

海拉尔盆地贝尔凹陷走滑断层特征 及石油地质意义

田继强¹, 贾承造², 段书府¹, 边海光¹, 李本亮¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气股份有限公司, 北京 100011)

摘要: 贝尔凹陷是海拉尔盆地中南部一个重要的早白垩世伸展断层, 受早期伸展作用和后期张扭作用的影响, 走滑断层非常发育。利用地震剖面、时间切片等资料, 首先分析了贝尔凹陷走滑断层的典型构造特征, 由此识别出3组主要的走滑断层。然后探讨了贝尔凹陷走滑断层的成因机制, 认为其发育受到早期基底伸展断层和后期张扭应力场的双重控制。在此基础上, 提出了贝尔凹陷北部纯剪旋转、中南部单剪非旋转的走滑断层发育模式, 即贝尔凹陷北部霍多莫尔地区发生岩石纯剪切变形, 发育北东向和北北西向的共轭走滑断层, 形成走滑旋转构造, 而贝尔凹陷中南部的苏德尔特地区和敖脑海地区则发生岩石简单剪切变形, 发育北东东向走滑断层。贝尔凹陷走滑断层可以提供有效圈闭并改善储层物性, 有助于油气成藏。

关键词: 贝尔凹陷; 走滑断层; 花状构造; 油气成藏

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2011)02-0293-06

引用格式: 田继强, 贾承造, 段书府, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷走滑断层特征及石油地质意义[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(2): 293-298.

0 引言

海拉尔盆地贝尔凹陷是叠置在内蒙古一大兴安岭古生代碰撞造山带之上的中生代凹陷。贝尔凹陷位于海拉尔盆地中南部, 北邻乌尔逊凹陷, 西接嵯岗隆起, 其东部和南部边界则位于蒙古国境内(图1)。贝尔凹陷面积为3 010 km², 已完钻探井160余口, 已发现苏德尔特油田、呼和诺仁油田和贝尔油田, 是海拉尔盆地的主力凹陷之一。贝尔凹陷受北东向和北东东向断层控制而呈北东向展布, 自下而上发育侏罗系布达特群(J₃b)、白垩系兴安岭群(K₁x)、铜钵庙组(K₁t)、南屯组(K₁n)、大磨拐河组(K₁d)、伊敏组(K₁y)、青元岗组(K₂q)、古近系呼查山组(Eh)及第四系(Q)^[1-4]。

贝尔凹陷受早期伸展作用和后期张扭作用的影响, 走滑断层非常发育^[2-5]。前人^[6]对贝尔凹陷走滑断层的研究主要集中于走滑拉分盆地所特有的卸车

式沉积作用, 曾经有学者^[5,7]指出, 贝尔凹陷大磨拐河组具有平行北东向控陷断层发生定向加积和沉降中心迁移的特点。但是, 对于贝尔凹陷走滑断层的构造特征、组合样式以及发育模式却研究较少。针对这一问题, 本文利用地震剖面和沿层切片等手段较为详细地刻画了贝尔凹陷走滑断层的平面特征和剖面特征, 分析了贝尔凹陷走滑断层的分布规律, 由此提出贝尔凹陷走滑断层的成因模式, 并就走滑断层对贝尔凹陷油气成藏的控制作用做了简要探讨。

1 贝尔凹陷走滑断层特征

走滑断层在平面上和剖面上所表现出的特定构造特征和组合样式, 是识别走滑断层的基本标志。

1.1 平面特征

在位于伊敏组一段(K₁y₁)顶部的贝尔凹陷T₁反射层断层纲要图(图1)中, 主要发育了3组走滑断层: ①北东向左行走滑断层(F₁、F₂、F₃), 规模较

大,其主位移带由多条断层密集平行排列而成,呈线性条带状展布,其端部伴生断层构成马尾状平面组合,主要分布在霍多莫尔地区;②北东东向左行走滑断层(F_5 、 F_6 、 F_7),为单一的走滑断层,规模较大,其主位移带由多条主干断层依次连接而成,延伸较远,伴生组合不明显,主要发育在苏德尔特地区和敖脑海地区,

