

渤海湾盆地束鹿凹陷西曹固构造带

断层圈闭成因机制及定量评价

肖瑶¹, 李小冬², 郑荣华³, 刘聪¹, 赵正权⁴

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 华北油田分公司 勘探事业部, 河北 任丘 062552;
3. 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552;
4. 中国石油 华北油田分公司 第五采油厂, 河北 辛集 052360)

摘要:对渤海湾盆地束鹿凹陷西曹固构造带的断层圈闭进行了解剖, 该区断层圈闭的主要类型分为同向和反向断层型圈闭, 并通过断距的变化特征绘制出断距—距离曲线, 恢复了断层的分段生长过程, 明确了断层圈闭的成因机制。同向断层圈闭形成在断层分段生长时期的断裂带上盘区域; 反向断层圈闭形成于断层成核时期的断裂带下盘区域的分段生长点之间, 此部位也是断裂带下盘区域中断距最大的部位。在此基础上, 对断层的主要物性参数即断层与地层之间的关系(同、反向断层)、最大断距、断层倾角与走向、地层倾角、断层段长度、旋转角度等的影响进行定量分析, 建立了同、反向断层圈闭面积的模式和定量计算方法。应用晋 93 断圈进行了验证, 计算误差值仅为 2% 左右, 说明断层圈闭定量评价方法具有一定的可行性。

关键词:断层圈闭; 成因机制; 定量评价; 西曹固构造带; 束鹿凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Genetic mechanism and quantitative evaluation of fault traps in Xicaogu structural belt, Shulu Sag, Bohai Bay Basin

XIAO Yao¹, LI Xiaodong², ZHENG Ronghua³, LIU Cong², ZHAO Zhengquan⁴

(1. School of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

2. Exploration Division, PetroChina Huabei Oilfield Branch Company, Renqiu, Hebei 062552, China;

3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Huabei Oilfield Branch Company, Renqiu, Hebei 062552, China;

4. No. 5 Oil Production Plant, PetroChina Huabei Oilfield Branch Company, Xinji, Hebei 052360, China)

Abstract: The fault traps in the Xicaogu structural belt in the Shulu Sag of the Bohai Bay Basin were studied. They are mainly synthetic fault traps and antithetic fault traps. A displacement-distance curve was drawn according to the variation of displacement. In this way, the segmental growth process of faults was restored, and the genetic mechanism of faults was determined. The synthetic fault traps were developed at the segmental growth point of the hanging wall of the fault. The antithetic fault traps were developed between the segmental growth points of the head wall of the fault during fault nucleation, with the largest displacement in the head wall of the fault. Some parameters such as the correlation between faults and strata (synthetic or antithetic faults), the maximum displacement, fault dip angle and strike, stratigraphic dip angle, fault segment length and formation rotation angle were selected to quantitatively evaluate their controls on fault physical properties. A model and a quantitative calculation method for the area of synthetic and antithetic fault traps were established, and were applied in the Jin 93 fault trap. The calculated error value is only about 2%, which indicates that the quantitative evaluation of fault traps is feasible.

Key words: fault trap; genetic mechanism; quantitative evaluation; Xicaogu structural belt; Shulu Sag; Bohai Bay Basin

在裂陷盆地中, 断层圈闭是最重要的圈闭类型。目前对该类圈闭的研究存在 2 方面的问题: (1) 由于断层普遍具有分段生长的特征, 同一条断层不同部位的断距变化及地层变形特征不同, 导致

不同部位圈闭成因机制不同; (2) 不同断层之间由于断层倾角、断层与地层倾向关系(同向、反向断层)、走向、延伸长度等的不同, 导致不同断层邻近部位所形成的圈闭成因机制也不同。因此, 只有搞

清晰断层圈闭的成因机制,明确圈闭的构造样式、形成时期和发育部位等,才能进一步对圈闭进行精细评价以及资源量的计算。前人对此进行了大量的研究,但大多集中在断层圈闭类型的划分^[1]、断层圈闭中主干遮挡断层的封闭能力评价^[2-4]、断层圈闭中油气运移规律^[5-7]、断层圈闭中断裂对油气成藏的控制作用^[8-10]等方面,很少有学者专门探讨断层圈闭的成因机制,并对其圈闭进行定量评价。本文在对断层圈闭的成因机制详细划分的基础上,根据不同成因的断层圈闭,选取相应的评价参数,建立了定量评价方法,以期对断层精细评价提供参考。

