

周静毅, 李振伟, 潘新朋, 等. 地震融合处理技术在涠西复杂断裂地区的应用[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(8): 86-94.

ZHOU Jingyi, LI Zhenwei, PAN Xinpeng, et al. Application of seismic fusion processing technology in Weixi complex fault area[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(8): 86-94.

地震融合处理技术在涠西复杂断裂地区的应用

周静毅¹, 李振伟¹, 潘新朋², 吴春红¹, 徐翠娥¹

(1 中国石化上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 上海 200120; 2 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘 要:涠西探区经历了始新世到渐新世应力的转变, 工区内断裂复杂。受断层和地层破碎等因素的影响, 现有的地震资料普遍存在同相轴的接触关系模糊、断层不够清晰等问题。为了进一步提高断层成像精度, 明确断层组合关系, 精细落实构造圈闭, 对 2 套不同年代采集的 2 个方位的地震数据进行融合处理, 实现多方位地震信息的有效融合, 增加地震照明方向, 改善拓宽频带范围、道集覆盖次数及速度分析精度及多次波压制及陡倾角成像效果。通过方位融合处理重点解决小断层准确归位问题, 信噪比、分辨率、频带宽度以及保幅性得到提高; 断面清晰、断层组合关系清楚, 断裂成像质量明显改善。通过不同方位资料的融合处理, 为涠西地区的下部勘探部署提供了坚实的数据基础。

关键词:涠西探区; 融合处理; 断层成像; 地震同相轴

中图分类号: P744.4; P631.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.130

有助于深化对地质目标的认识, 提高勘探精度。

0 引言

随着海洋油气勘探开发的不断发展, 对地震资料品质要求越来越高。对于海上地震资料采集而言, 拖缆采集方式决定了采集方位的局限性, 而不同年代采集的同一工区的地震数据方位角往往是不一样的。不同方位角采集的地震数据对地下构造信息有着不同的照明度。因此, 将同一工区采集的不同方位角采集的地震数据资料融合在一起, 发挥其各自的优势, 是提高地下构造照明度和分辨率的有效手段^[1-2]。地震资料进行融合处理后资料信噪比得到提高、信息更加丰富、地震成像效果较好。涠西探区由于受到不同方向应力作用导致其发育近 EW 走向和 NNE 走向的 2 组断裂, 不同年度采集方位基本上是垂直于工区的 2 个不同断裂走向, 可以充分利用 2 个不同方位的地震数据融合处理来提高地震资料的品质, 精细研究断裂和圈闭刻画

1 地质背景

涠西探区位于北部湾盆地(图 1), 而北部湾盆地属于南海北部盆地群, 位于华南板块的西南边缘, 是发育于古生界粤桂隆起区和中生界海南隆起区之上的第三纪裂谷盆地。盆地的演化经历了裂陷(张裂)和拗陷(裂后)2 个阶段。以古近纪张裂阶段形成的构造格局为划分依据, 平面上将北部湾盆地的构造单元划分为 5 个二级构造单元: 北部拗陷、企西隆起、中部拗陷、徐闻隆起、南部拗陷^[3]。其中北部拗陷分为 3 个次一级(三级)构造单元: 涠西南凹陷、涠西低凸起和海中凹陷, 其中涠西南凹陷又分为 A、B、C、D 生油次洼^[3](图 1a)。涠西探区经历了始新世流沙港期与渐新世涠洲期之间存在应力方向的转变。由早期流沙港期的 NW—SE 应力转变为 SN 应力(图 1b)。因而, 现今保存于盆地内的构造样式是多期次、多成因构造变形的动态发展组合, 是多种应力联合、复合作用的结果, 断裂在涠西探区涠西南凹陷特别发育。为了进一步精细刻画东部断块小断层, 提高断层成像精度, 明确断层组合关系, 精细落实构造圈闭, 对不同年代采集

收稿日期: 2021-04-29

资助项目: 中国石化上海海洋油气分公司科技项目“涠西区块构造沉积演化与油气成藏主控因素”(KJC-2016-10)

作者简介: 周静毅(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋油气勘探方面的研究工作。E-mail: zhoujingyi.shhy@sinopec.com

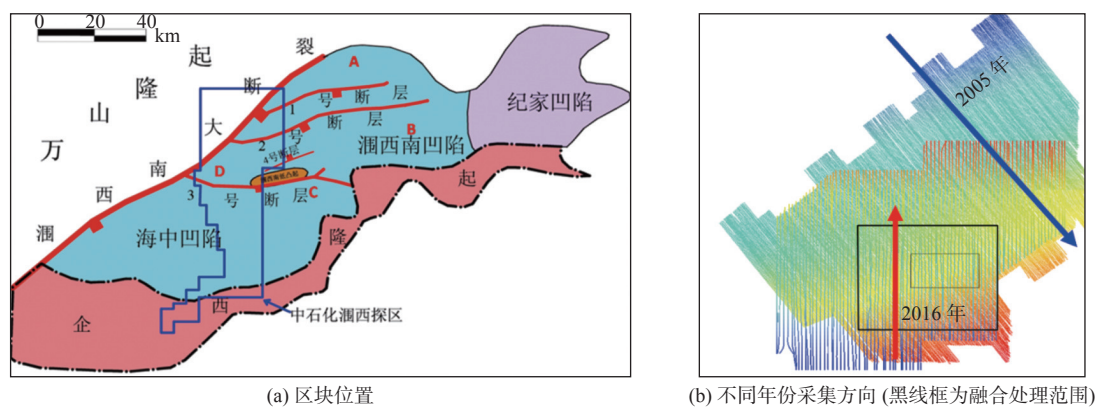


图 1 涪西探区构造背景、位置及测线

Fig.1 The tectonic background and position of the Weixi exploration area and the sampling lines

