

# 准噶尔盆地西北缘烃源灶迁移演化 及其对油气藏的定位作用

柳波<sup>1,2</sup>, 刘定勇<sup>1</sup>, 郭天旭<sup>3</sup>, 黄志龙<sup>2</sup>, 刘振宇<sup>4</sup>, 吴凡<sup>1</sup>

(1. 东北石油大学 非常规油气成藏与开发省部共建国家重点实验室培育基地, 黑龙江 大庆 163318;  
2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中国地质调查局 油气资源调查中心,  
北京 100029; 4. 中国石油 新疆油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘要:** 根据油气源对比、成藏期次及烃源灶迁移演化分析认为, 3 套烃源灶的迁移演化控制了准噶尔盆地西北缘现今油气的分布: 佳木河组气源灶早期生成的天然气没有保存下来, 现今气源灶的位置控制了气藏的分布; 凤城组烃源灶在玛湖凹陷中心已处于过成熟阶段, 只有灶缘还在生成油气, 控制了其贡献的油气藏也主要分布在西北缘两翼; 乌尔禾组烃源灶成熟演化总体相对滞后, 凹陷中部仍处于大量生油气阶段, 来源于该套烃源灶的油气藏也主要分布在西北缘地区的中部。单个烃源灶在不同地质时期供烃强度不同, 多个烃源灶在同一地质时期供烃强度也不同, 所以在西北缘不同地区形成了不同的烃源灶供烃模式, 控制了油气藏的分布格局。

**关键词:** 烃源灶迁移演化; 油气分布; 配置关系; 西北缘; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

## Oil accumulation related to migration of source kitchens in northwestern margin structural belt, Junggar Basin

Liu Bo<sup>1,2</sup>, Liu Dingyong<sup>1</sup>, Guo Tianxu<sup>3</sup>, Huang Zhilong<sup>2</sup>, Liu Zhenyu<sup>4</sup>, Wu Fan<sup>1</sup>

(1. Accumulation and Development of Unconventional Oil and Gas, State Key Laboratory Cultivation Base Jointly-constructed by Heilongjiang Province and the Ministry of Science and Technology, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;  
2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;  
3. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China; 4. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China)

**Abstract:** According to the analyses of hydrocarbon-source correlation, hydrocarbon accumulation periods and source kitchen migration, the present hydrocarbon distributions in the northwestern margin of the Junggar Basin are controlled by three sets of source kitchen migration. The natural gas which generated during the early stage from source kitchens in the Jiamuhe Formation has not been preserved, and the present location of source kitchens controls reservoir distribution. The source kitchens in Fengcheng Formation at the centre of the Mahu Sag can not generate gas since they are over-matured. Only the source kitchens at the margin of the sag can generate hydrocarbon and control the location of oils generated from them. The source kitchens in Wuerhe Formation can still generate oil and gas in the center of the sag and also control the location of oil generated from them. Because of the different hydrocarbon-generation intensity for the same source kitchen during different geological periods and different source kitchens at the same geological period, different hydrocarbon supply modes develop and control the location of hydrocarbon in the northwestern margin of Junggar Basin.

**Key words:** migration of source kitchens; hydrocarbon distribution; assemblage relationship; northwestern margin; Junggar Basin

烃源灶的概念最早是由 Thomas 等<sup>[1]</sup>提出的, 其构成要素包括烃源物质、空间展布、热演化史和叠置关系 4 个方面<sup>[2]</sup>。在不同的地质历史时期, 烃

源灶的构成要素都会发生变化, 多个烃源灶的不同地质历史时期的供烃具有叠置或复合的关系。中国西部叠合盆地在纵向上发育了多套烃源岩, 并且

经历了复杂的地质构造变动过程,每个含油气构造的油气来源、成藏时期均有较大的差别,研究烃源灶的迁移演化规律对明确叠合盆地复杂的油气类型及分布具有重要的意义<sup>[3-8]</sup>。

