

地震资料极化分析及 MATLAB 与 VC⁺⁺ 混合编程技术

刘国华¹, 肖梅², 李庆春¹

(1 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 介绍了地震资料极化分析基本原理, 针对其软件编制中的复杂计算及 3D 图形显示问题, 利用 MATLAB 与 VC⁺⁺ 语言混合编程技术使极化分析软件编制变得简单高效。结果表明, 极化分析技术可以有效地进行地震资料去噪, 提高地震记录信噪比。通过 MATLAB 和 VC⁺⁺ 的协同工作, 极化分析计算效率更高, 人机交互性更好。

关键词: 地震资料; 极化分析; 混合编程; MATLAB; VC⁺⁺

中图分类号: P631.4; TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0305-06

Seismic Datum Polarization Analysis and Comprehensive Programming with MATLAB and VC⁺⁺

LIU Guo-hua¹, XIAO Mei², LI Qing-chun¹

(1 School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2 School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract This paper presents the basic principle of seismic datum polarization analysis for the complex calculations and graphic display in software development by employing the comprehensive programming method of MATLAB and VC⁺⁺ in the polarization analysis processing which makes the software development easy with high efficiency. The results of synthetic seismograms and real data indicate that the method can eliminate noise effectively, enhance signal to noise ratio of seismic record. With the combination of VC⁺⁺ and MATLAB, the polarization analysis software can be developed with higher calculation efficiency, powerful functions and friendly interface.

Key words: seismic datum; polarization analysis; comprehensive programming; MATLAB; VC⁺⁺

0 引言

极化滤波法(又称偏振滤波法)是基于波的偏振特性基础上进行的一种空间滤波的信号处理方法,目前在光学、电磁学和地震勘探等方面有着广泛的应用并取得了一些研究成果^[1]。极化滤波方法在地震信号处理中的应用研究始于 20 世纪 60 年代,这种方法保留了质点的线性运动,有效地压制了面波成分,故被称为极化滤波的模拟方法^[1]。偏振分析的意义在于,通过偏振分析可以得到关于介质的比较完备的信息,提高地震勘探的能力。除

了分析波场特征,偏振法还可用于研究波的传播速度随深度变化的规律^[2]。在解决某些任务时偏振法比只用波的运动学特征具有更大的优势。最早提出偏振分析数字算法的学者是 Flinn^[3],近年来由于多分量地震勘探技术的发展,偏振分析技术向着多样化和复杂化的方向发展,如传递函数法^[3]、时间域和频率域的偏振分析^[3-4]、最大似然率法^[5]、奇异值分解法^[6]等。总之,这些先进方法在提供了精确信息的同时也增加了计算的复杂性。

MATLAB 是美国 MathWorks 公司推出的一种针对数值计算的以矩阵为基本编程单位的高效

收稿日期: 2007-10-15

基金项目: 交通部西部交通项目(200731881262); 国家高技术研究发展计划项目(2007AA06Z103)

作者简介: 刘国华(1975-),男,辽宁鞍山人,讲师,工学博士研究生,从事地震数据处理方法教学与研究。E-mail: ghliu@chd.edu.cn

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数值计算软件^[7]。其拥有独立的数学函数库、强大的数值计算功能和丰富的工具箱,在编程效率、可读性、可移植性和可扩充性方面具有优势,特别是它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,因而广受青睐。但 MATLAB 是一种解释性的语言开发平台,其执行效率较低且不能实现端口操作和实时控制,很多时候仅靠 MATLAB 不能很好地完成任务。VC++ 是 Windows 平台下强有力的高级编程语言,其功能强大、封装性好,能够方便快速地开发出界面友好、执行速度快、易于维护升级的软件系统^[8-9]。然而 VC++ 只提供了一些基本的数学函数库,当遇到复杂数值运算时,重新编写程序代码将大幅度延长软件开发周期,增加软件开发成本,并且效率远远低于 MATLAB 语言。因此,利用 VC++ 与 MATLAB 进行混合编程,各取所长,实现功能互补,可以为科研与工程开发提供更为强大的技术支持。

