



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101551465 B

(45) 授权公告日 2011. 04. 20

(21) 申请号 200810103342. 0

(22) 申请日 2008. 04. 03

(73) 专利权人 中国石油天然气集团公司  
地址 100724 北京市西城区六铺炕街 6 号  
专利权人 中国石油集团东方地球物理勘探  
有限责任公司

(72) 发明人 高少武 赵波

(74) 专利代理机构 北京市中实友知识产权代理  
有限责任公司 11013

代理人 刘天语

(51) Int. Cl.

G01V 1/28 (2006. 01)

G01V 1/36 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1203324 C, 2005. 05. 25, 全文.

US 5592083 A, 1997. 01. 07, 全文.

CN 100349007 C, 2007. 11. 14, 全文.

高少武等. 自适应单频干扰波识别与消除方法研究. 《石油物探》. 2008, 第 47 卷 (第 4 期), 352-356.

高少武等. 时间域单频干扰波消除方法的改进. 《石油地球物理勘探》. 2008, 第 43 卷 (第 3 期), 270-274.

审查员 潘聪

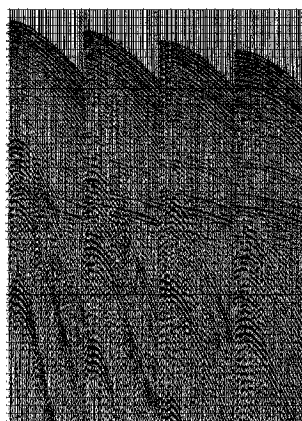
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 15 页

(54) 发明名称

一种自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法

(57) 摘要

本发明涉及野外地震数据采集中自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法。包括以下步骤：确定单频干扰波的初始频率；计算单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅；根据单频干扰波初始频率确定单频干扰波频率；计算单频干扰波和地震有效信号；得出消除单频干扰波的地震数据绘制消除单频干扰波后的地震数据剖面 and 存储消除单频干扰波后的地震数据剖面。本发明克服了频率域压制单频波的缺点，而且比时间域单频干扰波压制方法运算速度快，能够有效的消除地震记录上的单频波，保留了时间域单频干扰波压制方法不损害有效波的特点。



1. 一种自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法，其特征在于采用如下步骤实现：

1) 用通常的地震震源激发和采集地震数据并做预处理；

2) 根据地震数据中原始波形数据  $S_i$  和它的振幅谱，由原始波形数据的震荡周期和它的振幅谱的最大位置所对应的频率，确定原始数据中单频干扰波的初始频率  $f_0$ ；

3) 计算单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$ ，其计算公式为：

$$A = \frac{dc - eb}{ac - b^2}$$

$$B = \frac{db - ea}{b^2 - ac}$$

其中

$$a = \sum_{i=1}^N \cos^2 2\pi f i \Delta t$$

$$b = \sum_{i=1}^N \cos 2\pi f i \Delta t \sin 2\pi f i \Delta t$$

$$c = \sum_{i=1}^N \sin^2 2\pi f i \Delta t$$

$$d = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f i \Delta t$$

$$e = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f i \Delta t$$

式中：

$S_i$ ----- 表示地震记录的时间序列，野外地震数据采集得到；

$A$  ----- 表示单频干扰波余弦函数的振幅；

$B$  ----- 表示单频干扰波正弦函数的振幅；

$f$  ----- 表示单频干扰波频率，自适应频率计算算法确定；

$\Delta t$ ----- 表示地震记录的时间采样间隔，野外地震数据采集得到；

$i$  ----- 表示地震记录的时间采样序号；

$N$  ----- 表示地震记录的时间采样长度，野外地震数据采集得到；

4) 根据地震数据  $S_i$  和单频干扰波初始频率  $f_0$ ，采用以下频率修正公式确定单频干扰波频率  $f$ ，

$$f = f_0 + \Delta f$$

其中：

$f_0$  是初始频率， $\Delta f$  是自适应频率修正值，

$$\Delta f = \frac{2(VA - UB)}{N(A^2 + B^2)}$$

$$U = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N}$$

$$V = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N}$$

初始频率  $f_0$  由步骤 2) 确定；步骤 4) 计算第一步中， $f$  为  $f_0$ ；

5) 根据单频干扰波频率  $f$ 、单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$ 、地震记录的时间采样间隔  $\Delta t$ ，按照以下公式计算单频干扰波  $y_i$ ；

$$y_i = A \cos 2\pi f i \Delta t + B \sin 2\pi f i \Delta t；$$

式中频率  $f$  由自适应频率计算算法确定，单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$  由振幅计算公式计算确定；

6) 按照以下公式计算地震有效信号：

$$x_i = S_i - y_i$$

式中：原始地震数据  $S_i$ ，由野外数据采集得到，估算的单频干扰波  $y_i$ ，由单频干扰计算公式计算得到， $x_i$  是消除单频干扰波后的地震有效信号；

7) 采用通常的方法根据得出消除单频干扰波的地震数据绘制消除单频干扰波后的地震数据剖面 and 存储消除单频干扰波后的地震数据剖面。

2. 根据权利要求 1 所述的自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法，其特征在于步骤 1) 所述的预处理是指对地震数据置标签、定义观测系统。

## 一种自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及油田的勘探、开发、开采技术，具体是一种在野外地震数据采集集中自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法。

### 背景技术

[0002] 地震勘探的过程，就是在地面上的一系列点上，利用人工激发地震波，地震波向地下传播，当遇到波阻抗（地震波在地层介质中向地下传播的速度与介质密度的乘积）界面（即上下地层波阻抗不相等面）时，在波阻抗界面上地震波产生反射现象，地震波传播方向发生改变，地震波开始向上传播，在地面上的一系列接收点上安置着接收器，接收向上传播的地震波数据，完成野外勘探。在野外地震数据采集过程中，如果在地面接收器附近存在高压输电线或周期性震动（如发电机等），这样在地面接收器接受到的地震数据中就会存在很强的单频波，其频率在整个接收长度上是固定不变的，它与地下地震地质条件无关，与激发的地震信号无关，与地表地震地质条件无关。因此在地震勘探和地震数据处理中，这种波被看作为干扰，必须加以剔除。

[0003] 在地震记录中存在单频强干扰波时，常规的压制方法是在频率域内进行压制。频率域处理虽然简单、方便，但是存在以下问题，在浅层，当有效波与干扰波的能量水平非常接近，或者有效波能量比干扰波的能量强，则干扰波不易识别；如果有效波的能量比干扰波的能量弱，此时干扰波容易识别。在深层，干扰波易识别。对于干扰波仅仅在振幅上进行压制处理，压制量不易掌握，压制不足会在记录上存在残余的单频干扰波。频率域压制还往往损害该频率附近有效波频率成分；为了减少对有效频率的损害，就要选取很窄的压制频带，这样对应的时间域算子很长，会产生严重的边界效应。同时由于强单频干扰波的频率受到周波不稳的影响，往往不是纯粹的 50hz，同时还受计算时窗选取的影响，使得快速傅里叶变换存在一些难以克服的问题。这些问题都使得在频率域内有效地压制强单频干扰波难以实现。

[0004] 采用时间域单频干扰波压制方法（《石油地球物理勘探》，高少武，2001）中公开了在时间域消除地震数据中的单频干扰波方法。该方法将单频干扰波被表示为振幅、频率和时延的余弦函数。可以有效地消除地震记录上的单频波。但由于单频波的频率和时延两个参数都采用扫描的方法求取，因此运算的速度比较缓慢，特别当数据量很大时非常费时。

### 发明内容

[0005] 本发明目的在于提供一种计算简单、效果显著的直接在时间域内自适应识别和消除地震勘探单频干扰的方法。

[0006] 本发明采用如下技术方案，包括以下步骤：

[0007] 1) 用通常的地震震源激发和采集地震数据并做预处理；

[0008] 步骤 1) 所述的预处理是指对地震数据置标签、定义观测系统。

[0009] 2) 确定单频干扰波的初始频率；

[0010] 步骤 2) 所述的确定单频干扰波的初始频率是指根据地震数据中原始波形数据  $S_i$  和它的振幅谱，由原始波形数据的震荡周期和它的振幅谱的最大位置所对应的频率，确定原始数据中单频干扰波的初始频率  $f_0$ 。

[0011] 3) 计算单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$ ，其计算公式为：

$$[0012] \quad A = \frac{dc - eb}{ac - b^2}$$

$$[0013] \quad B = \frac{db - ea}{b^2 - ac}$$

[0014] 其中

$$[0015] \quad a = \sum_{i=1}^N \cos^2 2\pi f i \Delta t$$

$$[0016] \quad b = \sum_{i=1}^N \cos 2\pi f i \Delta t \sin 2\pi f i \Delta t$$

$$[0017] \quad c = \sum_{i=1}^N \sin^2 2\pi f i \Delta t$$

$$[0018] \quad d = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f i \Delta t$$

$$[0019] \quad e = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f i \Delta t$$

