

文章编号:1672-6561(2012)04-0043-10

## 柴达木盆地西部典型油田原油地球化学特征对比

肖 飞<sup>1,2</sup>,包建平<sup>1,2</sup>,朱翠山<sup>1,2</sup>,张文艳<sup>3</sup>,何 海<sup>1,2</sup>

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室,湖北 荆州 434023; 2. 长江大学 地球环境与水资源学院,湖北 武汉 430100; 3. 河南煤层气开发利用有限公司,河南 郑州 450016)

**摘 要:**利用色谱-质谱(GC-MS)分析技术,系统剖析了柴达木盆地西部南区尕斯库勒、油砂山油田(A区)与北区南翼山、油泉子油田(B区)原油的生物标志化合物组成和分布特征,探讨了A区和B区原油的成因差异及其地质影响因素。结果表明:A区部分浅层原油正构烷烃碳数分布不完整,具有异常高的姥鲛烷(Pr)与 $n\text{-C}_{17}$ 峰面积比值和植烷(Ph)与 $n\text{-C}_{18}$ 峰面积比值,说明A区浅层油藏保存条件较差,部分原油遭受了轻微生物降解;A区和B区原油中甾萜比均大于2.4,且甾萜 $\text{C}_{27}\text{R}$ 与甾萜 $\text{C}_{29}\text{R}$ 峰面积比值多大于1,指示这2个区域原油母质来源都以浮游藻类为主,但B区原油中甾萜 $\text{C}_{27}\text{R}$ 与甾萜 $\text{C}_{29}\text{R}$ 峰面积比值和补身烷系列相对含量普遍高于A区,表明B区原油浮游藻类和细菌生源贡献可能相对较高;所有原油都具有低姥植比、高伽马蜡烷含量的特点,且都检测出一定丰度的 $\beta$ -胡萝卜素,说明生成原油的烃源岩形成于强还原咸水沉积环境,但A区原油中姥植比、伽马蜡烷指数以及 $\beta$ -胡萝卜素与 $\text{C}_{30}$ 藿烷峰面积比值明显高于B区,且升藿烷系列呈“翘尾巴”分布模式,而B区原油则没有这种现象,揭示生成A区原油的烃源岩沉积水体盐度更高、还原性更强;甾萜异构体比值( $\text{C}_{29}20\text{S}/(\text{C}_{29}20\text{S}+\text{C}_{29}20\text{R})$ 值和 $\text{C}_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值)表明A区均为低熟原油,而B区多为成熟原油。结合柴达木盆地西部第三纪湖盆沉积和构造演化史,认为南区与北区烃源岩沉积相带的不同空间展布情况是造成A区与B区原油地球化学特征差异的根本原因。

**关键词:**地球化学;原油;生物标志化合物;成熟度;沉积环境;柴达木盆地

**中图分类号:**P618.130.2;TE122.3<sup>+</sup>1 **文献标志码:**A

## Comparison of the Geochemical Characteristics of Crude Oils from Typical Oilfields in Western Qaidam Basin

XIAO Fei<sup>1,2</sup>, BAO Jian-ping<sup>1,2</sup>, ZHU Cui-shan<sup>1,2</sup>, ZHANG Wen-yan<sup>3</sup>, HE Hai<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 2. School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 3. Henan Provincial Coal Seam Gas Development and Utilization Co., Ltd., Zhengzhou 450016, Henan, China)

**Abstract:** The composition and distribution characteristics of biomarker compounds in crude oils from Gasikule Oilfield and Youshashan Oilfield in the south part of western Qaidam Basin (Zone A) and from Nanyishan Oilfield and Youquanzi Oilfield in the north part (Zone B) were analyzed with GC-MS technology, and the genetic difference of crude oils from Zone A and Zone B and its geological influencing factors were discussed. The results showed that the distribution of carbon number of  $n$ -alkane in crude oils from part shallow reservoirs of Zone A with high ratios of peak areas of pristane (Pr) to  $n\text{-C}_{17}$  and that of phytane (Ph) to  $n\text{-C}_{18}$  was incomplete, so that

收稿日期:2012-04-09

基金项目:“十一五”国家科技重大专项研究项目(2008ZX05025-03)

作者简介:肖 飞(1987-),男,湖北钟祥人,理学硕士研究生,E-mail:xx19870721@163.com。

preservation condition of shallow reservoirs from Zone A was poor, and part crude oils were slightly degraded by microorganism; ratios of sterane to hopane in crude oils from Zone A and Zone B were more than 2.4, and ratios of peak areas of sterane  $C_{27}R$  to sterane  $C_{29}R$  were mostly more than 1, so that biological sources of crude oils were mainly floating algae in the two zones; the relative content of drimane series and ratios of peak areas of sterane  $C_{27}R$  to sterane  $C_{29}R$  in crude oils from Zone B were generally higher than that from Zone A, so that the contribution of biological sources including floating algae and bacteria might be relatively higher; the characteristics of all crude oils included low ratio of Pr to Ph and high content of gammacerane, and a certain of  $\beta$ -carotane was found, so that the source rocks generating crude oils were deposited in strong reducing sedimentary environment with saline water; ratio of Pr to Ph, gammacerane index and ratio of peak areas of  $\beta$ -carotane to  $C_{30}$  hopane in crude oils from Zone A were significantly more than that from Zone B, and the distribution of homohopane series displayed that the peak area of  $C_{35}$  was more than that of  $C_{34}$  in Zone A, so that the salinity of sedimentary water in source rocks of crude oils from Zone A was higher, and the reducing was stronger; ratios of isomer of sterane including  $C_{29}20S/(20S+20R)$  and  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  indicated that crude oils were low mature in Zone A, but most were mature in Zone B. Compared with lake basin sedimentation and tectonic evolution of Tertiary in western Qaidam Basin, the different spatial distributions of sedimentary facies belt of source rock in the south and north parts were the basic reason for the difference of geochemical characteristics of crude oils between Zone A and Zone B.

