

文章编号:1673-5005(2021)02-0011-10 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2021.02.002

琼东南盆地北部地区变换带构造特征及地质意义

赵海涛^{1,2,3,4}, 童亨茂⁴

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 天津城建大学地质与测绘学院, 天津 300384; 4. 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)

摘要:根据地震反射资料和断裂特征对琼东南盆地北部进行变换带的划分并分析其构造特征及地质意义。结果表明:北部地区由松西—松东和宝岛变换带 2 个堑间变换带分为北断南超型崖北—松西半地堑、南断北超型松东半地堑和宝岛凹陷北斜坡南倾断阶 3 个不同类型的构造单元;根据边界断层和凹陷内部断层特征可划分出 9 个断层域和 6 个不同类型的断层域间变换带;琼东南盆地北部地区变换带呈近南北走向,宽度范围在 T_{10}^0 反射层为 2~14.8 km,剖面上普遍表现为低凸起形态;研究区变换带形成和演化主要与基底先存构造、断层分段生长和伸展方向以及伸展量有关;琼东南盆地北部地区构造格局主要是在南海晚渐新世南北向扩张作用下形成的;变换带在盆地演化过程中与主要伸展方向存在趋同的趋势;变换带发育时期处于紧邻生油凹陷的古构造高部位以及良好的储集条件,使其成为研究区有利油气富集区。

关键词:琼东南盆地;变换带;变换断层;断层域;先存构造;断层生长

中图分类号:TE 121.2 **文献标志码:**A

引用格式:赵海涛,童亨茂.琼东南盆地北部地区变换带构造特征及地质意义[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(2):11-20.

ZHAO Haitao, TONG Hengmao. Characteristics and significance of transfer zone in northern Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2021, 45(2): 11-20.

Characteristics and significance of transfer zone in northern Qiongdongnan Basin, South China Sea

ZHAO Haitao^{1,2,3,4}, TONG Hengmao⁴

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;
2. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
3. School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China;
4. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: Based on seismic reflection data and fault characteristics, we firstly analyzed the transfer zone in the northern Qiongdongnan Basin, and then discussed its geological significance by integrating the regional background. The northern Qiongdongnan Basin can be divided into three different types of structural domains, i. e., the Yabei-Songxi half graben, the Songdong half graben and the north slope of Baodao depression, which are separated by two interbasin transfer zones the songxi-songdong transfer zone and the baodao transfer zone. According to the characteristics of boundary faults and internal faults properties within the depression, the area can be further divided into 9 fault domains and 6 fault domain transfer zones. The transfer zones, striking north-south, presents widths varying from 2 to 14.8 km in T_{10}^0 reflector, forming low uplifts in sections. The basement pre-existing structure, fault segment growth and extension factors were main factors influencing the formation and evolution of the transfer zones in the study area. By integrating the geological background, characteristics of

faults and transfer zones, we speculate that the basin is generally formed under the north-south tensional stress in the South China Sea in the late Oligocene. The transfer zones tend to converge with the main extension direction of the basin. The transfer zones are always in the high position which is close to the oil kitchen sags, and usually have high quality reservoir properties. These conditions make transfer zones into hydrocarbon enrichment area.

Keywords: Qiongdongnan Basin; transfer zone; transfer fault; fault domains; pre-existing structures; fault growth

一定类型和结构的变换带通常代表盆地不同构造演化阶段,并反映相关断层及断层域的形成和扩展过程^[1-4]。变换带形成演化不仅影响沉积体系展布、改善储层物性,而且在变形过程中的构造高部位也有利于捕集附近油源断裂运移的油气,形成油气富集区^[5-7]。因此变换带研究已成为裂陷盆地解析演化历史和指导油气勘探开发的重要组成部分。琼东南盆地是中国南海北部重要的含油气地区,前人在构造演化^[8]、油气勘探^[9-10]等方面进行了卓有成效的工作,先后在崖城凸起和南部深水区取得突破^[9-11]。变换带作为研究区油气富集区,一直备受关注。从最初识别出半地堑“高幅调整带”和“低幅调整带”^[12],到 BD19-2、宝岛、北部坳陷带等区域的变换带分析^[8,13-15],推动区域构造演化过程及油气分布规律的认识。但以往研究多针对单一变换带开展,对北部地区变换带整体变形和变位特征缺乏足够理解。利用覆盖北部地区的二维及部分三维地震资料对不同时期断裂走向及倾向进行统计分析。结合断裂平、剖面特征及滑距测算,识别出 8 个不同类型和规模的变换带,剖析相应变换带主要特征及成因机制,并结合区域背景探讨其地质意义。

1 裂陷盆地变换带的研究历史及分类方案

1969 年, Dahlstrom 在研究挤压地区平衡剖面时,认为不同区段挤压构造样式虽有差异,但总的应变和位移量是守恒的,位于不同挤压构造之间起调节两侧位移和应变的地质构造即为变换带^[16]。此后陆续有学者将变换带引入裂陷盆地,并提出不同定义和分类方案^[5-7,14,17-19],大都认为变换带是为保持区域伸展应变或位移量守恒而形成的^[5-6,19]。在诸多分类中,以 Morley 等^[5]和 Faults 等^[6]的方案影响最大。前者按边界断层倾向分为对倾、背倾和同倾 3 种基本几何类型,并根据断层相对位置分为接近型、叠覆型、平行型和共线型 4 个亚类^[5](图 1(a))。这一分类与中国东部及沿海地区中、新生代裂陷盆地实际地质条件吻合度高^[19],但也存在不足:一是未涉及变换带级别,二是与其他方案^[6]相比对变换断层论述不详。裂陷盆地中半地堑是具有成因意义的最基本组成单元^[12],而构造研究的核心则是断层^[20],变换带类型及级别应主要围绕这 2 个关键因素展开。Gawthorpe 等^[17]将分隔不同半地堑

