

## 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学 特征及油源分析

王传远<sup>1,2</sup>, 段毅<sup>2</sup>, 车桂美<sup>3</sup>, 翟瑞华<sup>4</sup>, 郑朝阳<sup>2</sup>, 吴保祥<sup>2</sup>, 康晏<sup>5</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东烟台 264003;  
2. 中国科学院兰州地质研究所, 甘肃兰州 730000; 3. 济南柴油机股份有限公司, 山东济南 250306;  
4. 辽河油田锦州采油厂 辽宁锦州 121209; 5. 中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院 山东东营 257015)

**摘要:** 分析了鄂尔多斯盆地延长组原油的生物标志化合物组成特征, 并对其进行油源对比, 探讨了其成因。研究表明, 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油属于同一成因类型; 原油有机母质为菌藻类和高等植物的混源型, 原油形成于弱还原和淡水或微咸水环境, 为成熟原油。油源对比表明, 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油主要来自长7油层组烃源岩。

**关键词:** 鄂尔多斯盆地; 原油; 烃源岩; 三叠系延长组; 地球化学特征; 油源对比

中图分类号: TE122.113

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2009)-03-0380-07

## Geochemical Characteristics and Oil-Source Analysis of Crude Oils in the Yanchang Formation of Upper Triassic from Ordos Basin

WANG Chuan-yuan<sup>1,2</sup>, DUAN Yi<sup>2</sup>, CHE Gui-mei<sup>3</sup>, ZHAI Rui-hua<sup>4</sup>,  
ZHENG Chao-yang<sup>2</sup>, WU Bao-xiang<sup>2</sup>, KANG Yan<sup>5</sup>

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, CAS, Yantai 264003, China; 2. Lanzhou Institute of Geology, CAS, Lanzhou 730000, China; 3. Jinan Diesel Engine Co., Ltd, Jinan 250306, China; 4. Jinzhou Oil Production Plant of Liaohe Oilfield, Jinzhou 121209, China; 5. Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, China)

**Abstract:** The biomarkers of crude oils of Yanchang Formation in Ordos Basin were studied in this paper, and the oil-source correlation and their genesis were discussed. The data indicate that the studied oils are of the same genetic type and the oil-forming matrixes are algae and higher plants. The crude oils were formed under the weak reducing and fresh water environments. The crude oils are mature. The crude oils in the Yanchang Formation of Upper Triassic were mainly originated from the Chang-7 oil bed group.

**Key words:** Ordos Basin; crude oil; source rocks; the Triassic Yanchang Formation; chemical characteristics; oil-source correlation

鄂尔多斯盆地是一个多旋回沉积型克拉通类含油气盆地, 也是我国第二大沉积盆地; 其主要地质特征表现为构造简单、地层平缓、沉降稳定。资源评价表明, 盆地石油地质资源量为 $85.88 \times 10^8$ t, 资源

潜力十分巨大(席胜利等, 2004)。在经历了早古生代浅海台地和晚古生代近海平原发育之后, 至中生代进入了内陆湖盆的形成发展阶段, 尤其是晚三叠世延长期, 是湖盆发展的全盛期, 湖盆底形呈西陡

收稿日期: 2008-12-16; 修回日期: 2009-06-24

基金项目: 国家自然科学基金(40806048); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-224)和中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金”(AJ0809xx-035)共同资助

作者简介: 王传远, 男, 助理研究员, 博士, 主要从事油气地球化学研究; E-mail: wangchy6111@163.com

东缓的箕状,在东北、西南两大物源的控制下,形成了以东北河流三角洲、西南扇三角洲为代表的两大沉积体系;按沉积旋回自上而下其可分为10个油层组,依次为长1至长10,其沉积特征反映了湖盆的形成、发展和消亡的演化全过程。延长期的长7亚期是湖盆发育的鼎盛时期,沉积了一套深湖-半深湖相富含有机质的暗色泥岩,是鄂尔多斯盆地中生界主力烃源岩;位于低位期的长8,长6和长3亚期形成重要的储集层(史成恩等,2006)。

盆地中生界油气勘探开发历史较长,盆地延长组的石油勘探以往重点在长6油层组以上,目前主要面临着寻找新的有利勘探区块和层位的任务。从研究区域看,以往盆地内石油地质研究主要集中在储层和烃源岩评价方面,公开文献报道的原油地球化学研究主要集中于西峰和姬塬(段毅等,2004;侯林慧等,2007)地区,为了研究油气运移和地质勘探,整个盆地延长组原油系统的地球化学研究至关重要;而对地质层位而言,近年勘探前景广阔的上三叠统长9油层组钻探程度非常低,其原油地球化学特征鲜有报道。本文针对鄂尔多斯盆地延长组(长1—长10)原油(西北姬塬、东北靖边—志丹、西南合水—正宁和东南洛川地区)开展较系统的地球化学特征分析,并结合长7~9段烃源岩的地球化学特征,对该区延长组原油的油源进行分析,从而为区内中生界原油的进一步勘探提供参考依据。