的 2 个方位的地震数据进行融合处理^[2]。

2 原始地震资料特征

从不同年份的采集参数 (表 1) 中可以看到, 三维地震资料采集年度跨越较大, 除了存在采集方位不同、枪缆沉放深度、震源激发差异以外, 2016 年采集三维为高密度采集, 采集观测系统、电缆长度、记录道数、面元尺寸、覆盖次数都与 2005 年采集三维存在较大差异。对三维地震资料开展融合处理, 需要对采集的差异进行精细分析, 结合实际特征, 充分挖掘每块三维地震资料的潜力, 开展有针对性的处理。从原始资料干扰波、频率、能量及多次波等方面分析^[4-6]。

2.1 噪音分析

工区属于近海海域, 干扰波较为发育。单炮记

表 1 不同年度采集参数对比

Table 1 Comparison of acquisition parameters in different years

采集时间	2005年	2016年
电缆长度/m	4 050	6 000
记录道数	324*2	480*8
电缆沉放深度/m	7	6
道间距/m	12.5	12.5
采样间隔/ms	2	1
记录长度/ms	5 000	5 120
采集方向	150.5°/330.5°	0°/180°
震源容量/cuin	2 250	4 350
震源压力/psi	2 000 psi	2 000
炮间距/m	25	25 (双源)
覆盖次数	40.5	80

录上存在的主要噪声包括: 直流电干扰、涌浪噪声、异常振幅、有源干扰、侧面反射、高频干扰、多次波干扰等(图 2)。不同年份三维存在的干扰波类型相

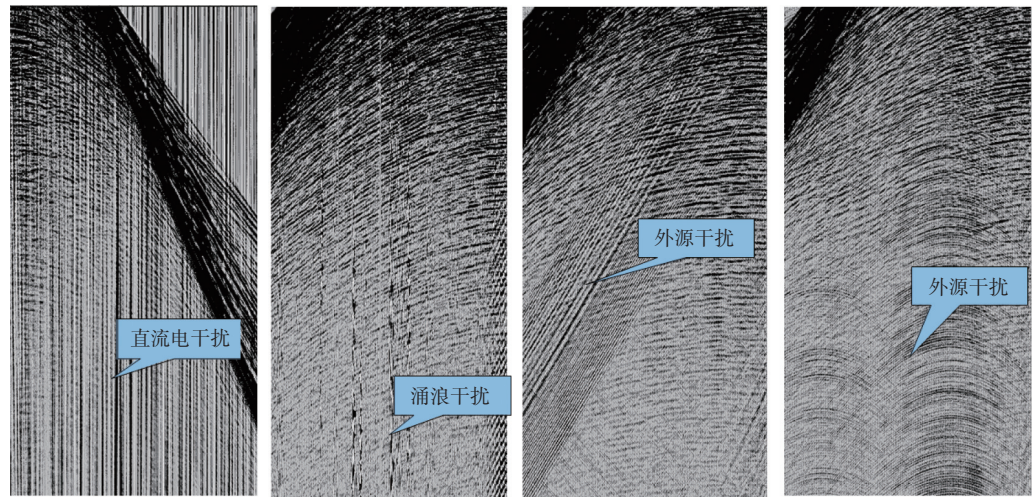


图 2 原始单炮存在不同类型干扰波

Fig.2 Different types of jamming waves from an original single gun

似。不同特征的干扰波对原始资料信噪比影响较大,尤其是中深层资料受干扰波影响最为严重,降低了地震资料信噪比^[7-8]。

2.2 频率分析

浅水区拖缆采集三维地震资料,受气枪激发

的气泡效应及鬼波和海水多次波的共同影响,原始叠加剖面波组特征较差,基底反射特征极不清楚,频谱上周期性的陷波特征明显。主要目的层澗洲组-流沙港地层受多次波影响较为严重,多次波影响的频率范围较宽,造成目的层同相轴假象(图3)。

