

渤海湾盆地辽中凹陷南洼走滑转换带特征及其对大、中型油田的控制作用

王冰洁,王德英,王鑫,惠冠洲,薛明旺

[中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津300452]

摘要:渤海湾盆地辽中凹陷南洼发育走滑转换带,是大、中型油田形成的有利位置。利用三维地震资料解释结果,结合勘探实践,对该区走滑转换带的特征及构造圈闭的形成、古近系砂体展布和油气垂向运移这3个成藏要素进行分析。结果表明:①依附于5条走滑断层,研究区形成了断边走滑转换带、断间走滑转换带和断梢走滑转换带3种类型,每种又可分为压扭型和张扭型2个亚类,对应形成增压型和释压型构造圈闭;②压扭型走滑转换带发育的构造圈闭规模大(即增压型的构造圈闭面积大),为大、中型油田的形成提供了有利的圈闭条件;③走滑转换带古近系砂体在走滑作用下表现出明显的迁移性,导致其在横向上分布范围更广,可接受来自不同位置烃源岩的原油充注,在平面上形成多构造含油的特征;④走滑转换带伴生调节断层发育,有利于油气的垂向运移,最终形成多层系和多断块含油的特点。综上所述,辽中凹陷南洼走滑转换带控制了大规模构造圈闭的形成、控制了古近系砂体在横向上的分布以及原油在垂向上的运移等大、中型油田形成的基本成藏要素。

关键词:圈闭条件;运移条件;走滑控砂;走滑转换带;辽中凹陷南洼;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Characteristics of strike-slip transition zone in southern Liaozhong Sag, Bohai Bay Basin and its control on large/medium-sized oilfields

Wang Bingjie, Wang Deying, Wang Xin, Hui Guanzhou, Xue Mingwang

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: The strike-slip transition zone developed in the southern Liaozhong Sag is a favorable position for the formation of large- and medium-sized oilfields. The study analyzes the characteristics of the strike-slip transition zone, as well as accumulation factors of the formation of structural traps, distribution of the Paleogene sand bodies and vertical hydrocarbon migration based on the interpretation results of three-dimensional seismic data, coupled with exploration practice. As indicated by the results, the study area develops three types of fault-edge transition zone, fault-overlapping transition zone and fault-terminal transition zone along five main strike-slip faults, each of which can be subdivided into transpressional subtype and transtensional subtype, corresponding to structural traps of the pressure buildup type and the pressure relief type produced thereby. Second, the structural traps developed in a transpressional strike-slip transition zone are large in scale (that is, the structural traps of the pressure buildup type are large in area), favorable for the formation of large- and medium-sized oilfields. Third, the Paleogene sand bodies in the strike-slip transition zone show obvious migration under strike-slipping, resulting in a wider lateral distribution, capable of accepting oil charging from different source rocks; thus the area features hydrocarbon enrichment in multiple structures on map view. Fourth, the strike-slip transition zone associated with the development of adjustment faults, is conducive to the vertical hydrocarbon migration, ultimately resulting in oil enrichment in multiple horizons and multiple fault blocks. In all, the strike-slip transition zone in southern Liaozhong Sag controls the basic hydrocarbon accumulation factors in the formation of large- and medium-sized oilfields, including the formation of large-scale structural traps, the lateral distribution of the Paleogene sand bodies, and the vertical hydrocarbon migration.

收稿日期:2022-03-21;修订日期:2022-09-08。

第一作者简介:王冰洁(1984—),男,博士、工程师,石油地质和勘探。E-mail: wangbj6@cnooc.com.cn。

基金项目:中海油重大科技专项(CNOOC-KJ-135-ZDXM-36-TJ-08-TJ)。

Key words: trap condition, migration condition, strike-slip fault controlling reservoir distribution, strike-slip transition zone, southern Liaozhong Sag, Bohai Bay Basin

引用格式:王冰洁,王德英,王鑫,等. 渤海湾盆地辽中凹陷南洼走滑转换带特征及其对大、中型油田的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1347-1358. DOI: 10. 11743/ogg20220606.

Wang Bingjie, Wang Deying, Wang Xin, et al. Characteristics of strike-slip transition zone in southern Liaozhong Sag, Bohai Bay Basin and its control on large/medium-sized oilfields[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1347-1358. DOI: 10. 11743/ogg20220606.

转换带的提出起源于对逆冲推覆体的研究^[1-2],但其概念和分类方案在挤压变形带和伸展变形带中均有应用^[3];不论何种类型的转换带,整体上都是指在区域应力的作用下,由一条或多条主干断层及其相伴生调节断层的共同活动,引起地质体在三维空间的构造变形,从而形成一个变形带,该带也被称为变换带、传递带或者调节带^[4-7]。含油气盆地中转换带得到了广泛的研究和应用,包括特征描述^[8-9]、成因分析^[10-12]和控藏作用^[13-17]等方面。其中,走滑转换带顾名思义特指与走滑断层相关的构造转换带,近十多年来研究者在渤海油田该类型构造带中发现了诸多大、中型油气田,证实了走滑转换带是非常有利的油气富集带,因此对渤海油田走滑转换带与油气分布关系进行了系统的总结^[18]。而本文所指的走滑转换带是由于走滑断层为一级主控断层,沿单条或多条走滑断层走向,地层产生横向和纵向上的位移作用,在走滑断层的两侧、走滑断层之间或者走滑断层末梢,形成各种张性、张扭性、压性和压扭性调节断层,这些调节断层和地层变形共同形成了走滑转换带。

渤海湾盆地辽中凹陷南洼发育了多条NE-SW向的右旋走滑断层和大量相应的调节断层,目前对该区构造特征的研究集中在断裂体系样式^[19-20]、断裂演化特征^[21-22]以及断裂与成藏关系方面^[23-24]。上述针对该区的构造和成藏的研究均较为宽泛,本文在三维地震解释及对油田分布分析的基础上,创新性地从该区走滑转换带角度开展系统研究,总结了该区走滑转换带的形成背景、类型特征及构造样式,以及对大、中型油田形成的控制作用,进一步揭示了辽中凹陷南洼的油气富集规律,是对渤海走滑转换带控藏作用认识的一次应用和补充。

1 走滑转换带形成的地质背景

渤海海域位于渤海湾盆地的东北部,是在中生代印支运动和燕山运动区域构造变形基础上发育的新生代沉积盆地,包括辽东湾坳陷、渤中坳陷、渤南坳陷和渤西坳陷4个二级构造单元^[18],其中,辽东湾坳陷是下

辽河坳陷向海域的延伸,而研究区辽中凹陷南洼位于辽东湾坳陷辽中凹陷的南部(图1)。

郯庐断裂带集中分布在渤海海域东部,呈NE-SW向纵贯整个海域部分,东西宽40~60 km,影响了多个凸起和凹陷的构造发育特征(图1)。自新生代以来,渤海湾盆地在形成和构造演化过程中受岩石圈底部热地幔隆升活动和东亚大陆与西太平洋板块相

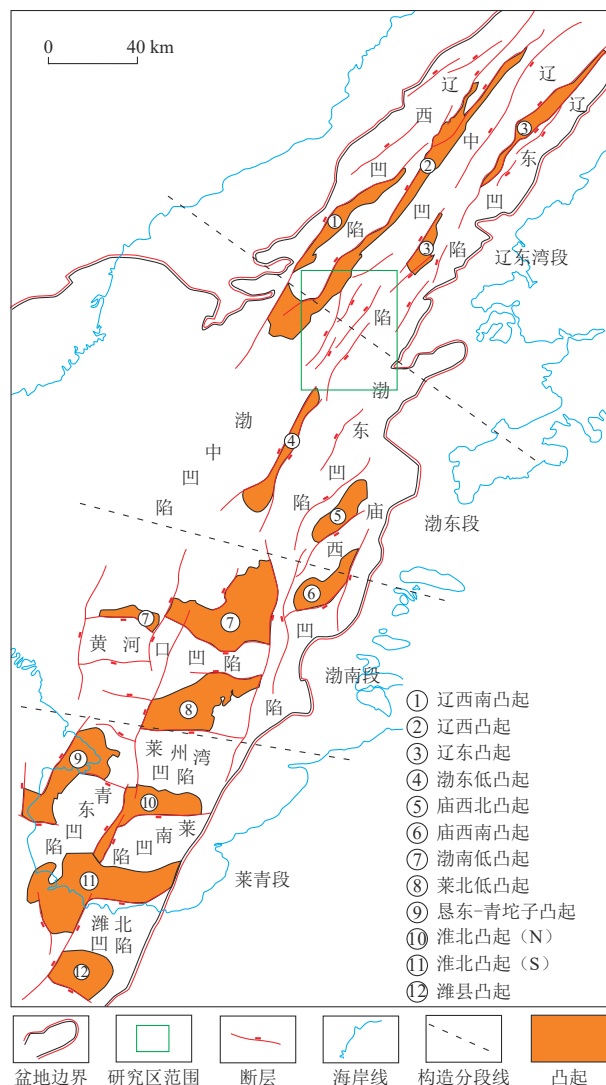


图1 渤海海域东部郯庐断裂带分布

Fig. 1 Map showing the distribution of Tanlu fault zone in the eastern Bohai Sea area
(海域构造分段见参考文献[18].)

