

# 柴达木盆地西部南区第三系烃源岩地球化学特征

李洪波<sup>1,2</sup>, 张敏<sup>2</sup>, 张春明<sup>2</sup>, 彭德华<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 102249;

2. 长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023;

3. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

**摘要:**在系统分析柴达木盆地西部南区第三系大量岩心和岩屑样品的基础上, 确定了该区有效烃源岩有机碳含量下限值为 0.4%, 并依此厘定了红狮凹陷、扎哈泉凹陷和狮子沟地区  $E_3^2$  和  $E_3^1$  上部应为柴西南区第三系有效烃源岩。同时还选取了 24 块上述有效烃源岩进行了抽提物的饱和烃生物标志物分析, 针对其典型的咸水湖相沉积环境进行了烃源岩的地球化学特征研究。结果表明: 柴西南区第三系烃源岩总体呈现正构烷烃的偶奇优势,  $Pr/Ph < 0.6$ , 较高伽玛蜡烷和升藿烷的翘尾巴特征, 但不同地区与凹陷的上述特征略有差异;  $Pr/Ph$ 、 $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷与伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷等一系列沉积环境参数指标的差异揭示出扎哈泉凹陷第三系烃源岩自成一体, 特征迥异, 应该处于微咸水—弱还原沉积环境, 而红狮凹陷、跃进地区和狮子沟地区第三系烃源岩处于高盐度—强还原沉积环境, 只是狮子沟地区相对较弱一些。认为柴西南区 2 类差异较大的第三系烃源岩分布区域特征可能预示柴西南区的原油也存在 2 类, 因而在该区可能存在 2 大独立的油气系统。

**关键词:**柴达木盆地; 第三系; 烃源岩; 地球化学

**中图分类号:** TE122.1<sup>+</sup>13

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2008)04-0519-05

柴达木盆地西部集中了全盆地大部分的原油资源, 其中南区又是其主力产油区<sup>[1-2]</sup>。前人<sup>[3-4]</sup>研究结果表明, 柴达木盆地西部南区存在 4 个可能的生油凹陷, 分别为红狮凹陷、阿拉尔凹陷、扎哈泉凹陷和切克里克凹陷, 以及中区茫崖凹陷的狮子沟地区。主力烃源层为下干柴沟组( $E_3$ )和上干柴沟组( $N_1$ )。以往的研究对柴西南区的 4 个凹陷是否为有效生油凹陷, 且各个凹陷的主要生油层研究得还不是很精细。针对柴西南区第三系典型的咸水湖相沉积特征<sup>[5-9]</sup>, 通过常规的烃源岩分析和烃源岩抽提物的饱和烃生物标志物分析, 作者对柴西南区第三系烃源岩进行了详细的评价, 并选取部分主力有效烃源岩进行了抽提物地球化学特征研究, 进一步清晰认识柴西南区第三系烃源岩的地球化学分布特征, 为充分了解该区第三系原油的分布及其油源特征打下基础。

## 1 实验条件

选取柴西南区第三系生油岩样 24 个, 分别粉碎至 100 目, 用索氏抽提法抽提。氯仿沥青“A”中的沥青质用正己烷沉淀后, 进行色谱—质谱分析。色谱/质谱分析采用 HP6890GC/5973MSD, 色谱柱为 HP-5MS 柱(30 m×0.25 mm×0.25  $\mu$ m)。进样口温度为 300℃。载气为氦气, 流速为恒定 1.0 mL/min。升温程序为 40℃恒温 2 min, 然后以 4℃/min 升温至 320℃后, 恒定 20 min。扫描范围为 50~550 amu, 质谱检测为多离子检测。

## 2 有效烃源岩的厘定

柴达木盆地西部第三系处于干旱—半干旱气候条件下, 湖盆水体以半咸水至咸水为主。很多学者对新生界典型的咸化湖相沉积有过大量研究<sup>[5-10]</sup>, 与其它咸水湖相沉积相比, 柴达木盆地西部第三系

有机质丰度并不是很高,但其有着较高的烃转化率。黄第藩等<sup>①</sup>(1987)提出柴西地区的有机碳下限值为0.25%。金强<sup>[11]</sup>用模拟实验的方法得出柴西地区的有机碳下限值为0.4%。苏爱国等<sup>②</sup>(2004)在大量烃源岩样品分析研究结果的基础上,指出本区第三系烃源岩有机碳下限值为0.4%。本次研究中,作者主要是借助生油岩热解分析仪的分析参数,及其计算的有机碳含量来作为最基础、最重要的参数进行有机碳下限值的探讨。

