

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0850-07

断裂静止期有无输导油气能力的判别方法¹

付 广 王国民 黄劲松

(大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

摘 要 通过断裂内部结构及输导通道特征研究, 得到断裂静止期输导油气通道主要是碎裂岩的连通孔隙, 其是否具有输导油气能力主要取决于碎裂岩颗粒粒度、泥质含量和断裂倾角大小。在此基础上, 利用物理模拟实验模拟了油气在浮力作用下沿断裂碎裂岩运移速度与碎裂岩颗粒粒度、泥质含量和断裂倾角之间的关系。利用此关系建立了一套断裂静止期有无输导油气能力的判别方法, 即运移速度大于零, 断裂具输导油气能力, 反之则无。并将其应用于海拉尔盆地苏仁诺尔断裂静止期在各组地层中是否有输导油气能力的判别中, 其结果与地下油气分布情况相符, 表明该方法定量判别断裂静止期有无输导油气能力是可行的。

关键词 断裂 静止期 输导能力 碎裂岩 粒度 泥质含量 倾角

第一作者简介 付广 男 1962 年出生 教授 油气藏形成与保存 E-mail: fuguang2008@126.com

中图分类号 TE122.1⁺2 **文献标识码** A

油气勘探的实践表明, 断裂在油气的运聚成藏与保存中起到了非常重要的作用, 尤其是在我国东部的断陷盆地内, 断裂作为输导通道, 不仅可以在地下将不同部位和不同时代的源岩和储层连接起来进行油气的运移成藏, 而且还可以将地下深部的油气直接输送到地表散失或调整至浅部重新分布。断裂活动开启成为油气运移的输导通道, 这已是不争的事实。然而, 断裂停止活动后, 能否再成为油气运移输导通道, 直接影响着断裂在油气运聚成藏与保存中所起作用的认识。关于断裂作为油气输导通道前人已经做过一定的研究和探讨^[1-13], 但主要是集中在断裂的活

动时期, 对断裂静止期是否具有输导能力研究甚少, 致使其仍是断裂输导油气作用研究的一个薄弱环节。为此, 本文将在断裂内部结构和输导通道特征研究的基础上, 通过物性模拟实验结果, 建立断裂静止期有无输导油气能力的判别方法, 并以海拉尔盆地苏仁诺尔断裂为例进行应用。

