

松辽盆地西部斜坡区烃渗漏蚀变信息遥感探测

章桂芳¹, 沈晓华¹, 邹乐君¹, 李长江², 吴文渊¹, 张重¹, 苏楠¹, 孔凡立¹

1. 浙江大学 地球科学系, 浙江 杭州 310027;
2. 浙江省国土资源厅 信息中心, 浙江 杭州 310007

摘要: 使用陆地卫星 ETM + 7 图像对松辽盆地西部斜坡区进行稠油探测, 图像增强方法有主成分分析、波段比值和假彩色合成等。主成分因子 1, 3, 4, 5-PC3 (1, 3, 4, 5 主成分分析的第 3 主成分), 1, 3, 5, 7-PC3, 2, 3, 5, 7-PC3 和 3, 4, 5, 7-PC4 与波段比值 3/1, 4/3, 7/5 和 $(4/3) - (2/3)$ 等用于假彩色合成, 在合成影像上圈定烃渗漏蚀变区域。结果表明烃渗漏蚀变区域与地质背景密切相关, 与下伏油藏的分布大致相符。

关键词: 稠油, 烃渗漏, ETM + 7, 主成分分析 (PCA), 波段比值, 假彩色合成 (FCC)

中图分类号: TP79/P618.13 **文献标识码:** A

1 引言

稠油又称重质油, 是含有数量较多的环烷烃、高分子烃和杂原子化合物 (Tissot and Welte, 1984)。中国重质油资源较为丰富, 已在 15 个大中型含油气盆地和地区发现, 松辽盆地西部斜坡区有 100 余口探井发现了稠油油藏或稠油显示 (冯子辉, 2003)。松辽盆地是中国东北部最大的沉积盆地, 总面积 260000km²。从中央凹陷向西部斜坡区, 伴随着地层的抬升, 盆地油藏埋深逐渐变浅, 稠油和油砂分布增多。

原油稠变过程中的轻烃逃逸现象可以形成显著的烃渗漏现象, 烃类物质微渗漏是指由油气圈闭内的伴有 CO₂ 和惰性气体的甲烷等轻烃类物质穿透上覆致密岩层渗漏到地表。在渗漏沿途形成了一个化学还原岩柱, 地表的岩石蚀变与矿化是烃类物质渗漏在地表的地球化学响应 (Donovan *et al.*, 1979)。岩石和矿物蚀变会在遥感图像上呈现出斑状、雾状、环形或圆形的晕状色调异常, 是有利的遥感探油标志。目前遥感探测较常用的烃渗漏蚀变类型主要有红层褪色、亚铁富集、黏土和碳酸盐矿物蚀变等 (Sabins, 1999; Almeida-filho *et al.*, 2002a)。

利用陆地卫星 TM/ETM + 数据进行地表烃渗

漏蚀变的探测在国内外已经有成功的先例, 使用的图像处理方法主要有主成分分析、比值和假彩色合成等。例如, Tangestani 和 Moore (2000) 使用 TM 数据的 1, 4, 5, 7 主成分提取羟基和碳酸盐岩, 而 1, 3, 4, 5 主成分用于铁氧化物增强; Almeida-Filho (2002) 基于 ETM + 6 个波段的主成分分析探测黏土和含铁矿物的分布; TM 波段比值也经常用于提取亚铁富集区 (Almeida-filho *et al.*, 1999; 2002a; 2002b)、红层褪色、黏土和含铁矿物 (Wang and Ding, 2000; Meer *et al.*, 2002)。

为了增强地表烃渗漏蚀变在遥感影像上的显示, 本文对松辽盆地西部斜坡区的 3 幅不同范围的 ETM + 7 图像进行了多种组合的主成分分析, 提出了适用于研究区域的最佳主成分因子。主成分因子与比值因子组合用于假彩色显示, 根据各种烃渗漏蚀变在主成分因子与比值因子图像上的色调特征以及已有钻井周边影像综合显示, 在整个研究区域上圈定烃渗漏蚀变区域, 最后结合已有的地面资料进行讨论分析。

2 研究区域和 ETM + 7 数据

本次研究区域位于松辽盆地西部斜坡区, 该区是盆地中浅层的一级构造单元 (图 1(b)), 整体上

收稿日期: 2008-04-09; 修订日期: 2008-08-22

基金项目: 大庆油田有限公司“西部斜坡区稠油遥感评价研究”项目。

第一作者简介: 章桂芳 (1981—), 女, 博士生, 主要研究领域为遥感信息增强、环境遥感、油气遥感勘探等。E-mail: joyinsummer@163.com。

为一个区域性东倾大单斜,白垩系地层自东向西逐层超覆,总厚度约 1000—1500 m,地层倾角小于 1°,且彼此平行整合接触,构造平缓,断裂不发育,有利于形成地层超覆油气藏(王志武等,1993)。研究区域内分布最广的植被为草地,图 1(c),(d),(e)为实地拍摄的照片。

