

文章编号: 0253-2697(2007)04-0001-10

郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用

龚再升¹ 蔡东升² 张功成³

(1. 中国海洋石油总公司 北京 100027; 2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司 广东湛江 524057;
3. 中海石油(中国)有限公司北京研究中心 北京 100027)

摘要:利用渤海连片三维地震资料,对郯庐断裂进行了三维可视化解释,系统地研究了海域新生代以来郯庐断裂在古近纪、新近纪、第四纪的发育、发展以及几何学、运动学、动力学特征,研究了郯庐断裂对渤海油气成藏的影响和控制。结果表明,郯庐断裂是控制渤海海域油气成藏的重要因素,它控制了始新世、渐新世湖相烃源岩的形成,造就了大量的油气圈闭,主导了油气输导系统,而且新构造期沿郯庐断裂带的天然地震活动也可能是导致油气成藏的主要动力。郯庐断裂的晚期活动推进了渤海油气在新近纪晚期成藏,也促成了油气田至今的动平衡成藏。

关键词:渤海海域;郯庐断裂;油气成藏;海上油气勘探;新生代

中图分类号:TE511.2 文献标识码:A

Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area

Gong Zaisheng¹ Cai Dongsheng² Zhang Gongcheng³

(1. China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027, China;

2. CNOOC China Ltd. Zhanjiang, Zhanjiang 524057, China;

3. Beijing Research Center of CNOOC China Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: The 3D seismic data of Bohai Sea area were used to make 3D visualization interpretation for Tanlu Fault zone. The systemic studies on the development, and geometry, kinematics and dynamics of Tanlu Fault zone in the Paleogene, Neogene and Quaternary of this area since Cenozoic showed that Tanlu Fault zone is an important factor for controlling the hydrocarbon accumulation in Bohai Sea area. i. e. Tanlu Fault zone controlled the formation of lacustrine source rocks in the Eocene and Oligocene during the Paleogene extension rifting period, formed and reconstructed lots of traps, dominated oil and gas conduction system, and the natural earthquake activities during the Neotectonic period could improve hydrocarbon accumulation in this area. The late activity of Tanlu Fault zone advanced hydrocarbon accumulation in the Late Neogene and also advanced the dynamic balance of oilfields at present.

Key words: Bohai Sea area; Tanlu Fault; hydrocarbon accumulation; offshore petroleum exploration; Cenozoic

1 渤海海域郯庐断裂研究概况

郯庐断裂是中国东部北起黑龙江、南至长江的区域性大断裂,它的形成、发育和发展对中国东部中生代以来的沉积、构造、矿产的形成分布及近代地震活动都有明显的影响和控制作用。国内外学者长期以来利用地质力学、地球物理学、古地磁学、地热学、岩石学、矿物学、地球化学等多种方法,特别是利用大量的地表地质调查资料,对郯庐断裂陆地部分的形成、发育、发展以及几何学、运动学、动力学特征作了深入研究,并取得了许多重要成果^[1-2]。

郯庐断裂自莱州湾经渤中穿过辽东湾,穿越渤海段长度约 400 km(图 1)。在以往 40 多年的油气勘探

中,对于郯庐断裂没有给予足够的重视,并且早期一度认为它是破坏渤海油气成藏的重要因素。随着海上油气勘探的进展,逐步认识到了郯庐断裂在油气成藏中的重要作用。近年来,利用大量的石油地质资料,特别是渤海海域大量的连片三维地震资料,应用三维可视化解释等新技术,系统地研究了海域郯庐断裂的几何学、运动学特征,分析了郯庐断裂对渤海油气成藏的影响和控制,从而比较客观地展示了郯庐断裂的形成、发育、发展及其与油气田分布的关系,并预测了渤海郯庐断裂带下一步油气勘探方向。

郯庐断裂活动时间长,波及范围广,在以往不同学者从不同角度对其进行了研究,因此各自界定的时空范围都不相同^[2]。笔者旨在研究渤海新生代盆地断裂

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 40238059)“渤海中部新构造运动及深部动力过程对大型油气系统形成的控制”资助。

作者简介:龚再升,男,1938年2月生,1962年毕业于北京地质学院,中国海洋石油总公司前总地质师,教授级高工,主要从事石油地质综合研究与管理工作。E-mail:gongzsh@cnooc.com.cn

与含油气性,因此对郯庐断裂的时空范围作了如下限制。空间分布:自下辽河拗陷进入海域的辽东湾拗陷,经渤中拗陷至济阳拗陷的莱州湾拗陷,海域段长约400 km,宽约25~40 km,宏观上是一个NNE向的断裂带。时间范围:主要研究郯庐断裂新生代以来的活动情况以及它对油气成藏的影响。



图1 郯庐断裂区域展布

Fig. 1 Tanlu Fault tectonic framework map

2 渤海海域郯庐断裂的发育和发展

2.1 渤海海域的断裂系统

渤海海域新生代发育NE(或NNE)、NW和近EW向3组断裂,其中大多数断裂都是在继承或部分继承前新生代断裂系统的基础上发育起来的^[3]。

近EW向断裂发育于古生代末至中生代初,是在SN向强烈挤压作用下形成的,其后曾被中生代中、晚

期的NW和NE向断裂改造,新生代再活动时表现出短而不连续的特征。NW和NE向断裂主要是中生代中、晚期在中生代先存断裂基础上发育发展的,基本上控制了新生代的盆地形成。其中渤海东部控盆断裂主要为NE或NNE向;渤海西部控盆断裂以NW向为主^[4]。

2.2 渤海海域郯庐断裂的展布特征

郯庐断裂对渤海前第三系地层的控制比较明显:震旦系主要分布在郯庐断裂以东;寒武-奥陶系和石炭-二叠系这两套地层以平行不整合接触,广泛分布在渤海海域郯庐断裂以西区域,而以东区域基本上缺失;上侏罗-下白垩统除隆起顶部缺失外,其他地区都有分布。前第三系沉积厚度最大达4000 m,其厚度变化明显受郯庐断裂活动控制。由此表明,郯庐断裂在渤海海域是一组发育很早的继承性活动的断裂。在中生代末至古近纪初,这个断裂系统中约有25条主干断裂控制了渤海海域的隆、拗结构和沉积。这些主干断裂一般长度为20~80 km,最长的达235 km;垂向断距一般为1000~3000 m,最大达8000 m。郯庐断裂的特征^[3]如下:

