

doi:10.6056/dkyqt202202008

小尺度缝洞型碳酸盐岩储集体地震预测技术

——以四川盆地台内 GS18 井区灯影组四段储层为例

李春梅, 彭才, 韦柳阳, 别静, 王紫笛, 李雯琪, 何小会

(中国石油东方地球物理公司西南物探研究院, 四川 成都 610000)

摘 要 四川盆地灯影组为一套岩溶缝洞型碳酸盐岩储层。由于储层埋藏深度大、风化岩溶时间短,使得储层非均质性强、缝洞尺度小,常规地震技术预测储层困难。文中以 GS18 井区灯影组四段台内气藏为例,采用双高处理思路,进行低频保幅噪声压制、沿层速度分析及一体化速度优化、OVT 域各向异性叠前时间偏移,获得高分辨率高保真地震资料。在高品质地震资料基础上,通过单井分析、模型正演、分频、分方位等技术手段,开展了断裂精细刻画及小尺度缝洞展布预测。研究成果有效指导了四川盆地 GST 台内区井位部署及钻井调整。

关键词 小尺度缝洞; 双高处理; 裂缝检测; 属性优选; 灯影组

中图分类号: TE132.1; P618.1+4

文献标志码: A

Seismic prediction technology of small scale fractured-cave carbonate reservoir: taking the intra-platform reservoir of the fourth Member of Dengying Formation in GS18 wellblock, Sichuan Basin as an example

LI Chunmei, PENG Cai, WEI Liuyang, BIE Jing, WANG Zidi, LI Wenqi, HE Xiaohui

(Southwest Geophysical Research Institute, BGP Inc., CNPC, Chengdu 610000, China)

Abstract: Dengying Formation in Sichuan Basin is a set of karst fracture-cave carbonate reservoirs. Due to the large burial depth and short weathering karst time, the reservoir has strong heterogeneity and small size of fracture and cave, so it is difficult to predict by conventional seismic technology. Taking the intra-platform gas reservoir of the fourth Member of Dengying Formation in GS18 wellblock area as an example, the “double-high” processing idea is adopted to carry out the low-frequency amplitude-preserving noise suppression, the velocity analysis along the layer and the integrated velocity optimization, the OVT domain anisotropic prestack time migration, and finally the high-resolution and high-fidelity seismic data are obtained. On the basis of high quality seismic data, by means of single well analysis, model forward modeling, frequency division and azimuth division, the fine characterization of faults and the distribution prediction of small scale fractures and cavities are carried out. The research results have effectively guided the well placement and drilling adjustment of GST intra-platform in Sichuan Basin.

Key words: small scale fracture-cavity; double height processing; fracture detection; attribute optimization; Dengying Formation

0 引言

四川盆地川中 GST-MX 区块震旦系灯影组四段(灯四)气藏储量规模大、动用程度低、勘探开发潜力巨大,对于西南油气田分公司进一步上产、实现 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 大气区目标意义重大^[1-2]。目前,台缘带已完成开发方案编制和产能建设,要扩展 GST-MX 区块生产领域,亟需对台内区域开展研究工作^[3]。

GS18 井区在 2014 年提交的灯影组四段上亚段(灯四上)控制储量为 $1\,317.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,2021 年申报探

明储量 $917.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,开发潜力大,是 GST-MX 区块灯四气藏滚动评价部署及长期稳产的重要接替领域。

本文通过双高处理获得高分辨率高保真地震资料,在高品质地震资料基础上,开展断裂精细刻画及小尺度缝洞储集体预测,为支撑台内区域震旦系气藏滚动评价部署及开发方案编制提供依据。

收稿日期:2021-09-08;改回日期:2022-01-06。

第一作者:李春梅,女,1987 年生,工程师,硕士,主要从事地震地质综合研究。E-mail:lichunmei03@cnpc.com.cn。

引用格式: 李春梅,彭才,韦柳阳,等.小尺度缝洞型碳酸盐岩储集体地震预测技术:以四川盆地台内 GS18 井区灯影组四段储层为例[J].断块油气田,2022,29(2):189-193.

