

巴丹吉林盆地遥感研究试验区

油气地球化学勘查

谭青 曾华盛

(地质矿产部石油地质综合大队, 湖北江陵 434100)

巴丹吉林沙漠西缘戈壁滩遥感研究表明, 北西向线性构造控制该区主要生油层系的沉积展布, 北东向线性构造则主要控制烃类的运移和聚集。遥感环形影象异常位于两组断裂的交叉部位, 与野外地物波谱数据差比高值区、线性体优益度和中心对称度高值区, 以及主要化探综合异常位置基本吻合, 推断遥感环形影象异常可能反映了一个隐伏的含油气构造。

关键词 巴丹吉林 遥感 线性体 优益度 中心对称度 油气化探 含油气性评价

第一作者简介 谭青 男 46岁 工程师 物探

1988年夏, 我们在内蒙西部的巴丹吉林盆地开展遥感地质工作, 通过卫片判读, 发现了一些重要的遥感影象异常。由于盆地大部为沙漠覆盖, 气候恶劣、交通不便、工作条件十分艰苦, 石油地质研究程度很低。因此, 遥感研究工作的重点主要集中在巴丹吉林沙漠西缘戈壁覆盖区。并在该区选择了遥感异常比较明显、交通条件相对较好的额济纳旗赛汗桃来乡西侧面积约1600 km²的地方作为遥感研究试验区, 在试验区内以点距4 km为测网, 同步开展地面地物波谱测试和近地表土壤气地球化学调查(试验区位置见卫星照片及其解译图)。

一、遥感地质解译及线性体统计分析

(一) 主要影象异常分析

从卫星照片上可以看到, 位于赛汗桃来乡西南有一条北西向线性影象 F_1 斜穿试验区, 并与北侧一组北东向线性影象相交, 其中线性影象 F_2 较醒目, 与航磁资料所解释的断裂位置吻合。在这两条线性影象 F_1 、 F_2 的交叉部位还分布一个边缘为浅色调的斑状环形影象(图1, 2)。线性影象 F_1 南侧影象色调相对北侧较深, 根据地物波谱资料可知, 该区戈壁砾石与黄沙的波谱特征有差异, 并且前者的波谱反射率低于后者。实地观察证明, 在地势较高的位置, 粒径较小的黄沙往往容易被外营力搬运走, 因而残留较多的黑色砾石, 故线性影象 F_1 南侧深色调反映的是粒径较大的暗色戈壁, 北侧为含黄沙较多的戈壁, 因而据此可推测线性影象 F_1 南侧地势较北侧要高。线性影象 F_1 向西延伸恰与北山东段的北西向千条沟断裂相连接, 因此线性影象 F_1 实质上是千条沟断裂在覆盖区内的延续部分。前人工作证实, 千条沟断裂为一呈北

