

doi: 10.12029/gc20180513

刘德长, 邱骏挺, 童勤龙, 谢涛, 杨燕杰, 王子涛. 2018. 新疆吉木萨尔地区油气渗漏与盐碱化相关性的航空高光谱遥感探测研究[J]. 中国地质, 45(5): 1062–1073.

Liu Dechang, Qiu Junting, Tong Qinlong, Xie Tao, Yang Yanjie, Wang Zitao. 2018. Airborne hyperspectral study of spatial relationship between oil and gas leakage and salinization in Jimusar area[J]. Geology in China, 45(5): 1062–1073(in Chinese with English abstract).

# 新疆吉木萨尔地区油气渗漏与盐碱化相关性的航空 高光谱遥感探测研究

刘德长<sup>1</sup> 邱骏挺<sup>1</sup> 童勤龙<sup>1</sup> 谢涛<sup>2</sup> 杨燕杰<sup>1</sup> 王子涛<sup>1</sup>

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

2. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 陕西 西安 710054)

**摘要:**笔者在新疆吉木萨尔地区开展航空高光谱遥感油气探测示范研究的过程中,发现油气渗漏地区往往有盐碱化现象。据此,利用航空高光谱成像系统在该区取得的可见光-近红外和短波红外遥感数据,采用自主开发的波段分类填图方法,对吉木萨尔农田、荒地和戈壁地区的油气渗漏异常信息进行了提取,经野外验证和化学分析,圈定了7处油气渗漏异常区。同时,构建了盐碱化的高光谱识别模型,利用该模型进行了盐碱化信息填图,并对吉木萨尔同一覆盖区的盐碱化异常进行了提取,圈定了盐碱化异常区。通过对油气渗漏异常区与盐碱化异常区的叠置聚焦分析,发现二者空间位置有高度的重合性。笔者认为这一高光谱遥感探测发现,不仅具有探索的理论意义,而且具有实用价值。其实用价值主要体现在高光谱遥感油气探测中,通过烃碱信息的相互印证,可以减少油气信息的漏判,提高油气渗漏信息识别的准确性。同时,在缺少航空高光谱遥感数据的情况下,还可以利用卫星多光谱遥感数据源,通过提取盐碱化异常和圈定盐碱化异常区的途径,帮助缩小找油气的目标区,为油气资源的调查、评价和选区提供新的信息和依据。上述研究同时表明,自然界的盐碱化可能并非全是由“干旱蒸发”形成,很可能还存在与油气有关的盐碱化,在油气勘查中如何区分这两种类型的盐碱化,特别是应用高光谱遥感技术将二者区分开来,是值得深入探讨的科学问题。

**关键词:**航空高光谱遥感;CASI/SASI/TASI;油气渗漏异常;盐碱化异常;烃碱聚焦

中图分类号:P631.3<sup>4</sup> 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2018)05-1062-12

## Airborne hyperspectral study of spatial relationship between oil and gas leakage and salinization in Jimusar area

LIU Dechang<sup>1</sup>, QIU Junting<sup>1</sup>, TONG Qinlong<sup>1</sup>, XIE Tao<sup>2</sup>, YANG Yanjie<sup>1</sup>, WANG Zitao<sup>1</sup>

(1. National Key Laboratory of Science and Technology on Remote Sensing Information and Image analysis, Beijing Research

收稿日期:2016-11-30;改回日期:2018-05-28

基金项目:中国地质调查局油气资源调查中心基金项目(1211302108019-1)资助。

作者简介:刘德长,男,1938年生,研究员,博士生导师,长期从事核领域遥感技术应用研究,目前正在从事高光谱遥感在地质领域的应用研究;E-mail:liudc@yeah.net。

*Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 2. Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, China National Administration of Coal Geology, Xi'an 710054, Shaanxi China)*

**Abstract:** Oil and gas leakages in the Jimusar area are spatially associated with salinization. In this study, the airborne hyperspectral image of the Jimusar region with a total area of 2500 km<sup>2</sup> in Xinjiang was obtained by using CASI/SASI imagery of the National Key Laboratory of Science and Technology on Remote Sensing Information and Image analysis. The dataset was used to extract oil leakage information by using newly developed classification method. Seven oil leakage areas were detected. In addition, the extraction model for soil salt was also developed and applied to study the distribution of soil salt in the Jimusar region. Based on the superposition analysis of oil and gas anomaly area and salinization anomaly area, the authors detected a high degree of coincidence in the spatial location of the two areas. The authors believe that this hyperspectral remote sensing detection not only has theoretical significance but also has practical value. Its practical value is mainly reflected in the hyperspectral remote sensing oil and gas exploration. Through the mutual confirmation of hydrocarbon information, one can reduce redundant information of oil and gas leakage and improve the accuracy of oil and gas leakage identification. Additionally, in the absence of aerospace hyperspectral remote sensing data sources, satellite multispectral remote sensing data can also be used to extract the salinization anomalies and delineate the anomalous areas of salinization and alkalization, thereby helping to narrow the target areas for oil and gas exploration. The results obtained by the authors indicate that the salinization of nature may not be wholly attributed to “dry evaporation”, and there may be oil and gas related salinization. The distinguishing between these two kinds of salinization is a scientific problem worthy of in-depth discussion, especially in the field of hyperspectral remote sensing.

**Key words:** airborne hyper-spectral image; CASI/SASI; oil leakage information; soil salt anomalies; combination of oil and soil salt information

**About the first author:** LIU Dechang, male, born in 1938, senior researcher, supervisor of doctor candidate, majors in structural geology, engages in the study of remote sensing for unclear security and geology; E-mail: liudc@yeah.net.

**Fund support:** Supported by project (No. 1211302108019-1) of Oil and Gas Survey Center of China Geological Survey.

## 1 前言

高光谱遥感技术属于第三代遥感技术,具有波段数多,波带窄,图谱合一,能对地物进行定量分析等优势,是20世纪末期以来遥感领域最大的技术进步(Clark et al.,1990; Campbell and Wynne, 2011),也是目前遥感地质领域应用的前缘和热点。航空高光谱遥感技术相对于卫星高光谱遥感技术具有更高的空间分辨率(可达亚米级)和光谱分辨率,可以识别地质人员不易发现的小面积微弱地表油气渗漏异常信息,使遥感技术更具有找油气的价值。

油气渗漏的原因主要是由于油气藏上方压力小于油气藏的压力,这样油气就会向上,甚至向地表运移,所以地表油气渗漏现象是地下油气存在和活动的直接标志。油气渗漏除形成烃异常外,在氧化环境下,还会引起油气藏上方的岩石和土壤发生蚀变,形成碳酸盐化异常、黏土化异常和铁离子异常等。烃及其组成蚀变异常的矿物均具有诊断性光谱特征。烃的诊断特征是在波长1720~1730 nm

