

文章编号: 0253-2697(2010)03-0355-06

黄骅拗陷中区大型斜向变换带及其油气勘探意义

王家豪^{1,2} 王 华¹ 任建业¹ 肖敦清³ 蒲秀刚³

(1. 中国地质大学资源学院 湖北武汉 430074; 2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室 湖北武汉 430074;
3. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院 天津 300280)

摘要: 依据断层产状、断裂组合和盆地构造样式分析结果,在黄骅拗陷中区识别了一个大型斜向变换带。该变换带主要发育于古近纪,沿走向表现为不同幅度的同沉积背斜,延伸距离达 70 km。变换带由两组倾向相反的正断层叠覆形成,其东西两侧分属两个伸展构造体系。以西呈半地堑构造样式,以东则呈地堑构造样式。变换带的位置与黄骅—聊城—兰考大型走滑断裂带北延段一致,并发育有典型的花状构造,表明基底结构的差异以及深部走滑断裂长期活动是其产生的内在原因。斜向变换带古近系储集砂体丰富,并发育有上超尖灭和断背斜两种有利圈闭类型,是研究区一个重要的油气聚集带。

关键词: 黄骅拗陷;古近纪;斜向变换带;走滑断裂带;伸展构造体系;圈闭类型;油气聚集带

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

A great oblique transition zone in the central Huanghua Depression and its significance for petroleum exploration

WANG Jiahao^{1,2} WANG Hua¹ REN Jianye¹ XIAO Dunqing³ PU Xiugang³

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resource of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

Abstract: The fault occurrence, fracture combination and structural patterns of basins were analyzed, and a great oblique transition zone was identified in the central Huanghua Depression. The transition zone was mainly developed in the Paleogene and showed a range of syndepositional anticline with various amplitudes which stretched a distance over 70 km along its strike. The transition zone was constructed by two groups of overlapped antithetic faults. Two extensional structure systems were developed respectively at two lateral sides of the transition zone. The western system presented half-graben style, and the eastern one presented graben style. The transition zone location was accordant to the northern segment of the large-scale strike-slip Huanghua-Liaocheng-Lankao fault belt and developed the rosette structures, which manifested that the transition zone was essentially resulted from differential basal structures and long-termed, deep-seated strike-slip movement. The transition zone was characterized by abundant sandbody reservoirs and two favorable traps of faulted anticline and onlap pinching out in the Paleogene. It is verified that the transition zone is an important hydrocarbon accumulation belt.

Key words: Huanghua Depression; Paleogene; oblique transition zone; strike-slip fault; extensional structure system; trap pattern; hydrocarbon accumulation belt

“变换带”的概念起源于对挤压区褶皱—冲断带的构造研究。20 世纪 80 年代,国外学者 Scott 等^[1]、Morley 等^[2]将该概念应用于伸展构造体制,表征在伸展变形构造的分区、分带、分段、叠覆或交接部位为保持区域应变守恒而产生的一类调节构造体系^[3]。斜向变换带是其中较独特的类型,形成于倾向相反、终止端沿走向侧列并发生部分叠覆的正断层或断层组

之间^[4]。“斜向”相对于“横向”和“纵向”,是指变换带走向与相关正断层走向斜交,且夹角为 $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ ^[5-6]。Morley 等^[2]、McClay 等^[4]在东非大裂谷发现了为数众多的斜向变换带构造。汪新文在东濮凹陷中央隆起带也识别了马厂构造东北翼、唐庄构造和文明寨构造等一系列规模不等的横向—斜向构造变换带^[6]。但对中国东部中—新生代广泛发育的伸展性盆

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 40872077)资助。

作者简介:王家豪,男,1968 年 10 月生,1990 年毕业于中国地质大学(武汉),现为中国地质大学副教授,主要从事沉积学、层序地层学教学和科研工作。E-mail: cugwangjiahao@163.com

地的斜向变换带的报道目前尚不多见。

1 斜向变换带的识别及特征

黄骅拗陷属中、新生代渤海湾断陷盆地群的组成部分。受北北东、北东和东西向断裂的控制,拗陷中区主要发育板桥、歧北和歧南3个次凹;北大港、南大港2个潜山;以及埭北断阶带、歧口主凹、北塘次凹等次级构造单元,总体呈现东西分带、南北分块的格局(图1)。历经古近纪裂陷期、新近纪拗陷期的两个演化阶段,



