

复合断层对地应力的影响研究

倪伟,刘桂玲,林波

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院,江苏扬州225009)

摘要:江苏油田属复杂小断块油田,断裂系统复杂。分析多个油田区块模拟的地应力大小和方向图资料,发现断层附近地应力大小和方向发生较大改变。利用有限元法模拟研究了平行断层和交叉断层对地应力的影响。研究表明,交叉断层对2倍断距范围内区域的地应力影响较大,而且断层对主应力大小和方向的改变非同步。

关键词:地应力 有限元模拟 复合断层 地应力场建模

中图分类号:TE319 **文献标志码:**A

Study on the influence of composite faults on ground stress

NI Wei, LIU Guiling, LIN Bo

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Most of oilfields in Jiangsu Oilfield are small complex fault - blocks with complicated fracture systems. According to information in the magnitude and direction diagram of simulated ground stresses for several oilfields, it was found larger changes in the magnitude and direction of ground stress near fault. The finite element method was used to simulate the effects of parallel and cross faults on ground stress. The results of this study indicated that the cross - fault has a great influence on in - situ stress in the region within 2 times of fault range, and the change of the principal stress and its direction are not synchronous.

Key words: ground stress; FEM; compound faults; modeling geostress - field

通过对苏北盆地十多个油田模拟地应力大小和方向图资料进行分析,发现断裂带附近最大主应力具有较高的变化梯度,特别是在断裂构造走向发生转向或多条断裂交汇的部位。因此有必要开展断层对地应力的影响研究。江苏油田属复杂小断块油田,常见多条断层以各种方式的复合。本文仅研究平行、交叉两种复合断层对地应力的影响。

1 研究方法

采用有限元分析方法,在有限元分析时,为了忽略边界条件对研究区域的影响,往往把研究区域用较大的区域包围,在外围区域内进行有限元约束^[1-3]。本文选用二维平面模型,为约束平面的刚性位移,约束选用一点全约束,另一点约束一个方向。区域宽度为断层长度的5倍,足以消除断层约束对断层周围地应力的影响。模型选用在外边界上加均布力,为简化外边界的应力边界条件,选择外边界的方向沿着区域主应力的方向^[4-6]。

2 复合断层对地应力的影响

2.1 平行断层

平行断层是由若干条产状大致相同的正断层排列而成。模型中设置两条平行断层间距为水平断距的20倍,左侧断层的弹性模量比右侧断层的弹性模量小,即左侧断层比右侧断层破碎严重,区域最小主应力方向与断层走向夹角为 15° 。

模拟结果表明:左边断层端部和附近应力集中的程度和范围较右边断层大,应力方向变化的范围和幅度也较大。改变两条平行断层与区域最大水平主应力的夹角 θ 发现,当 θ 在 45° 时断层端部的应力集中程度达到最大,这与单条断层模拟的结论类似(见图1~图3)。

