

文章编号: 1000-0550(2003)04-0707-06

东营凹陷北部原油有机地化特征与成因类型^①

鹿洪友 肖贤明 刘中云 高喜龙 郭汝泰 王建宝

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室 广州 510640)

摘要 东营凹陷北部油气藏分布范围广, 储集层位多。应用有机地球化学方法, 通过对典型原油样品有机地球化学特征及原油饱和烃单体烃碳同位素特征的研究。结果表明, 该区原油可大致划分为三种类型。类型I: Pr/Ph 介于 1.0~1.3; Pr/nC₁₇ 介于 0.40~0.80; Pr/nC₁₈ 介于 0.40~0.60 伽玛蜡烷指标 < 0.10; T_s/T_m 介于 0.80~1.30 单体化合物碳同位素较重; 类型III: Pr/Ph 介于 0.80~0.30; Pr/nC₁₇ 介于 1.0~0.60; Pr/nC₁₈ 介于 2.0~1.0; 伽玛蜡烷指标 > 0.40; T_s/T_m 介于 0.40~0.70; 单体化合物碳同位素分布较轻。类型II 原油上述指标介于类型I 与类型III 之间。这三类原油的地质分布也具有一定特点。第III类原油分布最广, 在利津-民丰生油洼陷周围均有分布, 类型II 与类型I 原油主要分布在民丰洼陷周围。成果为该区油气藏成因与含油气系统的研究提供了依据。

关键词 东营凹陷北部 原油成因类型 生物标志物 单体烃碳同位素

第一作者简介 鹿洪友 男 1965 年出生 高级工程师 博士研究生 油气地质

中图分类号 P593 文献标识码 A

1 前言

东营凹陷北部地区主要包括利津与民丰两个洼陷, 及其以北的斜坡部位, 它是东营凹陷的主体及主要油气聚集区^[1]。该区原油分布很具特色, 这些油气藏围绕洼陷中心呈环状分布, 储层主要包括奥陶系碳酸岩, 沙河街组砂岩。东营凹陷北部原油物性有较大变化, 原油相对密度变化范围 0.841~0.995。有些地区, 如林樊家原油相对密度大于 1.0, 这类原油一般与次生变化有关。该地区原油主要是重质油(表 1)。本研究应用有机地球化学方法通过对该区典型原油样品地化特征的研究, 探讨其成因类型, 旨在对该地区油气藏成因研究提供科学依据。

2 研究样品与实验方法

原油样品取自东营凹陷北部油气藏, 样品在储层时代与分布区域上均具有较好代表性。样品地质特征与分布见表 1 及图 1。另外, 还采集了东营凹陷牛庄洼陷及其南斜坡几个原油样进行对比研究。

2.1 原油族组成特征

表 1 列出了研究原油样品族组成特征, 如下规律是明显的:

(1) 生物降解作用对原油族组成有较大影响。埋深不到 2 000 m 的原油样品受到明显降解作用, 饱和烃含量明显降低, 芳烃及非烃含量相应增加;

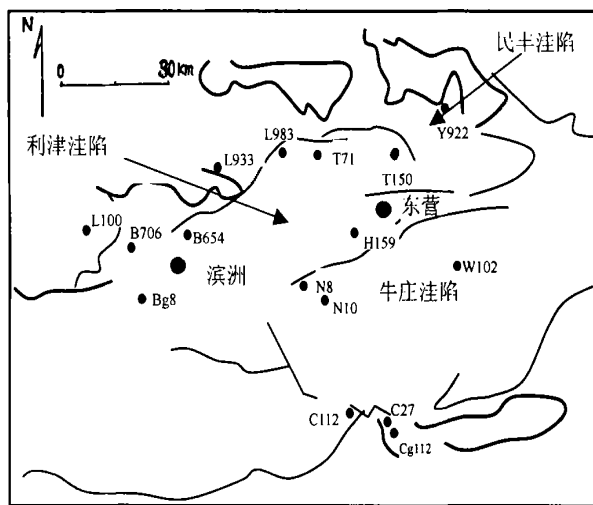


图 1 东营凹陷北部研究原油样品分布略图
Fig. 1 A sketch map showing distribution of crude oil samples from the Dongying Depression

