

刘江, 刘晓晖, 魏赞, 等. 地震资料融合处理技术在西湖凹陷西斜坡 N 气田的应用[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(8): 76-87.

LIU Jiang, LIU Xiaohui, WEI Yun, et al. Application of seismic data fusion technology in the N Gas Field on west slope of Xihu Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(8): 76-87.

地震资料融合处理技术在西湖凹陷 西斜坡 N 气田的应用

刘江, 刘晓晖*, 魏赞, 毛云新, 陈易周, 代勇

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘要: 西湖凹陷 N 气田目前已基本实现拖缆三维地震资料的全覆盖, 但因其采集方位角窄, 不能全方位地获得地下波场信息, 导致对复杂断裂成像存在偏差, 不能满足油气田精细勘探开发的要求。宽方位地震资料对陡倾角及复杂构造成像较常规窄方位地震资料有明显改善效果, 但其成本高昂, 施工难度大。基于此, 在西湖凹陷西斜坡部署了与原窄方位三维地震采集方向垂直的宽频高密度三维地震资料采集, 经过应用系列地震资料融合处理技术, 提高了地震资料的品质, 成像效果显著改善。结果显示: ①通过应用主、辅船三维鬼波压制技术, 提高了地震资料的纵、横向分辨率, 剖面更加自然; ②通过应用新老数据匹配处理技术, 充分挖掘现有地震资料的潜力, 获取的匹配处理后的地震资料标定效果更好, 相关系数更高, 同相轴连续性更好, 能量更聚焦; ③通过基于多信息迭代的精细速度建模技术, 可以得到更加接近地下实际的速度模型, 有效提高了深度预测精度; ④通过曲波域变换分解、高频信息差值等曲波域叠后拓频技术, 拓宽了地震资料的频带, 拓频后的资料与实钻井结果吻合良好, 提高了地震层位标定精度。实钻验证表明: 应用地震资料融合处理技术可以提高地震资料的成像精度, 使深度预测更加准确, 同时, 地震资料的分辨率和储层预测效果得到明显提升, 对后续开发井的部署提供了强有力的支撑。

关键词: 融合处理; 匹配处理; 速度模型; 拓频; 深度预测

中图分类号: P744.4; P631.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.007

0 引言

随着中国油气勘探开发力度的加大和科学技术的进步, 三维地震资料越来越成为油气勘探开发中落实构造、储层和寻找油气的最有效方式。目前, 国内许多含油气凹陷已完成三维地震资料全部覆盖。但由于部分地震资料采集时间较早, 覆盖次数

较低, 导致地震成像效果较差, 已经不能满足当今油气勘探开发的要求。基于此, 在大多数三维地震资料已覆盖的区域进行了二次三维地震资料的采集, 以期得到更好的成像效果。而在后续地震资料处理时, 将新采集的与原有的地震资料有效融合, 可有效改善针对地下目标体的照明密度, 增加照明方位。目前, 在大多数工区开展的新老资料融合处理获得了成像效果良好的地震资料, 满足了勘探开发的需要。徐乐意等^[1]在惠州凹陷采用了基于单方位差异化宽频保幅处理、保持方位优势的一致性处理、方位各向异性网格层析速度建模和真方位 PSDM 融合处理技术, 有效增加了采集照明密度, 实现了对中—深层地震反射波组的清晰成像, 频率信息更加丰富。石文武等^[2]在冀东油田南堡地区应用了振幅、相位和波形一致性处理的高保真融合

收稿日期: 2024-01-05

资助项目: 中海石油(中国)有限公司重大科技专项“东海低渗大气田高效开发关键技术研究示范应用”课题(KJZX-2024-0102)

第一作者: 刘江(1975—), 男, 高级工程师, 主要从事地震资料处理、解释及石油地质方面的研究工作。E-mail: liujiang@cnooc.com.cn

* 通讯作者: 刘晓晖(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震资料处理、解释及石油地质方面的研究工作。E-mail: liuxh5@cnooc.com.cn

处理技术,提高了资料的信噪比,增加了方位角信息,构造成像更加清晰,进一步提高了潜山构造碳酸盐岩缝洞识别精度。周静毅等^[3]通过鬼波压制技术、双方位融合处理解决了涪西复杂断裂区小断层的归位问题,信噪比、分辨率、频带宽度以及保幅性均得到了一定程度的提高。

地震融合处理是指在不同时期采集、不同采集条件下相重叠的三维区块拼接成一个统一数据体的过程,从而达到更好的成像效果,更好地服务于勘探开发^[4-6]。连片处理可作为广义“融合处理”的一种形式,只是连片处理叠合面积较少,融合处理的空间有限。现今的融合处理多指在同一工区时间跨度较大的多次(二次或以上)三维地震采集资料,应用特殊的处理技术和方法实现地震数据的融合,成像处理效果好于单次的地震资料,以达到提高地震覆盖次数、拓宽频带、改善成像品质的目的。

本次研究工区位于东海陆架盆地西湖凹陷西斜坡平北区,主要为浅水三角洲沉积,钻探证实油源充足,影响油气勘探最核心的因素是储层的精细分布范围。因此,储层预测精度成为制约油气勘探的瓶颈。要想得到好的储层分布,必须要有高质量的地震资料。平北区 N 气田已实施了 2 次拖缆三维地震勘探,分别为 2009 年采集的常规三维地震资料和 2021 年采集的高密度三维地震资料。其中,2009 年常规三维地震资料采集方向是近 EW 向,

而 2021 年高密度三维地震资料采集方向是近 SN 向。2 次资料采集方向基本垂直,就单次资料而言,均存在方位角较窄的缺陷,利用单次采集的地震资料均难以得到较为精确的地下成像。因此,为了充分挖掘现有资料的潜力,在不增加采集费用的前提下,开展了不同年度的三维资料融合处理,地震资料品质得到显著提高。

1 原始地震资料分析

由于 N 气田地震资料为不同年度采集(表 1),除了采集方向、气枪、沉放深度、采集仪器等存在差异外,采集观测系统、面元大小和覆盖次数均存在较大差别(图 1)。在本工区开展有针对性的地震融合处理,可以充分利用 2 次采集资料的优势,挖掘出有利的信息,最大程度地节省勘探资源,达到事半功倍的效果。具体处理流程如图 2 所示。

1.1 单炮分析

从 2009 年和 2021 年采集的原始炮集资料分频显示(图 3)可以看出:①2021 年采集地震资料低频成分较为丰富,这与现今先进的采集仪器、拖缆采集技术进步有很大关系;②2 次采集资料的有效频宽范围基本一致,均介于 8~64 Hz;③2 次采集资料均存在鬼波和多次波干扰,这是海上地震

表 1 地震资料采集参数对比
Table 1 Comparison of seismic data acquisition parameters

年份	采集方位	最小偏移距/m	电缆长度/m	电缆数	总道数	覆盖次数	炮间距/m	电缆间距/m	震源中心距/m	枪深度/m	缆深度/m
2009	120°/300°	215	4 950	6	6×396	49	25	100	50	6	7
2021	30°/210°	210	7 050	10	10×564	140	12.5	50	25	6	12

