

鄂尔多斯盆地南部延长组有效烃源岩 地球化学特征及其识别标志

邓南涛^{1,2}, 张枝焕^{1,2}, 鲍志东^{1,2}, 王付斌³, 梁全胜⁴,
李文浩^{1,2}, 陆 骋³, 赵双丰^{1,2}, 罗梦姣^{1,2}

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油化工股份有限公司华北分公司, 河南 郑州 450006; 4. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075)

摘要:在烃源岩和原油生物标志物特征精细剖析、类型划分与对比的基础上, 确定鄂尔多斯盆地南部地区延长组有效烃源岩主要为长 7 油页岩和长 7 暗色泥岩, 结合烃源岩的生烃潜力和测井响应特征, 建立有效烃源岩的生物标志物参数、常规地球化学评价参数、测井电性参数三级识别标志, 即 $8\beta(\text{H})$ -升补身烷/ $8\beta(\text{H})$ -补身烷 <2 , $w(\text{TOC}) > 1.6\%$, $S_1+S_2 > 4 \text{ mg/g}$, $I_{\text{H}} > 170 \text{ mg/g}$, $GR > 120 \text{ API}$, $\Delta t > 260 \mu\text{s/m}$, $R_T > 15 \Omega \cdot \text{m}$, $CNL > 25\%$, 并根据地化参数与电性参数之间的相关性, 采用多元回归的方法建立 $w(\text{TOC})$ 及 I_{H} 的测井计算公式, 从而实现从有限岩心的地球化学信息到全区全井段测井信息的衔接。

关键词:鄂尔多斯盆地南部; 生物标志物; 地球化学特征; 油源对比; 有效烃源岩; 识别标志

中图分类号: P 618

文献标志码: A

Geochemical features and identification marks for efficient source rocks of Yanchang formation in southern Ordos Basin

DENG Nan-tao^{1,2}, ZHANG Zhi-huan^{1,2}, BAO Zhi-dong^{1,2}, WANG Fu-bin³,
LIANG Quan-sheng⁴, LI Wen-hao^{1,2}, LU Chen³, ZHAO Shuang-feng^{1,2}, LUO Meng-jiao^{1,2}

(1. College of Geoscience in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. China Petroleum and Chemical Company Limited, north China branch, Zhenzhou 450006, China;

4. Research Institute of Shanxi Yanchang Petroleum(Group) Company Limited, Xi'an 710075, China)

Abstract: Based on the analysis of the precise biomarker characteristics, type classifications and comparison of crude oil and source rocks, the effective source rocks of Yanchang formation in southern Erdos Basin were considered to be oil shale and mudstone in Chang 7. The identification mark of biomarker-normal geochemical evaluation-log electrical parameters in Yanchang formation of upper Triassic in southern Erdos Basin was established according to the geochemical characteristics and logging characteristics. The parameters are as follows: $8\beta(\text{H})$ -homodrimane/ $8\beta(\text{H})$ -drimanes <2 , $w(\text{TOC}) > 1.6\%$, $S_1+S_2 > 4 \text{ mg/g}$, $I_{\text{H}} > 170 \text{ mg/g}$, $GR > 120 \text{ API}$, $\Delta t > 260 \mu\text{s/m}$, $R_T > 15 \Omega \cdot \text{m}$, $CNL > 27\%$. Logging calculation formula of $w(\text{TOC})$ and I_{H} was established according to the correlation of geochemical parameters and electrical ones, which has realized the cohesion of geochemical information of limited core to the whole interval logging information.

Key words: southern Ordos Basin; biomarkers; geochemical characteristics; oil-source correlation; effective hydrocarbon source rocks; identification marks

鄂尔多斯盆地南部已成为鄂尔多斯盆地勘探的热点和重点地区之一。长 7 油层组底部的油页岩和局部较为发育的长 9 油层组顶部的页岩是盆地内主

力烃源岩^[1-4], 但对于研究区乃至整个鄂尔多斯盆地延长组缺乏有效烃源岩的地球化学特征尤其是识别标志等方面的系统研究, 有效烃源岩的空间展布规

律尚不明确^[5-11]。笔者对研究区烃源岩和原油进行系统采样并进行相关的地球化学实验分析,开展鄂南探区上三叠统延长组生烃条件和油源的研究,在此基础上结合烃源岩测井响应特征建立鄂南探区延长组有效烃源岩的生物标志化油参数、常规地化评价参数、测井电性参数三级识别标志,从而实现从有限岩心的地球化学信息到全区全井段测井信息的衔接,为定量精细描述鄂南探区有效烃源岩空间分布规律奠定基础。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地是一个沉积稳定、拗陷迁移、扭动明显的多旋回克拉通叠加盆地,在三叠纪总体为一西翼陡窄东翼宽缓的不对称南北向矩形盆地,盆地边缘断裂褶皱较发育,而盆地内部构造相对简单,地层平缓,盆地自中生代以来,长期稳定发展,后期构造变动微弱。上三叠统延长组的沉积经历了湖盆由发生、发展、消亡的整个地史演化阶段,沉积了一套完整的进积—垂向加积—退积的沉积序列组成的砂泥岩地层,其自下而上包括第一段(长 10 油组)、第二段(长 9、长 8 油组)、第三段(长 7、长 6、长 4+5 油组)、第四段(长 3、长 2 油组)、第五段(长 1 油组)等 5 个岩性段、10 个油层组^[12-13]。

鄂尔多斯盆地南部地区主要包括镇泾、彬长、旬宜、富县 4 个勘探区块,探区总面积 13 129.6 km² (图 1),据三次资源评价成果,探区石油资源量为

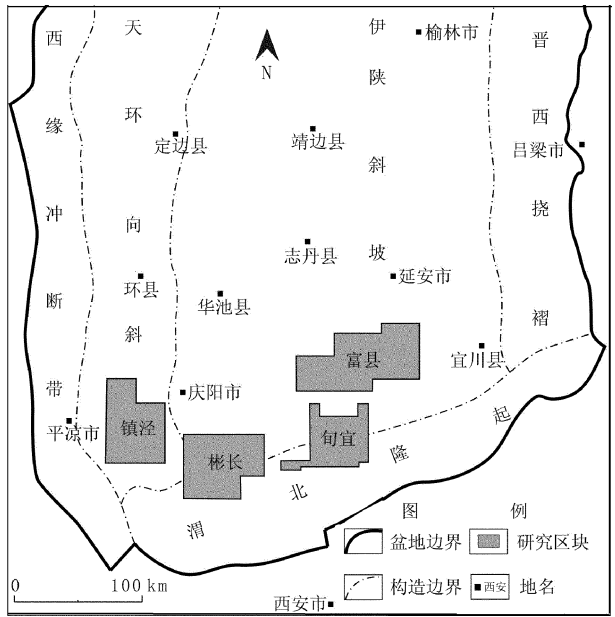


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographic location of study area

