

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0304

董冬, 向龙斌, 程建莉, 等. 曲堤断鼻应力成因机制及对构造和油气的控制作用[J]. 地质科技情报, 2017, 36(3): 27-32.

曲堤断鼻应力成因机制及对构造和油气的控制作用

董冬¹, 向龙斌², 程建莉¹, 牛富玲¹, 张卫海³, 初启龙¹

(1. 中国石化胜利油田鲁明油气勘探开发有限公司, 山东 东营 257000; 2. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074;
3. 中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580)

摘要: 曲堤断鼻是济阳拗陷一个大型中浅层富油断鼻构造, 受张、扭、拱应力复合作用形成。古近纪以来 NW 向拉张应力和 NE 向右旋走滑扭应力持续作用使其在基底鼻形背景上形成 NE 走向的“两阶两垒夹一堑”构造格局, 古近纪晚期以来叠加的基底块体差异性拱张又使其形成 NW 向地垒型“鼻脊带”。不同应力机制对油气有不同控制作用, 张应力作用下断鼻主体区断层活动弱但油气丰度高, 东西两翼断层活动强但油气丰度低; 扭应力作用下断层压扭段附近油气富集, 张扭段附近含油性变差; 拱张应力作用使油气作垂向大幅疏导从而形成系列新断块圈闭并形成“鼻脊区”最有利聚油场所。断鼻内不同构造部位因应力作用不同而形成不同构造单元并具有不同含油气丰度特征, 约 95% 已探明储量赋存于张扭形成的“两阶两垒夹一堑”断鼻主体区内, 其中近 60% 已探明储量又富集于基底上拱“鼻脊区”, 显示构造高部位是控油的主要因素。

关键词: 曲堤; 断鼻; 应力机制; 走滑作用; 油气分布

中图分类号: P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2017)03-0027-06

曲堤断鼻是济阳拗陷内一个面积在 100 km² 以上的大型鼻状构造, 其地理上位于山东省济阳县曲堤镇和唐庙乡境内, 构造上发育于惠民凹陷南斜坡东段曲堤地垒背景, 南北分别被曲堤断层和夏口断层围限(图 1)。断鼻 NE 向长约 17 km, NW 向宽约 8 km, 含油层系纵跨古近系沙四下、沙四中、沙四上、沙三段和新近系馆陶组, 油层埋深 1 100~2 300 m, 含油高度达 1 200 m, 探明储量 3 000 多万吨, 形成胜利油田著名的大型中浅层富油构造。研究其应力成因机制、揭示应力机制对构造单元及油气分布控制规律, 对该区深化勘探具有重要推动意义, 对深化东部断鼻控油模式研究具有参考价值。

1 断鼻形成的应力机制

前人未对曲堤断鼻构造应力成因做过专门研究, 一般认为系在断陷盆地演化背景上拉张形成。近期系统构造研究发现, 其在基底鼻形背景上的古近系、新近系断鼻除受明显的拉张作用控制外, 内部还发育典型的走滑和基底拱张构造形迹, 说明断鼻的形成实际受控于张(拉张)、扭(走滑)、拱(拱张)3 种构造应力的联合作用。

1.1 拉张机制

研究区主要断层(包括南界曲堤断层、北界夏口断层、内部曲 9、曲 10、曲 104 等三级断层)均为典型的 NE 向同生断层, 并在断鼻不同部位控制了次级断阶、地堑、地垒带的形成和展布(图 1), 呈现出与古近纪以来济阳拗陷和惠民凹陷一致的 NW 向拉张背景^[1-3], 表明断鼻的形成主要受控于拉张应力作用。

1.2 走滑机制

近年来济阳拗陷内越来越多的走滑形迹得到讨论和确认^[4-9], 揭示出东界断裂——郟庐断裂新生代以来的右旋走滑对断陷成盆的广泛影响。在拗陷东部, 曾先后识别出八面河、孤东、垦东和长堤 NEE 向走滑断层; 在拗陷西部, 南界齐广断裂、临商帚状断裂体系也都被确认具走滑性质, 与曲堤断鼻相关的夏口断层、曲堤断层也被明确具走滑性质。本研究进一步发现, 曲堤断鼻区存在多种走滑证据, 包括典型的雁列断层和褶皱组合、中央张扭地堑带典型的“负花状构造”以及多数断面陡峭乃至近直立等(图 2), 与前述区域走滑背景一起说明曲堤断鼻在其古近纪以来的形成过程中伴随了重要的走滑作用。