(1) 沧东断层; (2) 港东断层; (3) 滨海断层; (4) 港西断层; (5) 南大港断层; (6) 羊北断层; (7) 扣村断层; (8) 黄骅断层; (9) 羊二庄断层; (10) 赵家堡断层; (11) 张东断层; (12) 歧东断层; (13) 歧中断层; (14) 滨海1号断层; (15) 海河-新港断层

图1 黄骅拗陷中区构造单元区划

Fig. 1 Tectonic units in the central Huanghua Depression

形成了古近系沙河街组和东营组、新近系馆陶组和明化镇组的巨厚河湖相沉积。周建生等^[7]、邬光辉^[8]、王家豪等^[9]对研究区不同级别变换带的构造样式、成因及控砂作用进行了研究。

以三维地震资料解释为基础,通过断层产状、断裂组合和构造样式分析,在黄骅拗陷中区识别出一个大型斜向变换带。黄骅拗陷中区大型斜向变换带由北自沧东断层—海河-新港断层、南至黄骅断层—羊二庄断层的一系列断层叠覆形成(图1)。

1.1 变换带两侧正断层(断层组)倾向相反

斜向变换带发育于倾向相反的正断层或正断层组的叠覆带;反过来,斜向变换带两侧正断层(断层组)倾向相反是其典型特征和识别标志之一。研究区斜向变换带以西,断层数量较少,由北向南依次为港东断层、滨海断层、港西断层、南大港断层,呈北东—南西走向,倾向南东,这些断裂在古近纪活动强烈,控制了歧北次凹、歧南次凹的形成演化。变换带以东,断层相对密集,由南向北较大的断层依次为赵家堡断层、张东断层、歧东断层、歧中断层、滨海1号断层,呈北西—北东走向,倾向北北西或北北东,单条断层活动性较弱。其中,赵家堡断层、张东断层、歧东断层构成埭北多级断阶带;歧中断层、滨海1号断层发育于歧口主凹内部,对歧口主凹的演化具有一定影响(图1)。

三维地震相干切片显示,变换带两侧断层及断层组走向上不一致、平面上错位、数量上西少东多,即沿变换带呈现明显的东、西分段(分带)活动特征,尤其在浅层1320ms切片上更加明晰(图2),分段作用正是变换带的重要特征^[10-12]。从3320ms和1320ms深、浅层两个切片显示,变换带主要发育于古近纪,并延续至新近纪,平面上深、浅层位置相同,均呈北东—北北东走向的“S”形,延伸距离达70km。

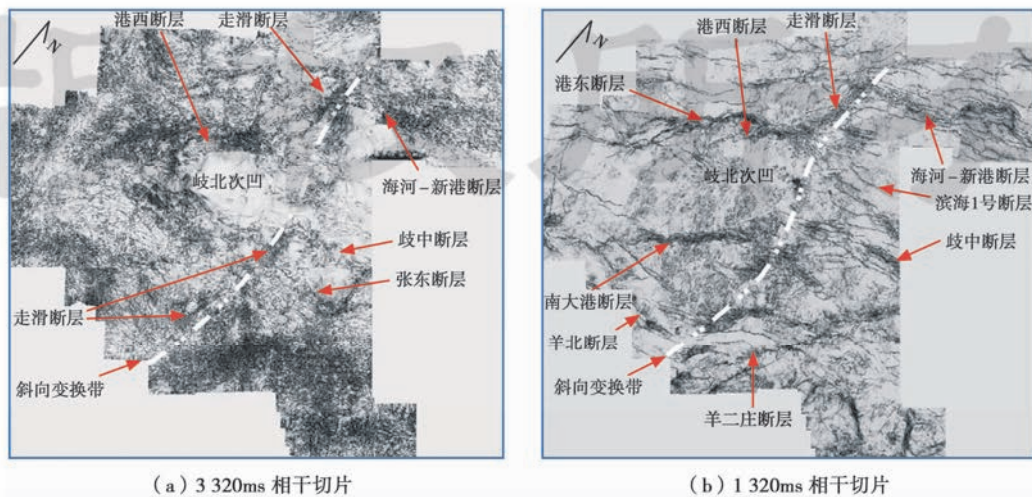


图2 变换带两侧断层展布特征

Fig. 2 Faults distribution at the bilateral transition zone

1.2 变换带两侧构造样式截然不同

分隔构造带或构造单元、调节区域构造变形是变换带的主要功能。研究区大型斜向变换带的级别为一级^[8],其两侧分属2个一级构造带,其二级构造单元组成、构造样式以及基底沉降特征存在明显的差异。变换带以西为板桥次凹—北大港潜山—岐北次凹—南大港

