

北部湾盆地福山凹陷构造转换带对层序 及沉积体系的控制

刘恩涛^{1,2}, 王 华², 李 媛^{1,2}, 廖远涛², 马庆林^{2,3}, 林正良^{1,4}

(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. 中国石油南方石油勘探开发公司, 广东 广州 510240; 4. 中国石化石油物探技术研究院, 江苏 南京 210014)

摘要:基于福山凹陷典型三维地震解释结果,以流沙港组构造转换带为研究对象,对其层序构成样式和沉积体系展布特征进行研究。结果表明:构造转换带发育于凹陷中部花场地区,并起到调节东西部构造差异性的作用,其两侧所发育的层序构成样式差异显著,西部发育多级断阶型层序样式,东部发育缓坡型层序样式;构造转换带处发育挠曲坡折型层序样式,高位域时期发育大规模辫状河三角洲沉积体系,低位时期发育大范围浊积扇;福山凹陷的沉积充填演化受到构造转换带、相对湖平面变化和古地貌联合控制,不同体系域内转换带对沉积充填控制作用也有一定的差异性。

关键词:北部湾盆地; 福山凹陷; 构造转换带; 层序样式; 沉积体系

中图分类号:TE 121.3 **文献标志码:**A

Control of transfer zone over sequences and depositional system in Fushan sag, Beibuwan Basin

LIU En-tao^{1,2}, WANG Hua², LI Yuan^{1,2}, LIAO Yuan-tao², MA Qing-lin^{2,3}, LIN Zheng-liang^{1,4}

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

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

3. Exploration and Development Corporation, PetroChina, Guangzhou 510240, China;

4. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing 210014, China)

Abstract: Based on the interpretation of the 3D seismic data, the sequence patterns and sedimentary characteristics in the sedimentary period of Liushagang formation were studied taking the transfer zone of the Fushan sag as the research project. The results show that the transfer zone developing above the Huachang in the centre of Fushan sag, plays a crucial role in adjusting the structure differences between the western and eastern areas. There are significant differences on the strike of faults and structure styles between two extensional structure systems, which develops at two lateral sides of the transfer zone respectively. The multi-level step-fault belt type of sequence pattern develops in the western area, while the gentle slope type of sequence pattern in the eastern area. The flexure slope break type of sequence pattern develops in the transfer zone with huge-scale braided channel delta in the high system tract and large-scale turbidite fan in the low system tract. Structural transfer zone, relative lake level changes and paleogeomorphy control the sequence architecture and depositional filling of the Fushan sag together, and this controlling effect varies among different system tracts to some extent.

Key words: Beibuwan Basin; Fushan sag; transfer zone; sequence patterns; sedimentary system

收稿日期:2012-11-22

基金项目:国家自然科学基金项目(41102069);国家科技“十二五”重大专项(2011ZX05009-002);教育部“构造与油气资源”重点实验室项目(TPR-2011-24)

作者简介:刘恩涛(1986-),男,博士研究生,主要从事盆地分析研究。Email:l. entao2012@gmail.com。

在油气勘探中,构造架构对层序样式和沉积体系的控制作用^[1-15]为当今研究热点之一,构造转换带发育于区域伸展背景之下,具有一定规模和延伸方向的调节构造体系,常发育转换断层^[4-10]。国内学者在中国黄骅凹陷、准噶尔盆地、东濮凹陷、琼东南盆地等地发现为数众多的构造转换带^[16-22],其发育部位常常是各大油田重要的油气富集区,但研究重点主要偏向于特征描述和识别,对构造转换带控制作用研究较少。福山凹陷中部地区为福山油田最大的油气产区^[23],但沉积机制、油藏特征认识不清。笔者基于福山凹陷典型三维地震解释结果,以流沙港组构造转换带为研究对象,考察其层序构成样式和沉积体系展布特征。

1 区域地质概况

北部湾盆地主体位于中国南海西北部的北部湾。福山凹陷为北部湾盆地东南缘的一个次级构造单元,总体是一个南超北断的中、新生代箕状断陷,其西北与临高凸起相接,南部为海南隆起,东部与云龙凸起相邻,主要受控于临高、长流和安定断裂^[23-25](图1)。

