

# 高密度 3D3C 资料多域分步噪声压制技术的应用

刘玉萍<sup>1,2</sup>, 丁飞浩<sup>1,2</sup>, 潘卫国<sup>3</sup>

(1. 国土资源部 海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510075; 2. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 3. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东 广州 510240)

**摘要:** 针对高密度宽方位 3D3C 地震资料处理要求, 考虑有效信号与噪声在类型、时间、频率、数据域、处理步骤、地表区域等方面存在的差异, 选择多域分步去噪策略, 在不损害有效信号的前提下, 首先使用十字排列锥形滤波去除面波、线性噪声, 然后采用低频噪声编辑去除残余面波及低频噪声, 接着进行分频去噪来去除各类随机噪声, 最后去除折射波。从单炮记录和叠加剖面的监控显示上都证明了该方法的有效性, 资料信噪比也得到提高。

**关键词:** 3D3C; 十字排列; 面波; 多域; 去噪; 信噪比

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2014)01-0167-07

高密度 3D3C 地震技术优势明显, 既是解决当前地震勘探所面对的复杂问题的系统技术对策, 也是今后地震勘探的发展趋势<sup>[1]</sup>。此外, 由于纵、横波对地下介质的响应不同, 横波对介质的各向异性响应比纵波敏感, 而纵波受流体的影响比横波严重。因此, 利用纵、横波在介质中传播的这种差异性来识别地层岩性、岩石裂缝和岩石中所含流体是完全可行的。高密度地震勘探技术有利于提高静校正精度、压制干扰、进行各向异性分析、提高地震资料的信噪比和空间分辨率。近年来, 国内一些油田进行了高密度地震勘探技术试验和方法研究, 自 2003 年开始, 中国石油天然气集团公司在中国西部东部开展了高密度二维地震试验。2006 年以来在塔中地区、准格尔盆地西北缘、吐哈盆地丘陵油田、松辽盆地、松辽盆地欢喜岭、冀东油田滩海等重点地区开展了高密度三维地震试验。在高覆盖次数、新地震解释处理技术等保障下取得了良好效果, 技术发展使得高密度地震大规模应用已成为可能<sup>[2]</sup>。2009 年中国石化在胜利油田罗家地区进行了陆上高密度地震采集试验, 首次进行了超万道、全数字、单点、三分量高密度地震采集, 对比常规检波器资料的偏移剖面, 新采集的高密度地震资料在横向分辨率上有了大幅度提高, 一些小断层和断块得到了清晰的刻画<sup>[3]</sup>。此外, 上海石油天然气有限公司在海上平湖油气田也开展了高密度三维地震勘探, 并取得了重大突破<sup>[4]</sup>。

高密度地震勘探目前仍处于发展阶段, 仍需要进一步研究技术有效性, 优选实施地点, 开展小道间距高成像道密度采集、处理、解释技术应用研究, 开展单点高密度地震可行性研究和先导性试验<sup>[5]</sup>。处理上, 由于 3D3C 资料的特殊性和复杂性, 以及目前处理软件和技术的不完善, 陆上 3D3C 地震资料处理成果一直难以令人满意, 技术瓶颈还较多。特别是三维保幅压噪、高精度静校正、分方位角资料处理、各向异性处理、室内组合、小面元资料处理等都需要进行不断的研究和完善, 从而获得真正高分辨率、高信噪比、高保真的地震资料, 提高薄储集层识别精度和非均质储集层描述精度, 进而提高油藏描述精度, 这都是高密度地震勘探的现实之路<sup>[6-8]</sup>。

笔者以一块实际高密度、宽方位采集的 3D3C 地震资料处理为例, 说明本方法应用的效果。该区块采用小道间距、高密度采集方法, 全面记录了地震波场各种细节, 为后续研究提供了丰富的信息。但由于数据采样密度大, 野外噪声更强、频带更宽, 因此, 采集方式的变化所引起的地震数据的特征变化对地震资料处理提出了更高的要求<sup>[9]</sup>。另外, 由于采集试验区处于油田密井网地区, 原始地震记录中噪声类型多、能量强, 而且, 高密度采集实现了对噪声波场的充分三维空间采样, 因此, 需要采用合适有效的去噪技术, 以便做到无假频保幅去噪的目的(文中所指的转换波仅指  $x$  分量)。

