

莱州湾凹陷东北洼“走滑-伸展”复合断裂 控藏机理及勘探启示

石文龙,牛成民,杨波,王利良,邓辉,王航,张德龙

[中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津300452]

摘要:研究区位于莱州湾凹陷东北洼,郑庐走滑断裂的东支南段,受北东向走滑应力与南北向拉张构造应力共同控制。通过对“走滑-伸展”复合应力区的断裂展布特征及其构造演化进行分析,明确了KL6A区块主要受伸展应力控制,继承性伸展控圈断层和走滑压扭应力共同作用形成的断背斜是最为有利圈闭类型,位于走滑主应力带的KL6B和KL6C区块在走滑增压段发育的背斜、断背斜圈闭保存条件最为优越。依据研究结果,提出了“压扭控圈、张扭控运”走滑断裂差异控藏认识,明确了走滑主断层张扭段为油气向斜坡区运移的主要通道,较好地解决了油气是否能通过主走滑断层向斜坡区供给问题,实现了斜坡区勘探突破。此外,还建立了“油源、断层、圈闭”三元控藏模式,认为已发现的油气藏可以作为油气运移中转站向更高层位的圈闭供给油气,该认识成功实现斜坡区勘探层系的转移,在原来认为运移条件差的东营组顶部圈闭发现油气富集块,获得较大勘探发现。

关键词:构造演化;成藏模式;郑庐走滑带;莱州湾凹陷;渤海海域

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Mechanism of “strike-slip-extensional” composite faults-controlled hydrocarbon accumulation in the northeastern Laizhouwan Sag, and its enlightenment for exploration

Shi Wenlong, Niu Chengmin, Yang Bo, Wang Liliang, Deng Hui, Wang Hang, Zhang Delong

(CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: The study area, jointly controlled by the NE-trending strike-slip stress and the NS-trending extensional tectonic stress, is located in the northeastern Laizhou Bay Sag, and the southern eastern branch of the Tanlu strike-slip fault zone. Analysis of the fault distribution and structural evolution of the composite stress zone reveals that KL6A block is mainly controlled by extensional stress; that the most favorable trap is faulted anticline formed jointly by the inherited extensional fault controlling traps and the strike-slip transpressional stress; and that the anticline and faulted anticline trap, developed at the strike-slip pressure buildup section of KL6B and KL6C blocks situated in the major strike-slip stress zone, are the most favorable areas for hydrocarbon preservation. Thereafter, we put up an innovative concept of differential reservoir-controlling effect of strike-slip faults, featuring “transpression press-controlled trap, transtension stress-controlled hydrocarbon migration”. The transtensional segment of the strike-slip faults serves as the main path for oil-gas migration, making a breakthrough in the exploration of slope areas. In addition, a ternary reservoir-controlling model of “Source-Fault-Trap” is established, and it is believed that the discovered oil-gas reservoirs can act as transfer stations for further migration up to traps of even higher horizons, facilitating the exploration of slope zones. Blocks of hydrocarbon enrichment are discovered in the top traps of the Dongying Formation, which was originally considered to be poor in migration conditions, marking a major breakthrough in oil-gas exploration.

Key words: tectonic evolution, hydrocarbon accumulation model, Tanlu strike-slip zone, Laizhou Bay Sag, Bohai Sea

随着渤海海域渤南探区勘探程度的不断提高,渤南探区储量探明程度超过40%,储量发现率达到

60%,规模型勘探发现难度越来越大。目前,在边缘洼陷勘探程度相对较低,是取得规模型油田突破的重要

收稿日期:2018-05-03;修订日期:2019-05-04。

第一作者简介:石文龙(1980—),男,高级工程师,石油地质。E-mail:shiwl@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05024-023)。

潜力区域,但是存在一定的勘探难题,风险较大。莱州湾凹陷东北洼为受郯庐走滑断裂与近东西向伸展断裂共同控制的一个边缘洼陷^[1-6],初期预探揭示较好的勘探潜力,但在初期评价遇到瓶颈,沉寂多年未取得规模突破。归结起来主要面临三方面的难题。首先,该区域受走滑-伸展双重构造应力控制,影响有效圈闭的落实与优选;其次,走滑主断层油气运移控制作用认识尚不完善,传统认为走滑主断裂只起封堵作用,油气能否通过主走滑断层向斜坡区运移是斜坡带下步展开目标评价的关键;再次,以伸展为主的区域与以走滑应力区油气富集机制具有明显差异性,如何在复杂构造区寻找高丰度油气富集块是高效评价的关键。本文从成因机制入手,深化走滑主断裂控藏认识,提出了“油藏、断层、圈闭”三元控藏模式,有效地指导了 KL6 油田成功的评价。

1 构造演化特征

1.1 断裂发育特征

研究区位于莱州湾凹陷东北洼及其东侧斜坡区

(图1),构造位置处于郯庐走滑中段东支南端,该构造区除了受郯庐断裂^[7-11]东支走滑应力作用外,同时还受南北方向的伸展构造应力作用。郯庐走滑断裂在研究区分为3条分支断裂(F1,F2,F4),3条走滑断层把研究区分为KL6A,KL6B和KL6C三个构造区块。最西侧的走滑断层F1分隔KL6A和KL6B两个区块,在KL6A区块,主要以近东西向伸展断层为主,自北向南以F9,F8,F6为分界形成3个断阶带;KL6B区块夹持于F1与F2两个分支走滑断裂之间,同时在该区块的南侧仍受南北向伸展应力影响较大,在走滑挤压与南北向伸展作用共同控制下形成了断背斜圈闭,例如KL6B-1井区圈闭的形成;KL6C区块主要受F2和F5(F4)断层控制,其中F5断层在北段表现为走滑特征,到南端后转化边界伸展断层。由于这种构造圈闭形成机制的独特性,导致了KL6油田具有东西分带,南北分块的差异成藏的油气富集特点,主要富集区块分布在KL6A-1井区的东营组与沙河街组和KL6B区块的东营组,斜坡区的KL6B区块成藏层位——东营组位置更加靠上(图2)。