处有特征的吸收带;碳酸盐类矿物是在波长2300~2340 nm处有特征吸收带;黏土矿物是在波长2160~2220 nm处有特征吸收带。利用高光谱遥感数据,借助上述诊断特征就可以将烃及其蚀变矿物识别和提取出来(Ganyantha et al., 2012; 杜小弟等, 2015; 刘佳等, 2015; 李志忠等, 2015)。这就是高光谱遥感探测油气的原理。

美国、德国、西班牙等国家都先后利用地面、卫星、航空高光谱遥感技术对油气渗漏信息进行了探测。Ellis等(2001)建立了油气渗漏和油气渗漏区土壤的光谱库。Khan和Jacobson等(2008)通过研究,验证了岩石与土壤中的矿物蚀变与油田的烃渗漏有关,应用Hyperion卫星高光谱传感器在怀俄明州的Patrick Draw地区获取了与烃微渗漏有关的异常区域的高光谱影像。Horig等(2001)利用澳大利亚研制的HyMap航空高光谱成像仪对烃类渗漏信息提取的可行性进行了试验; Heather Freeman(2003)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,对美

国加利福尼亚州圣巴巴拉地区进行了烃类渗漏引起的碳酸盐蚀变矿物(如菱铁矿、方解石)进行了制图,发现方解石的分布与油气区具有很强的空间相关性; Van der Meer等(2002)在对基于遥感的油气微渗漏方法综述的基础上,综合高光谱数据及相关的地质、地球化学数据,运用相关决策方法,提取了油气微渗漏信息,并对提取结果进行了实际验证。

我国高光谱油气探测比美国、德国、西班牙等起步稍晚,但自2007年以后有了长足的进展。赵欣梅(2007)系统地归纳了烃类物质微渗漏现象,以及由此引起的地表蚀变类型,利用卫星高光谱遥感数据(Hyperion)光谱细分特性,在已知油气区确定了与烃类微渗漏有关的蚀变矿物组合信息,确定了新的油气勘探远景区;沈渊婷等(2008)对柴达木地区涩北气田的蚀变矿物进行了分析,结合Hyperion卫星高光谱遥感数据,利用光谱角制图(SAM)技术,提取了可能的油气渗漏信息,为该区域油气勘查提供了依据;田淑芳(2007)以内蒙古东胜地区为研究区,以油气渗漏理论为基础,利用Hyperion卫星高光谱遥感数据,结合野外实测波谱测量,开展了油气微渗漏信息的提取和空间分布规律的分析,为东胜地区的油气资源开发提供了依据。陆应诚等(2008,2009)通过辽东湾海上油膜光谱测量,经实验室油膜光谱模拟,针对Hyperion卫星高光谱遥感数据特点,建立了海面油膜检测模型。李志忠等(2009)在鄂尔多斯盆地榆林和庆阳地区开展了卫

星高光谱(Hyperion)探测研究,发现卫星高光谱提取的油气异常(烃异常、伊利石异常)不仅与微生物异常具有较好的重合关系,而且与下伏油气藏有较好的对应关系。尽管国内外在高光谱油气探测研究方面做了大量工作,但在所查阅的国内外遥感油气探测的文献中未发现有关盐碱化与油气渗漏相关性的论述,更未见到这方面的专项研究。

笔者在新疆吉木萨尔地区获取了2500 km<sup>2</sup>可见光-近红外和短波红外高空间分辨率(1~2 m)的高光谱遥感数据。在进行高光谱遥感油气探测与应用示范过程中,发现油气渗漏地区往往有盐碱化现象。针对这一发现,开展了油气渗漏与盐碱化相关性的航空高光谱遥感探测研究,现分述于后。

## 2 地质背景

从遥感图像(图1)上看,吉木萨尔研究区被三台断裂分为南北两部分。南部的博格达山断褶带为岩石裸露-半裸露区;北部为第四系覆盖区,主要为农田、荒地和戈壁。覆盖区涉及的构造单元包括吉木萨尔凹陷、三台凸起和奇台凸起的各一部分(图2)。

该区地层属于南准噶尔-北天山地层分区的吉木萨尔地层小区,主要出露中上二叠统至新生界,缺失古生代泥盆纪、石炭纪的地层(图3)。其层序由老至新简述如下:

芦草沟组(P<sub>2</sub>l):主要岩相为潟湖相,岩性为灰黑、黑色、褐灰色页岩、油页岩、粉砂岩夹白云岩和

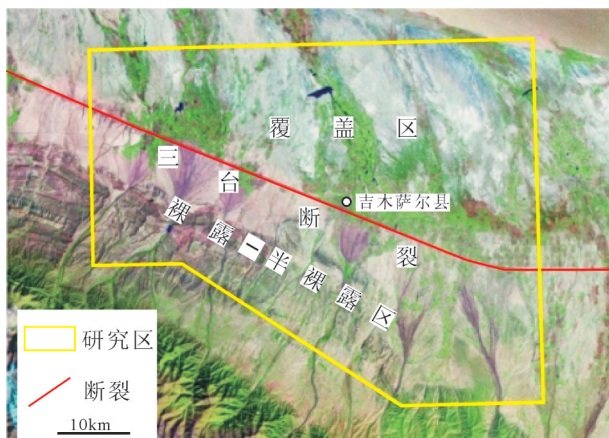


图1 吉木萨尔测区的ETM图像  
(红线示区域断裂、黄框示研究区范围)

Fig.1 ETM image of Jimusar region  
(Red line indicates regional fault, yellow polyline indicates the study area)



图2 吉木萨尔测区及周围的构造单元图  
(红框示研究区范围)

Fig.2 Regional tectonics of Jimusar region  
(Red polyline indicates the study area)

