

油气化探异常双因素评价方法

——以渤海湾盆地济阳坳陷临南—钱官屯地区为例

杨俊^{1,2}, 沈忠民¹, 王国建², 宁丽荣²

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059;

2. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要:以往对化探异常的评价往往仅侧重化探指标,较少考虑地质因素,因此评价结果缺乏地质条件支撑。以济阳坳陷临南—钱官屯地区为例,采用趋势面法对有效指标酸解烃甲烷、顶空气甲烷、游离气甲烷和物理吸附气甲烷进行单指标异常提取,再采用叠合法圈定综合异常。评价综合异常时既从化探指标角度进行评价,又结合研究区地质特征进行地质评价,化探评价与地质评价相结合形成异常评价交会图。评价结果与勘探实际吻合程度较高,表明建立的化探—地质双因素油气化探异常综合评价方法具有良好的应用效果。该评价方法可实现对化探综合异常的全面评价,具有良好的应用前景。

关键词:综合异常;化探指标;地质因素;叠合法;双因素;济阳坳陷

中图分类号:TE132.4

文献标识码:A

Double-factor evaluation for oil and gas geochemical anomalies:

A case study of Linnan–Qianguantun areas, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

YANG Jun^{1,2}, SHEN Zhongmin¹, WANG Guojian², NING Lirong²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: In the past, the evaluation of geochemical anomalies often only focused on geochemical indicators, with less consideration of geological factors, so the evaluation results lacked geological support. Taking the Linnan–Qianguantun areas of Jiyang Depression as an example, some effective indicators such as acidolysis methane, headspace methane, free methane and physically adsorbed methane were identified by a single indicator anomaly. Then, the comprehensive anomaly was obtained by a superposition method. An anomaly evaluation intersection diagram was made combining geochemical indicators with the geological characteristics of the study area. The evaluation results were in good agreement with the actual results, indicating that the double-factor evaluation for oil and gas geochemical anomalies provides good prospect evaluation. It provides a technical means for the comprehensive evaluation of comprehensive anomalies.

Key words: comprehensive anomaly; geochemical indicator; geological factor; superposition method; double factor; Jiyang Depression

针对油气化探方法及其影响因素^[1-10]、异常识别^[1, 11]、异常模式^[12-14]以及异常成因^[15-16]的研究较多,但是关于异常评价的研究相对较少^[17],特别是将化探指标和地质要素相结合进行异常综合评价的研究更少。然而,地表油气化探异常的形成、分布与地质要素密不可分,因此化探异常的评价不能脱离地质特征。本文以渤海湾盆地济阳坳陷惠民凹陷的临南—钱官屯地区为例,将化探指标和地

质要素相结合,建立一种化探—地质双因素油气化探异常综合评价方法,具有较好的应用效果。

1 地质背景

临南—钱官屯地区位于济阳坳陷惠民凹陷西南部,惠民凹陷南坡的临南洼陷是重要的生油洼陷,研究区位于临南洼陷西南边缘及斜坡部位(图1)^[18]。富有机质的沙三段和沙四段成熟泥质岩是临南地

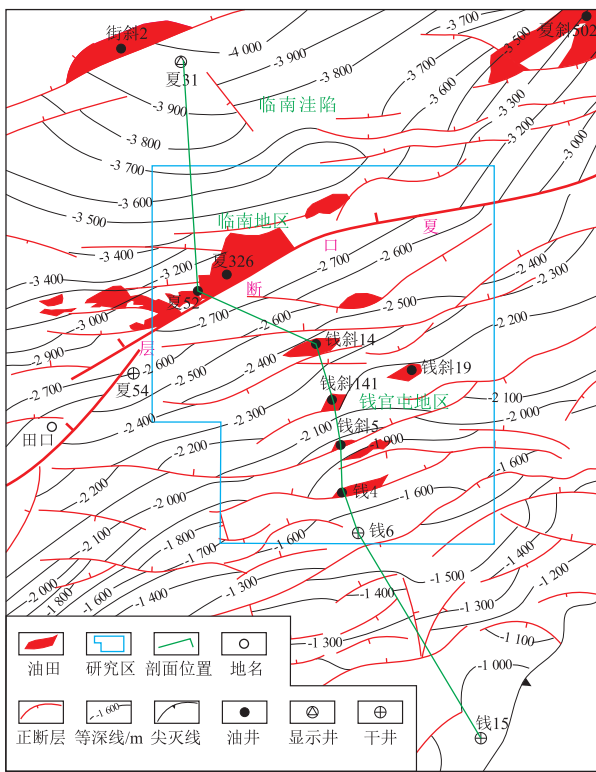


图1 济阳坳陷惠民凹陷临南—钱官屯地区地质特征及井位分布^[18]

夏口断层以北为T6构造图,钱官屯地区为T8构造图。

Fig.1 Geological features and well locations in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