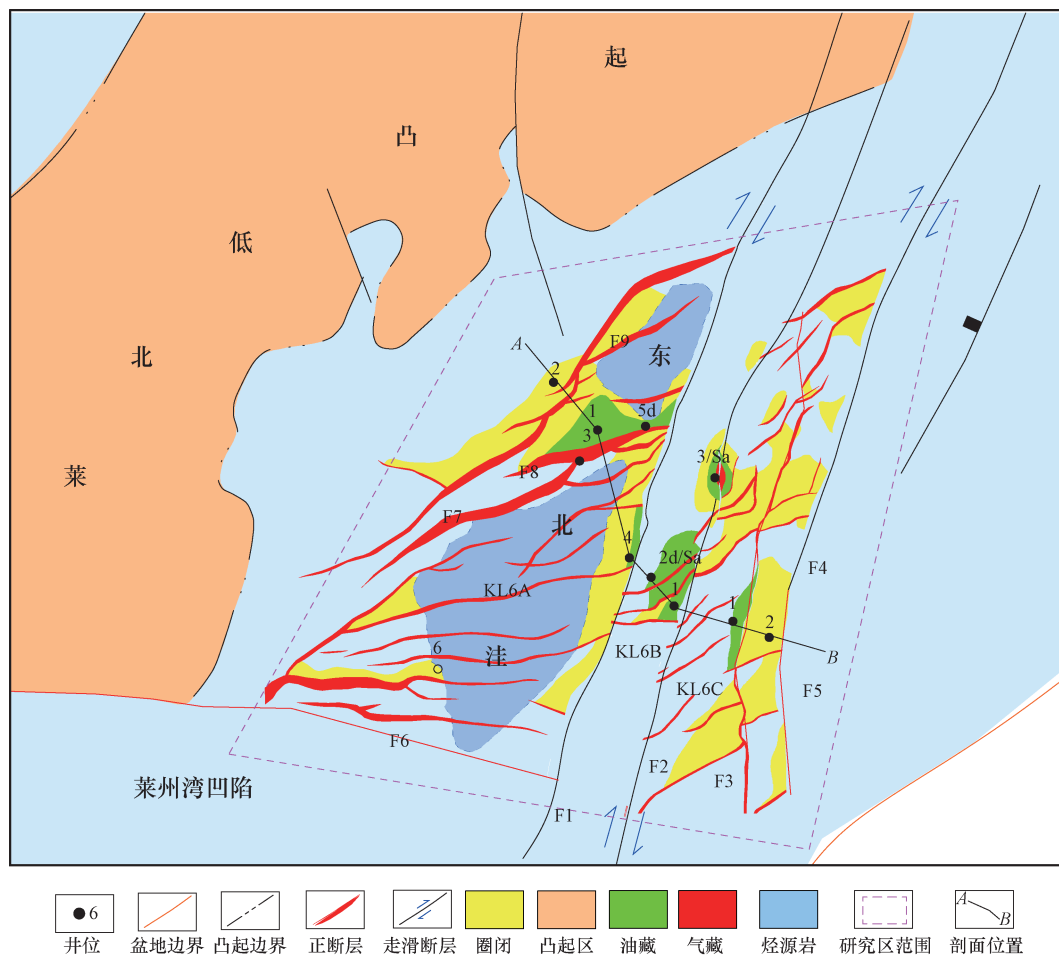


图1 莱州湾凹陷 KL6 油田构造单元划分示意图

Fig. 1 A sketch map showing the structural units of KL6 oilfield in Laizhou Bay Sag

