

薛亚茹, 陆文凯, 陈小宏, 等. 基于正交多项式变换的 CMP 动校正道集随机噪声压制. 地球物理学进展, 2009, 24(1): 159~163
Xue Y R, Lu W K, Chen X H, *et al.* Random noise attenuation based on orthogonal polynomials transform for CMP gathers. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(1): 159~163

基于正交多项式变换的 CMP 动校正道集 随机噪声压制

薛亚茹¹, 陆文凯², 陈小宏¹, 黄 饶¹, 马继涛¹

(1. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 2. 清华大学自动化系信息处理所, 北京 100084)

摘 要 本文提出了一种新的基于正交多项式变换来压制动校正后 CMP 道集上随机噪声的方法. 将地震资料经过正交多项式变换, 建立正交多项式系数谱, 该谱描述了地震资料在正交多项式域的能量分布, 可以较好地分离有效波和随机噪声. 相对于固定阶次的基于正交多项式变换压制噪声的方法, 所提出的方法根据能量随阶次变化的规律, 自适应确定表达有效信号的正交多项式阶次, 既提高了信号和噪声的分离效果, 又有效地保护了地震信号中的 AVO 信息. 对人工合成数据和实际资料的处理结果表明了所提出方法的有效性.

关键词 降噪, 正交多项式变换, 正交多项式系数谱, 自适应阶多项式

中图分类号 P631 文献标识码 A 文章编号 1004-2903(2009)01-0159-05

Random noise attenuation based on orthogonal polynomials transform for CMP gathers

XUE Ya-Ru¹, LU Wen-Kai², CHEN Xiao-Hong¹, HUANG Rao¹, MA Ji-tao¹

(1. *China University of petroleum (Beijing)*, Beijing 102249, China; 2. *Department of Automation*,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A new random noise attenuation method is proposed based on orthogonal polynomials transform for NMO CMP gathers. After orthogonal polynomials transform, the CMP data are transformed to spectra of orthogonal polynomials coefficients, which describe the energy distribution of CMP data and can distinguish between effective waves and noises. The orthogonal polynomials order of effective waves is confirmed according to the energy variation with order increasing. This method can not only attenuate the noise but also preserve the AVO properties. The processing of synthetic and real data shows good results.

Keywords noise attenuation, orthogonal polynomials transform, spectrum of orthogonal polynomials coefficients, adaptive order polynomials

0 引 言

叠前资料去噪不仅对 AVO 分析有直接作用, 而且是整个高分辨率处理的基础. 目前叠前去噪方法有 $f-x$ 域预测滤波^[1,2], radon 变换或 $\tau-p$ 域去噪^[3~5]、多项式拟合去噪^[6~11]、聚束滤波^[12]等. 其中, 多项式拟合信号是假设地震各道振幅变化可以

用一个多项式拟合, 采用同相轴时间和振幅多项式分别拟合的方法, 削除剖面的随机噪声^[6]; 在此基础上, 许多学者提出了改进的多项式拟合方法. 钟伟^[9]在利用多项式去除强随机噪声时, 首先计算出窗口内的标准波形, 然后将振幅多项式给出的各道振幅乘上标准波形, 放到时间多项式计算出的位置形成期望剖面; 夏洪瑞^[10]将常规二次多项式拟合与中值

收稿日期 2008-02-13; 修回日期 2008-06-25.

基金项目 国家高技术研究发展计划(863)(2006AA09A102-09)和(2007AA06Z229)资助.

作者简介 薛亚茹, 1972 年生, 讲师, 2001 年于兰州大学获硕士学位, 主要从事于地震资料处理. (E-mail: wujun1969@163.com)

约束下的矢量分解技术相结合,克服了断点模糊的问题,上述多项式拟合方法中均采用了首 1 正交多项式. 杨云飞^[11]基于切比雪夫和勒让德正交多项式拟合测井数据和野外资料,取得了较好的拟合效果. 结合时频分析,利用多项式拟和也可以提高地震资料的分辨率^[13~15]. Ursin^[16]采用偶次多项式拟合小偏移距 AVO 曲线,并利用多项式系数产生不同的地震属性剖面;Johansen^[17]通过单位正交多项式拟合 CDP 道集,较好地保留了 CDP 道集的 AVO 特性.

