

# 鄂尔多斯盆地富县地区延长组原油生物标志物特征及油源对比

骆垠山<sup>1</sup>, 张哨楠<sup>1,2</sup>, 罗小明<sup>3</sup>, 邓南涛<sup>4</sup>, 王力<sup>4</sup>

1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059
2. 西南石油大学资源与环境学院, 成都 610500
3. 中国石油天然气集团公司青海油田分公司采油二厂开发室, 海西 816400
4. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 西安 710075

**摘要** 系统采集鄂尔多斯盆地南部中生界的烃源岩、富县地区延长组原油及油砂样品, 对它们的饱和烃馏分进行GC-MS分析, 通过对生物标志物组成特征的研究探讨富县地区延长组原油的来源。结果表明: 根据Pr/Ph, 8 $\beta$ (H)-补身烷和C<sub>30</sub>重排藿烷相对含量, 鄂尔多斯盆地南部中生界烃源岩可划分为A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、B类, 富县地区延长组原油可划分为I、II、III类, 目前发现的原油主要是第I类; 第I类原油来自A<sub>1</sub>类烃源岩(深湖相沉积相带的长7油页岩), 第II类原油来自A<sub>2</sub>类烃源岩(深湖—半深湖沉积相带的长7暗色泥岩), 第III类原油来自A<sub>3</sub>类烃源岩(半深湖沉积相带的长7暗色泥岩)。

**关键词** 鄂尔多斯盆地南部; 富县地区; 生物标志物特征; 油源对比; 生物标志化合物

富县地区构造位置处于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西南部(图1), 目前在该地区延长组发现多套油层, 3次资源评价石油远景资源量为 $3.5 \times 10^8$  t, 资源探明率仅为0.75%, 勘探潜力大, 是目前石油勘探的热点地区之一。但由于该地区位于鄂尔多斯盆地延长组的生烃中心附近, 长7张家滩油页岩和长9李家畔页岩这两套主力烃源岩都十分发育<sup>[1-4]</sup>, 致使该地区油源研究变得十分复杂, 前人对于延长组不同层段烃源岩的油源贡献看法不一<sup>[5-8]</sup>。本文认为这可能和采集样品不系统或区块的具体位置有关, 另外一个重要原因是这几套烃源岩都

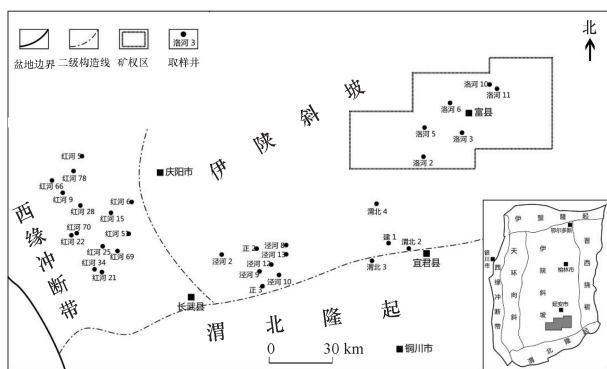


图1 研究区地理位置及取样井分布

Fig. 1 Geographic location and wells distribution in the research area

形成于湖相沉积, 沉积环境呈连续过渡变化, 有机质来源差别不明显, 热演化阶段相近, 如何找到合理有效的油源对比参数存在很大的难度。

鉴于此, 系统采集了具有代表性的岩样和油样(表1), 对其饱和烃馏分进行GC-MS分析, 研究不同类型烃源岩和原油的生物标志物组成特征的细微差别, 通过精细油源分析, 探讨富县地区延长组原油的来源问题, 以为该地区的石油勘探开发提供重要的地质依据。

表1 鄂尔多斯盆地南部不同类型样品不同层位个数分布

Table 1 Distribution of sample numbers of different layers of different types in Southern Ordos Basin

