

渤海湾盆地东营凹陷扭张断裂成因模式及控藏作用

张伟忠^{1,2}, 张云银², 查明¹, 曲志鹏², 于景强², 张林², 何畅²

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司物探研究院, 山东 东营 257022]

摘要:扭张断裂构造特征的精细刻画及控藏作用的分析是我国东部高成熟油田精细化油藏评价的重要方向。基于扭张断裂几何学特征及构造演化特征的分析,开展了渤海湾盆地东营凹陷扭张断裂成因模式的研究,建立了东营凹陷扭张断裂控藏模式。研究表明,东营凹陷扭张断裂可划分为帚状、侧接及雁列3种类型。帚状扭张断裂表现为先张后扭的特征,由单条断裂逐渐向帚状演化;侧接扭张断裂表现为先扭后张的特征,由雁列式向侧接演化;雁列扭张断裂表现为边扭边张的特征,由早期单条断裂向雁列式扭张断裂演化。扭张断裂的差异演化形成了启闭耦合的控藏模式,为扭张型盆地内的精细油藏勘探开发提供了有利的指导。

关键词:构造演化;成因模式;控藏作用;扭张断裂;东营凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Genetic model of transtensional faults in Dongying Depression, Bohai Bay Basin, and its controls over hydrocarbon accumulation

Zhang Weizhong^{1,2}, Zhang Yunyin², Zha Ming¹, Qu Zhipeng², Yu Jingqiang², Zhang Lin², He Chang²

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257022, China]

Abstract: Study on the structural characteristics of transtensional faults and their controls on hydrocarbon accumulation is of great significance to the fine reservoir evaluation in the highly-explored areas of eastern China. The genetic model of transtensional faults in the Dongying Depression, Bohai Bay Basin, was studied, and the accumulation model controlled by transtensional faults in this area was established, on the basis of the geometrical and evolutionary characteristics of the transtensional faults. Research shows that, the transtensional faults in the Dongying Depression can be divided into three types, the broom-shaped, en echelon and juxtaposition faults. The broom-shaped transtensional faults are characterized by early extension and later transformation, with the structural style evolving from a single fault to a broom-shaped fault zone. While the juxtaposition transtensional faults feature early transformation and later extension, with its structural style evolving from the en echelon to the juxtaposition type. The en echelon transtensional faults are characterized by simultaneous transformation and extension, with its structural style evolving from a single fault at early stages to the en echelon fault zone. The differential evolution of transtensional faults leads to the model of controls over hydrocarbon accumulation with open-close coupling, providing a guidance for the fine exploration and development of reservoirs in transtensional basins.

Key words: tectonic evolution, genetic model, control over hydrocarbon accumulation, transtensional fault, Dongying Depression, Bohai Bay Basin

受到郯庐断裂带在新生代以来的右旋走滑的影响,我国东部含油气盆地在伸展作用的基础上,都被注入了扭动的因素,形成了一系列扭张断裂^[1-4]。扭张断裂不同于一般的走滑断裂与伸展断裂,而是以伸展

作用为主,走滑作用为辅的一种耦合应力场条件下形成的特殊断裂形式^[5-6]。而一直以来,东部含油气盆地在构造控藏研究过程中,靠近郯庐断裂带的辽河凹陷,渤中凹陷等以走滑构造研究为主^[7-9],而在远离郯

收稿日期:2018-03-07;修订日期:2018-12-03。

第一作者简介:张伟忠(1985—),男,博士、副研究员,地质资源与地质工程。E-mail:zhangwzh258.slyt@sinopec.com。

通讯作者简介:张云银(1969—),男,博士、教授级高级工程师,地震地质综合研究。E-mail:zhangyunyin.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05072);中国石化重点科技攻关项目(P15084)。

庐断裂带的东营凹陷、惠民凹陷等则以伸展构造研究为主^[10-11]。介于走滑断裂与伸展断裂之间的扭张断裂在研究中被忽视,尤其是在东营、惠民等以伸展作用为主的凹陷内。

勘探现状已经表明,渤海湾盆地东营凹陷内具有扭张构造背景的构造带是油气的有利富集区,勘探早、中期阶段考虑抓主要矛盾“强调张”而“忽视扭”。随着勘探的深化和精细勘探的要求,必须回归全面、客观的构造分析。扭张断裂控藏作用研究存在两个问题,一方面是由于扭张断裂研究一般杂糅在走滑构造的研究中^[12-13],导致了扭张断裂与伸展断裂、走滑断裂的共同点及差异性等都尚未有具体的阐述。另一方面是目前尚未有针对全凹陷的扭张断裂系统研究,已有的研究成果只集中在个别构造带上,如东营北带^[14-15],中央隆起带^[16],八面河^[17]等。如何从凹陷整体的角度开展扭张断裂演化、成因及控藏作用研究,是扭张断裂研究中的核心问题。针对这两方面的问题,本文从扭张断裂的几何学特征及构造演化特征入手,从全凹陷角度系统阐述了3种类型扭张断裂的成因模式,提出了扭张断裂独有的控藏模式,为扭张型盆地内的精细油藏勘探开发提供了有利的指导。

1 扭张断裂几何学特征

1.1 扭张断裂剖面组合样式

断阶构造是伸展断裂在剖面上常见的组合样式,而负花状构造则是伸展断裂叠加走滑效应的典型表现形式^[18]。通过东营凹陷主要的扭张断裂剖面特征的解剖,明确了扭张断裂在剖面上的半花状,树形花状及卷心式3种组合样式。

伸展断裂发育的断阶构造一般分布在拉张作用较强的盆地陡坡带,发育一条主控断层,次级断层与主断层同向,且次级断裂仅发育在主断裂的同一侧。半花状构造也发育在盆地的陡坡带,发育1~2条先存断裂,次级断裂逐渐向主断裂收敛,组成花状构造的一半,称为半花状构造。树形花状构造样式主要发育在盆地的斜坡带,主断层发育,且主断层倾角大。次级断层在主断层顶部依次相交,形成树形花状构造。树形花状构造样式是典型的负花状构造,在扭动作用较强的条件下形成。卷心式花状构造发育在盆地的上构造层,且一般发育在盆地的中部。构造带内无主控断层,两组级别相近,倾向相反的低级别断层依次交切,形成类似于卷心菜式的花状构造。卷心式花状构造反映了盆地晚期强走滑弱拉张的应力场特征(图1)。

