

渤海湾盆地南堡凹陷的背形负花状构造

刘晓峰^{1,2},董月霞³,王 华^{1,2}

1. 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

2. 中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074

3. 中国石油天然气股份有限公司冀东油田分公司,河北唐山 063004

摘要: 花状构造以其独特的构造样式而成为在剖面上识别走滑构造的重要标志. 经典的花状构造包括正花状构造和负花状构造. 渤海湾盆地南堡凹陷发育一种新型的花状构造——背形负花状构造. 在三维地震剖面上,背形负花状构造是由一束向上、向外撒开的大多数为正离距的离散的走滑断层或转换伸展断层所限定的,下部呈“向形”,上部呈“背形”的组合样式. 平面上,褶皱和相关正断层呈雁行排列. 背形负花状构造发育于南堡凹陷转换伸展的构造背景. 浅层的“背形”是由转换伸展断层牵引塑性的盖层而形成的一种强制褶皱. 该构造经历了牵引背斜形成和背斜脊部断裂—塌落两个发育阶段. 背形负花状构造普遍发育于渤海湾盆地的新近系.

关键词: 背形负花状构造;构造地质;沉积作用;南堡凹陷.

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2010)06-1029-06

收稿日期: 2010-04-25

Antiformal Negative Flower Structure in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

LIU Xiao-feng^{1,2}, DONG Yue-xia³, WANG Hua^{1,2}

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063004, China

Abstract: Flower structures are specific modes of formation, and their distinctive characteristics make them important criteria for the identification of a strike-slip zone in vertical cross-sections and on seismic profiles. Two element types of the classical flower structures were respectively negative and positive flower structures. There is a new kind of flower structure termed antiformal negative flower structures in Nanpu sag, Bohai Bay basin. A antiformal negative flower structure in 3D seismic profiles from the Nanpu sag consists of a shallow antiform and a deep synform bounded by upward and outward spreading strands of a strike-slip fault that have mostly normal separations. In map-view, the folds and associated normal faults present an en echelon arrangement. Antiformal negative flower structure formed in the transtensional setting of Nanpu sag. The shallow antiform is forced folds caused by the transtensional faults dragging cover into folds. Antiformal negative flower structure undergone two phases of deformation including: (1) forming of drag fold and (2) faulting and collapsing of the fold crest. The antiformal negative flower structures are a widespread structural styles in the Neogene of the Bohai Bay basin.

Key words: antiformal negative flower structure; structural geology; sedimentation; Nanpu sag.

花状构造是走滑构造剖面上的典型特征. 经典的花状构造仅包括正花状和负花状两种类型. 负花状构造是由向上扩展的一束多数为正离距的走滑断层所限定的浅层向形;正花状构造是由向上扩展的一束多数为逆离距的走滑断层所限定的浅层背形

(Harding and Lwell, 1979; Harding, 1985). 本文基于对渤海湾盆地新近系发育的“花状构造”的观察而提出一种新的花状构造样式——背形负花状构造(图1).

