

塔里木盆地 YQD 井区断控缝洞体增强技术研究

徐 浩¹, 李 赫²

(1. 中石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国石油集团东方地球物理勘探有限公司西南物探研究院, 成都 610041)

摘要:塔里木盆地 YQD 井区奥陶系碳酸盐岩储层主要受北东向走滑断裂控制。围绕北东向走滑断裂寻找规模储集体是重点攻关方向。但因为该工区地震资料信噪比不满足断裂识别和储层预测的需要, 严重制约了勘探进程。针对这一问题先后开展了以不同尺度断裂响应特征为基础的断裂增强处理, 基于分频解释的思想, 先增强后融合; 同时开展了以实钻井储层响应特征为基础的缝洞增强处理, 拾取特征频率进行频率重构。应用结果表明: 基于分频处理的断裂增强技术可有针对性的增强不同级别断裂的响应特征, 增强大尺度断裂显示效果, 提高小尺度断裂的分辨能力; 基于分频重构的缝洞增强技术可增强串珠响应特征, 弱化背景能量。将两者融合后, 可为下一步上钻目标优选提供有力支撑。

关键词: 断裂增强; 分频解释; 分频重构; 塔里木盆地

中图分类号: P631 **文献标志码:** A

Study on strengthening technology of fault-controlled fracture cavity in YQD well area of Tarim Basin

XU Hao¹, LI He²

(1. Research Institute of Exploration and Development, Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi 830011, China;

2. Southwest Geophysical Research Institute, Dongfang Geophysical Exploration Company, CNPC, Chengdu 610041, China)

Abstract: The Ordovician carbonate reservoirs in the YQD well area of Tarim Basin are mainly controlled by northeast strike-slip faults. Focusing on the northeast strike-slip faults to find a large-scale reserve collective is the key direction of research. However, because the signal-to-noise ratio of seismic data in this area can not meet the needs of fracture identification and reservoir prediction, it has seriously restricted the exploration process. In response to this problem, it was carried out the fracture enhancement processing based on fracture response characteristics of different scales, and the idea of split-frequency interpretation, first enhancement and then fusion; meanwhile, it was carried out fracture cavity enhancement processing based on reservoir response characteristics of real drilled wells, picking up the characteristic frequency for frequency reconstruction. The application results show that the fracture enhancement technique based on split-frequency processing can enhance the response characteristics of different levels of fractures in a targeted manner, enhance the display effect of large-scale fractures, and improve the resolution of small-scale fractures; the fracture cavity enhancement technique based on split-frequency reconstruction can enhance the response characteristics of beads and weaken the background energy. The integration of the two can provide strong support for the next step of target optimization.

Key words: fracture enhancement; frequency division interpretation; frequency division reconstruction; Tarim Basin

传统的地震资料处理以批量处理方式为主要特征, 是在宏观地质背景的基础上, 运用静校正技术、叠前去噪技术以及偏移成像技术对整个工区地震资料进行处理。这种处理方式在作业执行过程中, 由于人机不能对话, 处理人员不能干预, 难以适用于精细解释和特殊目标处理, 随着勘探难度的增加, 地震资料处理将面向如何真实的反映地质现象^[1]。因此在勘探程度越来越高的今天, 解释性处理技术被广泛应用于解决特殊地质问题。

近年来, 基于分频的断裂增强和基于频率重构的缝洞增强解释性处理技术被广泛应用于碳酸盐岩储层预测中, 并取得了良好的效果。2020年马艺

收稿日期: 2021-12-23; 改回日期: 2022-07-11。

第一作者简介: 徐浩(1985—), 硕士, 副研究员, 主要从事油气勘探工作。E-mail: xuhaohzh@163.com。

基金项目: 中石化科技部项目“塔北重点区带奥陶系储层精细成像及预测技术研究”(P21048-2)。

璇等^[2]利用分频相干蚂蚁体技术对塔河油田断裂进行了刻画,证实了分频数据对于提升断裂识别的效果;2020年李飞跃等^[3]利用分频倾角相干技术开展琼东南盆地深水区断裂研究,验证了分频相干融合技术的可行性;2018年逯宇佳等^[4]利用分频相干属性开展碳酸盐岩缝洞刻画,突出了不同属性共有断裂的同时,增强了缝洞反射特征,实现了碳酸盐岩缝洞体的精细刻画;2020年何青林等^[5]基于低频重构技术预测火山岩储层,证实了分频重构对于非均质性强的储层具有良好的效果;2017年刘诗敏等^[6]利用分频重构技术研究了沾化凹陷长堤地区沙一段碳酸盐岩分布特征,取得了良好的效果。