潜山—岐南次凹构成的隆—凹相间格局,板桥、岐北和岐南3个次凹呈北断南超的半地堑式结构[图3(a)];变换带以东断层倾向相对,整体呈一个大型的地堑式结构,造就了岐口主凹在全区规模最大、沉降最深、充填地层最厚[图3(b)],如岐口凹陷沙一下亚段地层厚度最大达700m,而在岐北次凹厚度最大为450m。

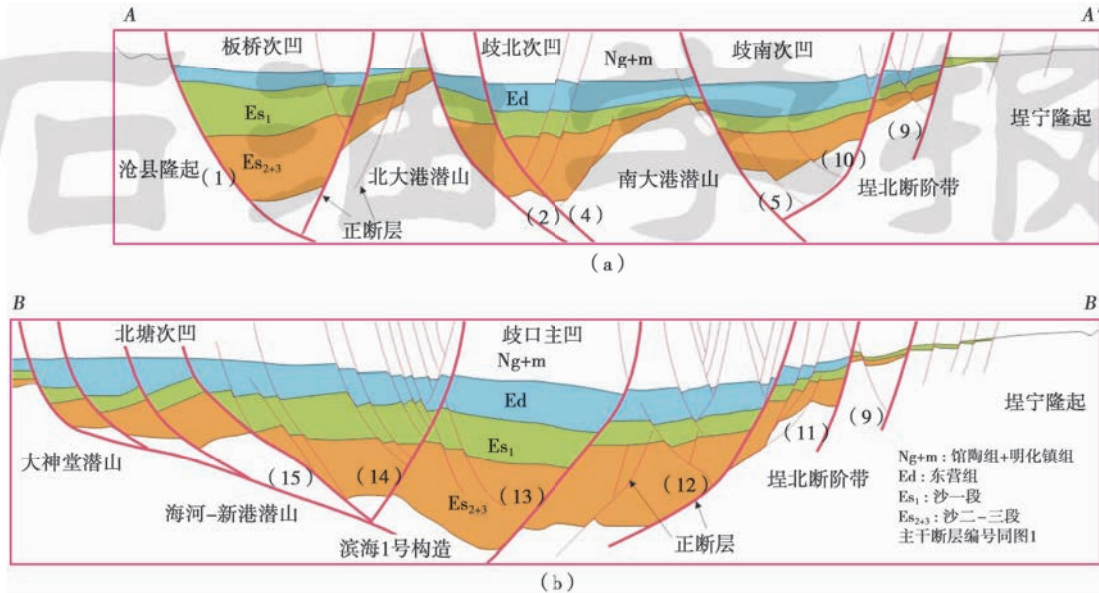


图3 变换带两侧地质结构剖面(剖面位置见图1)

Fig. 3 Geologic structural sections at the bilateral transition zone

在区域构造走向上,变换带两侧的二级构造单元并不是简单的凸起、凹陷的顺向延伸,存在着凸起(潜山、断阶)与凹陷的不协调对接关系,如北大港潜山与岐口主凹、岐南次凹与埕北断阶带之间。因此,斜向变换带两侧属于构造样式截然不同的两个伸展构造体系,正是由于变换带的调节作用,其两侧的构造样式及构造变形达到了协调统一。

1.3 沿斜向变换带走向发育的凸起

Faulds等^[13]称这种沿斜向变换带走向发育的凸起为“斜向变换带褶皱”,褶皱的几何学形态受两侧断层沿走向叠覆的规模和断层倾向控制,背斜发育于倾向相对的正断层或断层组之间,向斜形成于倾向相背的正断层或断层组之间。根据倾向不同的正断层系沿走向叠覆量的不同,褶皱的延伸方向与正断层的走向斜交的角度出现变化,叠覆量越大,斜交的角度越小^[6]。