收稿日期:2018-09-05;改回日期:2018-10-24。

第一作者简介:倪伟(1985—),工程师,现从事油气田开发研究工作。E-mail:niwei.jsyt@sinopec.com。

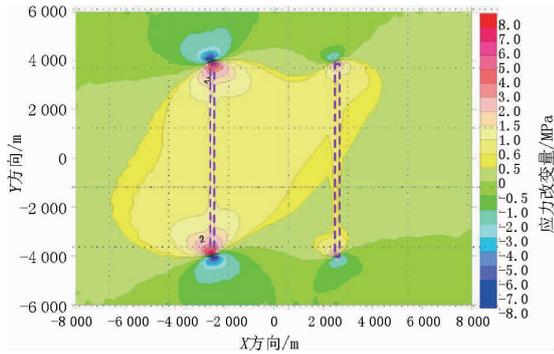


图 1 平行断层最大主应力改变量等值线图

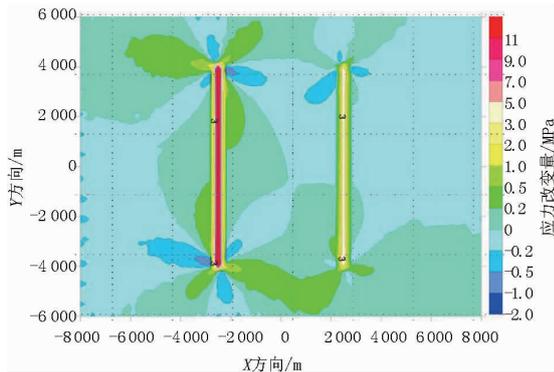


图 2 平行断层最小主应力改变量等值线图

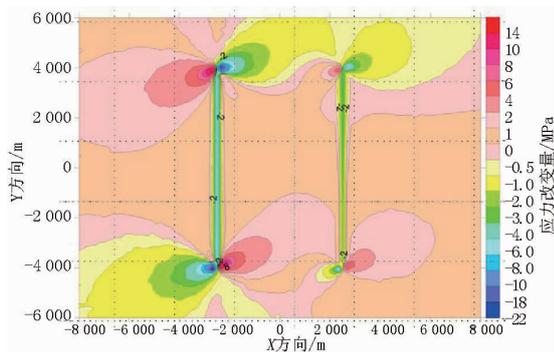


图 3 平行断层最大主应力方向改变量等值线图

从图 3 可以看出,两断层之间且靠近断层中部的区域可以不考虑断层对主应力方向的影响。改变较大的为两断层端部,根据两断层之间的距离,重叠部分大小不同。可根据叠加原理,计算每一断层端部某点的应力状态,然后叠加两种应力状态,得到共同作用时的应力状态,再得到该点的最大、最小主应力大小和方向。

2.2 交叉断层

交叉断层模型的模拟结果表明:不仅在断层端部有应力集中,在断层的交汇处也出现应力集中现象,且应力集中范围明显变大,附近应力方向的变化也十分复杂。

运用大型有限元软件进行计算,获得分叉附近的最大和最小主应力云图。从云图可以看出,分叉

对最大主应力的影响呈近似椭圆形状(见图 4),而分叉对最小主应力的影响成三叶草形状(见图 5)。

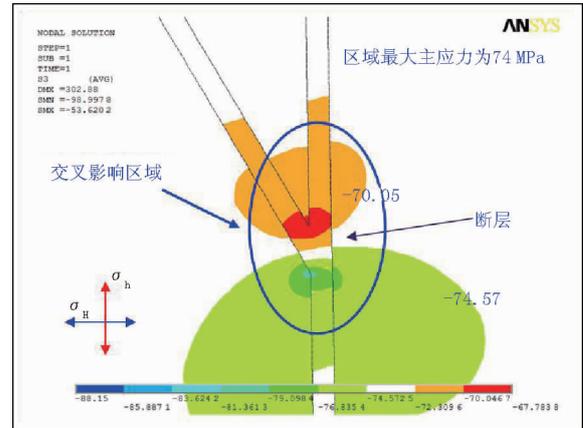


图 4 最大主应力云图

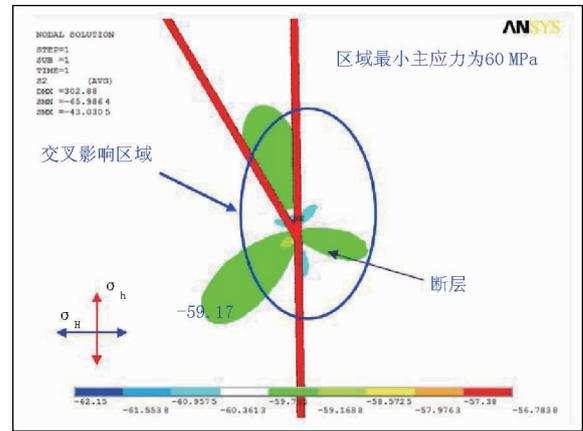


图 5 最小主应力云图

根据断层交叉与最小主应力方向之间的关系,可以分成两种情况分别考虑:一种为交叉角中轴线沿最小主应力方向;另一种为交叉角中轴线沿最大主应力方向。

2.2.1 交叉角中轴线沿最小主应力方向

当交叉角中轴线沿最小主应力方向时,模拟研究断层夹角从 10°到 150°的地应力变化。从研究结果来看,地层附近最大主应力大小改变较大的区域是距交叉点 2 倍断距以内(见图 6),而地层附近最小主应力大小改变较大的区域是距交叉点 1.5 倍断距以内(见图 7)。两断层的夹角是交叉附近区域地应力改变的重要影响因素,从图中曲线也可看出,随着断层夹角增大,断层交叉附近点主应力先减小后增大,最大、最小主应力的幅值分别为 -10 ~ 6 MPa 和 -6 ~ 4 MPa。

