# 准噶尔盆地中部 Ⅲ 区块原油中 25-降藿烷 分布特征与成因意义

# 秦黎明1) 张枝焕1) 李 伟2) 杨永才1) 袁东山1)

中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室,北京 102249;
2)中国石化国际勘探开发公司,北京 100083

摘要通过对准噶尔盆地中部Ⅲ区块原油或油砂抽提物的饱和烃气相色谱一质谱分析,研究了原油或油砂抽提物中 25-降藿烷的分布规律。结果表明,不同井区或同一口井不同深度(层位)的原油 25-降藿烷的相对含量存在比较明显的差别,表明其所遭受的生物降解程度有所差异,沿构造带从南到北,同一油层中原油的生物降解程度增强,比如位于构造北部(构造部位相对较高)的永1井、永3井侏罗系原油 25-降藿烷丰度较高,表明生物降解比较明显,而位于南部(构造低部位)的永6井白垩系和侏罗系油层中的原油均无明显的生物降解现象;同一口井随深度增大生物降解作用将弱,如水2井浅部白垩系油层的原油降解较严重,而深部西山窑组的原油降解作用则不明显。根据原油生物降解的特征,结合车-莫古隆起调整对研究区油气成藏的影响,讨论了原油生物降解差异分布的成因机制。 关键词原油类型;生物降解作用;25-降灌烷;成因机制;准噶尔盆地 中图分类号: TE622 文献标识码:A 文章编号:1006-3021(2008)04-478-08

# The Distribution and Genetic Mechanism of 25-Norhopane from the III Block in Central Junggar Basin

QIN Liming<sup>1</sup> ZHANG Zhihuan<sup>1</sup> LI Wei<sup>2</sup> YANG Yongcai<sup>1</sup> YUAN Dongshan<sup>1</sup> 1) Key Laboratory For Hydrocarbon Accumulation, China University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing 102249; 2) Sinopec International Petroleum E & P Co. Ltd., Beijing 100083

Abstract Geochemical characteristics of saturated and aromatic hydrocarbons from crude oil or core extracts in the III block of Junggar basin were investigated by gas chromatography-mass spectrometry, and the distribution of 25-norhopanes was studied. The results indicate that the relative abundances of 25-norhopanes differ clearly and so there are distinct levels of biodegradation in different wells or even along the vertical variation of one well. Along the structural belt from the south to the north, the biodegradation of the crude oils in the same formation becomes severer in sequence. For example, the relative abundance of the 25-norhopanes is higher in Jurassic crude oil of Yong 1 well and Yong 3 well in the upper structural section (the relative upper structural section), but it is lower in Jurassic and Cretaceous oil layers of Yong 6 well (the relative lower structural section). And also the levels of biodegradation changes increase with depth. The relative abundance of 25-norhopanes in Xishanyao Formation crude oil is higher at the surface of Yong 2 well, but it is lower in crude oil from the bottom of Xishanyao Formation in Yong 2 well. Based on characteristics of biodegradation and adjustment of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift, the genetic mechanism of oil/gas reservoir biodegradation was studied.

Key words crude oil-types; biodegradation; 25-norhopanes; genetic mechanism; Junggar basin

生物降解作用是原油的一种重要的蚀变作用, 通常情况下生物降解主要为喜氧细菌在养分充足的

本文由国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号:2006CB202303)资助。

收稿日期:2007-07-09;改回日期:2007-10-15。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:秦黎明, 男, 1984 年生, 博士研究生, 地球化学专业;通讯地址: 102249, 北京市昌平区府学路 18 号; 电话: 010-89734164; E-mail: qinliming2006@ yahoo. com. cn。



图 1 准噶尔盆地中部 Ш 区块构造位置 Fig. 1 Location of the III block in central Junggar basin and well position