**Key words:** geochemistry; crude oil; biomarker compound; maturity; sedimentary environment; Qaidam Basin

## 0 引 言

柴达木盆地是在前震旦纪结晶基底上发育起来的中新生代叠合盆地,主要包含北缘侏罗系、西部第三系和东部三湖地区第四系三大含油气系统<sup>[1-3]</sup>。其西部面积约为  $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,只占全盆地面积的近 1/3,却集中了整个盆地 80%~90% 的油气储量和产量<sup>[4]</sup>,因此该区域一直是柴达木盆地的重点勘探区域。经过几十年的勘探,在柴达木盆地西部(简称“柴西地区”)已发现十几个油气田,它们分布在英雄岭—茫崖凹陷轴部界线两侧,界线以南为柴达木盆地西部南区(简称“柴西南区”),主要包括尕斯库勒、油砂山、花土沟、狮子沟、七个泉等油田;界线以北为柴达木盆地西部北区(简称“柴西北区”),主要包括南翼山、油泉子、尖顶山、咸水泉等油田(图 1)。

柴西地区第三系沉积地层自下而上分为路乐河组( $E_{1+2}L$ )、下干柴沟组下段( $E_3^1xg$ )及上段( $E_3^2xg$ )、上干柴沟组下段( $N_1^1sg$ )及上段( $N_1^2sg$ )、下油砂山组( $N_2^1xy$ )、上油砂山组( $N_2^2sy$ )和狮子沟组( $N_2^3s$ ),其中下干柴沟组( $E_3xg$ )和上干柴沟组( $N_1sg$ )为主力烃源岩发育时期<sup>[5]</sup>。柴西地区第三纪属于典型咸水湖相沉积,其所产原油的地球化学特征大多具有一定

的相似性。然而,随着勘探的深入,逐渐发现该地区不同油田原油也存在着较大差异,原油地球化学特征自南向北、自西向东呈现一定的区域性变化趋势<sup>[4]</sup>,其中尤以柴西南区与北区之间的差异最为明显。目前的研究大多是单独针对某个油气田<sup>[6-15]</sup>,或者只讨论了不同油田原油在地球化学特征上的差异<sup>[2,16]</sup>,而对影响原油地球化学特征的内在地质因素鲜有涉及。笔者旨在通过分析柴西南区与北区部分典型油田原油的生物标志化合物组成和分布特征,并结合柴西地区第三纪湖盆沉积和构造演化史,探讨其成因差异以及造成这种差异的地质原因。

## 1 样品和试验

试验样品分别取自柴西南区尕斯库勒、油砂山油田和柴西北区南翼山、油泉子油田(图 1),其中尕斯库勒油田和南翼山油田分属柴西南区和北区最大的油田<sup>[6-7]</sup>。这 4 个油田在地理位置上都位于远离阿尔金山一端,总体上沿柴西南区与北区分界线呈对称分布,这样就在一定程度上避免了原油地球化学特征东西分异<sup>[4]</sup>对研究结果的不利影响。综合前人油源研究成果,可知尕斯库勒油田原油来自邻近的茫崖凹陷<sup>[6,10]</sup>,而油砂山油田、南翼山油田和油泉

子油田原油都来自本区或相应构造附近的烃源岩<sup>[11,17]</sup>。换言之,这些原油均是本区及附近烃源岩生成,经过短距离运移,遇到合适圈闭后就近聚集成藏的。为了便于探讨,分别将柴西南区尕斯库勒、油砂山油田和柴西北区南翼山、油泉子油田所在区域称为A区和B区(图1)。

本研究共选取了27个原油样品,其中尕斯库勒油田13个、油砂山油田3个、南翼山油田7个、油泉子油田4个。首先进行原油族组分分离,采用正己烷脱去原油中的沥青质,然后用 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 柱色谱分离脱沥青质原油,分别用石油醚和二氯甲烷冲洗获取饱和烃和芳香烃馏分。最后对饱和烃组分进行色谱-质谱(GC-MS)分析,试验条件如下:仪器为惠普公司5890台式质谱仪。色谱柱为HP-25 ms石英弹性毛细柱( $30\text{ m}\times 0.25\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ )。升温程序为:50℃恒温2 min,从50℃至100℃的升温速率为 $20\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ,100℃至310℃的升温速率为 $3\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ,达到310℃时恒温15.5 min。进样器温度为300℃,载气为氦气,流速为 $1.04\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,

扫描范围为50~550 amu。检测方式为全扫描。电离能量为70 eV,离子源温度为230℃。

## 2 原油生物标志化合物特征

### 2.1 链烷烃

原油中的链烷烃主要包括正构烷烃和植烷系列,植烷系列以姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)为代表。在饱和烃生物标志化合物中,正构烷烃的抗生物降解能力最弱,植烷系列次之<sup>[18]</sup>,因此在原油遭受轻微生物降解时,链烷烃被优先消耗,从而导致Pr与 $n\text{-C}_{17}$ 峰面积比值和Ph与 $n\text{-C}_{18}$ 峰面积比值异常升高。表1显示尕斯库勒油田跃54井、跃975井、跃976井和油砂山油田中93井浅层原油中Pr与 $n\text{-C}_{17}$ 峰面积比值和Ph与 $n\text{-C}_{18}$ 峰面积比值明显偏高,正构烷烃碳数分布也不完整[图2(a)、(b)],说明这些原油可能遭受了轻微生物降解,同时也暗示A区浅层油藏保存条件较差。除此之外,其他原油中正构烷烃系列分布较完整,碳数分布范围为 $\text{C}_{11}\sim\text{C}_{38}$ (图2),主峰碳数均较低,2个区域原油的主峰碳数均分布在

