

文章编号: 0253-9985(2011)03-0342-10

渤海海域辽东湾坳陷油气成藏条件与分布规律

王 祥^{1,2}, 王应斌³, 吕修祥^{1,2}, 范秋海⁴

(1. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249 2 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3 中海石油 天津分公司, 天津 300452 4 中国石油 塔里木油田 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 利用地震、钻井等资料, 从烃源岩、储层、生储盖组合、圈闭及输导条件等方面对辽东湾坳陷油气成藏条件进行了系统的分析。研究表明, 辽东湾坳陷烃源岩总体上呈北北东向展布, 发育沙河街组三段、一段、东营组三段 3 套烃源岩, 其中沙河街组三段是主力烃源岩层段; 储集体分为基岩储集体和碎屑岩储集体, 储集条件优越; 生储盖层组合方式主要有自生自储式、下生上储式和新生古储式; 输导系统以断层为主, 同时断层把彼此不相接触、时空跨度较大的烃源岩与不整合面联系起来, 构成断层-不整合输导系统; 圈闭形成于古近纪沙河街组和东营组沉积时期, 多为同沉积构造圈闭, 单纯的岩性圈闭发现较少。油气藏在平面上主要分布在郑庐断裂带附近, 具有南北分带、东西分块的特点, 低凸起构造带是油气主要富集带; 纵向上具有从北向南逐渐变新, 埋藏深度变浅的特点。

关键词: 成藏条件; 油气分布; 辽东湾坳陷; 渤海海域

中图分类号: TE121.1 **文献标识码:** A

Hydrocarbon accumulation conditions and distribution patterns in the Liaodong Bay Depression, the Bohai Sea

Wang Xiang^{1,2}, Wang Yingbin³, Lü Xiuxiang^{1,2} and Fan Qiuhai⁴

(1. Research Center of Basin and Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China;

4. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Xinjiang 841000, China)

Abstract A study on hydrocarbon accumulation conditions in the Liaodong Bay depression is performed based on analysis of source rock, reservoirs, reservoir-seal assemblage, traps and carrier systems. The results show that there are three sets of source rocks, including the 3rd and 1st member of the Shahejie Formation and the 3rd member of the Dongying Formation. Among them, the 3rd member of the Shahejie Formation is the major source rock. Both basement and clastic reservoirs exist and are of high quality. The main types of source-reservoir-cap rock assemblages include indigenous generation and accumulation, lower-generation and upper-accumulation and generation-in-the-new and accumulation-in-the-old. Faults dominate the carrier system and connect source rocks and unconformities which are separate in time and space, forming a fault-unconformity carrier system. Traps were mainly developed during the deposition of the Paleogene Shahejie and Dongying Formations. They are mostly syndepositional structural traps and are rarely pure lithologic traps. Horizontally, oil and gas pools distribute along the Tan-Lu Fault zone and are featured by zonation in N-S direction and segmentation in E-W direction. Low-salient structures are rich in oil and gas. Vertically, oil/gas-bearing layers become younger and shallower from north to south.

Key words hydrocarbon accumulation condition; hydrocarbon distribution; Liaodong Bay Depression; Bohai Sea

收稿日期: 2010-07-20 修订日期: 2011-04-30

第一作者简介: 王祥 (1980-), 男, 博士研究生, 油气成藏。

基金项目: 中海石油 (中国) 有限公司重大基础研究项目 (SC06TJ-TQL-004)。

辽东湾坳陷位于渤海湾盆地东北部海域,呈北东向长条形展布,其东西两侧分别与胶辽隆起、燕山褶皱带相邻,南北分别与渤中坳陷、下辽河断陷盆地相接,面积约 11 000 km²。经过近半个世纪的勘探,辽东湾坳陷共发现了 14 个大油气田和 29 个含油气构造,获各级石油地质储量 13×10^8 t,天然气地质储量 535×10^8 m³。虽然辽东湾地区地质条件复杂,勘探开发程度较低,也相继开展了一系列的科研工作,涉及构造演化^[1-4]、沉积成岩作用^[5-11]、烃源岩^[12-15]、输导体系及成藏模式^[16-19]、油气分布主控因素^[20-26]等。但对于该区油气成藏条件的研究较少,尚未见有专门文献报道,李潍莲等通过与下辽河坳陷对比,阐明了辽东湾断陷与下辽河坳陷油气成藏条件和油气分布规律的主要差别^[27]。随着近几年勘探开发工作的深入,油气田发现数量不断增加,对该地区油气成藏条件和油气分布规律的认识也在不断加深。笔者在前人研究的基础上,充分利用现有的地震、钻井资料,从烃源岩、储集层、储盖组合、圈闭以及输导系统等多个方面对辽东湾坳陷油气成藏条件进行综合研究,阐述了油气的分布规律,对评价辽东湾坳陷油气勘探前景具有重大现实意义。

1 区域地质概况

辽东湾坳陷为渤海湾盆地的一个次级构造单元,发育辽东凹陷、辽中凹陷、辽西凹陷 3 个负向构造单元和辽东凸起、辽西低凸起 2 个正向构造单元,共同构成三凹两凸的构造格局,各构造单元均呈北东-南西向相互平行展布。其中辽中凹陷面积最大,辽西凹陷次之,辽东凹陷规模最小^[1-2]。辽东湾坳陷新生代经历了古近纪裂陷沉降阶段和新近纪-第四纪后裂陷沉降阶段^[1-3,19]。古近纪的裂陷沉降阶段可进一步划分为 3 个阶段:古新世-始新世中期的伸展张裂陷阶段(65~38 Ma)、始新世晚期-渐新世早期第一裂后热沉降阶段(38~32.8 Ma)、渐新世东营期走滑拉分与再次裂陷阶段(32.8~24.6 Ma)。

古近系自下而上包括孔店组(Ek)、沙河街组($E_s^4-E_s^1$)和东营组(Ed^3-Ed^1),其中孔店组-沙河街组四段($Ek-E_s^4$)以泥岩与碳酸盐岩互层

