

文章编号: 0253-9985(2004)06-0666-05

尕斯库勒渐新统下部油藏原油成因地球化学

李素梅^{1,2}, 刘洛夫^{1,2}, 王铁冠²

(1. 石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

2. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249)

摘要: 有机地球化学分析表明, 尕斯库勒渐新统下部油藏原油为典型的盐湖相油, 既有低熟油特征也有成熟油特征。油源对比表明, 尕斯库勒渐新统下部油藏原油主要来自邻区埋深大于3 500 m的下第三系接近成熟或成熟的烃源岩。下第三系烃源岩形成于高钙多盐、强还原条件下的盐湖环境。烃源岩中盐和高含量的碳酸盐对甾、萜类化合物异构化有明显的抑制作用, 导致下第三系烃源岩成熟滞后。尕斯库勒渐新统下部油藏中, 目前找到的原油主要为低熟油, 未熟油与成熟油发现不多。经分析, 成熟的烃源岩分布在埋深大于4 000 m的深层, 因此, 深层具有寻找成熟油的潜力。

关键词: 盐湖相; 低熟油; 油气成因; 生物标志物; 地球化学; 尕斯库勒

中图分类号: TE112.111

文献标识码: A

Geochemical origin of oil in Lower Oligocene reservoirs in Gas Hure, western Qaidam basin

Li Sumei^{1,2}, Liu Luofu^{1,2}, Wang Tieguan²

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing; 2. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing)

Abstract: Organic geochemical analysis shows that oils in the lower Oligocene reservoirs in Gas Hure, western Qaidam basin, are of typical salt-lake origin and have the characteristics of both low mature oil and mature oil. Source correlation shows that oils in the lower Oligocene reservoirs in Gas Hure were mainly sourced from the lower Tertiary near-mature or mature source rocks buried over 3500m in the adjacent area, which were deposited in salt lakes with high concentration of calcium and salt in strong reducing environment. Salt and high carbonate content in the source rocks significantly inhibited isomerization of steroid and terpenoid, which would delay the maturation of lower Tertiary source rocks. Oils currently discovered in the lower Oligocene reservoirs in Gas Hure are mainly low mature oil, with rare immature and mature oils. Analysis shows that mature source rocks are mainly distributed in deep layers with a burial depth of over 4000m, thus deep layers would be the potential targets for discovering mature oils.

Key words: salt lake facies; low mature oil; hydrocarbon origin; biomarker; geochemistry, Gas Hure

1 石油地质特征

柴达木盆地为典型的第三纪内陆盐湖相沉积盆地, 面积 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。自始新世盆地西部成湖以来, 湖水渐趋咸化, 并形成两个咸化旋回。尕斯库勒油田位于柴达木盆地西部坳陷区尕斯断陷中(图1), 油田背斜(跃进一号构造)是一从基岩开始隆起

的古构造。油田东北的茫崖坳陷沉积厚约6 000~8 000 m的新、老第三系, 为柴达木盆地的主力油源层。该坳陷南区渐新统上中部一中新统为最佳生油层位。尕斯库勒油田包含深层和浅层两个含油层系^[1], 以深层渐新统下部(E_3^1)为主。 E_3^1 油藏圈闭是在花岗岩刚性基底断隆基础上长期发育的同生沉积构造, 主要发育时间是渐新世中期和中新世, 渐新世初期(E_3^1)具雏形, 中新世末期基本定型。