1.2 扭张断裂平面组合样式

在扭张断裂发育形成过程中,受局部应力场差异的影响,其在平面的表现形式均有不同。利用水平切片及地层切片等技术对相干、振幅等地震属性进行详细的解剖,将东营凹陷扭张断裂平面组合样式划分为雁列式、帚状和侧接式等3种类型(图2)。

雁列式扭张构造主要发育于东营凹陷缓坡带,平面上,规模相同、性质相同、走向大体一致的断裂平面上呈雁列式展布。从雁列式扭张构造的旋向和力学性质来看,可以分为北东向的右旋雁列式扭张断裂带和北西向的左旋扭张断裂带。帚状式扭张构造主要发育于东营凹陷陡坡带。平面上,由若干条弧形弯曲的次级断层与同向弯曲的高级别主干断层相交组合而成。从构造带旋向和力学性质上也可以分为北东向右旋和北西向左旋两种类型,其中高青扭张构造带是典型的

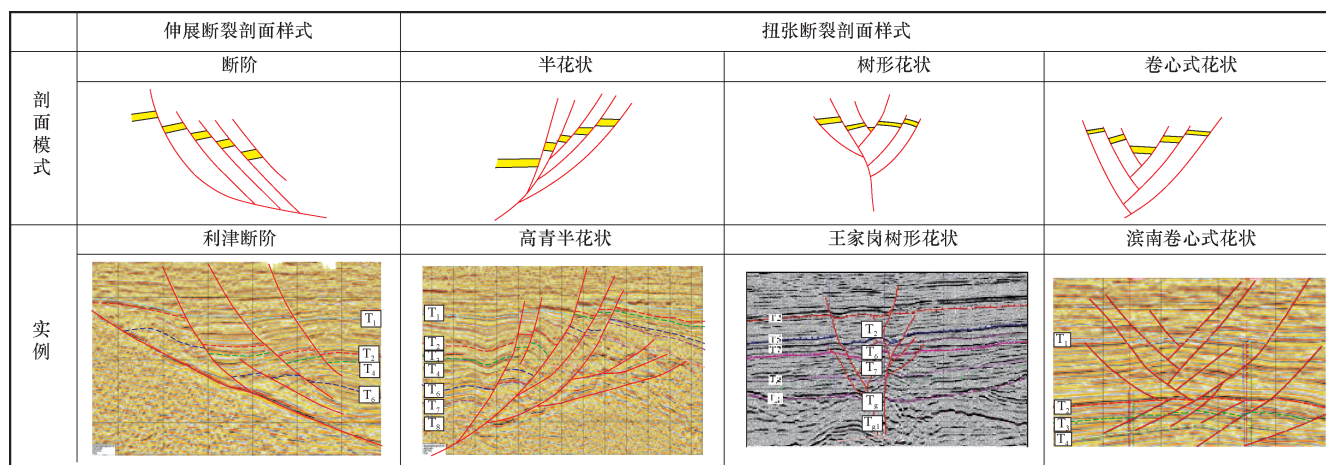


图1 东营凹陷扭张断裂剖面组合样式

Fig. 1 Profile assemblage of transtensional faults in the Dongying Depression

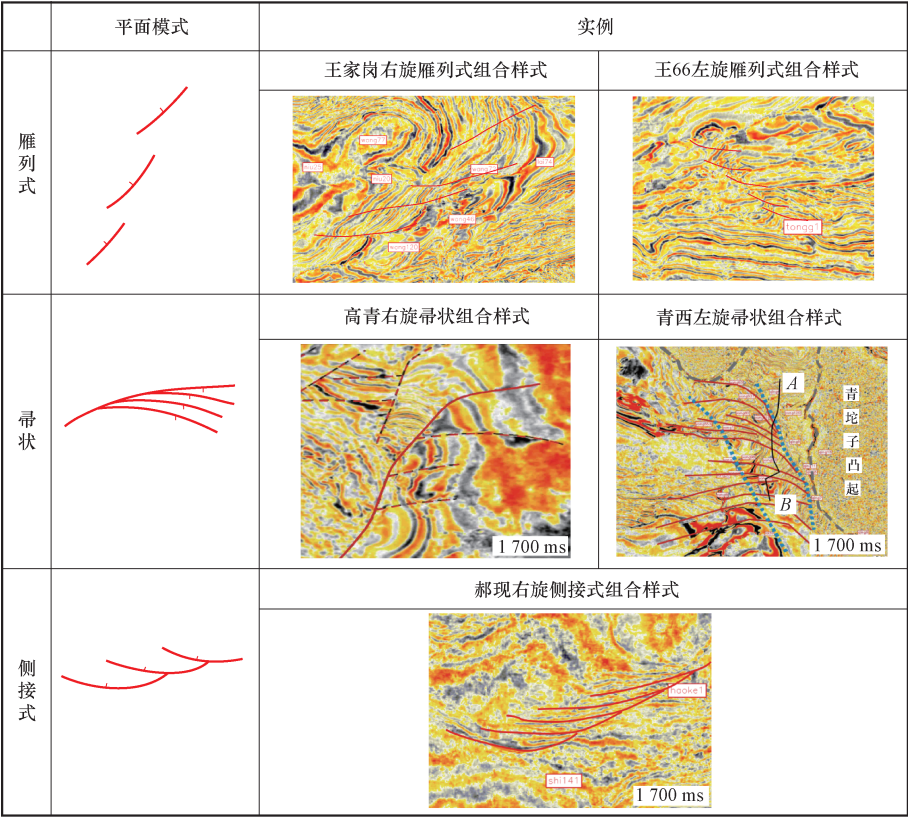


图 2 东营凹陷扭张断裂平面组合样式
Fig. 2 Planar assemblage of transtensional faults in the Dongying Depression

