

文章编号:1672-9854(2008)-02-0052-05

## 川东地区下三叠统嘉陵江组储层沥青的油源

王密云, 谢邦华, 韦力, 樊建东, 王兰生

(中国石油西南油气田公司勘探开发研究院)



王密云

**摘要** 用色谱-质谱分析方法鉴定出川东地区下三叠统嘉陵江组储层沥青饱和烃和芳烃馏分中的生物标志物,研究了生物标志物特征及热演化特征,其中以藿烷系列和规则甾烷系列丰度高为最主要特征。上二叠统长兴组和龙潭组烃源岩与该储层沥青具有相似的生物标志物指纹特征及热演化特征,普遍存在 $\gamma$ -胡萝卜烷、 $\beta$ -胡萝卜烷和伽马蜡烷,因此认为它们是该储层沥青的主要烃源岩。

**关键词** 储层沥青;生物标志物;有机质成熟度;油源对比;早三叠世;四川东部

**中图分类号**:TE125.2 **文献标识码**:A

**王密云** 1962年生,高级工程师。1984年毕业于抚顺石油学院,现主要从事生物标志物分析鉴定工作。通讯地址:610051 四川省成都市府青路一段一号;电话:(028)86015036

四川盆地川东地区下三叠统嘉陵江组( $T_{1j}$ )为一套由石灰岩、白云岩与石膏层组成的间互沉积,局部地区还有岩盐层存在,厚600~800 m。纵向上有五层,分段清楚;横向上变化不大。其中嘉一段、嘉三段为石灰岩,嘉二段、嘉四段、嘉五段为白云岩和石膏、岩盐层,间夹石灰岩。在川东气区嘉陵江组各段都有油气产出,但不同构造的产气层段不同。本文通过对比研究该储层沥青样品与上二叠统长兴组、龙潭组烃源岩样品的生物标志物特征及热演化特征,讨论了该储层沥青的来源。

**实验条件** 岩样通过“SY/T 5118-2005”<sup>[1]</sup>方法得到的氯仿抽提物经“SY/T 5119-1995”<sup>[2]</sup>方法分离出饱和烃和芳烃馏分,在Finnigan Mat 95S型GC/MS/DS系统上做色谱-质谱分析。色谱柱采用HP-5弹性石英毛细柱(30m×0.25mm×0.25  $\mu$ m)。使用氦载气。升温程序:100~220℃范围的升温速率为4℃/min,220~320℃的升温速率为2℃/min。电子轰击源,离子化电压70 eV,全扫描。

## 1 嘉陵江组储层沥青生物标志物特征

本次研究共采集川东地区嘉陵江组储层沥青岩样68个,具有相似的生物标志物特征。下面分别介绍其各种生物标志物特征。

(1)  $m/z$  191 川东地区嘉陵江组储层沥青抽提物中饱和烃馏分都含有三环萜烷和五环三萜烷,三环萜烷相对五环三萜烷含量低,但范围包括 $C_{19}$ ~ $C_{30}$ ,最高峰为 $C_{23}$ 。五环三萜烷含量高,最高峰为 $C_{30}$ 藿烷,升藿烷系列 $C_{31}$ ~ $C_{35}$ 含量递减,呈正常梯状级数分布;普遍为 $T_m > T_s$ , $C_{30}$ 重排藿烷和降新藿烷( $C_{29}Ts$ )含量低;伽马蜡烷有一定丰度(图1a)。

(2)  $m/z$  217 储层沥青抽提物中饱和烃馏分都含有丰富的 $C_{27}$ ~ $C_{29}$ 规则甾烷系列,其中 $C_{29}$ 含量最高,平均值超过50%, $C_{27}$ 和 $C_{28}$ 含量接近, $C_{28}$ 含量略高于 $C_{27}$ ;孕甾烷和升孕甾烷含量很低或无;重排甾烷系列不丰富且含量低(图1b)。