苏德尔特走滑断层带(F_5)向西可断续延伸至呼和浩特地区(F_7);③北北西向右行走滑断层(F_4),规模小,延伸短,局部可见伴生断层构成的雁列状平面组合,主要分布在霍多莫尔以东、苏德尔特以北地区。在各组大型走滑断层之间发育了北北西向和近南北向伸展断层,规模大小不一,且多数延伸距离较短。

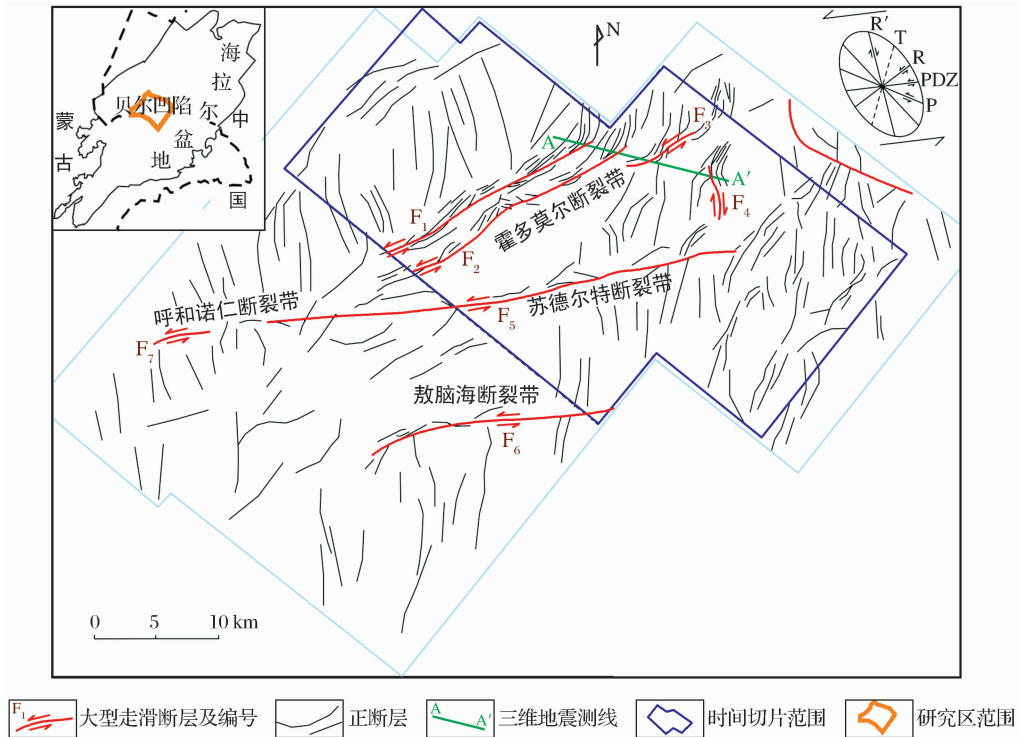


图1 贝尔凹陷 T_1 反射层断层纲要

由贝尔凹陷霍多莫尔—苏德尔特地区 1 000 ms 三维时间切片(图 2)同样可见,霍多莫尔地区自西向东依次发育有 3 条北东向(F_1 、 F_2 、 F_3)和 1 条北北西向走滑断层(F_4),横贯苏德尔特构造带发育有 1 条北东东向走滑断层(F_5),与图 1 中的断层一一对应。沿各走滑断层两侧波组均出现了明显错断或中断,且走滑断层两侧地震同相轴的疏密、宽窄在局部发生突变。这些识别标志反映了走滑断层两盘的相对位移,由此判断北东向和北东东向走滑断层的旋向为左行,北北西向走滑断层的旋向为右行。