北东走向右旋构造带,青西扭张构造则是北西走向左旋构造带的代表。

侧接式组合样式是扭张断裂最为典型的一种构造样式,发育于盆地内部的洼陷带内,力学特征介于雁列式与帚状式之间。与帚状构造不同的是主干断裂不发育,雁列式展布的同级别次级断层呈弧形弯曲,同一侧互相搭接形成“主断层”,构成似帚状构造。

2 扭张断裂构造演化特征

扭张断裂的分布、盆地结构及区域应力场特征控制了扭张断裂的演化特征。伸展作用与走滑作用的强弱和先后控制了扭张断裂的时空演化特征。

2.1 扭张断裂活动性特征

扭张断裂在倾向和走向上均有位移,为了更好的反映扭张断层在地质历史时期内的活动特征,需要同时考虑扭张断裂在不同时期的走滑与拉张强度的变化。通过分析 3 种类型扭张构造在不同时期的伸展量与走滑量,建立了扭张断裂活动性评价表(图 3)。

雁列式扭张断裂分布在断陷盆地缓坡带,断裂带两侧地层结构基本一致,沉积和沉降速率也基本一致,

这就造成了在雁列式扭张断裂带两侧相对活动时形成了以扭动为主的特征。从活动性评价综合图上也可以看出,位于断裂带不同位置的断层,在不同时期上均表现为以扭动为主的特征。

侧接型扭张断裂带发育在盆地的洼陷带,两侧地层结构也基本一致,但是与雁列式扭张构造相比,地层厚度较大,相对塑性较强。从活动性评价图上看,早期受箕状断陷盆地不均衡的应力场特征的影响,中部洼陷带起到了调节带的作用,发育了弱走滑的应力场,活动性表现为以扭为主;后期在盆地强烈断陷期,早期形成的雁列式组合样式开始演化,形成了首尾相接的侧接型扭张构造。活动性表现为拉张为主的特征。

帚状扭张构造在演化早期主要表现为强烈的拉张断陷作用,到中期之后具有明显的分段性,南段表现为张扭性特征,北带表现为持续的扭张特征。到晚期扭张断裂带演化为北东向展布的几条雁列式断层组合,断层活动性以扭为主。

2.2 扭张断裂演化特征

目前构造演化的研究方法以平衡剖面居多,同时物理模拟技术可进一步辅助开张相关构造演化特征的研究。针对扭张断裂需要同时考虑伸展量和走滑量的

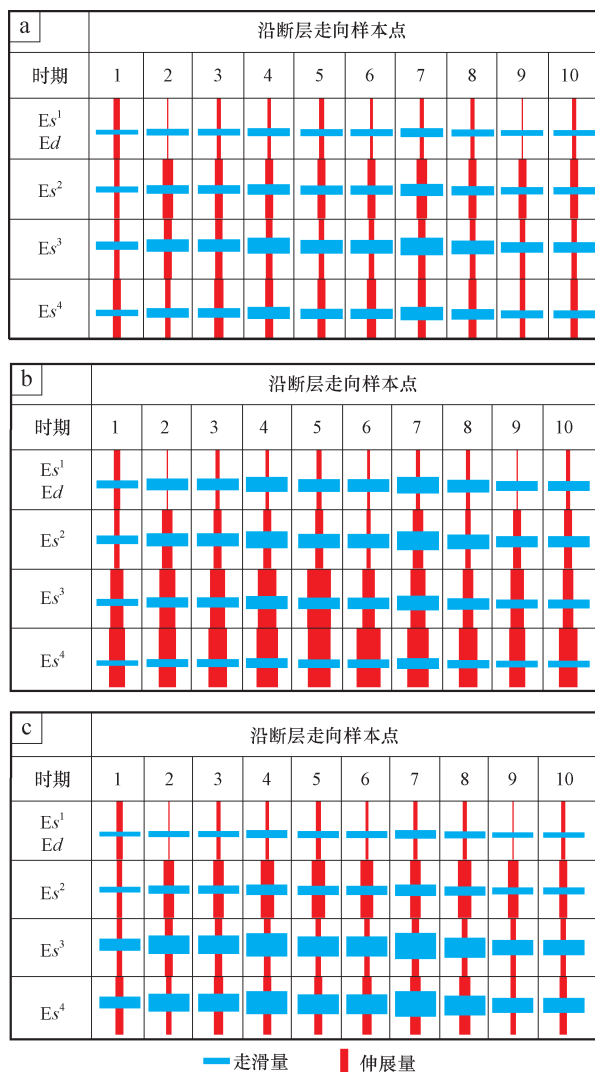


图3 东营凹陷扭张断裂活动性评价

Fig. 3 Activity evaluation of transtensional faults in the Dongying Depression

a. 雁列式扭张构造断层活动性综合图; b. 帚状扭张构造断层活动性综合图; c. 侧接扭张构造断层活动性综合图

特点,利用传统的二维平衡剖面很难全面的表征扭张断裂在时空上的演化特征。本文利用利用三维地震拉平技术,将能够反映断裂特征的相干体与断层加强体等地震资料进行沿层拉平,并利用体显示技术表征空间断裂组合特征。同时也进一步开展了3种扭张断裂的物理模拟实验研究,从空间和时间2个方面开展了扭张断裂构造演化分析。

雁列式扭张断裂早期沿断裂带展布方向发育一条先存断裂,随着走滑作用的持续影响,同时受到南北向或者北北东向伸展作用力,主断裂持续发育,平面上产生近东西向或南东东向次级断裂,次级断裂与主断裂呈高角度相交,并呈现雁列式展布特征(图4)。演化到晚期先存主断裂活动性逐渐减弱,平面上仅发

