

文章编号:1001-6112(2010)03-0218-05

断层对油气的相对封闭性和绝对开启性分析

——以准噶尔盆地西北缘八区一百口泉区二叠系油气特征为例

高 岗,柳广弟,黄志龙

(油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学),北京 102249)

摘要:通过对准噶尔盆地西北缘八区一百口泉区夏子街组和风城组断层油气藏油气特征的分析,探讨了断层的封闭性与开启性。对于断层油气藏来说,油气特征在平面上的差异与断层封闭性有密切关系。封闭性好的断层油气藏由于油气重力分异作用,从油气藏底部到顶部,原油溶解气和天然气中甲烷等轻组分含量将不断升高,原油密度和粘度会逐渐降低。而封闭性差的断层油气藏越靠近断层,轻组分越容易散失,从油气藏底部到顶部,原油溶解气和天然气中甲烷等轻组分含量将不断降低,原油密度和粘度逐渐升高。不同断层油气藏的各种成藏条件相同时,由于断层封闭性不同,油气总体特征发生变化。研究区断层油气藏上倾部位的断层在不同部位封闭性有差异,断层基本都有不同程度的绝对开启性,而封闭性是相对的。通过对比分析认为八区夏子街组和风城组油气藏的断层封闭性要好于百口泉区。

关键词:断层封闭性;原油密度;原油溶解气;断层油气藏;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

ANALYSIS OF RELATIVE SEALING AND ABSOLUTE PERMEABILITY OF FAULT

—TAKING PERMIAN HYDROCARBON CHARACTERISTICS
OF THE REGION 8 AND THE BAIKOUQUAN AREA,
NORTHWEST MARGIN, THE JUNGGAR BASIN FOR EXAMPLE

Gao Gang, Liu Guangdi, Huang Zhilong

(State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: In this paper, according to the characteristic analysis of oil and gas of the Xiazijie and Fengcheng Formation in fault oil field of the region 8 and the Baikouquan area of the Northwest margin, the Junggar Basin, the authors discussed the fault's property of sealing and unsealing. Ordinarily, for the fault oil and gas accumulation, there is an intimate relation between the horizontal distribution features of hydrocarbon characteristics and the sealing property of the fault. In a strong sealing fault hydrocarbon reservoir, because of the gravitational force differentiation of oil and gas, the contents of dissolved gas in the crude oil and methane will gradually increase and the density and the viscosity of crude oil will decrease from the bottom to the top of reservoir. While in a poor sealing fault hydrocarbon reservoir, the lighter hydrocarbons are easily lost near the fault. From the bottom to the top of the fault reservoir, the contents of dissolved gas in crude oil and methane will gradually decrease and the density and the viscosity of crude oil will increase. When different hydrocarbon reservoirs have same pool formation conditions, the characteristics of oil and gas will have a regularity alteration owing to the different sealing property. In the research area, there is different degree sealing to updip faults of the hydrocarbon reservoir. They have all absolute unsealing and relative sealing. For the hydrocarbon reservoir of the Xiazijie and Fengcheng Formation, there is a relatively better sealing in the region 8 than in the Baikouquan area.

Key words: fault sealing; density of crude oil; dissolved gas; fault reservoir; Junggar Basin

收稿日期:2009-11-23;修订日期:2010-04-06。

作者简介:高 岗(1966—),男,博士,副教授,从事油气勘探与开发的科研与教学工作。E-mail: gaogang2819@sina.com。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB209503)资助。

从国内外含油气盆地的勘探实践来看,断裂在油气运移和聚集成藏的过程中起着非常重要的作用^[1-3]。油气的运移和聚集是在地层构造格架中进行的,油气的分布受沉积旋回和构造旋回的控制,油气富集的层位与断裂密切相关^[4-5]。目前有关断裂在活动期和静止期起通道作用还是封堵作用的认识大体趋于一致,即无论断裂的性质如何,在断裂活动期主要起运移通道的作用,在断裂静止期主要起封堵作用^[6-9]。活动期起通道作用容易理解,而静止期就一定起封堵作用则有推敲余地。事实上断层尤其是较大规模的断层,往往呈断裂带的形式分布,断裂带内的岩石由于构造挤压、破碎等呈角砾岩或岩石颗粒,并且在断层的不同部位由于构造作用力的强弱、方向、岩性、成岩作用等会发生变化,断裂带的厚度、岩石颗粒与角砾大小、成岩程度等都会有所不同^[10-11],因而在空间上对油气运移和封堵的作用肯定不同。在断层封堵性方面,人们提出了断层两盘砂泥对接封闭机理、泥质充填封闭机理和后期成岩封闭机理等,并利用各种定性方法与定量方法进行封闭性评价^[12-17]。但这些方法都是间接地评价断层封闭性,没有涉及能够反映断层封闭性的一些直观的油气特征方面的信息。本文将从与断层直接相关的油气分布特征入手,分析准噶尔盆地西北缘八区一百口泉区二叠系风城组与夏子街组的断层封闭性。