LI Chunmei, PENG Cai, WEI Liuyang, et al. Seismic prediction technology of small scale fractured-cave carbonate reservoir: taking the intra-platform reservoir of the fourth Member of Dengying Formation in GS18 wellblock, Sichuan Basin as an example [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2022, 29(2): 189-193.

1 问题的提出

四川盆地 GM 地区灯影组埋藏深, 达到 5 km 左右, 风化时间短, 缝洞尺度小, 多为毫米至厘米级, 储层非均质性强, 常规地震技术预测困难^[4-5]。通过对研究区地震资料及地质情况精细分析提出了目前勘探开发存在 3 个难题。

1.1 地震资料

目的层灯影组埋藏较深, 地震资料保幅性差、信噪比低^[6]。经过井震标定, 发现研究区大部分井存在合成地震记录与前期处理地震记录不匹配问题, 这导致高产井模式存在多解性。同时也表明目的层地震资料急需开展保真保幅的双高处理。

1.2 小断裂刻画精度

四川盆地 GM 地区走滑断裂发育, 断面陡直, 断距小, 地震资料精细刻画困难。研究区多口测试高产气井均分布于断裂附近, 地震资料断裂精细刻画对储层预测具有重要意义。但灯影组埋藏较深, 上覆地层横向变化大, 影响了目的层地震资料成像精度, 不利于地震资料小断裂识别^[7-8]。

1.3 现有预测方法难以满足精度要求

岩心资料显示, 研究区溶蚀孔洞尺度小, 以毫米及厘米级为主^[9-10]。利用地震资料叠后曲率属性表征的溶蚀孔洞形态、规模与实际地下地质情况存在较大差异,

地震资料缝洞预测精度有待提高。

2 研究思路

本次研究中的地震资料, 进行了低频保幅噪声压制、沿层速度分析及一体化速度优化、OVT 域偏移成像等处理, 有效提高了资料品质及成像精度, 为精细刻画缝洞储集体提供了有利保障。在高质量地震资料基础上, 利用模型正演、叠后分频、叠前分方位等技术手段, 精细刻画研究区断裂及缝洞储集体展布, 形成了一套针对碳酸盐岩小尺度缝洞储集体的地震预测技术。

3 关键性技术

3.1 处理关键技术

3.1.1 高保真叠前噪声压制技术

原始地震资料噪声类型众多, 包括低频面波、异常振幅、线性干扰、工业干扰等。为最大限度对地震资料中的噪声进行压制, 有效信号得以保留, 提高信噪比, 此次研究采用分域、分频逐步去噪, 对低频有效信号进行重点保护(特别是目的层), 对噪声中残留有效信号进行二次分离, 最大限度保证目的层低频成像, 提升空间分辨率。由图 1 可知, 利用常规去噪技术后的噪声中仍然残留部分有效信号, 经过二次信噪分离后, 从噪声中提取出了残余有效信号, 提取残余有效信号后的噪声中几乎见不到有效信号。这表明该技术方法可靠。