本文在前人研究的基础上,通过分频处理明确本区大中小尺度断裂对应频带范围,再通过相干RGB融合技术增强断裂成像。对缝洞响应特征进行分频研究,以实钻井为样本点开展频率优选

与重构研究,进一步提升了缝洞响应特征的识别精度。

塔里木盆地YQD井区位于塔河油田北部,前期针对主要目的层奥陶系一间房组(波阻代号 T_7^4)已部署了6口钻井均获得油气显示,研究表明,本区北东向主干走滑断裂具有控储特征,因此围绕北东向走滑断裂寻找规模储集体成为了工作的主要方向。而地震资料品质成为制约勘探的一个重要因素。2019年对工区内三维进行重新采集,面元为 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$,覆盖次数为252次,道间距30 m。重采之后的数据体分析,目的层 T_7^4 对应层段主频为27 Hz,频宽为8~48 Hz,处理品质效果较好,但仍有很多噪音,部分走滑断裂识别不清,且内幕断层识别有待提高,局部区域串珠反射与围岩反射不易区分(图1)。针对上述问题开展了断裂增强和缝洞增强的解释性处理研究。具体的技术流程见图2。

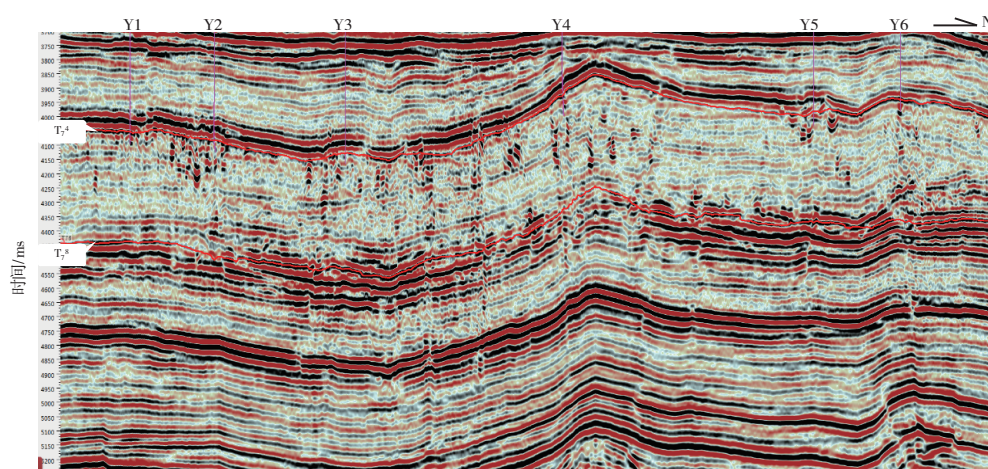


图1 YQD井区叠前时间偏移数据体连井剖面

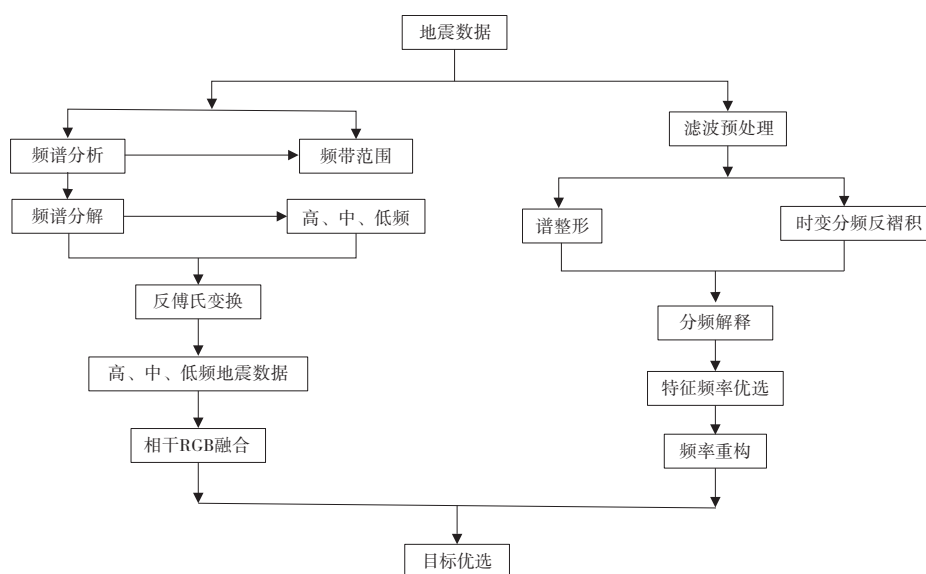


图2 技术流程

1 断裂增强处理技术

