

渤海海域辽西构造带S型走滑转换带特征及控藏作用定量表征

柳屿博¹, 黄晓波¹, 徐长贵¹, 李强¹, 吴奎¹, 余一欣², 张如才¹

[1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459; 2. 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: S型走滑转换带是走滑环境下广泛发育的一类构造。以往的研究认识多集中在对走滑转换带类型划分的探讨上, 缺乏对其控藏作用的精细研究。本次研究利用渤海海域辽东湾地区连片三维地震资料, 结合油气田实例, 运用统计学方法分析了辽西构造带S型走滑转换带的控藏作用。辽西带新生代构造变形总体表现为NE向伸展构造系统和NNE向右旋走滑构造系统的叠加构造变形, S型走滑转换带可分为增压段和释压段两大类。按照走滑转换带演化阶段的不同, 将增压段进一步细分为压扭低凸起段、平缓增压段和强烈增压段等3个亚类。将释压段同样细分为纺锤形浅凹、平缓释压段和菱形释压段等3个亚类。将走滑断裂末端发育的转换带归纳为增压型或释压型马尾扇。应用S型走滑转换带“油气富集指数”的分析方法, 论证了S型走滑转换带弯曲度与走滑调节断层活动性具有正相关性, 并成功应用于辽西凹陷南次洼旅大5-2北油田成藏分析工作中, 为勘探决策提供了定量化依据。

关键词: 油气富集指数; 走滑构造; S型走滑转换带; 辽西构造带; 郑庐断裂带; 渤海海域

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Characteristics of S-shaped strike-slip transfer zones and quantitative analysis of their influence on hydrocarbon accumulation in Liaoxi structural belt, Bohai Sea

Liu Yubo¹, Huang Xiaobo¹, Xu Changgui¹, Li Qiang¹, Wu Kui¹, Yu Yixin², Zhang Rucai¹

[1. Tianjin Branch, CNOOC Limited, Tianjin 300459, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: S-shaped strike-slip transfer zone is widely developed structure in strike-slip strain background. However, previous researches are mainly focused on the classification of strike-slip transfer zones, but its control on hydrocarbon accumulation is poorly understood. Based on 3D seismic data and oil and gas fields analysis, this paper addresses the effects of S-shaped strike-slip transfer zone on hydrocarbon accumulation in the Liaoxi structural belt, Bohai Sea, by using statistical methods. Cenozoic structural deformation of the Liaoxi structural belt is characterized by deformation of NE-trending extension superimposed by NEE-trending dextral strike-slip activities. S-shaped strike-slip transfer zone can be divided into restraining bends and releasing bends. According to different evolution stages, restraining bends can be further divided into 3 subordinate classes, involving transpressional uplifting bend, gentle restraining bend and intense restraining bend. Similarly, releasing bends involve spindle-shaped pull-apart, lazy s-shaped pull-apart and rhomboidal pull-apart. In addition, the strike-slip transfer zones at the end of strike-slip fault zones contain restraining and releasing horsetails. The concept of oil and gas enrichment index (OGEI) is defined, and the positive correlation between master strike-slip fault curvature and intensity of adjusting strike-slip faults is proven. A mathematical model from OGEI is proposed to quantitatively predict oil and gas enrichment. It is a quantitative tool for exploration decision, and has been applied in analysis of LD5-2N oil field successfully.

Key words: oil and gas enrichment index, strike-slip structure, S-shaped strike-slip transfer zone, Liaoxi structural belt, Tanlu fault zone, Bohai Sea

收稿日期: 2017-05-14; 修订日期: 2017-09-20。

第一作者简介: 柳屿博(1986—), 男, 工程师, 石油勘探地质。E-mail: liuyb12@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05024-003)。

转换带是一类广泛发育在挤压、伸展和走滑环境下的调节构造,主要作用是保持区域上构造位移量的守恒。回溯转换带的研究历程,Dahlstrom(1970)^[1]在研究加拿大落基山地区挤压变形中褶皱-逆冲断层的几何形态时首次提出,之后Morley等(1990)^[2]将“转换带”这一概念引入伸展区构造研究中,21世纪以来国外学者侧重于结合板块环境对转换带类型和构造演化动力学机制开展研究^[3-6]。由于转换带与油气聚集存在密切关系,国内学者近年结合中国渤海湾盆地、松辽盆地和塔里木盆地等实例,也积极开展了转换带的相关研究工作^[7-13]。目前,对转换带的研究存在两种现象:其一,研究区集中于陆上地区。如对于黄骅坳陷和东濮凹陷等渤海湾盆地陆上次级构造单元的转换带发育特征都开展过专门研究工作,取得了一定的研究成果^[14-15]。其二,对伸展环境下发育的转换带研究较系统。国内学者对伸展型转换带类型的划分和特征的总结提出了相应观点^[16-19]。相比之下,对走滑环境下转换带特征的描述则是较少的。因此,针对海域内重要勘探区域的转换带开展研究以及结合渤海地区实际开展走滑转换带研究工作是十分必要的。

同时,郯庐断裂是发育在中国东部的大型走滑断裂带,其海域段自南向北,大体呈NNE走向直接穿过渤海,对渤海构造特征的形成具有重要的控制作用,沿郯庐走滑断裂广泛发育的走滑转换带的地质意义和控藏作用也逐渐为学者所重视。徐长贵(2016)^[20]基于大量钻井资料和油气田实例,系统总结了渤海海域走滑转换带发育规律和控藏作用。但鉴于走滑转换带的复杂性,依然需要对渤海典型地区的走滑转换带特征进行更为精细的研究工作。

本次研究认为,在渤海海域广泛发育的走滑转换带是控制油气成藏的关键地质条件。以此为核心,本文系统阐述了渤海海域辽西构造带(辽西带)发育的大型断裂特征及转换带类型,并建立定量表征走滑转换带控制油气成藏的研究方法,为下一步勘探工作提供新思路。

1 区域地质概况

作为新生代渤海湾盆地的海域部分,渤海勘探面积约 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。辽东湾坳陷是位于渤海北部的二级构造单元,属于渤海湾盆地地下辽河坳陷向海域的延伸部分。郯庐断裂带右旋走滑活动塑造了辽东湾坳陷现今的构造格局。辽东湾坳陷整体呈NNE向发