条件下可使地表和近地表原油遭受生物降解,但是 由于生物降解受到多种因素的制约,主要包括微生 物的存在、水动力作用、油水界面、充足的养分以及 储层温度、地层水矿化度,因此,原油受生物降解的 程度由于控制因素的影响差别也较大(Cannan, 1984; Blanc et al., 1992; Peters et al., 1993, 2005). 一般来说,原油组分按照如下的降解顺序:正构烷烃 (最易)>无环异戊二烯烷烃> 藿烷(有 25-降藿烷) ≥甾烷>藿烷(无25-降藿烷)-重排甾烷>芳香甾类 >卟啉.25-降藿烷为原油严重生物降解的重要标志 (Seifert et al., 1979, 1984; Peters et al., 1993, 1996, 2005; Alberdi et al., 2001; Larter et al., 2003; Bennett et al., 2006)。准噶尔盆地中部Ⅲ区块大部分样 品分析均检测到 25-降藿烷,但其分布特征与相对丰 度在不同的构造区域存在差异,笔者主要研究了25-降藿烷的分布特征,结合油源分布特征以及构造演化 历史综合剖析了造成此种差异的原因。

# 1 区域构造背景

准噶尔盆地中部 Ⅲ 区块位于准噶尔盆地的腹 部地区,总体上包括昌吉凹陷的西段、南缘前陆盆地 与马桥凸起边缘地带,目前所发现的油气聚集带位 于中部 Ⅲ 区块北部的永进地区,毗邻马桥凸起的边 缘(图1)。从构造演化史看,车-莫古隆起对中部 Ⅲ 区块的油气成藏具有重要的作用。车-莫古隆起为 发育于车拐一莫索湾一陆南地区的横跨整个准噶尔 盆地的巨型低隆起,在下侏罗统三工河组沉积期, 车-莫古隆起开始形成雏形,中部Ⅲ区块处于隆起 的南翼;在西山窑组沉积晚期至晚侏罗世,车-莫古 隆起受印支一燕山构造运动的影响,进入强烈的构 造隆升阶段,其构造高点在中部 [ 区块的征 1 井附 近,导致该地区周围发生较大面积的剥蚀,中侏罗统 西山窑组以及头屯河组部分地层缺失,而中部 Ш 区 块地层遭受剥蚀面积则较小,地层发育基本完整;早 白垩世至中新统沙湾组沉积以前,车-莫古隆起隐伏 埋藏,仍具有 EW 向展布的背斜形态,但其构造高点 有所变化,中新世沙湾组沉积过程中,中部Ⅲ区块 部分地区开始急剧下陷,古隆起高点继续逐渐向北 迁移,沙湾组沉积末期古隆起高点又迁移至庄1井 附近,中Ⅲ区块高点开始消失;中新统塔西河组沉 积末或沉积过程中,中部 Ⅲ 区块下陷更为剧烈,北 部隆升,古隆起进一步展平而最终消亡,造成中部 Ⅲ区块为南倾北抬的现今构造格局(李伟等,2005; 朱允辉等,2005;赵宏亮,2006)。

# 2 样品及实验室分析

原油和油砂样品主要取自于中部 Ⅲ 区块北部的 永1井、永2井、永3井、永6井和永9井,其层位主要







包括侏罗系三工河组、西山窑组以及下白垩统吐谷鲁 群(图 2)。原油与油砂样品经过常规的柱色谱分离 方法分离为饱和烃、芳香烃、非烃与沥青质。饱和烃 分析检测采用 Finnigan 公司 DSQ 型 GC-MS 分析系 统,色谱一质谱分析条件:载气为 99.9999% 氦气,进 样口温度 300℃,传输线温度 300℃,色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细柱(60 m × 0.25 mm × 0.25  $\mu$ m), 升温程序为初温 50℃(恒温 1 min),20℃开始 20℃/ min 升温至 120℃,以 4℃/min 升温至 250℃,再以 3℃/min 升温至 310℃,保持 30 min,载气流速为 1 ml/min,采用 EI(70 ev)电子轰击方式,灯丝电流为 100 μA,倍增器电压为 1200 ev,全扫描。

