

文章编号:0253-9985(2011)05-0692-06

海拉尔盆地乌东斜坡带优质烃源岩识别及 油气运聚特征再认识

王伟明¹, 卢双舫¹, 曹瑞成², 尚教辉¹, 陈国辉¹

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆油田海拉尔勘探开发指挥部, 黑龙江 大庆 163000)

摘要:利用测井资料纵向分辨率高的特点,采用 $\Delta\lg R$ 法识别海拉尔盆地乌东斜坡带优质烃源岩,探讨其与油气成藏的关系。研究表明,在乌东油藏附近测井识别出的优质烃源岩,呈条带状分布于乌东斜坡带的乌31至乌108-112井区。该区块附近的原油可划分两类,第一类原油与乌东油藏下倾方向乌南次洼的优质烃源岩具有较好的亲缘关系,均具有 T_s 大于 T_m 、低伽马蜡烷的明显特征;第二类原油与乌东斜坡带发育的优质烃源岩具有较好的亲缘关系,均具有 T_s 小于 T_m 、高伽马蜡烷的明显特征。重新分析油源认为,以乌东油藏内部两条大断裂为界,油藏下倾方向油气来自乌南次洼,以构造岩性油气藏为主;油藏上倾方向油气来自乌东斜坡带本地优质烃源岩,以断层岩性油气藏为主;油藏断裂带内部油气由乌南次洼及乌东斜坡带两个生烃中心供烃,以断块油气藏为主。油源对比结果扩展了乌东斜坡带的勘探思路,优质烃源岩的发育与分布规律应给予高度重视。

关键词:优质烃源岩;油-源对比;油气运聚模式;乌东斜坡带;海拉尔盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

High-quality hydrocarbon source rock identification and hydrocarbon migration and accumulation characteristics in the Wudong slope zone of the Hailer Basin

Wang Weiming¹, Lu Shuangfang¹, Cao Ruicheng², Shang Jiaohui¹ and Chen Guohui¹

(1. College of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

2. Hailer Exploration and Development Department, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163000, China)

Abstract: Based on high vertical resolution of well logging data, we used $\Delta\lg R$ method to identify the high-quality hydrocarbon source rocks in Wudong slope zone of Hailer Basin and explored its relationship with hydrocarbon accumulation. Research showed that the high-quality hydrocarbon source rocks identified by logging in the vicinity of Wudong reservoir occur in stripped shape in the area from Wu 31 to Wu 108-112 wellblocks in Wudong slope zone. The crude oil in this area can be divided into two types. The first type of crude oil correlate well with the high quality source rocks in Wunan subsag in the down-dip direction of Wudong reservoir, as they all show obvious characteristics of $T_s > T_m$ and low gammacerane. The second type of crude oil correlate well with the high quality source rocks in Wudong slope zone as they all obviously featured in $T_s < T_m$ and high gammacerane. Taking two major faults in the Wudong reservoir as boundaries, the oil/gas in the down-dip direction are sourced from Wunan subsag, and structural-lithologic reservoirs are predominant. In contrast, oil/gas in the up-dip direction came from high-quality hydrocarbon source rocks in the Wudong slope zone, and fault-sealed lithologic reservoirs are predominant. Oil/gas in the fault zone are contributed by source rocks in both Wunan subsag and Wudong slope zone, and fault block reservoirs are predominant. Oil-source correlation results more attentions

收稿日期:2011-01-06。

第一作者简介:王伟明(1981—),男,讲师,博士研究生,油气成藏。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972101);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2009CB219306)。

should be given to the development and distribution of high-quality hydrocarbon source rocks during exploration.