对运动等两种岩石圈动力学过程控制^[25],前者诱导渤海海域地壳沿垂直于地幔隆起轴线方向的水平拉张作用,导致地壳发生伸展变形,后者导致渤海海域遭受NEE-SWW方向的挤压作用,并引起NNE-NE向郯庐深断裂带发生右旋走滑位移^[26-28]。以此双动力源为背景,郯庐断裂带呈现出一定的期次性和分段性,如在海域东部郯庐断裂带的中北段,NE向控凹大断裂发育,而在南部NNE向控凹大断裂发育,并形成了多条近WE向的控凹断裂,分隔凸起和洼陷。

研究区是上述改造作用最为典型的地区之一,按照渤海走滑转换带发育的级次性,整体上形成了一级走滑转换带,分割郯庐断裂带的辽东湾段和渤东段^[18],在内部依据地震资料共识别出5条走滑断层(图2),围绕这些走滑断层,形成了3个二级走滑转换带,和多个三级走滑转换带,前者分割辽中南洼,而后者控制构造形成,如图2中的旅大21B和旅大21C构造,为走滑断层F5走向转换的位置,该处形成了构造

圈闭,为三级走滑转换带。综上,走滑断层F1、F2和F3及其调节断层构成西部走滑转换带,形成了旅大16A、旅大16B、旅大16C和旅大16D构造;走滑断层F4和F5及其伴生调节断层分别构成了中部和东部走滑转换带,形成了旅大22A、旅大22B、旅大21A、旅大21B、旅大21C、旅大21D和旅大21E多个构造。

研究区内古近系自下而上发育孔店组(E_{1-2k})、沙河街组(E_{2s})和东营组(E_{3d}),发育多套辫状河三角洲、扇三角洲砂岩。新近系发育馆陶组(N_{1g})和明化镇组(N_{2m}),为一套辫状河到曲流河的陆源粗碎屑沉积。勘探实践表明,目前在该区已发现的大、中型油田和含油构造均围绕走滑转换带分布。

2 走滑转换带类型及构造特征

2.1 走滑断裂系统特征

走滑断层及其调节断层和地层的关系在剖面和平面上呈现出独特的几何学特征,基于三维地震资料较易进行识别。在剖面上,研究区整体上主走滑断层呈现出断面产状直立或者上缓下陡的特征,断面倾角可以达到 70° 以上;若调节断层发育,则与其一起形成花状构造,在走滑断层和调节断层间的地层多有变形,成为走滑断裂体系的典型标志(图3)。

主走滑断层的活动性表现出“早断早衰”的特点,并在不同的位置具有明显的差异性,剖面上呈现出上切地层的层位不同,说明走滑断层活动强度和活动期次沿断层走向有所区别,呈现分段性特点,如图3中走滑断层F1,在北侧的剖面上仅断至东营组(图3a),而在中部的剖面上可断至明化镇组和馆陶组(图3b,c),在南侧的剖面上则表现消亡特征(图3d)。图3中的走滑断层F1和F4也可以观察到明显的“丝带效应”:由北到南断层产状剖面有明显变化,是研究区走滑断层发育的另一标志。

在平面上,若走滑断层的走滑强度较大,则会出现多条明显的调节断层,与走滑断层相互搭接;若走滑强度中等,亦会出现多条调节断层,但搭接程度相对强走滑条件较差;若走滑强度较弱,则会在浅层出现多条近似平行正断层的雁列式断层^[29]。从不同深度三维地震水平方差切片显示的断裂带展布来看,深层古近系沙河街组构造层(2.7 s;图4a)走滑断裂特征较为明显,其中,走滑断层F1、F2和F4表现为一条近笔直的NE向断层,延伸距离较长,而走滑断层F3和F5在平面上则表现出弯曲延伸的特点;中层古近系东营组构造层(2.0 s;图4b)走滑断层特征较沙河街组呈

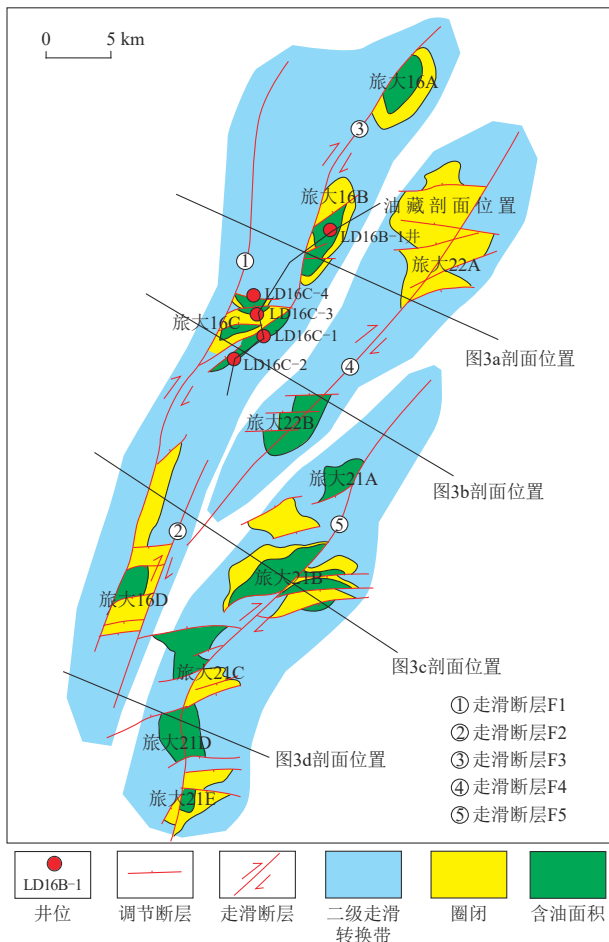


图2 辽中凹陷南洼走滑断层和构造圈闭平面分布特征

Fig. 2 Planar distribution of strike-slip faults and structural traps in the southern Liaozhong Sag

