

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.04.013

鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组下组合油源特征综合研究

张卫刚^{1,2}, 陈刚^{1*}, 郭望³, 任帅锋¹, 康昱¹, 王锦涵¹, 姜天皓¹

(1. 西北大学地质系, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 中国石油长庆油田分公司第八采油厂, 陕西 西安 710021; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:在充分总结姬塬地区延长组下组合大量原油及烃源岩生物标志化合物资料的基础上, 结合研究薄弱带的铁边城区块的原油样品族组分组成、饱和烃色质及烃源岩样品总有机碳、热解、族组分组成及饱和烃色质测试结果, 系统分析了研究区目的层段的油源特征, 并明确了原油与烃源岩在空间上的匹配特征。结果表明, C_{30} 重排藿烷含量差异能够有效区分长 7、长 9 烃源岩及生成烃类。长 7 油页岩为主力烃源岩, 长 7 灰黑色泥岩次之。在姬塬地区东南部的铁边城区块存在长 9 烃源岩分布, 且对长 9 油层组有一定程度的生烃贡献。空间上, 姬塬地区延长组下组合的油源特征具有明显的分区性, 大致以古峰庄东—红井子—姬塬西—樊学西南为分界, 界限东北部区域的Ⅰ类原油为西南部长 7 油页岩长距离侧向运聚结果, 东南端的Ⅰ—Ⅱ类过渡型原油为长 7 油页岩与长 9 暗色泥岩混合贡献产物; 界限西南部区域的Ⅱ—Ⅲ类原油来自长 7 黑色泥岩。

关键词:姬塬地区; 铁边城区块; 延长组下组合; 油源对比; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)04-0140-13

Comprehensive Research of Oil-Source Rock Correlation of Lower Yanchang Formation in Jiyuan Field, Ordos Basin

ZHANG Weigang^{1,2}, CHEN Gang^{1*}, GUO Wang³, REN Shuaifeng¹, KANG Yu¹,
WANG Jinhao¹, JIANG Tianhao¹

(1. Department of Geology, State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 2. NO. 8 Oil Production Plant Changqing Oilfield Company, Petro China, Xi'an 710021, Shaanxi, China; 3. Xi'an Centre of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: On the basis of biomarker data for crude oil and source rock from Lower Yanchang Formation in Jiyuan area of Ordos basin, this paper systematically analyzed oil source characteristics and clarified the spatial matching characteristics of crude oil and source rock with reference to

收稿日期: 2019-08-10; **修回日期:** 2020-06-12

基金项目: 国家自然科学基金重点基金“鄂尔多斯、沁水沉积盆地中生代晚期古地温场对岩石圈动力学演化及油气赋存的约束作用”(41630312), 国家基础科学人才培养创新基金“鄂尔多斯盆地中西部 TBC 地区延长组下组合油气成藏机理研究”(XDCX2018-08), 西北大学大学生创新创业计划“鄂尔多斯盆地中西部 TBC 地区延长组下组合油-源对比关系及其控藏意义研究”(2019184)

作者简介: 张卫刚(1975-), 男, 博士研究生, 油气田地质与开发专业。E-mail: 2957617668@qq.com

*** 通讯作者:** 陈刚(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事含油气盆地地质学研究。E-mail: chengangnwu@foxmail.com

group component and saturated hydrocarbon chromatogram of crude oil, and total organic carbon, pyrolysis, group component, saturated hydrocarbon chromatogram of source rock from Tiebiancheng Field. The results showed that C_{30} dihopane can be used to effectively distinguish the source rock and related hydrocarbon of Chang 7 from those of Chang 9. In Chang 7, oil shale is the main source rock, followed by grayish black mudstone. In Chang 9 source rock develops in Tiebiancheng Field of southeastern Jiyuan Area, which also contributes some hydrocarbon generation. In space, the oil-source rock of Lower Yanchang Formation in Jiyuan area has an obvious boundary of eastern Gufengzhuang- Hongjingzi- western Jiyuan- southwestern Fanxue. In the northeastern region of the boundary, crude oil of Type I derived from the long-distance lateral migration and accumulation of Chang 7 oil shale; in the southeastern end of the boundary, transitional crude oil of Type I-II is the mixture of Chang 7 oil shale and Chang 9 dark mudstone; in the southwestern region, crude oil of Type II-III is from Chang 7 black mudstone.

Keywords: Jiyuan area; Tiebiancheng field; Lower Yanchang formation; oil-source rock correlation; Ordos basin

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地中西部,地跨西缘逆冲带、天环拗陷及伊陕斜坡,为鄂尔多斯盆地中生界最主要石油富集区之一,三叠系延长组为其主要的含油层位(李相博等,2012;周进高等,2008;付金华等,2013;郑荣才等,2011;黄振凯等,2020;朱谨谨等,2019)。

长7、长8及长9油层组构成的延长组下组合的油源问题一直是该区的重点研究内容之一(李相博等,2012;周进高等,2008;付金华等,2013;郑荣才等,2011;HUANG等,2012;段毅等,2009;郭望等,2019;任帅锋,2019;孙宁亮等,2019)。已发表研究成果认为,长7及以上油层组原油主要为长7烃源岩贡献,在局部各油层组内烃源岩发育较好的地区,存在长7与其自身层段烃源岩的混合贡献(郑荣才等,2011)。长8原油以长7烃源岩贡献为主,长8烃源岩贡献为辅(史建南等,2012)。对于长9原油的油源则存在争论,虽然多数已公开资料显示研究区长9原油与其他地区长7烃源岩存在亲缘关系,认为长9原油可能来自长7烃源岩,但并未有足够的姬塬地区本地的长9烃源岩及长7原油资料与之对比论证。此外,在研究区以南邻近的陇东地区,以往认为缺乏长9烃源岩的分布,陆续却发现了长9烃源岩生烃贡献的证据(李相博等,2012;赵阳等,2013;柳广弟等,2015),因此,对于研究区长9原油的油源特征仍需进一步研究。

前人研究主要集中在工作程度较高的研究区中西部及东北部,对于东南部的铁边城区块较少涉及,而该区块恰好邻近已被证实的长9烃源岩典型发育

的志丹南地区,有可能揭示更多有关长9烃源岩供烃的信息。此外,近年来已有不少学者研究认为,长9期半深湖相沉积中心向西至少可以从志丹南部向西延伸至铁边城—姬塬一带(周进高等,2008;张枝焕,2010)。同时,笔者在铁边城区块岩心观察和采集的样品也显示长9发育一定厚度规模的烃源岩。

笔者在充分总结前人研究成果的基础上,结合铁边城区块延长组下组合不同层位原油及烃源岩样品的测试数据,对姬塬地区延长组下组合的原油和烃源岩进行系统的类型划分,并试图明确不同类型原油与不同层位烃源岩的空间匹配关系,从地化及地质角度对油源特征进行相对综合的对比,以期完善整个姬塬地区油源研究的薄弱带,为姬塬地区的石油勘探提供参考。