已有研究表明<sup>[3-4]</sup>,柴西南区第三系的下干柴沟组( $E_3$ )和上干柴沟组( $N_1$ )为其主力烃源层。对本区7口井650个样品分析,发现下干柴沟组下段( $E_3^1$ )、下干柴沟组上段( $E_3^2$ )的有机碳含量分布在0.08%~2.43%和0.02%~1.89%之间,但它们的主频区位于0.3%~0.6%之间,平均值分别为1.04%和0.71%。上干柴沟组( $N_1$ )有机碳含量分布在0.01%~2.03%之间,平均值为0.50%;根据上述柴西南区烃源岩有机碳的分布状况,初步确定本区烃源岩有机碳含量的下限值介于0.3%~0.6%之间,结合作者以前对生烃潜量和氯仿沥青“A”含量的综合研究分析<sup>[11]</sup>,将柴西南区烃源岩有机碳含量下限值确定为0.4%应该还是比较合理的。

应用有机碳含量下限值标准,并结合生烃潜量和氯仿沥青“A”含量等数据资料,作者发现柴西南区第三系烃源岩,在纵向上其主力烃源岩应位于下干柴沟组上段( $E_3^2$ )和下干柴沟组下段( $E_3^1$ )上部;平面上,主力烃源岩应位于红狮凹陷、扎哈泉凹陷和狮子沟地区。

### 3 烃源岩生物标志物组合特征

在厘定了主力烃源岩层位和生油凹陷的基础上,作者选取了主力生油凹陷和主力层位的24个烃源岩样品进行了抽提物的地球化学分析,并针对其特殊的沉积环境选择生物标志物进行研究。

#### 3.1 正构烷烃和类异戊二烯烷烃

正构烷烃是生油岩抽提物和原油中一种主要的化学组分。在所分析的样品中,狮子沟地区和跃进地区在 $C_{20-28}$ 段具有明显的偶奇优势(图1a),其CPI值大部分低于0.9。一般认为,这种偶奇优势是由于在强还原环境中,腊水解形成的偶碳数酸和醇的还原作用而造成的,或由碳酸盐矿物催化发生 $\beta$ 断裂而来。而朱扬明等<sup>[12]</sup>在研究了柴达木盆地西部第三系咸水湖相生油岩的偶奇优势后认为其并非取决于沉积环境的还原条件,可能是来源于咸化湖泊

中的某种嗜盐细菌或其它微生物,主要与沉积相带有机质生源有关。在红狮凹陷的样品中,正构烷烃面貌具有双峰型特点(图1b), $C_{27} \sim C_{31}$ 具有明显奇碳数优势,CPI值为0.97~1.4,且 $C_{20} \sim C_{24}$ 又具有明显的偶奇优势,综合来看应该是预示着有机质的双重物源,带有陆源高等植物输入的特征。可能是因为渐新世时,此处处于阿拉尔河流注入湖盆点,决定了有机质来源的多元性。而在扎哈泉凹陷的样品中,正构烷烃具有单峰型特征(图1c),没有明显的奇偶优势,CPI位于1.04~1.26之间,预示着与另外2个地区的有机质沉积特征应该有一定差别。

