

文章编号: 1000-0550(2006)04-0590-06

# 酒西坳陷部分原油生物标记物特征异常分析<sup>①</sup>

马立元<sup>1,2</sup> 程克明<sup>3</sup> 熊英<sup>3</sup> 杨智明<sup>4</sup>

(1 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心 兰州 730000; 2 中国科学院研究生院 北京 100039;  
3 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 4 中国石油玉门油田分公司勘探开发研究院 甘肃玉门 735200)

**摘要** 酒西坳陷大部分原油的生物标记物分布特征较单一,主要表现为三环萜烷、降新藿烷、C<sub>30</sub>重排藿烷和重排甾烷不发育,伽玛蜡烷相对比较发育, C<sub>29</sub>甾烷异构化参数较低,一般在 0.45~0.5 之间,尚未达异构化终点,反映其源岩成熟度并不高。此类原油主要源于青西凹陷下沟组沉积于较强还原环境的藻纹层泥质白云岩。此外,酒西坳陷还发现了部分在生物标记物特征上有别于该区“主体原油”的原油,其表现为三环萜烷、C<sub>29</sub>Ts、C<sub>30</sub>重排藿烷和重排甾烷、伽玛蜡烷相对比较发育,而且部分原油(如隆 8 井、隆 4 井和隆 10 井原油)成熟度较高,甾烷 C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)值高达 0.56~0.58(已达异构化终点),属酒西坳陷成熟度最高的原油,特别是这些原油中绝大部分的 C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα)值也高于“主体原油”,表明其经受了较长距离的运移。根据生物标记物所反映的沉积环境和生源前身物分析以及将其与酒东坳陷主要源于赤金堡组的原油的比较结果,认为在酒西坳陷中,这部分相对于“主体原油”而言的生标特征异常原油可能源于青西凹陷深部的赤金堡组,这一认识对酒泉盆地的深层油气勘探具有实际指导意义。

**关键词** 生物标记物特征 油源对比 源岩 酒西坳陷

**第一作者简介** 马立元 男 1972 年出生 博士生 油气地质地球化学

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

酒西坳陷已发现鸭儿峡、老君庙、石油沟、白杨河、单北、青西(柳沟庄和窟窿山)等七个油田(图

1)。油源研究已经证明,原油主要来自青西凹陷下白垩统(下沟组及赤金堡组)<sup>[1]</sup>。尽管这些油田的原

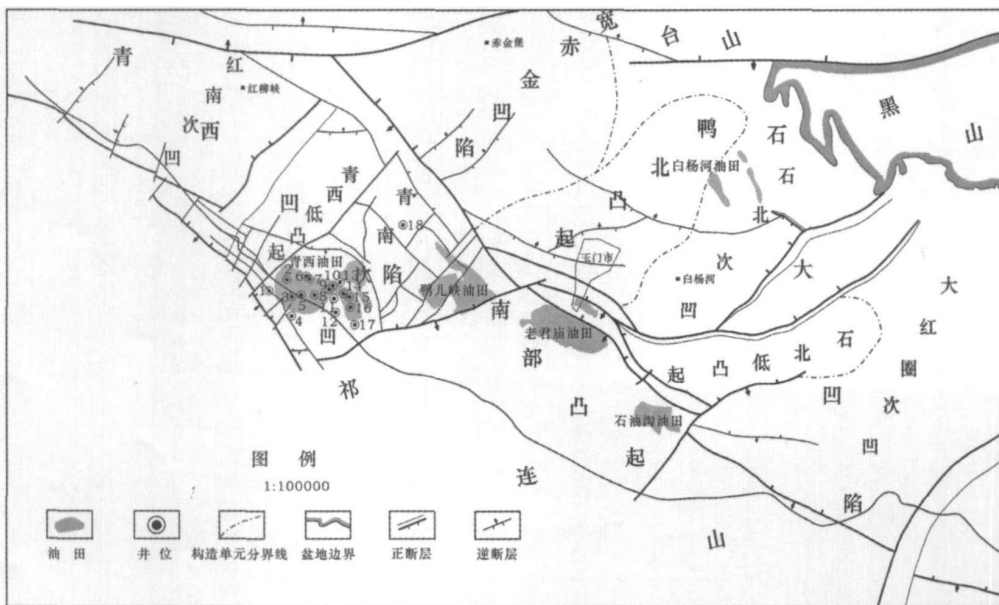


图 1 酒西坳陷油田及井位分布图(据玉门油田资料改绘)

