

沾化凹陷凸起带旋扭运动及其与 新近系油气聚集的关系

方旭庆

(中国石化胜利油田分公司勘探处,山东 东营 257001)

摘要:新近系披覆构造油藏是沾化凹陷凸起带主要的油藏类型,但不同凸起带新近系披覆构造的含油气性相差甚远。综合钻井和地球物理等资料,通过区域地质力学分析、断裂旋扭特征分析以及油气藏解剖等,对沾化凹陷凸起带旋扭运动及其与新近系油气聚集的关系进行研究。结果表明,受新近纪郯庐断裂带右旋走滑和北东—南西向区域弱挤压应力场的影响,沾化凹陷凸起带具有顺时针方向旋扭运动的特征。在旋扭运动作用下,凸起带左侧断层(以北为参考的顺时针方向)呈扭张性质,形成新近系油气纵向优势运移通道和油气富集区带;凸起带右侧断层呈扭压性质,不利于油气纵向输导。左侧断层(油气优势运移通道)发育的凸起带新近系披覆构造易于形成规模油气藏,左侧断层控藏区是下步研究区新近系隐蔽油气藏勘探的有利方向。

关键词:新近系 旋扭运动 凸起带 油气聚集 郯庐断裂带 沾化凹陷 济阳拗陷

中图分类号:TE112

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)02-0039-06

Rotation-shearing movement and its relationship with hydrocarbon accumulation of Neogene in uplift belts of Zhanhua sag

Fang Xuqing

(Exploration Department, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257001, China)

Abstract: The potential of hydrocarbon accumulating in drape structure on the uplift in Neogene differs with uplifts, which is the main reservoir type in Zhanhua sag. Using drilling and geophysical data, the relationship between uplift belt rotation-shearing movement and oil and gas accumulation of Neogene in Zhanhua sag was studied through analyzing the regional geological mechanics, the fault rotation-shearing characteristics and hydrocarbon reservoir. The research results show that Zhanhua uplift sheared and rotated to the right clockwise induced by the dextral strike slip of Tanlu faulted belt and the weak regional NE-SW compressional stress field during Neogene. Under the rotation-shearing action, the faults, locating on the left side of uplift (North for the reference direction), twisted and opened to make a dominant pathway for hydrocarbon migrating or accumulating. The faults, locating on the right side of uplift, are characterized by compress-shear properties which are unfavorable for oil and gas vertical migration. The drape structures of Neogene on the left side of the uplift (dominant pathway) are easy to form large-scale oil and gas reservoirs. The faulted zone on the left side of the uplift is favorable for subtle reservoir exploration in Neogene for the next step.

Key words: Neogene; rotation-shearing movement; uplift belt; oil and gas accumulation; Tanlu faulted zone; Zhanhua sag; Jiyang depression

沾化凹陷位于渤海湾盆地东南部,东邻郯庐断裂带,受郯庐断裂带多期构造运动叠加的影响^[1-5],

收稿日期:2015-01-10。

作者简介:方旭庆(1971—),男,山东莱州人,高级工程师,博士,从事油气地质综合研究。联系电话:(0546)8701070,E-mail:princessfy@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-003)。

形成以凹凸相间、披覆构造为主的构造格局。其新近系馆陶组探明石油地质储量占总石油地质储量的76%以上,其中凸起带的新近系披覆构造油藏是研究区主要的油藏类型,但不同披覆构造带的含油气性差异较大^[6]。多位学者从不同角度对沾化凹陷新近系的油气富集规律及主控因素进行了论述,包括断层—骨架砂体组合的输导结构^[7-9]、断层活动强度^[10-11]、主油源断层结构和充注动力配置^[6]及储层构型^[12]等。基于前人的研究成果,笔者综合生产实践及区域应力场研究进展^[13-18],从地质力学角度分析沾化凹陷新近纪的应力场特征及其控制下凸起带的构造运动特征,认为在新近纪凸起带具有顺时针方向旋扭运动特征,并据此分析旋扭运动与沾化凹陷新近系油气聚集的关系,以期深化对研究区新近系油气富集机理的认识,指导下步油气勘探部署。