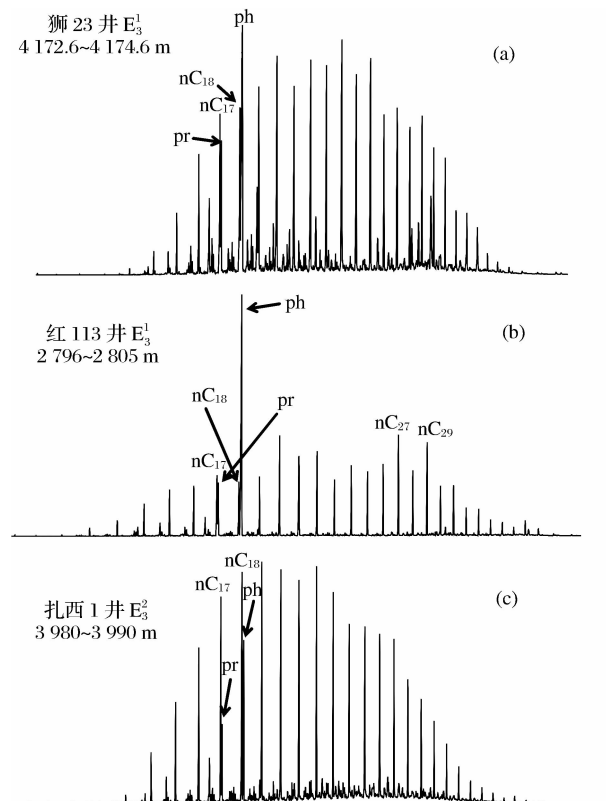


图1 柴西南区第三系烃源岩正构烷烃系列分布特征

类异戊二烯烷烃中,姥鲨烷和植烷常用来作为指示沉积环境的标志化合物,柴西南区烃源岩抽提物的正构烷烃的Pr/Ph值都小于0.6,位于0.12~0.47之间,表现出强烈的植烷优势。姥植比在一定程度上虽还受热成熟度的影响,但在本次研究中,烃源岩成熟度较高的样品主要在狮子沟地区和绿参1井,且不同地区同样成熟度的源岩表现出差异较

① 黄第藩,李晋超,周翥红,等,柴达木盆地西部第三系油源岩的地球化学和生油评价. 内部报告,1987.

② 苏爱国,朱扬明,彭德华,等. 柴西第三系咸化湖泊有效烃源岩划分标准与生烃评价. 内部报告,2004.

大的 Pr/Ph 值分布,故作者认为在此处成熟度对 Pr/Ph 值影响是有限的,如此低 Pr/Ph 值应是还原环境沉积有机质的典型特征。在区域分布中,红狮凹陷和跃进地区 Pr/Ph 值介于 0.1~0.2 之间,狮子沟地区较高,基本上介于 0.2~0.3 之间,而扎哈泉凹陷最高,达到了 0.3 以上,最高到 0.66(表 1),已达到弱还原环境。这种区域变化趋势初步揭示出了柴西南区第三系烃源岩从北边的红狮凹陷到狮子沟地区,再到南边的扎哈泉凹陷,其烃源岩沉积环境水体盐度依次减小,还原程度依次减弱。更进一步分析发现,在 Pr/C<sub>17</sub>、Ph/C<sub>18</sub> 和 Pr/Ph 相对组成三角图中(图 2),可明显看出大多数烃源岩抽提物样品分布于高 Ph/C<sub>18</sub> 值,低 Pr/Ph 值区域,指示着柴西南区第三系咸水湖相的沉积特征,其区域样品分布变化规律与上面揭示的如出一辙。