1 研究区概况

渤海湾盆地位于华北板块的东部,属于典型的中国东部中、新生代裂谷系叠合盆地。冀中拗陷位于渤海湾盆地外缘西北部,具有大陆型裂谷盆地特征。西曹固构造带位于冀中拗陷南部的束鹿凹陷内,是发育在南部束鹿凹陷西斜坡中段的鼻状断裂构造带,其南部与荆丘转换构造带相连,北部与台

家庄转换构造带接壤,总面积约为 126 km²(图 1)。该区新生代地层自下而上分别为古近系沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组。研究区发育 2 套烃源岩,分布在沙三下亚段和沙一下亚段,前人研究表明,除沙二段中少量原油来自沙一下亚段烃源岩外,其余地层中的油气均来自主力烃源岩沙三下亚段^[11]。此外,沙三段滩坝砂体和沙二段红色砂岩发育 2 套优质储层^[12],而研究区发育的 3 套区域性盖层主要为沙一中亚段、沙二段顶部及沙三中亚段底部的泥岩^[13]。束鹿凹陷内部断层具有明显的差异性,通过对研究区西曹固构造带不同层位断层的走向进行统计(图 1),从走向玫瑰节理图中可以看出,研究区沙河街组中的断层以北北东向和北东东向为主,东营组断层多以北东东向和东西向为主。另外,还发育了一系列其他断层,这些断层在宏观应力场及局部应力的共同控制下,形成与主干断层走向截然不同的一系列断层。

研究区地层整体上具有南东向倾斜的特点,并且断裂极为发育,断层走向主要为北北东向至北东向,断层长度可达几千米。以地层与断层之间倾向

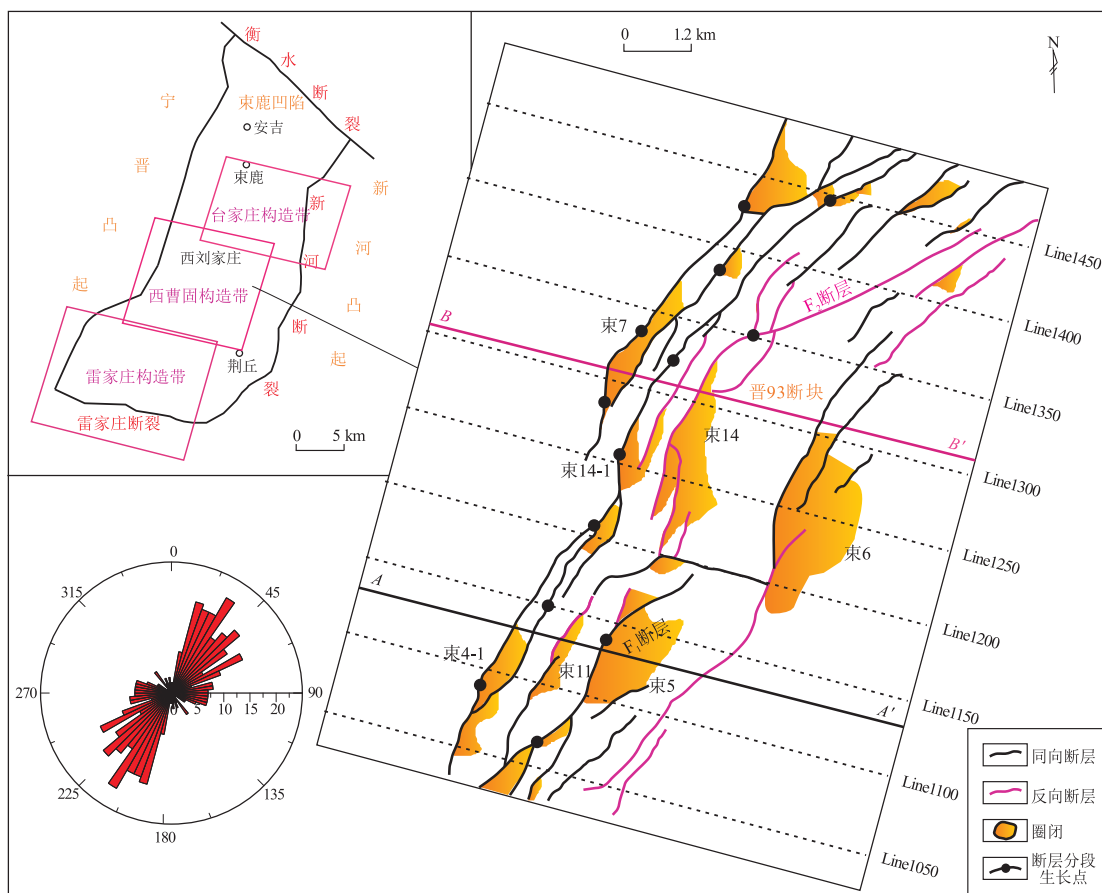


图 1 渤海湾盆地束鹿凹陷西曹固构造带区域位置及断层分布特征(沙河街组二段)

