

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

刘 培^{1,2} 蒋有录¹ 郝建光^{1,2} 郭富欣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)

摘要: 基于烃源岩热演化及生烃期、断层活动差异性及其定量评价等综合分析, 对渤海湾盆地歧口凹陷生烃期断层活动差异性与新近系油气富集关系进行了研究。结果表明, 研究区主力烃源岩大量生烃的新近纪至第四纪时期, 断层活动差异类型可分为早盛晚衰型、渐盛转衰型、渐衰转盛型、早衰晚盛型、稳定活动型五种, 差异系数(FDC)能较好地反映断层活动差异与新近系油气富集的关系。综合明化镇期断层活动速率及差异系数将断层控油级别分为 I、II、III 类, 其中断层活动速率及差异系数相对较大的 I、II 类断层控制的有利圈闭油气较为富集; 而断层活动速率及差异系数较小的 III 类断层控制的圈闭油气富集程度差, 断层活动速率控制油气运移规模, 差异系数控制油气富集程度。

关键词: 断层活动; 油气富集; 生烃期; 新近系; 歧口凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1474-10

在油气地质学中, 断层因具有输导性和封闭性双重特征而备受人们关注, 其中断层的输导作用是沟通“源—储”的关键环节, 尤其对远离烃源岩的新近系油气成藏影响重大。断层活动性是影响其输导能力的重要因素, 有关断层活动性与油气成藏的关系前人做了大量研究^[1-6], 但一般较为关注断层活动时间及强度与成藏期或生烃期的耦合^[5-8], 而关于生烃期不同阶段断层活动差异性对油气富集的影响及其定量关系, 目前国内外研究较少。本文以渤海湾盆地歧口凹陷主干油源断层及已发现新近系油气藏为研究对象, 在明确新近系油气来源的基础上, 运用盆地模拟技术对烃源岩生烃特征进行模拟分析, 确定出烃源岩大量生烃时期, 并计算油源断层主要生烃期活动速率及差异系数, 结合油气分布特点, 就生烃期断层活动差异性对新近系油气富集的影响进行初步探讨, 以期对断层活动性与油气富集关系方面的研究提供一种新的尝试。

1 区域地质背景

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷中区, 北隔塘沽—新港潜山带及北塘凹陷, 东接沙垒田凸起及渤中凹陷, 南邻埕宁隆起, 西望沧县隆起, 包括西部的陆上及东部的海域两个部分, 总勘探面积约为 5280 km²。平面上, 在凹陷边缘及内部发育埕北断阶带、南大港潜山带、北大港潜山带、滨海 1 号断裂带、塘沽新港潜山带 5 个正向构造单元和歧口主凹、歧北次凹、歧南次凹 3 个负向构造单元^[9-11](图 1)。歧口凹陷以古近—新近系沉积为主, 包括古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组及明化镇组, 其中沙河街组又分为沙三段、沙二段和沙一段, 东营组分为东三段、东二段、东一段, 相对于邻区, 研究区孔店组及沙四段地层不发育^[9-10]。

