



## 渤海海域辽东走滑断层转换带东营组高丰度油藏形成条件 ——以旅大 A 油田为例

张明升, 杨海风, 王冰洁, 戴建芳, 徐坤明

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

**摘 要:** 辽东走滑断层转换带东营组油田具有储量规模大、丰度高的特点, 但该类油藏形成条件尚不明确。利用钻井、三维地震、测井以及分析化验等资料对辽东湾拗陷辽东走滑带旅大 A 油田的油藏特征及油气综合成藏条件进行了研究。结果表明该油田含油层系是古近系东营组, 具有含油层段集中、储量丰度高的特点, 是一个整装优质古近系油田。烃源岩厚度大, 有机质丰度高、成熟度适中、类型好, 为高丰度油田提供了充足的物质基础。辽中 1 号走滑断层转换带控制形成断背斜圈闭, 东营组发育辫状河三角洲沉积形成巨厚储层, 以及辽中 1 号走滑断层内部诱导裂缝带形成高效油气运移通道, 共同构成了良好的成藏条件, 是高丰度油田形成的保障。东营组发育一期油气充注, 具有晚期快速充注的特征, 是高丰度油田形成的前提。

**关键词:** 东营组; 高丰度油藏; 成藏条件; 走滑带断层; 辽东湾

## Forming conditions of the high abundance reservoir of Dongying Formation in Liaodong strike-slip fault transfer zone, Bohai Sea: A case study of Lyuda-A oilfield

Zhang Ming-sheng, Yang Hai-feng, Wang Bing-jie, Dai Jian-fang, Xu Kun-ming

Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China

**Abstract:** The oilfield of Dongying Formation in Liaodong strike-slip fault transfer zone is characterized by large reserves and high abundance. However, the forming conditions of such reservoirs remain unclear. This study investigates the reservoir characteristics and comprehensive hydrocarbon accumulation conditions of Lyuda-A oilfield in Liaodong strike-slip zone of Liaodong Bay Depression by using drilling, 3D seismic, well logging and analytical test data. The results indicate that the oil-bearing series is the Paleogene Dongying Formation, belonging to an integrated high-quality Paleogene oilfield with the characteristics of concentrated oil-bearing intervals and high reserves abundance. The source rocks with large thickness, high abundance of organic matter, moderate maturity and favorable types provide sufficient material basis for the high-abundance oilfield. The faulted anticlinal trap controlled by the LZ1 strike-slip fault transfer zone, the thick reservoir formed by braided river delta developed in Dongying Formation and the efficient hydrocarbon

收稿日期: 2023-11-14; 修回日期: 2024-01-23. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国海洋石油有限公司“七年行动计划”重大科技专项课题“渤海油田上产 4000 万吨新领域勘探关键技术”(CNOOC-KJ-135-ZDXM-36-TJ-08-TJ).

作者简介: 张明升(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质综合研究工作, 通信地址 天津市滨海新区海川路 2121 号 渤海石油管理局大厦 B 座, E-mail://zhangmsh6@cnooc.com.cn

引用格式: 张明升, 杨海风, 王冰洁, 戴建芳, 徐坤明. 渤海海域辽东走滑断层转换带东营组高丰度油藏形成条件——以旅大 A 油田为例[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 200-209.

Zhang M S, Yang H F, Wang B J, Dai J F, Xu K M. Forming conditions of the high abundance reservoir of Dongying Formation in Liaodong strike-slip fault transfer zone, Bohai Sea: A case study of Lyuda-A oilfield [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 200-209.

migration pathway formed by induced fracture zones within the LZ1 strike-slip fault collectively constitute favorable accumulation conditions, ensuring the formation of high-abundance oilfield. The first-stage oil-gas charging in Dongying Formation is characterized by the late-stage rapid charging, which serves as a prerequisite for the formation of high-abundance oilfield.

**Key words:** Dongying Formation; high abundance reservoir; hydrocarbon accumulation condition; strike-slip fault; Liaodong Bay

## 0 引言

郯庐断裂带横穿整个辽东湾拗陷,对拗陷内烃源岩、圈闭、储层、油气运移及保存具有重要的控制作用,同时也是大型油气田重要分布区,因此走滑断裂带一直是辽东湾拗陷勘探的重要区域。辽东断裂带位于辽东湾拗陷东部,呈北东走向,其南北长度约 184 km,东西宽 21~28 km,面积约 3 700 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。在该构造带内,早在 20 世纪 80 年代就以古近系沙河街组作为主要勘探层系展开工作,但直到 2004 年,历经 20 多年,钻探了 10 多个圈闭 20 余口井,大部分井上都揭示了良好的油气显示,但仅发现部分薄油层,一直没有商业性的油气发现。从 2005 年开始至今,渤海油田研究人员对该区域前期钻井失利原因以及该区域油气地质条件进行了系统分析,将勘探层系由古近系沙河街组上移到古近系东营组,发现了包括旅大 A 油田在内的多个大中型油田,辽东走滑断裂带油气勘探获得重大突破。旅大 A 油田从 1 井钻探到最终油田发现,前后经历 8 年时间,展现了辽东湾拗陷辽东走滑带复杂地质条件下的巨大勘探潜力。

随着勘探工作的不断深化,针对辽东走滑断裂带石油地质条件的研究很多,主要包括烃源岩条件系统研究<sup>[2-3]</sup>、沉积“源-汇”系统分析<sup>[4-5]</sup>、构造演化及圈闭发育<sup>[6-7]</sup>等单方面研究。针对该地区高丰度油气成藏形成条件和成因机制的系统分析尚未展开。笔者以辽东走滑断裂带旅大 A 油田古近系东营组高丰度油藏作为研究对象,结合前人成果,利用钻井、三维地震、测井以及分析化验等资料对该油田油藏特征及烃源岩、油气成藏期次、圈闭、储层、油气运移及保存等油气综合成藏条件进行了系统的研究。期望研究成果可为辽东走滑断裂带以及整个辽东湾拗陷油气勘探提供依据。

## 1 区域地质概况

辽东湾拗陷位于渤海东北部海域,是渤海湾盆地

下辽河拗陷向海域的延伸部分,呈北东向狭长形态。东西方向表现为“三凹两凸”的构造格局,包括辽西凹陷、辽中凹陷和辽东凹陷等负向构造单元和分隔凹陷的辽西凸起和辽东凸起等正向构造单元<sup>[8]</sup>(图 1a)。

