

文章编号: 1000-0550(2007)02-0319-06

柴达木盆地西部地区古、新近系油源成熟度

赵东升^{1,2} 张敏² 张道伟² 杨乾政² 赵小花² 刘桂花² 郝小梅²

(1. 西北大学地质系 西安 710069; 2. 青海油田公司 甘肃敦煌 736202)

摘要 烃源岩的成熟度决定了原油的成熟度与类型。利用 R_0 、 $C_{29}/20S/20S+20R$ 与 $C_{29}/\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ 确定了柴西地区烃源岩的成熟度; 通过原油 $C_{29}/20S/20S+20R$ 、 $C_{29}/\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ 与折算镜质体反射率 R_0 确定了原油的成熟度。研究表明, 柴西地区古、新近系原油系低熟—成熟油为主, 早期形成的低熟油运移至茫崖坳陷及周缘的深层构造, 受后期构造运动影响部分低熟油运移到浅层构造, 晚期形成的成熟油主要聚集于茫崖凹陷周缘深层, 因此, 原生低熟—成熟油藏的勘探应围绕茫崖凹陷及尕斯断陷深层构造及小梁山凹陷周缘浅层构造。

关键词 烃源岩与原油 地球化学参数 成熟度 勘探方向 柴达木盆地

第一作者简介 赵东升 男 1966 年出生 博士研究生 高级工程师 石油地质 E-mail: zhaods07@163.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

1 地质概述

柴西地区北以阿尔金山为界, 南抵昆仑山, 东至牛鼻子梁—东柴山一线, 面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在古、新近纪的地质历史发展中, 受西藏高原的隆升和向北挤压, 沉积中心由西至东, 由南向北迁移, 在古始新世—渐新世早期沉积中心位于尕斯断陷与茫崖凹陷, 渐新世晚期—中新世早期位于茫崖凹陷, 中新世晚期—上新世早期位于小梁山凹陷, 上新世晚期—第四纪沉积中心移至一里坪坳陷与三湖坳陷。伴随着沉积中心的迁移, 古、新近纪不同层位烃源岩的分布也同步迁移, 气候与沉积环境的差异造成烃源岩母质的差异, 也造成了有机质演化的差异。

2 烃源岩成熟度

2.1 烃源岩的有机质类型与丰度

茫崖坳陷周缘的茫崖凹陷、小梁山凹陷、尕斯断陷是柴西地区古、新近系主力烃源岩发育区, 它们不同层位烃源岩的有机质丰度差异较大(表 1)。尕斯

断陷以 $E_3^2-N_1$ 烃源岩的丰度为高, 茫崖凹陷 N_1 烃源岩的丰度最高, 小梁山凹陷以 $N_1-N_2^2$ 源岩的丰度为高。尕斯断陷 $E_3^2-N_1$ 有机质类型以 I 型、II 型为主, 茫崖凹陷 $E_3^2-N_1$ 有机质类型以 I 型、II 型为主, 小梁山凹陷 $N_1-N_2^2$ 有机质类型以 II 型、III 型为主(图 1)。

2.2 镜质体反射率

镜质体反射率是干酪根受热演化程度的反映, 干酪根受热演化程度的高低决定其形成油气的类型。本文收集了柴西地区的尕斯断陷的绿参 1 井、茫崖凹陷的狮 20 井和油 14 井与油 6 井、小梁山凹陷的梁 3 井与南 1 井等 6 口超过 4000 m 的重点深探井, 烃源岩成熟度 (R_0) 样品共计 113 块 (R_0 样品分析采用石油天然气行业标准 SY/T5124-1995), 通过对这些井烃源岩成熟度 (R_0) 与井深的一元回归, 表明成熟度 (R_0) 与井深的相关性较好, 其相关系数 R^2 达 0.6858~0.9473(图 2), 由此推测出不同凹陷主要探井烃源岩成烃关键深度(表 2), 同时, 实测与预测地层埋藏 5000 m 时, 成熟度 (R_0) 仍小于 1.3%, 表明至今柴西勘探层系烃源岩的演化尚未达到过熟程度。