已有学者对西北缘油气聚集和分布规律进行了不同程度的探讨<sup>[9-11]</sup>,由油气的物理性质及生物标志物特征认识到,研究区的油气不单成熟度相差较大,且具有多来源贡献<sup>[12-15]</sup>,而对其复杂的油气成藏过程尚缺少研究。因此,分析油气藏分布格局的主控因素,厘清不同类型油气的分布规律,对今后该区油气增储上产具有重要意义。

## 1 烃源灶物质表征

### 1.1 烃源灶的烃源物质特征

准噶尔盆地西北缘主要发育下二叠统佳木河组( $P_{1j}$ )、风城组( $P_{1f}$ )及上二叠统下乌尔禾组( $P_{2w}$ )3套烃源岩,各套烃源岩最大厚度均位于玛湖凹陷中心附近。根据钻井揭示烃源岩地球化学分析可知(表1),佳木河组烃源岩有机质丰度普遍偏低,有机质类型以Ⅲ型干酪根为主, $R_o$ 已达1.38%~1.90%,为高成熟的较差的油气源岩;风城组烃源岩大部分样品达到好烃源岩标准,有机质类型以Ⅰ型干酪根为主,是西北缘各油田的主要油源岩;下乌尔禾组烃源岩有机质丰度普遍偏低,有机质类型以Ⅲ型干酪根为主, $R_o$ 为1.29%~1.86%,综合评价为差—中等烃源岩。

### 1.2 烃源灶的分布及迁移演化

根据烃源岩的分布特征、地球化学特征,结合前人对本区古地温的研究成果<sup>[16]</sup>,确定了各烃源灶在不同地质历史时期的供烃范围。其中,佳木河组气源灶在风城组沉积末期即开始出现,供烃范围较小,主要分布在玛湖凹陷的西北斜坡部位;随着地质时间的推移,气源灶的范围不断扩大,位置也经由玛湖凹陷的中心,向东南方向迁移。二叠纪末期,气源灶范围达到最大,之后由于部分地区烃源岩过成熟不再产气而气源灶范围开始缩小。至古新世,烃源灶主要分布在西北缘西翼中拐—北坡地区。

表 1 准噶尔盆地西北缘烃源灶的物质特征

Table 1 Material feature of source kitchens in northwestern margin of Junggar Basin

层位	$w(\text{TOC})/\%$	平均氯仿 沥青“A”/ $\%$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}}/\%$	$R_o/\%$
$P_{1j}$	0.08~2.00	0.88	-21.96~-20.29	1.38~1.90
$P_{1f}$	1.03~6.68	14.93	-26.03~-28.02	-
$P_{2w}$	0.4~1.8	0.014	-	1.29~1.86

风城组地层厚、埋深较大,在风城组沉积末期该烃源灶就已经形成,主要分布在玛湖凹陷中心位置,以生油为主。随着地质时间的推移,烃源灶的范围不断扩大,中心位置由于演化程度增大,由油源灶向气源灶转化。到三叠纪末期,中心位置由于演化程度过高而不再生成油气。在侏罗纪、白垩纪时期,烃源灶范围进一步扩大,中心位置的无效烃源灶范围也逐渐扩大。到现今,大部分地区仍在生成油气,靠近凹陷边缘位置的烃源灶以生油为主,靠近凹陷中心位置的烃源灶以生气为主,凹陷中心位置已经不再生油气。

下乌尔禾组烃源灶进入各个演化阶段的时间明显滞后很多。在二叠纪末期才有小范围的烃源灶出现在玛湖凹陷中心位置,随后烃源灶范围不断向边缘扩大;到侏罗纪末期,凹陷中心位置由油源灶转化为气源灶;现今,整个凹陷全部成为烃源灶,在边缘位置以生油为主,在中心位置以生气为主。

## 2 原油地球化学特征及油源分析

西北缘地区原油类别的划分,主要以原油萜烷生物标志物分布特征为基础,依据三环萜烷 $C_{20}/C_{23}$ 、 $C_{24}$ 四环萜烷/ $C_{26}$ 三环萜烷以及伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷)等参数,将原油分为A类和B类。