从不同交叉角时交叉角附近地层最大主应力方向的影响结果(见图 8)来看,主应力方向随交叉角的增加而顺时针先增加后减小,在夹角为 50°和 70°

时,主应力方向改变最大;同时主应力方向的改变比主应力大小的改变大,其变化范围在区域主应力方向上偏差 25°左右。

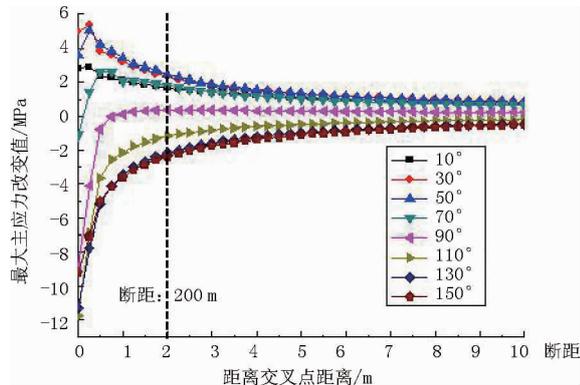


图6 不同交叉角时交叉角附近地层最大主应力改变值

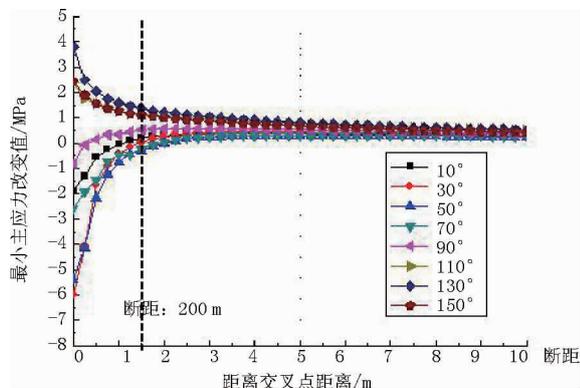


图7 不同交叉角时交叉角附近地层最小主应力改变值

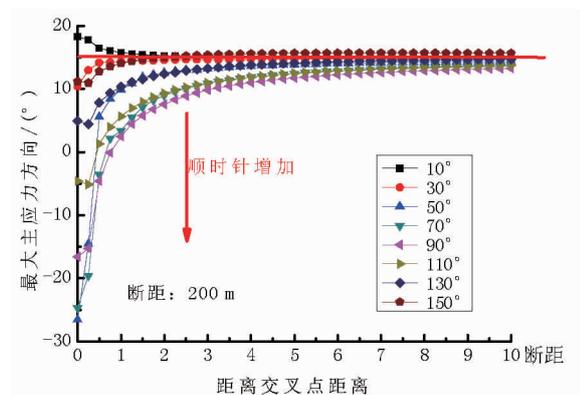


图8 不同交叉角时交叉角附近地层最大主应力方向

2.2.2 交叉角中轴线沿最大主应力方向

当交叉角中轴线沿最大主应力方向时,模拟研究断层夹角从 10°到 150°的地应力变化。从研究结果来看,地层附近最小主应力大小改变较大的区域是在 1.5 倍断距范围内(见图 9);而地层附近点最大主应力大小改变较大的区域是在 1 倍断距范围内(见图 10)。从图中曲线也可以看出,随着断层夹角的增大,断层交叉附近点主应力大小先减小后增大,最大、最小主应力的幅值分别为 -20 ~ 5 MPa 和 -2

