

弱走滑断控储集体分类预测与描述

闫婷¹, 孙冲¹, 张银涛¹, 姜自然²

(1. 中国石油塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 库尔勒 841000;
2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 富满油田富源 III 区位于塔里木盆地台盆区 NE 向走滑断裂末端, 其断裂活动弱, 断控储层地震响应不明显, 断裂及储层描述难度大。针对弱走滑断裂, 开展倾角导向滤波及地震分频处理, 提高了断裂地震识别精度。通过各向异性滤波、子波分解与重构、倾角滤波处理, 增强洞穴型、裂缝型储层地震响应特征。并以此为基础, 应用结构张量属性、甜点属性、振幅曲率以及增强相干, 对弱走滑断控储集体边界及内幕进行标注, 最终形成了富满弱走滑断控储集体分类预测与描述技术。

关键词: 富满油田; 弱走滑断裂; 解释性处理; 属性优选

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.05.03

0 引言

塔里木盆地富满油田断溶体油气藏发现后, 勘探上已认识到: 走滑断裂的级别控制了储层发育及油气富集规模, 强走滑断裂洞穴型、孔洞型和裂缝型储层均发育, 储集体规模大, 不同类型储层地震响应特征清楚^[1-3]; 而弱走滑断裂储层规模相对较小, 加之受地表沙漠覆盖及目的层埋深大的影响, 储层地震响应特征不清^[7-8], 这严重影响了弱走滑断裂的油气藏评价及井位部署。进一步提高弱走滑断裂的断控储层预测精度, 准确刻画储集空间结构特征成为了该类油藏评价开发的关键。

近年来, 与断控储层预测相关研究工作主要集中在强断裂储集体轮廓检测、内部结构表征、刻画方法等方面^[4-9], 而断控储层的特点和成因决定了不同级别走滑断裂的储层发育特征及各类储层占比差异较大^[10-13]。由于孔洞、裂缝的地震主频、地震分辨率和地震响应强度均弱于洞穴, 针对强走滑断裂

的储层预测方法不一定适用于弱走滑断裂。断溶体储层的地震反射特征往往是洞穴、孔洞、裂缝与基质围岩的综合响应^[4], 断控储层预测应从强化其不同储层响应入手来改善地震资料与储层预测方法的匹配性^[14], 来提高各类储层预测精度, 解剖有效储集空间。但从现有的研究成果来看, 前人未作区分。因此, 有必要开展弱走滑断控储层精细预测研究, 成果将提高弱走滑断控储层精细识别及描述技术水平, 对塔里木盆地断溶体油气藏勘探开发具有重要意义^[15]。

1 走滑断裂控储控藏特征

富满油田富源 III 区南北向位于塔中隆起和塔北隆起之间, 东西向位于阿瓦提拗陷与满加尔拗陷之间(图 1)。前人对区域构造演化特征系统研究, 可知富源 III 区经历了 4 个构造演化阶段^[16-17]: 加里东早期的克拉通边缘拗拉槽与克拉通内弱伸展背景阶段, 加里东中晚期—海西早期的克拉通隆起形

收稿日期: 2023-04-23

基金项目: 中国石油科技创新基金项目(2021DQ02-0104)

第一作者: 闫婷(1990—), 女, 硕士, 主要从事研究碳酸盐岩油气藏地震描述研究, E-mail: yanting-tlm@petrochina.com.cn.

成演化与整体强烈挤压阶段;海西晚期—印支期的塔北隆起持续抬升与挤压阶段;燕山期—喜马拉雅期古隆起与断裂调整定型阶段。多期构造活动致使本区走滑断裂十分发育,奥陶统碳酸盐岩地层经大气淡水、深部热液流体的综合溶蚀改造作用,形成了

洞穴型、孔洞型、裂缝型储层。加之断裂带外围致密碳酸盐岩作为侧向封挡构成了物性圈闭,以及上覆巨厚却尔却克组泥岩作为区域封盖层,源自下寒武统的油气沿走滑断裂垂向运移聚集成藏,走滑断裂具有明显的“控储、控藏、控富”的特征^[18-21]。