(3)  $m/z$  231 三芳甾烷是单芳甾烷在晚期成岩

收稿日期:2007-11-30

本文为“第十一届全国有机地球化学学术会议”(2007.10.20—28)分会宣讲论文

和后生作用阶段进一步芳构化的产物。该储层沥青抽提物中芳烃馏分三芳甾烷普遍存在,其中  $C_{20}$ 、 $C_{21}$  丰度低,  $C_{26}$ ~ $C_{28}$  丰度高(图 2)。

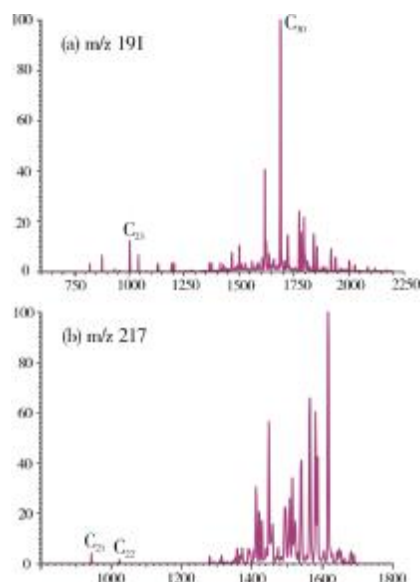


图1 川东地区嘉陵江组储层沥青饱和烃馏分质量色谱图  
双16井,灰岩,2927.45~2927.70m

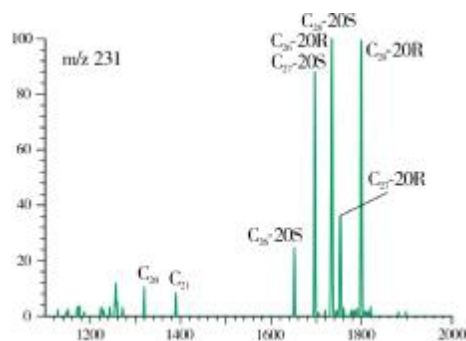


图2 川东地区嘉陵江组储层沥青芳烃馏分质量色谱图  
双16井,灰岩,2927.45~2927.70m

(4) 芳烃及三芳系列 该沥青抽提物中芳烃馏分非系列含量高(图 3),萜烯普遍存在(图 4);还有丰富的四环及五环芳烃系列,以萤蒎、芘、蒽、苯并萤蒎和苯并芘为代表。三芳系列中,硫蒎含量最高,其次为芴,氧蒎含量最低。

