

琼东南盆地宝岛变换带的特征、类型及其成因机制

童亨茂¹, 范彩伟², 童传新², 宋 鹏², 张 昊¹

[1. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 中海石油 湛江分公司, 广东 湛江 524057]

摘要:利用三维地震资料的构造解析和方差体切片,对琼东南盆地宝岛变换带的三维结构进行了解剖,揭示该变换带具有“结构复杂”、“多个段落”、“多期活动”、“复式位移传递”等方面的特征。在此基础上,指出裂陷盆地存在比经典变换带更为复杂的变换带类型——复式变换构造带,并结合经典变换带的分类,提出了裂陷盆地变换构造带新的分类方案。最后,提出了裂陷盆地变换构造的两种成因类型:“先存构造活动型”(宝岛型)和“先存构造控制型”(Morley型)。

关键词:先存构造;变换构造;变换断层;变换带;琼东南盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Characteristics, types and genetic mechanism of Baodao transfer zone, Qiongdongnan Basin

Tong Hengmao¹, Fan Caiwei², Tong Chuanxin², Song Peng², Zhang Hao¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: 3D structure of Baodao transfer structure zone of the Qiongdongnan Basin was characterized by using structural interpretation and variance cube slices of 3D seismic data. This transfer structure features in “complex structure”, “multiple segments”, “multi-stage activities” and “Compound displacement transfer”. On this basis, it is proposed that more complicated transfer zone (compound transfer zones) exists in rift basin were proposed. Combining with the classic classification of transfer zone, a new classification scheme of transfer structure zones in rift basin was proposed. Furthermore, two genetic types of “pre-existing fabric activation type” (Baodao type) and “pre-existing fabric controlling type” (Morley type) were suggested.

Key words: pre-existing fabric, transfer structure, transfer fault, transfer zone, Qiongdongnan Basin

变换带 (transfer zone) 最先是 Dahlstrom 于 1970 年在研究冲断褶皱带中的变形和位移量变化时提出的概念,后来 Gibbs^[1-2] 和 Morley^[3] 把此概念引入到伸展变形区,来阐述正断层之间的伸展应变传递,并提出了变换带的构造分类方案。国内也有不少学者,例如刘德来等^[4]、胡望水等^[5-6]、周建生等^[7]、陈发景等^[8]、陈昭年等^[9] 和漆家福等^[10-11] 根据渤海湾盆地黄骅凹陷、东濮凹陷、惠民凹陷、松辽盆地和二连盆地等研究成果进一步深入地分析了裂陷盆地变换带的构造特征及分类及油气地质意义。

本质上,变换带是伸展构造区在平面上传递应变、并保持区域上应变平衡的一种构造。事实上,正断层间的位移或应变传递不外乎两种方式,即:通过断层

(变换断层, transfer fault) 的“硬连接”^[11] 和通过地层扭曲变形(褶皱和亚分辨断层,即 transfer zone) 的“软连接”。此类构造国外学者用了 transfer zone^[3,12], accommodation zone^[13-14], relay-ramp^[15-16] 等术语,而国内出现了转换带^[4]、变换带^[5]、传递带^[10] 和调节带^[8,17] 等术语。虽然上述术语在内涵和外延上存在一定的区别,但传递应变的实质是统一的。本文对此类构造统一用“变换带”(transfer zone) 和“变换断层”(transfer fault) 这两个术语。

已有变换带结构和分类的阐述,主要是基于两条断层之间的位移传递^[3,11]。然而,通过对裂陷盆地大量三维地震资料的构造解析表明,在很多情况下,变换带的结构要复杂得多,表现为:①位移传递可以出现在

收稿日期:2014-11-24;修订日期:2015-09-16。

第一作者简介:童亨茂(1967—),男,教授、博士生导师,盆地构造分析和裂缝预测。E-mail:tong-hm@163.com。

基金项目:国家油气重大专项(2011ZX5023-004-012,2011ZX05006-006-02-01);国家自然科学基金资助项目(41272160,40772086)。

多条断层之间;②同一变换带可以出现“硬连接”(断层)和“软连接”(地层扭曲)间互的现象;③不同反射层变换带特征表现出很大的差异。另外,裂陷盆地变换带成因机制的分析也很少。本文以南海北部琼东南盆地的宝岛变换带为例,通过该变换带三维结构的解剖和理论分析,来阐述这一复杂变换带的特征、类型及其成因机制,并进一步提出裂陷盆地变换带的分类方案及其成因类型。

1 宝岛变换带特征

宝岛变换带所在的琼东南盆地位于海南岛东南

和南海北部,呈北东东向延伸,是基底为前古近系的新生代伸展型盆地(图 1),面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,沉积厚度达 10 km 以上^[18-20],由古近系(裂陷层系)和新近系(拗陷层系)组成(表 1)。琼东南盆地裂陷层系断层十分发育,拗陷层系也有少量的断层发育。

宝岛变换带位于琼东南盆地北部拗陷带松东凹陷东侧(图 1),呈南北向展布,向北逐渐消失,向南与 6 号断层和 2 号断层相接,宽度较窄(图 2),区内有高质量的三维地震资料覆盖。通过对三维地震资料系统的构造解析和地震数据得到方差体切片(图 3),确定宝岛变换带的特征如下。

表 1 琼东南盆地地层和构造演化阶段^[21]

Table 1 Strata and tectonic evolution stage of the Qiongdongnan Basin^[21]

地层			地层代号	底界年龄/Ma	底界反射界面	盆地演化	断裂系统演化	构造作用及方向
第四系			Q	1. 64	T ₂ ⁰	拗陷	平静区	拗陷沉降
新近系	上新统	莺歌海组	N ₂ γ	5. 5	T ₂ ⁰			
		黄流组	N ₁ h	10. 5	T ₄ ⁰		差异发育期	差异伸展
	中新统	梅山组	N ₁ m	15. 5	T ₅ ⁰			
	三亚组	N ₁ s	23. 0	T ₆ ⁰				
古近系		陵水组 1、2 段	E ₃ l ¹⁻²	25. 5	T ₆ ²	Ⅱ 期裂陷	主发育期	南北向伸展
	渐新统	陵水组 3 段	E ₃ l ²	30. 0	T ₇ ⁰			
		崖城组	E ₃ γ	32. 0	T ₈ ⁰			
		始新统	E ₂	55. 0	T ₁₀ ⁰	Ⅰ 期裂陷	初发育期	北西 - 南东向伸展