样品类型	长4+5	长6	长7	长8	长9
碳质泥岩	1	—	5	3	2
暗色泥岩	4	6	15	5	6
油页岩	—	—	25	—	—
原油	4	6	4	—	2

## 1 烃源岩生物标志物组成特征及分类

前人已经在鄂尔多斯盆地长庆探区做了不少根据烃源岩的生物标志物组成特征进行类型划分的研究工作, 但划分

收稿日期: 2015-01-15; 修回日期: 2015-09-06

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05002-001-003)

作者简介: 骆垠山, 博士研究生, 研究方向为石油地质, 电子信箱: dengn2009@vip.qq.com

引用格式: 骆垠山, 张哨楠, 罗小明, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区延长组原油生物标志物特征及油源对比[J]. 科技导报, 2016, 34(2): 129-134; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.2.020

出来的不同类型烃源岩并没有十分有效的区分不同层段和不同岩性烃源岩的差异<sup>[9-13]</sup>。本研究发现,研究区延长组烃源岩成熟度适中,主要处于低熟-成熟阶段,镜质体反射率 $R_o$ 值介于0.5%~1.1%,因此可以有效利用甾、萜烷等生物标志物资料进行油源对比,并且 $C_{30}17\alpha(H)$ -重排藿烷含量,姥植比(Pr/Ph)和 $8\beta(H)$ -补身烷相对含量对研究区延长组烃源岩分类具有较好的适用性,它们与反映烃源岩生烃条件的有机

质丰度参数具有良好相关性,据此划分的不同类型烃源岩可以较好地区分层段和岩性,生烃潜力差别也非常明显。具体划分方法为首先依据姥植比(Pr/Ph)大小将烃源岩划分为A、B两大类,一般来说姥植大于2为偏氧化-氧化,反之就是偏还原-还原,所以A类烃源岩Pr/Ph小于2,B类烃源岩Pr/Ph大于2,再根据 $8\beta(H)$ -补身烷和 $C_{30}$ 重排藿烷的相对含量将A大类烃源岩细分为4亚类,分别为 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 和 $A_4$ (图2)。

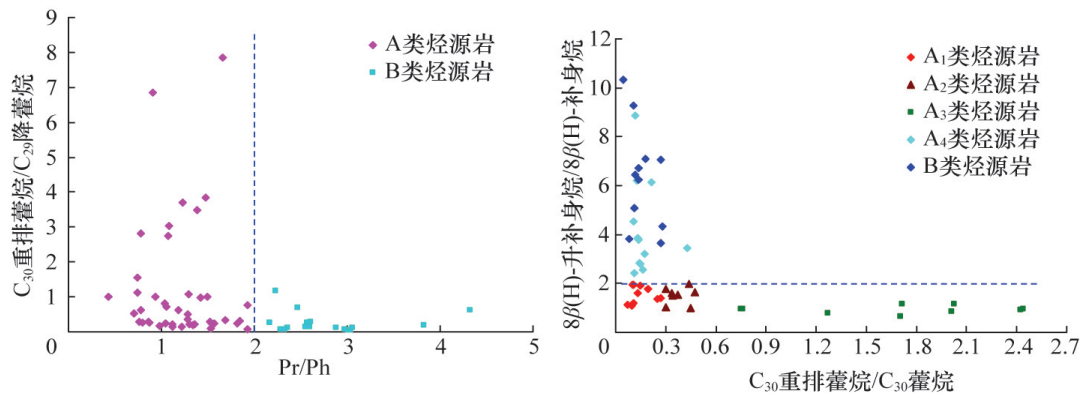


图2 不同类型烃源岩生物标志物参数相关图

Fig. 2 Correlation diagram of biomarker parameters of different types of source rock

## 2 原油生物标志物组成特征及油源对比

### 2.1 原油成因类型划分

由于研究区延长组烃源岩的成熟度和形成环境都很相近,原油中相关生物标志物参数值相别并不大,不同类型原油的生物标志物组成特征的细微差别和烃源岩类似主要表现在 $8\beta(H)$ -补身烷和 $C_{30}$ 重排藿烷相对含量的差异,类似烃源岩的划分标准,将富县地区延长组原油划分为3类。

