

王 龙,陈培元,孙福亭,等.鄂尔多斯盆地彭阳地区延长组、延安组原油地球化学特征与油源对比[J].海洋地质前沿, 2019,35(12):49-54.

鄂尔多斯盆地彭阳地区延长组、延安组原油地球化学特征与油源对比

王 龙¹,陈培元¹,孙福亭¹,王兴龙²,李 竞²

(1 中海油国际公司,北京 100028;2 中海油研究总院有限责任公司,北京 100028)

摘 要:鄂尔多斯盆地彭阳地区的中生界延长组、延安组油源还存在一定的不确定性,应用分子地球化学的手段和方法,对彭阳地区延长组、延安组的原油及长 7 烃源岩样品和盆地内部长 7 优质烃源岩样品开展生物标识化合物地球化学定量分析,并进行油源对比研究。结果表明:鄂尔多斯盆地天环坳陷彭阳地区延长组、延安组原油形成于淡水、微咸水且还原性较强的环境;生物标志化合物地球化学特征相似,属于同一成因类型,具有相同的油源;原油母质类型为低等水生生物和陆生高等植物构成的混合型母质,原油已经成熟。彭阳地区原油在成熟度、母源性质和沉积环境方面与盆地内部长 7 优质烃源岩具有相似的特征,二者具有较好的亲缘关系,彭阳地区原油不是本地长 7 泥岩产物,主要来自盆地内部长 7 优质烃源岩。

关键词:鄂尔多斯盆地;生物标志化合物;油源对比

中图分类号:P618.13;TE122

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.12006

0 引言

鄂尔多斯盆地是我国重要的含油气盆地,中生代晚三叠世延长组长 7 沉积期沉积的一套深湖—半深湖相富含有机质的暗色泥岩,是鄂尔多斯盆地主力烃源岩^[1],同时,湖盆内河流三角洲和扇三角洲沉积体系广泛分布^[2],这些有利的生储组合为形成大型油藏奠定了良好的基础。彭阳地区位于鄂尔多斯盆地西南缘,构造上属于天环坳陷西翼,主要的勘探层位为三叠系延长组和侏罗系延安组。近年来在延安组中发现了多个“小而

肥”的油藏,在延长组长 3、长 7、长 8 等油层组也发现了油气显示,显示了彭阳地区具有较好的勘探前景。目前对鄂尔多斯盆地中生界油源的研究主要集中在陕北斜坡^[3-9],而对天环坳陷、特别是天环坳陷西翼部位油气显示的油源研究较少。因此有必要对鄂尔多斯盆地彭阳地区的延长组、延安组油源分析研究,从而为该区中生界石油的进一步勘探提供参考依据。

本文对彭阳地区延长组(长 3、长 7、长 8)和延安组原油样品、彭阳地区及盆地内部长 7 烃源岩样品开展生物标识化合物定量分析,讨论研究区延长组、延安组原油特征与油源问题。根据研究需要,分别采集了 10 口井的原油样品和 5 口井的泥岩样品(图 1)。其中,延安组原油样品 2 个,延长组原油样品 8 个,包括长 3 油层组 3 个,长 7 油层组 3 个,长 8 油层组 2 个;彭阳地区长 7 泥岩样品 2 个,盆地内部长 7 泥岩样品 3 个。实验样

收稿日期:2019-01-18

基金项目:“十三五”国家科技重大专项课题“海外重点油气田开发钻采关键技术”(2017ZX05032-04-01)

