

渤海湾盆地新生代晚期断层活动与新近系油气富集关系

蒋有录¹, 刘培², 宋国奇³, 刘华¹, 王永诗³, 赵凯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. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东广州510240; 3. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营257001]

摘要:根据渤海湾盆地新近系油气分布特点及成藏地质背景,对新近纪—第四纪的断层活动性与油气富集特征及其相互关系进行探讨。研究表明,新生代断层晚期活动影响各成油组合油气宏观分布,控制新近系油气富集类型及富集区带。断层差异活动对油气富集的影响可用差异系数(FDC)表征,断层在主生排烃早中期活动较强、晚期活动较弱对油气聚集最为有利。综合考虑断层活动速率及差异系数,将断层控油级别分为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ类,Ⅰ和Ⅱ类断层分布多的区带新近系油气较为富集,其活动速率及差异系数相对较大,Ⅲ类断层分布多的区带新近系油气富集程度差,其活动速率及差异系数相对较小。断层差异活动影响油气富集,控油级别决定油气富集程度。

关键词:断层活动;油源断层;油气富集;新近系;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Late Cenozoic Faulting activities and their influence upon hydrocarbon accumulations in the Neogene in Bohai Bay Basin

Jiang Youlu¹, Liu Pei², Song Guoqi³, Liu Hua¹, Wang Yongshi³, Zhao Kai¹

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao Shandong, 266580, China; 2. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, China; 3. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Ltd., Dongying, Shandong 257001, China]

Abstract: Neogene-Quaternary faulting activities and their influence upon hydrocarbon accumulations in Bohai Bay Basin were analyzed based on hydrocarbon distribution characteristics and geological settings. It shows that the late faulting activity influenced the macroscopic distribution of the hydrocarbon accumulation assemblage and controlled the Neogene oil and gas enriched types and enriched belts of different depressions. Effect of faults different activity on hydrocarbon accumulation can be characterized by fault activity difference coefficient (FDC). When the early and mid-generation and expulsion of hydrocarbon, the fault activity is strong and when late generation and expulsion of hydrocarbon the fault activity is weak, that is most favorable for hydrocarbon accumulation. Based on fault activity rate and FDC , we categorized the faults into I, II and III kinds in terms of their controlling ability on oil and gas accumulation. The first two types with faster fault activity rate and larger FDC s, were distributed in places where oil and gas are highly enriched in the Neogene and the last type with slower fault activity rate and small FDC was in places where oil and gas enrichment is poor in the Neogene. Based on the understanding, we propose that differences in faulting activities controlled oil and gas accumulations and the types of faults determined the level of oil and gas enrichment.

Key words: faulting activity, oil source fault, hydrocarbon accumulation, Neogene, Bohai Bay Basin

渤海湾新生代盆地为裂陷盆地,具有古近纪断陷,新近纪及第四纪坳陷的特征^[1],盆地内断层发育,油气资源丰富。由于断层的输导作用,不发育烃源岩的新近系成为重要的含油气层系,尤其是在环渤海地区,新近系油气探明储量占总探明储量超过二分之一,并发现了孤岛、埕岛、北大港、蓬莱19-3和渤中25-1等多个亿吨级油气田^[2-3]。新近系油气来自下部古近系

生烃层系,具有“下生上储、它源成藏”等特点;断层作为油气垂向运移的通道,是沟通“源-储”的桥梁。研究表明,不同性质(伸展、走滑)断层对油气成藏影响存在一定差异,走滑断层派生的挤压、褶皱和抬升等作用一般控制构造带改造和圈闭形成,而伸展断层引起的调节、滑脱和拆离等作用则影响断陷演化和烃源岩发育^[4-7];但就断层活动影响新近系油气运聚而言,二

收稿日期:2015-03-21;修订日期:2015-07-02。

第一作者简介:蒋有录(1959—),男,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:国家自然科学基金项目(41372132);国家科技重大专项(2011ZX05006-003)。

者控制机制较为一致,主要体现于新生代晚期(新近纪—第四纪)断层活动期次、强弱等动态过程^[2-6]。关于研究区断层活动与新近系油气成藏关系前人已开展许多工作^[8-12],但对不同地区断层差异活动与新近系油气富集关系问题的研究还有待深入。鉴于此,本文以渤海湾盆地多个凹陷新生代重要油源断层(以伸展性质断层为主)为研究对象,探讨其新生代晚期活动与新近系油气富集的关系。

1 地质背景

渤海湾盆地位于我国东部大陆边缘,东、西分别以郯庐断裂和太行山断裂为界,南、北分别被鲁西隆起和燕山褶皱带所限,总面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括辽河、渤中、济阳、黄骅、冀中、临清等凹陷及内黄、埕宁、沧县、邢衡等隆起,具“凸凹相间、大盆地小凹陷”的特点^[1]。根据断陷盆地构造带的划分,新近系构造单元大致可分为披覆带、浅凹带和斜坡带^[13]。研究区断层发育,

产状多样,具有多期活动的特点,中生代开始活动断层主体方向为北西向及北东向,新生代开始活动断层以北东向为主^[14](图1)。

研究区生、储、盖条件优越,发育孔店组、沙(沙河街组)四段、沙三段、沙一段和东营组等多套烃源岩,生烃层系自盆地外围凹陷向渤中凹陷逐渐变多变新;储集层系包括前古近系、古近系及新近系;区域性盖层主要为沙三段、沙一段、东营组和明化镇组^[15]。新近系生储盖组合具有“下生—上储—上盖”的特点,由古近系中上部(沙三段、沙一段和东营组)烃源岩混源供烃为主,馆陶组河流相砂体是其主要储集层系,明化镇组发育泥岩沼泽相为区域性盖层^[2-3,16]。从宏观上看,盆地中心地区较盆地外围地区的新近系油气成藏条件优越^[17]。