~ 5 MPa。

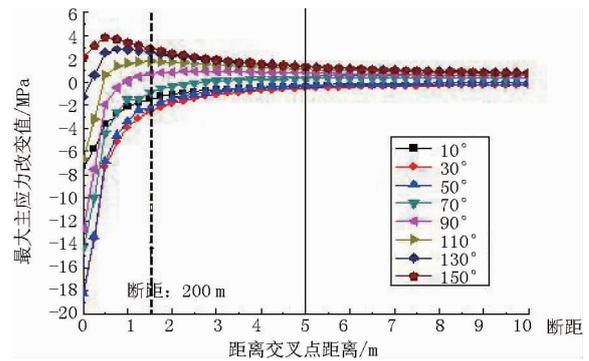


图9 不同交叉角时交叉角附近地层最大主应力改变值

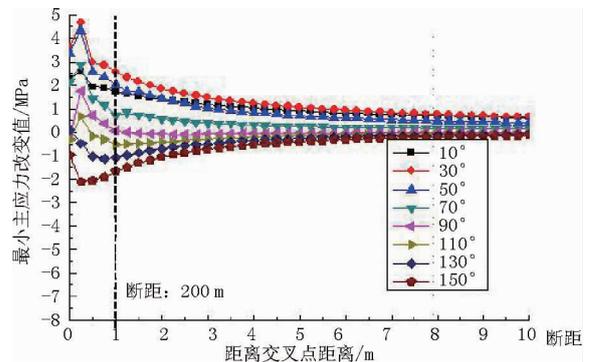


图10 不同交叉角度时交叉角附近地层最小主应力改变值

从不同交叉角度时交叉角附近地层最大主应力方向(见图 11)影响来看,主应力方向随交叉角度的增加而顺时针先增加后减小,在夹角为 130°和 150°时,主应力方向改变量最大;同时主应力方向的改变比主应力大小改变要大,其变化范围在区域主应力方向上偏差 30°左右。

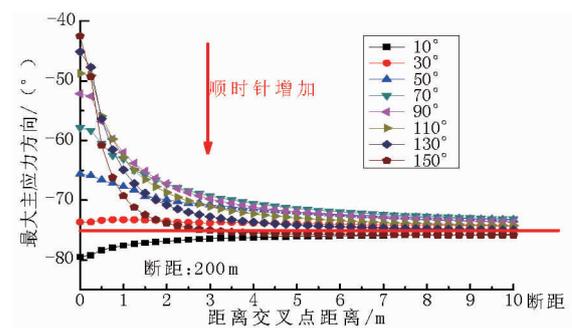


图11 不同交叉角度时交叉角附近地层最大主应力方向

2.2.3 对比分析

分别选取距离交叉点 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 倍断距 4 种情况,研究两种交叉角中轴线与最大主应力夹角对地应力大小和方向的影响,结果如图 12 所示。

从图左侧栏可以看出,引起交叉点附近地层最大主应力改变最大的交叉角为 45°和 135°,且随着夹角的增加,主应力由减小变为增大,而引起交叉点

附近主应力方向改变最大的交叉角为 90°, 由此说明方向改变和主应力大小改变不是同步的。

对比分析图左右两侧可以看出, 左侧为最大主应力与主断层夹角较大, 右侧为最大主应力与主断

层夹角较小; 当主控断层与最大主应力夹角较大时, 主应力及方向改变呈反对称或对称特点, 而当主控断层与最大主应力夹角较小时, 主应力及方向改变不具有反对称或对称特点。