1 应力场特征

根据地质力学理论分析认为,沾化凹陷古近纪—新近纪总应力场主要由重力作用引起的垂直方向地静应力、区域拉张作用控制的水平方向拉张应力以及扭应力组成。其中,地静应力具有主导作用;对于水平方向的构造运动,在不同地质时期的地静应力作用是一致的,但拉张应力和扭应力存在差异,控制形成研究区水平方向的构造运动特征,且郯庐断裂带走滑构造运动导致研究区不同地质时期的拉张应力发生变化^[19-21]。

1.1 古近纪

古近纪沾化凹陷存在不同方向的优势拉张应力(图1)。在古新世—始新世早期(孔店组沉积时

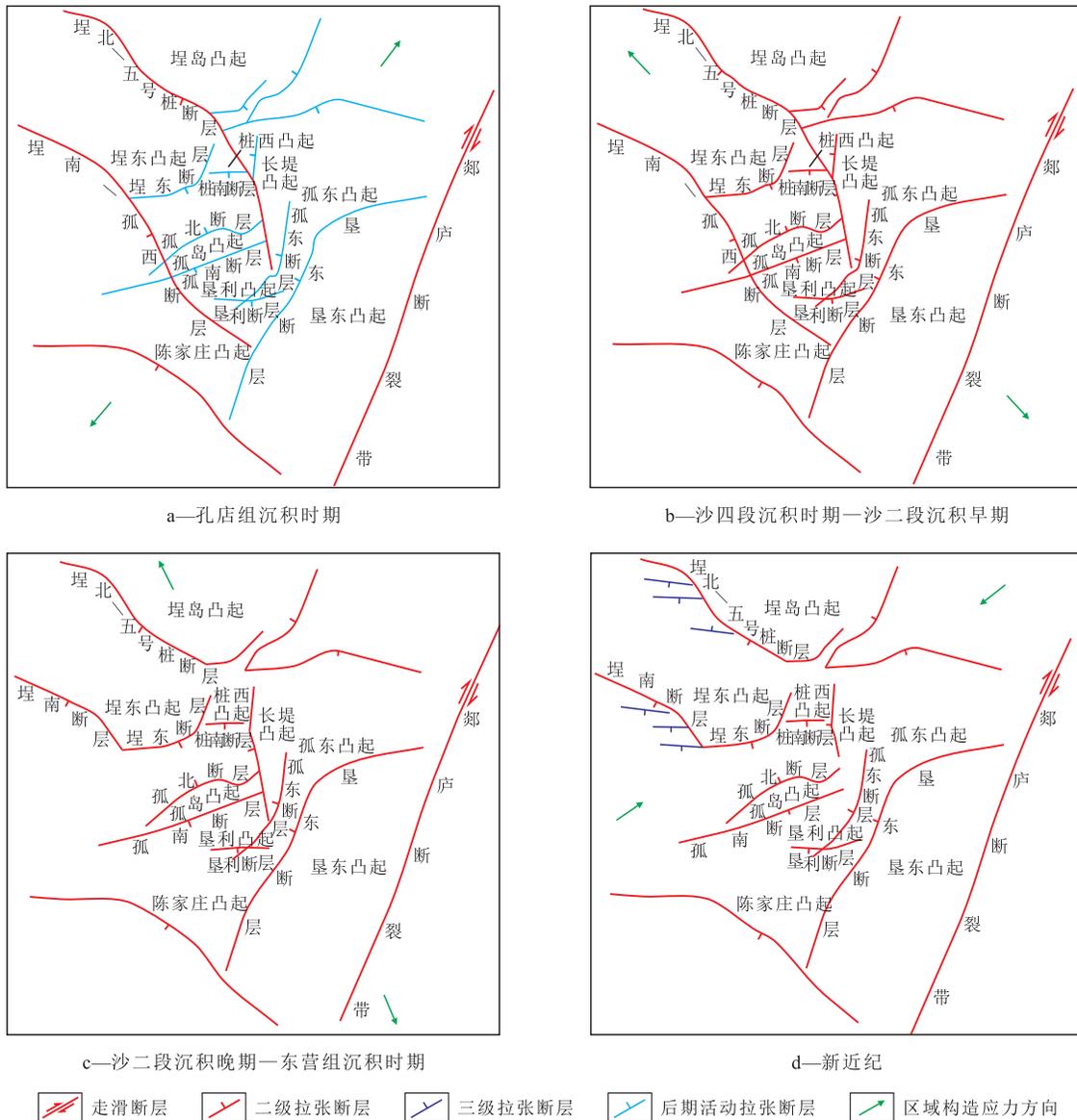


图1 沾化凹陷新生代应力场演化

Fig.1 The stress field evolution in Cenozoic in Zhanhua sag

期),北东—南西向拉张应力起主导作用,扭应力相对较弱;始新世中晚期(沙四段沉积时期—沙二段沉积早期),北西西—南东东向拉张应力起主导作用,扭应力较弱;渐新世(沙二段沉积晚期—东营组沉积时期),北北西—南南东向拉张应力起主导作用,扭应力较弱。