渤海湾盆地新近系明化镇组以及馆陶组普遍发

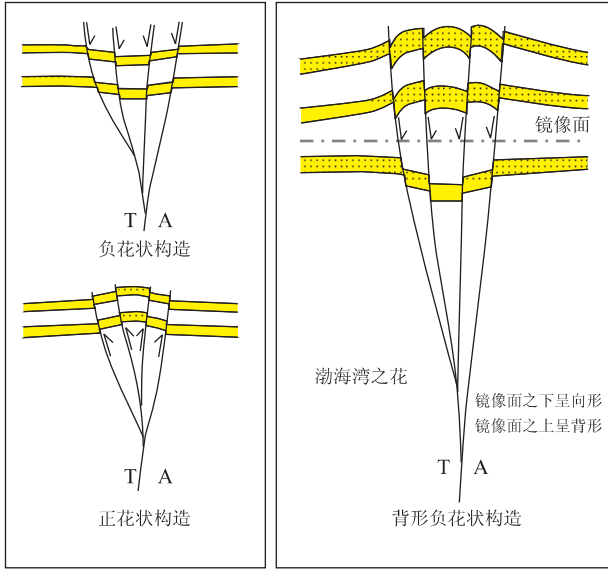


图 1 花状构造的类型

Fig. 1 Types of flower structures in cross-sections

T. 面向观察者; A. 背离观察者

育一种由密集而陡的正断层切割的背斜构造组合,渤海石油公司称该断层组合为“耙式断层”。严俊君和马前贵(1992)注意到这些断层大多数为正断层,但地层却不呈地堑式,而呈“背形”状;认为“背形”的出现说明可能曾遭受过短暂的挤压或挤压分量的影响。王国纯(1998)提出上新世末期反转形成了大量的渤海海域特有的浅层类花状构造,可能与郯庐断裂或大型扭动构造有关。邓运华(2001)认为“耙式断

层”组合的蓬莱 14—3 构造的古近系呈负向构造,新近系呈正向构造,显示构造“反转”的特征。姚超等(2004)指出这些断裂、背斜类构造是走滑挤压正反转和滞后负反转的叠置。显而易见,他们都强调本文所谓的背形负花状是一种特殊的构造样式;对于该类构造成因机制的认识强调了压扭作用和反转作用。本文的目的是以发育于渤海湾盆地南堡凹陷内的背形负花状构造为实例,以三维地震解释为手段,在描述其几何学特征的基础上,提出一种新的成因模式——转换伸展断层牵引褶皱模式。

1 区域地质概况

南堡凹陷为渤海湾盆地黄骅拗陷北部的一个中—新生代盆地(图 2)。南堡凹陷以北部的西南庄断裂和东北部的柏各庄断裂为边界,为北断南超、东断西超的半地堑式盆地。西南庄断裂与柏各庄断裂为同一条断裂,又称为西南庄—柏各庄断裂(董月霞等,2008),对凹陷的形成演化有明显的控制作用。

凹陷内部主要的断裂带包括:近 E-W 向的高柳断裂带,将凹陷分为南北 2 个沉积区,北部为沙三段—二段的沉积中心,南部广大地区是沙一段—东营组的沉积中心;5 条 NE 向构造带,自 NW 到 SE 为南堡 5 号构造带、南堡 6 号构造带、南堡 1 号构造带、南堡 2 号构造带和南堡 3 号构造带。NW 向构造