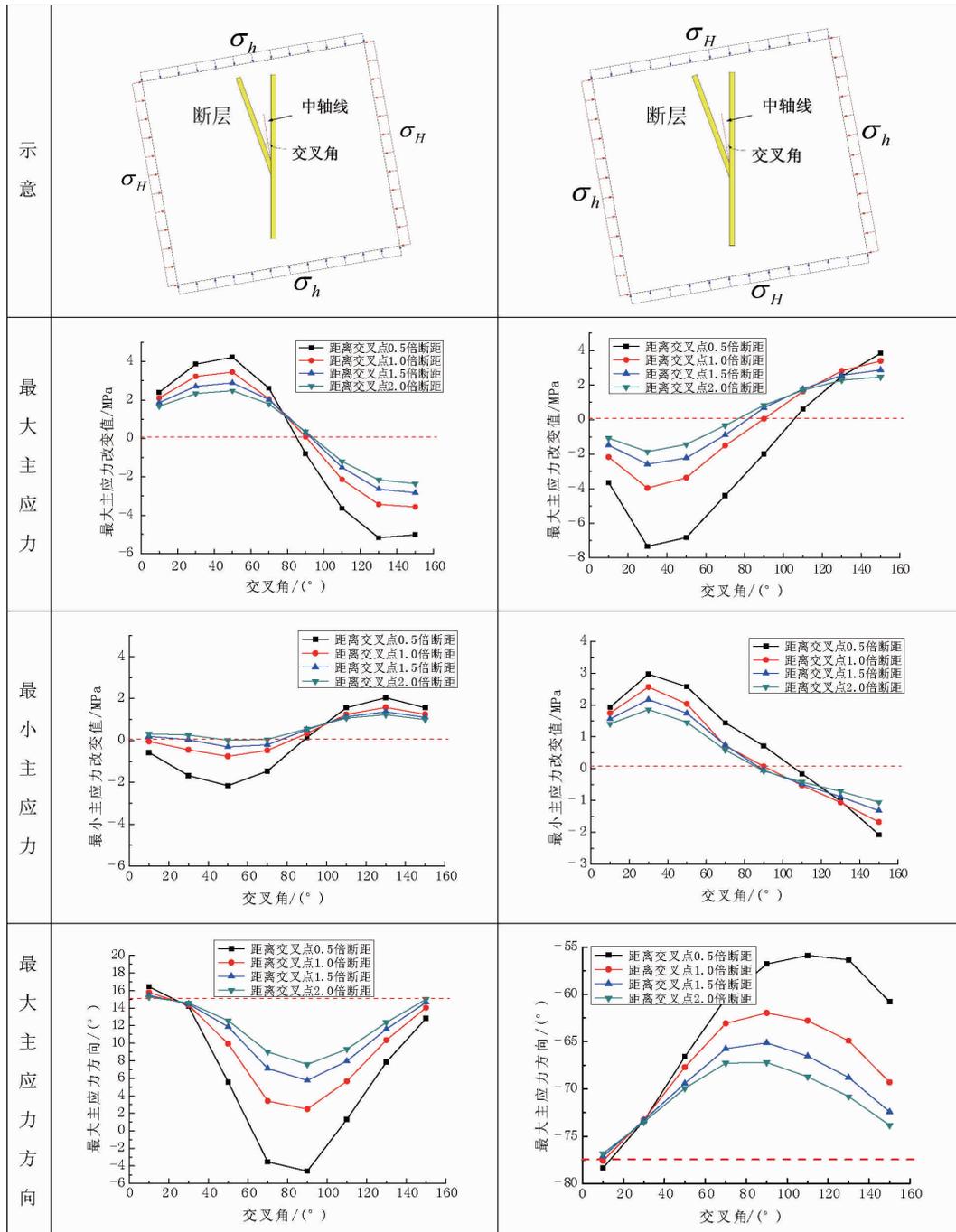


图 12 两种交叉断层示意

3 结论

(1) 平行断层与区域最大水平主应力的夹角在 45° 时断层端部的应力集中程度达到最大。对于延伸较长的断层, 对地应力方向的影响主要在断层两

端, 两断层之间且靠近断层中部的区域可以不考虑断层对主应力方向的影响。

(2) 交叉断层对地应力大小影响较大的区域是在 2 倍断距范围内。当交叉角中轴线沿最小主应力 (下转第 50 页)

3.5 模糊综合评价结果

通过模糊运算,获得 $C3K_2t_1^3$ 水驱油效率最终评价矩阵为:(0.131,0.157,0.269,0.035,0.002),水驱油波及效率最终评价矩阵为:(0.369,0.270,0.128,0.021,0.032)。按照最大隶属度原则,水驱油效率和水驱波及效率均属于较好水平。根据区间加权可得 $C3K_2t_1^3$ 水驱油效率为 55.9%、水驱波及效率为 90.1%,理论上水驱采收率为 50.4%。根据图版和水驱特征曲线动态方法预测 $C3K_2t_1^3$ 采收率分别为 47.2% 和 52.1% (见图 5、图 6),平均为 49.7%,两者较为一致。