3.2 萘烷类化合物

针对柴西南区第三系咸水湖相的沉积特征,本次研究特地仅选取五环三萜烷来进行研究。同其它

咸水湖相沉积盆地一样,柴西南区第三系烃源岩抽提物同样表现着咸湖盆地高伽玛蜡烷和强升藿烷翘

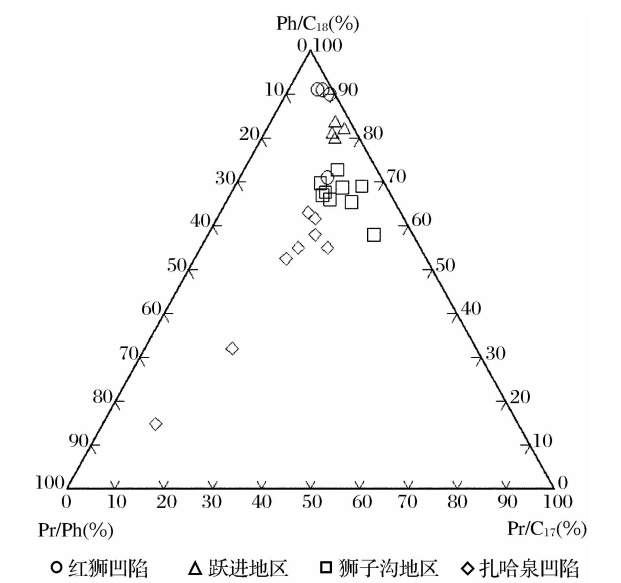


图 2 柴西南区第三系烃源岩 Pr/C<sub>17</sub>、Ph/C<sub>18</sub> 和 Pr/Ph 相对组成特征

表 1 柴达木盆地西部南区第三系烃源岩抽提物地球化学参数

序号	凹陷/地区	井号	深度(m)	层位	CPI <sub>20~28</sub>	Pr/Ph	伽玛蜡烷/ C <sub>30</sub> 藿烷	C <sub>35</sub> 藿烷/C <sub>34</sub> 藿烷	甾烷/藿烷
1	红狮凹陷	七新 6-5	666.97~676.17	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.97	0.23	1.08	1.74	4.71
2		红 113	2 713.85~2 721.75	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	1.20	0.09	0.92	1.41	7.27
3		红 113	2 770~2 775	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.98	0.12	1.08	1.64	4.82
4		红 113	2 796.44~2 805.25	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	1.40	0.12	0.76	2.41	6.91
5	狮子沟地区	狮 15	4 067.65~4 076.75	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	1.00	0.29	0.93	1.41	5.15
6		狮 25	3 958.59~3 962.94	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.97	0.24	0.34	1.45	1.94
7		狮 25	4 159.8~4 186.35	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.84	0.24	0.59	1.34	2.87
8		狮 30	4 088.9~4 097.1	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.83	0.53	0.14	1.09	1.55
9		狮 31	3 098.04~3 105.54	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.93	0.36	0.11	1.08	2.46
10		狮 23	4 065~4 072	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.73	0.24	0.28	1.14	2.54
11		狮 23	4 172.6~4 174.6	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.78	0.29	0.53	1.60	2.35
12		狮深 24	3 910~3 912.15	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.89	0.29	0.39	0.67	2.57
13		狮新 28	4 168~4 168.8	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0.91	0.27	0.55	1.02	1.71
14	跃进地区	建参 1	3 647~3 648	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.82	0.14	1.23	2.00	6.57
15		跃灰 101	3 128~3 144	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.87	0.13	1.33	1.52	5.44
16		跃灰 101	3 163.7~3 190.7	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.70	0.17	1.85	1.76	2.75
17		跃灰 101	3 190.7~3 215.9	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.76	0.16	1.12	1.72	6.37
18	扎哈泉凹陷	绿参 1	3 689.4~3 695.59	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1.26	0.57	0.30	0.44	0.34
19		绿参 1	3 882.62~3 886.92	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1.13	0.37	0.44	0.77	1.20
20		绿参 1	4 132.36~4 134.64	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1.15	0.29	0.28	0.76	0.76
21		绿参 1	4 305.72~4 310.93	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1.04	0.66	0.51	0.42	0.75
22		绿参 1	4 729.56~4 735.8	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	1.09	0.49	0.40	0.42	1.85
23		跃东 110	3 759.87~3 762.13	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	1.10	0.35	0.17	0.63	0.28
24		扎西 1	3 980~3 990	E <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1.06	0.35	0.21	0.67	3.52

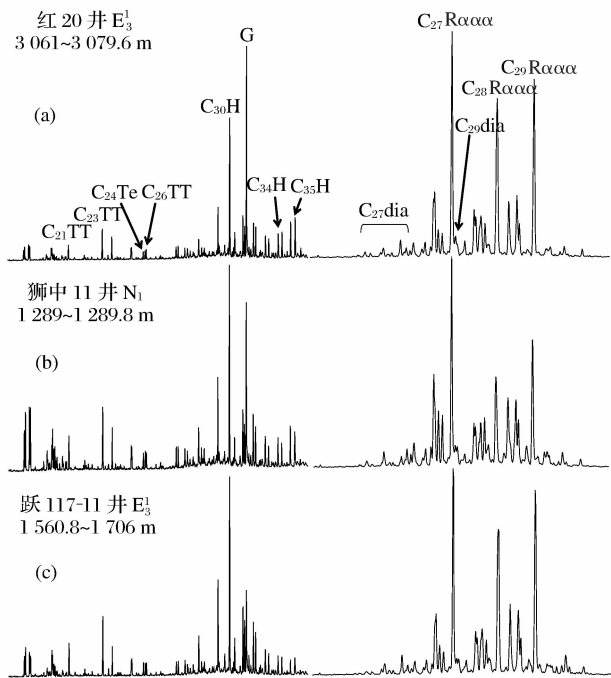


图3 柴西南区第三系烃源岩甾萜类化合物分布特征

尾巴优势的典型特征(图3)。伽玛蜡烷的出现常成为水体盐度较高的标志<sup>[13]</sup>。更进一步研究认为,伽玛蜡烷来源于四膜虫醇,高伽玛蜡烷实际上是水分层的结果。在化学活跃层以下,咸水环境是四膜虫醇的可能来源——光营养型细菌这类生物偏爱的生态环境,强还原条件则有利于四膜虫醇向伽玛蜡烷的转化。本次分析样品中,虽普遍含有较高伽玛蜡烷,但仔细比较可发现其分布还是有地区差异的。而本次研究样品也同时具有另外一个典型的咸水还原环境沉积特征,就是具有较强的升藿烷的翘尾巴优势。如图4为红狮凹陷、狮子沟地区、跃进地区和