1.3 拱张机制

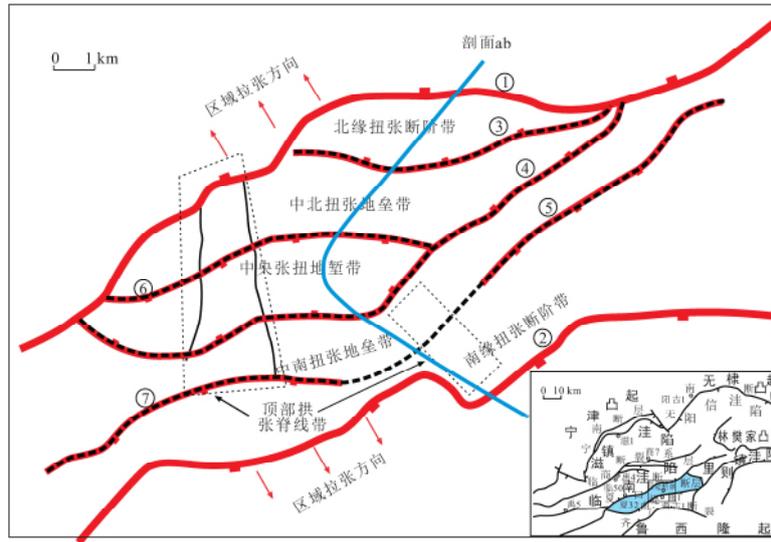
断鼻内部沿曲 104-x4、曲 104-x3、曲 104-x7、曲

收稿日期: 2016-05-25

编辑: 杨勇

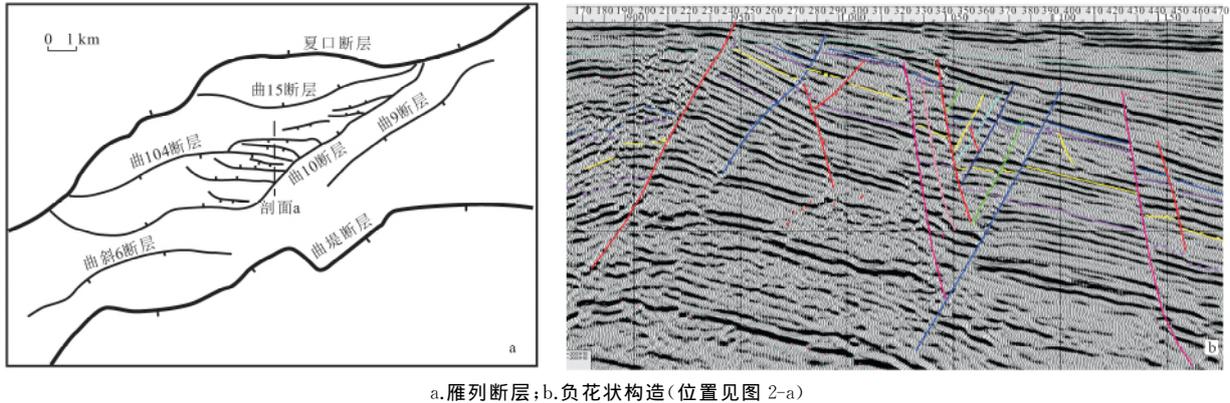
作者简介: 董冬(1964—), 男, 高级工程师, 主要从事复杂隐蔽油气藏勘探开发研究工作。E-mail: sddydd@163.com

通信作者: 向龙斌(1964—), 男, 教授, 主要从事油气勘探开发技术创新与资源型企业经营管理研究工作。E-mail: xianglb@cug.edu.cn



①夏口断层;②曲堤断层;③曲15断层;④曲10断层;⑤曲9断层;⑥曲104断层;⑦曲斜6断层
图1 曲堤断鼻区断裂体系及构造单元纲要图(附构造位置)

Fig.1 Outline map of fault system & structure units in Qudi faulted nose area(with tectonic setting)