笔者利用协方差矩阵法对极化分析技术进行了研究,采用微软 Windows 环境下的 VC++ 与 MATLAB 语言混合编程技术实现了地震勘探极化分析软件的开发。

1 极化分析基本原理

波的偏振是波场的时-空特征,地震波的偏振就是波通过空间记录点时介质质点(或位移矢量末端)描出的轨迹^[4]。对于不同类型的波,质点运动的轨迹不同,即不同的波有不同的偏振。

(1)在介质内部记录到的简单纵波,在没有与其他波发生相干时呈线性偏振,即介质质点在平衡位置附近以直线轨迹方式振动,特别是在均匀各向同性介质的内部点上,纵波的传播方向与质点的位移方向一致,它的极化轨迹由许多直线段构成。

(2)横波虽然亦呈线性偏振,但与纵波的偏振方向不同。在均匀各向同性介质中,横波在与纵波波前相切的平面上发生偏振,即质点运动矢量位于上述平面内并与射线垂直,其极化轨迹也为直线段。

(3)还有一种椭圆偏振波(如瑞雷面波),它在铅垂平面中呈椭圆状偏振^[10]。

地震波偏振的定量特征可由决定介质质点运动轨迹的参数来表示。实际介质中的波场很复杂,是由大量不同类型和不同性质的波叠加而成,所以在大多数情况下介质质点的运动轨迹是复杂的空间曲线。用三分量记录可重构检波器中心点上的质点振

动轨迹,将这些振动轨迹点在空间上按时间序列相连,在空间形成一条曲线^[3]。在不同时间段内,质点振动轨迹发生变化,表明波动类型发生了变化,因此有必要分时段进行质点振动轨迹的研究,即偏振分析。在偏振分析的基础上,可对多分量地震资料进行偏振滤波处理,它是提高信噪比和分离纵、横波的一种重要处理技术,主要是通过利用各种波的偏振性质差异来达到波场分离与压制干扰的目的^[11]。

设 $S_k(\tau)$ ($k=x, y, z$) 为三分量地震记录, 则^[12]

$$M(\xi) = \begin{bmatrix} I_{xx}(\xi) & I_{xy}(\xi) & I_{xz}(\xi) \\ I_{xy}(\xi) & I_{yy}(\xi) & I_{yz}(\xi) \\ I_{xz}(\xi) & I_{yz}(\xi) & I_{zz}(\xi) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$I_{kk}(\xi) = \frac{1}{T} \int_{\xi-T/2}^{\xi+T/2} (S_k(\tau) - \mu_k(\xi))^2 d\tau$$

$$J_{km}(\xi) = \frac{1}{T} \int_{\xi-T/2}^{\xi+T/2} (S_k(\tau) - \mu_k(\xi))(S_m(\tau) - \mu_m(\xi)) d\tau$$

$$k, m = (x, y, z)$$

式中: ξ 为时窗 T 的中点位置; $\mu_k(\xi)$ 为偏振分析时窗内每个信号分量的均值。对矩阵 $M(\xi)$ 进行特征分析会使时窗内主分量能量分解,从而得到 3 个特征值 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ 及与之对应的 3 个特征向量,这 3 个特征向量能全面表现时窗内主分量分子运动的幅度和方向。用特征值可定义极化椭球的长、短及次短半轴分别为

$$a = m \sqrt{\lambda_1}, b = m \sqrt{\lambda_2}, c = m \sqrt{\lambda_3} \quad (2)$$

式中: m 是一个近似 $\sqrt{3}$ 的因子。

定义总偏振系数为

$$T_2 = \frac{(1 - e_{21}^2)^2 + (1 - e_{31}^2)^2 + (e_{21}^2 - e_{31}^2)^2}{2(1 + e_{21}^2 + e_{31}^2)} \quad (3)$$

式中: $e_{21} = \sqrt{\lambda_2/\lambda_1}$ 为主椭圆率; $e_{31} = \sqrt{\lambda_3/\lambda_1}$ 为次椭圆率。