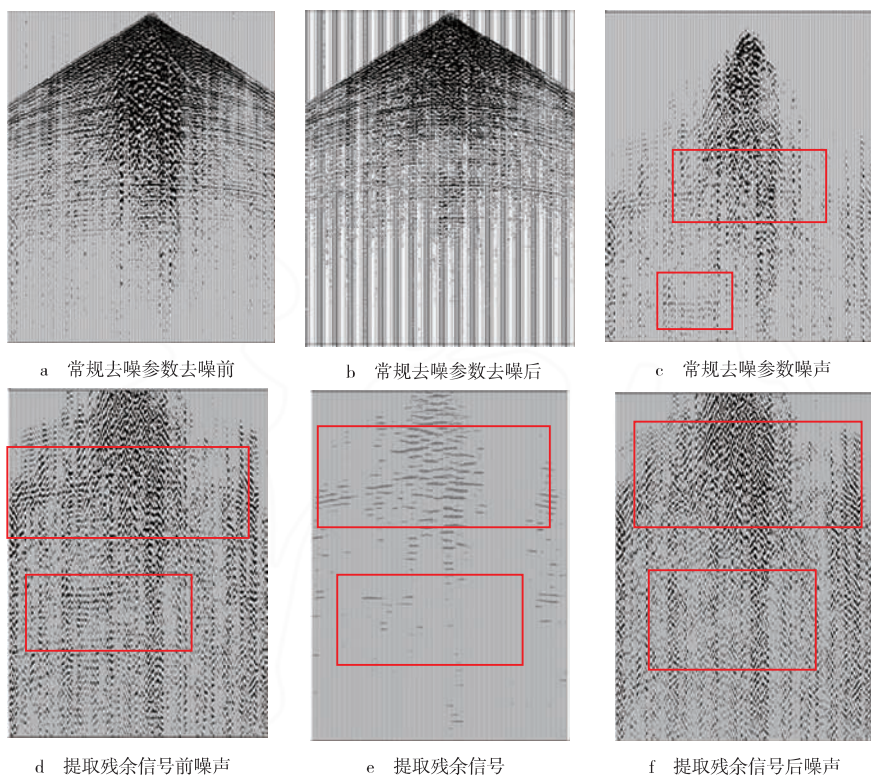


图 1 高保真叠前噪声压制效果

3.1.2 沿层井控速度分析技术

为提高地震资料成像精度,减小上覆地层对目的层成像影响,须建立高精度速度模型。此次研究采用地震资料处理解释一体化建模技术。

在地震资料建模过程中,处理与解释工作密切结

合,将解释层位投影到地震资料中的能量团、道集、叠加段上,进行沿层速度分析,严格监控沿层速度变化,并对沿层速度进行优化,使得剖面归位合理,提高了目的层成像精度,为后续微幅构造及小断裂识别提供基础(见图 2)。