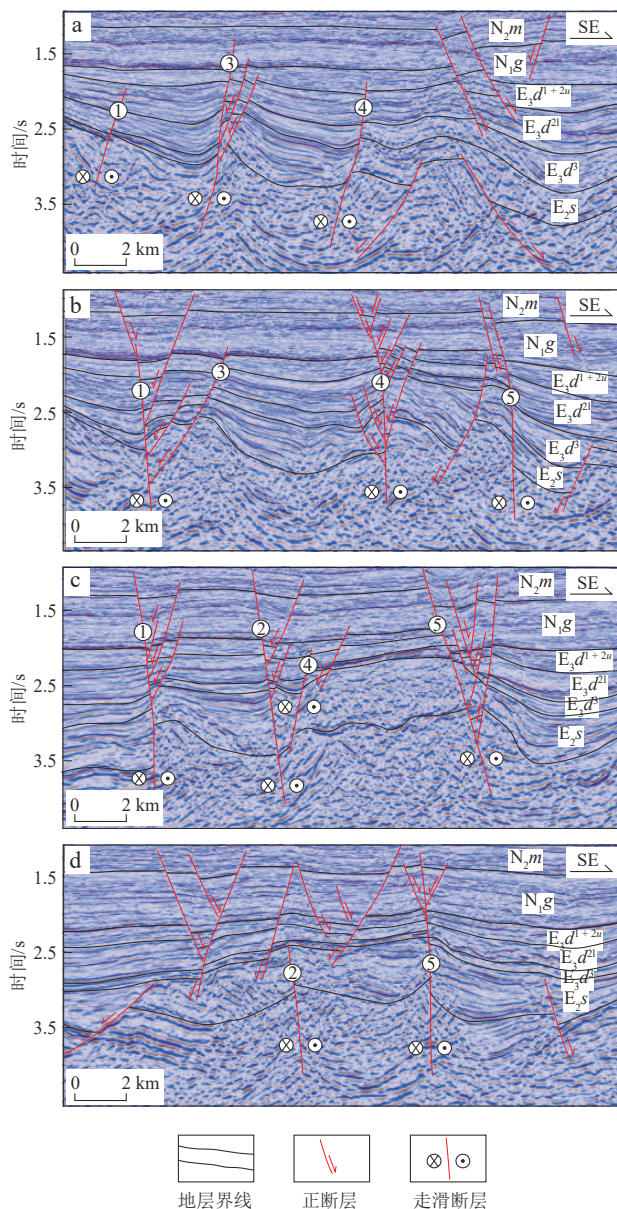


图3 辽中凹陷南洼主走滑断层剖面特征

Fig. 3 Features of the main strike-slip faults shown on the profile in the southern Liaozhong Sag

- ①走滑断层F1;②走滑断层F2;③走滑断层F3;④走滑断层F4;
⑤走滑断层F5

N_2m . 明化镇组; N_1g . 馆陶组; E_3d^{1+2n} . 东一段和东二上亚段;
 E_3d^{2l} . 东二下亚段; E_3d^3 . 东三段; E_2s . 沙河街组

现出一定的继承性,但也可以看出部分雁列化现象,尤其是走滑断层F1,F2和F4此特征较明显;在浅层新近系明化镇组构造层(0.9 s;图4c)的方差切片上,在中深层走滑断层发育的位置,已看不到明显的走滑断层响应特征,被一系列呈NE-SW向或近WE向展布的雁列化断层所取代。整体来看,研究区走滑断层从古近系至新近系,从东部地区到西部地区,走滑强度整体变弱,呈现“早强晚弱”和“东强西弱”的特征。

2.2 走滑转换带构造类型划分

本文对三级走滑转换带内的构造样式特征进行精细划分,分类的最小单元为单条或多条相关的主走滑断层及其调节断层所限定的构造发育位置;结合勘探实践工作,考虑到油区构造中圈闭是研究的主要对象,所以根据圈闭发育的位置和规模,首先以主走滑断层及其调节断层和圈闭的位置关系进行一级划分,然后根据局部构造所处的应力状态和圈闭规模进行次级划分。根据上述划分原则,辽中凹陷南洼可以划分出断边走滑转换带(图5a,b)、断间走滑转换带(图5c)和断梢走滑转换带3种类型(图5d,e),其中每种类型又根据不同位置的应力状态差别分为压扭型转换带和张扭型转换带两种亚类。

断边走滑转换带围绕一条走滑断层发育,主要是由于走滑断层水平位移导致走滑断层两侧发生调节变形,当走滑断层平直时,在走滑强度较大的条件下,会形成多条调节断层,并形成一系列构造,若走滑强度减小,则构造规模也相应减小;若走滑强度较弱,则调节断层不发育,地层变形强度小,相应地也缺少走滑转换带(图5a);但当走滑断层弯曲时,即使发生较小规模的走滑活动,在走滑弯曲处也会形成强烈的地层变形,形成压扭型和张扭型两种不同应力状态的走滑转换带(图5b),对油气勘探具有重要意义。

断间走滑转换带发育在两条或多条主走滑断层之间,主要是由于走滑断层的侧接、叠置产生的局部应力场变化而产生一定的地层调节变形;与伸展环境下的正断层类似^[30],两条主走滑断层之间亦可通过软连接和硬连接的方式发生成因联系。其中通过硬连接形成的走滑转换带(图5c),由于走滑活动强度较大,次级调节断层发育,对油气成藏具有重要影响,勘探证实是油气聚集的有利位置,如研究区旅大16D构造为该类型的走滑转换带;而通过软连接形成的走滑转换带(图5c),由于在走滑断层叠置位置走滑强度呈现出减弱和消亡的特征,调节断层发育规模相对较小,地层变形强度相对较弱,构造发育程度相对较低,如研究区走滑断层F2和F4叠置的位置,处于两个不同的二级走滑转换带之间,两条走滑断层之间的地层出现下洼的特征,且断层不发育(图3c)。断间走滑转换带在右行左阶和左行右阶的条件下发生压扭调节变形,在右行右阶和左行左阶的条件下发生张扭调节变形,若走滑强度较大,则多以硬连接为主,反之多以软连接为主。

断梢走滑转换带是发育在单条主走滑断层末端的构造变形(图5d,e),平面形态多呈叠瓦扇和马尾状,通

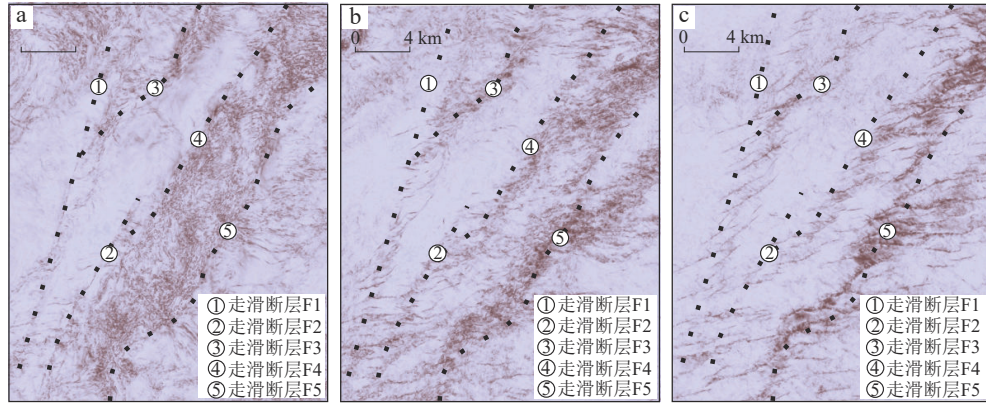


图4 辽中凹陷南洼不同深度三维地震水平方差切片显示的走滑断层平面展布

Fig. 4 The distribution of strike-slip faults shown by 3D seismic horizontal variance slice at diverse depth in the southern Liao Zhong Sag

a. 双程走时 2.7 s; b. 双程走时 2.0 s; c. 双程走时 0.9 s

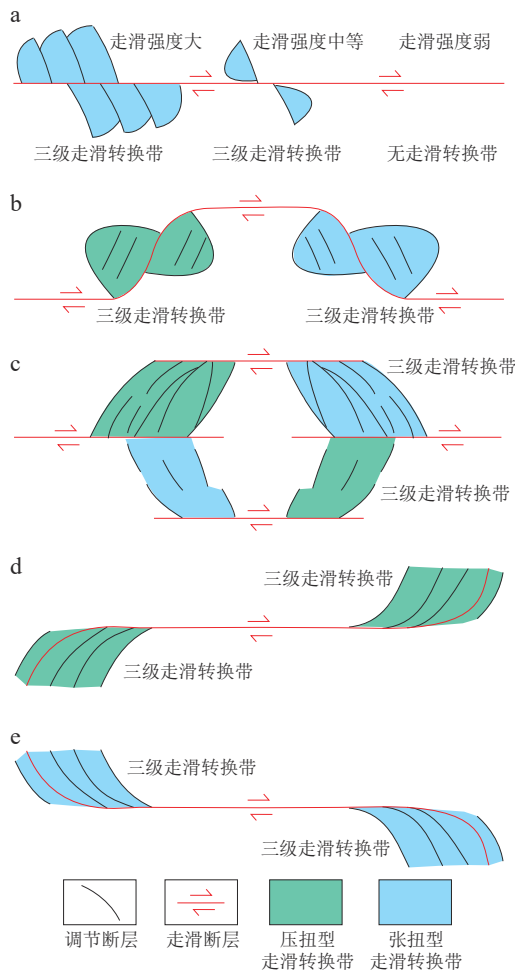


图5 辽中凹陷南洼走滑转换带分类及模式

Fig. 5 Classification and models of strike-slip transition zone in the southern Liao Zhong Sag

a. 平直单走滑断层形成的三级转换带(断边走滑转换带); b. 弯曲单走滑断层形成的三级转换带(断边走滑转换带); c. 多条平直走滑断层形成的三级转换带(断间走滑转换带); d. 单走滑断层末端形成的压扭型三级转换带(断梢走滑转换带); e. 单走滑断层末端形成的张扭型三级转换带(断梢走滑转换带)