(1) 郯庐断裂是由一组断裂构成的断裂系统^[4]。郯庐断裂是以错列分段式形态存在的。在纵向上,由老到新、自下而上发散,断裂数量由少而多,呈树枝状向上伸展;在平面上,由先存主干断裂逐步向两侧派生、延展、发散,由单一断裂发展成断裂带和断裂系统。

(2) 郯庐断裂的发育、发展和活动强度与渤海的构造演化特征相一致^[5]。渤海的构造演化可划分为5个阶段、3个构造演化旋回^[1],其中始新世的拉张伸展期和渐新世的走滑伸展期是两个主要伸展高峰期,也是两个完整的构造旋回,上新世以来的新构造演化旋回是不完整的,这几个构造演化阶段也是郯庐断裂活动强度演化的过程(表1)。

表1 渤海含油气区构造演化阶段

Table 1 The regional tectonic evolution stages in Bohai petroliferous area

地 层	地质年龄/Ma	盆地构造演化阶段	渤中构造沉降速率/ (m·Ma ⁻¹)	层序地层序列		盆地成因动力学机理
				层序组	层序	
Qp	2.0	构造再活动阶段	60	VI	VI-B	新构造近东西向挤压 伴随右旋走滑扭动
N ₁ m ^U	5.1		40		VI-A	
N ₁ m ^L	12.0	第二重要裂后 热沉降阶段	30	V	V-C	岩石圈热沉降
N ₁ g ^U	20.2		50		V-B	
N ₁ g ^L	24.6		50		V-A	
E ₃ d ¹	27.4	裂陷Ⅲ幕	100	IV	IV-D	右旋走滑拉分伴随 幔隆和上、下地壳的 非均匀不连续伸展
E ₃ d ²	30.3		100		IV-C, B	
E ₃ d ³	32.8		190		IV-A	
E ₃ s ¹⁻²	38.0	第一重要裂后 热沉降阶段	80	III	III-B, A	岩石圈热沉降
E ₂ s ³	42.0	裂陷Ⅱ幕	220	II	II-C, B, A	北北西-南南东方向的 拉张伸展伴随幔隆
E ₂ s ⁴ - E ₂ k	65.0	裂陷Ⅰ幕	150	I	I-C, B, A	
Pre-Ter						前第三系基底

(3) 郯庐断裂的发育、发展、断裂形式及几何形态具分段特征^[6]。郯庐断裂穿越下辽河、渤中、济阳3个拗陷,受各拗陷形态、地质结构、前第三系的基底性质、较老的NW向潜伏断裂、区域应力场变化等因素的影响,不同地质时期及不同地段的发育、发展、断裂活动形式和几何形态均不相同。以太连—秦皇岛、塘沽—莱州两条NW向潜伏的老断层为界,大致可将海域的郯庐断裂分为辽东湾、渤中和莱州湾3大段。

(4) 郯庐断裂存在水平方向的移动(图2)。受上述两条NW向老断裂的影响,古近纪—新近纪—第四

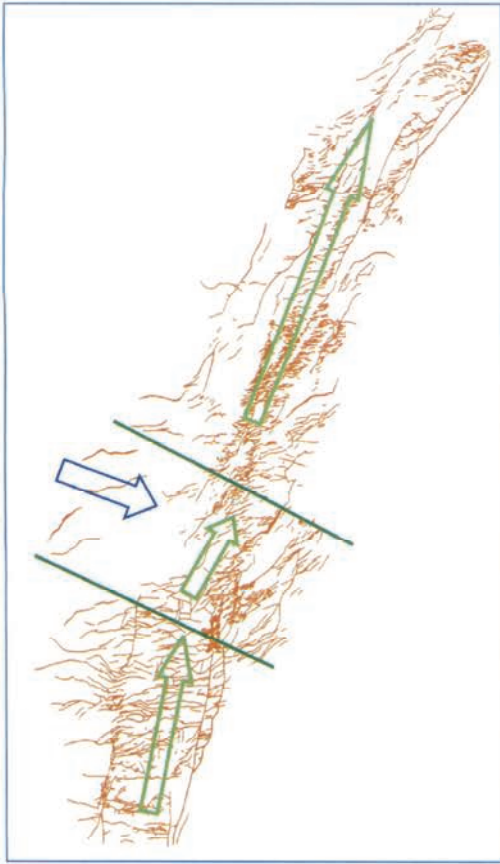


图2 渐新世郯庐断裂移动示意图

Fig. 2 Sketch map of migration of Tanlu Fault in Oligocene

纪郯庐断裂在三段的断裂组合、几何形态不同,且存在明显的错断和位移^[7]。辽东湾段郯庐两支主干断裂呈NE40°方向展布。渤中段郯庐断裂仅在局部基底岩性变异带存在,大部分地段不发育,平面位置较辽东湾段向东偏移约40 km。莱州湾段郯庐两支主干断裂比较连续,呈NE20°方向展布。虽与渤中段不相衔接,但平面延展趋势相近,也比辽东湾段郯庐两支主干断裂向东偏移约40 km。

(5) 郯庐断裂各时期的主要活动特征不同^[8]。中生代末至始新世,郯庐断裂沿先存断裂带以伸展裂陷

为主,控制了古近纪凸凹分隔,形成许多NNE向展布的东断西超凹陷。渐新世郯庐断裂以右旋走滑活动为主,主走滑断裂面陡倾,主走滑断裂与分支断裂的组合形态沿走向变化较快^[9],同时还伴随伸展裂陷活动。中新世裂后热沉降期,郯庐断裂分解成羽列式断裂系统并伴生许多斜列断层组。在渤海的东部沿着先存的郯庐断裂广泛发育NNE、NE向及近EW向的次级断层组。主断裂与分支断裂组成“正花状”或“负花状”构造。上新世至第四纪新构造活动期,郯庐断裂进一步分解为数量众多、规模很小的羽毛状断裂组,一端依存于先存的主干断裂带,另一端远离先存主干断裂向外发散。总体上,新生代各期断裂均沿先存的郯庐断裂活动,具有较好的继承性^[10,11],只是活动的形式和强度在不同地段表现不同。