2 断层活动与新近系油气分布

断层控制油气成藏是一种综合作用,对油气运移、聚集、调整和破坏等过程具有重要影响^[18]。中新世

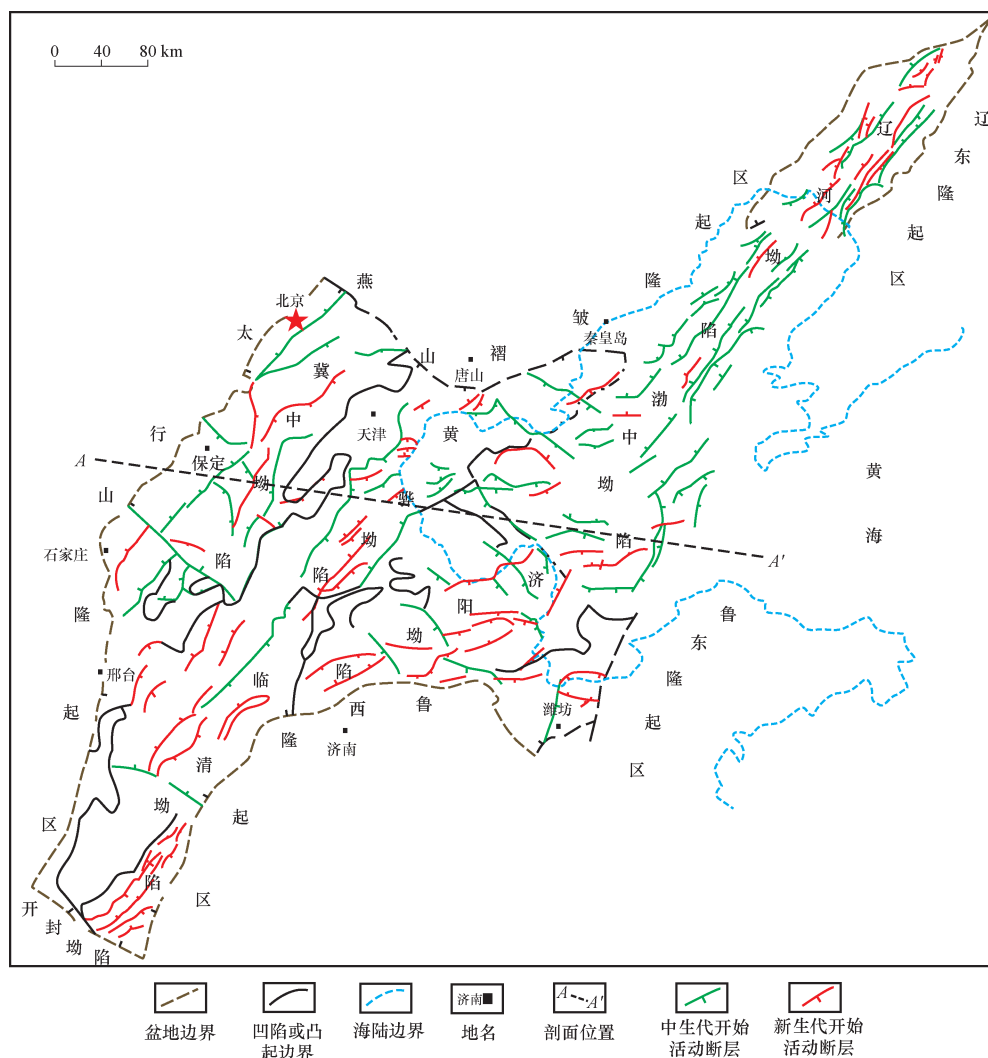


图1 渤海湾盆地中、新生代主要断层分布^[14]

Fig. 1 Distribution of main faults of the Mesozoic and Cenozoic in Bohai Bay Basin^[14]

以来的构造运动,自盆地外围向渤中地区逐渐增强,导致不同坳陷晚期断层发育密度及活动强度不同。在外围坳陷,如辽河、冀中及临清坳陷,晚期断层发育密度相对较小,在次外围的黄骅、济阳坳陷较大,而在渤中坳陷最大。这种晚期断层发育密度的差异是影响研究区新近系油气分布出现“盆内富集、盆缘贫化”的重要原因之一(图2)。

实际上,在断层发育密度较为相似的前提下,晚期断层活动强度是控制油气分布的关键因素,其对油气的输导、调整、破坏都有重要影响。一方面,主干油源断层的活动强度影响其输导能力,控制新近系油气富集规模;另一方面,次级断层主要对已形成的油藏产生破坏、调整,使其发生再次运聚成藏,进而影响新近系油气的分布层系及范围。

目前断层活动性研究方法主要有断层生长指数(上盘厚度/下盘厚度)、断距(古落差)及断层活动速率(断距/时间)。本文主要采用古落差、活动速率反映断层活动特征,在断层活动速率(v_f)计算过程中,不同类型的断层有不同的计算方法^[19]。

$$v_f(\text{同沉积正断层}) = \frac{\text{上盘沉积厚度} - \text{下盘沉积厚度}}{\text{时间}} \quad (1)$$

$$v_f(\text{边界正断层}) = \frac{\text{上盘沉积厚度} + \text{下盘沉积厚度}}{\text{时间}} \quad (2)$$

2.1 断层活动对油气宏观分布的控制

控凹和控带断层作为含油气凹陷中的重要断层,对油气分布控制作用明显。统计代表性凹陷主要控凹、控带断层的平均活动速率表明,自盆地外围向环渤中地区,断层晚期活动强度逐渐增大且停止活动时间逐渐变晚(图3)。从已发现的新近系油气藏宏观分布来看,断层晚期活动强度大的地区,油气分布较多,如渤中、黄骅和济阳等坳陷,而断层晚期活动较弱的地区,油气分布较少,如冀中、辽河和临清等坳陷。