## 1 样品采集与分析方法

为了对鄂尔多斯盆地延长组原油地球化学特征及油源对比进行研究,作者在盆地系统地采集了27个长1—长10油层组的原油及13个长7—长9油层组的烃源岩样品(图1,表1)。烃源岩样品经索氏抽提72 h,将原油样品与烃源岩抽提物沉淀沥青质,可溶部分用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分分离,分别用正己烷、正己烷/二氯甲烷混合溶剂(体积比为3:2)及甲醇洗脱饱和烃、芳烃和非烃组分。

饱和烃馏分用色谱(GC)和美国安捷伦科技公司(Agilent)制造的色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行分析鉴定。GC为6890 N,色谱柱为HP-5(30 m × 0.32 mm),固定相涂膜厚度0.25 μm,载气为He,起始温度80℃,以4℃/min升温至少300℃,然后恒温30 min。MS为5973N,离子源温度为250℃,电离电压为70 eV。

## 2 结果与讨论

### 2.1 延长组原油和烃源岩的地球化学特征

#### 2.1.1 原油的母源性质

原油中正构烷烃可以用来判识原油的形成母质(Korkmaz et al, 2007)。鄂尔多斯盆地延长组原油中正构烷烃分布特征极为相似,碳数范围为 $nC_9 \sim nC_{36}$ ,基本呈以 $nC_{11} \sim nC_{16}$ 为主峰碳的前峰型分

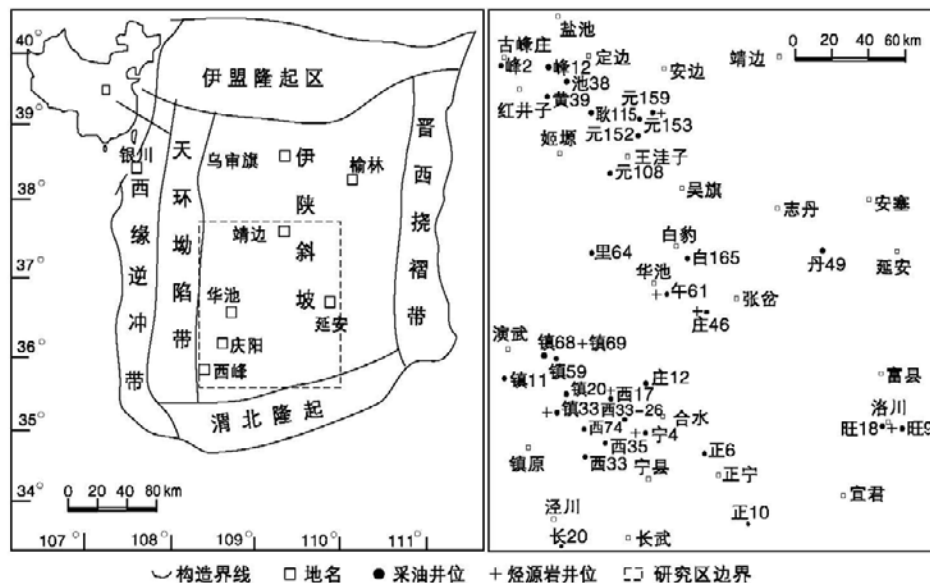


图1 原油和烃源岩采样区域构造图和井位图

Fig. 1 Simplified tectonic sketch of Ordos Basin showing the oilfield and sampling locations

表1 鄂尔多斯盆地延长组原油和烃源岩地球化学参数  
Table 1 Geochemical parameters of oils and source rocks in Yanchang Formation of Ordos Basin