# 3 结果与讨论

#### 3.1 原油分布特征

油源对比的结果表明,准噶尔盆地中部Ⅲ区块 原油分为3种类型(图3(a),(b),(c),(d);表 1),第一类原油总离子流图基线平整,正构烷烃分 准中三类原油或油砂抽提物生物标志物特征对比表

原油类型	Pr/Ph	(藿烷+莫烷)C <sub>29</sub> /C <sub>30</sub> 藿烷	伽玛蜡烷/C30 藿烷	C <sub>30</sub> 重排藿烷/C <sub>29</sub> Ts	C24 四环萜烷/
					(C <sub>24</sub> 四环萜烷 + C <sub>26</sub> 三环萜烷)
第1类原油	0.67~1.07	0.41~0.48	0.53~0.81	0.95~1.28	0.40~0.57
第Ⅱ类原油	1.28~2.01	0.53~0.59	0.20~0.41	0.77~3.12	0.28~0.65
第Ⅲ类原油	2.25~2.33	0.55~0.63	0.02~0.05	1.89~2.51	0.84~0.87
原油类型	aaaC <sub>29</sub> 20S/	С <sub>29</sub> ββ/	C31228/	Ts⁄	规则甾烷/
	(20S + 20R)	(αα + ββ)	(22S+22R)	( Ts + Tm )	17(α)H-藿烷[C <sub>29</sub> -C <sub>33</sub> ]
第Ⅰ类原油	0.44~0.50	0.48~0.54	0.52~0.64	0.50~0.67	0.83~1.03
第Ⅱ类原油	0.42~0.57	0.47~0.57	0.54~0.67	0.40~0.43	0.59~1.19
第∎类原油	0.53~0.57	0.46~0.57	0.63	0.29~0.50	0.29~0.48





Fig. 3 The distribution of biomarker parameters of crude oils or core extracts in block III of Central Junggar basin

布完整,呈单峰态前峰型分布(图4(a),(b)),主峰 碳数介于 nC<sub>18</sub>~nC<sub>20</sub>,轻重比 nC<sub>21</sub><sup>-/</sup>nC<sub>22</sub><sup>+</sup>变化范围 较大,介于 0.98~1.39,碳优势指数 CPI 介于 1.07~ 1.14,奇偶优势比 OEP 介于 1.26~1.33,略具奇偶 优势, Pr/Ph 介于 0.67~0.94,伽马蜡烷和 β-胡萝卜 烷丰度均较高, Ts 丰度较高,规则甾烷/(C<sub>29</sub>-C<sub>33</sub>藿 烷)较高, C<sub>20</sub>、C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub>三环萜烷丰度呈山峰型或上升 型分布,孕甾烷、升孕甾烷丰度较高, ααα20R C<sub>27</sub>、 C<sub>28</sub>和 C<sub>29</sub>甾烷丰度呈上升型分布,如永 6 井与永 9 井下白垩统吐谷鲁群原油和油砂抽提物属于此类; 第二类原油总离子流图基线平整, 正构烷烃分布亦 完整,呈单峰态前峰型分布(图4(c)~(f)), 主峰碳 介于 nC<sub>17</sub>~nC<sub>19</sub>,轻重比 nC<sub>21</sub><sup>-/</sup>nC<sub>22</sub><sup>+</sup>介于 1.09~ 3.14, CPI 介于 1.11~1.19, OEP 介于 1.13~1.39, Pr/Ph 介于 1.13 ~ 2.01, 三环萜烷丰度很高, C<sub>20</sub>、 C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub>三环萜烷丰度呈山峰型分布, 伽马蜡烷、Ts 丰度 均较高, 孕 甾烷、升 孕 甾烷 丰 度 较高, ααα20RC<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>和 C<sub>29</sub> 甾烷丰度呈上升型分布, β-胡 萝卜烷丰度较低~较高, 普遍存在 25-C<sub>29</sub> 降霍烷,表 明原油遭受生物降解, 如永 1 井、永 2 井与永 3 井侏 罗系原油和油砂抽提物属于这类; 第三类原油呈现 总离子流图基线平整, 正构烷烃分布呈单峰态前峰 型, 主峰碳前移(图 4(g), (h)), CPI 介于 1.12 ~ 1.16, OEP 介于 1.25 ~ 1.30, 有一定的奇偶优势, C<sub>21</sub> ~ C<sub>22</sub> \* 介于 1.19 ~ 1.63, Pr/Ph 值大于 2, C<sub>20</sub>、 C<sub>21</sub>、C<sub>23</sub>三环萜烷相对丰度呈下降型分布, 丰度较 低, 几乎不含伽马蜡烷和 β-胡萝卜烷, ααα20RC<sub>29</sub> 甾 烷占优势, ααα20RC<sub>27</sub> 甾烷丰度很低, 呈上升型分



