

浅层地震反射波资料处理系统简介

韩 立 国

(长春地质学院)

一、系统研制概述

浅层地震反射波资料处理系统的研制工作,基本上是参考 CYBER-720 机 SOS 系统模块的数学模型,并根据所用微机特点,设计出具有自己特色的处理模块。现时的微机具有充足的外存,即磁盘。磁盘具有随机存取功能,所以预处理中的抽道集没有必要单独形成独立模块只要在需要叠加的模块中编写简单抽道公式即可。这样做减少了编程工作,优化了模块,而且由于叠加时直接从磁盘读取数据,减少了处理与外围设备交换数据的次数,大大地加快了运算速度。

(一)模块的设计

1. 动校模块

动校模块的设计是采用了 SOS 系统模块的计算时差曲线,并取转换点的方法。根据所用微机具有充足的内存,和在一定地质区域内地层速度分布特征基本一致,即在处理邻近一些炮点的地震记录时,可使用同一条速度曲线这一规律,将动校正量的计算结果以造表给出。这样的设计,使其在进行动校叠加运算时,只进行数据搬家与累加运算,大大地加快了数据处理的速度。

2. 快速傅氏变换法

一维滤波模块原用褶积运算法,运算的速度较慢,为了加快运算速度,将计算方法改用快速傅氏变换法。另外,在程序中将所有需要大量重复计算的函数,采用一次计算,形成可重复引用的动态数据表的方法。改进后,大大地加快了程序运算速度,缩短了执行时间。这种用空间换时间的程序计算方法,在所设计的模块中是随处可见的。

3. 速度谱模块及绘制速度谱曲线的改善

速度谱模块设计的基本数学模型是参考 SOS 系统的。在具体模块上,充分体现了原设计处理方案(处理程序)的设计思想,使速度谱模块形成完全独立的模块,输入、输出、动校叠加运算、绘图等皆由此模块进行管理。这样就不需要调用别的模块,免去与其它模块间的通讯及模块管理负担,减少了模块的加载次数,使得所用数据与外围设备交换的次数最少。从而做到了程序简单合理,数据流简短合理运算速度快。

在绘制速度谱方面,考虑到速度谱能量较为分散,若采用 SOS 系统的办法显示谱线,使得极值不突出,难以识别(SOS 系统速度谱是以识别能量极值为主,辅以其它信息综合识别、勾画速度曲线的)。况且,用打印机不能使在同一点的绘图与打印方式并存,这就不便在能量极值处打印上特殊标志加以识别。为此,将速度谱中谱线部分,由绘制谱线图改为打印

能量极值分布曲线。该曲线清晰便于识别速度;勾画速度谱曲线方便、容易、且运算速度加快。

4. 打印绘制地震剖面模块

首先,认真研究了剖面点阵图形数据与地震波形振幅数据之间的关系。建立了一个二进制点阵图形数据表。将地震波形振幅的数据只需经过简单的指针查表方法,就可转换为点阵图形数据,没有繁琐变换运算工作。程序简明清晰,因无转换运算工作,使程序执行速度也很快。其次,深浅层地震波能量差别很大,为使其均衡都能用打印机打印出来,采用了自动增益控制方法。有时为了压制浅层,突出深层,设计了释放自动增益时间、结束自动增益时间、初始增益、终了增益等参数。对于浅层,为了压制其能量,而采用固定增益(同初始增益),当达到某一时间(释放自动增益时间)后,采取自动增益控制。这样做的结果,使其显示深、浅能量均衡,各层同相轴均能达到清晰显示的目的。在波形显示方面,原采取变面积形式(波形的正半周是面积图形,负半周为曲线图形),但在波能量较大时,负半周曲线图呈现不连续现象,考虑到显示负半周在剖面图上作用不大,就在程序设计上决定不显示负半周。实践证明,不仅是可行的,而且使剖面显示大为改观,剖面的清晰度好多了。

(二)系统主要功能

1. 可输入及解编 DFS-V、SN338B、SN338HR、MC-1500、MC-1600 等仪器采集的地震资料。

2. 可处理水文、工程地质勘探方面及石油勘探方面的深、浅层地震资料。处理项目包括常规处理及特殊处理,现可做的处理项目,详见系统功能一节。

3. 适应的观测系统

该处理系统适用于任何简单观测系统和各种复杂的变观观测系统。

4. 记录道数:可记录任意道数。现已进行过 24 道,48 道,96 道,120 道数据的解编与处理。

(三)系统结构

1. 所需硬件基本配置如图 1。

2. 软件部分

配置 22 个独立程序模块。其中预处理部分 6 个模块,处理部分 12 个模块,修饰性处理 2 个模块,绘图输出部分 2 个模块。

浅层地震反射波资料处理系统,经过实际资料的验证,证明效果是好的。

随着该系统的推广应用,对于浅层地震勘探工作的进一步发展,必将起到积极的推广作用。本系统是在微机上实现的,系统硬件配置成本低,且软件适应机型广,易推广。原来在全国仅有少数大的计算中心配置地震资料处理系统,而现在每个生产单位(大队)都可配置一套处理系统。若用 IBM-PC 机作硬件资源,甚至每台地震仪都可配置一套。这对于开展浅层地震勘探工作提供了极大的方便。以往从获得资料到计算处理结果,需要好几个月时间,而现在就可做到边采集、边处理。这样不仅加快了勘探进程,也方便了指导野外生产。