根据生储盖组合关系可将渤海湾盆地分为下部成油组合(前古近系至沙四段)、中部成油组合(沙三段至沙一段)及上部成油组合(东营组至明化镇组)^[20],

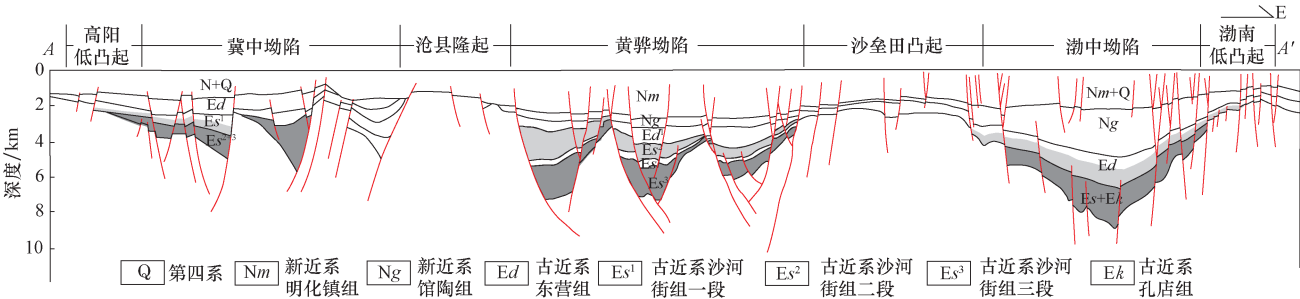


图2 渤海湾盆地东西向地质剖面示意图

Fig.2 EW-trending geological profile of Bohai Bay Basin

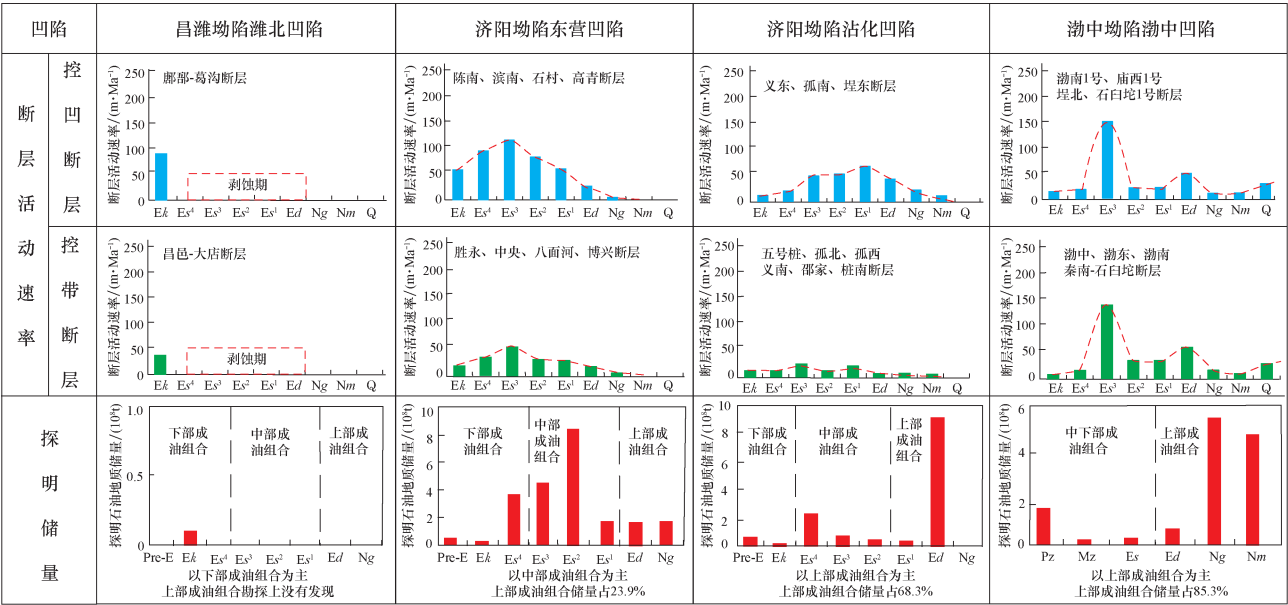


图3 渤海湾盆地南北向主要凹陷断层活动与油气储量关系

Fig.3 Relationship between faulting activities and hydrocarbon reserves in main depressions from north to south in Bohai Bay Basin

不同凹陷各成油组合油气富集情况存在较大差异。新生代晚期断层活动较弱或停止的凹陷,油气主要分布在下部成油组合,上部成油组合没有油气发现;晚期断层活动性中等的凹陷,油气主要富集于中部成油组合,上部成油组合油气占有一定比例;而晚期断层活动性强的凹陷,油气则集中在上部成油组合,中、下部成油组合油气储量有限。可见,断层晚期活动强度越大、停止活动时间越晚,上部成油组合油气所占比例越大,断层晚期活动性在宏观上控制了不同成油组合油气的分布(图 3)

2.2 断层活动与新近系油气富集凹陷类型

根据新近系的探明储量、储量百分比及储量丰度等参数,将渤海湾盆地主要凹陷新近系油气富集类型划分为高富集、较富集和不富集三类(表 1)。新近系油气高富集凹陷包括渤中、歧口、沾化、南堡等凹陷;较富集凹陷包括东营、车镇、惠民、饶阳、辽河西部等凹陷;不富集凹陷包括辽河东部、霸县、潍北、廊固、东濮等凹陷(图 4)。

对不同类型凹陷分别选取近 40 条主干油源断层,计算其新近纪活动速率发现,新近系油气高富集凹陷,断层晚期活动强度较大,活动速率为 5 ~ 20 m/Ma 的断层最多,所占比例为 74%,其中活动速率为 5 ~ 10 m/Ma 和 10 ~ 20 m/Ma 的断层所占比例分别为 45% 和 29%;新近系油气较富集凹陷,断层晚期活动强度中等,活动

速率为 0 ~ 10 m/Ma 的断层最多,所占比例为 89%,其中 0 ~ 5 m/Ma 和 5 ~ 10 m/Ma 的断层所占比例分别为 47% 和 42%,没有发现活动速率大于 20 m/Ma 的断层;新近系油气不富集凹陷,断层晚期活动强度较小,活动速率为 0 ~ 5 m/Ma 的断层最多,所占比例为 79%,活动速率大于 10 m/Ma 的断层极少(图 5)。可见,断层晚期活动强度影响新近系油气富集类型,随着断层活动强度增大,凹陷富集类型从不富集、较富集凹陷变化到高富集凹陷。

2.3 断层活动对不同构造带油气分布的控制

渤海湾盆地新近系油气主要分布于凹陷外带或凹中隆披覆背斜构造带,在浅凹带、斜坡带也有分布。针对不同类型构造带,选取油源断层发育密度相似的典型新近系油气富集区(埕岛披覆带、歧口凹陷南斜坡、东营凹陷中央隆起带),计算其晚期活动强度(新近纪古落差)。

结果表明,不同构造带主干断层活动性存在差异,埕岛披覆带主干断层(埕北断层、埕北 30 北断层和埕北 30 南断层)活动强度普遍较大,断层古落差平均值为 239 m;歧口南斜坡主干断层(张北断层、张东 - 海四井断层、赵家堡断层和羊二庄断层)活动性总体较强,断层古落差平均值为 179 m;东营中央隆起带主干断层(辛 120 断层、营 8 断层和辛 1 断层等)活动性相对较弱,断层古落差平均值为 75 m。同一构造带内不同断层活动强度有所不同,以埕岛披覆带为例,埕北断层活动强度总体大于埕北 30 北断层和埕北 30 南断层,埕北断层各测点古落差均超过 150 m,最大可达 579 m,而埕北 30 断层各测点古落差不超过 130 m,最大仅 128 m。同一断层不同部位活动性也有一定差异,以埕北断层为例,其中南部位活动性总体强于中北部位。