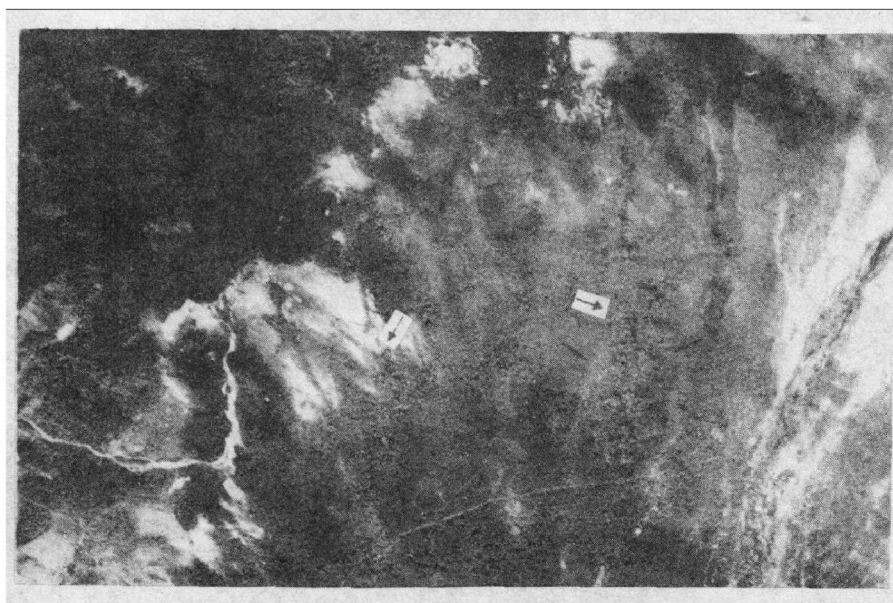


图1 巴丹吉林盆地遥感研究试验区 MSS4 卷积增强卫星照片

西向舒缓波状延伸,断面南倾,倾角 50° — 60° 的逆断裂,断裂附近不同地段岩层直立、倒转,拖曳褶皱发育,呈强烈挤压性质和具再次活动特点,断裂通过处为沟谷或山地的鞍部。其南盘山岭高耸,常见断层陡崖、三角面,北盘地势开阔低缓。南盘相对向北逆冲,石炭系直接推覆在二叠系之上。线性影象 F_1 南侧高,北侧低的特点与之一致,可以认为,线性影象 F_1 也是一由南向北推覆的逆断裂。同时,千条沟断裂常被相伴随的近南北向或北东向张扭性断裂切割,两侧错移最大可达数百米,致使断面不连续,由此可推测试验区内北东向线性构造可能具张扭性质。千条沟断裂北部出露较大面积的山间盆地型的侏罗-白垩系,南部则为大面积的前中生界和海西期花岗岩,表明该断裂控制了侏罗-白垩纪的沉积,从而进一步推断出线性构造 F_1 可能控制着试验区内侏罗-白垩系的展布。

(二) 线性体的统计分析

除上述规模较大、影象特征明显、地质含义较确定的线性构造外,我们在试验区内还解译出大量规模较小的线性体(图3)。虽然这些线性体两侧地物光谱反射率仅有微小差异,但

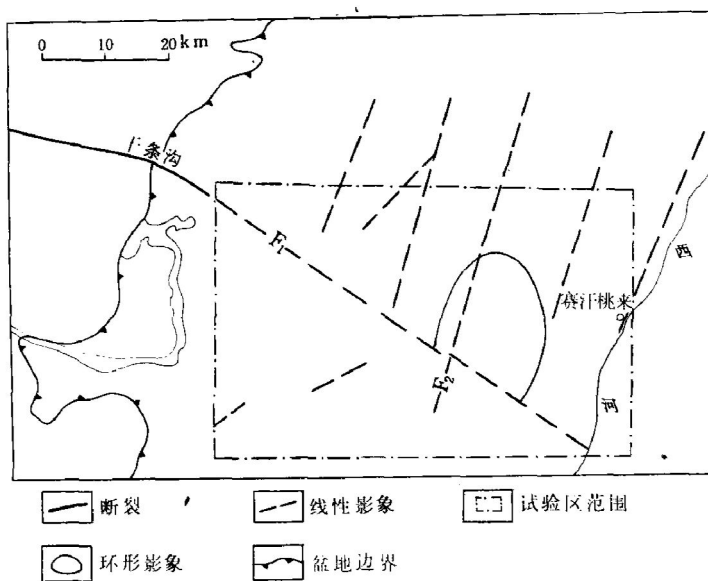
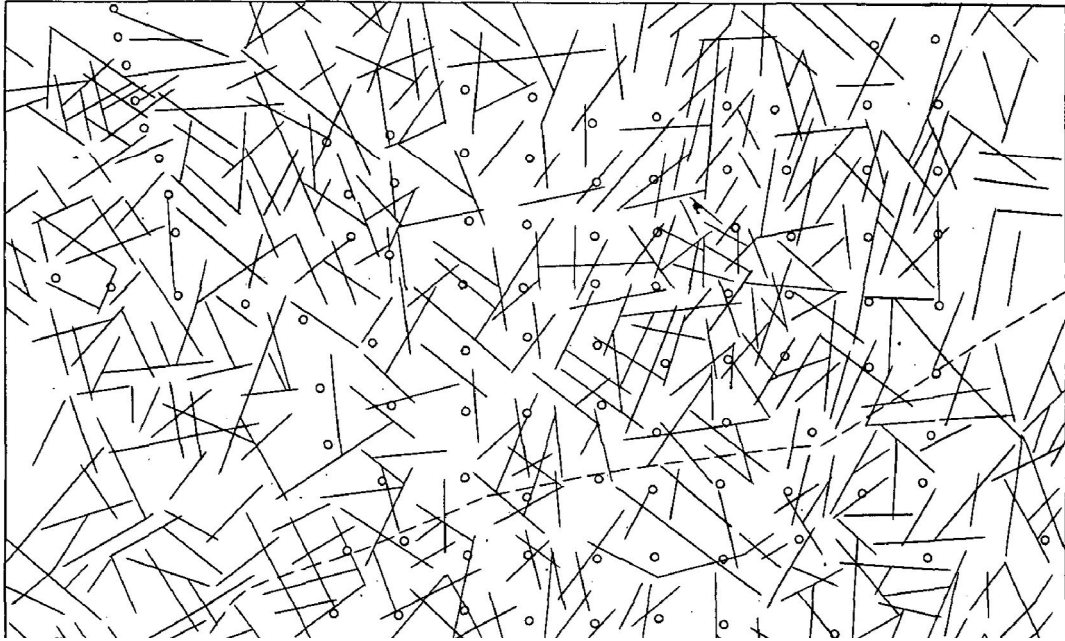