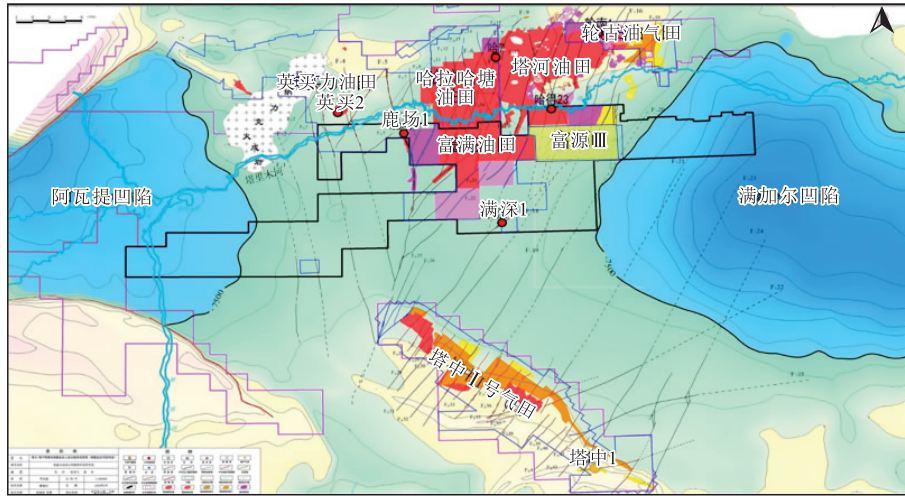


图1 富满油田富源 III 区构造位置图

Fig. 1 Structural location map of Fuyuan III Zone in Fuman oilfield

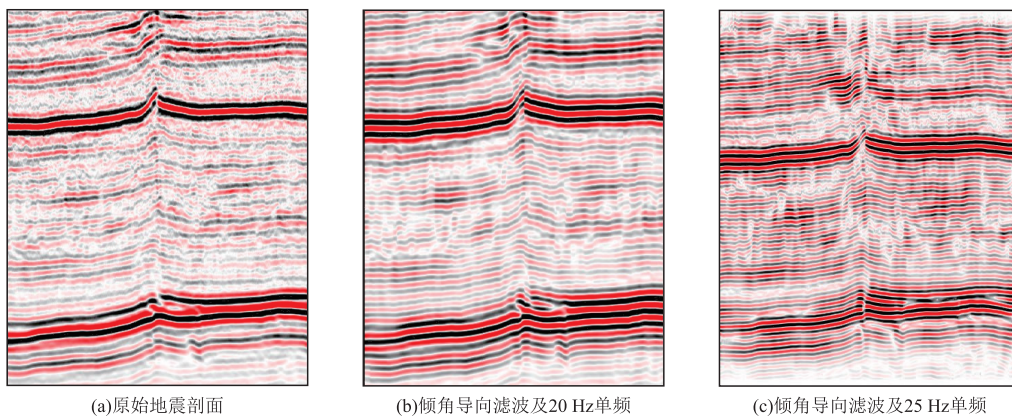


图2 断裂特征增强解释性处理对比剖面

Fig. 2 Comparison profiles for enhanced interpretive processing of fault features

2 断裂地震精细表征

富源 III 区整体处于阿满北东向走滑断裂带尾部,区域应力弱,断裂位移小活动弱,断裂集中消亡特征明显。常规的滤波方法虽然能够有效降低地震资料信噪比,但一些有效数据也没有得到保留,其分辨率也受到了一定程度的压制,不利于断层的精细刻画,为此提出了倾角导向滤波技术。该技术与其他方法不同的是,它沿地震反射界面的地层倾向和

走向并追踪着地震同相轴进行滤波,去除了地震数据中的随机噪声,明显增加了断层识别的连续性与分辨率。倾角导向滤波算法包含梯度结构张量、平面波分解等^[4]。参数分别为线平滑半径,道平滑半径和相关时窗。选用平面波分解滤波来计算地层倾角,线平滑半径,道平滑半径和相关时窗分别取 5、5、25。

在三维地震勘探资料中,断面通常表现出高频特征,而断面之间的破碎带通常吸收高频呈现低频状态,因而可以通过地震资料分频处理来辅助识别断裂的发育状况。地震资料分频处理就是转换地震

数据体的时间域到频率域,并把它分解为离散单频体,得到的单频体能够表征某一赫兹的空间局部特征,依据单频体的规律可以判断识别地质体的内部细节。研究表明,地震资料分频处理得到的资料中,低频切片通常指示强断裂的存在,而高频切片对于弱断裂的识别有着显著的效果。富源 III 区奥陶系地层地震数据主频为 20 Hz ~ 22 Hz,有效频宽为 5 Hz ~ 38 Hz,基于地震分频数据体分析,20 Hz 和 25 Hz 对断裂刻画较好,清晰而不失真。其中 20 Hz 对强走滑断裂刻画较好,25 Hz 用于弱走滑断裂细节特征描述。

综上所述,对原始地震数据体,依次采用倾角定向滤波及地震资料分频处理。断点干脆,纵向连续性良好,断裂空间组合及结构特征可直观显示。

3 储层地震精细表征

依据测井、录井及地震资料综合分析,富源 III 区弱走滑断控储层地震响应特征主要以洞穴型储层的串珠状反射,以及裂缝型储层的线性弱反射为主^[6]。由于孔洞储层溶蚀程度偏弱,平均直径仅为厘米级,单个孔洞难以识别,因此仅能已孔洞带进行描述,其地震振幅存在轻微异常。因此,储层预处理主要围绕串珠状反射及线性弱反射开展。

3.1 线状弱反射增强预处理

地震处理后的纯波叠加资料或偏移资料往往存在着背景噪声,对裂缝型储层识别形成干扰。进行针对性的滤波以增强断点清晰度,提高识别精度显得较为重要。各向异性滤波处理的目的是以地层倾角、相干体及主要层位作为约束,沿着地震同相轴的方向去除随机噪音,以达到增加同相轴连续性的目的,该算法分为倾角计算及滤波方式选择两步^[22]。

倾角计算可以通过计算梯度构造张量的特征向量来求取。滤波方法采用各向异性扩散补偿算法,平滑操作只对平行于地震同相轴的信息进行,而对垂直于地震同相轴方向的信息不作任何平滑。如果发现地震同相轴横向不连续,将不作平滑,因此这种滤波方法能保护断层和岩性边界信息。与其他平滑技术相比,各向异性滤波具有最优的平滑特性和保持边缘特性。能更好地压制噪声,并增强了对地震数据结构的刻画能力,主要通过分析地震数据不同方向的散度实现,具体迭代方程如下:

$$I_{t+1} = I_t + \lambda (cN_{x,y} \nabla N(I_t) + cS_{x,y} \nabla S(I_t) + cE_{x,y} \nabla E(I_t) + cW_{x,y} \nabla W(I_t)) \quad (1)$$