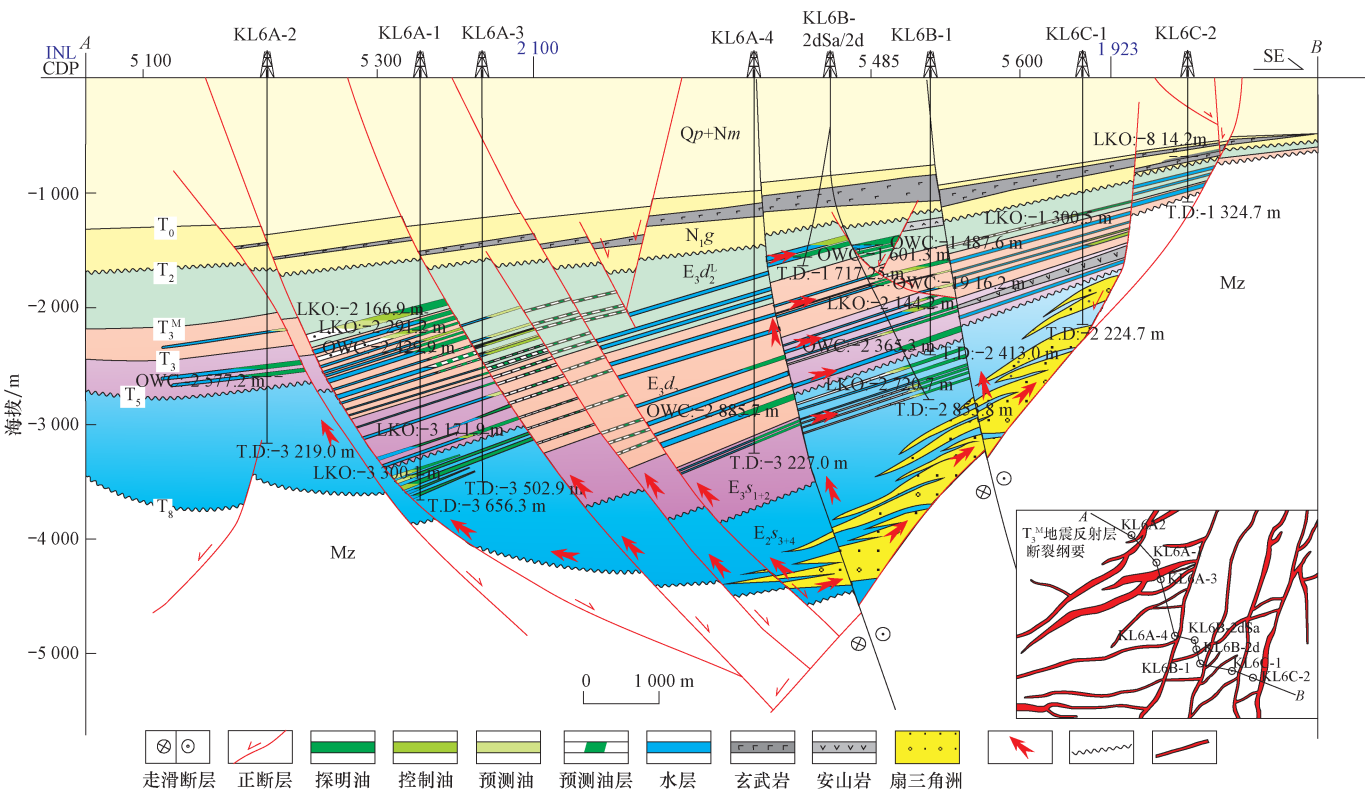


图2 莱州湾凹陷 KL6 油田东西向油藏剖面

Fig. 2 The EW-trending profile of the reservoir in KL6 oilfield, Laizhou Bay Sag

LKO. 油底; T. D. . 完钻深度; OWC. 油水界面

1.2 构造演化特征

1.2.1 走滑断裂带构造演化特征

走滑构造活动是从基底向盖层扩展式发展的,盖层的破裂首先是从雁列的剪张性破裂开始,随着走滑活动的逐渐增强使得雁列的剪张性破裂逐渐贯通,从而形成走滑断裂带。研究区受郯庐东支走滑断裂带施加的右旋剪切作用力控制,利用沙箱物理实验模拟右旋走滑断裂的形成过程,结果显示:基底沿 NNE 向断裂右旋走滑,最初在盖层产生了一系列 NE-SW 向小断层,小断层沿主滑动方向(NNE)呈雁行排列;随着基底走滑位移量的增加,雁行断裂的密度增加,直至产生主滑动断面,次级断裂在主滑动面两侧呈羽状排列,走滑过程中还伴随有局部 NE-SW 向挤压(图3)。研究区走滑断裂平面展布并非呈一条直线,而是呈“S”形弯曲,为了明确“S”形走滑带不同位置的构造变形差异,在设置东盘单侧走滑、西盘南侧为受限边界的基础上,又设置了主体走向平行于主走滑带的“S”形先存断层,模拟结果显示(图4)。

①“S”形先存断裂复活;②走滑所产生的新的断裂体系主动盘更发育,且与主断裂形成帚状体系,被动盘次级断裂发育弱,相对与

F1 断层, KL6A 区块为主动盘,而 KL6B 区块为被动盘;③“S”形走滑断裂的中间弯曲段产生挤压褶皱,且断面紧闭,属压扭性质,“S”型断裂凹面产生具有张扭性质次级断裂,在凸面主走滑断裂带压扭性进一步增强,相对于 F2 走滑断层, KL6C 区块为主动盘。因此,正确识别走滑断层两盘相对运动关系和次级断层的性质对油气运聚成藏的研究具有重要意义。

1.2.2 走滑-伸展复合区构造演化特征

在新生代初期,受到南北向伸展应力作用, KL6A 区块沿南北走向上形成 3 个断阶带雏形,同时郯庐断裂带右行走滑开始活动,在研究区产生 T 破裂和 R 破裂,进一步将研究区分割为多个断块。随着走滑活动的持续进行, T 破裂持续增大,一系列 T 破裂形成反向遮挡的多米诺断块群,与此同时,断块群受挤压应力作用形成一些宽缓褶皱或者单斜构造,其轴向与正断层走向垂直,相互作用形成反向遮挡断背斜或单斜圈闭。由于在时间上,挤压与伸展作用是同步的、持续的,因此作为响应,挤压应变与伸展应变均是持续的、递进的,形成的构造圈闭亦具有继承性,如相同断块古近系为背斜圈闭时演化至新近系仍为背斜圈闭,相同断块古近系为断块圈闭时演化至新近系仍为断块圈闭,其