Fig 1 Oil fields and well locations of the Jiuxi Depression (modified from Yumen Branch, CNPC)

<sup>①</sup>中国科学院资源环境领域重要方向项目(KZCX3-SW-128)及国家自然科学基金项目(批准号:40472071)资助。  
收稿日期:2005-05-17;收修改稿日期:2005-10-18

油经不同的运移距离和路径,并储集于不同的油藏,但其基本地球化学性质,特别是原油的生物标记物特征较为一致,以前认为这是该区油源较为单一所致。

最近,笔者在深入研究柳沟庄和窟窿山油田(通称青西油田)原油(井位分布见图 1)的生物标记物特征时,发现这两个自生自储的裂缝性油藏原油的地球化学性质,特别是表征母源前身物及环境介质的生物标记物特征并不像鸭儿峡、老君庙和石油沟等油田的原油那样单一,而且出现了成熟度不同的原油,如青 2-7 井的未成熟—低成熟稠油、窟 4 井和窟 8 井较高成熟度的原油;同时还出现了较富含三环萜烷、 $C_{30}$ 重排藿烷、降新藿烷及重排甾烷等生物标记化合物的原油,如柳北 1 井、窟 111 及窟 110 等井的原油。这些与本区大部分原油(以下简称“主体原油”)相比较,在生标分布特征上有别的原油(以下简称“生标特征异常原油”)的出现是由何种因素引起?有何地质意义?它们和本区“主体原油”有何关系?本文就此类问题进行研究。

## 1 区域地质概况

酒西坳陷位于塔里木地块、阿拉善地块和北祁连山加里东褶皱带的交接部位,是一个在加里东褶皱基底上发展起来的中、新生代的断拗叠置的内陆沉积盆地。坳陷南缘的北祁连山北缘逆冲断裂带和其北缘的阿尔金走滑断裂带在坳陷演化过程中多次活动,并派生出不同性质的次生断裂,控制了不同时期坳陷的构造格架及沉积环境,对坳陷的形成和演化具有重要

的影响<sup>[2]</sup>。

酒西坳陷的主要烃源岩层为下白垩统,又可分为中沟组( $K_1z$ )、下沟组( $K_1g$ )和赤金堡组( $K_1c$ )三个组,其主要岩性为半深湖—深湖相的灰色白云质泥岩和泥质白云岩<sup>[3]</sup>。

## 2 原油生物标记物特征分析

首先需要说明的是,在研究过程中我们发现:酒西坳陷部分生物标记物特征异常原油的生标特征和酒东坳陷源于赤金堡组的原油(酒参 1 井,长 101 井,长 2 井,营北 1 等井原油)的生标特征具有明显的相似性。为了进一步探索其间的原由,本文在研究酒西坳陷原油生标特征的同时也将酒西、酒东这两个坳陷原油的主要生标特征进行了对比。

### 2.1 原油 $C_{29}Ts/C_{30}$ 藿烷 $\sim C_{30}$ 重排藿烷/ $C_{30}$ 藿烷关系

由图 2 可知,酒西坳陷大部分原油  $C_{30}$ 重排藿烷和降新藿烷( $C_{29}Ts$ )并不发育,其与  $C_{30}$ 藿烷比值前者一般  $<0.04$ ,后者一般  $<0.07$ ;而窟 111 井、窟 110 井、柳北 1 井、窟 7 井、窟 10 井、窟 104 井、窟 4 井、窟 8 井和青 2-14 等井的原油  $C_{30}$ 重排藿烷与  $C_{30}$ 藿烷比值均比本区大部分原油高,如窟 111 井原油  $C_{30}$ 重排藿烷/ $C_{30}$ 藿烷高达 0.11,而在柳北 1 井、窟 4 井、窟 8 井、窟 10 井和窟 111 等井原油中  $C_{29}Ts/C_{30}$ 藿烷值均大于本区主体原油的相应值。一般认为,降新藿烷及  $C_{30}$ 重排藿烷起源于含有粘土并沉积在弱氧化到氧化环境的沉积物中的菌类有机质<sup>[4,5]</sup>。由此看来,酒西

