

文章编号: 1001—1749(2011) 01—0030—06

时频 ~ 炮检距域面波衰减方法及应用

杨兆斌¹, 张铭记², 贾正虹³

(1 东方地球物理公司研究院, 河北 涿州 072750
2 东方地球物理公司 东部勘探事业部长庆经理部, 陕西 西安 710021;
3 东方地球物理公司 物探技术研究中心, 河北 涿州 072750)

摘 要: 面波以低频强能量为特征, 数据处理中常用的面波衰减技术有: 频率滤波、F-K 滤波和速度滤波等。由于面波特殊的频散现象, 使得上述方法的应用效果受到一定的影响。基于面波的特征随炮检距变化这一特点, 提出一种时频 ~ 炮检距域面波衰减方法: ①对单炮记录中的面波区域做 Fourier 变换或时频分析, 了解面波频率随时间和炮检距的变化规律; ②设计随炮检距变化的滤波器, 并对地震数据进行处理; ③采用减去法分析所去除的面波部份, 迭代调整滤波器的参数; ④确定最佳的随时间 ~ 炮检距变化压制面波参数, 以保证在压制面波的同时, 不损失反射波的低频信息。这些方法在点接收的高密度数据处理中经过应用, 已达到了预期的效果。

关键词: 面波衰减; 时频 ~ 炮检距域; 高密度; 点接收; 滤波
中图分类号: P 315. 3⁺ 1 **文献标识码:** A

0 前言

面波是由震源产生的沿地面传播的波, 其垂直分量由瑞雷波组成。面波的强度及传播规律与激发参数有关, 也与近地表的环境和条件相关。对于陆上地震勘探中最常见的干扰波, 在采集设计中通过优选激发条件和多检波器组合来衰减面波。在数据分析方面, 学者们进行了相关的研究^[1, 2], 如采用分频方式研究面波的频散现象, 即相速度与频率的关系, 为利用面波进行近地表结构研究提供了依据。在数据处理中, 面波压制技术取得了明显的进展: Saatçilar 等^[3]认为面波是振幅与频率的调制后的波场, 采用线性频率调制滤波方法压制面波, 对信号的影响较小; 李卫忠等^[4]提出一种波场变换方法, 利用中值滤波分离面波和有效波, 在压制面波的同时, 保护了低频反射波的能量; 蔡希玲^[5]提出的分频自适应检测异常噪声的技术, 可以用于

衰减强能量的面波, 其分频技术的运用提高了压制噪声中信号的保真度; 王在民等^[6]利用小波变换进行分频, 在低频带内用平均能量法识别和压制面波, 取得了良好的效果。

目前, 随着高密度地震勘探的兴起, 野外采用了数字检波器和点接收的方式。由于野外不组合原始数据中的面波及其发育, 因此, 我们应重新认识数据中面波的特点和分布规律, 并采取有效方法衰减面波。

作者在本文中简要分析了在自由表面附近产生的瑞雷面波及其特点, 说明了面波的频散特性及波形随传播距离变化的规律, 为压制面波的方法研究提供了理论基础。同时通过实际数据, 展示了目前高密度采集数据中的面波特征及其影响。在此基础上, 作者提出时频 ~ 炮检距域的面波压制方法, 尽量保证在衰减面波的同时, 减少对低频反射信号的损失, 这在实际数据的应用中, 取得了较好的效果。

1 瑞雷面波及其特点

在弹性分界面上形成的反射波和折射波, 随着时间的增加向整个弹性空间的介质内传播, 统称为体波, 是地震勘探研究的重点。相对于体波而言, 在弹性分界面还存在着一种波动, 从能量上来说它们只分布在弹性分界面附近, 被称为面波。分布在自由表面附近的面波被称为瑞雷 (Rayleigh) 面波, 瑞雷面波包含 P 波与 SV 波二种成份, 其形成可以用波动方程做严格的推导^[7]。

经研究结果表明^[8], 在自由表面附近, 瑞雷波传播速度与频率无关, 以面波形式传播的振动, 在传播过程中不受频散畸变。但是, 实际介质表面并非完全“自由”, 而是在其上还存在一个非弹性的覆盖层 (例如地面上的表土层)。当考虑到此覆盖层的质量时, 瑞雷波的性质会有所变化。这时, 瑞雷波变为频散波, 传播速度成为频率的函数。疏松覆盖层的存在是导致瑞雷面波频散的原因, 即常规地震勘探中观测到的瑞雷波, 总是具有很明显的频散特征的原因。