### 1 多域分步去噪流程

高密度宽方位采集的3D3C地震资料受各类噪声的影响较大,单炮记录的信噪比相对较低。另外,转换波反射系数比纵波低很多,有效信号能量较低,与面波频率接近,并且转换波有效信号区往往含有很强的折射干扰,相对于纵波,转换波噪声衰减更为困难。因此,在转换波去噪时,要注意采用分类、分步、分时、分频、分域的去噪手段,逐步去除噪声,保护有效信号。图1是多域分步去噪流程,从流程图中可以看出,针对转换波存在的各类型噪声都有相应的噪声压制方法。

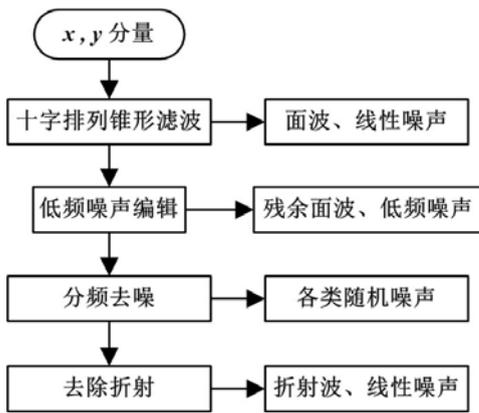


图1 多域分步去噪流程

### 2 十字排列锥形滤波

规则干扰,如面波和声波,以及由地面不均匀体产生的散射干扰,在空间上形成以震源或散射点为顶点的锥形体,在时间切片上近似圆形。

转换波的3D3C采集观测系统要求宽方位或全方位观测,最大有效炮检距与勘探深度比往往超过1.3。以往二维地震勘探和窄方位三维勘探资料处理中常用的线性噪声压制技术已经不再适用于大排列宽方位的3D3C地震资料。由于面波在远偏移距炮点的排列上已不再具有线性特征,而通常表现为近似双曲线的特征,很难做到既滤除相干噪声又不损害有效信号。为解决这一问题,近年来出现了利用P波或面波、声波、折射波等干扰波的炮-检互换原理,在十字交叉排列基础上重构正交子集的方法,使共炮集记录具有纵横向相同的空间采样,从而构成一个以炮点为中心的三维叠前共炮点超道集(正交子集)<sup>[10]</sup>。再利用三维 $f-k$ 锥形滤波方法,达到压制面波、折射波等线性干扰的目的<sup>[11-12]</sup>。该方法也可以用于P波或转换波记录中的面波、声波、折

射波等线性相干干扰的压制<sup>[13]</sup>。

面波的速度一般情况下比有效反射波速度更低。波速在物理意义上可用频率 $f$ 和波数 $k$ 表示,即视波数 $k=1/\lambda$ ,视速度 $v_k=f/k$ ,率波数域中可利用地震有效信号和面波噪声的速度差异进行滤波。应用频率波数域面波去噪时,应对资料面波噪声的视速度进行测定。设计三维频率波数域锥形滤波器<sup>[14]</sup>,主要是根据不同地区面波噪声传播速度的范围与有效波传播速度的差异,一般采用速度带通滤波或速度带陷滤波方式,三维空间速度定义有正负之分。图2所示为锥形滤波器沿 $k_x$ 方向垂直截面示意,其中 $f$ 表示频率, $k_x$ 表示 $x$ 方向的视波数, $v_1, v_2$ 表示视速度。视速度小于 $v_1$ 的信号被滤除,大于 $v_2$ 的信号不改变,介于二者之间的信号渐变, $v_3, v_4$ 同理。

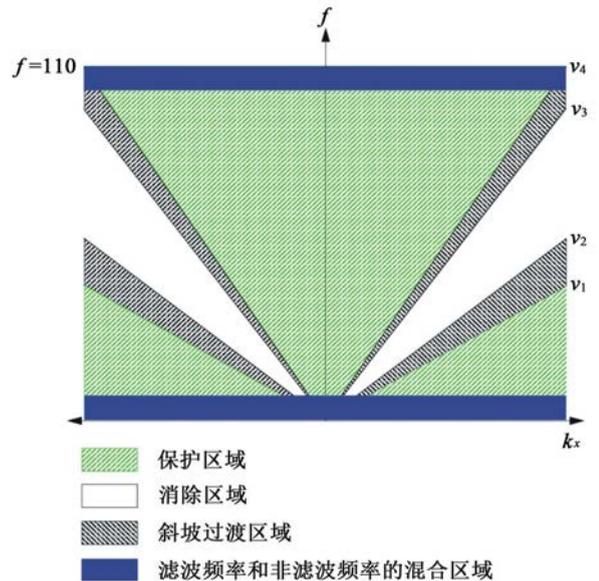


图2 锥形滤波器原理示意

图3中左图是工区A的一个典型的远偏移距单炮记录,面波在记录中呈“扫帚状”发散分布,能量强,大大地降低了原始资料的信噪比。应用十字排列锥形滤波之后,可以看到面波被有效地压制,有效反射同相轴更加清晰。图4是近偏移距的十字排列线性噪声压制前后的单炮记录对比,原始有效信号在去噪过程中没有被损害,面波及其他线性干扰也得到有效消除。图3和图4的面波压制效果充分说明了十字交叉排列锥形滤波对于去除高密度、宽方位转换波资料中面波及线性噪声的有效性,图5中叠加剖面的去噪效果也更充分证实了该方法的有效性。

