。由波谱分析知,二价铁离子矿物(如黄铁矿)在 1 000 nm 处有强吸收带,在 1 000 ~ 1 500 nm 处有宽吸收带;而含有三价铁离子的矿物(如褐铁矿、黄钾铁矾、赤铁矿和针铁矿等)则在 800 ~ 900 nm 处表现出强吸收带,并在 400 ~ 500 nm 处表现为吸收特征。利用该波谱特征差异,可以进行高价铁离子和低价铁离子的区分,提取低价铁富集晕信息,从而达到识别烃类微渗漏的目的。

1.3 粘土矿化晕

在发生烃类微渗漏时,由于微渗漏的液体或气体中所含的氢硫化物和碳氢化物改变了上覆岩石的氧化-还原环境,使得岩石被酸化,而酸性溶液可使某些在碱性环境中稳定的矿物(如长石和粘土)被蚀变或被其他粘土矿物(如高岭石、绿泥石和蒙脱石等)代替。而这一系列蚀变作用的结果是,在烃类微渗漏上方,粘土矿物的分布与构成被改变,导致在该区域存在粘土矿物的高丰度异常。这种由于烃类微渗漏导致的粘土富集所出现的遥感影像波谱异常称为粘土矿化晕,它们往往具有较强的羟基基团的吸收特征,其波谱特征为:在短波红外波段 2 200 nm 处有很强的羟基吸收带;在 2 000 ~ 2 500 nm 处较硅酸盐岩、碳酸盐岩呈低反射率。利用这一波谱特征,可以实现粘土矿化信息的提取,识别烃类微渗漏。

1.4 烃类异常晕

在烃类微渗漏过程中,由于烃类物质挥发或渗

漏到地表或近地表,通常会吸附或溶解在土壤孔隙间,使得油气富集区地表形成烃类含量异常。也称为烃类异常晕。因此在高光谱遥感影像上往往出现烃类异常,可以用于标识烃类物质的渗漏范围。

2 微渗漏信息提取

2.1 技术路线

首先,对烃类物质微渗漏现象以及由此引起的地表蚀变进行梳理和归纳;然后,以烃类物质微渗漏引起地表土壤及岩石地球化学异常、地表土壤吸附烃异常等特征建立遥感指示标志;最后,利用所建立的指示标志实现油气微渗漏的高光谱信息提取技术和方法研究,并使用 TG-1 高光谱数据进行实验验证。技术路线如图 1 所示。

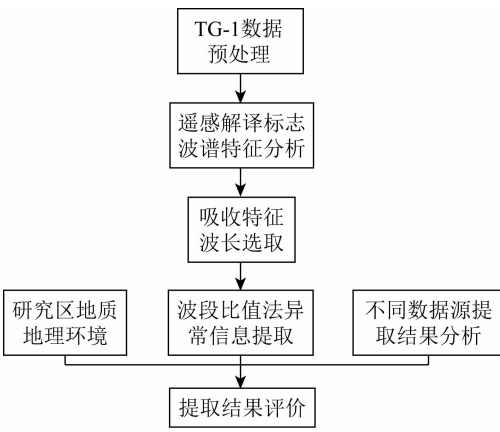


图 1 油气微渗漏高光谱信息提取技术路线

Fig.1 Hyper-spectral information extraction procedure of oil and gas micro-seepage

2.2 研究区数据

航天高光谱以卫星作为遥感平台,具有全球覆盖、可获取任意目标光谱信息的优点,美国 EO-1 卫星搭载的 Hyperion 和欧空局 Proba 卫星搭载的 CHRIS,已经展示了航天高光谱成像技术的信息获取能力和应用潜力。于 2008 年发射的环境一号卫星(HJ-1A),是我国首个搭载高光谱仪的卫星,但其主要面向环境与灾害监测预报,其工作谱段(459 ~ 956 nm)和空间分辨率(100 m)都严重制约了其在地质和岩矿识别领域的应用。而 TG-1 目标飞行器,搭载了我国自主研发的、空间和光谱综合指标最高的高光谱成像设备,具有空间分辨率高、波段多、光谱分辨率高的特点,真正意义上实现了“图谱合一”。其主要技术指标及与国际上在轨运行的航天高光谱传感器的参数对比如表 1 所示。

