

渤海湾盆地古近系油气富集差异性及其主控因素

蒋有录¹, 苏圣民¹, 刘 华¹, 王永诗², 崔小君¹

[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, 山东 东营 257001]

摘要:含油气盆地不同地区油气分布层系及富集程度存在较大差异,以统计资料及前人成果为基础,探讨了渤海湾盆地不同凹陷古近系油气富集的差异性及主控因素。研究表明,渤海湾盆地含油气凹陷油气富集类型可归为三类:前古近系型、古近系型和新近系型,以古近系富集型凹陷为主。古近系油气具有“东富西贫”、“不同层系分区性明显”等分布特点,平面上油气集中分布于盆地东部地区富油凹陷,纵向上以烃源岩层系及邻近的沙街组三段、二段最为富集,向上、向下层段依次减少。多种因素控制了不同凹陷古近系油气差异性富集:凹陷生烃条件从根本上控制了不同凹陷的油气富集差异,盆地东、西部地温场及烃源岩演化的差异是造成“东富西贫”油气分布格局的重要因素,不同烃源岩层系生烃差异性和主力生烃层系、生储盖组合和断层输导作用控制了油气纵向富集层系。

关键词:油气分布;差异富集;断层输导;主控因素;古近系;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Differential hydrocarbon enrichment of the Paleogene and its main controlling factors in the Bohai Bay Basin

Jiang Youlu¹, Su Shengmin¹, Liu Hua¹, Wang Yongshi², Cui Xiaojun¹

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China;

2. Shengli Oilfield Branch Company Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong 257001, China]

Abstract: The differences of hydrocarbon accumulation in distribution horizon and enrichment degree are obvious in a petroliferous basin. Based on previous studies, we discuss the differential hydrocarbon enrichment and its major controlling factors of the Paleogene in various depressions of the Bohai Bay Basin. The results show that the petroliferous depressions can be divided into three patterns in terms of hydrocarbon accumulation, namely the enrichment patterns of the Pre-Paleogene, of the Paleogene and of the Neogene, with the second pattern taking the lead. The Paleogene hydrocarbon accumulation is characterized by “rich east but poor west” and “high heterogeneity in vertical distribution”—horizontally speaking, hydrocarbons concentrate in the eastern part (rich in hydrocarbon) of the basin; vertically, they mainly accumulate in source rock sequences and the adjacent Es² and Es³, and diminish herein upwards and downwards. The differential hydrocarbon enrichment of the Paleogene in different depressions is jointly controlled by multiple factors: the conditions for hydrocarbon generation are the fundamental one; the differential geothermal fields and source rock thermal evolution are the key to the differential hydrocarbon enrichment of “rich east but poor west”; and the differential hydrocarbon generation potentials of different source rock sequences, major source rock interval, source rock-reservoir-caprock assemblage, and carrier faults, collectively determine the vertical enrichment of hydrocarbons in the basin.

Key words: hydrocarbon distribution, differential hydrocarbon enrichment, fault transport, major controlling factor, Paleogene, Bohai Bay Basin

渤海湾盆地是我国东部重要的含油气盆地,油气资源丰富,截至2017年底,累计探明石油地质储量为 150.63×10^8 t,探明天然气地质储量为 0.36×10^{12}

m^3 。但不同坳(凹)陷油气分布层系和富集程度差异悬殊,总体具有“东富西贫”、“纵向多层系分布”等特征。古近系为主力含油气层系,石油探明储量占总

收稿日期:2018-05-02;修订日期:2020-02-01。

第一作者简介:蒋有录(1959—),男,博士、教授、博士生导师,油气藏形成与分布规律。E-mail:jiangyl@upc.edu.cn。

基金项目:国家重大科技专项课题(2016ZX05006-003);国家自然科学基金(41672131)。

储量的61%以上,已发现十多个亿吨级大油田^[2-5]。前人对渤海湾盆地不同地区新近系和前古近系油气分布特征及成藏条件开展了深入研究^[6-10],但对不同地区古近系油气富集差异性及主控因素的研究还较少。古近系作为渤海湾盆地主力生储层系,是未来增储的主力领域^[2]。本文以统计资料为基础,结合前人研究成果,分析了古近系油气在纵向和平面上的富集差异性及其主控因素,以期对该盆地古近系油气勘探有借鉴意义。

1 油气成藏地质背景

渤海湾盆地位于中国东部,盆地内包括辽河、渤中、济阳、冀中、黄骅、临清和昌潍7个坳陷和埕宁、沧县、内黄、邢衡4个隆起,面积约 $20\times10^4\text{ km}^2$ ^[6]。渤海湾盆地是一个古生代结晶基底之上的中、新生代叠合盆地,经历了印支期伸展、燕山早期挤压造山、燕山晚期伸展与岩石圈减薄、沙三期—东营期拉分盆地形成、新近纪和第四纪整体拗陷5个构造演化阶段^[11]。新生代盆地继承了中生代盆地的构造格局,沉积中心发

生了迁移,构造演化可分为3个裂陷伸展期^[12]:古新世中期—始新世中期华北板块开始裂陷至裂陷区互补相连,盆内充填了岩性厚度变化大的孔店组和沙四段沉积;始新世中晚期裂陷作用加剧,断陷湖盆范围扩大,发育沙三段深湖相泥岩与浊积砂岩互层;渐新世发生渐进裂陷伸展,裂陷中心开始向渤海迁移,沉积厚度向渤海中心地区均匀加厚。渐新世末期裂陷作用基本结束,渤海湾盆地由断陷转化为拗陷。

多期构造运动导致多套生储盖层发育(图1),渤海湾盆地新生界主力烃源岩分为孔二段、沙四段、沙三段、沙一段和东营组5个层段,主力生烃层段自盆地边缘凹陷向渤海海域逐渐变多变新,且新烃源岩层的贡献逐渐增大^[6,13-14]。古近系储层十分发育,主要为三角洲、扇三角洲、水下扇和滩坝等砂体^[15-17]。古近系主要发育沙三段、沙一段两套区域性盖层,在全区稳定分布,主要为泥岩类,盆地南部的东濮等凹陷发育膏盐岩盖层^[18]。渤海湾盆地可以分为4个成油组合,即上部成油组合(新近系储层)、中部成油组合(沙二段—沙三段储层)、下部成油组合(沙四段—孔店组储层)和新生古储成油组合(前古近系储层)^[13]。