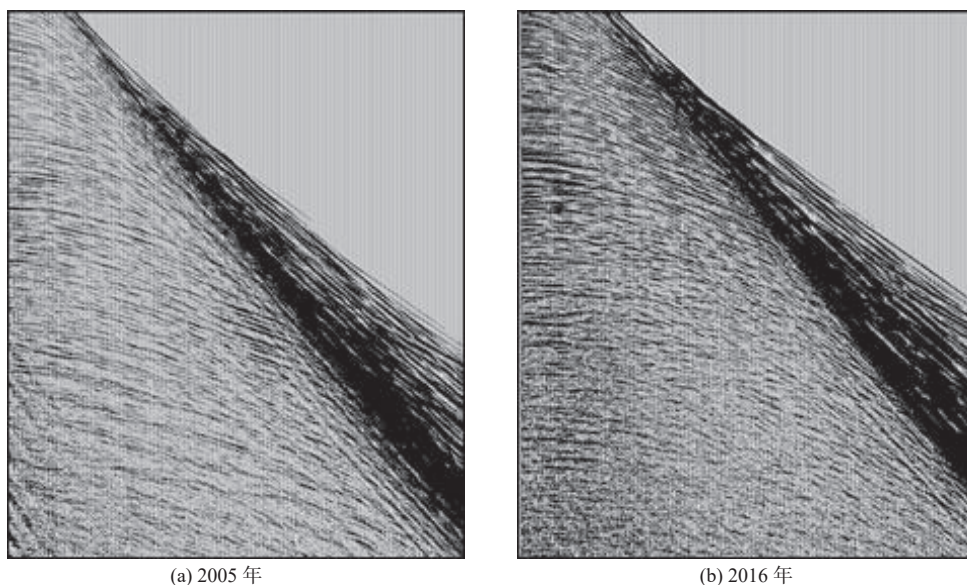


图3 原始资料分析

Fig.3 Raw data analysis

2.3 振幅分析

受地震波传播过程波前扩散和地层吸收的影响,原始单炮纵向能量衰减较为严重。区中浅

层存在强屏蔽层,对地震信号的吸收及屏蔽作用较为严重。原始叠加剖面表现为纵向能量衰减严重,横向上能量差异明显原始单炮表现为纵向能量衰减严重,横向上能量差异明显(图4)。从

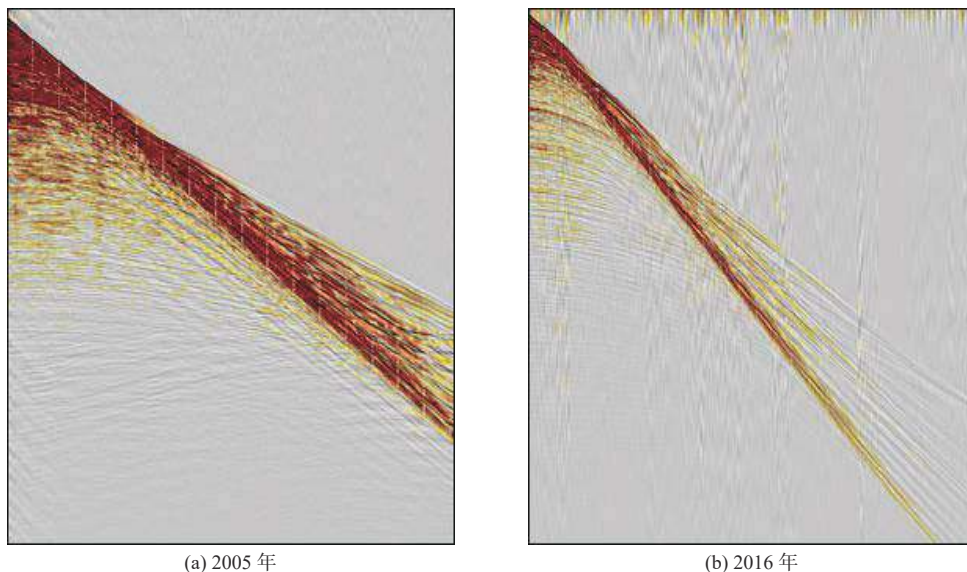


图4 原始单炮对比

Fig.4 Original single-shot comparison

叠加剖面上可以看到, 两个年份的频谱也不一样, (图 5)。2016 年资料比 2005 年资料高频丰富, 主频略高

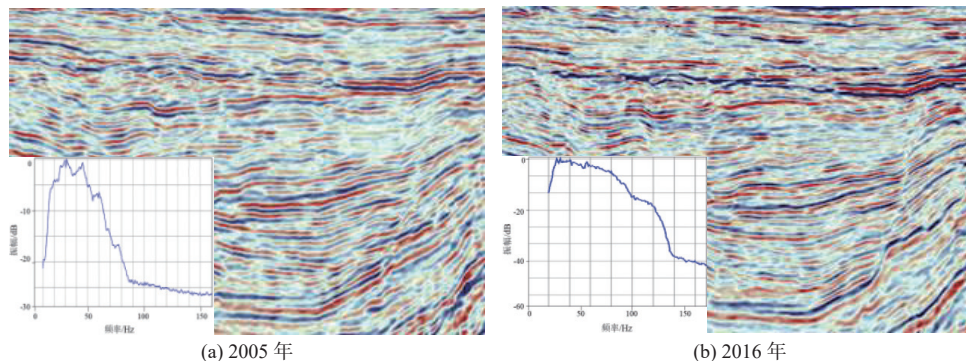


图 5 地震剖面对比

Fig.5 Seismic profile comparison

3 融合处理

融合处理是在对同一工区不同时期采集的资料进行连片处理的基础上, 再进行数据属性的存同求异化处理^[1]。由于 2 次采集所针对的地质勘探目标不同, 所以 2 批资料的相位、振幅、频率和方位角等存在很大的差异。石文武等^[2]在冀东油田应用高保真融合处理技术取得了很好的效果, 认为融合处理关键是一致性处理, 包括振幅一致性、相位一致性和波组一致性的调整, 以使得频率和方位角信息相互补充, 增加数据的信息量, 起到“1+1>2”的作用。王喜双等^[4]在地球物理技术应用现状及前景中指出, 利用老、新地震资料进行融合处理, 可用于增加复杂构造主体部位或障碍区的覆盖次数, 提高地震资料的信噪比。本文研究的融合处理与前人差异性是基于海上同一工区不同方位采集的地震数据的融合处理, 方位信息有限, 方位融合成像方案对比是核心。

