

济阳坳陷沾车地区义东断裂带走滑构造特征及其控藏作用

曹默雷¹,陈书平¹,刘雅利²

(1.中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249;

2.中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东 东营 257015)

摘要:济阳坳陷沾车地区义东断裂带走滑构造特征及其控藏作用不明,制约着该区油气勘探。综合地震、测井、钻井等资料开展义东断裂带走滑构造特征分析,并在此基础上评价走滑断裂对油气成藏的控制作用。结果表明:义东断裂走滑特征明显,主断层(义东断层)及其伴生次级断层呈锐角或近直角斜交,平面上呈“入”字型,主断层与两侧的平行断层呈NEE—NE向雁行式展布;剖面上,主断层面陡峭,伴生的次级断层断至主断层面上,形成负花状构造,且具有窄而深的半地堑式构造。义东断裂带控制陡坡带发育多期次、多类型的砂砾岩扇体,断裂多期次活动形成了一系列沿着断层分布的NE向雁列式断块、断鼻及断背斜圈闭,义东断裂主要对油气运移起侧向封堵和垂向输导作用,控制油气沿义东断裂带呈条带状展布。

关键词:走滑构造特征 控藏作用 义东断裂带 沾车地区 济阳坳陷

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Strike-slip structure characteristics of Yidong fault zone and its influence on the hydrocarbon accumulation in Zhanche area, Jiyang Depression

CAO Molei¹, CHEN Shuping¹, LIU Yali²

(1.State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum(Beijing), Beijing

City, 102249, China; 2.Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield

Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: The strike-slip structure characteristics of Yidong fault zone and its influence on the hydrocarbon accumulation is unclear in Zhanche area of Jiyang Depression, which restricts the oil and gas exploration in this area. To solve this problem, the strike-slip structure characteristics of Yidong fault zone in Zhanche area were analyzed based on data of seismic, logging and drilling, and the effect of strike-slip faults on hydrocarbon accumulation was evaluated. The result shows that the faults in Yidong fault zone have typical strike-slip characteristics as follows: ① in the plane, the main fault (F1) is intersected by its associated secondary faults (NWW) with acute or right angle, presenting the shape of “入”; while the main fault and its parallel faults in the two sides distribute in NEE-NE direction, presenting an en-echelon form; ② in the vertical, the main fault has steep fault plane and the associated secondary faults are broken up to showing minus flower structure figure in seismic section, which leads to the formation of narrow and steep half grabens. The Yidong fault zone controls the development of multi-stage and multi-type sandy conglomerate fans and NE-direction distributed fault block, fault nose and fault-related anticline traps. The Yidong fault seals the hydrocarbon laterally but acts as paths for hydrocarbon vertical migration, which results in the belt-like hydrocarbon distribution characteristic along the fault zone.

收稿日期:2018-07-11。

作者简介:曹默雷(1994—),男,山东东营人,在读硕士研究生,从事含油气盆地分析方面的研究。联系电话:18813195105, E-mail:1064712996@qq.com。

通讯作者:陈书平(1965—),男,山东胶南人,教授,博士。联系电话:(010)89731882, E-mail:Csp21c@163.com。

Key words: strike-slip structure characteristics; controlling effect on hydrocarbon accumulation; Yidong fault zone; Zhanche area; Jiyang Depression

济阳拗陷发育垦东、孤东、长堤和埕东等多条NE向走滑断裂带,这些走滑断裂带控制着油气的富集^[1-10]。济阳拗陷沾车地区义东断裂带作为义和庄凸起和四扣洼陷的NE向边界断裂带,控制着义东油田的沉积、储层及油藏分布^[11-13]。前人对济阳拗陷东部多条NE向断裂带走滑构造特征及其控藏作用进行了详细的论述,但对盆地中部义东断裂带的走滑特征及其对油气成藏的控制作用等方面研究薄弱。笔者利用地震和钻井等资料,结合油藏精细解剖,分析义东断裂带平面及剖面走滑构造特征,探讨其对储层、圈闭及油气运聚的控制作用,一方面对于指导义东地区的勘探部署,实现该区的增储上产具有重要的实际意义,另一方面对于完善济阳拗陷中西部NE向走滑断裂带控藏作用具有重要的理论意义。