1 断裂内部结构及静止期输导通道特征

根据断裂野外观察描述及钻井取心观察结果, 断裂带内部可分为破碎带和诱导裂缝带 2 个部分 (图 1), 破碎带是在一定岩石体积内复杂的、成组的、交

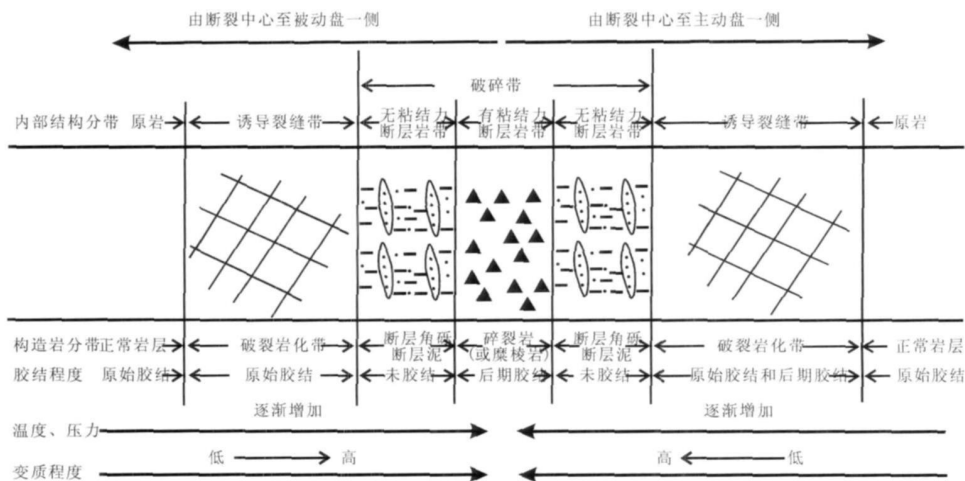


图 1 断裂带内部结构示意图

Fig 1 Sketch for internal structure of fault zone

¹ 国家 973 重大基础研究项目 (批准号: 2001CB209104)、博士学科点专项科研基金 (批准号: 20060220002) 资助。

收稿日期: 2007-08-22 收修修改稿日期: 2007-10-27

叉排列的断裂滑动面(或伴生裂缝)和断裂体的组合,其位于断裂中心处,以发育断裂岩为特征,断裂岩是在深部及浅部地壳的剪切位移带中,至少可以认为是具有明显的由过去剪切过程所产生的结构特征的岩石,其成分及发育程度明显受其断裂性质、活动强度及断移地层岩性的控制。按照岩石结构特征,可以把断裂岩进一步划分为不具线理和面理结构的碎裂岩系列和具有线理和面理结构的糜棱岩系列。破裂岩系列是断裂活动过程中破碎岩石“张性—摩擦”的产物,而糜棱岩系列则是断裂活动过程中破裂岩石“准塑性”的产物。二者由于致密程度的差异,其孔渗性也就存在着差异性,从碎裂岩石至糜棱岩石孔渗性明显变差。诱导裂缝带分布在破碎带至完好岩石之间的过渡带,位于断裂两侧有限区内。诱导裂缝带以发育多种类型的裂缝为特征,岩石除破裂外未见有其它变化。裂缝是断裂形成过程中诱导出的局部变形的结果,分布是由断裂活动引起的次级构造应力场和岩石力学性质决定的。在靠近断裂的部位构造活动强度大,断裂的规模和密度也大,随着远离断裂中心的距离增大,裂缝的密度越来越小,最后完全消失。岩石颗粒越大,厚度越大,裂缝密度越大;反之裂缝密度越小。

由上述分析可知,断裂输导油气的通道主要是伴生和派生裂缝及碎裂岩连通孔隙。当断裂活动时,伴生和派生裂缝开启,碎裂岩孔渗性增加,二者均可成为油气运移的输导通道。当断裂停止活动后,伴生和派生裂缝在上覆沉积载荷和区域主压应力作用下紧闭失去输导油气能力,不再是油气运移的输导通道。碎裂岩的孔渗性也将随上覆沉积载荷和区域主压应力作用而降低,但其降低幅度明显较裂缝要小,其能否继续具有输导油气的能力,主要受碎裂岩本身特征和断裂产状的影响,即碎裂岩颗粒粒度、泥质含量和断裂倾角大小的影响,碎裂岩颗粒粒度越大,泥质含量越小,孔渗性越好,断裂倾角越大,油气浮力越大,输导油气能力越强;反之则输导油气能力越弱。

2 断裂静止期输导油气能力的物理模拟

2.1 实验模拟装置及材料

2.1.1 实验设备

该模拟实验由实验箱、千斤顶、SEB-122双注塞注入泵等组成,实验装置详见文献^[11]。其各组成部分的特征及作用如下:

1 实验箱

是由 5 cm 厚的钢板构成的长 80 cm、宽 50 cm 和高 50 cm 的一个箱体,其上盖是活的,可以通过此盖对箱内施加压力。箱体的正面在钢板内镶有一块透明的有机玻璃板,通过它可以观察箱内所发生的实验变化。在其右下角留有一个注入口,在实验过程中油气就是由此注入箱体内部的。

④千斤顶

该千斤顶为液压式的,可以通过手动加压。在实验过程中可以根据需要,将其放在实验箱上盖上对箱体内部的地质模型加压。

(四)SEB-122双注塞注入泵

在实验过程中,是通过双注塞注入泵将油气注入到实验箱内的地质模型中的。

2.1.2 实验材料

本次实验材料主要有:不同粒度(粉、细、中、粗、砾)石英颗粒、粘土、石膏、原油、煤油、天然气、蒸馏水。

2.2 实验模型及步骤

2.2.1 材料选取

1 泥岩采用建筑用的石膏粉和黄土按 1:4 比例混合(以便使粘土迅速变硬),每 10 kg 石膏和黄土中加 6.5 L 1% 矿化水混合而成的塑性材料。

④断裂碎裂岩采用饱和含 1% 矿化水的石英颗粒代替,且混有少量酚酞。

(四)煤油中加入少量原油,加深颜色以便观察,天然气中混有一定量的氨气,以便遇到酚酞变色易于观察。

2.2.2 实验模型及安装

1 按实验模型要求,加工好足量的原料。

④将加工好的原料按照事先已确定的地质模型装入实验箱内,使断裂碎裂岩横剖面能够透过有机玻璃进行观察。

(四)实验箱加盖,并加上千斤顶将模型压紧,以防油气从四周溢出。

1/4 用双注塞注入泵将油气连续不断地从实验箱右下角注入口注入实验箱底部的石英颗粒中,并使各个实验都保持以相同的注入速度(50 ml/h),以便始终使底部石英颗粒都处于饱和状态,从而为油气在浮力作用下沿断裂碎裂岩(石英颗粒)向上运移提供充足的油气来源。