其中, I 表示地震数据, t 表示迭代次数, $\nabla N(I_t)$, $\nabla S(I_t)$, $\nabla E(I_t)$, $\nabla W(I_t)$ 分别表示地震数据在四个方向的散度, $cN_{x,y}$, $cS_{x,y}$, $cE_{x,y}$, $cW_{x,y}$ 分别表示对应的系数,其中北方向的系数可以通过下式计算获得:

$$cN_{x,y} = e^{-\frac{|\nabla N(I)|^2}{k^2}} \quad (2)$$

其它方向的系数计算类似, k 表示扩散因子,取值越大,平滑越严重,边缘保护性越弱。为了兼顾滤波效果和边缘保护,扩散因子选择适中合适,经过反复试验,确定扩散因子为 30,迭代次数为 5。

通过各项异常滤波前后对比剖面来看,经过各项异常滤波处理后的地震剖面信噪比得到明显改善,裂缝地震响应特征有所增强特征更为清晰(图 3(a)、图 3(c))。为了进一步测试各向异性滤波效果,分别对原始地震数据和各向异性滤波后数据进行增强相干断裂计算。基于各向异性滤波处理后的数据进行的裂缝检测结果无论从平面还是剖面对比都在清晰度和细节上有明显提升,对裂缝带的刻画更为精细(图 3(b)、图 3(d))。

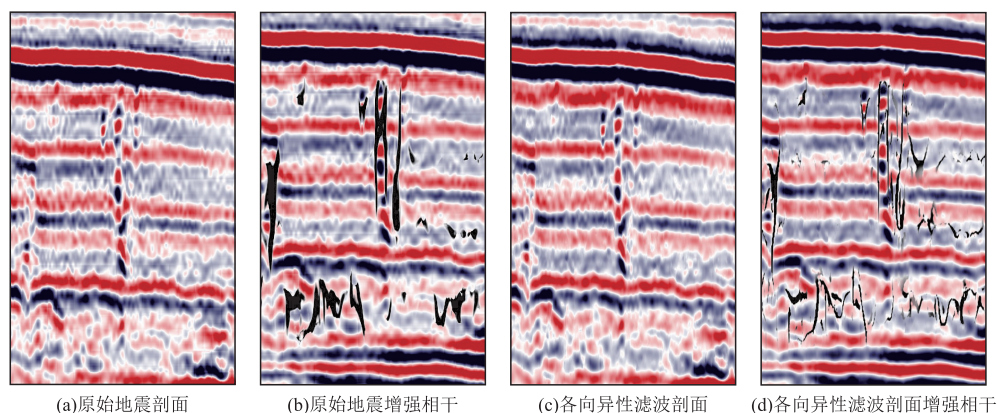


图 3 各向异性滤波前后裂缝检测效果对比图

Fig. 3 Comparison of crack detection effects before and after anisotropic filtering

3.2 串珠反射增强预处理

弱走滑断裂的“串珠”储层识别存在地震资料低信噪比低以及伴生相位较重的问题。为此,采用基于匹配追踪的子波分解与重构技术^[23]。地震道是多子波与反射系数褶积后的组合叠加,表达如下:

$$S(t) = \sum_{i=1}^M W_i * R_i(t) + N(t) \quad (3)$$

其中 $R_i(t)$ 是第 i 层对应的反射系数, W_i 为对应子波, $N(t)$ 为噪声。子波分解与重构是将每一地震道分解成多个不同形状、不同频率的地震子波分量,然后进行分量组合优选,去除地层结构地震响应,保留洞穴储层地震响应,从而形成新组合地震数据分量。同一地震分量反映相应地质层段相似的地震岩相特征。第一分量反映覆盖地区最大一级的地质和地层特征,第二分量则反映该地区次一级的地质岩性或岩相分类,更高级的分量以此类推^[24]。因此,重

构的地震数据更符合地下地震波传播的实际情况,依据重构来实现了对强反射背景的有效分离,大幅提高了洞穴型储层识别精度。图 4 分别展示了原始地震剖面、去除第 1 分量的剖面、去除第 1+第 2 分量的剖面以及去除掉的第 1 分量和第 1+第 2 分量的剖面。对比结果表明去背景第 1 分量的重构结果在地震剖面洞穴特征刻画上效果较好;去背景 1+2 分量虽然也可以去除背景干扰,但同时也去除了部分洞穴的有效反射特征,因此优选去背景第 1 主分量来进行波形重构。

为了进一步去除反射背景的干扰,揭示“串珠”反射特征,本研究对子波分解与重构之后的地震数据进行倾角滤波处理,以直观反映洞穴位置。倾角滤波是一种多频带非线性的倾角滤波处理方法^[25],其方法原理为:首先利用小波分解法,将全频带原始