1 区域地质概况

义东断裂带处于义和庄凸起和四扣洼陷的交界处,是由NE向义东主断层与近EW向次级断层控制形成的复杂构造带^[11]。义东断层向南与义南断层相交,向北东倾伏于四扣洼陷北部。义东地区自下而上发育太古界、古生界、中生界、古近系沙河街组 and 东营组、新近系馆陶组和明化镇组及第四系,断层两盘地层差异很大,上升盘缺失大段地层,成为隆起区,下降盘沉积了巨厚沉积物,成为洼陷区。沙四段和沙三段是义东地区目前发现的主要储层,以近岸水下扇、远岸浊积扇和滩坝等沉积微相为主^[12]。与义东断裂带相邻的四扣洼陷沙四段和沙三段是研究区主要的烃源岩。截止到2017年底,义东地区已发现油气储量约为 $2\ 000\times 10^4$ t,油藏类型以构造和构造-岩性油藏为主。

2 走滑构造特征

受郯庐断裂走滑活动影响,济阳拗陷发育多条走向与其平行具有走滑性质的NE向断裂带^[2,5,14-15],作为郯庐断裂的次级断裂,义东断裂带走滑构造特征明显。

2.1 平面特征

平面上,义东断裂带主要由1条主断层(F1断层,即义东断层)及其东侧、西侧平行断层(F2和F3

断层)和近垂直或斜交的调节断层(F5和F6等断层)组成(图1),深浅部断层发育有所不同。主断层规模最大,沿走向延伸约20 km,贯穿南北,在研究区西南端沿NNE方向延伸,北部呈NE向展布,控制整个研究区的构造发育;主断层两侧平行断层规模较大,总体呈NE走向,延伸约6~10 km;与主断层近乎垂直相交或斜交的调节断层规模较小,多呈NW—NWW向分布,此类断层数量最多,主要分布在研究区的中部和北部,其发育和活动特征都受控于NE向断层。

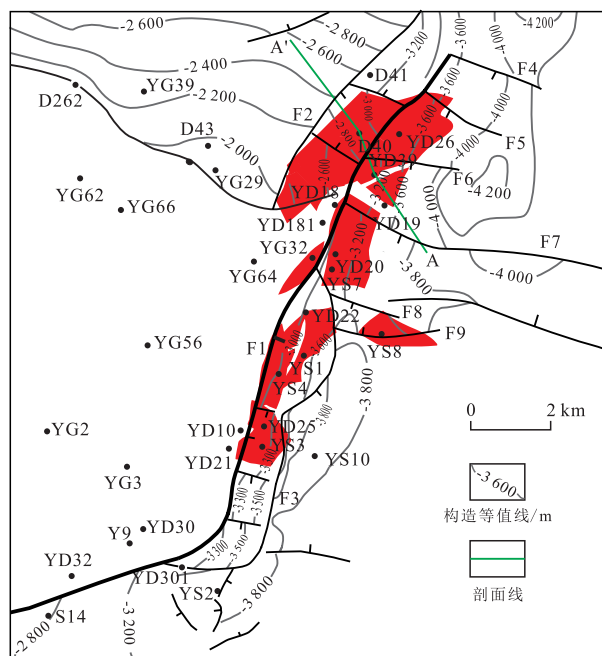


图1 义东断裂带T₆地震反射层构造纲要

Fig.1 Structural outline of T₆ in Yidong fault zone

2.2 剖面特征

剖面上,NE向断层(F1,F2和F3断层)及其次级断层构成了典型的“y”字型和反“y”字型组合样式。F1断层倾角为 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$,断面相对平直,上陡下缓,略显凹形(图2),断层活动时间长,切穿上部古近系和盆地基底;F2断层倾向东南,产状与F1断层基本一致,与F1断层组成窄而深的半地堑构造样式;F6断层倾向西北,活动时间相对较短,发育于孔店组沉积时期,在明化镇组沉积时期停止活动,与次级断层在剖面上构成“y”字型组合样式。