第一作者简介: 李素梅, 女, 36岁, 副教授, 有机地球化学

收稿日期: 2004-11-01

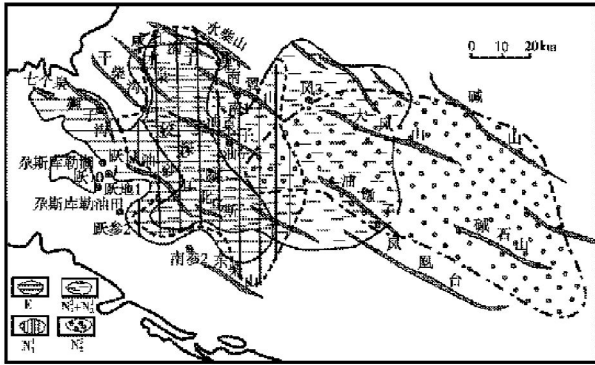


图1 尕斯库勒油田区域位置与构造单元

Fig. 1 Location of Gas Hure oilfield in regional tectonics

尕斯库勒油田自下而上共划分7套地层,即古始新统路乐河组、渐新统下干柴沟组、中新统上干柴沟组、下油砂山组、上油砂山组、第三系上新统狮子沟组、第四系全新统一更新统七个泉组。古始新统覆盖在花岗岩基岩之上。第三系平均有机质含量0.4%~0.6%。下第三系碳酸盐含量高达35%~45%,有别于典型的碎屑岩、碳酸盐岩地层。 E_3^1 油藏在纵向上集中分布于3200~3800 m,主要受构造因素控制,但仍有岩性因素的影响。

2 地球化学特征

2.1 原油

2.1.1 族组成

尕斯库勒 E_3^1 油藏原油属于低硫石蜡型,具有

密度低(0.839 g/cm^3)、粘度低($15.1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$)、含硫量低(0.19%)、凝固点高、含蜡量较高(25.3%)及含盐量高(641.8 mg/L)的特点。原油中饱和烃占65.48%~71.01%,芳烃含量为8.56%~13.10%,非烃和沥青质含量分别为12.50%~20.04%和3.81%~8.08%,具有高饱芳比(3.27~5.63)和高非沥比(1.06~3.50)的特点。

族组成是原油烃类组成和成因类型的宏观反映,饱和烃含量较低、“非烃+沥青质”相对较高是我国多数低熟油族组成的共性,也是低演化的重要标志^[2]。但尕斯库勒 E_3^1 油藏原油饱和烃含量高、“非烃+沥青质”含量低的特性与此并不吻合。

尕斯库勒 E_3^1 油藏原油饱和烃中正构烷烃呈双峰型,以前峰为主(图2),该特征表明原油具有两种主要类型的生物先质,以低等水生生物为主,陆源高等植物占次要地位,原始母质类型较好。正构烷烃显示一定偶碳数优势,碳优势指数(CPI)值大多数小于1(表1);原油具有植烷优势,姥/植(Pr/Ph)值为0.42~0.51,反映烃源岩形成时的高盐度强还原沉积环境;具有高Ph/ nC_{18} (1.02~1.52)值特征。原油中低碳数正构烷烃占绝对优势(图2), C_{21}/C_{22} 比值为1.34~2.30。据统计,80%以上的低熟油具有 C_{21}/C_{22} 小于1的特征^[2],尕斯库勒 E_3^1 油藏原油轻质馏分富集再次反映其有别于多数低熟油。

表1 尕斯库勒 E_3^1 油藏及其邻区部分原油烃类参数Table 1 Hydrocarbon parameters of oils in E_3^1 reservoir and the adjacent area in Gas Hure oilfield

构造单元	井号	层位	参 数											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尕斯库勒	10-4	E_3^1	1.06	0.42	1.08	0.45	0.98	0.028	0.32	0.29	0.21	0.58	0.83	1.73
	10-6	E_3^1	0.91	0.57	1.52	0.43	0.96	0.049	0.32	0.31	0.16	0.57	0.82	1.69
	15-6	E_3^1	1.08	0.42	1.02	0.51	0.93	0.000	0.30	0.28	0.06	0.56	0.90	1.67
	13-26	E_3^1	1.05	0.43	1.04	0.48	0.83	0.069	0.33	0.28	0.16	0.60	0.89	1.65
	18-9	E_3^1	0.98	0.46	1.12	0.46	0.95	0.078	0.35	0.30	0.19	0.61	0.75	1.17
	9-36	E_3^1	0.93	0.59	1.45	0.43	0.97	0.000	0.31	0.29	0.16	0.61	0.86	1.82
	试-3	E_3^1	0.88	0.55	1.44	0.46	0.93	0.041	0.31	0.30	0.18	0.60	0.89	1.69
	5-7	E_3^1	0.90	0.45	1.20	0.42	0.92	0.041	0.35	0.31	0.18	0.59	0.86	1.74
	跃深7	E_3^1	0.94	0.48	1.03	0.48	0.99	0.154	0.31	0.28	0.13	0.68	0.74	5.09
狮子沟	游中1	N_1	0.88	0.68	1.68	0.39	1.36	0.120	0.40	0.42	0.158	0.64	0.76	5.21
	狮中4	N_1	-	1.26	3.83	0.37	1.36	0.260	0.39	0.38	0.125	0.64	0.91	6.64
	狮深20	E_3^2	0.84	0.48	1.23	0.56	1.51	0.296	0.49	0.54	0.079	0.66	0.95	5.89
	花S1-10-1	N_2^1	0.85	0.66	1.71	0.38	1.31	0.196	0.34	0.37	0.126	0.62	0.88	5.78
油泉子*	花S1-9-3	N_1	0.87	0.67	1.69	0.39	1.33	0.177	0.36	0.42	0.098	0.64	0.90	4.72
	油浅152	N_2^2	0.93	0.61	1.1	0.56	1.44	0.186	0.36	0.44	0.126	0.63	0.51	4.01
南翼山	南2	E_3^2	-	-	-	-	1.09	0.228	0.65	0.54	0.022	0.83	0.47	0.79
	南心62	N_2^2	-	2.0	5.26	0.48	1.12	0.053	0.41	0.44	0.108	0.61	0.64	3.96