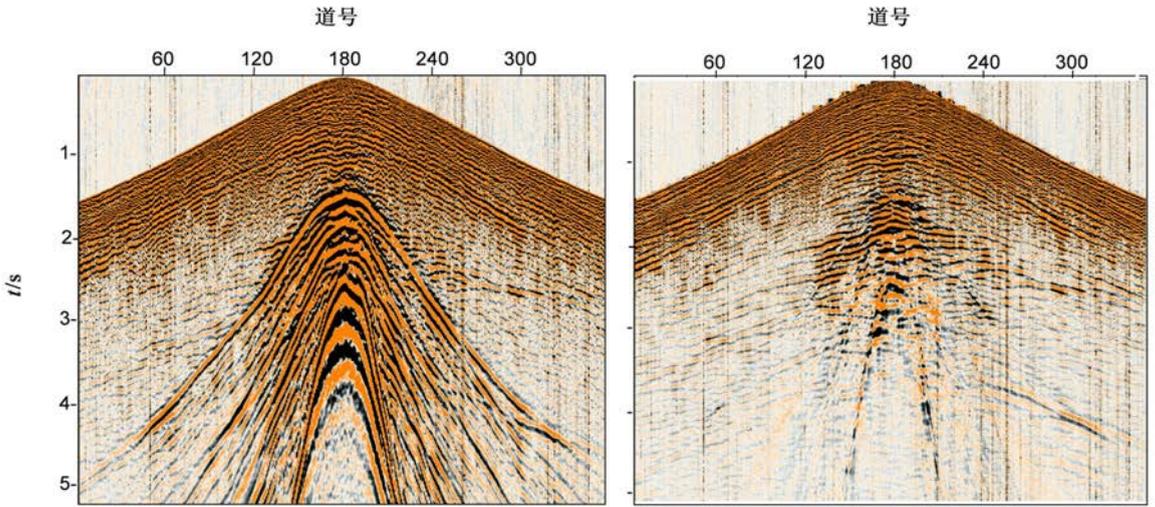


图 3 远偏移距转换波十字排列锥形滤波前(左)后(右)的单炮记录

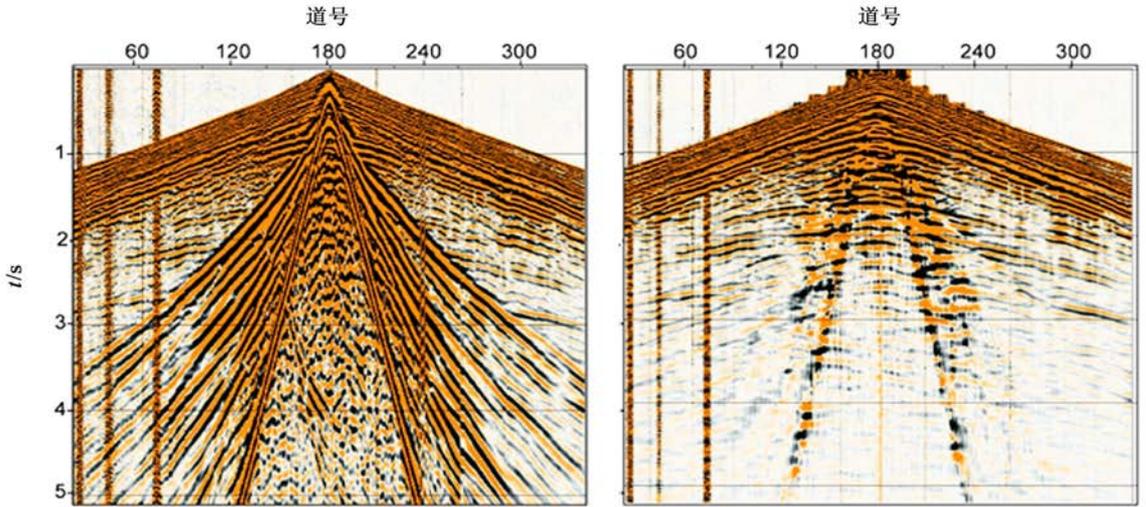


图 4 近偏移距转换波十字排列锥形滤波前(左)后(右)的单炮记录

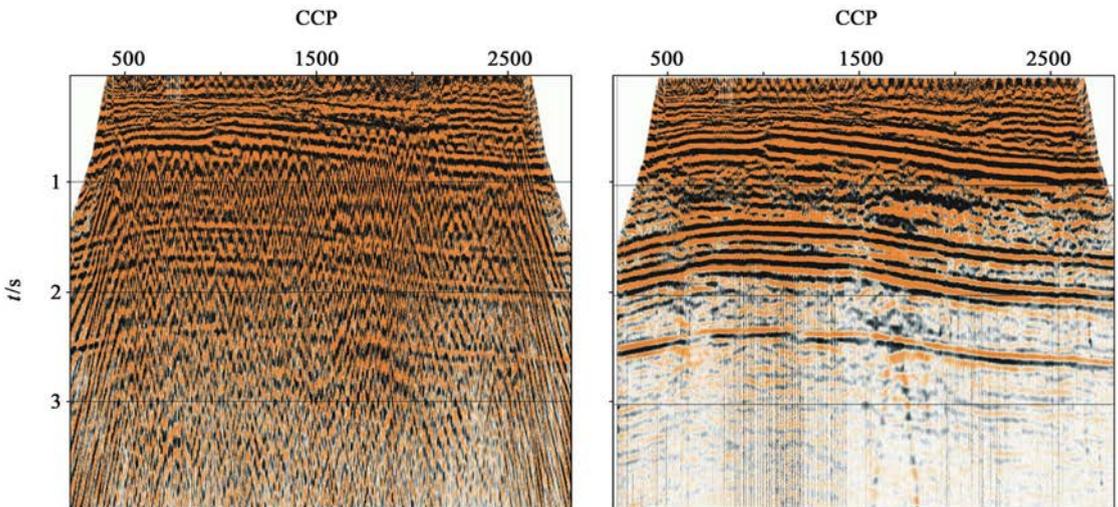


图 5 转换波十字排列锥形滤波前(左)后(右)的叠加剖面

### 3 低频噪声编辑

转换波地震资料中,面波去除之后,在面波的时窗内往往存在严重低频强振幅干扰。针对该类型的噪声,先分析残留面波的频带范围,在给定的时窗内,对一定道范围内振幅求平均作为参考振幅(阈值)。当指定的这个道范围内的振幅超过该阈值时,对振幅进行一个衰减系数(0~1之间)相乘,从而达到压制低频强振幅随机噪声的目的。图6中 $R_v$ 是参考振幅(阈值), $K$ 是衰减系数( $0 < K < 1$ )。

图7、图8分别是低频噪声编辑前后的单炮记录和叠加剖面的对比显示(低频噪声编辑之后增加了球面扩散补偿),低频噪声编辑之后,面波残留下来的低频噪声得到了很好的压制,进一步提高了资料的信噪比。

