

断裂控藏作用定量评价及有利区预测

——以辽河坳陷齐家-鸳鸯沟地区古近系沙河街组三段上亚段为例

孙同文¹,吕延防¹,刘哲¹,付广¹,孙永河¹,张东伟²

(1. 东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 辽河油田 勘探开发研究院,辽宁 盘锦 124000)

摘要:为搞清断裂对辽河坳陷齐家-鸳鸯沟地区古近系沙河街组三段上亚段油气成藏的控制规律,在断裂系统详细划分的基础上厘定了油源断裂,并分别应用SGR方法和断裂活动速率对断层圈闭侧向封闭能力和成藏期后断裂活动强度进行了定量评价。结果表明,断裂对油气成藏的控制主要表现在3个方面:①油源断裂控制油气的聚集部位;②断裂侧向封闭能力控制了断层圈闭油气充满程度;③成藏期后断裂活动强度控制先期聚集油气的保存程度。综合以上研究,建立了有利目标优选标准,认为在油源充足、储层物性较好的情况下,两条以上油源断裂控圈,圈闭充满程度大于50%,并且成藏期后活动速率小于2m/Ma的断层圈闭为I类圈闭,钻探风险最小;次之为II类和III类圈闭。最终预测出2个I类圈闭和1个II类圈闭,为古近系沙河街组三段上亚段下一步钻探预测新增含油面积5.8 km²。

关键词:侧向封闭能力;断裂活动强度;油源断裂;有利区域;沙三上亚段;齐家-鸳鸯沟地区;辽河坳陷

中图分类号:TE122.3 文献标识码:A

Quantitative evaluation of control of faults on hydrocarbon accumulation and play fairway prediction: a case from Es³⁽¹⁾ in Qijia-Yuanyangou area, the Liaohe Depression

Sun Tongwen¹, Lv Yanfan¹, Liu Zhe¹, Fu Guang¹, Sun Yonghe¹, Zhang Dongwei²

(1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Liaohe Oilfield Company of CNPC, Panjin, Liaoning 124000, China)

Abstract: In order to understand the control of faults on hydrocarbon accumulation in the Paleogene Shahejie Fm (Es³⁽¹⁾) in Qijia-Yuanyangou area, the Liaohe Depression, source rock-rooted faults were identified on the basis of fault system division. In addition, the SGR method and fault growth rate were applied respectively to quantitatively evaluate the lateral sealing capacity of fault traps and the fault activity intensity after hydrocarbon accumulation period. The results show that the control of faults on hydrocarbon accumulation is depicted mainly in the following three aspects. Firstly, the oil source-rooted faults control the locations of hydrocarbon accumulation; secondly, the lateral sealing capacity of faults controls fullness of the fault traps; and thirdly, the fault activity intensity after hydrocarbon accumulation period controls the preservation of pre-existing oil and gas. Based on the above studies, criteria for selection of favorable targets were established. When oil sources are sufficient and reservoir physical properties are good, class-I trap is defined as fault traps under the control of two or more source rock-rooted faults, having a hydrocarbon fullness greater than 50% and fault activity intensity (after hydrocarbon accumulation period) less than 2m/Ma. Drilling risk of class-I is minimum, followed by class-II and class-III traps. Finally, two class-I traps and one class-II trap were mapped, and the oil-bearing area of Es³⁽¹⁾ in these traps is 5.8 km².

Key words: lateral sealing capacity, fault activity intensity, source rock-rooted fault, play fairway, Es³⁽¹⁾, Qijia-Yuanyangou area, Liaohe Depression

断裂与油气成藏的关系一直是石油地质学界关注的热点,油气的生成、运移、聚集和保存都与断裂活动有关^[1-2],罗群等^[3]对全国18个盆地、40个典型油气田统计表明,70%以上的油气成藏都受断裂的控制。齐家-

鸳鸯沟地区位于主力生烃洼陷与西斜坡曙光、欢喜岭两个超亿吨级油气田之间的坡洼过渡带上,是油气运移的必经之路,同时,储盖条件良好,油气成藏条件非常优越^[4]。但由于经历了多期构造改造,古近系沙河街组三

收稿日期:2012-09-18;修订日期:2013-10-11。

第一作者简介:孙同文(1984-),男,博士研究生,油气运移与保存。E-mail:stwpetrochina@126.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41372153);国家大型油气田及煤层气开发科技重大专项(2011ZX05007-002)。

段上亚段($E_s^{3(1)}$)断裂系统异常复杂^[5],究竟断裂对油气聚集成藏起何种作用并不清楚,致使勘探一直未有重大突破。因此,定量评价断裂对油气输导、保存及破坏的控制作用及预测有利目标区已迫在眉睫。笔者在断裂系统划分的基础上,厘定出 $E_s^{3(1)}$ 段的油源断裂,并利用SGR算法定量评价了断圈的侧向封闭能力、给出了成藏期后断裂再次活动对已聚集油气破坏程度的风险界限,最终综合各种因素预测了勘探风险最低的目标圈闭,为研究区的进一步钻探指明了方向。