常走滑断层的性质和产状在末端具有明显变化,呈现典型的张扭型或压扭型特征,并伴随形成一系列对应的构造形态,多表现为多条调节断层走向成近平行状分布,并沿走滑断层发育的位置收敛,研究区旅大16C构造具有该类型的典型特征,从剖面上来看,走滑断层F3呈直立状(图3a),但在末梢位置表现出典型的正断层特征(图3b),其空间形态与调节断层类似,不易区分。

2.3 走滑转换带构造发育特征

2.3.1 断边走滑转换带

断边走滑转换带在研究区内发育较为广泛,伴随着5条主走滑断层均有形成,但对油气勘探具有重要意义的为走滑断层F5在弯曲段所形成的构造圈闭,区内发现的大、中型油田均位于该走滑断层的弯曲部位。

走滑断层F5整体上呈NE-SW向穿过辽中凹陷南洼,在平面上呈现“S”型形态(图6a),走滑断层在北侧形成一系列呈NEE向、在南侧呈近WE向的次级伴生调节断层,延伸长度1~6 km,断距最大可达100 m以上,该特征与走滑断层的走滑强度关系密切,其中走滑断层在南侧表现出较强的走滑特征,走滑断层自身控制了构造高点的分布(图6a)。从剖面上来看,走滑断层直立特征明显,在浅层形成花状构造,在东营组和沙河街组构造层,地层上倾方向均为走滑断层的发育位置(图6b);走滑断层F5中部表现出中等走滑强度的特征,调节断层控制了圈闭高点的分布(图6a),从剖面上来看,走滑断层产状相对较缓,与伴生调节断层构成一个大型“负花状”构造(图6c),成为油气富集的有利位置;走滑断层北侧的走滑作用逐渐减弱,呈现出一定的雁列化特征。整体上来看,断边走滑转换带(三级走

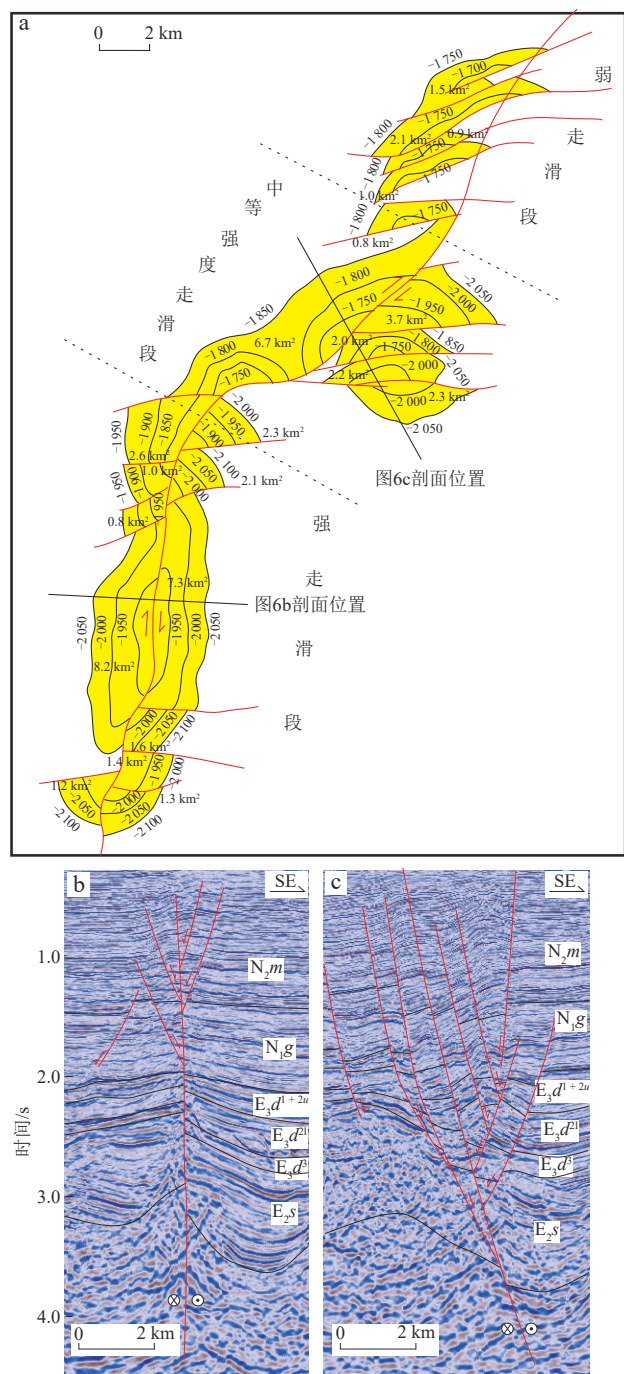


图6 辽中凹陷南洼走滑断层F5(断边走滑转换带)平面展布和圈闭分布特征

Fig. 6 Planar distribution of faults and traps in strike-slip fault F5 (in fault-edge transition zone) in the southern Liaozhong Sag

a. 单走滑断层及调节断层控制圈闭分布; b. 过强走滑段地震剖面;
c. 过中等强度走滑段地震剖面

滑转换带)呈现出沿走滑断裂展布的特征,依附于该走滑断层形成一条大型构造带。

2.3.2 断间走滑转换带

断间走滑转换带在研究区以双断平行叠置型为主。该类型是由两条相邻走滑断层平行叠置所引起,两条主走滑断层之间具有软连接的特征,双断平行围限型也为走滑断层平行叠置而成,只是构造四面均被调节断层围限,且其形状规则,多呈菱形,走滑断层间表现为硬连接的特征。研究区走滑断层F1和F2整体呈北东向展布,具有双断平行叠置型的特征,叠置带南侧走滑强度大,两条主走滑断层之间发育了双断平行围限型走滑转换带,两条走滑断层通过近WE向调节断层进行横向连接,表现为硬连接的方式(图7a),说明其走滑作用相对较强,构造演化程度相对较高^[31]。

从剖面上来看,东三段和沙河街组构造层在两条走滑断层之间发生了明显的变形作用,地层出现了“上拱”现象(图7b,c),这主要是由于该构造带处于挤压型应力场中,叠置部位地层受压扭作用而形成;叠置带北侧走滑作用较弱,两条主走滑断层之间调节断层不发育,在拉张环境下形成了地堑构造特征。

2.3.3 断梢走滑转换带

研究区走滑断层F3在末端逐渐消亡,发育一个典型的断梢走滑转换带(图8a),多条具有张扭特征的调节断层控制了构造高点的位置,并连接至走滑断层,具有帚状和马尾形态,受西侧走滑断层F1的影响,其平面规模相对较小,延伸距离相对较短,约为4 km,剖面上表现为多个断块分布(图8b)。

3 走滑转换带有利于形成大、中型油田

辽中凹陷南洼的勘探实践证实走滑转换带与大、中型油田的发育关系密切,已探明储量90%以上都位于其中,这主要是因为走滑转换带内部地层变形较强,断裂非常发育,对圈闭的形成、储层的展布和油气运移条件都产生了非常重要的影响。

3.1 走滑转换带控制大型圈闭群的发育

从上述3类走滑转换带发育特征来看,受走滑断层不同的弯曲方向、地层滑动方向和走滑断层间叠置关系的影响,走滑转换带往往出现压扭型和张扭型两种应力场条件,对应形成增压型和释压型圈闭类型。