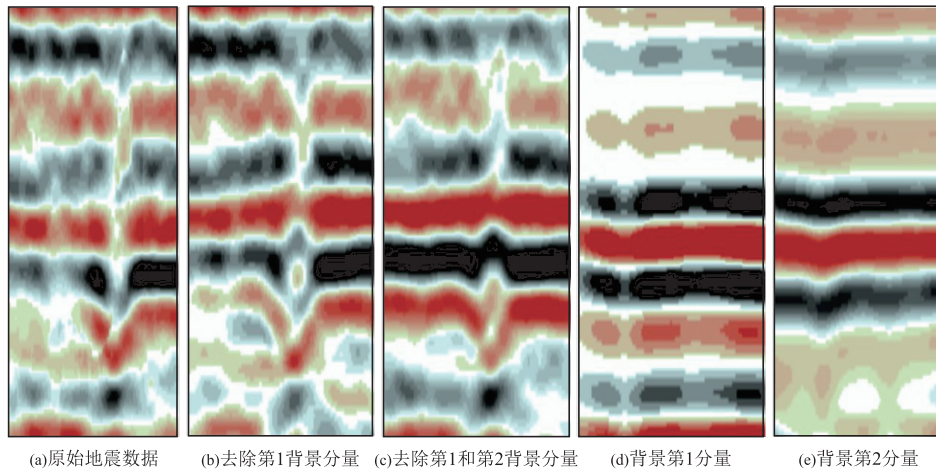


图 4 子波重构参数测试

Fig. 4 Wavelet reconstruction parameter testing

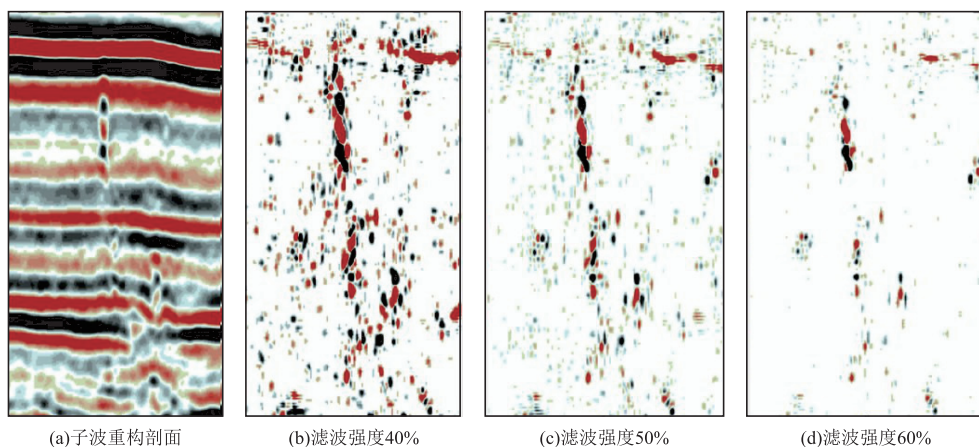


图 5 倾角滤波属性优选

Fig. 5 Optimization of inclination filtering attributes

地震数据进行多频带分频展开;其次对各频带的数
据分别选用不同的参数进行非线性倾角滤波,滤
波强度表示滤除成分的多少;最后将滤波后的各
频带地震数据进行加权重构。因此,利用倾角滤
波可以给予串珠反射特征的洞穴储层较高权重
而给予背景强反射较低的权重来突出洞穴储层
的反射特征,达到进一步去除背景和噪声干扰
的目的。本研究分别对子波分解与重构处理后的
地震数据分别进行滤波强度为 40%、50%、60%
的倾角滤波处理。滤波强度为 40%时,背景干
扰得到有效去除,但剖面仍存在部分噪声干扰
(图 5(b));滤波强度为 50%时,处理剖面在
洞穴特征刻画上效果好,且信噪比高于 40%的
滤波强度(图 5(c));滤波强度大于 60%时,
在背景干扰去除的同时,部分洞穴反射也被去
除掉(图 5(d)),因此优选滤波强度为 50%来
进行倾角滤波。

至此,笔者提出利用各项异常滤波、子波分
解与重构、倾角滤波处理去除宏观背景和噪声
反射的干扰,可以明显提高洞穴、裂缝识别精
度。但需要提出

的是,子波分解与重构、倾角滤波虽然可以突
出缝洞体反射特征,但其主要突出规模洞穴的
“串珠状”反射,容易压制裂缝的“线状弱”反
射特征,影响裂缝储层识别效果。而各项异常
滤波可以增强断点、断面的清晰度,提高裂缝
识别精度。因为,依据不同储集体类型可以建
立不同的解释性处理流程:洞穴型储层处理流
程依次为各向异性滤波、子波分解与重构、倾
角滤波;裂缝型储层预处理流程为各向异性滤
波。

4 储层分类预测

4.1 断控储集体边界刻画

断溶体的边界可以作为三维可视化雕刻的约
束条件,断控储集体是致密碳酸盐岩受断裂活
动沿破碎带形成的。在各向异性滤波处理的数
据体上优选多种地震属性对比分析,可见结构
张量属性对断控储集体的边界刻画效果较好。
通过识别结构张量属性剖面上的杂乱纹理,即
可反映断裂带包络面(图 6)。

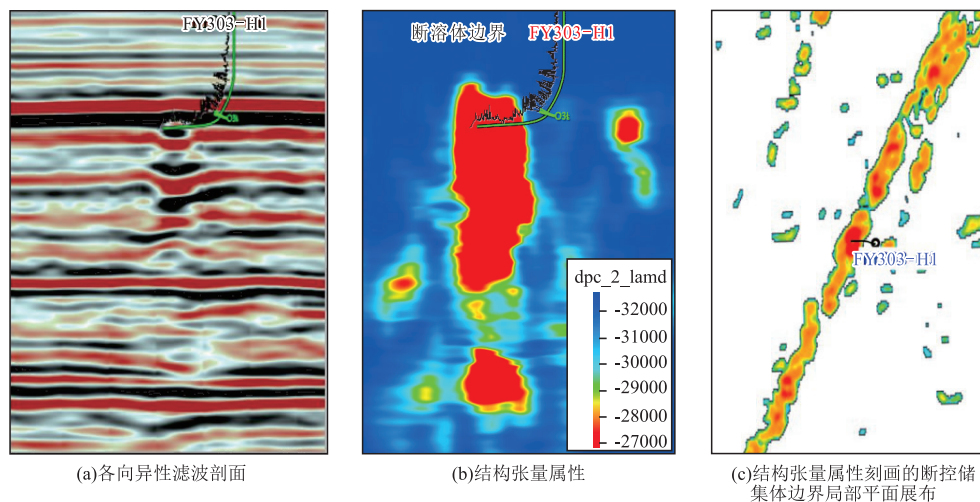


图 6 断控储集体边界阈值标定

Fig. 6 Calibration of boundary threshold values for fault controlled reservoirs

4.2 断控储集体内幕不同储层预测

4.2.1 洞穴型预测

洞穴型储层在地震剖面上表现为“串珠状”强
反射特征。对各向异性滤波、子波重构和倾角
滤波之后的地震数据进行多属性计算和优选(图
7(b))。发现甜点属性和瞬时振幅属性基本都
能将洞穴型储层“串珠状”反射勾勒出来,但
瞬时振幅属性杂乱能量多,异常能量不收敛
(图 7(c))。甜点属性是反射强度与瞬时频
率的均方根的比值^[26-27],洞穴型储层具
有反射强度大、瞬时频率低的特点,其与“串
珠状”