综上所述,贝尔凹陷走滑断层的平面特征可概括为^[2, 8-11]:①大型走滑构造带在平面上往往呈线性条带状展布,其走滑构造组合通常集中分布在主位移带附近的有限区域内;②走滑断层的主干断层可以是 1 条,也可以是多条,它们或依次连接,或大致平行,或相互交织,形成辫状、网状或雁列状断层组合;③走滑构造中主干断层与伴生断层构成马尾状(帚状)、梳状、根系状和枝杈状平面断层组合;④在地震

时间切片或水平相干体切片上,断层两盘出现位移错动,同相轴的宽窄和产状发生变化。

1.2 剖面特征

过贝尔凹陷北部霍多莫尔构造带切一条地震剖面(图 3),自西向东依次发育了 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 等 4 条走滑断层带。这 4 条走滑断层带均发育于下白垩

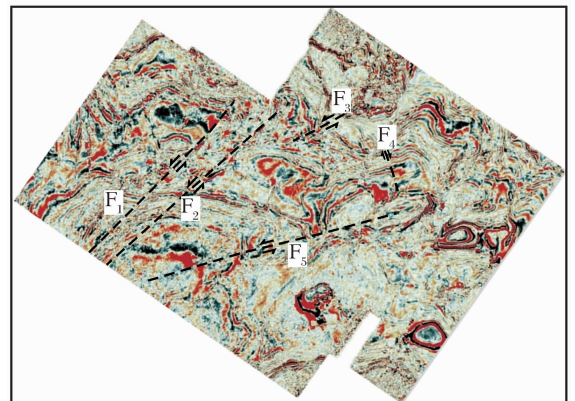


图2 贝尔凹陷霍多莫尔—苏德尔特地区 1 000 ms 三维时间切片(切片范围见图 1)

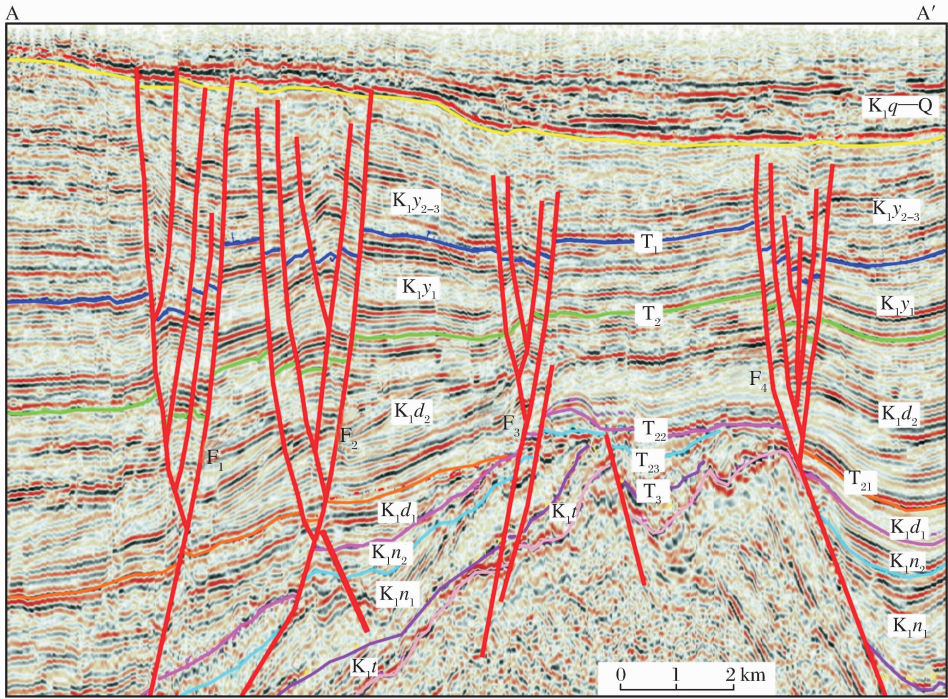


图3 霍多莫尔走滑断层带三维地震剖面特征(剖面位置见图1)