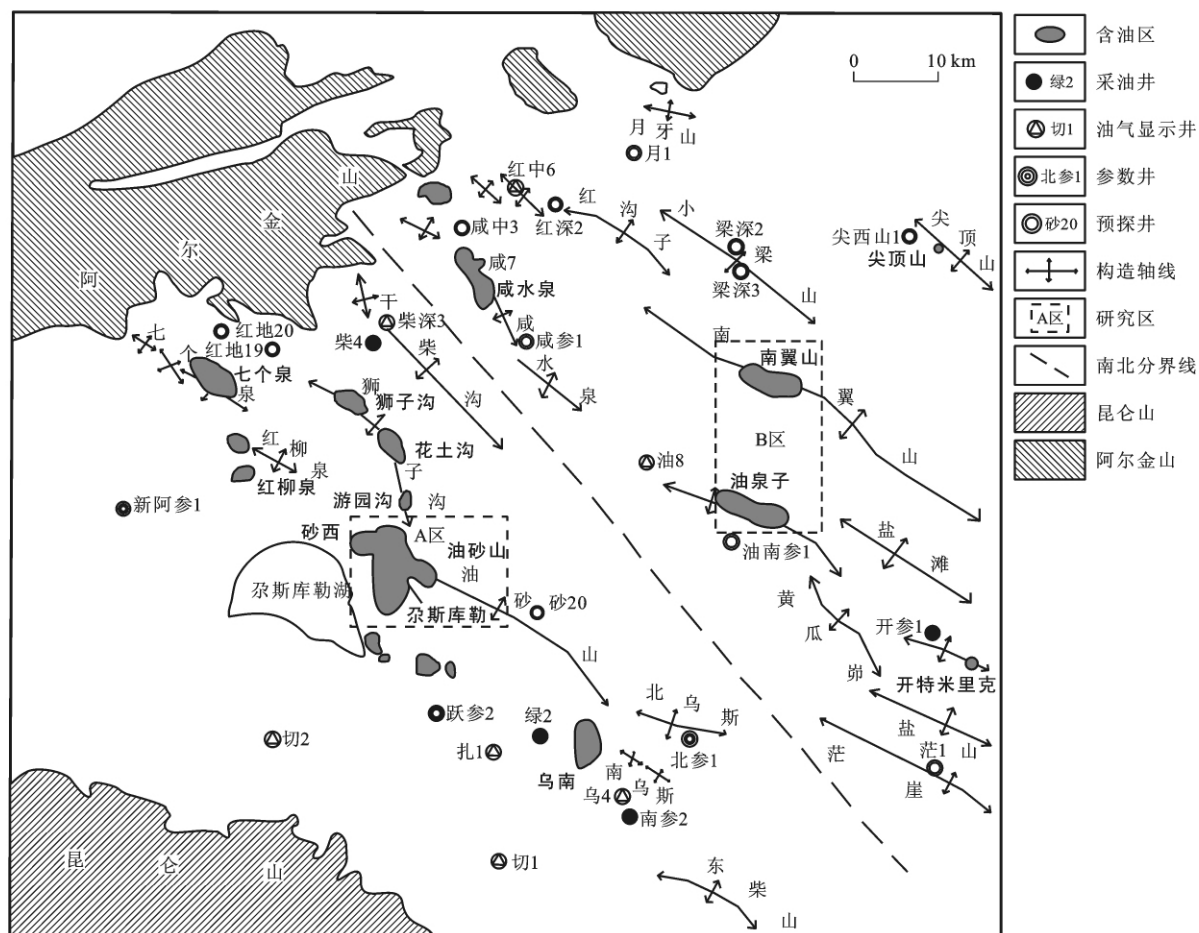


图1 柴西地区油气田平面分布特征

Fig.1 Plane Distribution Characteristics of Oil and Gas Fields in Western Qaidam Basin

$C_{16} \sim C_{22}$  之间,由此推测柴西地区原油中低等水生生物的贡献较大。从正构烷烃分布模式来看(图 2、表 1),除浅层部分生物降解原油外,A 区原油正构烷烃在  $C_{18} \sim C_{26}$  均存在一定的偶碳优势, $C_{18} \sim C_{26}$  正构烷烃碳优势指数为  $0.91 \sim 0.95$ ,平均值为  $0.93$ ;而 B 区原油正构烷烃在  $C_{18} \sim C_{26}$  大多不具偶碳优势,且在整个碳数范围内也没有明显的碳数优势现象,尤其是南翼山油田,其原油  $C_{18} \sim C_{26}$  正构烷烃碳优势指数为  $0.97 \sim 1.00$ ,平均值为  $0.98$ ,接近 1。这表明 B 区原油成熟度高于 A 区,其中南翼山油田部分原油可能已达到成熟或临界成熟阶段。

原油中高碳数正构烷烃的丰度一般随碳数增加

逐渐下降,而在尕斯库勒油田原油(除部分生物降解原油外)中却出现了明显的  $n-C_{37}$  优势现象[图 2(c),表 1],其  $n-C_{37}$  与  $n-C_{36}$  峰面积比值多大于 1.4;而油砂山油田和 B 区原油大多无  $n-C_{37}$  优势,其  $n-C_{37}$  与  $n-C_{36}$  峰面积比值多小于 1.0[图 2(d)~(f),表 1]。包建平等认为产生这种现象的根本原因是柴西南区古沉积环境盐度更高和还原性更强所致,这种环境可能有利于某些能够提供异常丰富的  $n-C_{37}$  生物先质的特殊生物的生长和繁殖,在这种环境中发育的烃源岩所生成的原油就会出现  $n-C_{37}$  优势的现象<sup>[2]</sup>。然而,同为 A 区的油砂山油田原油却没有出现这种现象,其原因可能有:①油砂山油田部分原油遭受过