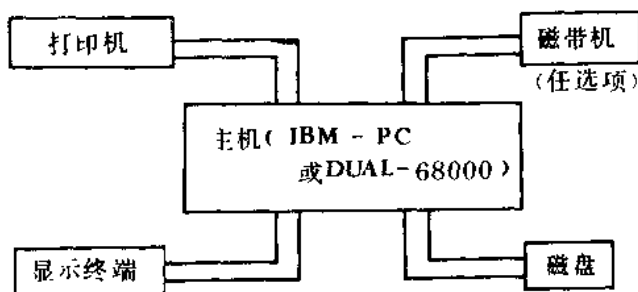


图 1 硬件配置图

Fig. 1 Hardware configuration

二、浅层地震反射波勘探数据处理软件系统

(一)反射波软件功能及特点简介

1. 处理反射波软件系统的功能

浅层地震反射波勘探数据处理软件系统,包括常规地震勘探数据处理程序。其主要功能是在微机上处理浅层(如水文、工程中)的地震勘探数据,也可以处理石油、煤田地震资料、本系统主要分预处理、处理(包括分析处理)、修饰性处理、绘图输出四部分,共 22 个独立模块。预处理部分有 6 个模块:(1)数据解编;(2)振幅恢复;(3)不正常炮道处理;(4)静校正;(5)初至切除;(6)抽道集。处理部分共有模块 12 个,它们是:(1)频谱分析;(2)速度谱;(3)常速扫描;(4)动校正;(5)自动剩余静校正;(6)水平叠加;(7)一维频率滤波;(8)反褶积;(9)二维滤波;(10) $f-k$ 波动方程偏移;(11)时深转换;(12)层速度估计。修饰性处理有两个模块:(1)动平衡;(2)相干加强。绘图输出部分有两个独立模块:(1)时间剖面输出模块;(2)深度剖面输出模块。此外,功率谱图形输出模块含于频谱分析模块中;速度谱图形输出模块含于速度谱模块中。

2. 处理反射波软件系统的特点

处理反射波软件系统的特点有四个方面:(1)采用人机对话处理方式;可采用菜单选择一个或几个模块同时运行;(2)分步处理方式;可使用户监视处理结果,随时修改参数,节省时间;(3)为提高处理速度节省处理时间,凡有重复计算部分,均形成查表方式;(4)系统对于机型等硬设备无特殊要求。

(二)系统各模块简介

采用 SDP 系统处理,处理的总流程框图见图 2。

1. 预处理部分

预处理的流程框图见图 3。

(1)数据解编(见图 4): a. 模块功能:本模块将各种不同记录格式的野外原始数据转换为计算机能存取的数据格式。b. 基本原理:由于全部采用 32 位浮点数处理,因而对于将数据以 16 位定点数存放在软盘内的 MC-1500 和 MC-1600 浅层地震仪将其数据输入到微机后,是很容易实现 32 位浮点数转换的。

对于 DFS-V、SN-338B 和 SN338HR 仪器,采集数据是以 20 位的 SEG-B 格式记录在磁带上的,在数据输入到微机后(见图 4),模块(用 C 语言或汇编语言编制)对其进行格式、排序(由时序变道序)的转换,形成 32 位浮点数的道记录。

(2)非正常炮、道处理(见图 5):

由于仪器因素、激发接收条件的影响以及人为干扰,使某些地震记录工作不正常,影响处理效果。本模块的功能是对废炮、废道予以充零;野值清除;反道充零或加负号;形成零炮记录。

(3)初至切除:地震波的初至部分,一般是浅层折射波和直达波等干扰波。对于这部分非有效信息,利用本模块做切除处理,将切除部分充零。

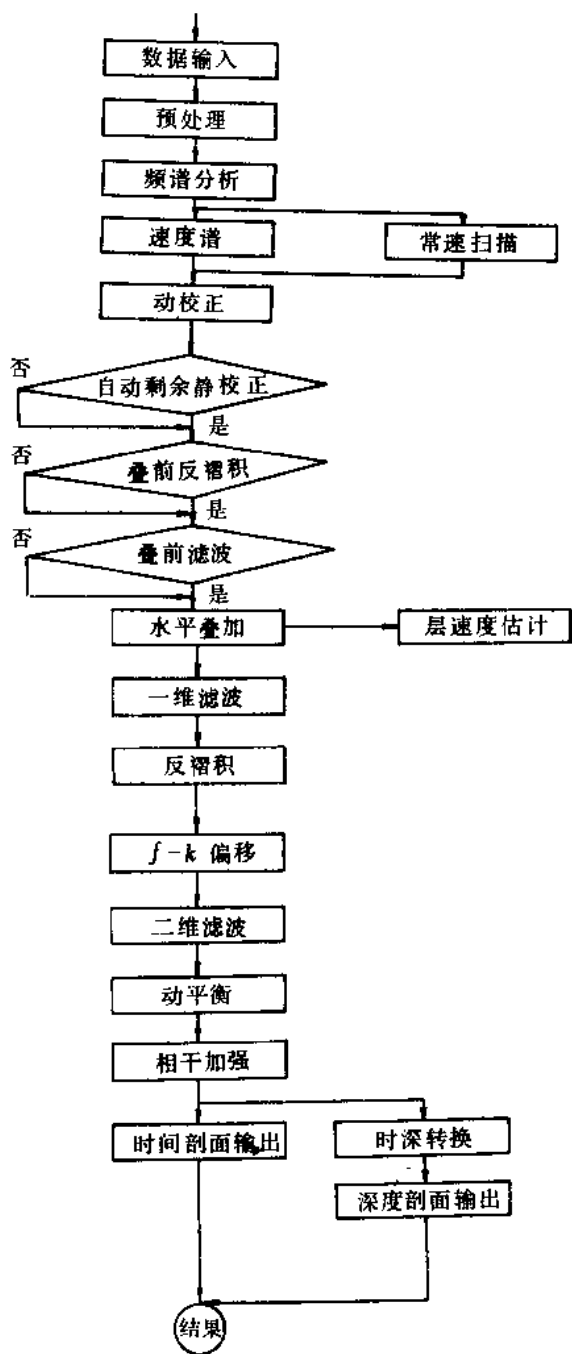


图 2 处理总流程图

Fig. 2 General flow chart of processing

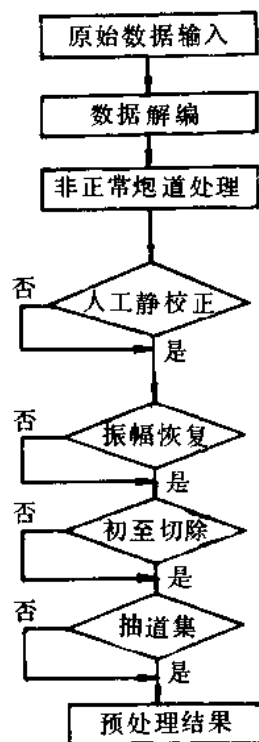


图 3 预处理流程图

Fig. 3 Flow chart of preprocessing

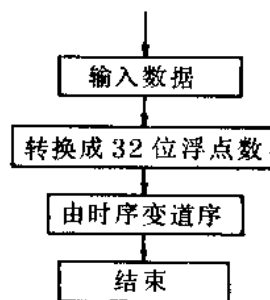


图 4 数据解编框图

Fig. 4 Data demultiplexing

(4)振幅恢复:振幅恢复处理的目的是消除地震波在传播过程中波前扩散和介质吸收的影响,使在地面接收到的振幅为仅与地下反射界面的反射系数有关的真振幅。程序中采用的计算公式为:

$$A=A_0V_t \exp(\alpha Vt)$$

其中, A 为处理后真振幅值, A_0 为记录到的振幅值, V 为波的传播速度, t 为波从反射点到接收点的传播时间, α 为介质吸收系数。

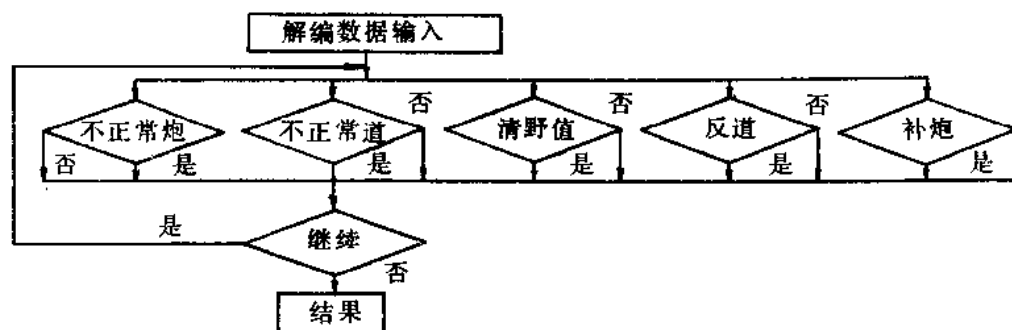


图5 非正常炮道处理框图

Fig. 5 Automatic data editing

(5)人工静校正:a. 人工静校正的模块功能即是基准面校正,它将激发点和接收点校正到同一基准面上,同时消除低速带的影响。b. 人工校正模块的原理:实现静校正的公式如下:

$$\Delta T = \frac{h_s}{V_0} + \frac{h_r}{V_0} + (h_1 + h_2) \left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V} \right)$$

其中 ΔT 为静校正值, V_0 为低速带(风化层)速度, V 为低速带下介质波速, h_s 为炮点高程与井深(hh)之差, h_r 为接收点高程, h_1 为炮点处低速带厚度, h_2 为检波点处低速带厚度(见图6)。

上式中第一项为炮点校正;第二项为检波点校正;最后为低速带校正。

(6)抽道集:抽道集模块功能是实现单对放炮(大小号)和中间放炮的共深度点的抽道集,以便于叠加、速度分析等。但由于处理程序中已有了抽道集功能,此项亦可不做。

2. 数据处理部分

(1)频谱分析:a. 频谱分析的功能是对地震记录做频谱分析,以确定地震波的主频范围和干扰波的频率分布,并为一维频率滤波提供参数。b. 频谱分析的原理是利用快速傅

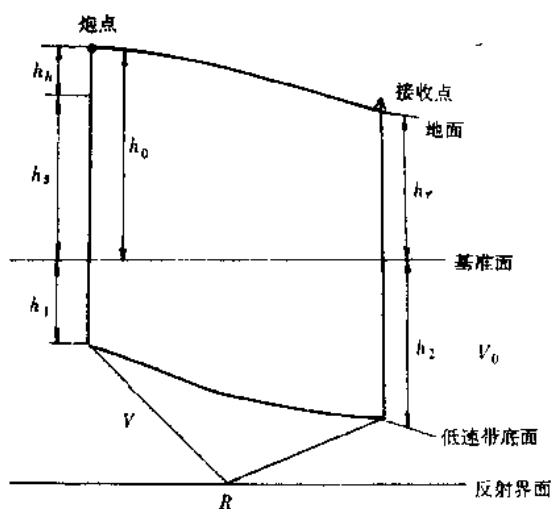


图6 计算静校正量示意图

Fig. 6 Geometry in statics calculation

氏变换方法进行频谱分析, 设 $x(n) = \{x(0) \cdots x(n-1)\}$ 为一段记录, 其频谱为:

$$x(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-jmnt}$$

$$m = 0, 1, \dots, N-1$$

功率谱为:

$$P(m) = \text{Re}^2[x(m)] + \text{Im}^2[x(m)]$$

$$m = 0, 1, \dots, N/2$$

相位谱为:

$$\arg(m) = \text{tg}^{-1} \frac{\text{Im}[x(m)]}{\text{Re}[x(m)]}$$

$$m = 0, 1, \dots, N/2$$

在打印机上实现输出功率谱图形。

(2) 速度谱: a. 速度谱的功能是获得叠加速度的一个重要方法, 本模块中使用多条速度曲线进行扫描叠加, 输出叠加速度谱。b. 速度谱原理是根据所处理的资料, 给出一条比较接近实际的参考速度曲线 $V_0 - t_0$, 利用此曲线, 根据公式:

$$\Delta T = \sqrt{t_0^2 + \frac{X^2}{V_0^2}} - t_0$$

计算出参考时差曲线, 用此参考时差曲线对 CDP 道集进行动校叠加。然后以参考速度曲线为中心, 在一定范围内扩展数条曲线, 并分别求出各条速度曲线的时差曲线对 CDP 道集进行动校叠加, 然后与参考速度曲线所作动校叠加的成果比较。

以扫描速度为横坐标, 以叠加能量为纵坐标, 就得到某个时刻的能量曲线, 对其进行插值即可得到叠加速度。

(3) 常速扫描: a. 常速扫描方法是求取叠加速度的另一种方法, 其特点是简便直观。常速扫描对共炮点道集和共深度点道集均可进行。b. 常速扫描原理是利用一种试验速度对共炮点道集或共接收点道集进行动校正(并叠加), 得到一组单次校正或叠加时间剖面, 根据叠加效果来选取叠加速度。计算公式如下:

$$t_0^{(*)} = \frac{T^2}{2V^2\Delta T} - \Delta T$$

其中 $t_0^{(*)}$ 表示动校正量为 ΔT 的转换点, V 为试验速度。

(4) 动校正: a. 动校正功能是为了消除由炮检距而产生的正常时差, 使地震记录近似成为仅与地层有关而与炮检距无关。b. 动校正原理是利用速度或常速扫描所得到的叠加速度计算动校正量(正常时差)和转换点, 然后根据校正量进行校正。