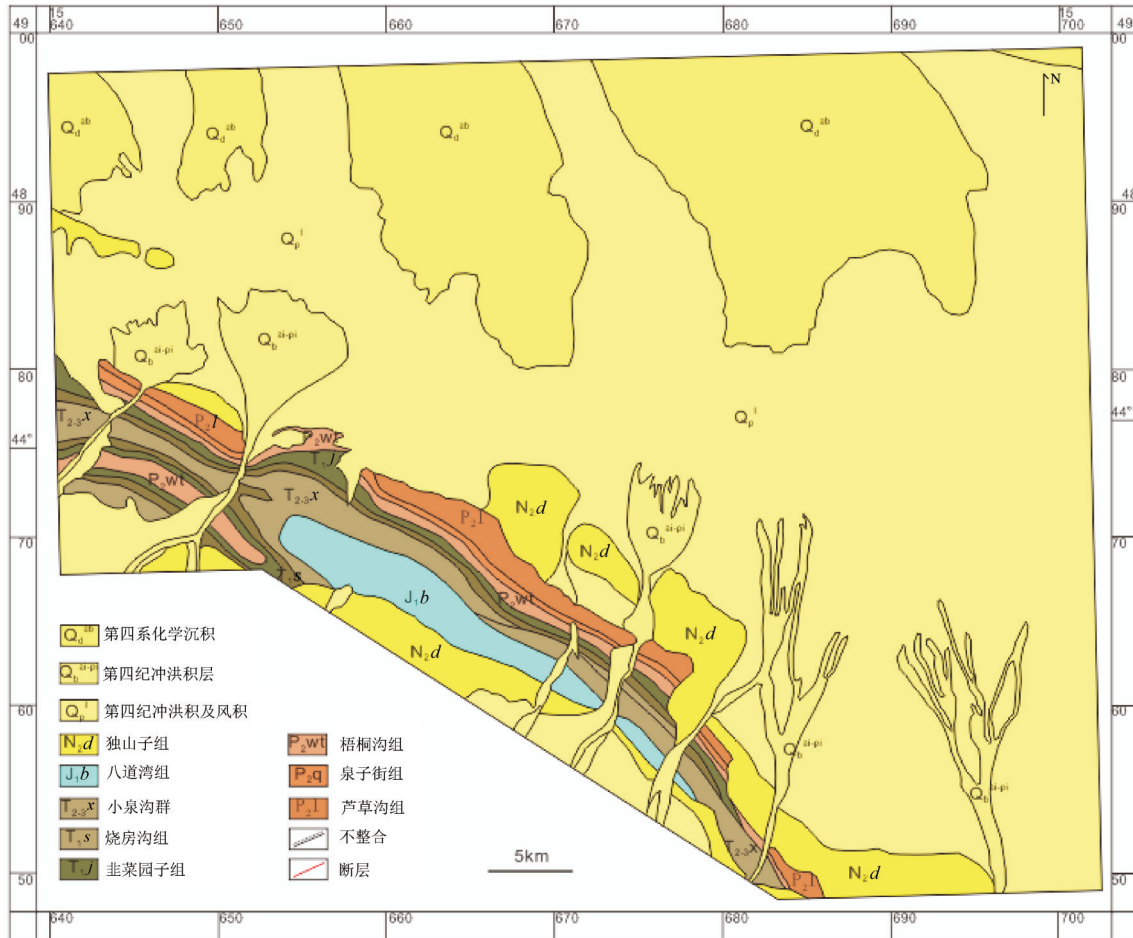


图3 吉木萨尔地区地质图  
Fig.3 Geological map of Jimusar region

少量砂岩,是区内主要的生油层。泉子街组( $P_2q$ ):为河流相、山麓洪积相沉积,岩性为紫红色、黄绿色砾岩夹泥岩、粉砂岩及少量砂岩,其下与芦苇沟组( $P_2l$ )平行不整合接触。梧桐沟组( $P_2wt$ ):主要为棕色、灰色粉砂岩、砂岩,为下粗上细的正旋回沉积。上部为中厚层泥岩夹薄层砂岩;下部为浅灰色细砂岩、粉砂岩与含砾砂岩为主,其与下伏的泉子街组( $P_2q$ )呈整合接触,是区内主要的储油层。韭菜园子组( $T_1j$ ):岩性为紫红色泥岩、灰绿色岩屑砂岩、粉砂岩,与下伏的上二叠统整合接触或平行不整合接触。烧房沟组( $T_1s$ ):岩性为紫红色、灰紫色、灰绿色岩屑砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹少量砂砾岩,与下伏韭菜园子组( $T_1j$ )呈整合接触。小泉沟群( $T_{2-3x}$ ):包括下部克拉玛依组( $T_{2k}$ )、中部黄山街组( $T_{3h}$ )和上部郝家沟组( $T_{3hj}$ ),为连续沉积,主要为灰色、褐灰色、黄绿色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩,见煤

线和菱铁矿结核,与下伏尖山沟组( $T_{1js}$ )呈整合接触,是区内较好的储油层。八道湾组( $J_1b$ ):主要岩性是河沼相灰绿色砂岩、砾岩、泥岩夹煤层或煤线,与下伏三叠系呈角度不整合。三工河组( $J_{1s}$ ):为湖泊相的细碎屑岩夹少量化学岩的沉积,与下伏八道湾组( $J_1b$ )呈平行不整合接触,或超覆于三叠系之上。西山窑组( $J_{2x}$ ):为河湖沼泽相沉积,主要岩性为灰绿、灰白色砂岩、粉砂岩、泥岩,及煤层夹层,见菱铁矿透镜体,与下伏三工河组( $J_{1s}$ )呈整合接触。石树沟群( $J_{2-3s}$ ):为河湖相沉积的杂色条带层,与下伏西山窑组( $J_{2x}$ )呈平行不整合接触。独山子组( $N_2d$ ):为河流相为主的河湖相沉积,岩性为红色、褐红色钙质粉砂岩、泥岩、粘土岩,底部见底砾岩,与下伏中生界呈不整合接触。上更新统一全新统洪积和风积复合成因堆积层( $Q_{3-4}^{pl-col}$ ),广泛分布于盆地内。经勘探本区已获工业油流,并有一定规

模,表明本区具有较好的勘探开发前景。

### 3 探测仪器与获取的数据

#### 3.1 探测仪器

研究使用的探测仪器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的CASI/SASI/TASI航空高光谱成像系统。该成像系统是目前国内唯一一台具可见光-近红外、短波红外和热红外的航空高光谱成像系统。主要由CASI(可见光-近红外)、SASI(短波红外)、TASI(热红外)成像光谱传感器、ICU中央控制器等核心组件和一系列精确几何校正与辐射校正仪器组成。精确几何校正与辐射校正仪器设备有:GPS设备、POS AV和IMU惯性导航系统、ILS太阳辐射照度测量仪器、三轴稳定平台PAV30等组成。除上述硬件外,该系统还自带辐射校正和几何校正软件。同时具备3种成像模式:空间模式、光谱模式和全帧模式。仪器技术参数见表1。

#### 3.2 获取的数据

运用该套成像系统在吉木萨尔地区获取了2500 km<sup>2</sup>可见光-近红外(CASI)和短波红外(SASI)的高空间分辨率的高光谱遥感数据,其中CASI数据的空间分辨率为1 m,光谱分辨率为14 nm; SASI数据的空间分辨率为2.2 m,光谱分辨率为15 nm。有效数据覆盖率达到99.6%,目视判别影