[0020] 式中：

[0021]  $S_i$ -----表示地震记录的时间序列，野外地震数据采集得到；

[0022]  $A$ -----表示单频干扰波余弦函数的振幅；

[0023]  $B$ -----表示单频干扰波正弦函数的振幅；

[0024]  $f$ -----表示单频干扰波频率，自适应频率计算算法确定；

[0025]  $\Delta t$ -----表示地震记录的时间采样间隔，野外地震数据采集得到；

[0026]  $i$ -----表示地震记录的时间采样序号；

[0027]  $N$ -----表示地震记录的时间采样长度，野外地震数据采集得到；

[0028] 4) 根据地震数据  $s_i$  和单频干扰波初始频率  $f_0$ ，采用以下频率修正公式确定单频干扰波频率  $f$ ，

$$[0029] \quad f = f_0 + \Delta f$$

[0030] 其中：

[0031]  $f_0$  是初始频率， $\Delta f$  是自适应频率修正值，

$$[0032] \quad \Delta f = \frac{2(VA - UB)}{N(A^2 + B^2)}$$

$$[0033] \quad U = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N}$$

$$[0034] \quad V = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N}$$

[0035] 初始频率  $f_0$  由步骤 2) 确定；计算第一步中， $f$  为  $f_0$ ；

[0036] 5) 根据单频干扰波频率  $f$ 、单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$ 、地震记录的时间采样间隔  $\Delta t$ ，按照以下公式计算单频干扰波  $y_i$ ；

$$[0037] \quad y_i = A\cos 2\pi f_i \Delta t + B\sin 2\pi f_i \Delta t;$$

[0038] 式中频率  $f$  由自适应频率计算算法确定，单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$  由振幅计算公式计算确定；

[0039] 6) 按照以下公式计算地震有效信号：

$$[0040] \quad x_i = s_i - y_i$$

[0041] 式中：原始地震数据  $s_i$ ，由野外数据采集得到，估算的单频干扰波  $y_i$ ，由单频干扰计算公式计算得到， $x_i$  是消除单频干扰波后的地震有效信号；

[0042] 7) 采用通常的方法根据得出消除单频干扰波的地震数据绘制消除单频干扰波后的地震数据剖面 and 存储消除单频干扰波后的地震数据剖面。

[0043] 本发明克服了频率域压制单频波的缺点，而且比时间域单频干扰波压制方法运算速度要快得多，不但能够有效的消除地震记录上的单频波，而且还保留了时间域单频干扰波压制方法不损害有效波的特点。

[0044] 本发明提高了该频率分量的信噪比，为地震数据的后续处理提供了必要的输入地震数据。本发明既可以消除地震数据中由高压输电线产生的单频干扰波，也可以消除地震数据中由周期性震动（如发电机等）产生的单频干扰波。

#### 附图说明

[0045] 图 1 是本发明理论数据试算对比图，每种数据显示十道，(a) 一个实际地震道，(b) 理论单频干扰波记录，(c) 合成理论记录，(d) 使用本发明去除单频干扰波后的地震道，(e) 使用本发明检测出的单频干扰波。

[0046] 图 2 是本发明理论数据频谱对比图，(a) 实际地震道频谱，(b) 理论单频干扰波记录频谱，(c) 合成理论记录频谱，(d) 使用发明去除单频干扰波后的地震道频谱，(e) 使用本发明测出的单频干扰波频谱。

[0047] 图 3 是本发明 VSP 数据三分量数据处理对比图。(a) 原始 VSP 三分量数据，(b) VSP 软件单频干扰波消除之后的 VSP 三分量数据，(c) 本发明单频干扰波消除之后的 VSP 三分量数据。

[0048] 图 4 是 VSP 数据三分量频谱对比图。(a) 原始分量的频谱，(b) VSP 软件单频干扰波消除方法处理后的频谱，(c) 本发明单频干扰波消除方法处理后的频谱。

[0049] 图 5 是地震炮集数据处理对比图。(a) 地震数据，(b) 时间域单频干扰波压制方法消除单频干扰波之后的地震数据，(c) 本发明单频干扰波消除之后的地震数据。

[0050] 图 6 是频谱对比图。(a) 原始分量的频谱，(b) 时间域单频干扰波压制方法消除单频干扰波之后的频谱，(c) 本发明单频干扰波消除方法处理后的频谱。

#### 具体实施方式

[0051] 地震有效信号就是地震子波和反射系数序列的褶积。高压输电线或周期性震动（如发电机等）会在地面附近产生周期性单频波。在地震数据采集过程中，如果在地面接

收器附近存在高压输电线或周期性震动（如发电机等），那么地面接收器接收到的地震记录就是地震有效信号和单频波的叠加。本发明的一种自适应识别和消除地质勘探单频干扰波方法就是识别并消除地震记录中的单频干扰波。

[0052] 本发明把单频波表示为同频率不同振幅的余弦函数和正弦函数之和，并从记录中减去的方法来消除单频波。其余弦函数和正弦函数的频率采用自适应方法进行估算，余弦函数和正弦函数的振幅采用直接计算方法。

[0053] 本发明包括以下步骤：

[0054] 1) 用通常的地震震源激发和采集地震数据并做预处理，所述的预处理是指对地震数据置标签、定义观测系统。

[0055] 2) 确定单频干扰波的初始频率。采用频谱分析方法，分析地震数据中原始波形数据  $s_i$  的频谱，根据地震数据中原始波形数据  $s_i$  和它的振幅谱，由原始波形数据的震荡周期和它的振幅谱的最大位置所对应的频率，确定原始数据中单频干扰波的初始频率  $f_0$ 。它并不是原始数据中单频干扰波的实际频率。实际频率我们并不知道，是我们所要求取的。

[0056] 3) 地震记录为地震有效信号和单频干扰波的和，即

$$[0057] \quad S_i = x_i + y_i \quad (1)$$

[0058] 式中，

[0059]  $S_i$ ----- 表示地震记录

[0060]  $x_i$ ----- 表示地震有效信号

[0061]  $y_i$ ----- 表示单频干扰波

[0062]  $i$ ----- 表示地震记录的时间采样序号

[0063] 为了有效地消除地震记录上的单频干扰波，设单频干扰波的频率、振幅和时延在整个地震记录道内是稳定不变的，且为常数，

[0064] 本发明使用余弦函数和同频率不同振幅的正弦函数之和来表示单频干扰波。其表达式是：

$$[0065] \quad y_i = A \cos 2 \pi f_i \Delta t + B \sin 2 \pi f_i \Delta t \quad (2)$$

[0066] 式中，

[0067]  $y_i$ ----- 表示单频干扰波

[0068]  $A$ ----- 表示单频干扰波余弦函数的振幅

[0069]  $B$ ----- 表示单频干扰波正弦函数的振幅

[0070]  $f$ ----- 表示单频干扰波频率

[0071]  $\Delta t$ ----- 表示地震记录的时间采样间隔

[0072]  $i$ ----- 表示地震记录的时间采样序号；

[0073] 显然参数  $A$  和  $B$  与  $y_i$  是线性关系，而  $f$  与  $y_i$  是非线性关系，因此  $A$  和  $B$  的计算要比  $f$  容易和快速得多。

[0074] (4) 单频干扰波的振幅估算。一般而言，在时间剖面上，深层时间段高频有效波的能量比浅层高频有效波的能量弱得多。因此可以利用深层时间段来估算单频干扰波的振幅和频率，把它们作为整道地震记录上的单频干扰波。我们采用最小二乘法估算单频干扰波的振幅。对于第  $k$  次迭代，建立目标函数：

$$[0075] \quad Q_k = \sum_{i=1}^N [S_i - y_i]^2 \quad (3)$$

$$[0076] \quad = \sum_{i=1}^N [S_i - A \cos 2\pi f_k i \Delta t - B \sin 2\pi f_k i \Delta t]^2 \rightarrow \min$$

[0077] 式中  $s_i$  是原始地震记录。对于第  $k$  次迭代给定的频率  $f_k$ ，为了振幅  $A$  和  $B$  的确定，由

$$[0078] \quad \frac{\partial Q}{\partial A} = 0, \frac{\partial Q}{\partial B} = 0, \quad (4)$$

[0079] 得出单频干扰波的振幅  $A$  和  $B$  分别为

$$[0080] \quad A = \frac{dc - eb}{ac - b^2}$$

$$[0081] \quad B = \frac{db - ea}{b^2 - ac} \quad (5)$$

[0082] 其中

$$[0083] \quad a = \sum_{i=1}^N \cos^2 2\pi f_k i \Delta t$$

$$[0084] \quad b = \sum_{i=1}^N \cos 2\pi f_k i \Delta t \sin 2\pi f_k i \Delta t$$

$$[0085] \quad c = \sum_{i=1}^N \sin^2 2\pi f_k i \Delta t$$

$$[0086] \quad d = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f_k i \Delta t$$

$$[0087] \quad e = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f_k i \Delta t \quad (6)$$

[0088] 这样，对于一个给定频率  $f_k$ ，通过方程 (6) 可以确定出系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  和  $e$ ，然后由方程 (5) 可以求解出单频干扰波的振幅  $A$  和  $B$ 。

[0089] 5) 自适应频率计算算法。我们采用自适应频率计算算法估算单频干扰波的频率。首先定义

$$[0090] \quad U = \sum_{i=1}^N S_i \cos 2\pi f_k i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N}$$

$$[0091] \quad V = \sum_{i=1}^N S_i \sin 2\pi f_k i \Delta t \sin \frac{2\pi i}{N} \quad (7)$$

[0092] 则频率的增量估算公式为

$$[0093] \quad \Delta f = \frac{2(VA - UB)}{N(A^2 + B^2)} \quad (8)$$

[0094] 单频干扰波频率的修正公式为

$$[0095] \quad f_{k+1} = f_k + \Delta f \quad (9)$$

[0096] 这里  $f_0$  是初始频率， $k$  是迭代次数， $\Delta f$  是频率修正值。



[0097] 自适应频率计算算法为：

[0098] (1) 给定地震记录的时间序列  $S_i$ 、地震记录的时间采样间隔  $\Delta t$ ，给定迭代次数或者最小误差；

[0099] (2) 分析确定扫描初始频率  $f_0$ ；

[0100] (3) 设置  $k = 0$ ；

[0101] (4) 方程 (6) 可以确定出系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  和  $e$ ，然后由方程 (5) 可以求解出单频干扰波的振幅  $A$  和  $B$ ；

