

文章编号: 0253-9985(2009)04-0462-07

郯庐断裂带渤中-渤南段新构造运动期 断层活动与油气运聚

姜丽娜^{1,2}, 邹华耀¹

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249 2 中国石油天然气股份有限公司

大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 郯庐断裂带在新构造运动时期表现非常活跃, 在强烈构造背景下, 郯庐断裂带渤中-渤南段形成多个大中型油田, 断层活动性对油气运聚与保存起到重要作用。利用断层活动速率的方法, 从主次断层活动性在不同构造部位的差异方面入手, 分析并总结郯庐断裂带渤中-渤南段新构造运动期断层活动性与油气运聚保存的关系, 揭示在强烈活动构造背景下晚期油气成藏机理。研究表明, 郯庐断裂带断层活动具有分段性, 主干断裂活动性较弱区易于油气汇聚保存, 主干断裂活动性较强区油气易散失不利于油气的保存。活跃主干断层与活动性较弱次级断层的有效组合, 有利于油气的运聚和保存。

关键词: 断层活动速率; 新构造运动; 油气成藏; 郯庐断裂带; 渤中-渤南地区; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Fault activities and hydrocarbon migration and accumulation during the Neotectonic period in the Bozhong-Bonan segment of the Tanlu fault zone

Jiang Lina^{1,2}, Zou Huayao¹

(1. Faculty of Natural Resource & Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 100029 China;

2. CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452 China)

Abstract The Tanlu fault zone was very active in the process of the Neotectonic movement. Although the tectonic movement was intense, several medium- and large-sized oil fields were formed in the Bozhong-Bonan segments of the Tanlu fault zone, indicating that fault activity played a key role in the migration and accumulation of hydrocarbons during this period. This paper, starting with the activity differences between the major and secondary faults in different tectonic settings, uses the fault activity rate (FAR) method to analyze and summarize the relationship between fault activities and hydrocarbon migration & accumulation during the Neotectonic period and to reveal the mechanism of late hydrocarbon accumulation in the study area. The results show that fault activities vary across different segments of the zone. The main faults with weaker activities are favorable for hydrocarbon accumulations, while those with stronger activities are the opposite, as it is easy for hydrocarbons to escape. A combination of active main faults with secondary faults of weaker activity is considered good for hydrocarbon migration, accumulation and preservation.

Key words fault activity rate; Neotectonics; hydrocarbon accumulation; Tanlu fault zone; Bozhong-Bonan area; Bohai Bay Basin

郯庐断裂带是中国东部重要的大断裂带, 它贯穿渤海, 在海域的延伸长度约 520 km^[1]。王国纯提出郯庐断裂带在海域具有分段性, 可将郯

庐断裂带在渤海海域分为 3 段, 以渤东低凸起北端以北的辽东湾地区为北段, 渤东低凸起到渤南凸起为中段, 渤南凸起及以南部分为南段^[2]。蔡

收稿日期: 2009-05-04

第一作者简介: 姜丽娜(1984-), 女, 硕士, 矿产普查与勘探。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

东升以及龚再升也提出了相似的三段分段方案^[3,4]。构造演化史研究表明渤海海域晚期构造运动强烈,特别是 5.1 Ma 以来新构造运动期构造沉降速率明显加快,而晚期断裂活动是控制油气晚期成藏的重要因素^[5]。郯庐断裂带在新构造运动期表现尤为活跃,在郯庐断裂两侧形成了大量的平面呈雁列和羽状的次级断层^[6]。郯庐断裂带沿线的油气极为富集,有着广阔的勘探前景,而油气的分布及富集程度却存在很大的差异。因此对新构造运动以来郯庐断裂带断层活动性特征及其与油气运聚保存关系的研究显得尤为重要。

1 地质概况

文中研究的区域郯庐断裂带渤中-渤南段包括渤东地区及渤南地区(图 1)。以渤东低凸起的 LD32-2 油田、PL2-2 构造、PL7-1 构造、渤南凸起的 PL19-3 油田及莱州湾凹陷的 KL11-2 构造和 KL12-2 构造为例进一步分析研究。