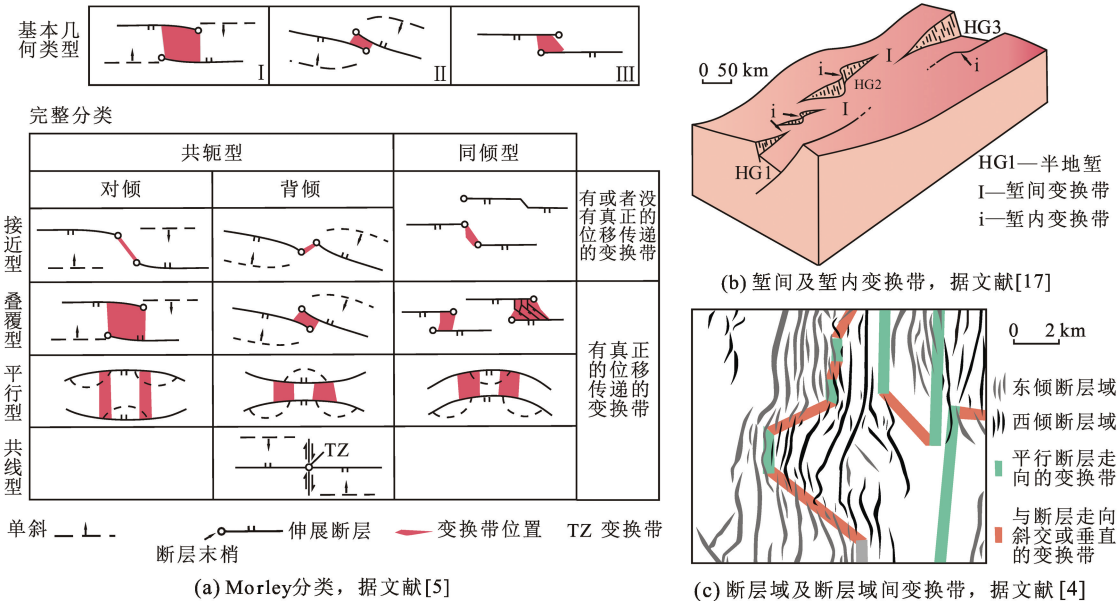


图 1 变换带分类

Fig. 1 Classification of transfer zones

的变换带称为堑间变换带 (interbasin transfer zones), 而将半地堑内部或边缘分隔不同构造样式的变换带称为堑内变换带 (intrabasin transfer zones) (图 1(b))。也有人将变换带的级别划分为堑间变换带和断层间变换带 (fault-to-fault transfer zones)^[18] 以及断层域之间变换带的方案, 其中断层域 (fault domain) 是指广泛发育在伸展环境中全部或者绝大多数倾向相同的一系列正断层^[4] (图 1(c))。在琼东南盆地北部地区研究过程中发现, 以堑间变换带和断层域间变换带进行变换带级别划分简便易行, 基本类型依据 Morley 的分类具有一定的科学性^[5], 能够表征不同演化阶段。变换断层在裂陷盆地中较少见^[17], 其类型主要参考 Faulds 等的方案^[6]。

2 区域地质背景

琼东南盆地位于中国南海北部大陆边缘, 西邻莺歌海盆地, 北抵海南岛隆起, 东连西沙海槽与南海西北海盆相接, 南为西沙隆起, 整体呈北东向, 面积为

8.92×10⁴ km² (图 2(b), 据文献[9])。盆地由北部坳陷、中部隆起、中央坳陷、南部隆起和南部坳陷 5 个次级构造单元组成 (图 2(a), 据文献[21])。其中北部坳陷包括崖北、松西及松东 3 个凹陷, 除北部坳陷外, 北部地区还包括松东凹陷东侧的宝岛凹陷北斜坡。

盆地在 前新生代基底之上于新生代开始伸展断陷, 经始新世—早渐新世 (T₁₀⁰~T₇⁰) 整体强张裂期、晚渐新世—早中新世 (T₇⁰~T₆⁰) 断拗期、晚中新世至今 (T₆⁰至今) 的裂后热沉降期 3 个构造阶段, 沉积古近系、新近系以及第四系 (图 2(c), 据文献[22])。以破裂不整合 T₆⁰ 为界, 盆地具有典型双层结构: 始新统 (钻井未见)、下渐新统崖城组、上渐新统陵水组构成下构造层; 下中新统三亚组、中中新统梅山组、上中新统黄流组、上新统莺歌海组以及第四系构成上构造层^[9-10, 23-24]。

因构造位置特殊, 琼东南盆地的形成和演化一直被认为与南海扩张、太平洋俯冲、红河断裂等构造事件存在关联, 是破解上述诸多难题的关键区域之一^[8, 22, 24]。