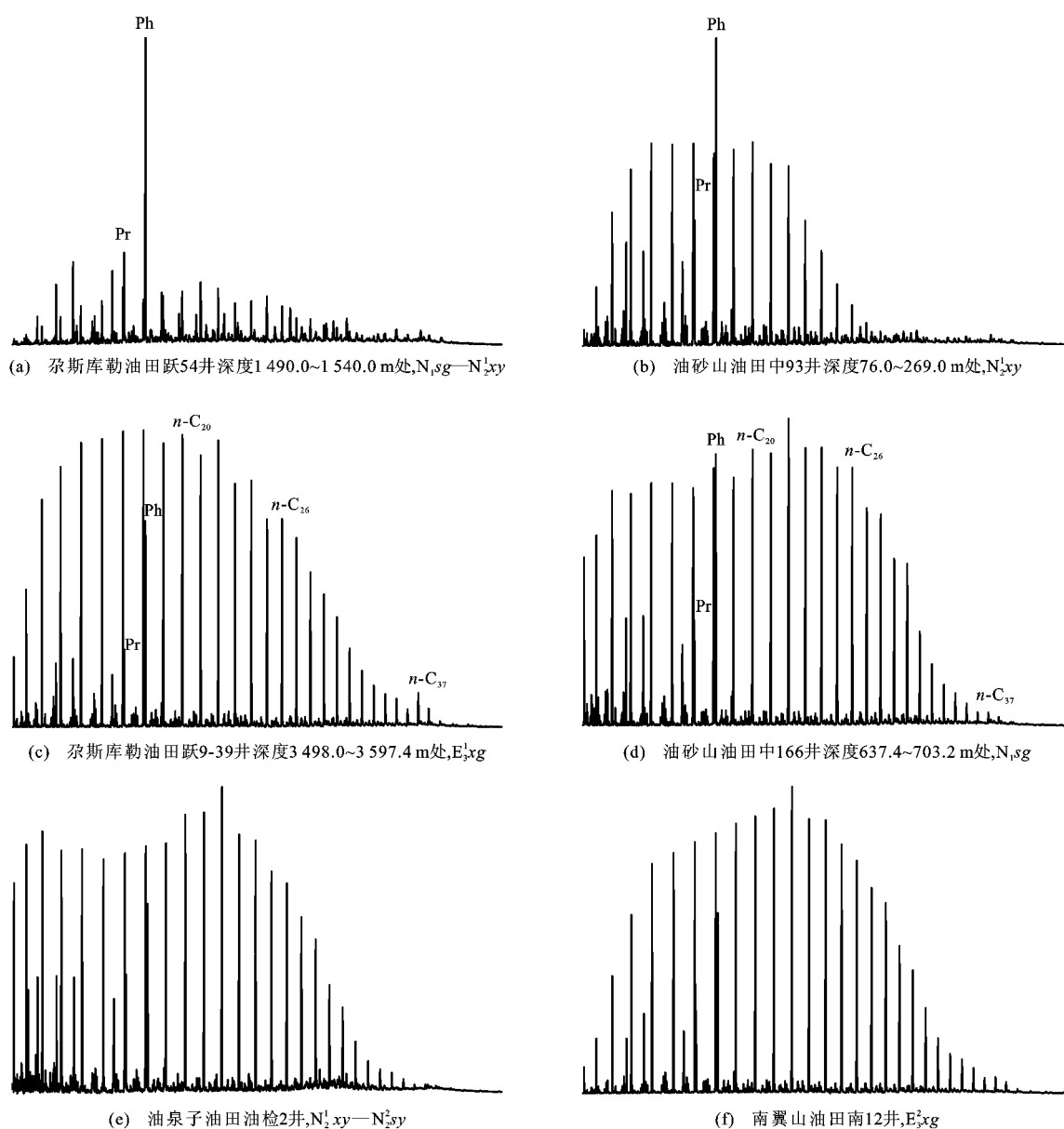


图 2 不同油田原油链烷烃分布特征

Fig. 2 Distribution Characteristics of Chain Alkane of Crude Oils from Different Oilfields

生物降解,其正构烷烃的原始分布面貌已发生改变;  
②油砂山油田与尕斯库勒油田原油油源不同,其源岩沉积时的古盐度和氧化还原性可能还未达到上述特殊生物大量生存和繁衍的条件。值得注意的是,南翼山油田部分原油中也出现了微弱的  $n$ - $C_{37}$  优势(表1),笔者推测这可能与其源岩沉积时的水体存在若干小范围的盐度高值区有关。一方面,南翼山及附近地区在  $E_3xg-N_1sg$  地层沉积时期(主力烃源岩沉积时期)水下低凸起发育<sup>[19]</sup>,其沉积相带在平面上呈现不连续性,因此其水体盐度在平面上也会呈现一定的非均质性,在水下低

凸起之间的深洼地带盐度较高,而处于水下低凸起上方的水体盐度则较低;另一方面,柴西地区湖盆沉积中心在  $N_1^2sg$  地层沉积时期开始有规律地自南向北、自西向东迁移,也会使得柴西北区湖盆水体盐度有所提升。这两大因素共同促成了南翼山及附近地区发育有若干小范围高盐度区,这些水域已经达到了这种特殊生物的生存条件,在这些水域内发育的烃源岩生成的原油就会具备正构烷烃的  $n$ - $C_{37}$  优势,但毕竟这类烃源岩面积分布很有限,在与本区其他烃源岩生成的原油混合后,正构烷烃的  $n$ - $C_{37}$  优势就会减弱甚至消失。

表1 不同油田原油主要地球化学参数

Tab.1 Main Geochemical Parameters of Crude Oils from Different Oilfields

油田	井号	层位	变量1	变量2	变量3	变量4	变量5	变量6	变量7	变量8
尕斯库勒	跃14-29	$E_3^1xg$	0.95	0.35	0.29	0.83	1.43	1.16	1.24	2.85
	跃9-39	$E_3^1xg$	0.93	0.33	0.31	0.94	1.56	1.22	1.36	2.49
	跃试3	$E_3^1xg$	0.95	0.35	0.29	0.83	1.42	1.17	1.29	2.47
	跃9-4	$E_3^1xg$	0.94	0.35	0.28	0.82	1.45	1.40	1.27	2.38
	跃试7	$E_3^1xg$	0.94	0.34	0.30	0.89	1.40	1.14	1.33	2.69
	跃4-2	$E_3^1xg$	0.94	0.32	0.31	1.00	1.67	0.85	0.92	3.02
	跃15-8	$E_3^1xg$	0.95	0.35	0.29	0.83	1.47	1.11	1.17	3.04
	跃54	$N_1sg-N_2^1xy$		0.25	1.75	12.19		1.24	1.78	3.54
	跃604	$N_1sg$	0.91	0.28	0.44	1.56	1.78	0.71	1.20	3.48
	跃976	$N_1sg-N_2^1xy$		0.26	1.25	5.55	0.94	0.96	1.24	3.26
	跃975	$N_1sg-N_2^1xy$		0.44	2.29	15.42	0.75	1.08	1.44	3.48
	跃983	$N_1sg-N_2^1xy$	0.92	0.30	0.43	1.41	1.65	0.94	0.92	3.12
	跃703	$N_1sg-N_2^1xy$	0.91	0.28	0.43	1.53	1.58	0.82	1.12	3.47
油砂山	中166	$N_1sg$	0.91	0.31	0.51	1.54	0.90	1.54	1.54	2.47
	中221	$N_1sg$	0.92	0.30	0.43	1.43	0.64	1.13	1.49	3.30
	中93	$N_2^1xy$		0.28	0.66	2.49		0.78	1.29	3.40
油泉子	油1-72	$N_2^1xy-N_2^2sy$	0.94	0.37	0.38	0.95	0.84	2.18	0.36	3.05
	油检2	$N_2^1xy-N_2^2sy$	0.97	0.41	0.37	0.86	0.84	2.28	0.19	3.02
	油1-17	$N_2^1xy-N_2^2sy$	0.93	0.35	0.41	1.11	0.87	1.43	0.26	2.96
	油3-82	$N_2^1xy-N_2^2sy$	0.95	0.38	0.40	1.01	0.87	1.77	0.30	3.13
南翼山	南浅608	$N_2^2sy$	0.97	0.41	0.40	0.97	0.69	2.29	0.30	2.56
	南浅802	$N_2^2sy$	0.98	0.42	0.40	0.94	0.98	2.54	0.23	2.64
	南浅11-11	$N_2^2sy$	0.99	0.45	0.32	0.70	0.83	4.34	0.50	2.50
	南浅5-5	$N_2^2sy$	0.97	0.41	0.42	1.00	1.10	2.15	0.25	2.79
	南浅评3	$N_2^2sy$	0.97	0.39	0.42	1.03	1.04	1.84	0.25	3.06
	南10	$E_3^2xg$	1.00	0.51	0.31	0.62	0.56	21.02	1.65	4.09
	南12	$E_3^2xg$	0.97	0.41	0.39	0.93	1.10	1.32	0.32	2.52

注:变量1表示  $C_{18} \sim C_{26}$  正构烷烃碳优势指数;变量2表示姥植比;变量3表示 Pr 与  $n$ - $C_{17}$  峰面积比值;变量4表示 Ph 与  $n$ - $C_{18}$  峰面积比值;变量5表示  $n$ - $C_{37}$  与  $n$ - $C_{36}$  峰面积比值;变量6表示补身烷系列与  $C_{30}$  藿烷峰面积比值;变量7表示  $\beta$ -胡萝卜素与  $C_{30}$  藿烷峰面积比值;变量8表示甾甾比。