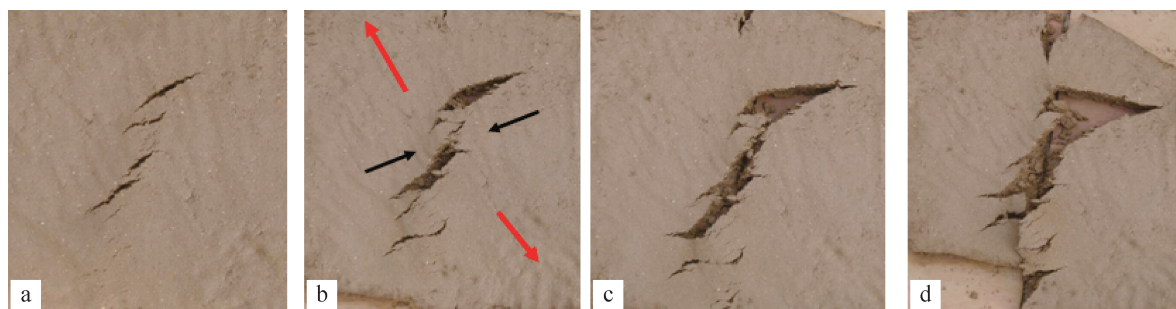


图3 没有施加约束条件下的右旋走滑物理模拟

Fig.3 Physical modeling of dextral strike-slip with no constraints

a. 走滑量:2 cm;b. 走滑量:3 cm;c. 走滑量:5 cm;d. 走滑量:6 cm

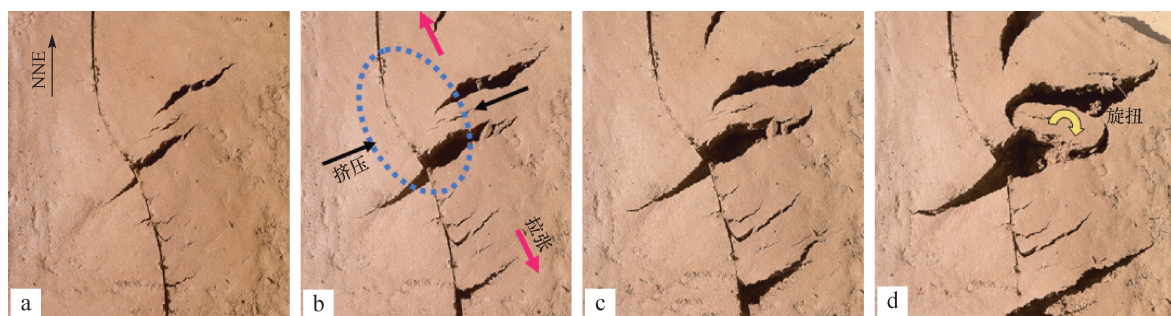


图4 西盘受限、预设 NNE 向“S”断裂条件下的右旋走滑物理模拟

Fig.4 Physical modeling of dextral strike-slip under assumption of NNE-trending S-shaped fault with constraints on its west side

a. 走滑量:2 cm;b. 走滑量:4 cm;c. 走滑量:6 cm;d. 走滑量:8 cm

差距仅表现在应变在时间的积累效应上,即从深至浅背斜幅度依次减小。

2 断层差异控藏机理

2.1 构造应力机制控制圈闭类型与分布规律

由于 KL6A 区块与 KL6B 区块的主应力性质不同,圈闭的类型及其分布具有明显的差异^[12]。在以伸展断裂主控的 KL6A 区块,受早期南北向伸展应力作用产生了多个近 EW 与 NE 走向的主伸展断裂(F6, F7, F8),这些断裂基本奠定了现今的构造格局。NNE 向走滑应力形成的 NE-SW 向挤压应力分量作用于断块上,形成了多个轴向为 NNW 向的断背斜圈闭,NE 走向的伸展断层为其控圈边界断层,同时也是重要的封堵断层,如 KL6A 构造 1 井区及 6 井区等(图 1),其封堵作用的强弱对油气成藏具有重要的作用。

在走滑应力主控的 KL6B 区块,若右行走滑断层在平面上呈现出“S”形态,则该段走滑断层具有压扭性质,常发育背斜与断背斜圈闭。由于走滑两侧挤压应力的对称性,此类背斜大多由对称分布在走滑断层两侧的半背斜组成,如 KL6B-3 井区(图 5)。如果挤压变形发生在断块边部,则形成墙角断背斜,NEE 向

正断层和主走滑断层共同控制其边界,如 KL6B-1 井区和 KL6C-1 井区。

综合圈闭形成主控应力机制、主控断裂晚期活动强度和圈闭形态等因素,研究区内主要圈闭可以分为 I, II 和 III 三类。I 类圈闭条件最好,主要分为两种类型,一种是在伸展为主的 KL6A 区块,主控断层断距较大为长期继承活动断层,具有较好的封闭性;另一种是位于走滑主控区域,如 KL6B 区块的 3 井区,主要是受走滑增压作用形成的背斜圈闭,保存条件最好。II 类保存条件次之,主要分为两种:一种是主控断层为东西向伸展断层的断背斜圈闭,断层活动性较弱,断距较小,两盘储层对接的风险较大,侧封性相对较弱,如 KL6A 区块的①号块与④号块等;另一种是受控与走滑断裂的走滑增压段和伸展断裂共同控制,如 KL6A 区块的⑤号块, KL6B 区块的①,②和③号块等。III 类圈闭,主要是受走滑断裂释压段和伸展断层共同控制,保存条件具有一定的风险,如 KL6A 区块的③号块, KL6C 区块的⑥号块等。