研究区斜向变换带与断层走向呈 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 夹角,两侧断层叠覆量较少,沿变换带走向发育宽4~11 km、隆升幅度不等的凸起,即背斜构造(图4),背斜形态沿走向发生变化。在岐北次凹与岐口主凹之间,背斜形态宽缓,局部呈两翼陡、核部平缓的“箱型”[图4(a)];在岐南次凹与埕北断阶带之间,背斜较为紧闭,隆升幅度较大[图4(b)]。

沿斜向变换带凸起部位,沙河街组不同程度减薄,反映了斜向变换带褶皱的同沉积性质,并以沙三段时期同沉积(相对)隆升幅度大,与该时期强烈断陷的盆地演化阶段吻合。沙一段至东营组沉积时期,盆地的断陷作用减弱,拗陷作用增强,同沉积(相对)隆升的幅度则相应减小。也就是说,褶皱(相对)隆升与变换带两侧断裂活动强度有关,断裂活动越强、褶皱(相对)隆升的幅度越大。

2 斜向变换带的成因机制

Faulds等^[10]强调,变换带普遍由构造分段作用形成。但从根源上,作为一种特殊的变换带类型,斜向变换带的产生可能受多种因素控制,如基底构造、岩性、断层位移梯度、传递断层、岩浆活动等。本区大型斜向变换带产生的根本原因在于深部走滑断裂长期活动,并非单一的拉张作用的结果。

众所周知,新生代以来,受太平洋板块的俯冲和印度板块与欧亚板块碰撞的影响,渤海湾盆地的发育演化具有右旋扭张特征^[13-15],并因此增进了渤海湾盆地丰富多样变换构造的发育^[16]。前人研究表明^[17],中国东部3条北北东向大型走滑断裂带之一的黄骅—聊城—兰考断裂带(或称为黄骅—德州—东明走滑构造

带)的北延段穿越研究区,其主干走滑断层与本文识别的斜向变换带的位置一致。

走滑作用在相干切片上表现为沿变换带两侧发育的走滑断层(图2);在横切变换带的地震剖面上则表现为花状构造标志,具有主干走滑断层根部插入基底、断面陡直、局部断面弯曲不规则、总体向上撒开呈“花状”、上正下逆等特点(图4)。受密集的断层穿插以及局部扭压变形的影响,花状构造发育部位的地层结构较为杂乱。根据变换带两侧的断层产状判断,走滑作用为右行走滑性质。

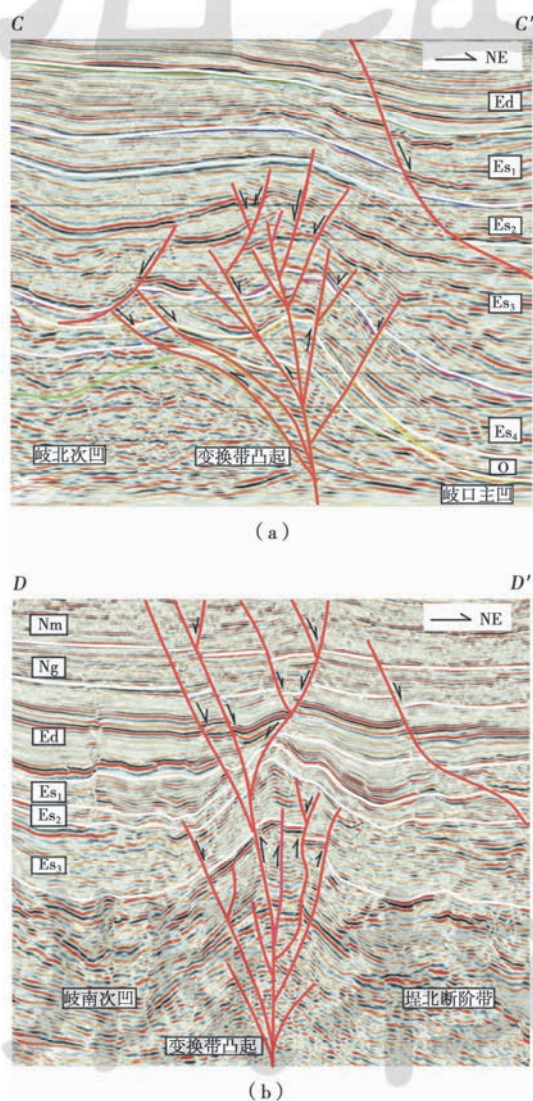


图4 斜向变换带褶皱形态及花状构造(剖面位置见图1)