研究区新近系储层主要为馆陶组及部分明化镇组河流相砂岩, 区域性盖层为明化镇组泛滥平原相

收稿日期: 2012-06-04; 改回日期: 2013-06-25

基金项目: 国家油气重大专项课题(2011ZX05006-003)资助。

作者简介: 刘培, 男, 1986 年生, 硕士生, 主要从事油气成藏机理与分布规律方面的研究; E-mail: upcliupe@126.com。

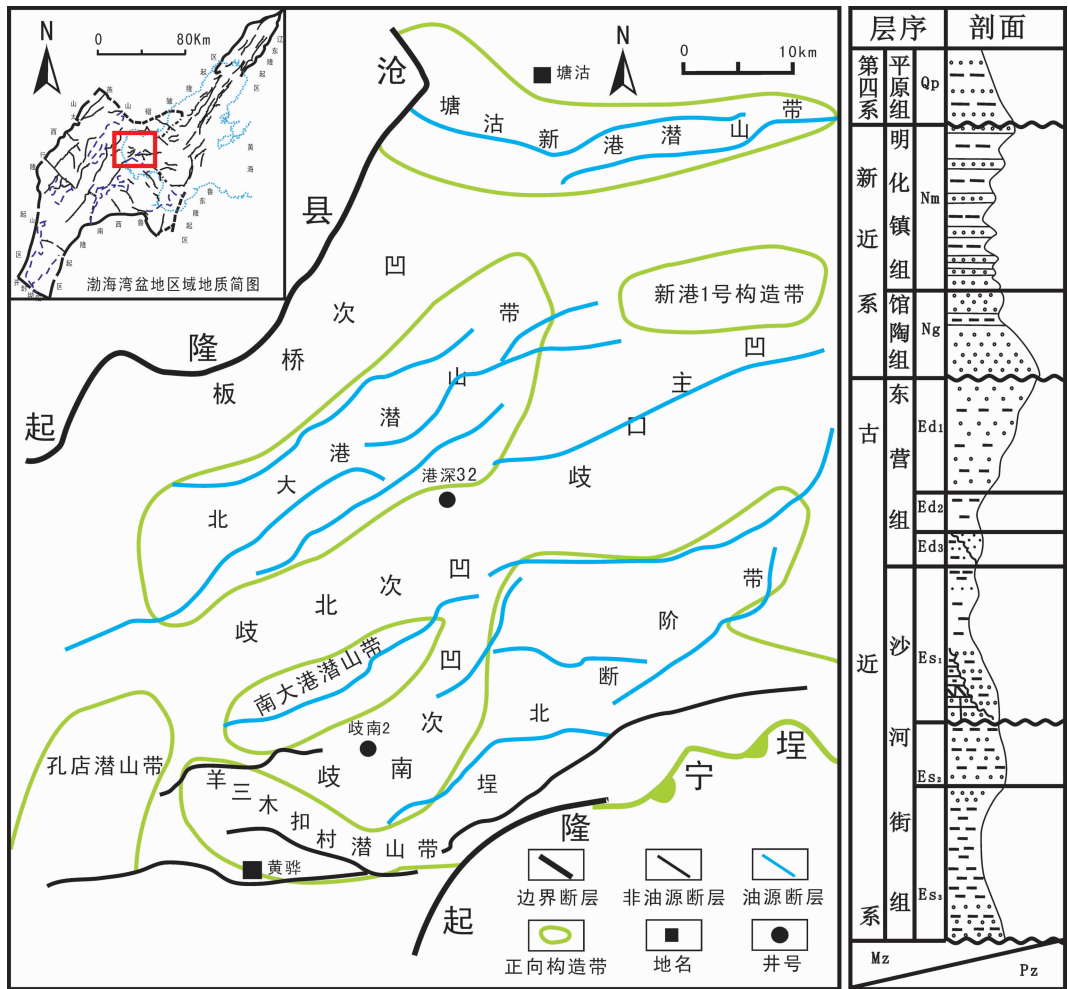


图 1 歧口凹陷区域概况及岩性剖面图(据文献[9-11]编绘)

Fig.1 Regional geological map and lithological profile of Qikou Sag (modified after references[9-11])

泥岩,新近系油气来自下伏古近系烃源岩,主要来自沙三段、沙一段烃源岩,局部地区来自东营组烃源岩,其中,北大港、张巨河等地区由沙三段、沙一下亚段烃源岩混合供烃,孔店、羊三木地区由沙一下亚段烃源岩供烃,唐家河地区油气来自沙三段及东营组烃源岩^[10-15]。

2 烃源岩生烃期的确定

为明确烃源岩生烃特征,选取歧口凹陷典型井并进行烃源岩单井热演化史分析,同时优选一条过歧北—歧南次凹的剖面对供烃层系进行烃源岩二维剖面热演化史模拟,模拟参数包括研究区地质年代、古地表温度、古热流值、古水深、剥蚀量等,相关参数及

资料依据前人对该区的研究成果^[16-19]。

2.1 烃源岩单井热演化模拟

对歧南次凹、歧北次凹较为典型的单井(歧南 2 井、港深 32 井)进行热演化史模拟分析^[18],结果表明,歧南次凹沙三段烃源岩在东营期(约 28Ma)达到成熟,在馆陶期进入生烃高峰并持续至现今,沙一段烃源岩自东营期进入中等成熟阶段,至明化镇末期达到成熟,东营组烃源岩基本处在未熟—低熟阶段。歧北次凹沙一段烃源岩在东营末期进入成熟阶段,至馆陶末期达到生烃高峰,东营组部分烃源岩在明化镇期达到成熟。由此可知,歧口凹陷进入大量生烃阶段始于东营期,歧北次凹热演化程度明显高于歧南次凹,主力烃源岩(沙三、沙一段烃源岩)在馆陶至

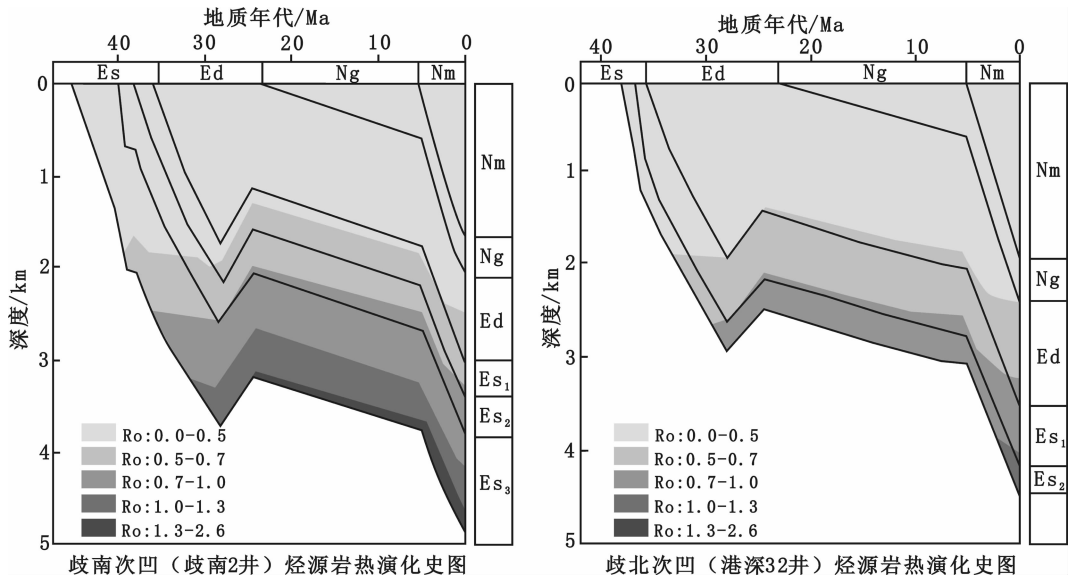


图 2 歧口凹陷不同地区单井热演化史(据文献[18]编绘)