表 1 TG-1 高光谱成像仪及同类型航天传感器技术指标对比

Tab.1 Comparison of TG-1 hyperspectral imaging system and the other space sensors

载荷	主要应用技术指标					
	谱段	光谱范围/nm	有效波段数/个	空间分辨率/m	光谱分辨率/nm	幅宽/km
TG-1 高光谱成像仪	全色	500 ~ 800	1	5	—	20
	可见光—近红外	400 ~ 1 000	64	10	10	10
	短波红外	1 000 ~ 2 500	64	20	23	10
	热红外	—	1	10	—	15
EO-1 Hyperion	可见光—近红外	356 ~ 1 058	70	30	10	7.5
	短波红外	852 ~ 2 577	172	30	10	7.5
Proba CHRIS	模式 1	406 ~ 1 003	62	34	6 ~ 20	13
	模式 2	406 ~ 1 036	18	17	6 ~ 33	13
	模式 3	438 ~ 1 035	18	17	6 ~ 33	13
	模式 4	486 ~ 796	18	17	6 ~ 11	13
	模式 5	438 ~ 1 036	34	17	6 ~ 33	13

通过对比分析,TG-1 搭载的高光谱成像仪可见光—近红外、短波红外高光谱数据的各项指标(如空间分辨率、光谱分辨率)在国内外均处于领先水平,某些性能甚至优于国外同类型数据。另外,由于烃类微渗漏产生的蚀变矿物光谱特征基本都位于 1 000 ~ 2 500 nm 波段范围,故本次研究选用甘肃环县—庆阳地区 TG-1 短波红外数据作为研究对象。数据获取时间为 2012 年 08 月 07 日 13:57,为 L2 级图像数据产品,格式为标准 GeoTIFF(6.0)。

2.3 数据处理

2.3.1 冗余波段去除

TG-1 高光谱短波红外数据共有 75 个波段,其中 1~6 波段为与可见光—近红外波段重合,予以剔除;然后再剔除受水汽影响的波段,波谱范围为 1 356.35 ~ 1 416.94 nm,1 820.48 ~ 1 931.47 nm 和 2 395.5 ~ 2 565 nm,分别对应波段为 20 ~ 21、36 ~ 42、69 ~ 75。剩余 53 个波段将用于后续数据分析。

2.3.2 坏线修复及条带去除

采用基于多光谱影像的光谱重构方法进行高光谱数据的坏线修复处理,并使用全局去条纹法进行条带去除,即通过像元的列平均值、标准差和波段平均值、标准差之间的差异对像元进行分波段线性化修正,消除垂直条纹的影响。修复结果有较好的目视效果和良好的光谱保真度,基本满足专题制图和信息反演的需要。

2.3.3 大气校正

为了消除因大气散射和吸收引起的地物光谱曲线失真,采用基于大气辐射传输模型的 FLAASH 法

对 TG-1 数据进行大气校正。该方法根据高光谱数据获取的时间和地理位置,选择相应的模型完成,模型严密、解算精度高,能较真实地还原地物光谱特征。为了对校正后的光谱数据进行检验和评价,利用研究区内的植被光谱与标准光谱进行吸收特征比对。结果显示,虽然由于两者的光谱分辨率差异较大,重建光谱与标准波谱存在一定的波长位置偏移,但偏移量均在合理的光谱区间内,曲线特征吻合较好,基本满足后续研究要求。

2.4 信息提取

2.4.1 粘土异常信息提取

烃类微渗漏的液体或气体中所含的氢硫化物和碳氢化物改变了上覆岩石的氧化—还原环境,导致粘土矿物的集中分布。将美国地质调查局发布的典型粘土矿物的标准波谱重采样至 TG-1 高光谱短波红外谱段范围,同时对其波谱曲线进行包络线去除,对比分析其光谱特征(图 2 和表 2)。