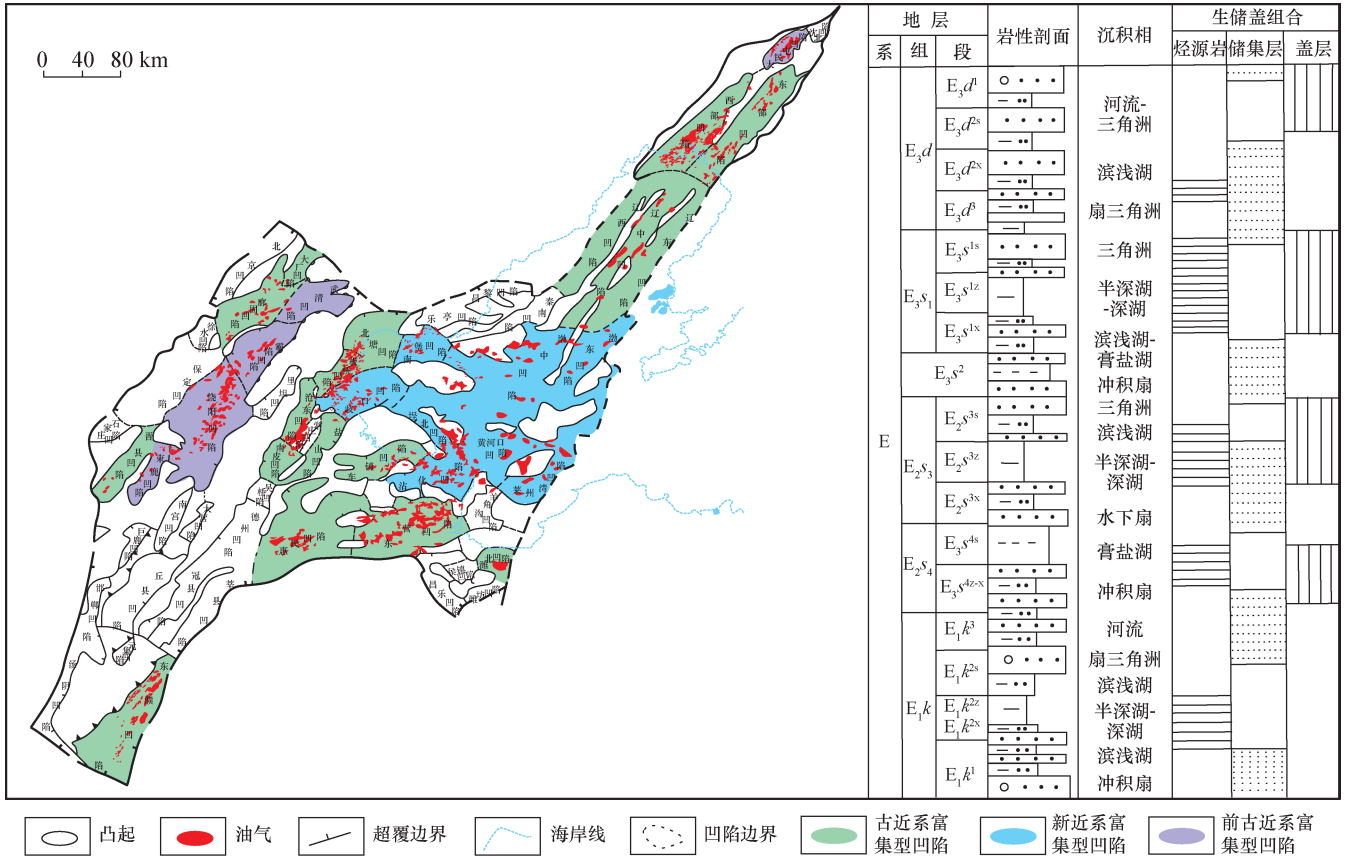


Fig. 1 The diagram showing the enrichment patterns and source rock-reservoir-caprock assemblages of the petroliferous depressions in the Bohai Bay Basin

渤海湾盆地古近系生烃层系大规模生烃期为新近纪及第四纪,具有向渤海海域逐渐变晚的趋势,油气主要生排烃期较晚,烃源岩多期生烃导致多期成藏,可划分为早期成藏(古近纪末期)和晚期成藏(新近纪—第四纪)两个成藏期,且以晚期成藏为主^[19]。

2 油气分布特征

2.1 油气富集类型

渤海湾盆地油气分布广泛,盆内大多数凹陷均有油气分布,具有满盆含油的特点。从西向东,油气富集区大致沿饶阳—霸县、歧口—板桥、东濮、东营—沾化、渤中—辽河等凹陷呈北东向条带状展布(图1)。不同凹陷油气富集程度差异较大,油气分布具有很强的不均一性。根据凹陷资源量、资源丰度和探明储量,可将其分为极富油、富油、含油和贫油四种类型^[5]。渤中、东营、沾化、辽西、东濮等凹陷油气资源十分丰富,为极富油和富油凹陷;而潍北、大民屯、廊固等凹陷油气资源及资源丰度相对较小,为含油凹陷;莘县、德州等凹陷未发现规模储量,为贫油凹陷。

纵向上,渤海湾盆地已发现的油气藏分布于前古近系、古近系和新近系,主要分布于古近系和新近系。不同坳(凹)陷油气的纵向分布也存在较大差异。渤中坳陷油气主要分布于新近系,占总探明储量70%以上^[5],古近系和前古近系油气探明储量较少。济阳坳陷和黄骅坳陷油气主要富集于古近系和新近系。昌潍坳陷和临清坳陷油气全部分布于古近系。冀中坳陷则主要富集于前古近系和古近系,新近系油气较少^[4]。

根据三大含油气层系探明储量百分比,将渤海湾盆地含油气凹陷划分为新近系富集型(储量百分比大于25%)、古近系富集型(储量百分比大于50%且新近系和前古近系储量百分比均小于25%)和前古近系富集型(储量百分比大于25%)三类。渤海湾盆地以古近系富集型凹陷为主,包括东营、辽河西部、东濮等富油凹陷,在盆地内广泛分布;新近系富集型凹陷主要分布于环渤海地区,包括渤中、歧口、沾化等富油凹陷;前古近系富集型凹陷多分布在盆地西部和边缘凹陷,包括饶阳、霸县、大民屯等凹陷(图1)。从盆地边缘到渤海海域,渤海湾盆地凹陷富集类型从前古近系和古近系富集型向新近系富集型过渡。

2.2 古近系油气分布特征

2.2.1 平面分布特征

平面上,除临清坳陷北部和冀中坳陷西南部,古近

系油气具有满盆分布的特点,但不同地区油气富集程度差异较大,整体上盆地东部地区的济阳、渤中、黄骅等坳陷油气富集程度高,油气分布范围广,而西部地区的冀中、临清等坳陷油气富集程度低,具有“东富西贫”的特点(图1)。

