

渤海湾盆地油气成藏期差异性及其主控因素

蒋有录, 苏圣民, 刘 华, 赵鸿皓

[中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580]

摘要:渤海湾盆地发育数十个油气生成和运聚相对独立的凹陷,各凹陷油气大规模运聚成藏时期及期次不尽相同。以大量统计资料和烃源岩生烃演化史分析为基础,综合前人研究成果,对渤海湾盆地不同地区主力层系的油气成藏时期及期次进行了系统研究,探讨了油气成藏期差异的主控因素。研究表明:渤海湾盆地源于古近系的油气主要存在两期成藏,即古近纪末期(早期)和新近纪中期—第四纪(晚期),以晚期成藏为主;从盆地边缘凹陷向渤中凹陷,主成藏期逐渐变晚,由早期成藏为主演变为晚期成藏为主,成藏期具有早期成藏—两期成藏早期为主—两期成藏晚期为主—晚期成藏的演变特征;纵向上,从下部至中部再至浅部含油气层系,油气主成藏期总体具有早期—两期—晚期的变化特征。新生代凹陷沉降史控制了主力烃源岩生烃演化史,进而控制了不同地区油气成藏期的差异,凹陷沉降类型与凹陷主成藏期类型相对应,古近纪末剥蚀厚度与新近纪—第四纪补偿厚度控制了成藏期的主次,补偿厚度越大,晚期成藏特征越明显;主生烃期决定油气主成藏期,来自孔店组、沙河街组一段—东营组三段烃源岩的油气分别以早期、晚期成藏为主,而来自沙四上亚段、沙三段烃源岩的油气多具有两期成藏的特征。

关键词:早期成藏;晚期成藏;烃源岩演化;成藏期次;新近系;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Differences in hydrocarbon accumulation stages and main controlling factors in the Bohai Bay Basin

Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, Zhao Honghao

[School of Geoscience, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China]

Abstract: The Bohai Bay Basin hosts dozens of sags with relatively independent petroleum systems, in which large-scale hydrocarbon migration and accumulation occurred at various geologic times and stages. A systematic investigation is conducted on the timing of hydrocarbon accumulation as well as the main controlling factors on the differences in geologic times and stages of hydrocarbon accumulation in the major reservoirs of these sags in the basin through combining a large number of statistical data and the analyses of hydrocarbon generation history of source rocks with previous studies. Results show that hydrocarbons generated by the Paleogene source rocks probably accumulated in two stages, namely the end of Paleogene (early stage) and middle Neogene-Quaternary (late stage but more important), respectively. During the whole process, the predominance of early accumulation has been gradually taken over by the late accumulation from the basin edge sag inward to the Bozhong sag, and the accumulation stages feature in changing from single stage of early accumulation to two stages with early accumulation predominance, to two stages with late accumulation predominance, and to single stage of late accumulation. Vertically from deep to middle and further to shallow reservoirs, hydrocarbon accumulation stages change from single stage of early accumulation to two stages and further to single stage of late accumulation. The subsidence patterns of the sags during the Cenozoic are suggested to be the major control over the thermal evolution of source rocks, which in turn controls the differences of hydrocarbon accumulation stages, resulting in a good correspondence between the subsidence patterns and the dominant accumulation stages. The denuded thickness at the end of Paleogene and the sedimentary thickness of Neogene-Quaternary are believed to be the determining factor on which accumulation stage being predominant. Observation shows

收稿日期:2021-08-13;修订日期:2021-10-06

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:国家科技重大专项(2016ZX05006-003)。

that the greater the compensation thickness, the more obvious the characteristics of late accumulation stage. The main hydrocarbon generation periods determine the main hydrocarbon accumulation stages. Hydrocarbons sourced from the Kongdian Formation source rocks is likely to accumulate mainly in the early stage, while that from the source rocks in the first member of Shahejie Formation to the third member of the Dongying Formation is more likely to be related to the late accumulation. Hydrocarbons from source rocks in the upper fourth and third members of Shahejie Formation shows characteristics of two stage accumulation.

Key words: early stage accumulation, late stage accumulation, evolution of source rock, hydrocarbon accumulation stage, Neogene, Bohai Bay Basin

成藏期是沉积盆地油气成藏研究的热点问题之一,成藏期的判定是认识油气成藏过程与分布规律的基础,对油气地质研究与勘探具有重要意义^[1-5]。随着技术的发展,油气成藏期的确定逐渐由传统的单一成藏要素确定法,发展到以烃源岩生烃史为基础,结合流体充注历史分析等多种方法综合判定成藏期^[6-9]。由于流体包裹体法具有操作方便、结果可靠等优点,已成为目前运用最为广泛的成藏期判定方法^[4,6]。

在大型含油气盆地中,不同地区及层系油气藏形成的时期及期次不尽相同,不同时期形成的油气藏分布特征具有较大差异性。因此,剖析渤海湾断陷盆地不同地区主力层系油气成藏期差异性及主控因素,对搞清不同凹陷油气成藏过程与分布特征具有重要的理论及实际意义。前人对该盆地多个含油气凹陷的成藏期做了研究^[10-26],深化了不同地区油气成藏过程的认识,但对整个盆地不同地区成藏期的宏观特征及演变规律、不同地区成藏期差异的影响因素等问题还缺乏系统研究。本文以笔者前期研究成果为基础,并综合前人研究成果,系统研究了渤海湾盆地不同凹陷源于古近系烃源岩的油气成藏时期及期次,并探讨了造成不同地区成藏期差异的主要地质因素。

1 地质背景

渤海湾盆地是中国东部重要的含油气盆地,总面积约 $20\times 10^4\text{ km}^2$,主要包括辽河、渤中、济阳、黄骅、冀中、临清、昌潍等7个凹陷和埕宁、沧县、内黄、邢衡等4个隆起。新生代为渤海湾盆地的主要成盆期,该阶段构造演化主要经历了裂陷沉降阶段(古近纪)和后裂陷热沉降阶段(新近纪—第四纪)^[27]。该盆地新生代裂陷作用由南向北、由西向东、由早到晚依次发生,致使沉积—沉降中心由西向东、由陆向海迁移,渤中拗陷成为渐新世以来整个盆地的沉积—沉降中心^[28-29]。这种构造及沉积充填演变特征,正是渤海湾盆地不同地区油气成藏及富集差异的根本原因所在。