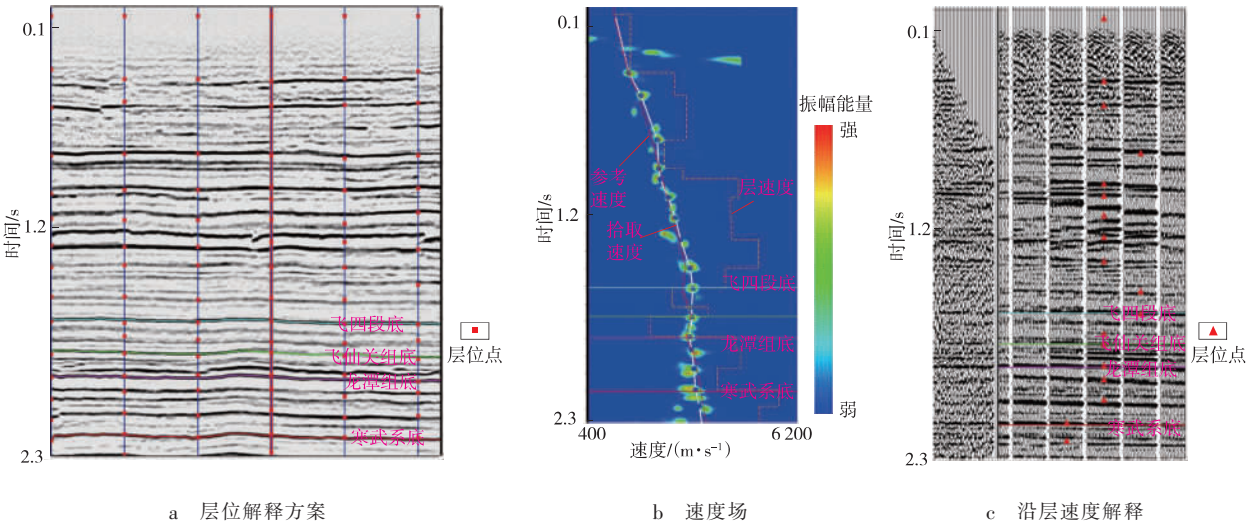


图 2 处理解释一体化速度分析

3.1.3 OVT 域宽方位成像技术

地震资料中的常规道集不考虑方位角信息和方位各向异性,OVT 域叠前处理技术能保持地震数据的方位角信息,利于方位各向异性分析、叠前反演及裂缝检测^[11-12]。图 3 为 OVT 域处理流程:首先对数据进行 OVT 面元划分,将数据转换为 OVT 域螺旋道集,并进行五维插值;然后将炮点和检点位置规则化,消除采集地表条件引起的覆盖次数不均匀情况。在此基础上进行处理,提高了成像质量。对未进行方位各向异性校正的道集,利用裂缝的各向异性特征进行叠前裂缝检测。

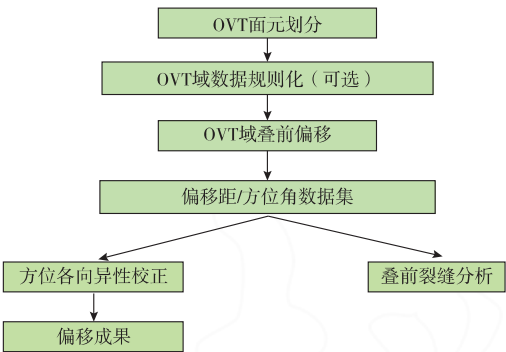


图 3 OVT 处理流程

图 4 是常规道集与 OVT 道集对比,品质明显改善。常规 CRP 道集远近道能量弱、中道能量强,OVT 域偏移后的道集整体能量更均衡,远中近道能量趋于—

致,炮检距和方位角信息更加丰富,能够满足裂缝预测对地震资料品质的要求。

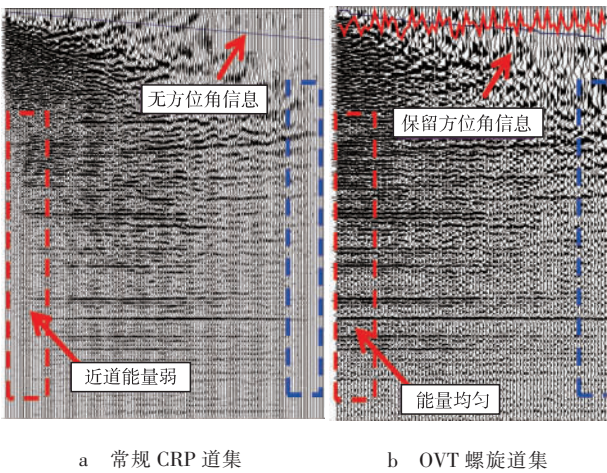


图 4 常规 CRP 道集与 OVT 螺旋道集对比

3.2 解释关键技术

3.2.1 叠后分频断裂精细刻画技术

灯影组沉积时期,前后经历多次构造运动,使得地层发生褶皱变形,产生大量断裂,断裂附近的破碎带往往是缝洞发育的主要位置,能够为油气聚集与运移提供有利场所^[13]。因此,地震数据精细刻画断裂对储层预测具有重要作用。此次保真保幅地震数据体主频约 30 Hz,为满足断裂精细刻画需求,对成果数据体进行分

频处理, 主要分为 3 个频段: 15~25, 25~35, 35~45 Hz。图 5 为不同频段曲率属性结果。图 5 显示, 低频段数据对大断裂刻画清楚, 高频段数据对微小断裂刻画清楚。因此, 采用低频与高频地震数据相结合进行断裂刻画。