注: 1—CPI; 2—Pr/ nC_{17} ; 3—Ph/ nC_{18} ; 4—Pr/Ph; 5— C_{27}/C_{29} 甾烷; 6— C_{29} 重排/ C_{29} 甾烷; 7— C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/20S/(S+R)$; 8— C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$; 9—莫烷/藿烷; 10— C_{31} 藿烷 $22S/(S+R)$; 11—伽马蜡烷/ C_{30} (藿烷+莫烷); 12—规则甾烷/藿烷

* 黄第藩, 李晋超, 周翥虹, 等. 柴达木盆地西部第三系油源岩的地球化学和生油评价, 1987

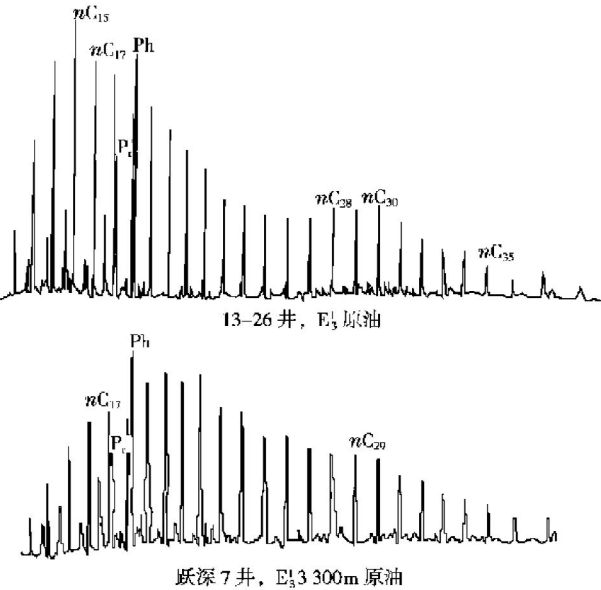


图 2 E₃ 油藏代表性原油饱和烃总离子流图

Fig. 2 TIC fingerprint of saturated hydrocarbons of typical oil from E₃ reservoir

2.1.2 生物标志物

尕斯库勒 E₃ 油藏原油中甾、萜类生物标志物分布非常相似, 指示相同的成因类型。甾类化合物包括孕甾烷、重排甾烷、C₂₇~ C₂₉ 规则甾烷及甲基甾烷系列, 以 C₂₇~ C₂₉αα20(R) “生物构型”甾烷占绝对优势(图 3), 显示出典型的低熟油特征。E₃