育,古近系表现为受伸展断裂系统控制的断陷构造,新近系—第四系呈毯状覆盖在古近系断陷及分隔断陷的凸起之上,使之成为统一的沉积盆地。按照古近系分布,辽东湾坳陷又可以划分为辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起和辽东凹陷5个次级构造单元,即呈现“三凹两凸”构造格局。

本次研究区辽西构造带主要包括辽西凸起和辽西凹陷等2个次级构造单元,整体走向与辽东湾坳陷保持一致,为NNE向,南北长约160 km,东西宽约30 km,勘探面积近5 000 km²。经过多年的勘探实践,已在辽西带发现10个大中型油气田,是渤海油田重要的油气产区。

辽西带盆地结构南、北向存在差异,依据辽西凸起在盆地不同位置对辽西凹陷的分隔作用(图1),大致可以划分为北、中、南3段,即北次洼(简称辽西北洼)、中次洼(简称辽西中洼)和南次洼(简称辽西南洼)。在北段,辽西凸起为窄凸起且隆升幅度底,辽西北洼表现为东断西超的简单箕状洼陷结构。在中段,辽西凸起更为宽缓,凸起隆升幅度也更大,整体依然保持了单断箕状洼陷格局。进入南段,受辽西凸起南部分支——辽西南凸起的遮挡作用,辽西南洼表现为“两凸夹一凹”的构造格局。

2 辽西带新生代断裂系统

辽西带新生代构造变形总体表现为NE向伸展构造系统和NNE向右旋走滑构造系统的叠合。究其形成原因主要可以归纳为两点:一方面,古-始新世渤海总体上受深部地幔热底辟活动驱动地壳发生引张破裂,发育一系列NE向伸展断层,主要控制了古近系的沉积充填;另一方面,自渐新世以来,地幔热底辟活动趋弱,而板块活动引起的NE-SW向区域挤压作用增强,在此影响下郯庐断裂带发生右旋剪切作用,形成与走滑位移相关的构造变形^[21-24],作为广义上郯庐断裂带渤海段西支的组成部分,辽西带主干断裂同样发生右旋走滑位移。正是在主导盆地早期发育的伸展裂陷作用与后期郯庐断裂的走滑拉分作用相互叠加、相互影响下,辽西带断裂发育呈现多期性,并且随着区域上伸展和走滑作用的演进,辽西带主干断裂也普遍发育早伸展-晚走滑的复合构造样式,进而主导了复杂多样的走滑转换带的形成。

三维地震资料揭示,在辽西带主要发育4条主干断裂,自西向东分别是辽西4号断裂、辽西1号断裂、辽西2号断裂和辽西3号断裂。其中,辽西1号、2号

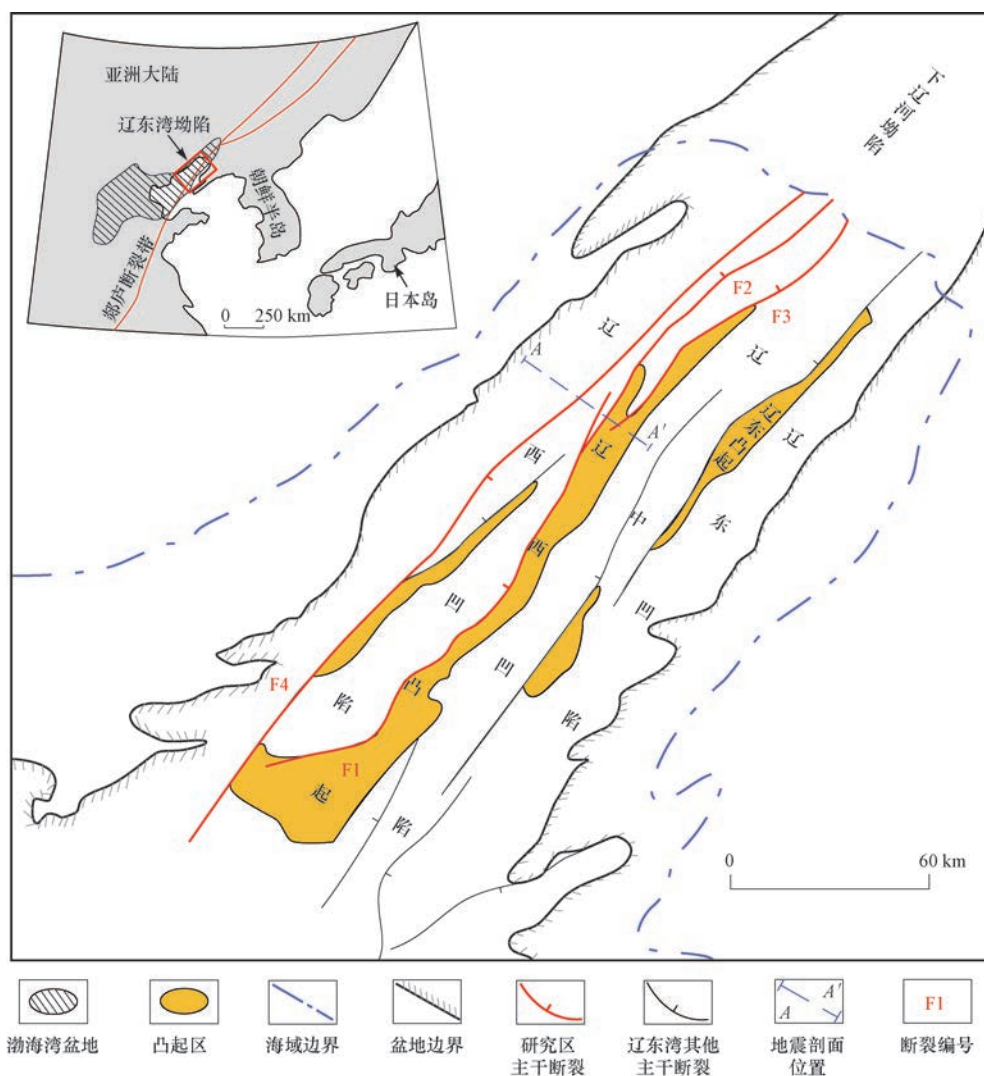


图1 渤海湾盆地辽西带北段区域位置

Fig. 1 Location of northern Liaoxi structural belt in Bohai Bay Basin

F1. 辽西1号断裂; F2. 辽西2号断裂; F3. 辽西3号断裂; F4. 辽西4号断裂

和3号断裂控凹特征明显,在 seismic 剖面上深层以发育伸展变形为主,浅层呈现走滑断裂特征。辽西4号断裂属于西部盆缘断裂,发育典型花状构造,指示较强的走滑运动的存在(图2)。