LD32-2 油田位于渤东低凸起北块的北端,为渤中凹陷和渤东凹陷所夹持。目前该构造上已钻探井 1 口和评价井 3 口,在新近系明化镇组下

段、馆陶组、古近系东营组和前第三系中均见到不同程度的油气显示。油气主要分布于北部的 BD2 井区和南部 LD32-2-1 井区, BD2 井区以明下段储层为主。LD32-2 构造是新、古近系均含油的复式层状油藏。

PL2-2 构造位于渤东低凸起北块南端的东侧边界大断层下降盘,分为南北两块,北块总体为断裂背斜。目前在北块上已钻的 PL2-2-1 井揭示了具有多油水系统的馆陶组块状油藏和东营组层状油藏。

PL7-1 构造位于渤东低凸起南块,目前该构造上仅钻一口探井 PL7-1-1 井,在馆陶组下段、东营组和前第三系见到不同程度的油气显示。

PL19-3 油田位于郯庐断裂带东支、渤南凸起带中段的东北端,其北侧和东南侧紧邻渤东凹陷和庙西凹陷,是渤海海域最有利的油气富集区之一。构造类型属于在渤南凸起带背景上发育起来,并被断层复杂化了的断裂背斜。

KL11-2 构造和 KL12-2 构造位于莱州湾凹陷东部走滑构造带上,分别钻有一口井。KL11-2-1S 主要油层在明下段和东营组, KL12-2-1 井油层主要在东营组。



图 1 渤海东部郯庐断裂带渤中-渤南段研究区域位置(右图为左图虚线区域)

Fig 1 Location of the study area in Bozhong-Bonan segment of the Tanlu Fault zone, the eastern Bohai Bay

2 断层活动性分析

众所周知, 断裂可以作为流体 (油气) 垂向运移通道作用。断裂活动与否会影响其输导能力, 在断裂静止期间, 对沿断层面的流体活动往往具有封闭性质或较弱的流体输导能力, 而在断裂活动期间其流体输导能力明显增强^[7], 有利于深部油气垂向运移。晚期断裂活动对油气藏既可以是建设性的, 也可以是破坏性的。断层活动性是郯庐断裂带油气成藏的关键, 是影响油气富集的主控因素, 本文将采用断层活动速率的方法对断层活动性进行分析^[8]。

2.1 郯庐断裂带东支主干断裂在渤中-渤南段的分段性

2.1.1 郯庐断裂带东支主干断裂性质差异

郯庐断裂带东支主干断裂并不是一条断裂, 而是由一系列走向大致北北东向的郯庐断裂带东部分支断裂组成的, 该断裂带分布范围广, 控制多个构造发育, 断裂在不同部位的岩石性质、受力状况存在很大的不同, 这必然导致不同部位的断裂性质、产状有所差别。

在渤东低凸起, 郯庐断裂带东支主干断裂为东部边界断层, 具有一定的走滑性质, 倾向北西, 发育相对少量的伴生次级断层。在渤南低凸起, 东支主干断裂的走滑性质明显, 断面陡立, 稍向北西倾斜, 切入前第三系基底。沿着主干断裂广泛发育近 EW 向的伴生次级断层, 特别是在新构造活动期, 数量众多、规模较小的晚期断裂, 一端依存于先存的主干断裂带, 另一端离先存主干断裂

向外发散。在莱州湾凹陷, 郯庐断裂带东支主干断裂为东部控凹断裂, 具有强烈的走滑性质, 明显的花状构造, 主干断裂纵深, 向东倾斜, 平面上伴生次级断裂呈雁列式分布在主干断裂一侧。

2.1.2 郯庐断裂带东支主干断裂活动速率

新构造运动以来 (5.1 Ma 至今), 郯庐断裂带东支主干断裂在渤中-渤南段各构造位置断层活动性差异非常明显。如图 2 所示, 在 BD2 井 LD32-2 构造处断层活动速率为 14 m/Ma, PL2-2 构造处活动速率最低为 6 m/Ma, 在 PL7-1 构造处活动速率明显增加, 是同期最强的部位, 高达 30 m/Ma, 在 PL19-3 构造处活动速率有所减弱, 在 25~26 m/Ma 之间, 莱州湾凹陷东部该活动速率在 20~23 m/Ma。根据主干断层活动速率 25 m/Ma 将郯庐断裂带渤中-渤南段分为两个部分, LD32-2 构造和 PL2-2 构造处的主干断层活动速率远小于 25 m/Ma 是渤中-渤南段主干断裂活动速率最低处, 表明该处是郯庐断裂带断层活动最弱处。PL7-1 构造处主干断层活动速率远大于 25 m/Ma 是渤中-渤南段主干断裂活动速率最高处, 该处是郯庐断裂带断层活动最强处。PL19-3 构造和莱州湾东部构造处主干断层活动速率较高在 25 m/Ma 左右, 是主干断裂活动较强带。