于形成地层超覆油气藏(王志武等,1993)。研究区域内分布最广的植被为草地,图 1(c),(d),(e)为实地拍摄的照片。

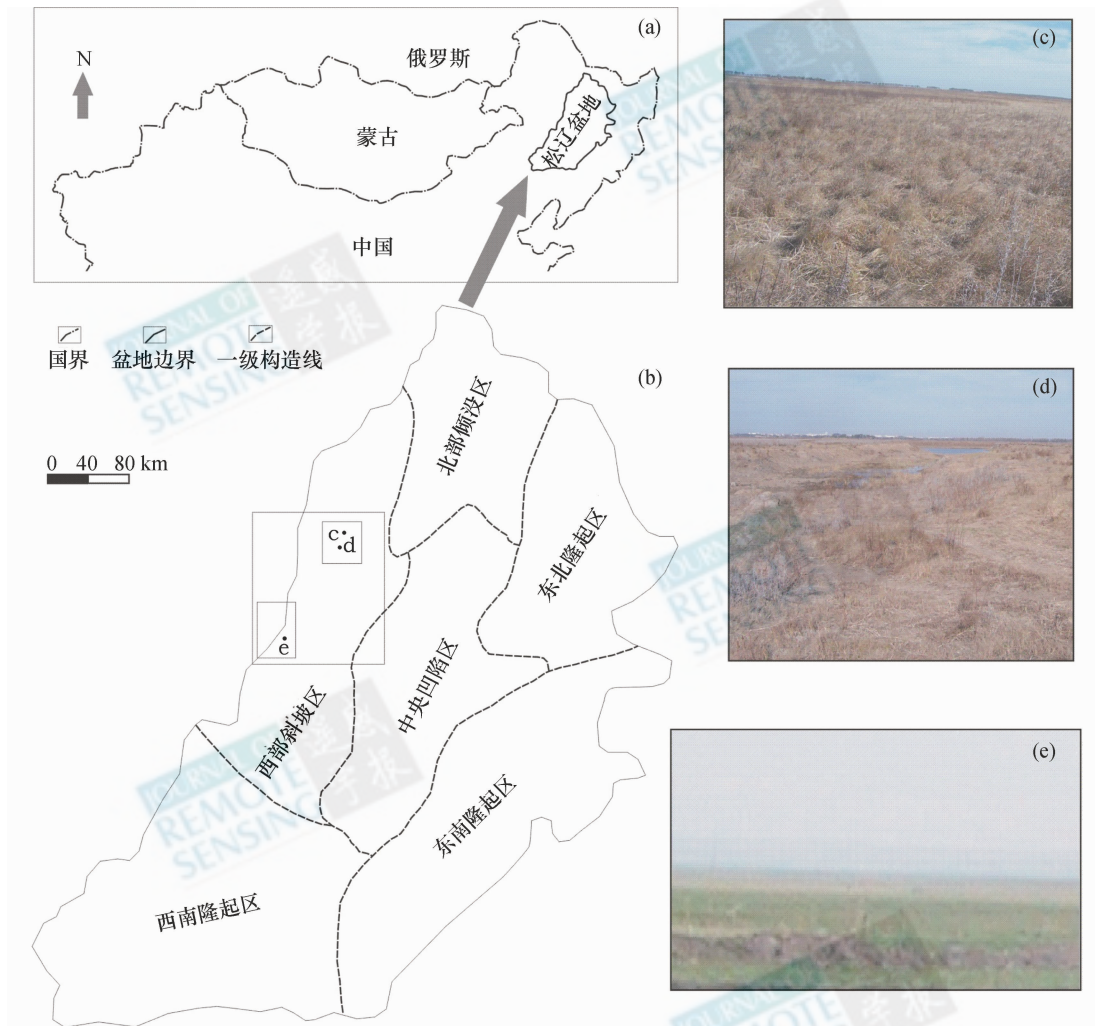


图 1 研究区域概况
(a) 松辽盆地地理分布;(b) 松辽盆地一级构造图,3 个矩形区域表示用于增强处理的 3 幅图像范围;
(c) 点 c 的实地照片;(d) 点 d 的实地照片;(e) 点 e 的实地照片

Fig. 1 The general situation of the study area
(a) the location of Songliao basin;

(b) the tectonic units map of Songliao basin. rectangles indicate the extents of three sub-scenes;
(c) photography of site c; (d) photography of site d; (e) photography of site e

西部斜坡区是重油勘探的有利远景区(Niu and Hu, 1999)。白垩纪地层是松辽盆地最重要的含油气地层之一,表 1 列出了松辽盆地早白垩纪的含油组合(王志武等,1993)。

研究使用的 ETM + 7 影像为 2001-10-05 120/027 和 120/028 的拼合影像,图像获取的时间为秋季,在这个时节,研究区域的草原开始枯萎,植被覆盖率降低,但是尚未开始冰冻期,地表裸露状况较好。研究区域面积为 140km × 160km,左上角地理坐标 X =