Fig.1 Regional location and fault distribution characteristics of second member of Shahejie Formation, Xicaogu structural belt, Shulu Sag, Bohai Bay Basin

相同或者相反为标准,将断层划分为同向断层(倾向相同)和反向断层(倾向相反)^[14-15]及同期断层分段生长连接形成的交叉断层。但是在西曹固构造带内发育的主要断层类型主要以同向断层及反向断层为主,只有少数是交叉断层,且在交叉断层附近基本没有发现油气聚集成藏。本文主要对西曹固构造带的同向、反向断层及其对应的圈闭进行具体分析,对交叉断层不做具体阐述。同、反向断层形成位置与边界断层有关,在边界断层的剧烈活动下发生重力垮塌导致膝折部位发育同向断层,当同向断裂发育到一定程度时,在调节边界断层处会形成一系列的反向断层,这些反向断层紧邻同向断层边缘处发育。因此,在研究区陡坡带附近发育了大量的同向断层,而反向断层则形成于更靠近凹陷中心的方向(图 2)。

本次研究对西曹固构造带上的同向断层 7 条、反向断层 9 条主干断裂进行了演化特征和圈闭成因机制分析。为了叙述简要,本文选取同向断层 1 条(F_1 断层,图 2a)和反向断层 1 条(F_2 断层,图 2b)进行重点研究,对断层圈闭的形成机制、发育部位进行分析和定量评价。

研究发现,该区断层发生垂向位移时普遍具有多期活动特点;断裂的活动强度在不同时期有所不

同,在盆地拗陷发育期活动剧烈,在沙二段沉积期逐渐减弱,在沙一段与东营组沉积期活动强度又有明显增加。

2 断层分段生长特征及圈闭成因机制

2.1 断层分段生长特征

断层在生长过程中经历了破坏、连接、再破坏的动态过程,将一系列小规模孤立断层连接成一个大断裂,我们将断层的动态生长过程称为断层的分段生长。裂陷盆地中断层的发育普遍是通过分段生长连接而成^[1,16-17],当 2 条孤立断层逐渐发育成为一条规模较大的断裂需要经历 3 个阶段:孤立成核阶段、“软连接”阶段和“硬连接”阶段。通过野外露头的研究、砂箱物理模拟实验及实际地震资料解释,可以充分证实断层的分段生长这个动态过程^[18]。

断层的分段生长是一个复杂的动态过程:当 2 条孤立断层开始侧向重叠时,转换斜坡带在断裂的相互作用下形成,断层断距的增长速率由于“软连接”时期发生的能量消耗而变得缓慢,在斜坡区域内发育的断层总断距相对较小。通过对三维地震数据的研究可以发现,在“三图”中可以准确判断转换斜坡的发育部位:①在位移—距离曲线图中

