

文章编号: 1006-6616 (2015) 04-0473-08

东营凹陷民丰断裂带断层活动与油气成藏

李虹霖¹, 蒋有录¹, 郭富欣¹, 路智勇², 崔小君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. 中国石化胜利油田分公司东辛采油厂, 山东 东营 257068)

摘要: 基于三维地震、测井和录井等资料, 采用断层生长指数法, 结合油气成藏史研究, 分析了东营凹陷民丰断裂带的断层活动特征, 并探讨了断层活动与油气成藏的关系。研究表明, 研究区断层活动具有持续性和继承性, 呈现出2个活动高峰期, 即沙三上亚段和东营组沉积时期。不同断层以及同一断层不同部位活动性存在明显差异。10号断层规模较大, 活动性最强, 为该区最重要的油源断层, 断层活动强度自西向东呈现强—弱—强的变化规律, 断层活动与烃源岩主生排烃期匹配关系较好, 为油气成藏提供了良好的垂向运移条件; 而其余1—9号断层为发育在10号断层下降盘的次级调节断层, 活动性弱, 与成藏期匹配较差, 不利于油气成藏。

关键词: 断层活动; 油气成藏; 民丰断裂带; 东营凹陷

中图分类号: TE121. 2

文献标识码: A

断层作为油气输导体系的重要组成部分, 其活动性的定量评价及其对油气成藏的控制作用成为当前研究的热点和难点问题^[1~3]。民丰断裂带位于东营凹陷中央隆起带的北部, 构造带主体是以南掉的顺向断层为主的断裂体系, 走向近东西, 是目前东营凹陷勘探程度较低的断裂构造带。近年来, 不少学者对该区的构造、沉积及烃源岩等方面开展了一定的研究工作^[4~6], 但对于断层活动性及其与油气成藏的关系研究较少。本文在对民丰断裂带断层活动特征分析的基础上, 利用断层活动时间与烃源岩生排烃时间的匹配, 明确了断层活动与油气成藏的关系, 提出了研究区下一步的有利勘探区带, 不仅对研究区油气勘探具有重要实践意义, 同时对类似斜坡断裂带油气成藏研究也具有较高的借鉴价值。

1 区域地质概况

民丰断裂带位于东营凹陷中央隆起带北部, 向北以陈南断层为界与陈家庄凸起相邻, 南邻民丰洼陷, 西与胜北断层相交, 东与永安镇断裂带相接(见图1), 面积约60 km², 构造北高南低, 典型特征是被一系列北西西走向的正断层切割成大小不等的断块^[4]。

民丰断裂带自下而上发育了太古界, 古生界(包括寒武系、中下奥陶统、上石炭统、下二叠统), 中生界(包括侏罗系、白垩系)以及新生界(包括古近系、新近系以及第四

收稿日期: 2015-04-12

基金项目: 国家重大专项(2011ZX05006-003); 国家自然科学基金项目(41372132)

