

3D FAVO技术在二连探区W区块的应用

刘雷颂¹, 张浩¹, 邢雅文², 郭增虎¹, 吴占奎¹, 胡沙沙¹

¹中国石油东方地球物理公司研究院地质研究中心, 河北 涿州

²中国石油集团华北油田分公司勘探部, 河北 任丘

收稿日期: 2023年8月11日; 录用日期: 2023年9月11日; 发布日期: 2023年9月18日

摘要

FAVO (即不同频率域AVO效应, 应用方法为不同频率域进行AVO反演。)理论上可以实现, 目前大部分实验都是基于单点及二维线, 本次在二连探区W区块进行了三维数据域FAVO的实验。首先针对OVT数据的360°方位进行炮检距分析, 选取炮检距覆盖区域进行同相轴一致性处理。其次, 分方位、分角度进行部分资料叠加, 通过对各个部分叠加资料进行区内井合成记录标定, 提取井旁道的地震子波, 进行各向异性反演。再次, 根据各向异性反演结果与该区目的层段断裂系统进行叠合对比, 确定了该区裂缝的主要发育方向。最后, 对裂缝的主要发育方向道集进行频带分析, 并在有效频带进行不同频带及全频带AVO反演。各个频率带AVO反演结果与实际钻井进行对比分析, 发现方位120~150°低频段AVO反演结果与钻井实际情况吻合最好。

关键词

FAVO, 分方位, 分频, 裂缝

The Application of 3D FAVO Technology in W Block of Erlian Exploration Area

Leisong Liu¹, Hao Zhang¹, Yawen Xing², Zenghu Guo¹, Zhankui Wu¹, Shasha Hu¹

¹BGP Geological Research Center, CNPC, Zhuozhou Hebei

²Exploration Department of Huabei Oilfield Branch, CNPC, Renqiu Hebei

Received: Aug. 11th, 2023; accepted: Sep. 11th, 2023; published: Sep. 18th, 2023

Abstract

FAVO (That is, AVO effect in different frequency domains, the application method is AVO inversion in different frequency domains.) can be realized theoretically. At present, most experiments are based on single point and two-dimensional line. The experiment of FAVO in 3D seismic data was carried out in W block of Erlian exploration area. Firstly, the 360° offset information of OVT data is

analyzed, and the phase axis consistency processing is carried out in the information density uniform area. Secondly, the partial data of azimuth and angle are stacked, and the anisotropic inversion is carried out by calibrating the synthetic record of each part of the data and extracting the seismic wavelet of the well side channel. Thirdly, according to the superposition comparison between the anisotropic inversion results and the fault system of this layer in this area, the main development direction of fractures is determined. Finally, the frequency band analysis is carried out in the main development direction of the fracture, and the frequency division and full frequency band AVO inversion are carried out in the effective frequency band. By comparing the AVO inversion results of the drilled wells with those of each AVO inversion, the AVO inversion results of the low frequency band in the azimuth of $120\sim 150^\circ$ are in good agreement with the drilling situation.

Keywords

FAVO, Azimuth, Frequency, Fractures

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

二连盆地[1] [2] [3] [4]经过几十年的勘探历程, 现已进入瓶颈期, 勘探逐渐由近岸向湖盆中心延伸, 储层预测及勘探部分区块由常规油藏转入非常规油藏, 采集处理也由常规三维向“两宽一高” [5] [6]三维推进, 储层预测及流体检测也相应地由三维数据的应用转向多维数据(x、y、z、方位、反射角等)应用。W 区块为二连盆地的一块实验区块, 该目的层为一套致密砂砾岩地层。

2. 数据分析

W 区块的实验数据为“两宽一高”采集的 OVT [7] [8] [9]数据, 首先是分析 OVT 数据的各个方位的炮检距信息(图 1)分析。各个方向的炮检距不一样, 根据木桶原理进行分方位、分角度进行部分叠加。图 1 所示偏移距在 2500 以内各个方位均匀有数据, 因此利用偏移距 2500 以内数据进行实验。