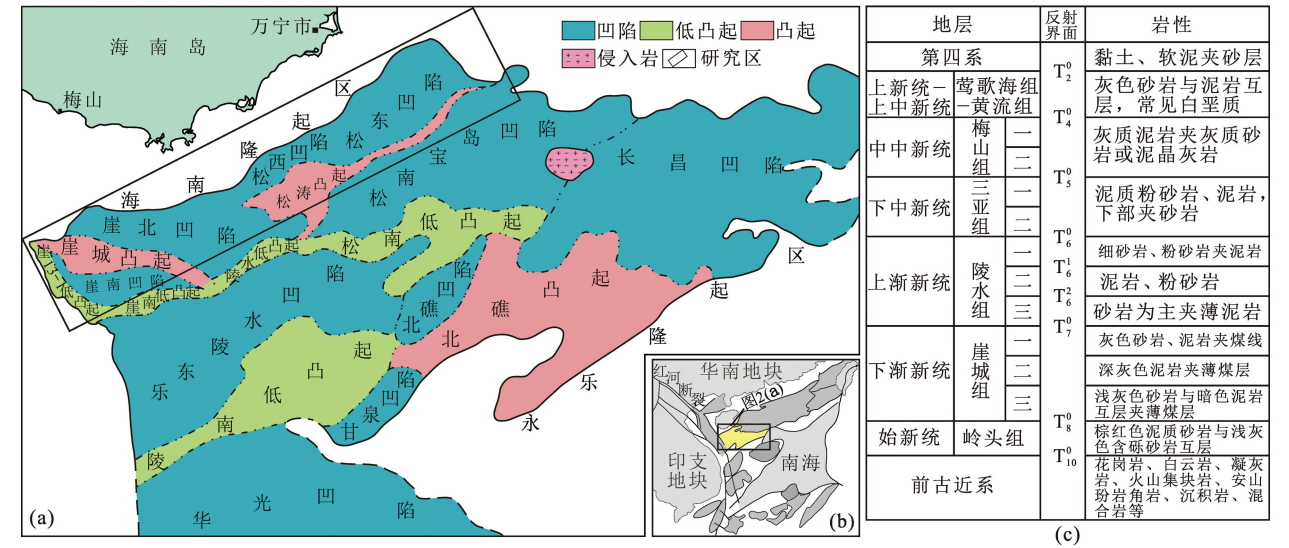


图 2 琼东南盆地构造单元划分及地层结构

Fig. 2 Structural units and stratigraphy of Qiongdongnan Basin

3 琼东南盆地北部地区变换带的划分及特征

根据半地堑结构及断层特征在 T₁₀⁰ 反射层划分出松西—松东和宝岛 2 个堑间变换带以及崖北西、崖北、崖北—松西、松西、松东、松东东 6 个断层域间变换带 (图 3)。这些变换带将北部地区分为崖北西 (I₁)、崖北 (I₂)、崖北东 (II)、松西西 (III₁)、松西东 (III₂)、松东西 (IV)、松东 (V)、松东东 (VI) 和宝

岛北斜坡 (VII) 9 个断层域 (图 3)。

3.1 堑间变换带

堑间变换带位于相邻半地堑之间, 调节两侧位移^[17]。研究区包括松西—松东和宝岛 2 个堑间变换带, 以前者对构造格局的影响最大。

3.1.1 松西—松东变换带

5 号断层控制的崖北凹陷和松西凹陷剖面表现为北断南超型半地堑, 6 号断层控制形成的松东凹陷则为南断北超型半地堑 (图 3, 5-31 测线和 sde5

测线)。自西南向东北,松西凹陷由半地堑逐渐演变为南倾断层控制下的断阶,直至逐渐消亡(图 3,5-31 测线和 sxe1 测线);松东凹陷自东北向西南也由同倾正断层控制下的半地堑,到 6 号断层末梢处,

演变为北倾断层控制下的断阶(图 3,sde5 测线和 sxe1 测线)。平面上 5 号和 6 号断层在各自末梢位

移明显减小,分别向外分叉尖灭。

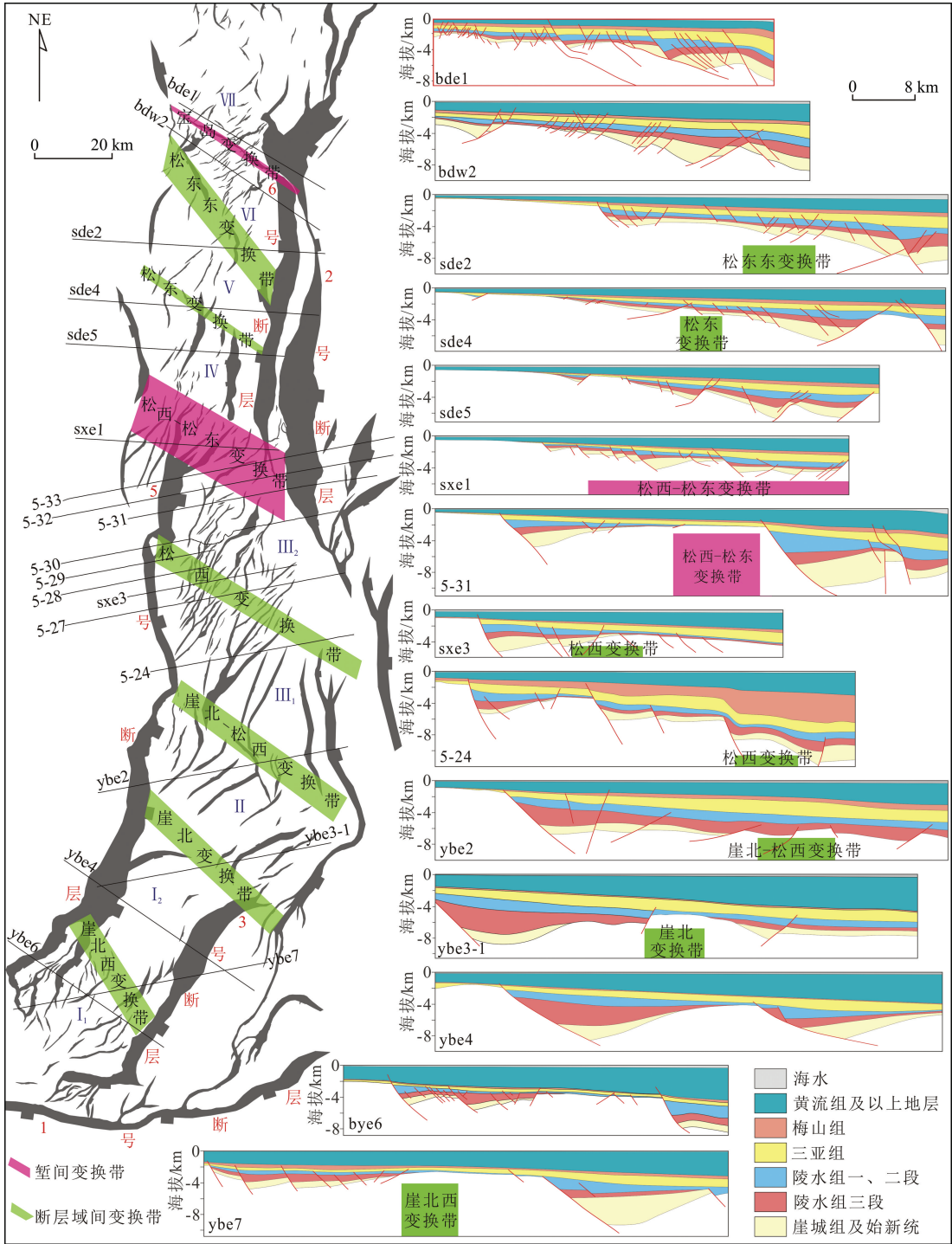


图 3 琼东南盆地北部地区 T_{10}^0 反射层变换带划分及不同位置地质剖面
(其中 T_{10}^0 反射层断层平面图及 sxe3、bdw2 和 bde1 测线据文献[25])