作者简介: 李虹霖(1989-), 男, 硕士研究生, 油气地质与勘探研究方向。E-mail: 991921285@qq.com

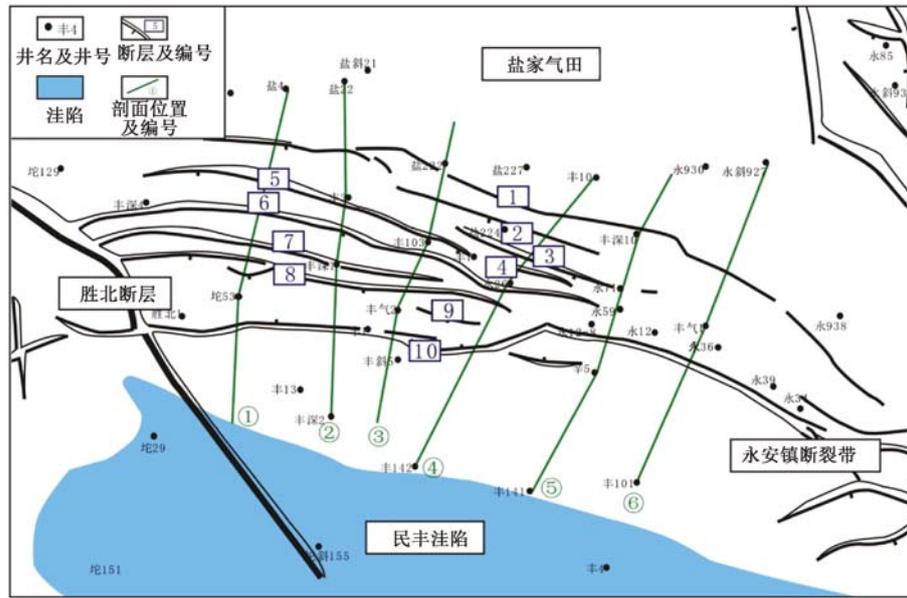


图1 民丰断裂带构造位置及断层展布

Fig. 1 Tectonic settings and faults distribution of Minfeng fault zone

系), 其中厚度较大、全区稳定分布的主要是新生界的古近系和新近系, 同时也是研究区断层发育层系和主要含油层系。

研究区油气成藏条件优越, 古近系沙四上亚段和沙三中下亚段为研究区2套主力烃源岩层, 沙三上亚段和沙二段的河流-三角洲砂体为主要的储集层, 沙一段和新近系明化镇组为区域性良好盖层。构造位置上, 该区处于民丰洼陷北部斜坡, 距油源较近, 易捕获油气; 且该区下伏烃源岩层系已进入生烃门限^[7], 为油气富集和油气藏形成提供了充足的油气来源。断层作为研究区地下油气运移的主要通道, 是控制油气运聚、成藏的关键因素。

2 断层发育特征

2.1 断层平面特征

经三维地震解释, 在研究区共识别出大小不等断层10条(见图1), 为方便区分, 自北向南分别编号1—10。平面上, 断层均为北西西—南东东走向, 近似平行。统计断层静态地质特征(见表1)发现, 不同断层的断面倾向、延伸距离、断距存在明显差异。其中, 10号断层为研究区唯一的Ⅲ级断层, 位于断裂带最南端, 断面北倾, 规模最大, 平面延伸距离达9.5 km, 断距最大120 m; 其余1—9号断层规模较小, 断层南倾, 延伸距离大多较短, 断距较小, 一般不超过70 m, 为Ⅳ级小断层。

2.2 断层剖面特征

地震剖面(见图2)显示, 研究区断层均为正断层。其中, 10号断层断面北倾, 上部断至新近系明化镇组, 下部断穿古近系沙三段; 其余断层均为发育在10号断层下降盘的次级调节断层, 倾向与10号断层相反, 切割层位浅, 上部切入新近系馆陶组, 断层底部终止于10号断层下降盘, 与10号断层构成花状组合样式, 呈现出研究区伸展以及伸展走滑为主的构造特征。

表1 民丰断裂带断层要素

Table 1 Elements of fault in Minfeng fault zone

| 断层名称 | 走向 | 倾向 | 最大延伸距离/km | 活动时期 | 断距/m | 断裂级别 |
|------|-----|----|-----------|-------------------|--------|------|
| 断层1 | 北西西 | 南倾 | 7.3 | $E_{s_3}^F-Ng$ | 20~55 | IV |
| 断层2 | 北西西 | 南倾 | 5.3 | $E_{s_3}^F-Ng$ | 25~55 | IV |
| 断层3 | 北西西 | 南倾 | 5.6 | $E_{s_3}^F-Ng$ | 20~95 | IV |
| 断层4 | 北西西 | 南倾 | 2.5 | $E_{s_3}^F-Ed$ | 30~75 | IV |
| 断层5 | 北西西 | 南倾 | 6.2 | $E_{s_3}^F-Ng$ | 45~60 | IV |
| 断层6 | 北西西 | 南倾 | 4.6 | $E_{s_3}^{H1}-Ed$ | 70~75 | IV |
| 断层7 | 北西西 | 南倾 | 6.4 | $E_{s_3}^{H1}-Ed$ | 30~35 | IV |
| 断层8 | 北西西 | 南倾 | 4.8 | $E_{s_3}^{H1}-Ng$ | 25~40 | IV |
| 断层9 | 北西西 | 南倾 | 2.2 | $E_{s_3}^L-Ed$ | 20~25 | IV |
| 断层10 | 北西西 | 北倾 | 9.5 | $E_{s_4}^L-Nm$ | 80~120 | III |

