

杜小弟, 唐跃, 刘德长, 等. 航空高光谱探测技术在准噶尔盆地东部地区油气调查中的应用[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 275-287.
Du Xiaodi, Tang Yue, Liu Dechang, et al. The application of aerial hyperspectral technology to the geological survey for oil and gas in the East Junggar Basin[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 275-287(in Chinese with English abstract).

航空高光谱探测技术在准噶尔盆地东部地区 油气调查中的应用

杜小弟¹ 唐跃¹ 刘德长² 李昭¹ 王海达¹

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029; 2. 核工业北京地质研究院, 北京 100029)

摘要: 赋存于地下的油气藏(田)一般都存在向地表微渗漏, 油气藏上方烃类垂向微渗漏可引起近地表物质的物理与化学性质变化, 形成地物反射光谱特征异常, 这为航空高光谱技术用于探测烃类微渗漏信息成为可能, 成为油气选区调查和寻找油气的有效技术方法。在准东 2500 km² 范围内开展航空高光谱油气探测技术研究, 获取了研究区 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感数据, 提取了与油气及与油气相关的粘土、碳酸盐、二价铁等信息, 通过与已发现的油气藏(田)高光谱油气异常信息的对比研究, 在准东地区落实了柳树河子和三台镇 2 个油气有利区。

关键词: 航空高光谱; 烃类微渗漏; 异常; 准噶尔盆地; 油气选区

中图分类号: P623.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)01-0275-13

The application of aerial hyperspectral technology to the geological survey for oil and gas in the East Junggar Basin

Du Xiao-di¹, TANG Yue¹, LIU De-chang², LI Zhao¹, WANG Hai-da¹

(1. Oil & Gas Survey, CGS, Beijing 100029, China; 2. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: The hydrocarbon leakages associated with the subsurface oil and gas reservoirs (fields) usually cause changes in the physical and chemical properties of the near-surface materials and spectral reflectance anomalies. The spectral reflectance anomalies are shown by the position offset and intensity change of spectral absorption valley or reflection peak. Aerial hyperspectral images also display gray and color changes, which makes hydrocarbon microleakage detectable by aerial hyperspectral technology. Therefore, the aerial hyperspectral technology also becomes an effective method for oil and gas survey and research. This aerial hyperspectral technology has been applied to Zhundong area (2500 km²). The collection of the aerial hyperspectral remote sensing data in the CASI/SASI/TASI area can provide the information of clay, carbonate, ferrous iron related to hydrocarbon. Such information was used to make comparison with the hyperspectral anomalies for the existing oil and gas reservoirs (fields) and, as a result, helped to find two oil and gas favorable areas, i.e., Liushuhe and Santaizhen.

Key words: aerial hyperspectral technology; hydrocarbon micro-seepage; anomaly; Junggar Basin; oil and gas reservoir choice

About the first author: DU Xiao-di, male, born in 1963, doctor, professor, engages in geological survey for oil and gas; E-mail: xddu@petrochina.com.cn.

收稿日期: 2014-05-10; 改回日期: 2014-09-30

基金项目: 中国地质调查局油气战略选区项目(1211302108019)资助。

作者简介: 杜小弟, 男, 1963年生, 博士后, 教授级高工, 主要从事油气战略选区调查工作; E-mail: xddu@petrochina.com.cn。

遥感地质找矿是遥感信息获取、含矿信息提取以及含矿信息成矿分析与应用的过程,近年来,被广泛应用于地质、矿产资源及相关环境的调查中^[1-9]。高光谱遥感技术起步晚,但发展迅速,是遥感技术找矿领域的后起之秀。高光谱使遥感地质由识别岩性发展到识别单矿物以至矿物的化学成分及晶体结构,可以识别几十种矿物,其中大部分是蚀变矿物,还可以探测烃类微渗漏信息,用于圈定或预测有利的油气勘探靶区,直接用来找油。其原理为油气藏上方烃类垂向微渗漏引起近地表物质的物理与化学性质变化,形成地物反射光谱特征异常。这种异常表现为波谱特征吸收谷或反射峰的位置偏移或强度增减,在航空高光谱图像上表现为不同灰度或色调变化,这使得航空高光谱技术用于探测烃类微渗漏信息,成为油气选区调查和寻找油气的有效技术方法^[10-22]。

依托“天山—兴蒙—吉黑上古生界油气资源战略选区”工作项目,在准噶尔盆地东部和博格达山前带开展航空高光谱油气探测技术研究工作(图1),面积2500 km²。一年多来,开展了CASI/SASI航

空高光谱数据采集、数据处理、蚀变矿物、油气信息提取、地质分析、野外验证等工作,预测了2个油气有利区,取得了阶段性成果。

1 研究区地质概况

准噶尔盆地是中国陆上八大含油气盆地之一,盆地面积13.4×10⁴ km²,是重要的油气调查和勘探开发区和油气生产基地。准噶尔盆地是晚古生代至中、新生代多旋回叠合盆地,其上沉积了石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近—新近纪和第四纪地层。上古生界石炭—二叠系是盆地最重要的烃源岩层系,在目前已发现的油气田的油气主要来自于石炭—二叠系烃源岩。截至2012年底,准噶尔盆地先后发现了30个油气田,累计探明石油地质储量22.6×10⁸ t,累计探明天然气地质储量2137.64×10⁸ m³。