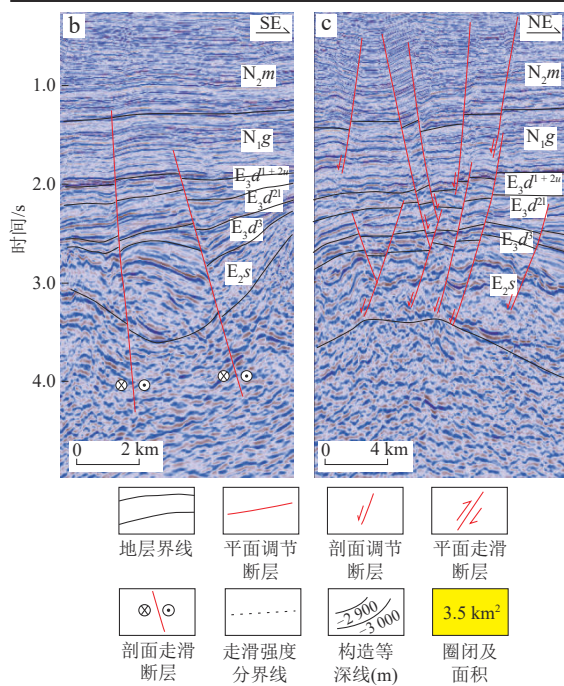
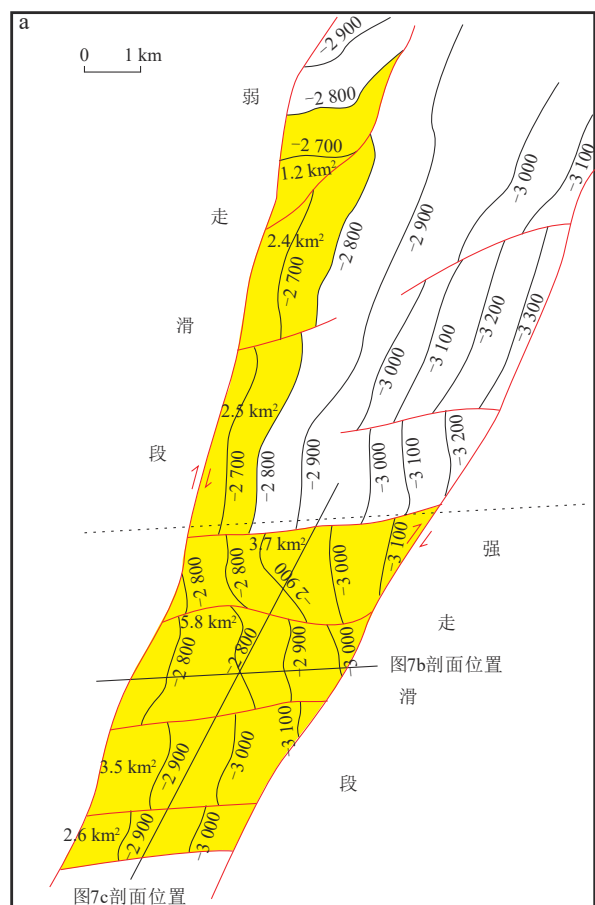


图7 辽中凹陷南洼走滑断层F1和F2(断间走滑转换带)
平面展布和圈闭分布特征

Fig. 7 Planar distribution of faults and traps in strike-slip faults F1 and F2 (in fault-overlapping transition zone) in the southern Liaozhong Sag

a. 双走滑断层及调节断层控制圈闭分布; b. 过强走滑段 WE 向地震剖面;
c. 过强走滑段 NE-SW 向地震剖面

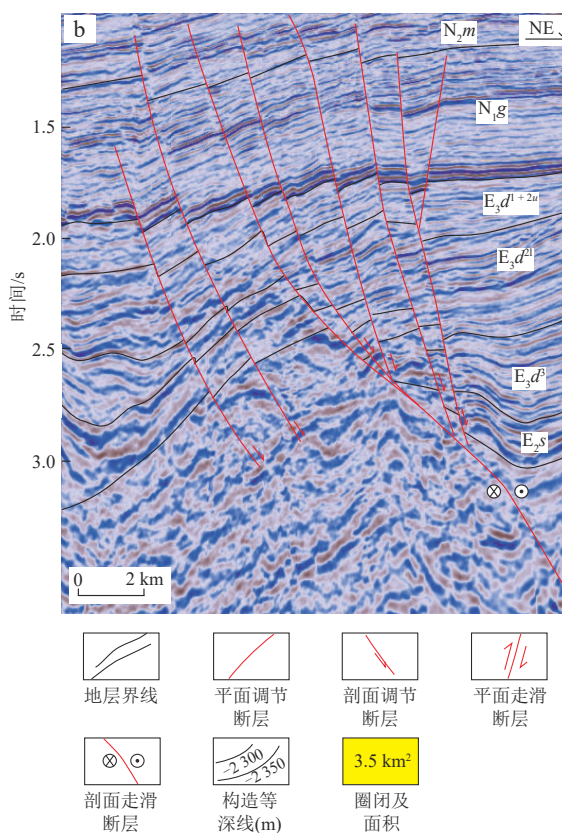
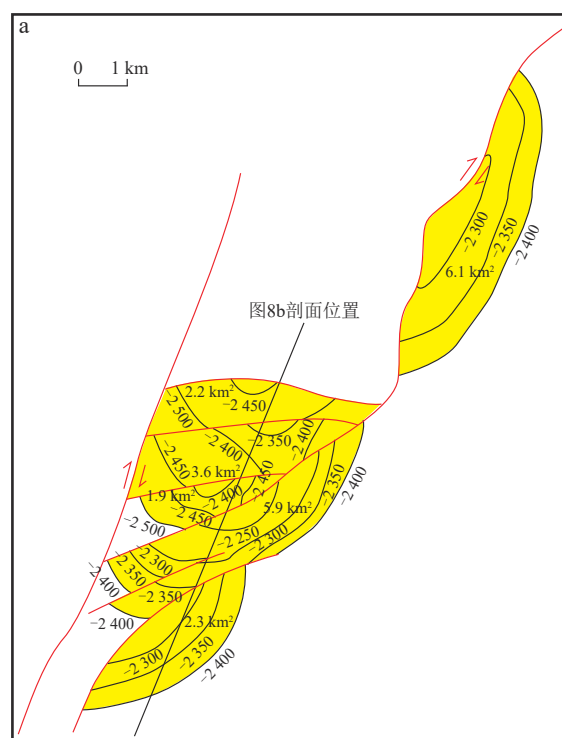


图8 辽中凹陷南洼走滑断层F1和F3
(断梢走滑转换带)平面展布和圈闭分布特征

Fig. 8 Planar distribution of faults and traps in strike-slip faults F1 and F3 (fault-terminal transition zone) in the southern

a. 走滑断层末端及调节断层控制圈闭分布;b. 过不同断层地震剖面

其中,在压扭型应力场条件下,地层发生汇聚作用,多表现为正地形地貌,形成增压型圈闭;在张扭型应力场条件下,地层发生下沉,多表现为负地形地貌,可形成释压型圈闭^[18],由此也形成了走滑转换带最主要的两种圈闭类型。需要指出的是,往往在沿主走滑断层方向上,两种不同类型圈闭可能会交替出现,如图8中沿走滑断层F2连续出现了受单条主走滑断层控制形成的半背斜圈闭(压扭型转换带)和断块圈闭(张扭型转换带)。从研究区圈闭发育特征上来看,压扭型走滑转换带圈闭的发育规模往往大于张扭型走滑转换带。根据三维地震资料解释结果,在断边走滑转换带内,沿走滑断层F5形成的增压型圈闭规模可以达到44.6 km²,连续分布在走滑断层弯曲部位,而释压型圈闭面积仅为6.3 km²;在断间走滑转换带内,沿走滑断层F1和F2形成的压扭型走滑转换带地层变形整体收敛,形成了具有背斜背景的增压型圈闭,面积达到15.6 km²,而在释压段则形成了负向构造单元,或者仅仅沿走滑断层发育局部断块圈闭,面积6.1 km²,上述这种圈闭发育规模的特征亦得到了物理模拟实验结果的证实^[32]。但在断梢拉张应力条件下,往往也可以形成规模相对较大的断块圈闭群,如图8中拉张型断块圈闭面积也可以达到15.9 km²。