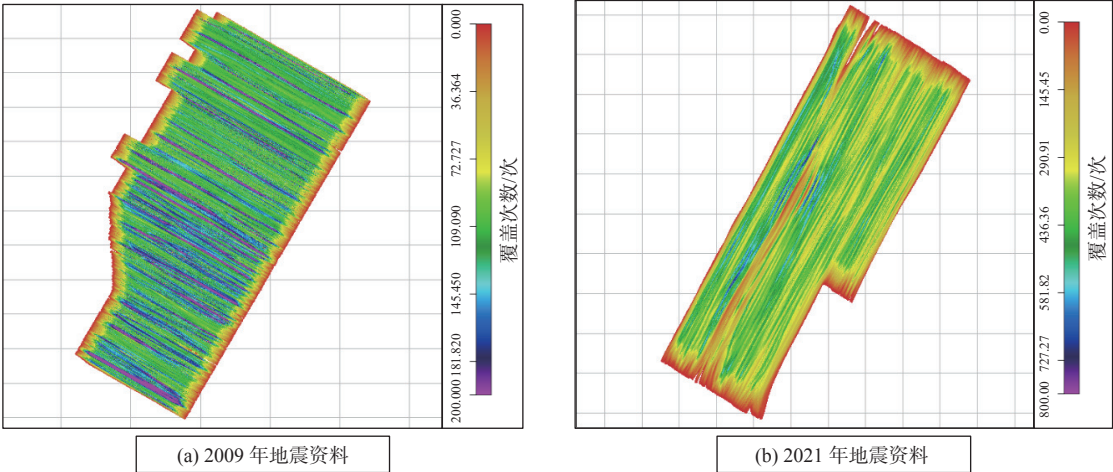


图 1 地震资料覆盖次数对比分析
Fig.1 Comparison of the coverage times of seismic data

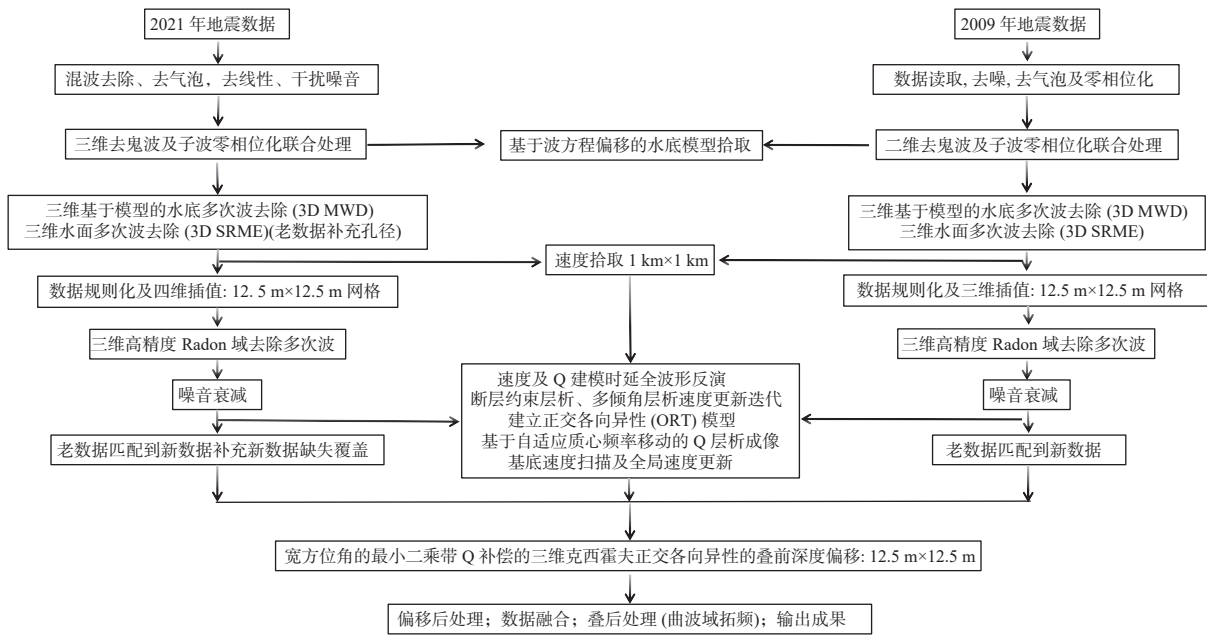


图 2 地震资料融合处理流程

Fig.2 The flow chart of seismic data fusion processing

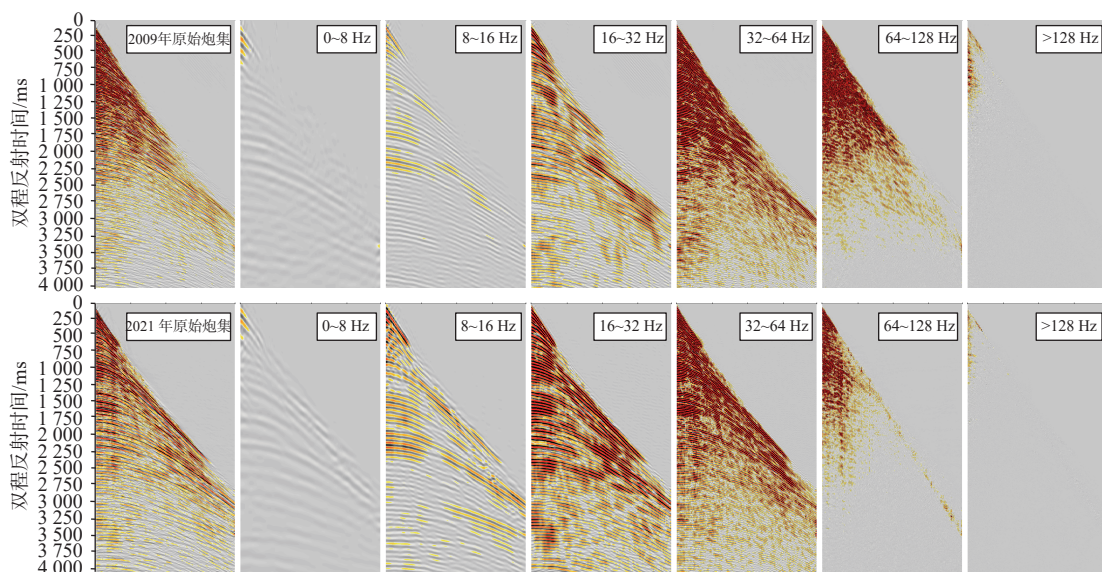


图 3 地震资料分频显示

Fig.3 The frequency division display of seismic data

资料的常见问题, 如何去除干扰也是处理中的重要一环。

1.2 能量分析

相对陆地采集, 海洋地震资料采集环境较好, 炮间能量一致性较好, 单炮地震道之间的一致性也较好。但在地震波传播过程中受海水、海底淤泥等对地震波的吸收衰减作用, 原始单炮上能量衰减比较严重。

通常情况下, 拖缆采集方式在原始地震道单炮

之间及同一炮地震道之间能量一致性较好, 但受电缆漂移的影响, 导致 CMP 面元偏移距分布很不一致, 能量差异较大(图 2)。因此, CMP 面元之间浅、中、深实际覆盖次数差别也很大, 导致叠加剖面能量差异明显。

1.3 频率分析

由于 2009 年三维地震资料为拖缆采集, 且炮间距较大, 检波器沉放深度较浅仅有 7 m, 明显小于 2021 年三维地震资料的 12 m, 由 $f=nc/2h$ (n 为陷

波点, c 为波在水中的传播速度, h 为检波器沉放深度)可知, 2021 年采集三维资料的陷波点小于 2009 年采集的三维地震资料, 导致 2021 年采集地震资料低频明显增加(图 4), 更加有利于地震波向下传

播, 可以接收更为丰富的深层信息。同时, 由于电缆长度和密度均较大, 导致 2021 年采集三维地震资料覆盖次数成倍增加(图 5), 因此, 2021 年三维地震资料的高频成分也略有增加。