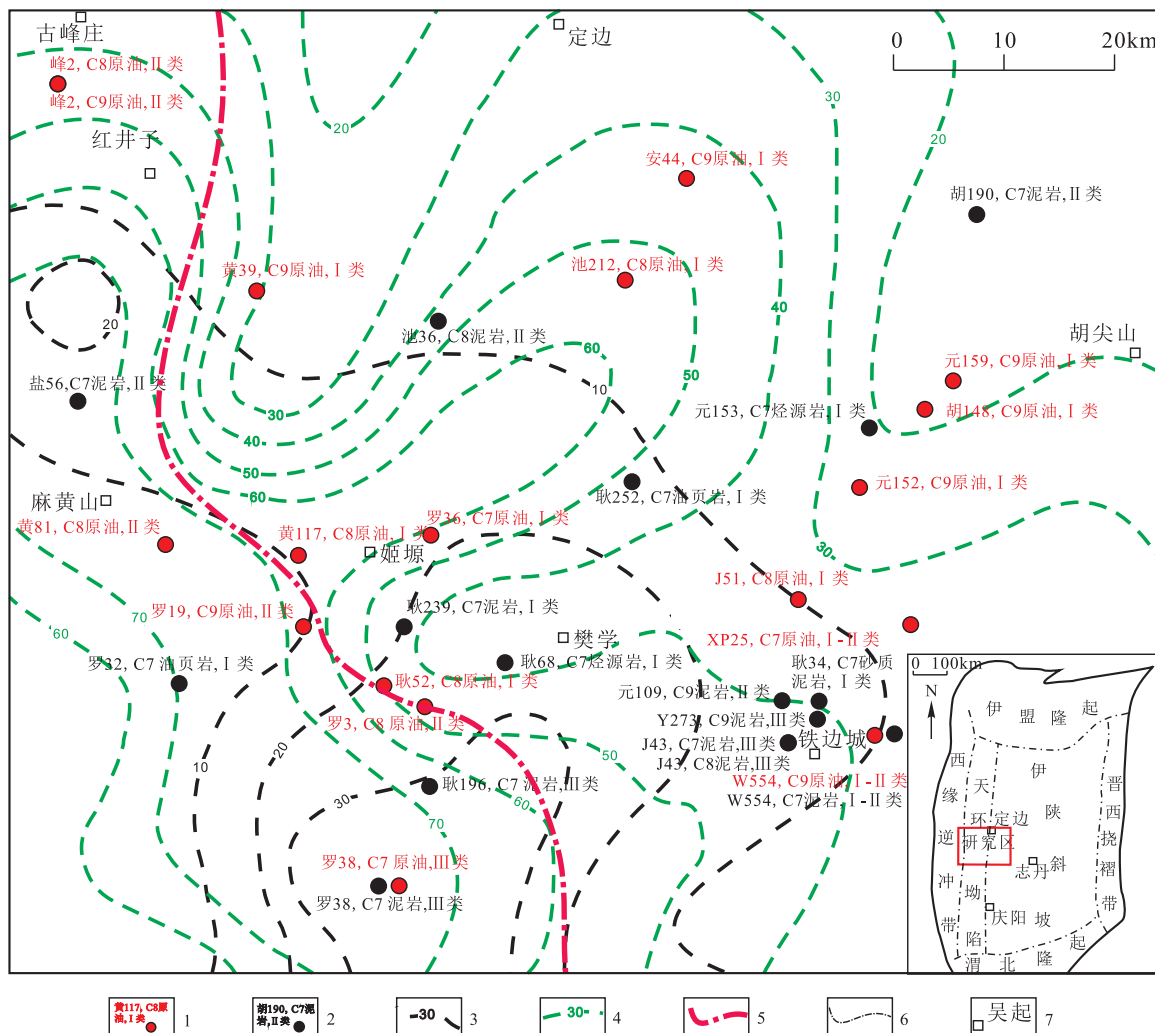
1 样品采集与分析

本次研究共搜集遍布全区的14个原油和10个烃源岩样品的分析资料,同时,在铁边城区块采集分别来自不同试采井的3件原油样品和4件烃源岩样品(表1、图1)。样品分析由中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室、油气资源与探测国家重点实验室和长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室完成,其中,对原油样品进行族组分组成、饱和烃GC-MS(色谱-质谱)测试,对烃源岩样品进行总有机碳、热解、族组分组成及饱和烃GC-MS测试。

总有机碳测定采用美国LECO的CS230碳硫

Tab. 1 Oil and source rock samples and group component of Tiebiancheng Field, Jiyuan Area

样号	层位	样品描述	饱和烃(%)	芳烃(%)	非烃+沥青质(%)	饱和烃/芳烃	“A”(%)
XP25	长 7	黄褐色较稠原油	73.72	13.50	2.92	5.46	87.22
J51	长 8 ₁	黑色较稠原油	74.85	11.89	7.02	6.30	86.74
W554	长 9 ₁	灰褐色较稠原油	78.04	10.00	2.55	7.80	88.04
J43-1N	长 7 ₃	灰黑色泥岩	37.05	27.23	35.72	1.36	0.073
W554-1N	长 7 ₃	灰黑色泥岩	2.15	9.14	88.71	0.24	0.172
J43-2N	长 8 ₁	灰黑色泥岩	54.35	18.94	26.71	2.87	0.300
Y273-1N	长 9 ₁	深灰色泥岩	0.27	1.87	97.86	0.14	0.010



1. 原油类型;2. 烃源岩类型;3. 长 7 油页岩厚度等值线;4. 长 7 暗色泥岩厚度等值线;5. 原油类型分界线;6. 构造单元分界线;7. 地名

注:(1)烃源岩并未进行严格的类型划分,为了便于对比,仅参照原油 C30* 划分标准对其进行简单归类;(2)为尊重原文,引用烃源岩资料都保持原有岩性描述,如“烃源岩”、“砂质泥岩”,但对其对应的类型都已明确。

图 1 姬塬地区不同类原油及烃源岩的空间分布特征图

Fig. 1 Distribution of different types of oil and source rock in Jiyuan Area

分析仪,具体实验步骤参照 GB/T19145-2003《沉积岩中总有机碳的测定》执行。热解分析采用 OGE-VI 油气评价仪,具体实验步骤参照 GB/T18602-2012《岩石热解分析》执行。族组分相关分析参照 SY/T5119-2008《岩石中可溶有机物及原油族组分分析》执行。饱和烃 GC-MS 分析采用 Agilent7890-5975c 气相色谱质谱联用仪,执行标准为 GB/T 18606-2001《气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》。GC 分析条件为载气:99.999% 氦气;进样口:300℃;传输线:300℃;色谱柱:HP-5MS 弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 mm);柱温:初温 50℃ 1 min;20℃/min 升温至 120℃,以 4℃/min 升至 250℃,再以 3℃/min 升至 310℃保持 30 min;载气流速:1 mL/min。MS 分析条件为 EI 源,70eV;灯丝电流:100A;倍增器电压:1200 V;全扫描。

2 原油地球化学特征

2.1 原油基本性质

已有资料显示,姬塬地区原油密度为 0.826 8~0.898 7 g/cm³,黏度为 3.84~14.67 mPa·s,物性较好。族组分以高饱芳比(2.19~15.41)、低非烃(1.04%~9.93%)、低沥青质(0.37%~9.0%)为特征,原油饱芳比>1,表明成油母质类型为腐泥腐殖型(郑荣才等,2011;张枝焕,2010)。

铁边城区块原油密度为 0.846 3~0.836 4 g/cm³,黏度为 3.13~10.06 mPa·s。原油族组分特征表明(表 1),各层位原油的饱和烃含量均较高,均大于 70%,其次为芳烃,含量约为 10%左右,非烃+沥青质含量很低,饱和烃/芳烃为 5.46~7.80,饱和烃优势明显,总烃含量高,表明成油母质类型为(偏)腐泥型。

2.2 原油类型划分及分布

前人对整个盆地中生界的原油类型划分进行了详细研究(李相博等,2012;HUANG 等,2012;罗丽荣等,2013;张文正等,2008),具体到姬塬地区可见 3 类原油发育(图 1、图 2),均具有姥植均势,即 Pr/Ph 平均值在 1.0 左右;低-很低含量的伽马蜡烷; $\alpha\alpha\alpha$ -20R 规则甾烷“L”到“V”型均有分布的特征,主要区别在于 C₃₀* (C₃₀ 重排藿烷)含量的差别,具

体表现如下。

(1) I 类原油, C₃₀ 藿烷在藿烷系列化合物中丰度最高, C₃₀* 含量很低, C₃₀* / C₃₀ 藿烷一般低于 0.3; C₂₉ 降藿烷含量较高, C₂₉ Ts / C₂₉ 降藿烷一般低于 0.6; Ts 和 Tm 含量较低且相对丰度相近。如姬塬东区北段的安 44 井长 9₁ 段原油(张枝焕, 2010), 姬塬西区的罗 36 井长 7₁ 原油(罗丽荣等, 2013) 和黄 148 井长 9 原油(张文正等, 2008) 等。