反射吻合更好,且异常干扰较瞬时振幅属性
少,可以更加精细刻画洞穴型储集体的展布
(图 7(d))。

4.2.2 孔洞型预测

振幅曲率刻画地质体横向特征变化的重要
地震属性,可以通过求取地震振幅的二阶倒
数获得。与常规反映地质体边缘特征的能量
梯度相比,振幅曲率是反映地质体包络的属
性。因此,能通过阈值有效区分地质体的空
间分布。首先,沿着地震测线方向求取地震
振幅或者能量的一阶导数,又称为振幅能量
梯度;然后,进一步求取二阶导数获得振幅
曲

面;最终,拟合输出振幅曲率属性。可见,利用振幅曲率属性来刻画孔洞型储层具有理论基础。

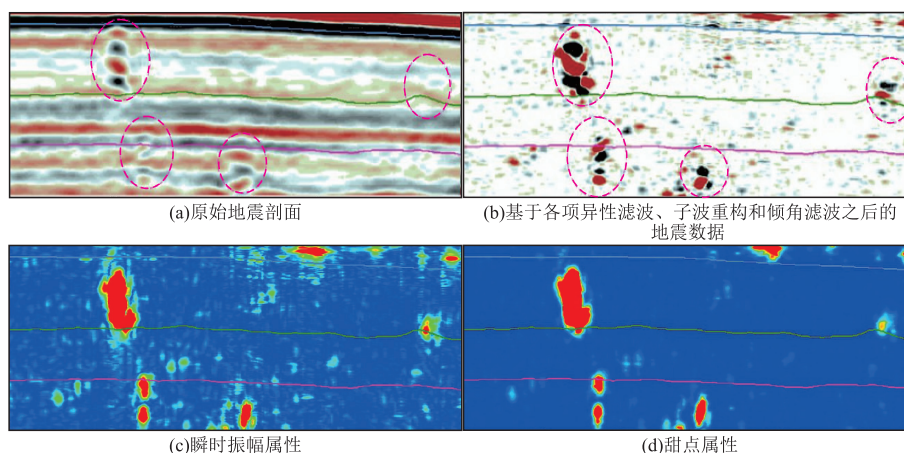


图7 洞穴型储层刻画属性优选

Fig. 7 Optimization of cave type reservoir characterization attributes

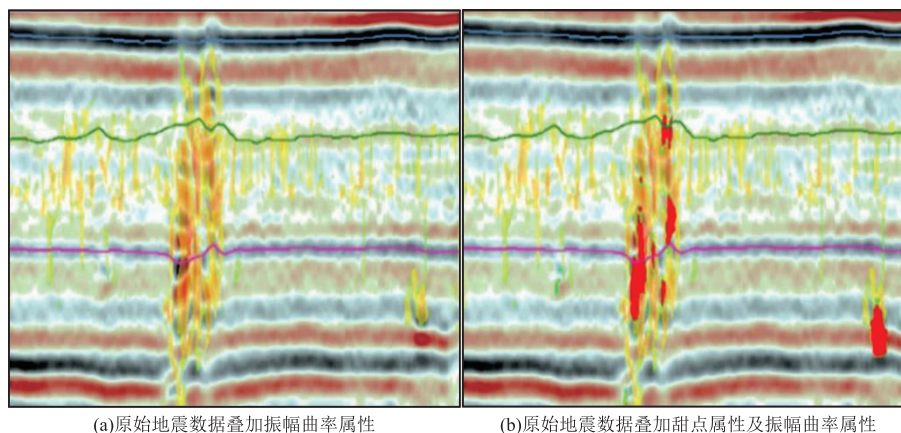


图8 孔洞型储层刻画

Fig. 8 Characterization of porous reservoir

对地震数据进行振幅曲率计算识别孔洞型储层。图8分别展示了振幅曲率和甜点属性对比,振幅曲率刻画的孔洞和甜点属性刻画的洞穴相辅相成,共同刻画蚀孔洞储层展布。其中洞穴型储层属性边界清楚且独立为洞穴反射特征,而孔洞型储层面属性成片状且边界较模糊。

4.2.3 裂缝型预测

相干属性在断裂裂缝检测方面效果较好,但其仍存在一定的局限性:当地震数据信噪比不高或者地质构造复杂的情况下,相干体中的断层特征会和引起地震振幅变化的其他地质层序特征、构造特征等混淆;相干体所展示的断层在水平切片或层位切片上效果明显,但垂向连续性差。而增强相干将断层—裂缝面所在的局部区域假设为平面,然后,沿着