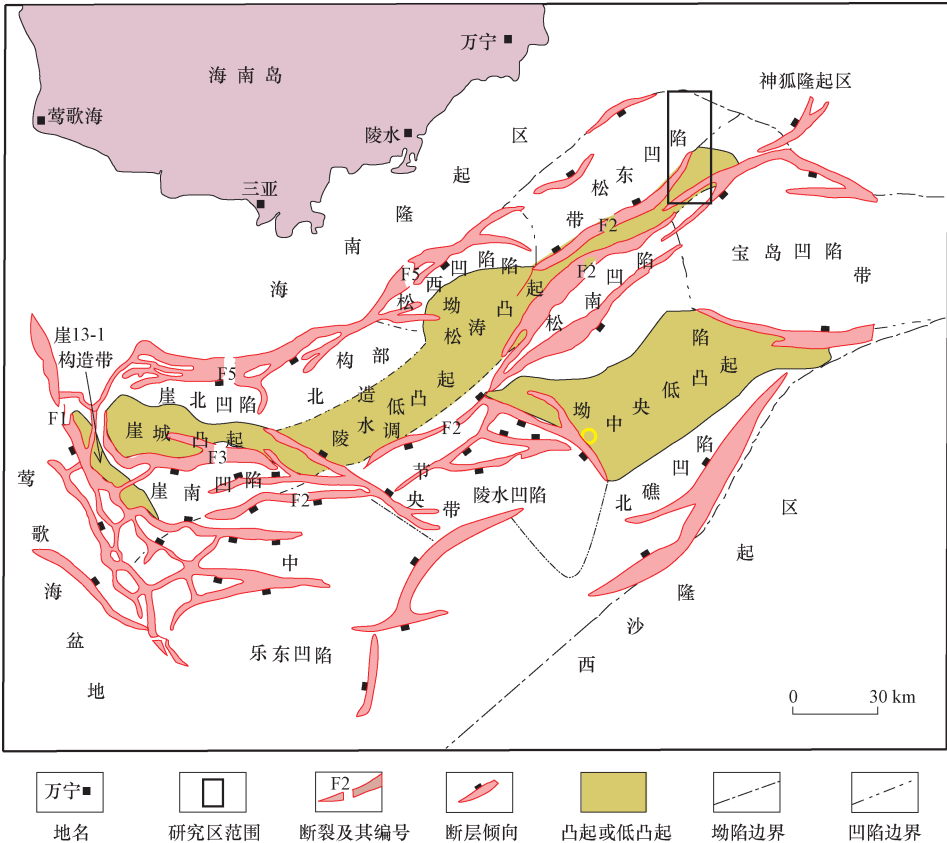


图 1 琼东南盆地构造纲要及构造单元划分(据李绪宣^[22]修改)

Fig. 1 Structure outline and tectonic elements of the Qiongdongnan Basin(modified after Li Xuxuan^[22])

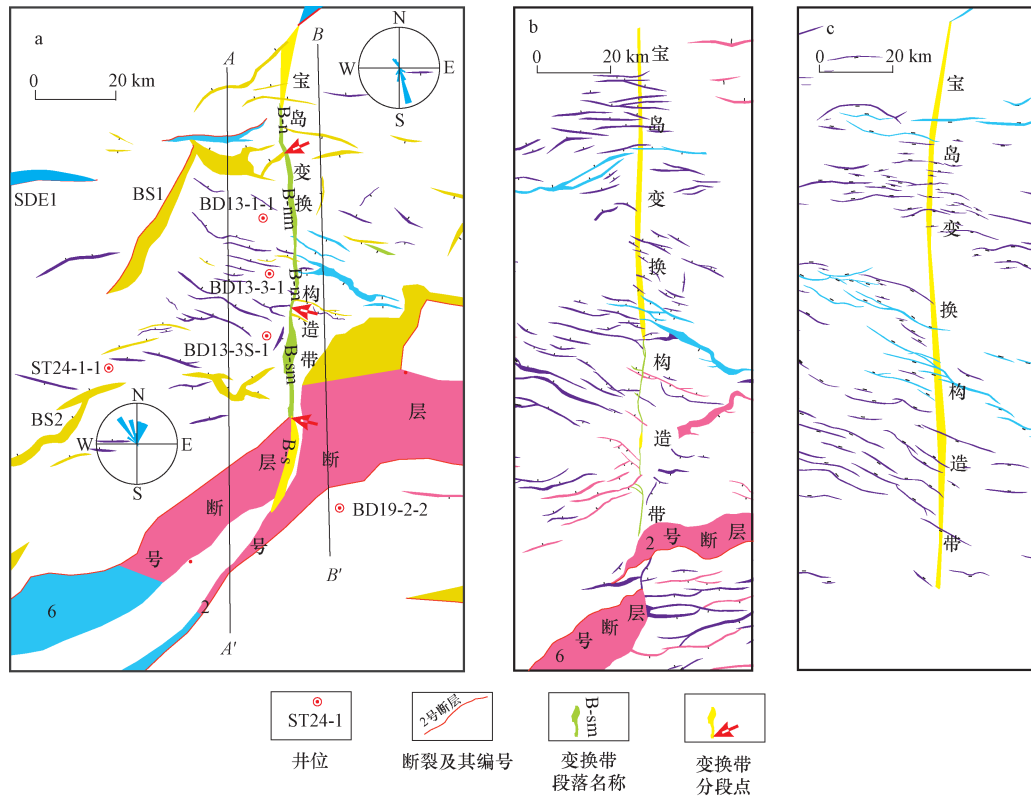


图2 宝岛变换带段落划分及邻区反射层断裂系统分布

Fig. 2 Segmentation of Baodao transfer zone and fault system of reflecting layers in its adjacent areas

a. T_{10}^0 反射层; b. T_7^0 反射层; c. T_5^0 反射层

(图 a 中的两个玫瑰花图表示宝岛变换带西侧和东侧的断层倾向。宝岛变换带中绿色的为变换断层,黄色的为变换带,红色箭头为变换带的分段点。B-n, B-nm, B-m, B-sm 和 B-s 分别为宝岛变换带的北段、中北段、中段、中南段和南段。A—A' 和 B—B' 为图 3 中剖面位置。)