渤海湾盆地发育数十个含油气凹陷,各个凹陷均具有良好的油气地质条件,并形成相对独立的油气生、运、聚单元^[30]。古近系发育孔店组(E_k)、沙四段(E_s^4)、沙三段(E_s^3)、沙一段(E_s^1)和东营组(E_d)等多套烃源岩层系,以沙四段、沙三段为主力供烃层系^[31]。油气主要赋存于前古近系基岩及碳酸盐岩、古近系湖相三角洲砂体和新近系河流相砂体中,其中古近系储量约占总储量的60%,在全区广泛分布;新近系约占30%,是环渤中地区主力含油气层系;前古近系约占10%,主要分布于冀中、辽河等拗陷^[32-33]。主要发育两套盆地级区域性盖层,为沙一段与东营组泥岩盖层,油气保存条件良好,使得多数凹陷中的油气主要富集于古近系及前古近系。

2 不同地区及层系成藏期差异性

2.1 不同凹陷成藏期演变特征

渤海湾盆地新生代构造演化经历了古近纪裂陷伸展和新近纪—第四纪裂后拗陷沉降两大阶段,形成了一系列相对独立的凹陷,每个凹陷都是相对独立的油气成藏及富集单元,因此凹陷中主力烃源岩的生烃演化史决定了凹陷的主成藏期。

根据烃源岩生烃演化史和大量统计资料,并综合前人研究成果^[10-26],渤海湾盆地不同凹陷源于古近系烃源岩的油气成藏期整体上可划分为两期:古近纪末期(早期)和新近纪中期—第四纪(晚期)(图1;表1)。主成藏期为古近纪末期的凹陷主要包括潍北、东濮、廊固、大民屯、辽河东部和西部等凹陷^[10-17],这些凹陷主要分布于盆地边缘地区;而渤中、歧口、南堡、东营、沾化、饶阳等富油凹陷^[18-26],主成藏期均为新近纪中期—第四纪。根据不同凹陷的统计结果,渤海湾盆地主成藏期为新近纪中期—第四纪的凹陷石油探明储量约占总储量的3/4,即整体上以晚期成藏为主(图1;表1)。中国含油气盆地具有晚期成藏的特点^[34],渤海湾盆地

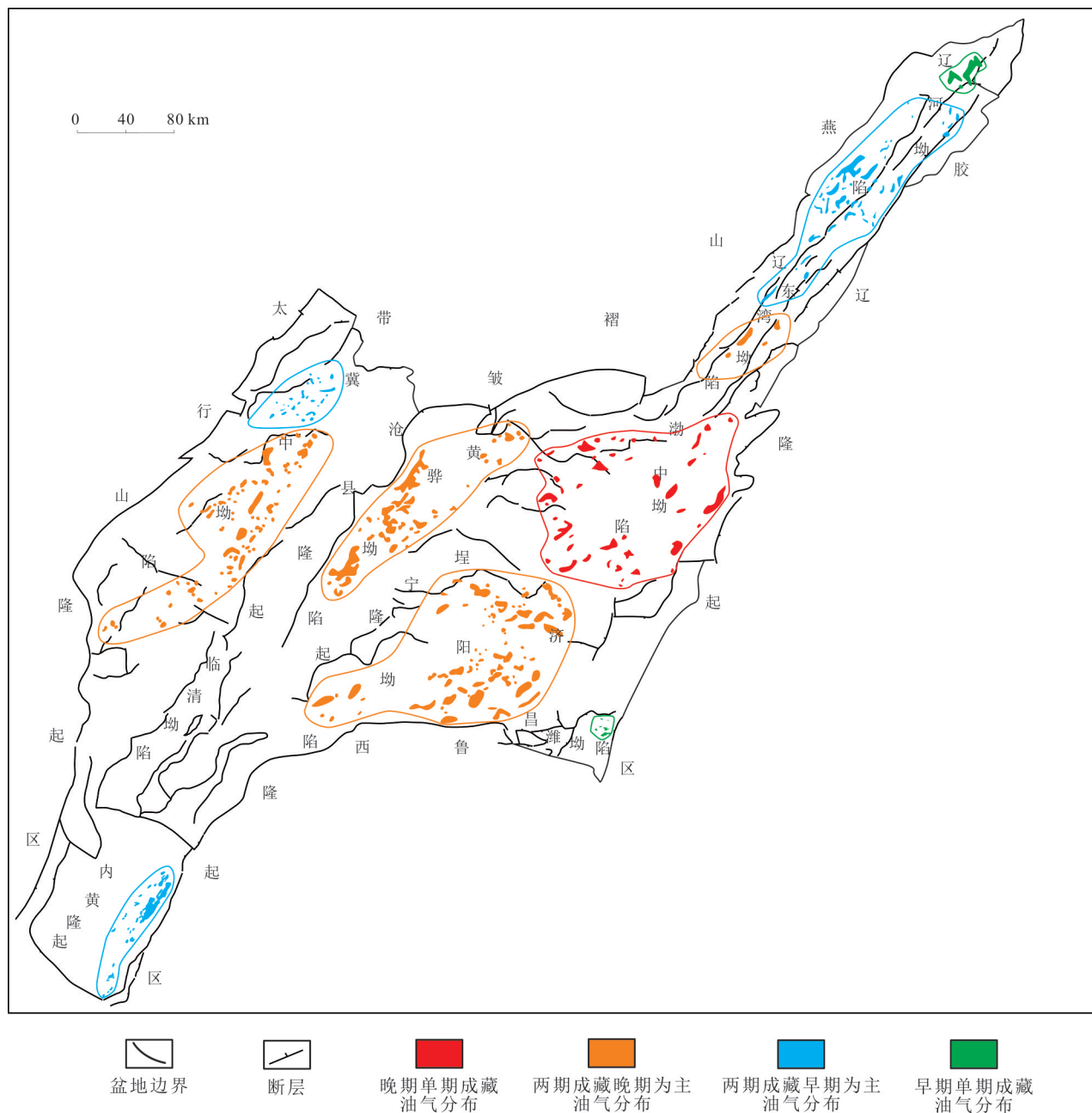


图1 渤海湾盆地不同凹陷主要成藏期分区示意图

Fig. 1 Sketch map showing the main hydrocarbon accumulation stages in different sags, Bohai Bay Basin

主成藏期为新近纪—第四纪,与中国含油气盆地油气成藏期较晚的趋势一致。

从区域上看,以渤中凹陷为中心,可将渤海湾盆地各凹陷划分为盆地中心凹陷(内带)、中部凹陷(中带)和边缘凹陷(外带)。盆地边缘凹陷主要包括潍北、大民屯、西部、东部、东濮及廊固等凹陷;盆地中部凹陷包括东营、惠民、饶阳、霸县、深县、莘县等凹陷;盆地中心凹陷位于环渤海地区,主要包括渤中、沾化、车镇、歧口等凹陷,不同地区凹陷的油气成藏期有明显不同(图1;表1)。