## 2 嘉陵江组储层沥青热演化特征

### 2.1 四项热演化参数达到平衡值

对嘉陵江组储层沥青选做了四项热演化参数,

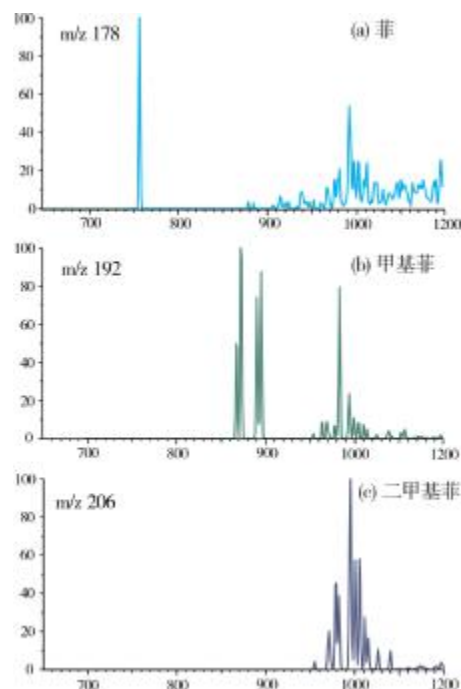


图3 川东地区嘉陵江组储层沥青芳烃馏分非系列质量色谱图  
双16井,灰岩,2927.45~2927.70m

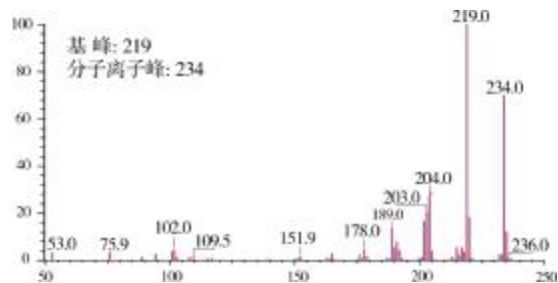


图4 川东地区嘉陵江组储层沥青芳烃馏分萜烯质谱图  
双16井,灰岩,2927.45~2927.70m

包括升霍烷异构化作用参数  $22S/(22S+22R)$ , 甾烷异构化作用参数  $20S/(20S+20R)$ 、 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ , 以及三芳甾烷异构化作用参数  $20S/(20S+20R)$ (表 1), 这些结果表明它们均达到了平衡值, 因此该储层沥青已处于高演化阶段。表 1 中第三列参数, 即甾烷异构化作用参数  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  变化范围相对较大, 这可能与储层生物标志物的运移有关。

### 2.2 MPI1 与 MPI2 呈线性关系

在甲基菲系列中,1-甲基菲、9-甲基菲在未成熟样品中占优势,随着温度升高,有机质成熟,2-甲基

表 1 嘉陵江组储层沥青热演化参数值

井 号	C <sub>31</sub> 升藿烷 22S/(22S+22R)	C <sub>29</sub> 甾烷 20S/(20S+20R)	C <sub>29</sub> 甾烷 ββ/(ββ+αα)	C <sub>28</sub> 三芳甾 20S/(20S+20R)
双 16	0.60~0.62	0.42~0.45	0.51~0.67	0.51~0.56
双 7	0.60~0.62	0.41~0.47	0.43~0.78	0.48~0.51
双 25	0.59~0.68	0.43~0.47	0.66~0.75	0.53~0.56
草 14	0.60~0.62	0.42~0.44	0.54~0.87	0.54~0.56
草 5	0.60~0.63	0.43~0.49	0.55~0.85	0.52~0.64
草 6	0.60~0.64	0.40~0.46	0.55~0.66	0.46~0.54
铁山 11	0.60~0.62	0.42~0.45	0.62~0.68	0.40~0.55
铁山 12	0.61~0.62	0.41~0.46	0.60~0.88	0.53~0.54
成 37	0.60~0.61	0.41~0.44	0.57~0.67	0.49~0.54
成 36	0.62~0.68	0.41~0.52	0.47~0.89	0.54
天东 95	0.60~0.61	0.43	0.58~0.62	0.52~0.54
天东 105	0.57~0.60	0.44~0.50	0.63~0.89	0.53~0.54
天东 104	0.61	0.42	0.63	0.53
寨沟 3	0.60~0.62	0.42~0.45	0.61~0.74	0.52~0.53
黄龙 8	0.59~0.61	0.41~0.44	0.61~0.71	0.52~0.53

菲、3-甲基菲丰度增加,这可能是由于高温有助于动力学比较稳定的2-甲基菲、3-甲基菲的生成。依据这一原理,由下述MPI1与MPI2的表达式可以看出,随着2-甲基菲、3-甲基菲丰度增高,MPI1与MPI2值增高,它们所反映的热演化程度也就越高。研究区嘉陵江组在不同构造上的储层沥青其MPI1与MPI2的值不同,说明热演化程度有差异,但普遍达到高或过成熟阶段(图5)。MPI1与MPI2表达式如下<sup>[3]</sup>:

$$\text{MPI1} = \frac{1.5 \times (2\text{-甲基菲} + 3\text{-甲基菲})}{\text{菲} + 1\text{-甲基菲} + 9\text{-甲基菲}} \quad (1)$$

$$\text{MPI2} = \frac{3 \times (2\text{-甲基菲})}{\text{菲} + 1\text{-甲基菲} + 9\text{-甲基菲}} \quad (2)$$