针对 2 个不同方位地震资料特征开展针对性的精细处理, 有效解决原始资料存在的鬼波、复杂多次波, 解决原始资料存在的能量、频率、面元属性差异问题, 通过采取双方位数据融合和方位各项异性校正, 获得一致性的融合数据。

3.1 鬼波压制技术

涪西工区海底相对平坦, 海水深度约为 40~60 m, 大部分区域海底反射清晰。海洋拖揽采集地震资料存在炮点端及检波点端的鬼波反射, 且鬼波

特征随枪缆沉放深度的不同呈现出差异性变化特征。鬼波的存在导致地震信号频谱出现周期性限波的现象, 影响了地震成果的有效频宽。本地区多次波特点如下: 工区海底较平, 海水鸣震主要影响资料的浅层, 海水层与地下强反射界面共同作用所产生的微屈多次波对目的层会有较大影响; 中浅层的较强反射地层和不整合面这一强反射层的影响, 造成多层间多次波发育, 对涪洲组及其下覆地层的影响极其严重; 关注区及目的层断裂发育、断层复杂、地震波场极其复杂, 构造平缓部位多次波与地层反射产状近似, 断裂发育区受资料信噪比低的影响, 多次波不易识别。

拖缆采集资料由于其采集方式的特点, 子波受鬼波和气泡震荡的影响, 在剖面上表现为虚反射较为严重, 反射同相轴能量不聚焦, 标志层反射不突出等。研究区最小偏移距 120 m 左右, 导致直达波和海底一次反射相互干涉。图 6 为鬼波压制前后单炮对比, 图 7 为压制鬼波前后单次剖面分析对比, 图 8 为去除缆鬼波前后叠加剖面频谱分析对比。可以看到, 鬼波压制后波组特征得到改善, 去除鬼波旁瓣的影响, 反射更明确。

3.2 双方位融合处理技术

受采集施工因素及观测系统的差异影响, 区块之间原始数据存在明显差异。根据 2 个方位^[9-11]地震资料的特点分为 2 个阶段, 双方位融合处理技术流程如图 9 所示。