育雁列式展布的次级断裂。这种构造样式的演化特征反映了雁列式扭张断裂带区域应力场持续以扭动为主的特征。

侧接型扭张断裂带发育在盆地的洼陷带,在盆地早期强烈的断陷拉张期,箕状断陷盆地陡坡带和缓坡带不均衡的沉降过程总,洼陷带起到了一定的转换调节作用,发育了局部以扭为主的应力场特征,形成了早期的雁列式扭张断裂。随着断陷盆地的持续拉张,同时也受到塑性地层的底劈拱生作用,前期形成的雁列式断层逐渐首尾搭接,形成了侧接型扭张断裂。其演化过程表明,洼陷带侧接型扭张断裂带受到先扭后张的应力场影响,构造样式从雁列式向侧接型逐渐演化,同时侧接型扭张构造也可以认为是雁列式扭张断裂与帚状扭张断裂的过渡形式(图5)。

帚状扭张断裂带主要发育在断陷盆地的陡坡带,主动盘与被动盘地层结构差异较大。主动盘为新生代沉积,塑性强;被动盘为中生代或古生代地层,脆性强。这导致两侧地层在相对运动过程中产生的断裂组合具有明显的差异性。演化早期,盆地内受中生代残存的北西向走滑应力场的影响,形成了雁列式的构造样式。随着演化的进行,盆地南北向拉张加剧,同时断裂带两侧具有一定的走向相对运动,在主动盘一侧形成了多条次级断裂,与主断裂相交形成“帚状”构造;随着后期拉张作用的减弱,盆地进入拗陷期,应力场表现为弱走滑特征,形成了多条断层组成的雁列式扭张断裂。分析表明,帚状扭张断裂从早期拉张为主的扭张应力场特征,演化到以扭为主的张扭应力场特征,断裂带不同位置的区域应力场特征也有差异(图6)。

3 扭张断裂成因模式

新生代以来,济阳拗陷处于滨太平洋域构造背景下,地壳减薄、地幔物质上涌产生的拉张应力,是东营凹陷张性断裂产生的动力来源;郯庐断裂在 Es⁴ 末期由左旋走滑转变为右旋走滑,则是东营凹陷喜马拉雅期走滑应力的动力来源。东营凹陷北北东向右旋扭张构造与郯庐断裂走向相同或相近,扭动方向也与其一致;而北西向左旋扭张构造扭动方向与喜山期郯庐断裂扭动方向相反,被认为是与北北东向右旋扭张构造共轭的“P 剪切”。东营凹陷处于张扭性的区域构造背景下,断层上下盘在兼有走滑过程的运动中走向上拉张速率并不一致,走向上运动速率较快一端则易于表现出扭动构造的特征。总体上扭张构造呈北北东向或北西向,就构造样式而言,不同构造区带存在差异。

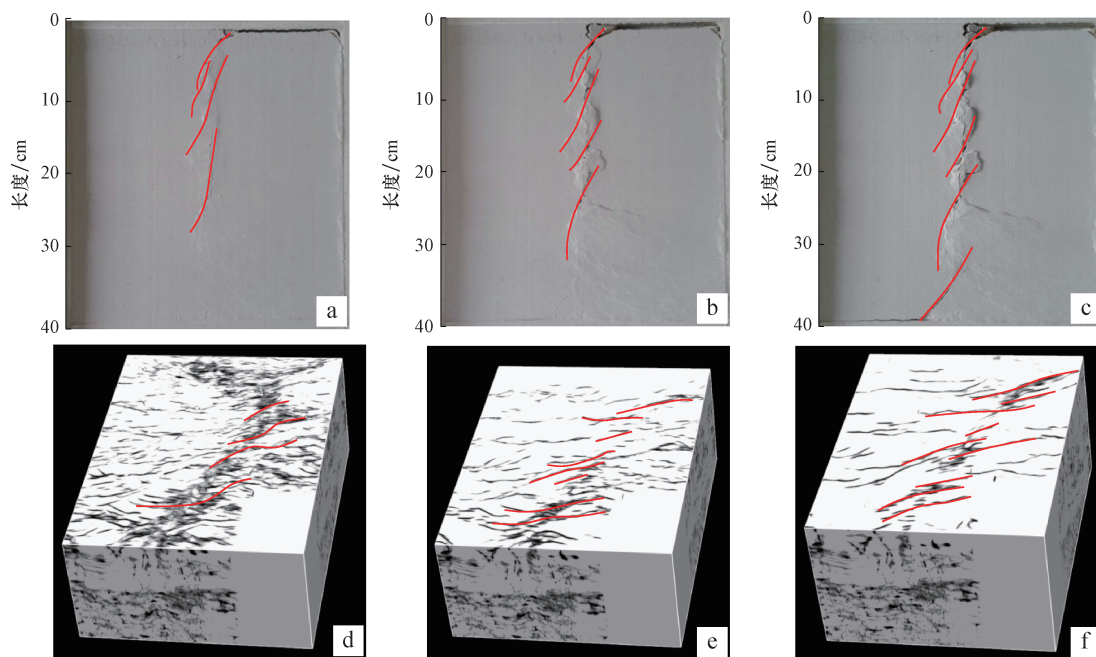


图4 东营凹陷雁列式扭张断裂物理模拟及三维构造演化

Fig. 4 Physical simulation of en echelon transtensional faults in the Dongying Depression and their 3D structural evolution

a. 走滑量0.4 cm, 伸展量0.8 cm 雁列扭张构造物理模拟结果; b. 走滑量0.6 cm, 伸展量1.6 cm 雁列扭张构造物理模拟结果; c. 走滑量0.8 cm, 伸展量2.4 cm 雁列扭张构造物理模拟结果; d. 王家岗雁列扭张构造孔店期三维演化; e. 王家岗雁列扭张构造沙三期三维演化; f. 王家岗雁列扭张构造沙一期三维演化