作者简介:王 龙(1986—),男,硕士,工程师,主要从事油气田地质、油气地球化学研究工作.E-mail: wanglong@cnooc.com.cn

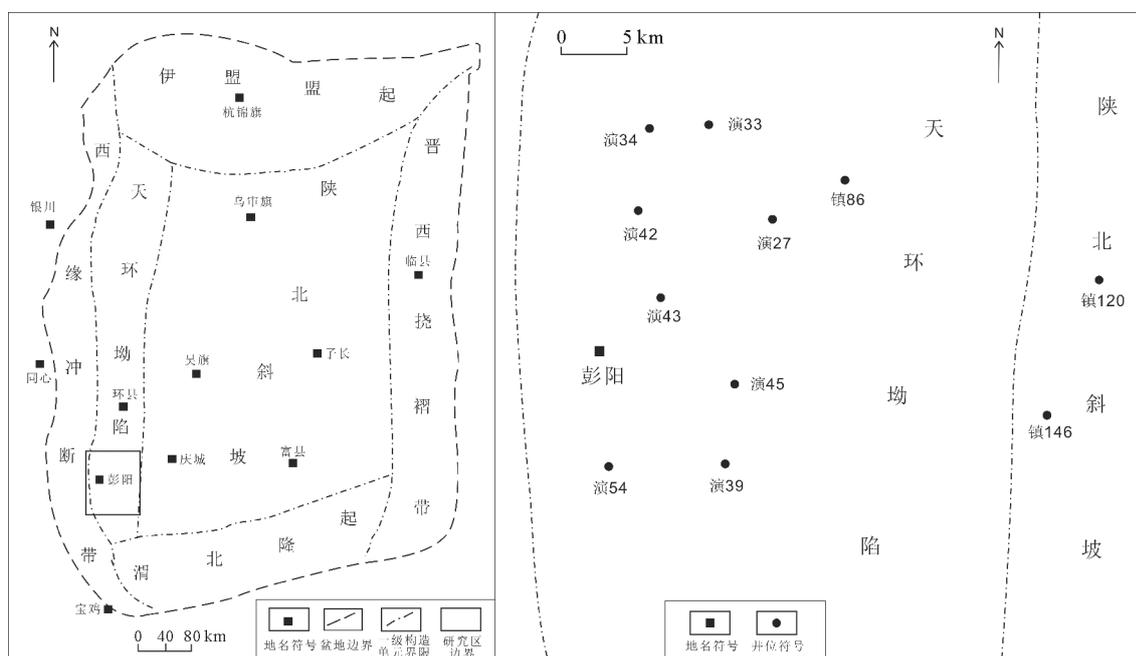


图1 彭阳地区位置和采集样品井位示意图

Fig.1 Location of Pengyang Area and sampling wells

品的预处理和分析测试由胜利油田地质院分析测试中心完成,其中饱和烃馏分用色谱-质谱(GC-MS)进行分析鉴定。

1 原油地球化学特征

1.1 正构烷烃组成特征

不同来源的正烷烃的组成特征有较大差异,来源于陆源高等植物正烷烃碳数分布范围以 C_{25}^{+} 为特征;而来源于浮游生物等水生生物的正烷烃碳数分布范围小于 C_{20} ^[10]。一般常用正烷烃分布指纹特征、主峰碳数、轻重比 $\sum C_{21}^{-} / \sum C_{22}^{+}$ 或 $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$ (低碳数分子烷烃与高碳数分子烷烃含量比值)、碳数分布范围和碳优势指数 CPI 值等来确定有机质的生源组合特征及指示沉积环境。

实验结果显示,彭阳地区延长组和延安组原油的正构烷烃主峰碳均为 C_{21} (表1),分布特征相似,正构烷烃碳优势指数 CPI 为 1.08~1.13,奇偶优势指数 OEP 多分布在 1.04~1.07 范围内,反映原油均为成熟油。 $\sum C_{21}^{-} / \sum C_{22}^{+}$ 比值分布范

围为 0.44~1.01, $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$ 为 1.2~2.28,变化范围较大,说明原油的生油母质来源较为复杂,由湖相低等水生生物和陆生高等植物混合而成。

1.2 类异戊二烯烷烃

姥鲨烷、植烷及其比值常作为判断生油母质沉积环境氧化-还原条件的标志,原油中的 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 常用来研究母质类型、形成环境和成熟度^[11]。彭阳地区原油的 Pr/Ph 值为 0.84~1.18,表明形成的环境还原性较强。原油的类异戊二烯烷烃的各个参数值均集中在一个较小的范围内(表1),其中 Pr/nC_{17} 主要分布在 0.36~0.6, Ph/nC_{18} 的分布范围为 0.28~0.44,说明彭阳地区延长组、延安组原油具有统一的油源。