基本计算公式如下:

$$\Delta T_i = \sqrt{t_{0i}^2 + x^2/V_i^2} - t_{0i}$$

其中 ΔT_i 为第 i 个校正量, t_{0i} 表示相应的 t_0 时间, x 为炮检距, V_i 为第 i 个叠加速度。

(5) 自动剩余静校正: a. 由于表层各种参数提取时有一定的误差, 造成一次静校正后仍残存有低速带等表层影响, 本模块就是为消除这些剩余静校正值而设计的。b. 自动剩余静校正原理是利用多次叠加资料, 根据统计理论, 选择良好的标准层, 自动计算炮点、检波点的剩余静校正量。其假设条件为: 覆盖次数尽可能的高, 统计信息量足够多; 低速带影响与波传

播的射线方向和路径无关;测线上炮点,检波点的剩余静校正量可视为随机的,其变化波长(指剩余静校正量的正负变化)小于一个排列长度,在一定范围内,剩余静校正量均值为零。

(6)水平叠加:a.水平叠加功能是对经过动校正,自动剩余静校正后的数据进行抽道叠加,以突出反射,压制干扰,最终得到叠加时间剖面。b.水平叠加原理即将同一深度点的各道相加,如果道集内有 N 道,则叠加结果为:

$$X(t) = \sum_{n=1}^N X_n(t)$$

(7)水平叠加一维频率滤波:a.一维频率滤波是压制干扰波,突出有效波,提高信噪比的一个重要手段;本模块中有一维低通、高通、带通、陷波和积分滤波等各种滤波器。b.一维频率滤波模块是对于一维低、高、带通滤波,采用三角波镶边滤波器,以消除吉布斯效应。

低通滤波器频谱公式为:

$$H_l(f, f_1, f_2) = \begin{cases} 1 & , \text{当 } |f| \leq f_1 \\ 1 - \frac{4(f_1 - |f|)^2}{(f_2 - f_1)^2} & , \text{当 } f_1 < |f| \leq \frac{f_1 + f_2}{2} \\ 4 - \frac{(f_1 - |f|)^2}{(f_2 - f_1)^2} & , \text{当 } f_2 \leq |f| < \frac{f_1 + f_2}{2} \\ 0 & , \text{当 } |f| > f_2 \end{cases}$$

高通滤波频谱公式为:

$$H_h = 1 - H_l(f, f_1, f_2)$$

$$H_b = H_r(f, f_3, f_4) - H_r(f, f_1, f_2)$$

见图 7、图 8、图 9。

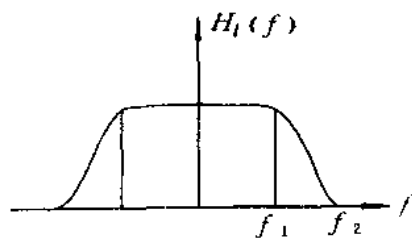


图 7 低通滤波器

Fig. 7 Low pass filter

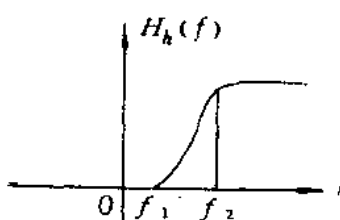


图 8 高通滤波器

Fig. 8 High pass filter

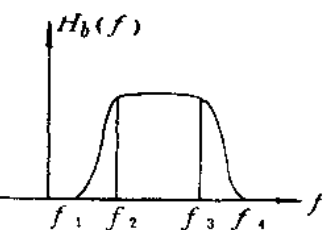


图 9 带通滤波器

Fig. 9 Band pass filter

递归陷波器公式为:

$$H(z) = \frac{|Z_R|^2 - 2\text{Re}Z_R + Z^2}{|Z_S|^2 - 2C_0\text{Re}Z_S + C_0^2 Z^2}$$

其中

$$Z_R = \exp(-i2\pi f\Delta t)$$

$$Z_S = (1 + \Delta)\exp(i2\pi f\Delta t)$$

$$0 < C_0 < 1$$

积分滤波在程序中将通过递归算法实现,以便平滑用。需平滑处理的模块如频谱分析。

速度谱等都有自己的平滑滤波因子。

(8)反褶积:a.反褶积功能是为了消除大地滤波器对激发信号的延迟滤波作用,压缩地震波形,提高分辨率,模块中有脉冲反褶积和波形反褶积两种。b.反褶积原理是采用最小平方反褶积方法,基本假设如下:反射系数为白噪声,随机干扰为白噪声;随机干扰、反射系数均与地震子波不相关。计算公式如下:

脉冲反褶积滤波因子为:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \cdots & r_n \\ r_1 & r_0 & \cdots & r_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_n & r_{n-1} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

波形反褶积滤波因子为:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \cdots & r_n \\ r_1 & r_0 & \cdots & r_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_n & r_{n-1} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}$$

反褶积输出公式为:

$$Y(n) = \sum_{m=0}^N X(n-m)a(m)$$

其中 $r(i), i=0, 1, \cdots, n, n$ 为自然数;

$a(i), i=0, 1, \cdots, n, a(i)$ 为反滤波因子;

$g(i) = \Sigma d(0)b(i-c)$ 为期望波形与地震子波的相关函数。

在进行波形反褶积时, $b(t)$ 的计算方法如下: 计算 $f(t)$

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \cdots & r_n \\ r_1 & r_0 & \cdots & r_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_n & r_{n-1} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

计算 f 的自相关函数 $R_f = \Sigma f(c)f(n-c)$

计算 $b(t)$

$$\begin{bmatrix} r_f(0) & r_f(1) & \cdots & r_f(n) \\ r_f(1) & r_f(0) & \cdots & r_f(n-1) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_f(n) & r_f(n-1) & \cdots & r_f(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

(9)二维滤波:a.本模块二维滤波的功能是根据频率和视速度的差异压制干扰波,突出有效波。主要用于消除低速的面波和浅层折射。b.二维滤波的原理为在频域内,计算二维滤波的频谱公式为:

$$H(f, k) = \begin{cases} 1 & |f| \leq f_1, |k| \leq k_1 = \frac{f_1}{V} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