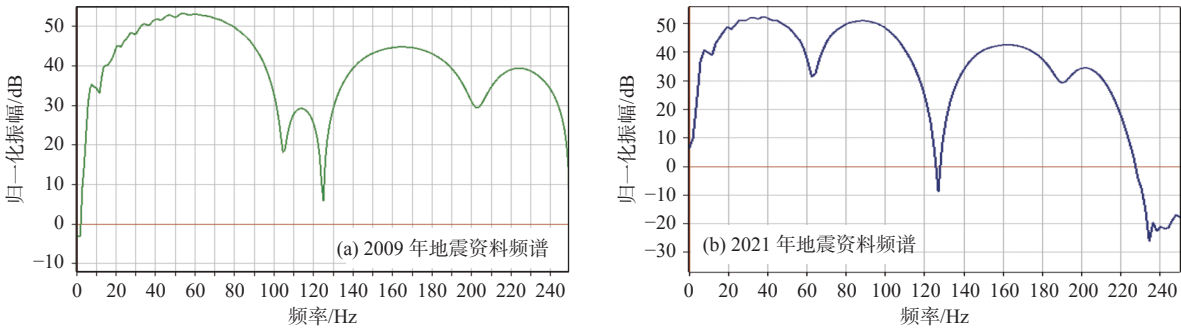


图 4 地震资料频谱对比
Fig.4 Comparison of seismic data acquisition spectra

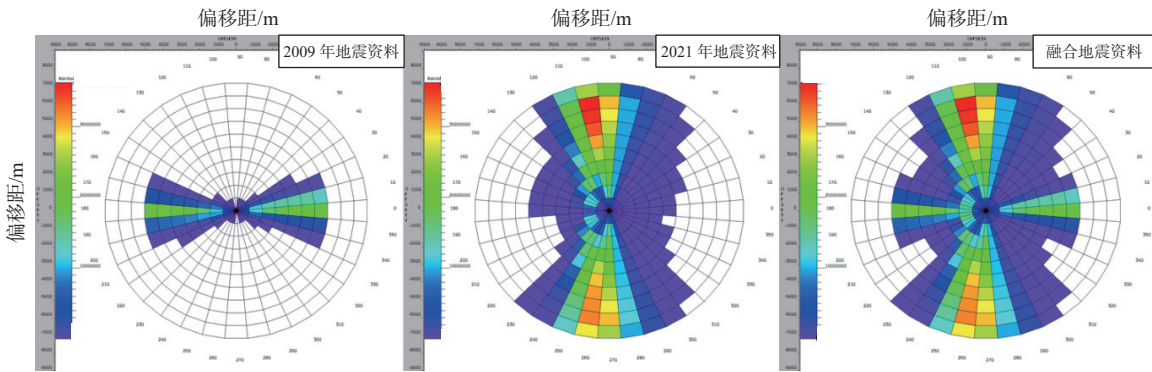


图 5 采集数据的偏移距分布玫瑰图
Fig.5 The distribution of offset and azimuth of collected data

2 针对性融合处理技术

本次融合处理以保真、保幅为基础, 针对工区多次波发育、断裂系统复杂, 中深层段信噪比、分辨率低等特点, 对提高地震资料的分辨率, 精细刻画储层, 提高深部成像, 制定了融合处理方案流程, 主要包括表 2 所示步骤。

表 2 融合处理步骤及作用对比
Table 2 Comparison in the fusion processing steps and the function

步骤	作用
①主、辅船的三维鬼波压制	提高纵、横向分辨率
②新老数据匹配处理	提高资料的信噪比和分辨率
③基于多信息叠代的精细速度建模技术	建立更加精细的速度场
④曲波域叠后拓频技术	再次提高地震资料的分辨率

2.1 主、辅船的三维鬼波压制技术

在海洋地震勘探中, 震源和检波器均放置于海平面下一定的深度, 气枪震源激发的能量其中一部分向上传播, 在海面发生反射并向地下深部传播, 遇到界面再反射回来被检波器接收, 形成了尾随一次反射波之后的震源鬼波; 与此相似, 震源激发的能量向下传播, 遇到地下界面后反射回海面, 再次发生下行反射后被检波器接收, 形成位于一次反射波之后的电缆鬼波。由于鬼波的频率、视速度均与一次波接近, 会造成同相轴变多, 相位复杂等现象, 从而降低分辨率, 严重影响构造成像。拖缆三维地震资料采集过程中, 电缆信号频宽明显增大, 浅、中、深层成像效果会明显改善。由于 2021 年 2 次三维采集采用 10 缆 2 船(主船和辅船)采集, 因此, 采用分别针对主、辅船的三维鬼波压制技术, 才可以实现对鬼波的精准压制。

经过去鬼波处理,主船鬼波压制后,鬼波尾巴明显减小,频带明显变宽;辅船鬼波压制后,地震信号明显增强(图6),提高了地震资料的纵、横向分辨率,地震剖面更加自然。

2.2 新老数据匹配处理技术

不同年度采集的海洋地震资料在振幅、相位、频率特征均存在较大差异,在进行拼接处理前需要进行匹配处理,使地震资料的成像品质达到最佳^[7]。在浅海地区地震勘探中,通过精细分析地震资料,采用子波匹配处理方法,较好地解决了不同的激发和接收条件造成的子波差异问题^[8-9]。

随着地震勘探的不断深入,基于不同震源激发和检波器接收的新采集方式不断涌现。不同采集方式记录的子波存在一定的差异,主要表现在不同地震相位的差异,因此,需要对不同年度采集的地震资料进行一致的匹配处理^[10]。由于2009年采集资料的偏移距和方位角与2021年采集的地震资料存在较大差别,因此进行了匹配处理,具体流程如下:①以2009和2021年原始地震数据分别去除采集脚印后,取偏移距 $<5\,000\text{ m}$ 的进角度叠加,得到

近偏移距道集;②将2009和2021年原始地震数据中介于 $500\sim3\,000\text{ ms}$ 的均方根振幅、时移和相位差别进行匹配,得到差异数据;③将以上得到的差异数据应用到2009年数据上,进一步进行拓频匹配,得到匹配算子;④应用匹配算子到2009年地震数据上,获得2009年数据的最终偏移输入;⑤使用匹配后的2009年地震数据补充2021年地震数据的缺失部分(包括镶边和平台无法采集造成的采集空洞),得到最终的匹配融合数据。

通过合成地震记录可以看出,2009年采集的地震资料与实钻井合成地震记录对应性较差,而2021年新采集地震资料与实钻井合成地震记录对应性较好,相关系数也较高(图7)。从匹配处理前后的地震剖面对比图(图8)可以看出,匹配处理前的剖面上断面成像较模糊,且同相轴连续性较差,匹配处理后剖面同相轴连续性好,断面成像清晰,更有利于后续储层预测等工作的开展。