瑞雷面波的传播速度, 取决于地面介质的弹性常数, 但通常小于横波的传播速度。由于介质的弹性参数随深度而增大, 所以瑞雷波的传播速度也随深度的增加而增大。

由理论分析可知, 瑞雷波的质点运动轨迹在 xoz 平面内为一个逆进的椭圆, 是一种椭圆极化波。它的波剖面为一摆线, 故又称为地滚波。瑞雷波是一种低速、低频波, 其频谱不包含尖锐值, 占据一定的频带范围。对实际介质来说, 在地表面附近, 特别是地震勘探中的降速带底面附近, 介质的弹性常数变化急剧, 因而瑞雷面波的速度随波长而改变, 具有频散性质, 波形也随传播距离而变化。

2 高密度采集数据中的面波

在工程勘探中, 面波作为有效波来研究近地表特征的变化, 解决工程地质中的问题。对于油气勘探中观测的地震数据, 面波是被作为一种主要的干扰波。通过对面波的提取、分析与研究, 概括起来, 面波具有以下特征:

(1) 能量强、频率低。

(2) 沿地表水平方向传播, 其振幅在深度方向

上按指数规律衰减, 其能量分布在仅限于距地面为二倍瑞雷面波的波长范围的薄层以内。

(3) 瑞雷面波质点位移的轨迹是一个椭圆, 其垂直位移分量比水平位移分量超前 $\pi/2$ 相位。

(4) 对于半无限空间弹性介质, 瑞雷面波没有频散现象, 不同频率的瑞雷面波传播速度相同。

(5) 对于层状介质, 在自由表面的瑞雷面波具有频散现象, 即传播速度与波的频率有关。

(6) 视速度有规律地随传播速度的变化而变化, 反映在地震记录中, 同相轴并非是一簇直线, 而是一簇曲线。

因此, 在中深层地震勘探中, 面波的影响范围较大, 必须有效地消除其影响。

在高密度勘探中, 面波有可能被无假频采样, 故面波在原始记录中有较好的连续性。图 1(a) (见下页) 为华北地区高密度试验线中单炮记录, 道距为 5 m, 数字检波器单点接收, 面波被充分采样, 具有明显的特征和很强的能量, 是该区资料中最典型的干扰波。如果不作面波压制, 按照常规的方法叠加, 其结果如图 1(b) (见下页) 所示, 即使在叠加剖面上, 面波仍有极强的能量与规律性。

图 2(a) (见下页) 为我国中部地区某煤田高密度采集的原始单炮记录, 图 2 上部的曲线为炮检距, 面波的出现规律与炮检距分布相关。图 2(b) 为图 2(a) 对应的 $F-X$ 谱, 从频谱中也能够看到面波的特征与炮检距的关系。面波严重干扰了近炮检距的有效信息, 影响 AVO 分析、叠前信息提取及叠前偏移等方法的应用效果。

高密度勘探的目的, 是为了获得更高的分辨率。为了提高分辨率, 必须拓宽有效信号的频带宽度, 向低频拓展的范围比向高频端拓展同样的范围所带来的益处更大。这是因为向低频拓展更易于提高地震子波频带的相对宽度, 从而减少子波的周期数, 在波阻抗反演中, 更有利于薄储层分辨和解释。此外, 强能量面波的存在, 会给后续的振幅补偿、地表一致性处理等带来负面的影响^[9]。由此可见, 在高密度数据处理中, 采取有效方法压制面波是一项重要的工作。

3 时频~炮检距域面波压制方法及实现步骤

常用的消除面波的方法包括一维高通滤波、二

维 F-K 滤波、小波变换压制面波和波场分离等。这些方法利用了面波与有效波在某一特征上的差异来压制面波,这在实际应用中均有效果,但也存在着一些局限性。我们根据高密度采集数据中面