利用上面所得的波形滤波器,可相应地求得带通波形,带通切饼式滤波器。

为消除吉布斯效应,采用镶边法对 $H(f, k)$ 进行平滑。

(10) f - k 波动方程偏移: a. 波动方程偏移的功能是对于叠加剖面做偏移处理,使反射波波场归位到实际位置,并使绕射波收敛提高水平方向分辨。b. 波动方程偏移的原理是利用二维波动方程:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \frac{4}{V^2} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right)$$

做 f - k 偏移, $P(x, z, t)$ 为空间反射波场。为便于速度随深度变化情况,采用相移法,偏移公式为:

$$P(k_x, \tau + \Delta\tau, \omega) = P(k_x, \tau, \omega) \exp(iQ\Delta\tau)$$

其中

$$\tau = \int_0^z \frac{dt}{V(z)}$$

$$Q = \omega \left[1 - \frac{4V^2 k_x^2}{\omega^2} \right]^{1/2}, \quad \text{当 } |\omega| \leq 0.5 k_x V$$

只要 $V(z)$ 在 $[\tau, \tau + \Delta\tau]$ 内不变,便可利用上式延拓,然后做傅氏反变换得偏移后波场 $P(x, z, t=0)$ 。

(11) 层速度估计: a. 层速度的功能是在叠加时间剖面上,对于给定的一组叠加速度和 t_0 时间经倾角校正后,用 Dix 公式计算层速度。b. 计算层速度的原理是对叠加速度根据下式进行倾角校正, $V_g = V \cos \varphi$, $\cos \varphi$ 可用倾角扫描方法获得。由 Dix 公式计算层速度:

$$V_n = \frac{[V_{gn}^2 t_{gn} - V_{g(n-1)}^2 t_{g(n-1)}]^{1/2}}{t_{gn} - t_{g(n-1)}}$$

(12) 时深转换: 时深转换的功能是经水平叠加波动方程偏移后的时间剖面,可根据 Dix 公式计算层速度,计算层厚度公式为:

$$\Delta Z_k = V_k \Delta t_k$$

计算深度公式为:

$$Z_k = \sum_{i=1}^k \Delta Z_i$$

3. 修饰性处理

(1) 动平衡

a. 动平衡的功能是由于地震波在传播过程中能量随深度、炮检距的增大而衰减,因而在记录上能量不均匀,本模块将对此做均衡处理,使道内道间振幅大致平衡。

b. 动平衡原理是道内动平衡,计算时窗内平衡振幅:

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_j(i)|$$

计算加权系数:

$$W_j = \frac{M}{A_j}$$

动平衡公式为:

$$A_j(k) = \omega_j(k) A_j(k)$$

道间动平衡: 计算各道平均振幅为:

$$\bar{A}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_j(i)|$$

计算 M 道平均振幅为:

$$AM_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i$$

加权(对中心道):

$$A_k(j) = A_k(j) / AM_j$$

(2)相干加强

a. 相干加强的功能:是使剖面背景清楚,层次分明,反射能量突出,提高信噪比。

b. 相干加强原理:根据波形相似性原理,利用相关分析理论,测定两个以上道的波形程度,对于相似性好的波给以大的权系数。而相似性差的波给以小的权系数。计算公式如下:

计算模型道:

$$F_o(t) = \sum_{j=i-M}^{i+M} f_j(t)$$

计算混波道:

$$f_j(t) = f_j(t) + rF_o(t)$$

计算互相关:

$$R_{io}(\tau) = \sum_{t=-T/2}^{T/2} f_i(t+\tau) F_o(t+\tau)$$

计算自相关:

$$R_{ij}(\tau) = \sum_{t=-T/2}^{T/2} f_i^2(t+\tau)$$

计算加权系数:

$$\omega_i(t) = \frac{R_{io}}{R_{ij}}$$

相干加强:

$$X(t) = f(t) \cdot \omega(t)$$

4. 绘图输出

绘图输出在打印机上完成。

(1)时间剖面输出:a. 时间剖面输出功能是输出变面积,波形加变面积两种剖面。b. 时间剖面输出原理是根据点阵打印机图形功能,将记录数据形成绘图点阵数据最后输出图形。

(2)深度剖面输出:深度剖面输出功能是可输出波形变面积,变面积两种经时深转换后的深度剖面。

(3)其它绘图模块:功率谱输出模块是打印功率谱谱线图形(于频谱分析中)。速度谱能量曲线图形含于速度谱模块中。

(三)处理反射波软件系统的成果

下面给出两条叠加剖面的例子,以说明本系统的应用,这些剖面的处理都是在 IBM-PC/AT 机上完成,在打印机上输出的剖面。图 10 是浅层横波勘探的叠加剖面,野外采集参数偏移距为 1m,道间距 1m,采样间隔 1 μ s,共 24 道 6 次叠加,单端激发。图 11 是石油勘探的现场处理叠加剖面,采集参数为单端激发,96 道接收,24 次叠加。