图 4 准噶尔盆地中部 Ⅲ 区块原油或油砂抽提物饱和烃气相色谱图

Fig. 4 Gas chromatograms of saturated hydrocarbon fraction of crude oils or core extracts in block III of Central Junggar basin





布,如永6井西山窑组油砂与永2井西山窑组下部 原油属于第三种类型。

### 3.2 原油中 25-降藿烷分布特征

从正构烷烃分布特征看(图4(a)~(h)),原油 或油砂抽提物无生物降解的迹象,而从 m/z191 与 m/z177 质量色谱图看出,永1 井与永2 井侏罗系的 三工河组与西山窑组、永3 井西山窑组以及永6 井、 永9 井下白垩统吐谷鲁群原油或油砂抽提物普遍存 在25-降藿烷,25-降藿烷的存在反映原油遭受不同 程度的生物降解作用,但不同井区或不同层位的原 油 25-降藿烷的分布特征差别很大,位于构造北部 高部位的永1井西山窑组与三工河组、永3井西山 窑组原油或油砂抽提物中,25-降藿烷的丰度均很高 (图5(c)~(f),图6(c)~(f)),永3井西山窑组 原油受到明显的生物降解,永1井西山窑组油砂抽 提物藿烷丰度低于三环萜烷,藿烷系列的化合物分 布不完整,其升藿烷指数接近于0,原油生物降解严 重,三工河组原油明显比头屯河组原油生物降解程 度低,与永1井、永3井相比,位于构造南部低部位 的永2井西山窑组 25-降藿烷相对丰度略低(图4



图 6 准噶尔盆地中部 Ш 区块原油或油砂抽提物饱和烃馏分中 25-降藿烷分布特征(m/z = 177) Fig. 6 Mass chromatograms of saturated hydrocarbon fraction of crude oils or core extracts showing the distribution of 25-norhopanes in block III of Central Junggar basin (m/z = 177)

(e),图6(e)),而永6井白垩系和侏罗系原油或油砂抽提物与永9井白垩系原油中均几乎不存在25-降霍烷(图5(a),(b),图6(a),(b)),表现出微弱的生物降解迹象,永6井西山窑组油砂与永2井西山窑组下部原油不含25-降霍烷,无生物降解迹象(图5(g),(h),图6(g),(h))。