(6) 郯庐断裂新生代的伸展和走滑量(图3)。利用平衡剖面和平行断层拉伸面积求和的方法,定量研究了盆地的水平伸展量和伸展演化史。结果表明:渤海海域累积面拉伸视应变为13.5%。其中,NE向断层的拉伸面积占全区拉伸面积的37.1%,对于盆地拉伸面积贡献最大;其余依次为NEE向断层为26.2%,EW向断层为24.1%,NW向断层为10.5%。面积伸展速度即每年拉伸面积稍大于 10^{-4} km²,其中古近纪伸展速度约为新近纪伸展速度的8倍。

郯庐断裂新生代的走滑从渐新世以来表现强烈,根据与主走滑断裂伴生的次级断裂的性质和方向判断,是以右旋走滑为主。根据计算得到的近EW向断层在侧向上转换为NE向主断层上的右行滑动量,求得x分量约为11 km。NE向的正断层运动实际是其自身右行走滑的结果,y分量约为18 km。NEE向断层是NE向断层右行走滑的次级剪面,它要求NE向断层有一个最小的右行剪切z分量约为20 km。NW向断层是NE向右行走滑断层的x剪切面,它要求NE向断层最低右行走滑量约为4 km。则NE向断层的最小右行走滑量为53 km,NNE向郯庐断裂主体的右行走滑量应为56 km。

2.3 渤海海域郯庐断裂的分段发育特征

2.3.1 辽东湾段

本段郯庐断裂在古、始新世有东西两支主干断裂,以伸展裂陷为主,把辽东湾分为NE向凹凸相隔的单元。西支主干断裂在辽西的中、北段,断距大,基底落差大于3000 m^[1],伴随断裂形成了由JZ9-3、JZ25-1、SZ36-1和LD16-1凸起组成的辽西低凸起构造带,其南段仅局部存在规模较小的断裂。东支主干断裂在北段断距规模大,形成了JZ28高凸起,中、南段断裂不活跃,仅南端存在断距较小的断裂(图4)。

在渐新世, 郯庐断裂辽东湾段非常活跃, 东西两支主干断裂均由伸展为主的活动转为走滑为主的活动, 特别是在辽中凹陷中央发育了一条规模巨大的陡倾走

滑断裂, 引起凹陷中的泥底辟活动和地层反转, 形成了辽中凹陷的反转构造带^[7,9]。这条走滑断裂呈 NNE 向延伸, 纵贯辽东湾, 长达 200 km, 其中在 JX1-1 井一

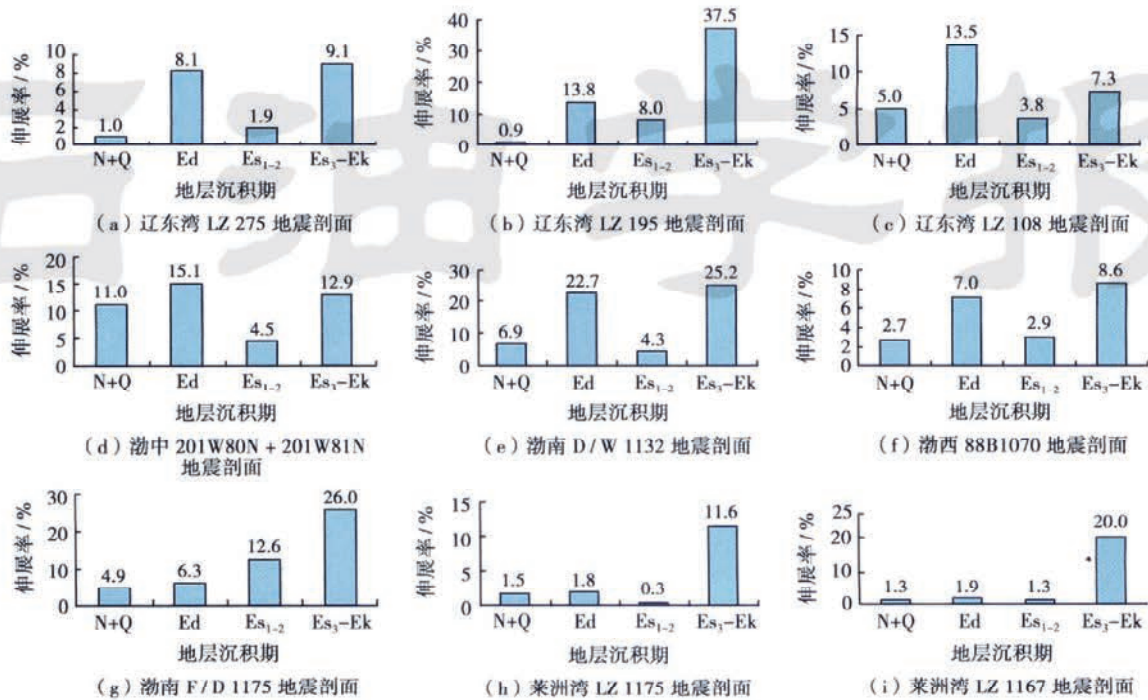


图 3 郯庐断裂伸展率分布

Fig. 3 Extensational rates of Tanlu Fault

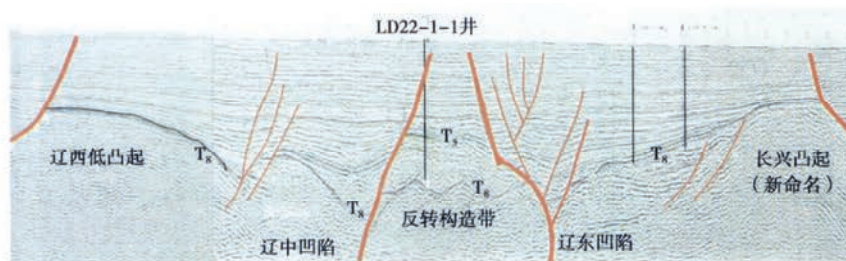


图 4 辽东湾南区地震剖面

Fig. 4 Seismic profile in the southern Liaodong Gulf

带地层反转最强烈。

新近纪以来, 辽东湾段郯庐断裂活动逐渐变弱, 特别是中新世以后逐步转入相对平静期, 虽仍有微弱活动, 但断距逐渐减小, 断裂强度逐渐减弱^[11]。东支主干断裂带分解成沿主干断裂分布的众多羽状断裂系, 一端收敛在古近纪主干断裂位置, 另一端约呈 NE70° 方向发散。西支自新近纪以来活动更弱, 仅在古近纪主干断裂位置有规模很小的羽状断裂出现, 至第四纪显得更加平静。