植烷系列通常被认为是光合生物的叶绿素植醇侧链成岩作用的产物,植醇在氧化条件下经过脱水加氢作用形成植烷,而在氧化条件下先转变为植烷酸,再经过脱羧基作用形成姥鲛烷,因此姥植比(Pr与Ph峰面积比值)可以较好地反映沉积环境的氧化还原性。表1显示所有原油样品的姥植比均小于0.55,说明柴西地区烃源岩形成时沉积水体还原性很强。但不同油田的姥植比仍然存在细微的差异,其中B区原油姥植比为0.25~0.44,平均值为0.32;而A区原油姥植比为0.35~0.51,平均值为0.41;后者略高于前者。这表明A区烃源岩相对于B区烃源岩的沉积水体可能更深,含氧量更低,还原性更强。此外,在咸水湖相沉积环境中,嗜盐古细菌类也被认为是Ph的来源之一<sup>[20]</sup>,因此A区原油中相对较高的Ph含量可能暗示着A区原油中嗜盐古细菌类的生源贡献较大。

## 2.2 补身烷系列

柴西地区原油中均检测到一定丰度的补身烷系列化合物,主要包括重排补身烷、 $C_{15}$ 补身烷和 $C_{16}$ 升补身烷。通常认为补身烷是在微生物作用下,由细菌藿烷先质于成岩阶段初期,发生降解、开环断裂而形成,而补身烷系列其他异构体则是补身烷在成岩作用后期的产物<sup>[21]</sup>。统计结果表明(表1),B区原油中补身烷系列与 $C_{30}$ 藿烷峰面积比值平均值为3.92,而A区原油补身烷系列与 $C_{30}$ 藿烷峰面积比值平均值为1.08,表明B区原油中补身烷系列化合物的平均相对丰度高于A区,可以预料B区原油中细菌生源贡献可能高于A区。

前人研究发现<sup>[22-24]</sup>,重排补身烷的形成可能与有机质成熟度和沉积环境的氧化还原性有关,较高的成熟度和还原性较弱的沉积环境更有利于重排补身烷的形成。由图3可知,B区原油中重排补身烷相对含量显著高于A区,其重排补身烷与 $8\beta(H)$ -补身烷峰面积比值均大于0.95,重排补身烷与 $8\beta(H)$ -升补身烷峰面积比值除南12井原油外均大于1.00;而A区原油重排补身烷与 $8\beta(H)$ -补身烷峰面积比值和重排补身烷与 $8\beta(H)$ -升补身烷峰面积比值都处于低值区,平均值分别为0.76和1.00。链烷烃参数反映B区油田原油成熟度高于A区,且生成B区原油的烃源岩沉积环境还原性相对较弱,这可能也是导致B区原油中重排补身烷相对含量高于A区的原因。

## 2.3 五环三萜类和 $\beta$ -胡萝卜素

原油样品中的五环三萜类主要包括藿烷类和伽

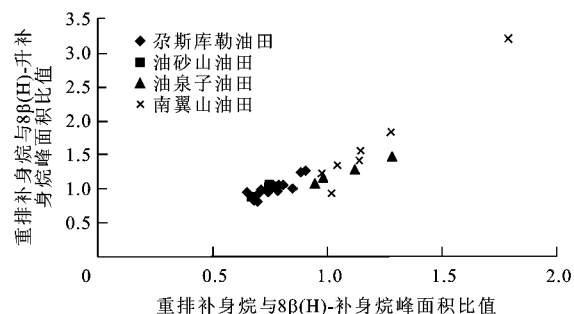


图3 原油中重排补身烷与 $8\beta(H)$ -升补身烷峰面积比值与重排补身烷与 $8\beta(H)$ -补身烷峰面积比值的

Fig. 3 Relationship Between Ratio of Peak Areas of Rearranged Trimane to  $8\beta(H)$ -homodrimane and That of Rearranged Trimane to  $8\beta(H)$ -trimane of Crude Oils

马蜡烷等,藿烷类和伽马蜡烷普遍被认为是来源于细菌,而伽马蜡烷是咸水湖相沉积环境的特征生物标志化合物,同时也用来指示水体分层。常用伽马蜡烷指数(伽马蜡烷与 $C_{30}$ 藿烷峰面积比值)来表征伽马蜡烷的相对含量,它是反映沉积水体盐度的良好指标,其值越高,说明沉积环境水体的盐度越高。从图4可以看出,所有原油的伽马蜡烷指数都大于0.40,表现出咸水湖相原油的典型特征。但A区与B区原油伽马蜡烷指数存在较大差别,分别为0.71~1.00和0.45~0.57,平均值分别为0.86和0.51,前者明显高于后者,说明生成A区原油的烃源岩沉积水体盐度高于B区,水体分层现象更显著。

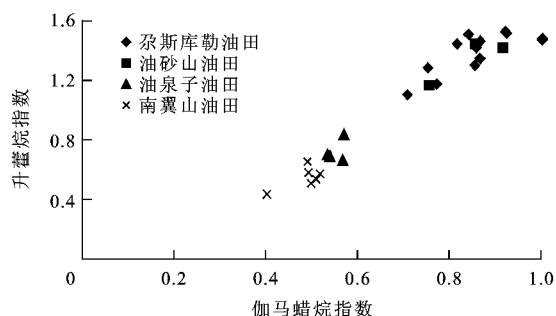


图4 原油中升藿烷指数与伽马蜡烷指数的关系

Fig. 4 Relationship Between Homohopane Index and Gammacerane Index of Crude Oils

$C_{31} \sim C_{35}$ 升藿烷系列的分布特征也可以指示沉积水体的盐度。在高盐度沉积环境形成的烃源岩及其生成的原油中,升藿烷系列通常呈现“翘尾巴”的分布特征;而在淡水湖相和盐度相对较低的咸水湖相烃源岩及其生成的原油中,升藿烷系列通常呈现“阶梯状”下降的分布特征。从图4、5可以看出,A区原油升藿烷系列大多具有一定的“翘尾巴”分布特征,其升藿烷指数( $C_{35}$ 藿烷与 $C_{34}$ 藿烷峰面积比值)