A类原油的三环萜烷、孕甾烷和升孕甾烷、伽马蜡烷含量相对较高(图1)。三环萜烷 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 含量有随碳数增加而增加的特点,三环萜烷 $C_{20}/C_{23}$ 小于1.0,可能代表藻类来源的 $C_{23}$ 三环萜烷在三环萜烷中占优势; $C_{24}$ 四环萜烷/ $C_{26}$ 三环萜烷小于0.92,热稳定性更强的 $C_{24}$ 四环萜烷含量较低,同时也可能表明了藻类母质来源;伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷大于0.29,水体

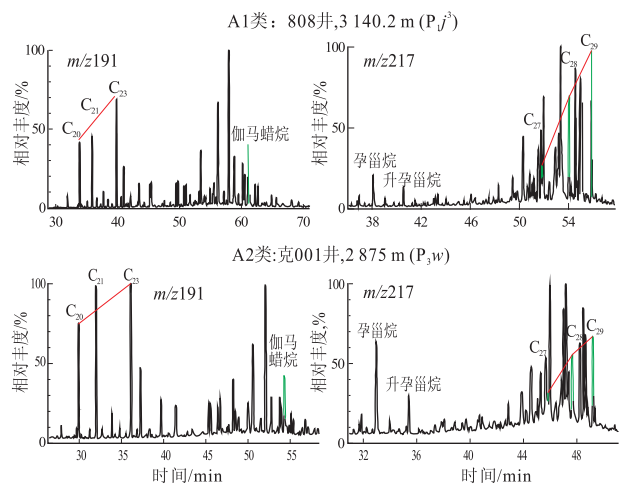


图 1 准噶尔盆地西北缘 A 类原油甾、萜烷化合物分布特征

Fig.1 Steranes and terpanes distribution characters of type A crude oil in northwestern margin of Junggar Basin

盐度高。根据甾烷差异可将其进一步划分为 A1 和 A2 两亚类, 其中 A1 亚类甾烷成熟度偏低, A2 亚类甾烷成熟度偏高 (图 2)。油源对比表明, A 原油主要来自玛湖凹陷风城组烃源岩。

B 类原油三环萜烷  $C_{20}/C_{23}$  大于 1.0, 可能代表藻类来源的  $C_{23}$  三环萜烷含量在三环萜烷中不占优势, 而是  $C_{20}$  三环萜烷含量占优;  $C_{24}$  四环萜烷/ $C_{26}$  三环萜烷大于 0.92, 热稳定性更强的  $C_{24}$  四环萜烷含量较高, 可能表明此类原油成熟度较高; 伽马蜡

烷/ $C_{30}$  藿烷小于 0.29, 水体盐度不高 (图 3)。油源对比表明, B 类原油也主要来自于风城组烃源岩, 但是后期混入了下乌尔禾组烃源岩的贡献。

西北缘地区腐殖型天然气主要分布在克百五八区, 为纯气藏, 来自于以腐殖型母质为主的佳木河组烃源岩; 腐泥型天然气主要为溶解气, 来自于风成组烃源岩, 油气同源。局部井区存在 2 种不同类型天然气的混合<sup>[17-18]</sup>。

### 3 烃源灶迁移演化与油气成藏的配置关系

#### 3.1 油气成藏期分析

西北缘地区两类原油成熟度差异较大, A 类原油成熟度较高, 为风城组烃源岩演化程度较高时期的产物, 但是 A1 亚类原油与 A2 亚类原油相比, 成熟度相对较低, 可见 A1 亚类原油的成藏期要早于 A2 亚类原油。A1 亚类原油分布范围相对比较局限, 主要存在于二叠系地层, 在克 80 井下乌尔禾组岩心见稠油显示, 流体包裹体分析表明, 在石英胶结物和石膏胶结物内发育的两相烃类包裹体气液比为 8%~12%, 液相烃类包裹体在荧光中呈黄色和亮黄色, 说明捕获的是成熟阶段的烃类。均一温度峰值在 60~80 °C, 表明本区存在一期大规模的充注 (图 4)。结合埋藏史和热史研究, 可以发现该类原油的成藏期在二叠纪末期。因此, A1 亚类原油成藏期应该是在二叠纪末, 在二叠纪末期受构造运动影响, 早期形成的油藏受到破坏, 大部分散失, 部分原油稠化后得以保存。