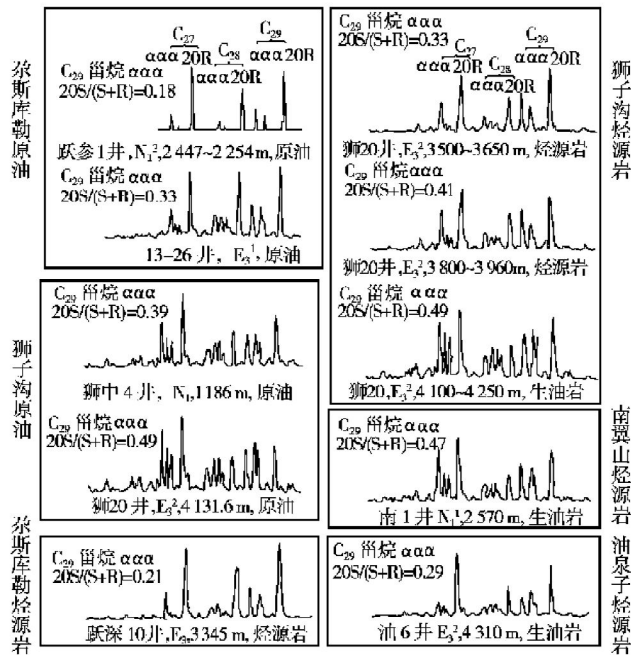


图 3 尕斯库勒及其邻区原油、烃源岩甾烷指纹对比

Fig. 3 Sterane fingerprint correlation of oils and source rocks in Gas Hure and its adjacent area

油藏原油 C₂₉甾烷 αββ/ (αββ+ ααα) 和 C₂₉甾烷 ααα20S/ (S+ R) 值分布范围为 0.28~ 0.31 和 0.30~ 0.35(表 1), 未达到异构化终点(0.67~ 0.71 和 0.52~ 0.55)。E₃油藏原油族组分、链烷烃分布显示正常油特征, 而甾烷异构化参数显示低熟油特征。这一矛盾反映, 研究区盐湖相环境、富含碳酸盐和膏盐的沉积物中缺少粘土矿物的催化作用, 导致甾烷演化速度迟缓。同时说明, 烃源岩形成时的咸化、碱性水体环境对烃源岩的成烃演化具有较强的控制作用。原油的另一重要特征是重排甾烷含量低, 重排甾烷/规则甾烷比值分布范围为 0~ 0.029。盐湖相沉积富碳酸盐、硫酸盐和氯化物, 这些矿物的催化性能最弱, 促使有机化合物发生重排和异构化的能力最低, 且碱性盐水环境也不利于甾类重排, 由此导致生成的原油具有较低含量的重排甾烷。

尕斯库勒 E₃油藏原油中二环倍半萜类含量相对较高、三环萜类相对较低, 三环萜与五环三萜比值分布范围为 0.17~ 0.22。藿烷系列分布具有如下特征: ①高含量的伽马蜡烷(图 4), 伽马蜡烷/ C₃₀(藿烷+ 莫烷) 值为 0.74~ 0.90(表 1); ②Ts/Tm 值低, 其分布范围为 0.29~ 0.81, 绝大多数小于 0.4。与重排甾烷形成一样, Tm 向 Ts 转化过程可能受到抑制。研究认为随着盐度的增加, Ts/Tm 值降低*。湖沼相和淡水-微咸水湖相 Tm 向 Ts 转化比较有利。Ts 和 Tm 还与原始生物先质有关, 煤系地层普遍有较高含量的 Tm^[3]。③原油具有升藿烷“翘尾”现象(图 4), C₃₅/ C₃₃ 藿烷比值为 0.96~ 2.45(均值 1.71)。

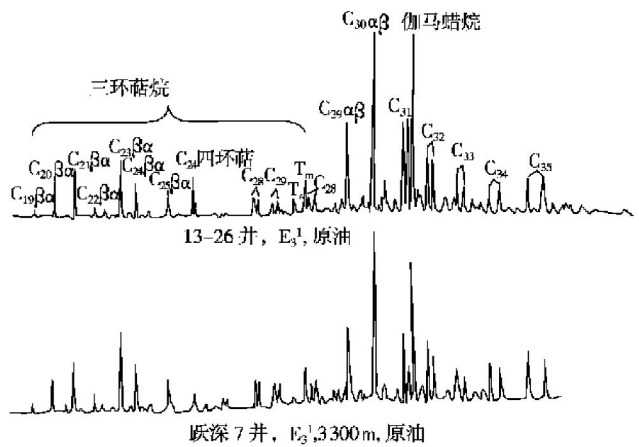


图 4 E₃ 油藏代表性原油 m/z191 质量色谱图

Fig. 4 The m/z191 mass chromatogram of typical oil from E₃ reservoir

* 黄第藩, 李晋超, 周翥虹, 等. 柴达木盆地西部第三系油源岩的地球化学和生油评价, 1987

以上分析表明, 尕斯库勒 E_3^1 油藏原油为典型盐湖相成因原油, 指相标志包括低芳烃含量、低 Pr/Ph 、高 Ph/nC_{18} 值及偶碳数优势、低含量重排甾烷、高含量伽马蜡烷、低 Ts/Tm 值。原油形成于强还原咸水沉积环境, 具水生低等生物、陆源高等植物双重母源输入的特征。