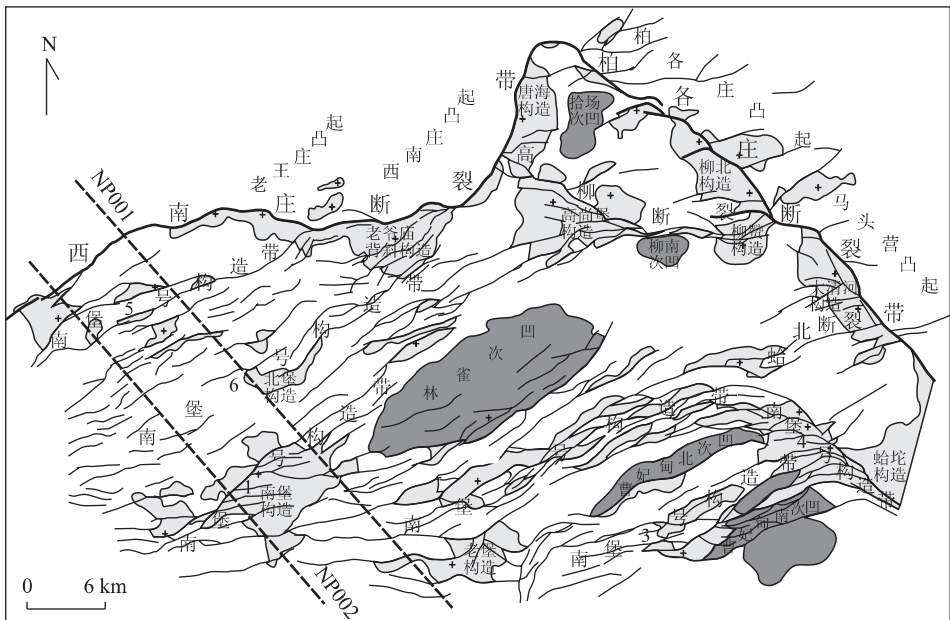


图 2 渤海湾盆地南堡凹陷构造格局

Fig. 2 The tectonic framework of the Nanpu sag

带为南堡 4 号构造带,近平行于柏各庄断裂. 凹陷内主要的正向构造包括:老爷庙构造、北堡构造、高尚堡构造、柳赞构造、蛤坨构造等;主要的负向构造单元包括林雀次凹、曹妃店次凹(分曹妃店南次凹和曹妃店北次凹)、柳南次凹、拾场次凹等. 南堡凹陷的 5 条 NE 向构造是主要的背形负花状构造带.

南堡凹陷内新生界地层厚度约 4 000 ~ 6 000 m,包括古近系沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组. 渤海湾盆地古近系底部的孔店组及沙河街组四段在南堡凹陷普遍缺失. 正形负花状构造的“背形”主要发育在明化镇组,其次是馆陶组.

2 正形负花状构造几何学特征

2.1 剖面特征

2.1.1 三维地震剖面 NP001 构造描述 三维地震剖面 NP001 呈 NW-SE 向依次近垂直穿过南堡 5 号、6 号、1 号和 2 号构造带(图 3).

南堡 5 号—6 号构造带发育一束以 F1 断层为主断层、向上撒开的正离距断层,而馆陶组及以下地层形成了地堑式的向形,具有正花状构造组合的特

征. 明化镇组明显上凸与馆陶组以下地层的下凹形成了镜像特征. 越靠近断层密集处,背形幅度越大. Harding(1985)在描述安达曼海的负花状构造时也提到了类似的强制褶皱,并认为由于缺乏横向的缩短作用,倾向滑动分量就成为这种褶皱的主要机制. 本文不排除倾向滑动牵引形成的褶皱,但更强调转换伸展断层横向牵引作用对褶皱的贡献.

南堡 6 号构造带是以 F2 断层为主走滑断层构成的向上扩展的断层束. 明化镇组在 2 条边界断层之间明显上拱呈背斜,与下凹的馆陶组以下地层呈现了上凸下凹的镜像特征,镜像面大致位于 T1(明化镇组底界). 该构造代表了宽缓的正形负花状构造. 背斜被一系列次级正离距的小断层错断. 这些次级正断层明显是自上而下扩展的,说明其与自下而上扩展的断层束有一定的成因差异(见下文讨论).

同时,剖面也显示南堡 5、6 号构造带在深部合并成了一条走滑构造带,由 F1、F2 为主要走滑断层,它们具有明显的正离距,馆陶组及以下地层呈现了地堑式的向形,构成了一个较大尺度的正花状构造. 明化镇组内部因存在 2 个背斜而表现为地层上拱.