三叠纪末期玛湖凹陷风城组烃源岩整体已进入较高成熟阶段, 开始大量生油, 而到侏罗纪末期, 演化程度已很高。由于 A2 亚类原油在侏罗系中仍有大量分布, 可见其成藏期应在侏罗纪末期以后。而 B 类原油由于其成熟度较 A 类原油要高, 说明其成藏期更晚一些, 可能在侏罗纪末期—白垩

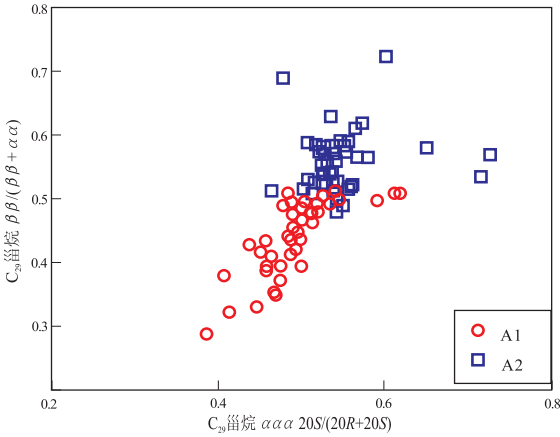


图 2 西北缘 A 类原油成熟度生物标志物特征  
Fig.2 Biomarker of type A crude oil for maturity in northwestern margin of Junggar Basin

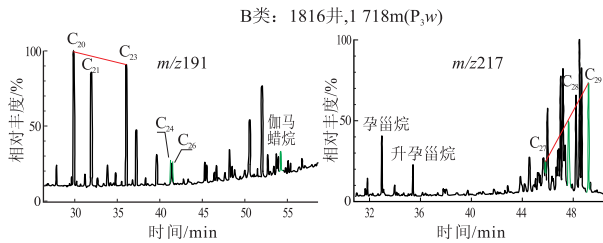


图 3 准噶尔盆地西北缘 B 类原油甾、萜烷化合物特征  
Fig.3 Steranes and terpanes distribution characters of type B crude oil in northwestern margin of Junggar Basin

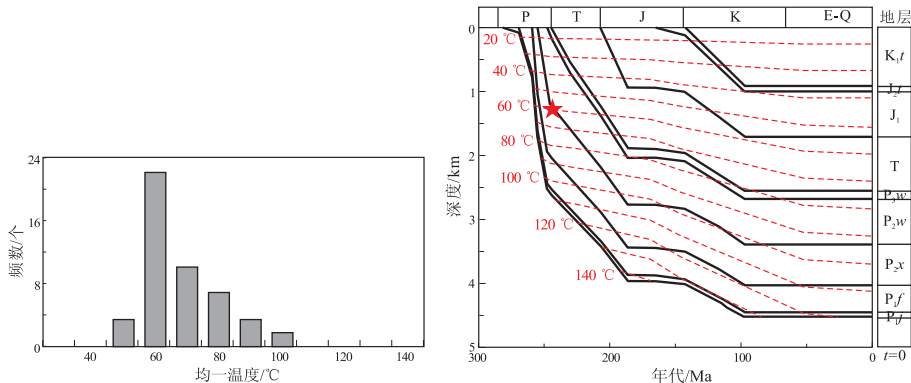


图 4 准噶尔盆地西北缘克 80 井下乌尔禾组含烃包裹体均一温度直方图与沉积埋藏史  
Fig.4 Homogenization temperature histogram and burial history of inclusions from Lower Wuerhe Formation, well Ke80, northwestern margin of Junggar Basin