盆地边缘凹陷的构造演化受古近纪裂陷作用强

烈,且发生较早,古近纪末抬升剥蚀量大,新近纪—第四纪构造活动较弱。主要成藏时期集中于沙河街组沉积后期至东营组沉积末期^[11-17],呈现出早期成藏的特征。潍北、大民屯凹陷仅存在单期成藏,其余凹陷存在两期成藏且以早期为主,以东濮凹陷为典型代表。

盆地中部凹陷古近纪末期遭受不同程度的剥蚀,新近纪以来持续沉降沉积,新近纪—第四纪补偿厚度差异较大。各凹陷均呈现出两期成藏、晚期为主的成藏特征^[18-21],第一期成藏集中于东营组沉积中晚期,第二期成藏集中于新近纪中期至第四纪,且以第二期为

表1 渤海湾盆地主要含油气凹陷主力层系成藏期统计
Table 1 Summary of the hydrocarbon accumulation stages of major strata in main hydrocarbon-bearing sags of the Bohai Bay Basin

坳陷	凹陷	成藏期次	第一期 (早期)	第二期 (晚期)	主成藏期
辽河	大民屯	1	Es ¹ —Ed	—	早期
	东部	2	Ed	Nm末—Q	早期为主
	西部	2	Ed	Nm末—Q	早期为主
渤中	渤中	1	—	Nm—Q	晚期
	辽西	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
	埕北	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
济阳	东营	2	Ed	Ng末—Q	晚期为主
	惠民	2	Ed	Ng末—Q	晚期为主
	沾化	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
	车镇	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
黄骅	南堡	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
	歧口	2	Ed	Ng末—Q	晚期为主
冀中	廊固	2	Ed	Nm末—Q	早期为主
	饶阳	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
	霸县	2	Ed	Nm—Q	晚期为主
临清	东濮	2	Ed	Nm末—Q	早期为主
昌潍	潍北	1	Es ⁴ 中—Es ¹	—	早期

主,以东营凹陷为典型代表。

盆地中心的环渤中地区凹陷古近纪末未遭受大规模剥蚀,新近纪以来强烈沉降,新近纪—第四纪沉积厚度巨大,主力含油气层系的主成藏时期集中于新近纪明化镇期至第四纪,具有典型的晚期成藏特征^[22-26]。该环带中心的凹陷以两期成藏、晚期为主,如沾化、歧口等凹陷,而最中心的凹陷以单期成藏为主,如渤中凹陷。主力层系新近系的油气藏主要为上新世末—第四纪形成,多数成藏时期为5 Ma以来,沙河街组油气主要成藏时期为中新世,但油气藏最终在上新世末—第四纪定型^[25,29]。

综上所述,渤海湾盆地不同凹陷主要存在古近纪末期和新近纪中期—第四纪两期成藏,且以新近纪中期—第四纪成藏为主,具有“两期成藏,晚期为主”的特征。由盆地边缘凹陷到渤中凹陷,各凹陷的主成藏期逐渐变晚,总体呈现出“早期单期成藏—两期成藏早期为主—两期成藏晚期为主—晚期单期成藏”的演变特征。

2.2 不同层系油气成藏期差异性

渤海湾盆地源于古近系烃源岩的油气主要赋存于古近系、新近系和前古近系,在古近系、新近系含油气层系中,以古近系孔店组、沙河街组和东营组—新近系分别作为新生界下部、中部和上部层系,不同层系油气成藏期具有较大差异。

1) 下部层系孔店组:油气源于孔二中—下亚段烃源岩,成藏期集中于沙四段沉积中期至沙一段沉积期,呈现早期单期成藏特征,如潍北凹陷孔店组油气藏。

2) 中部层系沙河街组:油气供烃层系以沙四段、沙三段为主,古近纪末为第一期成藏,新近纪—第四纪为第二期成藏。盆地边缘凹陷以第一期成藏为主,中部凹陷则以第二期成藏为主。

3) 上部层系东营组—新近系:油气主要源于沙三段,沙一段、东营组烃源岩在中心凹陷也可提供大量油气,主成藏期为新近纪明化镇中期—第四纪,多为晚期单期成藏。

3 控制油气成藏期差异的主要因素

油气藏的形成过程受多种地质因素的影响,不同凹陷及不同层系油气藏的形成过程往往具有较大差异。渤海湾盆地不同凹陷油气成藏期的差异主要受控于新生代凹陷沉降史及主力烃源岩生烃史。

3.1 凹陷沉降类型控制成藏期次

渤海湾盆地不同凹陷古近系烃源岩的生烃演化直接受控于凹陷沉降史,各凹陷古近纪末的剥蚀厚度和新近纪—第四纪沉积厚度(补偿厚度)对其生烃演化的影响很大。沉降幅度控制了烃源岩的热演化程度,各凹陷古近系主力烃源层系的埋深往往决定了其热演化程度及主要生烃期。古近纪末较大规模的沉积间断及剥蚀作用造成生烃过程停滞,古近纪末剥蚀厚度与新近纪—第四纪补偿厚度对主生烃期有重要控制作用。凹陷沉降期次与成藏期次密切相关,新近纪以来的补偿厚度控制了成藏期的主次。

根据构造沉降及沉积充填的差异,将渤海湾盆地的凹陷沉降类型划分为4类(图2):①持续沉降型(如渤中凹陷);②间断过补偿Ⅰ型(如东营、惠民、歧口、饶阳等凹陷),补偿厚度远大于剥蚀厚度;③间断过补偿Ⅱ型(如辽河西部、辽河东部、东濮、廊固等凹陷),凹陷补偿厚度略大于剥蚀厚度;④间断欠补偿型(如大民