上述计算得到的极化参数是时窗内中心位置对应的参数,通过将时窗沿时间轴逐个采样点向前平移,即可得到整个时间轴上(除开始和结束处各 1/2 时窗)波场的极化参数。由式(3)得到的偏振系数定量地反映了极化程度,它的数值介于 0 和 1 之间。当偏振系数为 1 时,说明高度极化,偏振为一个线性运动;偏振系数为 0 时,说明极化程度为 0(即没有偏振),偏振在空间上呈现为一个球形。

2 MATLAB 与 VC++ 混合编程

2.1 MATLAB 与 VC++ 的结合方式

MATLAB 与 VC++ 混合编程方式有多种,根

据 MATLAB 是否运行可大致分为两类: MATLAB 在后台运行和可以脱离 MATLAB 环境运行。具体来说,有以下几种方式^[13]。

(1) MATLAB 引擎采用客户机/服务器的计算方式,通过 Windows 的 ActiveX 通道和 MATLAB 接口实现。这种方法实现较为简单,不要求连接整个 MATLAB,只需要嵌入必要的 MATLAB 引擎库,可大大节省系统资源。但这种方式 MATLAB 在后台运行,运行效率低下。

(2) 使用 Mideva 编译开发平台,它提供了对 m 文件的解释执行和开发环境支持。经过简单设置后 Mideva 可以将 m 源文件转换为 C/C++, 然后添加到 VC++ 工程中;也可以先利用 Mideva 直接生成 EXE 文件,然后在 VC++ 中通过 shellexec() 或 winexec() 等外部函数完成 Shell 调用。这种方法简单方便,但运行时会出现一个控制台窗口。

(3) 通过 MATLAB 编译器将其 m 文件转换为 C/C++ 代码文件,并生成必要的 dll 库,然后再通过 VC++ 编译器生成可独立执行的应用程序。这种方式可以直接调用其中的库函数,生成并发布不必依赖 MATLAB 的可执行文件。

(4) 通过 MATLAB Add-in 实现 MATLAB 与 VC++ 的混合编程。MATLAB 6.0 以后版本对其编译器作了较大改进,其支持更多的数据类型,更强的优化功能。

(5) 利用 MATCOM 软件实现 MATLAB 与 VC++ 混合编程,这是本文所用的结合方式。MATCOM 是 Mathtool 公司的产品,它是 MATLAB 的 C++ 编译器,它弥补了 MATLAB 的不足。MATCOM 可创建 MEX、DLL 文件,使 MATLAB 的源代码 m 程序应用在 EXCEL、VB、VC++ 等环境中,极大地提高了程序的可移植性和实时性。利用 MATCOM 可以把 *.m 文件转换成 C++ 代码,而且利用 MATCOM 技术还可以调用 MATLAB 中的大量库函数。在 MATCOM 中包含了名为 Matrix<LIB> 的矩阵数学库,该数学库提供了一个双精度矩阵数据类型 Mm<double>。此外它还提供了许多函数,这些函数涉及线性代数、多项式、信号处理、文件输入输出、图象处理、绘图等方面。而且在 VC++ 中调用 Matrix<LIB> 中的函数,或使用它声明矩阵类型的对象较为容易,因此可用此库文件配合 VC++ 实现各种复杂的数值算法软件。

2.2 在 VC++ 中调用 MATLAB 的编程步骤

首先安装 MATCOM, 然后在 VC++ 中添加 MATCOM, 之后即可在 VC++ 中使用 MATLAB 矩阵库函数 Matrix<LIB>。

(1) 设置 VC++ 环境选项, 使用正确的包含库文件的路径。

(2) 将 mdv4500v.lib 文件加到 VC++ 工程中。

(3) 在相应位置加入 matlib.h 头文件(用 #include "matlib.h" 语句实现)。

(4) 在适当位置使用 initM() 语句对 Matrix<LIB> 库进行初始化。

(5) 声明矩阵变量, 访问矩阵单元, 调用 Matrix<LIB> 库中的函数。

(6) 用 exitM() 语句明确对库调用结束。

3 极化分析技术应用效果

3.1 理论模型试验

人工合成理论模型记录波场由反射纵波、面波、直达波及随机干扰构成, 使用褶积记录向 3 个分量上投影来保证体波质点运动轨迹严格线性偏振, 褶积子波选用主频 60 Hz 的雷克子波。褶积记录采样间隔 2 ms, 采样长度 2 000 ms, 零最小偏移距, 道间距 10 m。