2.2 郯庐断裂带东支主干断裂伴生的次级断裂活动性

蓬莱 19-3 构造在断裂带两侧广泛区域内产生众多中浅层断裂。这些晚期次级正断层在明化镇组上段沉积时期 (5.1~0 Ma) 的活动速率明显大于其明化镇下段沉积时期 (12.0~5.1 Ma) 和馆陶

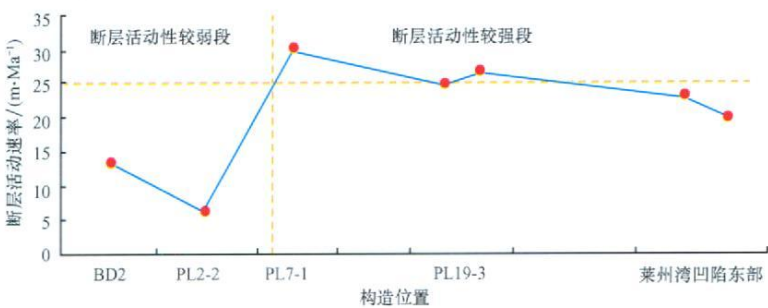


图 2 新构造运动期郯庐断裂渤中-渤南段东支主干断层不同构造位置活动速率 (构造位置见图 1)

Fig 2 Fault activity rates of the eastern branch of the main faults in different structural locations of Bozhong-Bonan segment of the Tanlu fault zone during the Neotectonic period

组沉积时期 (24.6~12.0 Ma) 的活动速率。新构造运动期 (5.1 Ma 至今) 这些次级断层的断层活动速率一般处在 10~25 m/Ma 范围内, 仅有个别位于构造南端的断层的活动速率较高 (图 3)。

莱州湾凹陷东部构造带次级断层同样在明化

镇组上段沉积时期 (5.1~0 Ma) 的活动速率大于其明化镇下段沉积时期 (12.0~5.1 Ma) 和馆陶组沉积时期 (24.6~12.0 Ma) 的活动速率, 新构造运动以来 (5.1 Ma 至今) 这些次级断层的断层活动速率分布在 7~12 m/Ma 之间 (图 4)。

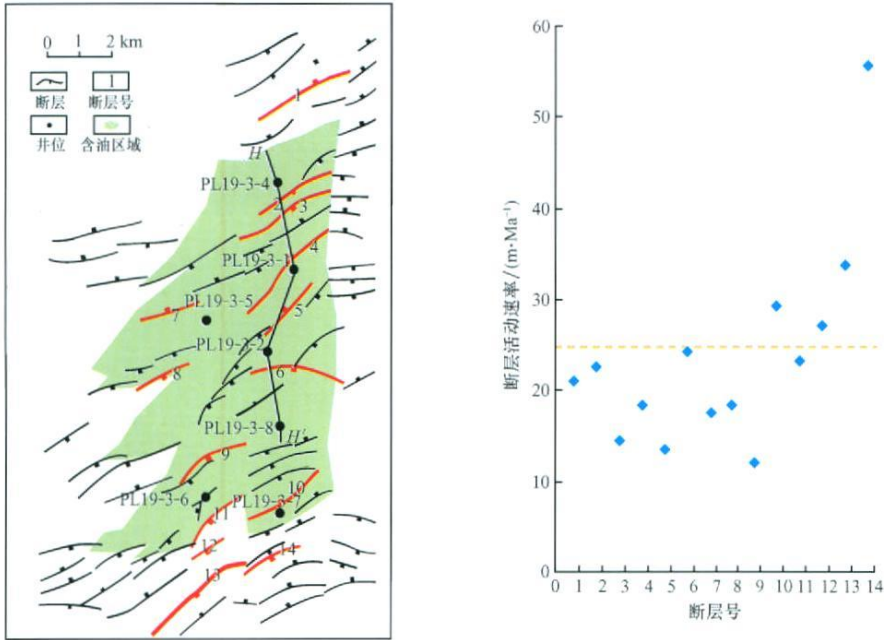


图 3 PL19-3 油田次级断层新构造运动期断层活动速率 (构造位置见图 1)
Fig. 3 Fault activity rates of the secondary faults during the Neotectonic period in oil field PL19-3