不同构造带内,随着断层活动强度增大,新近系油

表 1 渤海湾盆地主要凹陷新近系油气富集类型划分标准
Table 1 Standard for classifying hydrocarbon enrichment types in the Neogene in main depressions, Bohai Bay Basin

富集类型	新近系储量/ (10 ⁸ t)	新近系储量 百分比/%	新近系储量丰度/ (10 ⁴ t · km ⁻²)
高富集凹陷	>2	>30	>10
较富集凹陷	0.2 ~ 2	1 ~ 30	0.3 ~ 10
不富集凹陷	<0.2	<1	<0.3

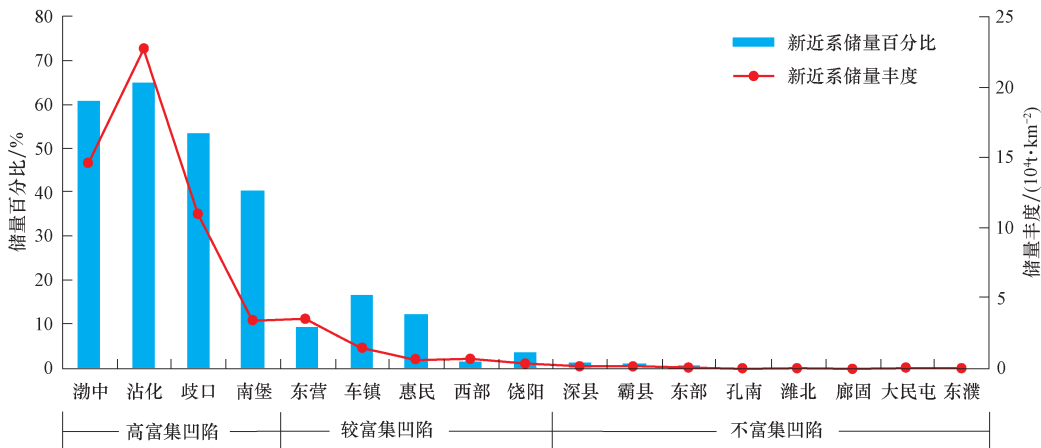


图 4 渤海湾盆地主要凹陷新近系油气富集类型划分

Fig. 4 Different types of hydrocarbon enrichment in the Neogene in main depressions, Bohai Bay Basin

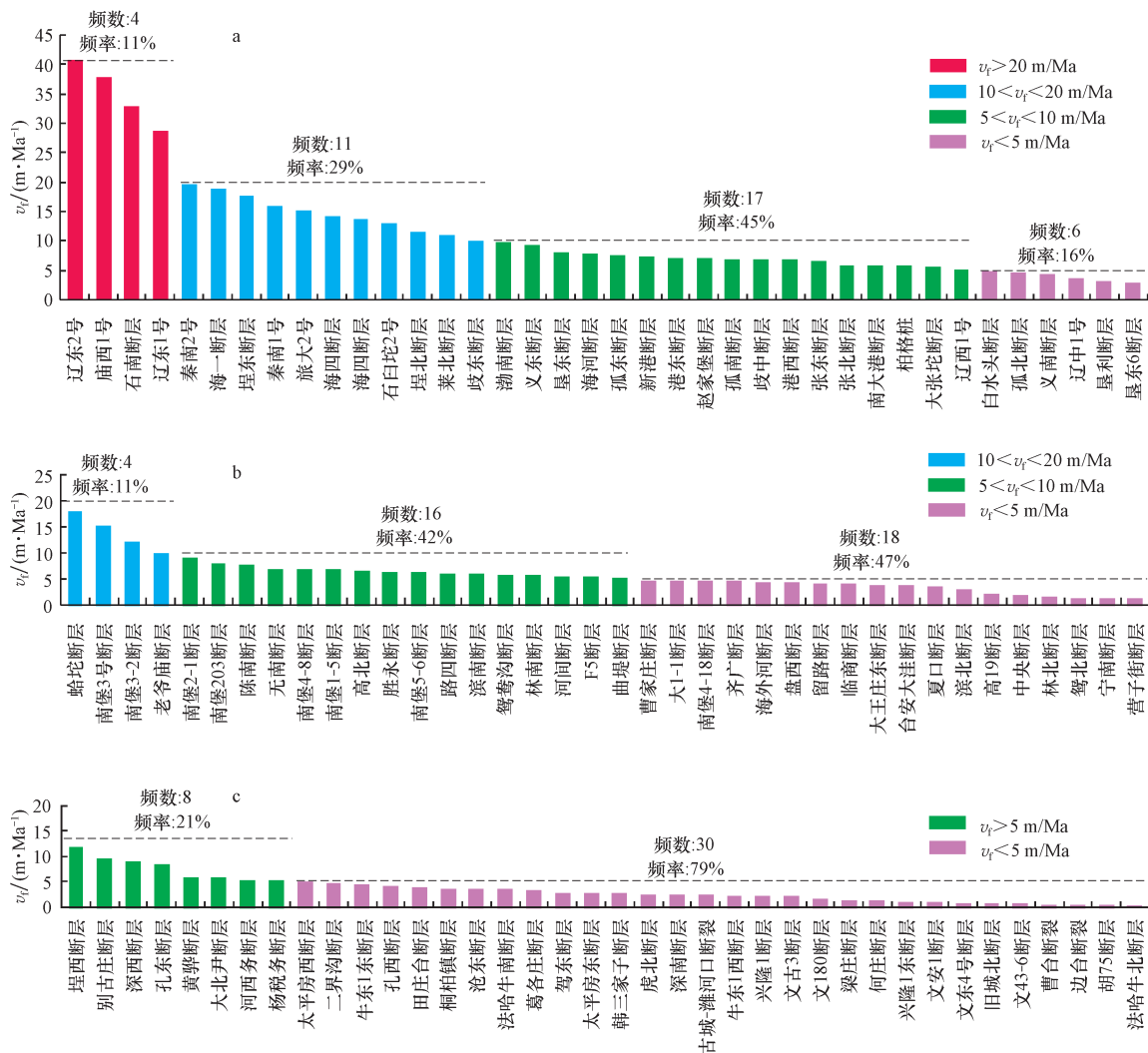


图5 渤海湾盆地新近系不同油气富集类型凹陷主干油源断层新近纪活动速率对比

Fig.5 Fault activity rate of main source faults in depressions with different types of hydrocarbon enrichment during the Neogene, Bohai Bay Basin

a. 渤中、歧口、沾化凹陷; b. 南堡、东营、饶阳、西部、惠民、车镇凹陷; c. 东濮、深县、霸县、廊固、沧东、潍北、大民屯、东部凹陷

气富集区带由浅凹带、斜坡带过渡到披覆带,油气展布范围也逐渐扩大;同一构造带内,活动强度大的断层附近,油气分布范围广,断层晚期活动控制构造带新近系油气展布格局(图6)。