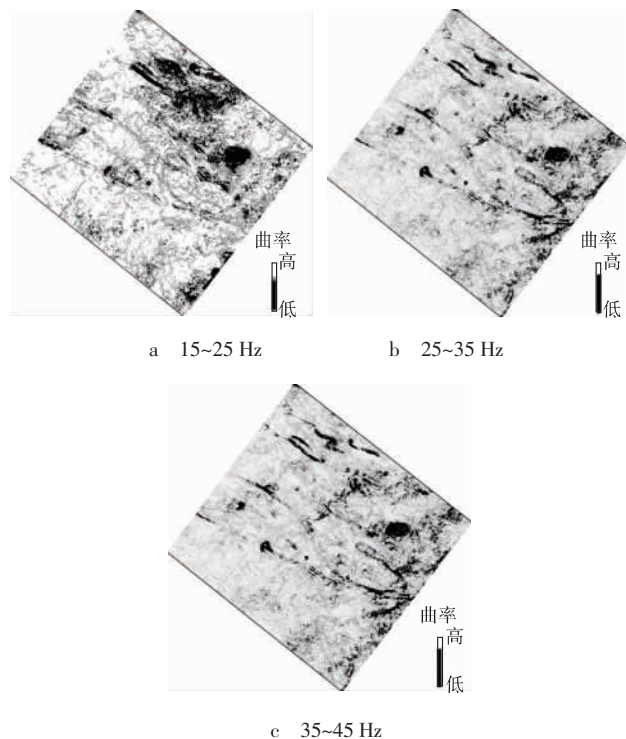


图 5 不同频段曲率属性对比

3.2.2 叠前分方位裂缝检测技术

裂缝的存在使得地层成为各向异性介质, 造成了地震波的方位各向异性, 反映到螺旋道集上为道集同相轴的剩余时差、振幅值随方位角发生抖动。根据这一抖动特性, 运用数学方法求取方位各向异性强度与密度进行裂缝预测^[14-19]。预测思路是: 在 OVT 域宽方位处理的地震道集基础上, 首先, 进行炮检距及方位角优选、数据规则化等预处理; 然后, 分方位进行属性提取; 最后根据道集同相轴属性的变化幅度大小生成裂缝发育平面图。基于 OVT 道集的各向异性强度属性(见图 6), 显示工区中部裂缝较发育, 与断裂匹配关系良好, 裂缝预测结果符合宏观地质规律。叠前预测裂缝发育方位整体近东西向, 少量北东向, 与测井解释裂缝方位及最大水平主应力基本一致, 表明预测结果可靠。

4 应用效果分析

经过保真保幅叠前时间偏移处理、OVT 域处理的地震资料, 总体质量优于前期成果资料, 有效提高了地震资料储层及断裂识别能力, 为缝洞储集体精细刻画提供了有利基础。新数据体有效指导了研究区内井位

部署及钻井调整。

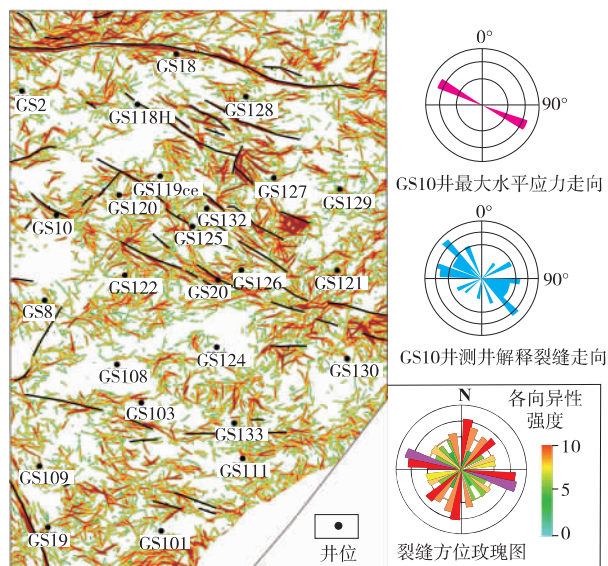


图 6 基于 OVT 道集的各向异性强度属性

新老地震数据体对比表明(见图 7), GS103 井及 GS108 井储层厚度、物性、测试产量基本一致, 但在前期地震成果上响应特征差异较大。新成果显示 2 口井寒武系底均表现为复波特征, 符合前期认识(灯四顶部存在大于 30 m 厚储层时, 寒武系底界呈减弱或复波特征), 新数据体储层刻画能力显著增强。