面波由以下公式得到^[14]

$$\begin{cases} U_x = D \left[e^{\frac{-k_1}{R}z} - \frac{\epsilon_1 C}{\pi} e^{\frac{\epsilon_1}{R}z} \right] \sin k(x - V_R t) \\ U_z = D \left[2C e^{\frac{-\epsilon_1}{R}z} - \frac{k_1}{2\pi} e^{\frac{k_1}{R}z} \right] \cos k(x - V_R t) \end{cases} \quad (4)$$

3 个分量均加入了随机噪声, 只在 X、Z 分量上加入面波, 面波与体波的能量比为 3 : 1, Y 分量中仅加入随机干扰。

图 1、2 分别是使用混合编程技术绘制的线性极化与面极化记录的极化轨迹图。由图中可看出, 线性极化轨迹基本呈直线状, 而面极化轨迹呈椭圆状, 由矢端曲线形态很容易区分线性极化与面极化记录。

图 3 是使用极化分析技术对理论模型进行滤波处理的测试结果。图 3a、c 分别是原始波场 Z、X 分量记录, 面波比较发育, 随机干扰也比较强, 图 3b、d 分别是 Z、X 分量极化滤波后的结果, 面波得到了很好压制, 随机干扰也得到了消除; 图 3e 是原始波场 Y 分量记录, 随机干扰很强, 图 3f 是 Y 分量极化滤波结果, 随机干扰得到了很好压制。