1 基本地质特征

八区一百口泉区位于准噶尔盆地西北缘克夏断阶带前缘斜坡部位(图1)。该断阶带为一隐伏的逆掩断裂带,由西准噶尔洋在晚古生代向哈萨克斯坦板块俯冲、消减乃至发生碰撞而形成,表现为叠瓦断层与前缘单斜的组合形式。不同的断裂近于平行,断面均北西倾,上陡下缓,相关地层构造线总体大致平行于断裂带走向。断裂带主要为上石炭统一三叠系的推覆体,其上为侏罗—白垩系的楔顶超覆沉积,超覆沉积边界构成了盆—山的自然地理边界。断裂明显控制了两侧的沉积建造,断裂带及其西北侧为基岩裸露或埋藏区。断裂带下盘从下到上分布着石炭系、佳木河组、风城组、夏子街组和乌尔禾组。八区一百口泉区已发现的二叠系油气藏主要分布在夏子街组和风城组,分别为八区805井区风城组、夏子街组油气藏和八区530井区与百口泉区百21井区夏子街组油气藏。另外,八区805井区下乌尔禾组底部也有少量油气。这些油气藏均位于断裂带断层下盘,上倾方向为断层遮

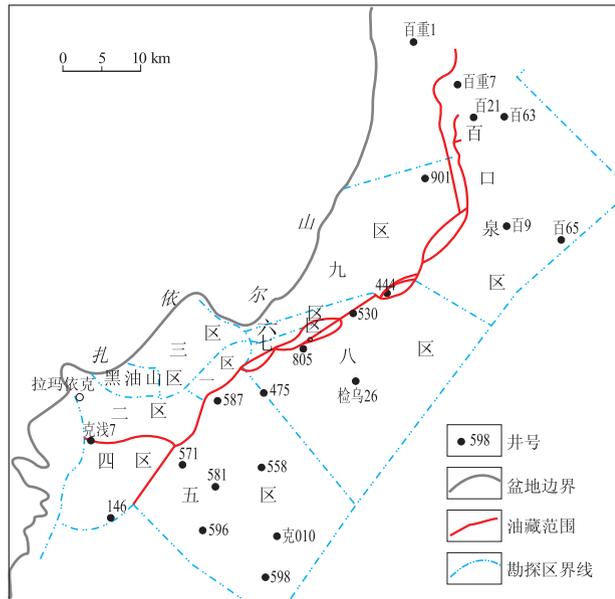


图1 准噶尔盆地西北缘八区—百口泉区构造位置
Fig. 1 Structure location of the region 8 and Baikouquan of the northwest margin, the Junggar Basin

挡,所以,油气藏主要为倾斜地层上倾方向断层遮挡的断层油气藏,局部有不整合遮挡作用存在,但总体仍然是断层的封闭与开启性对油气藏的形成和保存起着极为关键的作用。

2 原油特征

根据原油物性分析结果,八区一百口泉区二叠系原油密度一般低于 0.9 g/cm^3 ,粘度一般低于 $50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,二者具有较好的正相关,原油基本为正常原油。地面原油密度分布特征(图2)显示,从整个研究区来看,总体上靠近断层的部位原油密度大,远离断层的下倾部位原油密度小,具有较好的规律性变化。但对于具体的油气藏来看,参数的变化又具有一定异常,这种异常是断层封闭性差异的重要反映。一般来说,对于封闭性好的油气藏,由于油气重力分异作用,越靠近油气藏顶部或上部,原油密度和粘度越低,越靠近底部或下部越高。如果出现相反的情况,则预示了顶部封闭性差,较轻的烃类组分部分或大部分通过断层散失了。