区重要的烃源岩^[19-20],临南和钱官屯地区原油同源^[19]。沙四段、沙三上亚段、沙三中亚段、沙三下亚段、沙二段是主要的储集层;沙三中一下亚段、沙一段—东营组、馆陶组和明化镇组沉积的泥岩是主要的区域盖层^[21]。油气自临南洼陷向南部斜坡运移^[22],断层、不整合以及砂体组成疏导体系,因地层压力偏低导致运移动力较弱,横向运移距离有限^[23-24]。运移条件,特别是断裂对研究区内油气成藏有明显控制作用,古近系东营组沉积时期断裂活动比较强烈,例如夏口断层,封闭性较差,断裂主要起通道作用;新近系馆陶组之后,断裂活性逐渐减弱,次级断裂以封堵油气为主^[25]。洼陷中心两期成藏,为东营组和馆陶组—明化镇组沉积期,以第二期为主;洼陷边缘一期成藏,为馆陶组—明化镇组沉积期^[26-27]。

2 异常提取

临南—钱官屯地区精查化探面积为130 km²,采样网度为500 m×500 m,样品类型有土壤碳酸盐含量、酸解烃、游离烃、物理吸附烃和顶空轻烃,采样物理点2 173个。最常用的单指标异常提取方

法有浓度等值线法和趋势面剩余值分析法。浓度等值线法采用的异常下限为一恒定值,适用于工区范围小、属于同一地质背景和同一地貌的情况。然而,当工区范围较大、覆盖不同地质背景或地貌单元时,异常下限并不是一恒定值,即背景不是一个平面而是曲面,此时采用趋势面剩余值法提取异常。临南—钱官屯研究区横跨2类地质背景,包括临南洼陷和南部斜坡带,所以研究采用趋势面法。圈定单指标异常的一般原则是:(1)自然内弯曲度好,构成环的指标浓度异常有一种自然内弯曲的趋势并趋于闭合形态;(2)连续度高,表征了围绕油气藏烃类微渗漏的样本概率高,可信度高;(3)高值带宽度适中,高值带宽度不宜太窄,而单点异常只作为圈环参考;(4)与已知区地质、构造背景结合圈环,圈环时充分考虑断层的影响。

不同化探方法检测的烃类,在土壤中赋存状态有差异。勘探实践表明,游离烃甲烷(YC₁)、顶空气甲烷(DC₁)、物理吸附烃甲烷(XC₁)和酸解烃甲烷(SC₁)剩余值异常与油田吻合较好(图2),为有效指标;土壤碳酸盐含量剩余值异常与油田关系很差,在该地区为无效指标。YC₁、DC₁和XC₁主要检测的为近地表土壤孔隙中处于游离状态的甲烷以及土壤矿物颗粒表面处于弱吸附状态的甲烷,皆属于活跃类指标,其中YC₁和DC₁以前者为主,XC₁兼而有之。三者单指标异常分布比较相似,基本分布在以油田为中心的一定范围,而在油气藏顶部异常较弱(图2a,b,c)。SC₁主要检测的是土壤颗粒内吸留以及被矿物强吸附的甲烷,是地质历史时期长期累积的结果,属于稳定的化石类指标。SC₁异常呈现一个大的环状晕围绕着临南油田以及东南部的钱斜14井油藏和钱141井油藏,而在北部洼陷区、背景区和东南部油藏区(钱19井油藏、钱斜5井油藏和钱4井油藏)上方地表无明显异常分布,与活跃类指标相比,SC₁异常总体上有一定南偏(图2d)。以有效指标YC₁、DC₁、XC₁和SC₁的单指标异常为基础,将4个单异常图进行叠合,获得综合异常和环形态较好异常分布图(图3)。

3 异常双因素评价

3.1 化探评价

以往从化探角度评价异常,对异常所含指标个数和异常衬度重视比较多,而较少关注异常成因,从而未对真假异常进行深入研究。此次化探评价不仅关注指标贡献率(与异常所含指标的重要程度和数量有关)和异常衬度,更结合了异常热成因