图2 遥感研究试验区卫片解释略图

它们反映了线性体两侧存在一定的地形差异(如洼地、沟谷、微隆起边界等),而这些有着特殊分布规律的地形差异可能直接与深部构造活动影响有关。



优益度具体的统计分析方法可以下式表示*

$$e = l_1(1 + |\sin\theta|/2) + \sum_{i=2}^n l_i[1 + |\sin(\alpha_i - \alpha_{i-1})|/2]$$

式中: e 为任一网格单元内线性体优益度; l_i 为任一网格单元内第 i 条线性体长度; θ 为任一网格单元内第 1 条线性体与最后一条线性体的夹角; α_i 为任一网格单元内第 i 条线性体的方位角; n 为任一网格单元内线性体总条数。

图 4 表明位于北西向线性构造 F_1 处的优益度等值线呈明显的规则性扭曲,且其南北两侧等值线延伸方向亦有显著差别。北东向线性构造 F_2 处于优益度等值线梯度变化带上。优益度

* 秦小光. 渭河盆地构造、地震规律和西安地区断裂构造的遥感研究. 硕士论文. 中国地质大学资料馆, 1987.

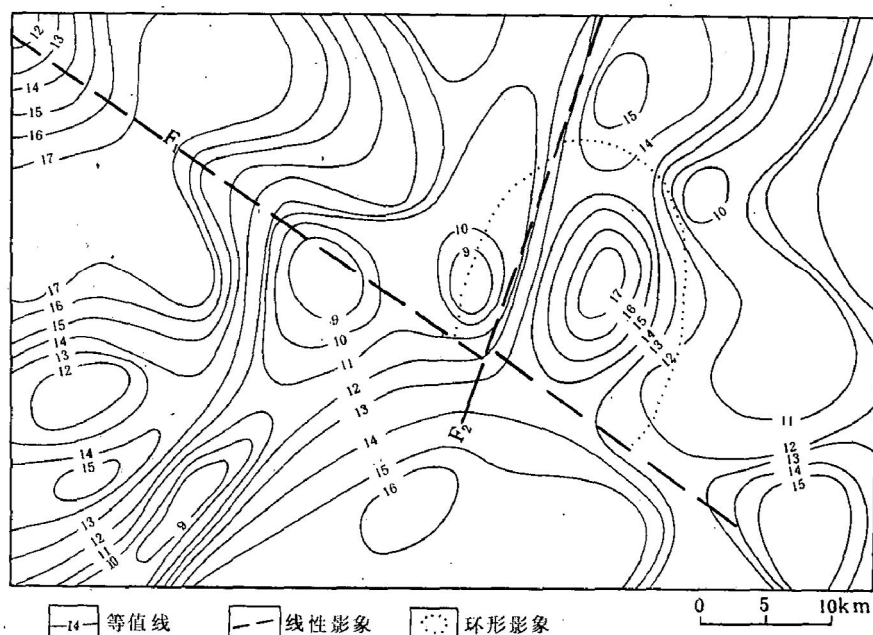


图4 线性体优益度等值线图

等值线高值区反映了区内多组裂隙发育或交汇的地方,对油气的运移、聚集十分有利。位于 F_1 与 F_2 交叉部位东北侧的优益度等值线高值区,正好与前面所解译的环形影象位置吻合,反映该部位很可能存在一个隐伏的环形构造。

中心对称度分析的原理是基于应力分析,认为在理想状态下,一个正向构造顶部的裂隙分布完全中心对称。其计算公式如下*

$$\sigma_c = k \left[\frac{\sum_{i=1}^n l_i \sin^2 (\theta_i - \bar{\theta})}{\sum_{i=1}^n l_i} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中: σ_c 为任一网格单元内线性体的中心对称度; n 为任一网格单元内线性体的条数; l_i 为任一网格单元内第 i 条线性体的长度; θ_i 为任一网格单元内第 i 条线性体在地理坐标系上半空间内的方位角, $i=1, 2, \dots, n$, $-90^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$; $\bar{\theta}$ 为平均方位角,并与各线性体成锐夹角, $\bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \theta_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$; k 为标准化系数。

从试验区线性体中心对称度等值线图(图5)可以看出,位于线性构造 F_1 、 F_2 交叉部位东侧有一明显的中心对称度高异常区,等值线最大值为 0.90。异常区与前面所解译的环形影象位置吻合,进一步证明该部位有一隐伏环形构造的存在。根据异常区周围为低值环绕的特点,推断该构造为一短轴背斜或穹隆。其它地方线性体中心对称度均较低,表明试验区内除上述环形构造外,单向裂隙较为发育,可能形成了一系列断块构造。线性构造 F_1 、 F_2 在图中显示不太明显,可能是由于与线性构造伴生的次级裂隙的不均衡发育,使线性体中心对称度发生变化所致。但总的看来,具挤压性质的线性构造 F_1 大致处于线性体中心对称度较低的地方;具张扭性质的线性构造 F_2 处于线性体中心对称度等值线的梯度变化带上。

* 赵不纪,秦小光. 遥感构造的定量分析方法. 地质科技情报. 1988, 7 (1).