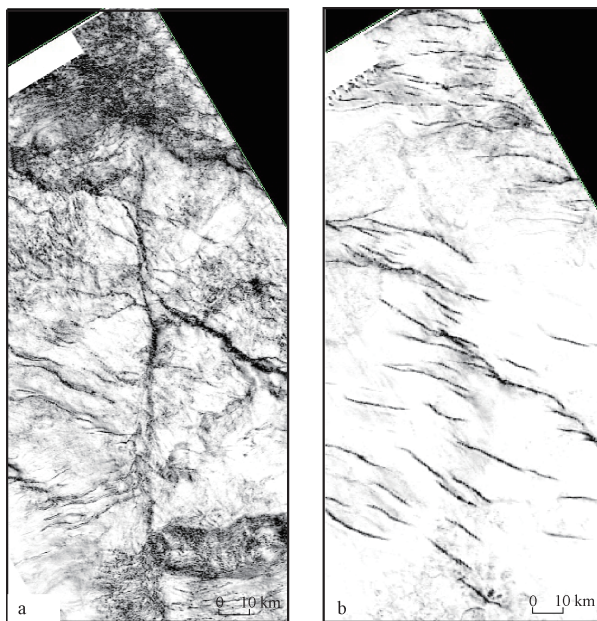


图3 宝岛变换带及邻区地震方差体切片

Fig. 3 Seismic variance body slices of reflecting layers in Baodao transfer zone and adjacent areas (black lines and areas are faults)

a. T_7^0 地震方差体切片; b. T_5^0 地震方差体切片

(断层在图中表现为黑色。)

1.1 变换带两侧盆地结构、断层倾向、构造形态存在差异

变换带两侧断层走向基本一致,但是断层倾向却截然相反(图2—图4):西侧断层北倾占绝对优势(图2a,图4a),东侧断层绝大多数则南倾(图2a,图4b)。除浅部反射层的少量断层外,东西两侧的断层大部分终止于变换带(图2,图3)。变换带两侧的盆地结构也存在很大差异(图4):西侧显示6号断层控制下的南断北超复式半地堑结构(图4a),东侧位移主要集中在2号断层,地层总体比较平缓,总体为一向南倾斜的复式斜坡(图4b)。变换带两侧的构造形态也存在很大的差异(图5):构造形态在 T_{10}^0 反射层界面存在截然的差异,两侧构造线都终止于宝岛变换带(图5a);构造形态在 T_7^0 反射层界面存在显著差异,两侧构造线大部分都终止于宝岛变换带(图5b);构造形态在 T_5^0 反射层界面也存在明显差异,部分构造线终止于变换带,其它段落构造线也发生了转折(图5c)。

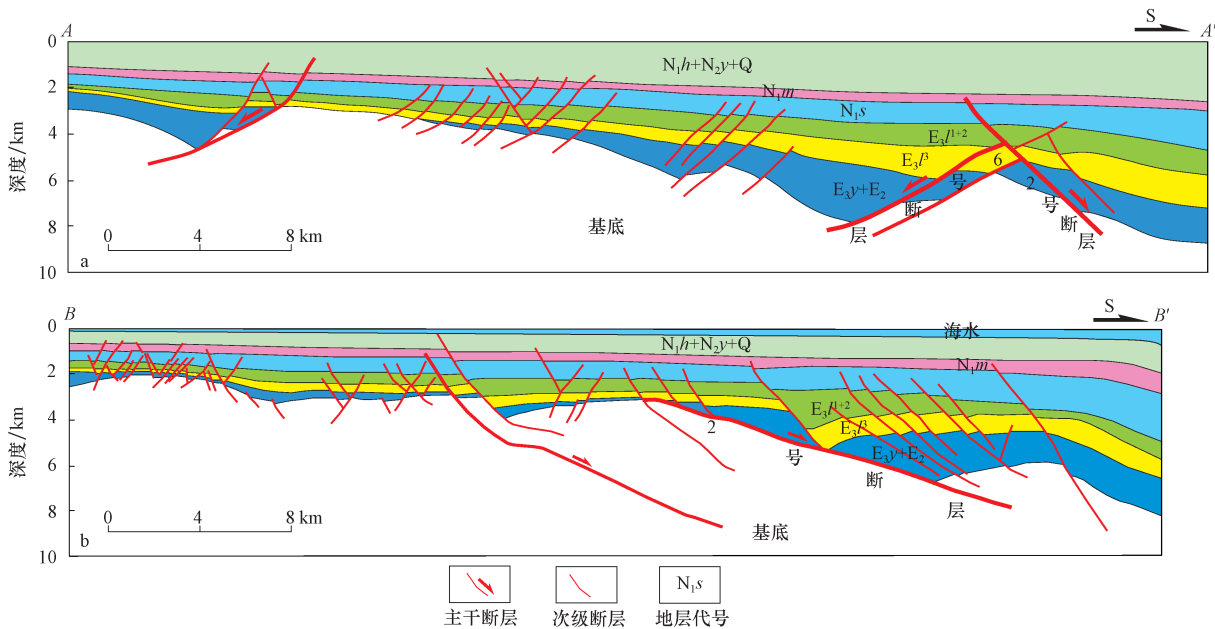


图4 宝岛变换带东、西两侧南北向构造剖面(剖面位置见图2)

Fig. 4 NS-trending tectonic profiles in both east and west sides of the Baodao transfer zone(profile location see Fig. 2)

a. 剖面A—A'(测线 bdw2); b. 剖面B—B'(测线 dbel)