(2) II 类原油, C₃₀ 藿烷在藿烷系列化合物中丰度仍最高, 但 C₃₀* 含量有所增加, 为较高-高, C₃₀* / C₃₀ 藿烷一般为 0.35~1.6; C₂₉ 降藿烷含量较低, C₂₉ Ts / C₂₉ 降藿烷一般为 0.95~1.2; Ts 丰度高于 Tm。如黄 81 井长 8₃ 段原油(张枝焕, 2010), 峰 2 井长 8、长 9 油层组原油, 罗 3 井长 8 油层组原油(杨华等, 2016) 等。

(3) III 类原油以异常高的 C₃₀* 为特征, C₃₀* / C₃₀ 藿烷多大于 1.85; Ts 丰度也明显高于 Tm。如罗 38 井长 7₁ 原油(罗丽荣等, 2013)。

空间分布上, 姬塬地区下组合中 I 类原油分布极为广泛, 长 7 油层组及中-东部长 8、长 9 油层组多为此类型。II 类原油主要分布于西部长 8、长 9 油层组中。III 类原油分布较少, 仅在部分地区的长 7 油层组分布。

铁边城区块 3 个原油样品的生标特征相近(图 3), 即正构烷烃主峰碳数分布在 nC₁₇—nC₂₁ 区域, 为前锋型, $\alpha\alpha\alpha$ -20R 规则甾烷分布特征基本一致, 即 C₂₇>C₂₈, C₂₇>C₂₉, 呈明显的“L”型, 均反映成油母质以低等水生生物和藻类为主。姥植占比均势, Pr/Ph 值为 0.99~1.20, 结合 Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ 特征(图 4), 表明 3 个原油样品的成油母质形成于还原-弱还原环境中。伽马蜡烷含量均较低, 伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷不大于 0.1, 反映成油母质沉积时水体盐度较低。成熟度方面, Ts/Tm 均大于 1, 结合 C₂₉ S/(S+R)- $\beta\beta$ /($\beta\beta$ + $\alpha\alpha$) 特征(图 5), 表明原油为成油母质成熟阶段的产物。

对比 C₃₀* 含量可知, 3 个原油样品中 C₃₀* 含量整体偏低, 长 8₁ 原油的 C₃₀* 含量最低, C₃₀* / C₃₀ 藿烷、C₂₉ Ts / C₂₉ 降藿烷分别为 0.08、0.42, 与 I 原油相近。长 7 和长 9₁ 原油的 C₃₀* 含量相对较高, 2 个参数分别为 0.26、0.90 和 0.28、0.77, 为 I-II 类原油过渡类型。

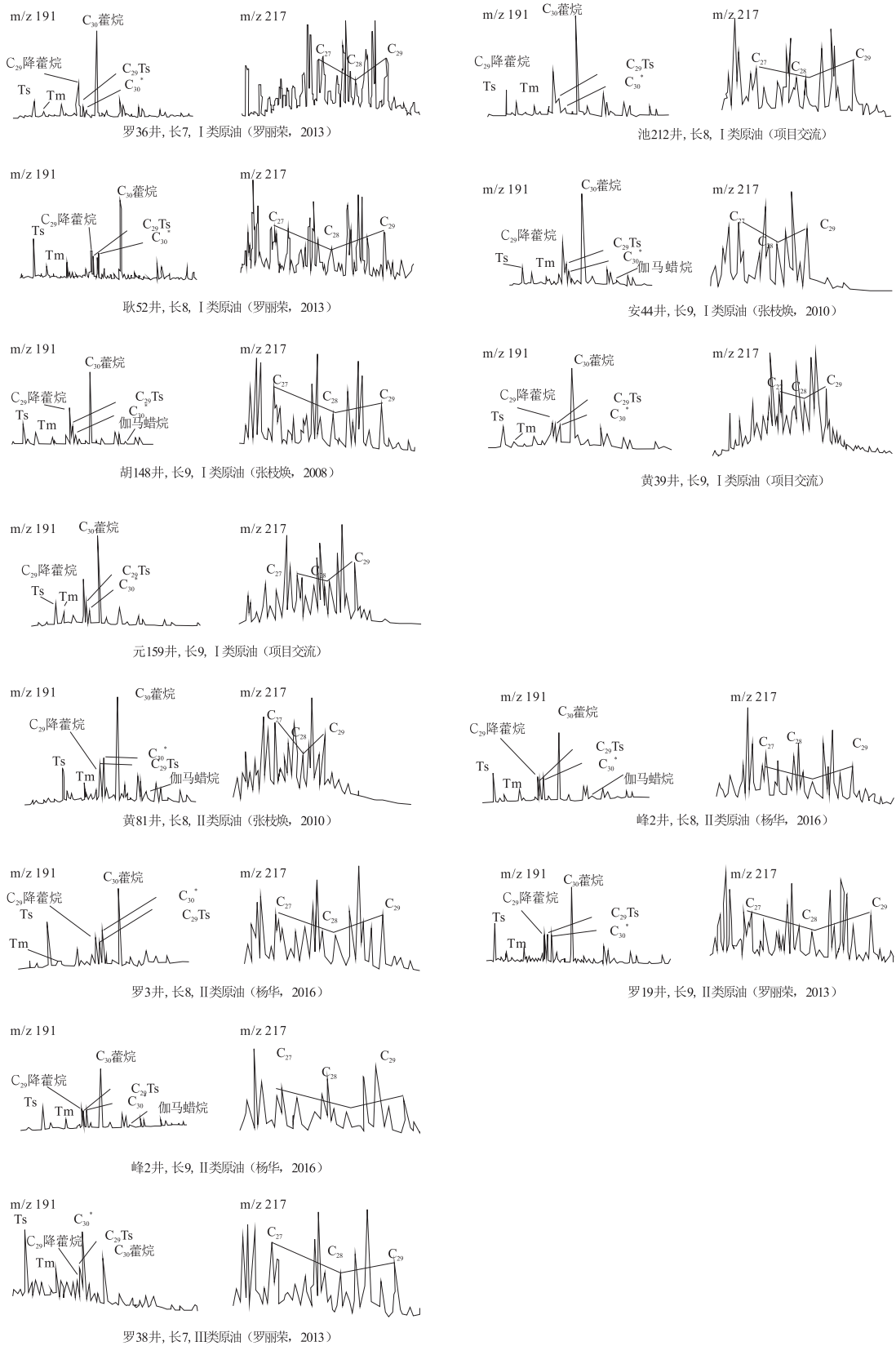


图 2 姬塬地区不同类原油样品萜、甾烷质量色谱图

Fig. 2 Terpene and sterane characteristics of different types of oil in Jiyuan Area