2.2 “断-排”耦合关系控制油气富集层位

断裂活动期^[13-22]与烃源岩大规模排烃期的耦合程度的高低,是油气能否进入有效圈闭并聚集成藏的

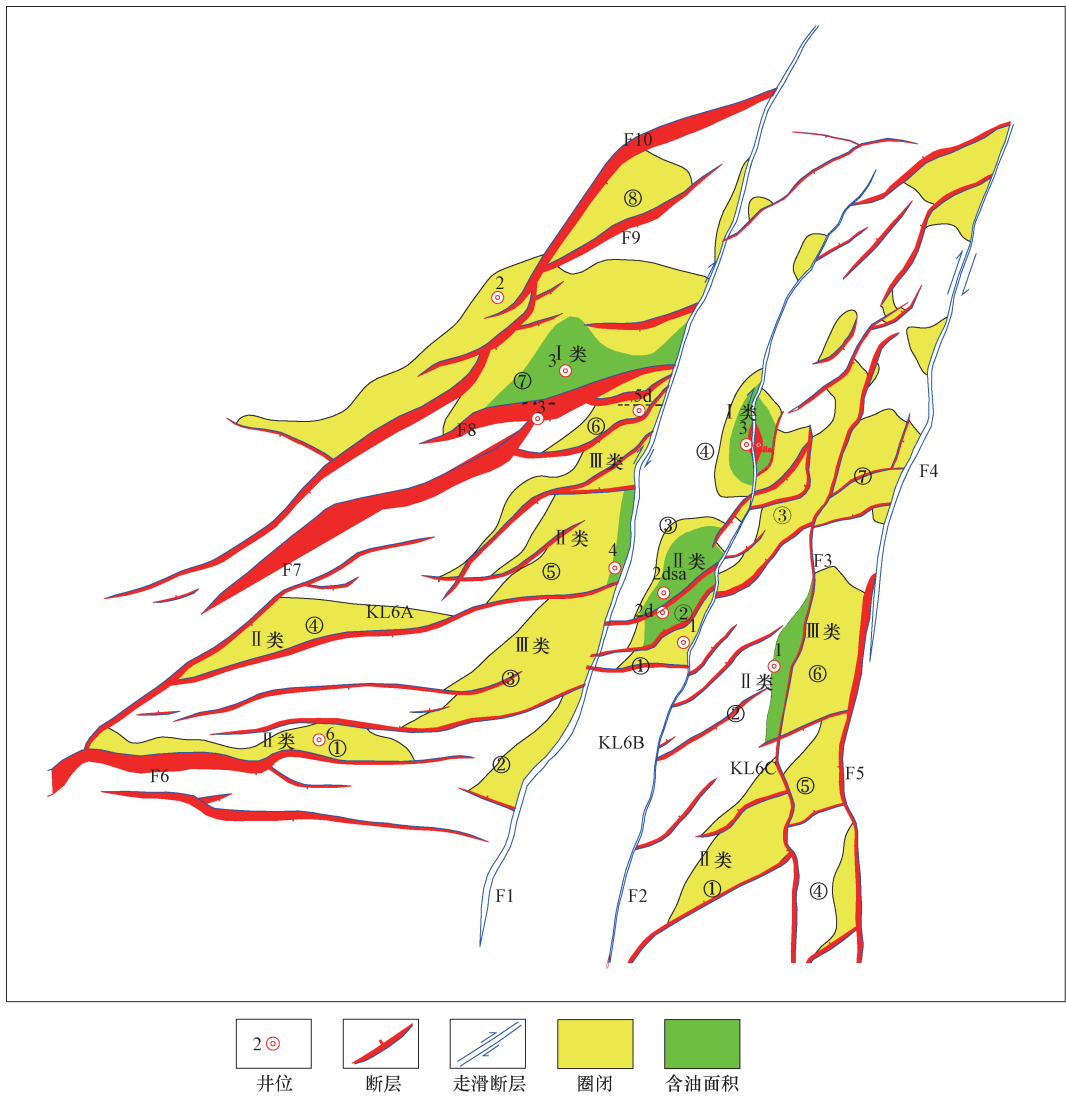


图 5 莱州湾凹陷莱东走滑斜坡区有利构造圈闭分布

Fig. 5 The distribution of favorable structural traps in the Laidong strike-slip slope zone of Laizhou Bay Sag

关键。在烃源岩大规模排烃时期,断层的活化对油气的运移是十分有利的,在成藏期以来,继承性活动的断层可以作为良好的油气输导通道。因此,在烃源岩大量排烃期活动断裂断至的层位对油气成藏的层位具有明显的控制作用。

研究表明,KL6 构造区主要成藏期为 5Ma 年以来,KL6A 区块的 EW 向伸展断层晚期活动性在南北两侧存在一定的差异性。在北侧 KL6A-1 和 KL6A-3 井区,晚期断裂活动性比南侧明显要强,几个先存伸展断裂在原有断层基础上继承性活动,在剖面上表现出断距相对较大;而在南侧 KL6A-6 井区,早期断层继承性活化的相对较少,5Ma 以来的断层活动性整体相对较弱,大部分断层活动终止于明下段以前(12Ma),在剖面上表现为断距相对较小。这种南北断裂活动的差异性,也导致南北两侧成藏层位的差异。在北侧 KL6A-1 井区,油气在非烃源岩层系的东营组显示十分活跃并富

集成藏。位于南侧的 KL6A-6 井,在东营组具有较好的圈闭条件且处于油气运移的低势区,但是由于晚期断裂活动性弱,该井在东营组没用见到油气显示。这充分说明断层活动期次与烃源岩排烃高峰期的时间匹配关系是油气成藏的关键因素。而在斜坡区的 KL6B 和 KL6C 区块,走滑断层对油气成藏起到主要的控藏作用。这是因为断裂走滑的时期相对较晚,大多走滑断层都断至基底,这对主要靠走滑断层运移的构造圈闭是十分有利的。KL6B 和 KL6C 区块油气成藏层位已上移至馆陶组底部,而 KL6A 区块最浅成藏层系是在东二段底部。钻探结果充分表明,油气成藏层系和断裂活动期次具有较好的对应关系,整体具有南北、东西差异富集的特点。

2.3 断裂的性质影响油气运移效率

近年来,走滑断裂控藏机理在渤海海域取得较大

的进展,并获得较好的勘探成效。传统认识认为:走滑断层具有良好的封堵性质,走滑增压带有利于形成大型构造圈闭,是油气保存的有利场所;走滑调节断裂及释压型走滑转换带是油气运移的有利通道,走滑断层本身不具有油气运移作用。研究区主要供烃洼陷位于KL6A区块(图1),位于斜坡区的KL6B与KL6C区块成藏的关键是油气能通过走滑断层运移至斜坡区圈闭中。走滑断层起油气运移作用,在渤海的勘探实践中还没有先例。本次研究从走滑断层形成机制入手,并结合断层应力分析,提出“压扭控圈、张扭控运”差异控藏机制,认为走滑断层对油气控制作用具有分段性,其中张扭段具有油气运移作用,该认识拓展了有效勘探区带,为油田后期评价开辟了新的战场。

断裂在油气运聚成藏过程中具有双重作用,一方面可为油气由深层向浅层运移提供输导通道,另一方面又为油气聚集成藏提供封堵条件,而断裂的输导和封堵作用受多重因素影响,其中断层两盘构造应力是压性(压扭性)或是张性(张扭性)对断裂的控藏作用起到关键性的影响。压性断层是在挤压应力作用下形成,断面紧闭程度高,值得注意的是其形成后的应力松弛阶段产生的弹性回跳作用明显,这种应力释放可能造成张性裂隙,不利于断层的封闭;张性断层为张应力的产物,断裂带内存在一定比例的断层角砾岩,油气容易渗漏;走滑断层为扭应力的产物,在滑动的过程中,断层两盘的岩体长距离地相对错动、紧密摩擦和研磨,往往在断面上形成大量的断层泥,在纵横两个方向上均能封闭油气;压扭性断层,处于压扭应力环境,主控断层具有良好的封闭作用。物理模拟实验表明,在走滑断裂的增压段,断裂处于挤压构造应力场中,呈闭合状态,且闭合程度较高。随着走滑位移量的增大,调节断裂的挤压幅度逐渐变大,断裂逐渐封闭,并出现旋扭的现象,使增压型走滑转换带具备了遮挡流体继续运移的重要条件,处于释压环境的走滑断裂,以张扭应力为主,断裂明显处于开启状态,难以阻止流体的运移,可以起到油气运移作用。