2.1 夏子街组原油密度变化特征

805井区夏子街组油气藏原油密度在油气藏中部和下倾部位偏低,从 0.83 g/cm^3 到 0.84 g/cm^3 变化,向东北方向接近断层的部位和向西南接近不整合面的部位以及向西北方向原油密度都逐渐增加,从 0.84 g/cm^3 变化到 0.86 g/cm^3 以上,其中在油气藏西北部靠近断层部位存在部分岩性变化形成的遮挡。530井区夏子街组油气藏原油密度总体从

下倾部位向断层部位也逐渐增大,从 0.855 g/cm^3 变化到 0.865 g/cm^3 以上(图 2a)。更仔细的观察还发现,从 805 井区中部上倾部位断层向 530 井区上倾部位断层,原油密度逐渐升高(图 2a),这反映了断层不同部位封闭性的差异,靠近断层部位原油密度越小,封闭性越好,反之,则越差。所以,从 805 井区中部上倾部位断层到 530 井区上倾部位断层,封闭性逐渐变差。530 井区原油密度总体高于 805 井区,宏观上也反映了 530 井区上倾部位断层比 805 井区上倾部位断层封闭性要差。到 530 井区东北部断层封闭性更差,储集层以产水为主,仅有油气显示(图 2a)。805 井区夏子街组油气藏西侧为不整合遮挡,随着向不整合越来越远,原油密度有不断升高的特征(图 2a),反映了不整合也不是完全封闭的,也有较轻组分的散失,与断层有相似之处。

百口泉区夏子街组油气藏为单斜地层上倾方向被交叉断层遮挡而形成的断层油气藏,构造线与 2 个斜交断层均斜交,三者组成三角形区域,向较差断层交叉点靠近,构造线逐渐升高。原油密度的分布与五区有类似之处,但靠近西侧和北侧原油密度变化特征不同。在西侧,靠近断层部位原油密度有从南到北逐渐增加趋势,大体从 0.83 g/cm^3 变化到 0.86 g/cm^3 以上。从油气藏下部向油气藏北部断层

过渡,原油密度逐渐升高,大体从 0.85 g/cm^3 变化到 0.865 g/cm^3 以上,在北部断层部位沿断层方向原油密度稍有变化,但大体一致(图 2a)。这种原油密度的变化特征说明,西侧断层南部封闭性要好于北部,并且从南到北封闭性依次逐渐变差。北侧断层总体封闭性要比西侧断层差,是油气散失的重要通道,这些散失的油气向断层上盘更高部位的储集层运移,并二次成藏,其横向运移距离比较大,因此该区构造高部位的二叠系、三叠系和侏罗系都有油气藏分布,与原油沿断层的垂向运移有密切关系。

2.2 风城组原油密度变化特征

风城组油气藏主要分布在 805 井区,构造特征与夏子街组油气藏类似,北部上倾方向断层遮挡,西侧为不整合遮挡(图 2b)。原油密度变化也与夏子街组类似,油气藏中部检乌 22 井和检乌 30 井区周围原油密度低,在 $0.85 \sim 0.86 \text{ g/cm}^3$ 之间。从油气藏中部向东北方向断层部位原油密度从 0.845 g/cm^3 不断升高到 0.875 g/cm^3 ,从油气藏中部向西侧靠近不整合部位原油密度从 0.845 g/cm^3 逐渐增大至 0.89 g/cm^3 ,增加的幅度更大(图 2b),似乎预示了不整合比断层的封闭性要差。油气藏中部上倾部位断层封闭性相对要好,向东北和西南封闭性都逐渐变差,因而造成了油气藏东北部钻井以产水为主。