不同类型原油的纵、横分布和比例不同。第I类原油纵向上从延安组到长10油层组都有发现,分布广泛,以长6、长7油层组居多,平面上主要分布在富县地区的北部; $C_{30}17\alpha(H)$ -重排藿烷含量中等到很高的II类和III类原油分布比较有限,第II类原油纵向上分布在富县地区的长6油层组,平面上分布在富县地区的中西部;第III类原油纵向上分布在富县地区的长9油层组,平面上分布在富县地区的西南部。I类原油占富县地区所发现原油的比例非常大,为75.1%,II类和III类原油所占比例较小,分别为16.2%和8.4%。

### 2.2 油源对比

从同类型原油与烃源岩生物标志物参数相关图(图3(a))上可以看出,原油与A大类烃源岩中的 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 亚类烃源岩有很好的相关性,而与 $A_4$ 、B类烃源岩存在明显的差别,从图3(b)可以进一步看出,I类原油和 $A_1$ 类烃源岩,II类原油和 $A_2$ 类烃源岩,III类原油和 $A_3$ 类烃源岩具有较好的相关性,说明I、II、III这3类原油分别来源于 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 这3类烃源岩,其中I类原油和 $A_1$ 类烃源岩的亲缘关系最好,由此可见

长7油页岩是鄂多斯盆地南部中生界的主力烃源岩,各油层组的原油主要是由其提供的。以下详细讨论富县地区不同类型原油的油源特征。

#### 1) 富县地区第I类原油来源分析。

从富县地区原油与不同层位不同岩性烃源岩部分生物标志物参数分布特征图上可以看出,富县地区I类原油地球化学特征与长7油页岩最接近(图4),从倍半萜类生物标志物特征来看,I类原油 $8\beta(H)$ 补身烷含量较高,如长7油页岩和长6油砂抽提物中倍半萜类生物标志物分布特征基本是一致的,而与长9暗色泥岩存在明显差别(图5)。

#### 2) 富县地区II类原油来源分析。

富县地区II类原油分布在洛河5井长6油层组中,在原油与延长组不同层位不同岩性烃源岩部分生物标志物参数对比图上(图4)可以看出,II类原油来源于 $A_2$ 类长7暗色泥岩,从富县地区II类原油与长7暗色泥岩甾萜烷系列化合物指纹对比图(图6)也可以看出,II类原油与 $A_2$ 类长7暗色泥岩特征很接近。

#### 3) 富县地区III类原油来源分析。

从图4、图7上可以看出,III类原油与长7暗色泥岩( $A_3$ 类)生物标志物特征相似,具有较好的亲缘关系,都表现在III类原油与长7暗色泥岩的 $C_{29}Ts$ 丰度都高于 $C_{29}$ 降藿烷, $Ts$ 丰度异常高,推测富县地区III类原油来源于本地区的长7的 $A_3$ 类暗色泥岩。

目前没有发现与富县地区原油具有亲缘关系的长8、长9

烃源岩,但这有着钻遇长9油层组的取心井较少的客观原因,参考中石油长庆探区资料<sup>[14]</sup>,富县地区长8、长9油层组也有存在这类C<sub>30</sub>重排藿烷的相对含量很高的A<sub>3</sub>类烃源岩的可

能,根据延长组有效烃源岩的测井识别标志<sup>[15]</sup>计算出长8、长9烃源岩的厚度并不大,平面上分布也很局限,因此推测长8、长9烃源岩即使有油源贡献也比较有限。

