

文章编号: 0253-9985(2009)04-0476-07

渤海海域黄河口凹陷走滑转换带对油气聚集的控制

朱秀香^{1,2}, 吕修祥^{1,2}, 王德英³, 张杰^{1,2}[1 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249 2 中国石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249
3 中海石油(中国)有限公司 天津分公司, 天津 300452]

摘要: 黄河口凹陷位于渤海海域的东南部, 郯庐断裂带西支从凹陷中央穿过, 并在此分成了东西两支, 形成了中央隆起区走滑转换带, 从目前勘探成果来看该走滑转换带成为黄河口凹陷主要含油气构造带之一。通过对该走滑转换带构造与演化特征的研究, 以及对转换带内油气成藏特点的分析, 指出转换带通过控制圈闭的发育、砂体的展布和油气的运移疏导体系的形成, 控制了凹陷内中央隆起区的油气聚集。研究转换带对油气聚集的控制作用, 有利于寻找油气富集区, 提高勘探效率。

关键词: 走滑转换带; 油气聚集; 郯庐断裂带; 黄河口凹陷; 渤海海域

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Controlling effect of a strike-slip transform belt on hydrocarbon accumulations in the Huanghekou Sag the Bohai Sea waters

Zhu Xiuxiang^{1,2}, Lü Xiuxiang^{1,2}, Wang Deying³, Zhang Jie^{1,2}(1 Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249 China; 2 Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249 China;
3 CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452 China)

Abstract The Huanghekou sag located in the southeast of Bohai Sea waters is cut through at the center by the west branch of the Tan-lu fault zone, forming a strike-slip transform belt in the central uplift. This belt according to recent exploration results is considered as one of the key hydrocarbon-bearing structural zones in the sag. Studies on the structures and their evolutionary characteristics in the belt, in addition to the analysis of the hydrocarbon accumulation patterns inside the belt, indicate that the transformation belt controls hydrocarbon accumulation in the central uplift through controlling the development of traps, the distribution of sandbodies and the formation of carrier systems. The controlling effect of the transform belt is therefore regarded as a useful clue for finding hydrocarbon-bearing areas and for improving exploration efficiency.

Key words strike-slip transform belt; hydrocarbon accumulation; Tan-lu fault zone; Huanghekou sag; Bohai Sea waters

构造变换带的概念起源于对挤压盆地的逆冲推覆构造体系的研究, 是指地层在区域构造应力作用下发生形变的过程中, 地层为保持应变和位移量的守恒而产生的构造变形带^[1]。随着研究工作的不断深入, 被引入到走滑区和伸展区的构造

研究中^[2~8], 且因为其在砂体富集、油气运移和圈闭形成中的重要性, 而越来越受到重视^[9~12]。

走滑转换构造 (strike-slip transform structure) 一词由叶洪做了系统的论述, 是指“与走滑断层相伴生的或者说由断层的走滑运动‘转换’而成的

收稿日期: 2009-05-08。

第一作者简介: 朱秀香 (1983-), 女, 硕士, 石油地质。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目 (SC06TJ-TQL-004)。

各类张性、压性或张扭性、压扭性构造”^[6]。同时, 由于它和伸展区的构造转换带相似, 被称为“走滑调节斜坡”(Strike-slip relay ramps)^[2]。黄河口凹陷走滑转换带是重要的含油气构造带, 目前发现了近 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的探明石油储量。

1 石油地质特征

黄河口凹陷位于北西向张家口-蓬莱断裂带和北东向郯庐断裂带的交汇处, 渤海海域东南部^[13], 是近东西向和北北东向断裂控制下形成的新生界北断南超半地堑, 凹陷整体近东西走向, 面积约 2570 km^2 。其中, 近东西向的黄北断裂是张家口-蓬莱断裂带在渤海段的分支, 是主要的控凹断层^[14](图 1); 同时黄河口凹陷在一定程度上也受北东向的郯庐断裂带走滑拉分影响, 主要表现在构造沉降速率上, 黄河口凹陷为 0.038 mm/a ^[14]。

黄河口凹陷主要发育近 EW (或 NEE) 和 NNE 两组走向的断裂。其中近 EW (或 NEE) 的断层主要为正断层, 控制着凹陷的格局; NNE 向主断裂是郯庐断裂带的西支(图 1 右图中的 ② 断裂), 西支在该凹陷内又分成了两支, 在两支的交汇处形成了走滑转换带(图 1 右图中虚线位置)。由于走滑转换带的存在将凹陷分成了西洼、中央隆起带和东洼, 再加上控凹断层、次级断层的存在, 又将次洼分成了更多的二级构造单元(图 1)。