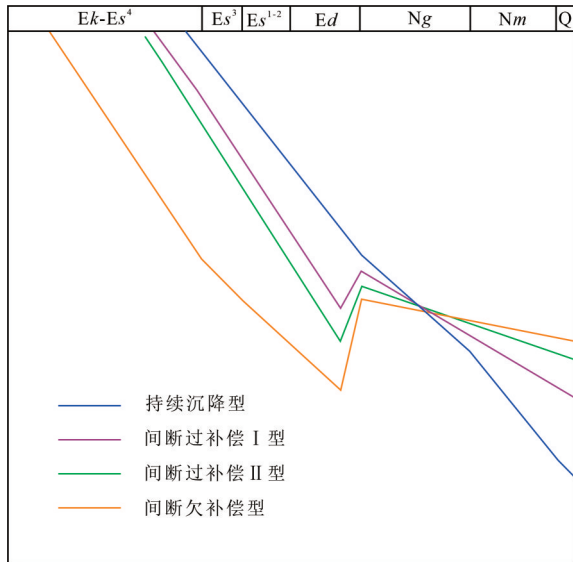


图2 渤海湾盆地凹陷沉降类型模式图

Fig. 2 Subsidence patterns of different sags in the Bohai Bay Basin

电、潍北等凹陷), 补偿厚度小于剥蚀厚度。

新生代凹陷沉降史控制了主力烃源岩生烃演化史, 凹陷沉降类型差异控制了主生烃期差异, 从而对应不同的成藏期类型。持续沉降型凹陷对应晚期单期成藏, 间断欠补偿 I 型凹陷对应两期成藏、晚期为主, 间断过补偿 II 型凹陷对应两期成藏、早期为主, 间断欠补偿型凹陷对应早期单期成藏(图3)。

持续沉降型凹陷主要分布于盆地中心地区, 地层持续沉降且基本未遭受剥蚀, 过补偿厚度最大。上部生烃层系贡献较大, 中部层系沙河街组在馆陶期已充注成藏, 但整体上主成藏期为新近纪明化镇组沉积中期至第四纪。

间断过补偿型凹陷主要分布于盆地中部及边缘

地区, 发生地层抬升剥蚀, 补偿厚度大于剥蚀厚度, 且补偿厚度自外围向中心逐渐增大。该类凹陷供烃层系以沙四段和沙三段烃源岩为主, 存在两期生烃和成藏。间断过补偿 I 型凹陷烃源岩在古近纪末已生烃, 但提供油气数量有限, 主生烃期为新近纪至今, 补偿厚度较大, 以晚期成藏为主; 间断过补偿 II 型凹陷在古近纪末期沉降幅度较大, 主力烃源岩已进入生烃高峰, 新近纪以来的补偿厚度较小, 至明化镇组沉积末期再次生烃, 生烃规模较古近纪末期的小, 以早期成藏为主。

间断欠补偿型凹陷主要分布于盆地边缘地区, 古近纪末剥蚀厚度大于新近纪-第四纪补偿厚度, 油气主要生成于古近纪晚期, 新近纪以来烃源岩未进入大量生烃窗口, 主成藏期集中于古近纪中晚期。

由间断欠补偿型凹陷到间断过补偿型凹陷, 再到持续沉降型凹陷, 新近纪-第四纪的补偿沉积厚度逐渐变大, 沙一段、东营组烃源岩的贡献越来越大, 主成藏期有逐渐变晚的趋势, 表现为“早期单期成藏—两期成藏早期为主—两期成藏晚期为主—晚期单期成藏”的变化特征。古近纪末剥蚀厚度与新近纪-第四纪沉积厚度控制了成藏期的主次, 4种新生界沉降埋藏类型分别对应4种成藏期类型, 且新近纪-第四纪的补偿厚度越大, 油气晚期成藏的特征越明显(图3)。

3.2 烃源岩生烃演化差异控制成藏期次差异

渤海湾盆地不同凹陷主力烃源岩不同, 其生烃演化期次直接控制着油气成藏期次。凹陷主生烃期与主成藏期相对应, 多数凹陷具有“两期生烃、晚期为主”的生烃特征: 第一期生烃为古近纪末期, 与早期成藏相对

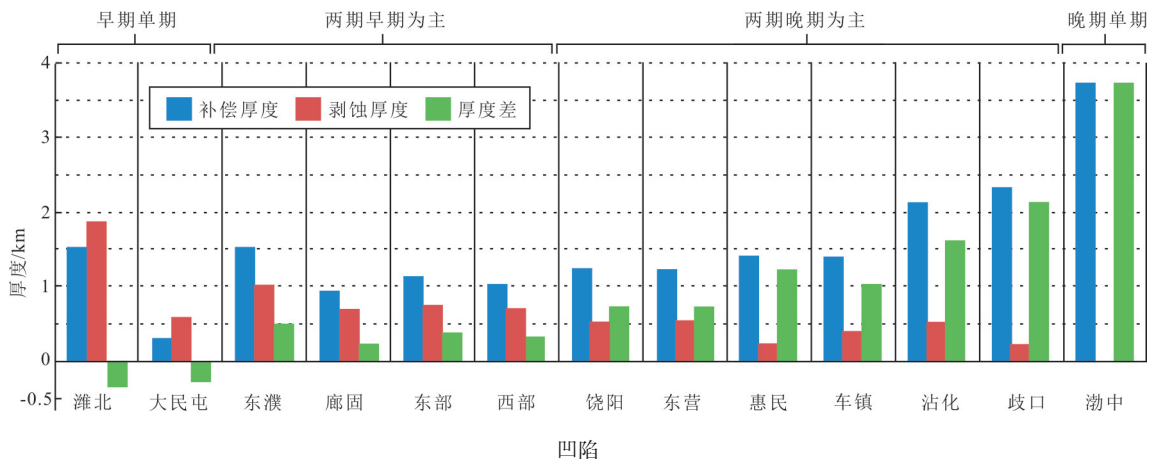


图3 渤海湾盆地主要凹陷古近纪末剥蚀厚度与新近纪-第四纪补偿厚度对比

Fig. 3 Bar graph showing the comparison of erosion thickness at the top of the Paleogene and compensation thickness of the Neogene-Quaternary in different sags of the Bohai Bay Basin

应;第二期生烃为新近纪中期至第四纪,与晚期成藏相对应,主生烃期次与主成藏期次匹配关系良好(图4)。

不同凹陷主力烃源岩层系的空间分布特征及演化差异性造成油气成藏期次差异的主要原因。由盆地边缘凹陷到渤中凹陷,随着沉降沉积中心的迁移,不同凹陷的主力烃源岩层系呈现出逐渐增多、变新的迁移趋势,上部沙一段、东营组烃源岩层系的贡献逐渐增大^[33](图5)。孔店组烃源岩主要分布于冀中坳陷西部饶南、廊固凹陷,黄骅坳陷孔南地区,济阳坳陷南部的东营、惠民凹陷,以及昌潍坳陷的潍北凹陷;沙四段烃源岩主要分布在冀中坳陷、东濮凹陷、济阳坳陷的惠民和东营凹陷、辽河坳陷的大民屯、西部凹陷;沙三段烃源岩在各凹陷均有分布;沙一段及东营组烃源岩主要分布在黄骅坳陷东部、济阳坳陷北部和渤中坳陷地区。