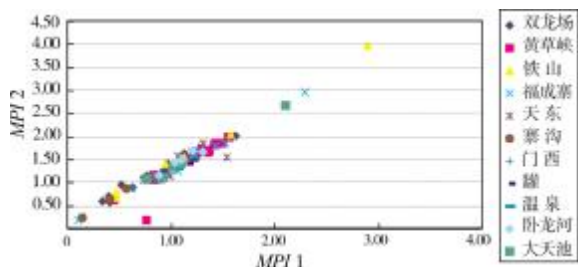


图 5 川东地区嘉陵江组储层沥青芳烃馏分MPI1 与MPI2 关系图

### 3 嘉陵江组储层沥青与长兴组、龙潭组烃源岩的对比

从本次研究采集的26口井633个样品的分析结果看,川东地区嘉陵江组储层有机碳含量不高,分布在0.02%~1.90%之间,平均值0.12%,镜质体反射率R<sub>o</sub>实测值介于1.34%~1.82%之间,有机质都已经进入高成熟阶段。有机碳含量不高,一方面说明原始沉积有机质较少,生烃能力不强,不能大规模成烃,另一方面也说明在成藏过程中,现今气藏中的天然气不是来源于圈闭自身的有机质,而主要为外源气。

综合研究结果表明,川东地区嘉陵江组储层的主要气源为上二叠统长兴组、龙潭组烃源层,生物标志物在油气源对比研究中有着重要作用。

(1) 生物标志物指纹特征 在m/z 191和m/z 217质量色谱图中,长兴组、龙潭组三环萜烷、五环三萜烷和甾烷的指纹特征(图6,图7)与嘉陵江组储层沥青(图1a, 1b)一致;在三芳甾、菲系列、四环和五环芳烃系列及三萜系列质量色谱图中,长兴组、龙潭组指纹特征与嘉陵江组储层沥青也相一致。

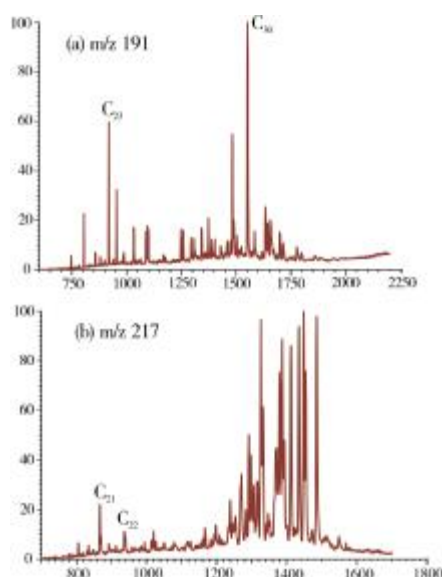


图6 川东地区长兴组饱和烃馏分质量色谱图  
黄龙3井,灰岩,4240.00m

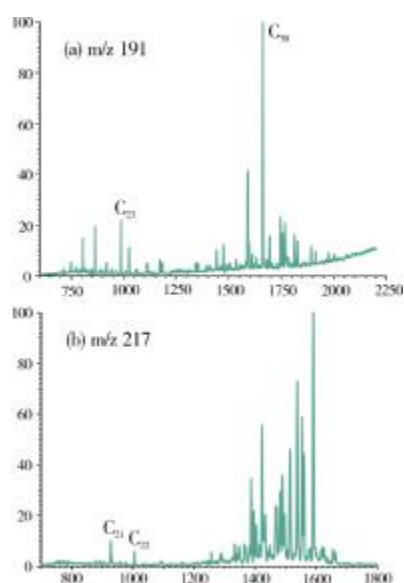


图7 川东地区龙潭组饱和烃馏分质量色谱图  
明2井,灰岩,3094~3102m

(2) 饱和烃色谱图大多呈双峰型 嘉陵江组、长兴组、龙潭组饱和烃色谱图碳数范围为  $C_{15} \sim C_{36}$ , 没有发现明显生物降解, 谱图大多呈双峰型。当沉积物中同时混有来自海生浮游植物、藻类(中分子量  $nC_{15} \sim nC_{21}$  的奇数碳正构烷烃)和来自陆生高等植物有机质(高分子量  $nC_{25} \sim nC_{33}$  的奇数碳正构烷烃)时, 饱和烃色谱图呈双峰型。OEP 大于 1, Ph/Pr 大于 1, 通常指示缺氧沉积作用环境。