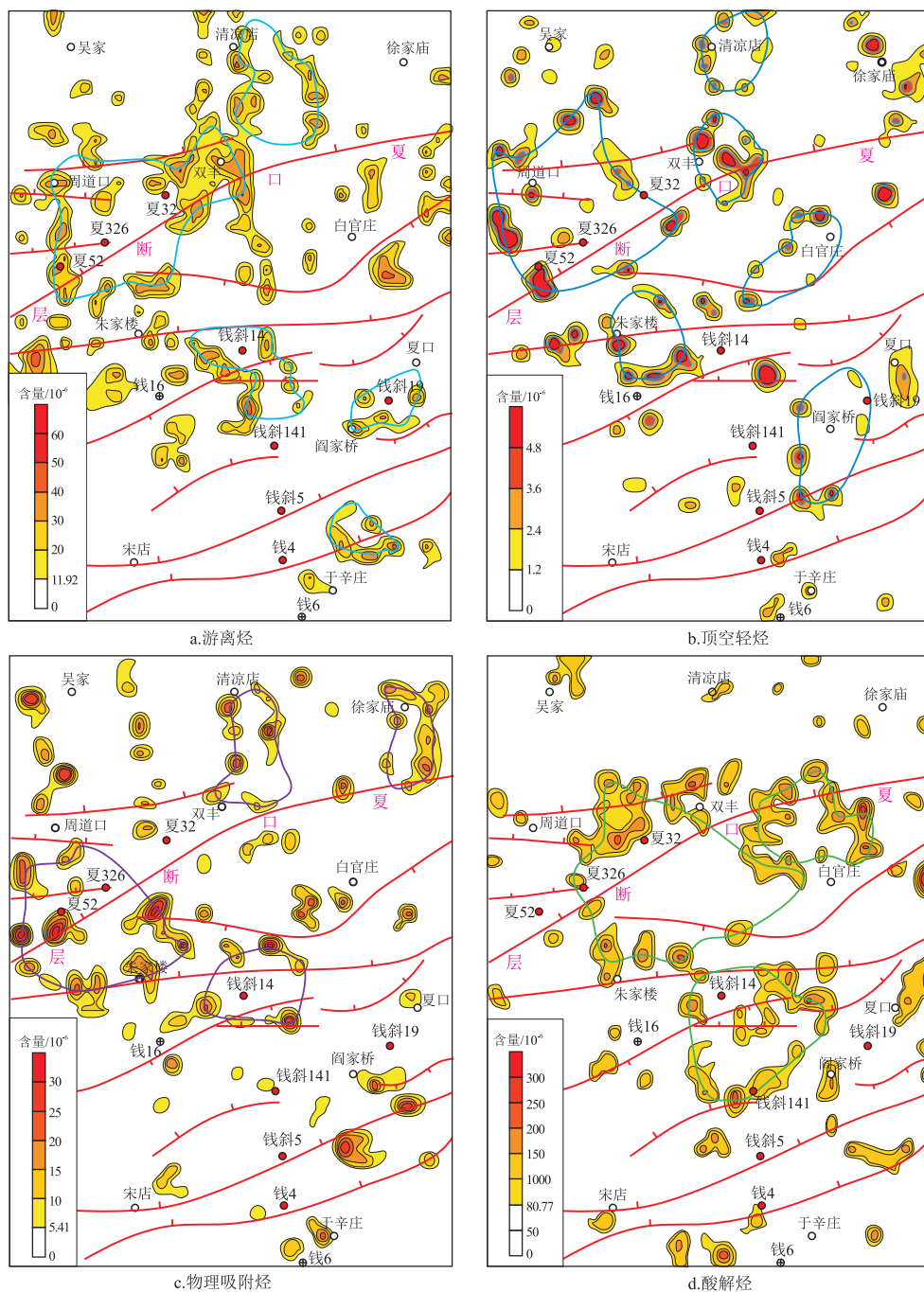


图 2 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区游离烃、顶空轻烃、物理吸附烃和酸解烃甲烷剩余值异常

Fig.2 Anomalies of residual free methane, headspace methane, physically adsorbed methane and acidolysis methane in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

概率,使得化探评价的结果更为可靠。

3.1.1.1 异常指标总贡献率(G)

图 3 中综合异常可以是四指标叠合,也可以是三指标叠合和两指标叠合;另外,图 3 中保留了环形态较好的单指标异常。综合异常和环形态较好的单指标异常所含化探指标见表 1。

不同盆地/地区有效指标各异,有效指标中又分为主要指标和辅助指标。当有已知区作为参考时,可据单指标异常与已知油气田符合程度确定

主、辅指标;当无已知区作为参考时,可依据单指标异常分布形态和异常指标属性确定。

通常含有主要指标的综合异常可信度更高,而不含主要指标的综合异常可信性较差;其次,综合异常含有的单指标个数越多,可信度越高。对于含有多个指标的综合异常,可根据其包含的指标类型(主、辅)以及指标数量进行指标贡献率评价。