10.69×10⁸ t,占盆地总资源量的 12.45%,石油资源

探明率仅 2.36%。鄂南探区内延长组油气分布广泛,研究区油层主要分布在长 4+5、长 6、长 8 及长 9 油层组。

2 样品与实验

对研究区系统采集烃源岩和原油样品,每个区块根据构造及油藏分布特征进行取样,选取代表井,对重点层位密集取样,兼顾其他层位,样品分布情况见表 1。

表 1 不同类型烃源岩样品分布个数
Table 1 Sample numbers of source rocks in different formation

取样类型	生标分类	长 4+5	长 6	长 7	长 8	长 9
岩样	A1			11		
	A2			8		
	A3		2	5	4	
	A4	4	4	3		5
	B	3		6	9	2
油样	I	3	18	6	14	7
	II		2		1	
	III		1	1		1

样品测试工作在中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室和油气资源与探测国家重点实验室完成,主要开展了烃源岩样品的热解分析、有机碳和显微组分的测定,选择部分具代表性的样品进行氯仿沥青“A”萃取和族组分分离,并对饱和烃和芳烃馏分进行气相色谱-质谱分析。气相色谱-质谱分析采用 Finnigan 公司 DSQ 型 GC-MS 分析系统,色谱-质谱分析条件为:载气为 99.9999% 的氦气,进样口温度为 300 ℃,传输线温度为 300 ℃,色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),升温程序为初温 50 ℃恒温 1 min,20 ℃开始以 20 ℃/min 升温至 120 ℃,以 4 ℃/min 升温至 250 ℃,再以 3 ℃/min 升温至 310 ℃,保持 30 min,载气流速为 1 mL/min,采用 EI (70 eV) 电子轰击方式,灯丝电流为 100 μA,倍增器电压为 1200 eV,全扫描。

3 烃源岩的生烃潜力及演化特征

鄂南探区延长组不同油层组烃源岩部分评价参数分布见表 2,其中长 7 油层组烃源岩性质最好,长 7 油层组暗色泥岩,油页岩和碳质泥岩有机碳含量平均值分别为 2.92%、12.90% 和 5.13%,生烃潜量参数 S₁+S₂ 平均值分别为 9.23、76.12 和 11.01 mg/g,均达到很好的烃源岩标准,氢指数(I_H)平均值分别为 194、590 和 204 mg/g,其中油页岩有机质类型最好,次为暗色泥岩,碳质泥岩有机质类型最差,烃

源岩均主要发育在成熟作用阶段;长 4+5、长 6、长 8 和长 9 油层组主要发育暗色泥岩,其有机质丰度均达到好的烃源岩标准,但有机质类型较差,烃源岩主要处于成熟作用阶段,比较而言,长 6 和长 8 和长 9 油层组烃源岩有机质丰度高于长 4+5 油层组烃源岩,有机质类型也稍好于长 4+5 油层组烃源岩。

表 2 延长组不同油层组烃源岩评价部分参数分布

Table 2 Distribution of some parameters used in source rocks evaluation from different oil zones in Yanchang formation

层位	岩性	$w(\text{TOC})/\%$	$S_1+S_2/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$I_{\text{H}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$R_o/\%$
长 4+5	暗色泥岩	0.80 ~ 2.70	0.73 ~ 4.20	52 ~ 147	0.88 ~ 0.92
		1.34(7)	1.62(7)	97(7)	0.89(3)
长 6	暗色泥岩	0.71 ~ 4.00	0.43 ~ 13.50	39 ~ 308	0.68 ~ 0.89
		1.81(6)	4.70(6)	170(6)	0.79(3)
长 7	暗色泥岩	0.62 ~ 4.90	0.62 ~ 17.90	71 ~ 318	0.68 ~ 0.76
		2.92(17)	9.23(17)	194(17)	0.72(5)
	油页岩	3.92 ~ 22.50	27.10 ~ 120.10	376 ~ 727	0.53 ~ 0.76
		12.90(13)	76.12(13)	590(13)	0.62(7)
	碳质泥岩	4.10 ~ 6.80	7.70 ~ 16.50	179 ~ 236	0.95 ~ 0.95
		5.13(3)	11.01(3)	204(3)	0.95(1)
长 8	暗色泥岩	0.59 ~ 4.40	0.42 ~ 37.84	51 ~ 252	0.71 ~ 0.94
		2.10(13)	7.81(13)	151(13)	0.85(7)
长 9	暗色泥岩	0.93 ~ 2.10	0.91 ~ 12.50	67 ~ 225	0.76 ~ 0.92
		1.42(7)	4.21(7)	157(7)	0.84(5)

注:表中分子为值分布范围,分母为平均值,括号内为样品个数。

4 烃源岩及原油类型划分

4.1 烃源岩类型划分

鄂尔多斯盆地长庆探区关于烃源岩生物标志物特征方面的研究^[14]主要根据 C₃₀重排藿烷含量区分不同类型烃源岩。研究表明,鄂南探区烃源岩中补身烷系列化合物,尤其 8β(H)-补身烷和生烃潜力有着明显的相关性,能非常好地表征常规地化评价参数 w(TOC)、S₁+S₂ 和氢指数。根据补身烷系列化合物和 C₃₀重排藿烷分布特征,结合 Pr/Ph 等其他生物标志物参数划分烃源岩和原油类型,并进行精细

的油源对比。

根据 Pr/Ph 的分布特征,鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组烃源岩可划分为 A、B 两大类(图 2),结合 C₃₀重排藿烷和 8β(H)-补身烷的特征以及其他生物标志物参数,A 类烃源岩又可细分为 A1、A2、A3、A4 四亚类(图 2)。各亚类烃源岩生物标志物特征的差异主要为 C₃₀重排藿烷和 8β(H)-补身烷相对含量(图 3、4),其中 A1 类烃源岩 C₃₀重排藿烷含量很低,C₃₀重排藿烷/C₃₀藿烷小于 0.3,8β(H)-升补身烷/8β(H)-补身烷<2,8β(H)-补身烷含量较高,且高于 8α(H)-补身烷含量;A2 类烃源岩 C₃₀重

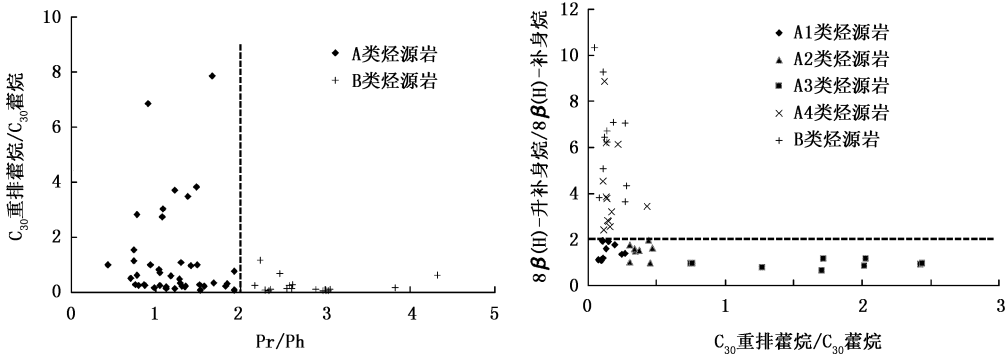


图 2 鄂尔多斯盆地南部延长组各类烃源岩部分生物标志参数分布

Fig.2 Distribution of some biomarker parameters of hydrocarbon source rocks in Yanchang formation of the southern Ordos Basin