义东断裂带具有明显的走滑构造特征,具体表现在:平面上,主断层(义东断层)及其伴生构造呈“入”字型,主断层清晰可见,成为“入”字的主要分支,次级断层与主断层呈锐角或近直角斜交,成为

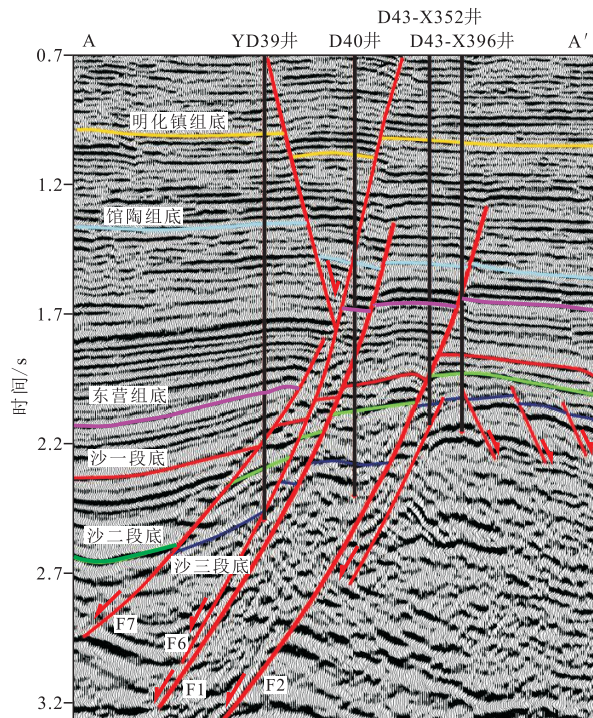


图2 义东断裂带过YD39—D40井地震剖面
Fig.2 Seismic section crossing Well YD39—Well D40 in Yidong fault zone

“入”字的另外一个分支；主断层与两侧的平行断层呈NEE—NE向雁行式展布。剖面上，主断层上、下贯通，向上切穿古近系—新近系沉积盖层，向下断至基底，断层面陡峭，次级断层断至主断层面上，从而在剖面上形成负花状构造；具有窄而深的半地堑式构造。这些特征均表明义东断裂带具有成熟型走滑断裂特征^[2]。

3 控藏作用分析

义东断层及其次级断层的持续活动，不但提高了排烃效率，而且为油气纵向运移提供了通道，一方面使油气通过断层向义和庄潜山运移，另一方面通过断层向上部、侧向的沙河街组储层运移，从而使油气在义东断裂带多套层系成藏。

3.1 油藏发育特征

义东断裂带油藏类型多样，油气在平面上沿义东断裂带呈条带状分布，在垂向上呈现多层叠置的分布特征。

3.1.1 油藏类型

义东断裂带断距较大，并伴生多个台阶断层，断裂带向东发育多条东西向小断层和沟道。义东断裂带沙河街组为在此背景下发育的岩性、构造—岩性油藏，以岩性油藏为主。沙四段油气成藏特征表现为南部断阶带以礁灰岩为储层形成岩性油藏，

北部以碎屑岩为储层形成构造—岩性油藏。沙三段发育小规模近岸水下扇、浊积扇构造—岩性油藏和浊积水道砂体岩性油藏。沙二段发育扇三角洲和砂质滩坝，常形成构造—岩性油藏。此外，义东断裂带至少由2条或2条以上的东北向断层组成，从而在该带形成一系列NE向的断阶潜山，具有非常大的勘探潜力，如YD11井区油藏即为上古生界潜山油藏。