2.3.2 渤中段

始新世前受 NW 向老断裂干扰, 本段郯庐断裂仅在局部地段以 NE 向断裂形式存在。渐新世以来郯庐

断裂走滑活动加强, 出现东、西两支, 控制了渤中凹陷、渤东低凸起、渤东凹陷、渤西凸起和渤西凹陷的结构和充填。在郯庐断裂西支以东, 新近纪断裂数量显著增加, 成为渤海海域郯庐断裂带断裂发育最密集的地段, 但单条断裂规模均较小。由老至新, 近 NNE 向较单一的断裂逐步转为大量近 NEE70° 方向的羽状断裂, 断裂间距仅 1 km 左右, 每条断裂长 3~5 km, 断距仅为 10~30 m; 到第四纪断裂数量更多, 单条断裂规模更小。这类断裂覆盖了整个原主干断裂带的控制范围, 宽约 40~50 km, 即郯庐主干断裂在这一时期在本段显示不清晰(图 5)。

2.3.3 莱州湾段

始—渐新世一直存在 NE20° 方向展布的东、西两支主干断裂和近 EW 向的两条主干断裂, 它们控制了黄河口凹陷、莱北低凸起和莱州湾凹陷的形成和发育。

新近纪以来, 沿这些主干断裂发育了较多的 EW 向次级断裂, 且由老至新, 断裂规模减小, 数量增加; NE20° 方向的两支主干断裂继续存在, 但规模也变小了; 断裂

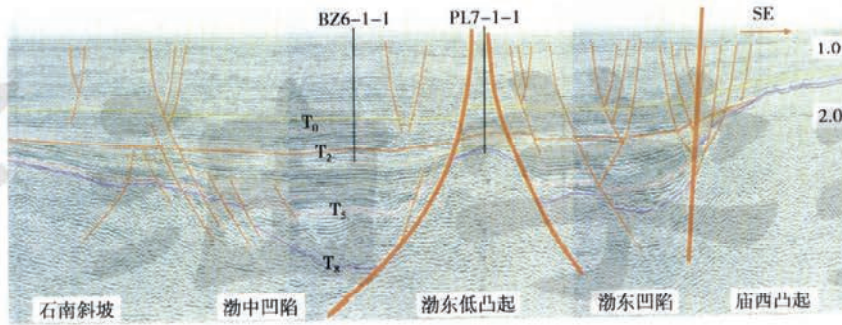


图5 郯庐断裂渤中段剖面

Fig. 5 Seismic profile in Bozhong section of Tanlu Fault

密度低于渤中段。

3 渤海海域郯庐断裂与油气成藏

3.1 郯庐断裂与烃源岩的生成

断裂活动与沉积、沉降旋回具有一致性, 断裂活动速率、水位上升速率和地层沉积速率的变化是同步的。因此, 郯庐断裂在古近纪的活动控制了盆地的结构、凹陷的形成和充填历史, 也控制了渤海海域古近系烃源岩的生成^[12-14]。

古近纪郯庐断裂可分为3个阶段控制烃源岩的生成(图6):

(1) 古新世渤海海域受 NE 向郯庐断裂和 NW 向断裂这两组伸展断裂控制, 沿主干断裂形成了辽中、渤中、黄河口、庙西、莱州湾等箕状断陷, 接受沙四—孔店期沉积。这期充填沉积, 在下辽河拗陷的人民屯、辽西拗陷, 济阳拗陷的昌维拗陷及黄骅拗陷的沧东—南皮拗陷是主力烃源岩之一, 但在渤海海域却是一套潜在而尚未证实的烃源岩^[15]。

(2) 始新世是郯庐断裂带的强烈伸展裂陷期, NE、NW 向两组断裂继续活动, 其中 NE 向断裂的活动强度更大, 在渤海海域形成了凸凹相间的盆地结构, 形成了许多 NE 走向的箕状断陷, 如辽西、辽中、渤中、渤东、庙西、黄河口、莱州湾、青东等凹陷。这些凹陷基本上均为东断西超凹陷, 接受了沙三期的深水或半深水湖相沉积, 发育了富含藻类的腐泥型有机质泥岩。这套地层厚度一般超过 1000 m, 在辽中、渤中、莱州湾凹陷厚度超过 2000 m, 是渤海的主力烃源岩。

(3) 渐新世, 郯庐断裂以走滑活动为主, 渤海在原伸展断陷的背景下形成了走滑拉分断陷(又一次快速沉降), 在辽中、渤中、渤东凹陷接受了东营期的湖相沉积, 构成渤海第二套烃源岩。东营期的沉降中心集中

在东部主走滑断裂带的辽中凹陷和渤中凹陷。在这两个凹陷的沉降中心, 东营组湖相充填厚度超过 4000 m, 分布面积超过 10⁴ km²。PL14-3 井东营组的地化指标分析表明, 东营组是一套优质的烃源岩, 是使渤海海域渤中、辽中凹陷成为富生烃凹陷的重要物质基础。

3.2 郯庐断裂与圈闭

郯庐断裂的伸展和走滑活动造就了大量圈闭。其类型多种多样^[16], 主要有以下3类(图6):