样品	井号	层位	正异构烷烃					萘烷参数					甾烷参数			
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
原油	旺21	长10	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub>	1.10	1.03	1.39	0.02	0.52	1.06	0.14	0.15	0.51	0.15	0.52	0.51
	峰2	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub>	1.24	1.06	1.58	0.06	0.43	3.26	0.04	0.16	0.57	0.29	0.55	0.54
	峰12	长9	C <sub>11</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub> /C <sub>21</sub>	1.16	1.05	1.65	0.15	0.38	3.14	0.17	0.31	0.56	0.23	0.50	0.52
	元108	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>20</sub>	1.04	1.01	1.48	0.17	0.39	3.79	0.05	0.39	0.61	0.20	0.53	0.56
	元152	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>23</sub>	0.98	1.07	1.50	0.05	0.52	1.74	0.04	0.12	0.58	0.16	0.56	0.55
	元159	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>20</sub>	1.01	1.04	1.56	0.05	0.48	1.76	0.04	0.12	0.60	0.17	0.54	0.57
	白165	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub> /C <sub>20</sub>	1.24	1.00	1.35	0.27	0.40	2.93	0.07	0.58	0.63	0.13	0.48	0.57
	长20	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub>	0.88	1.04	1.47	0.04	0.52	1.54	0.03	0.08	0.59	0.14	0.55	0.52
	池38	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.08	1.00	1.53	0.04	0.37	2.03	0.08	0.13	0.59	0.41	0.56	0.53
	黄39	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.03	1.08	1.60	0.06	0.43	2.93	0.10	0.16	0.58	0.16	0.57	0.53
	正6	长9	C <sub>10</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.54	1.02	1.41	0.11	0.46	1.06	0.07	0.32	0.57	0.12	0.49	0.54
	正10	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.09	1.03	0.95	0.05	0.56	0.88	0.02	0.13	0.59	0.07	0.49	0.53
	丹49	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	1.01	1.05	1.90	—	—	—	—	—	0.50	0.14	0.51	0.52
	西74	长8	C <sub>11</sub> —C <sub>38</sub>	C <sub>21</sub>	0.77	1.01	1.17	0.08	0.45	0.93	0.04	0.25	0.58	0.14	0.53	0.58
	庄12	长8	C <sub>11</sub> —C <sub>38</sub>	C <sub>19</sub>	0.93	1.05	1.02	0.09	0.38	0.76	0.06	0.36	0.59	0.16	0.51	0.60
	宁4	长8	C <sub>13</sub> —C <sub>34</sub>	C <sub>19</sub>	0.76	1.04	1.00	0.05	0.40	0.92	0.04	0.23	0.59	0.16	0.52	0.58
	旺9	长8	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	0.93	1.04	1.28	0.04	0.47	0.91	0.05	0.10	0.59	0.74	0.48	0.56
	正6	长7	C <sub>10</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.39	1.03	1.01	0.09	0.45	0.76	0.05	0.07	0.59	0.12	0.51	0.58
	耿115	长6	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>11</sub>	1.92	1.07	1.20	0.02	0.45	1.47	0.03	0.96	0.59	0.30	0.58	0.51
	元213	长4+5	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>11</sub>	2.47	1.05	1.31	0.04	0.44	1.03	0.04	0.77	0.57	0.29	0.52	0.53
元220	长4+5	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>12</sub>	2.27	1.07	1.53	0.04	0.51	0.55	0.03	1.76	0.57	0.27	0.52	0.53	
元222	长4+5	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>12</sub>	2.00	1.03	1.26	0.05	0.45	0.65	0.04	0.71	0.56	0.25	0.51	0.54	
镇11	长3	C <sub>12</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>20</sub>	0.82	1.02	1.14	0.08	0.38	0.67	0.04	0.25	0.50	0.13	0.53	0.56	
镇28	长3	C <sub>12</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>19</sub>	0.84	1.02	1.11	0.04	0.43	0.62	0.04	0.20	0.39	0.12	0.51	0.58	
安47-3	长2	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>12</sub>	1.43	1.13	1.71	0.03	0.51	0.92	0.03	1.51	0.59	0.27	0.53	0.48	
耿130	长2	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>11</sub>	2.07	1.04	1.27	0.03	0.48	1.21	0.03	0.91	0.60	0.26	0.53	0.51	
安42	长1	C <sub>9</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>12</sub>	1.71	1.09	1.47	0.04	0.46	2.14	0.04	1.15	0.57	0.38	0.58	0.52	
烃源岩	元153	长7	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>16</sub>	1.79	1.05	2.52	0.05	0.56	0.67	0.40	0.16	0.62	0.38	0.50	0.55
	午61	长7	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	2.06	1.07	1.44	0.33	0.36	2.06	0.00	1.19	0.68	0.41	0.45	0.58
	西17	长7	C <sub>13</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>16</sub>	1.08	1.02	1.47	0.06	0.40	3.89	0.08	0.29	0.56	0.48	0.54	0.52
	宁4	长7	C <sub>14</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>19</sub>	0.58	1.01	1.03	0.04	0.45	2.63	0.08	0.16	0.58	0.52	0.48	0.54
	镇33	长7	C <sub>13</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	0.60	1.05	1.05	0.03	0.48	1.90	0.09	0.16	0.59	0.55	0.49	0.52
	镇69	长7	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.29	1.03	1.10	0.10	0.30	2.51	0.12	0.28	0.61	0.39	0.47	0.61
	旺9	长7	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	0.87	1.05	1.43	0.05	0.50	1.02	0.05	0.16	0.59	0.26	0.52	0.47
	旺9	长8	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>19</sub>	1.00	1.06	1.55	0.07	0.58	7.00	0.08	0.17	0.56	0.27	0.59	0.51
	元153	长8	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	1.22	1.06	1.59	0.02	0.60	4.27	0.03	0.08	0.57	0.33	0.59	0.54
	午61	长8	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>15</sub>	2.06	1.07	1.44	0.33	0.36	2.06	0.00	1.19	0.68	0.41	0.45	0.58
	旺9	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	1.15	1.04	1.49	0.13	0.49	9.34	0.08	0.28	0.52	0.17	0.58	0.53
	元153	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	1.47	1.02	3.21	0.08	0.17	0.67	0.03	0.32	0.60	0.51	0.50	0.55
	庄46	长9	C <sub>12</sub> —C <sub>36</sub>	C <sub>17</sub>	1.33	0.97	1.22	0.16	0.37	0.95	0.13	0.45	0.63	0.07	0.36	0.41