不同凹陷主力烃源岩层系的迁移性是不同地区成藏期差异的主要原因。由盆地边缘到中心,不同凹陷的主力烃源岩进入生烃高峰的时间逐渐变晚,造成成藏期由早到晚的演变特征。盆地边缘的潍北、东濮、大民屯、辽河西部等凹陷主力烃源岩自沙河街组沉积中

后期开始生烃,在东营后期整体进入生烃高峰,与之对应,油气成藏期开始于沙河街组沉积后期,主要集中于东营组沉积中后期。

盆地中部东营、惠民、饶阳、歧口、霸县等凹陷,烃源岩于古近纪末发生一次大量生烃及成藏过程,但古近纪构造抬升使生烃过程中止,新近纪馆陶组沉积末期或明化镇组沉积早期进入生烃高峰,对应两期成藏,即东营组沉积末期和新近纪中期—第四纪,以晚期成藏为主。

盆地中心地区的渤中凹陷及渤海海域,烃源岩在新近纪明化镇期进入生烃高峰,持续至第四纪,主成藏期集中于明化镇期—第四纪。

烃源岩层系及含油气层系对成藏时期也存在一定影响。大多数情况下,烃源岩及含油气层系越老,且埋藏越深,成藏期越早,反之成藏期则越晚。渤海湾盆地各含油气凹陷早期生烃(Es—Ed)主要为孔店组、沙四段—沙三段烃源岩,晚期生烃(Ng—Q)主要为沙四段—沙三段及沙一段—东营组烃源岩系。随主力烃源岩层系由沙四段—沙三段过渡到沙一段—东营组,主生烃期由早期过渡到晚期,生烃期次由两期过渡到单期(图6)。

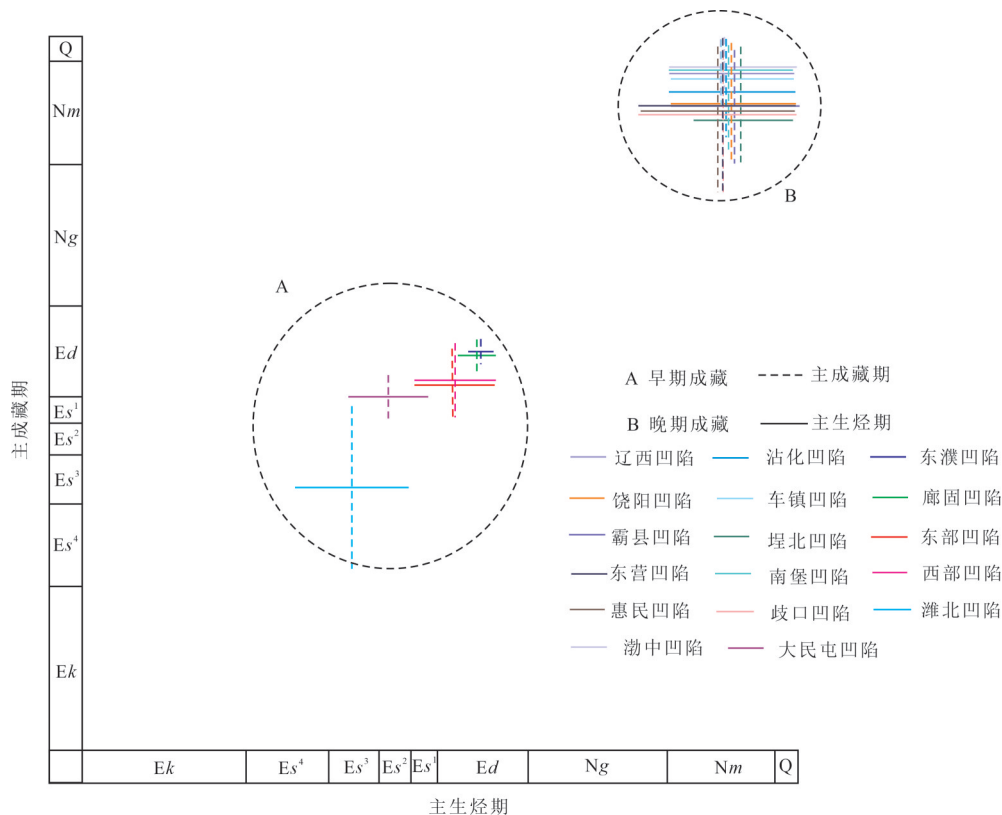


图4 渤海湾盆地主要含油气凹陷主生烃期与成藏期关系

Fig. 4 The relationship between the major hydrocarbon generation periods and hydrocarbon accumulation stages in hydrocarbon-bearing sags, Bohai Bay Basin