活跃类指标中以 YC_1 异常与已知油气田吻合最好, DC_1 和 XC_1 次之; SC_1 异常与已知油气田吻合程

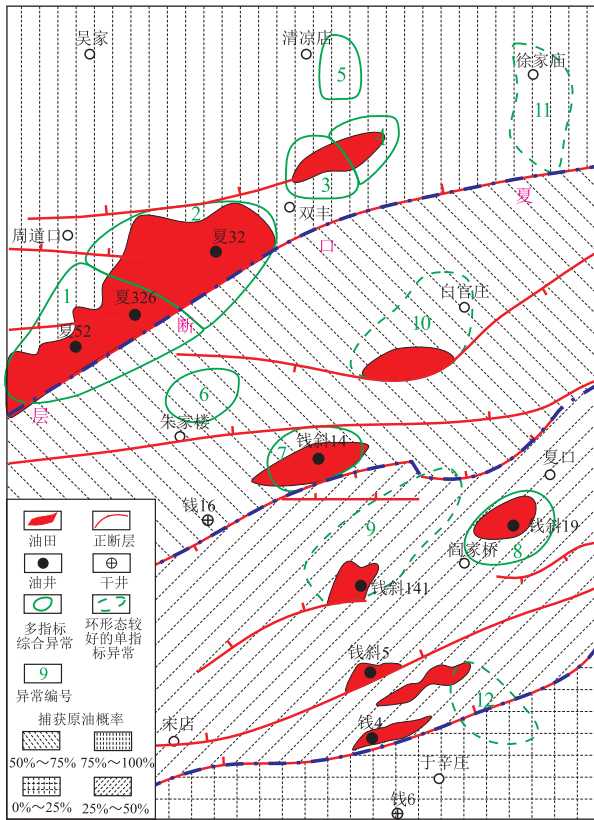


图3 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区综合异常及环形态较好的单指标异常

Fig.3 Comprehensive anomalies and single indicator anomalies with better ring morphology in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

表1 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区异常所含指标及其总贡献率

Table 1 Anomaly indicators and their total contribution rates in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

异常序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
异常所含指标	SYDX	SYD	YDX	XY	DYX	DX	SYX	YD	S	D	X	Y
G/%	100	85	65	50	65	30	85	50	35	15	15	35

注:S-酸解气,Y-游离气,D-顶空气,X-物理吸附气

度也较高。因此,可将 YC_1 和 SC_1 作为研究区化探异常分析的主要指标, DC_1 和 XC_1 作为辅助指标,主、辅单指标贡献率见表2。所以,图3中综合异常及环形态较好单指标异常指标总贡献率见表1。

表2 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区综合异常中主、辅指标贡献率

Table 2 Contribution rates of primary and secondary indicators in comprehensive anomalies in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

指标	YC_1	DC_1	XC_1	SC_1
单指标贡献率/%	35	15	15	35

3.1.2 异常衬率(\bar{C})

单指标异常衬度通常用来反映单指标异常相对于背景的程度。但是,综合异常包含多个单指标,而每个单指标在综合异常内的衬度(C_i)是不一样的。某综合异常内第*i*个单指标的衬度 C_i :

$$C_i = \frac{I}{A} \quad (1)$$

式中: I 为异常内第*i*个单指标的异常样本平均值; A 为研究区内第*i*个单指标所有样本平均值。

但是,综合异常由多个单指标异常叠合而成,包含多个单指标异常的衬度,而综合异常衬度应该是反映综合异常内所有单指标异常相对于背景的程度。综合异常平均衬度(C_{avg})可反映综合异常内所有单指标异常相对于背景的程度。

$$C_{avg} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_i + \dots + C_n}{n} \quad (2)$$

式中: C_{avg} 为某综合异常平均衬度; C_i 为某综合异常内第*i*个单指标的衬度, $i=1,2,\dots,n$; n 为某综合异常内所含单指标个数。

再将所有综合异常平均衬度以及环形态较好的单指标异常衬度进行归一化处理,获得异常衬率 \bar{C} :

$$\bar{C}_j = \frac{C_{avg-j}}{C_{max}} \times 100 \quad (3)$$

式中: \bar{C}_j 为编号为*j*的综合异常或者环形态较好的单指标异常的衬率,%; C_{avg-j} 为编号为*j*的综合异常平均衬度或者环形态较好的单指标异常的衬度; C_{max} 为 C_{avg-j} 中最大值,其代表异常最为显著。

据此,可获得图3中综合异常及环形态较好单指标异常的衬率(表3)。对于图3中1~12号异常,并不是所含单指标个数越多,衬率就越高;反之,也不是衬率越高,异常所含单指标个数越多。所以,不能仅依据所含单指标个数或者衬率来判定综合异常优劣。

3.1.3 异常热成因概率(R)

近地表识别出的异常,是否为地下热成因油气藏中烃类微渗漏到地表而形成? JONES 等建立了轻烃判别地下油气属性的图版^[28], SECHMAN 等研究波兰东部某油气区时,发现土壤轻烃(soil gas)能较好地反映地下油气属性^[29]。顶空气、物理吸附气和游离气3种都可用于属性判别,由于临南—钱官屯地区顶空气烃类组分含量较低,重烃特别是异丁烷(iC_4)和正丁烷(nC_4)及其更重组分,

表 3 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区综合异常及环形态较好的单指标异常的衬率

Table 3 Contrast rates of anomaly indicators in comprehensive anomalies and single indicator anomalies with better ring morphology in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