(2) 埋深对原油族组成也有一定影响。这种规律在地质条件下表现为饱和烃含量有随埋深增加而增大的规律。

2.2 原油生标特征

原油饱和烃成熟度指标

原油饱和烃气相色谱分析结果表明, 本区在埋深不到 2 000 m 的油气藏均受到明显生物降解作用的影响, 且降解程度随埋深变浅而加强。为排除生物降解

① 国家自然科学基金项目(批准号: 40072043)资助。

表1 原油样品地质背景与原油族组成特征

Table 1 Geological background and group compositions of the crude oil samples

油田	样号	井号	孔深 /m	时代	物性	饱和烃 /%	芳烃 /%	非烃 /%	饱 /芳比
王家岗	W90	王 90	1154.1~1163	E _{s3}	黑色稠油	40.6	23.7	23.4	12.8
王家岗	W126	王 126	2997.3~2984	E _{s3}	黑色稠油	65.4	16.4	13.2	4.9
王家岗	W102	王 102	2903.4~2966	E _{s4}	黑油,较稠	65.5	17.7	10.4	6.3
牛店	N10	牛 10	2729.0~2743.6	E _{s4}	黑色稠油	66.1	14.8	13.3	5.7
滨南	B654	滨 654	2239.8~2244.6	E _{s2}	黑色稠油	64.4	18.7	11.6	5.5
滨南	B423	滨 423	2951~2955	E _{s4}	黑油	69.0	16.3	8.0	6.6
滨南	B706	滨 706	1470.8~1478.5	E _{s4}	黑色稠油	61.0	19.2	11.9	7.9
滨南	BG8	滨古 8	1958.1~1969.6	O	黑色稠油	41.3	22.7	16.7	19.2
利津	L983	利 983	3195.9~3202.8	E _{s3}	黑色稠油	80.0	10.91	7.4	1.5
利津	L933	利 933	2908~2937.9	E _{s4}	黑色稠油	59.8	16.0	14.1	10.1
现河	H159	河 159	2946.4~2966.2	E _{s3}	黑色稠油	57.4	16.7	12.4	13.4
胜坨	T71	坨 71	3577.9~3618.2	E _{s4}	黑色稠油	83.1	9.3	5.7	1.9
胜坨	T150	坨 150	3312.5~3339.6	E _{s3}	黑油	72.9	14.3	9.0	3.7
盐水	S100	盐 100	1664.7~1667	E _{s3}	黑油	39.2	25.2	20.1	15.3
永安镇	Y922	永 922	2764.7~2782.5	E _{s4}	黑色稠油	71.5	13.5	9.0	6.0
草桥	C112	草 112	1040.3~1047.1	N _g	黑色稠油	36.4	20.9	33.3	9.3
草桥	C124	草 124	1222.3	E _{s3}	稠油	27.0	24.3	37.8	10.8
草桥	C27-1	草 27-1	963.6	E _{s3}	黑色稠油	30.7	24.4	25.6	19.3
史南	C123	史 131	3089.6~3099.9	E _{s3}	黑色稠油	59.0	18.8	12.5	9.6
林樊家	L100	林 100	1028.6~1035	N _g	黑油	44.2	26.4	18.5	10.9