表 1 柴西第三系烃源岩有机质丰度

Table 1 Organic matter content of the Tertiary source rock in west Qaidam Basin

层位	尕斯断陷				茫崖凹陷				小梁山凹陷			
	C %	A %	HC (ppm)	HC C %	C %	A %	HC (ppm)	HC C %	C %	A %	HC (ppm)	HC C %
N_2^2					0.35(88)	0.035(24)	111(12)	3.2	0.29(167)	0.046(35)	263(29)	9.1
N_2^1	0.18(48)	0.073(17)	342(10)	19	0.32(80)	0.061(26)	316(19)	9.9	0.27(242)	0.081(58)	528(47)	19.6
N_1	0.29(236)	0.143(42)	690(34)	23.8	0.39(148)	0.117(32)	502(24)	12.9	0.28(149)	0.071(35)	416(28)	14.9
E_3^2	0.43(382)	0.106(78)	460(56)	10.7	0.32(195)	0.110(37)	345(23)	10.8	0.27(260)	0.044(54)	289(40)	10.7

有机碳与氯仿沥青“A”测定采用石油天然气行业标准 SY/T5116-1997 与 SY/T5118-1995

(10) 括号内的数代表样品数, 据青海油田



图 1 柴西古、新近系生油凹陷及有机质类型分布图

Fig 1 Distribution of the Tertiary organic matter types and source sag in west Qaidam Basin

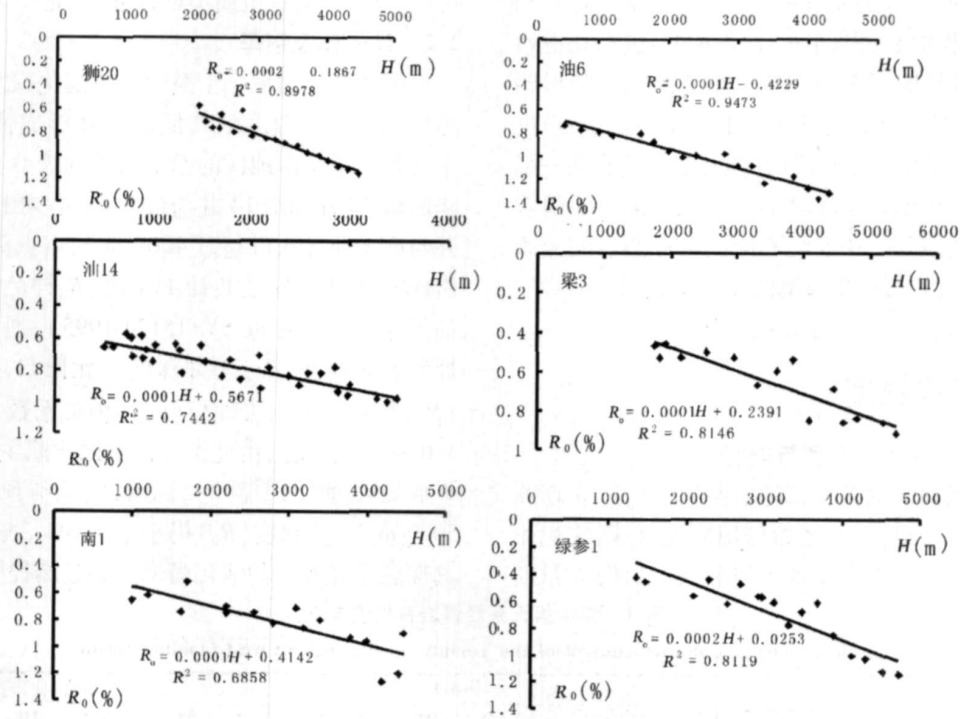


图 2 不同凹陷烃源岩镜质体反射率 (R_0) 与井深的相关性

Fig 2 Relativity between source rocks vitrinite reflectance (R_0) and well depth among different sags

表 2 不同凹陷烃源岩成熟门限预测

Table 2 Prediction of the key source rocks maturation threshold among different sags