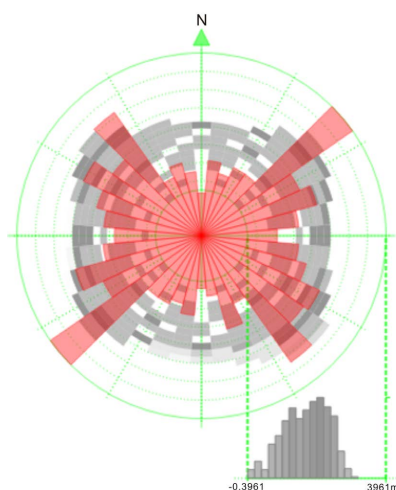


Figure 1. OVT gather analysis

图 1. OVT 道集分析

其次扫描 OVT 道集数据, 根据目的层的同相轴归位情况判断是否需要进行道集处理, 同相轴归位不合理会影响 AVO 精度, 通过道集扫描发现实验数据需要进行同相轴归位处理。图 2 (左侧为处理前道集、右侧为处理后道集) 为同相轴归位处理前后对比, 图 2 中所示处理后同相轴连续性好、较好的基本上都比较平直, 达到了预测 AVO 属性的要求。

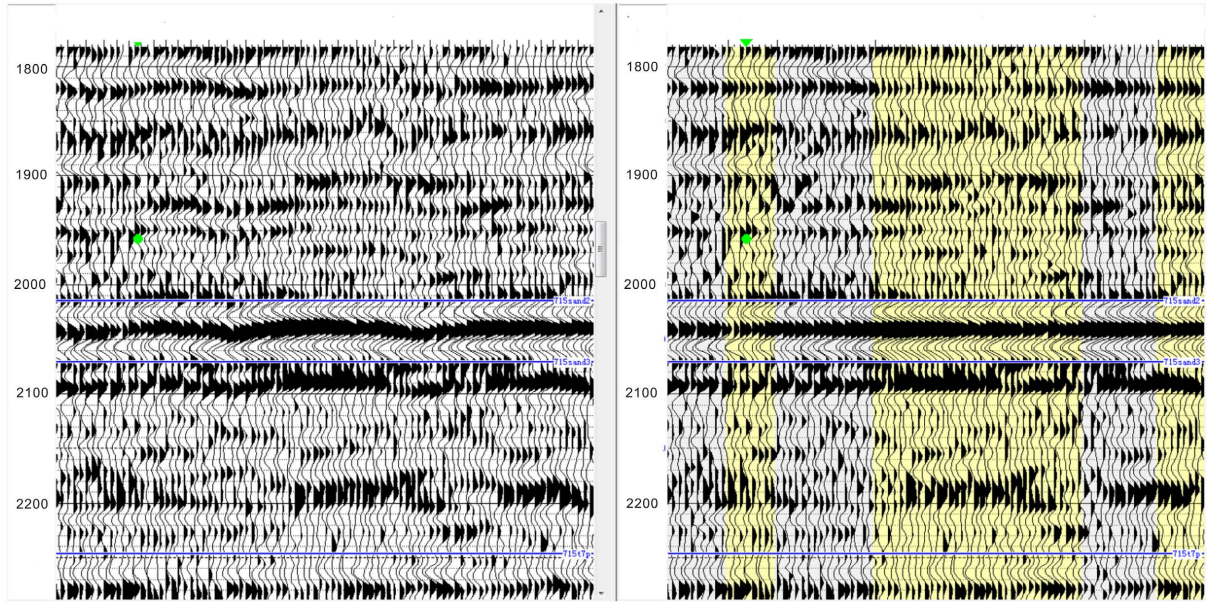


Figure 2. Comparison of OVT gathers before and after phase axis homing processing
图 2. OVT 道集同相轴归位处理前后对比

第三 AVO 模型分析是进行 AVO 反演的基础, 测井 AVO 模型与道集 AVO 类型一致才能进行 AVO 反演。图 3 为 AVO 模型分析(3a 为测井 AVO 模型, 3b 为测井曲线, 3c 为过井道集, 3d 测井模型 AVO 类型, 3e 为地震道集 AVO 类型), 图中红色圈内为目的层, 从图 3 AVO 类型分析可视, 两者基本一致, 都是随炮检距增大而振幅增强。