盆内古近系地层从下到上为长流组、流沙港组

及涠洲组,其中流沙港组为该盆地油气勘探的重要层位,油气资源极其丰富,勘探潜力巨大。依据层序界面特征,通过福山凹陷三维地震解释,结合钻井、测井、地球化学及古生物等资料,建立研究区古近系等时地层格架,其盆地充填演化具有幕式变化特征。流沙港组可划分为3个三级层序,从老到新为流三段、流二段和流一段(图2)。

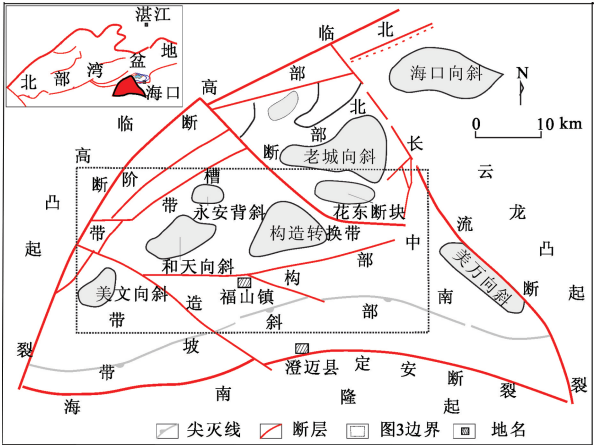


图1 福山凹陷构造纲要图(据石彦民等,2007 图件修编)

Fig.1 Structural division and its location in Fushan sag (After SHI Yang-min, modified)

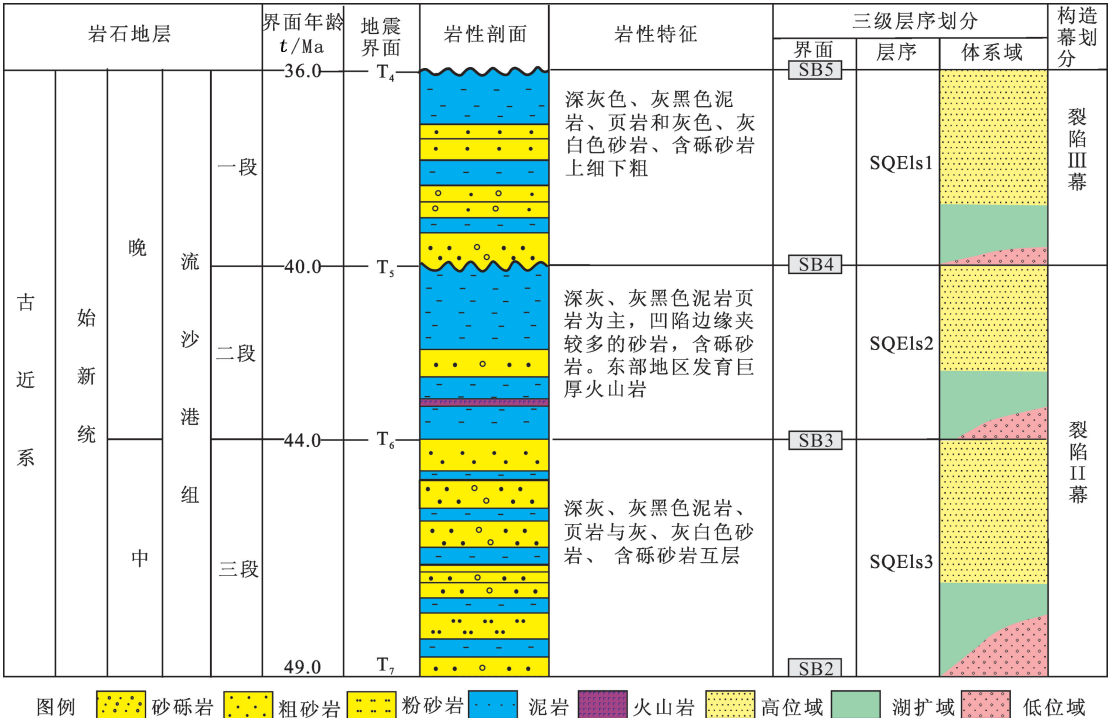


图2 福山凹陷古近纪层序地层学与沉积学充填与演化综合柱状图

Fig.2 Paleogene sedimentary sequence and stratigraphic framework in Fushan sag

流沙港组整体为一套巨厚的湖相三角洲沉积^[24],发育辫状河三角洲、浊积扇、扇三角洲和湖相泥岩沉积体系,各沉积时期物源继承性发育,但沉积

体系展布范围明显不同。流三段对应于凹陷扩张断陷期,构造活动强烈,物源供给充分,低位体系域以下切谷和大型低位扇为特征。流二段对应于断陷稳

定期,该时期湖盆范围最大,湖水最深,以巨厚泥岩沉积为主,三角洲沉积体系发育范围减小。流一段处于凹陷萎缩阶段,水体变浅,物源供给充分,砂体向湖盆中心推进,岩性上以砂岩和泥岩薄互层为特征。油气统计显示,油气主要赋存于流三段高位体系域、流一段高位体系域和流二段低位体系域。