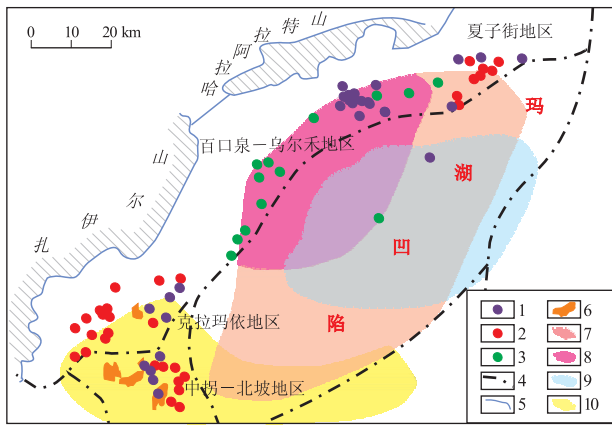


图 5 准噶尔盆地西北缘成藏期源灶位置与油气分布关系

1. A1 类原油; 2. A2 类原油; 3. B 类原油; 4. 构造单元线;
5. 山界线; 6. 煤型气藏; 7. 二叠纪末期风城组烃源灶位置;
8. 侏罗纪末期风城组烃源灶位置; 9. 白垩纪末期乌尔禾组烃源灶位置; 10. 古新世佳木河组气源灶位置

Fig.5 Relationship between location of source kitchen and distribution of hydrocarbon in northwestern margin of Junggar Basin

纪成藏。由此推算, A2 原油油藏与侏罗纪末风城组烃源灶相对应, B 类原油的油藏与白垩纪风城组烃源岩灶相对应。

### 3.2 成藏期烃源灶与油气分布关系

从原油类型的平面分布来看(图 5), A1 亚类原油全部分布在西北缘两翼, 位于风城组尖灭线与上乌尔禾组尖灭线之间, 且在纵向上都是分布在佳木河组和上乌尔禾组底部; A2 亚类原油也主要分布在西北缘两翼, 中部百口泉区也有分布; B 类原油主要分布在西北缘中部靠近玛湖凹陷的斜坡带。多组烃源岩分布在不同的层位和不同的位置, 他们之间的叠置和复合使得西北缘不同类型的油气藏有规律的分布。

### 3.3 烃源灶供烃模式

由于单个烃源灶在不同地质时期供烃强度不同, 多个烃源灶在同一地质时期供烃强度也不同, 所以在西北缘不同地区形成了不同的烃源灶供烃模式, 同时也控制了油气藏分布格局。其中, 中拐—北坡地区为油气两灶多期叠加, 克拉玛依地区为单油灶多期叠加, 百口泉—乌尔禾地区为两油灶多期叠加, 夏子街地区为单油灶多期叠加, 共形成油气两灶多期叠加、两油灶多期叠加及单油灶多期叠加 3 种烃源灶供烃模式。

#### 3.3.1 油气两灶多期叠加

中拐—北坡地区自上而下共存在 4 种类型的油气, 分别是 A1 亚类原油、A2 亚类原油、腐泥型天然气和腐殖型天然气(图 6)。这种多种类型的

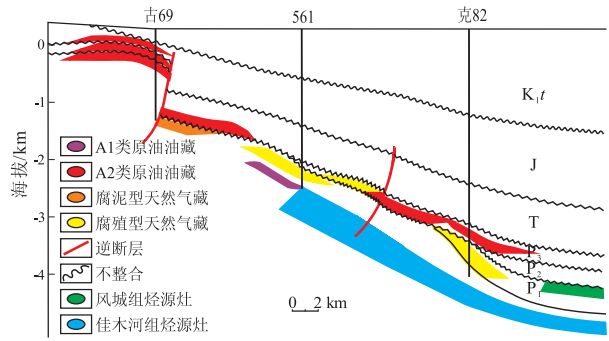


图 6 准噶尔盆地西北缘中拐—北坡地区过古 76 井—克 80 井剖面

Fig.6 Section crossing wells Gu76 and Ke80 in Zhongguai-Beipo area, northwestern margin of Junggar Basin