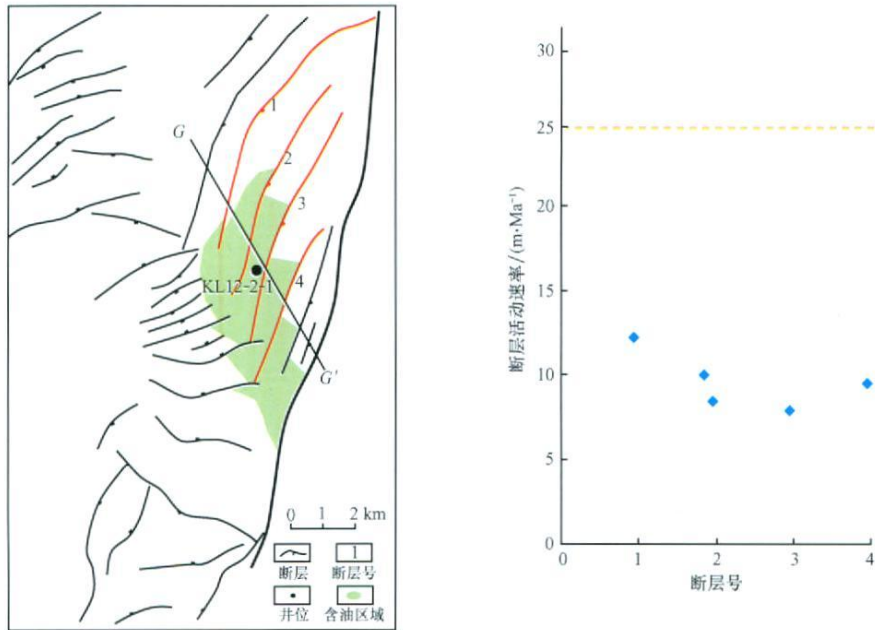


图 4 莱州湾凹陷东部构造带郯庐断裂带伴生断层新构造运动期活动速率 (剖面构造位置见图 1)
Fig. 4 Fault activity rates of the secondary faults of the Tanlu fault zone during the Neotectonic period in the Laizhou Bay Sag

3 断裂活动与油气聚集和保存

3.1 主干断裂油气聚集与保存

断层活动性分析表明低凸起北块上的 LD32-2 构造及 PL2-2 构造位于郯庐断裂带东支主干断裂新构造运动期活动性较弱的地带。如图 5 所示渤东凹陷北洼烃源岩现今正处于大量生排烃阶段, LD32-2 构造的东支主干断裂 (红色) 能够将来自该凹陷的油气垂向运移至明化镇组, 由于该

地区断层活动速率较低所以油气垂向散失速率较低, 断层垂向输导作用对油气成藏起到建设性作用, 有利于油气在主干断层附近富集并保存。同样 PL2-2 构造的东支主干断裂将渤东凹陷中洼现今生成的油气垂向输导至浅部地层, 垂向较低的断层活动性使油气富集并保存起来 (图 6)。

就渤东低凸起 PL7-1 构造而言, 东支主干断裂新构造运动期强烈活动, 主要起到垂向输导的作用, 油气有效地垂向输导至浅层, 但断层持续的强烈活动对油气藏的保存起到破坏作用, 致使油