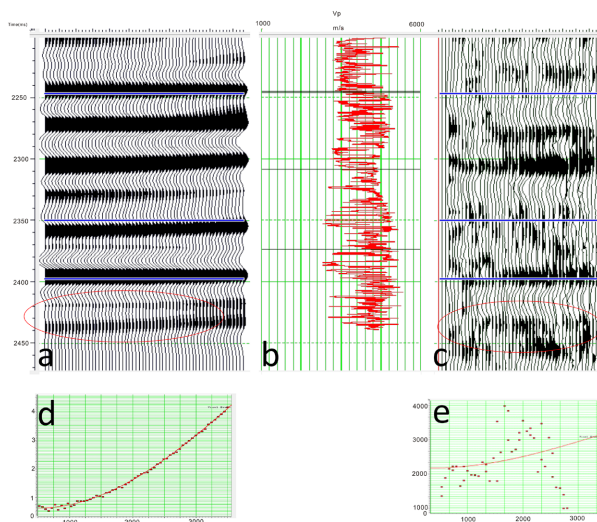


Figure 3. AVO type analysis
图 3. AVO 类型分析

第四根据角道集目的层的有效角度范围 8~30° (图 4), 确立分三个角度范围 8~16°、15~23°、22~30°进行部分叠加, 同时从方位角 0°到 180°分为 6 个角度范围 0~30°、30~60°、60~90°、90~120°、120~150°、150~180°进行叠加, 根据方位角及反射角的划分组合共叠加 18 个部分叠加数据。即每个方位分 3 个角度, 共 6 个方位。

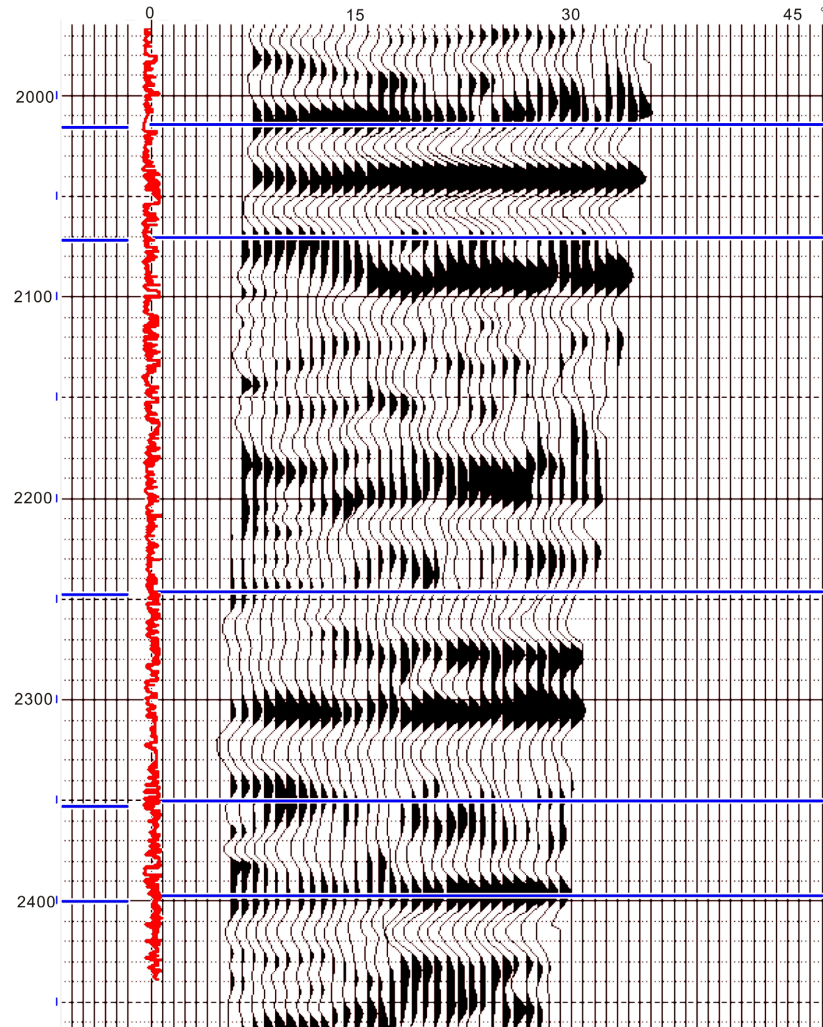


Figure 4. Angle gathers

图 4. 角道集

3. 各向异性反演

各项异性反演的目的是确立研究区目的层裂缝发育方向, 裂缝发育方向即流体联通方向, 根据声波在介质中的传播原理: 流体联通方向 AVO 效应明显。根据公式:

$$\log\left(\frac{v_p}{v_s}\right)' = b_0 + b_1 \cdot \cos[2(\omega - \phi)] + b_2 \cdot \cos[4(\omega - \phi)] \quad (1)$$

式中: b_0 : isotropic 各向同性; b_1 : 各向异性; b_2 : 各向异性高阶; ω : 方位; ϕ : 裂缝主方位。

判断裂缝预测的合理性的一条重要表象即裂缝方向与断层方向是否一致或小角度斜交, 如果是正交或无规律则认为裂缝合理性欠缺。图 5 为目的层玫瑰图、裂缝走向图及断裂平面展布叠合图, 玫瑰图展