排藿烷/ C_{30} 藿烷为 0.3 ~ 0.5, $8\beta(H)$ -升补身烷/ $8\beta(H)$ -补身烷 <2 , $8\beta(H)$ -补身烷含量较高,但低于 $8\alpha(H)$ -补身烷含量; A3 类烃源岩 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷大于 0.5, $8\beta(H)$ -升补身烷/ $8\beta(H)$ -补身烷 <2 , $8\beta(H)$ -补身烷含量较高,但低于 $8\alpha(H)$ -补身烷含量; A4 和 B 类烃源岩 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷 <0.6 , $8\beta(H)$ -升补身烷/ $8\beta(H)$ -补身烷 >2 。

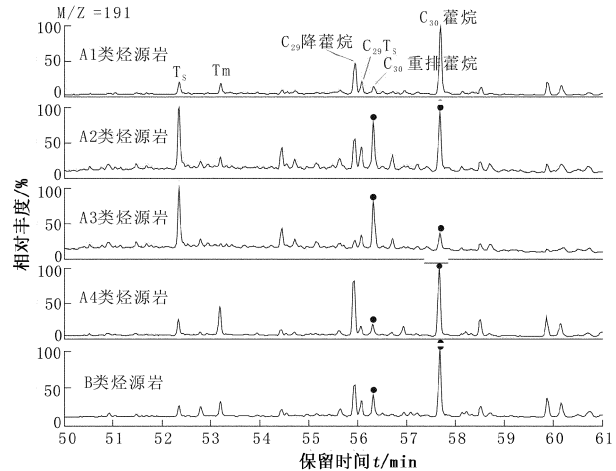


图 3 鄂尔多斯盆地南部延长组不同类型
烃源岩 C_{30} 重排藿烷分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of C_{30} diahopane
from different source rocks in Yanchang
formation of the southern Ordos Basin

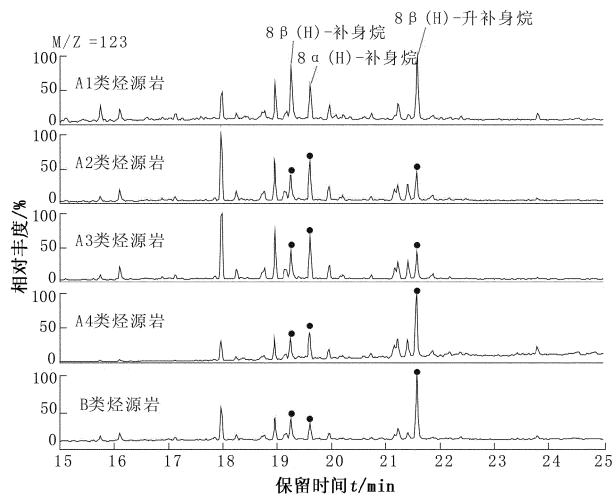


图 4 鄂尔多斯盆地南部延长组不同类型
烃源岩 $8\beta(H)$ -补身烷重排藿烷分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of $8\beta(H)$ -drimanes
diahopane from different source rocks in Yanchang
formation of the southern Ordos Basin

不同类型烃源岩分布上存在一定的差别, A1 类烃源岩为油页岩, 主要分布在各个区块的长 7 油层组; A2 和 A3 类烃源岩岩性主要为暗色泥岩, 其分

布较为局限, 其中 A2 类烃源岩主要分布在镇泾、旬宜和富县地区的长 7 油层组, A3 类烃源岩主要发育在富县地区的长 7 油层组, 以及旬宜和富县地区长 8 油层组; A4 类和 B 类烃源岩分布较为广泛, 全区各层位皆有分布, 其中 A4 类烃源岩岩性为暗色泥岩, B 类烃源岩岩性以碳质泥岩为主。

4.2 原油类型划分

参照烃源岩分类标准, 可将研究区原油分为以下 3 种类型(图 5)。3 类原油重排藿烷含量存在明显的差别, 其中第 I 类油 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值较低, 为 0.01 ~ 0.36, 第 II 类油 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值较高, 为 0.36 ~ 0.48, 第 III 类油 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值最高, 为 0.64 ~ 3.53。3 类原油 $8\beta(H)$ -补身烷含量均较高, 且 $8\beta(H)$ -升补身烷/ $8\beta(H)$ -补身烷均小于 2, I 类油 $8\beta(H)$ -补身烷含量高于 $8\alpha(H)$ -补身烷含量, 其他两类都低于 $8\alpha(H)$ -补身烷含量。第 I 类原油在研究区广泛分布, 延长组各油层组几乎均有 I 类原油, 第 II、第 III 类原油分布较为局限, 第 II 类原油主要分布在镇泾区块的长 8 油层组及富县地区的长 6 油层组; 第 III 类原油分布在旬宜地区的长 6、长 7 油层组及富县的长 9 油层组。

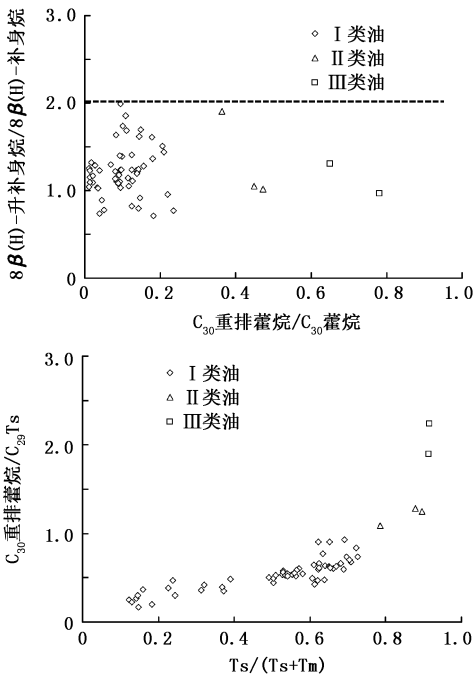


图 5 不同类型原油的部分生物标志物参数

Fig. 5 Distribution profile of characteristics of some
biomarkers in different crude oils

5 油源对比

C_{30} 重排藿烷/ C_{29} 降藿烷与 Pr/Ph 的相关图和

8β(H)-升补身烷/8β(H)-补身烷与 8β(H)-补身烷/8α(H)-补身烷的相关图(图 6)表明,中生界原油与 A4、B 类烃源岩存在明显的差别,基本排除这两类烃源岩的油源贡献。从图 7 可以看出,研究区中生界 I、II、III 类原油分别与 A1、A2、A3 类烃源岩有很好的相关性,表明这 3 类原油分别来源于这 3 类烃源岩。目前在研究区长 8 油层组的暗色泥岩和部分长 7 暗色泥岩都为 A3 类烃源岩,生物标志化合物分布特征对比(图 8)表明,III 类原油的地球化学特征更接近于长 7 暗色泥岩。主要表现为:III 类