第 1 阶段开展匹配处理, 消除区块间振幅、频

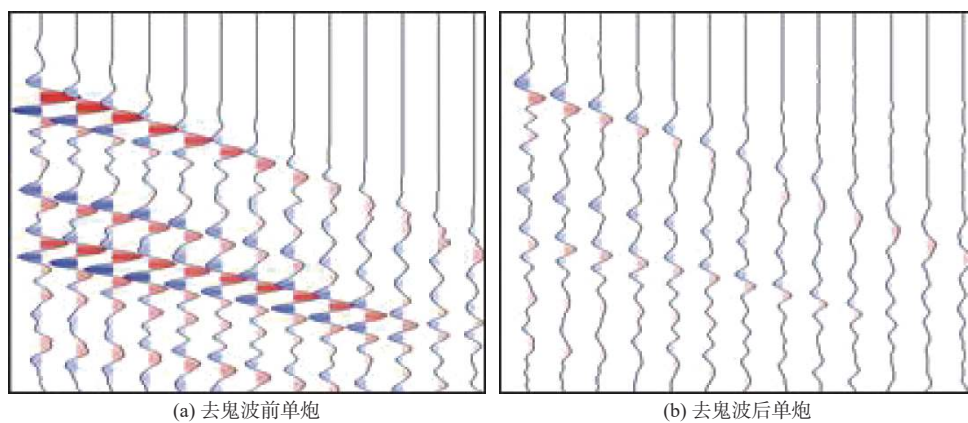


图6 去鬼波前后单炮对比

Fig.6 Single shot comparison before and after ghost wave removal

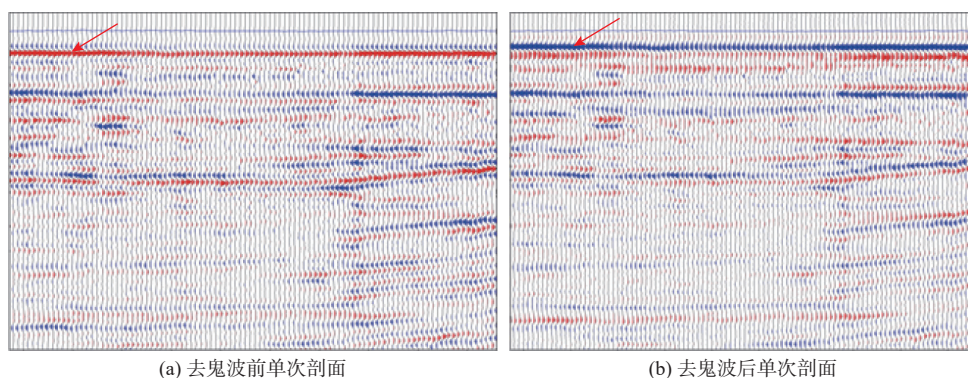


图7 去鬼波前后单炮剖面对比

Fig.7 Comparison of single profile before and after ghost wave removal

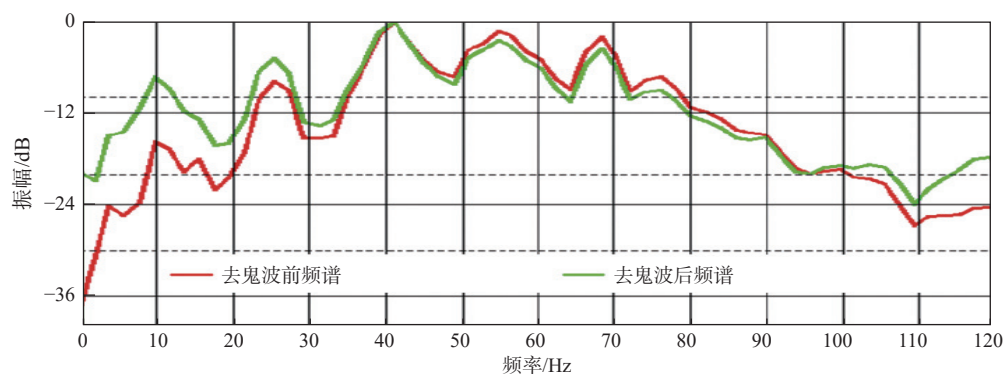


图8 去鬼波前后叠加剖面频谱分析

Fig.8 Spectrum analysis of stack section before and after ghost wave removal

率、相位、数据延迟时等差异。以2016年数据为目标,对2005年数据开展了匹配处理,获得了2个年度资料在振幅、频率、相位及时差一致性较好的数据体。为了保证三维工区匹配处理效果,针对2个三维地震工区的实际情况,首先开展单独区块的精细处理,在每一个处理环节上都加强了对2块三维地震资料的重叠部位开展一致性检

查。对于单独地震工区的资料而言,海洋三维采集其激发和接收的一致性条件相对较好,一般不存在地表一致性的问题。但对于不同的三维地震工区,由于采集年度、施工队伍、采集仪器、观测系统等方面的差异,会带来工区间能量、频率、相位、时差的问题。

首先开展单块的数据规则化处理,基于规则化

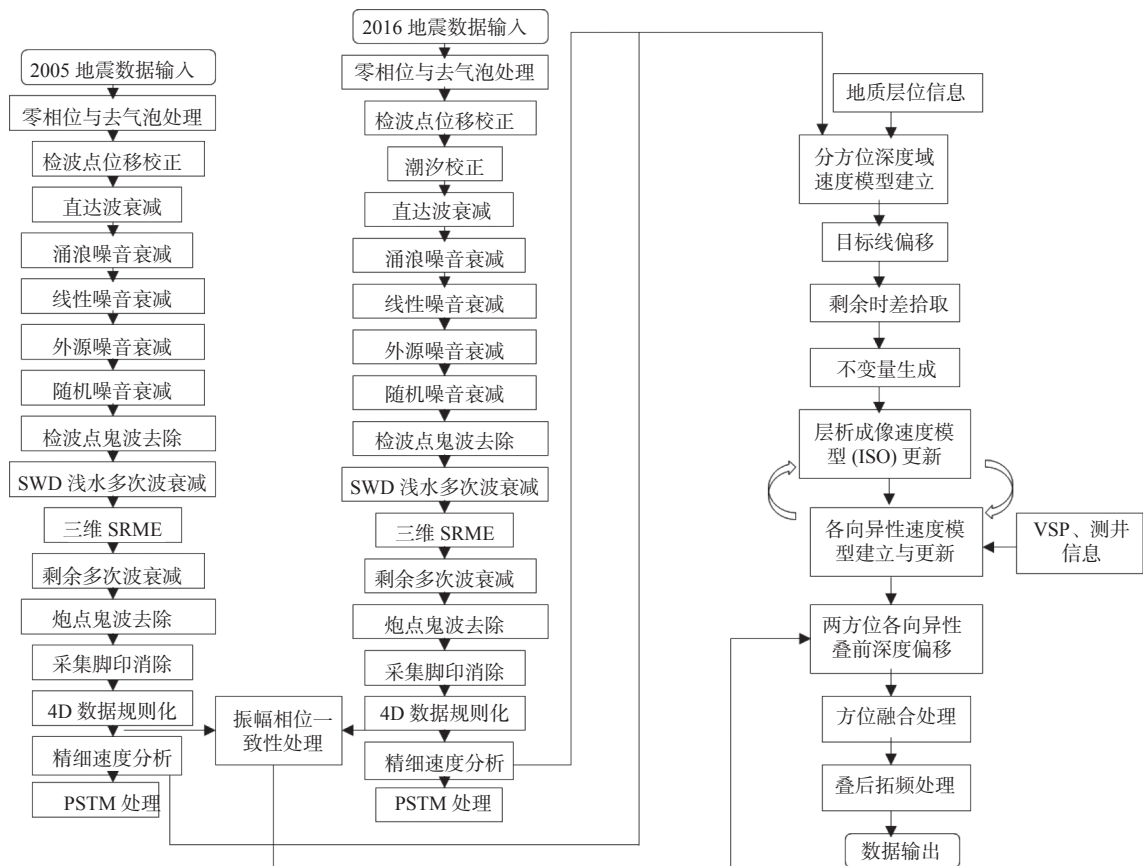


图 9 融合处理技术流程

Fig.9 Technology route of fusion processing

的数据,求取时差校正、振幅匹配、相位匹配、频率匹配因子。时差校正通过叠加剖面求取 2 套不同数据的整体时差,以 2016 年数据为基准,将 2005 年数据向 2016 年数据对齐。匹配是通过计算一个滤波器并作用到数据上,具体过程:通过信噪比筛选出数据的信号部分;比较 2 个数据不同频率的振幅谱和相位谱;设计不同频率的振幅和相位滤波器,滤波器算子中涉及互相关及信噪比,并作用到匹配数据上。应用于叠前数据体上,消除由于采集施工因素差异所造成的三维工区间原始资料能量横向上的差异及频率和子波的差异问题,保证最终的融合处理效果及资料保真,有效解决在融合处理过程中原始三维地震资料的能量、频率、子波的一致性问题的。