$R_v$ :当前地震道时窗内提取的参考振幅  
假设输入地震道不是倾斜的

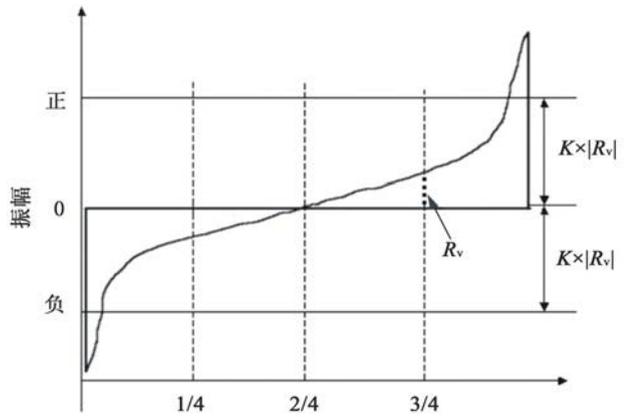


图6 低频噪声编辑原理示意

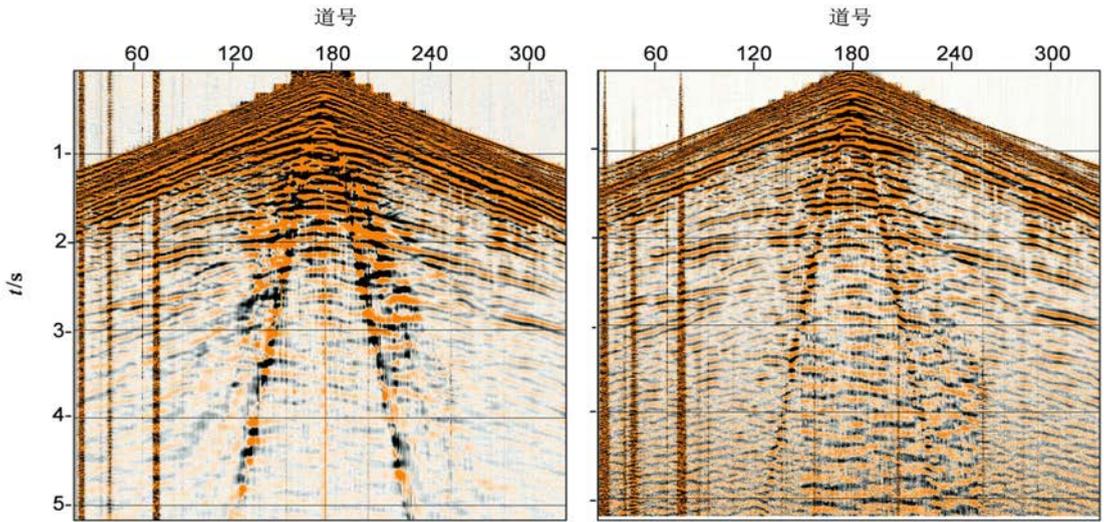


图7 转换波低频噪声编辑前(左)后(右)单炮记录对比(低频噪声编辑之后增加了球面扩散补偿)

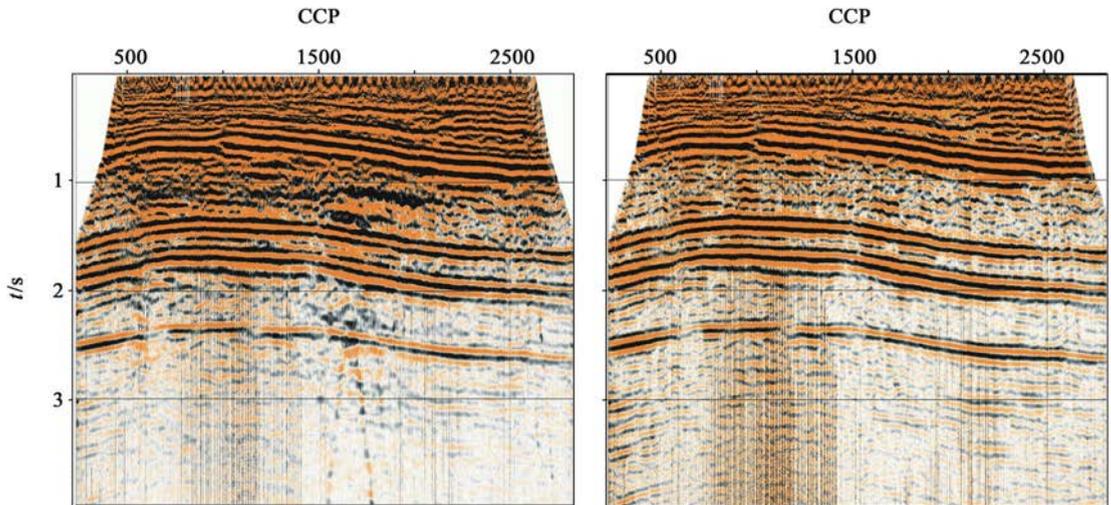


图8 转换波低频噪声编辑前(左)后(右)叠加剖面对比(低频噪声编辑之后增加了球面扩散补偿)

### 4 分频去噪

分频去噪的基本原理是在不同的频带范围,根据某时窗范围内所有样点的振幅值求取合适的参考振幅,时变地对不同频带范围设置不同的振幅阈值来压制噪声。图 9 是分频去噪参考振幅的定义。图 9 左边是振幅强度的定义,首先对某道数据振幅求绝对值,然后在纵向某时间范围内对振幅绝对值求平均作为该时段中间样点的振幅强度。同样,在横向某一个时间层上,在一定的道范围内,求取该样点的振幅强度中值作为该时窗范围的参考振幅。分频去噪的优点是可以针对噪声的振幅强度大小和频带分布范围,有针对性地压制不同频段强振幅噪声。去噪效果与阈值值的选取和时窗范围有关。

在资料上除了面波干扰之外,还存在其他外源干扰引起的随机噪声和野值,这类噪声,无论在频率还是在振幅上都与有效波振幅重叠。分频去噪能在

不影响有效信号的前提下,针对噪声的频率和振幅范围对这类随机噪声进行压制。图 10、图 11 分别是分频去噪前后的单炮记录和叠加剖面的对比显示,分频去噪之后,随机噪声和野值得到了压制。