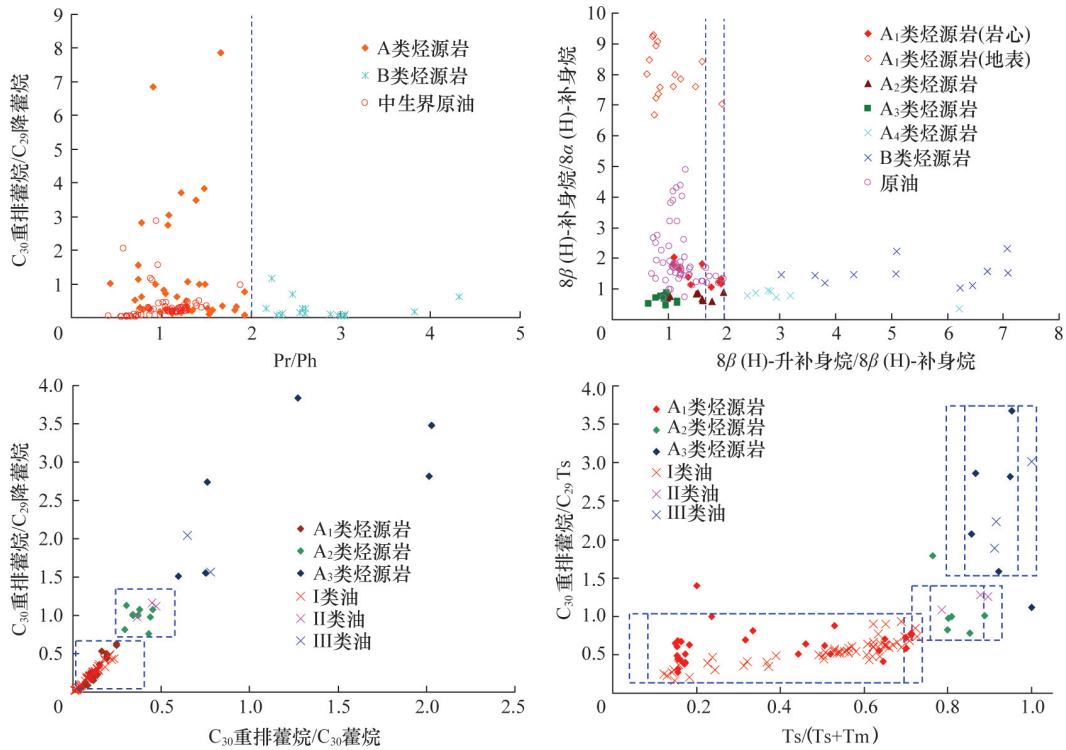


图3 不同类型原油与烃源岩生物标志物参数相关图

Fig. 3 Correlation diagram of biomarker parameters between the different types of oil and source rock