Fig. 3 Division of transfer zones in northern Qiongdongnan Basin and geological sections

(Among them, fault plan of T_{10}^0 reflector and survey lines of sxe3, bdw2 and bde1 are after citation [25])

松西—松东变换带位于 5 号断层和 6 号断层末梢之间,近南北走向,宽约为 14.8 km(T_{10}^0 反射层),属对倾叠覆型堑间变换带。叠覆主要是 2 条断层末梢小规模重叠,其间分布走向与相应边界断层近于平行、数量多、规模小的次级断层。整体上二者之间是由对倾小型正断层组合形成的复杂结构,形成一对相对式半地堑,变换带以低凸起形式出现(图 3, sxe1 测线)。

3.1.2 宝岛变换带

宝岛凹陷北斜坡分布着一条近南北向的宝岛断裂,向南分别与 6 号和 2 号断层相接,向北逐渐消失,南北向延伸达 30 km,宽度约为 2 km(T_{10}^0 反射层)。有学者认为断裂南侧 BD19-2 构造为对倾叠覆型变换带,并推断其形成与南北向断裂有关^[13],受当时地震资料限制,并未对断裂进行深入研究。此后根据三维地震资料以及方差体切片,又有学者提出宝岛断裂属于“复式变换构造”,其中 T_{10}^0 反射

层为“复式变换断层”, $T_7^0 \sim T_6^0$ 反射层是“复式变换构造带”,拗陷层为“复式变换带”^[14]。

宝岛断裂东西两侧断层产状及剖面结构存在明显差异^[13-14]。断裂以西(Ⅵ)受 6 号断层影响,断层绝大部分北倾,表现出半地堑特征;东部(Ⅶ)则受 2 号断层控制,大多南倾(图 5),剖面表现为南倾断阶,再向南即进入宝岛凹陷(图 3, bdw2 测线和 bde1 测线)。东西两侧断层走向总体上都呈近东西向,但在时空上也有一定特点(图 4)。 T_{10}^0 反射层断层走向均为南西西—北东东向,向上延伸至 T_7^0 反射层则开始出现近东西向断层,尤以西区(Ⅵ)更为明显。自 T_6^0 反射层开始至 T_5^0 反射层,两部分断层走向均为近东西向,但进入 T_4^0 反射层北西西—南东东走向断层开始占据优势(图 4)。平、剖面上断裂绝大部分发育于梅山组沉积之前,只有少数断裂切穿梅山组顶界进入黄流组。