古近系自下而上,不同含油气层段在平面上的分布差别较大。孔店组油气零星分布,仅分布在潍北凹陷、沧南凹陷和济阳坳陷东南部等地区。沙四段油气分布范围较大,主要分布于盆地边缘凹陷,包括济阳坳陷、黄骅坳陷西部、辽河坳陷西部、东濮凹陷等。沙三段油气分布范围进一步扩大,全盆分布,形成辽河坳陷、济阳坳陷、东濮凹陷等油气富集区。沙二段油气分布与沙三段范围基本相同,是各凹陷的主力含油气层系。沙一段油气分布范围显著减小,主要集中在黄骅坳陷和辽河坳陷南部,济阳、冀中等坳陷少量分布。东营组油气分布的范围进一步缩小,主要富集在渤海海域内(图2)。

自下而上,古近系各含油气层段油气分布面积具有先增大后减小的特点,以沙三段油气分布范围最大。孔店组—沙四段深部层段油气主要分布在盆地边缘凹陷,沙三段—沙二段中部层段油气全盆广泛分布,沙一段—东营组浅部层段油气主要集中于环渤海地区,整体上具有“下段盆缘分布、中段全盆分布、上段盆心分布”的特点(图2)。

不同坳(凹)陷油气平面分布存在较大差异。昌潍坳陷仅在潍北凹陷发现了规模储量,油气主要分布于潍北凹陷东南部灶户鼻状构造带。临清坳陷仅东濮凹陷为富油气凹陷,且具有北富南贫的特点。冀中坳陷油气平面分布范围广,具有东富西贫的特点。辽河坳陷以西部凹陷油气资源最丰富,平面上分布于生油洼陷周边的缓坡带和中央隆起带。黄骅坳陷油气平面上呈不规则带状分布,由南至北可分为沧东—南皮凹陷、板桥凹陷、歧口凹陷和南堡凹陷四个油气富集区带。济阳坳陷各凹陷油气均较富集,惠民凹陷油气主要靠近临南洼陷沿断裂带呈条带状分布,东营凹陷油气呈环带状分布,车镇凹陷以缓坡带油气最为富集,沾化凹陷潜山披覆带油气分布较多。渤中坳陷受勘探程度影响,已发现的古近系油气偏少。

2.2.2 纵向分布特征

纵向上,渤海湾盆地古近系分为孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段和东营组6套含油层段,以沙三段油气探明储量最高,占古近系探明储量的33%,其次是沙二段,占24%。自上而下,从沙三段到孔店

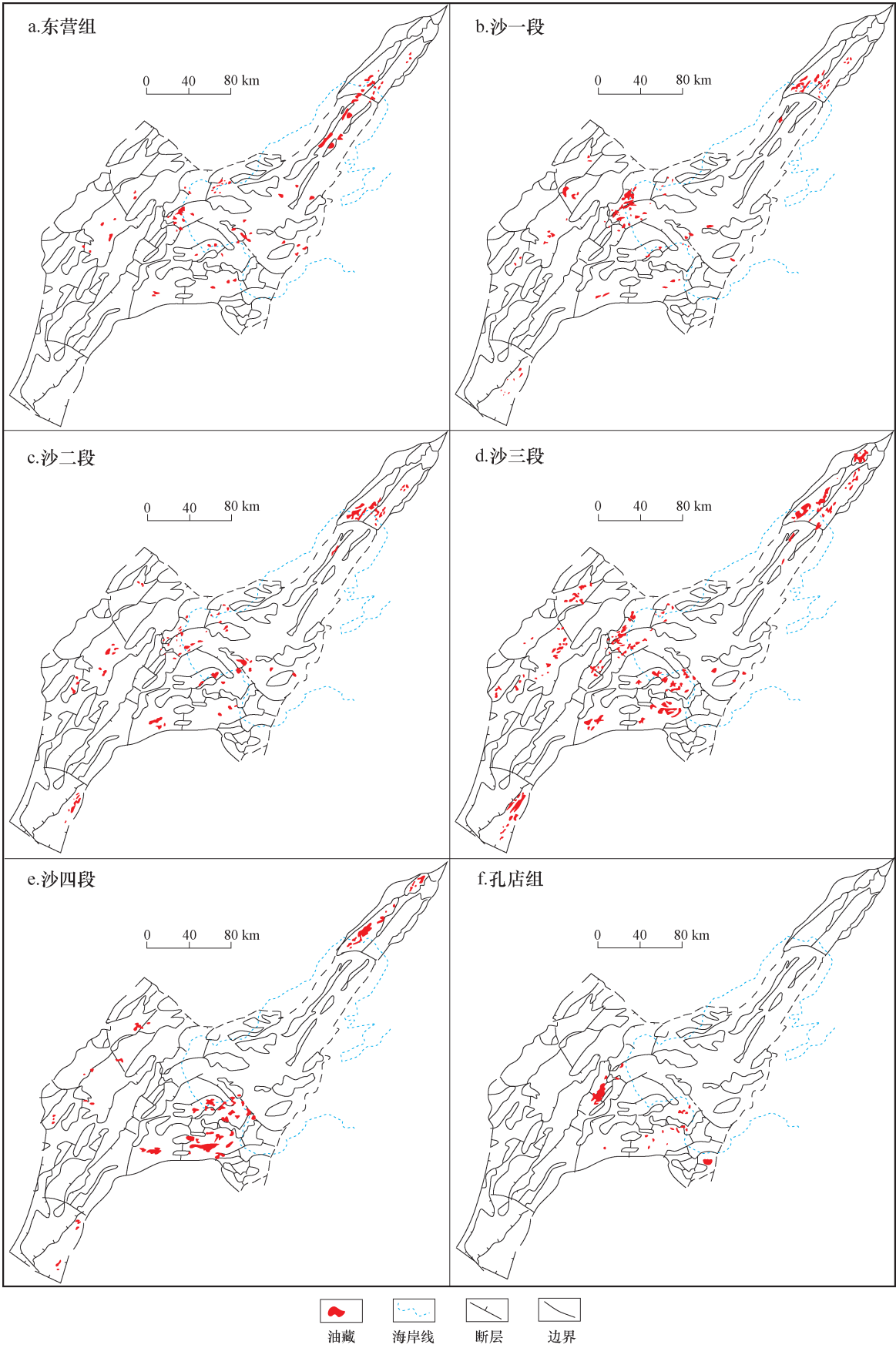


图 2 渤海湾盆地不同凹陷古近系各层系油气平面分布

Fig. 2 The lateral hydrocarbon distribution in different sequences of the Paleogene in the Bohai Bay Basin

组,探明储量占比逐渐降低;自下而上,从沙三段到东营组,探明储量占比逐渐降低。即沙三段储量最大,向浅部和深部储量依次减少,占比逐次降低,古近系6套含油层段探明储量百分比大体呈正态分布(图3)。