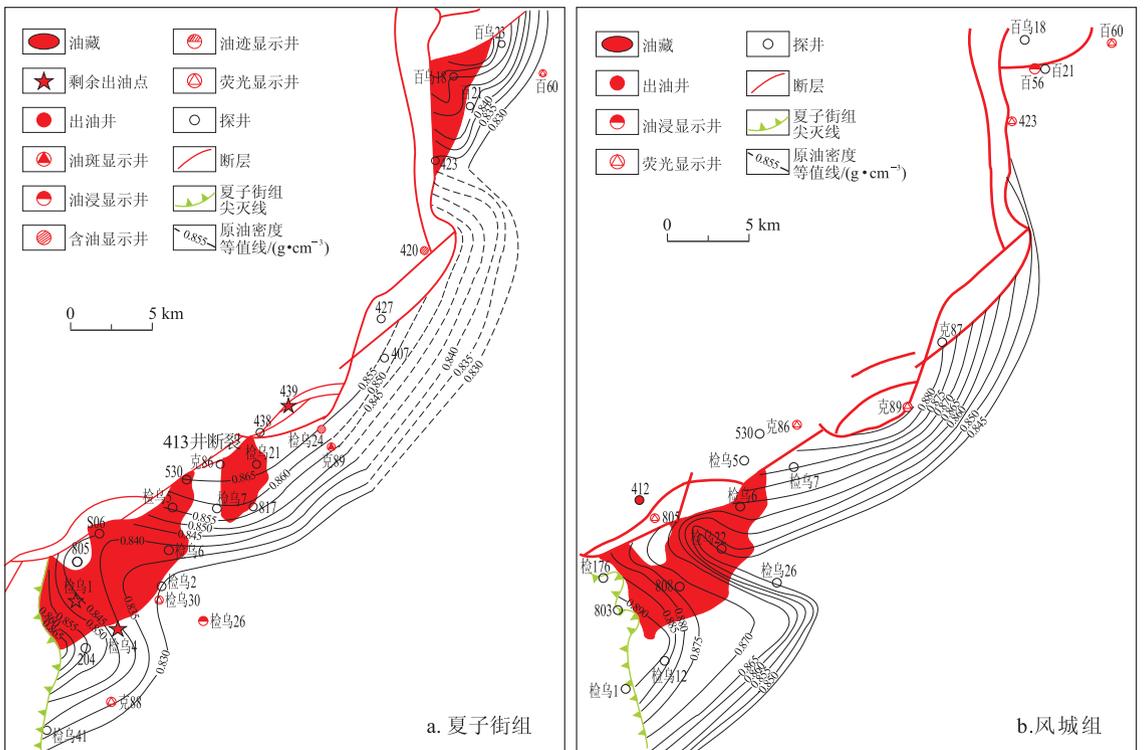


图 2 准噶尔盆地西北缘夏子街组和风城组原油密度分布

Fig. 2 Crude oil density distribution of Xiazijie Formation and Fengcheng Formation in the northwest margin of Junggar Basin

2.3 原油生物标志物特征

根据八区一百口泉区夏子街组原油甾萜烷分析测试结果,萜烷的主要特征是三环萜烷相对含量高,三环萜烷中以 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} 含量普遍较高, C_{21} 稍高于 C_{23} 而低于 C_{20} ;伽马蜡烷相对含量较高,伽马蜡烷含量大致介于 $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ - 29-升藿烷 $22S$ 和 $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ - 29-升藿烷 $22R$ 之间; C_{24} 四环萜烷相对含量普遍低于 C_{26} 三环萜烷相对含量(图3)。有一定量的 β -胡萝卜素。甾烷中, 5α , 14α , 17α -20R-胆甾烷相对含量较低, 5α , 14α , 17α -20R-麦角甾烷和 5α , 14α , 17α -20R-谷甾烷相对含量较高,三者呈不规则的“/”型分布(图3)。重排甾烷含量较低。两个地区的原油极为相似,来源和成熟度应该一致。

油源对比认为,原油主要来自风城组湖相烃源岩。风城组原油与夏子街组原油甾萜烷特征类似,均来自风城组湖相烃源岩。上述特征说明,八区与百口泉区夏子街组和风城组原油的来源是一致的,均来自玛湖凹陷的成熟度相近的风城组烃源岩。这进一步表明原油经过运移聚集于油气藏中的原始状态和特征应该是相似的,现今原油物性的分布差异主要与保存条件和散失特征有关,即原油物性分布特征等可以反映断层和不整合的封闭性。

3 天然气特征

八区一百口泉区夏子街组和风城组的天然气均为原油溶解气,油气藏压力均高于饱和压力,说明油气藏不饱和。不饱和油气藏一方面与油气运移、聚集时油气的不饱和有关,也与成藏后的封闭性和保存条件有关。八区与百口泉区的夏子街组和风城组原油基本特征相似,来源相近,油气藏埋深也相近,说明其原始油气藏的油气比等特征应该差别不大。但通过夏子街组油气藏原始溶解气油比对比发现,