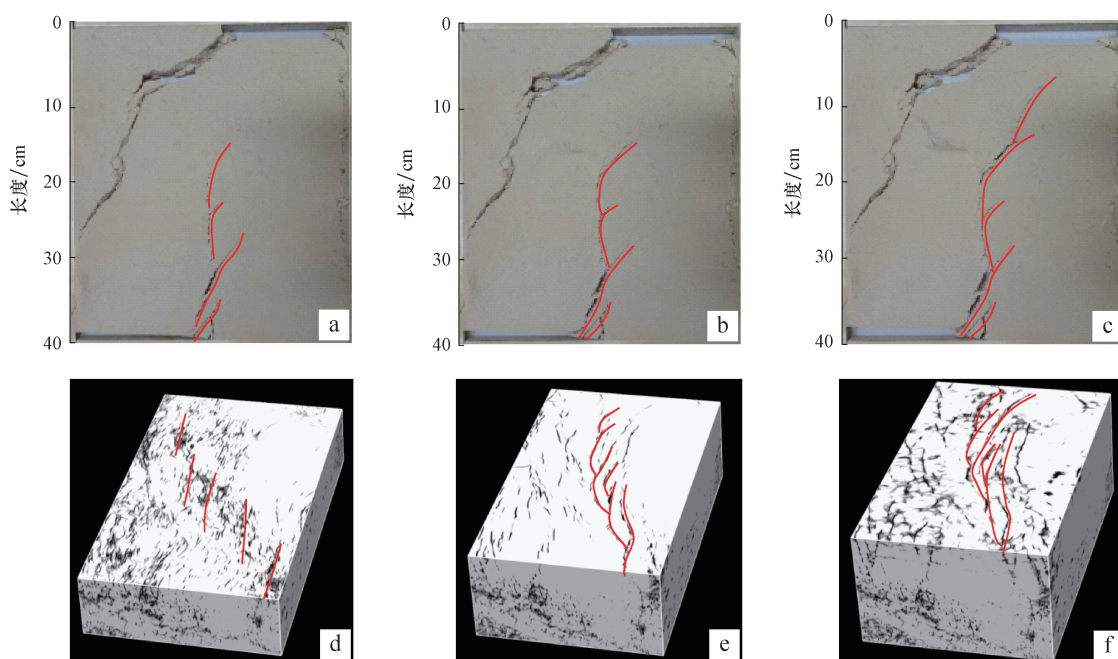


图5 东营凹陷侧接型扭张断裂物理模拟及三维构造演化

Fig. 5 Physical simulation of juxtaposition transtensional faults in the Dongying Depression and their 3D structural evolution

a. 走滑量0.6 cm, 伸展量0.8 cm 侧接扭张构造物理模拟结果; b. 走滑量0.8 cm, 伸展量1.4 cm 侧接扭张构造物理模拟结果; c. 走滑量1.0 cm, 伸展量1.8 cm 侧接扭张构造物理模拟结果; d. 郝现侧接扭张构造孔店期三维演化; e. 郝现侧接扭张构造沙三期三维演化; f. 郝现侧接扭张构造沙一期三维演化

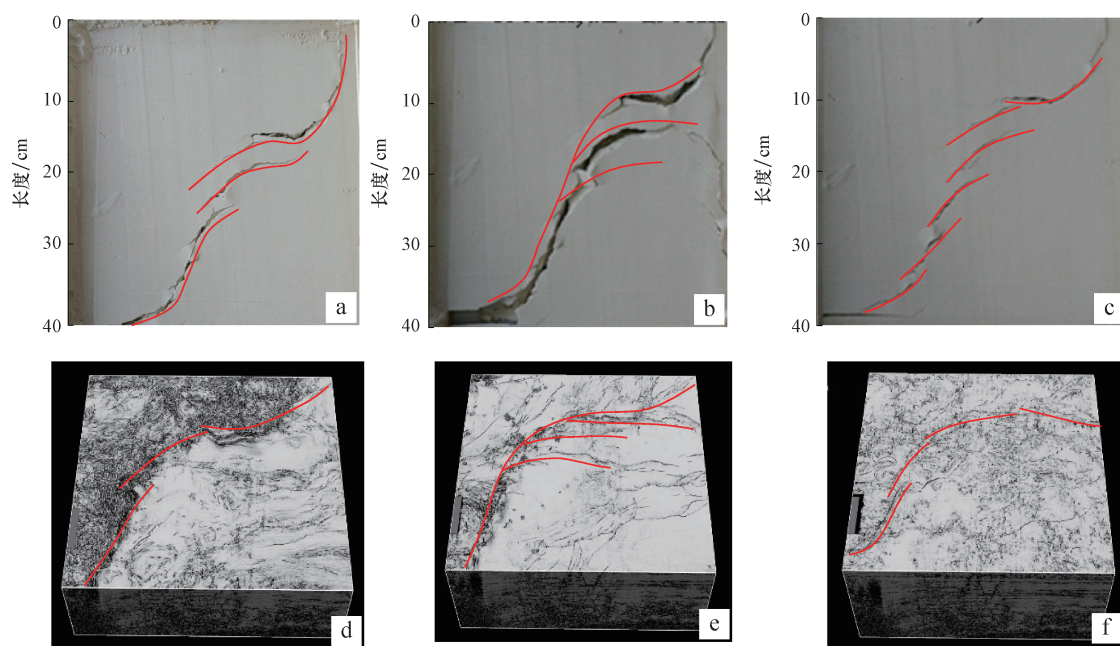


图6 东营凹陷帚状扭张断裂物理模拟及三维构造演化

Fig. 6 Physical simulation of broom-shaped transtensional faults in the Dongying Depression and their 3D structural evolution

- a. 走滑量 0.2 cm, 伸展量 0.6 cm 帚状扭张构造物理模拟结果; b. 走滑量 0.4 cm, 伸展量 1.4 cm 帚状扭张构造物理模拟结果;
c. 走滑量 0.1 cm, 伸展量 0.5 cm 帚状扭张构造物理模拟结果; d. 高青帚状扭张构造孔店期三维演化; e. 高青帚状扭张构造沙三期三维演化立体图; f. 高青帚状扭张构造沙一期三维演化