注: A: 碳数范围; B: 主峰碳; C:  $\sum C_{21} / \sum C_{22}^+$ ; D: OEP; E: Pr/Ph; F: C<sub>23</sub>三环萘烷 / (C<sub>23</sub>三环萘烷 + C<sub>30</sub>藿烷); G: C<sub>24</sub>四环萘烷 / (C<sub>24</sub>四环萘烷 + C<sub>26</sub>三环萘烷); H: Ts/Tm; I: 伽马蜡烷 /  $\alpha\beta$ -C<sub>30</sub>藿烷; J:  $\sum$ 三环萘烷 /  $\sum$ 藿烷; K: C<sub>31</sub>藿烷22S / (22S+22R); L: 重排甾烷 / 规则甾烷; M: C<sub>20</sub>甾烷20S / (20S+20R); N: C<sub>20</sub>甾烷 $\beta\beta$  / ( $\alpha\alpha + \beta\beta$ )。

布, 奇偶优势不明显 (OEP为1.00~1.13),  $\sum nC_{21} / \sum nC_{22}^+$ 值 (0.88~2.47) 差别较大 (表1), 说明原油由水生生物和陆生植物混合母质构成。原油中  $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 比值, 常用来研究母质类型、形成环境和成熟度 (Hanson et al, 2000)。该区延长组原油中 $Pr/nC_{17}$ 为0.40~0.66,  $Ph/nC_{18}$ 为0.24~0.50, 比值分布在一个较窄的范围内 (图2), 而原油的形成环境和成熟度类似, 这反映它们来自一个类似的生物源, 母质以混合型为主。

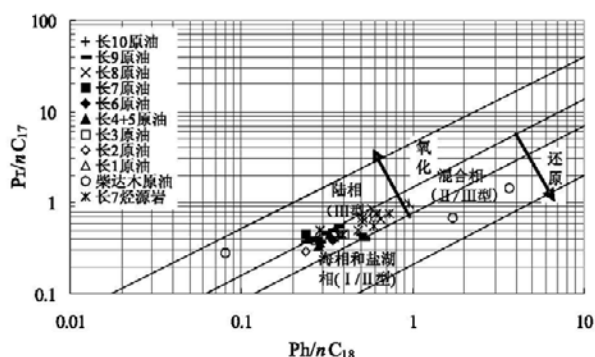


图2 原油 $Pr/nC_{17}$ 和 $Ph/nC_{18}$ 相关图 (Dunn et al, 2006)

Fig. 2 Correlation plots of  $Pr/nC_{17}$  vs.  $Ph/nC_{18}$  of crude oils

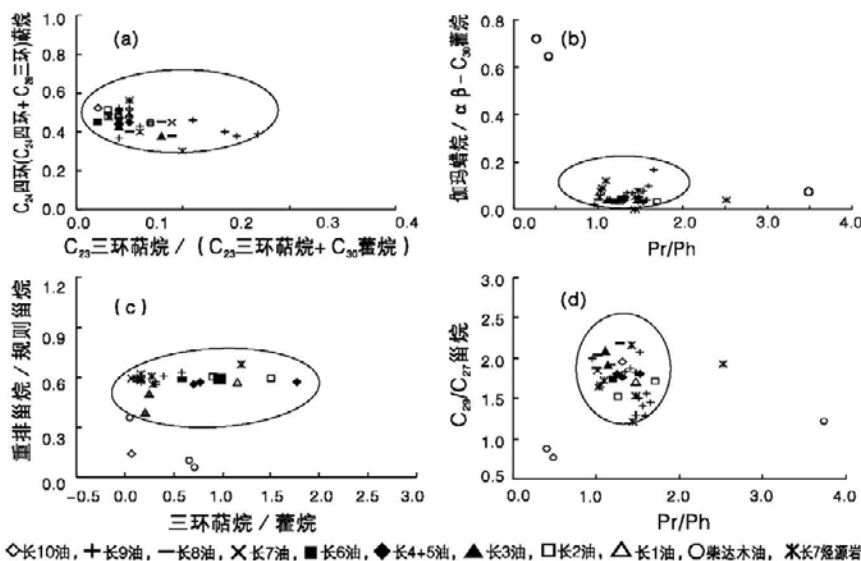
原油中三环萜烷和四环萜烷的含量与母源性质密切相关, 并且 $C_{25}$ 三环萜烷/ $C_{24}$ 四环萜烷、三环萜烷 ( $C_{19}+C_{20}$ ) /  $C_{23}$ 和 $C_{24}$ 四环萜烷 / ( $C_{24}$ 四环萜烷+ $C_{26}$ 三环萜烷) 等比值已用来判识原油形成的母质 (Hanson

et al, 2000; 段毅等, 2004; 王绪龙等, 2008)。原油和长7段烃源岩的萜烷类生物标志物特征比较相似, 五环萜烷量最高,  $C_{24}$ 四环萜烷较为丰富, 含量丰富的 $C_{19}$ — $C_{31}$ 三环萜烷中 $C_{21}$ 含量最高,  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ 和 $C_{23}$ 三环萜烷分布呈“山峰型”; 比值相关图 (图3a, b, c) 中, 研究样品数据点分布于一个较窄的范围内。这说明延长组原油原具有类似的成油母质, 并且原油与三叠系长7段烃源岩萜烷类化合物特征相似。

