

遥感图像上的油气晕

刘燕君 金丽芳 程承旗

(北京大学遥感技术应用研究所)

1991年3月26日收稿

摘 要

本文对陇东黄土高原油气田内外在遥感图像上大量存在的、不同类型环形影像的性质作了研究。对研究区南段6个不同色调类型的环形影像的地表环内、外土壤样品与油气相关的地球化学指标分析结果表明:(1)图像上的色调环均为地球化学晕的反映;(2)包含已知油井的Y-I环是油气晕的显示。该环的地球化学数据与地表土壤的光谱数据之间存在相关性。通过TM CCT亮度值分析发现,Y-I油气晕环内与环外之间亮度均值的变化是有规律的,经方差分析环内、外的差异均较显著。为验证Y-I环亮度变化规律的普遍意义,在自然地理条件稍有变化的研究区北部地区,选择了一个包含已知油井的色调环、一个包含已知无油井的色调环、一个包含仅有油气显示的色调环和一个已知含油区,进行了亮度变化规律的对比,从而建立了黄土地区判断遥感图像油气晕的模式。即:(1)在TM 4 (R), TM5 (G) 和 TM7 (B) 的彩色合成图像上,环内红色调,环外有蓝斑的色调环,可能是油气晕环;(2)该色调环CCT磁带的亮度均值为, TM1—7 及 TM5/7 环内小于环外;(3)除TM4不稳定外,一般环内、外的差异均较显著。

关键词 遥感 油气晕 地球化学

当前遥感技术在油气藏预测工作中的应用,主要限于判读线性构造,分析隐伏区域断裂、褶皱等,为判断储油构造提供重要的信息。而遥感图像上大量存在的环形影像,尽管有许多环与油井的分布相关,但对其在石油勘探工作中的意义尚缺乏应有认识,而未将特定的环形影像视作油气晕的地表标志。其原因主要在于:(1)不同时相的图像上,各环形影像显示的清晰度不同。由于对隐伏信息形成机制及其与时相的相关性不够了解,从而影响了对环形影像作为油气显示的可信度;(2)图像上显示的大量环形影像具有多种成因,如隐伏的侵入体、基岩构造变形、地球化学分散晕和油气晕等均可形成环形影像。在目前尚缺乏判断油气晕环标志的情况下,利用油气晕预测油气藏的成功率较低,从而影响了这一先进技术在油气勘探领域中的应用。

笔者以我国东部和西部的几个含油气区为例,进行过油气遥感信息的分析研究。其结果除肯定了遥感图像上确实存在着油气扩散晕的信息外,还查明了图像的时相与油气晕显示的相关性。为将遥感技术用于油气勘探,提高油气预测的成功率,我们在陇东黄土地区使用1987年8月24日的TM图像与CCT磁带,进行了图像处理、判读及有关的地球化学工作,建立了油气晕亮度模式。实践证明这一方法是可行的。现将其基本原理和方法简述于后。

环形影像是指图像上以色调、结构或二者兼有的形式与背景相区别而显现出的环形、圆形、半环、半圆,甚至不规则的斑块。通常,结构环是地形的反映,色调环则多数反映了物质成分的变化。直径大于2km的环形影像主要受基岩岩性或构造控制,多呈结构或色

调、结构兼有的形式;小于 2km 的环主要以色调或色调、结构兼有形式显示。为查明色调异常形成的原因及其与油气晕的相关性,在研究区的南半部选择了 6 种颜色、形态等均不相同的色调环和色调、结构环(其中 Y-I 环包括了一个已知出油井),进行了地面的穿环地质调查,采集土样并于各个土样点位测表土的反射光谱。取样间距环内为 50m,环外 100m。还对土样作了 27 种与油气相关的地球化学指标分析,如 ΔC , 热释汞, 总烃, 重烃, C_4H_8 , 吸附烃(包括 $C_1, C_2, C_3, iC_4, nC_4, iC_5, nC_5$), 有机碳和 $Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mn, Mg, Ca, K, Na, SO_4, CO_3, HCO_3, CaCO_3$, pH 值, H_2O 以及土壤粒度。对上述指标的环内、外方差分析结果表明,这些环的色调异常都是地球化学异常晕形成的。