455000,Y = 5254000,右下角坐标 X = 595000,Y = 5094000。为了检验研究中使用的图像处理方法在不同尺度的空间范围内的适用性,如图 1(b),我们对两个具有重油勘探基础的地区单独进行了图像处理:1、扎赉特旗,位于整个研究区域西南部,面积 40km × 60km,在该区的嫩江组 1 段地层(K1n1)中探测发现油砂;2、富拉尔基,位于整个研究区域东北部,面积 40km × 45km,富拉尔基是西部斜坡区稠油的有利勘探区之一(王志武等,1993)。

表 1 松辽盆地早白垩系地层和油气组合
Table 1 Stratigraphic and reservoir table of Early Cretaceous in Songliao basin

年代	组	段	储油层
早白垩系 (K1)	嫩江组 (K1n)	K1n5	黑帝庙油层
		K1n4	
		K1n3	
		K1n2	
		K1n1	萨尔图油层
	姚家组 (K1y)	K1y3	
		K1y2	
		K1y1	葡萄花油层
	青山口组 (K1qn)	K1qn3	高台子油层
		K1qn2	
		K1qn1	

3 图像处理

通过主成分分析获得适用于西部斜坡区的特征主成分,结合特定的波段比值来共同增强烃渗漏蚀变引起的地物波谱特征,通过假彩色合成综合了多种烃渗漏蚀变信息,使得特征晕状更加清晰。

3.1 主成分分析

主成分分析通过多光谱空间中向量的旋转,增强特定波段的光谱信息,从而增强特定地物。根据参与主成分分析的波段数,可以分为所有波段参与的标准主成分分析和特定波段参与的选择主成分分析 (Crosta and Moore, 1989; Tangestani and Moore, 2000),2 种主成分分析可以根据特征向量矩阵和地物的光谱特征预测目标像元的明暗状况。

表 2 列出了由烃渗漏所引起的地面蚀变矿物在 ETM + 7 可见光波段(波段 1,3)及近红外和中红外波段(波段 4,5,7)上的波谱特征。Loughlin (1991)指出,当输入波段减少到可以避开某些光谱对比时,通过某一特定的 PC 来增强某一特定矿物类别的几率就会提高。本次研究从 ETM + 6 个 30m 空间分辨率中选取波段组合进行选择主成分分析,根据每个主成分分析的特征向量矩阵,参照烃渗漏蚀变矿物的波谱特征(表 2)选择增强效果最好的主成分。分析结果表明,对于整个研究区域以

及 2 个重点勘探区(扎赉特和富拉尔基),4 个波段组合的 1,3,4,5;1,3,5,7;2,3,5,7 和 3,4,5,7 主成分分析对于烃渗漏蚀变矿物的增强效果较好。

表 2 烃渗漏蚀变矿物在 ETM + 7 波段上的波谱特征
Table 2 Spectral characteristics of hydrocarbon leakage induced minerals on ETM + 7 bands

	波段 1	波段 3	波段 4	波段 5	波段 7
亚铁	反射	反射	吸收	反射	吸收
红层褪色	反射	反射	吸收		
黏土和碳酸盐矿物				反射	吸收

表 3 ETM + 7 影像 1,3,4,5 主成分分析第 3 主成分 (1,3,4,5-PC3) 的特征向量和特征值
Table 3 Eigenvetor loadings and eigenvalues of the third principal components from 1,3,4,5 (1,3,4,5-PC3) of ETM + 7 image

1,3,4,5 - PC3	整个区域	扎赉特	富拉尔基
ETM + 1	-0.353	-0.247	-0.408
ETM + 3	-0.181	-0.169	-0.380
ETM + 4	0.868	0.849	0.805
ETM + 5	-0.299	-0.435	-0.198
特征值	41.279	19.652	38.706
信息量/%	4.036	3.309	5.650

由表 2 和表 3 可知,1,3,4,5-PC3 (1,3,4,5 主成分分析的第 3 主成分)对亚铁矿物和红层褪色有较强的增强。表 2 显示亚铁矿物和红层褪色在波段 1,3,5 上表现为很强的反射,而在波段 4 上表现为吸收。表 3 列出了整个研究区域、扎赉特和富拉尔基 3 幅图像的 1,3,4,5-PC3 的特征向量。3 个特征向量不论在数值和符号上很相似:在波段 1,3,5 上表现为负值,在波段 4 上表现为很高的正值,这就意味着亚铁矿物和红层褪色明显的区域在该因子图像上表现为低值像元。

从表 4 中可以看出,1,3,5,7-PC3 和 2,3,5,7-PC3 在波段 5 上的负值和在波段 7 上的正值的绝对值较大,结合羟基矿物在这两个波段上的波谱特征(表 2),羟基矿物富集的区域在这两个因子图像上均表现为低值像元。

表 4 ETM + 7 影像 1,3,5,7 波段和 2,3,5,7 波段主成分分析的 3 主成分 (1,3,5,7-PC3 和 2,3,5,7-PC3) 的特征向量和特征值