为主,且均夹有红色岩层,总体上为干旱环境下的小型湖泊沉积和洪积扇沉积;沙河街组三段(E_s^3)以暗色泥岩或油页岩为主,主要为湖泊环境,边缘发育扇三角洲或近岸水下扇,是主力烃源岩发育层段;沙河街组二段(E_s^2)是灰色泥、页岩与中-粗砂岩互层沉积,发育湖泊、碳酸盐岩台地和扇三角洲沉积;沙河街组一段(E_s^1)为暗色泥岩和油页岩广泛发育,底部为生物碎屑灰岩、碎屑云岩,为湖泊和碳酸盐生物滩沉积;东营组三段(Ed^3)为深灰色泥岩夹砂岩透镜体,其沉积环境以湖泊为主;东营组二段(Ed^2)发育厚层状中-细粒砂岩,主要为三角洲沉积;东营组一段(Ed^1)为灰、黄绿色泥岩与浅灰色砂岩互层,主要为河流、三角洲和湖泊沉积。新近系自下而上为馆陶组和明化镇组,在全区为一套辫状河到曲流河的陆源粗碎屑沉积^[8-11]。

2 油气成藏条件

2.1 烃源岩条件

辽东湾坳陷烃源岩总体上呈北北东向展布,发育沙河街组三段、沙河街组一段、东营组三段 3 套烃源岩。有机地球化学分析结果表明(表 1),沙河街组三段烃源岩有机质丰度高,有机碳含量普遍在 1% 以上,平均值为 1.46%~1.77%,总烃含量平均大于 900×10^{-6} ,生烃潜量(S_1+S_2)大于 6 mg/g 有机质类型好,以 II₁ 型为主,在辽中凹陷中部其 R_o 值已达到 1%,处于成熟-高成熟阶段,在辽西和辽东凹陷该层段源岩也已进入了生烃门限,是辽东湾坳陷的主力烃源岩^①;沙河街组一段烃源岩有机质丰度高,有机碳含量一般在 1.5% 以上,总烃含量大于 $1\,000 \times 10^{-6}$,生烃潜量一般大于 10 mg/g 以 II₁ 型为主,该层段烃源岩在辽中凹陷馆陶组沉积晚期进入生油门限,凹陷北洼和南洼达到生烃高峰,但由于厚度太薄,生烃量有限;各生油洼陷东营组三段烃源岩有机质丰度相近,其有机碳含量平均值大于 1.3%,总烃含量除辽中北洼达到 607×10^{-6} 外,均小于 500×10^{-6} ; (S_1+S_2)一般小于 5 mg/g 以 II₂ 型为主,该层段烃源岩在辽中凹陷馆陶组沉积晚期进入生油门限,但处于刚刚成熟阶段,尚不能成为该区主力烃源岩。

① 郝芳,邹华耀,王春江,等.渤海湾地区油气成藏机理与模式.中海石油天津分公司,2007.

表 1 辽东湾坳陷烃源岩有机质丰度和类型^①

Table 1 Organic matter abundance and kerogen types of source rocks in the Liaodong Bay depression

凹陷名称		Ed ^(下)				Es ¹				Es ³			
		TOC, %	HC / 10 ⁻⁶	(S ₁ + S ₂) / (mg•g ⁻¹)	有机质 类型	TOC, %	HC / 10 ⁻⁶	(S ₁ + S ₂) / (mg•g ⁻¹)	有机质 类型	TOC, %	HC / 10 ⁻⁶	(S ₁ + S ₂) / (mg•g ⁻¹)	有机质 类型
辽中凹陷	北洼	1.47	607	5.04	II ₁	2.25	1344	14.09	II ₁ , I	1.66	1128	6.15	II ₁
	中洼	1.36	342	4.71	II ₂ , III	1.62	1187	10.72	II ₁	1.19	853	3.16	II ₁ , II ₂
	南洼	1.41	436	4.38	II ₂	2.23	1298	14.20	II ₁	1.46	1680	6.49	II ₁
辽西凹陷	北洼	1.30	298	3.55	II ₁ , II ₂	1.76	1004	6.65	II ₁	1.77	906	6.59	II ₁
	中洼	1.45	198	5.31	II ₂ , II ₁	2.80	1001	14.98	II ₁	1.04	672	3.33	II ₂ , III

注: TOC 为有机碳含量; HC 为总烃含量; S₁ + S₂ 为生烃潜量。

2.2 储层条件

2.2.2 新生界碎屑岩储集体

2.2.1 基岩储集体

基岩储层是指前新生界各时代具有储集性能的岩层,这类储层主要分布于各凸起和基岩断块的高部位,如辽东湾的低凸起都被生油凹陷挟持,来自生油凹陷的油气可沿其内部的砂体、不整合面、断层面等直接进入潜山储层中。凹陷的最深部位(生油岩)与潜山最高部位(储层)直接侧向接触,对油气的聚集十分有利。根据岩性的不同,又可细分为太古宇—古元古界变质花岗岩储集体、下古生界碳酸盐岩和中生界安山岩、火山碎屑岩储集体。

太古宇—古元古界变质花岗岩主要分布在凸起区,在断层发育区可形成构造裂缝发育带,个别隆起高部位经长期风化、淋滤、溶蚀作用,风化壳缝洞十分发育,成为良好储层,如 JZ20—2 南高点潜山凝析气藏储集层。下古生界主要储集岩岩性为粉—细晶白云岩、灰岩、灰质云岩,以不等粒云岩,细晶云岩较好,主要储集空间有粒间溶孔、晶间溶孔以及溶蚀缝等,如辽 5 井钻遇的奥陶系灰岩发现 39.5 m 裂缝段,邻区渤南、石臼坨地区的下古生界均获得高产油气流。中生界安山岩、火山碎屑岩储集体主要分布于凸起区,以中、基性喷发岩及火山碎屑岩为主,岩性致密,基本属于非储层,但断裂活动形成的构造裂缝,常形成主要储集空间和通道,个别风化壳的溶蚀孔隙使储集性能得到改善,如锦州 20—2 中高点潜山凝析气藏。

