

文章编号: 1001-6112(2008)05-0499-04

# 渤海湾盆地黄骅坳陷 滨海 I 号构造原油的油源研究及意义

王新海<sup>1</sup>, 苏峻青<sup>1,2</sup>, 曹延<sup>2</sup>, 付立新<sup>2</sup>, 王莉<sup>2</sup>, 肖枚<sup>2</sup>, 郭金凤<sup>2</sup>

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 2. 中国石油大港油田公司 油气勘探开发研究院, 天津 300280)

**摘要:** 滨海 I 号构造是渤海湾盆地黄骅坳陷歧口凹陷勘探程度很低的大型构造, 所钻探的白东 2×1 井东营组发现低产油流。原油地球化学特征研究表明, 该原油为中高蜡轻质成熟原油, 甾烷组成中以胆甾烷和异胆甾烷为主, 且 C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub> 甾烷呈略不对称的“V”型分布, 有一定量的重排甾烷和 4-甲基甾烷; 萜烷组成中三环萜烷略低于五环萜烷, 伽马蜡烷高, Ts, C<sub>29</sub> Ts 和 C<sub>30</sub> 重排藿烷含量相对较高。生物标志物分布特征表明该原油的生烃母质具有菌藻类和陆源高等植物混合特点, 且沉积于半咸水—咸水环境, 应该来源于歧口凹陷沙一下段或沙三段咸水湖相烃源岩。滨海 I 号构造紧邻歧口生油凹陷, 油气成藏条件好, 具有良好的勘探前景。

**关键词:** 原油; 地球化学特征; 油源对比; 古近系; 黄骅坳陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

## THE OIL SOURCE AND ITS SIGNIFICANCE FOR PETROLEUM EXPLORATION IN STRUCTURAL BELT I IN THE HUANGHUA DEPRESSION, THE BOHAI BAY BASIN

Wang Xinhai<sup>1</sup>, Su Junqing<sup>1,2</sup>, Cao Yan<sup>2</sup>, Fu Lixin<sup>2</sup>, Wang Li<sup>2</sup>, Xiao Mei<sup>2</sup>, Guo Jinfeng<sup>2</sup>

(1. College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China;

2. Oil and Gas Exploration and Development Institute, Dagang Oil Field Branch, PetroChina, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** Some stripped oil stream has been found in Dongying Formation in the Well Baidong 2×1 lying in the structural belt I of the Huanghua Depression, the Bohai Bay Basin. The structural belt I is large in scale with lower degree of exploration. The geochemical characters of the crude oil showed that the oil was a light and mature crude oil with middle-high content of wax. The primary gonane components are cholane and isocholestane, and the distribution of the C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> and C<sub>29</sub> gonane is just like of an appreciably anisomeric “V”. And the secondary gonane components are some diasteranes and 4-methyl gonane. The content of tricyclic terpane is appreciably lower than that of pentacyclic terpane. The content of gammacerane is high. And the content of Ts, C<sub>29</sub> Ts and C<sub>30</sub> rearrangement hopanoid is higher. The distribution character of biomarkers shows that oil source is a mixture of homoneneae and terrigenous plants in brackish-saline water. This indicates that the crude oil was originated from the saline lake source rock in the lower E<sub>1</sub><sup>1</sup>, or E<sub>3</sub><sup>3</sup> in the Qikou Sag. Structural belt I is close to the petroleum generative sag, and the reservoirs conditions are good, so it's favorable for petroleum exploration.

**Key words:** crude oil; geochemical characteristics; correlation of oil and source; Eocene; the Huanghua Depression; the Bohai Bay Basin

滨海 I 号构造位于黄骅坳陷歧口凹陷北缘(图 1), 北邻海河—新港构造带, 东、西分别以浅鞍与沙垒田凸起、北大港构造相接, 有利勘探面积 430 km<sup>2</sup>。该构造紧邻歧口富油凹陷, 具有优越的油气源条件,

但断裂结构复杂, 油气成藏规律不清, 勘探程度甚低。截止目前, 仅完钻探井 3 口, 其中白东 2×1 井东一段获低产原油。本文主要探讨白东 2×1 井东营组原油地化特征及其来源, 为滨海 I 号构造油