2 航空高光谱技术用于探测油气的原理介绍

2.1 油气渗漏理论与高光谱遥感探测依据

赋存于地下的油气藏在一定条件下可向地表

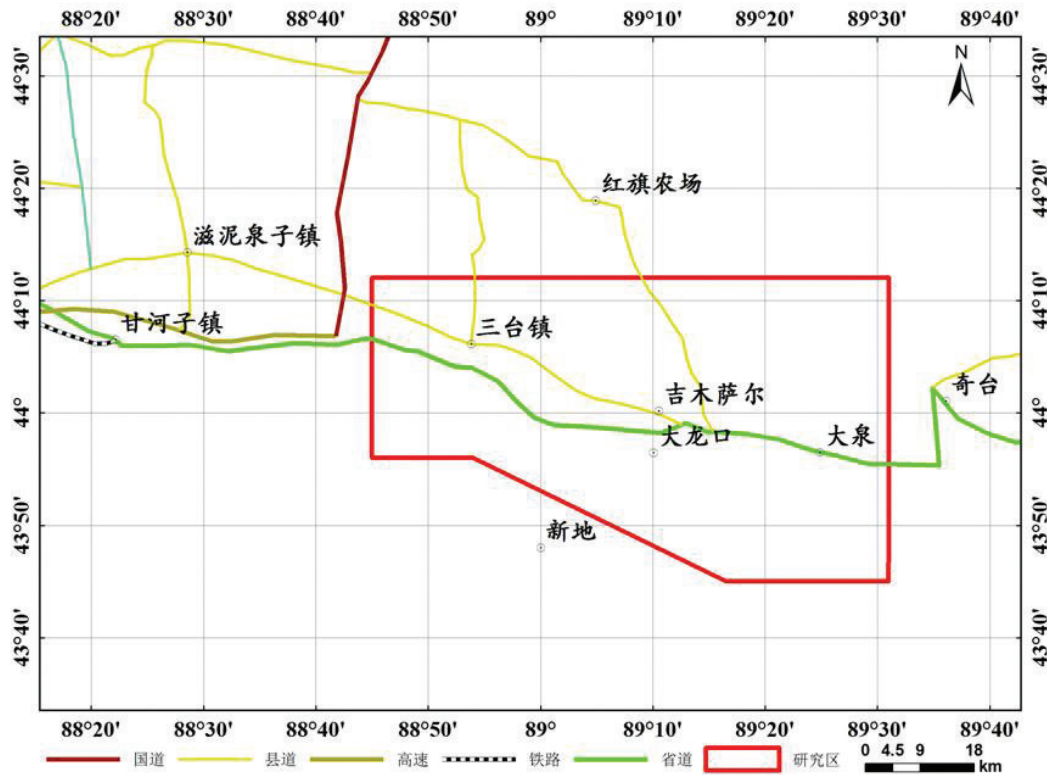


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

渗漏,在地表形成一些特定的现象,这些现象可为油气调查提供有用的线索。油气的地表渗漏包括2种类型:宏观渗漏和微渗漏。宏观渗漏是地表可见的油气渗漏,用常规的方法(如地表观测)就可以直接发现,通常沿断裂带或不整合面发育。微渗漏是烃类物质垂直或近于垂直渗漏到地表,是肉眼不可见的油气渗漏,常规的方法难以发现,其存在的直接证据就是在某些油气藏上方进行常规地球化学测量时,发现土壤气体和土壤中轻的烃类物质的异常。微渗漏的烃类在向地表运移过程中,必然引起油气藏上方的物质的变异,产生某些理化异常,即土壤烃组分含量异常和烃类蚀变物异常。油气微渗漏引起的常见地表异常包括:①红层的退色,油气微渗漏产生的还原环境使 Fe^{3+} 向 Fe^{2+} 转化,导致土壤或岩石中 Fe^{3+} 的富集;②粘土矿化(粘土矿物的富集),即混层粘土矿物和长石向高岭石的转化,长石向粘土矿物(高岭石、伊利石、绿泥石)转化;③碳酸盐化,即碳酸盐矿物含量的增多;④植被异常;⑤某些地温异常等。

常规方法很难发现油气微渗漏引起的地表异常,而航空高光谱技术则提供了快速、有效的探测手段,因此被用于油气微渗漏的探测,为油气勘探提供有益的线索,并取得了一定成效。

2.2 烃类物质和相关蚀变矿物诊断性光谱吸收特征

Saunders^[23]对烃类渗漏形成的地表物质成分变化进行了总结,认为非常小的轻烃分子快速、垂直地上升,进入土壤空隙中,部分被细菌分解,生成 H_2S 、 CO_2 ,在地下水中的 CO_2 形成 H_2CO_3 , H_2CO_3 与粘土矿物反应生成更多的 $CaCO_3$,从而引起了地表物质的坚硬和难于侵蚀。在 H_2S 制造的还原环境中钾长石、斜长石被还原为粘土矿物,同时三价铁被还原为二价铁。由此,烃类物质和蚀变矿物的诊断性光谱吸收特征分别构成了反射光谱勘探油气的直接和间接证据。

通过大量研究,国内外学者对油气烃类的光谱特征有了统一的认识:油气藏中烃类存在明显的吸收峰,主要在 $1.72\sim 1.73\ \mu m$ 、 $2.31\sim 2.35\ \mu m$ 波长位置。 $2.31\sim 2.35\ \mu m$ 处的吸收峰较强,虽然与其他矿物的吸收特征存在重叠(如方解石在 $2.335\ \mu m$ 处也存在吸收峰),但是有时会出现独特的双峰特征。 $1.72\sim 1.73\ \mu m$ 处的吸收峰虽然较弱,却是烃的诊断

性吸收特征。该特征不管在固态烃、液态烃,还是气态烃均不同程度地出现。因此,如何在高光谱数据中提取烃在 $1.72\sim 1.73\ \mu m$ 处的弱吸收特征,成为高光谱遥感探测油气应用能否取得明显效果的一个关键环节。

粘土矿物,如高岭石、绿泥石、蒙脱石等,波谱特征表现在 1.4 、 2.2 和 $2.35\ \mu m$ 附近;碳酸盐的特征谱带在 $2.35\ \mu m$ 和 $2.55\ \mu m$ 附近。粘土矿物在 $2.2\ \mu m$ 处表现为较强的羟基基团的吸收特征,在短波红外波段 $2.0\sim 2.5\ \mu m$ 处较硅酸盐、碳酸盐呈底反射率。通常情况下,土壤和岩石中有机质含量增高,还原性增强,部分 Fe^{3+} 会转化为 Fe^{2+} ,使土壤和岩石漂白和红层褪色。含 Fe 矿物(如辉石、橄榄石、黄铁矿和绿泥石等)在 $0.8\sim 1.1\ \mu m$ 存在较强的吸收,它是 Fe^{2+} 晶格场吸收所致。三价铁离子的特征吸收位置,主要在 $0.87\sim 0.9\ \mu m$,二价铁离子特征吸收位置主要在 $1.0\sim 1.3\ \mu m$ 。 $2.27\sim 2.46\ \mu m$ 为油气藏遥感探测有效窗口,一般情况下,为油气烃类微渗漏遥感直接探测的工作波段。

2.3 航空高光谱遥感探测油气技术方法

航空高光谱技术用于探测油气的方法主要有:光谱特征参数法,蚀变信息提取法,植被异常信息提取方法等。

2.3.1 利用光谱特征参数寻找油气勘探有利靶区法

首先,以反射光谱学和油气微渗漏理论为基础,结合野外采集样品的检测报告,利用ASD等地面高光谱仪器,对研究区地表土壤岩石进行光谱测量;其次,对研究区各地物的光谱数据进行处理,提取土壤反射光谱中的吸收特征,包括吸收波段深度、位置、宽度和对称度等,建立特征光谱库;第三,分析研究区地物光谱,提出典型含油气区测点的光谱曲线的宏观特征,并基于线性解混模型,综合应用基于小波变换的PCA、k均值聚类、SAM等数学工具,将光谱数据分类,实现半定量地提取研究区主要蚀变矿物的丰度信息;最后,开展综合分析,确定油气勘探有利靶区。

2.3.2 油气渗漏区烃及蚀变信息提取法

为了从航空高光谱数据图像中提取烃及蚀变信息,主要采取比值方法、主成分分析方法和光谱匹配法等。

比值处理法。提取粘土矿物,选取反射高值

2.135 μm (波段)和低值2.205 μm (波段)进行比值处理。比值后粘土矿物的理论值为1.281~1.770。三价铁离子选取反射高值1.285 μm 和低值0.894 μm 进行比值处理,则比值应介于1.335~2.89。二价铁离子选取反射高值1.749 μm 和低值1.184 μm 进行比值处理,比值至少应介于1~5。提取烃类物质,选取1.725 μm 的吸收位置和2.07 μm 的高值位置进行计算;在提取碳酸根离子蚀变信息时,考虑到碳酸盐矿物特殊的光谱特性,其在热红外部分和其他矿物的区别度更大,更有利于其信息的提取。

主成分分析法(PCA)。它是当前遥感蚀变信息提取最常用最有效的技术方法,也是提取与油气有关的蚀变矿物信息的有效方法。它是利用谱段之间的相互关系,在尽可能不丢失信息的同时,除去谱段间多余信息,将多谱段的图像信息压缩到少数几个谱段,进而达到蚀变信息与背景信息分离,提取蚀变信息的目的。

光谱匹配法:是将已知矿物的光谱曲线与未知曲线进行光谱匹配,根据光谱匹配程度确定矿物种类的一种方法,该方法是目前高光谱遥感提取蚀变信息或烃类物质最常用的有效的方法。该方法的实施常采用沙漏技术流程,即通过MNF变换(最小噪声分离变换)→PPI计算(像元纯度指数计算)→光谱分析→光谱匹配(常用光谱角方法(SAM)和调制匹配滤波方法(MTMF)→矿物填图等步骤实现。