像纹理特征清晰,无云,数据获取质量好,为后续的研究工作奠定了良好的数据基础。

### 4 提取方法与野外查证

#### 4.1 油气信息提取方法

油气信息高光谱遥感填图的质量直接影响到油气探测的效果。现有的填图方法属通用方法,存在一些问题,因此,需要开拓适合油气信息填图的技术方法。

目前常用的方法有SAM(光谱角填图)、SID(光谱散度匹配)、MTMF(混合调制匹配滤波)等方法。这些方法不仅用于固体矿产的高光谱遥感填图,也用于油气信息填图,是通用的方法。根据笔者的应用,发现上述不同处理方法,填图结果不尽相同,但野外的地质情况不可能是这样的。针对出现的问题,笔者开发了一种适合油气信息填图的新方法——波段分类填图方法,并申请了专利。该方法的核心是波段分类。首先将波段分为两类。一类是正向旋转波段,即,发生顺时针旋转的波段。其判别公式是:特征波段反射率减去左侧反射率,除以两者之间的波长差,大于右侧波段反射率减去特征波段反射率除以两者之间的波长差值。其公式如下:

$$\frac{a-b}{a_{\lambda}-b_{\lambda}} > \frac{c-a}{c_{\lambda}-a_{\lambda}}$$

a—特征波段反射率;b—左侧波段反射率;c—

表1 CASI/SASI/TASI高光谱成像仪技术参数  
Table 1 Technical features of CASI/SASI/TASI system

参数	CASI-1500	SASI-600	TASI-600
光谱范围	380~1050 nm	950~2450 nm	8~11.5 μm
每行像元数	1470	640	600
连续光谱通道数	288	100	32
光斑尺寸	<0.4 像元	<0.4 像元	
光谱带宽	2.3 nm	15 nm	0.125 μm
帧频(全波段)	14	100	200
垂直航线方向视场角	40°	40°	40°
沿航线方向瞬时视场角	0.028°	0.07°	0.068°
信噪比(峰值)	>1100	>1100	4600
量化水平	14 位	14 位	14 位
最大供电需求	28V 直流电压下 18 A	28V 直流电压下 < 20 A	28V 直流电压 < 25 A
飞行窗口	标准照相窗口		
绝对辐射测量精度	<2%	<2%	

右侧波段反射率;  $a_\lambda$ —特征波段波长;  $b_\lambda$ —左侧波段波长;  $c_\lambda$ —右侧波段波长。

另一类是逆向旋转波段。即发生逆时针旋转的波段。其判别公式与正向旋转波段相反。在实际应用过程中,一般选择旋转角大于  $30^\circ$  的波段参与运算。

依据以上特征波段分类方法,建立了相应的高光谱影像信息提取技术流程(图4),其内容要点如下:

- ① 高光谱遥感影像预处理,将DN值转化为反射率。
- ② 依据高光谱影像对标准矿物光谱重采样,使矿物光谱波段宽度与高光谱遥感像元光谱波段数量一致,以便于后续的波谱分析和信息提取。
- ③ 寻找并确定标准岩石矿物波谱上斜率变化

明显波段,依据前面所述的正负旋转波段判别公式,对烃及蚀变矿物标准光谱斜率变化明显的波段进行分类,并记录这些波段在波谱中的位置。依据斜率变化明显波段在波谱中的位置,对航空高光谱影像重采样,以减少数据处理的波段数。根据烃及蚀变矿物标准光谱确定的正负旋转波段的波长位置及其判别公式,与航空高光谱遥感影像的像元光谱曲线进行匹配,如果影像像元光谱与标准光谱的正负旋转波段位置与数量一致,则判定这一像元含有要提取的烃或蚀变矿物。

最后,根据所确定的含烃及蚀变矿物的像元,提取相应矿物的空间分布信息,将所有斜率变化明显的波段与左右两侧波段的差值的绝对值求和,求和结果值越高代表烃及蚀变矿物的丰度越高。

在开发新方法和采用新模型的基础上,又从填图思路作了改进,强调要将油气地质知识和对研究区地质情况的了解贯穿于填图的全过程,改变以往只按固定程序处理,而对地质情况考虑不足的缺陷,从而取得了明显的油气渗漏异常识别和提取效果(图5)。

#### 4.2 野外查证效果

通过对油气渗漏异常集中区的圈定,圈出了吉木萨尔覆盖区油气渗漏异常区(图5)。经分析和筛选,确定了10处野外查证的目标区,并进行了野外查证和室内化学分析。在其中7处目标区内(图6)发现了地表油气渗漏现象,主要表现为油污土、油污碱和油污水,如:I、II、III、V区主要为油污土,IV、VI、VII区主

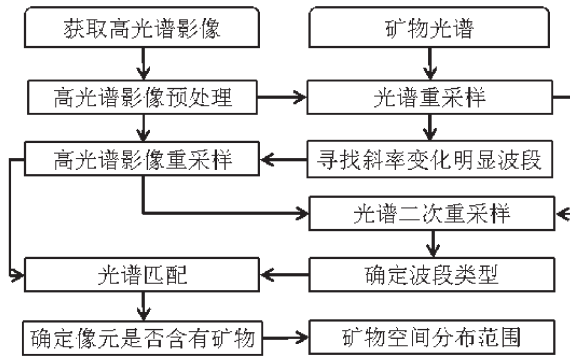


图4 数据处理流程图  
Fig.4 Flow chart of data processing

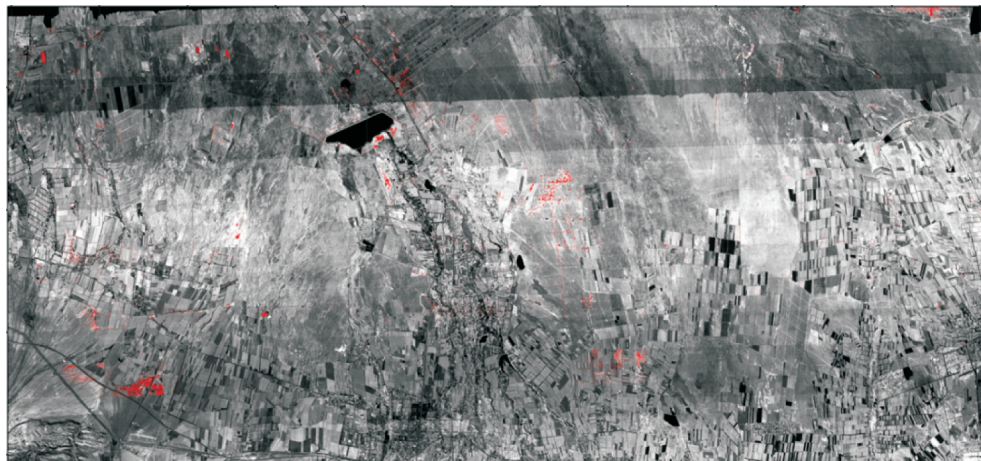


图5 吉木萨尔覆盖区油气渗漏异常分布图  
(红色斑点示油气渗漏异常)  
Fig.5 Oil and gas anomalies in north Jimusar region