1.2 新近纪

新近纪渤海湾盆地进入拗陷期热沉降阶段,古近纪不同方向的优势拉张应力明显减弱,沾化凹陷受到来自北西西—南东东向的弱挤压应力作用(图1)^[13]。太古界—中生界作为新生代断陷盆地的基底,在郯庐断裂带右旋走滑作用下,起到右旋走滑作用力的输送带作用;而受网状断层切割形成的研究区凸起带在北东—南西西向走滑挤压作用下,产生顺时针方向的水平转动力,导致凸起带发生顺时针方向的旋扭运动。新近纪由于拉张应力的快速减弱,古近纪表现较弱的扭应力开始显现出来,即沾化凹陷凸起带具有更明显的顺时针旋扭运动特征。

2 旋扭运动特征

2.1 断层与凸起带组合样式

受中—新生代断层切割、走滑拉分和掀斜作用等影响,沾化凹陷新近纪发育埕东、埕岛、孤东、孤岛、垦利、桩西和长堤共7个凸起带以及渤南、孤北、孤南、富林和埕北共5个洼陷带(图1)。研究区北西、北东和近东西向3组主断层与凸起带形成3种不同的组合样式(图1)。其中,2组断层交汇与凸起带形成半围绕型组合样式,如埕南断层、埕东断层与埕东凸起带;1组同向断层与凸起带形成夹持型组合样式,如孤北断层、孤南断层与孤岛凸起带;1条断层切割与凸起带形成单切型组合样式,如孤东

断层与孤东凸起带、长堤断层与长堤凸起带、桩南断层与桩西凸起带、垦利断层与垦利凸起带等。在半围绕型和夹持型组合样式中,凸起带发育左侧断层和右侧断层(以北为参考的顺时针方向)。在单切型组合样式中,凸起带可分为2种类型,即左单切型凸起带(仅发育左侧断层),如孤东凸起带和长堤凸起带,右单切型凸起带(仅发育右侧断层),如桩西凸起带和垦利凸起带。

2.2 凸起带两侧断层特征

受沾化凹陷新近纪旋扭运动影响,研究区半围绕型和夹持型组合样式凸起带左侧断层和右侧断层的剖面和平面特征具有明显差异。

2.2.1 剖面特征

沾化凹陷凸起带左侧断层,例如埕岛凸起带的左侧断层埕北断层西段(图2a),其新近系主断面在剖面上呈铲状,且产状较缓;下降盘发育一系列“Y”字型正断层,向洼陷中心呈节节下掉的地堑构造样式;断裂带内部地层向主断层方向倾伏,地堑构造最大埋深处紧邻主断层,表现为明显的张性断裂特征。这主要是由于在凸起带顺时针旋扭运动作用下,凸起带左侧扭张位移决定其左侧发育张性断裂。

沾化凹陷凸起带右侧断层,例如埕东凸起带的右侧断层埕东断层(图2b),其新近系主断面在剖面上呈板状,且产状较陡;下降盘“Y”字型伴生正断层不发育或少量发育,主断层下部的潜山刚性地层对下降盘的塑性地层具有明显的挤压特征;主断层上部的上升盘地层上翘,下降盘断裂带内部地层呈上凸形态,具有明显的挤压特征。这主要是由于在凸起带顺时针旋扭运动作用下,凸起带右侧扭压作用决定其右侧发育压性断裂。