黄河口凹陷新生代构造演化总体经历了古新世-渐新世早期(孔店组-沙河街组沉积期, $55.0 \sim 32.8 \text{ Ma}$)和渐新世中、晚期至上新世早期(东营

组-明化镇组下段沉积期, $32.8 \sim 5.1 \text{ Ma}$)两个裂陷-拗陷旋回及上新世晚期(明化镇组上段-平原组沉积期, $5.1 \sim 0 \text{ Ma}$)以来的新构造运动再活动期。多期构造-沉积旋回致使该凹陷形成了多套烃源岩、多个储盖组合、多个层位含油气的特征(图 2)。

黄河口凹陷目前发现的油气藏以构造油气藏为主, 在多套储盖组合中获得了商业油气流, 如沙(河街组)三段、沙(河街组)一二段、东(营组)三段、东(营组)二段、明(化镇)下段。其中深层的沙三段和浅层的明下段油藏是该区主力油气藏组合, 沙三段油藏以轻质油藏为主, 而明下段油藏虽然埋深虽浅, 多为中质油, 具有很好的开采价值。

2 走滑转换带构造特征

走滑转换带位于黄河口凹陷中央隆起带(如图 1 右图中的虚线框), 它是由郯庐断裂带的西支从凹陷中央穿过, 在此分成两支(如图 1 右图, 图 3), 并在两支的交汇处而形成的叠置同向倾斜型走滑转换带(也称走滑转换斜坡)(图 4), 剖面上断层主要表现为负花状构造。

该走滑转换带由于北邻渤南低凸起, 南邻莱北低凸起, 故而从整体上看存在两个走滑转换斜坡(图 5 左)。其主要形成期是早期的郯庐断裂带左旋运动时期, 后期的右旋运动只是对其进行了改造。关于郯庐断裂带的演化前人已经做过大量的工作, 总体看, 从拉张、断陷的角度来说, 大体上, 新生代的演化可分为两期, 即古近纪的断陷发