2.2.3 观察实验现象

通过观察记录油气沿断裂碎裂岩开始运移时间、

终止时间和运移距离等。

2.3 模拟结果及分析

由上述模拟实验对油气通过不同粒度、不同泥质含量和倾角断裂碎裂岩的运移速度进行了物理模拟,结果如图 2和图 3所示。由图 2中可以看出,由砾至细砂,原油沿断裂碎裂岩运移速度逐渐减小且随断裂碎裂岩内泥质含量增加逐渐减小,随断层倾角增大而逐渐增大。由图 3中可看出,天然气通过断裂碎裂岩的运移速度随碎裂岩中泥质含量增加逐渐减小,随碎裂岩颗粒粒度和断层倾角增大而增大。

3 断裂静止期有无输导油气能力的判别方法

通过上述模拟实验结果可知,油气在浮力作用下沿断裂碎裂岩运移速度大小可以在一定程度上定量

地反映断裂静止期有无输导油气的能力。如果油气在浮力作用下通过断裂碎裂岩运移速度大于零,表明油气可以沿断裂发生运移,即断裂静止期可以对油气运移可以起输导作用;相反,如果油气在浮力作用下通过断裂碎裂岩运移速度小于或等于零,表明油气不能沿断裂发生运移,即断裂静止期不能对油气运移起输导作用。

具体判别步骤为:

1 通过地震剖面和构造图确定断裂倾角;