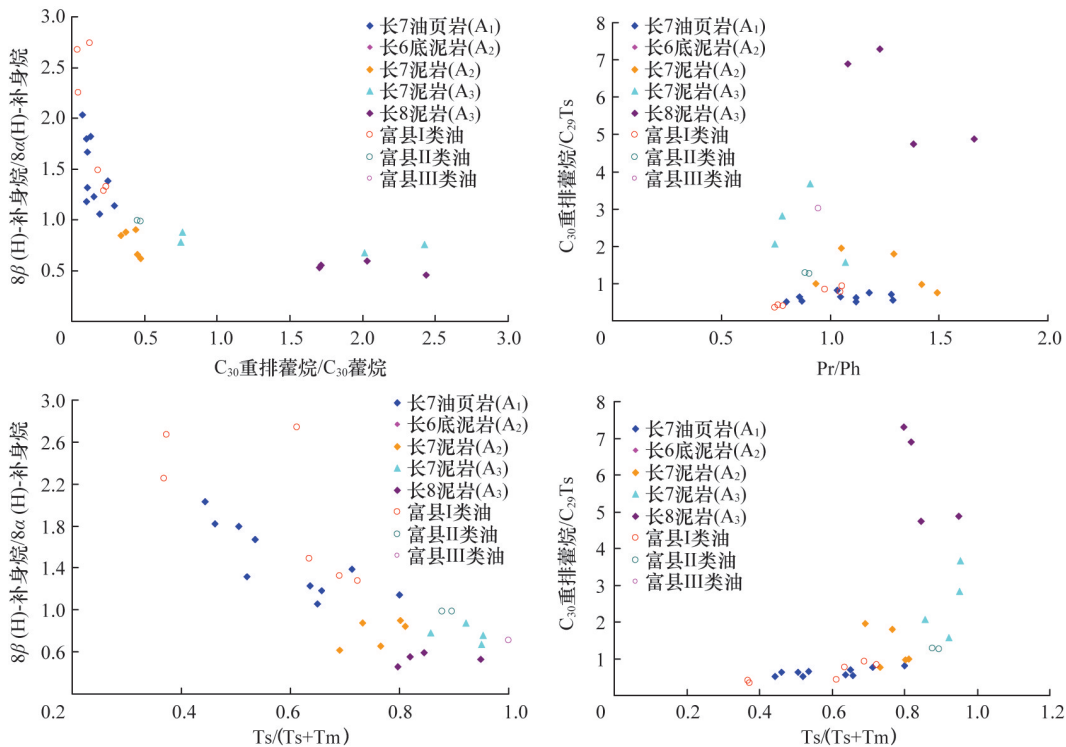


图4 富县地区不同类型原油与延长组烃源岩生物标志物参数相关图

Fig. 4 Correlation diagram of biomarker parameters between the different types of oil and source rock from Yanchang Formation in Fuxian area

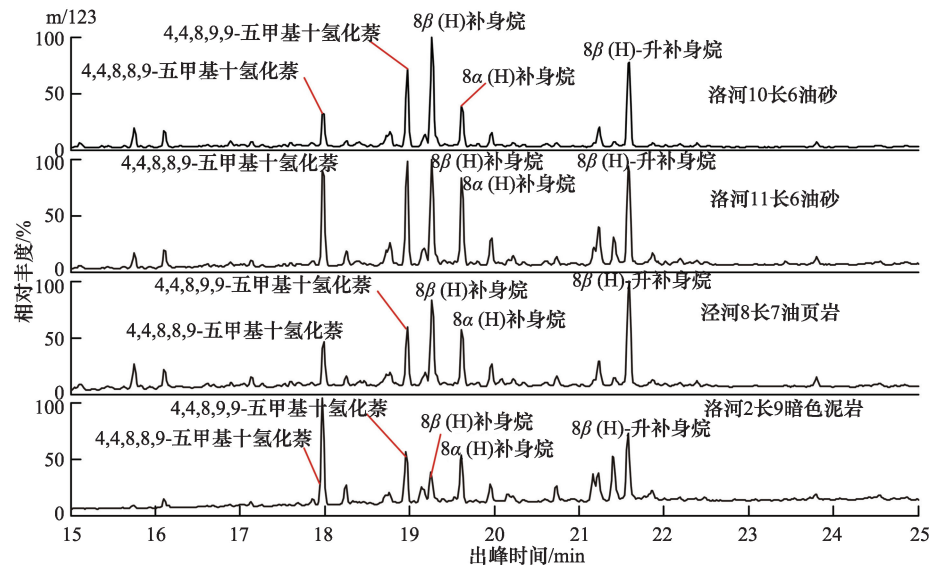
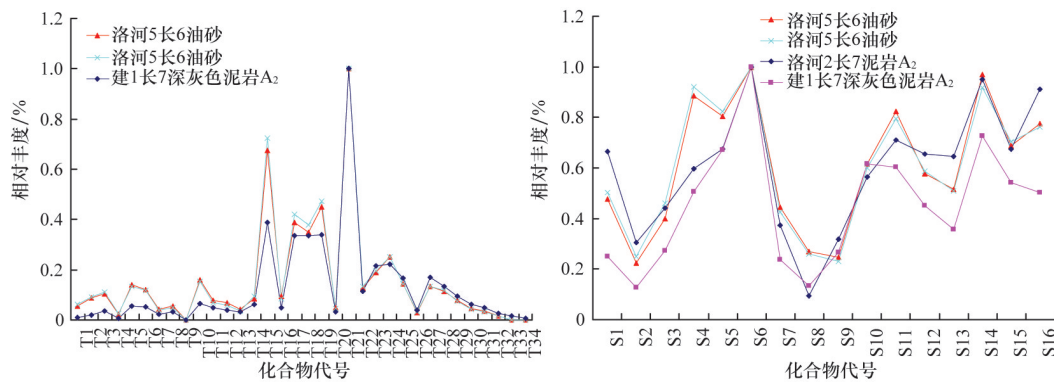