3 断层差异活动与新近系油气富集

在古近系烃源岩主生排烃期的不同阶段,油源断层活动存在差异,这种差异对油气富集有重要影响。断层差异活动对油气成藏是一个动态的过程,断层活动一方面有利于下部层系油气持续向上运移,另一方面又会对已形成的油气藏造成破坏。

3.1 断层差异活动定量评价

1) 定量评价公式的提出

为了便于讨论不同时期断层活动与油气运聚的关系,将主生排烃期划分为早、中、晚(t_1, t_2, t_3)三个阶段,基于不同阶段断层活动差异将其分为五种类型:早

盛晚衰型、渐盛转衰型、渐衰转盛型、早衰晚盛型、稳定活动型。理论上讲,断层在主生排烃早中期活动较强、晚期活动较弱对油气运聚保存最为有利。因此,可用“主生排烃期断层活动差异系数—— FDC ”来评价断层活动差异性对新近系油气富集的控制作用。

$$FDC = \frac{F_{t_1} + 2F_{t_2}}{F_{t_2}/2 + F_{t_3}} \quad (3)$$

式中: FDC 为一无量纲参数,分子表示断层输导性能,分母表示断层封闭性能; $F_{t_1}, F_{t_2}, F_{t_3}$ 分别为 t_1, t_2, t_3 阶段断层活动强度。 FDC 越大,说明主生排烃早、中期断层活动较强,而晚期活动较弱,有利于油气运聚保存。

2) 三个时间段的确定

大致可划分为早期型、继承型、晚期型三大类^[20-21]。三类凹陷古近系烃源岩主生排烃期及主力含油层系主成藏期有依次变晚的趋势:早期型凹陷多为沙河街晚期—东营期(潍北凹陷)^[13],继承型凹陷多为馆陶晚期—明化镇期(东营凹陷)^[22],晚期型凹陷多为明化镇中晚期—第四纪(渤中凹陷)^[3]。

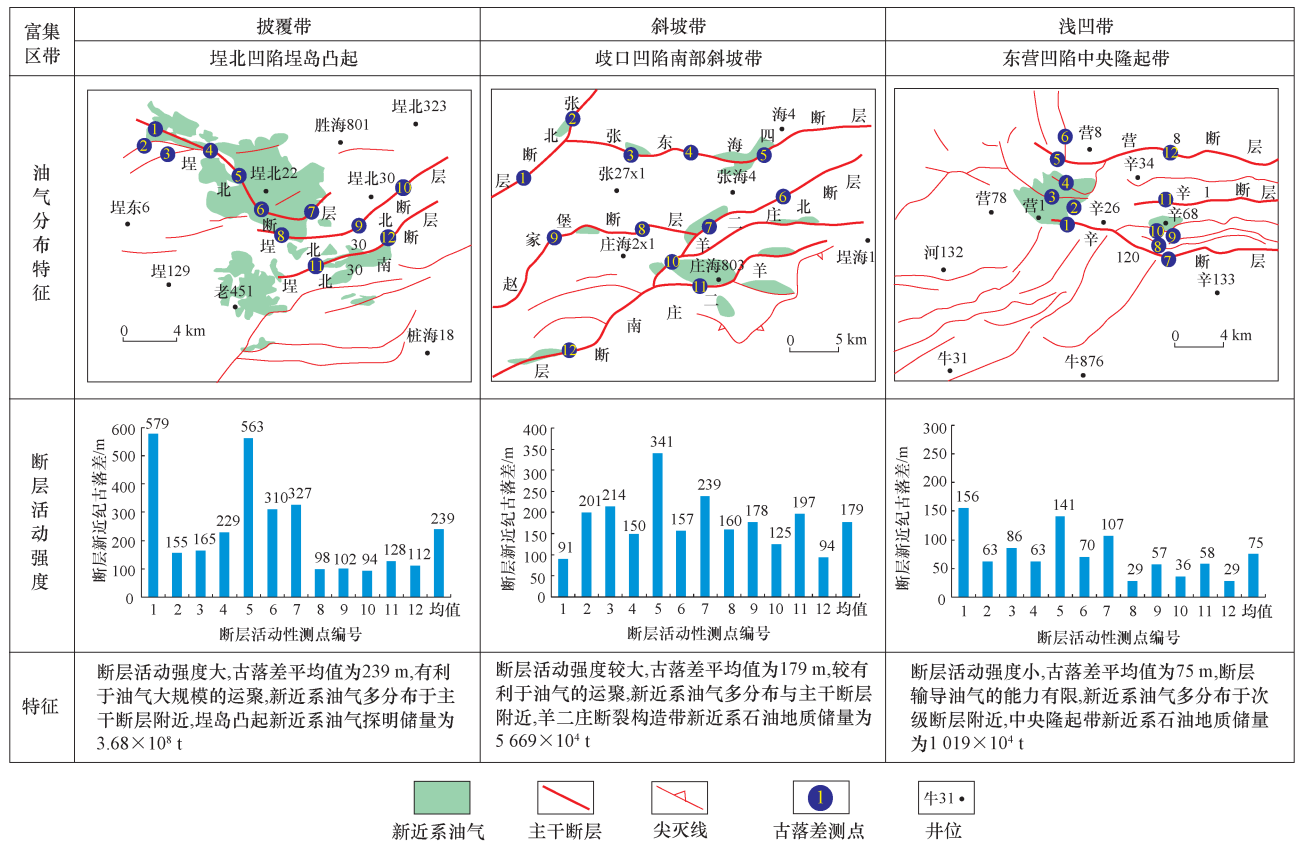


图 6 渤海湾盆地典型区带主干断层晚期活动特征与新近系油气分布关系
Fig. 6 Relationship between activity characteristics of main faults in typical structural belt and distribution of the Neogene hydrocarbon accumulations