第 2 阶段针对采集方位角、面元大小差异,开展偏移前融合和偏移后融合的对比试验。2016 年三维数据:按照本工区网格(12.5×18.75)做网格化和数据规则化;2005 年三维数据试验 2 种规则化方案:①按照 2016 年网格(12.5×18.75)做网格化和数据规则化;②首先用 2005 年网格(12.5×25)做网格化和数据规则化,在此基础上解释速度,然后用

2016 年网格做二次规则化。第 2 种方案成像效果及振幅特征完全一致,浅层规则化效果略好,信噪比略高。

偏移前融合是基于精细叠前连片^[12]思路,在偏移前消除三维原始地震资料之间存在的时差、相位、能量、频率、信噪比的差异,最终获得空间一致性较好的三维数据体,在此基础上开展速度建模及叠前偏移处理。偏移后融合进一步考虑了速度方位各向异性的影响。首先,基于单块数据的网格完成偏移前精细处理,开展单块数据的叠前偏移,输出为相同网格的叠前偏移道集,偏移后进一步开展方位各向异性校正及优势方位叠加,获得最终成像的道集,偏移后优势方位加权叠加剖面明显优于双方位直接叠加结果,如图 10 箭头所指之处。

4 处理效果对比

两块三维主体区基本重叠。由于两块三维采集采取不同的施工方向,获得了不同采集方位信息的地震数据。实现双方位地震信息的有效融合具

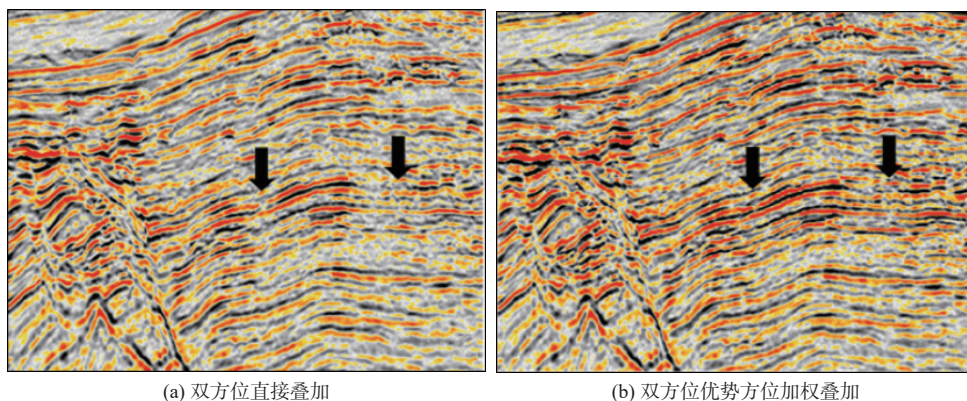


图 10 方位叠加剖面对比

Fig.10 Comparison of azimuthal stack sections

有增加地震照明方向(图 11),改善拓宽频带范围(图 12),改善道集覆盖次数及速度分析精度(图 13),改善多次波压制及陡倾角成像效果(图 14)等优势。

从融合处理前后的地震数据提取的地震相干属性切片对比(图 15)可以看出,融合处理后,断裂在平面的展布更加清晰,组合关系更加清楚。

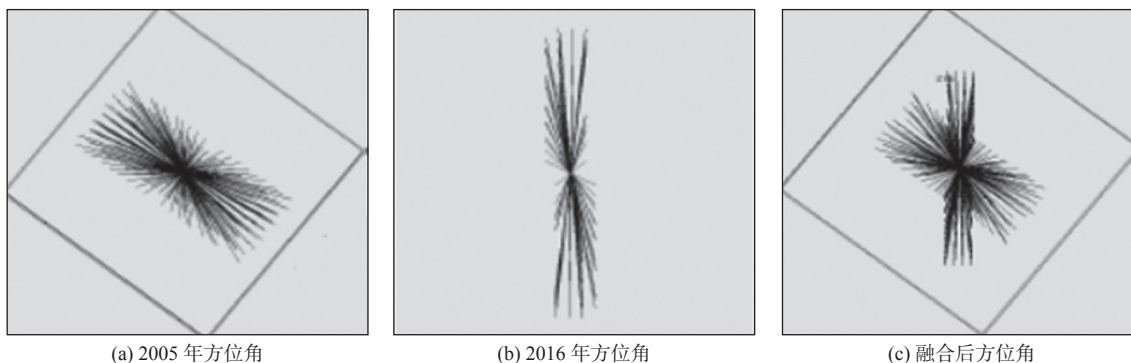


图 11 融合处理前后方位角对比

Fig.11 Azimuth comparison before and after fusion processing

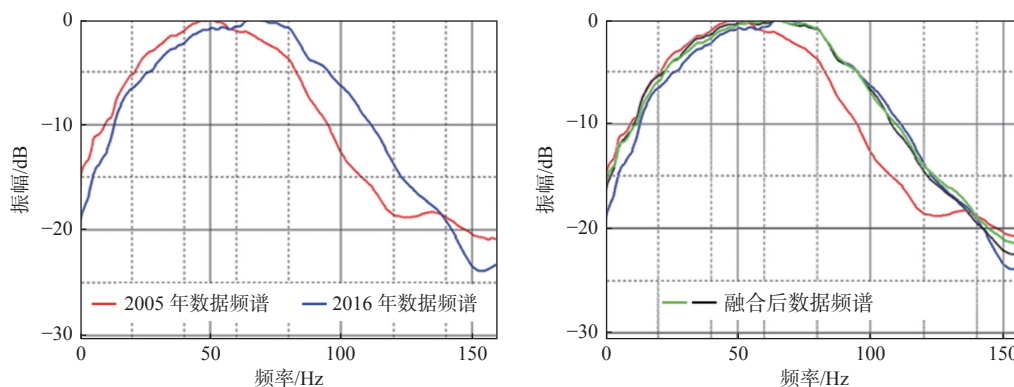


图 12 融合处理前后数据频谱对比

Fig.12 Comparison of data spectrum before and after fusion processing

5 结论

利用双方位采集的地震数据开展融合处理,充

分发挥了 2 个方位地震资料的数据优势,采取立足于地震数据特征得宽频保幅处理、有效的数据融合。多步骤双方位数据匹配和融合处理技术:针对 2 个年度采集三维地震资料的信噪比、频率、能量、相