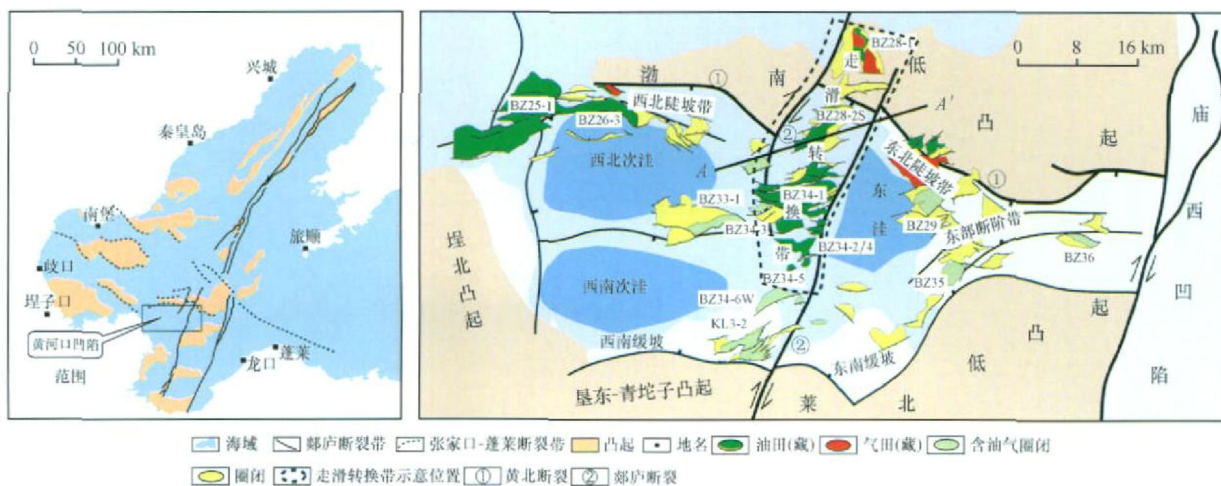


图 1 黄河口凹陷构造位置

Fig. 1 Structural location of the Huanghekou Sag

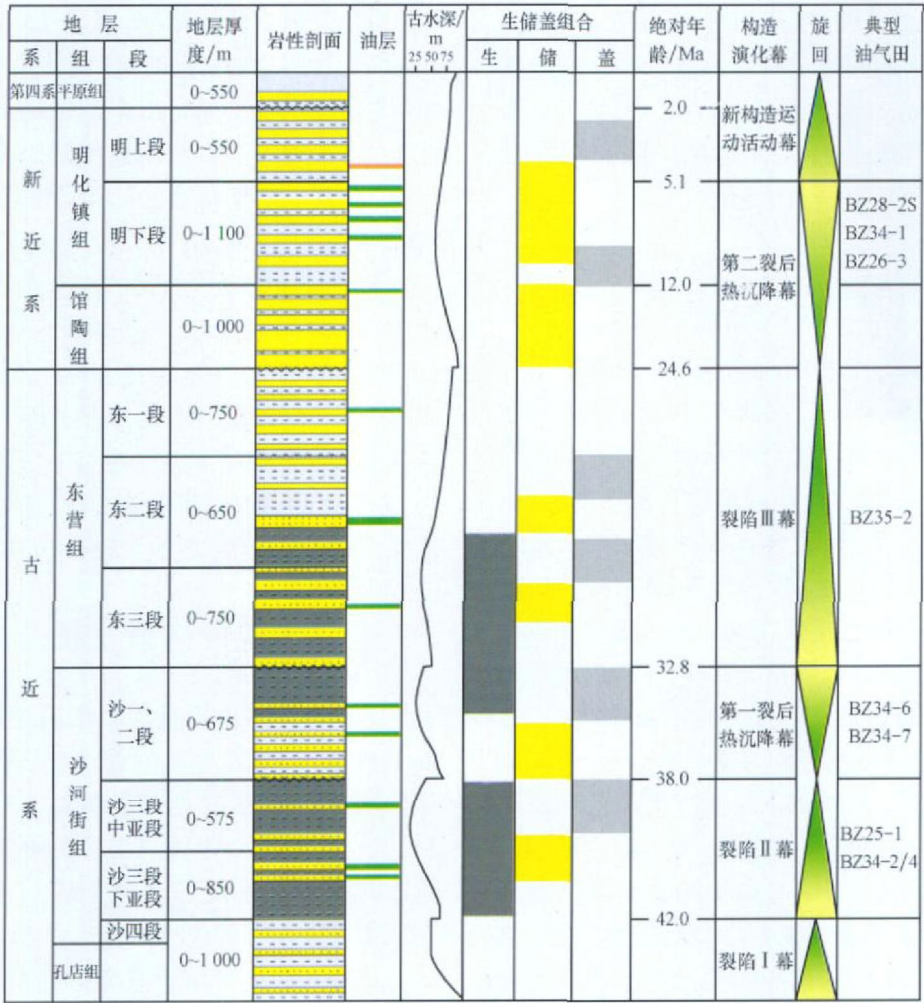


图 2 黄河口凹陷地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Hanghekou Sag

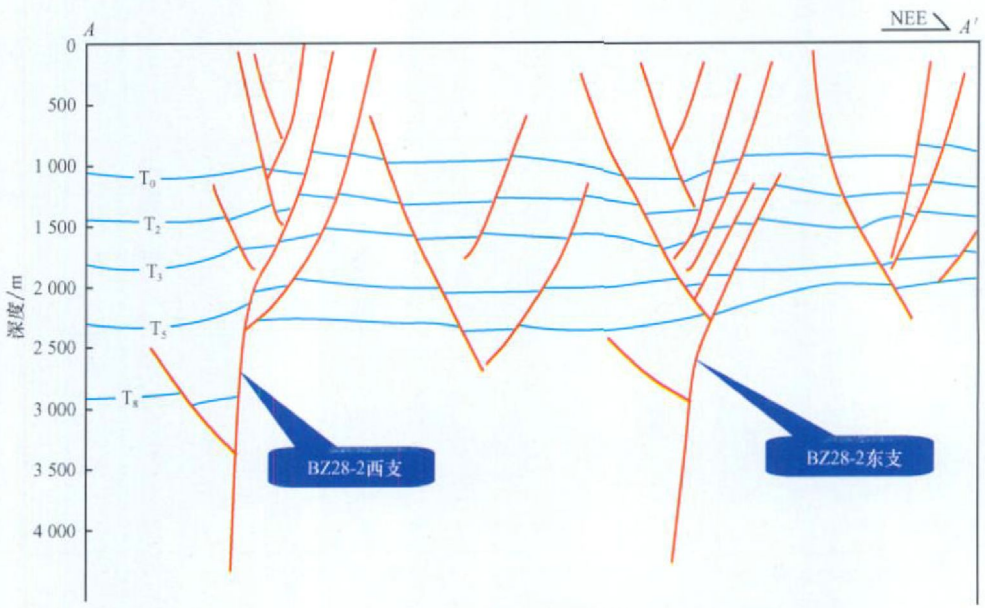


图 3 过 BZ28-2 构造的东西向剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 3 EW profile across the BZ28-2 structure

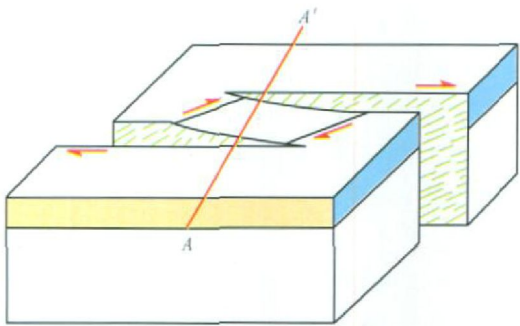


图 4 黄河口凹陷走滑转换带构造模型^[2]

Fig. 4 Structural model of the strike-slip transform belt in the Hanghekou Sag

育期和新近纪 – 第四纪的拗陷发育期^[14-15]。从走滑的角度来说, 前新生代走滑主要表现为左行走滑^[16-19], 进入新生代主要表现为右行走滑, 且新生代的走滑活动主要有两期, 即古近纪的晚期和新近纪上新世 – 全新世。综上所述, 走滑转换带形成于前新生代的左行运动, 定型于新近纪上新世 – 全新世的新构造运动期。