渤海湾盆地不同拗陷古近系储量纵向分布差异较大,昌潍拗陷和渤中拗陷探明储量呈“单峰”分布,昌潍拗陷油气全部分布于孔店组,渤中拗陷古近系油气主要富集于东营组,占古近系总储量60%以上。临清、冀中、辽河、黄骅和济阳等拗陷的探明储量呈“双峰”分布,济阳和临清拗陷以沙三段和沙二段为主力含油层系,冀中拗陷油气主要富集于沙三段和东营组,辽河拗陷以沙三段和沙一段为主力含油层系,黄骅拗陷孔店组和沙一段油气较为富集。由盆地边缘的昌潍和临清拗陷到盆地中心的渤中拗陷,含油层系从深层的孔店组和沙四段向浅层的沙一段和东营组过渡,探明储量分布由“单峰”到“双峰”再到“单峰”过渡(图3)。

3 油气富集差异性主控因素

3.1 凹陷生烃条件控制油气富集程度

“源控论”认为,油源区控制油气田分布,油气生成后就近运移聚集在油源区或其邻近地带,烃源岩分布对油气分布起重要作用^[20-21]。渤海湾盆地孔店组烃源岩主要在盆地边缘潍北、沧东-南皮等少数凹陷提供油气源,沙四段烃源岩主要发育于济阳拗陷和冀中拗陷,沙三段烃源岩在盆地内广泛分布,沙一段烃源岩分布局限,主要集中在冀中拗陷和环渤海一带,东营组烃源岩仅分布于渤中拗陷。整体上,沙三段有效烃源岩分布面积最大,由此向上、向下层段烃源岩分布面积逐渐减小^[5],从而控制了古近系油气平面分布的分区性。

受内部结构的控制,多数凹陷发育多个生烃洼陷。洼陷是凹陷中的沉降、沉积中心,也是生烃的最基本单元,而不同洼陷的生烃条件往往差异悬殊,其烃源岩的规模和有机质的丰度、类型及热演化程度从根本上控制了凹陷的油气富集程度^[22-24]。盆地东部地区的生烃洼陷纵向上发育2~3套Ⅱ₁-Ⅱ₂型中等-好烃源岩,主力烃源岩厚度多大于1 000 m,而西部地区生烃洼陷纵向上发育一套好烃源岩和一套中等-差烃源岩,主力烃源岩厚度都不足1 000 m(图4)。

受大地构造背景影响,以兰聊断层为界,盆地西部地区的凹陷地温梯度一般为31~32℃/km,而东部地区的凹陷地温梯度通常为33~38℃/km^[25],西部地区多数凹陷古近系主力烃源岩最大埋深一般为4 500~5 500 m,而东部地区多数凹陷主力烃源岩最大埋深为5 000~7 000 m。受东、西部地区地温梯度和烃源岩埋深差异的影响,东部地区古近系主力烃源岩热演化程度明显高于西部地区。东部地区富油气凹陷主力烃源岩达到热裂解生湿气阶段,少数达到生干气阶段,如渤中、歧口等凹陷古近系主力烃源岩埋藏深度通常大于6 000 m,洼陷中心处 R_o 最大值可达2.0%,除生成大量成熟石油外,还可生成大量裂解气,现已发现板桥、JZ20-2等多个探明储量超过 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田^[26-28]。而盆地西部地区凹陷的主力烃源岩有机质演化程度普遍较低,整体处于成熟生油阶段、部分处于生湿气阶段,如饶阳凹陷现今大部分地区沙三段烃源岩 R_o 在0.8%~1.3%,主体部分处于生成成熟油阶段,仅河间洼槽中心处烃源岩 R_o 大于1.3%,处于高成熟生湿气阶段^[29](图4,图5)。

从烃源岩规模、有机质丰度、类型和成熟度差异上看^[30-31],盆地东部地区凹陷的生烃条件明显优于西部,尤其是东西部烃源岩的成熟度差异较大,这是造成东部各凹陷油气资源量、富集程度比西部凹陷高的重

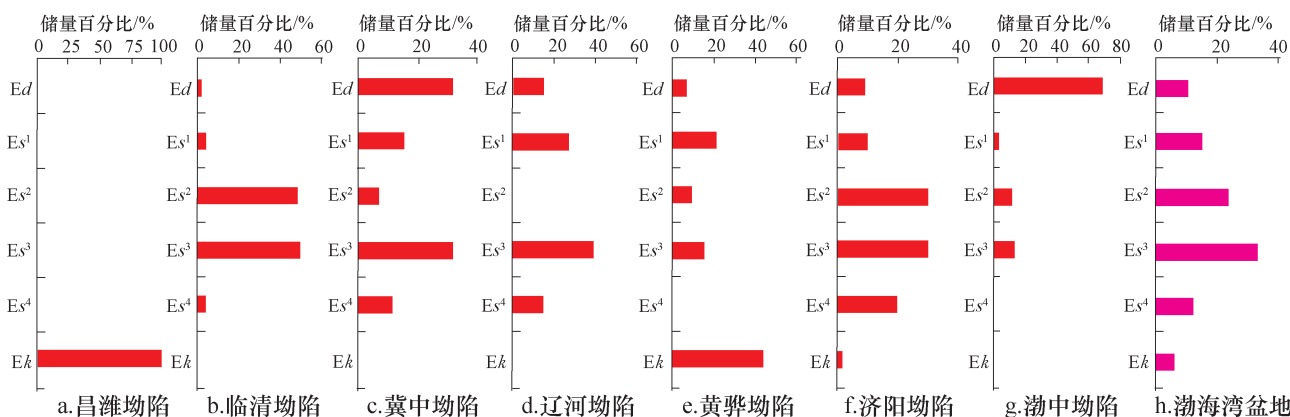
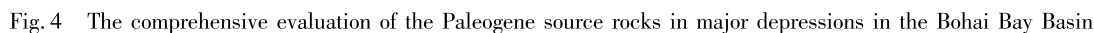


图3 渤海湾盆地不同拗陷古近系不同层段探明石油储量百分比

Fig. 3 The percentage of oil in place of different intervals of the Paleogene in various depressions in the Bohai Bay Basin