辽东湾坳陷大部分油藏的储集体是砂岩储集体,主要分布在古近系沙河街组和东营组,以及新近系馆陶组和明化镇组。其中古近系沙河街组二段储集性能明显好于沙河街组一段和三段,为高孔—高渗储层,沙河街组一段为高孔—低渗储层,沙河街组三段储集性能最差;东营组一段为低—中孔隙度、低—特低渗透率储层;东营组二段为高—特高孔隙度、高—特高渗储层,东营组三段为中—低孔隙度、低—特低渗透率储层;新近系储层物性较好,明化镇组主要为高—特高孔隙度、中—高渗透率储层;馆陶组储层为高—特高孔隙度、高—特高渗储层(图 1)。

新生界各类砂体发育,三角洲前缘席状砂、河口砂坝、水下分流河道、沿岸砂坝、断崖扇、浊积体等砂体直接嵌入生油凹陷,有利于油气藏的形成,如 SZ36—1 油田东营组油藏、JZ25—1 油田沙河街组油藏以及 LD27—2 油田明化镇组下段、馆陶组油藏等,储集空间大,以次生粒间孔为主且连通性好,成为主要的高产层位。此外,局部地区存在碳酸盐岩储集体,如 JZ20—2 凝析气田沙河街组一段生物碎屑灰岩储集体,裂缝、溶蚀孔隙发育,储层质量较好,是另一套重要产层。

2.3 生储盖组合

古近纪的两次裂陷和快速沉降作用不仅形成了东营组、沙河街组三段两套主要烃源岩,也形成了古近纪两套重要区域性盖层,这两套区域性盖层分别与裂陷阶段发育的各种储集层配置组成渤

① 李秀芬. 辽东湾地区生油岩特征及评价. 渤海石油公司研究院, 1991

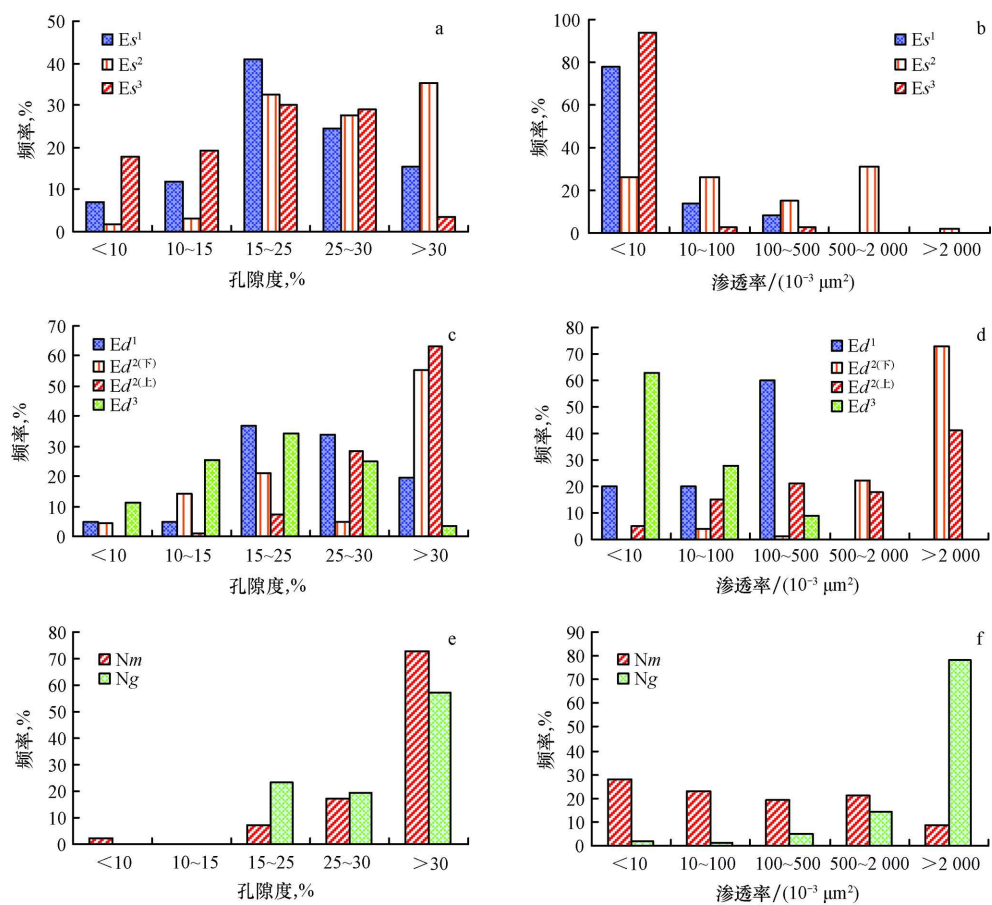


图 1 辽东湾坳陷新生代砂体孔隙度和渗透率分布频率直方图

Fig. 1 Frequency histogram of porosity and permeability of the Cenozoic sandbodies in the Liaodong Bay depression

海中深层有利的储盖组合(图 2)。

2.3.1 下生上储式

下生上储式在辽东湾坳陷大体可分为两种:
1)以沙河街组三段下部暗色泥岩为生油层,沙河街组三段和沙河街组二段扇三角洲砂体为储层,沙河街组一段泥岩、油页岩及碳酸盐岩组成的特殊岩性段为盖层,组成了沙河街组内部下生上储式生储盖组合; 2)以东营组三段暗色泥岩为生油岩,东营组二段下部三角洲砂体为储层,东营组一段及其上部砂泥岩互层段为盖层,组成了东营组内部下生上储式生储盖组合。目前在辽东湾坳陷已发现的油气藏中占据了重要位置,如锦州 21-1 油田。