Table 4 Eigenvector loadings and eigenvalues of the third principal components from 1,3,5,7 and 2,3,5,7 (1,3,5,7-PC3 and 2,3,5,7-PC3) of ETM + 7 image				
	整个区域	扎赉特	富拉尔基	
1,3,5,7-PC3	ETM + 1	0.164	0.154	0.275
	ETM + 3	-0.283	-0.096	-0.272
	ETM + 5	-0.585	-0.679	-0.554
	ETM + 7	0.742	0.712	0.737
	特征值	29.645	19.305	24.179
	信息量/%	2.314	4.598	2.907
2,3,5,7-PC3	ETM + 2	0.067	0.106	0.147
	ETM + 3	-0.200	-0.074	-0.212
	ETM + 5	-0.622	-0.690	-0.593
	ETM + 7	0.754	0.712	0.763
	特征值	28.831	19.103	22.805
	信息量/%	2.200	4.438	2.672

尽管在已有的很多研究中报道 1,4,5,7 主成分对羟基矿物有较好的增强作用 (Arp, 1992; Thrasher *et al.*, 1996; Tangestani and Moore, 2000; Kariuki *et al.*, 2004),但是从表 4 和表 5 可知,相对于 1,3,5,7-PC3 和 2,3,5,7-PC3,1,4,5,7-PC4 在波段 5 和 7 上的绝对值较小,增强效果并不明显,所以本次研究没有使用 1,4,5,7-PC4 增强羟基矿物。

表 5 ETM + 7 影像 1,4,5,7 波段主成分分析的第 4 主成分 (1,4,5,7-PC4) 的特征向量和特征值

Table 5 Eigenvector loadings and eigenvalues of the forth principal components from 1,4,5,7 (1,4,5,7-PC4) of ETM + 7 image

	整个区域	扎赉特	富拉尔基
1,4,5,7-PC4			
ETM + 1	-0.349	-0.228	-0.228
ETM + 4	0.410	0.618	0.618
ETM + 5	-0.630	-0.586	-0.586
ETM + 7	0.559	0.472	0.472
特征值	9.919	4.624	4.624
信息量/%	0.691	0.975	0.975

表 6 显示了 3,4,5,7-PC4 的特征向量和特征值,虽然该主成分因子只占有了约 1% 的信息量,但它不但能够增强黏土和碳酸盐矿物 (羟基矿物),而且对亚铁矿物和红层褪色也有增强作用:由于波段 5 的较低的负值和波段 7 的正值,羟基矿物区域表现为低值像元,同时由于波段 3 的负值和波段 4 的正值,亚铁和红层褪色区域也显示为低值像元,所以烃渗漏蚀变区域在该因子图像上突出显示为暗色调。

表 6 ETM + 7 影像 3,4,5,7 波段主成分分析的第 4 主成分 (3,4,5,7-PC4) 的特征向量和特征值

Table 6 Eigenvector loadings and eigenvalues of the forth principal components from 3,4,5,7 (3,4,5,7-PC4) of ETM + 7 image

3,4,5,7-PC4	整个区域	扎赉特	富拉尔基
ETM + 3	-0.376	-0.312	-0.365
ETM + 4	0.518	0.563	0.457
ETM + 5	-0.556	-0.603	-0.561
ETM + 7	0.530	0.471	0.586
特征值	10.067	4.147	8.999
信息量/%	0.716	0.861	0.931

3.2 波段比值

特定波段的比值可以增强特定地物,比如,标准化植被指数 NDVI 用于提取植被覆盖区域。根据烃渗漏蚀变矿物的波谱特征 (表 2),采用了经常用于矿物勘探的波段比值: 3/1, 4/3, 7/5, 2/3 和 (4/3) - (2/3) (Almeida-filho *et al.*, 1999; Tangestani and Moore, 2000; Meer *et al.*, 2002; Kariuki *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2007, 2009),见表 7。

表 7 波段比值和烃渗漏蚀变矿物的反映

Table 7 Band ratios and responses of hydrocarbon leakage induced mineral assemblage

比值	烃渗漏蚀变矿物的反映
3/1	红层褪色以低值显示
7/5	黏土和碳酸盐矿物以低值显示
4/3 和 (4/3) - (2/3)	亚铁矿物以低值显示

3.3 假彩色合成

由于人眼对于色调比灰度敏感得多,所以由主成分因子和波段比值合成的假彩色图像可以更加显著地显示色调变化 (Almeida-filho, 2002)。组合

之前所选取的主成分因子和波段比值,对扎赉特和富拉尔基的多种假彩色图像进行对比分析,选取在已有钻井周边区域有较明显的色调和纹理特征的假彩色图像,对整个研究区域进行相同的假彩色合成,寻找色调和纹理特征显示类似的区域,这些区域就是可能的烃渗漏异常区域。