表2 原油样品生标特征

Table 2 Biomarker parameters of saturated hydrocarbon of the crude oil samples

油田	编号	井号	孔深 /m	CPI	OEP	Pr/Ph	Ph/ n C ₁₈	Pr/ n C ₁₇	T _s /T _m	Hop. C ₃₅ /C ₃₄ (αβ)	C ₂₉ 20S /20(S+R)	Γamm acerane /C ₃₀ β ²
王家岗	W90	王 90	1154.1~1163			0.62	1.63	0.89				
王家岗	W126	王 126	2997.3~2984	1.03	1.01	0.43	2.03	0.87	0.64	0.55	0.42	0.46
王家岗	W102	王 102	2903.4~2966	0.91	0.90	0.42	2.40	1.06	0.45	0.82	0.42	0.55
牛店	N10	牛 10	2729.0~2743	1.0	1.04	0.38	2.58	1.09				
滨南	B654	滨 654	2239.8~2244	1.19	1.16	1.39	0.40	0.51	1.15	0.27	0.47	0.01
滨南	B423	滨 423	2951~2955	1.05	1.08	0.66	1.35	0.74				
滨南	BG8	滨古 8	1958.1~1969	1.02	1.05	0.65	0.40	0.33	0.65	0.37	0.52	0.50
利津	L983	利 983	3195.9~3202	1.12	1.12	1.11	0.52	0.49	0.83	0.24	0.42	0.03
利津	L933	利 933	2908~2937.9	1.18	1.11	0.43	2.04	0.80				
现河	H159	河 159	2946.4~2966	1.081	1.09	0.35	2.8	1.04	0.39	0.57	0.46	0.32
胜坨	T71	坨 71	3577.9~3618	1.11	1.12	1.32	0.39	0.44	0.91	0.31	0.55	0.05
胜坨	T150	坨 150	3312.5~3339	1.12	1.09	0.48	1.85	0.80	0.79	0.36	0.50	0.10
盐水	Y100	盐 100	1664.7~1667			0.62	12.7	7.8				
永安镇	Y922	永 922	2764.7~2782	1.11	1.05	0.62	1.41	0.75	0.53	0.34	0.45	0.17
草桥	C112	草 112	1040.3~1047			0.6	0.82	0.52				
草桥	C124	草 124	1222.3			0.35	17.29	5.79				
草桥	C27-1	草 27-1	963.6									
史南	S131	史 131	3089.6~3099	1.11	1.15	0.48	2.52	1.12				

作用对原油成因的影响,如下讨论的样品均未受生物降解作用的影响。

从表2碳优指数CPI与碳奇偶优势指数OEP看,东营北部原油属成熟原油,而牛庄洼陷原油样品OEP与CPI值均较低,结合生标结果,可能与成熟度较低

有关。

典型样品生标研究结果表明,东营北部原油甾烷C₂₉20S/20(S+R)指标介于0.42~0.55,属于成熟原油,仅有T71井ES₄原油样品构型转化达到平衡,该值为0.55。相比之下,牛庄洼陷两个原油样品成熟度

较低,但 $C_{29}20S/20(S+R)$ 均大于 0.35, 也属成熟油的范畴(表 2)。

由此可见, 东营北部原油属成熟原油, 并且具有随埋深增大成熟度增加的趋势。

2.3 原油母源特征

原油的许多生物标志物指标均受其母源沉积环境及生烃母质所影响, 而且这种关系是复杂的, 具有一定多样性, 本研究仅讨论一些最主要指标。

(1) 异戊二烯烃指标

姥鲛烷/植烷 (Pr/Ph) 比值是源岩沉积环境与母质良好的指标。经典的观点认为, 姥鲛烷形成于较氧化环境, 植烷形成于较还原环境, $Pr/Ph > 1$ 属于较氧化环境, $Pr/Ph < 1$ 则属于较还原环境^[4-5]。大量研究结果表明, 这一认识也比较适应中国陆相原油的地质地球化学特征^[6-7]。从图 2 中可见, 东营北部原油可大致划分成二类: 一类具有较高的 Pr/Ph 值, 较低的 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} , $Pr/Ph > 1.0$, Pr/nC_{17} 介于 0.40~0.60 之间, Ph/nC_{18} 介于 0.30~0.60 之间; 另一类原油则相反, 具有较低的 Pr/Ph 值, 较高的 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} , Pr/Ph 比值介于 0.3~0.8 之间, Pr/nC_{17} 介于 0.70~1.1, Ph/nC_{18} 介于 1.30~3.0 之间。后一类原油与牛庄洼陷几个样品原油样品非常类似。

从这两类原油地质分布看, 也呈现一定规律。后一种原油分布范围广, 在利津洼陷、民丰洼陷周围均有分布, 而第一类原油就所研究样品看, 仅分布在利津洼陷的周围。上述特点说明, 第一类原油生烃母岩形成于较氧化环境, 母质类型较差; 第二类原油生烃母质形成于较还原环境, 母质类型较好。BG8 奥陶系原油也属于第二类原油, 其 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 比值较低是