2.2.2 平面特征

沾化凹陷凸起带左侧断层,如埕北断层西段和

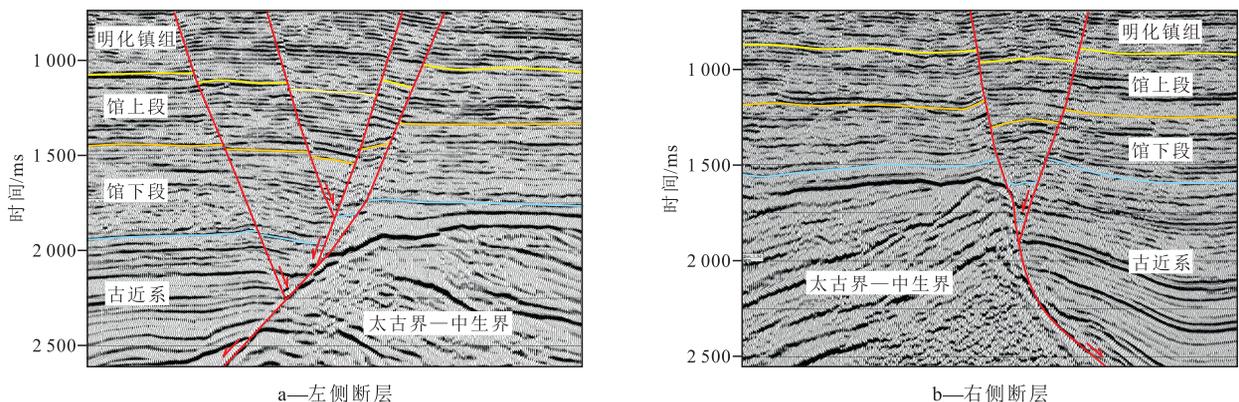


图2 沾化凹陷凸起带两侧断层剖面特征

Fig.2 The fault section characteristics on both sides of uplift belt in Zhanhua sag

埕南断层等,在平面上呈帚状展布;断层向东南方向收敛,向西北方向撒开;在断层撒开端发育台阶,推测这主要是由于其向外侧旋扭走滑位移较大所造成。凸起带右侧断层,如埕东断层和孤南断层等,在平面上的展布形态相对简单,主要发育1条主断层及少量派生断层;其下降盘新近系发育挤压背斜构造,且背斜高点的展布方向与主断层的走向一致。

3 旋扭运动与新近系油气聚集的关系

3.1 控制形成油气优势运移通道

3.1.1 控制断层性质

古近纪—新近纪,沾化凹陷凸起带周围断层继承性发育,为控制洼(凹)陷的边界断层。位于断层上升盘的凸起带主要发育太古界—中生界刚性地层,断层下降盘发育古近系湖相和新近系河流相沉积(埋深一般小于3 500 m),主要处于早成岩A—B

阶段,地层成岩作用较弱,塑性较强,因此,断层两盘的地层呈刚性—塑性对接关系。

在新近纪顺时针旋扭运动作用下,沾化凹陷凸起带左侧断层下降盘塑性地层与上升盘刚性地层之间以张性应力作用为主,断层处于开启状态,整体表现为张性正断层(图3a)。而凸起带右侧断层上升盘刚性地层挤压下降盘塑性地层,造成断层涂抹作用较强,形成封闭性较强的扭压性正断层(图3b)。

3.1.2 影响断层活动强度

从半围绕型组合样式凸起带两侧断层的活动强度来看(图4),古近纪孔店组沉积时期在北东—南西向拉张应力作用下,研究区凸起带左侧北西向断层的活动强度较大;沙四段沉积时期—沙二段下亚段沉积时期,在北—南东向拉张应力作用下,凸起带右侧北东向断层的活动强度较大,具有明显优势;沙二段上亚段沉积时期—东营组沉积时期,在北北西—南南东向拉张应力作用下,凸起带右侧北东向断层的活动强度较大,依然具有明显优势。