辽东断裂带主要是指辽中 1 号以及辽中 2 号断层控制的范围,呈北东向分布,包括辽中凹陷东部陡坡带以及辽东凸起带。主要分为南北两段,中间不连续,南段主要受控于辽中 1 号走滑断层,北段受控于辽中 2 号走滑断层(图 1a)。两支走滑断层控制了辽东凸起以及辽中凹陷的形成和演化并控制沉积。始新世-渐新世早期(沙三段-沙一段沉积期)主要为伸展阶段,辽中 1 号、2 号断层剧烈拉张,辽东凸起未形成,与辽中凹陷一体构成统一的古辽中凹陷<sup>[9-10]</sup>。凹陷区沉积沙三段、沙二段、沙一段灰色-深灰色湖相泥岩,陡坡带发育扇三角洲及辫状河三角洲沉积。渐新世中期到末期(东三段沉积期-东一段沉积期),伴随着郯庐断裂强烈的右旋走滑,辽中 1 号、2 号断层走滑作用明显,辽东凸起从古辽中凹陷走滑反转隆升形成,地层遭到强烈剥蚀,南段反转强度明显强于北段<sup>[9-10]</sup>。北段凸起区仍然残留沙三段地层,并沉积东一、二段地层,南段则全部剥蚀殆尽,且未沉积东一、二段地层。凹陷区主要沉积灰色-深灰色湖相泥岩,陡坡带及凸起区发育辫状河三角洲沉积。在经历渐新世晚期-中新世早期整体抬升剥蚀后,盆地整体进入热沉降阶段(馆陶组沉积期-现今),主要发育河流相沉积。

旅大 A 油田位于辽东走滑带南段辽中凹陷东陡坡带,是受辽中 1 号走滑断层控制并被其伴生断层进一步复杂化的断背斜构造(图 1b、图 2)。

## 2 油田基本特征

旅大 A 油田的油层主要分布在古近系东营组,纵向上从东二下亚段-东三段均有油气分布,但油层主要集中在东二下亚段,埋深范围为 1 200~1 700 m。

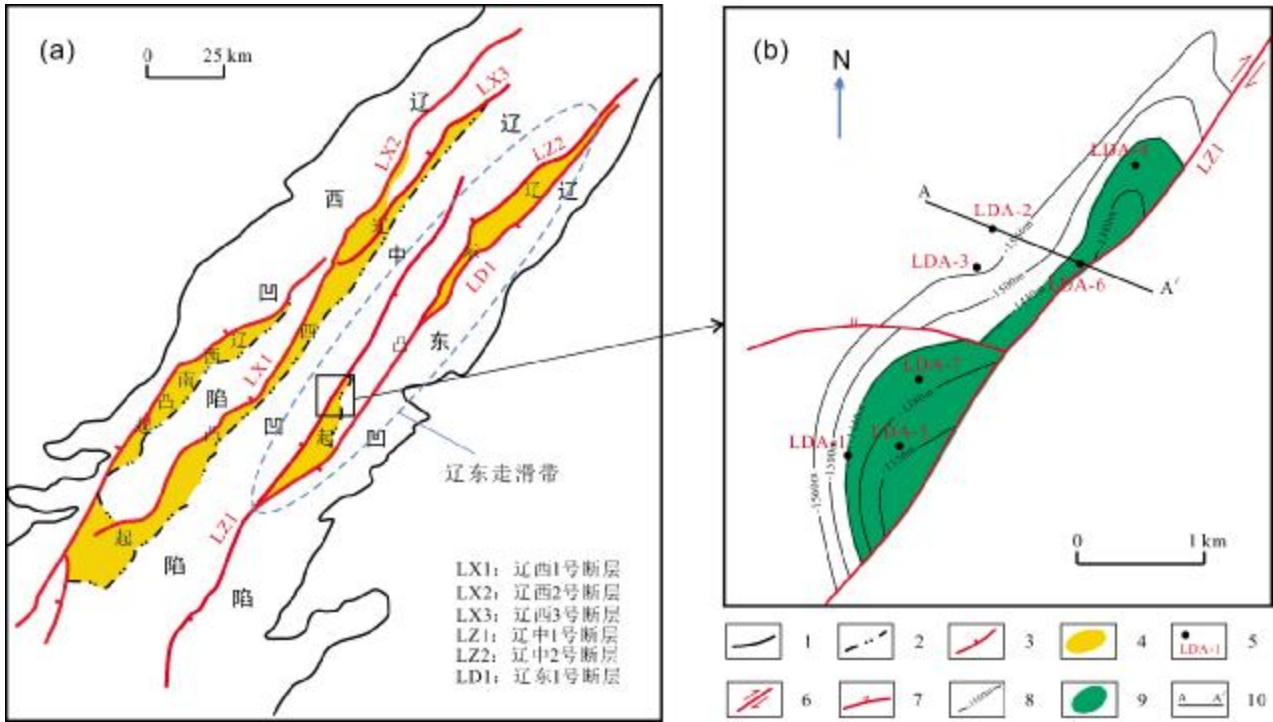


图 1 研究区区域位置和构造特征

Fig. 1 Regional tectonic and structural maps of the study area

1—盆地边界 (basin boundary); 2—凸起边界 (uplift boundary); 3—控凹断层 (sag-controlling fault); 4—凸起区 (uplift area); 5—探井 (exploratory well); 6—走滑断层 (strike-slip fault); 7—走滑调节断层 (strike-slip regulating fault); 8—构造等深线 (structural depth contour); 9—含油范围 (oil domain); 10—剖面线位置 (profile line)

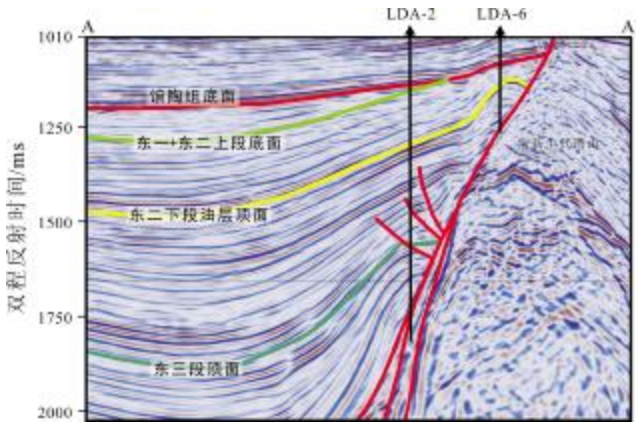


图 2 研究区北西向地震剖面

Fig. 2 NW-trending seismic profile of the study area

测线位置见图 1 (position of profile shown in Fig. 1)

根据测试和取样资料, 旅大A 油田东营组压力系数为 0.99, 压力梯度为 0.98 MPa/hm, 温度梯度为 3.2 °C/hm, 属正常压力和温度系统. 油田中东营组油、气、水沿储集层呈层状分布, 油藏类型属于具多套油水系统的层状构造油藏.

旅大 A 油田东二下段地面原油为重质油, 具有密度高、黏度高、含硫量低、胶质沥青质含量中等、含蜡量中偏高、凝固点低等特点. 在 20 °C 条件下, 地面原油密度 0.953~0.995 g/cm<sup>3</sup>; 在 50 °C 条件下, 地面原油黏度为 382.80~5 320.00 mPa·s, 含硫量 0.24%~0.33%, 含蜡量 1.88%~4.74%, 胶质沥青质 17.59%~23.37%, 凝固点为 -9~+9 °C. 东二下段测试产能落实, 生产压差 0.504~5.115 MPa 时, 千米井深日产油量为 20.30~70.90 m<sup>3</sup>.

旅大 A 油田主力油层叠合面积仅 4.8 km<sup>2</sup>, 油藏储量规模大, 探明原油地质储量超过 3 000×10<sup>4</sup> t, 储量丰度高达 620×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, 是辽东湾拗陷古近系东营组发现的高丰度整装油田.