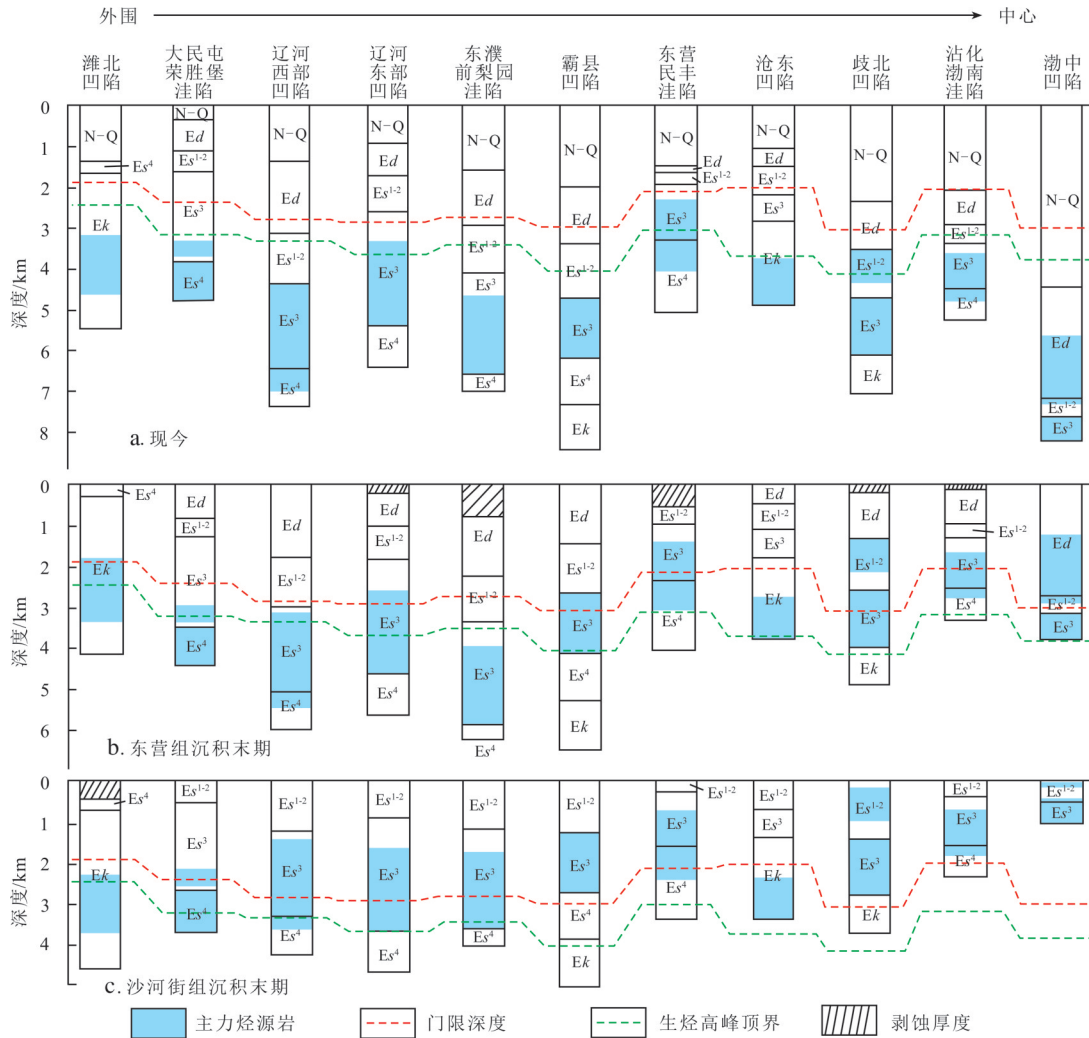


图5 渤海湾盆地现今(a)、东营组沉积末期(b)、沙河街组沉积末期(c)不同生油气凹陷沉降及主力烃源岩演化差异

Fig. 5 Correlation of subsidence with major source rock evolution of different sags at present (a), and the end of Dongying period (b) and the end of Shehejie period (c), Bohai Bay Basin

自盆地边缘凹陷至中心凹陷,主力生烃层系由下部孔店组为主,到以沙四上亚段-沙三段为主,再到上部沙一段-东营组具有重要贡献,主力含油气层系也由下层层系为主过渡至上部层系为主;新生代强烈裂陷期依次变晚,致使烃源岩层系逐渐变多、变新,主力生储组合也随之向上变迁;沙一段、东营组等烃源岩的贡献逐渐增大,主要生烃期和成藏期逐渐变晚,主生烃层系与油气富集层系紧密相关(图7)。

渤海湾盆地主力含油气层系集中于前古近系、古近系孔店组、沙三段-沙二段、东营组和新近系,其中孔店组、沙三段-沙二段油气主要来源于Ek, Es⁴和Es³烃源岩;沙一段及东营组油气来源以Es⁴和Es³烃源岩为主,以Es¹和Ed烃源岩为辅;新近系油气由多源供烃,来源于沙三段、沙一段、东营组等多套生烃层系。主生烃期决定油气主成藏期,来自孔店组、沙一段-东

三段烃源岩的油气分别以早期成藏和晚期成藏为主,而来自沙四上亚段、沙三段源岩的油气多具有两期成藏或晚期成藏的特征。

4 结论

1)渤海湾盆地源于古近系的油气主要存在两期成藏,即古近纪末期(早期)和新近纪中期—第四纪(晚期),以晚期成藏为主。不同凹陷主力含油气层系成藏期归为4种基本类型,即早期、两期成藏早期为主、两期成藏晚期为主和晚期成藏,大多数油气藏为晚期成藏为主或晚期成藏。

2)不同地区及不同层系油气成藏期具有一定的演变特点:平面上,由边缘凹陷向中部凹陷再到中心凹陷,主力含油气层系主成藏期逐渐变晚,成藏期次呈现

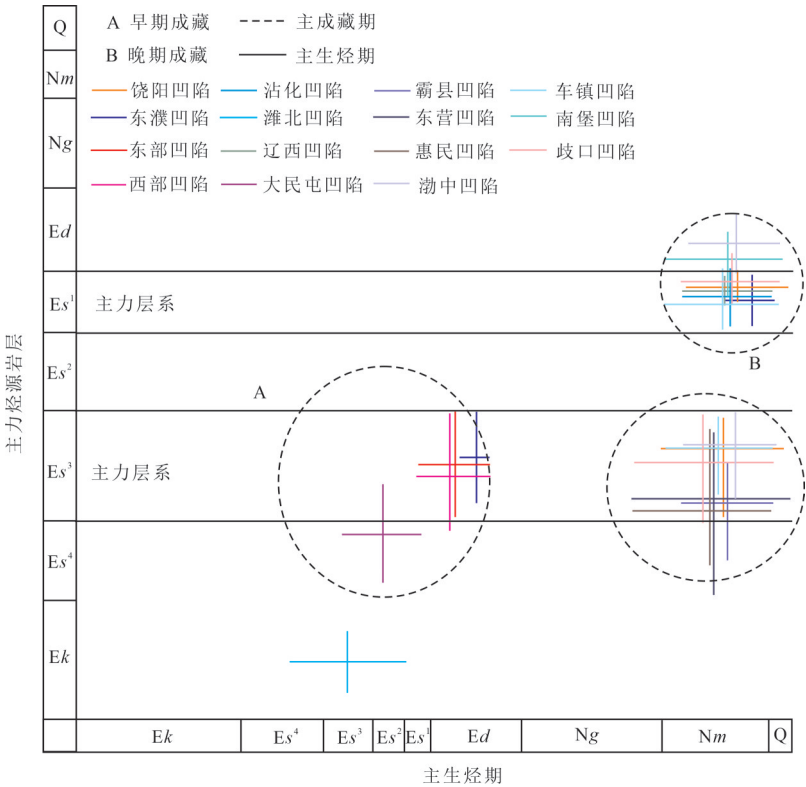


图6 渤海湾盆地主要含油气凹陷主力烃源岩层系与主生烃期关系

Fig. 6 Correlation of the major source rocks with hydrocarbon generation periods in different hydrocarbon-bearing sags, Bohai Bay Basin