示裂缝角度范围, 裂缝走向图展示裂缝主要走向, 两者在红色圈内与断裂展布方向高度一致。说明裂缝预测合理, 即断裂在宏观与微观方向一致, 方位主要在 120~150°之间。

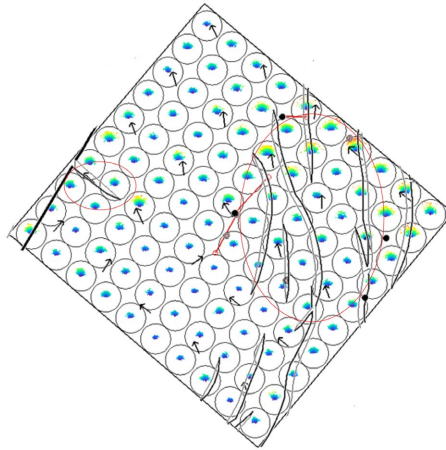


Figure 5. Fracture prediction and fracture combination superposition diagram

图 5. 裂缝预测与断裂组合叠合图

4. 3D FAVO 实验

3D FAVO [10]-[15]理论上可以实现, 目前大部分实验都是基于单点及二维线, 文献中未查到应用的实例。

Wilson 等(2009)在 Smith 和 Gidlow (1987)反射系数公式:

$$R_{pp}(\theta) = \frac{5}{8} - \frac{1}{2} \frac{v_s^2}{v_p^2} \sin^2(\theta) + \frac{1}{2} \tan^2(\theta) \frac{\Delta v_p}{v_p} + 4 \frac{v_s^2}{v_p^2} \sin^2(\theta) \frac{\Delta v_s}{v_s} \quad (2)$$

的基础上得到了频变反射系数公式:

$$R_{pp}(\theta, f_i) \approx A(\theta) \frac{\Delta v_p}{v_p} + A(\theta)(f_i - f_{dom}) \frac{d}{df} \left(\frac{\Delta v_p}{v_p} \right) + B(\theta) \frac{\Delta v_s}{v_s} + B(\theta)(f_i - f_{dom}) \frac{d}{df} \left(\frac{\Delta v_s}{v_s} \right) \quad (3)$$

图 5 中预测裂缝方位在 120~150°之间, 根据流体 AVO 性质, 在 OVT 数据上提取方位 120~150°的角道集, 进而根据该方位角道集有效频率(图 6), 图 6 所示有效频率在 5~45 Hz 之间, 根据有效频宽提取不同频率(5~18 Hz、18~31 Hz、31~45 Hz)段角道集(图 7(a)为方位 120~150°全频带角道集, 图 7(b)为方位 120~150°, 5~18 Hz 角道集, 图 7(c)为方位 120~150°, 18~31 Hz 角道集, 图 7(d)为方位 120~150°, 31~45 Hz 角道集)。针对原始 OVT、方位 120~150°全频及各个频段道集根据 Aki-Richards 近似方程分别进行 AVO 反演。

图 8 为 OVT 道集全方位 AVO 反演结果, A、B 两口井出油层段中, A 井吻合较好, B 井稍差。图 9(a)为方位 120~150°全频带角道集 AVO 反演结果, 图 9(b)为方位 120~150°, 5~18 Hz 角道集 AVO 反演结果, 图 9(c)为方位 120~150°, 18~31 Hz 角道集 AVO 反演结果, 图 9(d)为方位 120~150°, 31~45 Hz 角道集 AVO 反演结果。图 9(a) AVO 反演结果剖面中, A、B 井出油层段均吻合较好, 但 A 井底部及 A 井上部出现了 AVO 多解; 图 9(b) AVO 反演结果剖面中, A、B 井全井段吻合都好; 图 9(c) AVO 反演结果剖面中, B 井吻合较好, A 井吻合较差; 图 9(d) AVO 反演剖面中, B 井吻合较差, A 井不吻合。