波的特点,即面波的振幅、频率、速度是随时间和炮检距方向变化的,提出频率随时间和炮检距变化的面波压制方法,较好地保护了低频有效信号,也提高了压制面波的准确度。

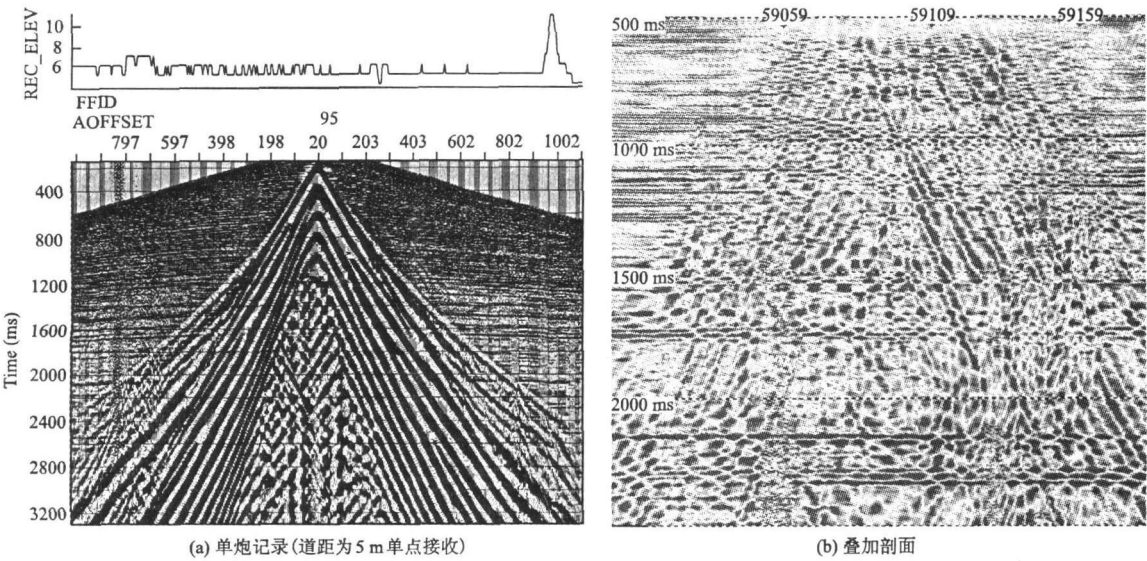


图 1 高密度地震记录
Fig 1 High density seismic data

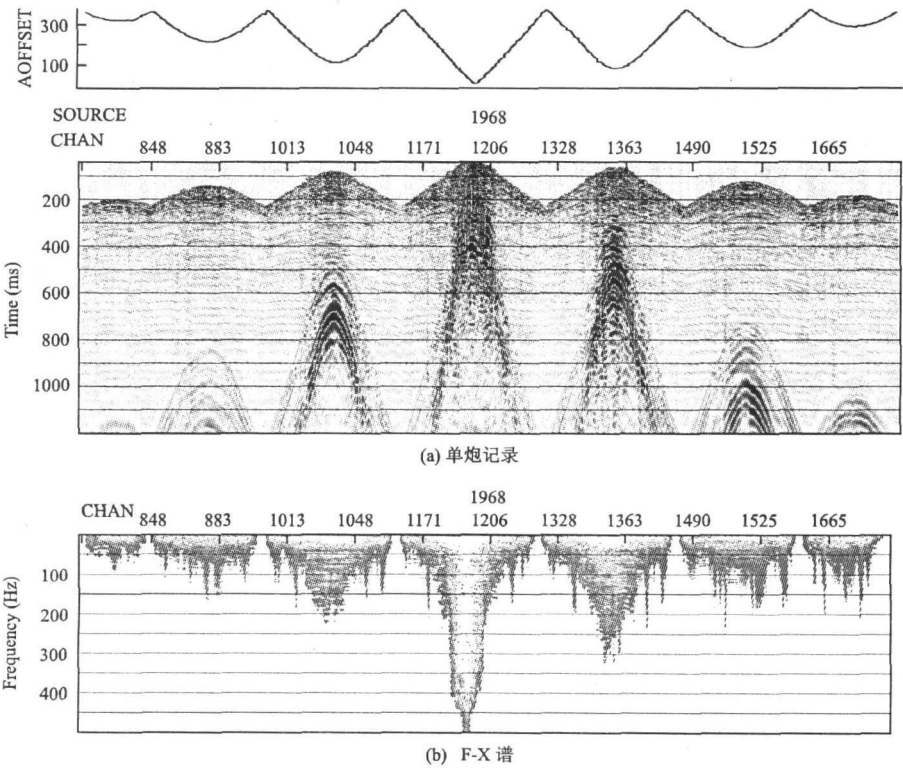


图 2 煤田高密度三维数据及其频谱
Fig 2 3D seismic data with high density from coal mine

为了更细致地研究高密度采集数据中面波的分布特点, 这里选出三维数据中含有面波的排列分析, 并进行 Fourier 变换, 仅显示 50 Hz 以内的中低频成份。图 3 为七个排列数据的频谱, 在近排列的小炮检距上, 面波能量强, 频带宽。随着炮检距的增大, 面波能量减弱, 频率降低。所以, 有必要以时变、空变、频变的方式压制面波。