2 构造转换带对层序发育的控制

2.1 构造转换带特征

构造转换带主要发育于古近纪流沙港组沉积时期,位于福山凹陷东西部接壤部位花场地区,造成“东西分块”的构造格局。在平面上,流沙港组沉积时期构造转换带附近发育西部伸展断裂体系、东部伸展走滑断裂体系和中部转换调节断裂体系 3 套断裂体系(图 3)。东、西部断裂走向不同,且东西部伸展量不等,西部伸展量远大于东部。东部发育近东西向断层,西部发育北东东向断层,中部转换调节断裂体系主要发育北东-南西向转换调节断层。转换带主要发育于古近纪流沙港组沉积时期,位于凹陷中部的花场低凸起之上,继承早期地垒式低凸起构造格局,整体呈一背形,向北宽度变窄。

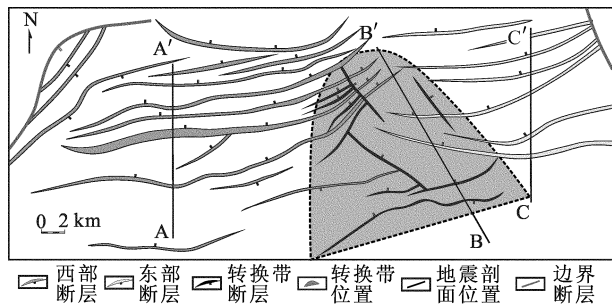


图 3 构造转换带流一段断层分布

Fig. 3 Fault distribution map of transfer zone (Els1)

2.2 构造转换带导致东西部层序构成样式异同

在陆相盆地中,构造活动形成各类构造坡折带,构造活动正是通过构造坡折带实现对盆地层序地层格架和沉积体系的控制^[1-3]。福山凹陷经过多期幕式构造运动,形成各种类型的坡折带。位于凹陷中部的转换带,构成该凹陷最重要的构造坡折带类型。

构造转换带将福山凹陷分割为东部和西部两个构造单元,两构造单元的主控断层走向、性质与伸展作用差异进一步导致东部和西部构造架构的差异。西部伸展断裂体系受控于北东向临高断裂,北西-南东向伸展作用强,产生了一系列阶梯状北东东向断裂,断距大,形成西部断阶状断裂组合样式;东部断裂体系主要受控于长流断裂的走滑作用,伸展作

用较西部小,断裂发育数目少(图 4,剖面位置见图 3)。通过断裂活动速率分析发现,东西部断裂活动差异性较大,流沙港组沉积时期,西部美台断裂最大活动速率达 60 m/Ma,而东部断裂最大活动速率仅有 15 m/Ma。