本次研究在对应力机制分析的基础上(图6a),根据主要走滑断裂剖面(图6c)与平面特征,按照应力性质的不同对走滑断裂行了分段划分(图6b)。对斜坡区起关键控藏作用的走滑断裂F1在剖面上分为3段,其中中间一段为压扭性断层,具有良好的封闭作用,KL6A-4井所在圈闭受该压扭断层的封堵,在东三段油气聚集成藏;F1断层的北段具有张扭性,是油气往斜坡区KL6A/B区块运移的输导通道。在F2走滑断裂增压段,断裂处于挤压构造应力场中,断面闭合程度

较高,断层两侧形成背斜圈闭,KL6B-3井钻探证实油气在该背斜圈闭中高丰度富集。F2断层的张扭段可以作为油气向更高台阶运移的通道。

3 “油藏-断层-圈闭”三元控藏模式及勘探意义

3.1 “油藏-断层-圈闭”三元控藏模式

在研究区KL6A、KL6B和KL6C三个构造区块中,KL6A区块位于洼陷区,供烃条件较好,是最先取得突破的区块,但随着钻勘探进程的不断推进,KL6A区块的勘探潜力越来越有限。位于斜坡区的KL6B和KL6C区块是下一步勘探的潜力区带,然而要想在斜坡区取得规模型勘探突破,面临三方面难题。一是莱州湾东北洼的有效烃源岩主要分布在KL6A区块,而位于斜坡区的KL6B与KL6C区块烃源岩成熟度较低供烃能力十分有限,因此影响该区块成藏的关键因素是油气能否通过走滑断层F1向斜坡区运移。二是莱州湾东北洼主要供烃层位为沙河街组,烃源岩生成的油气首先在沙河街组圈闭中聚集,例如KL6A区块的1、4井区的沙河街组,而4井区圈闭控圈走滑断层南段为张扭性质,油气的保存能力有限,油气除了部分在4井区沙河街组成藏外,大部分直接向斜坡区KL6B与KL6C区块沙河街组继续运移,而供给斜坡区东营组圈闭的油气数量有限,如何解决油气向KL6B区块东营组圈闭输导存在一定的困难。三是已钻井油层分布情况揭示,KL6A区块的最高成藏层位是东二下段的底部,而KL6B区块的圈闭主要发育在东营组顶部,层位越往下圈闭面积越小,如果含油层系不上移,该区块勘探潜力就十分有限了,油气成藏层位是否上移也是一个需要解决的难题。

基于面临的这些难题,本次研究提出了“油藏-断层-圈闭”三元控藏模式(图7)。“油源”:现在已经钻探证实的油气富集区带,无论是烃源岩层系还是非烃源岩层系,只要已经发现了油气藏,就表明它是一个油气汇聚区,具有很好的运聚条件,这样的油气藏是具有动态平衡作用的,烃源岩生成的油气还会不断的向该区域汇聚,如果圈闭条件较好,油气就会规模成藏,如果圈闭有效性差成藏规模相对会小,但都可以起到中转站的作用,向低势区圈闭提供油气供应。该项地质认识最重要的作用在于即使目标圈闭不与有效烃源岩连接,只要高势区有油气藏,无论是否在烃源岩层系,都可以得到有效的油气供给。“断层”:与成藏期相匹配的活动断层(断裂带)。在成藏期新产生或原