井号	R_0 %	井深 m	R_0 %	井深 m	R_0 %	井深 m	R_0 %	井深 m	R_0 与 H 关系式
绿参 1		2374		3374		4374		6374	$R_0 = 0.0002H + 0.0253$
狮 20		1567		2567		3516		5567	$R_0 = 0.0002H + 0.1867$
油 14	0.5	0*	0.7	1329	0.9	3329	1.3	7329	$R_0 = 0.0001H + 0.5671$
油 6		771		2771		2386		8771	$R_0 = 0.0002H + 0.4229$
南 1		858		2858		4858		8858	$R_0 = 0.0001H + 0.4142$
梁 3		2609		4609		6609		10609	$R_0 = 0.0001H + 0.2391$

0* 地层遭受剥蚀, 地表样品 R_0 已达到 0.7%

2.3 甾烷成熟度

甾烷成熟度指标对于烃源岩成熟之前是比较灵敏的, 不同的学者^[1~3]采用的成熟度指标是不同的, 这里以 $C_{29}\text{-}20S/20S+20R$ 与 $C_{29}\text{-}\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ 两项值均小于 0.25 作为未熟, 大于 0.42 为成熟, 并以 0.55 为其异构化终点, 对于介于 0.25~0.42 之间的烃源岩为低熟, 尕斯断陷除绿草滩构造深层、茫崖凹陷狮子沟与油泉子构造深层、小梁山凹陷小梁山构造深层

与南翼山构造中深层部分烃源岩达到成熟外, 其余构造古、新近系烃源岩为未熟—低熟(图 3), 烃源岩的其它成熟度指标中, 如 $T_s/\Sigma m$ 、 Pr/hC_{17} , 在不同凹陷其值略有差别, 但整体上 $T_s/\Sigma m$ 值都小于 1, Pr/hC_{17} 值普遍大于 0.35 一般在 0.35~2 之间, Ph/hC_{18} 值普遍大于 0.2 一般在 0.4~6 之间(图 4), Pr/Ph 都有共同的特点, 即其值小于 1(图 5), 表明柴西地区古、新近系烃源岩成熟度至今最高达到成熟阶段。

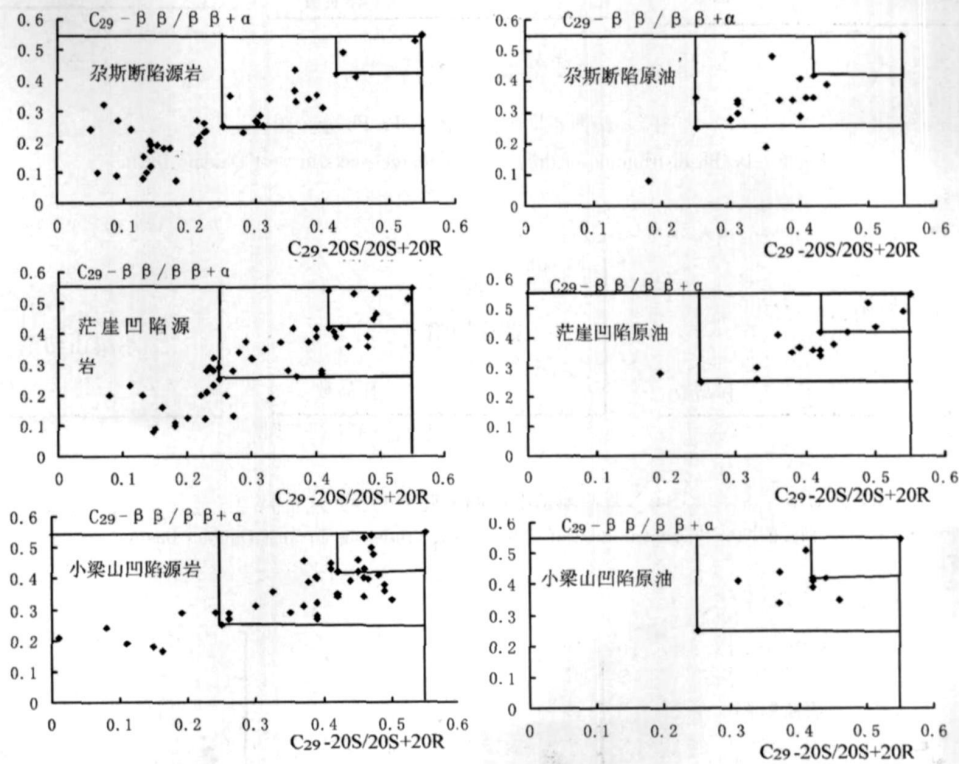


图 3 柴西烃源岩 原油 $C_{29}\text{-}\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ 与 $C_{29}\text{-}20S/20S+20R$ 关系图