Key words: high-quality source rock, oil-source correlation, hydrocarbon migration and accumulation mode, Wudong slope zone, Hailer Basin

从优质烃源岩控藏角度出发,重新分析勘探程度较高的老探区油源等成藏问题,已经在我国多个陆相沉积盆地取得成功^[1-6]。如围绕塔里木盆地满加尔坳陷斜坡区新发现的厚度只有十几米的优质烃源岩进行勘探,继塔中2井区取得油气突破后,陆续又找到多个新的油气藏。近年来,随着对海拉尔盆地的深入勘探,在乌东斜坡地区同样发现了优质烃源岩,如乌D3井南屯组一段1435.87 m暗色泥岩有机碳含量(TOC)高达3.3%,生烃潜力($S_1 + S_2$)为25.63 mg/g,氢指数(HI)为762.92 mg/g,有机质类型为I型,属于优质烃源岩的范畴。以往认为乌东油藏的油气大部分来自于乌南凹陷生烃中心,那么利用乌东斜坡带新发现的优质烃源岩重新分析油气来源等问题,油气运聚模式是否有变化呢?因此,本文将在地球化学分析基础上,应用测井资料识别优质烃源岩,对乌东油藏油气来源重新认识,进一步明确研究区的油气运聚特征与分布规律。

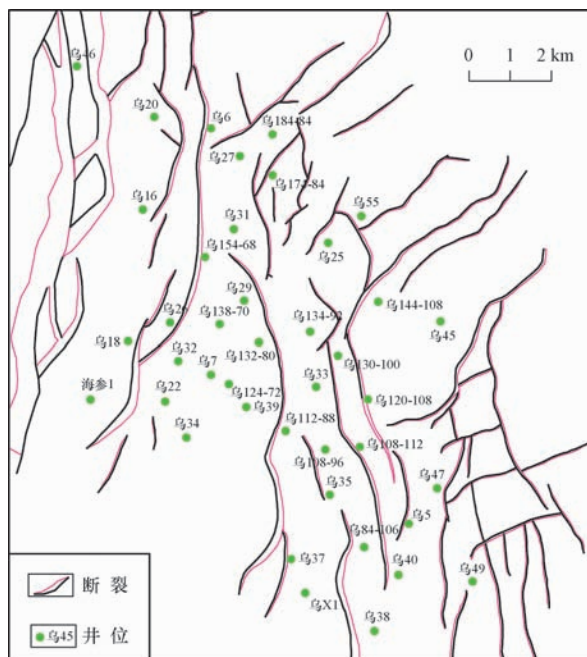


图 1 断裂及井位分布

Fig. 1 Map showing locations of faults and wells

1 地质概况

乌南凹陷是海拉尔盆地的主要生油洼槽之一,具典型的西断东超的单断断槽式凹陷结构,从陡坡带向缓坡带可划分为西部断阶带、中部洼槽带和东部斜坡带^[7-8]。乌东斜坡带是乌尔逊南部凹陷的次级构造单元,西北邻近乌北次凹,西南邻近乌南次凹,东部与巴彥山隆起相接,是油气运移的主要指向部位。构造演化经历断陷、断-坳转化和坳陷3个阶段,在南屯组末期和依敏组末期经历两次规模较大的构造挤压。区内断裂发育,多呈南北向展布(图1)。暗色泥岩在南屯组和大磨拐河组均有分布,其中大磨拐河组属于未熟-低熟烃源岩,有机质类型以Ⅱ-Ⅲ型为主;南屯组为成熟源岩,有机质类型以Ⅰ-Ⅱ型为主,而且目前发现的工业油层均富集在南屯组附近,因此,对成藏贡献较大的优质烃源岩主要为南屯组暗色泥岩。

2 优质烃源岩的识别与分布

2.1 优质烃源岩测井响应与识别

断陷盆地中烃源岩具有较强的非均质性^[9-12]。以往通过统计录井中暗色泥岩识别研究区的烃源岩,可信性及精度不足以描述和刻画乌东斜坡带烃源岩的非均质性。而本次研究是在地球化学分析基础上,引入了丰富的测井资料,采用改进的 $\Delta \lg R$ 模型,对研究区南屯组优质烃源岩进行精细识别。

2.1.1 $\Delta \lg R$ 模型

$\Delta \lg R$ 模型是将声波测井曲线和电阻率曲线进行重叠, 声波时差采用算术坐标, 电阻率采用算术对数坐标。把非烃源岩段的曲线叠合在一起, 当两条曲线在一定深度内“一致”时为基线。