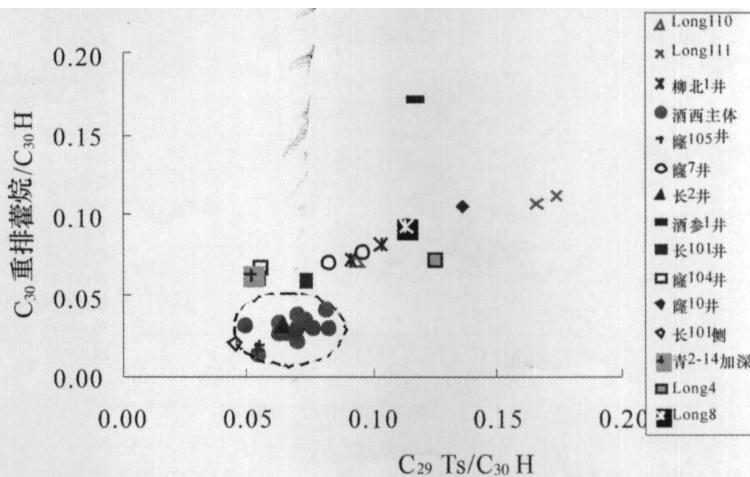


图 2 酒西、酒东坳陷原油  $C_{29}Ts/C_{30}$ 藿烷  $\sim C_{30}$ 重排藿烷/ $C_{30}$ 藿烷关系图

Fig 2 Relationship between nornorhopane/ $C_{30}$  hopane ratios and  $C_{30}$  diahopane/ $C_{30}$  hopane ratios of crude oils from the Jiuxi and Jiudong Depressions

拗陷原油除源于沉积于还原环境且藻类较发育的下沟组泥质白云岩之外,还应有一种沉积环境属于相对较氧化且含有一定数量粘土的沉积有机物源岩。

从图 2 还可以看出,酒东拗陷原油中除长 2 井和长 101 侧井两个原油与酒西拗陷主体原油的分布相似外,其余如长 101 井、酒参 1 等井原油均与酒西拗陷生标特征异常原油的分布相一致,表现出较高的降新藿烷及  $C_{30}$  重排藿烷值。反映了酒西拗陷这部分生标特征异常原油与酒东拗陷原油在源岩沉积环境和母源先质方面的相似性。

## 2.2 原油伽玛蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷 ~ 降新藿烷/ $C_{30}$ 藿烷关系

图 3 是酒西、酒东拗陷原油中降新藿烷与伽玛蜡烷的关系比较。由图可知,酒西拗陷主体原油的伽玛蜡烷指数一般  $< 0.3$ , 属微咸水沉积环境产物,而窿 7 井、窿 10 井、青 2-14 井和柳北 1 等井原油的伽玛蜡烷指数明显  $> 0.3$ , 最高达 0.5 (柳北 1 井), 预示其源岩的沉积水介质属微咸—半咸水沉积环境<sup>[5]</sup>。酒东拗陷原油伽玛蜡烷指数一般也大于 0.3, 这与酒西拗陷柳北 1 井、窿 10 井、青 2-14 等井原油的源岩沉积环境相似。这从沉积水介质含盐的角度也反映出酒西拗陷原油可能还存在另一种沉积环境的源岩。