断裂增强处理技术的重点在于分频段研究,主要基于本区大中小尺度断裂分析的基础之上。断裂尺度划分之后如何与频段对应是需要重点解决的问题。针对缝洞增强的分频重构技术关键是特征频率优选及重构过程。特征频率的优选将直接影响重构地震数据体的可靠性和可行性。

1.1 滤波预处理

考虑到本区地层倾角问题,有针对性地选择扩散滤波处理。其全称叫做相干增强各向异性滤波,

是一种定向平滑的技术。与其他平滑技术相比,它具有最优的平滑特性和保持边缘特性。目前,各项异性扩散滤波是保边去噪处理中应用较广泛的一种滤波技术,起扩散方程的形式为偏微分方程,具有较高的计算效率和稳定性^[7]。这种滤波方式能压制噪声,提高横向连续性,增强了地震数据对层序体内部结构的成像能力。

通过滤波前后的对比,滤波前资料存在噪音,局部串珠状反射特征与围岩边界模糊,断点不够清晰。滤波后噪音信息得到有效压制,断裂展现更加清晰。证明扩散滤波方法适合本工区(图3)。

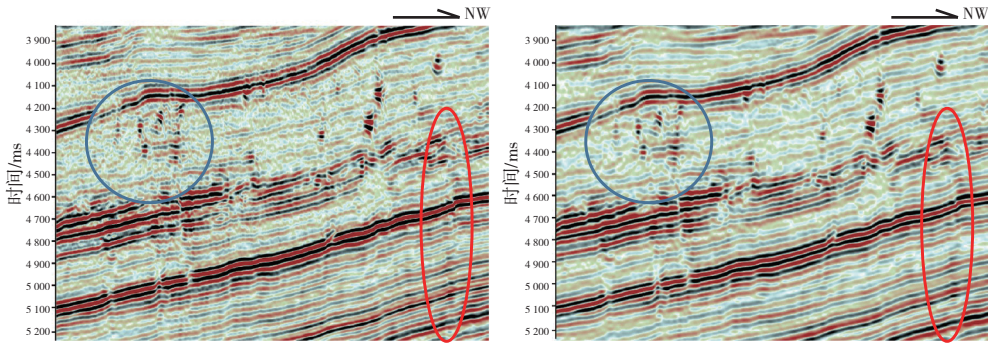


图3 扩散滤波和原始数据体对比

1.2 断裂增强处理

本次断裂增强处理主要采用分频段处理后进行分频段相干体计算。主要的理念为:频谱分解技术是一种频率域的研究方法,是地震属性分析中的重要组成部分。

断裂发育处往往会引起地震反射频谱的变化,可以用频率随时间的变化关系来研究断裂、不连续反射等。由于断裂的散射特征,中低频资料对大型断裂反映更明显,而高频资料反映小断层或裂缝更明显。