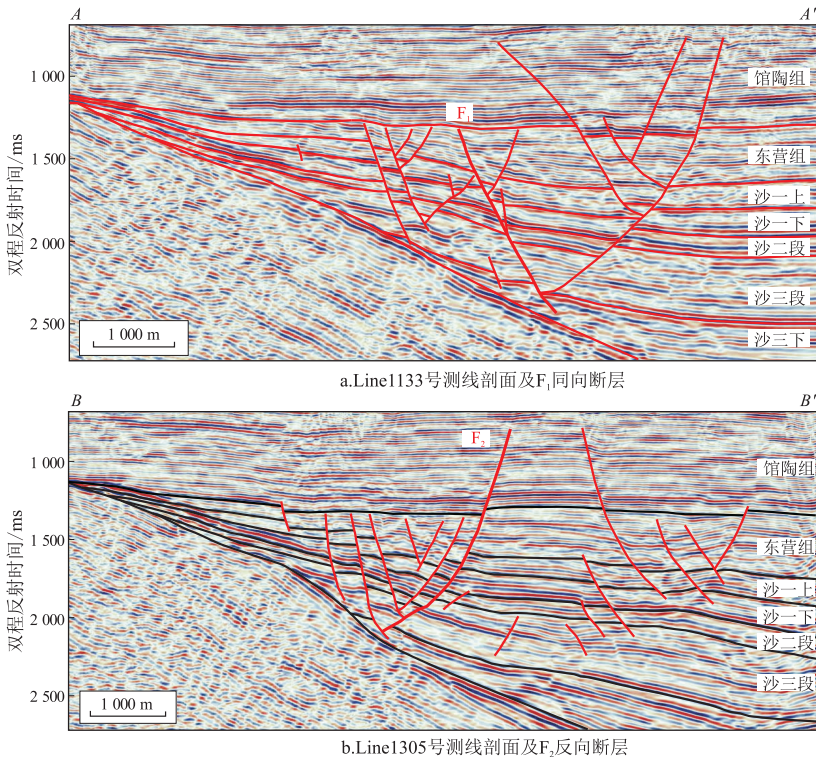


图 2 渤海湾盆地东鹿凹陷西曹固构造带典型地震剖面
剖面位置见图 1。

Fig.2 Typical seismic sections of Xicaogu structural belt, Shulu Sag, Bohai Bay Basin

表现为明显的“两高一低”,且两高点之间的距离逐渐减小;②在断层面断距等值线图上的“鞍部”区域为转换斜坡的形成区域;③在断层面埋深等值线图上的“隆起区”为转换斜坡的发育部位^[10]。

选取西曹固构造带典型地震剖面(测线 1133 号剖面)中 F_1 断层进行解释(图 2a,3a),通过对 F_1 断层绘制出的位移—距离曲线的分析得出,在 1140 测线及 1065 测线这 2 个部位,不仅是断距的相对低值点,同时也是断层的分段生长点,低值点两侧断距值明显增加。 F_1 断层的断距值在 1065 测线处有所降低,是被两侧分支断层的发育吸收的,同时这个部位也是断层的分段生长点。经过研究发现圈闭发育在断层分段生长点的两端,因此断层分段生长是圈闭形成的主要原因。总结得出, F_1 断层作为研究区典型的同向断层,在油气的充注下所形成的同向型断层圈闭,主要分布在断层上盘区域的断距低值区,即分段生长点处。

选取西曹固构造带典型地震剖面(测线 1305 号剖面)中的 F_2 断层进行解释(图 2b,3b),对断层的位移—距离曲线进行分析得出,断距低值点位于

1350 测线处,同时也是断层分段生长点的形成部位,圈闭主要形成在低值点两侧断距值相对较高的区域内,即断距高值点部位。总结得出,研究区典型的反向断层 F_2 断层在油气发生充注时会形成反向型断层圈闭,其主要分布在断层下盘区域分段生长点之间。

2.2 断层圈闭成因机制

圈闭作为油气聚集及成藏的场所主要包括三部分:储集层、盖岩及阻止运移的遮挡物^[19]。本文主要研究的圈闭类型是断层圈闭,是指在储集层中所有方向上阻止油气继续运移都是断层的遮挡作用所形成的圈闭。当封闭性断层与其相接处的构造等高线(或岩性尖灭线)形成闭合区域时为有效断层圈闭(图 4)。

西曹固构造带内发育的边界断层与断层相关圈闭的主体有关^[20],断层圈闭类型为同向和反向断层型圈闭。根据圈闭发育的部位来看,同向断层型圈闭主要发育在断裂带上盘区域内,圈闭类型主要为断圈或者断圈与自圈混合型圈闭的组合,而断裂带下盘由于掀斜作用所形成的断块翘倾方向与

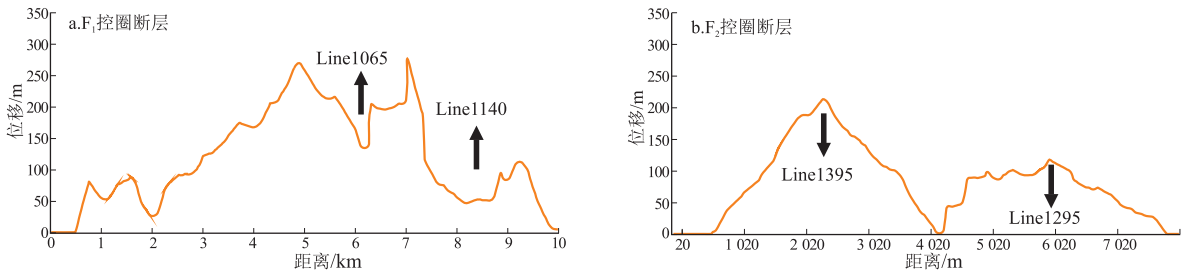


图 3 渤海湾盆地束鹿凹陷西曹固构造带典型控圈断层位移—距离曲线

Fig.3 Displacement-distance curves of typical trap-controlling faults in Xicaogu structural belt, Shulu Sag, Bohai Bay Basin