本文着重分析 Y-I 油气晕环的地表与遥感信息的相关性,根据 Y-I 环总结的规律,与其它地区已知油气分布状况的环形影像对比,并建立黄土地区的油气晕亮度模式。

一、Y-I 环的特征分析

Y-I 环是一个由线性构造阻隔的色调结构型的半环。在 TM4 (R)、TM5 (G) 和 TM7 (B) 的彩色合成图像上,环内呈红色调,外缘有蓝色斑块。图 1 为 Y-I 环及周围遥感图像判读结果。其中 F_1 为压扭性断裂,影像具明显显示, F_2 在影像上呈断续出露的色调界面,为一隐伏构造, Y-I 环为呈半环状的油气晕, F_1 的西南侧有油井分布。根据判读结果不难恢复该区基岩油藏的圈闭性质和 F_2 隐伏构造的性质及其对地面油气晕形成的控制作用(图 2)。事实证明,在鄂尔多斯西部天环地区属此种圈闭的基岩油藏亦有分布。由于圈闭油藏的断裂遮挡或渗透性质各不相同,因而遥感图像判读的图式亦不一致,图 1 所示仅为其中之一。

关于 Y-I 环的油气晕圈的性质,可以由环内、外 27 项地球化学指标的统计分析加以证明。其中 C_4H_8 , 有机碳, 热释汞, 重烃, 总烃, $C_1, C_2, C_3, nC_4, iC_5, nC_5, H_2O, SO_4, Ca,$

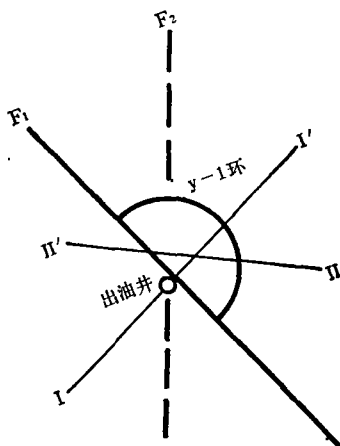


图 1 遥感图像判读图
I-I' 为图 2 剖面线, II-II' 为计算
机亮度剖面线

Fig. 1 Geologic interpretation
of remote sensing image

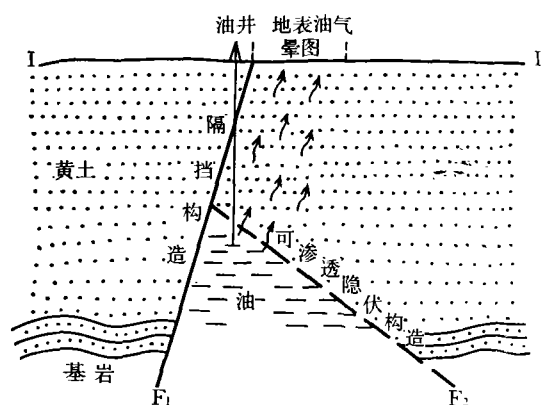


图 2 基岩构造圈闭油藏剖面示意图

Fig. 2 Bed rock-structured oil/gas trap section

CaCO₃, CO₃ 和 Na 共 17 项地球化学指标, 环内与环外之间存在极显著或显著的差异。对环内的化学组分的主成分分析结果表明: 第一主因子(方差贡献为 39.4%)包括重烃, 总烃, C₁, C₂, C₃, nC₅, iC₄, nC₄, 热释汞和 pH 值; 第二主因子(方差贡献为 19%)包括 Ca, Na, SO₄ 和 CaCO₃。环内主成分分析方差贡献较大的化学组分几乎集中了所有烃类组分, 其中重烃、总烃、热释汞等的异常应具有重要的油气指示意义。

为查明 Y-I 环油气晕与遥感信息的相关性, 首先对土壤的地球化学指标与同位测试的 TM 1—5 和 TM 7 波段的土壤光谱数据间的相关性作了分析。简单相关分析结果显示了土壤光谱与含水量之间相关性好, 而与单个地球化学指标的相关性普遍较差。但是, 典型相关分析的结果表明, 两者之间存在典型相关关系。说明 Y-I 环的土壤光谱与油气晕地球化学指标间确实存在着综合相关关系。事实上, 典型相关变量的性质, 取决于组成它们的高载荷变量的性质。其中 TM 5 和 TM 7 的载荷较大, 也就是说, 油气晕地球化学指标与土壤的 TM5, TM7 波段的光谱之间关系最为密切。

在此基础上, 进一步分析 TM CCT 磁带的亮度值与油气晕的相关性。由计算机图像处理系统读出两条横穿 Y-I 环的亮度剖面。剖面 I 的位置沿图 1 中的 I—I' 线, 剖面 II 沿 II—II' 线。两条剖面的环内外亮度均值见表 1。为便于分析遥感信息的规律, 表中除列出了 TM1—TM7 波段的亮度均值外, 还列出了四项经计算的数据, 其中 KT 01 表示土壤的综合亮度, KT 03 表示土壤含水量的丰度。表中还列出了经方差分析后的各波段亮度在环内外的差异程度。这两条剖面具有明显的一致性, 其共同特征有 3: (1) 环内 TM1—TM7 及 KT01 和 TM 5/7 的亮度均值都小于环外; (2) 环内 KT 03 和 TM 4/3 的亮度均值都大于环外; (3) 环内外光度的差异除 TM 4/3 外, 均为极显著。

