

高邮凹陷阜三段隐蔽油藏保幅处理方法及应用

郭廷超, 许冲, 施兴刚, 李红彩
(中国石化江苏油田分公司物探研究院, 江苏 南京 210046)

摘要:高邮凹陷阜三段岩性油藏勘探潜力较大,但因阜三段主要为三角洲前缘亚相沉积环境,砂泥薄互层发育,阜三段地震反射特征的连续性差,反射能量弱,分辨率不够,常规的地震资料处理方法无法满足阜三段保幅成像的要求。针对这一问题,研究和应用曲波域保幅去噪、时变谱模拟反褶积两项关键技术,结合其他针对性处理技术,建立“三维一体”保幅处理框架和保幅评价方法,达到提高阜三段储层反射特征和分辨率的目的,取得了良好的勘探效果,具有在类似区块推广应用的前景。

关键词:保幅处理;曲波域保幅;时变谱模拟反褶积;阜三段储层;高邮凹陷

中图分类号:P631 文献标志码:A

Amplitude-preserving processing method and its application in subtle reservoir of Fu3 member in Gaoyou Sag

GUO Tingchao, XU Chong, SHI Xinggang, LI Hongcai
(Geophysics Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Nanjing 210046, China)

Abstract: The lithologic subtle reservoirs in Fu3 member of Gaoyou Sag have great potential for exploration. However, the Fu3 member is mainly composed of delta and delta front subfacies, with thin sand mud interbeds. As a result, there are poor continuity, weak reflection energy, and insufficient resolution in the seismic reflection characteristics of the Fu3 member. The conventional seismic data processing method can not meet the requirements of amplitude-preserving imaging in the Fu3 member. Therefore, it was studied and applied two key technologies: amplitude-preserving denoising in curved wave domain and time-varying spectrum simulation deconvolution, combined with other targeted processing technologies. And then it was established a “three-dimensional integration” amplitude-preserving processing framework and amplitude-preserving evaluation method, which can improve the reflection characteristics and resolution of Fu3 member reservoirs. Therefore, good exploration results are obtained, and it has the prospect of popularization and application in similar blocks.

Key words: amplitude-preserving processing; amplitude-preserving in curved wave domain; time-varying spectrum simulation deconvolution; reservoir in Fu3 member; Gaoyou Sag

高邮凹陷阜三段经过多年的勘探,累计发现探明储量超过 $3\,000\times 10^4$ t,油气发现除陈堡油田外,主要集中于北斜坡东部的沙花瓦地区,在阜二段有效烃源范围内,还存在着大片储量发现空白区,潜力较大。高邮凹陷阜三段主要为三角洲前缘亚相的沉积特征,砂泥薄互层而造成地震反射特征的连续性差^[1],反射弱;辉绿岩穿层侵入,加剧了这种弱反射特征。同时阜三段砂体薄,储层在地震资料上响应不明显,高邮凹陷阜三段储层地震预测是一个“瓶颈”问题。

为了有效预测此类储层,要求有“三高”(高保真度、高信噪比、高分辨率)^[2]地震资料作保证。目

前国内外针对这类储层通常采用叠前宽频保幅处理技术提高资料品质,即在叠前保幅处理的基础上,拓宽有效信号频宽,达到在保持较高信噪比的前提下,提高地震记录分辨率的目的^[3]。

在此思路下,针对高邮凹陷阜三段储层“薄”和

收稿日期:2021-05-24;改回日期:2021-09-01。

第一作者简介:郭廷超(1971—),博士,高级工程师,从事石油物探研究工作。E-mail:guotc.jsyt@sinopec.com。

基金项目:江苏油田科技项目“高邮凹陷阜三段岩性油气藏保幅处理方法及应用研究”(JS20006)、“基于压缩感知和多信息融合的宽频处理技术研究及应用”(JS20004)。

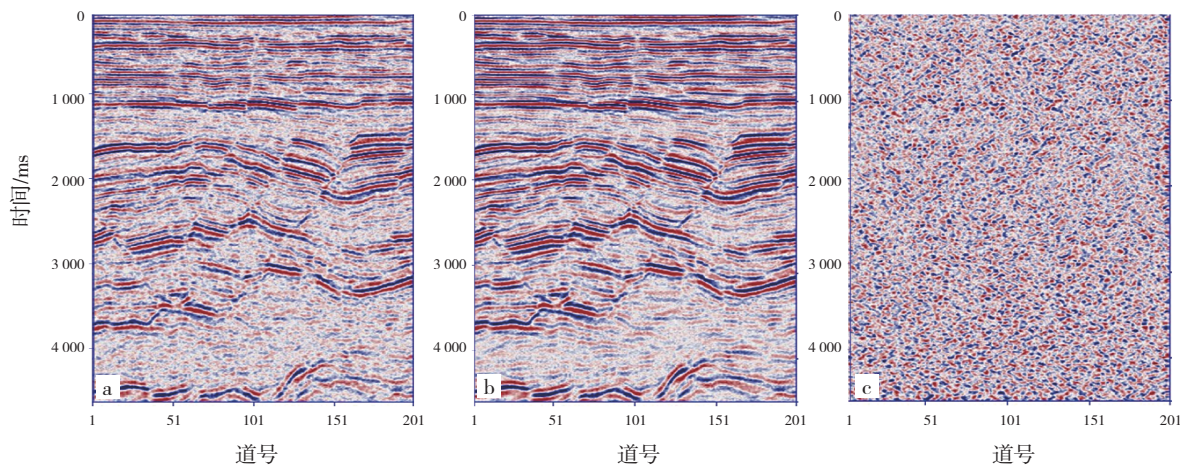
“弱”的特点,本文经过大量的分析和试验,研究和应用曲波域保幅去噪、时变谱模拟反褶积等两项针对性关键技术,并结合高邮地区三维资料本身存在的问题,将关键技术与其他处理技术相结合,形成了“三维一体”保幅处理框架及适应性处理流程,取得了非常好的效果。