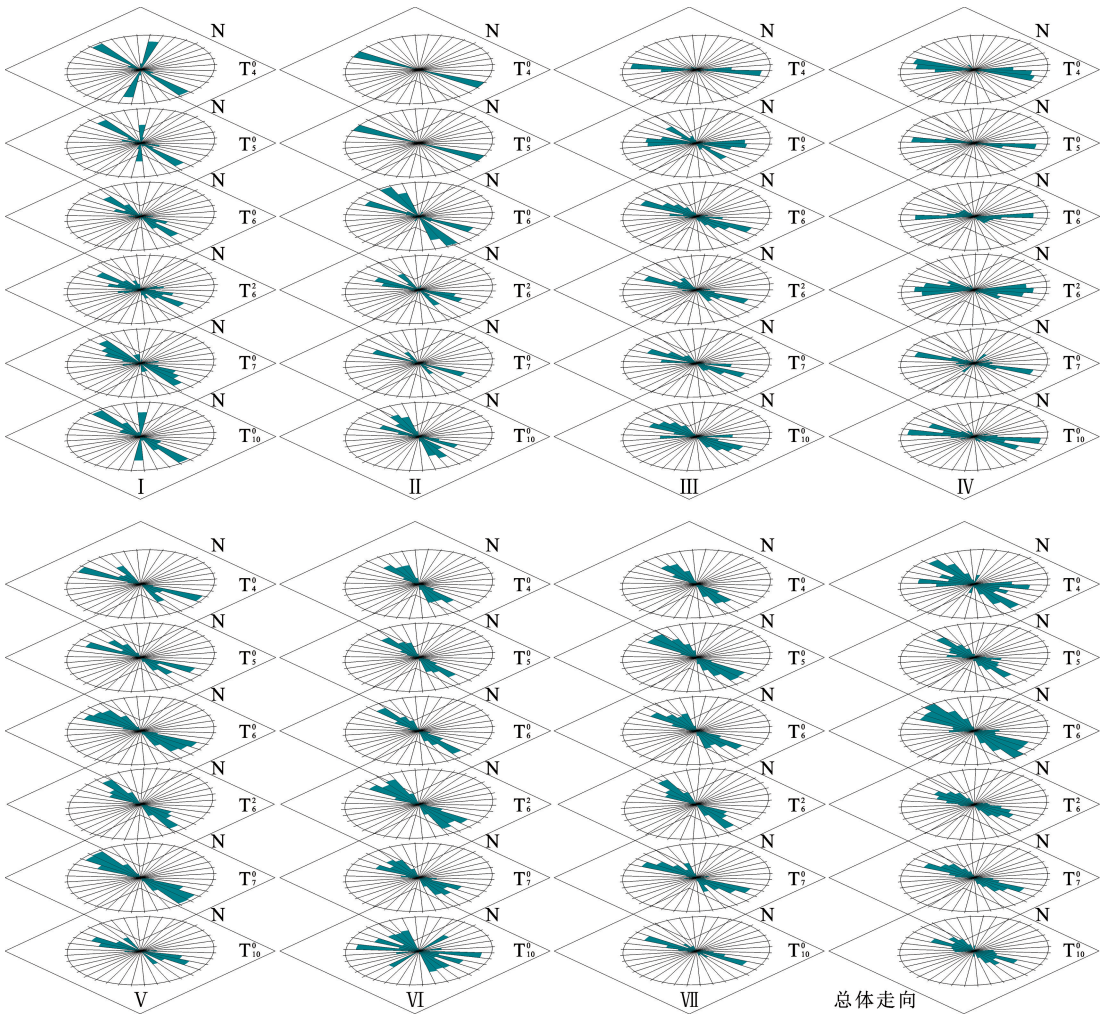


图 4 琼东南盆地北部地区各断层域不同反射层断层走向玫瑰花图

Fig. 4 Rose map of fault strike of different reflectors in different fault domains

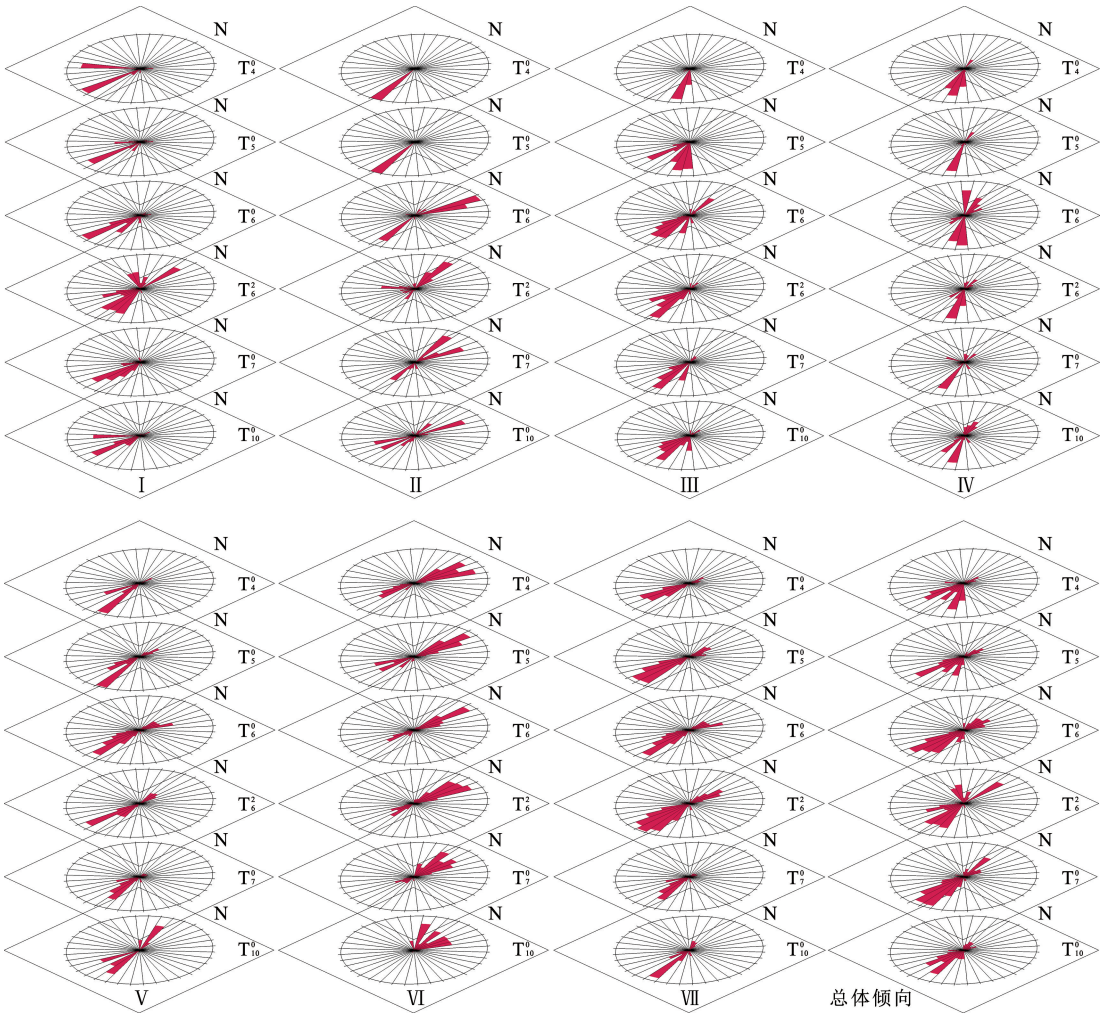


图 5 琼东南盆地北部地区各断层域不同反射层断层倾向玫瑰花图

Fig. 5 Rose map of fault tendency of different reflectors in different fault domains

断裂在不同反射层分布范围存在差别,平面上具有分段特征^[14]。 T_{10}^0 反射层,断裂表现为近南北向贯通形态,北侧终止于近东西向北倾小型正断层,南端与 6 号断层相接,东西两侧走向一致、倾向相反的正断层至宝岛断裂戛然而止。 T_7^0 反射层,宝岛断裂仅在南段发育,中间存在不连续段落,并且开始出现被北倾小断层错断的现象。进入 T_6^0 反射层,断裂被错断的现象更加明显。 T_6^0 反射层宝岛断裂仅在南部断续出露,规模很小。因此宝岛断裂时空上基本限制在 $T_{10}^0 \sim T_6^0$ 反射层。