2.3.3 通过植被异常提取油气渗漏信息法

地下油气渗漏造成上覆土壤中天然气的异常。土壤中大量的天然气使土壤的氧气大量减少,造成植被因缺氧而发生光谱特征的变化,包括红色到近红外波段(红边)的反射率的突然上升,坡度、拐点和高度的变化。因此通过植被的光谱曲线来确定植被的种属,然后在确定同种植被不同地区之间光谱曲线的差别,以此来确定因油气渗漏造成的植被异常区,从而圈定油气渗漏异常区。

3 高光谱探测技术在油气探测中的应用现状

3.1 国外应用现状

美国、德国、西班牙是利用航空高光谱技术开展油气渗漏信息探测方面的技术方法研究较早的国家。Horig et al.^[24]利用澳大利亚研制的HyMap航

空高光谱成像仪开展了提取烃类渗漏信息的可行性试验,利用HyMap高光谱遥感数据的25波段、26波段(波长为1729.31 nm)、27波段,采取比值处理的方法 $[(\text{band}25+\text{band}27)/(2\times\text{band}26)]$ 来突出1.73 μm 处的烃类弱吸收信息,取得了较好效果;F.KUHN等(2002)针对烃类在1.73 μm 处独特的弱吸收峰,建立了烃类光谱识别指数,运用这一指数提取的烃类信息更准确;Heather Freeman(2003)^[25]利用AVIRIS航空高光谱遥感影像和光谱角度制图(SAM)方法、光谱特征匹配(SSF)算法,在美国加利福尼亚州圣巴巴拉地区开展了烃类渗漏成因碳酸盐矿物(如菱铁矿、方解石)制图研究工作,发现方解石的分布与油气区位置具有很强的空间相关性;Singhroy et al.^[26]采用荧光阵列成像仪(光谱范围430~850 nm,288通道)研究了密西根Stoney Point油田区植被的状况,揭示了由油气微渗漏导致的植被光谱的改变特征;Noomen^[27]利用油气渗漏引起的地表植被(小麦和玉米)的高光谱反射波段变化特点,从HyMap航空高光谱遥感影像上提取地表油气渗漏异常信息,开展油气管道的监测和油气资源的预测取得较好效果。

3.2 国内应用现状

20世纪90年代末中国科学院开展了高光谱传感器的研制、开发了具有自主知识产权的OMIS高光谱扫描仪,并在一些油田开展了试验性研究;杨琨和杨柏林^[28]利用中国科学院上海技术物理所研制的机载短波红外分光光谱扫描仪,在准噶尔盆地东部某油气区、塔里木盆地塔北地区某油气区等开展了油气探测研究,研究表明油气遥感异常与已知油气田吻合率高,与地震资料和放射性异常、烃类异常对应性好,表明航空短波红外分光光谱遥感技术用于寻找油气资源是有效的;徐大琦等^[29]提出了典型含气区测点的光谱曲线的宏观特征,给出了一种基于野外测量的反射光谱来确定特定蚀变的地表分布(即分类)的方法,并将该方法应用于青海某地区野外测量的反射光谱的研究中,得到的蚀变异常区与该地区已发现气田有很好的对应关系,在测区内预测了3个较大含气区;赵欣梅^[30]系统研究了烃类物质微渗漏现象以及由此引起的地表蚀变特征,从微渗漏地表土壤及岩石地球化学异常、地表土壤吸附烃异常、地表植物异常、地热异常等几个方面探求遥感指示标志,并充分利用卫星高光谱遥感数据具

有的光谱细分特性,在已知油气区确定了与烃类微渗漏相关的蚀变矿物组合信息,并作为油气区探测的遥感解译组合标志,进一步分析预测了新的油气远景区;沈渊婷等^[31]开展了柴达木盆地涩北气田区的蚀变矿物特点研究,结合 Hyperion 卫星高光谱遥感数据,对已知气田区与背景区光谱特征进行了相关分析,确定了油气信息识别的有效波长范围。利用光谱角制图(SAM)技术提取了涩北气田和台吉乃尔含气构造的油气空间分布信息,为高光谱遥感油气探测提供了有效技术与途径;田淑芳等^[32]在内蒙古东胜地区,以油气微渗漏理论为基础,利用 Hyperion 卫星高光谱遥感数据为信息源,结合野外实测波谱曲线,开展了油气微渗漏信息的提取和空间位置分布规律研究,预测了4个油气微渗漏富集区,为东胜地区的油气勘探提供了依据;倪国强等^[33]利用 Hyperion 卫星高光谱遥感数据,实现了中国某地区天然气蚀变异常区的分类。根据该地区的地质资料,具有异常显示的区域与该地区气藏形成条件有利区相吻合。利用小波 PCA 的特征提取方法,有效地提取了该地区地表微弱的天然气蚀变特征。采用非监督/监督分类混合训练策略,有效地将干扰地物区分开,有效识别出天然气蚀变异常区。田庆久等^[34]通过辽东湾海上野外光谱实验及样品采集分析和多次实验室油膜光谱模拟实验与分析,针对 Hyperion 卫星高光谱遥感数据特点建立了谱段选择和海面薄油膜、厚油膜检测模式。2010年,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应用机载成像光谱数据在甘肃庆阳开展了航空高光谱遥感寻找油气的示范应用研究,取得良好效果。

4 航空高光谱技术在准噶尔盆地东部油气调查选区中的应用

4.1 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感数据获取采集和处理

将 CASI/SASI 航空高光谱成像光谱仪搭载在航空飞机上,以航空飞机为平台,地面-航空一体化作业的方式,利用国外引进的 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感测量系统、地面 ASD 光谱测量系统、航空激光雷达系统,在准噶尔盆地东部地区开展了航空飞行测量工作,采集具高空间分辨率、高光谱分

表1 航空高光谱探测飞行参数
Table 1 Flight Parameter in the aerial hyperspectral Measurement

测区代号: 吉木萨尔地区	成像光谱仪型号: CASI/SASI
飞行机型: 空中国王	光谱波段范围 (nm): 380-2450
面积/km ²	2500
空间分辨率(m×m):	CASI 0.8 / SASI 2.0
光谱采样间隔/nm:	CASI 35 / SASI 15
平均平面高程/m	A区(北区) 1168; B区(南区): 1308
飞行地速(km/h):	250
相对航高/m	1500
绝对航高/m	A区 2668; B区: 2708
航带旁向重叠度/%	A: 区 28; B区: 28
航带间隔/m	A区: 931, B区: 845.8
航带条数/条	A区: 32, B区: 24
总测线长/km	3158 (其中, A区为 1970, B区为 1188)

辨率的 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感数据、航空激光雷达数据和地面准同步的地物光谱定标数据。具体获取过程分为三个步骤:首先,需要对成像光谱仪进行实验室定标,保证其性能指标达到项目要求;其次进行飞行方案的设计,在飞机上进行安装测试,在正式测区飞行前,选择适当的区域进行仪器几何参数的校正飞行;最后进行测区的高光谱数据获取,并对数据进行检查、备份(表1、图2)。获取了研究区 2580 km² 的高光谱数据体和激光雷达 DEM 数据、热红外数据采集 800 km²、地面光谱路线测量 2294 条。

在此基础上,开展 CASI/SAI/TASI 航空高光谱遥感数据辐射校正、几何校正、大气校正、光谱重建、图像镶嵌等数据处理工作。通过此项研究,为航空高光谱遥感探测油气信息的技术方法研究和示范应用提供关键的数据基础。

4.2 与油气渗漏信息相关的地面光谱测量与分析

地面光谱测量采用美国 ASD 公司生产的 FieldSpec Pro FR 地面光谱测量仪。利用该仪器开展了研究区地表露头区油气烃源岩及其他相关岩石地物的光谱测量(图3~5),测量的地物包括:岩石、土壤、植被等。完成了5条贯穿地层走向剖面的地面成矿要素光谱测量,共测量 520 个点,获取光谱曲线 2294 条。测量完成后,开展了光谱数据处理、光谱库建立、光谱特征分析等研究工作,为航空高