Fig. 4 Fold patterns and rosette structures at the oblique transition zone

在变换带的不同区段,花状构造的形态、结构以及向上扩展的层位有所不同。在岐北次凹与岐口主凹之间,花状构造向上扩展至沙三段—沙二段[图4(a)];在岐南次凹与埭北断阶带之间向上扩展至馆陶组—明

化镇组[图4(b)],并表现为深、浅层的两级花状形态,体现了走滑活动在沙四段至沙三段时期强烈、在沙二段至东营组时期减弱、馆陶组—明化镇组时期再次增强的阶段式过程。

根据池英柳^[14]、周立宏^[18]对渤海湾盆地深层构造研究,黄骅—聊城—兰考走滑断裂带在燕山期已经形成,航磁和深地震探测资料证实,有一条深断裂从黄骅坳陷—东濮凹陷的中央穿过,断裂两侧的结晶基底组成不同,以东的渤—鲁断块区为鲁西型基底;以西的冀中—临清断块区为太行山型基底。由此看来,研究区大型斜向变换带的成因归根结底在于基底结构的差异和先存的基底走滑断裂持续活动。

前人研究将变换带分为传递带和调节带两个大类。其中,传递带强调两个正断层伸展体系之间以走滑断层连接,走滑断层又称为传递断层;而调节带由两条正断层或断层组叠覆形成,其构造样式包括背斜、向斜和转换斜坡^[10]。总体看来,研究区斜向变换带具有传递带和调节带的双重性质,其中传递带特征在深部表现更加突出。

3 油气勘探意义

多年的勘探实践表明,黄骅坳陷中区的斜向变换带是一个重要的油气聚集带,目前已有大量的油气发现,究其原因如下:

(1) 斜向变换带褶皱提供了背斜或断背斜圈闭条件。实例还包括东濮凹陷中央隆起带构造变换带,变换带表现为宽缓的横向—斜向变换带背斜,并被众多的叠覆断层复杂化,形成了为数众多的含油气构造^[6]。

(2) 斜向变换带砂体富集。大量的研究证实,变换带对沉积物的导入和分散控制作用明显,断陷盆地中一些大型(扇)三角洲和重力流砂体的形成大多与变换带有关^[9,19-21]。斜向变换带两端分别由两条侧列的正断层形成2个走向斜坡,成为大量沉积物的入口;而后,受斜向变换带凸起的分隔,沉积物向变换带两侧的凹陷分散。黄骅坳陷中区古近纪受沧县隆起、燕山造山带和埭宁隆起3大物源供给,主要发育扇三角洲、辫状河三角洲、三角洲和浊流沉积。依据大量的钻井资料编制的古近系沙河街组和东营组各亚段砂体等厚图、含砂率等值线图以及沉积相平面展布图,均显示出沉积物沿斜向变换带两端导入、沿变换带两侧分散的特点。斜向变换带沙一上亚段储层砂体十分丰富,北部物源从沧东断层和海河—新港断层的结合部导入,在板桥次凹东部发育大型扇三角洲(图5),单井累计砂岩最厚达130 m,形成了本区最大的储集带;在岐北次凹和岐口主凹演变为大型湖底扇沉积,两个凹陷单

井累计砂岩最厚分别达 120 m 和 140 m。南部砂体从扣村断层与羊二庄断层的结合部导入,形成辫状河三角洲,其远端发育小型浊积扇,单井累计砂岩最厚达 70 m。