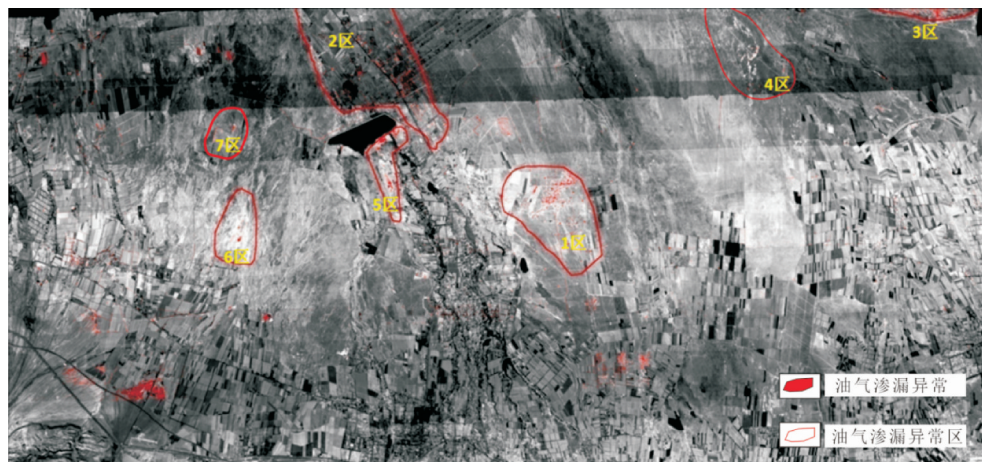


图6 吉木萨尔覆盖区经野外查证的油气渗漏异常区分布图  
Fig.6 Distribution of validated oil and gas leakage in north Jimusar region