25-降藿烷相对丰度的高低决定了原油生物降 解程度的差异(Alberdi et al., 2001; Larter et al., 2003; Bennett et al., 2006),这种差异式的分布致使 属于同一来源的原油的甾、萜烷烃生物标志物参数 亦发生了相应的变化,并且导致某些参数分布具有 一定的差别(表1),其中永1井、永2井与永3井侏 罗系原油和油砂抽提物三萜烷/C<sub>30</sub>藿烷为2.11~ 7.33,重排甾烷/规则甾烷为0.06~0.19,(孕甾烷 +升孕甾烷)/规则甾烷为0.06~0.19,(孕甾烷 +升孕甾烷)/规则甾烷为0.19~0.70,C<sub>29</sub>Ts/C<sub>29</sub>藿 烷为0.19~0.40,C<sub>30</sub>重排藿烷/C<sub>29</sub>Ts 为0.96~ 3.12,C<sub>29</sub>藿烷/C<sub>29</sub>莫烷为1.62~2.94;而受生物降 解影响小的或不存在生物降解的原油或油砂抽提物 生物标志物参数变化则很小,如永6井与永9井下 白垩统吐谷鲁群原油或油砂抽提物以及永6井西山 窑组油砂与永2井西山窑组下部原油。但在总体 上,尽管原油生物降解程度存在差异,反映其生源、 成熟度方面的参数变化均很小。

根据 25-降藿烷的分布特征与油源分析的结果 (张枝焕,2007),永1井、永3井来源于二叠系源岩 的浅部与深部原油或油砂抽提物生物降解均较严 重,后期侏罗系烃源岩贡献原油无生物降解;永2井 来源于二叠系源岩的侏罗系头屯河组油砂组亦存在 生物降解,但与永1井相比,其降解程度略低,后期来 源于侏罗系源岩的西山窑组下部原油未发生降解;永 6井来源于二叠系源岩的白垩系原油与侏罗系源岩 贡献原油均无生物降解迹象,永9井源于二叠系源岩 的白垩系原油尤生物降解迹象。准中 III 区块原油生 物降解程度南北分异,横向上北部生物降解严重,而 南部生物降解很弱或无生物降解;纵向上永1井浅部 与深部生物降解严重,永2井浅部生物降解严重,深 部无生物降解,永6井、永9井浅部无生物降解。

#### 3.3 25-降藿烷分布特征成因分析

永1井、永2井、永3井、永6井以及永9井休 罗系与白垩系原油中25-降藿烷的分布特征的差



图 7 准噶尔盆地昌吉凹陷西段(沙湾凹陷)沉积埋藏史、热史和生烃史图(据张枝焕, 2007) Fig. 7 Chart showing burial history, thermal history and hydrocarbon generation history of Changji depression in Junggar basin (from Zhang, 2007)





Fig. 8 Model of hydrocarbon reservoir formation in Central Junggar basin with the adjustment of Hepaizi-Mosuowan paleo-uplift (from Li,2006)

异,受到车-莫古隆起构造的影响,结合准中【区块 油气成藏特征以及研究区生排烃史与油源特征(李 伟等,2006;韩立国等,2006;张枝焕,2007),系统 的分析了准中Ⅲ区块 25-降藿烷的分布特征的成 因。研究表明,古近纪以前,二叠系中上统乌尔禾组  $(P_{2}w + P_{3}w)$  顶界在 J<sub>1</sub>b 沉积末期进入生烃门限,在 晚白垩世达到生油高峰(图7),车-莫古隆起并未调 整(图8(a)),从而在永3井侏罗系、永1井的三工 河组和西山窑组以及永2井西山窑组储层聚集了昌 吉凹陷的二叠系乌尔禾组烃源岩的原油(图8 (a)),研究区北侧(中部 I 区块)的征1 井区此时基 本处于构造高点,但根据流体包裹体分析,并未发现 油气聚集,油气仅在中部Ⅲ区块成藏,研究区位于 车-莫古隆起构造高点附近,层位埋藏浅,微生物活 动强烈,造成原油遭受生物降解,但降解程度差别较 大:与永6井、永2井相比,永1井、永3井埋藏浅, 构造上处于高部位,其三工河组及西山窑组的原油