原油和长 7 暗色泥岩中 C₃₀重排藿烷丰度均很高,但 C₃₀重排藿烷相对丰度低于 C₃₀藿烷,而长 8 暗色泥岩中 C₃₀重排藿烷相对丰度明显高于 C₃₀藿烷;III 类原油 Pr/Ph 及甾烷分布特征与长 7 暗色泥岩接近,而与长 8 黑色泥岩存在一定的差别,因此推测 III 类原油主要来源于长 7 暗色泥岩。以上分析表明鄂南探区上三叠统延长组长 7 油页岩和长 7 暗色泥岩为有效烃源岩,其中油源贡献最大的是 A1 类烃源岩,即长 7 油页岩。

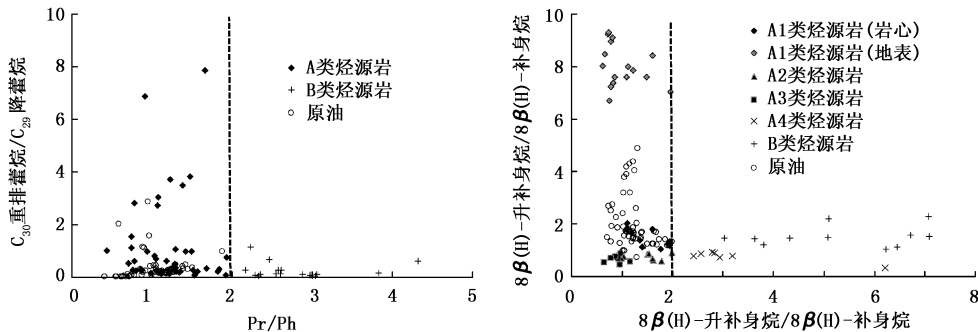


图 6 鄂尔多斯盆地南部地区中生界原油与烃源岩中部分生物标志物参数

Fig. 6 Comparison of some biomarker parameters between crude oil in the Mesozoic and hydrocarbon source rocks in the southern Ordos Basin

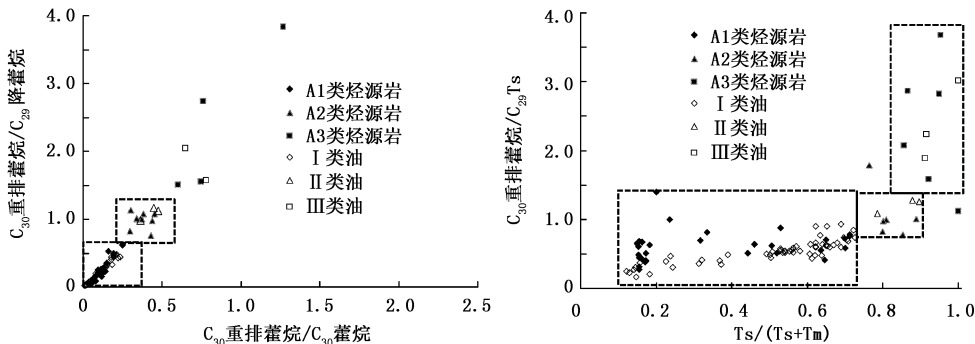


图 7 鄂尔多斯盆地南部地区中生界原油与 A 类烃源岩中部分生物标志物参数

Fig. 7 Comparison of some biomarker parameters between crude oil in the Mesozoic and type A hydrocarbon source rocks in the southern Ordos Basin

6 地球化学特征及识别标志

6.1 有效烃源岩地球化学特征

不同类型的烃源岩生烃潜力差异明显(表 3), A1 类有效烃源岩有机碳含量为 3.9% ~ 22.5%, 平均值为 12.9%, S₁+S₂ 为 27.1 ~ 120.1 mg/g, 平均值为 76.1 mg/g, 为很好的烃源岩; A2 类有效烃源岩有机碳含量为 1.8% ~ 5.9%, 平均值为 3.7%, S₁+S₂ 为 6.0 ~ 32.9 mg/g, 平均值为 16.5 mg/g, 为很好的烃源岩; A3 类有效烃源岩有机碳含量为 2.1% ~ 4.9%, 平均值为 3.6%; S₁+S₂ 为 8.1 ~ 16.2 mg/

g, 平均值为 11.6 mg/g, 也达到好的烃源岩标准; A4 类和 B 类烃源岩也具有较好的生烃潜力, 为研究区一套潜在烃源岩。

A1 类有效烃源岩的有机质类型最好, 以 I 型为主, A2、A3 类有效烃源岩有机质类型以 II₁ 为主(图 9)。A4 类和 B 类烃源岩有机质类型以 II₂ 和 III 型为主。A 类有效烃源岩显微组分的壳质组和矿物沥青组分含量占全岩显微组分的 70% 以上(图 10), 达到了好或较好的评价标准, 且 R_o 普遍大于 0.6%, 已进入大量生烃阶段。A4、B 类烃源岩显微组分中壳质组和矿物沥青组分含量低于全岩显微组