南堡 1 号构造和南堡 2 号构造带在深部会合并

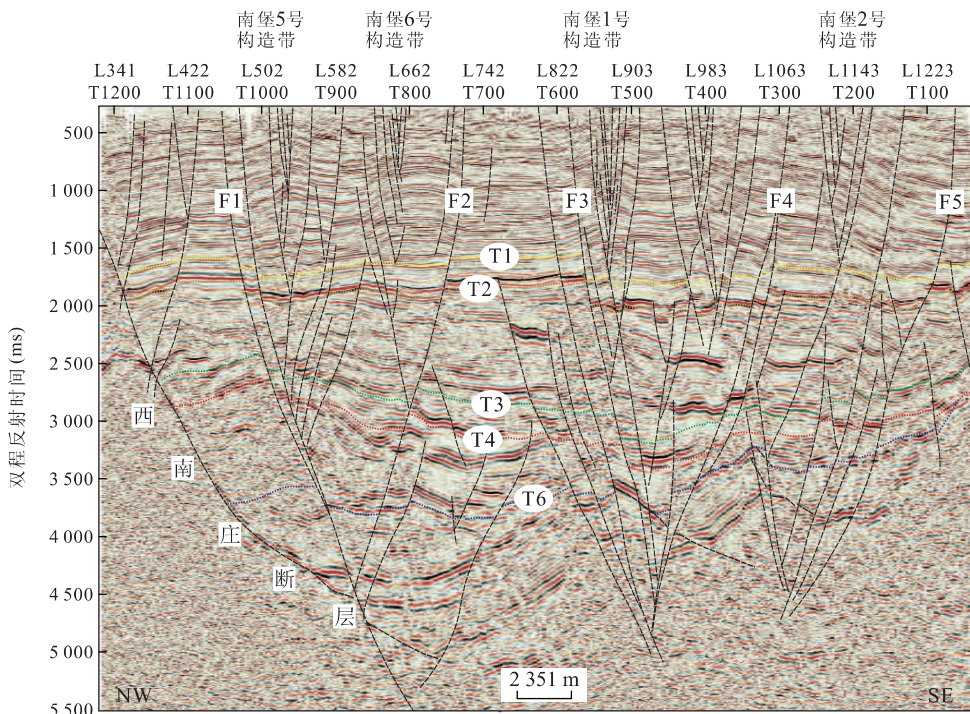


图 3 南堡凹陷三维地震剖面 NP001 构造解释

Fig. 3 Structural interpretation of 3D seismic profile NP001 from Nanpu sag
T1. 明化镇组底; T2. 馆陶组底; T3. 东营组底; T4. 沙一段底; T6. 沙三段底

成一个较大尺度的走滑构造带,以 F3、F4 和 F5 为主要走滑断层,具有明显的正离距. 介于 F3、F5 之间的馆陶组及以下地层构成了下凹的地堑;浅部明化镇组整体上拱形成背形. 特别的是,2 断层之间明化镇组厚度明显加大,形成了以明化镇组底界(T1)附近为镜像面的上凸下凹的形态镜像关系以及地层厚度的对称.

2.1.2 三维地震剖面 NP002 构造描述 三维地震剖面 NP002 呈 NW-SE 向穿过南堡 5、6 号构造带,显示两个发育程度较低的正形负花状构造. 为了解这些构造的细节,本文特意对比了一些标志层(图 4).

南堡 6 号构造的比较简单,但背斜幅度高(图 4b). 这种构造在形态上完全类似于负花状构造,但通过标志层以及断层归位对比显示该背斜在断层的上下盘地层厚度相等,可以恢复出一连续的背斜,这与一般的负或正花状构造的向形和背形有差异,后者是不连续的(Harding, 1985). 同时断层归位显示,在标志层 H5 之前, F3 断层上下盘地层厚度相当,而 H5-H6、H6-H7 之间的地层厚度在 F3 断层下降盘增厚,说明该断层同沉积作用发生在 H5-H6 沉积期,大致相当于明化镇组上段沉积期. 这也说明了背形处地层加厚的原因.

南堡 5 号构造带是由 F1 和 F2 限定的正形负花状构造,发育程度较高,上凸下凹的镜像特征比较清晰(图 4). 大致从明化镇组沉积开始, F1 断层就

具有了同沉积特征.

2.2 平面特征

1 000 ms 水平地层切片的解释结果显示,南堡 1 号构造带由一系列雁行式左阶斜列的褶皱和断层构成,主走滑断层方向为 NNE. 褶皱呈狭长的椭圆形,褶皱轴近 NEE 向,与主断层斜交,反映其具有走滑牵引褶皱的特征,褶皱轴与主断裂的锐角夹角指示对盘的运动方向呈左旋的特征. 主要与南堡 4 号构造带的左旋转换伸展作用有关(图 5). 雁行正断层走向 NEE,大多数是背斜脊部断层,大致与褶皱轴平行或呈小角度斜交,而与 NNE 向主断层斜交,相当于 P 剪切断裂.