根据声波、电阻率叠加计算 $\Delta \lg R$ 的方程为:

$$\Delta \lg R = \lg(R/R_{\text{基线}}) + 0.02(\Delta t - \Delta t_{\text{基线}}) \quad (1)$$

式中, $\Delta \lg R$ 为两条曲线间的幅度差; R 为实测电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; $R_{\text{基线}}$ 为基线对应的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; Δt 为实测的声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$; $\Delta t_{\text{基线}}$ 为基线对应的声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$ 。 $\Delta \lg R$ 与有机碳含量呈线性相关, 并且是成熟度的函数。由 $\Delta \lg R$ 计算有机碳含量的经验公式为:

$$TOC = \Delta \lg R \times 10^{(2.297 - 0.1688 LOM)} + \Delta TOC \quad (2)$$

式中, TOC 为计算的有机碳含量, %; LOM 为热变指数, 表示有机质成熟度; ΔTOC 为有机碳含量背景值, %, 需人为确定。该方法的优点是声波时差和电阻率叠合能在一定程度上消除孔隙度对有机碳测井响应的影响^[13-15]。

2.1.2 模型建立及识别

在应用过程中, 考虑到地下岩性复杂、测井深度与样品深度不统一等多方面问题, 本次研究采取以下相应措施: ①用自然伽马和自然电位曲线剔除砾岩、砂岩、粉砂岩等层段, 避免声波时差-电阻率测井曲线叠合时, 由非源岩产生的 $\Delta \lg R$ 值所带来的误差; ②针对地化分析样品的采样深度与测井深度不能精确匹配的问题, 本次把实测有机碳含量与 $\Delta \lg R$ 值的深度匹配范围扩大, 在 $0 \sim 0.3 \text{ m}$ 的模糊范围内, 寻找与实测有机碳最接近的 $\Delta \lg R$ 值; ③考虑到每口井纵向岩性变化复杂, 不同层段基线差异较大, 本次在基线选取过程中, 以层段为单位, 分段重叠。

选取地化分析样品较多的乌5、乌6、乌28和乌29等4口井进行建模, 图2为该4口井的实测 TOC 与 $\Delta \lg R$ 的拟合结果, 二者表现出很好的相关性, 拟合关系式为:

$$TOC = 3.9974 \Delta \lg R + 0.1527 \quad (3)$$

利用公式3计算乌东斜坡带南屯组一段烃源岩连续有机碳含量值。图3为乌29井南一段烃源岩评价实例, 参照卢双舫制定的有机碳含量大于2%作为优质烃源岩的评价标准^①, 乌东地区优质烃源岩纵向非均质性强, 呈薄饼状分布于南一段中。

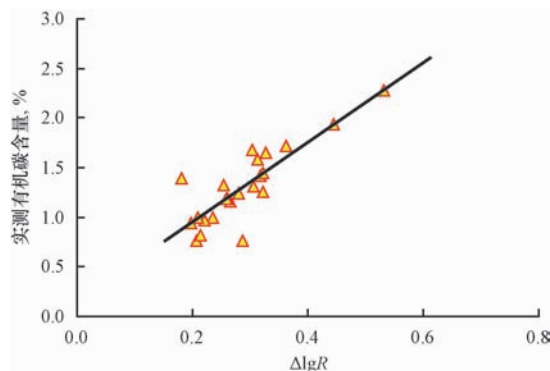


图2 乌东地区实测 TOC 与 $\Delta \lg R$ 的相关性

Fig. 2 The correlation of measured TOC and $\Delta \lg R$ in Wudong area

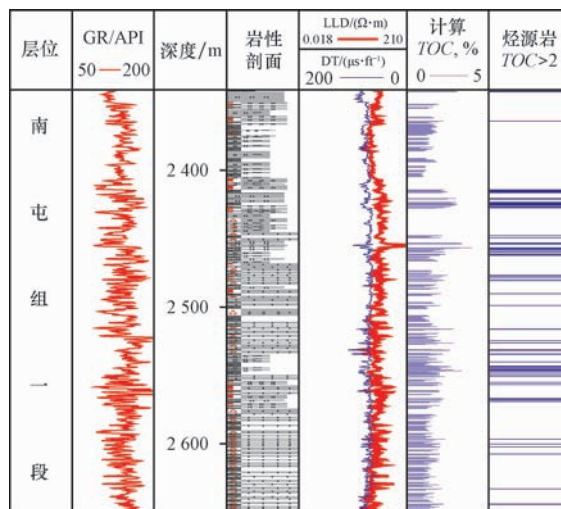


图3 乌29井南一段烃源岩评价实例

Fig. 3 A case of source rock evaluation in the first member of Nantun Formation in well Wu 29