### 3 东营组高丰度油藏形成条件

#### 3.1 优越的烃源岩条件是高丰度油藏形成的基础

旅大 A 油田紧邻辽中富生烃凹陷, 具备优越的油源条件. 辽中凹陷主要发育沙三段、沙一段以及东三段 3 套烃源岩, 岩性均以暗色泥岩和油页岩为主, 沉积

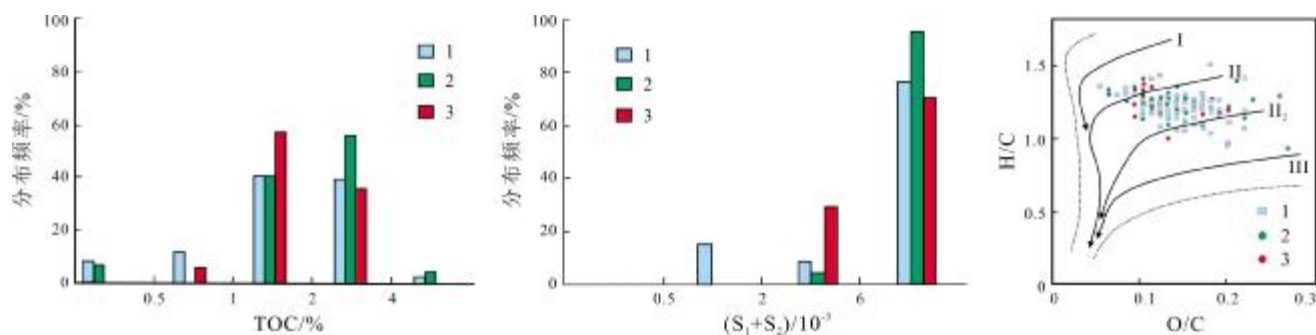


图3 辽中凹陷不同层系有机质烃源岩丰度及有机质类型图

Fig. 3 Abundance of organic source rocks and types of organic matter in different strata of Liaozhong Sag

1—东三段( $E_{3d3}$ ); 2—沙一段( $E_{3s1}$ ); 3—沙三段( $E_{3s3}$ )

环境以湖泊相为主。根据已钻井分析化验数据统计结果,沙三段 TOC 主要分布在 1%~4%,  $S_1+S_2$  主要分布在  $2 \times 10^{-3}$ ~ $6 \times 10^{-3}$  范围内, 烃源岩类型以  $II_1$ ~ $II_2$  型为主, 为中—好烃源岩; 沙一段 TOC 主要分布在 2%~4%,  $S_1+S_2$  主要分布在大于  $6 \times 10^{-3}$  范围内, 烃源岩类型以  $I$ ~ $II_1$  为主型, 为中—很好烃源岩; 东三段 TOC 主要分布在 1%~4%,  $S_1+S_2$  主要分布在  $0.5 \times 10^{-3}$ ~ $6 \times 10^{-3}$  范围内, 烃源岩类型以  $I$ ~ $II_1$  型为主, 主要为中等烃源岩(图 3)。沙三段和沙一段现今  $R_o$  在 0.5~2.0 范围内, 处于生烃高峰期, 生烃门限和排烃门限分别为 2 500 m 和 2 700 m。东三段仅在埋藏较深的辽中凹陷北洼达到生烃门限。根据目前各层段生烃指标及油源对比分析, 认为沙三段烃源岩是辽中凹陷最主要的烃源岩, 具有有机质丰度较高、厚度大的特点, 生标特征以低伽马蜡烷、高四甲基萘烷, 多具  $C_{27}$  优势(图 4)。

旅大 A 油田饱和气相色谱分析表明其油源主要来自西侧紧邻的辽中凹陷。LDA-4 井以及 LDA-5 井东二下亚段原油具有低伽马蜡烷、高四甲基萘烷, 低  $Ts/Tm$ , 具有  $C_{27}$  优势, 与辽中凹陷沙三段烃源岩生物标志化合物特征一致(图 4)。因此旅大 A 油田油源主要来自辽中凹陷沙三段, 烃源岩条件非常优越。优越的烃源岩条件为旅大 A 油田形成高丰度油气藏提供了良好的物质条件。

### 3.2 良好的“圈-储-运”条件是高丰度油藏形成的保障

#### 3.2.1 辽中 1 号走滑断层转换带控制断背斜圈闭

辽东湾拗陷新生代以来受邻庐大走滑挤压动力的影响<sup>[6,11]</sup>, 发育了多条北东向的大型右旋走滑断层, 辽中 1 号走滑断层是其中的典型代表。走滑断层在走向上往往会发生弯曲, 并且大型走滑断层往往是分段

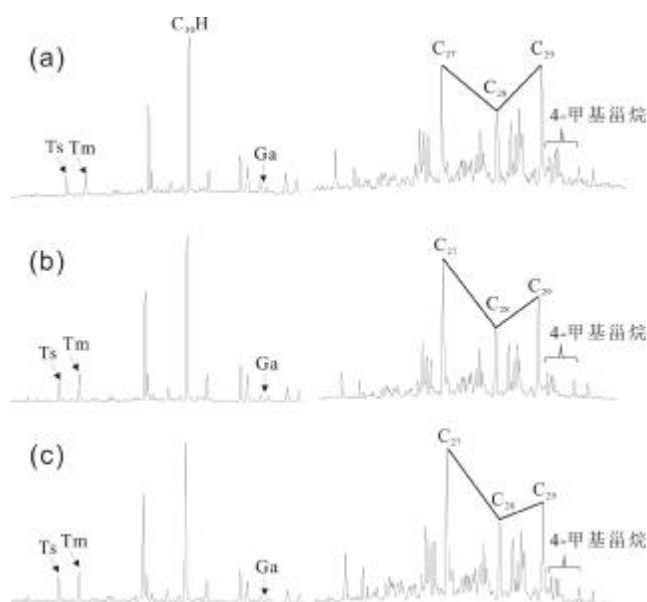


图4 旅大 A 油田原油及烃源岩饱和烃气相色谱特征

Fig. 4 Gas chromatography-mass spectrometry characteristics of saturated hydrocarbon in crude oil and source rocks

a—LDA-1 井, 3155~3165 m, 沙三段烃源岩 (source rock of  $E_{3s3}$ ); b—LDA-4 井, 1559~1568 m, 东二下亚段原油 (crude oil from the lower  $E_{3d2}$ ); c—LDA-5 井, 1275~1289 m, 东二下亚段原油 (crude oil from the lower  $E_{3d2}$ )

发育的, 各段之间以首尾相接的模式组成, 在走滑挤压作用下形成走滑转换带, 围绕走滑转换带发育一系列的构造<sup>[11-12]</sup>。从应力背景上, 走滑转换带挤压应力场和拉张应力场交替发育, 相对应形成释压型走滑转换带和增压型走滑转换带<sup>[12-14]</sup>。在增压型走滑转换带, 受到挤压应力作用的影响, 断块之间发生明显的汇聚作用, 形成正地形, 发育断背斜、断鼻圈闭, 且圈闭规模较大。

旅大 A 油田处于辽中 1 号走滑断层发生“S”型弯曲的位置(图 1b),显示为右旋左阶的挤压应力场下的增压型走滑转换带,旅大 A 构造区成为构造圈闭的有利发育场所. 旅大 A 油田是由辽中 1 号走滑断层及其调节断层控制形成的断背斜圈闭(图 1b). 辽中 1 号走滑断层控制了油田范围内构造圈闭的形态和演化. 在剖面上圈闭的高点位辽中 1 号走滑断层下降盘,不同层位地层从深到浅呈阶梯状分布(图 2);在平面上,围绕辽中 1 号走滑断层发育的断背斜圈闭被一条近东西向的走滑调节断层分割成南北两个断鼻构造,面积分别为 5.6 km<sup>2</sup> 和 4.0 km<sup>2</sup>, 闭合幅度分别为 580 m 和 240 m,圈闭条件非常优越,有利于油气的聚集(图 1b).