走滑转换带整体趋势从中间向南北方向逐渐抬高, 但是向北是一个陡坡, 向南是一个缓坡, 在东西向上走滑转换带两侧下倾明显, 同时受东西向调节断层的切割作用, 由北向南形成堑、垒相间的构造格局 (图 5)。在凹陷走滑转换带新近系中形成多个断块、半背斜等类型的构造, 黄河口凹陷的 BZ28 – BZ34 构造带就是发育在走滑转换斜坡披覆背景上的, 后被 NNE 和近 EW 向晚期调节断裂切割形成的复杂断块。同时, 由于走滑转换带的发育,

黄河口凹陷被分割为“两凹加一隆”的构造格局。

在转换带及调节断层的控制下, 走滑转换带主要发育的油气藏类型有断背斜型、断鼻型、断块型等。

3 走滑转换带对油气的控制作用

构造转换带与油气关系十分密切。世界上许多大型含油气断陷盆地的油气富集区都与构造转换带有关^[20-24], 如苏伊士湾盆地、利比亚锡尔特盆地以及苏丹穆格莱盆地等都已发现了大量与构造转换带有关的含油气圈闭与油气富集区^[9]。

构造转换带与油气的关系之所以如此密切, 原因在于转换带可以形成有利于油气聚集的构造或圈闭; 转换带将沉积区分成彼此分隔的洼陷, 控制富含有机质沉积物或储集砂体的分布; 转换带密集发育的断裂系统为油气运移和聚集提供了通道^[21]。

3.1 控制油气藏的空间分布

走滑转换带控制构造圈闭的形成和圈闭类型。郯庐断裂的活动及其晚期走滑调节断层为油气聚集提供了更加有利的构造圈闭, 同时也有利地促进了油气的运移聚集成藏^[22]。在走滑转换带内部调节断层的控制下以及在古近系的断陷与拗陷作用下, 在该转换带的南部形成了断背、断鼻、断块和断垒圈闭。同时转换带南部位于区域构造的高部位, 为油气运聚的有利指向区。目前在南