$E_3y + E_2$. 古新统与渐新统崖城组; E_3l^3 . 渐新统陵水组三段; N_1s . 中新统三亚组; N_1m . 中新统梅山组; N_1h-Q . 中新统黄流组至第四系

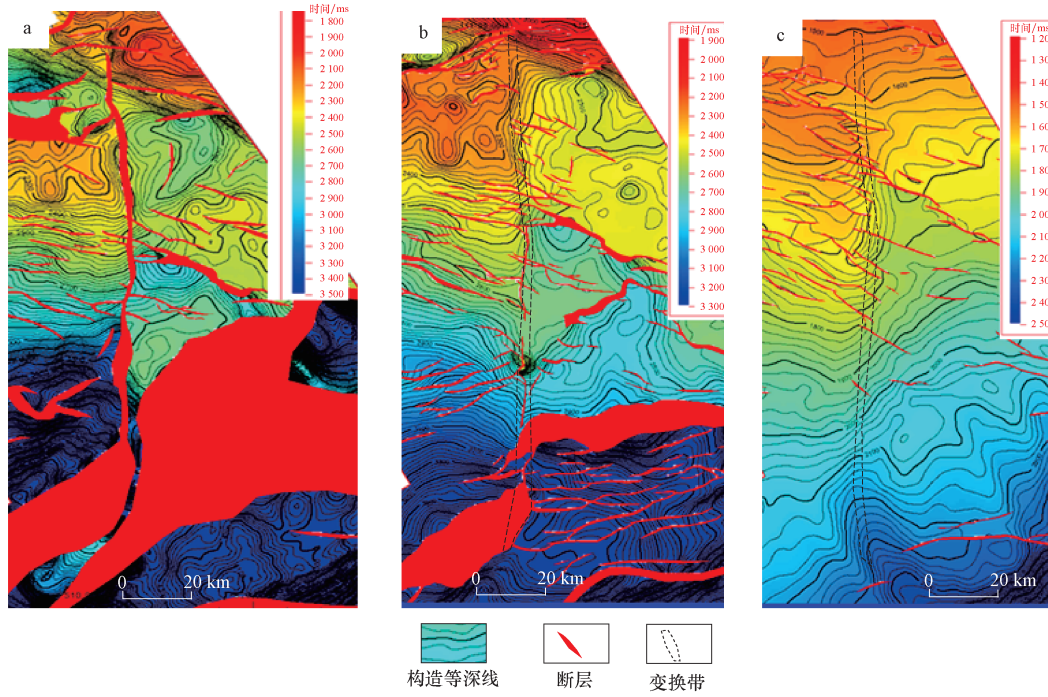


图5 宝岛变换带及邻区反射层构造

Fig. 5 Structure of reflectors in Baodao transfer zone and adjacent areas

a. T_{10}^0 反射层; b. T_7^0 反射层; c. T_5^0 反射层

(黑色虚线内为宝岛变换构造带分布的区域。)

1.2 变换带剖面结构复杂,可划分为多个段落

横切宝岛变换带的剖面表明(图6),该变换带的剖面结构从北到南变化很大。根据剖面结构的变化,宝岛变换带可以分为5段:北段、中北段、中段、中南段

和南段(图2)。北段是一西倾的正走滑断层,倾角为 $64^{\circ} \sim 75^{\circ}$,剖面断距剖面 $0 \sim 300$ ms(双程走时,下同),基底东高西低(图6a)。北段终止于变换带西侧发育的一延伸很短但断距很大的北西西向断层,与该断层接触后,变换带(断层)突然从西倾转为东倾,基底转