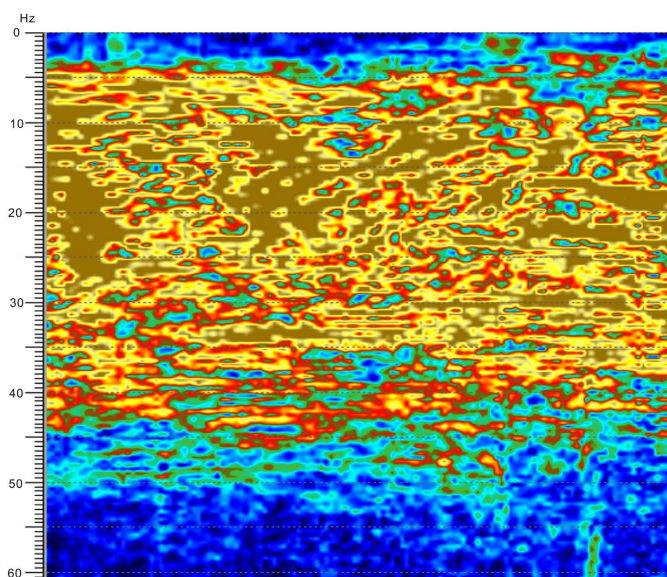


Figure 6. Spectrum of angle gathers with azimuth of 120°~150°
 图 6. 方位 120~150°的角道集频谱

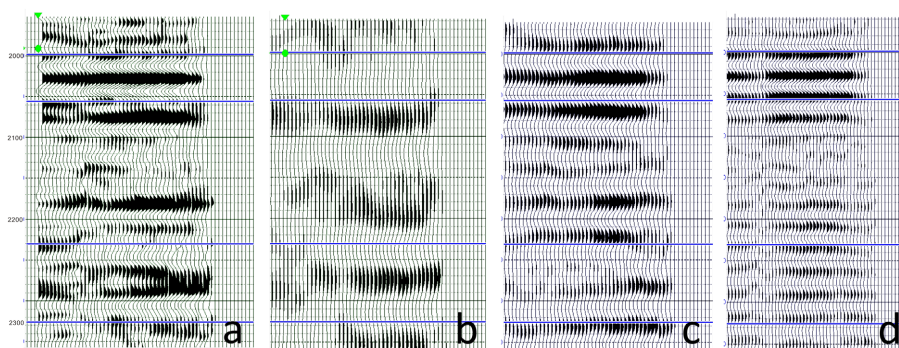


Figure 7. Azimuth 120~150° different frequency band angle gathers
 图 7. 方位 120~150°不同频段角道集

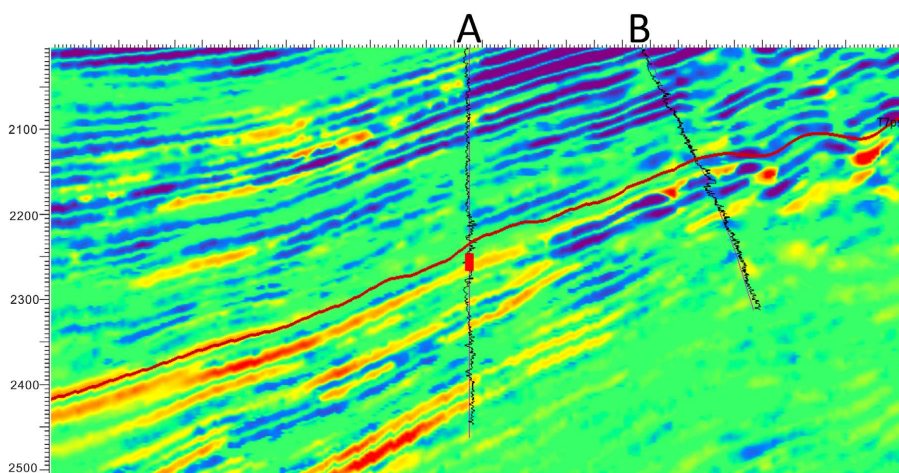


Figure 8. AVO inversion of OVT gathers
 图 8. OVT 道集 AVO 反演

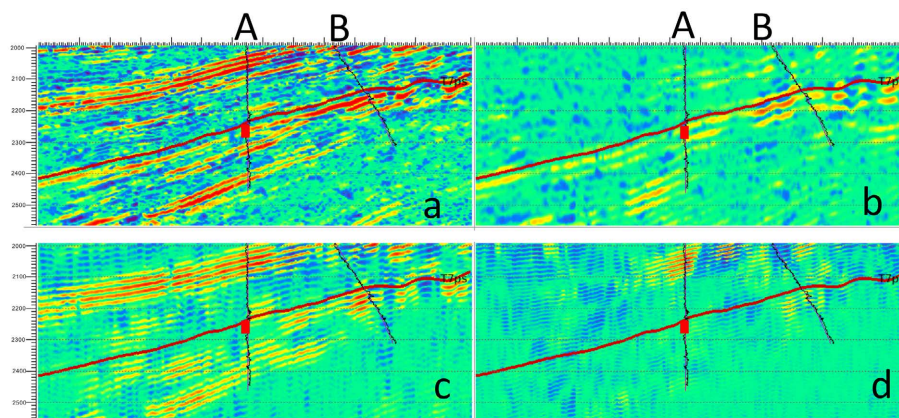


Figure 9. Azimuth 120~150° gather full frequency and sub-band AVO inversion
图9. 方位 120~150°道集全频及分频段 AVO 反演