受到轻微生物降解作用所致。

(2) 甾、萜烷指标

根据以往对东营凹陷及我国渤海湾盆地其它凹陷第三纪原油及生油岩生标研究, 反映母源较好的生标参数主要有: 伽玛蜡烷指标(伽玛蜡烷/ $C_{30}\alpha\beta$ 藿烷)以及 Ts/Tm 参数^[6-8]。本研究将应用上述指标, 进一步对东营凹陷北部原油特征作进一步探讨。

结果见图 3。从中可见, 东营凹陷北部原油在上述原油分类的基础上, 第二类原油可进一步细分为二类。因此, 本区原油可划分成三类。这三类原油甾萜烷参数特征为。

类型 I: BG8 与 H159 原油属此类, 其特征是较高含量的伽玛蜡烷指数, 较高比例的 C_{29} 甾烷。 Ts/Tm 较低。这类原油与牛庄洼陷原油样品类似;

类型 III: L983, B654, 及 T71 原油样品属此类, 其特征是伽玛蜡烷指数很低, 一般不到 0.1, Ts/Tm 值较高, 介于 0.80~1.30, C_{29} 甾烷比例较低;

类型 II: Y922, T150 原油样品归属此类。其特征介于 I 类原油与 III 类原油之间。

(3) 原油综合参数分类

在上述原油类型研究的基础上, 进一步采用 Pr/Ph , Ts/Tm , 伽玛蜡烷指标及 $C_{29}20S/20(S+R)$ 指标作图, 可进一步看出上述三类原油的区别(图 4)。尤其是在 Pr/Ph 与伽玛蜡烷指数相关图中, 这三类原油差别更加明显。

(4) 原油单体烃化合物碳同位素特征

原油单体烃化合物碳同位素特征在一定程度上也可反映其母源特征^[9-11]。表 3 为本研究原油样品单体烃化合物碳同位素分析结果。可见这三类原油单体

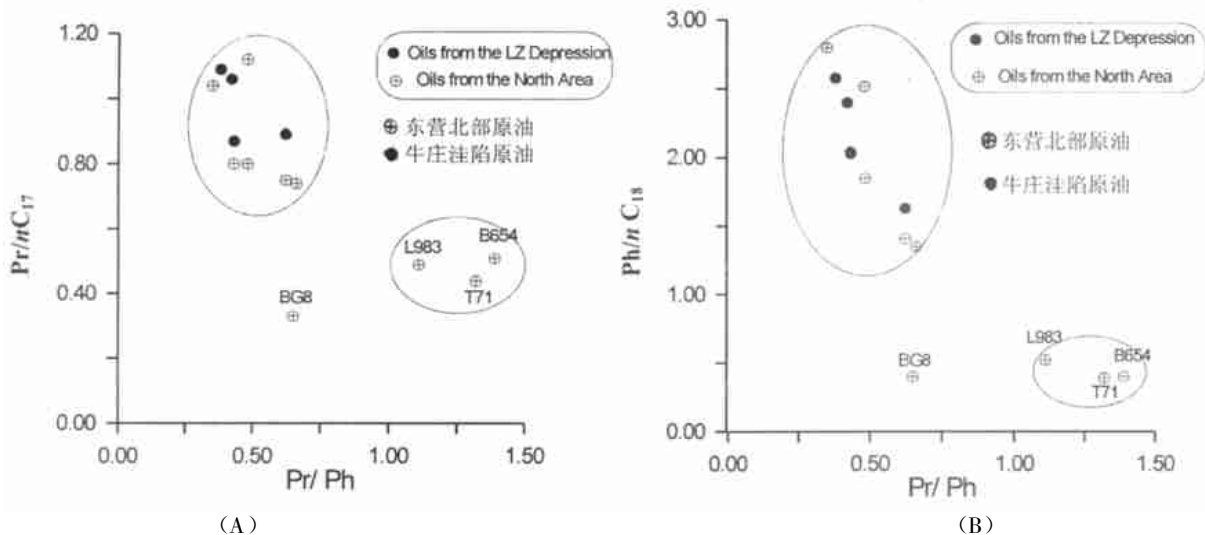


图 2 东营凹陷原油 $Pr/Ph-Pr/nC_{17}$ (A)、 $Pr/Ph-Ph/nC_{18}$ (B) 的关系, 未含降解原油

Fig. 2 The relationships of $Pr/Ph-Pr/nC_{17}$ (A) and $Pr/Ph-Ph/nC_{18}$ (B) from the crude oil samples