4 解译和结果

烃渗漏所引起地表蚀变矿物在主成分因子和比值图像上表现为低值像元,在色调上显示为暗色调,它们在 RGB 合成影像上的色调特征为暗色。已有钻井周边的影像特征可以为烃渗漏异常特征在 R,G,B 假彩色合成影像上的确定提供参考。假彩色合成解译显示 3 个组合“1,3,4,5-PC3 (R),1,3,5,7-PC3 (G) 和 3/1 (B)” ;“1,3,5,7-PC3 (R),2,3,5,7-PC3 (G) 和 7/5 (B)” ;“1,3,4,5-PC3 (R),1,3,5,7-PC3 (G) 和 3,4,5,7-PC4 (B)” 对于扎赉特、富拉尔基和整个区域的烃渗漏异常有较好的表现。扎赉特地区的另外一个组合为“1,3,5,7-PC3 (R),3,4,5,7-PC4 (G) 和 (4/3) - (2/3) (B)” ,富拉尔基和整个区域的相应组合为“1,3,5,7-PC3 (R),3,4,5,7-PC4 (G) 和 (4/3) (B)” ,见表 8。这表明本研究所得到的主成分因子和波段比值图像在西部斜坡区适用于多级空间尺度。

表 8 用于圈定烃渗漏蚀变的假彩色组合
Table 8 False color compositions to identify hydrocarbon-induced anomalies

区域	假彩色组合
三个区域	1,3,4,5-PC3(R);1,3,5,7-PC3(G);3/1(B)
	1,3,5,7-PC3(R);2,3,5,7-PC3(G);7/5(B)
	1,3,4,5-PC3(R);1,3,5,7-PC3(G);3,4,5,7-PC4(B)
扎赉特	1,3,5,7-PC3(R);3,4,5,7-PC4(G);(4/3)-(2/3)(B)
富拉尔基	1,3,5,7-PC3(R);3,4,5,7-PC4(G);(4/3)(B)
整个研究区域	1,3,5,7-PC3(R);3,4,5,7-PC4(G);(4/3)(B)

以“1,3,4,5-PC3 (R);1,3,5,7-PC3 (G) 和 3/1 (B)”假彩色合成影像(图 2)为例。图 2 中烃渗漏异常区显示出墨绿色的晕状特征,根据该影像特征圈定的烃渗漏异常区的走向与地层走向基本保持一致。

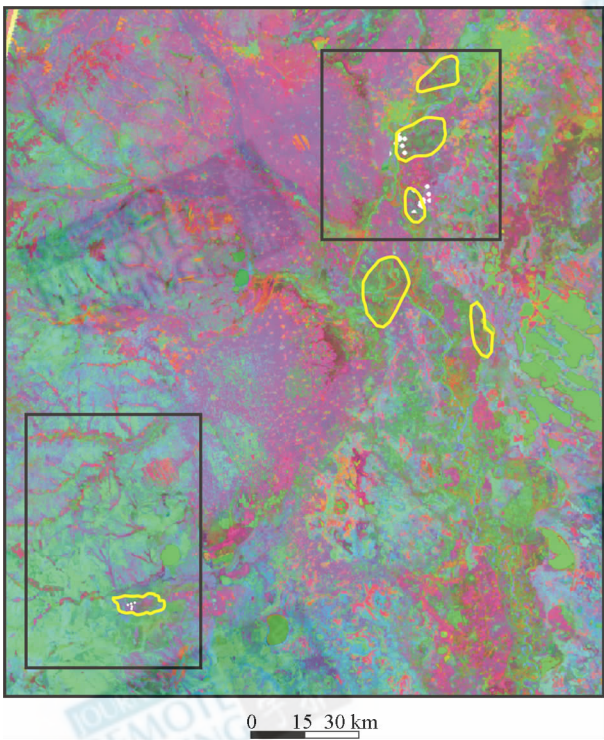


图 2 1,3,4,5-PC3(R);1,3,5,7-PC3(G); 3/1(B)假彩色影像
白色点位为已有钻井,黄色多边形是圈定的异常区域,黑框为扎赉特和富拉尔基的区域范围
Fig. 2 False color composition of 1,3,4,5-PC3 (R); 1,3,5,7-PC3 (G); 3/1 (B) the white dots indicate the existed wells, yellow polygons are the recognized anomalous areas and the two black polygons are the areas of Zhalaite and Fula'erji

5 讨论

5.1 异常与地质背景分析

扎赉特发现的油砂储存于嫩 1 段(K1n1)的萨尔图油层。嫩江组是晚白垩纪的湖相沉积,白垩纪沉积在西部斜坡区从东至西层层超覆减薄直至尖灭,有利于形成地层超覆油气藏。从图 3 可看出,位于扎赉特的靠近盆地边界内缘异常区被第三纪和第四纪沉积覆盖,出露岩层年代主要为侏罗纪时期,并且伴随着大面积的花岗岩侵入。