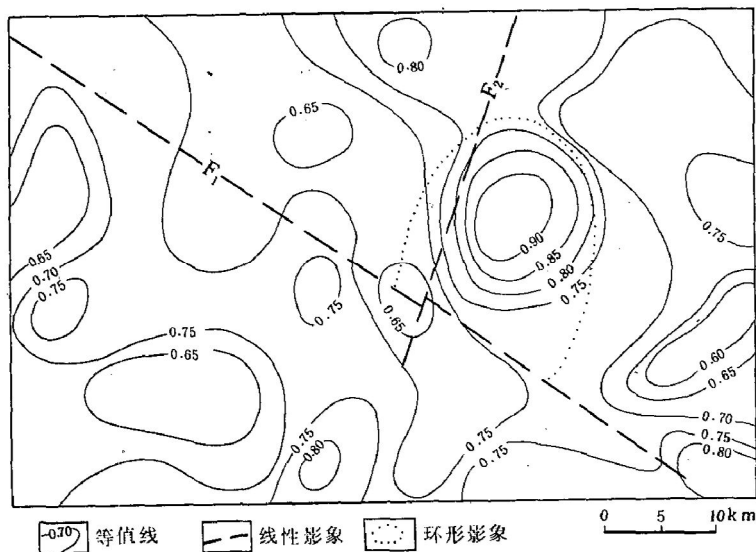


图5 线性体中心对称度等值线图

二、地球化学勘查和地物波谱测试分析

(一) 化探采样和地物波谱测试

试验区地处戈壁平原, 明显地物标志甚少, 在野外试图确定与卫片中所发现或解译的影象异常相对应的地貌特点是很困难的。例如 F_1 线性影象, 地面并未见有明显的地形或地物标志, 只是在盆地西部边界附近才可见到一些北西向的断崖或冲沟。在该区开展地球化学勘查, 通常的化探取样工具无法使用, 只能应用几种自行制作的简易工具在

戈壁滩上艰难的采样。化探测网按地矿部石油地质海洋地质局规范的地质概查要求进行, 采样点密度为 $0.04-0.06$ 个/ km^2 , 即点距约 4 km 。另外, 为了研究北西向线性影象 F_1 与化探异常的关系, 在试验区西部横切线性影象设计了一条加密测线, 点距为 2 km 。采样深度均为 1 m 。同时, 同步进行地面地物波谱测试。波谱仪为美制 EXTRECH AX-100 型, 其波段正好与卫星 MSS 四个波段的波长范围相互对应。之所以在化探采样点附近同步进行地物波谱测量试验, 是基于卫星影象的最小分辨率以一个象元 ($57 \times 79\text{ m}$) 大小确定的, 而以研究遥感异常为目的进行的化探采样点的布置, 不可能在卫星图象上确定。但波谱测试所获得的采样点附近的地物光谱反射率, 从宏观上看, 与遥感图象的灰度或色调变化存在相关关系, 因而我们可以对比那些具化探异常的点位附近地面光谱反射率的高低, 进一步在卫片上判断与影象异常的对应关系。

(二) 数据处理和分析

野外采集的样品为沙土, 且绝大多数含有较粗粒径的沙。样品由地矿部石油地质综合大队实验室分析。分析项目包括土壤吸附烃、蚀变碳酸盐、热释汞以及荧光光谱和紫外吸收光谱。化探数据和地物波谱数据均进行了计算机统计分析。

前已述及, 线性影象 F_1 两侧灰度不同是因地面戈壁砾石所含黄沙比率不同, 导致地物综合光谱反射率略有差异。这种差异在地物波谱曲线上主要表现在近红外波段黄沙反射率较戈壁砾石为高。据此, 为了突出这种差异, 我们对波谱数据采取 $(\text{MSS7}-\text{MSS5})/\text{MSS5}$ 处理并进行趋势分析作出立体图 (图 6)。

诚然, 地物波谱测试点密度远远少于遥感图象象元数, 但该图突出了遥感影象异常的变化特征, 如线性影象 F_1 两侧地物光谱反射率的明显差异, 以及环形影象异常 A 的大体形态和位置, 预示其深部可能存在一个正向局部构造。