2.2 优质烃源岩分布

应用以上方法识别研究区优质烃源岩, 避免了以往通过录井统计将整段暗色泥岩作为有效烃源岩的错误, 为优质烃源岩分布的确定提供了更加可靠的依据。从图4中可以看出, 暗色泥岩分布广泛, 以乌南次凹中心向四周逐渐变薄, 最厚可达450 m; 而优质烃源岩分布与暗色泥岩分布差异较大, 分布范围比暗色泥岩的分布范围小, 平面发育两个中心, 除了乌南次凹外, 在乌东斜坡带乌31井-乌108-112井区呈条带状分布, 厚度可达200 m以上, 而且该区带新发现的优质烃源岩平面分布与乌东油藏位置较为吻合。

① 卢双舫. 乌尔逊、贝尔凹陷优质烃源岩识别与评价. 大庆油田海拉尔勘探开发指挥部, 2010.

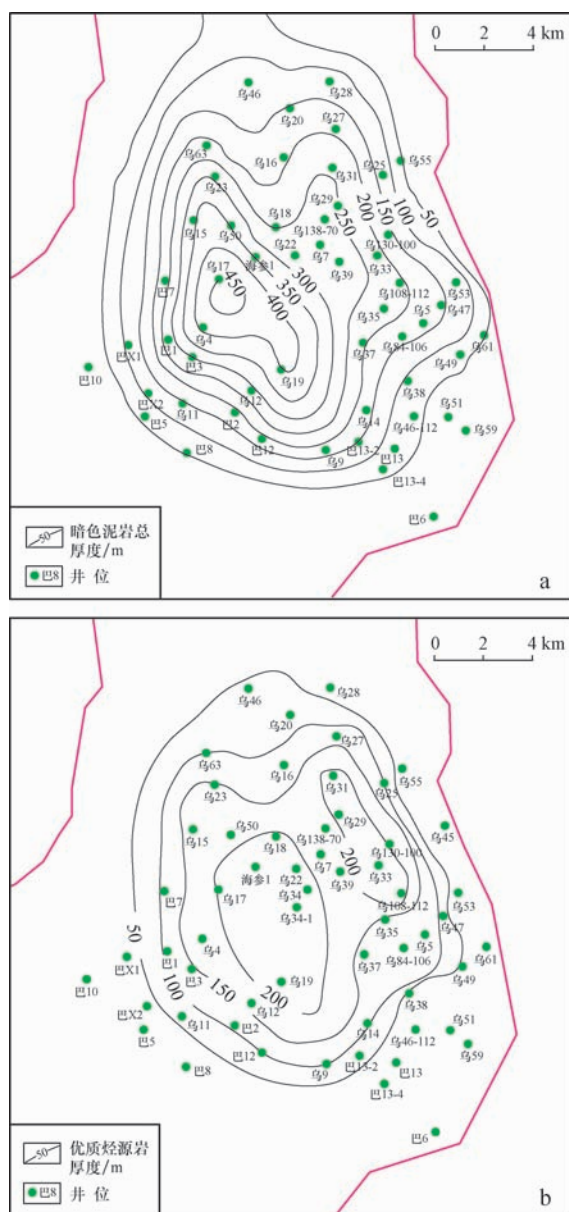


图4 乌东斜坡带暗色泥岩总厚度及优质烃源岩厚度

Fig. 4 The total thickness of dark mudstone and high-quality hydrocarbon source rock thickness in the Wudong slope zone

a. 暗色泥岩总厚度; b. 优质烃源岩厚度

3 油气运聚特征再认识

3.1 油气来源分析

在观察及统计乌东斜坡带的大量原油生物标志化合物基础上,发现乌东斜坡带原油的生物标志化合物特征存在较大的差别。根据 $T_s(C_{27}\text{三降藿烷 } 18\alpha)/T_m(C_{27}\text{三降藿烷 } 17\alpha)$ 和伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)两项指标,把研究区原油