图5 富县地区 I 类原油与长7、长9烃源岩的倍半萜类生物标志物分布特征对比

Fig. 5 Mass chromatograms of the sesquiterpanes in type I crude oil and Chang 7 and Chang 9 source rock in Fuxian area



T1—C<sub>19</sub>三环萜烷; T2—C<sub>20</sub>三环萜烷; T3—C<sub>21</sub>三环萜烷; T4—C<sub>22</sub>三环萜烷; T5—C<sub>23</sub>三环萜烷; T6—C<sub>24</sub>三环萜烷; T7—C<sub>25</sub>三环萜烷; T8—C<sub>24</sub>四环萜烷; T9—C<sub>26</sub>三环萜烷; T10—C<sub>26</sub>三环萜烷; T11—C<sub>28</sub>三环萜烷; T12—C<sub>28</sub>三环萜烷; T13—C<sub>29</sub>三环萜烷; T14—C<sub>29</sub>三环萜烷; T15—Ts; T16—Tm; T17—降藿烷; T18—18α(H)-30-降新藿烷(C<sub>23</sub>Ts); T19—18α(H)-重排藿烷; T20—17β(H), 21α(H)-30-降莫烷; T21—17α(H), 21β(H)-藿烷; T22—17β(H), 21β(H)-莫烷; T23—17α(H), 21β(H)-30-升藿烷(22S); T24—17α(H), 21β(H)-30-升藿烷(22R); T25—伽马蜡烷; T26—17β(H), 21α(H)-30-升莫烷(20R); T27—17α(H), 21β(H)-30, 31-二升藿烷(22S); T28—17α(H), 21β(H)-30, 31-二升藿烷(22R); T29—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32-三升藿烷(22S); T30—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32-三升藿烷(22R); T31—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32, 33-四升藿烷(22S); T32—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32, 33-四升藿烷(22R); T33—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32, 33, 34-五升藿烷(22S); T34—17α(H), 21β(H)-30, 31, 32, 33, 34-五升藿烷(22R); S1—5α(H), 14β(H)-孕甾烷; S2—C<sub>22</sub>升孕甾烷; S3—20S-ααα-胆甾烷; S4—20R-αββ-胆甾烷; S4—20S-αββ-胆甾烷; S6—20R-ααα-胆甾烷; S7—20R-24-乙基-10α13β-17α-重排胆甾烷; S8—20S-24-乙基-10α13α17β-重排胆甾烷; S9—20S-24-甲基-ααα-胆甾烷; S10—20R-24-甲基-αββ-胆甾烷; S11—20S-24-甲基-αββ-胆甾烷; S12—20R-24-甲基-ααα-胆甾烷; S13—20S-24-乙基-ααα-胆甾烷; S14—20R-24-乙基-αββ-胆甾烷; S14—20S-24-乙基-αββ-胆甾烷; S16—20R-24-乙基-ααα-胆甾烷

图6 富县地区 II 类原油与长7暗色泥岩甾萜烷系列化合物指纹对比

Fig. 6 Distribution of steranes and terpanes in type II crude oil and type A2 source rock of Chang 7 mudstone in Fuxian area

### 3 结论

1) 在鄂尔多斯盆地富县地区应用 8β(H)-补身烷、姥植比、C<sub>30</sub>重排藿烷相对含量生物标志物参数划分的不同类型烃源岩和原油的地质和地球化学特征差异明显, 为该地区的精