异常编号	单指标	单指标衬度	C_{avg}	$\bar{C}/\%$
1	S	1.27	2.07	87.26
	Y	2.52		
	D	2.07		
	X	2.43		
2	S	1.39	1.76	74.11
	Y	2.48		
	D	1.41		
3	D	1.35	1.55	65.05
	X	1.74		
4	X	2.03	2.38	100.00
	Y	2.72		
5	D	1.21	1.84	77.61
	Y	2.44		
	X	1.88		
6	D	1.86	2.05	86.32
	X	2.24		
7	S	1.37	2.01	84.77
	Y	2.77		
	X	1.90		
8	Y	2.81	2.07	87.16
	D	1.33		
9	S	1.33	1.33	56.00
10	D	2.00	2.00	84.21
11	X	1.33	1.33	56.00
12	Y	2.36	2.36	99.37

大多数样品未能检测到;游离气和物理吸附气重烃检出率更高,因游离气为主要指标,因此选择此方法进行油气属性研究。以 1 号综合异常为例,异常点个数为 19 个,属于一个族群,皆位于原油区或者原油区附近;仅有 2 个异常点明显远离原油区,不属于地下原油中轻烃微渗漏到地表形成。因此,1 号综合异常原油热成因概率为 89.47%(图 4)。依次对图 3 中综合异常及环形态较好的单指标异常进行热成因图版判别,其热成因概率见表 4。

3.1.4 综合异常化探评价概率(P)

以上述及,评价综合异常的化探参数有指标总贡献率、异常衬率和异常热成因概率,分别从异常指标质量、异常强度和异常成因 3 个方面进行的评价,只是反映了综合异常一个方面。只有进行包含多方面信息的综合评价,评价结果可信度才更高。为此,将指标总贡献率、异常衬率和异常热成因概率通过数学公式 $P = \sqrt[3]{G \cdot \bar{C} \cdot R}$ 进行综合,构建综合异常化探评价概率 P。图 3 中综合异常及环形态

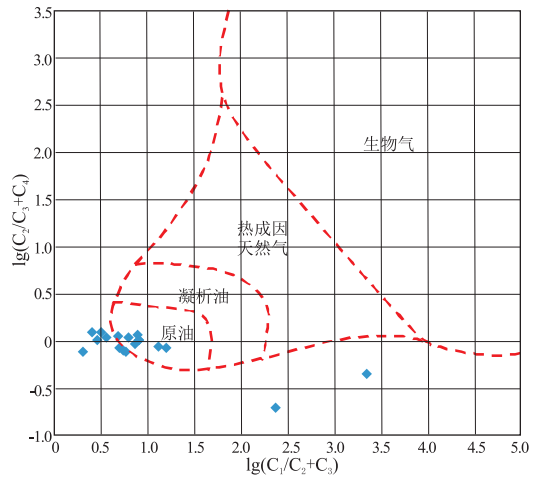


图 4 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区 1 号综合异常成因判别

Fig.4 Genetic separation of 1# comprehensive anomaly in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

表 4 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区综合异常及环形态较好单指标异常热成因概率

Table 4 Thermogenic probability of comprehensive anomalies and single indicator anomalies with better ring morphology in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

异常编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R/%	89.47	100	81.82	100	100	100	100	100	100	91.67	100	100

较好的单指标异常化探评价概率见表 5。

3.2 地质评价

近地表化探主要是根据地表土壤中微弱的油气信息预测油气藏,就整个勘探而言,近地表化探预测油气还需与地下地质特征,特别是研究区油气成藏的主控因素相结合。

油气成藏包含众多地质因素,包括烃源岩、储层、盖层、圈闭、输导体系和保存条件等。学者们研究认为,临南—钱官屯地区输导条件(特别是断裂)和运移距离是成藏的主控因素^[22-25]。因此,将断裂(L)和运移距离(J)作为地质评价的主要因素。区内断裂除了夏口断裂为一级断裂,是临南洼陷和钱官屯斜坡的分界断裂,其他断裂为更次级的断裂。根据断裂级次,对断裂进行赋值(表 6)。实际生产表明,油气从北部洼陷向南部斜坡运聚,随着与北部临南洼陷距离的增加,油气井产量和油气藏规模有减小趋势。首先,根据“近水楼台”原则,认为紧邻夏口断层的临南洼陷内圈闭捕获油源最为有利,微渗漏方式以扩散为主,表明储层和盖层条件好;其次,从夏口断层向南到钱斜 14 井南,距离临南洼陷内油源较近,微渗漏方式以扩散为主,

表 5 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区化探异常的化探评价概率

Table 5 Geochemical evaluation probability of anomalies in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