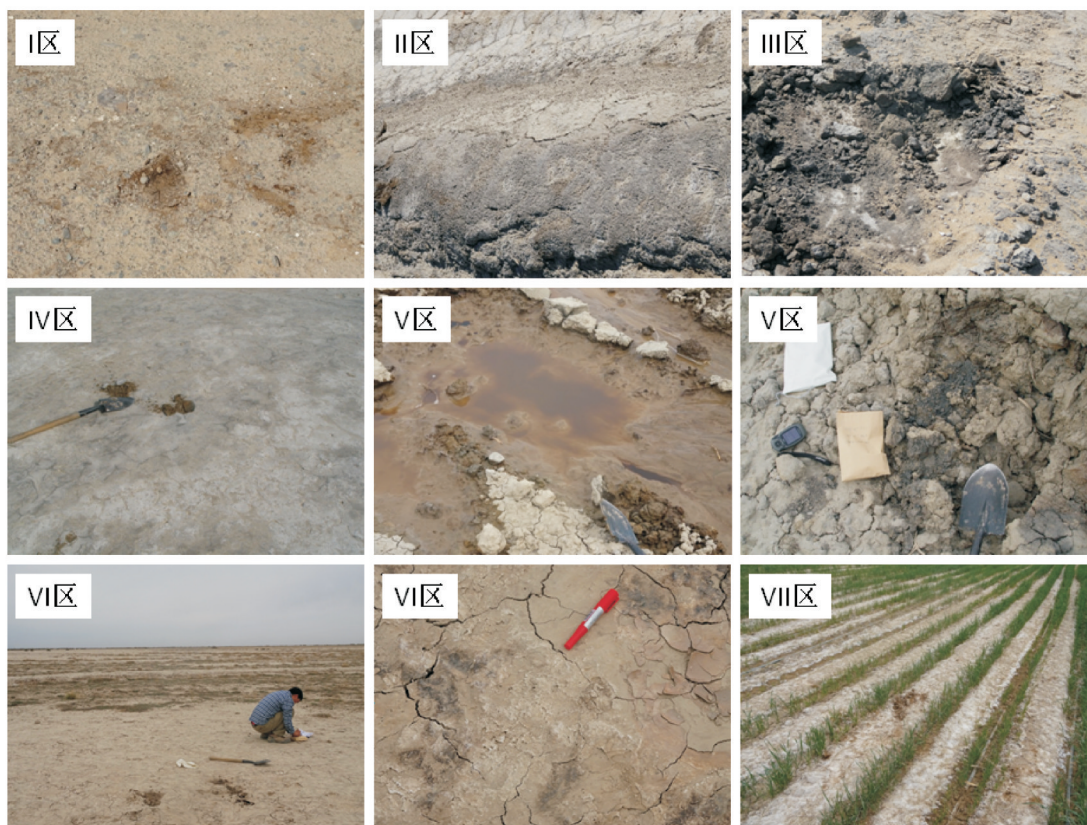


图7 航空高光谱遥感油气渗漏异常野外查证图  
Fig.7 Photograph of the oil and gas leakage in the field

要为油污碱,V区为油污水和油污土(图7)。

## 5 盐碱化异常的提取和盐碱化异常区的圈定

在对油气渗漏异常区查证的过程中发现,油气

渗漏异常区均有明显的盐碱化现象(图8)。据此,对吉木萨尔覆盖区的盐碱化信息进行了航空高光谱遥感填图,提取了盐碱化异常信息,圈定了盐碱化异常区。

航空高光谱数据盐碱化信息提取方法包括:盐

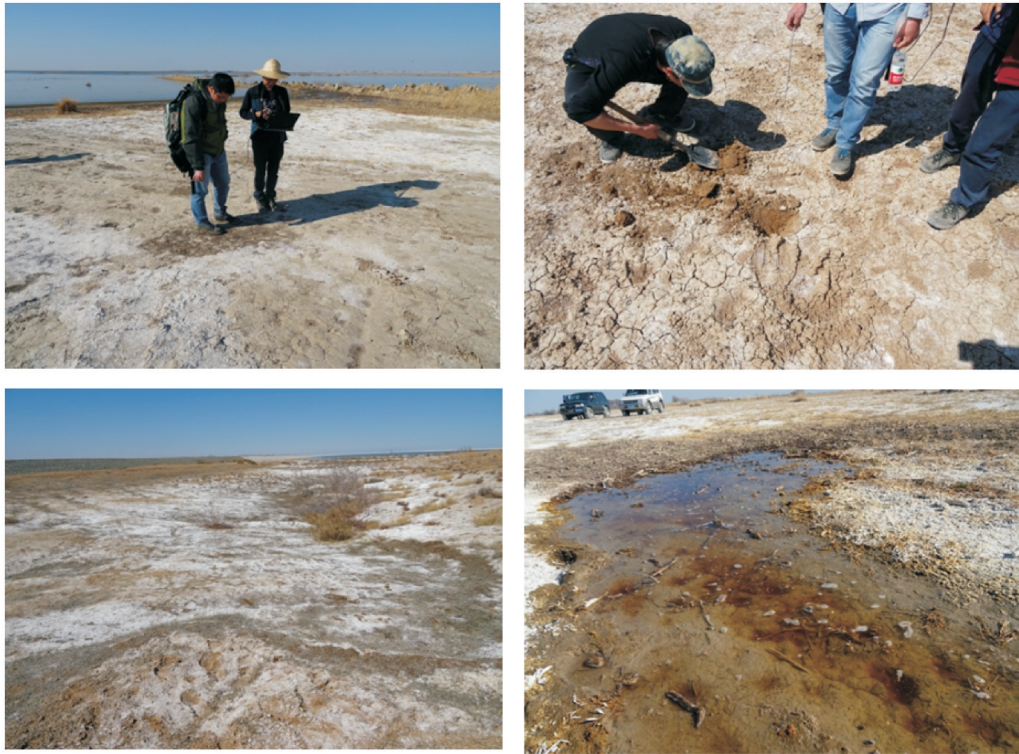


图8 吉木萨尔地区盐碱化与油气渗漏之关系野外照片

Fig.8 Photograph showing the spatial relationship between oil leakage and salinization

碱化土壤的光谱测量和数据处理;盐碱化土壤特征光谱分析、土壤盐分指数模型的构建和盐碱化异常信息的航空高光谱填图等。

通过测量吉木萨尔覆盖区典型盐碱化土壤的地物光谱,获得了本区盐碱化土壤的光谱曲线(图9a)。对光谱曲线求倒数的对数,得到图9b所示的曲线,求一阶导数,得到图9c所示曲线。

土壤含盐量与土壤光谱反射率具有一定的相关性,但是在整个光谱范围内不易突出特征光谱。为了找到土壤含盐量与光谱反射率之间最佳的相关性和特征波段,分别对已提取的两种光谱变量(光谱倒数的对数、光谱一阶导数)与土壤含量进行相关性分析。由于缺少研究区土壤含盐量定量化验分析结果,借鉴前人研究成果,定性地分析了研究区土壤含盐量与土壤光谱倒数的对数和光谱一阶导数的相关性,发现光谱反射率一阶导数能较好地反映土壤含盐量。从实测土壤光谱曲线的一阶导数曲线来看,选择470 nm和768 nm处的反射率,构建了土壤盐分指数模型,即:

$$SI = \sqrt{B_{470} \times B_{768}}$$

SI—土壤盐分指数;  $B_{470}$ —波长470 nm反射率;  $B_{768}$ —波长768 nm反射率。

利用该模型通过航空高光谱遥感盐碱化信息填图,提取了吉木萨尔覆盖区的盐碱化异常,圈定了盐碱化异常区(图10)。

## 6 盐碱化异常区与油气渗漏异常区相关性分析与启示

### 6.1 叠置聚焦分析

将圈定的油气渗漏异常区分布图与盐碱化异常区分布图叠置(图11)进行聚焦分析,发现圈定的盐碱化异常区与油气渗漏异常区具有高度的重合性。同时,还发现有两处盐碱化异常区未提取出油气渗漏异常(图11中的A区和B区)。这一分析结果,引起了笔者的重视,通过对这两处盐碱化地区进行野外查证,在这两处盐碱化区内同样发现有油气渗漏现象(图12),这一现象可能由于油气信息受周围地物光谱的干扰而未被提出。



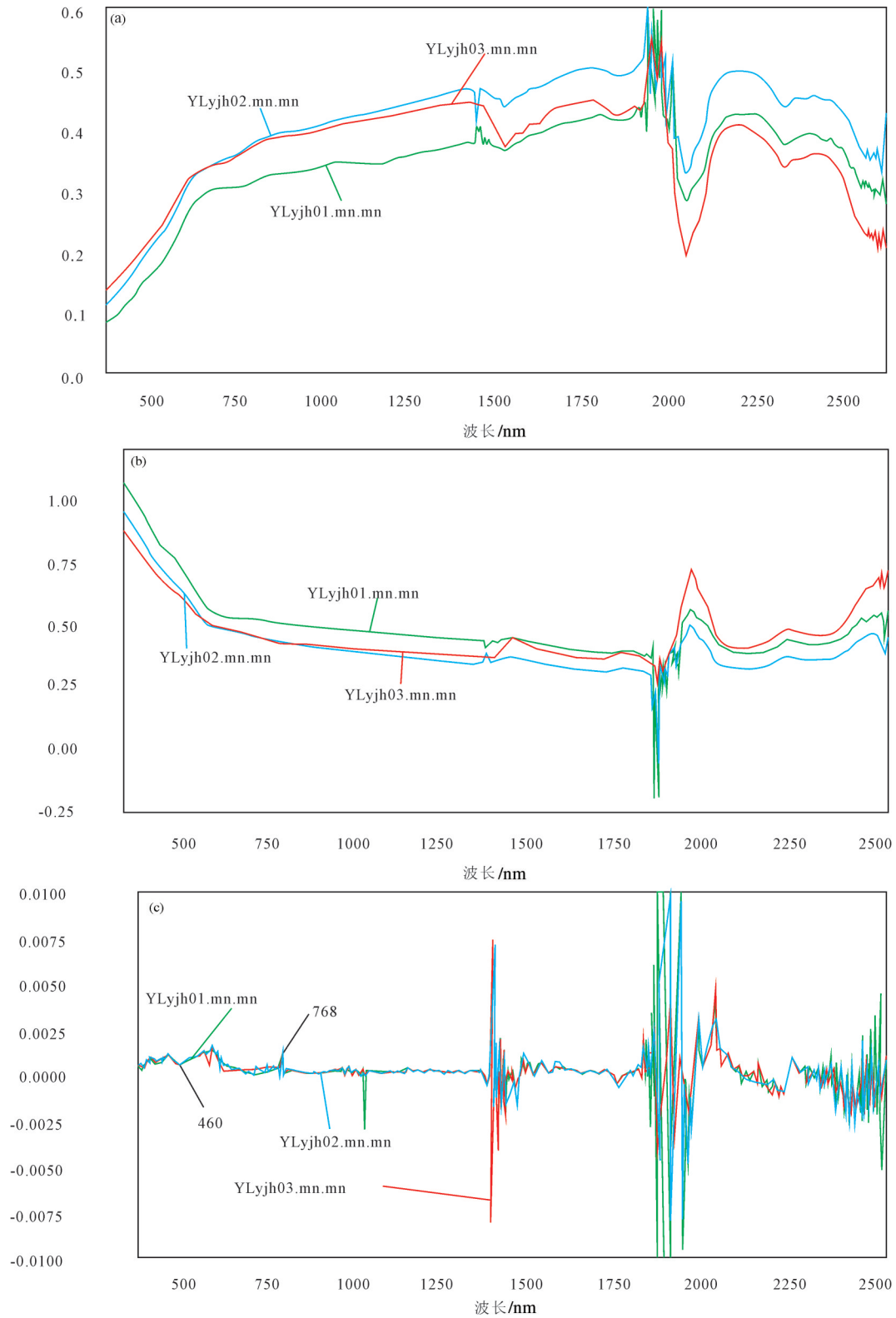


图9 盐碱的反射率光谱曲线

a—盐碱的反射率光谱曲线；b—反射率倒数之对数曲线；c—反射率一阶导数曲线

Fig.9 Reflectance spectrum of alkali(a), Logarithm of reciprocal reflectance spectrum of alkali(b), Derivative of reflectance spectrum of alkali(c)