收稿日期: 2008-03-13; 修订日期: 2008-08-20。

作者简介: 王新海(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事油气勘探及油藏工程研究。E-mail: caoyan2509@126.com。

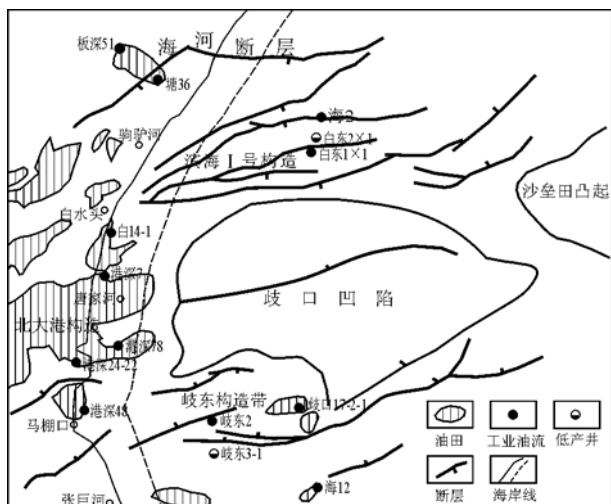


图1 渤海湾盆地黄骅拗陷滨海I号构造位置  
Fig.1 Location map of the Binhai structural belt I in the Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin

气成藏规律研究与勘探决策奠定基础。

## 1 基本地质背景

歧口凹陷是渐新世以来长期发育的开阔型湖盆,新生界沉积厚度达万米<sup>[1~3]</sup>,古近系沉积厚度近6 000 m,有效烃源岩厚度2 000余米。自下而上发育有沙三段、沙二段、沙一段、东营组4套烃源岩层,具有烃源岩面积大、源岩层系多、厚度大、有机质丰度高、母质类型好、生烃规模大的特点,是黄骅拗陷油气生成规模最大的凹陷。

滨海I号构造发育于紧邻歧口生油凹陷的二级构造带,具有很好的油气供给条件(图1)。受海河、新港边界断层及歧中断层控制,该构造在新近纪发育被近东西向断层分割成一系列断鼻、断块<sup>[4,5]</sup>,断裂为深部油源与浅部储层的沟通创造了条件,但同时也对油气成藏带来了不利因素。东营组沉积以后,伴随着强烈的构造运动,滨海I号构造岩浆热液变质现象比较普遍,对储层孔渗性具有改造或破坏作用。这些因素导致滨海I号构造油气成藏的复杂性,给油气勘探发现增加了难度。

## 2 原油地球化学特征

### 2.1 原油的物理性质及族组成

白东2×1井东一段油藏原油密度为0.825 2 g/cm<sup>3</sup>,粘度3.81 mPa·s,含蜡量15.11%,胶质沥青质16.36%,凝固点17℃,属于中高蜡轻质油。原油族组成中饱和烃含量为82.47%,芳烃含量为13.04%,非烃含量为4.49%,沥青质微量,饱/芳比值为6.32,具有高饱和烃、低非烃、高饱芳

比的特征,反映该原油具有较高的成熟度;与歧口凹陷沿岸带的白水头、唐家河、马棚口等地区部分原油特征类似。

### 2.2 原油轻烃馏分组成特征

原油轻烃分析表明,白东2×1井C<sub>5</sub>—C<sub>8</sub>轻烃馏分包括正烷烃、异构烷烃、环烷烃和芳香烃4类,其中以链烷烃(正构烷烃和异构烷烃)为主,占71.3%,其次环烷烃为26.8%,芳烃相对较少,仅为1.9%。在C<sub>7</sub>轻烃组成中,正庚烷和甲基环己烷百分含量基本相当,分别为46.2%和47.1%,二甲基环戊烷相对较少,仅为6.7%,属于偏腐殖腐泥型原油。另外,该原油石蜡指数和庚烷值分别为3.69和30.49%,属于成熟度较高的原油。