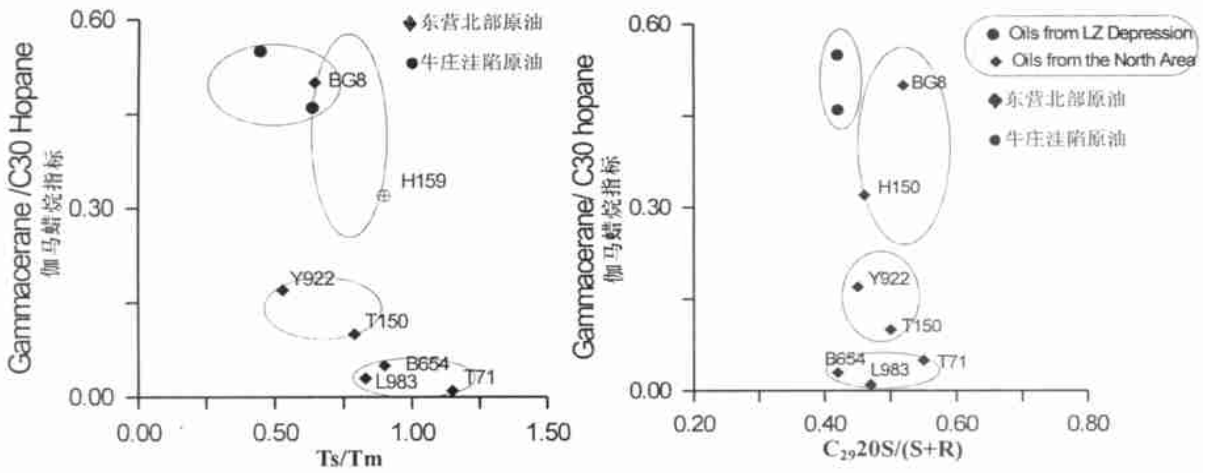


图 3 东营凹陷北部某些原油样品伽玛蜡烷指标与 Ts/Tm 及 $C_{29}20S/(S+R)$ 的关系
 Fig. 3 The relationships between Gammacerane/ C_{30} hopane- Ts/Tm and Gammacerane/ C_{30} hopane- $C_{29}20S/(S+R)$ from the crude oil samples