1.3 甾、萜烷特征

彭阳地区延安组和延长组原油甾萜烷特征相似,表现为萜烷的主峰碳都为 C_{30} 藿烷, C_{29} Ts 含量比较高,伽马蜡烷含量都比较低;甾烷的主峰碳都为 $\alpha\beta C_{29}$ 胆甾烷(20R),重排甾烷和重排藿烷含量很低(图2)。

表 1 原油、烃源岩饱和烃色谱参数

Table 1 Chromatogram parameters of saturated hydrocarbons of crude oil and source rock

样品位置	样品	井号	层位	正构烷烃					类异戊二烯烷烃		
				主峰碳	OEP	CPI	$(C_{21}+C_{22}) / (C_{28}+C_{29})$	$\frac{\sum C_{21}^-}{\sum C_{22}^-}$	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
彭阳地区	原油	演 27	延 8	C21	1.06	1.08	1.2	0.44	1.12	0.52	0.41
		演 43	延 9	C21	1.06	1.1	1.68	0.64	1.01	0.58	0.44
		演 39	长 3	C21	1.05	1.09	1.65	0.75	1.1	0.42	0.32
		镇 86	长 3	C21	1.1	1.13	1.56	0.61	1.03	0.6	0.42
		演 33	长 3	C21	1.04	1.09	1.68	0.68	1.05	0.36	0.28
		演 34	长 7	C21	1.07	1.11	1.7	0.62	0.84	0.47	0.4
		演 54	长 7	C21	1.07	1.11	1.73	1.01	1.18	0.39	0.33
		镇 86	长 7	C21	1.04	1.1	2.28	0.79	1.01	0.46	0.34
		演 42	长 8	C21	1.07	1.09	1.65	0.78	1.05	0.39	0.33
		演 45	长 8	C21	1.06	1.09	1.92	0.66	0.94	0.47	0.36
盆地内部	烃源岩	演 43	长 7	C25	0.93	1.24	1.41	0.4	3.82	3.17	0.54
		演 43	长 7	C25	0.91	1.21	1.45	0.48	3.72	3.23	0.58
		镇 120	长 7	C17	2.91	1.08	1.3	2.2	1.16	0.37	0.33
		镇 146	长 7	C17	2.83	1.06	1.37	2.49	1.21	0.43	0.37
		镇 120	长 7	C16	2.08	1.1	1.08	2.09	1.09	0.31	0.34