3.2.2 东二下亚段发育辫状河三角洲前缘沉积形成巨厚储层

区域沉积古环境研究结果证实,旅大 A 油田古近系东营组发育一套以大型辫状河三角洲为主的沉积体

系,物源主要来自东侧的古复洲水系<sup>[15-16]</sup>. 根据探井岩心观察和测井资料分析,旅大 A 油田主要目的层东二下亚段岩性组合多为大套厚层砂岩夹泥岩, 储层发育,纵向叠置,平面分布范围广. 东二下亚段测井钻遇砂岩厚度均超过 250 m,最大单层砂岩厚度超过 30 m,砂地比超过 70%. 东二下亚段发育巨厚储层, 厚层砂岩中夹杂的泥岩是主要的盖层(图 5).

结合对岩心、壁心、测井等资料分析研究,东二下段沉积时期发育辫状河三角洲前缘亚相沉积环境,根据单井相分析其前缘亚相进一步可划分为水下分流河道、水下分流河道间湾、河口坝等微相. 水下分流河道微相岩性主要为细砂岩、中砂岩,具正粒序特征;自然伽马曲线以箱形为主, 部分顶部过渡为钟形. 河口坝微相位于水下分流河道河口处, 具向上变粗的反粒序特征,岩性由粉砂岩向上渐变为中细砂岩;自然伽马曲线为漏斗形(图 6). 水下分流河道间湾微相岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩;自然伽马曲线为低幅齿形. 水下

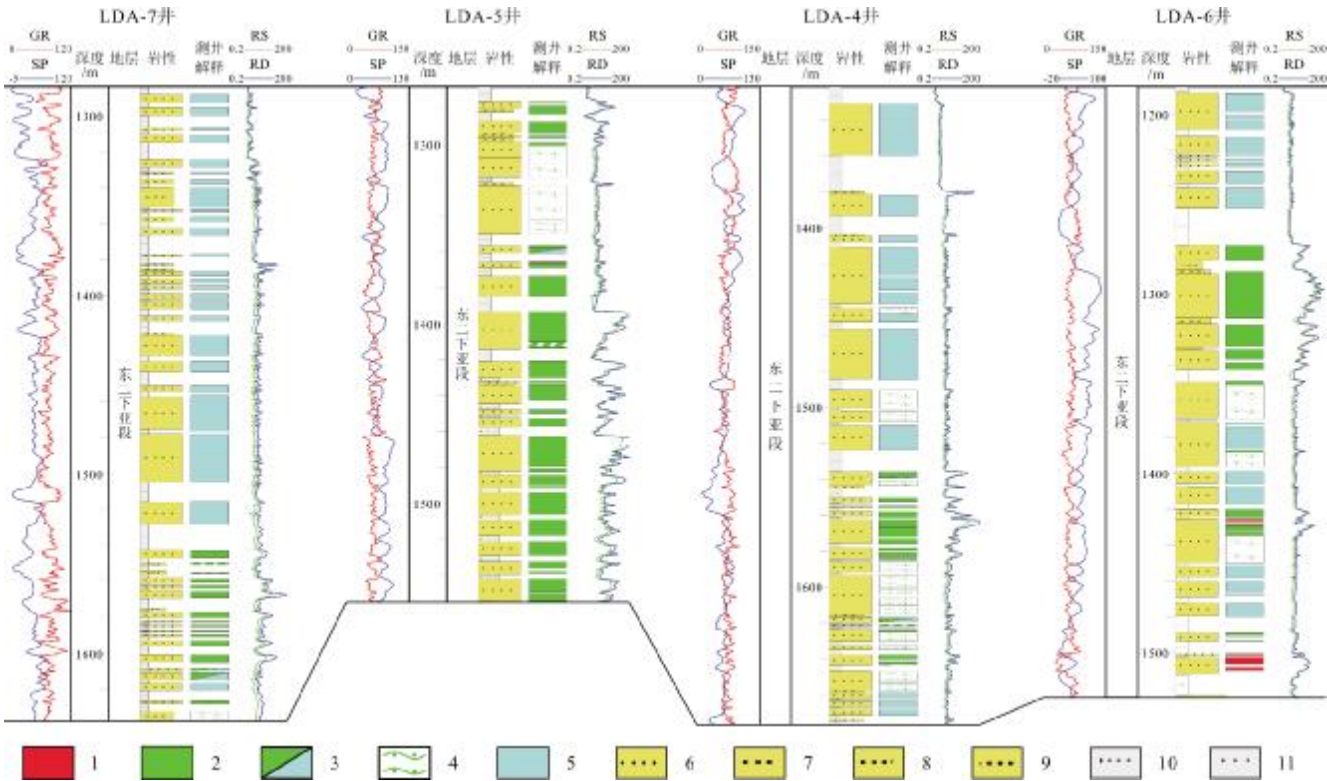


图 5 旅大 A 油田东二下亚段储盖组合特征

Fig. 5 Characteristics of reservoir-caprock assemblage in the lower E<sub>3</sub>d<sub>2</sub> Formation of Lyuda-A oilfield

1—气层 (gas layer); 2—油层 (oil layer); 3—油水同层 (oil-water layer); 4—含油水层 (oil-bearing water layer); 5—水层 (water layer); 6—砂岩 (sandstone); 7—粉砂岩 (siltstone); 8—钙质粉砂岩 (calcareous siltstone); 9—泥质粉砂岩 (argillaceous siltstone); 10—砂质泥岩 (sandy mudstone); 11—泥岩 (mudstone)

分流河道微相和河口坝微相砂岩是主要储层, 实测常规地面孔隙度分布范围 23.8%~35.5%, 平均值 32.6%; 实测地面渗透率分布范围 197.8~3 569.3 mD, 平均值为 1 709.2 mD, 属于高孔、高渗的储层(图 6)。东二下亚段储层毛管压力曲线以粗歪度为主, 排驱压力 0.012~0.072 MPa, 饱和度中值压力 0.053~0.877 MPa, 孔喉半径平均值 0.817~31.791  $\mu\text{m}$ 。