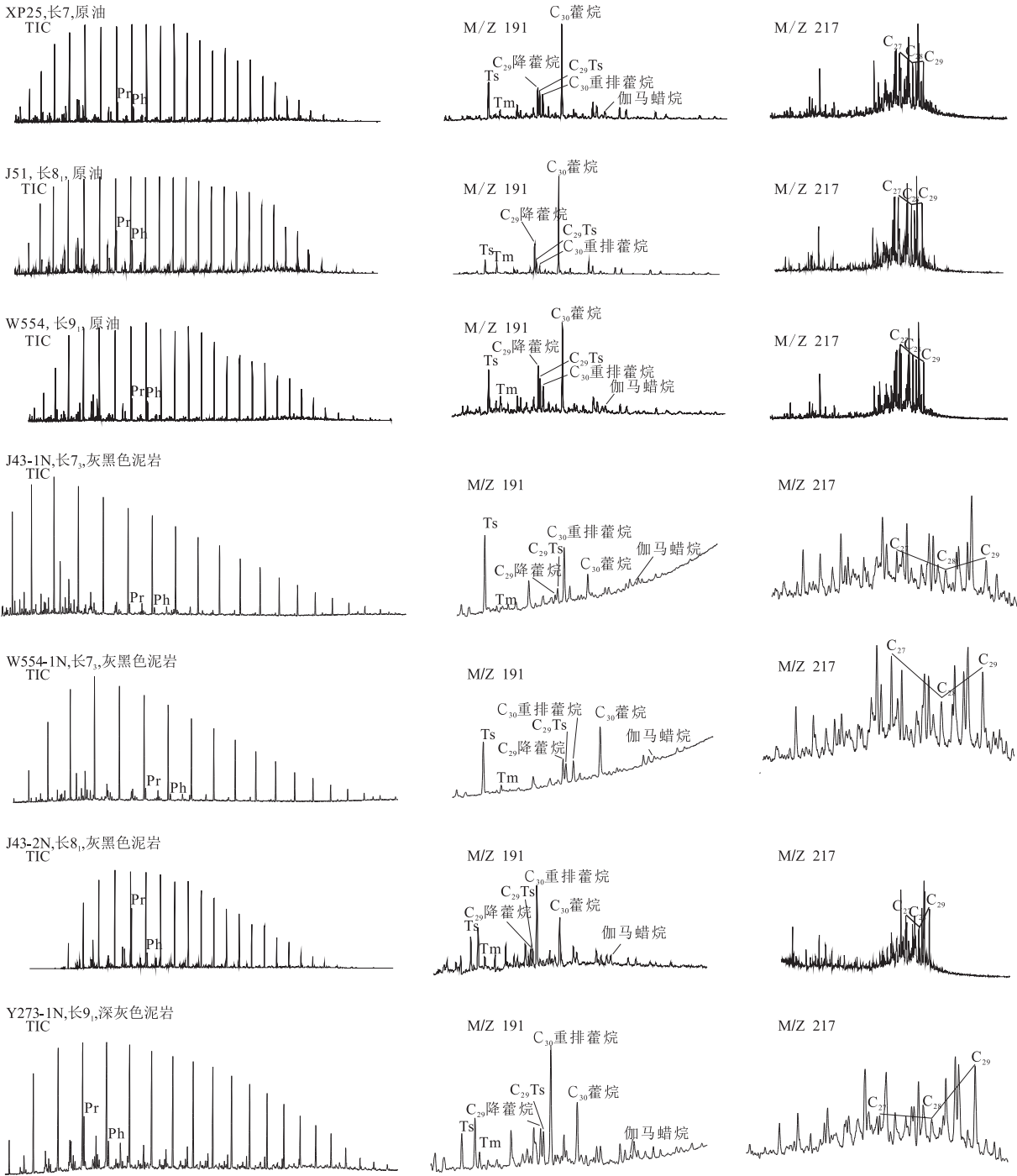


图 3 铁边城区块样品饱和烃 TIC 及萜、甾烷质量色谱图

Fig. 3 TIC, Terpane and sterane characteristics of samples in Tiebiancheng Field

3 烃源岩地球化学特征

3.1 烃源岩基本性质

姬塬地区延长组下组合已经证实的烃源岩主要

为晚三叠世湖盆鼎盛时期沉积的长 7 油页岩及暗色泥岩,尤其是油页岩的发育规模及生排烃能力明显优于其他层段的烃源岩,有机质丰度很高,TOC 为 6.95%~13.72%,类型以 I 型为主;暗色泥岩有机质丰度较高,TOC 为 1.54~9.54%,类型以 I-II 1

为主;两类烃源岩的 R_o 为 $0.8\% \sim 1.0\%$, 处于大量生、排液态烃的高峰期,是延长组最为重要的烃源岩层系(郑荣才等,2011)。

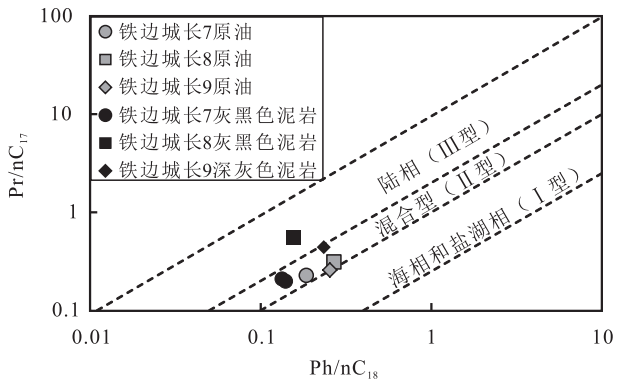


图4 铁边城区块样品 $Pr/nC_{17}-Ph/nC_{18}$ 类型判别图
Fig. 4 Type classification with $Pr/nC_{17}-Ph/nC_{18}$ for samples in Tiebiancheng field

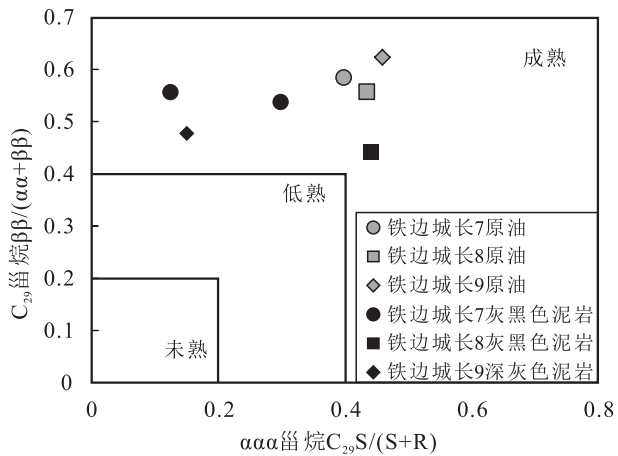


图5 铁边城区块样品 $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)-C_{29}S/(S+R)$ 成熟度判别图
Fig. 5 Maturity classification with $C_{29}\beta/(\beta+\alpha)-C_{29}S/(S+R)$ for samples in Tiebiancheng field

长8暗色泥岩有机质丰度较高,但因长8期整体为浅水三角洲沉积环境所限,陆源高等植物贡献较多,有机质类型以II型和III型为主,故不利于生油。

目前被广泛认可的,可作为烃源岩的长9暗色泥岩主要分布在姬塬地区东南侧的志丹南地区,有机质丰度均质高达 5.03% ,可达到好—最好级别,类型为I-II2型, R_o 为 $0.68\% \sim 1.19\%$,处于成熟—高成熟阶段,其生烃贡献已在志丹南—英旺地区及陇东地区得到了证实(李相博等,2012;HUANG et al., 2012;张文正等,2008,2009;杨华等,2016;时保宏等,2013)。

姬塬地区长9暗色泥岩的分布范围仍有争论,付金华等(2012)认为区内长9暗色泥岩仅在铁边城东南—白豹西北一带发育,规模极为有限;周进高等(2008)、郑荣才等(2011)、张枝焕(2010)认为该区长9暗色泥岩发育较广泛,其中在古峰庄一带最为发育。鉴于姬塬地区长9暗色泥岩的钻遇程度有限,故其分布范围仍有待进一步研究。

依据铁边城区块4个烃源岩样品的TOC、热解及族组分分析结果(图6、表1)可得,各地化特征差异较大,尤其是族组成,不仅受到母质类型影响,还受到成熟度、次生改造等影响,因此依据族组分所得的判别结果仅作参考。