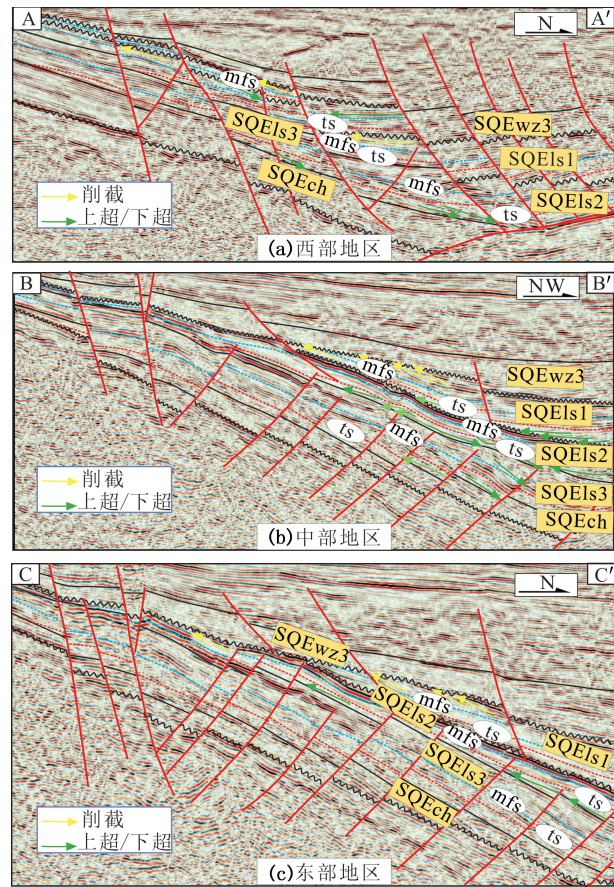


图 4 福山凹陷层序样式地震解释图

Fig. 4 Sequence pattern of seismic profiles in Fushan sag

不同区域构造架构和断裂活动性的差异性势必导致层序发育和沉积充填存在较大差异。凹陷西部层序的发育主要受控于同沉积断裂的活动,发育多级断阶型层序模式(图 5(a))。浅层正向断层为同沉积断层,对层序发育控制作用明显,控制着低位辫状河三角洲和低位扇的发育。该地区美台断层活动速率最大,对层序发育控制作用最强,断层上盘发育低位辫状河三角洲沉积体系,断层下盘发育低位扇,低位辫状河三角洲和浊积扇沿多级断坪分布。高水位时期以辫状河三角洲广泛发育为特征,砂体表现出不断进积的特征,在美台断层下盘发育高位滑塌重力流沉积^[25]。

凹陷东部断裂对沉积控制作用很弱,层序的发育主要受控于古地形地貌。流沙港组沉积时期,东

部地区沉积背景为古斜坡,发育缓坡型(无坡折型)层序模式(图5(c))。相比西部多级断阶型层序样式,东部地区低位域和高位域以辫状河三角洲进积为特征,扇体发育范围大但厚度变化小,沉积厚度较西部薄。低位体系域发育时期,主要发育低位辫状河三角洲沉积体系,低位扇发育规模小或不发育,高位滑塌重力流沉积规模相对于西部也较小。

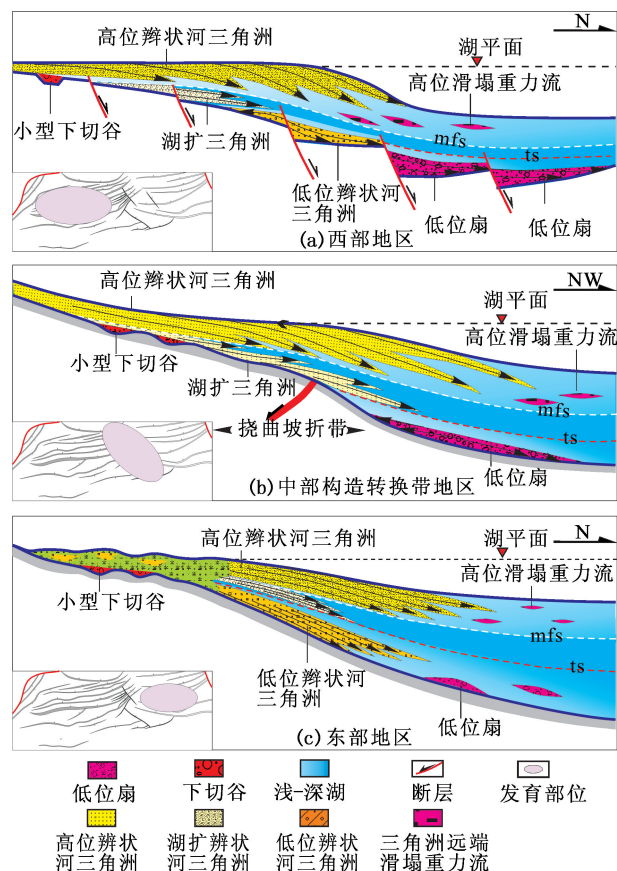


图5 福山凹陷南部各地区层序样式模式

Fig. 5 Sequence patterns of different parts of south of Fushan sag

2.3 构造转换带层序构成样式特点

构造转换带的发育导致了中部地区挠曲坡折带的形成,进一步通过挠曲坡折带控制层序构成样式和沉积充填演化。福山凹陷中部构造转换带位于东西部伸展断裂体系接壤部位,该地处于两个断裂体系断层活动最弱的末端。东西两个具有差异性的断裂体系在中部地区接近或叠覆时,为了保持应变守恒,实现位移转换,地层发生明显挠曲,发育一典型的挠曲坡折带(图4)。