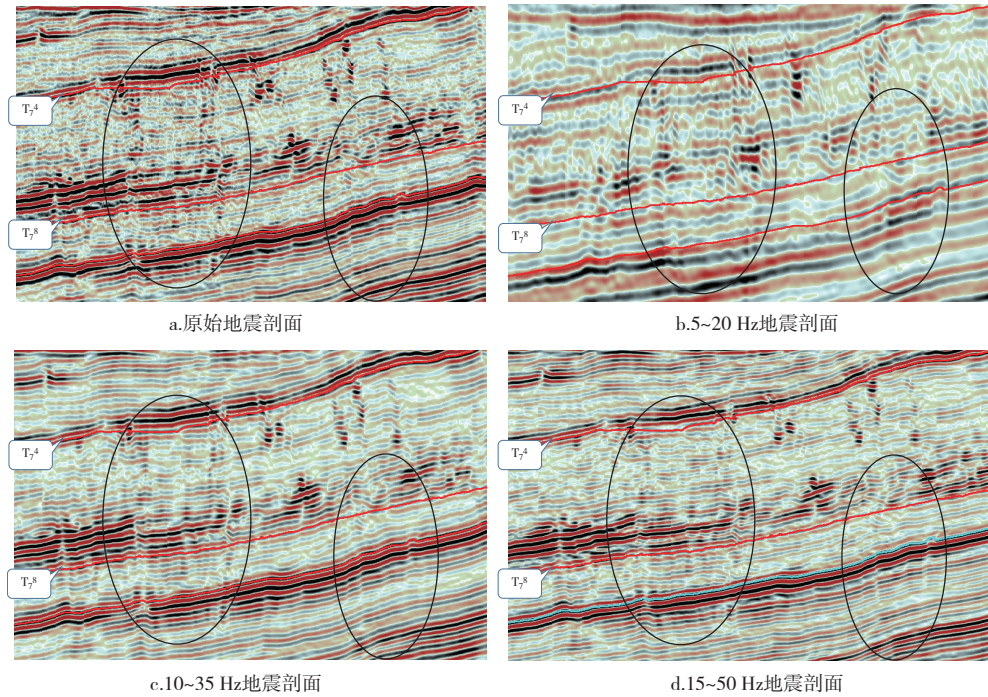


图4 不同频段剖面特征对比

主要参数设置是根据有效频宽,按照“近平分,有重叠”的思路,通过区分大中小尺度断裂应对的不同频率,将原始数据体划分为多个频段。

以扩散滤波数据体为基础,按照划分原则将数据体划分为低、中、高三个频段。其中低频主频为12 Hz,频宽5~20 Hz;中频段主频为26 Hz,频宽10~35 Hz;高频段主频为40 Hz,频宽15~50 Hz。

分频段后的数据体针对不同级别的断裂表现特征各异。全频段数据体,虽然经过扩散滤波处理,但是断点处噪音较为明显,断点收敛特征较差。低频段数据体对于大尺度断裂表现较好,但是小断裂特征不明显(图4),中频率段特征与全频段特征相似,但是噪音得到有效压制,信噪比提升。断裂

面干净利索,局部中、小尺度断裂特征明显。高频段性噪比进一步提升,小尺度断层特征明显显现(图4)。

分别对分频段后的数据体进行相干体计算,并提取寒武系顶面(T_8^0)层面以下0~30 ms平均绝对振幅(图5)。从图中可以看出,低频段对于北部大型断裂刻画效果较好,但是南部的走滑断裂特征刻画较差,工区内主要研究对象F5、F6、F7三条主干走滑断裂特征显现较差;中频段北部大型逆冲断裂展现效果好,南部走滑断裂特征也很好;高频段数据对于细节断裂表现得更好,如北部的巴里英断裂的伴生断裂,以及南北向的走滑断裂,在 T_8^0 界面上也有所展现。

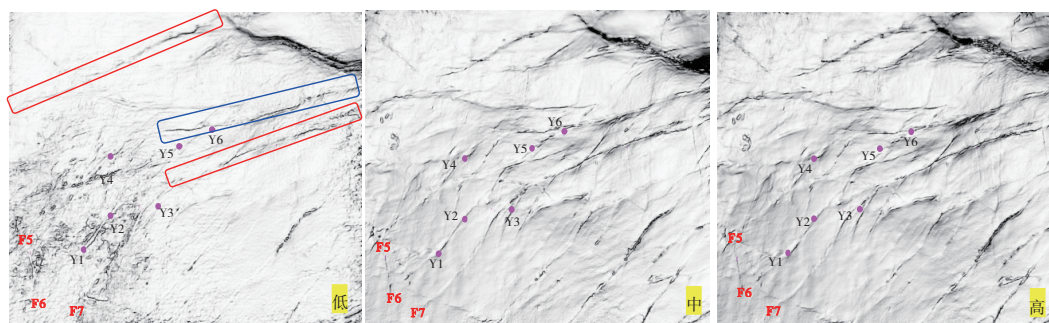


图5 分频相干体 T_8^0 层面往下0~30 ms平均绝对振幅

1.3 RGB分频相干融合

主要思路是低频信息可以突出大尺度断裂,中频信息可以突出大、中尺度断裂,高频信息可以突出小尺度断裂。将三者按照RGB三色进行融合后,可以凸显大、中尺度断裂,同时兼顾小尺度断裂。这样一来可以更好地刻画本区断裂平面展布形态。

