

doi: 10.11720/wtyht.2022.2325

张洁.基于拉伸率的 3DVSP 道集切除技术及应用[J].物探与化探,2022,46(1):169-174.http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.2325

Zhang J.3DVSP channel gather cutting technique based on tensile ratio and its application[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2022,46(1):169-174.http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.2325

基于拉伸率的 3DVSP 道集切除技术及应用

张 洁

(中国石化石油物探技术研究院,江苏 南京 211103)

摘 要: 常规处理后的 3DVSP 共检波点道集在不同偏移距处产生不同拉伸畸变效应,尤其是浅层和大偏移距尤为明显,影响叠加剖面成像质量。为此,分析了拉伸效应原因,推导了拉伸率公式,提出了基于拉伸率的道集切除方法;逐点计算共检波点道集中每一点拉伸率,确定有效拉伸率范围,对拉伸率过大的点进行切除。模型分析和实际资料处理结果显示了方法的正确性和有效性。

关键词: 3DVSP;拉伸率;道集切除;叠加剖面成像

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)01-0169-06

0 引言

三维 VSP 技术采用类似地面地震的地面布置激发点,检波器在井中接收地震信号,弥补了二维 VSP 资料成像不能充分描述三维地质体的不足,为解决储层精细构造、储层描述和储层预测等提供了更大的潜力。三维 VSP 资料处理过程中的动校正拉伸问题在一定程度上影响着 3DVSP 资料最终成像质量。消除动校正拉伸影响对于改善 3DVSP 地震数据分辨率、提高地震数据保真度具有十分重要的意义。

在国外,Dunkin 和 Levin^[1]是最早注意到动校正拉伸的,他们推导出一种分析关系来解释因动校正、速度和炮检距而引起的频谱变化;Rupert 等^[2]提出了称作 BMS(整体搬家法)的动校正方法,该方法根据同相轴的分布交错划分一系列数据块,对不同的块实行静态平移,然后对平移后的块进行合并。在国内,崔宝文等^[3]提出了频谱代换无拉伸校正方法,该方法采用将 CMP 道集变换到频率域,用零炮检距道的相位谱替换其他道的相位谱,并保留振幅谱,以此达到消除动校正拉伸畸变的目的;孙成禹等^[4]提出了无拉伸畸变动校正方法,该方法将近炮

检距道进行常规动校正叠加作为标准道,对地震道每个时间点进行初次校正,计算校正后数据与标准道数据互相关系数,更新校正量,以此实现无拉伸畸变校正。此外,还有另外一些方法^[5-9]。频谱代换无拉伸动校正方法虽然能很好保留高频成分,有效保持了地震资料的分辨率,但是会改变地下地层真实位置信息,在实际应用中有很大局限性。无拉伸畸变校正方法对于含有一定噪声的数据效果较好,但随着信噪比降低,叠加波形中同相轴之外的相干噪声能量增强,还需先进行叠前去噪。

目前处理动校正拉伸的主要方法是切除处理,将浅层地震资料因拉伸严重几乎完全或者大部分切除掉^[10-18]。但是面临如何有效确定切除区域问题,从而影响资料处理效率。本文提出了基于拉伸率叠前道集切除法,针对 3DVSP 资料共检波点道集在不同深度、不同偏移距处拉伸效应表现差异,推导了 3DVSP 观测系统的反射波拉伸率,通过计算道集中每一点的拉伸率,对拉伸率过大的点进行切除,减少拉伸效应对叠加成像的影响。实际资料处理测试证明了方法的可行性。

1 方法原理

VSP 观测方式采用地面激发,井中接收。设反

收稿日期: 2020-10-23; 修回日期: 2021-11-05

基金项目: 大型油气田及煤层气开发科技重大专项——“煤层气准三维 VSP 勘探技术”专题(2011ZX05035-003-001)