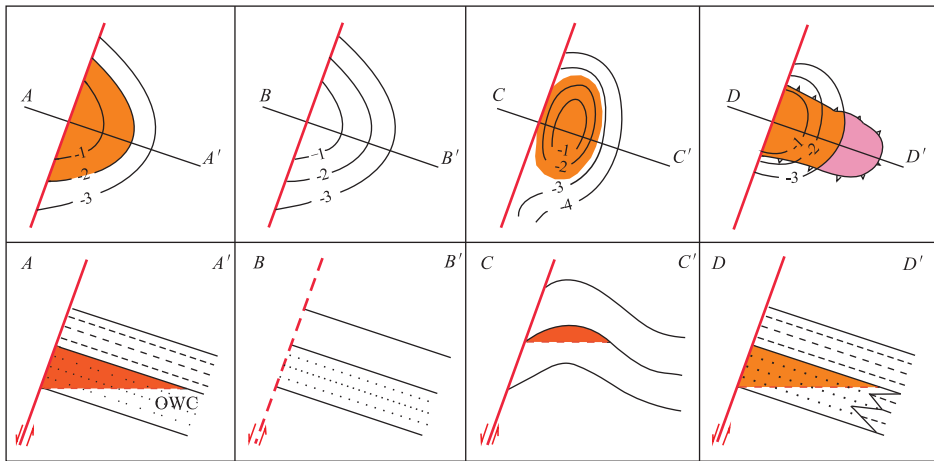


图 4 断层圈闭要素及组合模式

Fig.4 Fault trap elements and associated modes

地层倾斜方向相同,因此下盘不具有圈闭形成的必要条件;反向断层型圈闭主要形成在断裂带下盘的掀斜翘倾断块区域内。

(1)同向断层型圈闭主要形成在断层上盘区域的分段生长点处。同向断层型圈闭一般发育在研究区地势较高的背斜构造处,背斜主要沿断层走向剖面的分段生长点发育。由于在正断层发育的中心部位断距值较大,而在断层发育的末端断距较小,形成了上述同向断层圈闭分布的背斜构造,而分段生长点形成两条断裂的端部区域,因此当正断层发生滑动时,上盘下降,断距最大的部位(断层的中心部位)活动最为强烈,垂直活动量最大;而断距较小的部位(断层端部)活动较弱,垂直活动量较小。由于断层在不同部位的活动速率存在差异,导致在断距较小的部位地势相对较高,从而形成了背斜构造,为圈闭的形成奠定了基础。因此,同向断层型圈闭发育在断层上盘分段生长点处。

(2)反向断层圈闭发育在断层下盘的分段生长点之间。反向断层型圈闭通常形成在斜坡带靠近洼槽的上升盘一侧。当正断层发生活动时,断层上盘相对下降,下盘相对上升;断层在分段生长点处断距较小,上升盘的垂直活动量较小;而断距高值点位于两分段生长点之间,断距较大,上升盘垂直向位移较大。因此,地势相对较高的断距高值点是圈闭形成的场所。这类圈闭的形成过程与同向断层型圈闭截然不同,反向断层圈闭发育在断裂带下盘区域的分段生长点之间。

3 断层圈闭定量评价方法

同向和反向断层圈闭的主要影响因素包括:断层与地层之间的关系、断层倾角、断层走向、地层倾角、最大断距、断层段长度及地层旋转角度等。在建立定量研究模型时,将地层形态近似看成规则的几何图形,这样既不影响计算结果,又能方便建立圈闭面积的计算公式、总结圈闭面积的变化规律。

为了对比同向和反向断层在形成圈闭时的差异,建立了圈闭变化定量研究模式(图 5)。其中,对最大断距 OD 、地层倾角 $\angle OCD$ 、断层段距离 AB 及断层倾角 $\angle ODC$ 进行适当取值,保证断层构造幅度在其他影响因素发生变化时始终保持不变,将断层面和地层面近似看成规则的几何曲面。在此基础上,得出同向断层圈闭(公式 1)及反向断层圈闭(公式 2)的计算公式,对圈闭面积(图 5 中弓形 ABC)进行数学计算。