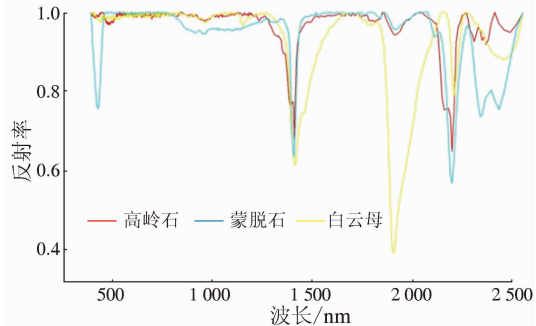


图 2 典型粘土矿物去除包络线后的波谱曲线

Fig.2 Continuum removed spectral curves of typical clay minerals

表 2 典型粘土矿物标准光谱特征统计

Tab.2 Statistic of typical clay mineral's standard spectral features (nm)

矿物名称	英文	吸收位置	反射位置 1	反射位置 2	反射位置 3	反射位置 4
高岭石	Kaolinite	2 205	753.5 ~ 1 273.5	1 503.5 ~ 2 025	2 225 ~ 2 265	—
蒙脱石	Montmorillonite	2 215 和 1 915	753.5 ~ 1 323.5	1 546.0 ~ 1 835	2 055 ~ 2 175	2 255 ~ 2 295
白云母	Muscovite	2 205	750.5 ~ 1 368.5	1 503.5 ~ 2 135	2 255 ~ 2 295	—

从图 2 和表 2 中可以得出如下结论：①3 种典型粘土矿物的共同吸收波段位于 2 200 nm 附近；②共同高反射位置为 1 700 ~ 1 800 nm 和 2 100 nm 附近；③由于 1 700 ~ 1 800 nm 波段处与水汽影响波段接近，可能会造成错误的信息提取，故而使用 2 100 nm 附近的波段作为高反射响应波段。

采用能突出所需指示标志并压制其他地物特征的波段进行信息提取，选定大气校正后短波红外波段的第 47 波段(中心波长为 2 044.827 nm)与第 55 波段(中心波长为 2 210.329 nm)进行比值处理。粘土富集异常信息的提取公式为

$$B_{47/55} = R_{47}/R_{55} \text{ ,} \tag{1}$$

式中： R_{47} 和 R_{55} 分别为第 47 和 55 波段的反射率值； $B_{47/55}$ 为这 2 个波段的比值。

受限于空间分辨率和混合矿物等因素的影响，实测的波段反射率比值与标准波谱所得的数值之间肯定存在一定的误差，因此在进行异常信息提取时，对通过标准光谱曲线计算出的范围进行适当的扩展，使其更符合实际情况。高岭石、蒙脱石和白云母的标准波谱曲线计算得出的 $B_{47/55}$ 值分别为 1.834，

1.268 和 1.814，将此标准范围扩展 20%，得到实际提取的变化范围为 1.01 ~ 2.20。

2.4.2 低价铁离子异常信息提取

二价铁的富集是由于烃类微渗漏使三价铁离子转化为二价铁离子而形成的，所以在进行低价铁离子的异常信息提取时，除了要按照上述方法寻找二价铁离子代表性矿物的高反射和吸收波段外，还需要考虑二价、三价铁离子及混合矿物的共存和区分问题。这 3 种物质的代表性矿物光谱特征如图 3 和表 3 所示。同样，对这些典型矿物的波谱进行了包络线去除，能进一步突出吸收和反射特征。

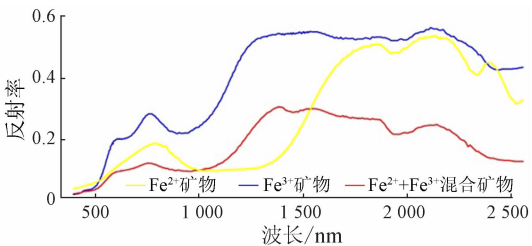


图 3 3 种含不同铁离子的矿物标准波谱曲线对比
Fig.3 Standard band curve comparison among minerals with three different iron ions