第一作者: 张洁(1987-),女,2012年毕业于中国石油大学(北京),主要从事 VSP 资料处理工作。Email:355907985@qq.com

射层深度为 z , 检波点距离井口深度为 h , 激发点到井口的水平距离为 s , 激发点到反射点的水平距离为 d , 反射点到井口的水平距离为 x , 检波点到反射点的垂直距离为 l , 如图 1 所示。

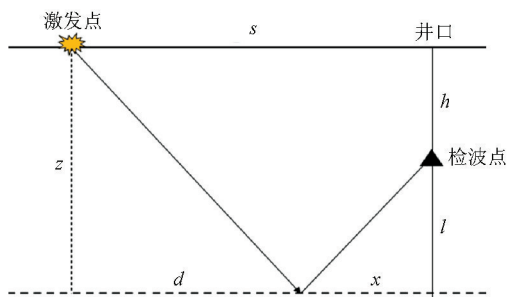


图 1 变偏 VSP 炮检关系示意

Fig.1 Diagram of the relationship between shot point and detection point of variable offset VSP

则有:

$$\frac{z}{d} = \frac{l}{x}, \quad (1)$$

而,

$$\begin{aligned} s &= d + x, \\ z &= h + l. \end{aligned} \quad (2)$$

联立式(1)和式(2), 得到反射点偏移距 x 为:

$$x = \frac{s(z-h)}{2z-h}, \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dz} = \frac{sh}{(2z-h)^2}, \quad (4)$$

式中, 若 s 为最大炮检距, 则 x 对应为反射点最大偏移距。从反射点最大偏移距关于深度的偏导数可看出(式(4)), 对于某一级检波点, 反射点最大偏移距是深度的单调递增函数, 成像区域由不同深度的最大偏移距包围构成, 如图 2 所示。

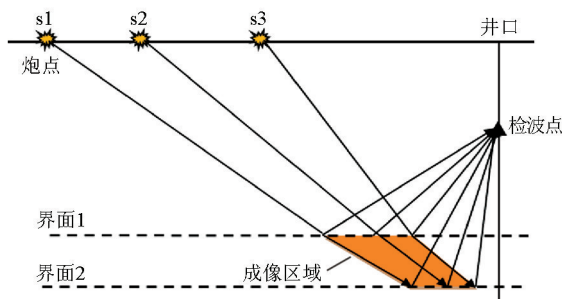


图 2 某一节检波点的 VSP 成像区域

Fig.2 VSP imaging region of one detection point

对 VSP 观测系统成像区域进行网格剖分, 假设某网格内有 M 组炮点和检波点组合的反射点, 则称该网格覆盖次数为 M 。定义动校正后波形长度与动校正前波形长度的比值为拉伸率。

设炮检距 s 处地震记录上的两个时间 t 和 $t + \Delta t$, 经过动校正后, 分别校正到 t_0 和 $t_0 + \Delta t_0$, 则拉伸率为:

$$r = \frac{\Delta t_0}{\Delta t}, \quad (5)$$

令 $\Delta t_0 \rightarrow 0$, 得到瞬时拉伸率为:

$$r = \lim_{\Delta t_0 \rightarrow 0} (\Delta t_0 / \Delta t) = \left(\frac{dt}{dt_0} \right)^{-1}. \quad (6)$$

对于 VSP 观测系统, 反射波时距曲线表示为:

$$t = \sqrt{(s/v)^2 + (t_0 - h/v)^2}, \quad (7)$$

式中, v 为地层层速度即为动校正速度, t_0 为双程垂直旅行时。将式(7)代入式(6)中可以计算该处动校正拉伸率为:

$$r = \frac{\sqrt{(s/v)^2 + (t_0 - h/v)^2}}{(t_0 - h/v) + \frac{t_0 h - h^2}{v^2} \frac{dv}{dt_0} - \frac{s^2}{v^3} \frac{dv}{dt_0}}. \quad (8)$$