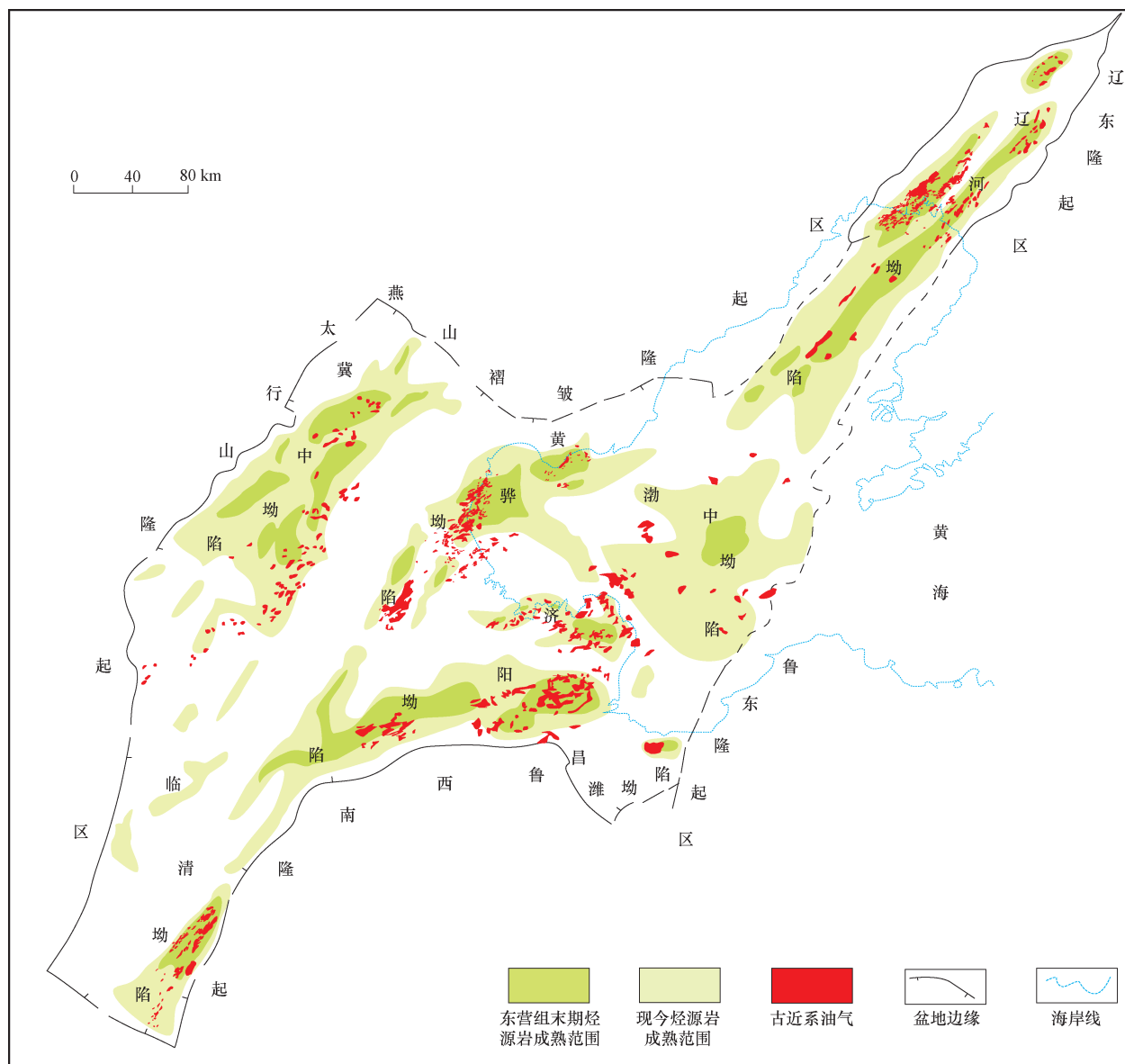


图5 渤海湾盆地古近系主力烃源岩成熟度演变与油气分布

Fig. 5 A diagram showing the maturity evolution of the Paleogene major source rocks in the Bohai Bay Basin and its hydrocarbon distribution

要原因(图5)。但由于古近系主力烃源岩热演化程度主体未进入大规模生裂解干气阶段,使得渤海湾盆地各凹陷均相对富油贫气,已发现的大型天然气田较少。

3.2 主力生烃层系及生储盖组合控制纵向油气富集层段

凹陷构造沉积历史在宏观上决定了主力生烃层系的纵向分布,而紧邻烃源岩层的储层具有优先捕获油气的条件,油气优先富集于烃源岩层系及相邻储层^[13]。

渤海湾盆地古近系发育3套生储盖组合,下部生储盖组合以孔店组和沙四段为生烃层系,孔店组和沙四段冲积扇、扇三角洲和滩坝砂体为主要储层,沙四段顶部膏岩层和沙三中下亚段泥岩为盖层。孔店组烃源

岩为Ⅲ-Ⅱ型中等-好烃源岩,生烃条件较差,沙四段烃源岩为Ⅱ型好烃源岩,生烃条件相对较好,但孔店组和沙四段烃源岩分布范围较局限,仅部分烃源岩层系发育超压,油气纵向运移距离短,以自生自储为主,油气多富集于孔店组-沙四段且储量较低(图6)。

中部生储盖组合以沙三段为主生烃层系,沙三段上部和沙二段为主要储层,沙一段暗色泥岩为区域盖层。沙三段烃源岩为Ⅱ₁-Ⅰ型好烃源岩,是渤海湾盆地分布最广、生烃能力最强的一套烃源岩,烃源岩层系发育超压,油气纵向运移距离大。沙三段上部-沙二段,发育河流、冲积扇、三角洲和滨浅湖等厚层砂岩,沙一段发育稳定分布的厚层泥岩层,可有效阻止油气上移并在其下部形成油气聚集。该生储盖组合配置最

佳,胜坨、东辛等大油田为典型实例,沙三段中下部烃源岩生成的油气进入沙二段和沙三上段储集砂体中,上覆沙一段区域盖层,形成最佳的生储盖组合,油气富集程度高^[13](图6)。

上部生储盖组合以沙一段和东营组为生烃层系,沙一段和东营组河流三角洲、扇三角洲等砂体为主要储层,东营组泥岩为区域盖层。沙一段和东营组烃源岩为Ⅱ型好烃源岩,生烃条件较好,但受埋藏深度影响,除环渤中地区外,多数凹陷这两套烃源岩的成熟度较低,生烃量小。演化程度较高地区的烃源岩层系发育超压,油气纵向运移距离大,油气主要富集于沙一段-东营组。东营组盖层厚度决定其油气富集规模,整体上从盆地边缘向海域方向东营组盖层厚度逐渐增加,以渤中凹陷厚度最大,封盖能力强,其东营组油气储量占比最大(图6)。

从盆地边缘到渤海海域,主力生烃层系逐渐变新、

变多,致使主力生储盖组合也随之变新、变浅,由下部生储盖组合(廊固、潍北凹陷)逐渐向上部生储盖组合(渤中、沾化凹陷)演变^[32],控制着古近系油气由孔店组-沙四段富集向沙一段-东营组富集过渡(图6)。