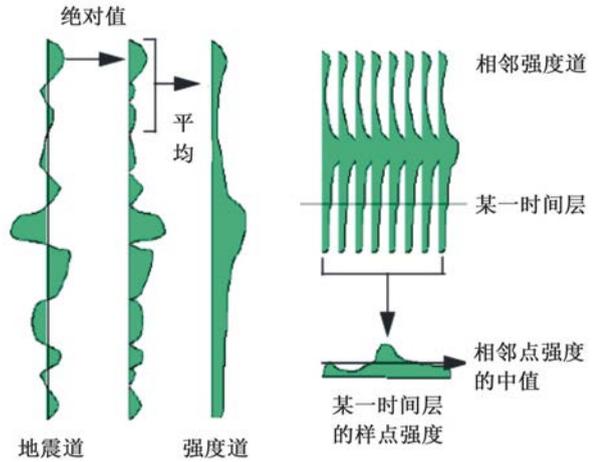


图 9 分频去噪参考振幅的定义

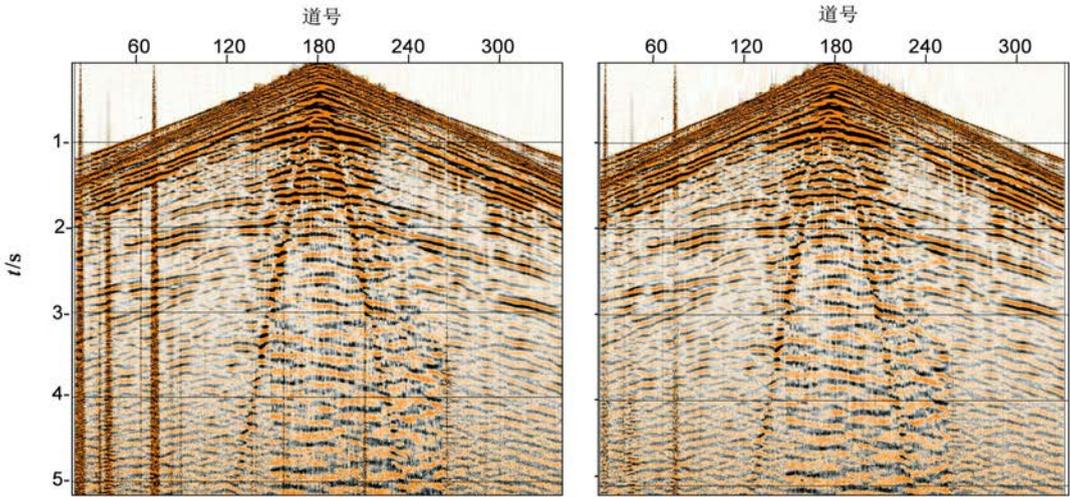


图 10 转换波分频去噪前(左)后(右)的单炮记录

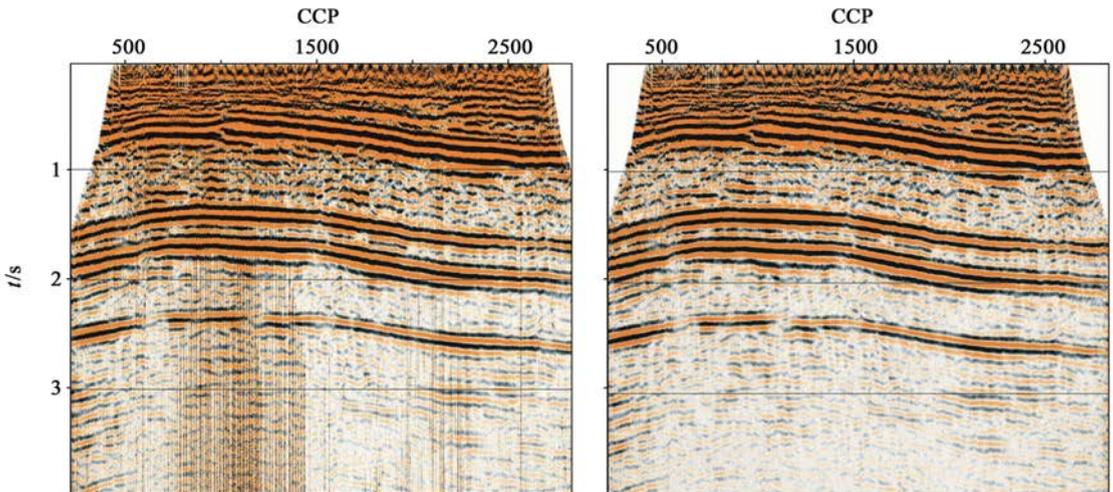


图 11 转换波分频去噪前(左)后(右)的叠加剖面

### 5 去除折射波

在转换波地震资料中,折射波视速度比较大,可以认为是线性噪声,根据有效波和折射波的速度差异来去除折射。通过分析地震数据折射波的速度来获得线性噪声的方向,从而去除该方向的所有线性噪声。