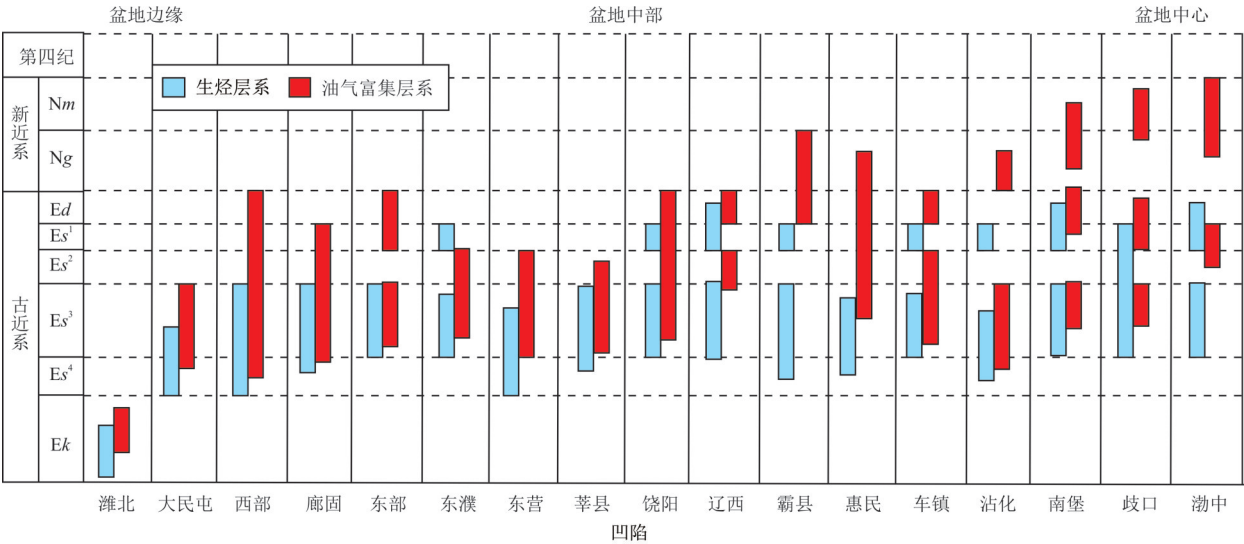


图7 渤海湾盆地不同凹陷主力烃源岩层系与含油气层系纵向演变规律

Fig. 7 The longitudinal evolution of source rocks and reservoirs in different sags, Bohai Bay Basin

出“早期成藏—两期成藏早期为主—两期成藏晚期为主—晚期成藏”的变化规律;纵向上,新生界下部层系孔店组以早期成藏为主,中部层系沙河街组主要为两期成藏,而上部层系东营组、新近系以晚期成藏为主。

3)不同地区油气成藏期的差异及演变与新生代凹陷沉降史和主力烃源层系生烃演化特征密切相关。

不同沉降类型凹陷的空间演化特征控制着凹陷成藏期次差异,新生界凹陷沉降类型与成藏期类型相对应,古近纪末剥蚀厚度与新近纪-第四纪补偿厚度直接影响油气成藏期的主次,补偿厚度越大,晚期成藏特征越明显。

4)主烃源岩层系的演化和时代控制着成藏期的差

异性及演化特征,烃源岩层系的时代影响生烃时期,主力烃源岩主生烃时期控制主成藏期。大多数凹陷主力烃源岩具有“两期生烃,晚期为主”的生烃演化特征,对应“两期成藏,晚期为主”的成藏特征。

参 考 文 献

- [1] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143-150.
Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143-150.
- [2] 杨程宇, 文龙, 王铁冠, 等. 川中隆起安岳气田古油藏成藏时间厘定[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(3): 492-502.
Yang Chengyu, Wen Long, Wang Tieguan, et al. Timing of hydrocarbon accumulation for paleo-oil reservoirs in Anyue gas field in Chuansong Uplift [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41 (3) : 492-502.
- [3] 王斌, 赵永强, 何生, 等. 塔里木盆地顺北5号断裂带北段奥陶系油气成藏期次及其控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(5): 965-974.
Wang Bin, Zhao Yongqiang, He Sheng, et al. Hydrocarbon accumulation stages and their controlling factors in the northern Ordovician Shunbei 5 fault zone, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 965-974.
- [4] 刘可禹, Julien Bourdet, 张宝收, 等. 应用流体包裹体研究油气成藏——以塔中奥陶系储集层为例[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 171-180.
Liu Keyu, Julien Bourdet, Zhang Baoshou, et al. Hydrocarbon charge history of the Tazhong Ordovician reservoirs, Tarim Basin as revealed from an integrated fluid inclusion study [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2): 171-180.
- [5] 薛楠, 朱光有, 吕修祥, 等. 油气成藏年代学研究进展[J]. 天然气地球科学, 2020, 31(12): 1733-1748.
Xue Nan, Zhu Guangyou, Lv Xiuxiang, et al. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation [J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(12): 1733 - 1748.
- [6] 鲁雪松, 刘可禹, 卓勤功, 等. 库车克拉2气田多期油气充注的古流体证据[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 537-544.
Lu Xuesong, Liu Keyu, Zhuo qingong, et al. Palaeo-fluid evidence for the multi-stage hydrocarbon charges in Kela-2 gas field, Kuqa foreland basin, Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(5): 537-544.
- [7] Gong S, George S C, Volk H, et al. Petroleum charge history in the Lunnan Low Uplift, Tarim Basin, China—Evidence from oil-bearing fluid inclusions [J]. Organic Geochemistry, 2007, 38: 1341-1355.
- [8] Tseng H Y, Pottorf R J. The application of fluid inclusion PVT analysis to studies of petroleum migration and reservoirs [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78: 433-436.
- [9] 戴金星, 卫延召, 赵靖舟. 晚期成藏对大气田形成的重大作用[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 10-19.
Dai Jinxing, Wei Yanzhao, Zhao Jingzhou. Important role of the formation of gas accumulations in the late stage in the formation of large gas fields [J]. Geology in China, 2003, 30(1): 10-19.
- [10] 邱楠生, 蔡进功, 李善鹏, 等. 昌潍坳陷潍北凹陷热历史和油气成藏期次[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 332-341.
Qiu Nansheng, Cai Jingong, Li Shanpeng, et al. Thermal hermal evolution and hydrocarbon entrapment in the Weibei Sag, Changwei Depression [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38 (3) : 332-341.
- [11] 李振明, 邱楠生, 刘念, 等. 利用定量荧光技术表征厚层源岩层系的油气运聚机制——以渤海湾盆地廊固凹陷沙河街组四段为例[J]. 石油学报, 2019, 40(10): 1158-1171.
Li Zhenming, Qiu Nansheng, Liu Nian, et al. Applying quantitative fluorescence techniques to characterize mechanism of hydrocarbon migration and accumulation in thick source strata: a case study of Member 4 of Shahejie Formation, Langgu sag in Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(10): 1158-1171.
- [12] 姜建群, 宋力波, 董慧娟. 大民屯凹陷油气充注史研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(2): 24-27+116.
Jiang Jianqun, Song Libo, Dong Huijuan. A study on the hydrocarbon filling history of Damintun Depression [J]. Journal of Xi'an Petroleum University (Natural Science Edition), 2008, 23 (2): 24-27+116.
- [13] 孟卫工, 庞雄奇, 李晓光, 等. 辽河坳陷油气藏形成与分布 [M]. 北京: 地质出版社, 2016.
Meng Weigong, Pang Xiongqi, Li Xiaoguang, et al. Formation and distribution of hydrocarbon reservoirs in Liaohe Depression [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016.
- [14] Hu L, Fuhrmann A, Poelchau H S, et al. Numerical simulation of petroleum generation and migration in the Qingshui sag, western depression of the Liaohe basin, northeast China [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(12): 1629-1649.
- [15] 姜雪, 徐长贵, 邹华耀, 等. 辽西低凸起与辽中凹陷油气成藏期次的异同[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(3): 555-564.
Jiang Xue, Xu Changgui, Zou Huayao, et al. Similarity and difference of hydrocarbon accumulation history in Liaoxi Low Uplift and Liaozhong Sag [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(3): 555-564.
- [16] Jiang Youlu, Fang Lei, Liu Jingdong, et al. Hydrocarbon charge history of the Paleogene reservoir in the northern Dongpu Depression, Bohai Bay Basin, China [J]. Petroleum Science, 2016, 13 (4): 625-641.
- [17] 蒋有录, 房磊, 谈玉明, 等. 渤海湾盆地东濮凹陷不同区带油气成藏期差异性及其主控因素[J]. 地质论评, 2015, 61(6): 1321-1331.
Jiang Youlu, Fang Lei, Tan Yuming, et al. Differences and main controlling factors of accumulation Periods in Dongpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Geological Review, 2015, 61(6): 1321-1331.
- [18] 蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215-218.
Jiang Youlu, Liu Hua, Zhang Le, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003,