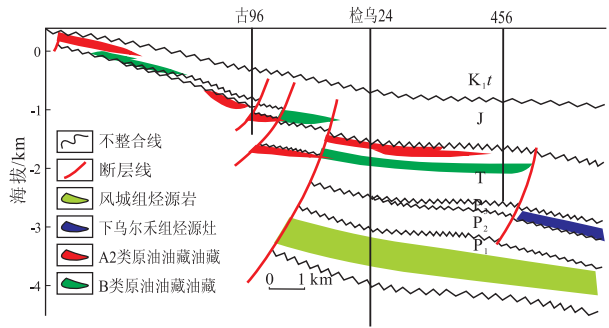


图 7 准噶尔盆地西北缘百口泉—乌尔禾区过九浅 36 井—456 井剖面

Fig.7 Section crossing wells Jiuqian36 and 456 in Baikouquan-Wuerhe area, northwestern margin of Junggar Basin

油气在纵向上有规律分布, 往往是不同烃源灶不同时期供烃纵向叠加的结果, 反映不同时期风城组烃源灶的纵向叠加形成了 A1 和 A2 亚类原油的分布格局。

#### 3.3.2 两油灶多期叠加

在百口泉—乌尔禾区局部分布了 A2 亚类和 B 类原油, 在垂向上无明显的分布规律, 呈交互分布(图 7)。但 B 类原油与 A2 亚类原油相比分布范围更靠近于烃源灶方向, 这可能与下乌尔禾组烃源灶的中心位置以及排烃能力有关。这种类似于混源油性质的 B 类油以及成熟度较高的 A2 类原油的存在, 往往是由于不同的烃源灶多期供烃叠加的结果, 在此表现为风城组烃源灶和下乌尔禾组烃源灶的两油灶多期叠加供烃。

#### 3.3.3 单油灶多期叠加

克拉玛依区和夏子街区平面上主要分布 A1 和 A2 两类原油, 两类原油的  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$  在 0.40~0.59 之间, 成熟度均比较高, 表明这两类原油均为风城组烃源岩演化程度较高时期的产物,

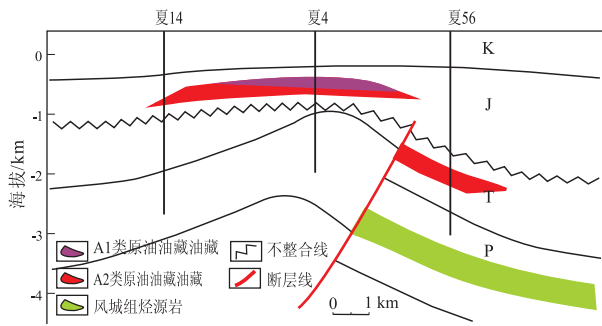


图8 准噶尔盆地西北缘五八区某油藏剖面

Fig.8 Section of certain reservoir in Wuba area in northwestern margin of Junggar Basin

且成熟度差异较大。从原油的类型分布上也可以看出这一差别,与A2类原油的分布相比,A1类原油分布范围更靠近生烃中心;而在剖面上也可以看出,A1类原油分布在A2类原油的上部(图8),早期运移成藏的A1类原油占据了圈闭的顶部。通过以上分析,可知克拉玛依区和夏子街区的两类原油是风城组烃源灶在不同时期所做的贡献,它们在平面上的分布以及纵向上的叠加都有着很好的规律。

## 4 结论

1) 西北缘地区原油共分为两类:A类和B类。A类原油又根据成熟度的相对大小分成A1和A2两亚类。A类原油主要来自风城组烃源岩,B类原油也主要来自风城组,但是后期混入了下乌尔禾组烃源岩的贡献。