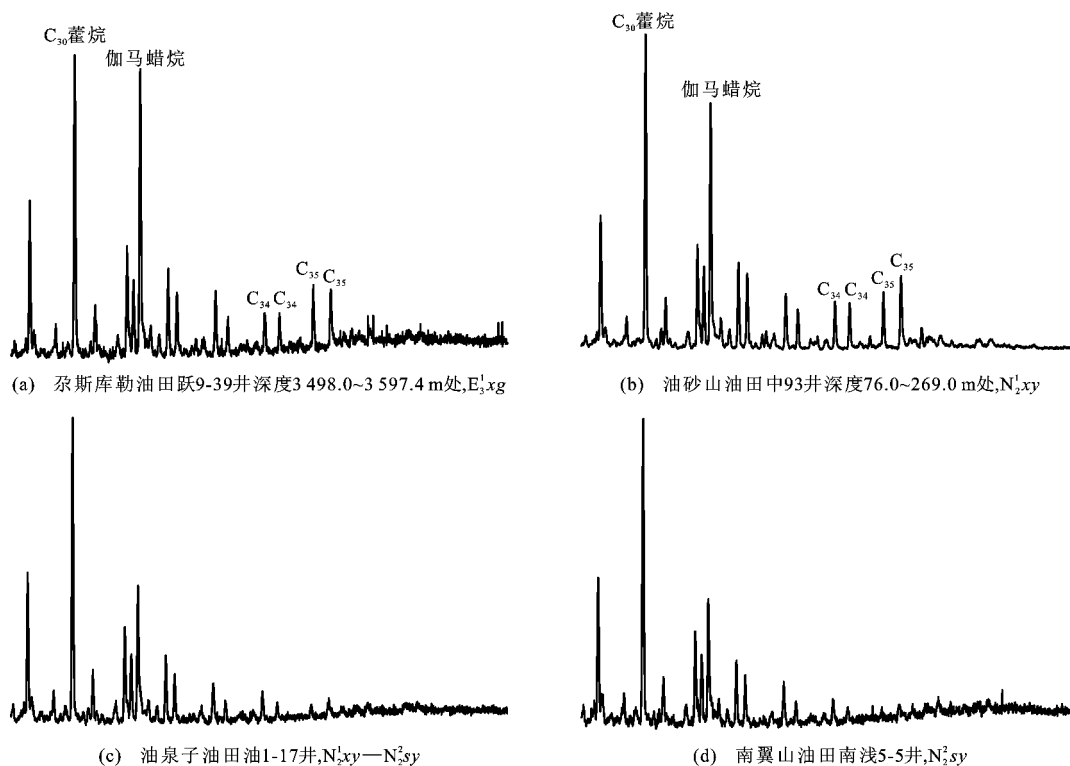


图5 不同油田原油五环三萜类分布特征

Fig. 5 Distribution Characteristics of Pentacyclic Triterpene of Crude Oils from Different Oilfields

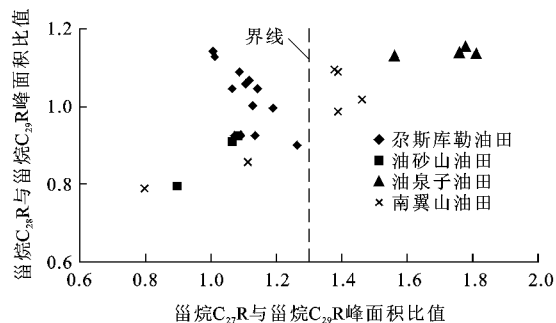
均大于 1.10;而 B 区原油升藿烷系列则不具备这种特征,其升藿烷指数均小于 0.85。这进一步说明了生成 A 区与 B 区原油的烃源岩在沉积水体的盐度上存在差异。

$\beta$ -胡萝卜素常用来指示强还原湖相沉积环境<sup>[25]</sup>。用  $\beta$ -胡萝卜素与  $C_{30}$  藿烷峰面积比值表征  $\beta$ -胡萝卜素的相对含量, A 区原油  $\beta$ -胡萝卜素与  $C_{30}$  藿烷峰面积比值为 1.64~4.96,平均值为 3.03;而 B 区原油  $\beta$ -胡萝卜素与  $C_{30}$  藿烷峰面积比值为 0.20~1.12,平均值为 1.34。A 区原油中  $\beta$ -胡萝卜素相对丰度普遍高于 B 区,表明生成 A 区原油的烃源岩沉积环境还原性相对较强,这与姥植比所反映出来的结果基本一致。咸水湖相烃源岩沉积水体的还原性强弱与其盐度高低相对应, A 区烃源岩沉积水体盐度相对 B 区较高,水体分层现象更显著,水体中含氧量更低,还原性也相对较强。

#### 2.4 甾烷类

甾烷类是广泛分布在烃源岩和原油中的一类生物标志化合物,其组成和分布特征可以提供有机质来源、成熟度等丰富的地球化学信息。 $C_{27} \sim C_{29}$  常规甾烷是研究原油母质来源的良好指标。一般来说,  $C_{27}$  甾烷来源于浮游藻类,而  $C_{29}$  甾烷来源于陆源高等植物。此外,甾藿比(甾烷与藿烷峰面积比值)

可以较好地反映真核藻类和原核细菌的相对贡献大小。由图 6 可知, A 区和 B 区原油甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值多大于 1.00,甾藿比均大于 2.40(表 1),说明原油母质来源以浮游藻类为主。但是不同油田原油中甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值差别较大,以甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值等于 1.30 为界线, B 区原油(除南翼山油田 2 个原油样品以外)多位于界线右侧,而 A 区原油都在界线左侧。B 区原油中甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值普遍高于 A 区原油,说明 B 区原油中浮游藻

图6 原油中甾烷  $C_{28}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值和甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值的Fig. 6 Relationship Between Ratio of Peak Areas of Sterane  $C_{28}R$  to  $C_{29}R$  and That of Sterane  $C_{27}R$  to  $C_{29}R$  of Crude Oils

类的生源贡献相对更高,而南翼山油田少数原油甾烷  $C_{27}R$  与甾烷  $C_{29}R$  峰面积比值低,可能与侏罗系油源有关<sup>[9]</sup>。

甾烷异构体比值( $C_{29}20S$  峰面积和  $C_{29}20S$  与  $C_{29}20R$  峰面积之和的比值,简称为  $C_{29}20S/(20S+20R)$  值; $C_{29}\beta\beta$  峰面积和  $C_{29}\beta\beta$  与  $C_{29}\alpha\alpha$  峰面积之和的比值,简称为  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值)是反映原油成熟度的有效指标。参照 Huang 等的划分标准,可以将  $C_{29}20S/(20S+20R)$  值为 0.25 和  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值为 0.27 定为未熟和低熟的界限;将  $C_{29}20S/(20S+20R)$  值为 0.43 和  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值为 0.42 定为低熟和成熟的界限<sup>[26]</sup>。图 7 显示 A 区原油都属于低熟油;而 B 区原油中,南翼山油田大多数原油已进入成熟阶段,油砂山油田原油也基本处于成熟或临界成熟阶段。这与正构烷烃碳数优势反映的原油成熟度结果相吻合。