④如果探井钻遇有断裂碎裂岩,便可以通过岩心观察确定断裂碎裂岩颗粒粒度;如果没有岩心资料,可依据断裂两侧地层岩性来确定断裂碎裂岩颗粒粒度

(四)利用断裂断距和断移地层泥岩厚度及层数,由式 1估算断裂碎裂岩中泥质含量。

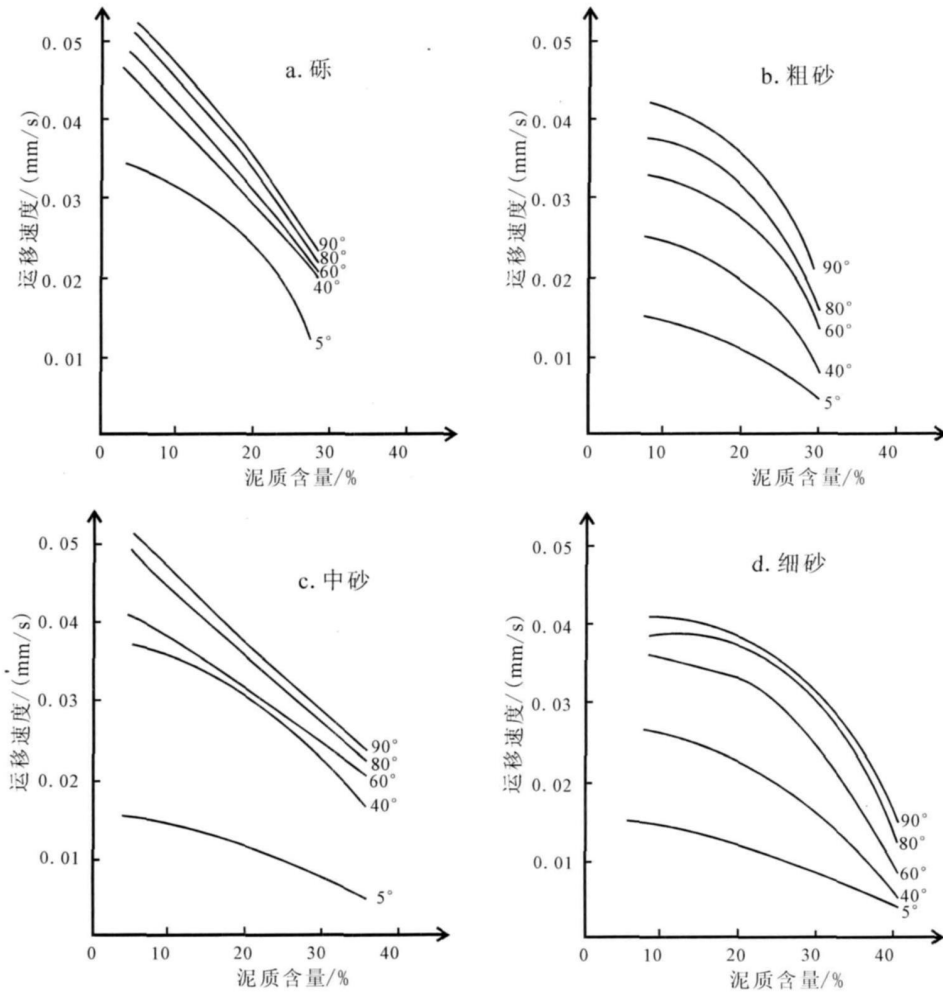


图 2 原油运移速度与断裂碎裂岩倾角、粒度和泥质含量关系图

Fig 2 Relationship among oil migration velocity and dip angle, grain of filling material and mudstone content of fault zone of cataclasis

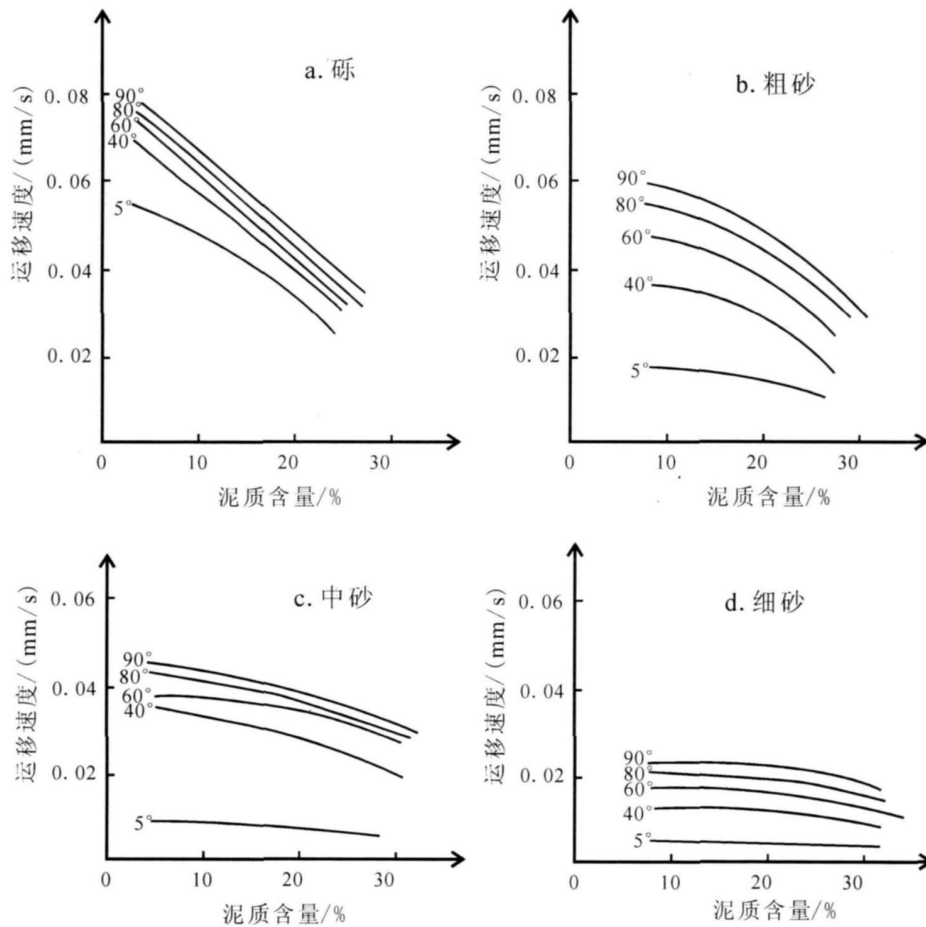


图 3 天然气运移速度与断裂碎裂岩倾角、粒度和泥质含量关系图

Fig 3 Relationship among gas migration velocity and dip angle, grain of filling material and mudstone content of fault zone of kataclasite

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_{1i} + \sum_{j=1}^m h_{2j}}{2(H + L)} \quad (1)$$

式中: R_m 为断裂带充填物中泥质含量, 小数;

L 为垂直断距, m;

h_{1i}, h_{2j} 分别为被断层错断上下盘的第 i 层和第 j 层泥岩的厚度, m;

n, m 分别为被错断上下盘泥岩层数;