Fig.2 Thermal evolution of single wells in different areas of Qikou Sag(modified after reference[18])

明化镇期达到生烃高峰,并持续至现今(图 2)。

2.2 烃源岩二维剖面热演化模拟

过歧北、歧南次凹选取一条典型剖面进行二维烃源岩热演化模拟,根据前文油气来源的分析,将沙三段、沙一中下亚段、东三段作为烃源岩层系,主要从现今、馆陶组末期、东营组末期三个时期分析烃源岩热演化史(图 3)。

模拟结果表明,现今(0 Ma)歧口凹陷沙三段烃源岩大部分已进入高成熟阶段,处于生烃高峰期,沙一段烃源岩基本处于成熟阶段,但歧北次凹的 R_o 值高于歧南次凹,东营组烃源岩大多处在未成熟-低熟阶段;馆陶组末期(12 Ma)歧口凹陷沙三段烃源岩大部分达到成熟阶段,进入大量生烃期,歧北次凹沙一段烃源岩部分进入大量生烃阶段,歧南次凹多处于未熟-低熟阶段,东营组烃源岩热演化普遍处于未熟阶段;东营组末期(24.6 Ma),歧北次凹沙三段烃源岩大多已进入大量生烃阶段,沙一段烃源岩部分进入大量生烃阶段,歧南次凹沙三段烃源岩部分成熟,沙一段烃源岩处于未熟-低熟阶段,东营组烃源岩热演化程度极低。综上,自东营组末期至现今,歧北次凹烃源岩热演化程度高于歧南次凹,馆陶组末期主力烃源岩(沙三、沙一段)基本已进入大量生烃期。

通过烃源岩单井及二维模拟分析可知,歧北次凹烃源岩热演化程度普遍高于歧南次凹,主力烃源

岩大量生烃期始于东营期,馆陶末至明化镇期达到生烃高峰,第四纪仍处在大量生烃阶段。

3 断层活动差异类型及定量评价

歧口凹陷内部及周缘主干油源断层多为控洼或控带断层。剖面上一般表现为正断层特征,呈现出“Y”字型、反“Y”字型、复合“Y”型等组合样式;平面上则表现为斜列、羽列、交织等组合形态,走向多呈北东向^[20-22]。

3.1 断层活动差异类型划分

生烃期的不同阶段,断层的活动存在一定差异,这种差异影响着油气的分布,为方便讨论不同阶段断层活动差异对油气富集的影响,将主要生烃期分为 t_1 、 t_2 、 t_3 3 个阶段,根据不同阶段断层活动强弱差异将其分为 5 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(图 4)。

理论上讲,在各阶段生烃量差异不大及其他地质条件相似的前提下,早盛晚衰型断层最有利于油气富集,因为早期活动性强的断层主要表现为输导性,有利于深部油气向浅层运移;中期活动性较强断层既表现为输导性又有一定的封闭性,一方面有利于深部油气的继续向上运移,另一方面又能减少早期已成藏油气的散失;晚期活动性弱的断层主要表现为封闭性,有利于油气的保存。由此可知,渐盛转衰型断层较有利于油气富集,渐衰转盛型断层在一