## 2.3 原油中三环萜/五环三萜 ~ $T_s/T_m$ 关系

一般认为三环萜源于菌类有机质,而  $C_{27}$  三降藿烷  $T_s/T_m$  既与成熟度有关,又与沉积环境相联系,

成熟度越高,  $T_s/T_m$  值越大;三环萜烷/五环三萜烷则主要与生源的关系更为密切<sup>[4~6]</sup>。由图 4 可见,酒西拗陷大部分原油中  $T_s/T_m$  值一般均  $< 0.4$ , 即  $T_s < T_m$ , 且三环萜烷不发育。而部分生标特征异常原油不仅三环萜烷相对发育,且  $T_s > T_m$ 。如柳北 1 井原油三环萜/五环三萜值高达 0.4, 窿 111 井两个原油的  $T_s/T_m$  高达 1.8, 是该区大部分原油的 4 倍多,这不仅反映了成熟度的差异,同时也反映了沉积环境的不同。另外,窿 7 井、窿 110 井、窿 4 井、窿 8 井、窿 104 井以及青 2-14 等井的原油在上述两个参数上也反映出与酒西拗陷大部分原油有一定差别。从图 4 中也可以看出,这部分生标特征异常原油的该项特征恰和酒东拗陷酒参 1 井、长 101 井、长 101 侧井和营北 1 等井原油相似,即均以相对发育三环萜烷和  $T_s > T_m$  为特征。

## 2.4 原油甾烷 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 与甾烷 $C_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$ 关系

Seifert W K 和 Moldovan J M 认为甾烷  $C_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$  该项参数既与成熟度有关,同时由于甾烷  $\beta\beta$  构型化合物分子直径小于  $\alpha\alpha$  构型化合物的分子直径,故在运移过程中优先富集  $\beta\beta$  构型化合物。因此原油的运移距离越远,受地层层效应影响越大,其甾烷  $C_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$  值也越大<sup>[7]</sup>。因此根据原油和源岩中甾烷  $C_{29}$  的异构化参数可用来判别热演化程度和运移距离。

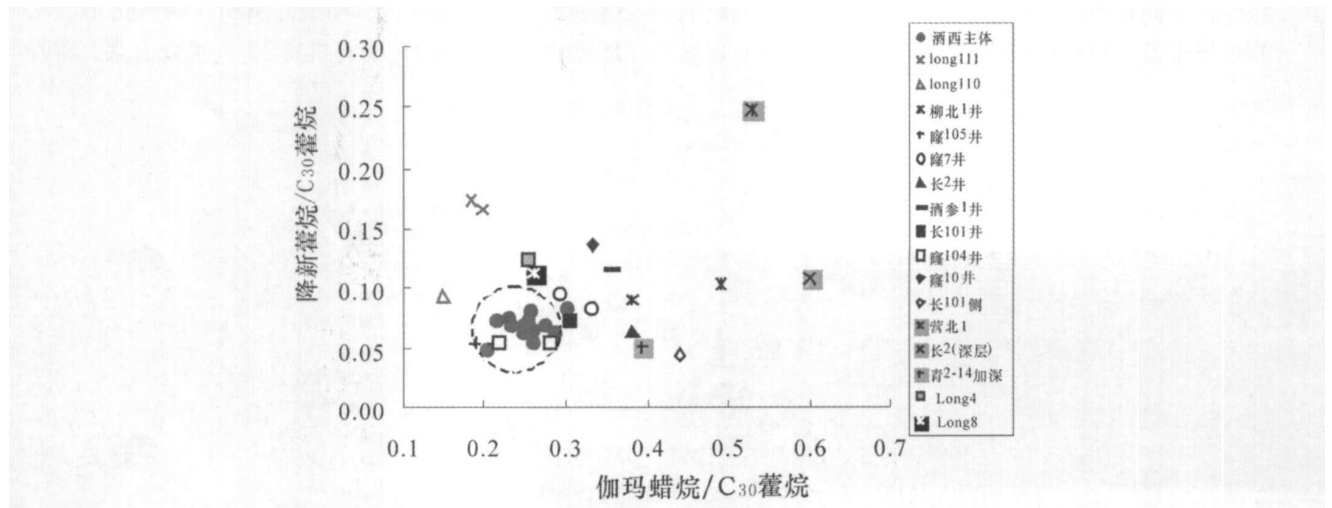


图 3 酒西、酒东拗陷原油降新藿烷/ $C_{30}$ 藿烷 ~ 伽玛蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷关系图

Fig 3 Relationship between nomenohopane/ $C_{30}$  hopane ratios and gammacerane/ $C_{30}$  hopane ratios of crude oils from the Jiuxi and Jiudong Depressions