同样, 也可以采用频率扫描的方法, 分析面波的能量、频率随炮检距的变化规律。运用低通与高通相结合的方法, 来分析面波的规律, 滤波参数和滤波因子如表 1 所示。针对数据中面波的不同特征, 滤波参数可做适当的调整。

通过对面波区域的频率分析与分频扫描, 确定出不同炮检距范围内的面波特征, 就可以有针对性地设计滤波器, 对数据中的面波进行处理。本文中的方法考虑了面波能量、频率随炮检距变化的特点, 在面波出现的区域里, 对于不同的时间 T 、不同的炮检距, 设计出不同的频率滤波器, 以不同的滤波参数压制面波, 较好地压制了不同频率、不同强度的面波干扰。

图 4(见下页) 为不同炮检距对应的滤波因子。在炮检距 20 m ~ 1 000 m 的范围内, 设计了八个不同参数的滤波器, 以适应面波频率的变化。在没有面波的炮检距范围, 不做任何处理, 这样就可以研

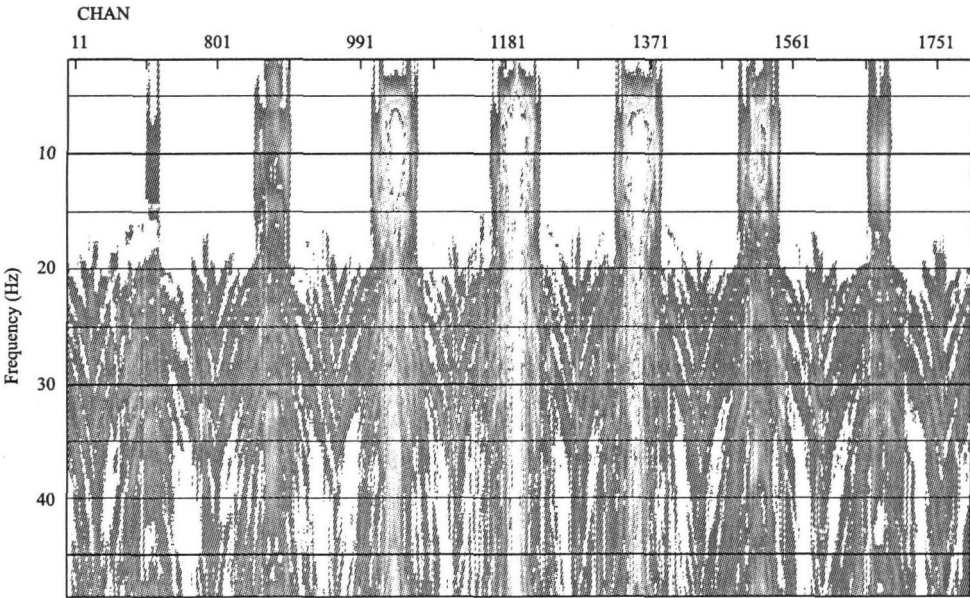


图 3 地震数据的 F-X 谱

Fig 3 F-X spectrum of seismic data

表 1 面波分析的参数和滤波因子 (LP 为低通滤波, HP 为高通滤波)

Tab 1 The filter parameters for ground roll analysis (LP indicates low pass filtering and HP for high pass filtering)

序号	滤波参数	滤波因子	序号	滤波参数	滤波因子
1	LP(06, 08)		5	HP(12, 14)	
2	LP(10, 12)		6	HP(16, 18)	
3	LP(14, 16)		7	HP(20, 22)	
4	LP(18, 20)		8	HP(24, 26)	

究面波随时间的变化规律,设计时变的滤波器,在没有面波的时间段,如炮检距较大的区域,保持原数据的特征。在面波出现的区域内,根据面波的频带范围,应用合适的参数衰减面波,这样就实现了T-F-X域的面波压制,较好地保持了数据中的低频成份,最大限度地压制面波干扰。

实现步骤:

- (1)对单炮记录中的面波区域做 Fourier变换或时频分析,了解面波的频带范围及频率随时间和炮检距的变化规律。
- (2)根据面波的特征,设计时间随炮检距变化的滤波器,并对地震数据进行处理。
- (3)采用减法观察所去除的面波部份,通过对去除后的低频数据分布规律的分析,调整滤波器

的参数。
(4)对面波进行迭代处理,确定最佳的T-F-X域的滤波器,保证在压制面波的同时,不损失反射波的低频信息。

4 应用实例

时频~炮检距域面波衰减方法经软件实现后,可应用于实际高密度数据处理中。

图 5(a)为煤田高密度三维数据近排列的原始单炮记录;图 5(b)为压制面波后的结果;图 5(c)为去除的面波,不含低频反射信号。

图 6(a)(见下页)为该三维数据中远排列的原始单炮记录;图 6(b)为压制面波后的结果;

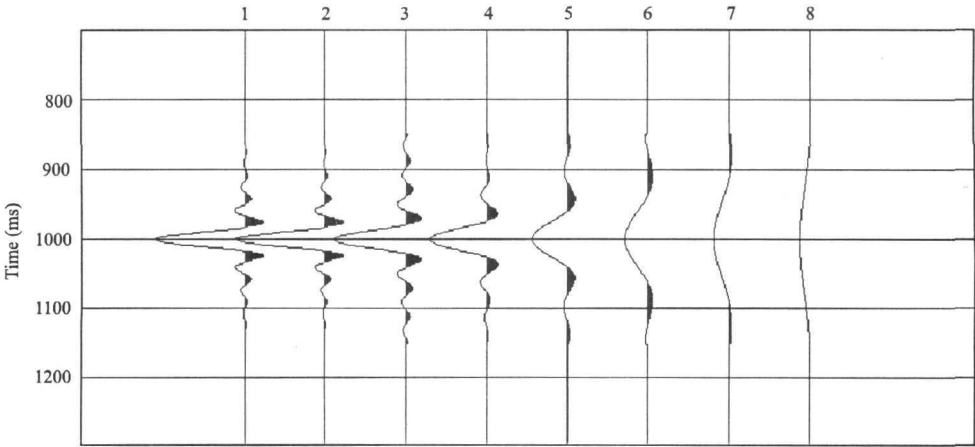


图 4 不同炮检距对应的滤波因子(随序号的增加,炮检距增大)

Fig 4 The filters in different offsets which increase as the sequence numbers increase