三维空间的各个方位和倾角分别搜索地震振幅梯度向量的凌乱性,寻找凌乱性最强位置,即为裂缝所在位置。在数学实现上,第一步分析地震数据和地质体特征来确定搜索方位和倾角范围;第二步沿着设定的搜索方向分别提取构造张量矩阵,并通过求解其特征值获得凌乱度;第三步寻找凌乱度最大时的方位和倾角作为断面的方位和倾角,凌乱度值则是断裂/裂缝存在的可能性。对各向异性滤波后的地震数据进行多属性计算和优选,图9对比了似然体、增强相干和最大负曲率属性的识别结果,最负曲线效果最差,刻画的结果纵向延伸差,与地震的弱线状反射和同相轴错断匹配性差;似然体和增强相干效果类似,基本可以将小断裂—裂缝刻画出来,但增强相干刻画断裂细节更丰富,纵向延伸性更好。

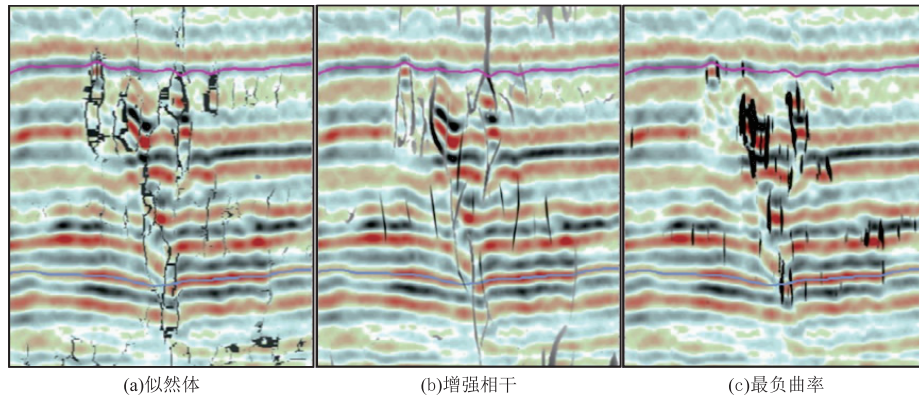


图 9 裂缝识别属性优选

Fig. 9 Optimization of crack identification attributes

5 断控储集体三维量化雕刻

基于富满地区水平井钻探表明,在钻遇断控储集体边界时,钻时曲线会明显降低,因此通过钻时曲线突变位置对储集体边界进行标定,明确了结构张量属性刻画边界的阈值 $\geq 1\ 826$ 。断控储集体内幕不同类型储集体刻画优选的属性不同,属性门槛

值也不同。在钻入洞穴时发生明显放空漏失,利用甜点属性标定放空漏失处可得洞穴阈值 ≥ 32 (图 10(a));钻遇孔洞型储层时振幅曲率属性有明显响应,利用测井曲线标定振幅曲率属性,可知阈值为 $6\ 000\sim 10\ 500$ (图 10(b));针对裂缝型储层,通过钻时及录井资料标定裂缝型储层增强相干属性值 $0.003\sim 0.007$ (图 10(c))。