3.3 断层输导作用控制纵向油气分布比例

断层作为断陷盆地油气垂向运移的主要通道,其活动性差异控制了油气运移期和运移规模,从而影响不同成油组合油气宏观分布^[32-33]。渤海湾盆地输导体系十分发育,运移动力较充足,生成的油气首先赋存于古近系,并向与烃源岩对接或紧邻的前古近系潜山运聚,在油源充足、断层纵向沟通作用下,向浅部层系新近系运聚。根据“油气分布的互补性”原理,分流作用决定了前古近系、古近系和新近系三大层系的油气富集(图7)。

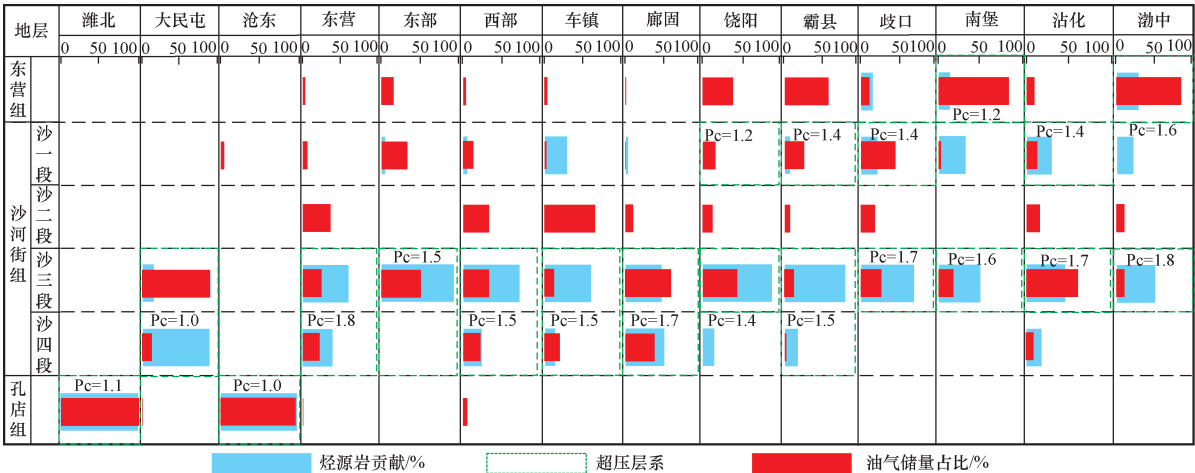


图6 渤海湾盆地代表性凹陷古近系不同层段烃源岩贡献、超压特征与储量关系

Fig.6 The relationship between source rock contribution, overpressure and reserves in different intervals of the Paleogene in typical depressions in the Bohai Bay Basin

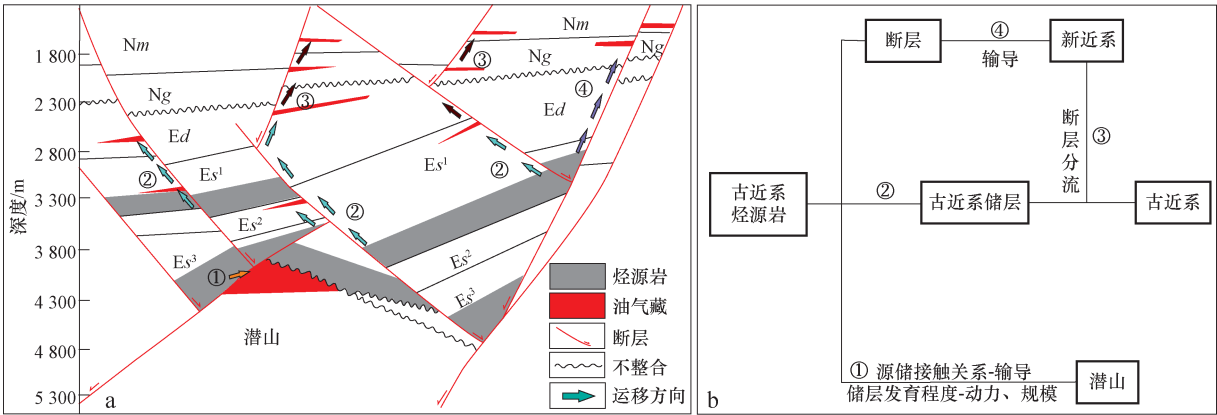


图7 渤海湾盆地富油凹陷油气纵向分流模式

Fig.7 The schematic diagram showing the vertical hydrocarbon split migration in hydrocarbon-rich depressions in the Bohai Bay Basin
a. 实例分析; b. 分流模式

综合全盆考虑,以 25 m/Ma 和 10 m/Ma 为界,将新近系断层输导能力划分为强输导型、输导型和保存型 3 个等级,以 800×10^4 、 500×10^4 和 300×10^4 t/km² 为界,将烃源岩生烃能力划分为很好、好、中等、差 4 个等级,以 500 m、300 m 为界,将古近系顶界盖层划分为好、中等、差 3 个等级^[5]。根据上述标准对主要凹陷进行分析表明(图 8),渤海湾盆地新近纪断层以保存型居多,输导型和强输导型较少,平面上呈环带变化,盆地边缘凹陷断层在新近系活动速率较低,以保存型为主;到环渤海周缘地区,受构造迁移影响,断层晚期活动速率较大,以输导型为主;至盆地中心渤海海域一带,断层活动速率大,为强输导型。

保存型断层活动速率低,油气向上运移条件差,大规模油气富集于古近系顶部盖层之下,对应古近系富集、前古近系富集型凹陷。生烃能力差到中等的凹陷,油气资源量少,主要富集于烃源岩相邻储层,以古近系富集型凹陷为主。生烃能力较好的凹陷,油气纵向分布层系多,以古近系和前古近系富集型凹陷为主。输导型和强输导型断层活动速率较大,输导条件好,有利于向上运移突破古近系顶界盖层的封盖,油气纵向富

集层位取决于断层与烃源岩生烃及盖层匹配关系,生烃能力较好且盖层封闭能力中等到好的凹陷(渤中、沾化凹陷),以新近系富集型为主,生烃能力中等且盖层封闭能力好的凹陷(辽中凹陷),以古近系富集型为主(图 8)。

整体上,保存型断层和封闭性中等-好的古近系盖层组合有利于油气在古近系富集,从盆地边缘到渤海海域,断层由保存型逐渐向输导型和强输导型转变,控制油气纵向分布层系由前古近系和古近系向新近系过渡。