规则甾烷的分布可以提供原油母质信息, 通常认为,  $C_{29}$ 规则甾烷和 $C_{29}$ 重排甾烷可能主要来源于高等植物外, 其它类型的甾烷主要来自菌藻类生源 (Philp et al, 1991; Korkmaz et al, 2007)。与成油母质以菌藻类为主的柴达木盆地西部原油中规则甾烷组成 ( $C_{27}$ ,  $C_{28}$ 和 $C_{29}$ 规则甾烷相对含量分别为39.0%~52.79%, 17.4%~23.3% 和22.8%~39.8%; Duan et al, 2006) 相比较, 研究样品中含有更多的 $C_{28}$  (27.0%~30.0%) 和 $C_{29}$  (41.0%~50.0%) 甾烷 (图4), 甾烷的分布是 $C_{29} > C_{28} > C_{27}$ , 呈反“L”型分布, 这与前面萜烷参数所反映的相一致, 说明延长组原油以水生藻类、浮游动物和高等植物为主要成油母质。

### 2.1.2 烃源岩的形成环境

鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩形成于水体较深、盐度不高、水体分层不明显和还原的沉积环境 (杨华等, 2005)。鄂尔多斯盆地延长组原油姥植



◇长10油, +长9油, 一长8油, X长7油, ■长6油, ◆长4+5油, ▲长3油, □长2油, △长1油, ○柴达木油, \*长7烃源岩

(a)  $C_{23}$ 三环萜烷 / ( $C_{23}$ 三环萜烷+ $C_{30}$ 藿烷)和 $C_{24}$ 四环萜烷 / ( $C_{24}$ 四环萜烷+ $C_{26}$ 三环萜烷)关系图;

(b)  $Pr/Ph$ 和伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ - $C_{30}$ 藿烷关系图; (c) 三环萜烷/藿烷和重排甾烷/规则甾烷关系图; (d)  $Pr/Ph$ 和 $C_{29}/C_{27}$ 甾烷关系图

图3 延长组原油和烃源岩甾烷参数图

Fig. 3 Terpanes and steranes parameters of oils in Yangchang Formation

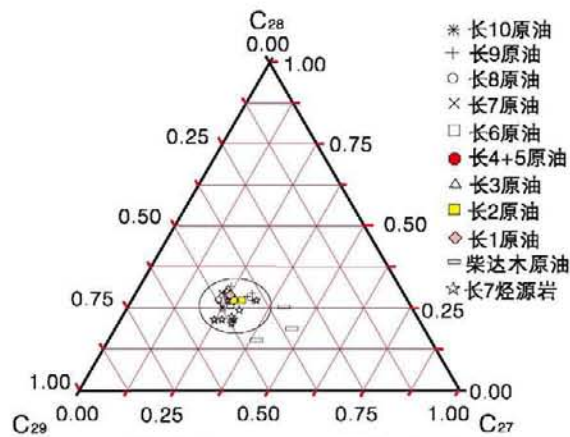


图4 原油 $C_{27}$ - $C_{28}$ - $C_{29}$ 甾烷三角图  
Fig. 4 Ternary diagram of  $C_{27}$ ,  $C_{28}$  and  $C_{29}$  sterane compositions of oils

比 (Pr/Ph) 较高 (1.00~1.90) (图3d); 而柴达木盆地西部强还原环境形成的原油 Pr/Ph 值为 0.51~0.64 (Duan et al, 2006)。这说明研究样品原油形成于弱氧化弱还原环境。另一个证据是在图2中这些原油位于氧化和还原环境的交汇区域。另外, 伽马蜡烷和升藿烷具有指示沉积环境的作用, 原油高丰度的伽马蜡烷和升藿烷一般与高盐度沉积环境有关 (Philp et al, 1991)。例如, 柴达木盆地西部盐湖相成因的原油中伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ - $C_{30}$ 藿烷比值和 $C_{34+35}$ 藿烷相对含量分别为 0.03~0.75 和 1.6%~17%。而鄂尔多斯盆地延长组原油中该比值和 $C_{34+35}$ 藿烷相对含量 (0.02~0.17 和 0~4.7%) 很低; 该区原油中伽马蜡烷含量普遍偏低, 可能反映水体盐度不高, 这也与长7烃源岩的湖相沉积环境一致。