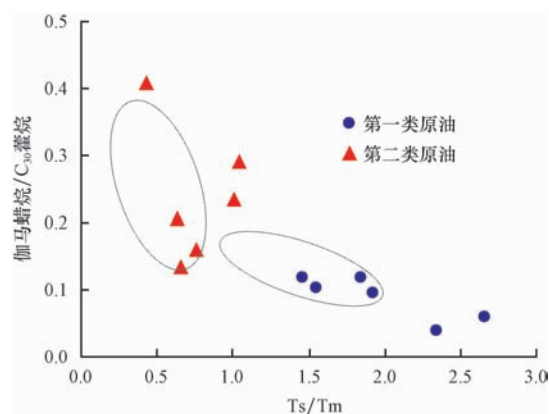


图5 乌东地区原油类型划分对比

Fig. 5 Division and correlation chart of crude oil in Wudong area

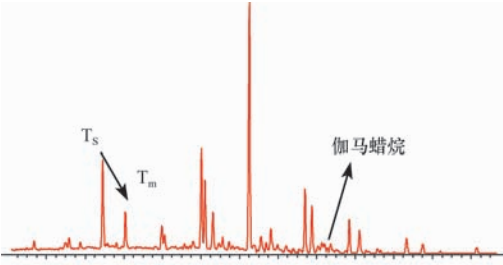
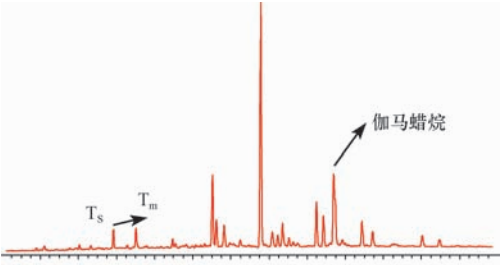
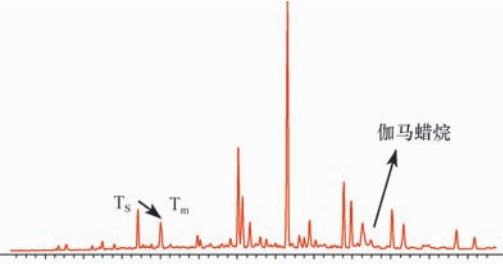
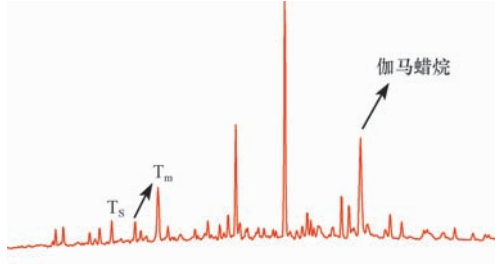
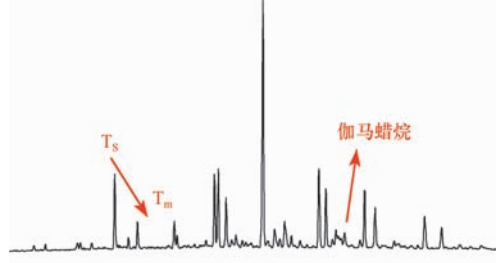
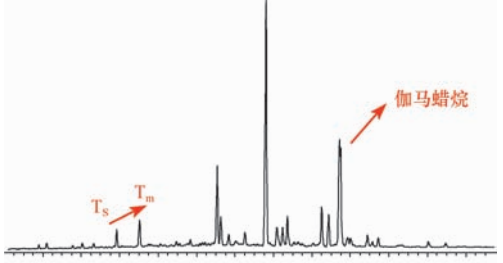
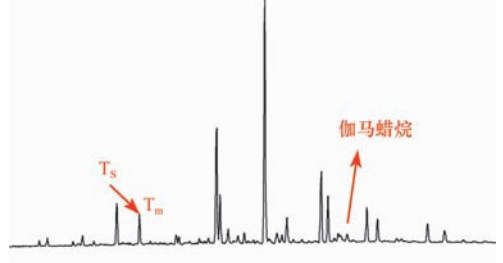
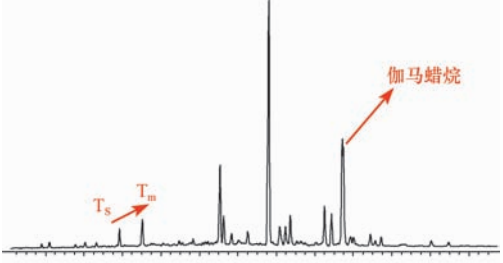
划分为两类,第一类原油 T_s/T_m 大于 1,伽马蜡烷指数小于 0.1;第二类原油 T_s/T_m 小于 1,伽马蜡烷指数 >0.1 (图 5)。