通常进行动校正拉伸分析时, 考虑为针对目的

层的常速度拉伸, 即 $\frac{dv}{dt_0} = 0$, 此时式(8)可以简化为:

$$r = \frac{\sqrt{(s/vt_0)^2 + (1 - h/vt_0)^2}}{1 - h/vt_0}, \quad (9)$$

考虑 $2z = vt_0$, 推导得出最终的 3DVSP 拉伸率为:

$$r = \sqrt{1 + s/(2z - h)^2}. \quad (10)$$

2 应用实例

2.1 理论模型分析

从推导出的拉伸率公式可以看出, 3DVSP 拉伸率大小与炮检距 s 、目的层深度 z 、检波点深度 h 之间相互关联。图 3 展示了对于某一深度目的层, 检波点接收深度分别为 100、300、500、700、900 m, 炮检距从 100 m 变化到 2 000 m 时的子波拉伸率。可以看到, 随着检波点接收深度增加, 拉伸率与炮检距呈正相关。图 4 展示了对于某一接收深度, 炮检距分别为 500、1 000、1 500、2 000、2 500 m, 目的层深度从 2 000 m 变化到 4 000 m 时的子波拉伸率。可以看到, 随着炮检距增加, 拉伸率与目的层深度呈反相关。

图 5 为模拟采用子波为 Ricker 子波, 主频为 40 Hz, 时间采样间隔为 1 ms, 动校正拉平后的 60 次覆盖共 CDP 道集。计算子波拉伸率(图 6), 随着炮检距增加, 子波拉伸逐渐增大。对拉伸率超过 1.2 的道集进行切除后叠加, 与未经过切除的叠加道集频谱比较, 从图 7 中可以看出, 切除后道集主频在 28 Hz 左右, 较切除前叠加道集主频 26 Hz 有明显提高。

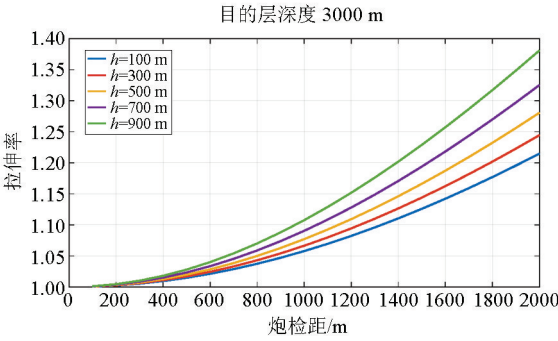


图 3 不同接收深度时,炮检距与拉伸率关系示意
Fig.3 The relationship between offset and tensile ratio at different receiving depth

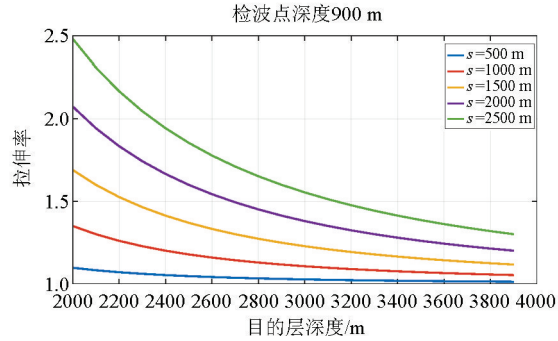


图 4 不同炮检距时,目的层深度与拉伸率关系示意
Fig.4 The relationship between target depth and tensile ratio at different offset