表 1 Y-1 环亮度剖面数据

Table 1 Lightness profiles of Y-1 ring

编号	项目	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM6	KT03	KT01	TM 4/3	TM 5/7	像元点数
剖面 I	环内均值	92	48	56	76	108	58	137	140	116	145	83	13
	环外均值	102	55	68	86	129	70	139	112	152	127	93	14
	环内外差异	**	**	**	**	**	**	**	(-)*	**	(-)*	**	
剖面 II	环内均值	98	53	63	76	114	64	136	135	128	128	88	18
	环外均值	106	57	72	84	137	74	140	98	160	117	98	15
	环内外差异	**	**	**	**	**	**	**	(-)**	**	(-)	**	

注: ①**极显著, *显著, 一不显著; ②环外均值大于环内时显著性为正, 反之为负, 以(-)表示; ③环内、外均值基本一致时以○表示。

二、油气晕的亮度模式

为进一步分析 Y-I 环的影像和亮度值特征的普遍意义并建立油气晕的亮度模式, 曾在与 Y-I 环的土壤类型和植被生长均有所差异的北部地区选择了三个环和一个油田区, 就各亮度剖面进行了对比分析(表 2)。其中 X-1 环包括已知产油井、C-1 环包括已知

表 2 部分已知环和区亮度剖面数据对比表
Table 2 Comparison of lightness profiles of some known rings and area

编 号	项 目	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM6	KT03	KT01	TM4/3	TM5/7	像元点数	色 调
X-1	环内均值	83	42	49	69	94	47	130	131	132	142	72	16	
	环外均值	93	50	60	73	123	66	136	89	158	122	91	14	环内为红色调， 环外有蓝色斑
	环内外差异	*	*	*	—	*	*	**	(-)**	*	(-)**	*		
某含油区	环内均值	73	34	37	56	69	30	127	160	104	158	54	27	
	环外均值	76	37	42	58	78	35	128	151	113	139	61	62	
	环内外差异	*	*	*	(O)—	*	*	*	(-)*	*	(-)*	*		
B-1	环内均值	88	46	55	75	111	56	133	111	148	137	83	15	
	环外均值	88	45	54	72	112	57	134	105	147	134	83	12	环内为红色调， 环外一侧有蓝边
	环内外差异	(O)—	(O)—	(O)—	(O)—	(O)—	(O)—	(O)*	(-)-	(O)-	(-)-	(O)-		
C-1	环内均值	106	59	74	88	143	79	142	77	186	120	101	15	
	环外均值	93	49	60	77	125	67	143	87	160	132	88	16	环内为浅蓝色调， 环外为红和淡蓝色
	环内外差异	(-)*	(-)**	(-)**	(-)**	(-)*	(-)*	(O)—	—	(-)**	*	(-)*		

表注同表 1。

无油井、B-1 环虽未具工业油流,但有油气显示。表中所列色调是指 TM4 (R)、TM5 (G) 和 TM7 (B) 彩色合成图像所显示的色调。表 2 所列数据表明, X-1 环和已知含油区的环(区)内、外亮度均值变化的特征基本一致,即:(1) TM1—TM7 环内的亮度均值及 KT 01 和 TM 5/7 的均值都小于环外,而 KT 03 和 TM 4/3 的均值皆大于环外。环内外 TM4 亮度均值较接近。(2)环(区)内、外亮度差异程度除 TM4 为不显著、TM 4/3 为显著和极显著外,其它各波段均为显著。与 Y-I 环的亮度特征相比,环内外差异特征是一致的。这说明南北两地由于土壤和植被条件的变化,环内外各波段亮度均值的差异程度有所不同,但油气晕圈总的规律则是一致的。为证实上述分析的可靠性并确定亮度模式,可以从反面加以检验。表 2 中 C-1 环的亮度变化规律与 X-1 环恰好相反。C-1 环的 TM1—TM7, KT01 和 TM5/7 的均值都是环内大于环外,KT03 和 TM4/3 的均值则环内小于环外,而且环内外的差异大多为极显著和显著,仅 TM6 和 KT03 为不显著。油气藏很少的 B-1 环,各项亮度均值在环内、外的差异,除 TM6 外,均为不显著。综上所述,从 Y-I 环与 X-1 环及其它具有代表性的色调环的对比中,可以概括出地表油气晕遥感信息的亮度模式为:(1)在 TM4 (R), TM5 (G) 和 TM7 (B) 的彩色合成图像上,环内为红色调,环外为有蓝色斑块的色调环,可能是油气晕;(2)该色调环环内 TM1—TM7 的亮度均值及 TM5/7 的均值小于环外。环内、外的差异一般为显著或极显著;(3)由于局部植被的影响, TM4 亮度值的大小及环内、外的差异程度不十分稳定,但 TM4/3 的均值,环内肯定大于环外。