异常编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$G/\%$	100.00	85.00	65.00	50.00	65.00	30.00	85.00	50.00	35.00	15.00	15.00	35.00
$\bar{C}/\%$	87.26	74.11	65.05	100.00	77.61	86.32	84.77	87.16	56.00	84.21	56.00	99.37
$R/\%$	89.47	100.00	81.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	91.67	100.00	100.00
$P/\%$	92.08	85.72	70.20	9.37	79.61	63.74	89.65	75.82	58.09	48.74	43.80	70.32
评价排序	1	3	10	5	4	8	2	6	9	11	12	7

表 6 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区断层级次与重要性

Table 6 Gradation and importance of faults in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

断层	一级断层	次级断层	无断层
$L/\%$	85	50	15

表明储层和盖层条件较好;再次,从钱斜 14 井南到钱 4 井南,距离临南洼陷内油源较远,微渗漏方式以渗透为主,表明储层和盖层条件较差;最后,钱 4 井以南地区,距离临南洼陷内油源最远,微渗漏特征研究结果为背景区,表明临南洼陷内油源难以运抵^[18]。为此,依据运移距离,结合断裂分布对不同的成藏区进行赋值,夏口断层以北的临南洼陷内圈闭捕获原油的概率极高,为 75%~100%,夏口断层—钱斜 14 井南为 50%~75%,钱斜 14 井南—钱 4 井南为 25%~50%,钱 4 井以南几乎不能获得临南洼陷内油源,赋值为 0~25%(图 3)。

将所有地质主控因素归为一个整体进行评价,构建地质评价概率 $Z = \sqrt[3]{L \cdot J}$ 。图 3 中综合异常及环形态较好的单指标异常地质评价概率见表 7。

3.3 双因素评价

化探评价以近地表油气地球化学指标为基础,地质评价以地下油气地质条件,特别是油气成藏主控因素为基础。以上化探评价和地质评价分别对识别出的各个异常进行了打分排序。

若仅仅依据化探评价结果对异常进行排序,从优到差顺序为 1,7,2,5,4,8,12,6,9,3,10 和 11 号异常(表 5)。目前已有油藏发现的 3,4,8,9 和 10 号异常排名靠后,而未有油藏发现的 5 和 6 号以及已停产的 12 号异常排名反而靠前,这一结果与实际勘探结果符合程度不高。

若将化探评价和地质评价相结合,图 5 展示了评价结果。

1,2,3 和 4 号异常位于图 5 中 I 区, I 区地质评价概率和化探评价概率皆大于 60%,其中 1 号综合异常对应于主力产区夏 52 断块,2 号综合异常对应于主力产区夏 32 断块,其双因素评价得分最高,表明 I 区内的异常存藏概率高,且资源丰度较大。

6,7,8,9 和 10 号异常位于图 5 中 II 区, II 区地质评价概率和化探评价概率皆为 40%~60%,其中 7,8,9 和 10 号异常发现油藏,但资源规模和产量都弱于 I 区。6 号异常内目前未发现油气,分析认为其可能缺少有效的圈闭条件。因此, II 区内异常存藏概率中等,资源规模和产量都不如 I 区。

5,6 和 12 号异常位于图 5 中 III 区, III 区地质评价概率和化探评价概率皆小于 40%,其中 5 和 6 号异常未发现油藏,12 号异常曾经发现低产油藏,目前已经停产。因此, III 区内异常存藏概率低,勘探风险大。

综上所述,化探—地质双因素评价结果与实际勘探结果更加一致,比仅从化探角度评价优选异常更加可靠。

表 7 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区化探异常的地质评价概率

Table 7 Geological evaluation probability of anomalies in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

异常编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
断层级别	1	1	2	2	无	2	2	2	2	2	无	2
$L/\%$	85.0	85.0	50.0	50.0	15.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	15.0	50.0
$J/\%$	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	60.0	55.0	45.0	45.0	60.0	80.0	30.0
$Z/\%$	82.5	82.5	63.2	63.2	34.6	54.8	52.4	47.4	47.4	54.8	34.6	38.7
地质排序	1	1	3	3	11	5	7	8	8	5	11	10

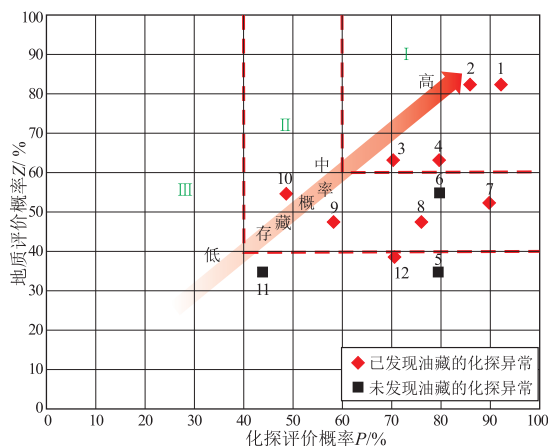


图5 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区化探异常双因素评价

Fig.5 Double-factor evaluation for oil and gas geochemical anomalies in Linnan-Qianguantun areas, Huimin Sag, Jiyang Depression