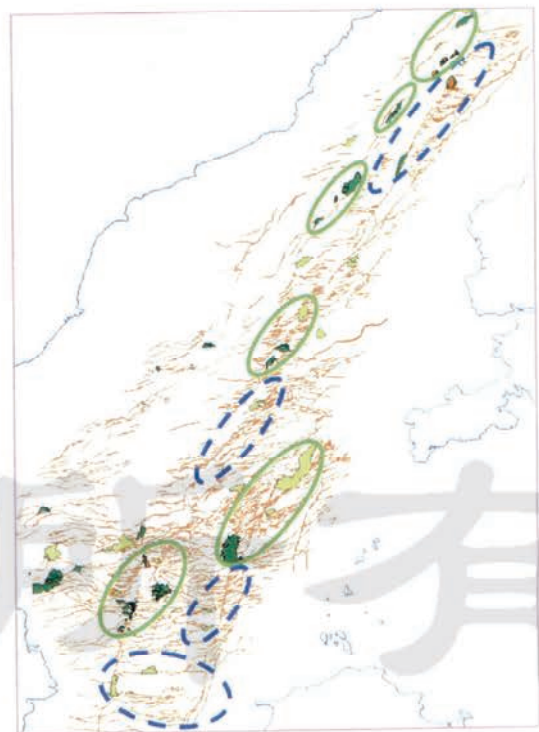


图6 渤海郯庐断裂带中新世断裂、圈闭和油气分布

Fig. 6 Distribution of faults, traps and oil-gas fields along Tanlu Fault in Bohai Sea area

(1) 与伸展断裂活动有关的圈闭 这类圈闭主要

包括古潜山及其披覆构造、逆牵引构造、断鼻构造等圈闭类型,主要形成于古近纪断裂伸展活动期,发育于新近纪以来断裂活动较弱的地区。如郯庐断裂辽东湾西支断裂带,古近纪早期伸展形成的箕状断陷和翘倾断块构成了辽西低凸起带。在这个低凸起带上,发育有 JZ9-3、JZ20-2、JZ25-1、SZ36-1、LD16-3 等潜山圈闭,并且其上存在着相应的披覆构造圈闭,在断裂下降盘还发育部分滚动背斜圈闭,如 LD5-2 圈闭。

(2) 与伸展、走滑断裂叠合作用相关的圈闭 在伸展断裂活动形成圈闭的基础上,经过郯庐断裂带在渐新世以来的走滑活动改造,圈闭类型更加复杂多样,特别是走滑引起的地层反转以及相伴的压扭和张扭作用,形成了许多断裂反转背斜构造,如辽中凹陷的 JX1-1 构造带、LD12-1 构造带和 LD22-1 构造带。另外还有受走滑改造破坏的黄河口凹陷 BZ28-1、BZ34 构造带以及莱州湾凹陷的 KL9-2 构造带等古近系的断裂构造圈闭。

(3) 受新构造运动改造形成的圈闭 在中新世,郯庐断裂相对于古近纪活动强度变弱。但上新世以来,渤海新构造活动较强烈,在整个郯庐断裂带继承性的伸展走滑活动中,形成许多羽状断裂,它们改造了前期圈闭,也形成了众多的正、负花状构造^[8]。如辽东湾南段的 LD27—LD32 构造带、渤中的 PL19-3 构造带、黄河口凹陷的 BZ28—BZ34 构造带等。这些构造带上

的圈闭都是上新世以来形成的,多数定型于第四纪。如 PL19-3 构造圈闭,是一个发育在郯庐主断裂带上的半披覆半压扭的复合背斜,后被 NNE 和近 EW 向晚期断裂切割成了许多断块。

新构造运动形成和改造的构造就是渤海海域现今的构造格局,这一期构造运动决定了圈闭的最终定型。

3.3 郯庐断裂与油气输导系统

油气输导系统通常是由断裂、不整合面、砂岩体等因素共同组成的,其中断裂是最关键的因素^[17]。渤海海域郯庐断裂各期的活动对不同时期的油气成藏起着不同的作用。由于断裂系统十分复杂,在油田范围内断裂众多,因此,难以应用目前的分析识别技术确定每条断层的具体作用,但某些断裂组合的输导概念是比较清晰的。

在古近纪,郯庐断裂的伸展、走滑不仅控制了凹陷和烃源岩的分布,而且沟通了烃源岩,是不同期油气藏形成的主导因素。凡是靠近这类主干断裂的圈闭,成藏的几率高;否则,较难成藏^[18-19]。在渤海海域现已发现的油气藏中,除了沙垒田、石臼坨凸起上的少数披覆背斜圈闭,如 CFD11-1、CFD12-1、QHD32-6 主要靠不整合面运移外,其他约 80% 以上的油气田均靠近主断裂,以断裂运移为主,如 SZ36-1、JZ25-1、JZ20-2、LD27-2、PL19-3、PL9-1、BZ25-1、BZ29-4、BZ34-1/2/3/4 等(图 7)。

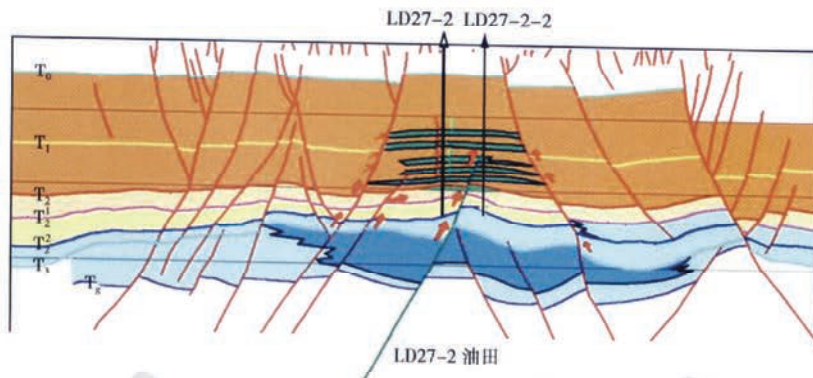


图 7 LD27-2 走滑断裂带的压扭花状构造油气藏

Fig. 7 Flower-structural hydrocarbon reservoir in LD27-2 Strike-Slip Fault Zone

中新世以来,继承性活动的郯庐断裂和新构造期的断裂构成了新近纪油气成藏的主输导系统。在渤海海域新构造运动控制了油气晚期成藏,绝大多数油气储集在新近系馆陶组和明化镇组。古近系断裂的继承性活动及其与新近系断裂的沟通是新近系油气成藏的关键^[20],目前已发现的新近系油气田,如 PL19-3、BZ25-1S、LD27-2、BZ34-1 等均是此类成藏模式。而有些新近系断裂组成的圈闭,由于处于远离主干断裂的凹陷中,没有和主干断裂沟通,就没有成藏,如