Fig 3 Correlation between $C_{29}\text{-}\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha$ and $C_{29}\text{-}20S/20S+20R$ of source rocks / crude oil in west Qaidam basin

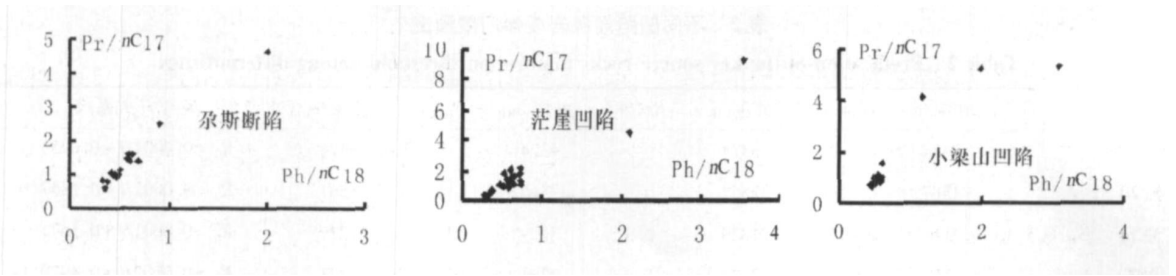


图 4 柴西烃源岩 Ph/nC_{18} 与 Pr/nC_{17} 关系图

Fig. 4 Correlation between Ph/nC_{18} and Pr/nC_{17} of Tertiary source rocks in west Qaidam basin

3 原油成熟度

3.1 甾烷成熟度

柴西古、新近系原油 $C_{29}^{20S} / (20S + 20R)$ 与 $C_{29}^{\beta\beta} / \beta\beta + \alpha\alpha$ 的值除茫崖凹陷的狮子沟构造、小梁山凹陷的南翼山构造深层大于 0.42 外, 尕斯断陷、茫崖

凹陷与小梁山凹陷的大部分构造这两项值均在 0.25 ~ 0.42 之间, 该两项值都小于 0.25 的分布局限, 仅发现于尕斯断陷七东构造七东 1 井与东柴山构造东 4 井 E_3 层原油中 (图 3), 不同凹陷不同层位原油的 Ts/Tm 值小于 1, Pr/Ph 值小于 1 (图 6), Pr/nC_{17} 与 Pr/nC_{18} 值基本上大于 0.35 与 0.2 (图 7)。