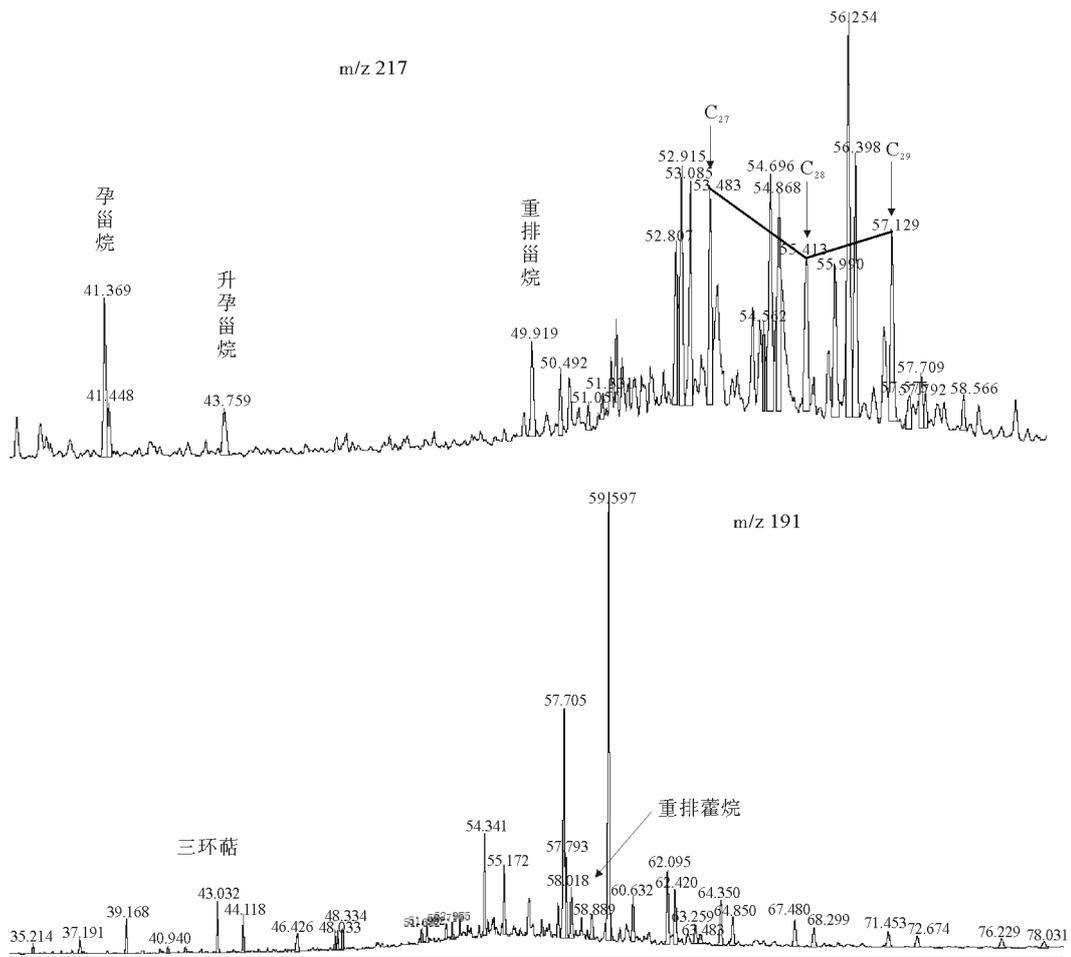


图 2 彭阳地区原油生物标志化合物分布特征(演 39,1 879 m,长 3 原油)

Fig.2 The biomarker features of crude oil in Pengyang Area (Yan39,1 879 m.Chang3 oil)

1.3.1 甾烷特征

彭阳地区中生界原油甾烷系列化合物中,孕甾烷、升孕甾烷含量普遍较低(图2),反映原油形成于盐度较低的淡水、微咸水环境^[12]。重排甾烷的含量很低,重排甾烷/规则甾烷比值只有0.07~0.08,反映较强的还原环境。甾族化合物在演化过程中,手性碳原子发生构型的转变,由R生物构型转化为S的地质构型;规则甾烷14,17(H)发生由 $\alpha\alpha$ 位转变为 $\beta\beta$ 位^[13],因此可通过甾族化合物不同构型之间的相对含量来研究原油的成熟度。 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 20S/(20S+20R)值为0.42~0.45、 C_{29}

甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 值为0.62~0.68(表2),根据原油成熟度判别标准^[14],达到了平衡点,表明原油均为成熟油。一般来说,以 C_{27} 甾烷为主的分布代表低等生物生源为主,具有 C_{29} 甾烷显著优势是典型的腐殖型母质输入特征, C_{27} 、 C_{29} 甾烷均势分布则表示混合型母质特征^[14],彭阳地区延长组、延安组原油规则甾烷含量较高, C_{27} — C_{29} 规则甾烷的含量接近,分别为30.6%~37.0%、29.9%~33.4%、33.1%~36%,这说明彭阳地区原油的生油母质属于低等水生生物和高等植物构成的混合型母质,与正构烷烃参数反映的结果一致。

表2 甾萜类化合物地化参数

Table 2 Geochemical parameters of steride and terpenoid

井号	层位	样品	甾烷参数						萜烷参数							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
演27	延8	原油	0.07	0.45	0.62	36.1	30.4	33.5	0.11	0.37	0.08	0.06	0.07	0.56	0.61	1.22
演34	长7	原油	0.08	0.42	0.63	30.6	33.4	36.0	0.11	0.31	0.13	0.06	0.07	0.57	0.60	1.76
演39	长3	原油	0.07	0.42	0.68	34.5	31.9	33.6	0.15	0.34	0.12	0.06	0.06	0.56	0.59	1.40
演42	长8	原油	0.07	0.44	0.65	37.0	29.9	33.1	0.13	0.32	0.11	0.06	0.07	0.58	0.61	1.33
镇120	长7	烃源岩	0.05	0.42	0.63	31.0	34.0	35.0	0.17	0.26	0.13	0.06	0.07	0.56	0.59	0.10