两类原油分别与乌东地区的两个优质烃源岩中心进行对比(表 1),发现第一类原油与乌东油藏下倾方向乌南次洼的优质烃源岩具有较好的亲缘关系,均具有 T_s 大于 T_m 、低伽马蜡烷的明显特征;第二类原油与乌东斜坡带发育的优质烃源岩具有较好的亲缘关系,均具有 T_s 小于 T_m 、高伽马蜡烷的明显特征。值得注意的是,乌东油藏中部的乌 33 井的两个原油样品不一致,其中 2 365.05 m 的样品属于第一类原油,与油藏下倾方向的优质烃源岩生标特征接近,2 471.34 m 的样品属于第二类原油,与乌东斜坡带优质烃源岩生标特征接近,也就是说,乌 33 井的油气来源均有两个生烃中心的贡献。

3.2 运聚模式分析

正确分析油气运聚模式可有效地指导油气勘探^[16-17]。以前一直认为乌南次洼为生烃中心,生成的油气通过断层向乌东斜坡带二次运移,在乌东斜坡带和乌南次洼的转换带形成构造-岩性油气藏。而通过以上的油气来源分析发现,乌东油藏的油气不完全来自于乌南次洼,乌南次洼和乌东斜坡带两个地区的优质烃源岩均对成藏有贡献。乌南次洼优质烃源岩生成的油气以侧向运移为主,在乌南次洼及乌东斜坡带的交接带附近形成构造-岩性油气藏(图 6)。乌东斜坡带优质烃源岩生成的油气以垂向运移为主,形成断层-岩性

表 1 乌东地区油-源综合对比
Table 1 Comprehensive oil-source correlation in Wudong area

类别	第一类	第二类
原油或油砂	 a. 乌20井, 2 061.00 m, 原油	 b. 乌108-112井, 2 266.40 m, 原油
	 c. 乌33井, 2 365.05 m, 油砂	 d. 乌33井, 2 471.34 m, 油砂
源岩	 e. 乌108-96井, 2 515.49 m, 泥岩	 f. 乌45井, 1 826.41 m, 黑色泥岩
	 g. 乌35井, 3 021.35 m, 灰黑色泥岩	 h. 乌47井, 1 922.00 m, 油砂

油气藏。乌东油藏内部两条断裂中间区带油气运移既有侧向运移又有垂向运移,形成断块油气藏。

质烃源岩和油-源对比表明,乌东油藏油气不完全来自乌南次洼。

4 结论

1) 海拉尔盆地乌东斜坡带新发现的优质烃源岩,对油气运聚与成藏有重要作用。长期以来一直认为乌南次洼生成的油气,经过断裂与不整合配置侧向运移成藏。结合本次研究识别出的优质烃源岩和油-源对比表明,乌东油藏油气不完全来自乌南次洼。