3.2 走滑转换带控制砂体的空间展布

走滑转换带断裂坡折发育,是砂体富集的有利位置,同时,整个渤海海域古—渐新世右旋走滑活动强烈,该时期砂体的沉积除受物源—伸展型坡折的控制外,还受到右旋走滑活动的影响,使进入盆内的碎屑物质随着走滑活动产生水平位移^[33]。因此,在古近系物源体系稳定的条件下,进入走滑转换带内的碎屑物质,必然也会受走滑断层及调节断层的影响而产生分异作用,从而导致扇体在平面上分布范围变广,在垂向上期次发生变化,形成走滑转换带在空间内多个位置储层发育的特点,在区域油源供给条件充足的情况下,有利于形成多个油田分布。如图9a所示,研究区旅大16C构造在渐新世早期形成的三角洲前缘沉积体(南侧扇体),整体上受近东西向断层的控制作用沿调节断层走向展布,随着时间的推移及右旋走滑作用,逐渐往东北方向偏移,在旅大16B构造形成新的三角洲前缘沉积体(北侧扇体),由此造成了来自同一物源水系的沉积体在走滑转换带内没有简单地垂向叠加,而是出现横向迁移的特点,钻井和地震剖面也揭示了扇体在横向上明显的迁移作用(图9b, c),北侧扇体的形成时期明显要晚

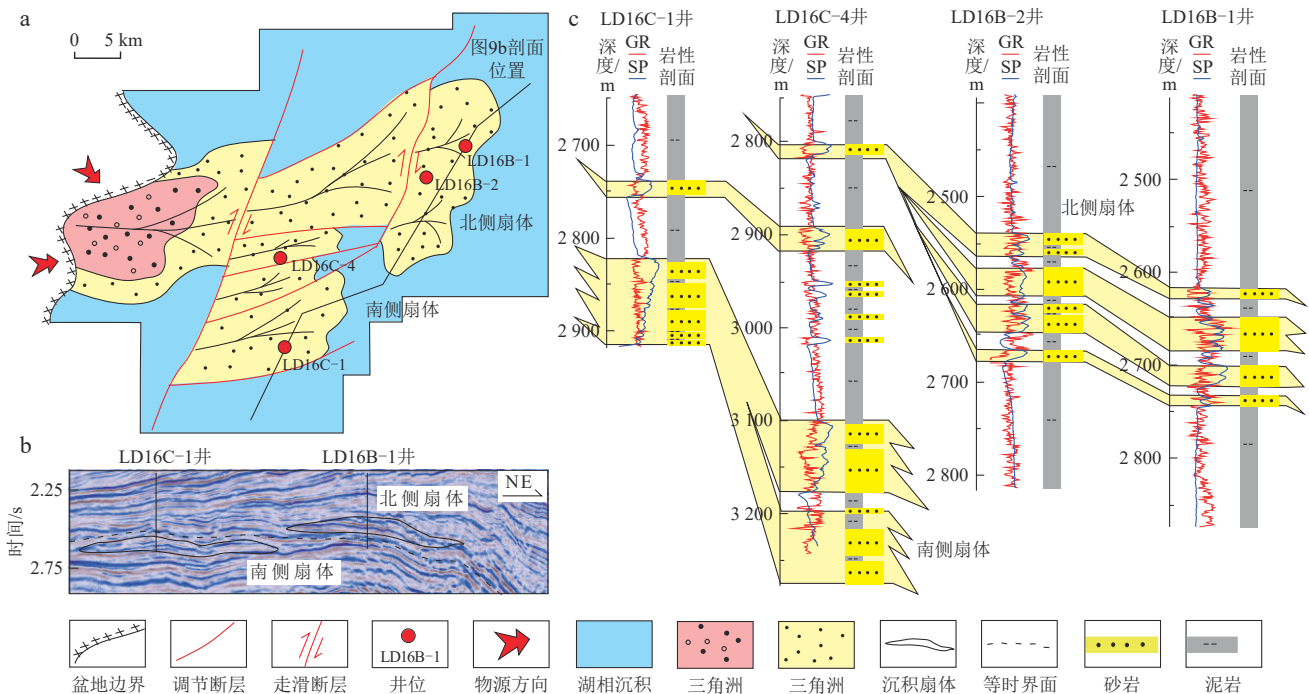


图9 辽中凹陷南洼旅大16C构造走滑断层F1和F3引起的砂体迁移特征

Fig. 9 Migration of sand bodies caused by strike-slip faults F1 and F3 in LD16C area in the southern Liao Zhong Sag

a. 旅大16C构造沉积相图,反映沉积体横向迁移;b. 过LD16C-1和LD16B-1井地震剖面,反映沉积体纵向迁移;

c. 连井剖面扇体对比图,反映沉积体纵向迁移

于南侧扇体,由此也形成了区域上两个走滑转换带内分布两个油田的现象。

3.3 走滑转换带控制了油气的垂向运移

走滑转换带内部伴随着主走滑断层往往形成众多的调节断层,勘探实践表明这些调节断层对油气在垂向上具有明显的输导作用,起到沟通深层烃源岩中的原油或者深层储层已成藏原油的作用,可以让油气在垂向上沿调节断层进行运移,因此在走滑转换带内部,往往具有平面上多个断块和垂向上多个层系含油的特点,所以走滑转换带也一直是油气勘探活动中开展“立体勘探”的有利构造带;此外,走滑断层在新生代之前就已形成并持续活动,走滑断层及其调节断层形成的走滑转换带内的构造高点往往具有继承性的特点,形成地势高,自新生代油气生成以来,一直是油气运移的最终归宿区,有利于油气的汇聚。

钻井已证实研究区旅大16B和旅大16C两个构造形成的走滑转换带就具有上述多层系和多断块均含油的特点,从下往上古近系沙河街组和东营组,以及新近系馆陶组均有油气成藏(图10)。本次研究对LD16C-1井取心获得的砂岩样品进行流体包裹体测温分析,结果表明,在埋深2 034 m和2 104 m(浅层东一段和东二上亚段),与油包裹体同期的盐水包裹体均一温度范围为85~100℃,在埋深2 729 m和2 984 m(深层东三段),与油包裹体同期的盐水包裹体均一温度

范围可划分成两个区间,分别为90~105℃和105~120℃(图11),利用统计的研究区地温梯度(25℃/km)^[34]和埋藏史图投影法^[35]开展综合分析,结果显示成藏期均为10 Ma以来,这一时期特征与渤海新构造运动相对应^[36-38],且具有一定的连续性,同时东一段及东二上亚段的测温区间和东三段的第二个测温区间可以对应,东三段的第一个测温区间成藏期相对早些;因此推测深层东三段早期成藏的原油以及后来新运移至东三段的原油,在调节断层的作用下,一部分沿着断层向浅层运移,形成现今油气分布特征。

4 结论

1) 辽中凹陷南洼5条主走滑断层整体上呈NE-SW向贯穿洼陷,在新生代右旋走滑作用下依附于这几条走滑断层的弯曲、叠置、侧接和消亡等空间构成样式,共发育了单走滑转换带、双走滑转换带和断梢走滑转换带3种类型,每种类型根据所受到的挤压和拉张应力状态,又对应划分为挤压型和伸展型2种亚类。

2) 走滑转换带对圈闭的形成、砂体的展布和油气垂向输导运移都产生了重要影响,是大、中型油田发育的有利位置,具体表现为:①不论是挤压型还是伸展型走滑转换带均有利于大规模圈闭群的发育,形成背斜类和断块类两种主要圈闭类型,且整体来看,挤压型背斜类圈闭的规模相对较大,走滑强度中等-强的走滑