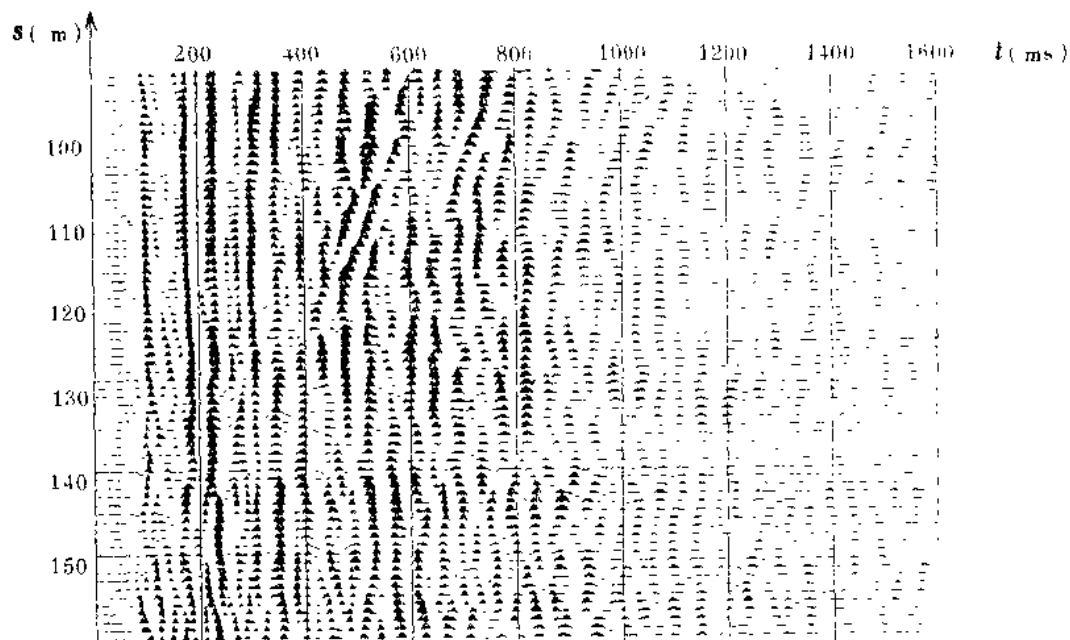
图 10 浅层 SH 波反射叠加剖面

Fig. 10 A stacked section of shallow reflected (SH wave) seismic data.

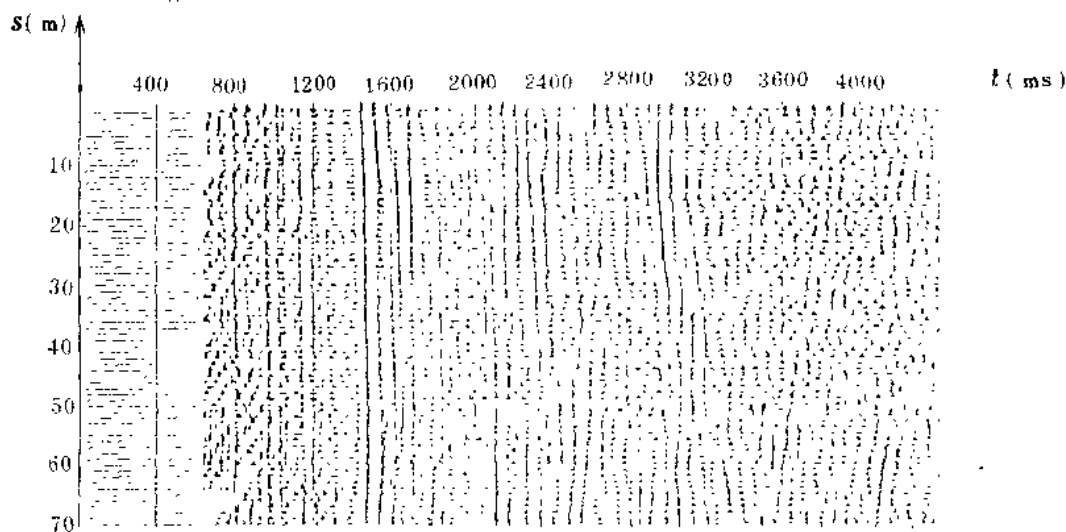


图 11 现场处理剖面(大庆地区)

Fig. 11 A stacked section of field processing in oil prospecting

参 考 文 献

- [1] 何棋登主编:1980,地震勘探——原理和方法,地质出版社。
- [2] 牟永光主编:地震勘探资料处理方法,石油工业出版社。
- [3] 程乾生编著:1979,信号数字处理的数学原理,石油工业出版社。
- [4] 石油部物探局计算站等:1977,地震勘探数字技术,第二册,第三册,石油出版社。
- [5] B. H 尼基金著,刘统畏译:1987,工程地震勘探原理,地震出版社。
- [6] Gazdag, J.: 1978, Wave equation migration with the phase shift method, Geophysics, Vol. 43, P. 1312-1319.

A BRIEF INTRODUCTION TO THE DATA — PROCESSING SYSTEM FOR SHALLOW SEISMIC REFLECTED WAVE DATA

Han Liguo

(Changchun College of Geology)

Abstract

The principles, functions and characteristics of 22 modules constituting the data—processing system for shallow seismic reflected wave are briefly introduced in this paper. Using a DUAL-68000 or an IBM-PC/AT computer and a dot printer as the hardware configuration and referring to the data-processing method in seismic petroleum exploration, we have developed for the first time in China the data-processing system for shallow seismic reflected wave to meet the demand of shallow seismic exploration. The system is characterized by abundant functions, rapid processing, high precision, complete display means and easy operation. Besides being widely used in the processing of shallow seismic data obtained in engineering and hydrologic exploration, it has extensive application in field data-processing of petroleum seismic exploration.

浅层地震反射波数据微机处理系统 及应用效果

唐 大 荣

(地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队)

当前,我国的浅层地震反射纵波及横波勘探已广泛地采用多次覆盖技术,因而数据的计算机处理已是整个勘探工作的重要组成部分。充分考虑浅层地震特点,在微机上开发数据处理系统是完善浅层地震勘探技术的重要步骤,也将会进一步推动该技术的发展。

我队在1982年从美国 INPUT/OUTPUT 公司引进 MINIT-SOSIE DHR-2400型高分辨数字地震仪后,将在石油地震勘探中行之有效的多次覆盖技术引用到浅层反射地震勘探中来,借用处理石油地震数据的大中型计算机及相应的软件来处理浅层反射波地震数据。实践证明,这种处理存在着各种问题。显然,开发在微机上运行的浅层地震反射波数据处理系统是十分必要的。

目前开发成功的系统,可在 DUAL-68000 及 GW-286 微机上运行,能处理 BISON-8012A、ES-2415F、MCSEIS-1500、MINIT-SOSIE、DHR-2400 等浅层数字地震仪采集的数据。系统由28个程序模块组成,磁带格式解编程序用 C 语言,其余程序均用 FORTRAN77 语言编写;系统具备针对浅层地震反射波特点进行常规处理能力。与借用 CYBER-720 机石油地震数据系统的处理结果相比,在200ms 以上的部位有显著的改善。