LD17-2、QHD34-3、QK7-2 等。

郯庐断裂活动诱发的天然地震可能是导致油气成藏的主要动力^[20]。长期继承性发育的郯庐断裂带也是天然地震的活跃带,近代海域的地震主要沿着 NNE 向的郯庐断裂和 NW 向的唐山—蓬莱断裂分布。据国家地震局统计,1970~2004 年间,在华北含油气盆地及其周围共记录到 2~7.9 级的地震 5709 次。在有地震记录以来的近 100 年内,仅渤海海域就曾发生过 3 次 7 级以上地震,且每次地震震中都位于地面以下

约 10 km 的地壳中,在地表产生岩层破裂,地体变形,伴随流体外泄,温度、压力下降,如唐山地震 47 km² 极震区,产生过长 8 km、宽 30 m 的地裂缝带,地震引起的喷砂压地 300 km²,碱水淹地 460 km²,释放的能量十分巨大^[1]。如果震中是在含油气盆地内,在烃源岩中,或在古油藏区,遇到油气等流体活动,这类地震将会成为油气运聚调整的主要动力,会在短时间内形成新的大油气田。郯庐断裂在新生代的长期活动诱发了无数次天然地震,这可能成为渤海油气运聚的主要驱动力^[1]。如位于郯庐断裂渤中段西支的 BZ28—BZ34—BZ29 油气区,正是 1969 年渤海发生 7.4 级大地震的震中区,现在 BZ34、BZ29 油田上气烟囱最显著,天然气至今仍在向海底散失^[21]。

3.4 郯庐断裂晚期活动与渤海油气的晚期成藏和平衡成藏

郯庐断裂至今仍处于新构造活动期,这促成了油气晚期成藏^[22]。渤海上新世以来的新构造活动也是郯庐断裂重新加强活动的过程,它形成并改造了大量圈闭,沟通了烃源,形成了油气输导系统,促成了油气的晚期成藏。渤中坳陷由于渐新世以来的持续快速沉降,使东营组和沙河街组在晚期同时处于有利的生、排烃阶段。这两套源岩自晚中新世至今一直处于生烃高峰期,为油气晚期快速运聚补给提供了丰富的油源。据油气包裹体测定^[1],渤海各油气田均出现多个均一温度值,表明油气经历过多期充注,且这多期充注几乎都发生在上新世至第四纪,只有少数油气田,如 BZ28-1 和 BZ22-1 油气田的油气充注时间为距今 15 Ma 至今。

郯庐断裂现今的活动也导致油气逸散^[23-24]。地震剖面显示:①郯庐断裂一直延续至海底;②沿着这些断裂存在着因天然气逸散形成的气烟囱,即地震成像模糊带;③靠近断裂的浅地层中存在着充气引起的强振幅亮点;④海底泥面上存在冒气产生的麻坑,地震剖面显示海底凹凸不平。

晚期断裂活动对油气成藏既可以是建设性的,也可以是破坏性的。只有油气源非常丰富,油气输导系统畅通,供聚速度很快,而油气逸散速度相对较慢时,才能实现油气动平衡成藏。否则,晚期断裂将破坏油气成藏。也就是说,油气动平衡成藏是有特定条件的,一是油源补给充分;二是油气快速充注^[25];三是上覆区域性盖层较好。上新世以来渤海海域郯庐断裂带发育的大量晚期断裂沟通了油源断裂,形成了良好运移通道;现今仍处于生烃高峰的古近系烃源岩提供了丰富的烃源;上中新统区域性分布的盖层适度保存油气,为 PL19-3、BZ29-4、BZ34-1 等油田的动平衡成藏创造了条件。

4 郯庐断裂带的油气田分布及其控制因素

4.1 郯庐断裂带的油气田分布

郯庐断裂带不同地段、不同时期活动特征、断裂组合形态的不同,导致油气富集层位、富集地段、富集程度的变化。目前在渤海沿郯庐断裂带已发现 6 个富含油气的构造带,其探明储量占渤海总探明油气储量的 60% 以上。这些含油气带的各级地质储量约为 1×10^8 t,最大的可望达到 10×10^8 t,且都沿着控凹主断裂和走滑主断裂呈 NE 向展布。

4.1.1 辽东湾段

郯庐断裂辽东湾段的東西两支主干断裂在古近纪以来先伸展后走滑,形成 NNE 向凸凹相间的结构,也形成了 4 条 NNE 向的含油气构造带,即辽西低凸起带、辽中凹陷中央反转构造带、辽东凸起及西斜坡带、辽西凹陷西斜坡带。目前,前两个带勘探程度较高,已发现了大量油气田,而后两个带将进一步开展勘探。

辽西低凸起带夹持在辽西和辽中两凹陷之间,是理想的凹中凸起带,有得天独厚的成藏条件。勘探结果显示,辽西低凸起带是渤海海域的潜山带,先后发现了 JZ9—JZ20、JZ25 和 SZ36 这 3 个富含油气带,探明油气储量约为 6×10^8 t,而且还发现了一定规模的控制、预测储量以及一批可继续勘探的有利目标,因此该带勘探潜力仍然较大^[26]。

辽中凹陷中央反转构造带是渐新世中晚期形成的走滑断裂带。沿着这一右旋走滑带,产生了一系列的压扭性反转断裂鼻状构造和断裂背斜构造,自北向南有 JX1-1、LD6-1、LD12-1、LD16-3、LD22、LD27、LD32 等构造。在这一断裂带,已经发现了 JX1-1、LD27-2、LD32-2、LD16-3 等油气田及 LD22-1、LD12-1 等一批含油气构造。这一断裂带正成为目前的勘探热点,预计至少可探明 2~3 个亿吨级的油气田。