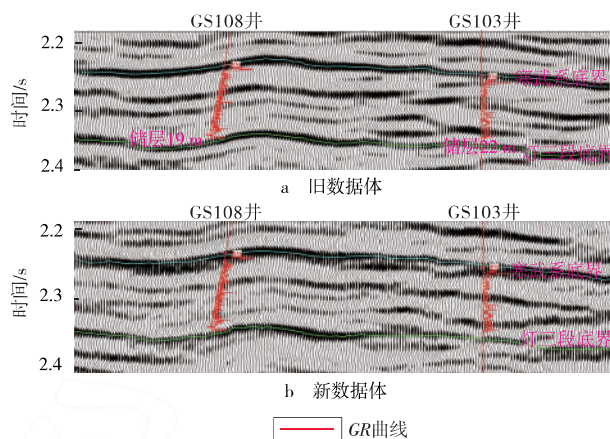


图 7 新老数据体储层地震响应特征对比

经过针对性处理, 地震数据小断裂刻画精度显著提高(见图 8)。利用成果指导调整钻进的 GS118 井, 获百万方以上高产, 进一步证实了断裂精细刻画对储层预测的重要作用。GS118 井原设计打寒武系底部减弱模式(高产井模式), 实钻结果储层较差(见图 8)。分析原因认为, 设计井轨道寒武系底部减弱为断层响应, 非储层响应, 原数据设计井轨道处断层特征不明显, 断层引起的寒武系减弱被误认为是储层响应特征。

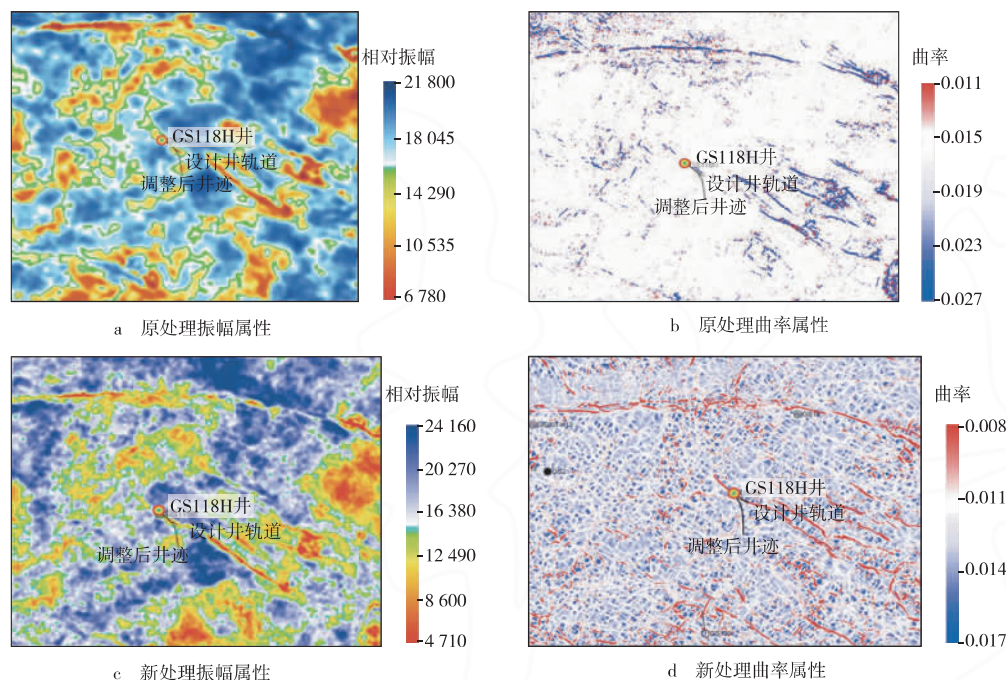


图8 GS18井侧钻目标选取方案

图8新数据(曲率属性)显示原设计井轨道处小断层特征明显。剔除小断层影响,选取东南方位寒武系顶部振幅减弱区域为侧钻目标。调整后实钻轨迹钻遇大的缝洞,累计漏失钻井液 $7\,000\text{ m}^3$,测试产气 $109.45\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,证实了保真保幅处理数据体的可靠性。