2.3.2 新生古储式

此类模式主要形成于凸起部位。辽西低凸起油源为沙河街组,储层为上元古界、古生界或

中生界潜山,盖层主要为东营组和沙河街组泥岩,油气通过断裂、不整合等通道,垂向和侧向运移至古潜山中聚集。目前在辽东湾坳陷潜山中发现了大量的油气,如:锦州 25-1 南油田,锦州 20-2 凝析气田。其中锦州 25-1 南油田是渤海目前为止发现最好的气田和最大的潜山油田。

2.3.3 自生自储式

在辽东湾坳陷,东营组三段、沙河街组发育泥、页岩,同时三角洲、辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇等储集砂体也较发育,由于纵向上的相互叠置与交错,可构成自生自储式的生储盖组合,如锦州 25-1 油田。

2.4 圈闭类型

辽东湾坳陷构造演化的多样性及其所控制的沉积条件的差异,形成了多层次、多种类型的圈

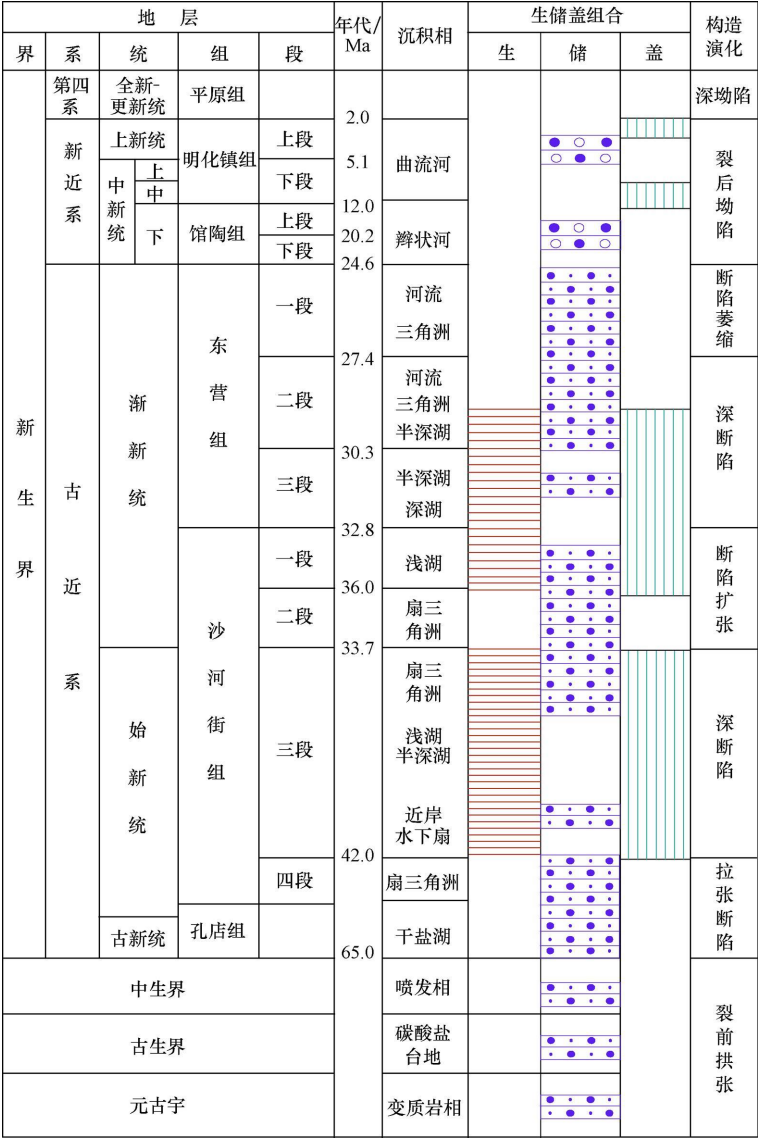


图 2 辽东湾拗陷生储盖组合示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing source-reservoir-cap rock assemblages in the Liaodong Bay depression

闭。结合前人的经验,同时参照中海油天津分公司关于圈闭类型的分类方案^①,目前辽东湾拗陷已发现有半背斜、断背斜、断鼻、断块、潜山、岩性和构造-岩性等圈闭(图 3),这些圈闭形成于古近纪沙河街组、东营组沉积时期,多为同沉积构造圈闭,圈闭形成时间早于油气运移时间,均为有效圈闭,因此在各类圈闭中均发现有油田。

2.5 输导系统

油气输导系统通常是由断裂、不整合面、砂体等因素共同组成的。目前辽东湾拗陷已发现的输

导系统以断层为主,主要发育 3 期断层: 1) 早期断层,形成于沙河街组沉积末期—东营组沉积早期; 2) 晚期断层,形成于馆陶组沉积末期—明化镇组沉积初期; 3) 持续活动断层,从沙河街组沉积早期持续活动到第四纪^[28]。已发现的油气藏多沿长期活动的断裂分布,如旅大 27-2 旅大 16-1 馆陶组、明化镇组油气藏,在断层的输导作用下,沙河街组三段或东营组三段烃源岩生成的油气进入新近系馆陶组、明化镇组的砂岩中聚集成藏(图 4)。此外,断层把彼此不接触、时空跨度较大的烃源岩与不整合面联系起来,构成断层-不整合输导系

① 李家康,蔡东升.渤海油气藏特点与断层的关系.中海石油研究中心渤海研究院,1999.