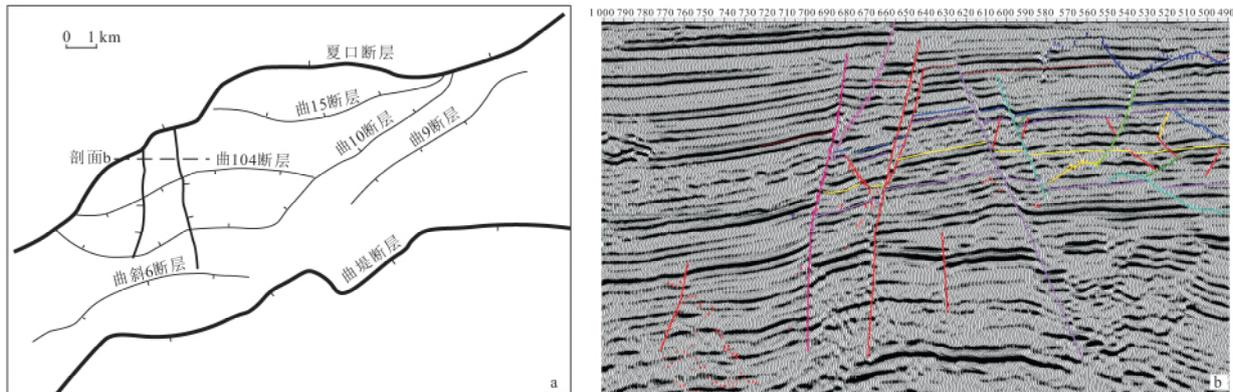


a.雁列断层;b.负花状构造(位置见图 2-a)
图2 曲堤断鼻内的雁列断层及负花状构造

Fig.2 En echelon faults and the minus flower structure in the Qudi faulted nose

105 断块一线发育了一条长达 7 km、近 NS 走向的地垒,构成断鼻内一重要“鼻脊”。该地垒东西两侧受“八字型”下掉的断层夹持,向下切穿中生界并部

分切入古生界基底,向上切穿古近系并部分切入新近系,虽纵向延伸长但断距只 20~120 m,两盘几乎无明显厚度差,与中生界基底块体完全一致的叠置



a.拱张断层与“鼻脊”分布位置图;b.拱张断裂地震响应(剖面位置见图 3-a)
图3 曲堤断鼻内拱张断裂

Fig.3 Arching fault system in Qudi faulted nose

关系(图3)表明,该地垒系断鼻形成中后期(应属古近纪晚期)由中生界基底块体性拱张形成。在断鼻高部位“鼻脊”区(曲8~曲9断块高部位连线区)也局部存在类似的拱张形迹,揭示断鼻内其他“鼻脊”也受基底拱张作用的影响,中晚期基底块体的拱张具有一定的普遍性和差异性。

上述分析表明,曲堤断鼻在古近纪早中期始终受控于NW向拉张应力和右行走滑扭应力的联合作用,但在中晚期(古近纪末)叠加了基底块体的垂向拱张作用。张、扭、拱3种力学机制共同控制了断鼻的形成、发育和定型。

2 应力机制对构造单元的控制

受张、扭、拱3种应力机制作用,曲堤断鼻形成“两阶两垒夹一堑附两脊”的构造格局(图1)。其中“两阶两垒夹一堑”为古近纪早中期由扭、张联合作用形成,附属的“两脊”属古近纪中晚期基底块体差异性拱张作用形成。

2.1 北缘扭张断阶带

即断鼻最北端“鼻尖”部位的曲15块顺向断阶带。夏口断层在此弯曲分叉,形成一东西长6.5 km、南北宽2 km的“纺锤形”顺向断阶带,内部发育多条顺向断层,并在东侧形成不典型的“右行雁列”断层组合,指示该带在拉张为主的背景上发生了微弱的NE向走滑。

2.2 中北扭张地垒带

即北缘扭张断阶带南侧的NEE向曲104~曲10块地垒带,南北分别被南掉的曲104~曲10北断层和北掉的夏口~曲15断层所夹持,长12~14 km,宽0.5~2 km。东部末端见“右行雁列”断层组合,表明存在一定的走滑作用。

2.3 中央张扭地堑带

即由断鼻中心区域的曲102、曲104-x3、曲104-x7、曲104-x8等断块区组成的、向北微凸的NEE向“地堑带”或“塌陷带”,长约10 km、宽约1.8 km,南北分别被北掉的曲10断层和南掉的曲104断层所夹持,内部发育系列近EW向北掉断层,平面上具备典型的“右行雁列”断层组合,剖面存在典型的“负花状构造”特征,是断鼻内走滑特征最强的单元,指示发生过较强的走滑活动。