3 背形负花状构造成因分析

由于背形负花状构造呈现出镜像的特征,人们很容易用反转机制解释它们的成因,并认为它们是受到了挤压或压扭作用而导致的正反转. 这些背形负花状构造中的背斜和高角度正离距走滑断层均呈雁列式排列并与主走滑断层斜交. 同时,它们发育在南堡凹陷转换伸展作用的背景下(周海民等, 2000, 2001;徐安娜等, 2006;董月霞等, 2008). 这两方面因素提示我们利用走滑断裂相关褶皱作用来解释背形正花状构造的成因. 通常与走滑断层有关的褶皱有两种:披盖褶皱和牵引褶皱. 前者褶皱轴平行主走滑方向呈线性,而后者与主走滑方向斜交呈雁列式. 无

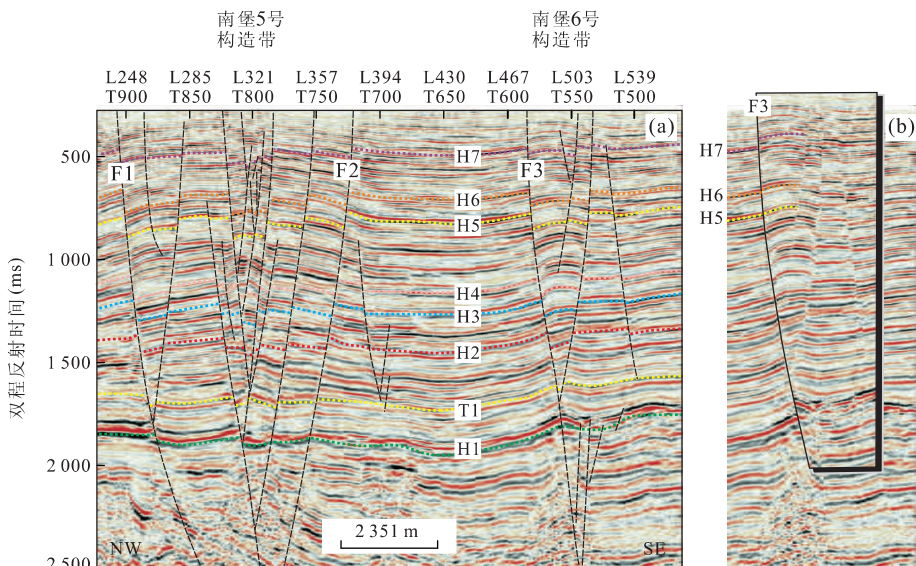


图 4 南堡凹陷三维地震剖面 NP002 构造解释

Fig. 4 Structural interpretation of 3D seismic profile NP002 from Nanpu sag
a. H1-H7 为任意标志轴, T1 为明化镇组底界; b. F3 为断层归位

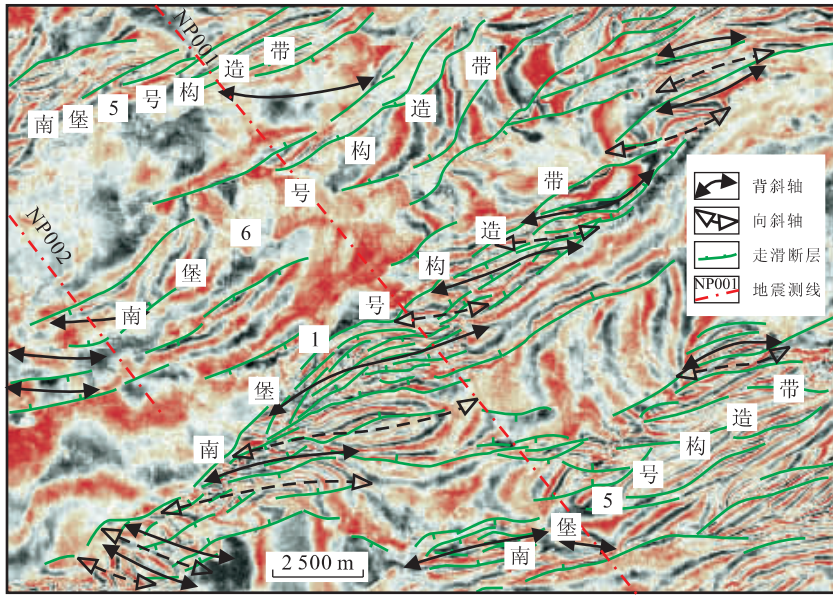


图 5 南堡凹陷南堡 1 号构造带水平切片(1 000 ms)解释

Fig. 5 Interpreted time slice 1 000 ms showing the en echelon faults and folds in the Nanpu 1 structural zone