表 3 预测的色调环亮度剖面数据

Table 3 The lightness values of predicted rings

编 号	项 目	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM6
A-1	环内均值	81	40	45	68	100	48	134
	环外均值	92	49	61	74	124	66	136
	环内、外差异	**	**	**	**	**	**	*
A-2	环内均值	81	40	46	64	88	43	131
	环外均值	86	44	53	71	106	54	133
	环内、外差异	*	*	*	*	**	**	*

编 号	项 目	KT03	KT01	TM 4/3	TM 5/7	像元点数	色 调
A-1	环内均值	116	131	151	75	20	环内红色调 环外有蓝色斑块
	环外均值	88	159	124	91	39	
	环内、外差异	(-)**	**	(-)**	**		
A-2	环内均值	137	124	142	67	24	环内红和暗红相间, 环外有蓝色斑块
	环外均值	114	142	135	80	39	
	环内、外差异	(-)**	**	(-)-	**		

表注同表 1。

三、油气晕亮度模式的应用

在应用这一模式对已知含油区进行图像处理和判读的过程中, 总结出了四点含油区的影像特征: (1) 含油区是由线性构造或较大的环形影像或二者结合围限成的一个独立区块; (2) 该区块处于 TM6 高值与低值的过渡带, 且偏于低值的部位; (3) 区块内多种方向的线性构造发育; (4) 区块内有大量的小型环形影像发育, 其中符合油气晕亮度模式的环形影像占 1/2 以上。根据含油区块的影像特征和油气晕的亮度模式, 在研究区预测的几个油田区块和圈定的若干油气晕环都已被地质资料及勘探工作所证实。表 3 列出的 A-1 和 A-2 色调环即为油气晕环中的两例。这一事实充分表明, 在黄土覆盖区进行油气勘探时, 利用遥感图像进行分析处理, 查明油气晕, 进而评价和勘探油气藏的方法是既有理论根据、又行之有效的新技术手段。值得指出的是, 上述油气晕亮度模式, 仅对黄土地区预测油气藏具有普遍意义。而在沙漠或其它第四系覆盖地区, 则需要根据自然地理条件及成油地质条件、油气运移、保藏条件的不同而作必要的修正。

The Oil-gas Haloes on Remote Sensing Imagery

Liu Yianjun Jin Lifang Cheng Chengqi

(Institute of Remote Sensing technology and applications, Beijing University)

Abstract

In this paper various types of ring-like images have been studied systematically, which appear on remote sensing imagery, locate on outer and inner the oil-gas field of the loess plateau on the east part of Gansu province, Among them six different types of tonal ring-like images on the south region of the study area were chosen and the related soil geochemical data from outer and inner the six tonal ring-like images have been analyzed. The results show that: (1) All of the tonal ring-like images on the imageries come from geochemical haloes. (2) The Y-1 ring covering a known oil-gas well is a oil-gas halo ring with a significant relationship between geochemical data and ground soil spectral response. By analyzing the tape lightness of the ring images, the regular variations of the lightness mean values between inner and outer the oil-gas halo rings have been discovered. One of them is the significant difference proved by the variance analysis. In order to identify the general applying significance of the Y-1 ring lightness varying regulations, another tonal ring covering a productive oil-gas well, a tonal ring covering no oil-gas well, a tonal ring covering a nonsignificant productive oil-gas well and a known oil-gas region, which are located on north part of the study area that shows a slightly different in geographic conditions from the Y-1 ring area, have been compared between each other for their lightness variation regulations. The researches are resulted in the following model for estimating oil-gas haloes from the remote sensing imagery:

(1) On the colour composite imageries from the TM4(R), TM5(G) and TM7(B), the tonal ring-like image red tone on the inner ring and blue tone on the outer ring are suggested to be oil-gas halo ring.

(2) The CCT tape lightness mean values of the outer rings are almost higher than that of the inner rings in the TM1-7 and TM5/7.

(3) Except the TM4, the lightness mean values of all the TM bands give significant differences between inner and outer rings.

Key word Remote sensing Oil-gas halo Geochemistry