3.1.2 油藏分布

义东断裂带油藏垂向上自下而上主要分布在沙四段、沙三段和沙二段，部分沙一段也有油气显示。沙四段南部断阶带发育的礁灰岩与北部的水下扇、扇三角洲砂体是良好的储层。受断层和储层的共同控制，平面上，已发现油藏主要在研究区中部的YS3和YS1以及北部的义古32和D40等区块，多位于义东断层的下降盘，总体呈NE向展布；另外，沙四段预测储量分布在研究区的中南部，呈现连片展布的特点。沙三段探明的油藏主要分布在YS4和YS8区块，YS30，YS301，YS3，YD22，YD20，YD19和YD26等多口井在沙三段也有较好的油气显示，预测油气沿义东断层呈条带状展布。沙二段构造—岩性油藏分布范围较小，主要分布在D40，D41，YD39，YD24，YS8和YD34等区块。

3.2 控藏作用

走滑构造带常是油气富集的有利区带^[3,7,16-18]，在控制储层分布、改善储层物性、控制圈闭发育和影响油气运聚等方面起到重要的作用。

3.2.1 储层

古近系沙河街组沉积时期，义东断层断距为700~1 000 m，造成上升盘（义和庄凸起）与下降盘（四扣洼陷）的高差较大，为陡岸、近岸扇的形成提供了条件，义东陡坡带发育多期次、多类型的砂砾岩扇体，砂砾岩扇体逐层超覆退积于断面之上，主要碎屑岩沉积类型为浊积扇型水下扇、浊积水道和近岸水下扇。沙四段上亚段沉积时期，在南部断阶上发育厚层礁灰岩储层，在断阶下有利部位则发育滩坝砂体。

义东断层及其伴生的次级断层的切割使近岸水下扇或扇三角洲砂体构造裂缝发育，地下水的活跃使溶蚀孔洞较易产生，从而改善砂体的储集性能，造成油气沿断裂带富集。

3.2.2 圈闭

义东断裂带南北构造差异明显。南部以狭窄的二台阶断层过渡至四扣洼陷；北部F3断层逐渐消亡，义东断层与NW向—近EW向次级断层组成帚

状断裂体系。南部以断块圈闭为主,北部主要发育断鼻和断背斜圈闭,这些构造沿着走滑断层分布,是研究区主要的圈闭类型。具体表现为:义东断裂带南部近似平行的2条NE向断层F1和F3与伴生的近EW向次级断层以及断裂带北部的F1和F2断层与近EW向小断层分别在断层上盘、下盘形成了一系列NE向的雁列式断块;在断裂带北部上盘,F1与近NE向次级断层形成了断鼻构造。

3.2.3 油气运聚

走滑断裂对济阳坳陷的油气运聚成藏具有重要的控制作用^[1-3,7,10,17-18]。义东断裂带的油气主要来源于东侧渤南洼陷和四扣洼陷的沙四段、沙三段烃源岩,根据沾化凹陷有机质热演化及主要烃源岩的生烃研究,烃源岩基本从东营组沉积晚期开始逐步大量生排烃,馆陶组和明化镇组沉积时期达到最大^[11]。通过分析研究区主要断层的活动速率发现,义东断层从孔店组沉积时期开始活动,沙三段—沙二段沉积时期活动最为强烈,在沙一段—东营组沉积时期活动性开始减弱,进入馆陶组沉积时期之后断层活动趋于停滞。因此,义东断裂对油气运移主要起侧向封堵和垂向输导作用。

以研究区北部的YD39—D40块为例,受义东断层的侧向封堵及其次级断层的切割,烃源岩生成的部分油气经过近距离运移至沙四段、沙三段储层聚集成藏,形成构造油气藏;部分油气沿断层在垂向上进行较长距离的运移,在沙二段储层形成构造-岩性油气藏。油气沿义东断裂带呈条带状展布(图1,图3),具有侧向封堵、垂向输导、复式成藏的特征。