均发生降解,且西山窑组原油降解很严重,25-降藿 烷的相对丰度接近 C<sub>30</sub> 藿烷,三工河组原油埋藏深, 但其 25-降藿烷丰度也较高,由此可见,车-莫古隆起 对永1 井原油 25-降藿烷分布影响很大,永2 井西山 窑组原油 25-降藿烷丰度也略高,总体上看,车-莫古 隆起调整之前就造成了准噶尔盆地中部 Ш 区块原 油生物降解程度的差异分布;车-莫古隆起的调整过 程中,古隆起高点向北迁移,地层埋深,李伟等 (2006)认为由于准噶尔盆地腹部二叠系存在着异 常高压对生烃有抑制作用,在古近纪时期,昌吉凹陷 下乌尔禾组烃源岩仍处于生烃高峰,永6井与永9 井白垩系聚集了昌吉凹陷的二叠系烃源岩的原油, 原油中 25-降灌烷丰度很低,几乎未受到生物降解。

车-莫古隆起调整之后(图8(b)),古隆起开始 南倾北抬,侏罗系烃源岩新近纪早期开始才进入生 烃门限,在其晚期才进入生油高峰(图7),侏罗系烃 源岩产生的油气向研究区运移,在永2井西山窑组 下部以及永6井西山窑组成藏,埋藏深,微生物活动 很弱,未遭受生物降解,侏罗系原油继续向上充注到 永2井区西山窑组(6000 m)、永1井、永3井区三工 河组和西山窑组,以及征1井区三工河组成藏,并且 与二叠系的原油混合,导致征1井区三工河组成藏,并且 与二叠系的原油混合,导致征1井区三工河组原油 为二叠系与侏罗系混源油。总体上看,构造调整后 充注的侏罗系原油并未遭受生物降解,原油的总离 子流图上正构烷烃分布完整,基线平缓,无生物降解 的迹象,从而造成在构造高部位的井区的原油总体 组成上不存在明显的生物降解特征(如正构烷烃分 布完整),但又存在相对丰度很高的 25-降藿烷的现 象,而构造低部位的井区上部油层存在上述现象,而 下部油层中的原油不存在生物降解现象。

### 4 结论

(1)准噶尔盆地中部3区块原油永1井、永2 井、永3井、永6井与永9井原油或油砂抽提物中 25-降霍烷分布明显有所差异,其生物降解程度也是 不同的,原油生物降解具有以下特征:横向上南北分 异,北部(构造高部位)生物降解严重,而南部(构造 低部位)生物降解很弱或者无生物降解;纵向上位 于北部的永1井上部与下部原油生物降解均较严 重,相对高部位的永2井浅部原油生物降解较严重, 而深部原油无生物降解,位于低部位的永6井上部 的白垩系和下部的侏罗系以及永9井白垩系油层中 的原油均无生物降解迹象;

(2)原油生物降解差异明显受控于车-莫古隆起 的调整,调整之前,来源于二叠系泥岩的永6井的白 垩系、永1井的三工河组和西山窑组以及永2井西 山窑组原油受到生物降解,降解程度差异分布,调整 过程中,古隆起高点向北迁移,地层埋深,永6井与 永9井白垩系原油无生物降解迹象,调整之后,来源 于侏罗系的永6井西山窑组油砂与永2井西山窑组 下部原油则无生物降解。

#### 参考文献

- 韩立国,张枝焕,李伟. 2006. 准噶尔盆地中部 I 区块现今油气运 移方向研究[J]. 地球学报,27(4):335~340.
- 李伟,张枝焕,李海平,韩立国,王青.2005. 准噶尔盆地中部区侏 罗系油藏古今油水界面及成藏史分析[J].现代地质,19(3): 432~440.
- 李伟,王瑶,张枝焕,梅玲,孟闲龙,杨永才,邵明华,韩立国. 2006. 准噶尔盆地中部 I 区块油气成藏地球化学分析[J].地 质科学,41(4):663~675.
- 李伟. 2006. 准噶尔盆地西南部有效烃源岩的发育特征及油源贡献 [D]. 中国石油大学博士学位论文.

赵宏亮. 2006. 准噶尔盆地车-莫占隆起演化及其控藏规律[J]. 新

疆石油地质, 27(2):160~162.