由于不同类型凹陷主生排烃期存在较大差异, t_1 , t_2 , t_3 阶段的划分应基于凹陷类型而进行分类讨论。对于继承型凹陷, 综合考虑生排烃高峰期、新近系圈闭形成期及断层晚期活动特点, t_1 时间取 $N_g^{\pm}$ (馆陶组上段沉积期), t_2 时间取 $N_m^{\pm}$ (明化镇组下段沉积期), t_3 取 $N_m^{\pm} - Q$ (明化镇组上段至第四纪沉积期); 而对于晚期型凹陷, 主生排烃期及主成藏期较晚, t_3 期断层活动有利于大量油气纵向运移至新近系, 故该类型凹陷不适用于公式(3)。

3) 定量评价结果

为了进一步研究断层差异活动与新近系油气富集的关系, 选取代表性较强的地区进行解剖。本次研究选取披覆带(沾化凹陷孤岛、埕北凹陷埕岛披覆带)、斜坡带(歧口凹陷南斜坡)、浅凹带(东营凹陷中央隆起带)新近系油气典型富集区。过断层不同位置切割多条地震剖面, 分段计算断层在不同时期($N_g^{\pm}$, $N_m^{\pm}$, $N_m^{\pm} - Q$)内的活动速率, 并在此基础上求出断层活动差异系数。计算结果表明, 埕岛披覆带主干油源断层新近纪平均活动速率 9.70 m/Ma, 差异系数平均值为 1.80, 断层活动强度大、差异系数中等; 孤岛披覆带主干油源断层新近纪平均活动速率 7.62 m/Ma, 差异系数平均值为 2.59, 断层活动强度中等、差异系数大; 歧口南斜坡主干油源断层新近纪平均活动速率 7.26 m/Ma,

差异系数平均值为 1.87, 断层活动强度中等、差异系数中等; 东营中央隆起带主干油源断层新近纪平均活动速率 3.37 m/Ma, 差异系数平均值为 0.87, 断层活动强度小、差异系数小(表 2)。

3.2 断层差异活动对油气富集的影响

根据新生代晚期断层活动速率及差异系数, 断层活动速率以 2, 7, 12 m/Ma, 差异系数以 0.5, 1.5, 2.5 为界点, 将断层控油级别分为 I, II, III 类, 其中 I 和 II 类断层活动速率及差异系数相对较大, III 类相对较小。孤岛凸起断层以 I 类为主, 埕岛凸起断层以 II 类为主, 歧口南斜坡断层 I, II, III 类均有分布, 东营中央隆起带断层以 III 类为主(图 7)。

从不同区带来看, I 和 II 类断层分布较多的区带新近系油气较为富集, III 类断层分布较多的区带新近系油气富集程度差。从断层差异活动角度分析来看, I 和 II 类断层在主生排烃早中期活动强度大, 输导能力强, 可直接从烃源岩层系向新近系输导大量油气, 而在生排烃晚期活动强度变弱, 可使已聚集成藏的油气得到良好保存, 此种情况对油气聚集最为有利; 对于 III 类断层, 在主充注期活动强度小制约了油气向新近系的纵向输导规模, 新近系油气多源于下覆层系油气藏的调整。如以 I 类断层为主的孤岛披覆带, 新近系油

表 2 渤海湾盆地典型区带主干油源断层差异活动定量评价结果

Table 2 Quantitative evaluation of differential activities of main source rock-rooted faults in typical structural belt of Bohai Bay Basin

富集区带	断层名称	测点编号	断层类型	断层活动速率/(m · Ma ⁻¹)				FDC	控油级别
				<i>F</i> ₁₁	<i>F</i> ₁₂	<i>F</i> ₁₃	平均值		
				N _g [⊥]	N _m [↓]	N _m [⊥] + Q	N + Q		
披覆带(埕岛低凸起)	埕北	1	渐盛转衰型	18.37	29.60	28.19	23.54	1.80	I
		2	早衰晚盛型	5.15	7.31	7.82	6.31	1.72	II
		3	早衰晚盛型	5.08	8.08	8.92	6.72	1.64	II
		4	早衰晚盛型	6.71	11.59	12.63	9.31	1.62	II
		5	早衰晚盛型	17.78	26.72	30.25	22.90	1.63	I
		6	早衰晚盛型	11.71	13.16	14.10	12.62	1.84	I
		7	渐盛转衰型	12.15	14.94	14.00	13.31	1.96	I
	埕北 30 北	8	渐盛转衰型	3.59	4.94	3.77	4.00	2.16	II
		9	早衰晚盛型	3.43	4.87	5.00	4.16	1.77	II
		10	渐盛转衰型	3.25	4.78	3.96	3.82	2.02	II
	埕北 30 南	11	渐盛转衰型	3.97	6.57	6.42	5.20	1.76	II
		12	早衰晚盛型	3.89	4.93	5.66	4.55	1.69	II
平均值			7.92	11.46	11.73	9.70	1.80		
披覆带(孤岛低凸起)	孤南	1	渐盛转衰型	0.48	3.88	3.77	2.11	1.44	III
		2	渐盛转衰型	8.25	14.18	3.96	8.94	3.31	I
		3	渐盛转衰型	6.98	8.06	6.98	7.28	2.10	II
		4	渐盛转衰型	6.67	11.79	2.26	7.11	3.71	I
		5	渐盛转衰型	7.94	15.52	3.96	9.15	3.33	I
		6	渐盛转衰型	8.97	19.10	6.98	11.30	2.85	I
		7	渐盛转衰型	8.65	21.04	9.25	12.15	2.57	I
		8	早衰晚盛型	4.68	5.67	6.23	5.28	1.77	II
	孤北	9	渐盛转衰型	5.00	7.46	3.21	5.28	2.87	II
		10	渐盛转衰型	7.62	11.79	6.79	8.58	2.46	II
		11	渐盛转衰型	6.27	12.39	5.47	7.76	2.66	I
		12	渐盛转衰型	6.51	13.73	4.91	8.13	2.89	I
		13	渐盛转衰型	6.03	10.45	7.55	7.56	2.11	II
		14	渐盛转衰型	8.10	15.37	6.79	9.80	2.68	I
		15	渐盛转衰型	2.38	17.76	5.09	7.15	2.71	I
		16	渐盛转衰型	1.59	8.96	5.09	4.35	2.04	II
平均值			6.01	12.32	5.52	7.62	2.59		
斜坡带(歧口南斜坡)	张北	1	渐盛转衰型	6.00	15.00	4.00	8.02	3.13	I
		2	渐盛转衰型	2.00	8.00	2.00	3.63	3.00	II
	张东	3	早衰晚盛型	0.50	7.00	12.00	4.75	0.94	III
		4	渐盛转衰型	0.50	21.00	12.00	8.56	1.89	II
		5	渐盛转衰型	0.50	14.00	9.00	6.01	1.78	II
	海四	6	渐盛转衰型	5.00	28.00	16.00	13.63	2.03	I
	赵家堡	7	早衰晚盛型	3.00	6.00	15.00	6.40	0.83	III
		8	渐衰转盛型	7.00	5.00	10.00	7.10	1.36	III
		平均值			3.06	13.00	10.00	7.26	1.87
浅凹带(东营中央隆起带)	辛 120	1	早衰晚盛型	3.97	6.12	12.26	6.34	1.06	III
		2	渐盛转衰型	3.97	5.37	3.96	4.35	2.21	II
		3	早衰晚盛型	0.79	1.64	6.42	2.24	0.56	III
	辛 1	4	早衰晚盛型	1.59	2.54	3.96	2.36	1.27	III
		5	渐衰转盛型	0.16	0.15	5.09	1.22	0.09	III
	营 8	6	早衰晚盛型	3.89	4.63	11.70	5.77	0.94	III
		7	渐衰转盛型	0.16	0.15	5.47	1.30	0.08	III
		8	早衰晚盛型	1.59	2.69	8.49	3.37	0.71	III
平均			2.01	2.91	7.17	3.37	0.87		