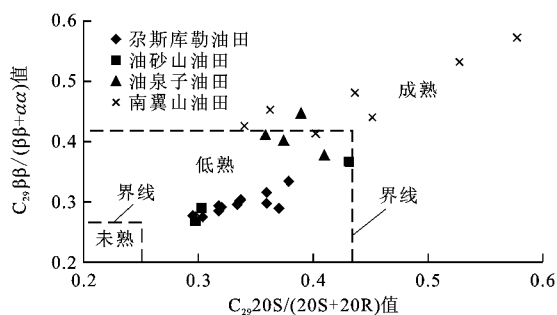


图 7 原油中  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  值与  $C_{29}20S/(20S+20R)$  值的关系

Fig. 7 Relationship Between  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  and  $C_{29}20S/(20S+20R)$  of Crude Oils

### 3 差异成因探讨

通过对原油生物标志化合物组成和分布特征的分析,可知 A 区与 B 区原油的地球化学特征存在较大差异。这表明它们在成因上具有很大的不同,暗示其具有不同的油源。其中 A 区原油为低熟油,母质来源以浮游藻类为主,其源岩沉积水体盐度很高,还原性很强;B 区原油成熟度相对较高,其中有相当数量原油已进入成熟阶段,母质来源也以浮游藻类为主,但浮游藻类和细菌生源贡献相对 A 区原油更高,其源岩沉积水体盐度相对较低,还原性也相对较弱。从根本上说,不同地区原油在成因上的差异是由生成原油的烃源岩性质决定的,而烃源岩性质受控于具体的地质条件。

研究区各油田原油均是由研究区及附近烃源岩所生成,因此 A 区与 B 区原油的地球化学成因差异

是由各区烃源岩的不同性质造成的。 $E_3xg$  和  $N_1sg$  地层是主力烃源岩沉积时期;从柴西地区第三纪湖盆沉积和构造演化史来看,该时期是湖盆的发展和扩大时期,湖盆沉积中心长期位于柴西南区茫崖—狮子沟一带,广泛发育深湖—半深湖亚相沉积;而柴西北区以半深湖—浅湖亚相为主,局部发育深湖亚相,在油泉子、南翼山一带存在水下隆起带,导致这一区域沉积相带在平面上存在较强的不连续性<sup>[19]</sup>。显然,生成 A 区与 B 区原油的烃源岩沉积相带明显不同,其沉积环境存在较大差异。柴西南区烃源岩沉积水体深,盐度很高,还原性很强;柴西北区水体相对较浅,且平面非均质性很强,盐度较低,还原性较弱。而不同的沉积环境又会导致柴西南区与北区形成不同的古生物群落,柴西南区的高盐度和强还原性水体可能使得其古生物群落中生物种属较单一,而柴西北区则相对多元一些,这可能是导致 A 区和 B 区原油母质来源差异的主要原因。A 区和 B 区原油继承了其源岩的性质,从而体现出不同的地球化学特征。可见,柴西南区与北区烃源岩沉积相带的空间展布是影响原油地球化学特征的关键因素。

### 4 结 语

(1)通过对柴西南区尕斯库勒、油砂山油田与柴西北区南翼山、油泉子油田原油的生物标志化合物组成和分布特征的剖析,发现同属咸水湖相成因的不同油田原油仍然存在较大差异。尕斯库勒、油砂山油田部分浅层原油由于油藏保存条件较差遭受过轻微的生物降解,母质来源以浮游藻类为主,均为低熟油,其源岩形成于强还原、高盐度的厌氧环境;南翼山、油泉子油田原油母质来源也以浮游藻类为主,但浮游藻类和细菌的生源贡献可能更高,原油成熟度显著高于前者,多数为成熟原油,少数为低熟原油,其源岩沉积环境的还原性相对较弱,盐度相对较低。

(2)尕斯库勒油田原油正构烷烃具有明显的  $n-C_{37}$  优势,而同为柴西南区的油砂山油田大多无  $n-C_{37}$  优势,这可能与油砂山油田原油与尕斯库勒油田原油的油源不同以及其遭受过轻微生物降解有关。另一方面,南翼山油田少量原油却出现了微弱的  $n-C_{37}$  优势,这可能由柴西北区沉积相带的平面非均质性和柴西地区第三纪湖盆沉积中心的转移等两大因素所致。

(3)结合柴西地区第三纪湖盆沉积和构造演化史,认为柴西南区尕斯库勒、油砂山油田与柴西北区



南翼山、油泉子油田原油地球化学特征差异是由各区烃源岩所属沉积相带的不同空间展布情况决定的。

(4)本文的研究成果对柴西地区类似区块不同油田的勘探和研究具有一定的借鉴意义。但尕斯库勒、油砂山油田并不能代表整个柴西南区原油的特征,南翼山、油泉子油田同样也不能反映整个柴西北区原油的全貌。鉴于柴西地区部分油田勘探程度仍较低,因此若要全面系统地分析柴西南区与北区原油在地球化学特征方面的差异,尚需进一步的研究和探讨。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 谢宗奎,李生德,车 明,等.柴达木盆地侏罗系油气成藏模式与油气聚集规律[J].地球科学与环境学报,2007,29(2):166-169.  
XIE Zong-kui,LI Sheng-de,CHE Ming,et al. Mode of Jurassic Hydrocarbon Reservoir Formation and Rules of Reservoir Accumulation in Qaidam Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2007,29(2):166-169.
- [2] 包建平,朱翠山,汪立群.柴达木盆地西部原油地球化学特征对比[J].石油与天然气地质,2010,31(3):353-359.  
BAO Jian-ping,ZHU Cui-shan,WANG Li-qun. Geochemical Characteristic Comparison of Crude Oil Samples from the Western Qaidam Basin[J]. Oil and Gas Geology,2010,31(3):353-359.
- [3] 陈中红,吴孔友,赵卫卫.柴达木盆地东部第四系低丰度高效气源岩地球化学特征及成藏机理[J].地球科学与环境学报,2007,29(1):41-46.  
CHEN Zhong-hong,WU Kong-you,ZHAO Wei-wei. Characteristics and Hydrocarbon-accumulation Mechanism of Source Rocks with Low Abundance and High Efficiency in Quaternary Period of Eastern Qaidam Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2007,29(1):41-46.
- [4] 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.  
ZHU Yang-ming,SU Ai-guo,LIANG Di-gang,et al. Geochemical Characteristics of Tertiary Saline Lacustrine Oils in the Qaidam Basin[J]. Chinese Journal of Geology,2004,39(4):475-485.
- [5] 王 力,金 强.柴达木盆地西部第三系烃源灶及其对油气聚集的控制作用[J].石油与天然气地质,2005,26(4):467-472.  
WANG Li,JIN Qiang. Tertiary Hydrocarbon Kitchen in Western Qaidam Basin and Its Control on Hydrocarbon Accumulation[J]. Oil and Gas Geology,2005,26(4):467-472.
- [6] 朱扬明,翁焕新,苏爱国,等.柴达木盆地尕斯库勒油田原油油源特征及成藏分析[J].地质学报,2004,78(2):253-262.  
ZHU Yang-ming,WENG Huan-xin,SU Ai-guo,et al. Characteristics of Oil Source and Accumulation in the Gas Hure Oilfield, Qaidam Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2004,78(2):253-262.
- [7] 路俊刚,陈世加,王兴志,等.柴达木盆地南翼山构造油气成因及成藏分析[J].新疆石油地质,2008,29(3):296-298.  
LU Jun-gang,CHEN Shi-jia,WANG Xing-zhi,et al. Oil-gas Origin and Accumulation Model of Nanyishan Structural Reservoir in Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2008,29(3):296-298.
- [8] 段 毅,王传远,郑朝阳,等.柴达木盆地西部尕斯库勒油田原油地球化学特征及成因[J].矿物岩石,2006,26(1):86-91.  
DUAN Yi,WANG Chuan-yuan,ZHENG Chao-yang,et al. Geochemical Characteristics and Genesis of Crude Oils from Gaskule Oilfield in Western Qaidam Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology,2006,26(1):86-91.
- [9] 甘贵元,魏成章,常青萍,等.柴达木盆地南翼山湖相碳酸盐岩油气藏特征及形成条件[J].石油实验地质,2002,24(5):413-417.  
GAN Gui-yuan,WEI Cheng-zhang,CHANG Qing-ping,et al. Characteristics and Forming Conditions of Lake-facies Carbonate-rock Oil and Gas Pools in the Nanyishan Structure of the Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment,2002,24(5):413-417.
- [10] 王 力,金 强,彭德华.尕斯库勒油田原油成因类型与油源分析[J].新疆石油地质,2008,29(1):22-25.  
WANG Li,JIN Qiang,PENG De-hua. Genetic Types of Crude Oil and Analysis of Oil Sources in Gas Hure Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2008,29(1):22-25.
- [11] 刘 臣,李延均,邓柳萍,等.柴西油砂山油田油气地球化学特征与成因分布[J].西部探矿工程,2010,22(6):74-77.  
LIU Chen,LI Yan-jun,DENG Liu-ping,et al. The Geochemical Characteristic and Origin of Youshashan Oil Field and Gas in the West Edge of Qaidam Basin[J]. West-China Exploration Engineering,2010,22(6):74-77.