2.4 中南扭张地垒带

即中央张扭地堑带南侧的曲9~曲103块地垒带。受北掉的曲10断层和南掉的曲9断层控制,地垒带长约16 km、宽约1.5 km,呈NE向展布。该带东段(曲103块)向NW倾伏,内部被系列走向低序级断层切割为局部垒、堑及断阶构造;中段(即曲9-

21断块区所在的最高部位)发育一以NS向低序级断层为主的、面积约1.5 km²的方形“塌陷”组合,推测系基底块体拱张后撤离所致;东段作简单的NE向倾伏,南侧零星发育与曲9断层垂直交切的NWW向低序级断层,北侧零星发育与曲10断层交切的雁列式微断裂组合,表明也承受了微弱的右行走滑和基底拱张作用。

2.5 南缘扭张断阶带

即断鼻最南侧“鼻根”部位的曲9~曲105断阶带。受南掉的曲9断层和南掉的曲堤断层夹持控制,该带长约15 km、宽约2.5 km,总体呈NE向展布。与北缘“顺向断阶”特征不同,该断阶地层虽也呈北倾,但与断层形成“反掉”组合,反映出惠民凹陷南斜坡总体北倾背景对断鼻“鼻根”、“鼻尖”等部位的总体控制作用。

2.6 顶部拱张脊线带

曲堤断鼻顶部发育2条较明显的“脊线”,一条沿曲104-x4、曲104-x3、曲104-x7以及曲105断块带呈近NS向“地垒带”展布,长约7 km、东西宽1.4~2.6 km,属“地垒型”鼻脊;另一条沿曲8~曲9断块高部位呈NWW向分布,无明显拱张断层夹持,长3.5 km,宽约2 km,属“褶皱型”鼻脊。2条脊线均由古近纪中末期基底块体拱张形成。

3 应力机制对含油气性的控制

区内不同应力机制呈现出不同的控油作用。总的来看,张、扭、拱都有利于断块形成,纯张、扭张和拱张都较有利于油气输导,压扭有利于提升断面封堵性和圈闭有效性,使压扭带一侧油气富集。

3.1 纯张机制对油气的控制

研究表明纯张作用能够形成众多张性断裂,促进油气运移并形成多种圈闭^[10-14]。如海拉尔盆地中次凹在断陷期张应力下发育大量断层、节理从而促进油气运移,使地层与相关断层配置的形式多样的圈闭成为有利聚烃场所^[14]。而伴随张裂普遍存在的圈闭层“双断”及“翘倾”正是有利于油气向断块内输导并聚集的关键条件^[15]。而本区纯张机制不但形成了主要断层和大量断块,而且通过断层差异性活动引发了差异性输导进而控制了油气富集。对主要断层活动强度研究发现,断鼻主体或脊部断层活动性普遍较弱,归一化断距指数(定义为某点断距与该断层断距均值的差与断距均值的比值)一般为1.0~0.8,但油气聚集丰度却普遍较高,而断鼻侧翼(东西两翼)断层活动性普遍较强,归一化断距指数在0.12~0.62之间,油气聚集丰度却偏低(图4)。这种断层活动性与断块含油气性的负相关关系进一

步表明,断裂活动性强的区域虽有利于油气疏导但不利于油气赋存,断层强活动区背景上的“弱”活动区则是有利的聚油指向区。

3.2 扭张机制对油气的控制

扭张机制通过控制各级单元的油气地质特征进而影响不同区、不同期油气的空间分布格局^[14-16]。例如,大港油田岐口凹陷在走滑作用下断块差异性位移,拉张断陷作用与挤压抬升作用并存,形成“凹中隆”模式,利于自生自储油气成藏^[16]。辽河东部

凹陷走滑扭应力“强拧”驱赶分散油气至花状构造背斜核部,在负花状构造上升盘形成高产油气流^[17]。而研究区内右旋走滑扭应力作用通过改变弯曲断层不同部位的断面应力性质控制了油气的分布。压扭段断面正应力大、封闭性强,有利于断块油气富集;张扭段断面正应力弱、封闭性差,导致断块含油性降低。统计发现研究区内主要油气富集带多分布于压扭段一侧,而张扭段一侧含油气丰度显著降低(图5)。弯曲的张扭断层的“压扭段”是油气勘探的重要方向。