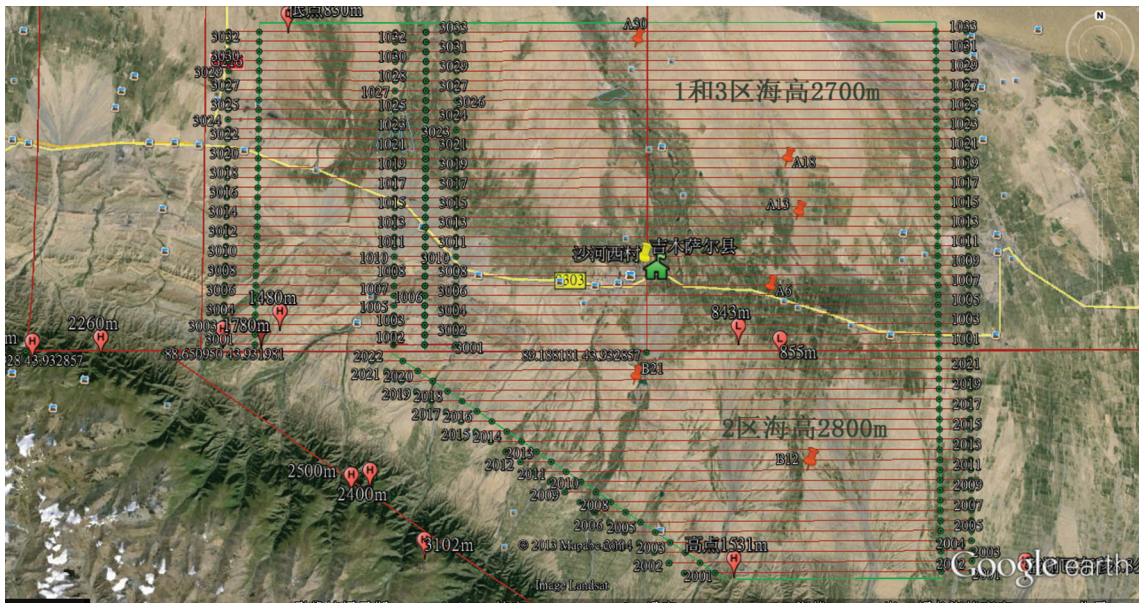
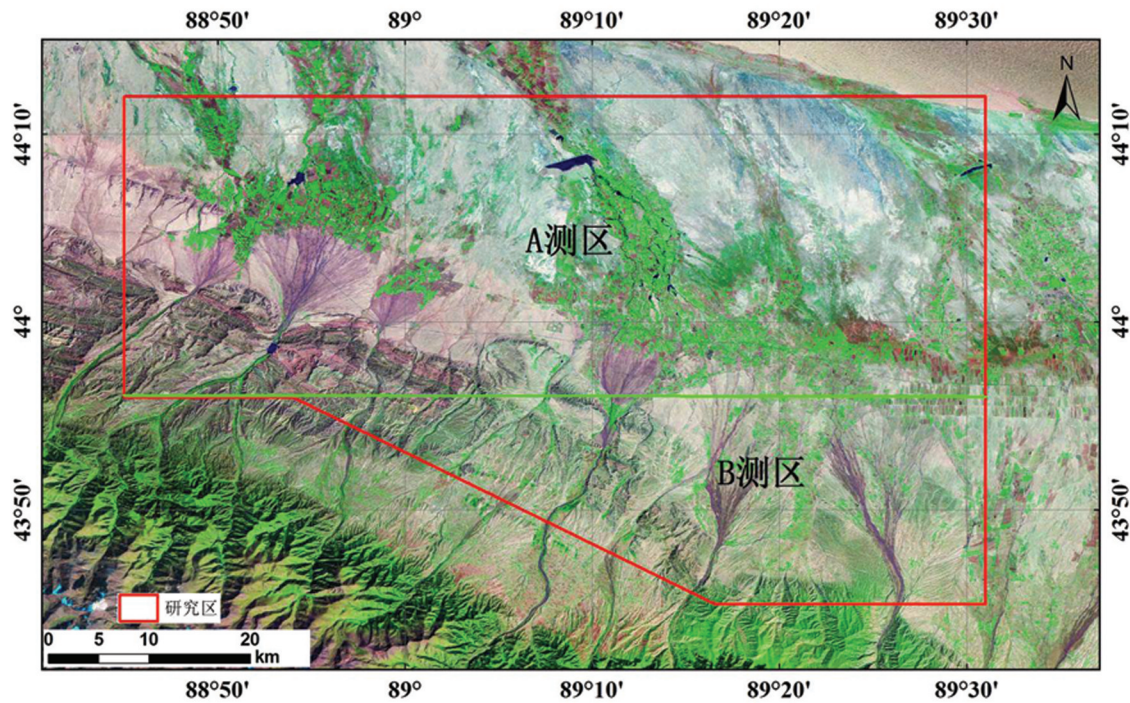


图2 研究区飞机航线敷设图
Fig.2 Aircraft course design in the study area

光谱遥感烃及相交蚀变矿物填图、地面光谱验证、以及烃类异常信息筛选等提供重要的地面光谱信息支持。

4.3 烃及相关蚀变矿物航空高光谱遥感信息提取与分析

开展了研究区与油气相关的粘土、碳酸盐、二价铁等矿物的 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感信

息提取,采用技术流程和方法(图6),完成了油气及相关信息提取和地质制图工作(图7~10)。

4.4 烃类微渗漏异常区航空高光谱评价与油气有利勘查区优选

针对筛选出来的烃类微渗异常区,逐一进行 CASI/SASI/TASI 航空高光谱遥感精细矿物填图,尝试不同阈值条件下,开展图像端元提取、端元识别、

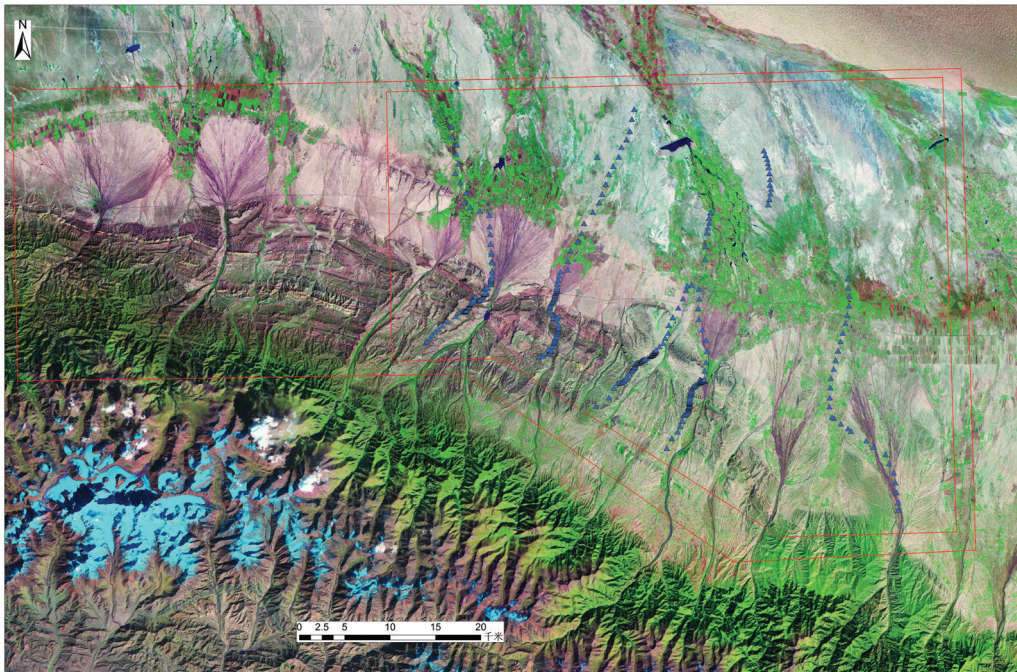


图3 测区地面光谱测量剖面(蓝色三角形代表光谱测量点)