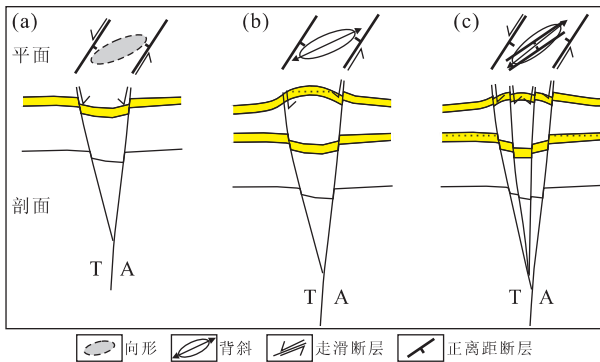


图 6 背形负花状构造成因模式

Fig. 6 Schematic interpretation of the formation of the anti-formal negative flower structure

论是披盖褶皱还是牵引褶皱都属于强制褶皱(Cosgrove and Ameen, 2000). 强制褶皱发育的条件需要可以滑动的盖层岩石. 南堡凹陷,乃至整个渤海湾盆地的“背形”发育的主要层位为明化镇组,因此明化镇组即为强制褶皱的盖层. 概括而言,这些背形负花状构造主要经历 2 个发育阶段(图 6):

(1)走滑牵引背斜形成阶段. 馆陶组沉积期,早期,走滑断层活动形成了比较典型的正花状构造(图 6a). 明化镇组沉积期,前期的断层包括隐伏的和透入进明化镇组的走滑断层持续发生水平或斜向滑动时,牵引非强硬的明化镇组盖层形成一系列雁行褶皱(即牵引褶皱或强制褶皱),与主走滑断层方向斜交(图 6b). 这与 Becker(1995)论述的由被动旋转作

用形成的圆锥强制褶皱的机制相似. 这些背斜大多数是狭长的,少数走滑牵引弱的地区会发育宽缓的褶皱,其背斜轴依然与走滑运动方向斜交. 这些斜交的褶皱轴与主走滑方向所夹的锐角指示对盘的运动方向. 另外,这里虽然强调了馆陶组沉积后已经发育了正花状构造,并不意味着背形负花状构造一定要继承先存的正花状构造才能发育. 只要存在走滑断层牵引非强硬的盖层产生褶皱和滑脱,就可以形成背形负花状构造.

(2)背斜脊部断裂—塌落阶段. 盖层滑脱产生背斜的同时会产生核部的空位,空位不会维持太久,上部地层就会塌落,形成一系列与褶皱轴小角度相交的正离距断裂,构成背斜脊部的地堑(图 6c). 这些正离距断层相当于次级同向断层或 P 剪切,初始发育阶段以正断层为主,晚期具有走滑特征. 同沉积阶段,这些断层下降盘不断加厚,出现背斜中部地层厚、两翼相对薄的特征,而与基底构成地层厚度的镜像. 随着主走滑断层的持续运动,水平或斜向位移不断增大,牵引褶皱的幅度也就越大,次级同向走滑断层的走滑特征也越明显. 当主走滑断层位移达到一定程度时,部分次级同向走滑断层会产生逆离距,但由于本区处在转换伸展的构造背景下,因此几乎没有发现逆断层.