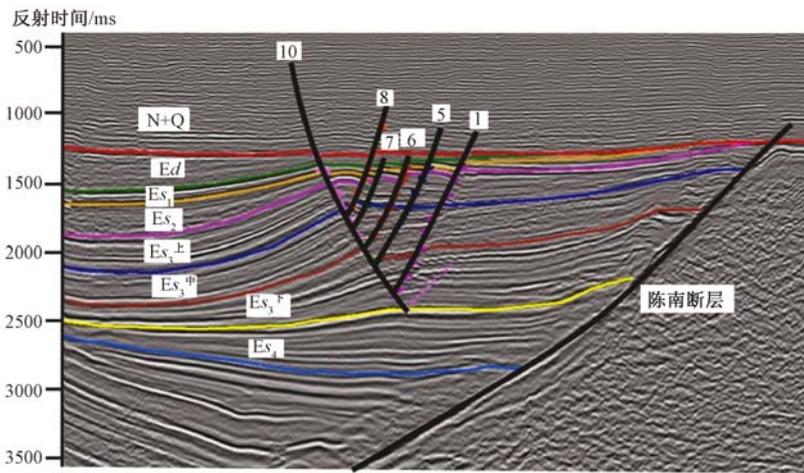


图2 民丰断裂带地震剖面图 (据剖面③)

Fig. 2 Seismic profile of Minfeng fault zone

3 断层活动性定量评价

3.1 研究方法

通常, 评价断层活动性的方法有断层生长指数、断层古落差等。断层生长指数指断层的上盘厚度与下盘厚度之比^[8]; 断层落差是指在垂直于断层走向的剖面上两盘同一层之间的铅直距离, 可以用两盘地层的厚度差来代替^[9]。由于研究区不同时期地层沉积厚度差异较大, 使得断层古落差不能正确反映断层的活动强度, 因此本次对断层活动性的评价以断层生长指数法为主。

3.2 断层活动特征

本文根据研究区6条地震剖面(剖面位置见图1)的解释结果, 计算各断层的生长指数(见图3, 对于未断穿的地层, 计算断层生长指数存在很大困难, 所以各断层的起始和终止时期活动强度在图中未能反映出来)和古落差, 定量评价了研究区断层的活动强度和活动期次, 总结出研究区断层的活动特征。

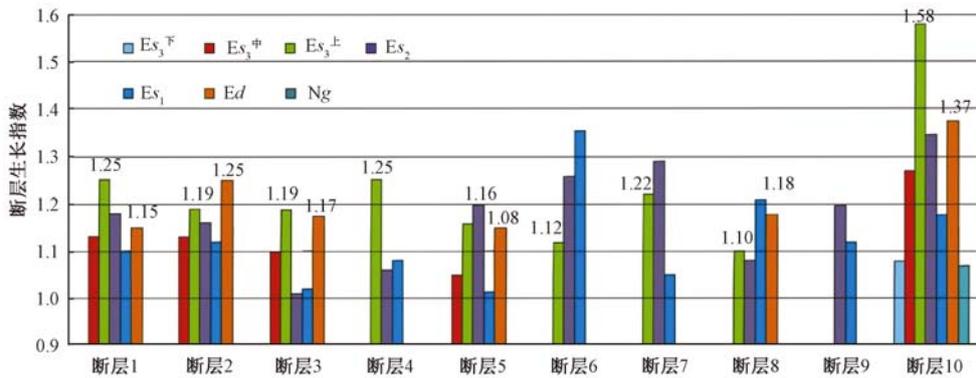


图3 不同断层各时期断层生长指数

Fig. 3 Fault growth index of different faults in different sedimentary period

3.2.1 不同时期断层活动性差异明显

研究区断层于沙四段沉积晚期—沙三段沉积早期开始形成，沙三上一沙二段沉积时期活动强烈，在东营组沉积期之后活动强度明显减弱，至明化镇组沉积期基本停止活动，其活动高峰主要有2期，即沙三上亚段沉积时期和东营组沉积时期，分别对应济阳运动和东营运动两次构造运动。

3.2.2 不同断层活动时间和活动强度存在明显差异

研究区内10号断层活动时间最长，从沙四段沉积末期开始形成，持续活动到明化镇组沉积初期，活动强度最大，沙三上沉积时期断层生长指数达1.58；其余1—9号断层活动时间相对较短，一般从沙三早中期开始形成，东营—馆陶组沉积时期即停止活动，活动强度较弱，断层生长指数一般不超过1.3。