3.1 雁列式边扭边张模式

缓坡带边界断层不发育, 应力相对较小, 北东向和北西向基底断裂或者薄弱带的存在, 形成边张边扭的雁列式扭张构造。雁列式扭张构造的演化特征相对简单, 平面上基底断裂或早期伸展背景下发育的单条直线断层随着扭应力的增大, 逐渐从单条直线断层演化为雁列式断裂组合样式, 并一直持续发育。剖面上从陡直单断层向负花状构造演化。演化过程中拉张作用与走滑作用强度基本一致, 断层活动性特征表现为边张边扭的特征(图 7a)。

3.2 帚状先张后扭模式

帚状扭张断裂主要分布在盆地的陡坡带, 断裂带两侧地层差异较大, 临洼陷一盘为新生代地层, 而上升盘一般为中生代地层。帚状扭张断裂早期伸展背景下发育单条或多条断层组成的直线式或平行式构造样式。随着应力场背景的变化及断层走向变化的限制, 帚状特征逐渐开始发育, 多条断层逐级断陷向另一端收敛, 帚状散开段对应沉降中心, 形成典型的帚状构造样式。随着帚状构造样式的逐级演化, 到晚期主断裂逐级分段, 形成多条次级断层组成的雁列式构造样式。剖面上由单断式, 断阶向负花状构造样式演化。断层活动性特征表现为先张后扭。(图 7b)

3.3 侧接型先扭后张模式

侧接式扭张构造早期发育多条次级断层组成的雁列式扭张构造, 随着扭张构造的发育, 多条次级断层在同一侧逐渐连接, 形成“似主断裂”, 次级断层依次搭接形成“似帚状”构造。剖面上主要表现为断阶或负花状构造。断层演化特征先扭后张(图 7c)。

4 扭张断裂控藏作用

4.1 扭张断裂启闭耦合控藏作用

不同类型扭张断裂在时空演化上具有差异性^[19-20], 在平面及垂向上存在“增压区”与“释压区”。“释压区”的活动断层是油气运移的有利通道, 扭张沟多为物源通道, “增压区”的扭张断层与扭张脊控制了油气的聚集与成藏。勘探实践表明, 扭张断层具有启闭耦合特征, 扭张断层在时空上, 当某一时期一部分开启时, 另一部分表现为封闭的特征(图 8)。

4.2 扭张断裂的 3 种控藏模式

帚状扭张断裂发散端一般为较缓的斜坡带, 发育有扇三角洲与小型水下扇等沉积类型, 储层发育; 同时该区应力释放, 断面开启, 有利于油气的侧向运移。收

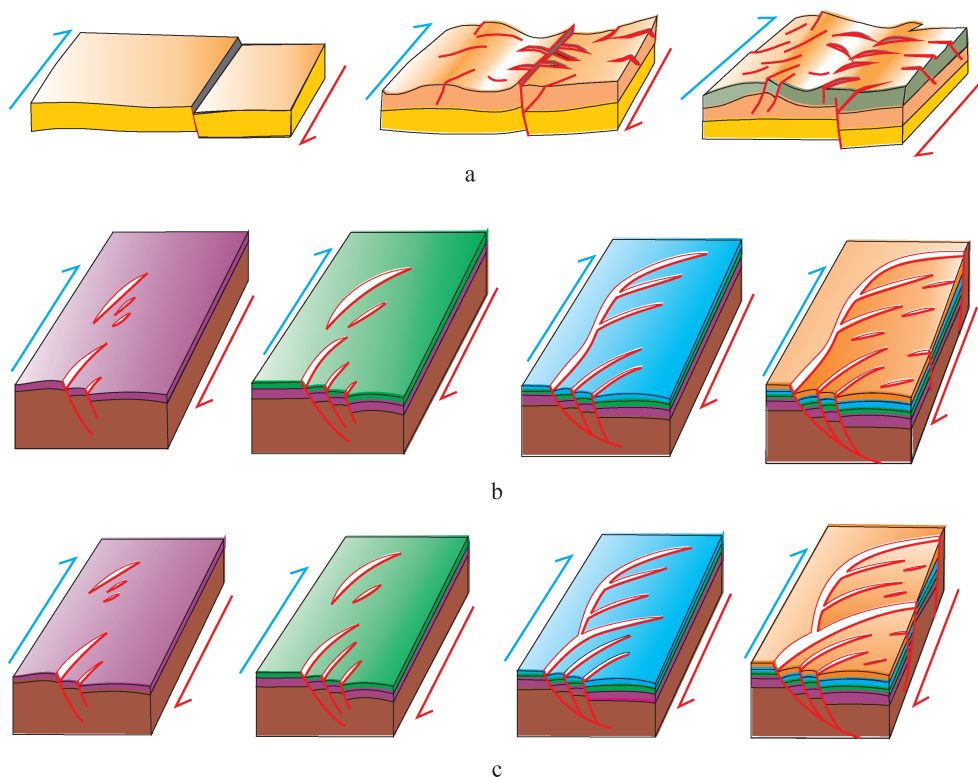


图7 东营凹陷扭张断裂演化模式

Fig. 7 Evolution models of transtensional faults in the Dongying Depression

a. 雁列扭张断裂演化模式; b. 帚状扭张断裂演化模式; c. 侧接扭张断裂演化模式

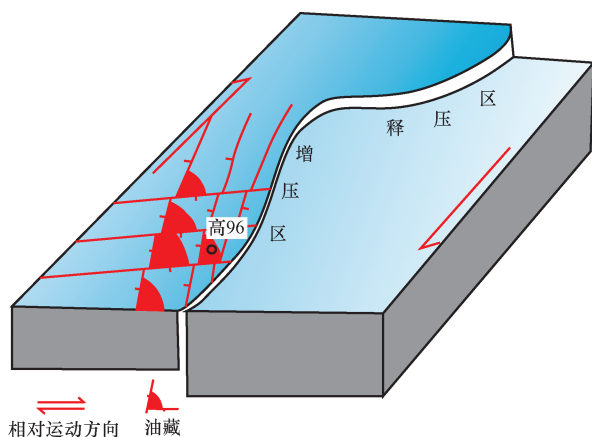


图8 东营凹陷扭张断裂启闭耦合控藏模式

Fig. 8 Model of controls over hydrocarbon accumulation with open-close coupling for transtensional faults in the Dongying Depression