- 24(3):215-218.
- [19] 杨万芹,蒋有录.惠民凹陷西部油气成藏期分析[J].油气地质与采收率,2004,11(1):20-22.
- Yang Wanqin, Jiang Youlu. Analysis of hydrocarbon reservoir forming stages in the west of Huimin sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1):20-22.
- [20] 蒋有录,张文杰,刘华,等.饶阳凹陷古近系储层流体包裹体特征及成藏期确定[J].中国石油大学学报(自然科学版),2018,42(4):23-33.
- Jiang Youlu, Zhang Wenjie, Liu Hua, et al. Properties of fluid inclusions and periods of hydrocarbon accumulation in Paleogene reservoirs in Raoyang Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2018, 42(4):23-33.
- [21] Liu Nian, Qiu Nansheng, Chang Jian, et al. Hydrocarbon migration and accumulation of the Suqiao buried-hill zone in Wen'an Slope, Jizhong Subbasin, Bohai Bay Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 86: 512-525.
- [22] 万涛,蒋有录,董月霞,等.南堡凹陷断层活动与油气成藏和富集的关系[J].中国石油大学学报(自然科学版),2012,36(2):60-67.
- Wan Tao, Jiang Youlu, Dong Yuexia, et al. Relationship between fault activity and hydrocarbon accumulation and enrichment in Nanpu depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(2):60-67.
- [23] 卢浩,蒋有录,刘华,等.沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J].油气地质与采收率,2012,19(2):5-8+111.
- Lu Hao, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation period in Bonan Sub-Sag of Zhanhua sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2):5-8+111.
- [24] 赵彦德,孙建平,林承焰,等.济阳坳陷车西洼陷古近系原油地球化学特征及成藏期次分析[J].新疆石油天然气,2008,4(2):21-25+33+4.
- Zhao Yande, Sun Jianping, Lin Chengyan, et al. The geochemistry characteristics and accumulation history of crude oil since eo-gene in the Chexi Sub-Sag of The Jiyang Depression[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008, 4(2):21-25+33+4.
- [25] 孙玉梅,李友川,龚再升,等.渤海湾盆地渤中坳陷油气晚期成藏的流体包裹体证据[J].矿物岩石地球化学通报,2009,28(1):24-33.
- Sun Yumei, Li Youchuan, Gong Zaisheng, et al. Fluid inclusion evidence for late-stage petroleum accumulation, Bozhong Depression, Bohai Gulf Basin[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2009, 28(1):24-33.
- [26] You Bing, Ni Zhiyong, Zeng Jianhui, et al. Oil-charging history constrained by biomarkers of petroleum inclusions in the Dongying Depression, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 122:104657.
- [27] 刘池洋,黄雷,张东东,等.石油贫富悬殊的成因:来自华北克拉通东部南北新生代盆地的启示[J].中国科学:地球科学,2018,48(11):1506-1526.
- Liu Chiyang, Huang Lei, Zhang Dongdong, et al. Genetic causes of oil-rich and-poor reservoirs: Implications from two Cenozoic basins in the eastern North China Craton[J]. Science in China: Earth Sciences, 2018, 48(11):1506-1526.
- [28] 任建业.中国近海海域新生生成盆动力机制分析[J].地球科学,2018,43(10):3337-3361.
- Ren Jianye. Genetic dynamics of China offshore Cenozoic Basins[J]. Earth Sciences, 2018, 43(10):3337-3361.
- [29] 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.
- Zhu Weilin, Mi Lijun, Gong Zaisheng, et al. Petroleum accumulation and exploration in Bohai sea[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [30] 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, 2015, 89(6):1998-2011.
- [31] Hao Fang, Zhou Xinhui, Zhu Yangming, et al. Lacustrine source rock deposition in response to co-evolution of environments and organisms controlled by tectonic subsidence and climate, Bohai Bay Basin, China[J]. Organic Geochemistry, 2011, 42: 323-339.
- [32] 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.
- [33] 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, 2017, 91(5): 1855-1872.
- [34] 贾承造,何登发,石昕,等.中国油气晚期成藏特征[J].中国科学D辑:地球科学,2006,36(5):412-420.
- Jia Chengzao, He Dengfa, Shi Xin, et al. Late hydrocarbon accumulation characteristics in China[J]. Science in China (Series D): Earth Sciences, 2006, 36(5):412-420.

(编辑 张亚雄)