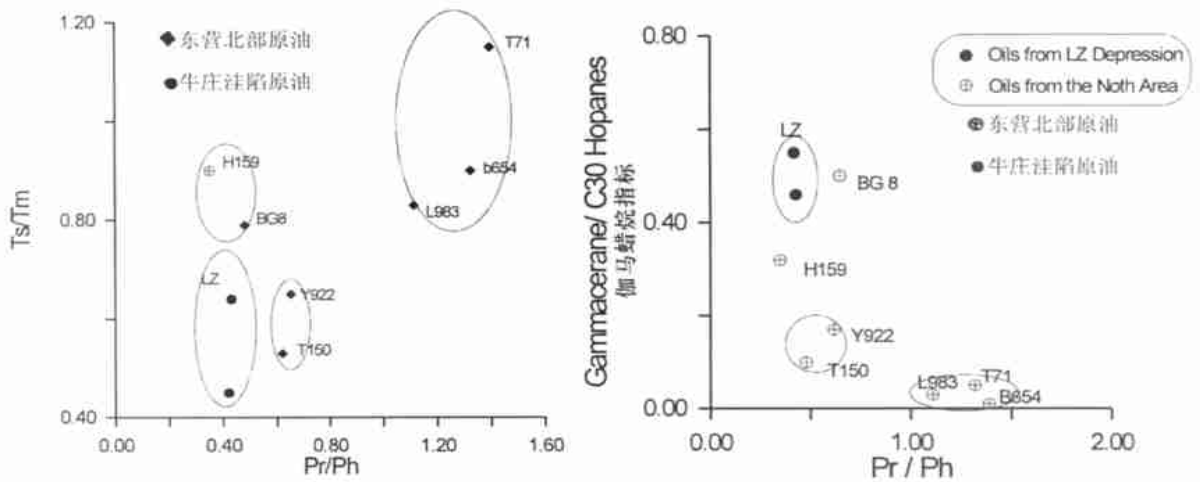


图 4 东营凹陷北部原油 Pr/Ph 与 Ts/Tm (A) 及 Pr/Ph 与伽玛蜡烷指标 (B) 的关系

Fig. 4 The relationships between Pr/Ph -Gammacerane/ C_{30} hopane and Pr/Ph - Ts/Tm from the crude oil samples

烃碳同位素分布特征的差别是明显的(图 5)。类型 I 原油(T71, B654 及 L983)具有较重的碳同位素值, 其共同特点是在 C_{28} 都有一个低值。类型 II 原油以 H159 原油样为代表, 相比之下其碳同位素值最轻, 其分布形式也较简单。

类型 II 原油单体烃化合物碳同位素特征有其特殊性, 其碳同位素值范围介于第一类与第三类原油之间, 但其分布特征不尽相同, 如 Y922 原油样碳同位素分布与类型 III 原油类似, T150 原油样品则与类型 I 原油类似, 显示出混源的特点。

2.4 原油成因类型

综合上述各项地球化学参数, 本研究大致将东营北部原油分成三类, 这三类原油的主要特征见表 4。

应当指出的是因本研究样品有限, 上述认识是否全面、正确, 有待更多的工作证实。但是, 本研究成果提供的一条重要认识是东营凹陷北部由于存在多套不同性质烃源岩, 且存在较强的区域分异性, 所形成的原

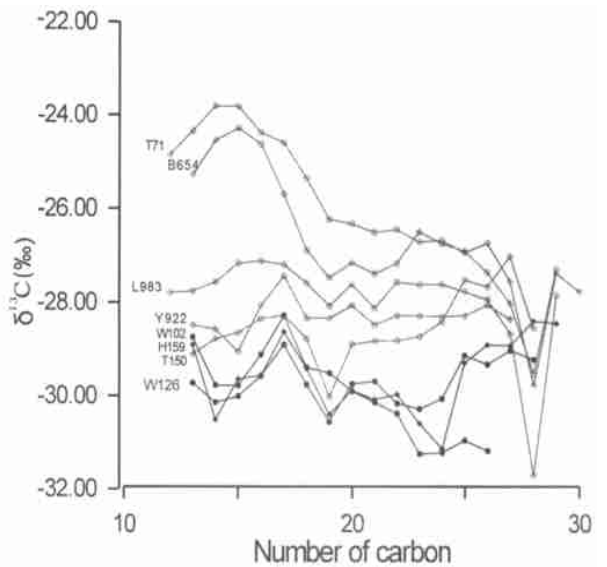


图 5 东营凹陷北部某些原油样品单体烃化合物碳同位素分布特征
 Fig. 5 Carbon isotopic distribution of single compounds from the studied crude oil samples

表3 东营凹陷北部原油单体烃化合物碳同位素特征(‰)

Table 3 Carbon isotopic distribution of single compounds from the studied crude oil samples(‰)