H 为目的层厚度, m。

¼ 根据已确定的断裂倾角、断裂碎裂岩中泥质含量和颗粒粒度, 由图 2 和图 3 便可以确定出油气在浮力作用下沿断裂碎裂岩运移速度大小, 如果运移速度大于零, 表明断裂对油气具有输导能力, 反之则无输导能力。

4 实例应用

本文选取海拉尔盆地乌尔逊凹陷北部苏仁诺尔

断裂为例, 利用上述判别方法研究其静止后有无输导油气能力, 从而阐明在油气运聚成藏与保存中的作用。

苏仁诺尔断裂为正断层, 其走向为北东东向, 倾向由东南转东南南, 平面上延伸 37.25 km, 可分为西南部和东北部两部分, 其中西南部断层延伸 24.75 km, 东北部断层延伸 12.5 km。如图 4 所示。西南部断穿层位为 T_{23} 至 T_{04} , 而东北部断穿层位则为 T_5 至 T_{04} 。该区构造发育史研究表明, 苏仁诺尔断裂为一长期继承性发育的断裂, 以铜钵庙组沉积初期开始发育一直到南二段沉积之时, 大一段、大二段沉积时该断裂停止活动, 伊敏组沉积时期, 断裂又开始发育, 伊敏组沉积后期反转为逆断裂, 青元岗组沉积时期, 该断裂停止活动至今。

由文献^[13]可知, 该区南一段源岩在伊敏组沉积末期开始向外大量排出油气, 此时苏仁诺尔断裂活动

开启,有利于油气沿其进行运移和聚集,使得该区目前发现的油气均分布在苏仁诺尔断裂附近^[13]。青元岗组沉积时期后苏仁诺尔断裂停止活动,其是否具有输导油气能力对于其附近已聚集油气的保存至关重要。

按照上述油气在浮力作用下通过断裂碎裂岩运移速度的确定方法,对静止后(青元岗组沉积之后)的苏仁诺尔断裂在各组地层中输导油气速度进行了研究,结果如图 5 和图 6 所示。由图 5 中可以看出,苏仁诺尔断裂西南部输导油气在各地层内具有不同的特征,在南一段内无论油还是气运移速度均大于零,表明其对油气均具有输导油气能力。在南二段 X 408—X 508 测线之间和 X 658 测线以东油气运移速度小于零,不具输导油气能力。而 X 408 测线以西和 X 508—X 658 测线之间油气运移速度大于零,具输导油气能力。在大一段内除 X 308—X 408 测线之间油气运移速度大于零,具输导油气能力外,其余地区油气运移速度均小于零,不具输导油气能力。在大二段内除在 X 308—X 358 测线之间油气运移速度大于零,