注: $N_g^{\perp}$ 为新近系馆陶组上段; $N_m^{\downarrow}$ 为新近系明化镇组下段; $N_m^{\perp} + Q$ 为新近系明化镇组上段至第四系; $N + Q$ 为新近系至第四系。

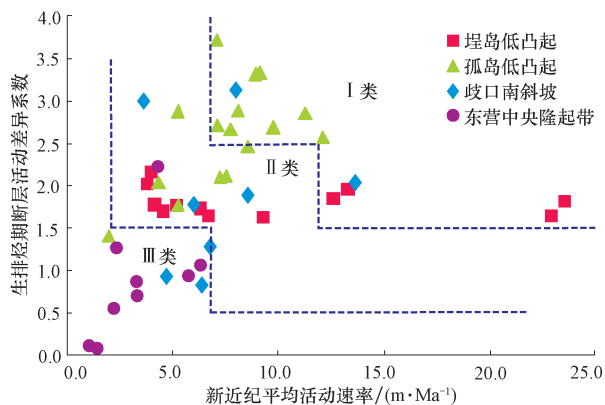


图7 渤海湾盆地典型区带主干油源断层控油级别划分

Fig. 7 Categorization of main source rock-rooted faults according to their controlling effect upon oil distribution in Bohai Bay Basin

气储量超过 4×10^8 t, 且占总储量比例超过 90%; 以 II 类断层为主的埕岛披覆带, 新近系油气储量达 3.68×10^8 t, 且占总储量比例超过 80%; I, II, III 类断层均有分布的歧口南斜坡带, 新近系油气储量相对较多, 占总储量比例超过 50%; 而以 III 类断层为主的东营中央

隆起带, 新近系油气储量极少, 占总储量比例不到 4% (图 8)。

从同一区带来看, 主要受 I 类断层控制的新近系圈闭内, 油气最为富集, II 类次之, III 类最差。以埕岛凸起为例, 埕北断层总体呈现出 I 类断层的特征, 其所在的构造带新近系油气最为富集, 储量近 2×10^8 t, 而埕北 30 北断层及埕北 30 南断层表现出 II 类断层的特点, 新近系油气富集程度较低 (图 8)。由此可知, 断层活动强度控制油气运移规模, 差异系数控制油气聚集程度。

4 结论

1) 渤海湾盆地新生代晚期断层活动性影响不同成油组合的油气宏观分布, 控制新近系油气富集凹陷类型及富集区带; 自盆地外围凹陷向渤中凹陷, 断层晚期活动强度增大、停止活动时间变晚, 上部成油组合油气所占比例增大, 新近系油气富集程度增大, 由新近系油气不富集凹陷向高富集凹陷变化, 油气富集区带从浅凹带、斜坡带向披覆带过渡。