1 区域地质概况

齐家-鸳鸯沟地区位于辽河拗陷西部凹陷的西南段(西部斜坡向鸳鸯沟洼陷转折的位置),面积大约300 km²,在构造上属于坡洼过渡带,地貌学上称为坡折带。沉积盖层以新生界地层为主,部分缺失,自下而上主要发育古近系沙河街组四段(E_s^4)、沙河街组三段(E_s^3) [包括沙河街组三段上亚段($E_s^{3(1)}$)、沙河街组三段中亚段($E_s^{3(2)}$)和沙河街组三段下亚段($E_s^{3(3)}$)]、

沙河街组二段(E_s^2)、沙河街组一段(E_s^1),东营组(E_d)及新近系馆陶组(Ng)和第四系(Q) (图1)。古近系沙河街组三段上亚段($E_s^{3(1)}$)对应热河台油层,属扇三角洲沉积,岩性主要为灰黑色泥岩和薄层细砂岩、砂岩为主。油源对比表明,油气主要来自南侧紧邻的清水-鸳鸯沟洼陷,沙三段中部暗色泥岩为优质烃源岩,厚度大、成熟度高,具特高油气资源丰度($1\ 000 \times 10^4\ t/km^2$),在东营组沉积末期开始大量排烃^[4,6]。 $E_s^{3(1)}$ 段断裂非常发育,均为正断层,主要为NEE向和近EW走向,一般延伸长度1~4 km,断距0~200 m,断层密度为0.15条/km²。存在5条长期活动的大断裂(图1中pw3等),最大断距400~800 m,延伸长度9~22 km,将此坡洼过渡带切割成多个向清水-鸳鸯沟洼陷逐级下掉的台阶,形成复杂的断块、断层-背斜或断层-岩性油藏。