Fig.3 Location of the aerial hyperspectral measurement profiles (blue triangles are the measured points)

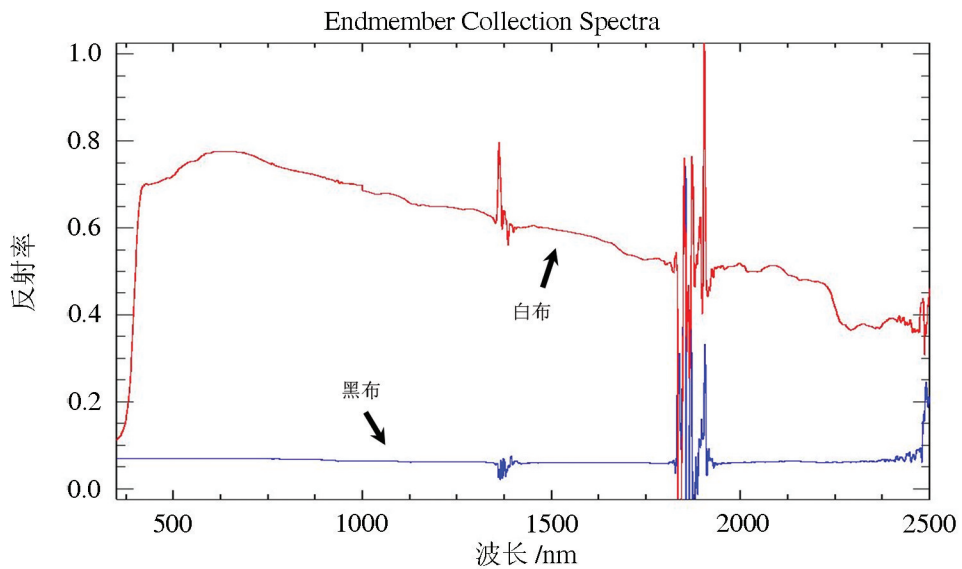


图4 地面定标黑白布光谱测量曲线

Fig.4 Spectral curves of black and white cloth calibration

多方法光谱匹配、异常确定等矿物填图步骤的精细处理,以便在初步筛选来的烃渗漏异常区内尽可能多的提取信息,并对各个异常区进行评价。

在航空高光谱油气异常信息和异常区评价基

础上,结合地质、地球物理、化探、野外地质查证等多源地学信息,通过航空高光谱异常区与已发现的油气藏(田)高光谱油气异常信息的相似性开展油气勘查有利区的优选,在准东地区落实了柳树河子

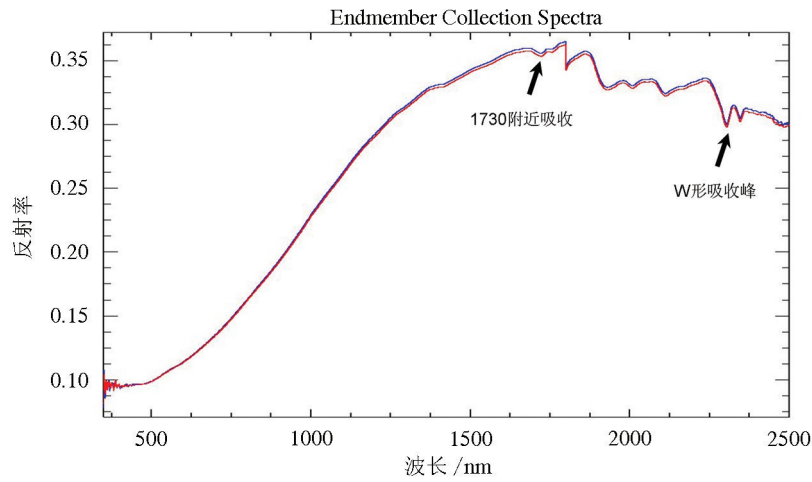


图5 淮南大龙口二叠系芦草沟组剖面油页岩光谱曲线
Fig.5 Spectral curve of the oil shale of Permian Lucaogou Formation in Dalongkou, southern Junggar Basin

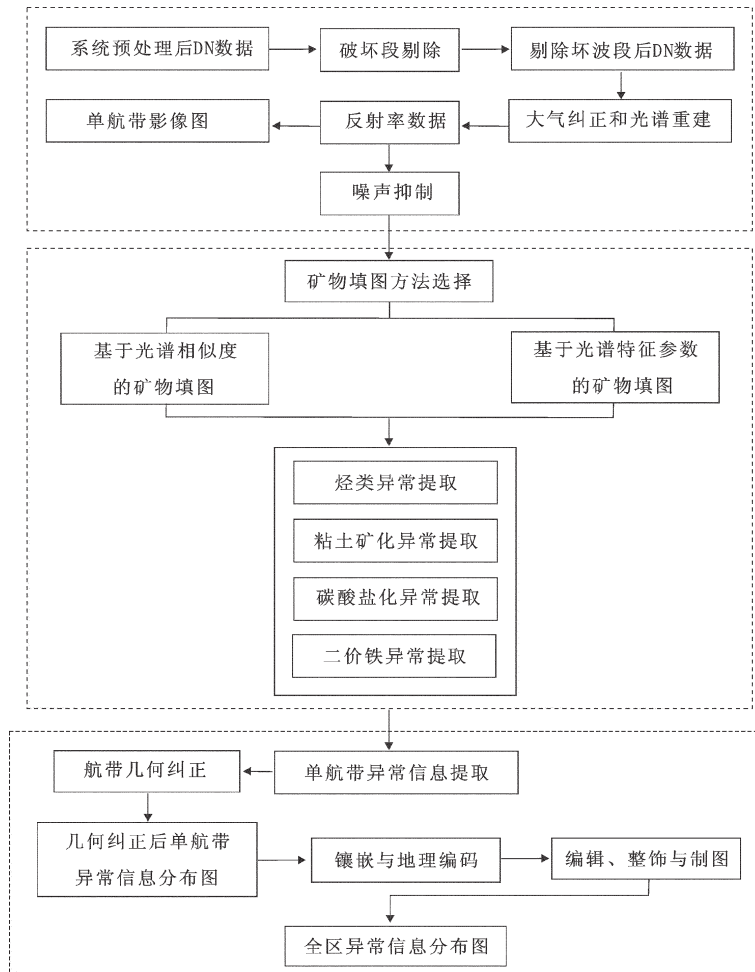


图6 CASI/SASI油气异常信息提取技术流程
Fig.6 Procedure of extraction technology of CASI/SASI anomaly of hydrocarbon

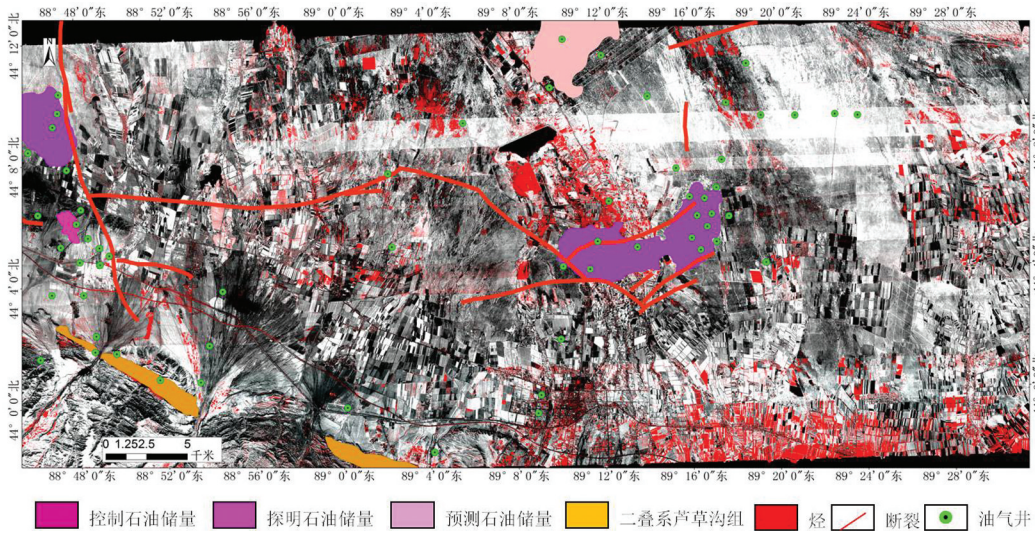


图7 覆盖区烃信息与已知油气田和断裂关系图

Fig.7 Image of hydrocarbon Information, oil and gas fields and fractures in the covered area