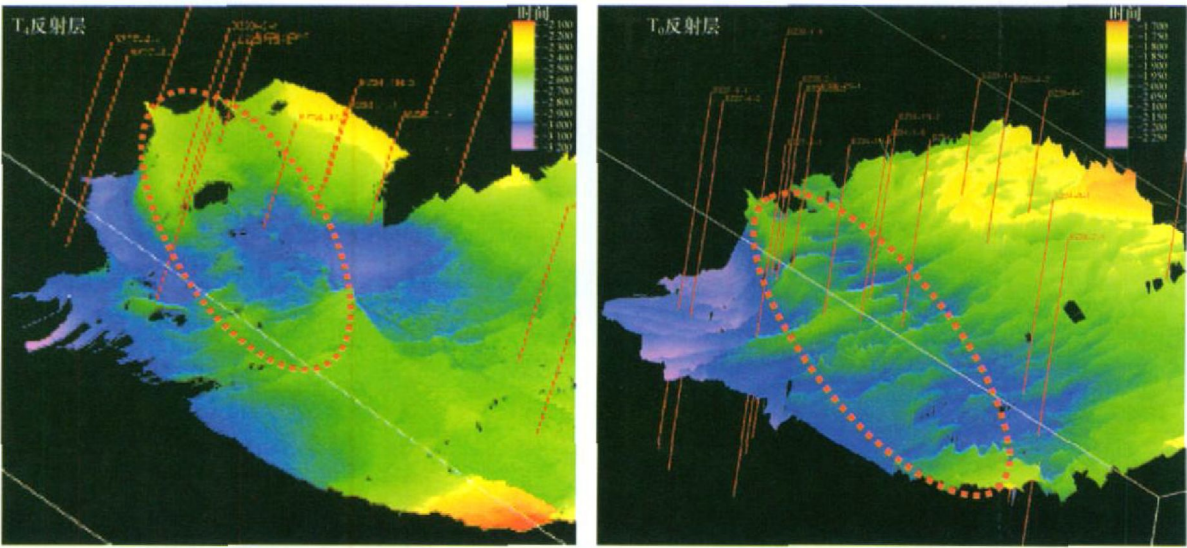
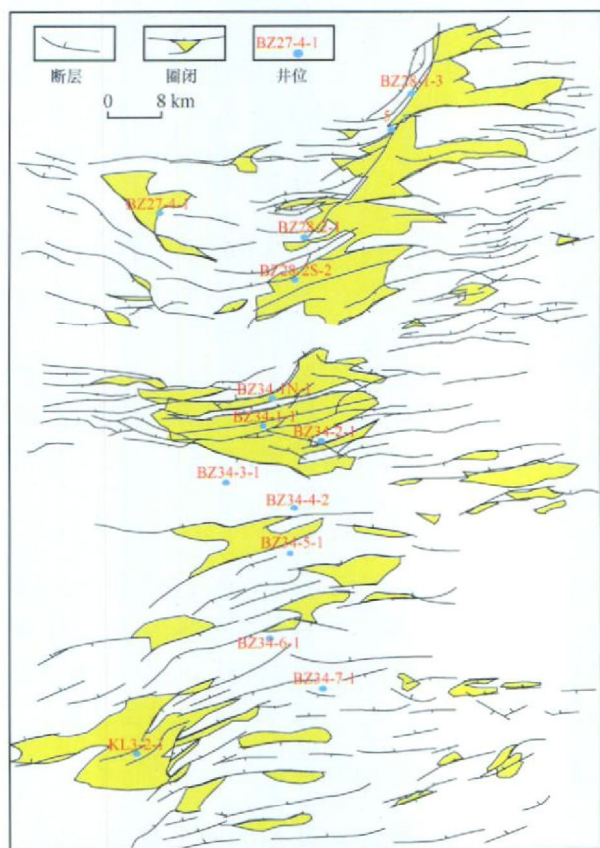


图 5 黄河口凹陷走滑转换带 T_4 和 T_0 反射层的三维显示

Fig. 5 Three-dimensional display of the T_4 and T_0 reflectors of the strike-slip transform belt in the Huanghekou Sag

图 6 走滑转换带 T_0 圈闭分布Fig. 6 Map showing distribution of traps on the T_0 reflector in the strike-slip transform belt