预计辽东凸起及西斜坡带、辽西凹陷西斜坡带也能发现一批有较大规模的油气田,从而成为两个新的含油气带。

4.1.2 渤中段

受渤中坳陷基底结构和岩性控制,本段主干郯庐断裂连续性较差,断裂走向变化大,因此,渤东低凸起、庙西凸起和渤南低凸起规模较小,凸起发育方向也不一致。但本段是郯庐断裂晚期最活跃的地段,又处于渤中富生烃凹陷中,油气运聚非常活跃,目前发现的 PL19-3、PL25-6、PL9-1 等油气田分布在渤南、庙西凸起上。该含油气带是目前渤海储量规模最大的区带,预计三级储量约为 10×10^8 t。

本段渤东低凸起呈 NNE 向延伸,沿此带向南向北均可望发现新油气田,从而形成一个新的富含油气构造带。

4.1.3 莱州湾段

占近纪主干郯庐断裂分东西两支进入本段,呈 NNE 向。受晚期走滑影响,新近纪至今晚期断裂较活跃,均为近 EW 向。因此,本区受 NNE 与 EW 向近正交的两组断裂影响,形成了黄河口凹陷、莱北低凸起、莱北凹陷和青东凹陷。郯庐断裂西支呈 SN 向穿越黄河口凹陷,走滑反转构成的 BZ28—BZ34 凹中凸起构造带是本段目前最重要的含油气构造,沿着主干断裂形成的构造脊与 NE 向羽状断裂形成的断裂圈闭几乎都含油,自北向南有 BZ28-1、BZ29-4、BE28-1S、BZ34-1N、BZ34-1/2/3/4/5/6/7 等含油气构造,含油层位从前第三系、古近系至新近系,是不同层位叠合连片的复式含油气聚集带。

预计在本段郯庐断裂东支通过的莱北低凸起及莱州湾断裂构造带、西支通过的青东断裂构造带均可能发现新的商业性油气田。

4.2 郯庐断裂带油气田分布的控制因素

郯庐断裂的多段性和羽状分布特点,导致油气田和含油气带都分布于这些断裂的转换部位,如 JZ9-3、JZ25-1S、SZ36-1、JX1-1、LD27-2、PL19-3 和 BZ28-2 油气田。

渐新世走滑断裂与始新世伸展断裂的继承性发育段或渐新世走滑断裂在中新世以来继承性发育的地段是油气富集带,如辽西低凸起西断裂带、辽中凹陷中央走滑断裂带、LD22—LD27 构造带、PL19-3 断裂构造带和 BZ28—BZ34 构造带。

在新近系断裂不活跃的区段,油气主要封存在古近系及古潜山的储集层中。在辽西低凸起西断裂带,古近纪一直十分活跃且断裂规模很大的主干断裂,为该带的油气成藏创造了良好条件。但自中新世以来,断裂活动显著减弱,到中新世末几乎停止。因此在该带发现的油气田,基本上全部位于前第三系和古近系的东营组、沙河街组储层中,被覆盖在渐新统东营组区域性泥质岩盖层之下;在新近纪仅局部发现小规模储量。

新近系的断裂活跃带是油气晚期成藏区带。自古近纪、新近纪至第四纪,郯庐断裂渤中段一直呈继承性活动。特别是在新近纪—第四纪,由于晚期断裂活动异常活跃,使油气大规模向浅层运移,因此油气主要分布在被走滑断裂改造的潜山披覆构造及压扭性的花状构造中,主要储层是新近系。

5 郯庐断裂带的主要油气藏类型及勘探方向

由于郯庐断裂在不同地段的活动时间、断裂活动形式、断裂组合形式、断裂性质以及断裂规模不同,因而不同地段油气藏类型也不同^[27]。归纳起来,主要有以下 6 种油气藏类型:①受前古近系基底高控制的古潜山油气藏,包括太古界混合花岗岩、古生界碳酸盐岩和中生界火山岩油气藏,如 JZ25-1S、JZ20-2、BZ28-1 等;②披覆背斜、半背斜油气藏,如 SZ36-1、JZ9-3、LD10-1 等;③断裂下降盘逆牵引背斜油藏,如 LD4-2、LD5-2、JZ9-2 等;④走滑断裂带反转构造油气藏,如 JX1-1、LD22-1、BZ34-1/2/3/4/5/6/7;⑤受走滑断裂改造的披覆-反转复合构造油藏,如 PL19-3;⑥走滑压扭背斜油藏,如 PL25-6。

据郯庐断裂与已知油气田分布关系,预测在渤海郯庐断裂带还有望发现 5 个油气富集带^[28]:①辽东凸起西断裂带及其下降盘地层超覆断裂构造带;②辽东凸起构造带;③渤东低凸起南延构造带;④莱州湾低凸起;⑤莱州湾东走滑断裂带及青东东走滑断裂带。

6 结束语

郯庐断裂对渤海油气成藏的控制和影响是随着勘探的进展逐步被认识的,在渤中拗陷未发现新近系大油田群之前,曾因郯庐断裂晚期活动强烈,地震剖面显示断裂常延伸至海底,而认为它是破坏油气成藏的主要因素,因此,人们在一定程度上回避在晚期活动强烈的郯庐断裂带找油。后来,在郯庐断裂继承性发育,晚期断裂最活跃,浅部地层中存在大量气烟囱,油气明显散失的地段发现了大型油田 PL19-3,才促使人们在晚期活跃的断裂带找油,并取得了突破性的进展。这说明新构造运动控制了晚期断裂活动,晚期断裂活动控制了油气晚期成藏。因此,预计以后在复杂的郯庐断裂带中还会发现更多的油气田。

对国内外晚期断裂与油气成藏关系的研究和调查发现,在新生代的各类裂谷断陷盆地中,普遍存在晚期断裂控制油气成藏的实例。比较典型的有文莱—沙巴盆地、泰国湾盆地、马来盆地、澳大利亚西北盆地群、尼日尔三角洲盆地、墨西哥湾盆地等。这些盆地中的晚期断裂诱发了盆地中大量晚期油气田的形成。油气常储存在中新统、上新统地层中,油藏埋藏浅,最浅的为 300~700 m,大多在 1000~2000 m。油气田上方普遍存在油气逸散,在地震剖面上有大量的通向海底的断裂和气烟囱,显示油气处于动平衡成藏环境中。