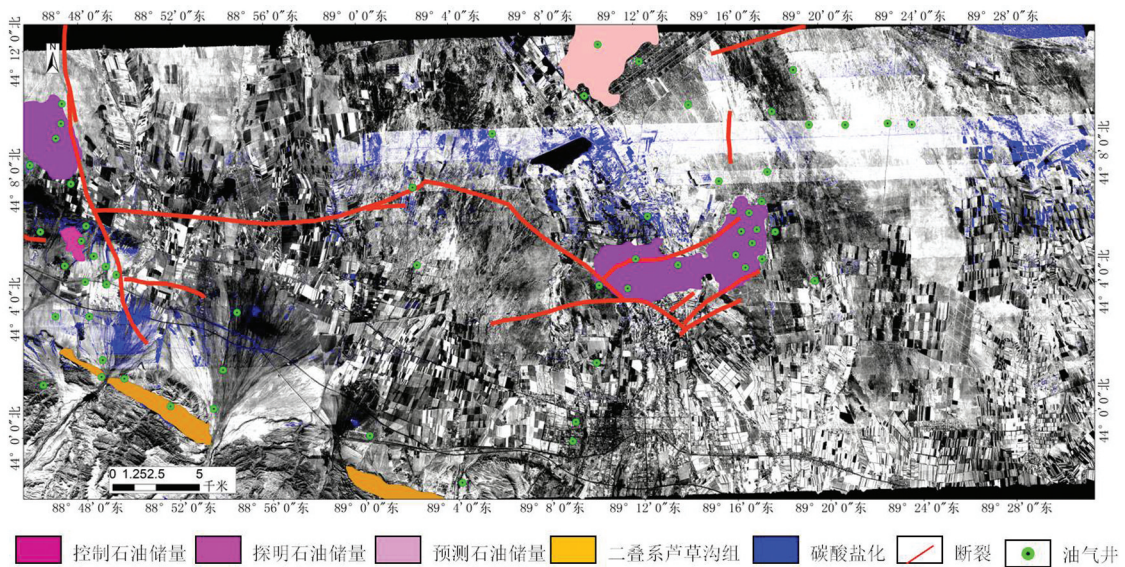


图8 覆盖区碳酸盐蚀变信息与已知油气田和断裂关系图

Fig.8 Image of carbonate alteration information, oil and gas fields and fractures in the covered area

和三台镇2个油气勘查有利区(图11)。

三台镇有利区表现出明显烃的特征光谱,其光谱曲线反射率较低,位于0.175~0.275,可见光波段曲线较平直,在近红外1730 nm附近有一个弱的吸收峰,在2310 nm和2340 nm处有一个明显的“W”型双吸收峰;其次,区内农田的土壤光谱曲线在2210 nm附近有一个较弱的吸收峰,因此,在遥感影像上提取出了较丰富的粘土化信息,并且在北三台

断裂带附近的土壤部分在2345 nm附近有一个较弱的吸收峰,表现出碳酸盐化的特征。

下柳树河子有利区具有烃吸收特征的土壤光谱曲线反射率在0.475~0.575,在1730 nm附近有一个较弱的吸收峰,吸收谷较浅,在2310 nm和2340 nm处有一个较弱的吸收峰,并且在2210 nm处有羟基吸收。另外,该区的部分第四系土壤光谱曲线在1730~1750 nm有一个较宽缓的吸收峰,并且在

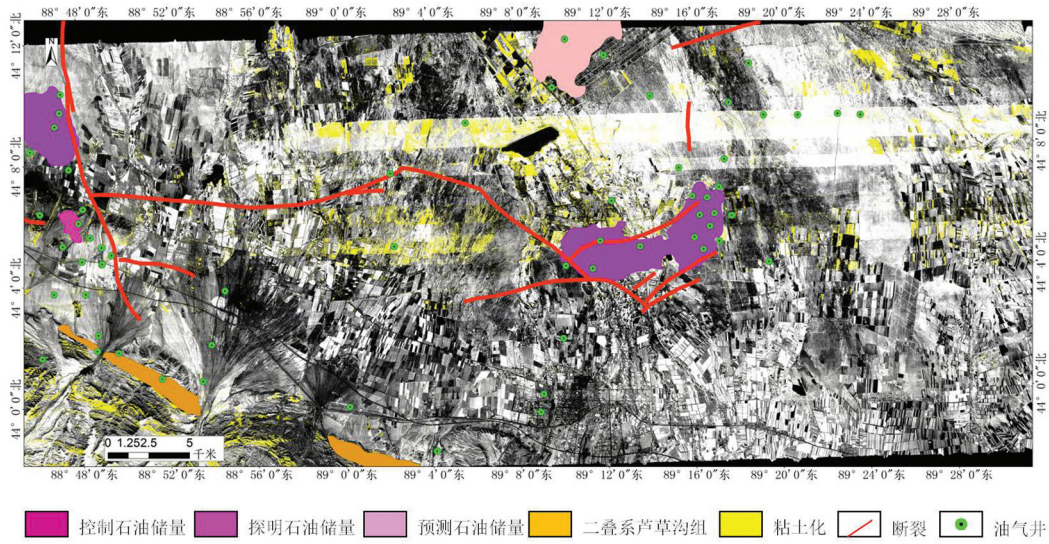


图9 覆盖区粘土蚀变信息与已知油气田和断裂关系图

Fig.9 Image of clay mineral alteration information, oil and gas fields and fractures in the covered area

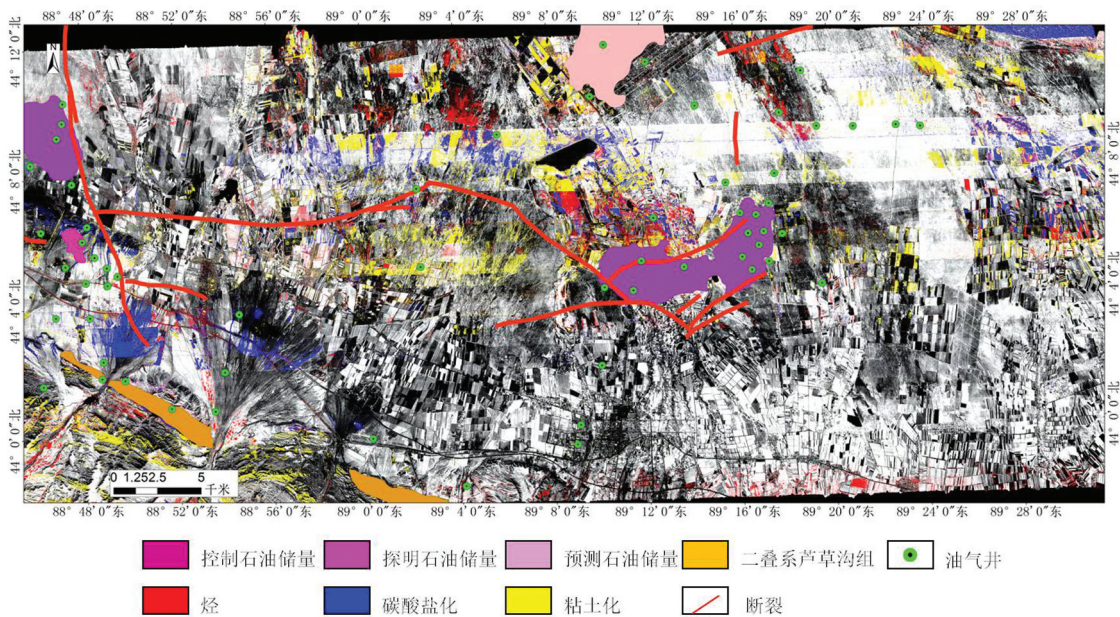


图10 覆盖区烃和矿物蚀变信息与油气田叠加信息分布图

Fig. 10 Image of distribution of hydrocarbon, mineral alteration information, oil and gas fields overlaying the covered area