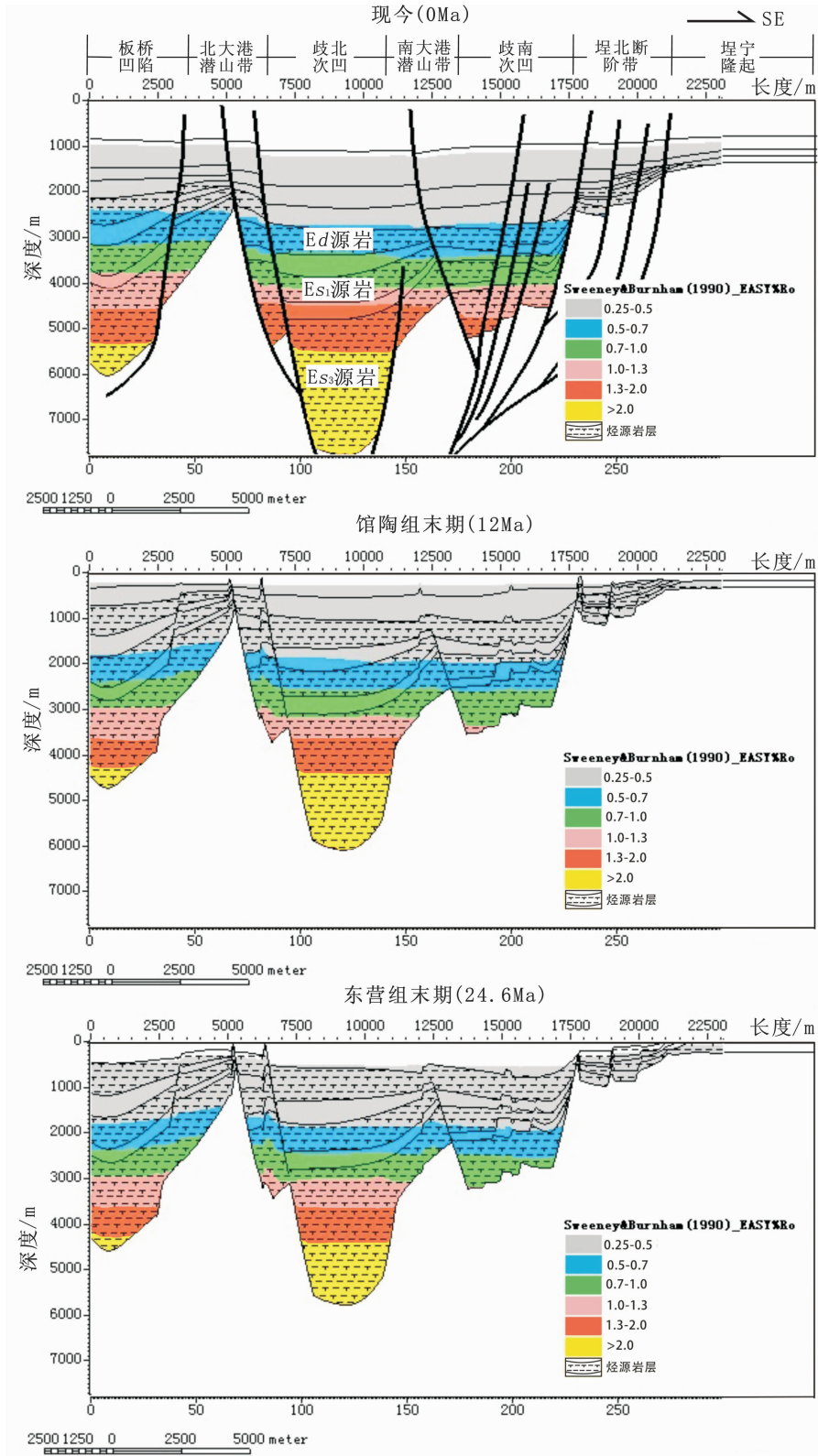


图 3 歧口凹陷二维剖面烃源岩不同时期热演化特征

Fig.3 2-D section thermal evolution of source rocks in different periods of Qikou Sag

一定程度上有利于油气富集,早衰晚盛型断层一般不利于油气富集,稳定活动型断层是否有利于油气富集取决于其活动强度。

3.2 断层活动差异性定量评价

根据断层活动差异类型的划分,本文提出了生烃期断层活动差异系数 FDC (fault activity difference coefficient) 的概念,即生烃期不同阶段断层活动强度的差异性影响油气的富集,在各阶段生烃量差异不大的情况下,断层最有利的活动差异应为早中期活动较强,以输导为主,中晚期活动较弱,以封堵为主。根据公式(1),差异系数越大,油气越富集。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,断层活动越强,输导能力越强,反之封闭能力越强, F_{t_1} 、 F_{t_2} 、 F_{t_3} 分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 阶段内断层活动强度。

$$FDC = \frac{F_{t_1} + 2F_{t_2}}{F_{t_2} + 2F_{t_3}} \quad (1)$$

目前定量研究断层活动强度的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)^[2]。但生长指数及断距在反映断层活动强度上都存在一定局限性,而断层活动速率具有较好的普适性,故在差异系数计算中,断层活动强度采用断层活动速率。断层活动速率是指某一地层单元在一定地质时期内,断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值,见公式(2)。式中, V_f 表示

断层活动速率, m/Ma ; T 表示沉积时间, Ma ; H_d 表示断层下降盘地层厚度, m ; H_u 表示断层上升盘地层厚度, m 。

$$V_f = \frac{\Delta H}{T} = \frac{(H_u - H_d)}{T} \quad (2)$$

前文研究表明,歧口凹陷大量生烃期始于东营组沉积期,馆陶末至明化镇期达到生烃高峰,但是就新近系油气而言,在馆陶组沉积初期,有效圈闭还未形成,故有效的生烃期至少应为馆陶中后期。本次研究选择了13条主干油源断层(新近纪仍在活动,向下切割沙三段烃源岩,向上断穿新近系),过断层不同位置切割多条地震剖面,分段计算出断层在 t_1 (Ng^s)、 t_2 (Nm^s)、 t_3 (Nm^s-Q) 时期内的活动速率,并在此基础上求出差异系数。计算结果表明(表1),歧口凹陷主干油源断层馆陶上段时期平均活动速率为 $2.0 m/Ma$,明下段时期平均活动速率为 $12.2 m/Ma$,明上段时期至第四纪平均活动速率为 $12.1 m/Ma$,新近纪平均活动速率 $7.0 m/Ma$,差异系数中等,平均值为 1.6 。歧口凹陷油源断裂大部分在馆陶期活动弱,至明化镇期及第四纪活动强,断层活动差异类型主要为早衰晚盛型和渐盛转衰型。