3.2.3 同一断层不同部位断层活动性存在差异

选取研究区断层活动强度最大的10号断层，利用自西向东6条地震剖面（见图1），计算其东营组和馆陶组沉积时期断层生长指数（见图4），发现断层活动性自西向东具有强—弱—强的变化规律，在西侧靠近胜北断层和东侧靠近永安镇断裂带的断层活动强度较大，东营组沉积时期生长指数达到1.38~1.45，而中部地区断层生长指数明显减小，东营组沉积时期只有1.28~1.29，馆陶组呈现出与东营组相似的变化规律。

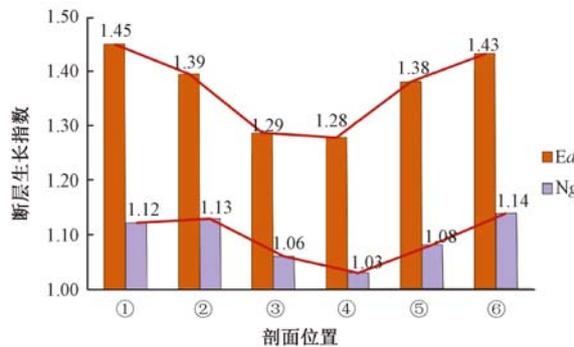


图4 10号断层不同位置断层生长指数图（剖面位置见图1）

Fig. 4 Fault growth index in different locations of No. 10 fault

4 油气成藏

目前大多数学者普遍认为, 活动期的断层对于油气运移具有重要的输导作用, 而静止期的断层主要起封闭油气的作用^[10-12], 因此, 断层活动在时间上与油气成藏期的良好匹配, 成为油气垂向运移并聚集成藏的关键。

4.1 油气成藏史

基于研究区埋藏史和生烃史分析, 结合东营凹陷油气成藏期研究^[13-14], 认为民丰断裂带经历了 2 次成藏, 不同烃源岩层系生排烃期次和时间存在一定差异。

第一次成藏发生在东营组沉积时期, 此时, 沙四上亚段烃源岩已进入生油门限并开始排烃, 由于烃源岩热演化程度较低, 生烃数量有限, 油气主要集中在洼陷中心区域; 第二次成藏发生在馆陶组沉积晚期—明化镇组沉积期, 此时沙三中下亚段和沙四上亚段烃源岩均进入生、排烃高峰期, 大量油气进入圈闭成藏。因此, 馆陶组沉积晚期—明化镇组沉积期为研究区油气主成藏期。

4.2 断层活动与油气成藏的关系

断层活动结合油气成藏史分析 (见图 5) 表明, 东营组沉积期之前断层的活动对油气成藏没有意义, 断层的晚期 (馆陶组—明化镇组沉积时期) 活动对于研究区油气的运聚、成藏具有重要影响。晚期活动断层纵向上能够沟通源储, 使来自深层的油气沿断层纵向运移, 在浅层适当的圈闭中聚集成藏。断层的活动强度越大, 释放的能量越大, 油气越容易纵向运移。

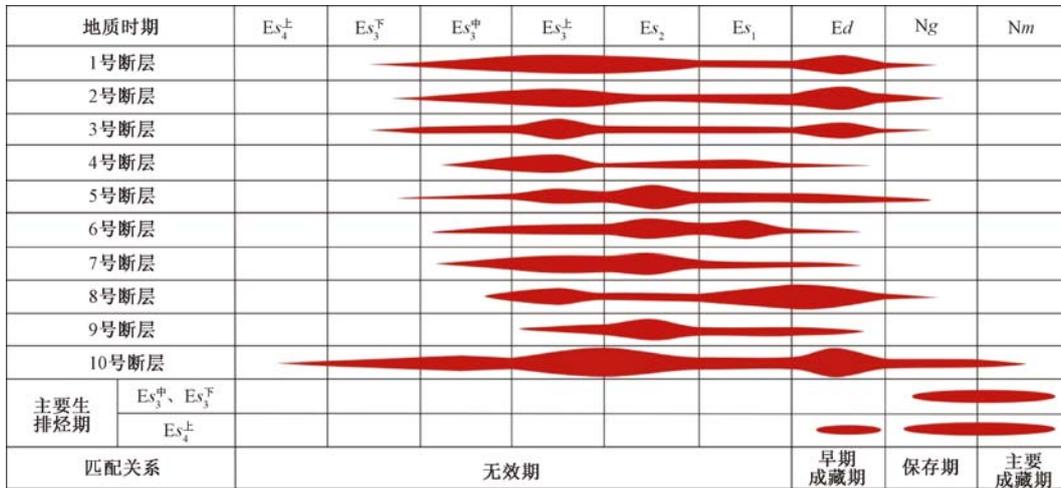


图 5 民丰断裂带断层活动与成藏期匹配关系

Fig. 5 The matching relation between fault activities and hydrocarbon accumulation stages in Minfeng fault zone