部已发现的油田和含油构造主要有 BZ34-2、BZ34-3、BZ34-4、BZ34-5 等 (图 2)。但在浅层, 虽然渤南地区的 NNE 向的基底郯庐走滑断层很少直接切入新近系或在馆陶组下部尖灭, 但是沿 NNE 向基底断层带上覆的馆陶组、明化镇组中发育有大量斜列的近 EW 走滑调节正断层^[13], 这些斜列调节正断层正好控制了圈闭的形成 (图 6), 如黄河口凹陷的 BZ28-34 构造带就是发育在中央构造带披覆背景上的, 后被 NNE 和近 EW 向晚期调节断裂切割形成的复杂断块。

同时这些圈闭所在的部位在深部位于高部位, 成为油气运移的有利指向区, 再加上砂体和断裂的很好的配合, 更有利于形成有效圈闭。目前, 在这些区域已发现 BZ28-2S 北、BZ28-2S、BZ34-1、BZ34-2/4 等多个油气田。

3.2 控制储集砂体的分布

走滑转换带在裂陷、拗陷阶段一直处于走滑、伸展状态, 因此对沉积层序的沉积类型有着较大

的影响。转换带对储集砂体的控制主要体现在储集体的分布和储集类型上。沙三段沉积时期, 在走滑转换带南部, 成为河流的入湖口, 在此形成辫状河三角洲, 发育良好储盖组合的储集砂体, 发现了 BZ34-2/4 油气藏。在转换带的北部, 紧邻渤南低凸起物源区, 在沙三段、沙一二段沉积了扇三角洲和辫状河三角洲砂体, 为新近系油藏的形成提供了砂体“中转站”^[23] (图 7、图 8), 正是由于

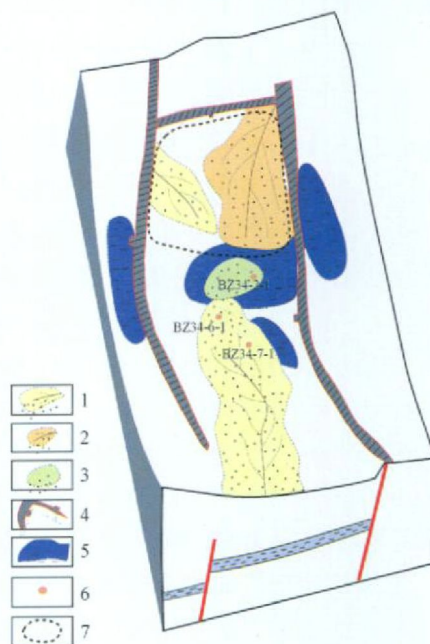
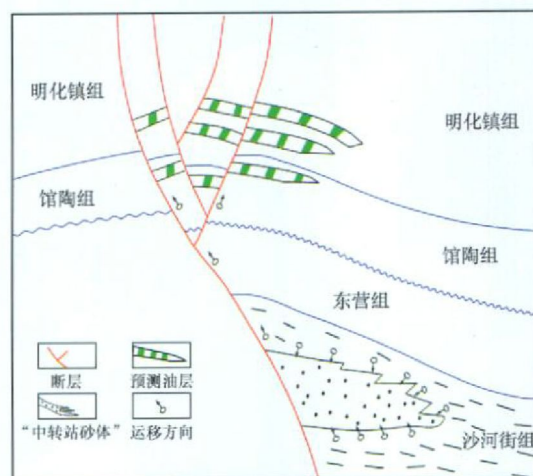


图 7 黄河口凹陷沙三段沉积模式

Fig. 7 Sedimentation model of the third member of the Shahejie Formation in the Huanghekou Sag

1. 辫状河三角洲; 2. 扇三角洲; 3. 浊积扇;
4. 断层; 5. 洼陷; 6. 油井; 7. 中转站砂体

图 8 断裂-砂体油气运移“中转站”模式^[23]Fig. 8 Mode chart showing “transform station” of hydrocarbon migration via fault-sandbody^[23]