4 断层活动差异对油气富集的影响

生烃期断层的活动与开启为油气向浅层圈闭的运聚提供可能,在油气来源充足的情况下,断层活动

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
模式图					
特征	断层早期活动强度最大,中晚期活动强度逐渐降低	断层早期活动强度最大,晚期活动强度逐渐减弱	断层早期活动强,中期活动最弱,晚期活动逐渐增强	断层早期活动强度最小,中晚期活动强度逐渐增大	断层持续活动,强度基本保持不变
实例	沾化凹陷埕东断层、孤北断层、孤南断层	歧口凹陷港西断层、港东断层、张北断层	渤中凹陷石南断层、莱北断层	歧口凹陷海河断层、新港断层、歧中断层	实际中较少

图4 生烃期不同阶段断层活动差异类型划分

Fig.4 Classifications of fault activity differences in different phases of the hydrocarbon generation period

强度越大,其输导能力越强,油气运移规模可能越大。烃源岩的生烃期具有一定的时间跨度,在这个时间段内,断层的差异活动对油气的聚集与破坏是一个动态的过程,那么这种活动差异是否有利于油气聚集与保存,则与断层活动差异系数密切相关。因而,在能够保证油气可以向有利圈闭运移的前提下,差异系数越大,断层中晚期封闭能力相对越强,油气

的富集程度可能越高。

歧口凹陷新近系油气平面上围绕各正向构造带展布,主要包括北大港潜山带、埕北断阶带及羊三木孔店潜山带,以北大港潜山带最为富集;纵向上油气分布于馆陶、明化镇组,以明化镇组最多。根据 13 条主干油源断层与新近系油藏分布可以看出(图 5),主干油源断层控制油气的宏观展布,非油源断层附

表 1 歧口凹陷主要油源断层活动差异性定量评价结果

Table 1 Quantitative evaluation of main source fault activity differences in Qikou Sag

断层名称	断层类型	断层活动速率/(m/Ma)				差异系数		控油级别
		Ft ₁	Ft ₂	Ft ₃	平均值	FDC		
		Ng ^s	Nm ^x	Nm ^s +Q	N+Q			
港西断层中段	渐盛转衰型	0.8	18.0	1.0	5.5	3.68	I	
港西断层北段	渐盛转衰型	1.5	24.0	1.5	7.6	3.67	I	
港东断层南段	早衰晚盛型	3.0	14.0	16.0	8.8	1.35	II	
港东断层北段	渐盛转衰型	0.5	10.0	4.0	3.8	2.28	II	
港东断层中段	渐盛转衰型	1.5	17.0	12.0	8.0	1.73	II	
张北断层北段	渐盛转衰型	6.0	15.0	4.0	8.0	3.13	I	
张北断层南段	渐盛转衰型	2.0	8.0	2.0	3.6	3.00	II	
歧东断层西段	早衰晚盛型	0.5	2.0	23.0	5.8	0.19	III	
歧东断层中段	渐盛转衰型	5.0	33.0	20.0	15.9	1.95	I	
歧东断层东段	早衰晚盛型	1.0	16.0	17.0	8.5	1.32	II	
张东断层西段	早衰晚盛型	0.5	7.0	12.0	4.7	0.94	III	
张东断层中段	渐盛转衰型	0.5	21.0	12.0	8.6	1.89	I	
张东断层东段	渐盛转衰型	0.5	14.0	9.0	6.0	1.78	II	
白水头断层北段	渐盛转衰型	3.5	6.0	5.3	4.6	1.87	II	
赵家堡断层北段	早衰晚盛型	3.0	6.0	15.0	6.4	0.83	III	
赵家堡断层中段	渐衰转盛型	7.0	5.0	10.0	7.1	1.36	III	
海四断层	渐盛转衰型	5.0	28.0	16.0	13.6	2.03	I	
海河断层	早衰晚盛型	1.0	8.5	22.5	7.7	0.67	III	
新港断层	早衰晚盛型	0.8	5.0	24.5	7.1	0.40	III	
大张坨断层南段	早衰晚盛型	1.6	6.7	10.2	4.8	1.11	III	
大张坨断层中段	早衰晚盛型	3.1	8.2	15.1	7.1	1.02	III	
大张坨断层北段	早衰晚盛型	1.2	6.0	9.1	4.2	1.09	III	
歧中断层西段	渐盛转衰型	1.5	9.0	8.5	5.1	1.50	II	
歧中断层中段	渐盛转衰型	0.5	17.5	14.0	8.0	1.56	II	
歧中断层东段	渐盛转衰型	1.0	14.0	12.0	6.9	1.53	II	
南大港断层北段	早衰晚盛型	1.5	10.0	14.5	6.6	1.10	II	
南大港断层中段	早衰晚盛型	1.0	8.0	13.2	5.5	0.99	III	
南大港断层南段	早衰晚盛型	1.0	6.0	14.6	5.3	0.74	III	
平均值		2.0	12.2	12.1	7.0	1.60		

近油气相对较少,如羊三木、扣村、黄骅断层,其附近油气来自沙一下亚段烃源岩,主要是通过不整合或区域性砂体长距离运移而来^[21-22]。

基于歧口凹陷生烃量最大时期是明化镇期的事实,根据明化镇组断层活动速率(以 Nmx 时期活动速率代替)及差异系数将 13 条主干油源断裂的控油级别大致分为 3 类(图 6): I 类断层明化镇期断层活动速率大于 15 m/Ma,差异系数大于 2.0,即活动速率大、差异系数大; II 类断层明化镇期断层活动速率 8~15 m/Ma,差异系数 1.0~2.0,即活动速率中等、差异系数中等,或活动速率大(中等),差异系数中等(大); III 类断层明化镇期断层活动速率小于 8m/Ma,差异系数小于 1.0,即活动速率小、差异系数小,或活动速率中等(小)、差异系数小(中等),油源断层控油级别不同,油气富集特点不同。