- [12] 莫晓靛, 张 敏, 孟江辉. 咸水湖相原油芳烃组成特征及地化意义——以柴达木盆地西部南区为例[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(2): 39-44.  
MO Xiao-ye, ZHANG Min, MENG Jiang-hui. Geochemical Characteristics and Significance of Aromatic Hydrocarbons in Saline Lacustrine Crude Oils—A Case Study of Southwestern Qaidam Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(2): 39-44.
- [13] 李洪波, 张 敏, 张春明, 等. 柴达木盆地西部南区第三系原油成熟度特征[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(1): 27-32.  
LI Hong-bo, ZHANG Min, ZHANG Chun-ming, et al. The Characteristics of Thermal Maturity of Crude Oils from Tertiary System in the Southwestern Part of Qaidam Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(1): 27-32.
- [14] 张明峰, 妥进才, 李中平, 等. 柴达木盆地西南缘乌南油田原油地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 840-847.  
ZHANG Ming-feng, TUO Jin-cai, LI Zhong-ping, et al. Geochemical Characteristics of Crude Oils from Wunan Oilfield, Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 840-847.
- [15] 莫晓靛, 张 敏, 张 俊. 柴达木盆地尕斯库勒油田原油饱和烃地球化学特征及成因研究[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 848-853.  
MO Xiao-ye, ZHANG Min, ZHANG Jun. Geochemical Characteristics of Saturated Hydrocarbon and Its Genesis in Hure Oilfield of Western Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 848-853.
- [16] 施 洋, 包建平, 朱翠山, 等. 柴达木盆地西部七个泉与咸水泉油田原油地球化学特征对比研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 132-138.  
SHI Yang, BAO Jian-ping, ZHU Cui-shan, et al. Comparative Study on Geochemistry Between Crude Oils from Qigequan and Xianshuiquan Oilfields in Western Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 132-138.
- [17] 何国源, 谭彦虎, 关 平, 等. 柴达木盆地西部北区第三系油源研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(4): 509-518.  
HE Guo-yuan, TAN Yan-hu, GUAN Ping, et al. Research on Tertiary Oil Source in the Northwest Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(4): 509-518.
- [18] PETERS K E, MOLDOWAN J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. London: Prentice Hall, 1993.
- [19] 赵加凡, 陈小宏, 杜业波. 柴达木盆地第三纪湖盆沉积演化史[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 41-44.  
ZHAO Jia-fan, CHEN Xiao-hong, DU Ye-bo. The Tertiary Sedimentary Evolution of the Qaidam Basin, Northwest China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 41-44.
- [20] CHAPPE B, ALBRECHT P, MICHAELIS W. Polar Lipids of Archaeobacteria in Sediments and Petroleum[J]. Science, 1982, 217: 65-66.
- [21] ALEXANDER R, KAGI R I, NOBLE R, et al. Identification of Some Bicyclic Alkanes in Petroleum[J]. Organic Geochemistry, 1984, 6(1): 63-72.
- [22] 朱扬明. 塔里木盆地中生界陆相生油层及原油地球化学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.  
ZHU Yang-ming. Geochemistry of Mesozonic Terrestrial Source Rock and Oil in the Tarim Basin[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1997.
- [23] 张 敏, 林壬子, 梅博文. 油藏地球化学: 塔里木盆地库车含油气系统研究[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.  
ZHANG Min, LIN Ren-zi, MEI Bo-wen. Reservoir Geochemistry: Research of Petroleum System in Kuqa Depression of Tarim Basin, China[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1997.
- [24] 张春明, 孙福街, 林 青, 等. 秦皇岛 32-6 油田双环倍半萜的分布及其意义[J]. 中国海上油气, 2005, 17(4): 228-230.  
ZHANG Chun-ming, SUN Fu-jie, LIN Qing, et al. Distribution of Bicyclic Sesquiterpanes in QHD32-6 Oilfield and Its Significance[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(4): 228-230.
- [25] 郭建军, 陈践发, 陈仲宇, 等. 古隆 1 井海相地层中高丰度胡萝卜烷的检出及意义[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(5): 585-588.  
GUO Jian-jun, CHEN Jian-fa, CHEN Zhong-yu, et al. High Abundance Carotane from Marine Strata in Well Gulong-1 in Tarim Basin and Its Geological Significance[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(5): 585-588.
- [26] HUANG DF, LIJC, ZHANG DJ, et al. Maturation Sequence of Tertiary Crude Oils in the Qaidam Basin and Its Significance in Petroleum Resource Assessment[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1991, 5: 359-366.