(3) 普遍存在  $\gamma$ -胡萝卜素和  $\beta$ -胡萝卜素 嘉陵江组、长兴组、龙潭组饱和烃色谱图普遍存在  $\gamma$ -胡萝卜素和  $\beta$ -胡萝卜素。 $\beta$ -胡萝卜素的存在主要归因于缺氧的、含盐湖相沉积中的藻类有机质,  $\gamma$ -胡萝卜素常常与  $\beta$ -胡萝卜素共生<sup>[4]</sup>, 代表还原环境。

(4)  $C_{30}$ 重排藿烷和降新藿烷显示还原环境 沉积环境是控制  $C_{30}$ 重排藿烷和降新藿烷相对浓度的重要因素, 嘉陵江组、长兴组、龙潭组  $C_{30}$ 重排藿烷和降新藿烷相对浓度低, 也显示还原环境。选取类异戊二烯烷烃分别与降新藿烷 ( $C_{29}Ts$ ) 和  $C_{30}$ 重排藿烷 ( $C_{30}^*$ ) 相对参数作图, 可以看出龙潭组与嘉陵江组有更好的对应关系(图8, 图9)。

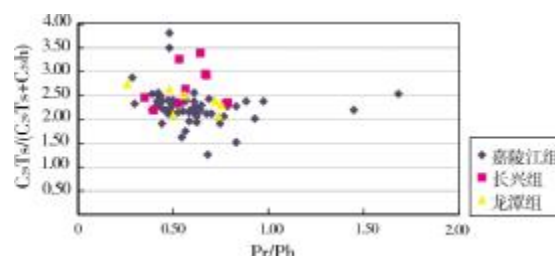


图8 川东地区储层沥青(嘉陵江组)和烃源岩类异戊二烯烷烃与降新藿烷相关关系图

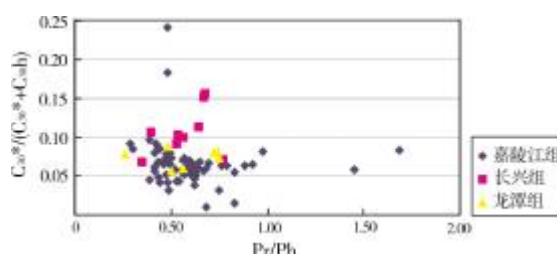


图9 川东地区储层沥青(嘉陵江组)和烃源岩类异戊二烯烷烃与重排藿烷相关关系图

(5) 三萜系列中硫萜含量最高 一般情况下三萜系列在芳烃中的含量很低, 但它对沉积环境的研究有很重要的作用, 在正常还原环境中, 萜系列含量较为丰富, 强还原环境中以硫萜占优势。嘉陵江组、长兴组、龙潭组岩石抽提物中三萜系列的特征都是硫萜含量最高, 表明其处在强还原环境中。

(6) 伽马蜡烷普遍存在且有一定丰度 伽马蜡烷的富集程度往往反映水体的盐度。图10给出了嘉陵江组、长兴组、龙潭组岩石抽提物中伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷)与类异戊二烯烷烃相关关系图, 三者显示了良好的相关性。



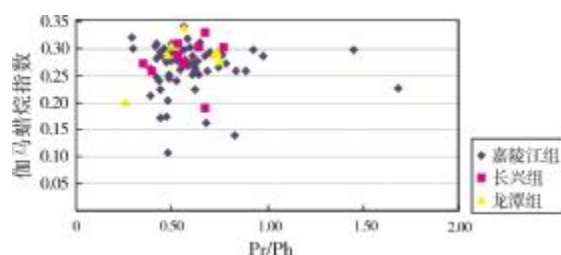


图 10 川东地区储层沥青(嘉陵江组)和烃源岩类异戊二烯烷烃与伽马蜡烷指数相关关系图

(7) 规则甾烷组成特征 规则甾烷组成是生物标志物研究中的一重要指标,它与有机质物源、有机质沉积环境及有机质成熟度等有着密切关系。从图11可以看出,川东地区嘉陵江组储层沥青与龙潭组和长兴组烃源岩的  $C_{29}$  含量大部分都大于50%,  $C_{28}$  含量大部分都小于30%,  $C_{27}$  含量大部分都小于25%,样品点重叠在一起,显示具有更好的相似性。