[0102] (5) 由方程 (7) 式计算数值  $U$  和  $V$ ；

[0103] (6) 由方程 (8) 式计算频率修正值  $\Delta f_k$ ；

[0104] (7) 由方程 (9) 式计算频率修正量  $f_{k+1}$ ；

[0105] (8) 由方程 (3) 式计算误差  $Q_k$ ；

[0106] (9) 判断迭代次数或者误差是否满足要求，如果不满足要求转向步骤 (4) 执行，满足要求则执行步骤 (10)；

[0107] (10) 频率  $f_{k+1}$  就是所要求的单频波频率  $f$ 。

[0108] 6) 计算单频干扰波。根据单频干扰波频率  $f$ 、单频干扰波余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$ 、地震记录的时间采样间隔  $\Delta t$ ，按照公式 (2) 计算单频干扰波  $y_i$ 。

[0109] 7) 计算地震有效信号。消除地震记录上的单频干扰波就是在已知地震记录  $S_i$  的情况下，通过估算出单频干扰波  $y_i$  以恢复地震有效信号  $x_i$  的处理。即

$$[0110] \quad x_i = s_i - y_i \quad (10)$$

[0111] 这里  $x_i$  是消除单频干扰波后的地震记录，即地震有效信号。

[0112] 8) 采用通常的方法根据得出消除单频干扰波的地震数据绘制消除单频干扰波后的地震数据剖面 and 存储消除单频干扰波后的地震数据剖面。

[0113] 本发明实施例。

[0114] 首先使用理论合成数据进行试算。理论合成数据采用一个实际地震道与一个余弦函数之和。余弦函数使用公式：

$$[0115] \quad y_i = D \cos 2 \pi f (i + \tau) \Delta t \quad (11)$$

[0116] 这里， $D$  为振幅， $f$  为频率， $\tau$  为延迟， $\Delta t$  为时间采样间隔。振幅  $D$  和延迟  $\tau$  与对应余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$  的关系为

$$[0117] \quad D = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$[0118] \quad \tau = \frac{1}{2\pi f \Delta t} \operatorname{arctg} \left( -\frac{A}{B} \right) \quad (12)$$

[0119] 和

$$[0120] \quad A = D \cos 2 \pi f \tau \Delta t$$

$$[0121] \quad B = D \sin 2 \pi f \tau \Delta t \quad (13)$$

[0122] 合成余弦函数的振幅  $D$  为  $3.726241E+12$ ，频率  $f$  为  $50.450\text{Hz}$ ，延迟  $\tau$  为  $3.150$ ，时间采样间隔  $\Delta t$  为  $1\text{ms}$ 。由方程式 (13) 可以计算出对应余弦函数和正弦函数的振幅  $A$  和  $B$  分别为  $2.017972E+12$  和  $-3.132517E+12$ 。

[0123] 图 1-2 是本方法合成理论数据试算对比图。图 1 理论数据试算对比图，每种数据显示十道，(a) 是一个实际地震道，其数据的最大值是  $3.726241\text{E}+13$ ，数据道长是 5000ms，时间采样间隔是 1ms，(b) 是理论单频干扰波记录，由方程 (11) 制作的合成理论单频干扰波记录，(c) 是合成理论记录，是实际地震道 (a) 与理论单频干扰波记录 (b) 之和，(d) 是使用本发明去除单频干扰波后的地震道，(e) 是使用本发明检测出的单频干扰波，其中频率是 50.450Hz，正弦函数的振幅是  $-3.132525\text{E}+12$ ，余弦函数的振幅是  $2.017978\text{E}+12$ ，由方程式 (12) 可以计算出对应方程 (11) 的振幅  $D$  为  $3.726251\text{E}+12$ ，延迟  $\tau$  为 3.150。图 2 理论数据频谱对比图，(a) 是一个实际地震道频谱，(b) 是理论单频干扰波记录频谱，(c) 是合成理论记录频谱，(d) 是使用本发明去除单频干扰波后的地震道频谱，(e) 是使用本发明检测出的单频干扰波频谱。从数据显示和频谱图中可以看出，本发明有效地消除了单频干扰波。

[0124] 图 3-4 是本方法与商用 VSP 处理软件包处理 VSP 数据对比图。VSP 数据是某地实际测量的三分量数据，每个接收点上记录 X，Y 和 Z 三个分量，排列上共有 170 个接收器，记录长度 5000ms，采样间隔 1ms，这样我们得到 X，Y 和 Z 三个分量各 170 道的记录。仅显示 Z 分量 700 ~ 4000ms 记录。图 3 是 VSP 数据 Z 分量处理对比图。(a) 是原始 VSP 数据 Z 分量，(b) 是 VSP 软件单频干扰波消除之后的 VSP 数据 Z 分量，(c) 是本发明单频干扰波消除之后的 VSP 数据 Z 分量。对于 Z 分量，本发明和 VSP 软件单频干扰波消除方法处理效果之间的差异在图上可以明显看出来，VSP 软件单频干扰波消除方法处理的结果上明显还存在剩余的单频干扰波，而本发明完全消除了单频干扰波。图 4 是 VSP 数据 Z 分量频谱对比图。(a) 是原始分量的频谱，(b) 是 VSP 软件单频干扰波消除方法处理后的频谱，(c) 是本发明单频干扰波消除方法处理后的频谱。从频谱图上可以看出，VSP 软件单频干扰波消除方法处理的结果上明显还存在剩余的频率为 50HZ 单频干扰波，而本发明完全消除了频率为 50HZ 的单频干扰波，同时有效地消除了频率为 150HZ 和 250HZ 的单频干扰波。

[0125] 图 5-6 是本方法与时间域单频干扰波压制方法处理对比图。地震数据是某地 3D 叠前炮集数据，每炮 1680 道 20 个接收排列，记录长度 6000ms，采样间隔 2ms，仅显示了第一炮的 1511-1680 道 2 个接收排列 800 ~ 6000ms，它们包含着强弱不等的 50HZ 附近的干扰波，图 5 是地震炮集数据处理对比图。(a) 是地震数据，(b) 是时间域单频干扰波压制方法消除单频干扰波之后的地震数据，(c) 是本发明单频干扰波消除之后的地震数据。图 6 是不同地震道频谱对比图。(a) 是原始分量的频谱，(b) 是时间域单频干扰波压制方法消除单频干扰波之后的频谱，(c) 是本发明单频干扰波消除方法处理后的频谱。从频谱图上可以看出，本发明完全消除了频率为 50HZ 的单频干扰波，而其它频率成分的有效波不但没有受到影响，而且在干扰波存在的频率成分上有效波也保存完好，说明本发明消除干扰波的方法并不伤害有效波，因此提高了单频附近信号的信噪比。很明显，本发明与时间域单频干扰波压制方法一样，有效地消除了单频干扰波，且两种算法看不出差异。在 DELL 工作站上，该数据第一炮的 1680 道，本发明的运算时间是 34s，而同样的机器同样的参数，时间域单频干扰波压制方法需要 146s，明显优于时间域单频干扰波压制方法。