根据断裂活动特征,辽西带主要发育长期活动型和早断早衰型断裂。所谓长期活动型断裂是指自新生代早期至新近纪馆陶组沉积期均活动的断裂,此类断裂往往构成了新生代控制辽西带构造格局的大型断裂。而早断早衰型断裂则指代主活动期为古近纪的断裂,此类断裂规模虽不及长期活动型断裂,却是重要的深层控圈断裂。分布于辽西带的4条主干断裂均属于长期活动型,而在盆地新生代早期伸展阶段发育的断裂则以早断早衰型为主,发育位置多集中在盆地的斜坡位置。若干条早断早衰型断裂展布与长期活动断裂展布具有一致性,也揭示了两者在

成因上的相关性(图3)。

断裂活动速率能够直观反映断裂发育形成的活动历史,是分析区域构造演化关键变革期的常用方法。利用近年处理完成的连片三维地震资料,对4条主干断裂活动速率进行了详细统计,结果表明,辽西1号、辽西2号和辽西3号存在两个主要活动时期,分别是古-始新世孔店组-沙河街组三段沉积期和渐新世东营组三段沉积期。而辽西4号断裂虽然早期具有垂向活动量,但主要活动时期是东营组三段沉积期。分析认为,辽西带在古-始新世中期(孔店组沉积期至沙河街组三段沉积期)经历了一期较大规模的伸展裂陷阶段,奠定了辽西带基本构造格局。进入渐新世东营组沉积期,在强烈右旋走滑拉分作用下,辽西带再次发生强烈的裂陷作用。到了东营组沉积末期,湖盆整体抬升,裂陷阶段逐渐结束(图4)。

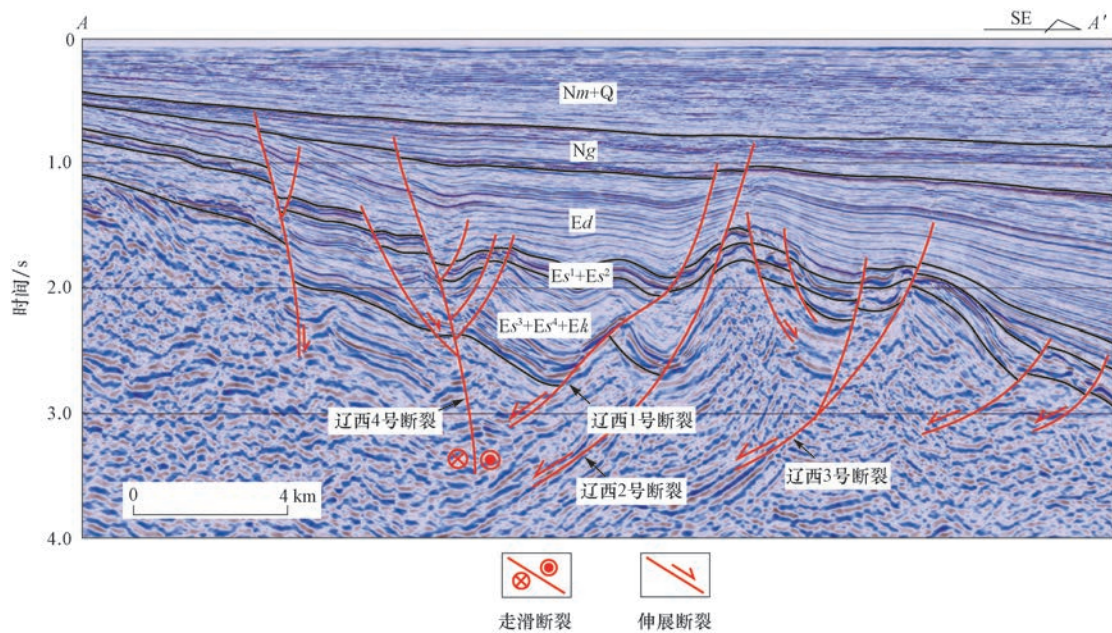


图 2 辽西带主干断裂地震剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Seismic profile of main faults in Liaoxi structural belt (see Fig. 1 for the profile position)