构造转换带处物源供给充分,沉降速率相对小于断层中心的沉降速率,层序的发育受控于挠曲带,发育挠曲坡折型层序发育模式。该层序模式主要发育于流沙港组,流一段表现得最为显著。从构造转

换带层序发育模式(图5(b))可以看出,挠曲带对层序发育具有很好的控制作用,越过坡折带,地层迅速加厚,垂向上表现为以加积和进积型为特征的充填叠加样式。低位体系域在斜坡边缘发育小型下切谷,挠曲坡折作为沉积相的分界面,越过挠曲坡折带发育大规模低位扇。湖扩体系域发育时期,湖水加深,物源萎缩,发育小范围辫状河三角洲,主要分布于坡折带中部。高位体系域发育时期,物源供给充分,砂体不断进积,发育大型辫状河三角洲,其前端在湖盆中心发育远端滑塌重力流沉积。

3 构造转换带对沉积充填的控制

利用“点、线、面、体、时”的研究方法,通过岩心观察、测井曲线和地震剖面与反演技术综合分析,对研究区进行三维地震追踪,确定流沙港组各体系域沉积演化特征。

研究发现构造转换带对沉积充填的控制首先表现为对物源通道的控制。构造转换带发育于两伸展体系的交汇处,该处断层断距最小,地势较低。构造转换带成为碎屑沉积物注入盆地的重要通道,常常发育大规模辫状河三角洲沉积体系或扇体。研究发现,不同体系域发育时期,构造转换带对沉积体系的类型、运移和展布的控制作用表现出较大的不同。

在高位体系域发育时期,构造转换带作为最大的物源入口,转换断层对沉积体系运移和展布具有很好的控制作用(图6)。该时期物源供给充分,沉积物供给速率大于相对湖平面变化,构造转换带处发育大规模辫状河三角洲沉积体系,单层砂岩厚度达60 m。物源通过构造转换带进入盆地后,在北西-南东向的转换断层的疏导下,沿着转换断层走向向北推进,在东、西部断层断距较小的地方向两侧输送砂体,形成脊状形态,在转换带两翼形成大规模砂岩上倾尖灭型油气藏。

在低位域沉积时期,物源供给相对高位域明显减弱,构造转换带物源供给作用减弱,甚至不再作为区域最大的物源通道,转换断层对沉积体系运移和展布的控制作用也相对减弱(图7)。该时期辫状河三角洲发育范围明显减小,越过挠曲坡折带发育较大规模浊积扇沉积体系。转换断层对沉积体系的疏导作用明显减弱,浊积扇发育范围主要受控于古地貌。相反,西部断阶带对沉积体系控制作用明显增强,在斜坡区发育三角洲沉积体系,在断阶带发育大范围浊积扇沉积体系。随着大量的构造油气藏在福山油田被发现,在未来的油气勘探中,岩性隐蔽油气藏将成为

该油田勘探的重点,构造转换带坡折带下部发育的“自生自储自盖”型浊积扇型油气藏勘探潜力巨大。

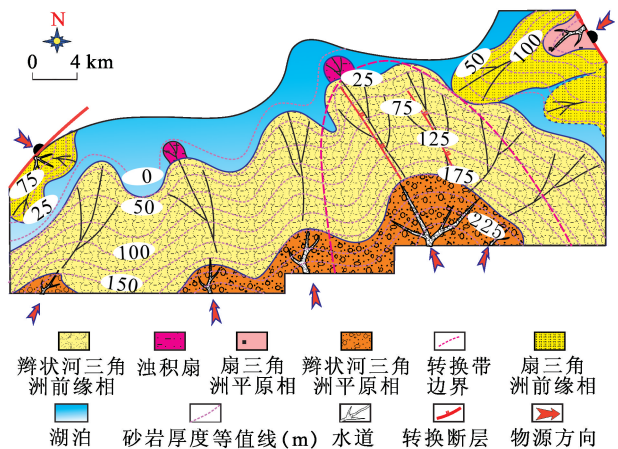


图 6 构造转换带流沙港组三段高位体系域沉积相与砂岩厚度叠合图

Fig. 6 Sandstone thickness and sedimentary facies distribution in HST of E_{1s3} of transfer zone