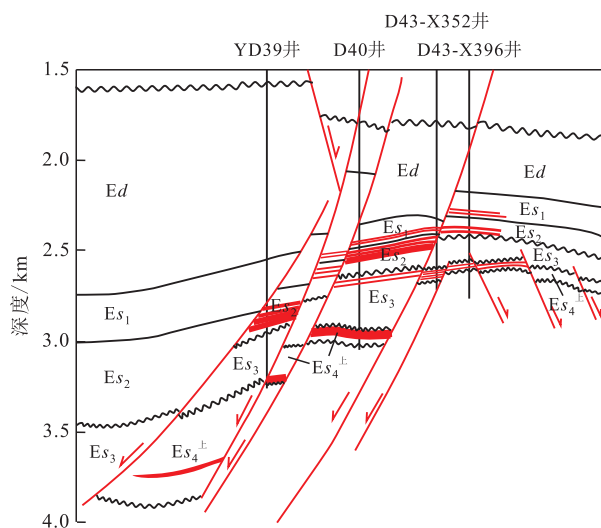


图3 义东断裂带北西向油藏剖面

Fig.3 NW-direction reservoir profile of Yidong fault zone

在义东断裂带油气控藏理论的指导下,成功发

现了YS1,YS3,YS7和YD26区块等构造和构造-岩性油藏。其中,YD22井于沙四段获得日产油量为56.2 t/d,YD25井钻遇沙三段油层7.6 m,YS7井和YD26井分别钻遇沙四段油层66和56 m,均获工业油流,取得了较好的勘探成果。

4 结论

义东断裂带具有明显的走滑构造特征:平面上,主断层与两侧的平行断层呈NEE—NE向雁行式展布;剖面上,主断层上、下贯通,断层面陡峭,伴生的次级断层断至主断层面上,从而在剖面上形成负花状构造,具有窄而深的半地堑式构造。

义东断裂带控藏作用显著。油气在平面上沿义东断裂带呈条带状分布,在垂向上呈现多层叠置的特征。义东断层及其伴生的次级断层的切割使近岸水下扇或扇三角洲砂砾岩体构造裂缝发育,改善了储集性能;义东断裂多期次活动形成了大量沿着断层分布的断块、断鼻及断背斜等圈闭;义东断裂带对油气运移主要起到侧向封堵和垂向输导作用,控制了油气的运移与聚集。

参考文献:

- [1] 唐大卿,余光春.沾化凹陷四扣洼陷区断裂系统及其对油气的控制作用[J].南方油气,2006,19(1):15-19.
TANG Daqing, YU Guangchun. Fault systems effecton on oil-gas migration in Sikou Subsag zone [J]. Southern Oil and Gas, 2006, 19(1):15-19.
- [2] 余朝华.渤海湾盆地济阳坳陷东部走滑构造特征及其对油气成藏的影响研究[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2008.
YU Zhaohua. Study of strike-slip structure feature and its influence on the hydrocarbon accumulation in east Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2008.
- [3] 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.
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.
- [4] 张明振,付瑾平,印兴耀,等.桩海地区的走滑和挤压构造特征[J].油气地质与采收率,2006,13(2):5-7.
ZHANG Mingzhen, FU Jinping, YIN Xingyao, et al. Characters of strike-slip and extrusion structure in Zhuanghai region [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(2):5-7.
- [5] 胡贤根,谭明友,张明振.济阳坳陷东部走滑构造及其形成机制[J].油气地质与采收率,2007,14(5):42-45.
HU Xiagen, TAN Mingyou, ZHANG Mingzhen. Strike-slip struc-