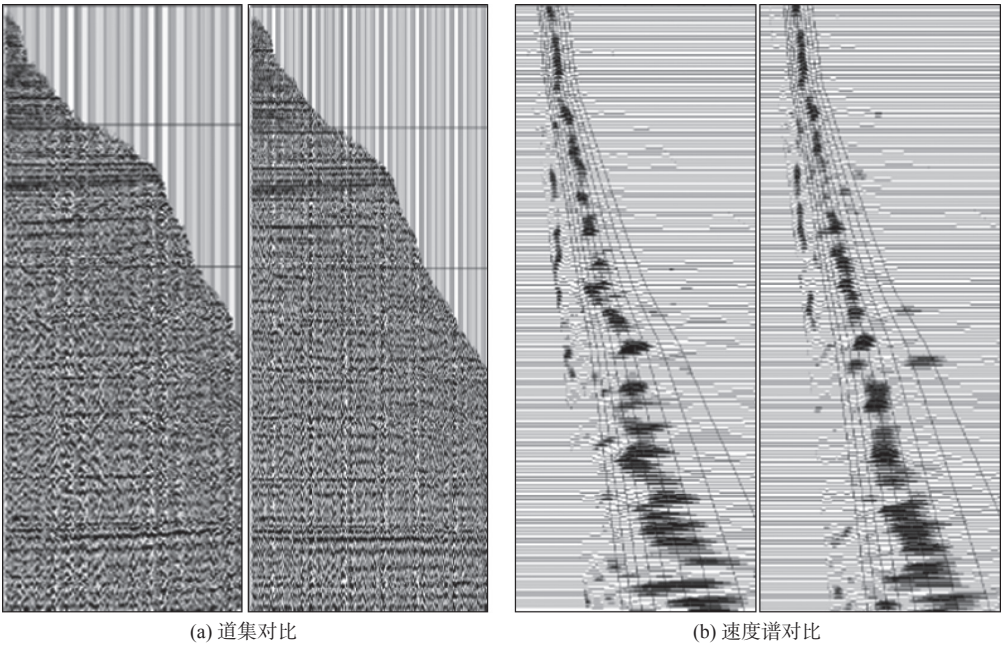


图 13 融合处理前后道集和速度谱对比

Fig.13 Comparison of trace gather and velocity spectrum before and after fusion

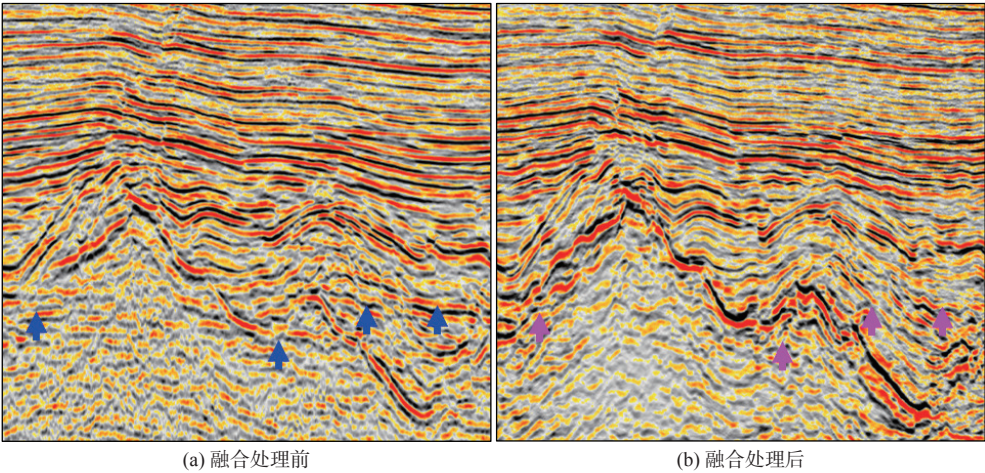


图 14 多次波压制及陡倾角成像效果对比

Fig.14 Comparison between multiple suppression and steep-dip imaging

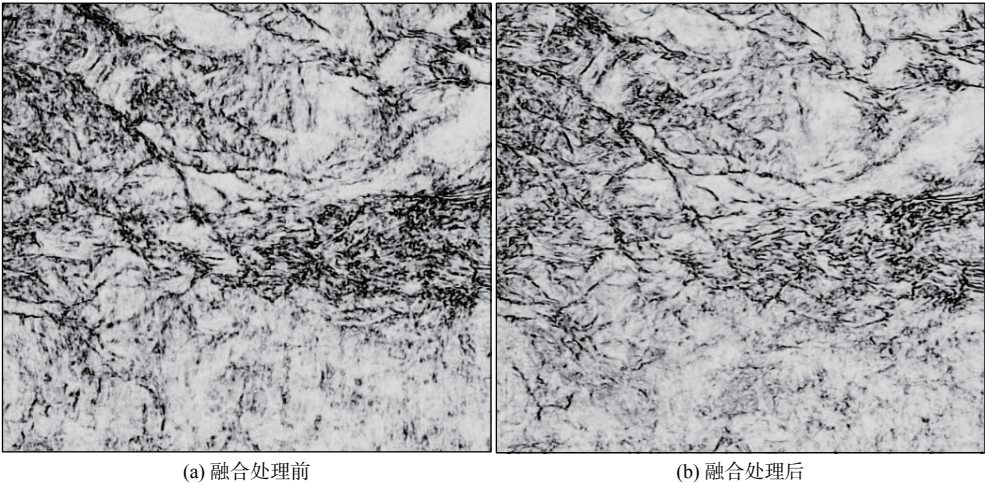


图 15 相干属性切片对比

Fig.15 Comparison of correlation attribute slice

位的差异,充分挖掘每块三维地震资料的潜力,采取先分块,后融合的处理思路,较好解决原始数据存在的信噪比、能量、频率差异。采取方位各向异性校正及优势方位叠加技术,消除了2个方位地震数据的方位各向异性问题并充分利用地震数据丰富的方位角信息,增加了地下照明强度,实现了低信噪比区、复杂断裂破碎带、复杂基底构造成像的改进。

参考文献:

- [1] 吴尧,王志亮,贾金煜.地震融合处理技术在渤中地区的应用.工艺技术[J]. 2020, 40(3): 239-240.
- [2] 石文武,黄荣善,王冬娜,等.地震资料的高保真融合处理技术在冀东油田南堡地区的应用[J].海相油气地质, 2015, 20(2): 63-71.
- [3] 周静毅,张大海,黄建军,等.涪西探区海中三维非构造圈闭识别[J].海洋石油, 2015, 35(4): 8-12.
- [4] 王喜双,曾忠,易维启,等.中国石油集团地球物理技术的应用现状及前景[J].石油地球物理勘探, 2010, 45(5): 768-777.
- [5] 邓勇,彭海龙,裴健翔,等.海上地震资料子波提取鬼波压制技术[J].地球物理学进展, 2020, 35(1): 281-286.
- [6] 胡天跃.地震资料叠前去噪技术的现状与未来[J].地球物理学进展, 2002, 17(2): 218-223.
- [7] 张军华,吕宁,田连玉,等.地震资料去噪方法、技术综合评述[J].地球物理学进展, 2005, 20(4): 1083-1091.
- [8] 龚洪林,吴杰,姚清洲.塔中东部复杂区多域多方法联合去噪[J].新疆石油天然气, 2021, 17(1): 1-4.
- [9] 顾元,文鹏飞,张宝金.水平缆地震数据的鬼波压制方法及其应用[J].地球物理学进展, 2017, 32(4): 1764-1772.
- [10] 冯全雄,王彦春,李三福,等. τ - p 域水体模型驱动压制浅水区水层多次波[J].石油地球物理勘探, 2015, 50(1): 41-47.
- [11] 张振波,罗伟.拖缆宽方位与双方位效果分析[J].海洋地质前沿, 2021, 37(3): 66-73.
- [12] 刘依谋,印兴耀,张三元,等.宽方位地震勘探技术新进展[J].石油地球物理勘探, 2014, 49(3): 596-610.

Application of seismic fusion processing technology in Weixi complex fault area

ZHOU Jingyi¹, LI Zhenwei¹, PAN Xinpeng², WU Chunhong¹, XU Cuie¹

(1 Institute of SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China;

2 School of Geosciences and Information Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The Weixi exploration area has experienced the stress transformation during the Eocene to Oligocene, thus featuring complex fault systems in the work area. Due to the influence of faults and strata fragmentation, many problems occurred in the seismic data, such as the blurry contact of seismic event, unclear fault, and so on. To further improve the accuracy of fault imaging, clarify the relationship among fault assemblages, and precisely implement structural traps, two sets of seismic data in two directions and different ages were used to realize the effective fusion of multi-directional seismic information, increase the seismic illumination from different directions, improve the extension of frequency band, and improve the accuracy of track coverage times and velocity. The effect of multiple suppression and steep dip imaging was improved. Through fusion process from different directions, the issue of accurate homing of small faults was solved, and the signal-to-noise ratio, resolution, bandwidth and amplitude preservation were enhanced. The fault section and the fault combination relationship became clear, and the fault imaging quality was largely improved. Via the fusion of data in different directions, a rich and solid database for the future exploration in the Weixi area was established.

Key words: Weixi exploration area; fusion processing; tomography; seismic event