RGB融合后的相干图与某商业软件全频段相干进行了对比(图6)。从对比中可以看出,蓝色区域中的三条主干走滑断裂更加清晰,北东东向逆冲断裂往西边延伸较远,而paradigm相干图上则延伸较近。东部南北向断裂在RGB融合相干图上特征较为明显,证明南北向断裂在这一时期是有活动的。

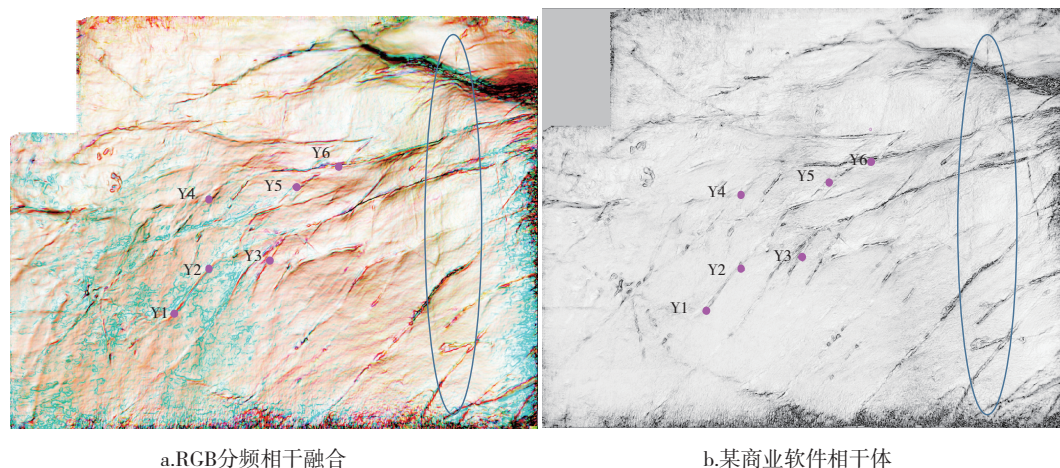


图6 T_8^0 以下0~30 ms RGB分频相干融合(左)与某商业软件相干体(右)对比

2 缝洞增强处理

本次缝洞增强处理是基于 Geoscope 平台下的多种滤波优选+频率重构组合进行处理。其中针对储层的滤波主要借助 GeoEnhance 模块下 Resolution, 该模块主要是针对储集体进行一定的拓频和提频处理。而分频重构则是借助于频谱分解和频率重构两个模块进行。

反 Q 滤波技术是一种补偿大地滤波作用所造成的地震波的振幅和频率的技术,高频成分得到补偿、频带拓宽,提高地震资料的分辨率,具有较好的保幅性^[8]。

本次 Q 体的计算方法主要是采用了谱比法,该方法是在目的层上下层位分别选取两个标准反射地震子波记录段,进行频谱分析和 Q 值计算^[9]。该方法是一种基于地震数据获取 Q 体的方法,本次通过 YQ8 三维叠前时间偏移数据求取,用 Q 体来补偿能量衰减的地震数据。从而得到反 Q 滤波数据体。该方法最大的优势是能突出目的层储层反射特征,弱化背景特征,从而达到增强能量的效果。

2.1 频谱分解

子波分解是把一个地震道分解成不同能量的地震子波的集合。地震道分解后,可以对子波进行筛选,重构出新的地震道。如果该集合的所有子波都用于重构,重构的地震道和原始地震道基本是相同的。具体实现过程是将输入的地震数据体中的给定数据段分解成不同能量的子波分量,不同能量的子波分量是基于输入的地震数据段统计计算而得到的。第一能量分量代表在所有输入的地震数据段中具有最大共性、最大能量的子波;在去掉第一能量分量的输入数据段后,第二分量代表在剩余的输入数据段中具有最大共性、最大能量的子波分

量;第三分量则是去掉第一分量和第二分量后剩余的地震数据段中具有最大共性、最大能量的子波分量,以此类推。

原始地震数据主频 27 Hz,频带宽度 8~48 Hz。本次以 5 Hz 为间隔,将反 Q 滤波后的数据体按照 10~70 Hz 之间进行频谱分解处理,得到 10, 15, 20 Hz……70 Hz 共 13 个单频数据体。