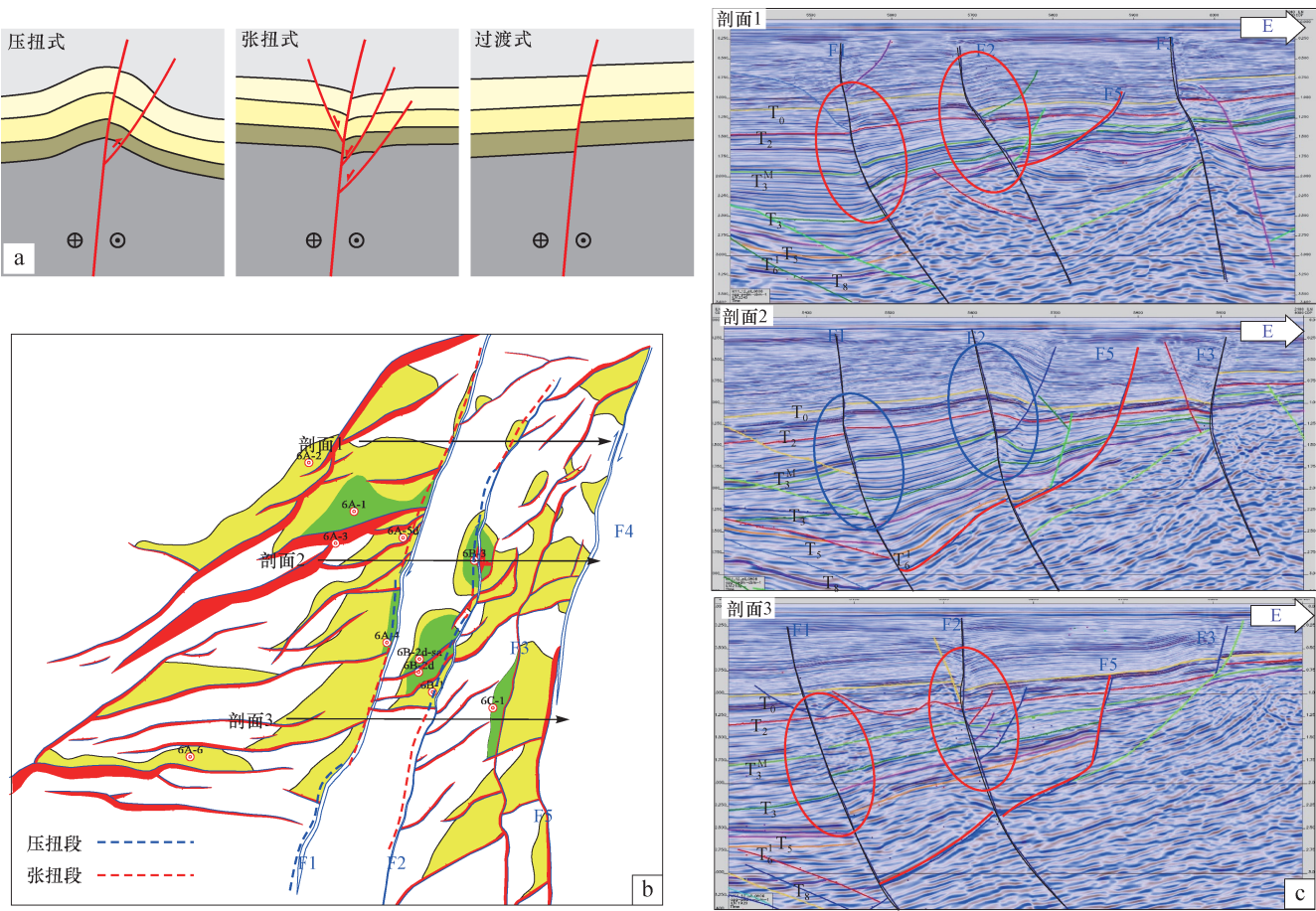


图6 莱州湾凹陷莱东走滑斜坡区走滑断裂分段特征

Fig. 6 Segmentation characteristics of strike-slip faults in the Laidong strike-slip slope zone of Laizhou Bay Sag

a. 不同走滑应力作用地层变形模式;b. 不同断裂性质平面分布;c. 不同走滑应力作用剖面特征

来已经存在,在成藏期重新活化连接供源区与目标圈闭的断层。“圈闭”:通过活动断层与较高流体势连通的有效圈闭。有效的圈闭(构造或岩性),具有较好的储盖组合条件,能使高势区运移过来的油气得以很好的保存。

油气成藏是一个动态平衡的过程,KL6A 区块1 井区在东营组是油气主要富集层段,表明该井区东营组圈闭是油气的汇聚区,在东营组油藏的溢出点以及保存条件不好的层段的油气可以继续向低势区运移,因此,位于构造位置更高的 KL6B 区块东营组顶部圈闭,虽然不能直接从沙河街组烃源岩接收油气供应,但可以从 F1 断裂西盘的 KL6A 区块东营组油气藏这一“中转站”得到充足的油气供给,最终,KL6B 区块的 3 井区在东营组顶部钻遇百余米油气层,发现新的油气富集块,证实了该成藏模式的正确性。

3.2 勘探意义

“油藏-断层-圈闭”三元控藏模式具有很好的推广应用前景,可以有效的指导勘探部署^[22]。首先,

在非烃源岩层系尤其是新近系,如果发现油气富集区块,表明该区域油气运移条件优越,可以围绕富集块周边展开滚动勘探,圈闭类型可以以多种形态存在;其次,如果在非烃源岩层系发现了油气富集区,在深层肯定存在油气汇聚带为其提供充足的油气供给,因此,可以沿着浅层富集带的有效活动断层下方开拓新的勘探层系。例如研究区,在 KL6B 区块的 3 井区已经证实了为油气富集块,表明该井区为油气有效汇聚区,而位于其东侧具有相同构造高部位的圈闭,虽然距离供烃洼陷较远,3 井区油气藏可以作为油气“中转站”为东侧相邻圈闭提供充足的油气供给,表明在 3 井区侧相临圈闭仍具有较大的勘探潜力,可继续展开滚动勘探工作。

4 结论

1) 研究区主要受控走滑-伸展两种构造应力,KL6A 区块主要是受伸展应力控制同时叠加走滑挤压分量,伸展与走滑压扭分量叠加区是有利圈闭发育区

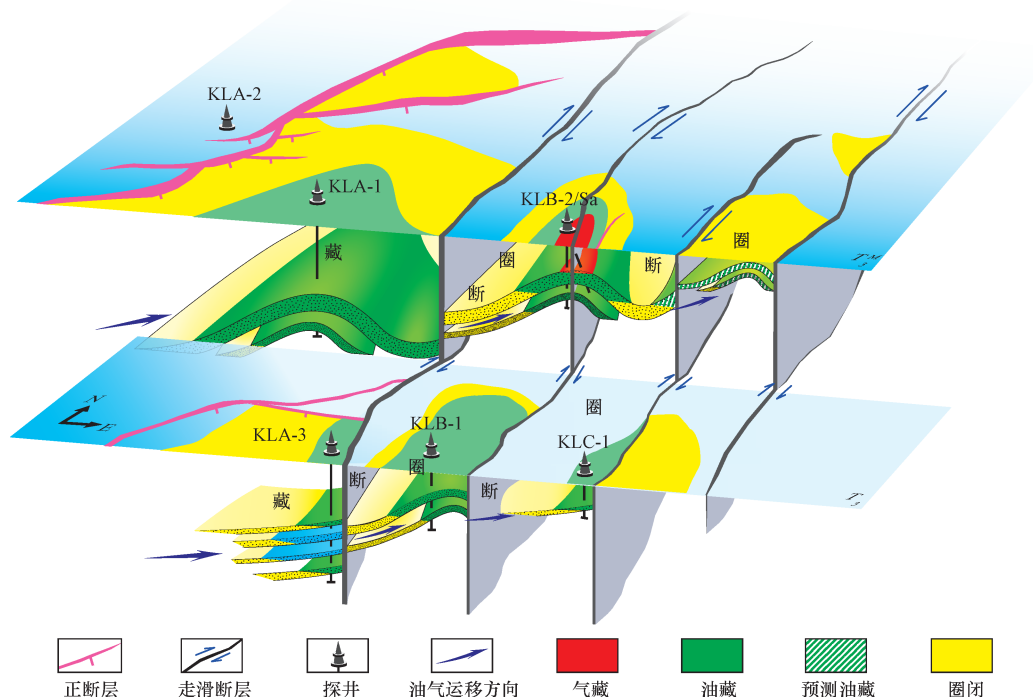


图7 莱州湾凹陷 KL6 油田“油源-断层-圈闭”三元控藏模式

Fig.7 The ternary reservoir-controlling model of “Source-Fault-Trap” in KL6 oilfield of Laizhou Bay Sag