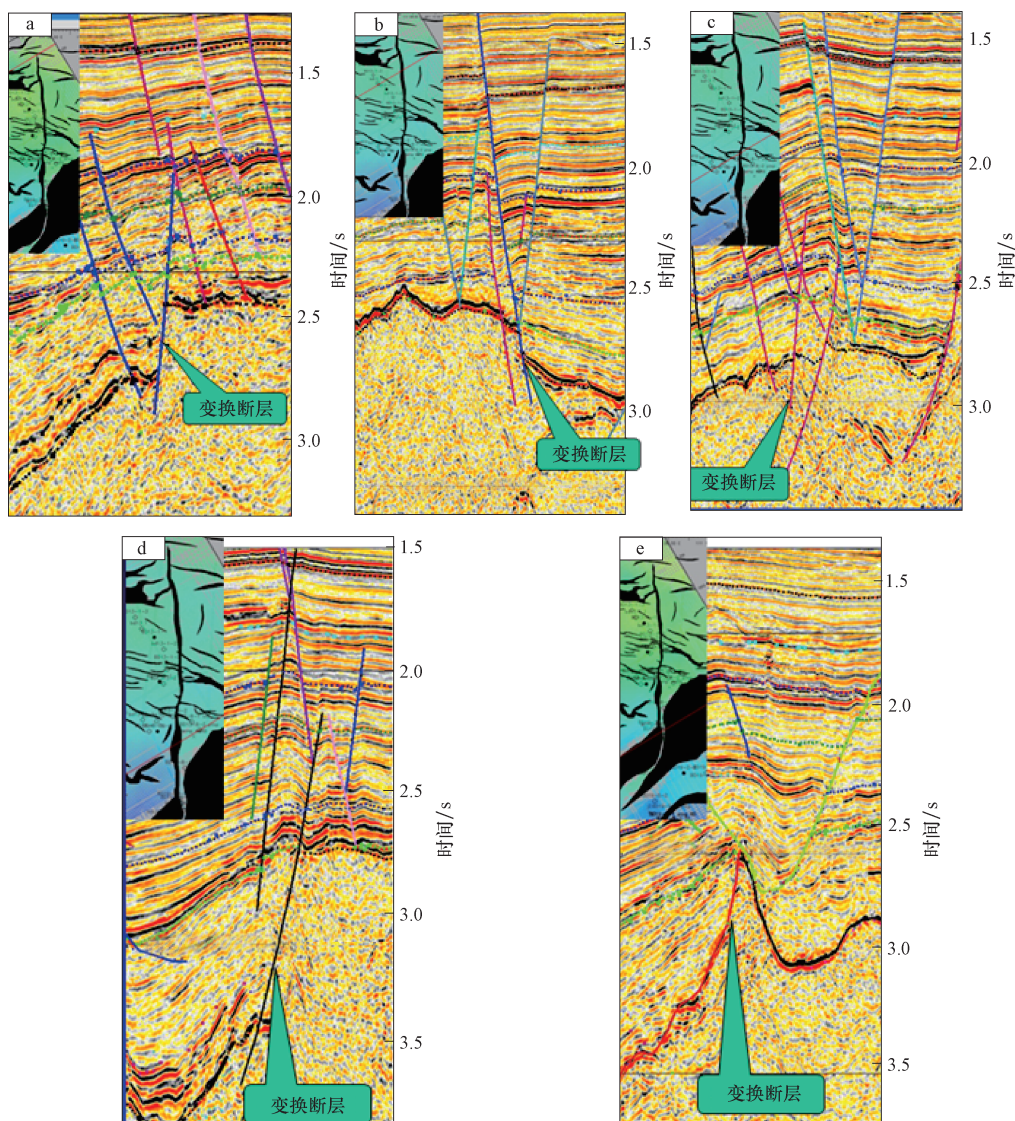


图6 宝岛变换带不同段落剖面结构

Fig. 6 Profile structure in different segments of Baodao transfer zone

a. 北段;b. 中北段;c. 中段;d. 中南段;e. 南段

(各图中左上小图示剖面的位置。)

化为西高东低,从而进入到中北段(图6b)。中北段东掉的剖面垂向断距为0~180 ms,明显小于北段西掉的剖面垂向断距。继续向南进入到中段,以出现一组北西西走向、呈雁行排列的断层为标志,变换断层的垂向断距基本消失(图6c)。再向南,变换断层突然转化为西掉、垂直断距很大(最大垂直断距达820 ms)的正走滑断层,即进入中南段(图6d)。中南段实际上是6号断层的侧段坡。再向南,东侧的2号断层出现后,宝岛变换带成为一锥形隆起,即进入南段(图6e)。南段实际上分别是6号断层和2号断层的侧段坡。宝岛变换断层与西侧的2号断层相接后消失(图2,图5)。

1.3 纵向上变换带的类型存在明显差异

纵向上,宝岛变换带在不同反射层传递位移的方式和数量存在着明显的区别。宝岛变换带在基底反射

层(T_0^0)是一条近于连续的断层(图2a,图5a),位移传递的方式是“硬连接”,属于变换断层(transfer fault),传递位移的数量最大;在裂陷层系的其它反射层,宝岛变换带位移的传递方式是变化的,有的是“硬连接”的变换断层,有的是“软连接”的变换带,传递位移的数量较 T_0^0 反射层明显减小(图2b,图5b);到拗陷层系,宝岛变换带位移的传递方式均为“软连接”的变换带,位移传递的幅度已很小(图2c,图5c)。

1.4 传递多条断层的位移

与传统的变换带不一致,宝岛变换带是对多条断层的位移进行传递。变换带的西侧和东侧规模较大的正断层分别有5条和4条。

上述分析表明,宝岛变换带在结构、组成、演化和位移传递方式与经典的变换带存在很大的区别。

2 裂陷盆地变换带分类方案

宝岛变换带特征清晰地表明,与经典的变换带^[3]相比,宝岛变换带在结构、组成、演化和位移传递方式等存在显著差异,表现为“结构复杂”、“多个段落”、“多期活动”、“复式位移传递”等方面的特征,表明裂陷盆地存在比经典变换带更为复杂的变换带类型。下面在概述经典变换带分类的基础上,结合宝岛变换带的类型分析,提出裂陷盆地变换带的分类方案。

已有多个学者提出伸展变形区变换带的分类方案^[3,11,23]。由于对变换带的认识存在一定的差异,不同学者的变换带分类方案存在很大的差异,但都是针对两条正断层之间的位移传递,其中 Morley^[3]的分类方案(图7)应用最广,成为经典。

Morley 首先根据两条正断层的倾向组合把变换带分为3类:相同倾斜类、背向倾斜类和相向倾斜类(背向倾斜类和相向倾斜类合称“共轭类”);再根据两条正断层的位置关系把变换带分为4型:趋近型、叠覆型、平行型和共线型,组合在一起得到10种类型(图6)。

目前,关于变换带的本质已基本达成共识,即:伸展构造区的变换带是一种在平面上传递应变、使得在区域上保持应变平衡的一种构造。事实上,正断层间的位移或应变传递可以通过断层^[11](“硬连接”,见图2,图4a),也可以通过地层扭曲变形(“软连接”,图4c)来实现。考虑到:①经典的变换带分类^[3]只是

针对其中的“软连接”(如图6中软连接型的单式大类);②裂陷盆地中既有两条断层间的位移传递,也有多条断层间的位移传递(如宝岛变换带),而后者在经典变换带类型中没有涉及,本文在 Morley 变换带分类的基础上(软连接型的单式大类主要参考 Morley 的分类方案,但做了修改),结合中国东部和南部裂陷盆地的地质实际及国内外裂陷盆地资料,对变换带的概念和术语体系进行梳理,提出裂陷盆地变换带的分类方案(图7)。下面分别加以阐述。

2.1 按变换带位移传递方式分类

根据正断层位移的传递方式(“硬连接”或“软连接”),变换带可以划分为“变换断层”和“变换带”。

变换断层结构和运动学特征与洋中脊的转换断层(transform fault)有很大的相似性,只是位移传递的对象(分别是正断层和扩张的洋中脊)和规模(转换断层都是切穿岩石圈的,而变换断层的规模可大可小)存在差异。accommodation zone 和 relay-ramp 相当于变换带。

考虑到①变换带构造的总称和“软连接”的分类名称目前均为“变换带”,②总称“变换带”没有很好地包含“变换断层”的涵义,因此,本文建议此类构造的总称改为“变换构造”(transfer structure,其中“structure”则包含了断层和褶皱),这样,逻辑就比较清晰。