2.2 烃源岩

柴达木盆地西部渐新统上段-中新统为最重要的生油层位^{*}。作为盐湖相成因烃源岩, 其地球化学特征有其特殊性。首先, 烃源岩具有低有机碳(TOC)、高含烃的特征。该特征既不同于泥质岩也有别于碳酸盐岩^{*}。其次, 烃源岩可溶物中部

分烃类化合物的热演化相对迟缓。观察表明, 尕斯库勒断陷及其邻近的狮子沟区带小于 4 500 m 的烃源岩, CPI 值都小于 1(0.68~ 0.84), 有偶数碳优势特征, 如狮深 20 井近 4 500 m 的烃源岩 CPI 值仅 0.8(表 2)。正构烷烃的偶数碳优势可能与特定的沉积环境及母源岩生源输入类型有关, 如咸化湖泊中的某种嗜盐细菌或其他微生物^[4], 与热成熟度关系不大。研究区烃源岩可溶物中甾、萜类异构化程度明显偏低, 反映了此类化合物在热演化过程中受到一定程度的抑制。尕斯库勒和狮子沟埋深近 3 650 m 的 E_3^2 烃源岩的 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/$ ($S+R$) 值仅为 0.33(表 2), 仍显示低熟特征。

表 2 柴达木盆地西部部分第三系烃源岩基本地球化学参数
Table 2 Basic geochemical parameters of some Tertiary source rocks in western Qaidam basin

井 号	层 位	井深/m	参 数											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
跃 41	N_1^1	2 318	0.68	0.85	4.72	0.27	1.15	0	0.14	0.10	0.15	0.42	0.18	6.64
跃 41	E_3^2	3 030	0.79	0.98	6.80	0.14	1.19	0	0.13	0.08	0.12	0.49	0.78	11.13
跃 24	E_3^2	3 303~ 3 438	0.81	0.88	5.61	0.25	1.19	0.076	0.21	0.19	0.17	0.50	0.81	3.48
跃深 10	E_3	3 341~ 3 350	0.82	0.83	5.40	0.29	0.08	0.038	0.21	0.21	0.19	0.51	0.39	1.59
跃 24	E_3^2	3 475~ 3 582	0.84	0.78	4.30	0.31	1.12	0.091	0.22	0.23	0.02	0.48	0.99	2.74
狮深 20	N_1	2 820~ 2 960	0.70	0.80	3.30	0.18	1.03	0.047	0.18	0.10	0.23	0.52	1.02	4.28
狮深 20	E_3^2	3 170~ 3 320	0.71	1.01	3.61	0.18	0.94	0.025	0.23	0.12	0.18	0.56	0.83	3.83
狮深 20	E_3^2	3 500~ 3 650	0.75	1.04	2.29	0.66	0.90	0.066	0.33	0.19	0.19	0.59	0.48	2.02
狮深 20	E_3^2	3 810~ 3 960	0.76	0.66	1.54	0.32	1.25	0.122	0.41	0.27	0.15	0.62	0.76	2.40
狮深 20	E_3^2	4 100~ 4 250	0.78	0.58	1.33	0.33	1.08	0.04	0.49	0.47	0.10	0.62	0.84	2.05
狮深 20	E_2	4 420~ 4 560	0.80	0.64	1.46	0.36	0.66	0.21	0.54	0.51	0.09	0.63	0.76	2.96

注: 1—CPI; 2— Pr/nC_{17} ; 3— Ph/nC_{18} ; 4— Pr/Ph ; 5— $C_{27}/C_{29}\alpha\alpha\alpha$ 甾烷; 6— C_{29} 重排/ C_{29} 甾烷; 7— C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/$ ($S+R$); 8— C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/$ ($\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta$); 9—莫烷/藿烷; 10— C_{31} 藿烷 22S/ ($S+R$); 11—伽马蜡烷/ C_{30} (藿烷+ 莫烷); 12—规则甾烷/藿烷