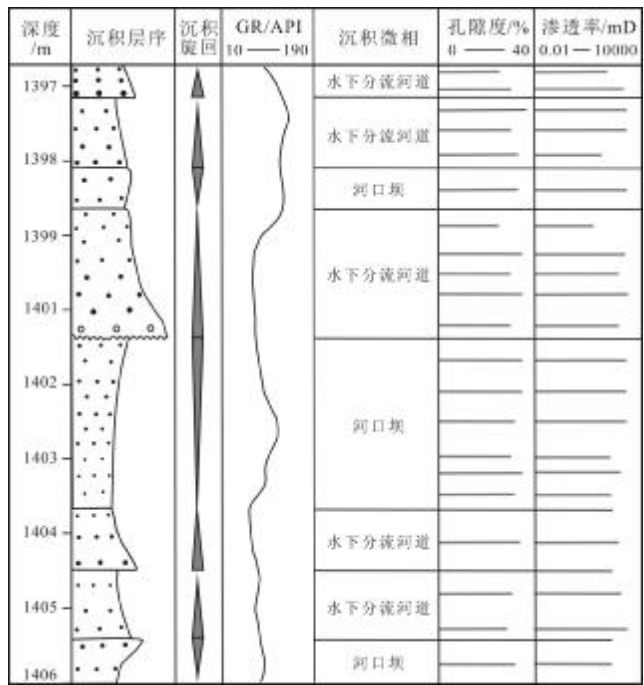


图 6 旅大 A 油田东二下亚段取心段岩性、测井相和物性分析综合图

Fig. 6 Lithology, logging facies and physical property analysis of cored interval in the lower  $E_3d_2$  Formation

3.2.3 辽中 1 号走滑断层破碎带形成高效油气运移通道

断层不是简单的一维面, 而是由一定内部结构组成的带, 主要划分为断层破碎带和断层核。大部分断层的断层核表现为比围岩更低的孔隙度和渗透率, 起到阻碍流体流动的作用。断层破碎带在应力的作用下, 岩石发生破裂作用, 产生大量裂缝, 表现为比围岩更高的孔隙度和渗透率, 可以作为流体运移的通道<sup>[17-19]</sup>。利用岩心、薄片、测井等资料识别出辽中 1 号走滑断层发育由断层破碎带和断层核组成的内部结构。

距离辽中 1 号走滑断层不同距离布置了多口钻井, 不同钻井上的岩心及砂岩薄片资料显示断层破碎带具断层核的特征。LDA-7 井距离辽中 1 号走滑断层 450 m, 在岩心上看到明显的小裂隙(图 7a), 而在薄片上可以看到粒间原始孔隙, 未看到动力作用造成的颗粒变化(图 7b), 显示处于断层破碎带向围岩过渡的位置。LDA-4 井距离辽中 1 号走滑断层 125 m, 在薄片上可以看到矿物颗粒受到动力作用发生破碎, 但位移较小, 原矿物颗粒可以恢复, 裂缝及原生孔隙是主要的储集空间(图 7c), 显示明显的断层破碎带的特征。LDA-6 井距离辽中 1 号走滑断层 30 m, 从薄片上可以看出强烈的动力破碎作用, 大的颗粒破碎形成小颗粒甚至粉状, 且呈定向排列, 孔隙消失, 无储集空间(图 7d), 显示断层核部位断层泥的特征。随着距离辽中 1 号走滑断层的接近, 在平面上显示出从原岩—断层破碎带—断层核的演变。

断层破碎带以及断层核在常规测井曲线上体现不同的响应特征, 尤其是密度、中子孔隙度以及声波时差

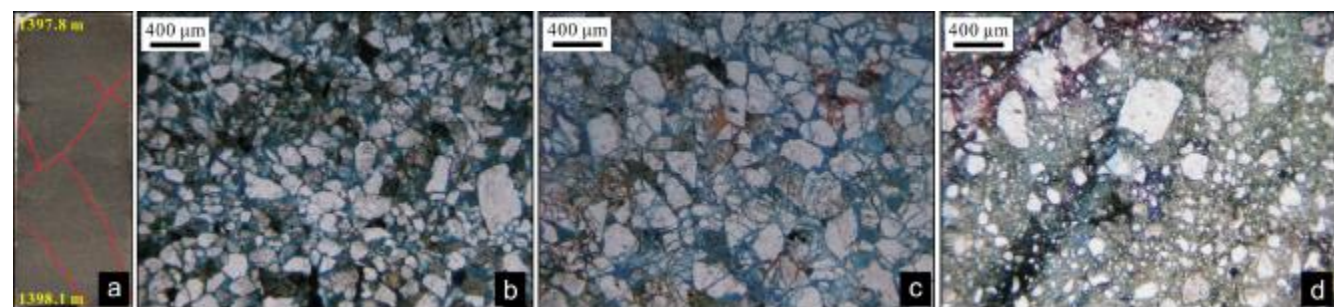


图 7 辽中 1 号走滑断层带不同内部结构岩心及薄片特征

Fig. 7 Core and thin sections with different structures in LZ1 strike slip fault zone

a—围岩向断层破碎带过渡区, LDA-7 井岩心 (core from LDA-7 well presenting transition from surrounding rock to fracture zone); b—围岩向断层破碎带过渡区, LDA-7 井, 1398.0 m 薄片 (thin section from LDA-7 well at the depth of 1398.0 m showing transition from surrounding rock to fracture zone); c—断层破碎带, LDA-4 井, 1435.0 m 薄片 (thin section from LDA-4 well at the depth of 1435.0 m showing fault fracture zone); d—断层核, LDA-6 井, 1410 m 薄片 (thin section from LDA-6 well at the depth of 1410 m showing fault core)

测井具有良好的响应特征,断层破碎带对比围岩显示低密度、高中子孔隙度、高声波时差的特征;而断层核对比围岩显示高密度、低中子孔隙度、低声波时差的特征<sup>[17-19]</sup>.对辽中1号走滑断层内部结构进行了测井识别. LDA-6井钻穿辽中1号走滑断层后进入中生界潜山,断点之上东二下亚段发育一套厚层细砂岩夹薄层泥岩的地层,岩性比较统一,有利于进行测井资料的对比,但是埋深仅1 300~1 500 m,由于深度较浅,成岩作用较弱,压实作用对岩石密度以及孔隙度的影响超过了断层的影响,直接对比测井资料,无法识别划分断层内部结构.因此本研究利用常规测井资料结合正常压实曲线对比来识别断层内部结构.围岩在密度、中子孔隙度以及声波时差上表现为正常压实趋势特征;断层破碎带在密度、中子孔隙度以及声波时差上表现为向左偏离正常压实曲线特征,显示比正常压实趋势低密度、高孔隙度、高声波时差的特征;断层核在密度、中子孔隙度以及声波时差上表现为向右偏离正常压实曲线特征,显示比正常压实趋势高密度、低孔隙度、低声

波时差的特征(图8).