上述多项式拟合方法中,均采用了一定阶次的多项式拟合整个剖面. 然而实际中,由于地震信号是时变的,变化规律不尽相同,因此本文在单位正交多项式拟合^[17]基础上提出自适应阶多项式拟合方法. 以 CMP 道集为例,对 CMP 数据首先进行正交多项式变换,建立正交多项式系数谱,并根据不同时刻有效波的能量自适应选取不同阶数的正交多项式来拟合原记录,达到去除随机噪声的目的.

1 正交多项式拟合

1.1 正交多项式变换

在 CMP 道集上,某一时刻采样值和炮检距的关系可用多项式表示为

$$A(t, x_i) = a_0(t) + a_2(t)x_i^2 + a_4(t)x_i^4 + \dots \quad (1)$$

式中 $x_i, i=0, 1, \dots, N$ 表示炮检距坐标, N 为 CMP 道集中的地震道数, $A(t, x_i)$ 表示某时刻 t 时各地震道样点的采样值, $a_0(t), a_2(t), a_4(t), \dots$ 为待定系数,可用最小二乘法求出. 由于随着拟合阶次的提高,求取待定系数的法方程呈现出病态,并且当逐步提高阶次时,低阶系数需要重新计算,因此在这里采用单位正交多项式拟合地震记录.

设 $\{p_i(x), i=0 \dots N\}$ 是在炮检距坐标上构造的完备单位正交多项式函数集,某时刻 t 的地震记录可以表示为:

$$A(t, x_i) = \sum_{j=0}^N c(t, j) p_j(x_i) \quad i = 0, 1, \dots, N, \quad (2)$$

其中, $c(t, j)$ 是 t 时刻数据 $A(t, x)$ 在 j 阶正交多项式上的分解系数, 并且

$$c(t, i) = \sum_{j=0}^N A(t, x_j) p_i(x_j), \quad (3)$$

$c(t, i)$ 表明了不同时刻数据含有各阶正交多项式分量的大小,把 $c(t, i)$ 称作正交多项式系数谱. 由于采用了单位正交多项式作为基函数,因此正交多项式系数谱描述了 CMP 数据在时间-正交多项式域的能量分布,并且满足帕斯瓦尔定理

$$\sum_{i=0}^N A^2(t, x_i) = \sum_{i=0}^N c^2(t, i). \quad (4)$$

由于 CMP 道集有效波振幅可以用有限的低阶多项式描述,因此在正交多项式系数谱上低阶多项式系数表示有效波信号成分,高阶系数表示了噪声的分布. 不同地层的反射信号的变化规律不尽相同,需要利用不同阶数的正交多项式来表示,因此确定有效信号的阶数是去除随机噪声的关键.

1.2 正交多项式阶次的自适应确定

由(2)式可知,根据正交正交多项式系数谱 $c(t, i)$ 可以重构地震数据. 由于地震有效波的能量主要集中在低阶系数上,假设利用前 p 阶正交多项式重构信号,可得

$$A(t, x_i) = \sum_{j=0}^p c(t, j) p_j(x_i) \quad i = 0, 1, \dots, N \quad (5)$$

这相当于对 $A(t, x)$ 实现低通滤波, p 表示滤波器的带宽. p 的确定依赖于信号能量随阶次增长的速度. p 较小时,信号的能量主要由低阶系数贡献,这时能量增长的速度较快;随着 p 的增加,正交多项式系数主要反映了噪声能量,相对于信号能量而言,该部分能量较弱,能量增长的速度就会降低. 因此从能量随阶次变化的曲线上可以观察到能量增长的拐点,这一点表明了信号与噪声的分界点.

2 资料处理

为了验证本文方法的有效性,我们将其用来处理合成记录和实际地震记录. 图 1 是合成 CMP 道集的处理结果. 图 1(a)表示了合成 CMP 道集,由图中可以看到不同时刻的振幅变化不同;图 1(d)为该道集的正交多项式系数谱,由图中可以看到,AVO 的变化完全可以由低阶多项式来描述,不同地层反射信号的 AVO 变化不同,需要用不同的阶次描述,在 1.62 s 附近,AVO 变化很大,极性发生了翻转,需要用 2~3 阶的正交多项式描述,而 1.72 s 附近的信号变化很小,只需零阶和一阶多项式即可拟合. 图 1(b)是叠加噪声的 CMP 道集. 图 1(e)是该道集的正交多项式系数谱,由图 1(d)和(e)的对比可以看到,噪声能量主要集中在高阶系数谱上,而信号的主要能量集中在低阶系数谱上,因此合理地确定有效波信号的阶次是去噪的关键. 阶次估计过高,会引入噪声,降低拟合的信噪比. 图 1(c)显示了本文方法确定阶次后的去噪结果,从剖面上可以看到噪声基本去除,同相轴清晰,并且很好的保留了振幅随炮检距变化的特性.