碳数	原油样品								
	W102	W126	H159	Bg8	B654	L983	T150	Y922	T71
12						27.78			-24.84
13	-28.74	-29.72	-28.9		-25.27	-27.75	-29.1	-28.48	-24.34
14	-29.77	-30.14	-30.51		-24.54	-27.56	-28.78	-28.57	-23.8
15	-29.78	-30.01	-29.64		-24.28	-27.16	-28.64	-29.04	-23.81
16	-29.11	-29.57	-29.56		-24.62	-27.11	-28.34	-28.06	-24.37
17	-28.28	-28.9	-28.62		-25.69	-27.19	-28.27	-27.43	-24.59
18	-29.39	-29.76	-29.41		-26.88	-27.58	-28.77	-28.33	-25.35
19	-29.51	-30.56	-30.40	-27.24	-27.46	-28.07	-30.02	-28.33	-26.22
20	-29.9	-29.74	-29.88	-27.24	-27.15	-27.61	-28.89	-28.06	-26.32
21	-30.14	-29.69	-30.08	-27.77	-27.38	-28.11	-28.82	-28.47	-26.50
22	-30.38	-30.16	-29.97	-28.07	-27.16	-27.56	-28.81	-28.27	-26.44
23	-31.25	-30.28	-30.59	-28.73	-26.49	-27.61	-28.72	-28.28	-26.70
24	-31.22	-30.06	-31.14	-28.96	-26.74	-27.61	-28.40	-28.29	-26.67
25	-30.96	-29.13	-29.29	-30.20	-26.89	-27.76	-27.51	-28.27	-26.93
26	-31.18	-29.32	-28.9	-31.85	-27.35	-29.93	-27.65	-28.05	-26.73
27		-29.02	-28.92	-32.86	-28.01	-28.66	-27.01	-28.35	-27.54
28		-29.22	-28.39	-36.05	-29.52	-31.72	-28.54		-29.78
29		-28.44	-32.99	-27.28	-27.83				-27.37
30			-34.51						-27.76

表4 东营凹陷北部原油类型及特征

Table 4 Types and characteristics of crude oils from the Dongyun Depression

原油类型	类型I	类型II	类型III
Pr/Ph	1.30~1.0	0.80~0.30	0.80~0.30
Pr/nC ₁₇	0.40~0.60	>1.0	1.0~0.60
Pr/nC ₁₈	0.40~0.60	2.0~3.0	2.0~1.0
伽玛蜡烷指标	<0.10	0.40~0.10	>0.40
Ts/Tm	0.80~1.30	0.50~0.70	0.40~0.70
单体烃化合物碳同位素分布值	重	介于二者之间	轻
代表原油样品	T71, B654, L983	Y922, T150	H159, BG8

油具有不同特征,油气藏内原油并非单一的来源,在某些构造部位具有混源的特点。

3 结论

本研究获得如下几点认识与结论:(1)东营凹陷北部原油物性存在较大差别,主要属重质油范畴,在2000 m以浅的重质油主要与生物降解作用有关;

(2)东营凹陷北部原油饱和烃CPI与OEP值均在1.0以上,甾烷C₂₉20S/(S+R)指标介于0.42~0.55之间,属成熟原油的范畴,而且原油成熟度指标有随埋深而增大的趋势;

(3)东营凹陷北部原油按其地化指标可划分为三类,主要特征如下:类型I原油Pr/Ph介于1.30~1.0,伽玛蜡烷指数<0.10, Ts/Tm在0.80~1.30之

间;类型III原油Pr/Ph介于0.80~0.30,伽玛蜡烷指数>0.40, Ts/Tm在0.40~0.70之间;类型II原油介于两者之间;

(4)饱和烃单体烃碳同位素分析结果更进一步证实了上述三类原油的差别,总的分布特征是,类型I较重,类型II较轻,类型II介于两者之间。

参考文献(References)

- 1 张林晔,张春荣.低熟油生成机理及成油体系[M].北京:地质出版社,1999.1~130[Zhang Lingye, Zhang Chunrong. Formation mechanism and petroleum system of low mature Oil[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1~130]
- 2 中国石油地质志编委会.中国石油地质志(卷2)——胜利油田[M].北京:石油工业出版社,1987.67~120[Chinese Petroleum Geology Editorial Committee (CPGEC). Petroleum Geology of China (Volume 2)—— Shengli Oilfield[M]. Beijing: Chinese Petroleum Industry Press, 1987. 67~120]
- 3 Mackenzie A S, Li R W, Maxwell J R, *et al.* Molecular measurement of thermal maturation of Cretaceous shales from the Overthrust Belt, Wyoming USA[A]. In: Bjoroy M, *et al.* eds. Advances in Organic Geochemistry[C]. Wiley, Chichester, 1981.496~503
- 4 Powell T, Mckirdy D M. Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environments in Australia[J]. Nature, 1973, 243: 37~39
- 5 Seifert W K, Moldovan J M. Paleoreconstruction by biological markers[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 783~794
- 6 Fu J M, Sheng G Y, Xu J Y, *et al.* Application of biological markers in the assessment of paleoenvironment of Chinese non-marine sediments[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16: 769~779