2 断裂系统划分

辽河西部凹陷齐家-鸳鸯沟地区新生代盆地沉积

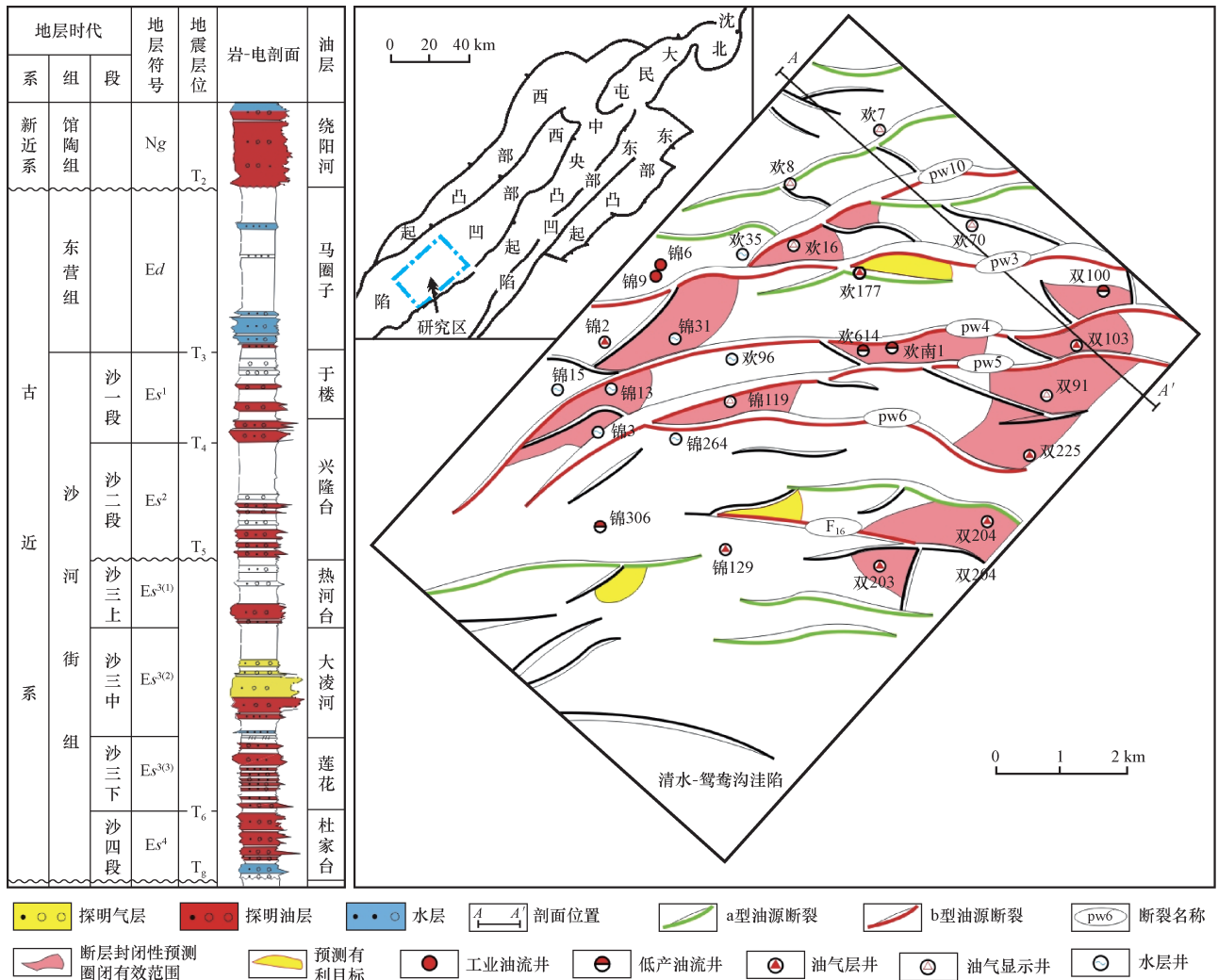


图1 齐家-鸳鸯沟地区构造位置
Fig.1 Structure location of Qijia-Yuanyanggou area

层序中有3个重要的构造层序界面^[5],自下而上分别是古近系底界面(T_g)、沙河街组二段底界面(T_5)和馆陶组底界面(T_2),其中, T_g 和 T_2 反射界面是主裂陷期底界和顶界的区域性不整合面,是一级构造层序界面; T_5 反射界面是强裂陷后的热沉降阶段形成的局部不整合面,是范围最广、规模最大、识别特征最明显的二级构造层序界面^[7]。基于这3个构造层序界面,齐家-鸳鸯沟地区新生代盆地可划分为3个主要的构造层(不包括 T_g 反射界面以下的基底构造层),即由沙四段和沙三段组成的断陷构造层,沙二段、沙一段和东营组组成的断拗构造层和馆陶组—第四系组成的拗陷构造层(图2,剖面位置见图1)。齐家-鸳鸯沟地区新生代断裂形成演化主要有3个时期,即沙四段—沙三段沉积时期的伸展变形,东营组沉积时期的走滑伸展变形和馆陶组—第四系沉积时期的张扭变形。根据断裂形成演化时期,可以划分为6套断裂系统(图2),即断陷期断裂(I)、断拗期断裂(II)、拗陷期断裂(III)、断陷期形成断拗期活动断裂(IV)、断拗期形成拗陷期活动断裂(V)和断陷期形成断拗期和拗陷期活动断裂(VI)。Es³⁽¹⁾段主要由I型、IV型和VI型3种不同演化史的断裂组成,此3种断裂对Es³⁽¹⁾段油气成藏起到不同的控制作用。其中,I型断裂仅在断陷期活动,在断拗期和拗陷期相对静止,即在成藏关键时刻不活动,主要对油气聚集起侧向遮挡作用;IV型断裂是断陷期形成,断拗期活动而拗陷期相对静止的断裂,其中的部分断裂沟通烃源岩和上部Es³⁽¹⁾段储层,并在成藏时期活动,主要起输导作用;VI型断裂为长期活动断裂,在成藏时期主要起输导作用,而此类断裂成藏期之后(拗陷期)仍持续活动,对先期聚集的油气具有破坏或调整作用。

3 断裂控藏作用定量评价

断裂是沉积盆地形成演化过程中形成的,由于不同断裂的形成演化历史的差异,在油气成藏过程中既可以作为连接烃源岩和储集层的油气运移重要通道,又可以侧向阻挡油气的运移,形成油气聚集,另外,断裂还可以破坏或调整早期聚集的油气,使油气向浅部地层运移,形成次生油藏或直接逸出地表散失。因此,断裂在油气成藏过程中扮演着非常重要的角色。

3.1 油源断裂控制油气的聚集部位

油源断裂是指油气成藏时期活动并沟通烃源岩和储集层的断裂^[8]。通过齐家-鸳鸯沟地区断裂系统划分结果可以知,能够作为Es³⁽¹⁾段油源断裂有两种,即IV型断裂和VI型断裂。然而,并不是所有的IV型断裂均可以作为油源断裂,只有沟通沙三段中部烃源岩并在东营组末期活动的断裂才能成为有效的输导通道,这部分断裂是Es³⁽¹⁾段最优的油源断裂,称为a型油源断裂;VI型断裂在成藏关键期全部可以作为油源断裂,但在成藏期之后(馆陶组—第四系)仍持续活动,部分地或全部破坏了先期聚集的油气,使圈闭有效范围缩小,总体输导能力稍差,称为b型油源断裂(图1)。

沙三段中部烃源岩大量排烃时期(东营组末期)同时也是断裂强烈活动时期,此时,油源断裂活动开启,油气沿a型或b型油源断裂向上运移至Es³⁽¹⁾段后向油源断裂两盘物性较好的砂层中侧向分流,在就近的有利圈闭聚集成藏,油源断裂附近的圈闭具有“近水楼台”的优势。因此,油源断裂两侧构造及储层物性较好的部位是油气富集的有利场所,由图1可以看出,油井基本都围绕a型和b型油源断裂在其两侧分布,其