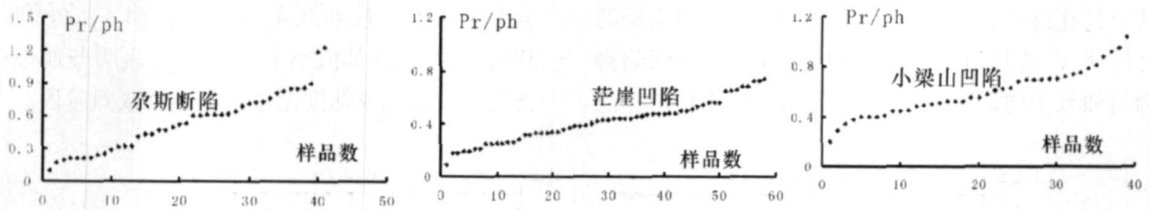


图 5 柴西不同凹陷烃源岩 Pr/Ph 分布图

Fig. 5 Pr/Ph distribution of different sag source rocks in west Qaidam Basin

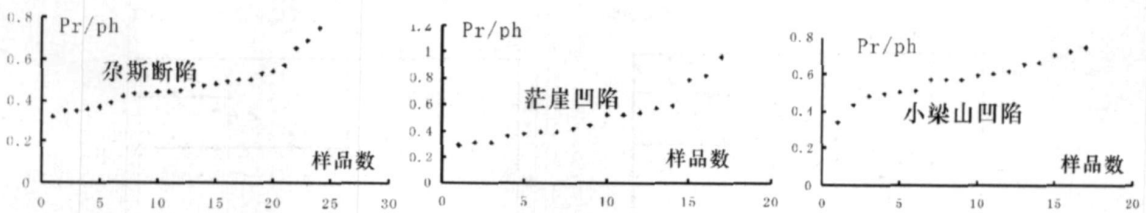


图 6 柴西地区不同凹陷原油 Pr/Ph 分布图

Fig. 6 Pr/Ph contribution of different sag crude oils in west Qaidam Basin

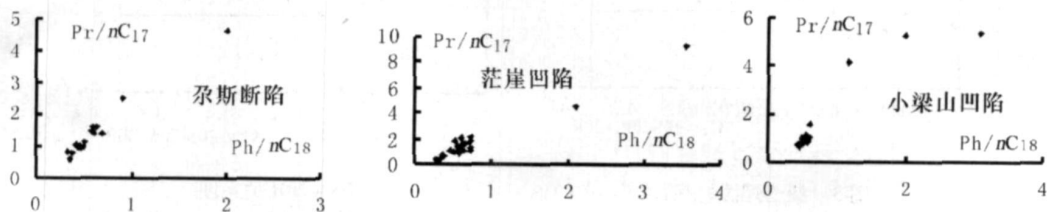


图 7 柴西古、新近系原油 Ph/nC_{18} 与 Pr/nC_{17} 关系图

Fig. 7 Correlation between Ph/nC_{18} and Pr/nC_{17} of Tertiary crude oils in west Qaidam basin

3.2 芳烃成熟度

芳烃成熟度参数繁多,甲基菲指数是应用最广的指标,甲基菲指数(MPI_I)主要基于菲(P)和 4 个甲基菲异构体(3MP, 2MP, 9MP, 1MP)之间的比值,其计算式为: $MPI_I = 1.5(2MP+3MP) / (P+1MP+9MP)$, Radke 等的研究表明,烃源岩中 MPI_I 与镜质体反射率(R₀)具有线性关系:在 R₀ < 1.35% 时, $R_c = 0.6MPI_I + 0.4$ (R_c 为换算的镜质反射率);在 R₀ > 1.35% 时, $R_c = -0.6MPI_I + 2.3$ ^[4,5]。柴西第三系所钻深探井烃源岩 R₀ < 1.35%, 通过对尕斯断陷、茫崖凹陷与小梁山凹陷原油 R_c 计算,除小梁山凹陷南翼山构造深层(E₃)原油 R_c > 0.9% 外,余之构造 R_c 在 0.59% - 0.9% 之间(图 8),表明柴西地区不同区域与不同层位原油是干酪根早期热解的产物。

3.3 原油密度

干酪根热降解生烃模式表明镜质体反射率(R₀)

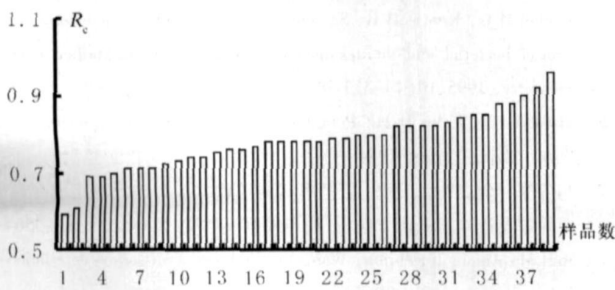


图 8 柴西原油换算镜质反射率的分布

Fig 8 Vitrinite reflectance distribution of crude oil conversion in west Qaidam basin

大于 1.3% ~ 1.4% 时,烃源岩进入凝析油气阶段^[6],原油密度值越小,表明其烃源岩成熟度越高,反之,原油密度值越大,表明其烃源岩成熟度越低^[7]。而柴西地区第三系烃源岩镜质体反射率(R₀)小于 1.3%,原油以黑色为主,不同构造原油密度的平均值介于 0.768 ~ 0.914 g/cm³ 之间,中深层以小梁山凹陷的南翼山构造原油密度最小,浅层以茫崖凹陷的开特米里克构造的原油密度最小(表 3),原油密度的数据表明原油成熟度并不是很高,大多属烃源岩生烃高峰及其前的产物。原油 δ³C₁% 分布范围基本一致,伴生气的 δ³C₁% 与 C₁、C₂ 值在不同凹陷的变化不大(表 4),由于它们的母质类型类似,所以柴西地区原油形成时的烃源岩成熟度相近。