2210 nm 和 2345 nm 附近有一个较弱的吸收峰,表现出既有烃的吸收特征,也有碳酸盐化和粘土化的吸收特征。

5 结论

(1) 赋存于地下的油气藏(田)一般都存在向地表微渗漏,油气藏上方因烃类垂向微渗漏而引起近

地表物质的物理与化学性质变化,形成地物反射光谱特征异常。这种异常表现为波谱特征吸收谷或反射峰的位置偏移或强度增减,在航空高光谱图像上表现为不同灰度或色调变化,这为航空高光谱技术用于探测烃类微渗漏信息成为可能,成为油气选区调查和寻找油气的有效技术方法。

(2) 通过开展航空高光谱油气探测技术研究,

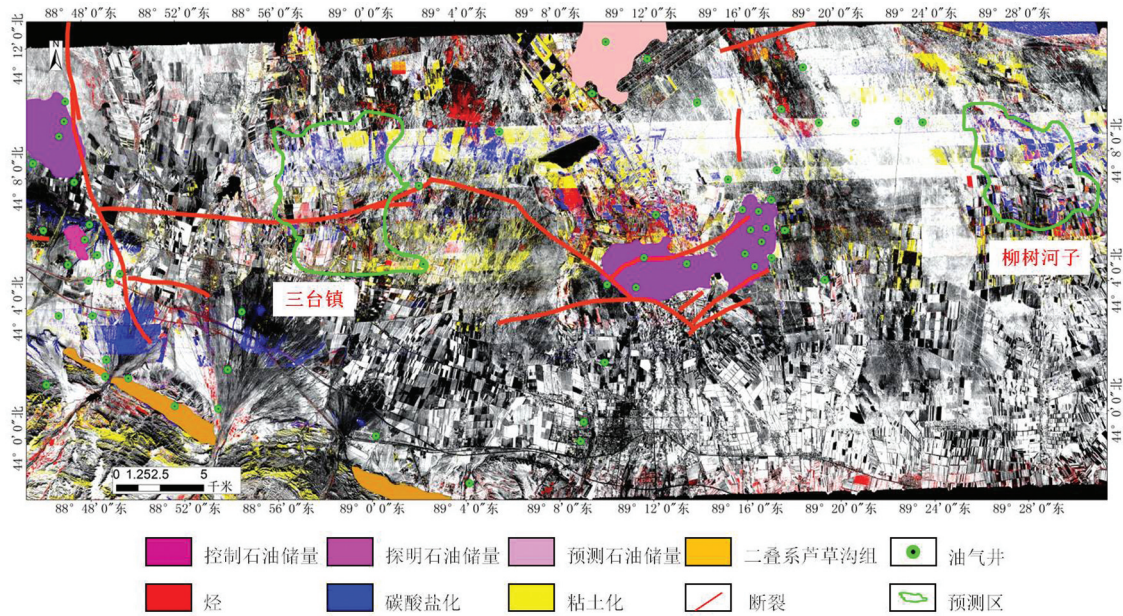


图11 研究区油气勘查有利区位置图
Fig.11 Two oil and gas favorable places in the study area

在准噶尔盆地东部地区与油气相关的粘土、碳酸盐、二价铁等矿物CASI/SASI/TASI航空高光谱遥感信息提取基础上,通过与已发现的油气藏(田)高光谱油气异常信息的对比研究,在研究区落实了柳树河子和三台镇2个油气勘查有利区。

(3)与常规的重磁电、二维地震、探井等油气勘查方法相比,航空高光谱油气探测技术具有低成本、快速高效的优势。但由于影响烃、岩石、矿物等高光谱信息异常的因素甚多,而造成油气异常信息的多解性,加上利用航空高光谱技术开展油气战略选区研究的工作还比较少,需要今后继续完善成熟。

参考文献(References):

[1] Sabins F F. Remote sensing for mineral exploration[J]. Ore Geology Reviews, 1999, 14: 157-183.
 [2] Everett J R, Jengo C J, Staskowski R J, et al. Remote and GIS enable future exploration success[J]. World Oil, 2002, 223(11): 59-65.
 [3] 廖崇高, 杨武年, 徐凌, 等. 成矿预测中遥感与地质异常的综合分析——以兰坪盆地为例[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 416-420.
 Liao Chonggao, Yang Wunian, Xu Lin, et al. Integrated analysis of remote sensing and geological anomalies in ore deposit prediction: A case study of the Lanping basin[J]. Geology in China, 2002, 29(4): 416-420(in Chinese with English abstract).

[4] 连长云, 章革, 元春华, 等. 短波红外光谱矿物测量技术在热液蚀变矿物填图中的应用——以土屋斑岩铜矿床为例[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 483-495.
 Lian Changyun, Zhang Ge, Yuan Chunhua, et al. Application of SWIR reflectance spectroscopy in mapping of hydrothermal alteration minerals: a case study of the Tuwu porphyry copper prospect, Xinjiang[J]. Geology in China, 2005, 32(3): 483-495(in Chinese with English abstract).
 [5] 刘圣伟, 甘甫平, 闫柏琨, 等. 成像光谱技术在典型蚀变矿物识别和填图中的应用[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 178-186.
 Liu Shengwei, Gan Fuping, Yan Bohun, et al. Application of the imaging spectroscopic technique in mineral identification and mapping[J]. Geology in China, 2006, 33(1): 178-186(in Chinese with English abstract).
 [6] 谭克龙, 万余庆, 王晓峰, 等. 基于遥感技术的煤炭勘查方法研究[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 218-227.
 Tan Kelong, Wan Yuqing, Wang Xiaofeng, et al. The exploration method of coal resources based on remote sensing technology[J]. Geology in China, 2012, 39(1): 218-227(in Chinese with English abstract).
 [7] 刘颖璠, 陈建平, 郝俊峰, 等. 内蒙古朱拉扎嘎地区成矿遥感信息提取及成矿预测研究[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 1062-1068.
 Liu Yingpan, Chen Jianping, Hao Junfeng, et al. Researches on metallogenic remote sensing information extraction and