该系统已投入生产性数据处理,处理过各种数字地震仪所采集的数千炮数据,证明该系统使用方便、灵活、运行可靠,处理结果令人满意。

一、浅层地震反射波勘探技术特点及对 数据处理系统的要求

根据对浅层地震仪的技术性能、浅层地震勘探所探测的地质对象特征以及微机运行环境的分析,而提出了数据处理系统的技术要求。

(一)浅层地震仪数字记录系统的特点

国内使用的浅层数字地震仪型号较多,因而记录地震数据的介质类型、记录格式、地震道数、每道样点数、每个样值的字长及二进制编码方式是多样的。记录介质类型有1.27cm 带宽的九轨数字磁带,音频盒式数字磁带,13.34cm 软磁盘及固态存储器;记录格式有 SEG-D,改进的 SEG-Y 格式及非标准格式;地震道数有12道和24道两种;常见的每道采样点数有1024和512两种;每个样值的字长有32bit、16bit、10bit、8bit 等;每个样值的二进制编码方式有定点数和浮点数两种,负数用补码或反码。

(二)设计浅层地震数据处理系统时应考虑的技术要求

针对上述特点,浅层地震数据处理系统应具备有较强的原始数据解编功能,以应付各种型号地震仪所采集的数据。

1. 处理系统要有精细的数据动平衡能力

浅层数字地震仪采用了固定增益的放大器,动态范围小。虽然利用了多次垂直叠加实时处理的方法使动态范围有所改善,但是远不如石油地震勘探使用的瞬时浮点增益放大器所达到的动态范围。因此,浅层地震反射波数据处理系统应有精细的道内及道间数据动平衡能力,尽量提高那些受动态范围限制未能获得充分放大的微弱信号的幅度。

2. 处理系统要有恢复数据起始时间的功能

为了在不改变采样间隔的条件下,加大记录时间,浅层数字地震仪均有将记录起始时间延迟的功能。因此,数据处理系统作野外数据编辑时,应当有恢复数据起始时间的功能。方便且功能强的原始数据编辑模块对精细的浅层反射波数据处理十分必要。

3. 处理系统必须有功能强的动校正速度的分析模块

浅层地震勘探对象往往是第四系松散沉积物,它们经常是呈冲洪积扇及古河道带沉积形式,或者是坡积洪积物,因而岩性的纵向和横向变化较大;即使在探测浅部基岩时,也存在有岩性结构变化较大的风化层或风化壳。处理系统必须有功能强的动校正速度分析模块,在动校正模块中必须加强动校正速度的横向及纵向的内插功能,并考虑动校正速度倒转现象。

4. 处理系统要有灵活的抽共中心点道集的功能

浅层地震勘探任务及目的是多种多样的。为解决不同的任务,多次覆盖系统参数有覆盖次数、最小炮检距、道距等,排列形式(大桩号端点放炮,小桩号端点放炮,中间放炮等)也随着变化。此外,有些单位还采用等炮检距观测系统和单次连续观测系统等采集数据,因而处理系统应当有灵活的抽共中心点道集的功能。

5. 处理系统应该具有服务性的程序模块

处理系统是在微机上运行,因而系统各程序模块应在保证功能的前提下,采用合理的数学模型和算法,提高运算速度,节省内存空间。我们不可能奢望用专门的地震剖面静电绘图仪来输出中间和最终结果,因而处理系统应当有点阵行式打印机和图形显示终端输出地震剖面 and 地震记录等服务性的程序模块。可见,只有满足上述要求的处理系统,才可能处理出比较满意的结果,这也是本系统设计出发点。

二、浅层地震反射波数据处理系统结构特征^①

(一)目前处理系统包含的程序模块

1. 野外原始数据解编程序;
2. 野外数据编辑程序;
3. 道内及道间动平衡程序;
4. 快速频谱分析程序;
5. 时域、频域数字滤波及递归滤波程序;
6. 抽共中心点道集程序;

^① 地矿部水文工程地质技术方法研究队, DUAL-68000微机浅层地震反射资料处理系统开发研究报告, 1983年7月。

7. 常速扫描程序;
8. 动校正及水平叠加程序;
9. 相干加强程序;
10. 道间组合增强程序;
11. V550图形显示终端显示波形加变面积程序;
12. M2024行式打印机打印变面积及变面积加波形程序;
13. M2024行式打印机打印振幅谱图程序。

(二)处理系统特征

1. 野外数据解编程序用 C 语言编写,其余程序均用 FORTRAN77语言编写。
2. 全部处理程序模块以文件形式驻留在同一个目录下。
3. 本系统数据文件分为三类:共炮点数据文件,共中心点道集数据文件,水平叠加道集数据文件。

4. 数据文件名是由英文字母串和数字串两部分组成。字母串表示文件的属性;数字串按文件的属性,表示炮号、共深度点号。如文件名为 F001,F 表示是共炮点数据文件,001表示第一炮;文件名为 CDP001,CDP 表示的是共深度点道集数据文件,001表示第一号共深度点;文件名为 CDP1-200表示的是水平叠加道集数据文件,它包含有1至200号共中心点水平叠加道。上述表示文件属性的字母串由用户自定,系统不作规定。

5. 全部数据文件均为无格式记录,直接存取文件。

6. 共炮点和共中心点道集数据文件每个记录是由地震道按时序排列的样值组成,记录号等同于道号,道号的次序定成近炮点为小号,每个样值字长为四个字节,记录长度为四倍每道采样点数。

7. 共中心点叠加道数据文件的记录号即是共中心点号。

上述数据文件结构形式,不但节省内存,缩短数据存取时间;并且对处理系统构成和模块化带来方便。

8. 全部处理模块具有自动打开所需文件读取数据和自动创建数据文件名功能,并在此名下写入数据的能力。

三、处理系统主要技术性能

下页表1给出了该系统在 DUAL-68000微机上运行时间测试结果,测试环境是单用户状态,不配用浮点运算板。

四、处理效果实例

本节列出一些主要程序运行效果的实例。

(一)动平衡程序运行的效果

图1是动平衡程序运行的效果。图1(a)是动平衡前的共炮点记录,图1(b)是动平衡后的共炮点记录。显然200ms后有效信号得到加强,道间信号也得到很好的平衡。

(二)数字滤波程序运行的效果

图2是数字滤波程序运行的效果。图2(a)是滤波前的共炮点记录,图2(b)是数字滤波后的结果。两者相比,不难看出滤波后的结果信噪比有显著的提高。

(三)速度扫描程序运行效果

图3是速度扫描程序运行的效果图。图上标注的速度 V 是用于扫描的速度,此图文件是 CDP201-220,表示作速度扫描范围是从共中心点201号到220号。根据扫描结果,可以较准确地求得动校正速度随 t_0 变化值。