表 3 柴西地区原油密度

Table 3 the density of crude oil in west Qaidam basin

凹陷	N ₁ - E ₃		凹陷	N ₂	
	构造	原油密度		构造	原油密度
尕斯	跃进一号	0.8349	尕斯	跃进一号	0.864
	砂西	0.855		乌南	0.849
	跃进二号东高点	0.8875	油砂山	0.8517	
	跃进二号西高点	0.8787	茫崖	开特	0.7897
	七个泉	0.8629	油泉子	0.835	
	红柳泉	0.8508	咸水泉	0.85	
跃中	跃东	0.866	小梁山	南翼山	0.84
	跃进四号	0.8697	尖顶山	0.8329	
茫崖	狮子沟	0.854	红沟子	0.8753	
小梁山	南翼山	0.768			

表 4 柴西原油与伴生气碳同位素特征

Table 4 Carbon isotopic characteristics of crude oil and associated gas in west Qaidam basin

凹陷	干酪根 δ ³ C ‰			原油 δ ³ C ‰			伴生气 δ ³ C ₁ ‰			伴生气 C ₁ 、C ₂		
	区间	平均	样品数	区间	平均	样品数	区间	平均	样品数	区间	平均	样品数
尕斯	-28.5	-22.1	24/11	-26.8	-23.7	25/12	-35.6	-51.2	41/3/21	8	20.6	14.7/12
茫崖	-25.4	-20.3	23/4/8	-25.3	-23.6	24.7/10	-34.9	-42.6	1/38.6/7	2	13.9	7.5/4
小梁山	-23.5	-21.3	1/	-22.8	-25.5	23.3/24.5/6	-32.9	-45.5	1/40.9/8	2	6	42.3/10/4

4 源、油成熟度与勘探方向

高成熟原油不会与低成熟烃源岩存在成因联系,但不排除低成熟的原油与高成熟的烃源岩之间的成因联系,因为烃源岩生烃是一个持续的过程,生烃后烃源岩可能会继续下降,经历更高的成熟作用,使得烃源岩的成熟度高于相应的原油成熟度^[7]。柴西地区古、新近系烃源岩现今最高达到成熟,而原油以低熟一成熟油为主,油源成熟度的对应性反映出柴西地

区原油来自古、新近系烃源岩。

原油的分布受烃源岩的分布控制。尕斯断陷原油在 E₃-N₂ 皆有分布,茫崖凹陷原油在 E₃、N₁、N₂ 分布,小梁山凹陷除南翼山原油在 E₃、N₁、N₂ 分布外,余之含油构造原油皆分布在 N₂-N₂,这与茫崖凹陷和尕斯断陷烃源岩分布在 E₃-N₁,小梁山凹陷烃源岩分布在 N₁-N₂ 相对应。柴西地区第一期油气成藏在 N₁ 时期,而在 N₂ 时期,尕斯断陷与茫崖凹陷 E₃ 烃源岩

尚处于低成熟阶段,形成了尕斯断陷与茫崖凹陷中深层低熟油藏,而浅层低熟油藏的形成,主要是第四系末期构造运动,使中深层低熟油沿断层运移形成,也有 N_1 以上低熟烃源岩成油的贡献,深层成熟原油来自深层成熟烃源岩,在第四系末期构造运动时聚集成藏的;小梁山凹陷缺少 E_3 烃源岩,该凹陷含油构造的原油的烃源岩为 N_1 以上低熟烃源岩,是在第四系末期构造运动时聚集成藏的。因此,原生低熟—成熟油藏的勘探应围绕茫崖凹陷及尕斯断陷深层构造及小梁山凹陷周缘浅层构造。