偶极声波远探测测井技术是利用偶极声波探测仪发射和接收地层深部的反射信号,通过偏移成像技术把井旁地质构造发育及其延伸情况显示出来.该技术可以对井周边1 m到几十米的地层构造以及地质体进行探测,填补了常规声波测井和井间地震之间的探测空白,对井旁的倾斜地层界面、裂缝、断层、尖灭及盐丘内部构造等具有较好的敏感性<sup>[20]</sup>.利用偶极横波对过井裂缝带进行识别是比较有效的一种方法.从LDA-6井偶极横波反射成像上可以看出,断点之上的东二下亚段发育5组较明显的裂缝,倾角约40°,裂缝主要集中发育区域为断层破碎带,断点附近则裂缝较不发育,为断层核区域(图8).这与常规测井识别的辽中1号走滑断层内部结构具有较好的一致性.

辽中1号走滑断层发育断层破碎带,而断层破碎带产生大量的裂缝,孔渗增大,成为油气垂向运移的高效通道,为旅大A油田提供了良好的油气运移条件.

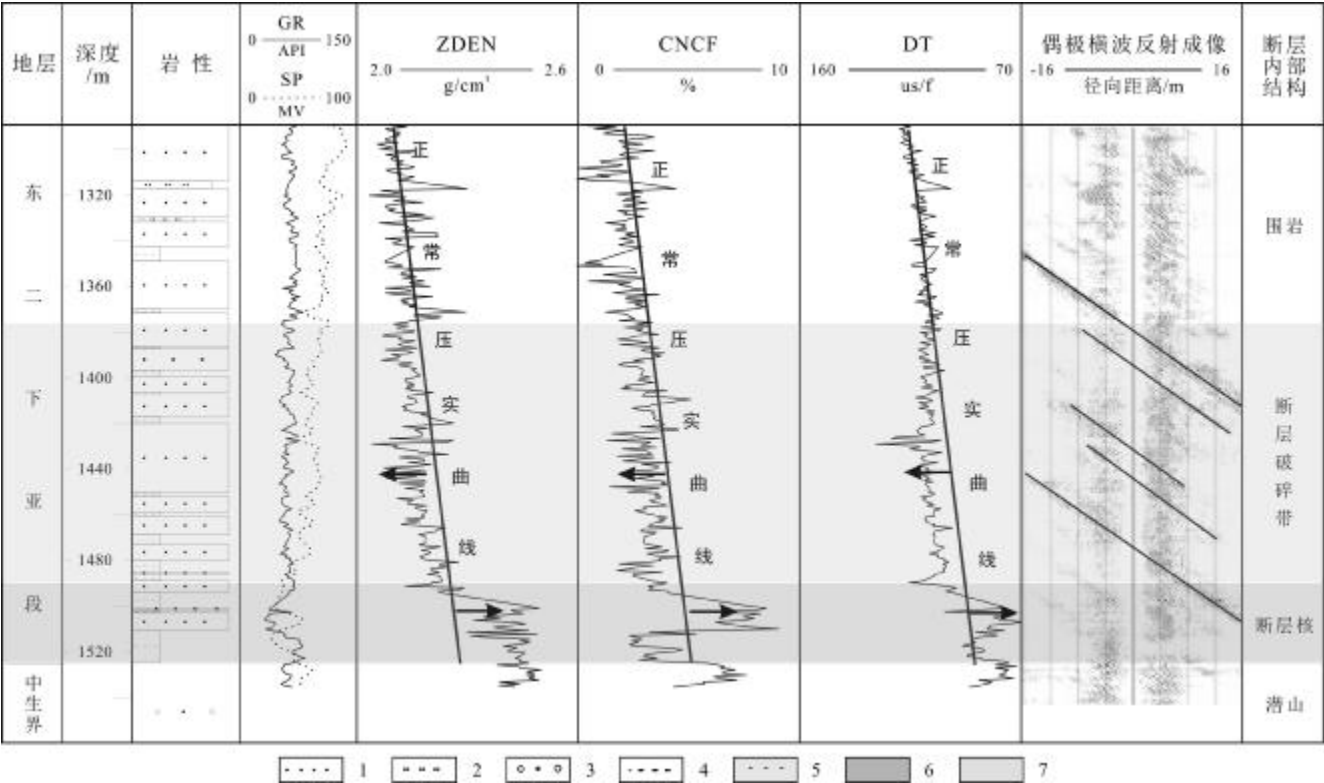


图8 辽中1号走滑断层内部结构划分图

Fig. 8 Internal structure division of LZ1 strike slip fault

1—砂岩(sandstone); 2—粉砂岩(siltstone); 3—砂砾岩(glutenite); 4—泥质粉砂岩(argillaceous siltstone); 5—泥岩(mudstone); 6—断层核(fault core); 7—断层破碎带(fault fracture zone)

3.3 晚期快速充注是高丰度油藏形成的前提

利用包裹体资料<sup>[21]</sup>对旅大 A 油田油气充注展开研究,显示旅大 A 油田东营组仅发育 1 期油气充注. LDA-1 井东营组 1 588 m 砂岩仅发育 1 期次的油气包裹体,均一温度 76~90 ℃. 油气包裹体发育于砂岩石英颗粒成岩次生加大中晚期,包裹体大多为沿切穿砂岩石英颗粒的微裂隙成线状或成带分布或由于溶蚀呈孤立状分布于长石颗粒中,包裹体液烃呈淡黄色、黄色、深褐色(图 9a),显示黄色、深褐色荧光(图 9b),说明烃类具有较高的成熟度.

通过对 LDA-4 井东营组 1 588 m 砂岩发育的油气包裹体均一温度在其埋藏史及热史图上进行投点,可以看出油气充注的时间主要为 3 Ma 至今(图 10),甚至个别包裹体均一温度大于背景温度,主要原因是油气来源于比储层埋深更大的烃源岩区,而且油气的

运聚过程中受到构造运动和断裂活动的影响,以间歇式的热流体运移发生快速充注,大部分流体包裹体是在热流体温度未与背景温度平衡的过程形成的,可以认为这是快速成藏的一个表现. 这一时期证实为渤海海域的新构造运动时期<sup>[22-23]</sup>,此时期辽中 1 号走滑断层活动较强,其断层破碎带裂缝发育,渗透率强,油气垂向运移能力强. 辽中 1 号走滑断层作为控凹陷断层,深插成熟烃源岩中,且与其接触面积大,深部油气汇聚背景好,深部汇聚的油气会沿着断层破碎带垂向快速高效运移,运移到东二下亚段厚层砂岩段之后,受上部泥岩的遮挡,侧向分流到砂岩中聚集成藏(图 11).