分的 60%。

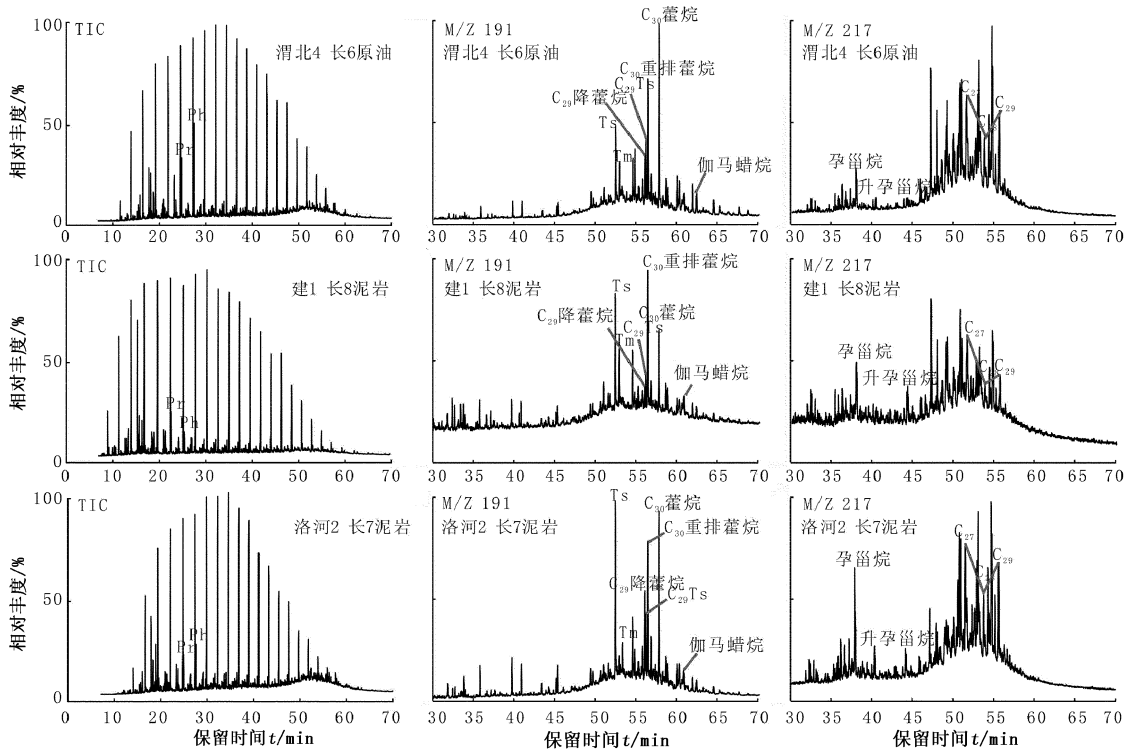


图 8 III类原油与长 8 暗色泥岩和长 7 泥岩的生物标志化合物

Fig. 8 Biomarker comparison of crude oil in type III and dark mudstone in Chang 8 formation, and comparison of crude oil in type III and dark mudstone in Chang 7 formation

表 3 不同类型烃源岩有机质丰度分布特征

Table 3 Distribution characteristics of organic matter abundance in different source rocks

类型		$w(\text{TOC})/\%$	$S_1+S_2/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$I_{\text{H}}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$w(\text{氯仿溶“ A ”})/\%$	$R_o/\%$
优质	A1	<u>3.9 ~ 22.5</u>	<u>27.1 ~ 120.1</u>	<u>376 ~ 727</u>	<u>0.19 ~ 1.38</u>	<u>0.53 ~ 0.76</u>
		12.9(9)	76.1(9)	590(9)	0.88(7)	0.62(7)
有效	A2	<u>1.8 ~ 5.9</u>	<u>6.0 ~ 32.9</u>	<u>267 ~ 531</u>	<u>0.11 ~ 0.69</u>	<u>0.59 ~ 1.02</u>
		3.7(5)	16.5(5)	380(5)	0.60(5)	0.78(5)
	A3	<u>2.1 ~ 4.9</u>	<u>8.1 ~ 16.2</u>	<u>172 ~ 481</u>	<u>0.29 ~ 0.50</u>	<u>0.73 ~ 0.94</u>
		3.6(8)	11.6(8)	261(8)	0.36(4)	0.81(5)
		潜在	A4	<u>0.6 ~ 2.3</u>	<u>0.4 ~ 4.5</u>	<u>39 ~ 218</u>
B	1.2(16)		1.7(16)	1.09(16)	0.04(15)	0.87(7)
	<u>0.6 ~ 8.3</u>		<u>0.4 ~ 37.8</u>	<u>51 ~ 473</u>	<u>0.05 ~ 0.37</u>	<u>0.74 ~ 0.95</u>
	3.4(16)		10.2(16)	187(16)	0.14(17)	0.85(7)

A 类(包括 A1,A2 和 A3 类)有效烃源岩烃源岩生物标志物主要具有如下特征(图 11):正构烷烃碳数分布特征呈单峰态前峰型,Pr/Ph 值为 0.79 ~ 1.29,伽马蜡烷、 β -胡萝卜烷含量都很低,表明该类烃源岩形成于还原到弱还原的淡水-微咸水环境中; $\alpha\alpha\alpha 20\text{RC}_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20\text{RC}_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20\text{RC}_{29}$ 甾烷相对含量主要呈近“V”型或“L”型分布,表明其生源输入中藻类等水生生物的贡献较大;重排甾烷/规则甾烷分布在 0.05 ~ 0.14,A1 类五环三萜烷烃类化合物

中 C_{30} 藿烷丰度最高, C_{30} 重排藿烷含量很低, C_{29} 降藿烷含量中等—较高,Ts 含量低于或接近于 Tm;A2、A3 类 C_{30} 重排藿烷含量从较低到很高都有分布。重排藿烷分布特征表明 A1 类烃源岩发育于更加偏还原的环境;成熟度参数 $\text{Ts}/(\text{Ts} + \text{Tm})$ 值为 0.44 ~ 0.79, C_{31} 升藿烷 $22\text{S}/(22\text{S} + 22\text{R})$ 值介于 0.54 ~ 0.58, C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20\text{S}/(20\text{S} + 20\text{R})$ 值介于 0.42 ~ 0.47, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$ 值介于 0.45 ~ 0.59,表明烃源岩处于低熟—成熟阶段。

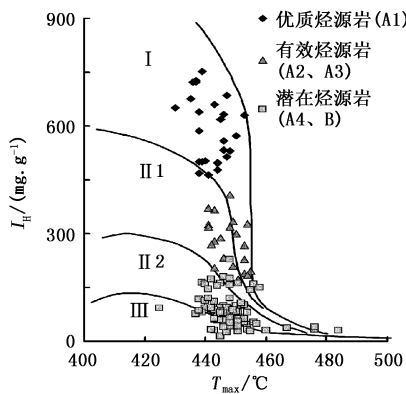


图 9 不同类型烃源岩有机质类型

Fig. 9 Organic matter type in different source rocks

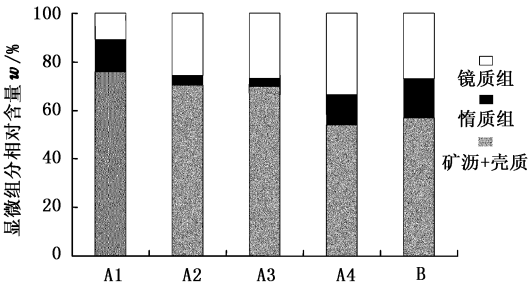


图 10 鄂尔多斯盆地不同类型烃源岩显微组分相对含量

Fig. 10 Relative content of macerals in different source rocks in Yanchang formation of the southern Ordos Basin