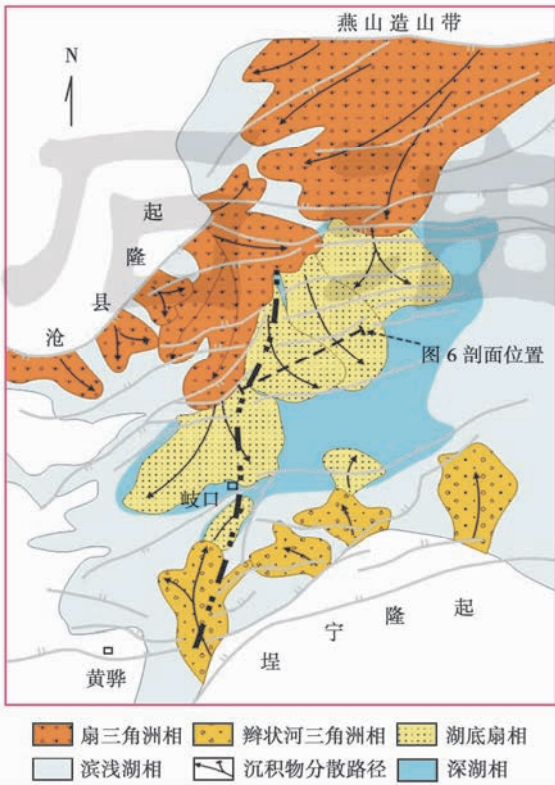


图 5 沙一上亚段沉积相平面展布

Fig. 5 Sedimentary facies distribution in the sub-Member Es_{1sh}

(3) 斜向变换带造就了多层位上超尖灭圈闭的发育。同沉积期,斜向变换带表现为水下凸起带,凸起两侧的斜坡成为砂体上超尖灭发育的有利部位。在变换带凸起向岐口主凹的斜坡部位,沙河街组多层位的低位扇砂体上超尖灭,低位扇体具“S”型前积反射结构(图 6)。

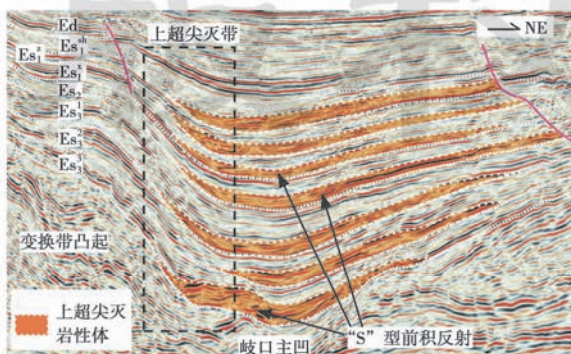


图 6 变换带凸起斜坡带上超尖灭现象(剖面位置见图 5)

Fig. 6 Phenomena of onlap pinching out at the slope of transition zone uplift

此外,斜向变换带毗邻岐北次凹、岐口主凹和岐南次凹 3 个凹陷带,油气资源丰富。作为长期(相对)隆升的正向构造单元,变换带是油气运移的指向区,且变换带断层提供了油气垂向运移的通道条件。

4 结 论

(1) 黄骅坳陷中区斜向变换带由倾向相反的断层叠覆形成,沿走向表现为不同程度的凸起,其两侧分属两个伸展构造体系。该变换带级别高(一级),延伸距离大,作用时间长,为一个大型斜向变换带。

(2) 斜向变换带与黄骅—聊城—兰考走滑断裂带的北延段主干断裂位置一致,并发育有花状构造标志,基底结构差异、深部走滑断裂长期活动是研究区斜向变换带产生的内在原因。