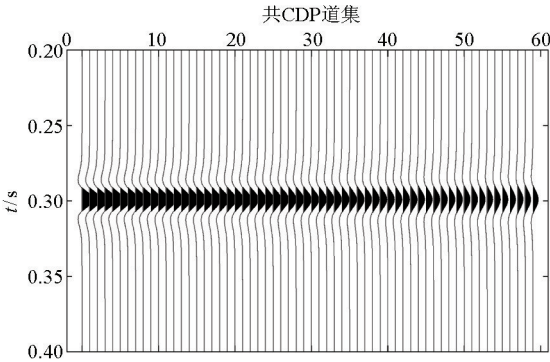


图 5 动校拉平后的共 CDP 道集
Fig.5 The CDP gather with dynamic correction

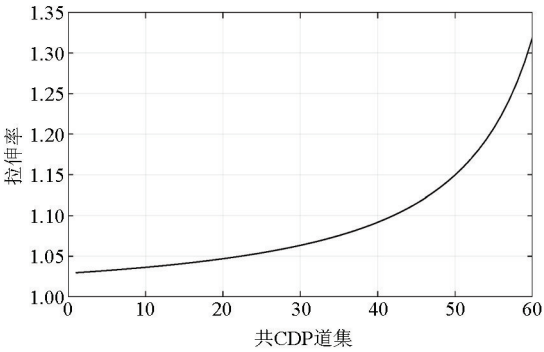


图 6 共 CDP 道集拉伸率
Fig.6 CDP gather tensile ratio

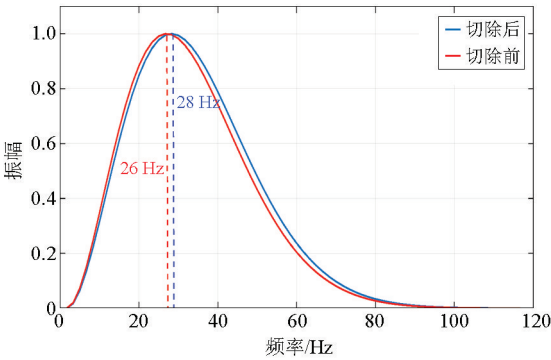


图 7 切除前后频谱对比
Fig.7 Spectral comparison before and after excision

2.2 含噪声模型分析

为了分析随机噪声对道集拉伸切除方法的影响,分别对模型加入 5%、10%、20% 三种不同强度随机噪声,同样采用对拉伸率超过 1.2 的道集切除,对比分析切除前后叠加道集频谱。从频谱分析对比图看出,含 5% 和 10% 强度随机噪声记录,切除前后频带宽度相当,切除后叠加道集主频相较于切除前有明显提高(图 8、图 9)。含 20% 强度噪声记录,对拉

伸率超过 1.2 的道集进行切除,受随机噪声强度影响,切除后叠加道集频谱改善不明显(图 10)。降低拉伸率切除阈值为 1.0 后,切除后道集频谱有了一定改善(图 11)。由此看出,不同信噪比资料对拉伸率切除阈值要求不同,需要综合考虑保持频宽和提升主频两个因素,进行不同拉伸率切除参数试验,选择合适的切除拉伸率。

2.3 实际资料应用

为了进一步分析基于拉伸率道集切除技术在实际资料中应用,选取某东部地区 3DVSP 资料作为试验数据,最大偏移距约为 1 500 m 左右,检波器技术 14 级,检波器接收深度为 800~930 m。经过常规处理后获得共检波点道集。经过拉伸率参数试验,切除拉伸子波的同时尽量保留浅层子波信息,选取对拉伸率超过 1.4 的道集进行切除,降低子波拉伸对叠后资料分辨率影响。经过偏振分析、静校正、上下行波分离等简单常规处理后的共检波点道集。在共检波点道集上进行道集切除,图 12 显示了切除前后的共检波点道集对比。远偏移距道集切除前后差异较大。