4 结论

1) 渤海湾盆地具有满盆含油的特点,油气分布具有较强不均一性。根据不同层系油气富集差异性,将含油气凹陷划分为新近系富集型、古近系富集型和前古近系富集型三大类,以古近系富集型凹陷为主。古近系油气具有“东富西贫”、“不同层系分区性明显”的特点。

2) 古近系孔店组、沙四段、沙三段、沙二段、沙一段、东营组 6 套含油层系中,以沙三段探明储量最高,

凹陷	新近纪断层 活动速率/ (m·Ma ⁻¹)	输导性 能评价	最大生烃 强度/ (10 ⁴ t·km ⁻²)	生烃能 力评价	古近系顶 界盖层厚 度/m	封闭性 评价	资源量/ (10 ⁴ t)	富集类型	探明储 量分布
渤中	40.9	强输导	1200	很好	776	好	56.0	新近系富集型	
东营	5.8	保存	3020	很好	300~400	中等-好	46.9	古近系富集型	
西部	5.8	保存	240	差	400~600	好	34.8	古近系富集型	
南堡	25.1	强输导	400	中等	300~500 火成岩	好	34.3	新近系富集型	
歧口	13.6	输导	400	中等	315	中等	29.2	新近系富集型	
辽西	8.4	保存	800	很好	335	中等	27.8	古近系富集型	
沾化	17.5	强输导	1830	很好	250~400	中等	26.0	新近系富集型	
辽中	20.8	强输导	400	中等	484	中等	22.8	古近系富集型	
饶阳	5.6	保存	600	好	300~400	中等	15.4	前古近系富集型	
东部	5.1	保存	50	差	150~200 火成岩	中等-好	14.9	古近系富集型	
惠民	4.6	保存	2210	很好	150~200	差	14.0	古近系富集型	
黄河口	13.9	输导	700	好	326	中等	13.5	新近系富集型	
东濮	0.9	保存	1600	很好	100 盐岩	好	10.8	古近系富集型	
霸县	2.4	保存	400	中等	200~350	中等	8.0	前古近系富集型	
莱州湾	1.2	保存	—	—	200~350	中等	7.0	新近系富集型	
车镇	4.7	保存	1000	很好	350~500	中等-好	6.6	古近系富集型	
大民屯	1.5	保存	30	差	150~350	差-中等	6.4	前古近系富集型	

图 8 渤海湾盆地古近系烃源岩生烃能力和断盖配置关系

Fig. 8 The relationship between hydrocarbon-generating potential of source rocks and fault-caprock matching of the Paleogene in the Bohai Bay Basin

并向上、向下各层段探明储量占比逐渐降低,呈近似正态分布。孔店组-沙四段油气主要分布在盆地边缘凹陷,沙三段-沙二段油气全盆地广泛分布,沙一段-东营组油气主要分布于环渤海地区;整体具有“下部层系盆缘分布,中部层系满盆分布,上部层系盆心分布”的特点。

3) 凹陷的生烃条件从根本上控制了古近系油气富集程度。受地温梯度和烃源岩埋深影响,东部地区凹陷的生烃条件优于西部,控制了不同凹陷油气富集差异和“东富西贫”的油气分布格局。主力生烃层系、生储盖组合和断层输导作用控制了油气纵向分布层系。以沙三段为主力生烃层系的中部生储盖组合配置最佳,控制了纵向油气储量以沙三段和沙二段最高,沙一段和东营组盖层规模、近源储层发育程度和保存型断层共同控制古近系油气纵向富集。

参 考 文 献

- [1] 周立明,韩征,任继红,等.我国石油天然气探明储量现状及变化特点[J].中国矿业,2019,28(9):6-11.
Zhou Liming, Han Zheng, Ren Jihong, et al. Current situation and changing characteristics of oil and gas proved reserves in China[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(9): 6-11.
- [2] 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.
- [3] 池英柳,赵文智.渤海湾盆地油气富集带的形成与分布[J].勘探家,2000(1):9-16+5.
Chi Yingliu, Zhao Wenzhi. Formation and distribution of oil and gas abundance zones in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Explorationist, 2000(1): 9-16+5.
- [4] 滕长宇,邹华耀,郝芳.渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集[J].中国科学:地球科学,2014,44(4):579-590.
Teng Changyu, Zou Huayao, Hao Fang. Control of differential tectonic evolution on petroleum occurrence in Bohai Bay Basin[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(4): 579-590.
- [5] Jiang Youlu, Liu Hua, Song Guoqi, et al. Differential hydrocarbon enrichment and its main controlling factors in depressions of the Bohai Bay Basin [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2017, 91(5): 1855-1872.
- [6] 蒋有录,刘培,刘华,等.渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及其聚集模式[J].中国石油大学学报(自然科学版),2014,38(1):14-21.
Jiang Youlu, Liu Pei, Liu Hua, et al. Difference of reservoir forming conditions of different depressions and accumulation models of Neogene hydrocarbon in Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(1): 14-21.
- [7] 蒋有录,叶涛,张善文,等.渤海湾盆地潜山油气富集特征与主控因素[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(3):20-29.
Jiang Youlu, Ye Tao, Zhang Shanwen, et al. Enrichment characteristics and main controlling factors of hydrocarbon in buried hill of Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(3): 20-29.
- [8] 王祥,王应斌,吕修祥,等.渤海海域辽东湾坳陷油气成藏条件与分布规律[J].石油与天然气地质,2011,32(3):342-351.
Wang Xiang, Wang Yingbin, Lv Xiuxiang, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and distribution patterns in the Liaodong Bay Depression, the Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3): 342-351.
- [9] 蒋有录,卢浩,刘华,等.渤海湾盆地饶阳凹陷新近系油气富集特点与主控因素[J].石油学报,2011,32(5):791-796.
Jiang Youlu, Lu Hao, Liu Hua, et al. Enrichment characteristics and major controlling factors of hydrocarbons in the Neogene of Raoyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 791-796.
- [10] 郭永华,周心怀,李建平,等.渤海海域新近系稠油油藏原油特征及形成机制[J].石油与天然气地质,2010,31(3):375-380.
Guo Yonghua, Zhou Xinhui, Li Jianping, et al. Crude features and origins of the Neogene heavy oil reservoirs in the Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 375-380.
- [11] 夏斌,刘朝露,陈根文.渤海湾盆地中新代构造演化与构造样式[J].天然气工业,2006,26(12):57-60+196-197.
Xia Bin, Liu Zhaolu, Chen Genwen. Meso-Cenozoic tectonic evolution and tectonic styles in the Bohai Bay basin [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12): 57-60+196-197.
- [12] 单帅强,张煜颖,张锐锋.渤海湾盆地徐水凹陷地质结构与构造演化[J].石油与天然气地质,2018,39(5):1037-1047.
Shan Shuaiqiang, Zhang Yuying, Zhang Ruifeng. Geologic architecture and tectonic evolution of Xushui Sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 1037-1047.
- [13] 赵文智,池英柳.渤海湾盆地含油气层系区域分布规律与主控因素[J].石油学报,2000(1):10-15.
Zhao Wenzhi, Chi Yingliu. Regional distribution regularity and its controlling factors of oil and gas bearing series in Bohai Bay basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000(1): 10-15.
- [14] 颜冠山,刘宗宾,宋洪亮,等.海上三角洲相油田剩余油控制因素及挖潜:以渤海湾盆地JZ油田为例[J].断块油气田,2018,25(5):598-603.
Yan Guanshan, Liu Zongbin, Song Hongliang, et al. Remaining oil control factors and potential digging in offshore delta oilfield: taking JZ Oilfield in Bohai Bay Basin as an example [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(5): 598-603.
- [15] 赵汉卿.渤海湾盆地垦利10-4油田沙三段砂体富集模式[J].断块油气田,2019,26(4):459-463.
Zhao Hanqing. Sandbody enrichment model for upper 3rd Member of Shahejie Formation of KL 10-4 Oilfield, Bohai Bay Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(4): 459-463.
- [16] 薛永安,韦阿娟,彭靖淞,等.渤海湾盆地渤海海域大中型油田成藏模式和规律[J].中国海上油气,2016,28(3):10-19.
Xue Yong'an, Wei Ajuan, Peng Jingsong, et al. Accumulation models