将狮子沟第三系烃源岩与东营凹陷牛庄洼陷第三系沙河街组四段烃源岩相比, 可发现前者甾类异构化明显地受到抑制。牛庄洼陷沙四段烃源岩同样形成于咸化-半咸化水体环境^[5~9], 但两区沉积环境仍有差异, 烃源岩矿物组成也不尽相同。在相同埋深条件下, 狮子沟第三系烃源岩镜质体反射率相对高于牛庄洼陷, 但 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/$ ($S+R$) 值却显示相反的特征(图 5)。沉积环境和(或) 岩性对甾、萜类化合物异构化速率的影响在柴西地区也有体现。

3 油气来源

长期以来, 对尕斯库勒 E_3^1 油藏的油源有多种

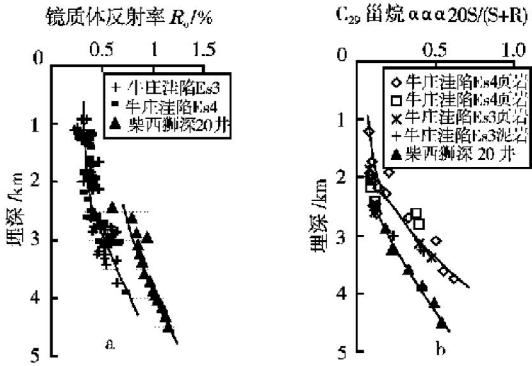


图 5 狮深 20 井上第三系一下第三系烃源岩甾烷异构化迟缓现象

Fig. 5 Delayed isomerization of steranes in Eocene-Neogene source rocks sampled from Shishen 20 well

* 黄第藩, 李晋超, 周翥虹, 等. 柴达木盆地西部第三系油源岩的地球化学和生油评价, 1987

认识,一种观点认为构造北部来自茫崖凹陷南缘的渐新统生油岩,构造南部来自尕斯断陷中渐新统生油岩;另一种观点认为尕斯断陷是低熟生油层,生成的油气有限,尕斯库勒原油来自北部的狮子沟-油砂山一带。分析表明,尕斯库勒 E_3^1 油藏原油成熟度低于北部狮子沟油田,油源岩性质也有细微的差异,故前者不太可能由狮子沟油藏向南部运移。

E_3^1 油藏原油 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 值分布范围分别为 0.30~0.35 和 0.28~0.31,狮子沟分别为 0.34~0.40 和 0.37~0.54(表 1,图 5), E_3^1 油藏原油 C_{31} 藿烷 $22S/(S+R)$ 值比狮子沟低(表 1),两区原油甾烷指纹分布差异明显(图 3)。尕斯库勒 E_3^1 油藏原油 Pr/Ph 值高于狮子沟, $C_{27}/C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S$ 值低于狮子沟(表 1),显示了源岩性质的差异。

尕斯库勒油田所在的跃进一号构造带埋深小于 3 500 m 的烃源岩甾萜类异构化参数显示成熟度不及同区原油,如跃 24 井 3 475~3 592 m 烃源岩

C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 值分别为 0.22 和 0.23(表 2,图 6a, b),同区 E_3^1 油藏原油为 0.30~0.35 和 0.28~0.31。由于尕斯断陷烃源岩成熟度较低,故认为自身提供的油气量较为有限。北区狮子沟地区具有深埋的第三系烃源岩,如狮深 20 井埋深大于 3 500 m 的烃源岩 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 值开始大于 0.30(表 2,图 5b),指示进入起始生油门限。从烃源岩热成熟度来看,尕斯库勒 E_3^1 油藏原油系源自邻区埋深大于 3 500 m 的接近成熟或成熟的下第三系烃源岩,茫崖坳陷南区是最可能的油源区。茫崖坳陷不同区域烃源岩性质有明显差异,南区的尕斯库勒及狮子沟地区烃源岩具有伽马蜡烷含量高 Pr/Ph 低的特征,而中区、北区油泉子(油 6 井)、南翼山(南 1 井)等烃源岩具有相反的特征(图 6c, e, 表 2)。尕斯库勒原油特征与茫崖坳陷南部烃源岩特征相似,后者应为前者的主力烃源岩。含氮化合物油气运移分馏效应揭示,茫崖凹陷是为尕斯库勒提供油气的主要“生油灶”^[10]。