总的来说,研究区新近系油气主要分布在 I 类、部分 II 类断层控制的圈闭内,主要是由于该类断层

活动速率较大,可以为油气源源不断的运移提供通道条件,同时差异系数也较大,能够保证已成藏的油气尽可能多的保存下来。而 III 类断层控制的圈闭含油性差,其原因不仅在于该类断层活动强度小,影响油气的输导,而且较小的差异系数也不利于油气的富集与保存。以北大港潜山带为例,港西、港东及大张坨断层作为其主要的油源断层,直接影响着新近系油气的聚集情况,但沿断层附近的浅层圈闭内,新近系油气并非都富集(图 5)。勘探实践表明,北大港潜山带新近系油气储量超过亿 t,该构造带发现的港西、港东等新近系大型油气田基本沿港西、港东两大断层分布,且以断块油气藏为主,而大张坨断层附近的浅层圈闭中却少有新近系油气^[22-24]。从断层差异活动的角度来看,港西、港东断层活动强度大,生烃高峰期断层活动速率基本都大于 15 m/Ma,差异系数也较大,最大达到 3.68,这对油气的运聚和保存非常有利;大张坨断层活动速率及差异系数相对较

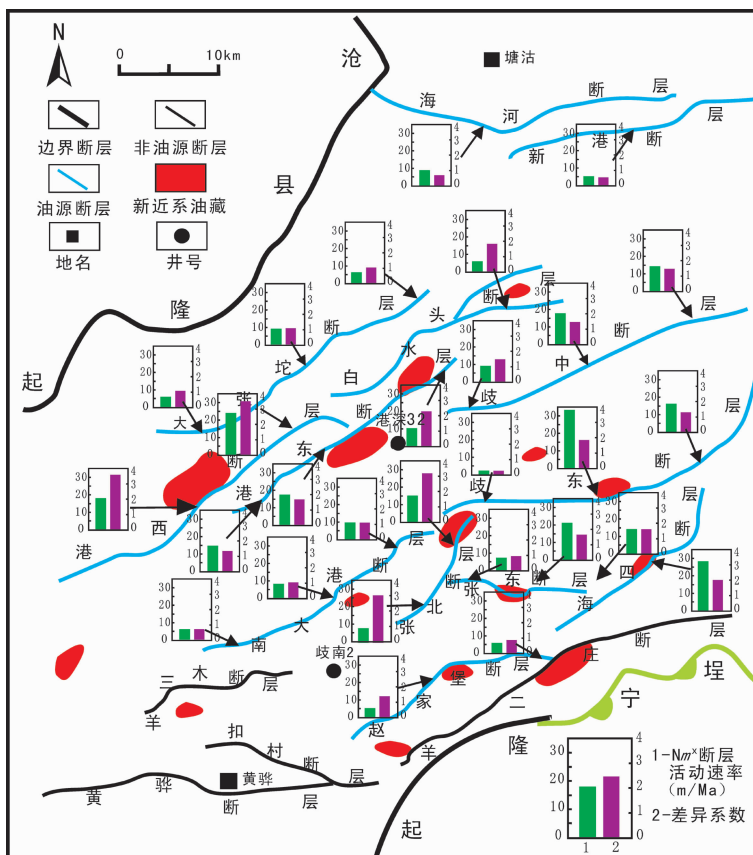


图 5 歧口凹陷新近系油气分布与断层活动特征关系图

Fig.5 Relationship between Neogene hydrocarbon distribution and fault activities in Qikou Sag

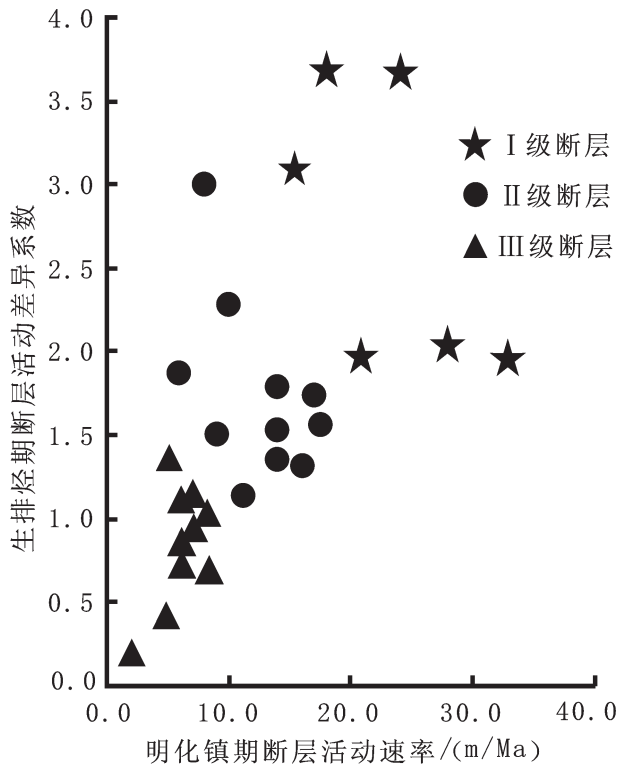


图6 断层活动速率与差异系数交汇图

Fig.6 Crossplot of fault activity velocity and fault activity difference coefficient