Q. 第四系;Nm. 明化镇组;Ng. 馆陶组;Ed. 东营组;Es¹. 沙河街组一段;Es². 沙河街组二段;Es³. 沙河街组三段;Es⁴. 沙河街组四段;Ek. 孔店组

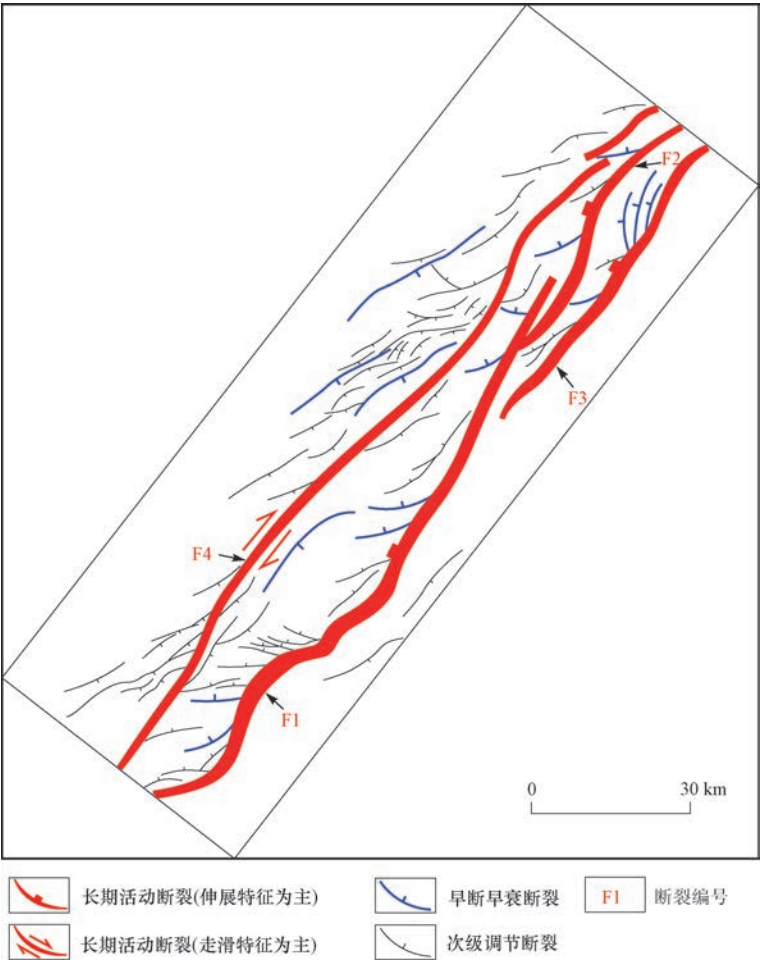


图 3 辽西带沙河街组顶部断裂系统

Fig. 3 Fault system of the Shahejie Formation in Liaoxi structural belt

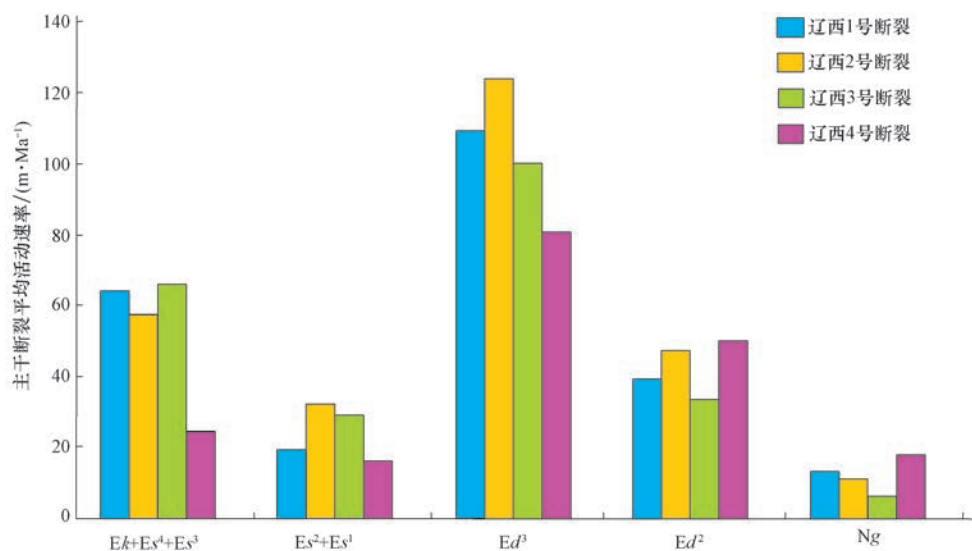


图 4 辽西 1 号至辽西 4 号断裂活动速率统计

Fig. 4 Fault slip activity rate of Liaoxi 1 – Liaoxi 4 fault

Ng. 馆陶组; Ed². 东营组二段; Ed³. 东营组三段; Es¹. 沙河街组一段; Es². 沙河街组二段; Es³. 沙河街组三段; Es⁴. 沙河街组四段; Ek. 孔店组

3 辽西带 S 型走滑转换带识别

英国石油学会曾于 2007 年召开了关于走滑转换带的学术研讨会,与会学者针对全球 5 类板块环境下发育的走滑转换带进行了广泛探讨^[25-28]。笔者调查发现,尽管在全球已发现 227 个走滑转换带实例,但多数学者都认可从构造应力环境的角度可以将上述实例划分为走滑增压段(restraining bends)和释压段(releasing bends)两大类。并且,虽然走滑增压段和释压段既可以沿着一条走滑断裂的弯曲段发育,也可以在两条走滑断裂的叠覆区发育,但笔者认为本质上都是由于走滑断裂受板块旋转角度或先存构造的影响而发生断裂走向改变,引起走滑断裂原本只有水平位移的断层两盘因受到挤压或者拉张应力而发生垂向位移,导致地层在走滑断裂转弯处发生局部隆升或沉降。之所以有的依单条走滑断裂发育,有的在走滑叠覆区发育,只是处于不同的演化阶段。因而从平面几何形态上都可以形象地将这一类型转换带归结为 S 型走滑转换带。从不同学者揭示的实例上可以推断, S 型走滑转换带是走滑环境下发育的普遍构造现象。

笔者认为合理的走滑转换带类型划分方案应该以分析问题的实用性为前提。本次研究沿袭国外学者的划分方案,按照构造应力环境的差异将辽西带 S 型走滑转换带分为增压段和释压段两类,进一步按照走滑转换带演化阶段的不同将增压段细分为 3 个亚类,即压扭低凸起、平缓增压段和强烈增压段。相应地,将释压段同

样细分为 3 个亚类,包括纺锤形浅凹、平缓释压段和菱形释压段。特殊地,考虑在走滑断裂倾末端发育的转换带具有主断面呈发散状及多组断块叠置排列的特征,归纳为增压型或释压型马尾扇(表 1;图 5)。值得注意的是,主干走滑断裂两侧常伴随发育一系列调节断裂,可归纳为走滑转换带调节断裂。此外,同一条走滑断裂在断面弯曲处的两端往往成对发育转换带。

从辽西带 S 型走滑转换带分布来看,增压段和释压段均有发育。如果与辽西带已发现油田的构造位置进行对比,则会发现增压段是辽西带大中型油气田的有利发育区域。比如,位于辽西 1 号断裂中部的 S 型走滑断裂增压段发现的旅大 4-2 等 3 个油田,储量丰度平均 $(400 \sim 500) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,而处于释压段的含油气构造储量丰度平均只有 $(80 \sim 100) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。统计表明,在辽西带目前已发现的 10 个油气田中,有 7 个分布在增压型转换带中。

4 增压型走滑转换带控藏定性分析

增压型走滑转换带对圈闭发育和油气运聚的控制作用显著。在控圈方面,增压型转换带发育的圈闭规模普遍较大,在这一构造背景下发育的圈闭通常可达 $4 \sim 7 \text{ km}^2$,且以背斜类、断裂背斜类或鼻状构造为主。这一点与释压型转换带处于张性引力环境或以张性应力环境为主的应力环境中发育的圈闭显著不同。在油气运移方面,转换带调节断裂是转换带油气运移的重要通道,调节断裂的发育程度往往控制油气的富集程