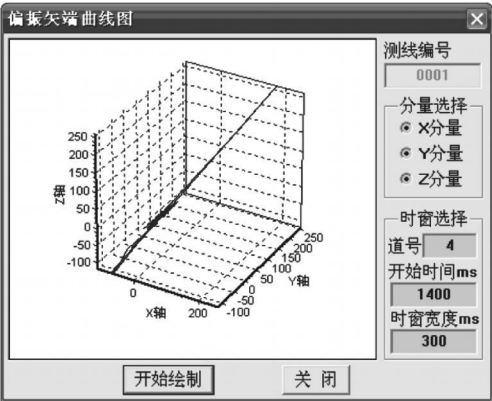


图 1 3D 线性极化轨迹

Fig. 1 3D Linear Polarization Hodograph

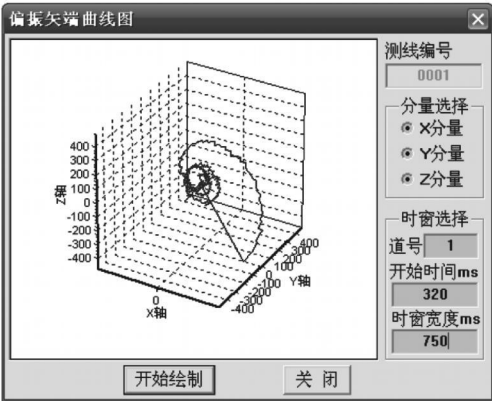


图 2 3D 面极化轨迹

Fig. 2 3D Surface Polarization Hodograph

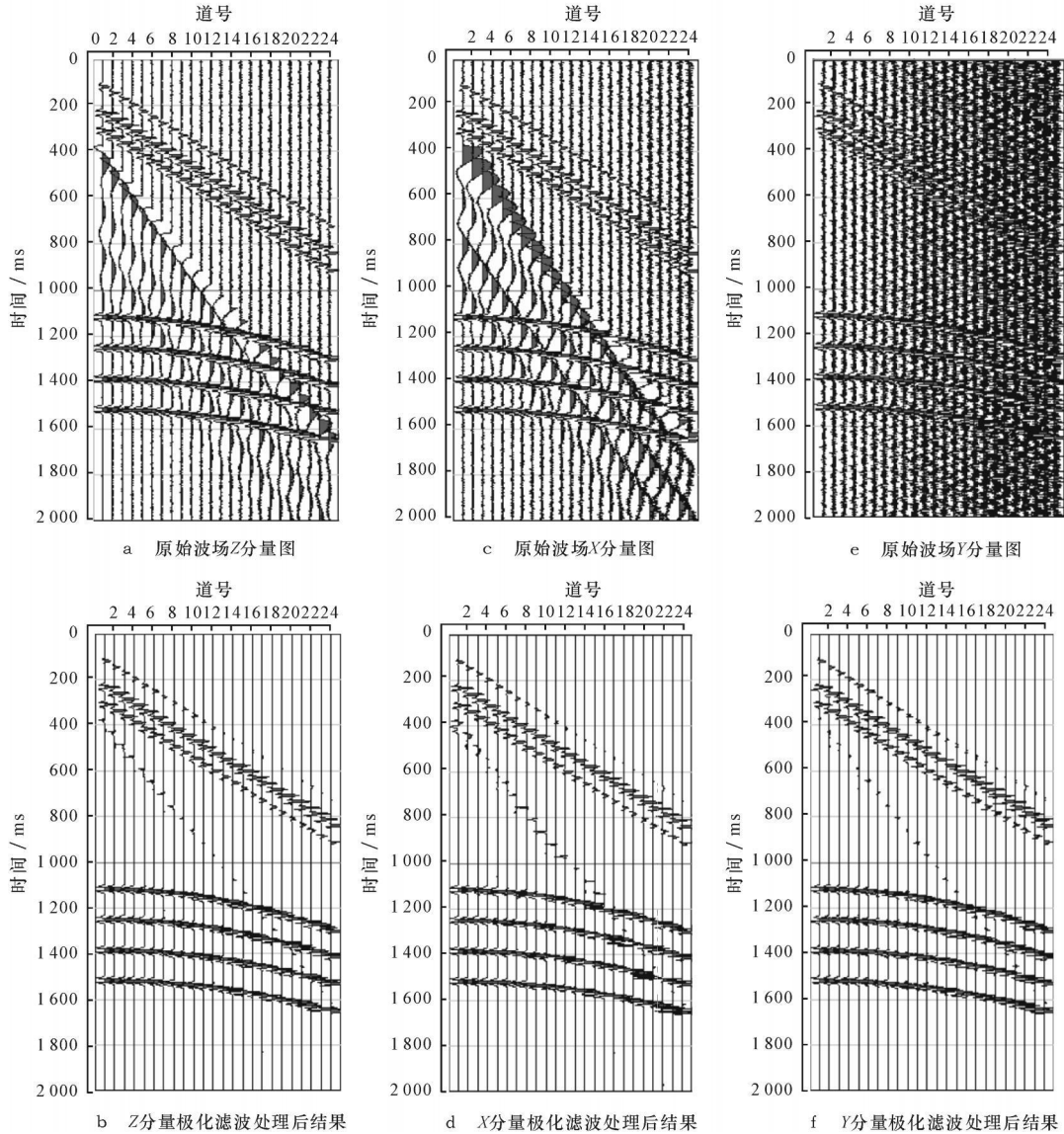
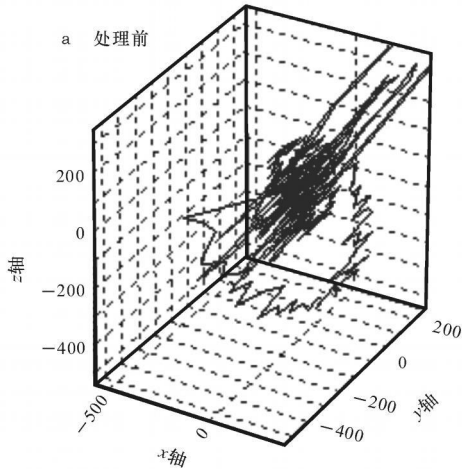