2.2 频率重构

地震主频与厚度存在一定的调谐关系,主频高对薄层调谐,主频低对厚层调谐。利用井波阻抗谱作为标杆,通过地震分频体进行加权相加,一方面获得地震相对阻抗属性,一方面拓宽原始道积分剖面反映的薄、厚层有效范围。研究表明,地震资料的分频重构处理能够突出优势频段^[10]。依据井控拾取的分频属性进行分频重构,从而得到分频数据体。

通过工区内 6 口已钻井进行井震联合分析,以油气井为样本点,统计分析其特征频率段,重点突出储层响应特征。按照缝洞反射特征“无一有,弱一强”的原则进行优势频率筛选。最终选定特征频率段 25~30 Hz。拟合低频段 15~25 Hz,高频段 40~65 Hz,权重系数以凸出特征频率段为准进行重构。

以 Y2 井为例,分别选取原始数据体,反 Q 滤波数据体和分频重构数据体进行对比分析,原始剖面上整体成杂乱状反射特征,串珠边界不明显,反 Q 滤波后将单独串珠的边界进行了区分,整体内部结构表现为多个串珠反射的组合,但局部串珠能量较弱。频率重构后对整体数据体能量进行了增强,内幕串珠形态更加分明。前期钻遇 Y2 井在井底部位发生放空漏失,经过测井解释为洞穴型储层,通过井震标定到地震剖面上为串珠状反射的顶部(图 7),符合实钻情况。

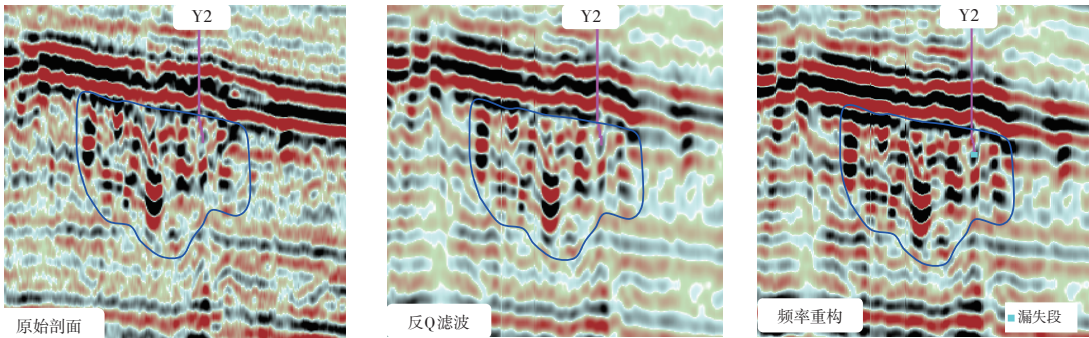


图7 Y2井分频重构前后对比

Y5井在对目的层段进行酸压测试累计产液590余方,测试结论为低产气层。在频率重构数据体上对低产气层进行标定,为串珠状反射的顶部(图8)。而在原始地震剖面及反Q滤波地震剖面上

特征不明显。

因此通过井震标定分析,本次分频重构数据体符合实际钻井情况及地质认识,可作为下步目标优选的参考数据。

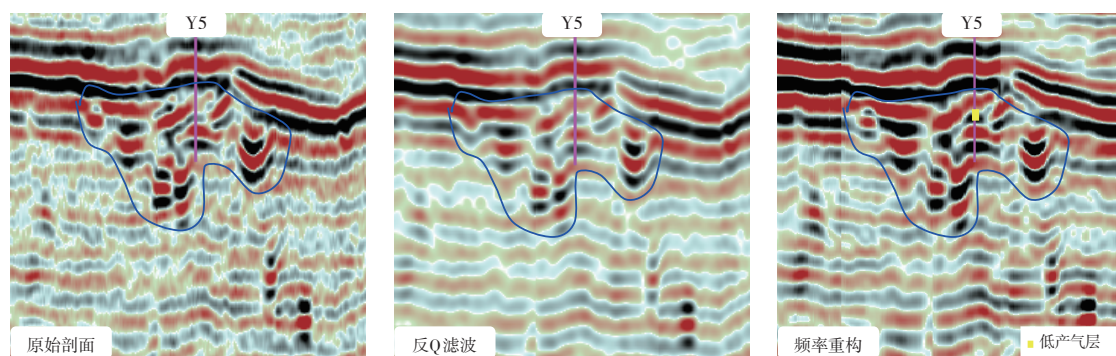


图8 Y5井分频重构前后对比

通过频率重构和原始数据体对比情况来看(图9)有以下三方面的变化:首先是明显的串珠状反射特征,频率重构之后边界更加清晰;其次是杂乱状反射特征,经过频率重构之后,局部串珠特征显现;