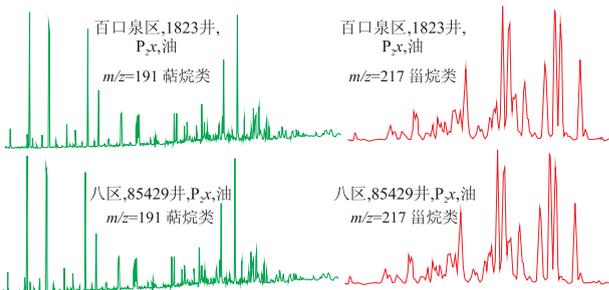


图3 准噶尔盆地西北缘八区一百口泉区夏子街组原油甾萜烷色谱-质谱对比

Fig. 3 Mass spectrogram contrast of sterane and terpane in oil of the region 8 and Baikouquan of northwest margin, the Junggar Basin

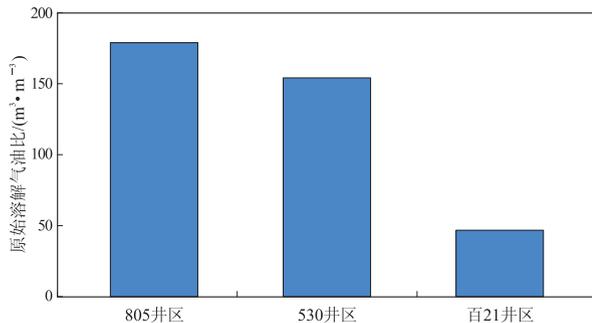


图4 准噶尔盆地西北缘八区一百口泉区夏子街组油气藏原始溶解气油比对比

Fig. 4 Contrast of ratio of dissolved gas to oil of Xiaizijie Formation in the region 8 and Baikouquan of northwest margin, the Junggar Basin

805井区油气藏原始溶解气油比最高,为 $179 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 左右,530井区也较高,在 $154 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 左右,百口泉区明显偏低,为 $47 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 左右(图4)。说明了八区夏子街组油气藏的断层封闭性要好于百口泉区,这与原油物性分布反映的封闭性特征是一致的。

研究区天然气由烃类和非烃类组成,烃类为主,非烃较少。烃类含量为 $75\% \sim 98\%$,非烃含量一般低于 7% 。烃类中甲烷为主,体积百分含量主要为 $64\% \sim 89\%$,重烃含量也较高,为 $12\% \sim 26\%$,干燥系数(C_1/C_{1-5})为 $0.74 \sim 0.89$,表明天然气均为湿气。 iC_4/nC_4 基本在1左右,反映了天然气类型一致,与原油同时运移而来,应属于与风城组烃源岩有关的油型气。

非烃主要为氮气和二氧化碳,其中氮气含量较高,主要为 $2\% \sim 7\%$,二氧化碳含量低,一般在 2% 以下。从油气藏天然气特征对比来看,百口泉区天然气轻组分甲烷含量总体较低,相对密度总体较高,氮气含量总体较高,干燥系数偏低(图5,6)。805井区和530井区分布较为集中,与百口泉区分布于不同区域,轻组分甲烷含量总体较高,相对密度总体较低,氮气含量总体较低,干燥系数偏高(图5,6),这种特征与上述对断层封闭性的分析结果是一致的。百口泉区断层主要是北侧断层,封闭性较差,轻组分易于散失,氮气与甲烷相比分子量大,因而相对富集。八区断层封闭性相对好于百口泉区,由于530井区和805井区溶解气油比差别不是很大,因而,天然气组成上2个井区的特征区分不是很明显,反映总体封闭性好于百口泉区。

4 结论

断层油气藏油气特征的平面分布差异可以反映断层不同部位的封闭性好坏。如果断层封闭性

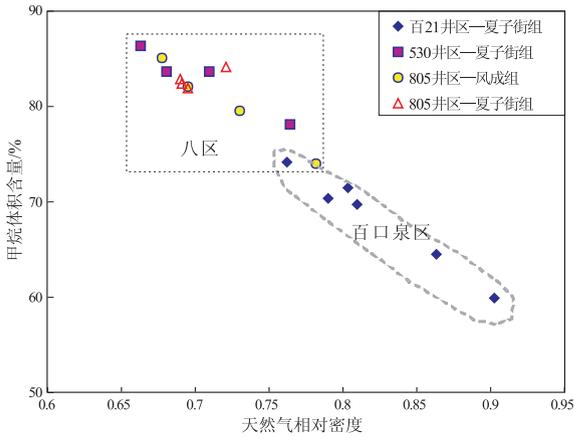


图 5 天然气相对密度—甲烷含量对比
 Fig. 5 Relation of methane content with relative density of natural gas