表 1 辽西带 S 型走滑转换带模式

Table 1 S-shaped strike-slip transfer zone model in Liaoxi structural belt

转换带类型	亚型	模式图	实例	构造图
增压段	压扭低凸起		锦州 14 - X 构造	
	平缓增压段		锦州 14 - X2 构造	
	强烈增压段		锦州 25 - 1 - X 井区	
	增压型马尾扇		锦州 20 - X 构造	
释压段	纺锤型浅凹		锦州 14 - X3 构造	
	平缓释压段		锦州 25 - XN 构造	
	菱形释压段		锦州 25 - 1 - X2 井区	

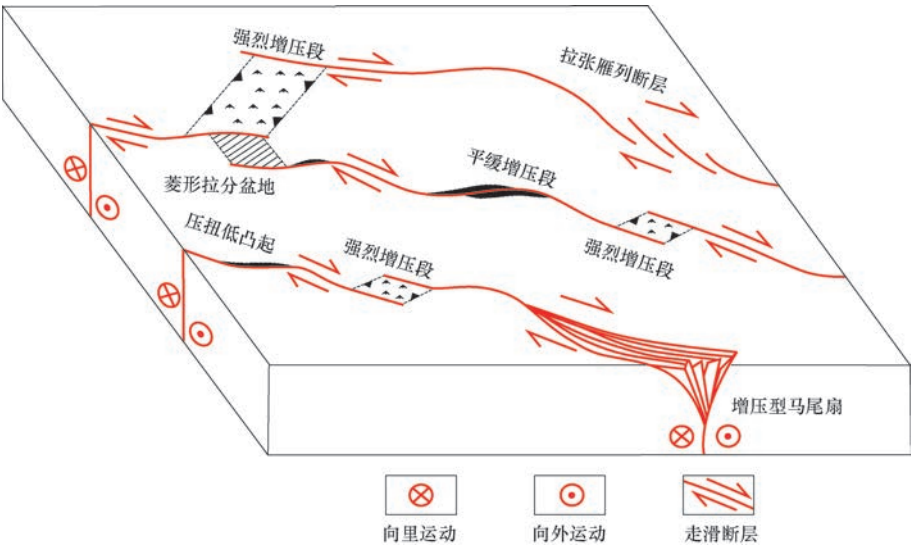


图 5 辽西带 S 型走滑转换带分布

Fig. 5 Schematic map showing distribution of S-shaped strike-slip transfer zone in Liaoxi structural belt

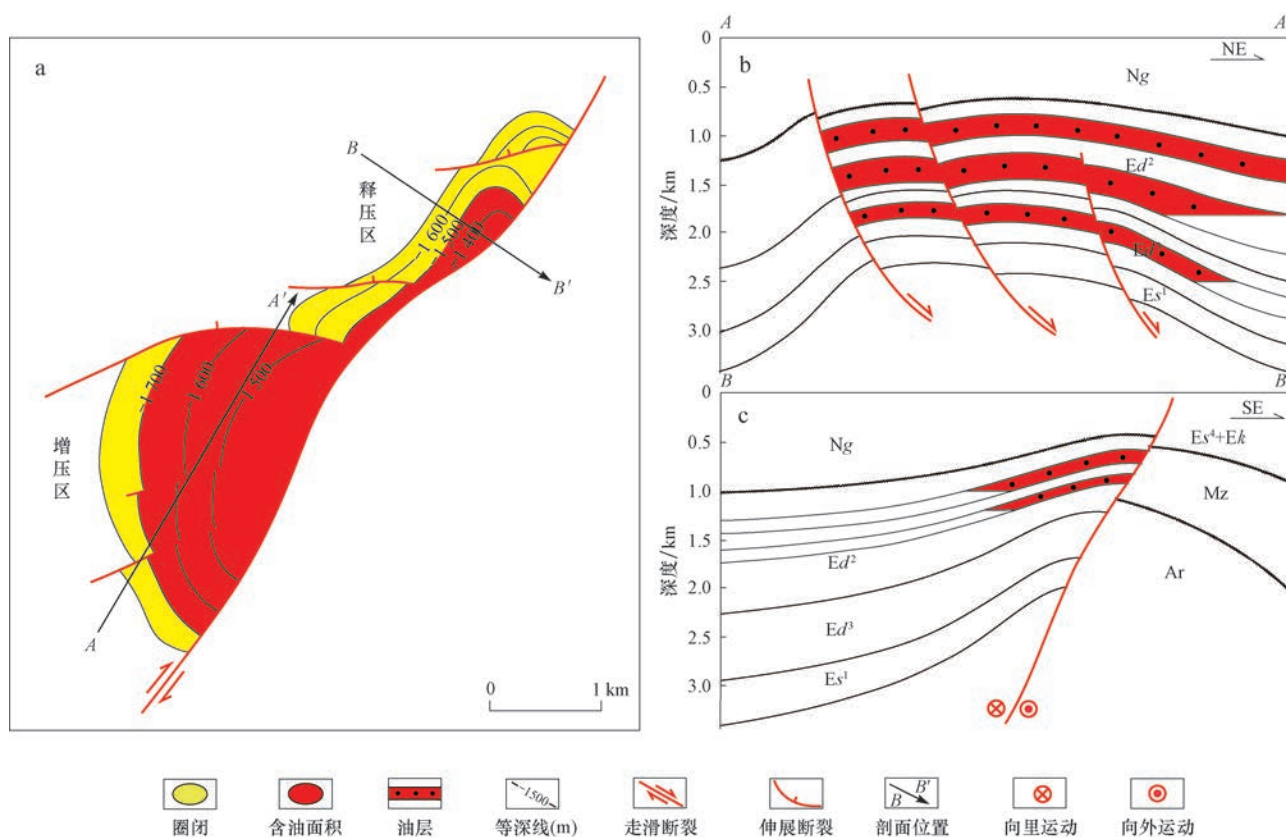


图6 辽西构造带旅大6-2油田南、北区成藏差异对比^[18]