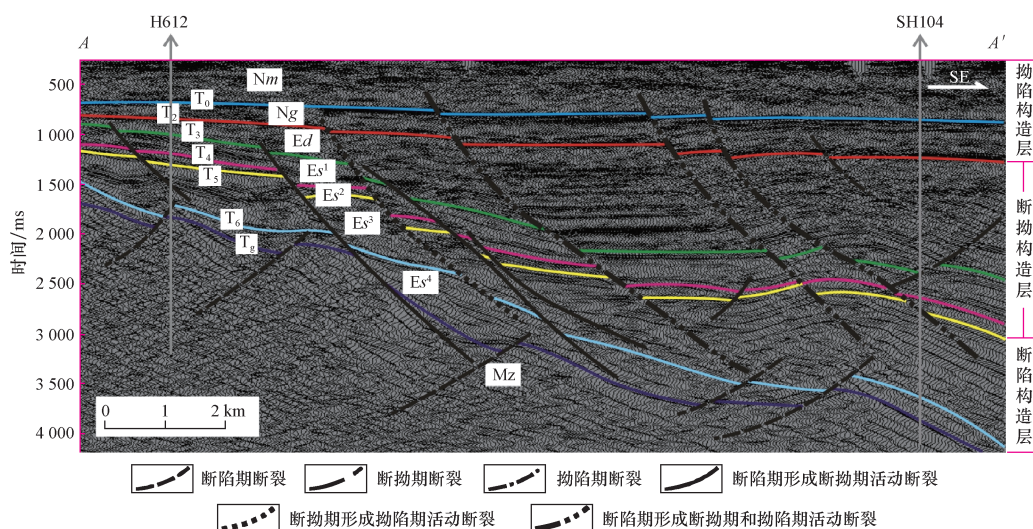


图2 齐家-鸳鸯沟地区断裂系统及断裂类型划分(Line2707)

Fig. 2 Fault systems and fault classification in Qijia-Yuanyangou area(Line2707)

中,在多条油源断裂控圈的情况下油气最为富集,如锦 6 和锦 9 井所在的圈闭,3 条控圈断裂均为油源断裂,此 2 口井达到工业油流标准;同样,欢 614 和欢南 1 井所在圈闭控圈断裂有 2 条为油源断裂,试油均达到低产。然而,b 型油源断裂同时具有调整 - 破坏的作用,失利井基本都分布在靠近 b 型油源断裂或 b 型油源断裂与其他断裂交叉的位置,如欢 35、锦 31、锦 3 和锦 264 井等均为水井,此类断裂属次一等的油源断裂。

3.2 断裂侧向封闭能力控制断层圈闭的油气充满程度

3.2.1 断层侧向封闭性定量评价基本原理

断层侧向封闭的本质是断裂带与围岩之间的差异渗透能力^[9-10]。从引起差异渗透的因素来看,可以将断层封闭类型划分为两大类,即对接封闭和断层岩封闭。齐家 - 鸳鸯沟地区热河台油层均为断层岩封闭类型^[11],目前预测断层岩侧向封闭能力效果最好的是 SGR 算法^[12],它综合考虑了多种地质因素,与野外实测的断裂带内泥质含量具有很好的相关性^[13],Yielding (2002)建立了 SGR 与断层两侧压力差之间的函数关系^[14-15],并结合物理学中压力公式得出了 SGR 与断层所能封闭的最大烃柱高度之间的关系式:

$$H_{\max} = 10^{\frac{SGR}{d}-c} / [(\rho_w - \rho_o)g] \quad (1)$$

式中: H_{\max} 为断层所能封闭的最大烃柱高度,m; SGR 为断裂带内泥质含量,%; d 为与地质环境有关的参数,无量纲; c 为常数,在埋深小于 3 000 m 时 c 为 0.5,在埋深 3 000 ~ 3 500 m 时 c 为 0.25,在埋深超过 3 500 m 时 c 为 0; ρ_w 为圈闭中水的密度, kg/m^3 ; ρ_o 为圈闭中烃类的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 。

3.2.2 断层侧向封闭性定量评价体系建立

利用式(1)可以定量评价一条断层的侧向封闭能力^[15],评价思路是首先利用目的层已钻探、具有清晰油水界面的典型断层圈闭对参数 d 进行标定,建立起适用于 $Es^{3(1)}$ 段的定量评价关系式,然后应用此关系式对未钻探断层圈闭控圈断裂的侧向封闭能力进行评价,具体过程如下。

选取 $Es^{3(1)}$ 段勘探程度较高的欢 2 - 19 - 16 断层圈闭作为标定对象。该断层圈闭被两条交叉断裂 (F_{11} 和 F_{21}) 所夹持,构造幅度 400 m,圈闭溢出点高度为 -2 800 m。在 $Es^{3(1)}$ 段(热河台油层)发育两套油层,其中 II 油组具有清晰油水界面(OWC),高度为 -2 635 m (图 3)。 $Es^{3(1)}$ 段埋深小于 3 000 m, c 取 0.5。采用随机试值的方法给 d 赋值,应用式 1 计算 F_{11} 和 F_{21} 断裂所能封闭的烃柱高度,并转化为油水界面,当预测油水界面最接近 -2 635 m 时的 d 值即为标定的 d 值,如表 1 所示,当 $d = 14.5$ 时与实际油水界面吻合,从而建