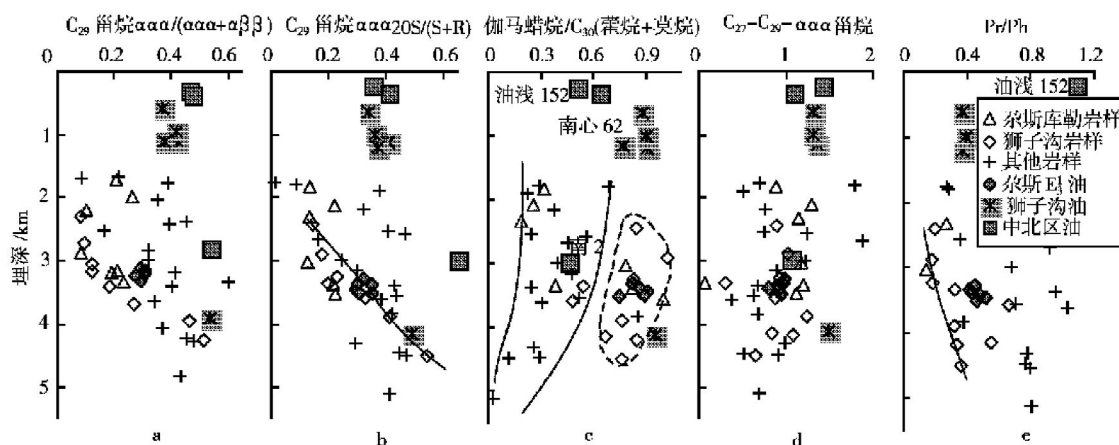


图 6 原油、烃源岩成熟度对比

Fig. 6 Correlation of crude oil and source rocks maturities

从深埋的狮深 20 井原油具有较高的甾烷异构化程度来看(表 2),尕斯库勒 E_3^1 油藏原油又不太可能完全来自埋深超过 4 000 m 的烃源岩,而是不同成熟度烃源岩所生烃的混合物。最新的研究结果显示,少量未熟、低熟油混入正常油可导致甾烷成熟度参数值大幅度降低^[11~13]。实际上,尕斯库勒油田目前所发现的油气除主体产自下第三系外,还有上第三系。上第三系油气来自断层下盘茫崖坳陷南部埋深大于 4 000 m 的下第三系生油

岩^[14]。目前上第三系已发现少量未熟油,如跃参 1 井(图 3)[C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 值为 0.18],说明该区至少具备了形成少量未熟-低熟油的条件。另一方面,尕斯库勒 E_3^1 油藏也具备聚集深源(大于 4 000 m)油气的条件,深源油气可以侧上式、断接式运移并聚集于尕斯库勒油田^[10]。黄第藩等^[13]报道过柴达木西部地区已找到不同成熟度的第三系原油,但柴达木盆地至今找到的原油绝大部分为

(下转第 691 页)