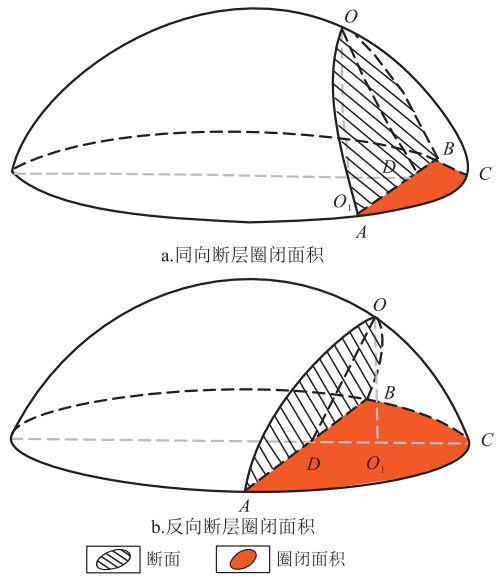


图 5 同向、反向断层圈闭面积示意

Fig.5 Area map of synthetic and antithetic fault traps

$$S_{同} = \pi \sin^{-1} \frac{2x \left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)}{\left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)^2 + x^2} \times \frac{\left[\left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)^2 + x^2 \right]^2}{1440 \left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)^2} - x \left[\frac{\left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)^2 + x^2}{2 \left(\frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} - y \cos \beta \right)} - \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} + y \cos \beta \right] \quad (1)$$

$$S_{反} = \pi \sin^{-1} \frac{2x \left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)}{\left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)^2 + x^2} \times \frac{\left[\left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)^2 + x^2 \right]^2}{1440 \left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)^2} - x \left[\frac{\left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)^2 + x^2}{2 \left(y \cos \beta + \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right)} - y \cos \beta - \frac{y \sin \beta}{\tan \alpha} \right] \quad (2)$$

式中: α 为地层倾角, β 为断层倾角, x 为断距的变化, y 为断层段长度。

由图 5 可知,反向断层形成的圈闭包含了更多的地层空间,由此断定,在相关影响因素相同的条件下,反向断层形成的圈闭面积要比对应的同向断层型圈闭面积更大。

分析上述公式可知:对于同向断层圈闭而言,地层倾角、最大断距与圈闭面积成反相关关系,而

断层段长度、断层倾角与圈闭面积成正相关关系; 对于反向断层圈闭而言, 地层倾角、断层段长度与圈闭面积的相关关系与同向性断层圈闭相同, 而最大断距、断层倾角与圈闭面积的相关关系与同向性断层圈闭相反。

4 断层圈闭定量评价结果验证

晋 93 断层圈闭东侧断层位于西曹固构造带与台家庄构造带的边缘部位, 该断层为反向断层, 在 1240 至 1350 测线间其走向为北北东向, 在 1350 至 1450 测线间为北东向 (图 6a)。通过对相关数据的统计, 绘制了晋 93 东部断层的位移—距离曲线 (图 6b), 1305 测线作为断距低值点其两侧断距值明显增加, 此处为断层的分段生长点, 断层走向沿分段生长点的两侧由近南北向变成北东走向。从沿断层走向的地震剖面图 (图 6c) 可以看出, 沙二段地层在断距高值点处形成横向背斜圈闭。

晋 93 断圈东侧断层倾角约为 45° , 地层倾角约为 15° , 最大断距为 124.15 m, 已知两条测线之间的距离是 25 m; 根据图 6b 中位移—距离曲线可知, 断层段长度为 3 056 m。根据公式 2 可知: $x = 124.15 \text{ m}, y = 3\ 056 \text{ m}, \alpha = 15^\circ, \beta = 45^\circ$, 代入计算出圈闭面积 $S_{反} = 1.288 \times 10^6 \text{ m}^2$; 而该断层圈闭的实际面积为 $1.316 \times 10^6 \text{ m}^2$, 两者的误差在 2% 左右, 可能是因为构造区交叉断层影响了圈闭的面积。这说明该断层圈闭定量评价方法可行。