- tures and their forming mechanism in the eastern Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(5):42-45.
- [6] 曹高社, 毕磊, 余朕朕, 等. 济阳坳陷东北部埕东断层构造特征及演化过程[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(4): 422-428.
CAO Gaoshe, BI Lei, YU Zhenzhen, et al. Characters and its evolutionary process of Chengdong fault in the northeast of Jiyang depression [J]. *Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science*, 2012, 31(4): 422-428.
- [7] 究鹏, 王六柱, 余朝华, 等. 济阳坳陷垦东走滑断裂构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 100-107.
YAN Peng, WANG Liuzhu, YU Zhaohua, et al. Strike-slip structural feature and its influence on the hydrocarbon accumulation in Kendong Area, Jiyang Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(1): 100-107.
- [8] 曹高社, 毕磊, 彭传圣, 等. 济阳坳陷东部长堤走滑断裂带构造特征及演化过程[J]. 地质科学, 2014, 49(4): 1 059-1 069.
CAO Gaoshe, BI Lei, PENG Chuansheng, et al. Characters of Changdi fault in the east of Jiyang depression and its reconstruction process [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2014, 49(4): 1 059-1 069.
- [9] 余朝华, 黄超, 祁成祥, 等. 济阳坳陷东部垦东-孤东潜山带走滑断层特征与成因分析[J]. 石油物探, 2013, 52(3): 301-306.
YU Zhaohua, HUANG Chao, QI Chengxiang, et al. Strike-slip fault characteristics and their forming mechanism in Kendong-Gudong area of eastern Jiyang depression [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2013, 52(3): 301-306.
- [10] 蒋子文, 王嗣敏, 徐长贵, 等. 渤海海域辽东带中南部郯庐断裂走滑活动的沉积响应[J]. 现代地质, 2013, 27(5): 1 005-1 012.
JIANG Ziwen, WANG Simin, XU Changgui, et al. Sedimentary response to the strike-slip activities of Tan-lu Fault in central and southern parts of East Liaodong Bay Area in Bohai Sea [J]. *Geoscience*, 2013, 27(5): 1 005-1 012.
- [11] 吕优良, 刘雅利, 汤达祯, 等. 义东油田义东断裂带成藏规律分析[J]. 科技导报, 2013, 31(15): 52-55.
LÜ Youliang, LIU Yali, TANG Dazhen, et al. Reservoir patterns of Yidong Fault Zone in Yidong Oilfield [J]. *Science & Technology Review*, 2013, 31(15): 52-55.
- [12] 张善文, 王永诗, 纪友亮. 义东地区陡岸扇体沉积特征及相模式[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 41-45.
ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, JI Youliang. Sedimentary characteristic and facies model of the fan body on the abrupt slope in Yidong region [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997, 24(2): 41-45.
- [13] 束宁凯, 汪新文, 王金铸, 等. 义和庄地区潜山内幕构造演化特征及其控藏作用[J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(3): 25-29.
SHU Ningkai, WANG Xinwen, WANG Jinzhu, et al. Tectonic evolution characteristics of inner buried hills in Yihezhuang area and its controlling effect on the hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(3): 25-29.
- [14] 刘朝露, 夏斌. 济阳坳陷新生代构造演化特征与油气成藏组合模式[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 209-214, 228.
LIU Zhaolu, XIA Bin. Relationship between Cenozoic tectonic evolution and plays in Jiyang Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(2): 209-214, 228.
- [15] 罗文生. 渤南洼陷断裂活动与油气成藏关系研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2007.
LUO Wensheng. Study on the relation between fault activity and hydrocarbon accumulation in Bonan depression [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2007.
- [16] 李伟, 吴智平, 张明华, 等. 埕岛地区中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(1): 1-6, 11.
LI Wei, WU Zhiping, ZHANG Minghua, et al. Development characteristic of Mesozoic and Cenozoic faults and its control over deposition in Chengdao area [J]. *Journal of China University of Petroleum: Natural Science Edition*, 2006, 30(1): 1-6, 11.
- [17] 彭文绪, 张志强, 姜利群, 等. 渤海西部沙垒田凸起区走滑断层演化及其对油气的控制作用[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 204-212.
PENG Wenxu, ZHANG Zhiqiang, JIANG Liqun, et al. Evolution of strike-slip faults in the Shaleitian bulge of the western Bohai offshore and their control on hydrocarbons [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(2): 204-212.
- [18] 付晨阳, 汤良杰, 曹自成, 等. 塔中北坡走滑断裂横向变形差异及其油气地质意义[J]. 石油实验地质, 2017, 39(6): 783-789.
FU Chenyang, TANG Liangjie, CAO Zicheng, et al. Lateral deformation difference of strike-slip faults on the northern slope of Tazhong uplift and its control on petroleum geology [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(6): 783-789.