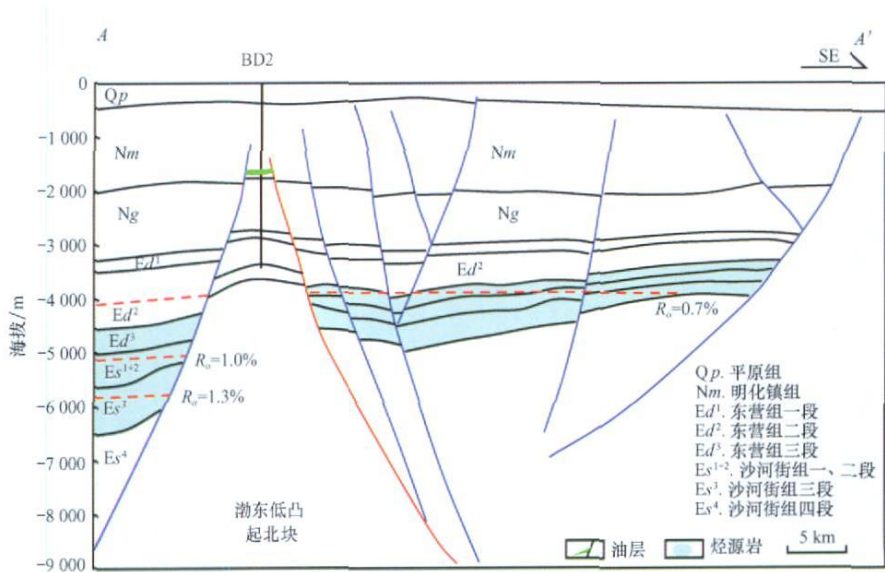


图 5 过 BD2 井 NW-SE 向剖面 (剖面位置见图 1)
Fig. 5 NW-SE profile across Well BD2

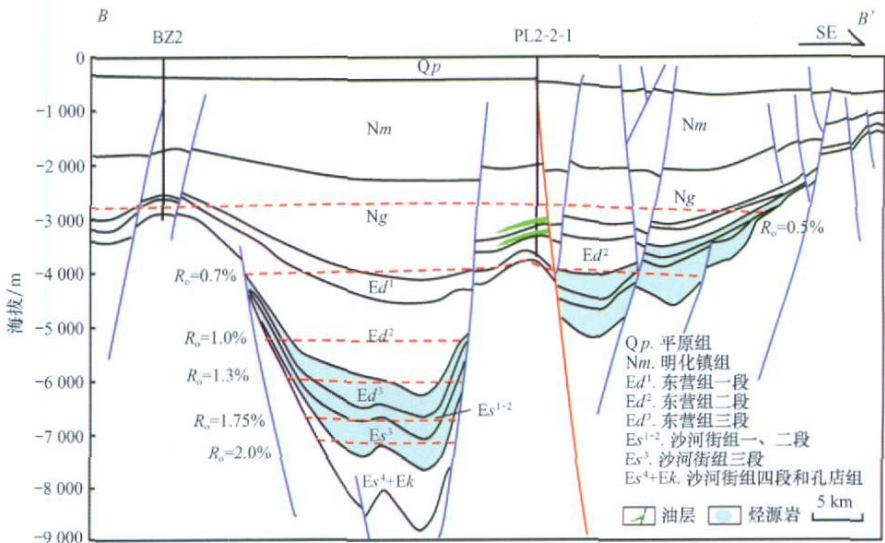


图 6 过 PL2-2-1 井 NW-SE 向剖面 (剖面位置见图 1)
Fig. 6 NW-SE profile across Well PL2-2-1

气沿断层垂向散失, 油气藏遭到破坏(图 7)。GOI 为含烃流体包裹体相对丰度, 是一种能反映古油水界面变迁的技术方法^[9-10], 对 PL7-1-1 井岩心样品进行 GOI 分析, 可以为上述论述提供有力证据(图 8)。将 GOI 为 5% 确定为经验油柱门限值, 把 GOI 小于 1% 作为油气运移路径(或水层)的指示^[11]。PL7-1-1 井中 3 023.8~3 205.6 m 的地层中 GOI 值大于 10%, 大大高于形成古油藏的临界值, 说明 PL7-1 构造馆陶组下部及东一段曾经形成了古油藏。GOI 证据有效地证明了断裂的高强度活动导致油气大量散失, 不利于油气的保存。