研究区断层活动时间与烃源岩主生排烃期匹配关系差异明显。10 号断层停止活动时间最晚, 持续活动到馆陶组沉积期末—明化镇组沉积初期, 与烃源岩生排烃期匹配关系较好, 成为沟通深部烃源岩和浅部储层的有效桥梁, 深层油气可沿 10 号断层纵向运移, 在浅层遇合适圈闭聚集成藏; 其余 1—9 号断层活动时间较短, 停止活动时间较早, 大部分断层在馆陶组沉积末期已停止活动或活动性十分微弱, 对深层油气难以起到垂向输导作用, 不利于油

气运聚成藏。

4.3 勘探有利区带评价

浅层油气成藏主要受油源断裂控制^[15~16]，因此油源断裂发育地带是油气成藏的有利地区。研究区断层活动性与油气成藏史的综合研究表明，1—9号断层活动时间与油气成藏期匹配较差，油气垂向输导条件差，而且断层南倾，与地层倾向相同，不利于圈闭发育，因此断层附近很难形成大规模油气富集；而10号断层活动时间长，与油气成藏期匹配关系较好，有利于深层油气垂向运移，同时断面北倾，与地层倾向相反，地层受断层反向遮挡，易在断层下盘形成断块、断鼻等构造圈闭，利于油气聚集成藏，尤其是10号断层东、西两段，断层活动强度大，油气更加容易发生纵向运移。目前，东侧永12断块已发现大规模油气富集，而西侧靠近胜北断层区块仍属于勘探空白区，因此笔者认为，10号断层西段附近的有利圈闭发育区是下一步油气勘探的有利方向。

5 结论

民丰断裂带断层发育，断层具有持续性和继承性活动的特征，断层活性呈现2个活动高峰，分别为沙三上亚段沉积时期和东营组沉积时期。不同断层以及同一断层不同部位活动强度有明显差异，其中，10号断层活动时间最长，活动强度最大，为研究区最重要的油源断层，断层活动强度自西向东呈现强—弱—强的变化规律。

研究区存在东营组和馆陶组沉积晚期—明化镇组沉积期两期成藏，以晚期成藏为主。断层晚期活动性对油气成藏有明显控制作用；10号断层停止活动较晚，断层晚期活动性与烃源岩主排烃期匹配关系较好，为油气成藏提供了良好的垂向输导条件。

10号断层断面北倾，地层受断层反向遮挡，易形成断块、断鼻等构造圈闭，结合断层活动特征与成藏史研究认为，10号断层西段附近的有利圈闭发育区是下一步油气勘探的有利方向。

参 考 文 献

- [1] 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): 469~475.
ZHOU Xin-huai, NIU Cheng-min, TENG Chang-yu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neo-tectonic movement around the central Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30 (4): 469~475.
- [2] 操成杰, 周新桂, 何彬, 等. 苏北盆地天长箕状断陷断裂体系及油气成藏规律 [J]. 地质力学学报, 2003, 9 (1): 56~61.
CAO Cheng-jie, ZHOU Xin-gui, HE Bin, et al. Fault system and formation law of oil reservoir in Tianchang halfgraben-like depression in Subei basin [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9 (1): 56~61.
- [3] 侯读杰, 庞雄, 肖建新, 等. 白云凹陷断裂作为天然气运移通道的地质-地球化学证据 [J]. 地学前缘, 2008, 15 (4): 81~87.
HOU Du-jie, PANG Xiong, XIAO Jian-xin, et al. The geological and geochemical evidence on the identification of natural gas migration through fault system, Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin, China [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15 (4): 81~87.