K_{1t} 为铜钵庙组;K_{1n} 为南屯组;K_{1d} 为大磨拐河组;K_{1y} 为伊敏组;K_{1q} 为青元岗组;Q 为第四系

统大磨拐河组至伊敏组沉积时期,规模不等且分别有多条伴生断层收敛于一条主干断层,主干断层向深部趋于直立并切穿下部地层和基底,构成典型的负花状构造;各伴生断层分别切割大磨拐河组和(或)伊敏组,造成地层不连续。整体上,F₁和F₃走滑断层带呈“y”字型构造组合;F₂走滑断层带的主断层切穿了南屯组沉积时期发育的东倾正断层,构成了“x”型构造组合;反之,F₄走滑断层带则呈反“y”字型构造组合。不同走滑断层带的剖面特征差异反映了构造背景和构造应力场的变化。

综上所述,贝尔凹陷走滑断层的剖面特征可概括为以下4点^[8,9,12]:①主干走滑断层的断层面在深部趋于直立,并切穿基底和沉积盖层;②横切走滑构造带的剖面上往往发育上宽下窄的“花朵”状破裂带,即花状构造,压扭作用下产生正花状构造,张扭作用下则产生负花状构造;③走滑断裂带花状构造的主干断层及其伴生断层构成了典型的“y”字型和反“y”字型剖面组合样式;④剖面上可能出现地层的不连续。

2 贝尔凹陷走滑断层成因和发育模式

受区域构造应力场多次变化的影响,贝尔凹陷在早白垩世曾先后经历了伸展断陷、挤压反转和走滑张扭等多期构造作用^[1]。在铜钵庙组—南屯组沉

积时期,贝尔凹陷在北西—南东向拉张应力的作用下产生了多条北东向、北东东向和近南北向控陷正断层,其中霍多莫尔地区主要发育北东向正断层,其东部发育近南北向正断层,而苏德尔特地区和敖脑海地区则多发育北东东向正断层;在大磨拐河组—伊敏组下段沉积时期,贝尔凹陷受北西—南东向挤压作用影响,早期形成的北东向、北东东向和近南北向控陷正断层普遍发生了反转;在伊敏组沉积中晚期,贝尔凹陷的构造应力场再次发生变化,早期形成的一部分北东向、北东东向和近南北向控陷正断层在近东西向的拉张作用下发生走滑。

据此推断,贝尔凹陷走滑断层是早期基底伸展断层在后期拉张应力场的作用下发生张扭而形成的,受到早期基底伸展断层和后期近东西向张扭应力场的双重控制。

由岩石纯剪切变形引起的走滑断层通常是共轭出现的,共轭走滑断层及其分割的2组断块体以相反的时针方向发生旋转;而岩石发生简单剪切变形产生的走滑断层则沿单一方向展布^[9,13-14]。如图4所示,在贝尔凹陷北部霍多莫尔地区地层岩石发生纯剪切变形,发育了北东向左行R(Riedel)剪切破裂(F₁、F₂、F₃)和北北西向右行R'剪切破裂F₄,R和R'断层构成共轭走滑断层,并形成走滑旋转构造,其中北东向走滑断层及断块发生顺时针旋转,而北

北西向走滑断层及断块发生逆时针旋转;在贝尔凹陷中部苏德尔特地区和南部敖脑海地区地层岩石发生简单剪切变形,发育北东东向左行走滑断层(F_5 、 F_6),其中苏德尔特走滑断层带(F_5)向西可断续延伸至呼和诺仁地区(F_7)(图4),走滑断层及其间的