图 2(a)表明在 1.66s 处信号的能量随拟合阶次提高而逐渐增加的过程,从该图中可以明显地看出信号的能量主要集中在低阶系数上. 拟合阶次 p

较小时信号能量上升速度很快;随着拟合阶次 p 的提高,能量增加开始变化缓慢,能量拐点明确地表明了有效波的阶次. 图2(b)表明了不同时刻确定的自

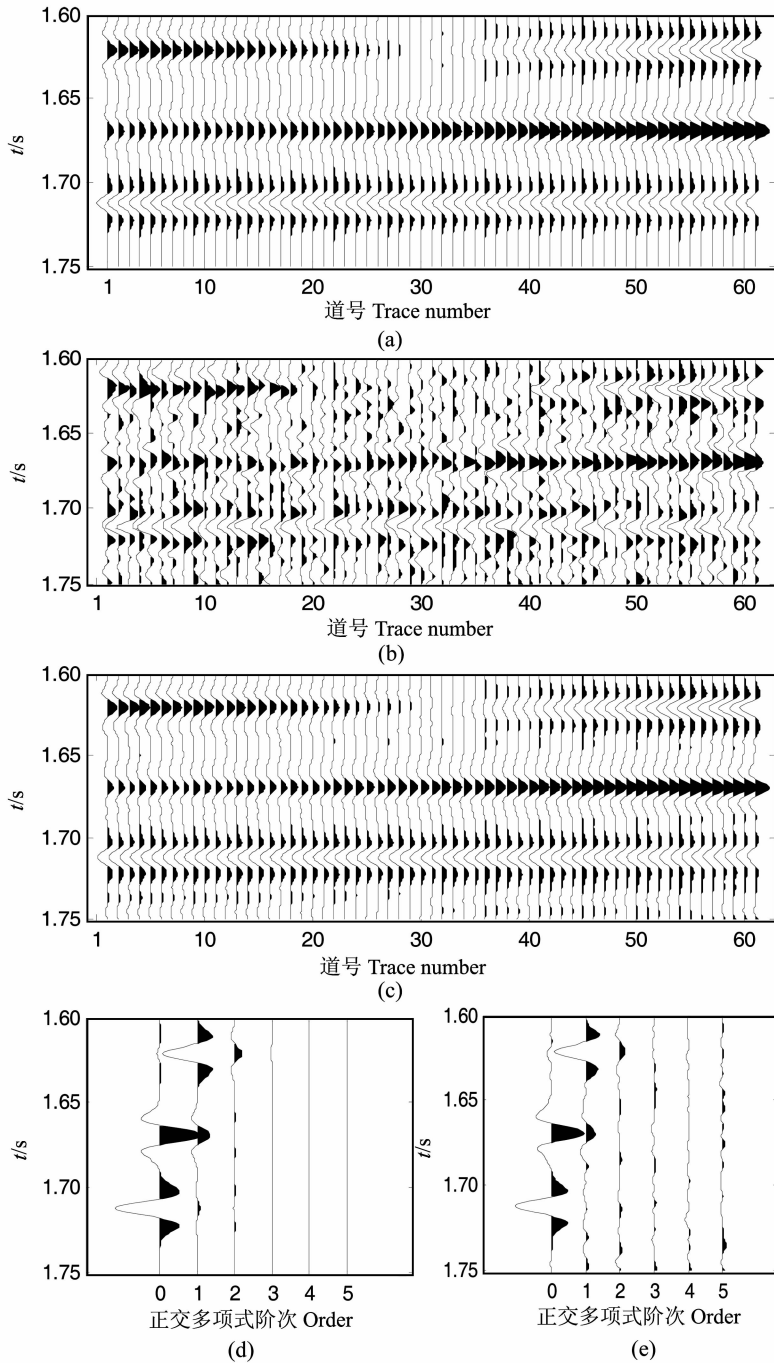


图 1 合成地震资料的处理

(a)无噪 CMP 道集;(b)加噪 CMP 道集;(c)去噪 CMP 道集;(d)无噪 CMP 道集的正交多项式系数谱;
(e)加噪 CMP 道集的正交多项式系数谱