细油源对比工作奠定了坚实基础。

2) 精细油源对比结果表明, 富县地区延长组原油主要来自延长组长7底部的油页岩, 部分原油来自长7暗色泥岩, 但由于长8、长9、长10烃源岩的取心井样品数量较少, 所以不

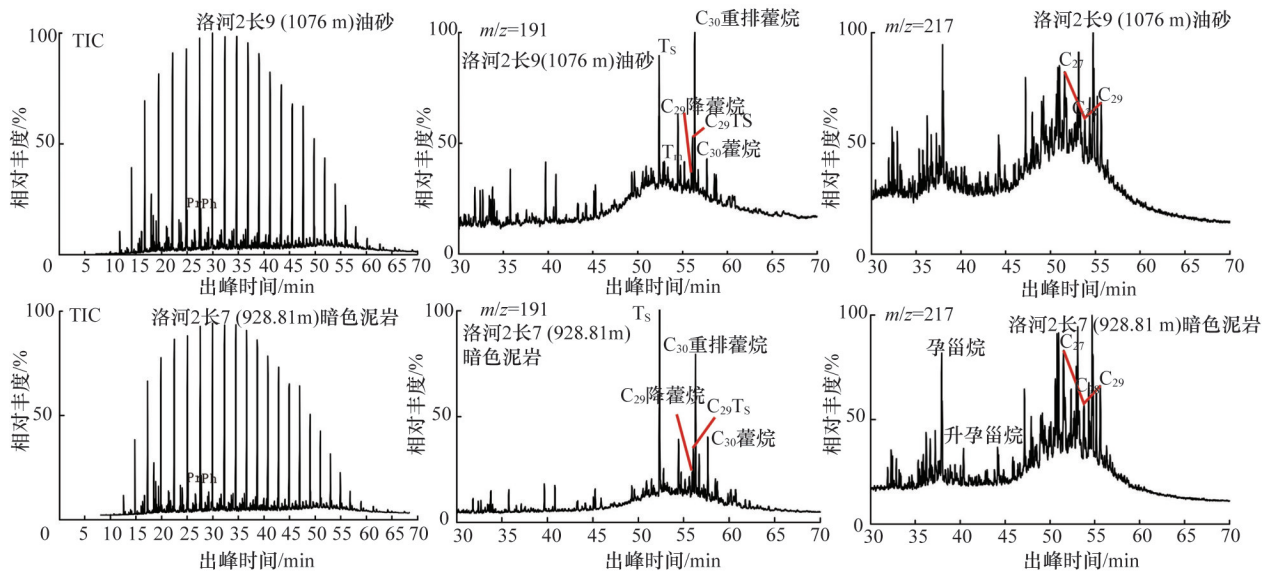


图7 富县地区Ⅲ类原油与A3类烃源岩生物标志物分布特征对比

Fig. 7 Comparison of the mass chromatograms of type III crude oil and type A3 source rock in Fuxian area

能完全排除长8、长9、长10烃源岩的油源贡献。

3) 下一步应该加大富县地区北部延长组浅层(长7及其以上油层组)的滚动勘探开发力度,以期获得更多的石油探明储量,同时积极准备延长组深层长8、长9、长10的探井部署,以便今后获得更多的样品资料进一步分析长8、长9、长10烃源岩的油源贡献。