2.2 按位移传递所涉及的正断层数量分类

经典的变换构造传递两条正断层间的位移。本文

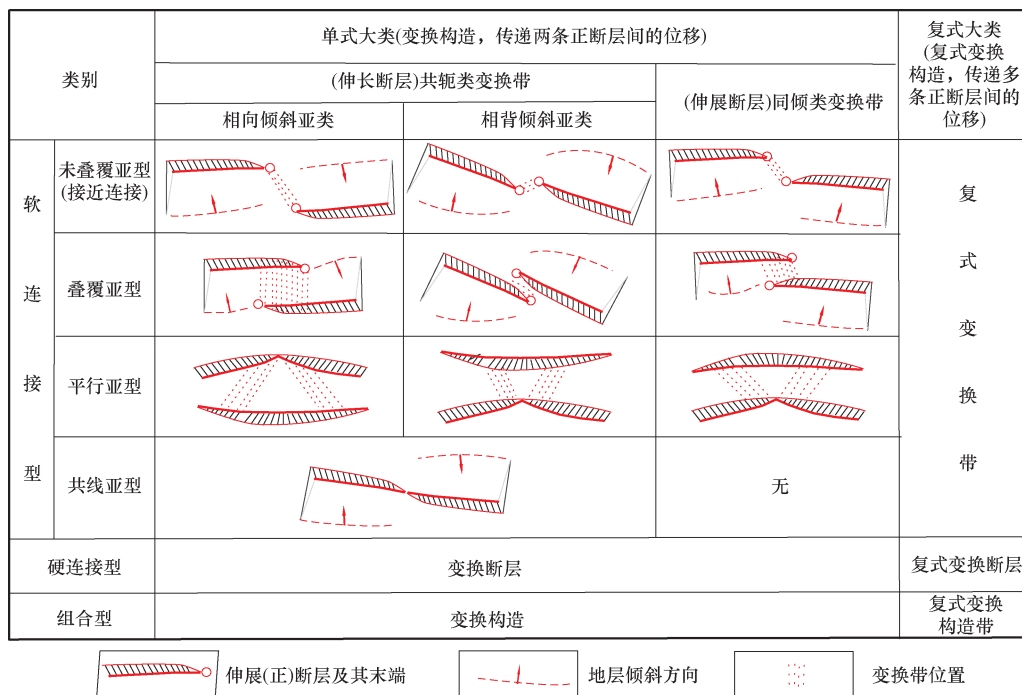


图7 裂陷盆地变换构造分类方案

Fig. 7 Classification scheme of transfer zone in rift basins

把两条以上正断层间传递位移的此类构造称之为“复式变换构造”(compound transfer structure)。这样,按位移传递所涉及的正断层数量划分为“变换构造”(单式大类)和“复式变换构造”(复式大类)。

由于复式变换构造传递多条正断层间的位移,根据位移平衡的原则,其结构和活动性在与被传递的正断层相接处必然会发生变化(图8),因而必然具有分段性(如宝岛变换带)。根据复式变换构造不同段落位移传递组合方式的差异,进一步可以划分为“复式变换断层”(compound transfer faults,各段落的位移传递方式均为“硬连接”,图8a),“复式变换带”(compound transfer zones,各段落的位移传递方式均为“软连接”,图8c),“复式变换构造带”(compound transfer structures,位移传递方式既有“硬连接”,又有“软连接”,图8b)。

根据上述分类原则,宝岛变换带是一典型的“复式变换构造”,其中 T_{10}^0 反射层主体是“复式变换断层”(图2a,图8a), $T_7^0 - T_6^0$ 反射层是“复式变换构造带”(图2b,图8b),拗陷层是“复式变换带”(图2c,图8c)。

复式变换构造不仅在琼东南盆地发育,在世界其它地区也都有发育。

3 宝岛变换带成因解析

已有的变换带研究集中在变换带的几何特征、分类及其识别上^[3-11,24-28],对成因机制的讨论较少。Morley认为,变换带的形成往往与在先存构造基础上发育的正断层相关,在伸展作用下,不同位置的先存构造重新活动所产生的正断层,其伸展变形需要相互传递,从而形成变换构造带。除此之外,很少有文献论述变换带的成因机制。

按照 Morley 对变换带成因机制的认识,对于叠加伸展变形区(如琼东南盆地^[21]),随着伸展方向的变化,位移传递的方式和量值就会发生变化,从而导致变换带

发育的位置产生变化。而宝岛变换带的三维结构特征表明,虽然琼东南盆地在始新世—渐新世伸展方向从北西—南东向转为南北向^[21,29],但宝岛变换带发育的位置在不同反射层上、下保持一致(图2,图5),完全没有发生变化。宝岛变换带的这一特征用 Morley 变换带的成因模式无法解释。

模拟实验结果^[28]表明,与伸展方向平行或小角度的先存构造(断裂或破裂)在伸展变形过程中一般形成变换构造^[30](变换断层或变换带,模型4的实验结果)。变换带的这一成因机制用先存构造活动性准则^[31]和摩尔空间理论^[32]可以得到合理的解释。按照这一思路,本文对宝岛变换带的成因机制分析如下:宝岛变换带所在处存在一南北向延伸的前新生代先存断裂(推测该先存断裂是在中生代构造变形中形成)。在琼东南盆地古新世北西—南东方向(先存断裂与伸展方向的夹角约为 35°)裂陷作用阶段,在伸展作用下该先存断裂开始活动,表现为一斜向走滑断层带(断层倾角 70° 左右,图6),起传递伸展位移的作用,为一复式变换断层,其中活动方式和活动量(断层的倾向、活动量)在不同段落存在很大的差异(图6)。当琼东南盆地进入渐新世后,伸展方向由北西—南东方向转为南北向(先存断裂与伸展方向平行)。根据先存构造活动性准则^[29],由于与伸展方向夹角的减小,宝岛先存断裂的活动能力迅速下降,导致宝岛先存断裂只有部分段落活动形成断裂(其他段落没有破裂),是一复式变换构造带。新近纪以来,伸展作用强度大幅度下降,宝岛先存构造的活动能力进一步下降,已没有能力产生破裂,为一复式变换带。