5. 结论与建议

通过在 W 区块的 FAVO 实验，总结了一套 FAVO 反演的简单易行的流程：OVT 道集炮检距分析，根据木桶原理舍去某些方位较长炮检距信息；进行 OVT 道集同相轴归位校正；分析目的层有效反射角度范围，根据方位及反射角进行分方位、分角度部分道集叠加；针对研究区内每口井进行各个数据体合成记录标定，并提取井旁道地震子波；进行各向异性反演，分析裂缝发育方向；根据裂缝发育方向进行同方向 AVO 及 FAVO 反演，从实验结果来看，低频 AVO 反演结果与实际情况吻合最好。

建议：如果有时间可以针对每个方位进行 FAVO 反演，从而进一步验证本研究的结论是否合理，如果时间紧可以直接根据研究区断裂系统主要走向进行该方位的低频 AVO 反演。

参考文献

- [1] 张以明, 刘震, 付升, 等. 二连盆地基底特征及演化新认识[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(2): 404-416.
- [2] 卫三元, 秦明宽, 李月湘, 等. 二连盆地晚中生代以来构造沉积演化与铀成矿作用[J]. 铀矿地质, 2006, 22(2): 76-82.
- [3] 杨冰彬. 二连盆地裂谷构造演化[J]. 内蒙古石油化工, 2013, 39(14): 51-53.
- [4] 于海飞. 二连盆地中新生代沉积构造演化与砂岩型铀成矿前景分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2010, 29(S1): 6-10.
- [5] 王华忠, 郭颂, 周阳. “两宽一高”地震数据下的宽带波阻抗建模技术[J]. 石油物探, 2019, 58(1): 1-8.
- [6] 周佳和, 徐聪. “两宽一高”地震勘探技术在复杂油气勘探中的应用[J]. 世界地质, 2020, 39(2): 422-428.
- [7] 乔会, 罗任植, 黄鹤飞, 王辉. OVT 域处理技术在黄土塬区煤田三维地震勘探中的应用[J]. 陕西煤炭, 2022, 41(4): 72-76+94.
- [8] 毛诗仙. OVT 域的道集细分在栗子地区的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(19): 155-156.
- [9] 郑多明, 邹义, 关宝珠, 等. 基于 OVT 域五维道集碳酸盐岩叠前裂缝预测技术[J]. 物探化探计算技术, 2020, 42(1): 9-16.
- [10] Zhao, Z., Kumar, D., Foster, D.J., Dralus, D. and Sen, M.K. (2018) A New Frequency-Dependent Reflectivity Model and Estimating Seismic AVO Attributes. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston, 416-420. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2997403.1>
- [11] Wang, K., Chen, X., Wang, D., et al. (2018) A New Insight into the Hydrocarbon Indicator of Tight Sandstone Reservoir. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston, 401-405. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2989731.1>
- [12] Zhao, X., Chen, S. and Li, X.-Y. (2018) Analysis of Frequency-Dependent AVO Responses in Inelastic Thin Interbedded Media. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston,

-
- 391-395. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2985013.1>
- [13] Lu, L., Yin, X., Zong, Z. and Li, K. (2018) Estimation of Fluid Mobility with Frequency-Dependent Bayesian Inversion. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston, 421-425. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2997605.1>
- [14] Huang, G., Chen, X., Luo, C., Li, J. and Li, X. (2018) Frequency Dispersion Quantification by Using FAVO Inversion Based on the Generalized Propagation Matrix. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston, 406-410. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2994031.1>
- [15] Tan, H., Gao, W., Duan, X. and Zhang, S. (2018) Spectral Compensation Technology Based on Low Frequency AVO Trend Constraint and Its Application in Hydrocarbon Detection. In: *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2018*, Society of Exploration Geophysicists, Houston, 426-430. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2998424.1>