低,新近系油气较难在其附近的圈闭中成藏。

5 结论

(1)歧口凹陷主力烃源岩大量生烃的新近纪至第四纪时期,断层差异活动类型可分为早盛晚衰型、渐盛转衰型、渐衰转盛型、早衰晚盛型、稳定活动型五种,研究区断层活动差异类型主要为早衰晚盛型和渐盛转衰型,断层活动强度大部分在馆陶期较弱,明化镇期至第四纪较强;断层差异活动类型不同,油气富集有所差异,一般早盛晚衰型及渐盛转衰型断层较有利于油气富集。

(2)研究区新近系油气主要分布在油源断层附近,而非油源断层附近相对较少,主干油源断层控制油气的宏观展布。根据明化镇期断层活动速率及差异系数将13条主干油源断层的控油级别分为3类,其中断层活动速率及差异系数相对较大的I、II类断层控制的圈闭油气较为富集;而断层活动速率及差异系数较小的III类断层控制的圈闭油气富集程度差,断层活动速率控制油气运移规模,差异系数控制油气富集程度。

参考文献(References):

- [1] 邹华耀,周心怀,鲍晓欢,等.渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式[J].石油学报,2010,31(6):885-892.
Zou Huayao, Zhou Xinhui, Bao Xiaohuan, et al. Controlling factors and models for hydrocarbon enrichment/depletion in Paleogene and Neogene, Bohai Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6):885-892(in Chinese with English abstract).
- [2] 周心怀,牛成民,滕长宇.环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J].石油与天然气地质,2009,30(4):469-482.
Zhou Xinhui, Niu Chengmin, 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(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈伟,吴智平,侯峰,等.油气沿断裂走向运移研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(6):25-29.
Chen Wei, Wu Zhiping, Hou Feng, et al. Study on hydrocarbon migration along fault strike [J]. Journal of China University of Petroleum, 2010, 34(6):25-29(in Chinese with English abstract).
- [4] 李宏义,姜振学,董月霞,等.渤海湾盆地南堡凹陷断层对油气运移的控制作用[J].现代地质,2010,24(4):755-761.
Li Hong yi, Jiang Zhenxue, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Geoscience, 2010, 24(4):755-761 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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(in Chinese with English abstract).
- [6] 孙永河,吕延防,付晓飞,等.准噶尔盆地南缘褶皱冲断带断裂输导石油效率评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(3):430-435.
Sun Yonghe, Lv Yanfang, Fu Xiaofei, et al. Evaluation on crude oil transporting efficiency though fault at the fold -thrust belt in southern margin of Junggar Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38 (3):430-435 (in Chinese with English abstract).
- [7] 付晓飞,吕延防,付广,等.库车坳陷北带逆掩断层在天然气运移成藏中的作用[J].中国海上油气,2004,16(3):161-165.
Fu Xiaofei, Lv Yanfang, Fu Guang, et al. The effects of overthrusts on gas migration and accumulation in the north belt of Kuche Depression [J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(3):161-165 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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. The relationship between fault -activity and hydrocarbon accumulation and enrichment in Nanpu Depression [J]. Journal of China University of