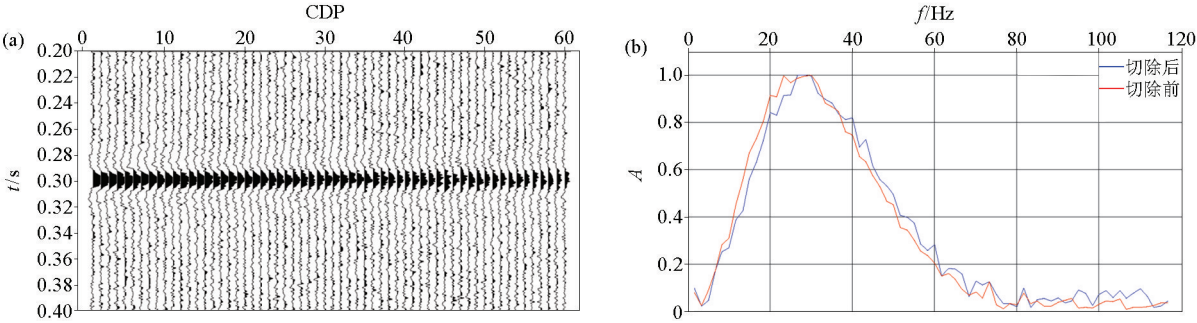


图 8 含 5%强度随机噪声 CDP 道集 (a) 及切除前后频谱对比 (b)

Fig.8 Containing 5% intensity random noise CDP channel set (a) and spectral comparison before and after excision (b)

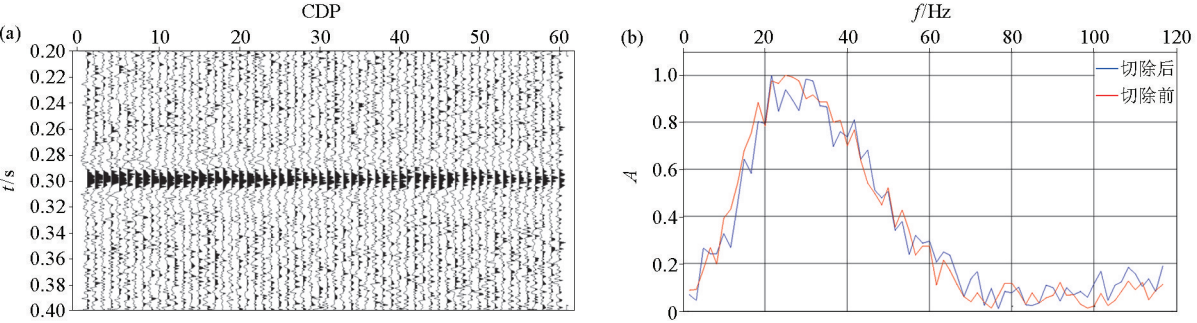


图 9 含 10%强度随机噪声 CDP 道集 (a) 及切除前后频谱对比 (b)

Fig.9 Containing 10% intensity random noise CDP channel set (a) and spectral comparison before and after excision (b)

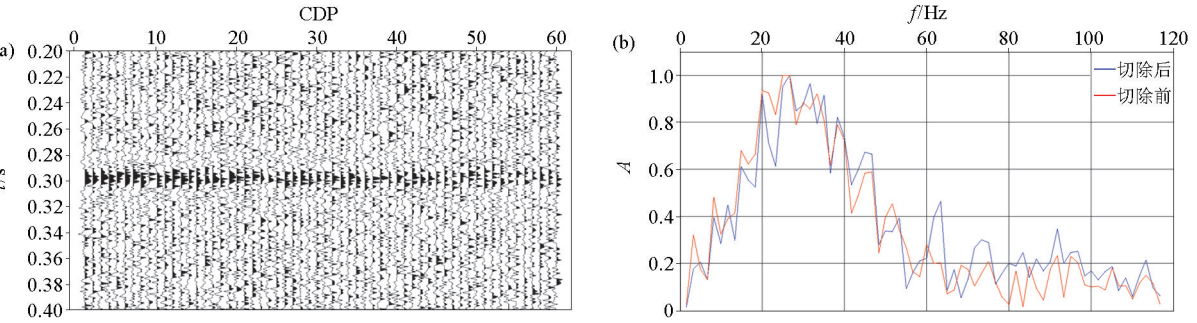


图 10 含 20%强度随机噪声 CDP 道集 (a) 及切除前后频谱对比 (b)