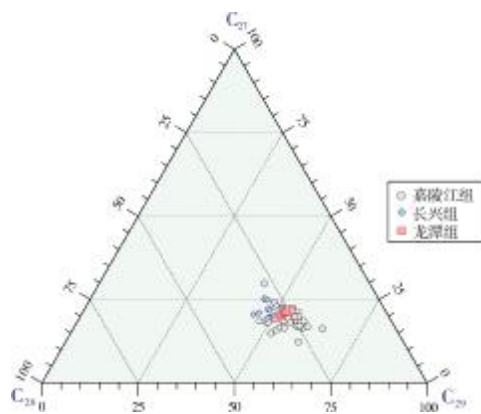


图 11 川东地区储层沥青(嘉陵江组)与烃源岩规则甾烷相对含量三角图

(8) 多环芳烃丰富且含量高 嘉陵江组、长兴组、龙潭组岩石抽提物中多环芳烃丰富且含量高,萜烯也普遍存在,具有陆相煤系地层特征。

(9) 有机质热演化特征 川东地区上二叠统烃源岩生物及有机质含量丰富,有机碳平均含量达3.84%。反射率实测资料表明,川东地区上二叠统烃源岩  $R_o$  普遍高于1.65%,已处于高一过成熟阶段,主要生成气态烃。表2给出了嘉陵江组储层沥青和长兴组、龙潭组岩石抽提物饱和烃馏分的有机质热演化参数平均值,显示均已达到平衡值。

表 2 川东地区嘉陵江组储层沥青与长兴组、龙潭组岩石抽提物有机质热演化参数平均值对比

地 层	$C_{31}$ 升藿烷 22S/(22S+22R)	$C_{29}$ 甾烷 20S/(20S+20R)	$C_{29}$ 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$
嘉陵江组	0.61	0.44	0.65
长兴组	0.60	0.44	0.76
龙潭组	0.61	0.45	0.61

综上所述,油源对比研究结果显示,川东地区下三叠统嘉陵江组储层沥青主要来源于上二叠统长兴组、龙潭组陆相烃源岩,该储层沥青及烃源岩均已处于高一过成熟演化阶段。

#### 参 考 文 献

- [1] 中国石油天然气总公司. SY/T 5118-2005 岩石中氯仿沥青的测定脂肪抽提器法[S]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 中国石油天然气总公司. SY/T 5119-1995 岩石可溶有机物和原油族组分柱层析分析方法[S]. 北京:石油工业出版社,1995.
- [3] 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.
- [4] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南[M]. 姜乃煌,张永昌,林永汉,等,译. 北京:石油工业出版社,1995.

编辑:吴厚松

## Source of Bitumen in Lower Triassic Jialingjiang Reservoir in Eastern Sichuan Basin

Wang Miyun, Xie Banghua, Wei Li, Fan Jiandong, Wang Lansheng

**Abstract:** Genesis and prediction of carbonate reservoirs has been one of the hot spots of petroleum exploration and geology research. It is shown that deposition of carbonate reservoirs is mainly related to the environments of the barrier island and the edge zone behind it and is controlled by the atmosphere fresh water leaching, dolomitization, paleokarstification, buried dissolution and so on in Tarim, Ordos and Sichuan Basins. The carbonate reservoirs can be divided into four types: (a) atmosphere freshwater leaching reef and shoal limestone reservoir, (b) paleokarstified reef and shoal limestone reservoir, (c) dolomitized reef and shoal dolostone reservoir and (d) paleokarstified anhydrite dolostone reservoir in these mentioned basins. A comprehensive genesis-prediction model of barrier-related carbonate reservoir is put forward. The reef and shoal zone along platform edge that builds the barrier island is the areas favorable for (a) to (c) typed reservoirs, while the edge flat zone of evaporation basin behind the barrier island is the area favorable for (c) typed reservoir.

**Key words:** Early Triassic; Reservoir bitumen; Biological marker; Organic matter maturity; oil-source correlation; Eastern Sichuan Basin

Wang Miyun: female, Senior Engineer. Add: Exploration and Development Institute of Southwest Oilfield Company, PetroChina, No 1, Duan 1, Fuqing Rd, Chengdu, Sichuan Province, 610051 China