2.3 基于多信息迭代的精细速度建模技术

地震剖面上的构造高点计算精度和准确成像与速度信息的精度密切相关,高精度速度模型会

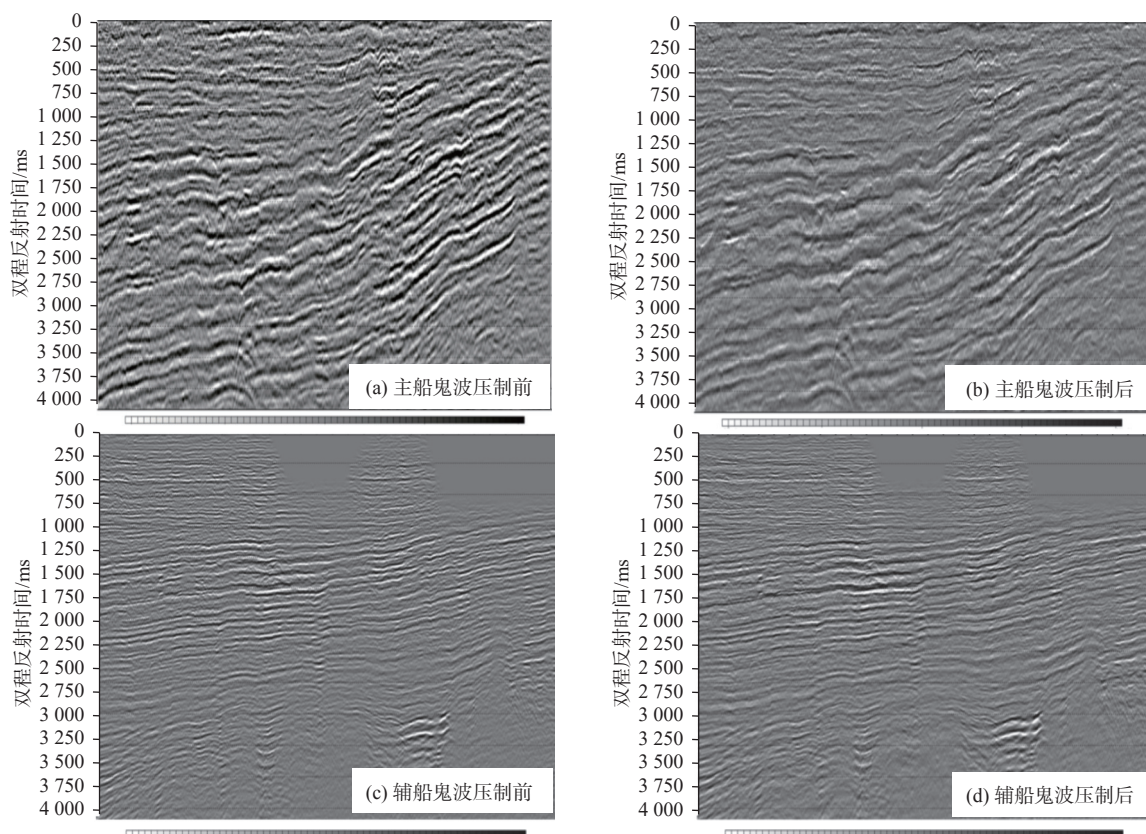


图6 缆鬼波去除前后地震资料与频谱对比

Fig.6 Comparison of seismic data acquisition parameters and frequency spectra before and after ghost wave removal

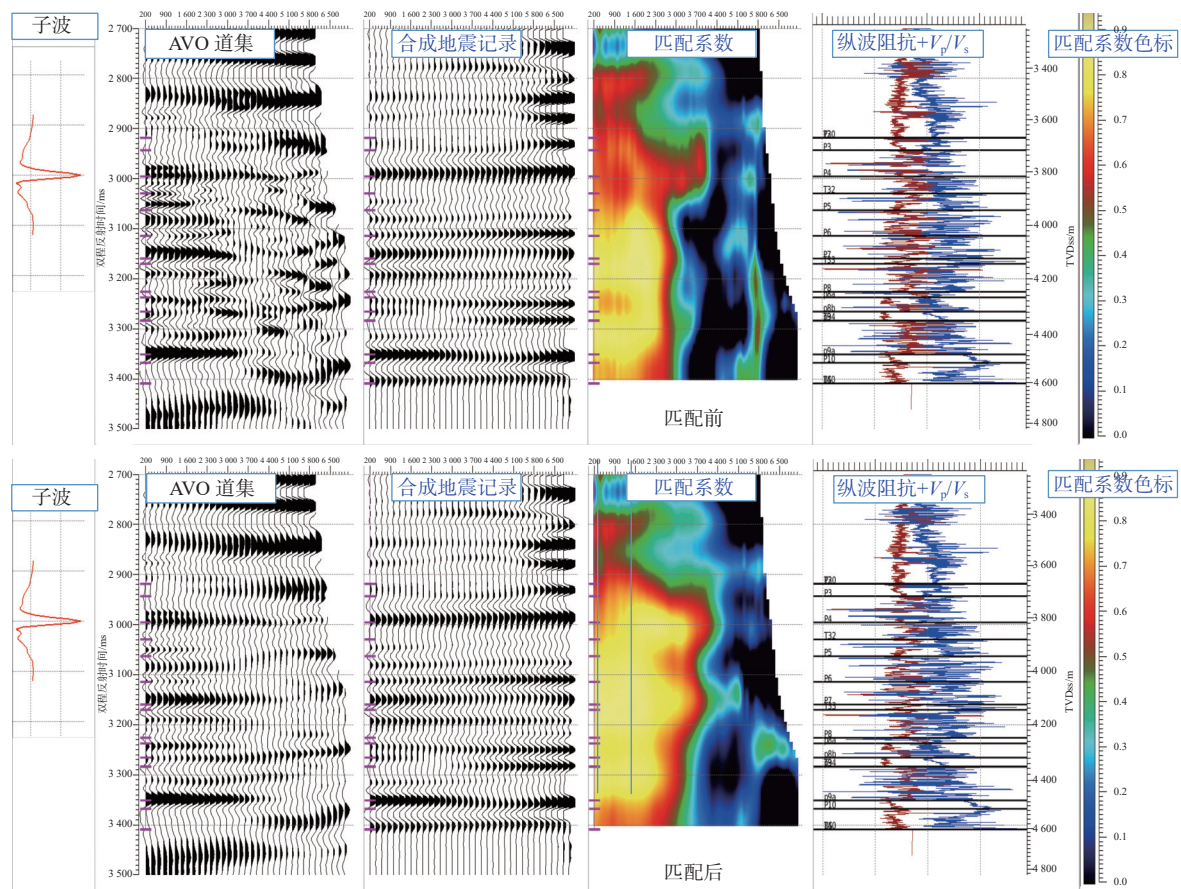


图 7 地震资料匹配前后合成记录标定对比

Fig.7 Comparison in calibration of synthetic records before and after matching of seismic data

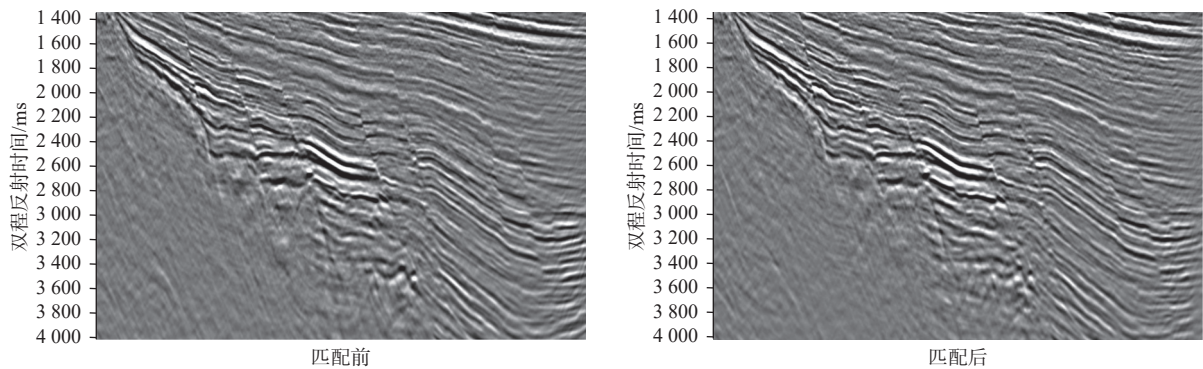


图 8 地震资料匹配前后地震剖面对比

Fig.8 The comparison of seismic profiles before and after the matching of seismic data

给后续工作做好铺垫,得到的地震资料可信度更高^[11-12]。目前来看,叠前深度偏移是对复杂地质构造进行成像最有效的方法之一,对于陡倾构造或速度横向剧烈变化区效果更好^[13]。叠前深度偏移的 Q 层析法可以获取地震品质因子 Q,在偏移成像过程中可以对旅行时进行修正,从而达到振幅补偿、频率恢复和相位校正的目的^[14]。前人在渤海湾盆地南堡凹陷海陆过度带应用 Q 层析法,有效补偿了振幅,校正了相位,提高了深部数据的信噪比,为岩