1 曲波域保幅去噪技术

干扰波的存在对高邮凹陷阜三段储层成像处理影响较大,从地震资料上分析面波的影响全区存在,而多次波影响在局部地区较大,另外从叠加和偏移成果剖面上分析阜三段储层杂乱无章的噪音

影响也十分严重。面波和层间多次波在本次研究中利用体模式去噪技术和广义多次波衰减(GSMP)方法,取得了较好的效果。针对阜三段波组信噪比低、随机噪音较强的问题,采用曲波域噪音衰减技术^[4],对含噪音数据进行曲波分解,得到各频率层段并设定相应的阈值进行相应的处理,再进行曲波反变换。该技术的优势在于它是在时频域分析地震数据,可以更好地识别与压制噪音。

图1是针对阜三段弱反射应用曲波变换压制随机噪音效果图,从图中可知,曲波变换可以在去除噪音的同时有效地保护有效信号,提升阜三段弱反射的成像效果。



a.未做曲波变换去噪; b.曲波变换去噪处理; c.残差

图1 曲波变换去噪效果对比

2 时变谱模拟反褶积技术

进行阜三段岩性油藏储层预测和描述,对地震资料的分辨率有很高的要求。但是高邮凹陷的地震资料原始频率很低,阜三段主频一般在18 Hz左右,目前叠前通过反Q滤波、地表一致性反褶积或稳健反褶积等方法提高分辨率,分辨率虽然有较大的提高,仍不能满足阜三段岩性油藏储层预测的要求。针对阜三段地震资料应用时变谱模拟反褶积技术^[5],进一步拓展频宽,提高阜三段分辨率,有利于阜三段储层预测和描述。

基于S变换优异的时频局域性和传统谱模拟方法良好的稳定性,将传统谱模拟方法扩展到复频域

(S域),在时频变换域提取随时间变化的子波振幅谱,进而可以获得时变的零相位子波^[6],进行时变的提高分辨率处理。

在时变子波估计过程中,考虑到地层裂缝、孔隙中充填流体等引起的时变子波谱的能量的异常,而时变子波谱上这些局部异常恰恰是后续储层预测研究的重点目标区域,在用于提高分辨率处理的时变子波上消除该局部异常,以保证提高分辨率结果中该异常不受影响。

图2为时变谱模拟反褶积前后的剖面对比,从图中可以看到阜三段视觉分辨率明显提高。时变谱模拟反褶积前后的频谱分析来看,在-20 dB处频谱拓展约8 Hz左右(图3)。