### 2.1.3 原油的成熟度

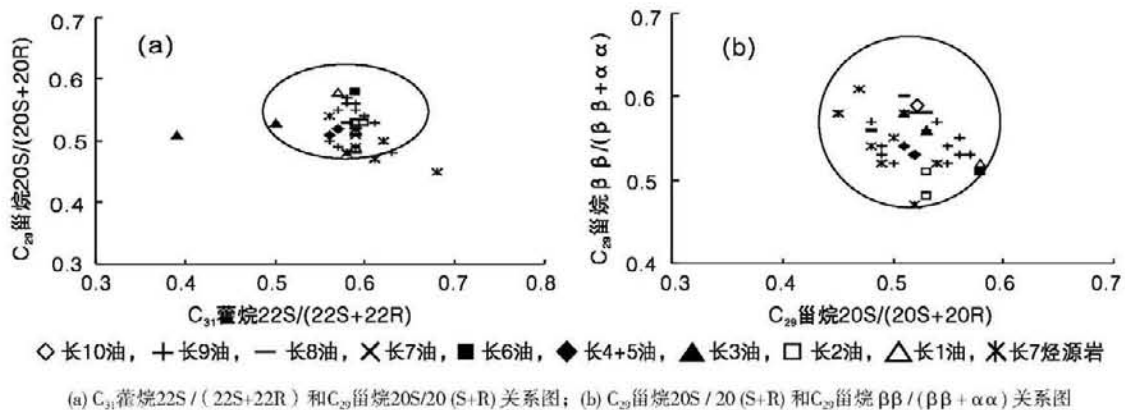
原油的成熟度是研究其成因的一个重要指

示, 许多生物标志化合物参数可以用来确定研究原油的成熟度。重排甾烷/规则甾烷、 $C_{29}$ 甾烷 20S/(20S+20R)、 $C_{29}$ 甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  和  $C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R) 都已成功地用来研究原油的成熟度 (Hanson et al, 2000; Duan et al, 2006)。原油中重排甾烷的相对含量随成熟度增加, 是一个很好的成熟度指标, 虽然人们已经注意到了粘土含量较低的碳酸盐岩和蒸发盐岩含低的重排甾烷 (Peters and Moldowan, 1993)。这是因为所研究原油的烃源岩性质均相同, 从而该比值主要反映了原油的成熟度。鄂尔多斯盆地延长组原油中重排甾烷/规则甾烷比值分布在 0.07~0.74 之间,  $C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R)、 $C_{29}$ 甾烷 20S/20(S+R) 值和  $C_{29}$ 甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  分别为 0.50~0.59, 0.48~0.58 和 0.52~0.60, 甾烷藿烷生物标志化合物的立体构型转化基本达到平衡值 (图5)。另外, 正构烷烃基本呈以  $C_{11}$ — $C_{16}$  为主峰碳的前峰型分布, 不存在奇偶优势, OEP 值 (1.00~1.13) 接近于 1。综上所述, 延长组原油为成熟原油。

### 2.2 油源对比分析

盆地中生界有两套烃源岩, 即延安组 ( $J_1$ ) 和延长组 ( $T_3$ )。延安组烃源岩为湖沼环境下形成的烃源岩, 其可溶有机质中  $C_{29}$ 甾烷含量较高; 成熟度较低 ( $R_o=0.53\%~0.65\%$ ) (Wang et al, 1995)。从上述原油母质性质和成熟度资料分析来看, 鄂尔多斯盆地延长组原油主要地球化学特征相似, 其与延安组烃源岩的特征差别显著 (表2), 反映了该原油不可能来自延安组烃源岩。

延长组烃源岩形成于淡水湖泊沉积环境, 特别是延长组中部 (长4+5—长8) 烃源岩形成于浅湖—



(a)  $C_{31}$ 藿烷 22S/(22S+22R) 和  $C_{29}$ 甾烷 20S/20(S+R) 关系图; (b)  $C_{29}$ 甾烷 20S/20(S+R) 和  $C_{29}$ 甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  关系图

图5 延长组原油成熟度参数图

Fig. 5 Mature parameters of oils in Yangchang Formation

表2 延长组原油的油源对比参数  
Table 2 Correlation parameters of oil-source rocks in the Yanchang oils