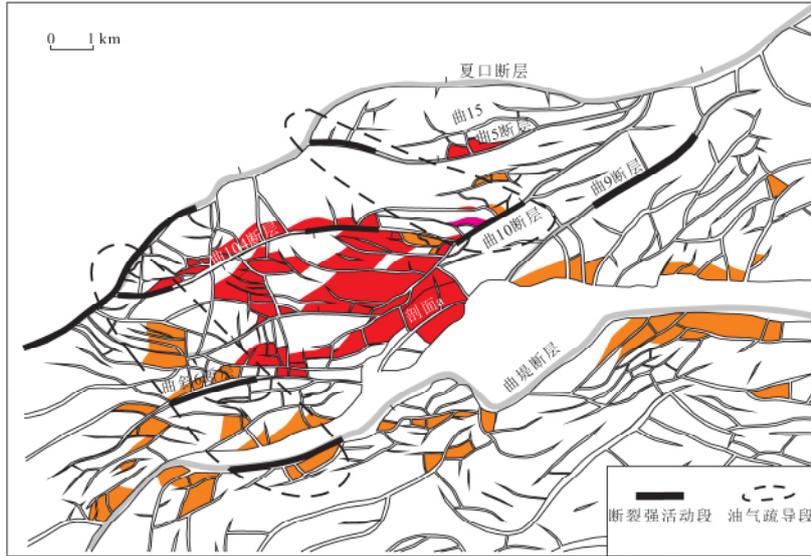


图4 曲堤断鼻张性断层活动强度与油气分布关系示意图

Fig.4 Sketch of Qudi fault nose tensile intensity and the distribution of oil

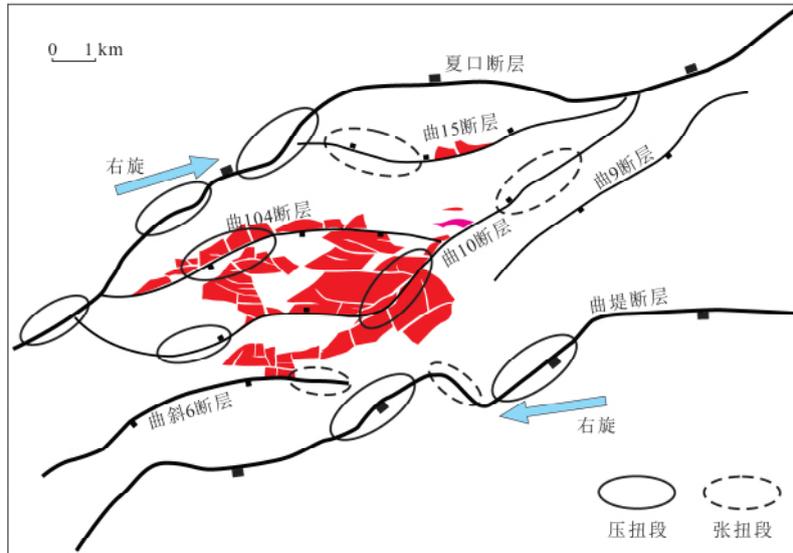


图5 曲堤断鼻断层压扭段与油气分布关系示意图

Fig.5 Sketch showing the relationship between the shearing compressive part and the oil distribution in Qudi faulted nose

3.3 拱张机制对油气的控制

拱张机制可分为与塑性岩体相关和与刚性岩体相关 2 类^[18-21]。前者如南海北部边缘盆地泥底辟、

泥火山入侵^[19],后者如苏北盆地箕状凹陷形成时经历的基底上拱^[20]。塑性拱张下形成的盐檐构造作为良好圈闭配合沟通深部烃源的盐窗作为运移通

道,成为有利的油气聚集区^[21]。区内刚性基底块体性拱张机制同样通过新生大量“墙角型”断块和加剧断鼻“鼻脊”(包括断垒型、褶皱型)的形成提供了油气聚集的最有利场所,而且通过引发油气大规模垂向运移促使多层系含油和大井段含油的有利格局。各种级别“构造脊”是油气勘探的重要方向。