从同一断裂带上不同构造位置油气聚集的

差异性可以看出, 主干断裂晚期活动对油气的聚集起着决定性的作用。主干断裂活动速率大于 25 m/Ma 断层主要起到垂向输导的作用, 不利于油气的富集和保存, 主干断裂活动速率小于 15 m/Ma 断层活动性较弱, 油气垂向散失速率较低, 有利于油气汇聚, 主干断裂附近是油气富集有利区域。

3.2 伴生断裂油气聚集和保存

据 Gartrell 对帝汶海(Timor Sea)地区油藏与断裂关系的统计表明^[12], 由于持续活动断裂的垂向输导作用, 使得断裂相关圈闭的闭合高度受控

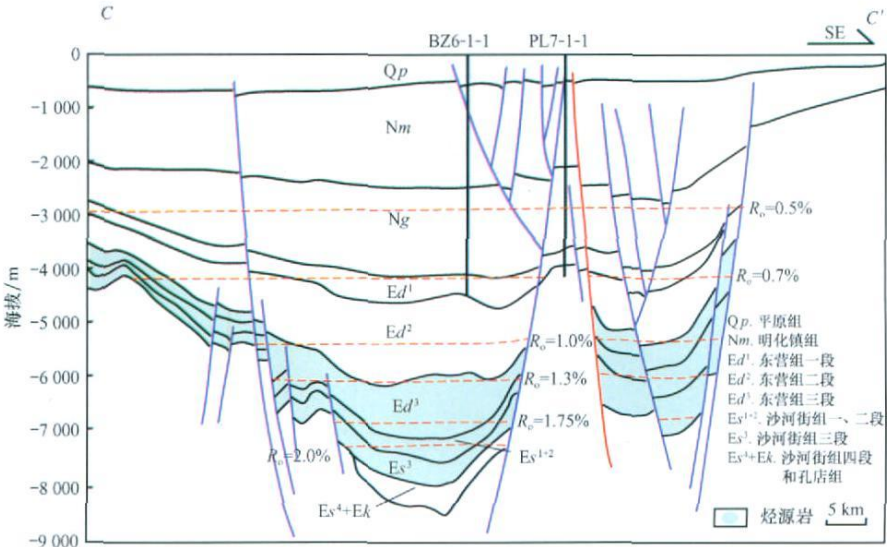


图 7 过 PL7-1-1 井 NW-SE 向剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 7 NW-SE profile across Well PL7-1-1

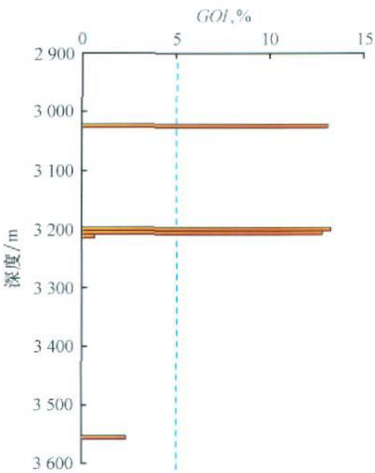


图 8 PL7-1-1 井 GOI 分析

Fig. 8 GOI analysis of Well PL7-1-1

于主断裂与圈闭盖层所形成的溢出点, 与主断裂有一定距离的次级断裂活动性较弱, 一般起遮挡油气的作用, 有利于油气保存。

PL19-3 构造通源的郯庐断裂带东支主干断裂比较活跃, 有利于油气的垂向输导, 伴生次级断裂的活动性相对较弱, 形成较活跃通源断层与活动性较弱的次级断层的有效配置, 有利于油气的运聚和保存(图 9)。

莱州湾凹陷东部断裂带边界大断层在新构造运动期也较为活跃, 有利于油气由垂向至浅层运移, 相伴生的次级断裂活动性相对较弱有利于油气聚集, 活跃的通源断层和活动性较弱的次级断层的有效配置是该构造浅层油气成藏有利条件(图 10)。