性识别和流体检测提供了可靠的基础资料^[15]。

西湖凹陷西斜坡 N 气田面向构造岩性复合目标的开发评价的具体需求,针对速度横向变化大、构造精准落实等难点问题,引进并研发了基于多信息迭代优化的速度精细建模技术,成果有效支撑了 N 气田开发井及后续评价井、调整井的成功实施,实现了 N 气田的高效开发,为该区增储上产提供了坚实的技术支撑。

整个速度模型的更新过程主要为 7 次迭代,充

分使用方位角正交的新老数据(图 9),并结合了多项技术,实现速度模型的精细建立。首轮更新采用时延全波形反演技术(TL-FWI),利用 2009 年数据偏移距较远的特点获得浅层速度。后续应用 2021 年数据进行多方位角层析成像速度更新,作为常规速度更新工具之一,其算法目标在于最小化道集的剩余曲率。层析成像速度更新从各向同性的 TL-FWI 模型开始,在多轮速度更新过程中分别引入了 VTI 各向异性和测井数据带来的目标层低速信息(图 10、11)。

在速度更新过程中发现 2 个方位角数据的剩余曲率不匹配,因此,在速度更新流程的第 5 次迭代中引入了方位角各向异性(ORT)。为了更好地提升高频成像效果(图 12),满足研究目标要求,偏移方法采用最小二乘的 Q 叠前深度偏移。因此,第 6 次迭代中采用基于自适应质心频率移动的 Q 层析成像方法建立了与构造相吻合的背景 Q 模型。第 7 次迭代在基底潜山速度扫描后形成最终的 ORT 速度模型和 Q 模型。

速度模型经过 7 轮迭代,在各向异性、方位各向异性以及吸收因子在最终的叠前深度偏移中均得到校正。使得最终成像具有频带宽、分辨率高等特点,同时具有振幅及结构的高保真性。

通过应用建立的速度模型,N 气田开发井深度预测精度较应用前明显提高,深度误差均 $<10\text{ m}$,整体误差精度控制在 $<3\%$,为后续大斜度和水平井位实施提供了重要的基础数据。

2.4 曲波域叠后拓频技术

地震资料的采集受地表因素(海水、黄土、山地等)的影响,采集的地震资料均存在一定程度的缺失和不规则,而后续的处理过程中所有的处理方法都要求输入数据是规则的。经典的曲波变换方法可以对地震数据进行稀疏表征,将不规则的地震数据提高分辨率问题引入到曲波域处理,此过程中可以恢复部分确实信息,达到提高分辨率的效果^[16];陈平等^[17]应用基于曲波域自适应导向滤波海上采集脚印的压制方法,以地震优势方向为导向,在曲波域较好地地区分了采集脚印与有效信号。

进行了最小二乘叠后深度偏移后,地震数据的有效频带得到了一定拓宽,但由于本区目的层埋藏较深,进一步拓宽地震频带显得非常重要。常规的时间-空间域拓频方式由于无法区分数据中的信号及噪音,在提高信号高频成分的同时补偿了大量的噪音。同时,由于地震数据是有限带宽的,这种提频方式也会引起波的调谐,给拓频处理带来巨大挑战。而曲波域拓频可以将地震数据分解到曲波域的不同频带和角度,以数据中主频同相轴的位置及相位信息仅对高频信息进行插值,从而达到拓频的目标。曲波域拓频的数学基本原理:曲波域拓频是将输入地震数据经过曲波变换分解成不同的分量,从而提取数据中的主频分量,根据主频分量的倾角、位置和相位信息在高频分量中进行插值,从而达到提频的目的。

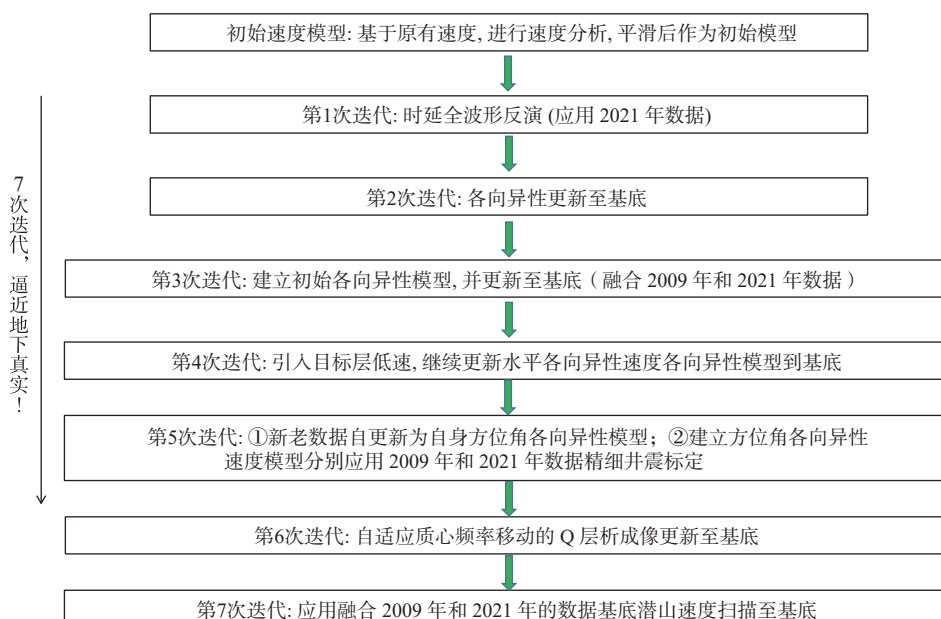
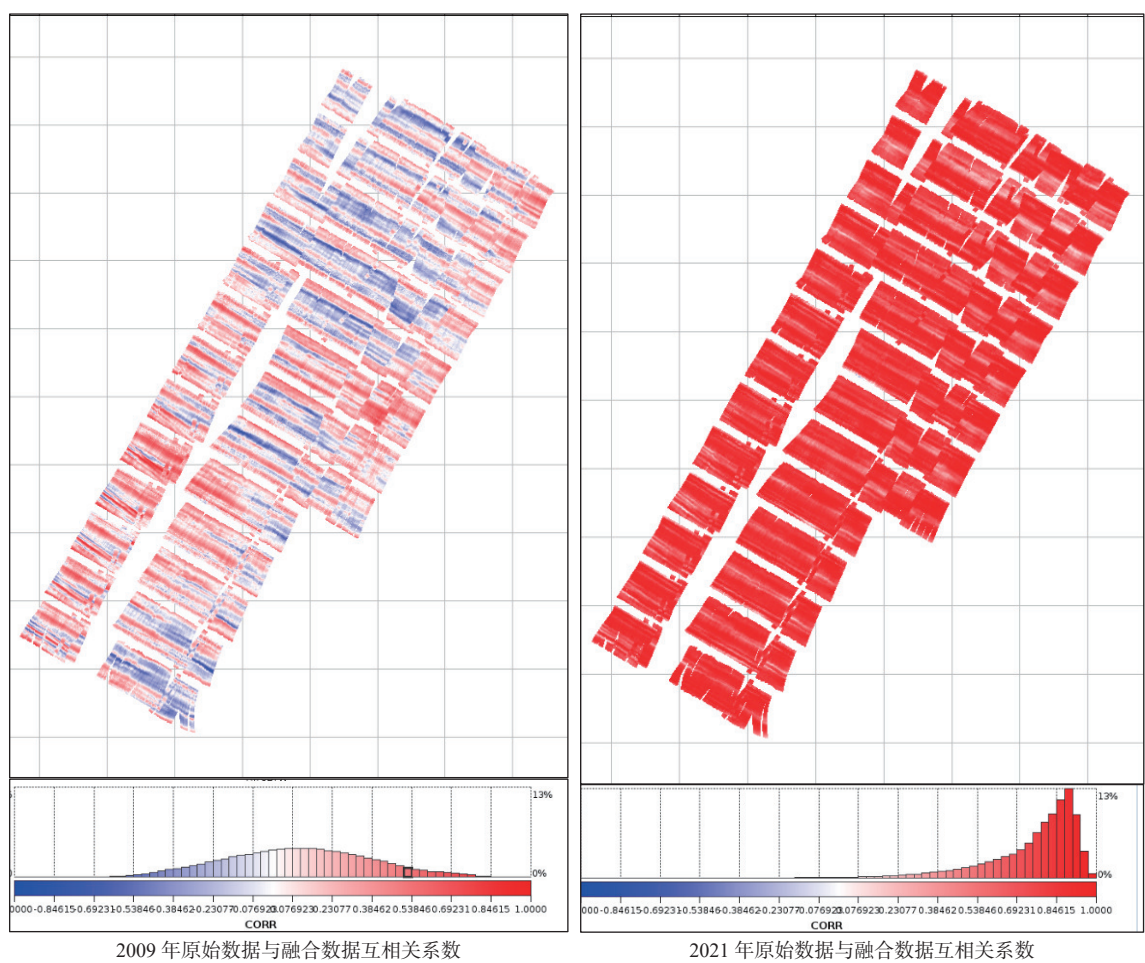