2) 以油藏内部两条大断裂为界,油藏下倾方向油气来自乌南次洼,以构造岩性油气藏为主;油藏上倾方向油气来自乌东斜坡带本地优质烃源岩,以断层岩性油气藏为主;油藏断裂带内部油气由乌南次洼及乌东斜坡带两个生烃中心供烃,以断块油气藏为主。对乌东斜坡带的勘探,应重视断裂附近优质烃源岩的分布,扩大勘探面积。

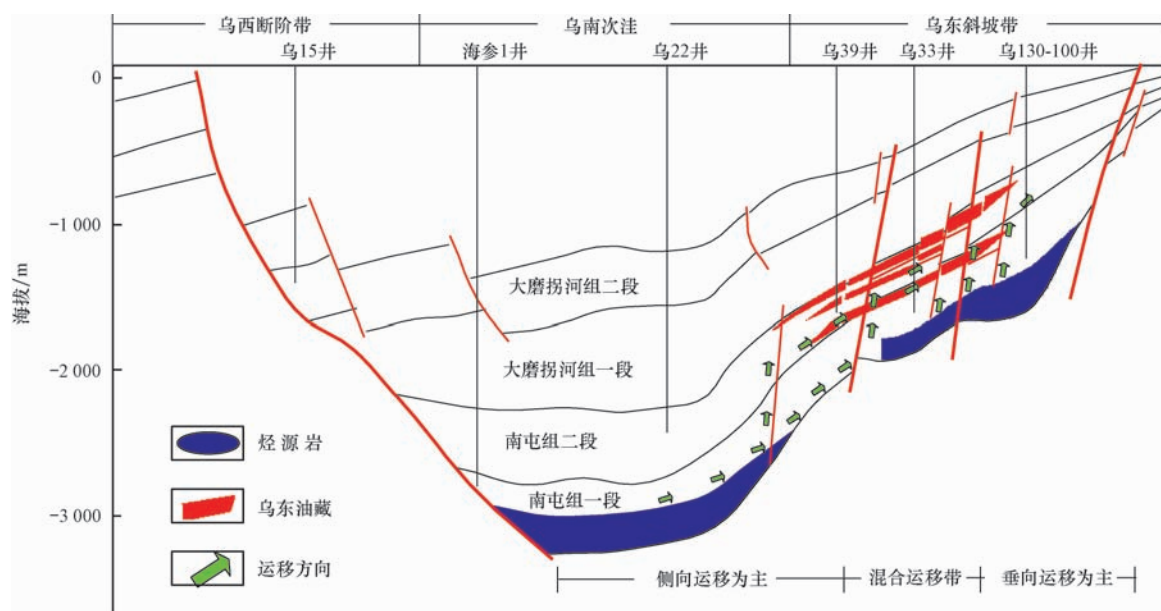


图6 乌东斜坡带油气运聚模式

Fig. 6 Hydrocarbon migration and accumulation model in the Wudong slope zone

参考文献

- [1] 张文正, 杨华, 李剑峰, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用——强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation—Hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 289-293.
- [2] 庞雄奇, 郭永华, 姜福杰, 等. 渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 393-397.
Pang Xiongqi, Guo Yonghua, Jiang Fujie, et al. High-quality source rocks and their distribution prediction in Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 393-397.
- [3] 徐长贵, 朱秀香, 史翠娥, 等. 辽东湾坳陷古近系东营组泥岩对油气藏分布的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 431-437.
Xu Changgui, Zhu Xiuxiang, Shi Cuie, et al. Control of the Dongying Formation mudstone upon the distribution of hydrocarbon accumulations in the Liaodong Bay Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 431-437.
- [4] 卢进才, 李玉宏, 魏仙样, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7油层组油页岩沉积环境与资源潜力研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(6): 928-932.
Lu Jincai, Li Yuhong, Wei Xianyang, et al. Research on the depositional environment and resources potential of the oil shale

in the Chang 7 member, Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(6): 928-932.