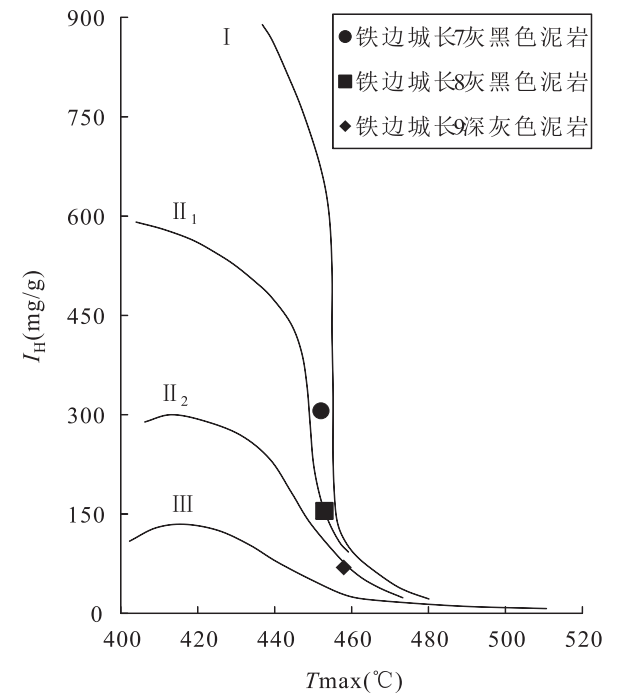


图6 铁边城区块烃源岩 I_H-T_{max} 交汇图(图版引自 MAKEEN, et al., 2015)

Fig. 6 Type classification with I_H-T_{max} for source rocks in Tiebiancheng Field (Modified from MAKEEN, et al., 2015)

长7₃两个样品的有机质丰度较高,TOC、 S_1+S_2 及“A”均值分别为 6.4% 、 21.5 mg/g 、 0.122% ,达到好—最好级别。饱/芳比差异较大,分别为 1.36 、 0.24 ,指示II2—III型,但结合 I_H-T_{max} 交汇图及 $Pr/nC_{17}-Ph/nC_{18}$ 特征,其类型应当为I-II1型。 T_{max} 为 452°C ,结合 $\beta/(\beta+\alpha)-C_{29}S/(S+R)$ 特征,该样品达成熟阶段。

长 8₁ 样品的有机质丰度较高, TOC、S₁+S₂ 及 “A” 分比为 5.8%、10.6 mg/g、0.3%, 达到好—最好级别。饱/芳比为 2.87, 指示 II 1 型, 但结合 I_H - T_{max} 交汇图及 Pr/nC_{17} - Ph/nC_{18} 特征, 其类型应为 II 2-III 型。 T_{max} 为 453℃, 结合 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)-C_{29}S/(S+R)$ 特征, 该样品达成成熟阶段。

长 9₁ 样品为深灰色泥岩, TOC 仅为 0.8%, S₁+S₂ 仅为 0.7, “A” 仅为 0.01, 基本为非-差的品质。S₂ 过低直接影响了通过 T_{max} 参数判断其类型和成熟度, 但根据饱/芳比结果、 Pr/nC_{17} - Ph/nC_{18} 及 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)-C_{29}S/(S+R)$ 结果可初步得出, 该样品为类型为 II 2 型, 且已到成熟阶段。

3.2 烃源岩生物标志化合物特征及分布

长 7 油页岩与长 7、长 9 暗色泥岩的母质类型相近(图 7), 均属于以低等水生藻类为主的腐泥-混合型烃源岩, 具有低—很低伽马蜡烷、低 C_{30} 莫烷、 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 规则甾烷“L”到“V”型均有分布的特征。与原油特征类似, 长 7、长 9 烃源岩的差别也主要集中在 C_{30}^* 相对丰度上, 具体表现如下。

(1) 长 7 油页岩的 C_{30} 藿烷丰度最高, C_{30}^* 含量为低—很低, C_{29} 降藿烷含量为中等—较高, T_s 略大于或接近于 T_m 。 C_{30}^* 含量明显低于 C_{30} 藿烷, 也低于 C_{29} 降藿烷和 T_s 。如耿 252 井的长 7₃ 黑色油页岩(张枝焕等, 2010), 罗 32 井的长 7 油页岩(罗丽荣等, 2013)。另外, 在已搜集的资料中, 部分学者仅提到为烃源岩或泥岩, 但根据已发表且明确区分油页岩与暗色泥岩的资料来看, 该长 7 烃源岩应当为油页岩, 如耿 239 井的长 7 泥岩(史建南等, 2009), 元 153 井 2 215 m 的长 7 烃源岩, 耿 68 井 2 518 m 的长 7 烃源岩(刘显阳等, 2011); 耿 34 井 2 073.86 m 的长 7 砂质泥岩(张文正等, 2009)。需要指出的是, 张文正等(2015)将长 7 烃源岩中该类“砂岩-页岩互层”中的页岩绝大多数归位于油页岩同类。

(2) 部分长 7 黑色泥岩具有较高—高的 C_{30}^* , 较低的 C_{29} 降藿烷, T_s 丰度明显高于 T_m , 重排藿烷相对含量低于藿烷, 高于 C_{29} 降藿烷和 T_s 。如胡 190 井长 7 黑色泥岩, 盐 56 井长 7 黑色泥岩(杨华等, 2016)。

(3) 部分长 7 黑色泥岩以异常高的 C_{30}^* 和 T_s 为特征, C_{30}^* 相对含量接近于或高于 C_{30} 藿烷, C_{29} 降藿烷含量很低, T_s 含量异常高, 不含或含少量 T_m 。如耿 196 井长 7₃ 暗色泥岩(张枝焕, 2010), 罗 38 井 2664.1 m 长 7 黑色泥岩(罗丽荣等, 2013)。

(4) 对于长 9 暗色泥岩, 目前已发表的数据主要集中在志丹地区, 表现为长 9 暗色泥岩具有 C_{30}^* 异常高的特征, 如丹 48 井 1 614.6 m 长 9 暗色泥岩(李相博等, 2013; 张文正等, 2009)。与 C_{30}^* 异常高的长 7 黑色泥岩主要区别表现为姬塬长 7 黑色泥岩不含有或含极少量的伽玛蜡烷, 而陕北地区长 9 灰黑色泥岩都含有一定量的伽玛蜡烷(张枝焕, 2010)。邻近研究区的陇东地区部分长 9 原油中也检测出了很高含量的 C_{30}^* (李相博等, 2013), 而姬塬地区无论在运移距离, 或是运移通道上均较优于志丹地区的长 9 烃源岩对陇东地区的贡献。此外, 本次研究在铁边城地区发现的 Y273 井长 9 深灰色泥岩具有明显的 C_{30}^* 异常高特征(图 3), 因此可初步推断, 至少在姬塬地区东南部的铁边城区块, 长 9 暗色泥岩发育, 且具有 C_{30}^* 异常高的特征。

空间分布上, 具有较低—低 C_{30}^* 特征的长 7 油页岩在姬塬地区西南部及麻黄山北侧最为发育, 达到普遍大于 20~30 m, 向东北方向减薄。具有较高—高 C_{30}^* 特征长 7 黑色泥岩整体厚度大于长 7 油页岩, 大体以姬塬西侧为中心, 呈三叉戳状分别向西北、东南、东北发育, 尤以西北—东南向厚度最大, 均 > 70 m, 整体向东北方向减薄。具有异常高 C_{30}^* 特征的长 7 黑色泥岩分布最少, 而具有异常高 C_{30}^* 特征的长 9 暗色泥岩主要集中在志丹地区, 向西可能延伸至铁边城地区东部(图 1)。

铁边城矿区 4 个烃源岩样品差异较大(图 3)。长 7₃ 灰黑色泥岩样品的正构烷烃碳数分布在 nC_{13} - nC_{17} 区域, 为前峰型。 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 规则甾烷分布特征基本一致, 即 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$, 呈明显的“L”型, 均表明烃源岩以低等水生生物和藻类供给为主。姥鲛烷相对含量较高, 2 个样品的 Pr/Ph 分别为 1.49, 1.74, 结合 Pr/nC_{17} - Ph/nC_{18} 特征(图 4), 表明烃源岩形成于弱还原-弱氧化环境。 T_s/T_m 均大于 1, 表明烃源岩已达成成熟阶段。二者的主要差异在于 J43-1N 长 7₃ 灰黑色泥岩具有异常高 C_{30}^* 含量, C_{30}^*/C_{30} 藿烷、 $C_{29}T_s/C_{29}$ 降藿烷达到 2.54、1.53; 而 W554-1N 长 7₃ 灰黑色泥岩的 C_{30}^* 含量相对低很多, C_{30}^*/C_{30} 藿烷、 $C_{29}T_s/C_{29}$ 降藿烷仅分别为 0.48、0.90。 C_{30}^* 含量的变化主要受控于沉积环境的氧化还原性和岩性(张文正等, 2009; PETERS 等, 2005; MOLDOWAN 等, 1991; FARRIMOND 等, 1996), J43-1N 长 7₃ 灰黑色泥岩含植物茎干化石,