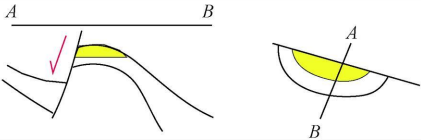
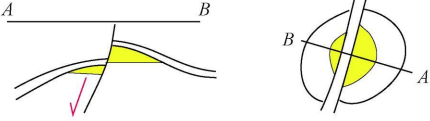
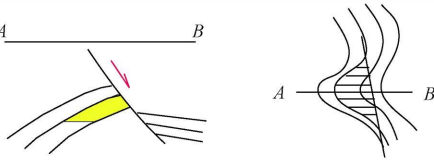
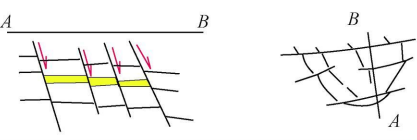
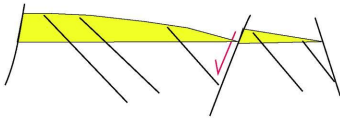
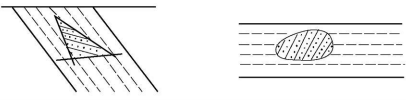
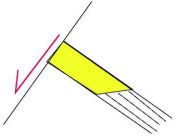
圈闭类型	圈闭模式图	代表构造名称
半背斜		SZ36-1, JZ25-1, LD10-1, JZ25-1S
断背斜		JZ21-1, JZ9-3E
断鼻		JZ9-3
断块		LD6-2, LD5-2, LD4-2, JX1-1, JX1-1E, JZ21-1S
潜山		JZ20-2
岩性		JZ31-6, LD28-1
构造-岩性		JZ31-2, JZ16-4

图 3 辽东湾坳陷圈闭类型示意图

Fig 3 Schematic diagram showing trap types in the Liaodong Bay depression

统, 如锦州 20- 2 沙河街组一、二段及潜山凝析油气藏 (图 5)。

3 油气分布规律

在平面上, 辽东湾坳陷油气藏大多分布在郯庐断裂附近, 低凸起构造带、陡坡带、缓坡带和凹中隆四种构造带均有油气藏发现。其中, 辽东湾低凸起构造带是油气主要富集带, 其原油占总探明储量的 48. 19%、天然气占 73. 77%, 其次是凹中隆构造带, 原油和天然气分别占 28. 95% 和 21. 78%, 总体上油气藏平面分布具有南北分带、东西分块的特点 (图 6)。在纵向上, 油气在新生界、中生界、古生界和太古宇潜山均有分布, 在不

同的地区油气的分布层位不同^[25 29]。目前在北部发现的油气主要聚集在沙河街组, 中部发现的油气主要聚集在东营组三段和东营组二段下部, 而南部目前仅发现了旅大 10- 1 油田、旅大 27- 2 油田 (渤东低凸起倾末端), 其油气主要聚集在东营组二段下部和上部, 甚至在新近系馆陶组和明化镇组。总体上具有从北向南油气富集层位变新, 埋藏深度变浅的特点 (图 7)。

原油探明储量主要分布在东营组二段下部, 约占总探明储量的 75%, 其次是沙河街组、新近纪和古潜山。沙河街组发现的原油占 11%, 东营组二段上部、明化镇组中发现的原油相差不大, 探明程度较低。天然气探明储量主要分布在沙河街组, 约占总探明储量的 54. 8%, 其次是东营组, 约

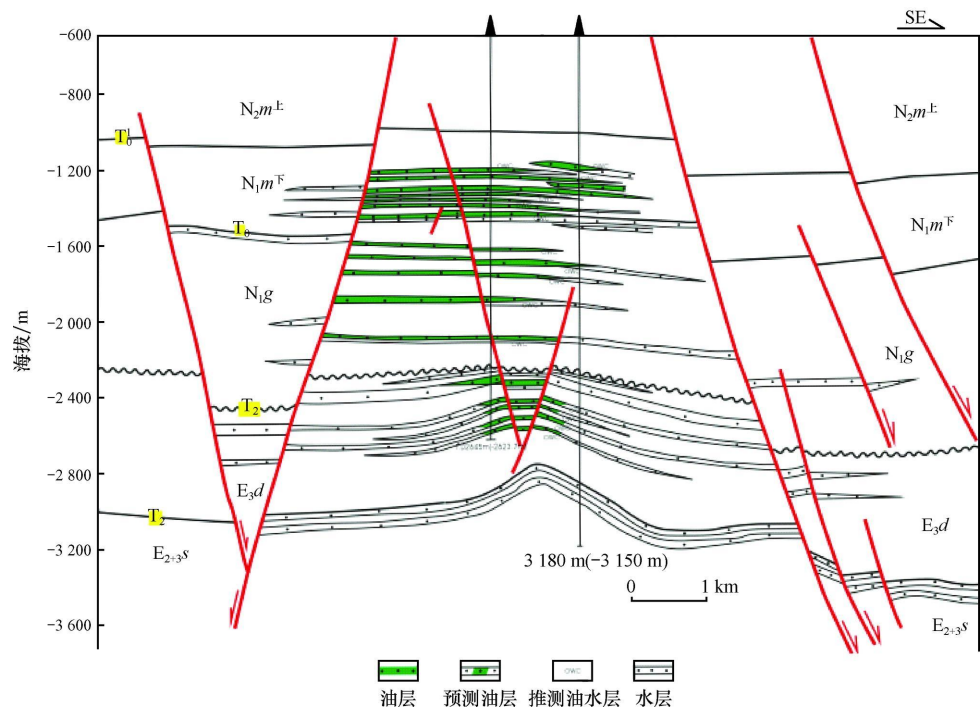


图 4 旅大 27- 2 含油构造油藏剖面^①

Fig. 4 Reservoir profile of the LD27-2 oil-bearing structure in the Liaodong Bay depression