第三是局部反射较弱的串珠,在频率重构剖面上完全显现出来,为下一步目标优选提供可靠的依据。

综上所述,重构后的地震剖面降低了背景影响,突出储层反射的能量。

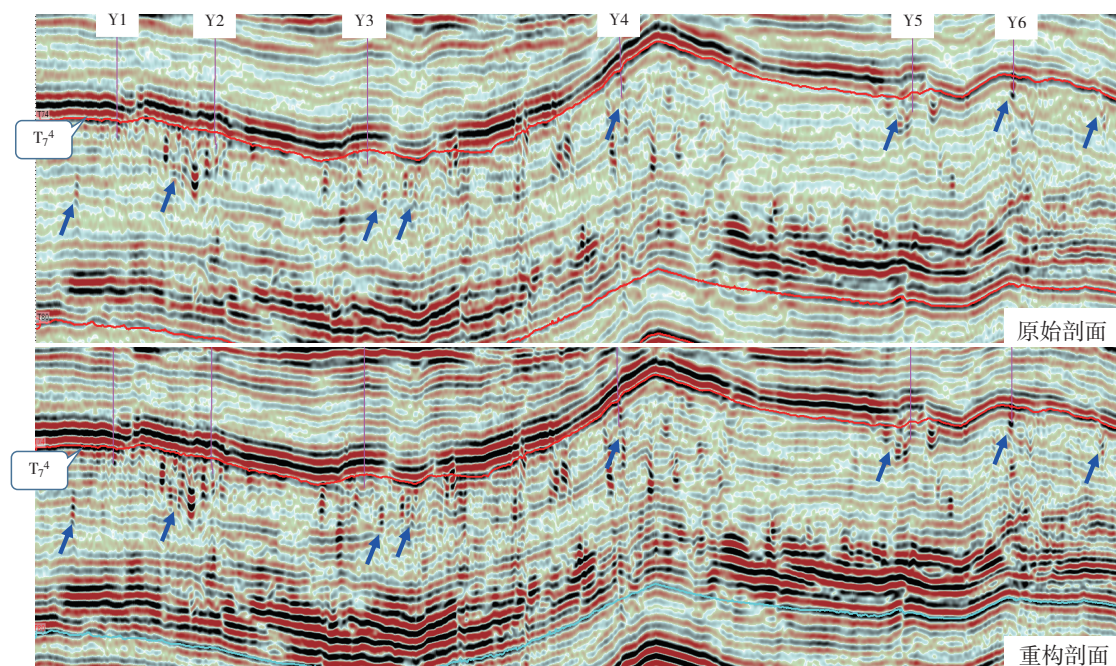


图9 原始地震剖面 and 频率重构剖面

3 储层预测

塔河油田经过多年的开发实践,逐渐形成了以振幅变化率、趋势面分析、精细相干体、古地貌与古水系分析等技术为主的塔河油田碳酸盐岩缝洞型

储层地震预测技术系列^[11]。

前人研究表明,YQD地区奥陶系岩溶缝洞型储层主要受北东向走滑断裂控制,因此围绕北东向走滑断裂寻找规模储集体是储层预测的重点攻关方向。

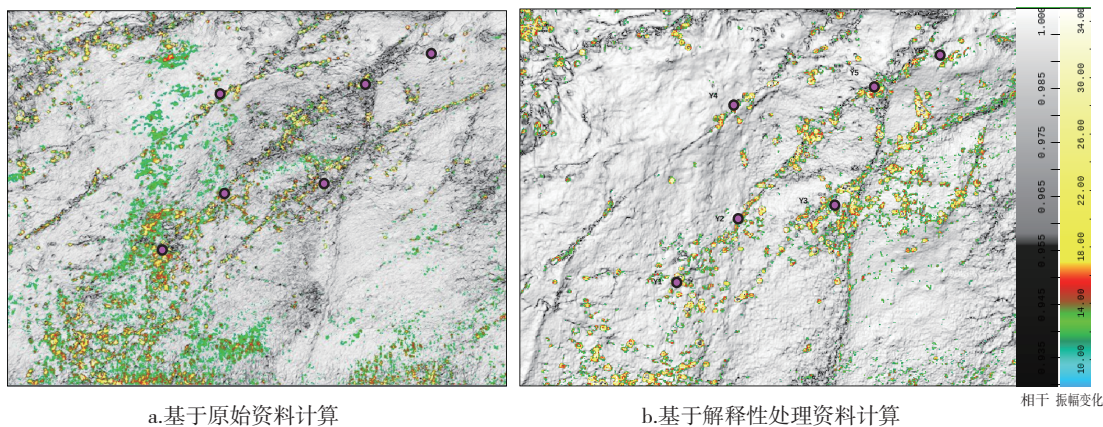


图10 YQD井区三维 T_7^4 以下0~30 ms相干叠合 T_7^4 以下0~60 ms振幅变化率

在断裂增强处理和缝洞增强处理的基础上,应用碳酸盐岩储层预测技术,分别提取目的层(T_7^4)振幅变化率和分频相干属性图(图10b),并与基于原始数据体计算的相干和振幅变化率叠合图进行对比(图10a),结果可以看出,基于解释性处理之后计算的相干和振幅变化率图更清晰,断裂边界特征清楚,平面延展特征好,储层振幅异常主要沿着走滑断裂带。下一步工作将结合已钻井,以及走滑断裂分段性研究进一步筛选目标井位,为钻井提供高品质资料保障。

4 结论

(1)以塔河油田YQD地区奥陶系碳酸盐岩储层为例探讨了基于分频处理的断裂增强技术和基于分频重构的缝洞增强技术研究,提出了一套适合本地区地层特征的解释性处理技术流程。

(2)基于分频技术可以得到针对不同尺度断裂的分频数据体,选取特征频率进行分频相干计算,通过RGB融合技术,可以更有效地突出断裂特征,为精细解释断裂提供保障。

(3)通过对反Q滤波数据体进行频谱分解,运用井控拾取特征频率,再将特征频率进行重构处理,能够更有效地展示储层响应特征。

参考文献

[1] 李刚,王玉宏,王加海,等. FOCUS处理系统在高精度三维资料精细目标处理中的应用[J]. 石油物探,2002(S1):276-279.