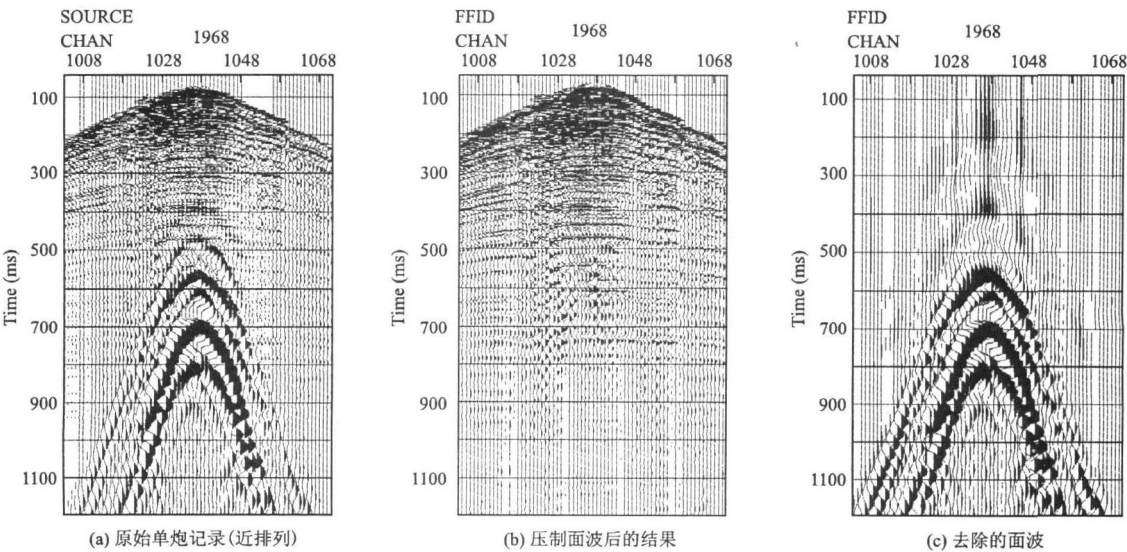


图 5 单炮记录及去噪效果

Fig 5 Shot data and ground roll attenuation

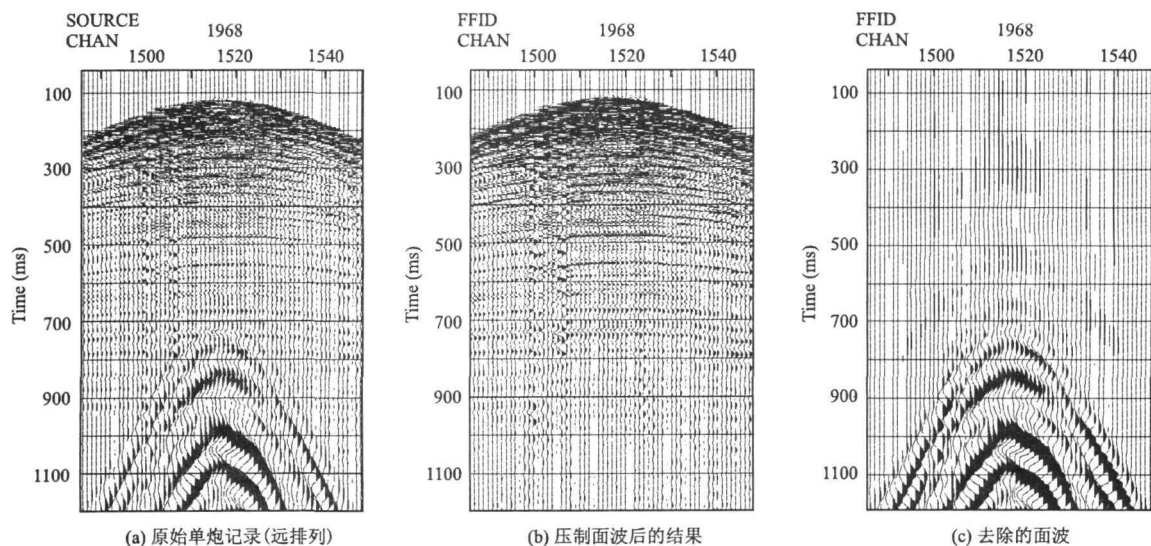


图 6 单炮记录及去噪效果

Fig 6 Shot data and ground roll attenuation

图 6(c)是去除的面波。

由于该方法根据不同炮检距的面波特点做了针对性处理,使远排列、近排列的面波都得到了较好地压制,所以对三维数据有良好的适应性。

5 结论与认识

在密度点接收的地震数据中,面波非常发育,频散现象明显,表现为视速度变化的一簇曲线,严重影响了地震数据的品质,所以有效地压制面波是密度数据中的首要工作。作者在本文采用时频~炮检距域压制面波方法,可以根据数据中面波的能量、频率随时间和炮检距变化的特点设计滤波器,具有良好的针对性,能够合理地保持有效信号的低频成份,对于密度地震数据处理,低频勘探等方面具有现实意义。

参考文献:

[1] N I G E L A , A N S T E Y . W h a t e v e r h a p p e n e d t o g r o u n d r o l l [J] . T h e L e a d i n g E d g e , 2 0 0 3 , (3) : 4 0

[2] C H O O N B P A R K , R I C H A R D D M I L L E R , J I A N G H A I X I A . M u l t i c h a n n e l a n a l y s i s o f s u r f a c e w a v e s [J] . G e o p h y s i c s , 1 9 9 9 , 6 4 (3) : 8 0 0
[3] S A A T C I L A R R , N E Z H I C A N I T E Z N . A m e t h o d o f g r o u n d r o l l e l i m i n a t i o n [J] . G e o p h y s i c s , 1 9 8 8 , 5 7 (3) : 8 9 4
[4] 李卫忠,张明振,王成礼,等. 压制面波的波场分离方法 [J] . 石油地球物理勘探, 1 9 9 8 , 3 5 (5) : 6 7 9
[5] 蔡希玲. 声波和强能量干扰的分配自适应检测与压制方法 [J] . 石油地球物理勘探, 1 9 9 9 , 3 4 (4) : 3 7 3
[6] 王在民,李莉,朱鹏飞,等. 用平均能量法分频识别和压制面波 [J] . 新疆石油地质, 2 0 0 5 , 2 6 (6) : 6 5 3
[7] 单娜琳,程志平,刘云桢. 工程地震勘探 [M] . 北京: 冶金工业出版社, 2 0 0 6
[8] 孙成禹. 地震波理论与方法 [M] . 北京: 中国石油大学出版社, 2 0 0 7 .
[9] 蔡希玲,贺振华,黄德济. 异常噪声对叠前多道处理的影响 [J] . 石油物探, 2 0 0 2 , 4 1 (1) : 8 4