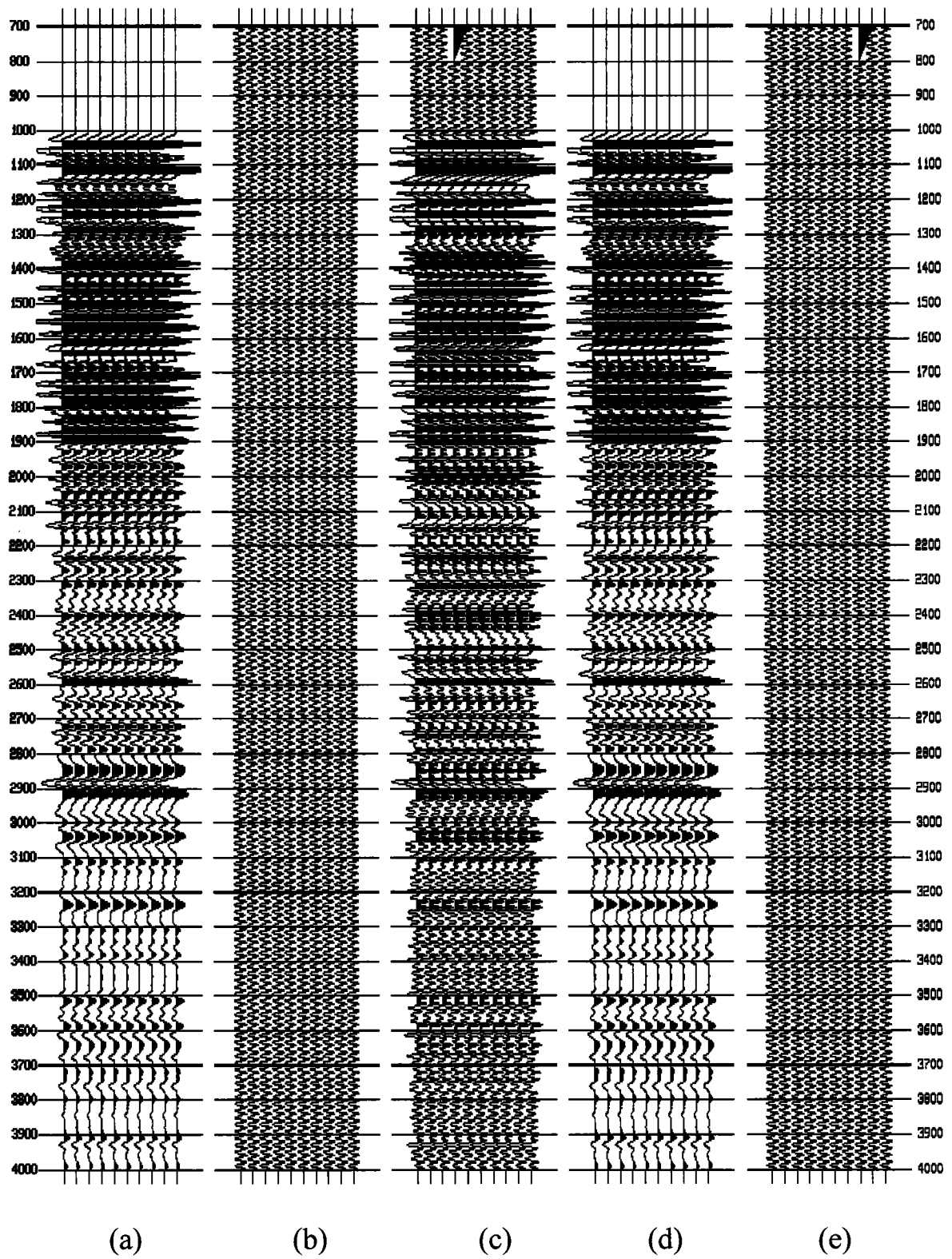


图 1

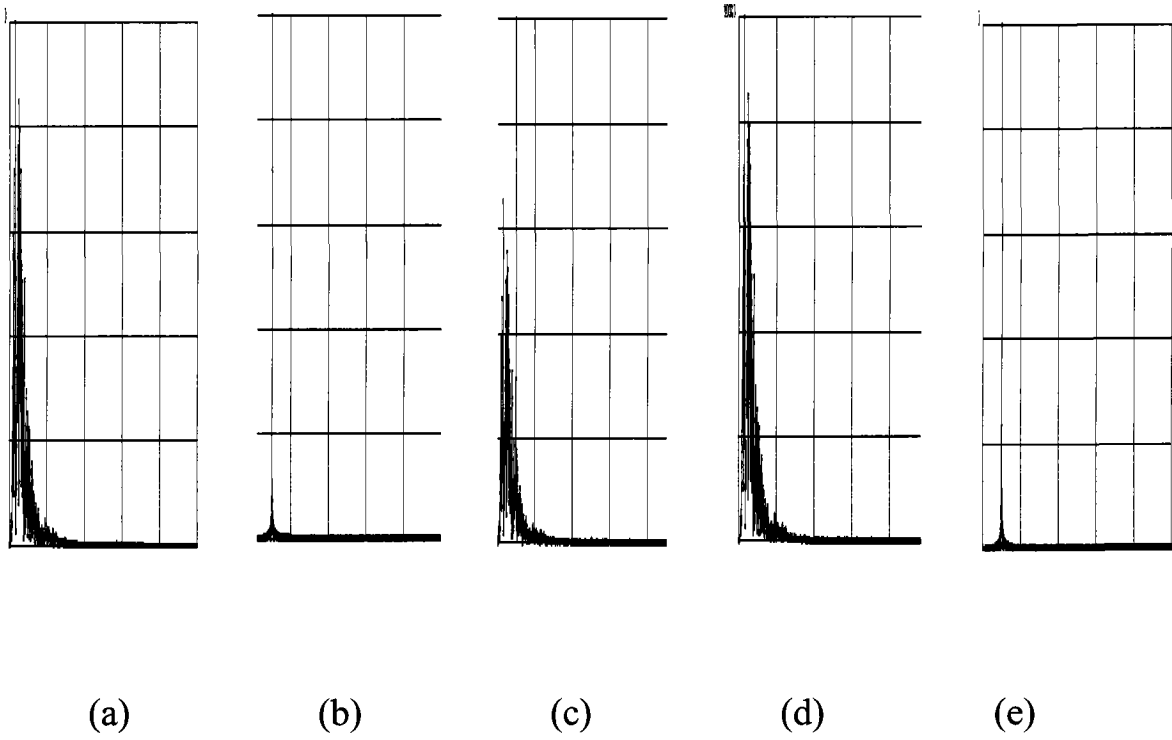
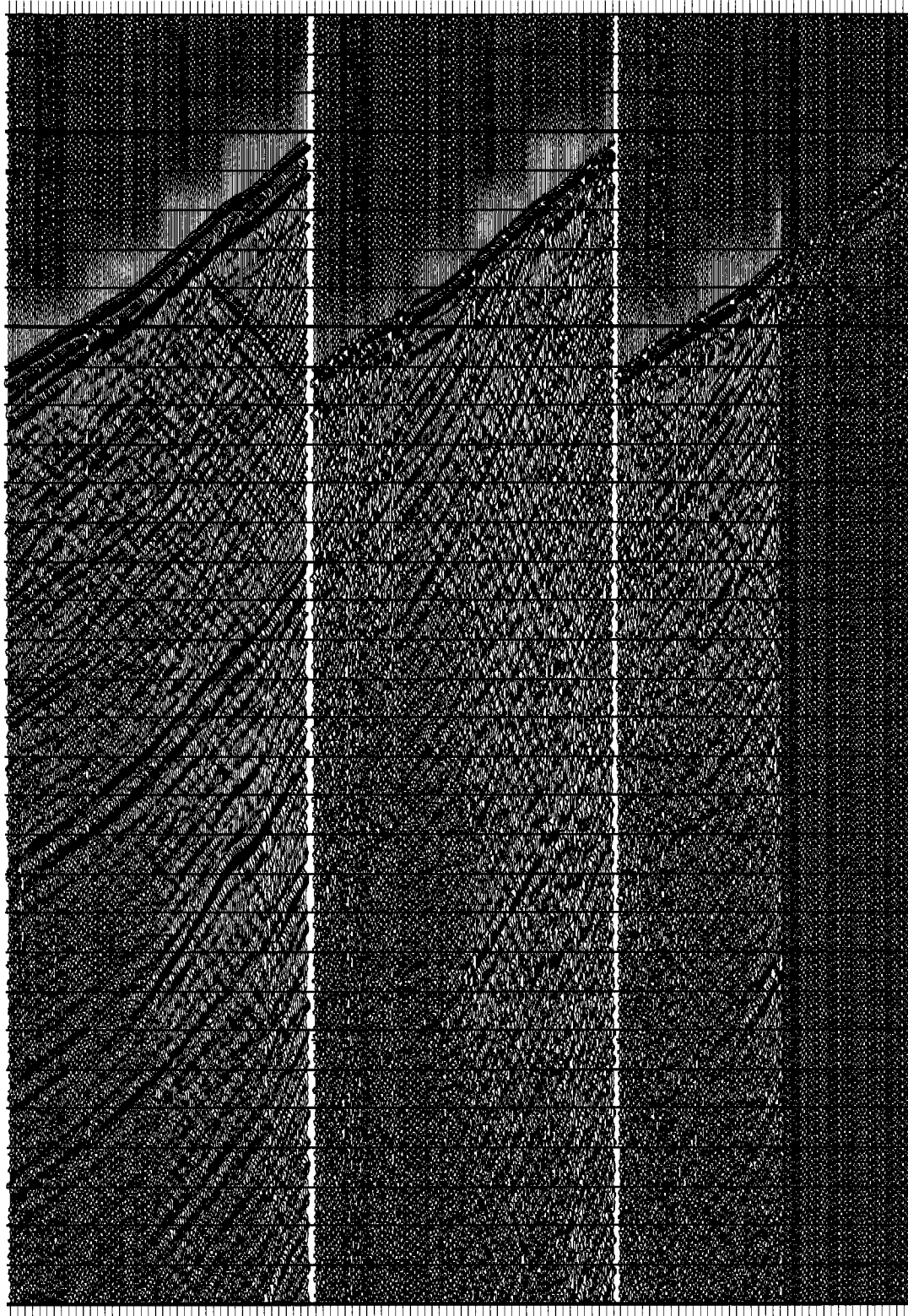