图 9 基于多信息迭代的精细速度建模流程

Fig.9 Flow chart for fine-speed modeling based on multiple information iterations



2009 年原始数据与融合数据互相关系数

2021 年原始数据与融合数据互相关系数

图 10 不同年度地震数据炮集原始数据与融合数据的互相关平面对比

Fig.10 The cross-correlation plane contrast of raw data and fused data of seismic data in different years

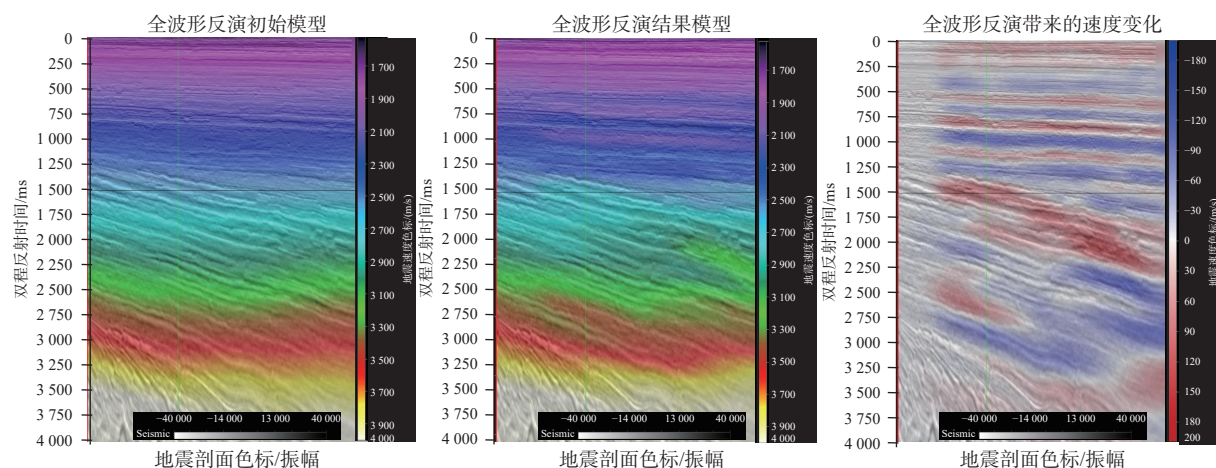


图 11 第 1 轮全波形反演初始模型与成果模型剖面对比

Fig.11 Comparison between the initial model and the resultant model for the first full waveform inversion

经过 2 轮曲波域拓频,地震资料的频带得到明显提升,主要表现为基底和断面成像清晰,地震剖面更加有层次感。

经过拓频处理后地震剖面分辨率明显提升,频

谱的高频成分明显增强(图 13);应用拓频后地震资料对工区内某口井资料进行了标定,与拓频前相比标定子波旁瓣更小,与井合成道的相关性更高,整体上标定效果明显提升(图 14)。从拓频处理前后

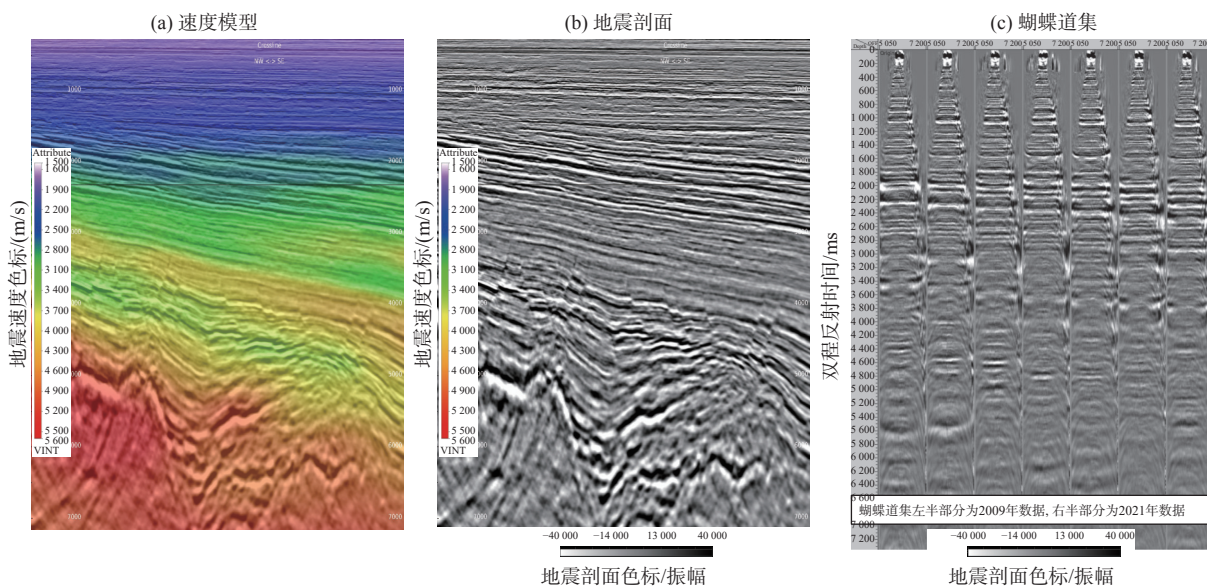


图 12 方位角各向异性速度模型更新对比

Fig.12 Comparison in azimuthal anisotropic velocity model update

的地震资料切片分析可以看出,地震剖面能量的整体形态基本一致,地震横向上振幅关系更加合理(图 15),说明拓频处理是合理、有效的。

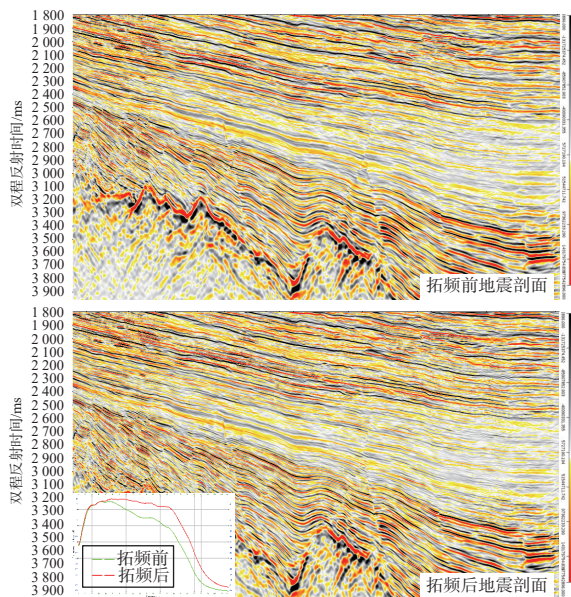


图 13 曲波域拓频前后剖面频谱对比

Fig.13 The spectrum comparison of the cross-section before and after extension in curved wave domain