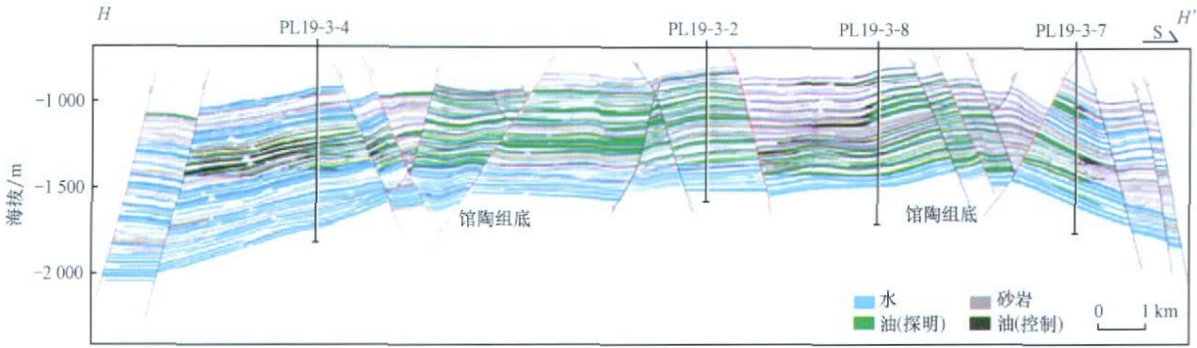


图 9 PL19-3 构造油藏剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 9 Profile of reservoirs in the PL19-3 structure

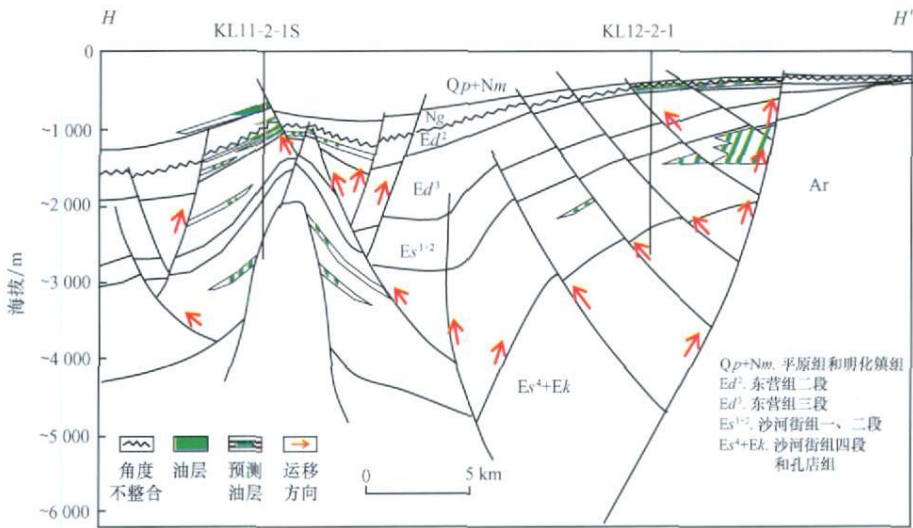


图 10 莱州湾凹陷东部 KL12-2 构造成藏模式(剖面位置见图 1)

Fig. 10 Hydrocarbon accumulation patterns of the KL12-2 structure in the eastern Laizhou Bay Sag

4 结论

1) 郯庐断裂带渤中- 渤南段断层具有分段性特征, 即断层活动性较弱带和断层活动较强带。

2) 主干断裂活动性较弱区 (LD32- 2 构造和 PL2- 2 构造) 易于油气汇聚保存, 主干断裂活动性强区 (PL7- 1 构造) 油气易散失不利于保存。活跃主干断层与活动性较弱次级断层的有效组合 (PL19- 3 构造), 有利于油气的运聚与保存。莱州湾凹陷东部构造带活跃的通源断层和活动性较弱的次级断层的有效配置, 对油气藏的形成起到了建设性作用, 是该构造形成浅层油藏的有利条件。

3) 在郯庐断裂带油气勘探过程中, 主干断层活动性较弱区域或活跃的主干断层附近较弱的伴生断层区域是有利的油气富集区。

参 考 文 献

1 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, 2001, 15(5): 301~ 305

2 王国纯. 郯庐断裂与渤海反转构造及花状构造 [J]. 中国海上油气 (地质), 1998, 12(5): 289~ 295

3 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(1): 35~ 43

4 龚再升, 蔡东升, 张功成, 等. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用 [J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1~ 10

5 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(1): 21~ 28

6 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1~ 7

7 Constantin J Peyaud J B, Verg ly P, et al Evolution of the structural fault permeability in argillaceous rocks in a polyphased tee-