在采集的资料上,还存在很强的浅层折射波和层间折射波,它们与有效波叠合,影响有效波的成像。图 12、图 13 分别是去除折射前后的单炮记录和叠加剖面的对比图,折射波去除之后的最终剖面能量更加均匀,信噪比在很大程度上提高,同相轴的一致性和连续性得到改善。

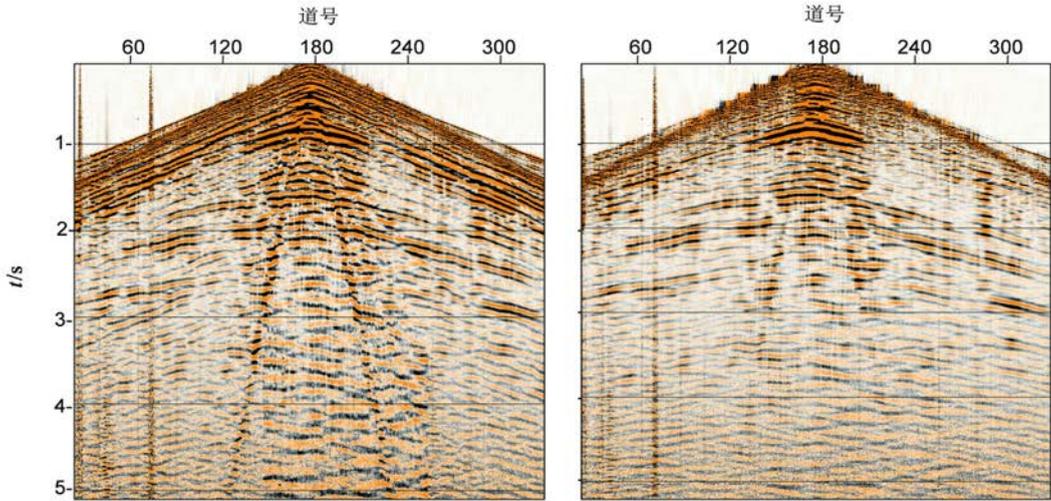


图 12 转换波去除折射波前(左)后(右)的单炮记录

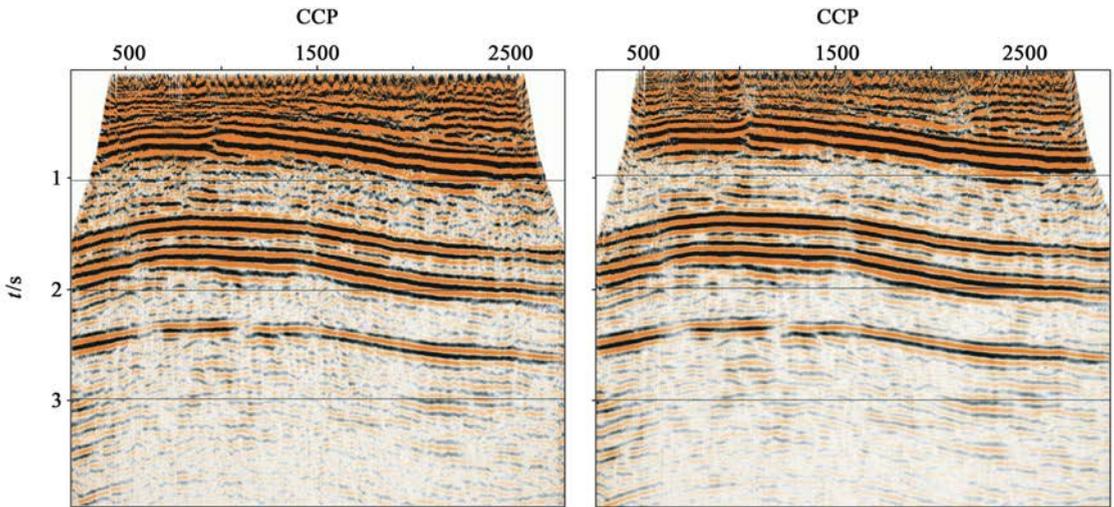


图 13 转换波去除折射波前(左)后(右)的叠加剖面

### 6 结论

针对转换波资料存在的面波干扰、低频噪声、随机背景噪声、线性噪声等各类噪声特点,分别在不同域用不同的方法进行分类消除,从单炮记录和叠加剖面的监控显示上都证明了该方法的有效性,资料信噪比也得到提高。由于转换波资料频率低,频带窄,线性干扰波与浅层的低速转换波不易区分,单炮记录的信噪比相对较低。为了不损害有效信号,分