3 应用效果

由于 N 气田地质条件复杂,给油气田高效开发造成了很大的障碍。地质条件的复杂性主要表现为:①地震速度的横向变化较大,构造高低预测难度较大;②受煤层发育及沉积的影响,储层精准预

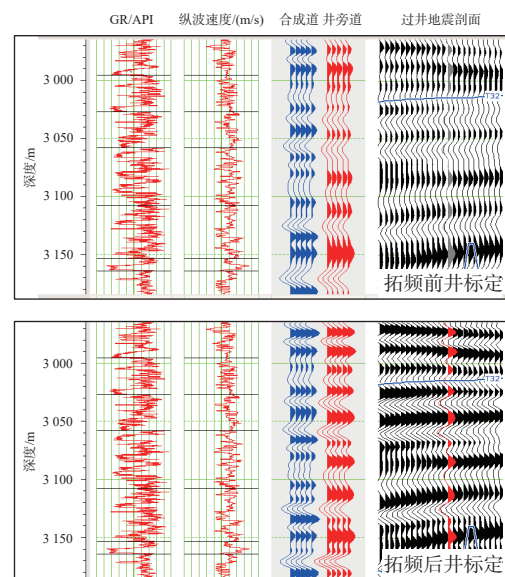


图 14 曲波域拓频前后井标定对比

Fig.14 Comparison of well calibration before and after extension frequency in curving wave domain

测较为困难。

针对速度变化的不确定性,采用了基于多信息迭代的精细速度建模技术,重新建立速度模型对深度进行了精准预测和分析,较常规速度模型预测,深度预测准确性有了明显提升,深度预测网格与实钻网格更为接近、更加吻合(图 16)。通过对开发井深度预测与实钻井深度对比,分析了各层的相对误差,均值仅为 0.20%,为国家标准的 1/7(图 17)。

融合处理后的地震资料,分辨率显著提高,在地震上可以看出明显的界面坡折信息(图 17),在反演 V_p/V_s 资料上可以明显看出坡折位置和地层上倾

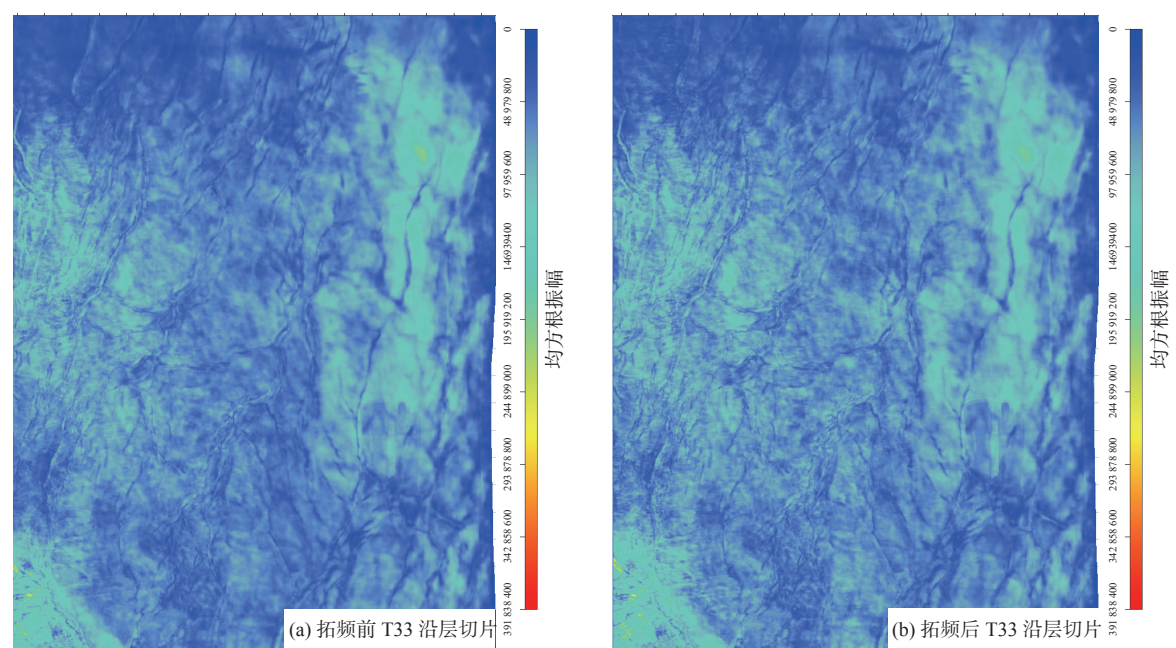


图 15 曲波域拓频前后 T33 沿层切片对比

Fig.15 The slice contrast of T33 before and after wave extension in curving wave domain