图 3 理论模型极化滤波结果

Fig. 3 Polarization Filtering Results of Synthetic Data

图 4 是理论模型第 10 道滤波前后极化轨迹对比图。图 4a 为滤波前矢端曲线图, 存在明显面极



化现象, 图 4b 为极化滤波处理后矢端曲线图, 面极化现象基本消失, 说明经过面波得到了很好压制。

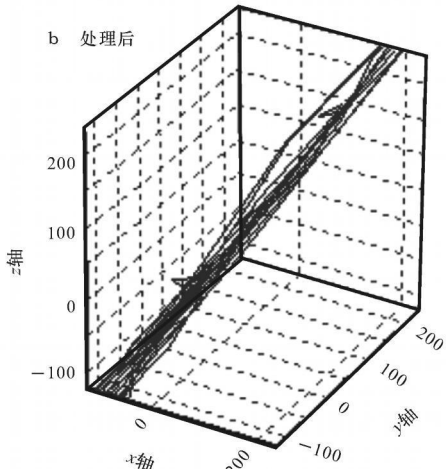


图 4 滤波前后矢端曲线

Fig. 4 Pre-Filtering and Post-Filtering Hodograph

表 1 是理论模型第 10 道面波与体波交叠时窗内地震记录的极化滤波处理前后极化度分析统计表。从表 1 可看出, 滤波处理前地震记录的极化度较低, 说明面波比较发育, 与原始记录比较吻合。经过极化滤波处理后极化度得到了很大提高, 即面波得到了很好压制。

3 2 实例分析结果

图 5 为中国某海域多波地震勘探实际资料单炮记录极化滤波结果。图 5a、c 分别为原始 X、Z 分量记录, 近道面波非常发育, 图 5b、d 分别为经过滤波处理后的 X、Z 分量记录, 近道面波基本被压制, 原来被面波淹没的反射同相轴重新突显出来。

4 结语

极化滤波是利用波的偏振特性进行空间滤波的方法, 是进行波的偏振研究和多波探测资料解释的基本工作之一。这种方法的优点是适于提取线性极化波, 计算结果相对比较稳定, 对干扰不敏感; 其缺点是时窗长度大小的选择比较困难, 而且时窗选择不同, 计算结果也有较大差异。研究自适应精确确定时窗长度的极化分析方法是下一步的工作方向。

混合编程是综合使用多种开发工具技术优势的一种常用手段, 笔者采用 Windows XP 为操作平台, 通过 VC++ 和 MATLAB 混合编程技术, 以精练的代码和较高的运行效率实现了极化分析的计算处理与图形显示。

表 1 理论模型极化分析统计

Tab. 1 Statistic Results of Polarization Analysed Synthetic Data

时间/ ms	极化滤波前				极化滤波后			
	主极化方向角度/ (°)			极化度	主极化方向角度/ (°)			极化度
	X	Y	Z		X	Y	Z	
1 108	143 71	53 73	89 09	0 38	58 28	109 97	38 82	0 90
1 112	52 00	140 19	79 90	0 40	59 89	101 64	32 73	0 92
1 116	64 07	37 06	114 5	0 39	58 75	83 72	32 02	0 81
1 120	127 22	136 81	71 33	0 17	63 80	77 93	29 25	0 79
1 124	69 55	86 24	20 83	0 84	64 97	82 23	26 37	0 99
1 128	67 06	80 04	25 24	0 96	64 87	80 01	27 31	1 00
1 132	66 63	78 64	26 29	0 96	64 46	79 52	27 90	1 00
1 136	62 86	79 73	29 32	0 99	61 63	79 67	30 52	1 00
1 140	62 19	79 50	30 06	1 00	61 31	79 70	30 82	1 00
1 144	61 65	78 95	30 80	0 99	60 81	79 62	31 33	1 00
1 148	58 91	80 18	32 95	0 99	59 35	80 20	32 51	1 00
1 152	59 14	79 84	32 85	0 99	59 66	79 99	32 29	1 00
1 156	57 63	80 83	33 96	0 96	59 56	80 39	32 24	1 00
1 160	62 33	81 88	29 04	0 89	60 89	80 65	30 85	0 99
1 164	65 67	79 69	26 70	0 86	62 70	79 55	29 56	1 00
1 168	59 64	70 67	37 17	0 53	63 32	77 68	29 81	0 98
1 172	45 06	45 62	83 72	0 38	51 55	70 53	44 87	0 90
1 176	103 1	127 91	139 09	0 27	43 53	79 20	48 49	0 93
1 180	79 83	48 39	43 40	0 34	41 49	102 11	51 06	0 80
1 184	46 51	77 29	46 26	0 18	66 88	120 88	40 26	0 80
1 188	35 13	92 48	54 99	0 06	67 03	115 43	35 47	0 57