图 2

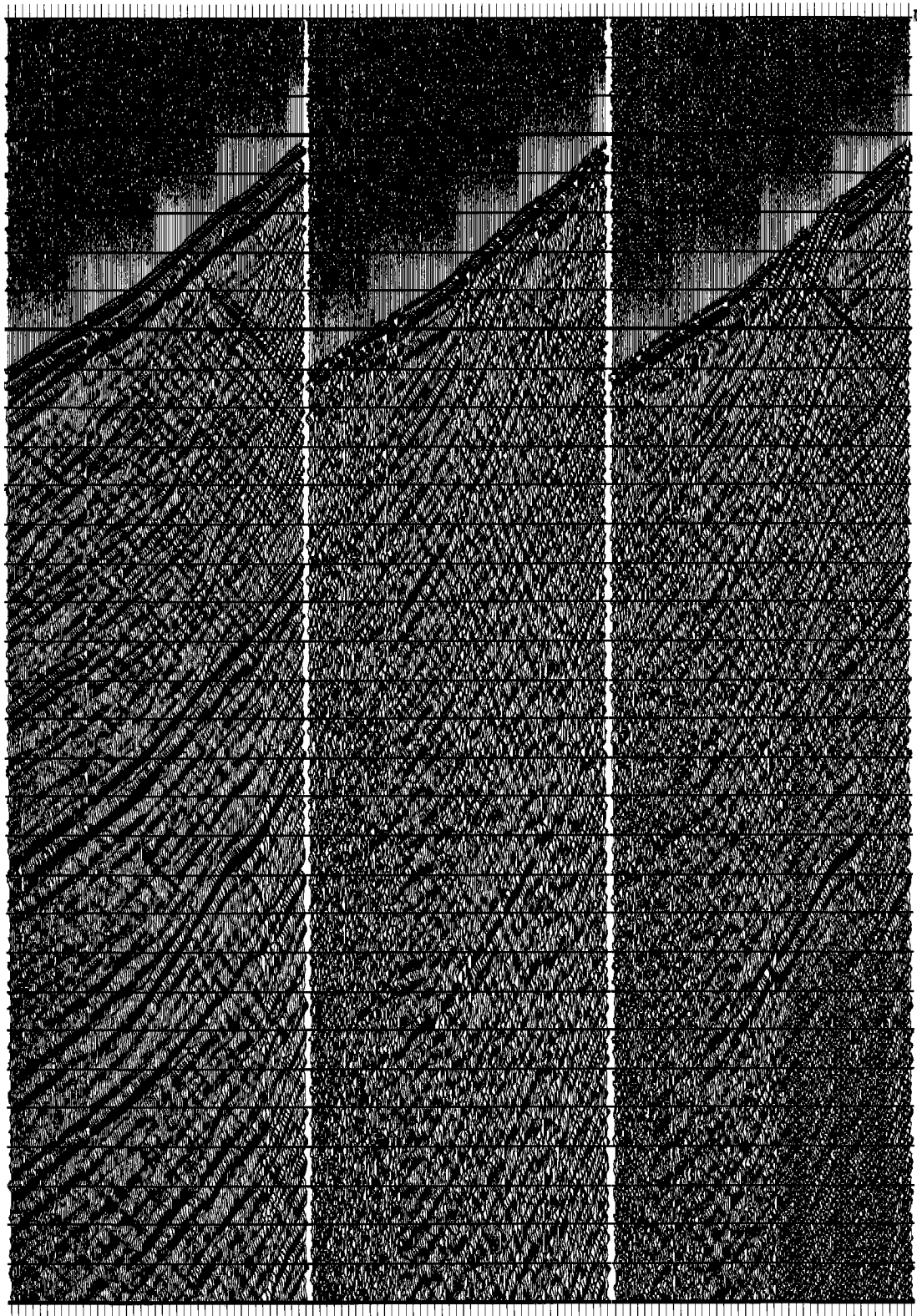


X 分量

Y 分量

Z 分量

图 3(a)

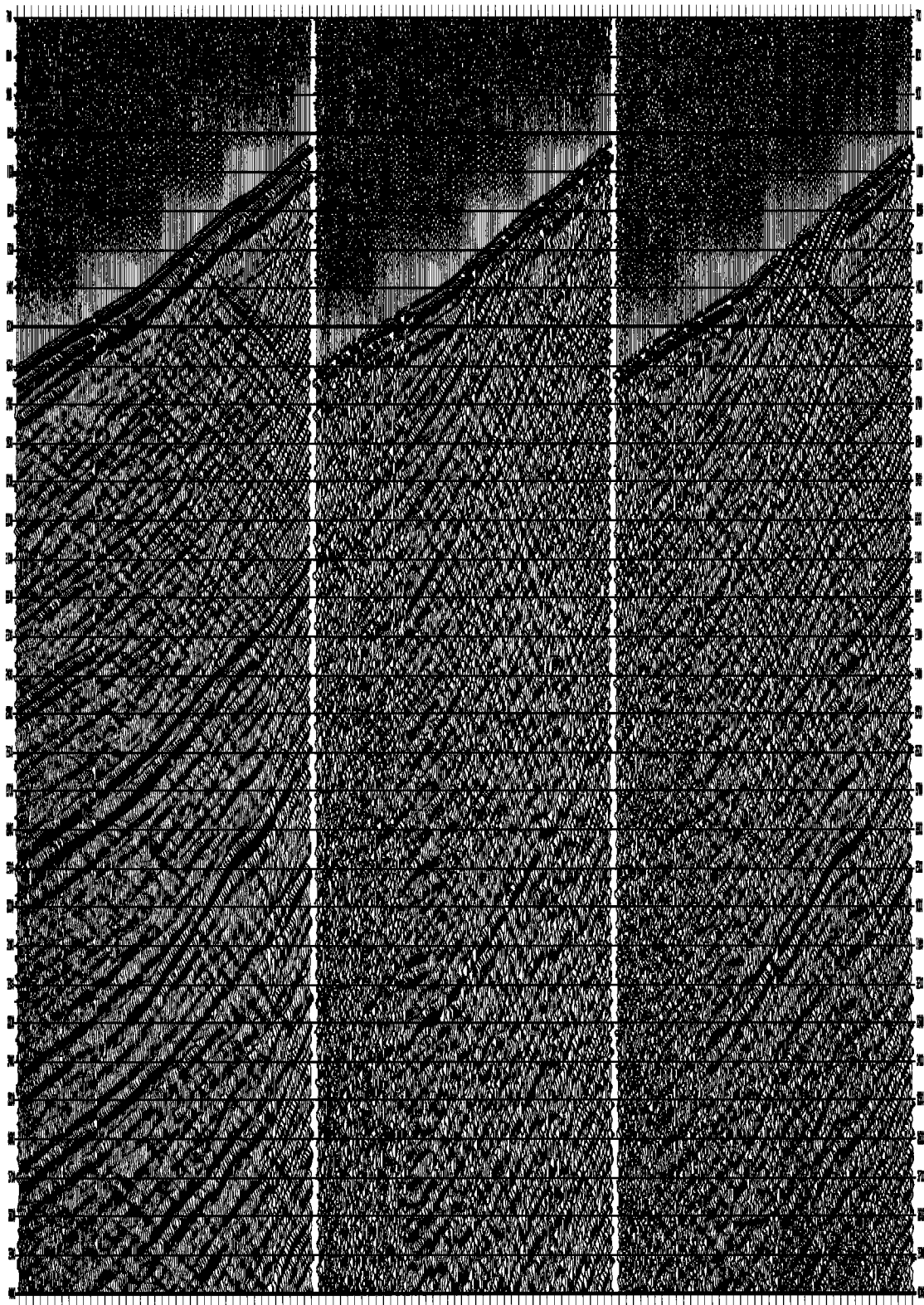


X 分量

Y 分量

Z 分量

图 3(b)

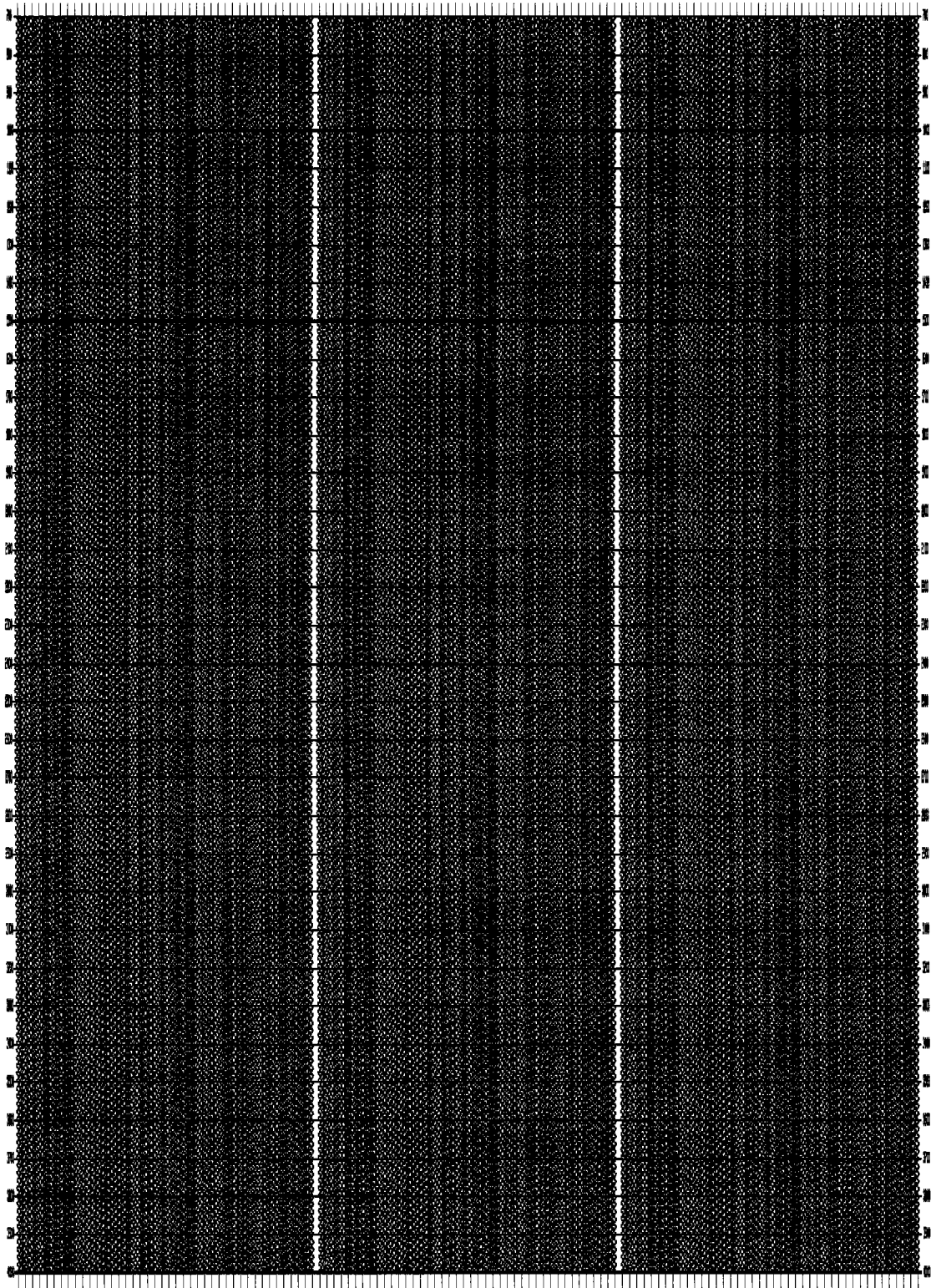


X 分量

Y 分量

Z 分量

图 3(c)