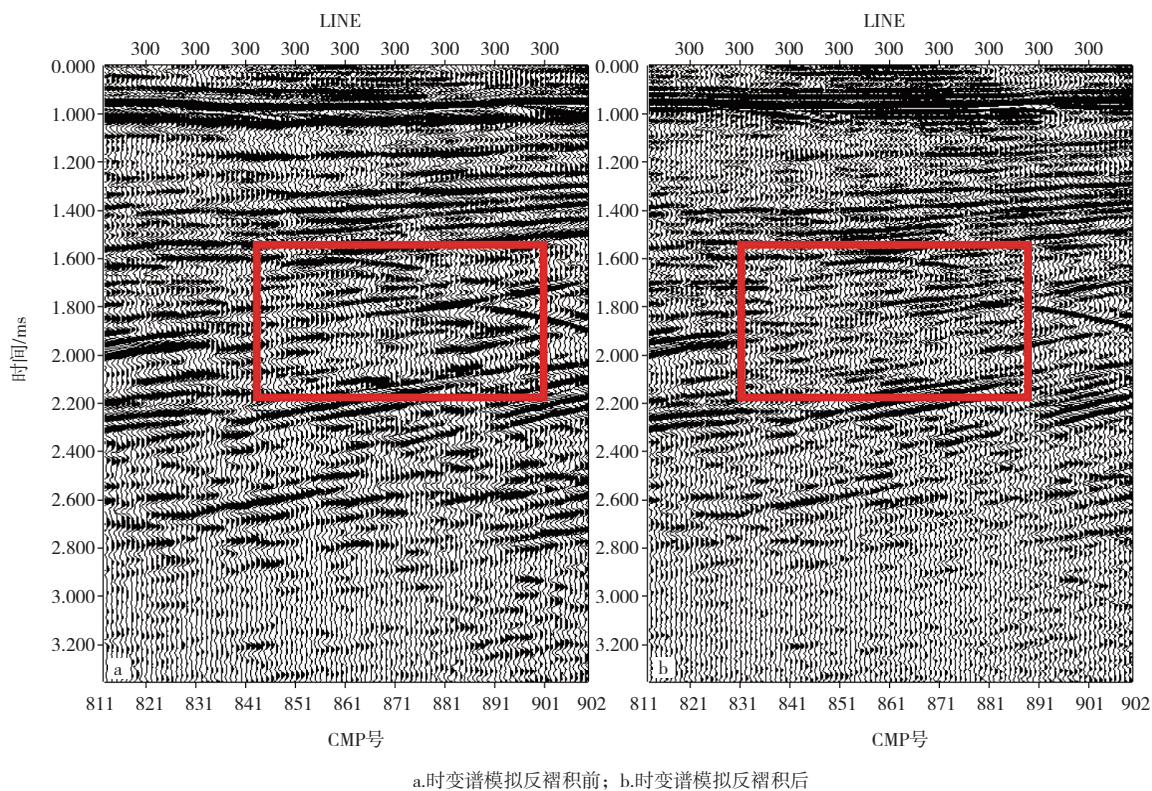


图2 时变谱模拟反褶积前效果对比

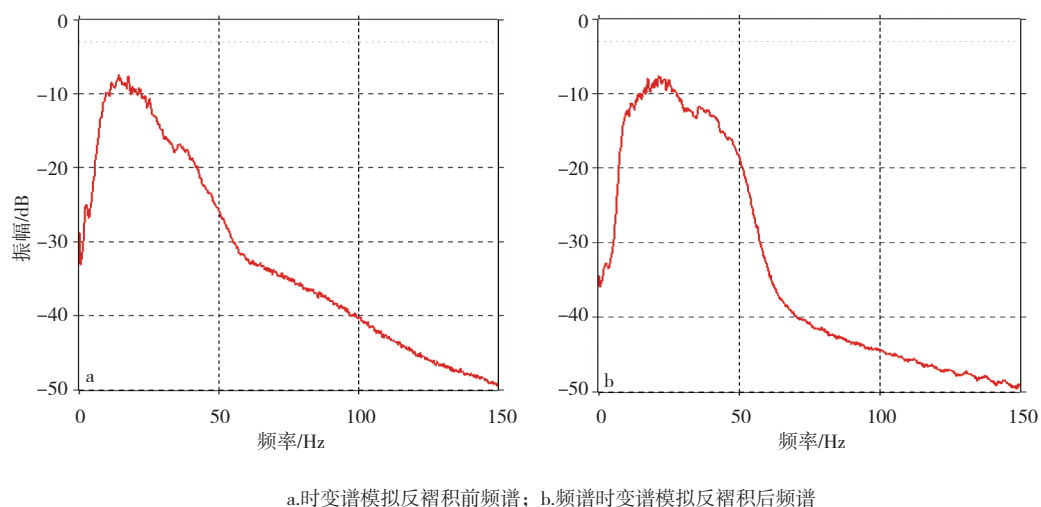


图3 时变谱模拟反褶积前频谱对比

3 “三维一体”保幅处理框架

面向隐蔽油藏勘探及高邮凹陷阜三段储层目标的地震资料处理,关键要解决好如下几个关键问题:①火成岩侵入或屏蔽造成阜三段部分区段呈空白状;②层间多次波对阜三段的影响;③阜三段内幕信噪比低,保护低频去噪,提高高频段信噪比;④阜三段内幕反射信号弱;⑤不同年度施工的三维一

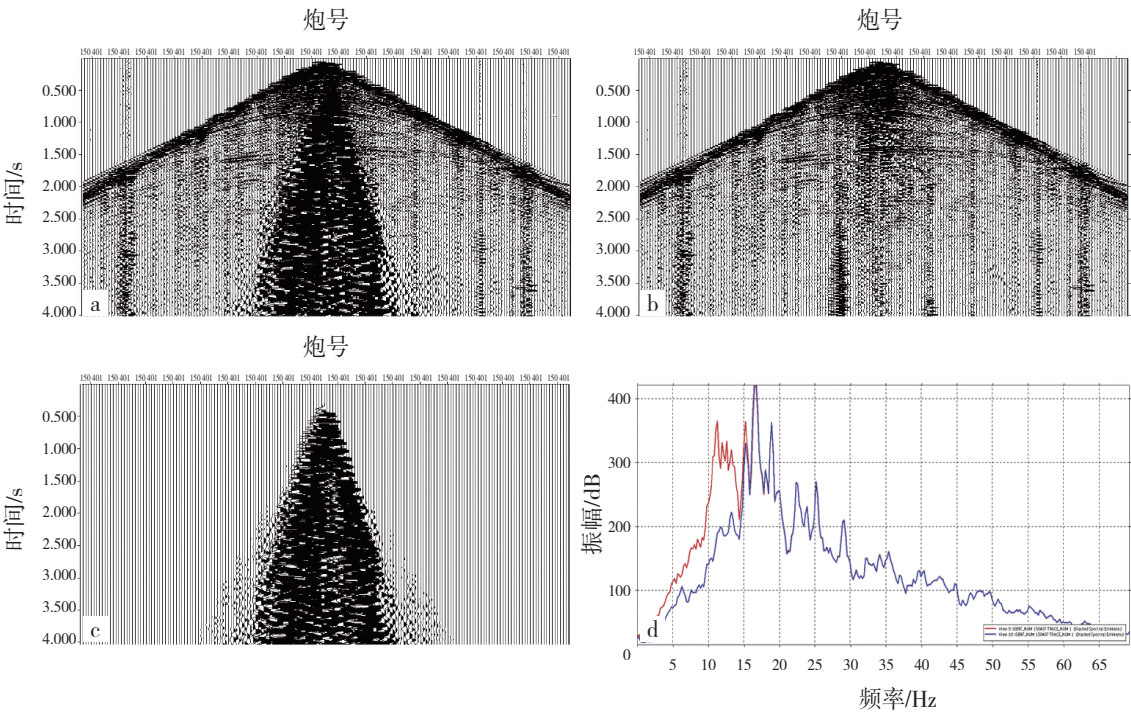
致性和拼接问题;⑥CRP道集优化处理,提高分辨率、信噪比及反演精度。针对关键问题,结合阜三段内幕特征和储层特点,重点研究对应的处理技术,形成“三维一体”保幅处理框架,主要有如下的特点:

3.1 体模式保幅去噪

高邮凹陷阜三段埋深一般在中深层,地震资料品质受面波的影响较大,如何压制面波,突出有效信号,保护低频信号是攻关重点。根据面波的分布

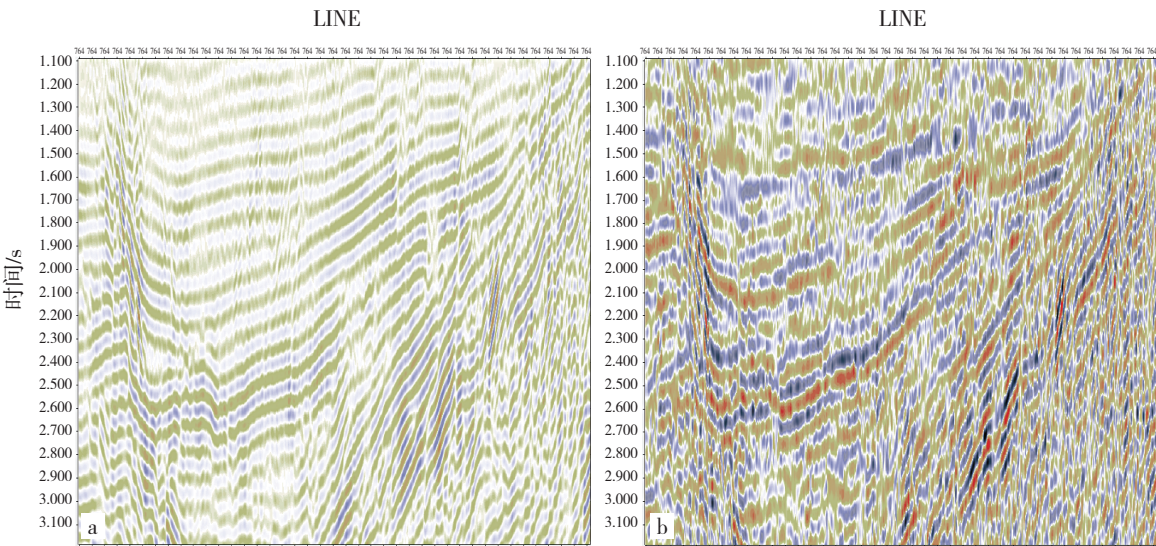
范围、频率特性、能量、速度等特征,将数据从炮域重新编排为十字交叉域,面波在体上表现为锥体,从时间切片上看面波集中在一个圆形内^[7]。然后采取非均匀相干噪音压制处理方法对噪音进行压制,利用真实坐标信息驱动,能很好地适应不规则采集系统,同时处理中采用了防假频FX扇形滤波器,并

可以基于噪音分频压制。该方法优于以往应用的FX域噪音压制方法等非体模式下的去噪方法。如图4所示,经体模式去噪处理后阜三段内幕有效信号能量增强,并且从残差中可以看到无有效信号被衰减,另外与非体模式下去噪方法相比,在低频端保护了更多的信息。



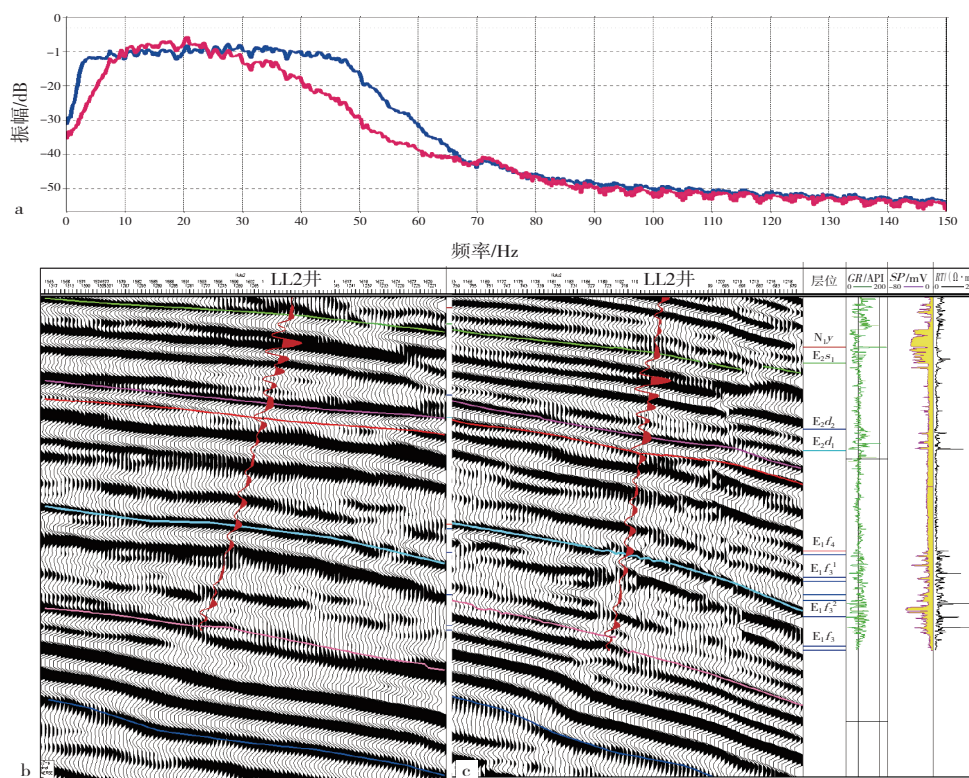
a.未去噪单炮记录;b.体模式去噪结果;c.残差;d.体模式去噪(红)与其他去噪方式(蓝)频谱对比