- 7 Huang D F, Li J C, Zhang D J. Maturation sequence of continental crude oils in hydrocarbon basins in China and its significance[J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16: 521 ~ 529
- 8 王锐良, 尚慧云, 傅家谟等. 不同沉积环境中 γ -蜡烷的分布特征及其成因探讨[A]. 中国科学院地球化学研究所研究年报(1987)[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 12 ~ 16 [Wang Ruiliang, Shang Huiyun, Fu Jiamo, Sheng Guoying. Distribution of Gammacerane and origin discussion from different depositional environments[A]. Annual Report of Geochemical Institute of Guangzhou Institute, Chinese Academy of Sciences(1987)[C]. Beijing: Science Press, 1988. 12 ~ 16]
- 9 张文正. 中国几个盆地原油轻烃单体和正构烷烃系列分子碳同位素研究[J]. 地质论评, 1993, 39(1): 79 ~ 85 [Zhang Wenzheng. Single compound isotopic characteristics of light hydrocarbon and saturated hydrocarbon of crude oils from some petroleum basins of China[J]. *Geological Review*, 1993, 39(1): 79 ~ 85]
- 10 赵孟军, 黄第藩. 不同沉积环境生成的原油单体烃碳同位素分布特征[J]. 石油实验地质, 1995, 17(2): 171 ~ 179 [Zhao Mengjun, Huang Difan. Single compound isotopic characteristics of crude oils from different depositional environments[J]. *Petroleum Experimental Geology*, 1995, 17(2): 171 ~ 179]
- 11 张林晔, 王铁冠, 黄第藩等. 八面河低成熟油生物标志化合物碳同位素分析和研究[J]. 地质地球化学, 1996, (6): 73 ~ 76 [Zhang Lingye, Wang Tiegua, Huang Difan, *et al.* Carbon isotopic analysis and investigation of biomarkers of low mature oils from Bamianhe Oil-field[J]. *Geological Geochemistry*, 1996, (6): 73 ~ 76]

Organic Geochemistry and Origin Types of Crude Oils from the Northern Area of the Dongyin Depression

LU Hong-you XIAO Xian-ming LIU Zhong-yun GAO Xi-long GUO Ru-tai WANG Jian-bao

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract Petroleum pools occur widely with a few sets of reservoirs in the Northern Area of Dongyin Depression. Organic geochemical methods and carbon isotopic analysis of single compounds have been applied to investigate the typical crude oils from this area. The results show that there are three origin types of crude oils which can be identified mainly by the five geochemical parameters: Pr/Ph, Pr/ n C₁₇, Ph/ n C₁₈, Gammacerane/ C_{30} hopane, Ts/Tm and carbon isotopic value of single compounds. The five parameters for Type I are 1.0 ~ 1.3, 0.40 ~ 0.80, < 0.10 and 0.80 ~ 1.30, respectively, with a heavier carbon isotopic value of single compounds. The five parameters for Type III are 0.8 ~ 0.3, 1.0 ~ 0.6, 2.0 ~ 1.0, > 0.40, 0.4 ~ 0.70, respectively, with a lighter carbon isotopic value of single compounds. The above geochemical parameters of Type II crude oils are between type I and Type III. The geological distribution of the three types of crude oils areas as follows: Type III occurs widely, around the Lijing Depression and the Minfeng Depression, but types I and II occur locally, mainly around the Lijing Depression. The results are greatly significant to understand the origin of petroleum pools and the definition of petroleum system for this area.

Key words Northern area of Dongyin Depression, origin type of crude oil, biomarker, carbon isotope of single compound