### 2.3 原油饱和烃气相色谱特征

白东2×1井原油饱和烃气相色谱正构烷烃保存完好,未见生物降解痕迹(图2)。

正构烷烃碳数范围在C<sub>10</sub>—C<sub>35</sub>之间,以低碳数正构烷烃为主,呈前峰型分布,主峰碳为C<sub>15</sub>,C<sub>21</sub><sup>-</sup>/C<sub>22</sub><sup>+</sup>比值在2.25左右,正构烷烃奇偶优势基本消失,OEP值为1.08,表明该原油具有菌藻类生源母质形成的特点或者原油成熟度相对较高。另外,类异戊二烯烷烃中姥鲛烷含量略高于植烷,成烃有机质沉积于弱还原环境。

### 2.4 原油生物标志化合物特征

在白东2×1井原油中,甾烷(m/z 217)主要为规则甾烷、孕甾烷、重排甾烷及4-甲基C<sub>30</sub>甾烷(图3),其中ααα和αββ构型规则甾烷在整个甾烷系列中占主导地位,重排甾烷和甾烷、孕甾烷也相对较高,而4-甲基C<sub>30</sub>甾烷的含量相对较低。在规则甾烷分布中,若以峰高来看,ααα-20R构型C<sub>27</sub>,

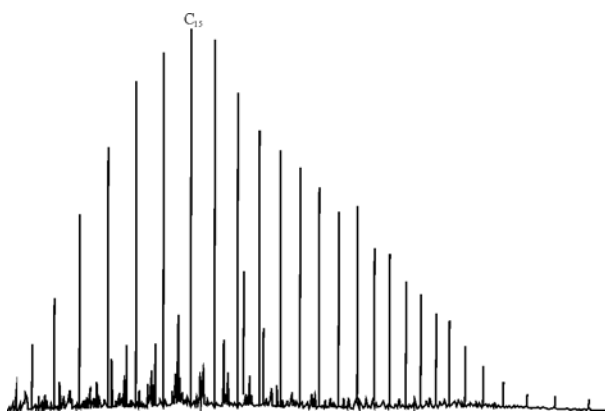


图2 渤海湾盆地黄骅拗陷白东2×1井原油气相色谱分布特征

Fig.2 The gas chromatography of crude oil saturated hydrocarbon from the Well Baidong 2×1 in the Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin

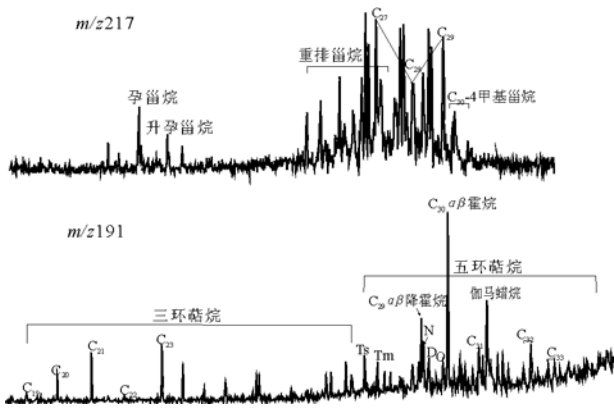


图3 渤海湾盆地黄骅坳陷白东2×1井原油甾烷萜烷分布  
N为C<sub>29</sub>Ts;D为C<sub>30</sub>重排甾烷;O为奥利烷

Fig. 3 The gonane and terpane distribution of the Well Baidong 2×1 in the Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin

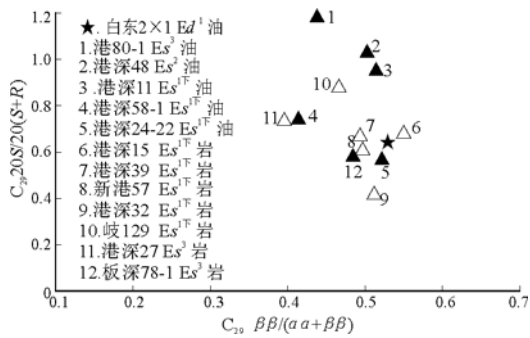


图4 渤海湾盆地黄骅坳陷白东2×1井原油成熟度判识  
Fig. 4 Identifying the crude oil maturity of the Well Baidong 2×1 in the Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin

C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub> 甾烷呈略不对称的“V”型分布, 分别为33.5%, 31.8%和34.5%。甾烷的组成特征反映成烃有机质为低等水生生物与高等植物双重输入。此外, 该原油  $\alpha\alpha\alpha-20S$  胆甾烷和  $\alpha\beta\beta$  异胆甾烷均很丰富, C<sub>29</sub> 甾烷的  $\alpha\beta\beta$  构型甚至超过了  $\alpha\alpha\alpha$  构型, 20S/(20S+20R)和  $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$  值分别为0.41和0.54, 属于成熟原油(图4)。

原油中萜烷( $m/z$  191)主要为C<sub>19</sub>—C<sub>30</sub>三环萜烷和C<sub>27</sub>—C<sub>33</sub>五环萜烷, 三环萜烷低于五环萜烷。在三环和四环萜烷组成中, 以C<sub>23</sub>, C<sub>21</sub>为主, 其它碳数相对较低, 尤其是C<sub>24</sub>四环萜烷明显低于C<sub>26</sub>三环萜烷, 表明形成该原油的母质主要为水生生物。在五环萜烷组成中主要为 $\alpha\beta$ -藿烷系列,  $\beta\alpha$ -莫烷系列很低。藿烷组成中以C<sub>30</sub>藿烷为最高, 其它藿烷则相对较低, 其中Ts的含量略高于Tm, Ts/Tm为1.16, C<sub>31</sub>藿烷22S/(22S+22R)值为0.62, 表明原油的成熟度较高。值得注意的是, 该原油中伽马蜡烷的含量很高, 伽马蜡烷/C<sub>31</sub>(22S+22R)值达到了2.71, 反映形成该原油的有机质沉积于

咸水环境。此外, 原油中还检测到较高含量的奥利烷, 表明该原油为新生代有机质形成的原油<sup>[6]</sup>。

### 2.5 芳烃馏分地球化学特征

白东2×1井原油芳烃组成以常规多环芳烃为主, 占芳烃馏分组成的91.8%~94.5%, 主要为菲、甲基菲、萘、甲基萘系列的化合物, 其它芳烃类化合物含量比较低。根据Radke等研究<sup>[7~9]</sup>, 菲、甲基菲及二甲基菲的变化特征与成熟度有关, 甲基菲指数(MPI<sub>1</sub>和MPI<sub>2</sub>)和甲基菲比值(MPR)可以很好地表征原油的成熟度。该原油中菲、3-甲基菲、2-甲基菲、9-甲基菲、1-甲基菲相对较发育, 甲基菲指数MPI<sub>1</sub>值为0.63, MPI<sub>2</sub>值为0.69, MPI<sub>3</sub>值为0.63。甲基菲比值MPR为0.94, 成熟度较高。

### 3 原油油源判识

白东2×1井东一段原油甾烷和萜烷生物标志物的分布特征参数对比表明, 该原油与歧口凹陷周边地区白14-1井沙一中、港深35, 7井沙一下原油具有相似的分布特征(图5)。萜烷组成中三环萜烷均比较高, 且均以C<sub>21</sub>, C<sub>23</sub>为主, 五环萜烷的分布也比较相似, 尤其是该原油与白14-1井沙一段原油均具有很高的伽马蜡烷含量, 同时也均含有一定量的奥利烷、C<sub>29</sub>Ts和C<sub>30</sub>重排藿烷; 甾烷组成中均以 $\alpha\alpha\alpha-20S$ , 20R胆甾烷和 $\alpha\beta\beta$ 异胆甾烷为主,  $\alpha\alpha\alpha-20R$ 构型C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub>甾烷构成“V”字型分布。这些特征表明, 该原油与白14-1井沙一段原油等具有相同的来源。