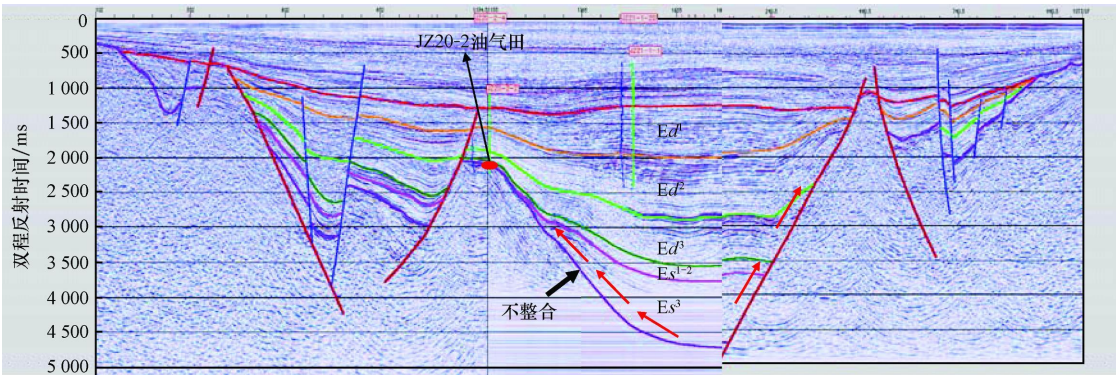


图 5 辽东湾拗陷 LZ255 地震解释剖面

Fig. 5 Interpretation of the LZ255 seismic line in the Liaodong Bay depression

占 40%，古潜山发现的天然气较少。其中，沙河街组天然气主要赋存于独立的凝析气藏中，工业价值高，而东营组天然气则主要以油内溶解气的形式存在。

4 结论

1) 辽东湾拗陷是渤海海域油气最为富集的地区之一，发育多套烃源岩，其中沙河街组三段

是主力烃源岩；储集条件好，基岩储集体储集空间主要是通过后期改造作用来实现的，碎屑岩储集体具有高的孔隙度和渗透率；生储盖层在时空上可分为自生自储式、下生上储式 and 新生古储式 3 种配置关系；输导系统以断层为主；圈闭类型较单一，以构造圈闭为主，单纯的岩性圈闭发现较少。整体上看，辽东湾拗陷油气成藏条件十分优越。

2) 辽东湾已发现的油气藏主要聚集在郯庐

① 辽东湾勘探项目队. 旅大 27- 2 含油构造钻后评价取得重大进展. 中海石油天津分公司, 2010

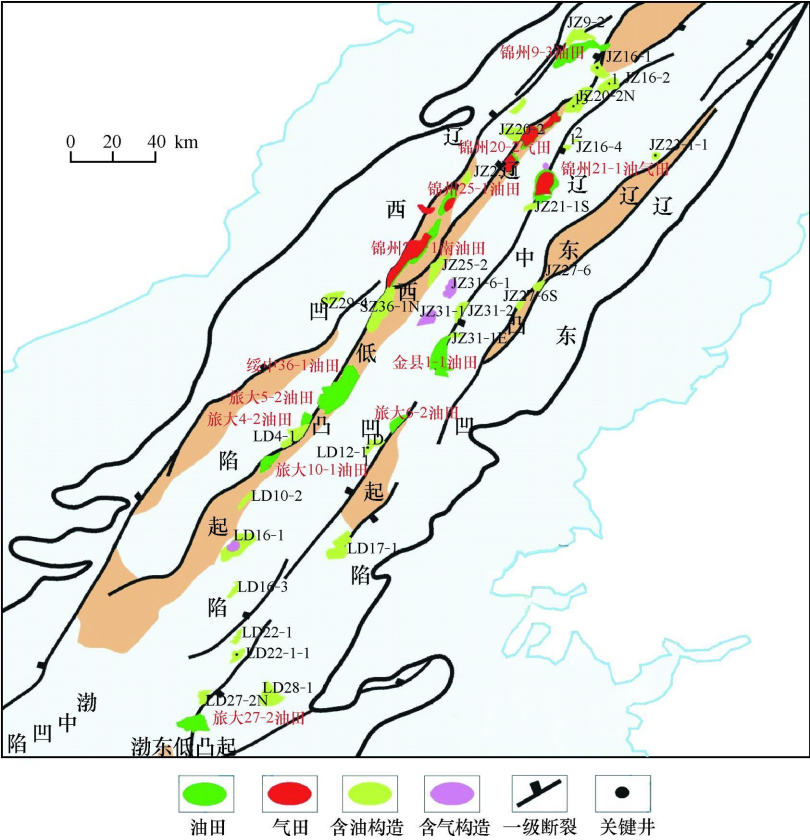


图 6 辽东湾坳陷油气藏平面分布

Fig 6 Horizontal distribution of hydrocarbon accumulations in the Liaodong Bay depression

地层		北 段					中 段				南 段		
		JZ9-3	JZ20-2	JZ21-1	JZ25-1	JZ25-1S	JX1-1	SZ36-1	LD5-2	LD4-2	LD10-1	LD16-1	LD27-2
新近系	Nm ¹												★
	N ₁ g											★	★
古近系	E ₃ d ¹												
	E ₃ d ^{2(上)}		★	★				★	★			★	★
	E ₃ d ^{2(下)}	★		★				★	★	★	★	★	★
	E ₃ d ³	★					★	★					
	E ₂ s ¹⁺²	★	★		★	★	★						
	E ₂ s ³	★			★		★						
潜山	Pre-E		★		★	★		★					
★ 主要油气显示层													

图 7 辽东湾坳陷油气藏纵向分布

Fig 7 Vertical distribution of hydrocarbon accumulations in the Liaodong Bay depression

断裂带附近, 油气分布规律性较强, 平面上具有南北分带、东西分块的特点; 纵向上从北向南逐渐变新, 埋藏深度变浅的特点, 北部和中部油气主要分布在沙河街组、东营组三段和二段中; 南部油气主要分布在新近系明化镇组、馆陶组及古近系东营组。

参 考 文 献

[1] 漆家福, 陈发景. 辽东湾—下辽河裂陷盆地的构造样式 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 272–283.
Q i J i a f u , C h e n F a j i n g . S t r u c t u r a l s t y l e i n L i a o d o n g w a n - X i a l i a o h e b a s i n [J] . O i l & G a s G e o l o g y , 1992, 13(3): 272–283.

[2] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1995, 19(增刊): 1–6.
Q i J i a f u , Z h a n g Y i w e i , L u K e z h e n g , e t a l . C e n o z o i c t e c t o n i c e v o l u t i o n i n B o h a i B a y b a s i n p r o v i n c e [J] . J o u r n a l o f t h e U n i v e r s i t y o f P e t r o l e u m , C h i n a (E d i t i o n o f N a t u r e S c i e n c e) , 1995 (S) : 1–6.