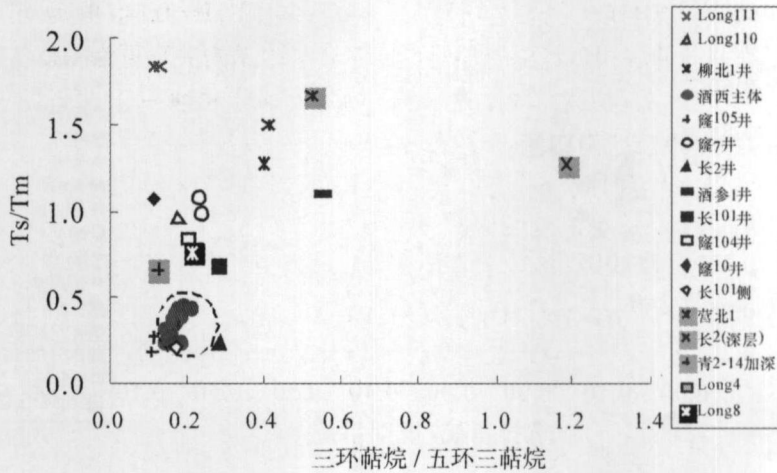


图 4 酒西、酒东坳陷原油三环萜烷 / 五环三萜烷 ~Ts/Tm 关系图

Fig 4 Relation of tricyclic terpane /pentacyclic triterpane ratios and Ts / Tm ratios of crude oils from the Jiuxi and Jiudong Depressions

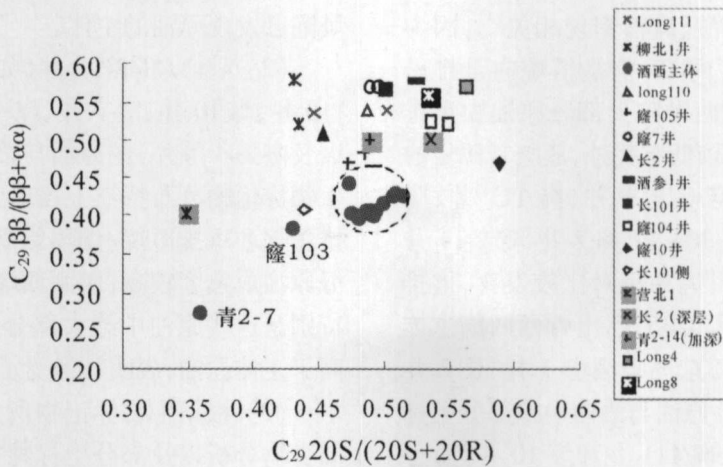


图 5 酒西、酒东坳陷原油 C<sub>29</sub>甾烷异构化参数

Fig 5 C<sub>29</sub> sterane isomerization parameters of crude oils from the Jiuxi and Jiudong depressions

图 5是酒西、酒东坳陷原油的甾烷异构化参数分布关系。由图可见,酒西坳陷大部分原油甾烷 C<sub>29</sub> 20S/(20S+20R)值在 0.45~0.5 之间,尚未达异构化终点(0.58),表明其成熟度不高,推测其可能源岩的成熟度 R<sub>o</sub>值应分布在 1.0%左右,源岩尚处于生烃高峰前及高峰阶段。值得注意的是,该区还存在以青 2-7 井为代表的低成熟油(甾烷 C<sub>29</sub> 20S/(20S+20R)值仅 0.37)和以隆 4 井、隆 8 井、隆 10 井及隆 104 等井为代表的成熟度较高的原油(甾烷异构化参数值已高达 0.56);另一方面,在图 5 中的柳北 1 井、隆 111 井、隆 110 井、隆 7 井、隆 4 井、隆 8 井和青 2-14 等井原油还表现出具有较高的甾烷 C<sub>29</sub> ββ/(ββ +

αα)值,该比值可高达 0.55~0.58,表明了这些原油经历了较长的运移距离。酒东坳陷赤金堡组的原油也表现出与酒西坳陷这部分生标特征异常原油相同的特点。通过原油甾烷 C<sub>29</sub>的异构化参数分析,结合酒西坳陷部分原油三环萜烷和重排甾烷比较发育的特点,笔者认为青西凹陷有可能还存在另一套赤金堡组的深部油源。