异常高的伽马蜡烷含量指示形成这些原油的有机质沉积于盐度较高的咸水环境。

以往的研究表明, 该地区沙三段和沙一下段烃源岩抽提物中通常含有高的伽马蜡烷, 尤其是沙一下段烃源岩, 伽马蜡烷的含量最高; 沙二段、沙一段与东营组烃源岩中伽马蜡烷的含量低。因此, 从伽马蜡烷的相对含量来看, 该原油应该来源于沙一下段或者沙三段烃源岩, 而且与沙一下段烃源岩的关系更加密切。此外, 东营组烃源岩的成熟度相对较低, 甾烷类生物标志物组成也比较简单(图5), 与该原油存在明显的差异。

另外, 该地区除第三系湖相烃源岩外, 还可能含有石炭—二叠系烃源岩<sup>[10]</sup>。该原油与白14-1沙一段原油中奥利烷的较高含量, 表明形成这些原油的有机质与被子植物有关, 时代比较新, 应该来源于该地区第三系烃源岩, 而与石炭—二叠系烃源岩无关。

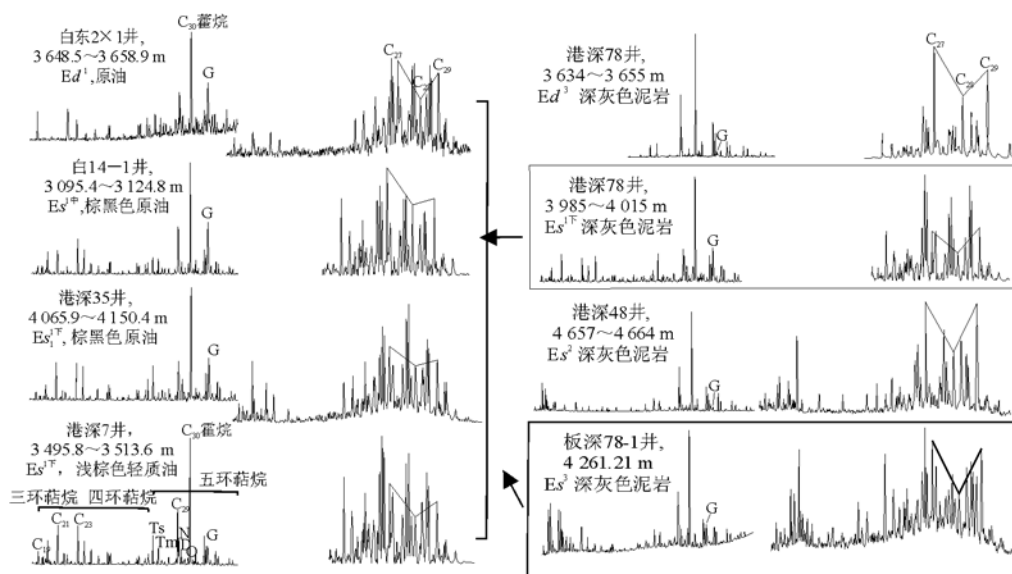


图5 渤海湾盆地黄骅坳陷白东2×1井原油与其它原油及烃源岩生物标志对比

N为C<sub>29</sub> Ts;D为C<sub>30</sub>重排藿烷;O为奥利烷;G为伽马蜡烷

Fig. 5 Comparison biomarker diagram between the crude oil from Well Baidong 2×1 and source rocks in the Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin

#### 4 油气成藏条件及勘探前景

滨海I号构造的白东2×1井从东营组至明化镇组上段共有11个层段见到油气显示,并在东一段获得了低产油流,展示了该构造具有良好的勘探前景。

从油气生成条件看,歧口凹陷是黄骅坳陷中北部主要的生烃凹陷<sup>[1]</sup>,发育沙三段、沙一段和东营组烃源岩,其中沙三段和沙一段烃源岩平均有机碳含量基本上在1.0%~2.0%之间,最大甚至可达10%以上;有机质主要由浮游藻类和部分陆源高等植物组成的II<sub>1</sub>型,部分为I型;热解生烃潜力在2~20 mg/g之间,属于具有很好生油潜力的烃源岩。凹陷中烃源岩的热演化程度已经达到中—高成熟阶段,具备了生成大量原油的条件。