[3] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释 [J]. 中国地质, 2004, 31(1): 15–22
Q i J i a f u . T w o t e c t o n i c s y s t e m s i n t h e C e n o z o i c B o h a i B a y b a s i n a n d t h e i r g e n e t i c i n t e r p r e t a t i o n [J] . G e o l o g y i n C h i n a , 2004, 31(1): 15–22

[4] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域辽东湾拗陷正断层联接及其转换带特征 [J]. 地质论评, 2009, 55(1): 79–86.
Y u Y i x i n , Z h o u X i n h u a i , T a n g L i a n g j i e , e t a l . L i n k a g e s o f n o r m a l f a u l t s a n d t r a n s f e r z o n e s i n t h e L i a o d o n g w a n D e p r e s s i o n , o f f s h o r e B o h a i B a y B a s i n [J] . G e o l o g i c a l R e v i e w , 2009, 55(1): 79–86

[5] 蒋恕, 蔡东升, 朱筱敏, 等. 辽东湾地区孔隙演化的机理 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2007, 32(3): 367–376
J i a n g S h u , C a i D o n g s h e n g , Z h u X i a o m i n , e t a l . M e c h a n i s m o f t h e p o r e e v o l u t i o n i n L i a o d o n g B a y A r e a [J] . E a r t h S c i e n c e - J o u r n a l o f C h i n a U n i v e r s i t y o f G e o s c i e n c e s , 2007, 32(3): 367–376

[6] 刘孟慧, 赵澄林. 辽东湾下第三系砂体微相和成岩作用研究 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1994, 18(1): 1–9.
L i u M e n g h u i , Z h a o C h e n g l i n . M i c r o - s e d i m e n t a r y f a c i e s a n d d i a g e n e s i s o f t h e l o w e r T e r t i a r y i n L i a o d o n g B a y [J] . J o u r n a l o f t h e U n i v e r s i t y o f P e t r o l e u m , C h i n a (E d i t i o n o f N a t u r e S c i e n c e) , 1994, 18(1): 1–9.

[7] 姜向强, 钟大康, 张琼. 辽东湾地区古近系砂岩成岩作用与孔隙演化 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2007, 22(6): 14–22
J i a n g X i a n g q i a n g , Z h o n g D a k a n g , Z h a n g Q i o n g . D i a g e n e s i s a n d p o r o s i t y e v o l u t i o n o f t h e p a l e o g e n e s a n d s t o n e r e s e r v o i r s i n L i a o d o n g w a n A r e a [J] . J o u r n a l o f X i ' a n S h i y o u U n i v e r s i t y (N a t u r a l S c i e n c e E d i t i o n) , 2007, 22(6): 14–22

[8] 董艳蕾, 朱筱敏, 李德江, 等. 渤海湾盆地辽东湾地区东二层序高位三角洲沉积特征 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 56–61.
D o n g Y a n l e i , Z h u X i a o m i n , L i D e j i a n g , e t a l . D e p o s i t i o n a l c h a r a c t e r i s t i c s o f h i g h s t a n d d e l t a o f D o n g ' e r s e q u e n c e , L i a o d o n g B a y , B o h a i B a s i n [J] . P e t r o l e u m G e o l o g y a n d R e c o v e r y E f f i c i e n c y , 2008, 15(2): 56–61.

[9] 陈清华, 刘泽容. 辽东湾盆地南部下第三系构造岩相分析 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1994, 18(2): 9–13.
C h e n Q i n g h u a , L i u Z e r o n g . T e c t o - f a c i e s a n a l y s i s o f l o w e r s e r i e s i n t h e s o u t h e r n p a r t o f L i a o d o n g B a y b a s i n [J] . J o u r n a l o f t h e U n i v e r s i t y o f P e t r o l e u m , C h i n a (E d i t i o n o f N a t u r e S c i e n c e) , 1994, 18(2): 9–13

[10] 苗丰民, 李淑媛, 李光天, 等. 辽东湾北部浅海区泥沙输送及其沉积特征 [J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 114–121
M i a o F e n g m i n , L i S h u y u a n , L i G u a n g t i a n , e t a l . S u s p e n d e d s e d i m e n t t r a n s p o r t t e n d e n c y a n d t h e s t u d y o f s e d i m e n t a r y d i v i s i o n s i n t h e n o r t h e r n L i a o d o n g B a y [J] . A c t a S e d i m e n t o l o g i c S i n i c a , 1996, 14(4): 114–121

[11] 徐长贵, 许效松, 丘东洲, 等. 辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析 [J]. 古地理学报, 2005, 7(4): 449–459.
X u C h a n g g u i , X u X i a o s o n g , Q i u D o n g z h o u , e t a l . S t r u c t u r a l a n d s e q u e n c e s t r a t i g r a p h i c f r a m e w o r k s a n d p a l a e o g e o g r a p h y o f t h e P a l e o g e n e i n c e n t r a l s o u t h e r n L i a o x i S a g , L i a o d o n g w a n B a y a r e a [J] . J o u r n a l o f P a l a e o g e o g r a p h y , 2005, 7(4): 449–459

[12] 陈荣书, 唐仲华, 徐思煌, 等. 双开关排烃模型及其在辽东湾地区的应用 [J]. 中国海上油气 (地质), 1995, 9(4): 253–262
C h e n R o n g s h u , T a n g Z h o n g h u a , X u S i h u a n g , e t a l . T w o - s w i t c h h y d r o c a r b o n e x p u l s i o n m o d e l a n d i t s a p p l i c a t i o n i n L i a o d o n g B a y [J] . C h i n a O f f s h o r e O i l a n d G a s (G e o l o g y) , 1995, 9(4): 253–262

[13] 董春梅. 辽东湾海域原油及生油岩的生物标志化合物特征 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1995, 19(2): 12–18.
D o n g C h u n m e i . B i o l o g i c a l m a r k e r o f c r u d e o i l a n d s o u r c e r o c k i n L i a o d o n g G u l f [J] . J o u r n a l o f t h e U n i v e r s i t y o f P e t r o l e u m , C h i n a (E d i t i o n o f N a t u r e S c i e n c e) , 1995, 19(2): 12–18.