- 4 Krawietz T E, Rael E L, Arco Alaska. Horizontal well acidizing of a carbonate formation: a case history of Lisburne treatment, Prudhoe Bay, Alaska. SPE27809-P, 1996
- 5 Hung K M, Hill A D, Sepehrnoori K. A mechanistic model of worm-hole growth in carbonate matrix acidizing and acid fracturing, SPE16886, 1989
- 6 Hoefner M L, Fogler H S. Fluid velocity and reaction rate effect during carbonate acidizing: application of network model. SPE15 573, 1989
- 7 Hayatdavoudi A, Chiu C B, Kalra S K, et al. Carbonate acidizing: a thermodynamic analysis. SPE10667, 1982
- 8 胥耘. 碳酸盐岩储层酸压工艺技术综述[J]. 油田化学, 1997, 14(2): 175~ 179
- 9 谢桂学. 压裂酸化技术对地层条件的适应性[J]. 油气采收率技术, 1994, 1(2): 59~ 64
- 10 古发刚, 任书泉, 戴冀媚. 压裂酸化工艺与通用设计计算方法[J]. 石油学报, 1996, 17(2): 128~ 137
- 11 王艳伟, 肖玉茹, 李青山. 超深井酸压工艺技术在塔河油田的应用[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(6): 518~ 519, 540
- 12 于学忠. 乳化酸压工艺技术在塔河油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(3): 69~ 71
- 13 White D J, Homls B A, Hoover R S, et al. Using a unique acid fracturing fluid to control fluid loss improves stimulation results in carbonate formations. SPE24009, 1992
- 14 王素兵. 滤失控制酸压施工工艺初探[J]. 钻采工艺, 2001, 24(5): 51~ 53
- 15 刘成, 徐君, 刘雄飞, 等. 塔河油田深层碳酸盐岩油藏混气酸压实践[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(5): 76~ 78
- 16 王建栋, 刘雄飞, 时际明, 等. 深层裂缝性碳酸盐岩储层混氮酸压技术[J]. 新疆石油学院学报, 2002, 14(1): 15~ 18
- 17 Bernadiner M G, Thompson K E, Fogler H S. Effect of foams used during carbonate acidizing. SPE21035, 1992
- 18 李翎, 魏斌, 贺铎华. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏的测井解释[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 49~ 54
- 19 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75~ 80
- 20 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~ 124
- 21 满江红, 张玉梅. 深井碳酸盐岩储层深度酸压工艺技术探讨[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(1): 77~ 80
- 22 满江红, 闫循彪. T403 井酸压设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2000, 28(5): 53~ 53
- 23 于学忠, 李斌文, 何伟国. 酸压作业在塔河 3、4 号油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2000, 28(1): 42~ 44

(上接第 670 页)

低熟油, 未熟、成熟、高熟原油不多, 其原因一方面可能与勘探程度不高有关, 狮深 20 井埋深 4 565 m 的烃源岩尚未达到高成熟的凝析油演化阶段, 在深层(大于 4 000 m)寻找成熟油大有潜能; 另一方面, 可能暗示研究区相当部分油气是由低熟、成熟阶段烃源岩所形成的烃/油的混合物, 表现为既有低熟油特征(甾萜类异构化程度低)又有成熟油特征的低熟油。

参 考 文 献

- 1 彭立才, 邵文斌, 张林, 等. 尕斯库勒油田跃灰 1 井区 E₃ 灰层裂缝预测[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 391~ 395
- 2 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 128~ 148
- 3 李素梅, 王铁冠, 郑红菊, 等. 柏各庄凸起原油对比与成因类型[J]. 现代地质, 1998, 12(2): 262~ 268
- 4 朱扬明, 苏爱国, 梁狄刚, 等. 柴达木盆地咸湖相生油岩正构烷烃分布特征及其成因[J]. 地球化学, 2003, 32(2): 117~ 123
- 5 庞雄奇, 李素梅, 黎茂稳, 等. 八面河地区“未熟-低熟油”成因探讨[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 586~ 591
- 6 Li Sumei, Li Maowen, Pang Xiongqi, et al. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay basin — part 1: source rock characterization [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34(3): 389~ 412
- 7 李素梅, 李雪, 张应红, 等. 东营凹陷牛庄洼陷第三系古沉积环境及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 269~ 273
- 8 刘华, 蒋有录, 杨万琴, 等. 东营凹陷中央隆起带油源特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 39~ 43
- 9 张俊, 庞雄奇, 陈冬霞, 等. 牛庄洼陷砂岩透镜体成藏特征及主控因素剖析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 233~ 237
- 10 李素梅, 刘洛夫, 王铁冠, 等. 利用非烃技术探讨尕斯库勒油田 E₃ 油藏的充注模式[J]. 地球科学, 2001, 26(6): 621~ 626
- 11 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 苏北金湖凹陷混合原油的地质地球化学特征[J]. 石油大学学报, 2002, 26(1): 12~ 15
- 12 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 济阳凹陷牛庄洼陷南斜坡原油成熟度浅析[J]. 地质地球化学, 2002, 29(4): 50~ 56
- 13 王文军, 宋宁, 姜乃煌, 等. 未熟油与成熟油的混源实验、混源理论图版及其应用[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 34~ 37
- 14 黄第藩, 张大江, 李晋超, 等. 柴达木盆地第三系油源对比[J]. 沉积学报, 1989, 7(2): 1~ 13
- 15 黄第藩, 李晋超, 张大江, 等. 柴达木盆地第三系原油的熟化序列及其在石油资源预测中的重要意义[J]. 石油学报, 1989, 10(3): 1~ 11