5 认识

柴西地区古、新近系烃源岩现今尚处于低熟—成熟阶段,原油以低熟—成熟油为主。尕斯断陷与茫崖凹陷深层低熟油藏主要是 E_3 烃源岩在 N_2 时期排烃聚集成藏的,而浅层低熟油藏主要是在第四系末期构造运动时期,深层低熟油沿断层运移形成的,也有 N_1 以上低熟烃源岩成油的贡献,深层成熟原油来自深层成熟烃源岩,在第四系末期构造运动时聚集成藏的;小梁山凹陷的浅层低熟油藏是该凹陷 N_1 以上低熟烃源岩,在第四系末期构造运动时聚集成藏的,至于小梁山凹陷南翼山构造的深层的成熟原油,可能来之茫崖凹陷深层成熟烃源岩,也不排除该构造深层成熟烃源岩。所以,原生低熟—成熟油藏的勘探应围绕茫崖凹陷及尕斯断陷深层构造及小梁山凹陷周缘浅层构造进行。

Maturity of Tertiary Oil source in West Qaidam Basin

ZHAO Dong-sheng^{1,2} ZHANG Min² ZHANG Dao-wei²

YANG Qian-zheng² ZHAO Xiaohua² LIU Guihua² HAO Xiaomei²

(1. Geology Department of Northwestern University Xi'an 710069; 2. Company of Qinghai Oilfield CNPC Dunhuang Gansu 736202)

Abstracts Maturity and types of crude oil depend on maturity of source rock. It is adopted R_0 , $C_{29} \cdot 20S / 20S + 20R$ and $C_{29} \cdot \beta\beta / \beta\beta + \alpha\alpha$ define the maturity of source rock, and $C_{29} \cdot 20S / 20S + 20R$, $C_{29} \cdot \beta\beta / \beta\beta + \alpha\alpha$ as well as vitrinite reflectance of crude oil reduction (R_C) to define maturity of crude oil in west Qaidam basin. In the light of studies there are two types of crude oil for low-maturity and maturity in west Qaidam basin, original low-maturity crude oil migrate to deep structural trap of Mangya depression and its margin, part of low-maturity crude oil remove to shallow structural trap because of affection of late movement. Late maturity crude oil accumulates in the deep structural trap. Therefore, exploration of primary reservoir of low-maturity and maturity crude oil in the west Qaidam basin, should surround deep structural trap of Mangya and Gasi sag and shallow structural trap of Xiaoliangshan sag and its margin.

Key words oil source, geochemical parameters, maturity, exploration strategy, Qaidam basin

参考文献 (References)

- 1 廖前进, 黄第藩, 徐永昌. 我国陆相地层中未熟、低熟油的地球化学特征研究. 兰州: 甘肃科学出版社, 1987 [Liao Qianjin, Huang Di fan, Xu Yongchang. Studies on Geochemical Characteristics of Immature Oil of Nonmarine Formation in China. Lanzhou: Scientific and Technological Publishing House of Gansu, 1987]
- 2 王铁冠, 等. 生物标志物地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990 [Wang Tieguan, et al. Geochemical Studies on Biological Marker. Wuhan: Geology University Press, 1990]
- 3 宋一涛, 吴庆余, 周文. 未熟—低熟油的形成与成因机制. 山东东营: 石油大学出版社, 2004 [Song Yitao, Wu Qingyu, Zhou Wen. Formation and Genetic Mechanism of Immature Oil. Dongying: Shandong Petroleum University Press, 2004]
- 4 蔡勋育, 朱扬明, 黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 340-346 [Cai Xunyu, Zhu Yangming, Huang Renchun. Geochemical behaviors and origin of reservoir bitumen in Puguang gas pool. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 340-346]
- 5 Machel H G, Krouse H R, Sassen R. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction. Applied Geochemistry, 1995, 10(4): 373-389
- 6 Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence. New York: Springer Verlag, 1984
- 7 马安来, 金之钧, 王毅. 塔里木盆地地台盆区海油源对比中存在的问题及进一步工作方向. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 356-362 [Ma Anlai, Jin Zhijun, Wang Yi. Problem of oil source correlation for marine reservoirs in Paleozoic craton area in Tarim basin and future direction of research. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 356-362]