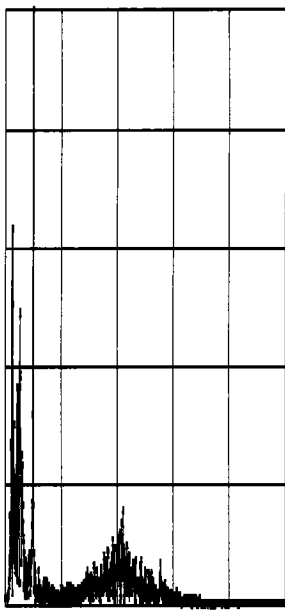
X 分量

Y 分量

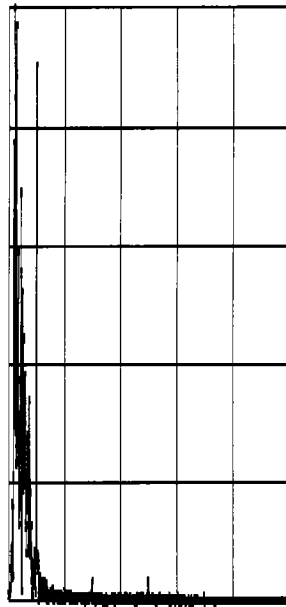
Z 分量

图 3(d)

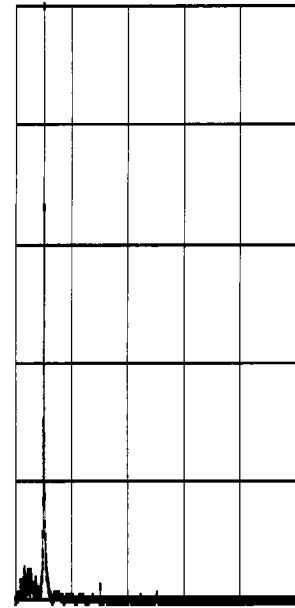




X 分量第 5 炮

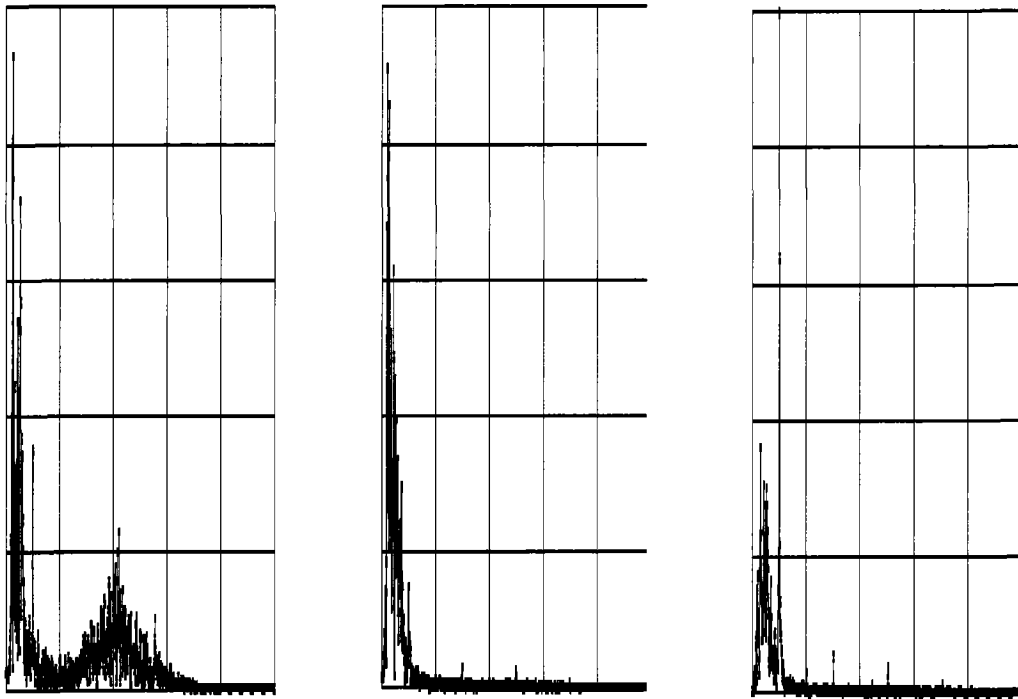


Y 分量第 95 炮



Z 分量第 155 炮

图 4(a)

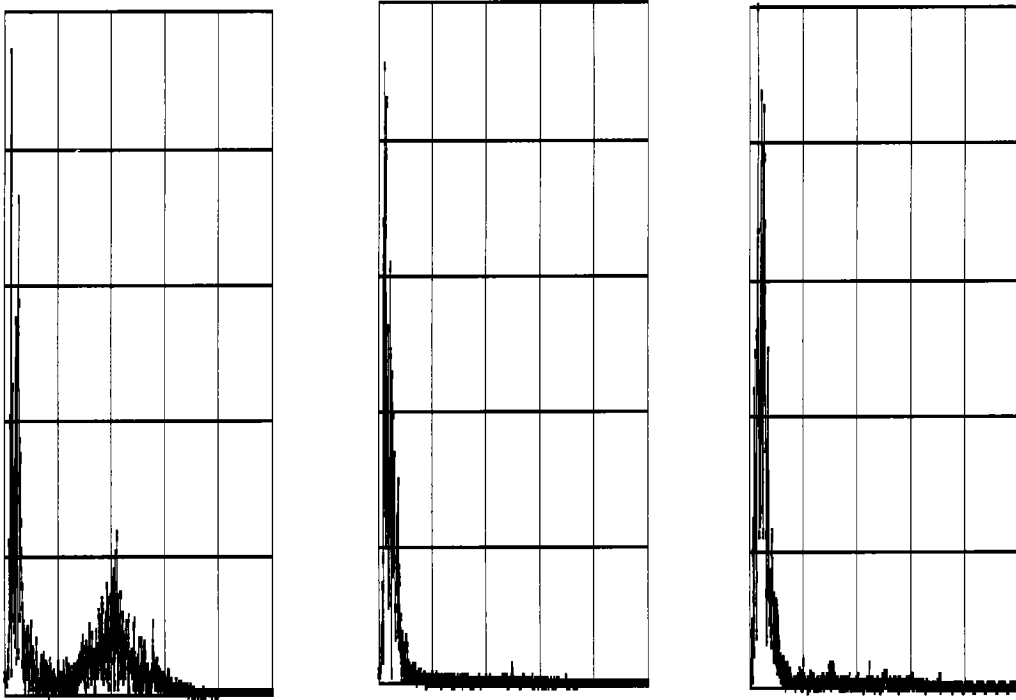


X 分量第 5 炮

Y 分量第 95 炮

Z 分量第 155 炮

图 4(b)



X 分量第 5 炮

Y 分量第 95 炮

Z 分量第 155 炮

图 4(c)