为了验证上述分析的合理性,本文采用沙箱实验进行验证:在宝岛复式变换构造带所在处设置先存断裂(直立的纸片,纸片可以很好地模拟先存断裂^[28]),2号断层、6号断层处以及凹陷内由先存构造控制的断

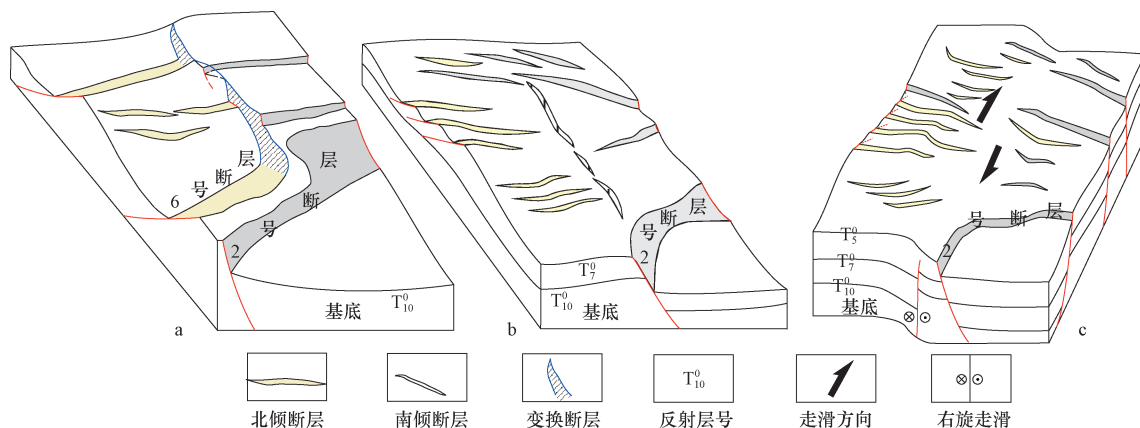


图8 裂陷盆地复式变换构造带模式(以宝岛变换带为背景)

Fig. 8 Compound transfer structure models in rift basins (taking Baodao transfer zone as an example)

a. 复式变换断层; b. 复式变换构造带; c. 复式变换带

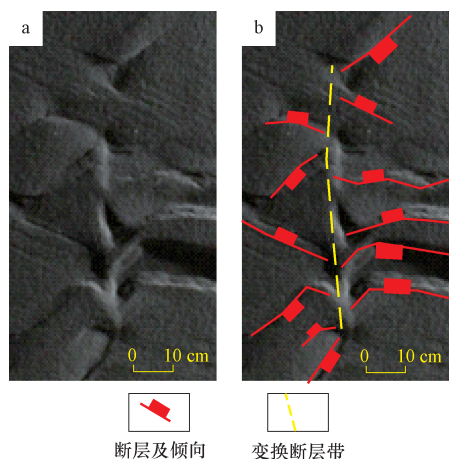


图9 宝岛变换带沙箱模拟实验结果

Fig. 9 Sandbox modeling results of Baodao transfer zone

a. 模拟实验结果(顶部照相); b. 模拟实验解释结果

层所在处设置先存构造,进行南北向伸展,模拟渐新世以来的构造变形。结果宝岛变换带及其相关构造的特征总体得到再现(图9)。

结合宝岛变换带的成因机制分析以及已有的研究成果^[3],本文把裂陷盆地的变换带划分为两种成因类型:“先存构造活动型”(宝岛型)和“先存构造控制型”(Morley型)。

“先存构造活动型”变换带直接是先存构造活动而形成的,变换带发育的位置受控于先存构造,在伸展变形过程中保持不变。在由于基底存在先存破裂,是一应力-应变的释放带,变换带两侧的断层很难穿越变换带^[28](图2—图5),这一特征可以作为识别“先存构造活动型”变换构造的重要标志。两侧断层发育情况的差异决定着变换带的结构和位移传递情况。在“先存构造活动型”变换构造带延伸较长的情况下,该类变换构造一般是复式变换构造带。

由于先存构造在力学上是一薄弱带,与“先存构造控制型”变换构造相比,“先存构造活动型”变换构造传递位移的方式更容易表现为“硬连接”(即“变换断层”),而“先存构造控制型”则容易表现为“软连接”(即“变换带”)。

4 结论

1) 宝岛变换带几何特征复杂,剖面结构复杂,可划分为多个段落;纵向上(不同反射层),其类型存在明显差异,传递多条正断层的位移,变换带两侧的盆地结构、断层倾向、构造形态均存在很大的差异,两侧断层终止于变换带。

2) 与经典的变换带相比,宝岛变换带在结构、组成、演化和位移传递方式等存在显著差异,表现为“结构复杂”、“多个段落”、“多期活动”、“复式位移传递”