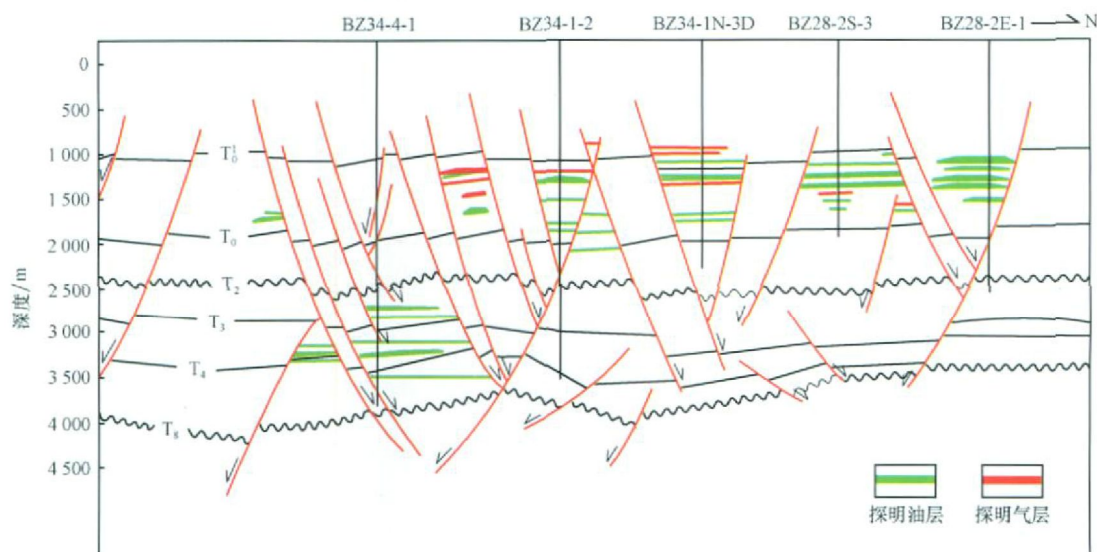


图 9 黄河口凹陷走滑转换带油藏剖面

Fig. 9 Reservoir profile of the strike-slip transform belt in the Huanghekou Sag

“中转站”的存在, 目前在該转换带的明化镇组已发现近 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的储量。BZ34-1 油田的发现, 砂体“中转站”起到了至关重要的作用。在转换带的中部, 东营组主要沉积了滨浅湖砂体, 发现的油气层主要位于一些砂泥互层的薄砂层中 (如 BZ34-3 BZ34-4 BZ34-5 等东营组油气藏)。

3.3 控制油气运移、聚集的规模及方向

首先, 从东西洼陷向转换带逐渐抬高的地形特征说明, 转换带是良好的油气运移指向区。同时, 转换带构造区断裂非常发育, 中生代末燕山运动和始新世-渐新世喜马拉雅运动使区内 NNE-NE 向平行叠状雁行式断裂与 NEE-近 EW 向两组断裂发育, 构成“Z”字型网格状构造。新近纪, 尤其是新构造运动期以来, 在近南北向拉张作用背景下, NNE 向的主走滑断裂派生出众多新的近 EW 向调节断裂, 部分先期断裂活化。晚期活动断裂与先期活化断裂相互切割, 贯通了沙河街组和东营组深部烃源岩层系、砂体与浅部储层, 组成了油气从源岩层或深部砂体直达浅层圈闭的畅通输导网络, 使油气在浅层断块内优势聚集 (图 9)。

4 结论

1) 黄河口凹陷走滑转换带主要位于中央隆起区, 为聚敛接近型转换带。其形成演化可以分为早期左旋形成, 后期右旋改造, 剖面结构表现为负花状构造。

2) 走滑转换带为油气成藏提供了良好的条件。由于转换带内断裂发育, 一方面可以断裂与砂体形成众多的断块圈闭, 另一方面断裂也可以作为油气运移通道促进油气的运移。由于转换带在早期形成时期, 控制了深层砂体的发育, 使得“中转站模式”得以实现。

参 考 文 献

- 1 Dahlström C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970, 18: 332-406
- 2 Peacock D C P, Sanderson D J. Strike-slip relay ramps [J]. Journal of Structural Geology, 1995, 17(10): 1351-1360
- 3 Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zone and transfer zone in the regional segmentation of extended terranes [A]. In: Faulds J E, Stewart J H, eds. Accommodation zones and transfer zones: the regional segmentation of the basin and range provinces [C]. The Geological Society of America, 1998: 1-45
- 4 Moustafa A R. Controls on the geometry of transfer zones in the Suez Rift and northwest Red Sea: implications for the structural geometry of rift systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(6): 979-1002
- 5 Mouslopou V, Nicol A, Little T A, et al. Displacement transfer between intersecting regional strike-slip and extensional fault systems [J]. Journal of Structural Geology, 2007, 29(1): 100-116
- 6 叶洪. 断块构造理论在研究“走滑转换构造”中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 22-31
- 7 陈发景, 贾庆素, 张洪年. 传递带及其在砂体发育中的作用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 144-148
- 8 漆家福, 夏义平, 杨桥. 油区构造解析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 40-49