- 朱允辉, 孟闲龙. 2005. 准噶尔盆地车-莫古隆起的形成演化及其对 腹部油气成藏的影响[J]. 中国两部油气地质, 1(1): 56~57.
- 张枝焼.2007. 准噶尔盆地有效烃源岩分布特征、演化历史和油源 贡献[R].研究报告.

#### References

- ALBERDI M, MOLDOWAN J M, PETERS K E, DAHL J E. 2001. Stereoselective biodegradation of tricyclic terpanes in heavy oils from the Bolivar Coastal Fields, Venezuela[J]. Organic Geochemistry, 32: 181 ~ 191.
- BENNETT B, FUSTIC M, FARRIMOND P, HAIPING H, LARTER S R. 2006. 25-Norhopanes: Formation during biodegradation of petroleum in the subsurface[J]. Organic Geochemistry, 37: 787 ~ 797.
- BLANC P H, CONNAN J. 1992. Origin and occurrence of 25-norhopane: a statistical study [J]. Organic Geochemistry, 18(6): 813 ~ 828.
- CANNAN J. 1984. Biodegradation of crude oils in reservoir. In: Brooks J, Welte D (eds). Advances in Petroleum Geochemistry (Vol. 1) [M]. London: Academic Press, 299 ~ 335.
- HAN Liguo, ZHANG Zhihuan, LI Wei. 2006. An Analysis of the Present Oil Migration Direction of Block I in Central Junggar Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 27(4); 335 ~ 340.
- LARTER S, WILHELMS A, HEAD I, KOOPMANS M, APLIN A, PRI-MIO R D, ZWACH C, ERDMANN M, TELNAES N. 2003. The controls on the composition of biodegraded oils in the deep subsurface-part 1: biodegradation rates in petroleum reservoirs [J]. Organic Geochemistry, 34:601 ~ 613.
- LI Wei, ZHANG Zhihuan, LI Haiping, MEI Ling, MENG Xianlong, YANG Yongcai, SHAO Minghua, HAN Liguo. 2005. The chang of oil-water interface of Jurassic reservoirs and history of petroleum accumulation in the block? Certer of Junggar Basin [J]. Geoscience, 19 (3): 432 ~440 (in Chinese with English abstract).
- LI Wei, WANG Yao, ZHANG Zhihuan, HAN Liguo, WANG Qing. 2006. Ceochemical features of petroleum accumulation of Jurassic reservoirs in hinterland of the Junggar Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 41(4): 663 ~ 675 (in Chinese with English abstract).
- PETERS K E, MOLDOWAN J M. 1993. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, 252 ~ 264.
- PETERS K E, MOLDOWAN J M, MCCAFFREY M A, FAGO F J. 1996. Selective biodegradation of extended hopanes to 25-norhopanes in petroleum reservoirs, insights from molecular mechanics [J]. Organic geochemistry, 24: 765 ~783.
- PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. 2005. The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum and Earth History [M]. Cambridge University Press, 645 ~ 705.
- SEIFERT W K, MOLDOWAN J M. 1979. The effect of biodegradation on steranes and trepanes in crude oils[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1; 111 ~ 126.
- SEIFERT W K, MOLDOWAN J M, DEMAISON G J. 1984. Source correlation of biodegradation oils[J]. Organic Geochemistry, 6: 633 ~ 643.
- ZHAO Hongliang. 2006. The evolution and reservoir controlled pattern in Chepaizi-Mosuowan plaeo-uplift in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Ceology, 27(2): 160~162 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhilhuan. 2007. Occurrence of Effective Source Rocks and Their Source Contribution to Petroleum Accumulation in Junggar Basin[R]. The internal research report.
- ZHU Yunhui, MENC Xianlong. 2005. Formation and evolution of the chemo ancient uplift and its influence on reserveoir formation in the central area, the Junggar basin[J]. West China Petroleum Geoscience, 1(1): 56 ~ 57 (in Chinese with English abstract).