图4 体模式保幅去噪方法应用效果



a.未做压缩感知低频补偿处理0~10 Hz信息;b.压缩感知低频补偿处理0~10 Hz信息

图5 压缩感知低频补偿处理



a.本文方法处理（蓝）与其他方法处理（红）频谱对比；b.其他方法处理；c.本文方法双向拓频处理

图6 双向拓频处理前后对比

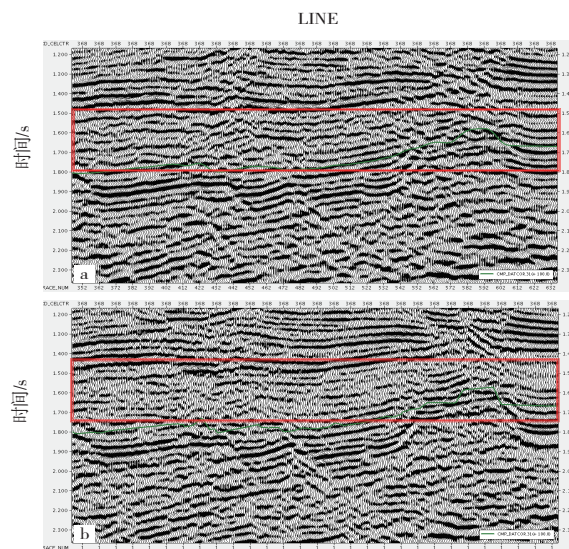
3.2 低高频信息双向拓展

低频信息在深部地层成像、反演以及在储层精细描述中的重要作用近两年才重视起来。此次研究和应用稳健反褶积技术、时变谱模拟反褶积技术等提高高频端信号的信噪比,提高分辨率。另外,重点攻关研究对低频信号的缺失特征分析、低频信号对关键处理环节影响、低频信号的保护方法、基于压缩感知理论的低频拓展技术等。图5为压缩感知低频补偿,根据带限的地震数据反演反射系数,使用反射系数的低频补偿地震数据的低频,补偿后振幅谱上可以看出低频信息能量明显增强。图6为双向拓频后,从频谱分析看,双向拓频处理比常规处理低频拓展了3 Hz左右,高频拓展了8 Hz左右,从成果剖面看,经过双向拓频处理后,阜三段内幕反射由“连续性好”转变为“杂乱”的现象是实际地质现象的真实反应,更好地体现了岩性的变化,且本次成果与合成记录在LL2井全井段的匹配度都比较高。

3.3 弱反射成像

利用正演模拟分析储层特征和阜三段反射特征,分析阜三段反射弱的原因,以及火成岩对阜三段的影响,在做好球面扩散补偿,地表一致性振幅补偿的基础上,研究和应用透射补偿、基于Hilbert-

Huang变化(HHT)的补偿技术以及剩余振幅补偿技术等振幅均衡处理^[8],提高阜三段内幕成像品质。图7a是经过基于Hilbert-Huang变化(HHT)的补偿技术及剩余振幅补偿技术处理后的偏移成果,与以往处理成果对比,阜三段内幕反射能量明显增强,消除了部分由于能量不均引起的偏移噪音,成像品质明显改善。



a.阜三段弱反射信号成像处理前；b.阜三段弱反射信号成像处理后

图7 阜三段弱反射信号成像处理前后对比

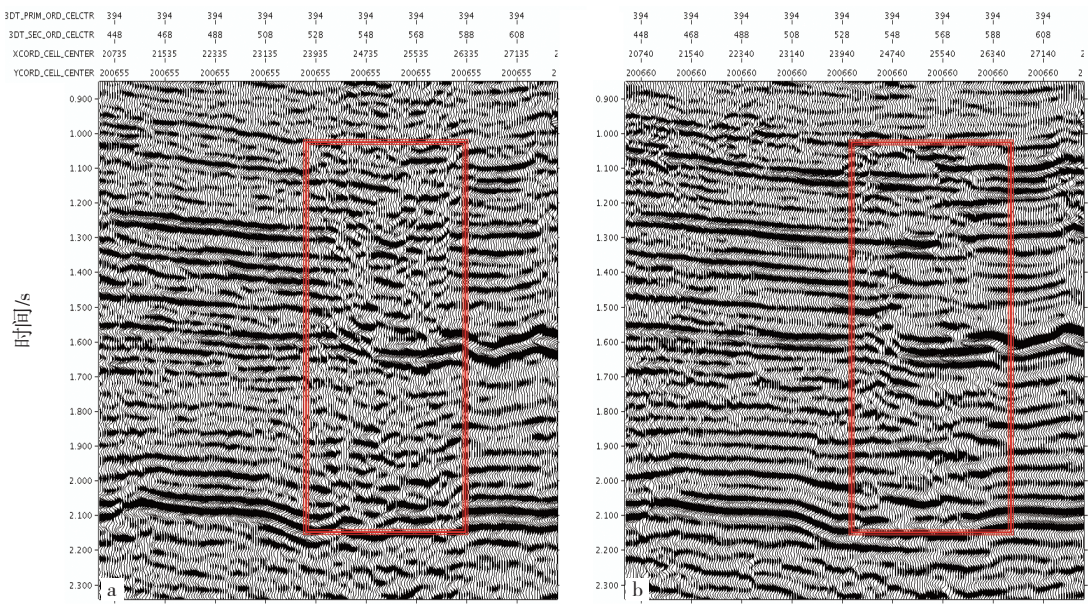
3.4 五维数据规则化处理

在地震勘探中,由于各种因素的限制和影响,采集数据不能满足空间规则性采样的要求,以研究区块内某三维拼接处理为例,SNX 高精度三维覆盖次数达到了480次,而MJZ 三维覆盖次数只有30次,巨大的差距会造成能量的差异,同时会引起偏移画弧,影响了资料的一致性。

本文针对性的研究和应用“三化”技术,即高覆盖次数资料退化,重复处理参数优化及数据规则化,特别是采用五维规则化技术。五维数据规则化^[9]利用空间真实坐标,利用数据的五个维度(x,y,t ,偏移