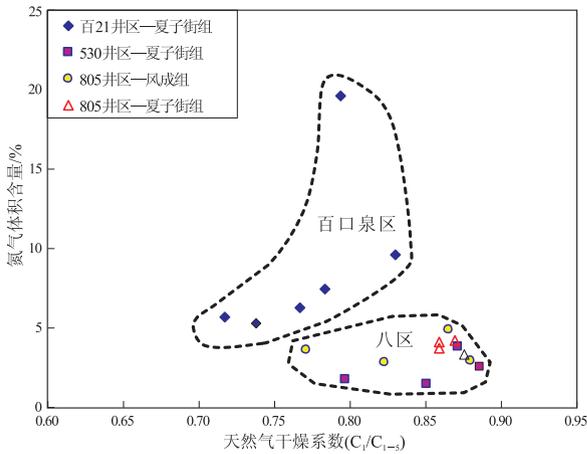


图 6 天然气干燥系数—氮气含量对比
 Fig. 6 Relation of nitrogen content with dry coefficient of natural gas

好,由于油气重力分异作用,从油气藏底部到顶部,原油溶解气和天然气中甲烷等轻组分含量不断升高,原油密度和粘度逐渐降低。如果断层封闭性差,则越靠近断层,轻组分越容易散失,从油气藏底部到顶部,原油溶解气和天然气中甲烷等轻组分含量不断降低,原油密度和粘度逐渐升高。成藏条件相同的不同断层油气藏,由于断层封闭性的差异,油气总体特征会发生变化。准噶尔盆地西北缘八

区一百口泉区夏子街组与风城组油气藏断层在不同部位封闭性有差异,断层基本都有不同程度的绝对开启性,而封闭性是相对的,总体上八区的断层封闭性要好于百口泉区。

参考文献:

[1] 金之钧,张一伟. 油气成藏条件及主要控制因素[M]. 北京:石油工业出版社,2002.

[2] 彭存仓,张博. 郑庐中段走滑断裂与新滩地区油气成藏关系[J]. 石油实验地质,2009,31(3):227-230.

[3] 李绪宣,朱光辉. 琼东南盆地断裂系统及其油气输导特征[J]. 中国海上油气,2005,17(1):1-7.

[4] 张年富. 准噶尔盆地腹部莫索湾地区油气成藏条件与成藏模式[J]. 石油勘探与开发,2000,27(3):17-20.

[5] 王东良,林潼,杨海波,等. 准噶尔盆地滴南凸起石炭系气藏地质特征与控制因素分析[J]. 石油实验地质,2008,30(3):242-246.

[6] DAVIES R K. Introduction to AAPG Bulletin thematic issue on fault seals[J]. AAPG Bulletin,2003,87:377-380.

[7] 吴元燕,平俊彪,吕修祥,等. 准噶尔盆地西北缘油气藏保存及破坏定量研究[J]. 石油学报,2002,23(6):24-28.

[8] 付广,王有功. 断裂活动时期的垂向开启程度识别方法及其应用[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):12-14.

[9] 郝芳,邹华耀,姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘,2000,7(3):11-21.

[10] SMITH D A. Sealing and nonsealing faults in Louisiana Gulf Coast salt basin[J]. AAPG Bulletin,1980,64:145-172.

[11] 付广,段海风,祝彦贺. 原油通过断裂带渗滤运移的物理模拟及其研究意义[J]. 油气地质与采收率,2006,13(1):40-43.

[12] 付广,曹成润,陈章明. 泥岩涂抹系数及其在断层侧向封闭性研究中的应用[J]. 石油勘探与开发,1996,23(6):38-41.

[13] 王离迟,杨勇,洪太元,等. 准噶尔盆地西缘车排子地区断层封闭性研究[J]. 石油实验地质,2008,30(1):41-46.

[14] 张春林,高先志,李淮莲,等. 柴达木盆地尕斯断陷断层封闭性及其对油气运聚的作用[J]. 石油与天然气地质,2004,25(6):659-665.

[15] 吕延防,付广. 断层封闭性研究[M]. 北京:石油工业出版社,2002.

[16] 付晓飞,付广,赵平伟. 断层封闭机理及主要影响因素研究[J]. 天然气地球科学,1999,10(3-4):54-62.

[17] 全裕科,丁文龙,余腾孝,等. 塔里木盆地巴楚隆起同岗断裂封闭性综合评价[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):769-773.

(编辑 黄娟)