等方面的特征,表明裂陷盆地存在比经典变换带更为复杂的变换带类型。

3) 裂陷盆地存在变换带的复杂类型,即“复式变换构造带”。在此基础上,提出了裂陷盆地变换带新的分类方案。

4) 宝岛变换带是在先存构造基础上发育的,裂陷盆地变换带的成因类型包括“先存构造活动型”(宝岛型)和“先存构造控制型”(Morley型)。

参 考 文 献

- [1] Gibbs A D. Structural evolution of extensional basin margins[J]. Journal of the Geological Society, 1984, 141: 609–620.
- [2] Gibbs A D. Linked fault families in basin formation[J]. Journal Structural Geology, 1990, 12(4): 105–115.
- [3] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zone in the east African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1234–1253.
- [4] 刘德来, 王伟, 马莉. 伸展盆地转换带分析——以松辽盆地北部为例[J]. 地质科技情报, 1994, 13(2): 5–9.
Liu Delai, Wang Wei, Ma Li. Transform zone analysis in extensional basins: a case study of Northern Songliao Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 1994, 13(2): 5–9.
- [5] 胡望水, 王燮培. 松辽盆地北部变换构造及其石油地质意义[J]. 石油及天然气地质, 1994, 15(2): 164–172.
Hu Wangshui, Wang xuepei. Transfer structure in northern Songliao Basin and its petroleum geology significance[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 164–172.
- [6] 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): 115–124.
Hu Wangshui. Transfer zone of rift basin and its application in petroleum geology[J]. Overseas Oil & Gas Exploration, 1994, 6(2): 115–124.
- [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. The structural characteristics and origin of transfer zone in Hanghua Depression[J]. Geoscience, 1997, 11(4): 425–433.
- [8] 陈发景, 汪新文, 陈昭年. 伸展断陷中的变换构造分析[J]. 现代地质, 2011, 25(4): 617–625.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Shaonian. Analysis of transform structures in extensional fault depressions[J]. Geoscience, 2011, 25(4): 617–625.
- [9] 陈昭年, 陈发景, 王琦. 正断层软联结及其传递带类型[J]. 现代地质, 2005, 19(4): 495–499.
Chen Shaonian, Chen Fajing, Wangqi. Soft linkage of normal faults and the types of transfer zone[J]. Geoscience, 2005, 19(4): 495–499.
- [10] 漆家福, 陈发景. 下辽河—辽东湾新生代裂陷盆地的构造解析[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 41–44.
Qi Jiafu, Chen Fajing. Structural analysis of Xialiaohe-Liaodongwan Cenozoic rift basin[M]. Beijing: Geological Press, 1995: 41–44.
- [11] 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 Jiafu. Structural transfer zones and significance for hydrocarbon accumulation in rift basins [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2007, 12(4): 43–50.
- [12] Nelson R A, Patton T L, Morley C K. Rift segment interaction and its relation to hydrocarbon exploration in continental rift systems [J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76(8): 1153–1169.
- [13] Bosworth W. Geometry of propagating continental rifts [J]. *Nature*, 1985, 315: 625–627.
- [14] Jeffrey A K, Peter A R. Block-tilting, transfer faults, and structural control of magmatic and hydrothermal processes in the TAG area, Mid-Atlantic Ridge 26°N [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1990, 102: 1634–1645.
- [15] Peacock D C, Sanderson D J. Geometry and development of relay ramps in normal fault systems [J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(2): 147–156.
- [16] Bruce T, Joseph C. Relay-ramp and normal-fault linkages, canyon lands National Park, Utah [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1994, 106: 1143–1157.
- [17] 陈发景. 调节带(或传递带)的基本概念及分类[J]. *现代地质*, 2003, 17(2): 186.
- Chen Fajing. The basic definition and classification of accommodation zone(transfer zone) [J]. *Geoscience*, 2003, 17(2): 186.
- [18] 蔡乾忠. 中国海域油气地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 174.
- Cai Qianzhong. *Petroleum geology in China offshore* [M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 174.
- [19] 谢文彦, 张一伟, 孙珍, 等. 琼东南盆地新生代发育机制的模拟研究[J]. *地学前缘*, 2008, 15(2): 232–241.
- Xie Wenyan, Zhang Yiwei, Sun Zhen, et al. The mechanism research of the formation of the Qiongdongnan basin during the Cenozoic through modeling experiments [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 232–241.
- [20] 谢文彦, 王涛, 张一伟, 等. 琼东南盆地西南部新生代裂陷特征与岩浆活动机理[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(2): 199–205.
- Xie Wenyan, Wang Tao, Zhang Yiwei, et al. Characteristics and dynamic analysis of Cenozoic rifting and magmatism in Southwest Qiongdongnan Basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(2): 199–205.
- [21] 谢玉洪, 童传新, 范彩伟, 等. 琼东南盆地断裂系统特征与演化[J]. *大地构造与成矿学*, 2015(待刊).
- Xie Yuhong, Tong Chuanxin, Fan Caiwei, et al. The characteristics and evolution of fault system in Qiongdongnan basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015(in press).
- [22] 李绪宣, 朱光辉. 琼东南盆地断裂系统及其油气输导特征[J]. *中国海上油气*, 2005, 17(1): 1–7.
- Li Xuxuan, Zhu Guanghui. The fault system and its hydrocarbon carrier significance in Qiongdongnan basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(1): 1–7.
- [23] Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes [J]. *Geology Society of America Special Paper* 323. 1998, 1–45.
- [24] 陈书平, 漆家福, 王德仁, 等. 东濮凹陷断裂系统及变换构造[J]. *石油学报*, 2007, 28(1): 43–49.
- Chen Shuping, Qi Jiafu, Wang Deren, et al. Fault systems and transfer structures in Dongpu Sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(1): 43–49.
- [25] 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 Petroli Sinica*, 2009, 30(6): 816–823.
- [26] 郭光辉, 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.
- [27] 王定一, 梁苏娟. 任丘大油田形成与变换带演化[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(1): 9–12.
- Wang Dingyi, Liang Sijuan. Evolution of transformation belt and formation of big oilfield in Renqiu [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(1): 9–12.
- [28] 陈发景, 贾庆素, 张洪年. 传递带及其在砂体发育中的应用[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 sand bodies [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 144–148.
- [29] 童亨茂, 孟令箭, 蔡东升, 等. 裂陷盆地断层的形成和演化——目标砂箱模拟实验与认识[J]. *地质学报*, 2009, 83(6): 759–774.
- Tong Hengmao, Meng Lingjian, Cai Dongsheng, et al. Fault formation and evolution in rift basins: Sandbox modeling and cognition [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(6): 759–774.
- [30] Tong H, Koyi H, Huang S, et al. The effect of multiple pre-existing weaknesses on formation and evolution of faults in extended sandbox models [J]. *Tectonophysics*, 2014, 626: 197–212.
- [31] Tong Hengmao, Cai Dongsheng, Wu Yongping, et al. Activity criterion of pre-existing fabrics in non-homogeneous deformation domain [J]. *Science China(Earth Science)*, 2010, 53(1): 1–11.
- [32] Tong H, Yin A. Reactivation tendency analysis: A theory for predicting the temporal evolution of preexisting weakness under uniform stress state [J]. *Tectonophysics*, 2011, 503: 195–200.

(编辑 张玉银)