4 结论

(1) 济阳拗陷惠民凹陷临南—钱官屯地区近地表化探有效指标为 YC_1 , DC_1 , XC_1 和 SC_1 , 其中 YC_1 和 SC_1 为主要指标, 对油气指示效果更好。

(2) 不同化探方法提取的油气信息, 获取的异常皆受到地下地质条件的影响, 因此, 异常评价必须结合地质条件, 特别是主控因素。与仅依靠化探指标评价异常的结果相比, 济阳拗陷临南—钱官屯地区化探指标与地质条件耦合的双因素评价异常结果与实际勘探结果吻合更高, 表明建立的化探—地质双因素油气化探异常评价技术具有一定可行性, 双因素评价的思路可为其他地区的化探异常评价提供借鉴。

参考文献:

- [1] 张刘平. 油气化探研究中干扰排除与异常识别的新方法及其应用[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 269-275.
ZHANG Liuping. New methods of interference elimination and anomaly recognition in geochemical exploration and its application[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(4): 269-275.
- [2] 杨泗麟, 郑康乐. 油气地表化探中干扰因素的排除及其效果[J]. 物探与化探, 1995, 19(1): 1-15.
YANG Silin, ZHENG Kangle. The elimination of interference factors in oil and gas surface geochemical exploration and its effects[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1995, 19(1): 1-15.
- [3] 王周秀, 徐成法, 姚秀斌. 化探热释烃方法机理及影响因素[J]. 物探与化探, 2003, 27(1): 63-68.
WANG Zhouxiu, XU Chengfa, YAO Xiubin. The mechanism of the geochemical thermally-released hydrocarbon method and its affecting factors[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 27(1): 63-68.
- [4] 张百灵. 近地表油气化探干扰因素的讨论及其校正[J]. 石油实验地质, 1993, 15(3): 290-295.
ZHANG Bailing. Discussion on the interference factors of near surface petroleum geochemical survey and their corrections[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1993, 15(3): 290-295.
- [5] 贾国相. 地表油气化探的影响因素及消除方法[J]. 物探与化探, 2004, 28(3): 218-221.
JIA Guoxiang. Factors affecting surface geochemical oil-gas exploration and methods for their elimination[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28(3): 218-221.
- [6] 李兰杰. 影响酸解烃浓度的因素及排除干扰的方法[J]. 物探与化探, 2004, 28(2): 126-129.
LI Lanjie. Factors affecting the concentration of acid hydrolytic hydrocarbon and methods for eliminating interference[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28(3): 126-129.
- [7] 邓国荣. 浅议油气化探的干扰因素[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 675-681.
DENG Guorong. Interfering factors in oil and gas geochemical exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(5): 675-681.
- [8] 蒋涛, 仵永强, 汤玉平, 等. 地球化学烃场效应及影响化探异常的因素[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 280-285.
JIANG Tao, WU Yongqiang, TANG Yuping, et al. Hydrocarbon geochemical field effects and influencing factor in oil and gas geochemical exploration [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(2): 280-285.
- [9] 高璞, 鲍征宇, 姚志刚. 若尔盖地区地表油气化探的影响因素及消除方法[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(4): 5-9.
GAO Pu, BAO Zhengyu, YAO Zhigang. Factors affecting surface geochemical prospecting for oil and gas in Zoige Plateau and methods for the elimination of their effects[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2008, 23(4): 5-9.
- [10] 王国建, 杨帆, 卢丽, 等. 采样季节对油气化探中游离烃方法的影响讨论[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(4): 166-170.
WANG Guojian, YANG fan, LU Li, et al. Influence of sampling seasons on soil gas method in surface geochemical prospecting for oil and gas[J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2010, 32(4): 166-170.
- [11] 周亚龙. 分形方法在微量元素油气化探异常下限分析中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2013, 35(6): 733-738.
ZHOU Yalong. Application of fractal method in lower threshold definition of element geochemistry anomaly in petroleum exploration[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 35(6): 733-738.
- [12] 汤玉平, 丁相玉, 龚维琪. 油气藏上置化探异常形态类型及其成因讨论[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 75-79.
TANG Yuping, DING xiangyu, GONG Weiqi. Discussion on the anomalous morphological types and their geneses of upper geochemical exploration for oil and gas accumulation [J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(1): 75-79.
- [13] 陈远荣, 戴塔根. 浅论油气藏的逸散史与油气化探异常模式[J].