应当偏浅水,为偏氧化环境,故对应较高的 C_{30}^* 。
W554-1N 长 7_3 灰黑色泥岩岩性较纯,偏深水,故对
应较低的 C_{30}^* 。

长 8_1 灰黑色泥岩的正构烷烃碳数分布较为宽
泛,以前峰型为主,但具有一定的后峰特征。另外,
 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 规则甾烷具有“V”型至“反 L”型过渡特
征, C_{27} 含量仅略高于 C_{29} ,综合表明烃源岩具有低等

水生生物和高等陆生植物混合供给的特征。姥鲛烷
优势极为明显,Pr/Ph 高达 3.68,结合 Pr/nC $_{17}$ -Ph/
nC $_{18}$ 特征(图 4),表明烃源岩形成于偏氧化环境。
Ts/Tm 大于 1,表明烃源岩已达成熟阶段。 C_{30}^* 含
量异常高, C_{30}^*/C_{30} 藿烷、 C_{29} Ts/ C_{29} 降藿烷分别为
1.53,1.16,与 Pr/Ph 值结果相符,均反映偏氧化的
沉积环境。

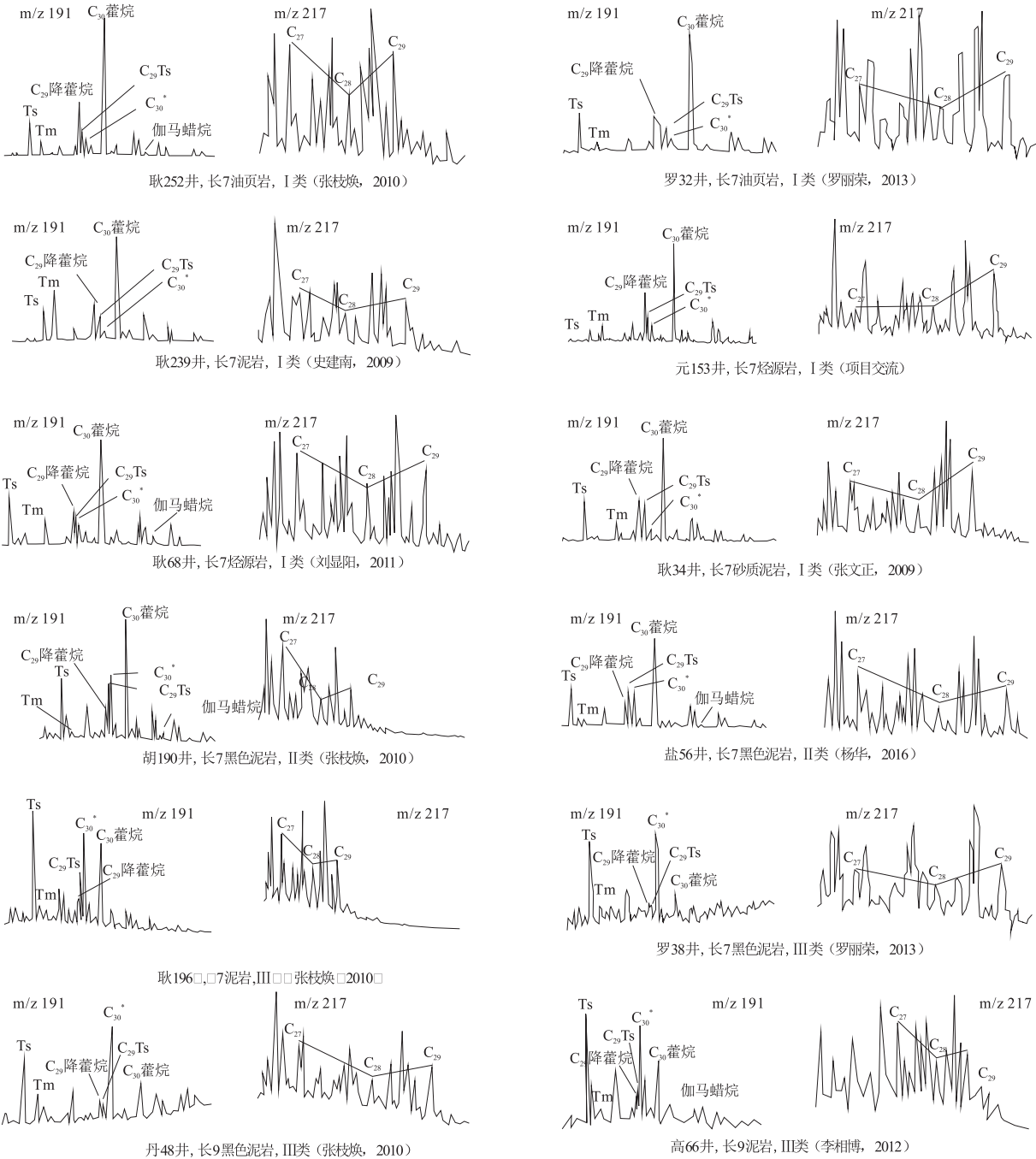


图 7 姬堰及邻区不同类烃源岩藿、甾烷质量色谱图

Fig. 7 Terpane and sterane characteristics of different types of source rock in Jiayuan and its adjacent area

长₉₁深灰色泥岩的正构烷烃碳数分布更为宽泛,但 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 规则甾烷则表现出强烈的“反L”型特征, C_{29} 高于 C_{27} ,综合表明烃源岩具有高等陆生植物供给为主,低等水生生物供给为辅的特征。姥鲛烷占比较高,Pr/Ph为1.78,结合Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈特征(图4),表明烃源岩形成于弱氧化-弱还原环境。 T_s/T_m 大于1,表明烃源岩已达成熟阶段。 C_{30}^* 含量异常高, C_{30}^*/C_{30} 藿烷、 $C_{29}Ts/C_{29}$ 降藿烷分别为1.94、0.85。

4 油源对比综合研究

油源对比应当是综合油-源地化特征与实际地质条件而得出的结果。

选取合适的对比参数是进行油源对比的关键。张文正等(2008,2009)对于长7、长9烃源岩的地化参数进行了详尽的分析,选取 C_{30}^* 作为有效区分长7油页岩与长7黑色泥岩、长9暗色泥岩及对应的油源贡献的标志性参数,并对 C_{30}^* 丰度的影响因素进行了辩证的分析。史建南等(2009)、郑荣才等(2011)、刘显阳等(2011)、李相博等(2012)、罗丽荣等(2013)、杨华等(2016)等学者以之为基础,对于鄂尔多斯盆地不同地区的油源贡献进行了讨论,在姬塬地区主要表现为(图2、图3、图7):①以 C_{30}^* 低—较低为特征的长7油页岩与I类原油对应,如耿252井7黑色油页岩,与安44井长9原油,罗32井长7油页岩与罗36井长7₁原油。②以 C_{30}^* 较高—高为特征部分长7黑色泥岩与II类原油对应,如胡190长7₃暗色泥岩与黄81井长8₁原油,盐56井长7黑色泥岩与峰2井长8、长9原油。③以 C_{30}^* 异常高为特征的部分长7黑色泥岩与III类原油对应,如罗38井长7黑色泥岩与罗38井长7₁原油。