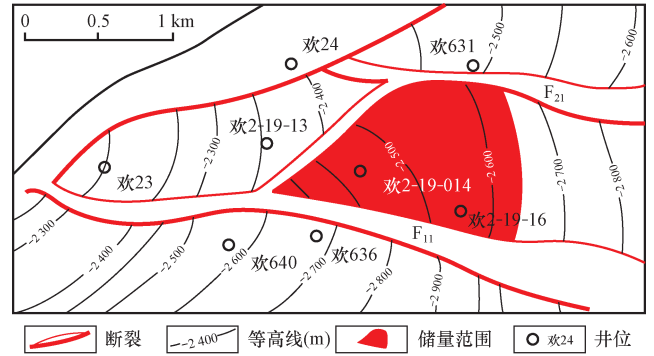


图 3 齐家 - 鸳鸯沟地区欢 2 - 19 - 16 断层圈闭构造形态及油水界面 ($Es^{3(1)}$ 段 II 油组顶构造)

Fig. 3 Oil-water contact and structural attitude of Huan 2-19-16 fault trap in Qijia-Yuanyanggou area

表 1 不同参数 d 值下断层封闭决定的油水界面 (OWC)

Table 1 Oil-water contact (OWC) defined by fault sealing under different d values

参数 d	断裂名称	控圈范围/ m	预测断裂 OWC/m	预测断圈 OWC/m
13.0	F_{11}	-2 400 ~ -2 800	-2 876.6	-2 739.9
	F_{21}	-2 400 ~ -2 800	-2 739.9	
14.0	F_{11}	-2 400 ~ -2 800	-2 808.1	-2 671.4
	F_{21}	-2 400 ~ -2 800	-2 671.4	
14.5	F_{11}	-2 400 ~ -2 800	-2 772.5	-2 635.8
	F_{21}	-2 400 ~ -2 800	-2 635.8	
15.0	F_{11}	-2 400 ~ -2 800	-2 757.5	-2 620.8
	F_{21}	-2 400 ~ -2 800	-2 620.8	
16.0	F_{11}	-2 400 ~ -2 800	-2 634.6	-2 497.9
	F_{21}	-2 400 ~ -2 800	-2 497.9	

立了齐家 - 鸳鸯沟地区热河台油层侧向封闭能力定量评价函数关系式:

$$H_{\max} = 10^{\frac{SGR}{14.5}-0.5} / [(\rho_w - \rho_o)g] \quad (2)$$

3.2.3 断层圈闭侧向封闭能力定量评价

断层圈闭侧向封闭能力的重要表征参数是圈闭充满程度,即断层圈闭所能封闭的最大油、气柱高度与断层圈闭构造幅度的比值。目前研究认为,断裂侧向封闭能力越强,断层圈闭油气充满程度越高,越有利于油气在断层圈闭中聚集,钻探风险性越小,反之则风险性越大^[16]。在油源充足情况下,充满程度由断层圈闭各条控圈断裂所能确定油水界面中的最小值、圈闭构造溢出点及岩性边界三者共同决定。

应用式(2)所建立的断层侧向封闭性定量评价关系,对 $Es^{3(1)}$ 段已钻探 12 个断层圈闭的侧向封闭能力进行评价,并计算了各断层圈闭的平均充满程度,结果表明,双 203、双 100、欢 161 等 8 个断层圈闭侧向封闭能力较强,充满程度较大,而欢 70、锦 13 等 4 个断层圈闭侧向封闭能力较弱。统计各断层圈闭平均充满程度与其内部钻遇油流井个数之间关系可以看出(除双

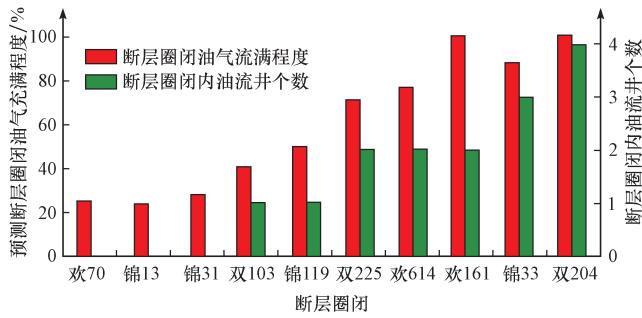


图4 预测断层圈闭油气充满程度与断层圈闭内油流井个数之间关系

Fig. 4 Relation between fullness and number of oil wells in the predicted fault traps

203和双100目前仅钻一口井外),二者呈正相关(图4),即断层圈闭平均充满程度越高其内部油流井个数越多,当充满程度小于50%时断层圈闭内无油流井或仅有1口,而当大于50%时断层圈闭内油流井为2口或以上。因此,Es³⁽¹⁾段的断层圈闭侧向封闭性(充满程度)风险界限约为50%。

3.3 成藏期后断裂活动强度控制先期聚集油气的保存程度

大量野外观察及物理模拟实验表明,油气藏形成后断裂的再次活动对断裂早期形成的封闭性具有破坏作用^[16-18],主要表现在两个方面,一是由于断裂后期活动使早期形成的泥岩涂抹层失去连续性,破坏其封闭性;二是断裂后期活动使早期形成的断层岩产生裂缝,成为油气散失的通道。但不管是哪种作用,都将使断层圈闭的早期封闭能力减弱、圈闭充满程度减小。