4 构造单元对含油气性的控制

曲堤断鼻内不同构造单元表现出明显的含油气性差异。表 1 统计表明,断鼻内已探明油气储量($2\ 930 \times 10^4$ t,不含断鼻外夏 24~夏 37 块储量 121×10^4 t)约 95%分布于断鼻主体的“两垒夹一堑”内,南北 2 个侧缘断阶带只找到现有储量的约 5%,揭示出“断鼻主体即是富油主体,断鼻外缘含油性较差”的总体规律。而在断鼻主体区,中南扭张地垒带储量最富(占 51.43%)、中央张扭地堑带次之(占 23.36%)、中北扭张地垒带相对最“贫”(占 19.78%),表现出由南向北随构造部位降低储量减少的规律,反映出断鼻内油气分布总体受构造单元控制。“高地垒”储量是“低地垒”的 2.5 倍、两地垒带储量占断鼻主体总储量的 71%以上,以及中央张扭地堑带高部位同样富油等事实进一步印证了构造单元控油规律,表明断鼻内油气总体受构造单元控制,主体区无论地垒带还是地堑带,较高部位都是油气聚集的有利区域。

对叠加于“两阶两垒夹一堑”构造背景上的“脊部拱张带”进行了统计,发现西侧的“地垒型拱张带”和东侧的“褶皱型拱张带”探明储量分别占了断鼻总储量的 25.36%和 30.10%,合计占断鼻总储量的一半以上,同样印证了构造单元控油规律,证实中晚期拱张对油气富集的重要作用,指示断鼻主体内“构造脊”是断鼻内最有利聚油方向。

表 1 曲堤断鼻内部次级构造单元储量分布统计

Table 1 Statistics of reserves distribution in tectonic units of Qudi faulted nose

区带	断块	储量合计/区带储量	
		10^4 t	比例/%
北缘扭张断阶带	曲 15	52	1.77
中北扭张地垒带	曲 104-2、曲 104-4、曲 104-6、曲 10	580	19.78
中央张扭地堑带	曲 102、曲 104-3、曲 104-7、曲 104-8、曲 104-9、曲 104-10	658	23.36
中南扭张地垒带	曲 9、曲 103	1 507	51.43
南缘扭张断阶带	曲 8	107	3.65
断鼻内储量合计		2 930	100.00

5 结 论

(1)曲堤断鼻总体是基底鼻形背景上受拉张、走

滑、拱张 3 种应力机制或张、扭、拱 3 种应力作用形成,张、扭伴随了古近纪以来的整个过程,拱张则发生于古近纪中末期以来的中晚期。

(2)曲堤断鼻次级单元的形成受控于不同应力作用。NE 向“两阶两垒夹一堑”系扭张机制形成,中央张扭地堑带走滑作用渐强;断鼻“脊线”由基底块体差异性拱张形成,叠加形成了“两阶两垒一堑附两脊”的构造格局。

(3)不同应力机制对油气产生了不同控制作用。在张应力作用下曲堤断鼻主体断层活动性偏弱但油气富集,断鼻侧翼断层活动性较强但含油性降低,拉张断层的剧烈活动虽有利于油气疏导但不利于最终成藏。扭应力作用下弯曲断层压扭段断面封堵性好且断块油气富集,张扭段断面封堵性降低且断块含油性降低;晚期拱张应力作用下不但新生了系列断块圈闭和“构造脊”等有利聚油场所,而且促进了油气在纵向上的大跨度运移,是造成断鼻内多层系含油和 1 200 m 含油高度的重要原因。

(4)扭张作用下的断鼻主体即“两垒夹一堑”是油气最富集的区域,储量占断鼻总储量的近 95%,其中近 60%富集于晚期拱张形成的断鼻“脊部”;断鼻主体区无论地垒带还是地堑带,构造单元都是控油的最重要因素。

中国石化胜利油田分公司物探研究院崔世凌和李国栋等参与了部分构造研究,鲁明科研中心陈国栋和朱小影等参与了部分含油气性研究,在此一并表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 李丕龙.陆相断陷盆地油气地质与勘探:卷一.陆相断陷盆地构造演化与构造样式[M].北京:石油工业出版社,地质出版社,2003.
- [2] 侯贵廷,钱祥麟,宋新民.渤海湾盆地形成机制研究[J].北京大学学报:自然科学版,1998,34(4):503-509.
- [3] 王颖,赵锡奎,高博禹.济阳拗陷构造演化特征[J].成都理工大学学报,2002,29(2):180-185.
- [4] 徐义卫.八面河地区构造特征[J].石油天然气学报,2005,27(2):177-178.
- [5] 张明振,付谨平,印兴耀.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.
- [6] 李亚哲,金鑫.惠民凹陷走滑构造特征及其对油气的控制[J].海洋地质动态,2008,24(4):7-12.
- [7] 刘泽容,王孝陵,吴乃琴,等.帚状构造体系形成机制及其控油规律[J].中国石油大学学报:自然科学版,1982(3):4-16.
- [8] 胡贤根,谭明友,张明振.济阳拗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.
- [9] 池英柳,赵文智.渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集[J].石油学报,2000,21(2):14-20.
- [10] Schlische R W.Geometry and origin of fault-related folds in extensional settings[J].AAPG Bulletin,1995,79(11):1661-1678.
- [11] Faulds J E,Olson E L,Harlan S S,et al.Miocene extension and