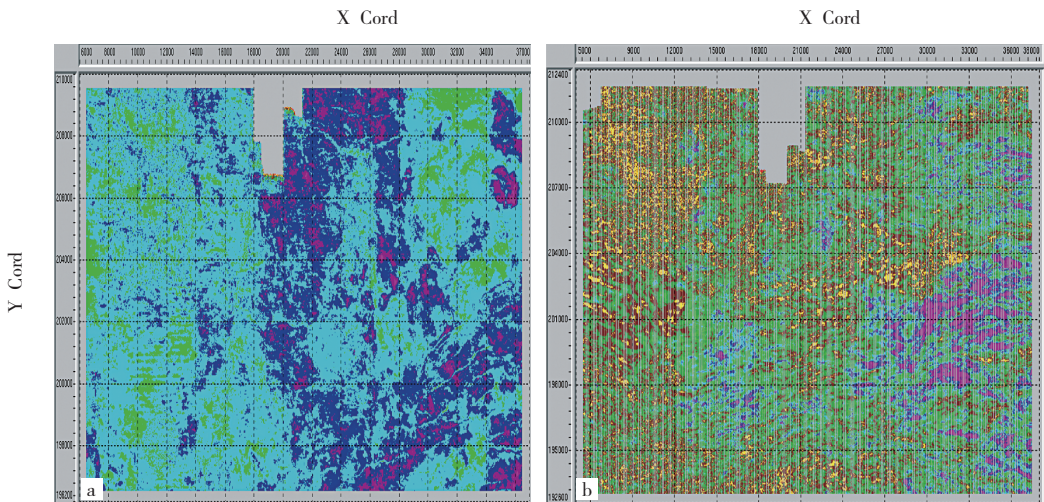
距,方位角)信息,进行规则化处理,增加炮道密度,改善面元属性,可有效地压制噪声、降低空间假频,解决由于能量、覆盖次数等因素不一致造成的偏移画弧问题。

图8是通过三化处理前后的成果剖面对比,红框内以往是30次覆盖,两边是高覆盖次数,造成偏移画弧而不成像,而经过三化处理后消除了这一影响,成像效果有很大的改观。图9为针对阜三段提取的均方根振幅属性,图9a为未进行五维规则化处理的属性,明显存在拼接痕迹,而经过五维规则化处理后阜三段振幅属性一致性明显增强(图9b)。



a. “三化” 处理前; b “三化” 处理后

图8 “三化”处理前后剖面对比



a. “三化” 处理前; b “三化” 处理后

图9 “三化”处理前后阜三段均方根振幅属性对比

3.5 “点线面体”三维一体保幅评价

面向阜三段隐蔽油藏地震资料处理,除了建立针对性和实用性强的流程外,更重要的是保证资料处理的每一步都是保真或保幅的,也就是说处理的成果要同时满足分辨率和高保幅的要求,从而提高地震资料对高邮凹陷阜三段储层“薄”“小”等砂体的识别能力,满足砂体预测和油气检测的要求。本次研究从点线面体等“三维一体”进行质量控制和保幅评价^[10]。“点”即炮点、检波点、共反射点、井点等方面进行质控和保幅评价;“线”即从主测线、联

络线、过井随机线等进行监控;“面”即对一定时窗内的振幅、频率等属性进行分析;“体”即通过处理解释一体化,对关键步骤进行反演,形成相应的属性体,从而判断处理技术的保幅性和有效性。

采用的监控方法有残差法、时频分析法、振幅比、切片法、AVO属性、阻抗反演、合成记录等评价方法^[11],并针对每一个处理关键步骤按照实用性和适应性的原则制定保幅处理分析评价流程(图10),严格按照三级质控的要求进行质控,保证处理的质量和效果。