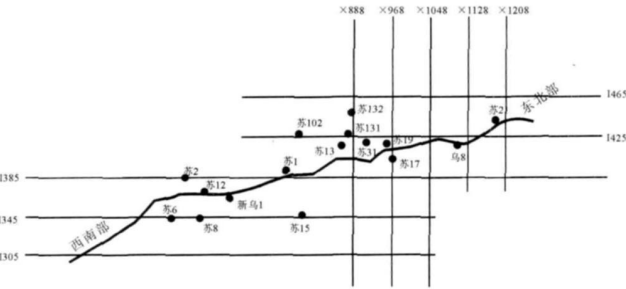


图 4 苏仁诺尔断裂及工业油气井平面分布图

Fig 4 Distribution of Shurennoer fault and industrial oil or gas wells

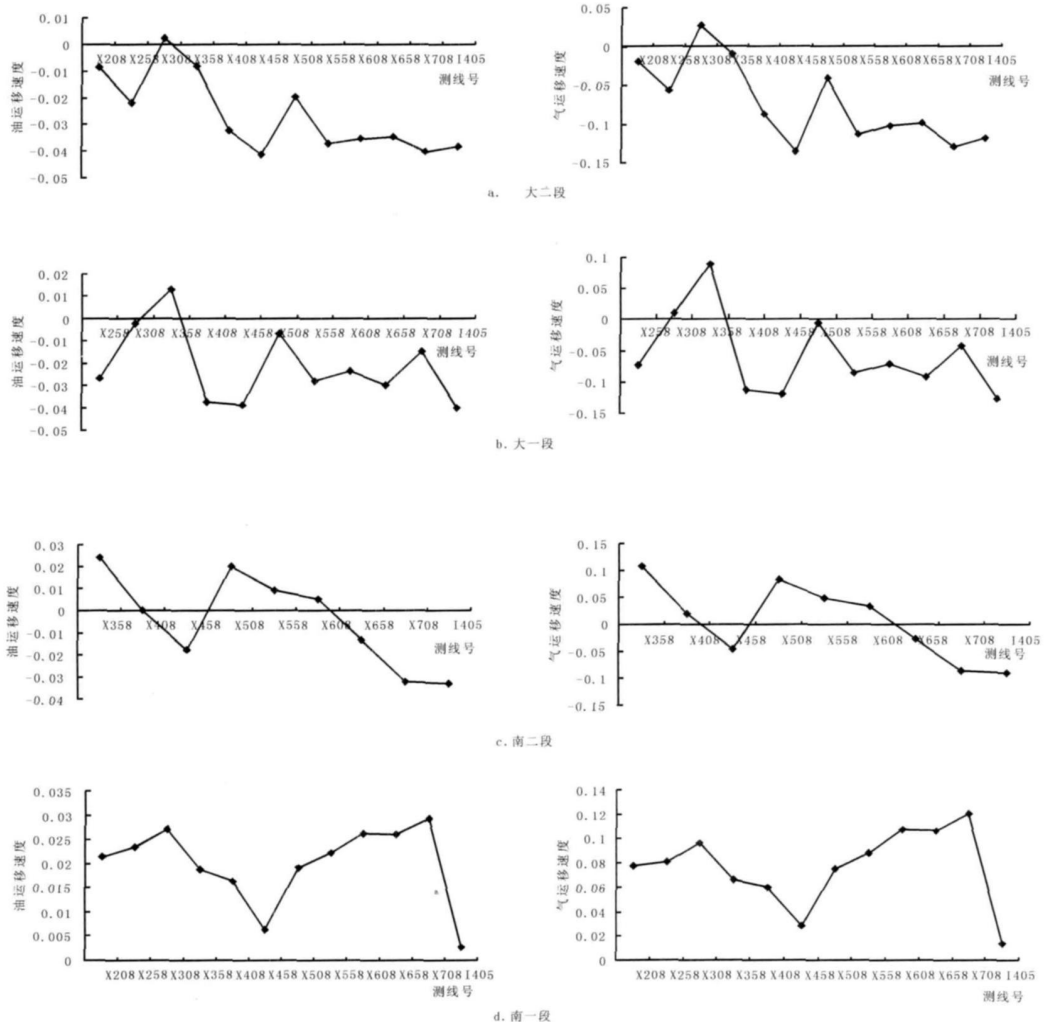


图 5 油气沿苏仁诺尔断裂西南部运移速度分布图

Fig 5 Distribution of oil-gas migration velocity in the southwest of Shurennoer fault