西侧松西凹陷东斜坡内部断块剖面上呈顺时针旋转(视野自西向东),东侧宝岛凹陷北斜坡内部块体呈逆时针旋转(视野自西向东)。宝岛断裂实际上调节两侧不同块体的位移,属以变换断层形式出现的变换带^[14],按相应分类^[6]属于对倾右旋型变换断层。鉴于宝岛断裂分隔南断北超型松西凹陷和宝岛凹陷北斜坡南倾断阶,因此其级别应归为堑间变

换带。

3.2 断层域间变换带

断层域与主控边界断层分段性存在较大关联,根据主控边界断层分段特征及相应段落断层规模、走向及倾向,划分出崖北西、崖北、崖北—松西、松西、松东、松东东 6 个断层域间变换带(图 3)。

3.2.1 崖北西变换带

5 号断层崖北凹陷段分段特征明显,可分为 I 和 II 两部分,其中 I 又被崖北西变换带分为 I_1 和 I_2 两个断层域(图 3)。 I_1 段断层平面上总体近东西向延伸,西端出现数量多、规模小的北东向及北西向断层。 I_2 段断层数量较少,但断层规模较大。剖面上 I_1 段为断阶复杂化的半地堑且深度小于 6 km(图 3,ybe6 测线), I_2 段则为单一大断层控制下最大埋深大于 8 km 的半地堑,小断层几乎不发育(图 3,ybe4 测线)。崖北西变换带呈北北东走向,宽度约为 6.6 km(T_{10}^0 反射层)。平面上发育多条与主

干边界断层近于直交的次级断层,剖面上对应东部深凹陷向西部浅凹陷过渡位置,南段属崖城凸起的一部分,为同向平行型变换带(图3,ybe7测线)。

3.2.2 崖北变换带

崖北凹陷东部断层域(Ⅱ)裂隙层北西—南东东走向及北北东倾断层占优(图4和图5),与大部分断层南倾的崖北凹陷中部断层域(Ⅰ₂)差异明显。同时5号断层规模变小,凹陷内部出现多条规模较大与其对倾的正断层,形成北倾断阶,半地堑结构被复杂化(图3,ybe2测线)。

崖北变换带近南北走向,宽度约为6 km(T_{10}^0 反射层),为对倾接近型变换带。平面上自西侧(Ⅰ₂)南倾断层区向东侧(Ⅱ)北倾断层发育区过渡,调节两侧位移。剖面上凹陷结构自西向东从北断南超型半地堑过渡为北倾断层控制下的半地堑—半地垒,变换带处于半地垒位置,属凹陷内部低凸起(图3,ybe3-1测线)。

3.2.3 崖北—松西变换带

松西凹陷(Ⅲ)断层呈近东西走向,整体以南南东倾占优(图3~5)。剖面上,松西凹陷规模明显小于崖北凹陷,最大埋深小于6 km。松西凹陷西部断层域(Ⅲ₁)内部出现多条规模较大的南倾正断层(图3,5-24测线),区别于北倾断层占优的崖北凹陷东部断层域(Ⅱ)。

崖北—松西变换带近南北走向,调节西部(Ⅱ)北西走向主体北倾断层和东侧(Ⅲ₁)近东西走向整体南倾断层,属对倾叠覆型变换带,宽度约为6.5 km(T_{10}^0 反射层)。剖面上凹陷结构从西部反向断层复杂化的北断南超半地堑过渡为东侧同向断层控制下的复合半地堑(图3,ybe2测线和5-24测线)。斜切剖面显示变换带位于南北背倾正断层控制下的地垒部位(图3,5-24测线)。

3.2.4 松西变换带

在 T_{10}^0 反射层、松西凹陷ST31-2-1井附近,5号断层沿走向发生侧接,以侧接部位为界将松西凹陷分为西(Ⅲ₁)、东(Ⅲ₂)2个断层域。二者内部断层走向虽都为近东西向,但西部出现多条与5号断层同向的规模较大的正断层,东部断层规模相对较小,对半地堑形态改变不大(图3,5-24测线和5-31测线)。

裂隙期侧接部位断层位移量显著减小,向两侧位移不断增大(图6),该处可能起调节两侧位移的作用,为同倾叠覆型变换带。变换带近南北走向,宽度约为5.7 km(T_{10}^0 反射层)。平面上北东向与北东

东向2条同倾断层在此侧接,形成转换斜坡。剖面上变换带南侧表现为对倾铲式断层控制下半地垒—半地堑中的半地垒(图3,5-24测线),北侧演变为地垒(图3,sxe3测线)。

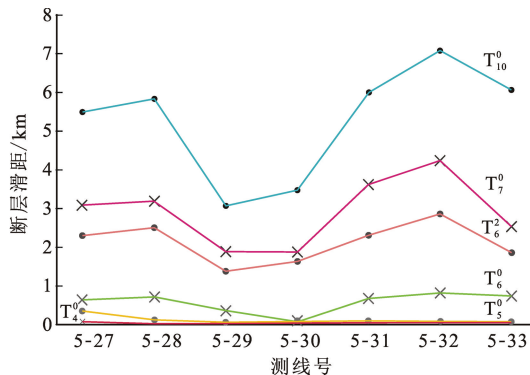


图6 松西变换带附近5号断层不同反射层断层滑距

Fig. 6 Fault slip-distance of different reflection layers of No. 5 fault near Songxi transfer zone

3.2.5 松东变换带

以松东凹陷北部2条背倾断层接近部位为界,可将凹陷分为中(V)、西(Ⅳ)2个断层域(图3)。平面上,西部出现多条规模较大的北东—南西向正断层,以北西倾为主,东部以近东西走向为主,近南南东倾断层占优,且内部断层规模相对较小(图4、5)。剖面上西部表现为多条北倾正断层控制下的复合半地堑,东部为南北向对倾正断层控制下的半地垒—半地堑(图3,sde5测线和sde4测线)。