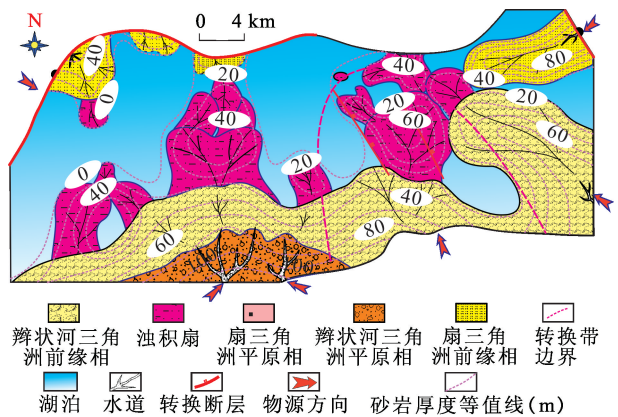


图 7 构造转换带流沙港组二段低位和湖扩体系域沉积相与砂岩厚度叠合图

Fig. 7 Sandstone thickness and sedimentary facies distribution in LST and TST of E_{1s2} of transfer zone

周期性体系域主要受控于区域性相对海(湖)平面变化。构造转换带处不同体系域沉积充填样式异同,归根到底是相对湖平面对沉积充填控制作用。流沙港组沉积时期,转换带处一直作为盆地物源的入口,物源供给作用主要随着体系域的转变发生少许变化,也与相对海平面变化也有密切联系^[1-3]。因此,构造转换带处沉积体系发育主要受到构造转换带、相对湖(海)平面变化和古地貌联合控制。

4 油气勘探意义

构造转换带不仅控制或影响着沉积相展布和层序样式发育,而且还控制着研究区油气藏分布。构

造转换带整体处于构造高部位,东侧白莲次凹和西侧皇桐次凹烃源岩发育,均可为其提供油源。构造转换带作为研究区物源主通道,以多期砂体进积为特征,在转换带两翼低位体系域和高位体系域顶部,形成砂岩上倾尖灭型油气藏。深层反向断层具有很好的封堵性,它不仅利于油气输导和运移,还有利于封堵来自下倾方向的油气^[25]。随着油气沿着反向断层向上运移,运至构造转换带脊状部位,在断层交互部位形成断块、断鼻和断垒油气藏。在辫状河三角洲前缘,深湖的低位域和湖扩域(以流二段最为显著)发育浊积扇,透镜状的浊积砂体被烃源岩包围,形成“自生自储自盖”型的前缘浊积扇型油气藏。

转换带的分割调节作用,导致东西部层序发育样式和沉积充填差异,进而为油气勘探指明方向。在凹陷东部地区将以砂体上倾尖灭油气藏和浊积扇型油气藏为勘探重点,而在西部地区应以断块-岩性油气藏为勘探重点。

5 结 论

(1) 福山凹陷中部花场地区发育一个构造转换带,导致东西部构造样式和断层活动性存在较大差异,进而促使东西部发育不同的层序样式,西部地区主要发育多级断阶型层序构成样式,东部地区发育缓坡型层序构成样式。

(2) 构造转换带发育挠曲坡折型层序构成样式,挠曲坡折带是沉积相带的分界面,对低位扇控制作用最为明显,高位域时期形成大范围的辫状河三角洲,扇体发育且规模大。

(3) 福山凹陷中部沉积充填演化受到构造转换带、相对湖平面变化和古地貌联合控制。高位体系域发育时期,构造转换带物源供给充分,转换断层对沉积物疏导作用很强,形成大规模砂岩上倾尖灭型油气藏。低位域沉积时期,越过坡折带发育大规模浊积扇沉积体系,其展布范围主要受古地貌控制,为岩性油气藏发育的有利地区,勘探潜力巨大。

参考文献:

[1] OCTAVIAN C, PATRICK G E. Sequence stratigraphy of the Precambrian Rooihogte—Timeball Hill rift succession, Transvaal Basin, South Africa [J]. Sedimentary Geology, 2002, 147: 71-88.

[2] 林杨松,张燕梅,李思田,等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(5): 583-588.