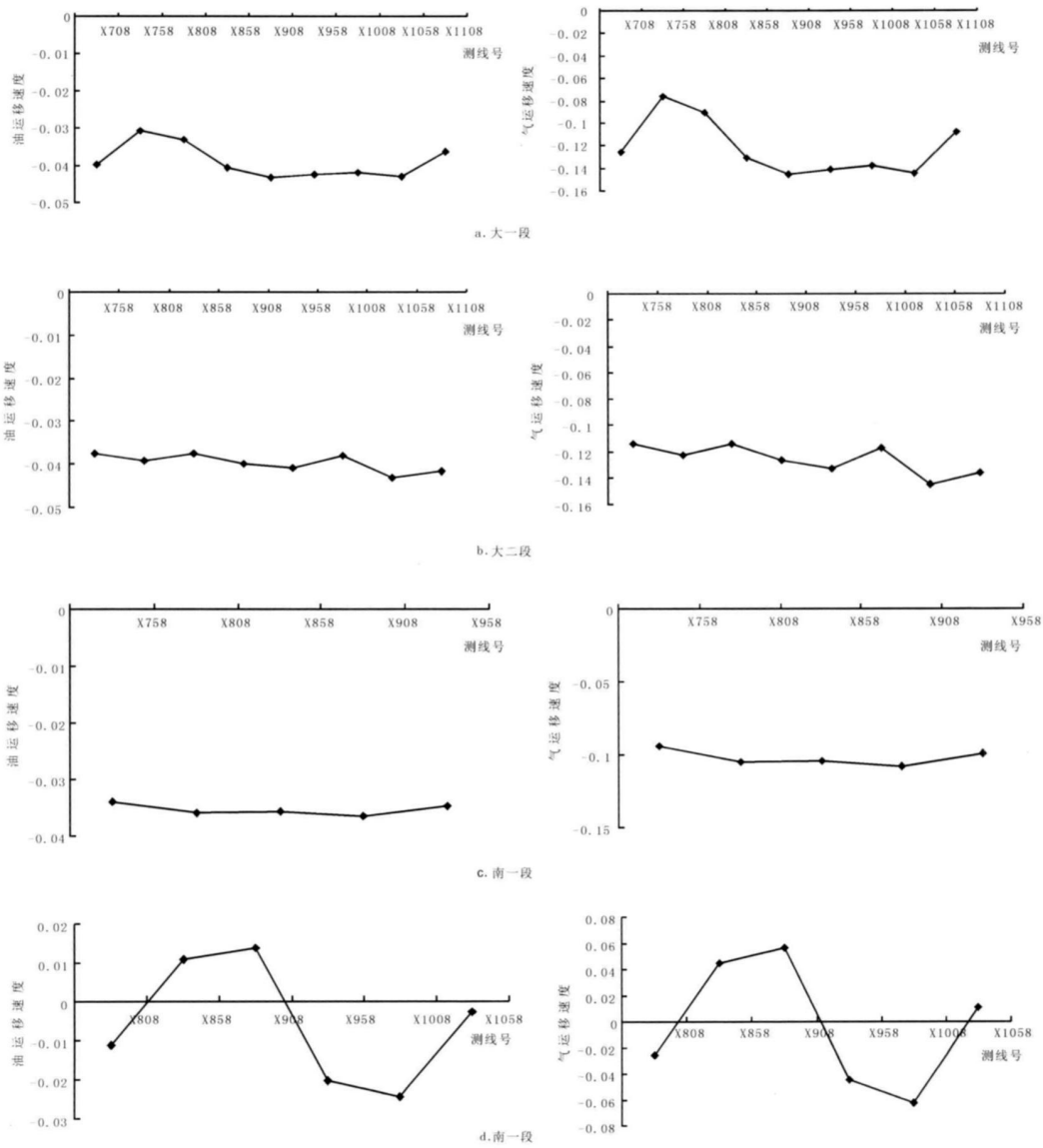


图 6 油气沿苏仁诺尔断裂东北部运移速度分布图

Fig 6 Distribution of oil-gas migration velocity in the northeast of Surennuoer fault

具输导油气能力外, 其余地区油气运移速度均小于零, 不具输导油气能力。由图 6 可以看出, 苏仁诺尔断裂东北部在南二段、大一段和大二段内油气运移速度均小于零, 均不具输导油气能力, 在南一段内 X808 测线以西和 X958—X1058 测线之间油气运移速度小于零, 不具输导油气能力。而在 X858—X958 测线之间和 X1058 测线以东油气运移速度大于零, 具有输导油气能力。

由上可以看出, 苏仁诺尔断裂静止后西南部与东北部相比, 两者在输导油气能力上存在着明显的差异, 西南部输导油气能力明显好于东北部, 表现在各个层位上, 即苏仁诺尔断裂东北部油气保存条件好于

西南部, 这可能是造成苏仁诺尔断裂西南部油气富集层位较东北部多, 但富集程度明显较东北部差 (图 4) 的重要原因。

5 结论

(1) 断裂静止期主要是碎裂岩的连通孔隙输导油气, 其是否具输导油气能力主要取决于碎裂岩颗粒粒度、泥质含量和断裂倾角大小。

(2) 利用物理模拟实验结果建立的油气在浮力作用下通过碎裂岩的运移速度可以定量判断断裂有无输导油气能力, 运移速度大于零, 断裂具输导油气能力; 反之则无。

(3) 断裂静止期输导油气能力判别方法在海拉尔盆地苏仁诺尔断裂的应用结果表明, 其判断结果符合地下油气分布的实际情况, 表明该方法定量判断断裂静止期有无输导油气能力是可行的。

参考文献 (References)