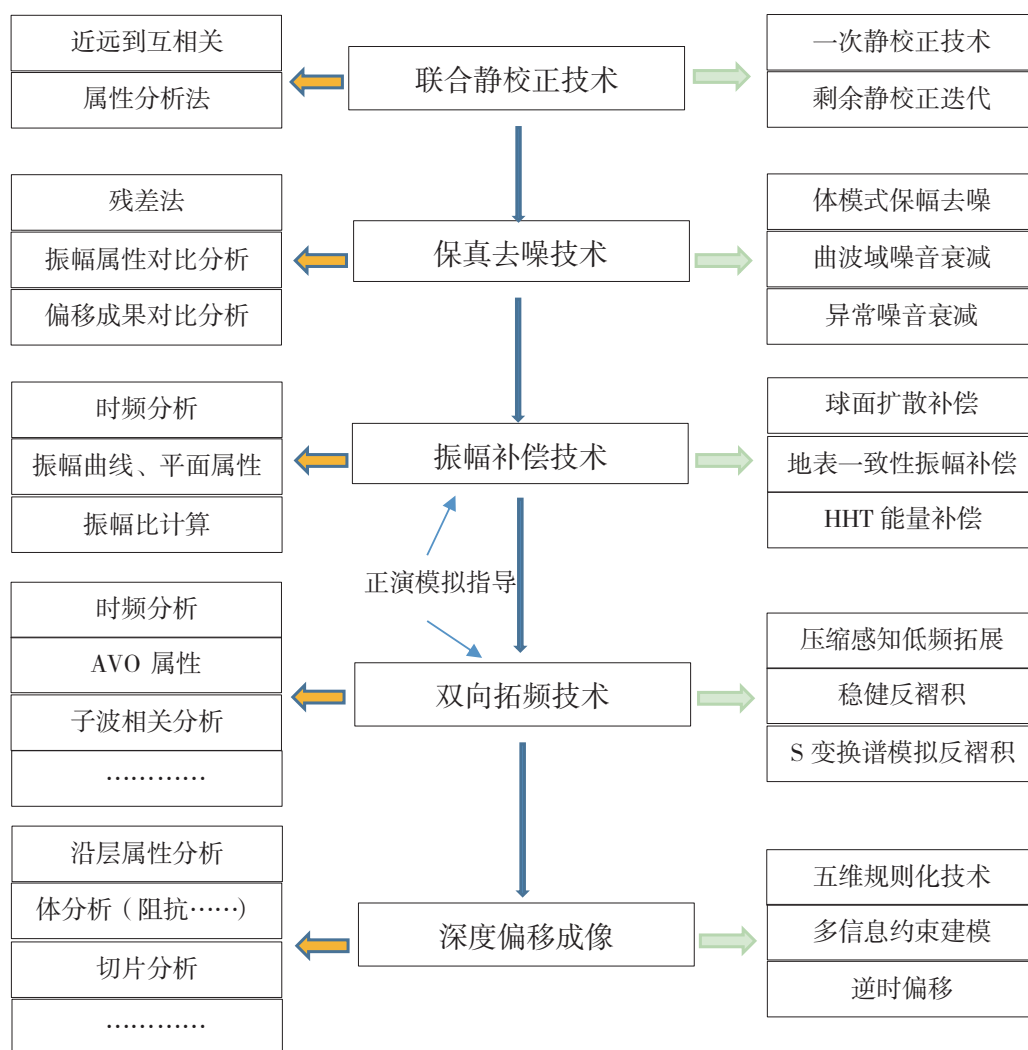


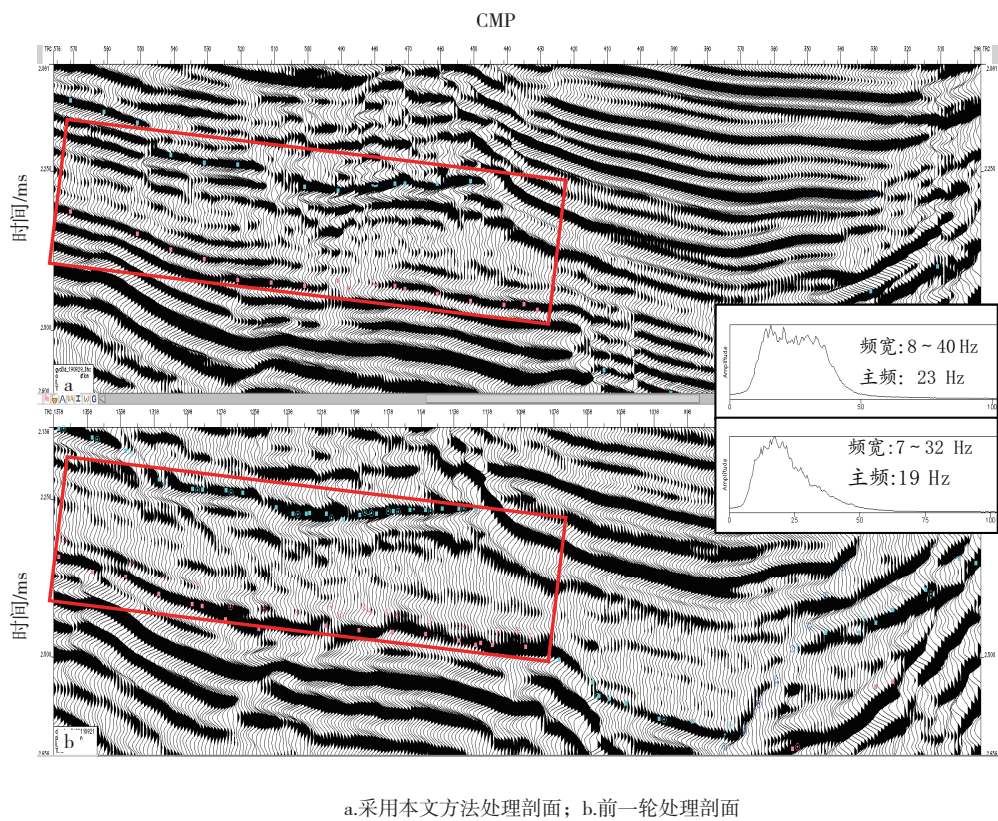
图10 三维一体保幅处理框架

4 应用及效果分析

通过攻关研究,形成了一套针对高邮凹陷阜三段储层成像的处理流程,并在高邮凹陷 LiuL、XLZ 等地区取得了很好的效果,主要效果体现在三个方面的提升。

4.1 纵向分辨率提升

阜三段内部成像清楚,信息丰富。图11a是经过本文方法处理的剖面,与上一轮处理(图11b)对比,本文方法处理的剖面阜三段内幕视觉分辨率明显提高,信息比较丰富,目的层段的频谱分析也显示频宽拓展8 Hz左右,达到了双向拓频的目的。