- Petroleum, 2012, 36(2):60-67(in Chinese with English abstract).
- [9] 黄传炎, 王华, 吴永平, 等. 歧口凹陷第三系层序格架下的油气藏富集规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(5):986-995.
Huang Chuanyan, Wang Hua, Wu Yongping, et al. Analysis of the hydrocarbon enrichment regularity in the sequence stratigraphic framework of tertiary in Qikou Sag [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40 (5):986-995 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王振升, 于学敏, 国建英, 等. 歧口凹陷天然气地球化学特征及成因分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(4):683-691.
Wang Zhensheng, Yu Xuemin, Guo Jianying, et al. Geochemical characteristics and genesis of natural gas in Qikou Sag [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21 (4):683-691 (in Chinese with English abstract).
- [11] 大港油田科技丛书编委会. 第三系石油地质基础 [M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
Technology Committee of Dagang Oilfield. Petroleum Geology Basis of Tertiary [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999(in Chinese).
- [12] 杨池银, 周宗良, 周建生. 歧口凹陷含油气系统与油气勘探[J]. 勘探家, 2000, 5(3):64-70.
Yang Chiyin, Zhou Zongliang, Zhou Jiansheng. Petroleum system and petroleum exploration in Qikou Sag [J]. Petroleum Explorationist, 2000, 5(3):64-70.
- [13] 高锡兴. 黄骅拗陷石油天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
Gao Xixing. Petroleum and Gas Geology of Huanghua Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997(in Chinese).
- [14] 于学敏, 何咏梅, 姜文亚, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷古近系烃源岩主要生烃特点[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(6):1001-1008.
Yu Xuemin, He Yongmei, Jiang Wenya, et al. Hydrocarbon generation of Paleogene source rocks in Qikou sag [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22 (6):1001-1008 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴亚东, 闫煜彪, 唐晓川, 等. 黄骅拗陷齐家务地区的油源对比[J]. 现代地质, 2005, 19(4):579-583.
Wu Yadong, Yan Yubiao, Tang Xiaochuan, et al. Oil source correlation of the Qijiawu Area in the Huanghua Depression [J]. Geoscience, 2005, 19 (4):579-583 (in Chinese with English abstract).
- [16] 胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海盆地热历史及构造-热演化特征[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6):748-753.
Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Luo Yuhui, et al. Thermal history and tectonic-thermal evolution of Bohai Basin, East China [J]. Chinese Journal Geophysics, 1999, 42(6):748-753(in Chinese with English abstract).
- [17] 肖丽华, 孟元林, 牛嘉玉, 等. 歧口凹陷沙河街组成岩史分析和成岩阶段预测[J]. 地质科学, 2005, 40(3):346-362.
Xiao Lihua, Meng Yuanlin, Niu Jiayu, et al. Diagenetic history and diagenetic stages prediction of Shahejie formation in the Qikou Sag [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40 (3):346-362 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张杰, 邱楠生, 王昕, 等. 黄骅拗陷歧口凹陷热史和油气成藏史[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4):505-510.
Zhang Jie, Qiu Nansheng, Wang Xin, et al. Thermal evolution and reservoiring history in Qikou sag, Huanghua Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26 (4):505-510 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王芝尧, 卢昇, 刘志英. 歧口凹陷构造演化特征及控油气作用[J]. 中国石油勘探, 2013, 1:15-21.
Wang Zhiyao, Lu Yi, Liu Zhiying. Structural development characteristics of Qikou depression and controlling effects of oil and gas [J]. China Petroleum Exploration, 2013, 1:15-21 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王光奇, 漆家福, 岳云福. 歧口凹陷及周缘新生代构造的成因和演化[J]. 地质科学, 2003, 38(2):230-240.
Wang Guangqi, Qi Jiafu, Yue Yunfu. Formation and evolution of the Cenozoic tectonics within and surrounding the Qikou Sag [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(2):230-240(in Chinese with English abstract).
- [21] 贾春明. 黄骅拗陷新近系断裂活动特征及其与油气成藏的关系[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2002.
Jia Chunming. The Activity Characteristics of Upper Tertiary Faults System and Its Relation with Petroleum Accumulation in Huanghua Depression [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2002(in Chinese with English abstract).
- [22] 祁鹏, 任建业, 艾能平, 等. 歧口凹陷后裂陷期构造特征与浅层油气成藏[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(6):971-977.
Qi Peng, Reng Jianye, Ai Nengping, et al. Post-rifting structure characteristics and shallow hydrocarbon accumulations in Qikou sag [J]. Oil and Geophysical Prospecting, 2011, 46 (6):971-977 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘伟兴, 谭守强, 袁淑琴, 等. 歧口凹陷中浅层油气富集因素及成藏模式[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(3):183-188.
Liu Weixing, Tan Shouqiang, Yuan Shuqi, et al. Hydrocarbon enrichment factors and accumulation models in the middle-shallow formation of Qikou sag [J]. China Offshore Oil and Gas(geology), 2002, 16(3):183-188(in Chinese with English abstract).
- [24] 周立宏, 肖敦清, 李洪香. 歧口凹陷浅层油气成藏规律再认识[J]. 断块油田, 2010, 17(5):557-559.
Zhou Lihong, Xiao Dunqing, Li Hongxiang. New understanding of hydrocarbon accumulation patterns of shallow reservoirs in Qikou sag [J]. Fault-Block Oil & Gas, 2010, 17 (5):557-559(in Chinese with English abstract).

The relationship between the fault activity and the Neogene hydrocarbon enrichment during the main hydrocarbon generation period in Qikou Sag of Bohai Bay Basin

LIU Pei^{1,2}, JIANG You-lu¹, HAO Jian-guang^{1,2}, GUO Fu-xin¹

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

2.Research Institute of Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Guangzhou 510240, Guangdong, China)

Abstract: Based on a comprehensive analysis of the generation characteristics of source rocks as well as the difference and the quantitative evaluation of fault activity, the authors studied the relationship between the difference of fault activity and the Neogene hydrocarbon enrichment during the hydrocarbon generation period in Qikou Sag of Bohai Bay Basin. The results show that the fault activity differences during the main hydrocarbon generating periods from Neogene to the present can be divided into five categories, i.e., the early-acted-late-declined type, the gradually-acted-turned declined type, the gradually-declined-turned acted type, the early declined-late acted type and the acted stable type. The relationship between the difference of fault activity and the Neogene hydrocarbon enrichment can be revealed by the fault activity difference coefficient (FDC). According to the fault activity rate in the phase of the Minghuazhen Formation and the fault activity difference coefficient, the faults are divided into 3 types, namely I, II and III. Hydrocarbon is mainly concentrated in the favorable traps controlled by type I and type II faults whose activity rate and FDC are relatively high. The enrichment of oil and gas is poor in the traps controlled by type III faults whose activity rate and FDC are relatively low. The scale of oil and gas migration is controlled by fault activity rate, while the extent of hydrocarbon enrichment is controlled by FDC.

Key words: fault activity; hydrocarbon enrichment; hydrocarbon generation period; Neogene; Qikou Sag; Bohai Bay Basin

About the first author: LIU Pei, male, born in 1986, master candidate, mainly engages in the study of formation mechanism and distribution regularity of oil and gas accumulation; E-mail: upcliupe@126.com.