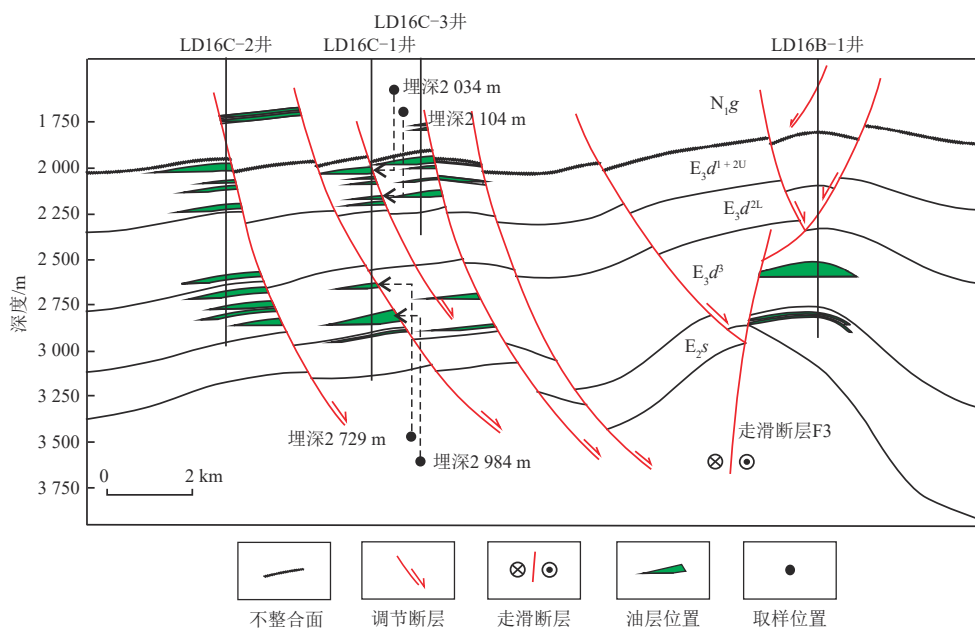


图10 辽中凹陷南洼旅大16B和旅大16C构造油藏剖面(井位见图2)

Fig. 10 Profiles of the structural reservoirs in LD16B and LD16C areas in the southern Liaozhong Sag (see Fig. 2 for well location)

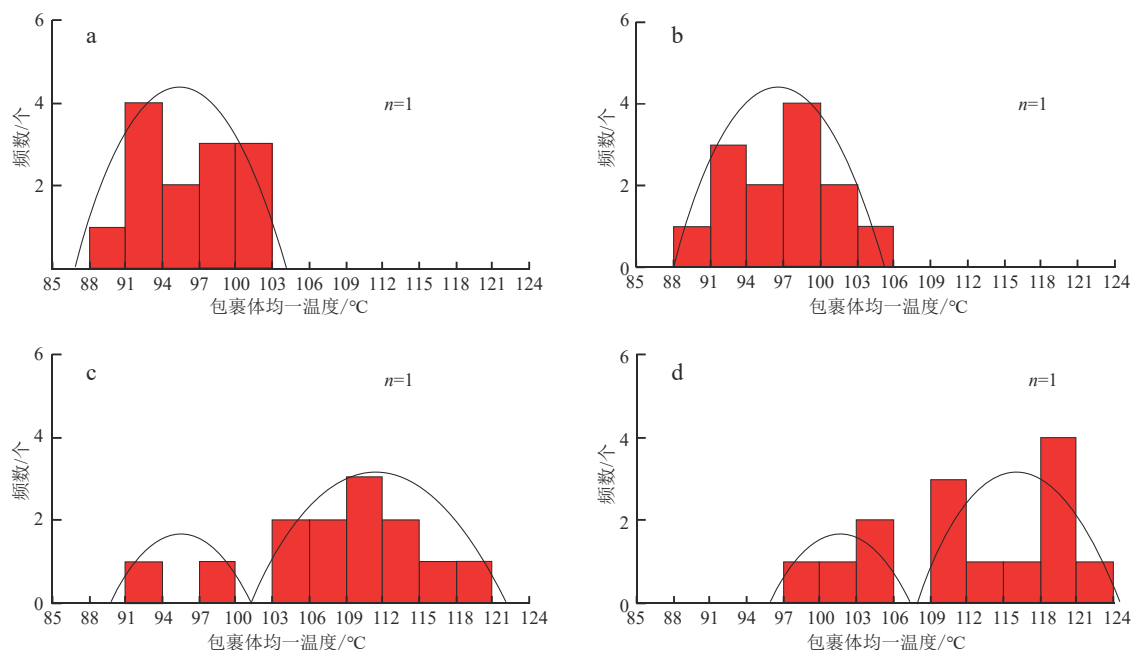


图 11 辽中凹陷南洼 LD16C-1 井流体包裹体均一温度频数分布直方图(样品位置见图 10)

Fig. 11 Histograms of microscopic temperature measurement of fluid inclusions in Well LD16C-1 in the southern Liao zhong Sag (see Fig. 10 for sample position)

a. 埋深 2 034 m, 东一段; b. 埋深 2 104 m, 东二上亚段; c. 埋深 2 729 m, 东三段; d. 埋深 2 984 m, 东三段

断层形成的圈闭规模相对较大;②由于受古近纪右旋走滑活动的影响,走滑转换带内部砂体分布相对广泛,在横向上和纵向上迁移特征均比较明显,有利于在平面上形成多个油田分布;③走滑转换带调节断层发育,油气垂向运移活跃,有利于出现多层系、多断块含油的特点。

参 考 文 献

- [1] Dahlstrom C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky-Mountains [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970, 18(3): 332-406.
- [2] 朱秀香, 吕修祥, 王德英, 等. 渤海海域黄河口凹陷走滑转换带对油气聚集的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 476-482.
Zhu Xiuxiang, Lyu Xiuxiang, Wang Deying, et al. Controlling effect of a strike-slip transform belt on hydrocarbon accumulations in the Huanghekou Sag the Bohai Sea waters [J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(4): 476-482.
- [3] Morley C K, Nelson R A, Patton T L. Transfer zones in the East African Rift System and their relevance to hydrocarbon exploration in rift [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(8): 1234-1253.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 漆家福, 夏义平, 杨桥. 油区构造解析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006, 40-49.
- [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.
- [8] 张林, 吴智平, 李伟, 等. 济阳拗陷伸展背景下的变换构造研究[J], 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 24-31.
Zhang Lin, Wu Zhiping, Li Wei, et al. Research on the extensional transfer structures in the Jiyang Depression [J], Geotectonica and Metallogenia, 2012, 36(1): 24-31.
- [9] 田巍, 何敏, 杨亚娟, 等. 珠江口盆地惠州凹陷北部边界断裂复合联接和转换[J]. 地球科学, 40(12): 2037-2051.
Tian Wei, He Min, Yang Yajuan, et al. 2015. Complex linkage and transformation of boundary faults of northern Huizhou Sag in Pearl River Mouth Basin [J]. Earth Science, 40(12): 2037-2051.
- [10] 孙思敏, 彭仕必, 黄述旺, 等. 渤海湾盆地东濮凹陷横向调节带特征、成因及其区域分段作用[J]. 地质力学学报, 2006, 12(1): 55-63.
Sun Simin, Peng Shimi, Huang Shuwang, et al. Characteristics and origin of transverse accommodation zones in the Dongpu Sub-

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.