- [4] 高娟, 谢锐杰, 王东辉, 等. 民丰地区砂砾岩体及沉积演化特征 [J]. 断块油气田, 2008, 15 (5): 28~30.
GAO Juan, XIE Rui-jie, WANG Dong-hui, et al. Glutenite and sedimentary evolution characteristics in Minfeng Area [J]. Fault-block oil & Gas Field, 2008, 15 (5): 28~30.
- [5] 远光辉, 操应长, 王艳忠. 东营凹陷民丰地区沙河街组四段-三段中亚段沉积相与沉积演化特征 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33 (2): 277~286.
YUAN Guang-hui, CAO Ying-chang, WANG Yan-zhong. Sedimentary facies and their evolution of the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag [J]. Oil&Gas Geology, 2012, 33 (2): 277~286.
- [6] 周瑶琪, 周振柱, 陈勇, 等. 东营凹陷民丰地区深部储层成岩环境变化研究 [J]. 地学前缘, 2011, 18 (2): 268~276.
ZHOU Yao-qi, ZHOU Zhen-zhu, CHEN Yong, et al. Research on diagenetic environmental changes of deep reservoir in Minfeng area, Dongying Sag [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18 (2): 268~276.
- [7] 辛也, 王伟锋. 东营凹陷民丰洼陷烃源岩评价 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28 (4): 473~475.
XIN Ye, WANG Wei-feng. Evaluation of source rocks in Minfeng Sub-Sag, Dongying Sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28 (4): 473~475.
- [8] 李春光. 中国东部盆地油气藏同生断层的定量研究 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10 (4): 1~4.
LI Chun-guang. Quantitative study of contemporaneous fault of eastern basin oil reservoir in China [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10 (4): 1~4.
- [9] 赵勇, 戴俊生. 应用落差分析研究生长断层 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (3): 13~15.
ZHAO Yong, DAI Jun-sheng. Identification of growth fault by fault fall analysis [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (3): 13~15.
- [10] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14: 161~180.
- [11] 卢浩, 蒋有录, 徐昊清. 饶阳凹陷主断层活动期与新近系油气成藏关系 [J]. 断块油气田, 2011, 18 (5): 594~597.
LU Hao, JIANG You-lu, XU Hao-qing. Relationship between fault activity Period and Neogene oil-gas accumulation in Raoyang Sag [J]. Fault-block oil&Gas Field, 2011, 18 (5): 594~597.
- [12] 李继岩, 宋国奇, 赵仲祥, 等. 惠民凹陷南部地区断层输导与封闭性能研究 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18 (4): 17~20.
LI Ji-yan, SONG Guo-qi, ZHAO Zhong-xiang, et al. Main controlling factors analysis and evaluation on transporting and sealing performance of fault, south region of Huimin depression. PGRE, 2011, 18 (4): 17~20.
- [13] 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 You-lu, LIU Hua, ZHANG Le, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (3): 215~218.
- [14] 陈勇, 林承焰, 张善文, 等. 东营凹陷民丰洼陷深层天然气储层流体包裹体油气地质研究 [J]. 沉积学报, 2010, 28 (3): 620~625.
CHEN Yong, LIN Cheng-yan, ZHANG Shan-wen, et al. Study on fluid inclusions in deep natural gas reservoirs in Minfeng Sub-Sag, Dongying Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28 (3): 620~625.
- [15] 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 You-lu, DONG Yue-xia, et al. Relationship between faultactivity and hydrocarbon accumulation and enrichment in Nanpu Depression [J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36 (2): 60~67.

[16] 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 You-lu, 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.

RELATIONSHIP BETWEEN FAULT-ACTIVITY AND HYDROCARBON ACCUMULATION IN MINFENG FAULT ZONE OF DONGYING SAG

LI Hong-lin¹, JIANG You-lu¹, GUO Fu-xin¹, LU Zhi-yong², CUI Xiao-jun¹

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

2. Dongxin Production Plant, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying 257068, Shandong, China)

Abstract: Based on integration of 3D seismic, drilling and logging data and in combination with the history of hydrocarbon accumulation, we analyzed the features of faults activity by fault growth index and discussed the relationship between fault activity and hydrocarbon accumulation. The result shows that faults have sustaining and successive characterization, and there are two activity peak periods: one occurred in the later Es_3 period and the other occurred in Ed period. There exist obvious differences in different faults and different locations of the same fault. The No. 10 fault is the most important oil source fault which is larger in scale and the fault activity is the strongest in regular change pattern of "strong-weak-strong" from west to east. And the activity period of No. 10 fault is matched with the main hydrocarbon expelling period of source rocks, which provide good conditions for vertical oil migration; While other faults are the secondary adjusting faults which develop in the thrown wall of No. 10 fault, they are not conducive to the accumulation of hydrocarbon because their fault activities are weak and in poor matching with the main hydrocarbon expelling period.

Key words: fault activity; hydrocarbon accumulation; Minfeng fault zone; Dongying sag