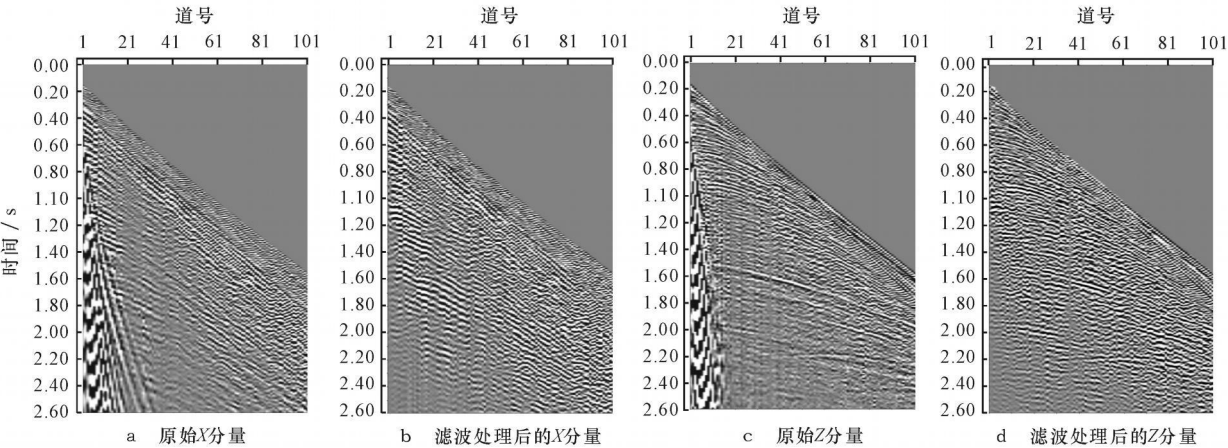


图 5 实际资料极化滤波结果

Fig 5 Polarization Filtering Results of Real Data

参考文献:

[1] 李锦飞, 李人厚, 刘贵忠, 等. 基于小波多分辨分析的极化分析和滤波方法[J]. 信号处理, 1999, 15(1): 88-92.

[2] 加尔彼林. 地震勘探偏振法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.

[3] 黄中玉, 高 林, 徐亦鸣, 等. 三分量数据的偏振分析及其应用[J]. 石油物探, 1996, 35(2): 9-16.

[4] Shieh C F, Herrmann R B. Ground Roll Rejection Using Polarization Filters[J]. Geophysics, 1990, 55(9): 1216-1222.

[5] 李铜基. 极化滤波[J]. 海洋技术, 1996, 15(4): 130-137.

[6] Franco R D, Musacchio G. Polarization Filter with Singular Value Decomposition[J]. Geophysics, 2001, 66(3): 932-938.

[7] 鄢 丹, 欧阳祥波. VC 下利用 Matlab 实现科学计算的可视化[J]. 计算机与现代化, 2003(8): 87-89.

[8] 谢佩军, 计时鸣, 张 利. VC++ 与 MATLAB 混合编程的探讨[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(2): 128-130.

[9] Kruglinski D J. VC++ 6.0 技术内幕[M]. 潘爱民, 译. 北京: 北京希望电子出版社, 1999.

[10] 李庆春, 邵广周, 刘金兰, 等. 瑞雷面波勘探的过去、现在和未来[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 74-77.

[11] Perelberg A I, Hornbostel S C. Applications of Seismic Polarization Analysis[J]. Geophysics, 1994, 59(1): 119-130.

[12] Diallo M S, Kulesh M, Holschneider M, et. al. Instantaneous Polarization Attributes Based on an Adaptive Approximate Covariance Method[J]. Geophysics, 2006, 71(5): 99-104.

[13] 刘志俭, 潘献飞, 连军想. Matlab 外部程序接口(6.x)[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[14] 王海军. 应用三分量极化滤波法压制地滚波等椭圆偏振波[D]. 西安: 西安工程学院, 1996.