- basin, Bohai Gulf Basin, and their role in regional segmentation [J]. *Geomechanics*, 2006, 12(1): 55–63.
- [11] 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. Structural characteristics and origin of transverse transfer zone in Huanghua Sub-basin [J]. *Geoscience*, 1997, 11(4): 425–433.
- [12] 邬光辉, 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.
- [13] 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]. *石油与天然气地质*, 1994, 15(2): 164–172.
- Hu Wangshui, Wang Xiepei. Transform structures in northern part of Songliao Basin and its significance in petroleum geology [J]. *Oil & Gas Geology*, 1994, 15(2): 164–172.
- [14] 邬光辉, 李启明, 张宝收, 等. 塔中一号断裂坡折带构造特征及勘探领域[J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 27–30.
- Wu Guanghui, Li Qiming, Zhang Baoshou, et al. Structural characteristics and exploration fields of No. 1 faulted slope break in Tazhong area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 27–30.
- [15] 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 246–251.
- Ma Lijuan, Zheng Herong, Xie Xinong. Faulted structures and hydrocarbon migration in central uplift belt of Dongying Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 246–251.
- [16] 梁锋, 范军侠, 李宏伟, 等. 大港油田板桥凹陷构造变换带与油气富集[J]. *古地理学报*, 2008, 10(1): 73–76.
- Liang Feng, Fan Junxia, Li Hongwei, et al. Relationship between tectonic transfer zones and petroleum accumulation in Banqiao Sag, Dagang Oilfield [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(1): 73–76.
- [17] 劳海港, 陈清华. 济阳坳陷南部横向变换带构造演化及其油气聚集规律[J]. *地质论评*, 2012, 58(5): 893–900.
- Lao Haigang, Cheng Qinghua. The tectonic evolution of lateral transitional zone in southern Jiyang Depression and its hydrocarbon accumulation [J]. *Geological Review*, 2012, 58(5): 893–900.
- [18] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. *地球科学*, 2016, 41(9): 1548–1560.
- Xu Changgui. Strike-slip transfer zone and its control on formation of medium and large-sized oilfields in Bohai Sea area [J]. *Earth Science*, 2016, 41(9): 1548–1560.
- [19] 何京, 柳屿博, 吴奎, 等. 渤海海域辽中凹陷南洼断裂体系及走滑控圈模式[J]. *断块油气田*, 2017, 24(2): 147–153.
- He Jing, Liu Yubo, Wu kui, et al. Development characteristics of fault system and trap-controlling effect of strike-slip faults in south of Liaozhogn Sag, East China [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2017, 24(2): 147–153.
- [20] 吴奎, 徐长贵, 张如才, 等. 辽中凹陷南洼走滑伴生构造带发育特征及控藏作用[J]. *中国海上油气*, 2016, 28(3): 50–56.
- Wu Kui, Xu Changgui, Zhang Rucai, et al. Developmental characteristics and hydrocarbon accumulation effect of strike-slip associated structure zone in southern Liaozhogn Sag [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(3): 50–56.
- [21] 吕丁友, 李伟, 郭睿朋, 等. 辽东湾坳陷辽中南洼构造发育演化特征与成因机制[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34(4): 25–32.
- Ly Dingyou, Li Wei, Guo Ruipeng, et al. Tectonic evolution and forming mechanism of the southern Liaozhogn Sag, Liaodong Bay Depression [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2018, 34(4): 25–32.
- [22] 牛成民, 杨海风, 郭涛, 等. 郯庐断裂带辽东湾段变形特征及展布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(2): 265–276.
- Niu Chengmin, Yang Haifeng, Guo Tao, et al. Deformation characteristics and distribution of Tan-Lu fault zone in Liaodong Bay Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(2): 265–276.
- [23] 柳永军, 朱文森, 杜晓峰, 等. 渤海海域辽中凹陷走滑断裂分段性及其对油气成藏的影响[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(7): 6–11.
- Liu Yongjun, Zhu Wensen, Du Xiaofeng, et al. Strike-slip fault subsections and its influence on hydrocarbon accumulation in Liaozhogn Depression of Bohai Sea area [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(7): 6–11.
- [24] 刘丰, 徐长贵, 王冰洁, 等. 辽中凹陷南洼LD16油田走滑伴生构造特征及控藏作用[J]. *地质科技情报*, 2017, 36(2): 105–111.
- Liu Feng, Xu Changgui, Wang Bingjie, et al. Strike-slip associated structures characteristics and hydrocarbon accumulation in LD16 Oilfield, South of Liaozhogn Sag [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017, 36(2): 105–111.
- [25] 夏庆龙, 田立新, 周心怀, 等. 渤海海域构造形成演化与变形机制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012, 60–63.
- Xia Qinglong, Tian Lixin, Zhou Xinhuai, et al. Tectonic evolution and deformation mechanism in Bohai Sea area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012, 60–63.
- [26] 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.
- [27] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. *中国海上油气(地质)*, 2001, 15(5): 301–305.
- Deng Yunhua. Control of the neotectonism along Tancheng-Lujing fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(5): 301–305.
- [28] 王桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 15(5): 301–305.
- Wan Guimei, Zhou Donghong, Tangliangjie. Control of Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 15(5): 301–305.
- [29] 夏义平, 刘万辉, 徐礼贵, 等. 走滑断层的识别标志及其石油地质意义[J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(1): 17–23.
- Xia Yiping, Liu Wanhui, Xu Ligui, et al. Identification marks of strike slip faults and their petroleum geological significance [J].

- China Petroleum Exploration, 2007, 12(1): 17-23.
- [30] 徐长贵, 余一欣, 吴奎, 等. 辽东湾坳陷断裂联接及其控油作用[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 456-462.
- Xu Changgui, Yu Yixin, Wu Kui, et al. Fault linkages and their control on hydrocarbon accumulation in the Liaodongwan Depression, offshore Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas geology, 2014, 35(4): 456-462.
- [31] Fossen H. Geometric analysis and scaling relations of deformation bands in porous sandstone [J]. Journal of Structural Geology, 1997, 19(12): 1479-1493.
- [32] McClay K, Bonora M. Analog models of restraining stepovers in strike-slip fault systems [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(2), 233-260.
- [33] 徐长贵. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 365-371.
- Xu Changgui. Genetic types of Paleogene slope-break zones and their controls on depositional system in Bohai offshore [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(6): 365-371.
- [34] 周心怀, 刘震, 李淮莲. 辽东湾断陷油气成藏机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009, 24-26.
- Zhou Xinhui, Liu Zhen, Li Weilian. Oil and gas accumulation mechanism in Liaodong fault depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009, 24-26.
- [35] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143-150.
- Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143-150.
- [36] 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 21-28.
- Mi Lijun. The neotectonism and major neogene oil and gas fields in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 21-28.
- [37] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138.
- Gong Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.
- [38] 徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等. 渤海地区新构造格局[J]. 石油学报, 2012, 32(3): 442-449.
- Xu Jie, Zhou Bengang, Ji Fengju, et al. A primary study on the neotectonic pattern of the Bohai area in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 32(3): 442-449.

(编辑 张晟)

(上接第1333页)

- Zhou Jianxun, Zhou Jiansheng. Mechanism of Cenozoic structural deformation in Bohai Bay basin: Physical simulation and discussion [J]. Science China Earth Sciences, 2006, 36(6): 507-519.
- [49] 张晓庆, 宋明水, 侯中帅, 等. 裂陷盆地构造-沉积耦合关系及其控油作用——以渤海湾盆地埕北凹陷古近系为例[J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48(6): 1317-1329.
- Zhang Xiaoqing, Song Mingshui, Hou Zhongshuai, et al. Coupling relationship between structure and sedimentation and the controlling effect on hydrocarbon accumulation in the rift basin: A case study of the Paleogene [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019, 48(6): 1317-1329.
- [50] 沈朴, 刘丽芳, 吴克强, 等. 渤海海域埕岛油田新近系油气差异聚集主控因素[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(2): 138-142.
- Shen Pu, Liu Lifang, Wu Keqiang, et al. Main controlling factors of Neogene oil and gas differential accumulation in Chengdao oilfield, Bohai Sea [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(2): 138-142.
- [51] 杨邦伟. 桩海潜山含油气评价及勘探目标[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2004.
- Yang Bangwei. Study on petroleum evaluation and exploration target in Zhuanghai buried-hill [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2004.
- [52] 侯方辉, 李三忠, 张训华. 济阳坳陷桩海地区古潜山油藏控制规律及有利区预测[J]. 断块油气田, 2012, 19(2): 167-171.
- Hou Fanghui, Li Sanzhong, Zhang Xunhua. Reservoir controlling rule and prediction of buried hill in Zhuanghai Region, Jiyang Depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(2): 167-171.
- [53] 隋凤贵, 曹高社, 毕磊, 等. 济阳坳陷古桩西断层的发现及其对桩西潜山形成的影响[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1189-1198.
- Sui Fenggui, Cao Gaoshe, Bi Lei, et al. Ancient Zhuangxi Fault: Discovery and its influence on the formation of the Zhuangxi Buried Hill in Jiyang Depression [J]. Geological Review, 2013, 59(6): 1189-1198.
- [54] 吴智平, 张婧, 任健, 等. 辽东湾坳陷东部地区走滑双重构造的发育特征及其石油地质意义[J]. 地质学报, 2016, 90(5): 848-856.
- Wu Zhiping, Zhang Jing, Ren Jian, et al. Development characteristics of strike-slip duplex in the eastern part of Liaodong Bay Depression and its petroleum geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(5): 848-856.
- [55] 吕优良, 宋海涛, 何幼斌, 等. 长堤地区油气成藏特征及主控因素分析[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(2): 50-52.
- Ly Youliang, Song Haitao, He Youbin, et al. Analysis of hydrocarbon reservoir formation characteristics and its key control factors [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(2): 50-52.

(编辑 卢雪梅)