Fig. 6 Comparison of hydrocarbon accumulation between southern and northern part of LD6-2 oil field^[18]

a. 旅大6-2油田东营组二段顶面构造;b. 旅大6-2油田南部走滑增压段成藏模式;c. 旅大6-2油田北部走滑释压段成藏模式

Ng. 馆陶组;Ed². 东营组二段;Ed³. 东营组三段;Es¹. 沙河街组一段;Es⁴. 沙河街组四段;Ek. 孔店组;Mz. 中生界;Ar. 太古界

度。由于增压型转换带主干断裂具有压性或压扭性特点,是天然的侧封断裂,因而能够将由调节断裂运移上来的油气进行有效侧封,于圈闭之中富集成藏。位于辽东湾坳陷中部的旅大6-2油田南、北区成藏差异现象能够佐证这一观点(图6)。旅大6-2油田南区处于走滑增压段且调节断层发育,钻井揭示储量丰度高。而北区则处于走滑释压段,调节断层密度不及南区,储量丰度低。说明在储层横向展布比较稳定的情况下,断层垂向输导能力成为油气运移的关键。

5 增压型走滑转换带控藏定量表征

在认识到增压型走滑转换带的控藏特征后,如何定量分析转换带各要素之间的关系,对于深刻把握成藏规模,指导下一步勘探工作就显得尤为重要。虽然处于S型走滑断裂增压段的地区是圈闭的有利形成区^[29],但在勘探实践中认识到,这一条件并不是决定圈闭成藏的充分条件,即形成于增压段位置的圈闭并非全部成藏。如上文所述,该类圈闭受主走滑断裂和与之伴生的走滑调节断裂共同控制^[30]。所以,

需要进一步研究主走滑断裂与走滑调节断裂的耦合情况。

5.1 油气富集指数的提出

基于上述认识,本次研究提出了S型走滑转换带“油气富集指数”的概念和计算方法。“油气富集指数”主要与两方面因素有关,分别是主走滑断裂弯曲度和调节断裂活动强度。在研究中发现,主走滑断裂弯曲度决定了主断裂断面弯曲位置构造应力的分布,构造应力越集中的地方往往越有利于圈闭的形成。同时,随着构造应力的增加,与主断裂相伴生的调节断裂的数量也呈递增趋势,也就是说调节断裂越发育。而两者的乘积大小与油气富集程度具有明显的正相关关系。

如图7中所示,在主断裂弯曲度计算公式中:A,B,C,D,E分别为一个完整S型走滑转换带中的5个端点。所以,主断裂弯曲度(W)计算公式为:

$$W = L/H \quad (1)$$

式中:L为弧顶到弧两端连线的垂直距离,km;H为弧两端点之间的距离,km。

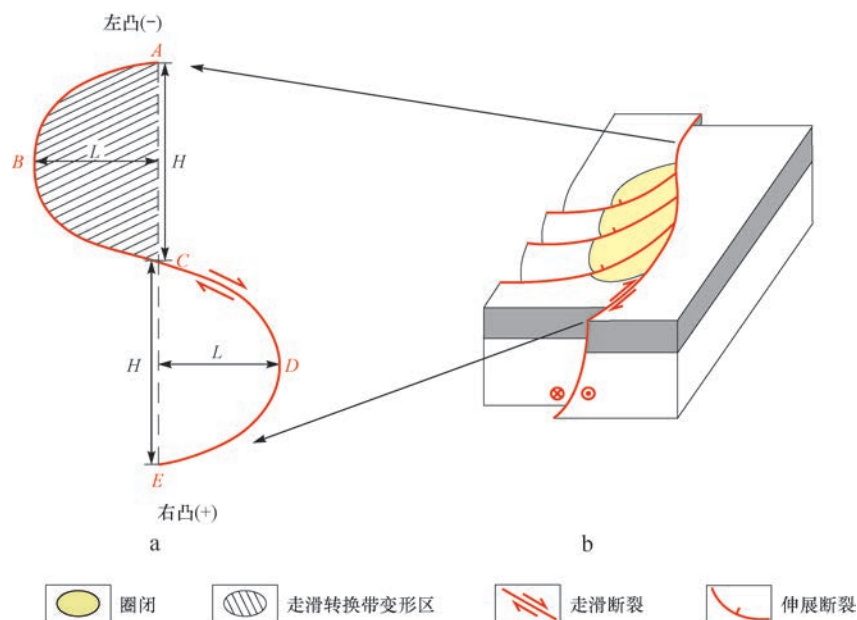


图7 S型走滑转换带弯曲度模式

Fig. 7 Model of S-shaped strike-slip bend

a. S型走滑转换带平面模式;b. S型走滑转换带立体模式

伴生调节断裂活动强度(Q)计算公式为:

$$Q = (E_1 \Delta D_1 + E_2 \Delta D_2 + \dots) / S \quad (2)$$

式中: E 为伴生调节断裂长度,km; ΔD 为伴生调节断裂在主裂陷期最大断距,km; S 为圈闭面积,km²。

油气富集指数(K)计算公式为:

$$K = 1\,000 W Q \quad (3)$$

式中: W 为主断裂弯曲度,无量纲; Q 为伴生断裂活动强度,无量纲。

需要说明的是,S型走滑转换带具有左凸和右凸两种情况,为了加以区别,当圈闭形成于左凸区域时油气富集指数 K 为负值,当圈闭形成于右凸区域时油气富集指数 K 为正值。

以前述计算公式为基础,对辽西带北段JZ25-1北部井区,辽西中洼绥中30-3构造区,辽西南洼旅大5-2北油田北块和南块,旅大4-2,旅大5-2等油田或含油构造的主断裂弯曲度和伴生调节断裂活动强度进行了系统统计,用以揭示两者的相关性。

形成上述正相关性的原因可以在断裂形成机制上找到答案。由于断裂是岩层顺破裂面发生明显位移的构造,正是由于构造应力的集中使岩层发生了这一明显位移,所以断裂的发育是构造应力集中的表现。在S型走滑转换带中,增压段是构造挤压应力集中区,随着S型主走滑断裂弯曲程度的增加,增压段的发育会越来越明显,构造应力以发育伴生断裂的形式对岩层产生调节作用。因此,调节断裂的发育程度直接与主走滑断裂的弯曲程度相关。