(下转第 482 页)

9 Morley C K, Nelson R A, Patton T L , et al Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts [J]. AAPG Bulletin 1990 74(8): 1 234~ 1 253

10 胡望水. 裂谷盆地转换构造及其石油地质意义 [J]. 国外油气勘探, 1994 6(2): 145~ 154

11 马丽娟, 郑和荣, 解习农, 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251

12 梁锋, 范军侠, 李宏伟, 等. 大港油田板桥凹陷构造变换带与油气富集 [J]. 古地理学报, 2008 10(1): 73~ 76

13 漆家福, 邓容敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008 38(增刊): 19~ 29

14 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): 301~ 305

15 米立军, 段吉利. 渤中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 32~ 37

16 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 102~ 106

17 万天丰. 郯庐断裂带的演化与古应力场 [J]. 地球科学, 1995, 20(5): 526~ 534

18 万天丰. 郯庐断裂带的形成与演化综述 [J]. 现代地质, 1996, 10(2): 159~ 167

19 张方银. 郯庐断裂带构造特征及油气分布规律 [J]. 油气地质与采收率, 2002 9(6): 22~ 25

20 孙红军. 中新代辽河盆地区域应力场变化及其成因 [J]. 古地理学报, 2002 4(4): 61~ 69

21 赵洪格, 刘池阳, 杨明慧, 等. 调节带和传递带及其在伸展区的分段作用 [J]. 世界地质, 2000 19(2): 105~ 110

22 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

23 邓运华. 断裂-砂体形成油气运移的“中转站”模式 [J]. 中国石油勘探, 2005 (6): 14~ 17

24 刘玉瑞, 刘启东, 杨小兰. 苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(3): 279~ 283

(编辑 董立)

(上接第 468 页)

tonic context[J]. Physics and Chemistry of the Earth 2004 29: 25~ 41

8 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999, 7(2): 15~ 17

9 赵力彬, 黄志龙, 高尚, 等. 关于用包裹体研究油气成藏期次问题的探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(6): 6~ 9 18

10 白国平. 包裹体技术在油气勘探中的应用研究现状及发展趋势 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2003 27(4): 136~ 140

11 Cao J Jin Z J Hu W X, et al Integrate GEOI and composition data of oil inclusions to reconstruct petroleum charge history of gas-condensate reservoirs example from the Mosuovan area central Junggar basin(NW China) [J]. Acta Petrologia Sinica 2007, 23(1): 137~ 144

12 Gartrell A, Bailey W R, Brinca M. A new model for assessing trap integrity and oil preservation risks associated with postrift fault reactivation in the Timor Sea [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(12): 1 921~ 1 944

13 李大伟. 新构造运动与渤海湾盆地上第三系油气藏 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 170~ 184

14 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~ 135

15 马丽娟, 郑和荣, 解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(2): 246~ 251

(编辑 董立)

(上接第 475 页)

9 Lindsay N G, Murphy F C, Wash J J et al Outcrop studies of shale smears on fault surfaces[Z]. International Association of Sedimentologist Special Publication, 1993 113~ 123

10 Peter B Graham Y, Helen J Using Calibrated shale gouge ratio to estimate hydrocarbon column heights [J]. AAPG Bulletin 2003, 87(3): 397~ 413

11 Constantin J Peyaud J B Vergely P, et al Evolution of the structural fault permeability in argillaceous rocks in a polyphased tectonic context[J]. Physics and Chemistry of the Earth 2004 29: 25~ 41

12 葛建党. 郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系 [J]. 海洋石油, 2000 107: 14~ 20

13 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 102~ 106

14 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨 [J]. 断块油气田, 1999 7(2): 15~ 17

15 王书宝, 钟建华, 陈志鹏. 惠民凹陷新生代断裂活动特征研究 [J]. 地质力学学报, 2007 13(1): 86~ 96

16 肖英玉, 郝雪峰. 断层生长指数在层序地层单元中应用的局限性 [J]. 油气地质与采收率, 2003 10(增刊): 1~ 3

17 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究 [J]. 西南石油大学学报, 2007 29(3): 20~ 23

18 盛文波, 操应长, 刘晖, 等. 东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 290~ 296

(编辑 董立)