成藏期后断裂活动的强度可用断层活动速率来衡量,所谓断层活动速率是指某一地层单元在一定时期内,因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值^[19-21],即:

$$V_f = \Delta H / T \quad (3)$$

式中: V_f 为断层活动速率,m/Ma; ΔH 为断层断距,m; T

为沉积时间(整套地层的沉积时间取平均值或用生物化石划分沉积时间),Ma。

齐家-鸳鸯沟地区在馆陶组一第四系存在强烈的断裂活动,必然会对Es³⁽¹⁾段在东营组末期聚集的油气形成破坏。根据断裂系统划分的结果,只有长期发育的VI型断裂在成藏期之后持续活动。VI型断裂共有6条,应用式3对其馆陶组一第四系的活动速率计算可知(图5),各条断裂均有中部活动速率最大的特征,活动速率主要分布在1~6 m/Ma之间,pw5断裂整体活动速率最大,在4 m/Ma以上;pw10断裂和F₁₆断裂活动速率最小,基本在3 m/Ma以下(断裂位置见图1)。

成藏期后断裂活动对某一断层圈闭内油气的破坏程度是多条控圈断裂共同作用的结果,取决于各条控圈断裂活动速率的最大值,对Es³⁽¹⁾段12个典型断层圈闭馆陶组一第四系的活动速率的统计结果表明,断层圈闭内油气充满程度越大,对应的活动速率越小,相反则越大,即使完全充满油气的断层圈闭也具有一定的断层活动速率。由此可知,断层圈闭钻探成功与否和成藏期后断裂活动速率之间应该存在一个定量的界限,而非绝对的成藏期后活动就失利、不活动就有利。将研究区已钻断层圈闭含油气性与馆陶组一第四系的活动速率进行叠合(图6),从图中可以看出,无失利井断层圈闭的成藏期后活动速率明显小于内部有失利井断层圈闭的成藏期后活动速率。以2 m/Ma为界,当断层圈闭成藏期后活动速率大于2 m/Ma时,断层圈闭失利井数明显增多,含油气性变差,当大于3 m/Ma时几乎完全失利。相反,当断层圈闭成藏期后活动速率小于2 m/Ma时,内部几乎没有失利井,断层圈闭充满程度较高。因此,齐家-鸳鸯沟地区Es³⁽¹⁾段断层圈闭成藏期后活动速率小于2 m/Ma时钻探风险较小。

4 有利目标区预测

油气的富集成藏是多种地质作用叠加的结果,在

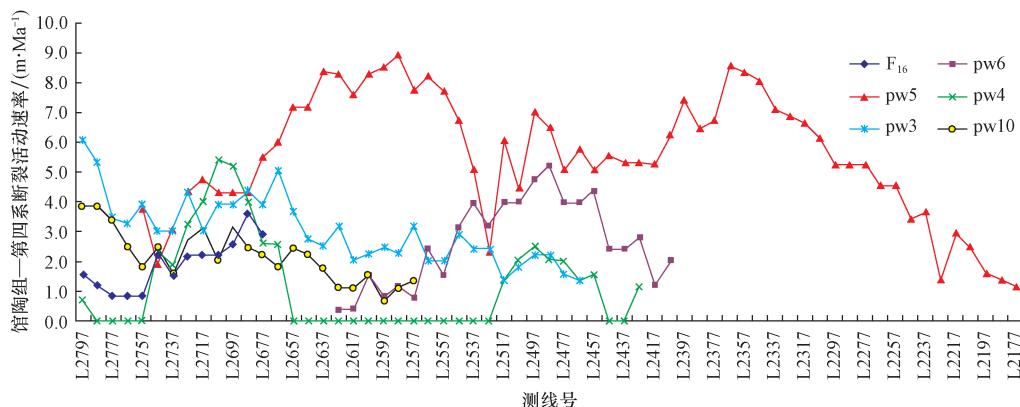


图5 齐家-鸳鸯沟地区馆陶组一第四系VI型断裂活动速率分布

Fig. 5 Growth rate distribution of type-VI faults in the Guantao Fm (Ed) to the Quaternary in Qijia-Yuanyangou area

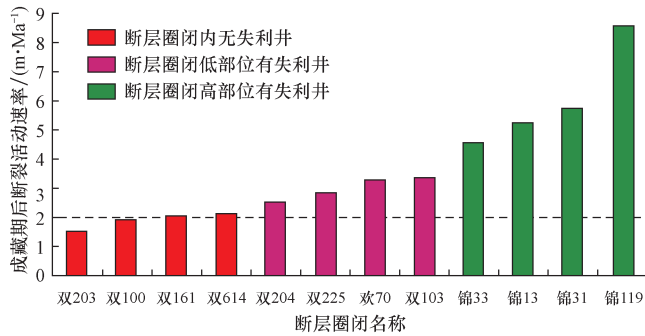


图 6 齐家-鸳鸯沟地区 Es³⁽¹⁾ 段已钻断层圈闭成藏期后断裂活动速率

Fig. 6 Fault growth rate(after accumulation period) of the drilled fault traps in Es³⁽¹⁾ in Qijia-Yuanyanggou area

断裂起主要控藏作用的地区,当储层发育、油源充足时,只有断裂输导作用较好,断层侧向封闭能力较强而成藏期后断裂不活动或活动强度较弱的圈闭才是风险最小、最有利的钻探目标。