### 2.5 原油重排甾烷/规则甾烷与甾烷 C<sub>29</sub> 20S/(20S+20R) 关系

图 6是酒西、酒东坳陷原油重排甾烷分布与热成熟度关系。由图可知,酒西坳陷大部分原油的重排甾烷并不发育,其重排甾烷与规则甾烷之比值一般

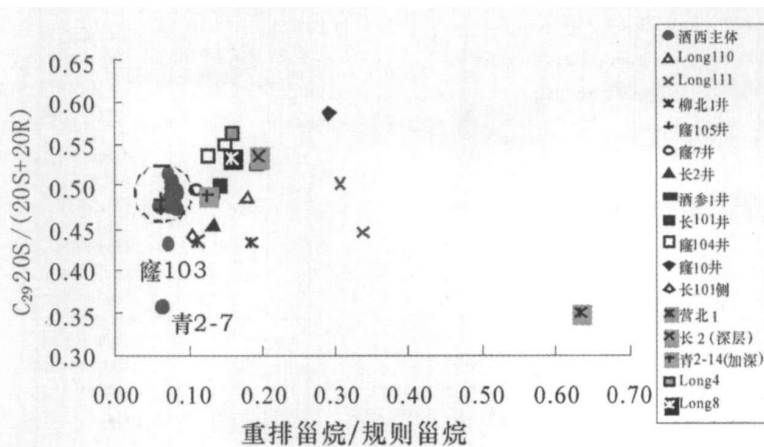


图 6 酒西、酒东坳陷原油重排甾烷/规则甾烷  $\sim$  甾烷  $C_{29} 20S/(20S+20R)$  关系图

Fig 6 Relationship between diasterane/regular sterane ratios and  $C_{29} 20S/(20S+20R)$  ratios of crude oils from the Jiuxi and Jiudong depressions

$< 0.1$ 。研究表明,重排甾烷的发育除与成熟度有关外还与源岩中的粘土含量及酸、碱性密切相关<sup>[4]</sup>,因为酸的催化作用和源岩较高的 Eh 值是甾烷向重排甾烷转化的必备条件<sup>[6]</sup>。酒西坳陷大部分原油中重排甾烷不发育除与其成熟度较低有关外,还与其源岩的弱碱性沉积环境有关。但柳北 1 井、隆 111 井、隆 110 井、隆 4 井、隆 8 井、隆 104 井、隆 7 井、青 2-14 井和隆 10 等井的原油重排甾烷却相对比较发育,重排甾烷/规则甾烷值最高可达 0.35,高出青西凹陷主体原油一个数量级。另外,酒东坳陷酒参 1 井、长 2 井深层、长 101 井和营北 1 井原油与酒西坳陷部分生标特征异常原油(柳北 1 井、隆 111 井和隆 10 井等)也颇具相似性,即以重排甾烷较发育为共同特征。可见,酒西坳陷部分生标特征异常原油无论在成熟度还是在源岩沉积环境方面均有别于主体原油。

据研究,酒西坳陷与酒东坳陷的下白垩统赤金堡组为同样性质的源岩,只是在酒西坳陷沉积厚,酒东较薄<sup>[3]</sup>。酒西坳陷部分生物标记物特征异常原油与酒东坳陷主要源于赤金堡组的原油在生标分布特征上存在明显的相似性,这也从另一个侧面印证了这部分原油可能源于青西凹陷深部赤金堡组的新认识。

### 3 结论

(1) 酒西坳陷大部分原油的生物标记物分布特征较单一,主要表现为三环萜烷、降新藿烷、 $C_{30}$ 重排藿烷和重排甾烷不发育,伽玛蜡烷相对比较发育, $C_{29}$ 甾烷异构化参数较低,尚未达异构化终点,反映其源岩成熟度并不高。此类原油主要源于青西凹陷下沟

组沉积于较强还原环境的藻纹层泥质白云岩,是酒西坳陷已发现原油的主体。

(2) 酒西坳陷部分井(如柳北 1 井、隆 111 井、隆 110 井、隆 10 井、隆 7 井、隆 4 井、隆 8 井、青 2-14 井以及隆 104 等井)的原油与该区“主体原油”比较,在生物标记物分布特征上表现出三环萜烷、 $C_{29} Ts$ 、 $C_{30}$ 重排藿烷和重排甾烷、伽玛蜡烷相对比较发育,而且部分原油成熟度较高,属酒西坳陷成熟度最高的原油,特别是这些原油中绝大部分  $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值也高于主体原油,表明其经受了较长距离的运移。