- metallogenic prediction in Zhulazhaga area of Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 1062–1068(in Chinese with English abstract).
- [8] 雷天赐, 崔放, 余凤鸣. 基于遥感的多源信息融合在湖南永州南部地区找矿预测中的应用[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 1069–1080.
Lei Tianci, Cui Fang, Yu Fengming. The application of multi-source information fusion based on remote sensing to ore prospecting prediction in southern Yongzhou of Hunan Province[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 1069–1080(in Chinese with English abstract).
- [9] 钱建平, 伍贵华, 陈宏毅. 现代遥感技术在地质找矿中的应用[J]. *地质找矿论丛*, 2012, 27(3): 355–360.
Qian Jianping, Wu Guihua, Chen Hongyi. The application of modern remote sensing technology to geology and ore exploration[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2012, 27(3): 355–360(in Chinese with English abstract).
- [10] 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: 1137–1145.
- [11] 朱振海. 油气藏烃类微渗漏理论及遥感油气资源探测的机理研究[J]. *遥感技术与应用*, 1994, 9(1): 1–10.
Zhu Zhenhai. Hydrocarbon micro-seepage theory and oil & gas reservoir detecting by remote sensing[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1994, 9(1): 1–10(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘燕君, 金丽芳. 遥感方法对黄土地区隐伏控油构造的评价[J]. *环境遥感*, 1993, 8(4): 278–285.
Liu Yanjun, Jin Lifang. Evaluation of buried oil-controlling structure in loess region by remote sensing method[J]. *Remote Sensing of environment China*, 1993, 8(4): 278–285(in Chinese with English abstract).
- [13] 郭德方. 遥感技术直接找油[J]. *石油学报*, 1995, 16(4): 9–16.
Guo Defang. Direct searching for oil and gas by remote sensing technology[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995, 16(4): 9–16(in Chinese with English abstract).
- [14] 叶和飞, 齐小平. 遥感技术在中国东部油气勘探中的应用[J]. *国土资源遥感*, 1993, 25(3): 13–19.
Ye Hefei, Qi Xiaoping. The application of remote sensing technique to petroleum exploration in East China[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 1993, 25(3): 13–19(in Chinese with English abstract).
- [15] 蒋涛, 赵克斌, 荣发准, 等. 油气藏烃类垂向微渗漏及近地表化探异常的油气地质意义[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(5): 901–908.
Jiang Tao, Zhao Kebin, Rong Fazhun, et al. Vertical micro-migration of hydrocarbons from subsurface reservoirs and geological significance in near-surface geochemical exploration for oil and gas[J]. *Natural Gas Geosciences*, 2011, 22(5): 901–908 (in Chinese with English abstract).
- [16] Sophie Magdalena DE Beukelaer. Remote Sensing Analysis of Natural Oil and Gas Seeps on the Continental Slope of the Northern Gulf of Mexico[D]. Texas: A&M University, 2003.
- [17] Noomen M F, Skidmore A K, Van der Meer F D. Detecting the Influence of Gas Seepage on Vegetation, using Hyperspectral Remote Sensing[C]//Proceedings of 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. 2003: 252–256.
- [18] 胡畔, 田庆久, 闫柏坤. 柴达木盆地地表酸解烃含量的高光谱遥感估算[J]. *天然气工业*, 2009, 29(2): 1–5.
Hu Pan, Tian Qingjiu, Yan bokun. Estimating acidolysis hydrocarbon content in surface of Qaidam basin through hyperspectral remote sensing[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(2): 1–5(in Chinese with English abstract).
- [19] 章桂芳, 沈晓华, 邹乐君, 等. 松辽盆地西部斜坡区烃渗漏蚀变信息遥感探测[J]. *遥感学报*, 2009, 13(2): 327–334.
Zhang Guifang, Shen Xiaohua, Zhou Lejun, et al. Identifying hydrocarbon leakage induced anomalies through remote sensing techniques in the western slope of Songliao basin, China[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(2): 327–334(in Chinese with English abstract).
- [20] 申晋利, 丁树柏, 齐小平, 等. 烃类微渗漏现象遥感检测研究进展[J]. *国土资源遥感*, 2010, 85(3): 7–11.
Shen Jinli, Ding Shubai, Qi Xiaoping, et al. The progress of remote sensing technology in the detection of Hydrocarbon Micro-seepage[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2010, 85(3): 7–11(in Chinese with English abstract).
- [21] 陈圣波. 松辽盆地西部斜坡带烃类微渗漏遥感信息提取[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2002, 32(2): 155–157.
Chen Shengbo. Hydrocarbon micro-seepage detecting by remote sensing in western slope of Songliao Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2002, 32(2): 155–157(in Chinese with English abstract).
- [22] 管仲, 田庆久. 油气光学遥感研究综述[J]. *天然气工业*, 2006, 26(11): 44–48.
Guan Zhong, Tian Qingjiu. A summary of oil and gas optical remote sensing[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(11): 44–48(in Chinese with English abstract).
- [23] Saunders D F, Burson K R, Branch J F, et al. New method of aerial and surface radiometric prospecting for oil and gas[J]. *Oil*

- and Gas Journal, 1993, 91(38): 104–109.
- [24] Horig B, Kuhn F, Oschutz F, et al. HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(8): 1413–1422.
- [25] Freeman H. Evaluation of the Use of Hyperspectral Imagery for Identification of Micro Seeps Near Santa Barbara, California[R]. Project Report for Master of Science in Geology West Virginia University, 2003.
- [26] Singhroy V H, Stanton – Gray R, Springer J. Spectral geobotanical investigation of mineralized till sites [C]// Proceedings of the 5th Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, Reno, Nevada, September 29– October 2, 1986: 523–544.
- [27] Noomen M F. Hyperspectral reflectance of vegetation affected by underground hydrocarbon gas seepage[C]// Enschede, the Netherlands: International Institute for Geo–information. Science & Earth Observation, 2007.
- [28] 杨琨, 杨柏林. 航空短波红外分光光谱遥感技术直接寻找油气藏的有效性及应用实例[J]. 矿物学报, 1996, 16(3): 321–326.
Yang Kun, Yang Bailin. Effectiveness and application of airborne short– wave infrared split spectral remote sensing technique in direct search of oil– gas resources[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1996, 16(3): 321–326(in Chinese with English abstract).
- [29] 徐大琦, 倪国强, 沈渊婷, 等. 利用地表土壤的反射光谱探测油气的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(3): 521–524.
Xu Daqi, Ni Guoqiang, Shen Yuanting, et al. Study on exploring for oil and gas using reflectance spectra of surface soils[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(3): 521– 524(in Chinese with English abstract).
- [30] 赵欣梅. 基于烃类微渗漏理论的高光谱遥感油气异常探测方法研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- Zhao Xinmei. Study on Using Hyperspectral Remote Sensing to Explore Oil & Gas Resources Based on Hydrocarbon Microseepage Theory[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2007(in Chinese with English abstract).
- [31] 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, 71(1): 36–40.
Wang Xiangcheng, Tian Qingjiu, Guan Zhong. The Extraction of oil and gas information by using Hyperion imagery in the Sebei Gas Field[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, 71(1): 36–40(in Chinese with English abstract).
- [32] 田淑芳, 陈建平, 周密. 基于航天高光谱遥感的内蒙古东胜地区油气微渗漏信息提取研究[C]//第16届全国遥感技术学术交流会论文集. 北京: 地质出版社, 2007.
Tian Shufang, Chen Jianping, Zhou Mi. Research on the extraction of hydrocarbon micro– seepage information based on aerial hyperspectral remote sensing in Dongsheng area, Inner Mongolia [C]// Proceedings of 16th Conference on Remote Sensing of China. Beijing: Geological Publishing House, 2007(in Chinese).
- [33] 沈渊婷, 倪国强, 徐大琦, 等. 利用Hyperion短波红外高光谱数据勘探天然气的研究[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(3): 210–213, 223.
Shen Yuanting, Ni Guoqiang, Xu Daqi, et al. Study on gas exploration by Hyperion hyperspectral remote sensing data[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2008, 27(3): 210–213, 223(in Chinese with English abstract).
- [34] 杨燕杰, 赵英俊. 高光谱在油气勘探中的国内外研究现状[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(6): 1290–1299.
Yang Yanjie, Zhao Yingjun. The hyperspectral research status at home and abroad in the oil exploration[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(6): 1290– 1299(in Chinese with English abstract).