试验区的化探样品分析结果如表 1 所示。样品粒度虽大, 但其中甲、乙、丙烷检出率达 100% , 特别是含有一定丰度的重烃, 预示与深部油气有关。

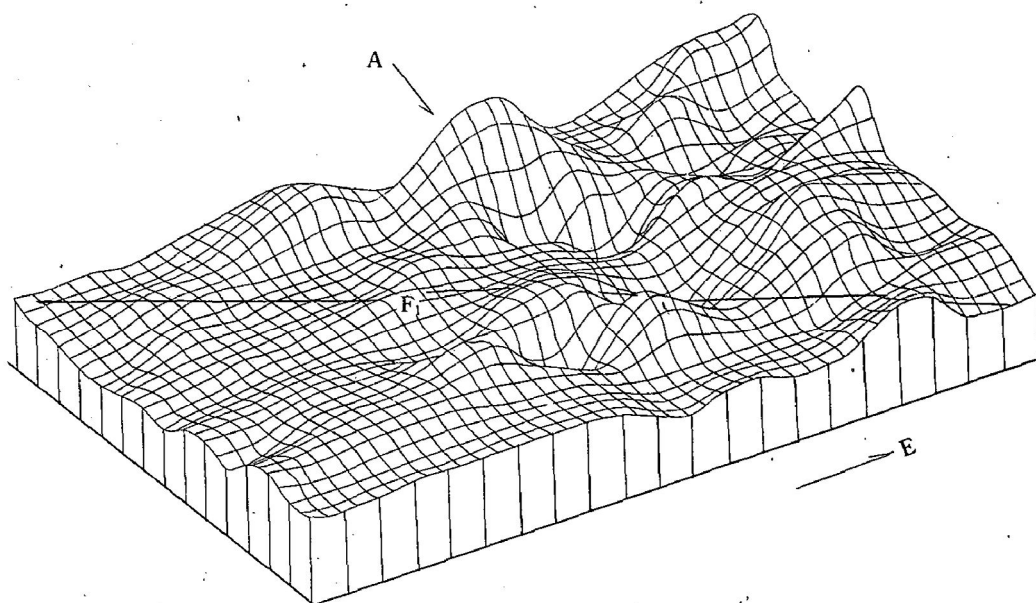


图6 地物波谱 (MSS7-MSS5) /MSS5 趋势分析立体图

表1 化探样品指标浓度统计表

指 标	特 征	单 位	最大值	最小值	均 值	检出率 (%)
甲烷		$\mu\text{l/kg}$	722.78	1.96	115.22	100
乙烷		$\mu\text{l/kg}$	25.7	0.29	3.76	100
丙烷		$\mu\text{l/kg}$	10.05	0.09	1.69	100
异丁烷		$\mu\text{l/kg}$	2.26	0	0.22	95.3
正丁烷		$\mu\text{l/kg}$	2.79	0	0.42	95.3
异戊烷		$\mu\text{l/kg}$	1.88	0	0.15	61.3
正戊烷		$\mu\text{l/kg}$	1.08	0	0.13	51.9
乙烯		$\mu\text{l/kg}$	4.24	0	0.48	61.3
丙烯		$\mu\text{l/kg}$	1.08	0	0.066	13.6
热释汞		ppb	78.01	0	4.20	55.7
ΔC		%	3.15	0	1.05	99.1
紫外 215		$E \times 1000$	192	0	39.4	99.1
紫外 222		$E \times 1000$	208	7	41.75	100
紫外 228		$E \times 1000$	158	5	37.18	100
紫外 254		$E \times 1000$	67	1	16.54	100
紫外 260		$E \times 1000$	51	0	13.38	99.1
荧光 320		$E \times 1000$	1135	18	187.04	100
荧光 360		$E \times 1000$	309	10	77.92	100
荧光 405		$E \times 1000$	850	3	58.85	100