可见,前人认识的姬塬地区延长组下组合的原油贡献主要集中在长7烃源岩,对于长9烃源岩的贡献认识程度较低。段毅等(2009)、张文正等(2008,2009)、杨华等(2016)和刘显阳等(2011)认为只有在长9暗色泥岩发育的志丹地区,长9原油来自长9段烃源岩。李相博等(2012)认为陇东地区长9原油来源于自身层段的烃源岩油源贡献为主,但其发表文献中所列举的长9烃源岩,即高66井和高44井均为志丹地区井位,说服力有限。其次,对于文献中存在的长9烃源岩 C_{30}^* 含量偏低的井(图

7),并未给出详细的说明。综合铁边城区块及姬塬地区和其他地区资料认为(图8、图9),以往认为仅在志丹地区存在长9暗色泥岩对长9原油的贡献可能并不全面,具体表现如下。

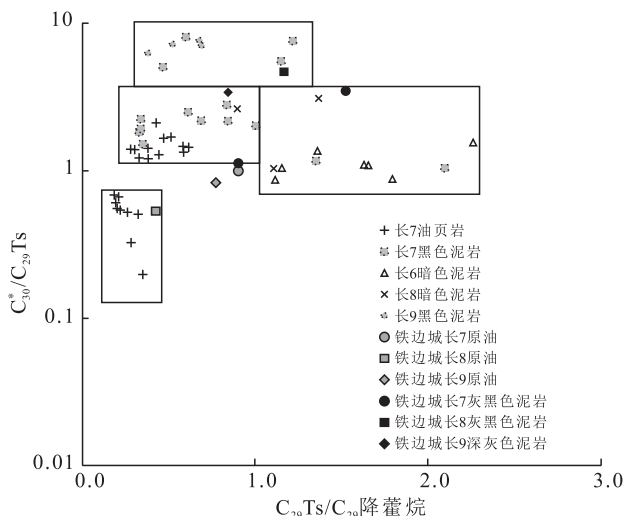


图8 铁边城区块样品与盆内烃源岩 $C_{30}^*/C_{29}Ts - C_{29}Ts/C_{29}$ 降藿烷图解(数据引自张文正,2009;杨华,2016)

Fig. 8 $C_{30}^*/C_{29}Ts - C_{29}Ts/C_{29}$ norhopane characteristics of samples in Tiebiancheng Field and source rock in Ordos Basin (Modified after ZHANG, 2009; YANG, 2016)

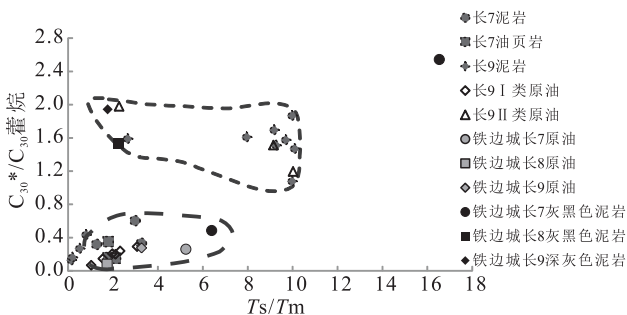


图9 铁边城区块样品与盆内样品 C_{30}^*/C_{30} 藿烷- Ts/Tm 图解(数据引自李相博,2012)

Fig. 9 C_{30}^*/C_{30} hopane- Ts/Tm characteristics of samples in Tiebiancheng Field and samples in Ordos Basin (After LI, 2012)

长8₁I类原油 C_{30}^* 含量很低, T_s 稍大于 T_m ,与长7油页岩对比关系最好。虽然研究区此次采集的长7₃灰黑色泥岩样品(J43-1N)并不属于油页岩样品,但已发表资料显示,采集长8₁原油样品的J51井邻近长7油页岩发育地区(图1、图3),可提供具有低 C_{30}^* 特征的原油供给。

长 7 与长 9₁ I—II 类原油样品均具有较高的 C_{30}^* , T_s 较 T_m 具有明显的优势, 均显示出长 7 油页岩向含较高 C_{30}^* 烃源岩贡献原油过渡的特征。不同的是, 对于长 7 原油而言, 该过渡特征应当为长 7 油页岩与长 7 黑色泥岩的混合贡献所致, 且以长 7 油页岩生油贡献为主, 采集的 J43-1N 长 7₃ 灰黑色泥岩和 W554-1N 长 7₃ 灰黑色泥岩具有较高-异常高的 C_{30}^* 丰度, 为次级贡献。对于长 9₁ 原油而言, 由于 J51 长 8₁ 原油为 I 类原油(图 1、图 3), 单从上下层位相对关系可得, 铁边城区块长 9 原油样品所表现出的较高丰度的 C_{30}^* 特征不可能是来自上部具有较高 C_{30}^* 特征的长 7 原油混染或长 7 黑色泥岩向下供油, 跨越长 8 油层组所致, 而很可能是来自局部高 C_{30}^* 长 9 暗色泥岩贡献。区内 Y273-1N 深灰色泥岩样品虽然显示较低的有机质丰度和偏陆相高等生物甾烷特征, 并不利于生油, 但其异常高的 C_{30}^* 揭示了长 9 暗色泥岩的生标特征, 符合对 I—II 类过渡型原油供油的结论。

结合原油与烃源岩类型的空间匹配特征可以发现, 原油类型在平面上具有明显的分区性。大致以古峰庄东—红井子—姬塬西—樊学西南为分界, 界限东北部较大区域的原油多为 I 类, 而与 I 类原油相对应且作为主力优质烃源岩的长 7 油页岩仅在该区域西南部的樊学—姬塬—罗庞塬最为发育, 尤其在该区的北部, 如安 44 井, 长 9₁ I 类原油, 东北部, 如元 159 井, 长 9₁ I 类原油; 胡 148 井, 长 9₁ I 类原油, 几乎没有或者仅有很薄的长 7 油页岩发育, 即使发育有一定厚度的长 7 黑色泥岩, 但原油类型仍以 I 类原油为主, 表明长 8 和长 9 的原油很可能是西南部长 7 油页岩经过强烈的生、排烃过程而长距离侧向运聚的结果。此外, 界限东北部 I—II 类过渡型原油仅在研究区东南端、邻近志丹地区发育, 加之铁边城区块具有高 C_{30}^* 长 9 暗色泥岩发现, 说明长 9 烃源岩的分布范围可至少延伸至铁边城附近。

界限的西南部原油多为 II—III 类, 除麻黄山北至红井子局部具有较厚长 7 油页岩之外, 长 7 油页岩向西南方向整体呈现整体减薄趋势, 而长 7 黑色泥岩在该区域厚度最大, 加之靠近西缘逆冲带, 断裂发育, 故导致该区域长 7、长 8、长 9 原油均存在长 7 黑色泥岩供油特征特征, 如罗 38 井, 长 7, III 类原油; 黄 81 井, 长 8, II 类原油; 峰 2 井, 长 8、长 9, II 类原油。

5 结论

(1) 以 C_{30} 重排藿烷(C_{30}^*) 丰度差异为主要依据, 可将姬塬地区长 7、长 9 烃源岩及生成烃类划为 C_{30}^* 低、较高—高、异常高 3 类。

(2) 长 7 油页岩为区内的主力烃源岩, 长 7 灰褐色泥岩为次要烃源岩。姬塬地区东南部存在长 9 烃源岩分布, 且对长 9 油层组有一定程度的生烃贡献。

(3) 空间上, 姬塬地区延长组下组合的油源特征具有明显的分区性, 大致以古峰庄东—红井子—姬塬西—樊学西南为分界, 界限东北部区域的 I 类原油为西南部长 7 油页岩长距离侧向运聚结果, 东南端的 I—II 类过渡型原油为长 7 油页岩与长 9 暗色泥岩混合贡献产物; 界限的西南部区域的 II—III 类原油来自长 7 黑色泥岩。

参考文献(References):

- 李相博, 刘显阳, 周世新, 等. 鄂尔多斯盆地延长组下组合油气来源及成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2012, 29(2): 172-180.
- LI Xiangbo, LIU Xianyang, ZHOU Shixin, et al. Hydrocarbon origin and reservoir forming model of the Lower Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 29(2): 172-180.
- 周进高, 姚根顺, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 9 油层组勘探潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 289-293.
- ZHOU Jingao, YAO Genshun, DENG Hongying, et al. Exploration potential of Chang 9 member, Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 289-293.
- 付金华, 李士祥, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬大油田多层系复合成藏机理及勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2013, 18(5): 1-9.
- FU Jinhua, LI Shixiang, LIU Xianyang, et al. Multi-layer composite accumulation mechanism and exploration significance of Jiyuan Oilfield, Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(5): 1-9.
- 郑荣才, 牛小兵, 梁晓伟, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬油田延长组原油性质与来源分析[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 142-145.
- ZHENG Rongcai, NIU Xiaobing, LIANG Xiaowei, et al.