断块未发生旋转。由此可知,贝尔凹陷走滑断层发育模式具有北部纯剪旋转、中南部单剪非旋转的特点(图4)。贝尔凹陷走滑断层的发育受到早期基底伸展断层和后期近东西向张扭应力场的双重控制,由此导致了贝尔凹陷不同地区走滑断层发育的差异性。

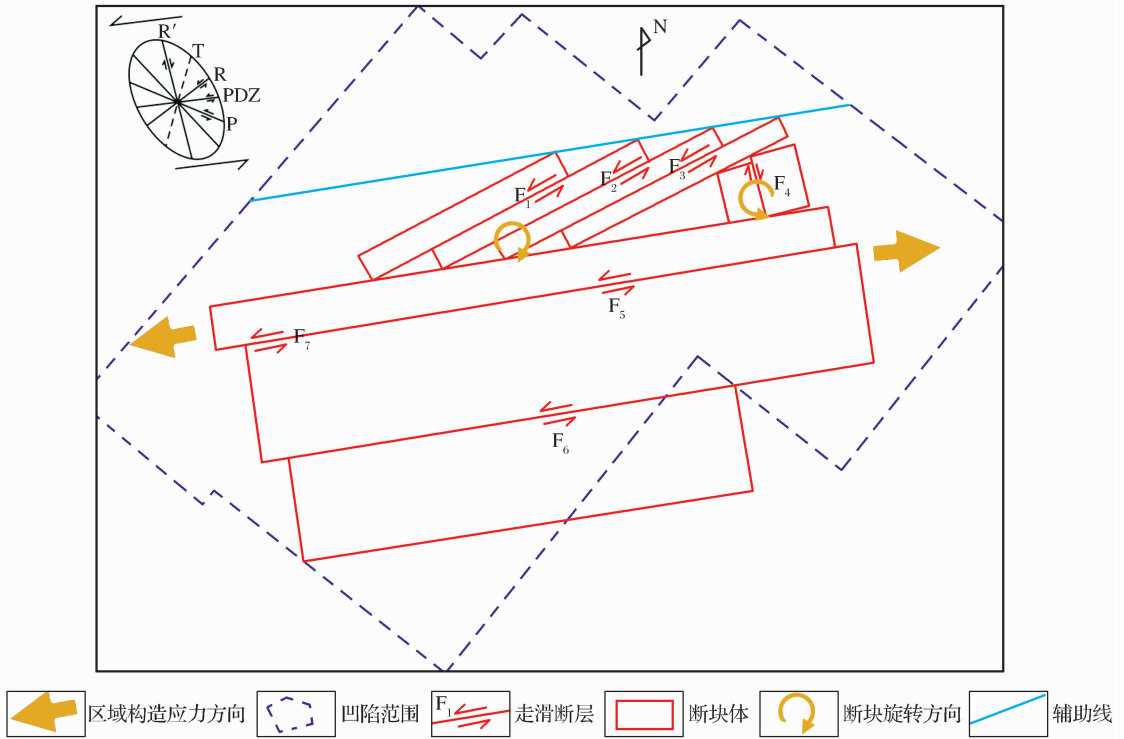


图4 贝尔凹陷走滑断层发育模式

3 走滑断层与油气成藏

贝尔凹陷走滑断层规模较大、延伸较远,构造特征复杂、断层组合多样,对油气成藏具有重要的控制作用。

3.1 促进油气成藏

走滑断层及其派生的雁列褶皱或断层,可以构成断层遮挡型、背斜型等各类构造圈闭,为油气富集成藏提供了有利的空间。走滑断层的断层面陡直,常常切穿深部地层,起到沟通烃源岩和储集层的作用,从而为油气的垂向运移提供了有利通道。然而,物极必反,一旦走滑断层切穿区域盖层直通地表,就可能使早期形成的油藏遭受一定程度的破坏,导致油气散失或运移到其他位置再次成藏。