5 结束语

二次信噪分离技术可有效提高地震资料保幅性。针对目的层埋深大、水平井实施要求地震数据成像精度高等问题,采用了精细沿层速度分析及一体化速度优化、OVT域各向异性叠前时间偏移等技术。利用叠后分频、叠前分方位及多属性优选等技术的成果,精细刻画了研究区断裂、裂缝及溶蚀孔洞展布。

参 考 文 献

- [1] 罗冰,杨跃明,罗文军,等.川中古隆起灯影组储层发育控制因素及展布[J].石油学报,2015,36(4):416-425.
- [2] 段金宝,代林呈,李毕松,等.四川盆地北部上震旦统灯影组四段储层特征及其控制因素[J].天然气工业,2019,39(7):9-20.
- [3] 田兴旺,彭翰林,王云龙,等.川中安岳气田震旦系灯影组四段台缘—台内区储层差异及控制因素[J].天然气地球科学,2020,31(9):1225-1236.
- [4] 王静怡,胡明毅,高达,等.川中地区灯影组四段储层特征及主控因素[J].断块油气田,2016,23(6):697-702.
- [5] 林煜,李春梅,顾雯,等.深层碳酸盐岩小尺度缝洞储集体地震精细刻画[J].天然气地球科学,2020,31(12):1792-1801.
- [6] 肖富森,冉崎,唐玉林,等.乐山—龙女寺古隆起深层海相碳酸盐岩地震勘探关键技术及其应用[J].天然气工业,2014,34(3):67-73.
- [7] 马德波,汪泽成,段书府,等.四川盆地高石梯—磨溪地区走滑断层构造特征与天然气成藏意义[J].石油勘探与开发,2018,45(5):795-803.
- [8] 焦方正,杨雨,冉崎,等.四川盆地中部地区走滑断层的分布与天然气勘探[J].天然气工业,2021,41(8):92-100.
- [9] 朱讯,谷一凡,蒋裕强,等.川中高石梯区块震旦系灯影组岩溶储层特征与储渗体分类评价[J].天然气工业,2019,39(3):38-45.
- [10] 周正,王兴志,谢林,等.川中地区震旦系灯影组储层特征及物性影响因素[J].天然气地球科学,2014,25(5):701-708.
- [11] 詹仕凡,陈茂山,李磊,等.OVT域宽方位叠前地震属性分析方法[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):956-966.
- [12] 印兴耀,张洪学,宗兆云.OVT数据域五维地震资料解释技术研究现状与进展[J].石油物探,2018,57(2):155-178.
- [13] 李雷涛,肖秋红,肖伟.优化的方位各向异性裂缝预测方法及应用[J].断块油气田,2016,23(4):454-459.
- [14] 雍运动,王小卫,寇龙江,等.川西北宽方位数据OVT域处理及裂缝预测应用[C]//中国石油学会石油物探专业委员会(SPG),中国地球物理学会勘探地球物理委员会(CEG).中国石油学会2019年物探技术研讨会.石油地球物理勘探,2019:167-170.
- [15] 党常青,崔永福,陈猛,等.OVT域叠前裂缝预测技术[J].物探与化探,2016,40(2):398-404.
- [16] 杨柳,巫芙蓉,郭鸿喜,等.川南YJ向斜区茅口组储层地震预测与主控因素分析[J].断块油气田,2021,28(3):363-368.
- [17] 李杰,贺川航,彭才,等.基于地震反演与阵列声波测井的缝洞发育区预测[J].断块油气田,2021,28(3):359-362,391.
- [18] 谢知含,侯宇,雷开强,等.XC地区茅口组岩溶储层发育有利区预测[J].断块油气田,2021,28(2):230-234.
- [19] 罗冰,杨跃明,罗文军,等.川中古隆起灯影组储层发育控制因素及展布[J].石油学报,2015,36(4):416-425.

(编辑 杨会朋)