[14] 左银辉, 邱楠生, 李建平, 等. 渤海盆地辽东湾地区古近系烃源岩成熟演化模拟 [J]. 现代地质, 2009, 23(4): 746–754
Z u o Y i n h u i , Q i u N a n s h e n g , L i J i a n p i n g , e t a l . S i m u l a t i o n o f m a t u r i t y e v o l u t i o n o f p a l e o g e n e s o u r c e r o c k s i n L i a o d o n g B a y , B o h a i b a s i n [J] . G e o s c i e n c e , 2009, 23(4): 746–754

[15] 庞雄奇, 郭永华, 姜福杰, 等. 渤海海域优质烃源岩及其分布预测 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 393–397.

Pang Xiongqi Guo Yonghua Jiang Fujie et al High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009 30(4): 393– 397.

[16] 徐田武, 曾 澌辉, 魏 刚, 等. 辽东湾地区油气运移输导体系特征及意义 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2008, 30(5): 69– 73

Xu Tianwu, Zeng Jianhui Wei Gang et al The character and significance of hydrocarbon transferring system in Liaodong Bay [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Natural Science and Edition) 2008, 30(5): 69– 73

[17] 李潍莲, 刘震, 代春萌, 等. 辽东 JZS 油气田西侧边界断层输导性能分析 [J]. 现代地质, 2009 23(2): 292– 299.

Li Weilian, Liu Zhen, Dai Chumeng et al The carrying capability of western margin faults of JZS oilfield and their controls on hydrocarbon accumulation in Liaodong Bay [J]. Geoscience, 2009 23(2): 292– 299.

[18] 万天丰, 王明明, 殷秀兰, 等. 渤海湾地区不同方向断裂带的封闭性 [J]. 现代地质, 2004 18(2): 157– 162.

Wan Tianfeng Wang Mingming Yin Xiulan, et al Sealing properties of different direction faults in the Bohai Bay area [J]. Geoscience, 2004 18(2): 157– 162

[19] 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, 2009 30(4): 450– 455

Wan Guimei Zhou Donghong Tang Liangjie Control of the Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 450– 455

[20] 姜培海. 辽西低凸起油气成藏的主要控制因素及勘探潜力 [J]. 油气地质与采收率, 2001 8(4): 24– 27

Jiang Peihai Primary controlling factors and exploration potential of low arch oilgas reservoir forming in Liaoxi[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001 8(4): 24– 27.

[21] 李潍莲, 刘震, 于水, 等. 地温—地压场特征与油气分布的关系——以辽东湾地区为例 [J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 17– 20

Li Weilian, Liu Zhen, Yu Shui et al Characteristics of geotemperature-geopressure fields and their relationships with distribution of oil and gas taking Liaodong Bay as an example[J]. Natural Gas Industry, 2006 26(9): 17– 20

[22] 刘廷海, 王应斌, 陈国童, 等. 辽东湾北区油气藏特征、主控因素与成藏模式 [J]. 中国海上油气, 2007 19(6): 372– 376

Liu Tinghai Wang Yingbin, Chen Guotong et al An analysis of hydrocarbon reservoir characteristics main controls and accumulation models in the northern Liaodong Bay [J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(6): 372– 376

[23] 徐长贵, 朱秀香, 史翠娥, 等. 辽东湾坳陷古近系东营组泥岩对油气藏分布的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30(4): 431– 437.

Xu Changgui Zhu Xiuxiang Shi Cuie et al Control of the Dongying Formation mudstone upon the distribution of hydrocarbon accumulations in the Liaodong Bay Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2009 30(4): 431– 437.

[24] 刘小平, 周心怀, 吕修祥, 等. 渤海海域油气分布特征及主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30(4): 497– 503.

Liu Xiaoping Zhou Xinhuai Lü Xiuxiang et al Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 497– 503

[25] 范军侠, 李宏伟, 朱筱敏, 等. 辽东湾北部地区走滑构造特征与油气富集规律 [J]. 古地理学报, 2006 8(3): 415– 418.

Fan Junxia Li Hongwei Zhu Xiaomin et al Characteristics of strike-slip structure and rules of hydrocarbon accumulation in northern Liaodong Bay[J]. Journal of Palaeogeography, 2006 8(3): 415– 418

[26] 李慧勇, 徐长贵, 刘廷海, 等. 陆相盆地薄层泥岩盖层形成机制、特征与油气成藏关系——以辽东湾地区中南部为例 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(1): 19– 23

Li Huiyong Xu Changgui Liu Tinghai et al The formation mechanisms and characteristics of thin-layer mudstone caprock and its relationship with hydrocarbon accumulation in the terrestrial basin— an example of thin-layer mudstone caprock in the south-central Liaodong Bay[J]. Petroleum Geology and Experiment 2010 32(1): 19– 23.

[27] 李潍莲, 代春萌, 于水. 辽东湾断陷与下辽河坳陷油气成藏条件及油气分布特征的差异性分析 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2006 21(4): 15– 21

Li Weilian Dai Chumeng Yu Shui Contrast of hydrocarbon accumulation conditions and hydrocarbon distributions between Liaodong Bay Fault Depression and Xiaolahe Depression[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2006 21(4): 15– 21

[28] 朱伟林, 米立军, 龚再升, 等. 渤海海域油气成藏与勘探 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1– 368

Zhu Weilin Mi Lijun, Gong Zaisheng et al Hydrocarbon accumulation and exploration in Bohai area[M]. Beijing Science Press 2009: 1– 368

[29] 翟中喜, 白振瑞. 渤海湾盆地石油储量增长规律及潜力分析 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 88– 94

Zhai Zhongxi Bai Zhenrui Pattern and potential of petroleum reserves growth in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008 29(1): 88– 94.

(编辑 张亚雄)