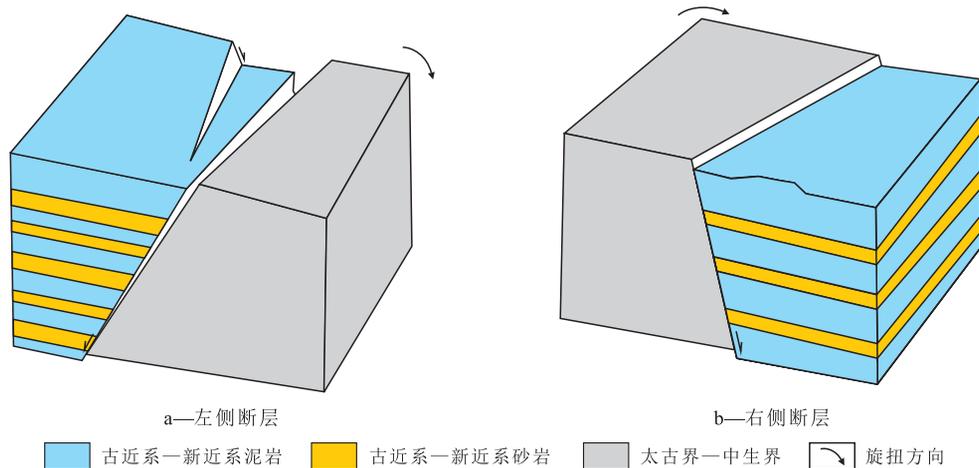


图3 沾化凹陷凸起带两侧断层

Fig.3 The sketch map of fault properties on both sides of uplift belt in Zhanhua sag

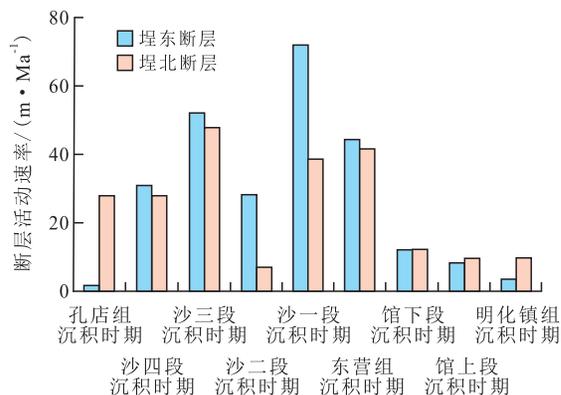


图4 半围绕型组合样式凸起带两侧断层生长指数对比

Fig.4 Comparison chart of fault growth indexes on both sides of semi surrounding uplift belt

在古近纪水平拉张应力较大的情况下,扭应力对研究区断层活动强度的影响不明显;但进入新近纪,扭应力对断层活动强度的影响开始显现出来。凸起带左侧扭张性断层活动强度具有晚期增强的特点,即新近纪断层活动强度有所增大;而凸起带右侧扭压性断层活动强度则表现为持续衰减的特征,至明化镇组沉积时期基本消亡;因此,在新近纪凸起带左侧断层活动性逐渐强于右侧断层,至明化镇组沉积时期凸起带左侧断层活动强度明显大于右侧断层。

3.1.3 控制油气优势运移通道分布

沾化凹陷新近系油气来自下伏古近系沙河街

组,具有馆下段沉积时期和馆上段沉积末期—明化镇组沉积时期共2期油气成藏过程,其中以馆上段沉积末期—明化镇组沉积时期为主要的油气成藏期^[22-24],因此新近纪馆上段沉积末期—明化镇组沉积时期活动性较强的张性断层是研究区新近系油气优势运移通道。在新近纪,受沾化凹陷凸起带右旋应力作用影响,凸起带左侧断层表现为扭张性质,开启性较好且活动强度较大,成为油气的纵向优势运移通道。半围绕型组合样式凸起带左侧北西向断层(埕北断层西段和埕南断层)、夹持型组合样式凸起带左侧北东东向断层(孤北断层)以及左单切型组合样式凸起带左侧断层(孤东断层和长堤断层等)均为研究区新近系油气的优势运移通道。而凸起带右侧断层封闭性较强,断层活动性明显减弱,则不利于油气的运移。半围绕型组合样式凸起带右侧北东向断层(埕东断层和埕北断层东段)、右单切型组合样式凸起带右侧断层(桩南断层和垦利断层等)对研究区新近系油气的输导作用相对较弱。

3.2 控制形成多种圈闭类型

沾化凹陷凸起带除了形成新近系披覆构造圈闭外,受其两侧断层的性质、活动强度及其差异分布特征控制,形成了多种圈闭类型。在扭张应力作用下,凸起带左侧发育帚状展布的断层,众多断层交汇切割,既可以形成断块、断鼻以及微幅度构造等构造圈闭类型,也可以与馆陶组河道砂体相匹配形成断层-岩性等隐蔽型圈闭。受扭张应力作用影响,研究区主断层活动强度增大,在其下降盘可发育低幅度牵引背斜圈闭,而凸起带右侧扭压断层主要控制形成挤压背斜圈闭以及构造-岩性圈闭。