- 9 Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts [J]. AAPG Bulletin, 1990 74(8): 1 234~ 1 253
- 10 胡望水. 裂谷盆地转换构造及其石油地质意义 [J]. 国外油气勘探, 1994 6(2): 145~ 154
- 11 马丽娟, 郑和荣, 解习农, 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251
- 12 梁锋, 范军侠, 李宏伟, 等. 大港油田板桥凹陷构造变换带与油气富集 [J]. 古地理学报, 2008 10(1): 73~ 76
- 13 漆家福, 邓容敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008 38(增刊): 19~ 29
- 14 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(5): 301~ 305
- 15 米立军, 段吉利. 渤中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律 [J]. 石油学报, 2001 22(2): 32~ 37
- 16 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~ 106
- 17 万天丰. 郯庐断裂带的演化与古应力场 [J]. 地球科学, 1995 20(5): 526~ 534
- 18 万天丰. 郯庐断裂带的形成与演化综述 [J]. 现代地质, 1996 10(2): 159~ 167
- 19 张方银. 郯庐断裂带构造特征及油气分布规律 [J]. 油气地质与采收率, 2002 9(6): 22~ 25
- 20 孙红军. 中新世辽河盆地区域应力场变化及其成因 [J]. 古地理学报, 2002 4(4): 61~ 69
- 21 赵洪格, 刘池阳, 杨明慧, 等. 调节带和传递带及其在伸展区的分段作用 [J]. 世界地质, 2000 19(2): 105~ 110
- 22 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造 [J]. 中国海上油气地质, 1998 12(5): 289~ 295
- 23 邓运华. 断裂-砂体形成油气运移的“中转站”模式 [J]. 中国石油勘探, 2005 (6): 14~ 17
- 24 刘玉瑞, 刘启东, 杨小兰. 苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(3): 279~ 283

(编辑 董立)

(上接第 468 页)

- tonic context [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004 29: 25~ 41
- 8 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999 7(2): 15~ 17
- 9 赵力彬, 黄志龙, 高岗, 等. 关于用包裹体研究油气成藏期次问题的探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2005 12(6): 6~ 9
- 10 白国平. 包裹体技术在油气勘探中的应用研究现状及发展趋势 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2003 27(4): 136~ 140
- 11 Cao J, Jin Z, Hu W X, et al. Integrate GOI and composition data of oil inclusions to reconstruct petroleum charge history of gas-condensate reservoirs: example from the Mosuowan area, central Junggar basin (NW China) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(1): 137~ 144
- 12 Cartrell A, Bailey W R, Brincat M. A new model for assessing trap integrity and oil preservation risks associated with post-rift fault reactivation in the Timor Sea [J]. AAPG Bulletin, 2006 90(12): 1 921~ 1 944
- 13 李大伟. 新构造运动与渤海湾盆地上第三系油气藏 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 170~ 184
- 14 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 133~ 135
- 15 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251

(编辑 董立)

(上接第 475 页)

- 9 Lindsay N G, Murphy F C, Walsh J J, et al. Outcrop studies of shale smears on fault surfaces [Z]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1993 113~ 123
- 10 Peter B, Graham Y, Helen J. Using Calibrated shale gouge ratio to estimate hydrocarbon column heights [J]. AAPG Bulletin, 2003 87(3): 397~ 413
- 11 Constantin J, Peyaud J R, Vergé P, et al. Evolution of the structural fault permeability in argillaceous rocks in a polyphased tectonic context [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2004 29: 25~ 41
- 12 葛建党. 郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系 [J]. 海洋石油, 2000 107: 14~ 20
- 13 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~ 106
- 14 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999 7(2): 15~ 17
- 15 王书宝, 钟建华, 陈志鹏. 惠民凹陷新生代断裂活动特征研究 [J]. 地质力学学报, 2007, 13(1): 86~ 96
- 16 肖英玉, 郝雪峰. 断层生长指数在层序地层单元中应用的局限性 [J]. 油气地质与采收率, 2003 10(增刊): 1~ 3
- 17 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3): 20~ 23
- 18 盛文波, 操应长, 刘晖, 等. 东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(3): 290~ 296

(编辑 董立)