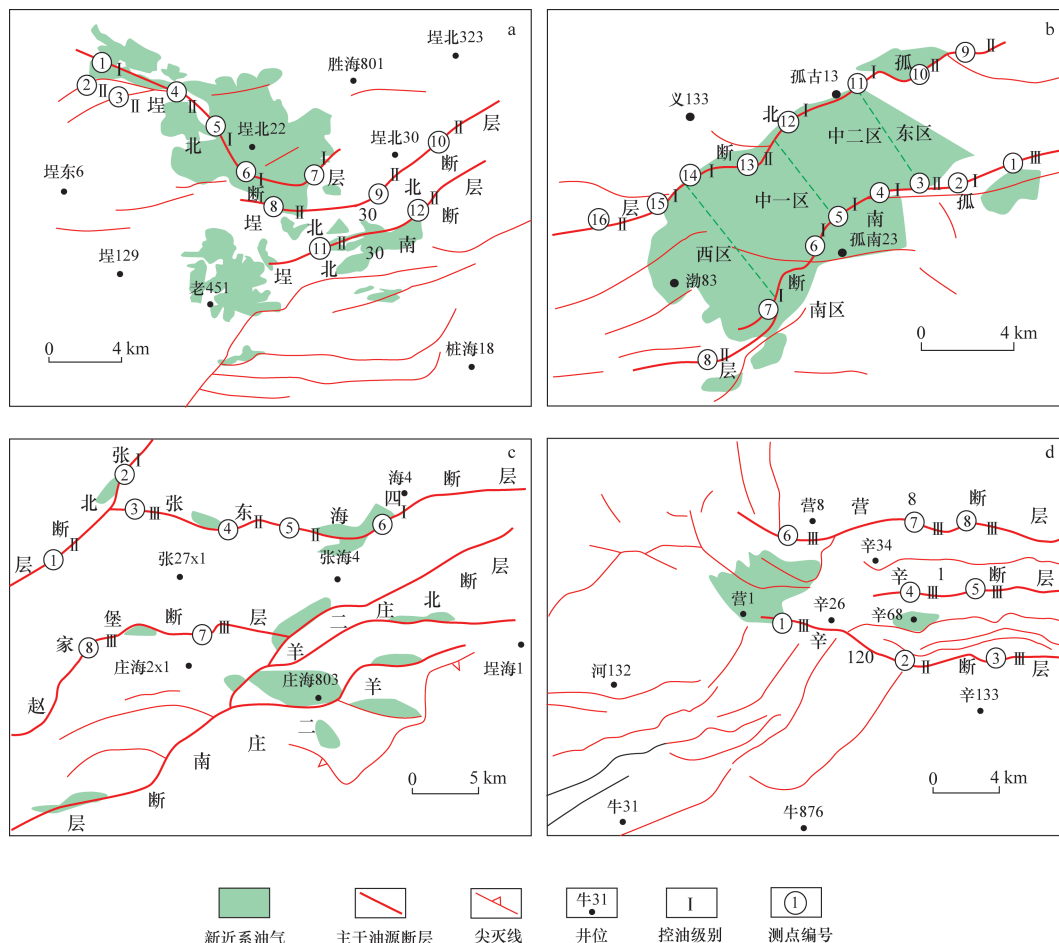


图8 渤海湾盆地典型区带断层控油级别与新近系油气富集关系

Fig. 8 Relationship between oil-distribution-controlling faults and hydrocarbon enrichment in the Neogene in typical structural belt, Bohai Bay Basin

a. 埕岛凸起 (披覆带); b. 孤岛凸起 (披覆带); c. 歧口凹陷南部斜坡带; d. 东营凹陷中央隆起带 (浅凹带)

2) 运用差异系数(*FDC*)表征断层差异活动对油气富集的影响,在主生排烃早中期活动较强、晚期活动较弱的断层对油气聚集最为有利。根据断层活动速率及差异系数,将断层控油级别分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类,其中Ⅰ和Ⅱ类断层活动速率及差异系数相对较大,Ⅲ类相对较小。

3) 断层活动强度控制油气运移规模,差异系数控制油气聚集程度。披覆构造带(如埕岛、孤岛披覆带)以Ⅰ和Ⅱ类断层为主,新近系油气极为富集;斜坡带(如歧口凹陷南斜坡)Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类断层均有发育,新近系油气较为富集;浅凹带(如东营凹陷中央隆起带)以Ⅲ类断层为主,新近系油气富集程度差。

参 考 文 献

- [1] 陆克政,漆家福. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式[M]. 北京:地质出版社,1997.
Lu Kezheng, Qi Jiafu. Tectonic model of Cenozoic petroliferous basin of Bohai Bay [M]. Beijing: Geology Press, 1997.
- [2] 李大伟. 新构造运动与黄骅坳陷油气成藏[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2006.
Li Dawei. Neotectonism hydrocarbon accumulation in Huanghua depression [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006.
- [3] 邓运华,李建平. 浅层油气藏的形成机理——以渤海油田为例[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
Deng Yunhua, Li Jianping. The formation mechanism of shallow oil and gas reservoirs—Taking Bohai oil field as an example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- [4] 张善文,王永诗,石砥石,等. 网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发,2003,30(1):1-9.
Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Shi Dishu, et al. Meshwork carpet type oil and gas pool forming system—Taking Neogene of Jiyang depression as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1-9.
- [5] 池英柳,赵文智. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气富集[J]. 石油学报,2000,21(2):14-20.
Chi Yinliu, Zhao Wenzhi. Strike-slip deformation during the Cenozoic and its influence on hydrocarbon accumulation in the Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(2): 14-20.
- [6] 余一欣,周心怀,徐长贵,等. 渤海辽东湾坳陷走滑断裂差异变形特征[J]. 石油与天然气地质,2014,35(5):632-638.
Yu Yixin, Zhou Xinhui, Xu Changgui, et al. Differential deformation of strike slip faults in the Liaodongwan Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 632-638.
- [7] 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.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay Basin and their genetic interpretation [J]. Geology in China, 2004, 31(1): 15-22.
- [8] 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及主控因素[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.
- [9] Carolyn Lampe, Guoqi Song, Liangzi Cong, et al. Fault control on hydrocarbon migration and accumulation in the Tertiary Dongying Depression, Bohai Basin, China [J]. AAPG, 2012, 96(6): 983-1000.
- [10] 周心怀,牛成民,滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断层活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):469-475.
Zhou Xinhui, Niu Chengming, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469-482.
- [11] 龚再升. 中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏[J]. 中国石油勘探,2004,2:12-19.
Gong Zaisheng. Late-stage fault activities and oil and gas reservoir formation of China's offshore basins [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 2: 12-19.
- [12] 刘培,蒋有录,郝建光,等. 渤海湾盆地歧口凹陷主要生烃期断层活动与新近系油气富集关系[J]. 中国地质,2013,40(5):1474-1483.
Liu Pei, Jiang Youlu, Hao Jianguang, et al. Relationship between the fault activity and hydrocarbon enrichment of Neogene during the main hydrocarbon generation period in Qikou Sag of Bohai Bay Basin [J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1474-1483.
- [13] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气生成与资源评价[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
Li Pilong. Oil and gas generation and resource evaluation of continental faultbasin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [14] 张善文,隋凤贵,林会喜,等. 渤海湾盆地前古近系油气地质与远景评价[M]. 北京:地质出版社,2009.
Zhang Shanwen, Sui Fenggui, Lin Huixi, et al. Petroleum geology and perspective evaluation on pre-Paleogene system in Bohai Bay Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [15] 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.
Qiao Hansheng, Fang Chaoliang, Niu Jiayu, et al. Deep petroleum geology of Bohai Bay Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [16] 孙永河,赵博,董月霞,等. 南堡凹陷断裂对油气运聚成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2013,34(4):540-549.
Sun Yonghe, Zhao Bo, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in the Nanpu Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 540-549.
- [17] 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. Reservoir forming conditions and accumulation models of Neogene hydrocarbon in Bohai Bay Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Sciences), 2014, 38(1): 14-21.
- [18] 刘培,蒋有录,刘华,等. 渤海湾盆地沾化凹陷断层活动与新近系油气成藏关系[J]. 天然气地球科学,2013,24(3):541-547.
Liu Pei, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. The relationship between fault-activity and hydrocarbon accumulation of Neogene in Zhanhua Depression, Bohai Bay Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 541-547.
- [19] 吴智平,李伟,郑德顺,等. 沾化凹陷中-新生代断层发育及其形成机制分析[J]. 高校地质学报,2004,10(3):405-416.
Wu Zhiping, Li Wei, Zheng Deshun, et al. Analysis on features and origins of the Mesozoic and Cenozoic faults in Zhanhua Sag [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 38(2): 230-240.
- [20] 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,2000,21(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, 21(1): 10-15.
- [21] 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),2015,03:20-29.
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 Sciences), 2015, 39(3): 20-29.
- [22] 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.

(编辑 张玉银)