Fig.10 Containing 20% intensity random noise CDP channel set (a) and spectral comparison before and after excision (b)

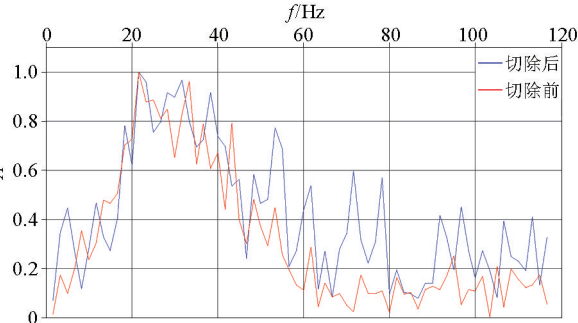


图 11 拉伸率超过 1.0 道集切除前后频谱对比

Fig.11 Spectral comparison before and after the resection of the tensile ratio exceeding 1.0

为了对比分析拉伸切除效果,先对该区实际地质情况进行了解。图 13 为经过处理人员精细处理后的该区 3DVSP 叠前时间偏移成像剖面嵌入地面地震剖面的资料展示。可以看到,该区中浅层地层相对平缓,VSP 成像边界没有陡倾构造。采用本文提出的拉伸率切除方法对拉伸道集切除后的 CDP 叠加成像,与未进行拉伸切除的 CDP 叠加道集对比,如图 14 所示。在进行拉伸道集切除后的 CDP 叠加剖面上,浅层两翼下拉道集假象得到明显改善,水平同相轴连续性更强,更符合该区地层实际走向。

3 结论

本文提出了一种基于拉伸率的 3DVSP 道集切

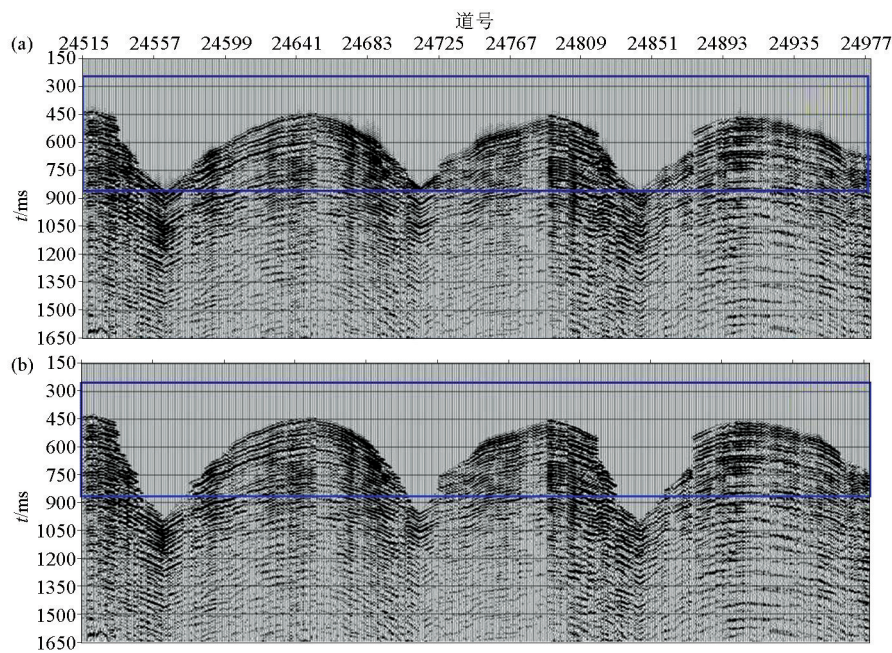


图 12 共检波点道集切除前(a)和切除后(b)
Fig.12 Common receive gather before(a) and after(b) resection