4 结论

利用钻井、三维地震、测井以及分析化验等各种资料对辽东走滑带旅大 A 油田成藏条件进行了系统研

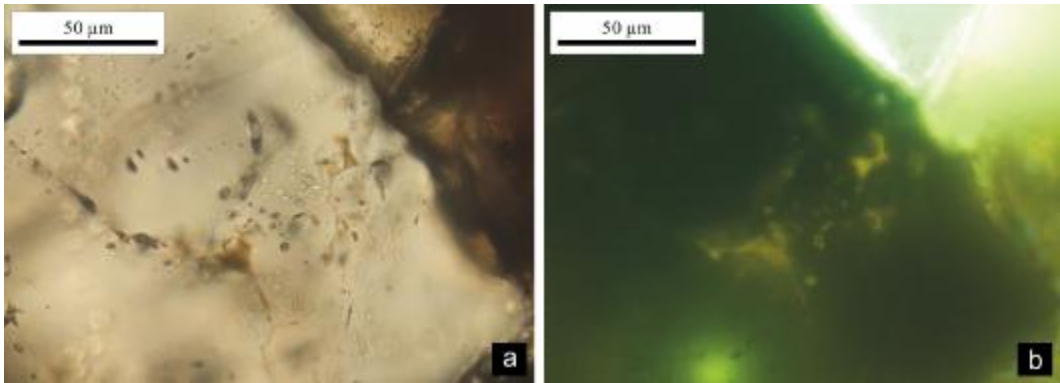


图 9 旅大 A 油田东二下亚段有机包裹体特征

Fig. 9 Characteristics of organic inclusions in the lower E<sub>3</sub>d<sub>2</sub> Formation of Lyuda-A oilfield

a—有机包裹体单偏光照片(PPL photograph of organic inclusion); b—有机包裹体荧光照片(fluorescent photograph of organic inclusion)

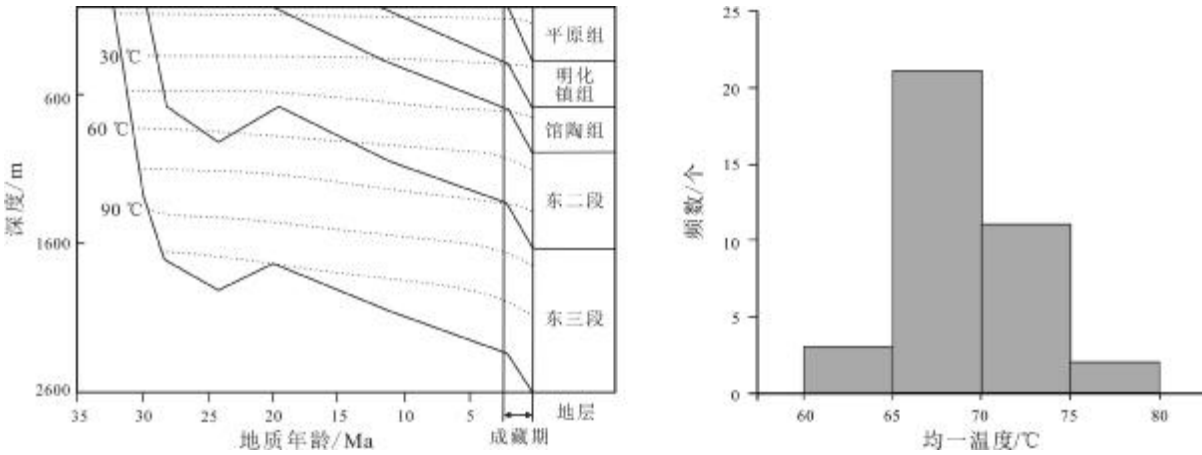


图 10 东二下亚段有机包裹体均一温度地史模拟结果

Fig. 10 Geothermal history simulation results of homogenization temperature in the lower E<sub>3</sub>d<sub>2</sub> Formation

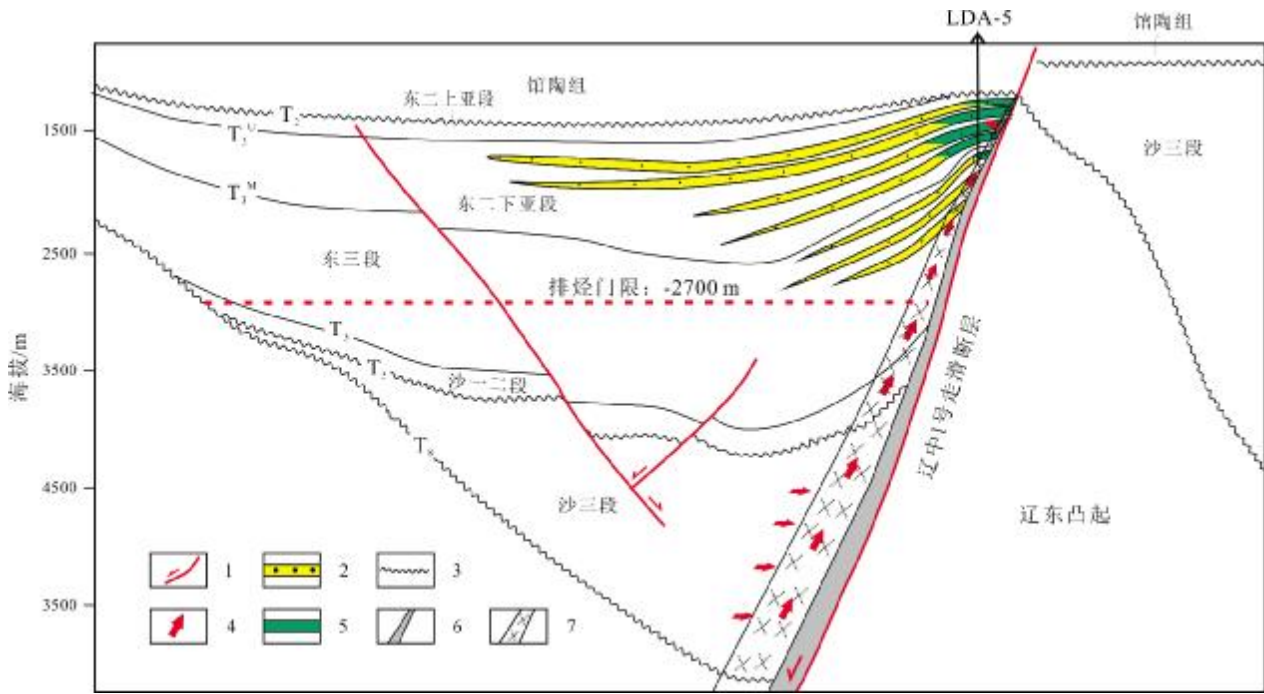


图 11 旅大 A 油田成藏模式图

Fig. 11 Hydrocarbon accumulation model of Lyuda-A oilfield

1—断层(fault); 2—砂岩(sandstone); 3—不整合面(unconformity); 4—油气运移方向(direction of oil-gas migration); 5—油层(oil reservoir); 6—断层核(fault core); 7—断层破碎带(fault fracture zone)

究,明确旅大 A 油田含油层段集中在古近系东营组东二下亚段,是一个整装高丰度油田. 优越的烃源岩条件是高丰度油气藏形成的基础, 油源对比显示旅大 A 油田油源主要来自辽中凹陷沙三段,具有厚度大、有机质丰度高、成熟度适中、类型好的特点. 良好的“圈-储-运”条件是高丰度油气藏形成的保障. 旅大 A 油田构造受辽中 1 号走滑断层及其调节断层控制,在其下降盘形成南北两个断背斜圈闭,圈闭条件良好;东二下段储层主要发育大型辫状河三角洲沉积,含砂率高,厚度巨大,储层条件非常优越;辽中 1 号走滑断层发育断层破碎带,孔渗性好,是油气垂向运移的高效通道. 晚期快速充注是高丰度油气藏形成的前提. 油气包裹体资料显示,旅大 A 油田仅存在一期油气充注,时间为 3 Ma 至今,具有晚期快速充注的特征. 本次研究为今后在渤海海域走滑断裂带寻找高丰度油气藏提供了一种新的思路和方法.