研究区域西部的地质图(图 3(c))显示该区的主要沉积为第四纪。嫩江自北向南穿越了整个研究区域,除了最北的异常区,几乎异常区域处于 Qh (Qh^{al}, Qh^{1al}和 Qh^{2al})沉积,属于全新世河漫滩沉积,地面覆盖多为草原和农田。图 1(c)和(d)是现场拍摄的照片。

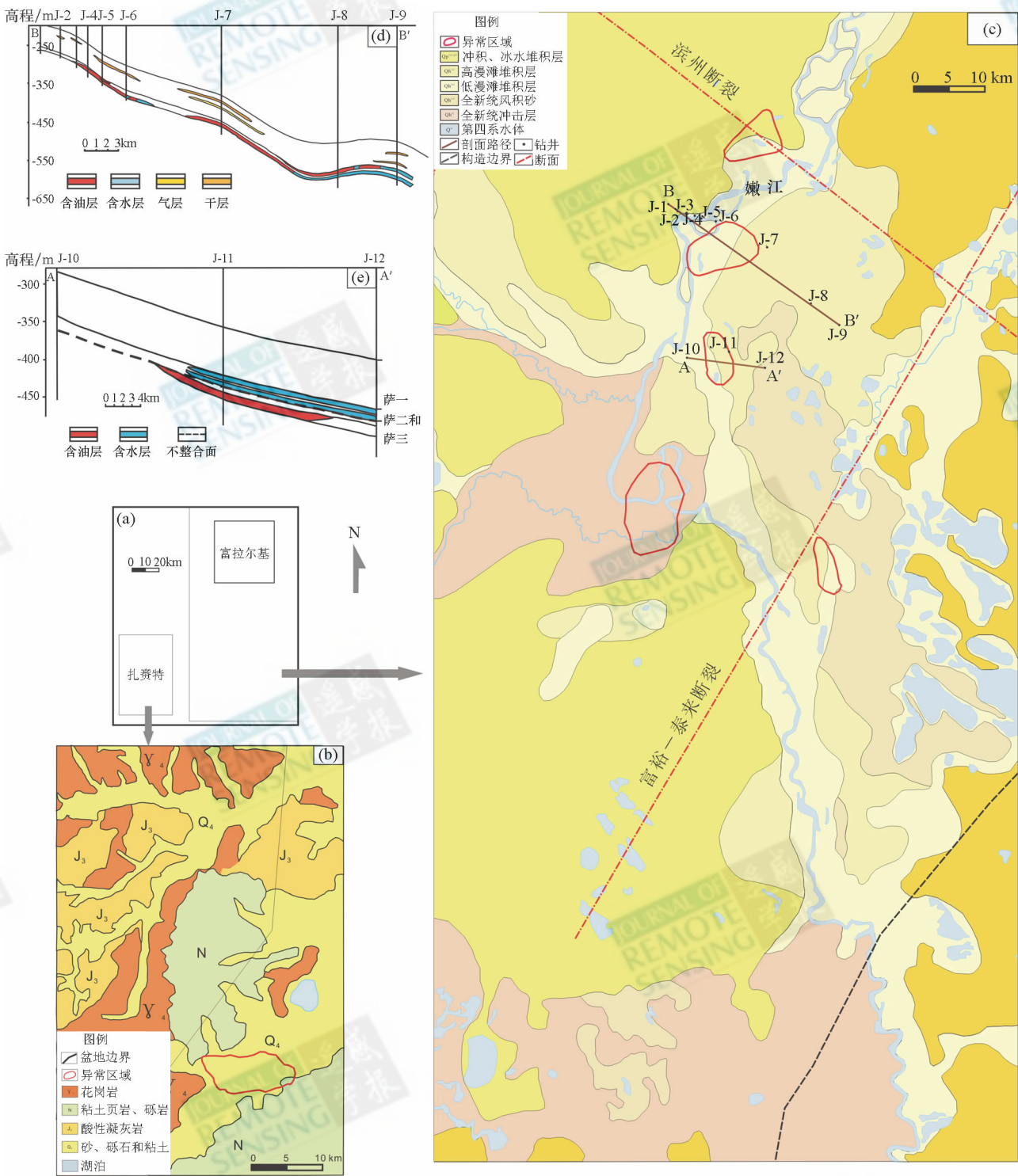


图 3 异常区域的地面资料分析

(a) 图 3(b) 和图 3(c) 在研究区域上的分布范围; (b) 扎赉特地区的地质图与异常圈定和盆地边界叠合;

(c) 研究区域西部地区的地质图和异常圈定、一级构造线、地层剖面叠合;

(d) 经过井 J-1, J-2, J-3, J-4, J-5, J-6, J-7, J-8 和 J-9 的剖面 BB' 示意图; (e) 经过井 J-10, J-11 和 J-12 的剖面 AA' 示意图

Fig. 3 Field validation of the identified anomalies

(a) the location of the geological map b and e in the study area;

(b) the geological map of the sub-scene of Zhalaite overlaid by the boundary polygon of anomaly and basin boundary;