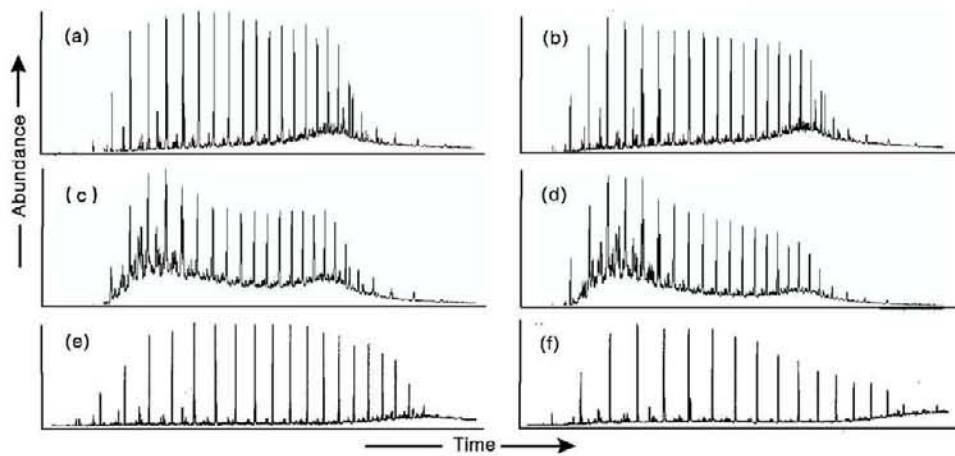
样品	层位	正异构烷烃		萘烷		甾烷			
		Pr/Ph	$\frac{\sum nC_{21}^-}{\sum nC_{22}^+}$	伽玛蜡烷/ C <sub>30</sub> 萘烷	C <sub>31</sub> 22S/ (22S+22R)	Ts/Tm	C <sub>29</sub> /C <sub>27</sub>	C <sub>29</sub> 20S/ (20S+20R)	C <sub>29</sub> ββ/ (ββ+αα)
原油	长1-10	0.95-1.71	0.88-2.47	0.02-0.17	0.50-0.61	0.55-3.79	1.29-2.09	0.48-0.58	0.48-0.60
烃源岩	长7	1.10-2.52	0.58-2.21	0.00-0.40	0.56-0.68	0.67-3.89	1.21-2.16	0.47-0.54	0.47-0.61
	长8	1.55-3.44	1.00-1.87	0.00-0.08	0.56-0.61	0.06-7.00	1.21-1.48	0.45-0.59	0.40-0.54
	长9	1.22-3.21	1.15-1.33	0.00-0.08	0.52-0.63	0.67-9.34	1.52-1.55	0.36-0.58	0.41-0.55
	延安组	1.70-5.11	0.81-4.45	0.01-0.03	0.57-0.60	0.03-0.06	2.25-5.61	0.42-0.46	0.35-0.43

半深湖沉积环境,发育有暗色泥岩、碳质泥岩和油页岩生油系(侯林慧等,2007;杨华等,2005)。在晚三叠世长7早期,强烈的构造活动使得湖盆快速扩张,形成了大范围的深水沉积,为优质油源岩的大规模发育提供了基本地质条件。在该地区长7烃源岩有机质类型属于腐殖-腐泥型,有机碳含量绝大部分都在1.5%以上,最高超过3.5%。而对长7烃源岩段干酪根的镜下观察表明,长7烃源岩干酪根以无定形类脂体为主,见有少量的刺球藻和孢子,成分单一(杨华等,2005)。同时,有机质已经达到了生烃门限的热成熟演化程度,Ro值在0.5%~1.0%之间(付金华等,2004)。与前人研究(侯林慧等,2007;杨华等,2005)一致,长7生油层组,为湖盆发育全盛期生物,烃源岩厚度大,分布稳定,成熟度较高,生油性能明显好于其他层段,是延长组原油的主力烃源岩。

生物标志物分布特征表明,三叠系延长组中的原油十分相似,且每一类不同类型的原油均可以找到与其特征类似的烃源岩。具体油源分析结果如下:

(1)原油和烃源岩的正构烷烃色谱图特征类似(图6),Pr/Ph(0.95~1.71)与长7油层组烃源岩(1.10~2.52)接近,而与长8(1.55~3.44)和长9(1.22~3.21)油层组烃源岩差别较大。(2)原油中含较高的Ts和Tm,Ts/Tm比值在0.55~3.79之间;伽马蜡烷指数(0.02~0.17)不高,说明有机质母源的沉积环境含盐度不高,这与烃源岩的沉积环境是一致的。(3)延长组原油甾烷分布皆以C<sub>29</sub>规则甾烷含量为最高,C<sub>27</sub>最低,为藻类源或混合源有机质的特征,但甾烷分布三角图显示原油和长7烃源岩相似,而长8和长9油层组烃源岩含有较少C<sub>29</sub>甾烷。(4)另外,延长组原油成熟度参数( $\frac{\sum nC_{21}^-}{\sum nC_{22}^+}$ ,Ts/Tm,C<sub>31</sub>22S/(22S+22R),C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)和C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα))参数与长7烃源岩分布范围相近,而与其它层位烃源岩相应参数差异较大(表2),特别是Ts/Tm和C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα)差异更大,这也与图2—图5反映的一致。

萘烷、甾烷为环状结构,具稳定的碳骨架,



(a)长20井长9原油;(b)旺9井长7烃源岩;(c)正6井长7原油;(d)镇69井长7烃源岩;(e)西74井长8原油;(f)旺9井长7烃源岩

图6 原油和烃源岩饱和烃色谱图

Fig. 6 TIC of saturated hydrocarbons of crude oils and source rocks

能够反映原始生油母质中先驱化合物的基本面貌,可作为可靠的油源对比参数。综合比较,长7烃源岩从有机质来源、沉积环境和生物标志物及成熟度等特征与原油的地球化学特征更为相似,结合前面对三叠系原油有机地球化学特征的讨论,可以认为长7烃源岩与鄂尔多斯盆地中生界原油具有很好的亲缘关系。长7期是鄂尔多斯盆地的最大湖泛时期,此期间古峰庄—元城及其以南地区是整个盆地中较大的湖盆沉积区,沉积的最大泥岩厚度超过100 m。在长7油层组中,又以长7<sub>3</sub>高伽马、高感应、负电位特征的暗色泥岩、油页岩为最优质烃源岩,该套地层有3个厚度大于30 m的厚度中心,分别是姬塬、张岔—甘泉西和合水东(郭正权等,2007)。