表 3 不同铁离子矿物标准光谱特征统计

Tab.3 Statistics of spectral features of different iron ions (nm)

矿物名称	英文	吸收位置	反射位置 1	反射位置 2	反射位置 3
赤铁矿	Hematite	835.0 ~ 904.0	710.0 ~ 769.0	1 218.5 ~ 2 355.0	—
Fe ³⁺ 矿物 针铁矿	Goethite	883.0 ~ 976.0	728.0 ~ 806.5	1 288.5 ~ 1 612.5	—
黄钾铁矾	Jarosite	871.0 ~ 964.0	676.2 ~ 740.0	1 323.5 ~ 1 418.5	1 570.5 ~ 1 815.0
菱铁矿 (Fe ²⁺ 矿物)	Siderite	1 000.0 ~ 1 288.5	746.0 ~ 835.0	1 684.0 ~ 1 875.0	2 045.0 ~ 2 205.0
褐铁矿 (混合矿物)	Limonite	957.0	740.0 ~ 785.0	1 368.5 ~ 1 885.0	2 115.0 ~ 2 155.0

从图 3 和表 3 中可以看出：①含二价铁矿物吸收位置波长要大于含三价铁矿物及其混合矿物，且属于 TG - 1 短波红外数据的谱段内；②含二价铁矿物反射率在 1 200—1 800 nm 处，急速上升，而含三价铁矿物反射率几乎无变化，混合矿物的反射率虽然经历了上升再下降的过程，但变化幅度不大。

为了突出二价铁矿物并压制其他，选定短波红外波段的第 34 波段(中心波长为 1 742.99 nm)和第 14 波段(中心波长为 1 196.036 nm)进行比值处理，低价铁离子富集异常信息提取公式为

$$B_{34/14} = R_{34}/R_{14} \text{ ,} \tag{2}$$

式中： R_{34} 和 R_{14} 分别为第 34 和 14 波段的反射率值； $B_{34/14}$ 为这 2 个波段的比值。

按照式(2)计算表 3 中的 5 种代表性矿物的 $B_{34/14}$ 值分别为 1.028, 1.151, 1.360, 4.839 和 1.520。低价铁的比值最大，混合矿物的比值介于两者之间。故将实际提取低价铁异常信息的取值范围定为 1.60 ~ 5.80。

2.4.3 烃类异常信息提取

物质烃类运移到上覆盖面时，通常会吸附或溶解在土壤孔隙间，导致地表烃类含量异常。烃类物质在 1 725 nm 和 2 270 ~ 2 460 nm 处有明显的吸收特征，如图 4 所示。

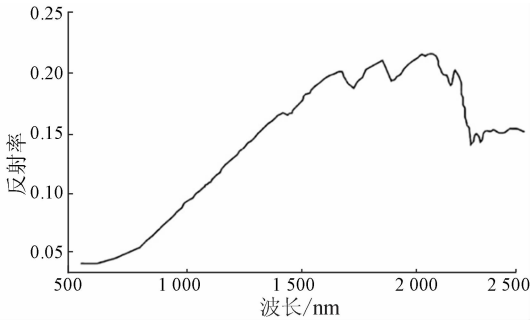


图 4 典型烃类物质反射光谱曲线
Fig.4 Hydrocarbons spectrum

但由于 2 400 nm 附近位于水汽吸收波段，不予采用，且 Kühn 等^[6]也指出 1 730 nm 是烃类探测的关键性特征，故本文采用该处作为烃类的吸收位置对其进行提取，同时选取位于 2 个吸收谷之间的高