Fig. 1 Processing of synthetic seismic data

(a) Noise-free CMP gathers; (b) Noised CMP gathers; (c) Denoised CMP gathers; (d) The spectrum of orthogonal polynomial coefficient for noise-free CMP gathers; (e) The spectrum of orthogonal polynomial coefficients for noised CMP gathers

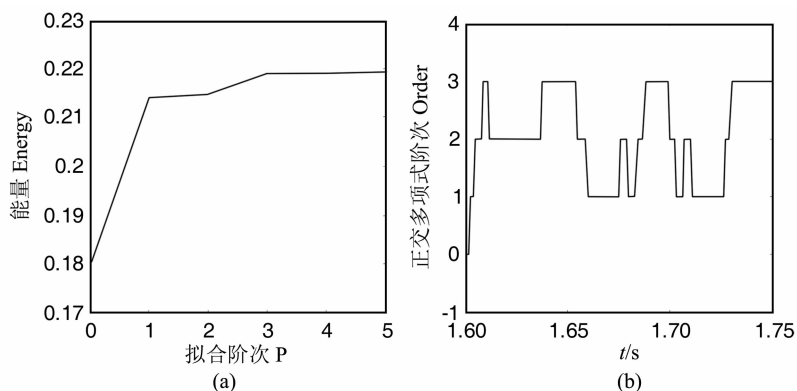


图 2 自适应阶次的确定

(a) 1.66 s 能量随阶次的变换曲线; (b) 自适应阶次

Fig. 2 The method to confirm adaptive order

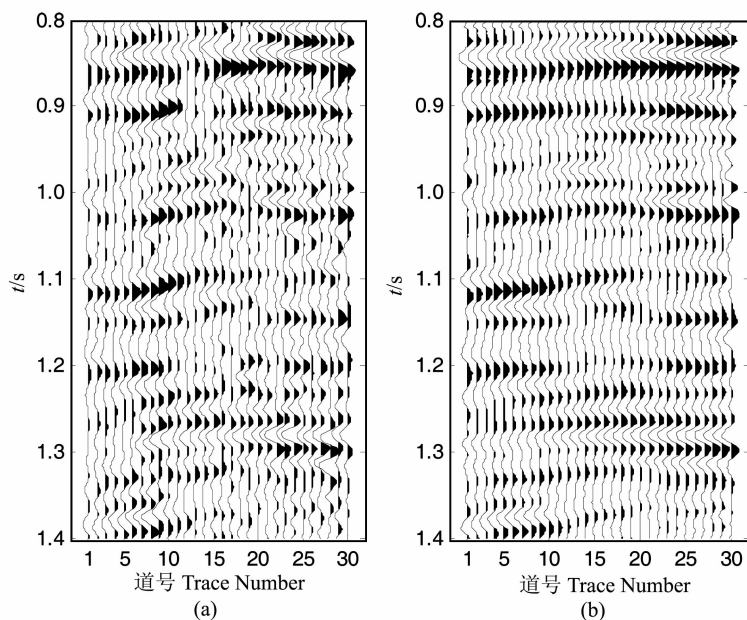
(a) The energy variation with order at $t=1.66$ s; (b) The adaptive order

图 3 实际地震资料的处理

(a) 原始 CMP 道集; (b) 本文方法去噪结果

Fig. 3 Processing of real seismic data

(a) Original CMP gathers; (b) De-noised CMP gathers

适应阶次.

图 3(a) 所示为一实际地震资料, 由于噪声的干扰, 同相轴的连续性遭到破坏. 采用本文所提正交多项式方法去噪的结果如图 3(b) 所示, 可以明显看出正交多项式变换较好地去除随机噪声, 使得同相轴更加清晰, 连续性更好, 振幅随炮检距变化的特性能够清晰地展示出来, 为进一步 AVO 分析奠定良好基础.

4 结论

本文提出一种在 CMP 道集上, 利用正交多项式变换去除随机噪声的新方法. 地震信号经过正交多项式变换分解后, 形成了正交多项式谱, 并利用能量突变点自适应地确定表达有效信号的正交多项式阶次, 有效地压制了随机噪声. 合成数据和实际数据的实验结果表明所提出方法的有效性. 但是有效信

号和噪声在低阶上仍存在混叠问题,如何消除这部分噪声的影响,是进一步的工作方向.该方法也适用于同相轴近似水平的叠后剖面.