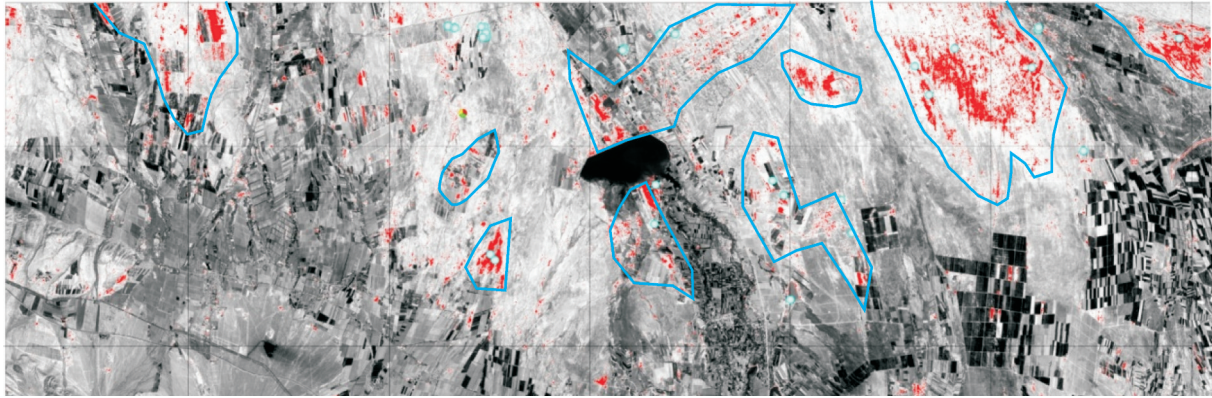


图10 吉木萨尔覆盖区盐碱化异常区分布图  
Fig.10 Distribution of alkali in north Jimusar region



图11 吉木萨尔覆盖区油气渗漏异常区与盐碱化异常区叠合图  
Fig.11 Spatial relationship between oil and gas leakage and alkali

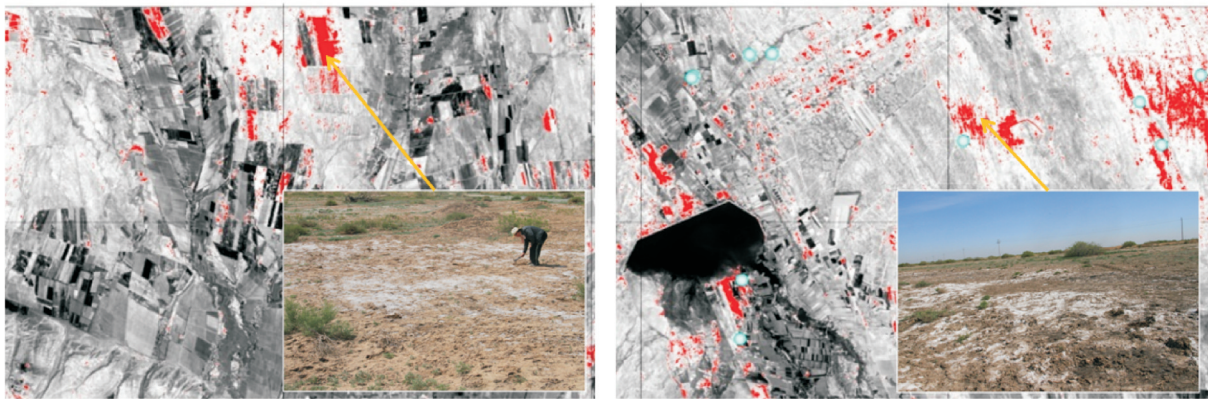


图12 吉木萨尔A区和B区两处盐碱化异常野外查证图  
Fig.12 Field validation alkali in A and B zone in Jimusar region

## 6.2 启示

油气渗漏异常区与盐碱化异常区空间上的高度重合,可能反映出烃、碱同生共存的内涵,具有重要的理论意义和应用价值。

### 6.2.1 理论意义

杜乐天(1996)在《烃碱流体地球化学原理》一书列举了大量国内外文献和油田的实例,详细阐述了烃碱的同生共存关系,充分说明油气与盐碱化之间有密切的关系,并做了理论分析,认为油气的形成与幔汁的成矿作用有关。幔汁是超临界态、超高压的烃碱流体,其组成以氢为主,同时含C、Na、K、Cl等元素。幔汁是以氯化物的形式迁移的。当上升到地壳浅部,随着减压降温,温度降至374℃(水的临界温度)相变成热液流体,氯化物是不稳定的,发生解体时,其中的氢与地层中的有机质(C)结合,形成石油,而Cl与K、Na结合形成盐碱化,这样便导致了油气与盐碱化的同生共存现象(杜乐天等,2007)。这从理论上阐明了油气与盐碱化之间的相关性,也阐明盐碱化不全是由原先认为的可溶性盐类在土壤中经蒸发作用形成的。

### 6.2.2 应用价值

烃、碱同生共存除具有重要的理论研究意义外,在高光谱油气探测中还具有应用价值。将烃、碱信息叠置,利用烃碱相关性,既可以对提取的油气渗漏异常信息进行确认,又可以防止油气渗漏异常信息的漏提。更为普遍的价值是,在缺少航空高光谱遥感数据的情况下,还可以利用低成本的卫星多光谱遥感数据源,通过提取盐碱化异常信息,圈定盐碱化异常区,帮助缩小找油气的目标区,为油气资源调查、选区和评价提供参考信息和依据。