作者简介: 杨兆斌 (1 9 6 2 -) , 男, 工程师, 从事地震数据处理工作。

velop Engineering Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 20

As carbonate rock reservoir is an important target of the oil-gas exploration fields, its change of wave fields characteristics are specially complex. In order to improve the recognition degree of the reservoir multi-wave seismic data, high-precision numerical simulation is one of the effective ways. Based on the isotropic elastic wave equation, this paper derived the P-S wave separation equation, adopted the high-order staggered-grid finite-difference technology to simulate seismic wave propagation in the carbonate rock reservoir media, acquired the total elastic wave fields of the reservoir model, separated the P wave and S wave information, and preserved the P-S wave energy information. This paper also combined with AVO technology to analyze the elastic wave AVO response characteristics in this type of carbonate rock reservoir, examined the simulation result based the reservoir model, and analyzed and researched the wave fields response characteristic and the propagation law, which provided the reference for the carbonate rock reservoir identification and prediction, and better met the practical needs of complicated oilfield exploration and development.

Key words carbonate rock; wave field characteristics; AVO technique; perfectly matched layer; forward modeling

SEISMIC WAVEFORM SHAPE DESCRIPTION TECHNIQUE AND ITS APPLICATION IN SEISMIC FACIES ANALYSIS

YAO Shuang¹, YAN Jian-guo^{1,2}, LI Xue-feng¹, et al (1 The College of Information Engineering Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2 The Key Lab of Earth Exploration and Information Technology, Ministry of Education, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 24

In seismic attributes, the general variation of waveform and its distributed rule is most important seismic parameter. Picking and identifying the waveform information is of benefits to reservoir prediction, reservoir description and improving drilling successful rate. Using waveform to create seismic facies is to use neural network technique to quantitatively describe the general variation of seismic signal. The core of this technologies is the wave shape description and characterization techniques. Taking Stratigraphic for

example, by the detailed analysis and comparison with the influence over waveform shape changes caused by the main parameters (amplitude, phase and frequency) which make up of the waveform shape, this paper summarizes waveform shape variation and waveform shape description method which can be used and discusses the effect and significance wave shape classification in Seismic facies analysis.

Key words seismic facies; waveform classification; model trace; seed file

GROUND ROLL ATTENUATION IN TIME-FREQUENCY AND ITS APPLICATION

YANG Zhao-bin¹, ZHANG Ming-ji², JIA Zheng-hong³ (1 Geophysical Research Institute of BGP, CNPC, Zhuozhou Hebei 072750, China; 2 Changqing Branch in East Exploration of BGP, CNPC, Xian Shanxi 710021, China; 3 Geophysical Techniques Research center of BGP, CNPC, Zhuozhou Hebei 072750, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 30

Ground roll is a kind of strong noises in seismic data. Some methods are applied to attenuate ground roll such as frequency filter, F-K filtering, velocity filtering and so on, which have limitations because of the frequency dispersion of ground roll. A new method is proposed based on the ground rolls features that change with offsets, which includes (1) understanding the characteristics of ground roll with offsets by decomposing the zone data contained ground roll using Fourier or time-frequency analysis; (2) designing filters with different offsets and apply them to data; (3) Analyzing the removed noises by subtract them from raw data and research the filter parameters; (4) determining the optimal parameters in time-frequency and offset domain to ensure that we attenuate noise and preserve the low frequency signals. Good results are obtained when applying the method to high density seismic data.

Key words ground roll attenuation; time-frequency and offset domain; high density; single point receiver; filter

A TRUE AMPLITUDE SPLIT-STEP FOURIER PRE-STACK DEPTH MIGRATION BASED ON ONE-WAY WAVE EQUATION

XIE Jian-jian, WANG Xu-ben (Chengdu University of Technology, Key Lab of Earth Exploration and Information Technology of Ministry of Education, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 36