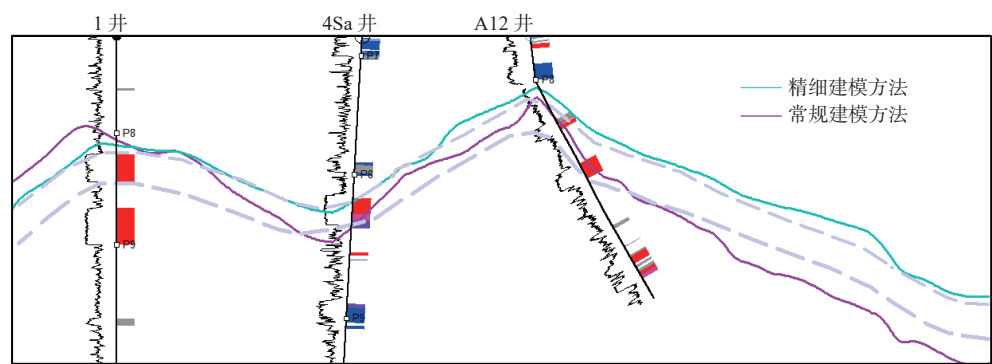


图 16 预测深度网格与实钻深度网格对比

Fig.16 Comparison between predicted and drilled depth grids

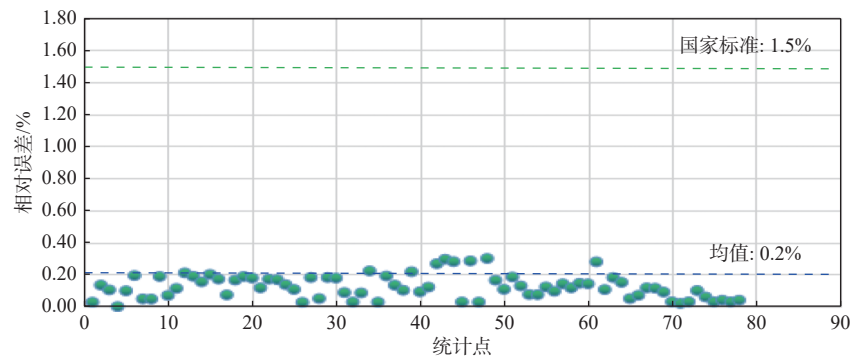


图 17 精细速度建模相对误差统计

Fig.17 Statistical chart of relative error of precision velocity modeling

尖灭特征。经过 A12 井实钻验证,该地层上倾尖灭为砂体尖灭,钻前预测的 9 层主要砂体,实钻钻遇 8 层(图 18),表明地震资料的准确性较高。

4 结论

(1) 针对不同年度、不同采集方向的拖缆地震

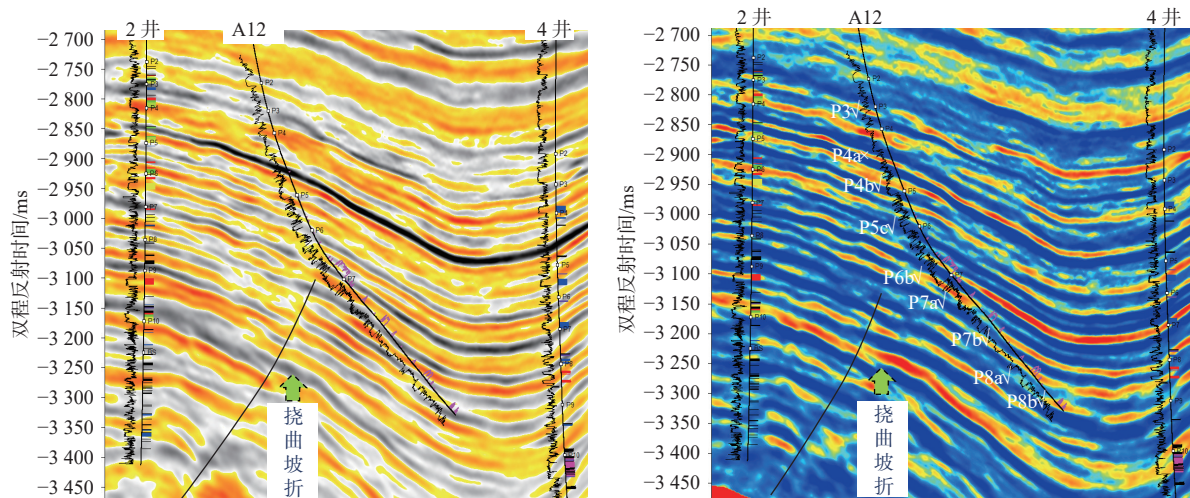


图 18 融合处理常规地震剖面 and V_p/V_s 剖面

Fig.18 Comparison between conventional seismic profile and V_p/V_s inversion profile

资料,应用新老数据匹配处理技术,充分挖掘现有地震资料的潜力,获取的匹配处理后的地震资料较单次资料标定效果更好,相关系数更高,匹配处理后的地震资料同相轴更连续,能量更聚焦。

(2)基于多信息迭代的精细速度建模技术,将蝴蝶道集左右两侧的新老数据都应用到了速度建模过程中,经过7次迭代更新,可以得到更加接近地下真实的速度模型,使地震资料成像效果进一步提升。应用速度模型进行时深转换,可以得到更加精确的预测深度,实钻井证实误差率仅为国家标准的1/7。

(3)通过应用曲波域叠后拓频技术,在叠后资料上实现了有效的拓频,拓频后的地震资料与实钻井吻合较好,标定结果更加准确可靠,且拓频前后地震剖面切片整体形态基本一致,说明拓频方法是合理有效的。

参考文献:

- [1] 徐乐意,林秋金,胡坤,等. 多方位拖缆地震数据融合处理在惠州凹陷的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2022, 45(3): 41-38.
- [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,李振伟,潘新朋,等. 地震融合处理技术在湘西复杂断裂地区的应用[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(8): 86-94.
- [4] 郭淑文,李冰玲,吴雪松,等. 融合地震采集处理解释技术在沧东凹陷页岩油勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2022,

57(S2): 147-153.

- [5] 蒋波. 地震资料重处理的方法技术[J]. 石油物探, 2020, 59(4): 551-563.
- [6] 兰南英,张繁昌,张益明,等. 快速结构字典学习三维地震数据重建方法[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(1): 1-9.
- [7] 隋波,李列,邓勇明,等. 双方位匹配处理技术及其在涠洲12-2油田工区的应用[J]. 西部探矿工程, 2017, 4: 54-61.
- [8] 朱立彬,王彦春,贾恒悦. 滩浅海地震资料双一致性处理技术[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(11): 48-53.
- [9] 曾华会,王小卫,苏勤,等. 混合震源高精度匹配处理技术在中国西部复杂障碍区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2021, 56(3): 476-484.
- [10] 云美厚,丁伟,王开燕,等. 地震资料一致性处理方法研究与初步应用[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 65-69.
- [11] 刘晓晖. 西湖凹陷T气田双宽地震资料处理技术[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2020, 17(5): 30-35.
- [12] 刘晓晖,涂齐催,姜雨,等. 双宽地震资料在西湖凹陷R气田裂缝预测中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(8): 57-64.
- [13] 刘旭明,陈文贵,唐进,等. 地震约束速度建模在复杂构造区叠前深度偏移中的应用[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(2): 759-765.
- [14] 陈见伟,范国章,叶月明,等. Q叠前深度偏移处理技术在深海资料处理中的应用[J]. 海洋工程装备与技术, 2019, 6(S): 242-244.
- [15] 陈见伟,叶月明,钟世超,等. 渤海湾海陆过渡带Q叠前深度偏移方法[J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57(6): 1395-1399.
- [16] 孔雪,王德营,张瑞香,等. 曲波域不规则地震数据提高分辨率技术研究[J]. CT理论与应用研究, 2017, 26(6): 707-713.
- [17] 陈平,秦童,郭军,等. 基于曲波域自适应导向滤波在海上采集脚印压制方法[J]. 石油物探, 2021, 60(6): 906-914.

Application of seismic data fusion technology in the N Gas Field on west slope of Xihu Sag

LIU Jiang, LIU Xiaohui^{*}, WEI Yun, MAO Yunxin, CHEN Yizhou, DAI Yong

(Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: At present, the N Gas Field in Xihu Sag, East China Sea, has basically achieved the full coverage of 3D seismic data of towing cable. However, because of the narrow azimuth, the underground wave field information could not be obtained in all directions, which leads to the deviation of the imaging of complex faults, which can not meet the requirements of fine exploration and development of oil and gas fields. The wide azimuth seismic data can obviously improve the imaging of steep dip angle and complex structure compared with the conventional narrow azimuth seismic data, but the cost is high and the construction is difficult. Therefore, the wide-frequency and high-density 3D seismic data acquisition was deployed in the west slope of Xihu Sag, which is perpendicular to the original narrow azimuth 3D seismic acquisition direction, and the quality of seismic data and the imaging effect were significantly improved. Progresses and findings were obtained in the following aspects. First, the vertical and horizontal resolutions of seismic data were improved and the profiles were more natural by applying the 3D ghost wave suppression technology onboard main and auxiliary ships. Secondly, the potential of existing seismic data was fully exploited by applying the matching processing technology of new and old data, and the seismic data obtained after the matching processing showed a better calibration effect, higher correlation coefficient, better seismic continuity, and better energy focus. Thirdly, the precise velocity modeling technology based on multi-information iteration can be used to obtain a more accurate velocity model, which effectively improved the depth prediction accuracy. Fourthly, the frequency band of seismic data can be widened using the frequency extension technology of curved wave domain, such as curved wave domain transform decomposition, high-frequency information difference etc. Well drilling showed that the application of seismic data fusion technology could improve the imaging accuracy of seismic data with more-accurate depth prediction. At the same time, the resolution of seismic data and the effect of reservoir prediction were obviously improved. This study provided a strong support for the deployment of subsequent development wells.

Key words: fusion processing; matching processing; velocity model; extension frequency; depth prediction