- 地质与勘探,1999,35(6):71-73.
- CHEN Yuanrong, DAI Tegen. Geochemical anomaly patterns of oil-gas traps and oil-gas trap dispersion history [J]. *Geology and Prospecting*, 1999, 35(6):71-73.
- [14] 姚志刚,高璞.油气化探异常模式[J].物探与化探,2008,32(6):604-609.
- YAO Zhigang, GAO Pu. Anomaly model for oil and gas geochemical exploration [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2008, 32(6):604-609.
- [15] 鱼鹏亮,刘建利,屈挺,等.呼仁布其凹陷土壤油气化探异常成因类型及异常模式[J].物探与化探,2016,40(5):880-884.
- YU Pengliang, LIU Jianli, QU Ting, et al. Anomaly model and pattern study of soil hydrocarbon geochemical exploration in Hurenbuqi Sag [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2016, 40(5):880-884.
- [16] 蒋涛,陈浙春.烃类垂向微渗漏及其地表异常显示[J].物探与化探,2003,27(2):92-96.
- JIANG Tao, CHEN Zhechun. Vertical micropercolation of hydrocarbon and its surface anomaly [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2003, 27(2):92-96.
- [17] 汤玉平,魏巍,李尚刚,等.油气化探异常评价的研究[J].物探与化探,2002,26(2):131-134.
- TANG Yuping, WEI Wei, LI Shanggang, et al. A study of the appraisal of oil and gas geochemical anomalies [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2002, 26(2):131-134.
- [18] 杨俊,沈忠民,王国建,等.济阳坳陷临南—钱官屯地区烃类微渗漏特征及异常成因[J].成都理工大学学报(自然科学版),2015,42(6):709-718.
- YANG Jun, SHEN Zhongmin, WANG Guojian, et al. Characteristics of hydrocarbon micro-leakage and its abnormal genesis in Linnan-Qianguantun area, Jiyang Depression, Shandong, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2015, 42(6):709-718.
- [19] 刘中云,唐洪三,林玉祥.渤海湾盆地临南地区有效油气运聚系统分析[J].高校地质学报,2000,6(3):447-455.
- LIU Zhongyun, TANG Hongsan, LIN Yuxiang. Study of effective migration and accumulation system of oil in Linnan area, Bohai Gulf Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2000, 6(3):447-455.
- [20] 曾庆辉,卓勤功.济阳坳陷临南地区沙四段油源对比及石油地质意义[J].山东科技大学学报(自然科学版),2006,25(2):10-12.
- ZENG Qinghui, ZHUO Qingong. Correlation of oils and source rocks of Es₄ and its petroleum geology implication in Linnan area, Jiyang Basin [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2006, 25(2):10-12.
- [21] 刘建国.惠民凹陷临南斜坡带成藏条件分析[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2009,31(4):19-23.
- LIU Jianguo. Hydrocarbon accumulation conditions in Linnan slope belt of Huimin Depression [J]. *Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute)*, 2009, 31(4):19-23.
- [22] 刘惠民.济阳坳陷临南洼陷油气运聚方向与分布规律[J].现代地质,2009,23(5):894-901.
- LIU Huimin. Hydrocarbon migration and accumulation direction and distribution of Linnan Sag in Jiyang Depression [J]. *Geoscience*, 2009, 23(5):894-901.
- [23] 张勇,赵密福,宋维琪.惠民凹陷临南斜坡带油气纵向运移及其控制因素[J].石油勘探与开发,2000,27(6):21-22.
- ZHANG Yong, ZHAO Mifu, SONG Weiqi. Hydrocarbon vertical migration and its controlling factors of Linnan slope belt in Huimin Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(6):21-22.
- [24] 赵阳,刘震,戴立昌.惠民凹陷临南地区油气输导系统及油气运移特征[J].西安石油学院学报(自然科学版),2003,18(3):1-3.
- ZHAO Yang, LIU Zhen, DAI Lichang. Characteristics of carrying bed system and hydrocarbon migration in Linnan district, Huimin Sag [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 2003, 18(3):1-3.
- [25] 赵密福,刘泽容,信荃麟,等.惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J].石油勘探与开发,2000,27(6):9-11.
- ZHAO Mifu, LIU Zerong, XIN Quanlin, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(6):9-11.
- [26] 韩天佑,郭正权,张才利.济阳坳陷临南地区新生界油气运聚模式研究[J].大庆石油地质与开发,2004,23(1):1-4.
- HAN Tianyou, GUO Zhengquan, ZHANG Caili. Models of Cenozoic hydrocarbon migration and accumulation in Linnan area of Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(1):1-4.
- [27] 朱志强,曾澍辉.临南洼陷流体包裹体特征与成藏时间研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(4):31-34.
- ZHU Zhiqiang, ZENG Jianhui. Feature of fluid inclusions and the period of petroleum accumulation in Linnan Sag [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2008, 30(4):31-34.
- [28] JONES III V T, MATTHEWS M D, RICHERS D M. Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting [M] // Hale M. Handbook of exploration geochemistry. 7th ed. Amsterdam, Holland: Elsevier Science Publishers, 2000:133-212.
- [29] SECHMAN H, IZYDOR G, GUZY P, et al. Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of the Lublin Trough (Eastern Poland) [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2015, 61:22-38.

(编辑 黄娟)