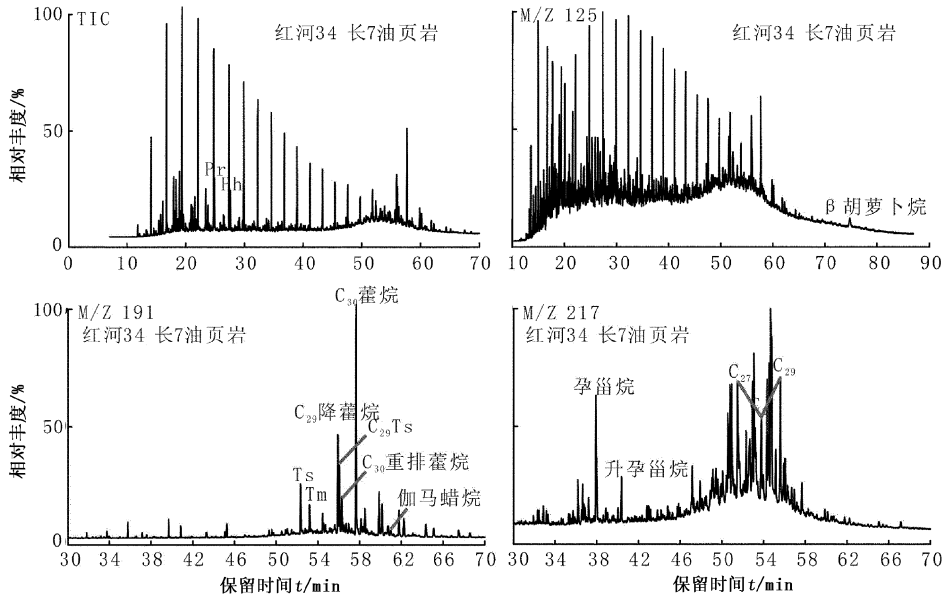


图 11 鄂南地区地部分有效烃源岩饱和烃质量色谱

Fig. 11 Saturates mass chromatogram of effective source rocks in the southern Ordos Basin

6.2 有效烃源岩识别标志

不同类型的烃源岩生物标志物特征的差异主要体现在 C_{30} 重排藿烷和 $8\beta(H)$ -补身烷含量不同,而它们的差异主要反映了烃源岩沉积环境的差别,影响烃源岩的品质,因此可以主要通过这两个生物标志物参数区分不同类型的烃源岩。

不同类型的烃源岩的生烃潜力存在差别,对应的常规地球化学评价参数 $w(TOC)$ 、 S_1+S_2 、 I_H 、 $(S_1+S_2)/w(TOC)$ 以及显微组分存在明显的区分度。

烃源岩含有丰富的有机质,地层中铀含量与有机质含量有一定的正相关关系,因此其放射性较高,自然伽马测井值比一般非烃源岩的高;富含有机质的泥岩层,由于导电性较差的干酪根和油气的出现,其电阻率总是比不含有有机质的同样岩性的地层电阻率高;由于有机质的密度较小而黏土质矿物的骨架

密度相对较大,因此当烃源岩取代岩石骨架时就会使地层密度减小;地层中含有有机质或油气时由于干酪根(或油气)的声波时差大于岩石骨架声波时差,就会造成地层声波时差增加,,这些烃源岩的物理性质是建立烃源岩电性参数识别标志的理论基础^[15-18]。

因此据以上三点可以建立有效烃源岩的生物标志物参数、常规地球化学评价参数、测井电性参数三级识别标志(图 12、表 4)。

通过常规地化参数和电性参数之间建立的相关性来看(图 13),由于研究区的电阻率影响因素较多导致相关性不明显,导致用传统 $\Delta\log R$ 法建立的 $w(TOC)$ 计算公式相关系数较低; $w(TOC)$ 及 I_H 与 GR 、 Δt 、 CNL 的相关性较好,故可采用 GR 、 Δt 、 CNL 等电性参数值作为自变量,通过三元回归分析的方法建立对应计算公式:

$$w(\text{TOC})_{\text{计算}} = 0.0177GR + 0.0405AC + 0.0855CNL - 12.0619, R=0.82;$$