频去噪也不能完全消除随机背景噪声,但它是目前比较理想的随机噪声压制方法之一。此外,笔者采用的去噪方法虽然具有一定实用性,能解决转换波资料存在的常见噪声问题,但不能解决所有转换波资料的噪声问题。针对不同的转换波资料,要根据实际地质条件和地震资料上噪声的特点,选用最合理的组合去噪方法才能收到最佳效果,常规技术也许就是最有效的技术。

## 参考文献:

- [1] 赵邦六.多波多分量地震勘探技术理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [2] 刘振武,撒利明,董世泰,等.中国石油高密度地震技术的实践与未来[J].石油勘探与开发,2009,36(2):129-134.
- [3] 蔡希源,韩文功,于静,等.罗家地区高密度三维地震勘探实例[J].石油地球物理勘探,2011,46(2):182-186.
- [4] 高伟义,张昊,刘书会.海上高密度三维地震采集处理优化技术及应用—平湖油气田为例[J].油气地质与采收率,2011,18(5):37-39.
- [5] Gulunay N, Khalil A, Leveque A, et al. Intra Array Statics Derived in the Cross-Spread Domain for a High Density, High Resolution, Wide Azimuth 3D Land Data Currently Being Acquired in Qatar [J]. SEG, 2009, 538-543.
- [6] 马昭军,唐建明,徐天吉.多波多分量地震勘探技术研究进展[J].勘探地球物理进展,2010,33(4):247-253.
- [7] 李虹,蔡希玲,任艳茹,等. SN 地区高密度地震数据叠前噪声分析及其压制[J].勘探地球物理进展,2009,32(6):420-424.
- [8] 黄绪德,杨文霞.转换波地震勘探[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [9] 刘振武,撒利明,董世泰,等.中国石油高密度地震技术的实践与未来[J].石油勘探与开发,2009,36(2):129-135.
- [10] 李周发,彭苏萍,何兵寿,等.转换波地震资料处理的关键问题与解决方法[J].中国矿业大学学报,2005,34(1):41-45.
- [11] Galibert P Y, Duval L, Dupont R. Practical aspects of 3Dcoherent noise filtering using (F-Kx-Ky) or wavelet transform filters [J]. SEG, Expanded Abstracts, 2002, 21: 2241-2244.
- [12] Gijs J O. Processing orthogonal geometry-what is missing? [J]. SEG, Expanded Abstracts, 2005, 24: 2201-2205.
- [13] 唐建明.转换波三维三分量地震勘探方法技术研究[D].成都:成都理工大学,2010:73-77.
- [14] 洪余刚,李亚林,李忠,等.多分量地震资料层位对比[J].天然气工业,2008,28(9):41-43.

## THE APPLICATION OF STEP-BY-STEP MULTI-DOMAIN NOISE SUPPRESSION OF HIGH-DENSITY 3D3C DATA

LIU Yu-ping<sup>1,2</sup>, DING Fei-hao<sup>1,2</sup>, PAN Wei-guo<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China; 2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China; 3. Research Institute of CNOOC Shenzhen Co., Ltd., Guangzhou 510240, China)

**Abstract:** In the light of the processing requirements of the high-density wide-azimuth 3D3C seismic data and in consideration of the difference between the signal and the noise in such aspects as type, time, frequency, data field, processing step and surface area, the authors chose the means of multi-domain step-by-step de-noising. Under the prerequisite of not damaging the effective signal, the cross arranged cone wave filter was adopted first to remove surface wave and linear noise, then the low-frequency noise compilation was employed to remove residual surface wave and low-frequency noise, followed by frequency division de-noising for removing various kinds of random noise. At last, the refraction wave was removed. The monitoring display of single shot record and stacking profile has proved the effectiveness of this method and the improvement of the signal-to-noise ratio.

**Key words:** 3D3C; cross arranged; surface wave; multi-domain; de-noising; SNR

**作者简介:** 刘玉萍(1987-),女,2012年硕士毕业于中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业,研究方向为转换波资料处理和高精度浅剖资料处理,现在广州海洋地质调查局从事地震资料处理方面的工作。