从沉积环境及储集条件看,滨海I号构造离坳陷北部燕山物源较近<sup>[11]</sup>,第三系主要为近岸水下扇三角洲—三角洲前缘沉积,发育近岸扇砂体、密度流砂体、浊积砂体、滩坝砂体、河道砂体等多种类型储集体,同时具有良好的泥岩盖层,储盖组合良好。

从构造及油气运移条件看,滨海I号构造局部背斜及鼻状构造圈闭发育<sup>[4]</sup>,构造带内断裂发育,且无论主干断裂还是分支断裂,多数断至沙河街组内或沙三段,为深部油气垂向运移聚集提供了良好的通道。该构造紧邻歧口生油凹陷,烃源岩与砂体交互沉积接触面积很大,油气运移条件良好,有利

于凹陷中生成的油气在该构造带圈闭部位形成油气藏。

#### 5 结论

1)滨海I号构造的白东2×1井东营组原油属于中高蜡轻质成熟原油,来源于歧口凹陷沙一下段或沙三段咸水湖相烃源岩。

2)滨海I号构造局部圈闭发育,具有多种类型的储集砂体,且紧邻歧口生油凹陷,油气运移成藏条件良好,具有很好勘探前景。

#### 参考文献:

- 1 杨池银,周宗良,周建生. 歧口凹陷含油气系统与油气勘探[J]. 勘探家,2000,5(3):64~70
- 2 牛嘉玉,李峰. 渤海湾盆地滩海地区油气富集规律与油气勘探[J]. 石油学报,2000,21(2):9~13
- 3 吴元燕,付建林,周建生等. 歧口凹陷含油气系统及其评价[J]. 石油学报,2000,21(6):18~22
- 4 李振永,李廷辉,孔凡东等. 黄骅坳陷白东构造带特征及勘探意义[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(2):174~179
- 5 渠芳,陈清华,连承波等. 黄骅坳陷新生代断裂构造系统研究[J]. 油气地质与采收率,2006,13(5):13~16
- 6 Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. Englewood Cliffs:Prentice Hall,1993
- 7 Radke M. Organic geochemistry of aromatic hydrocarbons[A]. In: Brooks J, Welte D, eds. Advances in Petroleum Geochemistry[M]. London:Academic Press, 1987. 141~207

(下转第507页)

J<sub>2</sub>b 含油白云岩与 J<sub>2</sub>x 页岩、J<sub>2</sub>x 钙质页岩的可比性。

C<sub>35</sub> 升藿烷、γ-蜡烷及 4-甲基甾烷的相对含量与沉积氧化还原性质、水体含盐度及有机质来源等因素有关。油、岩间反映出的可比性,体现了沉积环境和有机质来源上可能的亲缘关系。

### 2.3.3 规则甾烷

在甾烷 C<sub>27</sub>—C<sub>28</sub>—C<sub>29</sub> 三角图上(图 7),西长梁 J<sub>3</sub>s 含油灰岩与 J<sub>2</sub>x 泥岩,隆鄂尼西 J<sub>2</sub>b 含油白云岩与 J<sub>3</sub>s 页岩,昂达尔错北 J<sub>3</sub>s 油苗与 J<sub>3</sub>s 泥晶灰岩、J<sub>3</sub>s 页岩聚类分区,揭示出它们之间具有可比性。

## 3 结论

1) 羌塘盆地见众多油气显示,主要有 3 种类型:灰岩裂缝中的液态油苗;含油白云岩、含油灰岩

的油苗;以及遍布盆地的沥青。其中含油白云岩的油苗是隆鄂尼西 J<sub>2</sub>b 和昂达尔错北 J<sub>3</sub>s 古油藏留下的遗迹。

2) 经过多种地球化学方法对比,羌塘盆地的 4 套主要烃源岩中,除 T<sub>3</sub>x 外,其它 3 套(J<sub>3</sub>s, J<sub>2</sub>x, J<sub>2</sub>b)均与“油”显示可以对比。J<sub>3</sub>s 灰岩液态油来源于 J<sub>3</sub>s 泥晶灰岩;J<sub>3</sub>s、J<sub>2</sub>b 含油灰岩、含油白云岩的油苗来源于 J<sub>3</sub>s 和 J<sub>2</sub>x 泥页岩;盆内许多沥青,则可能来自 J<sub>3</sub>s 和 J<sub>2</sub>b 灰岩。