(c) the geological map of the east part of the study area overlaid by the boundary polygons of anomalies, first-class tectonic unit and strata profile routes;

(d) the strata profile BB' crossing the well J-1, J-2, J-3, J-4, J-5, J-6, J-7, J-8 and J-9;

(e) the strata profile AA' crossing the well J-10, J-11 and J-12

地表的异常指示的是油气运输路径的终点,运输路径可能是一条垂直的短距离路径,也可能是一条长距离路径的一个分支(Thrasher *et al.*, 1996)。研究表明烃类运输的路径在没有断裂系统控制或者其他可能路径的情况下往往是垂直的(Matthews, 1986; Arp, 1992; Klusman and Saeed, 1996)。如果有侧支或者另外可选的路径,异常可能并不是垂直位于油藏的上方,从而使得解译工作变得更加困难。在研究区域有两条大断裂,一条是大型隐伏正断裂滨州断裂,走向 NW,全长 390km,另一条是 NE 走向,绵延 290km 的富裕—泰来断裂。在断裂经过的区域(例如,最北的异常圈定区),烃类运移会受到影响,需要更多的研究进行详细的分析。在其他区域,由于断裂系统的缺失以及平坦的地形,烃类物质通过微断裂系统和岩石孔隙运移,地表异常可以直接指示下伏油藏。

5.2 异常与地层剖面分析

高台子油层和萨尔图油层是西部斜坡区最重要的含油层。如表 1,高台子油层属于青山口组,萨尔图油层属于嫩 1 段(K1n1),姚 2 段(K1y2)和姚 3 段(K1y3)属于晚白垩纪的湖相沉积。剖面 AA'和剖面 BB'是已有的 2 条经过圈定的异常区域的地层剖面(图 3(c))。

剖面 AA'穿过井 J-10, J-11 和 J-12(图 3(d));萨二和萨三平行不整合于高台子油层上,从东至西逐渐变薄。含油砂岩的埋藏从 390—470m,厚度约为 10m。这与该区的钻井在 400m 左右钻遇含油砂岩层的情况相符。该剖面表明高台子组是稠油的有利储层。从遥感解译的情况来看(图 3(c)),远景区位于井 J-10 和 J-11 之间,呈 NNW 向分布,事实上,井 J-11 是一口重油生产井。井 J-11 以西地区,地面异常的水平分布与剖面中含油砂岩的分布一致,但是对于 J-11 以东地区,虽然剖面中分布有含油砂岩,对应的地面却没有烃渗漏异常显示。原因可能是东倾的斜坡为油气运移提供了从东向西的通道,从而使得地表异常相对于下伏油藏向西偏移。

剖面 BB'(图 3(d))经过 9 口井(J-1, J-2, J-3, J-4, J-5, J-6, J-7, J-8 和 J-9),穿越了富拉尔基南部区域的一块异常圈定区。从剖面上可以看出,萨二和萨三均有含油层分布,并且间有含水层。在萨零和萨一则有一些含气层和干层。井 J-1, J-2 和 J-9 并没有钻遇油层,井 J-3 和 J-8 之间的含油层并不是连续的,夹有含水层。异常区域主要分布在井 J-6 和

J-7 之间,区域范围比剖面所显示的含油层的延续范围小。由于井 J-3 和 J-4 之间的区域是富拉尔基城区,极大地影响了烃渗漏异常信息显示和探测。另外,干层和含水层也有可能对烃类运移产生干扰,从而影响烃渗漏信息的地面显示。

6 结 论

本文提出了适用于西部斜坡区 ETM + 遥感影像烃渗漏蚀变提取特征因子:1,3,4,5-PC3;1,3,5,7-PC3;2,3,5,7-PC3;3,4,5,7-PC4,3/1,4/3,7/5 和 $(4/3) - (2/3)$;图像解译所圈定的烃渗漏异常大部分位于 Qh 沉积,异常区域方向与地层走向基本保持一致;在地物干扰较少的区域,地面异常的水平分布与剖面中含油砂岩的分布大致符合。

REFERENCES

- Almeida-filho R, Miranda F P and Yamakawa T. 1999. Remote detection of a tonal anomaly in an area of hydrocarbon microseepage, Tucano Basin, North-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, **20**(13): 2683—2688
- Almeida-filho R. 2002. Remote detection of hydrocarbon microseepage areas in the Serra do Tonã Region, Tucano Basin, Brazil. *Canadian Journal Remote Sensing*, **28**(6): 750—757
- Almeida-filho R, Miranda F P, Galvão L S, *et al.* 2002a. Terrain characteristics of a tonal anomaly remotely detected in an area of hydrocarbon microseepage Tucano basin north-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, **23**(18): 3893—3898
- Almeida-filho R. 2002b. Remote detection of hydrocarbon microseepage-induced soil alteration. *International Journal of Remote Sensing*, **23**(18): 3523—3524
- Arp G K. 1992. Effusive microseepage: a first approximation model for light hydrocarbon movement in the subsurface. *Assoc. Petroleum Geochemical Explorationists Bulletin*, **8**: 1—17
- Crosta A P and Moore J M. 1989. Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceeding of the 7th (ERIM) Thematic Conference. Remote Sensing for Exploration Geology*
- Donovan T J, Forgey R L and Roberts A A. 1979. Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bulletin*, **63**: 245—248
- Feng Z H, Liao G Z and Fang W. 2003. Formation of heavy oil and correlation of oilsource in the western slope of the northern Songliao Basin. *Petroleum Exploration and Development*, **30**(4): 25—28
- Kariuki P C, Woldai T and Meer F. 2004. The role of remote sensing in mapping swelling soils. *Asian Journal of Geoinformatics*, **5**(1): 1—11