- 1 付广, 杨勉. 利用断裂充填物泥质含量研究断层封闭性的改进方法 [J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(1): 1-4 [Fu Guang Yang Mian Improved method for studying fault closure by using shale content in fault filling materials [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002, 24(1): 1-4]
- 2 付广, 孙永河, 吕延防, 等. 西斜坡区萨二、三油层砂体输导层输导天然气效率评价 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 763-768 [Fu Guang Sun Yonghe Lv Yanfang *et al.* Evaluation on transporting efficiency through sandbody of S_{2+3} oil layer in west slope region [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(5): 763-768]
- 3 向才富, 冯志强, 吴河勇. 松辽盆地西斜坡带油气运移的动力因素探讨 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 719-725 [Xiang Caifu, Feng Zhiqiang Wu Heyong Discussion on the dynamic factors controlling hydrocarbon migration from depression to west slope zone of the SongLiao basin, Northeast China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(4): 719-725]
- 4 付广, 王朋岩, 孙洪斌. 断层垂向封闭模式及研究方法 [J]. 新疆石油地质, 1998, 19(1): 7-11 [Fu Guang Wang Pengyan, Sun Hongbin Vertical seal model of fault and its study method [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(1): 7-11]
- 5 付晓飞, 吕延防, 付广, 等. 逆掩断层垂向封闭性定量模拟实验及评价方法 [J]. 地质科学, 2004, 39(2): 223-233 [Fu Xiaofei Lv Yanfang Fu Guang *et al.* Quantitative simulation experiment and evaluation method for vertical seal of overthrust [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(2): 223-233]
- 6 郝芳, 邹华耀, 杨旭升, 等. 油气幕式成藏及其驱动机制和识别标志 [J]. 地质科学, 2003, 38(3): 403-412 [Hao Fang Zou Huayao Yang Xusheng *et al.* Episodic petroleum accumulation, its driving mechanism and distinguishing markers [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 403-412]
- 7 刘泽容, 信荃麟, 邓俊国, 等. 断块群油气藏形成机理和构造模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 16-40 [Liu Zerong Xin Quanlin, Deng Junguo *et al.* Forming Mechanism of Fault Block Oil and Gas Reservoirs and Structural Models [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 16-40]
- 8 Gudmundsson A. Fluid overpressure and flow in fault zones: field measurements and models [J]. Tectonophysics, 2001, 36(1): 183-199
- 9 Hooper ECD. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 4(2): 161-180
- 10 Stephan K M, Stephen G R. The influence of fault permeability on single phase fluid near fault-sand intersections: result from steady-state high resolution models of pressure-driven fluid flow [J]. AAGU Bulletin, 1996, 8(11): 1763-1779
- 11 付广, 吕延防, 祝彦贺. 断层垂向封油气性综合定量评价方法探讨及应用 [J]. 地质科学, 2005, 40(4): 476-485 [Fu Guang Lv Yanfang Zhu Yanhe. A comprehensive quantitative evaluation method on faults vertical seal for oil and gas and its application [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(4): 476-485]
- 12 付晓飞, 方德庆, 吕延防. 从断裂带内部结构出发评价断层垂向封闭性 [J]. 地球科学, 2005, 30(3): 328-336 [Fu Xiaofei Fang Deqing Lv Yanfang Method of evaluating vertical sealing of faults in terms of the internal structure of fault zones [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(3): 328-336]
- 13 付广, 于丹. 苏仁诺尔断裂垂向封闭性时空分布及其与油气聚集的关系 [J]. 石油学报, 2005, 26(6): 40-45 [Fu Guang Yu Dan. Time-space distribution of vertical seal in Surennuoer fault and its relation with oil-gas accumulation [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 26(6): 40-45]

A Method Judging the Existence or not of Transporting Oil-Gas Ability of Fault in the Stillstand Period

FU Guang WANG Guo-min HUANG Jin-song

(Daqing Petroleum Institute, Daqing Heilongjiang 163318)

Abstract By the study of characteristics of internal structure and transporting pathways in fault, the main transporting pathways of fault in the stillstand period were considered to be the connected pores of cataclasite. The existence or not of their transporting oil-gas ability was decided by the big or small of grain size of cataclasite, mudstone content of cataclasite and tip angle of fault. Based on it, the relation between oil-gas migration velocity through cataclasite of fault under the action of buoyancy and grain size of cataclasite, mudstone content of cataclasite and tip angle of fault were studied by the physical simulation experiment. By the relation, a method judging the existence or not of transporting oil-gas ability of fault was established. If the oil-gas migration velocity is more than zero, fault has transporting oil-gas ability, on the contrary, fault don't have transporting oil-gas ability. The method was applied in judging the existence or not of transporting oil-gas ability of Surennuoer fault in different state of Hailaer Basin. The results accord with actual geological conditions. It indicates that the method is practical to judge quantitatively the existence or not of transporting oil-gas ability of fault.

Key words fault, stillstand period, transporting ability, cataclasite, grain size, mudstone content, tip angle.