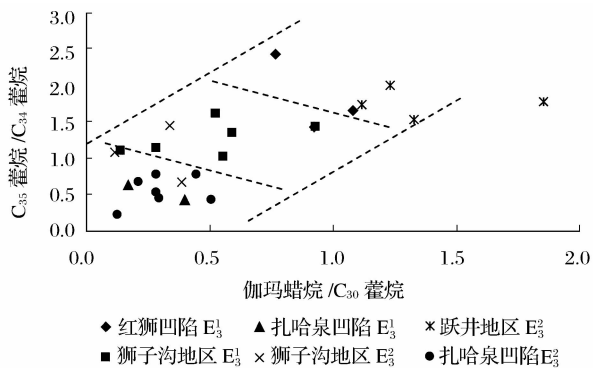


图4 柴西南区第三系烃源岩样品的  $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷与伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷分布

扎哈泉凹陷样品的  $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷与伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷分布图,总体上样品点呈较好的正相关关系,但在不同地区我们仍能看出明显分布变化规律。

红狮凹陷和跃进地区伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷 $>0.9$ ,  $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷位于  $1.41\sim2.40$  之间,为几个地区中的最高值;狮子沟地区  $E_3^1$  和  $E_3^2$  次之,伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷位于  $0.1\sim0.9$  之间,  $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷位于  $1\sim1.45$  之间;而扎哈泉凹陷  $E_3^1$  和  $E_3^2$  最低,伽玛蜡烷/ $C_{30}$  藿烷位于  $0.2\sim0.5$  之间,  $C_{35}$  藿烷/ $C_{34}$  藿烷位于  $0.42\sim0.76$  之间,指示出柴西南区第三系的沉积水体盐度和沉积环境还原性从红狮凹陷和跃进地区到狮子沟地区再到扎哈泉凹陷是依次降低的。这与前文的研究结果是一致的。同时还发现,狮子沟地区和扎哈泉凹陷的  $E_3^1$  和  $E_3^2$  之间并没有大的差别,说明纵向上的沉积环境变化并没有横向上的明显。

### 3.3 甾烷类化合物

甾烷类化合物也是一类重要的生物标志物,常用于成熟度的评价和生源构成的判定。在本次研究中,作者仅仅选取了甾烷与藿烷之比来进一步研究其地区差异。在甾烷/藿烷与 Pr/Ph 的分布关系图中(图5),两者有着较好的负相关关系,且区域分布变化明显。一般认为,甾烷来自于水生藻类、植物等真核生物先质,而藿烷主要来源于细菌等原核生物,以往研究也表明柴西南区的有机质生源主要源于咸水湖相沉积水体的水生藻类。通过图5我们可以清晰地发现柴西南区第三系烃源岩的甾烷/藿烷值大多数都大于1,且在红狮凹陷和跃进地区的样品此值达到了  $4\sim7$ ,狮子沟样品稍低,位于  $1\sim3$  之间,扎哈泉凹陷最低。这个变化与前面研究的其它沉积环境参数的区域变化极其一致,这可能还是与盐度和还原程度有关,红狮凹陷、跃进地区、狮子沟地区、扎哈泉凹陷的沉积水体盐度和还原程度依次变小,同时盐度和还原程度越大,越能抑制细菌的种属和生长,使得沉积有机质的藿烷变少,这样不难解释其地区变化差异。

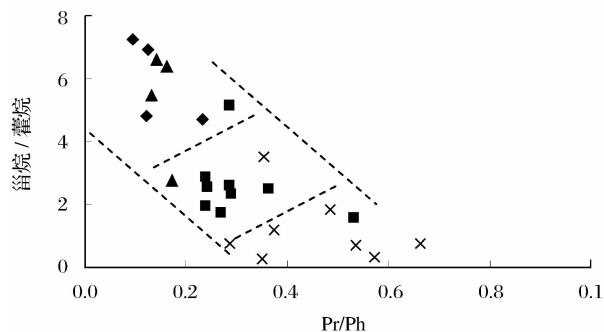


图5 柴西南区第三系烃源岩甾烷/藿烷与 Pr/Ph 值的关系

## 4 结论

(1) 确定柴达木盆地西部南区第三系有效烃源岩的有机碳含量下限值为 0.4%。红狮凹陷、扎哈泉凹陷和狮子沟地区的下干柴沟组上段( $E_3^2$ )和下干柴沟组下段( $E_3^1$ )上部烃源岩应为柴西南区的有效烃源岩。