### 3 结论

1) 对鄂尔多斯盆地延长组原油和烃源岩,进行的生物标志化合物研究表明,该盆地内油田各区块和延长组各油层组原油具有相似的地球化学特征,反映了它们来自同一油源。

2) 鄂尔多斯盆地延长组原油含有较多的三环萜烷和四环萜烷,Pr/Ph比值中等,反映了原油形成于弱还原环境;伽马蜡烷含量普遍偏低,指示了原油形成于淡水或微咸水环境。

3) 原油中C<sub>29</sub>甾烷、C<sub>31</sub>藿烷异构体参数和OEP值接近或达到平衡值,说明原油为成熟原油。

4) 油源对比表明,研究区上三叠统延长组原油不可能来自延安组烃源岩,而主要来自长7油层组烃源岩。

### References:

Duan Yi, Wang Zhiping, Zhang Hui, et al. 2004. Geochemical characteristics of hydrocarbons in the crude oils from Qaidam Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 26 (4): 359–364. (in Chinese with English abstract)

Duan Yi, Zheng Chaoyang, Wang Zhiping, et al. 2006. Biomarkers of geochemistry of crude oils from the Qaidam Basin, NW China [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 29 (2): 175–188.

Fu Jinhua, Luo Anxiang, Yu Jian, et al. 2004. Geological features of reservoir formation and exploration strategy of Xifeng Oilfield [J]. *Acta Petroli Sinica*, 25 (2): 25–29. (in Chinese with English abstract)

Guo Zhengquan, Chu Meijuan, Chen Jie, et al. 2007. Reservoir forming characteristics of crude oils in Chang-9 formation from Ordos basin [J]. *Low Permeable Oilfields*, 12 (3): 11–18. (in Chinese with English abstract)

Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, et al. 2000. Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, Northwest China [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 84: 1109–1128.

Hou Linhui, Peng Pingan, Yu Chiling, et al. 2007. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in Jiuyan-Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 36 (5): 497–506. (in Chinese with English abstract)

Korkmaz S and G ü lbay R K. 2007. Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the eastern Taurus of Southern Turkey [J]. *International Journal of Coal Geology*, 70 (4): 292–304.

Peters K E, Moldowan J M. 1993. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs [M]. New Jersey, Prentice Hall, 1–363.

Shi Chengen, Luo Xiaorong, Wan Xiaolong, et al. Sedimentary difference and low-permeability response of the upper Triassic Yanchang Formation in the Longdong area, Gansu — examples from the Chang 6 reservoir in Heshui and Chang 8 reservoir in Baima [J]. *Journal of Geomechanics*, 12 (4): 454–461. (in Chinese with English abstract)

Wang H D, Allen J, Philp R P. 1995. An organic geochemical investigation of oils and source rocks from two Mesozoic formations of Shanganning basin, China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 11: 277–288.

Wang Xulong, Gao Gang, Yang Haibo, et al. 2008. Research on relation between oil properties and petroleum pool formation of Permian in the 5<sup>th</sup> & 8<sup>th</sup> districts, northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 14 (2): 256–261. (in Chinese with English abstract)

Xi Shengli, Liu Xinshe and Wang Tao. 2004. Analysis of the migration characteristics of the Mesozoic petroleum in the Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 26 (3): 230–235. (in Chinese with English abstract)

Yang Hua and Zhang Wenzheng. 2005. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rocks of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: *Geology and Geochemistry* [J]. *Geochimica*, 34 (2): 147–154. (in Chinese with English abstract)

### 参考文献:

段毅,王智平,张辉,等. 2004. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征[J]. *石油实验地质*, 26 (4): 359–364.

付金华,罗安湘,喻建,等. 2004. 西峰油田成藏地质特征与勘探方向[J]. *石油学报*, 25 (2): 25–29.

郭正权,楚美娟,陈杰,等. 2007. 鄂尔多斯盆地延长组长9成藏特征[J]. *低渗透油气田*, 12 (3): 11–18.

侯林慧,彭平安,于赤灵,等. 2007. 鄂尔多斯盆地姬塬—西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J]. *地球化学*, 36 (5): 497–506.

史成恩,罗晓容,万晓龙,等. 2006. 甘肃陇东地区上三叠统延长组长6、长8沉积特征及低渗响应[J]. *地质力学学报*, 12 (4): 454–461.

王绪龙,高岗,杨海波,等. 2008. 准噶尔盆地西北缘五八开发区二叠系原油特征与成藏关系探讨[J]. *高校地质学报*, 14 (2): 256–261.

席胜利,刘新社,王涛. 2004. 鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J]. *石油实验地质*, 26 (3): 230–235.

杨华,张文正. 2005. 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*, 34 (2): 147–154.