## 7 结 论

通过航空高光谱遥感填图可以快速、大面积地提取地面油气渗漏异常信息,圈定油气渗漏异常区。同样,利用航空高光谱遥感技术可以快速、大面积地提取盐碱化异常信息,圈定盐碱化异常区。在吉木萨尔覆盖区通过航空高光谱遥感探测发现油气渗漏异常区与盐碱化异常区在空间位置上有明显的重合性。从前人研究成果看,这一现象具有普遍性,并有理论根据。通过对高光谱遥感圈定的油气渗漏异常区与盐碱化异常区的叠置聚焦和相

互印证,为最终油气渗漏异常筛选提供依据,从而提出了一种提高油气渗漏信息识别准确性的新方法。同时强调,在缺少航空高光谱遥感数据的情况下,也可利用卫星多光谱遥感数据,通过提取盐碱化异常的途径来帮助缩小找油气的目标区,增添了这一思路和方法的普适价值。之后,该方法又在伊犁盆地(巩留—尼勒克地区)的航空高光谱遥感油气探测中得到了验证。笔者也希望能对其他地区的高光谱遥感油气探测有所启迪。

同时,上述研究也表明,自然界可能存在两种不同类型的盐碱化,除原先认为的“干旱蒸发”型盐碱化外,还存在与油气有关的盐碱化,在油气探测中怎样将这两种不同类型的盐碱化,特别是利用高光谱遥感技术如何将二者区分开来是值得深入探讨的科学问题。

**致谢:**感谢李志忠、翟刚毅、杜小弟等对该项研究工作给予的大力支持。

## Reference

- Campbell J B, Wynne R H. 2011. Introduction to Remote Sensing. Fifth Edition[M]. New York: Guilford Press, 3-28.
- Clark R N, King T V V, Klejwa M, Swayze G A, Vergo N. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals [J]. Journal of Geophysical Research, 95: 12653-12680.
- Du Letian. 1996. Hydrocarbon Alkali Fluid geochemistry—New Discussion on Hydrothermal Fluids and Magma Process[M]. Beijing: Science Press, 140-176.
- Du Xiaodi, Tang Yue, Liu Dechang, Li Zhao, Wang Haida. 2015. 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).
- Ellis J M, Davis H H, Zamudio J A. 2001. Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging[J]. Oil and Gas Journal, 99: 49-58.
- Gayantha R L K, Tsehaie W, Frank J A van R, Zack K, Freek van der M, Keith D S, van Hummel G J. 2012. Hyperspectral remote sensing of evaporate minerals and associated sediments in Lake Magadi area, Kenya[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 14:22-32.
- Hörig B, Kühn F, Oschütz F, Lehmann F. 2001. HyMap hyperspectral remote sensing to detect hydrocarbons[J]. International Journal of Remote Sensing, 22:1413-1422.
- Heather Freeman. 2003. Evaluation of the use of hyperspectral imagery for identification of microseeps near Santa Barbara, California. In West Virginia University, Morgan County, West

- Virginia, USA.
- Khan S D, Jacobson S. 2008. Remote Sensing and Geochemistry for Detecting Hydrocarbon Microseepage[J]. Geological Society of America Bulletin, 120(1/2): 96–105.
- Li Zhizhong, Wang Daming, Liu Dechang, Liu Yinnian, Zhao Huijie, Dang Fuxin. 2015. Hyperspectral remote sensing technology and its progress in resources exploration[J]. Earth Science, 40(8): 1287–1294(in Chinese with English abstract).
- Li Zhizhong, Yang Rihong, Dang Fuxin, Zhang Xianfeng, Tan Binxiang, Zhao Huijie. 2009. The hyperspectral remote sensing technology and its application. Geological Bulletin of China, 28(2/3):270–277(in Chinese with English abstract).
- Liu Jia, Wang Daming, Liu Dechang, Zhen Hongrui, Li Zhizhong, Sui Zhengwei. 2015. Oil and gas anomaly extraction by combining hyperspectral image data with multispectral image data[J]. Earth Science, 40(8): 1371–1380(in Chinese with English abstract).
- Lu Yingcheng, Tian Qingjiu, Qi Xiaoping, Wang Jingjing, Wang Xiangcheng. 2009. Spectral response analysis of offshore thin oil slicks[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 29(4): 986–989(in Chinese with English abstract).
- Lu Yingcheng, Tian Qingjiu, Wang Jingjing, Wang Xiangcheng, Qi Xiaoping. 2009. Spectral response analysis of offshore oil slicks. Chinese Science Bulletin, 53 (9) :1085–1088(in Chinese).
- Shen Yuanting, Ni Guoqiang, Xu Daqi, Jiang Lili, He Jinping. Study on gas exploration by hyperion hyperspectral remote sensing data. Journal of Infrared Millimeter Waves. 27(3):210–213(in Chinese with English abstract).
- Tian Shufang, Chen Jianping, Zhou Mi. 2007. Hydrocarbon micro seep detection in Dongsheng area, Inner Mongolia, using aerospace hyperspectral remote sensing[C]//Proceedings of 16th Symposium of China Remote Sensing Technology.
- Van Der Meer F, Van Dijk P, Van Der Werff H, Yang H. 2002. Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study. Terra Nova, 14:1–17.
- Zhao Xinmei. 2007. Hyperspectral oil and gas anomalies detection based on hydrocarbon micro seep model. China University of Geosciences(Beijing), Beijing.

## 附中文参考文献

- 杜小弟, 唐跃, 刘德长, 李昭, 王海达. 2015. 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, 42(1): 275–287.
- 杜乐天. 1996. 烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用[M]. 北京:科学出版社, 140–176.
- 李志忠, 汪大明, 刘德长, 刘银年, 赵慧洁, 党福星. 2015. 高光谱遥感技术及资源勘查应用进展[J]. 地球科学, 40(8): 1287–1294.
- 刘佳, 汪大明, 刘德长, 郑鸿瑞, 李志忠, 隋正伟. 2015. 协同利用高光谱与多光谱遥感技术提取油气异常信息[J]. 地球科学, 40(8): 1371–1380
- 赵欣梅. 2007. 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[J]. 北京:中国地质大学(北京).
- 田淑芳, 陈建平, 周密. 2007. 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[J]. 第16届全国遥感技术学术交流会论文集, 北京:地质出版社.
- 沈渊婷, 倪国强, 徐大琦. 2008. 利用Hyperion短波红外高光谱数据探测天然气的研究. 红外与毫米波学报, 27(3):210–213.
- 李志忠, 杨日红, 党福星. 2009. 高光谱遥感卫星技术及其地质应用[J]. 地质通报, 28(2~3):270–277.
- 陆应诚, 田庆久, 齐小平, 王晶晶, 王向成. 2009. 海面甚薄油膜光谱响应研究与分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29 (4) :986–989.
- 陆应诚, 田庆久, 王晶晶, 王向成, 齐小平. 2008. 海面油膜光谱响应实验研究[J]. 科学通报, 2008, 53 (9): 1085–1088.