(2) 反应水体盐度和还原程度的指标均出现较好的区域变化优势,可明显指示出红狮凹陷、跃进地区和狮子沟地区第三系烃源岩处于高盐度—强还原沉积环境,仅仅狮子沟地区相对较弱一些。发现扎哈泉凹陷第三系烃源岩与其它差异明显,应该处于微咸水—弱还原沉积环境。

(3) 柴西南区第三系烃源岩沉积环境的差异,必定使其原油化学组成同样发生变化,这种变化差异有利于我们认识原油的分布和成因类型,追踪原油的来源;为南区整体上认识可能存在的 2 大独立的含油气系统奠定了基础,对勘探方向的预测具有一定指导意义。

### 参考文献:

- [1] 袁剑英,陈启林,陈迎宾,等.柴达木盆地油气地质特征与有利勘探领域[J].天然气地球科学,2006,17(5):640-644.
- [2] 陈迎宾,袁剑英,陈启林,等.柴达木盆地西部南区断裂发育特

征及对成藏的控制作用[J].天然气地球科学,2006,17(5):645-648.

- [3] 金强,查明,赵磊.柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别[J].沉积学报,2001,34(1):1543-1558.
- [4] 王力,金强.柴达木盆地西部第三系烃源岩及其对油气聚集的控制作用[J].石油与天然气地质,2005,26(4):468-472.
- [5] 张枝焕,杨藩,李东明,等.中国新生界咸水湖相烃源岩和原油生物标志物组合特征[J].沉积学报,1998,16(3):119-123.
- [6] 黄第藩,张大江,李晋超,等.柴达木盆地第三系油源对比[J].沉积学报,1989,7(2):1-13.
- [7] 朱扬明,苏爱国,梁狄刚,等.柴达木盆地西部第三系咸水湖相原油地球化学特征[J].地质科学,2004,39(4):475-485.
- [8] 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):360-364.
- [9] Zhu Yangming, Weng Huanxin, Su Aiguo, *et al.* Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the Western Qaidam Basin, northwest China [J]. Applied Geochemistry, 2005, 20: 1875-1889.
- [10] 包建平,马安来,李贤庆,等.盐湖盆地未熟—低熟油地球化学研究[M].北京:地质出版社,2006:8-90.
- [11] 李洪波,张敏,张春明,等.柴达木盆地西部南区第三系烃源岩评价[J].石油天然气学报,2006,28(6):41-43.
- [12] 朱扬明,苏爱国,梁狄刚,等.柴达木盆地咸湖相生油岩正构烷烃分布特征及成因[J].地球化学,2003,32(2):117-123.
- [13] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1993: 111-210.

## Geochemical Characteristics of Tertiary Source Rocks in the South Area of Western Qaidam Basin

LI Hong-bo<sup>1,2</sup>, ZHANG Min<sup>2</sup>, ZHANG Chun-ming<sup>2</sup>, PENG De-hua<sup>3</sup>

(1. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China;

3. PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang 736202, China)

**Abstract:** Based on analyses of source rocks in the Tertiary system in the south area of the western Qaidam basin, the low limit value of TOC is fixed on 0.4%. On this basis, the upper part of Xiagancaigou Formation( $E_3^2$ ) and the lower part of Xiagancaigou Formation( $E_3^1$ ) in the Hongshi sag, Zhahaquan sag and Shizigou zone are considered as effective source rocks. By the biomarkers analyses of 24 effective source rocks, we examined the sediment characteristics of the saline lacustrine environment to investigate the Geochemical characteristics. The results show: the Tertiary source rocks in the area are characterized by even over odd preference of n-Alkanes, Pr/Ph<0.6 and high abundance of gammaceranes and  $C_{35}$  homohopanes, but these characteristics are different in all sags or zones. Different values of Pr/Ph,  $C_{35}$  homohopane/ $C_{34}$  homohopane and gammacerane/ $C_{30}$  hopane reveal that the sediment environment of Tertiary source rocks in the Hongshi sag, Yuejing zone and Shizigou zone is a high-saline lacustrine and strong reduction environment and that of Shizigou zone is relatively inferior, while that of Zhahaquan sag is a low-saline lacustrine and low reduction environment. The two types of oils in the south area of the western Qaidam basin, further, two independent hydrocarbon systems may be indicated by the two patterns of Tertiary source rocks in the same area.

**Key words:** Qaidam basin; Tertiary; Source rocks; Geochemistry.