4.1 有利目标优选原则

根据前面研究可知,油源断裂控圈条数、断层圈闭油气充满程度和成藏期后断裂活动强度均在不同程度上控制着油气的聚集成藏。同时,考虑砂体发育情况,Es³⁽¹⁾段发育 5 种主要沉积相类型,其中河道主体、湖底扇中扇辫状沟道和辫状沟道前缘及侧缘 3 种相类型储层物性较好,是有利的沉积相带。

综合以上研究成果建立了齐家-鸳鸯沟地区 Es³⁽¹⁾段有利目标区优选标准(表 2),根据钻探风险将圈闭分为 3 类,即 I 类、II 类和 III 类圈闭,其中 I 类圈闭风险性最小、II 类圈闭有一定风险,均可作为下一步钻探的有利目标,而 III 类圈闭风险较大,不能作为有利目标。

表 2 齐家-鸳鸯沟地区 Es³⁽¹⁾ 段有利目标优选标准

Table 2 Criteria for selection of favorable targets in Es³⁽¹⁾ in Qijia-Yuanyanggou area

预测圈闭	沉积相类型	油源断裂控圈情况 (断裂条数)	断层侧向封闭能力 (断层圈闭充注程度)/%	断层成藏期后活动速率/ (m·Ma ⁻¹)	圈闭钻探风险
I 类圈闭	河道主体、湖底扇中扇辫状沟道	≥2	>50%	<2	风险较小
II 类圈闭	湖底扇中扇辫状沟道	1	10%~50%	2~3	有一定风险
III 类圈闭	辫状沟道前缘及侧缘	0	<10%	>3	风险较大

表 3 齐家-鸳鸯沟地区 Es³⁽¹⁾ 段目标断层圈闭钻探风险评价

Table 3 Assessment of drilling risk of the targeted fault traps in Es³⁽¹⁾ in Qijia-Yuanyanggou area

圈闭名称	圈闭类型	圈闭溢出点高度/m	构造幅度/m	圈闭面积/km ²	沉积相类型	油源断裂控圈情况 (断裂条数)	预测油水界面高度/m	圈闭充满程度/%	成藏期后活动速率/(m·Ma ⁻¹)	预测断层圈闭分类	圈闭钻探风险
欢 177 井东	交叉断层断块	-3 250	300	1.57	湖底扇中扇辫状沟道	2	-3 250	100	1.92	I 类	风险较小
锦 129 井北	交叉断层断块	-3 950	200	1.39	湖底扇中扇辫状河道	2	-3 950	100	1.59	I 类	风险较小
锦 306 井南	交叉断层断块	-3 470	120	2.84	辫状沟道前缘及侧缘	1	-3 464	95	0	II 类	有一定风险

4.2 有利目标预测

在优选有利沉积相带的基础上,对未钻探断层圈闭的油源断裂输导情况、断层侧向封闭能力及成藏期后活动速率进行了综合评价(表 3),依据有利目标优选标准最终在 Es³⁽¹⁾段预测了 3 个有利目标断层圈闭,分别为欢 177 井东、锦 100 井北和锦 131 井东(图 1),其中,欢 177 井东和锦 129 井北为 I 类圈闭,钻探风险较小,锦 306 井南为 II 类圈闭,有一定钻探风险。为齐家-鸳鸯沟地区 Es³⁽¹⁾段下一步钻探累积预测新增含油面积 5.8 km²。

5 结论

1) 齐家-鸳鸯沟地区新生代盆地可划分为断陷、断拗和拗陷 3 个主要的构造层。根据断裂形成演化时期,可以划分为 6 套断裂系统,即断陷期断裂(I)、断拗期断裂(II)、拗陷期断裂(III)、断陷期形成断拗期活动的断裂(IV)、断拗期形成拗陷期活动的断裂(V)和断陷期形成断拗期和拗陷期活动的断裂(VI)。Es³⁽¹⁾段主要由 I 型、IV 型和 VI 型 3 种不同演化史的断裂组成。

2) IV 型断裂中沟通沙三段中部烃源岩并在东营组末期活动断裂是 Es³⁽¹⁾段最优的油源断裂,称为 a 型油源断裂;VI 型断裂在成藏期之后仍持续活动,破坏或调整先期聚集的油气,总体输导能力稍差,称为 b 型油源断裂。控圈断裂为油源断裂的圈闭中油气相对富集,失利井主要分布在 b 型油源断裂附近。

3) 建立了 Es³⁽¹⁾段断层侧向封闭能力定量评价函

数关系式,并对12个已钻断层圈闭断层侧向封闭能力进行了评价,结果表明,当充满程度大于50%时断层圈闭封闭能力较强,为评价风险界限;成藏期后断裂活动速率小于2 m/Ma时,断层圈闭内部几乎没有失利井,充满程度较高。

4) 综合断裂控藏定量评价指标预测了3个有利目标,欢177井东和锦129井北为Ⅰ类圈闭,钻探风险较小,锦306井南为Ⅱ类圈闭,有一定钻探风险,为齐家-鸳鸯沟地区Es³⁽¹⁾段下一步钻探预测新增含油面积5.8 km²。