值位置(2 070 nm)作为烃类的高反射波段。

选定大气校正后短波红外波段的第 48 波段(中心波长为 2 066. 381 nm)和第 33 波段(中心波长为 1 717. 600 nm)进行比值处理。烃类物质富集异常信息提取公式为

$$B_{48/33} = R_{48}/R_{33} , \tag{3}$$

式中： R_{48} 和 R_{33} 分别为第 48 和 33 波段的反射率值； $B_{48/33}$ 为这 2 个波段的比值。

按照式(3)计算的 $B_{48/33}$ 值约为 1. 50,故将实际提取烃类异常信息的取值范围定为 1. 40 ~ 1. 70。

2. 4. 4 油气微渗漏综合信息提取

根据粘土矿物蚀变异常、二价铁离子蚀变异常和烃类物质蚀变异常对油气微渗漏的影响程度,建立综合评价模型,得出研究区油气微渗漏情况的综

合评价结果。由已有研究成果^[4]确定各蚀变矿物权重值分别为：粘土矿物为 0. 97,二价铁离子为 0. 58,烃类为 0. 70。油气微渗漏综合信息 Y 提取公式为

$$Y = 0. 97 B_{47/55} + 0. 58 B_{34/14} + 0. 70 B_{48/33} \tag{4}$$

3 结果评价

3. 1 提取结果

利用经数据预处理后的 TG - 1 短波红外高光谱数据,选取具有典型反射率特征的波段,采用波段比值法进行粘土矿物蚀变、低价铁蚀变和烃类异常信息提取,其信息专题图如图 5 所示。基于上述信息,利用油气微渗漏综合信息提取法,获得研究区局部提取结果如图 6 所示。底图均为全色波段图像。

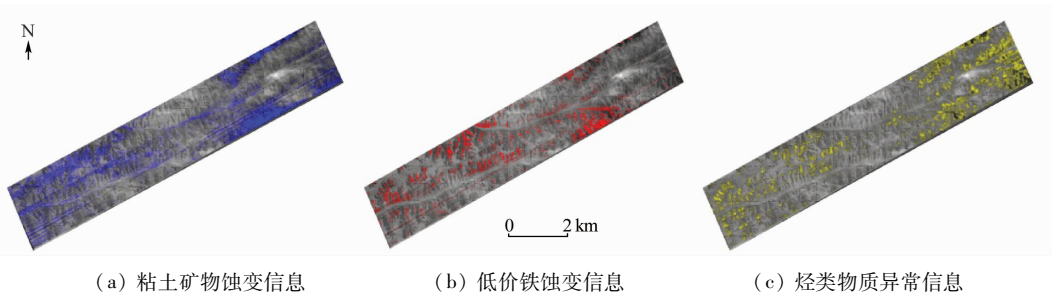


图 5 油气微渗漏信息提取专题图

Fig. 5 Extraction thematic maps of oil and gas micro - seepage

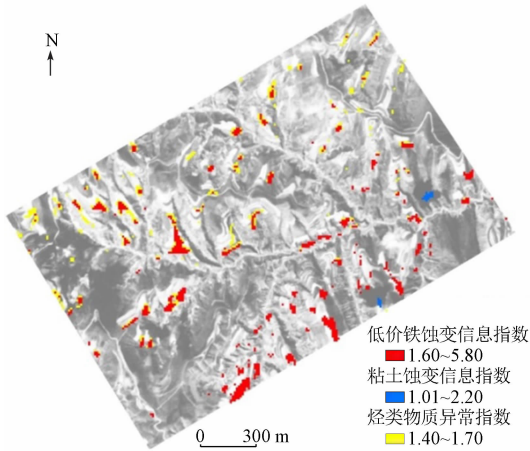


图 6 庆阳地区油气微渗漏信息提取专题图

Fig. 6 Comprehensive information extraction thematic map of oil and gas micro - seepage in Qingyang area

从图 5 中可以发现,3 种不同蚀变信息的分布情况较为一致,验证了烃类微渗漏会引起地表物质发生蚀变而造成粘土、低价铁矿物和烃类物质富集理论的可靠性。在图 6 中,将 3 种指示标志均有出现的区域视为油气富集靶区,可作进一步研究分析的依据。