电算 C_2 趋势分析表明 (图 7), 重烃分布亦明显受线性构造控制, 特别是环形影象部位出

现一高值的北东向重烃异常B显得更有意义。

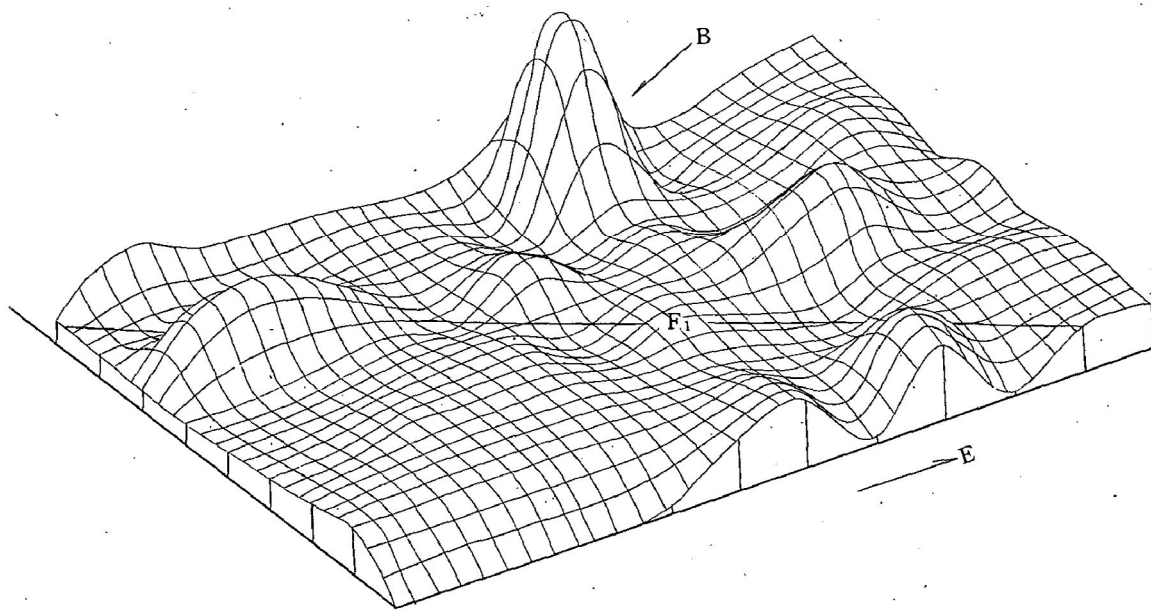


图7 试验区重烃趋势分析立体图

为了研究众多化探指标与遥感异常的关系,我们将代表遥感近红外和可见光波段的MSS7和MSS5的光谱反射率与样品的吸附烃、蚀变碳酸盐(ΔC)、热释汞(Hg)、荧光光谱(Y320 nm)、紫外吸收光谱(Z215 nm)共17项指标作因子分析和聚类分析。

因子分析结果表明(表2),正交因子解和斜旋转模型解有相似结论。在第一因子轴上吸附烃只有属于重烃的丙、丁、戊烷有最大的载荷;第二因子轴上荧光、紫外指标具负向高值载荷;第三因子轴上则反映出蚀变碳酸盐(ΔC)与地物波谱数据关系较密切。

电算统计分析结果提示我们:(1)甲烷及其同系物通常所具有的密切相关性在该区发生了异变。该区甲烷碳同位素($\delta^{13}C_1$)值在-21.168‰—-34.111‰之间,普遍偏重,推测深部烃源岩有机质应为腐殖型和腐泥-腐殖型。可能来自两个以上的深部烃源。(2)荧光和紫外光谱分析结果表明(图8)荧光、紫外异常主要分布于北西向线性影象 F_1 北侧,证明了前文所述的 F_1 断裂控制了中生代沉积这一认识,而中生界是该区主要的生油层系。(3)对MSS7、MSS5波谱数据与 ΔC 数据进一步作Q型聚类分析后发现,试验区具高反射率值的地物有75%与 ΔC 指标中大于异常下限的样品聚为一类。充分显示了遥感环形影象异常(其高亮度值实际上反映了具较高光谱反射率的地物目标)与 ΔC 指标高值样品相吻合,而 ΔC 异常与气态烃有关,因此,环形影象实际上是一个重要的化探异常区。

(三) 综合异常分析

评定油气化探综合异常可从以下三方面入手:(1)指标的主次性;(2)单指标异常的大小;(3)异常的可靠程度。为此,对各指标叠合后的综合异常可根据下式给予评价得分:

$$Y_T = \sum_{i=1}^m S_{Ti} N_i^{\frac{1}{2}} C_i$$

表2. 地物波谱与化探多指标数据因子分析

指 标	正. 交 因 子 解			斜 因 子 解		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃
MSS5	0.1719	-0.2618	-0.7014	0.0708	-0.2147	-0.6771
MSS7	0.2604	-0.2807	-0.7098	0.1689	-0.2070	-0.6929
ΔC	-0.1475	0.2600	-0.7276	-0.2024	0.3169	-0.7972
Y320	0.0468	-0.9125	-0.1358	-0.0986	-0.9349	-0.0618
Z215	0.0071	-0.9196	-0.0143	-0.1008	-0.9520	0.0542
C ₁	-0.0002	0.1112	-0.1258	-0.1517	0.0838	-0.0410
C ₂	0.3235	-0.0475	-0.5383	0.1835	-0.0690	0.0501
C ₃	0.9611	-0.0353	-0.0738	0.9694	0.0430	-0.0189
iC ₄	0.9046	0.0725	-0.0834	0.9574	0.1520	-0.0246
nC ₄	0.9525	-0.0654	-0.0503	0.9491	0.0114	0.0046
iC ₅	0.9534	0.0085	-0.0508	0.9835	0.0858	0.0180
nC ₅	0.9196	-0.1423	-0.0163	0.9199	-0.0715	0.0416
C ₂	0.2737	-0.2202	-0.0073	0.1847	-0.2097	-0.0287
C ₃	-0.0779	0.1529	0.0572	-0.1220	0.1292	-0.0042
C ₂ ⁺	0.0313	0.0730	-0.0587	0.0370	0.0867	-0.0730
Hg	0.0429	0.0769	-0.0175	0.0219	0.1362	-0.0602
C ₂ ⁺ /C ₁	0.0048	0.1397	-0.1207	0.0385	0.1073	-0.1009