松东变换带调节西部南断北超半地堑和东部半地垒—半地堑之间的位移,为对倾接近型变换带。在 T_{10}^0 反射层,变换带近南北走向,宽度约为2.2 km,形态具地垒特征(图3,sde4测线)。

3.2.6 松东东变换带

松东凹陷东部(Ⅵ)断层数量明显增加,以北西西走向为主,总体北东东倾(图4、5)。自西(V)向东(Ⅵ),剖面上由半地垒—半地堑转变为多条北倾正断层控制下的复合半地堑(图3,sde2测线和bdw2测线)。

松东东变换带调节东部南断北超型复合半地堑和西部半地垒—半地堑,为对倾叠覆型变换带。在 T_{10}^0 反射层,变换带近南北走向,宽度约为7 km。平面上沿变换带北部出现与其走向一致的一条北西倾正断层。剖面上变换带表现为由半地垒向半地堑过渡的部位,呈复合“Y”字形结构(图3,sde2测线)。

4 地质意义

正断层分段生长^[1,3,17]、基底先存构造^[14,18]以

及伸展要素^[20]是影响裂陷盆地断层及变换带形成和演化的关键因素。正断层发育过程中,中间位移大两侧位移小且不断向两侧扩展生长^[1]。因此相邻正断层之间不同时期会形成不同类型的变换带,Morley 方案^[5]中从接近、叠覆至共线类型的划分与断层演化过程是统一的。松西—松东变换带就是5号断层和6号断层侧向扩展过程中形成的,松西变换带则具有位移显著小于两侧的典型特征(图6)。随着断层的逐渐消亡,变换带类型会向着反方向发展直至消失。基底先存构造在变换带演化过程中的作用也不容忽视。已有构造物理模拟试验表明,斜向伸展条件下基底先存构造更容易发育,后期其附近形成的次级断层走向一般与先存断层相近,远离控边断层的凹陷内部断层走向则多与伸展方向直交或者是大角度斜交^[20,26-27]。比如5号断层不同区段产状差别较大,这些先期形成的断层产状对后期次级断层的走向及倾向影响较大,倾向相同的次级断层因受边界断层“应力降低带”影响小而更容易发育,从而形成各具特色的断层域^[4]。宝岛变换带也被认为受基底先存构造影响^[14]。对于伸展要素而言,在基底先存构造影响下,只有进行大量的断层统计才可能具有指示意义。北部地区断层走向优势方位存在由北东东—南西西到近东西向转变的趋势,并且变换带也大都呈近南北向分布(图4)。盆地早期北东东—南西西向断层的存在可能是由于始新世NW—SE向伸展条件下形成^[25],后期近东西向展布的断层则与南海南北向扩张存在密切联系。海底磁条带显示,南海晚渐新世(32~25 Ma)发生南北向扩张,早中新世—中中新世为NW—SE向扩张(24~16 Ma),其间存在洋脊跃迁^[28]。综合断层产状、变换带特征以及破裂不整合面分布,南海第一次南北向扩张对琼东南盆地影响最大,是奠定盆地北部构造格局最重要的因素。伴随洋脊跃迁,南北向伸展逐渐减弱直至停止,琼东南盆地自中新世开始进入裂后热沉降阶段。此后除东部少量断裂继续活动外,大部分断层停止发育^[25],说明南海第二次扩张对研究区影响十分有限。除东西两端的松东东和崖北西变换带以外,其余变换带基本上呈近南北向延伸,说明随着盆地演化,盆内变换带走向与伸展方向存在逐渐趋同的趋势。

油气地质方面,北部地区变换带具有构造高部位、次级断裂发育、紧邻生油洼陷3个优势。从剖面图中可以看出,变换带大都为盆内低凸起(宝岛变换带为构造脊^[14]),且这些地貌形态自裂陷开始一

直持续至热沉降,后期随盆地整体沉降得以保存。构造高部位不仅利于捕集油气,堆积粗粒沉积物,而且在盆地抬升遭受风化剥蚀期间还能够改善储层的储集性能。崖13-1大气田所在的披覆背斜就位于1号断层和3号断层之间的同倾平行型变换带部位。变换带调节两侧伸展位移,相对两侧并不发育大断层,但是其内部更容易出现大量次级断层^[29],比如松西—松东变换带出现的大量对顶正断层。这些次级断层能够有效改善储集层的物性特征,提高储集性能。上述2个特点再加上紧邻两侧生油洼陷,使得变换带成为裂陷盆地中的油气富集区,松西变换带附近的莺9井就是一个典型例子^[15]。

5 结 论

(1)琼东南盆地北部地区以松西—松东对倾叠覆型变换带和宝岛变换带为界分为3部分。西段受5号断层控制形成北断南超型崖北凹陷和松西凹陷,东段受6号断层控制形成南断北超型松东凹陷,东端为受2号断层控制下形成的宝岛凹陷北斜坡南倾断阶。

(2)根据不同区段断层走向及倾向特征将研究区进一步划分为9个断层域和崖北西同向平行型、崖北对倾接近型、崖北—松西对倾叠覆型、松西同倾叠覆型、松东对倾接近型和松东东对倾叠覆型6个断层域间变换带。同一断层域内断层的走向及倾向具有较好一致性,不同断层域断层产状差异较大。

(3)基底先存构造、断层分段生长及伸展要素(伸展方向、伸展量)是影响琼东南盆地北部地区变换带形成演化的主要因素。

(4)北部地区变换带大都呈南北走向,而断层则总体上近东西走向,结合区域地质背景,认为琼东南盆地北部地区构造格局主要是在南海晚渐新世南北向扩张作用下形成的。盆内变换带走向与伸展方向存在逐渐趋同的趋势。

(5)琼东南盆地北部地区变换带发育时期处于古构造高部位,紧邻生油凹陷且与油源断裂相接,沉积时期堆积粗粒物质并在盆地抬升期间遭受风化剥蚀,加之内部次级断裂发育,是有利的油气富集区。

参考文献:

- [1] SCHOLZ C H, DAWERS N H, YU J Z, et al. Fault growth and fault scaling laws: preliminary results[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98 (B12): 21951-21961.