(四)速度扫描程序系统的效果

图4是用本程序系统获得的最终结果—水平叠加地震剖面。

该剖面从300ms至400ms均有反射信号,反射信号层次丰富,特别是小于100ms的浅部反射信号清晰,充分显示该系统具备处理浅层高分辨反射波数据的能力。

五、结 论

本文推荐的处理系统,由于充分地注意到浅震高分辨地震技术特点及微机运行环境,可以处理国内各种常见的浅层数字地震仪采集的数据,并能给出满意的处理结果。

该系统的扩展、维护和移植均很方便。

表 1 DUAL-68000微机运行时间测试

Table 1 Operation time of DUAL-68000 microcomputer

程序模块名称	处理的数据量	时间
READTPD (D格式数据解编)	10炮 每炮24道,每道1024个样	3'58"
DYN (道内、道间动平衡)	10道 每道500个样	14"
FILTER (带通递归滤波)	10道 每道500个样	21"
SORT(抽共中心点道集)	12次覆盖,抽10个CDP道集, 每道500个样	2'16"
VSCAN (常速扫描)	12次覆盖,10个CDP道集 每道500个样,并绘图	5"
NMO+STACK (动校正及水平叠加)	12次覆盖,10个CDP道集,在两个 CDP点上设定动校速度	4'53"
PLOT (用M2024打印机绘波形图)	10道每道 1000个样,波形加变面积	1'30"

参 考 文 献

[1] KANO, N., WATANABE, S., YOKOKURA, T., and YAMAGUCHI, K.: Seismic survey data monitoring system using a personal computer, Geophysical Exploration, Vol. 41, No. 3 (June, 1988), P. 215—225.

[2] 唐大荣、刘勇:1988,用 DUAL-68000微机处理浅层地震勘探数据磁带读入及输出波形方法,物探化探计算技术,第十卷,第二期。

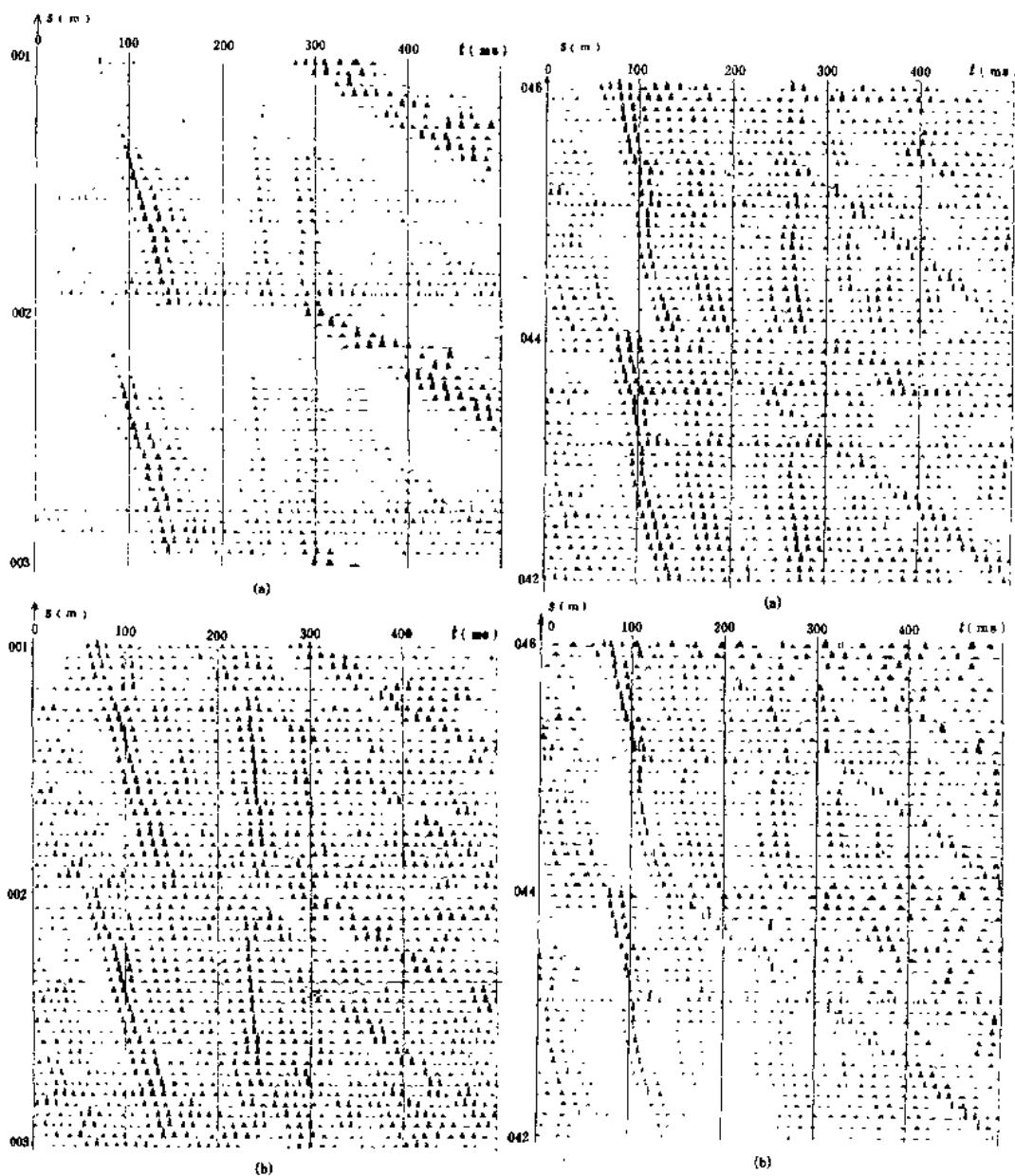


图 1 动平衡程序运行效果图
Fig. 1 Operating effects of dynamic balancing program
(a) 动平衡前的共炮点记录
(b) 动平衡后的共炮点记录
(a) The common shotpoint record before the operation of digital filtering program,
(b) The common shotpoint record after the operation of digital filtering program

图 2 数字滤波程序运行效果图
Fig. 2 Operating effects of digital filtering program
(a) 数字滤波前的共炮点记录,
(b) 数字滤波后的共炮点记录
(a) The common shotpoint record previous to operation of dynamic balancing program,
(b) The common shotpoint record after operation of dynamic balancing program