5 结论

- (1) 束鹿凹陷西曹固构造带内主要发育 2 种类型的断层圈闭: 同向断层型圈闭和反向断层型圈闭。同向断层型圈闭主要形成在断裂带上盘区域的分段生长点处, 是由于断层上盘下降在断距低值点处形成背斜; 反向断层圈闭发育在断层下盘的分段生长点之间, 形成掀斜翘倾断圈。
- (2) 在确定了断层圈闭成因机制的基础上, 选

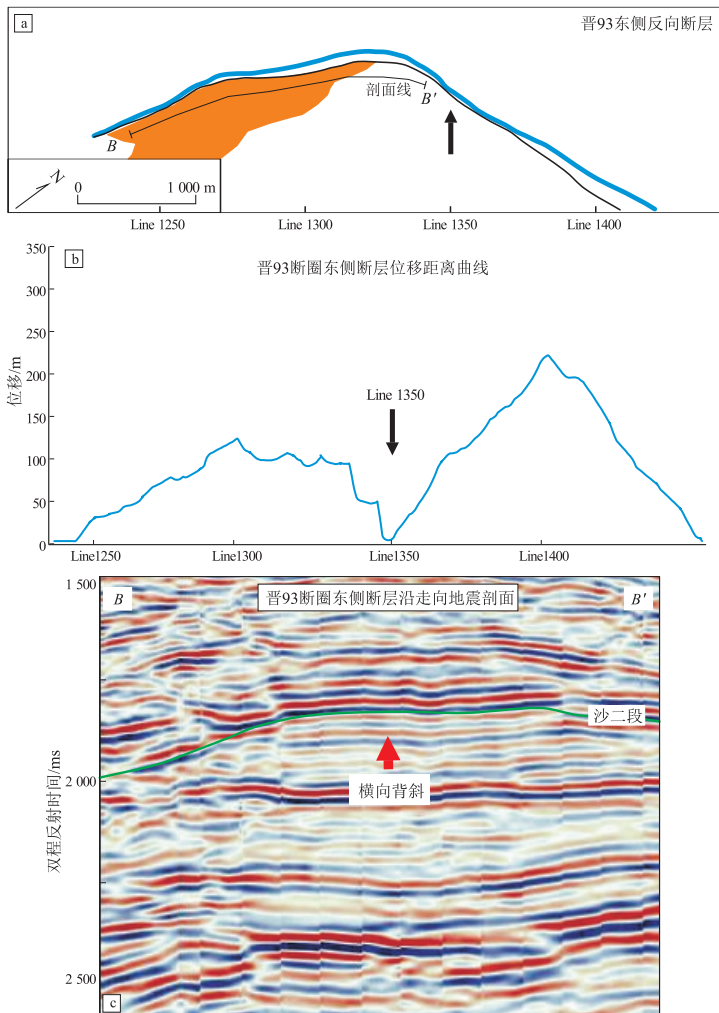


图 6 渤海湾盆地束鹿凹陷晋 93 断圈东侧断层圈闭定量预测

Fig.6 Quantitative prediction of fault traps on the east side of Jin 93 fault trap, Shulu Sag, Bohai Bay Basin

取了同向、反向断层圈闭的主要影响因素,包括断层与地层之间的关系、断层倾角、断层走向、地层倾角、最大断距、断层段长度及地层旋转角度等,并建立了同向、反向断层圈闭面积的定量计算模式图及计算方法。

(3) 地层倾角与同、反向断层圈闭面积成反相关关系;断层段长度与同、反向断层圈闭成正相关关系;最大断距与同向断层圈闭面积成反相关关系,而与反向断层圈闭面积成正相关关系;断层倾角与同向断层圈闭面积成正相关关系,而与反向断层圈闭面积成反相关关系。

致谢:本文得到了孙同文老师的指导,刘世瑞师兄分享了工作经验和学习资料,在此致以衷心的感谢!

参考文献:

- [1] KIM Y S, SANDERSON D J. The relationship between displacement and length of faults; a review [J]. *Earth-Science Review*, 2005, 68(3/4): 317-334.
- [2] ROBERTS A M, YIELDING G. Deformation around basin-margin faults in the North Sea/mid-Norway rift [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1991, 56(1): 61-78.
- [3] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释 [J]. *中国地质*, 2004, 31(1): 15-22.
QI Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay Basin and their genetic interpretation [J]. *Geology in China*, 2004, 31(1): 15-22.
- [4] 王海学, 李明辉, 沈忠山, 等. 断层分段生长定量判别标准的建立及其地质意义: 以松辽盆地杏北开发区萨尔图油层为例 [J]. *地质评论*, 2014, 60(6): 1259-1264.
WANG Haixue, LI Minghui, SHEN Zhongshan, et al. The establishment and geological significance of quantitative discrimination criterion of fault segmentation growth: an example from Saertu reservoir in Xingbei development area of Songliao Basin [J]. *Geological Review*, 2014, 60(6): 1259-1264.
- [5] 孙同文, 付广, 吕延防, 等. 断裂输导流体的机制及输导形式探讨 [J]. *地质论评*, 2012, 58(6): 1081-1090.
SUN Tongwen, FU Guang, LÜ Yanfang, et al. A discussion on fault conduit fluid mechanism and fault conduit form [J]. *Geological Review*, 2012, 58(6): 1081-1090.
- [6] 吕延防, 付广, 付晓飞, 等. 断层对油气的输导与封堵作用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
LÜ Yanfang, FU Guang, FU Xiaofei, et al. Transport and sealing of oil and gas by faults [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [7] 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.
LIU Zhen, ZHANG Wang, CAO Shang, et al. The analysis of differences between fault conduiting and charging for hydrocarbon [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2014, 49(4): 1302-1313.
- [8] 卓勤功. 断陷盆地洼陷带岩性油气藏成藏机理及运聚模式 [J]. *石油学报*, 2006, 27(6): 19-23.
ZHUO Qingong. Reservoir-forming mechanism and migration-accumulation mode of lithological pool in deep sub-depression of rift-subsidence basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(6): 19-23.
- [9] 罗群, 庞雄奇, 姜振学. 断裂控烃机理与模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
LUO Qun, PANG Xiongqi, JIANG Zhenxue. Fault control mechanism and model [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [10] 付晓飞, 孙兵, 王海学, 等. 断层分段生长定量表征及在油气成藏研究中的应用 [J]. *中国矿业大学学报*, 2015, 44(2): 271-281.
FU Xiaofei, SUN Bing, WANG Haixue, et al. Fault segmentation growth quantitative characterization and its application on sag hydrocarbon accumulation research [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2015, 44(2): 271-281.
- [11] 赵贤正, 金凤鸣. 断陷斜坡油气藏形成分布与精细勘探: 以冀中拗陷及二连盆地为例 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
ZHAO Xianzheng, JIN Fengming. Formation, distribution and fine exploration of faulted slope oil and gas reservoirs: a case study of Jizhong Depression and Erlian Basin [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [12] 杨君. 束鹿凹陷西斜坡沙河街组沉积微相及成岩作用研究 [D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.
YANG Jun. The study on the sedimentary microfacies and diagenesis of Shahejie Formation of West Slope of Shulu Depression [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [13] 刘世瑞. 束鹿凹陷缓坡带断裂系统及其控藏作用 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
LIU Shirui. Study of fault system and reservoir-controlling mechanism: a case of Shulu Slope, Jizhong Depression [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [14] CLOOS H. Über antithetische bewegungen [J]. *Geologische Rundschau*, 1928, 19(3): 246-251.
- [15] HILLS E S. Outlines of structural geology [D]. Lecturer in Geology in the University of Melbourne, 1962.
- [16] PEACOCK D C P. Displacements and segment linkage in strike-slip fault zones [J]. *Journal of Structural Geology*, 1991, 13(9): 1025-1035.
- [17] 王海学, 吕延防, 付晓飞, 等. 裂陷盆地转换带形成演化及其控藏机理 [J]. *地质科技报*, 2013, 32(4): 102-110.
WANG Haixue, LÜ Yanfang, FU Xiaofei, et al. Formation, evolution and reservoir-controlling mechanism of relay zone in rift basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(4): 102-110.
- [18] FOSSEN H. Structural geology [M]. New York: Cambridge University Press, 2010: 119-185.
- [19] 张万选. 论油、气藏的分类及中国油、气藏的主要类型 [J]. *石油学报*, 1981, 2(3): 1-11.
ZHANG Wanxuan. On classification of petroleum pools and the types of petroleum pools in China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1981, 2(3): 1-11.
- [20] 郭志强, 王海学, 赵政权, 等. 同向和反向断层形成机制及控圈作用差异性 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2017, 36(3): 1-6.
GUO Zhiqiang, WANG Haixue, ZHAO Zhengquan, et al. Forming mechanism of the synthetic and antithetic faults and differences of their controlling action on the traps [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2017, 36(3): 1-6.