[2] 马艺璇,李慧莉,刘坤岩,等. 基于分频相干体的蚂蚁追踪技术在塔河油田断裂刻画中的应用[J]. 石油物探,

2020,59(2):258-266.

- [3] 李飞跃,杨海长,纪沫,等. 分频倾角相干融合技术在琼东南盆地深水断裂解释中的应用[J]. 石油物探,2020,59(6):918-926.
- [4] 逮宇佳,曹俊兴,何沂,等. 分频相干属性在碳酸盐岩缝洞刻画中的应用[C]//CPS/SEG北京2018国际地球物理会议暨展览.北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社,2018:723-726
- [5] 何青林,陈康,冉崎,等. 基于低频重构的强非均质性火山岩储层预测——以简阳地区二叠系火山岩储层为例[J]. 天然气勘探与开发,2020,43(2):16-22.
- [6] 刘诗敏,刘震,申培旻. 基于分频重构分析的碳酸盐岩分布地震预测——以沾化凹陷长堤地区沙一段为例[C]//2017中国地球科学联合学术年会.北京:中国和平音像电子出版社,2017:1467-1468.
- [7] 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.
- [8] 刘田田. 反Q滤波技术在QT地区的应用研究[C]//2019年油气地球物理学术年会.中国江苏南京,南京:中国地球物理学会油气地球物理专业委员会,2019:681-684.
- [9] 巫南克,周怀来. 谱比法的影响因素研究及应用效果分析[J]. 物探化探计算技术,2016,38(2):225-231.
- [10] 王西文,刘全新,高静怀,等. 地震资料在小波域的分频处理与重构[J]. 石油地球物理勘探,2001(1):78-85,133.
- [11] 刘群,李宗杰,禹金营,等. 高精度三维地震技术应用效果分析——以塔河油田S48井区为例[J]. 石油物探,2010,49(6):573-583.

(编辑 刘义梅)