注:1—重排甾烷/规则甾烷;2— $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 20S/(20S+20R);3— C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$;4— $C_{27}\%$ R $\alpha\alpha\alpha$;5— $C_{28}\%$ R $\alpha\alpha\alpha$;6— $C_{29}\%$ R $\alpha\alpha\alpha$;7—三环萜/藿烷;8—升藿烷指数 $C_{35}(22S+22R)/C_{32}(22S+22R)$;9— C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷;10—伽马蜡烷/ C_{30} (藿烷+莫烷);11—伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷;12— $\alpha\alpha\alpha C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R);13— $\alpha\alpha\alpha C_{32}$ 藿烷 22S/(22S+22R);14—Ts/Tm

1.3.2 萜烷特征

萜烷组成中,三环萜含量普遍较低,三萜烷/藿烷比值范围为0.11~0.15(表2);伽马蜡烷来源于低等水生生物,多形成于还原环境,同时也反映有机质沉积时水体盐度,是沉积环境的良好的指示标志^[15],通常认为高含量的伽马蜡烷代表强还原超盐环境的指示^[16],研究区原油的伽马蜡烷含量普遍很低,伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷(22S+22R)为0.18~0.22,伽马蜡烷/ C_{30} (藿烷+莫烷)的值均为0.06,反映典型的淡水、微咸水环境有机质沉积特征。藿烷系列化合物中,升藿烷含量较低,升藿烷指数为0.31~0.37,重排藿烷含量较低, C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷为0.08~0.13,说明有机质形成的环境还原性较强,氧化性较弱。 $\alpha\alpha\alpha C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R)、 $\alpha\alpha\alpha C_{32}$ 藿烷 22S/(22S+22R)、Ts/Tm 是良好的反映成熟度的参数, $\alpha\alpha\alpha C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R)值为0.56~0.58, $\alpha\alpha\alpha C_{32}$ 藿烷 22S/(22S+22R)的值为0.59~0.61,Ts/Tm 值

为1.22~1.76,均已达到热平衡,进一步验证了原油为成熟油这一认识。

2 油源对比

2.1 正构烷烃特征对比

彭阳地区延长组、延安组原油与盆地内长7烃源岩(镇120井、镇146井长7烃源岩)具有相似的正构烷烃分布特征,OEP、CPI、 $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$ 等参数值都非常接近,而与本地的长7烃源岩(演43井长7泥岩)差别都较大(表1),说明彭阳地区原油并非本地长7泥岩的产物。储层砂岩中残余的原油由于轻组分的挥发,正构烷烃的分布会略重,所以原油的主峰碳数比优质烃源岩的主峰碳要高, $\sum C_{21}^-/\sum C_{22}^+$ 的比值也略低。

2.2 类异戊二烯烷烃对比

彭阳地区中生界原油的类异戊二烯烷烃各个

参数都相近,与本地演 43 井长 7 泥岩差别较大(表 2),而与盆地内部优质烃源岩(镇 120 井、镇 146 井长 7 烃源岩)分布在同一区域内(图 3),说明彭阳地区中生界原油与盆地内部长 7 优质烃源岩具有亲缘关系。

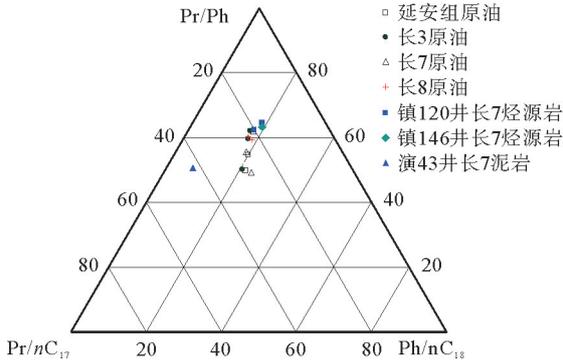


图 3 类异戊二烯烷烃参数三角图

Fig.3 Triangular diagram of isoprenoid hydrocarbons parameters

2.3 甾烷参数综合对比

彭阳地区原油具有重排藿烷、重排甾烷含量低,伽马蜡烷含量较少, C_{27} — C_{29} 规则甾烷含量接近的特点,与镇 120 井长 7 烃源岩的特征一致(表 2)。前人对鄂尔多斯盆地中生界油源做过较为全面的研究^[1],把中生界的原油分为了 3 类,A 类原油来自于长 7 烃源岩,B 类原油由长 7、长 9 烃源岩混源形成,C 类原油主要来自于长 9 烃源岩,彭阳地区的原油均属于 A 类原油,具有较低含量的重排藿烷,油源为以镇 120 井长 7 烃源岩为代表的盆地内部长 7 优质烃源岩(图 4)。