$$I_{\text{H计算}} = 0.6799GR + 3.7072AC + 4.2917CNL - 908.4873, R=0.85.$$

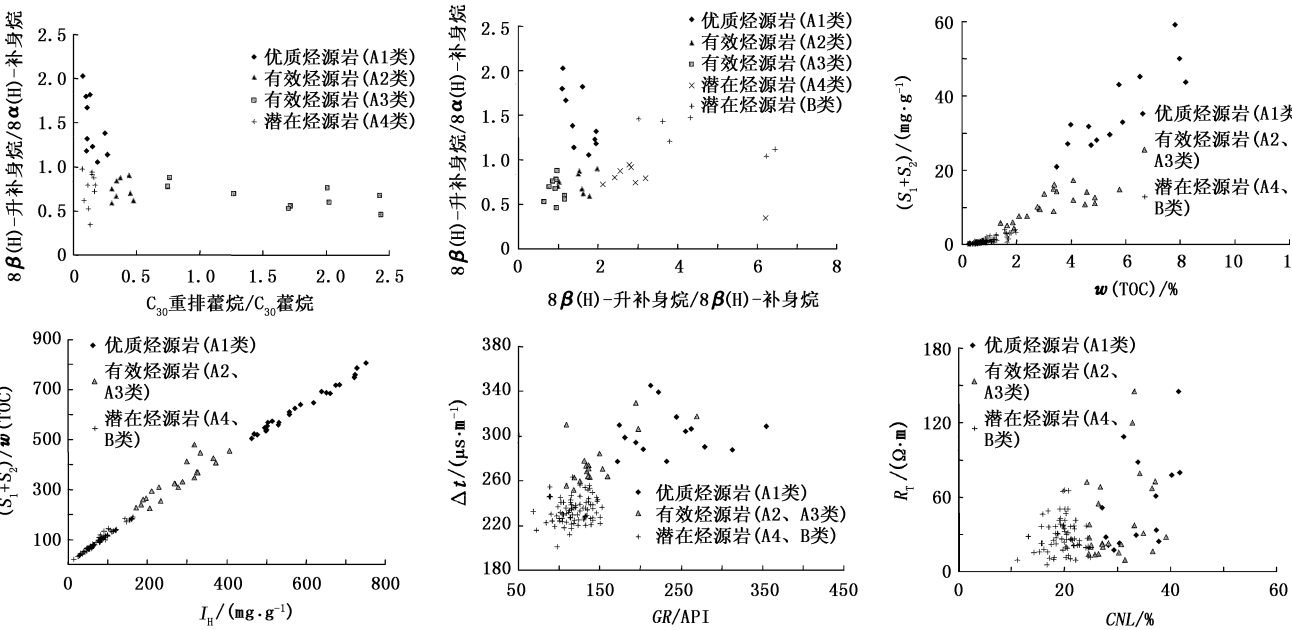


图 12 不同类型烃源岩典型参数相关图

Fig. 12 Correlation diagram of typical parameters in different source rocks

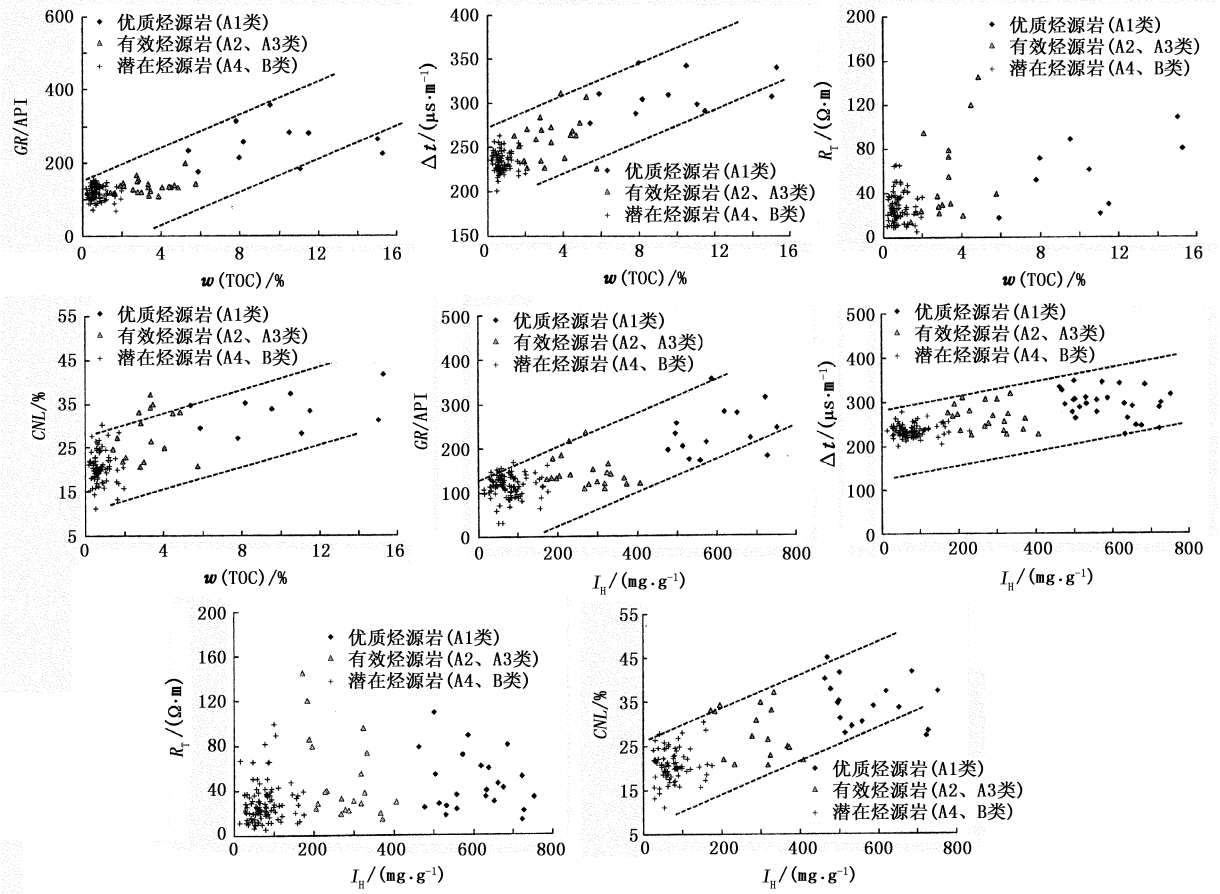


图 13 不同类型烃源岩 $w(\text{TOC})$ 、 I_{H} 与测井电性参数

Fig. 13 Correlation diagram of $w(\text{TOC})$, I_{H} and log electrical parameters in different source rocks

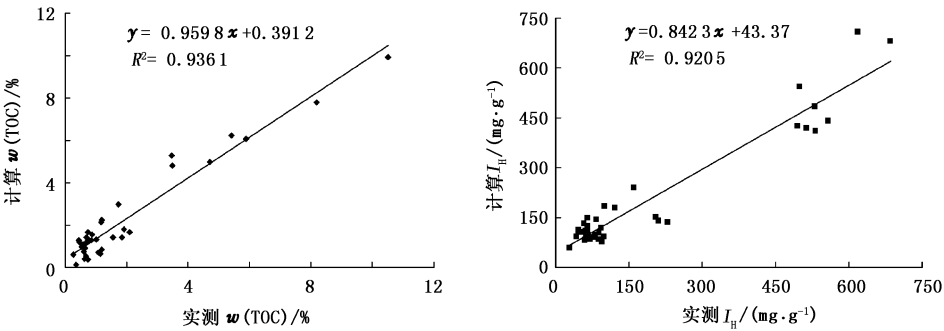


图 14 计算 $w(\text{TOC})$ 、 I_{H} 与实测 $w(\text{TOC})$ 、 I_{H} 相关图

表 4 延长组不同类型烃源岩识别标志
Table 4 Identification marks of different types of source rocks in Yanchang formation

类型	识别参数	优质 烃源岩	有效 烃源岩	潜在 烃源岩
生物 标志物	$8\beta(\text{H})$ -升补身烷/ $8\beta(\text{H})$ -补身烷	<2	<2	>2
	$8\beta(\text{H})$ -补身烷/ $8\alpha(\text{H})$ -补身烷	>1	<1	
常规 地化	$w(\text{TOC})/\%$	>4	>1.6	
	$S_1+S_2/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	>20	>4	<4
	$I_{\text{H}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	>450	>170	<170
	$(S_1+S_2)/w(\text{TOC})$	>500	>200	<200
测井 电性	GR/API	>170	>120	>100
	$\Delta t/(\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1})$	>280	>260	<260
	$R_{\text{T}}/(\Omega\cdot\text{m})$	>15	>15	
	$CNL/\%$	>25	>25	<25

应用上述公式计算镇泾地区部分采样点的 $w(\text{TOC})$ 、 I_{H} ，并与实测 $w(\text{TOC})$ 、 I_{H} 进行对比(图 14)，发现二者基本吻合。

本次研究中没有发现能与油样具有较好亲缘关系的长 9 烃源岩(皆为 A4 类或者 B 类)。从建立的有效烃源岩电性标准识别出的长 9 可能存在的有效烃源岩来看,它的厚度相比长 7 油层组非常薄,平面分布也非常局限,说明长 9 烃源岩即使存在油源贡献也是少量的,远少于长 7 油页岩的油源贡献,即鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组深层长 9 原油主要来源于长 7 油页岩。对于鄂尔多斯盆地南部整个探区,富县区块因最毗邻延安—志丹地区长 9 生烃中心,长 9 油层组存在具有油源贡献的烃源岩的可能性最大。

7 结 论

(1)鄂南探区烃源岩中补身烷尤其 $8\beta(\text{H})$ -补身烷相对含量与烃源岩的生烃潜力有着十分明显的影响,与烃源岩品质之间具有正相关性,结合常用的由 C_{30} 重排藿烷相对含量划分烃源岩和原油类型进行油源对比具有较好的适用性,不同类型烃源岩生

物标志物特征,生烃潜力及测井电性特征差异明显。

(2)延长组 I、II、III 类原油分别与 A1、A2、A3 类烃源岩有很好的相关性,表明这 3 类原油分别来源于这 3 类烃源岩,即鄂尔多斯盆地南部地区延长组长 7 油页岩和长 7 暗色泥岩为有效烃源岩,其中油源贡献最大的为 A1 类烃源岩,即长 7 油页岩。

(3)根据有效烃源岩生物标志化合物和常规地球化学特征建立了延长组有效烃源岩的生物标志化合物-常规地化-电性三级识别标志,即 $8\beta(\text{H})$ -升补身烷/ $8\beta(\text{H})$ -补身烷<2, $w(\text{TOC})>1.6\%$, $S_1+S_2>4\text{ mg/g}$, $I_{\text{H}}>170\text{ mg/g}$, $GR>120\text{ API}$, $\Delta t>260\text{ }\mu\text{s/m}$, $R_{\text{T}}>18\text{ }\Omega\cdot\text{m}$, $CNL>27\%$,根据地化参数与电性参数之间的相关性建立了 $w(\text{TOC})$ 及 I_{H} 的测井计算公式,从而实现了从有限岩心的地球化学信息到全区全井段测井信息的衔接。

参考文献:

[1] 张文正,杨华,杨奕华,等. 鄂尔多斯盆地长 7 优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学, 2008,37(1):59-64.
ZHANG Wen-zheng, YANG hua, YANG Yi-hua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin[J]. Geochemica, 2008, 37(1):59-64.