参 考 文 献

- [1] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81 (8): 1451-1481.
- [2] 李明诚. 石油与天然气运移(第三版)[M]. 北京:石油工业出版社,2004:143-146.
Li Mingchen. Oil and gas migration(third edition)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2004:143-146.
- [3] 罗群,姜振学,庞雄奇. 断裂控藏机理与模式[M]. 北京:石油工业出版社,2007:1-13.
Luo Qun, Jiang Zhenxue, Pan Xiongqi. Mechanism and mode of fracture control reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007:1-13.
- [4] 李晓光,陈振岩,余成,等. 坡洼过渡地区岩性油藏勘探实践——以齐家-鸳鸯沟地区为例[J]. 特种油气藏,2007,14(2):14-17.
Li Xiaoguang, Chen Zhenyan, Yu Cheng, et al. Lithologic reservoir exploration practice in slope-bottom land transition zone—a case study in Qijia-Yuanyangou area [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2007, 14(2):14-17.
- [5] 李明刚,漆家福,童亨茂,等. 辽河西部凹陷新生代断裂构造特征与油气成藏[J]. 石油勘探与开发,2010,237(3):281-288.
Li Minggang, Qi Jiafu, Tong Hengmao, et al. Cenozoic fault structure and hydrocarbon accumulation in Western Sag, Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 237(3):281-288.
- [6] 单俊峰,陈振岩,回雪峰. 辽河坳陷西部凹陷坡洼过渡带岩性油气藏形成条件[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):42-45.
Shan Junfeng, Chen Zhenyan, Hui Xuefeng. Forming conditions of lithologic reservoir in transition zone of western Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6):42-45.
- [7] 孙永河,漆家福,吕延防,等. 渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制[J]. 石油学报,2008,29(5):669-675.
Sun Yonghe, Qi Jiafu, Lv Yanfang, et al. Characteristics of fault structure and its control to hydrocarbon in Bozhong Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(5):669-675.
- [8] 罗群. 断裂控藏理论与油气勘探实践[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2002,27(6):751-756.
Luo Qun. Fault controlling hydrocarbon theory and petroleum exploration practice [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6):751-756.
- [9] Fisher Q F, Knipe R J. Fault sealing processes in siliciclastic sediments [C] // Jones G, Fisher Q F, Knipe R J. Faulting, fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs. Geological Society of London Special Publication, 1998, 147:117-134.
- [10] Schowalter T T. Mechanisms of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(5):723-760.
- [11] 孙同文. 辽河西部凹陷齐家-鸳鸯沟地区断裂系统与断层侧向封闭性研究[D]. 大庆:东北石油大学,2011.
Sun Tongwen. Fault system and lateral seal of faults of Qijia-Yuanyangou in West Sag, Liaohe Depression [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [12] Yielding G, Freeman B, Needham T. Quantitative fault seal prediction [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6):897-917.
- [13] Foxford K A, Walsh J J, Watterson J, et al. Structure and content of the Moab Fault Zone, Utah, USA, and its implications for fault seal prediction [C] // Jones G, Fisher Q F, Knipe R J. Faulting, fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs. Geological Society of London Special Publication, 1998, 87-103.
- [14] Yielding G. Shale gouge ratio-calibration by geohistory [C] // Koestler A G, Hunsdale R. Hydrocarbon seal quantification. NPF Special Publication, 2002:1-15.
- [15] Bretan P, Yielding G, Jones H. Using calibrated shale gouge ration to estimate hydrocarbon column heights [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(3):397-413.
- [16] 罗群. 中国东北地区断裂系统及其控藏特征[J]. 石油实验地质, 2010, 32(3):205-210.
Luo Qun. Fault systems and characteristics of their controlling reservoir formation in the northeast China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(3):205-210.
- [17] 刘哲,付广,孙永河,等. 辽河坳陷齐家-鸳鸯沟地区断层侧向封闭性综合评价[J]. 中南大学学报(自然科学版),2012,43(4):1934-1404.
Liu Zhe, Fu Guang, Sun Yonghe, et al. Comprehensive evaluation of fault lateral sealing ability in Qijia-Yuanyangou area, Liaohe depression [J]. Journal of Central South University (Science and Technology Edition), 2012, 43(4):1934-1404.
- [18] 吕延防,张发强,吴春霞,等. 断层涂抹层分布规律的物理模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发,2001,28(1):30-32.
Lu Yanfang, Zhang Faqiang, Wu Chunxia, et al. Simulation experiment on distribution of fault smear layer [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1):30-32.
- [19] 张立含,李宜强,王芳,等. 成藏期后的断层活动对油气聚集与保存的控制作用[J]. 大庆石油学院学报,2012,36(1):14-18.
Zhang Lihan, Li Yiqiang, Wang Fang, et al. Control over hydrocarbon accumulation and preservation by faulting after formation [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2012, 36(1):14-18.
- [20] 罗群. 断裂带的输导与封闭性及其控藏特征[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5):474-479.
Luo Qun. Transporting and sealing capacity of fault belt and its controlling on reservoir [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5):474-479.
- [21] 赵密福,刘泽容,信荃麟,等. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J]. 石油勘探与开发,2000,27(6):9-11.
Zhao Mifu, Liu Zerong, Xin Quanlin, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6):9-11.

(编辑 高岩)