- Klusman R W and Saeed M A. 1996. Comparison of light hydrocarbon microseepage mechanisms. Schumacher D and Abrams M A. Hydrocarbon Migration and Its Near-surface Expression. AAPG Memoir **66**, 157—168
- Loughlin W P. 1991. Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **57**: 1163—1169
- Matthews M D. 1986. Effects of hydrocarbon leakage on earth surface materials. Proceedings of the Symposium on Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas. Dallas; S. M. U. Press
- Meer F, Dijk P, Werff H, *et al.* 2002. Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study. *Terra Nova*, **14**(1): 1—17
- Niu J Y and Hu J Y. 1999. Formation and distribution of heavy oil and tar sands in China. *Marine and Petroleum Geology*, **16**: 85—95
- Sabins F F. 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, **14**: 157—183
- Tangestani M H and Moore F. 2000. Iron oxide and hydroxyl enhancement using the Crosta method: a case study from the Zagros Belt, Fars Province, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **2**(2): 140—146
- Thrasher A J, Fleet A J, Hay S J, *et al.* 1996. Understanding geology as the key to using seepage in exploration: the spectrum of seepage styles. Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon Migration and Its Near-surface Expression. AAPG Memoir **66**, 223—241
- Tissot B P and Welte D H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence. New York: Springer-Verlag
- Wang Y P and Ding X. 2000. Hydrocarbon alteration characteristics of soils and mechanism for detection by remote sensing in east Sichuan area, China. *Natural Resources Research* **9**(4): 295—305
- Wang Z W, Yang J L and Gao R Q. 1993. Daqing oil field, petroleum geology of China (the second part). Beijing: Petroleum Industry Press
- Zhang G F, Shen X H, Zou L J, Li C J, Wang Y L and Lu S L. 2007. Detection of hydrocarbon bearing sand through remote sensing technique in Western slope zone of Songliao basin, China. *International Journal of Remote Sensing*, **28**(8): 1819—1833
- Zhang G F, Shen X H, Zou L J, Li C J, Wang Y L, Lu S L and Chen H L. 2009. Remote sensing detection of heavy oil through spectral enhancement techniques in western slope zone of Songliao Basin, China. *AAPG*, **93**(1): 31—49

附中文参考文献

- 冯子辉, 廖广志, 方伟. 2003. 松辽盆地北部西斜坡区稠油成因与油源关系. 石油勘探与开发, **30**(4): 25—28
- 王志武, 杨继良, 高瑞琪. 1993. 中国石油地质志(卷二)——大庆油田. 北京: 石油工业出版社

Identifying hydrocarbon leakage induced anomalies through remote sensing techniques in the western slope of Songliao basin, China

ZHANG Gui-fang¹, SHEN Xiao-hua¹, ZOU Le-jun¹, LI Chang-jiang²,
WU Wen-yuan¹, ZHANG Zhong¹, SU Nan¹, KONG Fan-li¹

1. Zhejiang University, Department of Earth Sciences, Zhejiang Hangzhou 310027, China;
2. Zhejiang Information Center of Land and Resources, Zhejiang Hangzhou 310007, China

Abstract: Among the surface sediments anomalies caused by hydrocarbon leakage of heavy oil reservoir, bleaching of red beds, enrichment of ferrous-iron and alterations of clay minerals and carbonates exhibit diagnostic spectral features. For heavy oil exploration in the western slope of Songliao Basin, ETM + 7 image is used to identify anomaly caused by hydrocarbon leakage. Principal Component Analysis (PCA), band ratio, and False Color Composition (FCC) are used in image process. Four principal components (PCs) including 1,3,4,5-PC3 (the third component of the PCA on band 1, 3, 4 and 5), 1,3,5,7-PC3, 2,3,5,7-PC3 and 3,4,5,7-PC4 show steady spectral enhancement for the hydrocarbon-induced minerals. The PCs are combined with band ratios of 3/1, 4/3 and 7/5 for FCC.

Four FCC images are selected for hydrocarbon-induced area delineation. Result indicates that the identified anomalous area is related to the geological setting and consistent with the strata sections in most area.

Key words: heavy oil, hydrocarbon leakage, ETM + 7, principal component analysis (PCA), band ratio, false color composition (FCC)