3. 2 地质分析

根据研究区地质资料,该区域位于鄂尔多斯盆

地的天环凹陷中部,紧邻伊陕斜坡,构造特征为倾角不足 1° 的西倾单斜,鼻状隆起发育。三叠纪时受西南物源控制,沉积物以碎屑岩为主,纵向上岩性变化大,形成局部封闭圈,成为油气聚集有利场所。王建民等^[7]通过对钻井及试采资料的分析,利用密井网绘图方法,结合地质构造和演化特征指出了庆阳地区具有油气富集特征;李振华等^[8]以油气成藏地质学理论为基础,通过成藏条件对比,认为庆阳地区具有良好的油气储藏潜力;杨华等^[9]通过模拟实验和资料分析,得出庆阳地区具有致密气藏形成的有利条件。由此可见,研究区内烃源岩发生过大规模生烃阶段,油气资源富集,存在烃类微渗漏遥感异常指示标志的可能性很大,可利用上述遥感方法进行信息提取。

2015 年,张天宇^[10]曾应用快速指数法和光谱角匹配法对庆城地区的 Hyperion 高光谱数据进行油气微渗漏信息提取,初步圈定了油气空间分布,与实地的采油井分布及已知油田区一致性较好。并且其提取方法同样是基于油气微渗漏理论,遥感指示标志与本文相同,印证了本文方法的可行性。从图 6 提取结果的异常信息分布情况看,本文提取的异常信息分布与前人的地质分析结果和提取结果也都

吻合较好。

3.3 波谱曲线分析

提取结果表明,数据覆盖区具有明显的烃类微渗漏遥感异常指示标志存在。本文在 3 种异常信息同时存在的地区,划定了一个 15 像素 × 15 像素的区域,进行平均波谱曲线计算。该曲线在 2 200 nm 和 2 300 nm 处存在明显的双吸收峰,并且后者还具有一定的吸收宽度。2 200 nm 处的吸收特征,主要受粘土矿物和烃类矿物影响,而 2 300 nm 处,粘土、碳酸盐岩和烃类物质均表现有吸收特征,其中碳酸盐岩矿物的吸收强度最大,故而造成该波段处存在一定的吸收宽度。

4 结 论

基于油气微渗漏理论,选取了 3 种具有显著波谱特性的烃类微渗漏遥感指示标志作为遥感识别目标,在分析了烃类对其上覆盖层蚀变物质光谱吸收特征的基础上,提出运用波段比值法突出异常信息,成功提取了甘肃环县—庆阳地区的 3 种烃类微渗漏蚀变信息,与该地区已有地质调查资料和油气储藏分析结果吻合;对异常信息区的波谱解译也表明,烃类微渗漏的蚀变特征均有所体现,验证了利用比值法进行天宫一号高光谱数据油气微渗漏信息提取方法的准确性和可行性。

本研究在提取烃类微渗漏高光谱异常信息过程中,由于仅采用了普遍的坏线处理、大气校正等方法,地物真实光谱的恢复程度一般;遥感指示标志均只应用比值法进行突出,也给信息提取带来了一定误差。在下一阶段的研究中,应针对天宫一号数据特点和识别目标的波谱特性,综合运用沙漏法、监督/非监督法等提升遥感指示标志的提取效果,探索更实用、更有效的数据预处理技术和方法。

参考文献 (References):

[1] Segal D B, Merin I S. Successful use of Landsat thematic mapper data for mapping hydrocarbon microseepage - induced mineralogic alteration, Lisbon Valley, Utah [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1989, 55(7): 1137 - 1145.

[2] Ellis J M, Davis H H, Zamudio A. Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging [J]. Oil and Gas Journal, 2001, 99(37): 49 - 58.

[3] 周 密. 油气微渗漏的高光谱信息提取研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.

Zhou M. Study on the Hyperspectral Information Extraction of Oil and Gas Microseepage [D]. Beijing: China University of Geosci-

ences (Beijing), 2007.

[4] 李 娜, 周 萍. 基于 ASTER 数据和反射光谱分析的烃类微渗漏信息提取[J]. 地质力学学报, 2015, 21(2): 218 - 227.

Li N, Zhou P. Hydrocarbon microleakage information extraction based on ASTER data and reflectance spectroscopy [J]. Journal of Geomechanics, 2015, 21(2): 218 - 227.