- Study on the Property and Origin of Crude Oil of Yanchang Formation in Jiyuan Oilfield, Ordos Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(2):142-145.
- 孙宁亮,钟建华,倪良田,等. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组物源分析及热演化[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 537-556.
- SUN Ningliang, ZHONG Jianhua, NI Liangtian, et al. Provenance analysis and thermal evolution of Upper Triassic Yanchang Formation in the Southern Ordos Basin[J]. Geology in China, 2019, 46(3): 537-556 (in Chinese with English abstract).
- 黄振凯,郝运轻,李双建,等. 鄂尔多斯盆地长7段泥页岩层系含油气性与页岩油可动性评价——以H317井为例[J]. 中国地质, 2020, 47(1): 210-219.
- HUANG Zhenkai, HAO Yunqing, LI Shuangjian, et al. Oil-bearing potential, mobility evaluation and significance of shale oil in Chang 7 shale system in the Ordos Basin: A case study of well H317[J]. Geology in China, 2020, 47(1): 210-219.
- 朱谨瑾,符超峰,杨海龙,等. 鄂尔多斯盆地甘谷驿油区延长组长6储层综合评价[J]. 西北地质, 2019, 52(1): 166-175.
- ZHU Jinjin, FU Chaofeng, YANG Hailong, et al. Comprehensive Evaluation of Chang 6 Reservoir from Yanchang Formation in Ganguyi Oil Area, Ordos Basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(1): 166-175.
- 段毅,于文修,刘显阳,等. 鄂尔多斯盆地长9油层组石油运聚规律研究[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 855-860.
- DUAN Yi, YU Wenxiu, LIU Xinayang, et al. Oil migration and accumulation rules of Chang-9 oil-bearing formation in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 855-860.
- 郭望,陈刚,张卫刚. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组下组合油源特征及意义[A]. 中国矿物岩石地球化学学会第17届学术年会论文摘要集[C]. 杭州, 2019: 1049-1050.
- GUO Wang, CHEN Gang, ZHANG Weigang. The oil-source correlation and significance for Lower Yanchang Formation in Jiyuan Field, Ordos Basin [A]. Abstracts of the 17th Annual Meeting of the Chinese Society of Mineral and rock geochemistry [C]. Hangzhou, 2019: 1049-1050.
- 任帅锋. 鄂尔多斯盆地中西部铁边城区块延长组中下组合烃源岩条件与油源对比分析[D]. 西安: 西北大学, 2019.
- REN Shuaifeng. Source rock feature and oil-source correlation of the mid-lower Yanchang formation in Tiebiancheng area, central-western Ordos basin [D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- 史建南,郑荣才,韩永林,等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长8油层组岩性油藏成藏机理研究[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(3): 129-133.
- SHI Jiannan, ZHENG Rongcai, HAN Yonglin, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism of lithologic reservoir of Chang 8 member in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(3): 129-133.
- 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): 1023-1032.
- ZHAO Yang, YAO Jingli, DUAN Yi, et al. Oil-source Analysis for Chang-9 Subsection (Upper Triassic) of Eastern Gansu Province in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(5): 1023-1032.
- 柳广弟,杨伟伟,冯渊,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组原油地化特征成因类型划分[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 108-115.
- LIU Guangdi, YANG Weiwei, FENG Yuan, et al. Geochemical characteristics and genetic types of crude oil from Yanchang Formation in Longdong Area, Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 108-115.
- 张枝焕. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组有效烃源岩评价[R]. 北京: 中国石油大学(北京), 2010.
- ZHANG Zhihuan. Evaluation of effective source rocks in Yanchang Formation of Triassic, Ordos Basin [R]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2010.
- 罗丽荣,胥川莉,吴凯,等. 姬塬地区延长组原油地球化学特征及油源分析[J]. 石油化工应用, 2013, 32(7): 76-82.
- LUO Lirong, ZAN Chuanli, WU Kai, et al. Geochemistry and origin of crude oils of the Yanchang formation in Jiyuan area [J]. Petrochemical Industry Application, 2013, 32(7): 76-82.
- 张文正,杨华,李善鹏. 鄂尔多斯盆地长91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 Wenzheng, YANG Hua, LI Shanpeng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang91 high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 557-562.
- 杨华,张文正,彭平安,等. 鄂尔多斯盆地中生界湖相油型油的精细划分与油源对比[J]. 地球科学与环境, 2016, 38(2): 196-205.
- YANG Hua, ZHANG Wenzheng, PENG Ping'an, et al.

- Oil detailed classification and oil-source correlation of Mesozoic lacustrine oil in Ordos Basin [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2016, 38 (2): 196-205.
- 张文正, 杨华, 候林慧, 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, 39(10): 1438-1455.
- ZAHNG Wenzheng, YANG Hua, HOU Linhui, 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, 39(10): 1438-1455.
- 时保宏, 姚泾利, 张艳, 等. 鄂尔多斯长 9 油层组成藏地质条件[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(3): 294-300.
- SHI Baohong, YAO Jingli, ZHANG Yan, et al. Geologic conditions for hydrocarbon accumulation in Chang-9 oil reservoir of the Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(3): 294-300.
- 付金华, 李士祥, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 9 油层组沉积相及其演化[J]. *古地理学报*, 2012, 14(3): 269-244.
- FU Jinhua, LI Shixiang, LIU Xianyang, et al. Sedimentary facies and its evolution of the Chang 9 interval of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(3): 269-244.
- 刘显阳, 邓秀芹, 赵彦德, 等. 姬塬地区长 9 油层组油气运移规律及模式探讨[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(5): 9-15.
- LIU Xinyang, DENG Xiuqin, ZHAO Yande, et al. Hydrocarbon migration law and model of Chang 9 reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23(5): 9-15.
- 张文正, 杨华, 杨伟伟, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 湖相页岩油地质特征评价[J]. *地球化学*, 2015, 44(5): 505-515.
- ZHANG Wenzheng, YANG Hua, YANG Weiwei, et al. Assessment of geological characteristics of lacustrine shale oil reservoir in Chang 7 Member of Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 2015, 44(5): 505-515.
- PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. The Biomarker Guide, Volume 2, Biomarker and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- MOLDOWAN J M, FAGO F J, CARLSON R M K, et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991, 55: 3333-3353.
- FARRIMOND P, TELN N. Three series of rearranged hopanes in Toarcian sediments (northern Italy) [J]. *Org Geochem*, 1996, 25(3-4): 165-177.
- HUANG J P, LI X B, CHEN Q L, et al. The origin and accumulation model of crude oils from oil reservoirs Chang 9 and Chang 10 in the Yanchang Formation of the Ordos Basin [J]. *Chin. J. Geochem.*, 2012, 31(3): 327-339.
- MAKEEN Y M, ABDULLAH W H, HAKIMI M H, et al. Source rock characteristics of the Lower Cretaceous Abu Gabra Formation in the Muglad Basin, Sudan, and its relevance to oil generation studies. *Marine and Petroleum Geology*, 2015, 59: 505-516.