(3) 斜向变换带储层砂体丰富,(断)背斜和多层位上超尖灭圈闭发育,是一个重要的油气聚集带。

参 考 文 献

- [1] Scott D L, Rosendahl B R. North Viking Graben: An East African prospective[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(2): 155-165.
- [2] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1234-1253.
- [3] 刘剑平,汪新文,周章保,等. 伸展地区变换构造研究进展[J]. 地质科技情报, 2000, 19(3): 27-32.
Liu Jianping, Wang Xinwen, Zhou Zhangbao, et al. Research advance in transition structure in extended region[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(3): 27-32.
- [4] McClay K R, Dooley T, Whitehouse P, et al. 4-D evolution of rift systems: Insights from scaled physical models[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(6): 935-959.
- [5] Schlische R W. Geometry and origin of fault-related folds in extensional settings[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(11): 1661-1678.
- [6] 汪新文. 伸展褶皱作用及其油气勘探意义[J]. 现代地质, 2008, 22(1): 60-69.
Wang Xinwen. Extensional folding and its significance for oil-gas exploration[J]. Geoscience, 2008, 22(1): 60-69.
- [7] 周建生,杨池银,陈发景,等. 黄骅坳陷横向变换带的构造特征及成因[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 425-433.
Zhou Jiansheng, Yang Chiyin, Chen Fajing, et al. Structure characteristics and origin of transverse transfer zone in Huanghua subbasin[J]. Geoscience, 1997, 11(4): 425-433.
- [8] 邹光辉,漆家福. 黄骅盆地一级构造变换带的特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 125-128.
Wu Guanghui, Qi Jiafu. Characteristics and origin of first order transfer zones in Huanghua Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 125-128.
- [9] 王家豪,王华,肖敦清,等. 伸展构造体系中传递带的控砂作用——储层预测的新思路[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 19-25.

- Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, et al. Transfer zone controlling on sandbodies in extensional structure system: A new solution to predict reservoir[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(1): 19-25.
- [10] Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zone and transfer zone in the regional segmentation of extended terranes [G]//Faulds J E, Stewart J H. Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the basin and range provinces. *Geology Society of America Special Paper*, 1998, 323: 1-45.
- [11] 赵红格, 刘池阳, 杨明慧, 等. 调节带和转换带及其在伸展区的分段作用[J]. *世界地质*, 2000, 19(2): 105-111.
Zhao Hongge, Liu Chiyang, Yang Minghui, et al. Accommodation zones and transfer zones and their roles in the segmentation of the extended terranes[J]. *World Geology*, 2000, 19(2): 105-111.
- [12] 孙思敏, 彭仕宓, 汪新文. 东濮凹陷兰聊断层的分段特征及其石油地质意义[J]. *石油学报*, 2003, 24(4): 26-30.
Sun Simin, Peng Shimi, Wang Xinwen. Segmentation characteristics of Lanliao fault in Dongpu Depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(4): 26-30.
- [13] Faulds J E, Olson E L, Harlan S S, et al. Miocene extension and fault-related folding in the Highland Range, southern Nevada: A three-dimensional perspective[J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24(4): 861-886.
- [14] 池英柳, 赵文智. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集[J]. *石油学报*, 2000, 21(2): 14-20.
Chi Yingliu, Zhao Wenzhi. Strike-slip deformation during the Cenozoic and its influence on hydrocarbon accumulation in the Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(2): 14-20.
- [15] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 1-10.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 1-10.
- [16] 杨明慧. 渤海湾盆地变换构造特征及其成藏意义[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 816-823.
Yang Minghui. Transfer structure and its relation to hydrocarbon exploration in Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 816-823.
- [17] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J]. *中国地质*, 2004, 31(1): 15-21.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay Basin and their genetic interpretation [J]. *Geology in China*, 2004, 31(1): 15-21.
- [18] 周立宏, 李三忠, 刘建忠, 等. 渤海湾盆地燕山期构造特征与原型盆地[J]. *地球物理学进展*, 2003, 18(4): 692-699.
Zhou Lihong, Li Sanzhong, Liu Jianzhong, et al. The Yanshanian structural style and basin prototypes of the Mesozoic Bohai Bay Basin[J]. *Progress in Geophysics*, 2003, 18(4): 692-699.
- [19] 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.
Chen Fajing, Jia Qingsu, Zhang Hongnian. Transfer zone and its relation with distribution of sandbodies[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 144-148.
- [20] 孙向阳, 任建业. 东营凹陷北带转换带构造与储集体分布[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(1): 21-23.
Sun Xiangyang, Ren Jianye. Transfer zone and its relative reservoir distribution in northern zone of Dongying Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(1): 21-23.
- [21] 周心怀, 余一欣, 魏刚, 等. 渤海辽东湾海域 JZ25-1S 转换带与油气成藏的关系[J]. *石油学报*, 2008, 29(6): 837-840.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Wei Gang, et al. Relationship between JZ25-1S transfer zone and hydrocarbon accumulation in Liaodongwan offshore of Bohai Bay Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(6): 837-840.

(收稿日期 2009-09-19 改回日期 2010-01-18 编辑 熊 英)

版权所有