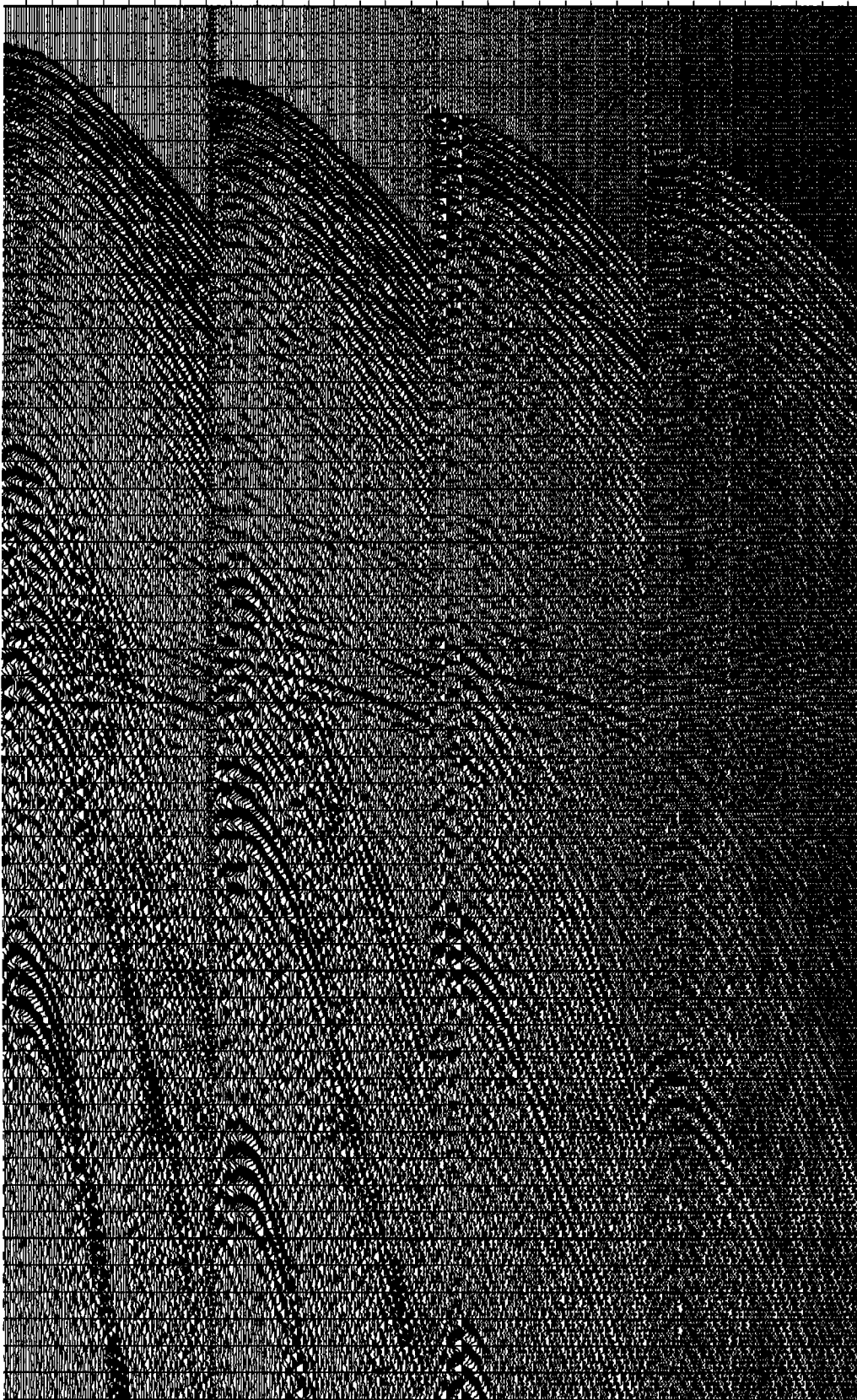


图 5(a)

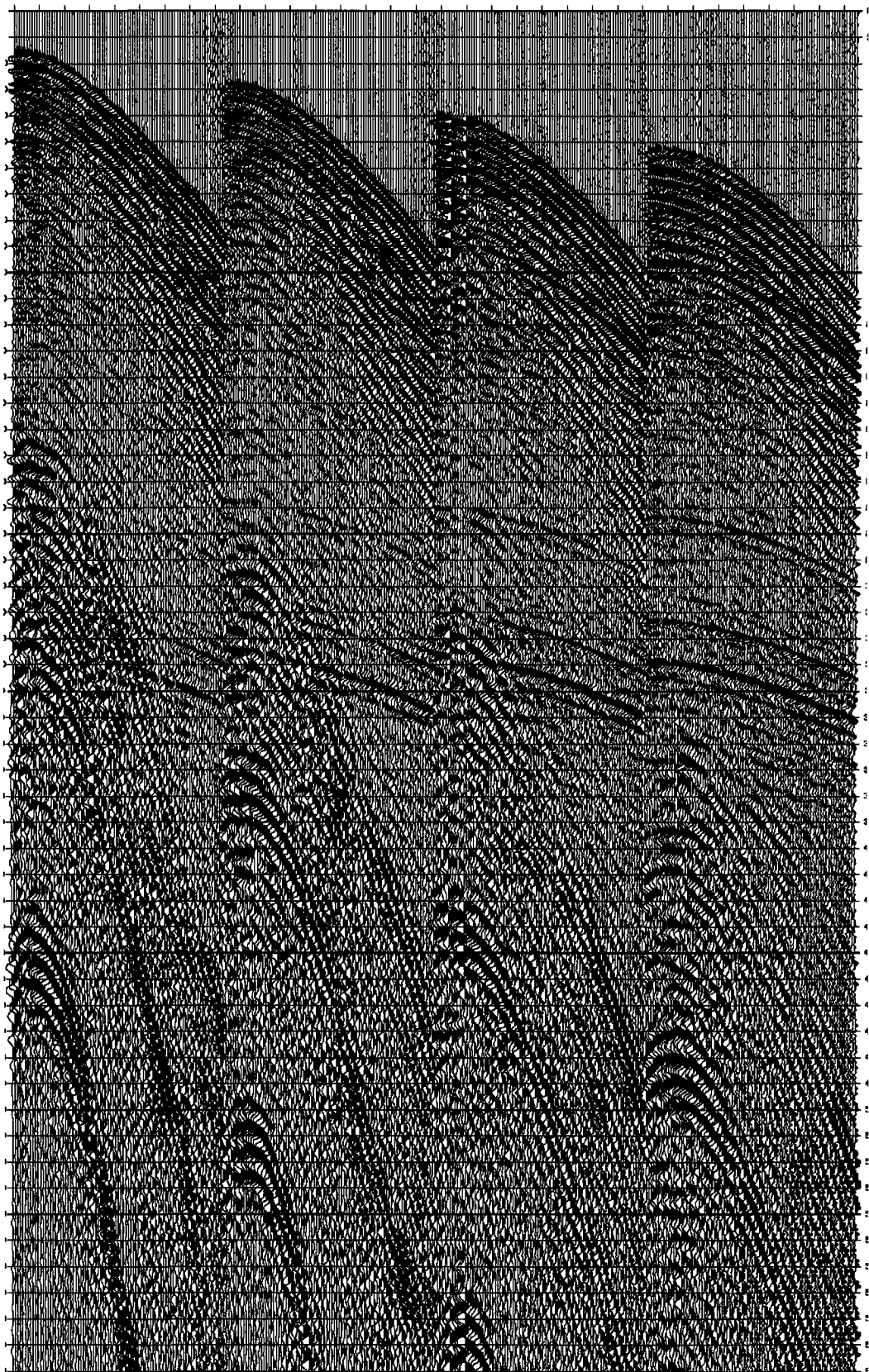


图 5 (b)

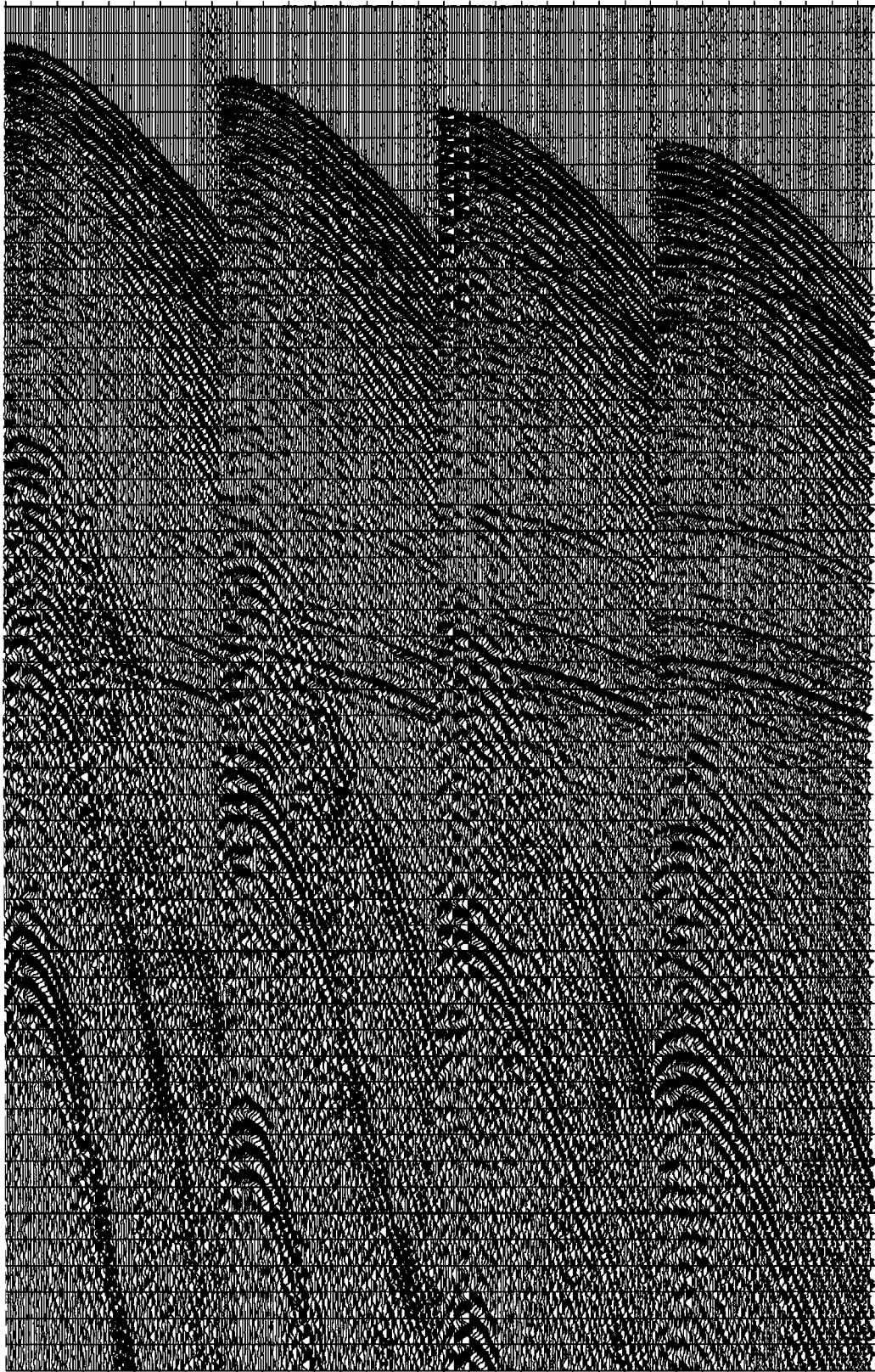


图 5(c)