参考文献(References):

[1]邓运华. 渤海辽东带地质认识的突破与金县 1-1 大油田的发现[J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 13-18.

Deng Y H. The geological recognition breakthrough in Liaodong zone, which leading to the discovery of the large oilfield JX1-1 [J]. Strategic Study of CAE, 2011, 13(10): 13-18.

[2]蒋子文, 罗静兰, 王嗣敏, 等. 郯庐断裂新生代构造演化及其对烃源岩生排烃的影响: 以辽东湾坳陷辽中凹陷为例[J]. 高校地质学报, 2018, 24(4): 573-583.

Jiang Z W, Luo J L, Wang S M, et al. Tectonic evolution of the Tan-Lu fault in the Cenozoic and its effect on hydrocarbon generation and expulsion of source rocks: A case study of the Liaozhong sag (Liaodong Bay Depression) [J]. Geological Journal of China Universities, 2018, 24(4): 573-583.

[3]田金强, 邹华耀, 周心怀, 等. 辽东湾地区烃源岩生物标志物特征与油源对比[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(4): 53-58.

Tian J Q, Zou H Y, Zhou X H, et al. Biomarker characteristics of source rocks and oil-source correlation in Liaodong Bay[J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(4): 53-58.

[4]徐长贵, 加东辉, 宛良伟. 渤海走滑断裂对古近系源-汇体系的控制作用[J]. 地球科学, 2017, 42(11): 1871-1882.

Xu C G, Jia D H, Wan L W. Control of the strike-slip fault to the source-to-sink system of the Paleogene in Bohai Sea area[J]. Earth Science, 2017, 42(11): 1871-1882.

[5]邓津辉, 徐长贵, 周心怀, 等. 走滑断层转换带砂体发育特征与油

- 气富集规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2010, 29(5): 18–23.
- Deng J H, Xu C G, Zhou X H, et al. Sandstone development characteristics and hydrocarbon enrichment rules in the strike-slip fault transfer zone[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2010, 29(5): 18–23.
- [6] 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 C G. 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.
- [7] 漆家福, 周心怀, 王谦身. 渤海海域中郛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 J F, Zhou X H, Wang Q S. Structural model and Cenozoic kinematics of Tan-Lu deep fracture zone in Bohai Sea area[J]. Geology in China, 2010, 37(5): 1231–1242.
- [8] 周心怀, 刘震, 李维莲. 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 X H, Liu Z, Li W L. Oil and gas accumulation mechanism in Liaodong Bay fault depression[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 24–26. (in Chinese)
- [9] 任健, 吴智平, 徐长贵, 等. 辽东凸起北段新生代隆升时间的确定: 来自裂变痕迹的证据[J]. 世界地质, 2015, 34(2): 408–418.
- Ren J, Wu Z P, Xu C G, et al. Determination of uplifting ages during Cenozoic in northern Liaodong Uplift: Evidence from fission track dating[J]. Global Geology, 2015, 34(2): 408–418.
- [10] 彭靖淞, 徐长贵, 吴奎, 等. 郛庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 274–285.
- Peng J S, Xu C G, Wu K, et al. Formation of Liaodong uplift and collapse of the ancient Liaozhong sag in Tan-Lu fault zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 274–285.
- [11] 柳峙博, 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 Y B, Huang X B, Xu C G, 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.
- [12] 孔永吉, 吴孔友, 刘寅. 塔里木盆地顺南地区走滑断裂发育特征及演化[J]. 地质与资源, 2020, 29(5): 446–453.
- Kong Y J, Wu K Y, Liu Y. Development and evolution of the strike-slip faults in Shunnan area, Tarim Basin[J]. Geology and Resources, 2020, 29(5): 446–453.
- [13] 万桂梅, 汤良杰, 金文正. 辽东湾JZ27–33区块伸展型右行走滑双重构造系统[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1584–1591.
- Wan G M, Tang L J, Jin W Z. The extensional dextral strike-slip duplex of JZ27–33 block in Liaodong Bay[J]. Geology in China, 2010, 37(6): 1584–1591.
- [14] Cunningham W D, Mann P. Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2007, 290(1): 1–12.
- [15] 蒋子文, 王嗣敏, 徐长贵, 等. 渤海海域辽东带中南部郛庐断裂走滑活动的沉积响应[J]. 现代地质, 2013, 27(5): 1005–1012.
- Jiang Z W, Wang S M, Xu C G, et al. Sedimentary response to the strike-slip activities of Tan-Lu fault in central and southern parts of east Liaodong Bay area in Bohai Sea[J]. Geoscience, 2013, 27(5): 1005–1012.
- [16] 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郛庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 102–106.
- Deng J H, Zhou X H, Wei G, et al. Strike-slip faulting activities in the Tan-Lu fault zone and their relationship with hydrocarbon accumulation: An example from Jinxian area[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 102–106.
- [17] 付晓飞, 许鹏, 魏长柱, 等. 张性断裂带内部结构特征及油气运移和保存研究[J]. 地学前缘, 2012, 19(6): 200–212.
- Fu X F, Xu P, Wei C Z, et al. Internal structure of normal fault zone and hydrocarbon migration and conservation[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(6): 200–212.
- [18] Rawling G C, Goodwin L B, Wilson J L. Internal architecture, permeability structure, and hydrologic significance of contrasting fault-zone types[J]. Geology, 2001, 29(1): 43–46.
- [19] 吴孔友, 郭建勋, 姚卫江, 等. 准噶尔盆地红车断裂带结构与成藏差异性分析[J]. 地质与资源, 2019, 28(1): 57–65.
- Wu K Y, Guo J X, Yao W J, et al. Analysis on the structure and accumulation differences of Hongche fault belt in Junggar Basin[J]. Geology and Resources, 2019, 28(1): 57–65.
- [20] Tang X M, Glassman H, Patterson D, et al. Single-well acoustic imaging in anisotropic formations [C]//SEG/San Antonio Annual Meeting, 2007: 109–113.
- [21] 覃军, 赵洪, 刁慧, 等. 含油气流体包裹体测试与应用问题综述[J]. 地质与资源, 2022, 31(3): 450–458.
- Qin J, Zhao H, Diao H, et al. Analysis, testing and application of oil-gas-bearing fluid inclusions: A review[J]. Geology and Resources, 2022, 31(3): 450–458.
- [22] 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 Z S, Wang G C. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 1–7.
- [23] 王应斌, 黄雷, 刘廷海. 渤海新构造运动主要特征与构造型式[J]. 中国海上油气, 2012, 24(S1): 6–10.
- Wang Y B, Huang L, Liu T H. The main characteristics and structural styles of Bohai neotectonism[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(S1): 6–10.