Zolnai(1991)指出隆起或褶皱并不一定意味着挤压;反之,破裂或沉降也并不意味着伸展,它们可能都是由于剪切作用产生的,而并不是因为任何与

“轴”垂直方向的收缩作用。正形负花状构造是在转换伸展作用下形成的,无论其褶皱如何强烈,都不需要直交褶皱轴方向的收缩作用。背形负花状构造对于我们重新认识渤海湾盆地新近纪的构造作用具有重要的意义。

4 结论

南堡凹陷发育一种新型的花状构造——背形负花状构造,由一束向上、向外撒开的正离距走滑断层所限定的、深部“向形”、浅部“背形”的构造样式。平面上褶皱和相关正断层分别与主走滑断层斜交并呈雁行排列。背形负花状构造主要发育在走滑和转换伸展的构造背景下,是走滑断层或转换伸展断层牵引盖层褶皱而形成的,主要经历了走滑或转换伸展断层牵引背斜形成阶段和背斜脊部断裂—塌落阶段。

References

Becker, A., 1995. Conical drag folds as kinematic indicators for strike-slip fault motion. *Journal of Structural Geology*, 17(11): 1497—1506.

Cosgrove, J. W., Ameen, M. S., 2000. Forced folds and fractures. *Geological Society Special Publication*, 169: 1—225.

Deng, Y. H., 2001. Control of the neotectonism along Tancheng-Lujiang fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 15(5): 301—305 (in Chinese with English abstract).

Dong, Y. X., Wang, Z. C., Zheng, H. J., et al., 2008. Control of strike-slip faulting on reservoir formation of oil and gas in Nanpu sag. *Petroleum Exploration and Development*, 35(4): 424—430 (in Chinese with English abstract).

Harding, T. P., 1985. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion. *AAPG Bulletin*, 69: 582—600.

Harding, T. P., Lwell, J. D., 1979. Structural styles, their plate tectonic province. *AAPG Bulletin*, 63: 1016—1058.

Wang, G. C., 1998. Relationship of Tanlu fault to the inversion and flower structures in Bohai Bay. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 12(5): 289—295 (in Chinese with English abstract).

Xu, A. N., Zheng, H. J., Dong, Y. X., et al., 2006. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction in Dongying Formation of Nanpu sag. *Petroleum Exploration and Development*, 33(4): 437—443 (in Chinese with English abstract).

Yan, J. J., Ma, Q. G., 1992. The Tancheng-Lujiang wrench fault system in Bohai Bay area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(1): 31—38 (in Chinese with English abstract).

Yao, C., Jiao, G. H., Wang, T. H., et al., 2004. Petroliferous structural styles in China. Petroleum Industry Press, Beijing, 1—517 (in Chinese).

Zhou, H. M., Dong, Y. X., Liu, Y. H., et al., 2001. Theory and practice of hydrocarbon exploration in small rifted basin: a case study of the Nanpu sag of the Bohai Bay basin. University of Petroleum Press, Beijing, 1—250 (in Chinese).

Zhou, H. M., Wei, Z. W., Cao, Z. H., et al., 2000. Relationship between formation, evolution and hydrocarbon in the Nanpu sag. *Oil & Gas Geology*, 21(4): 345—349 (in Chinese with English abstract).

Zolnai, G., 1991. Continental wrench—tectonics and hydrocarbon habitat. AAPG Continuing Education Course Notes 30 (Second edition, Revised), 1—38.

附中文参考文献

邓运华, 2001. 郑庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用. *中国海上油气(地质)*, 15(5): 301—305.

董月霞, 汪泽成, 郑红菊, 等, 2008. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制. *石油勘探与开发*, 35(4): 424—430.

王国纯, 1998. 郑庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造. *中国海上油气(地质)*, 12(5): 289—295.

徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等, 2006. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测. *石油勘探与开发*, 33(4): 437—443.

严俊君, 马前贵, 1992. 渤海海域的郑庐扭断裂及含油气盆地的发育. *地球科学——中国地质大学学报*, 17(1): 31—38.

姚超, 焦贵浩, 王同和, 等, 2004. 中国含油气构造样式. 北京: 石油工业出版社, 1—517.

周海民, 董月霞, 刘蕴华, 等, 2001. 小型断陷盆地油气勘探理论与实践——以渤海湾盆地南堡凹陷为例. 北京: 石油工业出版社, 1—250.

周海民, 魏忠文, 曹中宏, 等, 2000. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系. *石油与天然气地质*, 21(4): 345—349.