在确定不同类型储层属性门槛值的基础上,以

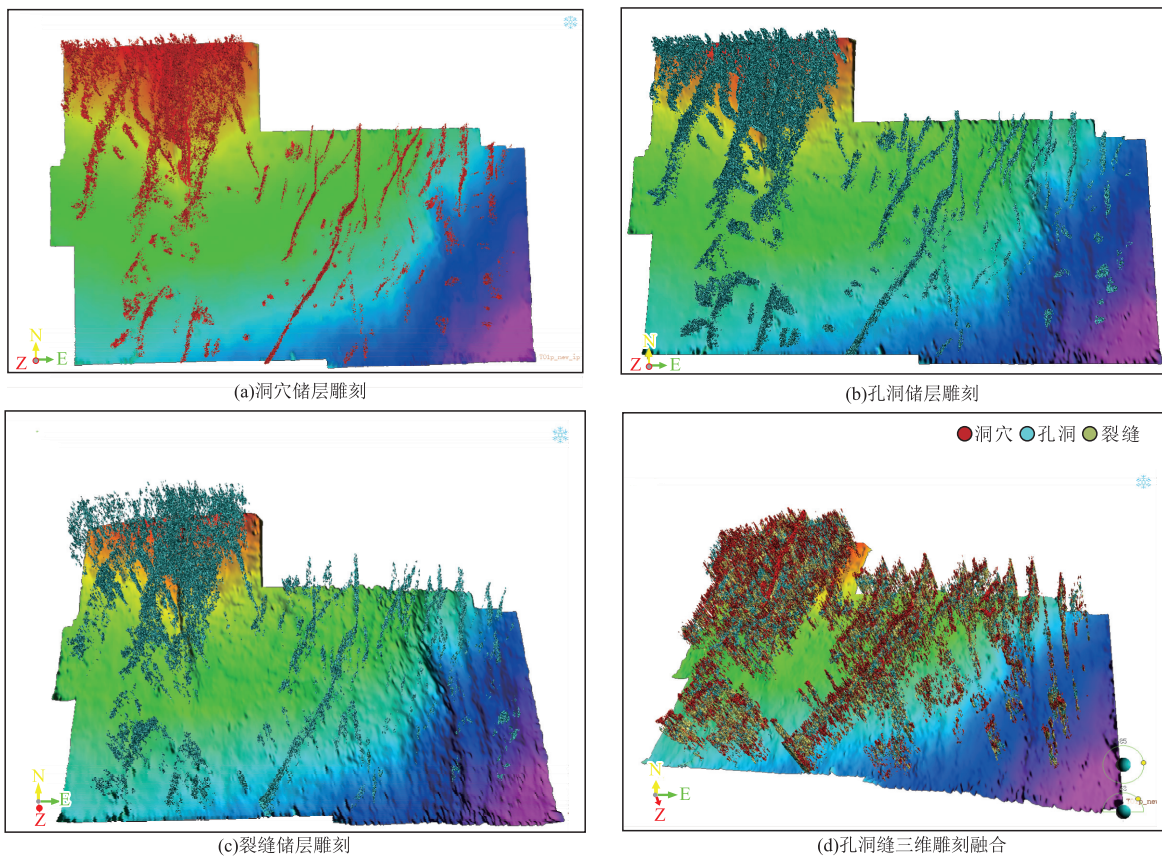


图 10 孔洞缝三维雕刻融合

Fig. 10 3D carving and fusion of pores and fractures

结构张量属性刻画的断控储集体边界为约束,将洞穴、孔洞、裂缝三维空间雕刻结果在软件里进行融合立体显示,可以较精确地刻画出断控储集体三维空间展布特征(图 10(d))。不同类型储层在空间上相互独立,且互相关联。

6 应用效果

利用弱走滑断控储集体预测技术,在富源 III 区落实了 10 余个有利勘探目标。富源 5、玉科 7、富源 4 井、富源 6 井相继在主干断裂带以及伴生的次级断裂实现油气重大突破,有力地支撑了富满油田的快速增储上产。富源 III 区探井评价井钻探成功率的不提高,证实了弱走滑断控储集体预测技术的科学性及其有效性,为富满油田持续勘探开发提供了有效支撑。

7 结论

1)经倾角导向滤波及地震分频处理后的地震数据体,可以更加精确地刻画弱走滑断裂,能够更好地描述断裂空间展布。

2)弱走滑断裂碳酸盐岩缝洞型储层识别存在地震资料低信噪比以及强相位屏蔽的问题,利用各项异常滤波、子波分解与重构、倾角滤波处理可以去除宏观背景和噪声反射的干扰,增强洞穴型、裂缝型储层地震反射特征,为后续储层分类预测提供良好数据基础。

3)在不同类型储层特征增强解释性处理数据的基础上,优选了结构张量属性、甜点属性、振幅曲率以及增强相干,可以更清晰地刻画出弱走滑断控储集体空间结构特征。

参考文献:

- [1] 孙冬胜,李双建,云金表,等. 中国海相克拉通盆地古隆起的活动性与油气分布[J]. 地质学报, 2017, 91(7): 1589—1603.
SUN D S, LI S J, YUN J B, et al. The activities of paleo-uplifts and distribution of oil and gas in marine craton basins, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(7): 1589—1603. (In Chinese)
- [2] 田军,杨海军,朱永峰,等. 塔里木盆地富满油田成藏地质条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2021, 42(8): 971—985.
TIAN J, YANG H J, ZHU Y F, et al. Geological

conditions for hydrocarbon accumulation and key technologies for exploration and development in Fuman oil-field, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(8): 971—985. (In Chinese)

- [3] 韩剑发,苏洲,陈利新,等. 塔里木盆地台盆区走滑断裂控储控藏作用及勘探潜力[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1296—1310.
HAN J F, SU Z, CHEN L X, et al. Reservoir-controlling and accumulation-controlling of strike-slip faults and exploration potential in the platform of Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(11): 1296—1310. (In Chinese)
- [4] 刘军,李伟,龚伟,等. 顺北地区超深断控储集体地震识别与描述[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 238—245.
LIU J, LI W, GONG W, et al. Seismic identification and description of ultra-deep fault-controlled reservoirs in Shunbei Area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 238—245. (In Chinese)
- [5] 徐红霞,沈春光,李斌,等. 多属性分析技术在碳酸盐岩断溶体预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(增刊 2): 158—163.
XU H X, SHEN C G, LI B, et al. Fault-karst carbonate reservoir prediction with comprehensive multi-attribute analysis [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2017, 52(Suppl 2): 158—163. (In Chinese)
- [6] 李海英,刘军,龚伟,等. 顺北地区走滑断裂与断溶体圈闭识别描述技术[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 107—120.
LI H Y, LIU J, GONG W, et al. Identification and characterization of strike-slip faults and traps of fault-karst reservoir in Shunbei Area [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(3): 107—120. (In Chinese)
- [7] 李宗杰,杨子川,李海英,等. 顺北沙漠区超深断溶体油气藏三维地震勘探关键技术[J]. 石油物探, 2020, 59(2): 283—294.
LI Z J, YANG Z C, LI H Y, et al. Three-dimensional seismic exploration method for ultra-deep fault-related dissolution reservoirs in the Shunbei Desert Area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2020, 59(2): 283—294. (In Chinese)
- [8] 刘宝增,漆立新,李宗杰,等. 顺北地区超深层断溶体储层空间雕刻及量化描述技术[J]. 石油学报, 2020, 41(4): 412—420.
LIU B Z, QI L X, LI Z J, et al. Spatial characterization and quantitative description technology for ultra-deep fault-karst reservoirs in the Shunbei Area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(4): 412—420. (In Chinese)