#### 参考文献 (References)

- [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 Wenzheng, Yang hua, Yang Yihua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin[J]. Geochimica, 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 Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, 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 Petroleum[J]. 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 Wenzheng. 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]. Geochimica, 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 Wenzheng, Yang Hua, Li Shanpeng. 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 Baoxiang, 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 Yanqin, Li Wenhui, Chen Quanhong, et al. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang Yan'an formations in An-sai-Fuxian area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 218-224.
- [7] 张晓丽, 段毅, 何金先, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区三叠系延长组长8油层组油气成藏条件分析[J]. 地质科技情报, 2013, 32(4): 127-132.  
Zhang Xiaoli, Duan Yi, He Jinxian, et al. Analysis of reservoir forming conditions of chang8 formation in Huaqing Area, Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(4): 127-132.
- [8] 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 Yunxia, Chen Chunfang, Song Yanbo. Features of mesozoic source rocks and oil-source correlation in southern Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 173-177.
- [9] Moldowan J M, Fago F J, Carlson R M K, et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55(2): 3333-3353.
- [10] Philip R P, Gilbert T D. Biomarker distribution in oils predominantly derived from terrigenous source material[M]//Leythaeuser D, Rullkötter J. Advances in Organic Geochemistry 1985. Oxford: Pergamon Press, 1986: 73-84.
- [11] Farrimond P, Teln S N. Three series of rearranged hopanes in Toar-

- cian sediments (northern Italy)[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 25(3-4): 165-177.
- [12] 朱扬明, 钟荣春, 蔡勋育, 等. 川中侏罗系原油重排藿烷类化合物的组成及成因探讨[J]. *地球化学*, 2007, 36(3): 253-260.  
Zhu Yangming, Zhong Rongchun, Cai Xunyu, et al. Composition and origin approach of rearranged hopanes in Jurassic oils of central Sichuan Basin[J]. *Geochimica*, 2007, 36(3): 253-260.
- [13] 张文正, 杨华, 候林慧, 等. 鄂尔多斯盆地延长组不同烃源岩 $17\alpha$ (H)-重排藿烷的分布及其地质意义[J]. *中国科学: 地球科学*, 2009, 52(7): 965-974.  
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Hou Linhui, et al. Distribution and geological significance of  $17\alpha$ (H)-diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang formation in Ordos Basin[J]. *Science in China: Earth Sciences*, 2009, 52(7): 965-974.
- [14] 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, 39(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, 39(2): 172-180.
- [15] 邓南涛, 张枝焕, 鲍志东, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组有效烃源岩地球化学特征及识别标志[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(2): 135-145.  
Deng Nantao, Zhang Zhihuan, Bao Zhidong, et al. Geochemical features and identification characteristics for efficient source rocks of the Yanchang formation in southern Ordos Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2013, 37(2): 135-145.

## Biomarker characteristics and oil-source correlation of the Yanchang crude oil in Fuxian area, Ordos Basin

LUO Yinshan<sup>1</sup>, ZHANG Shaonan<sup>1,2</sup>, LUO Xiaoming<sup>3</sup>, DENG Nantao<sup>4</sup>, WANG Li<sup>4</sup>

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
2. College of Resources and Environmental Sciences, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China
3. Development Section Office of Second Oil Production Plant in Qinghai Oilfield, PetroChina, Haixi 816400, China
4. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710075, China

**Abstract** Samples of the Mesozoic source rock, crude oil and oil-bearing sands from Fuxian area in the southern Ordos Basin were collected systematically. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was performed on the saturated hydrocarbon fractions extracted from these samples for discussing their biomarker characteristics and crude oil origin. The results show that on the basis of biomarker source parameter distribution, the Mesozoic source rock can be divided into five types (type A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> and B), and the crude oil can be grouped into three types (I, II and III). Type I crude oil is derived from type A<sub>1</sub> source rock (Chang 7 oil shale deposited in a reducing, deep lacustrine facies environment). Type II crude oil is sourced from type A<sub>2</sub> source rock (Chang 7 dark mudstone deposited in sub-reducing to reducing, deep or semi-deep lacustrine facies environments). Type III crude oil is sourced from type A<sub>3</sub> source rock (Chang 7 dark mudstone deposited in a sub-reducing to reducing, semi-deep lacustrine facies environment).

**Keywords** southern Ordos Basin; Fuxian area; biomarker characteristics; oil-source correlation; biomarker

(责任编辑 刘志远)