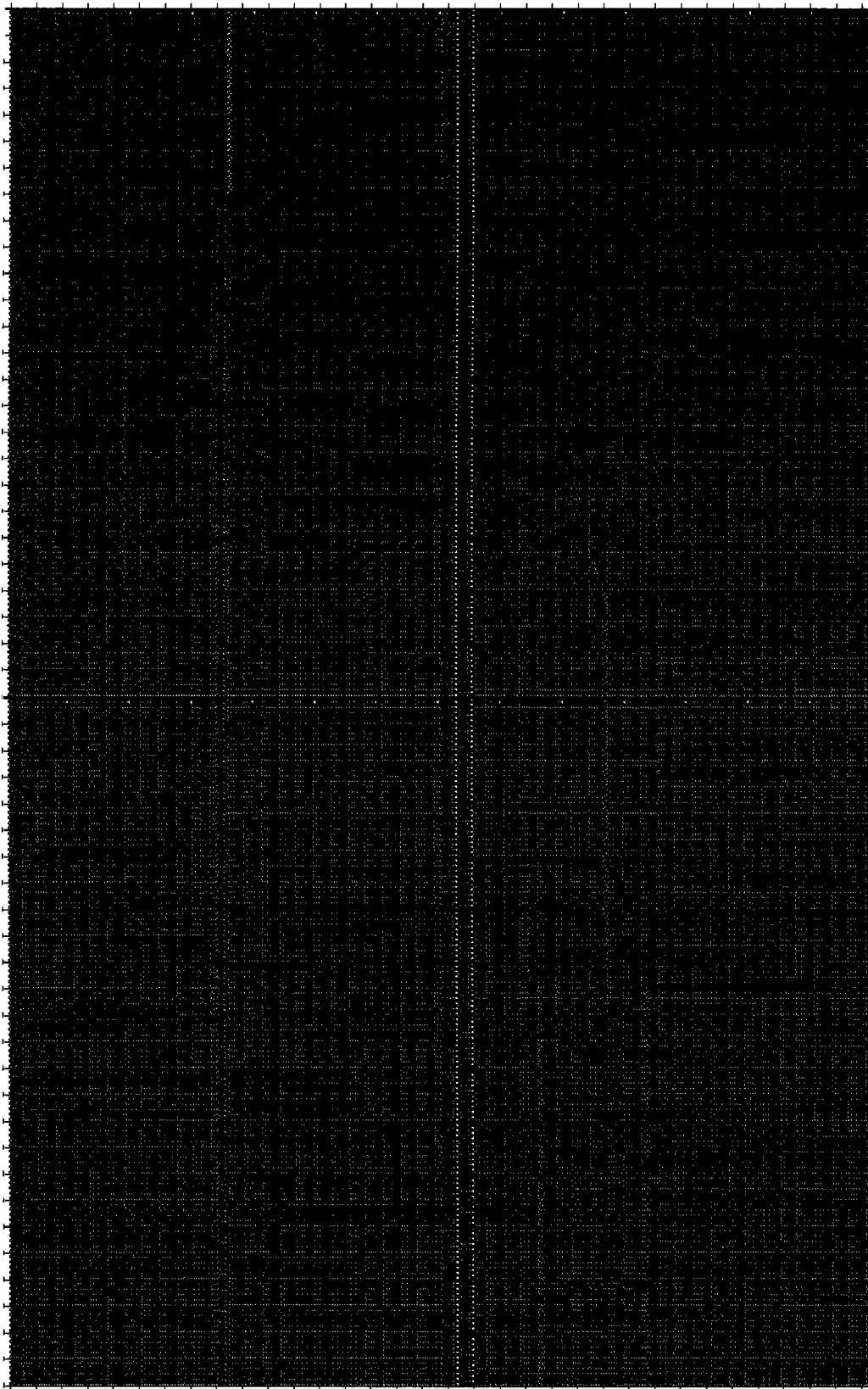
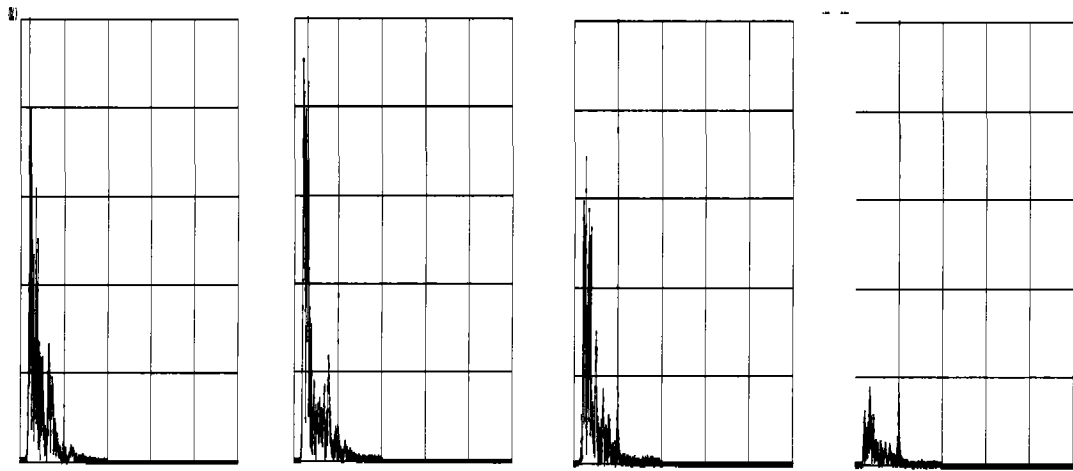


图 5(d)



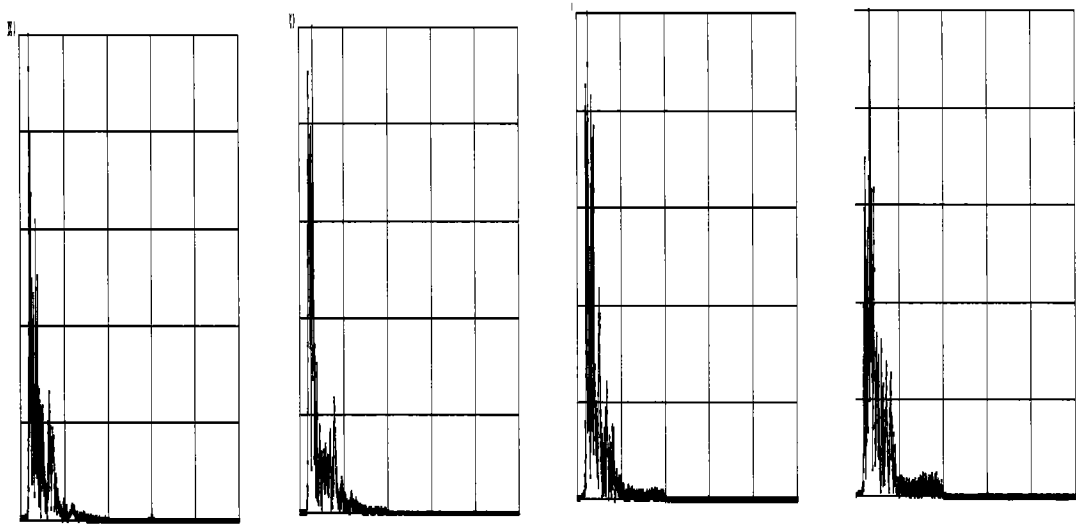
第 1345 道

第 1445 道

第 1545 道

第 1645 道

图 6(a)



第 1345 道

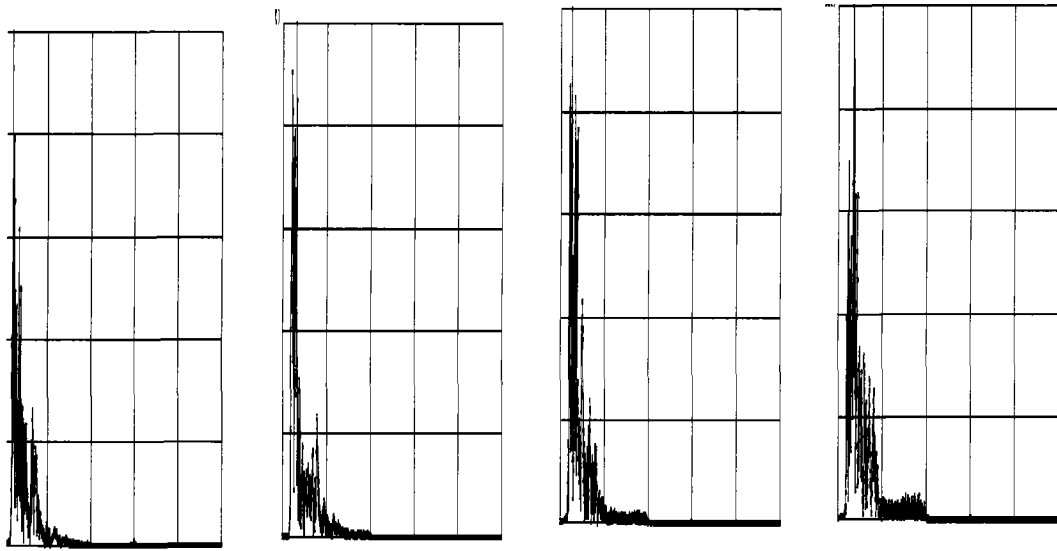
第 1445 道

第 1545 道

第 1645 道

图 6(b)





第 1345 道

第 1445 道

第 1545 道

第 1645 道

图 6(c)