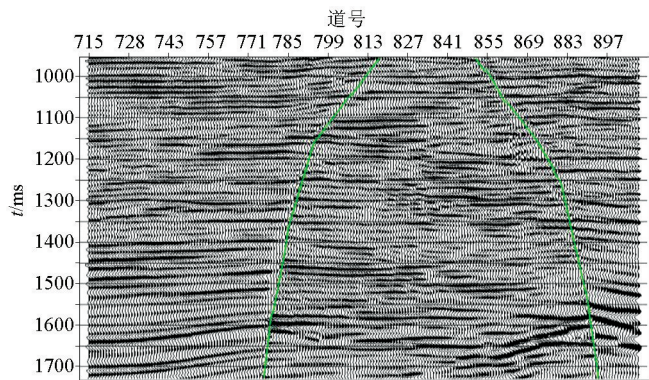


图 13 三维 VSP 叠前时间偏移成像剖面
Fig.13 3D VSP prestack time migration imaging profile

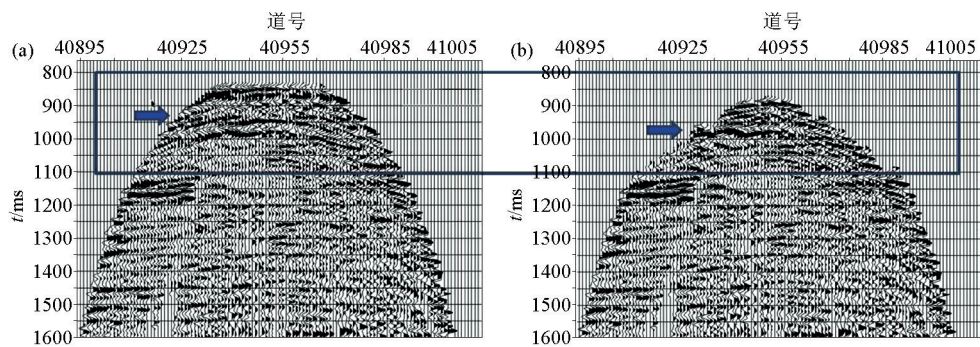


图 14 切除前(左)和切除后(右)的 CDP 叠加剖面
Fig.14 CDP image gather before (left) and after (right) resection

除方法,该方法通过计算共检波点道集中每一点拉伸率,对拉伸率过大道集进行切除,可以有效降低拉伸效应对叠加成像影响,提高资料质量。理论模型与实际资料的处理结果表明,这种切除方法操作简单有效,能够在实际 3DVSP 资料处理中推广应用。

参考文献 (References) :

[1] Dunkin J W, Levin F K. The effect of normal moveout on a seismic pulse[J]. Geophysics, 1973, 38(4): 635 - 642.
[2] Rupert G B, Chun J H. The block move sum normal moveout correction [J]. Geophysics, 1975, 40(1): 17 - 24.
[3] 崔宝文, 王维红. 频谱代换无拉伸动校正方法研究[J]. 地球物