- [5] 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳坳陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J]. 地质学前沿, 2008, 15(2): 137-146.
Hou Dujie, Zhang Shanwen, Xiao Jianxin, et al. The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang depression [J], Bohai bay basin, China · Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 137-146.
- [6] 秦建中, 腾格尔, 付小东. 海相优质烃源层评价与形成条件研究[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 366-378.
Qin Jianzhong, Tengge, Fu Xiaodong. Study of forming condition on marine excellent source rocks and its evaluation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 366-378.
- [7] 刘志宏, 万传彪, 任延广, 等. 海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷的地质特征及油气成藏规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(4): 527-534.
Liu Zhihong, Wan Chuanbiao, Ren Yanguang, et al. Geological features and the rule of oil and gas accumulation of Urxun-Beier Depression in Hailaer Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(4): 527-534.
- [8] 陈均亮, 吴河勇, 朱德丰, 等. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 147-159.
Chen Junliang, Wu Heyong, Zhu Defeng, et al. Tectonic evolution of the Hailaer Basin and its potentials of oil-gas exploration [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1): 147-159.

(下转第709页)

- 气成藏条件分析[J]. 断块油气田, 1996, 3(4): 9-14.
- Wang Zhongying, Pang Zhengkuan, Li Chunyu. The analysis of Mesozoic hydrocarbon reservoir-forming condition in south-east Ordos Basin[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 1996, 3(4): 9-14.
- [35] 席胜利, 刘新社, 王涛. 鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 229-235.
- Xi Shengli, Liu Xinshe, Wang Tao. Analysis on the migration characteristics of the Mesozoic petroleum in the Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(3): 229-235.
- [36] 牟泽辉, 朱宏权, 张克银, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界成油体系[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- Mou Zehui, Zhu Hongquan, Zhang Keyin, et al. Petroleum system of Mesozoic in southern Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [37] 赵靖舟, 杨县超, 武富礼, 等. 论隆起背景对鄂尔多斯盆地陕北斜坡区三叠系油藏形成和分布的控制作用[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 648-655.
- Zhao Jingzhou, Yang Xianchao, Wu Fuli, et al. Controlling of uplifts on the triassic petroleum accumulation and distribution in North Shaanxi Slope, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 648-655.

(编辑 张亚雄)

(上接第697页)

- [9] 郭少斌. 陆相断陷盆地层序地层模式[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 548-552.
- Guo Shaobin. Sequence stratigraphy pattern of the terrestrial rifted basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 548-552.
- [10] 刘新颖, 邓宏文, 邸永香, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征[J]. 石油实验地质, 2009, 31(1): 68-73.
- Liu Xinying, Deng Hongwen, Di Yongxiang, et al. High quality source rocks of nantun formation in Wuerxun depression, The Hailaer Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(1): 68-73.
- [11] 谢忱, 胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 381-385.
- Xie Chen, Hu Chunxin. Gas accumulations and distribution features in the south of the Changling fault depression in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 381-385.
- [12] 姜雪, 邹华耀, 庄新, 等. 辽东湾地区烃源岩特征及其主控因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(2): 31-37.
- Jiang Xue, Zou Huayao, Zhuang Xin, et al. Characteristics of hydrocarbon source rocks in Liaodong Bay area and its main controlling factors[J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2010, 34(2): 31-37.
- [13] Passey Q R, Creaney S, Kulla J B. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(5): 1777-1794.
- [14] 朱振宇, 刘洪, 李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 647-649.
- Zhu Zhenyu, Liu Hong, Li Youming. The analysis and application of $\Delta\log R$ method in the source rocks identification [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(4): 647-649.
- [15] 王贵文, 朱振宇, 朱广宇, 等. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 50-52.
- Wang Guiwen, Zhu Zhenyu, Zhu Guangyu, et al. Logging identification and evaluation of Cambrian-Ordovician source rocks in syncline of Tarim basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 50-52.
- [16] 彭文绪, 孙和风, 张如才, 等. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 510-518.
- Peng Wenxu, Sun Hefeng, Zhang Rucai, et al. Late-stage near-source preponderant hydrocarbon pooling pattern in the Huanghekou Sag of the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 510-518.
- [17] 苏永进, 唐跃刚, 张世华, 等. 川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 107-113.
- Su Yongjin, Tang Yuegang, Zhang Shihua, et al. Main controlling factors and patterns of gas accumulation in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 107-113.

(编辑 董立)