- [9] 王清华, 杨海军, 汪如军, 等. 塔里木盆地超深层走滑断裂断控大油气田的勘探发现与技术创新[J]. 中国石油勘探, 26(4): 58—71.
WANG Q H, YANG H J, WANG R J, et al. Discovery and exploration technology of fault-controlled large oil and gas fields of ultra-deep formation in strike slip fault zone in Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 26(4): 58—71. (In Chinese)
- [10] 邓尚, 李慧莉, 张仲培, 等. 塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 878—888.
DENG S, LI H L, ZHANG Z P, et al. Characteristics of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei Area and its surroundings, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878—888. (In Chinese)
- [11] 鲁新便, 杨敏, 汪彦, 等. 塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征: 以塔河油田奥陶系油藏为例[J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 461—469.
LU X B, YANG M, WANG Y, et al. Geological characteristics of ‘strata-bound’ and ‘fault—controlled’ reservoirs in the northern Tarim Basin; Taking the Ordovician Reservoirs in the Tahe Oil Field as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 461—469. (In Chinese)
- [12] DENG S, LI H L, ZHANG Z P, et al. Structural characterization of intracratonic strike-slip faults in the central Tarim Basin[J]. AAPG Bulletin, 2019, 103(1): 109—137.
- [13] 云露. 顺北地区奥陶系超深断溶体油气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(2): 136—142.
YUN L. Hydrocarbon accumulation of ultra-deep Ordovician fault-karst reservoirs in Shunbei Area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(2): 136—142. (In Chinese)
- [14] 杨平, 李海银, 胡蕾, 等. 提高裂缝预测精度的解释性处理技术及其应用[J]. 石油物探, 2015, 54(6): 681—689.
YANG P, LI H Y, HU L, et al. Interpretative processing techniques and their applications in improving fracture prediction accuracy[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2015, 54(6): 681—689. (In Chinese)
- [15] 何海清, 范士芝, 郭绪杰, 等. 中国石油“十三五”油气勘探重大成果与“十四五”发展战略[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(1): 17—30.
HE H Q, FAN T Z, GUO X J, et al. Major achievements in oil and gas exploration of PetroChina during the 13th Five-Year Plan period and its development strategy for the 14th Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(1): 17—30. (In Chinese)
- [16] 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 207—221.
HE D F, ZHOU X Y, YANG H J, et al. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 207—221. (In Chinese)
- [17] 李萌, 汤良杰, 漆立新, 等. 塔北隆起南坡差异构造演化及其对油气成藏的控制[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(2): 218—228.
LI M, TANG L J, QI L X, et al. Differential tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon accumulation in the south slope of Tabei uplift[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(2): 218—228. (In Chinese)
- [18] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 等. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3): 347—355.
LU X B, HU W G, WANG Y, et al. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe Area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 347—355. (In Chinese)
- [19] 焦方正. 塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207—216.
JIAO F Z. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei Area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207—216. (In Chinese)
- [20] 焦方正. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(5): 831—839.
JIAO F Z. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole Area of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(5): 831—839. (In Chinese)
- [21] 马永生, 何治亮, 赵培荣, 等. 深层—超深层碳酸盐岩储层形成机理新进展[J]. 石油学报, 2019, 40(12): 1415—1425.
MA Y S, HE Z L, ZHAO P R, et al. A new progress in formation mechanism of deep and ultra-deep carbonate reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(12): 1415—1425. (In Chinese)
- [22] 王静, 张军华, 冯德永, 等. 利用不连续性的各向异性扩散滤波方法识别断层[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(6): 1349—1357.

- WANG J, ZHANG J H, FENG D Y, et al. Fault identification based on a discontinuous anisotropic diffusion filter[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2020, 55(6): 1349–1357. (In Chinese)
- [23] 李源, 陈胜, 王鹏, 等. 川南地区下二叠统茅口组岩溶储集体地震识别[J]. *新疆石油地质*, 2021, 42(5): 529–540.
- LI Y, CHEN S, WANG P, et al. Seismic response identification of Karst Reservoir in Lower Permian Maokou Formation in southern Sichuan Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2021, 42(5): 529–540. (In Chinese)
- [24] 何胡军, 王秋语, 程会明. 基于匹配追踪算法子波分解技术在薄互层储层预测中的应用[J]. *物探化探计算技术*, 2010, 32(6): 641–644.
- HE H J, WANG Q Y, CHENG H M. The application of wavelet decomposition technique based on matching pursuit algorithm in thin interbedded reservoir prediction[J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2010, 32(6): 641–644. (In Chinese)
- [25] 马佳国, 周卿, 王波, 等. “富砂型”河流相沉积储层砂体精细刻画[J]. *石油物探*, 2021, 60(3): 461–470.
- MA J G, ZHOU Q, WANG B, et al. Fine description of a sandbody in a sand-rich fluvial sedimentary reservoir[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2021, 60(3): 461–470. (In Chinese)
- [26] TANER M T, HERIFF R E. Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon determination: section 2. application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation[J]. *AAPG Memoir*, 1977, 26: 301–327.
- [27] RADOVICH B J, OLIVEROS R B. 3-D sequence interpretation of seismic instantaneous attributes from the Gorgon Field[J]. *The Leading Edge*, 1998, 17(9): 1286–1293.

Classification prediction and description of weak strike slip fault controlled reservoirs

YAN Ting¹, SUN Chong¹, ZHANG Yintao¹, JIANG Ziran²

- (1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China;
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Fuyuan III area of the Fuman oilfield is located at the end of NE strike-slip fault in the Tarim Basin platform basin area. The fault activity is weak, the seismic response of the fault-controlled reservoir is not apparent, and the description of fault and reservoir is complex. Aiming at weak strike-slip faults, dip angle guided filtering and seismic frequency division processing have been carried out to improve the accuracy of fault seismic identification. The seismic response characteristics of cave and fracture type reservoirs are enhanced through coherent anisotropic filtering, waveform reconstruction, and dip filtering. Based on this, structural tensor attributes, dessert attributes, amplitude curvature, and enhanced coherence are applied to label weak strike-slip fault-controlled reservoirs' boundaries and interior, ultimately forming a classification, prediction, and description technology for rich and weak strike-slip fault-controlled reservoirs.

Keywords: fuman oilfield; small strike-slip fault; interpretive processing; attribute optimization