- and regularities of large-middle scale oilfields in Bohai sea, Bohai Bay basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(3): 10–19.
- [17] 张成富. 渤海湾盆地莘县凹陷原油来源及成藏主控因素[J]. 断块油气田, 2019, 26(5): 575–579.
- Zhang Chengfu. Oil source and hydrocarbon accumulation characteristics of Shenxian Sag of Bohai Bay Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(5): 575–579.
- [18] 邵新荷, 庞雄奇, 胡涛, 等. 渤海湾盆地东濮凹陷沙三段泥页岩储层孔隙微观特征及其对油气滞留的意义[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(1): 67–77.
- Shao Xinhe, Pang Xiongqi, Hu Tao, et al. Microscopic characteristics of pores in Es³ shales and its significances for hydrocarbon retention in Dongpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(1): 67–77.
- [19] 蒋有录, 王鑫, 于倩倩, 等. 渤海湾盆地含油气凹陷压力场特征及与油气富集关系[J]. 石油学报, 2016, 37(11): 1361–1369.
- Jiang Youlu, Wang Xin, Yu Qianqian, et al. Pressure field characteristics of petroliferous depressions and its relationship with hydrocarbon enrichment in Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(11): 1361–1369.
- [20] 胡朝元. 生油区控制油气田分布—中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报, 1982, 3(2): 9–13.
- Hu Chaoyuan. Source bed controls hydrocarbon habitat in continental basins, East China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(2): 9–13.
- [21] 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): 497–502.
- Liu Xiaoping, Zhou Xinhui, Lv Xiuxiang, et al. Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 497–502.
- [22] 蒋有录, 苏圣民, 信凤龙, 等. 富油凹陷油气分布不均一性及主控因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2019, 43(5): 34–43.
- Jiang Youlu, Su Shengmin, Xin Fenglong, et al. Heterogeneity of hydrocarbon distribution and its main controlling factors in oil-rich depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2019, 43(5): 34–43.
- [23] Jiang Youlu, Liu Hua, Song Guoqi, et al. Relationship between geological structures and hydrocarbon enrichment of different depressions in the Bohai Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2015, 89(6): 1998–2011.
- [24] 蒋有录, 苏圣民, 刘华, 等. 渤海湾盆地新生界沉积洼陷类型及与油气富集的关系[J]. 石油学报, 2019, 40(6): 635–645.
- Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, et al. Types of Cenozoic sedimentary subsags and their relationship with hydrocarbon enrichment in Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(6): 635–645.
- [25] 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 等. 渤海湾盆地新生界生油岩系底界面温度分布[J]. 地质科学, 2008(1): 1–11.
- Gong Yuling, Wang Liangshu, Liu Shaowen, et al. Distribution of temperature at the bottoms of Cenozoic source rocks in the Bohai Bay Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2008(1): 1–11.
- [26] 蒋有录. 渤海湾盆地天然气聚集带特征及形成条件[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999(5): 9–13.
- Jiang Youlu. Geological characteristics and formation conditions of the natural gas accumulation belts in Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 1999(5): 9–13.
- [27] 葛建党, 朱伟林. 从渤海湾盆地海陆对比看渤海海域天然气勘探前景[J]. 中国海上油气, 2001, 15(2): 93–98.
- Ge Jiandang, Zhu Weilin. An analysis of offshore gas exploration potential in terms of comparison between offshore and onshore areas in Bohai Bay Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2001, 15(2): 93–98.
- [28] 滕长宇, 邹华耀, 王应斌, 等. 渤海海域天然气保存条件与分布特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(1): 71–80.
- Teng Changyu, Zou Huayao, Wang Yingbin, et al. Preservation condition and occurrence of the gas pools in the Bohai Bay Area[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(1): 71–80.
- [29] 杨棵, 董艳蕾, 朱筱敏, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷埕岛东坡古近系东营组二段下部源—汇系统[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(6): 1280–1292.
- Yang Ke, Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, et al. Analysis of the “Source-to-Sink” system in the 2nd member of the Paleogene Dongying Formation in the eastern slope of Chengdao in Bozhong Say, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(6): 1280–1292.
- [30] 高瑞琪, 赵文智, 孔凡仙, 等. 青年勘探家论渤海湾盆地石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004, 55–60.
- Gao Ruiqi, Zhao Wenzhi, Sun Fanxian, et al. Young explorationists' views about the petroleum geology of the Bohai Bay Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004, 55–60.
- [31] 谯汉生, 方朝亮, 牛嘉玉, 等. 渤海湾盆地深层石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002, 90–91.
- Qiao Hansheng, Fang Zhaoliang, Niu Jiayu, et al. Deep petroleum geology in Bohai Bay Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002, 90–91.
- [32] 蒋有录, 刘培, 宋国奇, 等. 渤海湾盆地新生代晚期断层活动与新近系油气富集关系[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 525–533.
- Jiang Youlu, Liu Pei, Song Guoqi, et al. Late Cenozoic faulting activities and their influence upon hydrocarbon accumulations in the Neogene in Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 525–533.
- [33] 余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 渤海海域断裂相互作用及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2018(1): 11–19.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Xu Changgui, et al. Fault interactions and their significances for hydrocarbon accumulation in offshore Bohai Bay Basin, eastern China[J]. Oil & Gas Geology, 2018(1): 11–19.