敛端部位应力场特征以扭动为主,断面紧闭易形成断层侧向封堵,下倾方向往往紧邻生油凹陷,有利于来源于下倾方向的油气聚集。整体上,帚状扭张断裂带散开端开启,而收敛端相对封闭。

雁列式扭张断裂带一侧形成扭张凸起,一侧形成扭张沟谷。扭张沟谷一侧控制了储层的发育,同时应力释放,有利于油气的运移。扭张脊一侧,应力相对集

中,断层封堵性较好,同时多期断裂相互切割,形成了堑垒、切割型断块圈闭群,有利于油气的聚集成藏。

侧接扭张断裂主要发育在洼陷带,位于烃源岩的发育范围内,侧接式扭张断裂带主控的沉积类型是三角洲前缘的浊积砂体,早期发育的弧形分支断层控制了下降盘浊积砂的发育,形成了构造-岩性及岩性圈闭群。该类型油气藏油气运移距离较近,以自生自储为主(图9)。

5 结论

1) 东营凹陷扭张断裂剖面上发育3种类型的负花状构造,平面构造样式可分为帚状、雁列及侧接3种类型。

2) 东营凹陷扭张断裂活动性研究需综合考虑断裂在纵向及水平方向的活动特征,利用扭张断裂活动性综合评价表能较好地表征扭张断裂在不同时期,不同位置的纵横向活动性特征。帚状扭张断裂表现为先张后扭的特征,由单条断裂逐渐向帚状演化;侧接扭张断裂表现为先扭后张的特征,由雁列式向侧接演化;雁列扭张断裂表现为边扭边张的特征,由早期单条断裂向雁列式扭张断裂演化。

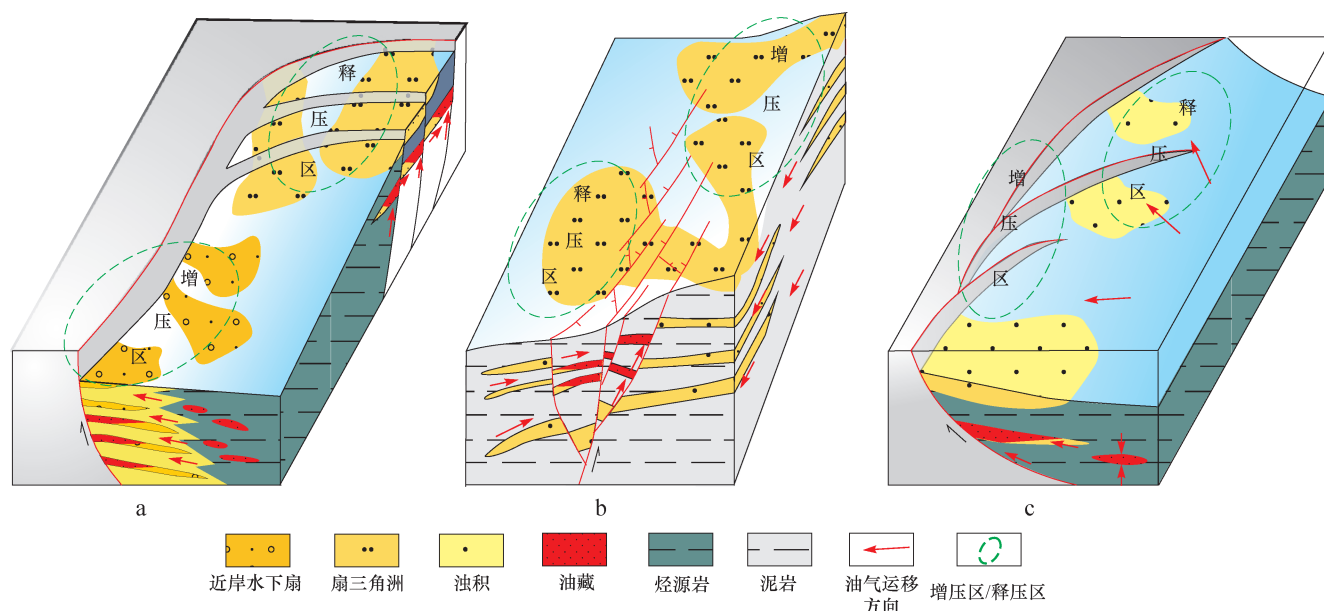


图9 东营凹陷扭张构造控藏模式

Fig. 9 Models of controls over hydrocarbon accumulation by transtensional structures in the Dongying Depression

a. 帚状两段式控藏模式; b. 雁列分割式控藏模式; c. 侧接弧形控藏模式

3) 东营凹陷扭张断层具有启闭耦合特征,扭张断层在时间-空间上,当某一时期一部分开启时,另一部分表现为封闭。受构造样式控制,扭张断裂有3种类型控藏模式,帚状散开端应力释放,储层发育,有利于油气的侧向运移;帚状收敛端应力集中,断面紧闭,利与油气聚集成藏。雁列式扭张断裂带一侧形成扭张凸起,一侧形成扭张沟谷。扭张沟谷一侧控制了储层的发育,同时应力释放,有利于油气的运移。扭张脊一侧,应力相对集中,断层封堵性较好,有利于油气的聚集成藏。侧接式扭张断裂控制了洼陷带浊积岩等类型的储层发育,形成了早期扭张断裂控储的岩性油藏成藏模式。