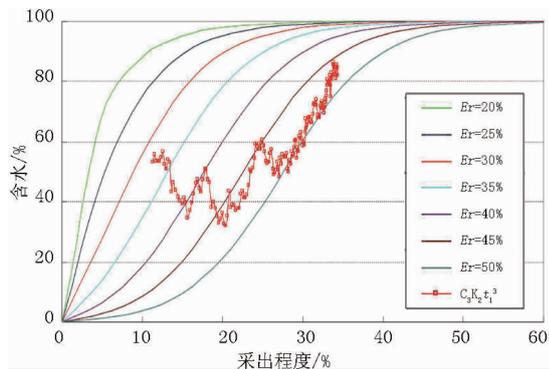


图5 $C3K_2t_1^3$ 油藏含水与采出程度关系曲线

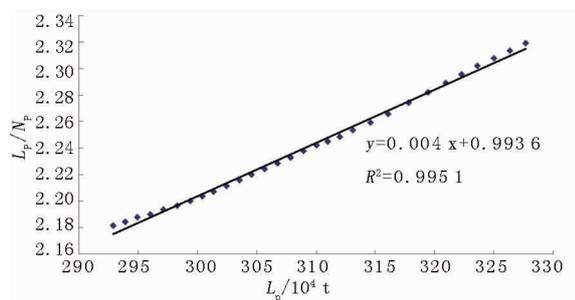


图6 $C3K_2t_1^3$ 油藏丙型水驱特征曲线

4 认识与结论

(1)建立的断块油藏水驱开发潜力评价体系客观全面反映了其主要开发地质特征,使得评价体系更加科学合理,具有较强的针对性和实用性。

(2)应用层次多级模糊建立的水驱开发潜力评价方法能够准确揭示油藏状况,改善水驱潜力方向。通过多因素模糊评价,从宏观到微观定量反映了不同因素对油藏水驱开发潜力的影响程度,有利于多指标对比,找准油藏改善水驱的潜力。

(3) $C3K_2t_1^3$ 块状厚层油藏的水驱开发潜力评价与实际情况基本相符,表明建立的评价体系及方法基本能满足断块油藏水驱开发效果评价的需求。

参考文献:

[1] 秦同洛. 实用油藏工程方法 [M]. 北京:石油工业出版社, 1989:47-55.

[2] 黄炳光,刘蜀知. 实用油藏工程与动态分析方法 [M]. 北京:石油工业出版社,1989:61-66.

[3] 唐海,黄炳光,李道全,等. 模糊综合评判法确定油藏水驱开发潜力. 石油勘探与开发,2002,29(2):97-99.

[4] 依呷,唐海. 模糊综合评判法确定油藏水驱开发潜力的应用和研究. 内蒙古石油化工,2006(3):96-98.

[5] 赵春森,刘庆娟,李佩敬,等. 水驱特征曲线对油田不同阶段开发效果的评价研究. 特种油气藏,2009,16(4):51-53.

[6] 姚建. 4种水驱特征曲线与 Arps 递减曲线的关系. 新疆石油地质,2016,37(4):447-451.

[7] 李柏年. 模糊数学及其应用 [M]. 合肥:合肥工业大学出版社,2007:103-140.

[8] 宋子奇,赵磊,康立明,等. 一种水驱开发地质潜力综合评价方法在辽河油田的应用. 断块油气田,2004,11(2):32-37.

(编辑 谢 葵)

(上接第 37 页)

[11] 夏存银,廖远涛,黄传炎,等. 渤海湾盆地歧口凹陷第三纪构造特征的自相似性及其沉积响应特征分析[J]. 石油天然气学报,2010,32(1):165-169.

[12] 李坦,殷小舟. 地震属性的地质意义分析[J]. 复杂油气藏,2009,2(3):25-28.

[13] 朱建敏,贾楠,杨冠虹,等. 渤海复杂薄互沉积层地震定量预测方法及应用_以垦利 X 油田沙河街组储层为例[J]. 复杂油气藏,2018,11(1):18-22.

[14] 陈军,骆璞. 薄砂体储层定量预测技术应用研究—以 WZ 工区为例[J]. 复杂油气藏,2016,9(3):25-29.

[15] 韩磊,张宏,王劲松,等. 分频相干技术在复杂断裂解释中的应用[J]. 复杂油气藏,2016,9(4):17-21.

[16] 张海义,马佳国,蒋志恒,等. 频谱分解技术在储层刻画及流体识别中的应用[J]. 复杂油气藏,2017,10(1):31-33.

(编辑 谢 葵)