- fault-related folding in the Highland Range, southern Nevada: A three-dimensional perspective[J]. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24(4): 861-886.
- [12] Jackson C A L, Gawthorpe R L, Sharp I R. Style and sequence of deformation during extensional fault-propagation folding: Examples from the Hammam Faraun and El-Qaa fault blocks, Suez Rift, Egypt[J]. *Journal of Structural Geology*, 2006, 28(3): 519-535.
- [13] 张莹. 伸展褶皱及其对油气聚集的控制作用: 以海拉尔盆地贝中次凹为例[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(2): 16-20, 76.
- [14] 胡素云, 蔚远江. 准噶尔盆地腹部断裂活动对油气聚集的控制作用[J]. *石油学报*, 2006, 27(1): 1-7.
- [15] 刘震, 张旺, 曹尚, 等. 断层输导作用与油气充注作用关系分析[J]. *地质科学*, 2014, 49(4): 1302-1313.
- [16] 王芝尧, 苏俊青. 走滑断裂作用对油气成藏的控制: 以岐口凹陷新生代断裂为例[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(4): 35-40.
- [17] 张延玲, 杨长青. 辽河油田东部凹陷中段走滑断层与油气的关系[J]. *地质通报*, 2006, 25(9/10): 1152-1155.
- [18] 何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 莺歌海盆地泥底辟成因、展布特征及其与天然气运聚成藏关系[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1336-1344.
- [19] 陈安定. 苏北盆地构造特征及箕状断陷形成机理[J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(2): 140-150.
- [20] 何家雄, 祝有海, 翁荣南, 等. 南海北部边缘盆地泥底辟、泥火山等特征及油气地质意义[J]. *科学*, 2012, 64(2): 15-18.
- [21] 李颖洁. 哈萨克斯坦 S 区块盐檐构造及其成藏特征研究[J]. *油气藏评价与开发*, 2011, 1(4): 16-20, 27.

Stress-Mechanism of Qudi Faulted Nose and Its Controlling on Tectonic Structure and Oil Distribution

Dong Dong¹, Xiang Longbin², Cheng Jianli¹, Niu Fuling¹, Zhang Weihai³, Chu Qilong¹

(1. Luming Oil & Gas Exploration and Development Co., Ltd.,
Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying Shandong 257000, China;

2. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;

3. China University of Petroleum (Huadong), Qingdao Shandong 266580, China)

Abstract: Qudi faulted nose is a big-faulted nose structure with rich oil in shallow layer of Jiyang sag, which was formed under the multi-stress functions including the tensional, torsional and arching. Qudi faulted nose was formed underground the continuous function of NW tensile stress and NE dextral slip torsional stress since Paleogene with a tectonic pattern of “one graben, two horsts and two fault steps”, and finally the NW “ridge zone” was formed since the late Paleogene under the “base block differential arching movement”. Different stress mechanism has different effects on oil and gas distribution. Under tension stress, the main area of the faulted nose has a weak faulting activity and an oil-enrichment and the east and west wings have a strong faulting activity with poor oil accumulation. Under torsional stress, the shearing-compressive part of the fault is favorable for oil accumulation and the shearing-tensional part is unfavorable. The arching stress made oil migrate vertically on a large scale and lead to the formation of the “ridge zone” with series of new faulted traps, that is the most ideal accumulating area. The stress function differs with tectonic parts of fault and creating different tectonic units with different accumulation characters. According to the statistic, 95% of known reserves is distributed in the two horsts and one graben units, and among which 60% is accumulated in the “ridge zone” unit, which indicates that the structural high is the most important factor for oil and gas accumulation in the Qudi faulted nose.

Key words: Qudi; faulted nose; stress mechanism; slip effect; oil distribution