3) J<sub>3</sub>s, J<sub>2</sub>x 泥页岩和 J<sub>3</sub>s 泥晶灰岩是盆内主要油气显示样品的油源岩,也是白云岩古油藏的油源岩,它们也是有机质最为丰富的烃源岩。可以认为:J<sub>3</sub>s, J<sub>2</sub>x 泥页岩和 J<sub>3</sub>s 泥晶灰岩烃源岩在成烃过程中可能起了很重要的作用。

### 参考文献:

- 1 王成善,伊海生. 羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M]. 北京:地质出版社,2001. 184~215
- 2 赵政璋,李永铁,叶和飞等. 青藏高原羌塘盆地石油地质[M]. 北京:科学出版社,2000. 356~367
- 3 赵政璋,秦建中,许怀先等. 青藏高原海相烃源岩的油气生成[M]. 北京:科学出版社,2000. 396
- 4 罗本家,戴国汉. 羌塘盆地油气有利勘探区块[J]. 石油与天然气地质,1996,17(1):58~61
- 5 穆青. 藏北油气远景及勘探方向[J]. 石油实验地质,1992,14(2):142~151
- 6 秦建中. 青藏高原羌塘盆地海相烃源层的沉积形成环境[J]. 石油实验地质,2006,28(1):8~14,20
- 7 秦建中. 青藏高原羌塘盆地中生界主要烃源层分布特征[J]. 石油实验地质,2006,28(2):134~141,146
- 8 秦建中. 青藏高原羌塘盆地油源及运移过程[J]. 石油实验地质,2006,28(5):450~456

(编辑 李凤丽)

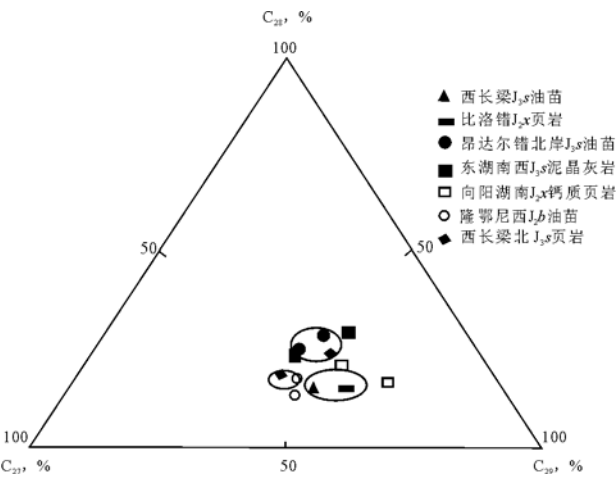
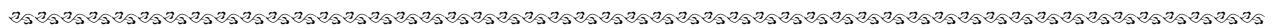


图 7 羌塘盆地规则甾烷 C<sub>27</sub>—C<sub>28</sub>—C<sub>29</sub> 三角图  
Fig. 7 Triangle diagram of C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> and C<sub>29</sub> regular sterane in the Qiangtang Basin



(上接第 502 页)

- 8 Radke M, Welte D H. The Methylphenanthrene index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons[A]. In: Bjoroy M, ed. Advances in Organic Geochemistry 1981 [C], New York: J Wiley and Sons, 1983. 504~512
- 9 宋长玉,金洪蕊,刘璇等. 烃源岩中甲基菲的分布及对成熟度

- 参数的影响[J]. 石油实验地质,2007,29(2): 183~187
- 10 王果寿,缪九军,陆建林等. 渤海湾盆地济阳—临清东部煤系烃源岩形成环境[J]. 石油实验地质,2006,28(4):325~329
- 11 蒲秀刚,吴永平,周建生等. 歧口凹陷岩性地层油气藏特征及勘探潜力[J]. 石油学报,2007,28(2):35~39

(编辑 徐文明)