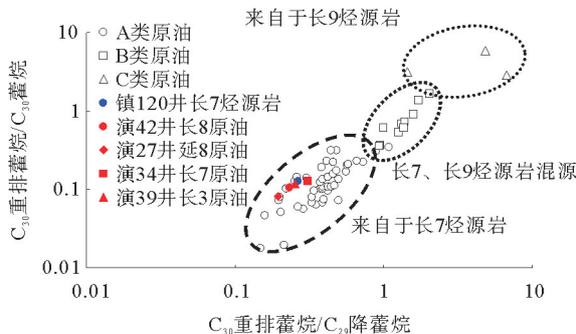


图 4 鄂尔多斯盆地中生界原油分类图(据文献[1])

Fig.4 Classification of Mesozoic crude oil, Ordos Basin(from reference [1])

规则甾烷相对丰度三角图是最为常用的油源对比关系图,对判断有机质类型与地球化学性质非常有效^[10]。在 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} - $\alpha\alpha\alpha$ -20R 甾烷三角关系图中(图 5),所有原油样品和镇 120 井长 7 优质烃源岩的点均集中在一个区域内,体现了油源相关关系。

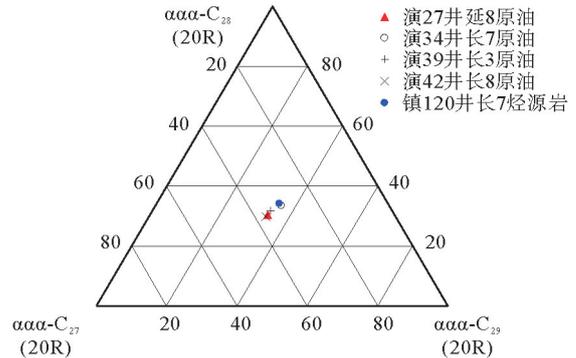


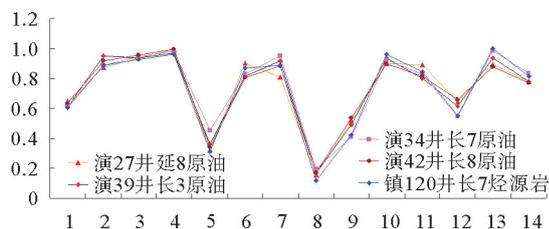
图 5 C_{27} — C_{29} 规则甾烷相对丰度三角图

Fig.5 Triangular diagram of relative abundance of C_{27} - C_{29} regular sterane

油气形成后的漫长的地质历史时期中,在运移、聚集甚至储集层中都会经历一系列的变化,这样就会使得油-源之间的相似性降低,从而大大增加了对比的复杂性和多解性。所以在进行油源对比时,要充分考虑到各个对比参数在不同地区或不同层位的适用性,并且还要考虑到古环境、成熟度、运移作用甚至生物降解作用的影响。一般在研究中所用的参数越多,对比结果就越可靠,因此应该将各项指标综合应用,才能寻找出最为有效的办法。

为了准确判断出油-源关系,选取了反映成熟度、母源类型和母源沉积环境的 14 个参数进行生物标识化合物综合对比。其中成熟度参数 5 个: $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 、 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 、 $\alpha\alpha\alpha C_{31}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 、 $\alpha\alpha\alpha C_{32}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$ 、 Ts/Tm , 沉积环境参数 3 个:伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷(藿烷+莫烷)、 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20R/C_{30}$ 藿烷、 $C_{27}^*/\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 胆甾烷 $20R$;母源参数 3 个: $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $20RC_{27}/C_{29}$ 、 $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $20RC_{28}/C_{29}$ 、伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷 $22R$ 。另外还考虑了 C_{27} — C_{29} 规则甾烷相对含量(图 6)。从图中可以明显的看到,彭阳地区原油样品的特征相似,说明它们具有