因此,在新生代的裂谷型盆地进行油气勘探,要重

视控制沉积的主断裂带的研究, 这些断裂带都可能是油气富集带。

致谢 本文编写过程中参阅了中海石油有限公司、中海石油渤海分公司、中海石油研究中心的研究成果, 得到了朱伟林、邓运华、夏庆龙、周心怀、杨甲明、余淑敏、田立新、刘春成、徐杰、安振兴、张振秋等同志的支持和帮助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2000; 1-11, 349-351.
Wang Xiaofeng, Li Zhongjian, Chen Bolin, et al. Tan-Lu Fault zone [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000; 1-11, 349-351.
- [2] 吴大铭, 张裕明, 方仲景, 等. 论中国郯庐断裂带的活动[J]. 地震地质, 1981, 3(4): 15-26.
Wu Daming, Zhang Yuming, Fang Zhongjing, et al. On the activity of the Tancheng-Lujiang Fault zone in China [J]. Seismology and Geology, 1981, 3(4): 15-26.
- [3] 李德生. 渤海湾含油气盆地的构造格局[J]. 石油勘探与开发, 1979, 6(2): 51-62.
Li Desheng. The tectonic framework of the petroliferous basins in the Bohai Bay [J]. Petroleum Exploration and Development, 1979, 6(2): 51-62.
- [4] Sengor A M C, Gorur N, Saroglu F. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study[G] // Biddle K T, Christie-Blick N. Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation. Soc. Ecol. Paleontol Mineral Spec. Pub. No. 37, 1985; 227-264.
- [5] Woodcock N H. The role of strike-slip fault systems at plate boundaries[J]. Phil. Trans. R. Soc. London, 1986, A317: 13-29.
- [6] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. 石油实验地质, 1995, 17(4): 316-323.
Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, et al. Extensional pattern and dynamic process of the Cenozoic rifting basin in the Bohai Bay [J]. Petroleum Geology and Experiment, 1995, 17(4): 316-323.
- [7] Hoseman G, England P A. A dynamical model of lithosphere extension and sedimentary basin formation[J]. Journal of Geophysical Research, 1986, 91(31): 719-729.
- [8] 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(5): 289-295.
Wang Guochun. Relationship of Tanlu Fault to the inversion and flower structures in Bohai Bay [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1998, 12(5): 289-295.
- [9] Campagna D, Aydin A. Basin genesis associated with strike-slip faulting in the basin and range, southeastern Nevada[J]. Tectonics, 1994, 13(2): 327-341.
- [10] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 19-23.
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. Space-time relationship between tectonics and sedimentation of Meso-Cenozoic Bohai Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 19-23.
- [11] 强祖基, 胡思颐, 胡海燕, 等. 郯庐断裂带的构造及演化特征[M] // 构造地质论丛编辑部. 构造地质论丛(3). 北京: 地质出版社, 1984; 107-115.
- [12] Qiang Zuji, Hu Siyi, Hu Haiyan, et al. Characteristics of structure and evolution in Tanlu Fault zone [M] // Editorial Office of Collection of Structural Geology. Collection of structural geology No. 3. Beijing: Geological Publishing House, 1984; 107-115.
- [12] 张云银. 郯庐断裂带含油气性研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 37-38.
Zhang Yunyin. A study of hydrocarbon-bearing characteristics in the Tan-Lu Fault zone [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2003, 25(1): 37-38.
- [13] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(5): 1-5.
Deng Yunhua. Control of the Neotectonism along Tancheng-Lujiang fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(5): 1-5.
- [14] 周士科, 魏泽典, 邓宏文. 渤中坳陷古近系构造层序研究[J]. 中国海上油气, 2006, 18(4): 236-240.
Zhou Shike, Wei Zedian, Deng Hongwen. A study of Paleogene tectonic sequences in Bozhong Sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(4): 236-240.
- [15] 李建平. 沙南凹陷孔店组的确定及其地质意义[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(3): 168-171.
Li Jianping. Diagnosis of the Kongdian Formation and its geological significance in the Shanan Sag [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1997, 11(3): 168-171.
- [16] Harding T P, Lowell J D. Structural styles, their plate-tectonic habitates, and hydrocarbon traps in petroleum provinces [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1979, 63(7): 1016-1058.
- [17] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1989, 73(7): 803-811.
- [18] Antonellini M, Aydin A. Effect of faulting on fluid flow in porous sandstones; Petrophysical properties [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1994, 78(3): 355-377.
- [19] 解习农, 李思田. 断裂带流体作用及动力学模型[J]. 地学前缘, 1996, 3(3): 145-151.
Xie Xinong, Li Sitian. Fluid flow and dynamic model in fault zones [J]. Earth Science Frontier, 1996, 3(3): 145-151.
- [20] 龚再升. 中国近海新生代盆地至今仍然是油气成藏的活跃期[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 1-6.
Gong Zaisheng. Cenozoic China offshore basins keeping active hydrocarbon accumulation to present [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 1-6.
- [21] 徐杰, 高占武, 孙建宝, 等. 1969年渤海7.4级地震区地质构造和发震构造的初步研究[J]. 中国地震, 2001, 17(2): 121-124.
Xu Jie, Gao Zhanwu, Sun Jianbao, et al. Analysis of structures in 1969 Bohai Sea Ms 7.4 earthquake area and discussion about the causative structure [J]. Earthquake Research in China, 2001, 17(2): 121-124.
- [22] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油

与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138.

Gong Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.

[23] Smith D A. Sealing and nonsealing faults in Louisiana Gulf Coast salt basin. [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1980, 64(2): 145-172.

[24] Knott S D. Fault seal analysis in the North Sea. [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1993, 77(5): 778-792.

and development controlling factors of JZS Neo-Archean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 18-20.

[27] 邓运华. 渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(6): 1-5.

Deng Yunhua. Types and accumulation controls of Neogene oil reservoirs in Bohai Bay Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(6): 1-5.

[28] 周毅, 张通彩, 何仕斌, 等. 渤中、渤东凹陷结构及有利勘探方向[J]. 中国海上油气(地质), 2005, 19(6): 1-5.