3.3 控制油气差异性分布

在不同的地质时期,沾化凹陷凸起带形成多个披覆构造^[25],成为新近系油气聚集的有利场所;而是否存在油气优势运移通道,则决定了研究区凸起带披覆构造的油气聚集规模。勘探实践证明,埕东凸起带和埕岛凸起带等半围绕型组合样式凸起带左侧北西向断层为油气优势运移通道,可形成亿吨级油气聚集区;其中埕东凸起带已上报新近系探明石油地质储量 $6\ 000\times 10^4$ t,来自渤南洼陷的油气主要通过埕东凸起带左侧的埕南断层运聚成藏^[26],而其右侧的埕东断层不利于油气输导,致使作为富生油洼陷的孤北洼陷基本没有油气贡献。属于夹持型组合样式的孤岛凸起带左侧孤北断层为油气优势运移通道,有利于来自北部的油气运移并形成规模聚集,已上报新近系探明石油地质储量近 4×10^8 t。属于左单切型组合样式的孤东凸起带和长堤凸

起带等发育有利于油气运移的左侧断层,易于形成油气规模聚集;而属于右单切型组合样式的桩西凸起带和垦利凸起带等仅发育右侧断层,油气优势运移通道不发育,导致其新近系未形成油气规模聚集。因此,沾化凹陷凸起带左侧断层的发育是控制其新近系油气差异性分布的关键因素。

4 结论

受新近纪区域右旋走滑应力作用影响,沾化凹陷凸起带具有顺时针方向旋扭运动特征。凸起带左侧断层(以北为参考的顺时针方向)呈扭张性质,形成新近系纵向油气优势运移通道和油气富集区带;其右侧断层呈扭压性质,不利于油气的纵向输导,因此,在左侧断层发育的凸起带易形成新近系油气的规模聚集。目前沾化凹陷新近系已进入隐蔽型油气藏勘探阶段,凸起带左侧断层控制形成的有利油气成藏区的各种隐蔽型圈闭成为研究区下步主要勘探目标。埕北断层西段、埕南、孤北以及孤东等断层的周缘地区具有多层含油的勘探前景,亦为研究区下步油气勘探的有利方向。

在中国含油气盆地形成过程中多存在走滑过程,盆地内的地质体多具有旋扭运动特征,因此应重视并深化对地质体旋扭运动与油气运聚关系的研究。

参考文献:

- [1] 方旭庆,蒋有录,石砥石.济阳拗陷沾化地区断裂特征及其与成藏要素和油气分布的关系[J].油气地质与采收率,2012,19(2):1-4.
Fang Xuqing, Jiang Youlu, Shi Dishu. Relationship between characteristics of faults and hydrocarbon distribution in Zhanhua area, Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 1-4.
- [2] 杨贵丽.青东凹陷走滑构造对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2014,21(5):18-21,26.
Yang Guili. The strike slip structure and its influences on the formation of petroleum reservoir in Qingdong sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 18-21, 26.
- [3] 吴智平,李伟,任拥军,等.济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J].地质学报,2003,77(2):280-286.
Wu Zhiping, Li Wei, Ren Yongjun, et al. Basin evolution in the Mesozoic and superposition of Cenozoic basin in the area of the Jiyang depression [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 280-286.
- [4] 吴智平,李伟,郑德顺,等.沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J].高校地质学报,2004,10(3):405-417.
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*, 2004, 10(3): 405-417.
- [5] 吴国强, 吕修祥, 周心怀, 等. 新生代郯庐断裂活动在莱州湾地区的响应[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(4): 407-413.
Wu Guoqiang, Lü Xiuxiang, Zhou Xinhuai, et al. Response of Cenozoic Tan-Lu fault activity in Laizhou Bay area, Bohai Sea [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(4): 407-413.
- [6] 罗霞, 朱筱敏, 方旭庆, 等. 济阳拗陷地震泵作用与新近系大油田高效形成[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2014, 38(2): 32-37.
Luo Xia, Zhu Xiaomin, Fang Xuqing, et al. Relationship between seismic pumping and big oilfield formation of Neogene in Jiyang depression [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2014, 38(2): 32-37.
- [7] 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(1): 1-10.
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): 1-10.
- [8] 张善文, 王永诗, 彭传圣, 等. 网毯式油气成藏体系在勘探中的应用[J]. *石油学报*, 2008, 29(6): 791-796.
Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Peng Chuansheng, et al. Application of fault-fracture mesh petroleum plays in exploration [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(6): 791-796.
- [9] 张善文, 王永诗, 姜素华, 等. 网毯式油气成藏体系仓储层运移机理研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(3): 476-482.
Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Jiang Suhua, et al. Study on oil migration mechanism in storage layer of meshwork-carpet type hydrocarbon reservoir system [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(3): 476-482.
- [10] 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.
- [11] 方旭庆. 胜利油区新近系整装油田翼部的油气分布规律——以孤东油田为例[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(4): 45-47.
Fang Xuqing. Distribution characteristics of oil and gas at the wings of Neogene integral oilfields in Shengli petroliferous province-taking Gudong oilfield as an example [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(4): 45-47.
- [12] 褚庆忠, 武泽, 王连进, 等. 多类型河流体系沉积模式及对油气的控制作用[J]. *特种油气藏*, 2014, 21(3): 23-27.
Chu Qingzhong, Wu Ze, Wang Lianjin, et al. Control of multi-type river sedimentary models on oil and gas [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2014, 21(3): 23-27.
- [13] 宋国奇, 朱光, 周祖翼. 郯庐断裂带演化对两侧盆地石油地质条件的控制与影响[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 102-106.
Song Guoqi, Zhu Guang, Zhou Zuyi. Tanlu fault zone control of the petroleum geological conditions on both sides of the basin evolution and influence [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 102-106.
- [14] 杨庆道, 郭朝斌, 王伟锋, 等. 楚雄盆地扭动构造及其演化[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(6): 15-21.
Yang Qingdao, Guo Chaobin, Wang Weifeng, et al. Wrench structure and evolution sequence in Chuxiong basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(6): 15-21.
- [15] 方旭庆, 林会喜, 王智帮. 垦东凸起“陀螺式”演化与油气分布[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 22(4): 13-16.
Fang Xuqing, Lin Huixi, Wang Zhibang. Gyro-type tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kendong uplift [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2007, 22(4): 13-16.
- [16] 张友, 南山, 王玉秀, 等. 隐伏走滑断层特征及其对油气成藏的影响——以渤海海域蓬莱13—14地区为例[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(6): 26-29.
Zhang You, Nan Shan, Wang Yuxiu, et al. Buried strike-slip fault feature and effect on hydrocarbon reservoir forming in Penglai 13-14 area [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(6): 26-29.
- [17] 杨贵丽. 渤海海域辽东东地区油气成藏条件分析[J]. *特种油气藏*, 2014, 21(4): 76-79.
Yang Guili. Analysis on oil/gas reservoir-forming conditions in eastern Liaodong region, Bohai Sea [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2014, 21(4): 76-79.
- [18] 郝雪峰, 尹丽娟. 陆相断陷盆地油气差异聚集模式探讨——成藏动力、输导、方式的关系[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(6): 1-5.
Hao Xuefeng, Yin Lijuan. Discussion on hydrocarbon differential accumulation mode in continental rift basins—relationship of dynamics, conduit and pattern [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(6): 1-5.
- [19] 方旭庆, 蒋有录, 罗霞, 等. 渤南洼陷 E_2/E_3 不整合样式及油气运聚特征[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2013, 28(2): 11-14.
Fang Xuqing, Jiang Youlu, Luo Xia, et al. Modes of E_2/E_3 unconformity and feature of hydrocarbon migration and accumulation in Bonan sag [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2013, 28(2): 11-14.
- [20] 方旭庆, 蒋有录, 罗霞, 等. 济阳拗陷断裂演化与油气富集规律[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(2): 21-27.
Fang Xuqing, Jiang Youlu, Luo Xia, et al. Relationship between faults evolution and hydrocarbon enrichment in Jiyang depression [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2013, 37(2): 21-27.
- [21] 彭存仓. 沾化凹陷断层活动性及其叠合特征[J]. *油气地质与采收率*, 2009, 16(5): 37-39.
Peng Cuncang. Analysis of fault activity and structural type in Zhanhua depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2009, 16(5): 37-39.
- [22] 卢浩, 蒋有录, 刘华, 等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(2): 5-8.