相同的油源,并且与盆地内优质烃源岩的生物标志化合物特征一致,从而证明彭阳地区的原油都来自盆地内部长7优质烃源岩。



1— $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$; 2— C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$;
3— $\alpha\alpha\alpha C_{31}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$; 4— $\alpha\alpha\alpha C_{32}$ 藿烷 $22S/(22S+22R)$; 5— Ts/Tm ; 6—伽马蜡烷/ C_{30} (藿烷+莫烷); 7— $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20R/C_{30}$ 藿烷; 8— $C_{27}^*/\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 胆甾烷 $20R$; 9— $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $20RC_{27}/C_{29}$; 10— $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $20RC_{28}/C_{29}$; 11—伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷 $22R$; 12— $C_{27} \% R_{\alpha\alpha\alpha}$; 13— $C_{28} \% R_{\alpha\alpha\alpha}$; 14— $C_{29} \% R_{\alpha\alpha\alpha}$

图6 彭阳地区原油与盆地内优质烃源岩生物标志化合物参数指纹图

Fig.6 Comparison of biomarkers index fingerprints of the crude oil in Pengyang Area and intrabasinal high quality source rocks

3 结论

(1)鄂尔多斯盆地彭阳地区中生界三叠系延长组和侏罗系延安组原油的生物标志化合物地球化学特征非常相似,反映了它们来自同一油源。

(2)原油形成于淡水、微咸水且还原性较强的环境,原油母质属于低等水生生物与陆生高等植物构成的混合型母质,原油均已达到成熟阶段。

(3)油源分析结果表明,彭阳地区原油在成熟度、母源性质和沉积环境方面与盆地内部长7优质烃源岩具有相似的特征,二者具有较好的亲缘关系,彭阳地区原油不是本地长7泥岩产物,主要来自盆地内部长7优质烃源岩。

参考文献:

[1] 杨华,张文正.论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗

透油气成藏富集中的主导作用:地质地球化学特征[J].地球化学,2005,34(2):147-154.

- [2] 喻建,杨亚娟,杜金良.鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组湖侵期沉积特征[J].石油勘探与开发,2010,37(2):181-187.
- [3] 段毅,吴保祥,张辉,等.鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J].地质学报,2006,80(2):301-310.
- [4] 侯林慧,彭平安,于赤灵,等.鄂尔多斯盆地姬源—西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J].地球化学,2007,36(5):497-506.
- [5] 王传远,段毅,车桂美,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J].高校地质学报,2009,15(3):380-386.
- [6] 杨华,张文正,蔺宏斌,等.鄂尔多斯盆地陕北地区长10油源及成藏条件分析[J].地球化学,2010,39(3):274-279.
- [7] 赵彦德,罗安湘,孙柏年,等.鄂尔多斯盆地西南缘三叠系烃源岩评价与油源对比[J].兰州大学学报(自然科学版):2012,48(3):1-13.
- [8] 王香增,任来义,张丽霞,等.鄂尔多斯盆地吴起一定边地区延长组下组合油源对比研究[J].石油实验地质,2013,35(4):426-431.
- [9] 赵阳,姚泾利,段毅,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组油源分析[J].沉积学报,2015,33(5):1024-1032.
- [10] 卢双舫,张敏,钟宁宁.油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2008:171-178.
- [11] 彼得斯 K E,莫尔多万 J M.生物标记化合物指南:古代沉积物和石油中分子化石的解释[M].姜乃煌,张水昌,林永汉,等,译.北京:石油工业出版社,1995:1-236.
- [12] 段毅,王智平,张辉,等.柴达木盆地原油烃类地球化学特征[J].石油实验地质,2004,26(4):359-364.
- [13] 戴鸿鸣,王顺玉,陈义才.油气勘探地球化学[M].北京:石油工业出版社,2000:160-161.
- [14] 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(1/2/3):521-529.
- [15] Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks [J]. SSPG Bulletin, 1985, 69(8):1255-1268.
- [16] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France-III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 1345-1355.

(下转第80页)