[5] 陈圣波, 赵 靓, 王晋年. 黄土覆盖区油气微渗漏地表蚀变高光谱特征响应机理研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(6): 1616 - 1619.

Chen S B, Zhao L, Wang J N. Study on hyperspectral response to surface alteration by oil and gas microseepage under loess area [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(6): 1616 - 1619.

[6] Kühn F, Oppermann K, Hörig B. Hydrocarbon index: An algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2467 - 2473.

[7] 王建民, 王佳媛. 鄂尔多斯盆地伊陕斜坡上的低幅度构造与油气富集[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(1): 49 - 57.

Wang J M, Wang J Y. Low - amplitude structures and oil - gas enrichment on the Yishan Slope, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 49 - 57.

[8] 李振华, 陈占军, 余 岚, 等. 庆阳地区上古生界天然气资源潜力评估[J]. 地下水, 2015, 37(6): 245 - 247.

Li Z H, Chen Z J, Yu L, et al. Study on the potential of forming reservoir in Upper Paleozoic layer, Qing - yang area [J]. Ground Water, 2015, 37(6): 245 - 247.

[9] 杨 华, 付金华, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界致密气成藏条件与勘探开发[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 295 - 303.

Yang H, Fu J H, Liu X S, et al. Accumulation conditions and exploration and development of tight gas in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 295 - 303.

[10] 张天宇. 基于高光谱遥感的黄土覆盖区油气微渗漏信息提取[D]. 长春: 吉林大学, 2015.

Zhang T Y. Extraction of Micro - Seepage of Oil and Gas Information in Loess Covered Area Based on Hyperspectral Remote Sensing [D]. Changchun: Jilin University, 2015.

[11] 易 欢, 李健强, 韩海辉, 等. 遥感技术在阿尔金贝壳滩地区矿产资源综合调查中的应用[J]. 中国地质调查, 2016, 3(4): 1 - 5.

Yi H, Li J Q, Han H H, et al. Application of remote sensing in integrated survey on mineral exploration in Beketan, Altyn [J]. Geological Survey of China, 2016, 3(4): 1 - 5.

[12] 闫柏琨, 董新丰, 王 喆, 等. 航空高光谱遥感矿物信息提取技术及其应用进展——以中国西部成矿带调查为例[J]. 中国地质调查, 2016, 3(4): 55 - 62.

Yan B K, Dong X F, Wang Z, et al. Mineral information extraction technology by airborne hyperspectral remote sensing and its application progress: An example of mineralization belts of western China [J]. Geological Survey of China, 2016, 3(4): 55 - 62.

Extraction of hydrocarbon micro – seepage information based on TG – 1 hyperspectral data

YANG Dachang¹, CHEN Jie^{1, 2}, GAO Zihong¹, HAN Yachao¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The hydrocarbon microseepage detection method with remote sensing technology is a direct way for oil and gas investigation. According to several anomalous phenomena above oil and gas reservoirs, such as the enrichment of low – grade iron elements, the abundance of clay minerals and high carbonate content, this paper proposes an oil and gas alteration information extraction theory with hyperspectral method. Based on the theory, the authors analyzed the spectral response characteristics of various hydrocarbon alteration materials with hyperspectral data of the Tiangong – 1 (TG – 1), highlighted targeted mineral feature information and at the same time suppressed the information of other ground objects, selected the high – absorption and high – reflection bands of the different interpretation signs, and then used the band ratio method to highlight and extract feature information. With the TG – 1 hyperspectral data of Qingyang City, Gansu Province, the authors conducted oil and gas micro – seepage extraction and the results show that the distribution of the abnormal information of surface alteration is not only in good consistency with the local geological analysis results but also in good agreement with the actual oil and gas area data, thus verifying the feasibility of the method proposed in this paper and demonstrates the detection potential of TG – 1 hyperspectral data.

Keywords: hyper – spectrum; hydrocarbon micro – seepage; band ratio; alteration anomaly; TG – 1

(责任编辑: 陈 理)