式中: Y_T ——综合异常得分; S_{Ti} ——单指标评价系数 ($S_{Ti} = F_i Z_i$, 其中 F_i 为单指标方差贡献, Z_i 为正交因子轴上该指标载荷); N_i ——异常点数; C_i ——异常衬度; m, i ——参与评价的 m 个指标的 i 项。

由此可见, 综合异常评价得分突出了主要指标的贡献 (与油气评价有关), 反映了单指标异常衬度的作用和多点异常量决定的可靠度。

根据上式计算评价系数和综合异常得分如表 3、4。然后根据得分采用均值加一倍标准偏经二次剔除得到三个异常等级, 试验区化探综合异常与遥感异常的分布关系如图 9, I 级化探综合异常位于北西向和北东向两个断裂

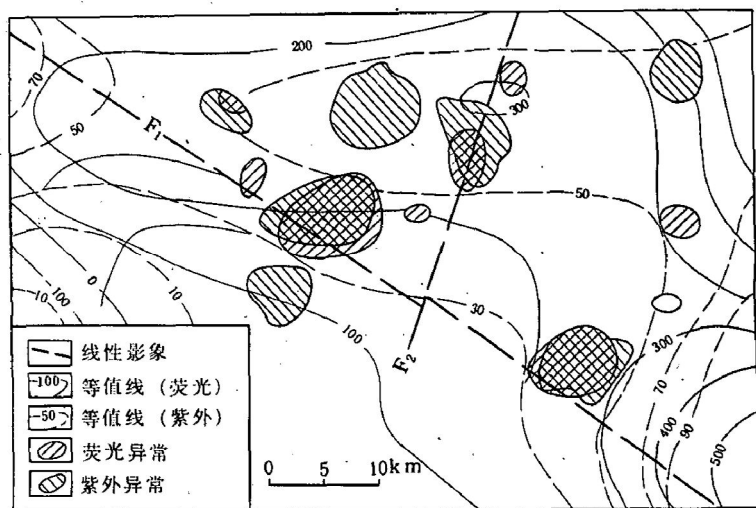


图8 荧光 (320nm) 和紫外吸收 (215nm)

光谱异常分布图

交叉的部位,并在环形影象和地物波谱(MSS7-MSS5)/MSS5高值区之中。同时三个级别较高的综合异常Ⅰ₁、Ⅱ₂、Ⅲ₃均呈北东向,表明这些异常主要受北东向构造控制。西部横切北西向线性构造的一条加密采样点测线中未见有重要化探异常,说明北西向线性构造只是控制中生代生油层系的沉积展布,北东向线性构造方控制油气的运移和聚集。

表3 化探异常参数表

指 标	重 烃	荧光 (320)	甲 烷	热释汞	ΔC	湿 度
方差贡献	27.7%	12.0%	8.1%	7.5%	7.5%	7.6%
载荷	0.93	0.91	0.85	0.91	0.73	0.73
均值	6.37	187	115	4.2	1.05	0.098
S_r	0.26	0.11	0.07	0.07	0.06	0.06

表4 化探综合异常分析表

综合异常	综合异常号	1	2	3	4
C_2^+		310401	503908	202203	1004
C_1		310410504	503907	203	1003
C_2^+/C_1		309 404	908		
Hg		401		201	
ΔC		505		202	
Y_r		2.65	1.1	1.15	0.67
异常级别		I	I	I	II

ΔC 异常与主要综合异常的关系图(图10)表明,五个 ΔC 异常组成串珠状环形异常,其中心部位为以重烃为主要指标的I级综合异常,这种组成结构亦表明异常区深部可能存在一含油气构造。

巴丹吉林盆地是目前国内石油地质研究程度最低的地区之一。遥感研究试验区的油气地球化学勘查成果证明:

三、结 语

(1) 戈壁覆盖区烃的微渗漏迹象表明,盆地内有油气生成、运移、聚集的过程。

(2) 以重烃为主要标志的I级综合多指标异常呈北东向延伸,并处于北西和北东向两组断裂交叉部位,荧光和紫外异常主要分布于北西向线性构造(F_1)北侧,与干条沟逆断裂控制中生代沉积展布的特征相吻合,进一步证明了北西向逆断层对油气的运移和聚集起到阻隔

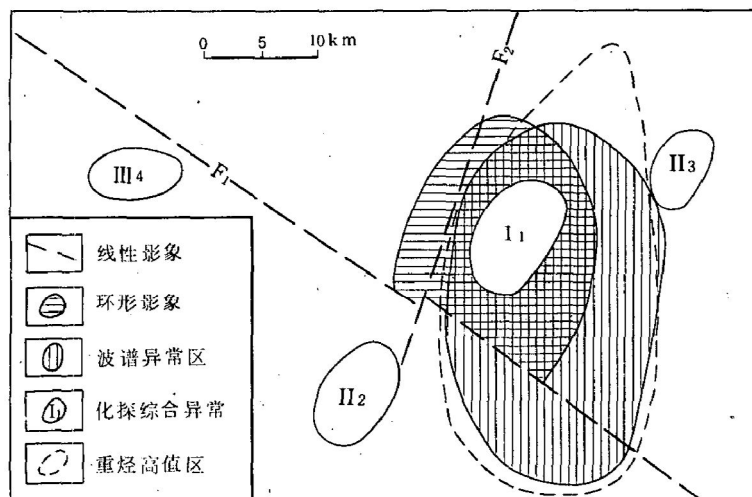


图9 化探综合异常与遥感异常关系图

作用,而它与北东向张扭性断裂交叉部位却有可能是良好的油气运移聚集场所。

(3) 试验区 I 级化探综合异常,位于五个 ΔC 异常所构成的串珠状环形异常区之中,处在两组断裂交叉的部位,并与环形影像、地物波谱的 (MSS7-MSS5) / MSS5 高值区、线性体优益度和中心对称度高值区吻合,因此推测该化探综合异常可能是背斜圈闭型油气藏的反映。II、III 级化探综合异常与线性体优益度高部位及中心对称度低值区吻合,可能反映深部存在与断裂圈闭有关的油气藏。

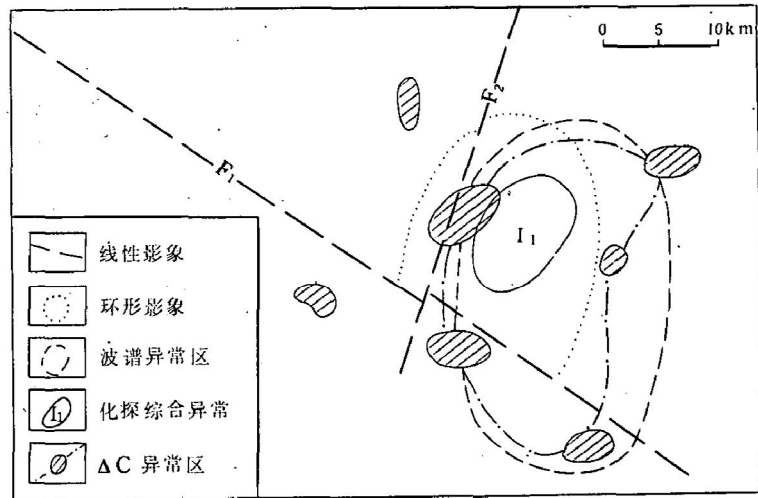


图 10 ΔC 异常与主要综合异常关系图

HYDROCARBON GEOCHEMICAL EXPLORATION FROM REMOTE SENSING TEST AREA OF BADAN JARAN BASIN

Tan Qing Zeng Huasheng

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, MGMR, Jiangling, Hubei)

Abstract

Badan Jaran Basin, situated in the west part of Inner Mongolia, is a poorly studied area in petroleum geology as its most areas covered by desert. In 1988, we took an area of 1600 km² near Saihantaolai Town on the west margin of Badan Jaran Desert as remote sensing test area. According to its remote sensing anomaly, a near-surface hydrocarbon geological exploration with the net point of 4 km distance was placed and ground object wave spectrum measurement was also made at the same time. The result shows that the sandy soil samples collected in the region contained methane, ethane, propane, butane and pentane, indicating that there was close relation between the anomalies of geochemical exploration and remote sensing. NW stretching linear structures controlled the Meso-Cenozoic sediments while NE stretching linear structures controlled the hydrocarbon migration and accumulation. The principal geochemical exploration anomaly was situated at the cross section of the above mentioned linear structures; the circular photographic anomaly of remote sensing fitted to the concentric circular anomalies of ΔC and C_2^+ .