(3) 根据生物标记物所反映的沉积环境和生源前身物分析以及部分生标特征异常原油与酒东坳陷原油在生标分布特征上的相似性,推测酒西坳陷部分生标特征异常原油很可能源于青西凹陷深部的赤金堡组。

### 参考文献 (References)

- 熊英,程克明,杨智明,等.酒西坳陷油源对比研究新进展.石油勘探与开发,2004,31(1):36~39 [Xiong Ying Cheng Keming Yang Zhiming et al. Advances in the correlation of oils and source in the Jiuxi Depression, Northwest China. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 36~39]
- 彭作林,惠荣耀.中国西部准噶尔、柴达木、酒西盆地天然气赋存条件及资源预测.兰州:甘肃科学技术出版社,1991 [Peng Zuolin Hui Rongyao. Existence Condition of Natural Gas and Resource Prediction in the Zhungar Basin, Qaidam Basin and Jiuxi Basin. West China Gansu Science and Technology Press, 1991]
- 霍永录,谭试典.酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践.北京:石油工业出版社,1995.84~140 [Huo Yonglu Tian Shidian. Exploration Case History and Petroleum Geology in Jiuquan Continental Ba-

- sin Beijing Petroleum Industry Press 1995. 84~140].
- 4 Peters K E, Moldovan JM. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. prentice Hall New Jersey: Englewood Cliffs 1993. 110~265
- 5 王培荣,周光甲. 生物标记物地球化学. 江汉石油学院测试研究中心讲义. 1995. 24~207 [Wang Peirong, Zhou Guangjia. Biomarker Geochemistry. Handout of Test Research Center of Jianghan College of Petroleum, 1995. 24~207].
- 6 Kirk D N, Shaw P M. Backbone rearrangements of steroidal<sup>15</sup>-enes. Journal of Chemical Society, Perkin1, 1975, 2248~2294
- 7 Seifert W K, and Moldovan JM. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured hopane stereochemistry. Physics and Chemistry of the Earth, 1980, 12: 229~237

## Analysis on Unusual Biomarker Characteristics of Part Oils from Jiuxi Depression, Northwest China

MA Li-yuan<sup>1, 2</sup> CHENG Ke-ming<sup>3</sup> XIONG Ying<sup>3</sup> YANG Zhim-ing<sup>4</sup>

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

2. Graduate school, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development of Yumen Branch, CNPC, Yumen Gansu 735200)

**Abstract** The main oils of Jiuxi Depression have single characteristics of biomarker. It shows that the tricyclic terpane, C<sub>29</sub>-norhopane, C<sub>30</sub>-rearranged hopane and diasterane's content of these oils are low, gammacerane's content is high relatively and the isomerization parameter of sterane is lower. It is from 0.45 to 0.5. So it didn't close to the terminal point of isomerization and its source rock's maturity isn't high. This type oil is mainly from the laminar algal shaly dolomite of Xiagou formation that deposited in the reduction environment of Qingxi Depression region. Besides, there have another type of oil which its biomarker characteristics are different from the main part. These oils have relatively higher content of tricyclic terpane, C<sub>29</sub>-norhopane, C<sub>30</sub>-rearranged hopane, diasterane and gammacerane and part of it (such as the oils from long<sup>8</sup>, long<sup>4</sup> and long<sup>10</sup> wells) have high maturity. The isomerization parameter of sterane of these oils may reach from 0.56 to 0.58 (it has closed to the terminal point of isomerization); it is the highest maturity oil of Jiuxi Depression. Especially, the main oils of this type have higher amount of C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα), it means that this oils have long distance migration. According to the result of analysis of depositional environment and native source precursor and contrast it with the oils which mainly from the Chijinbu formation of Jiudong Depression, we hold that those oils which have unusual biomarker characteristics might be in relation to the Chijinbu formation from deep part of Qingxi Depression. This viewpoint will have practical significance to the exploration of deep oil and gas in Jiuquan basin.

**Key words** biomarker characteristics correlation of oil with source source rock Jiuxi Depression