参 考 文 献

- [1] 戴俊生,陆克政,漆家福,等. 渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化[J]. 石油学报,1998,19(4):16-20.
Dai Junsheng, Lu Kezheng, Qi Jiafu, et al. The evolution of the Paleogene tectonic style in Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(4): 16-20.
- [2] 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 Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 816-823.
- [3] 于俊峰,夏斌,许静. 对渤海湾盆地张扭、压扭性构造的一点认识[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 473-476.
Yu Junfeng, Xia Bin, Xu Jing. An understanding of tense-shearing and compresso-shearing structures in Bohai Bay Basin [J]. Natural gas geoscience, 2006, 17(4): 473-476.
- [4] 陈海云,于建国,舒良树,等. 济阳坳陷构造样式及其与油气关系[J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 622-632.
Chen Haiyun, Yu Jianguo, Shu Liangshu, et al. The structural styles and their relation with petroleum-gas resources of the jiyang depression, [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(4): 622-632.
- [5] 严俊君,王燮培. 关于扭动构造的鉴别问题[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 9-14.
Yan Junjun, Wang Xiepei. On identification of wrench structure [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(1): 9-14.
- [6] 杨明慧,刘池阳,魏永佩. 扭张盆地的特征研究[J]. 断块油气田, 1999, 6(4): 1-4.
Yang Minghui, Liu Chiyang, Wei Yongpei. The characteristics of transtensional basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 1999, 6(4): 1-4.
- [7] 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(5): 849-856.
Wu Zhiping, Zhang Qian, 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(5): 849-856.
- [8] 蒋子文,王嗣敏,徐长贵,等. 渤海海域辽东带中南部郑庐断裂走滑活动的沉积响应[J]. 现代地质, 2013, 27(5): 1006-1012.
Jiang Ziwen, Wang Simin, Xu Changgui, et al. Sedimentary response to the strike-slip activities of Tan-lufault in central and southern parts of east Liaodong Bay area in Bohai Sea [J]. Geoscience, 2013, 27(5): 1006-1012.
- [9] 王冠民,熊周海,张健,等. 渤海湾盆地渤中凹陷油藏断裂特征及

- 对成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(1): 62 – 69.
- Wang Guanmin, Xiong Zhouhai, Zhang Jian, et al. Characterization of fault system and its control on reservoirs in the Bozhong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 62 – 69.
- [10] 唐其生. 东营凹陷断裂系统与中央构造带形成机制[D]. 浙江 杭州: 浙江大学, 2008: 1 – 41.
- Tang Qisheng. The fault system and formation mechanism of central structural zone in Dongyingsag[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008: 1 – 41.
- [11] 任建业, 张青林. 东营凹陷中央背斜隆起带形成机制分析[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 254 – 262.
- Ren Jianye, Zhang Qinglin. Analysis of development mechanism for center anticline high indongyingdepression[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 254 – 262.
- [12] 魏洪涛, 李伟, 杨智峰, 等. 青东凹陷新生代构造应力场特征及其与油气运聚的关系[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(3): 273 – 277.
- Wei Hongtao, Li Wei, Yang Zhifeng, et al. The Cenozoic tectonic stress field characteristics and relationship of hydrocarbon migration and accumulation in Qingdongsag in southeastern Bohai Bay basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(3): 273 – 277.
- [13] 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔北隆起北部中生界张扭性断裂系统特征[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 19 – 24.
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristic and petroleum accumulation in extensional-shear fault system in Mesozoic-cenozoic formations in the northern area of Tabei uplift, Tarim[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 19 – 24.
- [14] 李红南, 刘伟, 蔡传强, 等. 豫冀鲁不同级序旋扭构造体系和油气富集规律[J]. 地质力学学报, 2009, 15(4): 386 – 392.
- Li Hongnan, Liu Wei, Cai Chuanqiang, et al. Rotational shear tectonic systems in different levels and their relation to hydrocarbon enrichment rules[J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15(4): 386 – 392.
- [15] 王光付, 王端平, 单家增. 东营凹陷辛镇构造复杂低级序断裂体系形成的构造物理模拟实验[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 18 – 20.
- Wang Guangfu, Wang Duanping, Shan Jiazeng. Structural modeling experiments of complex low grade fracture system in the Xinzhen structure, Dongying Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 18 – 20.
- [16] 许淑梅, 马云, 王金铎, 等. 东营凹陷中央隆起带西段“帚状生长断层系”发育特征及成因机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(6): 75 – 81.
- Xu Shumei, Ma Yu, Wang Jinduo, et al. Characteristics and genetic mechanism of “Broom-like syn-depositional faults” in west segment of central uplift belt in Dongying Depression[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2011, 31(6): 75 – 81.
- [17] 李雪, 吕宝凤, 夏斌. 八面河地区新生代构造变形与孔店组油气成藏[J]. 天然气工业, 2005, 26(2): 29 – 31.
- Li Xue, Lv Baofeng, Xia Bin. Cenozoic tectonization and hydrocarbon reservoiring of kongdian formation in bamianheregion[J]. Natural Gas Industry, 2005, 26(2): 29 – 31.
- [18] 胡明, 姜宏军, 付广, 等. 似花状断裂密集带富油差异性—以渤海湾盆地南堡凹陷中浅层为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(4): 528 – 537.
- Hu Ming, Jiang Hongjun, Fu Guang, et al. Characterization of petroleum pooling patterns in dense flower-like fault belts: Taking the middle and shallow layers in Nanpu Sag of Bohai Bay Basin as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(4): 528 – 537.
- [19] 柳屿博, 黄晓波, 徐长贵, 等. 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[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(1): 20 – 29.
- Liu Yubo, Huang Xiaobo, Xu Changgui, et al. Characteristics of S-shaped strike-slip transfer zones and quantitative analysis of their influence on hydrocarbon accumulation in Liaoxi structural belt, Bohai Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(1): 20 – 29.
- [20] 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 等. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 878 – 888.
- Deng Shang, Li Huili, Zhang Zhongpei, et al. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878 – 888.

(编辑 董立)