域;KL6B 与 KL6C 区块主要受走滑应力控制的,在走滑增压区容易形成良好的构造圈闭。

2) 走滑主断层具有差异控藏作用,在走滑张扭段,可以作为良好的运移通道,向低势区圈闭提供有效的油气输导,在走滑压扭段,一般形成具有良好的保存条件的背斜与断背斜圈闭。

3) “油藏-断层-圈闭”三元控藏模式的建立,表明了目前已经发现的非烃源岩层系油气藏也可以向低势区有效圈闭提供充足的油气供给,有效的扩大了勘探的区域。

参 考 文 献

- [1] 彭文绪,辛仁臣,孙和风,等. 渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化[J]. 石油学报,2009,30(5):654-660.
Peng Wenxu, Xin Renchen, Sun Hefeng, et al. Formation and evolution of Laizhou Bay Sag in Bohai Bay[J]. Acta Petroli Sinica, 2009, 30(5):654-660.
- [2] 孙和风,周心怀,彭文绪. 莱州湾凹陷油气成藏动力学特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2009,24(4):27-34.
Sun Hefeng, Zhou Xinhui. Dynamic characteristics of the hydrocarbon accumulation in Laizhouwan Sag[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2009, 24(4):27-34.
- [3] 黄雷,王应斌,武强,等. 渤海湾盆地莱州湾凹陷新生盆地演化[J]. 地质学报,2012,86(6):867-876.
Huang Lei, Wang Yingbin, Wu Qiang, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Laizhouwan sag in Bohai Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(6):867-876.
- [4] 牛成民. 渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):424-431.
Niu Chengmin. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Laizhouwan depression in southern Bohai Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3):424-431.
- [5] 蔡东升,罗毓辉,姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. 石油学报,2001,22(2):19-25.
Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Yao Changhua. Strike-slip and pull-apart structure study and its significance to petroleum exploration on LaiZhouWan Sag, Bohai area[J]. Acta Petroli Sinica, 2001, 22(2):19-25.
- [6] 漆家福,周心怀,王谦身. 渤海海域中郑庐深断裂带的结构模型及新生代运动学[J]. 中国地质,2010,37(5):1231-1242.
Qi Jiafu, Zhou Xin huai, Wang Shiqian. Structural model and Cenozoic kinematics of Tan-Lu deep fracture zone in Bohai Sea area[J]. Geology in China, 2010, 37(5):1231-1242.
- [7] 朱光,刘国生,牛漫兰,等. 郑庐断裂带的平移运动与成因[J]. 地质通报,2003,22(3):200-207.
Zhu Guang, Liu Guosheng, Niu Manlan, et al. Transcurrent movement and genesis of the Tan-Lu fault zone[J]. Regional Geology of China, 2003, 22(3):200-207.
- [8] 万天丰,朱鸿. 郑庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时期[J]. 高校地质学报,1996,2(1):14-27.

- Wan Tianfeng, Zhu Hong. The maximum sinistral strike-slip and its forming age of TanCheng-LuJiang fault zone[J]. Geological Journal of Universities, 1996, 2(1): 14-27.
- [9] 徐嘉伟, 马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316-324.
- Xu Jiawei, Ma Guofeng. Review of ten years (1981-1991) of research on the TanCheng-LuJiang fault zone[J]. Geological Review, 1992, 38(4): 316-324.
- [10] 严俊君, 马前贵. 渤海海域的郯庐能够断裂及含油气盆地的发育[J]. 地质论评, 地球科学—中国地质大学学报, 1992, 17(1): 31-38.
- Yan Junjun, Ma Qiangui. The Tan Cheng-LuJiang wrench fault system in Bohai area[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1992, 17(1): 31-38.
- [11] 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.
- [12] 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): 1-5.
- Deng Yunhua. Control of Neotectonism along TanCheng-LuJiang fracture zone on hydrocarbon accumulation the eastern Bohai sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2001, 15(5): 1-5.
- [13] 石文龙, 张志强, 彭文绪, 等. 渤海西部沙垒田凸起东段构造演化特征与油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 242-247.
- Shi Wenlong, Zhang Zhiqiang, Peng Wenxu, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in the east part of Shaleitian Sillent, western Bohai Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 242-247.
- [14] 邓运华. 渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(6): 1-15.
- Deng Yunhua. Types and accumulation controls of Neogene oil reservoirs in Bohai Bay Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2003, 17(6): 1-15.
- [15] 夏庆龙, 庞雄奇, 姜福杰, 等. 渤海海域渤中凹陷源控油气作用及有利勘探区域预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 398-404, 411.
- Xia Qinglong, Pang Xiongqi, Jiang Fujie, et al. Control of source rock on hydrocarbon accumulation and prediction of favorable plays in the Bozhong Depression of the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 398-404, 411.
- [16] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7.
- Gong Zaisheng, Wang Guocun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 1-7.
- [17] 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(5): 289-295.
- Wang Guocun. Relationship of TanLu fault to the inversion and flower structures in Bohai Bay[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1998, 12(5): 289-295.
- [18] 徐杰, 周本刚, 计凤桔, 等. 渤海地区新构造格局[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 242-249.
- 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, 2011, 32(3): 242-249.
- [19] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5): 513-517.
- Gong Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese Basins[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 513-517.
- [20] 李大伟. 新构造运动与渤海湾盆地上第三系油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 170-184.
- Li Dawei. Neotectonism and Neogene oil and gas pools in the Bohai Bay basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 170-184.
- [21] 傅广. 西斜坡区萨二、三油层油气运移优势路径及成藏的作用[J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(3): 1-3.
- Fu Guang. Main oil-gas migration pathways of S₂₋₃ oil layer in western slope zone and their effect on oil-gas accumulation[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(3): 1-3.
- [22] 朱伟林, 米立军, 高阳东, 等. 中国近海近几年油气勘探特点及今后勘探方向[J]. 中国海上油气, 2009, 21(1): 1-8.
- Zhu Weilin, Mi Lijun, Gao Yangdong, et al. Recent features and future directions of offshore hydrocarbon exploration in China[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(1): 1-8.

(编辑 董立)