图5是过霍多莫尔地区贝53井—贝18井的油藏剖面,其中走滑断层的主干断层切穿南屯组及其下伏地层,斜插基底,从而沟通了南屯组一段中下部的暗色泥岩和南屯组一段上部、南屯组二段中部的厚层砂砾岩储集层,以及南屯组二段上部至大磨拐

河组一段中部的泥岩与大磨拐河组一段上部的薄层粉砂岩储集层,为油气的向上运移提供了有利通道。此外,主干走滑断层切割过霍12井的南屯组和大磨拐河组地层,形成侧向封堵,为油气富集提供了有效的断层圈闭。

3.2 改善储层物性

不同性质的断层所控制的裂缝性质和发育方位也有所不同,断层的分布密度也控制着裂缝的发育程度。走滑断层控制着与其斜交的多组剪裂缝、1组张裂缝和1组与之平行的剪裂缝的发育,有助于改善储层的渗透性^[15-17]。走滑断层分布越密集,裂缝越发育,储层物性就越好。由图1可知,霍多莫尔地区为数众多的走滑断层沿北东向和北东东向密集呈带状分布,构成多条走滑断层带,导致该地区裂缝非常发育,储层物性相对较好。苏德尔特地区北东东向走滑主干断层及其以南广泛发育的北东向和近南北向断层也为沟通油源和改善储层物性创造了条件。