- [2] PEACOCK D C P, SANDERSON D J. Geometry and development of relay ramps in normal fault systems [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(2): 147-165.
- [3] CHILDS C, WATTERSON J, WALSH J J. Fault overlap zones within developing normal fault systems [J]. Journal of the Geological Society, 1995, 152(3): 535-549.
- [4] SCHLISCHE R W, WITHJACK M O. Origin of fault domains and fault-domain boundaries (transfer zones and accommodation zones) in extensional provinces: result of random nucleation and self-organized fault growth [J]. Journal of Structural Geology, 2009, 31(9): 910-925.
- [5] 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): 1234-1253.
- [6] FAULDS J E, VARGA R J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes [C] // FAULDS J E, STEWART J H. Accommodation zones and transfer zones: the regional segmentation of the basin and range province. Boulder, Colorado: Geological Geological Society of America Special Paper 323, 1998: 1-45.
- [7] 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 rifting basins [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(4): 43-50.
- [8] 李绪宣, 钟志洪, 董伟良, 等. 琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及其动力学机制 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 713-721.
LI Xuxuan, ZHONG Zhihong, DONG Weiliang, et al. Paleogene rift structure and its dynamics of Qiongdongnan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(6): 713-721.
- [9] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 43-59.
- [10] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探 (第四卷近海油气区) [M]. 北京: 地质出版社、石油工业出版社, 1999: 1164-1186.
- [11] 谢玉洪. 中国海油近海油气勘探与思考 [J]. 中国海上油气, 2020, 32(2): 1-13.
XIE Yuhong. Practices and thoughts of CNOOC offshore oil and gas exploration [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(2): 1-13.
- [12] 茹克. 裂陷盆地的半地堑分析 [J]. 中国海上油气 (地质), 1990, 4(6): 1-10.
RU Ke. Analysis of half-graben in rift basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1990, 4(6): 1-10.
- [13] 陶维祥, 梁建设. 琼东南盆地 BD19-2 构造形成机理初步研究 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(5): 315-319.
TAO Weixiang, LIANG Jianshe. Formation mechanism of BD19-2 structure in Qiongdongnan Basin [J]. China Off shore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(5): 315-319.
- [14] 童亨茂, 范彩伟, 童传新, 等. 琼东南盆地宝岛变换带的特征、类型及其成因机制 [J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(6): 897-905.
TONG Hengmao, FAN Caiwei, TONG Chuanxin, et al. Characteristics, types and genetic mechanism of Baodao transfer zone, Qiongdongnan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(6): 897-905.
- [15] 谭建财, 范彩伟, 任科英, 等. 琼东南盆地北部构造变换带及其油气地质意义 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(2): 62-65.
TAN Jiancai, FAN Caiwei, REN Keying, et al. Transfer zone in the northern of Qiongdongnan Basin and its hydrocarbon implication [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 62-65.
- [16] DAHLSTROM C D A. Balanced cross sections [J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6(4): 743-757.
- [17] GAWTHORPE R L, HURST J M. Transfer zones in extensional basins: their structural style and influence on drainage development and stratigraphy [J]. Journal of the Geological Society, 1993, 150(6): 1137-1152.
- [18] 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.
- [19] 陈发景, 汪新文, 陈昭年, 等. 伸展断陷盆地分析 [M]. 北京: 地质出版社, 2004: 52-85.
- [20] 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 basin: sandbox modeling and its inference [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 759-774.
- [21] 胡雯燕, 罗威, 黄灿, 等. 琼东南盆地东沙运动表现特征及石油地质意义 [J]. 中国海上油气, 2020, 32(3): 20-32.
HU Wenyang, LUO Wei, HUANG Can, et al. Characteristics of Dongsha movement in Qiongdongnan Basin and its petroleum geological significance [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(3): 20-32.
- [22] 谢文彦, 张一伟, 孙珍, 等. 琼东南盆地断裂构造与成

- 因机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 71-78.
- XIE Wenyan, ZHANG Yiwei, SUN Zhen, et al. Characteristics and formation mechanism of faults in Qiongdongnan Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(1): 71-78.
- [23] 张启明, 郝芳. 莺-琼盆地演化与含油气系统[J]. 中国科学(地球科学), 1997, 27(2): 149-154.
- ZHANG Qiming, HAO Fang. The revolution and petroleum system of Ying-Qiong Basin[J]. Science China: Earth Sciences, 1997, 27(2): 149-154.
- [24] ZHOU Di, RU Ke, CHEN Hanzong. Kinematics of cenozoic extension on the South China sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region[J]. Tectonophysics, 1995, 251(4): 161-177.
- [25] 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, 39(5): 43-55.
- XIE Yuhong, TONG Chuanxin, FAN Caiwei, et al. Characteristics and evolution of fault system in Qiongdongnan Basin [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2015, 39(5): 43-55.
- [26] MCCLAY K R, WHITE M J. Analogue modelling of orthogonal and oblique rifting[J]. Marine and Petroleum Geology, 1995, 12(2): 137-151.
- [27] 周建勋, 周建生. 渤海湾盆地新生代构造变形机制: 物理模拟和讨论[J]. 中国科学(地球科学), 2006, 36(6): 507-519.
- ZHOU Jianxun, ZHOU Jiansheng. The tectonic deformation mechanisms of Cenozoic in Bohaiwan Basin: physical simulation and discussion[J]. Science China: Earth Sciences, 2006, 36(6): 507-519.
- [28] BRIAIS A, PATRIAT P, TAPPONNIER P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [29] 杨少春, 白青林, 路智勇, 等. 东辛地区营 26 断层变换带形成机制模拟[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 25-33.
- YANG Shaochun, BAI Qinglin, LU Zhiyong, et al. Forming mechanism simulation of Ying 26 transfer zone in Dongxin area[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(1): 25-33.

(编辑 李 娟)