- 理学进展,2007,22(3):960-965.
- Cui B W, Wang W H. Spectrum borrowing stretch-free normal moveout correction [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(3): 960-965.
- [4] 孙成禹, 谢俊法, 闫月锋, 等. 一种无拉伸畸变的动校正方法 [J]. 石油物探, 2016, 55(5): 664-673.
- Sun C Y, Xie J F, Yan Y F, et al. A NMO correction method without stretching distortion [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2016, 55(5): 664-673.
- [5] 赵波, 史政军. 消除动校正拉伸影响的方法 [J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(3): 417-421.
- Zhao B, Shi Z J. A method for removing NMO correction lengthening [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1995, 30(3): 417-421.
- [6] 夏洪瑞, 葛川庆, 邹少峰. 动校正拉伸现象分析及消除 [J]. 石油物探, 2005, 44(3): 220-223.
- Xia H R, Ge C Q, Zou S F. Analysis and elimination of dynamic tensile phenomenon [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(3): 220-223.
- [7] 王铁兴, 王德利, 孙婧, 等. 基于三维稀疏反演的混合震源数据分离与一次波估计 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2020, 50(3): 895-904.
- Wang T X, Wang D L, Sun J, et al. Separation and primary estimation of blended data by 3D sparse inversion [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2020, 50(3): 895-904.
- [8] 董凤树, 陈浩林, 刘原英. 基于褶积模型的动校正及其实现方法 [J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 387-391.
- Dong F S, Chen H L, Liu Y Y. Dynamic correction based on convolution model and its realization method [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(4): 387-391.
- [9] 王睿, 王德利, 胡斌, 等. 基于 f-x EMD 波场分离的绕射多次波压制方法 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2021, 51(2): 597-606.
- Wang R, Wang D L, Hu B, et al. Diffracted multiple elimination based on f-x EMD Wavefield Separation [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2021, 51(2): 597-606.
- [10] Miller R D. Normal moveout stretch mute on shallow reflection data [J]. Geophysics, 1992, 57(11): 1502-1507.
- [11] 孔庆丰, 王延光, 左建军, 等. 垦 71 区块井间地震资料处理研究与应用 [J]. 物探与化探, 2008, 32(2): 175-179.
- Kong Q F, Wang Y G, Zuo J J, et al. The study and application of cross-well seismic data processing in Ken 71 block [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32(2): 175-179.
- [12] 曹文俊, 李振春, 王小六. 广角地震处理方法研究进展 [J]. 地球物理学进展, 2004, 19(2): 296-299.
- Cao W J, Li Z C, Wang X L. Research progress of wide Angle seismic processing methods [J]. Progress in Geophysics, 2004, 19(2): 296-299.
- [13] 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, 2006, 21(2): 546-553.
- Zhang J H, Lyu N, Tian L Y, et al. A comprehensive review of denoising methods and techniques for seismic data [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(2): 546-553.
- [14] 荆双伟, 曹思远, 张浩然, 等. 抗噪性加权抛物线 Radon 变换的地震道重建 [J]. 物探与化探, 2015, 39(6): 1205-1210.
- Jing S W, Cao S Y, Zhang H R, et al. Seismic trace reconstruction approach based on noise immunity weighted parabolic radon transform [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1205-1210.
- [15] 田文辉, 李振春, 孙小东. 对共反射面叠加的进一步探讨 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 932-937.
- Tian W H, Li Z C, Sun X D. A further study on the superposition of common reflection surfaces [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 932-937.
- [16] 于茜. 利用 VSP 子波替换提高地面地震资料的分辨率 [J]. 物探与化探, 2010, 34(4): 546-548.
- Yu Q. The enhancement of eht resolution of surface seismic data by using wavelet of VSP replacement method [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(4): 546-548.
- [17] 孙乃泉, 陈占国. 等效偏移距在垂直地震剖面中的研究及应用 [J]. 物探与化探, 2015, 39(3): 589-594.
- Sun N Q, Chen Z G. The study and application of equivalent offset migration of VSP [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(3): 589-594.
- [18] 杨飞龙, 孙渊, 路婧, 等. VSP 高斯射线束法叠加成像 [J]. 物探与化探, 2015, 39(3): 627-632.
- Yang F L, Sun Y, Lu J, et al. The Gaussian beam stack imaging method of VSP [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(3): 627-632.

3DVSP channel gather cutting technique based on tensile ratio and its application

ZHANG Jie

(SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: 3DVSP common detection point gathers produce different tensile distortion effects at different offsets after conventional processing, especially at the shallow layer and large offset, which affects the imaging quality of the superimposed section. In view of such a situation, the author analyzed the stretch effect reason, deduced the stretch rate formula, and proposed a trace-set cutting method based on stretch rate; to calculate the stretch rate of each point in the trace set of common detection points point by point, determine the range of effective stretch rate, and cut the points with excessive stretch rate. The results of model analysis and actual data processing show that the method is correct and effective.

Key words: 3DVSP; tensile rate; gather cutting; stacking profile imaging

(本文编辑:叶佩)