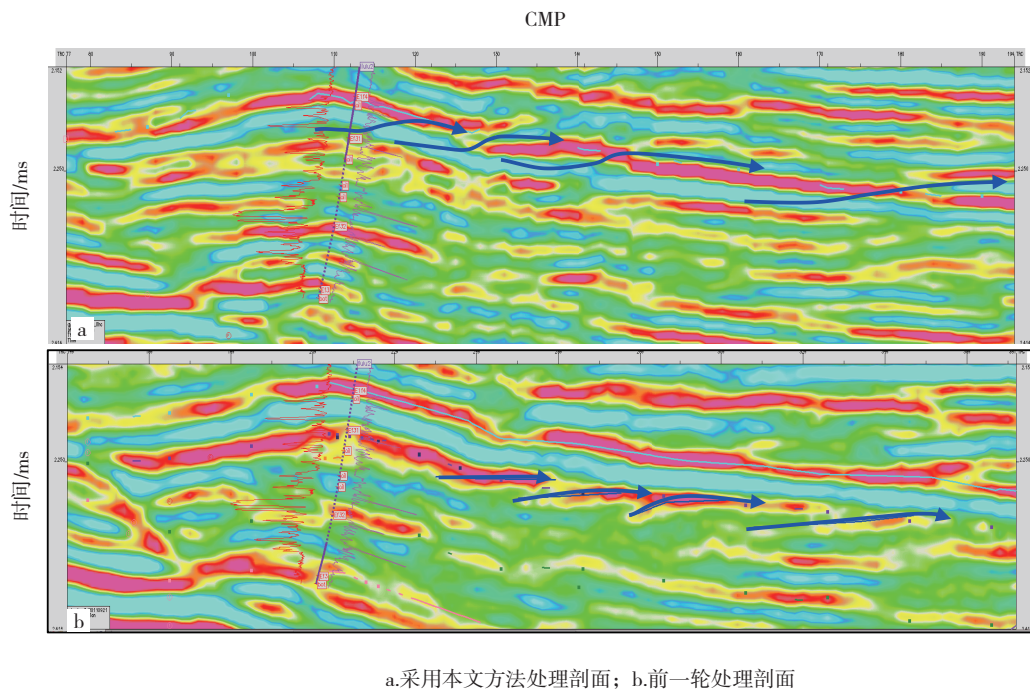


a.采用本文方法处理剖面；b.前一轮处理剖面
图 11 高邮凹陷阜三段地震剖面对比

4.2 横向分辨率提升

砂体侧向叠置现象更清晰,有利于开展地震相解释。图 12 显示应用本次研究处理成果图 12a 与

以往处理成果图 12b 剖面对比,该剖面过 LL2 井,图中蓝色箭头所示,由于分辨率提高后砂体叠置关系更加清楚。



a.采用本文方法处理剖面；b.前一轮处理剖面
图 12 高邮凹陷阜三段地震剖面彩色显示

4.3 反演成果分辨率提升

图13展示地震剖面与阜三段反演叠置图,反演

分辨率提高,有助于提高定量预测精度,且地震剖面反射特征与地下岩性特征吻合度较高。

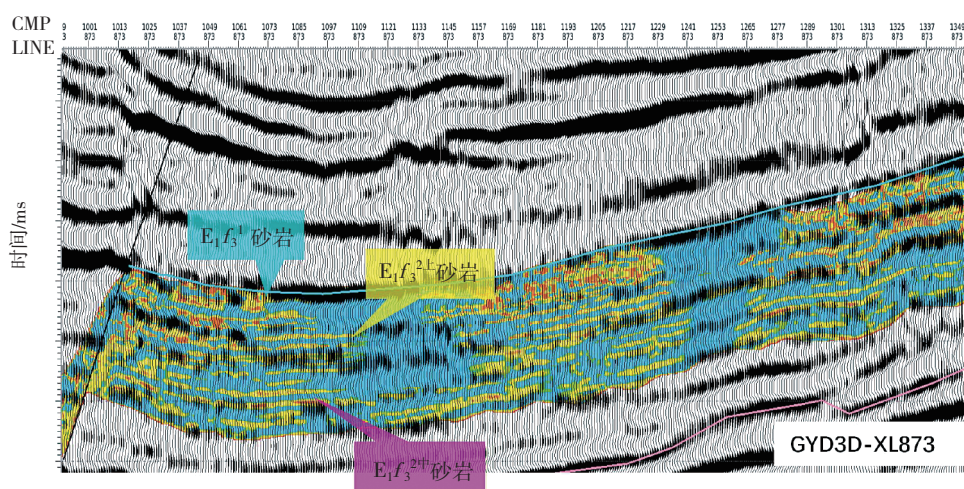


图13 高邮凹陷阜三段地震剖面与反演剖面叠合显示

5 结论

高邮凹陷阜三段主要为三角洲前缘亚相的沉积特征,砂泥薄互层发育,阜三段同相轴表现为偏弱的波组特征。存在的主要问题是阜三段内幕信噪比低、分辨率不够。本文以高邮凹陷阜三段隐蔽油藏保幅成像为目标,建立一套针对高邮凹陷阜三段“三维一体”保幅处理技术框架和保幅评价方法。其中,曲波变换技术压制随机噪音同时保护弱有效信号,提升阜三段内幕弱反射同相轴的信噪比;基于S变换的谱模拟时变反褶积方法同常规反褶积方法串联使用,在常规反褶积基础上频宽拓展8 Hz左右,进一步提高阜三段分辨率,更有利于识别薄砂体。在高邮凹陷 LiuL、XLZ 等地区应用本文保幅处理方法阜三段成像效果提高明显,同老成果相比阜三段频宽拓展8~9 Hz,LL2井砂体预测结果和测井吻合度高,有力支撑高邮凹陷阜三段隐蔽油藏的勘探突破。

参考文献:

[1] 陈军,李东亮,侯斌.弱地震反射层的断层定位方法[J].中国矿业,2013,22(4):123-126.
[2] 王春明,胡英,刘卫东.面向薄互储层的叠前宽频保幅处理技术[J].科学技术与工程,2013,13(16):4617-4621.

[3] 王建民,勾永峰,周志才,等.高分辨率三维地震勘探技术及其应用[J].大庆石油地质与开发,2009,28(5):281-287.
[4] 林春,王绪本.第二代Curvelet变换在地震随机噪声衰减中的应用[J].计算机工程与应用,2009,45(25):222-224.
[5] 张在金,张军华,张宏,等.基于GST时变子波谱模拟提高分辨率方法研究[C]//2015中国地球科学联合学术年会论文集(十四)——专题40油气田与煤田地球物理勘探,北京,2015:4.
[6] 郭廷超,曹文俊,陶长江,等.时变谱模拟反褶积方法研究[J].石油物探,2015,54(1):36-42.
[7] 霍元媛,冯永强,杨睿.三维锥体滤波技术在鄂南黄土塬地震资料中的研究及应用[J].石油地质与工程,2015,29(5):64-66.
[8] 张海洋,汤国松,郭廷超,等.逆时偏移技术在ZL地区复杂断裂带的应用[J].复杂油气藏,2016,9(4):26-29.
[9] 崔永福,苗青,党青宁,等.基于OMP算法多维数据正则化技术[J].物探化探计算技术,2016,38(1):67-73.
[10] 郭廷超,夏连军,陶长江,等.保幅处理评价准则及在高邮地区的应用[J].复杂油气藏,2014,7(4):24-27,44.
[11] 尚新民.地震资料处理保幅性评价方法综述与探讨[J].石油物探,2014,53(2):188-195.

(编辑 杨芝文)