[2] 张文正,杨华,李剑锋,等. 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:强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006,33(3):289-293.
ZHANG Wen-zheng, YANG Hua, LI Jian-feng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation: hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006,33(3):289-293.

- [3] 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.
YANG Hua, ZHANG Wen-zheng. Leading effect of the seventh member high-quality source rock of Yanchang formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: geology and geochemistry[J]. Geochemica, 2005, 34(2): 147-154.
- [4] 张文正, 杨华, 李善鹏. 鄂尔多斯盆地长-9 ~ 1 湖相优质烃源岩成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 557-562.
ZHANG Wen-zheng, YANG Hua, LI Shan-peng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang-9 ~ 1 high-quality lacustrine source rocks of Yanchang formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 557-562.
- [5] 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.
DUAN Yi, WU Bao-xiang, ZHANG Hui, et al. Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng Oilfield in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 301-310.
- [6] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地安塞-富县地区延长组-延安组原油地球化学特征及油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 218-224.
GUO Yan-qin, LI Wen-hou, CHEN Quan-hong, et al. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang Yan'an formations in Ansai-Fuxian area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 218-224.
- [7] 王震, 李仲东, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界油气成藏主控因素分析[J]. 断块油气田, 2007, 3(3): 25-27.
WANG Zhen, LI Zhong-dong, HUI Kuan-yang, et al. Analysis of main control factor of mesozoic oil and gas accumulation in Ordos Basin of Zhenjing region[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007, 3(3): 25-27.
- [8] 丁晓琪, 张峭楠, 谢世文, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 157-164.
DING Xiao-qi, ZHANG Shao-nan, XIE Shi-wen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing Oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 157-164.
- [9] 张云霞, 陈纯芳, 宋艳波. 鄂尔多斯盆地南部中生界烃源岩特征及油源对比[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 173-177.
ZHANG Yun-xia, CHEN Chun-fang, SONG Yan-bo. Features of mesozoic source rocks and oil-source correlation in southern Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 173-177.
- [10] 赵彦德, 罗安湘, 孙柏年. 鄂尔多斯盆地西南缘三叠系烃源岩评价及油源对比[J]. 兰州大学学报, 2012, 48(3): 1-5.
ZHAO Yan-de, LUO An-xiang, SUN Bai-nian. Hydrocarbon source evaluation and oil source contrast of the triassic system in southwest margin, Ordos Basin[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2012, 48(3): 1-5.
- [11] 韩宗元, 苗建宇, 布占琦. 鄂尔多斯盆地镇原地区中生界延长组、延安组烃源岩地球化学特征对比分析[J]. 现代地质, 2007, 21(3): 532-537.
HAN Zong-yuan, MIAO Jian-yu, BU Zhan-qi. The comparative study on organic geochemical characters of the mesozoic source rocks in T-3y and J-2y of Zhenyuan in Ordos Basin[J]. Geoscience, 2007, 21(3): 532-537.
- [12] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 80-105.
- [13] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地学报, 2004, 6(3): 307-315.
WU Fu-li, LI Wen-hou, LI Yu-hong, et al. Delta sediments and evolution of the Yanchang formation of upper Triassic in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(3): 307-315.
- [14] 张文正, 杨华, 侯林慧, 等. 鄂尔多斯盆地延长组不同烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷的分布及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2009, 52(7): 965-974.
ZHANG Wen-zheng, YANG Hua, HOU Lin-hui, et al. Distribution and geological significance of $17\alpha(\text{H})$ -diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang formation in Ordos Basin[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2009, 52(7): 965-974.
- [15] 王贵文, 朱振宇, 朱广宇. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 50-52.
WANG Gui-wei, ZHU Zhen-yu, ZHU Guang-yu. Logging identification and evaluation of Cambrian-Ordovician source rocks in syncline of Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 50-52.
- [16] 朱光有, 金强, 张林晔. 用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J]. 测井技术, 2003, 27(2): 104-109.
ZHU Guang-you, JIN Qiang, ZHANG Lin-ye. Using log information to analyse the geochemical characteristics of source rocks in Jiyang depression[J]. Well Logging

Technology, 2003, 27(2): 104-109.

[17] 闫建平,蔡进功,赵铭海,等. 运用测井信息研究烃源岩进展及其资源评价意义[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(1): 270-279.

YAN Jian-ping, CAI Jin-gong, ZHAO Ming-hai, et al. Advances in the study of source rock evaluation by geophysical logging and its significance in resource assessment[J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(1): 270-279.

[18] 朱振宇,刘洪,李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 647-649.

ZHU Zhen-yu, LIU Hong, LI You-ming. The analysis and application of $\Delta\log R$ method in the source rocks identification[J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(4): 647-649.

(编辑 刘为清)

下 期 要 目

吴 伟,等	珠江口盆地白云凹陷北带韩江组层序格架及富砂沉积体系
刘恩涛,等	北部湾盆地福山凹陷构造转换带对层序及沉积体系的控制
陈 勇,等	淮南霍-玛-吐构造带古近系紫泥泉子组油气成藏动力学特征
周 磊,等	廊固凹陷河西务构造带沙四段低渗储层特征及其成因机制
李爱芬,等	单一缝洞内油水相对渗透率试验及影响因素
徐兵祥,等	页岩气产量数据分析方法及产能预测
程远方,等	考虑裂隙发育的碳酸盐地层孔隙压力预测新模型
李 玮,等	井底条件下牙轮钻头的钻速方程及现场应用
李志刚,等	基于分析设计直接法的水下分离器结构总体塑性变形校核研究
李美蓉,等	疏水缔合型和非疏水缔合型驱油聚合物的结构与溶液特征
路俊刚,等	准噶尔盆地滴水泉凹陷石炭系烃源岩生烃能力分析
李 传,等	表面活性剂对油溶性降黏剂降黏效果的影响及作用机制
康万利,等	N-苄基-N-正丁基丙烯酰胺三元共聚物与 SDS 的相互作用
常象春,等	哈拉哈塘凹陷新垦区块奥陶系油气成藏的地球化学证据
李树荣,等	受限非线性最优控制问题的三角正交函数求解方法