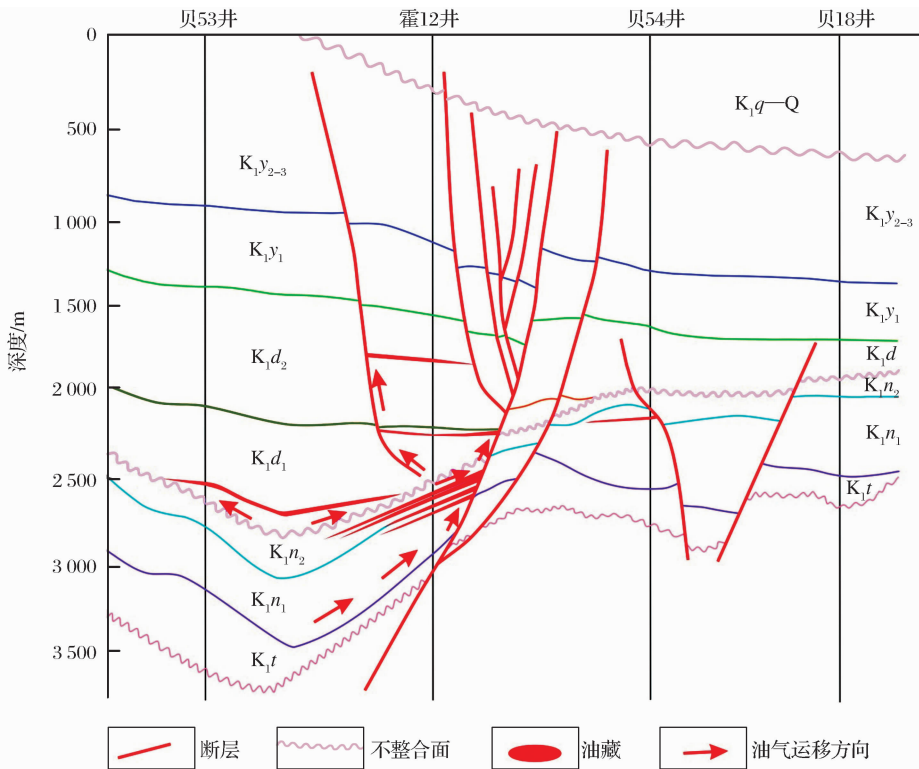


图5 霍多莫尔地区过贝53井—贝18井油藏剖面特征

4 结论

(1) 贝尔凹陷主要发育3组走滑断层:北东向走滑断层、北东东向走滑断层和近南北向走滑断层,各组走滑断层在平面和剖面上的构造特征存在差异。

(2) 贝尔凹陷走滑断层是早期基底伸展断层在后期拉张应力场的作用下发生张扭而形成的,受到早期基底伸展断层和后期近东西向张扭应力场的双重控制。

(3) 贝尔凹陷遵循北部纯剪旋转、中南部单剪非旋转的走滑断层发育模式。即在贝尔凹陷北部霍多莫尔地区发生纯剪切变形,形成走滑旋转构造;在贝尔凹陷中部苏德尔特地区和南部敖脑海地区发生简单剪切变形,走滑断层及其间的断块未发生旋转。

(4) 贝尔凹陷走滑断层集中呈带状展布,走滑断层带附近裂缝十分发育,既可以沟通油源,又能够改善储层物性,为油气成藏提供了有利的构造圈闭和运移通道。

参考文献:

[1] Liu Zhihong, Ren Yanguang, Li Chunbai, *et al.* Structural features and their impacts on petroleum accumulation in the Urxun-Beier depression [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(2): 151-156. [刘志宏, 任延广, 李春柏, 等. 海拉尔盆

地乌尔逊—贝尔凹陷的构造特征及其对油气成藏的影响[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(2): 151-156.]

- [2] Sun Yonghe, Wan Jun, Fu Xiaofei, *et al.* Evolutionary of faults and its controls on fractures in buried hill in Beier depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(3): 316-322. [孙永河, 万军, 付晓飞, 等. 贝尔凹陷断裂演化特征及其对潜山裂缝的控制[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(3): 316-322.]
- [3] Hou Yanping, Zhu Defeng, Ren Yanguang, *et al.* Structural evolution of Beier depression and its controls on sediment and petroleum [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(3): 300-307. [侯艳平, 朱德丰, 任延广, 等. 贝尔凹陷构造演化及其对沉积和油气的控制作用[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(3): 300-307.]
- [4] Zhao Lihua, Chang Jinghui, Fu Xiaofei, *et al.* Formation and evolution of faults in Beier depression and their controls on buried hills and petroleum [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2008, 32(4): 1-4. [赵利华, 常井慧, 付晓飞, 等. 贝尔凹陷断裂形成演化及对潜山和含油性的控制作用[J]. *大庆石油学院学报*, 2008, 32(4): 1-4.]
- [5] Wu Heyong, Li Zishun, Feng Zihui, *et al.* Analysis on structural features and reservoir-forming process in Urxun and Beier sags in Hailaer basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27 (supplement): 1-6. [吴何勇, 李子顺, 冯子辉, 等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷构造特征与油气成藏过程分析[J]. *石油学报*, 2006, 27(增刊): 1-6.]
- [6] Liu Hefu, Xia Yiping, Yin Jinyin, *et al.* Coupling mechanism of strike slip orogen and basin [J]. *Earth Science Frontiers*,