2) A1类稠油成藏大体时间为二叠纪末—三叠纪,是风城组烃源灶早期生成的油后期生物降解而成,A2类正常原油成藏大体时间是早中侏罗世;B类原油经历一期充注,且晚于A类,为侏罗纪末期—早白垩世。

3) 不同烃源灶具有不同的演化历史。佳木河组气源灶在风城组末期即开始出现,现今主要分布在克百五八区。风城组烃源灶在风城组沉积末期就已形成,主要分布在玛湖凹陷中心位置,以生油为主,随后烃源灶中心位置由于演化程度增大而由油源灶转化为气源灶。下乌尔禾组烃源灶在二叠纪末期才小范围的出现于玛湖凹陷中心位置,现今边缘位置以生油为主,中心位置以生气为主。

4) 在西北缘不同地区形成了油气两灶多期叠加、两油灶多期叠加及单油灶多期叠加3种烃源灶供烃模式,同时也控制了油气藏的分布格局。

### 参考文献:

- [1] Thomas B M, Moller-Pedersen P, Whitaker M F, et al. Organic facies and hydrocarbon distributions in the Norwegian North Sea [M]// Thomas B M, ed. Petroleum geochemistry in exploration of the Norwegian Shelf. London: Graham and Trotman, 1985: 3-26.
- [2] 王飞宇, 杜治利, 张水昌, 等. 塔里木盆地库车坳陷烃源岩特征和天然气成藏过程[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(4): 31-39.
- [3] Demaison G J. Genetic classification of petroleum system [J]. AAPG Bulletin, 1994, 75: 1626-1643.
- [4] Deming D, Chapman D S. Thermal histories and hydrocarbon generation: example from Utah-Wyoming thrust belt [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(12): 1455-1471.
- [5] 王京红, 靳久强, 匡立春. 准噶尔盆地莫北油气藏主控因素再认识[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 165-174, 191.
- [6] 张枝焕, 秦黎明, 李伟, 等. 准噶尔盆地腹部车莫古隆起南北两侧含油构造油源及烃源灶转移[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 826-836.
- [7] 徐忠美. 叠合盆地油气成藏体系研究方法探讨[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 154-157.
- [8] 毕研斌, 高山林, 朱允辉, 等. 准噶尔盆地莫西庄油田成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 318-326.
- [9] 陶国亮, 胡文瑄, 张义杰, 等. 准噶尔盆地西北缘北西向横断裂与油气成藏[J]. 石油学报, 2006, 27(7): 23-28.
- [10] 赵文智, 胡素云. 含油气系统研究思路与方法在油气资源评价中的应用[J]. 海相油气地质, 2002, 8(4): 98-103.
- [11] 鲁新川, 孔玉华, 常娟, 等. 准噶尔盆地西北缘克百地区二叠系风城组砂砾岩储层特征及主控因素分析[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(3): 474-481.
- [12] 石昕, 张立平, 何登发, 等. 准噶尔盆地西北缘油气成藏模式分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 460-463.
- [13] 马剑, 黄志龙, 张越迁, 等. 准噶尔盆地西北缘红旗坝地区油气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(1): 58-60.
- [14] 陈建平, 查明, 周瑶琪. 准噶尔盆地克拉玛依油田油气运聚期次及成藏研究[J]. 中国海上油气, 2002, 16(1): 19-22.
- [15] 逯晓喻, 黄志龙, 张美艳, 等. 准噶尔盆地西北缘红旗坝地区烃源岩特征与油源分析[J]. 高校地质学报, 2012, 18(2): 350-357.
- [16] 邱楠生. 中国西北部盆地岩石热导率和生热率特征[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 196-206.
- [17] 潘建国, 郝芳, 谭开俊, 等. 准噶尔盆地西北缘天然气特征及成藏规律[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(2): 20-23.
- [18] 高岗, 王绪龙, 柳广弟, 等. 准噶尔盆地西北缘克百地区天然气成因及潜力分析[J]. 高校地质学报, 2012, 18(2): 307-317.

(编辑 徐文明)