5.2 辽西南洼东北部陡坡带圈闭富集指数研究

本次研究重点对辽西南洼陡坡带圈闭油气富集指数进行了统计,对比了旅大5-2北油田南、北块成藏差异与油气富集指数的相关性。如图8所示,上述油田都是受右凸型S型走滑断裂控制的断块,同时伴生调节断裂均较为发育。通过计算,针对主要勘探层系新近系馆陶组,北块的油气富集指数为2.86,南块为7.24,两者差异显著。

从勘探结果的角度分析,在旅大5-2北油田南块钻探的多口钻井均获得成功,说明南块油气富集程度高。反观北块,钻探的X井测井解释只在渐新统东二下段揭示较薄的气层。分析认为,旅大5-2北油田南、北两块油气富集差异较大与研究获得的两个断块油气富集指数具有良好的对应关系。通过进一步对旅大5-2油田和旅大4-2油田的富集指数进行计算,再对比实际勘探结果,认识到辽西南洼东北部陡坡带圈闭富集指数一般大于4。油气富集指数对油气成藏概率具有指示作用。

6 结论

1) 辽西带S型走滑转换带可划分为2类,又可以进一步细分为8个亚类。具体为:增压段细分为压扭低凸起、平缓增压段和强烈增压段等3个亚类。释压段细分为纺锤形浅凹、平缓释压段和菱形释压段等3

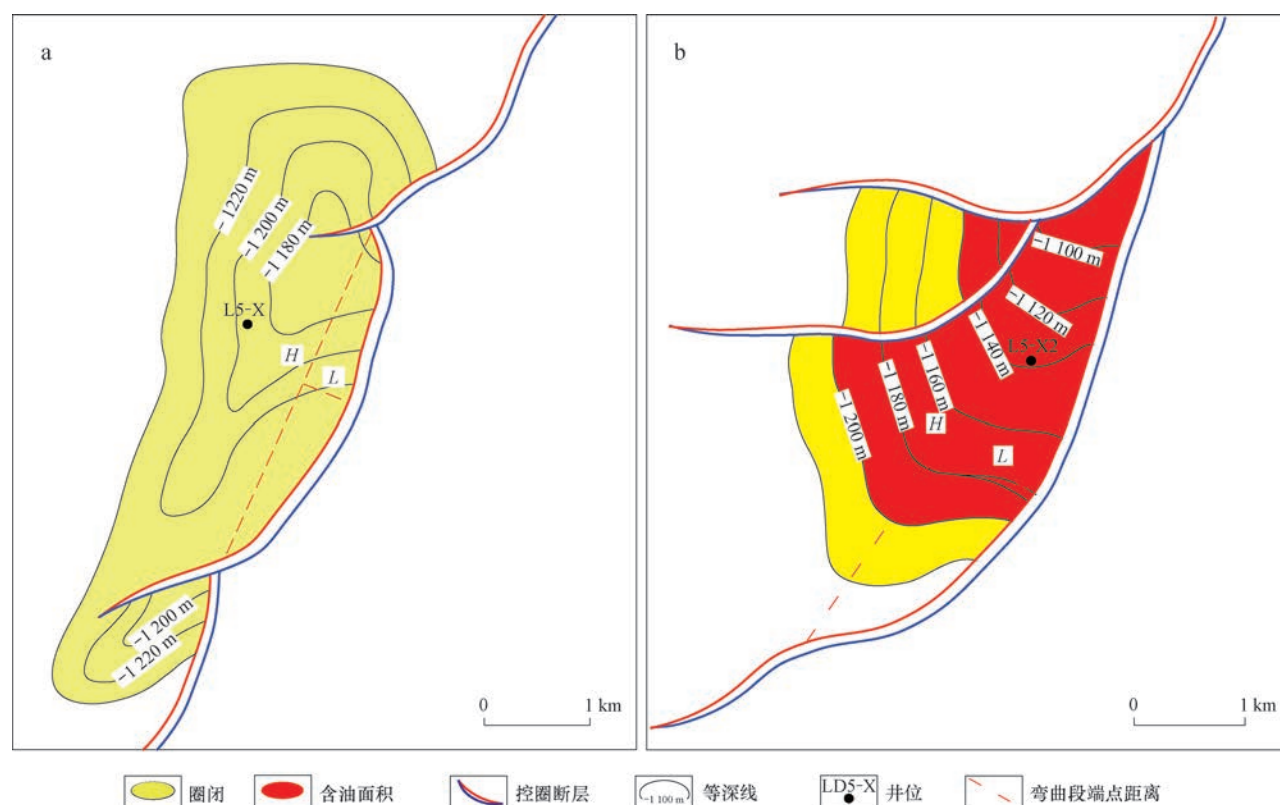


图 8 辽西带旅大 5-2 北油田北块(a)和南块(b)构造

Fig. 8 Structural maps of the northern and southern parts of LD5-2N field

个亚类。走滑断裂倾末端发育的转换带归纳为增压型或释压型马尾扇。

2) 油气富集指数是定量化表征走滑转换带控藏能力的有效方法,揭示了主断裂弯曲度大的圈闭伴生调节断裂活动强度的值也较大,说明两者具有明显的正相关性。继续深挖和应用油气富集指数分析方法对于研究 S 型走滑转换带发育区油气成藏规律具有启示意义。

参 考 文 献

- [1] Dahlstrom C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountain [M]. Calgary: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970; 332-406.
- [2] 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.
- [3] Corti G, Bonini M, Mazzarini F, et al. Magma-induced strain localization in centrifuge models of transfer zones [J]. Tectonophysics, 2002, 348(4): 205-218.
- [4] Madritsch H, Kounov A, Schmid S M, et al. Multiple fault reactivations within the intra-continental Rhine-Bresse transfer zone (La Serre horst, eastern France) [J]. Tectonophysics, 2009, 471(3-4): 297-318.
- [5] Acocella V, Morvillo P, Funicello R. What controls relay ramps and transfer faults within rift zones? Insights from analogue models [J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(3): 397-408.
- [6] Fiorini E, Tibaldi A. Quaternary tectonics in the central Interandean Valley, Ecuador; fault-propagation folds, transfer faults and the Cotopaxi Volcano [J]. Global and Planetary Change, 2012, 90-91(2): 87-103.
- [7] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域辽东湾坳陷正断层联接及其转换带特征 [J]. 地质论评, 2009, 55(1): 79-92.
Yu Yixin, Zhou Xinhui, Tang Liangjie, et al. Linkages of normal faults and transfer zones in the Liaodong Bay Depression, Offshore Bohai Bay Basin [J]. Geological Review, 2009, 55(1): 79-92.
- [8] 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): 43-48.
Qi Jiafu. Structural transfer zones and significance for hydrocarbon accumulation in rift basins [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(4): 43-48.
- [9] 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. Transfer zone analysis in extensional basin: A study on Songliao Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 1994, 13(2): 5-9.
- [10] 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): 426-428.
Zhou Jiansheng, Yang Chiyin, Chen Fajing, et al. Structural characteristics and origin of transverse transfer zone in Huanghua Subbasin [J]. Geoscience, 1997, 11(4): 426-428.
- [11] 余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 渤海辽东湾坳陷走滑断裂差异变形特征 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 633-637.

- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Xu Changgui, et al. Differential deformation of strike slip faults in the Liaodongwan Depression, offshore Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(5): 633–637.
- [12] 陈发景. 调节带(或传递带)的基本概念和分类[J]. *现代地质*, 2003, 20(2): 186–188.
Chen Fajing. The basic concept and classification of transfer zone [J]. *Geoscience*, 2003, 20(2): 186–188.
- [13] 张艳萍, 吕修祥, 于红枫, 等. 塔中隆起两组走滑断裂对岩溶储层发育的控制机制[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(5): 664–672.
Zhang Yanping, Lyu Xiuxiang, Yu Hongfeng, et al. Controlling mechanism of two strike-slip fault groups on the development of the Ordovician karst reservoirs in the Tazhong Uplift, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(5): 664–672.
- [14] 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, 22(2): 125–128.
Wu Guanghui, Qi Jiafu. Characteristics and origin of first order transfer zones in Huanghua Subbasin [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 22(2): 125–128.
- [15] 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): 43–48.
Chen Shuping, Qi Jiafu, Wang Deren, et al. Fault systems and transfer structures in Dongpu Sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(1): 43–48.
- [16] 赵红格, 刘池阳, 杨明慧, 等. 调节带和转换带及其在伸展区的分段作用[J]. *世界地质*, 2000, 19(2): 105–110.
Zhao Hongge, Liu Chiyang, Yang Minghui, et al. Accommodation zones and transfer zones and their roles in the segmentation of the extended terrane [J]. *World Geology*, 2000, 19(2): 105–110.
- [17] 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): 618–623.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Zhaonian. Analysis of transform structures in extensional fault depressions [J]. *Geoscience*, 2011, 25(4): 618–623.
- [18] 史文东, 彭尚谦, 姜凤玖. 东辛油田断层转换带与油气富集[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(5): 14–17.
Shi Wendong, Peng Shangqian, Jiang Fengjiu. Dongxin oil field fault transfer zone and hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(5): 14–17.
- [19] 王海学, 吕延防, 付晓飞, 等. 裂陷盆地转换带形成演化及其控藏机理[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(4): 103–106.
Wang Haixue, Lv Yanfang, Fu Xiaofei, et al. Formation, evolution and reservoir-controlling mechanism of relay zone in rift basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(4): 103–106.
- [20] 徐长贵. 渤海海域走滑转换带特征及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2016, 41(10): 1310–1317.
Xu Changgui. Strike-slip transfer zone control on the development of medium and large-sized oilfields in the Bohai Sea area [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2016, 41(10): 1310–1317.
- [21] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. *石油实验地质*, 1995, 17(4): 318–322.
- Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, et al. Extensional pattern and dynamic process of the Cenozoic rift basin in the Bohai bay [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 1995, 17(4): 318–322.
- [22] 漆家福, 李晓光, 于福生, 等. 辽河西部凹陷新生代构造变形及“郯庐断裂带”的表现[J]. *中国科学(地球科学)*, 2013, 43(8): 1330–1334.
Qi Jiafu, Li Xiaoguang, Yu Fusheng, et al. Cenozoic structural deformation and expression of the “Tan-Lu Fault Zone” in the West Sag of the Liaohe Depression, Bohai Bay Basin, China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2013, 43(8): 1330–1334.
- [23] 李明刚, 漆家福, 童亨茂, 等. 辽河西部凹陷新生代断裂构造特征与油气成藏[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(3): 281–286.
Li Minggang, Qi Jiafu, Tong Hengmao, et al. Cenozoic fault structure and hydrocarbon accumulation in West Sag, Liaohe Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(3): 281–286.
- [24] 于福生, 董月霞, 童亨茂, 等. 渤海湾盆地辽河西部凹陷古近纪变形特征及成因[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 52–59.
Yu Fusheng, Dong Yuexia, Tong Hengmao, et al. Characteristics and origins of structural deformation in the Paleogene in the Western Sag of Liaohe Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 52–59.
- [25] Mann P. Global catalogue, classification and tectonic origins of restraining-and releasing bends on active and ancient strike-slip fault systems [C] // Cunningham W D and Mann P, *Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends*, London: the Geological Society of London, 2007: 1–13.
- [26] Seyrek A, Demir T, Pringle M S, et al. Kinematics of the Amanos fault, southern Turkey, from Ar/Ar dating of offset Pleistocene basalt flows: transpression between the African and Arabian plates. [C] // Cunningham W D and Mann P, *Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends*, London: the Geological Society of London, 2007: 255–268.
- [27] Graymer R W, Langenheim V E, Simpson R W, et al. Relatively simple through-going fault planes at large-earthquake depth may be concealed by the surface complexity of strike-slip faults. [C] // Cunningham W D and Mann P, *Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends*, London: the Geological Society of London, 2007: 190–201.
- [28] Zampieri D, Massironi M. Evolution of a poly-deformed relay zone between fault segments in the eastern Southern Alps, Italy. [C] // Cunningham W D and Mann P, *Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends*, London: the Geological Society of London, 2007: 351–362.
- [29] 于福生, 吉珍娃, 杨雪, 等. 辽河盆地西部凹陷北部地区新生代断裂特征与圈闭类型[J]. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(2): 149–151.
Yu Fusheng, Ji Zhenwa, Yang Xue, et al. Cenozoic fault feature and trap styles of northern area in west depression of Liaohe Basin [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2007, 29(2): 149–151.
- [30] Swanson M. Geometry and kinematics of adhesive wear in brittle strike-slip fault zones [J]. *Journal of Structural Geology*, 2005, 27(4): 871–887.