- 1999,6(3):121-132. [刘和甫,夏义平,殷进垠,等. 走滑造山带与盆地耦合机制[J]. 地学前缘,1999,6(3):121-132.]
- [7] Cui Quanzhang, Sun Zengjiu. Fault features and petroleum accumulation of Beier sag in Hailaer basin[J]. *Petroleum Geophysical Exploration*, 2005, 40(supplement): 82-86. [崔全章,孙增玖. 海拉尔盆地贝尔凹陷断裂特征与油气富集规律[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(增刊): 82-86.]
- [8] Xia Yiping, Liu Wanhui, Xu Ligui, *et al.* Identification signals for strike-slip faults and their petroleum geological significance[J]. *China Petroleum Exploration*, 2007, 25(1): 17-23. [夏义平,刘万辉,徐礼贵,等. 走滑断层的识别标志及其石油地质意义[J]. 中国石油勘探, 2007, 25(1): 17-23.]
- [9] Qi Jiayu, Xia Yiping, Yang Qiao. Structural Analysis of Oil Field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 95-141. [漆家福,夏义平,杨桥. 油区构造分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2006:95-141.]
- [10] Sun Hongbin, Zhang Fenglian. Relationship between strike-slip structures and oil-gas in Liaohe basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(1): 16-21. [孙洪斌,张凤莲. 辽河盆地走滑构造特征与油气[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 16-21.]
- [11] Xu Chaohui, Xu Huaimin, Lin Jun, *et al.* 256 strike slip fault characteristic and its geological significance in northwestern Junggar basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(3): 309-310. [徐朝晖,徐怀民,林军,等. 准噶尔盆地西北缘 256 走滑断裂带特征及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 309-310.]
- [12] Yang Peng, Wang Liuzhu, Yu Chaohua, *et al.* Strike-slip structural feature and its influence on the hydrocarbon accumulation in Kendong area, Jiyang depression[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(1): 100-107. [尧鹏,王六柱,余朝华,等. 济阳坳陷垦东走滑断裂构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 100-107.]
- [13] Groshong R H Jr. Comparative Structural Geology[M]. Tuscaloosa: The University of Alabama, 1995.
- [14] Liu Hefu, Li Xiaoqing, Liu Liqun, *et al.* Petroleum play analysis and strike slip structural system mountain-basin coupling [J]. *Geoscience*, 2004, 18(2): 139-150. [刘和甫,李晓清,刘立群,等. 走滑构造体系盆山耦合与区带分析[J]. 现代地质, 2004, 18(2): 139-150.]
- [15] Zhu Zhicheng. Structural Geology[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1999. [朱志澄. 构造地质学[M]. 北京:中国地质大学出版社, 1999.]
- [16] Kim Y S, Peacock D C P, Sanderson D J. Strike-slip faults and damage zones at Marsform, Gozo island, Malta[J]. *Journal of Structural Geology*, 2003, 25(5): 793-812.
- [17] Zou Dongbo, Wu Shiguo, Liu Gang, *et al.* The features of the NNE trending faults and its implication for hydrocarbon in the Zhuanghai area, Bohaiwan basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(5): 503-507. [邹东波,吴时国,刘刚,等. 渤海湾盆地桩海地区 NNE 向断层面性质及其对油气的影响[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 503-507.]

Features of Strike-slip Faults in Beier Sag, Hailaer Basin and Geological Significance for Petroleum

TIAN Ji-qiang¹, JIA Cheng-zao², DUAN Shu-fu¹, BIAN Hai-guang¹, LI Ben-liang¹

(1. *PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China;*

2. *PetroChina Company limited, Beijing 100011, China)*

Abstract: Beier sag is an important Early Cretaceous rift sag in the south of Hailaer basin. Owing to the early structural extension and the late structural transtension, the strike-slip faults are developed in the Beier sag. By means of seismic profiles and time slices, we describe the typical structural characteristics of strike-slip faults, identify three groups of major strike-slip faults, and then discuss the genesis of strike-slip faults in the Beier sag. The development of these strike-slip faults are controlled by both early extension basement faults and late transtension stress field. We give two patterns for the development of strike-slip faults in the Beier sag; one is pure shear and strike-slip rotation in the north and the other is simple shear and non-rotation in the central and south. The rock deformation caused the pure shear in the Huodomoer district of northern Beier sag, and produced a pair of conjugated strike-slip faults in the NE and NNE directions, respectively. The conjugated strike slip faults made the so-called "strike-slip rotation" structure. On the other hand, the rock deformation made the simple shear in both Suderte district and Aonaohai district of central southern Beier sag, and formed the north east eastward strike-slip faults. The strike-slip faults are able to not only form the effective traps, but also improve the porosity and permeability of reservoir beds. Therefore, it is profitable to conduce to the formation of petroleum reservoir.

Key words: Beier sag; Strike-slip fault; Flower structure; Reservoir formation.