- LIN Chang-song, ZHANG Yan-mei, LI Si-tian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in Eastern China [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 583-588.
- [3] 黄传炎, 王华, 高嘉瑞, 等. 北塘凹陷古近系构造演化及其对层序充填样式的控制[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2008, 32(3): 7-13.
- HUANG Chuan-yan, WANG Hua, GAO Jia-rui, et al. Tectonic evolution and its controlling over sequence filling pattern of Paleogene in Beitang sag [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2008, 32(3): 7-13.
- [4] SONG T, CAWOOD P A. Structural styles in the Perth Basin associated with the Mesozoic break-up of Greater India and Australia [J]. *Tectonophysics*, 2000, 317: 55-72.
- [5] ELENA A K, LYAL B H, JIMMY P, et al. Transfer zones and fault reactivation in inverted rift basins: insights from physical modeling [J]. *Tectonophysics*, 2007, 441: 1-26.
- [6] CORTI G. Centrifuge modelling of the influence of crustal fabrics on the development of transfer zones: insights into the mechanics of continental rifting architecture [J]. *Tectonophysics*, 2004, 384: 191-208.
- [7] PEACOCK D C P. The post-Variscan development of the British Isles within a regional transfer zone influenced by orogenesis [J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26: 2225-2231.
- [8] RAVAGLIA A, TURRINI C, SENO S. Mechanical stratigraphy as a factor controlling the development of a sandbox transfer zone: a three-dimensional analysis [J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26: 2269-2283.
- [9] PETRINOVIC I A, RILLER U, BROD J A, et al. Bimodal volcanism in a tectonic transfer zone: evidence for tectonically controlled magmatism in the southern Central Andes, NW Argentina [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006, 152: 240-252.
- [11] MIKE J Y, ROB L G, IAN R S. Sedimentology and sequence stratigraphy of a transfer zone coarse-grained delta, Miocene Suez Rift, Egypt [J]. *Sedimentology*, 2000, 47: 1081-1104.
- [12] YOUNG K S, MOOD S. Synrift stratigraphic geometry in a transfer zone coarse-grained delta complex, Miocene Pohang Basin, SE Korea [J]. *Sedimentology*, 2004, 51: 1387-1408.
- [13] REFARD V, BELLIER O, THOMAS J C, et al. Accommodation of Arabia-Eurasia convergence in the Zagros-Makran transfer zone, SE Iran: a transition between collision and subduction through a young deforming system [J]. *Tectonics*, 2004, 23: 1-24.
- [14] KAMIL U, MARKUS E S, STEFAN M S, et al. Fault reactivation in brittle-viscous wrench systems-dynamically scaled analogue models and application to the Rhine-Bresse transfer zone [J]. *Quaternary Science Review*, 2005, 24: 365-382.
- [15] HERFRIED M, ALEXANDRE K, STEFAN M S, et al. Multiple fault reactivations within the intra-continental Rhine-Bresse transfer zone (La Serre Horst, eastern France) [J]. *Tectonophysics*, 2009, 471: 297-318.
- [16] 漆家福. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义[J]. *海相油气地质*, 2007, 12(4): 43-50.
- QI Jia-fu. Structural transfer zones and significance for hydrocarbon accumulation in rifting basins [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2007, 12(4): 43-50.
- [17] 鲍志东, 赵艳军, 祁利祺, 等. 构造转换带储集体发育的主控因素: 以准噶尔盆地腹部侏罗系为例[J]. *岩石学报*, 2011, 27(3): 867-877.
- BAO Zhi-dong, ZHAO Yan-jun, QI Li-qi, et al. Controlling factors of reservoir development in structural transfer zones: a case study of the Inner Junggar Basin in Jurassic [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(3): 867-877.
- [18] 梁锋, 范军侠, 李宏伟, 等. 大港油田板桥凹陷构造转换带与油气富集[J]. *古地理学报*, 2008, 10(1): 73-76.
- LIANG Feng, FAN Jun-xia, LI Hong-wei, et al. Relationship between tectonic transfer zones and petroleum accumulation in Banqiao sag, Dagang Oilfield [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(1): 73-76.
- [19] 王家豪, 王华, 任建业, 等. 黄骅坳陷中区大型斜向转换带及其油气勘探意义[J]. *石油学报*, 2010, 31(3): 355-359.
- WANG Jia-hao, WANG Hua, REN Jian-ye, et al. A great oblique transition zone in the central Huanghua sag and its significance for petroleum exploration [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 31(3): 355-359.
- [20] 张永刚, 汤良杰, 金文正, 等. 龙门山构造转换带对油气成藏的控制作用[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2009, 33(5): 30-35.
- ZHANG Yong-gang, TANG Liang-jie, JIN Wen-zheng, et al. Control of transfer zones on hydrocarbon accumulation in Longmen Mountains thrust belt [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2009, 33(5): 30-35.