参 考 文 献 (References):

- [1] Canales L L. Random noise reduction[J]. Presented at the 54th SEG Mtg, 1984, 525~572.
- [2] 国九英,周兴元,杨慧珠. 三维 $f-x, y$ 域随机噪声衰减[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(2): 207~215.
Guo J Y, Zhou X Y, Yang H Z. Attenuation of random noise in $f-x, y$ domain Oil Geophysical Prospecting [J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 1995, 30(2): 207~215.
- [3] 牛滨华,等. 多项式 Radon 变换[J]. 地球物理学报, 2001, 44(2): 263~271.
Niu B H, *et al.* Polynomial radon transform[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2001, 44(2): 263~271.
- [4] Russell B, *et al.* Noise elimination and the Radon transform, Part1[J]. The Leading Edge, 1990, 9(9), 18~23.
- [5] Russell B, *et al.* Noise elimination and the Radon transform, Part2[J]. The Leading Edge, 1990, 9(11), 31~37.
- [6] 余寿朋,蔡希玲. 用地震信号多项式拟合提高叠加剖面信噪比[J]. 石油地球物理勘探, 1988, 23(2), 131~139.
Yu S P, Cai X L. Improvement of signal-to-noise ratio of stack section using polynomial fitting of seismic signals [J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 1988, 23(2), 131~139.
- [7] 万海涛,苏永昌,余寿朋. 3-D 叠后地震资料多项式拟和提高信噪比和道内插[J]. 石油地球物理勘探. 1994, 29(2): 208~212.
Wan H T, Su Y C, Yu S P. Improving the signal/noise ratio of stacked 3-D seismic data by polynomial fitting method and trace interpolation [J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 1994, 29(2): 208~212.
- [8] 崔若飞,王辉. 多项式拟和技术在煤田地震勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2000, 15(2): 47~53.
Cui R F, Wang H. Application of polunomial fitting technique on coal seismic surveying[J]. Progress in Geophysics, 2000, 15(2): 47~53.
- [9] 钟伟,杨宝俊,张智. 多项式拟合技术在强噪声地震资料中的应用研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1), 184~189.
Zhong W, Yang B J, Zhang Z. Research on application of polynomial fitting technique in highly noisy seismic data[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(1), 184~189.
- [10] 夏洪瑞,董江伟等,常规二次多项式拟合地震数据[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 45(5), 492~496.
Xia H R, Dong J W, *et al.* Normal quadratic polynomial fitting seismic data [J]. Geophysical prospecting for petroleum, 2006, 45(5), 492~496.
- [11] 杨云飞,王华忠,曹景忠. 正交多项式逼近去白噪[J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(6), 704~706.
Yang Y F, Wang J H, Cao J Z. Using orthogonal polynomials for eliminating white noise[J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 2001, 36(6), 704~706.
- [12] 胡天跃,王润秋, R. E. White. 地震资料处理中的聚束滤波方法[J]. 地球物理学报, 2000, 43(1): 105~115.
Hu T Y, Wang R Q, White R E. Beamforming in seismic data processing [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2000, 43(1): 105~115.
- [13] 陆文凯,张学工,李衍达,等. 时频域零炮检距地震道拟合[J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(1): 56~59.
Lu W K, Zhang X G, Li Y D, *et al.* Fitting a zero-offset seismic reace in time-frequency domain[J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 2001, 36(1): 56~59.
- [14] 李鲲鹏,刘业新,李衍达,等. 小波变换的过零点特性与地震勘探信号的信噪比和分辨率[J]. 地球物理学报, 1997, 40(4): 561~568.
Li K P, Liu Y X, Li Y D, *et al.* Zero crossing property of wavelet transform and improvement of both seismic signal noise ratio and resolution [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 1997, 40(4): 561~568.
- [15] 刘贵忠,宗涛,章珂,等. 利用纵向小波包变换和横向多项式拟合提高地震信号的信噪比和分辨率[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(5): 585~592.
Liu G Z, Zong T, Zhang K, *et al.* improving both seismic signal-noise ratio and resolution by vertical wavelet package transform and lateral polynomial fitting[J]. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 1995, 30(5): 585~592.
- [16] Ursin B, Dahl T. Least-squares estimation of reflectivity polynomials[J]. 60th SEG meeting, San Francisco, Expanded Abstracts, 1069~1071.
- [17] Johansen T A, Brulan L, Lutro J. Tracking the AVO by using orthogonal polynomials[J]. Geophysical prospecting, 1995, 43: 245~261.